การลดความแปรปรวนในการตั้งระยะวาล์วของเครื่องยนต์

นาย สุเมธ คงสำราญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1742-1

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REDUCTION OF ENGINE VALVE CLEARANCE VARIATION

Mr. Sumeht Kongsumran

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2001

ISBN 974-03-1742-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดความแปรปรวนในการตั้งระยะวาล์วของเครื่องยนต์ (REDUCTION OF ENGINE VALVE CLEARANCE VARIATION)
โดย	นายสุเมธ คงสำราญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ
อาจารย์ที่ปรึกษา(ร่วม)	

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบ

(รองศาสตราจารย์ จรูญ มหิทธาฟองกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประเสริฐ อัครประถมพงศ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุเมธ คงสำราญ : การลดความแปรปรวนในการตั้งระยะวาล์วของเครื่องยนต์ (REDUCTION OF ENGINE VALVE CLEARANCE VARIATION) อ.ที่ปรึกษา : ศ. ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, 114 หน้า, ISBN 974-03-1742-1

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ
มุ่งที่จะปรับปรุงคุณภาพของการปรับตั้งระยะวาล์วสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลทุกรุ่นที่ทำการผลิตโดยบริษัทตัวอย่างในการวิจัย ซึ่งเป็นบริษัทที่ให้ความสำคัญต่อความพึงพอใจของลูกค้าเป็นอันดับแรก
เนื่องจากระยะวาล์วที่ไม่เหมาะสมเป็นสาเหตุประการหนึ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติ
ซึ่งเป็นสิ่งที่ลูกค้าไม่พึงพอใจ

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการตามขั้นตอนของวิธี 6-Sigma โดยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ การแจกแจงปัญหา การวัด การวิเคราะห์ การปรับปรุง และการควบคุม
จากการศึกษาพบว่าระบบการวัดระยะวาล์วในปัจจุบันซึ่งใช้ฟีลเลอร์เกจนั้นไม่ผ่านเกณฑ์ของการวิเคราะห์ระบบการวัด จึงทำการพัฒนาระบบการวัดแบบใหม่โดยใช้ลวดตะกั่ว จากนั้นทำการเก็บข้อมูลของกระบวนการปรับตั้งระยะวาล์ว ณ สภาพปัจจุบัน พบว่าโอกาสเกิดของเสียของระยะวาล์วด้านวาล์วไอดีเท่ากับ 2,435 PPM และด้านวาล์วไอเสียเท่ากับ 364,722 PPM โดยปัจจัยที่มีผลต่อความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของระยะวาล์วคือ
พนักงานผู้ปรับตั้งระยะวาล์วแต่ละคน
จากนั้นพยายามทดลองเปลี่ยนการทำงานโดยอาศัยความรู้สึกของพนักงานแต่ละคนมาเป็นค่าที่สามารถวัดได้ โดยนำไขควงที่กำหนดค่าทอร์คได้มาใช้ในการปรับตั้งระยะวาล์ว แต่ไม่สามารถหาอุปกรณ์ที่เหมาะสม
ซึ่งใช้งานได้ดีที่ค่าทอร์คต่ำมากๆ ประกอบกับปัญหาด้านงบประมาณ จึงไม่ได้นำวิธีนี้มาใช้ในการปฏิบัติงานจริง

สรุปสิ่งที่ได้นำไปปฏิบัติเพื่อการปรับปรุงคุณภาพของระยะวาล์วมีดังนี้
1. ควบคุมอายุการใช้งานของใบฟีลเลอร์เกจไม่ให้เกิน1 เดือน เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการปรับตั้งระยะวาล์ว
2. จัดทำด้ามฟีลเลอร์เกจใหม่ เพื่อช่วยให้พนักงานทำงานได้สะดวกยิ่งขึ้น
3. เพิ่มสัญลักษณ์ที่ด้ามฟีลเลอร์เกจ เพื่อป้องกันการใช้สลับกันระหว่างด้านไอดีและไอเสีย
ภายหลังจากเริ่มปฏิบัติตามวิธีที่กล่าวมา เป็นเวลา 1 เดือน
ทำการเก็บข้อมูลระยะวาล์วพบว่าโอกาสการเกิดของเสียเฉลี่ยระหว่างระยะวาล์วไอดีและไอเสียลดลง 113,289 PPM หรือ 61.71% เทียบกับก่อนปรับปรุง และที่การทดสอบเดินเครื่องยนต์ ไม่พบปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติเนื่องจากระยะวาล์วเลย

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

#4171511221 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEY WORD : VALVE CLEARANCE / 6-SIGMA

SUMEHT KONGSUMRAN : REDUCTION OF ENGINE VALVE CLEARANCE VARIATION.
THESIS ADVISOR : PROF. SIRICHAN THONGPRASERT, Ph.D. 114 pp. ISBN 974-03-1742-1

In order to enhance customer satisfaction which is the highest value of the case study company, the objective of this research is to improve quality of the engine valve clearance adjusting process for every model of diesel engine, manufactured by the company. Because improper engine valve clearance is one of the causes which induce unusual engine noise and result in customer dissatisfaction.

This research was proceeded following Consumer Driven 6-Sigma methodology which was divided into 5 phases : Define, Measure, Analyze, Improve and Control. It was found that the current method of valve clearance measurement, by feeler gage, did not comply with Gage R&R criterion. Therefore, a new measurement method, by lead wire, was developed. Then, data of current process was collected and found that the defect opportunity for intake valve clearance is 2,435 PPM and 364,722 PPM for exhaust valve clearance. Result of the analysis shows that the factor which significantly effects to the variation and mean of valve clearance is the operators. To change from “adjust by feeling” of each operator to the measurable unit, a trial of valve clearance adjusting by torque driver, which is able to set operating torque, was done. This method is not implemented because the instrument does not appropriate to work at the very low torque range, also the budget constraint.

In conclusion, the following items were implemented to improve quality of valve clearance.

1. Control usage period of feeler gage blade not exceed 1 month to increase accuracy of valve clearance adjusting.
2. Modify feeler gage‘s to facilitate the operators in valve clearance adjusting.
3. Add identification mark at the grip to prevent wrongly uses between intake and exhaust blade by visual control.

The data after implementation for 1 month shows the reduction of average defect opportunity, intake and exhaust valve clearance, for 113,289 PPM which is 61.71% compare with data before improvement. Also, at firing test, no unusual engine noise caused by valve clearance is detected.

Department.....Industrial Engineering..... Student ‘s signature.....
Field of study.....Industrial Engineering..... Advisor ‘s signature…….....
Academic year.....2001..... Co-advisor ‘s signature…….....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความช่วยเหลือจาก ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ และความกรุณาอย่างยิ่งแก่ผู้วิจัยเสมอมา นอกจากนี้ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณบุคลากรในบริษัทฯได้แก่ คุณจีรวรรณ และ คุณ Alex ที่สนับสนุนให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสได้ทำงานในส่วนของ 6-Sigma ตลอดจนทีมงานในการวิจัยทุกท่านที่ทำงานร่วมกันมาอย่างดียิ่ง ขอขอบคุณ คุณจารุณี ซึ่งให้ความช่วยเหลืออย่างมากในการจัดทำรูปเล่มของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ มารดา ซึ่งให้การสนับสนุนในทุกๆด้านอย่างดียิ่ง และเป็นกำลังใจในการศึกษาจนสำเร็จลงได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญภาพ..... ญ
บทที่
1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา..... 1
1.2 ปัญหาในการวิจัย..... 2
1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย..... 5
1.4 ขอบเขตของการวิจัย..... 5
1.5 ตัววัดผล..... 5
1.6 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย..... 5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 6
2 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง..... 7
2.1 วิธีการ 6-Sigma เพื่อเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า..... 7
2.2 กระบวนการ DMAIC..... 11
2.3 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ..... 13
2.4 ทฤษฎีการทดสอบสมมติฐาน..... 22
2.5 กราฟบ็อกซ์พล็อต..... 36
3 สภาพของปัญหา ณ ปัจจุบัน..... 38
3.1 ข้อมูลเกี่ยวกับบริษัทตัวอย่างในการวิจัย..... 38
3.2 กระบวนการผลิตรถยนต์..... 39
3.3 หน้าที่ของแต่ละฝ่ายในโรงงาน..... 41
3.4 ที่มาของปัญหาในการวิจัย..... 50
4 การดำเนินการศึกษาและปรับปรุง..... 54
4.1 ขั้นตอนการแจกแจงปัญหา 54
4.2 ขั้นตอนการวัด..... 59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์..... 75
4.4 ขั้นตอนการปรับปรุง..... 86
4.5 ขั้นตอนการควบคุม..... 102
5 สรุปและข้อเสนอแนะ..... 103
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 103
5.2 อุปสรรคที่พบในการวิจัย..... 104
5.3 ข้อเสนอแนะ..... 104
รายการอ้างอิง..... 106
ภาคผนวก..... 107
ภาคผนวก ก ข้อมูลระยะวาล์วก่อนการปรับปรุง..... 108
ภาคผนวก ข ข้อมูลระยะวาล์วหลังการปรับปรุง..... 112
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 114

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ปัญหาที่ลูกค้าไม่พึงพอใจ 25 อันดับแรก..... 3

2.1 ตัวอย่างแบบฟอร์ม FMEA..... 21

2.2 ข้อสรุปผลจากการทดสอบสมมติฐาน..... 26

2.3 การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดสอบค่าเฉลี่ยซึ่งขนาดตัวอย่างมากกว่า 30..... 28

2.4 การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดสอบค่าเฉลี่ยซึ่งขนาดตัวอย่างน้อยกว่า 30..... 29

2.5 การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดสอบผลต่างค่าเฉลี่ยซึ่งขนาดตัวอย่างมากกว่า 30..... 30

2.6 การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดสอบผลต่างค่าเฉลี่ยซึ่งขนาดตัวอย่างน้อยกว่า 30 และไม่ทราบค่าความแปรปรวนแต่ค่าความแปรปรวนเท่ากัน..... 31

2.7 การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดสอบผลต่างค่าเฉลี่ยซึ่งขนาดตัวอย่างน้อยกว่า 30 และไม่ทราบค่าความแปรปรวนแต่ค่าความแปรปรวนไม่เท่ากัน..... 32

2.8 การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดสอบค่าความแปรปรวน..... 33

4.1 ทีมงานในการวิจัย..... 54

4.2 ตารางสาเหตุและผลกระทบ (Cause & Effect Matrix)..... 60

4.3 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Modes and Effects Analysis : FMEA)..... 62

4.4 ค่าสเปคระยะวาล์วสำหรับแต่ละจุดตรวจสอบ..... 63

4.5 ข้อมูลการวิเคราะห์ระบบการวัดระยะวาล์วแบบเดิม..... 66

4.6 สรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบเดิม..... 45

4.7 ข้อมูลการวิเคราะห์ระบบการวัดระยะวาล์วแบบใหม่..... 70

4.8 สรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบใหม่..... 72

4.9 สรุปผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน..... 75

4.10 ปัจจัยในการออกแบบการทดลอง..... 87

4.11 ผลการออกแบบการทดลองวิธีการปรับตั้งระยะวาล์ว..... 89

4.12 ระยะวาล์วจากการใช้ไขควงแบบตั้งค่าทอร์คได้ ที่ 0.08 N.m..... 93

4.13 ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับไขควงชนิดตั้งค่าทอร์คได้..... 96

4.14 สรุปผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการปรับตั้งระยะวาล์วก่อนและหลังการปรับปรุง..... 101

4.15 วิธีควบคุมและติดตามผลการปรับปรุง..... 102

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ขั้นตอนของกระบวนการ 6-Sigma..... 13

2.2 ตัวอย่างความสัมพันธ์ SFMEA/DFMEA/PFMEA..... 15

2.3 ตัวอย่างผลกระทบของข้อบกพร่อง..... 16

2.4 ขั้นตอน PFMEA..... 20

2.5 เขตวิกฤติสำหรับการทดสอบข้อสมมติฐานรอง $\mu \neq \mu_0$ 23

2.6 เขตวิกฤตสำหรับการทดสอบข้อสมมติฐานรอง $\mu > \mu_0$..... 24

2.7 เขตวิกฤตสำหรับการทดสอบข้อสมมติฐานรอง $\mu < \mu_0$..... 25

2.8 ข้อผิดพลาดประเภท I และ II..... 26

2.9 ส่วนประกอบของกราฟบ็อกซ์พล็อต..... 36

3.1 แผนผังโครงสร้างขององค์กร..... 38

3.2 กระบวนการผลิตรถยนต์ของบริษัท..... 40

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและสาเหตุในรูปของฟังก์ชัน..... 52

3.4 จำนวนปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติและสาเหตุ ปี พ.ศ. 2544..... 53

4.1 ขอบเขตกระบวนการขั้นต้นของปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติ..... 56

4.2 ขั้นตอนต่างๆในกระบวนการประกอบเครื่องยนต์..... 58

4.3 ชุดฟีลเลอร์เกจ สำหรับสุ่มตรวจสอบระยะวาล์ว..... 64

4.4 จุดตรวจสอบระยะวาล์วบนสายการประกอบเครื่องยนต์..... 65

4.5 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดเดิมด้วยโปรแกรม MINITAB (ระยะวาล์วไอดี)..... 67

4.6 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดเดิมด้วยโปรแกรม MINITAB (ระยะวาล์วไอเสีย)..... 68

4.7 การวัดระยะวาล์วแบบใหม่โดยใช้ลวดตะกั่ว..... 70

4.8 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดใหม่ด้วยโปรแกรม MINITAB..... 71

4.9 แผนการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการปรับตั้งระยะวาล์ว ณ ปัจจุบัน..... 73

4.10 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการแยกตามประเภทวาล์ว และจุดเก็บข้อมูล..... 74

4.11 กราฟ Boxplot ของระยะวาล์วแยกตามกระบวนการ..... 76

4.12 ขอบเขตกระบวนการที่เกี่ยวข้อง (ใหม่)..... 78

4.13 การปรับตั้งระยะวาล์ว..... 78

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.14	กราฟ Boxplot ของระยะวาล์วแยกตามพนักงานและตำแหน่งของวาล์ว.....	79
4.15	ทดสอบสมมติฐานของความแปรปรวนแยกตามพนักงาน.....	81
4.16	ทดสอบสมมติฐานของความแปรปรวนแยกตามตำแหน่งของวาล์ว.....	82
4.17	ทดสอบสมติฐานของค่าเฉลี่ยระยะวาล์วไอดีแยกตามพนักงานและตำแหน่งของวาล์ว.....	84
4.18	ทดสอบสมติฐานของค่าเฉลี่ยระยะวาล์วไอเสียแยกตามพนักงานและตำแหน่งของวาล์ว.....	85
4.19	การออกแบบการทดลอง วิธีปรับตั้งระยะวาล์ว.....	88
4.20	ผลการออกแบบการทดลอง วิธีปรับตั้งระยะวาล์วไอดี.....	90
4.21	ผลการออกแบบการทดลอง วิธีปรับตั้งระยะวาล์วไอเสีย.....	91
4.22	ไขควงแบบตั้งค่าทอร์คได้ (Manual Pre-set Torque Driver).....	92
4.23	กราฟ Boxplot เปรียบเทียบระยะวาล์วจากการตั้งด้วยไขควงตั้งค่าทอร์ค 0.08 N.m กับเครื่องมือธรรมดา.....	94
4.24	ผลการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ จากการปรับตั้งระยะวาล์วด้วยไขควงตั้งค่าทอร์ค 0.08 N.m.....	95
4.25	ฟีลเลอร์เกจสำหรับปรับตั้งระยะวาล์ว.....	97
4.26	ชุดฟีลเลอร์เกจ สำหรับสุ่มตรวจสอบระยะวาล์ว.....	99
4.27	เปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการปรับตั้งระยะวาล์ว ก่อนและหลังการปรับปรุง.....	100
4.28	กราฟปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปกติที่เกิดจากระยะวาล์ว.....	101

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

อุตสาหกรรมรถยนต์ในปัจจุบันนี้มีสภาวะการแข่งขันที่รุนแรงและมีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงขึ้นไปเรื่อยๆซึ่งทุกค่ายผู้ผลิตรถยนต์ต่างก็มีกลยุทธต่างๆในการที่จะทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุด การสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับผลิตภัณฑ์ การทำให้ลูกค้าเกิด ความจงรักภักดีต่อผลิตภัณฑ์ภายใต้ชื่อของบริษัท (Brand Loyalty) ซึ่งความสัมฤทธิผลของกลยุทธต่างๆที่กล่าวมานี้จะทำให้บริษัท สามารถอยู่รอดและเจริญเติบโต มีความสามารถในการแข่งขัน (Competitiveness) ในสภาวะการตลาดที่จะต้องยิ่งยากมากขึ้นไปเรื่อยๆ อย่างไรก็ดีกลยุทธต่างๆที่จะผลักดันให้ลูกค้าสนใจในผลิตภัณฑ์จะไม่สามารถสัมฤทธิผลได้เลยหากปราศจากปัจจัยที่สำคัญที่สุดนั่นก็คือคุณภาพที่ดีของผลิตภัณฑ์

บริษัทตัวอย่างในการศึกษาเพื่อทำวิทยานิพนธ์นี้เป็นบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ที่มีนโยบายที่ชัดเจนในการให้ความสำคัญต่อความพึงพอใจสูงสุดของลูกค้าโดยค่านิยมของบริษัทคือ “ลูกค้าสำคัญที่สุด” (Customer is Job#1) ทางบริษัทมุ่งที่จะผลิตรถยนต์ที่มีคุณภาพสูงให้เกินความคาดหวังของลูกค้า โดยกลยุทธที่สำคัญซึ่งบริษัทใช้อยู่ในปัจจุบันคือ วิธีการของ 6-Sigma ซึ่งมุ่งที่ความต้องการของลูกค้า (Consumer Driven 6-Sigma) ซึ่งเป็นกลยุทธที่บริษัทแม่ให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง และบริษัทสาขาทั่วโลกก็กำลังดำเนินการไปในทิศทางเดียวกัน

วิธี 6-Sigma เพื่อเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า (Consumer Driven 6-Sigma)

ในการปรับปรุงคุณภาพของรถยนต์ที่ถูกผลิตขึ้นนั้นบริษัทจะพิจารณาดัชนีคุณภาพทั้งจากภายในและภายนอกบริษัท แต่อย่างไรก็ตามดัชนีคุณภาพจากภายนอกซึ่งเป็นเสียงสะท้อนโดยตรงจากลูกค้า จะถูกให้ความสำคัญมากเป็นพิเศษ ผลจากการสำรวจความพึงพอใจของลูกค้าซึ่งมีการจัดทำเป็น ประจำทุกปีจะถูกนำมาประมวลผลเรียงตามลำดับความไม่พอใจของลูกค้าโดยเน้นที่ 25 ลำดับสูงสุด หลังจากนั้นปัญหาเหล่านี้ก็จะถูกนำไปแก้ไขโดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาที่สำคัญก็คือ วิธีการของ 6-Sigma

แนวทางของวิธี 6-Sigma นั้นจะพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้นในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่าง Input กับ Output (Y = f (X)) กล่าวคือ ถ้าเราสามารถควบคุม Input ของกระบวนการผลิตให้อยู่ในสภาวะที่ดีได้แล้วนั้น Output ที่ได้ก็จะมีคุณภาพดีเป็นไปตามที่ต้องการ อีกทั้งยังลดความสิ้นเปลืองเวลา และค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการตรวจสอบลงได้อีกด้วย เป้าหมายของวิธี 6-Sigma ต่อกระบวนการผลิต ก็คือ

ลดการกระจายตัวของ Output จากกระบวนการผลิต (Reduce Spread) และ

พยายามทำให้ได้ค่ากลางของสเปค (Center on Target)

ซึ่งถ้าสามารถทำสองอย่างที่กล่าวมานี้ได้ ผลที่ตามมาก็คือได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีตามที่ลูกค้าต้องการ

กระบวนการของ Consumer Driven 6-Sigma แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ

1. การแจกแจงปัญหา (Define Phase)
2. การวัดผล (Measure Phase)
3. การวิเคราะห์ (Analyze Phase)
4. การปรับปรุง (Improve Phase)
5. การควบคุม (Control Phase)

1.2 ปัญหาในการวิจัย

1.2.1 ผลสำรวจความพึงพอใจของลูกค้า

จากผลการสำรวจความพึงพอใจของลูกค้าในปี 2544 พบว่าปัญหาที่มีคะแนน**ความไม่พึงพอใจ**ของลูกค้า (Things Gone Wrong : TGW) 25 อันดับแรกมีดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.1 ปัญหาที่ลูกค้าไม่พึงพอใจ 25 อันดับแรก

อันดับ	ชื่อปัญหา	คะแนน
1	เบรคมีเสียงดัง	214
2	เสียงลมเข้าบริเวณประตูหรือกระจกข้าง	150
3	เวลาหมุนพวงมาลัยมีเสียงดัง	116
4	เข้าเกียร์ยาก	98
5	ช่วงล่างแข็งกระด้าง	95
6	วิทยุรับสัญญาณได้ไม่ดี	86
7	มีเสียงเอี๊ยดอ๊าดจากข้างใต้รถด้านหน้า	83
8	เวลาเหยียบคลัทช์ต้องออกแรงมาก	76
9	ปัญหาเกี่ยวกับระบบปรับอากาศ	64
10	เกียร์มีเสียงดังผิดปรกติ	61
11	เวลาหมุนพวงมาลัยต้องออกแรงมาก	61
12	รถวิ่งกินซ้ายหรือขวา	58
13	คุณภาพเสียงจากวิทยุเทป	58
14	ตำแหน่งของพวงมาลัยไม่ตรงเมื่อรถวิ่งตรง	55
15	เสียงลมเข้าที่บริเวณอื่นๆ	55
16	รถสตาร์ทติดยาก	52
17	**เครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติ**	**43**
18	ปัญหาอื่นๆเกี่ยวกับช่วงล่าง	43
19	เครื่งยนต์สั่น	37
20	สีรถมีรอยขูดขีด	37
21	มีเสียงดังที่บริเวณคอพวงมาลัย	37
22	เสียงลมเข้าบริเวณกระจกบังลมหน้า	37
23	ปัญหาเสียงเอี๊ยดอ๊าดอื่นๆ	37
24	เสียงเอี๊ยดอ๊าดที่เบาะหน้า	37
25	กลิ่นจากระบบปรับอากาศ	37

หลังจากนั้นปัญหาต่างๆเหล่านี้จะถูกนำไปแก้ไขโดยคณะทำงานปรับปรุงคุณภาพรถ (Vehicle Quality Team : VQT) ซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 10 คณะ โดยแต่ละคณะจะรับผิดชอบ

ปัญหาเฉพาะด้านใดด้านหนึ่งเช่น ปัญหาที่เกิดจากช่วงล่าง ปัญหาที่เกิดจากระบบไฟฟ้า ฯลฯ ประกอบด้วยสมาชิกจากหลายหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง (Cross Functional Team) ทำงานประสานกันโดยมีเป้าหมายเพื่อลดคะแนนความไม่พึงพอใจของลูกค้าต่อปัญหาในขอบเขตความรับผิดชอบของคณะของตนให้ได้มากที่สุด กระบวนการแก้ปัญหาจะดำเนินไปในลักษณะการมองปัญหาในรูป Y = f (X) ในเบื้องต้นสมาชิกของ VQT จะพยายามแจกแจงถึงสาเหตุที่อาจเป็นไปได้ของปัญหาโดยอาศัยประสบการณ์ ความรู้ของแต่ละคน หลังจากนั้นทั้งทีมจะพิจารณาร่วมกันเพื่อตัดบางสาเหตุที่มีความเกี่ยวข้องต่อปัญหาน้อยออกไป จากนั้นสาเหตุที่ไม่ถูกตัดออกจะถูกนำไปพิจารณาโดยละเอียด หาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อหาข้อสรุปว่าสาเหตุที่ทีมระบุมาในเบื้องต้นนั้นเป็นที่มาของปัญหาจริงหรือไม่ แล้วหาวิธีแก้ไขต่อไป

1.2.2 **ปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติ** (Unusual Engine Noise)

เป็นปัญหาที่มีคะแนนความไม่พอใจของลูกค้าอยู่ในอันดับที่ 17 โดยปัญหาดังกล่าวนี้ถูกจัดให้อยู่ในความรับผิดชอบของ VQT 4F ซึ่งเป็นคณะทำงานที่ดูแลปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์และระบบส่งกำลัง ในกรณีปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกตินี้ สาเหตุที่อาจเป็นไปได้ที่ทีมได้พิจารณาในเบื้องต้นแล้วประกอบไปด้วย

1. ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Injection Pump)
2. ระยะวาล์ว (Valve Clearance)
3 . ระยะเฟืองของชุดเกียร์หน้าเครื่อง (Gear Backlash)

ปัญหาที่เลือกมาทำการวิจัยในครั้งนี้เป็นสาเหตุที่อาจเป็นไปได้ประการหนึ่งของปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติ นั่นก็คือ **<u>ระยะวาล์วของเครื่องยนต์ไม่เหมาะสม</u>** เหตุผลที่เลือกสาเหตุข้อนี้เนื่องจาก มีแนวโน้มที่จะเกิดจากความแปรปรวนในกระบวนการ ไม่ใช่เกิดจากการข้อบกพร่องในการออกแบบ หรือ ปัญหาคุณภาพของชิ้นส่วน ซึ่งเหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์และแก้ไขด้วยวิธีการของ 6-Sigma อย่างไรก็ดีในขณะเดียวกัน สาเหตุที่อาจเป็นไปได้อื่นๆ ที่เหลือของปัญหานี้ก็จะถูกทีม VQT 4F นำไปพิจารณาหาวิธีแก้ไขด้วย ซึ่งท้ายที่สุดผลจากการปรับปรุงแก้ไขแต่ละสาเหตุย่อยของปัญหาก็จะประกอบกันทำให้สามารถลดปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติลงได้

1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อลดความแปรปรวนของระยะวาล์วของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นสาเหตุประการหนึ่งของปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ขอบเขตของผลิตภัณฑ์

การวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณภาพในการปรับตั้งวาล์วของเครื่องยนต์ดีเซลทุกรุ่นที่บริษัททำการผลิตอยู่ในปัจจุบัน รวมทั้งสิ้น 3 รุ่น เนื่องจากเครื่องยนต์ทุกรุ่นจะต้องผ่านกระบวนการปรับตั้งวาล์วแบบเดียวกัน

1.4.2 ขอบเขตของกระบวนการผลิต

กำหนดขอบเขตที่จะทำการปรับปรุงและวัดผลไว้เฉพาะกระบวนการปรับตั้งวาล์วบนสายการประกอบฝาสูบเท่านั้น

1.5 ตัววัดผล

ตัววัดผลที่จะใช้วัดความสำเร็จของการวิจัยครั้งนี้คือ อัตราการเกิดของเสีย กล่าวคือระยะวาล์วที่ไม่เป็นไปตามสเปคที่กำหนด มีจำนวนลดลง

1.6 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1.6.1 ศึกษาดัชนีคุณภาพทั้งจากภายในและภายนอก เพื่อเลือกปัญหาที่จะทำการวิจัย ตลอดจนกำหนดขอบเขตการวิจัยที่เหมาะสม

1.6.2 ศึกษาลักษณะของปัญหา

1.6.3 ศึกษาทฤษฎี และสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.4 กำหนดทีมงาน

1.6.5 กำหนดและตรวจสอบวิธีที่จะใช้วัดผลการวิจัย

1.6.6 วัดขนาดของปัญหาในปัจจุบันและกำหนดขนาดปัญหาที่ต้องการจะลดลง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6.7 วิเคราะห์หาแหล่งที่มาของปัญหา

1.6.8 กำหนดวิธีการในการปรับปรุง

1.6.9 ทำการปรับปรุง และวัดผล

1.6.10 สร้างมาตรฐานการทำงานใหม่เพื่อใช้ในการควบคุมไม่ให้เกิดปัญหาลักษณะเดิมอีก

1.6.11 ติดตามผลการดำเนินงาน

1.6.12 นำเสนอผลการวิจัย

1.6.13 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า อันจะนำไปสู่ภาพพจน์ที่ดีของบริษัท ความจงรักภักดีของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์ของบริษัท

1.7.2 ลดการทำงานซ้ำซ้อนในกรณีที่จะต้องทำการรื้อเครื่องยนต์มาปรับตั้งวาล์วใหม่เมื่อตรวจพบปัญหาเสียงดังผิดปรกติอันเนื่องมาจากวาล์ว

1.7.3 เพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตเครื่องยนต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิธีการ 6-Sigma เพื่อเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า (Consumer Driven 6-Sigma)

6 -Sigma เป็น วิธีการที่ได้รับการพิสูจน์จากหลายๆ บริษัทแล้วว่า สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการบริการ ดังนั้นบริษัทแม่ซึ่งเป็นบริษัทรถยนต์ขนาดใหญ่ในสหรัฐอเมริกา จึงเป็นบริษัทรถยนต์รายแรกที่ใช้วิธีการ 6- Sigma เป็นเครื่องมือในการปรับปรุงความพึงพอใจของลูกค้าโดยให้ชื่อว่า “6 Sigma เพื่อความพึงพอใจของลูกค้า” (Consumer Driven 6-Sigma)

วิธีการนี้ได้ถึงระบุลงในนโยบายของบริษัทแม่ จากนั้นจึงทำการแพร่ให้บริษัทในเครือซึ่งมีอยู่ทั่วโลกเพื่อให้ใช้วิธีนี้เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการดำเนินธุรกิจด้วยเช่นกัน โดยมีวิสัยทัศน์ว่าจะเป็นบริษัทรถยนต์ที่ได้รับความพึงพอใจสูงสุดจากลูกค้า เมื่อเทียบกับบรรดาคู่แข่ง ภายในปี ค.ศ.2005

หลักการของวิธี 6-Sigma

6-Sigma เป็นวิธีในการแก้ปัญหาโดยเน้น ความสำคัญในการเก็บรวบรวมข้อมูล การตัดสินใจโดยใช้ข้อมูลเป็นหลัก (data-driven approach) มากกว่า ตัดสินใจโดยใช้ความรู้ความชำนาญของบุคคล

ในการนำวิธี 6-Sigma ไปปฏิบัติให้เกิดผลสำเร็จ
บริษัทได้วางโครงสร้างซึ่งประกอบด้วยบุคคลต่างๆ 5 ระดับพร้อมทั้งบทบาทหน้าที่ของแต่ละระดับดังนี้

1.ผู้บริหารระดับสูง (Executive Leadership)
2.มาสเตอร์ แบล็คเบลท์ (Master Black Belts)
3.โปรเจคท์ แชมเปี้ยน (Project Champions)
4.แบล็คเบลท์ (Black Belts)
5.กรีนเบลท์ (Green Belts)

บทบาทของผู้บริหารระดับสูง

- ผนวกวิธีการ 6-Sigma เพื่อความพึงพอใจของลูกค้าเข้ากับวิธีการบริหารงานประจำวันและขับเคลื่อนไปในทิศทางเดียวกับเป้าหมายของธุรกิจขององค์กร

บทบาทของมาสเตอร์ แบล็คเบลท์

- ทำการอบรมแบล็คเบลท์ ตลอดจนเป็นที่ปรึกษาเมื่อแบล็คเบลท์พบอุปสรรคในการทำโครงการ 6-Sigma
- เป็นผู้นำในการทำโครงการ 6-Sigma ขนาดใหญ่ (Mega-Projects) ซึ่งมีแบล็คเบลท์หลายคนเข้าร่วมด้วย
- ทำงาน 6-Sigma เต็มเวลา อย่างน้อย 2 ปี

บทบาทของโปรเจคท์ แชมเปี้ยน

- เลือกหัวข้อเรื่องในการทำโครงการ 6-Sigma และกำหนดขอบเขตที่เหมาะสม เพื่อให้แบล็คเบลท์รับไปดำเนินการ
- จัดหาทรัพยากรที่จำเป็นในการทำโครงการ และช่วยแบล็คเบลท์กำจัดอุปสรรคต่างๆ ที่พบ เพื่อให้โครงการสามารถสำเร็จได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด
- รับผิดชอบในผลลัพธ์ของโครงการ และเป็นผู้ประเมินผลการทำงานของแบล็คเบลท์

บทบาทของแบล็คเบลท์

- เป็นผู้นำทีมในการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีของ 6-Sigma ปีละ 4 – 6 โครงการ
- อบรมกรีนเบลท์
- ทำงาน 6-Sigma เต็มเวลา อย่างน้อย 2 ปี

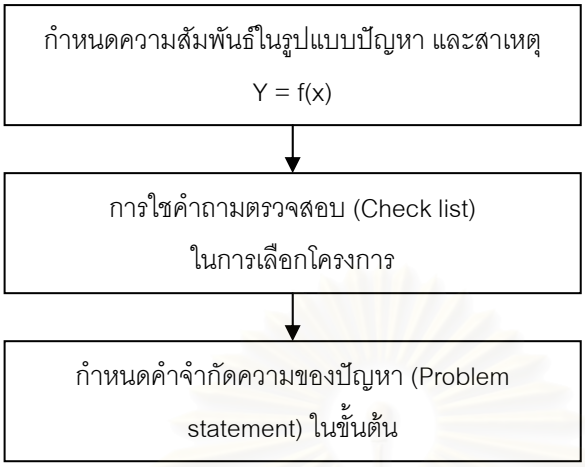
บทบาทของ กรีนเบลท์

- ร่วมเป็นทีมงาน เพื่อสนับสนุนโครงการ 6-Sigma ซึ่งรับผิดชอบโดยแบล็คเบลท์
- รับผิดชอบโครงการ 6-Sigma ในระดับย่อยลงมา ด้วยตนเอง
- นำวิธี 6-Sigma ไปประยุกต์แก้ปัญหาในงานประจำของตน

การกำหนดหัวข้อโครงการ 6-Sigma

การกำหนดหัวข้อโครงการ 6-Sigma ที่เหมาะสม เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จของโครงการนั้นๆ ดังนั้นทุกคนที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินโครงการจึงควรมีความเข้าใจในพื้นฐานข้อนี้ เพราะถ้าหากกำหนดหัวข้อและขอบเขต ของโครงการไม่เหมาะสม จะทำให้ทีมงานไม่มีทิศทางที่ชัดเจนในการทำงาน ก่อให้เกิดความล่าช้า หรือแม้กระทั่งความล้มเหลวตามมา

ขั้นตอนของการกำหนดหัวข้อโครงการ



แนวคิดพื้นฐานของวิธี 6-Sigma คือการมองความสัมพันธ์ของปัญหาและสาเหตุ ในรูปแบบ “Y เป็นฟังก์ชันของ X” โดยในที่นี้ Y คือ ปัญหา และ X คือสาเหตุที่อาจเป็นไปได้ โดยปรกติแล้วแต่ละสาเหตุเองก็เกิดจากสาเหตุย่อยๆ หลายสาเหตุร่วมกันเป็นลำดับขั้นลงไปอีก ซึ่งอาจเขียนในรูป สมการได้ดังนี้

$$Y = f(x_1, x_2, x_3 \ldots x_n)$$

$$Y = f(x_{11}, x_{12}, x_{13 \ldots} x_{1n})$$

$$Y = f(x_{111}, x_{112}, x_{113 \ldots} x_{11n})$$

ถ้าเรายกตัวอย่างปัญหา (Y) มากำหนดเป็นหัวข้อในการทำโครงการ เราอาจพบปัญหาว่าโครงการที่จะต้องทำนี้มีขอบเขตกว้างมากเกินไป มีปริมาณงานที่จะต้องทำเป็นจำนวนมากไม่เหมาะสมกับระยะเวลา ซึ่งมีการกำหนดคร่าวๆ ไว้ว่าระยะเวลาในการทำโครงการที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการทำงานที่มีประสิทธิภาพควรอยู่ที่ 4 – 6 เดือน หากนานกว่านี้ทีมงานจะเกิดความล้าและเริ่มขาดความสนใจต่อโครงการ ทำให้เกิดความเสี่ยงที่โครงการอาจไม่ประสบผลสำเร็จ อีกประการหนึ่งคือ แบล็คเบลท์แต่ละคนมีวัตถุประสงค์ที่จะต้องทำโครงการให้สำเร็จเป็นจำนวน 4 – 6 โครงการต่อปี การกำหนดหัวข้อที่ไม่เหมาะสมก็จะทำให้แบล็คเบลท์ไม่สามารถบรรลุวัตถุประสงค์นี้ได้

ดังนั้น จึงอาจยกสาเหตุ (x_i) เพียงตัวใดตัวหนึ่งขึ้นมาเป็นหัวข้อโครงการ เพื่อให้สามารถแก้ได้สำเร็จในระยะเวลาที่เหมาะสม หลังจากนั้นจึงทำโครงการใหม่ เพื่อแก้สาเหตุตัวอื่นๆ ต่อไป หรืออาจให้แบล็คเบลท์ หลายคนทำโครงการเพื่อแก้สาเหตุอื่นๆ ที่เหลือในเวลาเดียวกัน ในที่สุดปัญหา (Y) นั้นก็จะถูกแก้ไขจนหมดไป

กรณีที่เมื่อแตกออกมาเป็นแต่ละสาเหตุ (x_i) แล้วพบว่าก็ยังมีปริมาณงานที่มากเกินไปอยู่ ก็อาจแตกเป็นสาเหตุย่อยลงไปตามลำดับชั้นอีก ($x_{ii} \longrightarrow x_{iii} \longrightarrow \ldots$) ก่อนที่จะเลือกขึ้นมาเป็นหัวข้อโครงการ แต่ทั้งนี้แบล็คเบลท์จะต้องตกลงกับโปรเจ็ค แชมเปี้ยนก่อน เพื่อที่จะประกันว่าขอบเขตของโครงการนั้นไม่เล็กเกินไป จนผลสำเร็จของโครงการนั้นๆ ไม่มีน้ำหนักต่อการแก้ปัญหา (Y) ที่เราสนใจเลย

ก่อนเริ่มดำเนินงานในแต่ละโครงการ เราควรตอบคำถามต่อไปนี้ให้ได้ก่อน เพื่อเป็นการทำให้แน่ใจว่าหัวข้อที่เลือกมานั้นเหมาะสำหรับนำมาทำเป็นโครงการ 6-Sigma

1. ลักษณะปัญหามีการเกิดซ้ำหรือไม่
   ถ้าปัญหาที่สนใจไม่มีการเกิดซ้ำ จะทำให้ต้องใช้ระยะเวลานานเกินไป หรืออาจไม่มีข้อมูลเพียงพอในการทำโครงการ
2. โครงการมีขอบเขตเหมาะสมหรือไม่
   ถ้าโครงการมีขอบเขตกว้างเกินไป จะก่อให้เกิดปัญหาดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น
3. มีตัววัดผล (Metric) อยู่แล้วหรือไม่ ถ้าหากไม่มี เราสามารถสร้างวิธีวัดใหม่ขึ้นมาในช่วงเวลาที่เหมาะสมหรือไม่
   ถ้าหากปราศจากข้อมูลจากวิธีการวัดที่เหมาะสม เราจะไม่สามารถยืนยัน (verify) ผลจากปรับปรุงไปแล้วได้
4. เรามีอำนาจหน้าที่ในการควบคุมกระบวนการ หรือไม่
   หลังจากได้ทำการปรับปรุงไปแล้ว ถ้าเราไม่มีอำนาจหน้าที่ในการควบคุมกระบวนการได้ ก็จะทำให้ผลสำเร็จของโครงการไม่สามารถมองเห็นเป็นรูปธรรมได้
5. โครงการนั้นมีผลต่อการปรับปรุงความพึงพอใจของลูกค้าหรือไม่

ถ้าคำตอบของทั้ง 5 ข้อ คือ “ใช่” แสดงว่า หัวข้อโครงการนี้มีความเหมาะสมที่จะนำมาแก้ไขโดยวิธีการของ 6-Sigma

ขั้นตอนสุดท้ายในการกำหนดหัวข้อโครงการ 6-Sigma คือการกำหนดลักษณะปัญหา (Problem Statement) ซึ่งในขั้นตอนนี้ลักษณะปัญหายังอาจเป็นในขั้นต้นอยู่ กล่าวคือ ยังไม่มีรายละเอียดมากนัก ซึ่งรายละเอียดต่างๆ จะถูกเพิ่มเติมเข้ามาภายหลังจากเราเริ่มดำเนินโครงการไปแล้ว เพื่อให้ลักษณะปัญหามีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยกำหนดลักษณะปัญหาขั้นต้นที่ดีควรมีองค์ประกอบดังนี้

1. ระบุถึงปัญหาที่เรากำลังสนใจอยู่ พร้อมทั้งขอบเขตที่เหมาะสม
2. คำอธิบายถึงลักษณะการเกิดปัญหา เช่น อัตราการเกิด สถานที่ เวลา ฯลฯ
3. รายการของข้อมูลที่ต้องการ

2.2 กระบวนการ DMAIC

การแจกแจงปัญหา (Define)
การวัด (Measure)
การวิเคราะห์ (Analyze)
การปรับปรุง (Improve)
การควบคุม (Control)

กระบวนการ DMAIC เป็นขั้นตอนต่างๆ ในการดำเนินงานของโครงการ 6-Sigma โดยแต่ละขั้นตอนจะระบุถึง

1. การดำเนินกิจกรรมต่างๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่จำเป็นในแต่ละขั้นตอน เพื่อนำไปสู่ขั้นตอนต่อไป
2. เครื่องมือ และวิธีการที่จำเป็นสำหรับการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน

2.2.1 ขั้นตอนการแจกแจงปัญหา (Define Phase)

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้ คือ ทำให้ทีมงานทำความเข้าใจกับปัญหาที่กำลังสนใจอยู่ได้ดียิ่งขึ้น ระบุได้ว่าลูกค้าคือใคร และอะไรคือความต้องการของลูกค้า

ในขั้นนี้ จะมีการจัดทีมงาน ตลอดจนระบุหน้าที่รับผิดชอบของสมาชิกทีมแต่ละคน กำหนดเป้าหมายและระยะเวลาดำเนินโครงการ จากนั้นจดบันทึกสิ่งที่ได้ทำไปในขั้นตอนนี้ลงในเอกสาร ซึ่งจะช่วยในการดำเนินโครงการในขั้นตอนต่อๆ ไป ให้เป็นไปในทิศทางที่ตั้งไว้ไม่หลงออกจากกรอบไป ขั้นตอนการแจกแจงปัญหา เป็นพื้นฐานที่สำคัญต่อความสำเร็จของโครงการ 6-Sigma

2.2.2 **ขั้นตอนการวัด** (Measure Phase)

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนการวัด คือ กำหนดวิธีการเก็บข้อมูลเพื่อทำการประเมินความสามารถของกระบวนการ(Process Capability) ในสภาวะปัจจุบัน เป็นการหาช่องทางที่จะทำการปรับปรุง

ในการวัด ทีมงานจะลดการทำงานโดยวิธีการคาดเดา ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินความสามารถของกระบวนการจะต้องมาจากวิธีการวัดที่เชื่อถือได้ โดยอาจเป็นวิธีการวัดที่ใช้อยู่แล้วหรือสร้างขึ้นใหม่และต้องใช้วิธีการวัดเดียวกันนี้เพื่อเปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง

2.2.3 **ขั้นตอนการวิเคราะห์** (Analyze Phase)

จากผลลัพธ์ของขั้นตอนการวัด จะทำให้ทีมงานทราบถึงความสามารถของกระบวนการต่างๆ ที่เราสนใจ ในสภาพปัจจุบัน ซึ่งจะช่วยให้สามารถตีกรอบของปัญหาให้แคบลงได้ วัตถุประสงค์ของขั้นตอนการวิเคราะห์คือ ให้ทีมงานพิจารณาข้อมูลอย่างละเอียดใกล้ชิดยิ่งขึ้นเพื่อหาว่าอะไรคือต้นตอของปัญหา

2.2.4 **ขั้นตอนการปรับปรุง** (Improve Phase)

จากขั้นตอนการวัด ทีมงานจะแน่ใจได้ว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อปัญหาของเรา จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการปรับปรุงซึ่งมีวัตถุประสงค์ คือ

กำหนดวิธีการในการปรับปรุงกระบวนการ

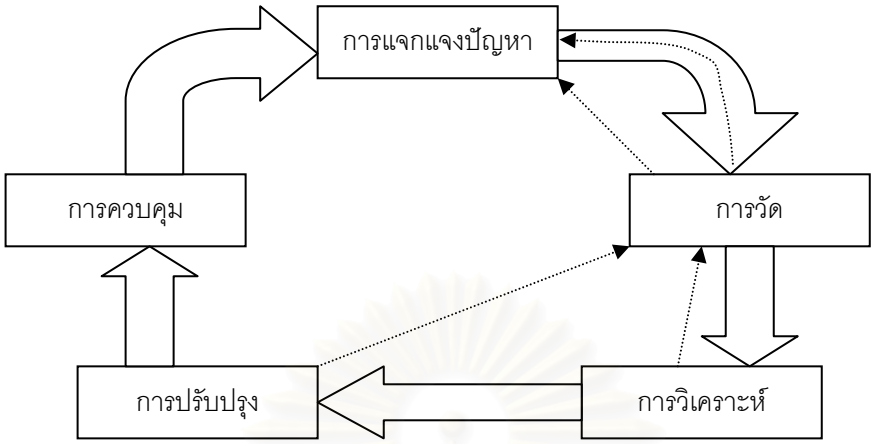
1. เลือกวิธีการที่เหมาะสมที่สุด แล้วนำไปทดลอง (pilot) ก่อน เมื่อแน่ใจว่าไม่ก่อให้เกิดปัญหาอื่นๆ จึงเริ่มใช้ในสภาพการทำงานจริง
2. ตรวจสอบ (validate) ผลการดำเนินการว่าทำให้เกิดการปรับปรุงดังที่คาดไว้หรือไม่

2.2.5 **ขั้นตอนการควบคุม** (Control Phase)

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้ คือ เพื่อควบคุมให้ผลการปรับปรุงที่ได้ทำมาคงอยู่ต่อไป และติดตามผลการดำเนินงานของระบบการ หลังจากทำการปรับปรุงไปแล้ว

หลังจากขั้นตอนการปรับปรุง ทีมงานจะถ่ายโอนงานในการควบคุมกระบวนการให้แก่เจ้าของกระบวนการ ซึ่งเป็นผู้มีหน้าที่รับผิดชอบสำหรับ ผลการดำเนินงานของกระบวนการนั้นๆ

รูปที่ 2.1 ขั้นตอนของกระบวนการ 6-Sigma



โดยทั่วไปกระบวนการของ 6-Sigma ทั้ง 5 ขั้นตอน มักจะถูกกล่าวถึงโดยเรียงลำดับเริ่มจาก การแจกแจงปัญหาไปจนถึงการควบคุม แต่ทว่าในทางปฏิบัติ ขั้นตอนต่างๆ ไม่ได้เรียงกันเป็นเส้นตรงตามลำดับขั้นเสมอไป บ่อยครั้งที่ทีมงานอาจจะต้องวนกลับไปยังขั้นตอนก่อนหน้า หรือ มากกว่า 1 ขั้นตอน ยกตัวอย่างเช่น เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์ทีมอาจพบว่าข้อมูลที่มีอยู่ไม่เพียงพอจึงต้องกลับไปขั้นตอนการวัดเพื่อเก็บข้อมูลเพิ่มเติม หรือ หลังจากวิเคราะห์แล้วไม่พบว่าปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อปัญหาที่สนใจ จึงต้องกลับไปที่ขั้นตอนการแจกแจงปัญหาใหม่ว่าเราละเลยกระบวนการอื่นๆ ที่อาจจะมีผลกระทบต่อปัญหาไปหรือไม่

2.3 **การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ** (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA)

FMEA คือ การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากข้อบกพร่องนั้นๆ

ข้อบกพร่อง หมายถึง การที่ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถทำงานได้ตามหน้าที่ที่ออกแบบไว้ให้ทำงาน โดยลักษณะ (Mode) ของข้อบกพร่อง (ส่วนใหญ่ทางกายภาพ) เช่น

- แตก
- ไหม้
- เสียรูป
- หลวม

- รั่ว
- หลอมติดกัน
- สีเพี้ยน/หมอง
- สนิม
- มีรอยแตกร้าว
- แฉะ/เปียก
- ฯลฯ

ข้อบกพร่องเหล่านี้ นอกจากจะทำลายหน้าที่ของตัวเองแล้ว ยังมีผลกระทบให้ ชิ้นส่วน, ระบบย่อย,ระบบอื่นๆ ขัดข้องหรือบกพร่องตามได้

วัตถุประสงค์ของ FMEA

(1) เพื่อให้ทราบปัญหาด้านความบกพร่องตั้งแต่เนิ่นๆ จะได้ออกแบบและวางแผนควบคุมได้ถูกต้อง

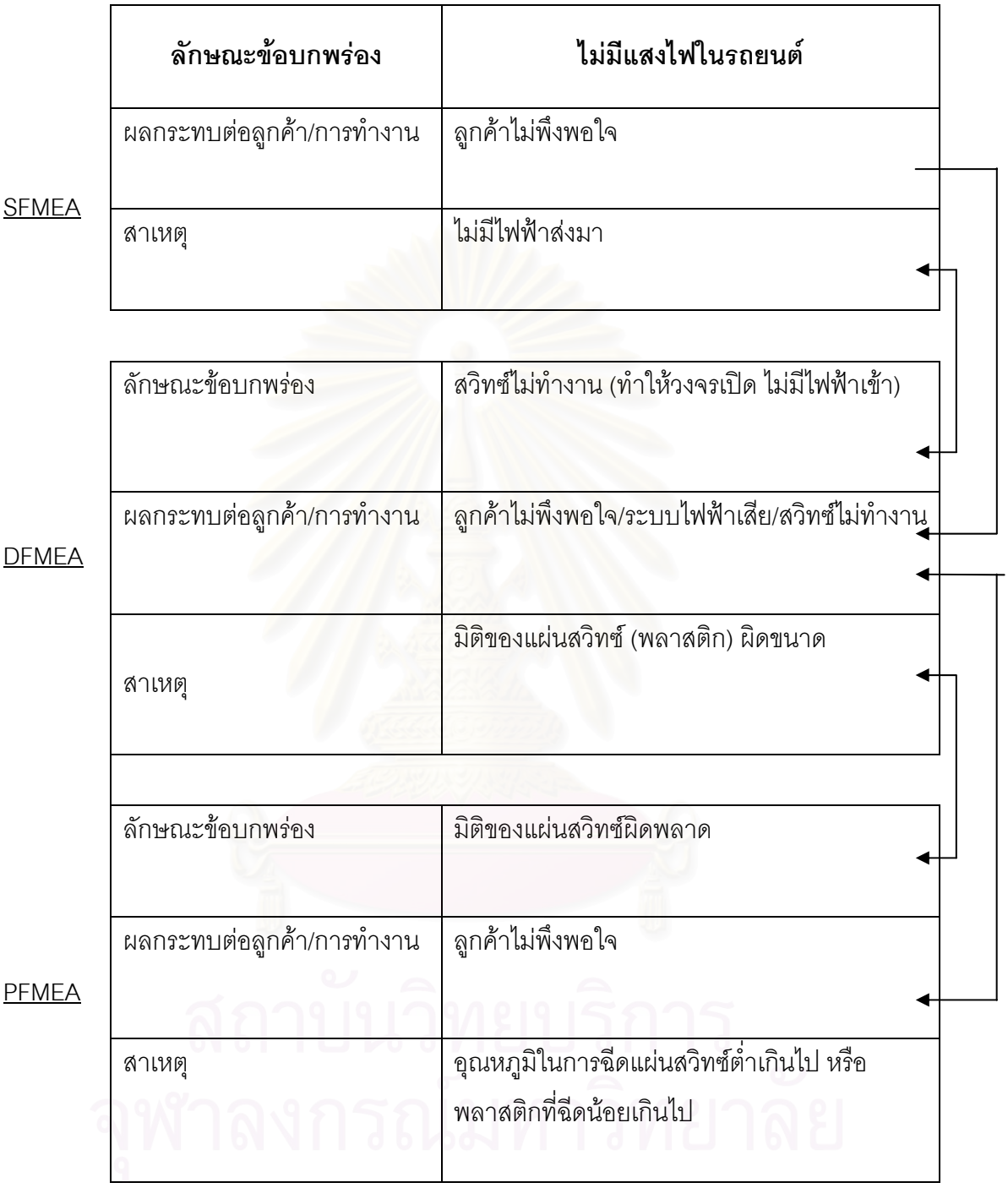
- ถ้าเป็นปัญหาข้อบกพร่องในการใช้งานระบบเรียกว่า System FMEA(SFMEA)
- ถ้าเป็นปัญหาข้อบกพร่องในการใช้งานของผลิตภัณฑ์เรียกว่า Design FMEA(DFMEA)
- ถ้าเป็นปัญหาข้อบกพร่องในการผลิต/ประกอบเรียกว่า Process FMEA(PFMEA)

(2) เพื่อลดความเสี่ยงในการผลิต, ประกอบ, ใช้งานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งความเสี่ยง ได้แก่ การผลิตไม่ได้, ผลิตแล้วเกิดของเสียมาก, ผลิตแล้วเกิดอันตรายในการผลิต, ใช้งานแล้วมีปัญหาด้านความปลอดภัย, ใช้งานแล้วพังง่ายเกินไป ไม่ทนทาน ฯลฯ ความเสี่ยงยิ่งน้อยเท่าไร นั่นคือ ต้นทุนต่ำ ผลิตได้รวดเร็วและตรงตามความต้องการ /คาดหวังของลูกค้ามากเท่านั้น

(3) เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และบริการเพราะ FMEA ต้องมีการปรับปรุงอยู่เสมอ

(4) เป็นส่วนหนึ่งในการทำ APQP และช่วยเหลือในการทำ Control Plan (แผนควบคุม)

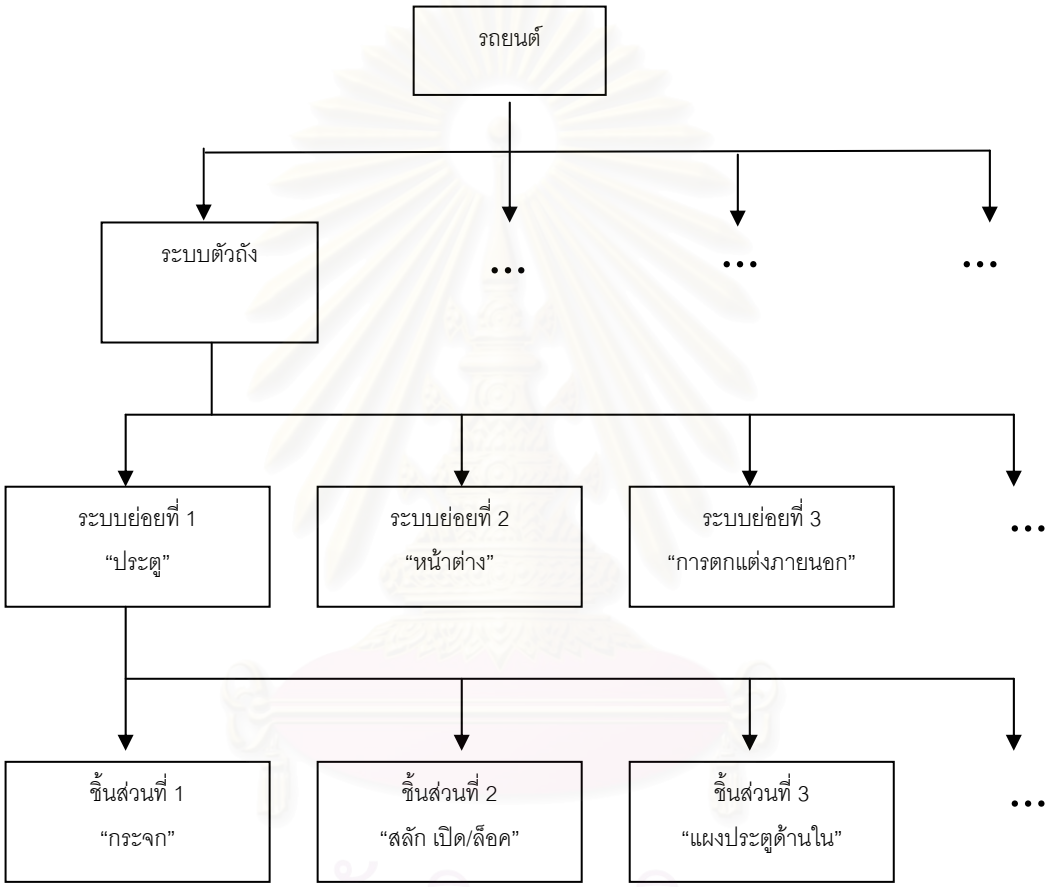
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างความสัมพันธ์ SFMEA/DFMEA/PFMEA



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DFMEA คือ การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในการใช้งานผลิตภัณฑ์ซึ่งจะอยู่ในช่วงต้นๆ ของการออกแบบ นั่นคือ ผู้ออกแบบต้องคิดถึงว่าเมื่อปล่อยผลิตภัณฑ์เข้าสู่ตลาดและมีผู้ใช้งานจริงแล้ว จะเกิดข้อบกพร่องแบบไหนขึ้นได้ และจะส่งผลกระทบไปยัง ระบบ, ระบบย่อย, ชิ้นส่วนอื่นๆ อย่างไร

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างผลกระทบของข้อบกพร่อง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Risk **P**riority **N**umber (RPN)

RPN = S x O x D

S = ความรุนแรง มีค่า 1 ถึง 10 (น้อยไปมาก)

O = โอกาสที่จะมีค่า 1 ถึง 10 (น้อยไปมาก)

D = ขีดความสามารถในการตรวจปัจจุบัน มีค่า 1 ถึง 10 (ง่ายไปถึงยาก)

S = ความรุนแรง

		การจัดอันดับ
สูงมาก	จัดให้เป็นอันดับภาวะรุนแรงสูงมากเมื่อขัดข้องสำคัญนั้น ให้อิทธิพลต่อความปลอดภัยในการใช้ยานยนต์ และ/หรือเกี่ยวข้องกับความไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ในระเบียบข้อบังคับของทางราชการ(9 มีการเตือน, 10 ไม่มีการเตือน)	10 9
สูง	ได้แก่ กรณีที่ลูกค้าไม่พอใจมากเนื่องจากธรรมชาติของข้อขัดข้องนั้นๆ เอง อาทิยานยนต์ที่ใช้งานไม่ได้ (เช่น สตาร์ทเครื่องยนต์ไม่ติด) หรือระบบย่อยซึ่งอำนวยความสะดวกเชิงการใช้งาน(เช่น ระบบการปรับอากาศ, power sunroof เป็นต้น) โดยไม่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของยานยนต์ หรือความเป็นไปหรือความเป็นไปตามข้อกำหนดในระเบียบของทางราชการ	8 7
ปานกลาง	จัดให้เป็นอันดับปานกลางเนื่องจากข้อขัดข้องนั้นทำให้ลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจบางประการ ลูกค้าได้รับความไม่สะดวกสบายหรือได้รับการรบกวนจากข้อขัดข้องนั้น (เช่น คอมเพรสเซอร์มีเสียงดัง มีการรั่วที่หลังคารับแสงเป็นต้น) ลูกค้าสามารถสังเกตเห็นความเสื่อมสมรรถภาพของยานยนต์หรือระบบย่อยบางประการได้	6 5 4
ต่ำ	จัดให้เป็นอันดับต่ำเนื่องจากธรรมชาติของข้อขัดสร้างความรำคาญให้กับลูกค้าเพียงเล็กน้อย ลูกค้าอาจสามารถสังเกตเห็นความเสี่ยงสมรรถภาพของยานยนต์หรือระบบย่อยได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น	3 2
น้อย	ไม่มีเหตุผลที่คาดว่าส่วนเล็กน้อยในธรรมชาติของข้อขัดข้องนั้นจะเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบอย่างจริงจังต่อสมรรถภาพของยานยนต์หรือระบบ ลูกค้าส่วนใหญ่อาจไม่สังเกตเห็นข้อขัดข้องนี้ก็ได้	1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

O = โอกาสที่เกิด

	ความน่าจะเป็นของข้อขัดข้อง	การจัดอันดับ	ระดับข้อขัดข้องที่อาจเป็นได้	Cpk
สูงมาก	ส่วนใหญ่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงข้อขัดข้องได้	10	> 1 ใน 2	< 0.33
		9	1 ใน 3	≥ 0.33
สูง	ขัดขัดข้องเกิดขึ้นซ้ำๆ	8	1 ใน 8	≥ 0.51
		7	1 ใน 20	≥ 0.67
ปานกลาง	ข้อขัดข้องเกิดขึ้นบางโอกาส	6	1 ใน 80	≥ 0.83
		5	1 ใน 400	≥ 1.00
		4	1 ใน 2,000	≥ 1.17
ต่ำ	ข้อขัดข้องเกิดขึ้นอย่างสัมพันธ์กันบางครั้ง	3	1 ใน 15,000	≥ 1.33
		2	1 ใน 150,000	≥ 1.50
ห่างไกล	ไม่มีแนวโน้มของข้อขัดข้อง	1	< 1 ใน 1,500,000	≥ 1.67

D = ขีดความสามารถในการตรวจปัจจุบัน

แนวโน้มการตรวจพบโดยโปรแกรมการทวนสอบ/การอนุมัติใช้การออกแบบ (DV) ที่ใช้ในปัจจุบัน

		การจัดอันดับ
ไม่สามารถค้นพบได้	โปรแกรม DV จะ/ไม่สามารถตรวจพบจุดด้อยการออกแบบเชิงศักยภาพหรือไม่มีโปรแกรม DV	10
ต่ำมาก	โปรแกรม DV อาจจะไม่พบสาเหตุกลไกของข้อขัดข้องสำคัญ(จุดด้อยการออกแบบ)	9
ต่ำ	โปรแกรม DV ไม่มีแนวโน้มที่จะพบสาเหตุ/กลไกข้อขัดข้องสำคัญ	8
	(จุดต้องการออกแบบ)	7
ปานกลาง	โปรแกรม DV	6
	อาจพบสาเหตุ/กลไกข้อขัดข้องสำคัญ(จุดด้อยการออกแบบ)	5
สูง	โปรแกรม DV มีโอกาสสูงในการตรวจพบสาเหตุ/กลไกข้อขัดข้อง	4
	สำคัญ(จุดด้อยการออกแบบ)	3
สูงมาก	โปรแกรม DV จะตรวจพบสาเหตุ/กลไกข้อขัดข้อง	2
	สำคัญ(จุดด้อยการออกแบบได้แน่นอนเป็นส่วนใหญ่)	1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อแนะนำ RPN

1. ไม่ว่าค่า RPN จะเป็นเท่าไร ให้สนใจค่า S ที่สูงๆ 9-10 เสมอ (O กับ D เป็นเท่าไรไม่สนใจ)

2. ลงมือแก้ไขทันทีถ้า

- PRN >= 70 เสมอ
- ค่า S อยู่ระหว่าง 5-8 และ O มากกว่า 8

3. ถ้าค่า RPN เท่ากัน และค่า S เท่ากัน ให้เลือกค่า O ที่มากกว่ามาทำการแก้ไขก่อน เช่น

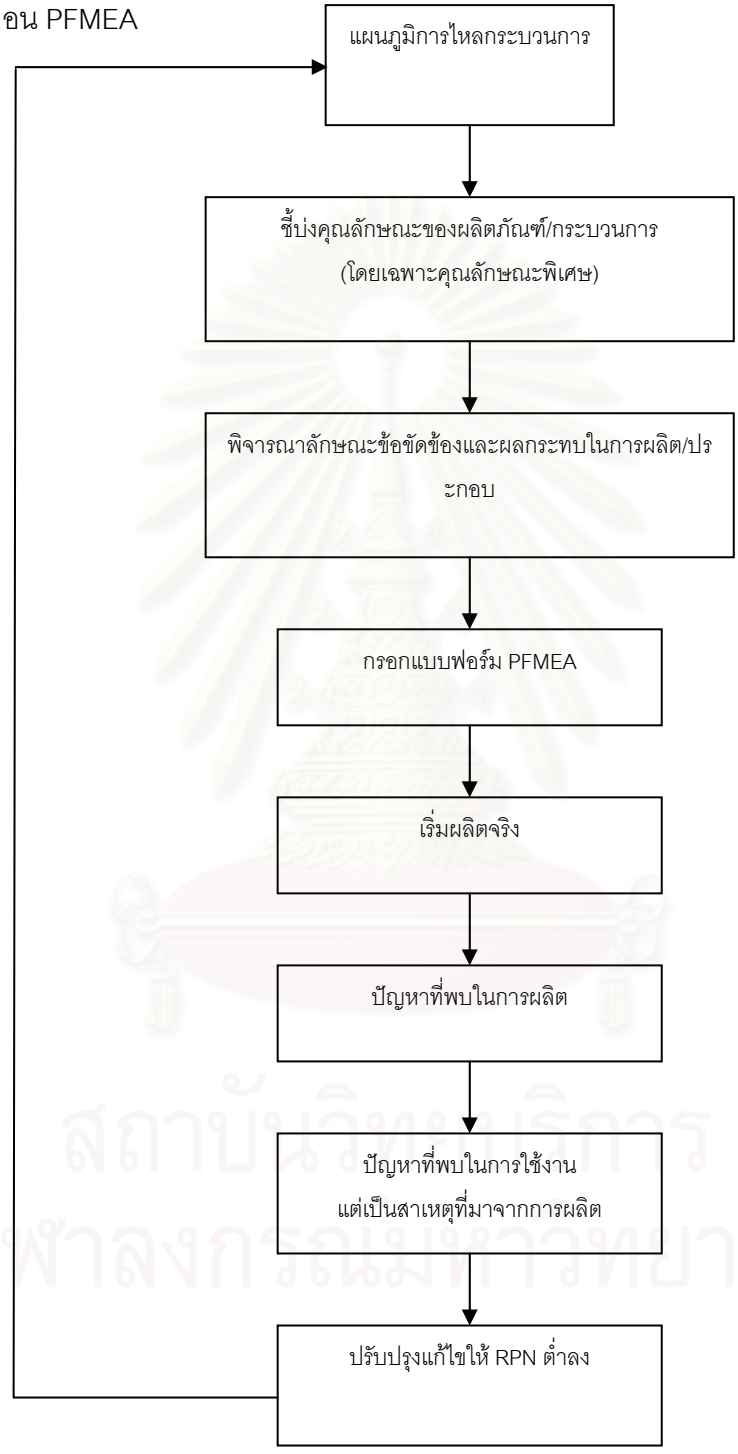
- $RPN_1 = 7 \times 3 \times 2 = 42$ (น่าแก้ไขก่อน)
- $RPN_2 = 7 \times 2 \times 3 = 42$

จะเห็นว่า RPN_1 มี O = 3 และ D = 2 ซึ่ง RPN_2 มี O = 2 และ D = 3 ดังนั้น ลงมือแก้ RPN_1 ก่อน RPN_2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PFMEA (Process FMEA) เป็นการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบเนื่องจากข้อบกพร่องนั้น โดยเป็นการวิเคราะห์เมื่อมีการผลิตประกอบผลิตภัณฑ์

รูปที่ 2.4 ขั้นตอน PFMEA



ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างแบบฟอร์ม FMEA

Process/Product Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)

Process or Product Name:		Prepared by:	Page ____ of ____
Responsible:		FMEA Date (Orig) _____ (Rev) _____	

Process Step/Part Number	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Causes	O	Current Controls	D	RPN	Actions Recommended	Resp.	Actions Taken	S	O	D	RPN
Describe the process step or subassembly	How could this step or assembly fail? List each failure mode down the column.	Describe all the effects down the column of this failure mode on a critical customer requirement.		Describe all the causes for each failure effect down the column.		List the current controls including Standard Operation Procedures (SOPs)		0	List specific actions which will reduce the RPN .	Who is the person responsible for the improvement action?	Has the RPN of this cause been reduced? List supporting documentation.				
Radio	Will not turn on	Customer dissatisfied	5	Power Cord not plugged into wall	1	Owners manual	8	40	Place warning on radio advisng customer to plug cord into the wall.	Joe	Yes	5	1	5	25
		Customer dissatisfied	10	Power cord discconcetd fom assembly	1	Fasten cord to assembly using SOP xyz	5	50	Insert cord using modified SOP and newly attachment	Mary	Yes	10	1	3	30
		Customer dissatisfied	5	Assembly has bad circuit	1	Electrical test assembly using SOP abc	8	40	Verify accuracy of electrical circuit test. Analyze warranty information to improve manufacturing.	Jean	Project will begin in May	5	1	4	20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 ทฤษฎีการทดสอบสมมติฐาน

เมื่อต้องการศึกษาค่าพารามิเตอร์ของประชากร โดยการสุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจสอบดูว่าค่าพารามิเตอร์ยังเป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้เดิมหรือไม่ เช่น ต้องการศึกษาว่า

- อายุการใช้งานเฉลี่ยของยางรถยนต์ชนิดนี้อย่างน้อย 30,000 กิโลเมตร ตามที่กำหนดไว้เดิมหรือไม่ และอายุการใช้งานมีการแจกแจงอย่างไร
- การเพิ่มอัตราการใช้ที่ปุ๋ยจะทำให้ผลผลิตต่อไร่ของข้าวเพิ่มขึ้นหรือไม่
- ร้อยละ 90 ของคนไข้ที่ใช้ยาชนิดนี้แล้วมีอาการดีขึ้นหรือไม่

ฯลฯ

ปัญหาต่างๆ ดังกล่าวนี้ เราจะใช้ทฤษฎีการทดสอบสมมติฐานช่วยในการหาคำตอบได้ดังต่อไปนี้

- ทดสอบสมมติฐานว่าพารามิเตอร์ θ ของประชากรมีการแจกแจงแบบ Exponential มีค่าอย่างน้อย 30,000 กิโลเมตร
- ทดสอบสมมติฐานว่า $\mu_1 > \mu_2$ โดย μ_1 และμ_2 คือค่าเฉลี่ยของประชากรสองชุดซึ่งมีการแจกแจงปกติ
- ทดสอบสมมติฐานว่า พารามิเตอร์ p ของประชากรที่มีการแจกแจงทวินาม เท่ากับ 0.90

ในแต่ละกรณีจะต้องทราบการแจกแจงที่ถูกต้องของประชากรนั้นๆ เมื่อต้องการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของประชากร แต่ในบางครั้งก็อาจจะทดสอบสมมติฐานว่าการแจกแจงนั้นๆ เป็นการแจกแจงแบบที่คาดว่าจะเป็นหรือไม่ก็ได้

ในการทดสอบสมมติฐานอาจจะทดสอบข้อสมมติฐานเกี่ยวกับประชากรเพียงชุดเดียวหรือสองชุดขึ้นไปก็ได้คำตอบอาจจะจริงหรือไม่ก็ได้ ดังนั้นการทดสอบข้อสมมติฐานจึงต้องตั้งกฎเกณฑ์ในการตัดสินใจ ในการพิจารณาที่จะยอมรับหรือปฏิเสธข้อสมมติฐานนั้นๆ การยอมรับหรือปฏิเสธเกิดจากผลการสุ่มตัวอย่างและการทดสอบสมมติฐานตามกฎเกณฑ์ที่ตั้งขึ้น ซึ่งที่จริงแล้วอาจไม่เป็นไปตามข้อสรุปได้

การทดสอบสมมติฐานจะต้องตั้งข้อสมมติฐานไว้ 2 ข้อสมมติฐาน คือ

1. H_0 หรือข้อสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ได้แก่ ข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่ทราบค่าแน่นอน มักจะเป็นข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อต้องการปฏิเสธ

เช่น $H_0 : \theta \geq 30{,}000$

หรือ $H_0 : \mu_1 > \mu_2$

หรือ $H_0 : p = 0.90$

2. H_1 หรือข้อสมมติฐานรอง หรือข้อสมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis) ได้แก่ข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อแย้งกับ H_0 มักเป็นข้อสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อต้องการยอมรับ

เช่น $H_0 : \theta < 30{,}000$

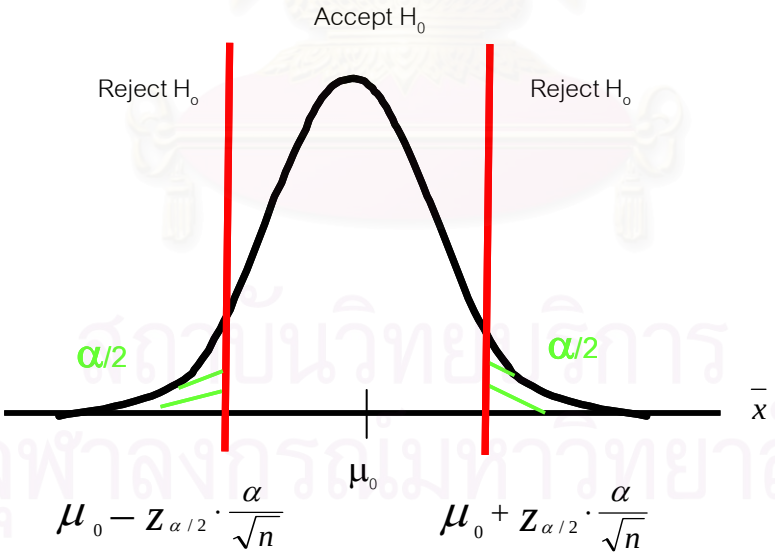
หรือ $H_0 : \mu_1 < \mu_2$

หรือ $H_0 : p \neq 0.90$

ในการทดสอบข้อสมมติฐานว่าค่าพารามิเตอร์ μ ของประชากร = μ_0 เราตั้งข้อสมมติฐาน $H_0 : \mu = \mu_0$ แย้งกับ $H_0 : \mu \neq \mu_0$

โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ α หรือระดับความเชื่อมั่น 1 - α ดังนั้น เราจะยอมรับ H_0 เมื่อค่าของ $\bar{x}$ อยู่ระหว่าง $\mu_0 \pm Z_{\alpha/2} \cdot \frac{\alpha}{\sqrt{n}}$ และเราจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่าของ $\bar{x}$ อยู่นอกช่วงวิกฤต คือ $\bar{x} > \mu_0 + Z_{\alpha/2} \cdot \frac{\alpha}{\sqrt{n}}$ หรือเมื่อ $\bar{x} < \mu_0 - Z_{\alpha/2} \cdot \frac{\alpha}{\sqrt{n}}$ นั้นคือยอมรับว่า $\mu \neq \mu_0$ ซึ่งเป็นการทดสอบสมมติฐานรองสองด้านทั้งสองด้านบนและด้านล่าง

รูปที่ 2.5 เขตวิกฤติสำหรับการทดสอบข้อสมมติฐานรอง $\mu \neq \mu_0$



ในทำนองเดียวกันสำหรับการตั้งสมมติฐานรองซึ่งเป็นทางเดียวคือ

$H_1 : \mu > \mu_0$ ทางเดียวด้านบน

$H_1 : \mu < \mu_0$ ทางเดียวด้านล่าง

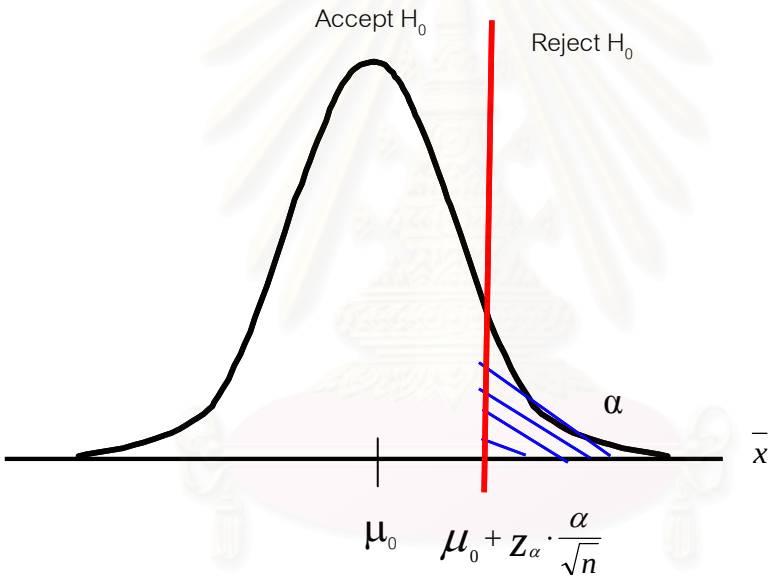
เราจะยอมรับ H_0 เมื่อค่าของ $\bar{x}$ อยู่ไม่เกิน $\mu_0 + Z_\alpha \cdot \frac{\alpha}{\sqrt{n}}$

หากเกินค่าวิกฤตดังกล่าวเราจะปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 ว่า $\mu > \mu_0$

หรือ เราจะยอมรับ H_0 เมื่อค่าของ $\bar{x}$ อยู่ไม่ต่ำกว่า $\mu_0 - Z_\alpha \cdot \frac{\alpha}{\sqrt{n}}$

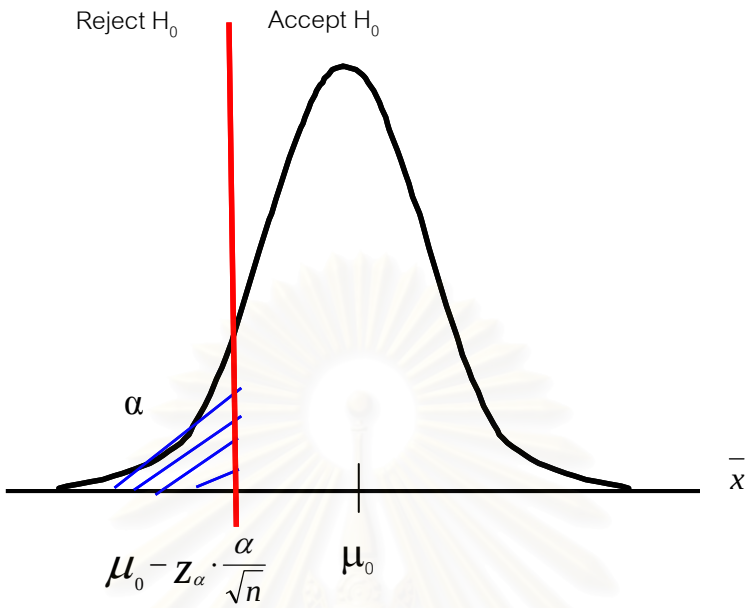
หากต่ำกว่าค่าวิกฤตดังกล่าวเราจะปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 ว่า $\mu < \mu_0$

รูปที่ 2.6 เขตวิกฤตสำหรับการทดสอบข้อสมมติฐานรอง $\mu > \mu_0$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.7 เขตวิกฤตสำหรับการทดสอบข้อสมมติฐานรอง $\mu < \mu_0$



2.4.1 ความน่าจะเป็นของการเกิดข้อผิดพลาดจากการสรุปผล

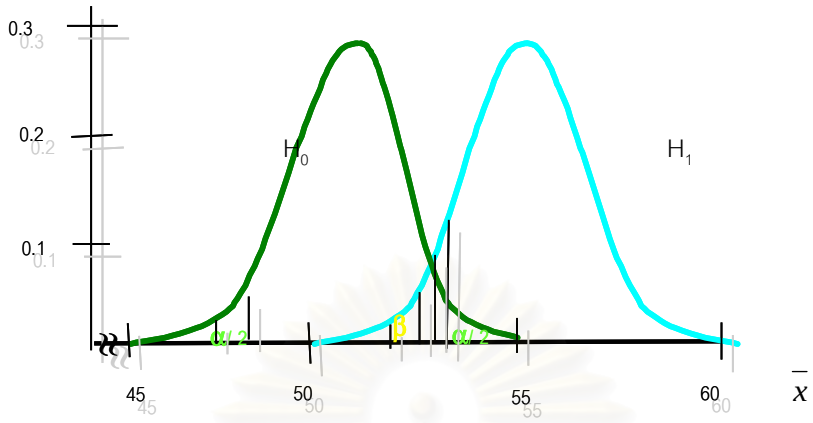
ข้อผิดพลาดที่เกิดจากการทดสอบสมมติฐาน มีดังนี้

1. ข้อสรุปผลจากการทดสอบสมมติฐาน คือ การยอมรับ H_1 โดยที่ข้อเท็จจริง H_0 เป็นจริงข้อผิดพลาดนี้เรียกว่าข้อผิดพลาดประเภท 1 หรือ Type I error ซึ่งความน่าจะเป็นคือพื้นที่ในส่วนนอกเขตวิกฤต $\mu_0 \pm z_{\alpha/2} \cdot \frac{\alpha}{\sqrt{n}}$ หรือระดับนัยสำคัญ α นั่นเอง

2. ข้อสรุปผลจากการทดสอบสมมติฐาน คือ การปฏิเสธ H_1 และยอมรับ H_0 โดยที่ข้อเท็จจริง H_1 เป็นจริง ข้อผิดพลาดนี้เรียกว่า ข้อผิดพลาดประเภท 2 หรือ Type II error หรือ β

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.8 ข้อผิดพลาดประเภท I และ II



โดย α = ระดับนัยสำคัญ หรือความผิดพลาดประเภท I

$1-\alpha$ = ช่วงยอมรับ (Acceptance Region)

$\pm Z_{\alpha/2}$ = ค่าวิกฤต (สำหรับการทดสอบแบบสองทาง)

β = ความผิดพลาดประเภท II

$1-\beta$ = อำนาจการทดสอบ (Power of the Test)

ตารางที่ 2.2 ข้อสรุปผลจากการทดสอบสมมติฐาน

ข้อสรุปผลจากการทดสอบสมมติฐาน	ข้อเท็จจริง	
	H_0 เป็นจริง	H_1 เป็นจริง
ยอมรับ H_0	ตัดสินใจถูกต้อง ($1-\alpha$)	ข้อผิดพลาดประเภท II (β)
ปฏิเสธ H_1	ข้อผิดพลาดประเภท I (α)	ตัดสินใจถูกต้อง ($1-\beta$)

เนื่องจาก α, β เป็นค่าความผิดพลาด ดังนั้นจึงต้องพยายามลดค่า α, β ให้เหลือน้อยที่สุด

วิธีลดค่าความผิดพลาด

1. เพิ่มช่วงการยอมรับ (Acceptance Region) ของสมมติฐานหลัก H_0 จะทำให้ช่วง 1- α เพิ่มมากขึ้น นั่นคือ α จะลดน้อยลง การที่ α ลดน้อยลง β จะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการเพิ่มช่วงการยอมรับแม้ว่าจะทำให้ Type I Error ลดน้อยลงแต่ก็จะทำให้ Type II Error เพิ่มมากขึ้น และในกรณีที่ H_1 ไม่ห่างจาก H_0 มากนัก การลดค่า α จะทำให้ β เพิ่มมากขึ้นมากกว่าเมื่อ H_1 ห่างจาก H_0

2. การเพิ่มขนาดของตัวอย่าง n ถ้าตัวอย่างมีขนาดเพิ่มขึ้นจะทำให้ α และ β ลดลงทั้งคู่

3. เมื่อ H_1 เป็นจริงค่าของ β จะลดลงเมื่อค่าจริงต่างกับค่าในสมมติฐาน H_0 มากๆ

สรุป

1. ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภท I (α) และความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภท II (β) มีความสัมพันธ์ในทางกลับกัน คือ เมื่อ α ลด β จะเพิ่มและเมื่อ α เพิ่ม β จะลด
2. ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภท I (α) ลดลงได้โดยปรับค่าวิกฤตเพื่อให้ช่วงการยอมรับเพิ่มมากขึ้น
3. การเพิ่มขนาดของตัวอย่างทำให้ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดทั้งสองประเภท (α, β) ลดลงทั้งคู่
4. ถ้า H_0 ไม่เป็นความจริง ค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาด II(β) มากที่สุดเมื่อค่าจริงของพารามิเตอร์เข้าใกล้ค่าที่สมมติฐานไว้ในสมมรติฐานหลัก

ขั้นตอนของการทดสอบสมมติฐานของพารามิเตอร์

1. ตั้งข้อสมมติฐานหลัก

$$H_0 : \theta = \theta_0$$

2. ตั้งขอสมมติฐานที่เป็นทางเลือก

$$H_1 : \theta \neq \theta_0$$

หรือ $$H_1 : \theta > \theta_0$$

$$H_1 : \theta < \theta_0$$

3. เลือกค่าระดับนัยสำคัญ α ซึ่งจะเป็นการกำหนดค่าความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาดประเภท I คือ การปฏิเสธข้อสมมติฐานหลักเมื่อผลปรากฏว่าข้อสมมติฐานหลักถูกต้อง

4. กำหนดบริเวณวิกฤตตามระดับนัยสำคัญ α ที่กำหนด

5. สุ่มตัวอย่างขนาด n และคำนวนค่าสถิติ

6. นำค่าสถิติที่ได้จากการคำนวณตามข้อ 5 เปรียบเทียบกับบริเวณวิกฤตตามข้อ 4 แล้วสรุปผลดังนี้

- ถ้าอยู่ในบริเวณวิกฤตจะปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1
- ถ้าอยู่นอกบริเวณวิกฤตจะยอมรับ H_0 และปฏิเสธ H_1

2.4.2 การทดสอบค่าเฉลี่ย

ในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของประชากรที่มีการแจกแจงปกติและทราบค่าความแปรปรวนว่าเท่ากับ σ^2 จะต้องสุ่มตัวอย่างขนาด n จากประชากรดังกล่าวเพื่อหาค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ ซึ่งค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ จะมีการแจกแจงแบบปกติซึ่งมีค่าเฉลี่ยของ $\bar{x}$ เท่ากับ μ และมีค่าความแปรปรวนของ $\bar{x}$ เท่ากับ σ^2/n การทดสอบสมมติฐานจะต้องตั้งข้อสมมติฐานดังนี้

ตารางที่ 2.3 การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดสอบค่าเฉลี่ยซึ่งขนาดตัวอย่างมากกว่า 30

H_0	H_1	Critical Region
$\mu = \mu_0$	$\mu > \mu_0$	$z > z_\alpha \; or \; \bar{x} > \mu_0 + z_\alpha \sigma/\sqrt{n}$
$\mu = \mu_0$	$\mu < \mu_0$	$z < -z_\alpha \; or \; \bar{x} < \mu_0 - z_\alpha \sigma/\sqrt{n}$
$\mu = \mu_0$	$\mu \neq \mu_0$	$\lvert z \rvert > z_{\alpha/2} \; or \; \lvert \bar{x} - \mu_0 \rvert > z_{\alpha/2} \cdot \sigma/\sqrt{n}$

ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบ คือ

$$z = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}$$

ช่วงวิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ α สำหรับการทดสอบสมมติฐานทั้งสาม คือ

1. $z > +z_\alpha$
2. $z < -z_\alpha$
3. $|z| > +z_{\alpha/2}$

ในรูปของ $\bar{x}$ ช่วงวิกฤตทั้งสามนี้คือ

1. $\bar{x} > \mu_0 + Z_\alpha \sigma/\sqrt{n}$
2. $\bar{x} < \mu_0 - Z_\alpha \sigma/\sqrt{n}$
3. $\left|\bar{x} - \mu_0\right| > Z_{\alpha/2} \cdot \sigma/\sqrt{n}$

ถ้ามีการสุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ หรือ n > 30 ตัวอย่างจากประชากรซึ่งอาจจะไม่เป็นการแจกแจงปกติก็ได้แต่ทราบความแปรปรวน σ^2 จะสามารถใช้ทฤษฎีสู่จุดศูนย์กลางเพื่อการทดสอบได้ และเมื่อไม่ทราบค่า σ^2 ก็อาจจะสามารถใช้ S^2 แทนได้

ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบคือ

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{S/\sqrt{n}}$$

สำหรับการสุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ซึ่งมีขนาดน้อยกว่า 30 ตัวอย่างสุ่มมาจากประชากรปกติที่ไม่ทราบค่าความแปรปรวน

ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบคือ

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{S/\sqrt{n}}$$

องศาเสรี ν = n -1

การทดสอบสมมติฐานจะต้องตั้งข้อสมมติฐานดังนี้

ตารางที่ 2.4 การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดสอบค่าเฉลี่ยซึ่งขนาดตัวอย่างน้อยกว่า 30

H_0	H_1	Critical Region
$\mu = \mu_0$	$\mu > \mu_0$	$t > t_{\alpha,(n-1)} or \bar{x} > \mu_0 + t_{\alpha,(n-1)} S/\sqrt{n}$
$\mu = \mu_0$	$\mu < \mu_0$	$t < -t_{\alpha,(n-1)} or \bar{x} < \mu_0 - t_{\alpha,(n-1)} S/\sqrt{n}$
$\mu = \mu_0$	$\mu \neq \mu_0$	$\lvert t \rvert > t_{\alpha/2(n-1)} or \lvert \bar{x} - \mu_0 \rvert > + t_{\alpha/2(n-1)} S/\sqrt{n}$

ช่วงวิกฤตที่ระดับนัยสำคัญ สำหรับการทดสอบสมมติฐานทั้งสามคือ

1. $t > t_{\alpha,(n-1)}$
2. $t < -t_{\alpha,(n-1)}$
3. $|t| > t_{\alpha/2(n-1)}$

ในรูปของ x ช่วงวิกฤตทั้งสามนี้คือ

1. $\bar{x} > \mu_0 + t_{\alpha,(n-1)} \cdot S/\sqrt{n}$
2. $\bar{x} < \mu_0 - t_{\alpha,(n-1)} \cdot S/\sqrt{n}$
3. $\left|\bar{x} - \mu_0\right| > +t_{\alpha/2(n-1)} \cdot S/\sqrt{n}$

2.4.3 การทดสอบผลต่างของค่าเฉลี่ย

การทดสอบผลต่างของค่าเฉลี่ยเป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรปกติ 2 ชุด โดยการสุ่มตัวอย่างอิสระขนาด n_1 และ n_2 ตัวอย่างจากประชากรดังกล่าว และหาค่าเฉลี่ย $\overline{X_1}$ และ $\overline{X_2}$, ($\overline{X_1}$ - $\overline{X_2}$)

ในกรณีที่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากรทั้งสองชุด และจำนวนตัวอย่างที่สุ่มมากกว่า 30 ตัวอย่าง จะต้องตั้งข้อสมมติฐานดังนี้ คือ

ตารางที่ 2.5 การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดสอบผลต่างค่าเฉลี่ยซึ่งขนาดตัวอย่างมากกว่า 30

H_0	H_1	Critical Region
$\mu_1 = \mu_2$	$\mu_1 > \mu_2$	$z > z_\alpha$ หรือ $(\overline{X_1} - \overline{X_2}) > z_\alpha \sqrt{\sigma^2_{1/n_1} + \sigma^2_{2/n_2}}$
หรือ		
$\mu_1 - \mu_2 = 0$	$\mu_1 < \mu_2$	$z < -z_\alpha$ หรือ $\left(\overline{X_1} - \overline{X_2}\right) < -z_\varepsilon \sqrt{\sigma^2_{1/n_1} + \sigma^2_{2/n_2}}$
	$\mu_1 \neq \mu_2$	$\lvert z \rvert > z_{\alpha/2}$ หรือ $\left\lvert \overline{X_1} - \overline{X_2} \right\rvert > z_{\alpha/2} \sqrt{\sigma^2_{1/n_1} + \sigma^2_{2/n_2}}$
หรือ		
$\mu_1 - \mu_2 = d$	$\mu_1 - \mu_2 > d$	$z > z_\alpha$ หรือ $(\overline{X_1} - \overline{X_2}) - d > z_\alpha \sqrt{\sigma^2_{1/n_1} + \sigma^2_{2/n_2}}$
	$\mu_1 - \mu_2 < d$	$z < -z_\alpha$ หรือ $\left(\overline{X_1} - \overline{X_2}\right) - d < -z_\varepsilon \sqrt{\sigma^2_{1/n_1} + \sigma^2_{2/n_2}}$
	$\mu_1 - \mu_2 \neq d$	$\lvert z \rvert > z_{\alpha/2}$ หรือ $\left\lvert \overline{X_1} - \overline{X_2} \right\rvert - d > z_{\alpha/2} \sqrt{\sigma^2_{1/n_1} + \sigma^2_{2/n_2}}$

ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบคือ

$$z = \frac{(\overline{x_1} - \overline{x_2}) - d}{\sqrt{\sigma^2_{1/n_1} + \sigma^2_{2/n_2}}}$$

ในกรณีที่ไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากรทั้งสองชุด และจำนวนตัวอย่างที่สุ่มยังคงมากกว่า 30 ตัวอย่าง ซึ่งสามารถใช้ทฤษฎีสู่จุดศูนย์กลางได้ดังนั้นเราจึงใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่สุ่มมานั้นแทนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

ในกรณีที่ไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากรทั้งสองชุด และจำนวนตัวอย่างที่สุ่มมาน้อยกว่า 30 ตัวอย่าง ไม่สามารถให้ทฤษฎีสู่จุดศูนย์กลางได้ แต่สามารถใช้กระจายแบบ t และค่าสถิติ T ในการทดสอบข้อสมมติฐานได้ดังนี้

(ก) เมื่อไม่ทราบค่าความแปรปรวนแต่ค่าความแปรปรวนเท่ากัน $\left(\sigma_1^2 = \sigma_2^2\right)$ จะต้องตั้งข้อสมมติฐานดังนี้

ตารางที่ 2.6 การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดสอบผลต่างค่าเฉลี่ยซึ่งขนาดตัวอย่างน้อยกว่า 30 และไม่ทราบค่าความแปรปรวนแต่ค่าความแปรปรวนเท่ากัน

H_0	H_1	Critical Region
$\mu_1 = \mu_2$	$\mu_1 > \mu_2$	$t > t_\alpha$ หรือ $(\overline{x_1} - \overline{x_2}) > t_\alpha S_p \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}$
หรือ		
$\mu_1 - \mu_2 = 0$	$\mu_1 < \mu_2$	$t < -t_\alpha$ หรือ $(\overline{x_1} - \overline{x_2}) < -t_\varepsilon S_p \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}$
	$\mu_1 \neq \mu_2$	$\lvert t \rvert > t_{\alpha/2}$ หรือ $\lvert \overline{x_1} - \overline{x_2} \rvert > t_{\alpha/2} S_p \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}$
หรือ		
$\mu_1 - \mu_2 = d$	$\mu_1 - \mu_2 > d$	$t > t_\alpha$ หรือ $(\overline{x_1} - \overline{x_2}) - d > t_\alpha S_p \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}$
	$\mu_1 - \mu_2 < d$	$t < -t_\alpha$ หรือ $(\overline{x_1} - \overline{x_2}) - d < -t_\varepsilon S_p \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}$
	$\lvert \mu_1 - \mu_2 \rvert > d$	$\lvert t \rvert > t_{\alpha/2}$ หรือ $\lvert \overline{x_1} - \overline{x_2} \rvert - d > t_{\alpha/2} S_p \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}$

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

และองศาเสรี $$\nu = n_1 + n_2 - 2$$

ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบคือ

$$T = \frac{(\overline{x}_1 - \overline{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}}$$

(ข) เมื่อไม่ทราบค่าความแปรปรวน แต่ค่าความแปรปรวนไม่เท่ากัน $(\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2)$ จะต้องตั้งข้อสมมติฐานดังนี้

ตารางที่ 2.7 การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดสอบผลต่างค่าเฉลี่ยซึ่งขนาดตัวอย่างน้อยกว่า 30 และไม่ทราบค่าความแปรปรวนแต่ค่าความแปรปรวนไม่เท่ากัน

H_0	H_1	Critical Region
$\mu_1 = \mu_2$	$\mu_1 > \mu_2$	$t > t_\alpha$ หรือ $(\overline{x}_1 - \overline{x}_2) > t_\alpha \sqrt{S^2_{1/n_1} + S^2_{2/n_2}}$
หรือ		
$\mu_1 - \mu_2 = 0$	$\mu_1 < \mu_2$	$t < -t_\alpha$ หรือ $(\overline{x}_1 - \overline{x}_2) < -t_\varepsilon \sqrt{S^2_{1/n_1} + S^2_{2/n_2}}$
	$\mu_1 \neq \mu_2$	$\lvert t \rvert > t_{\alpha/2}$ หรือ $\lvert \overline{x}_1 - \overline{x}_2 \rvert > t_{\alpha/2} \sqrt{S^2_{1/n_1} + S^2_{2/n_2}}$
หรือ		
$\mu_1 - \mu_2 = d$	$\mu_1 - \mu_2 > d$	$t > t_\alpha$ หรือ $(\overline{x}_1 - \overline{x}_2) - d > t_\alpha \sqrt{S^2_{1/n_1} + S^2_{2/n_2}}$
	$\mu_1 - \mu_2 < d$	$t < -t_\alpha$ หรือ $(\overline{x}_1 - \overline{x}_2) - d < -t_\varepsilon \sqrt{S^2_{1/n_1} + S^2_{2/n_2}}$
	$\mu_1 - \mu_2 \neq d$	$\lvert t \rvert > t_{\alpha/2}$ หรือ $\lvert \overline{x}_1 - \overline{x}_2 \rvert - d > t_{\alpha/2} \sqrt{S^2_{1/n_1} + S^2_{2/n_2}}$

โดยที่องศาเสรี

$$\nu = \frac{\left[S^2_{1/n1} + S^2_{2/n2}\right]^2}{\frac{\left(S^2_{1/n1}\right)^2}{(n_1 - 1)} + \frac{\left(S^2_{2/n2}\right)^2}{(n_2 - 1)}}$$

ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบคือ

$$T = \frac{(\overline{x}_1 - \overline{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{S^2_{1/n_1} + S^2_{2/n_2}}}$$

2.4.4 การทดสอบค่าความแปรปรวน

ในการทดสอบค่าความแปรปรวนของประชากรที่มีการแจกแจงปกติ ว่ายังคงมีค่าความแปรปรวนตามที่กล่าวอ้างไว้หรือไม่ จะต้องสุ่มตัวอย่างจากประชากรดังกล่าวเพื่อหาความแปรปรวนของตัวอย่างและใช้ค่าสถิติ x^2 ในการทดสอบและต้องตั้งสมมติฐานดังนี้

ตารางที่ 2.8 การตั้งสมมติฐานสำหรับการทดสอบค่าความแปรปรวน

H_0	H_1	Critical Region
$\sigma^2 = \sigma_0^2$	$\sigma^2 > \sigma_0^2$	$\chi^2 > \chi^2_{\alpha,n-1}$
	$\sigma^2 < \sigma_0^2$	$\chi^2 < \chi^2_{1-\alpha,n-1}$
	$\sigma^2 \neq \sigma_0^2$	$\chi^2 > \chi^2_{\alpha/2,n-1}$
		$\chi^2 < \chi^2_{1-\alpha/2,n-1}$

ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบคือ

$$\chi^2 = \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2}$$

ค่าองศาเสรี

$$\nu = n-1$$

2.4.5 P-value

คือ ค่าความน่าจะเป็นที่น้อยที่สุดที่สามารถจะปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ค่า P-value นี้เป็นค่าที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในปัจจุบันในการสรุปผลข้อมูลเพื่อการอ้างอิงต่างๆ ในทางสถิติ เพื่อเพิ่มระดับความเชื่อมั่นให้กับผู้ประมวลผล เนื่องจากปัญหาที่พบมากในปัจจุบันในการทำการทดสอบสมมติฐาน คือ การสรุปผลจากค่าสถิติที่คำนวณได้จากตัวอย่างซึ่งมาจากข้อมูลชุดเดียวกันประมวลผลออกมาต่างกันมักจะพบมากในกรณีที่ค่าสถิติที่คำนวณได้จากตัวอย่างนั้นมีค่าใกล้กับค่าวิกฤตมากๆ ตัวอย่างเช่น

ในการทดสอบมาตรฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยโดยใช้การทดสอบแบบสองทางที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในการทดสอบโดยทั่วไป บริเวณวิกฤต คือบริเวณที่เราจะปฏิเสธสมมติฐานหลักถ้าค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จากตัวอย่างมีค่าอยู่ในบริเวณนั้นค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยในกรณีที่รู้ค่าความแปรปรวนของประชากรคือ ค่าสถิติ Z ดังนั้นถ้าค่าสถิติที่

คำนวณได้จากตัวอย่างมีค่ามากกว่า 1.96 1(Z.025) หรือน้อยกว่า -1.96 (Z.025) เราจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก ผู้ทดสอบทำการสุ่มตัวอย่างสามชุดได้ผลสรุปดังนี้

ชุดที่ 1 ค่าสถิติ Z ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 1.958

ชุดที่ 2 ค่าสถิติ Z ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 1.963

ชุดที่ 3 ค่าสถิติ Z ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 1.65

ให้นาย ก และ นาย ข ทำการประมวลข้อมูลเพื่อทำการสรุปผลการทดสอบ นาย ก ทำการคำนวณโดยใช้เลขทศนิยม 3 ตำแหน่ง นาย ข ต้องการคำนวณโดยใช้ทศนิยมเพียง 1 ตำแหน่ง ผลสรุปที่ได้ของนาย ก และนาย ข เป็นดังตารางต่อไปนี้

ตัวอย่างชุดที่	นาย ก		นาย ข	
	ค่าสถิติที่คำนวณ	สรุปผล	ค่าสถิติที่คำนวณ	สรุปผล
1	1.958	ไม่ปฏิเสธ H_0	1.96	ไม่ปฏิเสธ H_0
2	1.963	ปฏิเสธ H_0	1.96	ไม่ปฏิเสธ H_0
3	1.65	ไม่ปฏิเสธ H_0	1.65	ไม่ปฏิเสธ H_0

จะเห็นว่าถ้าค่าสถิติที่คำนวณได้ห่างจากค่าวิกฤตพอประมาณ (ไม่อยู่ในช่วงของการปัดเศษทศนิยม) ผลสรุปของผู้ประมวลผลทั้งสองจะสอดคล้องกัน พิจารณากรณีที่ 1 ถ้าค่าที่คำนวณได้ค่ำกว่าค่าวิกฤตการปัดเศษยังคงให้สอดคล้องกัน แต่เมื่อเป็นกรณีที่ 2 ค่าสถิติที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่าค่าวิกฤตแต่ใกล้ค่าวิกฤตมาก ผู้ประมวลผลที่มีหน้าที่ตัดสินใจซึ่งอาจจะเป็นผู้ประมวลผลเองขาดความมั่นใจในการสรุปผล ดังนั้นนักสถิติจึงได้นำค่าความน่าจะเป็นที่น้อยที่สุดที่สามารถจะปฏิเสธสมมตริฐานหลักได้ (P-value) มาใช้ในการเสนอและสรุปผลข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจ ซึ่งในบางครั้งถ้าตัดสินใจอาจจะสรุปผลโดยพิจารณาผลทางสถิติร่วมกับประสบการณ์ของตนเองและข้อมูลเพิ่มเติมอื่นๆ โดยที่ผลสรุปอาจจะแตกต่างจากผลสรุปทางสถิติก็ได้ เนื่องจากค่าสถิติเป็นค่าที่คำนวณได้จากตัวอย่างซึ่งถือได้ว่าเป็นการประมาณแบบหนึ่งที่อาจจะมีความผิดพลาดรวมอยู่ด้วย

จึงเห็นได้ว่า ค่า P-value จะมีส่วนช่วยในการให้ผลสรุปที่ดีขึ้นได้จากตัวอย่างข้างต้นในกรณีที่ 2 ถึงแม้ว่าผลสรุปของนาย ก จะปฏิเสธ และนาย ข จะไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลักตามลำดับผู้ตัดสินใจอาจจะสรุปตรงกับผลสรุปของนาย ก หรือ นาย ข ก็ได้ ถ้าพบว่าประสบการณ์ที่ผ่านมาผลสรุปน่าจะเป็นเช่นไร การคำนวณค่า P-value สามารถคำนวณได้โดยตรงจากการหาค่าความน่าจะเป็นที่ค่าสถิติที่เหมาะสมในการทดสอบสมมติฐานนั้นมีค่ามากกว่าค่าสัมบูรณ์ของค่าสถิติที่คำนวณได้ (P-value = $Pr(Z>|Z_c|)$) ในการทดสอบแบบทางเดียว แต่ถ้าเป็นการทดสอบแบบสองทางค่าความน่าจะเป็นนั้นจะเป็น 2

เท่าของค่าที่คำนวณได้ในกรณีแรก (เช่นเดียวกับการคำนวณค่า $\alpha/2$ ในการทดสอบแบบสองทางเพื่อหาค่าวิกฤตค่า P-value เปรียบเสมือนค่าระดับนัยสำคัญที่เล็กที่สุดที่สามารถปฏิเสธสมมติฐานได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องนำ 2 คูณกลับในกรณีการทดสอบแบบสองทาง)

ตัวอย่าง ต้องการทดสอบสมมติฐานของข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6 แบ่งเป็นสองกรณีดังต่อไปนี้

1) $H_0 : \mu = 45$

$H_a : \mu > 45$

หรือ $H_0 : \mu = 45$

$H_a : \mu < 45$ (การทดสอบทางเดียว)

2) $H_0 : \mu = 45$

$H_a : \mu \neq 45$ (การทดสอบสองทาง)

สุ่มตัวอย่างขนาด = 16 ค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จากตัวอย่าง = 50

ค่าสถิติที่เหมาะสม $Z_c = (50 - 45) / (6/(16)^{1/2}) = 3.33$

$Pr(Z > |Z_c|) = Pr(Z > 3.33) = 0.0004$

กรณีที่ (1) P-value = 0.0004 หรือ ในกรณีที่ (2) P-value = 0.0008 ถ้าทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha > 0.001$ จะปฏิเสธ H_0 ทั้งสองกรณี (นั่นคือ ถ้าค่า P-value $< \alpha$ จะปฏิเสธ H_o)

ดังนั้นถ้าทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.0005 (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99.95%) กรณีที่ (1) เราจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก กรณีที่ (2) ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้หรือสรุปได้ว่า

กรณีที่ (1) ปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ P-value = 0.0004 (ระดับความเชื่อมั่น 99.96%)

กรณีที่ (2) ปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ P-value = 0.0008 (ระดับความเชื่อมั่น 99.92%)

นั่นคือ ผู้ตัดสินใจหรือผู้ประมวลผลสามารถระบุระดับความเชื่อมั่นในการทดสอบสมมติฐานได้เป็นค่าที่แน่ชัด ทำให้เพิ่มความเชื่อมั่นในข้อสรุปของตนได้มากขึ้น

ถ้าระบุระดับนัยสำคัญ α หรือ ระดับความเชื่อมั่น $1 - \alpha$ ของการทดสอบสมมติฐานมาให้เราสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) ถ้า P-value $< \alpha \longrightarrow$ Reject H_0 (ปฏิเสธสมมติฐานหลัก)

2) ถ้า 1- P-value > 1- $\alpha \longrightarrow$ Reject H_0 (ปฏิเสธสมมติฐานหลัก)

ดังนั้นอาจจะสรุปได้ว่า ค่า 1- P-value คือ ระดับความเชื่อมั่นที่สูงที่สุดที่เราสามารถจะปฏิเสธสมมติฐานหลักได้นั่นเอง

2.5 กราฟบ็อกซ์พล็อต (Boxplot)

กราฟบ็อกซ์พล็อต คือ กราฟที่ช่วยสรุปให้เรามองเห็นถึง รูปร่าง การกระจาย และค่ากลางของแต่ละกลุ่มข้อมูล หรือเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มข้อมูล ตลอดจนค่าที่หลุดออกจากกลุ่ม (outliers) กราฟบ็อกพล็อตประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของกราฟบ็อกซ์พล็อต

ความหมายของกราฟบ็อกซ์พล็อต

1) ขอบล่างของรูปกล่องแสดงค่าควอไทล์ที่ 1 ในขณะที่ขอบบนของกล่องแสดงค่าควอไทล์ที่ 3 ดังนั้นส่วนในกล่องจะหมายถึง interquartile range (IQR) หรือ 50% ตรงส่วนกลางของกลุ่มข้อมูลนั่นเอง

2) เส้นที่ลากขวางพาดผ่านกล่องคือ ค่ามัธยฐาน

3) เส้นที่ลากต่อออกจากกล่องทั้งสองด้านเรียกว่า whiskers ซึ่งลากออกไปจนสุดที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดของกลุ่มข้อมูล

4) Outlier คือ ค่าที่อยู่นอกกล่อง (มากกว่าควอไทล์ที่ 3 หรือ น้อยกว่าควอไทล์ที่ 1) โดยอยู่ห่างออกไปมากกว่า 1.5 IQR

5) กรณีใช้กราฟบ็อกซ์พล็อตประเมินความสมมาตรของข้อมูล

- ถ้าข้อมูลค่อนข้างสมมาตร เส้นมัธยฐานจะอยู่ประมาณกึ่งกลางของของกล่องและ whiskers ทั้งสองเส้นจะมีความยาวใกล้เคียงกัน

- ถ้าข้อมูลไม่สมมาตร เส้นมัธยฐานจะไม่อยู่บริเวณกลางกล่อง และความยาวของเส้น whisker ทั้งสองเส้นจะต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

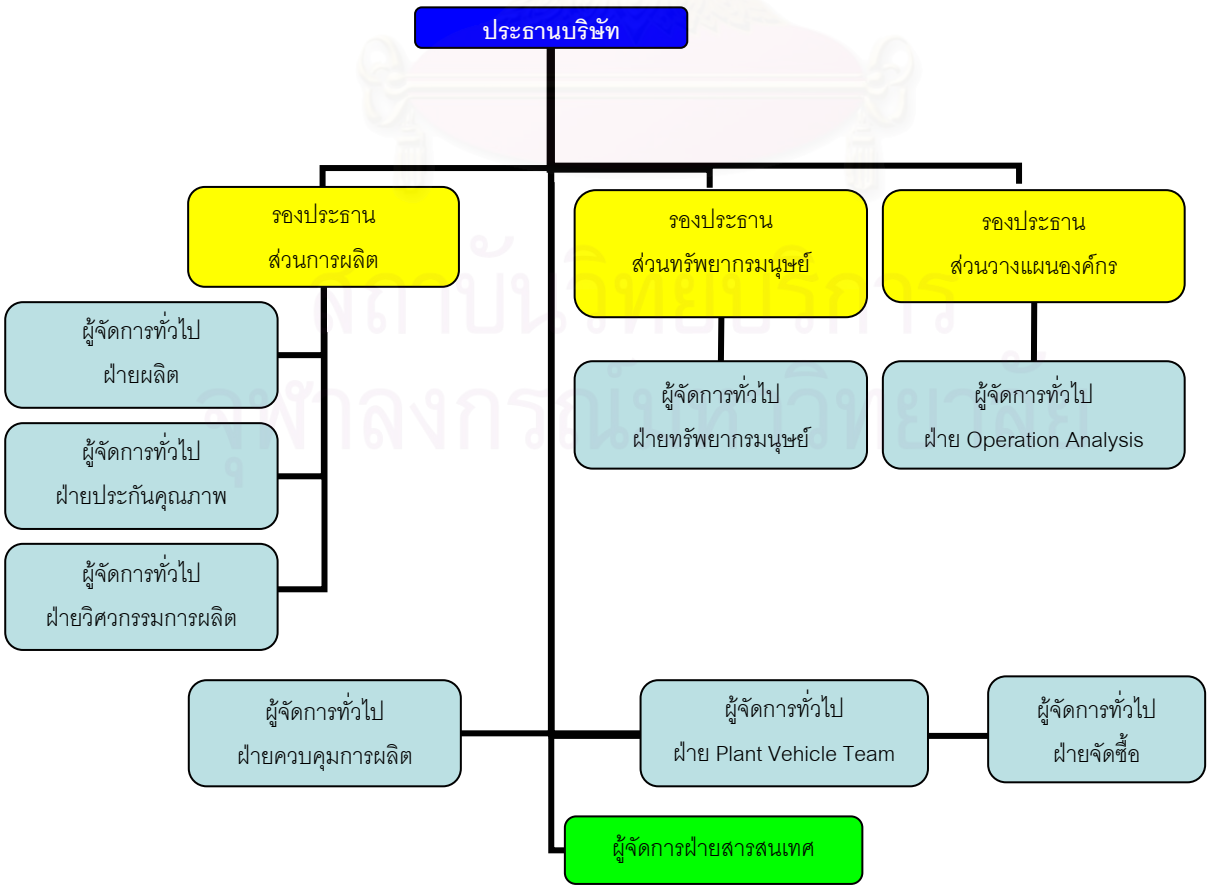
บทที่ 3

สภาพของปัญหา ณ ปัจจุบัน

3.1 ข้อมูลเกี่ยวกับบริษัทตัวอย่างในการวิจัย

บริษัทตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้เป็นบริษัทที่เกิดจากการร่วมทุนระหว่างบริษัทแม่ 2 บริษัท ซึ่งฝ่ายหนึ่งเป็นบริษัทรถยนต์จากประเทศสหรัฐอเมริกา และอีกฝ่ายหนึ่งเป็นบริษัทรถยนต์จากประเทศญี่ปุ่น โดยได้บรรลุข้อตกลงและจดทะเบียนบริษัทอย่างเป็นทางการในปี พ.ศ.2538 หลังจากนั้นได้ดำเนินการก่อสร้างโรงงานที่นิคมอุตสาหกรรม อีสเทอร์นซีบอร์ด ประเทศไทย ซึ่งการก่อสร้างแล้วเสร็จและสามารถเริ่มทำการผลิตครั้งแรกได้ในปี พ.ศ.2541 โรงงานแห่งนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อผลิตรถปิคอัพสำหรับจำหน่ายในประเทศไทย และส่งออกในตลาดต่างประเทศทั่วโลก (ยกเว้นอเมริกาเหนือ) โดยมีกำลังการผลิตสูงสุด 135,000 คันต่อปี ปัจจุบันมีพนักงานทั้งหมดประมาณ 2,000 คน การทำงานแบ่งเป็น 2 กะต่อวัน ซึ่งอาจเพิ่มเป็น 3 กะต่อวันในกรณีที่ผลิตเต็มกำลังการผลิตของโรงงาน

รูปที่ 3.1 แผนผังโครงสร้างขององค์กร



3.1.1 ผลิตภัณฑ์ของบริษัท

ปัจจุบันทางบริษัททำการผลิตรถปิคอัพสำหรับตลาดภายในประเทศและส่งออกไปยังตลาดต่างๆทั่วโลก ยกเว้นตลาดในทวีปอเมริกาเหนือ รถปิคอัพที่บริษัทผลิตสามารถแบ่งออกตามรูปทรง เครื่องยนต์ และระบบส่งกำลังได้ดังนี้

1. รูปทรง แบ่งออกได้เป็น 3 รุ่น คือ

1.1 รุ่นตอนเดียว (Standard Base)

จะไม่มีพื้นที่ว่างภายในห้องโดยสารบริเวณหลังที่นั่งแถวหน้า ทำให้มี ความยาวของกระบะหลังที่ใช้บรรทุกของมาก เป็นรุ่นที่เหมาะสำหรับใช้เพื่อการพานิชย์โดยเฉพาะ

1.2 รุ่นตอนครึ่ง (Stretch Cab)

ห้องโดยสารถูกสร้างให้มีพื้นที่เพิ่มขึ้นบริเวณหลังที่นั่งแถวหน้า สำหรับเป็นที่นั่งเพิ่มเติมหรือวางสัมภาระส่วนตัว เพื่อการใช้งานอเนกประสงค์

1.3 รุ่นสองตอน (Double Cab)

เหมาะสำหรับการใช้งานแทนรถยนต์นั่ง แต่ในขณะเดียวกันก็สามารถบรรทุกได้ด้วย ห้องโดยสารมีขนาดกว้างขวาง เข้าออกได้สะดวกเนื่องจากมี 4 ประตู

2. เครื่องยนต์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.1 เครื่องยนต์เบนซิน สำหรับรถส่งออกเท่านั้น

2.2 เครื่องยนต์ดีเซล สำหรับทั้งรถส่งออกและจำหน่ายภายในประเทศ

3. ระบบส่งกำลัง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

3.1 แบบขับเคลื่อน 2 ล้อ (2WD)

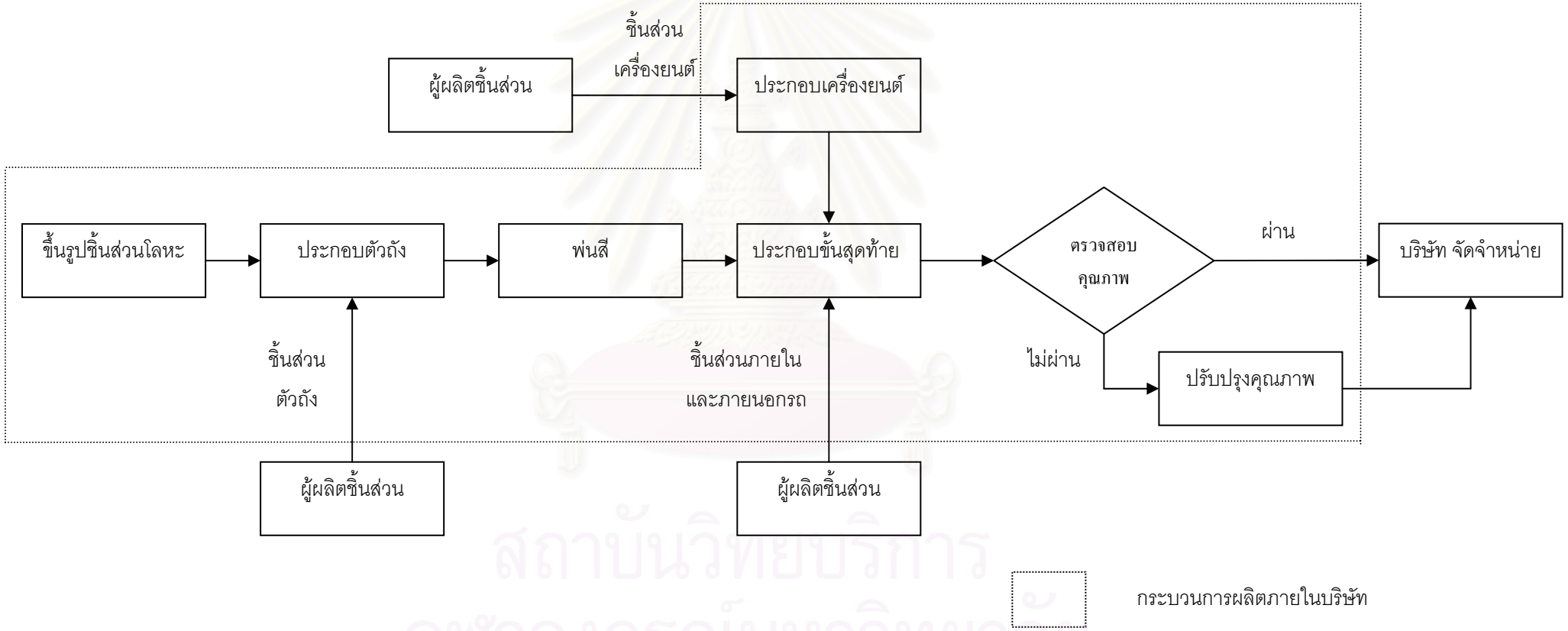
3.2 แบบขับเคลื่อน 4 ล้อ (4WD)

3.2 กระบวนการผลิตรถยนต์

ในกระบวนการผลิตรถยนต์ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ มากมาย มีชิ้นส่วนทั้งหมดประมาณ 20,000 รายการที่ประกอบกันขึ้นเป็นรถแต่ละคัน โดยมีขั้นตอนหลักๆดังต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.2 กระบวนการผลิตรถยนต์ของบริษัท



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 หน้าที่ของแต่ละฝ่ายในโรงงาน

ภายในบริษัท จะมีทั้งหมด 6 ฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตรถ คือ

3.3.1 ฝ่ายขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์ (Stamping Shop)

แผนก STAMPING เปรียบเสมือนกระบวนการแรกของการผลิตรถยนต์เลยก็ว่าได้ ทั้งนี้เพราะเป็นกระบวนการที่นำเอาวัตถุดิบเป็นเหล็กแผ่นเรียบๆ มาทำการปั๊มอัดขึ้นรูปให้เป็นชิ้นส่วนต่างๆ ของตัวถึงรถยนต์ เช่น ประตู ฝาท้าย หลังคา เป็นต้น การที่ทำให้เหล็กเปลี่ยนรูปร่างมาเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งชิ้นส่วนแต่ละชนิดก็จะใช้แม่พิมพ์หลายขั้นตอนในการอัดขึ้นรูป

แต่อย่างไรก็ตามแผนก Stamping ก็มีการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นส่วนต่างๆ ตามมาตรฐานผ่านไปถึงมือลูกค้า

ปัจจุบันแผนก Stamping มีเครื่องจักรที่ใช้การขึ้นรูปชิ้นส่วนทั้งหมด 11 เครื่อง และมีหุ่นยนต์ (Robot) ถึง 12 ตัว เพื่อใช้ในการผลิตชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ซึ่งกระบวนการผลิตของ Stamping เป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi Automation) ซึ่งจะใช้ทั้งคนและหุ่นยนต์ทำงานพร้อมกัน โดยคนจะเป็นผู้ป้อนชิ้นงานใส่เข้าไปในแม่พิมพ์ และหุ่นยนต์จะเป็นผู้หยิบชิ้นออกจากแม่พิมพ์ ต่อจากนั้นคนจะหยิบชิ้นงานนำไปเก็บยังห้องพัสดุต่อไป

สำหรับอัตรากำลังคนในปัจจุบันมีพนักงานทั้งหมด 172 คน ซึ่งรวมคนญี่ปุ่นที่เป็นทั้งระดับหัวหน้างาน และผู้ชำนาญการด้วย

ส่วน Lines การผลิต ของ Stamping มีเพียง 2 Lines คือ Line A และ Line B ซึ่งทำการผลิตชิ้นส่วนทั้งหมด 79 ชิ้น ป้อนให้กับหน่วยงาน Body ทำการประกอบเป็นตัวถึงต่อไป

3.3.2 ฝ่ายประกอบตัวถัง (BODY SHOP)

ฝ่ายประกอบตัวถังปัจจุบันมีพนักงานทั้งหมด 438 คน ลักษณะการทำงาน คือ การนำเอาชิ้นประกอบเป็นรถกระบะซึ่งใช้เครื่องเชื่อม SPOT WELD เป็นหลัก และจะเน้นคุณภาพของผิวโลหะซึ่งเป็นจุดที่ลูกค้ามองเห็น ใช้เครื่องเชื่อมมากกว่า 200 เครื่อง เชื่อมรถมากกว่า 3,000 จุดต่อคัน มีการนำเครื่องจักร High Technology ที่เป็นหุ่นยนต์ (ROBOT) ซึ่งทันสมัยและเป็นรุ่นล่าสุดจำนวน 14 เครื่อง หลังจากเชื่อมประกอบแล้ว ยังนำชิ้นงานนั้นมาทดสอบความแข็งแรงของจุดเชื่อมแบบ Destructive test เพื่อสร้างความมั่นใจให้ลูกค้า

แม้ว่าใน BODY SHOP จะมีโลหะ อันเกิดจากการเชื่อม (Spatter) จากการเจียรตกแต่งผิว ซึ่งจะเกิดขึ้นเสมอแต่ใน SHOP เองก็เน้นความสะอาดทุกวัน

ทุกเช้าก่อนเริ่มงาน พนักงานจะตรวจเช็คอุปกรณ์ ความปลอดภัย ที่สำคัญต้องสวมใส่เครื่องป้องกันอุบัติเหตุ เช่น ใส่หมวกนิรภัย, แว่นตา, เสื้อแขนยาว, ถุงมือ, ปลอกแขน และรองเท้านิรภัย เป็นต้น

BODY SHOP ประกอบด้วย 6 LINES การผลิต

1. Line Under Body (U/B) ผลิตส่วนพื้นของรถ
2. Line Body side (B/S) ผลิตด้านข้างของรถ
3. Line Body Frame (B/F) ผลิตตัวรถ โดยนำชิ้นส่วนอื่นและหลังคามาประกอบเข้าด้วยกัน
4. Line Closure Panel (C/P) ผลิตประตู และฝากระโปรงรถ
5. Line Metal Finish (M/F) ประกอบประตู, ฝากระโปรงรถ, แก้มรถเข้ากับตัวถังรถ และตกแต่งผิวขั้นสุดท้าย
6. Line Box ผลิตกระบะและฝาท้ายรถ

โดยมีหน่วยงานสนับสนุน 2 หน่วย คือ

1. Line Material Handling (MIH) ทำหน้าที่รับและจัดส่ง Part ไปตาม Line ต่างๆ
2. Line Utility ทำหน้าที่ประสานงานการผลิต เช่น ซ่อมผิวงาน, เปลี่ยนโปรแกรม Robot, ซ่อมบำรุงปืนเชื่อม นอกจากนี้ยังมีหน่วยซ่อมบำรุง คอยซ่อมบำรุง เครื่องจักร และอุปกรณ์ ในกรณีที่มีปัญหาด้วย

3.3.3 **ฝ่ายพ่นสี** (Paint Shop)

หลังจากที่ฝ่ายผลิตตัวถัง(Body Shop) ได้ประกอบตัวถัง (White Body) แล้วเสร็จก็จะลำเลียงตัวถังรวมทั้งกระบะมาที่ฝ่ายพ่นสีโดยทางสายพานลำเลียง เพื่อผ่านกระบวนการพ่นสีที่โรงพ่นสี โดยกระบวนการที่สำคัญของฝ่ายพ่นสีมี 5 สายการผลิตหลักดังต่อไปนี้

1. E-Coat/Sealing เตรียมผิวโลหะให้เหมาะสมกับการชุบเคลือบสีด้วยไฟฟ้า ชุบเคลือบสีด้วยไฟฟ้าเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ดี ในการป้องกันสนิม อุดป้องกันการรั่วซึม พ่นเคลือบช่วงล่างของ Body และพ่นเคลือบป้องกันหิน (Stone Guard)
2. Primer Surface Coat พ่นสีรองพื้น
3. Top-Coat (Finished Top Coat) พ่นสีชั้นบนสุด
4. Final Inspection ตรวจสอบสีชั้นสุดท้าย
5. Final Painting ซ่อมสีขั้นสุดท้ายหากเกิดตำหนิบนผิวสีหลังจากประกอบเสร็จจากโรงประกอบ (Trim and Final Shop) เคลือบสีด้วย Wax และส่งรถไปยังที่เก็บรถเพื่อรอการส่งมอบลูกค้า

โรงพ่นสีของบริษัท นั้นมีมาตรฐานที่ดีเยี่ยมโรงหนึ่งของประเทศไทยเนื่องจากการใช้การพ่นอัตโนมัติ (Auto Spray) ผสานกับฝีมือการพ่นอันประณีตของพนักงานทำให้สีที่ได้มีความสม่ำเสมอและมีสีสันที่สวยงาม

เนื่องจากการที่โรงพ่นสีจำเป็นต้องควบคุมเรื่องฝุ่นละอองและสภาพอากาศทำให้ไม่สามารถเป็นแบบเปิดโล่งได้ จึงอาจทำให้มีการสะสมของไอระเหยของทินเนอร์ซึ่งเป็นสารไวไฟ ดังนั้นความปลอดภัยจึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่งของโรงพ่นสี ผู้ที่ทำงานหรือมาเยือนโรงพ่นสีจะต้องสวมชุดใยสังเคราะห์ที่ป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ทุกคน และการสูบบุหรี่สามารถทำได้เฉพาะในที่ที่อนุญาตเท่านั้น ชุดใยสังเคราะห์ที่กล่าวมานี้มีขนอยู่น้อยจึงเป็นการลดฝุ่นผงที่จะทำให้คุณภาพของสีด้อยลง นอกจากนี้ยังมีการกำหนดให้ใช้รองเท้าเฉพาะในห้องพ่นสี โดยไม่สามารถใส่ออกไปนอกห้องพ่นได้

3.3.4 ฝ่ายประกอบขั้นตอนสุดท้าย (TRIM & FINAL DEPARTMENT)

ลักษณะเด่นของงานที่ฝ่ายนี้ทำ คือ การนำชิ้นส่วนต่างๆ จากทุกแผนก และจาก Sผู้ผลิตทั้งในและนอกประเทศมาประกอบให้ออกมาเป็นรถยนต์โดยสมบูรณ์แบบ โดยประกอบเสร็จทั้งคันที่แผนกนี้เอง

การทำงานของฝ่ายประกอบขั้นสุดท้าย จะแบ่งออกเป็น 9 หน่วยงานซึ่งประกอบด้วย Line ประกอบ Unit 01~06, Material Handling(Unit07), VI(Vehicle Inspection), Reprocess โดย

การนำเอาห้องโดยสาร (Cabin) จากฝ่ายพ่นสี และ ชิ้นส่วนต่างๆ จากหน่วยงาน Material Handling ซึ่งมีทั้ง CKD Parts (ชิ้นส่วนที่นำเข้าจากต่างประเทศ) และ Local Parts (ชิ้นส่วนที่ผลิตภายในประเทศ) มาประกอบเข้าด้วยกันให้เป็นรถยนต์สำเร็จรูป ส่วนใหญ่ใช้แรงงานคนประกอบโดยมี Air Tool (เครื่องมือที่เปลี่ยนพลังงานจากลมเป็นพลังงานกล) ช่วยในการประกอบซึ่งพนักงานทุกคนมีประสบการณ์ดี และพนักงานทุกคนผ่านการอบรมหลักสูตรเบื้องต้นของฝ่าย โดยมั่นใจจะผลิตรถที่มีคุณภาพระดับโลกได้ตามนโยบายของบริษัท และยิ่งกว่านั้นยังมีการนำเอา Robot(หุ่นยนต์) ที่ทันสมัยมาใช้ในการประกอบกระจกหน้าอีกด้วย ฝ่ายประกอบขั้นสุดท้ายทำงานบนสายพานลำเลียง (Conveyer Line) ซึ่งมี Lift และ Hoist(อุปกรณ์ยกเพื่อขนถ่ายวัสดุ) อยู่หลายจุดที่อาจจะก่อให้เกิดอันตรายได้ ซึ่งทางฝ่ายก็ได้เน้นเรื่องความปลอดภัย และ 3ส.(3S) เป็นหลัก โดยทุกเช้าจะมีการออกกำลังกาย และตรวจสอบอุปกรณ์ความปลอดภัยส่วนบุคคล และทุกสัปดาห์ในวันพฤหัสบดี จะมีการกล่าว Safety Talk ด้วย

ลักษณะของสายการประกอบขั้นสุดท้าย แบ่งการผลิตออกเป็น 9 สถานี (9 Units)

1. Unit 01 รับห้องโดยสารจากทางฝ่ายพ่นสี แล้วทำการประกอบชิ้นส่วนภายใน
2. Unit 02 ประกอบชิ้นส่วนภายในห้องโดยสาร เช่น แผงหน้าปัทม์
3. Unit 03 ประกอบช่วงล่าง เช่น ชุดเฟืองท้าย, เกียร์
4. Unit 04 ประกอบเครื่องยนต์ และ ห้องโดยสาร เข้ากับ แชสซีส์
5. Unit 05 ประกอบชิ้นส่วนภายในห้องโดยสาร และ ห้องเครื่อง และระบบเบรค คลัทช์
6. Unit 06 ประกอบกระบะ เข้ากับ แชสซีส์ และปรับระบบการควบคุมของรถ
7. Unit 07 จัดส่งชิ้นส่วน (Material Handing)
8. Unit 08 ตรวจสอบความรียบร้อย (Vehicle Inspection)
9. Unit 09 แก้ไขข้อบกพร่องจากการผลิต (Reprocess)

นอกจากนี้ยังมี 3 หน่วยงานสนับสนุน คือ

1. M/H ทำหน้าที่รับชิ้นส่วนจากผู้ผลิต แล้วจ่ายให้แต่ละ Unit
2. Maintenance คอยซ่อมบำรุงเครื่องจักร และแก้ไขเมื่อเครื่องจักรเกิดปัญหา
3. Kaizen Shop ปรับปรุงแก้ไขอุปกรณ์การผลิตให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

จุดสำคัญของฝ่ายประกอบขั้นสุดท้าย คือ ทุก Unit ที่กล่าวมาแล้วรวมทั้ง M/H, Maintenance เพราะถ้าขาดส่วนใดส่วนหนึ่งไปก็ไม่สามารถผลิตรถยนต์ให้มีคุณภาพระดับโลกได้เลย และฝ่ายนี้เป็นหน่วยสุดท้ายในการผลิตที่จะทำให้รถออกมาสมบูรณ์แบบ ซึ่งถัดจากนี้ก็คือ ลูกค้า

3.3.5 **ฝ่ายประกอบเครื่องยนต์** (Powertrain Shop)

ลักษณะงานของฝ่ายประกอบเครื่องยนต์ ถือได้ว่าเป็นหัวใจหลักของรถยนต์เลยก็ว่าได้ ซึ่งได้นำเอาชิ้นส่วนของรถยนต์ มาทำการประกอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซล รุ่น WL2500 CC. ซึ่งจะมีทั้งรุ่นธรรมดา (WL 81, WL 83) รุ่นเทอร์โบ(WL 84) นอกจากนี้ยังได้ประกอบเกี่ยวกับระบบรองรับและระบบเพลาขับเคลื่อนล้อหน้า 4 ล้อ (FRONT AXLE 4 WD) เพื่อประกอบเข้าในรถกระบะขนาด 1 ตัน โดยคำนึงถึง คุณภาพ ประสิทธิภาพ ความปลอดภัยในการใช้งาน และได้ตามที่มาตรฐานกำหนดเพื่อให้ลูกค้ามีความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์

ฝ่ายประกอบเครื่องยนต์ ประกอบไปด้วย 3 LINES

1. SHORT LINE จะมีหน้าที่ประกอบชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์เป็นหลัก เช่น เสื้อสูบ เพลาข้อเหวี่ยง ฯลฯ
2. BASE LINE จะมีหน้าที่ประกอบเครื่องยนต์ต่อจาก SHORT LINE จนเสร็จสมบูรณ์ แล้วนำเข้าทดสอบเดินเครื่อง (FIRING TEST) เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องเพื่อเตรียมส่งให้ฝ่ายประกอบขั้นสุดท้าย
3. AXLE LINE จะมีหน้าที่ประกอบระบบรองรับ และระบบขับเคลื่อนล้อหน้า ทั้งแบบขับเคลื่อน 2 ล้อ และขับเคลื่อน 4 ล้อ เมื่อประกอบเสร็จก็ส่งให้ฝ่ายประกอบขั้นสุดท้าย

นอกจากนี้เรายังมีหน่วยงานสนับสนุนอีกหน่วยงานหนึ่ง คือ หน่วยฝึกอบรม ซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบฝึกพนักงานที่เข้ามาใหม่ เพื่อป้อนเข้าแต่ละ LINE การผลิต หรือ อบรมเพิ่มเติมพนักงาน ให้มีความชำนาญมากขึ้นกว่าเดิมเพื่อเพิ่มทักษะในการทำงาน

3.3.6 **ฝ่ายรับประกันคุณภาพ** (Quality Assurance Department)

ปรัชญาของบริษัทในอันที่จะดำรงไว้ซึ่งคุณภาพระดับโลกและมอบสิ่งที่เกิดความคาดหมายแก่ลูกค้า ทำให้ฝ่ายรับรองคุณภาพต้องดำรงมาตรฐานของคุณภาพในระดับที่สูงเพื่อให้บริษัทสามารถจะแข่งขันกับผู้ผลิตรายอื่นทั่วโลกได้

หน้าที่ของฝ่ายรับประกันคุณภาพ คือ การควบคุมคุณภาพของชิ้นส่วน รถยนต์และระบบคุณภาพ (QUALITY SYSTEM) โดยการทดสอบ (TEST) ตรวจสอบ (INSPECTION) สุ่มตรวจ (AUDIT) ปรับปรุง(IMPROVEMENT) ชิ้นส่วนรถยนต์ และระบบคุณภาพ

ฝ่ายรับประกันคุณภาพของบริษัท ประกอบด้วยแผนกต่างๆ 3 แผนกคือ

1) แผนกควบคุมคุณภาพชิ้นส่วนรถยนต์ (PART QUALITY CONTROL; PQC)
2) แผนกควบคุมคุณภาพรถยนต์ (VEHICLE QUALITY CONTROL; VQC)
3) แผนกวิศวกรรมคุณภาพ (QUALITY ENGINEERING)

เพื่อให้เข้าใจถึงบทบาทหน้าที่ของฝ่ายรับรองคุณภาพ จะขออธิบายหน้าที่ความรับผิดชอบของแต่ละแผนกดังต่อไปนี้

3.3.6.1 แผนกควบคุมคุณภาพชิ้นส่วนรถยนต์ (PQC)

ชิ้นส่วนรถยนต์ที่บริษัท มาจากแหล่งผลิตหลายแห่ง เช่น ชิ้นส่วนจากประเทศญี่ปุ่น (JAPAN SOURCE; JS) ชิ้นส่วนที่ผลิต/ประกอบจากภายในประเทศหรือประเทศใกล้เคียง (LOCAL SOURCE; LS) ซึ่งมีแหล่งกำเนิดทั้งจากภายในประเทศไทยเอง หรือประเทศใกล้เคียง เช่น เวียดนาม มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ เป็นต้น

การควบคุมคุณภาพของชิ้นส่วนสามารถทำได้ด้วยการตรวจสอบ ทดสอบ และสุ่มตรวจ ซึ่งในแผนกควบคุมคุณภาพของชิ้นส่วนเอง มีห้องทดสอบวัสดุ (ความแข็ง ความเรียบ ความโค้ง) และเครื่องมือวัด เช่น CMM (Coordinator Measuring Machine), Digital Micro Hardness Tester, Surface (Roughness) Tester, Insulator Tester เป็นต้น ที่มีศักยภาพในอันที่จะตรวจสอบยืนยันคุณภาพของชิ้นส่วนโลหะ พลาสติก หรือทดสอบชิ้นส่วนทางไฟฟ้า เครื่องมือต่างๆ เหล่านี้จะได้รับการสอบเทียบ(Calibrate) โดยห้องสอบเทียบเครื่องมือซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมของฝ่ายรับรองคุณภาพเอง การสอบเทียบเครื่องมือดังกล่าวสามารถย้อนกลับไปถึงมาตรฐานระดับชาติ (National Standards) หรือนานาชาติ (International Standards) ได้

การควบคุมคุณภาพชิ้นส่วนโดยการทดสอบจะกระทำกับทุกชิ้นส่วนในช่วงระยะแรกของการผลิตโดยเฉพาะก่อนเริ่มผลิต (Pre Production) และระยะเริ่มต้นผลิต (Job# 1, Mass Production) หากไม่พบปัญหาใด ความถี่ของการทดสอบก็จะปรับลดลงตามความเหมาะสม ส่วนชิ้นส่วนที่ถูกจัดอยู่ในระดับคุณภาพ A (มาตรฐานความปลอดภัยหรือมาตรฐานการทำงาน (Function) ของชิ้นส่วนเอง) หรือ AR (เกี่ยวข้องกับกฎหมายความปลอดภัยของประเทศต่างๆ) จะได้รับการสุ่มตรวจ (Audit) ทุก 3 เดือนเพื่อยืนยังระดับคุณภาพงานของผู้ผลิตชิ้นส่วน

นอกจากนี้แผนกควบคุมคุณภาพชิ้นส่วนของรถยนต์ยังมีการควบคุมคุณภาพโดยการตรวจโรงงานของผู้ผลิตชิ้นส่วนซึ่งนอกจากจะมีการตรวจสอบสภาพการทำงานและมาตรฐานของผู้ผลิตชิ้นส่วนว่าเป็นไปตามข้อกำหนดและมาตรฐานที่ทางบริษัทต้องการ(ในเชิงของความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) ในการผลิตชิ้นส่วนให้เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด) แล้วยังมีการประสานกับแผนกปรับปรุงคุณภาพของผู้ผลิตชิ้นส่วน (SUPPLY QUALITY DEVELOPMENT) เพื่อกระตุ้นและแนะนำให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนที่ยังไม่สามารถพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของบริษัท สามารถปรับปรุงจนสามารถเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนที่เป็นที่ยอมรับ (หรือเป็นไปตามมาตรฐาน QS 9000) ได้

ในกรณีที่สายการผลิตมีปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของชิ้นส่วน แผนกควบคุมคุณภาพชิ้นส่วนจะทำการแก้ไขเฉพาะหน้าและป้องกันมิให้เกิดปัญหาเดิมขึ้นได้อีกโดยการพิจารณาแก้ไขสิ่งบกพร่องที่ต้นเหตุ หรือกรณีที่ยังไม่สามารถระบุสาเหตุของปัญหาได้ ก็จะมีการดำเนินการป้องกัน (เช่นตรวจสอบทุกชิ้น (100%) เป็นต้น) โดยทันที

ในส่วนของชิ้นส่วนที่มาจากประเทศญี่ปุ่นนั้น การจัดการปัญหาเรื่องคุณภาพจะได้รับความร่วมมือจากบริษัทแม่ที่ญี่ปุ่น ในการจัดการชิ้นส่วนที่มีปัญหาคุณภาพโดยทันที ชิ้นส่วนที่มีการส่งออกจากประเทศญี่ปุ่นเองมารยังประเทศไทย จะผ่านการรับประกันและรับรองคุณภาพโดยบริษัทผู้ผลิตเองและบริษัทแม่ ดังนั้นจึงเป็นที่วางใจได้ว่าชิ้นส่วนที่ผ่านมาถึงมือลูกค้าได้รับการดูแลมาแล้วระดับหนึ่ง กรณีที่มีปัญหาเกิดขึ้น บริษัทแม่จะเข้ามามีส่วนร่วมอย่างเต็มที่ในการแก้ไข

3.3.6.2 แผนกควบคุมคุณภาพรถยนต์ (VQC)

แผนกนี้จะรับผิดชอบในส่วนของรถยนต์ที่ประกอบสำเร็จแล้ว โดยแผนกจะดำเนินการทดสอบตรวจสอบ และสุ่มตรวจ เพื่อรับประกันคุณภาพของรถยนต์ก่อนส่งมอบให้กับผู้จัดจำหน่ายให้กับลูกค้าในท้องตลาดต่อไป

ส่วนต่างๆ ภายใต้แผนกควบคุมคุณภาพรถยนต์มีหน้าที่ดังต่อไปนี้

1. ส่วนประเมินคุณภาพรถยนต์ (Evaluation Group) มีหน้าที่

1) ประเมินคุณภาพของรถรุ่นใหม่ในเชิงของคุณภาพ (สมรรถนะการขับขี่ (Driving Evaluation), การทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Electrical Part Evaluation) ที่ติดตั้งบนรถยนต์, ชิ้นส่วนภายในและภายนอก (Interior & Exterior Part Evaluation, การประกอบ

2) ท่อและชิ้นส่วนในห้องเครื่องยนต์ (Engine Room Layout), NVH(เสียงรบกวน (Noise), ความสั่นสะเทือน (Vibration) และความแข็งขณะขับขี่ (Harshness) เป็นต้น

3) วิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาที่เกิดขึ้นกับรถยนต์ที่ผลิตออกมาแล้วส่งต่อให้หน่วยงานที่รับผิดชอบดำเนินการแก้ไข และติดตามผลการแก้ไขที่กระทำลงไป

2. ส่วนการทดสอบไอเสียจากรถยนต์ / การตรวจสอบ เพื่อยืนยันความถูกตามกฎหมายบังคับ / การทดสอบเครื่องยนต์ (Emission / Regulations / Engine Test Group) มีหน้าที่

1) ทดสอบเพื่อวัดค่าไอเสียที่ออกมาจากรถยนต์ ทั้งนี้เนื่องจากประเทศต่างๆ ที่บริษัทฯ ได้ส่งรถยนต์จำหน่าย (รวมทั้งประเทศไทย) มีการกำหนดมาตรฐานไอเสียที่ออกมาจากรถยนต์ต่างกันไป ส่วนงานนี้จะทำการทดสอบเพื่อยืนยันมาตรฐานไอเสียตามข้อกำหนดของกฎหมาย

2) ตรวจและวัด ขนาด น้ำหนัก ไฟส่องสว่าง เบรก ความเร็วตามมาตรและข้อกำหนดของกรมการขนส่งทางบก เพื่อยืนยันมาตรฐานของรถยนต์ตามข้อกำหนดในพระราชบัญญัติ กฎกระทรวงต่างๆ

3) ทดสอบเครื่องยนต์เปล่า บนแท่นทดสอบเพื่อวัด กำลังเครื่องยนต์ อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเครื่อง น้ำมันเชื้อเพลิงที่น้ำหนักบรรทุก (จำลอง) ต่างๆ พร้อมทั้งรายงานผลการวัดกำลังเครื่องยนต์ให้กับหน่วยราชการที่เกี่ยวข้องตามประกาศกระทรวง

3. ส่วนการสุ่มตรวจ / การติดตามคุณภาพ / การทดสอบยืนยันคุณภาพด้วยการขับระยะไกล (Audit / Monitoring / PV Test Group) มีหน้าที่

1) สุ่มรถยนต์ที่พร้อมจะส่งมอบให้ลูกค้าเพื่อดำเนินการตรวจสอบและวัดค่าที่กำหนด เป็นค่าควบคุมและอยู่ในระดับคุณภาพ A ในกรณีที่พบข้อบกพร่องจะแจ้งไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและทำการตรวจหาสาเหตุเบื้องต้น หากไม่พบหรือใช้เวลามากจะส่งปัญหา

ต่อไปให้ทางส่วนประเมินคุณภาพรถยนต์เพื่อวิเคราะห์ต่อไป หลังจากนั้นจะแจ้งสาเหตุของปัญหาให้ส่วนที่เกี่ยวข้องทราบและทำการแก้ไขถาวรต่อไป

2) ตรวจติดตามคุณภาพของรถยนต์ที่สำเร็จออกจากสายการผลิตทุกคันก่อนส่งมอบ (Pre-Shipment Inspection; PSI) ให้กับบริษัทจัดส่งรถยนต์ให้ผู้แทนจำหน่าย ทั้งรถที่จำหน่ายภายในและภายนอกประเทศ รายการตรวจจะมีทั้งสภาพภายนอกและอุปกรณ์ที่ติดกับตัวรถยนต์ นอกจากนี้หากมีปัญหาเรื่องคุณภาพ กลุ่มตรวจติดตามจะดำเนินการ

3) การแก้ไขร่วมกับหน่วยงานอื่นๆ เพื่อให้บริษัทฯ สามารถส่งมอบรถยนต์คุณภาพให้กับลูกค้าได้ทันเวลา

4) การทดสอบเพื่อยืนยันคุณภาพด้วยการขับระยะทางไกล (100,000~200,000 กม.) นี้จัดทำเพื่อสามารถตอบคำถามได้ว่าที่สภาพการใช้งานจริงๆ ของลูกค้าและหลังจากรถถูกขับไปเป็นระยะทางไกลจะมีปัญหาใหญ่ๆ เกิดขึ้นหรือไม่ ข้อมูลจากการทดลองสามารถนำไปใช้ปรับปรุงและพัฒนาต่อไป

4. ส่วนวิศวกรรมการตรวจสอบ (Inspection Engineering Group) มีหน้าที่

1) ควบคุมและปรับมาตรฐานใหม่ตามมาตรฐานที่บริษัทมาสด้ากำหนด โดยคงการปรับปรุงฐานข้อมูลของมาตรฐานที่เชื่อมต่อไปถึงเอกสารกำกับการตรวจสอบที่สายการผลิตใช้อยู่จริงในจุดตรวจสอบ

2) ตรวจสอบและยืนยันการเปลี่ยนแปลงทางวิศวกรรม (Engineering Change) ในเชิงของวันที่การเปลี่ยนแปลงมีผลบังคับใช้ รายการที่เปลี่ยนแปลงได้รับการปฏิบัติจริง

3) เก็บรักษาและปรับให้ทันสมัยของแบบ (Drawing) ที่เป็นจุดเริ่มต้นของการผลิต การตรวจสอบ

4) ดูแลข้อมูลทางเทคนิคจำเพาะ (Specification) ของรถ (รถออสเตรเลีย รถไทย รถ ยุโรป มีข้อมูลทางเทคนิคจำเพาะต่างกันออกไป) เพื่อให้รถที่ผลิตออกมาถูกต้องตามข้อมูลทางเทคนิคจำเพาะที่กำหนดตามตลาดต่างๆ

เครื่องมือวัดที่มีใช้อยู่ในแผนกควบคุมคุณภาพรถยนต์ มีดังตัวอย่างเช่น

ห้องทดสอบไอเสีย (Emission Lab)

ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer)

ชุดทดสอบ Noise พร้อมถนนตามมาตรฐาน ISO

NGS Tester

เครื่องตรวจสอบศูนย์ล้อ (Wheel Alignment Tester, HUNTER)

ห้องทดสอบเครื่องยนต์ (Engine Bench Test)

เครื่องวัดอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แบบดิจิตอล(Digital Fuel Consumption Meter).

มาตรวัดรอบเครื่อง (Tacho Meter)

ROLLER TEST MACHINE (BURKE E. PORTER MACHINE; BPM) เป็นต้น

3.3.6.3 แผนกวิศวกรรมคุณภาพ(Quality Engineering) ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ส่วนทดสอบ NOVA-C จะดำเนินการทดสอบรถยนต์โดยคำนึงถึงลูกค้าเป็นหลัก ทั้งนี้โดยคำนึงถึงมาตรฐานของโรงงานเรื่องรองลงไป ทั้งนี้เพื่อจะสะท้อนความรู้สึกและการรับรู้ของลูกค้าเป็นหลักสำคัญ

2. ส่วนระบบคุณภาพ จะดำเนินการเพื่อปรับปรุงและพัฒนาระบบคุณภาพของบริษัทฯ ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ISO 9002, QS 9002, ISO 1400 หรือรางวัลคุณภาพ เช่น Q1 Award เป็นต้น

3. ห้องสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibration Laboratory) ทำหน้าที่ให้บริการสอบเทียบเครื่องมือวัดจากแผนกและฝ่ายต่างๆ

3.4 ที่มาของปัญหาในการวิจัย

ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทนำแล้วว่า บริษัทตัวอย่างนี้เป็นบริษัทที่ให้ความสำคัญต่อความพึงพอใจของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์ของบริษัทเป็นอย่างมาก ในแต่ละปีจะมีการสำรวจความพึงพอใจของลูกค้า เพื่อศึกษาว่าลูกค้าไม่พึงพอใจต่อรถยนต์ที่ผลิตจากบริษัทในด้านใดบ้างเพื่อจะนำข้อมูลนั้นมาเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพ โดยผลจากการสำรวจในปี พ.ศ.2544 พบว่า ปัญหาที่ลูกค้าไม่พึงพอใจสูงสุด 25 อันดับแรกเรียงตามลำดับคะแนนความไม่พึงพอใจดังแสดงในตารางที่ 1.1 (หน้า 3)

หลังจากนั้นปัญหาต่างๆเหล่านี้จะถูกนำไปแก้ไขโดยคณะทำงานปรับปรุงคุณภาพรถ (Vehicle Quality Team : VQT) ซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 10 คณะ โดยแต่ละคณะจะรับผิดชอบปัญหาเฉพาะด้านใดด้านหนึ่งเช่น ปัญหาที่เกิดจากช่วงล่าง ปัญหาที่เกิดจากระบบไฟฟ้า ฯลฯ ประกอบด้วยสมาชิกจากหลายหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง (Cross Functional Team) ทำงานประสานกันโดยมีเป้าหมายเพื่อลดคะแนนความไม่พึงพอใจของลูกค้าต่อปัญหาในขอบเขตความ

รับผิดชอบของคณะของตนให้ได้มากที่สุด กระบวนการแก้ปัญหาจะดำเนินไปในลักษณะการมองปัญหาในรูป Y = f (X) ในเบื้องต้นสมาชิกของ VQT จะพยายามแจกแจงถึงสาเหตุที่อาจเป็นไปได้ของปัญหาโดยอาศัยประสบการณ์ ความรู้ของแต่ละคน หลังจากนั้นทั้งทีมจะพิจารณาร่วมกันเพื่อตัดบางสาเหตุที่มีความเกี่ยวข้องต่อปัญหาน้อยออกไป จากนั้นสาเหตุที่ไม่ถูกตัดออกจะถูกนำไปพิจารณาโดยละเอียด หาข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อหาข้อสรุปว่าสาเหตุที่ทีมระบุมาในเบื้องต้นนั้นเป็นที่มาของปัญหาจริงหรือไม่ แล้วหาวิธีแก้ไขต่อไป

ปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติ (Unusual Engine Noise)

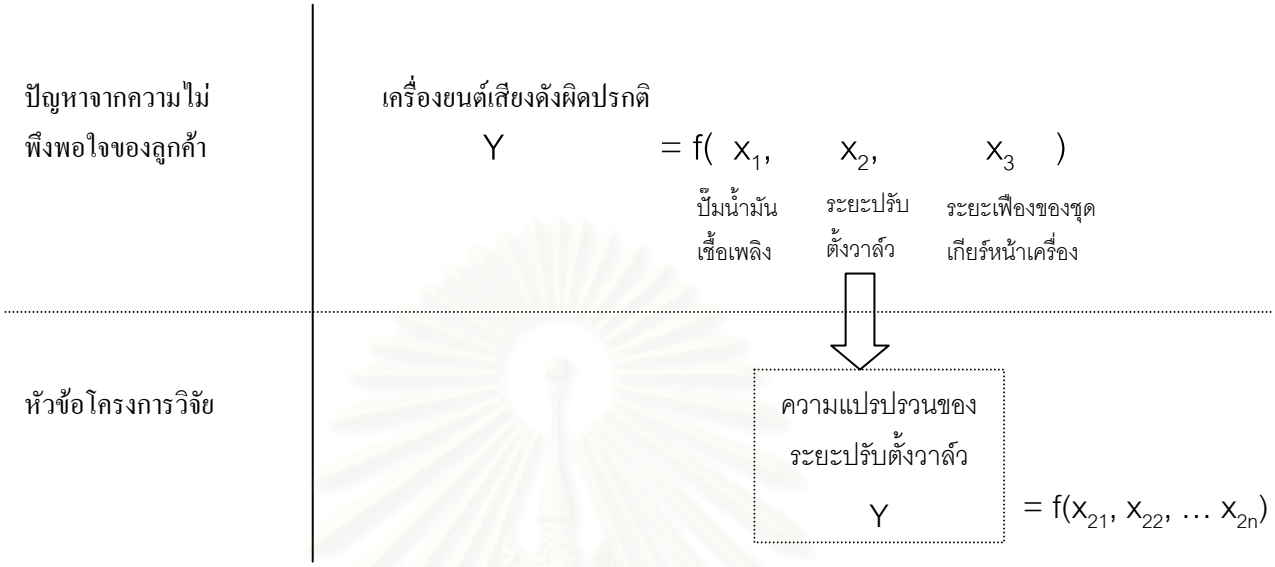
เป็นปัญหาที่มีคะแนนความไม่พอใจของลูกค้าอยู่ในอันดับที่ 17 โดยปัญหาดังกล่าวนี้ถูกจัดให้อยู่ในความรับผิดชอบของ VQT 4F ซึ่งเป็นคณะทำงานที่ดูแลปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์และระบบส่งกำลัง ในกรณีปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกตินี้ สาเหตุที่อาจเป็นไปได้ที่ทีมได้พิจารณาในเบื้องต้นแล้วประกอบไปด้วย

1 ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Injection Pump)
2 ระยะวาล์ว (Valve Clearance)
3 ระยะเฟืองของชุดเกียร์หน้าเครื่อง (Gear Backlash)

ปัญหาที่เลือกมาทำการวิจัยในครั้งนี้เป็นสาเหตุที่อาจเป็นไปได้ประการหนึ่งของปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติ นั่นก็คือ **ระยะวาล์วของเครื่องยนต์ไม่เหมาะสม** เหตุผลที่เลือกสาเหตุข้อนี้เนื่องจากมีแนวโน้มที่จะเกิดจากความแปรผันในกระบวนการ ไม่ใช่เกิดจากการข้อบกพร่องในการออกแบบ หรือ ปัญหาคุณภาพของชิ้นส่วน ซึ่งเหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์และแก้ไขด้วยวิธีการของ 6-Sigma อย่างไรก็ดีในขณะเดียวกัน สาเหตุที่อาจเป็นไปได้อื่นๆที่เหลือของปัญหานี้ก็จะถูกทีม VQT 4F นำไปพิจารณาหาวิธีแก้ไขด้วย ซึ่งท้ายที่สุดผลจากการปรับปรุงแก้ไขแต่ละสาเหตุย่อยของปัญหาก็จะประกอบกันทำให้สามารถลดปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติลงได้

โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและสาเหตุจากสมมติฐานของทีมงานในรูป Y ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ X ได้ดังนี้

รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและสาเหตุในรูปของฟังก์ชัน



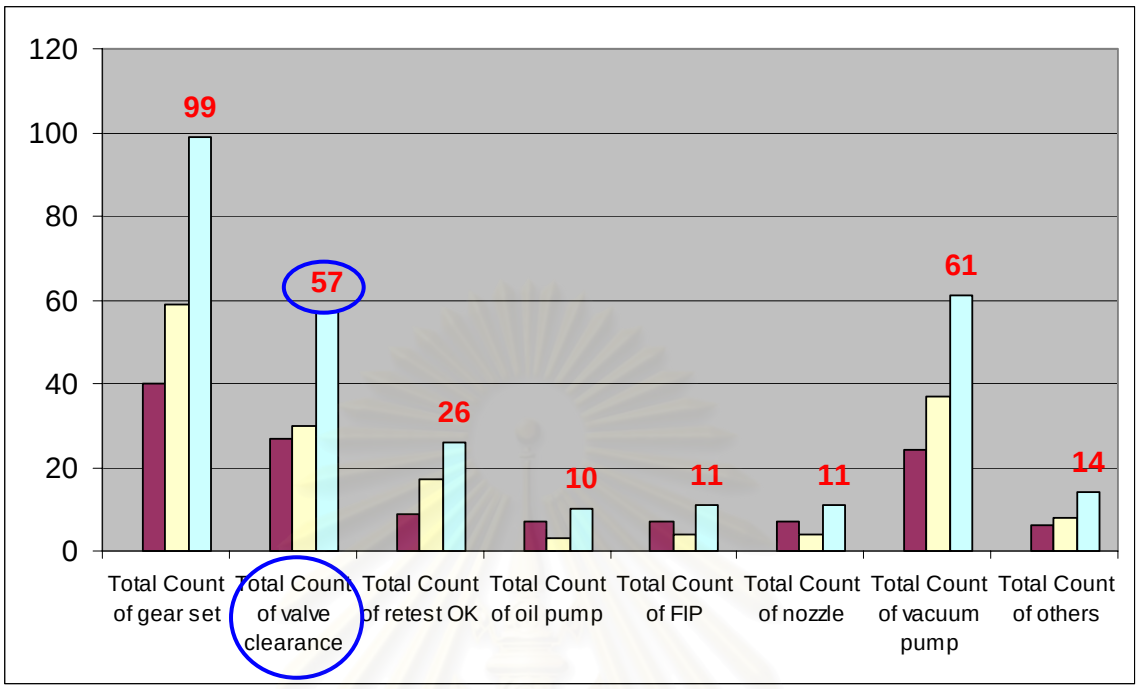
เพื่อเป็นการทบทวนว่าหัวข้อที่ถูกเลือกมานี้มีความเหมาะสมที่จะทำเป็นโครงการ 6-Sigma หรือไม่ ทีมงานควรต้องตอบคำถามต่อไปนี้ก่อนที่จะเริ่มลงมือดำเนินการ

คำถาม 1 : ปัญหานี้เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นซ้ำ ใช่หรือไม่

ตอบ : ใช่ จากข้อมูลของฝ่ายประกอบเครื่องยนต์พบว่าตลอดปี พ.ศ.2544 มีปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติที่ถูกตรวจจับได้ในขั้นตอนการทดลองเดินเครื่องหลังจากประกอบเสร็จ (Firing test) จำนวน 289 ปัญหา ซึ่งในจำนวนนี้มี 57 ปัญหาที่พนักงานวินิจฉัยว่าเกิดจากระยะวาล์วไม่เหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 3.4 จำนวนปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติและสาเหตุ ปี พ.ศ. 2544



คำถาม 2 : โครงการมีขอบเขตเหมาะสมหรือไม่

ตอบ : ใช่ โครงการมีขอบเขตที่ไม่กว้างเกินไป โดยในขั้นนี้จะกำหนดขอบเขตเฉพาะเรื่องความแปรปรวนของระยะปรับตั้งวาล์วอันเป็นสาเหตุหนึ่งของปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติเท่านั้น ซึ่งน่าจะสามารถสำเร็จได้ภายใน 4-6 เดือน และขอบเขตก็ไม่แคบเกินไปคือเมื่อสำเร็จแล้วก็จะมีส่วนช่วยลดปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติลงได้อย่างชัดเจน

คำถาม 3 : มีตัววัด (Metric) อยู่แล้วหรือไม่ ถ้าหากไม่มีสามารถสร้างวิธีการวัดขึ้นมาในช่วงเวลาที่เหมาะสมหรือไม่

ตอบ : สำหรับโครงการนี้จะใช้ตัววัดผล 2 แบบ

1. ตัววัดผลหลัก (1st Metric) คือ สัดส่วนของเสียของการปรับตั้งวาล์วกล่าวคือ ระยะปรับตั้งวาล์วที่ไม่เป็นไปตามสเปคที่ระบุไว้ ฝ่ายประกอบเครื่องยนต์ได้ทำการสุ่มตรวจสอบเป็นประจำอยู่แล้ว
2. ตัววัดผลรอง (2nd Metric) คือ จำนวนการเกิดปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติอันเนื่องมาจากระยะปรับตั้งวาล์วไม่เหมาะสม ซึ่งตรวจจับได้ในการ

ทดลองเดินเครื่องหลังจากประกอบเสร็จเป็นหารตรวจสอบ 100% เพื่อดูว่าผลการปรับปรุงช่วยลดปัญหาได้จริงหรือไม่

คำถาม 4 : มีอำนาจหน้าที่ในการควบคุมกระบวนการหรือไม่

ตอบ : กระบวนการที่สนใจนี้เป็นกระบวนการภายในฝ่ายประกอบเครื่องยนต์ ซึ่งจะต้องเชิญพนักงานในฝ่ายมาร่วมเป็นทีมงาน รวมทั้งเชิญผู้บริหารฝ่ายมาเป็นโปรเจคท์แชมเปี้ยน เพื่อให้ทีมงานมีอำนาจหน้าที่ ตลอดจน เครื่องมืออุปกรณ์ที่จำเป็นในการดำเนินโครงการ

คำถาม 5 : โครงการมีส่วนช่วยปรับปรุงความพึงพอใจของลูกค้าใช่หรือไม่

ตอบ : ใช่ ถ้าหากสามารถลดความแปรปรวนในการปรับตั้งวาล์วได้สำเร็จก็จะมีส่วนช่วยลดปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติลงได้ และเป็นการเพิ่มความพึงพอใจให้กับลูกค้า

เมื่อสามารถตอบปัญหาทุกข้อข้างต้นได้ ทำให้แน่ใจว่าหัวข้อโครงการที่เลือกมานี้มีความเหมาะสมที่จะนำมาทำการวิจัย และปรับปรุงแก้ไขโดยวิธีการของ 6-Sigma

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การดำเนินการศึกษาและปรับปรุง

4.1 ขั้นตอนการแจกแจงปัญหา (Define Phase)

จากบทที่ 3 เมื่อสรุปได้ว่าหัวข้อที่เลือกมา มีความเหมาะสมที่จะนำมาปรับปรุงโดยใช้วิธีการของ 6-Sigma แล้วเราก็เริ่มดำเนินการโดยเข้าสู่ขั้นตอนแรกของกระบวนการ 6-Sigma นั่นคือขั้นตอนการแจกแจงปัญหา

4.1.1 จัดตั้งทีมงาน

หลักการของ 6-Sigma เน้นการทำงานเป็นทีม เมื่อผสมผสานความรู้ ทักษะ และมุมมองที่หลายหลายเข้าด้วยกัน ซึ่งจะทำให้สามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการทำงานเพียงลำพัง อย่างไรก็ดีทีมงานควรประกอบด้วยสมาชิกเท่าที่จำเป็นและไม่มากเกินไปเพื่อความคล่องตัวในการทำงาน สำหรับโครงการนี้ ผู้ทำการวิจัยได้จัดตั้งทีมงานที่ประกอบด้วยผู้เกี่ยวข้องจากส่วนต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ทีมงานในการวิจัย

ทีมงาน และตำแหน่ง	บทบาทในทีม
1. แบล็คเบลท์ (ผู้ทำการวิจัย)	1.นำทีมในการระดมสมองเพื่อหาแนวทางการดำเนินงาน 2.กำหนดเป้าหมาย และวิธีวัดผลการวิจัย 3.วิเคราะห์ระบบการวัดเดิม และพัฒนาระบบการวัดแบบใหม่ 4.วางแผนการเก็บข้อมูล และร่วมเก็บข้อมูล 5.วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำเสนอต่อทีมและผู้บริหาร 6.ออกแบบและควบคุมการทดลอง ตลอดจนจัดหาอุปกรณ์เพื่อทดลองในขั้นตอนการปรับปรุง 7.ติดตามผลหลังจากการปรับปรุงเพื่อวัดผลว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ 8.สรุปผลการวิจัย 9.ประสานงานกับสมาชิกในทีม เพื่อให้งานดำเนินไปตามระยะเวลาที่กำหนด

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ทีมงาน และตำแหน่ง	บทบาทในทีม
3. ผู้ช่วยผู้จัดการ ฝ่ายประกอบเครื่องยนต์ 4. ซุปเปอร์ไวเซอร์ ฝ่ายประกอบเครื่องยนต์	สมาชิกทีม 1.ดำเนินการในส่วนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการในสายการผลิตเครื่องยนต์ 2.ร่วมให้ข้อคิดเห็นในการประชุมทีม
5.วิศวกรอาวุโส ฝ่ายวิศวกรรมส่วนการผลิตเครื่องยนต์	สมาชิกทีม 1.ดำเนินการในส่วนที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมการผลิต เช่น เครื่องจักร อุปกรณ์ มาตรฐานการทำงาน 2.ร่วมให้ข้อคิดเห็นในการประชุมทีม
6. วิศวกร ฝ่าย Plant Vehicle Team	สมาชิกทีม 1.จัดหาข้อมูลที่เกี่ยวกับการออกแบบสเปคของชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้อง 2.จัดหาข้อมูลความไม่พึงพอใจของลูกค้า 3.ร่วมให้ข้อคิดเห็นในการประชุมทีม

4.1.2 กำหนดคำจำกัดความของปัญหา (Problem Statement)

"ความแปรปรวนของระยะวาล์ว คือ สาเหตุประการหนึ่งของ อาการเครื่องยนต์มีเสียงดังผิดปรกติ ส่งผลให้ลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจ โดยจากการสำรวจในปี 2544 พบว่ามีคะแนนความไม่พึงพอใจเท่ากับ 43 คะแนน อีกทั้งยังทำให้เกิดความสิ้นเปลืองในการซ่อมงาน (rework)"

4.1.3 ระบุถึงลูกค้าและสิ่งที่ลูกค้าคาดหวัง (Critical To Quality characteristics : CTQ)

สำหรับโครงการนี้ทีมงานได้ระบุว่าลูกค้า คือผู้ที่ขับหรือโดยสารรถที่ผลิตโดยบริษัท โดยสิ่งที่ลูกค้าคาดหวังคือ เครื่องยนต์ควรทำงานโดยปราศจากเสียงดังผิดปรกติใดๆ

4.1.4 ขอบเขตของโครงการ

ขอบเขตของการศึกษาวิจัยในโครงการนี้ จะกำหนดไว้ที่ กระบวนการปรับตั้งวาล์วในสายการประกอบฝาสูบ สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลทุกรุ่น เนื่องจากทุกเครื่องยนต์ดีเซลจะต้องผ่านกระบวนการปรับตั้งวาล์วนี้ ซึ่งมีวิธีการทำงานเหมือนกันหมดสำหรับทุกรุ่น

สำหรับเครื่องยนต์เบนซินนั้น ทางบริษัทไม่ได้ประกอบเอง แต่ใช้วิธีนำเข้าเครื่องยนต์สำเร็จรูปมาจากต่างประเทศ จึงไม่ได้รวมอยู่ในขอบเขตของการวิจัยครั้งนี้ด้วย

4.1.5 **คำจำกัดความของ “ของเสีย”**

“ของเสีย” สำหรับโครงการนี้หมายถึง ระยะวาล์วที่ไม่เป็นไปตามสเปคที่กำหนด

จากความรู้ของทีมงานและการตรวจจับปัญหาในอดีตด้วยการฟังเสียงเครื่องยนต์ขณะทดสอบเดินเครื่องซึ่งเป็นการทดสอบ 100% ทำให้ทราบว่าปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติอันเนื่องมาจากระยะปรับตั้งวาล์วไม่เหมาะสมนั้นจะเกิดจาก “วาล์วห่าง” นั่นคือระยะวาล์วกว้างกว่าสเปคด้านบนเท่านั้น ส่วน “วาล์วชิด” หรือระยะวาล์วที่แคบกว่าสเปคด้านล่างนั้นไม่ก่อให้เกิดปัญหานี้ แต่จะมีส่วนทำให้เกิดปัญหาเกียวกับความทนทาน ความสึกหรอของเครื่องยนต์หลังจากใช้งานไปเป็นเวลานาน ซึ่งไม่สามารถตรวจจับปัญหาได้ด้วยการทดสอบเดินเครื่องยนต์หลังจากประกอบเสร็จ

อย่างไรก็ดี โครงการนี้มุ่งที่จะแก้ปัญหาอันเกิดจากระยะปรับตั้งวาล์วที่เป็น”ของเสีย”ทั้ง 2 ลักษณะที่กล่าวมา

4.1.6 **ตัววัดผล** (Metric)

อัตราส่วนของเสียของระยะวาล์วเทียบต่อล้านส่วน (PPM)

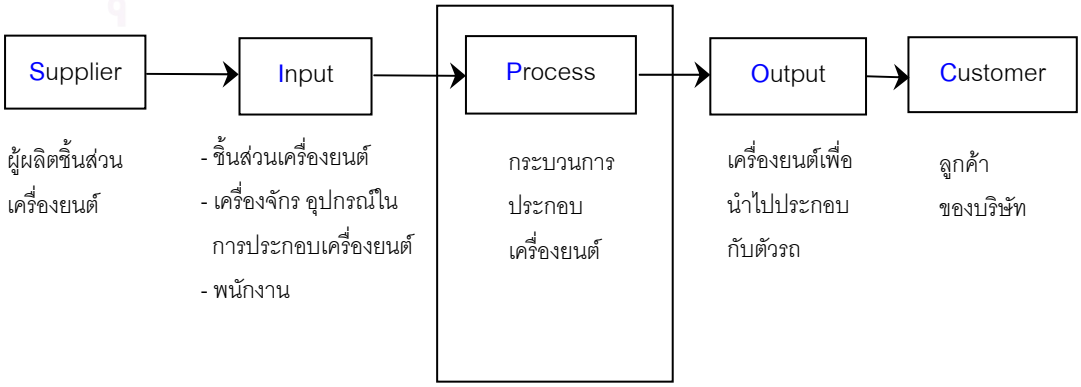
4.1.7 **วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

เพื่อลดความแปรปรวนของระยะวาล์ว ทำให้อัตราส่วนของเสียลดลงด้วย

4.1.8 **กำหนดขอบเขตกระบวนการที่เกี่ยวข้อง**

ขั้นแรกทำการกำหนดขอบเขตกระบวนการที่เกี่ยวข้องขั้นต้น (SIPOC) ก่อนเพื่อดูภาพรวมว่าปัญหาที่ทำให้ลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจนั้นน่าจะเกิดมาจากกระบวนการใด และปัญหาสามารถไปสู่ลูกค้าได้อย่างไร

รูปที่ 4.1 ขอบเขตกระบวนการขั้นต้นของปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติ

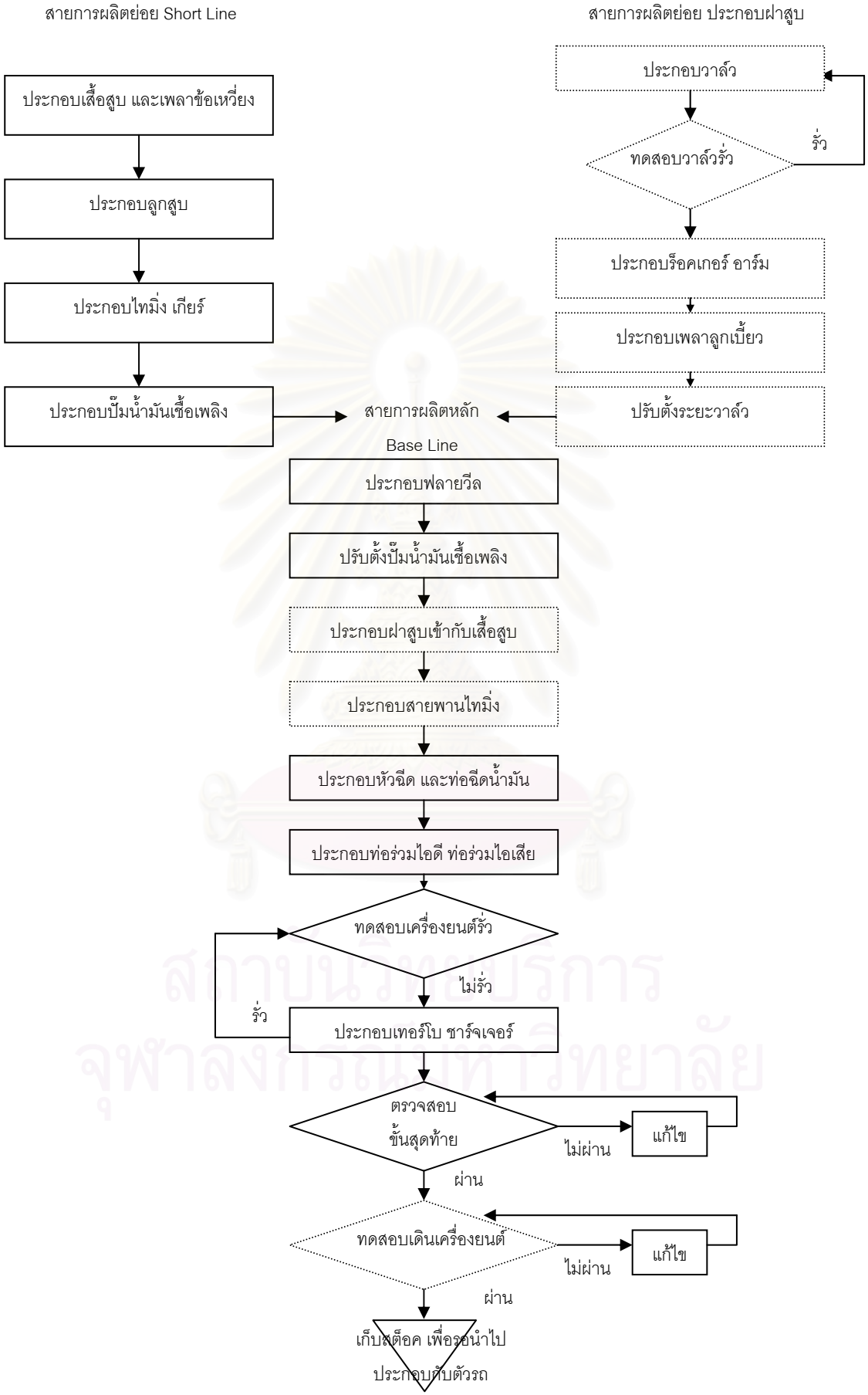


ในที่นี้ทีมงานมุ่งความสนใจไปที่กระบวนการประกอบเครื่องยนต์ จากนั้นทำการศึกษาลงไปในรายละเอียดของขั้นตอนการประกอบเครื่องยนต์พบว่า ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

เมื่อพิจารณาทุกขั้นตอนย่อยในกระบวนการประกอบเครื่องยนต์แล้ว ทีมงานมีความเห็นว่าขั้นตอนที่อาจส่งผลกระทบต่อระยะปรับตั้งวาล์ว คือ ขั้นตอนที่อยู่ภายในกรอบเส้นประในรูปที่ 4.2 เท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.2 ขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการประกอบเครื่องยนต์



4.2 **ขั้นตอนการวัด** (Measure Phase)

เมื่อทราบขอบเขตกระบวนการที่เกี่ยวข้องแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการกลั่นกรองว่าอินพุทตัวใดบ้างจากจำนวนอินพุททั้งหมดที่เข้าสู่แต่ละกระบวนการย่อยๆ เป็นอินพุทที่มีผลกระทบต่อสิ่งที่เราสนใจนั่นก็คือระยะวาล์ว

ในขั้นนี้เครื่องมือชนิดแรกที่ทีมงานใช้เพื่อกลั่นกรองอินพุททั้งหมด คือ ตารางสาเหตุและผลกระทบ (Cause & Effect Matrix) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยนำกระบวนการในเส้นประจากรูปที่ 4.2 มาพิจารณาว่า เอาท์พุทของแต่ละขั้นตอนย่อยๆ คือ อะไร และให้คะแนนว่า เอาท์พุทเหล่านั้นมีความสำคัญต่อลูกค้า(ในที่นี้ คือ ปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติ) อย่างไร จากนั้นพิจารณาอินพุทของแต่ละกระบวนการว่ามีผลกระทบต่อเอาท์พุทย่อยๆ แต่ละตัวอย่างไร ซึ่งวิธีนี้ก็คือ การหาความสัมพันธ์ในรูปฟังก์ชันระหว่างปัญหาของลูกค้า (Y) กับอินพุทแต่ละตัว (Xs) นั่นเอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ตารางสาเหตุและผลกระทบ (Cause & Effect Matrix)

คะแนนความสำคัญต่อลูกค้า (ปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติ)		1	1	4	7	7	10	10	1	4		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
กระบวนการ	อินพุท / เอาท์พุท	Valve Assy	Valve Shoulder	Comp. Assy 1	Comp. Assy 2	Comp. Assy 3	C/H Completed	Partial E/G 1	Partial E/G 2	E/G Completed	**รวม**	Rank
ประกอบวาล์ว	วาล์ว	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	ฝาสูบ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	น้ำมันเครื่อง	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	พนักงาน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ทดสอบวาล์วรั่ว	เครื่องทดสอบวาล์วรั่ว	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	พนักงาน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ประกอบร็อคเกอร์อาร์ม	**ร็อคเกอร์ อาร์ม**	0	0	0	0	0	7	0	0	0	70	2
	น้ำมันเครื่อง	0	0	0	0	0	1	0	0	0	10	
	พนักงาน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ประกอบเพลาลูกเบี้ยว	เพลาลูกเบี้ยว	0	0	0	0	0	1	0	0	0	10	
	เครื่องขันฝาเพลาลูกเบี้ยว	0	0	0	0	0	4	0	0	0	40	3
	ล็อคไทท์	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	น้ำมันเครื่อง	0	0	0	0	0	1	0	0	0	10	
	พนักงาน	0	0	0	0	0	1	0	0	0	10	
ปรับตั้งระยะวาล์ว	**ฟีลเลอร์ เกจ**	0	0	0	0	0	10	0	0	0	100	1
	ไขควง	0	0	0	0	0	1	0	0	0	10	
	ประแจขันทอร์ค	0	0	0	0	0	1	0	0	0	10	
	ก้านหมุนเพลาลูกเบี้ยว	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	อุณหภูมิ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	พนักงาน	0	0	0	0	0	10	0	0	0	100	1
ประกอบฝาสูบเข้ากับเสื้อสูบ	**เครื่องขันโบลท์ฝาสูบ**	0	0	0	0	0	0	4	0	0	40	3
	ปะเก็น	0	0	0	0	0	0	4	0	0	40	3
	โบลท์	0	0	0	0	0	0	4	0	0	40	3
	ซีลเลอร์	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	น้ำมันเครื่อง	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	อุณหภูมิ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	พนักงาน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ประกอบสายพานไทมิ่ง	สายพานไทมิ่ง	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
	พุชเกจ	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
	เครื่องฟรีเควนเซอร์	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
	พนักงาน	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
ทดสอบเดินเครื่องยนต์	แท่นทดสอบ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	น้ำมันเชื้อเพลิง	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	น้ำ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	น้ำมันเครื่อง	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	
	อุณหภูมิ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	
	พนักงาน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

เมื่อทีมลงคะแนนในช่องต่างๆ ครบแล้ว ทำการรวมคะแนนโดยอินพุทตัวใดมีคะแนนสูง แสดงว่าเป็นตัวที่มีผลกระทบต่อปัญหาของลูกค้ามาก จากนั้นเรียงลำดับตามคะแนนจากมากไปน้อย แล้วนำอินพุทที่มีคะแนนสูงสุด 3 ลำดับแรกไปวิเคราะห์ต่อไปด้วย การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) เพื่อกลั่นกรองอีกชั้นหนึ่ง ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งผลจากการวิเคราะห์สรุปได้ว่าอินพุทที่มีผลกระทบต่อปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติอย่างมาก และควรต้องทำการปรับปรุงก่อน คือ พนักงานผู้ปรับตั้งระยะวาล์ว และ ฟีลเลอร์เกจ เนื่องจากเป็นรายการที่มีค่า Risk Priority Number (RPN) สูง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Modes and Effects Analysis : FMEA)

กระบวนการ	ข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น	ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น	SEV	สาเหตุที่เป็นไปได้	OCC	วิธีการควบคุมในปัจจุบัน	DET	RPN	แนวทางการแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ
ปรับตั้งระยะวาล์ว	ฟีลเลอร์เกจหนาเกินไป	ระยะวาล์วกว้างเกินไป	8	เลือกขนาดใบเกจผิด	1	มีค่าความหนาระบุบนกล่องบรรจุ	6	48		
		- เสียงวาล์วดัง (4) - เครื่องยนต์กำลังตก (2) - ร็อคเกอร์อาร์มหลุด ทำให้เครื่องยนต์เสียหาย (8)		ผู้ผลิตส่งเกจที่มีความหนาผิดสเปค	1	ตรวจสอบและรับรองโดยผู้ผลิต	3	24		
	ฟีลเลอร์เกจบิดเบี้ยว เสียรูป	↑	8	ตกกระแทกพื้น	1	โดยความรู้สึกของพนักงาน	6	48		
	ฟีลเลอร์เกจบางเกินไป	ระยะวาล์วแคบเกินไป	2	เลือกขนาดใบเกจผิด	1	มีค่าความหนาระบุบนกล่องบรรจุ	6	12		
		- ความทนทานของบ่าวาล์วลดลง (2)		ผู้ผลิตส่งเกจที่มีความหนาผิดสเปค	1	ตรวจสอบและรับรองโดยผู้ผลิต	3	6		
	ฟีลเลอร์เกจลึก	↑	2	ใช้งานนานเกินไป	7	การสอบเทียบ	4	56	1) เพิ่มความถี่การสอบเทียบ 2) หาอายุการใช้งานที่เหมาะสม	ฝ่ายประกอบเครื่องยนต์
	พนักงานปรับตั้งระยะวาล์วกว้างหรือแคบเกินไป	ระยะวาล์วกว้างเกินไป (8) ระยะวาล์วแคบเกินไป (2)	8	ง่วงนอน	8 2	บันทึกการฝึกอบรม (2) สุ่มตรวจวิธีการทำงาน (2)		128 32	1) หาอุปกรณ์มาช่วยในการทำงานให้ง่ายและเที่ยงตรงขึ้น 2) ทำสัญลักษณ์แยกแยะระหว่างด้านไอดีและไอเสีย	ฝ่ายประกอบเครื่องยนต์
				ลืมตั้งวาล์ว	1	สุ่มตรวจสอบระยะวาล์ว (6)	2	48		
				ใช้ฟีลเลอร์เกจผิดด้าน	6	ทดสอบเดินเครื่อง (2)		96		
				รีบ	5	ตรวจเสียงเครื่องหลังประกอบกับรถ (6)		80		
	ร็อคเกอร์อาร์ม หัก	เครื่องยนต์เสียหาย	8	คุณภาพร็อคเกอร์อาร์มไม่ดี	1	พนักงานตรวจสอบด้วยสายตา (9)	2	16		
	ร็อคเกอร์อาร์ม หลุดจากฝาสูบ			คุณภาพเพลาลูกเบี้ยวไม่ดี	1	ตรวจสอบโดยผู้ผลิต (2)		16		
				ร็อคเกอร์อาร์มหล่นก่อนนำมาประกอบ	1	มาตรฐานการทำงานไม่อนุญาตให้ใช้ชิ้นงานที่หล่น	1	8		
ประกอบเพลาลูกเบี้ยว	ค่าทอร์คของเครื่องขันฝาเพลาลูกเบี้ยวผิดสเปค	ขันไม่แน่น (6) เจอร์นัลของลูกเบี้ยวไหม้ (6)	6	เครื่องจักรผิดปรกติ	1	มีการสุ่มตรวจสอบค่าทอร์ค (6) การสอบเทียบเครื่องจักร (2)	2	12		
ประกอบฝาสูบกับ เสื้อสูบ	ค่าทอร์คของเครื่องขันโบล์ทฝาสูบผิดสเปค	ระยะวาล์วกว้างเกินไป (8) ระยะวาล์วแคบเกินไป (2)	8	เครื่องจักรผิดปรกติ	1	มีการสุ่มตรวจสอบค่าทอร์ค (6) การสอบเทียบเครื่องจักร (2)	2	16		
				การยุบตัวของแต่ละชิ้นส่วน	2	สุ่มตรวจสอบระยะวาล์ว (6)	6	96*		
	ความหนาปะเก็นฝาสูบผิดสเปค	ระยะวาล์วกว้างเกินไป (8) ระยะวาล์วแคบเกินไป (2)	8	คุณภาพชิ้นส่วนไม่ดี	1	ตรวจสอบโดยผู้ผลิต	2	16		
	ค่าความแข็งแรงโบล์ทฝาสูบผิดสเปค	ระยะวาล์วกว้างเกินไป (8) ระยะวาล์วแคบเกินไป (2)	8	คุณภาพชิ้นส่วนไม่ดี	1	ตรวจสอบโดยผู้ผลิต	2	16		

* หมายเหตุ ไม่ได้ระบุแนวทางแก้ไขในที่นี้ เนื่องจากการยุบตัวของแต่ละชิ้นส่วนนั้น มีรูปแบบการเกิดที่ซับซ้อนและอยู่นอกเหนือขีดความสามารถของทีมงานที่จะอธิบายหรือแก้ไขได้

จากขั้นตอนการแจกแจงปัญหา ทางทีมงานได้กำหนดนิยามของ ของเสียว่า คือ ระยะวาล์วที่ไม่เป็นไปตามสเปคที่กำหนด ดังนั้นในขั้นตอนการวัด เราจึงสนใจว่าจะวัดค่าของระยะวาล์วอย่างไร

โดยปรกติทางแผนกประกอบเครื่องยนต์ได้มีการสุ่มตรวจสอบระยะวาล์วอยู่แล้ว ซึ่งมีจุดในการตรวจวัดและความถี่ในการสุ่ม ดังนี้

จุดที่ 1 หลังขั้นตอนการปรับตั้งวาล์วที่สายการประกอบฝาสูบ ทำการสุ่มตรวจสอบจำนวน 1 ฝาสูบต่อ 1 กะ ซึ่งข้อมูลจากการตรวจสอบ ณ จุดนี้เรียกว่า “Sub”

(หมายเหตุ ก) ใน 1 ฝาสูบประกอบด้วย 8 วาล์วไอดี และ 4 วาล์วไอเสีย

ข) ปัจจุบันมีการผลิต 2 กะ แบ่งเป็นกะ A และกะ B)

จุดที่ 2 หลังขั้นตอนการประกอบฝาสูบรวมกับเสื้อสูบกลายเป็นเครื่องยนต์ที่ Base Line แล้ว ทำการสุ่มตรวจสอบจำนวน 1 เครื่องยนต์ต่อ 1 กะ ข้อมูลจากการตรวจสอบ ณ จุดนี้เรียกว่า “Base”

จุดที่ 3 หลังการทดสอบเดินเครื่องยนต์ (Firing test) เครื่องยนต์จะถูกสุ่มเลือกออกมาจำนวน 1 เครื่องต่อวัน เพื่อทำการถอดแยกและวัดค่าต่างๆ เพื่อเก็บเป็นข้อมูลไว้ จากนั้นก็ทำการประกอบกลับเข้าไปและนำไปผ่าน Firing test อีกครั้ง และจัดเก็บเพื่อรอนำไปประกอบกับตัวรถต่อไป ข้อมูลจากการตรวจสอบ ณ จุดนี้เรียกว่า “Firing”

ทั้ง 3 จุด จะทำการตรวจสอบระยะปรับตั้งวาล์วทั้งด้านวาล์วไอดี และวาล์วไอเสียโดยมีค่าสเปคของวาล์วแต่ละประเภทในแต่ละจุดตรวจสอบ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 ค่าสเปคระยะวาล์วสำหรับแต่ละจุดตรวจสอบ

	วาล์วไอดี	**วาล์วไอเสีย**
จุดที่ 1 “Sub”	0.12 ± 0.05	0.24 ± 0.05
จุดที่ 2 “Base”	0.10 ± 0.05	0.20 ± 0.05
จุดที่ 3 “Firing”	0.10 ± 0.05	0.20 ± 0.05

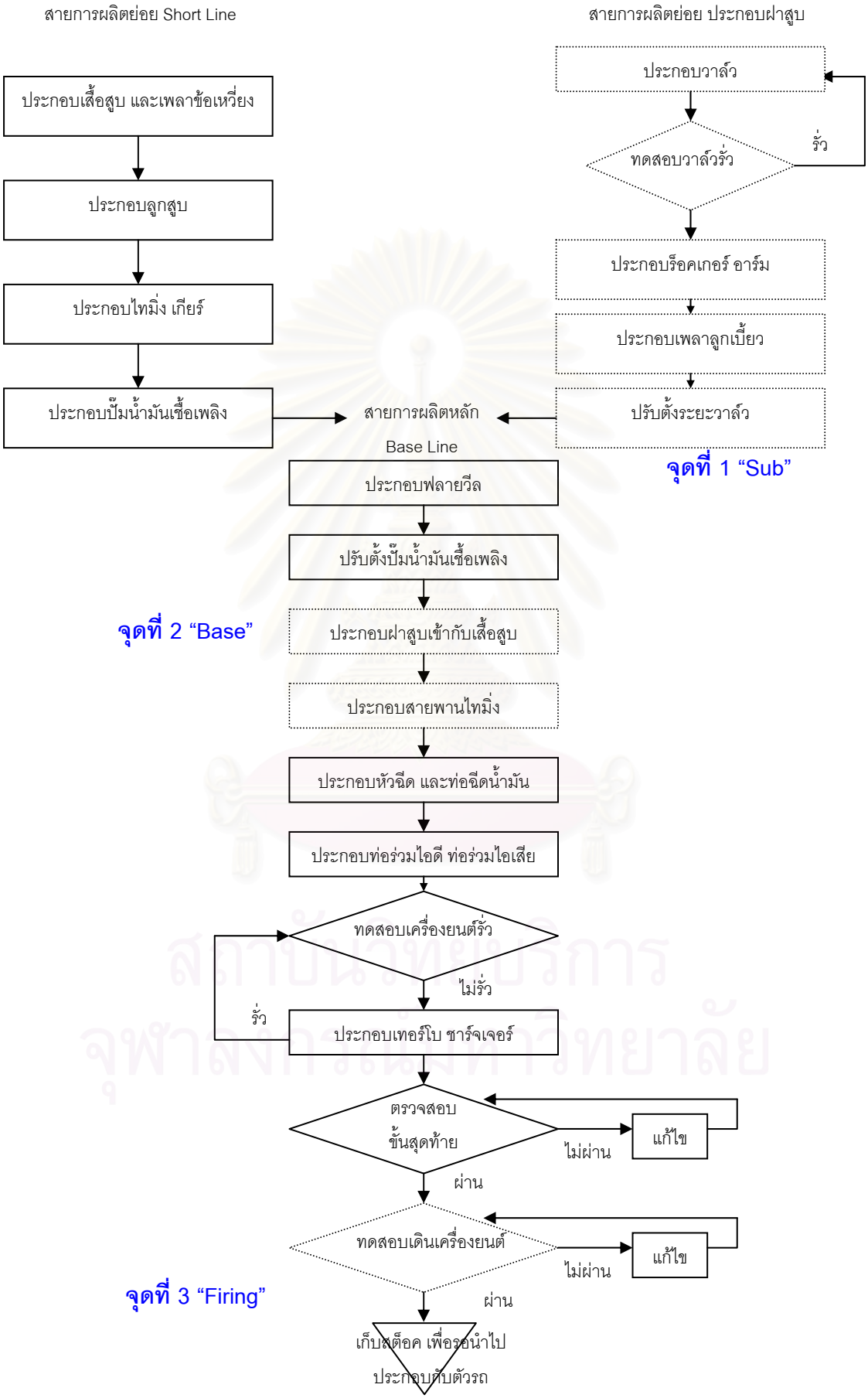
หน่วยเป็น มิลลิเมตร

วิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบ คือ ใช้ชุดฟีลเลอร์เกจ (Feeler gage set) ที่แต่ละใบมีความหนาแตกต่างกัน โดยใบที่บางที่สุดมีความหนา 0.03 มม. พนักงานจะสอดใบฟีลเลอร์เกจ เข้าไปในช่องระยะปรับตั้งวาล์ว โดยปรับเปลี่ยนความหนาไปจนกระทั่งรู้สึกว่าฟีลเลอร์เกจที่สอดเข้าไปนั้นไม่หลวมหรือคับเกินไป ทั้งนี้อาจเกิดจากการรวมกันของฟีลเลอร์เกจ มากกว่า 1 ใบก็ได้ จากนั้นนำความหนารวมของฟีลเลอร์เกจนั้นมาบันทึกเป็นค่าระยะปรับตั้งวาล์ว โดยมีทศนิยม 2 ตำแหน่ง

รูปที่ 4.3 ชุดฟีลเลอร์เกจ สำหรับสุ่มตรวจสอบระยะวาล์ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.4 จุดตรวจสอบระยะวาล์วบนสายการประกอบเครื่องยนต์



4.2.1 วิเคราะห์ระบบการวัด

ก่อนที่จะนำข้อมูลระยะปรับตั้งวาล์วที่มีการเก็บบันทึกอยู่แล้วไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) เราจะต้องทำการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis) ก่อนเพื่อดูว่าข้อมูลระยะวาล์วจากวิธีการวัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นเชื่อถือได้มากน้อยเพียงใด

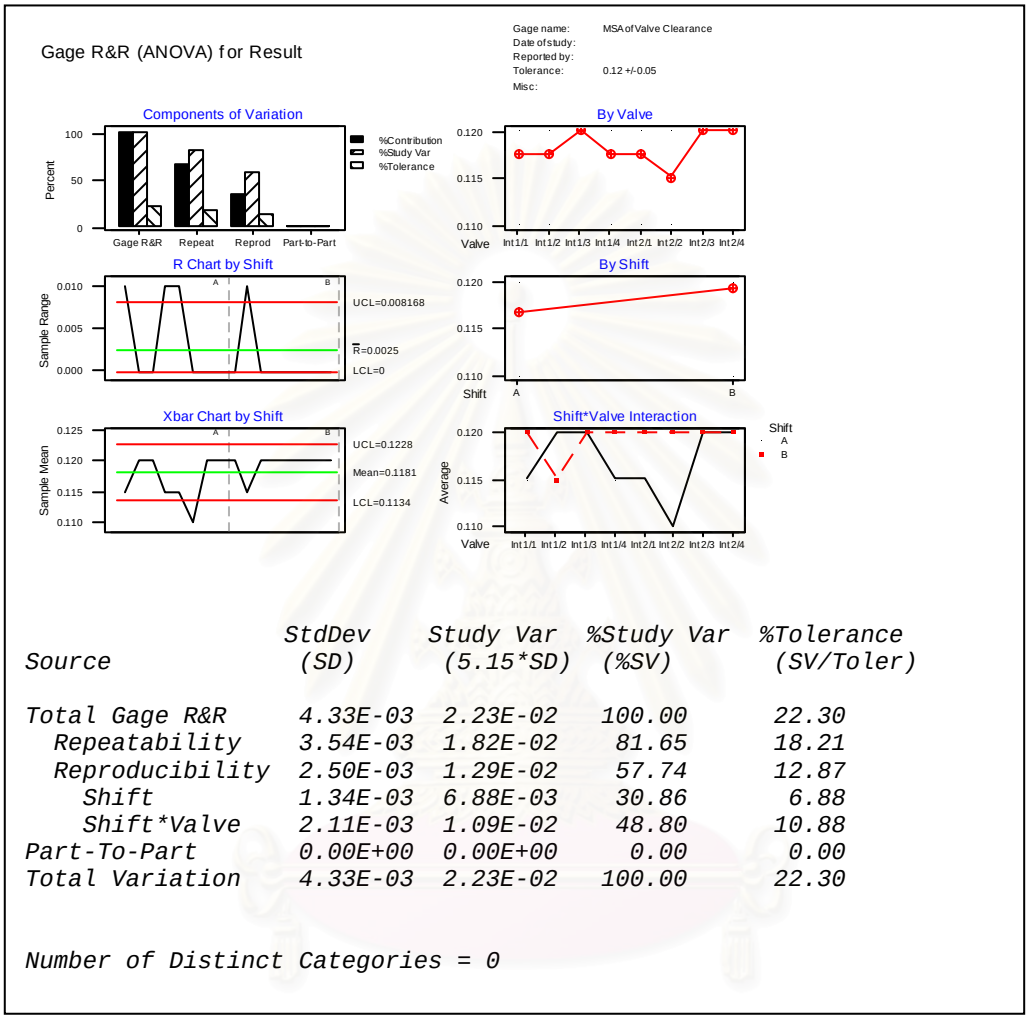
ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดในปัจจุบันด้วยวิธี Gage R&R โดยให้พนักงาน 1 คนจากกะ A และอีก 1 คน จากกะ B ตรวจวัดระยะปรับตั้งวาล์วของวาล์วไอดี 8 วาล์วและวาล์วไอเสีย 4 วาล์วทำการวัดซ้ำคนละ 2 ครั้ง ซึ่งได้ผลการตรวจวัด ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลการวิเคราะห์ระบบการวัดระยะวาล์วแบบเดิม

		พนักงานกะ A		**พนักงานกะ B**	
		วัดครั้งที่ 1	**วัดครั้งที่ 2**	**วัดครั้งที่ 1**	**วัดครั้งที่ 2**
วาล์วไอดี	1	0.11	0.12	0.12	0.12
	2	0.12	0.12	0.11	0.12
	3	0.12	0.12	0.12	0.12
	4	0.11	0.12	0.12	0.12
	5	0.11	0.12	0.12	0.12
	6	0.11	0.11	0.12	0.12
	7	0.12	0.12	0.12	0.12
	8	0.12	0.12	0.12	0.12
วาล์วไอเสีย	1	0.23	0.23	0.23	0.23
	2	0.23	0.24	0.23	0.23
	3	0.23	0.23	0.23	0.23
	4	0.23	0.23	0.23	0.23

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดเดิมด้วยโปรแกรม MINITAB (ระยะวาล์วไอดี)

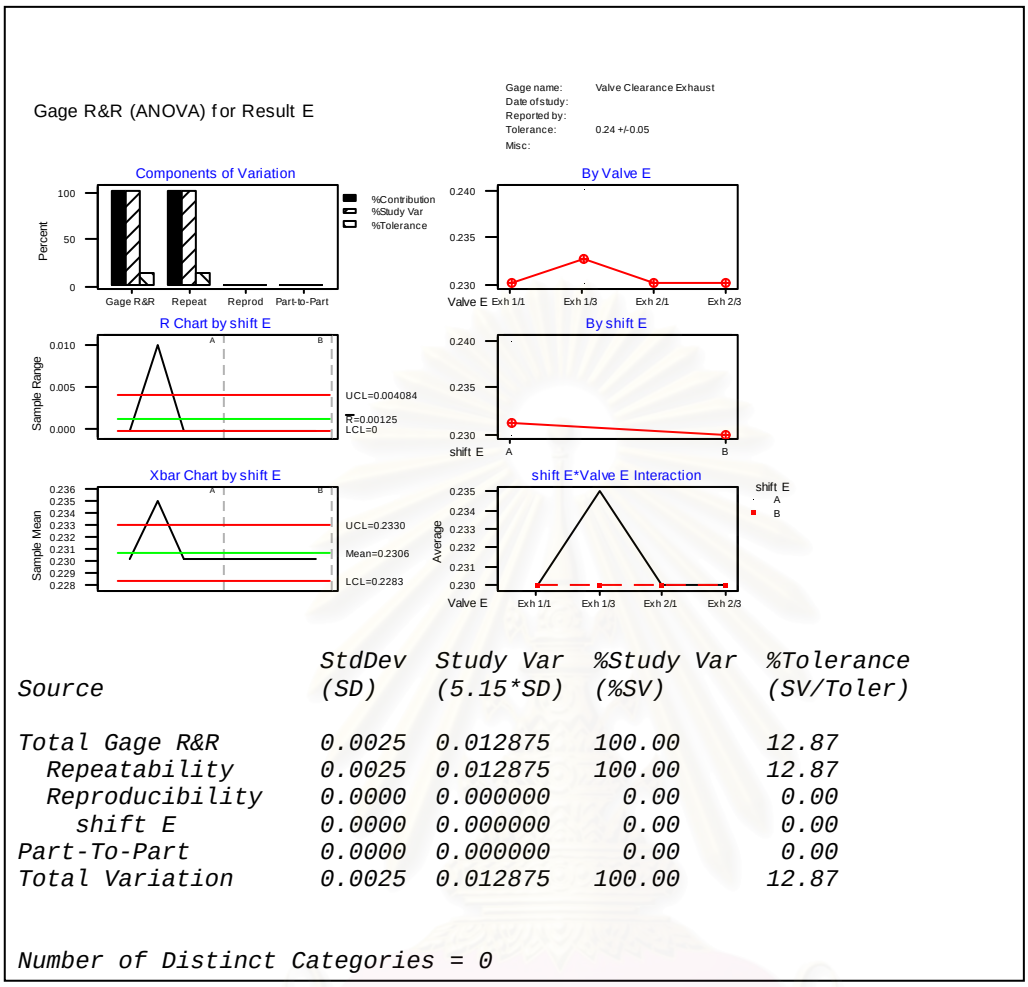


Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	4.33E-03	2.23E-02	100.00	22.30
Repeatability	3.54E-03	1.82E-02	81.65	18.21
Reproducibility	2.50E-03	1.29E-02	57.74	12.87
Shift	1.34E-03	6.88E-03	30.86	6.88
Shift*Valve	2.11E-03	1.09E-02	48.80	10.88
Part-To-Part	0.00E+00	0.00E+00	0.00	0.00
Total Variation	4.33E-03	2.23E-02	100.00	22.30

Number of Distinct Categories = 0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดเดิมด้วยโปรแกรม MINITAB (ระยะวาล์วไอเสีย)



Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0025	0.012875	100.00	12.87
Repeatability	0.0025	0.012875	100.00	12.87
Reproducibility	0.0000	0.000000	0.00	0.00
shift E	0.0000	0.000000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.0000	0.000000	0.00	0.00
Total Variation	0.0025	0.012875	100.00	12.87

Number of Distinct Categories = 0

ตารางที่ 4.6 สรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบเดิม

	เกณฑ์ยอมรับ	ค่าจากวิธีการวัดในปัจจุบัน	ผลสรุป
% Study Var (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัดคิดเป็นร้อยละ ต่อค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรวม)	ไม่เกิน 30%	วาล์วไอดี 100% วาล์วไอเสีย 100%	วิธีการวัดมีสเกลใหญ่เกินไปจนไม่สามารถแยกแยะความแปรปรวนของระยะปรับตั้งวาล์วได้
% Tolerance (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัดที่ช่วงความเชื่อมั่น 99% คิดเป็นร้อยละ ของสเปค	ไม่เกิน 30%	วาล์วไอดี 22.3% วาล์วไอเสีย 12.87%	วิธีการวัดสามารถแยกแยะระหว่างของดีกับของเสียได้อย่างถูกต้อง

จากการวิเคราะห์ระบบการวัดพบว่า วิธีการวัดที่ใช้ในปัจจุบันไม่สามารถแยกแยะความแปรปรวนของค่าที่วัดได้ ดังนั้นเราจึงต้องปรับปรุงระบบการวัดก่อน ไม่เช่นนั้นหลังจากเราทำการปรับปรุงกระบวนการไปแล้ว และทำการวัดข้อมูลหลังการปรับปรุงเพื่อหาความสามารถของกระบวนการใหม่ วิธีการวัดแบบเดิมนี้จะไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงได้ เนื่องจากความแปรปรวนของข้อมูลที่จดบันทึกทั้งหมดมาจากระบบการวัด

วิธีการวัดระยะวาล์วแบบใหม่

ทีมงานได้ศึกษาถึงวิธีอื่นๆ ที่อาจเป็นไปได้สำหรับการตรวจวัดระยะปรับตั้งวาล์วและได้พบวิธีที่ใช้ในโรงงานของบริษัทในเครือ ในต่างประเทศ[1] นั่นคือการใช้ลวดตะกั่ว สอดเข้าไปในช่องระยะวาล์ว จากนั้นลวดตะกั่วจะถูกบดจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางปรกติของลวดกลายเป็นขนาดของช่องระยะวาล์วนั้น

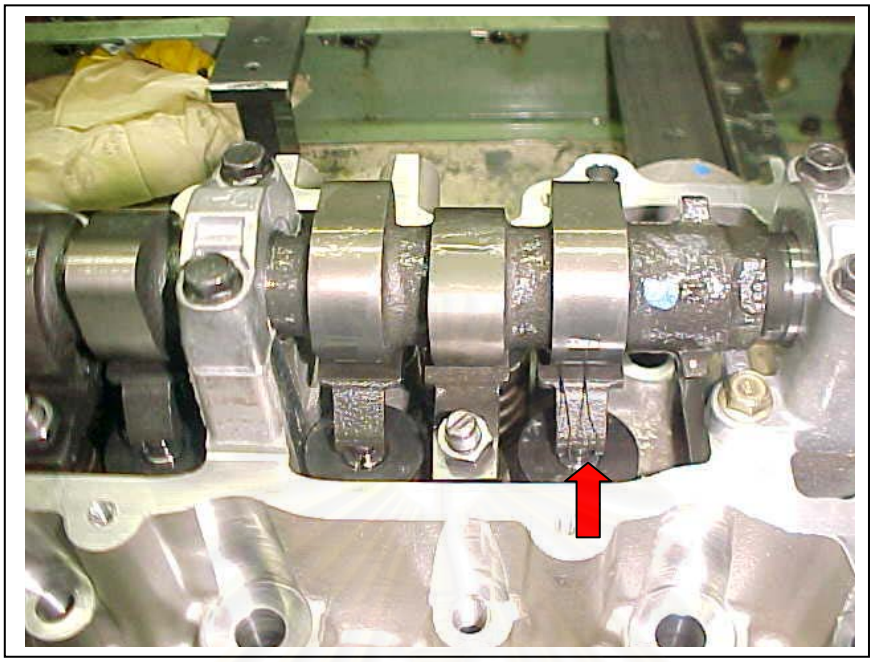
จากแนวคิดดังกล่าว ทีมงานได้นำมาทดลองปฏิบัติ และพบว่าวิธีที่เหมาะสมในการวัดระยะวาล์ว ซึ่งคือระยะห่างระหว่างร็คเกอร์ อาร์ม กับลูกเบี้ยวนั้น ควรใช้ลวด 2 เส้น สอดเข้าไปในช่องนั้น โดยใช้เครื่องมือพิเศษกดวาล์วสปริงลงไปเล็กน้อย เพื่อให้ช่องระหว่างร็อคเกอร์อาร์ม กับลูกเบี้ยวใหญ่พอที่จะสอดลวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 มม. เข้าไปได้ โดยให้มีระยะห่างระหว่างลวดทั้ง 2 เส้น พอสมควร จากนั้นปล่อยให้วาล์วสปริงคืนตัวขึ้นและบดลวดทั้ง 2 เส้นพร้อมกันโดยการหมุนเพลาลูกเบี้ยวไปเล็กน้อย เพื่อให้บริเวณลวดที่ถูกบดยาวพอที่จะนำไปวัดด้วยไมโครมิเตอร์ซึ่งสามารถวัดได้ถึงทศนิยม 3 ตำแหน่ง การบันทึกผลค่าระยะปรับตั้งวาล์วให้ใช้ค่าเฉลี่ยของลวดทั้ง 2 เส้น เนื่องจากเวลาที่ปล่อยให้วาล์วสปริงดันร็อคเกอร์อาร์ม กลับขึ้นมาหลังจากสอดลวดเข้าไปแล้วนั้น ร็อคเกอร์อาร์ม อาจเกิดการเอียงไปทางด้านข้างเล็กน้อย ดังนั้นการใช้ค่าเฉลี่ยจากลวด 2 เส้น น่าจะเป็นวิธีที่จะช่วยลดความผิดพลาดของข้อมูลอันเกิดจากสาเหตุดังกล่าวได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

[1] Matt Saville, Reduction of incorrect valve gaps on the 1.8 Lynx Diesel , Ford Motor Company Consumer Driven 6-Sigma Project #1896 , 2001

รูปที่ 4.7 การวัดระยะวาล์วแบบใหม่โดยใช้ลวดตะกั่ว



เมื่อสามารถกำหนดวิธีการวัดที่คิดว่าเหมาะสมได้แล้ว ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยวิธี Gage R&R โดยให้พนักงาน 2 คน วัดวาล์วไอดี 20 วาล์ว และทำซ้ำคนละ 2 ครั้ง

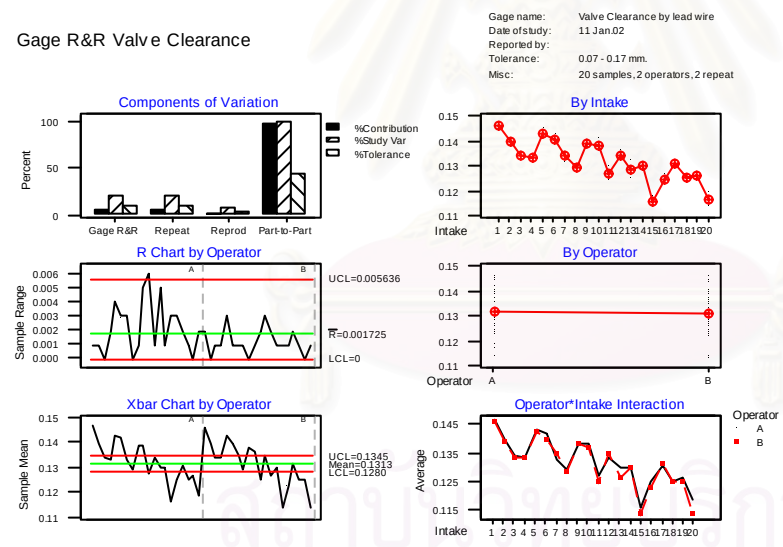
ตารางที่ 4.7 ข้อมูลการวิเคราะห์ระบบการวัดระยะวาล์วแบบใหม่

		พนักงาน A		พนักงาน B	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
วาล์วไอดี	1	0.146	0147	0.147	0.145
	2	0.140	0.139	0.139	0.139
	3	0.134	0.134	0.134	0.133
	4	0.132	0.134	0.134	0.133
	5	0.145	0.141	0.144	0.141
	6	0.143	0.140	0.140	0.139
	7	0.131	0.134	0.135	0.134
	8	0.129	0.129	0.129	0.128
	9	0.139	0.138	0.138	0.138
	10	0.141	0.136	0.137	0.136
	11	0.130	0.124	0.126	0.124

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

		พนักงาน A		พนักงาน B	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
วาล์วไอดี	12	0.133	0.134	0.136	0.133
	13	0.132	0.127	0.127	0.125
	14	0.129	0.130	0.130	0.129
	15	0.117	0.114	0.114	0.113
	16	0.126	0.123	0.123	0.122
	17	0.129	0.131	0.132	0.130
	18	0.124	0.125	0.125	0.124
	19	0.126	0.126	0.125	0.125
	20	0.119	0.117	0.114	0.113

รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดใหม่ด้วยโปรแกรม MINITAB



Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	1.67E-03	8.62E-03	19.73	8.62
Repeatability	1.58E-03	8.11E-03	18.56	8.11
Reproducibility	5.66E-04	2.92E-03	6.67	2.92
Operator	5.66E-04	2.92E-03	6.67	2.92
Part-To-Part	8.32E-03	4.28E-02	98.03	42.85
Total Variation	8.49E-03	4.37E-02	100.00	43.71

Number of Distinct Categories = 7

ตารางที่ 4.8 สรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบใหม่

	เกณฑ์ยอมรับ	**ค่าจากวิธีการวัดโดยใช้ลวด**	**ผลสรุป**
% Study Var (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัดคิดเป็นร้อยละต่อค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรวม)	ไม่เกิน 30%	19.73%	วิธีการวัดมีความสามารถแยกแยะความแปรปรวนของระยะปรับตั้งวาล์วได้
% Tolerance (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัดที่ช่วงความเชื่อมั่น 99% คิดเป็นร้อยละของสเปค	ไม่เกิน 30%	8.62%	วิธีการวัดสามารถแยกแยะระหว่างของดีกับของเสียได้อย่างถูกต้อง

4.2.2 วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการปรับตั้งวาล์ว ณ ปัจจุบัน

หลังจากสรุปได้ว่าระบบการวัดที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ มีความสามารถผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนดแล้วทีมงานได้ทำการวางแผนในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

ข้อมูลที่ต้องการเก็บ ระยะวาล์วทั้ง 3 จุด (Sub Base และ Firing) โดยแยกตามพนักงานผู้ปรับตั้งระยะวาล์วที่ Sub แต่ละคน

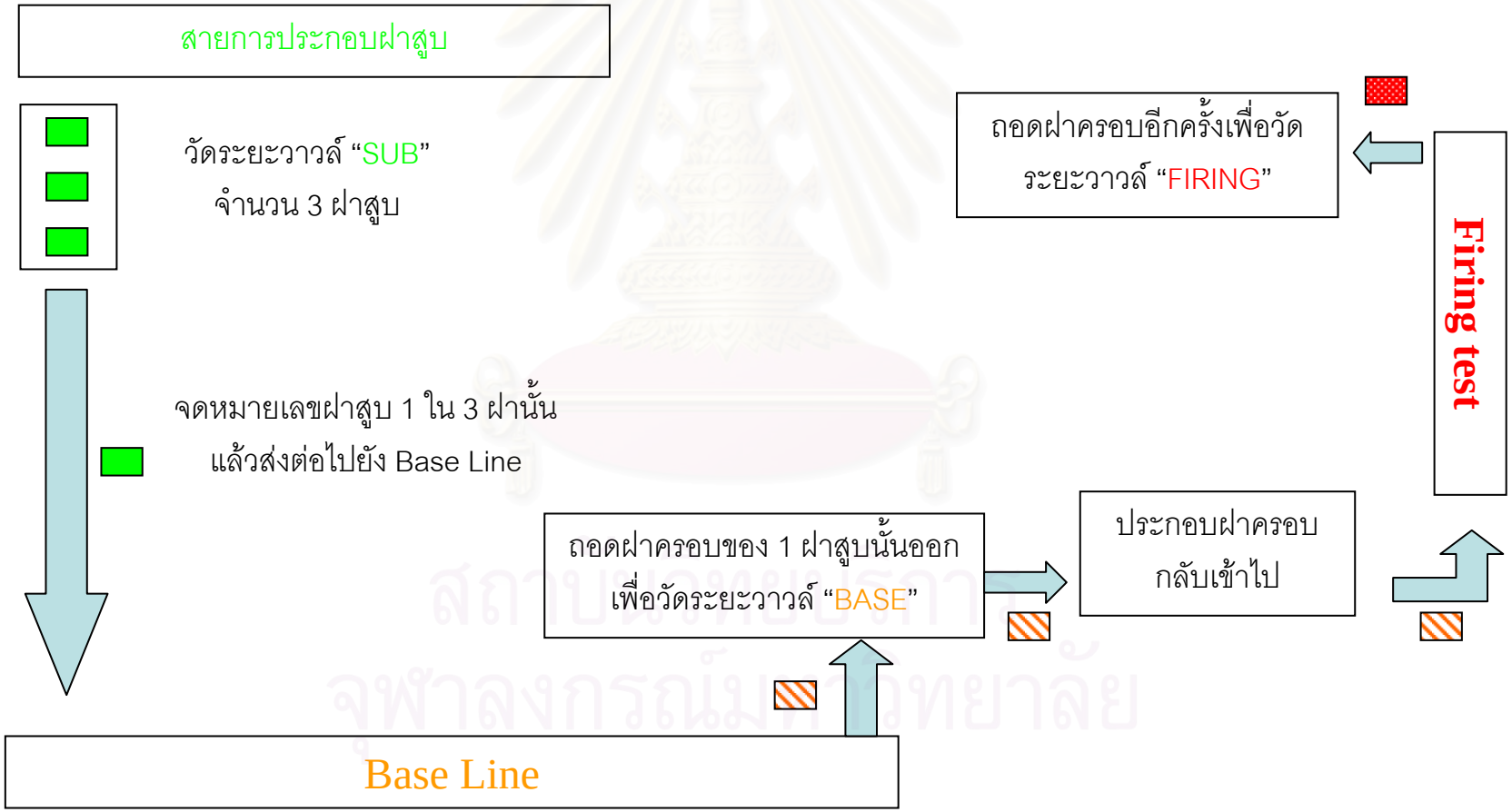
วัตถุประสงค์ 1. วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในปัจจุบันโดยแยกตาม
- แต่ละจุดการเก็บข้อมูล (Sub Base และ Firing)
- ประเภทของวาล์ว (วาล์วไอดี และวาล์วไอเสีย)

2. วิเคราะห์ความแปรปรวนของระยะปรับตั้งวาล์วแยกตามรายพนักงาน

ผลการเก็บข้อมูลทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ก

รูปที่ 4.9 แผนการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการปรับตั้งระยะวาวล์ ณ ปัจจุบัน

หมายเหตุ แผนภาพแสดงวิธีการเก็บข้อมูลต่อพนักงานปรับตั้งวาวล์ 1 คน

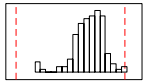


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.10 ผลวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการแยกตามประเภทวาวล์ และจุดเก็บข้อมูล

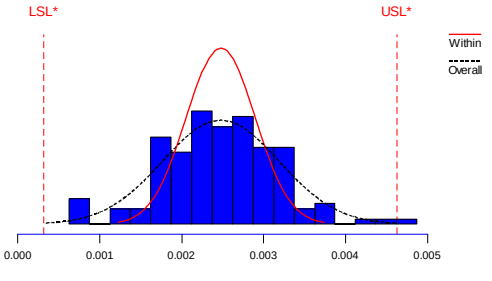
ระยะวาวล์ไอดี | **ระยะวาวล์ไอเสีย**

SUB



Sub/In

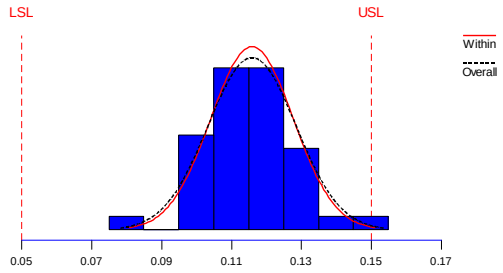
Box-Cox Transformation, With Lambda = 3.034



Process Data	
USL	0.170000
USL*	0.004626
Target	*
Target*	*
LSL	0.070000
LSL*	0.000313
Mean	0.136899
Mean*	0.002476
Sample N	144
StDev (Within)	0.0082794
StDev* (Within)	0.0004203
StDev (Overall)	0.0144147
StDev* (Overall)	0.0007113
Potential (Within) Capability	
Cp	1.71
CPU	1.70
CPL	1.72
Cpk	1.70
Cpm	*

Overall Capability		Observed Performance		Exp. "Within" Performance		Exp. "Overall" Performance	
Pp	1.01	PPM < LSL	0.00	PPM < LSL*	0.13	PPM < LSL*	1180.14
PPU	1.01	PPM > USL	0.00	PPM > USL*	0.16	PPM > USL*	1255.31
PPL	1.01	PPM Total	0.00	PPM Total	0.29	PPM Total	2435.46

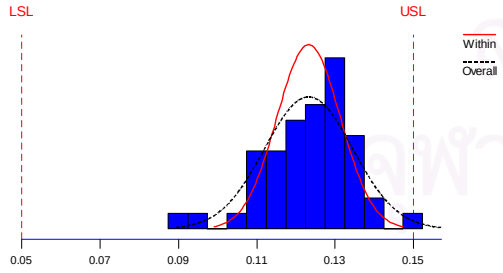
Base/In



Process Data	
USL	0.150000
Target	*
LSL	0.050000
Mean	0.115863
Sample N	40
StDev (Within)	0.0117976
StDev (Overall)	0.0125620
Potential (Within) Capability	
Cp	1.41
CPU	0.96
CPL	1.86
Cpk	0.96
Cpm	*

Overall Capability		Observed Performance		Exp. "Within" Performance		Exp. "Overall" Performance	
Pp	1.33	PPM < LSL	0.00	PPM < LSL	0.01	PPM < LSL	0.08
PPU	0.91	PPM > USL	25000.00	PPM > USL	1904.28	PPM > USL	3288.72

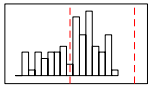
Firing/In



Process Data	
USL	0.150000
Target	*
LSL	0.050000
Mean	0.123240
Sample N	48
StDev (Within)	0.0080919
StDev (Overall)	0.0112824
Potential (Within) Capability	
Cp	2.06
CPU	1.10
CPL	3.02
Cpk	1.10
Cpm	*

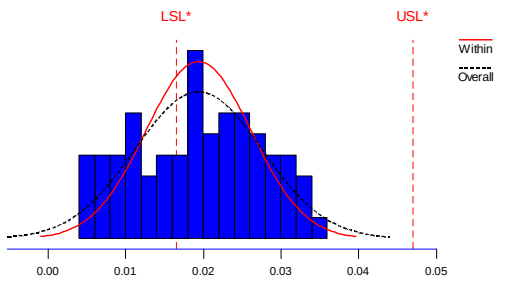
Overall Capability		Observed Performance		Exp. "Within" Performance		Exp. "Overall" Performance	
Pp	1.48	PPM < LSL	0.00	PPM < LSL	0.00	PPM < LSL	0.00
PPU	0.79	PPM > USL	0.00	PPM > USL	471.40	PPM > USL	8849.33
PPL	2.16	PPM Total	0.00	PPM Total	471.40	PPM Total	8849.33
Ppk	0.79						

FIRING



Sub/Ex

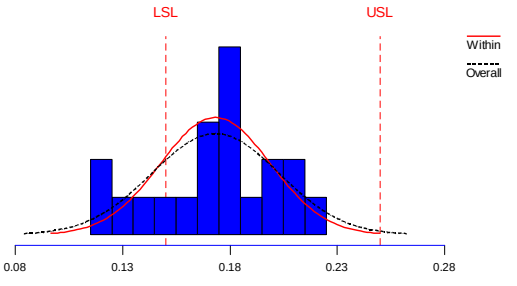
Box-Cox Transformation, With Lambda = 2.471



Process Data	
USL	0.290000
USL*	0.046945
Target	*
Target*	*
LSL	0.190000
LSL*	0.016512
Mean	0.197549
Mean*	0.019356
Sample N	72
StDev (Within)	0.0317401
StDev* (Within)	0.0067927
StDev (Overall)	0.0379819
StDev* (Overall)	0.0081996
Potential (Within) Capability	
Cp	0.75
CPU	1.35
CPL	0.14
Cpk	0.14
Cpm	*

Overall Capability		Observed Performance		Exp. "Within" Performance		Exp. "Overall" Performance	

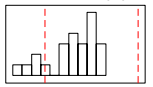
Base/Ex



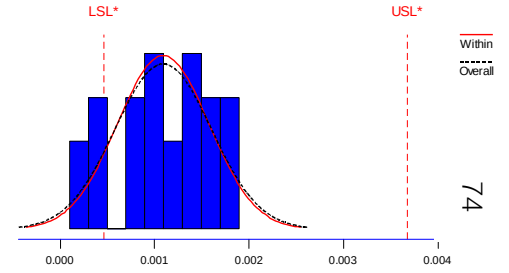
Process Data	
USL	0.250000
Target	*
LSL	0.150000
Mean	0.173225
Sample N	20
StDev (Within)	0.0256159
StDev (Overall)	0.0297424
Potential (Within) Capability	
Cp	0.65
CPU	1.00
CPL	0.30
Cpk	0.30
Cpm	*

Overall Capability		Observed Performance		Exp. "Within" Performance		Exp. "Overall" Performance	
Pp	0.56	PPM < LSL	250000.00	PPM < LSL	182292.42	PPM < LSL	217438.82
PPU	0.86	PPM > USL	0.00	PPM > USL	1362.53	PPM > USL	4920.97
PPL	0.26	PPM Total	250000.00	PPM Total	183654.95	PPM Total	222359.79

Firing/Ex



Box-Cox Transformation, With Lambda = 4.044



Process Data	
USL	0.250000
USL*	0.003675
Target	*
Target*	*
LSL	0.150000
LSL*	0.000466
Mean	0.180125
Mean*	0.001091
Sample N	24
StDev (Within)	0.0245914
StDev* (Within)	0.0004847
StDev (Overall)	0.0268908
StDev* (Overall)	0.0005101
Potential (Within) Capability	
Cp	1.10
CPU	1.78
CPL	0.43
Cpk	0.43
Cpm	*

Overall Capability		Observed Performance		Exp. "Within" Performance		Exp. "Overall" Performance	
Pp	1.05	PPM < LSL	208333.33	PPM < LSL*	98472.36	PPM < LSL*	110076.26
PPU	1.69	PPM > USL	0.00	PPM > USL*	0.05	PPM > USL*	0.20
PPL	0.41	PPM Total	208333.33	PPM Total	98472.40	PPM Total	110076.47
Ppk	0.41						

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้ทั้งหมด นำไปวิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการด้วยโปรแกรม MINITAB โดยแยกตามประเภทของวาล์วและจุดการเก็บข้อมูล ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.9 สรุปผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน

		Cp*	Cpk*	**โอกาสการเกิดของเสีย** (ppm)
Sub	ระยะวาล์วไอดี	1.01	1.01	2,435.46
	ระยะวาล์วไอเสีย	0.62	0.12	364,722.68
Base	ระยะวาล์วไอดี	1.33	0.91	3,288.80
	ระยะวาล์วไอเสีย	0.56	0.26	222,359.79
Firing	ระยะวาล์วไอดี	1.48	0.79	8,849.33
	ระยะวาล์วไอเสีย	1.05	0.41	110,076.47

*ความสามารถของกระบวนการในระยะยาว (Long Term Process Capability)

4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase)

จากรูปที่ 4.10 ในขั้นตอนการวัด ทำให้ทีมสามารถวิเคราะห์ได้ในเบื้องต้นว่า

ระยะวาล์วไอดี มีโอกาสก่อให้เกิดของเสียค่อนข้างน้อย และลักษณะของเสียจะเป็นลักษณะกว้างกว่าสเปคด้านบน

ระยะวาล์วไอเสีย มีโอกาสก่อให้เกิดของเสียมาก และลักษณะของเสียจะเป็นลักษณะแคบกว่าสเปคด้านล่าง

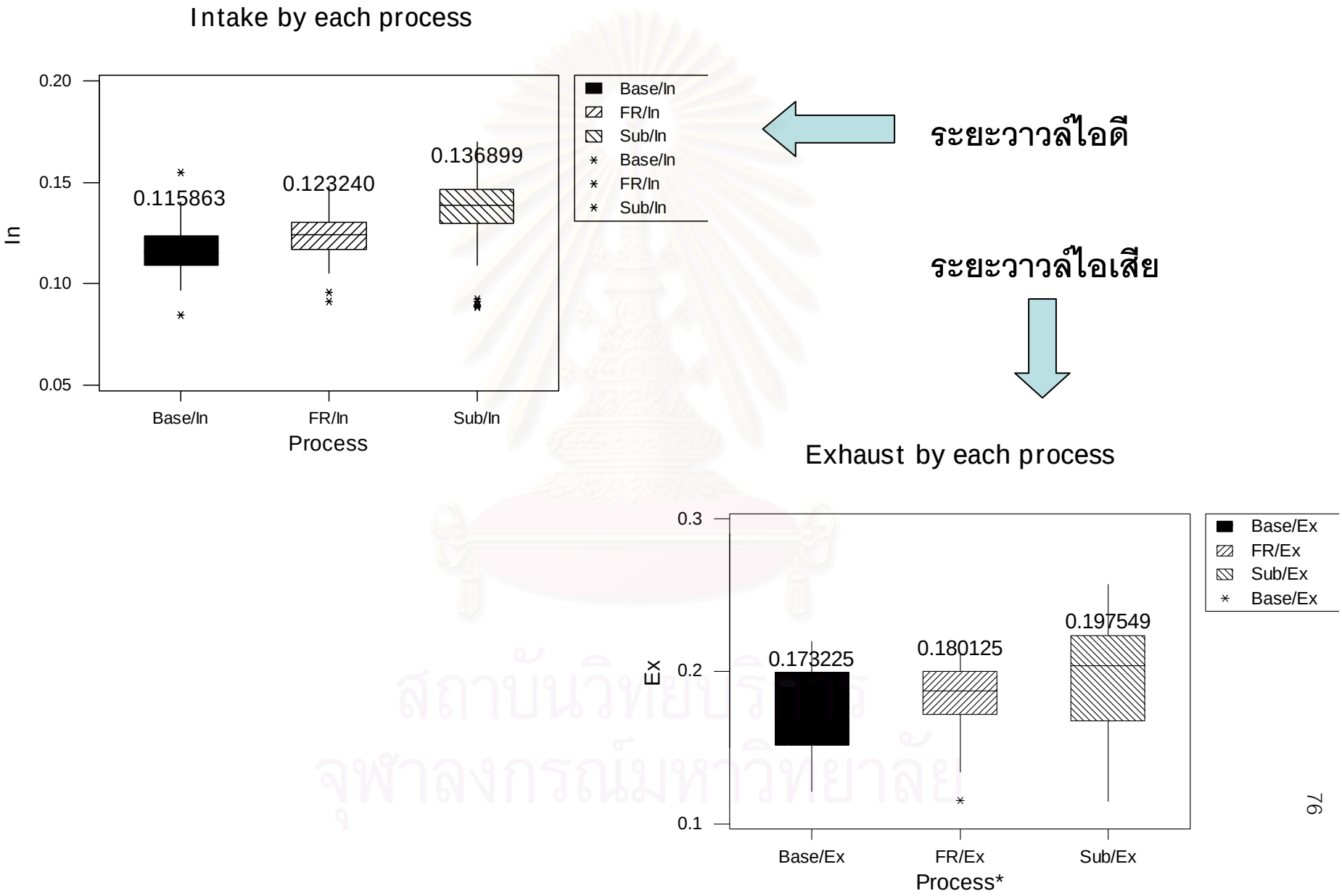
ในขั้นตอนการวิเคราะห์นี้จะทำการวิเคราะห์ในรายละเอียดของข้อมูลที่เก็บมาทั้งหมดเพื่อมุ่งหาสาเหตุที่ก่อให้เกิดของเสียขึ้น

4.3.1 การใช้กราฟเพื่อช่วยในการวิเคราะห์

4.3.1.1 วิเคราะห์ความแปรปรวนของระยะวาล์ว แยกตามกระบวนการ

ทีมงานต้องการทราบถึงความแปรปรวนของข้อมูลหลังจากผ่านกระบวนการต่างๆ จึงใช้คำสั่ง Boxplot ในโปรแกรม MINITAB เพื่อพล็อตข้อมูล ระยะวาล์วไอดี และไอเสีย แยกตามแต่ละกระบวนการได้กราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 (ค่าที่แสดงในแต่ละ Box คือ ค่าเฉลี่ยของระยะวาล์ว)

รูป 4.11 กราฟ Boxplot ของระยะวาวล์แยกตามกระบวนการ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากกราฟ Boxplot ในรูป 4.11 สามารถแปลความหมายได้ว่า

ระยะวาล์วไอดี

1. ความแปรปรวนของข้อมูล หลังจากผ่านกระบวนการต่างๆ มีลักษณะใกล้เคียงกัน
2. ค่าเฉลี่ยของระยะวาล์ว จากกระบวนการปรับตั้งว่าวล์ในครั้งแรก (“Sub” 0.1369) จะลดลงหลังจากประกอบฝาสูบเข้ากับเสื้อสูบ (“Base” 0.1159) และปรับขึ้นเล็กน้อยหลังจากทดสอบเดินเครื่องยนต์แล้ว (“Firing” 0.1232)

ระยะวาล์วไอเสีย

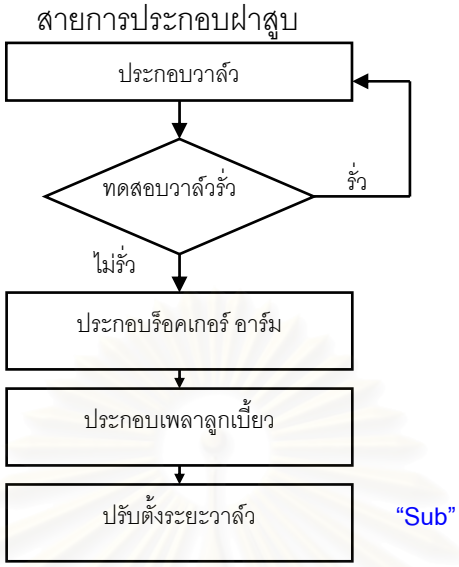
1. ความแปรปรวนของข้อมูลที่ “Sub” จะกว้างที่สุด และแคบลงเป็นลำดับเมื่อผ่าน “Base”และ “Firing”
2. ค่าเฉลี่ยของระยะวาล์ว หลังจากกระบวนการแรก (“Sub” 0.1975) จะลดลง (“Base” 0.1782) และปรับขึ้นเล็กน้อย (“Firing” 0.1801)

พิจารณาโอกาสในการปรับปรุงกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของระยะปรับตั้งวาล์วพบว่า ที่กระบวนการประกอบฝาสูบเข้ากับเสื้อสูบ (Base) และการทดสอบเดินเครื่องยนต์ (Firing) นั้นค่อนข้างเป็นไปได้ยาก เนื่องจากเกี่ยวข้องกับการยืด หดตัวของวัสดุหลังจากได้รับแรงขันทอร์ค หรือได้รับความร้อน ซึ่งต้องอาศัยความรู้ในระดับที่นอกเหนือจากความรู้ของทีมงานออกไปอีก

ดังนั้นจึงกำหนดขอบเขตในการพิจารณาเพื่อปรับปรุงเฉพาะ สายการประกอบฝาสูบจนถึงกระบวนการปรับตั้งวาล์วในครั้งแรก (Sub) เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีความแปรปรวนมากที่สุดเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่นๆ ในกราฟ Boxplot ข้างต้น และความแปรปรวนจากกระบวนการนี้ก็จะถูกถ่ายทอดไปยังกระบวนการต่อไปสังเกตได้จากกราฟ Boxplot ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันทั้ง 3 รูป ดังนั้นจึงทำการปรับลดขอบเขตของกระบวนการที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเคยระบุไว้ในขั้นตอนการแจกแจงปัญหา เหลือเพียงดังแสดงในแผนภาพต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.12 ขอบเขตกระบวนการที่เกี่ยวข้อง (ใหม่)

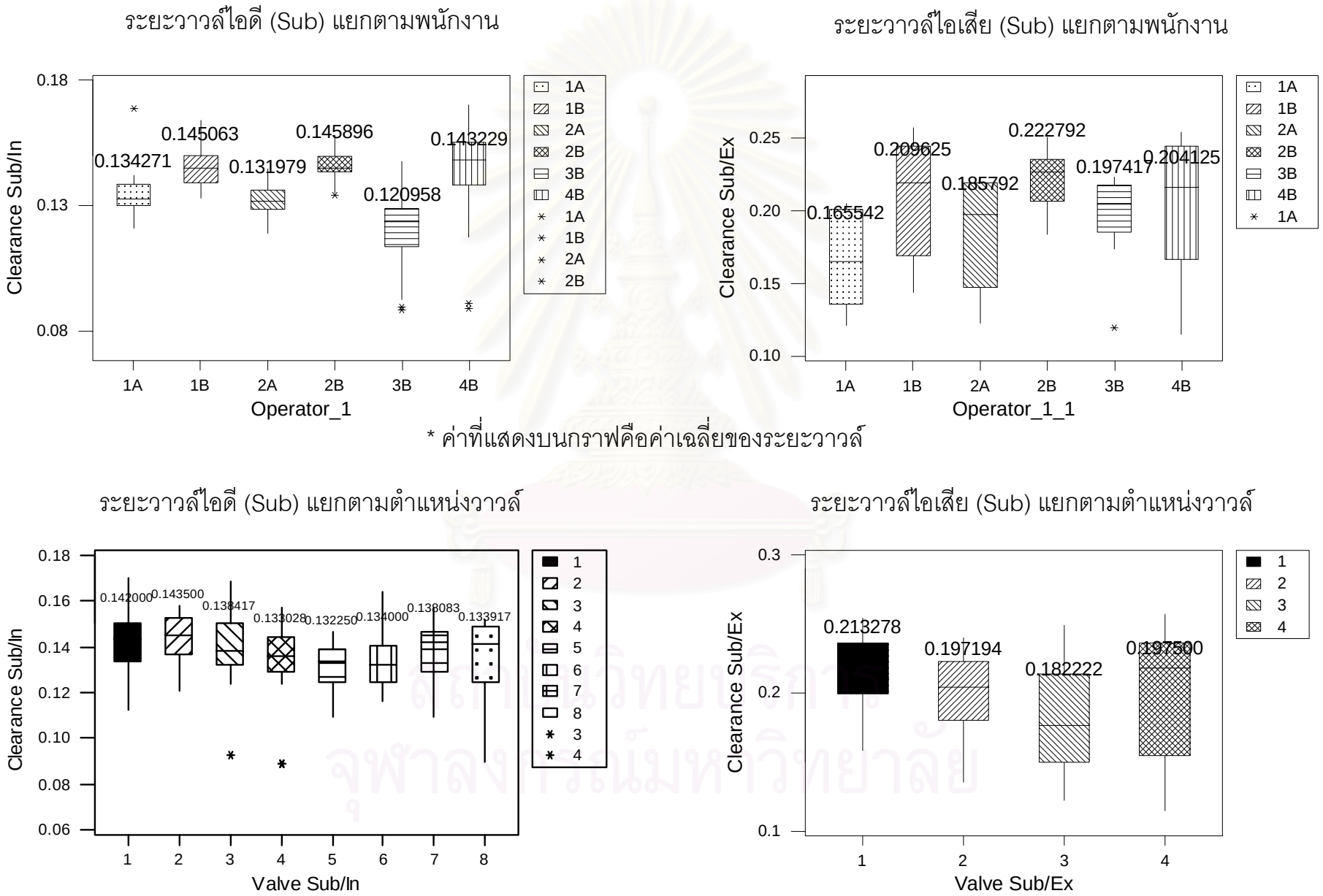


จากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ที่ได้ทำในช่วงต้นของขั้นตอนการวัด ทีมงานพบว่า พนักงานผู้ปรับตั้งวาล์ว นั้นเป็นส่วนที่มีค่า RPN สูงที่สุด นั่นคือเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดความแปรปรวนต่อระยะวาล์วได้มากที่สุด เนื่องจากมาตรฐานการทำงาน กำหนดให้พนักงานแต่ละคนใช้ความรู้สึกตัดสินว่า ระยะวาล์วที่ปรับตั้งแต่ละครั้งเหมาะสมหรือไม่ โดยดูจากความรู้สึกที่ดึงฟีลเลอร์เกจ ออกจากช่องระยะวาล์วที่ปรับเสร็จแล้วว่า ไม่หลวม หรือแน่นเกินไป ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้ต้องอาศัยการฝึกฝนเป็นระยะเวลานานพอสมควรเพื่อให้เกิดทักษะที่จะทำงานได้ทันเวลา และตัดสินใจโดยใช้ความรู้สึกได้อย่างถูกต้อง อย่างไรก็ดีเป็นการยากที่จะทำให้ความรู้สึกของแต่ละคน หรือแม้กระทั่งของคนเดียวกัน เหมือนกันทุกครั้ง เนื่องจากมีปัจจัยมากมายที่เกี่ยวข้อง เช่น ทักษะความชำนาญ ความเร่งรีบ ความง่วง สมาธิการทำงาน ความล้าฯลฯ

รูปที่ 4.13 การปรับตั้งระยะวาล์ว

4.3.1.2. วิเคราะห์ความแปรปรวนและค่าเฉลี่ย แยกตามพนักงานและตำแหน่งของวาล์ว ใช้กราฟ Boxplot และได้ผลดังแสดงในรูป 4.14

รูป 4.14 กราฟ Boxplot ของระยะวาวล์ แยกตามพนักงานและตำแหน่งของวาวล์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 การทดสอบสมมติฐาน

จากกราฟรูปที่ 4.14 ทำให้มองเห็นภาพรวมในเบื้องต้นของความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยระยะวาล์วไอดีและไอเสีย แยกตามพนักงานและตำแหน่งของวาล์ว จากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อสรุปตามหลักสถิติถึงลักษณะของความแปรปรวน และค่าเฉลี่ยของระยะวาล์ว

4.3.2.1 ทดสอบความแปรปรวน

1. ทดสอบความแปรปรวนแยกตามพนักงาน

สมมติฐานหลัก H_o : ระยะวาล์วที่ปรับตั้งโดยพนักงานทุกคนมีความแปรปรวนเท่ากัน

สมมติฐานรอง H_a : ระยะวาล์วที่ปรับตั้งโดยพนักงานแต่ละคน มีความแปรปรวนต่างกัน

กำหนดค่าวิกฤติในการทดสอบ (α) = 0.05

ใช้คำสั่ง Test for Equal Variances ในโปรแกรม MINITAB เพื่อทดสอบสมมติฐานเนื่องจากข้อมูลระยะวาล์วที่เก็บมามีลักษณะการกระจายแบบไม่ใช่เส้นโค้งปรกติ (non-normal distribution) จึงดูค่า P-Value ของ Levene's Test ถ้า P-Value น้อยกว่าค่า α ทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก ยอมรับสมมติฐานรอง และยอมรับสมมติฐานหลักถ้า P-Value มากกว่าค่า α

ผลการทดสอบสมมติฐานแสดงในรูปที่ 4.15

2. ทดสอบความแปรปรวนแยกตามตำแหน่งของวาล์ว

สมมติฐานหลัก H_o : ระยะวาล์วที่ทุกตำแหน่งของวาล์วมีความแปรปรวนเท่ากัน

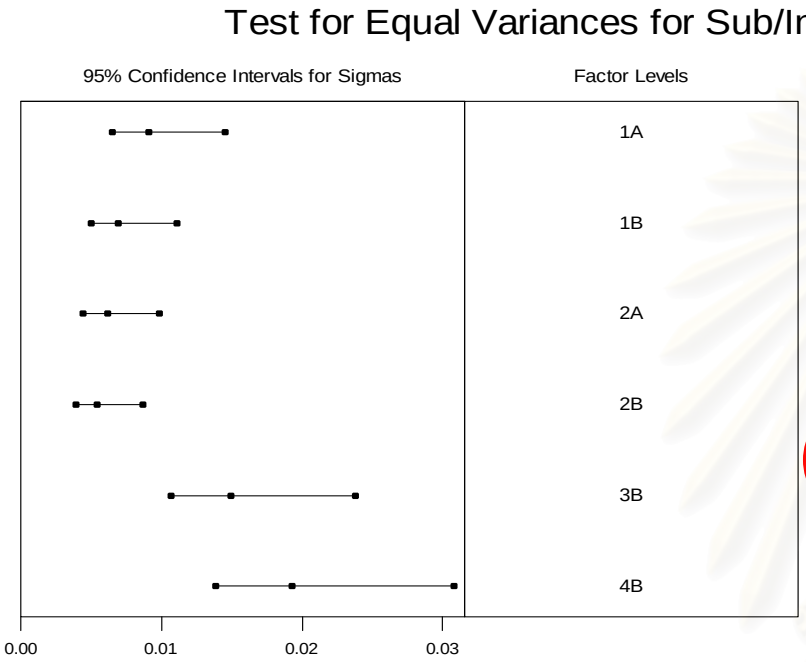
สมมติฐานรอง H_a : ระยะวาล์วที่แต่ละตำแหน่งของวาล์ว มีความแปรปรวนต่างกัน

กำหนดค่าวิกฤติในการทดสอบ (α) = 0.05

ผลการทดสอบสมมติฐานแสดงในรูปที่ 4.16

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.15 ทดสอบสมมติฐานของความแปรปรวนแยกตามพนักงาน



Bartlett's Test

Test Statistic: 60.135

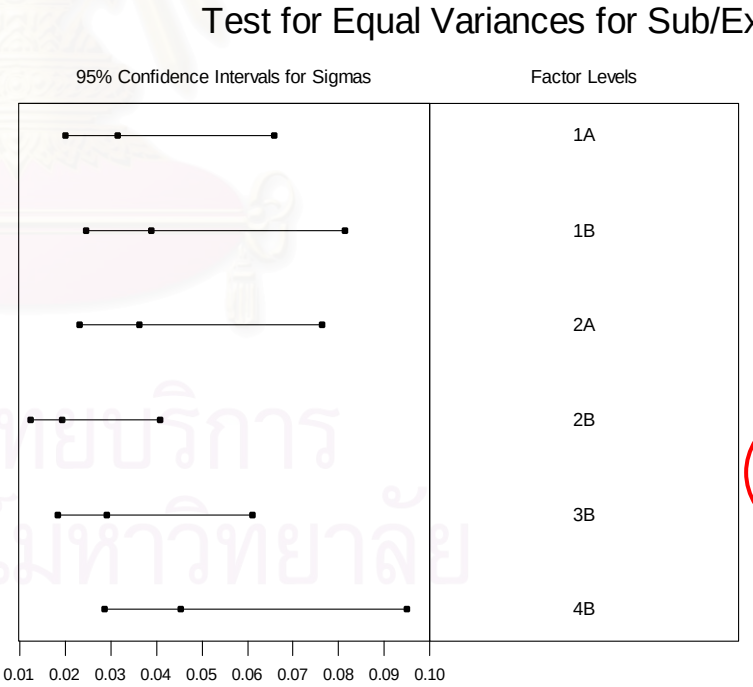
P-Value : 0.000

Levene's Test

Test Statistic: 3.091

P-Value : 0.011

P-Value < α (0.05) ปฏิเสธ Ho ระยะวาวล์ไอดีที่ปรับตั้งโดยพนักงานแต่ละคน มีความแปรปรวนต่างกัน



Bartlett's Test

Test Statistic: 7.948

P-Value : 0.159

Levene's Test

Test Statistic: 2.072

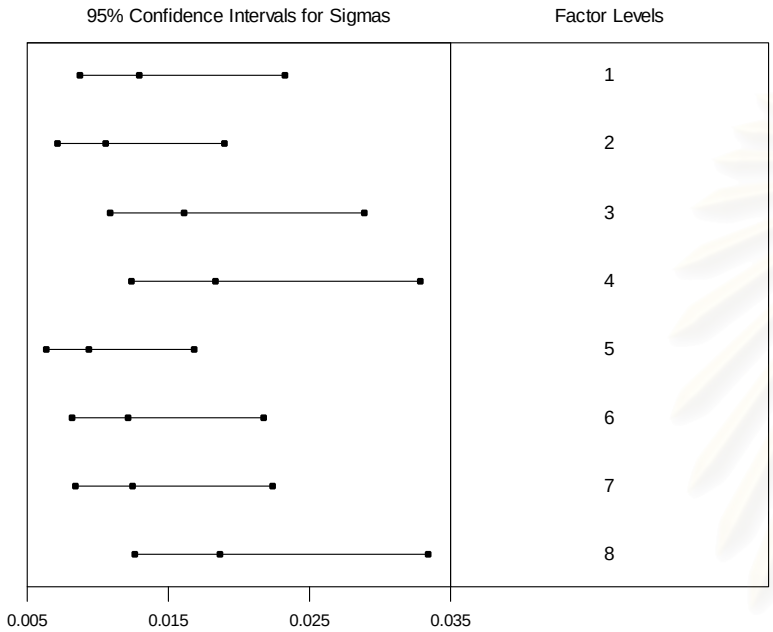
P-Value : 0.080

P-Value > α (0.05) ยอมรับ Ho ระยะวาวล์ไอเสียที่ปรับตั้งโดยพนักงานทุกคน มีความแปรปรวนเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.16 ทดสอบสมมติฐานของความแปรปรวนแยกตามตำแหน่งของวาวล์

Test for Equal Variances for Sub/In



Bartlett's Test

Test Statistic: 14.475

P-Value : 0.043

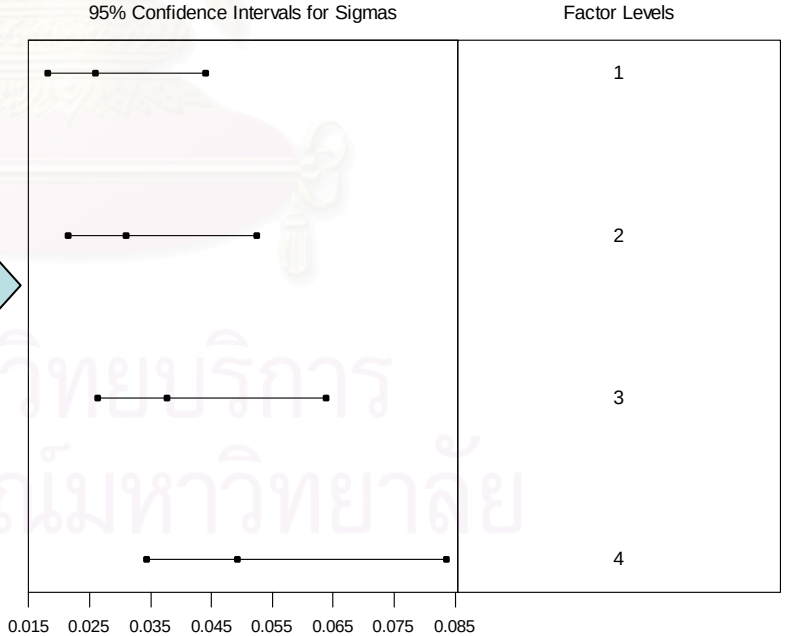
Levene's Test

Test Statistic: 0.696

P-Value : 0.675

P-Value > α (0.05) ยอมรับ Ho ระยะวาวล์ไอดีที่ทุกตำแหน่งของวาวล์ มีความแปรปรวนเท่ากัน

Test for Equal Variances for Sub/Ex



Bartlett's Test

Test Statistic: 7.632

P-Value : 0.054

Levene's Test

Test Statistic: 1.898

P-Value : 0.138

P-Value > α (0.05) ยอมรับ Ho ระยะวาวล์ไอเสียที่ทุกตำแหน่งของวาวล์ มีความแปรปรวนเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2.2 ทดสอบค่าเฉลี่ย

เนื่องจากข้อมูลระยะวาล์วมีลักษณะการกระจายแบบไม่ใช่เส้นโค้งปรกติ จึงต้องทำการแปลงให้เป็นข้อมูลที่มีการกระจายแบบปรกติก่อนโดยใช้คำสั่ง Box-Cox Transformation ในโปรแกรม MINITAB จากนั้นจึงนำข้อมูลที่เป็นการกระจายแบบเส้นโค้งปรกติ มาทดสอบค่าเฉลี่ย

1. ทดสอบค่าเฉลี่ยแยกตามพนักงาน

สมมติฐานหลัก H_o : ระยะวาล์วที่ปรับตั้งโดยพนักงานทุกคนมีค่าเฉลี่ยไม่ต่างจากค่าเฉลี่ยรวม (Grand Mean)

สมมติฐานรอง H_a : ระยะวาล์วที่ปรับตั้งโดยพนักแต่ละคน มีค่าเฉลี่ยต่างจากค่าเฉลี่ยรวม

2. ทดสอบค่าเฉลี่ยแยกตามตำแหน่งของวาล์ว

สมมติฐานหลัก H_o : ระยะวาล์วที่ทุกตำแหน่งของวาล์วมีค่าเฉลี่ยไม่ต่างจากค่าเฉลี่ยรวม

สมมติฐานรอง H_a : ระยะวาล์วที่แต่ละตำแหน่งของวาล์วมีค่าเฉลี่ยต่างจากค่าเฉลี่ยรวม

กำหนดค่าวิกฤติในการทดสอบ (α) = 0.05

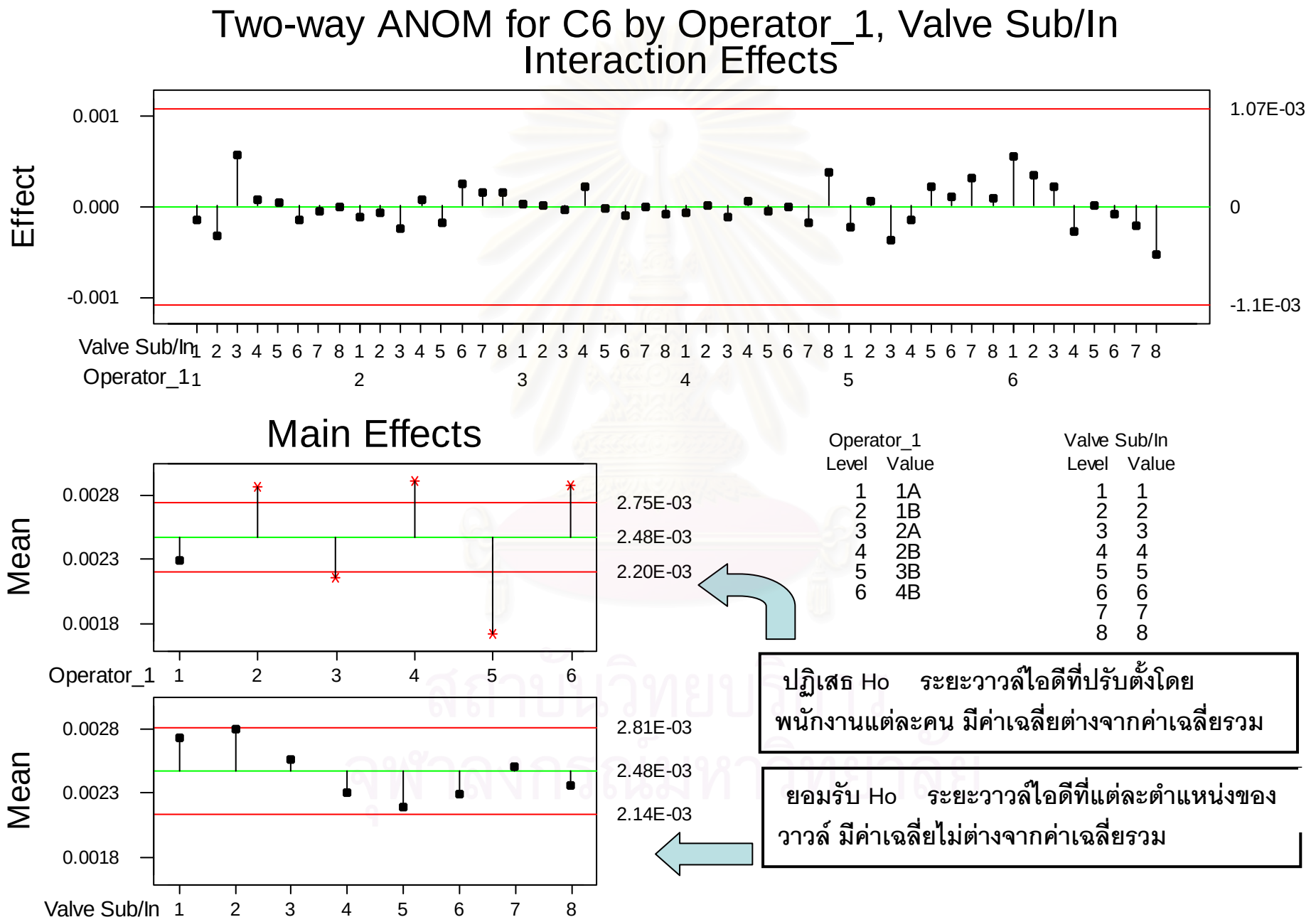
ใช้คำสั่ง Analysis of Means ในโปรแกรม MINITAB เพื่อทดสอบสมมติฐานโดยพิจารณา

กราฟ Main Effects ถ้ามีจุดหนึ่งจุดใดอยู่นอกเส้นลิมิต (ช่วงความเชื่อมั่น 95%) แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก ยอมรับสมมติฐานรอง และยอมรับสมมติฐานหลักเมื่อทุกจุดบนกราฟนี้อยู่ภายในกรอบของเส้นลิมิต

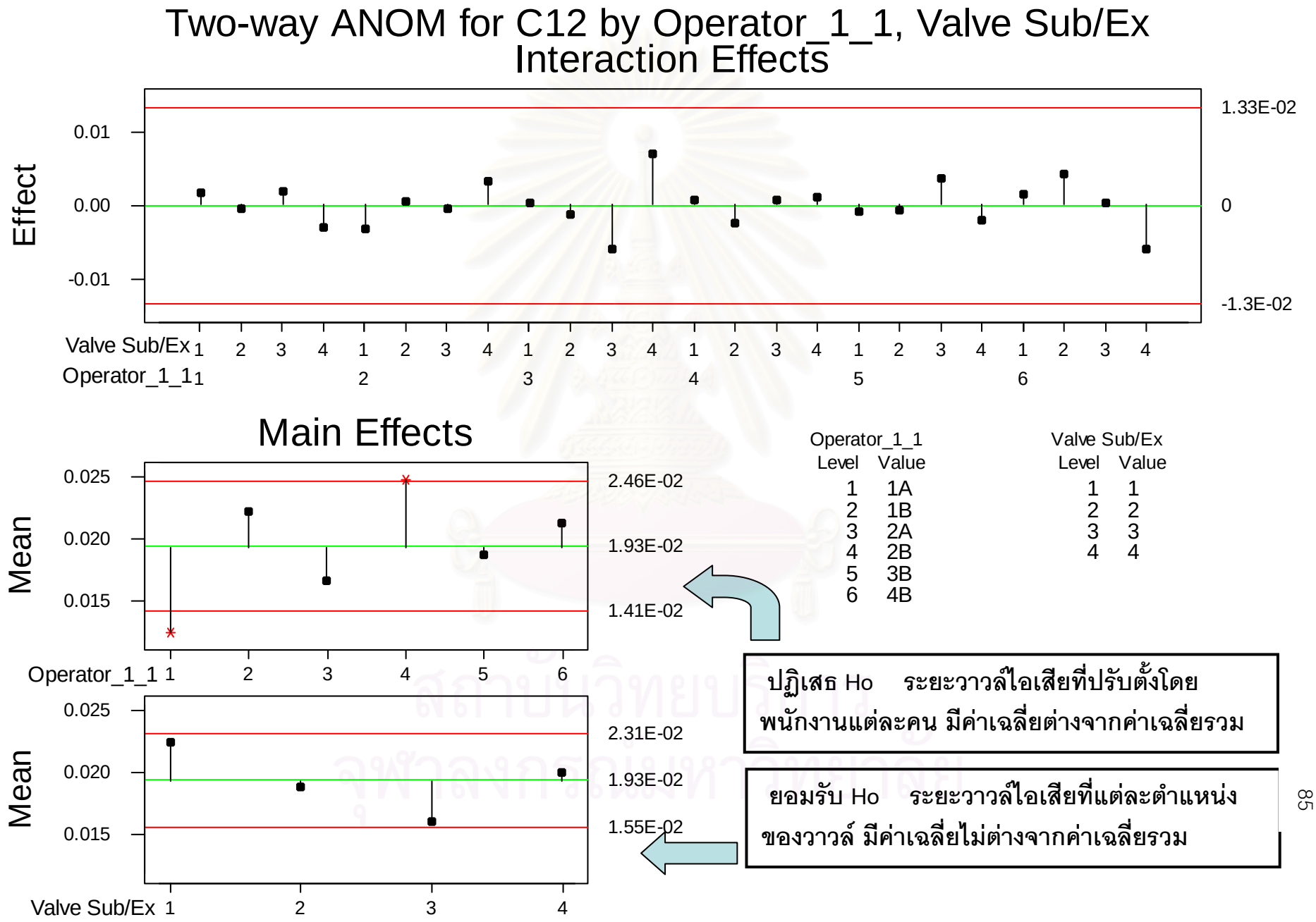
กราฟ Interaction Effects ทุกจุดบนกราฟนี้ควรอยู่ภายในกรอบของเส้นลิมิต เพื่อเป็นการยืนยัน ผลของปัจจัยหนึ่งไม่ขึ้นอยู่กับระดับของอีกปัจจัยหนึ่ง นั่นคือไม่มี interaction ต่อกัน ถ้าไม่เช่นนั้นการพิจารณากราฟ Main Effects ที่กล่าวข้างต้นอาจให้ผลลัพธ์ไม่ถูกต้อง

ผลการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยระยะวาล์วไอดีแสดงในรูป 4.17 และ ระยะวาล์วไอเสียในรูป 4.18

รูป 4.17 ทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยระยะวาวล์ไอดีแยกตามพนักงานและตำแหน่งของวาวล์



รูป 4.18 ทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยระยะวาวล์ไอเสีย แยกตามพนักงานและตำแหน่งของวาวล์



4.3.3 สรุปผลการวิเคราะห์

“ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ (Significant) ทางสถิติต่อความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของระยะวาล์ว คือ พนักงานผู้ปรับตั้งวาล์วแต่ละคน”

4.4 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)

จากขั้นตอนการวิเคราะห์ ทีมงานได้ทำการสรุปว่า พนักงานคือปัจจัยที่มีผลต่อความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของระยะวาล์ว ในขั้นตอนการปรับปรุงนี้ทีมงานจะทำการหาวิธีที่เหมาะสมในการปรับปรุง เพื่อลดความแปรปรวนตลอดจนทำให้ค่าเฉลี่ยของระยะวาล์วเข้าใกล้ค่าเป้าหมายหรือค่ากลางของสเปค

ทีมงานได้เฝ้าสังเกตวิธีการทำงานของพนักงานในการปรับตั้งระยะวาล์ว เพื่อพยายามทำความเข้าใจถึงแหล่งที่มาของความแปรปรวนในการทำงาน จากนั้นทำการระดมสมองเพื่อกำหนดแนวทางปฏิบัติเพื่อปรับปรุงคุณภาพของระยะวาล์ว ซึ่งแนวทางส่วนใหญ่มาจากผลการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในขั้นตอนการวัด หลังจากนั้นทำการหาข้อมูลเพิ่มเติมและทดลองปฏิบัติเพื่อดูความเป็นไปได้ จากนั้นก็นำเสนอต่อคณะผู้บริหาร เพื่อขอคำชี้แนะ และการตัดสินใจว่าจะอนุมัติให้ใช้ในการทำงานจริงหรือไม่ ซึ่งแนวทางในการปรับปรุงและผลการศึกษาทั้งหมดมีดังนี้

4.4.1 วิธีการปรับตั้งวาล์ว

จากการเข้าไปสังเกตการทำงานของพนักงานผู้ปรับตั้งวาล์วอย่างใกล้ชิด ทีมงานมีความเห็นว่าปัจจัยในการทำงานดังต่อไปนี้อาจมีผลต่อความแปรปรวนของระยะวาล์ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 ปัจจัยในการออกแบบการทดลอง

	ปัจจัยในการทำงาน	ระดับของปัจจัย
1	ตำแหน่งของไขควงเวลาขันล็อคนัตร็อกเกอร์อาร์ม	1.1 ตรึงกับหัวของร็อคเกอร์อาร์มสกรูเพื่อข้องกันสกรูหมุนตาม 1.2 ไม่ต้องตรึง
2	ท่าทางในการขันล็อคนัต	2.1 ด้านใกล้ตัวพนักงาน 2.2 ด้านตรงข้ามกับตัวพนักงาน
3	การใช้ประแจทอร์คขันนัตซ้ำอีกครั้งเพื่อป้องกันการคลายตัว (pokayoke)	3.1 มีฟีลเลอร์เกจอยู่ในช่องระยะวาล์ว 3.2 ไม่มีฟีลเลอร์เกจอยู่

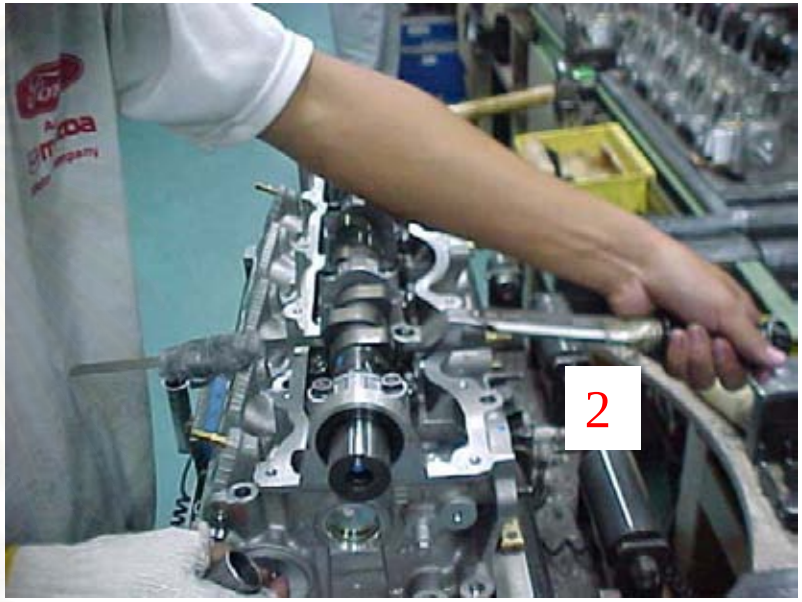
ใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment) เพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยที่สงสัย 3 ปัจจัยในการทำงานของพนักงาน มีผลต่อความแปรปรวนของระยะวาล์วหรือไม่

ออกแบบการทดลองซึ่งมี 3 ปัจจัย 2 ระดับ และทำซ้ำ (Replicates) 3 ครั้ง โดยให้พนักงาน 1 คน ปรับตั้งวาล์วไอดี 8 วาล์ว และวาล์วไอเสีย 4 วาล์ว ทำโดยเรียงลำดับแบบสุ่ม จากนั้นเก็บข้อมูลระยะปรับตั้งวาล์วโดยใช้ลวดตะกั่วได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.12

นำข้อมูลจากตาราง 4.12 ป้อนในโปรแกรม MINITAB จากนั้นใช้คำสั่ง Analyze Factorial Design เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่าถึงแม้จะใช้ค่าวิกฤติ (α) = 0.10 ก็ยังไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลอย่างเด่นชัด (Significant) ทางสถิติต่อระยะปรับตั้งวาล์ว ดังแสดงในรูปที่ 4.20 และ รูป 4.21

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.19 การออกแบบการทดลอง วิธีปรับตั้งระยะวาวล์



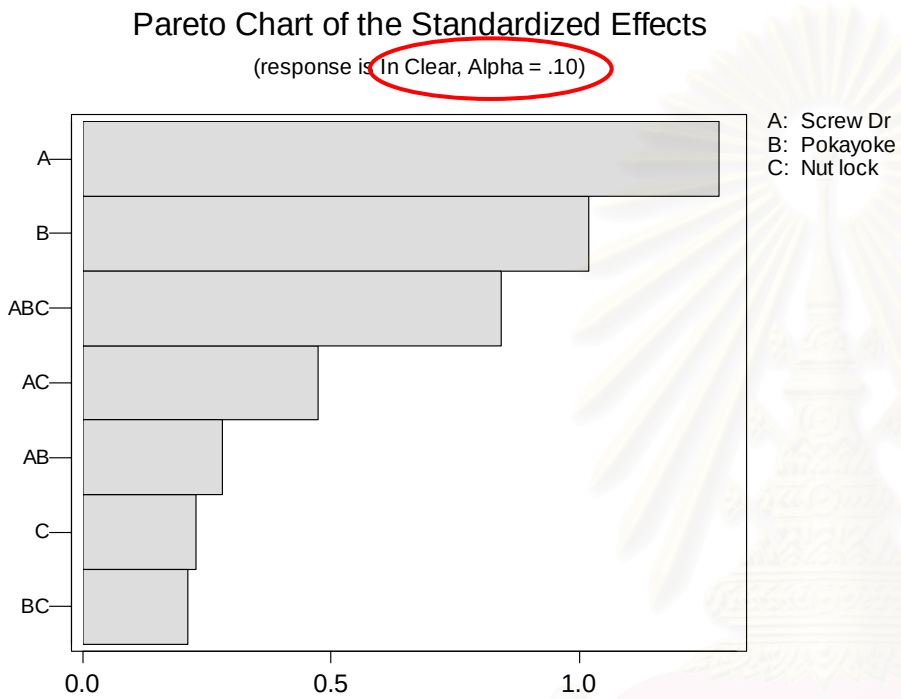
วิเคราะห์หาผลกระทบต่อระยะปรับตั้งวาวล์ จากปัจจัยที่สงสัย 3 ประการ

1.ไขควงตรึงและไม่ตรึงกับบ็อคเกอร์อาร์ม สกรู เวลาขันล็อคนัต
2.ขันล็อคนัตที่ด้านใกล้และด้านตรงข้ามตัวพนักงาน
3.ใช้ประแจทอร์คขันนัตซ้ำอีกครั้งโดยมีและไม่มีฟิลเลอร์เกจอยู่ในช่องระยะวาวล์

ตาราง 4.11 ผลการออกแบบการทดลองวิธีการปรับตั้งระยะวาวล์

ลำดับมาตรฐาน	ลำดับการทดลอง	Screw Driver ปัจจัยที่ 1	Pokayoke ปัจจัยที่ 2	Nut lock side ปัจจัยที่ 3	ตำแหน่งวาวล์ไอดี	ระยะปรับตั้งวาวล์ไอดี			ตำแหน่งวาวล์ไอเสีย	ระยะปรับตั้งวาวล์ไอเสีย		
						1	2	ค่าเฉลี่ย		1	2	ค่าเฉลี่ย
1	1	fix	with feeler	near	8	0.133	0.139	0.1360	2	0.227	0.245	0.2360
2	2	not fix	with feeler	near	7	0.136	0.134	0.1350	2	0.224	0.241	0.2325
3	3	fix	w/o feeler	near	5	0.14	0.139	0.1395	4	0.214	0.224	0.2190
4	5	not fix	w/o feeler	near	3	0.119	0.117	0.1180	1	0.243	0.246	0.2445
5	7	fix	with feeler	far	2	0.136	0.132	0.1340	3	0.235	0.232	0.2335
6	4	not fix	with feeler	far	6	0.139	0.136	0.1375	4	0.234	0.242	0.2380
7	8	fix	w/o feeler	far	1	0.141	0.132	0.1365	3	0.22	0.233	0.2265
8	6	not fix	w/o feeler	far	4	0.149	0.171	0.1600	1	0.241	0.246	0.2435
9	1	fix	with feeler	near	3	0.145	0.139	0.1420	1	0.236	0.261	0.2485
10	3	not fix	with feeler	near	6	0.16	0.128	0.1440	4	0.253	0.253	0.2530
11	5	fix	w/o feeler	near	2	0.128	0.129	0.1285	3	0.242	0.24	0.2410
12	6	not fix	w/o feeler	near	1	0.137	0.132	0.1345	3	0.229	0.236	0.2325
13	7	fix	with feeler	far	8	0.13	0.14	0.1350	2	0.242	0.231	0.2365
14	2	not fix	with feeler	far	4	0.139	0.135	0.1370	1	0.227	0.245	0.2360
15	8	fix	w/o feeler	far	7	0.102	0.11	0.1060	2	0.236	0.26	0.2480
16	4	not fix	w/o feeler	far	5	0.136	0.146	0.1410	4	0.249	0.228	0.2385
17	1	fix	with feeler	near	4	0.131	0.124	0.1275	1	0.235	0.232	0.2335
18	3	not fix	with feeler	near	2	0.133	0.159	0.1460	3	0.227	0.243	0.2350
19	5	fix	w/o feeler	near	5	0.127	0.129	0.1280	4	0.222	0.229	0.2255
20	2	not fix	w/o feeler	near	3	0.143	0.151	0.1470	1	0.242	0.258	0.2500
21	7	fix	with feeler	far	8	0.145	0.139	0.1420	2	0.226	0.251	0.2385
22	4	not fix	with feeler	far	1	0.148	0.143	0.1455	3	0.244	0.247	0.2455
23	8	fix	w/o feeler	far	7	0.141	0.141	0.1410	2	0.23	0.254	0.2420
24	6	not fix	w/o feeler	far	6	0.124	0.123	0.1235	4	0.237	0.246	0.2415

รูปที่ 4.20 ผลการออกแบบการทดลอง วิธีปรับตั้งระยะวาวล์ไอดี

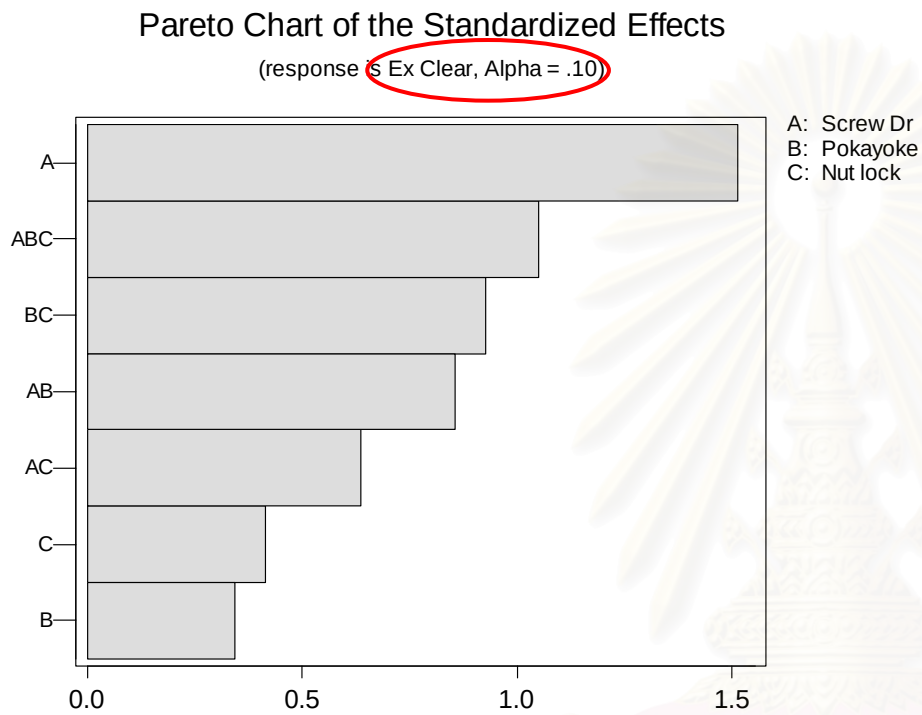


ไม่มีปัจจัยใดมีผลอย่าง significant ทางสถิติต่อระยะปรับตั้งวาวล์ไอดี

Analysis of Variance for In (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.00036925	0.00036925	0.00012308	0.91	0.457
2-Way Interactions	3	0.00004704	0.00004704	0.00001568	0.12	0.949
3-Way Interactions	1	0.00009600	0.00009600	0.00009600	0.71	0.411
Residual Error	16	0.00215767	0.00215767	0.00013485		
Pure Error	16	0.00215767	0.00215767	0.00013485		
Total	23	0.00266996				

รูปที่ 4.21 ผลการออกแบบการทดลอง วิธีปรับตั้งระยะวาวล์ไอเสีย



ไม่มีปัจจัยใดมีผลอย่าง significant ทางสถิติต่อระยะปรับตั้งวาวล์ไอเสีย

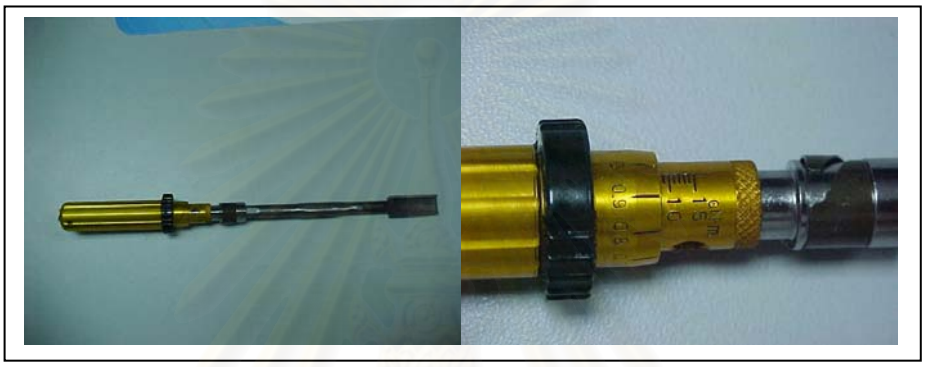
Analysis of Variance for Ex (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.00018037	0.00018037	0.00006012	0.86	0.481
2-Way Interactions	3	0.00013938	0.00013938	0.00004646	0.67	0.585
3-Way Interactions	1	0.00007704	0.00007704	0.00007704	1.10	0.309
Residual Error	16	0.00111667	0.00111667	0.00006979		
Pure Error	16	0.00111667	0.00111667	0.00006979		
Total	23	0.00151346				

4.4.2 จัดหาอุปกรณ์เพื่อช่วยในการทำงาน

ทีมงานพยายามที่จะเปลี่ยนการตัดสินใจด้วยความรู้สึกของพนักงานปรับตั้งวาล์วแต่ละคน ให้กลายเป็นปริมาณที่สามารถวัดได้ จึงนำไขควงที่ตั้งค่าทอร์คได้มาทำการทดลอง โดยถ้าขันสกรูไปจนได้ค่าทอร์คที่ตั้งไว้แล้ว ไขควงจะหมุนฟรีทำให้ไม่สามารถขันลงไปได้อีก ในขั้นแรกจากการทดลองโดยสมาชิกในทีมงานเอง พบว่าค่าทอร์คที่ใช้ในการปรับตั้งระยะวาล์วอยู่ที่ประมาณ 0.08 N.m

รูปที่ 4.22 ไขควงแบบตั้งค่าทอร์คได้ (Manual Pre-set Torque Driver)



หลังจากทราบค่าทอร์คใช้งานโดยประมาณ 0.08 N.m แล้วทำการเก็บข้อมูลในสภาพการผลิตจริงโดยให้พนักงาน 3 คนใช้อุปกรณ์นี้ ซึ่งตั้งค่าทอร์คไว้ที่ 0.08 N.m ในการปรับตั้งระยะวาล์วไอดี 56 วาล์วและวาล์วไอเสีย 28 วาล์ว ได้ผลดังในตารางที่ 4.13 และ รูป 4.23

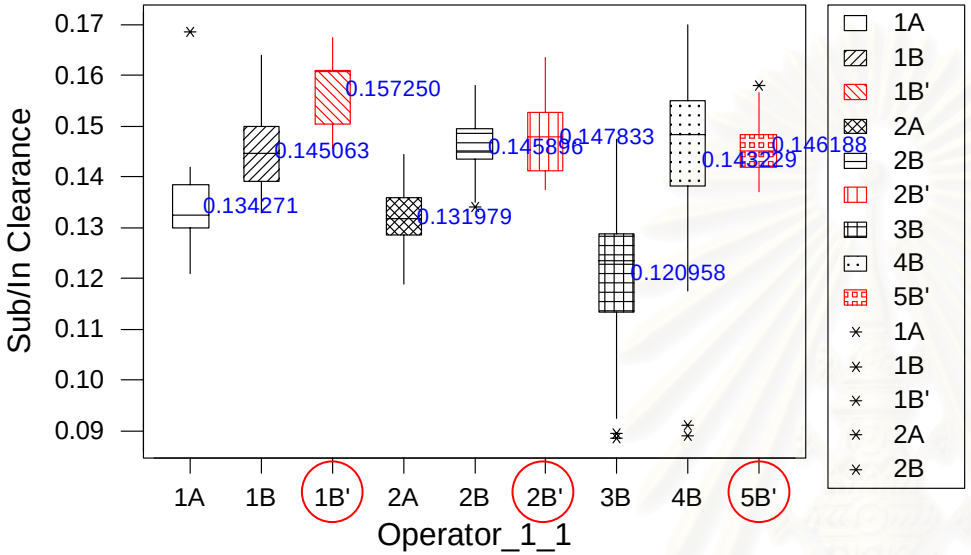
ผลการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการในรูป 4.26 พบว่า ค่าระยะวาล์วไอดีมี Cp ที่ดีมาก (2.18) แต่ข้อมูลทั้งหมดค่อนไปทางค่าบนของสเปค (Cpk 0.94) ส่วนระยะวาล์วไอเสียมีค่า Cp และ Cpk ใกล้เคียงกับข้อมูลที่เก็บในช่วงขั้นตอนการวัด จากการปรับตั้งด้วยอุปกรณ์ธรรมดา

ดังนั้นอุปกรณ์ลักษณะนี้จึงน่าจะเป็นวิธีที่เป็นไปได้ในการลดความแปรปรวน ถ้าหากให้พนักงานมีความคุ้นเคยกับอุปกรณ์นี้มากขึ้น ตลอดจนปรับปรุงด้ามจับให้มีขนาดและน้ำหนักพอเหมาะ และสามารถช่วยให้ปรับตั้งวาล์วได้เข้าใกล้กับค่ากลางของสเปคยิ่งขึ้น ถ้ามีการทดลองเพิ่มขึ้นเพื่อหาค่าทอร์คที่เหมาะสมที่สุด แต่ปัญหาที่จะเกิดขึ้นในการนำมาใช้งานจริง จากมุมมองของผู้บริหารคือ ความทนทาน และความสามารถในการรักษาความแม่นยำของค่าทอร์ค เมื่อต้องใช้งานในลักษณะ Mass Production ซึ่งจะเกิดการกระทบกระแทกหรือตกหล่นได้ง่าย และอุปกรณ์นี้มีกลไกที่ละเอียดอ่อน ที่จะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาจำนวนมาก

ตาราง 4.12 ระยะวาวล์จากการใช้ไขควงแบบตั้งค่าทอร์คได้ ที่ 0.08 N.m

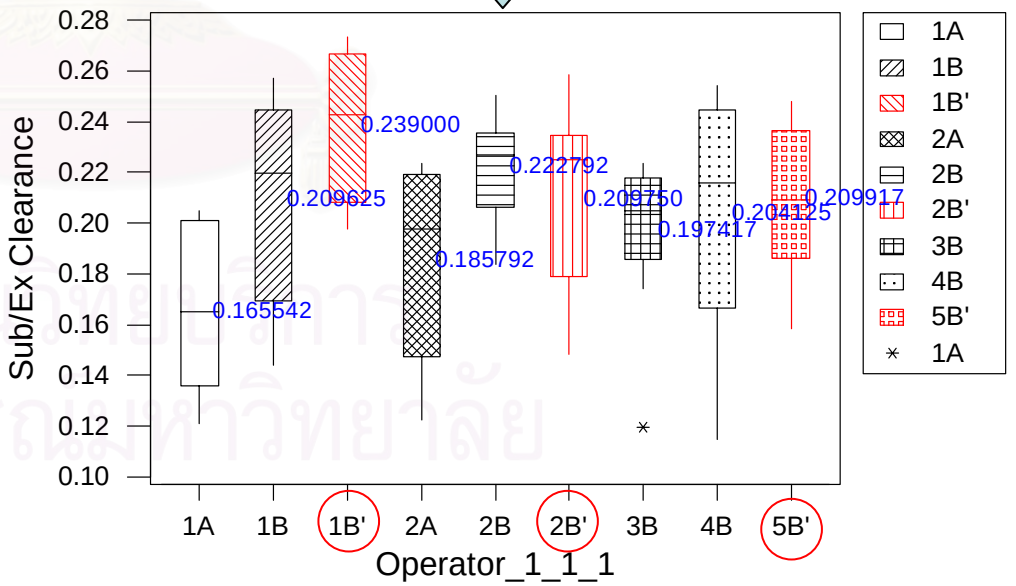
		ระยะวาวล์ไอดี								ระยะวาวล์ไอเสีย			
พนักงาน		1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4
1	Sub1	0.18	0.151	0.137	0.134	0.154	0.146	0.185	0.154	0.229	0.242	0.197	0.292
		0.142	0.171	0.166	0.187	0.146	0.145	0.137	0.181	0.25	0.249	0.198	0.255
	ค่าเฉลี่ย	0.1610	0.1610	0.1515	0.1605	0.1500	0.1455	0.1610	0.1675	0.2395	0.2455	0.1975	0.2735
2	Sub1	0.14	0.147	0.14	0.142	0.133	0.158	0.158	0.147	0.267	0.234	0.139	0.176
		0.162	0.147	0.144	0.143	0.145	0.137	0.153	0.151	0.25	0.237	0.158	
	ค่าเฉลี่ย	0.1510	0.1470	0.1420	0.1425	0.1390	0.1475	0.1555	0.1490	0.2585	0.2355	0.1485	0.1760
	Sub2	0.181	0.135	0.165	0.149	0.171	0.134	0.169	0.151	0.244	0.239	0.175	0.228
		0.146	0.192	0.141	0.142	0.138	0.145	0.145	0.145	0.221	0.254	0.183	0.235
	ค่าเฉลี่ย	0.1635	0.1635	0.1530	0.1455	0.1545	0.1395	0.1570	0.1480	0.2325	0.2465	0.1790	0.2315
	Sub3	0.148	0.154	0.141	0.171	0.142	0.107	0.159	0.139	0.23	0.222	0.18	0.186
		0.15	0.149	0.136	0.113	0.14	0.168	0.141	0.142	0.23	0.218	0.18	0.172
	ค่าเฉลี่ย	0.1490	0.1515	0.1385	0.1420	0.1410	0.1375	0.1500	0.1405	0.2300	0.2200	0.1800	0.1790
3	Sub1	0.144	0.149	0.144	0.158	0.144	0.136	0.138	0.138	0.243	0.196	0.234	0.201
		0.146	0.146	0.137	0.126	0.137	0.143	0.146	0.146	0.253	0.208	0.228	0.219
	ค่าเฉลี่ย	0.145	0.1475	0.1405	0.142	0.1405	0.1395	0.142	0.142	0.248	0.202	0.231	0.21
	Sub2	0.152	0.164	0.14	0.144	0.15	0.132	0.14	0.145	0.248	0.235	0.159	0.206
		0.159	0.149	0.149	0.153	0.143	0.142	0.146	0.145	0.236	0.241	0.158	0.209
	ค่าเฉลี่ย	0.1555	0.1565	0.1445	0.1485	0.1465	0.137	0.143	0.145	0.242	0.238	0.1585	0.2075
	Sub3	0.158	0.164	0.139	0.147	0.135	0.15	0.15	0.163	0.232	0.205	0.155	0.186
		0.15	0.152	0.151	0.146	0.145	0.144	0.145	0.147	0.231	0.212	0.167	0.176
	ค่าเฉลี่ย	0.154	0.158	0.145	0.1465	0.14	0.147	0.1475	0.155	0.2315	0.2085	0.161	0.181

รูป 4.23 กราฟ Boxplot เปรียบเทียบระยะวาวล์จากการตั้งด้วยไขควงตั้งค่าทอร์ค 0.08 N.m กับเครื่องมือธรรมดา



ระยะวาวล์ไอดี

ระยะวาวล์ไอเสีย

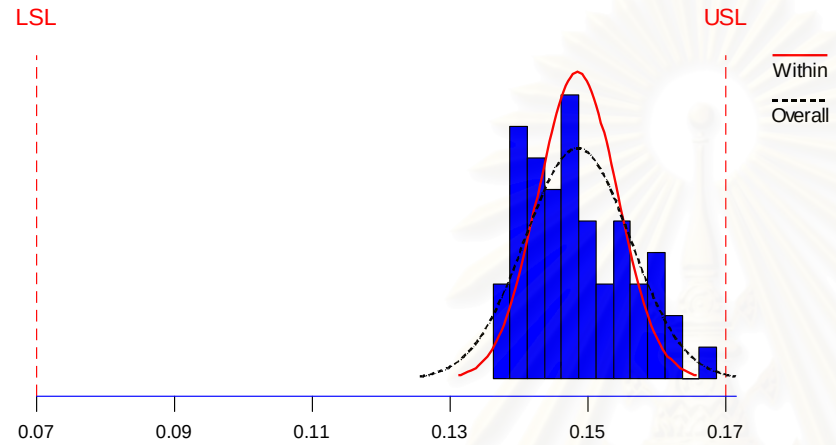


○ คือ ข้อมูลระยะวาวล์ที่ปรับตั้งด้วยไขควงซึ่งตั้งค่าทอร์คที่ 0.08 N.m

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 4.24 กราฟ Boxplot ผลการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ จากการปรับตั้งระยะวาวล์ด้วยไขควงตั้งค่าทอร์ค 0.08 N.m

Process Capability Analysis for In Clearance



Process Data	
USL	0.170000
Target	*
LSL	0.070000
Mean	0.148473
Sample N	56
StDev (Within)	0.0057544
StDev (Overall)	0.0076579

Potential (Within) Capability	
Cp	2.90
CPU	1.25
CPL	4.55
Cpk	1.25
Cpm	*

Overall Capability		Observed Performance		Exp. "Within" Performance		Exp. "Overall" Performance	
Pp	2.18	PPM < LSL	0.00	PPM < LSL	0.00	PPM < LSL	0.00
PPU	0.94	PPM > USL	0.00	PPM > USL	91.66	PPM > USL	2468.99
PPL	3.42	PPM Total	0.00	PPM Total	91.66	PPM Total	2468.99
Ppk	0.94						

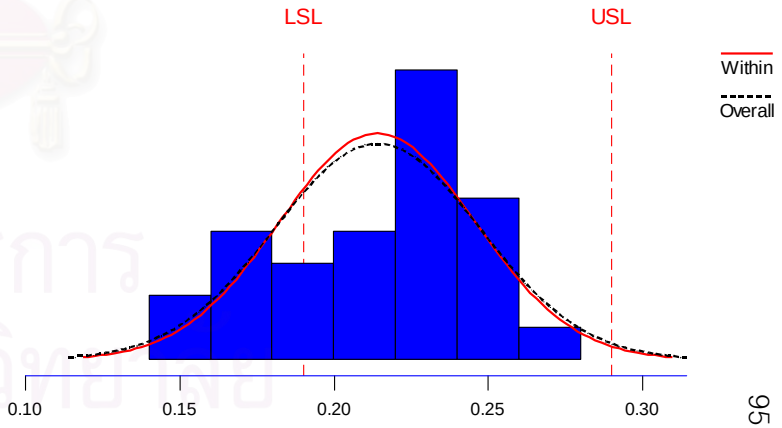
ระยะปรับตั้งวาวล์ไอดี

Cp = 2.18, Cpk = 0.94, PPM = 2468.99

ระยะปรับตั้งวาวล์ไอเสีย

Cp = 0.50, Cpk = 0.24, PPM = 0

Process Capability Analysis for Ex Clearance



Process Data	
USL	0.290
Target	*
LSL	0.190
Mean	0.214
Sample N	28
StDev (Within)	0.0318328
StDev (Overall)	0.0333937

Potential (Within) Capability	
Cp	0.52
CPU	0.80
CPL	0.25
Cpk	0.25
Cpm	*

Overall Capability		Observed Performance		Exp. "Within" Performance		Exp. "Overall" Performance	
Pp	0.50	PPM < LSL	285714.29	PPM < LSL	225442.89	PPM < LSL	236163.58
PPU	0.76	PPM > USL	0.00	PPM > USL	8482.30	PPM > USL	11426.71
PPL	0.24	PPM Total	285714.29	PPM Total	233925.19	PPM Total	247590.29
Ppk	0.24						

เพื่อหาอุปกรณ์ที่มีความทนทานเหมาะสมกับการทำงานแบบ Mass Production และเป็นการช่วยให้พนักงานทำงานได้สะดวกรวดเร็วขึ้นด้วย ทีมงานพยายามที่จะหาไขควงที่ควบคุมการทำงานด้วยระบบนิวแมติก หรือไฟฟ้า ซึ่งสามารถทำงานที่ค่าทอร์คประมาณ 0.05 – 0.10 N.m และสั่งให้ไขควงหมุนโดยการออกแรงกด (push start) ซึ่งผลการศึกษาปรากฏว่า

ไขควงนิวแมติก

ไม่สามารถปรับขนาดของลมเข้าเพื่อให้ไขควงทำงานในช่วงค่าทอร์คที่ต่ำเท่าที่ต้องการได้

ไขควงไฟฟ้า

ทดลองครั้งแรกด้วยไขควงไฟฟ้าที่ปรับค่าทอร์คต่ำสุดได้ที่ 0.18 N.m แต่พบว่าใช้ไม่ได้ เพราะจะหมุนจนฟิลเลอร์เกจถูกบีบแน่นจนไม่สามารถดึงออกมาได้ จึงพยายามที่จะหาไขควงไฟฟ้าที่มีช่วงค่าทอร์คต่ำที่สุดที่มีการผลิตอยู่ คือ 0.05 – 0.5 N.m แต่การจะนำมาทดลองใช้มีปัญหาคือ เราต้องจัดหาเครื่องสอบเทียบค่าทอร์คในช่วงนั้นด้วยซึ่งมีราคาสูง และผู้ผลิตไม่สามารถจัดหาให้ทดลองก่อนได้เนื่องจากไม่มีอยู่ในสต๊อคเพราะเป็นรุ่นที่ไม่ค่อยมีผู้ใช้งาน ทีมงานได้เสนอเรื่องให้ผู้บริหารทราบเนื่องจากต้องใช้งบประมาณในการจัดหาอุปกรณ์ ซึ่งได้รับข้อคิดเห็นว่าน่าจะพิจารณาวิธีอื่นๆในการปรับปรุงเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง และความทนทานของอุปกรณ์อาจไม่เหมาะกับการทำงานแบบ Mass Production

ตาราง 4.13 ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับไขควงชนิดตั้งค่าทอร์คได้

แบบ	ราคา
ข้อมูลจากผู้ผลิต 1	
- แบบธรรมดา (Manual) ปรับทอร์คได้	4,984 บาท
- แบบธรรมดา ทอร์คคงที่	3,680 บาท
- เครื่องสอบเทียบค่าทอร์ค	154,945 บาท
หรือ	
- จ้างผู้ผลิตสอบเทียบให้ ครั้งละ	500 บาท
ข้อมูลจากผู้ผลิต 2	
- แบบไฟฟ้า	26,600 บาท
- เครื่องสอบเทียบค่าทอร์ค	110,700 บาท

4.4.3 ฟีลเลอร์เกจสำหรับปรับตั้งระยะวาล์ว

รูปที่ 4.25 ฟีลเลอร์เกจสำหรับปรับตั้งระยะวาล์ว

ในการปรับตั้งระยะวาล์วฟีลเลอร์เกจจะถูกบีบไว้ระหว่าง ร็อคเกอร์อาร์ม กับ ลูกเบี้ยวแล้ว พนักงานจะต้องใช้แรงดึงออกมา ทำให้เกิดการขัดสีและมีการสึกหรอลงไปเรื่อยๆ ซึ่งเมื่อใช้ฟีลเลอร์เกจที่สึกลงจะทำให้ระยะวาล์วที่ปรับตั้งแคบตามไปด้วย

ปัจจุบันมีการกำหนดคาบการสอบเทียบความหนาของฟีลเลอร์เกจไว้ ปีละครั้ง แต่ในความเป็นจริงแล้ว จะเกิดการขาด เสียรูป หรือสึกจนพนักงานดึงเกจออกไม่สะดวกก่อนหน้านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ด้านสำหรับวาล์วไอดี เนื่องจากมีความหนาเพียง 0.12 มม. แล้วฝ่ายประกอบเครื่องยนต์ก็จะนำใบเกจใหม่มาประกอบเข้ากับด้ามเพื่อใช้งานต่อไป เมื่อครบรอบเวลาการสอบเทียบ ทางห้องปฏิบัติการสอบเทียบจะเรียกฟีลเลอร์เกจไปตรวจวัดความหนา ซึ่งก็จะพบว่าเป็นเกจคนละใบกับที่สอบเทียบไว้ในตอนแรกทุกครั้ง

ดังนั้นทีมงานจึงมีความเห็นว่าควรมีการกำหนดอายุการใช้งานที่เหมาะสมของใบฟีลเลอร์เกจเพื่อ ป้องกันระยะวาล์วที่แคบอันเนื่องจากการใช้ฟีลเลอร์เกจที่สึก และยังเป็นการรองรับการตรวจประเมินตาม QS 9000 เกี่ยวกับการสอบเทียบฟีลเลอร์เกจ เนื่องจากการดำเนินการที่ผ่านมายังไม่เหมาะสมดังที่กล่าวมาแล้ว ในขั้นแรกจะกำหนดอายุการใช้งานไว้ที่ 1 เดือน ซึ่งอาจปรับเปลี่ยนได้ภายหลัง เมื่อผลจากการเก็บข้อมูลหลายๆครั้งแสดงว่าอายุการใช้งานที่เหมาะสมจริงๆแล้วควรเป็นเท่าไร

นอกจากนั้นยังได้เสนอที่จะให้มีการปรับปรุงด้ามฟีลเลอร์เกจ ให้พนักงานจับได้สะดวกและกระชับยิ่งขึ้น เนื่องจากด้ามปัจจุบันมีหัวนัตที่ใช้ขันประกอบใบเกจยื่นออกมา พนักงานต้องหาผ้ามาพันเอาไว้ป้องกันไม่ให้เจ็บมือ ทำให้มีพื้นที่ในการจับน้อย และในการดึงฟีลเลอร์เกจออกเมื่อปรับตั้งระยะวาล์วเสร็จแล้วต้องใช้แรงพอสมควร เมื่อพนักงานจับด้ามได้ไม่ถนัดก็มีโอกาสที่จะดึงแล้วหลุดมือ ทำให้โดนใบฟีลเลอร์เกจบาดมือได้

ประการสุดท้ายเกี่ยวกับฟีลเลอร์เกจคือ เสนอให้มีการแสดงสัญลักษณ์แบ่งแยกระหว่างด้านไอดีและไอเสียให้ชัดเจน เพื่อป้องกันการใช้งานสลับด้าน จากรูปที่ 4.25 จะเห็นว่าทั้งสองด้านนั้นแทบจะเหมือนกัน ต่างกันที่ความหนาของใบเกจเท่านั้น ทำให้พนักงานมีโอกาสที่จะเผลอใช้สลับด้านกันได้

วิธีปฏิบัติในการปรับปรุงเกี่ยวกับฟีลเลอร์เกจนี้คือ ออกแบบด้ามฟีลเลอร์เกจใหม่โดยไม่ให้มีหัวนัตยื่นออกมาและมีพื้นที่จับมากขึ้น จัดทำทั้งหมด 12 ชิ้นแยกตามสี และควบคุมไม่ให้ใช้นานเกิน 1 เดือนโดยดูที่สีของด้าม และทำสัญลักษณ์บนด้ามสำหรับด้านวาล์วไอดี เพื่อให้พนักงานเห็นได้ง่าย

4.4.4 ชุดฟีลเลอร์เกจ สำหรับสุ่มตรวจสอบระยะวาล์ว

จากการสำรวจชุดฟีลเลอร์เกจที่ใช้ตรวจสอบระยะวาล์วในปัจจุบันพบว่าเกจบางใบที่จำเป็นต่อการตรวจวัดค่าระยะวาล์วหายไป โดยจะเป็นใบที่มีความหนาต่ำๆ เช่น 0.03 , 0.04 มม. เป็นต้น ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในการวัดระยะวาล์วไอดี เนื่องจากเกจขนาดเล็กเหล่านี้จะเกิดการฉีกขาด เสียรูปได้ง่าย หรือเมื่อส่งไปทำการสอบเทียบ ผู้สอบเทียบจะตัดเกจใบที่สึกจนมีความหนาไม่อยู่ในมาตรฐานออกจากชุดไป โดยไม่ทราบว่าเกจใบนั้นจำเป็นต่อการวัดระยะวาล์ว ผลที่ตามมาคือค่าระยะวาล์วบางค่าจะเกิดจากการประมาณของพนักงานผู้ตรวจวัด เนื่องจากไม่มีใบฟีลเลอร์เกจขนาดที่จำเป็น

วิธีการแก้ไข คือ ปรับเปลี่ยนวิธีการสอบเทียบ โดยให้เจ้าหน้าที่ของห้องปฏิบัติการสอบเทียบตรวจจำนวนใบของเกจด้วยว่ามีอยู่ครบหรือไม่ แทนที่จะตรวจสอบความหนาของเกจแต่ละใบเพียงอย่างเดียว หากพบว่าใบใดหายไปจากชุดก็แจ้งให้ฝ่ายประกอบเครื่องยนต์ทราบเพื่อจัดหาใบขนาดนั้นๆมาใหม่เพื่อสอบเทียบก่อนใส่รวมเข้าไปในชุดฟีลเลอร์เกจ นอกจากนั้นยังให้เพิ่มความถี่ในการสอบเทียบจากทุกๆ 1 ปี เป็นทุกๆ 1 เดือนเพื่อให้สามารถตรวจพบปัญหาได้เร็วขึ้น กรณีที่ใบฟีลเลอร์เกจเกิดการเสียหาย หรือสึกหรอจนไม่เหมาะที่จะใช้งาน

รูปที่ 4.26 ชุดฟีลเลอร์เกจ สำหรับสุ่มตรวจสอบระยะวาล์ว

4.4.5 ผลการปรับปรุง

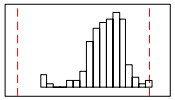
จากแนวทางในการปรับปรุงทั้งหมดที่ทีมได้คิดขึ้น ผลสรุปว่ามี 2 ข้อที่ได้รับความเห็นชอบจากผู้บริหารให้นำไปปฏิบัติคือ

1. ฟีลเลอร์เกจสำหรับปรับตั้งระยะวาล์ว
   1.1 ควบคุมอายุการใช้งานของใบฟีลเลอร์เกจไม่เกิน 1 เดือน
   1.2 จัดทำด้ามฟีลเลอร์เกจใหม่
   1.3 เพิ่มสัญลักษณ์เพื่อแยกด้านวาล์วไอดีและวาล์วไอเสียให้มองเห็นชัดเจน
2. ปรับเปลี่ยนการสอบเทียบของชุดฟีลเลอร์เกจที่ใช้ในการตรวจสอบ

หลังจากนำทั้ง 2 ข้อที่กล่าวมานี้ไปปฏิบัติเป็นระยะเวลา 1 เดือน ทำการเก็บข้อมูลระยะวาล์วหลังจากพนักงานทำการปรับตั้ง (Sub) เพื่อดูผลการปรับปรุง ปรากฏว่าได้ข้อมูลดังแสดงในภาคผนวก ข และนำมาวิเคราะห์หาความสามารถกระบวนการเพื่อเปรียบเทียบกับสภาวะก่อนปรับปรุงได้ผลดังในรูปที่ 4.27 และตารางที่ 4.14

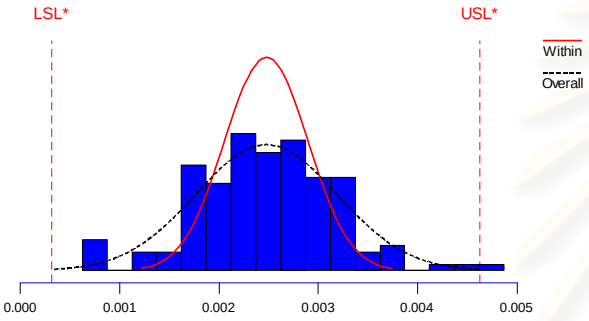
รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการปรับตั้งระยะวาล์ว ก่อนและหลังการปรับปรุง

ระยะวาวล์ไอดี



Sub/In

Box-Cox Transformation, With Lambda = 3.034



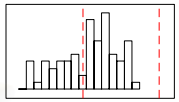
Process Data	
USL	0.170000
USL*	0.004626
Target	*
Target*	*
LSL	0.070000
LSL*	0.000313
Mean	0.136899
Mean*	0.002476
Sample N	144
StDev (Within)	0.0082794
StDev* (Within)	0.0004203
StDev (Overall)	0.0144147
StDev* (Overall)	0.0007113
Potential (Within) Capability	
Cp	1.71
CPU	1.70
CPL	1.72
Cpk	1.70
Cpm	*

Overall Capability	
Pp	1.01
PPU	1.01
PPL	1.01
Ppk	1.01

Observed Performance		Exp. "Within" Performance		Exp. "Overall" Performance	
PPM < LSL	0.00	PPM < LSL*	0.13	PPM < LSL*	1180.14
PPM > USL	0.00	PPM > USL*	0.16	PPM > USL*	1255.31
PPM Total	0.00	PPM Total	0.29	PPM Total	2435.46

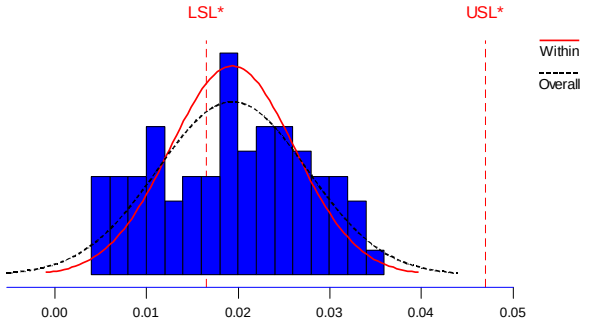
“Sub” ก่อนปรับปรุง

ระยะวาวล์ไอเสีย



Sub/Ex

Box-Cox Transformation, With Lambda = 2.471

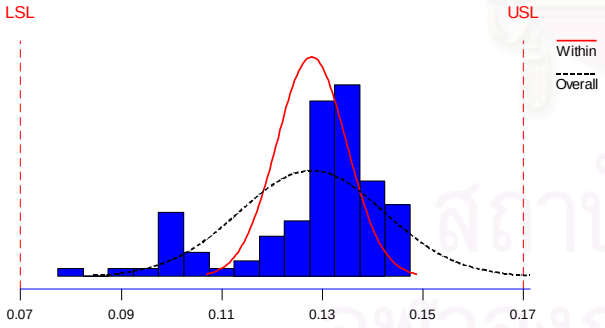


Process Data	
USL	0.290000
USL*	0.046945
Target	*
Target*	*
LSL	0.190000
LSL*	0.016512
Mean	0.197549
Mean*	0.019356
Sample N	72
StDev (Within)	0.0317401
StDev* (Within)	0.0067927
StDev (Overall)	0.0379819
StDev* (Overall)	0.0081996
Potential (Within) Capability	
Cp	0.75
CPU	1.35
CPL	0.14
Cpk	0.14
Cpm	*

Overall Capability	
Pp	0.62
PPU	1.12
PPL	0.12
Ppk	0.12

Observed Performance		Exp. "Within" Performance		Exp. "Overall" Performance	
PPM < LSL	361111.11	PPM < LSL*	337705.76	PPM < LSL*	364339.38
PPM > USL	0.00	PPM > USL*	24.38	PPM > USL*	383.30
PPM Total	361111.11	PPM Total	337730.14	PPM Total	364722.68

Process Capability Analysis for Sub/In

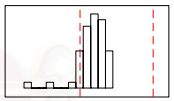


Process Data	
USL	0.170000
Target	*
LSL	0.070000
Mean	0.127823
Sample N	96
StDev (Within)	0.0069802
StDev (Overall)	0.0144624
Potential (Within) Capability	
Cp	2.39
CPU	2.01
CPL	2.76
Cpk	2.01
Cpm	*

Overall Capability	
Pp	1.15
PPU	0.97
PPL	1.33
Ppk	0.97

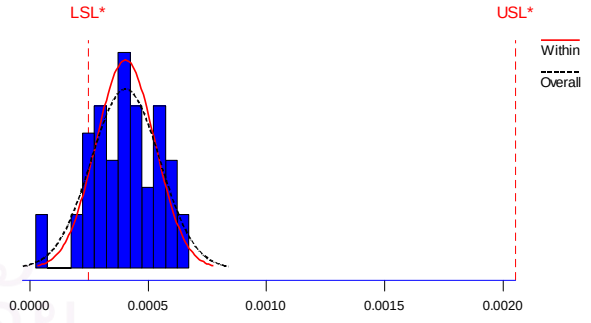
Observed Performance		Exp. "Within" Performance		Exp. "Overall" Performance	
PPM < LSL	0.00	PPM < LSL	0.00	PPM < LSL	31.92
PPM > USL	0.00	PPM > USL	0.00	PPM > USL	1770.90
PPM Total	0.00	PPM Total	0.00	PPM Total	1802.81

“Sub” หลังปรับปรุง



Process Capability Analysis for Sub/Ex

Box-Cox Transformation, With Lambda = 5



Process Data	
USL	0.290000
USL*	0.002051
Target	*
Target*	*
LSL	0.190000
LSL*	0.000248
Mean	0.206531
Mean*	0.000405
Sample N	48
StDev (Within)	0.0156839
StDev* (Within)	0.0001244
StDev (Overall)	0.0200202
StDev* (Overall)	0.0001446
Potential (Within) Capability	
Cp	2.42
CPU	4.41
CPL	0.42
Cpk	0.42
Cpm	*

Overall Capability	
Pp	2.08
PPU	3.79
PPL	0.36
Ppk	0.36

Observed Performance		Exp. "Within" Performance		Exp. "Overall" Pe	
PPM < LSL	125000.00	PPM < LSL*	103456.77	PPM < LSL*	
PPM > USL	0.00	PPM > USL*	0.00	PPM > USL*	
PPM Total	125000.00	PPM Total	103456.77	PPM Total	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 สรุปผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการปรับตั้งระยะวาล์ว ก่อนและหลังการปรับปรุง

"Sub"		Cp*	Cpk*	โอกาสการเกิดของเสีย (PPM)
ระยะวาล์วไอดี	ก่อนปรับปรุง	1.01	1.01	2,435.46
	หลังปรับปรุง	1.15	0.97	1,802.81
ระยะวาล์วไอเสีย	ก่อนปรับปรุง	0.62	0.12	364,722.68
	หลังปรับปรุง	2.08	0.36	138,777.04

*ความสามารถของกระบวนการในระยะยาว (Long Term Process Capability)

โอกาสการเกิดของเสียเฉลี่ยก่อนปรับปรุง = (2,435.46 + 364,722.68) / 2 = 183,579.07 PPM

โอกาสการเกิดของเสียเฉลี่ยหลังปรับปรุง = (1,802.81 + 138,777.04) / 2 = 70,289.92 PPM

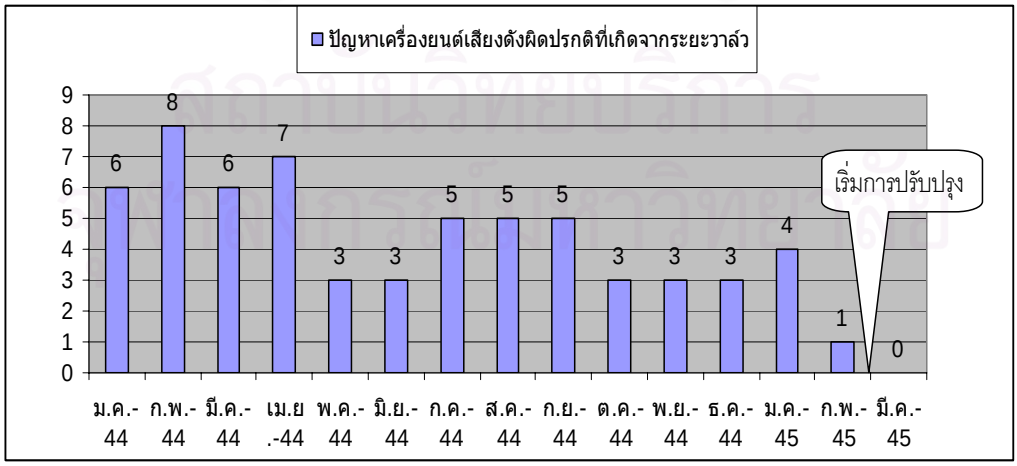
โอกาสการเกิดของเสียเฉลี่ยที่ลดลง = 183,579.07 – 70,289.92 = 113,289.1 PPM

% การปรับปรุง = [(183,579.07 – 70,289.92) / 183,579.07] x 100

= 61.71%

นอกจากนั้นทำการเก็บข้อมูลของปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติซึ่งตรวจสอบขณะทดสอบเดินเครื่องยนต์ ภายใน 1 เดือนหลังจากเริ่มการปรับปรุง ปรากฏว่าไม่พบปัญหาที่เกิดจากระยะวาล์วเลย

รูปที่ 4.28 กราฟปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติที่เกิดจากระยะวาล์ว



4.5 ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)

จากข้อมูลในข้อ 4.4.5 สรุปได้ว่ามาตรการต่างๆที่ถูกนำไปปฏิบัติเพื่อการปรับปรุงสามารถลดความแปรปรวน และโอกาสการเกิดของเสียของระยะวาล์วลงได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

เพื่อเป็นการติดตามผล และคงสภาพของการปรับปรุงให้บรรลุผลต่อไปในระยะยาว ทีมงานได้กำหนดวิธีควบคุมและติดตามผลการปรับปรุงไว้ดังนี้

ตารางที่ 4.15 วิธีควบคุมและติดตามผลการปรับปรุง

หัวข้อการปรับปรุง	วิธีควบคุมและติดตามผล
1. ฟีลเลอร์เกจสำหรับปรับตั้งระยะวาล์ว 1) ควบคุมอายุการใช้งานไม่เกิน 1 เดือน 2) จัดทำด้ามใหม่เพื่อช่วยให้พนักงานทำงานสะดวกยิ่งขึ้น 3) เพิ่มสัญลักษณ์แยกระหว่างด้านวาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย	1.1 ฝ่ายประกอบเครื่องยนต์จัดทำเอกสารมาตรฐานควบคุมอายุการใช้งานของฟีลเลอร์เกจ 1.2 ถ้าใบฟีลเลอร์เกจเกิดการเสียหายก่อนกำหนด 1 เดือน ให้พนักงานผู้เปลี่ยนใบใหม่เพื่อประกอบกับด้ามเดิมจดบันทึกวันที่ไว้ทุกครั้ง และเมื่อครบกำหนด 1 เดือนแล้วให้วัดความหนาใบเกจทั้งสองด้านไว้ว่าสึกลงไปเท่าไร หลังจากดำเนินการไปครบ 6 เดือนนำข้อมูลมาพิจารณาเพื่อกำหนดอายุการใช้งานที่เหมาะสมอีกครั้ง 1.3 เก็บข้อมูลระยะวาล์วหลังการปรับตั้ง (Sub) และจำนวนปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติเนื่องจากระยะวาล์ว ต่อไปอีก 6 เดือน ถ้าในเดือนใดพบว่าโอกาสการเกิดของเสียของระยะวาล์ว หรือ ปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติเนื่องจากระยะวาล์ว ไม่ลดลงเมื่อเทียบกับข้อมูลก่อนการปรับปรุง ทีมงานจะต้องเข้าไปตรวจสอบอย่างใกล้ชิดเพื่อหามาตรการแก้ไข
2. ปรับเปลี่ยนการสอบเทียบของชุดฟีลเลอร์เกจที่ใช้ในการตรวจสอบ 1) จากทุก 1 ปี เป็นทุก 1 เดือน 2) ตรวจสอบด้วยว่าเกจทุกใบในชุดอยู่ครบ	2.1 ห้องปฏิบัติการสอบเทียบแก้ไขเอกสารวิธีการสอบเทียบของชุดฟีลเลอร์เกจ 2.2 หลังจากดำเนินการไปครบ 6 เดือนนำข้อมูลมาพิจารณาเพื่อกำหนดคาบเวลาการสอบเทียบที่เหมาะสมอีกครั้ง

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ระบบการวัดระยะวาล์วที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นวิธีที่สามารถทำได้สะดวก รวดเร็ว แต่ทว่าสเกลของการวัดนั้นใหญ่เกินไป ไม่เหมาะสมสำหรับงานที่มีค่าสเปคละเอียดเช่นนี้ ทำให้การวัดมีความสามารถในการแยกแยะระหว่าง ของดี กับ ของเสีย เท่านั้น ซึ่งในการปรับปรุงคุณภาพของการปรับตั้งระยะวาล์วจำเป็นจะต้องมีระบบการวัดใหม่ที่มีสเกลละเอียดกว่าเดิม เพื่อวัดผลการปรับปรุง

5.1.2 จากการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการปรับตั้งวาล์ว ณ ปัจจุบัน ด้วยข้อมูลที่เก็บมาจากวิธีการวัดที่พัฒนาขึ้นใหม่ที่มีความสามารถวัดระยะวาล์วได้ละเอียด แม่นยำยิ่งขึ้น พบว่า ระยะวาล์วไอดี มีโอกาสเกิดของเสียเกิดน้อย และเป็นลักษณะกว้างกว่าสเปคด้านบน ส่วนระยะวาล์วไอเสีย มีโอกาสเกิดของเสียเกิดมาก และเป็นลักษณะแคบกว่าสเปคด้านล่าง

5.1.3 ทีมงานพิจารณาถึงปัจจัยที่ก่อให้เกิดของเสียและโอกาสในการปรับปรุงแล้วจึงได้กำหนดขอบเขตการวิเคราะห์ไว้ที่กระบวนการปรับตั้งวาล์ว (Sub) เท่านั้น หลังจากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานและสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของระยะวาล์วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ พนักงานผู้ปรับตั้งวาล์วแต่ละคน

5.1.4 ความพยายามที่จะนำอุปกรณ์มาช่วยในการปรับตั้งวาล์วเพื่อเปลี่ยนจากการอาศัยความรู้สึกของพนักงาน มาเป็นค่าที่กำหนดและวัดได้ ไม่ประสบผลสำเร็จเนื่องจากยังไม่สามารถพัฒนาหรือจัดหาอุปกรณ์ที่เหมาะสม ซึ่งใช้งานได้ดีที่ค่าทอร์คต่ำมากๆ และมีความทนทานสำหรับการทำงานแบบ Mass Production ได้ ประกอบกับอุปสรรคด้านเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่จะเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก

5.1.5 ทำการปรับปรุงเกี่ยวกับฟีลเลอร์เกจเพื่อช่วยให้พนักงานทำงานได้สะดวกยิ่งขึ้น ป้องกันการใช้ฟีลเลอร์เกจตั้งระยะวาล์วสลับกันระหว่างด้านวาล์วไอดีและด้านวาล์วไอเสียด้วยการมองเห็น และเพิ่มความแม่นยำในการปรับตั้งระยะวาล์ว ตลอดจนการตรวจวัด

5.1.6 จากการเก็บข้อมูลระยะวาล์วภายหลังการปรับปรุง 1 เดือน พบว่าโอกาสการเกิดของเสียเฉลี่ยระหว่างระยะวาล์วไอดีและไอเสียลดลง 113,289 PPM หรือ 61.71% เทียบกับข้อมูลก่อนการปรับปรุง และที่การทดสอบเดินเครื่องยนต์ ไม่พบปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปรกติอันเนื่องจากระยะวาล์วเลย

5.2 อุปสรรคที่พบในการวิจัย

5.2.1 เนื่องจากระบบการวัดเดิมไม่ผ่านตามเกณฑ์การวิเคราะห์ ทำให้ไม่สามารถใช้ข้อมูลที่มีการเก็บอยู่แล้วมาวิเคราะห์ต่อไปได้ และต้องพัฒนาระบบการวัดขึ้นใหม่ซึ่งต้องเสียเวลานานในช่วงนี้ ซึ่งระบบการวัดใหม่ก็ค่อนข้างจะยุ่งยากและใช้เวลาในการตรวจวัดนานกว่าวิธีเดิมมาก ซึ่งไม่เหมาะกับการเก็บข้อมูลในสายการผลิต

5.2.2 การจัดหาหรือพัฒนาอุปกรณ์ที่จะนำมาช่วยในการปรับตั้งวาล์ว ติดปัญหาด้านเทคนิคเนื่องจากค่าทอร์คที่ต้องการนั้นต่ำมาก ตลอดจนปัญหาด้านงบประมาณ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ฝ่ายประกอบเครื่องยนต์ควรปรับปรุงระบบการวัดในปัจจุบันให้มีความเหมาะสมกับการวัดงานที่มีค่าสเปคละเอียดขนาดนี้ โดยทั่วไปหน่วยการวัดควรละเอียดถึง 1 ส่วน 10 ของค่าสเปค

5.3.2 ปัจจุบันในฝ่ายประกอบเครื่องยนต์มีการตรวจจับของเสียในลักษณะที่เป็น “วาล์วห่าง”ที่ก่อให้เกิดปัญหาเสียงดังผิดปรกติเพียงอย่างเดียวโดยการทดสอบเดินเครื่องหลังจากประกอบเสร็จ แต่วิธีนี้ไม่สามารถตรวจจับของเสียลักษณะที่เป็น “วาล์วชิด” ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความทนทานของเครื่องยนต์ได้ ทำให้พนักงานผู้ปรับตั้งวาล์วมีแนวโน้มที่จะปรับตั้งระยะวาล์วให้แคบกว่าปรกติเนื่องจากพยายามหลีกเลี่ยงการถูกตรวจจับปัญหาเสียงดัง แนวทางที่อาจเป็นไปได้ในการลดของเสียประเภท “วาล์วชิด” ซึ่งเกิดมากที่ด้านไอเสียคือ

1. เพิ่มความถี่ในการตรวจวัด ปัจจุบันตรวจเพียง 1 ฝาสูบต่อ 1 กะซึ่งอาจไม่เพียงพอต่อการตรวจจับของเสีย

2. ในการตรวจประเมินวิธีการทำงาน (Process Audit) ที่มีการสุ่มตรวจเป็นครั้งคราว นอกจากตรวจว่าพนักงานทำตามขั้นตอนที่ระบุไว้ในมาตรฐานการทำงานหรือไม่แล้ว ควร

เพิ่มการตรวจวัดระยะวาล์วด้วยเพื่อจะได้ทราบว่าความรู้สึกที่พนักงานคิดว่าดีแล้วนั้น ให้ค่าระยะวาล์วเท่าไร ถ้าไม่ดีจะได้แจ้งให้พนักงานแก้ไข

5.3.3 ในการกำหนดวิธีการสอบเทียบอุปกรณ์ต่างๆนั้น เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบควรศึกษาร่วมกับฝ่ายผลิตซึ่งเป็นผู้ใช้อุปกรณ์นั้นๆ ด้วยเพื่อที่จะกำหนดวิธีสอบเทียบได้อย่างเหมาะสมกับสภาพการใช้งานของอุปกรณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ศันสนีย์ สุภาภา, **ความน่าจะเป็นและสถิติประยุกต์สำหรับวิศวกร**, กรุงเทพ : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2539, 215 - 245

ภาษาอังกฤษ

วรภัทร์ ภู่เจริญ และไพเดช อภิสิทธานุรักษ์, MSA, SPC, PPAP, FMEA, APQP, CONTROL PLAN (Thai version) , Chonburi : Automotive Components (Thailand), 1997, 15 – 22

Ford Motor Company, Green Belt training materials, 2001

Francisco Monzo Sanz, Reduce unusual engine noise in HCS engine, Ford Motor Company Consumer Driven 6-Sigma Project #4330 , 2001

Matt Saville, Reduction of incorrect valve gaps on the 1.8 Lynx Diesel , Ford Motor Company Consumer Driven 6-Sigma Project #1896 , 2001

Six Sigma Academy, Black Belt training materials, 2001

William H. Crouse, Automotive engines construction, operation and maintenance , 1971 , pp. 171-202 & 347-383.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลระยะวาวล์ก่อนการปรับปรุง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลระยะวาวล์ก่อนการปรับปรุง

Shift B		Intake								Exhaust			
Operator		1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4
1	Sub1	0.145	0.148	0.135	0.13	0.134	0.132	0.146	0.135	0.228	0.216	0.232	0.222
		0.155	0.15	0.142	0.154	0.145	0.145	0.157	0.152	0.245	0.217	0.266	0.273
	avg.	0.1500	0.1490	0.1385	0.1420	0.1395	0.1385	0.1515	0.1435	0.2365	0.2165	0.2490	0.2475
	Sub2	0.139	0.139	0.136	0.13	0.133	0.129	0.143	0.139	0.232	0.202	0.173	0.149
		0.147	0.157	0.166	0.159	0.133	0.137	0.145	0.152	0.237	0.205	0.188	0.182
	avg.	0.1430	0.1480	0.1510	0.1445	0.1330	0.1330	0.1440	0.1455	0.2345	0.2035	0.1805	0.1655
	Sub3	0.147	0.146	0.132	0.139	0.107	0.152	0.149	0.148	0.144	0.22	0.142	0.246
		0.154	0.157	0.144	0.151	0.171	0.176	0.151	0.15	0.173	0.225	0.146	0.268
	avg.	0.1505	0.1515	0.1380	0.1450	0.1390	0.1640	0.1500	0.1490	0.1585	0.2225	0.1440	0.2570
	Base												
	avg.												
	Firing	0.12	0.131	0.103	0.125	0.114	0.115	0.127	0.116	0.173	0.197	0.196	0.181
		0.124	0.136	0.145	0.133	0.127	0.142	0.127	0.137	0.191	0.198	0.205	0.202
	avg.	0.122	0.1335	0.124	0.129	0.1205	0.1285	0.127	0.1265	0.182	0.1975	0.2005	0.1915
2	Sub1	0.144	0.144	0.141	0.127	0.143	0.12	0.139	0.14	0.229	0.2	0.18	0.247
		0.154	0.155	0.164	0.16	0.144	0.179	0.15	0.157	0.243	0.216	0.188	0.254
	avg.	0.1490	0.1495	0.1525	0.1435	0.1435	0.1495	0.1445	0.1485	0.2360	0.2080	0.1840	0.2505
	Sub2	0.141	0.132	0.137	0.141	0.14	0.143	0.14	0.139	0.23	0.202	0.231	0.204
		0.152	0.161	0.142	0.149	0.143	0.147	0.148	0.163	0.231	0.21	0.236	0.204
	avg.	0.1465	0.1465	0.1395	0.1450	0.1415	0.1450	0.1440	0.1510	0.2305	0.2060	0.2335	0.2040
	Sub3	0.139	0.114	0.14	0.13	0.127	0.134	0.142	0.138	0.238	0.214	0.21	0.231
		0.166	0.202	0.149	0.159	0.143	0.134	0.143	0.164	0.254	0.233	0.227	0.235
	avg.	0.1525	0.1580	0.1445	0.1445	0.1350	0.1340	0.1425	0.1510	0.2460	0.2235	0.2185	0.2330
	Base	0.097	0.118	0.118	0.119	0.114	0.121	0.102	0.117	0.19	0.195	0.123	0.127
		0.111	0.119	0.129	0.12	0.125	0.135	0.123	0.145	0.217	0.211	0.126	0.128
	avg.	0.104	0.1185	0.1235	0.1195	0.1195	0.128	0.1125	0.131	0.2035	0.203	0.1245	0.1275
	Firing	0.113	0.122	0.128	0.13	0.108	0.135	0.123	0.128	0.2	0.198	0.181	0.2
		0.124	0.15	0.135	0.133	0.166	0.138	0.132	0.133	0.222	0.217	0.184	0.203
	avg.	0.1185	0.136	0.1315	0.1315	0.137	0.1365	0.1275	0.1305	0.211	0.2075	0.1825	0.2015

ข้อมูลระยะวาวล์ก่อนการปรับปรุง (ต่อ)

Shift B		Intake								Exhaust			
Operator		1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4
3	Sub1	0.122	0.135	0.118	0.12	0.117	0.112	0.137	0.127	0.196	0.168	0.185	0.213
		0.124	0.143	0.133	0.129	0.141	0.137	0.158	0.154	0.207	0.18	0.206	0.218
	avg.	0.123	0.139	0.1255	0.1245	0.129	0.1245	0.1475	0.1405	0.2015	0.174	0.1955	0.2155
	Sub2	0.124	0.111	0.112	0.11	0.102	0.115	0.116	0.122	0.192	0.182	0.195	0.115
		0.142	0.154	0.135	0.137	0.116	0.118	0.141	0.128	0.224	0.183	0.195	0.124
	avg.	0.133	0.1325	0.1235	0.1235	0.109	0.1165	0.1285	0.125	0.208	0.1825	0.195	0.1195
	Sub3	0.109	0.119	0.081	0.072	0.106	0.115	0.078	0.081	0.208	0.217	0.211	0.212
		0.116	0.122	0.104	0.105	0.141	0.128	0.141	0.098	0.229	0.229	0.214	0.235
	avg.	0.1125	0.1205	0.0925	0.0885	0.1235	0.1215	0.1095	0.0895	0.2185	0.223	0.2125	0.2235
	Base	0.093	0.108	0.107	0.103	0.106	0.107	0.113	0.079	0.172	0.165	0.163	0.168
		0.101	0.114	0.118	0.124	0.141	0.111	0.168	0.09	0.184	0.177	0.168	0.182
	avg.	0.097	0.111	0.1125	0.1135	0.1235	0.109	0.1405	0.0845	0.178	0.171	0.1655	0.175
	Firing	0.093	0.106	0.106	0.104	0.098	0.09	0.106	0.08	0.168	0.176	0.172	0.165
		0.098	0.113	0.113	0.129	0.13	0.12	0.125	0.102	0.176	0.183	0.172	0.183
	avg.	0.0955	0.1095	0.1095	0.1165	0.114	0.105	0.1155	0.091	0.172	0.1795	0.172	0.174
4	Sub1	0.147	0.14	0.147	0.076	0.119	0.133	0.115	0.078	0.238	0.235	0.155	0.113
		0.147	0.174	0.15	0.102	0.156	0.136	0.12	0.104	0.239	0.245	0.162	0.117
	avg.	0.147	0.157	0.1485	0.089	0.1375	0.1345	0.1175	0.091	0.2385	0.24	0.1585	0.115
	Sub2	0.15	0.152	0.148	0.141	0.137	0.137	0.146	0.138	0.24	0.188	0.172	0.161
		0.16	0.159	0.152	0.155	0.139	0.161	0.147	0.148	0.268	0.209	0.174	0.168
	avg.	0.155	0.1555	0.15	0.148	0.138	0.149	0.1465	0.143	0.254	0.1985	0.173	0.1645
	Sub3	0.168	0.153	0.143	0.152	0.144	0.136	0.15	0.141	0.168	0.232	0.245	0.244
		0.172	0.157	0.163	0.163	0.149	0.142	0.165	0.163	0.195	0.235	0.247	0.249
	avg.	0.17	0.155	0.153	0.1575	0.1465	0.139	0.1575	0.152	0.1815	0.2335	0.246	0.2465
	Base	0.101	0.123	0.123	0.116	0.119	0.11	0.118	0.117	0.187	0.21	0.117	0.19
		0.117	0.139	0.128	0.136	0.123	0.117	0.192	0.129	0.252	0.217	0.126	0.229
	avg.	0.109	0.131	0.1255	0.126	0.121	0.1135	0.155	0.123	0.2195	0.2135	0.1215	0.2095
	Firing	0.117	0.124	0.129	0.124	0.13	0.112	0.126	0.124	0.193	0.185	0.13	0.21
		0.118	0.148	0.13	0.134	0.131	0.122	0.144	0.13	0.196	0.198	0.138	0.21
	avg.	0.1175	0.136	0.1295	0.129	0.1305	0.117	0.135	0.127	0.1945	0.1915	0.134	0.21

ข้อมูลระยะวาวล์ก่อนการปรับปรุง (ต่อ)

Shift A		Intake								Exhaust			
Operator		1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4
1	Sub1	0.123	0.121	0.132	0.133	0.128	0.121	0.128	0.134	0.194	0.132	0.156	0.116
		0.144	0.155	0.132	0.139	0.142	0.126	0.13	0.149	0.209	0.139	0.176	0.126
	avg.	0.1335	0.138	0.132	0.136	0.135	0.1235	0.129	0.1415	0.2015	0.1355	0.166	0.121
	Sub2	0.137	0.136	0.127	0.129	0.127	0.122	0.129	0.119	0.175	0.204	0.162	0.193
		0.141	0.142	0.14	0.135	0.138	0.137	0.136	0.127	0.177	0.206	0.167	0.206
	avg.	0.139	0.139	0.1335	0.132	0.1325	0.1295	0.1325	0.123	0.176	0.205	0.1645	0.1995
	Sub3	0.135	0.126	0.141	0.125	0.097	0.123	0.125	0.126	0.185	0.136	0.15	0.12
		0.142	0.13	0.196	0.138	0.145	0.14	0.159	0.138	0.219	0.139	0.153	0.133
	avg.	0.1385	0.128	0.1685	0.1315	0.121	0.1315	0.142	0.132	0.202	0.1375	0.1515	0.1265
	Base	0.102	0.109	0.108	0.113	0.113	0.098	0.099	0.107	0.151	0.129	0.161	0.145
		0.104	0.129	0.113	0.119	0.114	0.101	0.113	0.119	0.166	0.152	0.215	0.154
	avg.	0.103	0.119	0.1105	0.116	0.1135	0.0995	0.106	0.113	0.1585	0.1405	0.188	0.1495
	Firing	0.107	0.12	0.12	0.123	0.118	0.108	0.107	0.115	0.132	0.105	0.175	0.124
		0.113	0.123	0.121	0.134	0.118	0.109	0.112	0.131	0.158	0.126	0.232	0.155
	avg.	0.11	0.1215	0.1205	0.1285	0.118	0.1085	0.1095	0.123	0.145	0.1155	0.2035	0.1395
2	Sub1	0.15	0.131	0.128	0.131	0.116	0.129	0.127	0.115	0.203	0.174	0.145	0.219
		0.139	0.137	0.14	0.134	0.131	0.133	0.152	0.134	0.226	0.204	0.148	0.224
	avg.	0.1445	0.134	0.134	0.1325	0.1235	0.131	0.1395	0.1245	0.2145	0.189	0.1465	0.2215
	Sub2	0.136	0.141	0.134	0.131	0.121	0.128	0.125	0.126	0.205	0.197	0.133	0.218
		0.138	0.145	0.135	0.142	0.136	0.129	0.143	0.135	0.209	0.205	0.145	0.229
	avg.	0.137	0.143	0.1345	0.1365	0.1285	0.1285	0.134	0.1305	0.207	0.201	0.139	0.2235
	Sub3	0.127	0.134	0.126	0.129	0.108	0.113	0.116	0.129	0.184	0.146	0.119	0.219
		0.136	0.144	0.138	0.132	0.142	0.125	0.134	0.13	0.204	0.154	0.126	0.223
	avg.	0.1315	0.139	0.132	0.1305	0.125	0.119	0.125	0.1295	0.194	0.15	0.1225	0.221
	Base	0.102	0.12	0.112	0.115	0.112	0.103	0.109	0.1	0.172	0.174	0.175	0.178
		0.102	0.131	0.12	0.125	0.127	0.105	0.12	0.101	0.177	0.179	0.193	0.184
	avg.	0.102	0.1255	0.116	0.12	0.1195	0.104	0.1145	0.1005	0.1745	0.1765	0.184	0.181
	Firing	0.112	0.126	0.126	0.121	0.125	0.118	0.119	0.119	0.179	0.14	0.186	0.187
		0.122	0.15	0.129	0.175	0.15	0.128	0.129	0.127	0.186	0.142	0.211	0.205
	avg.	0.117	0.138	0.1275	0.148	0.1375	0.123	0.124	0.123	0.1825	0.141	0.1985	0.196

ภาคผนวก ข

ข้อมูลระยะวาวล์หลังการปรับปรุง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลระยะวาวล์หลังการปรับปรุง

Shift B		Intake								Exhaust			
Operator		1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4
1	Sub1	0.124	0.139	0.118	0.13	0.125	0.119	0.12	0.129	0.219	0.188	0.207	0.213
		0.123	0.133	0.115	0.125	0.123	0.12	0.117	0.124	0.189	0.198	0.222	0.217
	avg.	0.1235	0.1360	0.1165	0.1275	0.1240	0.1195	0.1185	0.1265	0.2040	0.1930	0.2145	0.2150
	Sub2	0.124	0.137	0.121	0.144	0.141	0.119	0.119	0.129	0.225	0.195	0.228	0.216
		0.123	0.133	0.116	0.15	0.133	0.123	0.123	0.131	0.215	0.209	0.233	0.22
	avg.	0.1235	0.1350	0.1185	0.1470	0.1370	0.1210	0.1210	0.1300	0.2200	0.2020	0.2305	0.2180
	Sub3	0.09	0.105	0.118	0.11	0.099	0.097	0.094	0.098	0.203	0.21	0.2	0.192
		0.109	0.095	0.105	0.1	0.102	0.099	0.092	0.1	0.181	0.21	0.24	0.206
	avg.	0.0995	0.1000	0.1115	0.1050	0.1005	0.0980	0.0930	0.0990	0.1920	0.2100	0.2200	0.1990
2	Sub1	0.086	0.103	0.102	0.103	0.096	0.1	0.098	0.102	0.207	0.196	0.207	0.209
		0.071	0.126	0.103	0.104	0.101	0.103	0.086	0.099	0.216	0.19	0.221	0.22
	avg.	0.0785	0.1145	0.1025	0.1035	0.0985	0.1015	0.0920	0.1005	0.2115	0.1930	0.2140	0.2145
	Sub2	0.146	0.132	0.117	0.131	0.126	0.124	0.138	0.142	0.201	0.205	0.131	0.202
		0.13	0.134	0.145	0.129	0.139	0.153	0.125	0.144	0.216	0.191	0.116	0.214
	avg.	0.1380	0.1330	0.1310	0.1300	0.1325	0.1385	0.1315	0.1430	0.2085	0.1980	0.1235	0.2080
	Sub3	0.133	0.132	0.126	0.124	0.141	0.129	0.131	0.143	0.19	0.208	0.194	0.21
		0.14	0.129	0.143	0.129	0.119	0.153	0.121	0.144	0.203	0.19	0.184	0.203
	avg.	0.1365	0.1305	0.1345	0.1265	0.1300	0.1410	0.1260	0.1435	0.1965	0.1990	0.1890	0.2065
3	Sub1	0.138	0.118	0.133	0.123	0.127	0.128	0.128	0.141	0.2	0.202	0.138	0.2
		0.142	0.147	0.135	0.139	0.134	0.153	0.133	0.149	0.207	0.191	0.153	0.214
	avg.	0.14	0.1325	0.134	0.131	0.1305	0.1405	0.1305	0.145	0.2035	0.1965	0.1455	0.207
	Sub2	0.145	0.137	0.135	0.136	0.13	0.135	0.139	0.139	0.189	0.196	0.19	0.202
		0.14	0.137	0.131	0.128	0.134	0.152	0.121	0.146	0.181	0.183	0.179	0.215
	avg.	0.1425	0.137	0.133	0.132	0.132	0.1435	0.13	0.1425	0.185	0.1895	0.1845	0.2085
	Sub3	0.137	0.135	0.144	0.117	0.12	0.132	0.136	0.125	0.222	0.225	0.214	0.233
		0.135	0.149	0.121	0.139	0.127	0.127	0.137	0.135	0.22	0.221	0.205	0.222
	avg.	0.136	0.142	0.1325	0.128	0.1235	0.1295	0.1365	0.13	0.221	0.223	0.2095	0.2275
4	Sub1	0.131	0.161	0.118	0.142	0.131	0.137	0.135	0.13	0.214	0.229	0.207	0.218
		0.143	0.113	0.155	0.114	0.13	0.127	0.139	0.128	0.214	0.225	0.189	0.227
	avg.	0.137	0.137	0.1365	0.128	0.1305	0.132	0.137	0.129	0.214	0.227	0.198	0.2225
	Sub2	0.138	0.166	0.169	0.139	0.127	0.127	0.138	0.125	0.221	0.226	0.194	0.226
		0.144	0.112	0.126	0.13	0.138	0.144	0.143	0.139	0.226	0.221	0.208	0.226
	avg.	0.141	0.139	0.1475	0.1345	0.1325	0.1355	0.1405	0.132	0.2235	0.2235	0.201	0.226
	Sub3	0.144	0.138	0.169	0.129	0.141	0.143	0.142	0.13	0.224	0.241	0.21	0.234
		0.136	0.143	0.119	0.131	0.13	0.124	0.14	0.137	0.222	0.219	0.221	0.223
	avg.	0.14	0.1405	0.144	0.13	0.1355	0.1335	0.141	0.1335	0.223	0.23	0.2155	0.2285

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสุเมธ คงสำราญ เกิดวันที่ 24 กันยายน พ.ศ.2515 ที่กรุงเทพมหานครฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2536 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2541 เริ่มทำงานที่ บริษัท โตโยต้ามอเตอร์ประเทศไทย จำกัด อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ ในปี พ.ศ. 2537 จนถึงปี พ.ศ.2543 จากนั้นเข้าทำงานที่ บริษัท ออโตอัลลายแอนซ์ จำกัด อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง จนถึงปัจจุบัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย