การบูรณาการการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า กับมาตรฐาน ISO/TS 16949 สำหรับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษา: โช้คอัพยานยนต์

ฐิติกานต์ วุ้นสีแซง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มีนาคม 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ ฐิติกานต์ วุ้นสีแซง ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร. ฤภูวัลย์ จันทรสา)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร. สิทธิพร พิมพ์สกุล)

.....กรรมการ
(ดร. ฤภูวัลย์ จันทรสา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรหาญ ลิลา)

.....กรรมการ
(ดร. ภาณุวัฒน์ ด่านกลาง)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)
วันที่ 16 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2559

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร. ฤภูวัลย์ จันทรสา อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่เสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ พนักงานและเพื่อนร่วมงาน บริษัท เควายบี เทคนิคอล เซ็นเตอร์ ประเทศไทย จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูล และความร่วมมือเป็นอย่างดีในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสุบรรณ คุณแม่สิริกร วุ้นสีแซง และน้อง ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

ฐิติกานต์ วุ้นสีแซง

54920439: สาขาวิชา: วิศวกรรมอุตสาหการ; วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)
คำสำคัญ: การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์/ ซิกซ์ ซิกม่าเพื่อการออกแบบ/ มาตรฐาน ISO/TS 16949/ โช้คอัพยานยนต์

ฐิติกานต์ วุ้นสีแซง: การบูรณาการการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า กับมาตรฐาน ISO/TS 16949 สำหรับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษา: โช้คอัพยานยนต์
(AN INTEGRATION OF DESIGN FOR SIX SIGMA AND ISO/TS 16949 FOR DESIGN PROCESS, CASE STUDY: VEHICLE SHOCK ABSORBER)
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: ฤภูวัลย์ จันทรสา, Ph.D., 130 หน้า. ปี พ.ศ. 2558.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอต้นแบบกระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์โช้คอัพยานยนต์ โดยการบูรณาการการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่าร่วมกับระบบบริหารคุณภาพมาตรฐาน ISO/TS 16949 ขั้นตอนการวิจัยเริ่มจาก การศึกษากระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา ขั้นที่ 2 จัดทำต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ตามขั้นตอน DMADV ของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่าโดยพิจารณาร่วมกับข้อกำหนดตามมาตรฐาน ISO/TS 16949 ขั้นที่ 3 ประยุกต์ใช้ต้นแบบที่นำเสนอกับผลิตภัณฑ์โช้คอัพยานยนต์ ซึ่งมีขั้นตอนหลัก ได้แก่ การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง (APQP) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA) การวางแผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype control plan) การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) การควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ และการอนุมัติชิ้นส่วนเพื่อการผลิต (PPAP) ผลการวิจัยพบว่า ต้นแบบที่พัฒนาขึ้น ช่วยส่งเสริมให้เกิดการออกแบบที่แข็งแกร่ง จากการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ได้แก่ ระบบการวัดแบบผันแปร (Variation) ที่ความผันแปรของอุปกรณ์ (*EV*) ความผันแปรของผู้วัด (*AV*) และความสามารถในการวัดซ้ำและประเมินซ้ำ (*GRR*) สำหรับเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบมีค่าความผันแปร น้อยกว่า 10% และระบบการวัดแบบคุณลักษณะ (Attribute) ที่มีค่าการวัดความสอดคล้องแบบ *kappa* คือ 0.97 และค่าความมีประสิทธิผล คือ 95% ซึ่งอยู่ในช่วงของเกณฑ์การยอมรับในระบบการวัด สำหรับการศึกษาความสามารถและสมรรถนะของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ได้ค่าดัชนี C_{pk} และ P_{pk} มากกว่า 2 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการออกแบบกรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์อยู่ในระดับ ซิกซ์ ซิกม่า

54920439: MAJOR: INDUSTRIAL ENGINEERING; M.ENG.
(INDUSTRIAL ENGINEERING)
KEYWORDS: PRODUCT DESIGN AND DEVELOPMENT/ DESIGN FOR SIX SIGMA/
ISO/TS 16949 STANDARD/ SHOCK ABSORBER

THITIKAN WUNSEESANG: AN INTEGRATION OF DESIGN FOR SIX SIGMA AND ISO/TS 16949 FOR DESIGN PROCESS, CASE STUDY: VEHICLE SHOCK ABSORBER. ADVISOR COMMITTEE: RUEPHUWAN CHANTRASA, Ph.D., 130 P. 2015.

The objective of this research was to propose a methodology for designing and developing a vehicle shock absorber by integrating the design for Six Sigma and quality standard ISO/TS 16949. The research began with studying the current product design processes of the case study company. In step 2, the methodology for designing and developing the product was developed employing the DMADV process of the design for Six Sigma and quality standard requirement of ISO/TS 16949. In step 3, the application of the methodology to the vehicle shock absorber was performed including Advanced Product Quality Planning (APQP), Design Failure Mode and Effects Analysis (DFMEA), Prototype control plan, Measurement System Analysis (MSA), Statistical Process Control (SPC), and Production Part Approval Process (PPAP). Result of this study showed that the methodology enhanced the robustness of the product design process. From the MSA analysis including equipment variation (EV), appraiser variation (AV), repeatability and reproducibility (GRR) for the testing equipment, the variation was lower than 10%. For the attribute measurement system, the kappa statistic was 0.97 with 95% effectiveness which was which was acceptable for the measurement system. For the process capability and performance, C_{pk} และ P_{pk} were upper 2 which indicated that the design process for vehicle shock absorber was within six sigma level.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญ 3

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 8

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8

ขอบเขตของการวิจัย 8

วิธีการวิจัย 9

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

ระบบรองรับยานยนต์ 10

การออกแบบ เพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า (DFSS) 13

ระบบบริหารคุณภาพมาตรฐาน ISO/TS 16949 18

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34

3 วิธีดำเนินการวิจัย 39

การศึกษากระบวนการออกแบบของกรณีศึกษา 40

การจัดทำต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ 47

การประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษา 55

4 ผลการวิจัย 58

การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง (APQP) 58

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA) 62

แผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ 67

การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) 74

การควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) 81

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	กระบวนการอนุมัติชิ้นส่วนเพื่อการผลิต (PPAP)	84
5	สรุปผลการวิจัย	87
	สรุปผลการวิจัย	87
	ข้อเสนอแนะ	91
บรรณานุกรม		92
ภาคผนวก		95
	ภาคผนวก ก	96
	ภาคผนวก ข	101
	ภาคผนวก ค	115
	ภาคผนวก ง	127
ประวัติย่อของผู้วิจัย		130

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	สภาพถนนกับความเร็วของลูกสูบโช้คอัพยานยนต์	12
3-1	การออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ในขั้นตอน DMADV กับมาตรฐาน ISO/TS 16949	47
3-2	เครื่องมือและทฤษฎีของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ตามขั้นตอน DMADV	49
3-3	ข้อกำหนดและเครื่องมือหลักของมาตรฐาน ISO/TS 16949 กับขั้นตอน DMADV	51
3-4	การใช้เครื่องมือในกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์	57
4-1	การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูงของกรณีศึกษา	61
4-2	รูปแบบของระบบการวัด	75
4-3	ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของกระบอกสูบ	77
4-4	ลักษณะคุณภาพสำหรับควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ	81
5-1	สรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบผันแปร	88
5-2	สรุปความเห็นพร้องระหว่างผู้วัดกับค่าอ้างอิง	89
5-3	ประสิทธิผลการวัดแบบคุณลักษณะ	89
5-4	ความสามารถการควบคุมเชิงตรวจจับ	90
5-5	ความสัมพันธ์ของดัชนีความสามารถกับระดับซิกม่า	91

สารบัญภาพ

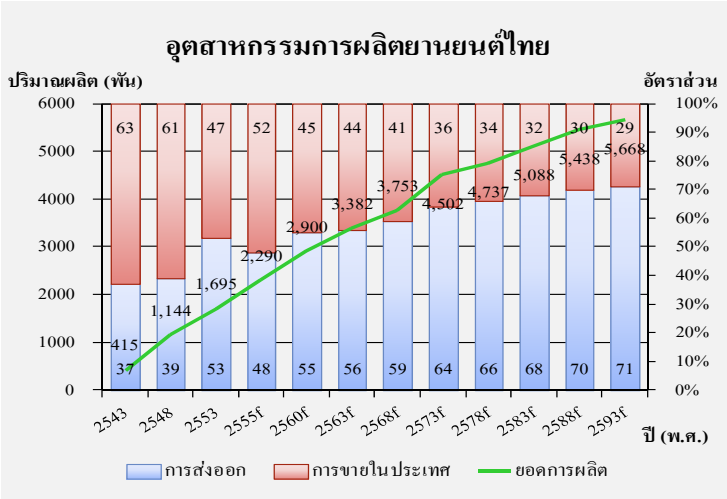
ภาพที่		หน้า
1-1	การคาดการณ์การขยายตัวอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ไทย ถึงปี พ.ศ. 2593	1
1-2	แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาวิสัยทัศน์อุตสาหกรรมยานยนต์ไทย	2
1-3	การก่อตั้งศูนย์ วิจัย และพัฒนา กรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ ปี พ.ศ. 2547	4
1-4	แผนงานการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า	6
1-5	โครงสร้างระบบบริหารคุณภาพมาตรฐาน ISO/TS 16949	7
2-1	การทำงานของระบบรองรับขณะยานยนต์เคลื่อนที่	11
2-2	หลักการทำงานของโช้คอัพยานยนต์	12
2-3	ขั้นตอนดำเนินการของ ซิกซ์ ซิกม่า	13
2-4	การดำเนินการของการออกแบบ เพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ตามขั้นตอน DMADV	16
2-5	รูปแบบกระบวนการบริหารคุณภาพ	18
2-6	ผังเวลาการวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง	20
3-1	ขั้นตอนดำเนินการวิจัยการบูรณาการ ซิกซ์ ซิกม่า กับมาตรฐาน ISO/TS 16949	39
3-2	สามขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์	40
3-3	ขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ	41
3-4	ขั้นตอนการพัฒนาต้นแบบโช้คอัพยานยนต์	42
3-5	ชิ้นส่วนประกอบภายในโช้คอัพยานยนต์	43
3-6	ต้นแบบโช้คอัพยานยนต์สำหรับงานปรับแรงดันต้าน	43
3-7	การทดสอบเสถียรภาพการขับขี่ของงานปรับแรงดันต้าน	44
3-8	ขั้นตอนการพัฒนากระบวนการก่อนการผลิตจริง	45
3-9	ต้นแบบโช้คอัพสำหรับทดสอบความน่าเชื่อถือ	45
3-10	เครื่องทดสอบความน่าเชื่อถือสำหรับโช้คอัพยานยนต์	46
3-11	การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูงกับเครื่องมือหลัก	50
3-12	แนวทางการดำเนินการออกแบบผลิตภัณฑ์ตามขั้นตอน DMADV	52
3-13	ต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์	53
3-14	การประยุกต์ใช้ต้นแบบกระบวนการออกแบบกับกรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์	55
4-1	กรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์นั่งส่วนบุคคล รุ่นปี พ.ศ. 2559	59
4-2	แผนผังตัวแปรสำหรับวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ	63

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-3	การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบเบื้องต้น	64
4-4	การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของกระบอกสูบ	67
4-5	แผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบของกรณีศึกษา	68
4-6	การวัดความหยาบผิวในของกระบอกสูบ	69
4-7	การวัดความหยาบผิวนอกของแกนลูกสูบ	69
4-8	การวัดความสูงของรอยเชื่อมของกระบอกนอก	70
4-9	การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของฝาปิด	70
4-10	การวัดความสูงรวมของยางรองลูกสูบ	71
4-11	การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของซีลน้ำมัน	71
4-12	การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของตัวนำลูกสูบ	72
4-13	เครื่องทดสอบแรงดันต้าน	72
4-14	ห้องปฏิบัติการทดสอบเสียงรบกวน	73
4-15	ต้นแบบโช้คอัพยานยนต์หลังการทดสอบความคงทน	73
4-16	การทดสอบการใช้งานจริง	74
4-17	ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบการวัด	74
4-18	การวิเคราะห์ระบบการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของกระบอกสูบ	76
4-19	ตัวอย่างต้นแบบโช้คอัพยานยนต์สำหรับศึกษาระบบการวัดแบบคุณลักษณะ	77
4-20	การวิเคราะห์ระบบการวัดของความสอดคล้องแบบ *kappa*	78
4-21	การประมาณการสำหรับการกระจายตัวของข้อมูลที่คาดหวัง	79
4-22	ความมีประสิทธิผลของระบบการวัดเชิงคุณลักษณะ	80
4-23	กระบวนการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของกระบอกสูบ	82
4-24	การทดสอบความคงทนของฐานรองสปริง	83
4-25	การตรวจสอบการรั่ว รอยแตก และการเสียรูป	84
4-26	รายการเอกสารสำหรับกระบวนการอนุมัติชิ้นส่วนเพื่อการผลิต	86

บทที่ 1
บทนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทย มีการขยายขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน เนื่องจากความสำเร็จในการส่งเสริมของนโยบายภาครัฐ การเติบโตและการขยายตัวของเศรษฐกิจในภาคอุตสาหกรรมยานยนต์ ส่งผลให้ประเทศไทยมีกำลังการผลิตยานยนต์ที่เพิ่มมากขึ้นจากผู้ประกอบการผลิตยานยนต์ทั้ง 3 ทวีป โดยทวีปเอเชียมีประเทศญี่ปุ่นเป็นหลัก ได้แก่ บริษัท โตโยต้า นิสสันมาสด้า มิตซูบิชิ อีซูซุ ฮอนด้า และฮีโน่ ทวีปอเมริกามีสหรัฐอเมริกาเป็นหลัก ได้แก่ เจเนอรัลมอเตอร์ และฟอร์ด และทวีปยุโรป ได้แก่ บีเอ็มดับบลิว เบนซ์ และวอลโว่ ซึ่งสอดคล้องกับการคาดการณ์การขยายตัวของอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ไทย แสดงดังภาพที่ 1-1

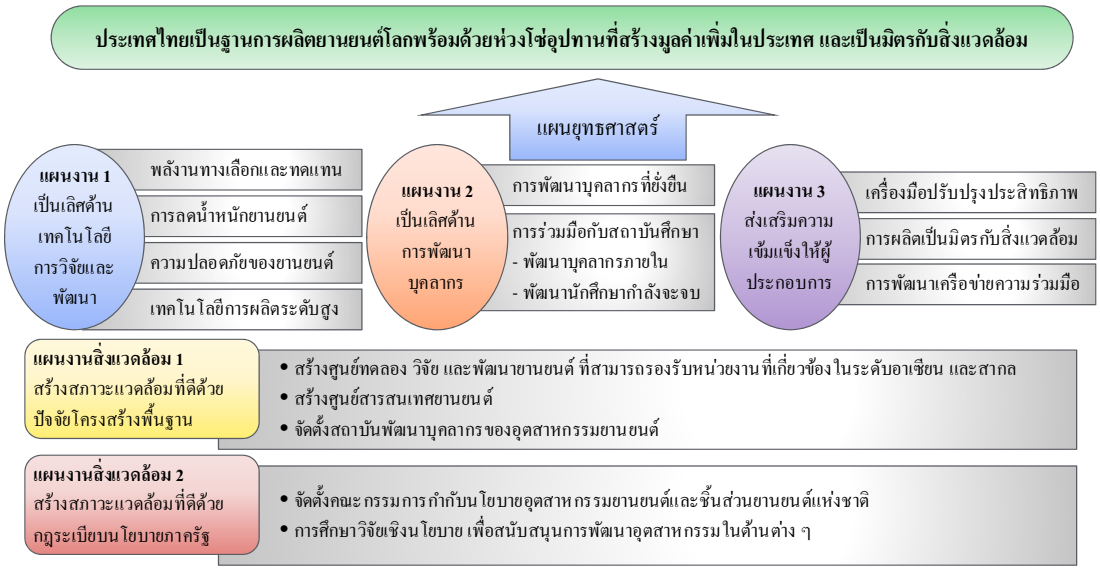


ภาพที่ 1-1 การคาดการณ์การขยายตัวอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ไทย ถึงปี พ.ศ. 2593 (สถาบันยานยนต์, 2555)

แผนยุทธศาสตร์สำหรับพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จึงมีความจำเป็นต้องเป็นฐานการผลิต ที่มีการวิจัยและพัฒนายานยนต์ เพื่อให้สอดคล้องกับแนวโน้มเทคโนโลยียานยนต์ในอนาคต และเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มภายในโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยมีการสนับสนุนอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ภายในประเทศให้มีความแข็งแกร่ง และมีความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยี การวิจัยและพัฒนา เพื่อเป็นแรงขับเคลื่อนด้านการยกระดับขีดความสามารถการแข่งขันอุตสาหกรรมผลิตยานยนต์ และอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วน

นอกเหนือจากการพัฒนาเทคโนโลยีเพิ่มเติมด้านกระบวนการผลิตเพียงอย่างเดียว จากการส่งเสริมของภาครัฐให้ผู้ประกอบการมีความสามารถในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ทันต่อเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลง ก็จะทำให้สามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนของไทยในระดับโลก

แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาไปสู่วิสัยทัศน์อุตสาหกรรมยานยนต์ไทย เพื่อยกระดับความสำเร็จของแผนแม่บทอุตสาหกรรมยานยนต์ ประกอบด้วยกลยุทธ์หลัก จากความเป็นเลิศในแผนยุทธศาสตร์ 3 ด้าน และแผนงานสิ่งแวดล้อมที่ดี 2 ประการ แสดงดังภาพที่ 1-2



ภาพที่ 1-2 แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาวิสัยทัศน์อุตสาหกรรมยานยนต์ไทย (สถาบันยานยนต์, 2555)

1. แผนยุทธศาสตร์ที่ 1 การส่งเสริมความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีการวิจัยและพัฒนา โดยการยกระดับขีดความสามารถ ที่มุ่งเน้นความเป็นเลิศในการพัฒนาเทคโนโลยีและการวิจัย เพิ่มเติมจากวิศวกรรมการผลิตโดยส่งเสริมการวิจัยด้านพลังงานทางเลือก พลังงานทดแทน การลดน้ำหนักของยานยนต์ ความปลอดภัยของยานยนต์ และการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูง

2. แผนยุทธศาสตร์ที่ 2 การส่งเสริมความเป็นเลิศด้านการพัฒนาบุคลากร โดยยกระดับฝีมือแรงงานระดับสูง ในระดับหัวหน้างาน ระดับวิศวกรทดสอบวิจัยและพัฒนา ตลอดจนผู้บริหารสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยดำเนินการโครงการพัฒนาบุคลากรที่ยั่งยืน ที่มุ่งเน้นการพัฒนาระบบการฝึกอบรม หลักสูตร วิทยากร และจัดตั้งศูนย์อบรมในสถานประกอบการ

3. แผนยุทธศาสตร์ที่ 3 การส่งเสริมความเข้มแข็งของผู้ประกอบการ เพื่อมุ่งเน้นความเป็นเลิศของกระบวนการผลิตอย่างยั่งยืน โดยการยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับผู้ประกอบการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ให้สามารถก้าวเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนในโซ่อุปทานระดับโลก โดยการมีโซ่อุปทานในประเทศทั้งระบบ รวมถึงมีกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Green manufacturing)

4. แผนงานสิ่งแวดล้อมที่ 1 การสร้างสภาวะแวดล้อมที่ดีด้วยปัจจัยโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) เพื่อรองรับแผนยุทธศาตร์ที่ 1 ถึงแผนยุทธศาสตร์ที่ 3 ซึ่งสิ่งที่ต้องจัดให้มีขึ้นอย่างเต็มรูปแบบ คือ การมีศูนย์ทดสอบ วิจัย และพัฒนายานยนต์ ศูนย์สารสนเทศยานยนต์ และสถาบันบุคลากรอุตสาหกรรมยานยนต์อย่างเต็มรูปแบบ เพื่อเป็นฐานในการสนับสนุนความร่วมมือระหว่างภาครัฐและภาคเอกชน สำหรับโครงการพื้นฐานที่สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีในอนาคต

5. แผนงานสิ่งแวดล้อมที่ 2 การสร้างสภาวะแวดล้อมที่ดีด้วยกฎระเบียบนโยบายภาครัฐ (Policy Integration) เป็นแรงขับเคลื่อนในด้านสร้างความได้เปรียบโดยเปรียบเทียบในการเพิ่มขีดความสามารถ ด้วยกฎระเบียบนโยบายและมาตรตราการของรัฐที่เอื้ออำนวย ตลอดจนการส่งเสริมภาพลักษณ์ของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย และการสนับสนุนการสร้างสินค้าไทยให้เป็นที่ยอมรับทั่วโลกในด้านคุณภาพ และมีมาตรฐานสากล (สถาบันยานยนต์, 2555)

ความเป็นมาและความสำคัญ

จากแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาวิสัยทัศน์อุตสาหกรรมยานยนต์ไทย สู่แผนปฏิบัติการเพื่อสนับสนุนแผนยุทธศาสตร์อุตสาหกรรม โดยมีกลุ่มเป้าหมาย คือ ผู้ประกอบการยานยนต์ประเภทรถยนต์นั่ง รถปิคอัพ รถบรรทุกใหญ่ รถโดยสาร รถจักรยานยนต์ และรถเพื่อการใช้งานพิเศษ รวมถึงผู้ผลิตชิ้นส่วนมาตรฐาน (Original Equipment Manufacturing: OEM) และชิ้นส่วนเพื่อทดแทน (Replacement Equipment Manufacturing: REM) ตลอดจนภาคการศึกษาและสถาบันวิจัยต่าง ๆ

การเริ่มดำเนินการตามโครงการสำหรับโครงสร้างพื้นฐาน ตัวอย่างเช่น สำนักงานใหญ่ของโตโยต้าประจำภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก สนับสนุนด้านการวิจัยและพัฒนา วิศวกรรมการผลิต และการบริหารจัดการด้านชิ้นส่วน โดยรวมกับ โตโยต้า เทคนิคอล เซ็นเตอร์ เอเชีย แปซิฟิค ได้ก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2546 เพื่อเป็นศูนย์การวิจัยและพัฒนาแห่งที่ 3 ของโตโยต้านอกจากประเทศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และยุโรป การสนับสนุนด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีภายใต้ 4 ขอบเขตการวิจัยหลัก คือ การวางแผนผลิตภัณฑ์ การออกแบบวิศวกรรม การทดสอบและการประเมินด้านประสิทธิภาพ และการส่งเสริมการใช้ชิ้นส่วนภายในประเทศ (ประชาชาติธุรกิจ, 2558)

บริษัทกรณีศึกษา ก่อตั้งขึ้น ปี พ.ศ. 2547 เพื่อเป็นศูนย์ วิจัย และพัฒนาโช้คอัพยานยนต์ (Shock Absorber: SA) ที่เป็นชิ้นส่วนมาตรฐาน (OEM) และชิ้นส่วนทดแทน (REM) เพื่อสนับสนุนวิศวกรรมการผลิตโช้คอัพยานยนต์ และบริหารจัดการชิ้นส่วนให้กับผู้ประกอบยานยนต์ และเป็นศูนย์ วิจัย และพัฒนาอีกแห่ง นอกจากประเทศญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และยุโยป แสดงดังภาพที่ 1-3

ภาพที่ 1-3 การก่อตั้งศูนย์ วิจัย และพัฒนา กรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ ปี พ.ศ. 2547

จากภาพที่ 1-3 แสดงการก่อตั้งบริษัทกรณีศึกษา สำหรับวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนประเภทโช้คอัพยานยนต์ ในการสนับสนุนกระบวนการผลิตชิ้นส่วนในโซ่อุปทาน ซึ่งการดำเนินการก่อตั้งนั้น มีความสอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์อุตสาหกรรมยานยนต์ไทย ได้แก่

แผนยุทธศาสตร์ที่ 2 การส่งเสริมความเป็นเลิศด้านการพัฒนาบุคลากร ซึ่งมีการฝึกอบรมเกี่ยวกับการวิจัย และพัฒนา โช้คอัพยานยนต์ที่ประเทศญี่ปุ่นในระดับวิศวกร มีการออกกฎระเบียบภาครัฐโดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (Borad of Investment: BOI) ว่าด้วย องค์กรที่ได้นำช่างฝีมือผู้ชำนาญการจากต่างชาติเข้ามาปฏิบัติการ ต้องมีแผนงานการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับพนักงานระดับสูง โดยต้องมีรายละเอียดการฝึกอบรม คือ หัวข้อของความรู้ ผู้รับการฝึกอบรม และช่วงเวลาที่ใช้ในการฝึกอบรม

แผนยุทธศาสต์ที่ 3 การส่งเสริมความเข้มแข็งของผู้ประกอบการ โดยมีแผนงานโครงการพัฒนาผู้ประกอบการในห่วงโซ่อุปทานสู่ความยั่งยืน คือ การพัฒนาผลิตภาพด้วยเครื่องมือในการปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพ การพัฒนากระบวนการผลิตที่สะอาดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และการพัฒนาเคลือข่ายความร่วมมือ ซึ่งเป็นผลที่ได้ในเชิงคุณภาพในความท้าทายของเศรฐกิจ ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีพลวัต สำหรับดำเนินการในบริษัทกรณีศึกษาซึ่งเป็นหนึ่งในผู้วิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนยานยนต์ในโซ่อุปทาน

แผนงานสิ่งแวดล้อมที่ 1 การสร้างสภาวะแวดล้อมที่ดีด้วยปัจจัยโครงสร้างพื้นฐาน โดยมีแผนงาน คือ การสร้างศูนย์วิจัยและพัฒนาโช้คอัพยานยนต์ที่มีขอบเขต เพื่อรองรับด้านการวิจัย และพัฒนาเทคโนโลยีรักษ์โลก เพื่อรองรับการดำเนินการในระดับอาเซียนและระดับสากล ให้สามารถรองรับโครงการด้านการวิจัยสนับสนุนกระบวนการผลิตโช้คอัพยานยนต์

การก่อตั้งบริษัทกรณีศึกษา มีความสอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์อุตสาหกรรมยานยนต์ไทย คือ แผนยุทธ์ศาสตร์ ข้อ 2 และข้อ 3 รวมถึงแผนงานสิ่งแวดล้อมที่ 1 ซึ่งปัจจุบันยังไม่สามารถดำเนินการที่ครบถ้วนตามแผนยุทธศาสตร์ทั้งหมด คือ ทวนสอบการออกแบบผลิตภัณฑ์ในด้านการตรวจสอบขนาดชิ้นส่วน และทดสอบความน่าเชื่อถือต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ รวมถึงประสานงานการส่งมอบข้อมูลระหว่างบริษัทแม่ประเทศญี่ปุ่นกับบริษัทผู้ผลิต ซึ่งบริษัทกรณีศึกษายังไม่สามารถดำเนินการวิจัยและพัฒนาโช้คอัพยานยนต์ได้อย่างเต็มรูปแบบ เนื่องจากยังรับข้อมูลผลิตภัณฑ์จากที่ประเทศญี่ปุ่น เช่น ความต้องการของลูกค้า ข้อกำหนดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ข้อกำหนดด้านสมรรถนะและความน่าเชื่อถือ การวิเคราะห์ความเสี่ยงจากการออกแบบ และการดำเนินการอื่น ๆ ที่จำเป็นสำหรับวิจัยและพัฒนาดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมให้บริษัทกรณีศึกษา มีความสามารถในการวิจัยและพัฒนาโช้คอัพยานยนต์ได้อย่างเต็มรูปแบบ การนำเสนอการบูรณาการแนวความคิด ซิกซ์ ซิกม่า กับมาตรฐาน ISO/TS 16949 สำหรับวิจัยและพัฒนาโช้คอัพยานยนต์ได้อย่าง มีประสิทธิผล และเป็นมาตรฐานสากล ตามแผนยุทธศาสตร์อุตสาหกรรมยานยนต์ไทย ดังนี้

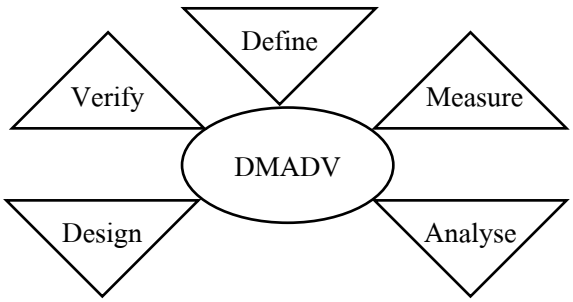
1. การออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า (Design for Six Sigma: DFSS)

ซิกซ์ ซิกม่า เป็นระบบการบริหารที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1990 โดยวิศวกรบริษัทโมโตโรล่า ซึ่งเป็นผู้ได้ริเริ่มแนวคิดนี้ และนำไปใช้กับกระบวนการออกแบบผลิตัภัณฑ์ของบริษัทที่ประสบผลสำเร็จอย่างสูง ต่อมาบริษัทต่าง ๆ ในสหรัฐอเมริกาจึงได้นำแนวความคิดบริหารจัดการแบบซิกซ์ ซิกม่า เข้ามาใช้และประสบความสำเร็จสามารถลดค่าใช้จ่ายของบริษัทได้อย่างมาก ซึ่งโอกาสการเกิดความผิดพลาดเพียง 3.4 ครั้งต่อล้านครั้ง ข้อผิดพลาดในที่นี้ คือ สิ่งที่ไม่เป็นไปเป็นไปได้ตามเป้าหมายของกระบวนการผลิตและบริการ (Kai, 2003)

จากแผนยุทธศาสตร์ที่ 1 การส่งเสริมความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีการวิจัยและพัฒนาสำหรับการดำเนินการสำรวจข้อมูลหัวข้องานวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี กับอุตสาหกรรมยานยนต์ให้สอดคล้องกับทิศทางการพัฒนาเทคโนโลยีอนาคต รวมถึงการจัดทำแผนเพื่อกำหนดแนวทางในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี ดังนั้นการที่เป็นศูนย์วิจัยและพัฒนาโช้คอัพยานยนต์นั้น จึงต้องมีการดำเนินการที่สอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์ที่ 1 โดยการประยุกต์ใช้เทคนิค การออกแบบเพื่อซิกซ์ ซิกม่า (DFSS) ในการพัฒนาความเป็นเลิศ ซึ่งมีการกำหนดแนวทางต่าง ๆ ได้แก่ ด้านการสื่อสาร นโยบาย กลยุทธ์ การสร้างแรงจูงใจ การจัดสรรทรัพยากร และอื่น ๆ

ให้เหมาะสมกับการปรับปรุงให้เป็นระบบอย่างต่อเนื่องและเหมาะสม โดยมุ่งเน้นที่การมีส่วนร่วมของพนักงาน

เป้าหมายหลักของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า (DFSS) สำหรับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องตามความต้องการของลูกค้า การที่สามารถบรรลุเป้าหมายดังกล่าวได้จะต้องศึกษาความคาดหวังของลูกค้า สมรรถนะ และความสามารถกระบวนการขององค์กร สำหรับการพัฒนานวัตกรรมตามการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า (DFSS) ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลักสำหรับใช้ในการดำเนินการ แสดงดังภาพที่ 1-4 (จิรายุ จิตเจือจุน, 2555)



ภาพที่ 1-4 แผนงานการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า (Devendra, Taqui, & Prasad, 2015)

จากภาพที่ 1-4 แผนงานการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า (DFSS) ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการ กำหนด (Define: D) วัดผล (Measure: M) วิเคราะห์ (Analyse: A) ออกแบบ (Design: D) และทวนสอบ (Verify: V) หรือเรียกว่าขั้นตอน DMADV ของการออกแบบ (Gregory, 2003)

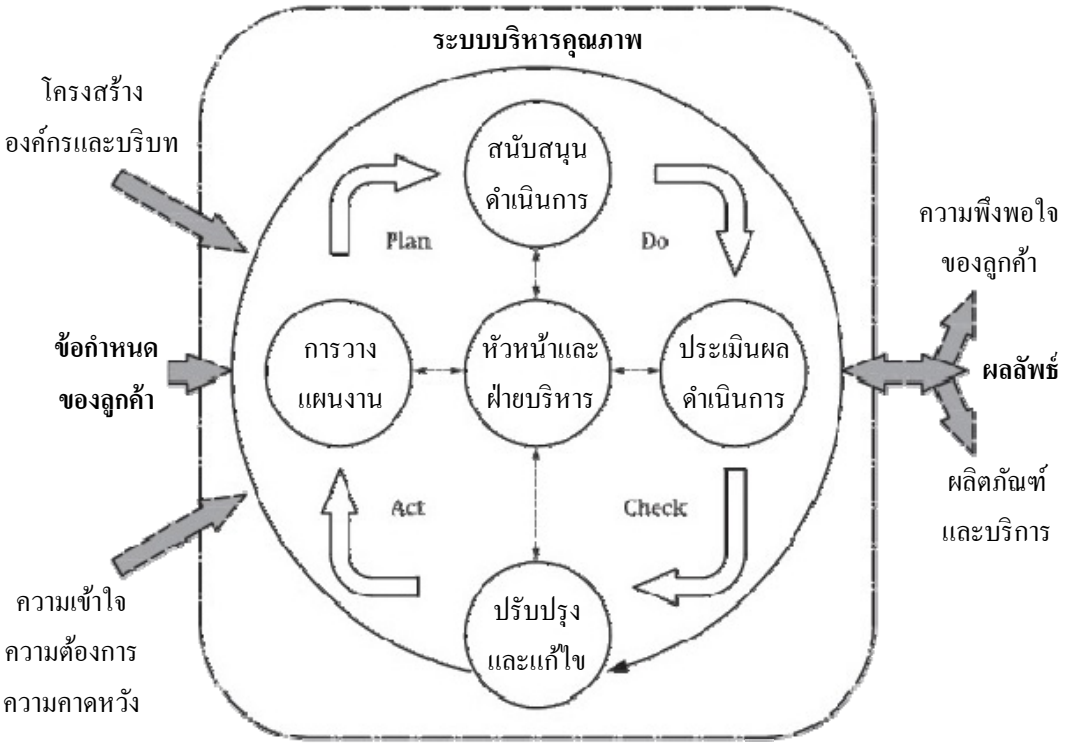
การนำการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า (DFSS) ตามขั้นตอน DMADV มาใช้กับบริษัทของกรณีศึกษานั้น เพื่อช่วยลดความผันแปร (Variation) ในการวิจัย และพัฒนาโช้คอัพยานยนต์ สำหรับการดำเนินการได้อย่างเต็มรูปแบบ และเป็นระบบ ช่วยให้เป็นกระบวนการออกแบบที่แข่งแกร่ง

2. ระบบบริหารคุณภาพมาตรฐาน ISO/TS 16949

ระบบบริหารคุณภาพมาตรฐาน ISO/TS 16949 เป็นมาตรฐานสากลที่มีข้อกำหนดเฉพาะทางเทคนิค ใช้สำหรับกำหนดระบบบริหารคุณภาพที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ทั่วโลก โดยมีพื้นฐานมาจากมาตรฐานอุตสาหกรรมยานยนต์ที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความซ้ำซ้อนในการขอการรับรองระบบบริหารคุณภาพของมาตรฐาน ISO/TS 16949 (สถาบันรับรองมาตรฐานไอเอสโอ [สรอ.], 2556)

จากแผนงานสิ่งแวดล้อมที่ 2 การสร้างสภาวะแวดล้อมที่ดีด้วยนโยบายของภาครัฐ ในการกำหนดกฎระเบียบและนโยบายให้สอดคล้องต่อทิศทางอุตสาหกรรมยานยนต์ที่มีเป้าหมายเดียวกัน สำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ และให้เป็นที่ยอมรับทั่วโลกในด้านคุณภาพ ซึ่งมีมาตรฐานการปฏิบัติงานในระดับสากล (สถาบันยานยนต์, 2555)

เพื่อให้เกิดความมั่นใจด้านคุณภาพของชิ้นส่วนที่ส่งมอบซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของการผลิตยานยนต์ และความเชื่อมั่นของลูกค้า ดังนั้น การรับรองมาตรฐาน ISO/TS 16949 จึงเท่ากับเป็นการรับรองคุณภาพในการผลิตว่าสามารถผลิตได้ตามข้อกำหนดของลูกค้า และสามารถส่งมอบชิ้นส่วนให้ผู้ผลิตยานยนต์ได้ในระดับสากล



ภาพที่ 1-5 โครงสร้างระบบบริหารคุณภาพมาตรฐาน ISO/TS 16949 (สรอ., 2556)

จากภาพที่ 1-5 โครงสร้างระบบบริหารคุณภาพ ISO/TS 16949 ประกอบด้วยขั้นตอนดำเนินการวางแผน (Plan: P) ปฏิบัติ (Do: D) ตรวจสอบ (Check: C) และปรับปรุง (Action: A) หรือที่เรียกว่าเป็นวงจร PDCA สำหรับปรับปรุงอย่างต่อเนื่องโดยมีการจัดทำเป็นข้อกำหนดเฉพาะทางเทคนิคเกี่ยวกับ ระบบบริหารคุณภาพที่เป็นมาตรฐานสำหรับการปฏิบัติ ด้านความรับผิดชอบด้านการบริหาร การบริหารทรัพยากร การสร้างผลิตภัณฑ์ การวัด การวิเคราะห์ และปรับปรุง

แม้ว่าขณะนี้มาตรฐาน ISO/TS 16949 จะได้รับการยอมรับเฉพาะในกลุ่มผู้ผลิตยานยนต์ในอเมริกา และยุโรป ในขณะที่ผู้ผลิตชิ้นส่วนของไทยในปัจจุบัน ส่วนใหญ่มีการส่งมอบชิ้นส่วนให้กับผู้ผลิตยานยนต์จากญี่ปุ่น ซึ่งยังไม่มีนโยบายบังคับใช้มาตรฐาน ISO/TS 16949 การนำเสนอระบบมาตรฐานดังกล่าวเข้ามาใช้กับบริษัทของกรณีศึกษา ก็เพื่อช่วยให้มีการบริหารจัดการได้อย่างเป็นระบบ และทำให้บริษัทสามารถบริหารจัดการ เพื่อเป็นการยกระดับการวิจัย และพัฒนาโช้คอัพยานยนต์ สนับสนุนการผลิตชิ้นส่วนไปสู่ระดับสากล และเพื่อสร้างความพร้อมในการรับกับการจัดการชิ้นส่วนจากฐานการผลิตยานยนต์จากประเทศต่าง ๆ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อจัดทำต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยบูรณาการ การออกแบบเพื่อซิกซ์ ซิกม่า ตามขั้นตอน DMADV กับระบบบริหารคุณภาพมาตรฐาน ISO/TS 16949
2. เพื่อประยุกต์ใช้ต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ กับกรณีศึกษากระบวนการออกแบบโช้คอัพยานยนต์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับระบบบริหารคุณภาพ ที่สามารถประยุกต์ใช้ได้กับอุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมอื่น ๆ
2. มีวิธีการที่ใช้ควบคุมระดับความผันแปรของชิ้นส่วน สมรรถนะ และความคงทนของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ให้อยู่ในระดับ ซิกซ์ ซิกม่า และตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า
3. ได้ผลดำเนินการปรับปรุงกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ที่สอดคล้องกับระบบบริหารคุณภาพมาตรฐาน ISO/TS 16949

ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัย การบูรณาการการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า กับมาตรฐาน ISO/TS 16949 สำหรับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ได้แก่

1. ทวนสอบต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ที่มีระดับของสมรรถนะ และขนาดของชิ้นส่วนที่สอดคล้องกับข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ของลูกค้า
2. กรณีศึกษาต้นแบบโช้คอัพยานยนต์นั่งส่วนบุคคล สำหรับคู่หน้ารุ่นปี พ.ศ. 2559

วิธีการวิจัย

1. กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของกระบวนการออกแบบโช้คอัพ ที่ได้จากการเก็บข้อมูลขั้นตอนดำเนินการ

2. ศึกษาขั้นตอนดำเนินการออกแบบโช้คอัพของบริษัทกรณีศึกษา และรวบรวมข้อมูล

3. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ ขั้นตอนดำเนินการของบริษัทกรณีศึกษา การออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า และระบบบริหารคุณภาพตามมาตรฐาน ISO/ TS 16949

4. ออกแบบและกำหนดขั้นตอนดำเนินการบูรณาการการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า กับระบบบริหารคุณภาพมาตรฐาน ISO/TS 16949 เพื่อเป็นต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์

5. ประยุกต์ใช้ต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์กับกรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์

6. สรุปผลการประยุกต์ใช้ต้นแบบจากการบูรณาการ และประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้ต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์กับกรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์

7. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการนำทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วย ระบบรับน้ำหนัก (Suspension System) การออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า (DFSS) ระบบบริหารงานคุณภาพมาตรฐาน ISO/TS 16949 และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อการนำมาจัดทำต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ใช้กับกรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ (Vehicle shock absorber) ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับการดำเนินงาน การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีขั้นตอนดำเนินการ ดังต่อไปนี้

1. ระบบรองรับยานยนต์
2. การออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า (DFSS)
3. ระบบบริหารคุณภาพมาตรฐาน ISO/TS 16949
4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

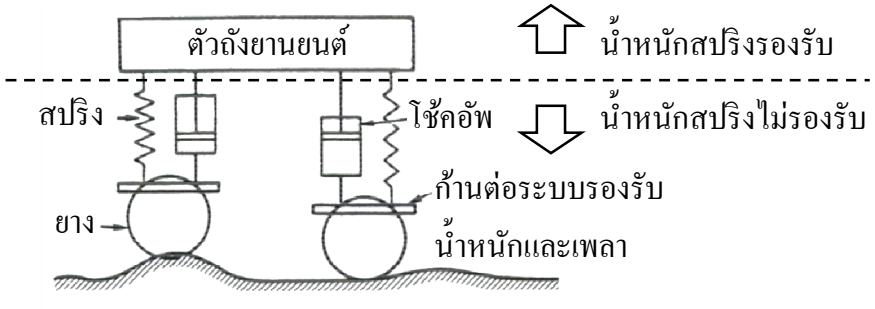
ระบบรองรับยานยนต์

สภาพของพื้นผิวถนนที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของยานยนต์มีความราบเรียบไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นยานยนต์ต้องมีระบบรองรับน้ำหนัก ที่ทำหน้าที่ดูดซับการสั่นสะเทือน การส่าย และการกระแทกที่เกิดขึ้นจากผิวของถนน ส่งผลให้ผู้โดยสารและสัมภาระที่บรรทุกได้รับความปลอดภัย ช่วยให้ยานยนต์มีเสถียรภาพการขับขี่ที่ดี รวมถึงรับการถ่ายทอดแรงขับเคลื่อน แรงเบรก เนื่องจากความฝืดระหว่างผิวถนนและล้อส่งผ่านตัวถัง โช้คอัพยานยนต์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบรองรับการสั่นสะเทือน มีส่วนประกอบหลัก คือ สปริง (Spring) และกระบอกบรรจุของไหล (Damping) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่บ่งชี้สมรรถนะของระบบช่วงล่าง การปรับคุณสมบัตินั้นอาจทำได้โดยการปรับค่าความแข็งของสปริง หรือการปรับกลไกภายในกระบอกบรรจุของไหล ที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน ช่วยส่งผลให้ยานยนต์มีเสถียรภาพและความนิ่มนวลในการขับขี่ดีขึ้น (เขมพัฒน์ ตันติวัฒนกูล และประเมธ สิริวีระพันธุ์, 2552)

โช้คอัพยานยนต์เป็นชิ้นส่วนที่มีความสำคัญของระบบรองรับ ที่เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของการขับขี่ และการควบคุมยานยนต์แต่ละประเภท เช่น รถแข่ง รถไต่เขา และรถยนต์หรู ดังนั้นการออกแบบระบบรองรับของรถยนต์ จึงต้องมุ่งเน้นไปที่คุณสมบัติของแรงดันต้าน (Damping force) ภายในกระบอกสูบบรรจุของไหลที่เหมาะสมกับยานยนต์แต่ละประเภท (Carl, 2008)

1. การสั่นสะเทือนของตัวถังยานยนต์ (Oscillation of body)

สาเหตุที่ตัวถังเกิดการสั่นสะเทือนขึ้น เป็นผลสืบเนื่องมาจากน้ำหนักรถ น้ำหนักบรรทุก และสภาพของพื้นผิวถนน ซึ่งเป็นสาเหตุเนื่องจาก น้ำหนักสปริงรองรับ (Sprung weight) คือ ตัวถังของยานยนต์รวมถึงส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ถูกรองรับด้วยสปริง และในทิศทางตรงกันข้าม ส่วนที่สปริงไม่รองรับ เช่น ล้อ เพลา และส่วนอื่น ๆ เรียกว่าน้ำหนักสปริงไม่รองรับ (Unsprung weight) กล่าวได้ว่าถ้าน้ำหนักสปริงรองรับมีค่าสูงกว่าน้ำหนักสปริงไม่รองรับ ทำให้เกิดการขับขี่ที่นิ่มนวล และมีเสถียรภาพที่ดี ไม่มีแรงเหวี่ยง และแรงกระแทกในห้องโดยสาร แสดงดังภาพที่ 2-1



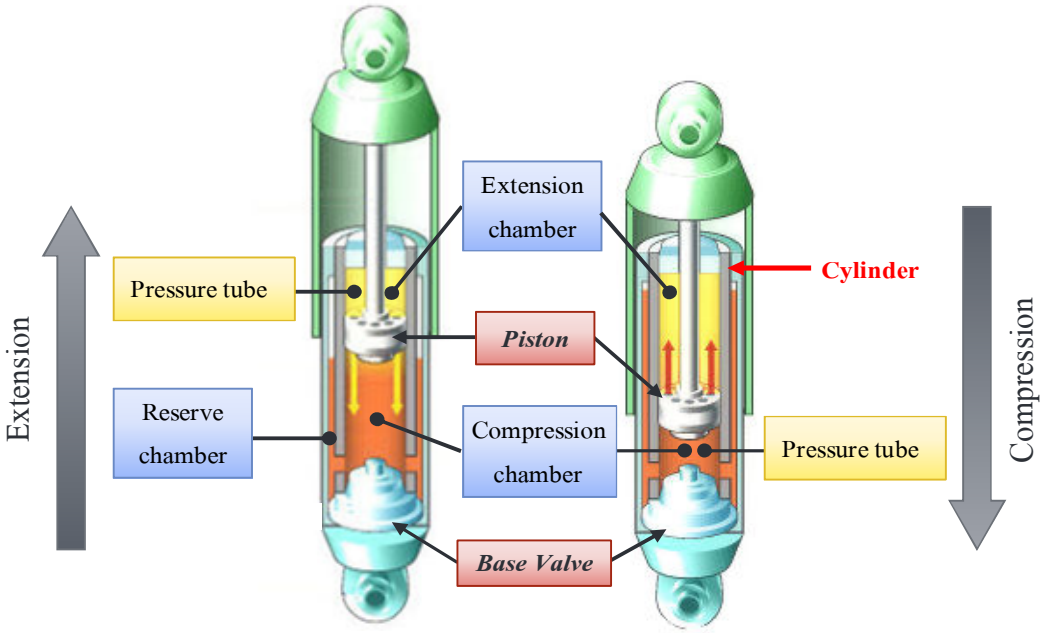
ภาพที่ 2-1 การทำงานของระบบรองรับขณะยานยนต์เคลื่อนที่ (ประสานพงษ์ หาเรือนชีพ, 2540)

ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำหนักที่สปริงไม่รองรับมีมากกว่า ก็จะเป็นสาเหตุให้ตัวถังเกิดการโคลงตัว และสั่นสะเทือน เป็นผลให้การขับขี่ไม่สะดวกสบาย ดังนั้นอาการสั่นสะเทือน และอาการโคลงตัวของตัวถังรถสามารถแบ่งออกได้ คือ อาการสั่นสะเทือนจากน้ำหนักสปริงรองรับ (Sprung weight) เป็นสาเหตุทำให้เกิดอาการขึ้นกับตัวถัง เช่น การกระดอน (Pitching) การโคลงตัว (Rolling) การเต้น (Bouncing) และการส่าย (Yawing) อาการสั่นที่เกิดจากน้ำหนักสปริงไม่รองรับ (Unsprung weight) มีสาเหตุที่ทำให้เกิดอาการ เช่น การกระโดด (Hopping) อาการกระดอน (Tramping) และการม้วนตัวของแหนบ (Wind up) ขณะใช้งาน (ประสานพงษ์ หาเรือนชีพ, 2540)

2. หลักการทำงานของโช้คอัพยานยนต์ (Shock absorber working principle)

การทำงานโช้คอัพยานยนต์แบบท่อคู่ (Double tube) คือ ลูกสูบเคลื่อนที่ ขึ้น-ลง ภายในกระบอกสูบ (Cylinder) บรรจุของเหลวทำให้เกิดห้องแรงดันภายในที่แตกต่างกันระหว่างลูกสูบและชุดวาล์วแบ่งกระบอกสูบออกเป็นห้องแรงดัน คือ ห้องคืนตัว (Extension) และห้องบีบอัด (Compression) ส่งผลให้การทำงานของโช้คอัพไฮดรอลิคมี 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการบีบอัด และขั้นตอนการคืนตัว ขณะที่อยู่ในขั้นตอนการบีบอัดห้องบีบอัดมีขนาดลดลง โดยน้ำมันไหลผ่านลูกสูบผ่านวาล์วนำเข้าที่ลูกสูบ (Piston) เข้าสู่ห้องคืนตัว (Extension chamber) ผ่านวาล์วควบคุม

ที่ลูกสูบล่าง (Base valve) เข้าสู่ห้องสำรอง (Reserve chamber) ตามลำดับ และขณะอยู่ในขั้นตอนการคืนตัวห้องบีบอัดจะมีขนาดเพิ่มขึ้น และน้ำมันไหลผ่านลูกสูบ (Piston) ผ่านวาล์วควบคุมการคืนตัว และวาล์วนำเข้าของลูกสูบล่าง (Base valve) จากห้องคืนตัว (Rebound chamber) และห้องแรงดันสำรอง (Reserve chamber) ตามลำดับ (Stawik, Czop, Krol, & Wszotek, 2010)



ภาพที่ 2-2 หลักการทำงานของโช้คอัพยานยนต์ (Kevin, 2006)

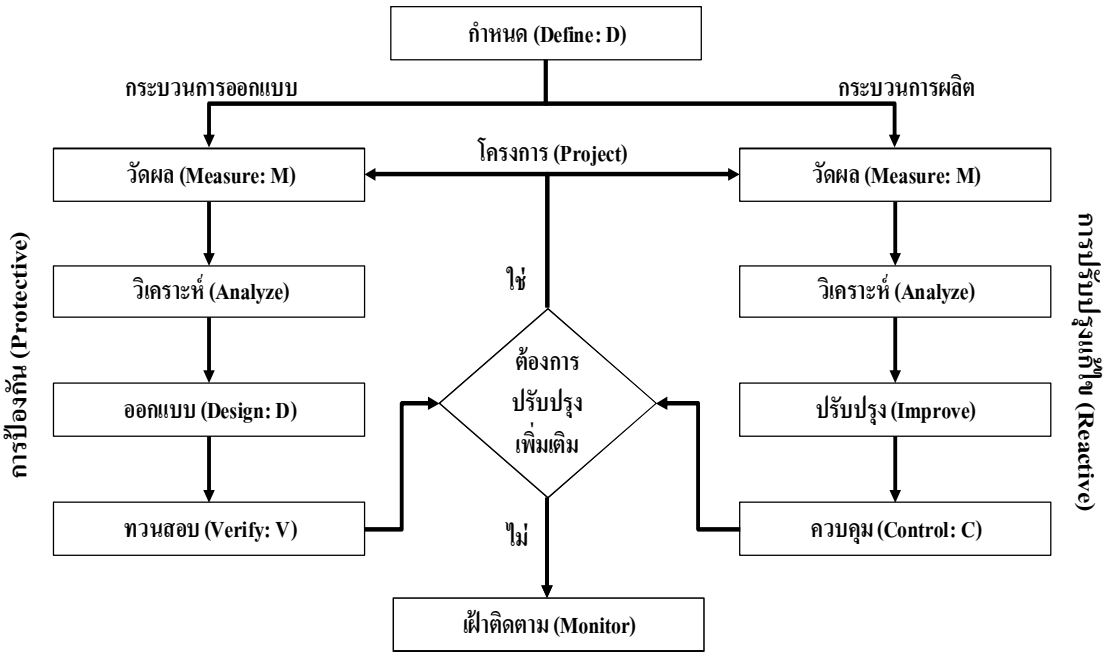
การเคลื่อนที่ภายในโช้คอัพยานยนต์จะมีมากขึ้นเมื่อยานยนต์มีการเคลื่อนที่ ซึ่งจะถูกแปลเปลี่ยนตามความเร็วของลูกสูบที่สอดคล้องกับสภาพพื้นผิวถนน (ประสานพงษ์ หาเรือนชีพ, 2540)

ตารางที่ 2-1 สภาพถนนกับความเร็วของลูกสูบโช้คอัพยานยนต์ (ประสานพงษ์ หาเรือนชีพ, 2540)

สภาพถนน	ความเร็วลูกสูบ (m/s)
ลาดยางอัสฟัลต์ราบเรียบ	0.00 – 0.08
ลาดยางอัสฟัลต์ขรุขระเล็กน้อย	0.10 – 0.15
ลาดยางอัสฟัลต์ขรุขระ	0.20 – 0.30
ไม่ได้ราดยางอัสฟัลต์	0.40 – 0.60
ไม่ได้ราดยางอัสฟัลต์และขรุขระมาก	0.80 – 1.00

การออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า (DFSS)

การออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า คือ การประยุกต์แนวคิดการวางแผนคุณภาพ การกำหนดเป้าหมายเชิงคุณภาพ เพื่อสนองความต้องการของลูกค้าในด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยเป็นเครื่องมือ และแนวทางหนึ่งที่สนับสนุนกลยุทธ์การพัฒนานวัตกรรมขององค์กร ในช่วงของการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือการบูรณาการรูปแบบใหม่ ซึ่งกระบวนการพัฒนา โดยบูรณาการกับแนวทาง ซิกซ์ ซิกม่า ให้สอดคล้องกับข้อกำหนดทางวิศวกรรม และกลยุทธ์ธุรกิจที่มุ่งตอบสนองความต้องการของตลาด เป้าหมายหลักของการพัฒนา นวัตกรรมตามกระบวนการสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า การที่จะสามารถบรรลุเป้าหมายดังกล่าวได้ ต้องศึกษาความคาดหวังของลูกค้า และสมรรถนะหรือความสามารถกระบวนการขององค์กร ซึ่งเทคนิคของ ซิกซ์ ซิกม่า ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการ แสดงดังภาพที่ 2-3 (Gregory, 2003)



ภาพที่ 2-3 ขั้นตอนดำเนินการของ ซิกซ์ ซิกม่า (บรรเจิด ดอนเนตรงาม, 2557)

ภาพที่ 2-3 แสดงถึงความสัมพันธ์ในขั้นตอน ซิกซ์ ซิกม่า สำหรับกระบวนการออกแบบ คือ ขั้นตอน DMADV และกระบวนการผลิต คือ ขั้นตอน DMAIC ซึ่งทั้งสองรูปแบบ คือ วิธีการสำหรับการปรับปรุงกระบวนการโดยใช้ตัวเลขในเชิงสถิติ เข้ามาช่วยในกิจกรรมการปรับปรุงที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับทุกองค์กร (บรรเจิด ดอนเนตรงาม, 2557)

1. ขั้นตอนการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า

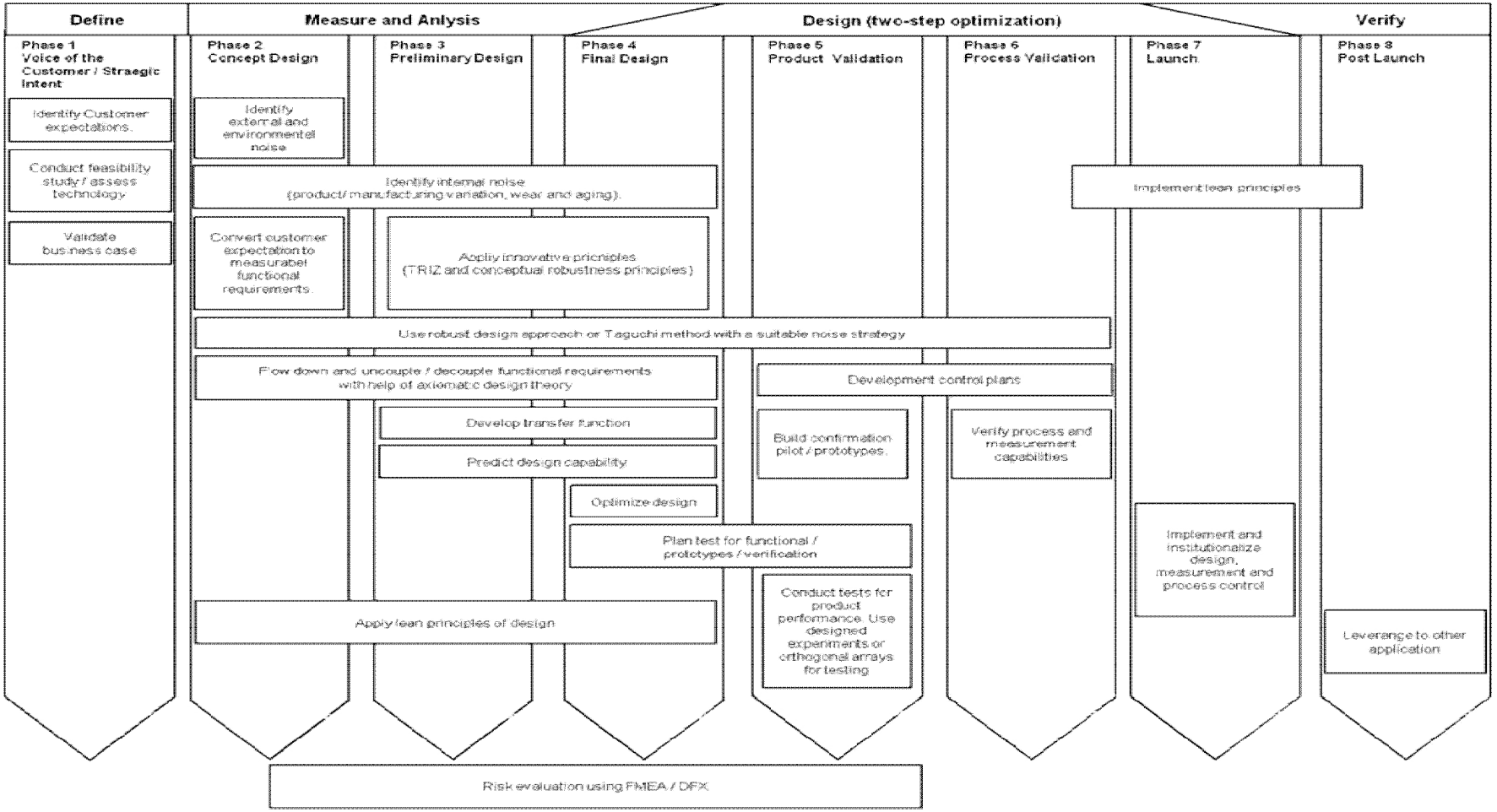
1.1 กำหนดเป้าหมาย (Define: D) เป็นขั้นตอนการเริ่มต้นวางแผนกระบวนการสร้างหรือกำหนดว่าแนวคิดการออกแบบ กำหนดเป้าหมาย และรายละเอียดของโครงการ ซึ่งมีความร่วมมือระหว่างฝ่ายบริหารกับทีมงานข้ามสายงาน โดยทีมงานบริหารมีบทบาทกำหนดปัญหาของการออกแบบ ซึ่งโครงการที่ถูกนำเสนอจะต้องสอดคล้องกับนโยบายขององค์กรประกอบกับข้อมูลของ การสำรวจลูกค้า การสำรวจตลาด และการประเมินเทคโนโลยี ผลลัพธ์การดำเนินการกำหนดเป้าหมาย คือ แนวโน้มการตลาด แนวคิดการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือการให้บริการ การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน และความเสี่ยง แผนงานดำเนินโครงการประกอบด้วย แนวคิดผลิตภัณฑ์ ขอบเขตการจัดทำโครงการ หัวข้อรายละเอียดการดำเนินโครงการตามช่วงเวลา การจัดสรรทรัพยากรและการจัดสรรงบประมาณโดยแผนงานจะถูกทบทวน และอนุมัติจากทีมงานวิจัยพัฒนาร่วมกับฝ่ายบริหาร

1.2 การวัด (Measure: M) เป็นขั้นตอนการประเมินประสิทธิภาพทางการตลาดทั้งในด้านความต้องการ และความสามารถการแข่งขัน โดยจำแนกกลุ่มลูกค้าหลักและระบุปัจจัยหลักทางคุณภาพ (Critical to Quality: CTQ) เพื่อสร้างความแตกต่างผลิตภัณฑ์ ที่มีความสามารถตอบสนองกลุ่มลูกค้า โดยทีมงานจะเริ่มจากการประเมินตลาดและจำแนกส่วนลูกค้า (Customer Segmentation) หรือเสียงของลูกค้า (Voice of the customer: VOC) การวิเคราะห์การแข่งขัน โดยทั่วไปการประเมินจะดำเนินการเสร็จสิ้นจากฝ่ายการตลาด ซึ่งถูกทบทวนด้วยทีมงานออกแบบ เพื่อวิเคราะห์ลำดับความสำคัญของความต้องการลูกค้าที่ถูกแปลงเป็นความต้องการหลักของลูกค้า และสามารถวัดผลได้ตามมุมมองการออกแบบ (Design perspective) ส่วนเครื่องมือสนับสนุนการดำเนินการช่วงนี้คือ การแจกจ่ายหน้าที่ด้านคุณภาพ การวิเคราะห์แบบคาโน่ การบริหารด้านความสัมพันธ์กับลูกค้า (CRM) การวิเคราะห์ส่วนลูกค้า การวิเคราะห์ความต้องการลูกค้า สำหรับผลการศึกษาตลาดจะถูกนำมาจัดทำเป็นเอกสารและกำหนด CTQ โดยการออกแบบขั้นสุดท้ายให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาดเพื่อจัดทำข้อกำหนดทางเทคนิค และเมื่อทีมงานได้ลำดับความสำคัญแต่ละ CTQ แล้วก็จะดำเนินการประเมินสมรรถนะ (Baseline performance) ของผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิตด้วยความสามารถของกระบวนการระดับ ซิกซ์ ซิกม่า ของกระบวนการรวมถึงการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) เพื่อสร้างความเชื่อมั่นระบบจัดเก็บข้อมูลและประเมินความเสี่ยง (Risk Assessments) ด้วยเครื่องมือวัดผลกระทบรูปแบบความเสียหาย (Failure Mode & Effect Analysis: FMEA) นอกจากนี้ทีมงานพัฒนาผลิตภัณฑ์อาจใช้การเปรียบเทียบกับคู่แข่งขันเพื่อวิเคราะห์จุดอ่อนจุดแข็งของสมรรถนะ การออกแบบปัจจุบันซึ่งแสดงด้วยช่องว่าง (Gap) หรือเป้าหมายที่ทีมงานจะต้องดำเนินการปรับปรุงให้สามารถแข่งขันได้ในตลาด

1.3 วิเคราะห์ (Analyze: A) เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนแนวคิดในการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Design Concept) เข้าสู่กระบวนการออกแบบระดับสูงจากทางเลือกต่าง ๆ เพื่อระบุรายละเอียดการออกแบบผลิตภัณฑ์ด้วยการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม และประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เช่น ความเสี่ยงจากการเปลี่ยนเทคโนโลยี หรือความเสี่ยงทางธุรกิจ โดยทีมงานจะเริ่มดำเนินการวิเคราะห์ฟังก์ชั่นของแต่ละคำสำคัญคุณภาพ (CTQ) ที่จัดทำในช่วงนี้จะถูกใช้ระบุเกณฑ์การประเมิน เทคนิคและเครื่องมือสนับสนุนช่วงนี้ ประกอบด้วยเทคนิคระบบวิเคราะห์หน้าที่การใช้งาน (Function Analysis System Technique: FAST) ทฤษฎีการแก้ปัญหาแบบสร้างสรรค์ (TRIZ) การวิเคราะห์ผลกระทบรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นในระบบ การกระจายหน้าที่ทางคุณภาพ และคอมพิวเตอร์ช่วยการออกแบบ (CAD) ผลลัพธ์ช่วงนี้คือ การออกแบบผลิตภัณฑ์ระดับสูง รวมถึงรายละเอียดทางวิศวกรรม แผนพัฒนาการตลาด และการบริหารโครงการ

1.4 ออกแบบ (Design: D) เป็นขั้นตอนการระบุรายละเอียดผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับหน้าที่การใช้งานด้วยการใช้พารามิเตอร์การออกแบบ ที่ระบุไว้ในช่วงวิเคราะห์หรือการออกแบบระดับสูงเพื่อใช้ออกแบบพิกัดเผื่อ (Tolerance design) ที่มุ่งลดความผันแปรและความสูญเสียทางคุณภาพ รวมทั้งประเมินประสิทธิผลกระบวนการและดัชนีความสามารถกระบวนการ นอกจากนี้ยังจัดทำแผนควบคุม ซึ่งเป็นการจัดเตรียมก่อนเข้าสู่การผลิต โดยใช้เทคนิคและเครื่องมือสนับสนุนช่วงการออกแบบ สำหรับผลลัพธ์การดำเนินงานช่วงนี้ คือ รายละเอียดการออกแบบทางวิศวกรรม ผลการทดสอบต้นแบบผลิตภัณฑ์เพื่อทดสอบเบต้า (Beta testing) แผนการออกแบบตัวผลิตภัณฑ์ (New product launch plan) และแผนแจกจ่ายหน้าที่ด้านคุณภาพ

1.5 การทวนสอบ (Verify: V) เป็นขั้นตอนสร้างความน่าเชื่อมั่นว่าการออกแบบใหม่มีความเป็นไปได้ในช่วงการผลิต โดยใช้ผลลัพธ์ช่วงทดสอบยืนยันการออกแบบ ประกอบด้วยการทดสอบใช้งาน และทดสอบเพื่อยืนยันหรือทวนสอบการผลิตคือ วิเคราะห์ผลกระทบรูปแบบความเสียหายในการออกแบบ (DFMEA) วิศวกรรมคุณค่า (VA/VE) เทคนิคป้องกันความผิดพลาด (Poka-yoke) วิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) และการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ กิจกรรมหลักช่วงนี้จะมีการบันทึกเพื่อจัดทำรายละเอียดการออกแบบและแผนควบคุมกระบวนการโดยละเอียดถึงขอบเขตพิกัดเผื่อ และการควบคุมด้วยมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงาน (Standard of procedure) อย่างเช่น วิธีการทดสอบเกณฑ์การยอมรับ นอกจากนี้ยังมีฝึกอบรม และรายงานสรุปผลการดำเนินโครงการการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า สำหรับปรับปรุงการออกแบบผลิตภัณฑ์ (จิรายุ จิตเจือจุน, 2555)



ภาพที่ 2-4 การดำเนินการของการออกแบบ เพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ตามขั้นตอน DMADV (Rajesh & Philip, 2008)

2. แนวทางการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า

จากภาพที่ 2-4 แสดงแนวทางใช้เครื่องมือทางวิศวกรรม การบริหารจัดการ และเทคนิคสถิติ ทั้งเครื่องมือและปรัชญาที่นำมาบูรณาการใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อยกระดับคุณภาพตามแผนงานในขั้นตอน DMADV ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอนย่อย ดำเนินการดังนี้

2.1 ความคาดหวังของลูกค้า คือ ระบุความคาดหวังของลูกค้า หลังจากนั้นคือการศึกษาความเป็นไปได้ในการดำเนินการ และผลการตรวจสอบทางธุรกิจ

2.2 แนวคิดการออกแบบ คือ ระบุสิ่งที่สามารถปฏิบัติได้จริง และตรวจวัดหน้าที่การทำงานตามความต้องการได้ ซึ่งเป็นสิ่งที่อ้างถึงการสำรวจการรับรู้และความพึงพอใจ โดยการนำความคาดหวังไปประเมินเพื่อเข้าใจความต้องการในการออกแบบ และแนวคิดการออกแบบที่มีประสิทธิภาพผ่านการระบุตัวแปรที่รบกวนทั้งภายใน และภายนอก

2.3 เริ่มต้นออกแบบ คือ รายละเอียดของการออกแบบจะถูกระบุโดย การประเมินทางเลือกการออกแบบต่าง ๆ ในขั้นตอนนี้ และนำกลยุทธ์การออกแบบที่มีประสิทธิภาพมาใช้กระบวนการเลือกแนวความคิด นำมาใช้เลือกทางเลือกที่ดีที่สุดเทียบกับเกณฑ์ความต้องการ เช่น ต้นทุน และรอบการทำงาน

2.4 ผลการออกแบบ คือ ผลการออกแบบจากผลิตภัณฑ์ หรือการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากการเปลี่ยนฟังก์ชั่นการทำงานต่าง ๆ ได้รับการทบทวนขั้นตอนดำเนินการตรงตามความต้องการของลูกค้าที่สามารถอ้างอิงข้อมูลได้

2.5 การทดสอบยืนยัน คือ การทดสอบประเมินความสามารถของต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่สร้างขึ้น เพื่อการยืนยันประสิทธิผลของการออกแบบ และจัดทำแผนควบคุม สำหรับใช้ในแผนการพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างยั่งยืน

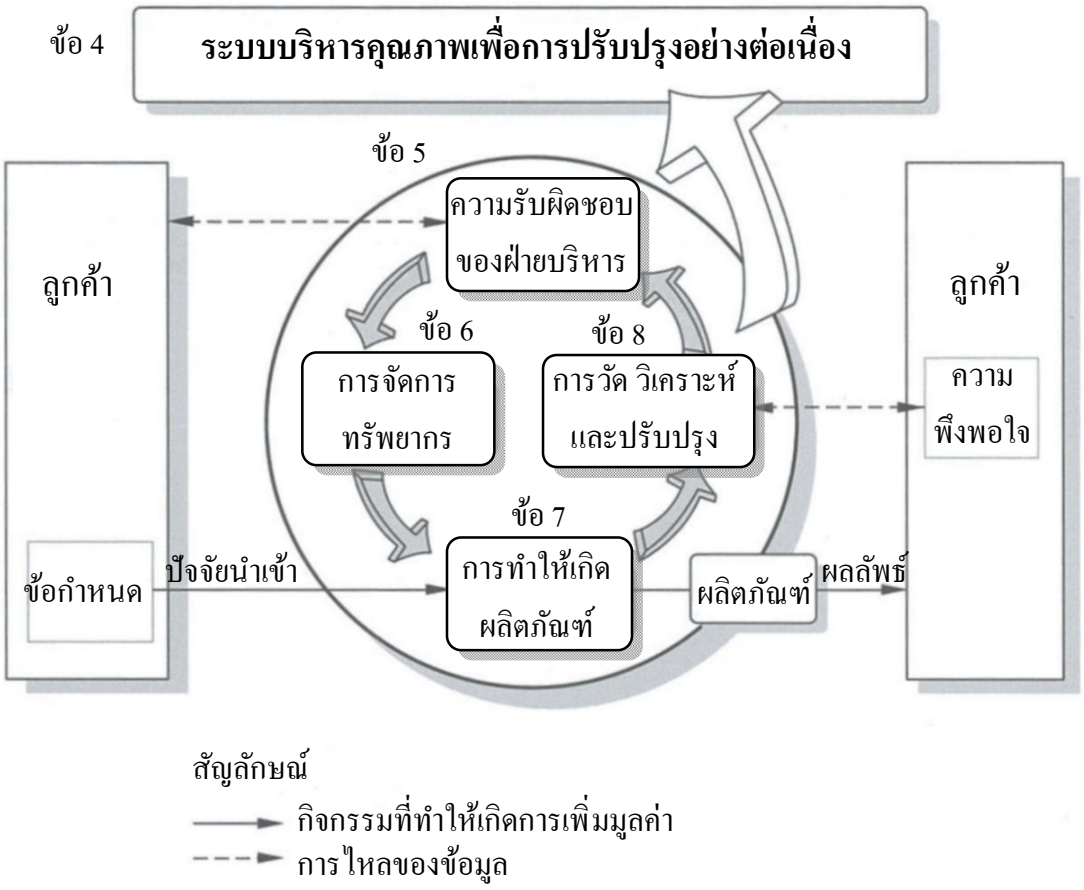
2.6 การทดสอบกระบวนการ คือ การประเมินกระบวนการสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบเพื่อการวัดผล การตรวจสอบ และการเลือกแผนควบคุมที่เหมาะสม สำหรับควบคุมความผันแปรที่มีในกระบวนการสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

2.7 การเปิดตัวผลิตภัณฑ์ คือ ขั้นสุดท้ายของการออกแบบ โดยมีผลการทดสอบการใช้งานจริง และการรวบรวมผลดำเนินการจากขั้นตอนก่อนหน้า การออกแบบ การควบคุมระบบการวัด และการควบคุมกระบวนการ ณ ที่สถานประกอบการ

2.8 การเปิดตัวโครงการ คือ ผลลัพธ์ของการออกแบบผลิตภัณฑ์ จากการทวนสอบและสิ่งมีประโยชน์อย่างอื่นที่สามารถนำมาประยุกต์ได้ในขั้นตอนนี้มีความสอดคล้องกับแนวทาง DMADV (Rajesh & Philip, 2008)

ระบบบริหารคุณภาพมาตรฐาน ISO/TS 16949

ระบบบริหารคุณภาพที่อ้างอิงตามกระบวนการได้เชื่อมโยงกระบวนการ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าลูกค้ามีบทบาทสำคัญ ในการระบุข้อกำหนดซึ่งจะเป็นปัจจัยนำเข้า การเฝ้าติดตามระดับความพึงพอใจของลูกค้าจำเป็นต้องมีการประเมินจากข้อมูลที่ลูกค้ารับรู้ได้ว่าองค์กรทำได้ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า การดำเนินงานประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ วางแผน (Plan: P) ปฏิบัติ (Do: D) ตรวจสอบ (Check: C) และแก้ไข (Action: A) หรือที่เรียกว่าวงจร PDCA สำหรับการปรับปรุงคุณภาพสินค้า และบริการอย่างต่อเนื่อง แสดงดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 รูปแบบกระบวนการบริหารคุณภาพ

(International Automotive Task Force [IATF], 2009)

จากภาพที่ 2-5 แสดงการอ้างอิงการเชื่อมโยงกับข้อกำหนดมาตรฐาน ISO/TS 16949 ซึ่งได้มีผลนำมาบังคับใช้ตั้งแต่ ข้อกำหนดที่ 4 ถึงข้อกำหนดที่ 8 สำหรับใช้ในองค์กร ซึ่งสรุปดังนี้ คือ

ข้อกำหนดที่ 4 ระบบบริหารคุณภาพ กล่าวถึง องค์กรจะต้องดำเนินการกำหนด ขอบเขต คำจำกัดความ ระบบเอกสาร และการบันทึกที่ใช้ภายในองค์กร

ข้อกำหนดที่ 5 ความรับผิดชอบของฝ่ายบริหาร กล่าวถึง องค์กรจะต้องดำเนินการกำหนด นโนบาย วัตถุประสงค์ การวางแผน ระบบการบริหารคุณภาพ และการทบทวนของฝ่ายบริหาร ที่จะดำเนินการใช้ภายในองค์กร

ข้อกำหนดที่ 6 การจัดการทรัพยากร กล่าวถึง องค์กรจะต้องดำเนินการวางแผนงานสำหรับทรัพยากรบุคคล ข้อมูล สิ่งอำนวยความสะดวก และการฝึกอบรม โดยกำหนดวิธีการปฏิบัติภายในองค์กร

ข้อกำหนดที่ 7 กระบวนการทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ กล่าวถึง องค์กรต้องดำเนินการกำหนดวิธีการปฏิบัติสำหรับความต้องการของลูกค้า การวางแผนกระบวนการทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ การจัดซื้อ การผลิต การให้บริการ และอื่น ๆ

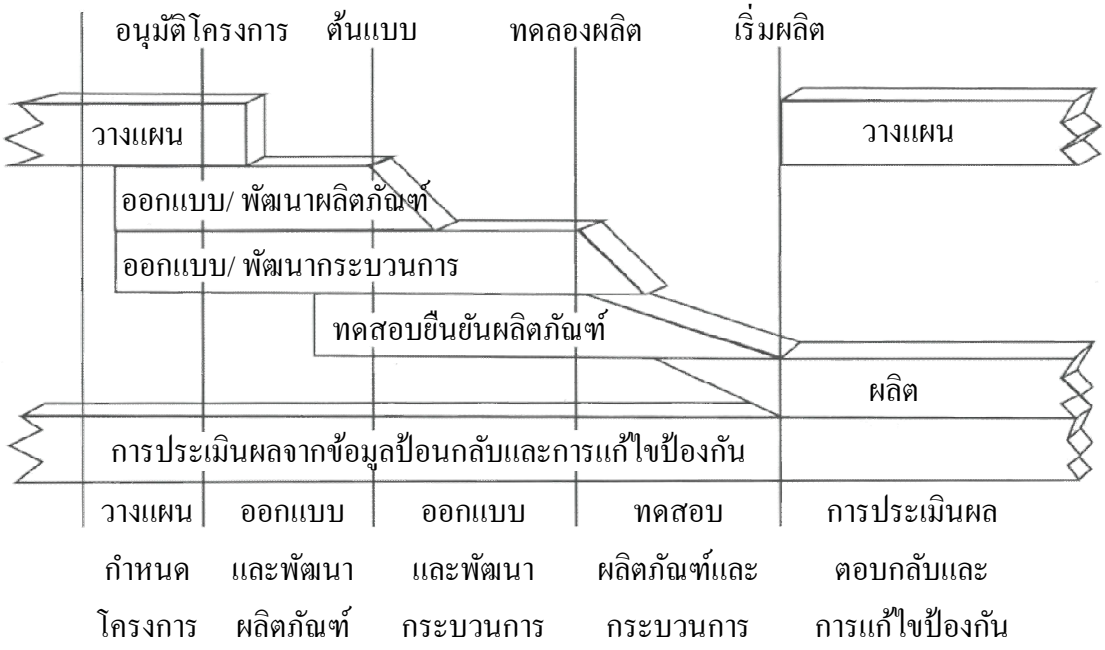
ข้อกำหนดที่ 8 การวัด การวิเคราะห์ และการปรับปรุง กล่าวถึง องค์กรต้องดำเนินการจัดทำแผน วิธีดำเนินการสำหรับการตรวจสอบ การวัดกระบวนการ และผลิตภัณฑ์ ความพึงพอใจของลูกค้า และการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (IATF, 2009)

เป้าหมายหลักของ ISO/TS 16949 คือ การพัฒนาระบบบริหารคุณภาพ เพื่อให้มีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง มุ่งเน้นการป้องกันข้อบกพร่องต่าง ๆ ลดความผันแปร และความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกลุ่มผู้ผลิตยานยนต์ ผลจากการประยุกต์ใช้ทำให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์สามารถเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันได้ นอกจากมาตรฐาน ISO/TS 16949 ซึ่งมีเครื่องมือหลัก (Core tools) คือ (1) การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง (Advanced Product Quality Planning: APQP) (2) การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) (3) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA) (4) การควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (Statistical Process Control: SPC) (5) กระบวนการอนุมัติผลิตภัณฑ์ (Production Part Approval Process: PPAP) และยังรวมถึงการจัดทำแผนควบคุม (Control plan) สำหรับผลิตภัณฑ์ต้นแบบ การทดลองผลิต และการผลิตจริง

ความสำคัญของเครื่องมือหลัก (Core tools) กับการประยุกต์ใช้โดยมีการระบุ และอ้างอิงไว้ในหลายข้อกำหนดของมาตรฐานนี้ ซึ่งถ้ามีการประยุกต์ใช้ได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน จะช่วยสร้างโอกาสในการพัฒนาและเพิ่มศักยภาพขององค์กรได้อย่างยิ่ง รวมทั้งสร้างความมั่นใจให้กับลูกค้า โดยมีระบบบริหารคุณภาพที่ดี สามารถสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และตอบสนองความต้องการของผู้ผลิตยานยนต์ได้อย่างรวดเร็ว (IATF, 2009)

1. การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง (APQP)

การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง จัดทำขึ้นเพื่อสื่อสารให้องค์กรทั้งภายใน ภายนอก และผู้ส่งมอบชิ้นส่วนยานยนต์ทราบถึงแนวทางการวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ทั่ว ๆ ไป และการจัดทำแผนควบคุม เพื่ออธิบายห่วงโซ่การส่งมอบ ช่วยลดความซ้ำซ้อนในแผนคุณภาพ



ภาพที่ 2-6 ผังเวลาการวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง

(Automotive Industry Action Group [AIAG], 2008)

1.1 การวางแผนและกำหนดโครงการ ประกอบด้วย กำหนดเป้าหมายการออกแบบ เป้าหมายความน่าเชื่อถือและคุณภาพ รายการวัตถุดิบเบื้องต้น ผังการไหลกระบวนการเบื้องต้น การจัดทำรายการลักษณะเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ แผนการประกันคุณภาพ และการสนับสนุนจากฝ่ายบริหาร

1.2 การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบจากการออกแบบ (DFMEA) การออกแบบการประกอบ การทวนสอบการออกแบบ การทบทวนการออกแบบ การสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบ แผนควบคุม แบบวิศวกรรม ข้อกำหนดทางวิศวกรรม ข้อกำหนดเกี่ยวกับวัสดุ และการเปลี่ยนแปลงแบบวิศวกรรม

1.3 การออกแบบและพัฒนากระบวนการ ประกอบด้วย มาตรฐานและสเป็คของบรรจุภัณฑ์ การทบทวนระบบคุณภาพผลิตภัณฑ์และกระบวนการ ผังการไหลกระบวนการ ตารางคุณลักษณะ การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการ (PFMEA) การจัดทำแผนควบคุมสำหรับการทดลองผลิตเสมือนจริง ขั้นตอนการปฏิบัติของกระบวนการ แผนวิเคราะห์ระบบการวัด แผนศึกษาความสามารถของกระบวนการเบื้องต้น และการสนับสนุนจากฝ่ายบริหาร

1.4 การทดสอบผลิตภัณฑ์และกระบวนการ ประกอบด้วย การทดลองผลิตเสมือนจริง การศึกษาระบบการวัด (MSA) การศึกษาความสามารถของกระบวนการเบื้องต้น (SPC) การอนุมัติชิ้นส่วนการผลิต(PPAP) การทดสอบรับรองการผลิต การประเมินบรรจุภัณฑ์ แผนควบคุมการผลิต (Control plan) การลงนามอนุมัติ และการสนับสนุนจากฝ่ายบริหาร

1.5 ข้อมูลป้อนกลับ การประเมินผล และปฏิบัติการแก้ไข ประกอบด้วย การลดความแปรปวน การยกระดับความพึงพอใจของลูกค้า การยกระดับด้านการจัดส่งและบริการ และการใช้บทเรียนที่ผ่านมาและแนวทางปฏิบัติที่ดีให้มีประสิทธิผล (AIAG, 2008)

2. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA)

การวิเคราะห์ระบบการวัด คือ การดำเนินการเพื่อนำแนวทางในการประเมินคุณภาพของระบบการวัดในอุตสาหกรรม เพื่อให้แน่ใจว่าประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ข้อมูลของการวัดนั้นดีพอคุ้มค่ากับต้นทุนที่ลงไป หากระบบการวัดมีความผันแปรมากเกินไป ก็จะทำให้ข้อมูลนั้นมีคุณภาพต่ำจนข้อมูลนั้นไม่มีประโยชน์ ตัวอย่างเช่น ระบบการวัดที่มีความผันแปรมากอาจไม่เหมาะสมสำหรับการใช้วิเคราะห์กระบวนการ เพราะความผันแปรของระบบการวัดอาจปิดบังความผันแปรของกระบวนการ การทำงานส่วนใหญ่ของการจัดการระบบการวัด มุ่งความสนใจไปยังการติดตามและการควบคุมความผันแปร เพื่อจะให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีคุณภาพที่ยอมรับได้จำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการเรียนรู้ว่าระบบการวัดมีปฏิกริยากับสภาวะแวดล้อมเช่นไร

2.1 การศึกษาระบบการวัดแบบผันแปร (Variation) คือ การวัดผลิตภัณฑ์ในเชิงปริมาณในรูปแบบของ น้ำหนัก ความยาว ปริมาตร หรือหน่วยอื่น ๆ ที่สามารถวัดค่าได้โดยใช้การวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำและการประเมินซ้ำ (*GRR*) จะแสดงวิธีการสำหรับการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของข้อมูลการศึกษา โดยที่การวิเคราะห์จะได้ประเมินความผันแปรและเปอร์เซ็นของความผันแปรของกระบวนการสำหรับระบบการวัดโดยรวม ตลอดจนความสามารถในการวัดซ้ำ และความสามารถในการประเมินซ้ำ และความผันแปรของชิ้นงาน

2.1.1 ความสามารถในการวัดซ้ำหรือความผันแปรของอุปกรณ์ (*EV*) คำนวณได้โดยการคูณค่าพิสัยเฉลี่ย ($\overline{\overline{R}}$) ด้วยค่าคงที่ (K_1) ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนการวัดซ้ำที่ใช้ในการศึกษาเครื่องมือวัด และจำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษาระบบการวัด

$$EV = \overline{\overline{R}} \times K_1 \quad (2\text{-}1)$$

2.1.2 ความสามารถในการประเมินซ้ำหรือความผันแปรของผู้วัด (*AV*) คำนวณโดยคูณผลต่างของค่าเฉลี่ย ($\overline{X}_{DIFF}$) ด้วยค่าคงที่ (K_2) ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนผู้วัดหรือผู้ทดสอบ

$$AV = \sqrt{(\overline{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - \frac{(EV)^2}{nr}} \quad (2\text{-}2)$$

n = จำนวนชิ้นส่วน

r = จำนวนครั้งของการวัดซ้ำ

EV = ความผันแปรของอุปกรณ์

2.1.3 ความสามารถในการวัดซ้ำและการประเมินซ้ำ (*GRR*) คำนวณโดยการบวกค่ากำลังสองของความผันแปรของอุปกรณ์ (*EV*) กับค่ากำลังสองของความผันแปรของผู้วัด (*AV*) แล้วนำไปถอดรากที่สองดังนี้

$$GRR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2} \quad (2\text{-}3)$$

EV = ความผันแปรของอุปกรณ์

AV = ความผันแปรของผู้วัด

2.1.4 ความผันแปรของชิ้นงาน (*PV*) คำนวณโดยการคูณค่าพิสัยของค่าเฉลี่ยของชิ้นส่วน (R_p) ด้วยค่าคงที่ (K_3) ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนชิ้นงานที่ใช้ศึกษาเครื่องมือวัด

$$PV = R_p \times K_3 \quad (2\text{-}4)$$

2.1.5 ความผันแปรรวม (*TV*) คำนวณโดยการรวมค่ากำลังสองของความผันแปรของความสามารถในการวัดซ้ำและความสามารถในการประเมินซ้ำ (*GRR*) กับความผันแปรของชิ้นส่วน (*PV*) แล้วนำไปถอดรากที่สองดังนี้

$$TV = \sqrt{(GRR)^2 + (PV)^2} \quad (2\text{-}5)$$

GRR = ความสามารถในการวัดซ้ำและการประเมินซ้ำ

PV = ความผันแปรของชิ้นงาน

2.1.6 การวิเคราะห์เชิงตัวเลข (*ndc*) คือ การระบุจำนวนประเภทข้อมูลที่แตกต่างกันที่สามารถจำแนกอย่างน่าเชื่อถือด้วย ที่ครอบคลุมความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่คาดหวัง

$$ndc = 1.41 * (PV / GRR) \quad (2\text{-}6)$$

สำหรับการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (*ndc*) คือ ค่าสูงสุดของค่าใดค่าหนึ่งที่คำนวณได้แล้วปัดเศษเป็นจำนวนเต็มผลลัพธ์ดังกล่าวควรมีค่า มากว่าหรือเท่ากับ 5

2.2 การศึกษาระบบการวัดแบบคุณลักษณะ (Attribute) คือ ระบบการวัดแบบคุณลักษณะเป็นกลุ่มของระบบการวัด ซึ่งค่าการวัดจะออกมาเป็นหนึ่งประเภทข้อมูลในจำนวนประเภทข้อมูลที่มีจำกัด ซึ่งตรงข้ามกับระบบการวัดแบบผันแปรที่ให้ผลเป็นค่าตัวเลขที่ต่อเนื่องได้ ที่พบได้ทั่วไปที่สุด คือ เครื่องมือวัดแบบผ่าน ไม่ผ่าน ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้เพียงสองค่า ระบบการวัดคุณลักษณะอื่น ๆ เช่น มาตรฐานการตรวจสอบด้วยสายตา อาจให้ผลเป็นการจำแนกห้าระดับ เช่น ดีมาก ดี ปานกลาง แย่ และแย่มาก การประเมินการศึกษาระบบการวัดแบบคุณลักษณะ มีดังนี้

2.2.1 *Kappa* เป็นการวัดความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมินที่ทดสอบว่าจำนวนนับในเซลล์ทแยงของชิ้นส่วนที่เหมือนกัน ต่างจากจำนวนที่คาดหวังจากความบังเอิญเพียงอย่างเดียว

$$kappa = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e} \quad (2\text{-}7)$$

p_o = ผลรวมของสัดส่วนที่สังเกตุในเซล์ลทแยง

p_e = ผลรวมของสัดส่วนที่คาดหวังในเซล์ลทแยง

Kappa เป็นการวัดมากกว่าการทดสอบ ซึ่งวัดได้โดยการใช้ความคลาดเคลื่อนของมาตรฐานเชิงเส้น เกณฑ์การยอมรับ คือ *Kappa* ต้องมีค่ามากว่า 0.75 ซึ่งบ่งชี้ถึงความสอดคล้องกันที่ดีเยี่ยม โดยมีค่าที่สูงสุดเท่ากับ 1 ส่วน *Kappa* ค่าที่น้อยกว่า 0.40 เป็นการบ่งชี้การตัดสินใจที่ไม่มีความสอดคล้องกันของผู้วัด จำเป็นต้องมีการปรับปรุง หรือควรฝึกอบรมเกณฑ์ในการตัดสินใจ

2.2.2 การคำนวณเพื่อประเมินระบบการวัดสำหรับข้อมูลนับ สำหรับการวิเคราะห์แนวทางสำหรับผลลัพธ์ของผู้วัดแต่ละคน ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงว่าผู้วัดมีระดับสมรรถนะที่ต่างกันในความมีประสิทธิผล อัตราความผิดพลาด และอัตราการแจ้งเตือนผิดพลาด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้วัด

2.2.2.1 ความมีประสิทธผล (Effectiveness: E) คำนวณได้โดยการนำค่าจำนวนการตัดสินใจที่ถูกต้องหารค่าโอกาสทั้งหมดสำหรับการตัดสินใจ

$$\text{ความมีประสิทธิผล} = \frac{\text{จำนวนการตัดสินใจที่ถูกต้อง}}{\text{โอกาสทั้งหมดสำหรับการตัดสินใจ}} \tag{2-8}$$

2.2.2.2 อัตราความผิดพลาด (Miss Rate: P[Miss]) คำนวณได้โดยการนำค่าจำนวนครั้งที่ยอมรับของเสียหารด้วยค่าจำนวนครั้งที่ทำการตรวจสอบชิ้นงานที่เสีย

$$\text{อัตราความผิดพลาด} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ยอมรับของเสีย}}{\text{จำนวนครั้งที่ทำการตรวจสอบชิ้นงานที่เสีย}} \tag{2-9}$$

2.2.2.3 อัตราการแจ้งเตือนผิดพลาด (False Alarm Rate: P[FA]) คำนวณได้โดยนำค่าจำนวนครั้งที่ปฏิเสธของดีหารค่าจำนวนครั้งที่ตรวจสอบชิ้นงานที่ดี

$$\text{อัตราการแจ้งเตือนผิดพลาด} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ปฏิเสธของดี}}{\text{จำนวนครั้งที่ทำการตรวจสอบชิ้นงานที่ดี}} \tag{2-10}$$

การวิเคราะห์ระบบการวัดควรอยู่บนพื้นฐานทางสถิติ ควรทำความเข้าใจของแหล่งความผันแปรที่เป็นไปได้ และสิ่งที่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์และกระบวนการ (AIAG, 2010)

3. การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA)

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ ใช้สำหรับช่วยลดความเสี่ยงของข้อบกพร่อง ในการประเมินวัตถุประสงค์ของการออกแบบ รวมถึงข้อกำหนดด้านการใช้งาน วิเคราะห์แนวโน้มข้อบกพร่อง และผลกระทบที่มีต่อระบบและการทำงานไปพิจารณาในกระบวนการออกแบบและพัฒนา ได้อย่างละเอียดทั่วถึงและมีประสิทธิภาพ จัดลำดับรายการของแนวโน้มข้อบกพร่องตามผลกระทบ เป็นข้อมูลอ้างอิงในอนาคต DFMEA ควรมีการปรับให้ทันสมัยตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น หรือเมื่อได้รับข้อมูลเพิ่มเติม ตลอดช่วงระยะเวลา

ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ให้เสร็จสมบูรณ์ก่อนการผลิต และนำไปใช้เป็นแหล่งข้อมูลการออกแบบในอนาคตแบบฟอร์ม DFMEA การดำเนินการส่วนประกอบดังนี้

3.1 ส่วนหัวของแบบฟอร์ม การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ ส่วนหัวมุ่งเน้นการวิเคราะห์แนวโน้มลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบอย่างชัดเจน รวมถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำเอกสารและการควบคุมกระบวนการ และควบคุมหมายเลขการวิเคราะห์แนวโน้มลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบการระบุขอบเขต ผู้รับผิดชอบในการออกแบบ วันที่เสร็จ และส่วนอื่น ๆ

3.2 ส่วนกลางของแบบฟอร์ม การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ ที่ส่วนกลางของแบบฟอร์ม ประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ความเสี่ยงตามแนวโน้มลักษณะข้อบกพร่อง และการปรับปรุงที่จะดำเนินการดังนี้

3.2.1 รายการและฟังก์ชั่นการทำงาน กรอกรายการเชื่อมต่อของชิ้นส่วนประกอบและฟังก์ชั่นการทำงานที่จะทำการวิเคราะห์ ซึ่งต้องตรงกับจุดมุ่งหมายของการออกแบบ และตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า และการตัดสินใจของทีม

3.2.2 ข้อกำหนด กรอกข้อกำหนดฟังก์ชั่นการทำงานที่จะทำการวิเคราะห์ตามข้อกำหนดของลูกค้า และการตัดสินใจของทีม

3.2.3 แนวโน้มลักษณะข้อบกพร่อง ระบุแนวโน้มลักษณะข้อบกพร่องที่สัมพันธ์กับ รายการ ฟังก์ชั่นการทำงาน หรือข้อกำหนด ด้านเทคนิค นอกเหนือจากที่ลูกค้าสังเกตุเห็นได้

3.2.4 แนวโน้มผลกระทบของข้อบกพร่อง ระบุแนวโน้มผลกระทบของข้อบกพร่องที่มีผลกระทบต่อ รายการ ฟังก์ชั่นการทำงาน และข้อกำหนด ที่ลูกค้าสามารถรับรู้ได้ และต้องระบุให้ชัดเจนหากส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยหรือขัดต่อกฎระเบียบข้อบังคับ หรือกฎหมาย

3.2.5 ความรุนแรง (Severity: S) คือ ค่าของระดับความรุนแรงที่มีผลกระทบของข้อบกพร่องในการจัดลำดับความสัมพันธ์ภายใต้ขอบเขตเฉพาะ เกณฑ์การประเมินภาคผนวก ก-1

3.2.6 การแยกประเภท เน้นลักษณะของข้อบกพร่องและสาเหตุที่เกี่ยวข้อง ที่มีลำดับความสำคัญสูง หรืออาจใช้บ่งชี้สำหรับคุณลักษณะพิเศษของชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์

3.2.7 แนวโน้มสาเหตุของข้อบกพร่อง กล่าวถึงกระบวนการทางกายภาพ ไฟฟ้า เคมี ความร้อน หรือกระบวนการอื่น ๆ ที่ส่งผลให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องที่สามารถรับรู้ได้

3.2.8 การควบคุมเชิงป้องกัน ทำให้มั่นใจว่าการดำเนินการในปัจจุบัน สามารถลดอัตราของโอกาสการเกิดข้อบกพร่องหรือสามารถป้องกันการเกิดข้อบกพร่องได้

3.2.9 โอกาสการเกิด (Occurrence: O) แสดงระดับโอกาสในการเกิดแนวโน้มสาเหตุของข้อบกพร่องที่จะเกิดขึ้นภายในช่วงอายุการใช้งาน เกณฑ์การประเมินภาคผนวก ก-2

3.2.10 การควบคุมเชิงตรวจจับ ทำให้มั่นใจว่าการออกแบบเพียงพอสำหรับรายการ ฟังก์ชั่นการทำงาน หรือข้อกำหนดด้านการออกแบบมีความน่าเชื่อถือ โดยการดำเนินการควบคุมก่อนที่สาเหตุของข้อบกพร่องจะเกิดขึ้น

3.2.11 การตรวจจับ (Detection: D) เป็นแนวทางที่ใช้แนะนำ คือ สมมติว่าข้อบกพร่องนั้นเกิดขึ้นแล้วประเมินความสามารถในการควบคุมเชิงตรวจจับของการออกแบบในปัจจุบัน ที่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องนั้นได้ เกณฑ์ประเมินการตรวจจับภาคผนวก ก-3

3.2.12 ระดับความเสี่ยง (RPN) ใช้เป็นแนวทางบ่งชี้ระดับแนวโน้มความล้มเหลวและผลกระทบที่มีโอกาสจะเกิดขึ้น ไม่แนะนำให้ใช้ RPN เป็นแนวทางในการจัดลำดับความสำคัญในการดำเนินการเนื่องจาก เป็นการวัดจากค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ ซึ่งความเสี่ยงเหล่านี้อาจไม่เกิดขึ้นบ่อย จึงอาจจะไม่ได้นำมาดำเนินการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

$$RPN = S \times O \times D \tag{2-11}$$

3.2.13 ข้อเสนอแนะหรือข้อปฏิบัติที่แนะนำ สำหรับดำเนินการลดอันดับคะแนนของ ความรุนแรง โอกาสการเกิด และการตรวจจับ

3.2.14 ผู้รับผิดชอบและวันที่กำหนดเสร็จ ระบุรายชื่อบุคคลหรือองค์กรที่รับผิดชอบ ในการดำเนินการตามคำแนะนำ รวมถึงวันที่ในการกำหนดเสร็จ

3.2.15 ข้อปฏิบัติที่ได้ทำแล้วและวันที่เสร็จ ผลที่ได้จากการดำเนินการ อธิบายแบบย่อเกี่ยวกับมาตรการที่ได้ดำเนินการไป และระบุวันที่ดำเนินการเสร็จจริง

3.2.16 ประเมินระดับของ ความรุนแรง (S) โอกาสการเกิด (O) และการตรวจจับ (D) และคำนวณระดับความเสี่ยง (RPN) ใหม่หลังจากได้ดำเนินการตามข้อปฏิบัติ (AIAG, 2008)

4. การควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC)

ระบบการควบคุมกระบวนการมีเป้าหมายเพื่อคาดการณ์เกี่ยวกับสถานะของกระบวนการในปัจจุบันและในอนาคต ซึ่งจะนำไปสู่การตัดสินใจในเชิงเศรษฐกิจ การดำเนินการที่ส่งผลต่อกระบวนการ การตัดสินใจดังกล่าวควรมีการจัดการความเสี่ยงเหล่านี้ในบริบทจากความผันแปรที่สาเหตุมาจาก 2 อย่าง คือ (1) สาเหตุพิเศษ และ (2) สาเหตุตามธรรมชาติ (AIAG, 2005)

การควบคุมกระบวนการทางสถิติ ความสามารถของกระบวนการหรือดัชนีความสามารถของกระบวนการที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในวงการผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เป็นต้นว่า C_p C_{pk} P_p และ P_{pk} ซึ่งส่วนใหญ่ลูกค้ากลุ่มผู้ประกอบยานยนต์จะเป็นผู้กำหนดให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนดำเนินการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ไม่ว่าจะเป็นช่วงการดำเนินการจัดทำชิ้นส่วนใหม่ หรืออาจจะเป็นช่วงการดำเนินการผลิตจริง เพื่อให้มั่นใจว่ากระบวนการผลิตต่าง ๆ อยู่ภายใต้การควบคุม รวมทั้งการดำเนินการวิเคราะห์หาสาเหตุของความผันแปร เพื่อเป็นแนวทางในการลดและควบคุมความผันแปรต่าง ๆ ของกระบวนการที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังมีการนำแผนควบคุม (Control chart) ประยุกต์ใช้เพื่อเฝ้าติดตามความผันแปรของกระบวนการ ซึ่งแผนภูมิควบคุมนั้นมีหลายประเภท การนำแผนภูมิควบคุมมาประยุกต์ใช้จะขึ้นอยู่กับประเภทของข้อมูล ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

ข้อมูลวัดหรือข้อมูลแบบผันแปร (Variation data) แผนภูมิควบคุมที่นำมาใช้กับข้อมูลประเภทนี้ คือ แผนภูมิค่าเฉลี่ยและพิสัย (Xbar-R chart) แผนภูมิค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Xbar-S chart) และแผนภูมิตัวแปรเชิงเดี่ยวและค่าพิสัยเคลื่อนที่ (X-MR chart)

ข้อมูลนับหรือข้อมูลเชิงคุณภาพ (Attribute data) แผนภูมิควบคุมตามลำดับนี้ คือ สัดส่วนของชิ้นงานที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (p chart) แผนภูมิแสดงจำนวนชิ้นงานที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (np chart) แผนภูมิแสดงจำนวนของข้อบกพร่อง (c chart) และแผนภูมิแสดงจำนวนข้อบกพร่องต่อหน่วย (u chart) ซึ่งการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมรูปแบบข้อมูล

จากข้อมูลวัดหรือข้อมูลแบบผันแปร (Variation data) งานวิจัยนี้เลือกใช้แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและพิสัย (Xbar-R chart) และดัชนีความสามารถของกระบวนการ C_p C_{pk} P_p และ P_{pk} ซึ่งประกอบด้วยสมการการคำนวณดังนี้

4.1 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและพิสัย (Xbar-R chart)

4.1.1 ค่าเฉลี่ยของกลุ่มย่อย

$$\overline{X} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n} \tag{2-12}$$

n = จำนวนของตัวอย่างในกลุ่มย่อย

4.1.2 ค่าพิสัยของกลุ่มย่อย

$$R = x_{Max} - x_{Min} \tag{2-13}$$

4.1.3 ค่าเฉลี่ยรวม

$$\overline{\overline{X}} = \frac{\overline{X}_1 + \overline{X}_2 + ... + \overline{X}_k}{k} \quad (2\text{-}14)$$

k = จำนวนของกลุ่มย่อยที่ใช้หาค่าเฉลี่ยรวมและค่าเฉลี่ยพิสัย

4.1.4 ค่าพิสัยเฉลี่ย

$$\overline{R} = \frac{R_1 + R_2 + ... + R_k}{k} \quad (2\text{-}15)$$

4.1.5 การประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\sigma_C = \overline{R} \big/ d_2 \quad (2\text{-}16)$$

d_2 = ค่าคงที่ของตัวหารสำหรับค่าพิสัย

4.1.6 องค์ประกอบของแผนภูมิควบคุม

4.1.6.1 เส้นกลางของค่าเฉลี่ยรวม

$$CL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} \quad (2\text{-}17)$$

4.1.6.2 เส้นพิกัดควบคุมของค่าเฉลี่ยรวม

$$UCL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + A_2\overline{R} \quad (2\text{-}18)$$

$$LCL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} - A_2\overline{R} \quad (2\text{-}19)$$

A_2 = ค่าคงที่ตัวคูณของค่าพิสัยสำหรับพิกัดควบคุม

4.1.6.3 เส้นกลางของค่าพิสัยเฉลี่ย

$$CL_R = \overline{R} \tag{2-20}$$

4.1.6.4 เส้นพิกัดควบคุมของค่าพิสัยรวม

$$UCL_R = D_4 \overline{R} \tag{2-21}$$

D_4 = ค่าคงที่สำหรับคูณค่าพิสัยของพิกัดควบคุมบน

$$LCL_R = D_3 \overline{R} \tag{2-22}$$

D_3 = ค่าคงที่สำหรับคูณค่าพิสัยของพิกัดควบคุมล่าง

4.2 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการและสมรรถนะ คือ เทคนิคสำหรับใช้ประเมินความสามารถ และสมรรถนะของกระบวนการตามข้อกำหนดของสินค้า ถูกประเมินว่ามีความเสถียรคือ ดัชนีความผันแปรอยู่ในการควบคุมทางสถิติ

4.2.1 ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการที่เสถียร C_p

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_C} \tag{2-23}$$

USL = เส้นพิกัดด้านบนของข้อกำหนดทางวิศวกรรม
LSL = เส้นพิกัดด้านล่างของข้อกำหนดทางวิศวกรรม
σ_C = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งใช้ค่าพิสัยเฉลี่ย

4.2.2 ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการที่เสถียร C_{pk}

$$C_{pk} = \min\left\{\frac{USL - \overline{X}}{3\sigma_C}, \frac{\overline{X} - LSL}{3\sigma_C}\right\} \tag{2-24}$$

C_p และ C_{pk} ควรนำมาประเมินและวิเคราะห์ร่วมกันเสมอ เมื่อค่า C_p มากกว่า C_{pk} แสดงให้เห็นถึงโอกาสในการปรับปรุงโดยการทำให้กระบวนการเลื่อนเข้าสู่ตำแหน่งกึ่งกลาง

4.2.3 การประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความผันแปรโดยรวม

$$\sigma_p = \sqrt{\sum_i^n \frac{\left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n-1}} \tag{2-25}$$

x_i = ค่าแต่ละตัวที่อ่านได้

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของแต่ละค่าที่อ่านได้

n = จำนวนของค่าแต่ละตัวที่อ่านได้

4.2.4 ค่าดัชนีสมรรถนะ P_p

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_P} \tag{2-26}$$

σ_p = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความผันแปรโดยรวม

4.2.5 ค่าดัชนีสมรรถนะ P_{pk}

$$P_{pk} = \min\left\{\frac{USL - \overline{X}}{3\sigma_P}, \frac{\overline{X} - LSL}{3\sigma_P}\right\} \tag{2-27}$$

P_p และ P_{pk} ควรนำมาประเมินและวิเคราะห์ร่วมกันเสมอ เมื่อค่า P_p มากกว่า P_{pk} แสดงให้เห็นถึงโอกาสในการปรับปรุงโดยการทำให้กระบวนการเลื่อนเข้าสู่ตำแหน่งกึ่งกลาง

4.2.6 การประมาณค่าเบี่ยงเบนกับค่าเป้าหมาย

$$S_{C_{pm}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - T)^2}{n-1}} \tag{2-28}$$

T = ค่าเป้าหมาย

4.2.7 ความผันแปรกับค่าเป้าหมาย C_{pm}

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6S_{C_{Pm}}} \tag{2-29}$$

ค่าดัชนี C_{pk} และ P_{pk} จะมุ่งให้ความสนใจไปที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ไม่ใช่ค่าเป้าหมายของสเปค ในขณะที่ดัชนี C_{pm} มุ่งสนใจไปที่ค่าเป้าหมาย (AIAG, 2005)

5. แผนควบคุม (Control plan)

แผนควบคุมดำเนินการใช้ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการ ซึ่งประกอบด้วย การรับเข้าระหว่างดำเนินการ การส่งออก และข้อกำหนดที่ใช้ เพื่อให้มั่นใจว่าผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการจะอยู่สภาพที่ได้รับการควบคุม แผนควบคุมทำให้เกิดการตรวจสอบกระบวนการและวิธีการควบคุมที่ใช้ในการควบคุมลักษณะ และเป็นตัวสะท้อนให้เห็นว่า ได้มีแผนในการเปลี่ยนแปลงอย่างไรให้ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะของกระบวนการ แผนควบคุมจะถูกเก็บรักษาและนำมาใช้ตลอดทั้งวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์

5.1 ส่วนหัวของแบบฟอร์ม ประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ การทดลองผลิต และการผลิต ซึ่งส่วนหัวของแบบฟอร์มจะแสดงข้อมูลเกี่ยวข้องกับการทำเอกสาร การควบคุมกระบวนการ การควบคุมหมายเลขเอกสาร ขอบเขต ผู้รับผิดชอบ วันที่เสร็จ และส่วนอื่น ๆ

5.2 ส่วนกลางของแบบฟอร์ม ประกอบด้วย รายละเอียดส่วนกลางแบบฟอร์มแผนควบคุมคือ คำอธิบายอย่างเป็นลายลักษณ์อักษรเกี่ยวกับระบบเพื่อควบคุมชิ้นส่วนและกระบวนการต่าง ๆ การใช้แผนควบคุมและวิธีการในการเฝ้าติดตามกระบวนการที่กำหนดไว้ประกอบด้วย

5.2.1 หมายเลขชิ้นส่วน อ้างอิงจากผังการไหล หากมีหมายเลขชิ้นส่วนจำนวนมากให้จัดทำรายการหมายเลขของแต่ละชิ้นส่วน และกระบวนการของชิ้นส่วนเหล่านั้น

5.2.2 ชื่อกระบวนการและรายละเอียดดำเนินงาน ขั้นตอนทั้งหมดในการผลิต จะถูกอธิบายไว้ในผังการไหลกระบวนการ ซึ่งสามารถอธิบายถึงกิจกรรมที่กำลังกล่าวถึงได้ดีที่สุด

5.2.3 เครื่องจักร เครื่องมือวัด และอุปกรณ์จับยึด สำหรับการดำเนินการแต่ละอย่างที่อธิบายไว้ ให้ระบุอุปกรณ์สำหรับกระบวนการ หรือเครื่องมืออื่น ๆ ตามความเหมาะสม

5.2.4. หมายเลข กำหนดเลขอ้างอิงให้แก่เอกสารทั้งหมดที่สามารถใช้งานได้ เช่น ผังการไหลกระบวนการ หมายเลข DFMEA มาตรฐานการตรวจสอบด้วยสายตา และอื่น ๆ

5.2.5 ผลิตภัณฑ์ คือ ลักษณะหรือคุณสมบัติของชิ้นส่วน องค์ประกอบ หรือชุดประกอบที่อธิบายไว้บนแบบวิศวกรรม หรือข้อมูลทางวิศวกรรมที่สำคัญอื่น ๆ

5.2.6 กระบวนการ คุณลักษณะของกระบวนการการเปลี่ยนตัวแปรกระบวนการที่มีความสัมพันธ์ของเหตุและผลกับคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ระบุไว้ คุณลักษณะของกระบวนการจะสามารถวัดได้ เฉพาะในเวลาที่มันเกิดขึ้นเท่านั้น ทีมงานหลักควรระบุลักษณะของกระบวนการที่จำเป็นต้องควบคุมความผันแปร เพื่อลดความผันแปรของผลิตภัณฑ์

5.2.7 การจำแนกคุณลักษณะพิเศษ เพื่อกำหนดประเภทของคุณลักษณะพิเศษ หรือเว้นว่างไว้สำหรับคุณลักษณะอื่น ๆ อาจใช้สัญลักษณ์ที่ไม่ซ้ำกันเพื่อระบุคุณลักษณะที่สำคัญ

5.2.8 สเป็คของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ จากเอกสารทางวิศวกรรมต่าง ๆ เช่น แบบวิศวกรรม การทบทวนการออกแบบ มาตรฐานวัตถุดิบ และมาตรฐานการปฏิบัติงานอื่น ๆ

5.2.9 เทคนิคการวัด ระบบการวัดที่นำมาใช้ เช่น เครื่องมือวัด อุปกรณ์จับยึดเครื่องมือ และอุปกรณ์ทดสอบที่จำเป็นสำหรับการวัดที่เป็นชิ้นส่วนหรือกระบวนการ ควรจะดำเนินการวิเคราะห์ระบบการวัดเพื่อสร้างความมั่นใจในการควบคุมอุปกรณ์สำหรับเฝ้าติดตามและการวัดก่อนที่จะสามารถมั่นใจในระบบการวัดได้ เช่น การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA)

5.2.10 ตัวอย่างของขนาดและความถี่ เมื่อจำเป็นต้องมีการสุ่มตัวอย่าง ให้จัดทำรายการขนาดตัวอย่างที่สุ่มและความถี่ของแต่ละรายการ

5.2.11 วิธีการควบคุม จัดเป็นหนึ่งในองค์ประกอบที่สำคัญมากสำหรับแผนควบคุมที่มีประสิทธิภาพวิธีควบคุมการดำเนินการ รวมถึงหมายเลขขั้นตอนที่นำมาใช้ วิธีการควบคุมที่นำมาใช้ ควรอยู่บนพื้นฐานการวิเคราะห์กระบวนการที่มีประสิทธิภาพ จะถูกกำหนดโดยประเภทของกระบวนการและความเสี่ยงที่ระบุไว้ในระหว่างการวางแผนคุณภาพ การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในกระบวนการหรือความสามารถของกระบวนการ นำไปสู่การประเมินวิธีการควบคุม

5.2.12 แผนการตอบสนอง จะระบุการดำเนินการแก้ไขที่จำเป็นเพื่อหลีกเลี่ยงสิ่งที่ไม่เป็นตามข้อกำหนด โดยปกติแล้วการปฏิบัติควรเป็นความรับผิดชอบของบุคคลที่ทำงานใกล้ชิดกับกระบวนการที่สุด จะถูกกำหนดไว้ในแผนอย่างชัดเจน การเตรียมแผนตอบสนองไว้ในเอกสารให้พร้อมปฏิบัติ กรณีตรวจพบสิ่งไม่เป็นตามข้อกำหนด (AIAG, 2008)

6. กระบวนการอนุมัติชิ้นส่วนการผลิต (PPAP)

กระบวนการอนุมัติชิ้นส่วนการผลิต เป็นการกำหนดข้อกำหนดทั่วไปในการอนุมัติชิ้นส่วนการผลิต ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อตัดสินว่าองค์กรมีความเข้าใจอย่างถูกต้องในเรื่องข้อกำหนดเกี่ยวกับข้อกำหนดและบันทึกการออกแบบทางวิศวกรรมของลูกค้าทั้งหมดหรือไม่ และกระบวนการผลิตมีศักยภาพที่เพียงพอที่จะผลิตให้เป็นตามข้อกำหนด ระหว่างการผลิตจริงตามอัตราการผลิตที่กำหนดไว้ ข้อกำหนดของกระบวนการอนุมัติชิ้นส่วนการผลิตประกอบด้วย

6.1. บันทึกการออกแบบสำหรับผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วน รวมถึงบันทึกการออกแบบสำหรับชิ้นส่วนประกอบเพื่อแสดงข้อกำหนดทางวิศวกรรมที่จะนำมาตรวจสอบ

6.1.1 การรายงานองค์ประกอบวัตถุดิบของชิ้นส่วน หลักฐานองค์ประกอบชิ้นส่วนที่ลูกค้าต้องการได้เสร็จสมบูรณ์ และข้อมูลรายงานเป็นไปตามข้อกำหนดเฉพาะของลูกค้า

6.1.2 การทำเครื่องหมายชิ้นส่วนโพลิเมอร์ ต้องระบุชิ้นส่วนโพลิเมอร์ต้องมีสัญลักณ์ ISO การระบุลักษณะทั่วไปและการทำเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์พลาสติก

6.2 เอกสารการเปลี่ยนแปลงวิศวกรรมที่ได้รับอนุญาติ สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่ยังไม่ได้บันทึกในบันทึกการออกแบบ แต่ได้รวมไว้ในผลิตภัณฑ์ ชิ้นส่วน หรือเครื่องมือ

6.3 การอนุมัติทางวิศวกรรมของลูกค้า กรณีลูกค้ากำหนดต้องมีหลักฐานการอนุมัติ

6.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA)

6.5 ผังการไหลของกระบวนการ อธิบายอย่างละเอียดและชัดเจนของกระบวนการ

6.6 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลของกระบวนการ (PFMEA)

6.7 แผนควบคุม กำหนดวิธีการทั้งหมดที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการ และเป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า อ้างอิงการวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ล่วงหน้าและแผนควบคุม

6.8 การศึกษาการวิเคราะห์ระบบการวัด จัดทำ เช่น GRR ของเครื่องมือวัด หรืออื่นๆ สำหรับเครื่องมือวัด การวัด และอุปกรณ์การทดสอบชุดใหม่หรือที่มีการแก้ไขทั้งหมด

6.9 ผลการวัดขนาด หลักฐานการทวนสอบเกี่ยวกับขนาดมิติ ในบันทึกการออกแบบและแผนควบคุมนั้นเสร็จสมบูรณ์ และผลลัพธ์ที่ได้บ่งชี้ว่าเป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุไว้

6.10 บันทึกการทดสอบที่ระบุในบันทึกการออกแบบ หรือแผนควบคุม

6.11 การศึกษากระบวนการเบื้องต้น ต้องได้รับพิจารณาว่าสามารถยอมรับได้ ก่อนที่จะทำการยื่นและได้รับความเห็นชอบจากลูกค้า ดัชนีคุณภาพ คือ ดัชนีความสามารถ C_{pk} และดัชนีสมรรถนะ P_{pk} และเกณฑ์การยอมรับ คือ มากกว่า 1.33

6.12 เอกสารห้องปฏิบัติการที่เป็นที่ยอมรับ ต้องมีขอบเขตห้องปฏิบัติการและเอกสารที่แสดงว่า ห้องปฏิบัติการมีคุณสมบัติเป็นที่ยอมรับสำหรับการวัดค่า หรือการทดสอบที่ดำเนินการ

6.13 รายการอนุมัติลักณะภายนอก ต้องได้รับการจัดทำให้เสร็จสมบูรณ์สำหรับแต่ละชิ้นส่วน หากมีข้อกำหนดด้านลักษณะภายนอกในบันทึกการออกแบบ

6.14 ตัวอย่างชิ้นส่วนการผลิต ต้องจัดหาตัวอย่างผลิตภัณฑ์ตามข้อกำหนดของลูกค้า

6.15 ตัวอย่างชิ้นงานต้นแบบ ต้องเก็บรักษาตัวอย่างต้นแบบเท่ากับระยะเวลาของบันทึกการอนุมัติชิ้นส่วนการผลิต จนกว่าจะมีการจัดทำตัวอย่างต้นแบบชิ้นใหม่

6.16 อุปกรณ์ช่วยตรวจสอบ กรณีลูกค้าร้องขอต้องนำส่งอุปกรณ์ช่วยตรวจสอบชิ้นส่วนประกอบ หรือส่วนประกอบที่เฉพาะเจาะจงนั้นไปพร้อมกับการยื่นPPAP ด้วย

6.17 ข้อกำหนดเฉพาะของลูกค้า ต้องบันทึกว่าด้วยการปฏิบัติตามข้อกำหนดเฉพาะของลูกค้าทั้งหมด ที่นำมาใช้ต้องจัดทำเป็นเอกสารในรายการตรวจสอบ

6.18 หนังสือรับรองการนำส่งชิ้นส่วนเมื่อดำเนินการเสร็จสมบูรณ์ ต้องกรอกข้อมูลในหนังสือรับรองชิ้นส่วนให้สมบูรณ์ เช่น น้ำหนัก ซึ่งต้องบันทึกบันทึกข้อมูลน้ำหนักชิ้นส่วนที่จัดส่ง วัดค่า และแสดงผลในหน่วยกิโลกรัม เป็นทศนิยม 4 ตำแหน่ง (AIAG, 2006)

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่อง ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อการออกแบบและกระบวนการกับมาตรฐาน ISO/TS 16949 นั้นได้จัดทำเป็นสรุปและรวบรวมรายละเอียดตามเนื้อหาดังนี้

1. การบูรณาการ ซิกซ์ ซิกม่า กับ ระบบบริหารคุณภาพ

Pedro, Jose, and Francisco (2013) กล่าวถึง ประโยชน์จากการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างซิกซ์ ซิกม่า กับระบบบริหารคุณภาพมาตรฐาน ISO 9001 ได้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแนวทางทั้งสอง คือ กรอบความคิด วัตถุประสงค์ ความมุ่งหมาย ขอบเขต ผู้นำโครงการ วิธีการปรับปรุง เทคนิค และเครื่องมือ ได้นำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างขั้นตอน DMAIC กับข้อมาตรฐานกำหนด ISO 9001 คือ

กำหนด (Define) ตรงกับข้อกำหนด ISO 9001 คือ ข้อ 7.1 การวางแผนในการทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ และข้อ 8.4 การวิเคราะห์ข้อมูลอย่างเป็นระบบมีความเหมาะสม และมีประสิทธิผล

วัดผล (Measure) ตรงกับข้อกำหนดของ ISO 9001 ด้านการเฝ้าติดตาม และตรวจวัด ข้อ 8.2.1 ความพึงพอใจของลูกค้า ข้อ 8.2.3 การเฝ้าติดตามและตรวจวัดกระบวนการ และข้อ 8.2.4 การเฝ้าติดตามและตรวจวัดผลิตภัณฑ์

วิเคราะห์ (Analysis) ตรงกับข้อกำหนด ISO 9001 ในข้อ 6.2.2 ความสามารถในการฝึกอบรมและความตระหนัก และข้อ 8.4 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากการตรวจวัด

ปรับปรุง (Improve) ตรงกับข้อกำหนด ISO 9001 ในข้อ 5.1 ความมุ่งมั่นของฝ่ายบริหาร ข้อ 8.1 C การตรวจวัด วิเคราะห์และปรับปรุงเพื่อปรับปรุงประสิทธิผลของระบบบิรหารคุณภาพอย่างต่อเนื่อง และข้อ 8.5.1 การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

ควบคุม (Control) ตรงกับข้อกำหนด ISO 9001 ในข้อ 4.1 C กำหนดกฎเกณฑ์และวิธีการควบคุมอย่างมีประสิทธิผล ข้อ 4.1 การเฝ้าติดตามว่าทรัพยากรและข้อมูลที่จำเป็นมีเพียงพอ

ข้อ 4.2 ข้อกำหนดด้านการจัดทำเอกสาร ข้อ 7.5.1 การควบคุมการผลิตและการให้บริการ ข้อ 7.5.4 ทรัพย์สินของลูกค้า และข้อ 7.6 การควบคุมเครื่องมือเฝ้าติดตามและตรวจวัด

งานวิจัยนี้มีประโยชน์คือช่วยในการระบุเครื่องมือและเทคนิคที่สามารถนำไปใช้ปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่องของ ISO 9001 และเครื่องมือทางสถิติของ ซิกซ์ ซิกม่า แต่ไม่มีตัวอย่างกรณีศึกษาให้เห็นถึงประยุกต์ใช้ และปัญหาที่พบระหว่างการดำเนินการปรับปรุง

Sokovic, Pavletic, and Kern (2010) กล่าวถึง ข้อกำหนดเบื้องต้น ความแตกต่าง จุดแข็ง และขอบเขตของการประยุกต์ใช้ ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อการออกแบบ DMADV และวงจร PDCA ซึ่งในการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า มุ่งเน้นแนวทางของระบบเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ การป้องกันปัญหาในกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ได้ดำเนินการเป็นครั้งแรก การออกแบบที่เหมาะสม ซึ่งได้มีความแตกต่างกับวงจร PDCA คือ มีมาตรการการแก้ไข แนวทางการทำซ้ำ สำหรับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง โดยการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า นั้นได้มุ่งเน้นเรื่องของความเป็นเลิศด้านวิศวกรรม และวงจร PDCA มุ่งเน้นเรื่องการแก้ไขปัญหาและพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง และความสัมพันธ์ของแนวทางทั้งสอง คือ กำหนด (Define) ตรงกับขั้นตอนวางแผน (Plan) วัดผล (Measure) และวิเคราะห์ (Analysis) ตรงกับขั้นตอนปฏิบัติ (Do) ออกแบบ (Design) ตรงกับขั้นตอนตรวจสอบ (Check) และทวนสอบ (Verify) ตรงกับขั้นตอนแก้ไข (Action) งานวิจัยช่วยให้เห็นความสัมพันธ์ในขั้นตอนดำเนินการปรับปรุงของต้นแบบการบูรณาการของแนวทางทั้งสอง และจุดแข็งที่ชัดเจนสำหรับนำไปพัฒนาต้นแบบต่อไป แต่ไม่มีตัวอย่างกรณีศึกษาให้เห็นถึงประยุกต์ใช้ และปัญหาที่พบระหว่างการดำเนินการปรับปรุง

2. การออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า

จิรายุ จิตเจือจุน (2555) วิจัยการออกแบบและลดต้นทุนโดยนำเสนอการใช้เครื่องมือตามแนวทางของวิศวกรรมคุณค่า รวมทั้งขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาแบบ DMAIC ของซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งเป็นเทคนิคใหม่สามารถนำมาใช้กับบริษัทตัวอย่าง ในการลดต้นทุนและเพิ่มคุณค่ากับอุตสาหกรรมการผลิตเบาะรถยนต์ ทำให้เกิดต้นแบบเทคนิค IVESS ซึ่งมี 7 ขั้นตอนที่สามารถประยุกต์ใช้ได้จริง และสามารถแสดงต้นผลิตภัณฑ์ที่ลดลงหลังจากมีการใช้เทคนิค IVESS งานวิจัยมีข้อเสนแนะว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ไม่ใช่เพียงอุตสหกรรมยานยนต์

วรภูมิ จตุวรพัฒน์ (2547) วิจัยการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ของชิ้นส่วนฮาร์ดไดร์โดยวิธีการแบบ ซิกซ์ ซิกม่า การปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ของชิ้นส่วนหัวอ่าน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของฮาร์ดไดร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการขนส่ง และต้นทุนบรรจุภัณฑ์ โดยวิธีการ ซิกซ์ ซิกม่า ของขั้นตอน DMAIC ที่สามารถสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังคงสามารถใช้ป้องกัน ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการขนส่งผลิตภัณฑ์ การดำเนินการวิจัยเริ่มต้นจาก การวิเคราะห์

หาปัญหาที่เหมาะสมเพื่อการแก้ไขที่ตรงจุดและรวดเร็ว วิเคราะห์หาปัจจัยหลักที่มีผลต่อต้นทุนของบรรจุภัณฑ์มากที่สุดแล้วเลือกปรับปรุงในหัวข้อต่าง ๆ ตามลำดับความสำคัญ ที่ได้มาจากการศึกษาบรรจุภัณฑ์จากการศึกษามีการเปลี่ยนแปลงไปจากรูปแบบบรรจุภัณฑ์เดิมซึ่งถูกออกแบบเพื่อการค้าเป็นกลุ่ม ไปเป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งระหว่างสายการผลิตหลัก บรรจุภัณฑ์แบบใหม่ได้ถูกออกแบบและทดสอบโดยใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติก่อนที่จะได้มีการนำผล ที่ได้จากการศึกษาไปใช้กับผลิตภัณฑ์ จากการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ บริษัทสามารถประสบผลสำเร็จในการลดต้นทุน

Chuen-Sheng and Chi-Ming (2012) ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์โดยกระบวนการ DMAIC กรณีศึกษาหลอดแบล็คไลท์หน้าจอคอมพิวเตอร์ (CCFL) กล่าวว่า การนำขั้นตอน กำหนด วัดผล วิเคราะห์ ปรับปรุง และควบคุมของ DMAIC และขั้นตอน กำหนด วัดผล วิเคราะห์ ออกแบบ และทวนสอบของ DMADV ที่เป็นวิธีการทั้งสองของซิกซ์ ซิกม่า นั้นมาใช้ปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปถ้าการปรับปรุงการออกแบบผลิตภัณฑ์ด้านความน่าเชื่อถือไม่สามารถตอบสนองได้ DMAIC สามารถใช้เพื่อออกแบบการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ และงานวิจัยสรุปได้ว่า ซิกซ์ ซิกม่า และความน่าเชื่อถือสามารถใช้ร่วมกันได้เพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ ทั้งในระบบและกระบวนการซึ่งช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับผลิตภัณฑ์

Jean-Baqtiste (2007) ศึกษาเกี่ยวกับความแตกต่าง ความคล้ายคลึง และความเชื่อมโยงระหว่างการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า กับการพัฒนาผลิตภัณฑ์แบบลีน โดยเปรียบเทียบขั้นตอนดำเนินการเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1. หลักการปฏิบัติทำไมถึงดำเนินการ (Why)

การออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า มุ่งเน้น ความแข็งแกร่ง ความพึงพอใจของลูกค้า องค์ประกอบ และคุณภาพผลิตภัณฑ์

ลีนเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ มุ่งเน้น แผนการไหลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เอกสารประวัติของผลิตภัณฑ์ การยกระดับความพึงพอใจของลูกค้า และมาตรฐานการปรับปรุงคุณภาพ

2. การปฏิบัติดำเนินการอะไร (What)

การออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า มุ่งเน้น โครงสร้าง รูปแบบของขั้นตอน ให้ความสนใจทางสถิติ และลดความผันแปร

ลีนเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ มุ่งเน้น การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง การจัดการด้วยการมองเห็น การจัดลำดับความสำคัญ ความผิดพลาดที่ปรากฏ กำจัดความสูญเปล่า และการมีส่วนร่วมกับลูกค้าและผู้ส่งมอบ

3. เครื่องมือ (Tools) ดำเนินการอย่างไร (How)

การออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า มุ่งเน้น การออกบบที่แข็งแกร่ง การวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ บ้านคุณภาพ การให้คะแนนเกณฑ์การประเมิน

ลีนเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (LPD) มุ่งเน้น การทำ 5 ส. และการทำไคเซ็น

จากความแตกต่างของทั้งสองแนวทาง คือ ลีนช่วยในการสร้างมาตรฐานการปฏิบัติงาน และ การออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ช่วยสำหรับการแก้ไขปัญหาโดยใช้เทคนิคทางสถิติที่เหมาะสม

Sheikh (2013) วิจัยเกี่ยวกับวิธีการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า (DFSS) ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษาอุปกรณ์ปล่อยสัญญานไร้สาย (Wireless Access Point) สำหรับคอมพิวเตอร์ ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน DMADV มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

กำหนด (Define) ดำเนินการจัดทำกฎบัตรทีม จัดตั้งทีมปฏิบัติงาน และเขียนแผนงานตามขั้นตอน DMADV จากนั้นใช้การระดมความของทีมในการกำหนดเสียงของลูกค้า (VOC) นำมาจัดทำแผนภูมิคาโน วิเคราะห์ระดับควาพึงพอใจของลูกค้าได้ผลลัพธ์คือ ความต้องการของลูกค้า

วัดผล (Measure) นำความต้องการของลูกค้า นำมาวิเคราะห์ QFD ได้ผลความสำคัญด้านคุณภาพ (CTQ) คือ อุณหภูมิภายของผลิตภัณฑ์ (Internal Temperature Requirement)

วิเคราะห์ (Analysis) ดำเนินการวิเคราะห์แนวโน้มและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA) พบว่ากรณีศึกษามีโอกาสที่จะมีอุณหภูมิสูงกว่า 75^{o}C การป้องกันโดยการทำให้มีการกระจายตัวของความร้อนโดยการ เพิ่มรูสำหรับระบายความร้อนเข้าไปในกรณีศึกษา

ออกแบบ (Design) ออกแบบรูระบายความร้อน โดยการออกแบบการทดลอง (DOE) ซึ่งมีขนาดของ ความยาว ความกว้าง และความห่างเท่ากับ 55 2.2 และ 1.75 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ทวนสอบ (Verify) คือ การทวนสอบสอบการออกแบบโดย นำต้นแบบกรณีศึกษาวัดระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ใช้งานจริงจำนวน 3 ตัวอย่าง

ผลดำเนินการประยุกต์ใช้การออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า โดยขั้นตอน DMADV สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ สามารถใช้งานได้จริงและช่วยให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ดียิ่งขึ้น

Gregory (2003) นำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า กล่าวถึง การระบุเครื่องมือ วิธีการ และทฤษฎี ที่ใช้ในการออกแบบเพื่อสนองความต้องการของลูกค้าอธิบายวิธีการของ DMADV ปัจจัยนำเข้าแต่ละขั้นตอนดำเนินการอย่างละเอียดทีละขั้นตอน

3. ระบบบริหารคุณภาพมาตรฐาน ISO/TS 16949

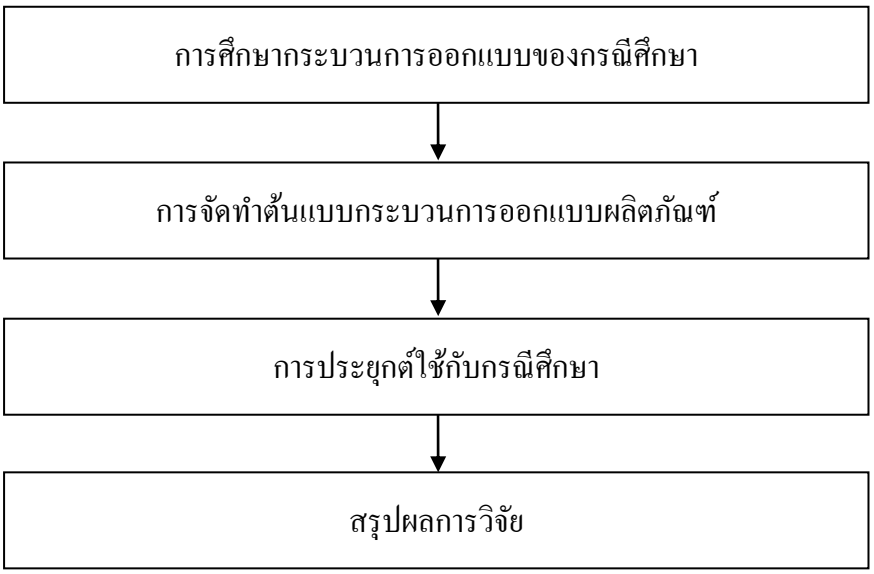
สรอ. (2556) รายงานการศึกษาเรื่อง ผลกระทบจากมาตรฐานระบบบริหารงานคุณภาพสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ISO/TS 16949 จากการสำรวจอุตสาหกรรมไทยกับสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม สำนักงานอุตสาหกรรมสถาบันยานยนต์ไทย ได้กล่าวถึงการที่

ไทยเป็นผู้ผลิตรถยนต์ชั้นนำของโลกหลายแห่ง เพื่อเป็นมาตรฐานสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์โดยเฉพาะ จากการศึกษาพบว่าภาคเอกชนมีความตื่นตัวและมีการเตรียมการรับรองมาตรฐาน ซึ่งผู้ผลิตชิ้นส่วนของไทยส่วนใหญ่ส่งมอบชิ้นส่วนให้กับผู้ผลิตรถยนต์ค่ายญี่ปุ่นซึ่งยังไม่มีนโยบายบังคับใช้ แต่อีกส่วนหนึ่งก็จัดทำเพราะเห็นว่ามีประโยชน์กับการพัฒนาคุณภาพในกระบวนการผลิตและยังสร้างโอกาสในการขยายไปสู่ลูกค้ารายอื่น ๆ โดยภาครัฐให้ความช่วยเหลือในการฝึกอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับมาตรฐาน และเงินทุนสนับสนุนการจ้างที่ปรึกษาเพื่อการจัดทำมาตรฐาน

อนวัฒน์ บุญเจริญ (2555) การวิจัยแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งการออกแบบกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ (New Model) ให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของ ISO/TS 16949 ในการกำหนดรูปแบบขั้นตอนและระยะเวลาในการทำงาน เพื่อนำไปสู่การนำไปปฏิบัติงานสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่นหรือชนิดต่าง ๆ ตามที่ออกแบบไว้ ส่วนที่สองการประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาสำหรับผลิตภัณฑ์ ท่อไหลย้อนกลับเผาไหม้ไอเสีย (EGR Pipe) จากการศึกษางานวิจัยพบว่ามีการใช้เครื่องมือหลัก (Core tools) คือ APQP FMEAs SPC MSA และ PPAP รวมทั้งมีการจัดทำแผนควบคุม สำหรับใช้ควบคุมกระบวนการผลิตให้อยู่ในช่วงการยอมรับของลูกค้า เพื่อตอบสนองความพึงพอใจอย่างสูงสุด ผลการปรับปรุงสามารถลดเวลาดำเนินการจาก 28 สัปดาห์เหลือ 25 สัปดาห์หรือเวลาลดลง 10.71% และองค์กรได้รับการรับรองตามข้อกำหนด ISO/TS 16949 ที่เป็นมาตรฐานสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ที่ยอมรับกันในระดับสากล

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยการบูรณาการการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า กับมาตรฐาน ISO/TS 16949 สำหรับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ดำเนินการโดยศึกษาการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า (DFSS) ที่ดำเนินการตามขั้นตอน DMADV บูรณาการร่วมกับระบบบริหารคุณภาพมาตรฐาน ISO/TS 16949 ที่เป็นมาตรฐานระดับสากลสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ เพื่อจัดทำเป็นต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับกระบวนการออกแบบในอุตสาหกรรมอื่น ๆ นอกเหนือจากอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ได้นำต้นแบบดังกล่าวประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ สำหรับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในระหว่างการทวนสอบการออกแบบ คือ การตรวจสอบชิ้นส่วน จนถึงการทดสอบสมรรถนะ และความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ต้นแบบของกรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ แสดงดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัยการบูรณาการ ซิกซ์ ซิกม่า กับมาตรฐาน ISO/TS 16949

จากภาพที่ 3-1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การศึกษากระบวนการออกแบบของกรณีศึกษา คือ การศึกษาขั้นตอนการออกแบบของโช้คอัพยานยนต์ ในศูนย์วิจัย และพัฒนาโช้คอัพยานยนต์ ที่เป็นการรับข้อกำหนด ได้แก่ แบบวิศวกรรม ขนาดมิติ ระดับสมรรถนะ ระดับความน่าเชื่อถือ และค่าพิกัดการยอมรับ

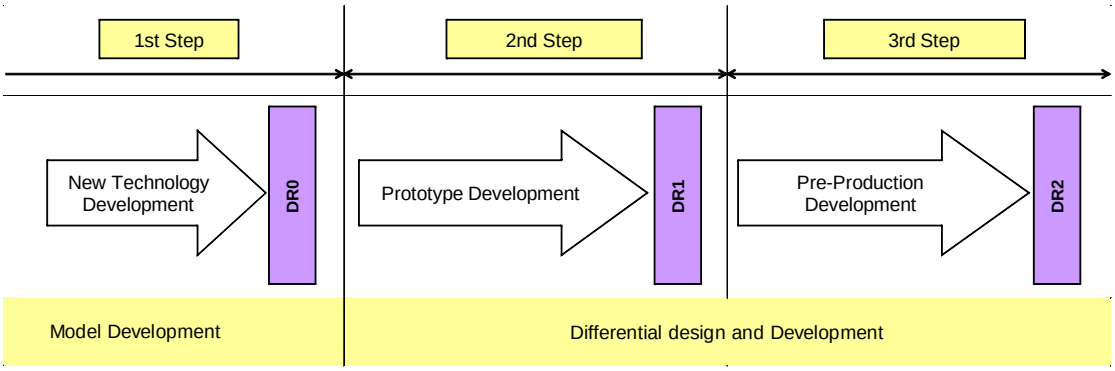
2. การจัดทำต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาการออกแบบเพื่อซิกซ์ ซิกม่า (DFSS) ที่มีการดำเนินการตามขั้นตอน DMADV คือ กำหนด (Define) วัดผล (Measure) วิเคราะห์ (Analyse) ออกแบบ (Design) และทวนสอบ (Verify) บูรณาการร่วมกับระบบบริหารคุณภาพที่เป็นการดำเนินการตามข้อกำหนด ISO/TS 16949 ที่มีเครื่องมือหลัก (Coret tools) คือ การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง (APQP) การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA) การควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) และกระบวนการอนุมัติผลิตภัณฑ์ (PPAP) นอกจากนั้นยังมีการจัดทำแผนสำหรับควบคุมการจัดทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype Control Plan) ส่งผลให้ได้ต้นแบบกระบวนการออกแบบที่เป็นวงจรการปรับปรุงอย่างอย่างเนื่อง ในวงจร PDCA คือ วางแผน (Plan) ปฏิบัติ (Do) ตรวจสอบ (Check) และแก้ไข (Action)

3. การประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษา คือ การนำต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์มาประยุกต์ใช้กับ กรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ที่เป็นการทวนสอบการออกแบบผลิตภัณฑ์จากแบบวิศวกรรม ดำเนินการตามขั้นตอนสำหรับ ตรวจสอบขนาดมิติของชิ้นส่วน ทดสอบสมรรถนะและความน่าเชื่อถือของต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ ยืนยันความสำคัญด้านคุณภาพและตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า ซึ่งได้ผลการดำเนินการดังกล่าวระบุใน บทที่ 4 ผลการวิจัย

4. สรุปผลการวิจัย คือ การนำผลการวิจัยที่ได้ นำมาสรุปผลจากการดำเนินการประยุกต์ใช้ต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์กับกรณีศึกษา สรุปผลดำเนินการใน บทที่ 5

การศึกษากระบวนการออกแบบของกรณีศึกษา

กระบวนการออกแบบของกรณีศึกษา ได้แบ่งออกเป็น สามขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (3 Step development) มีภาพรวมสำหรับการดำเนินการดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 สามขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์

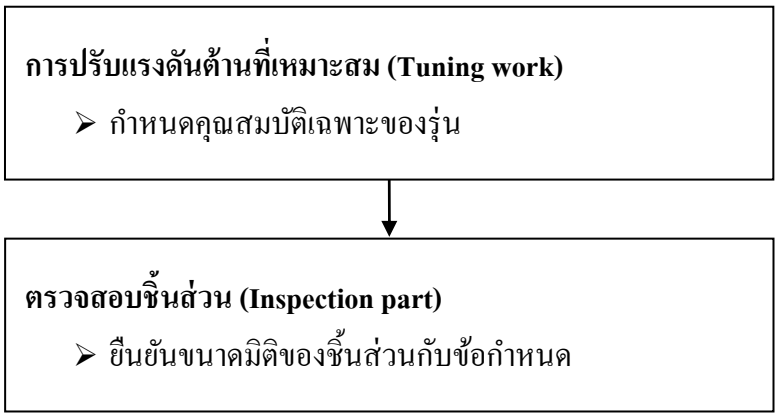
จากภาพที่ 3-2 แสดงภาพรวมของสามขั้นตอนการพัฒนา (3 Step development) ของกรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ รายละเอียดสำหรับดำเนินการ คือ

1. การพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ (New technology development)

เป็นขั้นตอนการดำเนินการสำหรับพัฒนาตัวผลิตภัณฑ์ใหม่ หรือเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่จัดทำขึ้นภายในองค์กร สำหรับใช้กับยานยนต์รุ่นใหม่ ๆ ที่ไม่เคยสร้างผลิตภัณฑ์รุ่นนี้มาก่อนเป็นการดำเนินการต่าง ๆ เพื่อการยืนยันความเป็นไปได้ของผลิตภัณฑ์ แนวคิดการออกแบบ และทฤษฎีผลลัพธ์ที่ได้สำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น ข้อกำหนดด้านวิศวกรรม ระดับของสมรรถนะการใช้งาน และราคา ส่วนท้ายขั้นตอนนี้ คือ การทบทวนการออกแบบแบบครั้งที่ 0 (Design review 0: DR 0) ในขั้นตอนนี้ยังไม่สามารถดำเนินการได้ภายในศูนย์วิจัย และพัฒนาของกรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์โดยมีการดำเนินการที่บริษัทแม่ประเทศญี่ปุ่น

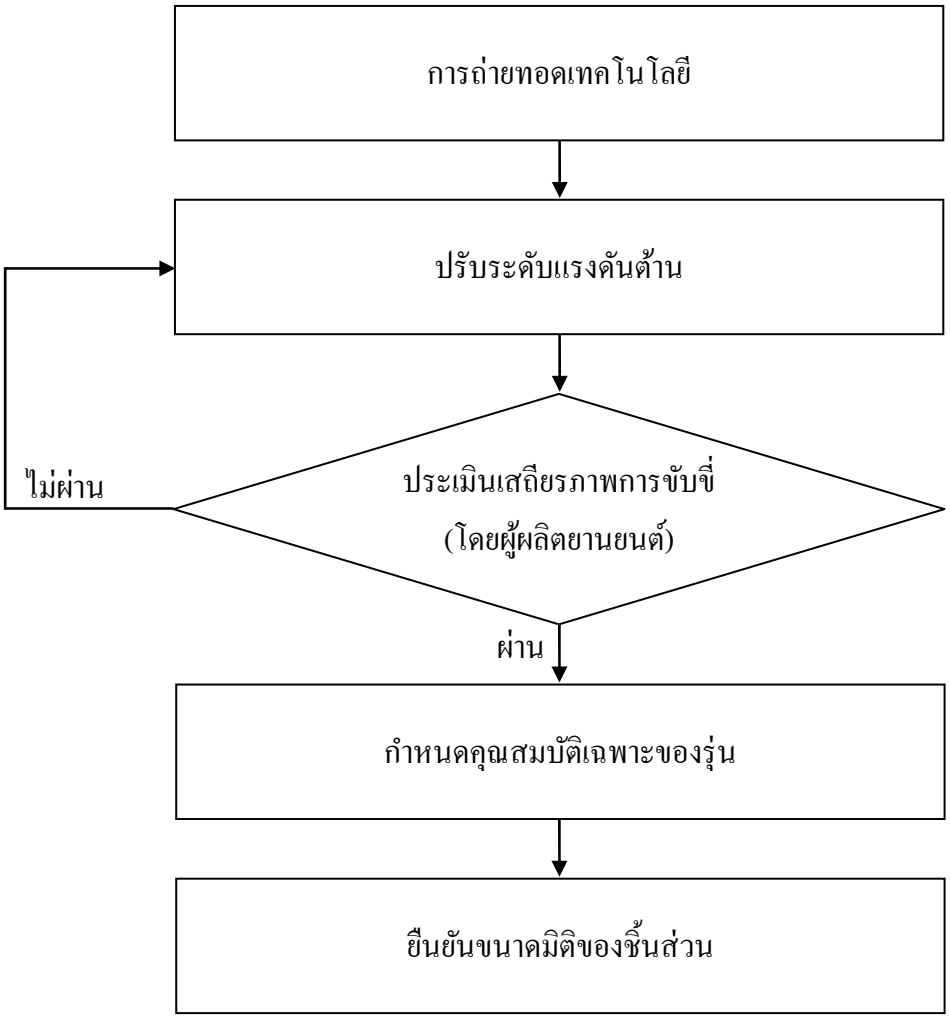
2. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype development)

เป็นการรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี จากขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อผลิตหรือจำหน่ายในแห่งใหม่ โดยการจัดทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบจาก รายการวัตถุดิบ กระบวนการผลิตรายใหม่ วัตถุประสงค์เพื่อ ยืนยันปัญหาที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต หรือเป็นการทวนสอบการออกแบบว่าสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และคุณภาพของเทคโนโลยีใหม่ ส่วนสุดท้ายของขั้นตอนนี้ คือ การทบทวนการออกแบบครั้งที่ 1 (Design review 1: DR 1) การดำเนินการในศูนย์วิจัย และพัฒนาของกรณีศึกษาในขั้นตอนนี้ คือ การสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์เพื่อดำเนินการปรับระดับของสมรรถนะหรือแรงดันต้าน (Damping force) ที่เหมาะสมกับสภาพของการใช้งาน นำมากำหนดเป็นคุณสมบัติเฉพาะของรุ่น และการตรวจสอบขนาดมิติของชิ้นส่วน (Ispection part) สำหรับชิ้นส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงใหม่ แสดงดังภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-3 ขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

จากภาพที่ 3-3 แสดงขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การปรับระดับแรงดันต้านที่เหมาะสม กับการตรวจสอบชิ้นส่วน ซึ่งดำเนินการร่วมกันดังภาพที่ 3-4

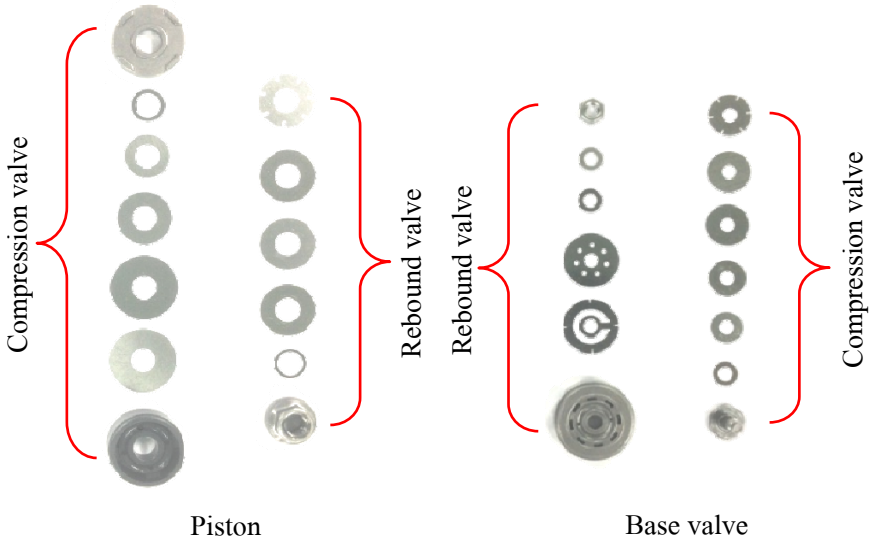


ภาพที่ 3-4 ขั้นตอนการพัฒนาต้นแบบโช้คอัพยานยนต์

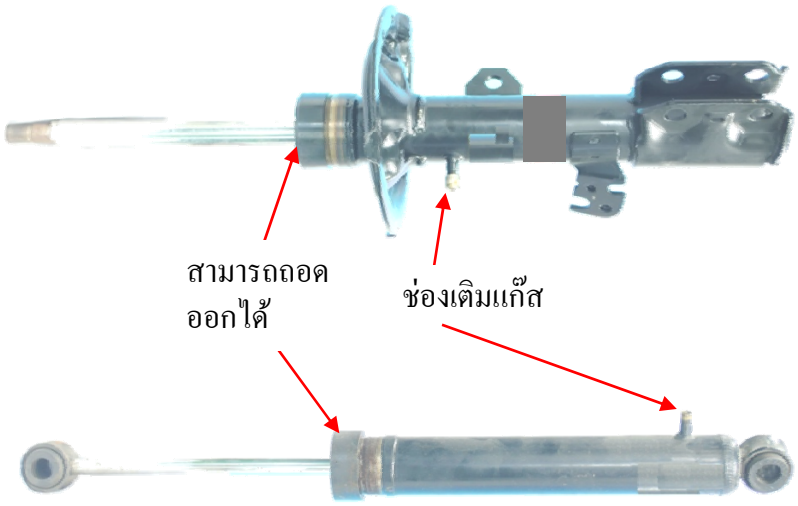
จากภาพที่ 3-4 การดำเนินการเริ่มจากงานปรับแรงดันต้าน (Tuning work) เป็นการยืนยันความสามารถในการดำเนินการได้เช่นเดียวกันหรือใกล้เคียงกับขั้นตอนการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่

2.1 การถ่ายทอดเทคโนโลยี คือ การรับข้อมูลที่เคยดำเนินการจากขั้นตอนการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ จากศูนย์วิจัย และพัฒนาโช้คอัพยานยนต์อื่น เช่น ญี่ปุ่น อเมริกา หรือยุโรป ข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย แบบวิศวกรรม ค่าแรงดันต้าน ขนาดมิติของชิ้นส่วน ระดับความคงทน รวมถึงข้อกำหนดอื่น ๆ ที่เป็นข้อกำหนดเฉพาะจากลูกค้า

2.2 ปรับระดับแรงดันต้าน คือ การทดลองเปลี่ยนชิ้นส่วนประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ภายในโช้คอัพยานยนต์จนได้ค่าแรงดันต้านเท่ากับหรือใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยการทดลองเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ผลกระทบกับค่าแรงดันต้าน เช่น วาล์ว (Valve) ลูกสูบ (Piston) และเบสวาล์ว (Base valve) แสดงดังภาพที่ 3-5 และต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ แสดงดังภาพที่ 3-6

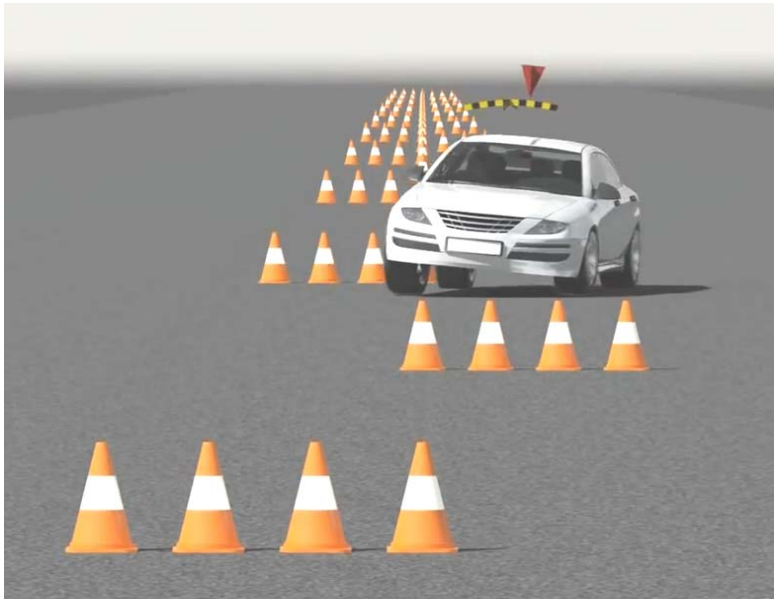


ภาพที่ 3-5 ชิ้นส่วนประกอบภายในโช้คอัพยานยนต์



ภาพที่ 3-6 ต้นแบบโช้คอัพยานยนต์สำหรับงานปรับแรงดันต้าน

2.3 ประเมินเสถียรภาพการขับขี่ โดยการนำต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ไปประกอบกับต้นแบบยานยนต์ของลูกค้า การประเมินทดสอบการขับขี่จริงโดยลูกค้า ในหัวข้อการทดสอบเสถียรภาพการขับขี่ เช่น การควบคุม การตอบสนองภายในห้องโดยสาร ระดับของแรงกระทำเนื่องจากสภาพของพื้นผิวถนนที่เป็น หลุม เนิน และลูกระนาด และมีการดำเนินการซ้ำในขั้นตอนปรับแรงดันต้านไปเรื่อย ๆ จนกว่าลูกค่าจะพอใจในเสถียรภาพการขับขี่ ดังภาพที่ 3-7



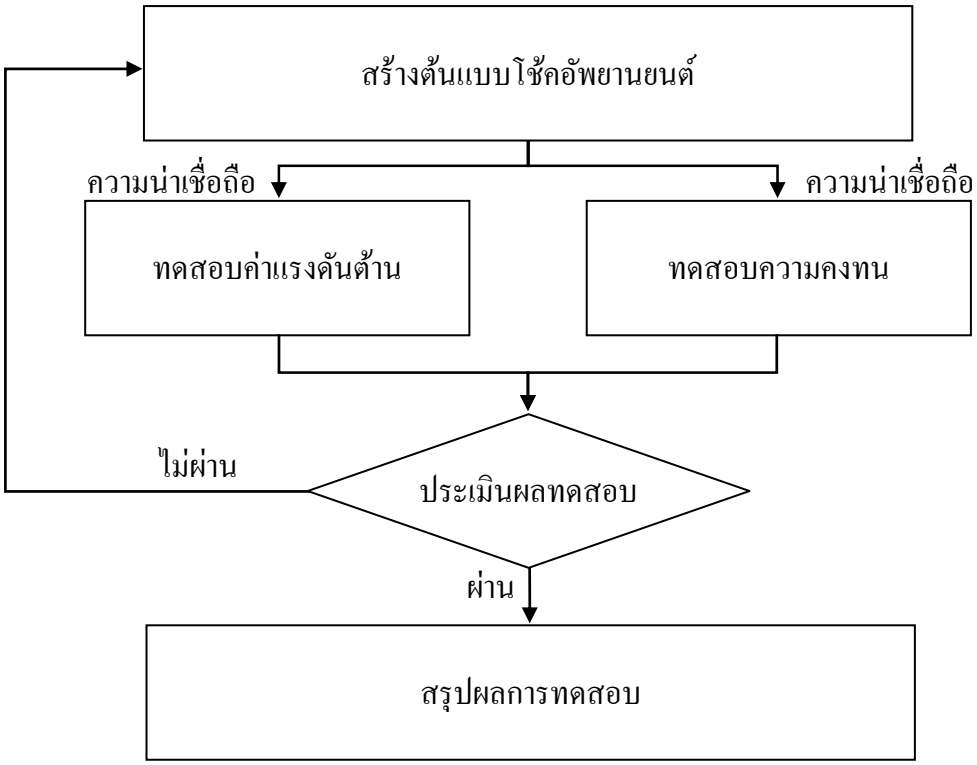
ภาพที่ 3-7 การทดสอบเสถียรภาพการขับขี่ของงานปรับแรงดันต้าน

2.4 กำหนดคุณสมบัติเฉพาะของรุ่น นำข้อมูลที่ลูกค้าอนุมัติหรือผ่านการประเมินเสถียรภาพมาใช้เป็นคุณสมบัติเฉพาะของรุ่น เช่น ชิ้นส่วนประกอบ และค่าแรงดันต้าน

2.5 ตรวจสอบขนาดมิติของชิ้นส่วน ได้แก่ การนำชิ้นส่วนประกอบที่มีผลกระทบกับค่าแรงดันต้าน การเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วน หรือมีการเปลี่ยนผู้ส่งมอบรายใหม่ (New supplier) นำมาตรวจสอบว่าอยู่ในพิกัดการยอมรับ และไม่ส่งผลกระทบต่อค่าแรงดันต้าน หรือสมรรถนะอื่น ๆ ตามจำนวนที่กำหนดโดยศูนย์วิจัย และพัฒนาโช้คอัพยานยนต์ หรือลูกค้ากำหนด

3. การพัฒนากระบวนการก่อนการผลิตจริง (Pre-production development)

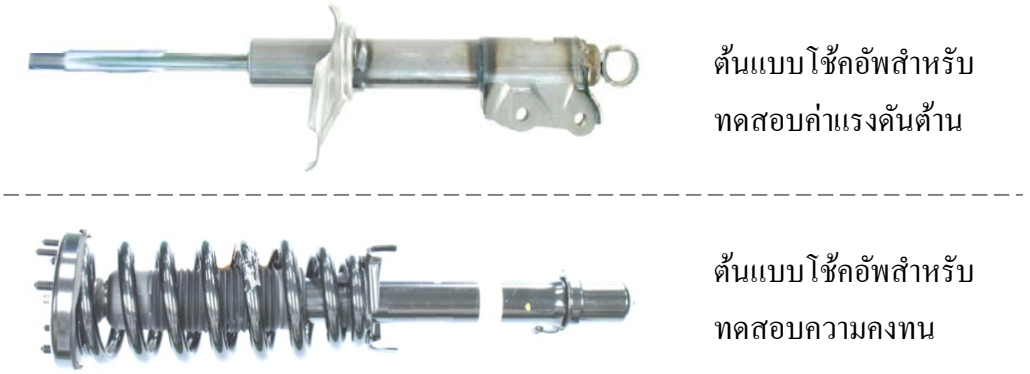
เป็นขั้นตอนดำเนินการทดลองสร้างต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ ตามคุณสมบัติเฉพาะที่ได้จากขั้นตอนที่ผ่านมา ในปริมาณตามความต้องการของลูกค้า เพื่อยืนยันความสามารถในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพคงที่และอยู่ในช่วงพิกัดการยอมรับ ส่วนสุดท้ายของขั้นตอนนี้ คือ การทบทวนการออกแบบแบบครั้งที่ 2 (Design review 2: DR 2) ขั้นตอนดำเนินการ ดังภาพที่ 3-8



ภาพที่ 3-8 ขั้นตอนการพัฒนากระบวนการก่อนการผลิตจริง

จากภาพที่ 3-8 แสดงถึงขั้นตอนในการทดลองสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ตามปริมาณที่ลูกค้ากำหนดเพื่อประเมินผลของการทดลองผลิต ซึ่งมีวิธีการดำเนินการดังนี้

3.1 สร้างต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ คือ การสั่งให้ผู้ผลิตสร้างต้นแบบสำหรับทดสอบความน่าเชื่อถือผลิตภัณฑ์ เช่น ค่าแรงดันต้าน และความคงทนของ แสดงดังภาพที่ 3-9



ภาพที่ 3-9 ต้นแบบโช้คอัพสำหรับทดสอบความน่าเชื่อถือ

3.2 การทดสอบความน่าเชื่อถือของโช้คอัพยานยนต์ (Reliability test) แบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ การทดสอบแรงดันต้าน และความคงทน อยู่ในพิกัดการยอมรับทั้งหมดของจำนวนต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ที่นำมาทดสอบ เครื่องทดสอบ แสดงดังภาพที่ 3-10

เครื่องทดสอบแรงดันต้าน

เครื่องทดสอบความคงทน

ภาพที่ 3-10 เครื่องทดสอบความน่าเชื่อถือสำหรับโช้คอัพยานยนต์

จากภาพที่ 3-10 คือ การทดสอบความน่าเชื่อถือโดยการนำต้นแบบผลิตภัณฑ์จากฝ่ายผลิตที่ใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และกระบวนการผลิตเดียวกับที่ใช้ในการผลิตจริง สำหรับทดสอบสมรรถนะ (Performance) โดยประเมินจากค่าแรงดันต้าน (Damping force) ตรงตามข้อกำหนดของฟังก์ชั่นการใช้งานของโช้คอัพยานยนต์รุ่นดังกล่าว และการทดสอบความคงทน (Durability) เป็นการทดสอบความคงทนของต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ โดยจำลองการใช้งาน ตามสภาพการใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการ ตามข้อกำหนดการออกแบบผลิตภัณฑ์

3.3 ผลจากงานทดสอบความสามารถการใช้งาน คือ ผลที่ได้จากการทดสอบการใช้งานของต้นแบบผลิตภัณฑ์ นำมาประเมินตามพิกัดการยอมรับดำเนินไปเรื่อย ๆ จนกว่าผลที่ได้จะอยู่ในช่วงของพิกัดการยอมรับที่กำหนด

3.4 สรุปผลจากงานทดสอบความสามารถการใช้งาน คือ นำผลบันทึกงานทดสอบส่งมอบแก่ฝ่ายผลิต สำหรับใช้เป็นข้อมูลสำหรับในขั้นตอนการผลิตจริง (Mass production)

การจัดทำต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์

การจัดทำต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ จัดทำโดยการบูรณาการ ซิกซ์ ซิกม่า กับมาตรฐาน ISO/TS 16949 สำหรับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ความสัมพันธ์ของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า กับมาตรฐาน ISO/TS 16949

เป็นการแสดงความสัมพันธ์ของแนวทางดำเนินการระหว่างการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ที่มีกิจกรรมตามขั้นตอน DMADV กับมาตรฐาน ISO/TS 16949 แสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 การออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ในขั้นตอน DMADV กับมาตรฐาน ISO/TS 16949 (Abhishek, 2008; Gregory, 2003; IATF, 2009; Rajesh & Philip, 2008)

กิจกรรมของขั้นตอน DMADV	มาตรฐาน ISO/TS 16949	
กำหนด (D)	**ข้อกำหนดที่**	
ความร่วมมือของฝ่ายบริหาร	5.1	ความมุ่งมั่นของฝ่ายบริหาร
การสำรวจตลาด และลูกค้า	5.6.1.1	สมรรถนะของระบบบริหารคุณภาพ
แผนดำเนินโครงการตามช่วงเวลา	7.1	การวางแผนในการทำให้เกิดผลิตภัณฑ์
แนวคิด เป้าหมาย ขอบเขต ปัญหา	7.2.1	การพิจารณาข้อกำหนดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์
การประเมินเทคโนโลยีและการแข่งขัน	7.2.2.2	ความเป็นไปได้ในการผลิตขององค์กร
วัดผล (M)		
ปัจจัยคุณภาพของผลิตภัณฑ์	7.2.2	การทบทวนข้อกำหนดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์
เสียงของลูกค้า	7.2.3	การสื่อสารกับลูกค้า
วิเคราะห์ผลกระทบความเสียหาย	7.3.1.1	แนวทางใช้ความคิดหลากหลายสายงาน
ข้อมูลการวัดเปรียบเทียบคู่แข่ง	7.3.2.1	ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบผลิตัภณฑ์
วิเคราะห์ระบบการวัด	7.6.1	การวิเคราะห์ระบบการวัด
วิเคราะห์ (A)		
ระบุเกณฑ์การประเมิน	7.1.2	เกณฑ์การยอมรับ
การกระจายหน้าที่ทางคุณภาพ	7.3.1	การวางแผนการออกแบบและพัฒนา
วิเคราะห์หน้าที่การใช้งานต่อคุณภาพ	7.3.2	ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนา
วิเคราะห์ผลกระทบความเสียหาย	7.3.1.1	แนวทางใช้ความคิดหลากหลายสายงาน
ข้อมูลการออกแบบผลิตภัณฑ์	7.3.2.1	ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

กิจกรรมของขั้นตอน DMADV	ข้อกำหนดมาตรฐาน ISO/TS 16949
ออกแบบ (D)	**ข้อกำหนดที่**
การออกแบบพิกัดเผื่อ	7.1.2 เกณฑ์การยอมรับ
การออกแบบบนพื้นฐานเดิม	7.1.4 การควบคุมการเปลี่ยนแปลง
การระบุผลวิเคราะห์การออกแบบ	7.3.3.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบผลิตภัณฑ์
แผนควบคุมก่อนการผลิต	7.5.1.1 แผนควบคุม
ทดสอบต้นแบบผลิตภัณฑ์	7.3.6.2 แผนการจัดทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ
ประสิทธิผล และดัชนีความสามารถ	8.1.1 การระบุการใช้เครื่องมือทางสถิติ
รายละเอียดการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม	8.2.4.2 การตรวจวัดทุกขนาดมิติและการทดสอบการใช้งานจริง
ทวนสอบ (V)	
การทดสอบการใช้งาน	7.3.6 การทดสอบการใช้งานจริง
สรุปผลกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์	7.3.6.3 กระบวนการอนุมัติผลิตภัณฑ์
มาตรฐาน และวิธีการปฏิบัติงาน	7.5.1.2 เอกสารแสดงวิธีปฏิบัติงาน
การรักษาสมรรถนะที่เพิ่มขึ้นเอาไว้	7.5.1.5 การบริหารจัดการเครื่องมือและการผลิต
การตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า	8.2.1.1 ความพึงพอใจของลูกค้า

จากตารางที่ 3-1 ได้ระบุแนวทางดำเนินการของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิม่า ตามขั้นตอน DMADV กับมาตรฐาน ISO/TS 16949 ซึ่งประกอบด้วย

1.1 ขั้นตอน DMADV สำหรับกำหนดเป้าหมายและการวางแผนงาน ระบุแนวทางการวัดประสิทธิผลที่สามารถวัดค่าได้ วิเคราะห์ความเสี่ยงในด้านวิศวกรรม ระบุรายละเอียดความสัมพันธ์กับการออกแบบที่มีคุณภาพ และสุดท้าย เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือจากการออกแบบและพัฒนา (จิรายุ จิตเจือจุน, 2555)

1.2 ข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO/TS 16949 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลที่จัดทำขึ้นโดยองค์กรระหว่างประเทศ ที่นำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้คือข้อกำหนดที่เกี่ยวกับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ที่ดำเนินการสอดคล้องกับการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ตามขั้นตอน DMADV

2 เครื่องมือหรือทฤษฎีของการออกแบบ เพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า

เป็นการแสดงเครื่องมือหรือทฤษฎีที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน DMADV แสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 เครื่องมือและทฤษฎีของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ตามขั้นตอน DMADV (Abhishek, 2008; Gregory, 2003; Michael, 2005; Rajesh & Philip, 2008)

	แนวทางการดำเนินการ	เครื่องมือหรือทฤษฎี
กำหนด (D)	ความร่วมมือของฝ่ายบริหาร	Stakeholder's analysis
	การสำรวจตลาด และลูกค้า	VOC, Focus group, Ratio analysis
	แผนดำเนินโครงการตามช่วงเวลา	Process road map, Gantt chart
	แนวคิด เป้าหมาย ขอบเขต ปัญหา	Project charter, Balanced scorecard, SIPOC
	การประเมินเทคโนโลยีและการแข่งขัน	VOC, Focus group
วัดผล (M)	ปัจจัยคุณภาพของผลิตภัณฑ์	QFD, CTQ, Tagushi method
	เสียงของลูกค้า	VOC, Kano analysis
	วิเคราะห์ผลกระทบความเสียหาย	Risk analysis, DFMEA
	ข้อมูลการเปรียบเทียบคู่แข่ง	Benchmarking, Control chart
	วิเคราะห์ระบบการวัด	MSA, Control chart
วิเคราะห์ (A)	ระบุเกณฑ์การประเมิน	Design scorcard, DOE
	การกระจายทางคุณภาพ	Scatter plot, X and Y analysis
	วิเคราะห์หน้าที่การใช้งานต่อคุณภาพ	Brainstorming, C&E chart, TRIZ, Lateral think
	วิเคราะห์ผลกระทบความเสียหาย	Risk analysis, DFMEA
	ข้อมูลการออกแบบผลิตภัณฑ์	Axiomatic design, Pugh matrix
ออกแบบ (D)	การออกแบบพิกัดเผื่อ	Simulation tools, DOE, Response surface
	การออกแบบบนพื้นฐานเดิม	QFD, TRIZ
	การระบุผลวิเคราะห์การออกแบบ	DFMEA, MSA
	แผนควบคุมก่อนการผลิต	Prototype control plan, Infrastructure map
	ทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบ	Prototype, Pilot run, Reliability test
	ประสิทธิผล และดัชนีความสามารถ	Contorl chart, SPC
	รายละเอียดการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม	Axiomatic design

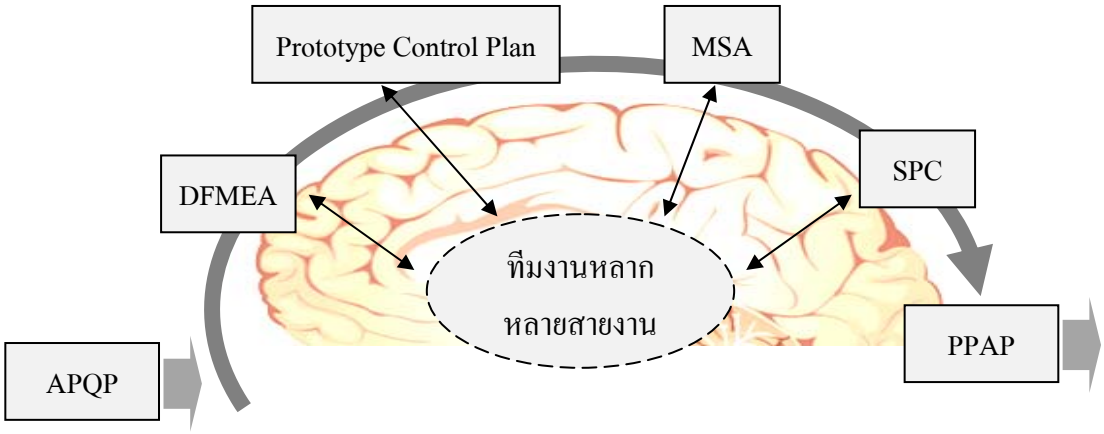
ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

	แนวทางการดำเนินการ	เครื่องมือหรือทฤษฎี
ทวนสอบ (V)	การทดสอบการใช้งาน	Pilot testing, Response surface, SPC
	สรุปผลกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์	Taguchi Method
	มาตรฐาน และวิธีการปฏิบัติงาน	Procedure, Work instruction, Error proofing
	การรักษาสมรรถนะที่เพิ่มขึ้นเอาไว้	TPM, Mistake proofing, Poka-yoke
	การตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า	Customer survey

จากตารางที่ 3-2 แสดงเครื่องมือของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ที่สามารถนำมาเลือกใช้ได้ในแต่ละขั้นตอน DMADV สำหรับใช้กับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งในการดำเนินการจริงนั้นไม่จำเป็นต้องเลือกใช้เครื่องมือทั้งหมด อาจเลือกใช้บางเครื่องมือสำหรับดำเนินการตามความเหมาะสมกับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปประยุกต์ใช้

3 เครื่องมือหลักของมาตรฐาน ISO/TS 16949

เครื่องมือหลัก (Core toools) ประกอบด้วย การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง (APQP) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA) การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) การควบคุมกระบวนการ โดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) และกระบวนการอนุมัติชิ้นส่วนการผลิต (PPAP) รวมถึงการจัดทำแผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Protrotype control plan) ซึ่งมีแนวทางการดำเนินการและความสัมพันธ์ของเครื่องมือหลัก แสดงดังภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3-11 การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูงกับเครื่องมือหลัก (AIAG, 2008)

จากภาพที่ 3-11 แสดงลำดับความสัมพันธ์ของแนวทางการใช้เครื่องมือหลัก (Core tools) ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO/TS 16949 แสดงดังตารางที่ 3-3

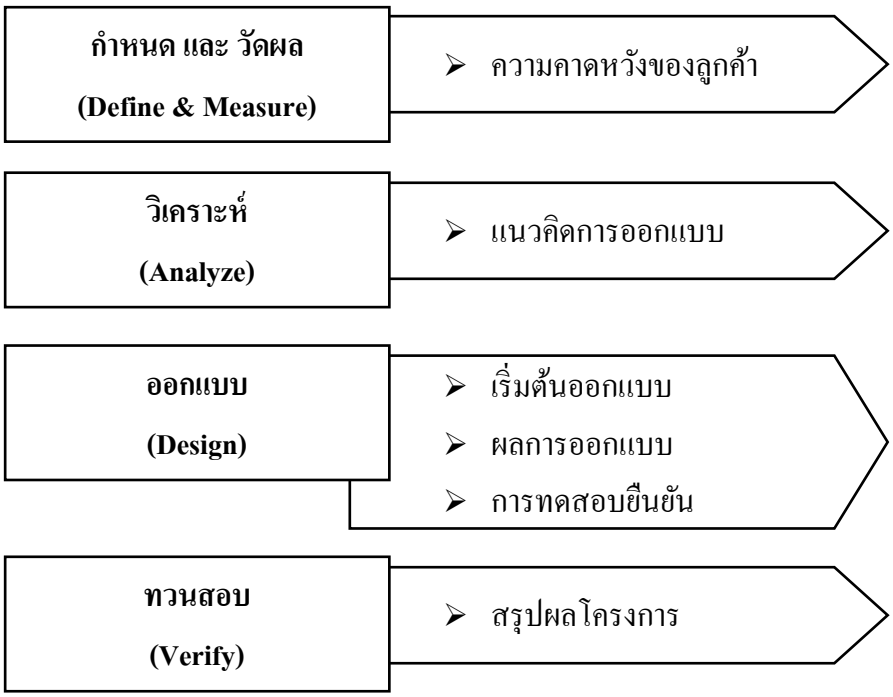
ตารางที่ 3-3 ข้อกำหนดและเครื่องมือหลักของมาตรฐาน ISO/TS 16949 กับขั้นตอน DMADV (อนุวัตร หอมรสสุคนธ์ และเสมอจิตร หอมรสสุคนธ์, 2550; IATF, 2009)

DMADV	**ข้อกำหนดมาตรฐาน ISO/TS 16949**		**เครื่องมือหลัก**
กำหนด (D)	5.1	ความมุ่งมั่นของฝ่ายบริหาร	APQP
	5.6.1.1	สมรรถนะของระบบบริหารคุณภาพ	APQP
	7.1	การวางแผนในการทำให้เกิดผลิตภัณฑ์	APQP
	7.2.1	การพิจารณาข้อกำหนดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์	APQP
	7.2.2.2	ความเป็นไปได้ในการผลิตขององค์กร	APQP
วัดผล (M)	7.2.2	การทบทวนข้อกำหนดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์	APQP
	7.2.3	การสื่อสารกับลูกค้า	APQP
	7.3.1.1	แนวทางใช้ความคิดหลากหลายสายงาน	APQP, DFMEA
	7.3.2.1	ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบผลิตัภณฑ์	APQP, DFMEA
	7.6.1	การวิเคราะห์ระบบการวัด	APQP, DFMEA, MSA
วิเคราะห์ (A)	7.1.2	เกณฑ์การยอมรับ	APQP, DFMEA
	7.3.1	การวางแผนการออกแบบและพัฒนา	APQP, DFMEA
	7.3.2	ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนา	APQP, DFMEA
	7.3.1.1	แนวทางใช้ความคิดหลากหลายสายงาน	APQP, DFMEA
	7.3.2.1	ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์	APQP, Control plan
ออกแบบ (D)	7.1.2	เกณฑ์การยอมรับ	APQP, DFMEA
	7.1.4	การควบคุมการเปลี่ยนแปลง	APQP, DFMEA
	7.3.3.1	ผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบผลิตภัณฑ์	APQP, DFMEA
	7.5.1.1	แผนควบคุม	APQP, Control plan
	7.3.6.2	แผนการจัดทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ	APQP, Control plan
	8.1.1	การระบุการใช้เครื่องมือทางสถิติ	APQP, MSA, SPC
	8.2.4.2	การตรวจวัดทุกขนาดมิติและการทดสอบ	APQP, MSA, SPC

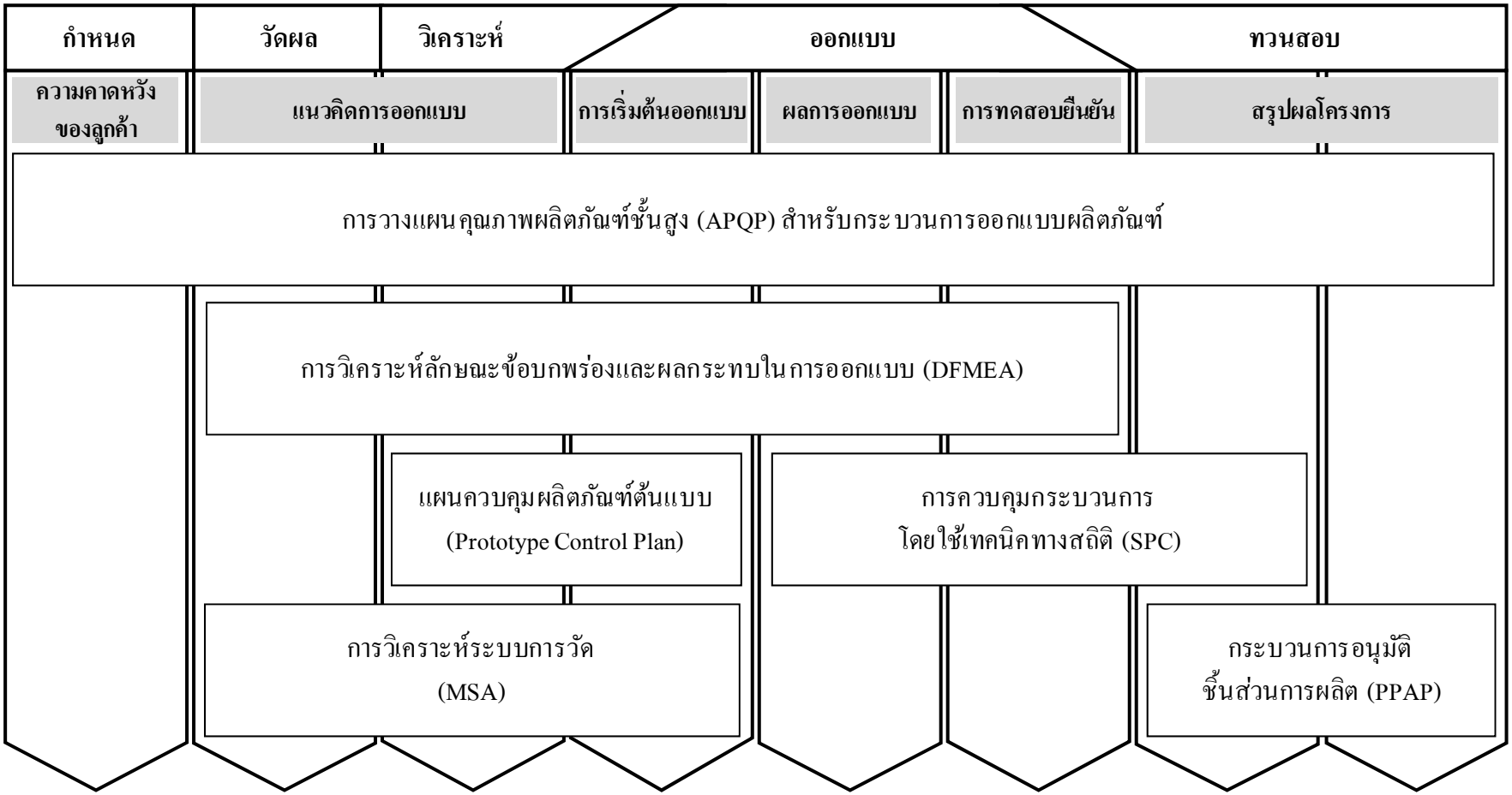
ตารางที่ 3-3 (ต่อ)

DMADV	ข้อกำนดมาตรฐาน ISO/TS 16949		เครื่องมือหลัก
ทวนสอบ (V)	7.3.6	การทดสอบการใช้งานจริง	APQP, SPC
	7.3.6.3	กระบวนการอนุมัติผลิตภัณฑ์	APQP, PPAP
	7.5.1.2	เอกสารแสดงวิธีปฏิบัติงาน	APQP, PPAP
	7.5.1.5	การบริหารจัดการเครื่องมือและการผลิต	APQP, PPAP
	8.2.1.1	ความพึงพอใจของลูกค้า	APQP, PPAP

การจัดทำต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยใช้ความสัมพันธ์ในข้างต้นโดยใช้การออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ตามขั้นตอน DMADV เป็นขั้นตอนการดำเนินการหลัก ได้แบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนย่อย สำหรับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ แสดงดังภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 แนวทางการดำเนินการออกแบบผลิตภัณฑ์ตามขั้นตอน DMADV
(Rajesh & Philip, 2008)



ภาพที่ 3-13 ต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์

(อนุวัตร หอมรสสุคนธ์ และเสมอจิตร หอมรสสุคนธ์, 2550; IATF, 2009; Rajesh & Philip, 2008)

จากภาพที่ 3-13 แสดงต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบูรณาการซิกซ์ ซิกม่า กับมาตรฐาน ISO/TS 16949 ที่ใช้สำหรับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยมีการดำเนินการตามขั้นตอน DMADV และถูกแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนย่อย ซึ่งในแต่ละขั้นตอนสามารถเลือกใช้เครื่องมือสำหรับการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ได้ในตารางที่ 3-2 และการนำเสนอเครื่องมือหลัก (Core tools) ที่ต้องใช้สำหรับมาตรฐาน ISO/TS 16949 มีแนวทางการดำเนินการดังนี้

3.1 ความคาดหวังของลูกค้า เป็นการดำเนินการใช้ขั้นตอนกำหนด (Define) ของ DMADV โดยดำเนินการสำรวจตลาดและลูกค้า การวางแผนโครงการ การดำหนดเป้าหมายและขอบเขตของปัญหา การประเมินเทคโนโลยีและการแข่งขัน และที่สำคัญที่สุดการสนับสนุนของฝ่ายบริหาร เครื่องมือหลักในขั้นตอนนี้คือการวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง

3.2 แนวคิดการออกแบบ เป็นการดำเนินการร่วมกันของขั้นตอน วัดผล (Measure) และวิเคราะห์ (Analyse) โดยระบุความสามารถที่จะดำเนินการได้จริง การระบุปัจจัยคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเสียงของลูกค้า การวิเคราะห์ความเสี่ยงต่าง ๆ การวิเคราะห์เปรียบเทียบคู่แข่ง การวิเคราะห์ระบบการวัด จะได้ข้อมูลสำหรับใช้ในกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ เครื่องมือหลักในขั้นตอนนี้ คือ การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ แผนควบคุมสำหรับผลิตภัณฑ์ต้นแบบ และการวิเคราะห์ระบบการวัด

3.3 การเริ่มต้นออกแบบ เป็นการดำเนินการในขั้นตอนออกแบบ (Design) คือ การระบุเกณฑ์การยอมรับ การควบคุมการเปลี่ยนแปลง การส่งมอบแผนควบคุมเพื่อจัดทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบและการแจกจ่ายงานให้ผู้รับผิดชอบในงานหลากหลายสายงาน เครื่องมือหลักในขั้นตอนนี้คือ การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั่นสูง และแผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

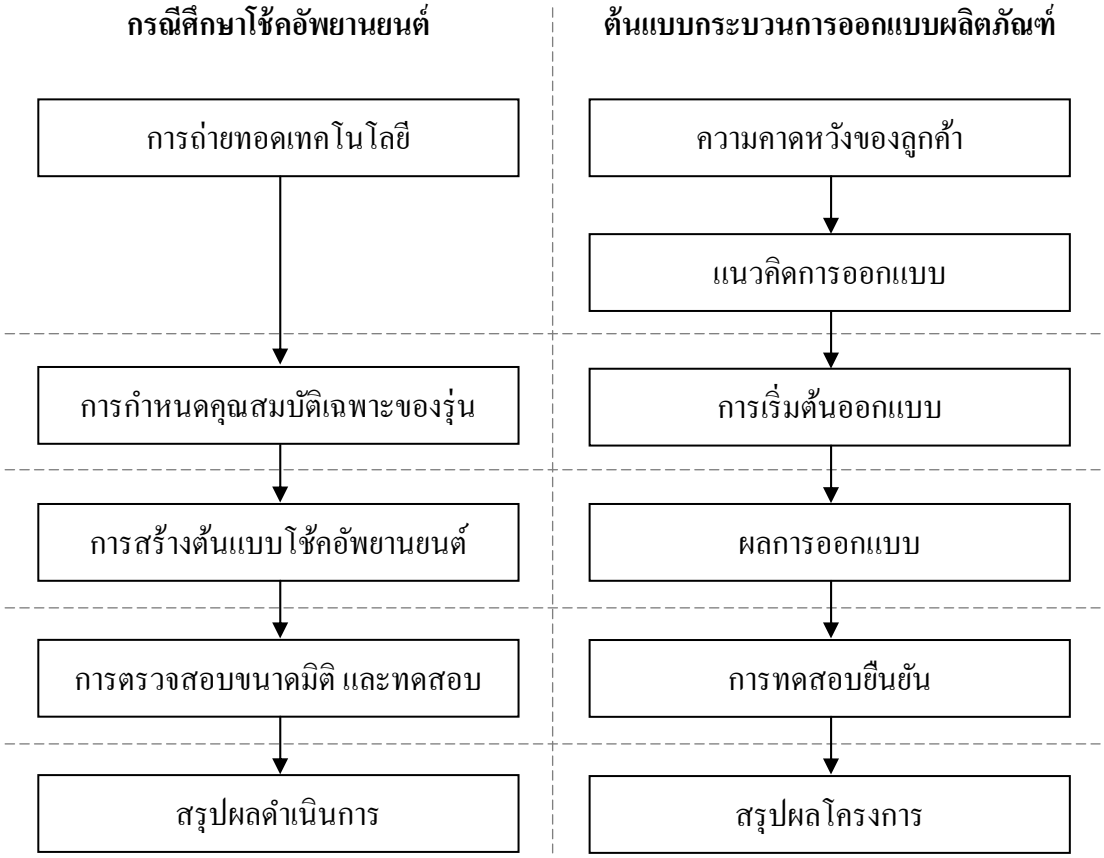
3.4 ผลการออกแบบ เป็นการดำเนินการในขั้นตอนออกแบบ (Design) คือ การทบทวนการออกแบบผลิตภัณฑ์จากการใช้ทีมงานหลากหลายสายงานวิเคราะห์ความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น ผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่จัดทำขึ้นมีคุณภาพตรงตามข้อกำหนดในส่วนของฟังก์ชั่นการทำงานต่าง ๆ เครื่องมือหลักในขั้นตอนนี้คือ การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ

3.5 การทดสอบยืนยัน เป็นการดำเนินการในขั้นตอนออกแบบ (Design) คือ การทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบว่ามีประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือจากการทดสอบการใช้งานจริงของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ และการตรวจสอบขนาดมิติของชิ้นส่วน ยืนยันความสามารกระบวนการสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากการใช้เทคนิคทางสถิติช่วยในการควบคุมกระบวนการ เครื่องมือหลักในขั้นตอนนี้คือ การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง การวิเคราะห์ระบบการวัด และการควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ

3.6 สรุปผลโครงการ เป็นการดำเนินการในขั้นตอนการทวนสอบ (Verify) คือ การสรุปและรวบผลที่ได้จากขั้นตอนการดำเนินการก่อนหน้า นำผลที่ได้จากการทวนสอบสำหรับใช้ในการเปิดตัวโครงการส่งมอบข้อมูลให้ฝ่ายผลิตสำหรับอนุมัติการผลิตโดยลูกค้า เครื่องมือหลักในขั้นตอนนี้คือ การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง และกระบวนการอนุมัติชิ้นส่วนการผลิต

การประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษา

การประยุกต์ต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ จากภาพที่ 3-13 กับกรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ คือ การศึกษากระบวนการออกแบบของกรณีศึกษาของ สามขั้นตอนการพัฒนา (3 Step development) ซึ่งการดำเนินการจริงในปัจจุบัน คือ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype development) และการพัฒนากระบวนการก่อนการผลิตจริง (Pre-production development) โดยมีแผนงานสำหรับประยุกต์ต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์กับกรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ แสดงดังภาพที่ 3-14



ภาพที่ 3-14 การประยุกต์ใช้ต้นแบบกระบวนการออกแบบกับกรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์

จากภาพที่ 3-14 แสดงขั้นตอนการประยุกต์ใช้ต้นแบบกระบวนการออกแบบโดยมีแนวทางการดำเนินการในแต่ละขั้นตอน และการเลือกใช้เครื่องมือหรือทฤษฎี ดังนี้

1. การถ่ายทอดเทคโนโลยี ประกอบด้วย ความคาดหวังของลูกค้า และแนวคิดการออกแบบ เป็นการดำเนินการในขั้นตอน กำหนด (Define) วัดผล (Measure) และวิเคราะห์ (Analysis) ในขั้นตอน DMADV ของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ คือ รับการถ่ายทอดเทคโนโลยี จากต่างประเทศเข้ามา การดำเนินการในขั้นตอนนี้เครื่องมือที่ใช้ คือ การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง (APQP) การวิเคราะห์ผลกระทบ และความล้มเหลวในการออกแบบเบื้องต้น (DFMEA) การจัดทำแผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype control plan) และการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA)

2. การกำหนดคุณสมบัติเฉพาะของรุ่น คือ การเริ่มต้นออกแบบ เป็นการดำเนินการในขั้นตอน ออกแบบ (Design) ในขั้นตอน DMADV ของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ คือ คุณสมบัติเฉพาะของรุ่นหรืองานปรับแรงดันต้าน (Damping force tunning) ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่ลูกค้าผู้ผลิตยานยนต์เป็นผู้กำหนดคุณสมบัติเฉพาะของรุ่น

3. การสร้างต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ คือ ผลการออกแบบ เป็นการดำเนินการในขั้นตอนออกแบบ (Design) ในขั้นตอน DMADV ของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ คือ การสร้างต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ที่ดำเนินการโดยฝ่ายผลิตในขั้นตอนนี้รวมถึงการสั่งผลิตชิ้นส่วนจากผู้ส่งมอบชิ้นส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง

4. การตรวจสอบขนาดมิติและทดสอบ คือ ขั้นตอนการทดสอบยืนยัน เป็นการดำเนินการในขั้นตอน ออกแบบ (Design) ในขั้นตอน DMADV ของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ คือ การตรวจสอบขนาดมิติ ความน่าเชื่อถือของโช้คอัพยานยนต์ การทดสอบประสิทธิภาพ และความคงทน โดยเครื่องมือที่ใช้ในขั้นตอนนี้ คือ การควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC)

5. สรุปผลดำเนินการ คือ ขั้นตอนสรุปผลโครงการ เป็นการดำเนินการในขั้นตอนทวนสอบ (Verify) ในขั้นตอน DMADV ของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ คือ สรุปผลดำเนินการ การรวบรวมบันทึกเอกสารจากกระบวนการออกแบบโช้คอัพยานยนต์ทั้งหมด ส่งมอบให้กับฝ่ายผลิตสำหรับ กระบวนการอนุมัติชิ้นส่วนการผลิต (PPAP) ซึ่งถือว่าเป็นเครื่องมือที่ใช้ในขั้นตอนนี้

แนวทางการใช้เครื่องมือหรือทฤษฎีจากการประยุกต์ใช้ต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ กับกรณีศึกษากระบวนการออกแบบโช้คอัพยานยนต์ แสดงดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 การใช้เครื่องมือในกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์

กรณีศึกษา	เครื่องมือและทฤษฎี
ขั้นตอนการถ่ายทอดเทคโนโลยี	1. การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง (APQP) และการสนทนากลุ่ม (Focus group)
ขั้นตอนการกำหนดคุณสมบัติเฉพาะของรุ่น	2. การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA)
ขั้นตอนการสร้างต้นแบบโช้คอัพยานยนต์	3. แผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype control plan)
ขั้นตอนการตรวจสอบขนาดมิติ และทดสอบ	4. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) 5. การควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC)
ขั้นตอนสรุปผลโครงการ	6. กระบวนการอนุมัติชิ้นส่วนการผลิต (PPAP)

จากตารางที่ 3-4 แสดงการประยุกต์ต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งการใช้เครื่องมือที่สอดคล้องกันระหว่างการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า กับมาตรฐาน ISO/TS 16949

บทที่ 4
ผลการวิจัย

จากต้นแบบการบูรณาการการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า กับมาตรฐาน ISO/TS 16949 สำหรับกระบวนการออกแบบ แสดงดังภาพที่ 3-13 และแนวทางประยุกต์ใช้ต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ จากตารางที่ 3-4 มีผลดำเนิการดังนี้

1. การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง (APQP) คือ การวางแผนสำหรับการดำเนินการตั้งแต่การรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี ที่ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ที่บริษัทแม่ นำมาวางแผนดำเนินการโดยทีมงานหลากหลายสายงาน โดยการสนทนากลุ่ม (Focus group) เพื่อให้ได้ความคิดเห็นหลากหลายแนวทาง

2. การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA) เป็นขั้นตอนที่นำข้อกำหนดที่มีการเปลี่ยนแปลงผู้ส่งมอบนำมาวิเคราะห์ความเสี่ยงจากกระบวนการออกแบบ ที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อมีการนำโช้คอัพยานยนต์ไปใช้งาน

3. แผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype control plan) จากการดำเนินการขั้นตอนก่อนหน้าในส่วนของ การควบคุมเชิงป้องกันและการควบคุมเชิงตรวจจับนำมาใช้เป็นแผนสำหรับควบคุมความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการออกแบบ

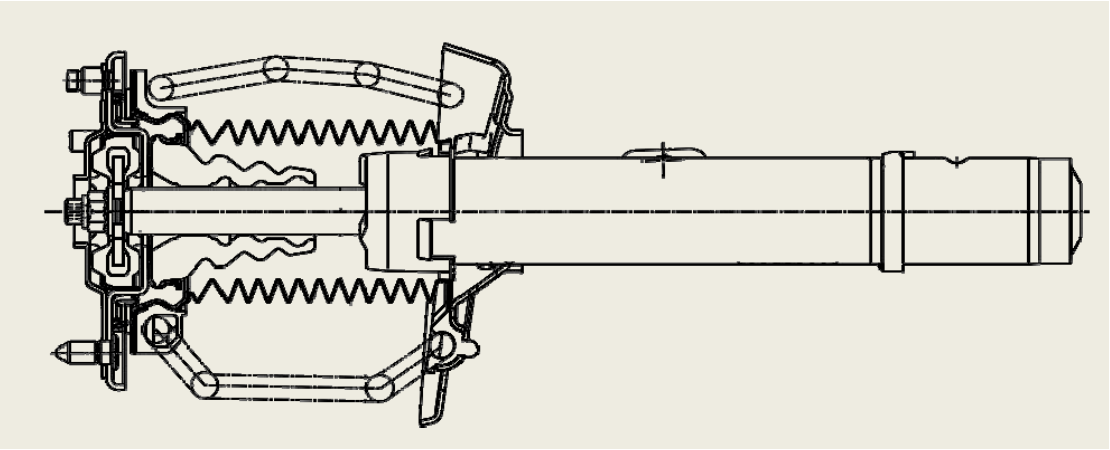
4. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) คือ การศึกษาความผันแปรของ เครื่องมือวัด ผู้วัด และชิ้นส่วน ที่นำมาศึกษา รวมถึงการศึกษาระบบการวัดแบบคุณลักษณะ

5. การควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) สำหรับใช้ตรวจสอบชิ้นส่วนและทดสอบตามแผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบโดยวิเคราะห์ ดัชนี C_p C_{pk} P_p P_{pk} และ C_{pm}

6. กระบวนการอนุมัติชิ้นส่วนการผลิต (PPAP) เป็นการสรุปผลที่ได้และเอกสารเฉพาะในส่วนของกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อส่งมอบให้กับฝ่ายผลิตสำหรับยื่นของอนุมัติชิ้นส่วนการผลิตที่อนุมัติโดยลูกค้า

การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง (APQP)

เป็นการดำเนินการที่สัมพันธ์ขั้นตอนกำหนด (Define) ของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า สำหรับการเริ่มต้นโครงการ การรับข้อกำหนดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์จากลูกค้า มาวางแผนการออกแบบโดยเริ่มจากการจัดตั้งทีมงานจากหลากหลายสายงานหรือทีมงานข้ามแผนก สำหรับร่วมดำเนินการในกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา



ภาพที่ 4-1 กรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์นั่งส่วนบุคคล รุ่นปี พ.ศ. 2559

1. แนวทางการใช้ความคิดจากหลากหลายสายงาน (Multidisciplinary approach)

การจัดตั้งทีมงานหลากหลายสายงานเป็นการสนทนากลุ่ม (Focus group) จากทีมงานข้ามแผนกสำหรับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์นั่งส่วนบุคคลคู่หน้า รุ่นปี พ.ศ. 2559 แสดงดังภาพที่ 4-1 ซึ่งผลที่ได้จากการดำเนินการมีดังนี้

1.1 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA) ซึ่งประกอบด้วย แผนกออกแบบระดับมาตรฐาน (OEM) แผนกออกแบบหลังการขาย (REM) แผนกทดสอบ (Experiment) แผนกตรวจสอบ (Inspection) และแผนกบริหารภายใน (Administration) เพื่อให้ได้แง่มุมที่หลากหลายและครอบคลุม แนวโน้มความล้มเหลวจากกระบวนการออกแบบกรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์

1.2 ทวนสอบการออกแบบ (Design verification) ดำเนินการโดยแผนกตรวจสอบ (Inspection) ร่วมกับ แผนกออกแบบระดับมาตรฐาน (OEM) และแผนกออกแบบหลังการขาย (REM) ในการตรวจสอบชิ้นส่วนประกอบ เพื่อยืนยันว่าชิ้นส่วนประกอบ ได้คุณภาพตรงตามข้อกำหนดการออกแบบกรณีศึกษา ที่กำหนดโดยลูกค้า

1.3 การทดสอบการใช้งานจริง (Design Validation) ประกอบด้วย การทดสอบประสิทธิภาพ (Performance test) และการทดสอบความคงทน (Durability test) จากการจำลองการใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการทดสอบ ดำเนินการโดย แผนกทดสอบ (Experiment) ร่วมกับแผนกออกแบบระดับมาตรฐาน (OEM) และแผนกออกแบบหลังการขาย (REM)

1.4 แผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype control plan) ดำเนินการโดย แผนกออกแบบระดับมาตรฐาน (OEM) นำผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ DFMEA และผลดำเนินการ SPC สรุปปัญหาที่พบในกระบวนการออกแบบกรณีศึกษา ส่งมอบสำหรับดำเนินการผลิตต่อไป

2. ข้อกำหนดเฉพาะของกรณีศึกษา

2.1 ข้อกำหนดของชิ้นส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงผู้ส่งมอบชิ้นส่วนที่เปลี่ยนจากต่างประเทศมาใช้ชิ้นส่วนภายในประเทศ ประกอบด้วย

2.1.1 กระบอกสูบ (Cylinder)

2.1.2 แกนลูกสูบ (Piston rod)

2.1.3 กระบอกนอก (Outer shell)

2.1.4 ฝาปิด (Bump stopper)

2.1.5 ยางรองลูกสูบ (Rebound cushion)

2.1.6 ซีลน้ำมัน (Oil seal)

2.1.7 ตัวนำแกนลูกสูบ (Rod guide)

2.2 ข้อกำหนดด้านสมรรถนะการทดสอบสมรรถนะของผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ความเร็วของลูกสูบ 0.3 m/s ได้แก่

2.2.1 ค่าแรงดันต้าน (Damping forece)

2.2.2 เสียงรบกวน (Noise) ขณะใช้งาน

2.3 ทดสอบความคงทน (Durability) ของฐานรองสปริง (Spring guide) จากการจำลองการใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการ ที่ 300,000 รอบการใช้งาน แล้วทำการตรวจสอบ

2.3.1 การรั่วซึมของน้ำมัน

2.3.2 การแตกร้าวและการเสียรูปของฐานรองสปริง

3. การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง (APQP)

กำหนดวิธีการและสร้างขั้นตอนที่จำเป็น เพื่อสร้างความมั่นใจว่าผลิตภัณฑ์สามารถสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้าได้ และสื่อสารให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องมั่นใจว่าการดำเนินการตามแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูงนั้นจะเสร็จสมบูรณ์ตามระยะเวลาที่กำหนด ที่แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการดำเนินการที่จำเป็นต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่าและตรงตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ISO/TS 16949 การแจกจ่ายหน้าที่ให้กับผู้รับผิดชอบ วันกำหนดเสร็จ สถานการณ์ดำเนินการ รวมถึงข้อเสนอแนะ ขั้นตอนการดำเนินการหลักของการวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง (APQP) ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะในส่วนของกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์การดำเนินการ แสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูงของกรณีศึกษา

APQP กระบวนการออกแบบ กรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์	ข้อกำหนด	ผู้รับผิดชอบ	กำหนดเสร็จ	สถานะ	ข้อเสนอแนะ
1 การวางแผนและกำหนดแผนงาน					
การออกแบบและพัฒนา	7.3	ลูกค้า/ ออกแบบ	12 ม.ค. 58	●	จัดตั้งทีมงานข้ามแผน Focus group
ข้อมูลที่นำมาใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์	7.3.2.1	ออกแบบ	12 ม.ค. 58	●	รายการวัตถุดิบ/ แบบวิศวกรรม
แผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง	7.1	ออกแบบ	16 ม.ค. 58	●	จัดทำแผนงาน APQP
2 การออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์					
การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ	7.3.1.1	ทีมข้ามแผนก	13 มี.ค. 58	○	วิเคราะห์ DFMEA
การทบทวนการออกแบบ	7.2.2.1	ออกแบบ	13 มี.ค. 58	○	แผนงานการตรวจสอบ และทดสอบ
แผนงานการจัดทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ	7.3.6.2	ผลิต	15 พ.ค. 58	○	ใช้กระบวนการเดียวกับการผลิตจริง
การกำหนดการใช้เครื่องมือวัดและเครื่องทดสอบ	7.5.1	ทีมข้ามแผนก	15 พ.ค. 58	○	จากการวิเคราะห์ความล้มเหลว
การจัดทำแผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ	7.5.1.1	ทีมข้ามแผนก	13 พ.ย. 58	○	จัดทำ Prototype control plan
3 การออกแบบและการพัฒนากระบวนการ					
แผนการวิเคราะห์ระบบการวัด	7.6	ตรวจสอบ/ ทดสอบ	26 มิ.ย. 58	○	แผนงานการวิเคราะห์ MSA
4 การทดสอบรับรองผลิตภัณฑ์และกระบวนการ					
การวิเคราะห์ระบบการวัด	7.6.1	ตรวจสอบ/ ทดสอบ	31 ก.ค. 58	○	วิเคราะห์ระบบการวัด
การศึกษาความสามารถและสมรรถนะของชิ้นส่วน/ ต้นแบบ	8.1.1	ตรวจสอบ/ ทดสอบ	13 พ.ย. 58	○	ใช้เทคนิคทางสถิติ SPC
ตรวจสอบความพร้อมการอนุมัติชิ้นส่วน (ด้านการออกแบบ)	7.3.6.3	ออกแบบ	27 พ.ย. 58	○	จัดเตรียมเอกสาร PPAP
5 ข้อมูลป้อนกลับ การประเมินผล และปฏิบัติการแก้ไข					
การลดความผันแปรของชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์	8.2.4.1	ทีมข้ามแผนก	13 พ.ย. 58	○	ผลการวิเคราะห์ SPC
การใช้บทเรียนที่ผ่านมาและแนวทางปฏิบัติที่ดีให้มีประสิทธิผล	7.3.3.1	ทีมข้ามแผนก	27 พ.ย. 58	○	ผลการวิเคราะห์ DFMEA

จากตารางที่ 4-1 เป็นการวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง (APQP) ที่ใช้สำหรับกระบวนการออกแบบของกรณีศึกษา ได้แก่

3.1 การวางแผนและกำหนดแผนงาน สำหรับการออกแบบและพัฒนากระบวนการออกแบบของกรณีศึกษา มีผู้รับผิดชอบ ได้แก่ ลูกค้า และฝ่ายออกแบบ เป็นผู้กำหนดแผนงาน

3.2 การออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ได้เริ่มจัดทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA) ผลลัพธ์ที่ได้ คือ แผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype control plan) ทีมงานหลากหลายสายงานร่วมกันดำเนินการในขั้นตอนนี้

3.3 การออกแบบและการพัฒนากระบวนการ ดำเนินการต่อเนื่องจากขั้นตอนก่อนหน้านำมาดำเนินการสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ได้แก่ ระบบการวัดแบบผันแปร (Variation) และระบบการวัดแบบคุณลักษณะ (Attribute) โดยแผนกตรวจสอบ (Inspection)

3.4 การทดสอบรับรองผลิตภัณฑ์และกระบวนการ เป็นการตรวจสอบตัวอย่างชิ้นส่วน และทดสอบ ตามแผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype control plan) โดยใช้การควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) การดำเนินการประกอบด้วย

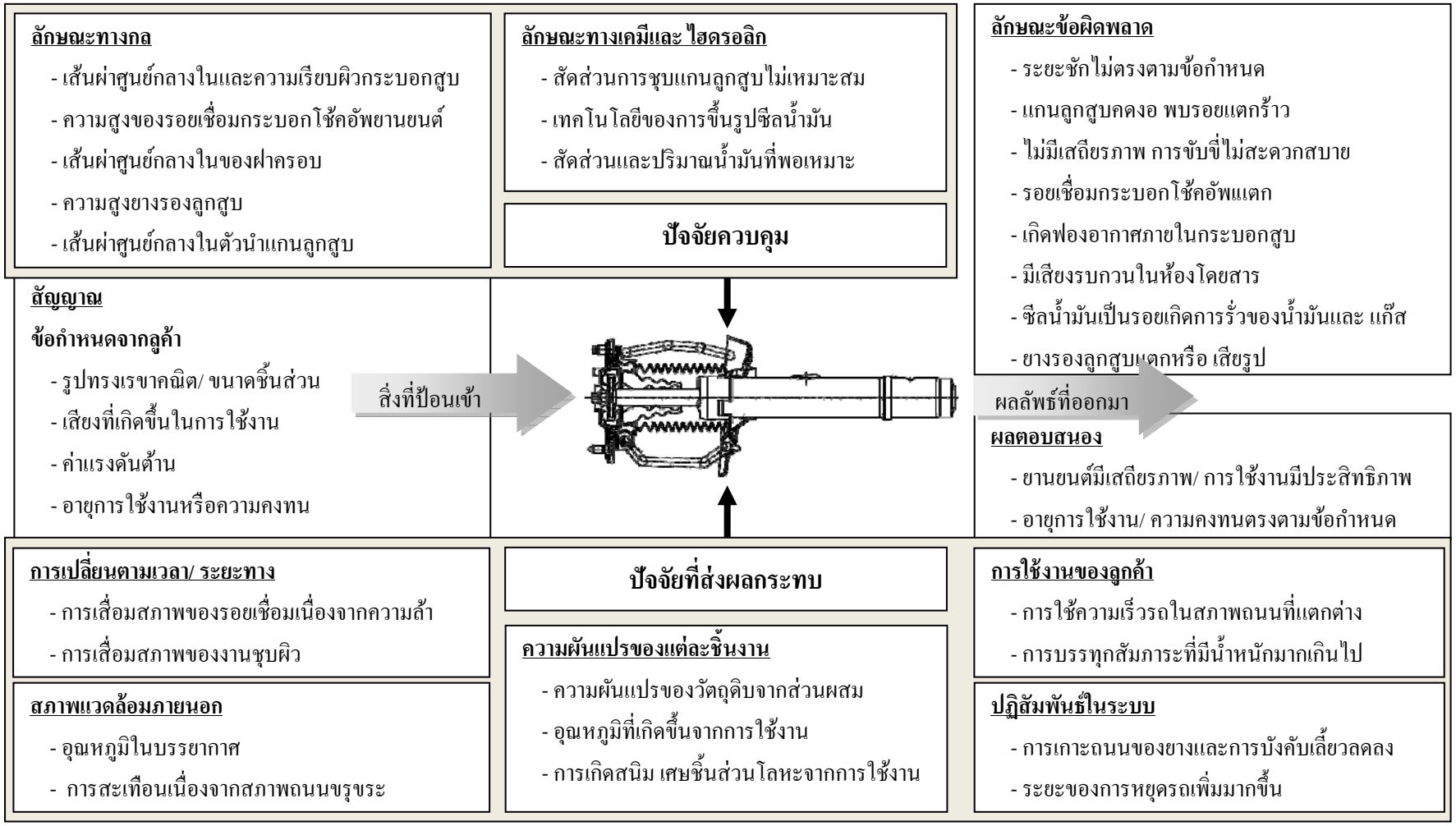
3.4.1 การตรวจสอบขนาดมิติ ดำเนินการโดยแผนกตรวจสอบ (Inspection)

3.4.2 การทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ดำเนินการโดยแผนทดสอบ (Experiment)

3.5 ข้อมูลป้อนกลับ การประเมินผล และปฏิบัติการแก้ไข เป็นขั้นตอนรวบรวมผลและเอกสารต่าง ๆ ที่ได้จากกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์นำมาประเมินผล และแผนการปรับปรุงกรณีที่พบปัญหาระหว่างการดำเนินการ ดำเนินการโดยทีมงานหลากหลายสายงาน

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA)

เป็นการวิเคราะห์รูปแบบลักษณะของความเสียหายที่ลูกค้าสามารถสังเกตเห็นได้ และก่อนเกิดปัญหาที่มาสาเหตุเนื่องมาจากการออกแบบไม่เหมาะสม การดำเนินการเริ่มจากการนำข้อกำหนดเฉพาะเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ คือ ข้อมูลของชิ้นส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงผู้ส่งมอบชิ้นส่วน รวมถึงการประเมินระดับความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ด้านประสิทธิภาพและความคงทน มาวิเคราะห์ความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น โดยการจัดทำแผนผังตัวแปร (*P* diagram) แสดงดังภาพที่ 4-2 ซึ่งช่วยให้มีความเข้าใจทางกายภาพที่สัมพันธ์กับฟังก์ชั่นการทำงานการออกแบบ จากการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้า และผลที่ได้จากการออกแบบ และผลลัพธ์ที่ได้สำหรับการออกแบบ การวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ทั้งที่ควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ ซึ่งอาจส่งผลต่อสมรรถนะของโช้คอัพยานยนต์ แล้วนำข้อมูลที่ได้จากแผนผังตัวแปร (*P* diamgram) จัดทำตารางการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA) แสดงดังภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-2 แผนผังตัวแปรสำหรับวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ

รายการชิ้นส่วน/ฟังก์ชั่นการใช้งาน / ข้อกำหนด	แนวโน้มลักษณะของข้อบกพร่อง	แนวโน้มผลกระทบของข้อบกพร่อง	ความรุนแรง (S)	แนวโน้มสาเหตุของข้อบกพร่อง	การออกแบบในปัจจุบัน: การควบคุมเชิงป้องกัน	โอกาสเกิด (O)	การควบคุมเชิงตรวจจับ	การตรวจจับ (D)	RPN	ข้อเสนอแนะ (เครื่องมือวัด)	ผู้รับผิดชอบกำหนดการณ์	ผลการดำเนินการ: ข้อปฏิบัติที่ทำแล้ว วันที่เสร็จ	ความรุนแรง (S)	โอกาสเกิด (O)	การตรวจจับ (D)	RPN
กระบอกสูบ (Cylinder)	เกิดเสียงในห้องโดยสาย และการขับขี่ไม่นุ่มนวล	แรงดันด้านไม่คงที่	8	เส้นผ่านศูนย์กลางในไม่ตรงข้อกำหนด	ตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางใน	5	ควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) นำตัวอย่างชิ้นงานจาก 3 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 30 ชิ้น ดัชนี Cpk, Ppk มากกว่า 2 หรือที่ระดับ 6σ	3	120	Bore Gauge	แผนกตรวจสอบ (Inspection) ร่วมกับแผนออกแบบระดับมาตรฐาน (OEM Design) และแผนกออกแบบหลังการขาย (REM Design) 10/10/2558					
				ความหยาบผิวไม่ตรงข้อกำหนด	วัดค่าความหยาบผิวด้านใน					Roughness Surface						
แกนลูกสูบ (Piston rod)	น้ำมันและแก๊สรั่ว	แกนลูกสูบไม่เรียบ	8	ความหยาบผิวไม่ตรงข้อกำหนด	วัดค่าความหยาบผิวด้านนอก	5		3	120	Roughness Surface						
กระบอกนอก (Outer shell)	น้ำมันและแก๊สรั่ว	รอยพับปิดที่ด้านบนไม่สนิท	6	รอยเชื่อมบาง หรือหนาเกินข้อกำหนด	วัดค่าความสูงรอยเชื่อมด้านใน	5		3	90	Contracer						
ฝาปิด (Bump stopper)	หลุดไม่ยึดกับกระบอกนอก	ฝุ่น โคลน หิน โดนชิ้นส่วนอื่น ๆ	5	แรงจับยึดกระบอกโช้คอัพไม่เพียงพอ	วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน	5		3	75	CMM						
ยางรองลูกสูบ (Rebound cushion)	ระยะชักโช้คอัพสั้นหรือยาวเกินไป	ยางรองลูกสูบแตกหรือเสียรูป	7	มีแรงกระทำในช่วงของการคืนตัว	วัดค่าความสูงรวม	5		3	105	Heighth Gauge						
ซีลน้ำมัน (Ois seal)	น้ำมันและแก๊สรั่ว	เป็นรอยหรือฉีกขาด	7	มีช่องให้น้ำมันและแก๊สไหลออก	วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน	5		3	105	Measuring Microscope						
นำแกนลูกสูบ (Rod guide)	แกนลูกสูบเป็นรอย	น้ำมันและแก๊สรั่ว	6	ไม่พอดีกับแกนลูกสูบ (Pison rod)	วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน	5		3	90	Air Gauge						

ภาพที่ 4-3 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบเบื้องต้น

รายการชิ้นส่วน/ฟังก์ชั่นการใช้งาน / ข้อกำหนด	แนวโน้ม ลักษณะของ ข้อบกพร่อง	แนวโน้ม ผลกระทบของ ข้อบกพร่อง	ความรุนแรง (S)	แนวโน้ม สาเหตุของ ข้อบกพร่อง	การออกแบบในปัจจุบัน				RPN	ข้อเสนอแนะ (เครื่องมือวัด)	ผู้รับผิดชอบ กำหนดการณ์	ผลการดำเนินการ				
					การควบคุม เชิงป้องกัน	โอกาสเกิด (O)	การควบคุม เชิงตรวจจับ	การตรวจจับ (D)				ข้อปฏิบัติ ที่ทำแล้ว วันที่เสร็จ	ความรุนแรง (S)	โอกาสเกิด (O)	การตรวจจับ (D)	RPN
ค่าแรงดันด้าน (Damping force)	สมรรถนะการขับขี่ ลดลง เกิดการโคลง	มีอาการโคลงตัว การกระตอน การหมุนตัว ไม่นิ่มนวล ไม่มีเสถียรภาพ	8	การประกอบไม่ได้ มาตรฐานที่กำหนด	ทดสอบค่าของ แรงดันด้าน	8	ควบคุมกระบวน การโดยใช้เทคนิค ทางสถิติ (SPC) ต้นแบบผลิตภัณฑ์ จาก 3 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 30 ชิ้น ดัชนี Cpk, Ppk มากกว่า 2 หรือที่ ระดับ 6σ	3	192	Damping force Tester	แผนกออกแบบ (OEM Design)					
			1	สัดส่วนของน้ำมัน ไม่ตรงตามข้อกำหนด	วัดปริมาณน้ำมัน หลังทดสอบ	1		1	1	ไม่ดำเนินการ						
			1	น้ำมันปนเปื้อน กับ สนิม หรือเศษโลหะ	ดูความปนเปื่อน หลังทดสอบ	1		1	1							
เสียงรบกวน (Noise)	ได้ยินเสียงในห้อง โดยสาย	ไม่มีสุนทรียภาพใน การขับขี่	7	การประกอบไม่ได้ มาตรฐานที่กำหนด	ทดสอบเสียง รบกวน	5		3	105	Swish noise tester	แผนกทดสอบ (Experiment) แผนออกแบบ ระดับมาตรฐาน (OEM Design) และ แผนกออกแบบ หลังการขาย (REM Design) 10/10/2558					
ฐานรองสปริง (Spring guind)	น้ำมันรั่ว	เสียหายเนื่องจากใช้ งานในสภาวะการ ใช้งานปกติ	7	ความเสียหายของ บางชิ้นส่วน	ทดสอบการใช้ งานจริง	5	ต้นแบบผลิตภัณฑ์ 2 ตัวอย่าง ทดสอบที่ 300,000 รอบไม่ พบรอยแตก	3	105	Adaptable durability tester and Apperance check						
	การแตก มีรอยร้าว		8	การประกอบไม่ได้ มาตรฐานที่กำหนด		5		3	120							
	การเสียรูป		9	ความแข็งแรงของ วัสดุ		5		3	135							

ภาพที่ 4-3 (ต่อ)

จากภาพที่ 4-3 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบของ (DFMEA) สำหรับรายการชิ้นส่วน และฟังก์ชั่นการใช้งานของกรณีศึกษา ได้แก่

1. กระบอกสูบ (Cylinder) แนวโน้มลักษณะข้อบกพร่องที่ลูกค้าอาจจะพบเห็น คือ มีเสียงรบกวบภายในห้องโดยสาร รวมถึงส่งผลให้ไม่มีเสถียรภาพในการขับขี่เนื่องจากแรงดันต้าน (Damping force) ไม่คงที่สาเหตุเนื่องจากความผิดปกติของกระบวกสูบ ได้แก่

1.1 เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในไม่ผิดปกติ ตรวจสอบโดยใช้ บอร์เกจ (Bore gauge)

1.2 ความหยาบผิวด้านใน ตรวจสอบโดยใช้เครื่องวัดผิว (Roughness surface)

2. แกนลูกสูบ (Piston rod) แกนลูกสูบมีลักษณะข้อบกพร่องที่สังเกตได้เนื่องจากการใช้งาน คือ การพบคราบน้ำมันไหลออกมาและทำให้เกิดการรั่วของแก๊ส การควบคุมเชิงป้องกันโดยวัดความหยาบผิวนอกโดยใช้เครื่องวัดผิว (Roughness surface)

3. กระบอกนอก (Outer shell) การที่มีน้ำมันหรือแก๊สรั่วนั้นเป็นลักษณะของข้อบกพร่องที่สังเกตุเห็นได้ที่การพับปิดที่ด้านบนของชิ้นส่วนนี้ เนื่องจากความสูงของรอยเชื่อมมีความหนาหรือบางเกินไป ควรวัดความสูงของรอยเชื่อมโดยใช้ คอนทราสเซอร์ (Contracer)

4. ฝาปิด (Bump stopper) อาจมีข้อบกพร่อง คือ หลุดออกจากกระบอกนอก (Outer shell) ขณะใช้งานส่งผลให้ หิน โคลน หรือฝุ่น เข้าไปทำให้ชิ้นส่วนภายในเสียหาย สาเหตุข้อบกพร่องเนื่องมาจากการสวมอัดให้แรงจับยึดไม่เพียงพอเนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางในไม่ได้ขนาด การตรวจสอบทำได้โดยใช้ ซีเอ็มเอ็ม (CMM) วัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางใน

5. ยางรองลูกสูบ (Rebound cushion) มีแนวโน้มลักษณะทำให้ความสูงและระยะชักไม่ได้ตามข้อกำหนด ทำให้การรับแรงกระแทกได้ไม่เพียงพออาจเสียรูปทรงไปจากเดิม การควบคุมสามารถตรวจสอบได้โดยวัดความสูงรวมโดยใช้ ไฮเกจ (Height gauge)

6. ซีลน้ำมัน (Oil seal) เป็นชิ้นส่วนสำหรับป้องกันการรั่วของน้ำมันและแก๊ส ซึ่งหากเส้นผ่านศูนย์กลางในไม่ได้ขนาดขณะใช้งานอาจทำให้เกิดการเสียรูปหรือฉีกขาดได้ การตรวจสอบโดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใน โดยการวัดค่าแบบภาพถ่าย (Measuring microscope)

7. แกนนำลูกสูบ (Rod guide) มีหน้าที่นำและประคองการเลื่อนตัว ขึ้น-ลง ขณะใช้งาน ลักษณะของข้อบกพร่อง คือ ทำให้แกนลูกสูบเป็นรอยเนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางในไม่ได้ขนาดอาจทำให้เกิดการเยื่องออกจากศูนย์กลางของโช้คอัพยานยนต์ การตรวจสอบโดยวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางใน โดยใช้แอร์เกจ (Air gauge)

8. ค่าแรงดันต้าน (Damping force) ซึ่งเป็นตัวกำหนดระดับของสมรรถนะในการขับขี่ของยานยนต์ให้มีเสถียรภาพ ความล้มเหลวอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากการประกอบของชิ้นส่วนที่ตรงกับข้อกำหนด วัดผลโดยการทดสอบโดยเครื่องทดสอบแรงดันต้าน (Damping force tester)

9. เสียงรบกวน (Noise) เป็นเสียงที่ไม่ได้เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้งานปกติ ซึ่งเข้ามาในห้องโดยสาร จนผู้ใช้งานสามารถได้ยิน ต้องไม่เกิน 60 เดซิเบล ตรวจสอบโดย การทดสอบเสียงรบกวนในห้องปฏิบัติการ

10. ฐานรองสปริง (Spring guide) เป็นชิ้นส่วนที่มีหน้าที่รองรับสปริงต้องรับแรงที่เกิดเนื่องจากการเคลื่อนที่ ขึ้น-ลง ของสปริงขณะใช้งาน ลักษณะของข้อบกพร่อง คือ เกิดการแตกที่ตัวฐานรองสปริงเอง หรือบริเวณรอยเชื่อมกับ กระบอกนอก (Outer shell) การตรวจจับความเสียหายโดยการทดสอบความคงทน (Durability test) โดยจำลองการใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการ

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นทั้ง 10 ข้อจะเห็นได้ว่า ข้อที่ 1 ถึงข้อที่ 7 เป็นการวิเคราะห์ชิ้นส่วนประกอบโช้คอัพยานยนต์ ส่วนข้อที่ 8 ถึงข้อที่ 9 เป็นการวิเคราะห์สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งานของต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ และสุดท้ายข้อที่ 10 เป็นการควบคุมเชิงป้องกันในด้านของความคงทนของต้นแบบผลิตภัณฑ์ โดยจำลองการทดสอบการใช้งานจริง

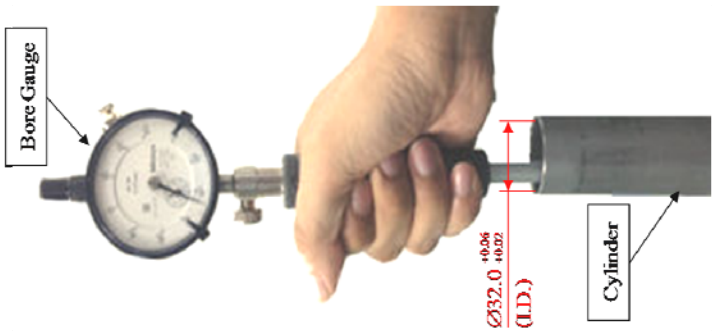
แผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

แผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบสำหรับใช้กับกรณีศึกษา เป็นการดำเนินการในขั้นตอนการออกแบบ (Design) ของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า จากตารางที่ 3-2 นำมาสรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA) แผนควบคุมการสร้างต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ แสดงดังภาพที่ 4-5 โดยการตรวจสอบชิ้นส่วนจากผู้ส่งมอบชิ้นส่วน และทดสอบต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ที่สร้างจากฝ่ายผลิต มีรายละเอียดการดำเนินการดังนี้

1. การตรวจสอบกระบอกสูบ (Cylinder)

1.1 วิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) จากตัวอย่างชิ้นส่วน จำนวน 10 ชิ้น และผู้วัด 3 คน

1.1.1 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในโดยบอร์เกจ (Bore gauge) แสดงดังภาพที่ 4-4



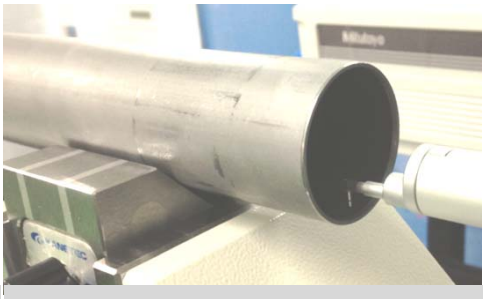
ภาพที่ 4-4 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของกระบอกสูบ

ชื่อกระบวนการ / การดำเนินงานรายละเอียด	อุปกรณ์สำหรับตรวจสอบและทดสอบ	คุณลักษณะ		วิธีการ					แผนการตอบสนอง
		ผลิตภัณฑ์	กระบวนการ	ค่าการยอมรับ	เทคนิคการประเมิน/เครื่องมือวัด	ตัวอย่าง		วิธีการควบคุม	
						ขนาด	ความถี่		
กระบอกสูบ (Cylinder)	Bore Gauge	เส้นผ่านศูนย์กลางใน	ตรวจสอบชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ตรงตามข้อกำหนด	32 +0.02/+0.06	การวัดแบบผันแปร	30	3	ควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) นำตัวอย่างชิ้นงานจาก 3 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 30 ชิ้น ดัชนี Cpk, Ppk มากกว่า 2 หรือที่ระดับ 6σ	
	Roughness Surface	ความหยาบผิวใน		Max 2.2					
แกนลูกสูบ (Piston rod)	Roughness Surface	ความหยาบผิวนอก		Max 0.2					
กระบอกนอก (Outer shell)	Contracer	ความสูงของรอยเชื่อม		Max 0.2					
ฝาปิด (Bump stopper)	CMM	เส้นผ่านศูนย์กลางใน		50.5 ± 0.1					
ยางรองลูกสูบ (Rebound cushion)	Height Gaguge	ความสูงรวม		18.0 ± 0.3					
ซีลน้ำมัน (Oil seal)	Measuring Mic.	เส้นผ่าศูนย์กลางใน		20.0 ± 0.4					
ตัวนำแกนสูกสูบ (Rod Guide)	Air Gauge	เส้นผ่าศูนย์กลางใน		22 -0.008/+0.022					
ค่าแรงดันต้าน (Damping force)	Dampin force tester	แรงคืนตัว (Extenshion)	ทดสอบความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ	457 ± 67 at 0.3 m/s					
		แรงดัน (Compression)		263 ± 66 at 0.3 m/s					
เสียงรบกวน (Noise)	Swish Noise Tester	ระดับเสียงรบกวน		Max 60 dB					
ฐานรองสปริง	Durability Tester	การเสียรูป/ รอยแตก		300,000 Cycle	การวัดแบบคุณลักษณะ	2	1	การใช้งานจริง	

ภาพที่ 4-5 แผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบของกรณีศึกษา

1.1.2 การวัดความหยาบผิวในโดยใช้เครื่องวัดผิว (Roughness sureface) แสดงดังภาพที่ 4-6

Rooughness sureface



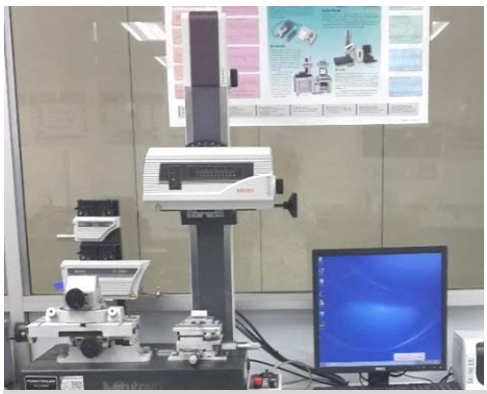
การวัดความหยาบผิวใน

ภาพที่ 4-6 การวัดความหยาบผิวในของกระบอกสูบ

1.2 ควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) จากตัวอย่างชิ้นส่วน 3 กลุ่มย่อยโดยมีกลุ่มย่อยละ 30 ตัวอย่างชิ้น ซึ่งมีทั้งหมด 90 ตัวอย่าง

2. การตรวจสอบแกนลูกสูบ (Piston rod)

2.1 วิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) จากตัวอย่างชิ้นส่วน จำนวน 10 ชิ้น และผู้วัด 3 คน สำหรับระบบการวัดความหยาบผิวนอกโดยเครื่องวัดผิว (Roughness sureface) แสดงดังภาพที่ 4-7



Rooughness sureface

Piston rod

ภาพที่ 4-7 การวัดความหยาบผิวนอกของแกนลูกสูบ

2.2 ควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) จากตัวอย่างชิ้นส่วน 3 กลุ่มย่อยโดยมีกลุ่มย่อยละ 30 ตัวอย่างชิ้น ซึ่งมีทั้งหมด 90 ตัวอย่าง

3. การตรวจสอบกระบอกนอก (Outer shell)

3.1 วิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) จากตัวอย่างชิ้นส่วน จำนวน 10 ชิ้น และผู้วัด 3 คน สำหรับระบบการวัดความสูงรอยเชื่อมโดยใช้ คอนทราสเซอร์ (Contracer) แสดงดังภาพที่ 4-8

Contracer

Outer shell

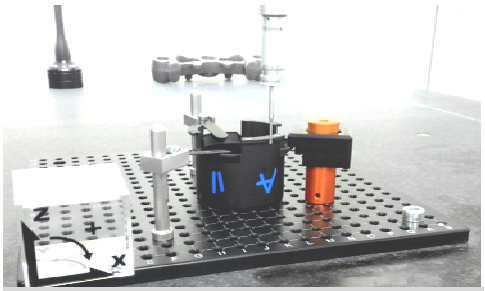
ภาพที่ 4-8 การวัดความสูงของรอยเชื่อมของกระบอกนอก

3.2 ควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) จากตัวอย่างชิ้นส่วน 3 กลุ่มย่อยโดยมีกลุ่มย่อยละ 30 ตัวอย่างชิ้น ซึ่งมีทั้งหมด 90 ตัวอย่าง

4. การตรวจสอบฝาปิด (Bump stopper)

4.1 วิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) จากตัวอย่างชิ้นส่วน จำนวน 10 ชิ้น และผู้วัด 3 คน สำหรับระบบการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในโดยใช้ ซีเอ็มเอ็ม (CMM) แสดงดังภาพที่ 4-9

CMM



Bump stoper

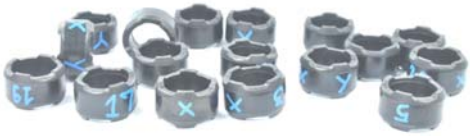
ภาพที่ 4-9 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของฝาปิด

4.2 ควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) จากตัวอย่างชิ้นส่วน 3 กลุ่มย่อยโดยมีกลุ่มย่อยละ 30 ตัวอย่างชิ้น ซึ่งมีทั้งหมด 90 ตัวอย่าง

5. การตรวจสอบยางรองลูกสูบ (Rebound cushion)

5.1 วิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) จากตัวอย่างชิ้นส่วน จำนวน 10 ชิ้น และผู้วัด 3 คน สำหรับระบบการวัดความสูงรวมโดยใช้ไฮเกจ (Height gauge) แสดงดังภาพที่ 4-10

Heighth



Rebound cushion

ภาพที่ 4-10 การวัดความสูงรวมของยางรองลูกสูบ

5.2 ควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) จากตัวอย่างชิ้นส่วน 3 กลุ่มย่อยโดยมีกลุ่มย่อยละ 30 ตัวอย่างชิ้น ซึ่งมีทั้งหมด 90 ตัวอย่าง

6. การตรวจสอบซีลน้ำมัน (Oil seal)

6.1 วิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) จากตัวอย่างชิ้นส่วน จำนวน 10 ชิ้น และผู้วัด 3 คน ของระบบการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในโดยภาพถ่าย (Measuring microscope) แสดงดังภาพที่ 4-11

Meaesuring Microscope

Oil seal

ภาพที่ 4-11 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของซีลน้ำมัน

6.2 ควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) จากตัวอย่างชิ้นส่วน 3 กลุ่มย่อยโดยมีกลุ่มย่อยละ 30 ตัวอย่างชิ้น ซึ่งมีทั้งหมด 90 ตัวอย่าง

7. การตรวจสอบตัวนำแกนลูกสูบ (Rod guide)

7.1 วิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) จากตัวอย่างชิ้นส่วน จำนวน 10 ชิ้น และผู้วัด 3 คน สำหรับระบบการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในโดยใช้แอร์เกจ (Air gauge) แสดงดังภาพที่ 4-12

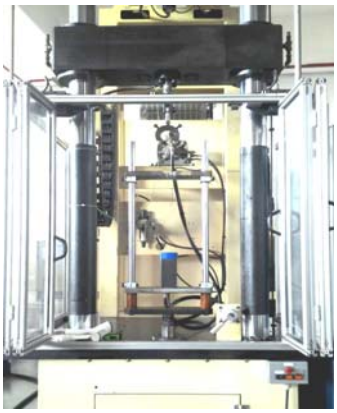
Air gauge | Rod guide

ภาพที่ 4-12 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของตัวนำลูกสูบ

7.2 ควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) จากตัวอย่างชิ้นส่วน 3 กลุ่มย่อยโดยมีกลุ่มย่อยละ 30 ตัวอย่างชิ้น ซึ่งมีทั้งหมด 90 ตัวอย่าง

8. การทดสอบแรงดันต้าน (Damping force test)

8.1 วิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) จากต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ จำนวน 10 ตัวอย่าง และผู้วัด 3 คน สำหรับทดสอบแรงดันต้าน (Damping force taster) แสดงดังภาพที่ 4-13



ภาพที่ 4-13 เครื่องทดสอบแรงดันต้าน

8.2 ควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) จากต้นแบบผลิตภัณฑ์ 3 กลุ่มย่อยโดยมีกลุ่มย่อยละ 30 ตัว ซึ่งมีทั้งหมด 90 ตัว

9. การทดสอบเสียงรบกวน (Noise tester)

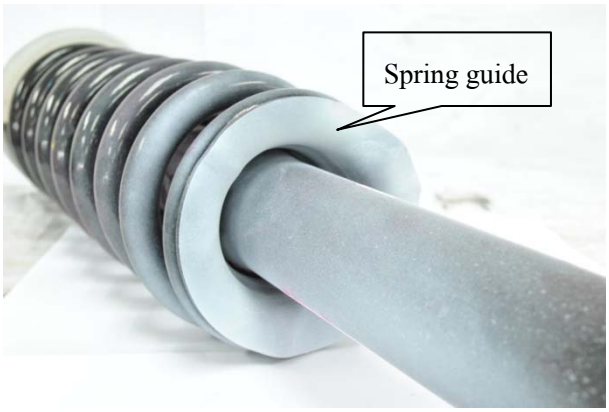
9.1 วิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) จากต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ จำนวน 10 ตัวอย่าง และผู้วัด 3 คน สำหรับทดสอบเสียงรบกวน (Noise tester) แสดงดังภาพที่ 4-14

ภาพที่ 4-14 ห้องปฏิบัติการทดสอบเสียงรบกวน

9.2 ควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) จากต้นแบบผลิตภัณฑ์ 3 กลุ่มย่อยโดยมีกลุ่มย่อยละ 30 ตัว ซึ่งมีทั้งหมด 90 ตัว

10. การทดสอบความคงทนของฐานรองสปริง (Spring guide)

10.1 วิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) เป็นระบบการวัดแบบคุณลักษณะ (Attribute) ศึกษาจากต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ที่ผ่านการทดสอบความคงทนจำนวน 10 ตัวอย่าง และผู้วัด 3 คน สำหรับทดสอบความคงทนของฐานรองสปริง (Durability test) แสดงดังภาพที่ 4-15



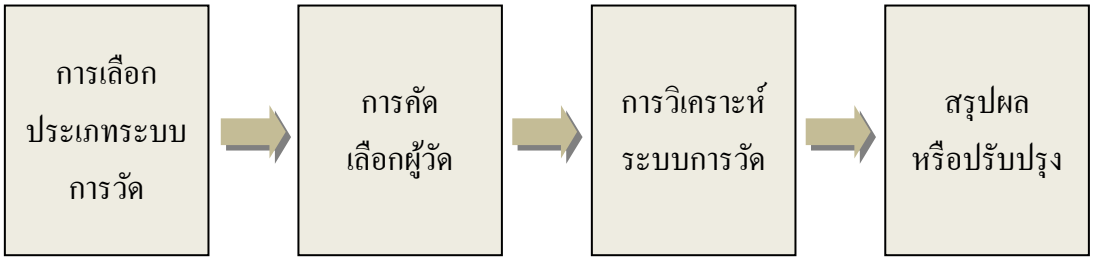
ภาพที่ 4-15 ต้นแบบโช้คอัพยานยนต์หลังการทดสอบความคงทน

9.2 ควบคุมกระบวนการโดยทดสอบความคงทนของต้นแบบโช้คอัพยานยนต์จำนวน 2 ตัวอย่าง นำมาจำลองการใช้งานจริงที่ 300,000 รอบของการทำงาน ตัวอย่างที่นำมาทดสอบต้องไม่พบการแตกร้าว หรือเสียรูปทรงของฐานรองสปริง การจำลองการใช้งานจริง แสดงดังภาพที่ 4-16

ภาพที่ 4-16 การทดสอบการใช้งานจริง

การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA)

การวิเคราะห์ระบบการวัดเป็นการเริ่มดำเนินการในขั้นตอน วัดผล (Measure) เพื่อวางแผนว่าเครื่องมือใดบ้างที่จะนำมาดำเนินการวิเคราะห์ การดำเนินการต่อเนื่องจนถึงขั้นตอนออกแบบ (Design) ตามขั้นตอน DMADV ของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า จากภาพที่ 4-5 ได้แบ่งการวิเคราะห์ระบบการวัดของแต่ละชิ้นส่วนหรือฟังก์ชั่นการใช้งาน ออกเป็น 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์ระบบการวัดแบบผันแปร (Variation) และการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบคุณลักษณะ (Attribute) ขั้นตอนการดำเนินการ แสดงดังภาพที่ 4-17



ภาพที่ 4-17 ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบการวัด

1. การวางแผนวิเคราะห์ระบบการวัด

จากภาพที่ 4-17 แสดงลำดับขั้นตอนดำเนินการวิเคราะห์ระบบการวัด ซึ่งได้นำมาประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ ดังนี้

1.1 การเลือกประเภทระบบการวัด ผลการแบ่งประเภทศึกษาระบบการวัดชิ้นส่วนและฟังก์ชั่นการทำงาน เช่น ค่าแรงดันต้าน แสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 รูปแบบของระบบการวัด

ชิ้นส่วน/ การใช้งาน	หัวข้อการวัด	อุปกรณ์วัด	ระบบการวัดแบบ	
			ผันแปร	คุณลักษณะ
กระบอกสูบ	เส้นผ่านศูนย์กลาง	Bore gauge	ใช่	
	ความหยาบผิว	Roughness S.	ใช่	
แกนลูกสูบ	ความหยาบผิว	Roughness S.	ใช่	
กระบอกนอก	ความสูงรอยเชื่อม	Contracer	ใช่	
ฝาปิด	เส้นผ่านศูนย์กลาง	CMM	ใช่	
ยางรองลูกสูบ	ความสูงรวม	Height gauge	ใช่	
ซีลน้ำมัน	เส้นผ่านศูนย์กลาง	M. Microscope	ใช่	
ตัวนำแกนลูกสูบ	เส้นผ่านศูนย์กลาง	Air gauge	ใช่	
แรงดันต้าน	แรงดันต้าน	D/F Machine	ใช่	
เสียงรบกวน	เสียงรบกวน	Noise Room test	ใช่	
ฐานรองสปริง	ความคงทน	Durability test		ใช่

1.2 การคัดเลือกผู้วัด จากผู้ที่ใช้เครื่องมือ อุปกรณ์วัด หรือเครื่องทดสอบเป็นประจำหรือพนักงานใหม่ที่จะรับหน้าที่การตรวจวัดหรือทดสอบ

1.3 การวิเคราะห์ระบบการวัด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการแสดงผลของชิ้นงานหรือฟังก์ชั่นการใช้งานเป็นเช่นไร ในงานวิจัยนี้ได้แยกประเภท ดังตารางที่ 4-2 และแนวทางการใช้เครื่องมือ คือ

1.3.1 ระบบการวัดแบบผันแปร (Variation) ใช้ การหาค่าความสามารถในการวัดซ้ำและความสามารถในการประเมินซ้ำ (*GRR*)

1.3.2 ระบบการวัดแบบคุณลักษณะ (Attribute) ใช้ การระบุความสอดคล้องกันโดยใช้ดัชนีชี้วัดสถิต *kappa* และการคำนวณความมีประสิทธิผลของผู้วัด

1.4 สรุปผลหรือแนวทางการปรับปรุง คือ การประเมินผลการวิเคราะห์ระบบการวัดว่าสามารถยอมรับได้ หรือต้องแก้ไขปรับปรุงกระบวนการวัด

2. วิเคราะห์ระบบการวัดของกรณีศึกษา

2.1 การวิเคราะห์ระบบการวัดแบบผันแปร (Variation) การวิเคราะห์ระบบการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของกระบอกสูบ (Cylinder) โดยบอร์เกจ (Bore gauge) แสดงดังภาพที่ 4-18

Part Name:	Cylinder	Equipment / Tools	USL	Target	LSL	Date
Item key:	Inside diameter (32 +0.02 / +0.06 mm)	Bore gauge	32.06	-	30.02	-

Appraiser's name		
Thitikan	Saranyuth	Apicha

Trial #		Parts										AVERAGE
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Thitikan	1	32.0471	32.0485	32.0445	32.0489	32.0454	32.0451	32.0447	32.0476	32.0455	32.0465	32.0464
	2	32.0472	32.0485	32.0444	32.0488	32.0455	32.0452	32.0445	32.0475	32.0454	32.0465	32.0464
	3	32.0472	32.0487	32.0444	32.0487	32.0456	32.0452	32.0445	32.0475	32.0453	32.0466	32.0464
Average:		32.0472	32.0486	32.0444	32.0488	32.0455	32.0452	32.0446	32.0475	32.0454	32.0465	$\bar{\bar{X}}$: 32.0464
Range:		0.0001	0.0002	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001	0.0002	0.0001	0.0002	0.0001	$\bar{R}$: 0.0002
Saranyuth	1	32.0474	32.0486	32.0444	32.0487	32.0455	32.0447	32.0447	32.0470	32.0451	32.0457	32.0462
	2	32.0473	32.0485	32.0445	32.0487	32.0455	32.0448	32.0445	32.0471	32.0452	32.0458	32.0462
	3	32.0473	32.0485	32.0445	32.0488	32.0456	32.0446	32.0445	32.0471	32.0452	32.0457	32.0462
Average:		32.0473	32.0485	32.0445	32.0487	32.0455	32.0447	32.0446	32.0471	32.0452	32.0457	$\bar{\bar{X}}$: 32.0462
Range:		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	$\bar{R}$: 0.0001
Apicha	1	32.0476	32.0485	32.0442	32.0490	32.0455	32.0455	32.0447	32.0474	32.0453	32.0458	32.0464
	2	32.0477	32.0486	32.0444	32.0491	32.0455	32.0454	32.0447	32.0473	32.0452	32.0457	32.0464
	3	32.0476	32.0485	32.0444	32.0489	32.0454	32.0455	32.0445	32.0474	32.0452	32.0459	32.0463
Average:		32.0476	32.0485	32.0443	32.0490	32.0455	32.0455	32.0446	32.0474	32.0452	32.0458	$\bar{\bar{X}}$: 32.0463
Range:		0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002	$\bar{R}$: 0.0001
Part Average:		32.0474	32.0485	32.0444	32.0488	32.0455	32.0451	32.0446	32.0473	32.0453	32.0460	$\bar{\bar{X}}$: 32.0463 R_p: 0.0044
([Rbar 1 = 0.000] + [Rbar 2 = 0.000] + [Rbar 3 = 0.000]) / [# of APPRAISERS = 3] = 0.0001												$\bar{R}$: 0.0001
[Max *Xbar* = 32.0464] - [Min *Xbar* = 32.0462] = *Xbar, diff* = 0.0002												$\bar{X}_{diff}$ 0.0002

Measurement Unit Analysis	% Total Variation (*TV*)
Repeatability - Equipment Variation (*EV*) *EV* = [*Rbarbar*] * [K1] = [0.0001] * [0.5908] = 0.0001 Trials: 2 → *K1* 0.8862; 3 → 0.5908	% *EV* = [*EV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0001] / [0.0014]) * 100 = 5.77% For measurement system acceptability is acceptable
Reproducibility - Appraiser Variation (*AV*) *AV* = SQRT{([*Xbar,diff*] * [*K2*])^2 - ([*EV*]^2 / [*nr*])} = SQRT{([0.0002] * [0.5231])^2 - ([0.0001]^2 / [10] * [3])} = 0.0001 Appraisers: 2 → *K2* 0.7071; 3 → 0.5231	% *AV* = [*AV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0001] / [0.0014]) * 100 = 6.77% For measurement system acceptability is acceptable
Repeatability & Reproducibility (*GRR*) *GRR* = SQRT ([*EV*]^2 + [*AV*]^2) = SQRT ([0.0001]^2 + [0.0001]^2) = 0.0001	% *GRR* = [*GRR*] / [*TV*] * 100 = ([0.0001] / [0.0014]) * 100 = 8.89% For measurement system acceptability is acceptable
Part Variation (*PV*) *PV* = [*Rp*] * [*K3*] = [0.0044] * [0.3146] = 0.0014 Part: 2 → *K3* 0.7071; 3 → 0.5231; 4 → 0.4467; 5 → 0.4030; 6 → 0.3742; 7 → 0.3534; 8 → 0.3375; 9 → 0.3249; 10 → 0.3146	% *PV* = [*PV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0014] / [0.0014]) * 100 = 99.60% For measurement system acceptability is unacceptable.
Total Variation (*TV*) *TV* = SQRT ([*GRR*]^2 + [*PV*]^2) = SQRT ([0.0001]^2 + [0.0014]^2) = 0.0014	*ncd* = [*PV*] / [*GRR*] * 1.44 = ([0.0014] / [0.0001]) * 1.44 = 16.13 For measurement system acceptability is acceptable.

ภาพที่ 4-18 การวิเคราะห์ระบบการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของกระบอกสูบ

จากภาพที่ 4-18 แสดงการวิเคราะห์ระบบการวัด และวิธีการคำนวณ ซึ่งได้สรุปผลการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของกระบอกสูบ

เกณฑ์ยอมรับ	ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด		ผลตัดสิน
< 10	ความผันแปรของอุปกรณ์ (*EV*)	5.77 %	ยอมรับ
< 10	ความผันแปรของผู้วัด (*AV*)	6.77 %	ยอมรับ
< 10	ความสามารถในการวัด & ประเมินซ้ำ (*GRR*)	8.89 %	ยอมรับ
-	ความผันแปรของชิ้นส่วน (*PV*)	99.60 %	-
≥ 5	จำนวนประเภทข้อมูลที่แตกต่างกัน (*ndc*)	16.13	ยอมรับ

จากตารางที่ 4-3 ผลการคำนวณค่าความผันแปรของอุปกรณ์ (*EV*) ค่าความผันแปรของผู้วัด (*AV*) และค่าความสามารถในการวัดและประเมินซ้ำ (*GRR*) มีค่าน้อยกว่า 10% ซึ่งอยู่ในช่วงของเกณฑ์การยอมรับ แต่สังเกตได้ว่า ค่าความผันแปรของชิ้นส่วน (*PV*) สูงถึง 99.60% เนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในของกระบอกสูบ (Cylinder) มีความผันแปรสูง ซึ่งจะนำไปศึกษาโดยการใช้เทคนิคทางสถิติในการขั้นศึกษาขั้นตอนต่อไป ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบผันแปรของชิ้นส่วนอื่น ๆ แสดงที่ภาคผนวก ข

2.2 การวิเคราะห์ระบบการวัดแบบคุณลักษณะ (Attribute) คือ การวิเคราะห์รอยแตกร้าว หรือการเสียรูปทรงของฐานรองสปริง หลังทดสอบความคงทน แสดงดังภาพที่ 4-19

ภาพที่ 4-19 ตัวอย่างต้นแบบโช้คอัพยานยนต์สำหรับศึกษาระบบการวัดแบบคุณลักษณะ

Part Name:	Spring gudie	Item key:	No crack	Tools:	Appearance check	Date:	04/05/2015

Appraiser's name

Thitikan	Saranyuth	Apicha

# Part	Reference	Thitikan			Saranyuth			Apicha		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Cosstabulation between appraisers.

Po :	0.98	Saranyuth		Total
Pe :	0.52	0	1	
Thitikan	0	23	0	23
		[9.2]	[13.8]	
	1	1	36	37
		[14.8]	[22.2]	
Total		24	36	60

Po :	0.98	Apicha		Total
Pe :	0.52	0	1	
Saranyuth	0	24	0	24
		[10.0]	[14.0]	
	1	1	35	36
		[15.0]	[21.0]	
Total		25	35	60

Po :	0.97	Apicha		Total
Pe :	0.52	0	1	
Thitikan	0	23	0	23
		[9.6]	[13.4]	
	1	2	35	37
		[15.4]	[21.6]	
Total		25	35	60

kappa	Thitikan	Saranyuth	Apicha
Thitikan	-	0.97	0.93
Saranyuth	0.97	-	0.97
Apicha	0.93	0.97	-

Cosstabulation with reference data.

Po :	0.98	Reference		Total
Pe :	0.52	0	1	
Thitikan	0	23	0	23
		[9.2]	[13.8]	
	1	1	36	37
		[14.8]	[22.2]	
Total		24	36	60

Po :	1.00	Reference		Total
Pe :	0.52	0	1	
Saranyuth	0	24	0	24
		[9.6]	[14.4]	
	1	0	36	36
		[14.4]	[21.6]	
Total		24	36	60

Po :	0.98	Reference		Total
Pe :	0.52	0	1	
Apicha	0	24	1	25
		[10.0]	[15.0]	
	1	0	35	35
		[14.0]	[21.0]	
Total		24	36	60

kappa	Thitikan	Saranyuth	Apicha
	0.97	1.00	0.97
Values greater than 0.75 indicate to excellent agree			
Values 0.40 to 0.75 - may be improvement.			
Values less than 0.40 indicate poor agreement.			

ภาพที่ 4-20 การวิเคราะห์ระบบการวัดของความสอดคล้องแบบ *kappa*

2.2.1 การวิเคราะห์การตัดสินใจที่สอดคล้องกัน จากภาพที่ 4-20 เป็นการคำนวณการประเมินที่ตัดสินใจตรงกัน แสดงดังภาพที่ 4-21

Po :		Saranyuth		Total
Pe :		0	1	
Thitikan	0	23 [เห็นตรงกัน]	0 [เห็นต่าง]	23
	1	1 [เห็นต่าง]	36 [เห็นตรงกัน]	37
Total		24	36	60

ภาพที่ 4-21 การประมาณการสำหรับการกระจายตัวของข้อมูลที่คาดหวัง

การประมาณการการกระจายตัวของข้อมูลที่คาดหวัง คือ ความน่าจะเป็นผู้ทดสอบแต่ละคู่ จะตัดสินใจตรงกันหรือไม่ตรงกันในการทดสอบที่เป็นอิสระต่อกันในการทดสอบ 60 ครั้ง ผู้วัด ฐิติกานต์ (Thitikan) ปฏิเสธ 23 ครั้ง และผู้วัด ศราญยุทธ (Saranyuth) ปฏิเสธ 24 ครั้ง

$$P_{Thitikan0} = 24/60 = 0.400$$

$$P_{Saranyuth0} = 23/60 = 0.383$$

เนื่องจากผู้วัดสองคนเป็นอิสระต่อกัน ความน่าจะเป็นที่ทั้งคู่เห็นพ้องกันว่าตัวอย่างวัดนั้นไม่ดีจะคำนวณได้โดย

$$P(Thitian0 \cap Saranyuth0) = P_{Thitikan0} \times P_{Saranyyth0} = 0.153$$

จำนวนที่คาดหวังของผู้วัด ฐิติกานต์ (Thitikan) และผู้วัด ศราญยุทธ (Saranyuth) เห็นด้วยว่าชิ้นงานไม่ดี ประเมินได้โดย

$$60 \times (P_{Thitikan0} P_{Saranyuth0}) = 60 \times (24/60) \times (23/60) = 9.2$$

ทำเช่นเดียวกับความสอดคล้องอื่นจนได้ผลลัพธ์ ที่แสดงดังภาพที่ 4-20

Part Name:	Spring gudie	Item key:	No crack	Tools:	Appearance check	Date:	04/05/2015

Appraiser's name

Thitikan	Saranyuth	Apicha

# Part	Reference	Thitikan			Saranyuth			Apicha		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Source	% Appraiser			% Score vs. Attribute		
	Thitikan	Saranyuth	Apicha	Thitikan	Saranyuth	Apicha
Total Inspected	20	20	20	20	20	20
# Matched	19	20	19	19	20	19
False Negative (appraiser biased toward rejection)				0	0	0
False Positive (appraiser biased toward acceptance)				0	0	0
Mixed				1	0	1
95% UCL	99%	100%	99%	99%	100%	99%
Calculated Score	**95%**	**100%**	**95%**	**95%**	**100%**	**95%**
95% LCL	76%	84%	76%	76%	84%	76%

	System % Effective Score	System % Effective Score vs. Reference
Total Inspected	20	20
# in Agreement	18	18
95% UCL	97%	97%
Calculated Score	90%	90%
95% LCL	69%	69%

Effectiveness		Miss Rate	False Alarm
Thitikan	95%	4.2%	0.0%
Saranyuth	100%	0.0%	0.0%
Apicha	95%	0.0%	2.8%

Effectiveness		Miss Rate	False Alarm
Acceptable	≥ 90 %	≤ 2 %	≤ 5 %
Marginal	≥ 80 %	≤ 5 %	≤ 10 %
Reject	< 80 %	> 5 %	> 10 %

ภาพที่ 4-22 ความมีประสิทธิผลของระบบการวัดเชิงคุณลักษณะ

2.2.2 ประสิทธิผลของระบบการวัด (Effectiveness of the Measurement System) เชิงคุณลักษณะ (Attribute) แสดงดังภาพที่ 4-22

ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบคุณลักษณะ (Attribute) ของผู้วัดทั้ง 3 คน คือ การวัดการตัดสินใจที่สอดคล้องกันแบบ *kappa* และผลที่ได้จากการคำนวณความมีประสิทธิผล ผลการวิเคราะห์คือ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

การควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC)

การประยุกต์การควบคุมกระบวนโดยการใช้เทคนิคทางสถิติ ซึ่งจัดอยู่ในการดำเนินการขั้นตอน ออกแบบ (Design) ของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ผลการดำเนินการนำมาสร้างเป็นต้นแบบของชิ้นงานกรณีศึกษา ในการควบคุมเชิงตรวจจับโดยใช้ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) แผนภูมิควบคุมพิสัย (R) และการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) จากการใช้ดัชนี C_p C_{pk} P_p และ P_{pk} ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งของการดำเนินการควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ วิธีดำเนินการ ปะกอบด้วย

1. การควบคุมกระบวนการ

จากแผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype control plan) กำหนดให้มีการควบคุมกระบวนการวัดโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) ที่มีลักษณะคุณภาพ แสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ลักษณะคุณภาพสำหรับควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ

ลำดับ	รายการ	ลักษณะคุณภาพ	ค่าการยอมรับ
1	กระบอกสูบ	เส้นผ่านศูนย์กลางใน	32.0 +0.02/+0.06
		ความหยาบผิวใน	Max 2.2
2	แกนลูกสูบ	ความหยาบผิวนอก	Max 0.2
3	กระบอกนอก	ความสูงรอยเชื่อม	Max 0.2
4	ฝาปิด	เส้นผ่านศูนย์กลางใน	55.5 ± 0.1
5	ยางรองลูกสูบ	ความสูงรวม	18.0 ± 0.3
6	ซีลน้ำมัน	เส้นผ่านศูนย์กลางใน	20.0 ± 0.4
7	ตัวนำแกนลูกสูบ	เส้นผ่านศูนย์กลางใน	22.0 -0.008/+0.022
8	แรงดันต้าน	แรงคืนตัว	457 ± 67 at 0.3 m/s
		แรงบีบอัด	263 ± 66 at 0.3 m/s
9	เสียงรอบกวน	ระดับเสียงรบกวน	Max 60 dB
10	ฐานรองสปริง	ไม่เสียรูป หรือมีรอยแตก	300,000 cycle

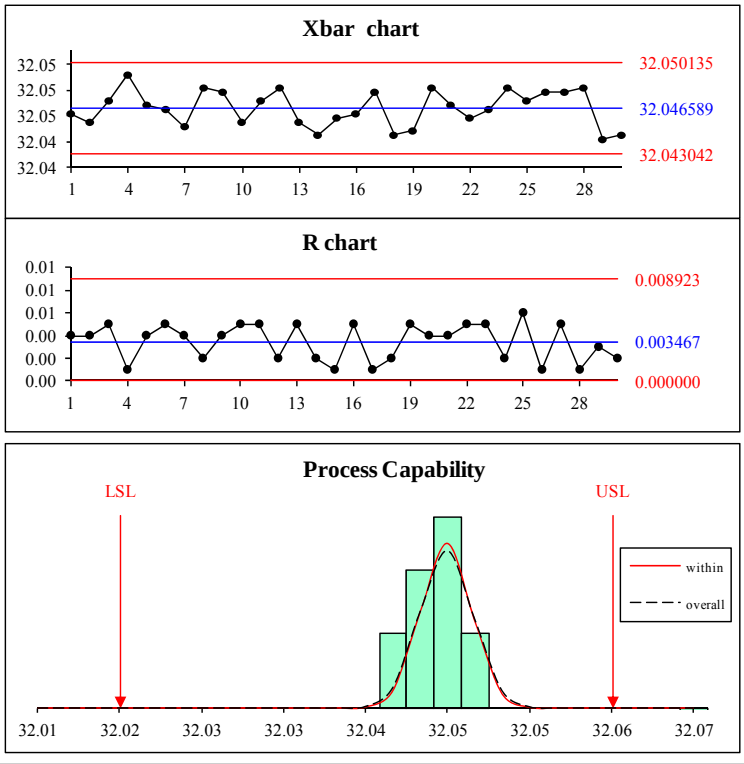
การทดสอบความคงทนของฐานรองสปริง (Spring guide) ซึ่งได้ทดสอบจากการใช้งานจริงที่ 300,000 รอบการใช้งานจากต้นแบบโช้คอัพยานยนต์เพียง 2 ตัวจึงไม่สามารถใช้ร่วมกับเทคนิคทางสถิติ แต่การดำเนินการดังกล่าวได้รวมอยู่ไว้ในขั้นตอนนี้ด้วย

2. การประยุกต์ใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC)

การควบคุมกระบวนการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใน ของกระบอกสูบ (Cylinder) โดยใช้บอร์เกจ (Bore gauge) จากผู้ส่งมอบชิ้นส่วน 3 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 30 ตัวอย่าง ทั้งหมด 90 ตัวอย่าง จากแผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบกำหนดให้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางในกระบอกสูบมีค่าเฉพาะอยู่ที่ 32 +0.02/+0.06 mm เกณฑ์การยอมรับอยู่ระหว่าง 30.02 ถึง 30.06 ซึ่งเป็นลักษณะของการสวมอัด ดังนั้นขนาด 32 mm จึงไม่ใช่ค่าเป้าหมาย (Target) สำหรับการยอมรับ ค่าที่ได้จากการวัดผล เทคนิคทางสถิตินำมาประยุกต์ใช้ คือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) แผนภูมิควบคุมพิสัย (R) และการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ดัชนี C_p C_{pk} P_p และ P_{pk} แสดงดังภาพที่ 4-23

Part name:	Cylinder					Process Data		Process Capability		Process Potential	
Item key:	Inside diameter (32 +0.02/+0.06 mm)					Sample Mean	32.047	Cp	3.26	Pp	3.09
Process:	Part inspection					Sample No.	90	CPL	4.33	PPL	4.11
Date:	18/08/2015					StDev (within)	0.002048	CPU	2.18	PPU	2.07
Engineering Specification (mm)						StDev (overall)	0.002155	Cpk	2.18	Ppk	2.07
USL	32.06	Target	-	LSL	32.02	Scpm	-			Cpm	-

Part No.	Subgroup		
	1	2	3
1	32.048	32.048	32.044
2	32.046	32.044	32.048
3	32.045	32.048	32.050
4	32.050	32.050	32.049
5	32.048	32.049	32.045
6	32.044	32.049	32.048
7	32.048	32.044	32.045
8	32.050	32.048	32.048
9	32.049	32.050	32.046
10	32.044	32.049	32.045
11	32.048	32.045	32.050
12	32.050	32.048	32.048
13	32.049	32.045	32.044
14	32.045	32.046	32.044
15	32.046	32.046	32.047
16	32.045	32.045	32.050
17	32.048	32.048	32.049
18	32.045	32.046	32.044
19	32.043	32.045	32.048
20	32.046	32.050	32.050
21	32.045	32.048	32.049
22	32.046	32.044	32.049
23	32.049	32.048	32.044
24	32.048	32.050	32.048
25	32.044	32.049	32.050
26	32.048	32.048	32.049
27	32.050	32.050	32.045
28	32.049	32.049	32.048
29	32.046	32.043	32.045
30	32.045	32.046	32.044



ภาพที่ 4-23 กระบวนการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของกระบอกสูบ

จากภาพที่ 4-23 แสดงผลการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในของกระบอกสูบ (Cylinder) จาก 3 กลุ่มย่อย ทั้งหมด 90 ตัวอย่าง สรุปผลดำเนินการ คือ

2.1 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ผลการวัดขนาดอยู่ในการควบคุม

2.2 แผนภูมิควบคุมพิสัย (R) ความแตกต่างของขนาดอยู่ในการควบคุม

2.3 ดัชนีความสามารถของกระบวนการ C_{pk} = 2.18 อยู่ในระดับ ซิกซ์ ซิกม่า

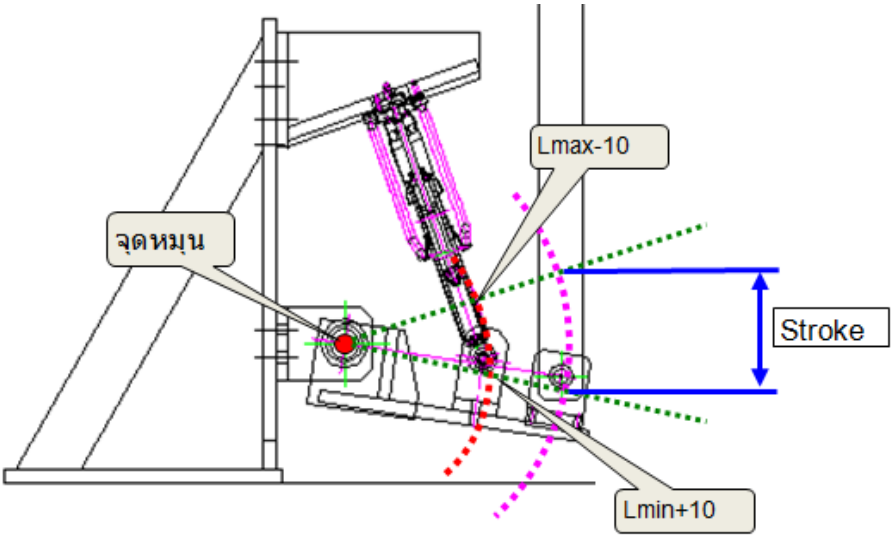
2.4 ดัชนีสมรรถนะของกระบวนการ P_{pk} = 2.07 อยู่ในระดับ ซิกซ์ ซิกม่า

ค่าดัชนีความสามารถ C_{pk} และสมรรถนะของกระบวนการ P_{pk} ที่มากว่า 2 ถือว่ามีคุณภาพในระดับโลก (Word class quality) หรือ ซิกซ์ ซิกม่า (จรัล ทรัพย์เสรี, 2550)

จากผลการควบคุมกระบวนการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในของกระบอกสูบ คือ ค่าอยู่ในช่วงการยอมรับ สำหรับการควบคุมกระบวนการและชิ้นส่วนอื่น ๆ และฟังก์ชั่นการใช้งานดังที่กำหนดไว้ในแผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ แสดงที่ภาคผนวก ค

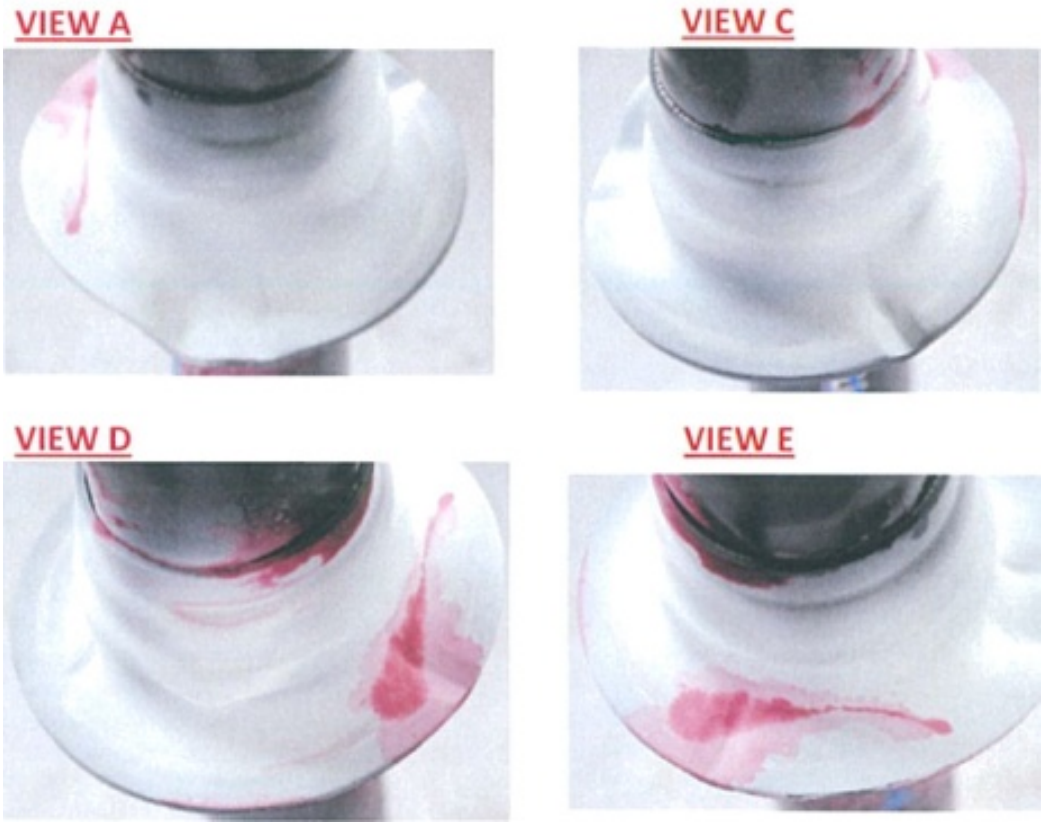
3. การทดสอบความคงทนของฐานรองสปริง (Spring guide)

การควบคุมเชิงตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องจากน้ำมันรั่ว การแตกหัก และการเสียรูปของฐานรองสปริง โดยจำลองการใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการทดสอบ แสดงภาพที่ 4-24



ภาพที่ 4-24 การทดสอบความคงทนของฐานรองสปริง

จากการทดสอบการใช้งานจริงที่ 300,000 รอบการใช้งาน เพื่อทดสอบการเสื่อมสภาพเนื่องจากการใช้งานของลูกค้า การบรรทุกสัมภาระ และการใช้ความเร็วในสภาพถนนที่แตกต่างกัน ว่ามีแนวโน้มจะส่งผลกระทบต่อกรณีศึกษา โดยการตรวจสอบด้วยสายตา (Appearance check) จากการพ่นสีที่โครงสร้างของกรณีศึกษา (Spot and color check) ผลจากการทดสอบความคงทน คือ ไม่พบจุดและรอยแตกร้าวบนชิ้นส่วนของกรณีศึกษา แสดงภาพที่ 4-25



ภาพที่ 4-25 การตรวจสอบการรั่ว รอยแตก และการเสียรูป

จากการประเมินความสามารถการผลิตชิ้นส่วนประกอบ ให้มีประสิทธิภาพ อายุการใช้งานและความคงทนของกรณีศึกษา ได้ตรงตามข้อกำหนดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ของลูกค้า สรุปผลจากการดำเนินการที่ได้ไปบันทึกในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA) เพื่อประเมินการดำเนินการได้ตามข้อกำหนดและเพื่อเป็นการติดตามการดำเนินการปรับปรุงในกระบวนการออกแบบของกรณีศึกษา แสดงที่ภาคผนวก ง

กระบวนการอนุมัติชิ้นส่วนเพื่อการผลิต (PPAP)

การตรวจสอบความพร้อมในกระบวนการอนุมัติชิ้นส่วนเพื่อการผลิต ของกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ ในการขออนุมัติทั้งหมดต้องนำข้อมูลเข้าไปรวมกับเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยฝ่ายผลิต สำหรับงานวิจัยนี้ได้มีการระบุเอกสาร จากกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ แสดงดังภาพที่ 4-26 ซึ่งมีรายการที่ต้องจัดทำสำหรับกระบวนการออกแบบ ประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

1. บันทึกเอกสารการออกแบบ ซึ่งรวมถึงบันทึกการออกแบบสำหรับชิ้นส่วนประกอบที่ได้บันทึกไว้ในขั้นตอนแรกของการวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง (APQP)

2. เอกสารการเปลี่ยนแปลงวิศวกรรม สำหรับกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งในงานวิจัยนี้คือ การเปลี่ยนแปลงผู้ส่งมอบชิ้นส่วน

3. การอนุมัติทางวิศวกรรม สำหรับกรณีที่ลูกค้าร้องขอเพิ่มเติม

4. การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกบบ (DFMEA) ได้มีการจัดทำเบื้องต้น แสดงดังภาพที่ 4-3 และผลดำเนินการ แสดงที่ภาคผนวก ง

5. แผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prptotype control plan) แสดงดังภาพที่ 4-5

6. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) แสดงที่ภาคผนวก ข

7. ผลการวัดขนาดมิติ แสดงที่ภาคผนวก ค

8. ผลการทดสอบวัตถุดิบ และสมรรถนะ แสดงที่ภาคผนวก ค

9. ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ จัดส่งให้กับลูกค้า สำหรับกรณีที่ลูกค้าร้องขอ

10. ตัวอย่างต้นแบบ จัดเก็บไว้ที่ศูนย์ทดสอบ และพัฒนาโช้คอัพยานยนต์

11. อุปกรณ์ช่วยตรวจสอบ ประกอบด้วยข้อมูลการสอบเทียบ (Calibration)

ตรวจความพร้อมของ PPAP

ข้อกำหนด	ผู้รับผิดชอบ		ระดับการยื่น				
	ออกแบบ	ผลิต	1	2	3	4	5
1 บันทึกการออกแบบ	✓		R	S	S	*	R
2 เอกสารการเปลี่ยนแปลงวิศวกรรม	✓		R	S	S	*	R
3 การอนุมัติทางวิศวกรรม	✓		R	R	S	*	R
4 FMEA ของการออกแบบ	✓		R	R	S	*	R
5 ผังการไหลของกระบวนการ		✓	R	R	S	*	R
6 FMEA ของกระบวนการ		✓	R	R	S	*	R
7 แผนควบคุม	✓	✓	R	R	S	*	R
8 การวิเคราะห์ระบบการวัด	✓		R	R	S	*	R
9 ผลวัดขนาดมิติ	✓		R	S	S	*	R
10 ผลทดสอบวัตถุดิบ และสมรรถนะ	✓		R	S	S	*	R
11 การศึกษากระบวนการขั้นต้น		✓	R	R	S	*	R
12 เอกสารห้องปฏิบัติการที่เป็นที่ยอมรับ		✓	R	S	S	*	R
13 รายการอนุมัติลักษณะภายนอก (AAR)		✓	S	S	S	*	R
14 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์	✓		R	S	S	*	R
15 ตัวอย่างต้นแบบ	✓		R	R	R	*	R
16 อุปกรณ์ช่วยตรวจสอบ	✓		R	R	R	*	R
17 บันทึกปฏิบัติการตามข้อกำหนด		✓	R	R	S	*	R
18 หนังสือรับรองส่งชิ้นส่วน (PSW)		✓	S	S	S	S	R

S องค์กรต้องยื่นให้ลูกค้า สำเนาของบันทึกและเอกสารต่าง ๆ เก็บรักษาไว้ในสถานที่ที่เหมาะสม

R องค์กรต้องเก็บรักษาเอกสารไว้ในสถานที่ที่เหมาะสมและจัดเตรียมให้ลูกค้าเมื่อได้รับการร้องขอ

* องค์กรต้องเก็บรักษาเอกสารไว้ในสถานที่ที่เหมาะสมและยื่นให้กับลูกค้าเมื่อได้รับการร้องขอ

ภาพที่ 4-26 รายการเอกสารสำหรับกระบวนการอนุมัติชิ้นส่วนเพื่อการผลิต

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

จากต้นแบบการบูรณาการ ภาพที่ 3-13 ต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบูรณาการการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า กับมาตรฐาน ISO/TS 169649 สำหรับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยการใช้เครื่องมือหลัก (Core tools) กับขั้นตอน DMADV ของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งมีเครื่องมือและทฤษฎี ดังแสดงในตารางที่ 3-2 และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปประยุกต์ใช้

การประยุกต์ใช้ต้นแบบการบูรณาการการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิกม่า กับมาตรฐาน ISO/TS 16949 ช่วยเพิ่มประสิทธิผลด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถตรงตามข้อกำหนดการใช้งานผลิตภัณฑ์ของลูกค้า ด้วยการส่งมอบข้อมูลการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ถูกต้อง ช่วยยกระดับความสามารถการแข่งขันในอุตสาหกรรมผลิตยานยนต์ และอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ และมีการดำเนินการที่สอดคล้องกับมาตรฐาน ISO/TS 16949 ที่เป็นมาตรฐานในระดับสากล

สรุปผลการวิจัย

จากผลดำเนินการวิจัยในบทที่ 4 สำหรับงานวิจัยการบูรณาการ ซิกซ์ ซิกม่า กับมาตรฐาน ISO/TS 16949 สำหรับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ คือ

1. การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง (APQP) ช่วยในขั้นตอนกำหนด (Define) จากการใช้แนวความคิดหลากหลายสายงานในการสนทนากลุ่ม (Focus group) การรับข้อกำหนดและระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา และการแบ่งหน้าที่รับผิดชอบในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการออกแบบ เพื่อวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ สำหรับใช้เป็นแผนแม่บทในกระบวนการออกแบบของผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา

2. การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA) ที่ได้จากการใช้แนวความคิดหลากหลายสายงาน ช่วยให้เห็นประเด็นสำคัญของแนวโน้มความล้มเหลวจากการออกแบบของกรณีศึกษา นำไปจัดทำแผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype control plan) ให้ได้ต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ที่มีคุณภาพตามข้อกำหนดอย่างครอบคลุม แสดงที่ภาคผนวก ง

3. แผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Protoype control plan) ข้อเสนอแนะในการควบคุมเชิงตรวจจับในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA) ภาพที่ 4-3 หรือใน ภาคผนวก ง ได้ระบุการใช้เครื่องมือวัดหรืออุปกรณ์สำหรับตรวจสอบชิ้นส่วน

และทดสอบต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ การทดสอบประสิทธิภาพและความคงทนของต้นแบบโช้คอัพยยานยนต์ วิธีการควบคุมโดยการประยุตก์เทคนิคทางสถิติ (SPC) ควบคุมความสามารถด้านคุณลักษณะและสรรถนะให้อยู่ในระดับ ซิกซ์ ซิกม่า หรือที่ C_{pk} และ $P_{pk} \geq 2.00$ และได้ระบุการควบคุมเครื่องมือวัดให้มีการจัดทำการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ก่อนประเมินสมรรถนะของกระบวนการออกแบบโช้คอัพยานยนต์

4. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการวัดผลในกระบวนการออกแบบของพนักงานในแผนกตรวจสอบ (Inspection) และแผนกทดสอบ (Experiment) ผลดำเนินการศึกษา คือ

4.1 ระบบการวัดแบบผันแปร (Variation) โดยใช้เครื่องมือที่แผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype control plan) ระบุได้ คือ บอร์เกจ (Bore gauge) เครื่องตรวจสอบผิว (Roughness sureface) คอนทราสเซอร์ (Contracer) ซีเอ็มเอ็ม (CMM) ไฮเกจ (Height gauge) เครื่องมือวัดแบบภาพถ่าย (Meaesuring Micriscope) แอร์เกจ (Air gauge) เครื่องทดสอบแรงดันต้าน (Damping force tester) เครื่องทดสอบเสียงรบกวน (Swish noise tester) และเครื่องทดสอบความคงทน (Durability tester) ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ต้องผ่านขั้นตอนการสอบเทียบ (Calibration) ก่อนนำมาวิเคราะห์ระบบการวัดแบบผันแปร ผลการดำเนินการจาก ภาคผนวก ข แสดงดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 สรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบผันแปร

เครื่องมือ/ การวัดหรือทดสอบ	**% *EV***	**% *AV***	**% *GRR***	**% *PV***	***ncd***
บอร์เกจ/ เส้นผ่านศูนย์กลางใน	5.77	6.77	8.89	99.60	16.13
ตรวจสอบผิว/ ความหยาบผิวใน	8.65	2.76	9.08	99.56	15.79
ตรวจสอบผิว/ ความหยาบผิดนอก	8.29	0.20	8.29	99.66	17.31
คอนทราสเซอร์/ ความสูงรอยเชื่อม	6.12	0.92	6.19	99.81	23.21
ซีเอ็มเอ็ม/ เส้นผ่านศูนย์กลางใน	7.70	0.94	7.76	99.70	18.51
ไฮเกจ/ ความสูงรวม	7.48	5.35	9.19	99.58	15.59
วัดแบบภาพถ่าย/ เส้นผ่านศูนย์กลางใน	9.25	3..47	9.88	95.51	14.50
แอร์เกจ/ เส้นผ่านศูนย์กลางใน	8.92	4.21	9.86	99.51	14.53
แรงดันต้านคืนตัว	6.18	3.51	7.11	99.75	20.20
แรงดันต้านบีบอัด	8.06	1.75	8.25	99.66	17.39
เสียงรบกวน	6.11	7.09	9.36	99.56	15.31

จากตารางที่ 5-1 แสดงให้เห็นถึงความผันแปรของเครื่องมือวัด (% *EV*) ความผันแปรจากผู้วัด (% *AV*) และความสามารถในการวัดและให้ผลซ้ำ (% *GRR*) ของทุกเครื่องมือและเครื่องทดสอบมีค่าอยู่ในช่วงที่รับได้ คือ ค่าน้อยกว่า 10% ส่วนค่าความผันแปรของชิ้นส่วน (% *PV*) ทุกค่าอยู่ที่ประมาณ 99% แสดงให้เห็นว่าตัวชิ้นส่วนเองมีความผันแปรสูง และในงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคทางสถิติสำหรับควบคุมกระบวนการในขั้นตอนต่อไป

4.2 ระบบการวัดแบบคุณลักษณะ (Attribute) ในงานวิจัยนำมาใช้สำหรับตรวจสอบรอยแตกและการเสียรูปทรงของฐานรองสปริง (Spring guide) ที่ผ่านการทดสอบการใช้งานจริงที่ 300,000 รอบการใช้งาน เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ในด้านความคงทน ซึ่งผู้ที่จะวิเคราะห์ระบบการวัดนั้นต้องผ่านการฝึกอบรมด้านการตรวจสอบด้วยสายตา (Appearance check) การสรุปผลดำเนินการจาก ภาคผนวก ข ดังแสดงใน ตารางที่ 5-2 และตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-2 สรุปความเห็นพร้องระหว่างผู้วัดกับค่าอ้างอิง

ความสอดคล้อง	เทียบกับค่าอ้างอิง	มาตรฐานยอมรับ
ฐิติกานต์	0.97	>0.75
ศราญยุทธ	1.00	>0.75
อภิชา	0.97	>0.75

ตารางที่ 5-3 ประสิทธิผลการวัดแบบคุณลักษณะ

ผู้วัด	ประสิทธิผล %[E]	อัตราความผิดพลาด %P[miss]	อัตราแจ้งเตือนผิดพลาด %P[FA]
ฐิติกานต์	95.0	4.2	0.0
ศราญยุทธ	100.0	0.0	0.0
อภิชา	95.0	0.0	2.8
มาตฐานยอมรับ	>80	≤ 5	≤ 10

ผลการศึกษาตารางไขว้ ตารางที่ 5-2 คือ 0.97 1.00 และ 0.97 ของผู้วัดทั้ง 3 มีค่ามากกว่ามาตรฐานยอมรับ คือ 0.75 จึงสามารถยอมรับความสอดคล้องในการตัดสินใจแบบ *kappa*

ผลการศึกษา ตารางที่ 5-3 ค่าประสิทธิผล (E) ของผู้วัด คือ 95%, 100.0% และ 95% ซึ่งมีค่ามากกว่ามาตรฐานยอมรับ อัตราความผิดพลาด (P[miss]) คือ 4.2%, 0% และ 0.0 % ซึ่งมีน้อยกว่ามาตรฐานยอมรับ และอัตราแจ้งเตือนผิดพลาด (P[FA]) คือ 0.0%, 0.0% และ 2.8% ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐานยอมรับ ดังนั้นผลการศึกษาระบบการวัดแบบลักษณะสามารถยอมรับได้

5. การควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) จากภาพที่ 4-5 แผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Protype control plan) ในการควบคุมเชิงตรวจจับคุณลักษณะชิ้นส่วนของกรณีศึกษาโช้คอัพยานยนต์ เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความหยาบผิว ความสูงรวม และระดับแรงดันต้าน ผลที่ได้จากการดำเนินการควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) โดยการใช้แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) แผนภูมิควบคุมพิสัย (R) และการควบคุมความสามารถกระบวนการ (Process capability) แสดงผลของการดำเนินการควบคุมการตรวจจับคุณลักษณะของชิ้นส่วน และผลการทดสอบต้นแบบโช้คอัพยานยนต์ ที่แสดงผลการควบคุมกระบวนการแสดงในภาคผนวก ค นำมาสรุป แสดงดังตารางที่ 5-4

ตารางที่ 5-4 ความสามารถการควบคุมเชิงตรวจจับ

ชิ้นส่วน/	**การควบคุม**	**ดัชนีความสามารถ และสมรรถนะกระบวนการ**				
ต้นแบบ	**เชิงตรวจนับ**	C_p	C_{pk}	P_p	P_{pk}	C_{pm}
กระบอกสูบ	เส้นผ่าศูนย์กลางใน	3.26	2.18	3.09	2.07	-
	ความหยาบผิวใน	-	2.08	-	2.16	-
แกนลูกสูบ	ความหยาบผิว	-	2.10	-	2.10	-
กระบอกโช้ค	ความสูงรอยเชื่อม	-	2.07	-	2.27	-
ฝาครอบ	เส้นผ่าศูนย์กลางใน	3.58	3.54	3.55	3.58	3.53
ยางรองลูกสูบ	ความสูง	3.88	2.00	4.07	2.10	0.67
ซีลน้ำมัน	เส้นผ่าศูนย์กลางใน	3.58	2.01	3.75	2.10	0.74
นำแกนลูกสูบ	เส้นผ่าศูนย์กลางใน	3.30	2.14	3.15	2.05	2.12
ต้นแบบโช้คอัพ	แรงดันต้านขณะคืนตัว	2.03	2.00	2.11	2.08	2.10
ยานยนต์	แรงดันต้านขณะบีบอัด	2.03	2.02	2.10	2.09	2.10
	เสียงรบกวน	-	2.01	-	2.14	-

เนื่องจากการความผันแปรของกระบวนการระยะยาวจะต้องมากหรือเท่ากับความผันแปรระยะสั้น ดังนั้น $P_{pk} \leq C_{pk}$ เสมอ แต่ที่บางครั้งข้อมูลบางชุดได้ผลการคำนวณค่า P_{pk} สูงกว่า C_{pk} เนื่องจากการคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นการประมาณผลการประมาณค่าทำให้เกิดความผิดพลาด สรุปคือ ดัชนี $C_{pk} = P_{pk}$ จึงใช้ค่า P_{pk} เป็นหลักในการตัดสินใจ (จรัล ทรัพย์เสรี, 2550)

ตารางที่ 5-5 ความสัมพันธ์ของดัชนีความสามารถกับระดับซิกม่า (Kim, 2009)

ซิกม่า (σ)	C_{pk} หรือ P_{pk}	ของเสียต่อล้านชิ้น (PPM)
3	1.00	2700
4	1.33	63
5	1.67	0.57
6	2.00	0.002

6. เอกสารเพื่อประกอบการอนุมัติผลิตภัณฑ์ (PPAP) จากการดำเนินการเป็นส่วนหนึ่งของเอกสารการขอนุมัติผลิตภัณฑ์ในส่วนของ การวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ชั้นสูง (APQP) แผนควบคุมผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype control plan) การวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบในการออกแบบ (DFMEA) การควบคุมกระบวนการออกแบบโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) ที่ระดับ ซิกซ์ ซิกม่า คือ $C_{pk} \geq 2.00$ และการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA)

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้ เป็นการรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ซึ่งมีการดำเนินการในส่วน เสียงของลูกค้า ความต้องการของลูกค้า การวิจัยตลาด และข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ จึงไม่ได้ดำเนินการในงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบเพื่อ ซิกซ์ ซิม่า ในการกำหนด (Define) ตามขั้นตอน DMADV

2. ต้นแบบกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์สามารถประยุกต์ใช้ได้กับกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยดำเนินการตามขั้นตอน DMADV เพื่อเพิ่มเติมความเข้าใจให้มากขึ้นของซิกซ์ ซิกม่า ผู้ที่สนใจควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับขั้นตอน DMAIC ที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิต เพื่อให้เข้าใจถึงการดำเนินการที่สัมพันธ์กัน

บรรณานุกรม

เขมพัฒน์ ตันติวัฒนกูล และประเมธ สิริวีระพันธุ์. (2552). การพัฒนาทดสอบโช้คอัพแม่เหล็กสำหรับรถจักรยานยนต์. ใน *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23* (หน้า 101-108). เชียงใหม่: ศูนย์บริหารงานวิจัย สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จรัล ทรัพย์เสรี. (2550). *การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ*. เข้าถึงได้จาก http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/fq121_p56-59.pdf

จิรายุ จิตเจือจุน. (2555). *การบูรณาการของวิศวกรรมคุณค่า และ ซิกซ์ ซิกม่า สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเบาะ*. วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บรรเจิด ดอนเนตรงาม. (ผู้บรรยาย). (2557). *การลดต้นทุนสำหรับงานออกแบบ* [ภาพนิ่ง]. กรุงเทพฯ: สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทอนิกส์.

ประชาชาติธุรกิจ. (2558). *TMAP-EM ยกระดับอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย*. เข้าถึงได้จาก http://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1444053452

ประสานพงษ์ หาเรือนชีพ. (2540). *งานเครื่องล่างยานยนต์*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

สถาบันยานยนต์. (2555). *แผนแม่บทอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย ปี พ.ศ. 2555 - 2559*. เข้าถึงได้จาก http://www.thaiauto.or.th/2012/th/about-us/download/Master_Plan_Final_2555-2559.pdf

สถาบันรับรองมาตรฐานไอเอสโอ. (2556). *ผลกระทบจากมาตรฐานระบบบริหารงานคุณภาพสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ ISO/ TS 16949*. เข้าถึงได้จาก http://iiu.oie.go.th.

วรภูมิ จตุวรพัฒน์. (2547). *การปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ชิ้นส่วนฮาร์ดไดร์โดยวิธีการแบบ ซิกซ์ ซิกม่า*. วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม ศูนย์ระดับภูมิภาคทางวิศวกรรมระบบการผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อนวัฒน์ บุญเจริญ. (2555). *การออกแบบกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของ ISO/ TS 16949*. งานนิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา.

อนุวัตร หอมรสสุคนธ์ และเสมอจิตร หอมรสสุคนธ์. (2550). *ปฏิบัติการ ISO/ TS 16949: 2002 มุ่งสู่อุตสาหกรรมยานยนต์*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Abhishek, S.V. (2006). *A Framework for the integration of DMAIC and DMADV*. Master of Science, Department of Industrial Engineering and Management System, University of Central Florida.

Automotive Industry Action Group. (2005). *Statistical Process Control* (2nd rev. ed.). Michigan: AIAG.

Automotive Industry Action Group. (2006). *Production Part Approval Process* (4th ed.). Michigan: AIAG.

Automotive Industry Action Group. (2008). *Advanced Product Quality Planning and Control Plan* (2nd rev. ed.). Michigan: AIAG.

Automotive Industry Action Group. (2008). *Potential Failure Mode and Effects Analysis* (4th ed.). Michigan: AIAG.

Automotive Industry Action Group. (2010). *Measurement System Analysis* (4th ed.). Michigan: AIAG.

Carl, D.H. (2008). *Design of Shock Absorber Test Rig for UNSW@ADFA Formula SAE Car*. Master's thesis, Department of Mechanical Engineering, University of New South Wales at the Australian Defense Force Academy.

Chuen-Sheng, C., & Chi-Ming, K. (2012). Research on product reliability improvement by using DMAIC process a case study: Cold cathode fluorescent lamp. In *Asian Journal on Quality. Congress V13* (pp. 67-76). China: Emerald Group Publishing Limited.

Devendra, P., Taqui, Q., & Prasad, K. (2015). Redesign and manufacturing by using DMADV method. In *International Journal of Research in Engineering and Technology* (pp. 144-149). India: IJRET.

Gregory, H.W. (2003). *The Element of Design for Six Sigma*. New York: n.p.

International Automotive Task Force. (2009). *Technical specification*. (3rd ed.). Michigan: AIAG.

Jean-Baptiste, F. (2007). Design for Six Sigma and Lean Product Development, Differences: Similarities and Links. In *Asian Journal on Quality. Congress V3* (pp. 23-34). Sweden: Emerald Group Publishing Limited.

Kai, Y. (2003). *Design for Six Sigma*. United States of America: Mcgraw hill.

Kevin, C. (2006). *Automotive Suspension System*. Retrieved from http://multimechatronics.com /images/uploads/mech_n/Automotive_Suspension_Systems.pdf

Kim, P. (2009). Six Sigma for New Millenniun. United States of America: ASQ.

Michael, G. (2005). *The Six Sigma Pocket Toolbook*. United States of America: Mcgraw hill

Predro, M., Jose, R., S., & Francisco, F.G. (2013). Integrating Six Sigma with ISO 9001. In *International Journal of Lean Six Sigma*. Congress V4. (pp. 36-59) Portugal: Emerald Group Publishing Limited.

Rajesh, J.L., & Philip, S.M. (2008). *Design for Lean Six Sigma.* United States of America: John Wiley & Sons.

Sheikh, M. (2013). The Use of Design for Six Sigma (DFSS) Methodology in Product Design. In *Proceedings of the World Congress on Engineering*. *Congress V1* (p. 1). Malaysia: MIMOS.

Sokovic, M., Pavletic, D., & Kern Pipan, K. (2010). Quality Improvement Methodologies-PDCA Cycle, RADR, Matrix, DMAIC and DFSS. In *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineer. Congress V43* (pp. 476-483). Slovenia: International OCSCO world press.

Stawik, D., Czop, P., Krol, A. & Wszotek, G. (2010). Optimization of hydraulic dampers with the use of Design for Six Sigma methodology. In *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineer. Congress V43* (pp. 676-683). Poland: International OCSCO world press.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เกณฑ์การประเมินลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ

ตารางภาคผนวก ก-1 เกณฑ์แนะนำการประเมินความรุนแรง (AIAG, 2008)

ผลกระทบ	เกณฑ์ความรุนแรงของผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์	ลำดับ
ขัดกับข้อกำหนดด้านความปลอดภัยและ/หรือด้านกฎข้อบังคับ	แนวโน้มข้อบกพร่องกระทบต่อความ ปลอดภัยในการใช้ยานพาหนะ และ/หรือ มีส่วนที่ไม่สอดคล้องกับกฎข้อบังคับของรัฐ โดย ไม่มีสัญญาณแจ้งเตือน ให้ทราบล่วงหน้า	10
	แนวโน้มข้อบกพร่องกระทบต่อความปลอดภัยในการช้ายานพาหนะ และ/หรือ มีส่วนที่ไม่สอดคล้องกับกฎข้อบังคับของรัฐ โดย มีสัญญาณแจ้งเตือน ให้ทราบล่วงหน้า	9
สูญเสียฟังก์ชั่นการทำงานหลักหรือใช้งานได้ลดลง	สูญเสียฟังก์ชั่นการทำงานหลัก (ยานพานะไม่ทำงาน โดยไม่มีผลกระทบต่อความปลอดภัยในการใช้งาน)	8
	ฟังก์ชั่นการทำงานหลักใช้ได้ลดลง (ยานพาหนะทำงานได้ แต่ทำให้ระดับสมรรถนะลดลง)	7
สูญเสียฟังก์ชั่นการทำงานรองหรือใช้งานได้ลดลง	สูญเสียฟังก์ชั่นการทำงานรอง (ยานพานะทำงานงานได้ แต่ ไม่มีความสะดวกสะบายในการใช้งาน)	6
	ฟังก์ชั่นการทำงานรองใช้ได้ลดลง (ยานพาหนะทำงานได้ แต่ทำให้ระดับความสะดวกสะบายในการใช้งาน ลดลง)	5
รบกวนการใช้งาน เกิดความรำคาญ	ยานพาหนะทำงานได้ มีสิ่งที่ไม่สอดคล้องทางรูปลักษณ์ หรือมีเสียงที่สามารถได้ยินได้โดย ลูกค้าส่วนใหญ่ สามารถสังเกตุเห็นได้ (>75%)	4
	ยานพาหนะทำงานได้ มีสิ่งที่ไม่สอดคล้องทางรูปลักษณ์ หรือมีเสียงที่สามารถได้ยินได้โดย ลูกค้าหลาย ๆ คน สังเกตุเห็นได้ (>50%)	3
	ยานพาหนะทำงานได้ มีสิ่งที่ไม่สอดคล้องทางรูปลักษณ์ หรือมีเสียงที่สามารถได้ยินได้โดย ลูกค้าที่ช่างสังเกตุเท่านั้น สังเกตุเห็นได้ (<25%)	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่รู้สึก หรือมองเห็นได้	1

ตารางภาคผนวก ก-2 เกณฑ์แนะนำการประเมินโอกาสการเกิด (AIAG, 2008)

แนวโน้มที่จะเกิดข้อบกพร่อง	**เกณฑ์โอกาสที่สาเหตุนั้นจะเกิดขึ้น**	**เกณฑ์โอกาสที่สาเหตุนั้นจะเกิด**	**ลำดับ**
สูงมาก	เทคโนโลยีใหม่ การออกแบบใหม่ โดยไม่เคยมีประวัติมาก่อน	$\geq$ 100 ต่อ หนึ่งพัน $\geq$ 1 ใน 10	10
สูง	เกิดขึ้นแบบหลีกเลี่ยงไม่ได้ในการออกแบบใหม่ๆ การใช้งานแบบใหม่ หรือเปลี่ยนแปลงรอบการใช้งานต่อเนื่อง หรือสภาวะการใช้งาน	50 ต่อ หนึ่งพัน 1 ใน 20	9
	มีแนวโน้มว่าจะเกิดในการออกแบบใหม่ๆ การใช้งานแบบใหม่ หรือเปลี่ยนแปลงรอบการใช้งานต่อเนื่อง หรือสภาวะการใช้งาน	20 ต่อ หนึ่งพัน 1 ใน 50	8
	อาจเกิดขึ้นในการออกแบบใหม่ การใช้งานแบบใหม่ หรือเปลี่ยนแปลงรอบการใช้งานต่อเนื่องโดยไม่หยุดพัก หรือสภาวะการใช้งาน	10 ต่อ หนึ่งพัน 1 ใน 100	7
ปานกลาง	เกิดขึ้นบ่อยในการออกแบบที่คล้ายคลึงกันหรือการจำลองการออกแบบและทดสอบ	2 ต่อ หนึ่งพัน 1 ใน 500	6
	เกิดขึ้นเป็นบางครั้งในการออกแบบที่คล้ายคลึงกัน หรือการจำลองการออกแบบและทดสอบ	0.5 ต่อ หนึ่พัน 1 ใน 2,000	5
	ถูกกักกันออกไปในการออกแบบที่คล้ายคลึงกันหรือการจำลองการออกแบบและทดสอบ	0.1 ต่อ หนึ่งพัน 1 ใน 10,000	4
ต่ำ	มีเฉพาะที่ถูกกักออกในการออกแบบที่เกือบเหมือนกัน หรือจำลองออกแบบและทดสอบ	0.01 ต่อ หนึ่งพัน 1 ใน 100,000	3
	ไม่มีที่เฝ้าสังเกต ในการออกแบบที่เกือบจะเหมือนกัน หรือจำลองออกแบบและทดสอบ	$\leq$ 0.01 ต่อ หนึ่งพัน 1 ใน 1,000,000	2
ต่ำมาก	ข้อบกพร่องถูกกำจัดให้หมดไปโดยการควบคุมเชิงป้องกัน	กำจัดหมดโดยการควบคุมเชิงป้องกัน	1

ตารางภาคผนวก ก-3 เกณฑ์แนะนำการประเมินการตรวจจับ (AIAG, 2008)

โอกาสในการตรวจจับ	**เกณฑ์: ความเป็นไปได้ในการตรวจจับ โดยการควบคุมการออกแบบ**	**ลำดับ**	**แนวโน้มตรวจจับ**
ไม่มีโอกาสตรวจจับได้เลย	ไม่มีการควบคุมการออกแบบในปัจจุบัน ไม่สามารถตรวจจับ หรือไม่สามารถทำการวิเคราะห์	10	เกือบเป็นไปไม่ได้
ไม่น่าตรวจจับได้ในทุกๆ ขั้นตอน	การวิเคราะห์การออกแบบ/การควบคุมเชิงตรวจจับมีความนสามารถในการตรวจจับต่ำ กา รวิเคระห์เสมือนจริง (เช่นการทำ CAE FEA และอื่นๆ) ไม่สามารถเทียบเคียง กับเงื่อนไขการใช้งานที่คาดหวังไว้	9	ห่างไกลมาก
หลังจากยุติการออกแบบโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงการออกแบบอีกและก่อนนำไปใช้	การทวนสอบ/ทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์ หลังออกแบบเสร็จ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงการออกแบบอีก และก่อนที่จะนำไปใช้โดยมีการทดสอบว่า ผ่าน/ไม่ผ่าน (การทดสอบระบบย่อยหรือระบบจนเกิดข้อบกพร่อง)	8	ห่างไกล
	การทวนสอบ/ทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์ หลังออกแบบเสร็จ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงการออกแบบอีก และก่อนที่จะนำไปใช้โดยมีการทดสอบจนเกิดข้อบกพร่อง (การทดสอบระบบย่อย หรือระบบจนเกิดข้อบกพร่อง)	7	ต่ำมาก
	การทวนสอบ/ทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์ หลังออกแบบเสร็จ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงการออกแบบอีก และก่อนที่จะนำไปใช้โดยมีการทดสอบการเสื่อมสภาพ (การทดสอบระบบย่อยหรือระบบจนเกิดข้อบกพร่อง)	6	ต่ำ

ตารางภาคผนวก ก-3 เกณฑ์แนะนำการประเมินการตรวจจับ (ต่อ)

โอกาสในการตรวจจับ	**เกณฑ์: ความเป็นไปได้ในการตรวจจับโดยการควบคุมการออกแบบ**	**ลำดับ**	**แนวโน้มตรวจจับ**
ก่อนที่จะยุติการออกแบบโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงการออกแบบอีก	การทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์ ก่อนออกแบบเสร็จ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงการออกแบบอีก ใช้การทดสอบแบบ ผ่าน/ไม่ผ่าน จากเกณฑ์การยอมรับ สมรรถนะ การตรวจสอบฟังก์ชั่นการใช้งาน และอื่นๆ	5	ปานกลาง
	การทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์ ก่อนออกแบบเสร็จ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงการออกแบบอีก ใช้การทดสอบ จนเกิดข้อบกพร่อง จากเกณฑ์การยอมรับ สมรรถนะ การตรวจสอบฟังก์ชั่นการใช้งาน และอื่นๆ	4	สูงปานกลาง
	การทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์ ก่อนออกแบบเสร็จ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงการออกแบบอีก ใช้การทดสอบ การเสื่อมสภาพ จากเกณฑ์การยอมรับ สมรรถนะ การตรวจสอบฟังก์ชั่นการใช้งาน และอื่นๆ	3	สูง
การวิเคราะห์เสมือนจริง-เทียบเคียง	การวิเคราะห์การออกแบบ/การควบคุมเชิงตรวจจับมีความสามารถในการตรวจจับสูง การวิเคราะห์เสมือนจริงสามารถเทียบได้ใกล้เคียงมากกับเงื่อนไขการใช้งานจริงที่คาดหวังไว้	2	สูงมาก
ไม่ใช้การตรวจจับใช้การป้องกันข้อบกพร่อง	สาเหตุข้อบกพร่องหรือข้อบกพร่องไม่สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากถูกป้องกันอย่างรอบด้าน โดยใช้การแก้ไขปัญหาการออกแบบ (เช่น มาตรฐานการป้องกันที่พิสูจน์แล้ว ข้อควรปฏิบัติ วัสดุทั่วไป หรือ อื่นๆ)	1	เกือบจะได้แน่นอน

ภาคผนวก ข

แสดงผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

Part Name:	Cylinder	Equipment / Tools	USL	Target	LSL	Date
Item key:	Inside diameter (32 +0.02 / +0.06 mm)	Bore gauge	32.06	-	30.02	-

Appraiser's name		
Thitikan	Saranyuth	Apicha

Trial #		Parts										AVERAGE
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Thitikan	1	32.0471	32.0485	32.0445	32.0489	32.0454	32.0451	32.0447	32.0476	32.0455	32.0465	32.0464
	2	32.0472	32.0485	32.0444	32.0488	32.0455	32.0452	32.0445	32.0475	32.0454	32.0465	32.0464
	3	32.0472	32.0487	32.0444	32.0487	32.0456	32.0452	32.0445	32.0475	32.0453	32.0466	32.0464
Average:		32.0472	32.0486	32.0444	32.0488	32.0455	32.0452	32.0446	32.0475	32.0454	32.0465	$\bar{X}$: 32.0464
Range:		0.0001	0.0002	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001	0.0002	0.0001	0.0002	0.0001	$\bar{R}$: 0.0002
Saranyuth	1	32.0474	32.0486	32.0444	32.0487	32.0455	32.0447	32.0447	32.0470	32.0451	32.0457	32.0462
	2	32.0473	32.0485	32.0445	32.0487	32.0455	32.0448	32.0445	32.0471	32.0452	32.0458	32.0462
	3	32.0473	32.0485	32.0445	32.0488	32.0456	32.0446	32.0445	32.0471	32.0452	32.0457	32.0462
Average:		32.0473	32.0485	32.0445	32.0487	32.0455	32.0447	32.0446	32.0471	32.0452	32.0457	$\bar{X}$: 32.0462
Range:		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	$\bar{R}$: 0.0001
Apicha	1	32.0476	32.0485	32.0442	32.0490	32.0455	32.0455	32.0447	32.0474	32.0453	32.0458	32.0464
	2	32.0477	32.0486	32.0444	32.0491	32.0455	32.0454	32.0447	32.0473	32.0452	32.0457	32.0464
	3	32.0476	32.0485	32.0444	32.0489	32.0454	32.0455	32.0445	32.0474	32.0452	32.0459	32.0463
Average:		32.0476	32.0485	32.0443	32.0490	32.0455	32.0455	32.0446	32.0474	32.0452	32.0458	$\bar{X}$: 32.0463
Range:		0.0001	0.0001	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002	$\bar{R}$: 0.0001
Part Average:		32.0474	32.0485	32.0444	32.0488	32.0455	32.0451	32.0446	32.0473	32.0453	32.0460	$\bar{\bar{X}}$: 32.0463
												R_p: 0.0044
([Rbar 1 = 0.000] + [Rbar 2 = 0.000] + [Rbar 3 = 0.000]) / [# of APPRAISERS = 3] = 0.0001												$\bar{\bar{R}}$: 0.0001
[Max *Xbar* = 32.0464] - [Min *Xbar* = 32.0462] = *Xbar, diff* = 0.0002												$\bar{\bar{X}}_{diff}$ 0.0002

Measurement Unit Analysis	% Total Variation (*TV*)
Repeatability - Equipment Variation (*EV*) *EV* = [*Rbarbar*] * [K1] = [0.0001] * [0.5908] = 0.0001 Trials / *K1*: 2 → 0.8862; 3 → 0.5908	% *EV* = [*EV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0001] / [0.0014]) * 100 = 5.77% For measurement system acceptability is acceptable
Reproducibility - Appraiser Variation (*AV*) *AV* = SQRT{([*Xbar,diff*] * [*K2*])^2 - ([*EV*]^2 / [*nr*])} = SQRT{([0.0002] * [0.5231])^2 - ([0.0001]^2 / [10] * [3])} = 0.0001 Appraisers / *K2*: 2 → 0.7071; 3 → 0.5231	% *AV* = [*AV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0001] / [0.0014]) * 100 = 6.77% For measurement system acceptability is acceptable
Repeatability & Reproducibility (*GRR*) *GRR* = SQRT ([*EV*]^2 + [*AV*]^2) = SQRT ([0.0001]^2 + [0.0001]^2) = 0.0001	% *GRR* = [*GRR*] / [*TV*] * 100 = ([0.0001] / [0.0014]) * 100 = 8.89% For measurement system acceptability is acceptable
Part Variation (*PV*) *PV* = [*Rp*] * [*K3*] = [0.0044] * [0.3146] = 0.0014 Part / *K3*: 2 → 0.7071; 3 → 0.5231; 4 → 0.4467; 5 → 0.4030; 6 → 0.3742; 7 → 0.3534; 8 → 0.3375; 9 → 0.3249; 10 → 0.3146	% *PV* = [*PV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0014] / [0.0014]) * 100 = 99.60% For measurement system acceptability is unacceptable.
Total Variation (*TV*) *TV* = SQRT ([*GRR*]^2 + [*PV*]^2) = SQRT ([0.0001]^2 + [0.0014]^2) = 0.0014	*ncd* = [*PV*] / [*GRR*] * 1.44 = ([0.0014] / [0.0001]) * 1.44 = 16.13 For measurement system acceptability is acceptable.

ภาพภาคผนวก ข-1 การวิเคราะห์ระบบการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของกระบอกสูบ

Part Name:	Cylinder	Equipment / Tools	USL	Target	LSL	Date
Item key:	Surface (Max 2.2 µm)	Roughness surface	2.2	-	-	20/08/2015

Appraiser's name		
Thitikan	Saranyuth	Apicha

Trial #		Parts										AVERAGE
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Thitikan	1	1.3920	1.5970	1.4380	1.3200	1.4840	1.5350	1.3210	1.3200	1.5970	1.4380	1.4442
	2	1.3930	1.5920	1.4590	1.3330	1.4840	1.5350	1.3210	1.3200	1.5970	1.4380	1.4472
	3	1.3930	1.5970	1.4590	1.3330	1.4840	1.5550	1.3540	1.3540	1.5970	1.4380	1.4564
Average:		1.3927	1.5953	1.4520	1.3287	1.4840	1.5417	1.3320	1.3313	1.5970	1.4380	$\bar{X}$: 1.4493
Range:		0.0010	0.0050	0.0210	0.0130	0.0000	0.0200	0.0330	0.0340	0.0000	0.0000	$\bar{R}$: 0.0127
Saranyuth	1	1.3720	1.5970	1.4380	1.3200	1.4840	1.5530	1.3210	1.3200	1.5970	1.4380	1.4440
	2	1.3710	1.5920	1.4590	1.3330	1.4840	1.5540	1.3210	1.3200	1.5970	1.4380	1.4469
	3	1.3710	1.5970	1.4660	1.3330	1.4840	1.5520	1.3540	1.3540	1.5970	1.4380	1.4546
Average:		1.3713	1.5953	1.4543	1.3287	1.4840	1.5530	1.3320	1.3313	1.5970	1.4380	$\bar{X}$: 1.4485
Range:		0.0010	0.0050	0.0280	0.0130	0.0000	0.0020	0.0330	0.0340	0.0000	0.0000	$\bar{R}$: 0.0116
Apicha	1	1.3720	1.5970	1.4660	1.3210	1.4660	1.5550	1.3270	1.3540	1.5970	1.4380	1.4493
	2	1.3710	1.5970	1.4660	1.3210	1.4660	1.5640	1.3330	1.3540	1.5970	1.4380	1.4507
	3	1.3710	1.5920	1.4840	1.3540	1.4840	1.5640	1.3540	1.3710	1.5970	1.4380	1.4609
Average:		1.3713	1.5953	1.4720	1.3320	1.4720	1.5610	1.3380	1.3597	1.5970	1.4380	$\bar{X}$: 1.4536
Range:		0.0010	0.0050	0.0180	0.0330	0.0180	0.0090	0.0270	0.0170	0.0000	0.0000	$\bar{R}$: 0.0128
Part Average:		1.3784	1.5953	1.4594	1.3298	1.4800	1.5519	1.3340	1.3408	1.5970	1.4380	$\bar{\bar{X}}$: 1.4505
												R_p: 0.2672
([Rbar 1 = 0.013] + [Rbar 2 = 0.012] + [Rbar 3 = 0.013]) / [# of APPRAISERS = 3] = 0.0124												$\bar{\bar{R}}$: 0.0124
[Max *Xbar* = 1.4536] - [Min *Xbar* = 1.4485] = *Xbar, diff* = 0.0051												$\bar{\bar{X}}_{diff}$ 0.0051

Measurement Unit Analysis	% Total Variation (*TV*)
Repeatability - Equipment Variation (*EV*) *EV* = [*Rbarbar*] * [K1] = [0.0124] * [0.5908] = 0.0073 Trials / *K1*: 2 → 0.8862; 3 → 0.5908	% *EV* = [*EV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0073] / [0.0844]) * 100 = 8.65% For measurement system acceptability is acceptable
Reproducibility - Appraiser Variation (*AV*) *AV* = SQRT{([*Xbar,diff*] * [*K2*])^2 - ([*EV*]^2 / [*nr*])} = SQRT{([0.0051] * [0.5231])^2 - ([0.0073]^2 / [10] * [3])} = 0.0023 Appraisers / *K2*: 2 → 0.7071; 3 → 0.5231	% *AV* = [*AV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0023] / [0.0844]) * 100 = 2.76% For measurement system acceptability is acceptable
Repeatability & Reproducibility (*GRR*) *GRR* = SQRT ([*EV*]^2 + [*AV*]^2) = SQRT ([0.0073]^2 + [0.0023]^2) = 0.0077	% *GRR* = [*GRR*] / [*TV*] * 100 = ([0.0077] / [0.0844]) * 100 = 9.08% For measurement system acceptability is acceptable
Part Variation (*PV*) *PV* = [*Rp*] * [*K3*] = [0.2672] * [0.3146] = 0.0841 Part / *K3*: 2 → 0.7071; 3 → 0.5231; 4 → 0.4467; 5 → 0.4030; 6 → 0.3742; 7 → 0.3534; 8 → 0.3375; 9 → 0.3249; 10 → 0.3146	% *PV* = [*PV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0841] / [0.0844]) * 100 = 99.59% For measurement system acceptability is unacceptable.
Total Variation (*TV*) *TV* = SQRT ([*GRR*]^2 + [*PV*]^2) = SQRT ([0.0077]^2 + [0.0841]^2) = 0.0844	*ncd* = [*PV*] / [*GRR*] * 1.44 = ([0.0841] / [0.0077]) * 1.44 = 15.79 For measurement system acceptability is acceptable.

ภาพภาคผนวก ข-2 การวิเคราะห์ระบบการวัดความหยาบผิวในของกระบอกสูบ

Part Name:	Piston rod	Equipment / Tools	USL	Target	LSL	Date
Item key:	Surface (Max 0.2 μm)	Roughness surface	0.2	-	-	25/08/2015

Appraiser's name		
Thitikan	Saranyuth	Apicha

Trial #		Parts										AVERAGE
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Thitikan	1	0.1334	0.1403	0.1347	0.1103	0.0975	0.1210	0.1040	0.1175	0.1047	0.0987	0.1162
	2	0.1340	0.1451	0.1351	0.1151	0.0987	0.1210	0.1040	0.1175	0.1051	0.0989	0.1175
	3	0.1347	0.1487	0.1394	0.1151	0.0987	0.1222	0.1047	0.1187	0.1051	0.0993	0.1187
Average:		0.1340	0.1447	0.1364	0.1135	0.0983	0.1214	0.1042	0.1179	0.1050	0.0990	$\bar{\bar{X}}$: 0.1174
Range:		0.0013	0.0084	0.0047	0.0048	0.0012	0.0012	0.0007	0.0012	0.0004	0.0006	$\bar{R}$: 0.0025
Saranyuth	1	0.1342	0.1403	0.1351	0.1151	0.0947	0.1210	0.1047	0.1189	0.1051	0.0993	0.1168
	2	0.1347	0.1452	0.1351	0.1166	0.0987	0.1210	0.1051	0.1175	0.1051	0.0994	0.1178
	3	0.1340	0.1487	0.1347	0.1151	0.0987	0.1222	0.1051	0.1189	0.1072	0.0989	0.1184
Average:		0.1343	0.1447	0.1350	0.1156	0.0974	0.1214	0.1050	0.1184	0.1058	0.0992	$\bar{\bar{X}}$: 0.1177
Range:		0.0007	0.0084	0.0004	0.0015	0.0040	0.0012	0.0004	0.0014	0.0021	0.0005	$\bar{R}$: 0.0021
Apicha	1	0.1334	0.1403	0.1347	0.1151	0.0975	0.1222	0.1051	0.1189	0.1072	0.0987	0.1173
	2	0.1340	0.1450	0.1351	0.1151	0.0990	0.1210	0.1047	0.1175	0.1072	0.0994	0.1178
	3	0.1342	0.1487	0.1351	0.1172	0.0987	0.1210	0.1051	0.1189	0.1072	0.0989	0.1185
Average:		0.1339	0.1447	0.1350	0.1158	0.0984	0.1214	0.1050	0.1184	0.1072	0.0990	$\bar{\bar{X}}$: 0.1179
Range:		0.0008	0.0084	0.0004	0.0021	0.0015	0.0012	0.0004	0.0014	0.0000	0.0007	$\bar{R}$: 0.0017
Part Average:		0.1341	0.1447	0.1354	0.1150	0.0980	0.1214	0.1047	0.1183	0.1060	0.0991	$\bar{\bar{X}}$: 0.1177
												R_p: 0.0467
([Rbar 1 = 0.002] + [Rbar 2 = 0.002] + [Rbar 3 = 0.002]) / [# of APPRAISERS = 3] = 0.0021												$\bar{\bar{R}}$: 0.0021
[Max *Xbar* = 0.1179] - [Min *Xbar* = 0.1174] = *Xbar, diff* = 0.0004												$\bar{\bar{X}}_{diff}$ 0.0004

Measurement Unit Analysis	% Total Variation (*TV*)
Repeatability - Equipment Variation (*EV*) *EV* = [*Rbarbar*] * [K1] = [0.0021] * [0.5908] = 0.0012 Trials / *K1*: 2 → 0.8862; 3 → 0.5908	% *EV* = [*EV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0012] / [0.0147]) * 100 = 8.29% For measurement system acceptability is acceptable
Reproducibility - Appraiser Variation (*AV*) *AV* = SQRT{([*Xbar,diff*] * [*K2*])^2 - ([*EV*]^2 / [*nr*])} = SQRT{([0.0004] * [0.5231])^2 - ([0.0012]^2 / [10] * [3])} = 0.0000 Appraisers / *K2*: 2 → 0.7071; 3 → 0.5231	% *AV* = [*AV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0000] / [0.0147]) * 100 = 0.20% For measurement system acceptability is acceptable
Repeatability & Reproducibility (*GRR*) *GRR* = SQRT ([*EV*]^2 + [*AV*]^2) = SQRT ([0.0012]^2 + [0.0000]^2) = 0.0012	% *GRR* = [*GRR*] / [*TV*] * 100 = ([0.0012] / [0.0147]) * 100 = 8.29% For measurement system acceptability is acceptable
Part Variation (*PV*) *PV* = [*Rp*] * [*K3*] = [0.0467] * [0.3146] = 0.0147 Part / *K3*: 2 → 0.7071; 3 → 0.5231; 4 → 0.4467; 5 → 0.4030	% *PV* = [*PV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0147] / [0.0147]) * 100 = 99.66% For measurement system acceptability is unacceptable.
Total Variation (*TV*) *TV* = SQRT ([*GRR*]^2 + [*PV*]^2) = SQRT ([0.0012]^2 + [0.0147]^2) = 0.0147 6 → 0.3742; 7 → 0.3534; 8 → 0.3375; 9 → 0.3249; 10 → 0.3146	*ncd* = [*PV*] / [*GRR*] * 1.44 = ([0.0147] / [0.0012]) * 1.44 = 17.31 For measurement system acceptability is acceptable.

ภาพภาคผนวก ข-3 การวิเคราะห์ระบบการวัดความหยาบผิวนอกของแกนลูกสูบ

Part Name:	Outer shell	Equipment / Tools	USL	Target	LSL	Date
Item key:	Welding height (Max 0.2 mm)	Contracer	0.2	-	-	24/082015

Appraiser's name		
Thitikan	Saranyuth	Apicha

Trial #		Parts										AVERAGE
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Thitikan	1	0.1040	0.1210	0.0947	0.1222	0.1051	0.1334	0.1463	0.1244	0.1233	0.1175	0.1192
	2	0.1040	0.1222	0.0975	0.1233	0.1072	0.1340	0.1451	0.1264	0.1234	0.1189	0.1202
	3	0.1047	0.1222	0.0987	0.1233	0.1072	0.1342	0.1487	0.1264	0.1234	0.1189	0.1208
Average:		0.1042	0.1218	0.0970	0.1229	0.1065	0.1339	0.1467	0.1257	0.1234	0.1184	$\bar{\bar{X}}$: 0.1201
Range:		0.0007	0.0012	0.0040	0.0011	0.0021	0.0008	0.0036	0.0020	0.0001	0.0014	$\bar{R}$: 0.0017
Saranyuth	1	0.1072	0.1210	0.0987	0.1234	0.1047	0.1347	0.1457	0.1244	0.1234	0.1166	0.1200
	2	0.1051	0.1210	0.0989	0.1235	0.1051	0.1351	0.1451	0.1264	0.1234	0.1172	0.1201
	3	0.1051	0.1222	0.0993	0.1235	0.1051	0.1351	0.1457	0.1294	0.1235	0.1175	0.1206
Average:		0.1058	0.1214	0.0990	0.1235	0.1050	0.1350	0.1455	0.1267	0.1234	0.1171	$\bar{\bar{X}}$: 0.1202
Range:		0.0021	0.0012	0.0006	0.0001	0.0004	0.0004	0.0006	0.0050	0.0001	0.0009	$\bar{R}$: 0.0011
Apicha	1	0.1072	0.1210	0.0987	0.1235	0.1051	0.1351	0.1447	0.1264	0.1233	0.1151	0.1200
	2	0.1072	0.1210	0.0987	0.1235	0.1051	0.1394	0.1443	0.1264	0.1233	0.1151	0.1204
	3	0.1051	0.1222	0.0994	0.1244	0.1072	0.1347	0.1451	0.1235	0.1235	0.1175	0.1203
Average:		0.1065	0.1214	0.0989	0.1238	0.1058	0.1364	0.1447	0.1254	0.1234	0.1159	$\bar{\bar{X}}$: 0.1202
Range:		0.0021	0.0012	0.0007	0.0009	0.0021	0.0047	0.0008	0.0029	0.0002	0.0024	$\bar{R}$: 0.0018
Part Average:		0.1055	0.1215	0.0983	0.1234	0.1058	0.1351	0.1456	0.1260	0.1234	0.1171	$\bar{\bar{X}}$: 0.1202 R_P: 0.0473
([Rbar 1 = 0.002] + [Rbar 2 = 0.001] + [Rbar 3 = 0.002]) / [# of APPRAISERS = 3] = 0.0015												$\bar{\bar{R}}$: 0.0015
[Max *Xbar* = 0.1202] - [Min *Xbar* = 0.1201] = *Xbar, diff* = 0.0002												$\bar{\bar{X}}_{diff}$ 0.0002

Measurement Unit Analysis	% Total Variation (*TV*)
Repeatability - Equipment Variation (*EV*) *EV* = [*Rbarbar*] * [K1] = [0.0015] * [0.5908] = 0.0009 Trials / *K1*: 2 → 0.8862; 3 → 0.5908	% *EV* = [*EV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0009] / [0.0149]) * 100 = 6.12% For measurement system acceptability is acceptable
Reproducibility - Appraiser Variation (*AV*) *AV* = SQRT{([*Xbar,diff*] * [*K2*])^2 - ([*EV*]^2 / [*nr*])} = SQRT{([0.0002] * [0.5231])^2 - ([0.0009]^2 / [10] * [3])} = 0.0001 Appraisers / *K2*: 2 → 0.7071; 3 → 0.5231	% *AV* = [*AV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0001] / [0.0149]) * 100 = 0.92% For measurement system acceptability is acceptable
Repeatability & Reproducibility (*GRR*) *GRR* = SQRT ([*EV*]^2 + [*AV*]^2) = SQRT ([0.0009]^2 + [0.0001]^2) = 0.0009	% *GRR* = [*GRR*] / [*TV*] * 100 = ([0.0009] / [0.0149]) * 100 = 6.19% For measurement system acceptability is acceptable
Part Variation (*PV*) *PV* = [*Rp*] * [*K3*] = [0.0473] * [0.3146] = 0.0149 Part / *K3*: 2 → 0.7071; 3 → 0.5231; 4 → 0.4467; 5 → 0.4030; 6 → 0.3742; 7 → 0.3534; 8 → 0.3375; 9 → 0.3249; 10 → 0.3146	% *PV* = [*PV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0149] / [0.0149]) * 100 = 99.81% For measurement system acceptability is unacceptable.
Total Variation (*TV*) *TV* = SQRT ([*GRR*]^2 + [*PV*]^2) = SQRT ([0.0009]^2 + [0.0149]^2) = 0.0149	*ncd* = [*PV*] / [*GRR*] * 1.44 = ([0.0149] / [0.0009]) * 1.44 = 23.21 For measurement system acceptability is acceptable.

ภาพภาคผนวก ข-4 การวิเคราะห์ระบบการวัดความสูงรอยเชื่อมของกระบอกนอก

Part Name:	Bump stopper	Equipment / Tools	USL	Target	LSL	Date
Item key:	Inside diameter (50 ± 01 mm)	CMM	50.6	50.5	50.4	05/09/2015

Appraiser's name		
Thitikan	Saranyuth	Apicha

Trial #		Parts										AVERAGE
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Thitikan	1	50.5287	50.4872	50.5117	50.5016	50.5017	50.4931	50.4946	50.4874	50.4717	50.4931	50.4971
	2	50.5260	50.4872	50.5159	50.5016	50.5017	50.4931	50.4951	50.4874	50.4774	50.4931	50.4979
	3	50.5296	50.4874	50.5159	50.5017	50.5026	50.4946	50.4931	50.4872	50.4774	50.4926	50.4982
Average:		50.5281	50.4873	50.5145	50.5016	50.5020	50.4936	50.4943	50.4873	50.4755	50.4929	$\bar{\bar{X}}$: 50.4977
Range:		0.0036	0.0002	0.0042	0.0001	0.0009	0.0015	0.0020	0.0002	0.0057	0.0005	$\bar{R}$: 0.0019
Saranyuth	1	50.5287	50.4872	50.5117	50.5016	50.5017	50.4978	50.4979	50.4872	50.4717	50.4923	50.4978
	2	50.5282	50.4874	50.5106	50.5017	50.5059	50.4979	50.4979	50.4874	50.4774	50.4923	50.4987
	3	50.5296	50.4874	50.5106	50.5017	50.5059	50.4978	50.4931	50.4872	50.4774	50.4923	50.4983
Average:		50.5288	50.4873	50.5110	50.5017	50.5045	50.4978	50.4963	50.4873	50.4755	50.4923	$\bar{\bar{X}}$: 50.4983
Range:		0.0014	0.0002	0.0011	0.0001	0.0042	0.0001	0.0048	0.0002	0.0057	0.0000	$\bar{R}$: 0.0018
Apicha	1	50.5272	50.4874	50.5117	50.5016	50.5055	50.4931	50.4946	50.4874	50.4717	50.4973	50.4978
	2	50.5260	50.4872	50.5106	50.5026	50.5055	50.4931	50.4960	50.4872	50.4774	50.4973	50.4983
	3	50.5296	50.4874	50.5159	50.5026	50.5026	50.4946	50.4931	50.4872	50.4774	50.4923	50.4983
Average:		50.5276	50.4873	50.5127	50.5023	50.5045	50.4936	50.4946	50.4873	50.4755	50.4956	$\bar{\bar{X}}$: 50.4981
Range:		0.0036	0.0002	0.0053	0.0010	0.0029	0.0015	0.0029	0.0002	0.0057	0.0050	$\bar{R}$: 0.0028
Part Average:		50.5282	50.4873	50.5127	50.5019	50.5037	50.4950	50.4950	50.4873	50.4755	50.4936	$\bar{\bar{X}}$: 50.4980
												R_P: 0.0527
([Rbar 1 = 0.002] + [Rbar 2 = 0.002] + [Rbar 3 = 0.003]) / [# of APPRAISERS = 3] = 0.0022												$\bar{\bar{R}}$: 0.0022
[Max *Xbar* = 50.4983] - [Min *Xbar* = 50.4977] = *Xbar, diff* = 0.0005												$\bar{\bar{X}}_{diff}$ 0.0005

Measurement Unit Analysis	% Total Variation (*TV*)
Repeatability - Equipment Variation (*EV*) *EV* = [*Rbarbar*] * [K1] = [0.0022] * [0.5908] = 0.0013 Trials / *K1*: 2 → 0.8862; 3 → 0.5908	% *EV* = [*EV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0013] / [0.0166]) * 100 = 7.70% For measurement system acceptability is acceptable
Reproducibility - Appraiser Variation (*AV*) *AV* = SQRT{([*Xbar,diff*] * [*K2*])^2 - ([*EV*]^2 / [*nr*])} = SQRT{([0.0005] * [0.5231])^2 - ([0.0013]^2 / [10] * [3])} = 0.0002 Appraisers / *K2*: 2 → 0.7071; 3 → 0.5231	% *AV* = [*AV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0002] / [0.0166]) * 100 = 0.94% For measurement system acceptability is acceptable
Repeatability & Reproducibility (*GRR*) *GRR* = SQRT ([*EV*]^2 + [*AV*]^2) = SQRT ([0.0013]^2 + [0.0002]^2) = 0.0013	% *GRR* = [*GRR*] / [*TV*] * 100 = ([0.0013] / [0.0166]) * 100 = 7.76% For measurement system acceptability is acceptable
Part Variation (*PV*) *PV* = [*Rp*] * [*K3*] = [0.0527] * [0.3146] = 0.0166 Part / *K3*: 2 → 0.7071; 3 → 0.5231; 4 → 0.4467; 5 → 0.4030; 6 → 0.3742; 7 → 0.3534; 8 → 0.3375; 9 → 0.3249; 10 → 0.3146	% *PV* = [*PV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0166] / [0.0166]) * 100 = 99.70% For measurement system acceptability is unacceptable.
Total Variation (*TV*) *TV* = SQRT ([*GRR*]^2 + [*PV*]^2) = SQRT ([0.0013]^2 + [0.0166]^2) = 0.0166	*ncd* = [*PV*] / [*GRR*] * 1.44 = ([0.0166] / [0.0013]) * 1.44 = 18.51 For measurement system acceptability is acceptable.

ภาพผนวก ข-5 การวิเคราะห์ระบบการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของฝาปิด

Part Name:	Rebound cushion	Equipment / Tools	USL	Target	LSL	Date
Item key:	Total height (18 ± 0.3 mm)	Height gauge	18.3	18	17.7	04/05/2015

Appraiser's name		
Thitikan	Saranyuth	Apicha

Trial #		Parts										AVERAGE
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Thitikan	1	18.1950	18.1750	18.1650	18.1550	18.1450	18.1450	18.1450	18.1250	18.1250	18.0950	18.1470
	2	18.2050	18.1750	18.1650	18.1550	18.1450	18.1450	18.1450	18.1250	18.1250	18.0950	18.1480
	3	18.2050	18.1750	18.1750	18.1450	18.1550	18.1350	18.1450	18.1250	18.1250	18.0950	18.1480
Average:		18.2017	18.1750	18.1683	18.1517	18.1483	18.1417	18.1450	18.1250	18.1250	18.0950	$\bar{\bar{X}}$: 18.1477
Range:		0.0100	0.0000	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	$\bar{R}$: 0.0050
Saranyuth	1	18.1950	18.1750	18.1650	18.1550	18.1450	18.1550	18.1450	18.1250	18.1250	18.1050	18.1490
	2	18.1950	18.1750	18.1750	18.1550	18.1450	18.1450	18.1450	18.1250	18.1250	18.1050	18.1490
	3	18.2050	18.1750	18.1750	18.1450	18.1550	18.1450	18.1450	18.1250	18.1250	18.1050	18.1500
Average:		18.1983	18.1750	18.1717	18.1517	18.1483	18.1483	18.1450	18.1250	18.1250	18.1050	$\bar{\bar{X}}$: 18.1493
Range:		0.0100	0.0000	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	$\bar{R}$: 0.0050
Apicha	1	18.1950	18.1750	18.1650	18.1450	18.1450	18.1450	18.1350	18.1350	18.1250	18.0950	18.1460
	2	18.1950	18.1750	18.1650	18.1450	18.1450	18.1450	18.1350	18.1350	18.1250	18.0950	18.1460
	3	18.1950	18.1750	18.1550	18.1550	18.1450	18.1450	18.1350	18.1350	18.1250	18.0950	18.1460
Average:		18.1950	18.1750	18.1617	18.1483	18.1450	18.1450	18.1350	18.1350	18.1250	18.0950	$\bar{\bar{X}}$: 18.1460
Range:		0.0000	0.0000	0.0100	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	$\bar{R}$: 0.0020
Part Average:		18.1983	18.1750	18.1672	18.1506	18.1472	18.1450	18.1417	18.1283	18.1250	18.0983	$\bar{\bar{X}}$: 18.1477
												R_P: 0.1000
([Rbar 1 = 0.005] + [Rbar 2 = 0.005] + [Rbar 3 = 0.002]) / [# of APPRAISERS = 3] = 0.0040												$\bar{\bar{R}}$: 0.0040
[Max *Xbar* = 18.1493] - [Min *Xbar* = 18.1460] = *Xbar, diff* = 0.0033												$\bar{\bar{X}}_{diff}$ 0.0033

Measurement Unit Analysis	% Total Variation (*TV*)
Repeatability - Equipment Variation (*EV*) *EV* = [*Rbarbar*] * [K1] = [0.0040] * [0.5908] = 0.0024 Trials / *K1*: 2 — 0.8862; 3 — 0.5908	% *EV* = [*EV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0024] / [0.0316]) * 100 = 7.48% For measurement system acceptability is acceptable
Reproducibility - Appraiser Variation (*AV*) *AV* = SQRT{([*Xbar,diff*] * [*K2*])^2 - ([*EV*]^2 / [*nr*])} = SQRT{([0.0033] * [0.5231])^2 - ([0.0024]^2 / [10] * [3])} = 0.0017 Appraisers / *K2*: 2 — 0.7071; 3 — 0.5231	% *AV* = [*AV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0017] / [0.0316]) * 100 = 5.35% For measurement system acceptability is acceptable
Repeatability & Reproducibility (*GRR*) *GRR* = SQRT ([*EV*]^2 + [*AV*]^2) = SQRT ([0.0024]^2 + [0.0017]^2) = 0.0029	% *GRR* = [*GRR*] / [*TV*] * 100 = ([0.0029] / [0.0316]) * 100 = 9.19% For measurement system acceptability is acceptable
Part Variation (*PV*) *PV* = [*Rp*] * [*K3*] = [0.1000] * [0.3146] = 0.0315 Part / *K3*: 2 — 0.7071; 3 — 0.5231; 4 — 0.4467; 5 — 0.4030; 6 — 0.3742; 7 — 0.3534; 8 — 0.3375; 9 — 0.3249; 10 — 0.3146	% *PV* = [*PV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0315] / [0.0316]) * 100 = 99.58% For measurement system acceptability is unacceptable.
Total Variation (*TV*) *TV* = SQRT ([*GRR*]^2 + [*PV*]^2) = SQRT ([0.0029]^2 + [0.0315]^2) = 0.0316	*ncd* = [*PV*] / [*GRR*] * 1.44 = ([0.0315] / [0.0029]) * 1.44 = 15.59 For measurement system acceptability is acceptable.

ภาพภาคผนวก ข-6 การวิเคราะห์ระบบการวัดความสูงรวมของยางรองลูกสูบ

Part Name:	Oil seal	Equipment / Tools	USL	Target	LSL	Date
Item key:	Inside diameter (20 ± 0.4 mm)	Measuring microscope	20.4	20	19.6	11/06/2015

Appraiser's name

Thitikan	Saranyuth	Apicha

Trial #		Parts										AVERAGE
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Thitikan	1	20.2250	20.1750	20.1150	20.1550	20.1050	20.2150	20.1950	20.2050	20.1650	20.1850	20.1740
	2	20.2250	20.1750	20.1150	20.1550	20.1050	20.2150	20.1950	20.2050	20.1650	20.1850	20.1740
	3	20.2250	20.1650	20.1050	20.1450	20.1150	20.2250	20.2000	20.1950	20.1650	20.1900	20.1730
Average:		20.2250	20.1717	20.1117	20.1517	20.1083	20.2183	20.1967	20.2017	20.1650	20.1867	$\bar{X}$: 20.1737
Range:		0.0000	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0050	0.0100	0.0000	0.0050	$\bar{R}$: 0.0070
Saranyuth	1	20.2150	20.1650	20.1050	20.1550	20.1050	20.2150	20.1950	20.2050	20.1650	20.1850	20.1710
	2	20.2150	20.1750	20.1050	20.1450	20.1050	20.2150	20.1950	20.2050	20.1650	20.1950	20.1720
	3	20.2150	20.1650	20.1050	20.1450	20.1150	20.2150	20.2050	20.1950	20.1650	20.1950	20.1720
Average:		20.2150	20.1683	20.1050	20.1483	20.1083	20.2150	20.1983	20.2017	20.1650	20.1917	$\bar{X}$: 20.1717
Range:		0.0000	0.0100	0.0000	0.0100	0.0100	0.0000	0.0100	0.0100	0.0000	0.0100	$\bar{R}$: 0.0060
Apicha	1	20.2250	20.1650	20.1050	20.1550	20.1150	20.2250	20.2050	20.1950	20.1650	20.1850	20.1740
	2	20.2250	20.1750	20.1050	20.1450	20.1150	20.2250	20.2000	20.2050	20.1650	20.1900	20.1750
	3	20.2250	20.1650	20.1050	20.1550	20.1150	20.2250	20.2050	20.1950	20.1650	20.1850	20.1740
Average:		20.2250	20.1683	20.1050	20.1517	20.1150	20.2250	20.2033	20.1983	20.1650	20.1867	$\bar{X}$: 20.1743
Range:		0.0000	0.0100	0.0000	0.0100	0.0000	0.0000	0.0050	0.0100	0.0000	0.0050	$\bar{R}$: 0.0040
Part Average:		20.2217	20.1694	20.1072	20.1506	20.1106	20.2194	20.1994	20.2006	20.1650	20.1883	$\bar{X}$: 20.1732
												R_{P_i} : 0.1144
([Rbar 1 = 0.007] + [Rbar 2 = 0.006] + [Rbar 3 = 0.004]) / [# of APPRAISERS = 3] = 0.0057												$\bar{R}$: 0.0057
[Max *Xbar* = 20.1743] - [Min *Xbar* = 20.1717] = *Xbar, diff* = 0.0027												$\bar{X}_{diff}$ 0.0027

Measurement Unit Analysis	% Total Variation (*TV*)
Repeatability - Equipment Variation (*EV*) *EV* = [*Rbarbar*] * [K1] = [0.0057] * [0.5908] = 0.0033 Trials / *K1*: 2 → 0.8862; 3 → 0.5908	% *EV* = [*EV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0033] / [0.0362]) * 100 = 9.25% For measurement system acceptability is acceptable
Reproducibility - Appraiser Variation (*AV*) *AV* = SQRT{([*Xbar,diff*] * [*K2*])^2 - ([*EV*]^2 / [*nr*])} = SQRT{([0.0027] * [0.5231])^2 - ([0.0033]^2 / [10] * [3])} = 0.0013 Appraisers / *K2*: 2 → 0.7071; 3 → 0.5231	% *AV* = [*AV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0013] / [0.0362]) * 100 = 3.47% For measurement system acceptability is acceptable
Repeatability & Reproducibility (*GRR*) *GRR* = SQRT ([*EV*]^2 + [*AV*]^2) = SQRT ([0.0033]^2 + [0.0013]^2) = 0.0036	% *GRR* = [*GRR*] / [*TV*] * 100 = ([0.0036] / [0.0362]) * 100 = 9.88% For measurement system acceptability is acceptable
Part Variation (*PV*) *PV* = [*Rp*] * [*K3*] = [0.1144] * [0.3146] = 0.0360 Part / *K3*: 2 → 0.7071; 3 → 0.5231; 4 → 0.4467; 5 → 0.4030; 6 → 0.3742; 7 → 0.3534; 8 → 0.3375; 9 → 0.3249; 10 → 0.3146	% *PV* = [*PV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0360] / [0.0362]) * 100 = 99.51% For measurement system acceptability is unacceptable.
Total Variation (*TV*) *TV* = SQRT ([*GRR*]^2 + [*PV*]^2) = SQRT ([0.0036]^2 + [0.0360]^2) = 0.0362	*ncd* = [*PV*] / [*GRR*] * 1.44 = ([0.0360] / [0.0036]) * 1.44 = 14.50 For measurement system acceptability is acceptable.

ภาพภาคผนวก ข-7 การวิเคาะห์ระบบการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของซีลน้ำมัน

Part Name:	Rod guide	Equipment / Tools	USL	Target	LSL	Date
Item key:	Inside diameter (22 -0.008 / +0.022 mm)	Air gauge	22.022	22	21.992	10/09/2015

Appraiser's name		
Thitikan	Saranyuth	Apicha

Trial #		Parts										AVERAGE
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Thitikan	1	21.9994	22.0004	22.0014	22.0004	22.0024	22.0034	22.0044	22.0014	22.0004	22.0044	22.0018
	2	21.9994	22.0004	22.0014	22.0004	22.0024	22.0034	22.0044	22.0014	22.0004	22.0044	22.0018
	3	21.9994	22.0004	22.0014	22.0004	22.0024	22.0034	22.0044	22.0014	22.0004	22.0044	22.0018
Average:		21.9994	22.0004	22.0014	22.0004	22.0024	22.0034	22.0044	22.0014	22.0004	22.0044	$\bar{X}$: 22.0018
Range:		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	$\bar{R}$:
Saranyuth	1	21.9994	22.0004	22.0014	22.0004	22.0024	22.0034	22.0044	22.0014	22.0004	22.0044	22.0018
	2	21.9994	22.0004	22.0014	22.0004	22.0024	22.0034	22.0044	22.0014	22.0004	22.0044	22.0018
	3	22.0004	22.0004	22.0014	22.0004	22.0004	22.0034	22.0014	22.0014	22.0004	22.0044	22.0014
Average:		21.9997	22.0004	22.0014	22.0004	22.0017	22.0034	22.0034	22.0014	22.0004	22.0044	$\bar{X}$: 22.0017
Range:		0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0030	0.0000	0.0000	0.0000	$\bar{R}$: 0.0006
Apicha	1	21.9994	22.0004	22.0014	22.0004	22.0024	22.0034	22.0044	22.0014	22.0004	22.0044	22.0018
	2	21.9994	22.0004	22.0014	22.0004	22.0024	22.0034	22.0044	22.0014	22.0004	22.0044	22.0018
	3	21.9994	22.0004	22.0014	22.0004	22.0024	22.0034	22.0034	22.0014	22.0004	22.0044	22.0017
Average:		21.9994	22.0004	22.0014	22.0004	22.0024	22.0034	22.0041	22.0014	22.0004	22.0044	$\bar{X}$: 22.0018
Range:		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	$\bar{R}$: 0.0001
Part Average:		21.9995	22.0004	22.0014	22.0004	22.0022	22.0034	22.0040	22.0014	22.0004	22.0044	$\bar{\bar{X}}$: 22.0017
												R_p: 0.0049
([Rbar 1		[Rbar 2	= 0.001] +	[Rbar 3	= 0.000]) /	[# of APPRAISERS = 3]	= 0.0002					$\bar{\bar{R}}$: 0.0002
[Max *Xbar* =		22.0018]	- [Min *Xbar* =		22.0017] =	*Xbar, diff*	= 0.0001					$\bar{\bar{X}}_{diff}$ 0.0001

Measurement Unit Analysis	% Total Variation (*TV*)
Repeatability - Equipment Variation (*EV*) *EV* = [*Rbarbar*] * [K1] = [0.0002] * [0.5908] = 0.0001 Trials / *K1*: 2 → 0.8862; 3 → 0.5908	% *EV* = [*EV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0001] / [0.0015]) * 100 = 8.92% For measurement system acceptability is acceptable
Reproducibility - Appraiser Variation (*AV*) *AV* = SQRT{([*Xbar,diff*] * [*K2*])^2 - ([*EV*]^2 / [*nr*])} = SQRT{([0.0001] * [0.5231])^2 - ([0.0001]^2 / [10] * [3])} = 0.0001 Appraisers / *K2*: 2 → 0.7071; 3 → 0.5231	% *AV* = [*AV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0001] / [0.0015]) * 100 = 4.21% For measurement system acceptability is acceptable
Repeatability & Reproducibility (*GRR*) *GRR* = SQRT ([*EV*]^2 + [*AV*]^2) = SQRT ([0.0001]^2 + [0.0001]^2) = 0.0002	% *GRR* = [*GRR*] / [*TV*] * 100 = ([0.0002] / [0.0015]) * 100 = 9.86% For measurement system acceptability is acceptable
Part Variation (*PV*) *PV* = [*Rp*] * [*K3*] = [0.0049] * [0.3146] = 0.0015 Part / *K3*: 2 → 0.7071; 3 → 0.5231; 4 → 0.4467; 5 → 0.4030; 6 → 0.3742; 7 → 0.3534; 8 → 0.3375; 9 → 0.3249; 10 → 0.3146	% *PV* = [*PV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0015] / [0.0015]) * 100 = 99.51% For measurement system acceptability is unacceptable.
Total Variation (*TV*) *TV* = SQRT ([*GRR*]^2 + [*PV*]^2) = SQRT ([0.0002]^2 + [0.0015]^2) = 0.0015	*ncd* = [*PV*] / [*GRR*] * 1.44 = ([0.0015] / [0.0002]) * 1.44 = 14.53 For measurement system acceptability is acceptable.

ภาพภาคผนวก ข-8 การวิเคราะห์ระบบการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในตัวนำแกนลูกสูบ

Part Name:	Prototype of shock absorber	Equipment / Tools	USL	Target	LSL	Date
Item key:	Extension at 0.3 m/s (457 ± 67 N)	Damping force tester	524	457	390	11/06/2015

Appraiser's name		
Thitikan	Saranyuth	Apicha

Trial #		Parts										AVERAGE
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Thitikan	1	439.0000	431.0000	470.0000	465.0000	435.0000	452.0000	462.0000	476.0000	447.0000	455.0000	453.2000
	2	439.0000	433.0000	471.0000	467.0000	437.0000	452.0000	463.0000	476.0000	448.0000	455.0000	454.1000
	3	440.0000	435.0000	472.0000	467.0000	438.0000	453.0000	463.0000	479.0000	449.0000	456.0000	455.2000
Average:		439.3333	433.0000	471.0000	466.3333	436.6667	452.3333	462.6667	477.0000	448.0000	455.3333	$\bar{X}$: 454.1667
Range:		1.0000	4.0000	2.0000	2.0000	3.0000	1.0000	1.0000	3.0000	2.0000	1.0000	$\bar{R}$: 2.0000
Saranyuth	1	440.0000	430.0000	474.0000	469.0000	437.0000	450.0000	460.0000	472.0000	446.0000	467.0000	454.5000
	2	439.0000	431.0000	475.0000	467.0000	437.0000	451.0000	461.0000	473.0000	446.0000	468.0000	454.8000
	3	440.0000	431.0000	475.0000	467.0000	438.0000	451.0000	462.0000	473.0000	447.0000	468.0000	455.2000
Average:		439.6667	430.6667	474.6667	467.6667	437.3333	450.6667	461.0000	472.6667	446.3333	467.6667	$\bar{X}$: 454.8333
Range:		1.0000	1.0000	1.0000	2.0000	1.0000	1.0000	2.0000	1.0000	1.0000	1.0000	$\bar{R}$: 1.2000
Apicha	1	439.0000	431.0000	474.0000	463.0000	437.0000	453.0000	458.0000	476.0000	449.0000	456.0000	453.6000
	2	440.0000	431.0000	476.0000	464.0000	437.0000	453.0000	459.0000	476.0000	449.0000	457.0000	454.2000
	3	440.0000	430.0000	475.0000	464.0000	437.0000	454.0000	459.0000	473.0000	449.0000	457.0000	453.8000
Average:		439.6667	430.6667	475.0000	463.6667	437.0000	453.3333	458.6667	475.0000	449.0000	456.6667	$\bar{X}$: 453.8667
Range:		1.0000	1.0000	2.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	3.0000	0.0000	1.0000	$\bar{R}$: 1.1000
Part Average:		439.5556	431.4444	473.5556	465.8889	437.0000	452.1111	460.7778	474.8889	447.7778	459.8889	$\bar{\bar{X}}$: 454.2889
												R_p: 43.4444
([Rbar 1 = 2.000] + [Rbar 2 = 1.200] + [Rbar 3 = 1.100]) / [# of APPRAISERS = 3] = 1.4333												$\bar{R}$: 1.4333
[Max *Xbar* = 454.8333] - [Min *Xbar* = 453.8667] = *Xbar, diff* = 0.9667												$\bar{X}_{diff}$ 0.9667

Measurement Unit Analysis	% Total Variation (*TV*)
Repeatability - Equipment Variation (*EV*) *EV* = [*Rbarbar*] * [K1] = [1.4333] * [0.5908] = 0.8468 Trials / *K1*: 2 → 0.8862; 3 → 0.5908	% *EV* = [*EV*] / [*TV*] * 100 = ([0.8468] / [13.7023]) * 100 = 6.18% For measurement system acceptability is acceptable
Reproducibility - Appraiser Variation (*AV*) *AV* = SQRT{([*Xbar,diff*] * [*K2*])^2 - ([*EV*]^2 / [*nr*])} = SQRT{([0.9667] * [0.5231])^2 - ([0.8468]^2 / [10] * [3])} = 0.4814 Appraisers: 2 / 3; *K2*: 0.7071 / 0.5231	% *AV* = [*AV*] / [*TV*] * 100 = ([0.4814] / [13.7023]) * 100 = 3.51% For measurement system acceptability is acceptable
Repeatability & Reproducibility (*GRR*) *GRR* = SQRT ([*EV*]^2 + [*AV*]^2) = SQRT ([0.8468]^2 + [0.4814]^2) = 0.9741	% *GRR* = [*GRR*] / [*TV*] * 100 = ([0.9741] / [13.7023]) * 100 = 7.11% For measurement system acceptability is acceptable
Part Variation (*PV*) *PV* = [*Rp*] * [*K3*] = [43.4444] * [0.3146] = 13.6676 Part / *K3*: 2 → 0.7071; 3 → 0.5231; 4 → 0.4467; 5 → 0.4030	% *PV* = [*PV*] / [*TV*] * 100 = ([13.6676] / [13.7023]) * 100 = 99.75% For measurement system acceptability is unacceptable.
Total Variation (*TV*) *TV* = SQRT ([*GRR*]^2 + [*PV*]^2) = SQRT ([0.9741]^2 + [13.6676]^2) = 13.7023 6 → 0.3742; 7 → 0.3534; 8 → 0.3375; 9 → 0.3249; 10 → 0.3146	*ncd* = [*PV*] / [*GRR*] * 1.44 = ([13.6676] / [0.9741]) * 1.44 = 20.20 For measurement system acceptability is acceptable.

ภาพภาคผนวก ข-9 การวิเคราะห์ระบบการวัดแรงดันต้านขณะคืนตัว

Part Name:	Prototype of shock absorber	Equipment / Tools	USL	Target	LSL	Date
Item key:	Compression at 0.3 m/s (263 ± 66 N)	Damping force tester	329	263	197	11/06/2015

Appraiser's name		
Thitikan	Saranyuth	Apicha

Trial #		Parts										AVERAGE
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Thitikan	1	281.0000	240.0000	251.0000	270.0000	245.0000	251.0000	261.0000	260.0000	272.0000	282.0000	261.3000
	2	281.0000	245.0000	251.0000	270.0000	246.0000	252.0000	262.0000	261.0000	272.0000	284.0000	262.4000
	3	283.0000	246.0000	252.0000	272.0000	246.0000	252.0000	261.0000	261.0000	272.0000	288.0000	263.3000
Average:		281.6667	243.6667	251.3333	270.6667	245.6667	251.6667	261.3333	260.6667	272.0000	284.6667	$\bar{X}$: 262.3333
Range:		2.0000	6.0000	1.0000	2.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	6.0000	$\bar{R}$: 2.1000
Saranyuth	1	278.0000	240.0000	251.0000	270.0000	245.0000	252.0000	261.0000	261.0000	273.0000	284.0000	261.5000
	2	278.0000	245.0000	251.0000	270.0000	246.0000	253.0000	261.0000	262.0000	274.0000	284.0000	262.4000
	3	279.0000	246.0000	252.0000	272.0000	246.0000	253.0000	261.0000	262.0000	274.0000	288.0000	263.3000
Average:		278.3333	243.6667	251.3333	270.6667	245.6667	252.6667	261.0000	261.6667	273.6667	285.3333	$\bar{X}$: 262.4000
Range:		1.0000	6.0000	1.0000	2.0000	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	4.0000	$\bar{R}$: 1.8000
Apicha	1	278.0000	246.0000	251.0000	270.0000	245.0000	252.0000	261.0000	262.0000	273.0000	288.0000	262.6000
	2	278.0000	247.0000	251.0000	270.0000	246.0000	253.0000	262.0000	262.0000	274.0000	284.0000	262.7000
	3	279.0000	246.0000	252.0000	272.0000	246.0000	253.0000	261.0000	263.0000	274.0000	288.0000	263.4000
Average:		278.3333	246.3333	251.3333	270.6667	245.6667	252.6667	261.3333	262.3333	273.6667	286.6667	$\bar{X}$: 262.9000
Range:		1.0000	1.0000	1.0000	2.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	4.0000	$\bar{R}$: 1.4000
Part Average:		279.4444	244.5556	251.3333	270.6667	245.6667	252.3333	261.2222	261.5556	273.1111	285.5556	$\bar{\bar{X}}$: 262.5444
												R_p: 41.0000
([Rbar 1 = 2.100] + [Rbar 2 = 1.800] + [Rbar 3 = 1.400]) / [# of APPRAISERS = 3] = 1.7667												$\bar{\bar{R}}$: 1.7667
[Max *Xbar* = 262.9000] - [Min *Xbar* = 262.3333] = *Xbar, diff* = 0.5667												$\bar{X}_{diff}$ 0.5667

Measurement Unit Analysis

Repeatability - Equipment Variation (*EV*)

EV = [*Rbarbar*] * [K1]
= [1.7667] * [0.5908]
= 1.0437

Trials	*K1*
2	0.8862
3	0.5908

For measurement system acceptability is acceptable

Reproducibility - Appraiser Variation (*AV*)

AV = SQRT{([*Xbar,diff*] * [*K2*])^2 - ([*EV*]^2 / [*nr*])}
= SQRT{([0.5667] * [0.5231])^2 - ([1.0437]^2 / [10] * [3])}
= 0.2271

Appraisers	2	3
K2	0.7071	0.5231

For measurement system acceptability is acceptable

Repeatability & Reproducibility (*GRR*)

GRR = SQRT ([*EV*]^2 + [*AV*]^2)
= SQRT ([1.0437]^2 + [0.2271]^2)
= 1.0682

For measurement system acceptability is acceptable

Part Variation (*PV*)

PV = [*Rp*] * [*K3*]
= [41.0000] * [0.3146]
= 12.8986

Part	*K3*
2	0.7071
3	0.5231
4	0.4467
5	0.4030
6	0.3742
7	0.3534
8	0.3375
9	0.3249
10	0.3146

For measurement system acceptability is unacceptable.

Total Variation (*TV*)

TV = SQRT ([*GRR*]^2 + [*PV*]^2)
= SQRT ([1.0682]^2 + [12.8986]^2)
= 12.9428

For measurement system acceptability is acceptable.

% Total Variation (*TV*)

% *EV* = [*EV*] / [*TV*] * 100
= ([1.0437] / [12.9428]) * 100
= 8.06%

% *AV* = [*AV*] / [*TV*] * 100
= ([0.2271] / [12.9428]) * 100
= 1.75%

% *GRR* = [*GRR*] / [*TV*] * 100
= ([1.0682] / [12.9428]) * 100
= 8.25%

% *PV* = [*PV*] / [*TV*] * 100
= ([12.8986] / [12.9428]) * 100
= 99.66%

ncd = [*PV*] / [*GRR*] * 1.44
= ([12.8986] / [1.0682]) * 1.44
= 17.39

ภาพภาคผนวก ข-10 การวิเคราะห์ระบบการวัดแรงดันต้านขณะบีบอัด

Part Name:	Prototype of shock absorber	Equipment / Tools	USL	Target	LSL	Date
Item key:	Noise (Max 60 dB)	Swish noise tester (Laboratory)	60	-	-	28/06/2015

Appraiser's name		
Thitikan	Saranyuth	Apicha

Trial #		Parts										AVERAGE
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Thitikan	1	52.3000	50.7000	49.8000	50.1000	48.5000	49.4000	51.1000	51.8000	50.4000	53.1000	50.7200
	2	52.3000	50.7000	49.9000	50.1000	48.5000	49.4000	51.5000	51.8000	50.4000	53.1000	50.7700
	3	52.3000	50.8000	49.9000	50.1000	49.1000	49.4000	51.5000	51.8000	50.4000	53.2000	50.8500
Average:		52.3000	50.7333	49.8667	50.1000	48.7000	49.4000	51.3667	51.8000	50.4000	53.1333	$\bar{X}$: 50.7800
Range:		0.0000	0.1000	0.1000	0.0000	0.6000	0.0000	0.4000	0.0000	0.0000	0.1000	$\bar{R}$: 0.1300
Saranyuth	1	52.4000	50.9000	49.9000	50.2000	49.1000	49.4000	51.5000	51.8000	50.4000	53.2000	50.8800
	2	52.4000	50.9000	49.8000	50.2000	49.1000	49.5000	51.5000	51.8000	50.4000	53.5000	50.9100
	3	52.5000	50.9000	49.8000	50.1000	49.1000	49.7000	51.6000	51.8000	50.4000	53.7000	50.9600
Average:		52.4333	50.9000	49.8333	50.1667	49.1000	49.5333	51.5333	51.8000	50.4000	53.4667	$\bar{X}$: 50.9167
Range:		0.1000	0.0000	0.1000	0.1000	0.0000	0.3000	0.1000	0.0000	0.0000	0.5000	$\bar{R}$: 0.1200
Apicha	1	52.5000	50.9000	49.8000	50.1000	49.1000	49.7000	51.6000	51.8000	50.4000	54.1000	51.0000
	2	52.3000	50.7000	49.9000	50.2000	49.1000	49.4000	51.6000	52.0000	50.5000	54.2000	50.9900
	3	52.3000	50.8000	49.9000	50.2000	48.5000	49.4000	51.8000	52.0000	50.5000	54.2000	50.9600
Average:		52.3667	50.8000	49.8667	50.1667	48.9000	49.5000	51.6667	51.9333	50.4667	54.1667	$\bar{X}$: 50.9833
Range:		0.2000	0.2000	0.1000	0.1000	0.6000	0.3000	0.2000	0.2000	0.1000	0.1000	$\bar{R}$: 0.2100
Part Average:		52.3667	50.8111	49.8556	50.1444	48.9000	49.4778	51.5222	51.8444	50.4222	53.5889	$\bar{\bar{X}}$: 50.8933
												R_P: 4.6889
([Rbar 1 = 0.130] + [Rbar 2 = 0.120] + [Rbar 3 = 0.210]) / [# of APPRAISERS = 3] = 0.1533												$\bar{\bar{R}}$: 0.1533
[Max *Xbar* = 50.9833] - [Min *Xbar* = 50.7800] = *Xbar, diff* = 0.2033												$\bar{\bar{X}}_{diff}$ 0.2033

Measurement Unit Analysis	% Total Variation (*TV*)
Repeatability - Equipment Variation (*EV*) *EV* = [*Rbarbar*] * [K1] = [0.1533] * [0.5908] = 0.0906	% *EV* = [*EV*] / [*TV*] * 100 = ([0.0906] / [1.4816]) * 100 = 6.11%
Trials / *K1*: 2 — 0.8862; 3 — 0.5908	For measurement system acceptability is acceptable
Reproducibility - Appraiser Variation (*AV*) *AV* = SQRT{([*Xbar,diff*] * [*K2*])^2 - ([*EV*]^2 / [*nr*])} = SQRT{([0.2033] * [0.5231])^2 - ([0.0906]^2 / [10] * [3])} = 0.1051	% *AV* = [*AV*] / [*TV*] * 100 = ([0.1051] / [1.4816]) * 100 = 7.09%
Appraisers / *K2*: 2 — 0.7071; 3 — 0.5231	For measurement system acceptability is acceptable
Repeatability & Reproducibility (*GRR*) *GRR* = SQRT ([*EV*]^2 + [*AV*]^2) = SQRT ([0.0906]^2 + [0.1051]^2) = 0.1387	% *GRR* = [*GRR*] / [*TV*] * 100 = ([0.1387] / [1.4816]) * 100 = 9.36% For measurement system acceptability is acceptable
Part Variation (*PV*) *PV* = [*Rp*] * [*K3*] = [4.6889] * [0.3146] = 1.4751	% *PV* = [*PV*] / [*TV*] * 100 = ([1.4751] / [1.4816]) * 100 = 99.56%
Part / *K3*: 2 — 0.7071; 3 — 0.5231; 4 — 0.4467; 5 — 0.4030; 6 — 0.3742; 7 — 0.3534; 8 — 0.3375; 9 — 0.3249; 10 — 0.3146	For measurement system acceptability is unacceptable.
Total Variation (*TV*) *TV* = SQRT ([*GRR*]^2 + [*PV*]^2) = SQRT ([0.1387]^2 + [1.4751]^2) = 1.4816	*ncd* = [*PV*] / [*GRR*] * 1.44 = ([1.4751] / [0.1387]) * 1.44 = 15.31 For measurement system acceptability is acceptable.

ภาพภาคผนวก ข-11 การวิเคราะห์ระบบการวัดระดับของเสียงรบกวน

Part Name:	Spring gudie	Item key:	No crack	Tools:	Appearance check	Date:	04/05/2015

Appraiser's name

Thitikan	Saranyuth	Apicha

# Part	Reference	Thitikan			Saranyuth			Apicha		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Cosstabulation between appraisers.

Po :	0.98	Saranyuth		Total
Pe :	0.52	0	1	
Thitikan	0	23	0	23
		[9.2]	[13.8]	
	1	1	36	37
		[14.8]	[22.2]	
Total		24	36	60

Po :	0.98	Apicha		Total
Pe :	0.52	0	1	
Saranyuth	0	24	0	24
		[10.0]	[14.0]	
	1	1	35	36
		[15.0]	[21.0]	
Total		25	35	60

Po :	0.97	Apicha		Total
Pe :	0.52	0	1	
Thitikan	0	23	0	23
		[9.6]	[13.4]	
	1	2	35	37
		[15.4]	[21.6]	
Total		25	35	60

kappa	Thitikan	Saranyuth	Apicha
Thitikan	-	0.97	0.93
Saranyuth	0.97	-	0.97
Apicha	0.93	0.97	-

Cosstabulation with reference data.

Po :	0.98	Reference		Total
Pe :	0.52	0	1	
Thitikan	0	23	0	23
		[9.2]	[13.8]	
	1	1	36	37
		[14.8]	[22.2]	
Total		24	36	60

Po :	1.00	Reference		Total
Pe :	0.52	0	1	
Saranyuth	0	24	0	24
		[9.6]	[14.4]	
	1	0	36	36
		[14.4]	[21.6]	
Total		24	36	60

Po :	0.98	Reference		Total
Pe :	0.52	0	1	
Apicha	0	24	1	25
		[10.0]	[15.0]	
	1	0	35	35
		[14.0]	[21.0]	
Total		24	36	60

kappa	Thitikan	Saranyuth	Apicha
	0.97	1.00	0.97
Values greater than 0.75 indicate to excellent agree			
Values 0.40 to 0.75 - may be improvement.			
Values less than 0.40 indicate poor agreement.			

ภาพภาคผนวก ข-12 การวิเคราะห์ระบบการวัดความสอดคล้องแบบ *kappa*

Part Name:	Spring gudie	Item key:	No crack	Tools:	Appearance check	Date:	04/05/2015

Appraiser's name

Thitikan	Saranyuth	Apicha

# Part	Reference	Thitikan			Saranyuth			Apicha		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

	% Appraiser			% Score vs. Attribute		
Source	Thitikan	Saranyuth	Apicha	Thitikan	Saranyuth	Apicha
Total Inspected	20	20	20	20	20	20
# Matched	19	20	19	19	20	19
False Negative (appraiser biased toward rejection)				0	0	0
False Positive (appraiser biased toward acceptance)				0	0	0
Mixed				1	0	1
95% UCL	99%	100%	99%	99%	100%	99%
Calculated Score	**95%**	**100%**	**95%**	**95%**	**100%**	**95%**
95% LCL	76%	84%	76%	76%	84%	76%

	System % Effective Score	System % Effective Score vs. Referenc
Total Inspected	20	20
# in Agreement	18	18
95% UCL	97%	97%
Calculated Score	90%	90%
95% LCL	69%	69%

Effectiveness		Miss Rate	False Alarm
Thitikan	95%	4.2%	0.0%
Saranyuth	100%	0.0%	0.0%
Apicha	95%	0.0%	2.8%

Effectiveness		Miss Rate	False Alarm
Acceptable	≥ 90 %	≤ 2 %	≤ 5 %
Marginal	≥ 80 %	≤ 5 %	≤ 10 %
Reject	< 80 %	> 5 %	> 10 %

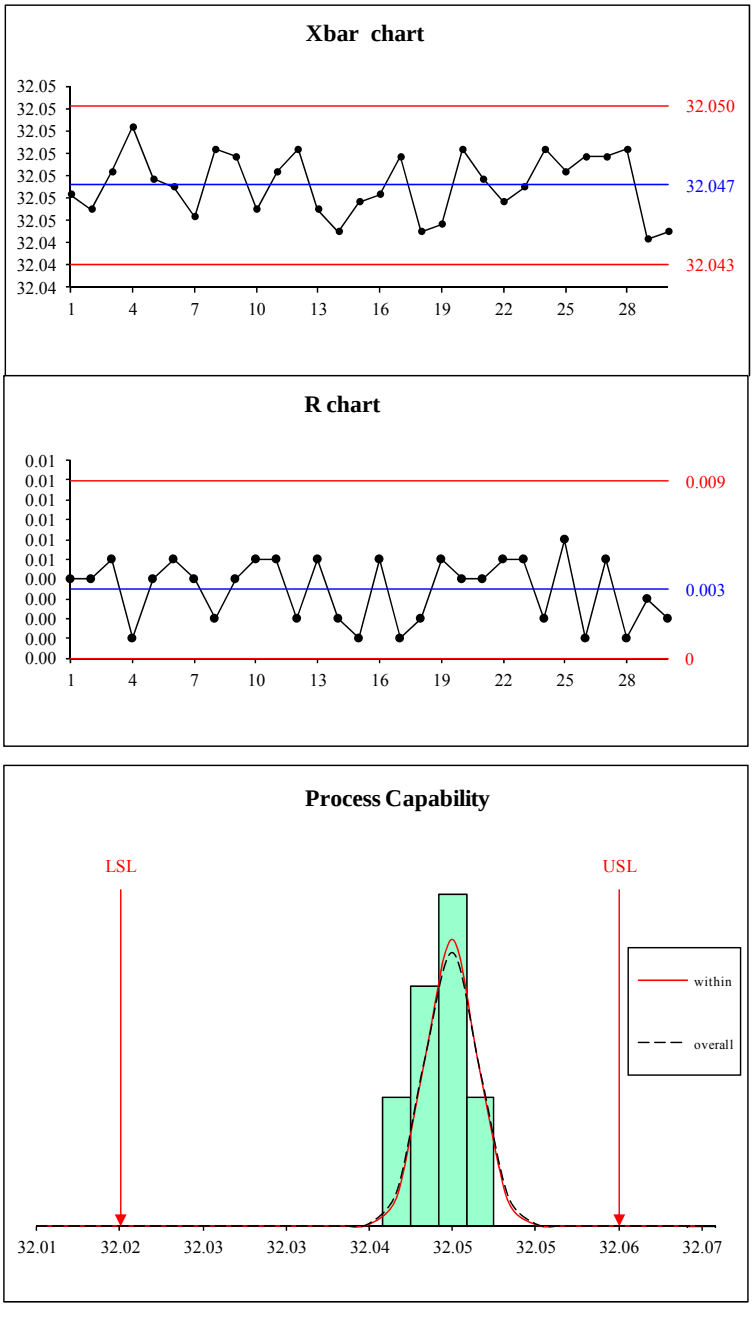
ภาพภาคผนวก ข-13 ความมีประสิทธิผลของการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบคุณลักษณะ

ภาคผนวก ค

แสดงผลการควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ

Part name:	Cylinder	Process Data		Process Capability		Process Potential	
Item key:	Inside diameter (32 +0.02/+0.06 mm)	Sample Mean	32.047	Cp	3.26	Pp	3.09
Process:	Part inspection	Sample No.	90	CPL	4.33	PPL	4.11
Date:	18/08/2015	StDev (within)	0.002048	CPU	2.18	PPU	2.07
Engineering Specification (mm)		StDev (overall)	0.002155	Cpk	2.18	Ppk	2.07
USL 32.06	Target -	LSL 32.02	Scpm	-		Cpm	-

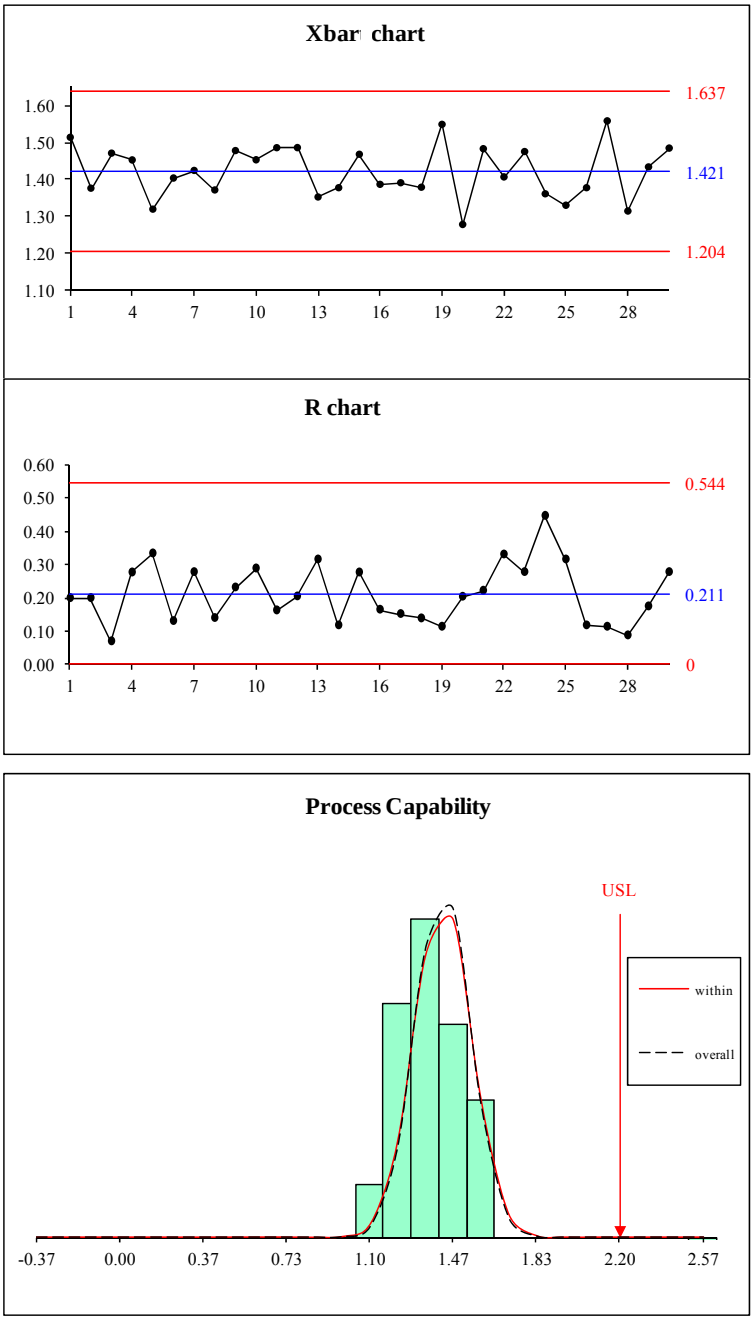
Part No.	Subgroup		
	1	2	3
1	32.048	32.048	32.044
2	32.046	32.044	32.048
3	32.045	32.048	32.050
4	32.050	32.050	32.049
5	32.048	32.049	32.045
6	32.044	32.049	32.048
7	32.048	32.044	32.045
8	32.050	32.048	32.048
9	32.049	32.050	32.046
10	32.044	32.049	32.045
11	32.048	32.045	32.050
12	32.050	32.048	32.048
13	32.049	32.045	32.044
14	32.045	32.046	32.044
15	32.046	32.046	32.047
16	32.045	32.045	32.050
17	32.048	32.048	32.049
18	32.045	32.046	32.044
19	32.043	32.045	32.048
20	32.046	32.050	32.050
21	32.045	32.048	32.049
22	32.046	32.044	32.049
23	32.049	32.048	32.044
24	32.048	32.050	32.048
25	32.044	32.049	32.050
26	32.048	32.048	32.049
27	32.050	32.050	32.045
28	32.049	32.049	32.048
29	32.046	32.043	32.045
30	32.045	32.046	32.044



ภาพภาคผนวก ค-1 กระบวนการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของกระบอกสูบ

Part name:	Cylinder	Process Data		Process Capability		Process Potential	
Item key:	Surface (Max 2.2 μm)	Sample Mean	1.421	Cp	-	Pp	-
Process:	Part inspection	Sample No.	90	CPL	-	PPL	-
Date:	24/08/2015	StDev (within)	0.124847	CPU	2.08	PPU	2.16
Engineering Specification (μm)		StDev (overall)	0.120306	Cpk	2.08	Ppk	2.16
USL 2.2	Target -	LSL -	Scpm	-		Cpm	-

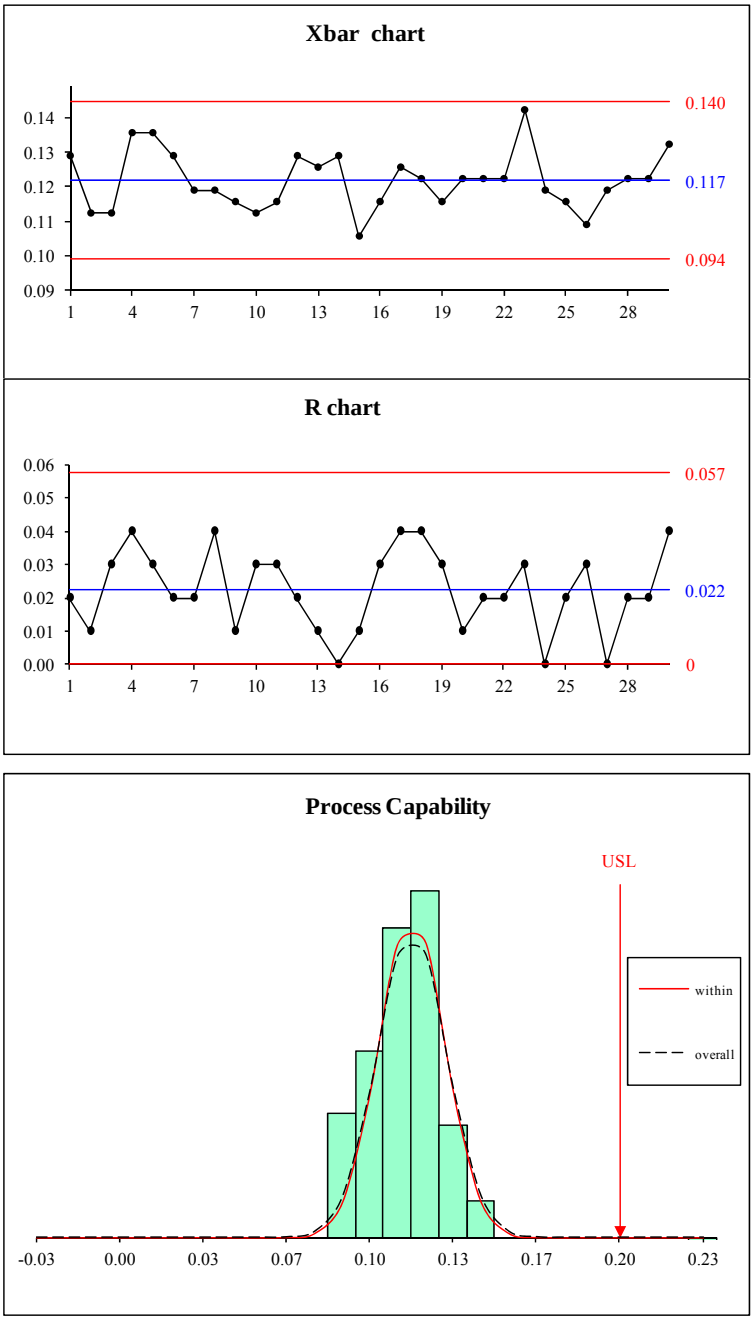
Part No.	Subgroup		
	1	2	3
1	1.592	1.393	1.555
2	1.267	1.466	1.393
3	1.507	1.438	1.466
4	1.597	1.321	1.438
5	1.151	1.484	1.321
6	1.371	1.354	1.484
7	1.597	1.320	1.354
8	1.320	1.333	1.459
9	1.333	1.535	1.564
10	1.535	1.555	1.267
11	1.555	1.393	1.507
12	1.393	1.466	1.597
13	1.466	1.438	1.151
14	1.438	1.321	1.371
15	1.321	1.484	1.597
16	1.484	1.354	1.320
17	1.354	1.484	1.333
18	1.459	1.354	1.321
19	1.564	1.597	1.484
20	1.327	1.151	1.354
21	1.592	1.371	1.484
22	1.267	1.597	1.354
23	1.507	1.320	1.597
24	1.597	1.333	1.151
25	1.151	1.466	1.371
26	1.371	1.438	1.321
27	1.597	1.592	1.484
28	1.320	1.267	1.354
29	1.333	1.507	1.459
30	1.535	1.597	1.320



ภาพภาคผนวก ค-2 กระบวนการวัดความหยาบผิวในของกระบอกสูบ

Part name:	Piston Rod					Process Data		Process Capability		Process Potential	
Item key:	Surface (Max 0.2 μm)					Sample Mean	0.117	Cp	-	Pp	-
Process:	Part inspection					Sample No.	90	CPL	-	PPL	-
Date:	24/08/2015					StDev (within)	0.013192	CPU	2.10	PPU	2.01
Engineering Specification (μm)						StDev (overall)	0.013823	Cpk	2.10	Ppk	2.01
USL	0.2	Target	-	LSL	-	Scpm	-			Cpm	-

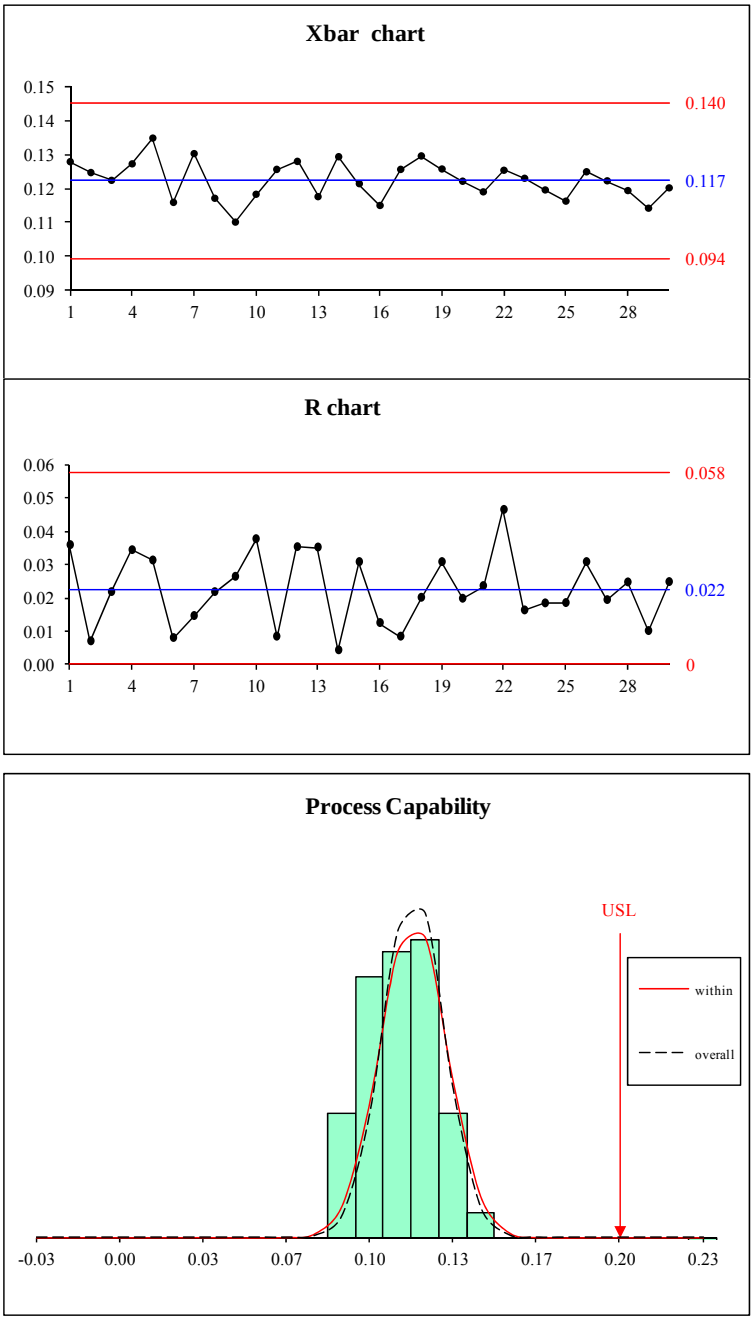
Part No.	Subgroup		
	1	2	3
1	0.114	0.134	0.124
2	0.104	0.114	0.104
3	0.124	0.104	0.094
4	0.154	0.114	0.124
5	0.134	0.114	0.144
6	0.114	0.124	0.134
7	0.104	0.124	0.114
8	0.094	0.134	0.114
9	0.114	0.114	0.104
10	0.124	0.104	0.094
11	0.124	0.094	0.114
12	0.134	0.114	0.124
13	0.114	0.124	0.124
14	0.124	0.124	0.124
15	0.104	0.094	0.104
16	0.114	0.124	0.094
17	0.104	0.144	0.114
18	0.094	0.134	0.124
19	0.114	0.094	0.124
20	0.124	0.114	0.114
21	0.124	0.124	0.104
22	0.104	0.124	0.124
23	0.124	0.134	0.154
24	0.114	0.114	0.114
25	0.124	0.104	0.104
26	0.124	0.094	0.094
27	0.114	0.114	0.114
28	0.104	0.124	0.124
29	0.124	0.124	0.104
30	0.154	0.114	0.114



ภาพภาคผนวก ค-3 กระบวนการวัดความหยาบผิวนอกของแกนลูกสูบ

Part name:	Outer shell	Process Data		Process Capability		Process Potential	
Item key:	Welding height (Max 0.2 mm)	Sample Mean	0.117	Cp	-	Pp	-
Process:	Part inspection	Sample No.	90	CPL	-	PPL	-
Date:	01/09/2015	StDev (within)	0.013282	CPU	2.07	PPU	2.27
Engineering Specification (mm)		StDev (overall)	0.012120	Cpk	2.07	Ppk	2.27
USL 0.2	Target -	LSL -	Scpm	-		Cpm	-

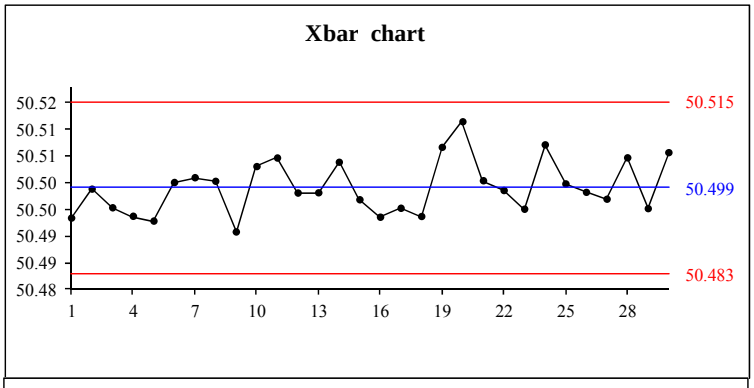
Part No.	Subgroup		
	1	2	3
1	0.134	0.099	0.135
2	0.117	0.119	0.124
3	0.121	0.126	0.105
4	0.105	0.139	0.122
5	0.123	0.118	0.149
6	0.110	0.115	0.107
7	0.119	0.124	0.133
8	0.126	0.105	0.105
9	0.099	0.095	0.121
10	0.098	0.107	0.135
11	0.115	0.123	0.123
12	0.124	0.105	0.140
13	0.105	0.134	0.099
14	0.122	0.124	0.126
15	0.099	0.121	0.129
16	0.107	0.105	0.118
17	0.123	0.115	0.123
18	0.135	0.124	0.115
19	0.104	0.135	0.124
20	0.124	0.122	0.105
21	0.121	0.099	0.122
22	0.145	0.117	0.099
23	0.123	0.123	0.107
24	0.115	0.105	0.123
25	0.124	0.105	0.105
26	0.135	0.104	0.121
27	0.122	0.124	0.105
28	0.099	0.121	0.123
29	0.107	0.105	0.115
30	0.123	0.123	0.099

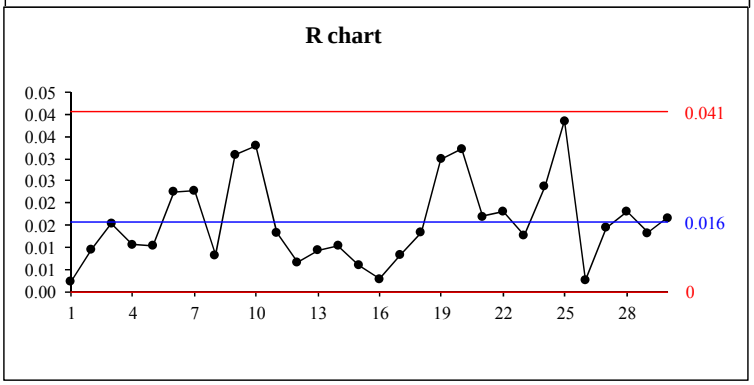


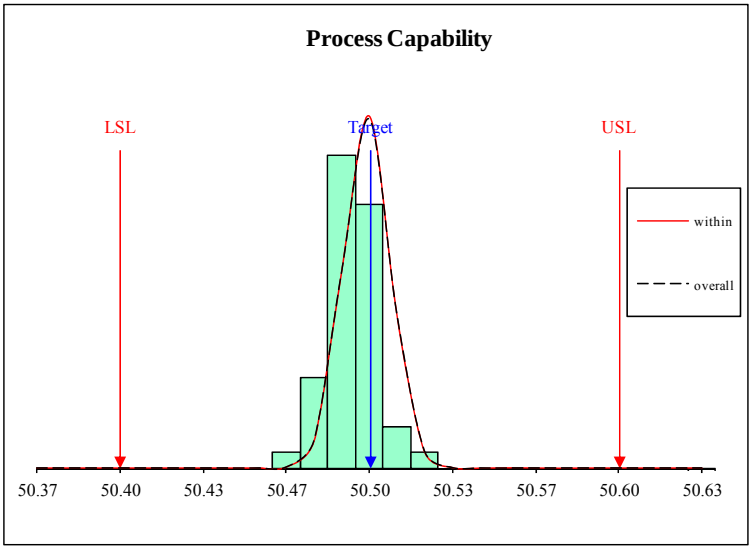
ภาพภาคผนวก ค-4 กระบวนการวัดความสูงรอยเชื่อมของซีลน้ำมัน

Part name:	Bump stopper					Process Data		Process Capability		Process Potential	
Item key:	Inside diameter (50.5 ± 0.1 mm)					Sample Mean	50.499	Cp	3.58	Pp	3.55
Process:	Part inspection					Sample No.	90	CPL	3.54	PPL	3.52
Date:	11/09/2015					StDev (within)	0.009315	CPU	3.61	PPU	3.58
Engineering Specification (mm)						StDev (overall)	0.009389	Cpk	3.54	Ppk	3.52
USL	50.60	Target	50.50	LSL	50.40	Scpm	0.009			Cpm	3.53

Part No.	Subgroup		
	1	2	3
1	50.495	50.492	50.493
2	50.493	50.501	50.503
3	50.503	50.496	50.487
4	50.487	50.496	50.498
5	50.498	50.493	50.487
6	50.487	50.503	50.510
7	50.510	50.487	50.506
8	50.506	50.497	50.498
9	50.498	50.472	50.503
10	50.502	50.520	50.487
11	50.506	50.511	50.497
12	50.497	50.495	50.502
13	50.502	50.492	50.500
14	50.500	50.501	50.511
15	50.501	50.495	50.495
16	50.495	50.493	50.492
17	50.492	50.493	50.501
18	50.501	50.487	50.493
19	50.496	50.498	50.526
20	50.530	50.497	50.507
21	50.493	50.510	50.498
22	50.503	50.506	50.487
23	50.487	50.498	50.500
24	50.498	50.502	50.522
25	50.477	50.506	50.516
26	50.500	50.497	50.497
27	50.502	50.502	50.487
28	50.516	50.500	50.498
29	50.497	50.501	50.487
30	50.512	50.495	50.510



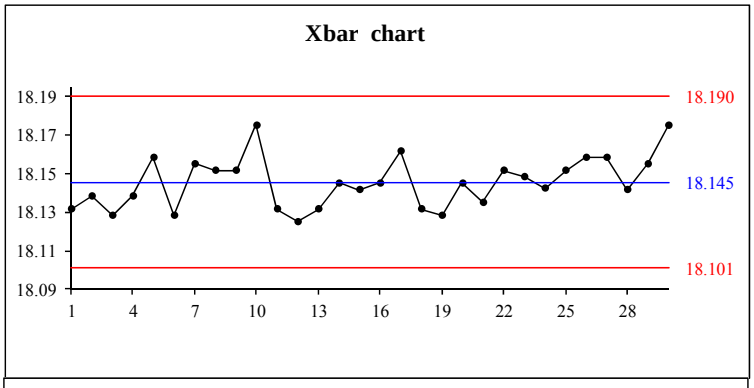


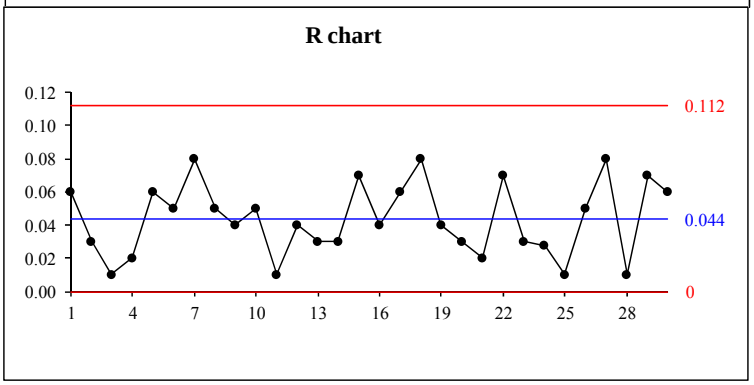


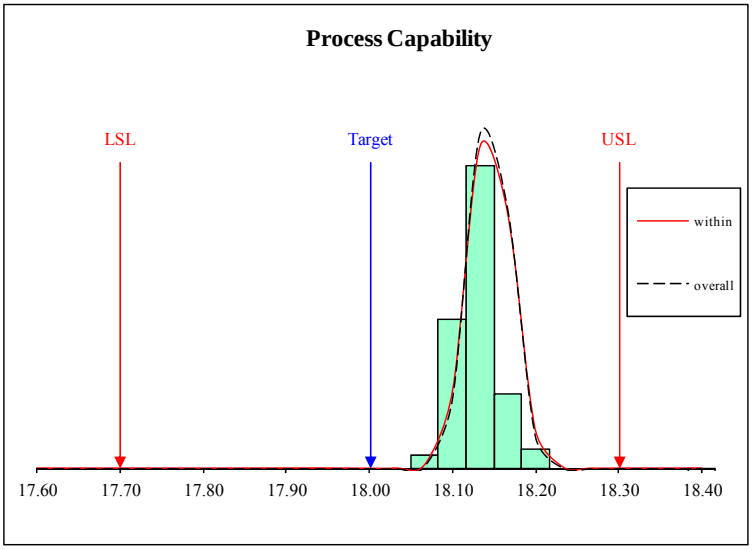
ภาพภาคผนวก ค-5 กระบวนการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของฝาปิด

Part name:	Rebound cushion					Process Data		Process Capability		Process Potential	
Item key:	Total height (18 ± 0.3 mm)					Sample Mean	18.145	Cp	3.88	Pp	4.07
Process:	Part inspection					Sample No.	90	CPL	5.77	PPL	6.04
Date:	11/09/2015					StDev (within)	0.025747	CPU	2.00	PPU	2.10
Engineering Specification (mm)						StDev (overall)	0.024587	Cpk	2.00	Ppk	2.10
USL	18.30	Target	18.00	LSL	17.70	Scpm	0.148			Cpm	0.67

Part No.	Subgroup		
	1	2	3
1	18.155	18.145	18.095
2	18.155	18.125	18.135
3	18.135	18.125	18.125
4	18.145	18.125	18.145
5	18.135	18.195	18.145
6	18.155	18.125	18.105
7	18.115	18.155	18.195
8	18.125	18.175	18.155
9	18.135	18.145	18.175
10	18.165	18.155	18.205
11	18.135	18.135	18.125
12	18.125	18.145	18.105
13	18.115	18.135	18.145
14	18.125	18.155	18.155
15	18.105	18.145	18.175
16	18.165	18.125	18.145
17	18.155	18.135	18.195
18	18.175	18.095	18.125
19	18.145	18.135	18.105
20	18.155	18.125	18.155
21	18.125	18.145	18.135
22	18.135	18.125	18.195
23	18.145	18.165	18.135
24	18.127	18.145	18.155
25	18.155	18.155	18.145
26	18.175	18.175	18.125
27	18.205	18.145	18.125
28	18.145	18.145	18.135
29	18.195	18.125	18.145
30	18.175	18.205	18.145



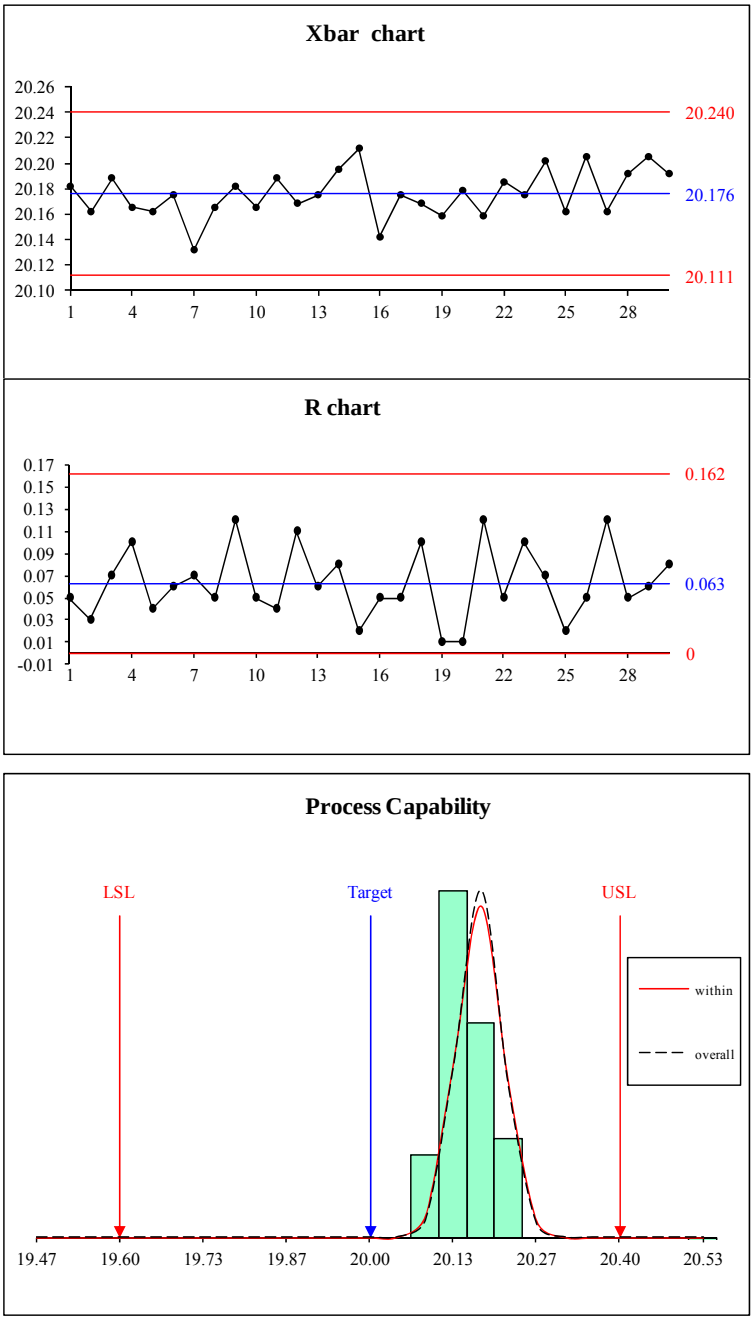




ภาพภาคผนวก ค-6 กระบวนการวัดความสูงรวมของยางรองลูกสูบ

Part name:	Oil seal	Process Data		Process Capability		Process Potential	
Item key:	Inside diameter (20 ± 0.4 mm)	Sample Mean	20.176	Cp	3.58	Pp	3.75
Process:	Part inspection	Sample No.	90	CPL	5.16	PPL	5.40
Date:	16/09/2015	StDev (within)	0.037212	CPU	2.01	PPU	2.10
Engineering Specification (mm)		StDev (overall)	0.035513	Cpk	2.01	Ppk	2.10
USL 20.40	Target 20.00	LSL 19.60	Scpm	0.180		Cpm	0.74

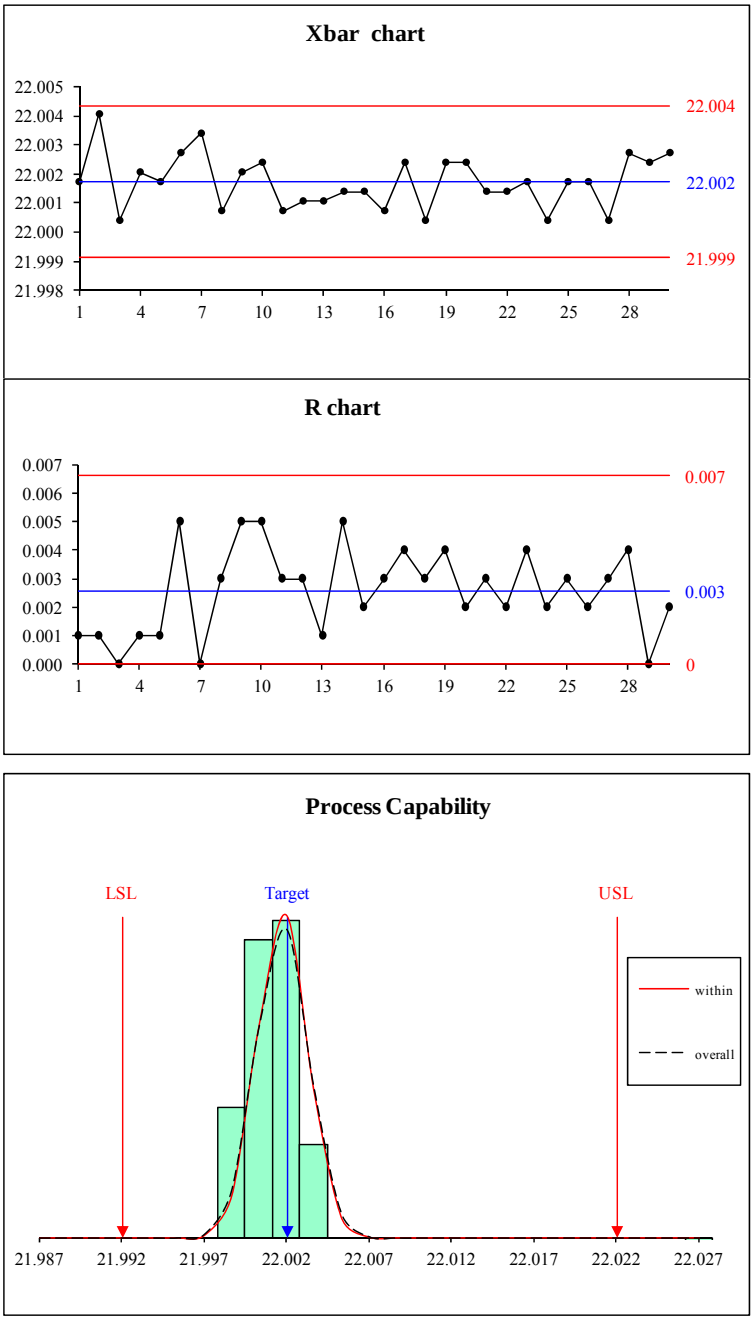
Part No.	Subgroup		
	1	2	3
1	20.165	20.215	20.165
2	20.175	20.145	20.165
3	20.145	20.205	20.215
4	20.215	20.115	20.165
5	20.145	20.155	20.185
6	20.205	20.175	20.145
7	20.115	20.105	20.175
8	20.155	20.195	20.145
9	20.105	20.225	20.215
10	20.195	20.155	20.145
11	20.195	20.165	20.205
12	20.225	20.165	20.115
13	20.155	20.215	20.155
14	20.215	20.145	20.225
15	20.225	20.205	20.205
16	20.165	20.115	20.145
17	20.165	20.155	20.205
18	20.215	20.175	20.115
19	20.165	20.155	20.155
20	20.185	20.175	20.175
21	20.145	20.225	20.105
22	20.205	20.155	20.195
23	20.115	20.215	20.195
24	20.155	20.225	20.225
25	20.175	20.155	20.155
26	20.225	20.175	20.215
27	20.155	20.105	20.225
28	20.215	20.195	20.165
29	20.225	20.225	20.165
30	20.205	20.145	20.225



ภาพภาคผนวก ค-7 กระบวนการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของซีลน้ำมัน

Part name:	Rod guide					Process Data		Process Capability		Process Potential	
Item key:	Inside diameter (22 -0.008/+0.022 mm)					Sample Mean	22.002	Cp	3.30	Pp	3.15
Process:	Part inspection					Sample No.	90	CPL	2.14	PPL	2.05
Date:	15/09/2015					StDev (within)	0.001516	CPU	4.46	PPU	4.26
Engineering Specification (mm)						StDev (overall)	0.001586	Cpk	2.14	Ppk	2.05
USL	22.022	Target	22	LSL	21.992	Scpm	0.002			Cpm	2.12

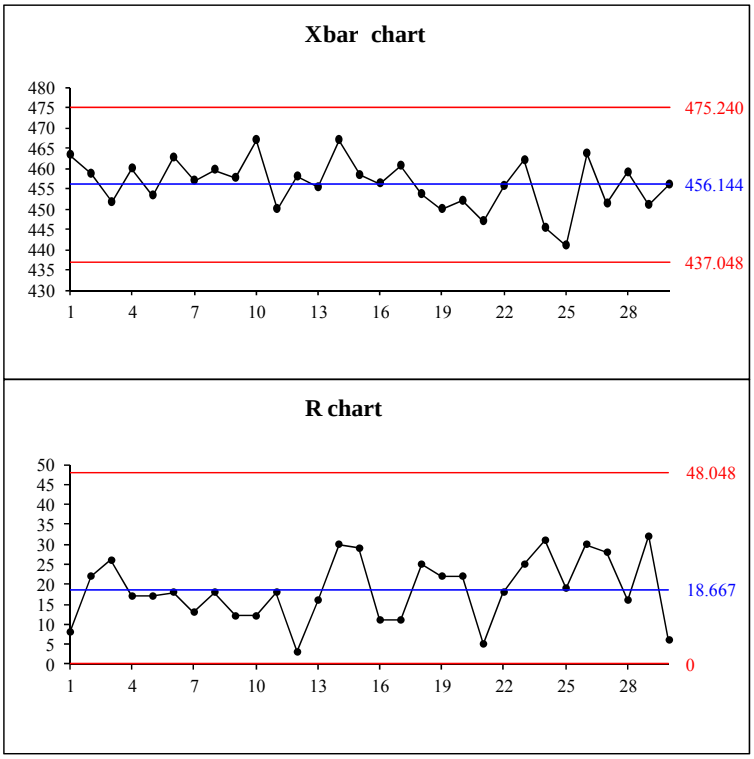
Part No.	Subgroup		
	1	2	3
1	22.001	22.002	22.001
2	22.004	22.003	22.004
3	22.000	22.000	22.000
4	22.002	22.001	22.002
5	22.001	22.002	22.001
6	22.004	21.999	22.004
7	22.003	22.003	22.003
8	22.000	22.002	21.999
9	22.002	21.999	22.004
10	22.003	22.004	21.999
11	22.000	21.999	22.002
12	21.999	22.002	22.001
13	22.001	22.001	22.000
14	22.000	22.004	21.999
15	22.002	22.000	22.001
16	21.999	22.002	22.000
17	22.004	22.000	22.002
18	21.999	22.002	21.999
19	22.002	22.000	22.004
20	22.001	22.002	22.003
21	22.000	22.003	22.000
22	22.002	22.000	22.001
23	22.003	21.999	22.002
24	22.000	22.001	21.999
25	22.001	22.000	22.003
26	22.002	22.002	22.000
27	21.999	21.999	22.002
28	22.003	22.004	22.000
29	22.002	22.002	22.002
30	22.001	22.003	22.003



ภาพภาคผนวก ค-8 กระบวนการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางในของตัวนำแกนลูกสูบ

Part name:	Prototype of shock absorber	Process Data		Process Capability		Process Potential	
Item key:	Extension at 0.3 m/s (457 ± 67 N)	Sample Mean	456.144	Cp	2.03	Pp	2.11
Process:	Damping force testing	Sample No.	90	CPL	2.00	PPL	2.08
Date:	25/06/2015	StDev (within)	11.026	CPU	2.05	PPU	2.13
Engineering Specification (mm)		StDev (overall)	10.595	Cpk	2.00	Ppk	2.08
USL 524	Target 457 LSL 390	Scpm	10.630			Cpm	2.10

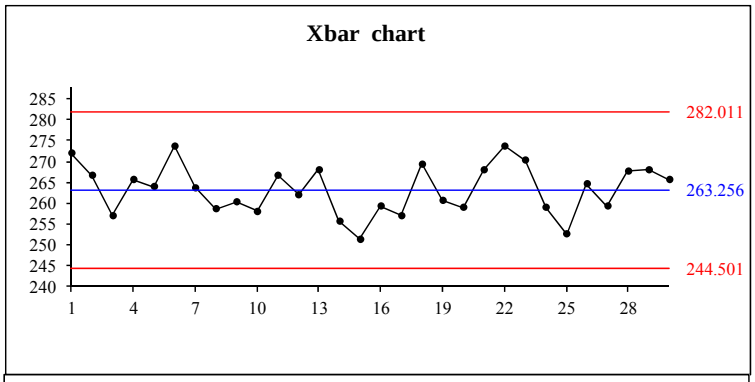
Part No.	Subgroup		
	1	2	3
1	467	464	459
2	472	454	450
3	453	464	438
4	470	457	453
5	463	446	451
6	471	453	464
7	449	460	462
8	463	467	449
9	453	465	455
10	461	467	473
11	457	454	439
12	457	460	457
13	458	462	446
14	479	449	473
15	476	447	452
16	461	458	450
17	457	468	457
18	456	440	465
19	459	437	454
20	442	450	464
21	448	449	444
22	465	455	447
23	447	467	472
24	464	439	433
25	442	450	431
26	469	446	476
27	456	463	435
28	468	452	457
29	451	435	467
30	454	454	460

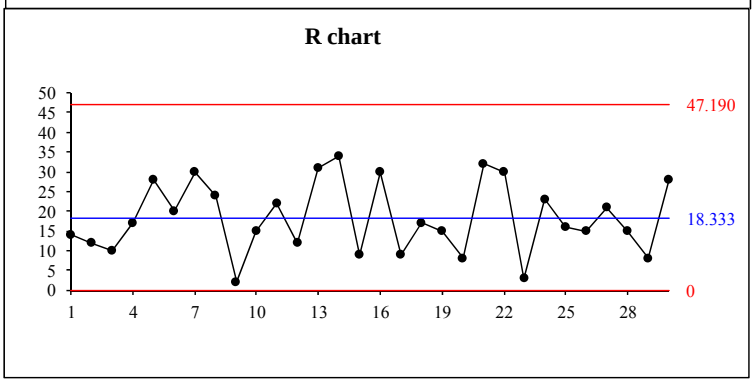


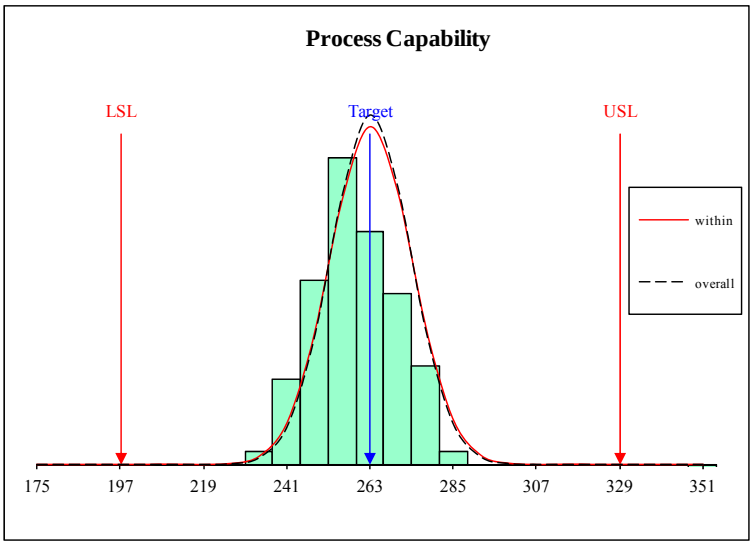
ภาพภาคผนวก ค-9 กระบวนการทดสอบแรงดันต้านขณะคืนตัว

Part name:	Prototype of shock absorber					Process Data		Process Capability		Process Potential	
Item key:	Compression at 0.3 m/s (263 ± 66 N)					Sample Mean	263.256	Cp	2.03	Pp	2.10
Process:	Damping force testing					Sample No.	90	CPL	2.04	PPL	2.11
Date:	25/06/2015					StDev (within)	10.829	CPU	2.02	PPU	2.09
Engineering Specification (mm)						StDev (overall)	10.480	Cpk	2.02	Ppk	2.09
USL	329	Target	263	LSL	197	Scpm	10.483			Cpm	2.10

Part No.	Subgroup		
	1	2	3
1	274	264	278
2	266	261	273
3	255	263	253
4	266	257	274
5	272	274	246
6	281	279	261
7	276	269	246
8	262	269	245
9	261	261	259
10	267	252	255
11	281	260	259
12	268	256	262
13	283	269	252
14	253	240	274
15	256	247	251
16	246	256	276
17	253	262	256
18	261	278	269
19	265	266	251
20	254	262	261
21	268	252	284
22	288	258	275
23	272	270	269
24	262	246	269
25	252	245	261
26	274	259	261
27	251	255	272
28	270	259	274
29	272	268	264
30	282	254	261



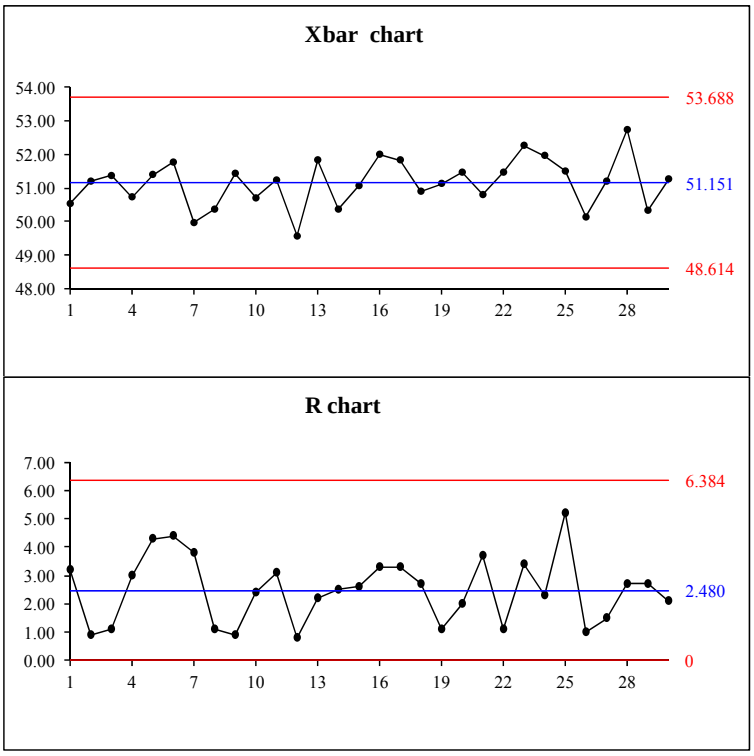




ภาพภาคผนวก ค-10 กระบวนการทดสอบแรงดันด้านขณะบีบอัด

Part name:	Prototype of shock absorber	Process Data		Process Capability		Process Potential	
Item key:	Noise (Max 60 dB)	Sample Mean	51.151	Cp	-	Pp	-
Process:	Swish noise test	Sample No.	90	CPL	-	PPL	-
Date:	05/10/2015	StDev (within)	1.465	CPU	2.01	PPU	2.14
Engineering Specification (mm)		StDev (overall)	1.379	Cpk	2.01	Ppk	2.14
USL 60	Target -	LSL -	Scpm	-		Cpm	-

Part No.	Subgroup		
	1	2	3
1	52.3	50.2	49.1
2	50.9	51.8	50.9
3	51.8	50.7	51.6
4	50.4	52.4	49.4
5	49.9	54.2	50.1
6	51.5	54.1	49.7
7	49.1	48.5	52.3
8	50.9	49.8	50.4
9	51.6	50.9	51.8
10	49.4	51.8	50.9
11	50.1	50.4	53.2
12	49.7	49.9	49.1
13	53.1	51.5	50.9
14	50.4	49.1	51.6
15	51.8	52.0	49.4
16	50.9	54.2	50.9
17	50.2	53.5	51.8
18	51.8	49.1	51.8
19	50.7	50.9	51.8
20	52.4	51.6	50.4
21	53.1	49.4	49.9
22	52.0	50.9	51.5
23	54.2	51.8	50.8
24	50.9	51.8	53.2
25	48.5	52.3	53.7
26	50.5	50.4	49.5
27	50.5	51.1	52.0
28	52.5	51.5	54.2
29	50.1	49.1	51.8
30	52.5	50.9	50.4



ภาพภาคผนวก ค-11 กระบวนการทดสอบเสียงรบกวน

ภาคผนวก ง

แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในการออกแบบ

รายการชิ้นส่วน/ฟังก์ชั่นการใช้งาน / ข้อกำหนด	แนวโน้มลักษณะของข้อบกพร่อง	แนวโน้มผลกระทบของข้อบกพร่อง	ความรุนแรง (S)	แนวโน้มสาเหตุของข้อบกพร่อง	การออกแบบในปัจจุบัน				RPN	ข้อเสนอแนะ (เครื่องมือวัด)	ผู้รับผิดชอบกำหนดการณ์	ผลการดำเนินการ				
					การควบคุมเชิงป้องกัน	โอกาสเกิด (O)	การควบคุมเชิงตรวจจับ	การตรวจจับ (D)				ข้อปฏิบัติที่ทำแล้ว วันที่เสร็จ	ความรุนแรง (S)	โอกาสเกิด (O)	การตรวจจับ (D)	RPN
กระบอกสูบ (Cylinder)	เกิดเสียงในห้องโดยสาย และการขับขี่ไม่นุ่มนวล	แรงดันด้านไม่คงที่	8	เส้นผ่านศูนย์กลางในไม่ตรงข้อกำหนด	ตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางใน	5	ควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) นำตัวอย่างชิ้นงานจาก 3 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 30 ชิ้น ดัชนี Cpk, Ppk มากกว่า 2 หรือที่ระดับ 6σ	3	120	Bore Gauge	แผนกตรวจสอบ (Inspection) ร่วมกับ แผนออกแบบระดับมาตรฐาน (OEM Design) และ แผนกออกแบบหลังการขาย (REM Design) 10/10/2558	ตรงข้อกำหนด 18/08/2015	2	1	3	6
				ความหยาบผิวไม่ตรงข้อกำหนด	วัดค่าความหยาบผิวด้านใน					Roughness Surface		ตรงข้อกำหนด 24/08/2015				
แกนลูกสูบ (Piston rod)	น้ำมันและแก๊สรั่ว	แกนลูกสูบไม่เรียบ	8	ความหยาบผิวไม่ตรงข้อกำหนด	วัดค่าความหยาบผิวด้านนอก	5		3	120	Roughness Surface		ตรงข้อกำหนด 24/08/2558	2	1	3	6
กระบอกนอก (Outer shell)	น้ำมันและแก๊สรั่ว	รอยพับปิดที่ด้านบนไม่สนิท	6	รอยเชื่อมบาง หรือหนาเกินข้อกำหนด	วัดค่าความสูงรอยเชื่อมด้านใน	5		3	90	Contracer		ตรงข้อกำหนด 01/09/2015	2	1	3	6
ฝาปิด (Bump stopper)	หลุดไม่ยึดกับกระบอกนอก	ฝุ่น โคลน หิน โดนชิ้นส่วนอื่น ๆ	5	แรงจับยึดกระบอกโช้คอัพไม่เพียงพอ	วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน	5		3	75	CMM		ร้องขอปรับปรุง 11/09/2015	4	5	3	60
ยางรองลูกสูบ (Rebound cushion)	ระยะชักโช้คอัพสั้นหรือยาวเกินไป	ยางรองลูกสูบแตกหรือเสียรูป	7	มีแรงกระทำในช่วงของการคืนตัว	วัดค่าความสูงรวม	5		3	105	Heighth Gauge		ตรงข้อกำหนด 11/09/2015	2	1	3	6
ซีลน้ำมัน (Ois seal)	น้ำมันและแก๊สรั่ว	เป็นรอยหรือฉีกขาด	7	มีช่องให้น้ำมันและแก๊สไหลออก	วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน	5		3	105	Measuring Microscope		ตรงข้อกำหนด 16/09/2015	2	1	3	6
นำแกนลูกสูบ (Rod guide)	แกนลูกสูบเป็นรอย	น้ำมันและแก๊สรั่ว	6	ไม่พอดีกับแกนลูกสูบ (Pison rod)	วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน	5		3	90	Air Gauge		ตรงข้อกำหนด 15/09/2015	2	1	3	6

ภาพภาคผนวก ง-1 ผลการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบสำหรับการตรวจสอบชิ้นส่วน

รายการชิ้นส่วน/ฟังก์ชั่นการใช้งาน / ข้อกำหนด	แนวโน้ม ลักษณะของ ข้อบกพร่อง	แนวโน้ม ผลกระทบของ ข้อบกพร่อง	ความรุนแรง (S)	แนวโน้ม สาเหตุของ ข้อบกพร่อง	การออกแบบในปัจจุบัน: การควบคุม เชิงป้องกัน	โอกาสเกิด (O)	การควบคุม เชิงตรวจจับ	การตรวจจับ (D)	RPN	ข้อเสนอแนะ (เครื่องมือวัด)	ผู้รับผิดชอบ กำหนดการณ์	ผลการดำเนินการ: ข้อปฏิบัติ ที่ทำแล้ว วันที่เสร็จ	ความรุนแรง (S)	โอกาสเกิด (O)	การตรวจจับ (D)	RPN
ค่าแรงดันด้าน (Damping force)	สมรรถนะการขับขี่ลดลง เกิดการโคลง	มีอาการโคลงตัว การกระตอน การหมุนตัว ไม่นิ่มนวล ไม่มีเสถียรภาพ	8	การประกอบไม่ได้มาตรฐานที่กำหนด	ทดสอบค่าของแรงดันด้าน	8	ควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางสถิติ (SPC) ต้นแบบผลิตภัณฑ์จาก 3 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 30 ชิ้น ดัชนี Cpk, Ppk มากกว่า 2 หรือที่ระดับ 6σ	3	192	Damping force Tester	แผนกออกแบบ (OEM Design)	ตรงข้อกำหนด 25/09/2015	2	1	3	6
			1	สัดส่วนของน้ำมันไม่ตรงตามข้อกำหนด	วัดปริมาณน้ำมันหลังทดสอบ	1		1	1	ไม่ดำเนินการ						
			1	น้ำมันปนเปื้อน กับสนิม หรือเศษโลหะ	ดูความปนเปื่อนหลังทดสอบ	1		1	1							
เสียงรบกวน (Noise)	ได้ยินเสียงในห้องโดยสาย	ไม่มีสุนทรียภาพในการขับขี่	7	การประกอบไม่ได้มาตรฐานที่กำหนด	ทดสอบเสียงรบกวน	5		3	105	Swish noise tester	แผนกทดสอบ (Experiment) แผนออกแบบระดับมาตรฐาน (OEM Design) และ แผนกออกแบบหลังการขาย (REM Design) 10/10/2558	ตรงข้อกำหนด 05/10/2015	2	1	3	6
ฐานรองสปริง (Spring guind)	น้ำมันรั่ว	เสียหายเนื่องจากใช้งานในสภาวะการใช้งานปกติ	7	ความเสียหายของบางชิ้นส่วน	ทดสอบการใช้งานจริง	5		3	105	Adaptable durability tester and Apperance check			2	1	3	6
	การแตก มีรอยร้าว		8	การประกอบไม่ได้มาตรฐานที่กำหนด		5		3	120							
	การเสียรูป		9	ความแข็งแรงของวัสดุ		5		3	135							

ภาพภาคผนวก ง-2 ผลการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบสำหรับการทดสอบต้นแบบโช้คอัพยานยนต์