

การแก้ไขปัญหาการสึกหรอชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยวในเครื่องยนต์

นายอดิเทพ ชูศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

PROBLEM SOLVING ON WARING OF ENGINE CAMSHAFT BEARING

Mr.Aditep Chusri

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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การแก้ไขปัญหาการสึกหรอชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยวใน  
เครื่องยนต์

โดย

นายอดิเทพ ชูศรี

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์สมชาย พวงเพ็ชร์)

อติเทพ ชูศรี : การแก้ไขปัญหาการสึกหรอชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยวในเครื่องยนต์  
(PROBLEM SOLVING ON WARING OF ENGINE CAMSHAFT BEARING.)

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร, 118 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นระหว่างเพลาลูกเบี้ยวและประกับเพลาลูกเบี้ยวในเครื่องยนต์ดีเซล งานวิจัยได้ (1) สำรวจผลการขัดข้องของเครื่องยนต์ดีเซลอันเนื่องจากการสึกหรอของช่องว่างน้ำมันของประกับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยว (2) ทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลที่มีช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น ตั้งแต่ 0.05 มิลลิเมตร ถึง 0.275 มิลลิเมตร โดยเปลี่ยนแปลงค่าความเผื่อของเพลาลูกเบี้ยวระหว่าง 3.795 ถึง 3.99 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน มอก.787-2531 (3) วัดค่าความเรียบผิวของประกับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยวเพื่อหาค่าความสึกหรอ (4) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างน้ำมันกับค่าความสึกหรอและกับค่าความสามารถทางการผลิต (Cp) (5) กำหนดค่าความเผื่อของขนาดเพลาลูกเบี้ยวที่ให้ค่าช่องว่างน้ำมันต่ำสุดที่ทำให้ Cp สูงกว่า 1.33 (6) ทดลองผลิตชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยวและประกับเพลาลูกเบี้ยวเพื่อการผลิตเครื่องยนต์ดีเซล

ผลการศึกษาพบว่า (1) ค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นต่ำสุดก่อนและหลังศึกษามีค่าเท่ากับ 0.030 และ 0.110 มิลลิเมตร ตามลำดับ และค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.160 และ 0.240 มิลลิเมตร ตามลำดับ (2) ขนาดของเพลาลูกเบี้ยวลดลงจากเดิม  $3.99_{-0.08}^{+0.00}$  มิลลิเมตร เป็น  $3.91_{-0.08}^{+0.00}$  มิลลิเมตร (3) ค่าความสามารถทางการประกอบระหว่างเพลาลูกเบี้ยวและประกับเพลาลูกเบี้ยว (Cp) มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม 0.53 ไปเป็น 1.38 (4) ผลการทดลองผลิตชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยวให้ค่าความสามารถทางการผลิตของเครื่องจักร (Cmk) ลดลงจากเดิม 1.76 เป็น 1.53 และ (5) จากผลการทดลองใช้ในการผลิตเครื่องยนต์ดีเซลที่ปรับปรุงแล้วเป็นเวลา 2 ปี หรือระยะทางไม่น้อยกว่า 30,000 กิโลเมตร ยังไม่พบข้อร้องเรียนจากลูกค้า

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ.....

ลายมือชื่อ.....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ.....

ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา ..2554.....

# # 5071524621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : Oil clearance / Camshaft / Camshaft bearing / Problem solving/ Wearing

ADITEP CHUSRI : PROBLEM SOLVING ON WARING OF ENGINE CAMSHAFT BEARING. ADVISOR : ASST. PROF. SOMCHAI PUAJINDANETR, Ph.D, 118 pp.

This research aimed to improve the oil clearance between camshaft and camshaft bearing in diesel engine. The study was to (1) explore the problem of diesel engine caused by wearing of oil clearance between camshaft and camshaft bearing, (2) test the diesel engine with oil clearance level from 0.05 mm to 0.275 mm by changing the tolerance of a camshaft from 3.795 to 3.99 mm, referred to TIS 787-2531, (3) measure the surface roughness of camshaft and camshaft bearing to determine the wear, (4) investigate the relationship between oil clearance, wear and the capability of production (Cp), (5) define the tolerance of a camshaft at the minimum oil clearance which results in higher capability of production (Cp) Of 1.33, (6) manufacture the production trial parts for the camshaft and camshaft bearing to support diesel engine production and validate the result.

The results of study indicated the significant improvement in all aspects, (1) the minimum oil clearance before and after the study was equal to 0.030 and 0.110 mm respectively, and the maximum oil clearance before and after study was equal to 0.160 and 0.240 mm respectively, (2) the size of camshaft was reduced from the original  $3.99_{-0.08}^{+0.00}$  millimeter to  $3.91_{-0.08}^{+0.00}$  millimeter, (3) the assembly capability (Cp) between camshaft and camshaft bearing increased from 0.53 to 1.38, (4) the machining capability (Cmk) of production trial parts decreased from 1.76 to 1.53, and (5) The validation results demonstrated that the production trail parts supported diesel engine production over two years at the minimum distance of 30,000 kilometers without customer complaint.

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

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

Academic Year : 2011.....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ แนวทางในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ และรองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกคึก ที่ได้ชี้แนะให้วิทยานิพนธ์มีความถูกต้องและชัดเจนยิ่งขึ้น ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ.ที่นี้

ส่วนหนึ่งของความสำเร็จครั้งนี้ ได้รับความช่วยเหลือจากบุคลากรในโรงงานกรณีตัวอย่างที่สนับสนุนในด้านข้อมูล, ความรู้เฉพาะด้าน, และข้อแนะนำต่างๆ ตลอดจนความร่วมมือในการวิเคราะห์และทดสอบ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ.ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนที่ดีตลอดมา ผู้วิจัยหวังว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับแนวทางในการพัฒนาและแก้ไขปัญหาสำหรับผู้สนใจต่อไป

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	6
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	7
1.6 แผนการดำเนินการวิจัย.....	8
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	
2.1 ความเสียหายจากการสึกหรอและการทดสอบ.....	9
2.2 การทดสอบการสึกหรอ.....	13
2.3 ค่าความเผื่อ.....	13
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
3 การศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบัน	
3.1 ขั้นตอนการตรวจสอบสภาพปัญหาของผลิตภัณฑ์ของโรงงาน.....	20
3.2 ผลการตรวจสอบสภาพปัญหาของผลิตภัณฑ์ของโรงงาน.....	20
3.2.1. ผลสำรวจข้อมูล.....	20
3.2.2. ผลวิเคราะห์และคัดเลือกปัญหา.....	23

3.2.3. ศึกษาสภาวะของปัญหาที่คัดเลือก.....	30
3.2.4. พิจารณาปัญหาในด้านข้อเทคนิคทางวิศวกรรม.....	40
4 วิธีการศึกษา	
4.1 การทดสอบการสึกหรอของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์.....	44
4.4.1 เครื่องยนต์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์.....	44
4.4.2 การทดสอบการสึกหรอของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์.....	50
4.2 การกำหนดช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) .....	56
4.2.1 หาค่าการสึกหรอจากการทดสอบ.....	56
4.2.2 ทำการหาค่าการสึกหรอที่ได้จากเศษของการสึกหรอจากการทดสอบ... ..	56
4.3 การวิเคราะห์ปรับปรุงข้อกำหนดและค่าความเผื่อของช่องว่าง น้ำมันหล่อลื่น (C).....	57
4.3.1 ค่าความเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุง.....	57
4.3.2 การวิเคราะห์ความสามารถของขบวนการของช่องว่าง น้ำมันหล่อลื่น (C) .....	58
4.4 การเลือกข้อกำหนดและค่าความเผื่อของประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) หลังการปรับปรุงช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C).....	58
4.4.1 การเลือกพิจารณาชิ้นส่วนที่ทำการปรับปรุง.....	59
4.4.2 การพิจารณาผลกระทบต่อการผลิตของชิ้นส่วนหลัง ปรับปรุงข้อกำหนด.....	60
4.5 การทดลองผลิตชิ้นส่วนหลังการปรับปรุง.....	61
5 สรุปผลการศึกษา	
5.1 ผลการทดสอบการสึกหรอของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์.....	62
5.2 ผลการกำหนดช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C).....	68
5.2.1 ค่าการสึกหรอจากการทดสอบ.....	68
5.2.2 ผลจากการสังเกตสีของน้ำมันหล่อลื่นหลังจากการ ทดสอบเครื่องยนต์.....	72



	หน้า
5.3 ผลการกำหนดข้อกำหนดและค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) .....	75
5.3.1 ผลค่าความเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุง .....	75
5.3.2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของขบวนการของ ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C).....	77
5.4 ผลการเลือกข้อกำหนดและค่าความเผื่อของประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) หลังการปรับปรุงช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C).....	82
5.4.1 ผลการเลือกพิจารณาปรับปรุงชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B).....	83
5.4.2 ผลการปรับปรุงชิ้นส่วนโดยพิจารณาผลกระทบจาก การเปลี่ยนแปลงข้อกำหนด .....	84
5.5 ผลการทดลองผลิตชิ้นส่วนหลังการปรับปรุง.....	92
 6 ผลการอภิปรายและสรุป	
6.1 อภิปรายผลการศึกษา.....	96
6.2 สรุปผลการศึกษา.....	98
6.3 การศึกษาที่จะทำต่อไปในอนาคต.....	100
6.4 ข้อจำกัดของงานวิจัย.....	100
6.5 ข้อเสนอแนะ.....	101
 รายการอ้างอิง.....	102
ภาคผนวก.....	104
ภาคผนวก ก ส่วนประกอบและหน้าที่การทำงานของเพลาลูกเบี้ยว ในเครื่องยนต์ดีเซล.....	105
ภาคผนวก ข มาตรฐานการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก.....	109
ภาคผนวก ค ข้อมูลการตรวจสอบเพลาลูกเบี้ยว (B) ก่อนและหลังปรับปรุง.....	114
ภาคผนวก ง ข้อมูลการตรวจสอบช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ก่อนและหลังปรับปรุง.....	116
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	118

## สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	ค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียหายและอัตราการสึกหรอ ของผิวคู่อัสน้ำฝัดบางประเภท.....	9
ตารางที่ 3.1	จำนวนครั้งที่ลูกค้ำร้องเรียน.....	23
ตารางที่ 3.2	ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมจำแนกตามปัญหาต่างๆ.....	24
ตารางที่ 3.3	ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมจำแนกตามระบบส่งกำลัง.....	26
ตารางที่ 3.4	ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมจำแนกตามระบบต่างๆของระบบเครื่องยนต์.....	27
ตารางที่ 3.5	ปัญหาและค่าซ่อมแซมของระบบขับเคลื่อนด้านหน้า.....	29
ตารางที่ 3.6	แสดงค่าการตรวจสอบข้อกำหนดของชิ้นส่วนที่บกพร่อง.....	38
ตารางที่ 3.7	ข้อมูลการผลิตชิ้นส่วนและช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น ณ ปัจจุบัน.....	39
ตารางที่ 4.1	จำนวนลูกค้ำร้องเรียนและระยะทางที่เกิดปัญหาการสึกหรอในช่วงระยะเวลา 15 เดือน.....	51
ตารางที่ 5.1	ค่าความสึกหรอที่ประกบเพลาลูกเบี้ยวฝั่งไอดี.....	64
ตารางที่ 5.2	ค่าความสึกหรอที่ประกบเพลาลูกเบี้ยวฝั่งไอเสีย.....	66
ตารางที่ 5.3	แสดงสีของน้ำมันหล่อลื่นที่ร่องน้ำมันของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) .....	73
ตารางที่ 5.4	สีของน้ำมันหล่อลื่นที่ร่องน้ำมันของประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) หลังทดสอบ.....	75
ตารางที่ 5.5	แสดงความสามารถทางการผลิตของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ต่างๆ.....	81
ตารางที่ 5.6	ค่าของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) หลังปรับปรุง.....	87
ตารางที่ 5.7	ค่าของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) หลังปรับปรุง.....	90
ตารางที่ 5.8	ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูก เบี้ยว (B).....	91
ตารางที่ 5.9	ตารางแสดงค่าสรุปก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุง.....	91

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1	แสดงระยะเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นเมื่อเพลาลูกเบี้ยว ถูกวางบนประกบกับเพลาลูกเบี้ยว.....	4
ภาพที่ 2.1	การแตกหักของพื้นผิววัสดุ.....	11
ภาพที่ 2.2	การหลุดล่อนของพื้นผิววัสดุ.....	12
ภาพที่ 2.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิตกับค่าเผื่อ Groover, M. P. (2007).....	13
ภาพที่ 3.1	ระบบข้อมูลปัญหาที่ลูกค้ำร้องเรียน.....	22
ภาพที่ 3.2	แผนภูมิแสดงสัดส่วนร้อยละของระบบต่างๆที่ลูกค้ำร้องเรียน.....	24
ภาพที่ 3.3	แผนภูมิแสดงสัดส่วนร้อยละค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมจำแนกตามปัญหาต่างๆ.....	25
ภาพที่ 3.4	ส่วนประกอบต่างๆของระบบส่งกำลัง.....	25
ภาพที่ 3.5	แผนภูมิแสดงสัดส่วนค่าซ่อมแซมหน้าที่ของระบบส่งกำลัง.....	26
ภาพที่ 3.6	แผนภูมิแสดงสัดส่วนค่าซ่อมแซมต่อหน้าที่ระบบขับเคลื่อนด้านหน้า FEAD.....	28
ภาพที่ 3.7	ส่วนประกอบต่างๆของระบบขับเคลื่อนด้านหน้า FEAD.....	29
ภาพที่ 3.8	แสดงปัญหาการสึกหรอของประกบเพลาลูกเบี้ยว.....	31
ภาพที่ 3.9	FTA (Fault Tree Analysis) ของการวิเคราะห์ปัญหา.....	32
ภาพที่ 3.10	แสดงระยะเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น.....	41
ภาพที่ 4.1	ตัวอย่างรูปเครื่องยนต์ดีเซล.....	45
ภาพที่ 4.2	ตำแหน่งของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยว.....	45
ภาพที่ 4.3	ข้อกำหนดการประกอบของประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B).....	47
ภาพที่ 4.4	Bore gauge เครื่องมือที่ใช้วัดประกบเพลาลูกเบี้ยว (A).....	47
ภาพที่ 4.5	Micrometer เครื่องมือที่ใช้วัดเพลาลูกเบี้ยว (B).....	48
ภาพที่ 4.6	Dial Gauge เครื่องมือวัดค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C).....	48
ภาพที่ 4.7	การวัดค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) จากชิ้นส่วนหลังการประกอบ.....	48
ภาพที่ 4.8	Dynamometer test อุปกรณ์การทดสอบของเครื่องยนต์ด้วยมอเตอร์.....	50
ภาพที่ 4.9	ความหมายต่างๆของยางรถยนต์ที่นำมาใช้ในหรรค่านวนการเคลื่อนที่ของ รถยนต์.....	52
ภาพที่ 4.10	ความเร็วรอบและเวลาในการทดสอบเครื่องยนต์โดยเครื่อง Dynamometer.....	54

ภาพที่ 4.11	เครื่องมือวัดค่าการสึกหรอที่ใช้วัดชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) หรือ เพลาลูกเบี้ยว (B) เพื่อหาค่า Profile and Roughness ความสึกหรอที่เปลี่ยนแปลงไป.....	55
ภาพที่ 5.1	แสดงจุดที่ทำให้การวัดค่าความสึกหรอของประกบเพลาลูกเบี้ยว.....	63
ภาพที่ 5.2	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะช่องว่างน้ำมัน (C) กับค่าความสึกหรอของประกบเพลาลูกเบี้ยว (A).....	70
ภาพที่ 5.3	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะช่องว่างน้ำมัน (C) กับค่าความสึกหรอของประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) ที่ช่วงช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) 0.05 – 0.110 มิลลิเมตร และ 0.110 – 0.270 มิลลิเมตร.....	71
ภาพที่ 5.4	แสดงการสังเกตเศษสึกหรอจากสีของน้ำมันหล่อลื่น.....	72
ภาพที่ 5.5	กรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B).....	85
ภาพที่ 5.6	การผลิตชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A).....	88
ภาพที่ 5.7	ความสามารถทางการผลิตเพลาลูกเบี้ยว (B) หลังการปรับปรุงด้วยโปรแกรมทางสถิติ.....	92
ภาพที่ 5.8	ความสามารถทางการผลิตเพลาลูกเบี้ยว (B) ก่อนการปรับปรุงด้วยโปรแกรมทางสถิติ.....	93
ภาพที่ 5.9	ความสามารถการผลิตช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังปรับปรุงด้วยโปรแกรมทางสถิติ.....	94
ภาพที่ 5.10	ความสามารถการผลิตช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ก่อนปรับปรุงด้วยโปรแกรมทางสถิติ.....	95

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์มีความต้องการทางการตลาดของผู้บริโภคค่อนข้างสูง ทำให้อุตสาหกรรมยานยนต์มีการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ตลอดจนความต้องการของผู้บริโภคมียังคงมีอย่างต่อเนื่อง ทำให้บริษัทรถยนต์ต่างเร่งพัฒนารถยนต์รุ่นใหม่ ออกมาเพื่อชิงส่วนแบ่งทางการตลาดให้ทันต่อความใช้งานของผู้บริโภค ทำให้การออกแบบต้องเป็นไปด้วยความรวดเร็ว ข้อกำหนดทางด้านเทคนิคของชิ้นส่วนหรือการประกอบบางข้อ จะเลือกมาใช้จากข้อกำหนดทางเทคนิคของรถยนต์รุ่นก่อนหน้า ที่มีข้อมูลปัญหาความไม่พึงพอใจของผู้บริโภคในอดีตที่ไม่เคยมีปัญหามาก่อน ทำให้ขาดการพิจารณาทางด้านการออกแบบที่เพียงพอ ส่งผลให้เกิดปัญหาขึ้นเมื่อรถยนต์รุ่นนั้นได้มีการขายออกไปให้กับผู้บริโภคโดยปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการออกแบบนั้นส่งผลกระทบต่อความไม่พึงพอใจของผู้บริโภค และค่าใช้จ่ายที่บริษัทต้องเสียไปกับการซ่อมแซมรถยนต์ให้กับผู้บริโภค

การสำรวจสภาพปัญหาของผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันจากความไม่พึงพอใจของผู้บริโภค ดังต่อไปนี้

1. ผลสำรวจข้อมูลความไม่พึงพอใจของผู้บริโภคที่ใช้รถกระบะรุ่น (ก) ซึ่งเป็นสินค้าหลักขององค์กรพบว่า ปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์เป็นปัญหาที่รุนแรงต่อผู้บริโภคโดยจากการศึกษารถกระบะรุ่น (ก) ที่ผลิตออกมาขายตั้งแต่ปี 20X1 ถึงปัจจุบันสิ้นปี 20X2 มีจำนวน 280,000 คัน มีข้อมูลการร้องเรียนจากผู้บริโภคทั้งหมด 3,241 ครั้ง มีค่าใช้จ่ายที่บริษัทผู้ผลิตต้องเสียไปให้กับการซ่อมแซม 23,083,072 บาท คิดเป็นค่าเฉลี่ย 83 บาทต่อรถหนึ่งคัน เป็นค่าใช้จ่ายที่ทางผู้ผลิตต้องเสียไปให้กับข้อบกพร่องจากการออกแบบที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์

2. ผลวิเคราะห์และคัดเลือกปัญหาที่ลูกค้าร้องเรียน โดยพิจารณาจากต้นทุนการซ่อมแซมเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากมูลค่าน้อย โดยจากการสำรวจข้อมูลพบว่า หน้าี่ของระบบส่งกำลังกำลังมีสัดส่วนร้อยละปัญหาที่ลูกค้าร้องเรียนมากที่สุด ของทุกระบบในรถ

กระบะ ด้วยสัดส่วนร้อยละ 21% ของจำนวนปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมดและคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 54.41% ของค่าซ่อมแซมที่เกิดขึ้นทั้งหมด (ค่าซ่อมแซมทั้งหมดมีมูลค่า 23,083,072 บาท และค่าซ่อมแซมของระบบส่งกำลังมีมูลค่า 12,560,962 บาท) และได้ทำการพิจารณาระบบส่งกำลังพบว่าระบบเครื่องยนต์มีค่าซ่อมแซมคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 37% ของค่าซ่อมแซมที่เกิดขึ้นทั้งหมด (ค่าซ่อมแซมของระบบเครื่องยนต์มีมูลค่า 8,609,346 บาท) และได้ทำการสำรวจระบบต่างๆของเครื่องยนต์ พบว่าระบบขับเคลื่อนด้านหน้า Front End Accessory Drive มีมูลค่าของการซ่อมแซมถึง 5,514,919 บาท ซึ่งมาจากปัญหาที่ผู้บริโภคมองไม่เพียงพอคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 24 % ของค่าซ่อมแซมที่เกิดขึ้นทั้งหมด และเมื่อแจกแจงออกมาเป็นปัญหาต่างๆก็พบว่าปัญหาเพลาลูกเบี้ยวหมุนติดเป็นปัญหาที่มีค่าซ่อมแซมมากที่สุดด้วยมูลค่า 4,586,048 บาท คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 20 % ของค่าซ่อมแซมที่เกิดขึ้นทั้งหมด จึงทำให้มีความสนใจที่จะลดค่าใช้จ่ายจากปัญหานี้ ซึ่งยังคงมีแนวโน้มที่จะเกิดอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มผลิตเมื่อปี 20X1 ถึงปัจจุบันและปัญหาจำเป็นที่จะต้องแก้ไขเพราะส่งผลกระทบต่อตรงกับเครื่องยนต์ และทำให้ความเชื่อมั่นของผู้บริโภคต่อรถกระบะรุ่น (ก) และยี่ห้อของรถกระบะรุ่น (ก) ลดลง

3. ศึกษาสภาวะของปัญหาที่คัดเลือกเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมด 29 ครั้ง โดยเริ่มมีความไม่เพียงพอของผู้บริโภคครั้งแรกในปี 20X1 และยังคงมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการคัดเลือกปัญหาเพลาลูกเบี้ยวหมุนติดมาวิเคราะห์ โดยการใช้การวิเคราะห์จากแผนภูมิต้นไม้ FTA (Fault Tree Analysis) มาทำการคัดกรองถึงสาเหตุของปัญหา พบว่าปัญหาเพลาลูกเบี้ยวหมุนติดเนื่องมาจากการสึกหรอของประกับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยว ที่เสียดสีกันจนเกิดความร้อนขึ้นสูงและน้ำมันหล่อลื่นไม่สามารถที่จะรองรับการเสียดสี และความร้อนที่เกิดขึ้นได้ โดยได้ทำการทวนสอบกลับไปถึงการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นส่วนประกอบได้ดังต่อไปนี้

(1) เพลาลูกเบี้ยว ในส่วนของความกว้างของปีกของเพลาลูกเบี้ยว และค่าอื่นๆที่ควบคุมในส่วนของปีกเพลาลูกเบี้ยว ไม่ว่าจะเป็นความตั้งฉาก ค่าความกลม ซึ่งทุกค่ายังอยู่ในข้อกำหนดของชิ้นส่วน

(2) ประกับเพลาลูกเบี้ยว ในส่วนความกว้างของช่องน้ำมันหล่อลื่น และค่าอื่นๆที่ควบคุมในส่วนของความกว้างของช่องน้ำมัน ไม่ว่าจะเป็นค่าความตั้งฉาก ค่าความกลม ซึ่งทุกค่ายังอยู่ในข้อกำหนดของชิ้นส่วน

(3) การออกแบบการประกอบกันของชิ้นส่วนประกบกับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยว จะมีค่าการออกแบบมาเพื่อควบคุมการเสียดสีกันของชิ้นส่วนทั้งสองโดยจะให้ เป็นค่าความเผื่อของ ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งค่าก็ยังคงอยู่ในข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์

(4) การผลิตซึ่งเป็นขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน ซึ่งได้ทำการปรับปรุงและพัฒนาในส่วนของการผลิตให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่ได้ออกแบบไว้ให้สามารถป้องกันความ ผิดพลาดในทุกส่วนของการประกอบที่จะส่งผลทำให้เกิดปัญหาขึ้นได้

ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิต้นไม้ ในส่วนของการผลิตที่ซึ่งเป็นขั้นตอนในการ ประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกันได้ดำเนินการพิจารณาตรวจสอบและปรับปรุงให้ตรงกับการออกแบบ การประกอบอันดับแรกเพื่อให้ทุกส่วนที่เกี่ยวข้องสามารถยืนยันได้ว่าเป็นไปตามข้อกำหนดในการ ออกแบบทั้งการประกอบและชิ้นส่วน และเมื่อทำการยืนยันได้ว่าส่วนที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่เกิดขึ้น เป็นไปตามข้อกำหนดทุกประการ จึงต้องมาทำการพิจารณาถึงด้านข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ว่า ข้อกำหนดของระยะเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นมีผลกระทบต่อการสึกหรอที่เกิดขึ้น

4. พิจารณาปัญหาในด้านข้อกำหนดทางวิศวกรรม ข้อกำหนดทางวิศวกรรมมี ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา คือ

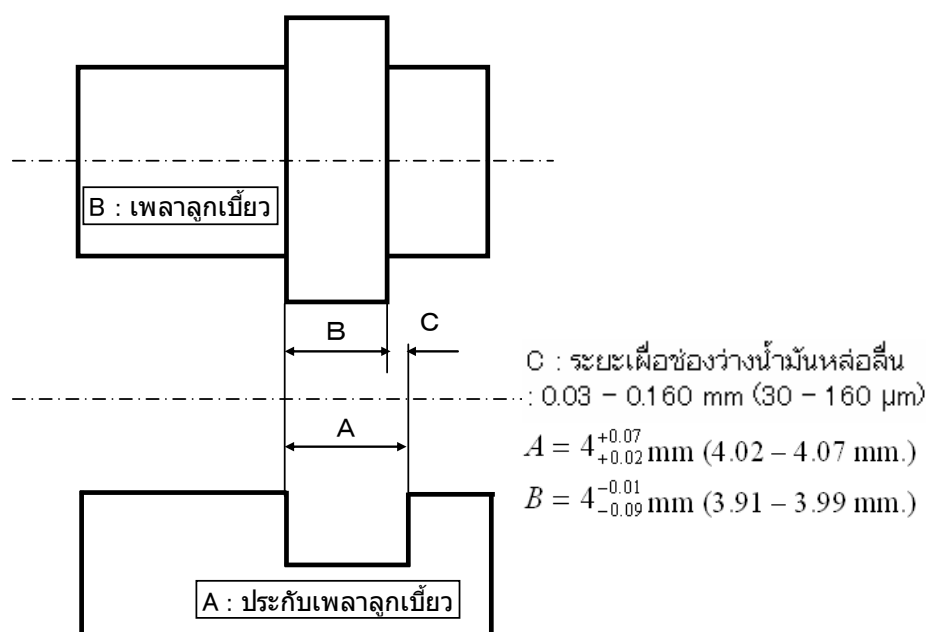
(1) ระยะช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น เท่ากับ 0.030 – 0.160 มิลลิเมตร

(2) ประกับเพลาลูกเบี้ยว ให้ค่าความกว้างของช่องน้ำมันเท่ากับ 4.02 – 4.07 มิลลิเมตร

(3) เพลาลูกเบี้ยว ส่วนที่เป็นความกว้างของปีกที่หมุนอยู่ในประกบเพลาลูกเบี้ยว เท่ากับ 3.91 – 3.99 มิลลิเมตร

การศึกษาค้นคว้าข้างต้นจึงได้ทำการพิจารณาในส่วนที่เกี่ยวข้อง คือระยะเผื่อช่องว่าง น้ำมันหล่อลื่น ประกับเพลาลูกเบี้ยว ในส่วนของความกว้างของช่องน้ำมัน และเพลาลูกเบี้ยว ส่วน ที่เป็นความกว้างของปีกที่ประกบกับประกบเพลาลูกเบี้ยว ซึ่งจากลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นทุก กรณีจะเกิดในลักษณะ ที่หน้าสัมผัสเพลาลูกเบี้ยว หมุนไปติดกับหน้าสัมผัสของประกบเพลาลูก เบี้ยว ซึ่งสาเหตุที่เกิดขึ้นจากทฤษฎีการสึกหรอซึ่งกล่าวถึงการสึกหรอจากการแตกหัก ของบริเวณ พื้นผิววัสดุ เมื่อหน้าของโลหะ 2 ผิวหน้าเคลื่อนที่มาสัมผัสภายใต้แรงกด ซึ่งในนี้เกิดมาจากความ ตึงของสายพานและกำลังของเครื่องยนต์ จะเกิดพันธะทางโลหะขึ้นที่บริเวณสัมผัส และจะหลุด ออกเมื่อแยกจากกัน ซึ่งนี่ก็คือการหมุนของเพลาลูกเบี้ยว ที่สัมผัสกับประกบเพลาลูกเบี้ยว ซึ่ง

ส่งผลให้เกิดการสึกหรอ โดยเฉพาะเมื่อวัสดุสองชนิดแตกต่างกัน วัสดุที่มีความแข็งแรงน้อยผิวจะหลุดและสร้างพื้นระบนพื้นผิววัสดุที่แข็งกว่า ทำให้ช่องว่างของน้ำมันลดลง ทำให้อัตรากการสึกหรอ ยิ่งสูงขึ้นจนเกินกว่าที่น้ำมันเครื่องจะสามารถนำพาเศษโลหะเหล่านี้ออกไปได้ และลดความร้อนที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 1.1 แสดงระยะเพื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นเมื่อเพลาลูกเบี้ยวถูกวางบนประกับเพลาลูกเบี้ยว

ภาพที่ 1.1 แสดงระยะเพื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ของเครื่องยนต์รุ่น (ก) จากการวินิจฉัยปัญหาการเกิดอาการสึกหรอระหว่างชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) ของเครื่องยนต์ในรถกระบะรุ่น (ก) โดยการตรวจสอบผลการผลิตชิ้นส่วนจากโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนทั้งสองเทียบกับข้อกำหนดของการออกแบบชิ้นส่วนพบว่าชิ้นส่วนทั้งสองตรงตามข้อกำหนดทุกประการ โดยความสามารถของการผลิตของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) มีค่า  $C_{mk}$  เท่ากับ 1.33 และ 1.75 ตามลำดับ โดยการกำหนดระยะเพื่อช่องว่างน้ำมันให้กับหน้าสัมผัสของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) ซึ่งเลือกใช้ค่าระยะเพื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) มีค่าเท่ากับ 0.030 - 0.160 มิลลิเมตร ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ



การออกแบบชิ้นส่วนของประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) ซึ่งจะเลือกใช้ค่าความเผื่อที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตในปัจจุบัน ประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) จะมีค่าจัดความความเผื่ออยู่ที่ 0.05 มิลลิเมตร และเพลาลูกเบี้ยว (B) อยู่ที่ 0.08 มิลลิเมตร ซึ่งจากการตรวจสอบข้อกำหนดและความสามารถในการผลิตชิ้นส่วนในปัจจุบันก็พบว่าได้มีการออกแบบค่าความเผื่อไว้และความสามารถทางการผลิตชิ้นส่วนมีค่าเกินกว่า 1.33 แต่ไม่สามารถที่จะยืนยันได้ว่าค่าที่ออกแบบไว้สามารถที่จะรองรับกับการสึกหรอที่เกิดขึ้นได้หรือไม่

ฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาการสึกหรอของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) ที่ระยะเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ต่างกัน เพื่อกำหนดค่าระยะเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นใหม่ให้เหมาะสมกับเครื่องยนต์ของรถกระบะรุ่น (ก)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อปรับปรุงค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นระหว่างเพลาลูกเบี้ยวและประกบเพลาลูกเบี้ยวในเครื่องยนต์ดีเซล

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาค่าเผื่อของน้ำมันที่ใช้สำหรับหล่อลื่นหน้าสัมผัสของชิ้นส่วนและนำพาความร้อนที่เกิดขึ้นโดยขอบเขตการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาการสึกหรอระหว่างชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยการผันแปรค่าระยะเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ด้วยค่าที่ต่างกัน ตั้งแต่ 0.030 มิลลิเมตร เป็นต้นไป
2. ศึกษาการสึกหรอของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) ในเครื่องยนต์ดีเซล ขนาด 2500 และ 3000 ลูกบาศก์เซนติเมตร เท่านั้น

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้มีประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับดังนี้

1. เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ ที่เป็นผลมาจากความไม่เหมาะสมของข้อกำหนดของชิ้นส่วนประกอบ
2. ลดความสูญเสียต่อความไม่พึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์
3. นำมาจัดตั้งเป็นมาตรฐานในการกำหนดค่าเผื่อเชิงกลระยะเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) จากการประกอบกันของประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) ของเครื่องยนต์ดีเซล ให้กับเครื่องยนต์รุ่นอื่นๆ ในการออกแบบรุ่นต่อไป

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. ศึกษาความเป็นไปได้ของงานวิจัย และเก็บรวบรวมข้อมูล
2. สํารวจงานวิจัยอื่นๆ และศึกษาสภาพปัจจุบันของปัญหาการสึกหรอของชิ้นส่วนประกบกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ในเครื่องยนต์
3. ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลการสึกหรอของชิ้นส่วนหน้าสัมผัส ระหว่างชิ้นส่วนประกบกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยผันแปรค่าระยะเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ต่างกันตั้งแต่ 0.030 มิลลิเมตร เป็นต้นไป
4. ศึกษาหาความเหมาะสมค่าระยะเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) เพื่อนำไปกำหนดค่าความเผื่อและข้อกำหนดของชิ้นส่วนประกบกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B)
5. ทดลองผลิตชิ้นส่วนประกบกับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยวในเชิงอุตสาหกรรมไม่น้อยกว่า 30 ชิ้นตัวอย่างโดยผู้ผลิตชิ้นส่วน
6. ศึกษาความสามารถของกระบวนการผลิตของชิ้นส่วนประกบกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยพิจารณาจากค่าความสามารถทางการผลิต  $C_{mk}$  ที่ไม่น้อยกว่า 1.33
7. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ตารางลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2010				2011								
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1. ศึกษาความเป็นไปได้ของงานวิจัย และเก็บรวบรวมข้อมูล	■	■	■										
2. สํารวจงานวิจัยอื่นๆ และศึกษาสภาพปัจจุบันของปัญหาการสึกหรอของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ในเครื่องยนต์		■	■										
3. ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลการสึกหรอของชิ้นส่วนหน้าสัมผัสระหว่างชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยผันแปรค่าระยะเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ต่างกันตั้งแต่ 0.030 มิลลิเมตร เป็นต้นไป				■	■	■							
4. ศึกษาหาความเหมาะสมค่าระยะเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) เพื่อนำไปกำหนดค่าความเผื่อและข้อกำหนดของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B)							■	■					
5. ทดลองผลิตชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยวในเชิงอุตสาหกรรมไม่น้อยกว่า 30 ชิ้นตัวอย่างโดยผู้ผลิตชิ้นส่วน									■				
6. ศึกษาความสามารถของกระบวนการผลิตของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยพิจารณาจากค่าความสามารถทางการผลิต Cmk ที่ไม่น้อยกว่า 1.33									■	■			
7. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย											■		
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์												■	■

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความเสียหายจากการสึกหรอ

ความเสียหายจากการสึกหรอ (Wear) สามารถเกิดได้ทั้งบริเวณผิวหน้าภายนอก และผิวหน้าภายในซึ่งมักจะมีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาทางกล และปฏิกิริยาเคมีระหว่างวัสดุแข็ง 2 ชิ้นที่มาสัมผัสกัน เช่นผิวแข็งเคลื่อนที่บนผิวแข็ง หรืออนุภาคแข็งขนาดเล็กเคลื่อนที่ในของไหล (ของเหลว หรือแก๊ส) เข้ามาปะทะผิวแข็ง โดยลักษณะและขอบเขตของความเสียหายขึ้นกับปัจจัยดังต่อไปนี้

1. โครงสร้างทางจุลภาค และโครงสร้างของเนื้อชิ้นงาน ของวัสดุแข็งทั้งสองชิ้น
2. ชนิดของวัสดุ ลักษณะของผิวสัมผัส และอัตราการหล่อลื่นระหว่างกัน
3. การเคลื่อนที่สัมผัส
4. แรงกระทำที่บริเวณสัมผัส
5. สภาพแวดล้อม เช่นอุณหภูมิ และภาวะทางเคมี

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียหายและอัตราการสึกหรอของผิวคู่สัมผัสบางประเภท

คู่วัสดุสัมผัส	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย, $\mu$	อัตราการสึกหรอ ( $\text{cm}^3/\text{cm} \times 10^{-12}$ )
เหล็กกล้าคาร์บอน 0.2% บนผิวชนิดเดียวกัน	0.62	157,000
Cu-37%Zn-3%Pb อัลลอย บนเหล็กกล้า	0.60	24,000
อัลลอย Stellite บนเหล็กกล้าคาร์บอน	0.60	320
เหล็กกล้าไร้สนิม บนเหล็กกล้าคาร์บอน	0.53	270
ทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) บนผิวชนิดเดียวกัน	0.35	2

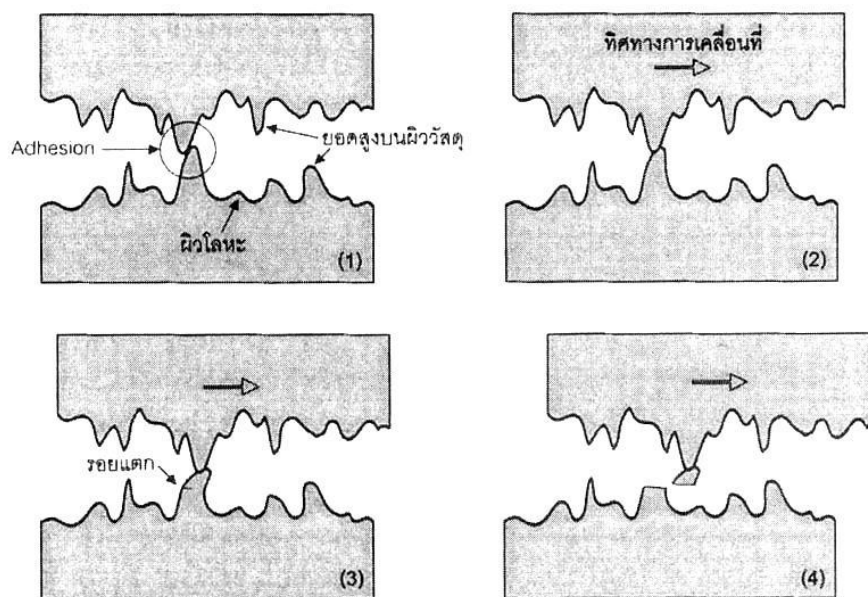
โดยปัจจัยข้างต้นก็ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงและความเสียดทาน โดยวัสดุ  สัมผัสที่มีความเสียดทานต่ำและมีความแข็งแรงสูง ก็จะส่งผลให้มีอัตราการสึกหรอต่ำ (อัตราการลดลงของปริมาตรต่อระยะเวลาการเคลื่อนที่ของผิวสัมผัส) ความเสียดทานและอัตราการสึกหรอของผิว  สัมผัสบางประเภท สามารถแสดงในตารางที่ 2.1

โดยทั่วไปการสึกหรอจะส่งผลให้เกิดการคลายตัวของอุปกรณ์ที่รวมอัดกัน หรืออาจส่งผลให้เกิดบริเวณที่มีความเข้มข้นของความเค้นสูง (High stress concentration) ซึ่งนำไปสู่  การเกิดและขยายตัวของรอยร้าว การแตกหักในที่สุด โดยทั่วไปความเสียหายจำพวกนี้มักเกิดในบริเวณที่มีการสรวมอัด เช่น การสวมเพลานในแบริ่ง สลักลิ้ม หมุดย้ำ บริเวณสัมผัสของลวดและมัดลวด แบริ่งที่มีการสัมผัสเพื่อน เป็นต้น บริเวณเหล่านี้สามารถพบได้  ทั่วไป

ในรถยนต์ เรือ เครื่องบิน ระบบส่งกำลัง เครื่องมือวัด ฯลฯ การออกแบบและใช้งานระบบเหล่านี้ย่อมมีความรู้  ความเข้าใจในกลไกของการสึกหรอ จะส่งผลให้เกิดการใช้งานและออกแบบอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถลดหรือหลีกเลี่ยงความเสียหายจำพวกนี้ได้ ซึ่งกลไกพื้นฐานของการสึกหรอในกรณีผิวแข็งเคลื่อนที่บนผิวแข็ง สามารถแบ่งได้เป็น

#### 1. การแตกหัก (Fracture) ของบริเวณยอดสูงของพื้นผิววัสดุ

เมื่อผิวหน้า  ของโลหะ 2 ผิวหน้า  เคลื่อนที่เข้ามาสัมผัสกันภายใต้แรงกด พันธะทางโลหะจะเกิดขึ้นบริเวณสัมผัส โดยเฉพาะในบริเวณยอดสูงของพื้นผิววัสดุ (Surface asperity) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 โดยเมื่อผิวสัมผัสเคลื่อนที่ออกจากกัน พันธะเหล่านี้อาจจะหลุดจากกันสำหรับกรณีที่ยอดสูงของพื้นผิววัสดุมีความแข็งแรงกว่าพันธะ หรือยอดสูงของพื้นผิววัสดุจะแตกหัก สำหรับกรณีที่ยอดสูงของพื้นผิววัสดุมีความอ่อนแอกว่าพันธะ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสึกหรอนั่นเอง



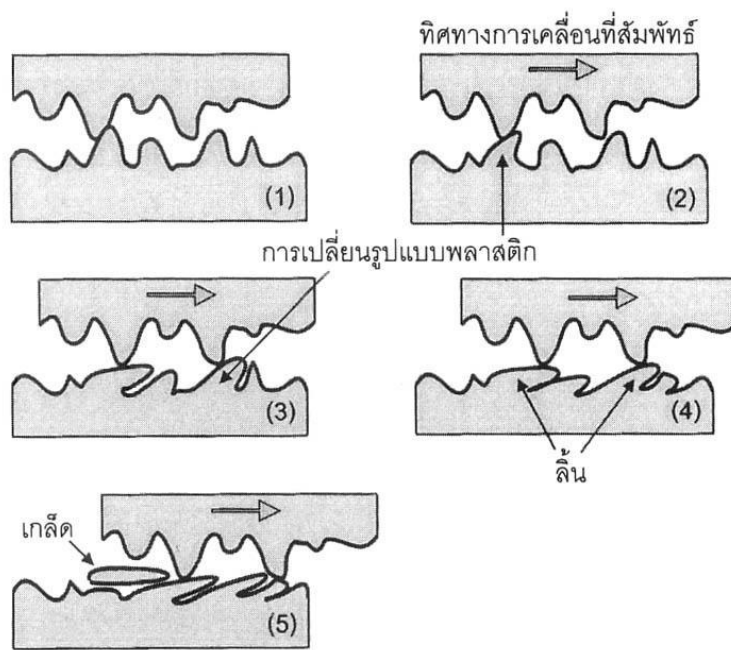
ภาพที่ 2.1 การแตกหักของพื้นผิววัสดุ

ในกรณีที่วัสดุคู่สัมผัสเป็นวัสดุซึ่งต่างชนิดกัน ผิวของวัสดุที่มีความอ่อนจะแตกหัก และสร้างพื้นระบนพื้นผิวของวัสดุที่แข็งกว่า ซึ่งการเกิดออกซิเดชันจะเกิดได้ □ ง่ายกับรอยแตกหัก และเศษพื้นผิวที่หลุดออกมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาพที่อุณหภูมิสูงจากการเสียดสีกันของผิวสัมผัส เนื่องจากออกไซด์ของโลหะมีความเปราะและมีพันธะกับผิวชิ้นงานที่ไม่ □ แข็งแรงนัก ดังนั้นจึงเกิดการแตกหัก และหลุดออกจากผิวได้ง่าย ทำให้อัตราการสึกหรอสูงขึ้น

## 2. การล้า (Fatigue) ของบริเวณยอดสูงของพื้นผิววัสดุ

เมื่อผิวหน้า □ ของโลหะ 2 ผิวหน้า □ เคลื่อนที่เข้ามาสัมผัสกันภายใต้แรงกด พื้นระทางโลหะจะเกิดขึ้นบริเวณสัมผัส โดยเฉพาะในบริเวณยอดสูงของพื้นผิววัสดุ (Surface asperity) โดยเมื่อผิวสัมผัสเคลื่อนที่ออกจากกัน ยอดสูงของพื้นผิววัสดุมีความเหนียวอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบพลาสติก (Plastic deformation) และเมื่อถูกกระทำซ้ำๆ ในลักษณะเดิม ยอดสูงของพื้นผิววัสดุเหล่านี้ก็อาจแตกออกจากพื้นผิวเนื่องจากการล้าได้ □ ซึ่งนำไปสู่การสึกหรอ โดยเรียกพฤติกรรมเหล่านี้ว่าการหลุดล่อน (Delaminating) กระบวนการดังกล่าวข้างต้นสามารถแสดงได้

□ ดังภาพที่ 2.2 ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า □ ว □ า ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอขึ้นอยู่กับ ความแข็ง ความแข็งแรงคราก (Yield strength) และความต้านทานการล้า



ภาพที่ 2.2 การหลุดล่อนของพื้นผิววัสดุ

### 3. การเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) และการกัดกร่อน (Corrosion)

โดยทั่วไปแล้วผิวสัมผัสของวัสดุจะถูกปกคลุมด้วยชั้นออกไซด์ ซึ่งถ้าชั้นออกไซด์นี้มีความหนา และแรงยึดเกาะสูง จะทำให้โอกาสเกิดพันธะระหว่างยอดสูงของผิวสัมผัสลดลง และส่งผลให้อัตราการสึกหรอลดลง แต่ถ้าชั้นของออกไซด์นี้เกิดการแตกหัก จะทำให้เนื้อของวัสดุบริเวณรอยแตกมีโอกาสสัมผัสกัน และเกิดพันธะ ซึ่งจะทำให้การสึกหรอเพิ่มขึ้น ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะเกิดได้ □ ดีในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง จึงสามารถกล่าวได้ว่า □ ว □ า ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอของวัสดุ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของพื้นผิว ที่สามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชัน และการกัดกร่อนได้ □

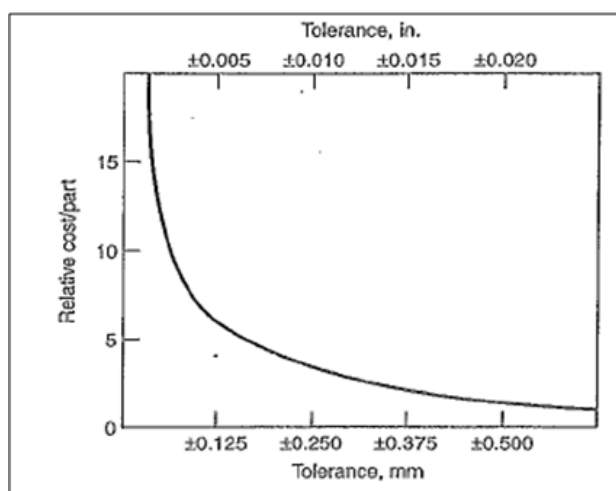


## 2.2 การทดสอบการสึกหรอ

การทดสอบการสึกหรอมีเหตุผลหลักอยู่ 2 ประการคือ เพื่อศึกษา และทำความเข้าใจกลไก ความเสียหายที่เกิดจากการสึกหรอซึ่งไม่  สามารถกระทำได  ในสภาพใช้งานจริง และจัดลำดับ ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอของวัสดุในสภาวะที่กำหนด โดยมีความเที่ยงตรง และ สามารถกระทำซ้ำได้  ในการวัดการสึกหรอระหว่างโลหะด้วยกันเพื่อเปรียบเทียบ และพัฒนา คุณสมบัติของโลหะ

## 2.3 ค่าความเผื่อ

ค่าเผื่อมีความสำคัญกับคุณภาพของชิ้นงาน การออกแบบทางวิศวกรรมมีการกำหนด ขนาดและส่วนประกอบต่างๆภายใต้ความแปรปรวนซึ่งส่งผลต่อหน้าที่และสมรรถนะ ควรออกแบบ ค่าเผื่อให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ซึ่งค่าเผื่อแคบจะมีผลต่อต้นทุนที่เกิดขึ้นซึ่งจะสัมพันธ์กับ ความสามารถของกระบวนการ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าเผื่อกับต้นทุนการผลิตนั้นจะแสดงดัง รูป 2.3 ดังจะเห็นได้ว่าค่าเผื่อที่แคบลง ย่อมส่งผลต่อต้นทุนที่สูงขึ้น เหตุผลเหล่านี้มีส่วนทำให้ ขั้นตอนการดำเนินงานมากยิ่งขึ้น อาจต้องการข้อกำหนดหลากหลายประเภทมากขึ้น ในการ ออกแบบค่าเผื่อ และเครื่องจักรสำหรับการผลิต ควรต้องมีความเที่ยงตรง และมีราคาค่อนข้างสูง ด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิตกับค่าเผื่อ Groover, M. P. (2007)

### 2.3.1 ขอบเขตค่าเผื่อที่เหมาะสม (Natural Tolerance Limits)

การออกแบบค่าเผื่อควรสอดคล้องกับความสามารถของกระบวนการ จุดมุ่งหมายที่เจาะจงคือค่าเผื่อที่กำหนดสำหรับขนาดของผลิตภัณฑ์ เช่น  $\pm 0.025$  มิลลิเมตร. ( $\pm 0.001$  in.) เป็นต้น การกำหนดขนาดขึ้นอยู่กับความสามารถของกระบวนการที่มีระดับนัยสำคัญที่กว้างกว่าค่าเผื่อ ซึ่งค่าเผื่อที่กำหนดควรมีช่วงเปิดกว้างมากกว่าเดิม อาจส่งผลกระทบต่อของเสียที่เกิดขึ้น และการกำหนดค่าเผื่อที่เหมาะสมต้องขึ้นอยู่กับรูปร่างของผลิตภัณฑ์ด้วย ซึ่งควรมีค่าเผื่อมากกว่าความสามารถของกระบวนการ โดยขอบเขตบน-ล่างที่กำหนดสำหรับผลิตภัณฑ์ ควรอยู่ในระดับ 99.73% บนพื้นฐานค่าเผื่อ กับระดับ 0.27% ที่อยู่นอกเหนือขอบเขตบน-ล่าง ซึ่งทั่วไปการเพิ่มค่าเผื่อจะช่วยลดเปอร์เซ็นต์ของข้อบกพร่อง

การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมในทางวิศวกรรมเพื่อให้ได้ค่าเผื่อที่เหมาะสมกับแต่ละผลิตภัณฑ์ ควรคำนึงถึงความสัมพันธ์กันระหว่างค่าเผื่อ กับขีดจำกัดบน-ล่าง ดังแสดงให้เห็นตามสมการที่ 2.1

$$C_p = PCI = \frac{T}{6\sigma} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $PCI$  = ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index)

$T$  = ระยะเวลาเผื่อ

$6\sigma$  = ขอบเขตค่าเผื่อที่เหมาะสม

### 2.3.2 การวิเคราะห์ค่าเผื่อ

แนวทางและทฤษฎีในการวิเคราะห์ค่าเผื่อสำหรับค่าคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบ มีด้วยกันหลายหลายรูปแบบด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และน่าเชื่อถือมีอยู่ 3 วิธีด้วยกัน

### 2.3.2.1 วิธีทางสถิติ (Statistical Method)

#### 1. วิธี Root Sum Square (RSS)

ในการวิเคราะห์ค่าเผื่อ (Tolerance) ด้วยวิธีทางสถิติ เป็นที่นิยมใช้กันเป็นส่วนใหญ่น เนื่องจากเป็นวิธีที่เป็นเหตุเป็นผล เพราะมีการเก็บข้อมูลความน่าจะเป็นทั้งหมดของค่าเผื่อ ชิ้นงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายใต้การกระจายข้อมูลแบบนอร์มอล ซึ่งสมการพื้นฐานที่ใช้กันมีดังนี้

$$\sigma_{assy} = \left[ \sum \sigma_i^2 \right]^{1/2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.2)$$

เมื่อ  $\sigma_{assy}$  คือ ค่าเบี่ยงมาตรฐานประกอบ

$\sigma_i$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นส่วนประกอบ

วิธีการ RSS จะทำให้สามารถวิเคราะห์แต่ละชิ้นส่วน โดยที่คำนึงถึงความสามารถในการผลิต (Process Capability,  $C_p$ ) ซึ่งทำให้การวิเคราะห์ค่าเผื่อ (Tolerance) มีความเป็นจริงมากที่สุด แต่วิธีนี้มีจุดด้อย คือ ไม่ได้คำนึงถึงระยะเวลาของความสามารถในกระบวนการผลิต (Short Term) สำหรับการประกอบชิ้นส่วนมีสมการดังนี้

$$\sigma_{Gap} = \sqrt{\left[ \frac{T_e}{3C_p} \right]^2 + \sum_{i=1}^m \left[ \frac{T_{p_i}}{3C_{p_i}} \right]^2} \quad (2.3)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

เมื่อ  $\sigma_{Gap}$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของช่องว่างประกอบ

$T_e$  คือ ค่าเผื่อของชิ้นงานส่วนหลัก

$T_p$  คือ ค่าเผื่อเริ่มต้น

## 2. วิธี Dynamic Root Sum of Square

การวิเคราะห์ค่าเผื่อแบบ DRSS เป็นวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ เช่นเดียวกับ RSS แต่มีความแตกต่างกันตรงที่วิธี DRSS ขึ้นอยู่กับความสามารถการผลิตระยะยาว (Long Term Process Capability,  $C_{pk}$ ) ซึ่งถูกเลื่อนค่าเฉลี่ยออกไป 1.5 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $1.5\sigma$ ) ดังสมการด้านล่างนี้

$$\sigma_{Gap} = \sqrt{\left[\frac{T_e}{3C_{pk}}\right]^2 + \sum_{i=1}^m \left[\frac{T_{p_i}}{3C_{pk_i}}\right]^2} \quad (2.4)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

เมื่อ  $\sigma_{Gap}$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของช่องว่างประกอบ

$T_e$  คือ ค่าเผื่อของชิ้นงานส่วนหลัก

$T_p$  คือ ค่าเผื่อเริ่มต้น

## 3. วิธี Worst Case Limits

วิธีนี้เป็นกรวิเคราะห์ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการค่าเผื่อที่ประกอบกันในแต่ละชิ้นส่วนเป็นเส้นตรงเป็นการวิเคราะห์ในเชิงป้องกันและเป็นที่ยอมรับกันมานานสำหรับค่าเผื่อของส่วนประกอบแต่ละชิ้นจะถูกกำหนดขอบเขตที่ยอมรับได้ที่บนและล่าง ซึ่งเป็นขีดจำกัดสูงสุดหรือต่ำสุดเท่านั้นซึ่งสมการประกอบมีดังนี้

$$WC_{max} = \sum (N_{pi} + T_{pi}) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.5)$$

$$WC_{min} = \sum (N_{pi} - T_{pi}) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.6)$$

เมื่อ

$N_{pi}$  คือ ขนาดกลางหรือขนาดเป้าหมาย

$T_{pi}$  คือ ค่าเผื่อเริ่มต้น

$$T_{wc} = \sum T_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.7)$$

เมื่อ  $T_{wc}$  คือ ค่าเผื่อประกอบที่ได้มาจากวิธี Worst Case

$T_i$  คือ ค่าเผื่อของชิ้นส่วนประกอบ

การออกแบบทางวิศวกรรมควรจะทราบถึงความสัมพันธ์ถึงแม้ว่าความสัมพันธ์ที่ให้การออกแบบค่าเผื่อปัจจัยส่วนของต้นทุนและส่วนอื่นที่ใช้กับกระบวนการผลิตในรูปแบบของการกำหนดค่าเผื่อที่กว้างซึ่งไม่คุ้มค่าคุ้มค่ากับการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ประโยชน์จริง

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**สีหราช สกกุลพยัคฆ์และธีระ เจียรศิริพงษ์กุล 2552**, การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นขณะประกอบ Tolerance ring โดยใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตนั้นมีจำนวนการผลิตที่สูงเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาด ซึ่งผลิตแล้วเกิดขึ้นงานที่เสียหายทำให้เป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตต่อชิ้นให้มากขึ้น และในส่วนของค่าความเผื่อของการประกอบนั้นก็เป็นส่วนหนึ่งของข้อผิดพลาดจากการประกอบ เช่น การบิดตัวขณะประกอบ การเอียงเป็นต้น การวิจัยจึงได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการประกอบ โดยทำการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ เช่นการบิดตัวและการยึดตัวขณะประกอบ โดยต้องแสดงให้เห็นถึงลักษณะที่มีความเป็นไปได้ที่จะก่อให้เกิดความผิดพลาด โดยทำการทดลองวิเคราะห์ชิ้นงาน เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบแก้ไขข้อผิดพลาด เมื่อได้ค่าพิกัดที่ทำให้ชิ้นส่วนไม่เกิดการเสียหาย นำมาทำการออกแบบพิกัดความเผื่อใหม่ โดยทำการลดลงหรือไม่มีพิกัดความเผื่อของการประกอบเลยซึ่งในทางปฏิบัติไม่สามารถเป็นไปได้

**ภาณุวัฒน์ อนันตวิรุฬห์ 2551**, การพัฒนาค่าเผื่อข้อกำหนดการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปอัดโพลีเอทิลีน เทนโฟรีน แนวทางการพัฒนาพิกัดความเผื่อเพื่อทำการแก้ไขปัญหาของเสียจากกรรมวิธีการผลิตด้วยแม่พิมพ์เพื่อทำการลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกรรมวิธีการผลิตที่มีค่าความเผื่อของแม่พิมพ์แคบเกินไปจนทำให้ชิ้นงานหลักที่ผ่านขบวนการเกิดแตกหักจากแม่พิมพ์ทำให้เกิดของ

เสียขึ้น ซึ่งเป็นต้นเหตุชนิดหนึ่งของการผลิตที่เกิดขึ้น งานวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจาก ขบวนการผลิตมาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลของชิ้นงานที่แตกหัก จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อ หาระยะสมมุติของแม่พิมพ์ โดยทำการทดลองเพิ่มระยะของแม่พิมพ์และทำการทดลองผลิตเก็บค่า อัตราส่วนของชิ้นงานแตกหักที่เกิดขึ้น จนได้ระยะของแม่พิมพ์ที่เหมาะสม นำระยะทางที่ได้มาทำ การคำนวณเป็นค่าความเผื่อของระยะแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปที่เหมาะสมโดยวิธีทางสถิติ โดยอาศัย ทฤษฎีการออกแบบค่าความเผื่อโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีทางสถิติ RSS (Root of sum square) กับ WC (Worst case) เพื่อเปรียบเทียบนำค่าความเผื่อที่เหมาะสมกับขบวนการควบคุมค่า ความเผื่อของการขึ้นรูปที่เหมาะสม

Chase, K. W. 2003, Basic Tools for Tolerance Analysis of Mechanical Assemblies การทบทวนค่าพิกัดความเผื่อของงานประกอบเพื่อให้ได้มาซึ่งคุณภาพสูงของ ผลิตภัณฑ์ ซึ่งจำเป็นต้องควบคุมค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประกอบ จะทำได้ 2 วิธีหลัก ๆ คือการบวกค่าพิกัดความเผื่อของชิ้นส่วนย่อยแต่ละชิ้นเข้าด้วยกัน (Approach of Adding Component Tolerance) เป็นวิธีที่ตามหลักเลขคณิต ซึ่งจะให้ค่าเที่ยงตรงตามค่าความเผื่อของ ชิ้นส่วนที่มาประกอบกัน และวิธีการทางสถิติ (Statistical Approach) ซึ่งจะให้ค่าจาก ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นส่วนย่อย กับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของงาน ประกอบ อาจจะมีผลทำให้ค่าพิกัดความเผื่อของการประกอบเพิ่มขึ้น โดยจะมีรูปแบบที่นิยมใช้ทำ การหาค่าพิกัดความเผื่อในขั้นตอนการออกแบบค่าความเผื่อของการประกอบจากหลายชิ้นส่วนมี ดังต่อไปนี้ 4 วิธี คือ 1) Worst Case (WC) 2) Statistical (RSS) 3) Six Sigma ( $6\sigma$ ) 4) Measured Data (Means)

Callister Jr. W.D. 1985, Materials Science and Engineering ความเสียหายจากการสึกหรอ เกิดได้เสมอเมื่อผิวของวัสดุชนิดหนึ่งเคลื่อนผ่านผิวอีกชนิดหนึ่ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพผิว ของวัสดุ โดยการแยกหลุดตัวของผิวหน้างานซึ่งเป็นการกระทำของภาวทางกลหรือปฏิกิริยาเคมี ระหว่างวัสดุ การสึกหรอเป็นความเสียหายที่ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผิวสัมผัสมากขึ้น โดยมีผล ของความเสียหายที่ตามมาเช่น ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน ทำให้เกิดการเพิ่มแรงกระทำ (load) ทำให้ อัตราการสึกหรอเร็วขึ้น และในบางครั้งก็เป็นสาเหตุหนึ่งของ Fatigue failure การสึกหรอจะ เกิดขึ้นระหว่างที่ชิ้นส่วนมีการเคลื่อนที่ขัดถูกัน อาจเกิดขึ้นของอนุภาคเศษโลหะสึกหรอ ซึ่ง อาจจะมีทั้งอนุภาคเศษโลหะสึกหรอแบบปกติ หรืออนุภาคเศษโลหะที่ผิดปกติโดยทั่วไปอนุภาค เศษโลหะสึกหรอแบบปกติ จะมีขนาดละเอียดหรือขนาดเล็ก ส่วนการสึกหรอที่ผิดปกตินั้น (เช่น มี

ภาวะสูง ; ความเร็วสูง ฯลฯ ) อนุภาคเศษโลหะที่ผิดปกติ ส่วนใหญ่แล้วจะพบว่าทั้งอนุภาคขนาดละเอียดและขนาดหยาบปะปนรวมกัน โดยที่ปริมาณของอนุภาคเศษโลหะเล็กหรือหยาบละเอียดมีปริมาณมาก รวมเข้าด้วยกันกับอนุภาคเศษโลหะที่มีขนาดหยาบ หรือขนาดใหญ่

**ดร. ชಾವสวน กาญจนมัย 2546**, การทดสอบการสึกหรอด้วย Cross-Cylinder Apparatus การทดสอบการสึกหรอ ได้มีงานวิจัยทำการศึกษาค้นคว้าทดสอบการสึกหรอด้วยกันหลายวิธี เพื่อทำการหาวิธีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และวิเคราะห์ลักษณะการสึกหรอต่างๆ เช่น การสึกหรอจากการเสียดสี การสึกหรอจากความล้า การสึกหรอจากอุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงต้องทำการออกแบบวิธีการทดสอบการสึกหรอ เช่น วิธีการออกแบบเครื่องทดสอบการสึกหรอแบบเฟรตติงที่อุณหภูมิสูง เป็นการศึกษาการสึกหรอแบบเฟรตติง ที่มาจากการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกล , วิธีการทดสอบการสึกหรอด้วย Cross-Cylinder Apparatus เป็นการศึกษาความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะการสึกหรอ และความสัมพันธ์ระหว่างการสึกหรอ และลักษณะของการกระทำ เป็นต้น โดยจะต้องออกแบบเครื่องทดสอบให้มีการจำลองสภาวะให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงและปรับเปลี่ยนตัวแปรบางอย่างที่ต้องการศึกษานั้นได้ ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงของผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกันได้

**Fowlkes, W. Y., Creveling, C. M. 1995**, Engineering Methods for Robust Product Design Using Taguchi Methods in Technology and Product Development ค่าเผื่อที่กำหนดแล้วนั้นเป็นชิ้นส่วนสมบูรณ์ ที่มีการออกแบบได้อย่างต่อเนื่อง การวิเคราะห์ค่าความเค้น และความเครียดถูกกำหนดขึ้นตามขนาดและรูปร่าง ค่าเผื่อถูกใช้อย่างแน่นอนหลังจากผลิตชิ้นส่วนอื่นอย่างเหมาะสมที่ขนาด รูปร่าง โดยส่วนมากการกำหนดค่าเผื่อนั้นควรหลีกเลี่ยง กำหนดค่าเผื่อที่กว้าง ควรกำหนดให้เล็กกว่าชิ้นส่วนที่นำไปใช้ร่วมกัน ซึ่งสัมพันธ์กับส่วนการออกแบบค่าเผื่อ ในระหว่างการออกแบบค่าเผื่อเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ โดยมีการตัดสินใจหาระดับที่ยอมรับได้ของชิ้นส่วนนั้น และปัญหาที่สำคัญคือการกำหนดค่าเผื่อในด้านที่มีผลกระทบน้อยที่สุดเหมาะกับงาน และผลิตภัณฑ์ควรมีคุณภาพดี โดยเป้าหมายควรคำนึงถึงต้นทุนการผลิตต่อหน่วยที่เหมาะสมอายุการใช้งาน ( ผู้บริโภค, บริการ, มลภาวะ ) และคุณภาพที่สูญเสียจะน้อย

## บทที่ 3

### การศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบัน

#### 3.1 ขั้นตอนการสำรวจสภาพปัญหาของผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

1. สำรวจข้อมูลความไม่พึงพอใจของผู้บริโภคที่ใช้รถกระบะรุ่น (ก) ซึ่งเป็นสินค้าหลักขององค์กร
2. วิเคราะห์และคัดเลือกปัญหาของความไม่พึงพอใจของผู้บริโภค โดยพิจารณาจากต้นทุนการแก้ปัญหาการซ่อมแซมจากมากไปน้อย
3. ศึกษาสภาวะของปัญหาที่คัดเลือก โดยพิจารณาจาก การออกแบบข้อกำหนดของการผลิตในส่วนการควบคุมคุณภาพชิ้นส่วน
4. พิจารณาปัญหาในด้านข้อเทคนิคทางวิศวกรรม

#### 3.2 ผลการสำรวจสภาวะปัญหาของผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

3.2.1. ผลสำรวจข้อมูลความไม่พึงพอใจของผู้บริโภคที่ใช้รถกระบะรุ่น (ก) ซึ่งเป็นสินค้าหลักขององค์กร

ผลิตภัณฑ์รถกระบะที่ศึกษาเป็นรถกระบะรุ่น (ก) (รถกระบะ หมายถึง รถบรรทุกขนาด 1 ตันถึง 1.5 ตัน มีส่วนประกอบ คือ ห้องโดยสาร กระบะบรรทุก และเครื่องยนต์) เริ่มมีการผลิตออกจำหน่ายกลางปี 20X0 ถึงปัจจุบัน ซึ่งมียอดผลิตจากปี 20X0 ถึงปี 20X2 มาแล้วเป็นจำนวนกว่า 280,000 คัน และขายออกไปทั่วโลกกว่า 30 ประเทศ ซึ่งตลาดใหญ่แบ่งออกได้เป็น ตลาดยุโรป ตลาดสหราชอาณาจักร ตลาดตะวันออกกลาง ตลาดอาฟริกา ตลาดออสเตรเลีย-โอเชียเนีย ตลาดเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งแต่ละตลาดจะมีสิ่งอำนวยความสะดวก และกฎหมายทางด้านมลพิษที่แตกต่างกันออกไป

เมื่อรถกระบะถูกขายออกไปผู้บริโภคจะได้รถกระบะและการรับประกันในการหน้าที่การทำงานของแต่ละชิ้นส่วนของรถกระบะไปด้วย โดยจะมีระยะเวลาการรับประกันชิ้นส่วนที่แตกต่าง



กันออกไป ซึ่งในปัจจุบันแต่ละค่ายรถยนต์มักจะกำหนดการรับประกันชิ้นส่วนแต่ละหน้าที่มีระยะเวลาดังนี้

1. ชิ้นส่วนของระบบส่งกำลัง มีระยะเวลาในการรับประกัน 3 ปี หรือ 100,000 กิโลเมตร แล้วแต่ระยะใดถึงก่อน

- เครื่องยนต์
- ชุดส่งกำลัง

2. ชุดขับเคลื่อน และช่วงล่าง มีระยะเวลาในการรับประกัน 3 ปี หรือ 100,000 กิโลเมตร แล้วแต่ระยะใดถึงก่อน

3. ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ มีระยะเวลาในการรับประกัน 2 ปี หรือ 50,000 กิโลเมตร แล้วแต่ระยะใดถึงก่อน

4. ชิ้นส่วนเฉพาะอย่าง มีระยะเวลาในการรับประกัน 1 ปี หรือ 20,000 กิโลเมตร แล้วแต่ระยะใดถึงก่อน

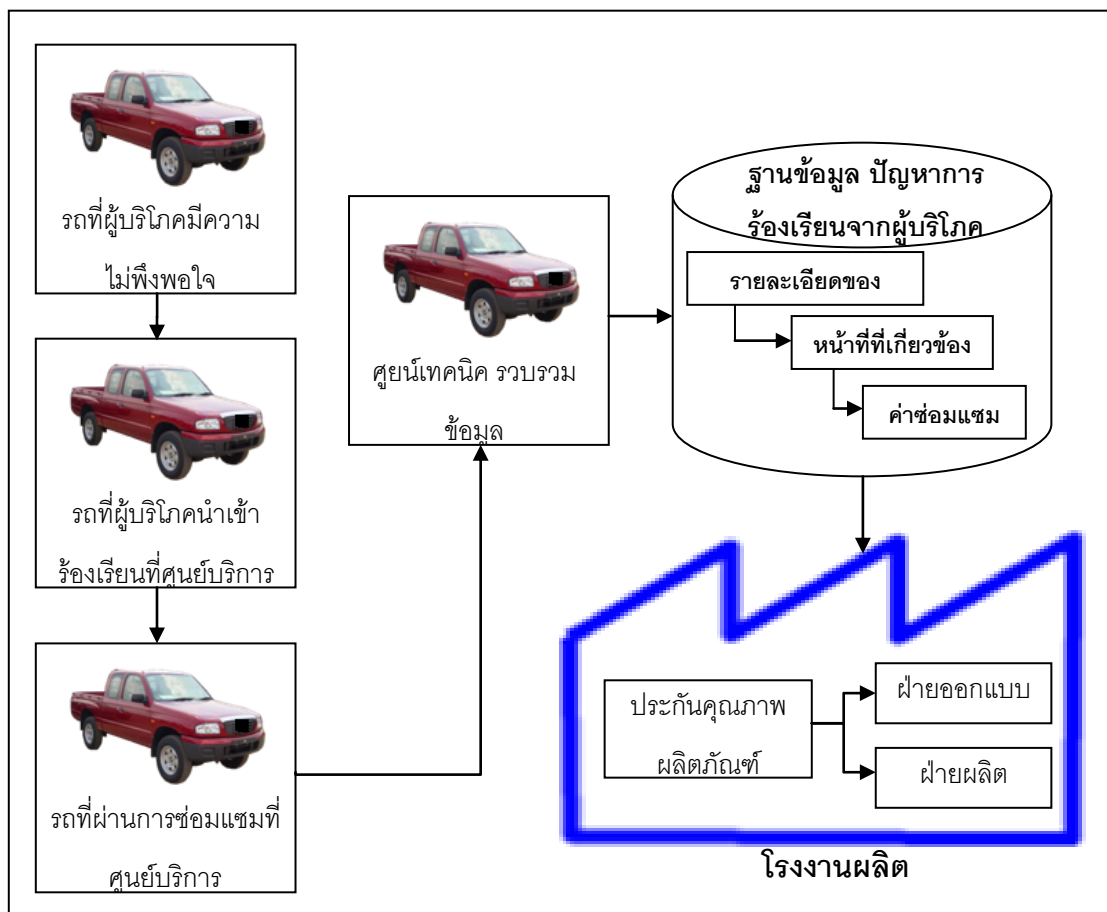
- เช่น หลอดไฟ มอเตอร์ปั๊มน้ำฝน แบตเตอรี่ วิทยุ-เทป เครื่องปรับอากาศ มอเตอร์สตาร์ท ท่อไอเสีย และ อัลเทอเนเตอร์ เป็นต้น

การรับประกันในชิ้นส่วนจะถูกจัดบันทึกเมื่อมีการร้องเรียนความไม่พึงพอใจของผู้บริโภค ถึงรถกระบะคันที่ผู้บริโภคนำเข้ามายังศูนย์บริการตามระยะเวลาเข้าตรวจเช็ค หรือเมื่อมีปัญหาเกิดขึ้น โดยปัญหาแต่ละอย่างจะถูกส่งข้อมูลเข้าสู่โรงงานผู้ผลิต

ภาพที่ 3.1 แสดงการรับข้อมูลความไม่พึงพอใจของผู้บริโภคโดยมีการจัดทำเป็นฐานข้อมูลจากรายงานทางด้านเทคนิคเข้าสู่โรงงานผู้ผลิต และมีการรวบรวมข้อมูลถึงหน้าที่การทำงานที่ผิดปกติของแต่ละชิ้นส่วนส่งมายังโรงงานผลิต เพื่อทำการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาโดยที่นำมาแก้ไขมีเงื่อนไขของระบบประกันคุณภาพดังนี้

1. เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นซ้ำ เกินกว่า 3 ครั้ง
2. มีค่าใช้จ่ายการซ่อมแซมที่สูง
3. มีผลกระทบโดยตรงต่อความปลอดภัยของผู้บริโภค

4. ปัญหาเกี่ยวกับเสียงดังที่ทำให้ผู้บริโภคมั่นใจต่อการทำงานของรถยนต์
5. ปัญหาที่เกิดจากโรงงานผู้ผลิต ด้านการออกแบบและการประกอบ



ภาพที่ 3.1 ระบบข้อมูลปัญหาที่ลูกค้าร้องเรียน

ฐานข้อมูลความไม่พึงพอใจของผู้บริโภคซึ่งทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่รถกระบะรุ่น (ก) เริ่มผลิตจากกลางปี 20X0 ถึงสิ้นปี 20X2 มีความไม่พึงพอใจร้องเรียนที่อยู่ในระยะเวลาประกันขึ้นส่วนมาทั้งสิ้น 3,241 ครั้ง มีมูลค่าการซ่อมแซมทั้งสิ้น 23,083,072 บาท จากการผลิตรถกระบะรุ่นนี้แล้วทั้งสิ้น 280,000 คัน คิดเป็นค่าซ่อมเฉลี่ยต่อคันเป็นมูลค่า 83 บาท เป็นค่าใช้จ่ายที่ทางผู้ผลิตต้อง

เสียไปให้กับข้อบกพร่องจากการออกแบบ และ ข้อบกพร่องจากการผลิต การศึกษาข้อมูลสินค้าขององค์กรมีดังนี้

รถกระบะ 1 ตันรุ่น (ก) สามารถแยกออกเป็นหน้าที่ได้ 6 ส่วนด้วยกัน ดังนี้

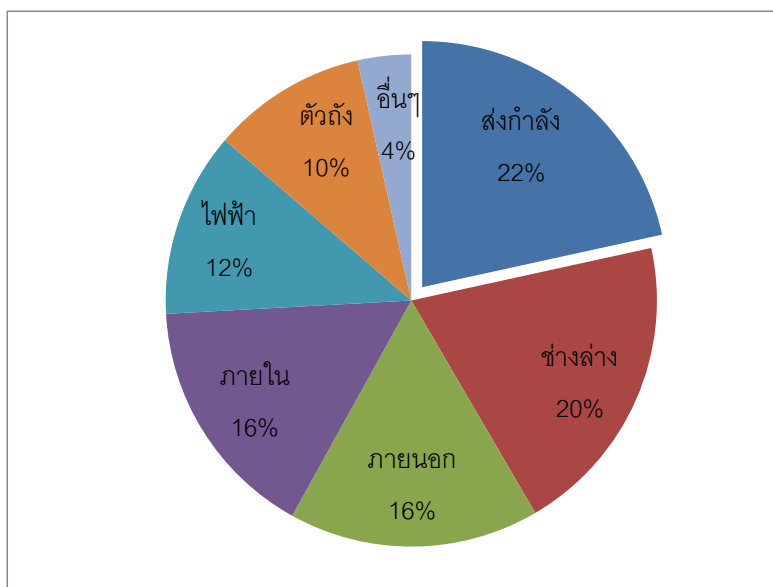
1. Body หน้าที่ตัวถัง
2. Chassis หน้าที่ช่วงล่าง
3. Exterior หน้าที่ส่วนประกอบภายนอกตัวถังทั่วไป
4. Electrical หน้าที่ระบบไฟฟ้า
5. Interior หน้าที่ส่วนประกอบภายในห้องโดยสาร
6. Powertrain หน้าที่ส่งกำลัง

3.2.2. ผลวิเคราะห์และคัดเลือกปัญหาของความไม่พึงพอใจของผู้บริโภค โดยพิจารณาจากต้นทุนการแก้ปัญหาการซ่อมแซมจากมากไปน้อย จากฐานข้อมูลปัญหาร้องเรียนจากผู้บริโภคทางด้านเทคนิคของรถกระบะรุ่น (ก) ตั้งแต่ปี 20X0 ถึง 20X2 สรุปข้อมูลได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 จำนวนครั้งที่ลูกค้าร้องเรียน

หน่วย : ครั้ง

ปี	จำนวน ร้องเรียน	ส่งกำลัง	ช่วงล่าง	ภายนอก	ภายใน	ไฟฟ้า	ตัวถัง	อื่นๆ
20X1	2323	484	410	404	372	306	254	93
20X2	917	215	238	130	149	88	76	21
รวม	3240	699	648	534	521	394	330	114
สัดส่วน		21.57%	20.00%	16.48%	16.08%	12.16%	10.19%	3.52%



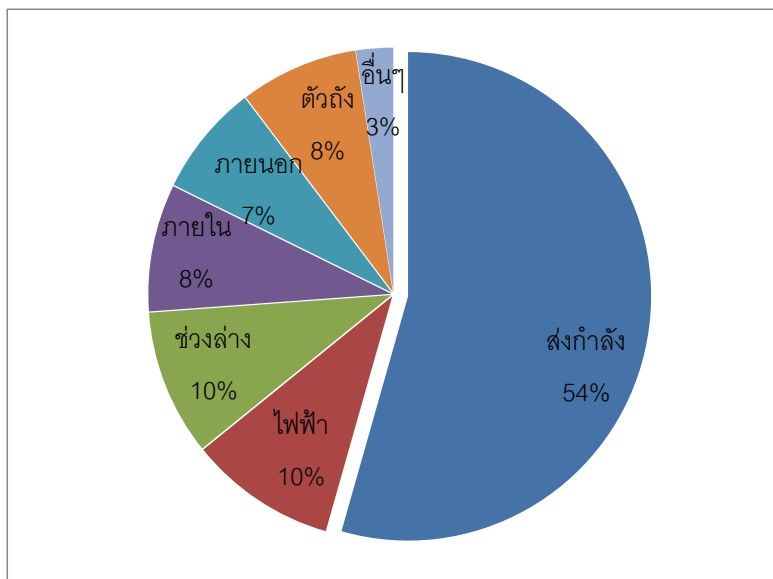
ภาพที่ 3.2 แผนภูมิแสดงสัดส่วนร้อยละของระบบต่างๆที่ถูกค้ำร้องเรียน

ภาพที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่าหน้าที่ของระบบส่งกำลังมีจำนวนครั้งของความไม่พึงพอใจของผู้บริโภคที่นำมาเข้ารับการบริการมากที่สุด คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 21% ของปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมด แต่การที่จะพิจารณานำมาแก้ไขต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายจากการซ่อมแซมที่เกิดขึ้นที่ต้องนำมาพิจารณาดังตารางที่ 3.2 จะแสดงค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมของแต่ละส่วนหน้าที่ของรถกระบะที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 3.2 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมจำแนกตามปัญหาต่างๆ

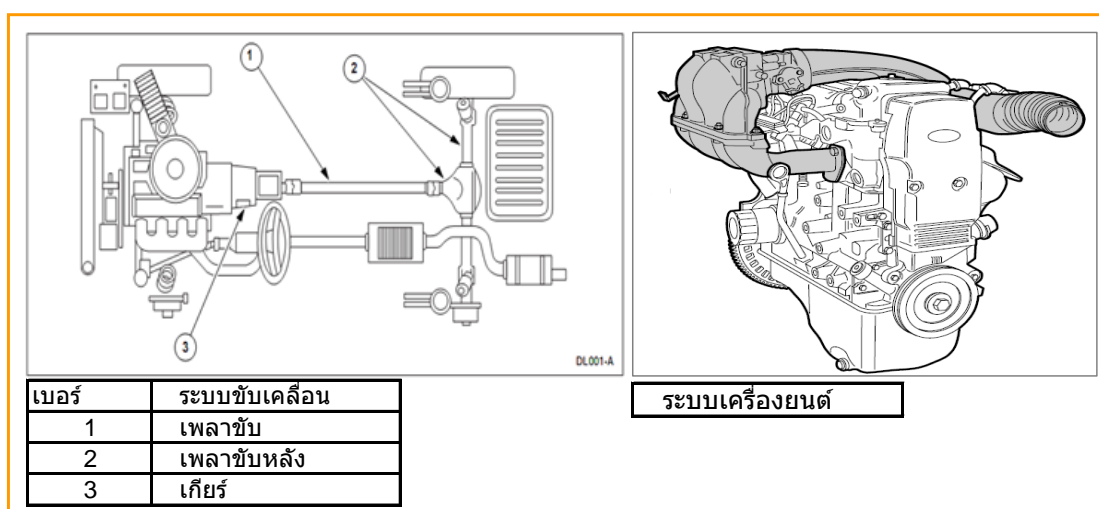
หน่วย : บาท

ปี	ค่าซ่อมรวม	ส่งกำลัง	ไฟฟ้า	ช่างล่าง	ภายใน	ภายนอก	ตัวถัง	อื่นๆ
20X1	17,485,583	9,321,996	1,813,897	1,474,500	1,516,666	1,492,621	1,378,000	487,902
20X2	5,597,060	3,238,967	442,094	754,468	425,772	216,190	437,250	82,319
รวม	23,082,643	12,560,962	2,255,992	2,228,968	1,942,438	1,708,811	1,815,250	570,221
สัดส่วน		54.42%	9.77%	9.66%	8.42%	7.40%	7.86%	2.47%



ภาพที่ 3.3 แผนภูมิแสดงสัดส่วนร้อยละค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมจำแนกตามปัญหาต่างๆ

จากข้อมูลค่าซ่อมแซมที่ลูกค้าร้องเรียนแสดงดังภาพที่ 3.3 แสดงสัดส่วนร้อยละหน้าทีของระบบส่งกำลังเป็นอันดับ 1 ด้วยสัดส่วนร้อยละ 55 % ของค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมที่เกิดขึ้น เมื่อพิจารณาจะไปในหน้าที่ส่งกำลังสามารถแยกออกได้เป็น 2 หน้าที่ แสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ส่วนประกอบต่างๆของระบบส่งกำลัง

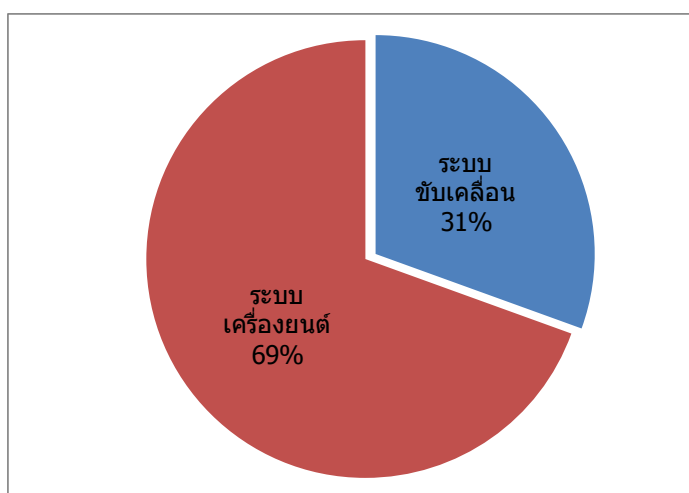
สามารถแบ่งแยกได้เป็น 2 ระบบด้วยกันคือระบบขับเคลื่อนและระบบเครื่องยนต์ และวิเคราะห์ค่าซ่อมแซมของระบบขับเคลื่อนและระบบเครื่องยนต์ได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมจำแนกตามระบบส่งกำลัง

หน่วย : บาท

ปี	รวมค่าใช้จ่าย	ระบบขับเคลื่อน	ระบบเครื่องยนต์
20X1	8,001,185	2,752,105	5,249,080
20X2	4,391,756	1,031,490	3,360,266
รวม	12,392,941	3,783,595	8,609,346
สัดส่วน		31%	69%

ตารางที่ 3.3 แสดงให้เห็นว่าหน้าที่เครื่องยนต์จะมีค่าซ่อมแซมมากกว่าระบบขับเคลื่อน และจากภาพที่ 3.5 จะแสดงค่าซ่อมแซมของหน้าที่เครื่องยนต์คิดเป็น 69 % ของระบบส่งกำลังทั้งสองโดยเครื่องยนต์ประกอบไปด้วยหน้าที่ต่าง ๆ ดังนี้ ระบบขับเคลื่อนด้านหน้า Front End Accessory Drive (FEAD) ระบบเชื้อเพลิง ระบบหล่อเย็นน้ำมันหล่อลื่น ระบบควบคุมมลพิษ ระบบไอดีและไอเสีย กลไกเพลลาข้อเหวี่ยง กลไกลิ้นไอดีและไอเสีย และระบบหล่อเย็น



ภาพที่ 3.5 แผนภูมิแสดงสัดส่วนร้อยละค่าใช้จ่ายจำแนกตามระบบส่งกำลัง

ตารางที่ 3.4 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมจำแนกตามระบบต่างๆของระบบเครื่องยนต์

หน่วย : บาท

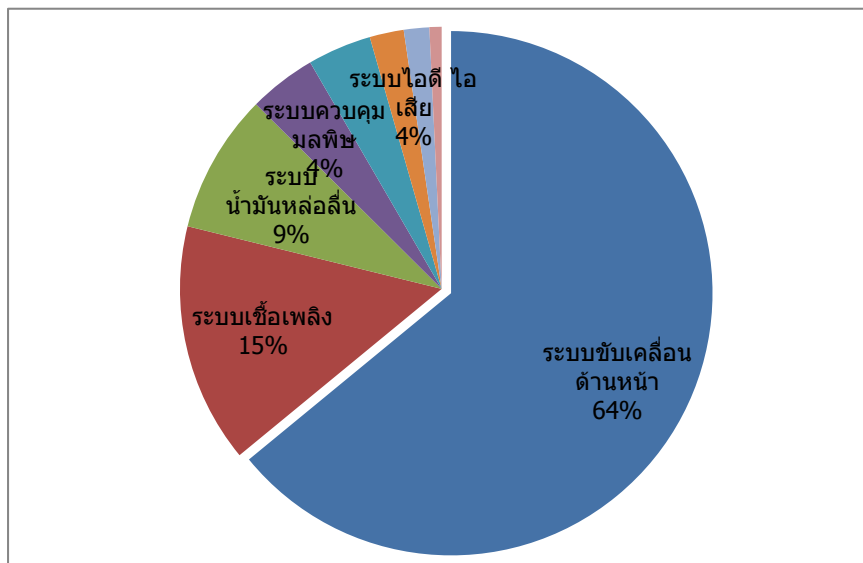
ปี	ค่าซ่อมแซม รวมของระบบ เครื่องยนต์	ระบบขับเคลื่อน ด้านหน้า	ระบบเชื้อเพลิง	ระบบ น้ำมันหล่อลื่น	ระบบควบคุม มลพิษ
20X1	5,249,080	3,208,390	755,010	676,862	195,689
20X2	3,360,266	2,306,528	517,925	63,441	163,713
รวม	8,609,346	5,514,919	1,272,935	740,303	359,401
สัดส่วน		64%	15%	9%	4%

ตารางที่ 3.4 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมจำแนกตามระบบต่างๆของระบบเครื่องยนต์ (ต่อ)

หน่วย : บาท

ปี	ค่าซ่อมแซม รวมของระบบ เครื่องยนต์	ระบบไอดี ไอเสีย	ระบบกลไกเพลลา ข้อเหวี่ยง	ระบบกลไกลิ้นไอ ดี ไอเสีย	ระบบหล่อเย็น
20X1	5,249,080	121,920	181,683	65,619	43,908
20X2	3,360,266	218,094	0	69,832	20,732
รวม	8,609,346	340,015	181,683	135,452	64,639
สัดส่วน		4%	2%	2%	1%

ซึ่งระบบต่างๆของเครื่องยนต์ในตารางที่ 3.4 แสดงค่าใช้จ่ายที่ใช้ซ่อมแซมให้กับหน้าที่ต่างๆของเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถแยกออกมาเป็นสัดส่วนร้อยละของค่าซ่อมแซมได้ดังภาพที่ 3.6 พบว่าระบบขับเคลื่อนด้านหน้า FEAD มีมูลค่าของการซ่อมแซมจากปัญหาที่ถูกคำร้องเรียนมากที่สุดด้วยสัดส่วนร้อยละ 64 % ของปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ทั้งหมด

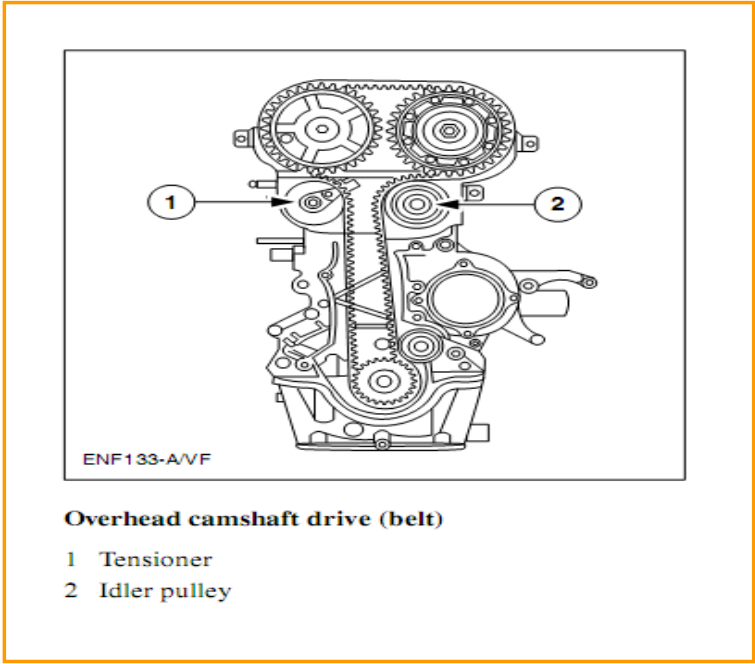


ภาพที่ 3.6 แผนภูมิแสดงสัดส่วนร้อยละค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมจำแนกตามระบบต่างๆของระบบเครื่องยนต์

เมื่อได้ทำการศึกษาลงไปถึงระบบขับเคลื่อนด้านหน้า แสดงในภาพที่ 3.7 นั้นจะประกอบด้วยส่วนที่ใช้ในการขับเคลื่อนการกำหนดจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ โดยเป็นกลไกควบคุมการทำงานของลิ้นไอดีและไอเสียให้สัมพันธ์กันกับการจุดระเบิดของเครื่องยนต์

ทำการวิเคราะห์ถึงสาเหตุปัญหาที่ลูกค้าร้องเรียน ระบบขับเคลื่อนด้านหน้า FEAD จากข้อมูลในตารางที่ 3.4 พบว่าเป็นปัญหาที่มีจำนวนครั้งของปัญหามากที่สุดและมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมที่สูงถึง 5,514,919 บาท จากค่าซ่อมแซมของระบบส่งกำลัง 12,560,962 บาทคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 69 % ของระบบส่งกำลัง และคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 24% ของค่าซ่อมแซมที่เกิดขึ้นทั้งหมดที่มีมูลค่า 23,083,072 บาท ปัญหาที่เกิดขึ้นของระบบขับเคลื่อนด้านหน้าจากฐานข้อมูลความไม่พึงพอใจของผู้บริโภคสามารถที่จะแจกแจงออกมาเป็นปัญหาต่างๆได้ดังตารางที่ 3.5





ภาพที่ 3.7 ส่วนประกอบต่างๆของระบบขับเคลื่อนด้านหน้า FEAD

ตารางที่ 3.5 ปัญหาและค่าซ่อมแซมของระบบขับเคลื่อนด้านหน้า

หน่วย:บาท

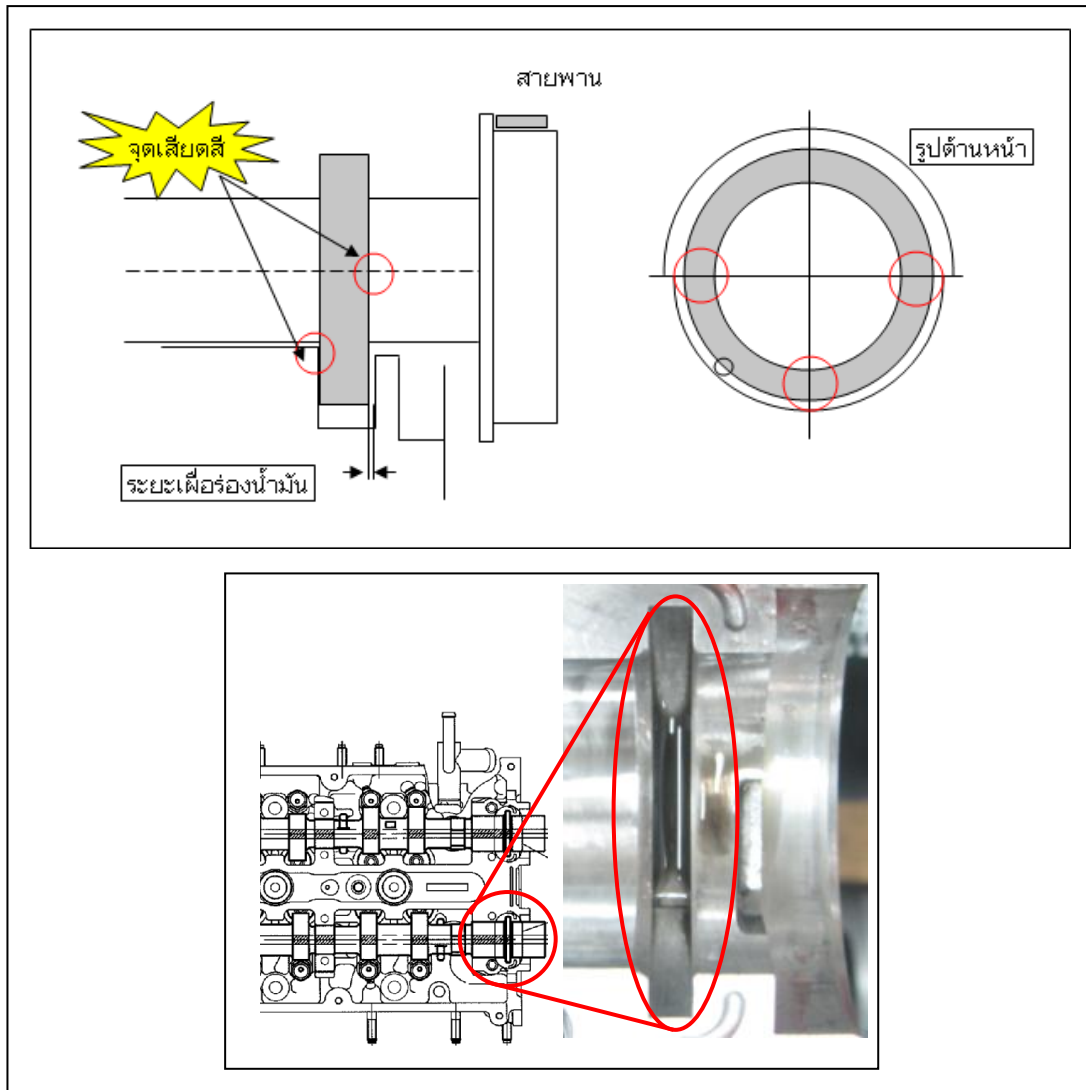
ปัญหาของระบบขับเคลื่อนด้านหน้า	20X1		20X2		Total	
	รวมค่าซ่อม	จำนวนครั้ง	รวมค่าซ่อม	จำนวนครั้ง	รวมค่าซ่อม	จำนวนครั้ง
ประกบและเพลาลูกเบี้ยวสึกหรอ	2,695,123	23	1,890,925	6	4,586,048	29
เครื่องยนต์เสียงดังด้านหน้า	62,123	10	308,937	3	371,061	13
ตั้งริงสายพานทำงานผิดพลาด	315,360	14	3,390	2	318,750	16
เครื่องยนต์สตาร์ทไม่ติด	70,028	9	0	0	70,028	9
ตัวปรับค่าเดินเบาเสียหาย	10,389	4	27,144	5	37,532	9
สายพานด้านหน้าหลุด	16,878	2	17,243	1	34,122	3
ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยงทำงานผิดพลาด	19,888	4	5,416	1	25,303	5
เครื่องยนต์มีเสียงดัง	9,501	2	14,060	1	23,561	3
งานซ่อมระบบสายพานทั่วไป	0	0	22,215	1	22,215	1
ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาลูกเบี้ยวทำงานผิดพลาด	7,028	2	2,838	1	9,866	3
ไม่มีประเก็นเหลวในห้องเฟือง	0	0	9,768	1	9,768	1
ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยงไม่ได้ต่อทำงาน	0	0	3,350	1	3,350	1
ตัวตั้งสายพานทำงานผิดพลาด	3,066	2	0	0	3,066	2
ฝาสายพานน็อคคลายตัว	0	0	1,243	1	1,243	1

ตารางที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่าปัญหาเพลาลูกเบี้ยวหมุนติดเป็นปัญหาที่มีค่าซ่อมแซมเป็นจำนวน 4,586,048 บาท ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 20% ของค่าซ่อมแซมที่เกิดขึ้นทั้งหมดซึ่งมีมูลค่า 23,083,072 บาท จากข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ ปัญหาเพลาลูกเบี้ยวหมุนติดเป็นปัญหาที่ทำให้เกิดค่าซ่อมแซมซึ่งมีมูลค่าสูงและคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 20% จากค่าซ่อมแซมที่เกิดขึ้นทั้งหมด จึงมีความน่าสนใจที่จะลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากปัญหานี้เนื่องจากเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีจำนวนครั้งที่เกิดขึ้น 29 ครั้งตั้งแต่ปี 20X1 จนถึงปี 20X2 จากข้อมูลที่มีการเก็บรวบรวมจากศูนย์บริการต่างๆที่ทำการซ่อมแซมและบันทึกไว้เป็นฐานข้อมูล โดยปัญหาเพลาลูกเบี้ยวหมุนติดนั้นจะทำให้เครื่องยนต์ไม่สามารถทำงานต่อไปได้ ซึ่งถ้าปัญหานี้เกิดในขณะขับขี่ในขณะเร่งแซงหรือขับขึ้นลงในพื้นที่ลาดชัน อาจจะทำให้เป็นอันตรายต่อความปลอดภัยของผู้บริโภคได้ ซึ่งตรงกับเงื่อนไขของ ระบบประกันคุณภาพที่ต้องทำการแก้ไขโดยทันที

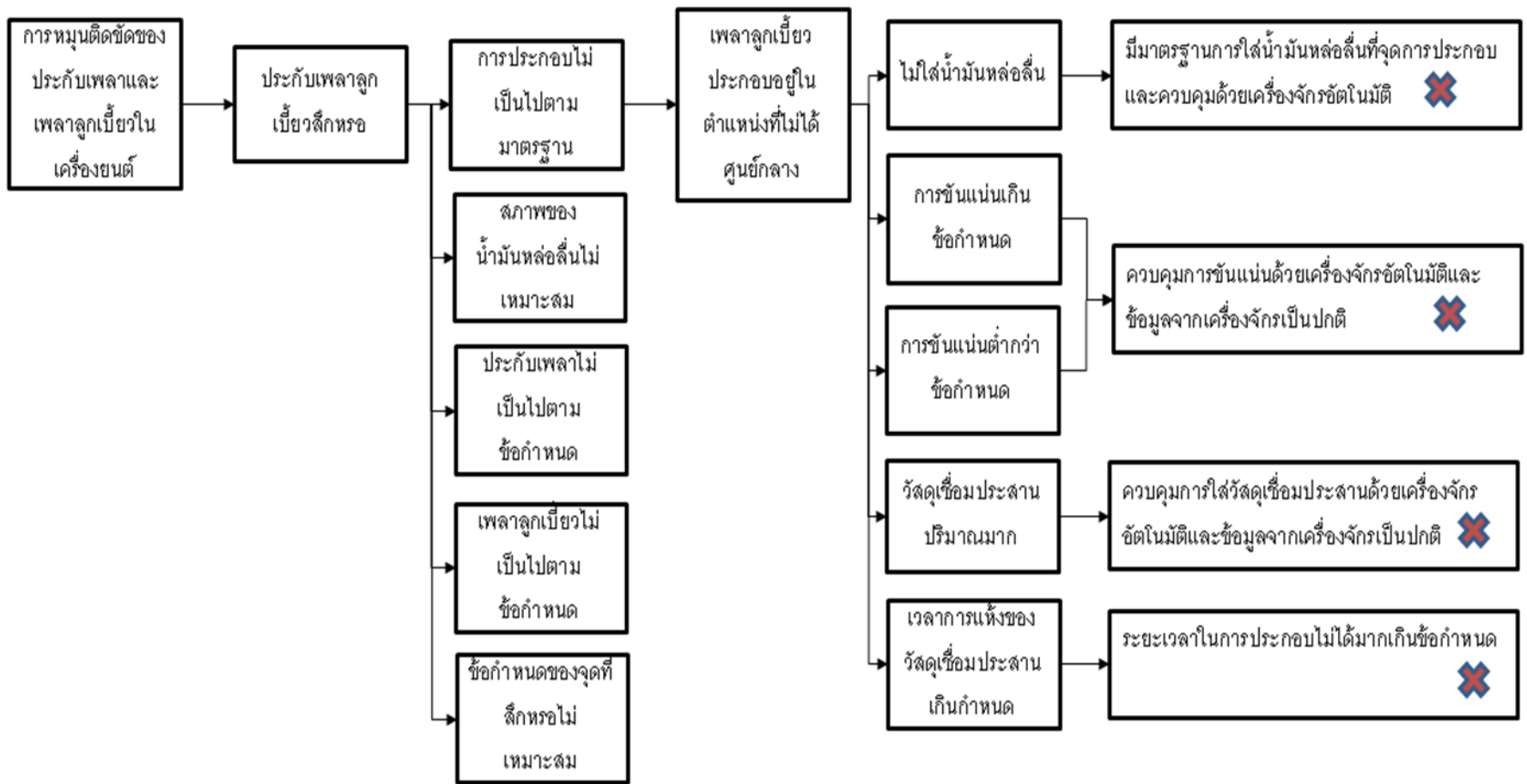
3.2.3. ศึกษาสภาวะของปัญหาที่คัดเลือก โดยพิจารณาจาก การออกแบบข้อกำหนดของการผลิตในส่วนการควบคุมคุณภาพชิ้นส่วน

ปัญหาเพลาลูกเบี้ยวหมุนติด คือการที่เพลาลูกเบี้ยวไม่สามารถที่จะหมุนได้เนื่องจากการเสียดสีจนติดขัดกับประกับเพลาลูกเบี้ยวเกิดขึ้นดังภาพที่ 3.8 เนื่องจากการสึกหรอของประกับเพลาลูกเบี้ยวที่เสียดสีกันจนเกิดความร้อนขึ้นสูงและน้ำมันหล่อลื่นใจช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นไม่สามารถที่จะรองรับระดับการเสียดสี และความร้อนที่เกิดขึ้นได้ โดยปัญหาจะส่งผลให้เครื่องยนต์ไม่สามารถทำงานต่อไปได้ และเกิดความเสียหายขึ้นอย่างรุนแรง เนื่องจากการทำงานที่ผิดของระบบการอัดอากาศของเครื่องยนต์

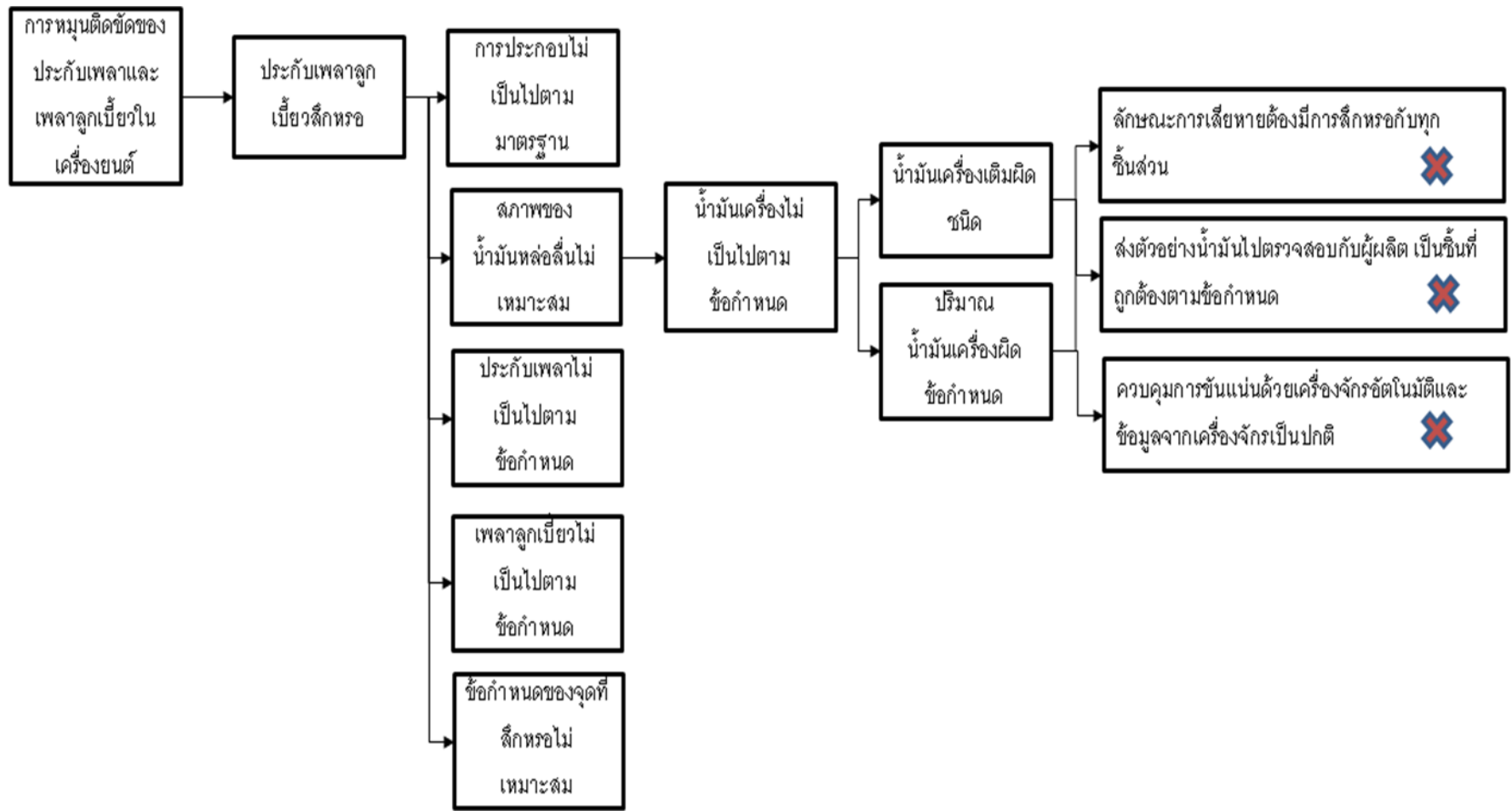
ปัญหาข้างต้นได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาเพลาลูกเบี้ยวหมุนติด โดยใช้แผนภูมิต้นไม้ Fault Tree Analysis FTA มาทำการวิเคราะห์แนวทางสาเหตุของปัญหา ดังภาพที่ 3.9 ซึ่ง FTA ได้พิจารณาแล้วถึงสภาพของปัญหาพบว่า ค่าของความกว้างของประกับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยวได้ส่งผลถึงปัญหาการสึกหรอของชิ้นงานซึ่งจำเป็นต้องทำการตรวจสอบถึงสภาพการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการออกแบบระยะของชิ้นส่วนทั้งสองถึงสภาวะการสึกหรอที่เกิดขึ้น



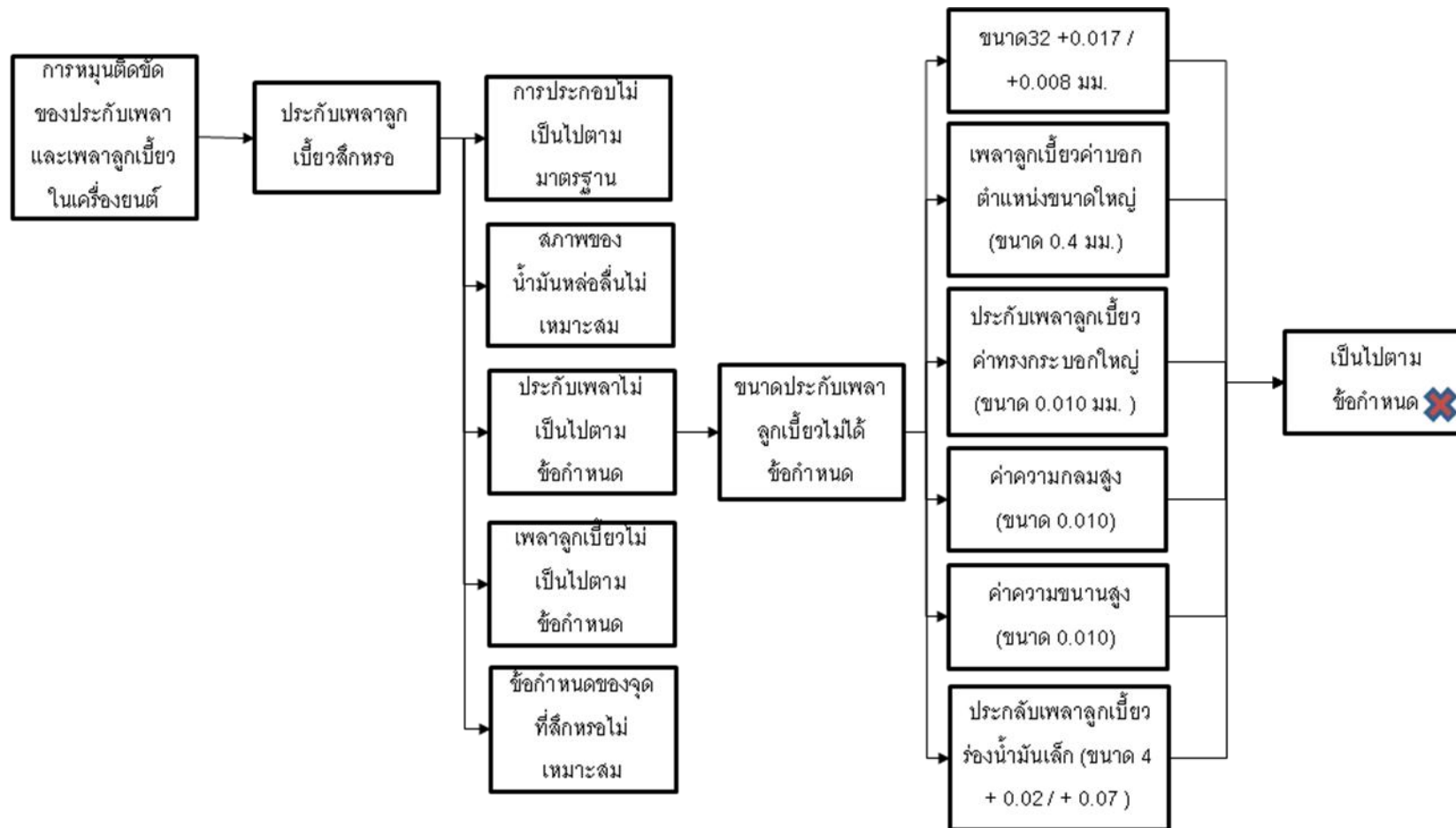
ภาพที่ 3.8 แสดงปัญหาการสึกหรอของประกับเพลาลูกเบี้ยว



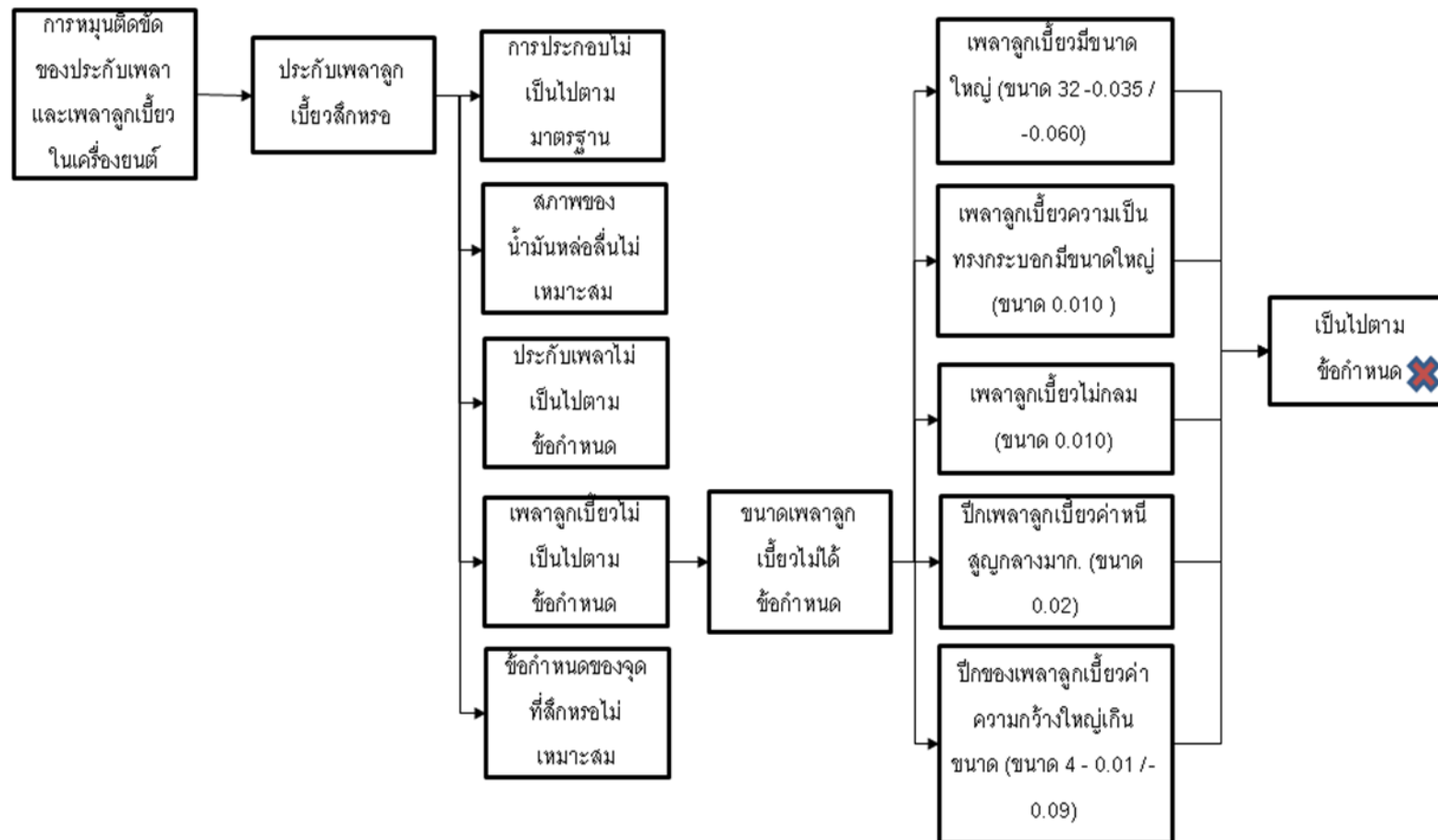
ภาพที่ 3.9 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิต้นไม้ FTA



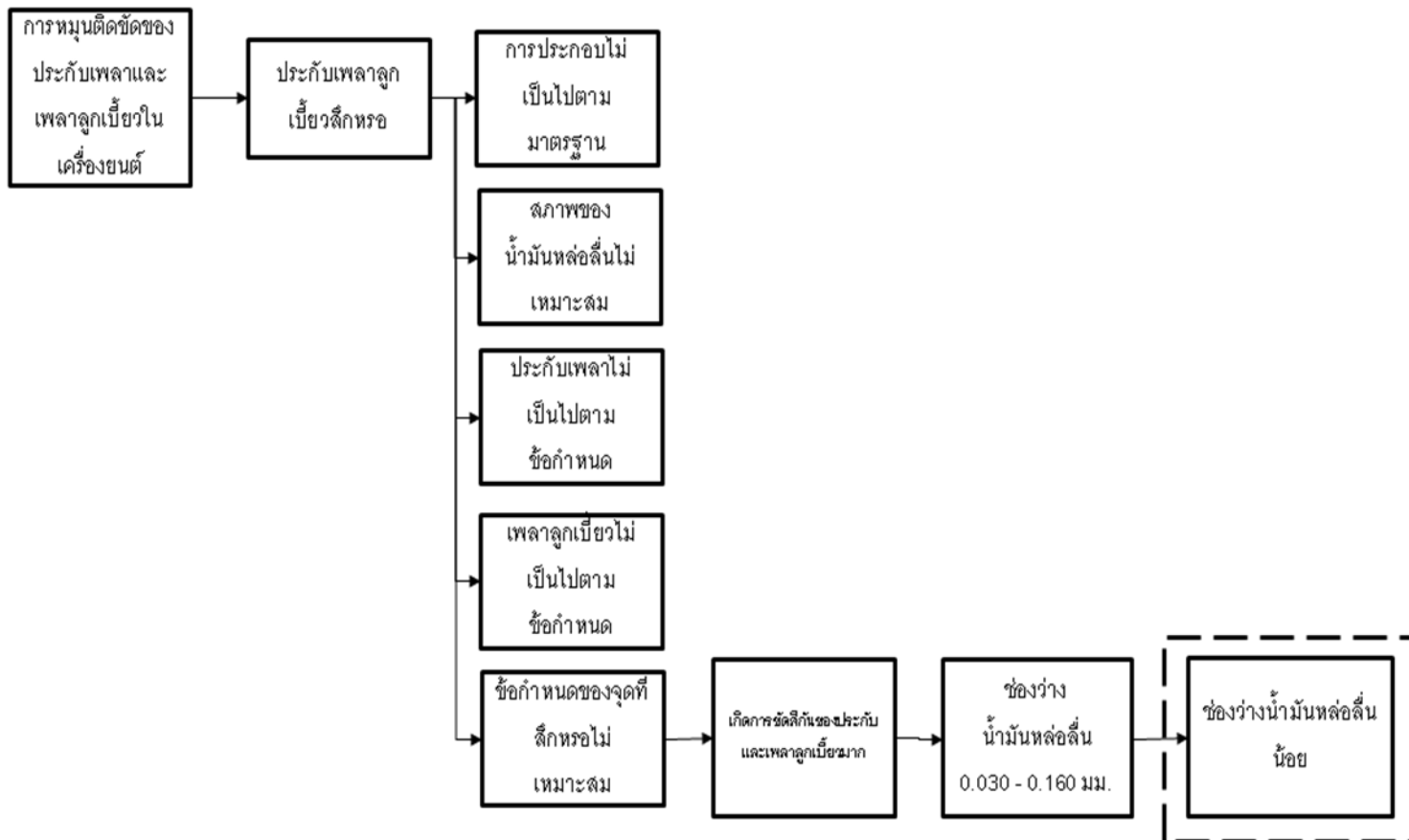
ภาพที่ 3.9 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิต้นไม้ FTA (ต่อ)



ภาพที่ 3.9 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิต้นไม้ FTA (ต่อ)



ภาพที่ 3.9 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิต้นไม้ FTA (ต่อ)



ภาพที่ 3.9 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิต้นไม้ FTA (ต่อ)



จากการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิต้นไม้ FTA ให้ทำการทวนสอบกลับไปถึงการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นส่วนการประกอบ แต่จากปัญหาชิ้นส่วนจะเสียหายไปและไม่สามารถทำการตรวจสอบซ้ำได้ แต่เครื่องยนต์รุ่นนี้ที่อธิบายได้ไว้ข้างต้นเป็นเครื่องยนต์ชนิดเพลาลูกเบี้ยวคู่ และจากปัญหาจะสึกหรอที่ข้างเดียว ดังนั้นจะยังสามารถตรวจสอบได้กับส่วนที่เหลือได้ คือ

1. เพลาลูกเบี้ยวในส่วนของความกว้างของปีกของเพลาลูกเบี้ยว และค่าอื่นๆที่ควบคุมในส่วนของปีกของเพลาลูกเบี้ยว ไม่ว่าจะเป็นค่าความตั้งฉาก ค่าความกลม ซึ่งทุกค่ายังอยู่ในข้อกำหนดของชิ้นส่วน

2. ประกับเพลาลูกเบี้ยวในส่วนของความกว้างของร่องน้ำมัน และค่าอื่นๆที่ควบคุมในส่วนของความกว้างของร่องน้ำมัน ไม่ว่าจะเป็นค่าความตั้งฉาก ค่าความกลม ซึ่งทุกค่ายังอยู่ในข้อกำหนดของชิ้นส่วน

3. การประกอบกันของชิ้นส่วนทั้งสองจะมีค่ามีการออกแบบมาเพื่อควบคุมการเสียดสีกันของชิ้นส่วนทั้งสองโดยจะให้เป็นค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งค่าก็ยังคงอยู่ในข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3.6 แสดงค่าจากตัวอย่างรถกระบะที่เกิดปัญหาจำนวน 10 คัน มีผลการตรวจสอบชิ้นส่วนที่เสียหายค่าระยะเผื่อช่องน้ำมันยังอยู่ในค่าที่กำหนดที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.079 มิลลิเมตร จากข้อกำหนด 0.030 – 0.160 มิลลิเมตร และค่าของชิ้นส่วนก็ยังคงอยู่ในค่าที่กำหนดเช่นกัน โดยประกับเพลาลูกเบี้ยวมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.034 มิลลิเมตร จากข้อกำหนด 4.02 – 4.07 มิลลิเมตร และเพลาลูกเบี้ยวมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.947 มิลลิเมตร จากข้อกำหนด 3.91 – 3.99 มิลลิเมตร และได้ทำการตรวจสอบชิ้นส่วนที่ผลิตในปัจจุบัน 30 ค่าดังแสดงในตารางที่ 3.7 ก็พบว่ายังผลิตได้อยู่ในข้อกำหนดที่ออกแบบไว้ของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยวมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.03 มิลลิเมตร จากข้อกำหนด 4.02 – 4.07 มิลลิเมตร ความสามารถของกระบวนการ Cmk เท่ากับ 1.33 และ เพลาลูกเบี้ยวมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.95 มิลลิเมตร จากข้อกำหนด 3.91 – 3.99 มิลลิเมตร ความสามารถของกระบวนการ Cmk เท่ากับ 1.75

ตารางที่ 3.6 แสดงค่าการตรวจสอบข้อกำหนดของชิ้นส่วนที่บักพร่อง

หน่วย : มิลลิเมตร

เครื่องยนต์ที่	ประกบเพลาลูกเบี้ยว ( A )	เพลาลูกเบี้ยว ( B )	ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น ( C )
	ข้อกำหนด 4.02-4.07	ข้อกำหนด 3.91 - 3.99	ข้อกำหนด 0.03 - 0.160
1	4.031	3.95	0.113
2	4.027	3.95	0.08
3	4.034	3.95	0.07
4	4.036	3.95	0.090
5	4.035	3.95	0.060
6	4.036	3.95	0.08
7	4.036	3.95	0.08
8	4.031	3.94	0.06
9	4.035	3.95	0.07
10	4.036	3.94	0.09
เฉลี่ย	4.034	3.947	0.079
เบี่ยงเบน	0.003	0.004	0.011

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลการผลิตชิ้นส่วนและช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น ณ ปัจจุบัน

หน่วย : มิลลิเมตร

ตัวอย่างที่	ไอดี	ไอเสี่ย	ไอดี	ไอเสี่ย	ไอดี	ไอเสี่ย
	ประกบ (A)	ประกบ (A)	เพลลา (B)	เพลลา (B)	ช่องว่าง (C)	ช่องว่าง (C)
	ข้อกำหนด	ข้อกำหนด	ข้อกำหนด	ข้อกำหนด	ข้อกำหนด	ข้อกำหนด
	4.02 - 4.07	4.02 - 4.07	3.91 - 3.99	3.91 - 3.99	0.03 - 0.160	0.03 - 0.160
1	4.031	4.031	3.966	3.959	0.065	0.072
2	4.031	4.026	3.965	3.951	0.066	0.075
3	4.028	4.029	3.962	3.958	0.066	0.071
4	4.029	4.030	3.962	3.956	0.067	0.074
5	4.031	4.030	3.960	3.963	0.071	0.067
6	4.030	4.031	3.957	3.946	0.073	0.085
7	4.031	4.027	3.956	3.962	0.075	0.065
8	4.028	4.027	3.955	3.957	0.073	0.071
9	4.029	4.030	3.954	3.957	0.075	0.074
10	4.029	4.030	3.953	3.939	0.076	0.092
11	4.031	4.026	3.953	3.947	0.078	0.079
12	4.027	4.025	3.953	3.958	0.075	0.068
13	4.028	4.031	3.952	3.948	0.076	0.083
14	4.029	4.029	3.952	3.946	0.077	0.083
15	4.031	4.031	3.950	3.951	0.081	0.080
16	4.025	4.026	3.949	3.961	0.076	0.066
17	4.027	4.027	3.949	3.947	0.078	0.080
18	4.031	4.031	3.948	3.956	0.083	0.075
19	4.025	4.025	3.947	3.950	0.079	0.076
20	4.025	4.027	3.946	3.958	0.079	0.070
21	4.026	4.028	3.946	3.944	0.080	0.084
22	4.031	4.031	3.945	3.947	0.086	0.084
23	4.028	4.026	3.944	3.947	0.084	0.079
24	4.030	4.030	3.944	3.947	0.086	0.083
25	4.028	4.028	3.944	3.944	0.084	0.084

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลการผลิตชิ้นส่วนและช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น ณ ปัจจุบัน (ต่อ)

หน่วย : มิลลิเมตร

ตัวอย่างที่	ไอดี	ไอเสี่ย	ไอดี	ไอเสี่ย	ไอดี	ไอเสี่ย
	ประกบ (A)	ประกบ (A)	เพลลา (B)	เพลลา (B)	ช่องว่าง (C)	ช่องว่าง (C)
	ข้อกำหนด	ข้อกำหนด	ข้อกำหนด	ข้อกำหนด	ข้อกำหนด	ข้อกำหนด
	4.02 - 4.07	4.02 - 4.07	3.91 - 3.99	3.91 - 3.99	0.03 - 0.160	0.03 - 0.160
26	4.025	4.026	3.942	3.950	0.083	0.076
27	4.027	4.029	3.942	3.945	0.085	0.084
28	4.028	4.029	3.941	3.948	0.087	0.081
29	4.028	4.028	3.941	3.967	0.087	0.061
30	4.026	4.025	3.940	3.957	0.086	0.068
X-Bar	4.028	4.028	3.950	3.952	0.078	0.076
Sigma	0.002	0.002	0.007	0.007	0.007	0.007
USL	4.070	4.070	3.990	3.990	0.160	0.160
LSL	4.020	4.020	3.910	3.910	0.030	0.030
CP	4.01	3.99	1.79	1.93	3.26	2.91
Cmk	1.35	1.33	1.77	1.83	2.41	2.07

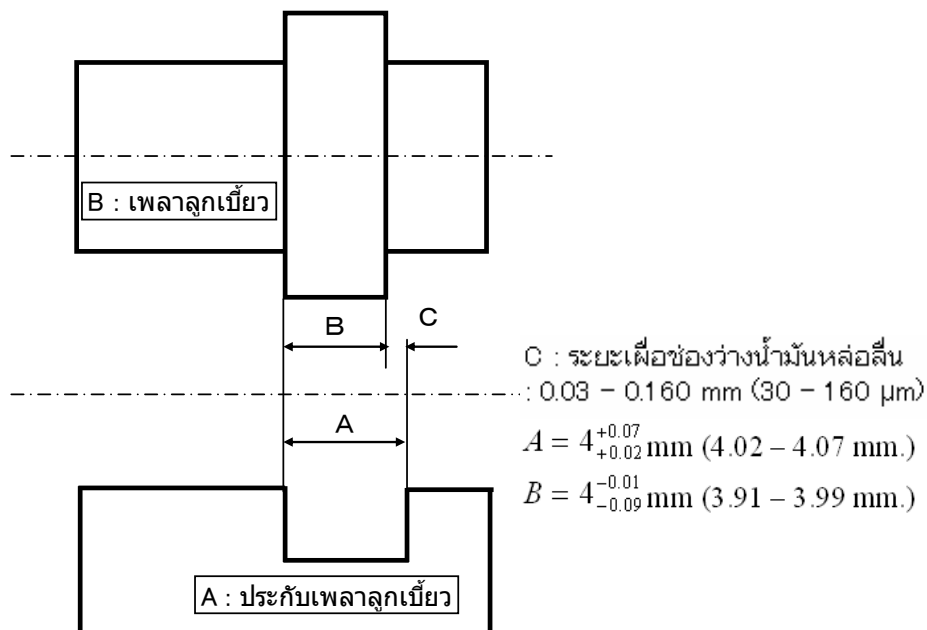
### 3.2.4. วิจารณ์ปัญหาในด้านข้อเทคนิคทางวิศวกรรม

ข้อกำหนดทางวิศวกรรมจะมีข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับปัญหาอยู่ คือ

1. ค่าเผื่อระยะช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นซึ่งให้ค่าอยู่ที่ข้อกำหนด 0.030 – 0.160 มิลลิเมตร
2. ประกับเพลลาถูกเบี้ยวให้ค่าความกว้างของร่องที่ให้เพลลาถูกเบี้ยวหมุนอยู่ที่ข้อกำหนด

4.02 – 4.07 มิลลิเมตร

3. เพลลาถูกเบี้ยวส่วนที่เป็นความกว้างของปีกที่หมุนอยู่ในประกับเพลลาถูกเบี้ยวอยู่ที่ข้อกำหนด 3.91 – 3.99 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.10 แสดงระยะเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

จากภาพที่ 3.10 จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของค่าทั้ง 3 โดยค่าระยะเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) จะเกิดจากระยะที่เหลืออยู่จากการประกอบกันของประกับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยว โดยช่องว่างที่เหลืออยู่นี้คือช่องว่างที่ให้น้ำมันมาหล่อเลี้ยงเพื่อลดความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีไม่ให้เกิดการสึกหรอที่มากเกินไปกว่าที่วัสดุจะทนทานได้

ซึ่งจากตารางที่ 3.6 พบว่าชิ้นส่วนจากเครื่องยนต์ที่เสียหาย มีค่าเผื่อระยะช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ซึ่งมีค่าอยู่ที่ค่าเฉลี่ย 0.079 มิลลิเมตร และประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ให้ค่าความกว้างของร่องที่ให้เพลาลูกเบี้ยว (B) ประกอบอยู่ที่ค่าเฉลี่ย 4.034 มิลลิเมตร และเพลาลูกเบี้ยว (B) ส่วนที่เป็นความกว้างของปีกที่หมุนอยู่ในร่องน้ำมันของประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) อยู่ที่ค่าเฉลี่ย 3.947 มิลลิเมตร แต่จากการตรวจสอบกับชิ้นส่วนที่ผลิตในปัจจุบันพบว่าในตารางที่ 3.7 ค่าเผื่อระยะช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ซึ่งให้ค่าอยู่ที่ค่าเฉลี่ย 0.078 มิลลิเมตร ประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ให้ค่าความกว้างของร่องที่ให้เพลาลูกเบี้ยว (B) ประกอบอยู่ที่ค่าเฉลี่ย 4.028 มิลลิเมตร และเพลาลูกเบี้ยว (B) ส่วนที่เป็นความกว้างของปีกอยู่ที่ค่าเฉลี่ย 3.95 มิลลิเมตร ซึ่งจากข้อมูลแสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยก่อนการใช้งานและหลังการใช้งานแตกต่างกัน โดยมีการสึกหรอเกิดขึ้น

เห็นได้จากการที่ค่าเฉลี่ยของประกันสุขภาพเบียวหลังการจ้างงานมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากสิทธิ  
พรอนนั่นเอง งานวิจัยจึงต้องทำการศึกษาศึกษาการสืบทอดระหว่างชั้นส่วนทั้งสองเพื่อหาค่าระยะเพื่อที่  
เหมาะสมเพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นได้

## บทที่ 4

### วิธีการศึกษา

การแก้ไขปัญหาค่าการสึกหรอของชิ้นส่วนประกอบเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยวในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นจำเป็นต้องนำข้อมูลพื้นฐานที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าประกอบไปด้วย ข้อมูลผลกระทบจากการสึกหรอของประกอบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) ได้แก่ข้อมูลการร้องเรียนของลูกค้าที่นำรถเข้าไปตรวจสอบตามระยะเวลาบำรุงรักษา ข้อมูลการร้องเรียนของลูกค้าที่ร้องเรียนเรื่องเครื่องยนต์ผิดปกติและข้อมูลทางด้านคุณภาพของการผลิตเครื่องยนต์ ได้แก่ ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ในขบวนการผลิต ข้อมูลการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นส่วนประกอบเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยวของเครื่องยนต์ที่เกิดปัญหา นำข้อมูลมาทำการออกแบบเป็นรูปแบบการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลด้วยการจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ ซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้เพื่อทดสอบความทนทานของชิ้นส่วนต่างๆในเครื่องยนต์เมื่อเครื่องยนต์ได้รับการดำเนินงานจนกระทั่งผ่านระยะเวลาที่ชิ้นส่วนยังไม่เสียหาย ทำการทดสอบเครื่องยนต์ที่ค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ค่าต่างๆที่มีผลต่อการสึกหรอโดยทำการผันแปรช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ตั้งแต่ข้อกำหนดเดิมไปจนการสึกหรอไม่มีผลการกระทบต่อเครื่องยนต์ ทำการหาค่าการสึกหรอของชิ้นส่วนประกอบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยทำการตรวจสอบค่าความเรียบผิวของชิ้นส่วนที่เปลี่ยนแปลงไป จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสึกหรอกับช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) เพื่อหาช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่เหมาะสมที่ปัญหาการสึกหรอจนทำให้เครื่องยนต์เกิดปัญหาหมดไป จากนั้นทำการทบทวนข้อกำหนดและพิกัดความเผื่อที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นส่วนประกอบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) เมื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) เปลี่ยนแปลงไป พร้อมทั้งนำเทคนิคทางสถิติมาทำการวิเคราะห์ค่าพิกัดความเผื่อ Statistical Approaches” หรือ “Statistical Analysis” โดยการรูปแบบสมการของ Root Sum Square หรือ RSS หรือ RSS” ดังสมการ  $\sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2}$  โดยขึ้นกับว่า “A” จะเป็นอะไร เช่น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) ค่าความเผื่อ (T) เป็นต้น โดยค่าความเผื่อค่าใหม่ของชิ้นส่วนประกอบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) จะต้องคำนึงถึงความสามารถทางการผลิตที่ไม่ต่ำกว่า Cmk 1.33 และไม่มีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของขบวนการจนทำให้ต้องทำการศึกษาค้นคว้าการผลิตใหม่

#### 4.1 การทดสอบการสึกหรอของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์

การทดสอบการสึกหรอของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์ ในที่นี้ต้องทำการกำหนดวิธีการทดสอบ รูปแบบการทดสอบ โดยทำการออกแบบการทดสอบให้เครื่องยนต์มีการจำลองการทำงานกับ Dynamometer test เครื่องทดสอบเครื่องยนต์เสมือนกับใช้งานในรถยนต์จริง โดยให้ระยะทาง หรือชั่วโมงการทดสอบเทียบเท่ากับเครื่องยนต์ถูกใช้งานตั้งแต่ประกอบไปจนถึงมือลูกค้า และเกิดปัญหาการสึกหรอขึ้น โดยทำการเตรียมการจัดเตรียมอุปกรณ์และทำการออกแบบการทดสอบดังนี้

##### 4.1.1 เครื่องยนต์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์

###### 1. เครื่องยนต์ที่นำมาใช้ในการทดสอบการสึกหรอ

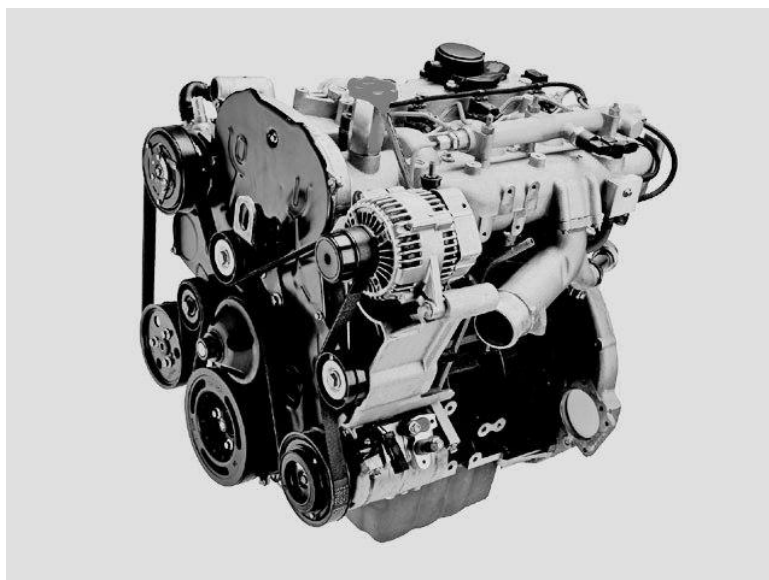
เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซล ขนาด 3.0 ลิตร ชนิด Common Rail Direct Injection เพลาลูกเบี้ยวคู่ มีกำลังที่ 156 PS (115 kW; 154 hp)@3200 rpm and 380 N·m (280 lb·ft)@1800 rpm. ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ชนิดเดียวกันกับเครื่องยนต์ที่เกิดปัญหาการสึกหรอ โดยลักษณะของเครื่องยนต์ดีเซลแสดงได้ดังภาพที่ 4.1 โดยเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ จะประกอบไปด้วยเสื้อสูบ ฝาสูบ ระบบไอดี ระบบไอเสีย ระบบน้ำมัน ระบบเชื้อเพลิง และ ระบบส่งกำลัง เป็นต้น

###### 2. การเตรียมเครื่องยนต์สำหรับใช้ในการทดสอบการสึกหรอ

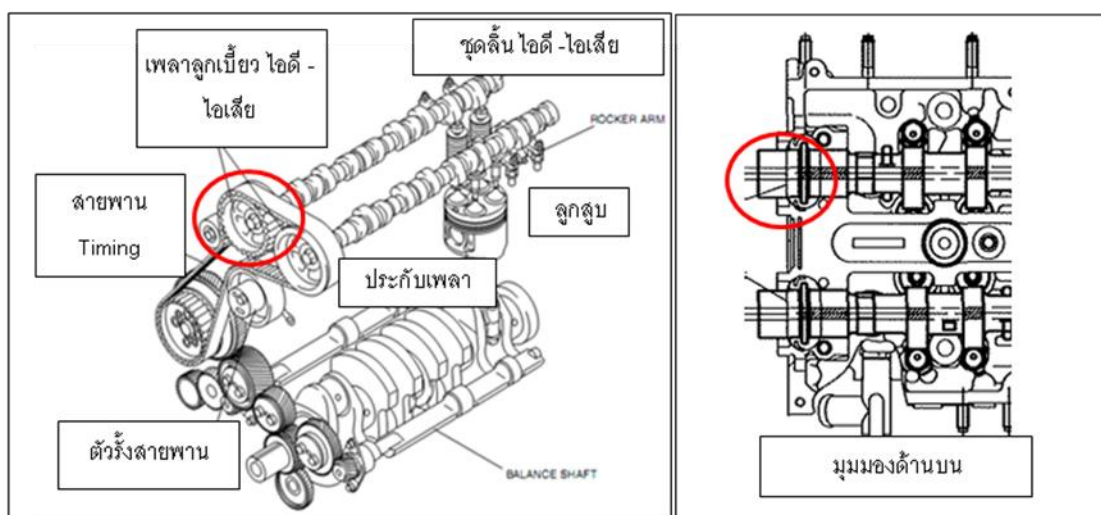
เตรียมเครื่องยนต์โดยเลือกเครื่องยนต์จากข้อกำหนดช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นของการประกอบกันระหว่างประกับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยวโดยกำหนดตั้งแต่ค่า 0.03 มิลลิเมตร ไปจนถึงค่า 0.275 มิลลิเมตร โดยข้อกำหนดเดิมอยู่ที่ 0.03 มิลลิเมตร ถึง 0.160 มิลลิเมตร ตำแหน่งของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยวที่ประกอบกันเป็นช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังภาพที่ 4.2 โดยที่เครื่องยนต์ดีเซลนี้เป็นชนิดเพลาลูกเบี้ยวคู่คือมีเพลาลูกเบี้ยวฝั่งไอดีและเพลาลูกเบี้ยวฝั่งไอเสียทำให้มีประกับเพลาลูกเบี้ยวทั้งฝั่งไอดีและฝั่งไอเสียควบคู่กันไปด้วย ซึ่งข้อกำหนดการประกอบช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นของประกับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยวแสดงดังภาพที่ 4.3 ซึ่งประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) มีค่า 4.02 – 4.07 มิลลิเมตร เพลาลูกเบี้ยว (B) มีค่า 3.91 – 3.99 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อนำมาประกอบกันจะ



มีค่าช่องว่างเกิดขึ้นโดยช่องว่างนี้คือช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ค่ามากที่สุดที่ 0.160 มิลลิเมตร ค่า  
น้อยสุดที่ 0.03 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างรูปเครื่องยนดีดีเซล



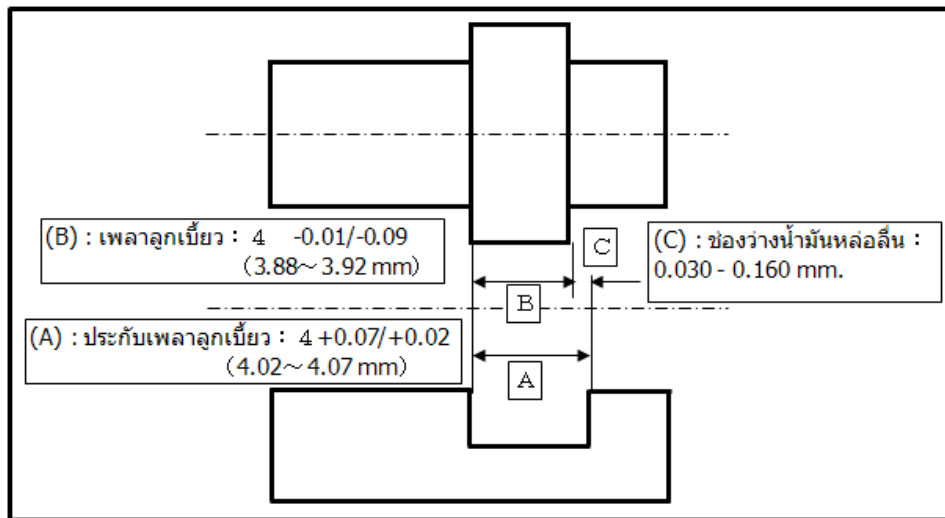
ภาพที่ 4.2 ตำแหน่งของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยว

### 3. เครื่องมือสำหรับวัดค่าของประกบเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยว

ประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) แสดงในภาพที่ 4.3 มีข้อกำหนดอยู่ที่ 4.02 – 4.07 มิลลิเมตร ลักษณะของจุดที่ทำการวัดค่าเป็นร่องกว้างตามข้อกำหนด โดยจะใช้ Bore gauge ขนาด 4 – 5 มิลลิเมตร ความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร ดังเครื่องมือวัดในภาพที่ 4.4 ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดด้านในละเอียดที่ทำการวัดระหว่างจุด 2 จุดหรือ 3 จุด ตามลักษณะของชิ้นงานที่เป็นทรงกระบอกหรือช่องว่างต่างๆ โดยทำการวัดตามย่านวัดต่างๆที่ต้องการใช้งาน การทำการวัดจะต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญการในการใช้เครื่องมือวัดจึงจะได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ

เพลาลูกเบี้ยว (B) แสดงดังภาพที่ 4.3 มีข้อกำหนดอยู่ที่ 3.91 – 3.99 มิลลิเมตร ลักษณะของจุดที่ทำการวัดค่าเป็นชิ้นส่วนที่มีความหนาเป็นปึกยื่นออกมาจากตัวของเพลาลูกเบี้ยวตามข้อกำหนด โดยจะใช้ Micrometer ขนาด 3 - 4 มิลลิเมตร ความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร ดังเครื่องมือวัดในภาพที่ 4.5 Micrometer เป็นเครื่องมือวัดความยาวละเอียดชนิดหนึ่งของชิ้นงานที่มีความยาวน้อยๆ โดยการทำการวัดจะต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญการในการใช้เครื่องมือวัดจึงจะได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ

ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) แสดงดังภาพที่ 4.3 มีข้อกำหนดอยู่ที่ 0.030 – 0.160 มิลลิเมตร เป็นช่องว่างที่เกิดมาจากการประกบกันของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยการวัดค่าของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) สามารถทำได้จาก การคำนวณจากการวัดค่าประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) นำค่าที่วัดได้มาทำการวิเคราะห์ค่าการประกบได้เป็นค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หรือทำการวัดค่าจากชิ้นงานเมื่อประกบกันโดยใช้ Dial gauge แสดงดังภาพที่ 4.6 เป็นเครื่องมือวัดระยะต่างของผิวสองระดับ ที่ทราบค่าได้จากการเคลื่อนที่ของเข็มที่หน้าปัดของ Dial gauge โดยทำการวัดหลังการประกบประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) จากนั้นทำการติด Dial gauge กับชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยวเพื่อทำการอ่านระยะช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ตามแนวของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) เคลื่อนที่เป็นช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) แสดงดังภาพที่ 4.7



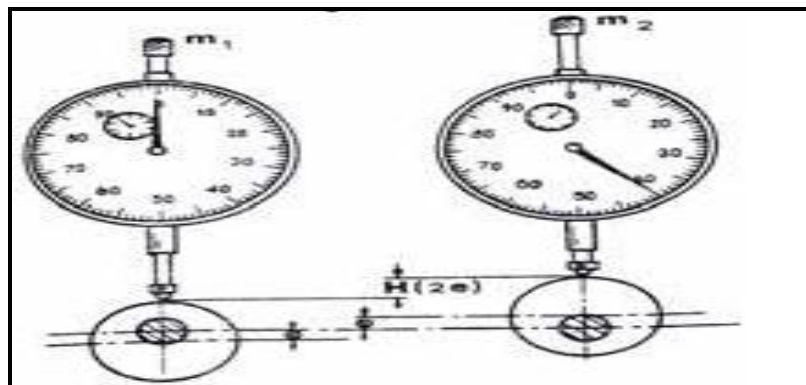
ภาพที่ 4.3 ข้อกำหนดการประกอบของประกับเพลาถูกเบี้ยว (A) และเพลาถูกเบี้ยว (B)



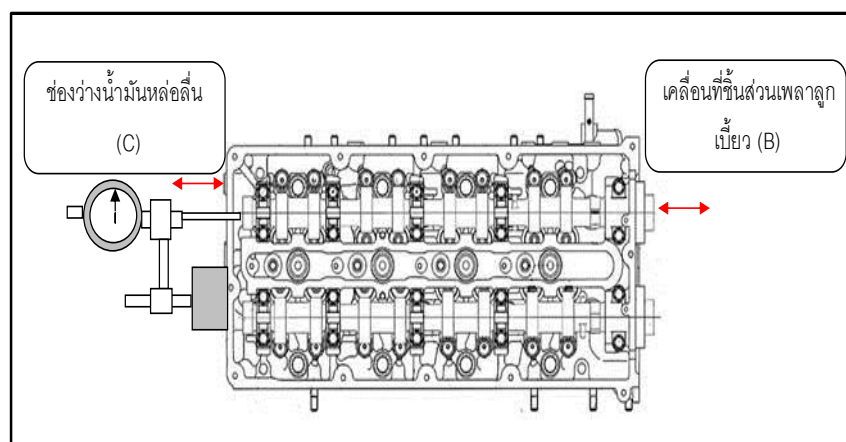
ภาพที่ 4.4 Bore gauge เครื่องมือที่ใช้วัดประกับเพลาถูกเบี้ยว (A)



ภาพที่ 4.5 Micrometer เครื่องมือที่ใช้วัดเพลาลูกเบี้ยว (B)



ภาพที่ 4.6 Dial Gauge เครื่องมือวัดค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)



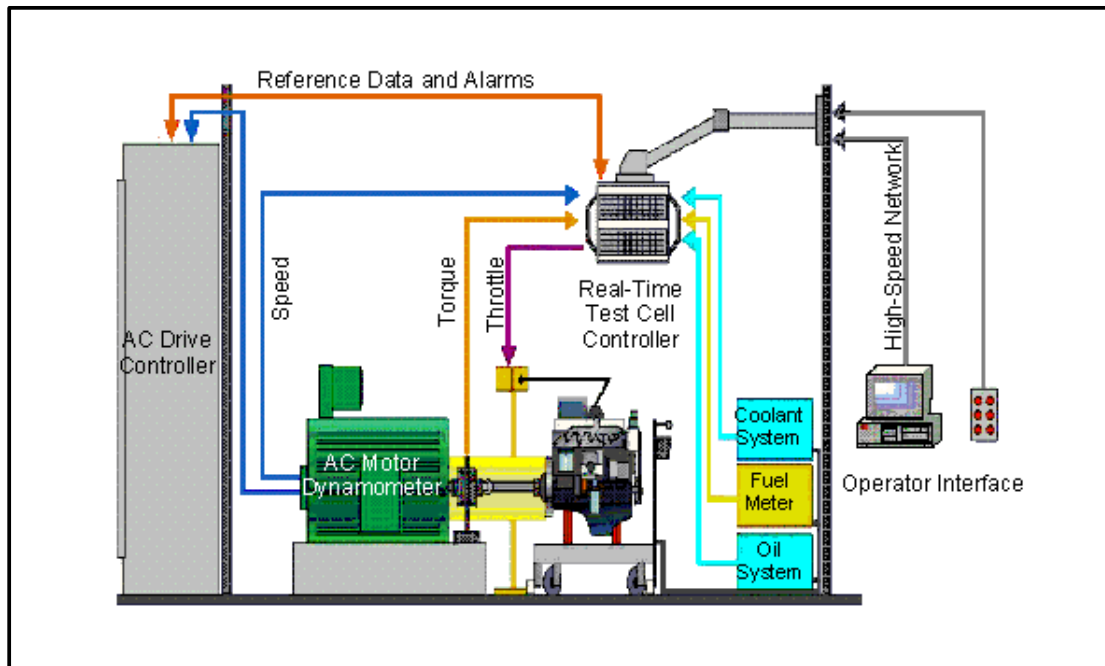
ภาพที่ 4.7 การวัดค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) จากชิ้นส่วนหลังการประกอบ

#### 4. เครื่องจำลองการทำงาน of เครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่เตรียมต้องทำการทดสอบ โดยการทดสอบจะใช้การทดสอบเครื่องยนต์ด้วยมอเตอร์ทดสอบ Dynamometer test แสดงดังภาพที่ 4.8 ซึ่งเป็นเครื่องมือจำลองการทำงาน of เครื่องยนต์และโดยระบบต่างๆของรถยนต์ยังคงต้องทำงานได้ และมีค่าเป็นปกติ Dynamometer เป็นอุปกรณ์การทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้กันมาตรฐานโดยทั่วไป โดยจะประกอบไปด้วยระบบต่างๆของรถยนต์ที่เป็นสิ่งสนับสนุนการทำงาน of เครื่องยนต์ เสมือนกับรถยนต์จริง อันประกอบไปด้วย

- ระบบหล่อเย็น Cooling System
- ระบบเชื้อเพลิง Fuel System
- ระบบหล่อลื่น Oil System
- ระบบไอดี Intake System
- ระบบไอเสีย Exhaust System
- ระบบส่งกำลัง
- ระบบ Dynamometer และควบคุม
- ระบบควบคุมการทำงาน และ เชื่อมต่อข้อมูล
- ระบบเตือนภัย

ระบบต่างๆจะถูกควบคุมโดย Controller โดยมี Operator Interface ควบคุมการทำงานโดยสั่งงานแบบ Real Time เพื่อสั่งงานควบคุมระบบต่างๆตาม Parameter ในรูปแบบการทดสอบที่ได้ทำการออกแบบไว้ การทดสอบจะทำการควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติ หรือแบบควบคุมด้วยมือ ก็สามารถเลือกใช้งานได้ตามความซับซ้อน of รูปแบบการทดสอบ ดังนั้นก่อนทำการทดสอบเครื่องยนต์ไม่ว่าจะเป็นเครื่องยนต์ชนิดไหนก็ตามจำเป็นต้องทำการออกแบบรูปแบบการทดสอบเพื่อจะทำให้เครื่องยนต์ได้ทำงานได้อย่างถูกต้องตามที่เครื่องยนต์จะต้องทำงานเสมือนกับสภาพการใช้งาน of รถยนต์จริง



ภาพที่ 4.8 Dynamometer test อุปกรณ์การทดสอบเครื่องยนต์ด้วยมอเตอร์

หมายเหตุ: อธิบายวิธีการมาตรฐานการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล มอก.787 ในภาคผนวก ข

#### 4.1.2 การทดสอบการสึกหรอของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์

การจัดเตรียมการทดสอบต้องทำการออกแบบรูปแบบการทดสอบเครื่องยนต์กับเครื่อง Dynamometer โดยรูปแบบการทดสอบจะแสดงถึงระยะทางที่เครื่องยนต์ทำงานไปจนถึงเกิดปัญหาการสึกหรอขึ้น โดยนำข้อมูลที่ลูกค้ำร้องเรียนกับข้อมูลการผลิตของเครื่องยนต์รวมถึงข้อมูลมาตรฐานของรถยนต์มาทำการกำหนดเป็นรูปแบบการทดสอบโดยนำข้อมูลการร้องเรียนของลูกค้ำและข้อมูลการผลิต มาออกแบบเป็นรูปแบบการทดสอบ โดยต้องแสดงได้ว่าการทดสอบนั้นได้ครอบคลุมการใช้งานของเครื่องยนต์ตั้งแต่เริ่มการผลิตไปจนถึงมือลูกค้ำ ซึ่งการออกแบบการทดสอบมีดังนี้

##### 1. การสำรวจข้อมูลขั้นต้น

การตรวจสอบข้อมูลการร้องเรียนของลูกค้ำเฉพาะปัญหาการสึกหรอของร่องน้ำมันหล่อลื่นระหว่างร่องประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) กับขนาดเพลาลูกเบี้ยว (B) ในเครื่องยนต์ดีเซล เป็นระยะเวลา 15 เดือน ระหว่างปี ค.ศ. 20X1 ถึง 20X2 ภายหลังรถยนต์ได้ถูกจำหน่าย พบว่ามี

ลูกค้าร้องเรียนเพื่อขอเปลี่ยนเครื่องยนต์ใหม่ รวมจำนวน 29 ราย มีระยะทางที่รถยนต์วิ่งได้เฉลี่ยทั้งหมด  $1,970 \pm 158$  กิโลเมตร แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนลูกค้าร้องเรียนและระยะทางที่เกิดปัญหาการสึกหรอในช่วงระยะเวลา 15 เดือน

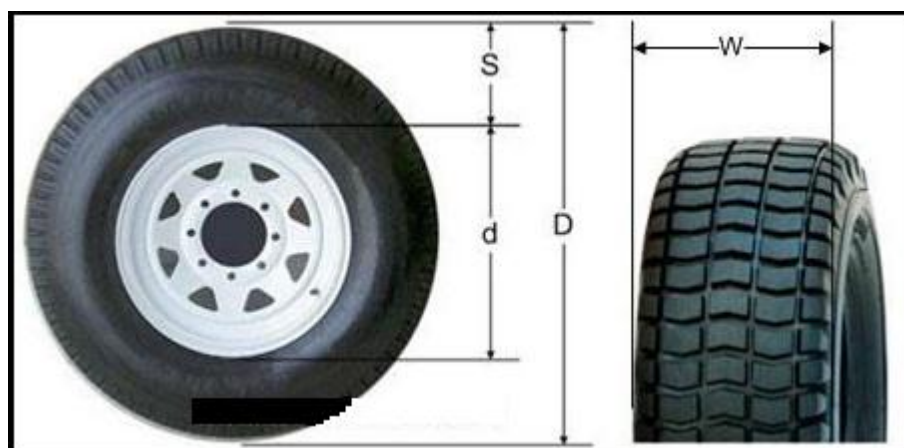
รายการ	ปี 20X1 (มกราคม-ธันวาคม)	ปี 20X2 (มกราคม-มีนาคม)	รวมทั้งหมด
จำนวนลูกค้า (ราย)	23	6	29
ระยะทางเฉลี่ย (กิโลเมตร)	1,959	1,981	1,970
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	157	174	158

การตรวจสอบข้อมูลการผลิตของเครื่องยนต์ที่ลูกค้าร้องเรียนซึ่งตั้งแต่ผลิตไปจนถึงมือลูกค้าพบว่าเครื่องยนต์จะถูกทดสอบ 2 ครั้งก่อนส่งให้กับลูกค้าคือ การทดสอบที่การประกอบเครื่องยนต์ Engine Plant โดยทำการทดสอบแบบจำลองการติดเครื่องยนต์แบบ Hot Test คือการทดสอบโดยการสตาร์ทเครื่องยนต์ให้มีการเผาไหม้ หรือ Cold Test คือการสตาร์ทเครื่องยนต์ให้ไม่มีการเผาไหม้ เพื่อทำการตรวจสอบระบบส่งงานและตัวตรวจจับต่างๆของเครื่องยนต์และการรั่วซึมที่บริเวณรอยต่อต่างๆ และการทดสอบที่การประกอบรถยนต์ Vehicle Plant โดยทำการทดสอบด้วยเครื่องจำลองการวิ่ง Roller Test คือ การเร่งเครื่องยนต์ไปที่ 2500 รอบต่อนาที RPM ทำให้เครื่องยนต์ร้อนเพื่อดูว่าเครื่องยนต์ทำงาน และระบบต่างๆไม่มีการรั่วซึม และทำงานได้ถูกต้อง

## 2. การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าการสึกหรอ

นำข้อมูลระยะทางที่ลูกค้าร้องเรียนกับข้อมูลการผลิตมาทำการออกแบบการทดสอบการสึกหรอของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) โดยอ้างอิงจากข้อมูลทางเทคนิคของรถกระบะรุ่น (ก) ที่ทำการศึกษา เมื่อต้องการหาว่าระยะทางที่รถยนต์นั้นเกิดปัญหาการหมุนของเครื่องยนต์เป็นจำนวนเท่าใด ดังนั้นต้องทราบว่าการหมุนของล้อรถยนต์ 1 รอบนั้นได้ระยะทางเท่าใด ทำได้โดย

การศึกษาขนาดของยางที่ใช้ในรถกระบะรุ่น (ก) โดยที่รถยนต์รุ่นนี้มีขนาดยางมาตรฐานเท่ากับ 215/70 R15 สามารถคำนวณเส้นรอบวงของยาง ซึ่งความหมายของยางแสดงได้ดังภาพที่ 4.9 อธิบายได้ดังนี้



ภาพที่ 4.9 ความหมายต่างๆของยางรถยนต์ที่นำมาใช้ในหาคำนวณการเคลื่อนที่ของรถยนต์

$W$  = ความกว้างของหน้ายางมีค่า 215 (มิลลิเมตร)

$S$  = ความสูงของยางจากขอบยางถึงหน้ายางมีค่าเป็น 70% ของหน้ายาง มีค่า  $215 \times 70\% = 150.5$  มิลลิเมตร

$d$  = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของล้อ 15 นิ้ว หรือ 315 มิลลิเมตร

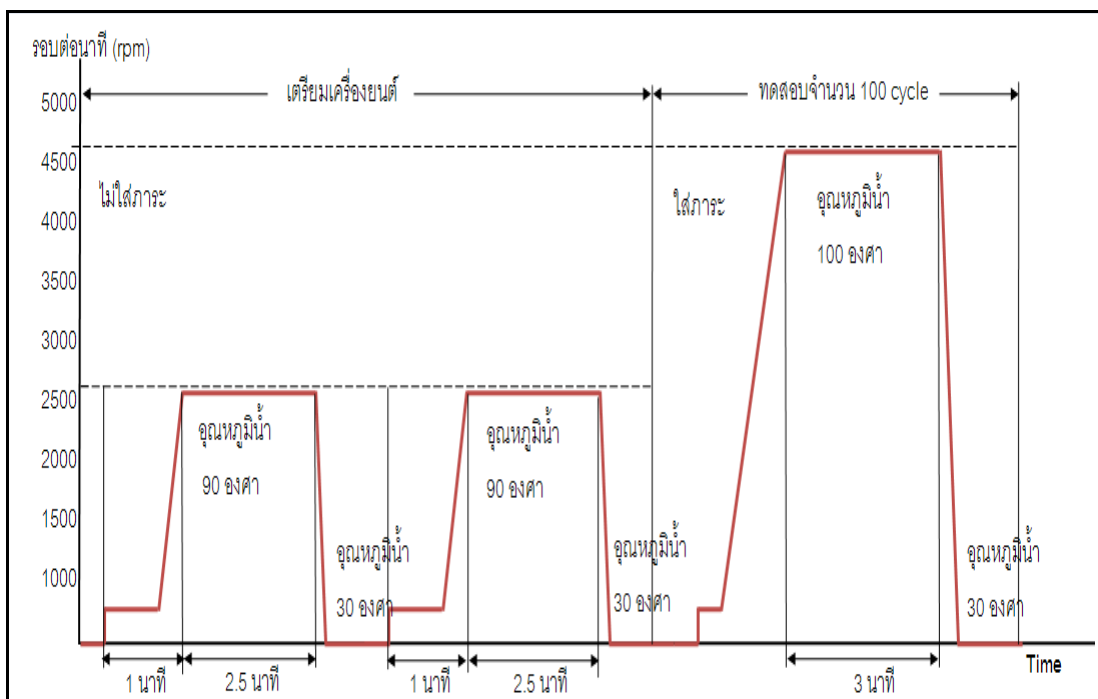
$D$  = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของยาง มีค่าเท่ากับ  $(d + 2S)$  เท่ากับ  $315 + (2 \times 150.5) = 682$  มิลลิเมตร

ทำการคำนวณหาเส้นรอบวงของยางจากสมการ  $2\pi(D/2)$  เท่ากับ  $2 \times \pi \times (682/2) = 2,124$  มิลลิเมตร รอบการหมุนของเครื่องยนต์จะไม่ได้หมุนในอัตราส่วน 1:1 รอบของยางรถยนต์ จะมีอัตราทดของระบบส่งกำลังเข้ามาเกี่ยวข้องแต่ในการทดลองนี้ผู้วิจัยกำหนดให้การทดสอบที่อัตราทดรวม = 1 X 1 คือ เครื่องยนต์หมุน 1 รอบ ล้อหมุน 1 รอบเนื่องจากเพื่อต้องการให้รอบการหมุนของเครื่องยนต์เท่ากับรอบการหมุนของ Dynamometer กำหนดการทดสอบด้วยการทำให้



เครื่องยนต์ร้อนและเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วโดยทำซ้ำไปซ้ำมา ซึ่งจะเหมือนการใช้งานของรถยนต์ โดยทั่วไปตามสภาพปกติ ที่เรียกว่า Thermal Shock Test โดยมาตรฐานการทดสอบของเครื่องยนต์รุ่น (ก) นี้ใช้การทดสอบที่ 1 รอบการทดสอบ = 4500 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 นาที คิดเป็นระยะทางเคลื่อนที่คำนวณจากเส้นรอบวงของล้อรถยนต์ด้วยอัตราทด 1:1 ที่ค่า 2,124 มิลลิเมตร ได้เป็นระยะทางเท่ากับ 28 กิโลเมตร ( $4500 \times 3 \times 2124 = 28,674,000$  มิลลิเมตร) จากข้อมูลตัวอย่างที่ลูกค้าไม่พึงพอใจ มีระยะทางสูงสุด 2320 กิโลเมตร ดังนั้น จำนวนรอบที่อิงจากข้อมูลระยะทางที่ลูกค้าไม่พึงพอใจ คิดเป็นรอบการทดสอบ 82 รอบการทดสอบ ( $2320 \div 28 = 82$  รอบ) โดยการทดสอบหาค่าการสึกหรอมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. ทดสอบเครื่องยนต์โดย สตาร์ทเครื่องยนต์ที่รอบเดินเบาเป็นที่ 750 รอบต่อนาที แล้วเร่งไปที่ 2500 รอบต่อนาที ภายในเวลา 1 นาที จากนั้นคงรอบความเร็วที่ 2500 รอบต่อนาที โดยให้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์มีอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 นาที จากนั้นทำการดับเครื่องยนต์และลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นให้เหลือ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นทำซ้ำอีกครั้ง เพื่อเป็นตัวแทนการทดสอบจากกระบวนการผลิต ต่อมาทำการสตาร์ทเครื่องยนต์ แล้วทำการทดสอบโดยเร่งไปที่ 4500 รอบต่อนาที โดยให้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์มีค่า 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นดับเครื่องยนต์และลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นลง มาที่ 30 องศาเซลเซียส โดยทำซ้ำ 100 ครั้งแทนการทดสอบจากระยะทางที่ลูกค้าร้องเรียน สามารถแสดงเป็นรูปแบบการทดสอบ ดังภาพที่ 4.10

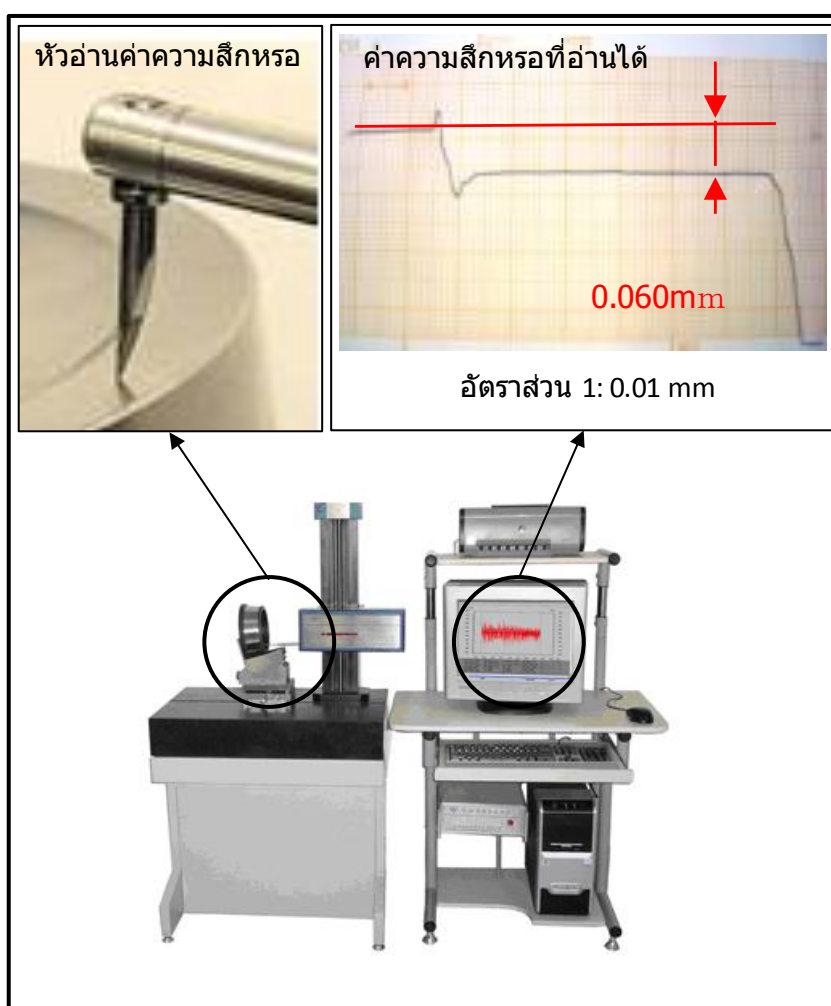


ภาพที่ 4.10 ความเร็วรอบและเวลาในการทดสอบเครื่องยนต์โดยเครื่อง Dynamometer

2. กำหนดจำนวนการทดสอบด้วยการผันแปรช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ของการประกอบของประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) จากภาพที่ 4.3 ข้อกำหนดมีค่า 0.03 มิลลิเมตร ไปจนถึง 0.275 มิลลิเมตร โดยทำการเลือกค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) เพื่อใช้ในการทดสอบ ดังนี้ 0.05, 0.06, 0.07, 0.11, 0.15, 0.20, 0.23 และ 0.275 มิลลิเมตร มาทำการทดสอบตามลำดับตามแบบการทดสอบที่ได้ทำการออกแบบไปข้างต้น โดยจะทำการเลือกชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) เพื่อให้ได้ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ตามที่ต้องการ

3. ทำการตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยคำนึงถึงชิ้นส่วนที่จะเกิดการสึกหรอขึ้นจากการทำงานร่วมกันของชิ้นส่วนทั้งสอง การตรวจสอบการสึกหรอจะทำโดยการวัดความเรียบผิวของชิ้นส่วนและดูว่าความเรียบมีการเปลี่ยนแปลงไปเท่าไร โดยใช้เครื่องมือวัดความเรียบผิวแสดงดังภาพที่ 4.11 เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความเรียบผิว Roughness หรือลักษณะ Profile ของพื้นผิวของชิ้นงาน โดยจะวางชิ้นงานไปกับโต๊ะระดงที่ปรับตามน้ำหนักของชิ้นงาน จากนั้นจะใช้เข็มหัวอ่านลากผ่านจุดที่จะทำการวัดค่าและ

เครื่องจะคำนวณค่าความเรียบของของพื้นผิวที่หัวอ่านทำการอ่านค่าออกมาแสดงเป็นค่าที่ต้องการ ซึ่งค่าที่อ่านออกมาจะแสดงถึงลักษณะความเรียบที่แตกต่างกันของพื้นผิว ซึ่งความแตกต่างของผิวนี้จะแสดงถึงค่าความลึกหรือของพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งจากภาพที่ 4.11 แสดงตัวอย่างว่าค่าความลึกหรือที่อ่านค่าออกมาจะเห็นได้ว่าความแตกต่างของพื้นผิวมีค่า 0.06 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4.11 เครื่องมือวัดค่าการสึกหรอที่ใช้วัดชิ้นส่วนประกบกับเพลาลูกเบี้ยว (A) หรือ เพลาลูกเบี้ยว (B) เพื่อหาค่า Profile and Roughness ความลึกหรือที่เปลี่ยนแปลงไป

4. ทำการตรวจสอบเศษของการสึกหรอ จากการสังเกตสีของน้ำมันหล่อลื่น ที่ค่าการผันแปรช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ต่างๆ ที่ทำการทดสอบ เพื่อดูว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) สามารถที่จะชะล้างเศษของการสึกหรอออกไปได้หรือไม่ ซึ่งสังเกตได้จากสีของน้ำมันหล่อลื่นที่จุดนั้นๆ

## 4.2 การกำหนดช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

การกำหนดช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ใหม่ได้จากผลของการผันแปรช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการทดสอบตามหัวข้อที่ 4.1 นำมาหาค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นใหม่ที่เหมาะสม โดยทำการวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นต่างๆ กับค่าการสึกหรอที่เกิดขึ้น และทำการวิเคราะห์จากการสึกหรอที่ได้จากเศษที่เกิดขึ้นที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ต่างๆ โดยวิธีการวิเคราะห์ทำได้ดังนี้

### 4.2.1 หาค่าการสึกหรอจากการทดสอบ

หาค่าการสึกหรอจากความสัมพันธ์ของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่ผันแปรกับการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการวัดค่าความเรียบผิวของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) หรือเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของการสึกหรอที่เกิดขึ้นในแต่ละค่าของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่ผันแปรในการทดสอบ โดยทำการพล็อตกราฟดูค่าความชันของกราฟระหว่างช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) และการสึกหรอเพื่อหาช่วงที่มีการสึกหรอเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

### 4.2.2 ทำการหาค่าการสึกหรอที่ได้จากเศษของการสึกหรอจากการทดสอบ

ทำการหาค่าความสัมพันธ์ของเศษของการสึกหรอกับการผันแปรช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่เกิดจากเสียดสีกันของชิ้นส่วนโดยการสึกหรอที่เกิดขึ้นนั้นจะมีน้ำมันเครื่องเป็นตัวนำเศษที่สึกหรอที่ออกไปและลดความร้อนจากการเสียดสีที่เกิดขึ้น ดังนั้นถ้าการสึกหรอมีค่ามากย่อมทำให้หน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่นไม่สามารถทำตามหน้าที่ได้ ในที่นี้จะดูที่เศษของการสึกหรอที่เกิดขึ้นแล้วมีผลกระทบต่อน้ำมันหล่อลื่นช่วงที่ทำให้สีของน้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด โดยลักษณะเศษของการสึกหรอที่เกิดขึ้นแสดงว่าเมื่อชิ้นส่วนมีการเคลื่อนที่สัมผัสกันย่อมมีการขัดสีกันเกิดขึ้นและจะเกิดเศษที่หลุดออกมาจากการขัดสีกันเกิดขึ้น

### 4.3 การวิเคราะห์ปรับปรุงข้อกำหนดและค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์ผลจากการทดสอบทั้งการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานและเศษของการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการขัดสีกันของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ นำค่าช่องว่างที่เหมาะสมมาทำการวิเคราะห์ข้อกำหนดและค่าความเผื่อใหม่ของการประกอบช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) โดยใช้การวิเคราะห์ตามหลักสถิติด้วยวิธี RSS (Root Sum Square) หรือ WC (Worst Case) เพื่อหาค่าความเผื่อจากชิ้นส่วนที่นำมาประกอบกันแล้วเกิดเป็นค่าการประกอบเกิดขึ้น

#### 4.3.1 ค่าความเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุง

ค่าความเผื่อน้อยสุดของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่เหมาะสมจากผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.2 นำมาคำนวณค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุงโดยใช้วิธีการคำนวณค่าความเผื่อด้วยวิธีทางสถิติโดยเลือกใช้วิธีของ RSS ดังสมการที่ 4.1 และวิธีทางผลรวมของค่าความเผื่อ WC ดังสมการที่ 4.2 จากนั้นทำการกำหนดช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ใหม่ที่เหมาะสมจากวิธีการหาค่าความเผื่อทั้งสอง

$$T_{Assy} = \pm\sqrt{T_1^2 + T_2^2} \quad (4.1)$$

โดย  $T_{Assy}$  = ค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

$T_1$  = ค่าความเผื่อของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A)

$T_2$  = ค่าความเผื่อของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B)

$$T_{Assy} = \pm(T_1 + T_2) \quad (4.2)$$

โดย  $T_{Assy}$  = ค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

$T_1$  = ค่าความเผื่อของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A)

$T_2$  = ค่าความเผื่อของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B)

#### 4.3.2 การวิเคราะห์ความสามารถของขบวนการของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

ค่าความเผื่อที่ได้จากวิธีการหาค่าความเผื่อในหัวข้อที่ 4.3.1 นำมาวิเคราะห์ความสามารถของขบวนการ  $C_p$  และ  $C_{mk}$  ตามสมการที่ 4.3 และ 4.4 ของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ก่อนและหลังการปรับปรุง โดยทำการหาของความสามารถของขบวนการตั้งแต่ค่าความเผื่อเดิมไปจนถึงค่าช่องว่างน้ำมันสูงสุดที่ได้ทำการทดลองและไม่เกิดผลเสีย ต่อหน้าที่การทำงานของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (4.3)$$

โดย  $USL =$  ข้อกำหนดพิสัยด้านบนของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

$LSL =$  ข้อกำหนดพิสัยด้านล่างของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

$$\sigma_{Assy} = \frac{T_{Assy}}{3} \quad \text{โดยที่ } T_{assy} \text{ กำหนดจากค่าความเผื่อของวิธี RSS}$$

เนื่องจากเป็นวิธีทางสถิติ

ค่า  $USL, LSL$  ได้มาจากการนำค่าความเผื่อจากหัวข้อ 4.3.1 นำมารวมกับค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นต่ำสุดที่ได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 4.2 ดังนี้

$$USL = \text{ค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) จากการทดลอง} + T_{Assy}$$

$LSL =$  ข้อกำหนดจากการทดลองช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ต่ำสุดที่ได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 4.2

#### 4.4 การเลือกข้อกำหนดและค่าความเผื่อของประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) หลังการปรับปรุงช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ซึ่งข้อกำหนดใหม่ที่ได้จากการวิเคราะห์การปรับปรุงข้อกำหนดในหัวข้อที่ 4.3 จะเกิดจากการประกบกันของ

ชิ้นส่วนประกบกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยค่าความเผื่อของชิ้นส่วนทั้งสองจะรวมกันตามวิธี RSS ได้เป็นค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุงที่มีความสามารถของขบวนการผลิตไม่ต่ำกว่า  $C_p = 1$  หรือ  $\pm 3\sigma$  โดยค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุงจะมาจากการปรับปรุงค่าของประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) ซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบต่อกรรมวิธีการผลิตของชิ้นส่วนทั้งสองโดยต้องคำนึงถึงผลกระทบที่น้อยที่สุดต่อการเลือกค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุง

#### 4.4.1 การเลือกพิจารณาชิ้นส่วนที่ทำการปรับปรุง

ข้อกำหนดของการประกอบช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุงนั้น จะมีค่ามากกว่าข้อกำหนดเดิมดังนั้นชิ้นส่วนที่ประกอบกันเป็นช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) นี้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดใหม่ดังนั้นต้องพิจารณาชิ้นส่วนที่มีผลกระทบต่อค่าการประกอบมากที่สุดมาทำการปรับปรุงเป็นลำดับแรก โดยใช้วิธีจากสมการ % Contribution (7.4 Percent Contribution, Basic tool for rebalance ,Kent Chase) ของค่าความเผื่อของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) หรือ เพลาลูกเบี้ยว (B) ดังสมการที่ 4.4 ชิ้นส่วนที่มีค่า % Contribution สูงสุดจะมีผลกระทบต่อค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) มากที่สุดที่จะทำการปรับปรุงเป็นลำดับแรก

$$\% \text{Contribution} = 100 \frac{T_i}{T_{\text{Assy}}} \quad (4.4)$$

โดย  $\% \text{Contribution}$  = อัตราส่วนระหว่างค่าความเผื่อของชิ้นส่วนต่อค่าความเผื่อของการประกอบ

$$T_i = T_1 \text{ หรือ } T_2$$

$$T_1 = \text{ค่าความเผื่อของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A)}$$

$$T_2 = \text{ค่าความเผื่อของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B)}$$

$$T_{\text{Assy}} = \text{ค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)}$$

#### 4.4.2 การพิจารณาผลกระทบต่อการผลิตของชิ้นส่วนหลังปรับปรุงข้อกำหนด

ข้อกำหนดของชิ้นส่วนที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งจะทำให้ชิ้นส่วนประกบกับเพลาลูกเบี้ยว (A) หรือเพลาลูกเบี้ยว (B) ที่เลือกทำการเปลี่ยนแปลงต้องมีการเปลี่ยนแปลงในส่วนในส่วนของเครื่องมือ, เครื่องจักร, ขบวนการ และการทดสอบ ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อการผลิตเปลี่ยนแปลง ดังนั้นต้องทำการพิจารณาช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ต่างๆที่ได้ทำการทดสอบกับชิ้นส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดแล้วมีผลกระทบต่อการผลิตน้อยที่สุด โดย

1. เมื่อเลือกพิจารณาเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A)
  - พิจารณาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของชิ้นส่วนเมื่อข้อกำหนดเปลี่ยนแปลง
  - พิจารณาการปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตของชิ้นส่วนเมื่อข้อกำหนดนั้นเปลี่ยนแปลง
  - พิจารณาการปรับปรุงเครื่องมือการผลิตของชิ้นส่วนเมื่อข้อกำหนดนั้นเปลี่ยนแปลง
2. เมื่อเลือกพิจารณาเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B)
  - พิจารณาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของชิ้นส่วนเมื่อข้อกำหนดเปลี่ยนแปลง
  - พิจารณาการปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตของชิ้นส่วนเมื่อข้อกำหนดนั้นเปลี่ยนแปลง
  - พิจารณาการปรับปรุงเครื่องมือการผลิตของชิ้นส่วนเมื่อข้อกำหนดนั้นเปลี่ยนแปลง



#### 4.5 การทดลองผลิตชิ้นส่วนหลังการปรับปรุง

ทำการทดลองผลิตชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) และการประกอบช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุง เป็นจำนวน 30 ตัวอย่าง นำมาหาค่าความสามารถทางการผลิต Cmk ซึ่งมีโอกาสการเกิดของเสีย ppm ได้ตามที่อุตสาหกรรมรถยนต์ต้องการที่ไม่ต่ำกว่า Cmk 1.33 และของเสียที่  $\pm 4\sigma$  ที่ไม่มากกว่า 64 ppm และทำการเปรียบเทียบกับค่าก่อนการปรับปรุง เพื่อดูว่าค่าก่อนและหลังการปรับปรุงมีค่า Cmk และ ppm ไม่แตกต่างกัน

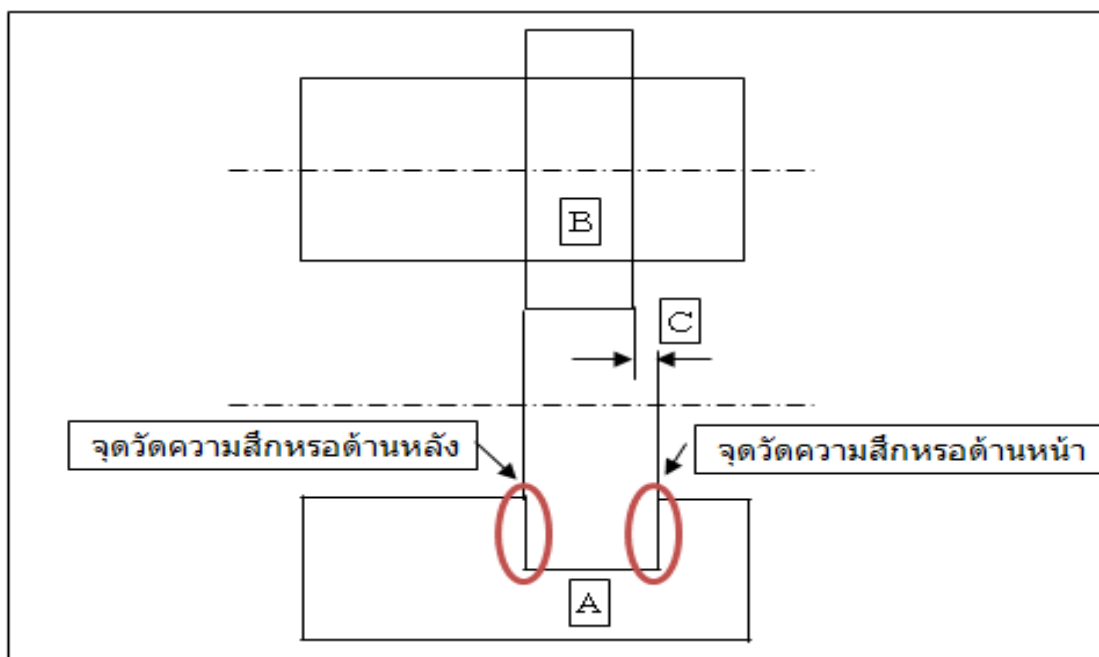
## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษา

#### 5.1 ผลการทดสอบการสึกหรอของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์

การทดสอบการสึกหรอของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยทำการเลือกค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่เกิดมาจากการประกอบของประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) ตรงส่วนปีกของเพลาลูกเบี้ยวที่ประกอบอยู่ในร่องน้ำมันของประกบเพลาลูกเบี้ยว โดยความสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการประกอบเป็นช่องว่างที่หล่อลื่นด้วยน้ำมันหล่อลื่นมีการหมุนเสียดสีกันของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่เลือกทำการทดสอบคือ 0.05, 0.06, 0.07, 0.11, 0.15, 0.20, 0.23 และ 0.275 มิลลิเมตร ทำการทดสอบกับเครื่องทดสอบ Dynamometer Test ที่มีรูปแบบการทดสอบอ้างอิงจากการผลิตและการใช้งานของผู้บริโภคจนเกิดปัญหาขึ้น โดยเครื่องทดสอบได้ทำการทดสอบเครื่องยนต์ที่ค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นต่างๆโดย ติดเครื่องยนต์ที่รอบเดินเบาเป็นเวลา 1 นาทีแล้วเร่งไปที่ 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2.5 นาที เป็นจำนวน 2 ครั้งแทนการทดสอบจากกระบวนการผลิต แล้วทำการทดสอบโดยเร่งไปที่ 4500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที ทำ 100 ครั้ง และทำการตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยวหลังการทดสอบในแต่ละค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น

ผลการตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) โดยทำการวัดค่าความเรียบผิวของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) ทำการตรวจสอบการสึกหรอ โดยทำการตรวจสอบที่ประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) เนื่องจากข้อกำหนดของประกบเพลาลูกเบี้ยวเป็น Aluminum ชนิด AC2A (Aluminum Casting 2A) มีค่าความแข็งของวัสดุ Tensile Strength อยู่ที่ 180 N/มิลลิเมตร<sup>2</sup> มีค่าน้อยกว่า เพลาลูกเบี้ยวที่มีข้อกำหนดเป็นเหล็กหล่อ ชนิด FCH1 (Iron Casting) มีค่าความแข็งของวัสดุ Tensile Strength อยู่ที่ 365 N/มิลลิเมตร<sup>2</sup> ดังนั้นประกบเพลาลูกเบี้ยวจะเป็นผิวหน้าที่อ่อนกว่าที่เกิดการฉีกขาดและเสียหาย โดยทำการวัดค่าความเรียบผิวของวัสดุ Roughness และทำการวัดค่าอนุภาคการสึกหรอของเพลาลูกเบี้ยวที่จุดเคลื่อนที่ โดยจุดที่วัดค่าความสึกหรอของเพลาลูกเบี้ยวที่ตำแหน่งพื้นที่ผิวด้านหน้า และตำแหน่งพื้นที่ผิวด้านหลัง แสดงดังภาพที่ 5.1

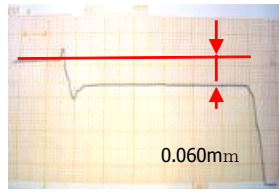
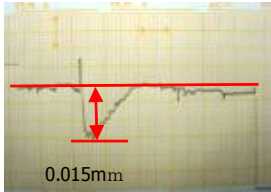
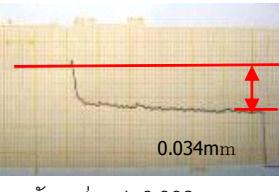
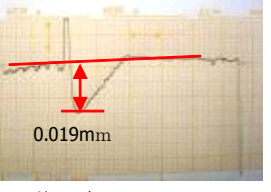
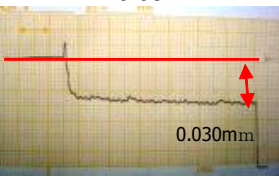
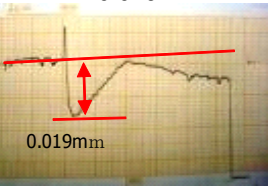
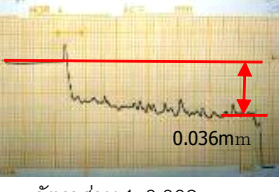
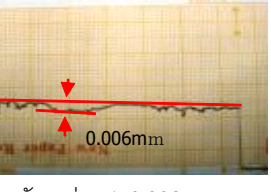
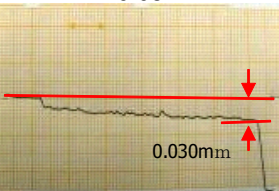



ภาพที่ 5.1 แสดงตำแหน่งการวัดค่าความสึกหรอของประกับเพลาลูกเบี้ยว

โดยวัดจากค่าของความสึกหรอบนพื้นผิวของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยวทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ด้วยเครื่องมือวัดค่าความสึกหรอ Profile and Roughness Tester โดยใช้เข็มหัวอ่านความละเอียดสูง ลากผ่านพื้นผิวที่ต้องการวัดค่าความสึกหรอซึ่งในที่นี้ใช้วัดค่าของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ที่ผ่านการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์จากการจำลองการใช้งานด้วยเครื่อง Dynamometer test ที่ค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่ผันแปรในการทดสอบ ผลของการวัดค่าความสึกหรอของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) จากการทดลองผันแปรช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่ค่า 0.05 , 0.06 , 0.07 , 0.110 , 0.150 , 0.200 , 0.230 และ 0.275 มิลลิเมตร โดยผลการวัดค่าความสึกหรอฝัองไอดี แสดงดังตารางที่ 5.1 ผลการวัดค่าความสึกหรอฝัองไอเสีย แสดงดังตารางที่ 5.2

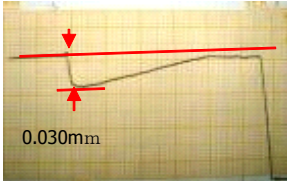
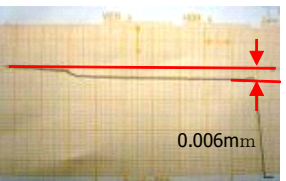
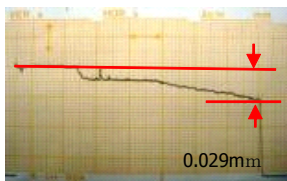
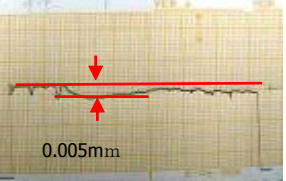
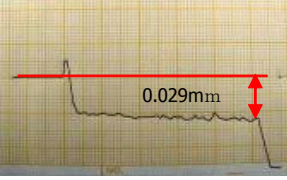
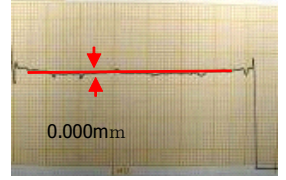
ตารางที่ 5.1 ค่าความลึกหรือที่ประทับเพลาลูกเบี้ยวฝั่งไอดี

หน่วย : มิลลิเมตร

เครื่องยนต์ ทดสอบที่	ช่องว่าง น้ำมันหล่อลื่น (C)	ค่าความลึกหรือที่ประทับ		รวม = (1) + (2)
		(1)	(2)	
1	0.050	0.06  อัตราส่วน 1:0.01 mm	0.015  อัตราส่วน 1:0.001 mm	0.075
2	0.060	0.034  อัตราส่วน 1:0.002 mm	0.019  อัตราส่วน 1:0.001 mm	0.053
3	0.070	0.03  อัตราส่วน 1:0.002 mm	0.019  อัตราส่วน 1:0.001 mm	0.049
4	0.110	0.036  อัตราส่วน 1:0.002 mm	0.006  อัตราส่วน 1:0.002 mm	0.042
5	0.150	0.03  อัตราส่วน 1:0.010 mm	0.009  อัตราส่วน 1:0.002 mm	0.039

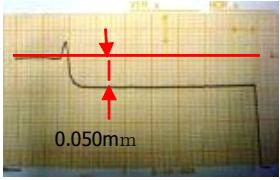
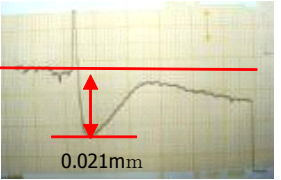
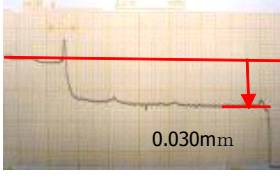
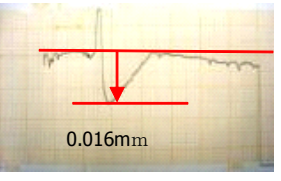
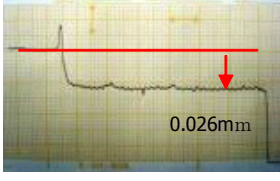
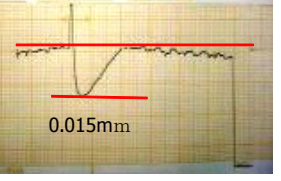
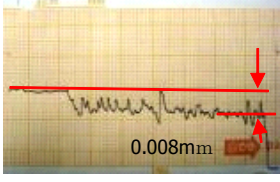
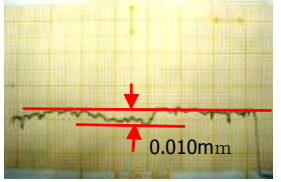
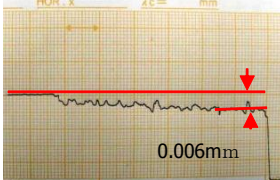
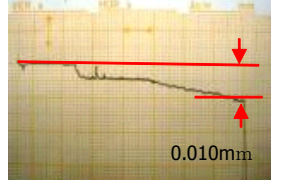
ตารางที่ 5.1 ค่าความสึกหรอที่ประกบกับเพลาลูกเบี้ยวฝั่งไอดี (ต่อ)

หน่วย : มิลลิเมตร

เครื่องยนต์ ทดสอบที่	ช่องว่าง น้ำมันหล่อลื่น (C)	ค่าความสึกหรอที่พื้นผิว		รวม = (1) + (2)
		(1)	(2)	
6	0.200	0.030  อัตราส่วน 1: 0.005 mm	0.006  อัตราส่วน 1: 0.002 mm	0.036
7	0.230	0.029  อัตราส่วน 1: 0.005 mm	0.005  อัตราส่วน 1: 0.001 mm	0.034
8	0.275	29  อัตราส่วน 1: 0.005 mm	0  อัตราส่วน 1: 0.001 mm	0.029

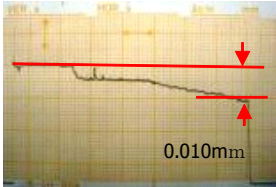
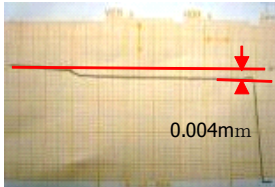
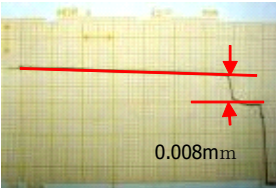
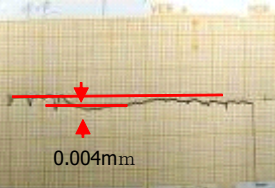
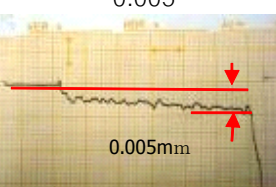
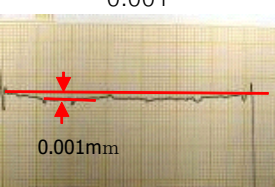
ตารางที่ 5.2 ค่าความลึกหรอยที่ประกบเพลาลูกเบี้ยวฝั่งไอดี

หน่วย : มิลลิเมตร

เครื่องยนต์ ทดสอบที่	ช่องว่าง น้ำมันหล่อลื่น (C)	ค่าความลึกหรอยที่พื้นผิว		รวม = (1) + (2)
		(1)	(2)	
1	0.050	0.050  0.050mm อัตราส่วน 1:0.01 mm	0.021  0.021mm อัตราส่วน 1:0.001 mm	0.071
2	0.060	0.030  0.030mm อัตราส่วน 1:0.002 mm	0.016  0.016mm อัตราส่วน 1:0.001 mm	0.046
3	0.070	0.026  0.026mm อัตราส่วน 1:0.002 mm	0.015  0.015mm อัตราส่วน 1:0.001 mm	0.041
4	0.110	0.008  0.008mm อัตราส่วน 1:0.002 mm	0.010  0.010mm อัตราส่วน 1:0.01 mm	0.018
5	0.150	0.006  0.006mm อัตราส่วน 1:0.002 mm	0.010  0.010mm อัตราส่วน 1:0.001 mm	0.016

ตารางที่ 5.2 ค่าความสึกหรอที่ประกบกับเพลาลูกเบี้ยวฝั่งไอเสีย (ต่อ)

หน่วย : มิลลิเมตร

เครื่องยนต์ ทดสอบที่	ช่องว่าง น้ำมันหล่อลื่น (C)	ค่าความสึกหรอที่พื้นผิว		รวม = (1) + (2)
		(1)	(2)	
6	0.200	0.010  อัตราส่วน 1: 0.001 mm	0.004  อัตราส่วน 1: 0.002 mm	0.014
7	0.230	0.008  อัตราส่วน 1: 0.001 mm	0.004  อัตราส่วน 1: 0.002 mm	0.012
8	0.275	0.005  อัตราส่วน 1: 0.001 mm	0.001  อัตราส่วน 1: 0.001 mm	0.006

## 5.2 ผลการกำหนดช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

### 5.2.1 ค่าการสึกหรอจากการทดสอบ

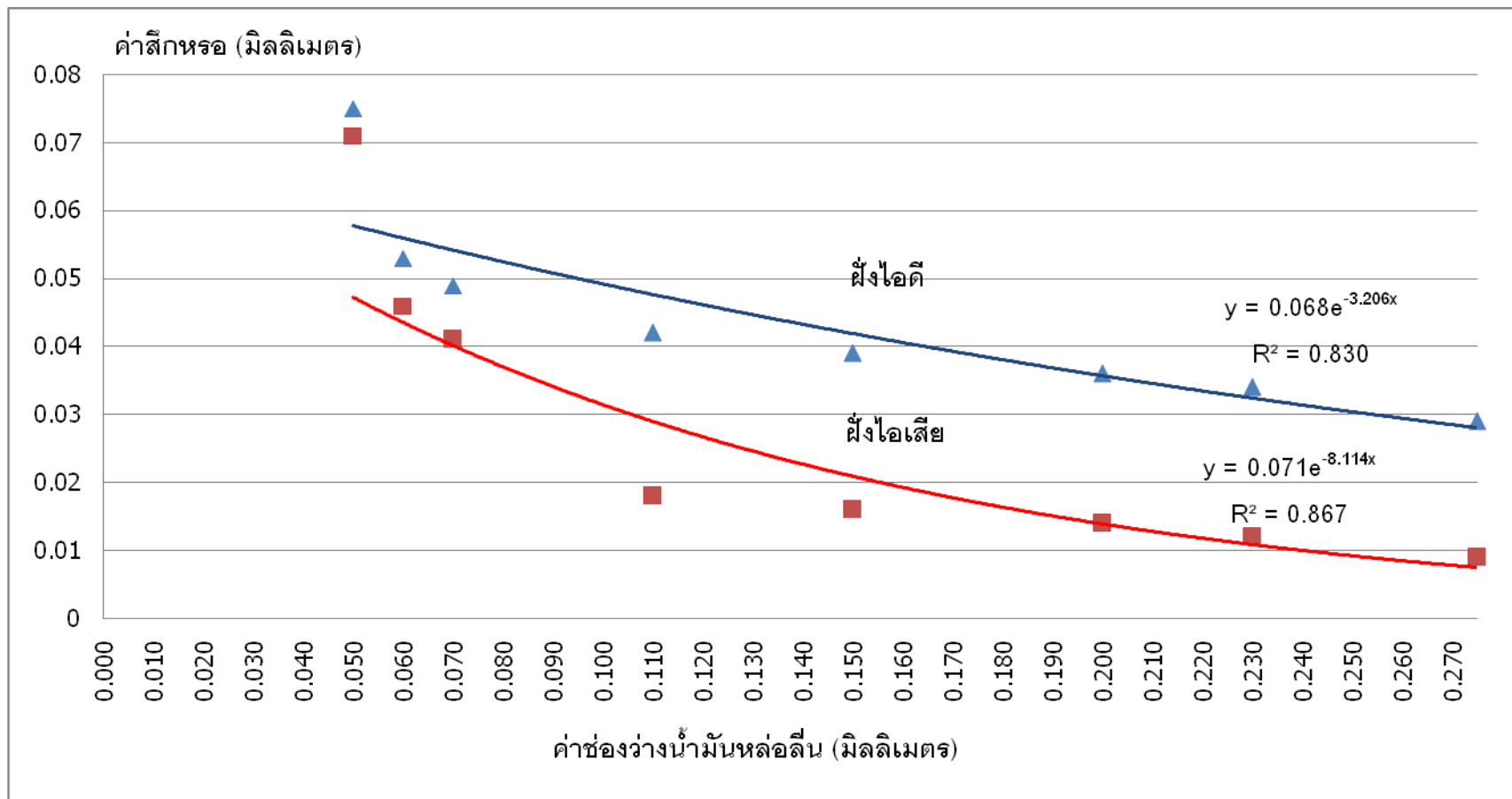
ผลการวัดค่าสึกหรอในแต่ละการทดสอบที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ต่างๆ ค่าความสึกหรอที่ขึ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ที่ฝั่งไอดีและฝั่งไอเสียดังแสดงการวัดค่าความสึกหรอตั้งตารางที่ 5.1 และ 5.2 นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) กับค่าการสึกหรอของประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ของฝั่งไอดีและฝั่งไอเสีย นำค่าการสึกหรอและช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นจากการทดสอบมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) กับ ค่าความสึกหรอของประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ดังกราฟแสดงในภาพที่ 5.2

จากภาพที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ในแกน X และค่าความสึกหรอของประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ในแกน Y พบว่าความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นแบบ Exponential โดยมีค่า R square ของด้านฝั่งไอดีเท่ากับ 0.83 และฝั่งไอเสียเท่ากับ 0.867 แสดงให้เห็นว่าความสึกหรอมีความสัมพันธ์กับช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ซึ่งจากกราฟจะสังเกตเห็นได้ว่าค่าความสึกหรอจะมีความมากเมื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) มีค่าน้อยและจะลดลงเมื่อมีค่ามากขึ้น โดยที่กราฟแสดงให้เห็นว่าค่าความสึกหรอจะลงแบบ Exponential ซึ่งจุดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากความชันที่มากไปสู่ความชันที่น้อยไม่ได้เกิดเท่ากับค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งการวิจัยได้ทำการแยกข้อมูลเพื่อหาช่วงที่ความสึกหรอที่เปลี่ยนแปลงมากไปสู่ความสึกหรอที่เปลี่ยนแปลงน้อยพบว่า กราฟสามารถที่จะแบ่งค่าออกได้เป็น 2 กลุ่มด้วยกันคือ ช่วงค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น 0.05 – 0.110 มิลลิเมตร และ ช่วงค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น 0.110 – 0.275 มิลลิเมตร นำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) กับค่าความสึกหรอของประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นทั้ง 2 กลุ่มได้ตั้งกราฟในภาพที่ 5.3

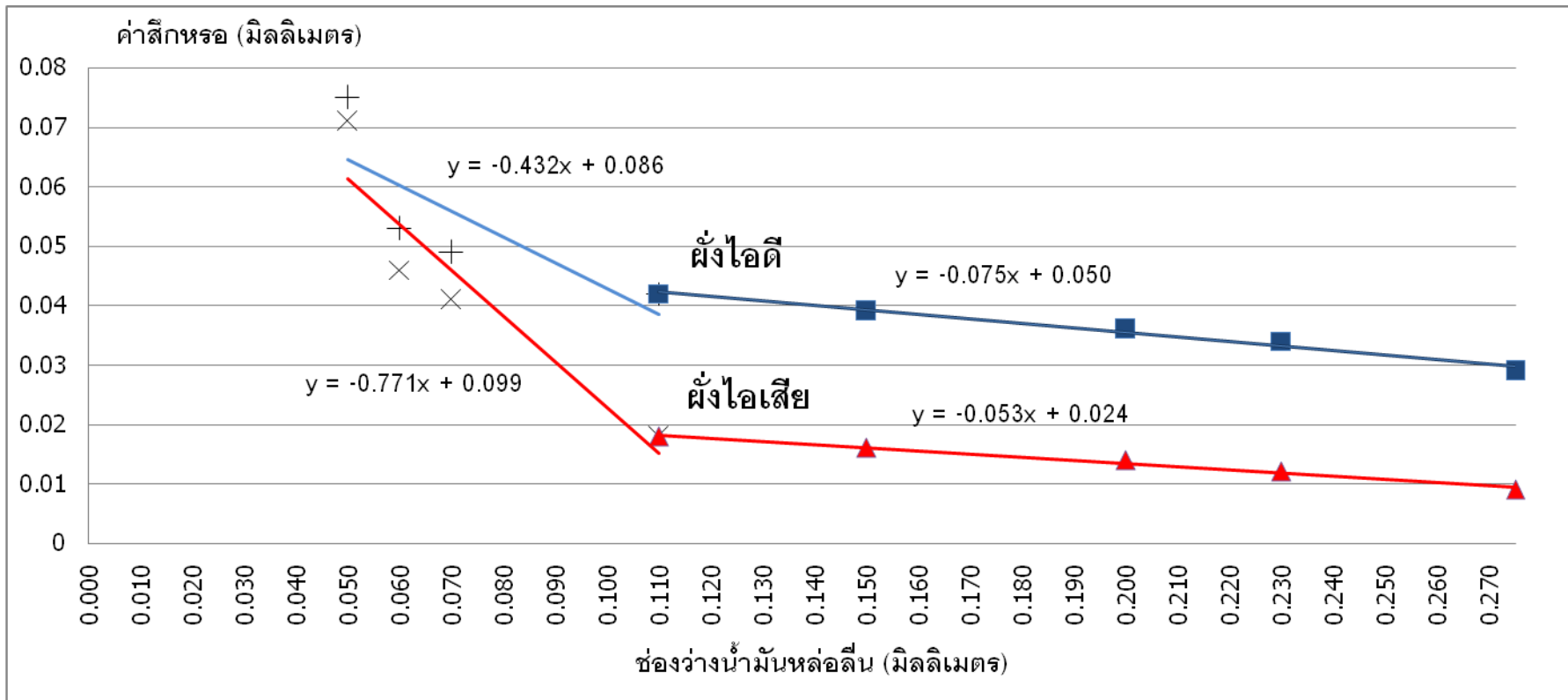
จากภาพที่ 5.3 แสดงช่วงของช่องว่างน้ำมัน (C) ที่ระยะระหว่าง 0.05 – 0.110 มิลลิเมตร มีอัตราการสึกหรอต่อขนาดช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นหรือค่าความชัน ของฝั่งไอดีอยู่ที่ 0.43 มิลลิเมตร และของฝั่งไอเสีย 0.77 มิลลิเมตร ในขณะที่ช่องว่างน้ำมัน (C) ระหว่าง 0.110 – 0.275 มิลลิเมตร มีอัตราการสึกหรอต่อขนาดช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นของฝั่งไอดีอยู่ที่ 0.075 มิลลิเมตร และของฝั่งไอเสีย 0.053 มิลลิเมตร ค่าจุดเปลี่ยนแปลงของการสึกหรอจากความชันมากของกลุ่มค่าช่องว่าง



น้ำมันหล่อลื่น (C) ค่าน้อยไปสู่ความชันน้อยของกลุ่มช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ค่ามากมีค่า 0.110 มิลลิเมตร เป็นค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่แสดงว่าการสึกหรอจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่น้อยและจะเริ่มคงที่เมื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) มีขนาดเพิ่มขึ้นไปจนถึงค่า 0.270 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นสูงที่สุดที่ได้ทำการทดลอง ดังนั้นแสดงได้ว่าค่าความสึกหรอของชิ้นส่วนประกบกับเพลาลูกเบี้ยว (A) มีค่าน้อยและคงที่เมื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) มีค่าตั้งแต่ 0.110 มิลลิเมตรเป็นต้นไป โดยค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) มากที่สุดที่ได้ทำการทดลองคือค่า 0.275 มิลลิเมตร ที่ไม่มีผลกระทบต่อหน้าที่การทำงานของชิ้นส่วนการประกอบในเครื่องยนต์



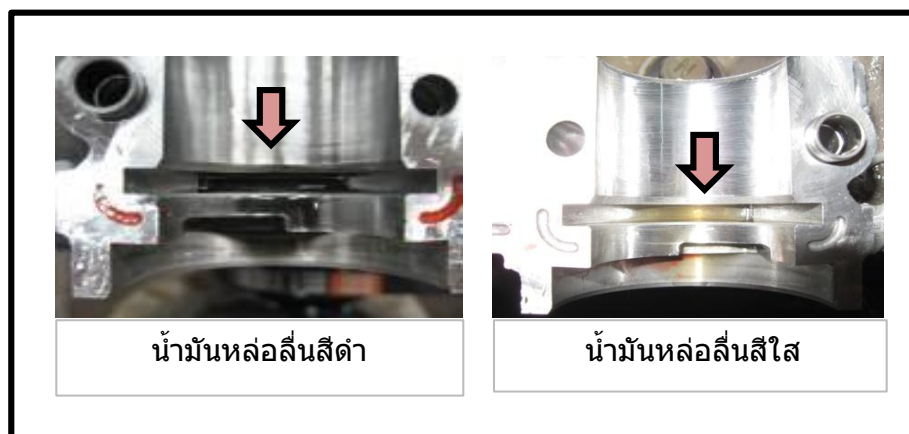
ภาพที่ 5.2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะช่องว่างน้ำมัน (C) กับค่าความถี่ของประกับเพลาลูกเบี้ยว (A)



ภาพที่ 5.3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะช่องว่างน้ำมัน (C) กับค่าความสึกหรอของประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ที่ช่วงช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) 0.05 – 0.110 มิลลิเมตร และ 0.110 – 0.270 มิลลิเมตร

## 5.2.2 ผลจากการสังเกตสีของน้ำมันหล่อลื่นหลังจากการทดสอบเครื่องยนต์





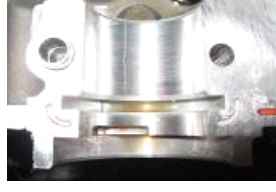






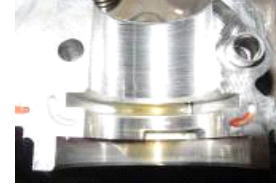
ผลการสังเกตสีของน้ำมันหล่อลื่นที่แสดงถึงผลของการสึกหรอที่มีต่อเครื่องยนต์ภายหลังการทดสอบเครื่องยนต์ทำการถอดชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบแต่ละค่าของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ต่างๆเพื่อดูเศษของการสึกหรอที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ของประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ซึ่งเศษของการสึกหรอจะแสดงออกมาได้เป็นสีของน้ำมันหล่อลื่นจากเศษที่หลุดออกมาจากการขัดสีของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) ดังแสดงในภาพที่ 5.4



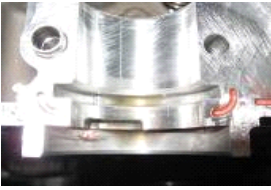
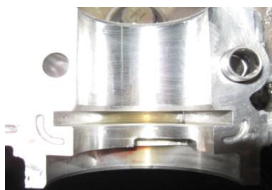
ภาพที่ 5.4 แสดงการสังเกตเศษสึกหรอจากสีของน้ำมันหล่อลื่น

ภาพที่ 5.4 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายของร่องน้ำมันของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ภายหลังจากการทดสอบเครื่องยนต์ รูปซ้ายมือแสดงให้เห็นสีของน้ำมันหล่อลื่นในร่องน้ำมันหล่อลื่น (C) เป็นสีดำแสดงให้เห็นว่าเศษโลหะที่สึกหรอหลุดออกมาจากน้ำมันหล่อลื่นไม่สามารถชะล้างออกไปจากช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ได้หมด ที่รูปด้านขวาเป็นสีใสแสดงว่าเศษโลหะที่สึกหรอหลุดออกมามีจำนวนน้อยและน้ำมันหล่อลื่นสามารถชะล้างออกไปจากช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ได้หมด โดยสีของน้ำมันหล่อลื่นที่เกิดจากการขัดสีของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) แสดงดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงสีของน้ำมันหล่อลื่นที่ร่องน้ำมันของชิ้นส่วนประกบกับเพลาลูกเบี้ยว (A)

เครื่องยนต์ ทดสอบที่	ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) (มิลลิเมตร)	สีของน้ำมันหล่อลื่น	
		ฝั่งไอดี	ฝั่งไอเสีย
1	0.050		
2	0.060		
3	0.070		
4	0.110		
5	0.150		
6	0.200		
7	0.230		

ตารางที่ 5.3 แสดงสีของน้ำมันหล่อลื่นที่ร่องน้ำมันของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) (ต่อ)

เครื่องยนต์ทดสอบที่	ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) (มิลลิเมตร)	สีของน้ำมันหล่อลื่น	
		ฝั่งไอดี	ฝั่งไอเสีย
8	0.275		

โดยสีของน้ำมันหล่อลื่นที่ค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ต่างๆ ที่ทำการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.3 จะแสดงถึงเศษของการสึกหรอที่เกิดขึ้นซึ่งจะเกิดขึ้นและปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นที่สังเกตได้จากจุดร่องน้ำมันของประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าสีของน้ำมันหล่อลื่นเป็นสีดำที่ค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นน้อยและเป็นสีใสที่ค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นมาก ซึ่งจากการสังเกตสีของน้ำมันหล่อลื่น สามารถสรุปค่าสีของน้ำมันหล่อลื่นที่เกิดขึ้นหลังจากการทดลองแต่ละค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) แสดงดังตารางที่ 5.4 สรุปผลการสังเกตสีของน้ำมันหล่อลื่นที่ระยะช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ต่างๆ พบว่า สีของน้ำมันหล่อลื่นใสที่ค่าช่องว่างน้ำมันตั้งแต่ 0.011 มิลลิเมตร ทั้งช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ของฝั่งไอดีและของฝั่งไอเสีย ซึ่งเป็นจุดที่แสดงว่าการสึกหรอของประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ที่ขัดสีกับเพลาลูกเบี้ยว (B) เกิดการหลุดของเศษสึกหรอขึ้นน้อย และเศษของการสึกหรอที่หลุดออกมาไม่เกิดการสะสมในน้ำมันหล่อลื่นที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่เกิดจากการประกอบกันของประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B)

ดังนั้นจากการสึกหรอและการทวนสอบด้วยสีของน้ำมันหล่อลื่น พบว่าค่าช่องว่างน้ำมันที่เหมาะสมมากกว่า 0.110 มิลลิเมตร ขึ้นไป จึงจะให้สีของน้ำมันหล่อลื่นที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ไม่เป็นสีดำทั้งฝั่งไอดีและฝั่งไอเสีย หมายถึงเศษของการสึกหรอของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ที่ขัดสีกับเพลาลูกเบี้ยว (B) มีอัตราการสึกหรอน้อยและไม่เกิดการสะสมที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ทำให้เศษของการสึกหรอไม่ไปกระทบต่อการขัดสีของชิ้นส่วนที่เกิดขึ้นจนเกิดการสึกหรอที่มากขึ้นจนน้ำมันหล่อลื่นไม่สามารถชะล้างเศษของการสึกหรอออกไปได้และไปติดสะสมที่ชิ้นส่วนประกับและเพลาลูกเบี้ยวจนละลายและหมุ่นติดขัดเกิดขึ้น

ตารางที่ 5.4 สีของน้ำมันหล่อลื่นที่ร่องน้ำมันของประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) หลังทดสอบ

เครื่องยนต์ ทดสอบที่	ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) (มิลลิเมตร)	สีของน้ำมันหล่อลื่น	
		ไอดี	ไอเสี่ย
1	0.050	ดำ	ขุ่น
2	0.060	ดำ	ขุ่น
3	0.070	ขุ่น	ขุ่น
4	0.110	ใส	ใส
5	0.150	ใส	ใส
6	0.200	ใส	ใส
7	0.230	ใส	ใส
8	0.275	ใส	ใส

### 5.3 ผลการกำหนดข้อกำหนดและค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

จากการผลของการกำหนดช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นจากข้อ 5.2 ได้ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุงมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.110 มิลลิเมตร ซึ่งการศึกษาเลือกค่า 0.110 มิลลิเมตรมาเป็นค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ข้อกำหนดพิคต์ล่างใหม่ ทำการวิเคราะห์ข้อกำหนดใหม่ของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังปรับปรุงจากค่าความเผื่อของชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยวที่ประกอบกันโดยวิธี RSS จากข้อกำหนดของชิ้นส่วนก่อนการปรับปรุง จากนั้นทำการพิจารณาค่าความสามารถทางการผลิตที่ช่องว่างน้ำมันต่างๆเพื่อทำการพิจารณาค่าความสามารถในการผลิตของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

#### 5.3.1 ผลค่าความเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุง

เมื่อได้ค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ข้อกำหนดพิคต์ล่างใหม่ ซึ่งมีค่ามากกว่าก่อนการปรับปรุงจากค่าก่อนการปรับปรุงที่ 0.030 มิลลิเมตร เป็นค่าข้อกำหนดล่างหลังการปรับปรุงที่ไม่ต่ำกว่า 0.110 มิลลิเมตร หาค่าความเผื่อที่เหมาะสมของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) จากค่าความเผื่อ

ของชิ้นส่วนประกบกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) ที่ประกบกันเป็นช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ขึ้นด้วยการหาค่าความเผื่อตามสถิติด้วยวิธี RSS (Root of sum square) และตามขนาดของข้อกำหนด WC (Worst case) ได้ดังนี้

1. ใช้หลักการของ RSS (Root of sum square) จะได้ค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น หลังการปรับปรุง ตามสมการที่ 4.1 แทนค่าได้ผลดังนี้

$$T_{Assy} = \pm\sqrt{T_1^2 + T_2^2} \quad (4.1)$$

แทนค่า  $T_1 = 0.025$  มิลลิเมตร

$$T_2 = 0.04 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$T_{Assy} = \pm\sqrt{0.025^2 + 0.04^2}$$

$$T_{Assy} = \pm 0.047 \text{ มิลลิเมตร}$$

2. ใช้หลักการของ WC (Worst case) จะได้ค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น หลังการปรับปรุง ตามสมการที่ 4.2 แทนค่าได้ผลดังนี้

$$T_{Assy} = \pm(T_1 + T_2) \quad (4.2)$$

แทนค่า  $T_1 = 0.025$  มิลลิเมตร

$$T_2 = 0.04 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$T_{Assy} = 0.025 + 0.04$$

$$T_{Assy} = \pm 0.065 \text{ มิลลิเมตร}$$

จากค่าความเผื่อของการประกอบด้วยวิธี RSS ได้ค่าความเผื่อ  $\pm 0.047$  มิลลิเมตร เมื่อข้อกำหนดพิคกลางมีค่า 0.110 มิลลิเมตร ทำให้พิคดบนมีค่า 0.204 มิลลิเมตร ค่ากลาง 0.157 มิลลิเมตร

จากค่าความเผื่อของการประกอบด้วยวิธี WC ได้ค่าความเผื่อ  $\pm 0.065$  มิลลิเมตร เมื่อ



ข้อกำหนดพิคกลางมีค่า 0.110 มิลลิเมตร ทำให้พิคบนมีค่า 0.240 มิลลิเมตร ค่ากลาง 0.175 มิลลิเมตร

จากค่าความเผื่อของข้อกำหนดก่อนการปรับปรุงมีค่าความเผื่อ  $\pm 0.065$  มิลลิเมตร เมื่อข้อกำหนดพิคกลางมีค่า 0.030 มิลลิเมตร พิคบนมีค่า 0.160 มิลลิเมตร ค่ากลาง 0.030 มิลลิเมตร ซึ่งค่าความเผื่อของข้อกำหนดก่อนการปรับปรุงจะเท่ากับค่าความเผื่อด้วยวิธี WC

### 5.3.2 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของขบวนการของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

ค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุง โดยการอ้างอิงจากค่าความเผื่อก่อนการปรับปรุงของชิ้นส่วนประกบกับเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) ไปจนถึงค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) มากที่สุดที่ได้ทำการทดลองผันแปรค่าการสึกหรอที่ 0.275 มิลลิเมตร ซึ่งทดสอบแล้วไม่ทำให้ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) มีการทำงานผิดปกติจนทำให้เกิดการเสียหายกับชิ้นส่วน นำค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นนั้นมาทำการคำนวณค่าความสามารถทางการผลิต  $C_p$  จากสมการที่ 4.3 ในบทที่ 4 โดยใช้ค่าการประกอบ  $T_{Assy}$  วิธีการทางสถิติด้วยวิธี RSS นำมาหาค่า  $\sigma$  เพื่อนำไปหาค่าตามสมการ 4.3 ที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 ดังนี้

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (4.3)$$

โดย  $USL =$  ข้อกำหนดพิคบนของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

$LSL =$  ข้อกำหนดพิคกลางของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

$$\sigma_{Assy} = \frac{T_{Assy}}{3} \text{ เมื่อ } T_{Assy} \text{ มาจากค่าความเผื่อที่ได้จากวิธี RSS}$$

แทนค่าจากข้อกำหนดก่อนการปรับปรุงและค่าหลังการปรับปรุงโดยทำการผันแปรค่าข้อกำหนดพิคบนของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) โดยเริ่มจากข้อกำหนดพิคบนเดิมที่ 0.160 มิลลิเมตร ไปจนถึงค่า 0.275 ที่ได้ทำการทดสอบการสึกหรอ โดยที่ข้อกำหนดพิคกลางมีค่าจากผลการผันแปรช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่ค่า 0.110 มิลลิเมตร ดังนี้

$$T_{Assy} = 0.047 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\sigma_{Assy} = \frac{0.047}{3} \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\sigma_{Assy} = 0.016 \text{ มิลลิเมตร}$$

ค่า Cp ที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) 0.030 – 0.160 มิลลิเมตร (ค่าก่อนปรับปรุง)

$$Cp = \frac{0.160 - 0.030}{6 \times 0.016}$$

$$Cp = 1.38$$

ค่า Cp ของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ก่อนการปรับปรุงพบว่าค่าความสามารถทางการผลิต Cp มีค่าที่มากกว่า 1.33 แต่จากการทดสอบค่าการสึกหรอของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) พบว่าที่ข้อกำหนดต่ำกว่า 0.110 มิลลิเมตร จะทำให้เกิดการสึกหรอขึ้นสูงซึ่งเป็นสาเหตุของการสึกหรอจนทำให้ลูกค้าไม่พึงพอใจต่อการใช้งานเครื่องยนต์ ฉะนั้นข้อกำหนดเดิมจะต้องคิดค่า Cp จากข้อพิกัฒ์ล่างที่ 0.110 มิลลิเมตร แทน 0.030 มิลลิเมตร

ค่า Cp ที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) 0.110 – 0.160 มิลลิเมตร (ค่าจริงหลังปรับปรุงที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาการสึกหรอ)

$$Cp = \frac{0.160 - 0.110}{6 \times 0.016}$$

$$Cp = 0.53$$

แสดงให้เห็นว่าค่า Cp ก่อนการปรับปรุงนั้นควรมีค่า Cp เท่ากับ 0.53 ดังนั้นโอกาสการเกิดของเสียจึงมีค่ามากเกินกว่าการควบคุมขบวนการของอุตสาหกรรมรถยนต์ที่ยอมรับได้ ทำการคำนวณค่า Cp ต่อไปจนโดยเพิ่มข้อกำหนดพิกัฒ์บน USL จนไปถึงค่ามากที่สุดที่ทำกรทดลองค่าการสึกหรอที่ 0.275 มิลลิเมตรโดยเพิ่มค่าข้อกำหนดพิกัฒ์บน USL ไปที่ละ 0.010 มิลลิเมตร

ค่า Cp ที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) 0.110 – 0.170 มิลลิเมตร (ค่าหลังปรับปรุงที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาการสึกหรอ)

$$Cp = \frac{0.170 - 0.110}{6 \times 0.016}$$

$$Cp = 0.64$$

ค่า  $C_p$  ที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) 0.110 – 0.180 มิลลิเมตร (ค่าหลังปรับปรุงที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาการสึกหรอ)

$$C_p = \frac{0.180 - 0.110}{6 \times 0.016}$$

$$C_p = 0.74$$

ค่า  $C_p$  ที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) 0.110 – 0.190 มิลลิเมตร (ค่าหลังปรับปรุงที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาการสึกหรอ)

$$C_p = \frac{0.190 - 0.110}{6 \times 0.016}$$

$$C_p = 0.85$$

ค่า  $C_p$  ที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) 0.110 – 0.200 มิลลิเมตร (ค่าหลังปรับปรุงที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาการสึกหรอ)

$$C_p = \frac{0.200 - 0.110}{6 \times 0.016}$$

$$C_p = 0.96$$

ค่า  $C_p$  ที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) 0.110 – 0.210 มิลลิเมตร (ค่าหลังปรับปรุงที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาการสึกหรอ)

$$C_p = \frac{0.210 - 0.110}{6 \times 0.016}$$

$$C_p = 1.06$$

ค่า  $C_p$  ที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) 0.110 – 0.220 มิลลิเมตร (ค่าหลังปรับปรุงที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาการสึกหรอ)

$$C_p = \frac{0.220 - 0.110}{6 \times 0.016}$$

$$C_p = 1.17$$

ค่า  $C_p$  ที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) 0.110 – 0.230 มิลลิเมตร (ค่าหลังปรับปรุงที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาการสึกหรอ)

$$C_p = \frac{0.230 - 0.110}{6 \times 0.016}$$

$$C_p = 1.27$$

ค่า  $C_p$  ที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) 0.110 – 0.240 มิลลิเมตร (ค่าหลังปรับปรุงที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาการสึกหรอ)

$$C_p = \frac{0.240 - 0.110}{6 \times 0.016}$$

$$C_p = 1.38$$

ค่า  $C_p$  ที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) 0.110 – 0.250 มิลลิเมตร (ค่าหลังปรับปรุงที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาการสึกหรอ)

$$C_p = \frac{0.250 - 0.110}{6 \times 0.016}$$

$$C_p = 1.49$$

ค่า  $C_p$  ที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) 0.110 – 0.260 มิลลิเมตร (ค่าหลังปรับปรุงที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาการสึกหรอ)

$$C_p = \frac{0.260 - 0.110}{6 \times 0.016}$$

$$C_p = 1.60$$

ค่า  $C_p$  ที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) 0.110 – 0.270 มิลลิเมตร (ค่าหลังปรับปรุงที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาการสึกหรอ)

$$C_p = \frac{0.270 - 0.110}{6 \times 0.016}$$

$$C_p = 1.70$$

ค่า  $C_p$  ที่ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) 0.110 – 0.250 มิลลิเมตร (ค่าหลังปรับปรุงที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาการสึกหรอ)

$$C_p = \frac{0.275 - 0.110}{6 \times 0.016}$$

$$C_p = 1.76$$

โดยค่าความสามารถทางการผลิตของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่ผันแปรค่าต่างตั้งแต่ค่าก่อนการปรับปรุงต่ำสุดที่ 0.030 มิลลิเมตรไปจนถึงค่ามากที่สุดที่ได้ทำการทดลองการสึกหรอที่ 0.275 มิลลิเมตรโดยแต่ละช่วงที่ทำการคำนวณค่าความสามารถทางการผลิต  $C_p$  แสดงได้ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงความสามารถทางการผลิตของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ต่างๆ

หน่วย : มิลลิเมตร

ลำดับที่	LSL	USL	$T_{Assy}$	$T_{USL-LSL}$	$\sigma_{Assy}$	$C_p$
1	0.030	0.160	0.047	0.065	0.016	1.38
2	0.110	0.160	0.047	0.025	0.016	0.53
3	0.110	0.170	0.047	0.030	0.016	0.64
4	0.110	0.180	0.047	0.035	0.016	0.74
5	0.110	0.190	0.047	0.040	0.016	0.85
6	0.110	0.200	0.047	0.045	0.016	0.96
7	0.110	0.210	0.047	0.050	0.016	1.06
8	0.110	0.220	0.047	0.055	0.016	1.17
9	0.110	0.230	0.047	0.060	0.016	1.28
10	0.110	0.240	0.047	0.065	0.016	1.38
11	0.110	0.250	0.047	0.070	0.016	1.49
12	0.110	0.260	0.047	0.075	0.016	1.60
13	0.110	0.270	0.047	0.080	0.016	1.70
14	0.110	0.275	0.047	0.083	0.016	1.76

จากตารางที่ 5.5 ค่าความสามารถทางการผลิตของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่ค่าต่างๆ ตั้งแต่ข้อกำหนดก่อนการปรับปรุงเป็นข้อกำหนดหลังการทดลองค่าความสึกหรอ จะเห็นได้ว่า ข้อกำหนดต่างๆ จะมีค่า Cp ที่แตกต่างกันโดย

ลำดับที่ 1 ค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ก่อนการปรับปรุงที่ 0.030 – 0.160 มิลลิเมตร มีค่า Cp เท่ากับ 1.38 ซึ่งเป็นค่า Cp ที่ไม่สามารถนำไปใช้ได้เพราะข้อกำหนดนี้ทำให้เกิดปัญหาการสึกหรอขึ้น ดังนั้นค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) นี้มีค่า Cp ที่ไม่เป็นจริง

ลำดับที่ 2 ค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุงที่ 0.110 – 0.160 มิลลิเมตร มีค่า Cp เท่ากับ 0.53 แสดงให้เห็นว่าค่า Cp น้อยกว่า 1 สมรรถนะของกระบวนการผลิตไม่ได้ตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ แสดงให้เห็นว่าถ้าค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุงแต่ยังมีค่าพิสัยความเผื่อของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) ค่าเดิม ทำให้ความสามารถทางการผลิตไม่ได้ตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์

ลำดับที่ 7 ค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุงที่ 0.110 – 0.210 มิลลิเมตร มีค่า Cp เท่ากับ 1.06 แสดงให้เห็นว่าค่า Cp มีค่าเท่ากับ 1 สมรรถนะของกระบวนการผลิตเท่ากับข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีความน่าจะเป็นที่ค่าความเบี่ยงมาตรฐานเท่ากับ  $\pm 3\sigma$  ซึ่งมีโอกาสเกิดของเสีย 2700 ppm

ลำดับที่ 10 ค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุงที่ 0.110 – 0.240 มิลลิเมตร มีค่า Cp เท่ากับ 1.38 แสดงให้เห็นว่าค่า Cp มีค่ามากกว่า 1 และมากกว่า 1.33 สมรรถนะของกระบวนการผลิตดีกว่าข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีความน่าจะเป็นที่ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับมีค่า  $\pm 4\sigma$  ซึ่งมีโอกาสเกิดของเสีย 64 ppm

ในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์จะเลือกควบคุมความสามารถทางการผลิตที่  $\pm 4\sigma$  หรือ Cp เท่ากับ 1.33 เป็นอย่างน้อย ดังนั้นค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุงควรจะมีค่าที่ไม่ต่ำกว่า 0.110 – 0.240 มิลลิเมตร ค่า Cp เท่ากับ 1.38 ซึ่งมีโอกาสเกิดของเสียเท่ากับ 64 ppm

#### 5.4 ผลการเลือกข้อกำหนดและค่าความเผื่อของประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลา ลูกเบี้ยว (B) หลังการปรับปรุงช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

จากอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์จะเลือกควบคุมความสามารถทางการผลิตที่  $\pm 4\sigma$  หรือ Cp เท่ากับ 1.33 เป็นอย่างน้อย ดังนั้นค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุงควรมีค่าที่ไม่ต่ำกว่า 0.110 – 0.240 มิลลิเมตร Cp เท่ากับ 1.38 ซึ่งมีโอกาสเกิดของเสียเท่ากับ 64 ppm ดังนั้นจะต้องกำหนดให้ระยะต่ำสุดของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุงไปที่ 0.110

มิลลิเมตร จากค่าที่เปลี่ยนแปลงนี้ต้องทำการเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงข้อกำหนดของชิ้นส่วนที่มาประกอบเป็นช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ทั้งประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยทำการวิเคราะห์เพื่อที่จะทราบว่าชิ้นส่วนใดต้องมีการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดเท่าใด และพิจารณาขอบเขตการผลิตและข้อกำหนดของชิ้นส่วนทั้งประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) เพื่อให้การปรับปรุงไม่กระทบต่อหน้าที่การทำงานและกรรมวิธีการผลิตของชิ้นส่วนทั้งสอง โดยทำการพิจารณาจากพิสัยความเผื่อของชิ้นส่วนทั้งสองเพื่อหาชิ้นส่วนที่มีผลกระทบต่อค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) เพื่อเลือกทำการเปลี่ยนแปลงเป็นลำดับแรก และทำการพิจารณาขอบเขตการผลิตถึงผลกระทบต่อการทำงาน

#### 5.4.1 ผลการเลือกพิจารณาปรับปรุงชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B)

การที่จะปรับปรุงช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุงต้องทำการปรับปรุงชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) หรือเพลาลูกเบี้ยว (B) ที่ประกบกันเป็นช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่มาจากความแตกต่างกันของชิ้นส่วนทั้งสอง และค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) มากจากค่าความเผื่อของชิ้นส่วนทั้งสอง ชิ้นส่วนทั้งสองต้องทำการปรับปรุงข้อกำหนดใหม่โดยพิจารณาชิ้นส่วนที่ค่าความเผื่อมีผลต่อข้อกำหนดของการประกอบช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) มากที่สุดก่อน ซึ่งหาได้จากค่า % Contribution สมการที่ 4.4 ในบทที่ 4 เพื่อหาว่าชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) ชิ้นส่วนไหนที่ค่าความเผื่อของชิ้นส่วนมีผลต่อค่าการประกอบช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) และทำการพิจารณาปรับปรุงเป็นลำดับต้น

สมการ % Contribution หาค่าความเผื่อของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A)

$$\% Contribution = 100 \frac{T_1}{T_{Assy}}$$

แทนค่า  $T_1$  = ค่าความเผื่อของประกบเพลาลูกเบี้ยว 0.025 มิลลิเมตร

$T_{Assy}$  = ค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังปรับปรุง 0.047 มิลลิเมตร

$$\% Contribution = 100 \times \frac{0.025}{0.047}$$

$$\%Contribution = 28.29\%$$

สมการ % Contribution หาค่าความเผื่อของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B)

$$\%Contribution = 100 \frac{T_2}{T_{Assy}}$$

แทนค่า  $T_2$  = ค่าความเผื่อของเพลาลูกเบี้ยว 0.040 มิลลิเมตร

$T_{Assy}$  = ค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังปรับปรุง 0.047 มิลลิเมตร

$$\%Contribution = 100 \times \frac{0.040}{0.047}$$

$$\%Contribution = 72.43\%$$

จากการคำนวณพบว่า %Contribution ของเพลาลูกเบี้ยว (B) จะมีค่ามากกว่าประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) แสดงว่าค่าความเผื่อของเพลาลูกเบี้ยว (B) มีผลกระทบต่อค่าความเผื่อของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) มากกว่าประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) ดังนั้นควรจะทำการพิจารณาข้อกำหนดของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) มาทำการพิจารณาเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดเพื่อให้ได้ข้อกำหนดของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุง

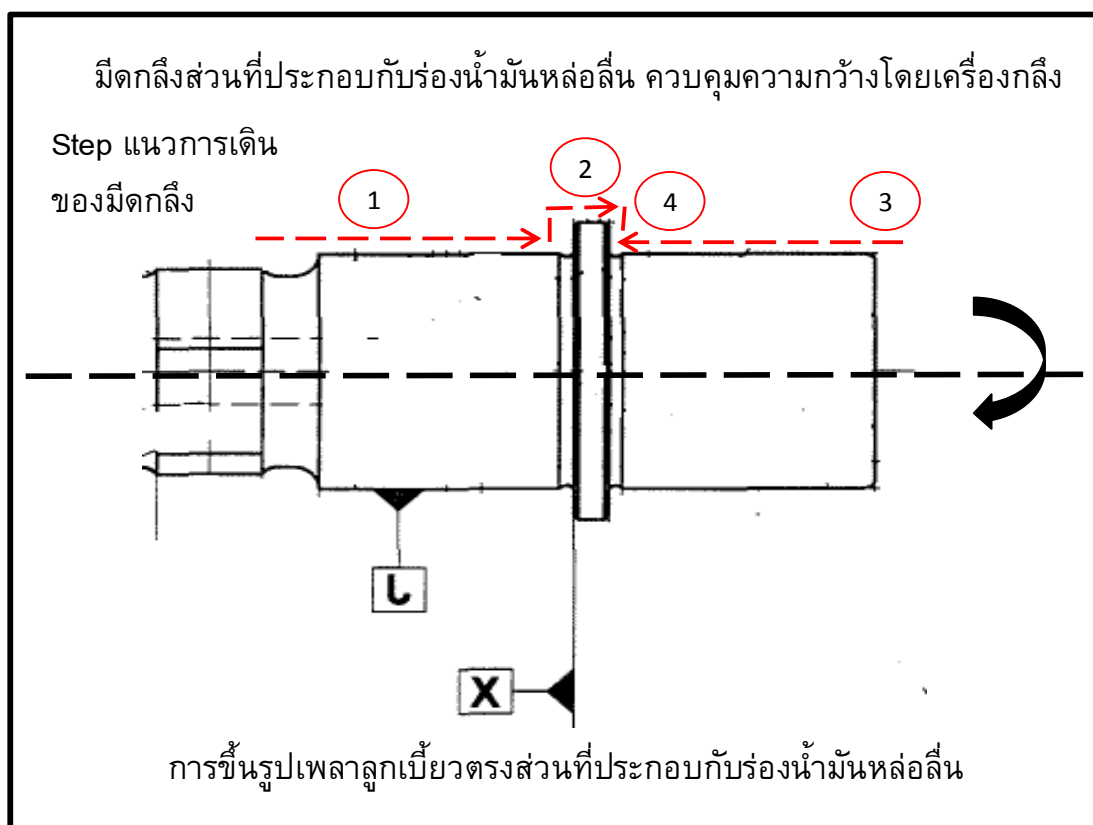
#### 5.4.2 ผลการปรับปรุงชิ้นส่วนโดยพิจารณาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนด

จาก % Contribution อัตราส่วนค่าความเผื่อของชิ้นส่วนต่อข้อกำหนดของการประกอบชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) มีค่าความเผื่อที่ทำให้ % Contribution มีค่ามากกว่าประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) ดังนั้นข้อกำหนดของเพลาลูกเบี้ยว (B) จะมีผลต่อการประกอบช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) มากกว่า ทำให้ควรพิจารณาปรับปรุงชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) เป็นอันดับต้น ดังนี้

1. พิจารณาชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยทำการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) และโดยให้ประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) ใช้ข้อกำหนดปัจจุบัน เมื่อทำการศึกษารวมวิธีการผลิตของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) พบว่าเพลาลูกเบี้ยว (B) ผลิตด้วย



เครื่องจักรอัตโนมัติ CNC (Computer Numerical Control Machine) ใช้มีดตัดโลหะโดยให้ชิ้นงานหมุนรอบตัวเอง โดยมีดกลิ้งเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงานที่ใช้ใบมีดกัดกลิ้งชิ้นงานตามลำดับที่แสดงในภาพที่ 5.5



ภาพที่ 5.5 กรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B)

จากภาพที่ 5.5 แสดงการผลิตของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยกลิ้งขึ้นส่วนตามลำดับที่ 1 เพื่อเป็นการกลิ้งสร้างระนาบอ้างอิงหลักของเพลาลูกเบี้ยว (B) จากนั้นจะทำการกลิ้งต่อตามลำดับที่ 2 เพื่อทำการกำหนดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลาลูกเบี้ยว (B) จากนั้นทำการกลิ้งต่อตามลำดับที่ 3 และ 4 เพื่อกำหนดความกว้างของเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยจะทำการกลิ้งหยาบที่ชิ้นงานจากขบวนการหล่อให้ได้ขนาดตามต้องการ และกลิ้งละเอียดเพื่อให้ผิวงานราบเรียบเป็นลำดับสุดท้าย ดังนั้นเมื่อชิ้นงานมีขนาดเล็กจะทำให้ความลึกในการตัดของของการกลิ้งหยาบมีค่ามากขึ้น เพื่อให้เหลือพื้นที่สำหรับการกลิ้งละเอียดเท่าเดิมสำหรับการควบคุมความละเอียดผิวให้ได้

เท่าเดิม ดังนั้นผลกระทบที่เกิดขึ้นคือระยะเวลาของการผลิตชิ้นส่วนจะเพิ่มขึ้นจากระยะทางของการกลิ้งหยาบที่เพิ่มขึ้น

ทำการพิจารณาแต่ละลำดับค่า  $C_p$  ของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่แสดงในตารางที่ 5.5 โดยเริ่มจากลำดับที่ 7 ตั้งแต่  $C_p$  เท่ากับ 1 ของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) นำค่าข้อกำหนดของประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) ข้อกำหนดปัจจุบันพิกัดบน USL และพิกัดล่าง LSL ลบด้วยข้อกำหนดของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) พิกัดบน USL และพิกัดล่าง LSL ได้ค่าเพลาลูกเบี้ยว (B) พิกัดบน USL และพิกัดล่าง LSL ดังสมการต่อไปนี้

USL เพลาลูกเบี้ยว (B) = LSL ประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) – LSL ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

LSL เพลาลูกเบี้ยว (B) = USL ประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) – USL ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)

ค่าความเผื่อของเพลาลูกเบี้ยว (B) =  $\pm ((\text{USL เพลาลูกเบี้ยว (B)} - \text{LSL เพลาลูกเบี้ยว (B)}) \div 2)$

หาค่าข้อกำหนดของเพลาลูกเบี้ยว (B) หลังปรับปรุงทั้ง USL ข้อกำหนดพิกัดบน และ LSL ข้อกำหนดพิกัดล่าง โดยที่ชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) มีค่าเท่าเดิมได้แสดงดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ค่าของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) หลังปรับปรุง

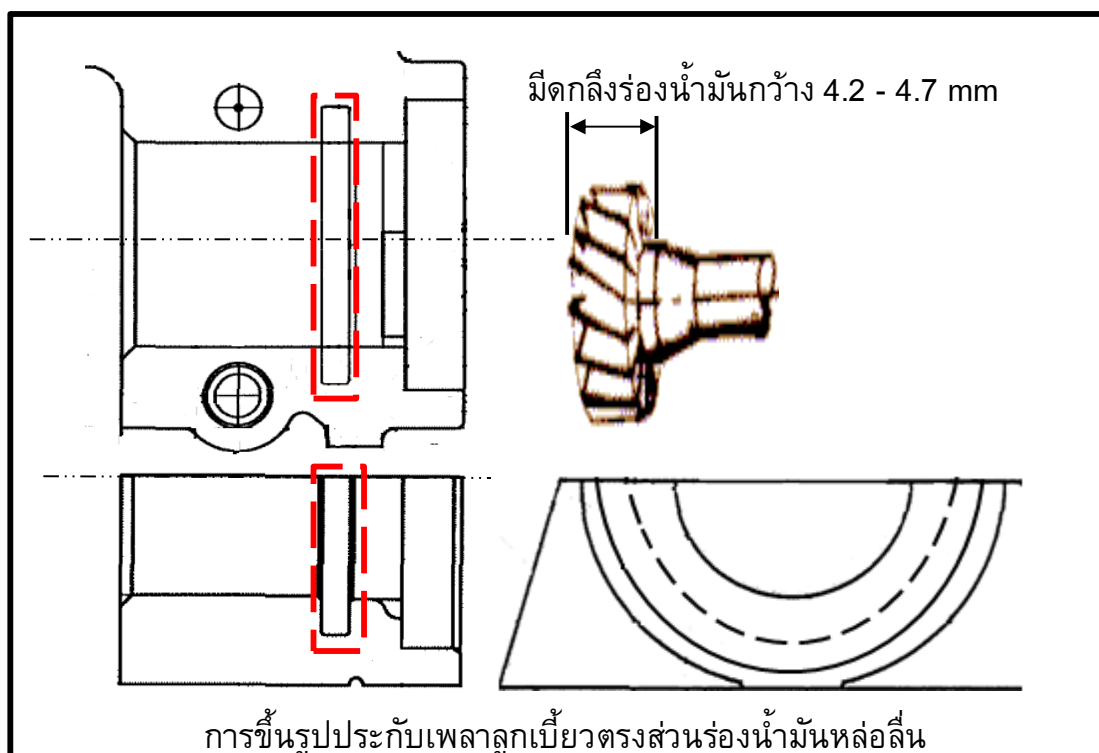
หน่วย : มิลลิเมตร

ลำดับที่	ช่องว่างน้ำมัน (C)			ประกบเพลาลูกเบี้ยว (A)		เพลาลูกเบี้ยว (B)=(A)-(C)		
	LSL	USL	Cp	LSL	USL	LSL	USL	ค่าเผื่อ $\pm$
ก่อนปรับปรุง	0.030	0.160	-	4.02	4.07	3.910	3.990	0.040
1	0.110	0.210	1.06	4.02	4.07	3.860	3.910	0.025
2	0.110	0.220	1.17	4.02	4.07	3.850	3.910	0.030
3	0.110	0.230	1.28	4.02	4.07	3.840	3.910	0.035
4	0.110	0.238	1.33	4.02	4.07	3.832	3.910	0.039
5	0.110	0.240	1.38	4.02	4.07	3.830	3.910	0.040
6	0.110	0.250	1.49	4.02	4.07	3.820	3.910	0.045
7	0.110	0.260	1.60	4.02	4.07	3.810	3.910	0.050
8	0.110	0.270	1.70	4.02	4.07	3.800	3.910	0.055
9	0.110	0.275	1.76	4.02	4.07	3.795	3.910	0.057

จากตารางที่ 5.6 ค่าของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยวหลังการปรับปรุงจะเปลี่ยนแปลงน้อยซึ่งข้อกำหนดพิคดล่าง LSL ของเพลาลูกเบี้ยว (B) จากเดิมมีค่า 3.91 มิลลิเมตร ไปเป็นค่า 3.86 มิลลิเมตรที่ค่า Cp เท่ากับ 1 และไม่ต่ำกว่า 3.795 มิลลิเมตร ซึ่งแตกต่างจากค่าก่อนการปรับปรุงมีค่า 3.910 ลบด้วย 3.795 เท่ากับ 0.115 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าเพียง 3% ของที่มีค่าน้อยกว่าค่าก่อนการปรับปรุง ดังนั้นเพื่อเป็นการไม่ให้เกิดผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงของวัสดุและความสามารถทางการผลิตที่ต้องการของชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมรถยนต์ที่  $\pm 4\sigma$  หรือ Cp เท่ากับ 1.33 ดังนั้นชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) หลังการปรับปรุงทำการเลือกค่าที่  $\pm 4\sigma$  หรือ Cp เท่ากับ 1.33 ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการที่ค่าของเพลาลูกเบี้ยวที่ 3.830 ถึง 3.910 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) เพียงชิ้นส่วนเดียวสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดให้สามารถได้ข้อกำหนดช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นหลังปรับปรุงได้

2. พิจารณาชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) โดยทำการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และใช้ข้อกำหนดปัจจุบันของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) ทำการพิจารณาการผลิตของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) พบว่าการผลิตของชิ้นส่วนประกบเพลาลูก

เบี้ยว (A) เป็นการผลิตด้วยเครื่องผลิตแบบอัตโนมัติ CNC (Computer Numerical Control Machine) ที่ใช้ชุดมีดกลึงให้เป็นช่องว่างตามความกว้างของมีดกลึง โดยขึ้นส่วนประกบกับเพลาลูกเบี้ยว (A) แสดงจุดกลึงขึ้นงานด้วยเครื่อง CNC ดังภาพที่ 5.6



ภาพที่ 5.6 การผลิตขึ้นส่วนประกบกับเพลาลูกเบี้ยว (A)

ภาพที่ 5.6 แสดงการผลิตขึ้นส่วนประกบกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ตรงส่วนข้อกำหนดที่ต้องการปรับปรุงโดยการผลิตขึ้นส่วนที่ข้อกำหนดนี้ก่อนการปรับปรุงมีค่า 4.20 - 4.07 มิลลิเมตร ซึ่งจะผลิตโดยใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ โดยใบมีดกลึงทำการกลึงขึ้นงานออกให้เป็นรูปร่างตามความกว้างของมีดกลึง โดยใบมีดกลึงจะกลึงให้ขึ้นงานเป็นร่องและกว้างตามความกว้างของมีดกลึงซึ่งมีดกลึงจะทำการออกแบบให้สามารถกลึงขึ้นงานประกบกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ให้กว้างได้ตามข้อกำหนดโดยที่ขึ้นส่วนที่ทำการกลึงออกมาจะมีขนาดเล็กลงจนเกินไปตามอายุการใช้งานของใบมีดกลึง ดังนั้นมีดกลึงแบบนี้จะต้องเป็นชนิดพิเศษและออกแบบเพื่อการผลิตนี้เท่านั้น เพื่อให้สามารถควบคุมค่าข้อกำหนดที่ต้องการและมีอายุการใช้งานจากการสึกหรอของมีดกลึงที่ยาวนานขึ้น

จากข้อมูลของการผลิตชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ข้อกำหนดหลังการปรับปรุงจะมีผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตจากการที่ต้องทำการออกแบบความกว้างของมีดกลึงใหม่และออกแบบขบวนการผลิตใหม่เพื่อหาอายุการใช้งานที่เหมาะสมของมีดกลึง ดังนั้นการเลือกที่จะปรับปรุงชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) จึงไม่เหมาะสมถ้าสามารถที่จะปรับปรุงชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยวเพียงอย่างเดียวได้ โดยมีดกลึงแต่ละขนาดที่ชิ้นส่วนประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) ที่ต้องใช้กับค่าแต่ละช่วงของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) แสดงได้จากการคำนวณ โดยนำค่าข้อกำหนดพิกัดบน USL และพิกัดล่าง LSL บวกด้วยข้อกำหนดของเพลาลูกเบี้ยว (B) ข้อกำหนดปัจจุบันพิกัดบน USL และพิกัดล่าง LSL ได้ค่าประกับเพลาลูกเบี้ยว (A) พิกัดบน USL และพิกัดล่าง LSL ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{USL ประกับเพลาลูกเบี้ยว (A)} = \text{USL ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)} + \text{LSL เพลาลูกเบี้ยว (B)}$$

$$\text{LSL ประกับเพลาลูกเบี้ยว (A)} = \text{LSL ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)} + \text{USL เพลาลูกเบี้ยว (B)}$$

$$\text{ค่าความเผื่อของประกับเพลาลูกเบี้ยว (A)} = \pm ((\text{USL ประกับเพลาลูกเบี้ยว (A)} - \text{LSL ประกับเพลาลูกเบี้ยว (A)}) \div 2)$$

ตารางที่ 5.7 ค่าของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) หลังปรับปรุง

หน่วย : มิลลิเมตร

ลำดับที่	ช่องว่างน้ำมัน (C)			เพลาลูกเบี้ยว (B)		ประกบเพลาลูกเบี้ยว (A)=(C)+(B)		
	LSL	USL	Cp	LSL	USL	LSL	USL	ค่าเผื่อ $\pm$
ก่อนปรับปรุง	0.030	0.160	-	3.91	3.99	4.020	4.070	0.025
1	0.110	0.210	1.06	3.91	3.99	4.100	4.120	0.010
2	0.110	0.220	1.17	3.91	3.99	4.100	4.130	0.015
3	0.110	0.230	1.28	3.91	3.99	4.100	4.140	0.020
4	0.110	0.240	1.38	3.91	3.99	4.100	4.150	0.025
5	0.110	0.250	1.49	3.91	3.99	4.100	4.160	0.030
6	0.110	0.260	1.60	3.91	3.99	4.100	4.170	0.035
7	0.110	0.270	1.70	3.91	3.99	4.100	4.180	0.040
8	0.110	0.275	1.76	3.91	3.99	4.100	4.185	0.043

หาค่าข้อกำหนดของประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) หลังปรับปรุงทั้ง USL ข้อกำหนดพิกัดบน และ LSL ข้อกำหนดพิกัดล่าง โดยที่ชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) มีค่าเท่าเดิมได้แสดงดังตารางที่ 5.7 ซึ่งค่าของประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) มีการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดไปจากค่าก่อนการปรับปรุงจากข้อกำหนดพิกัดบนก่อนการปรับปรุงที่ 4.07 มิลลิเมตร เป็นข้อกำหนดพิกัดล่างหลังการปรับปรุงที่ 4.10 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้ขนาดของมีดกลึงต้องเปลี่ยนไปจากเดิมที่ค่า 4.025 มิลลิเมตร ไปเป็นขนาดที่มากกว่า 4.10 มิลลิเมตร ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) ต้องมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของมีดกลึงใหม่ซึ่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายต่อการเปลี่ยนแปลงขึ้น

จากการพิจารณาชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) และประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) ผลของเพลาลูกเบี้ยว (B) หลังการเปลี่ยนแปลงจะมีผลกระทบต่อการผลิตที่ต้องมีการปรับปรุงขบวนการผลิตของการปรับตั้งเครื่องจักรในการผลิตใหม่ ผลของประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) หลังการเปลี่ยนแปลงจะมีผลกระทบต่อการผลิตที่ต้องปรับปรุงเครื่องมือขนาดของมีดกลึงในการผลิตใหม่ ซึ่งจากผลกระทบของการปรับปรุงของชิ้นส่วนทั้งสองนั้นชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) จะไม่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่ม ผลหลังการปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B)

หน่วย : มิลลิเมตร

	ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)	ประกบเพลาลูกเบี้ยว (A)	เพลาลูกเบี้ยว (B)
กรรมวิธีการผลิต	ข้อกำหนด 0.030 - 0.160 การประกอบ Cp = 0.53 มี	ข้อกำหนด 4.02 - 4.07 ใช้ ขนาดของมีดกลึงควบคุม	ข้อกำหนด 3.91 - 3.99 ใช้ การควบคุมระยะความลึก
ผลหลังปรับปรุง	ข้อกำหนดในช่วง 0.110 - 0.275 การประกอบ Cp ไม่น้อยกว่า 1.33 โอกาสเกิดการสึกหรอไม่มี	มีขนาดโตขึ้นเป็น 4.10 ทำ ให้มีการเปลี่ยนขนาดของมีด กลึง เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่ม	มีขนาดเล็กลงต่ำกว่า 3.91 ทำให้มีการเปลี่ยนระยะ ความลึกตัดของมีดกลึงใหม่

จากตารางที่ 5.8 สรุปได้ว่าการเพลาลูกเบี้ยว (B) เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดจะมีผลหลังการปรับปรุงที่เป็นการปรับตั้งเครื่องจักรในหารผลิตใหม่ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นดังนั้นการปรับปรุงที่ชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) อย่างเดียวจึงเป็นวิธีที่ดีที่สุด

ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่เลือกปรับปรุงที่ชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) เพียงอย่างเดียวที่ค่า Cp เท่ากับ 1.33 มีค่า ที่ 3.830 – 3.910 มิลลิเมตร สามารถสรุปก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) ได้ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 ตารางแสดงค่าสรุปก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

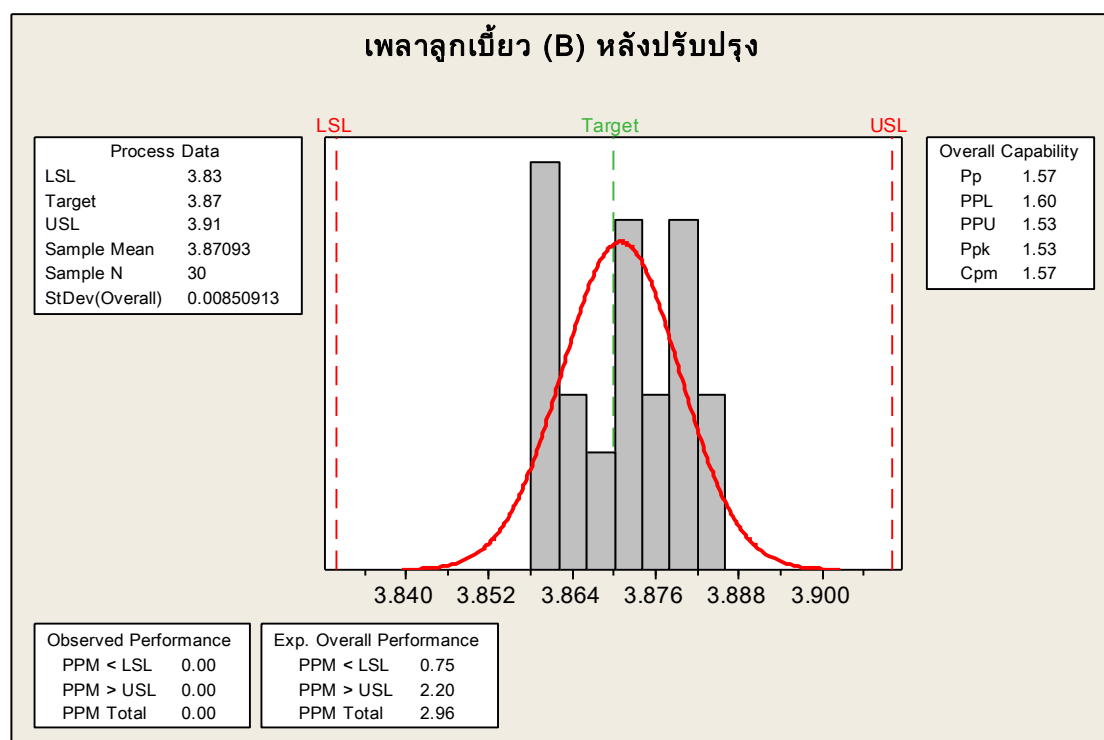
หน่วย : มิลลิเมตร

	ประกบ (A)	เพล (B)	ช่องว่างน้ำมัน (C)
ข้อกำหนดก่อนปรับปรุง	4.02 - 4.07 หรือ 4.045±0.025	3.910 - 3.990 หรือ 3.95±0.040	0.030 - 0.160 หรือ 0.095±0.065
ข้อกำหนดหลังปรับปรุง	4.02 - 4.07 หรือ 4.045±0.025	3.830 - 3.910 หรือ 3.870±0.040	0.110 - 0.240 หรือ 0.175±0.065

## 5.5 ผลการทดลองผลิตชิ้นส่วนหลังการปรับปรุง

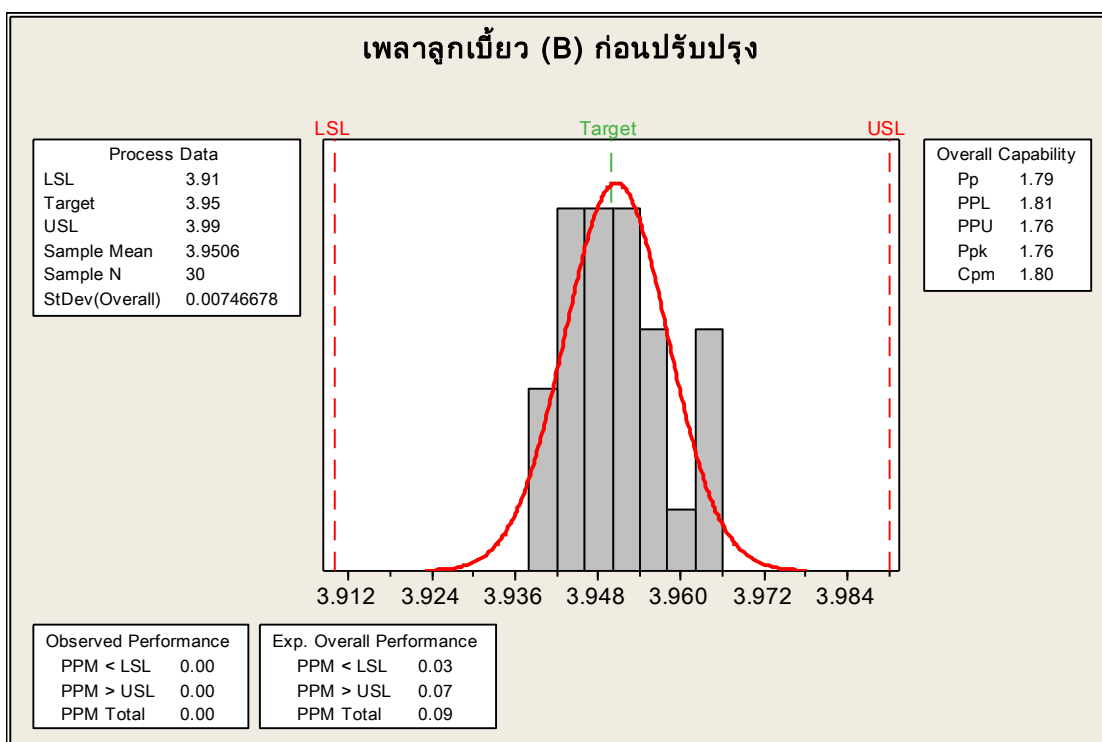
จากการเลือกชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยวหลังการปรับปรุงที่  $C_p$  มากกว่า 1.33 ทำการทดลองผลิตชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) ข้อกำหนดหลังปรับปรุงที่  $3.870 \pm 0.040$  มิลลิเมตร เป็นจำนวน 30 ตัวอย่างโดยการปรับตั้งเครื่องจักรที่ค่า 3.870 ผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรมทางสถิติสามารถผลิตได้ที่ค่า  $C_{mk}$  เท่ากับ 1.53 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.008 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความสามารถที่ดีของการควบคุมการผลิตของชิ้นส่วนรถยนต์ แสดงดังภาพที่ 5.7

ทำการเปรียบเทียบกับชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) ก่อนการปรับปรุงมีค่า  $3.95 \pm 0.04$  มิลลิเมตร เป็นจำนวน 30 ตัวอย่าง ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมทางสถิติแสดงดังภาพที่ 5.8 มีความสามารถทางการผลิต  $C_{mk}$  เท่ากับ 1.76 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.007 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่าความสามารถทางการผลิตของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยวก่อนและหลังการปรับปรุงมีค่า  $C_{mk}$  สูงกว่า 1.33 ไม่แตกต่างกันทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง



ภาพที่ 5.7 ความสามารถทางการผลิตเพลาลูกเบี้ยว (B) หลังการปรับปรุง ด้วยโปรแกรมทางสถิติ

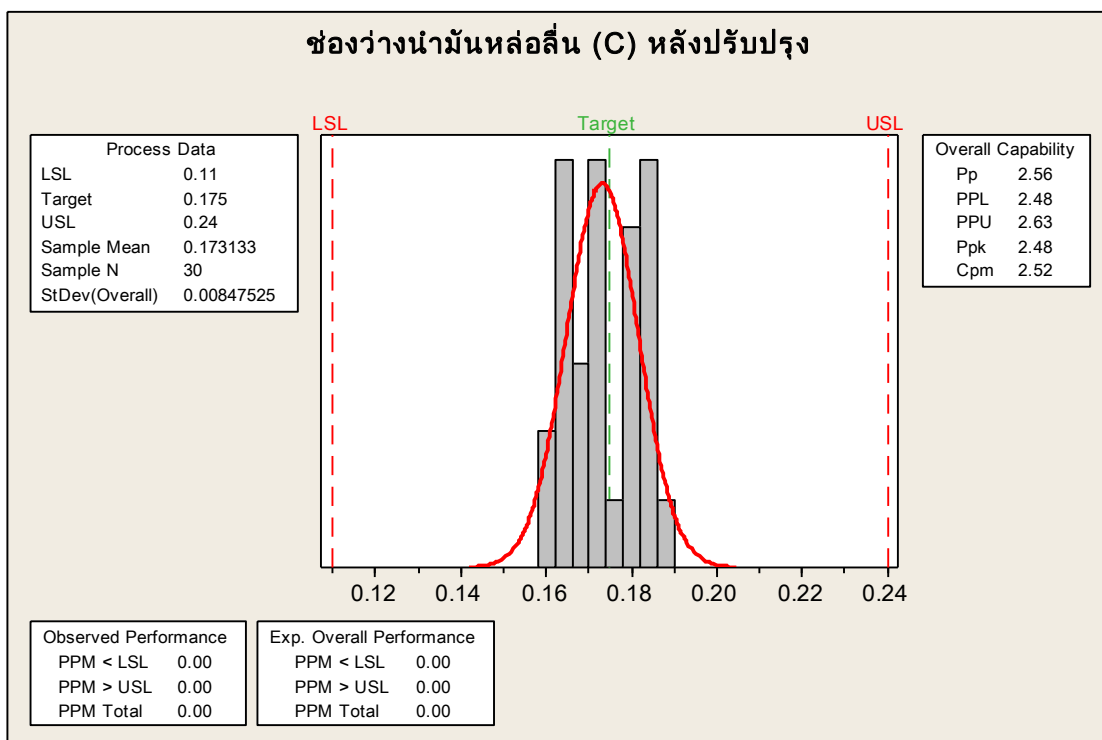




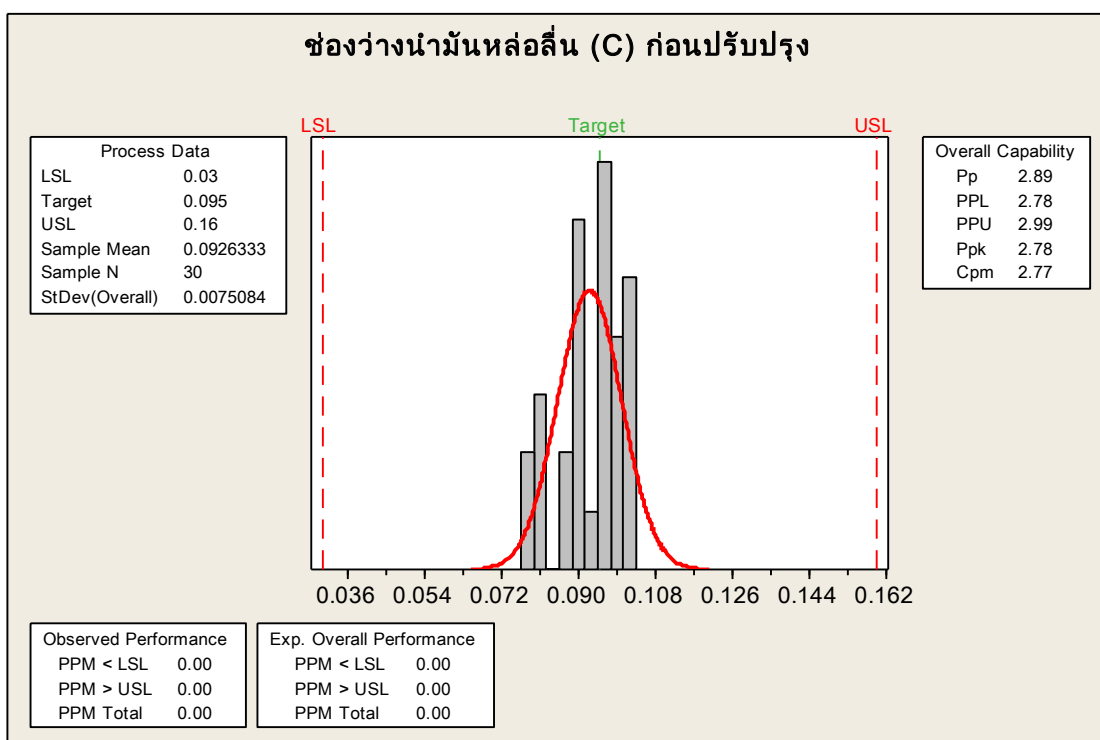
ภาพที่ 5.8 ความสามารถทางการผลิตเพลาลูกเบี้ยว (B) ก่อนการปรับปรุง ด้วยโปรแกรมทางสถิติ

ทำการเก็บค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุงที่ค่า  $0.175 \pm 0.065$  มิลลิเมตร จากการทดลองผลิตชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) ข้อกำหนดใหม่ที่  $3.70 \pm 0.040$  มิลลิเมตร เป็นจำนวน 30 ตัวอย่าง ผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรมทางสถิติสามารถผลิตได้ที่ค่า Cmk เท่ากับ 2.48 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.008 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความสามารถทางการควบคุมการผลิตที่ต้องการของชิ้นส่วนรถยนต์ แสดงดังภาพที่ 5.9

ทำการเปรียบเทียบกับช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่ผลิตก่อนการปรับปรุงมีค่า  $0.095 \pm 0.065$  มิลลิเมตร เป็นจำนวน 30 ตัวอย่าง ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมทางสถิติแสดงดังภาพที่ 5.10 มีความสามารถทางการผลิต Cmk เท่ากับ 2.78 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.007 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่าความสามารถทางการผลิตของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยวก่อนและหลังการปรับปรุงมีค่าไม่แตกต่างกัน และมีความสามารถทางการผลิตที่มากกว่า Cmk 1.33



ภาพที่ 5.9 ความสามารถการผลิตช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังปรับปรุง ด้วยโปรแกรมทางสถิติ



ภาพที่ 5.10 ความสามารถการผลิตช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ก่อนปรับปรุง ด้วยโปรแกรมทางสถิติ

## บทที่ 6

### สรุปผลการอภิปรายและสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ วัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงค่าความเผื่อช่วงน้ำมันหล่อลื่นสำหรับค่าการประกอบของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยว โดยใช้การทดสอบเพื่อหาช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสมและทำการพัฒนาค่าพิคัดความเผื่อของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยใช้พื้นฐานการคำนวณวิธีทางสถิติด้วยหลักการวิเคราะห์ค่าเผื่อแบบ Root sum square มาใช้สำหรับการพิจารณาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อนำไปหาค่าความสามารถทางการผลิต  $C_p$  ของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) เพื่อทำการวิเคราะห์หาช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสมโดยค่า  $C_p$  ต้องไม่ต่ำกว่า 1.33 เทียบเท่ากับการควบคุมการผลิตได้ที่  $\pm 4\sigma$  โดยมีโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 64 ppm จากนั้นทำการวิเคราะห์ถึงชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) เมื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) เปลี่ยนแปลงทำให้ชิ้นส่วนทั้ง 2 มีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ทำการพิจารณาชิ้นส่วนที่มีผลต่อค่าการประกอบของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) มากที่สุดมาพิจารณาปรับปรุงข้อกำหนดเป็นลำดับแรก และทำการพิจารณาผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงการผลิตของชิ้นส่วนนั้นด้วยว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงไปแล้วจะมีผลกระทบต่อการผลิตของชิ้นส่วนนั้น ที่ต้องมีการปรับปรุงขบวนการและเครื่องมือในการผลิตที่ทำให้เกิดการลงทุนเพิ่มขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลง

#### 6.1 อภิปรายผลการศึกษา

1. ปัญหาการสึกหรอของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) ที่ประกอบเป็นช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่สึกหรอเนื่องจากการหมุนของเพลาลูกเบี้ยว (B) จากข้อมูลที่ถูกสำรวจเรียนมีจำนวน 29 ครั้งแต่ยอดการผลิตของเครื่องยนต์มีมากกว่าหนึ่งแสนคัน เป็นเพียงอัตราส่วนน้อยเมื่อเทียบกับยอดขาย แต่ต้องทำการพิจารณาปรับปรุงเนื่องจากค่าใช้จ่ายต่อการซ่อมแซมใน 1 รายการปัญหามีค่าสูงเมื่อเทียบกับปัญหาอื่นที่เกิดขึ้น ดังนั้นการเลือกพิจารณาปัญหามาทำการแก้ไขในที่นี้จะคำนึงถึงการลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมเป็นปัจจัยสำคัญ

2. ปัจจัยในการพิจารณาว่าปัญหานั้นจะทำการแก้ไขโดยการทบทวนข้อกำหนดทางวิศวกรรมนั้นต้องทำการพิจารณาอย่างละเอียดถึงสาเหตุของปัญหาที่เป็นผลมาจากข้อกำหนด

นั้นๆ โดยใช้เทคนิคการแก้ไขปัญหาต่างๆ ทำการทบทวนข้อกำหนดทางวิศวกรรมซึ่งการทบทวนข้อกำหนดนี้จะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายขึ้นจากการตรวจสอบชิ้นส่วน การทดสอบชิ้นส่วน การทดลองผลิตภัณฑ์ เป็นต้น เพื่อหาหน้าที่ที่ผิดปกติและนำมาพิจารณาหาข้อกำหนดที่เหมาะสม

3. ปัจจัยเรื่องการสึกหรอที่เกิดขึ้นมาจากข้อกำหนดของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นที่ไม่เหมาะสม โดยการทดสอบเพื่อหาข้อกำหนดที่เหมาะสมแต่การทดสอบโดยการผันแปรช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นนั้นไม่สามารถที่จะทำการทดสอบได้ละเอียดทุกค่า จึงเป็นเพียงค่าตัวอย่างที่เลือกมาทำการทดสอบ ดังนั้นค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสมจึงไม่ละเอียดมาก แต่สามารถใช้อ้างอิงในการตัดสินใจได้

4. ช่องช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังการปรับปรุงที่เหมาะสม อาจจะสามารถเลือกได้จากค่าความสามารถทางการผลิต  $C_p$  ที่มากที่สุดแต่ค่าความสามารถทางการผลิต  $C_p$  ยังมีค่ามากย่อมทำให้เกิดค่าใช้จ่ายต่อการผลิตเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งในการศึกษานี้ได้แก่ค่าใช้จ่ายในส่วน of เครื่องมือ และการปรับแต่งเครื่องจักรใหม่

5. ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่ได้จากการทดสอบ นำมาหาค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นใหม่ที่เหมาะสม และจากการเลือกข้อกำหนดจะใช้สมการรูปแบบสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์หาค่าความเผื่อที่เหมาะสม จากสมการ Root sum square ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการใช้ค่าความเผื่อมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติแทนการเก็บข้อมูลการผลิตมาทำการวิเคราะห์

6. การพิจารณาข้อกำหนดของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) จากความสามารถทางการผลิต  $C_p$  ที่อุตสาหกรรมรถยนต์ต้องการที่ 1.33 และโอกาสเกิดของเสียไม่มากกว่า 64 ppm นั้น ต้องทำการพิจารณาชิ้นส่วนของประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) เมื่อทำการพิจารณากรรมวิธีการผลิตของชิ้นส่วนทั้งประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) พบว่าชิ้นส่วนทั้งสองมีกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน โดยชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยวที่เลือกทำการเปลี่ยนแปลงนั้นจะเปลี่ยนแปลงที่การปรับตั้งเครื่องจักร ทำให้มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแปลงเครื่องจักร ซึ่งถ้าหากว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นมีผลกับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นดังเช่นการปรับปรุงที่ชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) งานวิจัยต้องทำการพิจารณาข้อกำหนดที่ต้องการกับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งต้องทำการวิจัยในข้อมูลเชิงลึกของการกรรมวิธีการผลิตต่อข้อกำหนดที่เลือกใช้ ซึ่งจะใช้ในการศึกษาในโอกาสต่อไป

7. ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไป จำเป็นต้องมีการทบทวนถึงคุณสมบัติของวัสดุ ทั้งค่าความแข็งแรง ของชิ้นส่วนที่ทำการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนด การทบทวนความแข็งแรงในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์เนื่องจากชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยวที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นลดลงจากเดิมไป 2% ซึ่งมีค่าน้อย และค่าช่องว่างน้ำมันใหม่ที่เลือกใช้ได้ทำการทดสอบจากเครื่อง Dynamometer แล้วว่าไม่มีผลกระทบต่อหน้าที่การทำงาน ที่ได้ทำการทดสอบผันแปรช่องว่างน้ำมันไป โดยคุณสมบัติความแข็งแรงที่เปลี่ยนแปลงจะเป็นแนวทางในการทำการศึกษางานวิจัยต่อไปของการเลือกข้อกำหนดจากค่าความแข็งแรงของวัสดุที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งจะต้องใช้ทฤษฎีและแนวทางของวิศวกรรมเครื่องกลมาใช้ในงานวิจัย ซึ่งจะใช้ในการศึกษาในอนาคตต่อไป

## 6.2 สรุปผลการศึกษา

1. ความสึกหรอหลังการปรับปรุงค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นต่ำสุดจาก 0.030 เป็น 0.110 มิลลิเมตรลดลงจาก 0.06 เป็น น้อยกว่า 0.02 มิลลิเมตร

2. ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) จากการประกอบของประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และเพลาลูกเบี้ยว (B) มีค่าหลังการปรับปรุงโดยการวิเคราะห์ความสึกหรอเทียบกับระยะช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ต่างๆ มีค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่เปลี่ยนแปลงดังนี้

ค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ต่ำสุด ค่าก่อนปรับปรุง 0.030 มิลลิเมตร ค่าหลังปรับปรุง 0.110 มิลลิเมตร

ค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) สูงสุด ค่าก่อนปรับปรุง 0.160 มิลลิเมตร ค่าหลังปรับปรุง 0.240 มิลลิเมตร

3. ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ช่วงของระยะความเผื่อมีค่าก่อนและหลังการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 0.130 มิลลิเมตร โดยมีรายละเอียดดังนี้

ค่าความเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ก่อนปรับปรุง เท่ากับ 0.130 มิลลิเมตร จากข้อกำหนด 0.030 – 0.160 มิลลิเมตร

ค่าความเผื่อช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) หลังปรับปรุง เท่ากับ 0.130 มิลลิเมตร จากข้อกำหนด 0.110 – 0.240 มิลลิเมตร

4. ค่าความสามารถทางการผลิต Cp ของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นค่าก่อนการปรับปรุง สามารถควบคุมได้ที่ Cp เท่ากับ 1.38 เปลี่ยนไปเป็น 0.53 จาก เนื่องจากค่า Cp เดิมนั้นยังมี โอกาสเกิดของเสีย ดังนั้นข้อกำหนดต่ำสุดที่ถูกต้องมีค่า 0.110 มิลลิเมตร ทำให้มีค่า Cp เท่ากับ 0.53
5. ค่าความสามารถทางการผลิต Cp หลังการปรับปรุงเลือกค่า Cp ที่ไม่น้อยกว่า 1.33 โดยเลือกค่า Cp เท่ากับ 1.38
6. ทำการปรับปรุงข้อกำหนดของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยพิจารณาจาก %Contribution ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) มีผลกระทบต่อ ข้อกำหนดช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) มากกว่าประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) และกรรมวิธีการผลิตของ เพลาลูกเบี้ยว (B) ที่ไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงเครื่องมือของการผลิตใหม่ จะเปลี่ยนเฉพาะการตั้ง ค่าเครื่องมือเท่านั้น
7. ทำการเลือกข้อกำหนดปรับปรุงชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) โดยเลือกจาก ความสามารถในการผลิตของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่ค่า Cp ไม่น้อยกว่า 1.33 มีข้อกำหนด ของเพลาลูกเบี้ยวหลังการปรับปรุง เท่ากับ 3.830 – 3.910 มิลลิเมตร หรือ  $3.91_{-0.08}^{+0.00}$  มิลลิเมตร
8. ข้อกำหนดเพลาลูกเบี้ยว (B) ความสามารถทางการผลิตที่พิจารณาจาก ความสามารถของการขึ้นรูปของเครื่องจักรอย่างเดียว เป็นจำนวน 30 ตัวอย่างโดยผู้ผลิตชิ้นส่วน ให้ค่า Cmk ก่อนปรับปรุง Cmk เท่ากับ 1.76 และหลังปรับปรุง Cmk เท่ากับ 1.53 ซึ่งมีโอกาสเกิด ของเสียน้อยกว่า 64 ppm
9. ข้อกำหนดของการประกอบช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ความสามารถทางการ ผลิตที่พิจารณาจากค่าหลังปรับปรุงของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) ที่ทดลองผลิตมาประกอบกับ ประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) ที่ผลิตในปัจจุบัน เป็นจำนวน 30 ตัวอย่าง พบว่ามีความสามารถทางการ ผลิตก่อนปรับปรุง Cmk เท่ากับ 2.78 และหลังปรับปรุง Cmk เท่ากับ 2.48 ซึ่งมีโอกาสเกิดของเสีย น้อยกว่า 64 ppm
10. นำค่าของว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) และเพลาลูกเบี้ยว (B) หลังปรับปรุงมาเป็น แนวทางอ้างอิงในการปรับปรุงเพื่อแก้ไขปัญหาการสึกหรอนี้กับข้อกำหนดในอุตสาหกรรมจริง ซึ่ง จากการปรับปรุงและใช้งานในเชิงอุตสาหกรรมจริงตั้งแต่ปี 20X3 ต้นปีจนถึงปลายปี 20X4

ในตอนนี้เป็นเวลา 2 ปี หรือไม่น้อยกว่า 30,000 กิโลเมตร พบว่ายังไม่มีอาการร้องเรียนจากลูกค้าเกิดขึ้น

### 6.3 การศึกษาที่จะทำต่อไปในอนาคต

1. จากการพิจารณาการปรับปรุงชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการประกอบพบว่าเรื่องของการปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตของชิ้นส่วนประกบเพลาลูกเบี้ยว (A) โดยถ้าเลือกชิ้นส่วนนี้ทำการปรับปรุงข้อกำหนด เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตต้องทำการเปลี่ยนแปลงไป และชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) เป็นการปรับปรุงในส่วนของการปรับแต่งเครื่องจักรใหม่ ดังนั้นถ้าข้อกำหนดนั้นเปลี่ยนแปลงแล้วมีผลกระทบต่อปรับปรุงทั้งการปรับแต่งเครื่องจักรและเครื่องมือใหม่ สิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาต่อไปคือการเลือกค่าที่เหมาะสมจากของกรรมวิธีการผลิต ต่อชิ้นส่วนที่เปลี่ยนแปลงข้อกำหนดไป โดยจะใช้ค่าใช้จ่ายต่อการเปลี่ยนแปลงมาหาค่าข้อกำหนดหลังการปรับปรุงที่เหมาะสม โดยในที่นี้ต้องทำการศึกษากกรรมวิธีการผลิต การศึกษาเวลา และอุปกรณ์การผลิตที่ข้อกำหนดต่างๆที่ทำการเปลี่ยนแปลงเพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุดที่จะเลือกใช้งาน

2. จากการพิจารณาการปรับปรุงชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการประกอบพบว่าเรื่องของการข้อกำหนดหลังการปรับปรุงของชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว (B) จะมีค่าลดลง ซึ่งจากการศึกษานี้ข้อกำหนดที่เลือกที่  $C_p$  มากกว่า 1.33 หลังการปรับปรุงมีค่าของข้อกำหนดลดลงไป 2% จากข้อกำหนดล่าสุดก่อนการปรับปรุง การศึกษาจึงสมมุติว่าไม่มีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงของชิ้นส่วน แต่ถ้าชิ้นส่วนนั้นมีการปรับปรุงลดลงไปมากต้องทำการคำนวณความแข็งแรงของชิ้นส่วนหลังเปลี่ยนแปลง ซึ่งต้องทำการศึกษาจากคุณสมบัติของวัสดุและการคำนวณทางกลเพื่อหาค่าความแข็งแรงของชิ้นส่วนที่ข้อกำหนดนั้น เพื่อหาความแข็งแรงที่เปลี่ยนแปลงไปจนเกินกว่าค่าของความแข็งแรงของชิ้นส่วนนั้นๆ

### 6.4 ข้อจำกัดของงานวิจัย

การทดสอบการสึกหรอของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นโดยการผันแปรช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นที่ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่ 0.05 – 0.275 มิลลิเมตร นั้นจะทำการทดสอบทุกช่วงของข้อกำหนดไม่สามารถที่จะทำได้ เนื่องจากการทดสอบเครื่องยนต์ด้วย Dynamometer Test นั้นมีค่าใช้จ่ายสูง จึงต้องทำการเลือกค่าในการทดสอบเฉพาะช่วงเท่านั้น ดังนั้นในการพิจารณาความสัมพันธ์



ระหว่างช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นกับค่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นอาจจะไม่มีความละเอียดเท่าที่ควรของ ช่องว่างน้ำมันต่ำสุดที่เหมาะสม ดังนั้นในความเป็นจริงช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ที่เหมาะสมค่า ต่ำที่สุดอาจจะมีค่าที่น้อยกว่า 0.110 มิลลิเมตร ถ้ามีการทดสอบเลือกค่าช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ได้ละเอียดมากกว่าค่าที่นำมาทำการทดสอบ

## 6.5 ข้อเสนอแนะ

1. สำหรับการสึกหรอของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นจากการประกอปกกันของชิ้นส่วน ประกับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยว ยังอาจจะมีปัจจัยอื่นที่ทำให้เกิดการสึกหรอขึ้น ซึ่งจาก แผนภูมิต้นไม้ FTA (Fault Tree Analysis) ที่ได้จัดทำไปข้างต้นเป็นการวิเคราะห์มาจากการให้ คำปรึกษาจากผู้ที่มีความรู้และความเข้าใจในชิ้นส่วนที่บกพร่องเป็นอย่างดี ซึ่งสาเหตุอื่นๆของ ปัญหนี้อาจจะไม่ได้ถูกยกมาพิจารณาเนื่องจากประสบการณ์ของผู้ทำการวิเคราะห์และศึกษาให้ นำหนักกับสาเหตุจากการสึกหรอเป็นสำคัญ ดังนั้น FTA จึงควรพิจารณาร่วมกับผู้เชี่ยวชาญเพื่อ ทำการคัดกรองหาสาเหตุของปัญหาในแนวทางที่เหมาะสม

2. งานวิจัยนี้เน้นการแก้ปัญหาการสึกหรอของช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น โดยมุ่งเน้นไปที่ การวิเคราะห์ค่าความสึกหรอที่เกิดขึ้นเมื่อค่าความเผื่อผันแปรไป ดังนั้นการนำไปใช้กับเครื่องยนต์ รุ่นอื่นจำเป็นต้องเข้าใจถึงหน้าที่การทำงานของชิ้นส่วนประกบกับเพลาลูกเบี้ยวและเพลาลูกเบี้ยวที่ ประกอปกกันแล้วมีช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นที่เกิดขึ้น ซึ่งในทางปฏิบัติจริงต้องการออกแบบช่องว่าง น้ำมันหล่อลื่นให้สามารถหลีกเลี่ยงการสึกหรอของชิ้นส่วนที่จะเกิดขึ้นได้

3. การขยายผลไปกับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ ที่มีรูปร่าง และขนาดของชิ้นงานที่แตกต่างกันควรมีการทบทวนถึงการใช้งานช่องว่างน้ำมันที่มีอยู่ในแต่ละรุ่นของผลิตภัณฑ์ว่ามีการออกแบบ ที่เป็นไปในแนวทางเดียวกันหรือไม่ ซึ่งบางรุ่นอาจจะใช้การออกแบบร่องน้ำมันหล่อลื่นที่ต่าง ออกไป

4. การพิจารณาช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสม จะมีการเลือกจากข้อกำหนดพิคัด ล่างสุดคือค่าที่ไม่มีผลกระทบไปจนค่าสูงสุด ซึ่งค่าสูงสุดจะพิจารณาจากปัจจัยของชิ้นส่วนที่นำมา ประกอปกกันให้เกิดช่องว่างน้ำมันหล่อลื่นขึ้น ซึ่งสามารถเลือกได้ตั้งแต่ค่าเผื่อน้อยๆไปถึงค่าเผื่อมาก โดยทั้งนี้ต้องพิจารณาความแข็งแรงของชิ้นส่วนและกรรมวิธีการผลิตเป็นสำคัญ

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2544.
- ภาณุวัฒน์ อนันตวิรุพห์. การพัฒนาค่าเผื่อข้อกำหนดการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปอัดโพลียูรีเทนโฟม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- ปนัดดา นิรนาทลำพองศ์. การศึกษารอบในงานอุตสาหกรรม : ความรู้เบื้องต้นและการป้องกัน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.
- ประสานพงศ์ หาเรือนชัย. ทฤษฎีและปฏิบัติเครื่องล่างรถยนต์. พิมพ์ครั้งที่ 1., กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น 2540
- วันรัตน์ จันทกิจ. 17 คู่มือนักคิด Problem Solving Device. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2549.
- ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และ จันทรา จันทโร. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- สีหราช สกกุลพยัคฆ์และธีระ เจียศิริพงษ์กุล. การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นขณะประกอบ Tolerance ring โดยใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย 2552. (พฤศจิกายน 2552).

### ภาษาอังกฤษ

- Chase, K. W., "Basic Tools for Tolerance Analysis of Mechanical Assemblies," Manufacturing Engineering Handbook, McGraw-Hill, 2004, Chapter 7 pp1-13
- Chase, K.W. and W.H. Greenwood, "Design Issues in Mechanical Tolerance Analysis," Manufacturing Review, ASME, vol 1,no 1, March 1988, pp. 50-59.
- Callister Jr. W.D. Materials Science and Engineering, John Wiley & Sons, Canada PP225-230 1985,

- Douglas, C. Montgomery. Introduction to Statistic Quality Control. 4<sup>th</sup> ed. pp 350-369. Singapore: John Wiley & Son, 2001.
- Drake, Paul (editor), "Minimum-Cost Tolerance Allocation" Dimensioning and Tolerancing Handbook, McGraw-Hill, 1999. Chapter 14 pp1-23
- Fowlkes, W.Y. and Creveling, C.M. Engineering Methods for Robust Product Design Using Taguchi Method in Technology and Product Development. 1<sup>st</sup> ed. pp 75-83. Singapore: Addison-Wesley Publishing, 1995.
- Groover, M.P. Fundamental of Modern Manufacturing: Material, Process and System. Student ed. pp 263-272. Singapore: John Wiley & Son, 2007.
- Walpole, M.Y. Probability & Statistics for Engineers&Scientists.7th ed. United States of America: Prentice Hall, 2002.

ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก

(ส่วนประกอบและหน้าที่การทำงานของเพลาลูกเบี้ยวในเครื่องยนต์ดีเซล)

## เพลาลูกเบี้ยว ( Camshaft )



ภาพที่ 1.ก ชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยว

เพลาลูกเบี้ยว<sup>1</sup> เป็นเพลาลูกเบี้ยว ที่ถูกสร้างให้บริเวณแกนเพลามีขึ้นโลหะยื่นออกมาในรูปทรง "รูปไข่" โลหะที่ยื่นออกมาจากแกนเพลาคือเป็นรูปไข่เอง เรียกว่า "ลูกเบี้ยว" เมื่อเวลาแกนเพลาลูกเบี้ยว หมุน ลูกเบี้ยวก็จะหมุนตามไปกับเพลาลูกเบี้ยว

### หน้าที่ของเพลาลูกเบี้ยว

เพลาลูกเบี้ยว ทำหน้าที่ควบคุมการเปิดวาล์วไอดี (เปิดวาล์วไอดีเสีย) เพื่อให้ไอดีไหลเข้ามาสู่ห้องเผาไหม้ และเปิดวาล์วไอเสีย (ปิดวาล์วไอดี) เพื่อให้ไอเสียไหลออกไป สรุปคือ เมื่อเพลาลูกเบี้ยวหมุนเมื่อใด ก็จะต้องมี การเปิด-ปิดของวาล์ว (Valve) เกิดขึ้นเมื่อนั้น

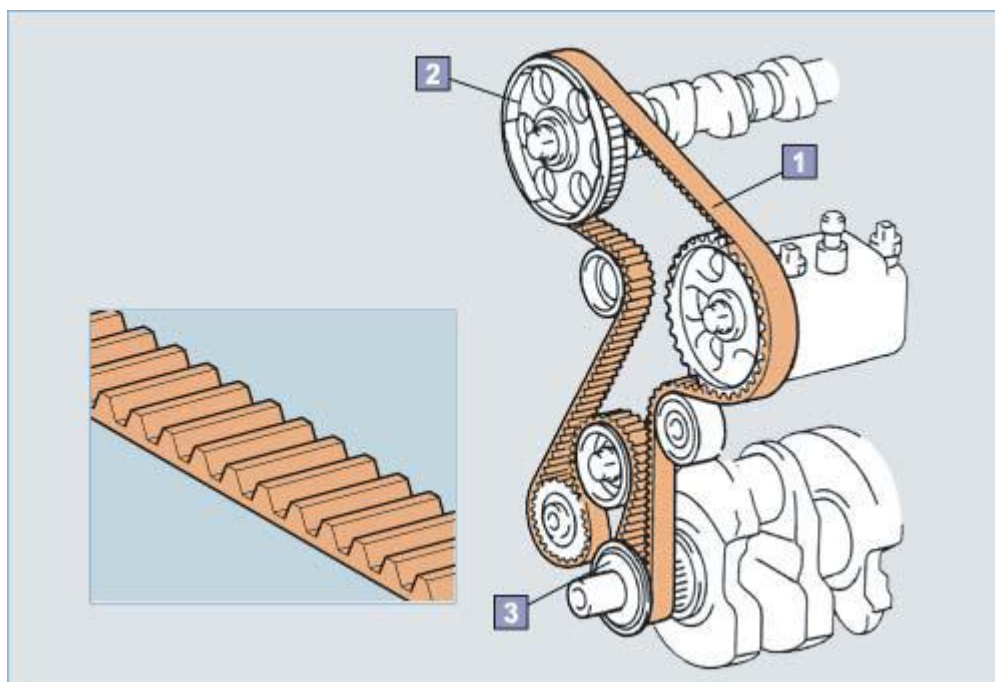
### การติดตั้งของเพลาลูกเบี้ยว

เครื่องยนต์รุ่นเก่า จะมีเพลาลูกเบี้ยว เป็นแกนอยู่ภายในห้องเสื้อสูบ (ห้องเครื่อง) ซึ่งได้รับแรงหมุนมาจาก เพลาข้อเหวี่ยงอีกที เครื่องยนต์ที่มีเพลาลูกเบี้ยวติดตั้งอยู่ในห้องเครื่องนี้ เวลา

เพลาลูกเบี้ยวหมุน ก็จะไปดันเอาลูกกระทู้ (Cam follower) ให้ไปดันเอาก้านกระทู้ (Push rod) ซึ่งแกนอีกด้านหนึ่งของก้านกระทู้ ก็จะไปดันกระเดื่องวาล์ว (Rocker arm) ให้ไปกดวาล์วให้เปิดออก เมื่อวาล์วเปิดออก ก็จะส่งผลให้ มีการถ่ายเทอากาศ ในห้องเผาไหม้ (วาล์วที่ติดตั้งอยู่เหนือห้องเผาไหม้เรียกว่า Over Head Valve หรือ OHV) ส่วนเครื่องยนต์ที่มีการติดตั้งเพลาลูกเบี้ยวอยู่ด้านบนของฝาสูบ เรียกว่า Over Head Camshaft หรือ OHC การทำงานในลักษณะนี้ จะไม่ใช้ก้านกระทู้ในการส่งต่อกำลัง เพราะเพลาลูกเบี้ยว จะควบคุมการ เปิด-ปิดวาล์วด้วยตัวเอง ซึ่งเป็นการควบคุมการทำงานโดยตรง และลดชิ้นส่วนอุปกรณ์ให้น้อยลงด้วย เครื่องยนต์ OHC ส่วนใหญ่ จะใช้ลูกเบี้ยว ในการควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วโดยตรง แต่ก็อาจมีเครื่องยนต์บางรุ่น ที่ใช้กระเดื่องวาล์ว ในการทำงาน เครื่องยนต์ได้ใช้เพลาลูกเบี้ยวแกนเดียว ติดตั้งอยู่เหนือฝาสูบ ในการควบคุมการเปิด-ปิด การทำงานของวาล์ว เรียกเครื่องยนต์นั้นว่า มีการทำงานแบบ Single Over Head Camshaft หรือ SOHC ต่อมามีการออกแบบ ให้มีเพลาลูกเบี้ยวอยู่ 2 แกน ติดตั้งอยู่คู่ขนานกัน แกนหนึ่ง ควบคุมการเปิด-ปิดไอดีโดยเฉพาะ ส่วนอีกแกนหนึ่ง ควบคุมการเปิด-ปิด ไอเสียโดยเฉพาะเช่นกัน เรียกเครื่องยนต์นั้นว่ามีการทำงานแบบ Doble Over Head Camshaft หรือ DOHC ที่เราสามารถเห็นตัวอักษรนี้ พิมพ์ติดอยู่บนฝา วาล์ว ของรถนั่นเอง

### วิธีการหมุนของแกนเพลาลูกเบี้ยว

แกนเพลาลูกเบี้ยว ได้รับแรงจุดให้หมุน จากเพลาช้อเหวี่ยง (Crank shaft) ซึ่งตัวกลางที่ส่งผ่านแรงจุดนี้ มี 3 ชนิด คือ



ภาพที่ 2.ก      ตัวกลางส่งแรงไปที่เพลาลูกเบี้ยว

- 1.สายพานราวลิ้น (Timing belt)
- 2.เฟืองราวลิ้น (Timing gear)
- 3.เฟืองขับเพลาลูกเบี้ยว (Crank chain)

<sup>1</sup>เพลาลูกเบี้ยว, ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม [ออนไลน์], 20 ตุลาคม 2551. แหล่งที่มา  
จาก [http://engineerknowledge.blogspot.com/2008/10/blog-post\\_20.html](http://engineerknowledge.blogspot.com/2008/10/blog-post_20.html)



## ภาคผนวก ข

(มาตรฐานการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก)

มอก.787-2531 เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กระบายความร้อนด้วยน้ำ<sup>1/2</sup>

มอก. 787-2531

- 4.2 ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น
- 4.3 เครื่องยนต์ทุกเครื่องต้องมีคู่มือแนะนำ ซึ่งอย่างน้อยต้องมีรายละเอียดดังต่อไปนี้
- (1) วิธีใช้
  - (2) การบำรุงรักษา
  - (3) รายชื่อ และรูปแสดงชิ้นส่วนประกอบ
  - (4) รายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องยนต์ ตามภาคผนวก ก. ข้อ ก.5
- 4.4 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

### 5. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

- 5.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง เครื่องยนต์ที่มีรหัสรุ่นเดียวกัน มีกำลังเครื่องยนต์เท่ากัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน
- 5.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไป นี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้
- 5.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบข้อกำหนดทั่วไป และเครื่องหมายและฉลาก
    - 5.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 1 เครื่อง
    - 5.2.1.2 ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.1 ข้อ 4.1 ข้อ 4.2 และข้อ 4.3 จึงจะถือว่าเครื่องยন্ত্রนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
  - 5.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบสมรรถนะ
    - 5.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 1 เครื่อง
    - 5.2.2.2 ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.2 ทุกรายการ จึงจะถือว่าเครื่องยন্ত্রนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
- 5.3 เกณฑ์ตัดสิน  
ตัวอย่างเครื่องยนต์ต้องเป็นไปตามข้อ 5.2.1.2 และข้อ 5.2.2.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าเครื่องยন্ত্রนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

### 6. การทดสอบ

- 6.1 การทดสอบเฉพาะแบบ  
ให้ทดสอบตามรายการต่อไปนี้
- (1) ข้อกำหนดทั่วไป
  - (2) การทำงานขณะมีโหลด
  - (3) การทำงานอย่างต่อเนื่อง
  - (4) การทำงานขณะโหลดเกินกำลัง
  - (5) การทำงานขณะให้กำลังสูงสุด
  - (6) การควบคุมความเร็วรอบ

## มอก. 787-2531

(7) การเริ่มเดินเครื่องยนต์

## 6.2 การทดสอบรับรอง

ให้ทดสอบตามรายการที่กำหนดในข้อ 6.1 ยกเว้นข้อ (3) ข้อ (4) และข้อ (5)

## 6.3 การเตรียมการทดสอบ

6.3.1 ให้บันทึกรายละเอียดทั่วไปของเครื่องยนต์ (ดูภาคผนวก ก. ข้อ ก.1)

6.3.2 ปรับแต่งส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ก่อนทดสอบ แล้วบันทึกรายละเอียดไว้ (ดูภาคผนวก ก. ข้อ ก.2)

6.3.3 ติดตั้งอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนอื่น ๆ ที่จำเป็นสำหรับการทำงานของเครื่องยนต์ตามที่ผู้ทำกำหนด

6.3.4 ช่วงทดลองเครื่อง

ในกรณีการทดสอบเฉพาะแบบ อาจจำเป็นต้องมีช่วงทดลองเครื่องตามระยะเวลาและภาวะที่ผู้ทำกำหนด เว้นแต่จะตกลงกันเป็นอย่างอื่นระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

6.3.5 น้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่น

ให้บันทึกรายละเอียด ของน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่น (ดูภาคผนวก ก. ข้อ ก.3)

## 6.4 วิธีวัดค่าต่าง ๆ

ในการทดสอบแต่ละข้อต่อไปนี้ ให้บันทึกอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความดันบรรยากาศ เมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดสอบ

6.4.1 กำลังเครื่องยนต์และโมเมนต์บิด

ใช้ไดนาโมมิเตอร์ (แบบไฟฟ้า หรือใช้น้ำ หรือชนิดกลไกห้ามล้อ) ที่มีความแม่นยำที่ผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ 2 วัดกำลังของเครื่องยนต์และโมเมนต์บิดที่เพลาช้อเหวี่ยงหรือเพลาชับ

6.4.2 ความเร็วรอบ

ใช้เครื่องวัดรอบ ที่มีความแม่นยำที่ผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ 2 โดยวัดที่เพลาช้อเหวี่ยงหรือเพลาชับ

6.4.3 อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

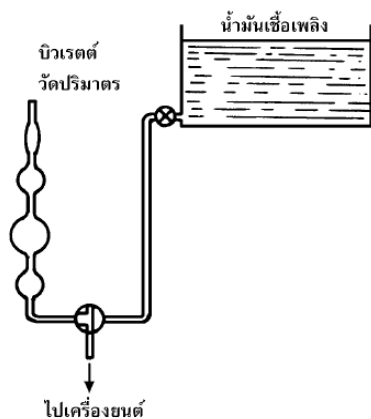
ชุดอุปกรณ์การวัดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ให้เป็นไปตามรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยบิวเรตต์หรือภาชนะอื่น สำหรับวัดปริมาตรน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ โดยบิวเรตต์ต้องมีปริมาตรบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อเดินเครื่องยนต์ ได้นานมากกว่า 10 วินาที หรือใช้อุปกรณ์วัดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีสมบัติเทียบเท่า

6.4.4 อุณหภูมิและอัตราการใช้น้ำหล่อเย็น

6.4.4.1 วัดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ทางเข้าและทางออก ของเครื่องยนต์ที่มีระบบน้ำหมุนเวียนด้วยปั๊มน้ำ

6.4.4.2 วัดอัตราการใช้น้ำหล่อเย็น โดยเติมน้ำเย็นทดแทนปริมาตรที่ใช้ไป

มอก. 787-2531



รูปที่ 1 การวัดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง  
(ข้อ 6.4.3)

- 6.4.5 อุณหภูมิและอัตราการใช้น้ำมันหล่อลื่น
- 6.4.5.1 วัดอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นที่กึ่งกลางความลึกของระดับน้ำมันหล่อลื่น
- 6.4.5.2 วัดอัตราการใช้น้ำมันหล่อลื่น โดยการเติมน้ำมันหล่อลื่นทดแทนปริมาตรที่ใช้ไป
- 6.4.6 อุณหภูมิและสีของควันไอเสีย  
วัดอุณหภูมิของควันไอเสียที่ปลายท่อไอเสียของเครื่องยนต์ ส่วนสีของควันไอเสียให้ใช้เครื่องวัดระบบบอชหรือเครื่องวัดระบบฮาร์ทริจ
- 6.4.7 จังหวะการฉีดน้ำมันของหัวฉีด  
หมุนเครื่องยนต์ด้วยมือ และบันทึกตำแหน่งการฉีดน้ำมัน ถ้าไม่สามารถทำได้ให้ใช้วิธีอื่นที่เหมาะสม
- 6.4.8 ระดับเสียง  
ใช้มาตรวัดระดับเสียงที่ปรับให้มีลักษณะความไวต่อรับเสียง “เอฟ” (time weighting characteristic “F”) ตำแหน่งของไมโครโฟนขณะวัด ต้องขนานกับฐานเครื่องยนต์และหันหน้าเข้าหาเครื่องยนต์ โดยให้ห่างจากตัวเครื่องยนต์เป็นระยะ 1 เมตร และสูงจากฐานเครื่อง 200 มิลลิเมตร ทั้งนี้ให้วัดทั้งหมด 4 จุดโดยรอบและให้รายงานผลเฉพาะค่าสูงสุด
- 6.5 การทดสอบข้อกำหนดทั่วไป  
เติมน้ำหล่อเย็นและน้ำมันหล่อลื่น ให้อยู่ในระดับตามที่คุณทำกำหนดและเติมน้ำมันเชื้อเพลิง ให้เพียงพอกับการทดสอบอย่างต่อเนื่อง ให้เครื่องยนต์ทำงานที่กำลังที่กำหนดต่อเนื่อง ตามเวลาที่กำหนดแล้วตรวจสอบระบบต่าง ๆ ดังนี้
- 6.5.1 ระบบระบายความร้อน
- 6.5.1.1 ในกรณีที่หม้อต้ม ให้ตรวจสอบระดับน้ำเมื่อเครื่องยนต์ทำงานไม่ต่ำกว่า 30 นาที แล้วปล่อยให้เครื่องยนต์เย็น อุปกรณ์ช็อบกระดบน้ำต้องไม่อยู่ที่ระดับต่ำสุด

## มอก. 787-2531

- 6.5.1.2 ในกรณีที่มีหม้อน้ำรังผึ้ง ให้ตรวจสอบระดับน้ำเมื่อเครื่องยนต์ทำงานไม่ต่ำกว่า 12 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เครื่องยนต์เย็น ระดับน้ำต้องไม่ลดต่ำกว่าส่วนบนของหลอดทางเดินน้ำ
- 6.5.2 ระบบหล่อลื่น  
ให้ตรวจสอบระดับน้ำมันหล่อลื่นเมื่อเครื่องยนต์ทำงาน อย่างน้อย 12 ชั่วโมง ระดับน้ำมันหล่อลื่นต้องไม่ลดต่ำกว่าขีดต่ำสุดของก้านวัดน้ำมันหล่อลื่น
- 6.5.3 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง  
ให้ตรวจสอบระดับน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อเครื่องยนต์ทำงานอย่างน้อย 3 ชั่วโมง ระดับน้ำมันเชื้อเพลิงต้องไม่ลดต่ำกว่าระดับต่ำสุดของหลอดดูระดับ
- 6.5.4 ล้อช่วยแรง  
ปรับตั้งความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้ได้ความเร็วรอบที่กำหนด คำนวณความไม่สม่ำเสมอของการหมุนของล้อช่วยแรงโดยใช้ค่าแตกต่างระหว่างความเร็วรอบสูงสุด กับความเร็วรอบต่ำสุดในช่วงเวลา 5 นาที เทียบกับความเร็วรอบที่กำหนด
- 6.6 การทดสอบการทำงานขณะมีโหลด
- 6.6.1 วิธีทดสอบ  
ติดตั้งไดนาโมมิเตอร์เข้ากับเครื่องยนต์แล้วให้ทำงานที่โหลดต่าง ๆ ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 2 ก่อนทดสอบต้องให้เครื่องยนต์ทำงานที่ภาวะเสถียร (stable condition)

ตารางที่ 2 โหลดและระยะเวลาที่ใช้ทดสอบ  
(ข้อ 6.6.1)

ลำดับ การทดสอบ	โหลด ร้อยละ	ระยะเวลา ที่ใช้ทดสอบ นาที	จำนวนครั้ง ที่ตรวจสอบ
1	100	20	1 ครั้ง ทุก ๆ 10 นาที
2	110	10	
3	75	10	
4	50	10	
5	25	10	
6	0	10	

หมายเหตุ โหลดร้อยละ 100 คือ โหลดเต็มที่

- 6.6.2 การรายงานผล  
บันทึกค่าต่าง ๆ และความผิดปกติของเครื่องยนต์ ตามภาคผนวก ก. ข้อ ก.3
- 6.7 การทดสอบการทำงานอย่างต่อเนื่อง
- 6.7.1 วิธีทดสอบ  
ให้เครื่องยนต์ทำงานที่กำลังที่กำหนดต่อเนื่อง โดยรักษาโหลดให้คงที่และไม่มีการปรับแต่ส่วนใด ๆ ของ

-8-

<sup>2</sup>มอก. 787-2551 เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กระบายความร้อนด้วยน้ำ, ห้องสมุด  
สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [ออนไลน์], 28 มิถุนายน /2553. แหล่งที่มา  
[http://app.tisi.go.th/standard/comp\\_tha.html](http://app.tisi.go.th/standard/comp_tha.html)

### ภาคผนวก ค

(ข้อมูลการตรวจสอบเพลาถูกเบี้ยว (B) ก่อนและหลังปรับปรุง)

ตารางที่ 1.๗ ข้อมูลการตรวจสอบชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยวก่อนและหลังการปรับปรุง 30 ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่	เพลาลูกเบี้ยว (B)	เพลาลูกเบี้ยว (B)
	ก่อนปรับปรุง 3.910 - 3.990 mm	หลังปรับปรุง 3.830 - 3.910 mm
1	3.966	3.870
2	3.941	3.872
3	3.962	3.874
4	3.949	3.866
5	3.942	3.872
6	3.957	3.865
7	3.945	3.868
8	3.955	3.878
9	3.946	3.868
10	3.953	3.873
11	3.947	3.866
12	3.941	3.865
13	3.952	3.865
14	3.940	3.878
15	3.950	3.872
16	3.949	3.881
17	3.960	3.871
18	3.948	3.866
19	3.953	3.876
20	3.944	3.876
21	3.946	3.876
22	3.956	3.868
23	3.944	3.873
24	3.962	3.872
25	3.944	3.872
26	3.953	3.867
27	3.942	3.882
28	3.954	3.871
29	3.965	3.865
30	3.952	3.866
X-Bar	3.950	3.871
STD	0.007	0.008

### ภาคผนวก ง

(ข้อมูลการตรวจสอบช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C) ก่อนและหลังปรับปรุง)



ตารางที่ 1.ง ข้อมูลการตรวจสอบชิ้นส่วนเพลาลูกเบี้ยวก่อนและหลังการปรับปรุง 30 ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่	ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)	ช่องว่างน้ำมันหล่อลื่น (C)
	ก่อนปรับปรุง 0.030 - 0.160 mm	หลังปรับปรุง 0.110 - 0.240 mm
1	0.078	0.174
2	0.103	0.164
3	0.080	0.171
4	0.095	0.185
5	0.102	0.171
6	0.086	0.171
7	0.098	0.183
8	0.089	0.165
9	0.096	0.169
10	0.089	0.178
11	0.097	0.178
12	0.102	0.188
13	0.092	0.178
14	0.103	0.173
15	0.095	0.164
16	0.095	0.162
17	0.082	0.171
18	0.096	0.185
19	0.090	0.161
20	0.099	0.169
21	0.097	0.160
22	0.086	0.183
23	0.099	0.170
24	0.082	0.166
25	0.098	0.180
26	0.090	0.183
27	0.101	0.163
28	0.089	0.165
29	0.079	0.179
30	0.091	0.185
X-Bar	0.093	0.173
STD	0.007	0.008

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอติเทพ ชูศรี เกิดเมื่อวันที่ 30 มกราคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2547 และได้เข้ารับการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2550