สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

STUDY AND DEVELOPMENT FATIGUE TEST MACHNE OF SPRING

ธรรมศาสตร์ คำราชา

THAMMASAT KHAMRACHA

วพ.
ส361ก
2555
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....128749
วัน. เดือน. ปี.....13 มิ.ย. 2556

ห้า id
b.....12550129.....
i.....

สาระนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2555

STUDY AND DEVELOPMENT FATIGUE TEST MACHINE OF SPRING

THAMMASAT KHAMRACHA

A THEMATIC PAPER SUBMITTED IN PARTIAL FUFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DESIGN OF

MASTER OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION PROGRAM

IN INDUSTRIAL DESIGN TECHNOLOGY

FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2012

COPYRIGHT 2012
FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อสาระนิพนธ์	การศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง
นักศึกษา	นายธรรมศาสตร์ คำราชา
รหัสประจำ	53630805
ปริญญา	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
พ.ศ.	2555
อาจารย์ที่ปรึกษาสาระนิพนธ์	รองศาสตราจารย์ อุดมศักดิ์ สาริบุตร

บทคัดย่อ

การศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ผู้วิจัยได้กำหนดวัตถุประสงค์ในการวิจัยไว้ 3 ประการ คือ

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่มีความพึงพอในด้านคุณภาพของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือมาตรฐานที่ผู้ประกอบรถยนต์กำหนด

3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของ ผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ที่สามารถใช้ได้กับสปริงหลายรูปแบบ

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ พนักงานบริษัท เอ็น เอช เค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด โรงงานสปริงเล็ก (Precision Spring Factory) ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสปริงและรับผิดชอบในด้านการผลิตสปริงและรับประกันคุณภาพของชิ้นงาน (Quality Assurance) ตัวแทนของประชากร จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้

การทดสอบความทนทานของสปริง ใช้เครื่องมือที่ประกอบไปด้วยแบบร่างของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงและแบบสอบถามระดับความคิดเห็นด้านประโยชน์ใช้สอย,ด้านความปลอดภัย ,ด้านความสะดวกสบายและด้านซ่อมบำรุง ที่ประเมินโดย ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบเครื่องจักร ด้านคุณภาพ และขบวนการผลิต รวมทั้งหมด 3 ท่าน

การทดสอบความเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม หรือมาตรฐานที่ผู้ประกอบรถยนต์กำหนด เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงต้นแบบ ขนาดเท่าจริง นำไปทดสอบด้านความเสถียรประสิทธิภาพของเครื่องโดยการเปรียบเทียบผลให้ได้ ตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมยานยนต์หรือข้อกำหนดผู้ประกอบรถยนต์ การหาความพึงพอใจของผู้ใช้และหัวหน้างาน ที่มีต่อเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ต้นแบบ พร้อมแบบสอบถามนำไปให้กลุ่มตัวอย่างทำการประเมินหาความพึงพอใจด้วยแบบสอบถามการวิเคราะห์ข้อมูลใช้ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าร้อยละจากการวิจัยพบว่าผลการประเมินผู้เชี่ยวชาญ ด้านการออกแบบ , ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบเครื่องจักร, ด้านคุณภาพ และขบวนการผลิตจำนวน 3 ท่าน ในด้านประโยชน์ใช้สอย

,ด้านความปลอดภัย ,ด้านความสะดวกสบายและด้านซ่อมบำรุง รูปแบบของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงมีค่าเฉลี่ยรวม เท่ากับ ($\overline{X}$ = 4.09) ซึ่งหมายความว่า ผลการประเมิน เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงโดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ประเมินให้ทุกด้านโดยรวมอยู่ในระดับเหมาะสมมาก

ผลการทดสอบด้านประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง มีมิติและขนาด 280W x 360 L x 635 H (มม.) โดยวัดผลจากการใช้ข้อมูลมาเปรียบเทียบกับผลของเครื่องทดสอบความทนทานสปริงขนาดใหญ่ที่นำเข้ามาจากประเทศญี่ปุ่นผลจากการเปรียบเทียบมีประสิทธิภาพได้ผ่านการทดสอบด้านประสิทธิภาพตามเกณฑ์หรือข้อกำหนดผู้ประกอบรถยนต์ ทั้งสปริงกดและสปริงดึง

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้และหัวหน้างาน จำนวน 30 คน ในด้านพัฒนารูปแบบเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ซึ่งกำหนดโดยตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมยานยนต์หรือข้อกำหนดผู้ประกอบรถยนต์, ด้านประโยชน์ใช้สอย, ด้านความปลอดภัย ,ด้านความสะดวกสบายและด้านซ่อมบำรุง มีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.15) ซึ่งหมายความว่า ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้และหัวหน้างาน ที่มีต่อเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงทั้งสปริงกดและสปริงดึงโดยรวมทุกด้าน อยู่ในระดับ พึงพอใจมาก

สรุปผล คือ ได้ทำการศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงในรูปแบบต่างๆ ร่วมกัน พบว่าการออกแบบผลิตภัณฑ์เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่พัฒนามีลักษณะการใช้งานที่สอดคล้องเหมาะสมกับสปริงขนาดเล็กที่มีขนาดความโตของลวดไม่เกิน 2 มิลลิเมตรและยาวไม่เกิน 100 มิลลิเมตรและสอดคล้องตามกรอบแนวคิดของการวิจัย รวมทั้งความสะดวกสบายในการเปลี่ยนชิ้นงานในการทดสอบ ไม่มีความซับซ้อน มีความปลอดภัยในการใช้ และวัสดุหรืออุปกรณ์ที่เลือกใช้มีราคาถูกสามารถหาซื้อได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ อุปกรณ์หายาก มีราคาแพง และใช้เวลาการสั่งซื้อที่นานเกินควร ทำให้เครื่องจักรหยุดรออุปกรณ์และเกิดความเสียหายต่อการผลิตได้

Thematic Paper Title	A Study and Development Fatigue Test Machine of Spring
Student	Mr. Thammasat Khamracha
Student ID.	53630805
Degree	Master of Science in Industrial Education
Program	Industrial Design Technology
Year	2012
Thematic Paper Advisor	Associate Professor Udomsak Saributr

ABSTRACT

The objective to develop the Fatigue Test Machine of Spring, researcher has set up 3 purposes following.

1) To study and develop the quality satisfying Spring's Fatigue Testing Machine.

2) To test efficiency of the Spring's Fatigue Testing Machine by Industrial product standard or by regulation of Automobile Manufacturer.

3) To evaluate the satisfaction of the Spring's Fatigue Testing Machine's user which can use for many type of Spring

Sample people of this research is operator of Precision Spring Factory of NHK SPRING (THAILAND) CO.,LTD. 30 persons who work and response of Spring production or Spring testing and quality assurance.

The test of spring , use the tool that the machine component with fatigue spring and the questionnaire that have a level in useful , safety, comfortable and maintenance. To evaluate by professional in design machine (Quality and Production) total 3 people

To test the fatigue spring machine as follow the standard industrial or the standard automotive. To find the satisfaction of user and leader worker that in use the fatigue spring

The tool use in research is Fatigue spring machine prototype include questionair sheet. Which it use to example group for evaluate data , $\overline{X}$,S.D, Present. The result from research by specialist (in design , quality and production). In useful machine, safety, comfortable and maintenance, The summary result from Fatigue spring machine equal ($\overline{X}$ = 4.09) , thus is the best level.

Dimension of this spring's fatigue test machine is 280W x 360 L x 635 H (mm.) After we compare its test result data with the large dimension of spring's Fatigue test

machine which imported from Japan,we knew that its efficiency both of compression spring and tension spring are passed the standard and regulation of Automobile Manufacturer.

30 persons of operators and supervisors useful function, safety, comfortable and maintenance function average point are equal ($\overline{X} = 4.15$) It's shown that satisfaction of operators and supervisors for this spring Fatigue test machine both of compression spring and tension spring is good satisfaction level.

Finally the Result

To study and develop Spring's Fatigue Testing Machine for common shape for design the spring product which diameter wire less than 2 mm. and free height less than100 mm include it consistent with the research concept, Comfortable in test , easy to set up ,safety to test and inexpensive as to compare with import machine test which expensive ,long time to order make to line production short line.

กิตติกรรมประกาศ

สาระนิพนธ์การศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ผู้วิจัยจึงขอประกาศเกียรติคุณต่อบุคคล และสถาบันตามลำดับดังนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ อุดมศักดิ์ สาริบุตร อาจารย์ที่ปรึกษาสาระนิพนธ์ รองศาสตราจารย์ว่าที่ร้อยโท พิชัย สดพิบาล และดร.ทรงวุฒิ เอกวุฒิวงศา กรรมการสอบสาระนิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้สาระนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญทุกท่าน ที่สละเวลาในการประเมินงานวิจัย และให้คำแนะนำ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างสูงต่องานวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ เอ็นเอชเค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด โรงงานสปริงเล็ก (Precision Spring Factory) ที่ให้ความอนุเคราะห์และสนับสนุนในการจัดทำเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมยานยนต์

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัวและญาติสนิท รวมทั้งมิตรสหาย ที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือเกื้อกูลกันตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากสาระนิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้เป็นแนวทางเพื่อการศึกษาและประยุกต์ใช้ในการวิจัยครั้งต่อไป ให้มีคุณภาพและพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นไป

ธรรมศาสตร์ คำราชา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ V

สารบัญ VI

สารบัญตาราง VIII

สารบัญภาพ X

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย 2

1.4 วิธีดำเนินโครงการ 3

1.5 ขอบเขตการศึกษาข้อมูล 3

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 ศึกษาหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ 6

2.2 ศึกษาความรู้เรื่องสปริง 7

2.3 ศึกษาการออกแบบสำหรับการแตกหักเนื่องจากการล้า 14

2.4 ศึกษาต้นกำเนิดแรงและการส่งแรง 18

2.5 ศึกษาการควบคุมคุณภาพ 24

2.6 การซ่อมบำรุงระบบการผลิต 30

2.7 ขบวนการผลิตสปริงในอุสาหกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 39

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 60

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 60

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 61

3.3 วิธีการสร้างเครื่องมือ 61

3.4 การตรวจสอบและทดสอบเครื่องมือ 63

3.5 ขั้นตอนการพัฒนาทดสอบความคงทนสปริง 63

3.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล 63

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล 64
3.8 สถิติที่ใช้ในการวิจัย 65

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 67
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ขั้นตอนการศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบ 71
4.2 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพความเที่ยงตรงของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงกด และ แบบ สปริงดึง ตามมาตรฐานหรือลูกค้า กำหนด 71
4.3 ผลการวิเคราะห์ด้านความพึงพอใจของผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ของสปริงกด และ แบบ สปริงดึง 72
4.4 วิธีทดสอบพัฒนาเครื่องทดสอบความคงทนของสปริง 78

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 83
5.1 ผลของการวิจัยตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยที่คาดหวังไว้ 83
5.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 83
5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 84
5.4 การวิเคราะห์ข้อมูล 84
5.5 สรุปผลการวิจัย 84
5.6 อภิปรายผลการวิจัย 85
5.7 ข้อเสนอแนะ 86

บรรณานุกรม 88

ภาคผนวก 89
ภาคผนวก ก เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 90
ภาคผนวก ข หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการทำวิจัย 107
ภาคผนวก ค การประเมินรูปแบบโดยผู้เชี่ยวชาญ 115
ภาคผนวก ง แบบสำหรับการผลิต 122
ภาคผนวก จ ขั้นตอนการปฏิบัติในการใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง 125

ประวัติผู้เขียน 129

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปสปริงกด	10
2.2 รูปปลายสปริงขดรับแรงกด	11
2.3 รูปการยุบตัวของสปริงขด	11
2.4 สปริงขดแบบดึงและขอชนิดต่างๆ	13
2.5 รูปสปริงขดแบบดึงซึ่งมีแนวขอกลมในแนวศูนย์กลางขด	14
2.6 รูปความเค้นบริเวณรูเจาะ	15
2.7 รูปเครื่องมือทดสอบความล้า	15
2.8 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับจำนวนวัฏจักร	16
2.9 รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงความเค้นแบบไซนุซอยตัล	18
2.10 รูปเป็นการเคลื่อนที่กลไกแบบต่อเนื่อง	19
2.11 รูประบบการทำงานของลูกเบี้ยว	20
2.12 รูปแสดงการเคลื่อนที่การทำงาน กลับ –ไป – กลับ ของลูกเบี้ยว	20
2.13 รูประบบลูกเบี้ยวประกอบระบบเป็นแผ่น	20
2.14 รูปมอเตอร์ไฟฟ้า	21
2.15 รูปขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก	23
2.16 รูปตัวหมุนมอเตอร์	24
2.17 รูปการแบ่งประเภทของวัสดุ	40
2.18 รูปวัสดุรับแรงดึง	42
2.19 รูปวัสดุรับแรงกด	43
2.20 รูปวัสดุรับแรงเฉือน	43
2.21 รูปการกดขึ้นรูป	45
2.22 รูปการรีดขึ้นรูปวัสดุ	45
2.23 รูปร่างและลักษณะของสปริง	47
2.24 รูประบบวัตถุดิบที่ผลิตสปริง	47
2.25 รูปลักษณะและชื่อเฉพาะทางของสปริง	48
2.26 รูปวิธีคิดมาตรฐานการเบี่ยงเบน	49
2.27 รูปค่าคงที่ของสปริง	49
2.28 รูปเครื่องมือที่ใช้วัดขนาดวัตถุดิบ	50
2.29 รูปลักษณะการขึ้นรูปสปริง	50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.30 รูปเครื่องจักรที่ใช้อบสปริง....51
2.31 รูปเครื่องจักรและการเจียรนัยสปริง....51
2.32 รูปการยิงเม็ดเหล็ก (Shot Peening)....51
2.33 รูปเครื่องจักรที่ใช้อบสปริง....51
2.34 รูปการเพิ่มแรงกดสปริง....52
2.35 รูปเครื่องมือในการตรวจสอบภาระสปริง (Load Tester)....52
2.36 รูปการจัดการผิวของสปริง....52
2.37 รูปวิธีการเลือกวัสดุของเครื่องจักรกลอย่างง่าย....58
4.1 รูปสปริงดึงและสปริงกด ที่ได้จากการผลิต....78
4.2 รูปแสดงการวัดค่าความสูงของสปริงก่อนทดสอบ....78
4.3 รูปแสดงการวัดค่ารับภาระน้ำหนักถ่วง (Load) ก่อนทดสอบ....79
4.4 รูปเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ที่พัฒนาขึ้น....79
4.5 รูปแสดงการวัดค่าความสูงของสปริงหลังทดสอบ....80
4.6 รูปแสดงวัดค่ารับภาระน้ำหนักถ่วง (Load) หลังทดสอบ....80
4.7 รูปของสปริงดึงที่ทำหน้าที่ในการห้ามล้อ....80
4.8 รูปแสดงการควบคุมระบบไฟฟ้า (Switch control)....81
4 .9 รูปการควบคุมระบบไฟฟ้าการนับจำนวนการหมุน (Counter)....80
4.10 รูปการควบคุมระบบไฟฟ้าระบบความปลอดภัย (Safety limit switch control)....81
4.11 รูปเครื่องทดสอบความคงทนของสปริง....81
ค.1 ผู้วิจัย อธิบายเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่พัฒนา กับกลุ่มตัวอย่าง....116
ค.2 ผู้วิจัย กลุ่มตัวอย่างผู้ใช้หรือหัวหน้างาน....116
ค.3 ผู้วิจัย อธิบายเครื่องมือแบบสอบถาม ตามหัวข้อการประเมินที่พัฒนาขึ้น....117
ค.4 กลุ่มตัวอย่างหัวหน้างานและวิศวกรที่เกี่ยวข้อง....117
ค.5 กลุ่มตัวอย่างระดับผู้จัดการ....118
ค.6 กลุ่มตัวอย่างกำลังตอบแบบสอบถามหลังจากทดลองใช้เครื่องของจริง....118
ค.7 ปรึกษาผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม ผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ....119
ค.8 ปรึกษาผู้จัดการฝ่ายคุณภาพ ผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ....119
ค.9 ปรึกษาผู้จัดการฝ่ายด้านระบบการผลิตและข้อกำหนดผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ....120
ค.10 ปรึกษาผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม ผู้เชี่ยวชาญประเมินเครื่องพัฒนาขึ้น....120
ค.11 ปรึกษาผู้จัดการฝ่ายคุณภาพ ผู้เชี่ยวชาญประเมินเครื่องพัฒนาขึ้น....121
ค.12 ปรึกษาผู้จัดการด้านระบบการผลิตและข้อกำหนดผู้เชี่ยวชาญประเมินเครื่องพัฒนาขึ้น....121

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1แสดงตารางวัสดุประเภทโลหะ....41

2.2 แสดงตารางวัสดุประเภทอโลหะ....42

2.3 แสดงตารางความแข็งตมมาตรฐานโม่ห์สเกล....44

2.4 แสดงตารางชื่อและคุณสมบัติของวัตุถุดิบที่ใช้ทำสปริง....53

2.5 แสดงตารางระยะเผื่อของขนาดวัตุดิบ....54

2.6 ขนาดของรอยแผลที่วัตถุดิบ....54

2.7 แสดงตารางค่าความแข็งด้านแรงดึงของวัตถุดิบ....54

2.8 แสดงตารางสัญลักษณ์ที่ใช้ในการออกแบบสปริง....55

2.9 แสดงตารางค่า Modulus....56

2.10 แสดงตารางคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเหล็ก....59

4.1 แสดงตารางสรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยความคิดเห็นของ ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของ สปริงกด และ แบบ สปริงดึง ในด้าน ประโยชน์สอย....67

4.2 แสดงตารางสรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยความคิดเห็นของ ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ของสปริงกด และ แบบ สปริงดึงในด้านความความปลอดภัย....68

4.3 แสดงตารางสรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ของสปริงกด และ แบบ สปริงดึงในด้านความสะดวกสบาย....69

4.4 แสดงตารางสรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน (N=3)ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงของสปริงกด และ แบบ สปริงดึง ในด้านการซ่อมบำรุง....70

4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพความเที่ยงตรงของเครื่องทดสอบความทนทานของ สปริง....72

4.6 แสดงตารางข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างที่ประเมินความพึงพอใจ....73

4.7 แสดงตารางสรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยความคิดเห็นของผู้ใช้งาน และหัวหน้างาน 30 ท่าน ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของ สปริงกด และ แบบ สปริงดึง ในด้านประโยชน์ใช้สอย....74

4.8 แสดงตารางสรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยความคิดเห็นของผู้ใช้ งานและหัวหน้างาน 30 ท่านที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทาน ของสปริง ของสปริง....74

กด และ แบบ สปริงดึงในด้านความความปลอดภัย....75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.9 แสดงสรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยความคิดเห็นของผู้ใช้งาน และหัวหน้างาน 30 ท่าน ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทาน ของสปริง ของสปริงกด และ แบบ สปริง ดึงในด้านความสะดวกสบาย.....76

4.10 แสดงตารางสรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยความคิดเห็นของ ผู้ใช้งานและ หัวหน้างาน 30 ท่าน (N=30) ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่อง ทดสอบความทนทานของ สปริง ของ สปริงกด และ แบบ สปริงดึง ในด้าน การซ่อมบำรุง.....77

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาการในโลกปัจจุบัน ประกอบกับการค้นคว้าวิจัยและการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทำให้มีผลิตภัณฑ์อันหลากหลาย รวมทั้งอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆมากมาย ถูกคิดค้นและประดิษฐ์ขึ้นเพื่อประโยชน์ใช้สอยในด้านต่างๆ ตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่ไม่มีที่สิ้นสุด โดยโรงงานผู้ผลิตจะใช้เครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพ และกรรมวิธีการผลิตอันทันสมัย ผลิตสินค้าที่ได้มาตรฐานออกจำหน่าย เพื่อสร้างความมั่นใจในตัวสินค้าให้กับผู้บริโภค

ในโรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นระบบการผลิตแบบจำนวนมากๆ หรือโรงงานที่ผลิตสินค้าที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ต้องอาศัยเครื่องจักรมาทดแทนแรงงานคนเพื่อความคล่องตัว โดยเฉพาะอุตสาหกรรมยานยนต์ที่ใช้เครื่องจักรทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่จำนวนมากในแต่ละขั้นตอนการผลิต รวมถึงใช้ในขั้นตอนของการตรวจสอบคุณภาพด้วย

ในการผลิตรถยนต์แต่ละรุ่นนั้น ทั้งบริษัทผู้ประกอบรถยนต์ รวมถึงบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนจำเป็นต้องทำการตรวจสอบ และทดสอบชิ้นส่วนทุกชิ้น เพื่อให้มีคุณภาพ และความทนทานตามมาตรฐานยานยนต์ที่กำหนด เพื่อความปลอดภัยในชีวิตของผู้ขับขี่ และผู้อื่น

สปริงที่ใช้ในรถยนต์ ถือเป็นชิ้นส่วนที่มีความสำคัญด้านความปลอดภัย หรือเซฟตี้พาร์ท (Safety parts) ที่จำเป็นต้องทำการทดสอบให้ได้ตามมาตรฐานตามที่กำหนด ซึ่งในการทดสอบสปริงแต่ละครั้งนั้น จะเสียเวลาในการตั้งเครื่องทดสอบและใช้เวลาในการทดสอบนาน อาทิ สปริงวาล์ว (Spring valve) ที่จะต้องทดสอบความทนทานโดยทำการกดสปริงมากกว่า 10 ล้านครั้งอย่างต่อเนื่อง และทำการตรวจสอบอย่างละเอียดทุกๆ 50,000 ครั้ง (ตามมาตรฐานที่บริษัทประกอบรถยนต์กำหนด) หลังจากนั้น จะทำการตรวจสอบชิ้นงานว่ามีการหักหรือมีจุดบกพร่องอย่างไรหรือไม่ เพื่อทำการปรับแก้ไขให้ได้ตามมาตรฐาน ก่อนส่งมอบให้กับบริษัทผู้ประกอบรถยนต์เพื่อนำไปประกอบเข้ากับตัวรถต่อไป

ในการทดสอบความทนทานของสปริง ไม่สามารถทดสอบได้ทุกชิ้น เนื่องจาก สปริงที่ทำการผลิตมีจำนวนมากโดยเฉพาะสปริง ที่ผู้วิจัยสนใจและศึกษา ซึ่งมีสปริงกด และสปริงดึง และในการผลิตแต่ละครั้ง (LOT) อาจมีการผลิตสูงถึง 30,000 ชิ้นต่อการผลิตหนึ่งครั้ง และที่บริษัทผู้ทำวิจัย มีชิ้นส่วนสปริงกดและดึงมากกว่า 500 ชิ้นส่วน และเครื่องที่ใช้ในการทดสอบสำหรับสปริงกดและดึงยังไม่มี ซึ่งสปริงกดและดึงขนาดเล็กนี้ก็มีความสำคัญไม่ต่างกับสปริงขนาดใหญ่ โดยเฉพาะสปริงชิ้นส่วนยานยนต์ หากมีการหักหรือการล้าตัว ประสิทธิภาพการทำงานจะด้อยลงไปหรืออาจสร้างความเสียหายอันใหญ่หลวงให้กับผู้ขับขี่หรือผู้อื่น ตลอดจนสร้างความไม่เชื่อมั่นให้กับผู้บริโภคที่มีต่อผู้ประกอบรถยนต์ หรือผู้ผลิตชิ้นส่วน ดั่งที่เคยได้ยินข่าวกับการเรียกรถคืนจากค่ายรถยนต์ เป็นต้น ในส่วนของโรงงานผู้วิจัย มีแต่สปริงขนาดใหญ่ หรือแหนบสปริง วาล์วสปริง เท่านั้น และมีเพียง

อย่างละเครื่องเท่านั้น และผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของปัญหานี้มาทำการวิจัยและพัฒนา โดยอาศัยหลักการและแนวความคิด เพื่อมาพัฒนาเป็นเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่มีขนาดเล็กโดยสามารถใช้ได้ทั้งสปริงกดและสปริงดึงในเครื่องเดียวกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

1.2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือมาตรฐานที่ผู้ประกอบรถยนต์กำหนด

1.2.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของ ผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ที่สามารถใช้ได้กับสปริงหลายรูปแบบ

1.3. กรอบแนวคิดในการวิจัย

ในการวิจัยและศึกษา ผู้วิจัยได้ใช้กรอบความคิดที่ใช้ในการวิจัยมา 3 กรอบแนวคิด เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

1.3.1 กรอบแนวคิดด้านการออกแบบอุตสาหกรรม (อุดมศักดิ์ สาริบุตร.2549 : 10-16, เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม) ในการพัฒนา มีดังนี้

1.3.1.1 หน้าที่ใช้สอย

1.3.1.2 ความปลอดภัย

1.3.1.3 ความแข็งแรง ทนทาน

1.3.1.4 ความประหยัด

1.3.1.5 วัสดุ

1.3.1.6 โครงสร้าง

1.3.1.7 ความสะดวกสบายในการใช้

1.3.1.8 การซ่อมบำรุงรักษา

1.3.2 กรอบแนวคิดด้านมาตรฐานอุตสาหกรรมเครื่องจักร ในประสิทธิภาพการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือมาตรฐานที่ผู้ประกอบรถยนต์กำหนด มีดังนี้

1.3.2.1 ทดสอบด้านเสถียรภาพของเครื่องจักร

1.3.2.2 ทดสอบด้านความแข็งแรงและมีความเที่ยงตรง

1.3.3 กรอบแนวคิดด้านความพึงพอใจ (วัฒนะ จูฑะวิภาต. 2546 : 149-150, กระทรวงศึกษาธิการ : 2536. : 112-114 และ พลวุฒิ ภาคสุวรรณ. 2546) ในการพัฒนาความพึงพอใจด้านที่สามารถใช้ได้กับสปริงหลายรูปแบบ มีดังนี้

1.3.3.1 พัฒนารูปแบบการถอดและประกอบได้ง่าย

1.3.3.2 ความเหมาะสมกับการใช้งานจริง

1.3.3.2 ความเหมาะสมกับการใช้งานจริง

1.3.3.3 ขนาดเหมาะสมกับกับผู้ใช้

1.4 วิธีดำเนินโครงการ

1.4.1 สำรวจและศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ศึกษามาตรฐานต่างๆในการทำงานของเครื่องจักรและการใช้งานของสปริง

1.4.3 ศึกษาและออกแบบเครื่องจักรให้เหมาะสมกับการใช้งาน

1.4.4 ศึกษาและออกแบบหัวจับสปริงเพื่อที่สามารถถอดเปลี่ยนได้ง่ายและสามารถใช้ได้กับสปริงหลายรูปแบบ

1.4.5 ทำการออกแบบรูปแบบจำลองเพื่อหาจุดบกพร่อง และเก็บข้อมูล

1.4.6 ใช้กระบวนการวิเคราะห์และตัดสินใจในการเลือกวัสดุและอุปกรณ์ที่เหมาะสม

1.4.7 วิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบผล

1.4.8 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.4.9 จัดทำรูปเล่มสาระนิพนธ์

1.5 ขอบเขตการศึกษาข้อมูล

การศึกษาและพัฒนา ทดสอบความทนทานของสปริงได้กำหนดขอบเขตในการวิจัยไว้ดังนี้

1.5.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ได้แก่ พนักงานบริษัท เอ็น เอช เค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด โรงงานสปริงเล็ก (Precision Spring Factory) ตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมเวลโกรว์ อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสปริง

กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ พนักงานบริษัท เอ็น เอช เค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด โรงงานสปริงเล็ก (Precision Spring Factory) ตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมเวลโกลว์ อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสปริงและทำหน้าที่รับผิดชอบในการตรวจสอบและรับประกันคุณภาพของชิ้นงาน (Quality Assurance) ที่เป็นตัวแทนของประชากร ผู้วิจัยเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยทำการสุ่มแบบอย่างง่าย (Sample Random Sampling) ของ Robert V.Krejcie 30 คน

1.5.2 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาความพึงพอใจการใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

1. ตัวแปรต้น ได้แก่ เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง
2. ตัวแปรตาม

2.1 ประสิทธิภาพ เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่มีขนาดลวดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 2 มิลลิเมตร และยาวไม่เกิน 100 มิลลิเมตร ที่มีความแข็งแรง เที่ยงตรงและเหมาะ สมกับการใช้งานตามเกณฑ์มาตรฐานของผู้ผลิตรถยนต์กำหนด

2.2 ความพึงพอใจของพนักงานที่ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง มีการติดตั้งง่ายต่อการใช้ และหัวหน้างาน มีความพึงพอใจในการใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่สามารถใช้ได้หลายรูปแบบในเครื่องเดียว มีความเที่ยงตรงตามความต้องการของลูกค้าและตอบสนองความต้องการของลูกค้าตามเวลาที่กำหนด

1.6คำนิยามศัพท์ที่ใช้ในงานการวิจัย

1.6.1 **ชิ้นงานสปริง** หมายถึง ผลิตภัณฑ์สปริง ที่ผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรม และทำการผลิตจำนวนมาก โดยอาศัยเครื่องจักรในการผลิต

1.6.2 **สปริงกด** หมายถึง วัสดุที่ทำจากโลหะ ที่มีขดหลายขดและสามารถยืดเข้า ออกได้ โดยมีลักษณะการใช้โดยการกด

1.6.3 **สปริงดึง** หมายถึง วัสดุที่ทำจากโลหะ ที่มีขดหลายขด มีขาเกี่ยว สามารถเข้า ออกได้ โดยมีลักษณะการใช้โดยการดึง

1.6.4 **แรงของสปริง(K) หรือความแข็งตึงของสปริง** หมายถึง แรงต้านของสปริงที่ถูกกระทำ ทั้งแรงกดและแรงดึงซึ่งมีหน่วยเป็น N (Newton) หรือ Kgf (Kilogram force) กิโลกรัมแรง

1.6.5 **การทดสอบความคงทน** หมายถึง การทดสอบโดยการกระทำซ้ำๆตามลักษณะของการใช้งานเพื่อตรวจโครงสร้างและรูปร่างของสปริง และความแข็งแรง ไม่หัก ไม่ทรุด ไม่ล้าตัว (มีความยืดหยุ่น ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมหรือผู้ผลิตยานยนต์กำหนด)

1.6.6 **ประสิทธิภาพ** หมายถึง ความสามารถของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องหรือมาตรฐานหรือผู้ผลิตยานยนต์กำหนด ซึ่งมีความละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร

1.6.7 **ความพึงพอใจ** หมายถึง การใช้งานของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงเหมาะสมกับการใช้งานจริงและง่ายต่อการติดตั้งหรือสะดวกสบายต่อผู้ใช้

1.6.8 **เครื่องทดสอบความทนทาน** หมายถึง เครื่องจักรที่ใช้ทดสอบความคงทนของชิ้นงานสปริงที่มีขนาดของลวดไม่เกิน 2 มม . และความยาวหรือสูงไม่เกิน100 มม. โดยการกระทำซ้ำๆ หลายครั้ง เพื่อหาจุดบกพร่องหรือ อายุการใช้งานของชิ้นส่วนนั้นๆ

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิดทางทฤษฎีและแนวทางปฏิบัติ ตลอดจนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง โดยผู้วิจัยได้แบ่งเป็นทั้งหมด 7 ตอน นำเสนอตามลำดับดังนี้

2.1 หลักการออกแบบผลิตภัณฑ์

2.2 ความรู้เรื่องสปริง

2.3 การออกแบบสำหรับการแตกหักเนื่องจากการล้า

2.4 การกำเนิดแรง และการส่งแรง

2.5 การควบคุมคุณภาพ

2.6 การซ่อมบำรุงระบบการผลิต

2.7 ขบวนการผลิตสปริงในอุสาหกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการออกแบบผลิตภัณฑ์

ดลต์ รัตนทัศนีย์ (2528 : 1)ผลิตภัณฑ์ที่ดีย่อมเกิดจากการออกแบบที่ดีนักออกแบบต้องคำนึงถึงหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกณฑ์ในการกำหนดคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ที่ดีเอาไว้ว่า ควรจะมีองค์ประกอบอะไรบ้าง แล้วใช้ความคิดสร้างสรรค์ วิธีการต่างๆ ที่ได้กล่าวมา เสนอแนวคิดให้ผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสมตามหลักการออกแบบ โดยหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่นักออกแบบควรคำนึงถึงนั้นมี คือ

1. หน้าที่ใช้สอย (Function)
2. ความปลอดภัย (Safety)
3. ความแข็งแรง (Construction)
4. ความสะดวกสบายในการใช้ (Ergonomics)
5. ราคาพอสมควร (Cost)
6. การซ่อมแซมง่าย (Ease of maintenance)
7. วัสดุและการผลิต (Materials and Production)

1. หน้าที่ใช้สอย

หน้าที่ใช้สอยถือเป็นหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่สุดเป็นอันดับแรกที่ต้องคำนึงผลิตภัณฑ์ทุกชนิดต้องมีหน้าที่ใช้สอยถูกต้องตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ คือสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกสบาย ผลิตภัณฑ์นั้นถือว่ามีประโยชน์ใช้สอยดี (HIGH FUNCTION) แต่ถ้าหากผลิตภัณฑ์ใดไม่สามารถสนองความต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์

ก็จะถือว่ามีประโยชน์ใช้สอยไม่ดีเท่าที่ควร (LOW FUNCTION)

จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาข้อมูลอย่างละเอียด สำหรับคำว่าประโยชน์ใช้สอยดี (HIGH FUNCTION) นั้น ดลต์ รัตนทัศนีย์ (2528 : 1) ได้กล่าวไว้ว่าเพื่อให้ง่ายแก่การเข้าใจขอให้ดูตัวอย่างการออกแบบมีดหั่นผักแม้ว่ามีดหั่นผักจะมีประสิทธิภาพในการหั่นผักให้ขาดได้ตามความต้องการ แต่จะกล่าวว่ามีดนั้นมีประโยชน์ใช้สอยดี (HIGH FUNCTION) ยังไม่ได้ จะต้องมีองค์ประกอบอย่างอื่นร่วมอีกเช่น ด้ามจับของมีดนั้นจะต้องมีความโค้งเว้าที่สัมพันธ์กับขนาดของมือผู้ใช้ ซึ่งจะเป็นส่วนที่ก่อให้เกิดความสะดวกสบาย และภายหลังจากการใช้งานแล้วยังสามารถทำความสะอาดได้ง่าย การเก็บและบำรุงรักษาจะต้องง่ายสะดวกด้วย ประโยชน์ใช้สอยจึงจะครบถ้วนและสมบูรณ์ เรื่องหน้าที่ใช้สอย นับว่าเป็นสิ่งที่ละเอียดอ่อนซับซ้อนมาก

2. ความปลอดภัย

สิ่งที่อำนวยประโยชน์ได้มากเพียงใดย่อมจะมีโทษเพียงนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ให้ความสะดวกต่างๆ มักจะเกิดจากเครื่องจักรกลและเครื่องใช้ไฟฟ้า การออกแบบควรคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้ ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ต้องแสดงเครื่องหมายไว้ให้ชัดเจนหรือมีคำอธิบายไว้

นักออกแบบจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้เป็นสำคัญมีการออกแบบบางอย่างต้องใช้เทคนิคที่เรียกว่าแบบธรรมดาแต่คาดไม่ถึงช่วยในการให้ความปลอดภัย เช่น การออกแบบหัวเกลียววาล์ว ถังแก๊ส หรือปุ่มเกลียว ล็อคใบพัดของพัดลมจะมีการทาเกลียวเปิดให้ย้อนศรตรงกันข้ามกับเกลียวทั่วๆ ไปเพื่อความปลอดภัยสำหรับคนที่ไม่ทราบหรือเคยมือไปหมุนเล่นคือ ยิ่งหมุนก็ยิ่งขันแน่นเป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้ใช้

3. ความแข็งแรง

ผลิตภัณฑ์จะต้องมีความแข็งแรงในตัวของผลิตภัณฑ์หรือโครงสร้างเป็นความเหมาะสมในการที่นักออกแบบรู้จักใช้คุณสมบัติของวัสดุและจำนวน หรือปริมาณของโครงสร้าง ในกรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่จะต้องมีการรับน้ำหนัก ต้องเข้าใจหลักโครงสร้างและการรับน้ำหนัก อีกทั้งต้องไม่ทิ้งเรื่องของความสวยงามทางศิลปะ เพราะมีปัญหาว่าถ้าใช้โครงสร้างให้มากเพื่อความแข็งแรงจะเกิดสวนทางกับความงาม นักออกแบบจะต้องเป็นผู้ดึงเอาสิ่งสองสิ่งนี้เข้ามาอยู่ในความพอดีให้ได้ ส่วนความแข็งแรงของตัวผลิตภัณฑ์เองนั้น ก็ขึ้นอยู่ที่การออกแบบรูปร่างและการเลือกใช้วัสดุ และประกอบกับการศึกษาข้อมูลการใช้ผลิตภัณฑ์ว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวต้องรับน้ำหนักหรือกระทบกระแทกอะไรหรือไม่ ในขณะใช้งานก็คงต้องทดลองประกอบการออกแบบไปด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ความแข็งแรงของโครงสร้างหรือตัวผลิตภัณฑ์ นอกจากเลือกใช้ประเภทของวัสดุ โครงสร้างที่เหมาะสมแล้วยังต้องคำนึงถึงความประหยัดควบคู่กันไปด้วย

4. ความสะดวกสบายในการใช้

นักออกแบบต้องศึกษาวิชากายวิภาคเชิงกลเกี่ยวกับสัดส่วน ขนาด และขีดจำกัดที่เหมาะสมสำหรับอวัยวะส่วนต่างๆ ในร่างกายของมนุษย์ทุกเพศ ทุกวัย ซึ่งจะประกอบด้วยความรู้ทางด้านขนาดสัดส่วนมนุษย์ (ANTHROPOMETRY) ด้านสรีรศาสตร์ (PHYSIOLOGY) จะทำให้ทราบ ขีดจำกัดความสามารถของอวัยวะส่วนต่างๆ ในร่างกายมนุษย์ เพื่อใช้ประกอบการออกแบบ หรือศึกษาด้าน

จิตวิทยา (PSYCHOLOGY) ซึ่งความรู้ในด้านต่างๆ ที่กล่าวมานี้ จะทำให้นักออกแบบ สามารถออกแบบและกำหนดขนาด (DIMENSIONS) ส่วนโค้ง ส่วนเว้า ส่วนตรง ส่วนแคบของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้อย่างพอเหมาะกับร่างกายหรืออวัยวะของมนุษย์ที่ใช้ ก็จะเกิดความสะดวกสบายในการใช้ ไม่เมื่อยมือหรือเกิดการล้าในขณะที่ใช้ไปนานๆ ผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องศึกษาวิชาดังกล่าว ก็จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้ใช้ต้องใช้อวัยวะร่างกายไปสัมผัสเป็นเวลานาน หรือผลิตภัณฑ์บางชนิดผลิตมาจากประเทศตะวันตก ซึ่งออกแบบโดยใช้มาตรฐานผู้ใช้ของชาวตะวันตก ที่มีรูปร่างใหญ่โตกว่าชาวเอเชีย เมื่อชาวเอเชียนำมาใช้อาจจะไม่พอดีหรือหลวม ไม่สะดวกในการใช้งาน นักออกแบบจึงจำเป็นต้องศึกษาสัดส่วนร่างกายของชนชาติหรือเผ่าพันธุ์ที่ใช้ผลิตภัณฑ์เป็นเกณฑ์

5. ราคาพอสมควร

ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมาขายนั้น ย่อมต้องมีข้อมูลด้านผู้บริโภคและการตลาดที่ได้ค้นคว้าและสำรวจแล้วผลิตภัณฑ์ย่อมจะต้องมีการกำหนดกลุ่มเป้าหมายที่จะใช้ว่าเป็นคนกลุ่มใด อาชีพฐานะเป็นอย่างไร มีความต้องการใช้สินค้าหรือผลิตภัณฑ์นี้เพียงใด นักออกแบบก็จะเป็นผู้กำหนดแบบผลิตภัณฑ์ ประมาณราคาขายให้เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายที่จะซื้อได้ การจะได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีราคาเหมาะสมกับผู้ซื้อนั้น ก็อยู่ที่การเลือกใช้ชนิดหรือเกรดของวัสดุและเลือกวิธีการผลิตที่ง่ายรวดเร็วเหมาะสม อย่างไรก็ดี ถ้าประมาณการออกมาแล้วปรากฏว่าราคาค่อนข้างจะสูงกว่าที่กำหนดไว้ ก็อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือพัฒนาองค์ประกอบด้านต่างๆ กันใหม่ แต่ก็ยังต้องคงไว้ซึ่งคุณค่าของผลิตภัณฑ์นั้นเรียกว่าเป็นวิธีการลดค่าใช้จ่าย

6. การซ่อมแซมง่าย

หลักการนี้คงจะใช้กับผลิตภัณฑ์ เครื่องจักรกล เครื่องยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่มีกลไกภายในซับซ้อน อะไหล่บางชิ้นย่อมต้องมีการเสื่อมสภาพไปตามอายุการใช้งาน หรือการใช้งานในทางที่ผิด นักออกแบบย่อมที่จะต้องศึกษาถึงตำแหน่งในการจัดวางกลไกแต่ละชิ้น ตลอดจน น็อตสกรู เพื่อที่จะได้ออกแบบส่วนของฝาครอบบริเวณต่างๆ ให้สะดวกในการถอดซ่อมแซมหรือเปลี่ยนอะไหล่ง่าย

7. วัสดุและวิธีการผลิต

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ผลิตด้วยวัสดุสังเคราะห์อาจมีกรรมวิธีการเลือกใช้วัสดุและวิธีผลิตได้หลายแบบ แต่แบบหรือวิธีใดจึงจะเหมาะสมที่สุด ที่จะไม่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงกว่าที่ประมาณฉะนั้น นักออกแบบจะต้องศึกษาเรื่องวัสดุและวิธีผลิตให้ลึกซึ้งโดยเฉพาะวัสดุจำพวกพลาสติก เพราะพลาสติกแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ต่างกันออกไป เช่น มีความใส ทนความร้อน ผิวมันวาว ทนกรดด่างได้ดี ไม่ลื่น เป็นต้น ก็ต้องเลือกคุณสมบัติดังกล่าวให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่พึงมี ยิ่งในยุคสมัยนี้มีการรณรงค์ช่วยกันพิทักษ์สิ่งแวดล้อมด้วยการใช้วัสดุที่นำกลับหมุนเวียนมาใช้ใหม่ ก็ยิ่งทำให้นักออกแบบย่อมต้องมีบทบาทเพิ่มขึ้นอีกคือ เป็นผู้ช่วยพิทักษ์สิ่งแวดล้อมด้วยการเลือกใช้วัสดุที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ที่เรียกว่า“รีไซเคิล”

2.2 ความรู้เรื่องสปริง

สปริงเป็นชิ้นส่วนที่มีความยืดหยุ่นซึ่งมีใช้อยู่ในเครื่องจักรทั่วไปถึงแม้ว่าชิ้นส่วนอื่นๆ ของเครื่องจักรจะมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นเหมือนกันแต่สปริงจะมีการยืดหยุ่นมากกว่า สปริงอาจจะมี

รูปร่างต่างกันและทำจากวัสดุหลายชนิด แม้แต่ของไหล เช่น อากาศ ก๊าซ และของเหลว ก็สามารถนำมาใช้ทำหน้าที่เป็นสปริงได้ สปริงที่จะกล่าวนี้ส่วนมากทำมาจากโลหะ และโลหะผสม แต่พวกอโลหะบางชนิดก็กำลังเริ่มเข้าสู่ความสนใจของนักออกแบบที่จะนำมาใช้ทำสปริง สปริงอาจทำหน้าที่หลายประเภทดังนี้

- ใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับกลไกต่างๆ งานประเภทนี้ได้ใช้กันมาตั้งแต่ดั้งเดิม และยังคงมีใช้กันมากต่อไปอีก เช่น ลานนาฬิกา กล้องถ่ายหนัง และของเด็กเล่น เป็นต้น

- แรงวัด เช่น ตาชั่งสปริง ไดนาโมมิเตอร์ และอุปกรณ์ปรับต่างๆ เป็นต้น

- ใช้เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลคืนสู่สภาพเดิม เช่น ตัวตามลูกเบี้ยว (cam followers) ก้านวาล์ว เป็นต้นใช้ส่งแรงจากชิ้นส่วน เช่น สปริงแผ่นคลัตช์ คัปปลิง เป็นต้น

วัสดุสำหรับลวดสปริง

จุดประสงค์ของการใช้สปริง ส่วนมากจะเป็นไปในรูปของการเก็บพลังงานเอาไว้ในตัวสปริง ความเค้นที่เกิดขึ้นในสปริงขณะใช้รับแรงจะมีค่าสูงมาก ดั้งนั้นจึงต้องนำวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงมาใช้ทำสปริง โดยทั่วไปเหล็กสำหรับใช้ทำสปริงจะเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนสูงกว่า 0.5% แล้วผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อให้มีความยืดหยุ่นสูง เนื่องจากความสามารถในการยืดหยุ่นเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของสปริง ทั้งนี้เพื่อให้สปริงมีการยืดหยุ่นได้มากนั่นเอง นอกจากนี้แล้วยังมีวัสดุประเภทโลหะผสมเหล็กกล้าไร้สนิม และอื่นๆ ที่ต้องใช้กับงานเป็นพิเศษ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนหรือทนทานต่ออุณหภูมิสูงๆ สปริงขด (helical spring) ที่มีขนาดของลวดสปริงไม่เกิน 12 mm จะใช้วิธีขดขณะเย็น (wound cold) แต่ถ้าสปริงมีขนาดโตขึ้นก็จะใช้วิธีขดขณะร้อน(wound hot) ในกรณีของลวดของสปริงขนาดเล็กอาจจะนำไปผ่านกรรมวิธีทางความร้อนหลังจากขดแล้วก็ได้ สปริงที่ขดขณะเย็นควรที่จะนำมาอบเพื่อคลายความเค้น (stress relieved) ที่อุณหภูมิประมาณ 260 องศา นานประมาณ 15 ถึง 60 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของสปริง ขนาดของลวดสปริง สำหรับวัสดุบางชนิดที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นขนาดที่หาซื้อได้ทั่วไป

Hard – drawn wire (ASTM A227) เป็นวัสดุที่มีราคาถูกที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.50 mm จนถึง16 mm ขดขณะเย็นได้ มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง0.45% ถึง 0.75% คุณภาพต่ำกว่าวัสดุชนิดอื่น ดังนั้นไม่ควรใช้กับชิ้นงานที่ต้องการอายุการทำงานยาวนานมาก และในชิ้นงานที่ต้องการความแม่นยำในการทำงานมาก อุณหภูมิในการทำงานไม่ควรสูงกว่า120 องศา หรือต่ำกว่า 0 องศา

1. Music wire (ASTM A228) ทำโดยวิธี Hard – drawn แต่ใช้เหล็กกล้าที่มีคุณภาพสูง คุณภาพผิวดีเป็นพิเศษ มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.70% ถึง 1.00% ขดขณะเย็นได้ ลวดชนิดนี้เป็นลวดที่มีการใช้กันมากที่สุดในจำพวกสปริงขนาดเล็ก มีความแข็งแรงสูง และสามารถทนแรงกระทำที่ซ้ำกันได้ดีมาก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.10 mm จนถึง 6.35mm แต่มิให้นำไปใช้งานในที่ซึ่งอุณหภูมิสูงกว่า 120 องศา หรือต่ำกว่า 0 องศา

2. Oil – tempered wire (ASTM A229) ผลิตโดยวิธีรีดเย็น แล้วจึงชุบแข็งและอบเหนียว

(tempered) มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง0.55% ถึง 0.75% มักใช้วิธีขดขณะเย็นแล้วคบคลายความเค้นที่อุณหภูมิประมาณ 230 องศา ผิวไม่สู้จะดีนักแต่ก็ดีกว่า Hard – drawn wire ลวดสปริงชนิดนี้ก็มีใช้กันแพร่หลายทั่วไป เพราะราคาถูกกว่า Music wire มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.50 mm จนถึง 16mm แต่ก็สามารถหาขนาดซึ่งใหญ่หรือเล็กกว่านี้ได้ อุณหภูมิในการทำงานระหว่าง 0 ถึง 180 องศา

3. Valve spring quality carbon steel (ASTM 230) เป็น Oil – tempered wire ที่มีคุณภาพสูงสุดมีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.60% ถึง 0.75% มีผิวดีเป็นพิเศษเทียบเท่า Music wire จึงเหมาะสำหรับใช้งานที่อาจจะเสียหายเนื่องมาจากความล้ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.50 mm. จนถึง 6.25 mm.

3. 1 Chrome vanadium steel (ASTM 231) เป็นโลหะผสมที่นิยมใช้กันมากเมื่อโลหะอื่นๆไม่สามารถที่จะทนความเค้นสูงๆ ได้ เหมาะสำหรับรับแรงที่กระทำซ้ำๆ กันเป็นอย่างยิ่ง รับแรงกระแทกได้ดี มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.50 mm. จนถึง 12.5 mm. มักจะใช้ทำสปริงวาล์วเครื่องยนต์ของเครื่องบิน ใช้ได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 230 องศา

3. 2 Chrome silicon steel (ASTM A401) เป็นโลหะผสมที่สามารถรับแรงได้สูง และมีคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกได้ดี ใช้งานได้ที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 250 องศา มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.80 mm . จนถึง 12 mm.

3. 3 Stainless steel (Chrome nickel steel ASTM A313 หรือ AISI 302) เป็นโลหะที่มีราคาแพง รับแรงได้สูง และสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดีเหมาะสำหรับรับแรงกระแทกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.20mm .จนถึง 12.50 mm .ในการผลิตจะใช้วิธีการรีดเย็นแล้วคลายความเค้น ที่อุณหภูมิสูง

คุณสมบัติทางกลของลวดสปริง

ค่าความแรงต้านแรงของวัสดุที่ใช้ทำลวดสปริงจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของลวดสปริง ดังนั้นอาจจะเขียนในรูปสมการที่ใช้ในการหาแรงต้านของวัสดุของลวดสปริงที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใดๆ ก็ได้ดังนี้คือ

$$\sigma\mu = \frac{A}{d^x} \qquad (2.1)$$

$$Tn = \frac{B}{d^y} \qquad (2.2)$$

โดยที่ $\sigma\mu$ คือ ความต้านแรงดึงต่ำสุด

Tn คือ ความต้านแรงเฉือนทนทาน

d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสปริงเป็น mm

ค่าความต้านแรงมีหน่วยเป็น N/mm2 และค่าต่างๆเหล่านี้เป็นค่าที่เรียบเรียงมาจากหนังสือของ V.M. FAIRES

ความเค้นในสปริงขดรับแรงกด

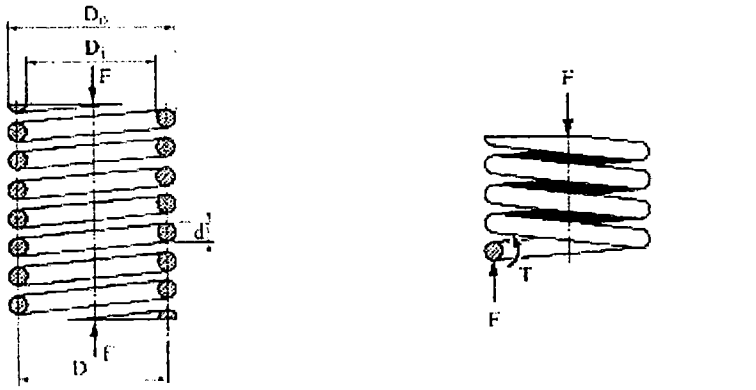
พิจารณาสปริงขดที่รับแรงกด F ในแนวแกนของสปริงดังรูป 2.6 และให้

Do คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของขดสปริง

Di คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของขดสปริง

D = (Do + Di) / 2 เป็น เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของขดสปริง

d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของสปริง



(ก) แรงกดกระทำในแนวแกนของสปริง (ข) แผนภาพวัตถุอิสระแสดงให้เห็นว่าลวดหน้าตัดรูปวงกลมและโมเมนต์บิด

รูปที่ 2.1 รูปสปริงกด

ความแข็งตึงของสปริง

ความแข็งตึงของสปริง (Spring stiffness) หมายถึงปริมาณของแรงที่ใช้ในการทำสปริง ยืดหดหนึ่งหน่วยความยาวในแนวแกนของสปริงซึ่งยังมีชื่อเรียกอีกหลายชื่อแตกต่างกันไป เช่น ค่าคงที่ของสปริง (Spring Constant) อัตราสปริง (Spring rate) โมดุลัสของสปริง และ เกรเดียน ของสปริง (Spring gradient) เป็นต้น

ถ้าให้ δ เป็นระยะยุบตัวของสปริงภายใต้แรงกด F ค่าของความแข็งตึงของสปริงคือ

$$K = \frac{F}{\delta} \qquad (2.3)$$

จากสมการ การยุบตัว

$$\delta = \frac{8FD^3n}{Gd^4} = \frac{8FD^3n}{Gd} \qquad (2.4)$$

แทนค่าสมการ (2.5) ลงใน (2.4) จะได้

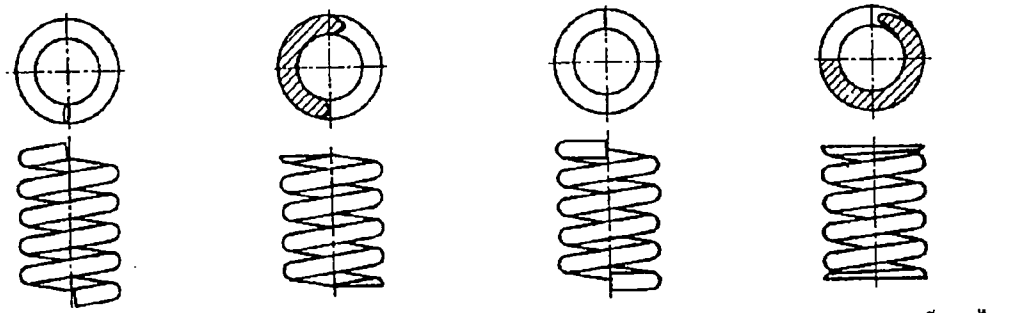
$$K = \frac{Gd^4}{8D^3n} = \frac{Gd}{8C^3n} \qquad (2.5)$$

ค่าความแข็งตึงของสปริงนี้ก็เป็นค่าที่สำคัญ ซึ่งผู้ใช้ต้องเลือกให้ถูกต้องกับชิ้นงานจึงจะทำให้เครื่องจักรกลทำงานได้ตามความมุ่งหมาย

จำนวนขดทำการของสปริง

สปริงขดรับแรงกดที่ใช้งานทั่วๆไป จะมีปลายทั้งสองในลักษณะดังรูป 2.7 โดยปกติแล้วต้องการให้ปลายสปริงสัมผัสกับสิ่งที่สปริงกดอยู่ให้มากที่สุด ในบางกรณีสปริงตั้งอยู่ในช่องซึ่งมีพื้นที่กดที่เรียบแบน ดังนั้นจึงนิยมตัดปลายสปริงชนิดนี้ให้เรียบเป็นฐานตั้ง เนื่องจากขดส่วนที่ตัดปลายไปจะสูญเสียผลการเป็นสปริงไปมาก ฉะนั้นในการคำนวณจึงให้หักเอาจำนวนขดเหล่านี้ออก จำนวนขดที่เหลือทั้งหมดจึงเรียกว่า ขดทำการ ซึ่งเป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น ถ้าให้ Nt เป็นจำนวนขดทั้งหมดของสปริง ขดก็จะคิดจำนวนทำการได้ดังนี้

ปลายสปริงธรรมดา (Plain ends)	n = nt
ปลายสปริงธรรมดาเจียระไน (Ground end)	n = nt -1
ปลายตรง (Square ends)	n = nt -1.5
ปลายตรงและเจียระไน	n = nt -2

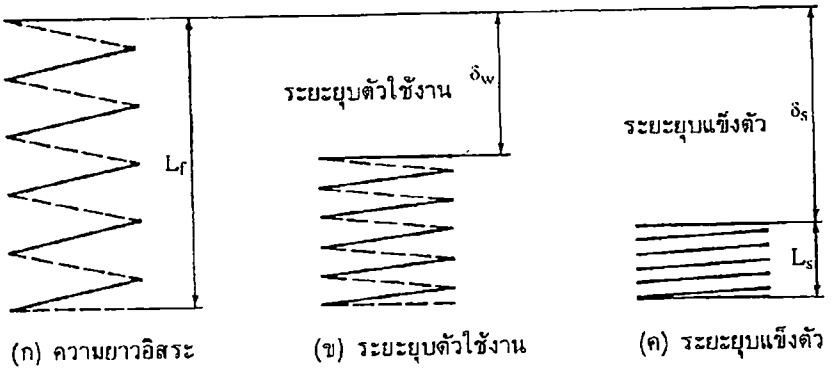


(ก) ปลายธรรมดา (ข) ปลายธรรมดาและเจียระไน (ค) ปลายตรง (ง) ปลายตรงและเจียระไน

รูปที่ 2.2 รูปปลายสปริงขดรับแรงกด

ระยะการยุบตัวการใช้งานของสปริง

ความยาวของสปริงขดในขณะที่ยังไม่มีแรงภายนอกมากระทำเรียกว่า ความยาวอิสระ L_f ดังในรูปที่ 2.2 (ก) เมื่อมีแรงภายนอกมากดสปริงขดนี้ให้ทุกขดติดกันพอดีดังรูป2.2 (ค) ความยาวของสปริงขดขณะนี้เรียกว่า ความยาวแข็งตัว (Solid Height) L_s แรง และความเค้นในขณะนี้เรียกว่าแรงแข็งตัว (Solid force) และความเค้นแข็งตัว (Solid stress) ตามลำดับ



(ก) ความยาวอิสระ (ข) ระยะยุบตัวใช้งาน (ค) ระยะยุบแข็งตัว

รูปที่ 2.3 การยุบตัวของสปริงขด

สำหรับการออกแบบสปริงให้รับแรง F สูงสุดขณะใช้งาน โดยที่สปริงจะยุบตัวลงไป δ_w ค่า δ_w นี้ จะเรียกว่า ระยะยุบตัวใช้งาน ดังรูป 2.8 (ข) ถ้าให้ระยะยุบแข็งตัว (Solid deflection) δ_s เป็นผลต่างระหว่างความยาวอิสระและความยาวแข็งตัว จะได้ว่า

$$\delta_s = L_f - L_s \quad (2.6)$$

ก็จะทำให้สามารถเผื่อการยุบตัวของสปริงให้มีการยุบตัวมากกว่ารยะตัวใช้งานอย่างมีหลักเกณฑ์พอสมควร โดยให้ค่าความเผื่อการกดติด (Clash allowance) ซึ่งมีนิยามว่า

$$\text{ความเผื่อการกดติด} \quad r_c = \frac{\delta s \quad \delta w}{\delta w} \quad (2.7)$$

ค่าความเผื่อการกดติดเป็นอัตราส่วนที่แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ของระยะยุบตัว ที่อาจจะมีได้เกินกว่าระยะยุบตัวใช้งาน โดยทำหน้าที่ให้ความปลอดภัยในการใช้งานยิ่งขึ้นไปอีก ค่า r_c นี้แนะนำให้ใช้ประมาณ 0.20 ซึ่งหมายความว่าสามารถใช้สปริงรับแรงเพิ่มขึ้นมากกว่าแรงที่ใช้ออกแบบอีก 20 เปอร์เซ็นต์ สปริงทุกขดติดกันหมด จึงเป็นการป้องกันมิให้ผิวหน้าของสปริงเสียหายเนื่องจากการสัมผัสและเสียดสีกันระหว่างขดได้ อีกประการหนึ่งถ้าสปริงยุบตัวจนถึงความยาวแข็งตัว สปริงก็จะหมดคุณสมบัติการใช้งานรับแรงสั่นสะเทือนหรืออื่นๆตามต้องการไป

ความยาวอิสระและความยาวแข็งตัวของสปริงขึ้นอยู่กับลักษณะของปลายสปริงขดและการใช้งาน

การออกแบบสปริงขดและรับแรงกด

การออกแบบสปริงมักจะต้องใช้วิธีทดลองการแก้ความคลาดเคลื่อน (Trial – and – error) บางครั้งก็มีข้อจำกัดอย่างอื่นซึ่งทำให้การออกแบบยากขึ้นไปอีก เช่น ขนาดจำกัดของช่องสำหรับการใส่สปริงเป็นต้น โดยปกติแล้วสปริงขดจะขยายตัวกว้างออกเล็กน้อยเมื่ออยู่ใต้แรงกด ดังนั้น ในกรณีที่มีช่องว่างจำกัดก็อาจจะต้องเหลือช่องไว้โดยรอบสปริงประมาณ d/4 เพราะมีการขยายตัวโดยรอบของสปริง

การคำนวณเกี่ยวกับสปริงขดอาจแบ่งได้ 2 วิธีคือ

1. ให้คิดว่าแรงที่มากระทำต่อตัวสปริงเป็นแบบอยู่นิ่ง และคิดว่าแรงที่กระทำต่อสปริงนั้นจัดอยู่ในประเภทใด ซึ่งแบ่งออกเป็น

(ก) งานเบา (Light service) หมายถึงแรงที่กระทำตลอดอายุการใช้งานของสปริงไม่เกิน 10^4 ครั้ง

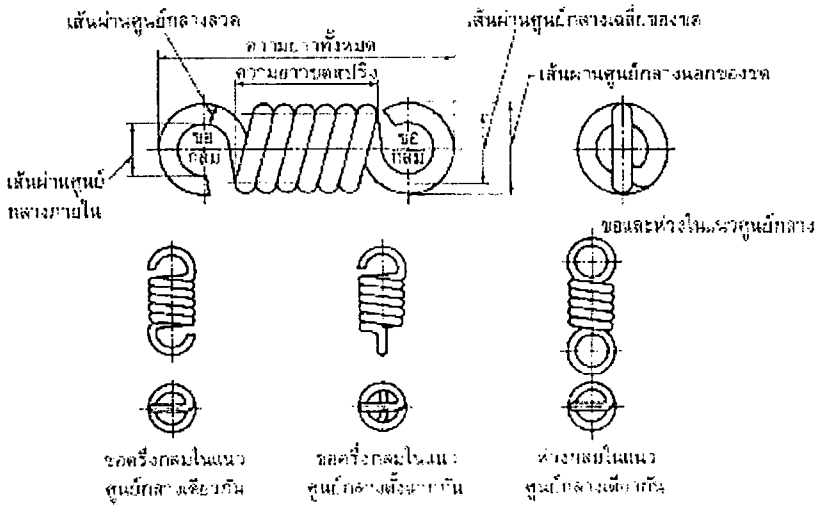
(ข) งานปานกลาง (Average service) หมายถึง แรงที่กระทำตลอดอายุการใช้งานของสปริงอยู่ระหว่าง 10^4 ครั้ง ถึง 10^6 ครั้ง

(ค) งานหนัก (Severe service) หมายถึง แรงที่กระทำตลอดอายุการใช้งานของสปริงมากกว่า 10^6 ครั้ง

2. ให้พิจารณาว่าแรงเปลี่ยนแปลงจากค่าสูงสุดไปถึงต่ำสุด แล้วคำนวณออกแบบสปริงโดยใช้สมการลักษณะเดียวกับโซเดอร์เบอร์ก สำหรับการคำนวณโดยวิธีนี้เหมาะสำหรับที่ต้องการให้สปริงมีอายุการใช้งานไม่จำกัด (Indefinite life)

- **สปริงขดแบบดึง**

สปริงขดแบบดึง (Tension spring) ซึ่งมีใช้งานอยู่ไม่น้อยกว่าสปริงขดแบบกด เช่น สปริงสำหรับตาชั่ง เพื่อให้สปริงขดรับแรงดึงได้ตอนปลายทั้งสองข้างของสปริง จึงมักทำเป็นขอหรือห่วงเพื่อใช้เกี่ยว กับสิ่งที่ต้องการให้ออกแรงดึง ปลายทั้งสองด้านของสปริงขดแบบดึงจะดูได้จากรูปที่ (2.4)



รูปที่ 2.4 สปริงขดแบบดึงและขอชนิดต่างๆ

ในบางครั้งสปริงขดแบบดึง จะผลิตออกมาให้ขดอัดกันแน่นด้วยแรงจำนวนหนึ่งเรียกว่า แรงดึงขั้นต้น (Initial tension) ซึ่งหมายถึงแรงที่ใช้ดึงสปริงจนกระทั่งถึงจุดที่ขดจะแยกออกจากกัน (ยังไม่มีการยืด) ดังนั้นจะใช้กฎของฮุคเลยไม่ได้ จนกว่าแรงดึงภายนอกจะเอาชนะแรงดึงขั้นต้นแล้ว

ถ้าให้ F คือแรงภายนอกทั้งหมดที่ใช้ดึงสปริง

F i คือแรงดึงขั้นต้น

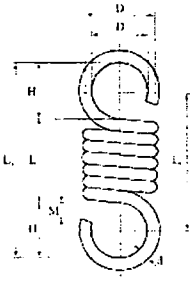
$$F = Fi + k\delta \qquad (2.8)$$

สมการที่ (2.8) ยังสามารถนำมาใช้คำนวณหาค่าความเค้นเฉือนและระยะยืดตัวได้ แต่แรงที่ทำให้เกิดความเค้นในตัวสปริงจริงๆ จะทำกับ F - Fi ถ้าสปริงไม่มีแรงดึงขั้นต้น แล้วสมการที่ผ่านมาก็นำมาใช้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ถึงแม้ว่าสปริงขดแบบดึงจะคล้ายแบบกดและสามารถใช้สมการในการคำนวณร่วมกันได้แต่ต้องมีข้อควรระวังในการออกแบบเพราะจะมีข้อแตกต่างกันดังนี้คือ

(ก) สปริงขดแบบดึงสามารถที่จะดึงให้ยืดออกได้มากจนความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นสูงกว่าความต้านแรงเฉือนครากของวัสดุได้ แต่สปริงขดแบบกดจะยุบตัวลงได้ถึงความยาวแข็งตัวเท่านั้น

(ข) ปลายของสปริงขดแบบดึงต้องงอให้เป็นขอสำหรับเกี่ยว ทำให้เกิดความเค้นดัดที่ขอและความเค้นหนาแน่นที่ขอก็อาจจะค่าที่สูงมากก็ได้ ดังนั้นต้องทำการตรวจสอบความเค้นดัดที่ขอด้วยโดยใช้ทฤษฎีของคานโค้ง (Curved beam)

จากข้อแตกต่างระหว่างสปริงขดแบบดึงและแบบกดดังที่กล่าวมาแล้วนั้น จึงแนะนำให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนออกแบบสปริงขดแบบดึงเพียง 80 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนโดยทั่วไปของสปริงขดแบบดึงสามารถดูได้จากรูป (2.5)



รูปที่ 2.5 รูปสปริงขดแบบดึงซึ่งมีแนวขอกลมในแนวศูนย์กลางขด

2.3 การออกแบบสำหรับการแตกหักเนื่องจากความล้า

จากที่กล่าวมาเป็นการออกแบบชิ้นส่วนโดยคิดให้แรงอยู่นิ่ง ไม่ว่าแรงที่กระทำจะเป็นแบบแรงอยู่นิ่งหรือไม่ก็ตาม โดยใช้ค่าความปลอดภัยต่างกันไปตามลักษณะของแรงที่มากระทำ จากการวิเคราะห์ความเค้นในชิ้นงานที่แตกหักเนื่องจากแรงที่กระทำซ้ำกัน โดยมีขนาดของแรงเปลี่ยนจากค่าต่ำสุดไปยังสูงสุด จะพบว่าความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงานดังกล่าวยังมีค่าต่ำกว่าความต้านแรงดึงครากของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานนั้น การแตกหักอันเนื่องจากแรงที่กระทำซ้ำหลายๆวัฏจักร (Cycle) นี้เรียกว่าการแตกหักเนื่องจากความล้า (Fatigue) ตัวอย่างเช่น เมื่อดัดลวดกลับไปกลับมาหลายๆครั้ง ถึงแม้ว่าความเค้นที่เกิดขึ้นภายในลวดยังต่ำกว่าความต้านแรงดึงที่ลวดจะรับได้ แต่ลวดก็ขาดออกจากกันเมื่อดัดลวดกลับไปกลับมาหลายๆครั้ง เป็นต้น

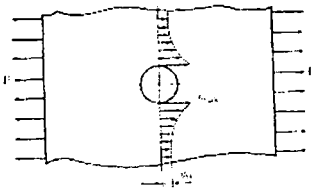
กลไกของความล้า

การแตกหักเนื่องจากความล้าอาจเริ่มจากบริเวณที่มีรอยแตกขนาดเล็ก รอยแตกนี้จะมีขนาดเล็กมากจนกระทั่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ใช้ถึงแม้จะเครื่องเอกซเรย์ตรวจก็ยังยากที่จะหาตำแหน่งรอยแตกนี้ได้ ณ ตำแหน่งนี้ ความเค้นที่เกิดขึ้นซ้ำๆ กัน (Repeated stress) จะมีค่าสูงกว่าความต้านแรงทนทาน (Endurance strength) ของวัสดุ ทำให้รอยแตกขนาดเล็กนี้จะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนกระทั่งชิ้นงานขาดออกจากกัน

ในกรณีที่ชิ้นงานมีลักษณะขาดความต่อเนื่อง (Discontinuity) เช่นการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดอย่างกะทันหัน มีการเจาะร่องลิ่มหรือเจาะรู ความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณเหล่านี้จะมีค่าสูงกว่าบริเวณอื่น รูปที่ 2.11 แสดงถึงแผ่นแบบราบมีรูเจาะอยู่ตรงกลาง แรงอยู่ภายใต้แรงดึง F ความเค้นที่บริเวณขอบรูจะมีค่าสูงกว่าบริเวณที่ห่างไปจากรูเจาะ ถ้าแรง F นี้เป็นแรงที่กระทำซ้ำกันอยู่ตลอดเวลา รอยแตกก็อาจจะเริ่มบริเวณขอบรูก่อน แล้วค่อยๆ ขยายไป อัตราส่วนระหว่างความเค้นสูงสุดที่บริเวณขอบรูเจาะ σ_{max} กับความเค้นบริเวณที่ห่างจากรูเจาะ σ_0 (ซึ่งหาได้จากสมการ σ_0 = F/A) มีชื่อว่า ตัวประกอบความเค้นหนาแน่น (Stress concentration factor) นั่นคือ

$$K = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_0} \qquad (2.9)$$

ซึ่งเป็นค่าที่สำคัญในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่รับแรงไปกลับ หรือแรงที่กระทำซ้ำกัน



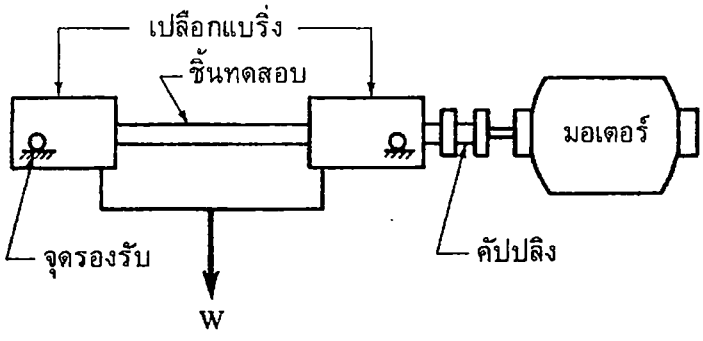
รูปที่ 2.6 รูปความเค้นบริเวณรูเจาะ

ความล้าเป็นปรากฏการณ์ที่สลับสับซ้อนและมีผู้ที่เข้าใจอย่างลึกซึ้ง โดยเฉพาะเมื่อต้องศึกษาลงไปถึงระดับจุลภาค (Microscopic) เนื่องจากขาดความรู้อย่างถ่องแท้ในเรื่องความล้า ดังนั้นในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจึงต้องเลือกใช้ค่าความปลอดภัยให้มากไว้ก่อนในบางโอกาส

ความต้านแรงทนทานและขีดจำกัดความทนทาน

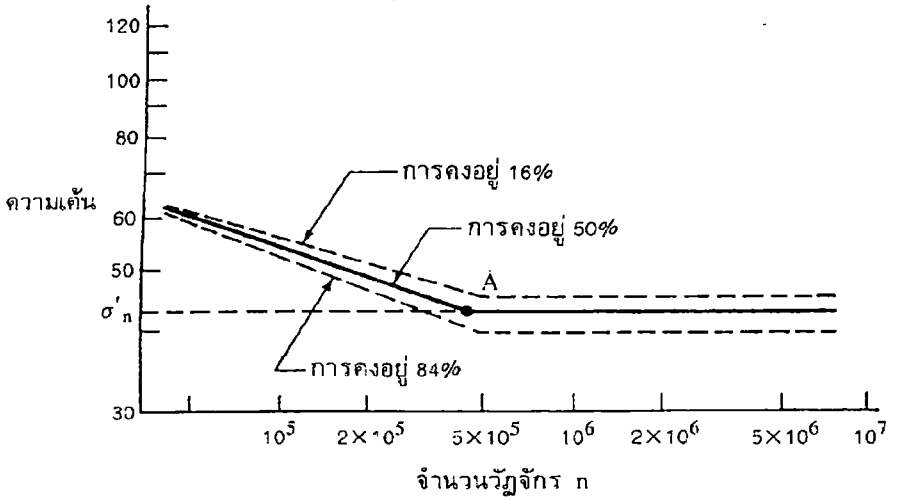
การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่รับแรงเปลี่ยนแปลงเป็นวัฏจักร จะไม่ใช้ความต้านแรงดึงคราก หรือความต้านแรงดึงเป็นรากฐาน แต่จะใช้ความต้านแรงที่เรียกว่าความต้านแรงทนทาน ซึ่งหาได้จากขีดจำกัดความทนทาน (Endurance limit) หรือจากการทดลอง โดยมีนิยามดังนี้

ขีดจำกัดความทนทานหรือขีดจำกัดความล้า (Fatigue limit) σn หมายถึงความเค้นสูงสุดที่กระทำซ้ำกันสองทิศทาง (Reversed stress) ต่อชิ้นทดสอบผิวขัดมัน (Mirror polished) เป็นจำนวนวัฏจักรนับไม่ถ้วนโดยที่ชิ้นทดสอบนั้นไม่เกิดการแตกหัก (เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบประมาณ 8 mm)



รูปที่ 2.7 รูป เครื่องมือทดสอบความล้า

การทดสอบอาจกระทำได้ 3 วิธีคือ การดึง การบิด การดัด ข้อมูลจากการทดสอบที่มีอยู่ค่อนข้างมากก็คือ การดัด (Reversed bending) รูปที่ 2.7 แสดงถึง เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบนี้ ในการทดลองให้แขวนน้ำหนักที่ต้องการเพื่อให้ชิ้นงานที่ทดสอบเกิดความเค้นดัด จากนั้นมอเตอร์ก็จะหมุนไปครบหนึ่งรอบ ตำแหน่งคงที่ ณ ผิวของชิ้นทดสอบ ก็จะได้รับแรงเค้นที่เปลี่ยนจากความเค้นดึงสูงสุดไปเป็นความเค้นกดสูงสุด แล้วกลับมาเป็นความเค้นดึงสูงสุดอีก เรียกว่า หนึ่งวัฏจักร ถ้าวัสดุเป็นเหล็ก เมื่อนำผลมาจากการทดลองมาเขียนเป็นกราฟจะได้รูปดัง รูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับจำนวนวัฏจักร

จากตำแหน่ง A ใน รูปที่ 2.8 จะเห็นว่ากราฟเป็นเส้นตรงเกือบอยู่ในแนวระดับ แสดงว่าถ้าให้ความเค้นต่อชิ้นทดสอบต่ำกว่านี้แล้ว ชิ้นทดสอบจะไม่แตกหักเลย (ทางทฤษฎี) แต่ในทางปฏิบัติจะต้องขาดออกเมื่อจำนวนวัฏจักรสูงมาก ถ้าชิ้นงานทดสอบแบบผิวขัดมันและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8 mm ความเค้นที่จุด A บนเส้นการคงอยู่ 50 เปอร์เซ็นต์ (Survival) เรียกว่า ขีดจำกัดความทนทานและชิ้นงานทดสอบรับความเค้นระดับนี้ให้ถือว่ามีอายุการใช้งานไม่จำกัด (Infinite life) ในทางปฏิบัติให้ถือว่าชิ้นงานที่สามารถรับแรงได้จำนวนวัฏจักรมากกว่า 1 ล้าน เป็นชิ้นงานที่มีอายุใช้งานไม่จำกัด

สำหรับวัสดุบางชนิด เช่น ทองเหลือง ทองแดง อะลูมิเนียม และแมกนีเซียม เส้นกราฟจะไม่มีรอยหักมุม ดัง รูปที่ 2.8 แต่เส้นกราฟจะลดลงเรื่อยๆ แสดงว่าวัสดุเหล่านี้ไม่มีขีดจำกัดความทนทาน วัสดุเหล่านี้ต้องระบุจำนวนวัฏจักรและระดับความเค้นที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบแตกหักด้วย และความเค้นนี้เรียกว่า ความต้านแรงทนทาน

ชิ้นงานทั่วไปจะมีขนาดไม่เท่ากับชิ้นทดสอบ และผิวหน้าก็อาจจะไม่ได้ขัดมันตลอดจนแรงที่กระทำก็อาจจะเป็นแรงอย่างอื่นๆ เช่น แรงบิด จากการทดสอบพบว่าขีดจำกัดความทนทานจะผิดไปจากชิ้นงานทดสอบมาตรฐาน ในกรณีนี้เช่นนี้จะเรียกว่าความต้านแรงทนทานเช่นกัน เพราะฉะนั้นเมื่อกล่าวอย่างกว้างๆ แล้ว ความต้านแรงทนทาน หมายถึง ความต้านแรงทนทานของชิ้นทดสอบที่ไม่มีขีดจำกัดความทนทาน หรือความต้านแรงทนทานของชิ้นงานจริง

ตัวประกอบของผิว

ค่าขีดจำกัดความทนทานดังที่กล่าวมาแล้วใช้สำหรับชิ้นทดสอบผิวมันเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วคุณภาพของชิ้นงานจะต่ำกว่าชิ้นทดสอบ ความขรุขระของผิวหน้าก็ทำให้ชิ้นงานแตกหักเนื่องจากความล้าได้ง่ายขึ้นอีก เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการปรับค่าขีดจำกัดความทนทานของชิ้นงานตามสภาพของผิว ซึ่งแสดงตัวประกอบที่ใช้สำหรับลดค่าดังกล่าวนี้ของผิวชนิดต่างๆ มีชื่อเรียกว่า ตัวประกอบของผิว (Surface factor) K_a ถ้าชิ้นงานที่มีโอกาสแตกหักเนื่องจากความล้าตัวแล้ว คุณภาพของผิวมีผลต่ออายุการใช้งานของชิ้นงานนั้นมาก

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตัวประกอบของขนาด

จากการหาขีดจำกัด ความทนทานทำโดยการใช้ชิ้นทดสอบขนาดมาตรฐานเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8 mm ถ้าขนาดหน้าตัดโตขึ้นไปอีกจะพบว่าขีดจำกัดความทนทานลดลง ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบมาคูณค่าขีดจำกัดความทนทานจากชิ้นงานมาตรฐาน เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่กว่าชิ้นทดสอบซึ่งมีชื่อเรียกว่า ตัวประกอบของขนาด (Size factor) K_b โดยแนะนำให้ใช้ค่าต่อไปนี้

$K_b = 1.00$ สำหรับ $d < 8$ mm

$K_b = 0.85$ สำหรับ $8 < d < 50$ mm

$K_b = 0.75$ สำหรับ $d > 50$ mm

ตัวประกอบของขนาดนี้ใช้ได้ทั้งงานดึง การบิด และการดัด ในกรณีที่ชิ้นงานที่มีหน้าตัดไม่กลมก็ให้คิดความยาวส่วนที่สั้นที่สุดของหน้าตัดนั้นเป็นหลัก

ตัวประกอบของแรง

จากการที่ทราบมาแล้วว่า วัสดุทั่วไปมีคุณสมบัติ ในการรับความเค้นเฉือนได้น้อยกว่าความเค้นดึงหรือกด ในกรณีของขีดจำกัดความทนทานก็เช่นเดียวกัน จากการทดสอบจะพบว่าขีดจำกัดความทนทานสำหรับงานเฉือนมีค่าน้อยกว่าการดัด ตัวประกอบที่ใช้ลดค่าขีดจำกัดความทนทานจากการดัดนี้เรียกว่าตัวประกอบของแรง (Load factor) K_c โดยแนะนำใช้ใช้ค่าดังต่อไปนี้

$K_c = 1.00$ สำหรับค่าดัด

$K_c = 0.80$ สำหรับการดึงหรือการกด

$K_c = 0.60$ สำหรับการเฉือน

เพราะฉะนั้น สำหรับการดัด $\sigma n = K_a K_b \sigma n$

สำหรับการดึง $\sigma n = 0.8 \times (\sigma n$ จากการดัด)

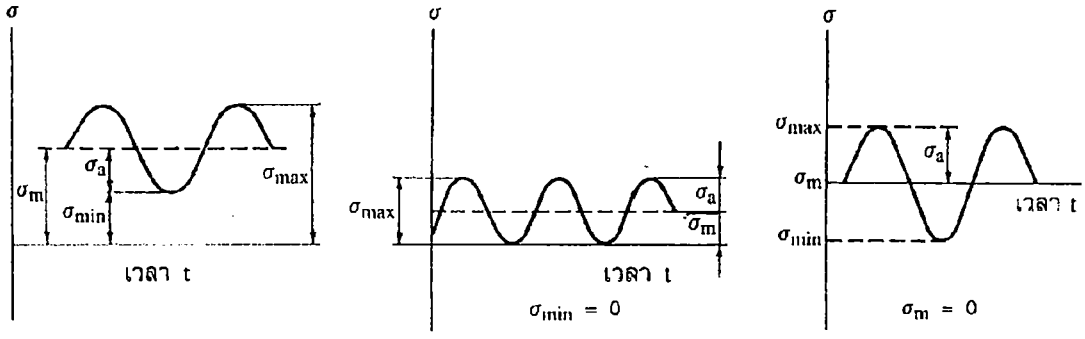
สำหรับการเฉือน $\mathbf{T}n = 0.6 \times (\sigma n$ จากการดัด)

ค่า σn หรือ $\mathbf{T}n$ นี้คือ ค่าความต้านแรงทนทาน

เกณฑ์ของโซเดอร์เบอร์ก

ในการออกแบบชิ้นงานโดยคิดถึงความล้า มักนิยมใช้วิธีการที่เรียกว่า เกณฑ์ของโซเดอร์เบอร์ก (Soderberg's criterion) เป็นส่วนมาก แต่ก่อนที่จะถึงจะถึงวิธีการดังกล่าว ให้มาพิจารณาถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงแรง (หรือความเค้น) และนิยามบางคำต่อไปนี้

128749



(ก) เป็นบวกตลอดเวลา (ข) กระทำซ้ำ (ค) กระทำกลับไปกลับมา

รูปที่ 2.9 รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงความเค้นแบบไซนุซอยตัล

ในชิ้นงานทั่วๆไปแล้วแรงทั่วไปแล้วจะเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ไม่อาจทราบได้อย่างแน่นอน แต่เพื่อให้สามารถคำนวณได้ จึงสมมุติให้แรงเปลี่ยนในลักษณะแบบไซนุซอยตัล (Sinusoidal) ดังรูปที่ 2.9 (ก) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงความเค้นซึ่งมีค่าเป็นบวก (ความเค้นดึง) ตลอดเวลา รูปที่ 2.9 (ข) เป็นแบบกระทำซ้ำ คือเปลี่ยนแปลงจากค่าศูนย์ไปสู่ค่าสูงสุดแล้วกลับมาเป็นศูนย์อีก รูปที่ 2.9 (ค) เป็นแบบกลับไปกลับมา คือเปลี่ยนแปลงจากค่าบวกสูงสุดไปยังค่าลบสูงสุดที่มีขนาดเท่ากัน ถ้าให้อัตราส่วน

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \qquad (2.10)$$

โดยที่ σ_{min} เป็นความเค้นต่ำสุดและ σ_{max} เป็นความเค้นสูงสุด จะได้ว่า

R = 0 ในกรณีรูปที่ 2.14 (ข)

R = -1 ในกรณีรูปที่ 2.14 (ค)

นอกจากนี้ยังมีนิยามที่จำเป็นจะต้องทราบอีกคือ

$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$ = ความเค้นส่วนเปลี่ยน (stress amplitude)

$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$ = ความเค้นเฉลี่ย (mean stress)

2.4 การกำเนิดแรง และการส่งแรง

2.4.1 กลไก (Mechanism) และเครื่องจักร (Machine)

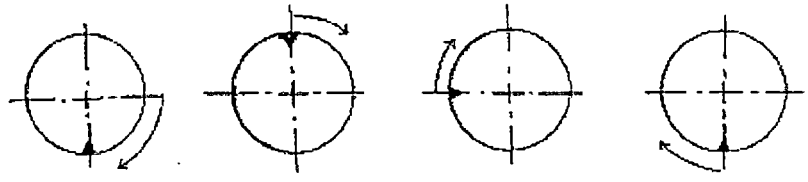
กลไกเกิดจากการรวมวัตถุเกร็ง (Rigid Body) หลายชิ้นเข้าด้วยกัน โดยที่วัตถุเหล่านั้นจะถูกโยงต่อกันไว้และเคลื่อนที่โดยมีรูปแบบเฉพาะ ทั้งนี้การเคลื่อนที่ของวัตถุหนึ่งจะเนื่องมาจากผลการเคลื่อนที่ของวัตถุอีกอันหนึ่ง กลไกพื้นฐาน ได้แก่ สังเกต (Linkages) ลูกเบี้ยว (Cams) และเฟือง (Gears)

เครื่องจักรอาจเป็นชิ้นเดียวกันหรือหลายชิ้นรวมกันและผ่านส่งแรงจากแหล่งกำเนิดเพื่อนำผลที่ได้จากแรงนั้นไปใช้งานกลไก Slide Crank ประกอบด้วย Crank Connecting rod และ Slide แต่เมื่อ นำมาใช้เป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในก็จะกลายเป็น Machine และทำหน้าที่ส่งแรง ที่เกิดจากแรงการระเบิดของไอดีผ่านลูกสูบ (Piston) ไปยัง Connecting rod และ Crank ซึ่งจะนำผลมาจากแรงนั้นไปหมุนล้อรถยนต์

2.4.2 การเคลื่อนที่ (Motion)

การเคลื่อนที่ของเครื่องจักรนั้น หลังจากเกิดการสันดาปในห้องเครื่องก็เกิดพลังงาน พลังงานนั้นนำมาขับเคลื่อนที่ของกลไก ที่พบบ่อยๆ แบ่งเป็น 3 แบบคือ

2.4.2.1 Continuous เป็นกลไกเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง โดยเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นไปจนถึงตำแหน่งสุดท้าย คือ ครบรอบแล้วเวียนกลับมาตำแหน่งเริ่มต้น โดยไม่มีการหยุด หรือเคลื่อนที่ย้อนกลับ



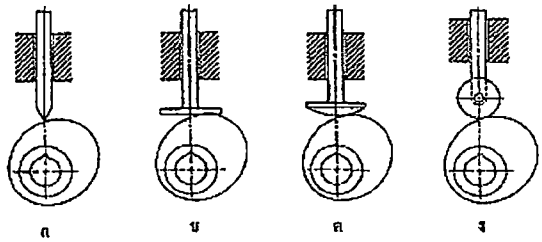
รูปที่ 2.10 รูปเป็นการเคลื่อนที่กลไกแบบต่อเนื่อง

2.4.2.2 Instermittent กลไกลที่มีการเคลื่อนที่ได้ครบรอบแล้วมีการหยุดในชั่วเวลาหนึ่งต้น

2.4.2.3 Reciprocating เป็นกลไกที่มีการเคลื่อนที่โดยเดินหน้าเคลื่อนที่และย้อนกลับในระหว่างการเคลื่อนที่ เช่นการเคลื่อนที่ของ Slide เครื่องสูบลมที่ทำงานด้วยลูกเบี้ยวเป็นต้น

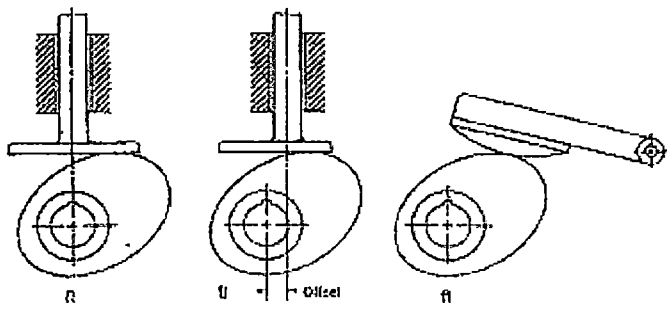
2.4.3 ลูกเบี้ยว (Cam)

ลูกเบี้ยวเป็นกลไก มูลฐานอีกประการหนึ่ง ที่มีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายลักษณะของลูกเบี้ยวส่วนใหญ่จะเป็นผิวโค้ง ซึ่งจากการหมุนหรือเคลื่อนที่กลับไปกลับมาจะทำให้เคลื่อนที่ตามความต้องการ**ระบบของลูกเบี้ยวและตัวตาม**เมื่อมีการนำลูกเบี้ยวไปใช้งาน จะต้องมีตัวตามประกอบไปด้วย ดังนั้น การเรียกชื่อระบบของลูกเบี้ยวและตัวตาม จึงอาศัยชื่อของลูกเบี้ยว และตัวตามประกอบกัน ลูกเบี้ยวแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ตามลักษณะรูปร่าง เช่นมีลักษณะเป็นแผ่นเรียก Disk Cam (Radial Cam) ลักษณะคล้ายลิ่มเรียกว่า Wedge Cam ส่วนตัวตามแบ่งได้ 2 ประเภท คือ แบ่งเป็นลักษณะรูปร่าง ได้แก่ Knifeed - ged เป็นแบบส่วนที่สัมผัสกับลูกเบี้ยว เป็นปลายแหลมตามรูป 2.11 ข) ผิวที่เป็นสัมผัสเป็นเส้นโค้ง และ Roller ตามรูป 2.11 ง) ซึ่งส่วนสัมผัสเป็นล้อกลมหมุนได้



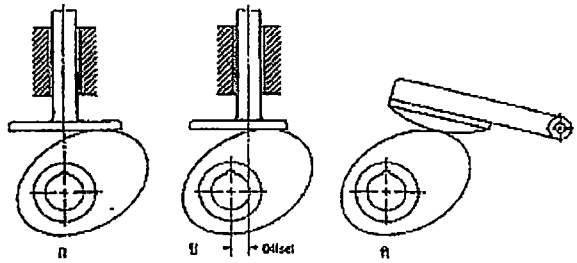
รูปที่ 2.11 รูประบบการทำงานของลูกเบี้ยว

สำหรับตัวตามอีกประเภทหนึ่ง แบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่รวมทั้งแนวการเคลื่อนที่รวมทั้งแนวการเคลื่อนที่ด้วย ดังเช่น รูปที่ 2.11 ก คือตัวตามแบบ Radial Flat – faced Translating ที่มีแนวสัมผัสเป็นเส้นตรงและมีการเคลื่อนที่แบบ Translation ตามแนวรัศมี Offset Flat – faced Translating เป็นแบบที่คล้ายแบบแรก เพียงแต่แนวทางการเคลื่อนที่ของตัวตามอยู่เยื้องจากแนวจุดศูนย์กลางของลูกเบี้ยว รูปที่ 2.11 ข และ Spherical Oscillating รูปที่ 2.11 ค มีผิวสัมผัสเป็นเส้นโค้งและมีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา เป็นต้น



รูปที่ 2.12 รูปแสดงการเคลื่อนที่การทำงาน กลับ –ไป – กลับ ของลูกเบี้ยว

เมื่อนำลูกเบี้ยวและตัวตามประเภทต่างๆ มาประกอบกันเข้า ชื่อของระบบก็จะบอกถึงลักษณะต่างๆ เหล่านั้นอย่างชัดเจน ตัวอย่างเช่น



รูปที่ 2.13 รูประบบลูกเบี้ยวประกอบระบบเป็นแผ่น

ภาพที่ 2.13 ก คือ Radial Cam and Flat – faced Offset Translating Followerเป็นระบบที่ประกอบด้วยลูกเบี้ยวที่มีลักษณะเป็นแผ่น และตัวตามที่มีผิวสัมผัสเป็นเส้นตรงเคลื่อนที่แบบ Translation โดย แนวการเคลื่อนที่เยื้องกับแนวของจุดศูนย์กลางของลูกเบี้ยว คือ Radial Cam and Flat – faced Offset Translating Follower ประกอบด้วย ตัวตามที่มีผิวสัมผัสเป็นเส้นโค้งเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา และลูกเบี้ยวที่มีลักษณะเป็นแผ่น (ภาพที่ 2.13 ข)

ภาพที่ 2.13 ค เป็นระบบของลูกเบี้ยวที่มีลักษณะเป็นแผ่นประกอบกับตัวตามแบบที่มีปลายแหลมเป็นผิวสัมผัส เคลื่อนที่แบบ Translation ตามแนวรัศมี เรียกชื่อว่า Radial Cam and Translating Follower (อุดมศักดิ์ สาริบุตร .2549 : 47)

2.4.2 มอเตอร์ (MOTOR)

มอเตอร์ เป็นเครื่องกลเพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนหมุนได้ที่พันด้วยขดลวด เป็นกระบวนการย้อนกลับของ ไดนาโม หรือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า มักเป็นส่วนประกอบสำคัญใน เครื่องกล เครื่องจักรกลอุตสาหกรรม เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน เช่น เครื่องสูบน้ำ เครื่องอัดลม พัดลม เครื่องลำเลียง เครื่องเล่นแผ่นดิสก์ ฯลฯ มอเตอร์ลากจูง (Traction motor) ซึ่งใช้ในยานยนต์และรถไฟ สามารถหมุนได้ทั้งสองทิศทางมอเตอร์ ต้องต่อวงจรไฟฟ้าเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า เช่น แบตเตอรี่ (สำหรับ มอเตอร์กระแสตรง ในเครื่องกลหรือยานยนต์) หรือการจ่ายกระแสไฟฟ้าจาก โรงงานไฟฟ้า (สำหรับ มอเตอร์กระแสสลับ ในเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน)

มอเตอร์ขนาดเล็กที่สุดที่ใช้งานได้จริงในปัจจุบัน ได้แก่ มอเตอร์ใน นาฬิกาข้อมือไฟฟ้า มอเตอร์ขนาดเล็กที่สุด ที่อยู่ระหว่างพัฒนา ได้แก่ มอเตอร์นาโน (เล็กกว่าเส้นผม 300 เท่า) มอเตอร์ขนาดกลางมาตรฐานสูง มักเป็นส่วนประกอบในเครื่องจักรกลอุตสาหกรรม มอเตอร์ขนาดใหญ่ที่สุด ได้แก่ มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ในท่อขับระวางของเรือเดินสมุทร(ใช้กำลังไฟนับพันกิโลวัตต์)หลักการทางฟิสิกส์ ในการผลิตพลังงานกลด้วยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นที่รู้จักกันเมื่อตอนต้น ค.ศ. 1821 มอเตอร์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของมนุษย์มาตลอด คริสต์ศตวรรษที่ 19 แต่เมื่อเครื่องกลใช้มอเตอร์มากขึ้น ปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน

ความหมายและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานต่างเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรกลต่างๆในงานอุตสาหกรรมมอเตอร์มีหลายแบบหลายชนิดที่ใช้ให้เหมาะสมกับงานดังนั้นเราจึงต้องทราบถึงความหมายและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าตลอดคุณสมบัติการใช้งานของมอเตอร์แต่ละชนิดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานของมอเตอร์นั้นๆและสามารถเลือกใช้งานให้เหมาะสมกับงานออกแบบระบบประปาหมู่บ้านหรืองานอื่นที่เกี่ยวข้องได้

1.1 ความหมายของมอเตอร์และการจำแนกชนิดของมอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้า (MOTOR) หมายถึงเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกล มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานกลมีทั้งพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 2.14 รูปมอเตอร์ไฟฟ้า

1.2 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกตามการใช้ของกระแสไฟฟ้าได้ 2 ชนิดดังนี้

1.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) หรือเรียกว่าเอ.ซี มอเตอร์ (A.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าสลับแบ่งออกได้ดังนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่าซิงเกิลเฟสมอเตอร์ (A.C. Sing Phase)

- สปลิทเฟส มอเตอร์(Split-Phase motor)
- คาปาซิเตอร มอเตอร์ (Capacitor motor)
- รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion-type motor)
- ยูนิเวอร์แวซลมอเตอร์ (Universal motor)
- เช็ดเดดโพล มอเตอร์ (Shaded-pole motor)

2. มอเตอร์ไฟฟ้าสลับชนิด 2 เฟสหรือเรียกว่าทูเฟสมอเตอร์ (A.C.Two phas Motor)

3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟสหรือเรียกว่าทีเฟสมอเตอร์ (A.C. Three phase Motor)

1.2.2.มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor) หรือเรียกว่าดี.ซี มอเตอร์ (D.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกได้ดังนี้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1.มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor)

2.มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่าชันท์มอเตอร์ (Shunt Motor)

3.มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมเปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

2.มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่นโรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะหรือให้ เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เป็นต้นในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จึงควรรู้จัก อุปกรณ์ต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ

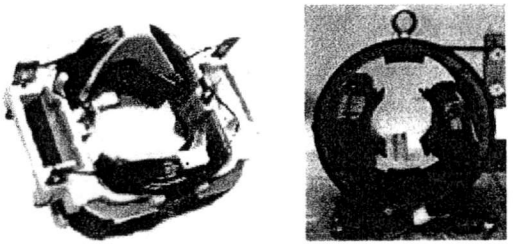
2.1 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนดังนี้

1 ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator) ประกอบด้วย

1) เฟรมหรือโยค (Frame Or Yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ให้ครบวงจรและยึดส่วนประกอบอื่นๆให้แข็งแรงทำด้วยเหล็กหล่อ

หรือเหล็กแผ่นหนาม้วนเป็นรูปทรงกระบอก ขั้วแม่เหล็ก (Pole) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือแกนขั้วแม่เหล็กและขดลวด



รูปที่ 2.15 รูปขดลวดพันอยู่รอบขั้วแม่เหล็ก

ส่วนแรกแกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ กั้นด้วยฉนวนประกอบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์เรียกว่าขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุดเพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุด เพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุดจะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มากที่สุดแล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มากเป็นการทำให้มอเตอร์ มีกำลังหมุน (Torque)

ส่วนที่สอง ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะพันอยู่รอบๆแกนขั้วแม่เหล็กขดลวดนี้ทำหน้า ที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้น และเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาเมเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

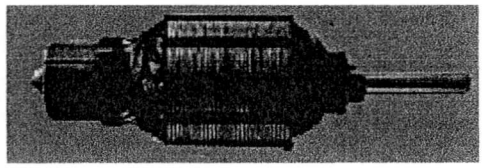
2. ตัวหมุน (Rotor) ตัวหมุนหรือเรียกว่าโรเตอร์ตัวหมุนนี้ทำให้เกิดกำลังงานมีแกนวางอยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) ของมอเตอร์ ตัวโรเตอร์ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน คือ

1.แกนเพลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Croe) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์แกนเพลานี้จะวางอยู่บนแบริ่ง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวนิ่งไม่มีการสั่นสะเทือนได้

2. แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated SheetSteel)เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์มาเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)

3. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่แต่ละซี่มีฉนวนไมก้า (mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์มาเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้อัดแน่นติดกับแกนเพลา เป็นรูปกลมทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) เพื่อรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยัง ขดลวดอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วน ซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็ก ดังกล่าวมาแล้วเรียกว่าปฏิกิริยามอเตอร์(Motor action)

4. ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอท (Slot) ของแกนอาร์มาเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่และจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้นๆ เพื่อที่จะให้เหมาะสมกับงานต่างๆ ที่ต้องการ ควรศึกษาต่อไปในเรื่องการพันอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) ในโอกาสต่อไป



รูปที่ 2.16 รูปตัวหมุนมอเตอร์

หลักการของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรง (Motor Action)

หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action) เมื่อเป็นแรงดันกระแสไฟฟ้าตรงเข้าไปในมอเตอร์ ส่วนหนึ่งจะ แปรงถ่านผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์สร้างสนามแม่เหล็กขึ้น และกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) สร้างขั้วเหนือ-ใต้ขึ้น จะเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนาม ในขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรง แม่เหล็ก จะไม่ตัดกัน ทิศทางตรงข้ามจะหักล้างกัน และทิศทางเดียวจะเสริมแรงกัน ทำให้เกิดแรงบิดในตัวอาร์มาเจอร์ ซึ่งวางแกนเพลาและแกนเพลานี้ สวมอยู่กับตลับลูกปืนของมอเตอร์ ทำให้อาร์มาเจอร์นี้หมุนได้ ขณะที่ตัวอาร์มาเจอร์ทำหน้าที่หมุนได้นี้เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งหมายความว่าตัวหมุน การที่อำนาจเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีปฏิกิริยาต่อกัน ทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์ หรือโรเตอร์หมุนไปนั้นเป็นไปตามกฎซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming'left hand rule)

2.5 การควบคุมคุณภาพ (Quality Control : Q.C)

โดยทั่วไปสินค้าในตลาดจะมีราคาแปรผันตามคุณภาพสินค้า สินค้าคุณภาพดีย่อมมีราคาสูงกว่าสินค้าคุณภาพไม่ดี คุณภาพของสินค้าในเดอดีตมีความหลากหลาย และแตกต่างกันมาก สินค้าบางอย่างที่จำหน่ายในท้องตลาดขาดคุณภาพ หรือคุณภาพต่ำไม่เหมาะสมกับราคารัฐบาลจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพสินค้าขึ้น เพื่อควบคุมคุณลักษณะต่างๆ ของสินค้า เช่นลักษณะทางกาย ได้แก่ ขนาด น้ำหนัก สี ฯลฯ ลักษณะทางเคมี ได้แก่ความเป็นกรดเป็นลักษณะต่างๆ เป็นต้น ปัจจุบันนี้ผลิตภัณฑ์หรือสินค้าบางอย่างบางชนิดจะถูกกำหนดคุณภาพในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ม.อ.ก.) ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งของการควบคุม

ความหมายของการควบคุมคุณภาพ (Definition of quality control)

คำว่า การควบคุมคุณภาพ เป็นการรวมคำสองคำเข้าด้วยกัน คำหนึ่งคือคำว่า การควบคุมตรงกับคำในภาษาอังกฤษว่า "Control" ส่วนอีกคำหนึ่งคือ คำว่า คุณภาพ ตรงกับคำในภาษาอังกฤษว่า"Quality" ซึ่งคำสองคำนี้มีความหมายดังนี้

การควบคุม (Control) หมายถึง การบังคับให้กิจกรรมต่าง ๆ ได้ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ (เปรื่อง กิจรัตน์ภร, 2537 : 202)

คุณภาพ (Quality) หมายถึง ผลผลิตที่มีความเหมาะสม ที่จะนำไปใช้งาน (Fineness for use) ออกแบบได้ดี (Quality of design) และมีรายละเอียดที่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด (ศูนย์อบรม กฟภ. 2531 : 14)

วิชัย แหวนเพชร (2536 : 111) ได้ให้ความหมายของการควบคุมว่า หมายถึง กิจกรรมจำเป็นต่าง ๆ ที่จะต้องกระทำเพื่อให้บรรลุเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพและได้ผลตลอดไป นอกจากนี้ ยังได้ให้ความหมายของคุณภาพว่า คุณภาพคือ ผลิตภัณฑ์มีความคงทน มั่นคง มีสภาพดีสามารถใช้และทำงานได้ดีรวมทั้งมีรูปร่างสวยงามเรียบร้อยกลมกลืน ทำให้น่าใช้ด้วย

กล่าวโดยสรุปแล้ว คุณภาพหมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบได้เหมาะสมในงานได้ดี กระบวนการผลิตดี มีความคงทน สวยงามเรียบร้อย และมีรายละเอียดเป็นไปตามข้อกำหนดของผู้สั่งซื้อที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ยังจะต้องมีความปลอดภัยในการใช้งานด้วย

คุณภาพที่ดีของผลิตภัณฑ์ เป็นสิ่งที่ทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้ต้องการ แต่อย่างไรก็ดี มุมมองด้านคุณภาพในสายตาของผู้ผลิตและผู้ใช้แตกต่างกัน เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการใช้สอยผลิตภัณฑ์ของลูกค้า ย่อมแตกต่างกับพันธะกิจ (Mission) ในการดำเนินธุรกิจของผู้ผลิต ดังนั้นจะสรุปทัศนะของผู้ผลิตกับลูกค้าในแง่ของคุณภาพ

เมื่อคำนำสองคำมารวมกันคือ การควบคุมและคำว่าคุณภาพก็จะได้คำว่า การควบคุมคุณภาพ (Quality control) วิชัย แหวนเพชร (2534 : 112) ยังได้ให้ความหมายของการควบคุมคุณภาพไว้ว่า เป็นการจัดกิจกรรมต่าง ๆ ที่ทำให้ผลผลิตอันได้แก่ สินค้า บริการ มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้ดี กิจกรรมดังกล่าวนั้นได้แก่ การควบคุมวัตถุดิบ การออกแบบ และกระบวนการผลิต วินิจ วีรยางกูร (2523 : 213) ยังได้ให้ความหมายการควบคุมคุณภาพไว้อีกว่าเป็นการจัดการควบคุมวัตถุดิบและการควบคุมการผลิต เพื่อป้องกันไม่ให้ผลผลิตหรือผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมีข้อบกพร่องและเกิดการเสียหาย นอกจากนี้ ความหมายของการควบคุมคุณภาพที่ให้ไว้ในคู่มือ (MIL - STD - 109) คือ การบริหารงานในด้านการควบคุมวัตถุดิบ และการควบคุมการผลิต เพื่อเป็นการป้องกันมิให้ผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จออกมามีข้อบกพร่องและเสียหายนั่นเอง เปรื่อง กิจรัตน์ภร (2537 : 202) ยังได้ให้ความหมายของการควบคุมคุณภาพว่า หมายถึงการบังคับให้กิจกรรมต่าง ๆ ดำเนินการผลิตสินค้าให้ได้มาตรฐานตามที่กำหนดคุณลักษณะเอาไว้ เช่น การคัดเลือก การตรวจสอบวัตถุดิบ การควบคุมกระบวนการผลิต ควบคุมพนักงาน รวมทั้งการตรวจสอบผลิตภัณฑ์และทดสอบผลผลิตด้วย

กล่าวโดยสรุปแล้ว การควบคุมคุณภาพ หมายถึง การจัดกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อให้ผลิตออกมาดีเป็นไปตามแบบ มีความประณีต เรียบร้อย สวยงาม นำไปใช้งานได้ดี สะดวก และเหมาะสมกับราคากิจกรรมดังกล่าวก็คือ กิจกรรมการคัดเลือกวัตถุดิบ กิจกรรมในกระบวนการผลิต กิจกรรมการตรวจสอบและทดสอบผลผลิต เป็นต้น

จะเห็นว่า การควบคุมคุณภาพจะเกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่าย การควบคุมคุณภาพอย่างเข้มข้นหรือมีคุณภาพ 100% จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงมาก และถ้าควบคุมคุณภาพอย่างหละหลวม และปล่อยให้ของไม่ดีผ่านไป ย่อมจะก่อให้เกิดผลเสียตามมาภายหลัง เช่น ลูกค้าไม่ให้ความเชื่อถือในสินค้า เป็นต้น ฉะนั้นการควบคุมคุณภาพจึงต้องคำนึงถึงวิธีการที่เหมาะสม เพื่อจะให้เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด (save cost)

ความจำเป็นในการควบคุมคุณภาพ

ในกระบวนการผลิตสินค้าใด ๆ ส่วนประกอบที่ถือว่าเป็นหลักสำคัญที่ทำให้เกิดผลผลิตที่ดีก็คือ คน เครื่องจักร และวัตถุดิบ ซึ่งส่วนประกอบทั้ง 3 ประการ จะส่งผลให้ผลผลิตออกมาดี อยู่ในระดับมาตรฐาน น่าเชื่อถือสำหรับผู้บริโภค แต่ในความเป็นจริงในกระบวนการผลิตมักจะเกิดความผันแปรอยู่เสมอ ตั้งแต่ คน เครื่องจักร และวัตถุดิบ ซึ่งการเกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เสีย ที่พอยอมรับไม่ได้ต้องถูกปฏิเสธ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมคุณภาพสินค้า เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เสียพอยอมรับไม่ได้ต้องถูกปฏิเสธไป ด้วยการควบคุมความผันแปรที่เกิดขึ้นจากคน เครื่องจักร และวัตถุดิบ

1. คน (Man) เป็นองค์ประกอบหนึ่งในการผลิตที่ทำให้เกิดความผันแปรในกระบวนการผลิต ซึ่งความผันแปรของคนได้แก่ ความผันแปรเนื่องมาจากการจัดการ และแรงงานความผันแปรอันเกิดจากการจัดการ (Management) นี้เกิดจากการทำงานที่ขาดการวางแผนที่ดี มีการเปลี่ยนแปลงการจัดการอยู่เสมอ ส่วนความผันแปรทางด้านแรงงาน (Worker) เป็นความผันแปรที่เกิดจากแรงงานที่ขาดความรู้ ขาดความชำนาญ เบื่อหน่าย สุขภาพ เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้ จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ขาดคุณภาพ

2. เครื่องจักร (Machine) เป็นส่วนประกอบที่ทำให้เกิดความผันแปรในการผลิต เพราะเครื่องจักรที่ใช้ไปนานๆ จะเกิดการสึกหรอ ทำให้การทำงานขาดความแม่นยำ ผลผลิตที่ได้ก็ขาดคุณภาพ

3. วัตถุดิบ (Material) เป็นส่วนประกอบของการผลิต กล่าวคือ ถ้าวัตถุดิบขาดคุณภาพผลผลิตที่ได้ก็จะขาดคุณภาพ การควบคุมคุณภาพ จึงถือว่าเป็นความจำเป็นของกระบวนการผลิต เพื่อให้ผลผลิตได้มาตรฐานตามต้องการ

สำหรับประเทศไทยก็ให้ความสำคัญของการควบคุมคุณภาพผลผลิต โดยรัฐบาลได้จัดตั้งสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) สังกัดกระทรวงอุตสาหกรรม เป็นสถาบัน

มาตรฐานแห่งชาติ ที่จัดตั้งขึ้นตามพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 มีหน้าที่ดำเนินงานด้านมาตรฐานของประเทศ เพื่อความปลอดภัยและเศรษฐกิจของประเทศ แล้วยังมีหน้าที่ส่งเสริมอุตสาหกรรม เพื่อสนองนโยบายของรัฐบาลตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติอีกด้วย

ในปี พ.ศ. 2534 ประเทศไทยได้นำระบบมาตรฐาน ISO 9000 เข้ามาใช้ในประเทศ โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้ดำเนินการให้มีการประกาศใช้เป็นมาตรฐาน อนุกรมมาตรฐาน มอก. 9000 เป็นมาตรฐานระดับชาติ เพื่อให้บริษัท หรือผู้ส่งมอบ และผู้ซื้อ นำไปใช้มีสาระสำคัญ มีเนื้อหาและรูปแบบเช่นเดียวกับอนุกรมมาตรฐาน ISO 9000 ขององค์มาตรฐานระหว่างประเทศทุกประการ

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ได้ดำเนินงานด้านการรับรองเพื่อสนองนโยบายของรัฐบาล ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ดังนี้ (อ้างจากบรรจง จันทมาศ, 2539 : 13)

1. รับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (Product Certification) โดยการอนุญาตให้แสดงเครื่องหมายกับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐาน

2. รองรับขีดความสามารถของห้องปฏิบัติการ (Laboratory Accreditation) โดยการดำเนินการรับรองห้องปฏิบัติการ ตามหลักเกณฑ์เช่นเดียวกันกับมาตรฐานของต่างประเทศ หรือระหว่างประเทศ

3. รับรองระดับคุณภาพ (Quality System Certification) โดยการดำเนินการรับรองระบบคุณภาพ ตามอนุกรมมาตรฐาน มอก. 9000 ซึ่งเป็นมาตรฐานระดับชาติ และมีเนื้อหาตลอดจนรูปแบบเช่นเดียวกันกับมาตรฐานระหว่างประเทศ ที่ใช้มาตรฐาน ISO 9000 ต่อไปนี้ เป็นตัวอย่างการรับรองคุณภาพ ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และรับรองระบบคุณภาพของ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.)

เครื่องหมายมาตรฐานบังคับ

ผลิตภัณฑ์ใดที่กำหนดไว้ว่าเป็นมาตรฐานบังคับ ผู้ผลิต ผู้นำเข้า และผู้จำหน่ายจะต้องผลิตนำเข้า และจำหน่ายเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามมาตรฐานเท่านั้น โดยมีเครื่องหมายมาตรฐานบังคับแสดง หากองค์กรเป็นผู้หนึ่งที่ได้รับการรับรองระบบคุณภาพของโรงงานภายใต้อนุกรมมาตรฐานระบบคุณภาพ มอก. – ISO 9000 ย่อมแสดงว่าองค์กรมีระบบการบริหารงาน และการดำเนินการเป็นไปตามข้อกำหนดในอนุกรมมาตรฐานระบบคุณภาพ มอก. – ISO 9000 องค์กรมีสิทธิอย่างเต็มที่ในการแสดงเครื่องหมายรับรองคุณภาพให้เป็นที่ปรากฏ ไม่ว่าจะเป็นบนหัวกระดาษจดหมาย เอกสาร หรือสิ่งพิมพ์ของบริษัท และในการโฆษณาต่างๆ แต่ทั้งนี้ยกเว้นการแสดงเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์และหีบห่อผลิตภัณฑ์

การทดสอบและการตรวจสอบคุณภาพ (Testing For Quality Control and inspection)

การควบคุมคุณภาพหรือการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ นอกจากจะตรวจสอบด้วยแผนภูมิแล้ว ยังมีวิธีการตรวจสอบ โดยวิธีการสุ่มด้วยดังนี้

1. วิธีตรวจสอบทุกชิ้น (Screening inspection)
2. วิธีการสุ่มตัวอย่างจากแต่ละรุ่น (Lot by lot inspection or sampling)
3. วิธีตรวจสอบตามขบวนการผลิต (Process inspection)

1. วิธีตรวจสอบทุกชิ้น (Screening inspection) การตรวจสอบทุกชิ้นเป็นการตรวจสอบสินค้าแบบ 100% (100% inspection) วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและใช้กันทั่วไป เพื่อเป็นการหาของเสีย (defective) จากกระบวนการผลิต แต่กระนั้นก็ยังไม่มั่นใจว่าจะได้ผลิตภัณฑ์(Product) ที่สมบูรณ์ เพราะวิธีการนี้จะทำให้เกิดความเบื่อหน่าย (Monotony) และเป็นเหตุให้เกิดความเมื่อยล้า (fatigue) และความตั้งใจของพนักงานก็จะลดลงเรื่อย ๆตามลำดับ ในทางปฏิบัติไม่ค่อยมีผู้ตรวจสอบ (Inspector) ที่ใช้วิธีการตรวจสอบทุกชิ้น เนื่องจากเปลืองเงิน และเปลืองเวลามาก งานบางอย่างก็ไม่สามารถจะกระทำได้ 100% เช่น การตรวจสอบความคมของใบมีดโกนหรือสารเคลือบใบมีด ทดสอบได้ก็ต้องใช้กับความร้อนซึ่งการทดสอบแบบนี้ จะทำลายผลิตภัณฑ์การทดสอบการรับแรงกัดของท่อคอนกรีต วิธีการก็คือการสุ่มตัวอย่างทดลอง (Sampling) วิธีนี้มักนิยมทดสอบในกรณีที่ประกอบเป็นชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว และลักษณะงานก็จะกลายเป็นงานประจำของอีกแผนกหนึ่ง คือ แผนกควบคุมคุณภาพ (Section quality control)

2. วิธีการสุ่มตัวอย่างจากแต่รุ่น (Lot by lot inspection or sampling) การสุ่มตัวอย่างจากแต่ละรุ่น เป็นการหลีกเลี่ยงวิธีตรวจสอบแบบ 100% การผลิตผลิตภัณฑ์จำนวนมาก ๆ รวมกันเป็นกลุ่มก้อนจะเรียกว่ารุ่น(Lot) เช่น วัสดุที่ส่งเข้ามาในโรงงานชิ้นส่วนประกอบเสร็จบางส่วน หรือผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์แทนที่การตรวจสอบจะทำการตรวจสอบทุกชิ้น ก็จะเลือกตรวจสอบบางชิ้นส่วนเท่านั้น และจะจัดสินใจว่ายอมรับ (Accept) หรือ ปฏิเสธ (Reject) ทั้งรุ่น (Lot) วิธีการตรวจสอบโดยการสุ่มตัวอย่างจากทีละรุ่น มีวิธีดำเนินการ 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. จัดตั้งการตรวจสอบเป็นรุ่น
2. จัดเรียงรุ่นตามประเภทเดียวกัน
3. กำหนดระดับคุณภาพในการยอมรับ
4. เลือกแผนการสุ่มตัวอย่าง

ขั้นที่ 1 จัดตั้งการตรวจสอบเป็นรุ่น ขนาดของรุ่น (Lot Size) ที่จะตรวจสอบอาจประกอบด้วยจำนวนตั้งแต่ 300 ชิ้นขึ้นไป หากการผลิตได้น้อยกว่า 300 ชิ้นต่อหนึ่งรุ่น ผู้ตรวจสอบ ก็อาจจะใช้วิธีการคอยถึง 2 หรือ 3 รุ่น ก่อนก็ได้ ให้ได้ขนาดรุ่นไม่น้อยกว่า 300 ชิ้น จึงจะเป็นการ

ประหยัด หรือถ้าหากชิ้นงานที่จะตรวจสอบน้อยกว่า 300 ชิ้น ผู้ตรวจก็อาจจะเลือกวิธีการตรวจสอบด้วยวิธีการอื่นๆ แทน

ขั้นที่ 2 จัดเรียงรุ่น ตามประเภทเดียวกันคำว่า "รุ่นประเภทเดียวกัน" (Rational Lot) หมายถึง หน่วยที่ผลิตออกมาจากแหล่งเดียวกันรุ่นหนึ่ง ๆ โดยจะต้อง เป็นชิ้นงานที่ผลิตจากแบบเดียวกัน ขบวนการเดียวกัน วัตถุดิบเดียวกัน แต่ในทางปฏิบัติจะจัดแบ่งรุ่นตามประเภทเดียวกันได้ยาก แต่ก็ควรจะให้ใกล้เคียงกันที่สุดที่จะทำได้

ขั้นที่ 3 กำหนดระดับคุณภาพในการยอมรับในความเป็นจริง การผลิตจำนวนมากๆเป็นการยากที่จะให้สินค้านั้นดีทุกชิ้น 100% เพียงแต่เปอร์เซ็นต์ของเสียอยู่ในขีดที่ผู้ผลิต(producer) หรือผู้ซื้อพอใจ (Satisfy) ก็ถือว่ายอมรับได้ ดีกว่าที่จะเสียงบประมาณเพิ่มในการตรวจสอบคุณภาพ 100% ทั้งรุ่น การกำหนดระดับคุณภาพในการยอมรับคุณภาพ ก็คือเปอร์เซ็นต์ของเสียในรุ่นส่งมา หรือเปอร์เซ็นต์ของเสียที่ผลิตออกมาในรุ่น(Acceptable Quality Level : AQL) ที่ผู้ซื้อยอมรับได้ เช่น ผู้ผลิต ผลิตสินค้าออกมาให้ลูกค้า จำนวน 100 ชิ้น ลูกค้าหรือผู้สั่งสินค้ายอมให้เสียได้ 1ชิ้น จาก 100 ชิ้น ค่า AQL บริษัทผู้ซื้อจะเป็นผู้กำหนดเอง และค่า AQL จะเป็นส่วนหนึ่งของสัญญาการซื้อขาย (เสรี ยูนิพันธ์ และคณะ, 2528 : 122)

ขั้นที่ 4 เลือกแผนการสุ่มตัวอย่าง การเลือกแผนการสุ่มตัวอย่างจะต้องตอบคำถามข้อ 1-3 ดังนี้

1. ในหนึ่งรุ่นมีตัวอย่างกี่ชิ้น (Sample Size)
2. จะยอมรับรุ่นเมื่อไหร่ (Acceptance limit)
3. จะปฏิเสธรุ่นเมื่อไหร่ (Rejection limit)

ราคาสินค้าโดยทั่วไปในท้องตลาด ย่อมจะแปรผันไปตามคุณภาพสินค้า สินค้าคุณภาพดีย่อมมีราคาสูงกว่าสินค้าคุณภาพไม่ดี สินค้าบางอย่างที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ขาดคุณภาพ คุณภาพต่ำไม่เหมาะสมกับราคา รัฐบาลจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพสินค้าขึ้น เพื่อควบคุมลักษณะต่าง ๆ ของสินค้า เช่น น้ำหนัก ขนาด สี ส่วนผสม บรรจุภัณฑ์ เป็นต้น

การควบคุมคุณภาพเป็นการรวมคำสองคำเข้าด้วยกัน คำหนึ่งคือคำว่า การควบคุมควบคุม (Control) ซึ่งมีความหมายสั้น ๆ ว่า เป็นการบังคับให้กิจกรรมดำเนินไปตามแผน ที่วางเอาไว้ ส่วนอีกคำหนึ่งคือ คำว่า คุณภาพ (Quality) ซึ่งมีความหมายว่า ผลผลิตมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ออกแบบดีและรายละเอียดอื่น ๆ เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด ฉะนั้น การควบคุมคุณภาพจึงมีความหมายรวมกันว่า หมายถึง การจัดกิจกรรมต่างๆ เพื่อให้ได้ผลผลิตออกมาดี เป็นไปตามแบบ ประณีต เรียบร้อย สวยงาม และนำไปใช้งานได้ดีสะดวกและเหมาะสมกับราคา การที่จะให้สินค้าออกมาดีมีคุณภาพตามที่ต้องการนั้นก็จำเป็นที่จะต้องมีการควบคุม การควบคุมคุณภาพนั้น มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดคุณภาพของสินค้า เป็นการกำหนดคุณภาพของสินค้า ตามที่ต้องการของลูกค้าที่ผลิตนั้น ต้องการให้มีคุณภาพสูงต่ำอย่างไร ซึ่งคุณภาพนี้จะเกี่ยวข้องกับวัตถุดิบ วัสดุ วิธีการผลิตและราคา ตลอดทั้งนโยบายของผู้บริหารอีกด้วย

2. ออกแบบผลิตภัณฑ์เมื่อมีการกำหนดระดับคุณภาพแล้ว ต่อไปนี้จะเป็นขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อจะนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามแบบที่ออกแบบไว้

3. ควบคุมการผลิต เป็นการควบคุมกรรมวิธีการผลิต ทุกขั้นตอนตั้งแต่นำวัตถุดิบ ป้อนเข้ากระบวนการผลิต ควบคุมกระบวนการผลิต

4. ควบคุมสินค้าสำเร็จรูป ขั้นนี้จะเป็นการตรวจสอบ (Inspection) สินค้าสำเร็จรูปที่ผลิตออกมาว่าได้มาตรฐานหรือไม่ ก่อนจะนำส่งลูกค้า หรือก่อนนำไปจำหน่าย เมื่อสินค้าได้คุณภาพดีแล้วก็ส่งมอบลูกค้าต่อไป

2.6 การซ่อมบำรุงระบบการผลิต

"การซ่อมบำรุง" มาจากคำว่า " การซ่อม รวมกับ การบำรุง " การซ่อมหมายถึง การทำสิ่งที่ชำรุดให้คืนดี การบำรุง หมายถึง การรักษาให้อยู่ในสภาพที่ดี ในทางการบริหารการผลิต ระบบการซ่อมบำรุง หมายถึง งานหรือกิจกรรมที่จัดให้มีขึ้นเพื่อให้เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานได้ตลอดเวลา เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในระบบการผลิต แม้จะออกแบบมาดีเลิศเพียงใด การชำรุดเสียหายย่อมมีได้เสมอ เมื่อเหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้น บริษัทจะประสบกับความสูญเสียอย่างน้อยที่สุดก็ด้วยเหตุผล 3 ประการ

1.เมื่อเครื่องจักรและอุปกรณ์ชำรุดย่อมไม่สามารถทำการผลิตได้ เมื่อไม่มีการผลิตก็อาจทำให้ไม่มีสินค้าไว้ขาย เมื่อไม่มีการขายย่อมไม่มีรายได้เข้าบริษัท

2. เมื่อเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตชำรุด พนักงานย่อมไม่มีงานทำ แต่บริษัทยังต้องจ่ายค่าจ้าง

3. เมื่อเครื่องจักรและอุปกรณ์ชำรุดแม้แต่เพียงหน่วยเดียว อาจทำให้ต้องหยุดเดินเครื่องทั้งระบบการผลิต ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียทั้งทางด้านการผลิตและทางด้านการเงิน

ด้วยเหตุผลดังกล่าว การซ่อมบำรุงจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบการผลิต นักบริหารการผลิตจึงเสาะแสวงหาวิธีการต่าง ๆ เพื่อให้มีระบบการซ่อมบำรุงที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากที่สุด

วัตถุประสงค์และแนวทางการบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์

ในกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ถูกใช้งานควรอยู่ในสภาพที่สามารถทำงานได้เต็มสมรรถนะ ในเวลาที่ดำเนินงาน โดยไม่ชำรุดขณะเดินเครื่อง และมีเวลาหยุดเครื่องจักร (Downtime) น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อที่จะทำให้ระบบการผลิตสามารถดำเนินการไปได้อย่างคล่องตัวโดยมีต้นทุนต่ำ

การที่จะทำให้ระบบการผลิตสามารถดำเนินการไปได้อย่างคล่องตัวโดยมีต้นทุนที่ต่ำในด้านการบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์นั้น มีแนวทางดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

1. การสร้างระบบเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ไว้วางใจได้ (Reliability Tactics) ได้แก่
   1.1 การปรับปรุงส่วนประกอบของเครื่องจักรแต่ละส่วน
   1.2 การเสริมสำรอง (Redundancy)
2. การบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ (Maintenance) ได้แก่
   2.1 การดำเนินการบำรุงรักษาแบบต่าง ๆ
   2.2 การเพิ่มประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการซ่อมแซม

ประโยชน์ของการบำรุงรักษา

การบำรุงรักษาที่ดี จะก่อให้เกิดประสิทธิผลดังต่อไปนี้

1. ลดความเสียหาย เสียเวลา อันเกิดจากเครื่องจักรขัดข้องขณะจัดฝึกนักศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงฝึกงานที่มีการปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่อง
2. ยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักรอุปกรณ์ ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนและงบประมาณการจัดหาครุภัณฑ์ของสถาบันอาชีวศึกษา
3. ลดชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ หรือผลผลิตที่ไม่ได้มาตรฐานตามข้อกำหนด
4. เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้สูงขึ้น (เครื่องมือดีผลิตผลจะดีด้วย)
5. ทำให้เกิดความปลอดภัยในการทำงาน ป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงาน
6. การจัดการควบคุมชิ้นอะไหล่ทำได้ง่ายขึ้น ลดจำนวนที่จัดเก็บ
7. ลดค่าใช้จ่ายในปัจจัยการผลิต 3M อันประกอบด้วย

   - Material Cost ลดความเสื่อมสภาพจากการจัดเก็บ และการเกิดของเสียจากการผลิตด้วยเครื่องจักรที่ชำรุด

   - Machine Cost ลดค่าอะไหล่ และค่าเสียเวลาและโอกาสอันเนื่องจากต้องหยุดเครื่องจักรเพื่อซ่อมแซม

   - Manpower Cost ลดค่ารักษาพยาบาล และค่าเสียเวลาอันเนื่องจากนักศึกษาเกิดอุบัติเหตุ บาดเจ็บไม่สามารถทำงานได้

วิธีการบำรุงรักษา

ในการปฏิบัติงานบำรุงรักษา จะสามารถ จำแนกวิธีการซ่อมบำรุงได้ 4 แบบ ต่อไปนี้คือ

1. การบำรุงรักษาสภาพเครื่องจักร แบ่งการปฏิบัติงานได้เป็น 2 ลักษณะ คือ
   1.1 ซ่อมบำรุงขณะเครื่องจักรกำลังทำงานอยู่
   1.2 ซ่อมบำรุงขณะเครื่องจักรหยุดทำงาน (ซ่อมบำรุงหลังเวลางานหรือเมื่อเครื่องจักรชำรุ
2. การบำรุงรักษาโดยช่าง แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

2.1 คนคุมเครื่องจักร หรือช่างประจำเครื่องจักรเป็นผู้ดำเนินการซ่อมบำรุงเอง

2.2 ช่างซ่อมบำรุงเป็นผู้ซ่อมบำรุงตามกำหนดเวลา

3. การบำรุงรักษาตามกำหนดเวลา แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

3.1 มีกำหนดเวลาซ่อมบำรุงที่แน่นอน เช่น รายวัน รายสัปดาห์ ตามจำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์

3.2 ซ่อมบำรุงตามโอกาส เช่น เมื่อเครื่องจักรเกิดการชำรุด หรือเป็นช่วงปิดภาคเรียนที่เครื่องจักรหยุดการทำงาน

4. การบำรุงรักษาตามลักษณะของงานที่ทำ แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

4.1 งานซ่อมแซม (Repairing) เมื่อเครื่องจักรชำรุด

4.2 งานบำรุงรักษา (Maintaining) เมื่อเครื่องจักรถึงอายุงานต้องบำรุงรักษา

การสร้างระบบเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ไว้วางใจได้

การสร้างระบบเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ไว้วางใจได้ เป็นการวางรากฐานของการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ให้มั่นคงตั้งแต่แรกเริ่ม ซึ่งจะมีผลต่อสมรรถนะและสมรรถภาพของเครื่องจักรในระยะยาว โดยคำนึงถึงส่วนประกอบของเครื่องจักรที่ทำงานเกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กัน ถ้าชิ้นส่วนของเครื่องจักรชำรุดเสียหายย่อมจะมีผลถึงการดำเนินการของเครื่องจักรทั้งหมด ดังนั้นแนวทางการสร้างระบบเครื่องจักรอุปกรณ์มีดังต่อไปนี้

1. การปรับปรุงส่วนประกอบของเครื่องจักรแต่ละส่วน ส่วนประกอบแต่ละส่วนของเครื่องจักรต้องสามารถไว้วางใจได้ จึงทำให้ระบบเครื่องจักรนั้นทั้งเครื่องทำงานได้โดยสมบูรณ์ ถ้าส่วนประกอบใดเสียหายบกพร่องย่อมส่งผลถึงการทำงานรวมของเครื่องจักรนั้นอย่างแน่นอน ยิ่งมีส่วนประกอบเสียหายบกพร่องจำนวนมากเท่าใด ความไว้วางใจได้ของระบบเครื่องจักรอุปกรณ์ก็ลดลงมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นการวัดความไว้วางใจได้ของเครื่องจักรอุปกรณ์ใดก็ตาม จะสามารถวัดได้จากความไว้วางใจได้ของส่วนประกอบเครื่องจักร อุปกรณ์นั้นแต่ละส่วนทุกส่วน นั่นคือ

$$Rs = R1 \times R2 \times R3 \times ....Rn \qquad (2.11)$$

โดยที่ Rs = ความไว้วางใจได้ของเครื่องจักรทั้งระบบ

R1 = ความไว้วางใจได้ของส่วนประกอบชิ้นที่ 1

R2 = ความไว้วางใจได้ของส่วนประกอบชิ้นที่ 2

การเลือกซื้อเครื่องจักรอุปกรณ์เป็นความรับผิดชอบของฝ่ายวิศวกรรมร่วมกับฝ่ายจัดซื้อ ซึ่งต้องพิจารณาคุณสมบัติของเครื่องจักร ราคา และการดูแลรักษาตลอดอายุการใช้งาน การวัดคุณสมบัติในด้านความไว้วางใจได้ของเครื่องจักรจะสามารถวัดออกมาเป็นหน่วยที่เรียกว่า อัตราการขัดข้องของ

เครื่องจักร (Product Failure Rate หรือ FR) ซึ่งจะวัดเป็นเปอร์เซ็นต์หรือวัดเป็นครั้งในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

การวิเคราะห์ความไว้วางใจได้ของเครื่องจักร จึงเป็นการหาค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างการขัดข้องของเครื่องจักรแต่ละครั้ง (Mean Time Between Failure หรือ MTBF) ซึ่งเป็นเวลาที่เครื่องจักรทำงานได้โดยไม่มีการเสียหรือขัดข้อง

MTBF = ค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างการขัดข้องของเครื่องจักรแต่ละครั้ง

2. การเสริมสำรอง เป็นการเผื่อสำรองไว้ถ้าเกิดการเสียหรือขัดข้องของส่วนประกอบใด ส่วนประกอบหนึ่ง ก็สามารถนำเอาส่วนที่ Back up มาใช้แทนได้ทันทีเพื่อไม่ให้กระบวนการผลิตหยุดชะงักขาดตอน การเสริมสำรองมีผลให้ความไว้วางใจได้ของเครื่องจักรเปลี่ยนแปลงไปดังต่อไปนี้

โดยที่ 1- Rn เป็นโอกาสที่ต้องใช้เครื่องจักรสำรอง ตัวแปรอื่นเหมือนสมการ 2.11

การบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์

การบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์เป็นกระบวนการวางแผน ปฏิบัติการ และเก็บรวบรวมข้อมูลของเครื่องจักร เพื่อให้เครื่องจักรอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้เต็มสมรรถนะการทำงาน การบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์จึงประกอบด้วยกิจกรรมหลายประการตั้งแต่ การวางแผนซื้อเครื่องจักร การตรวจตราดูแลรักษาสภาพคอยเปลี่ยนชิ้นส่วนที่หมดอายุ การซ่อมแซมเครื่องจักรที่เสียหายขัดข้อง การทำประวัติบันทึกของเครื่องจักรทุกเครื่อง ไปจนถึงการตัดสินใจซื้อเครื่องจักรใหม่มาทดแทนเครื่องจักรที่หมดสภาพแล้ว แนวทางของการบำรุงรักษามีอยู่ 2 แนวทาง ดังต่อไปนี้

1. **การดำเนินการบำรุงรักษาแบบต่าง ๆ** ซึ่งแยกออกมาได้ 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ

1.1 การบำรุงรักษาแบบป้องกัน (Preventive Maintenance) เป็นการบำรุงรักษาที่ใช้การตรวจตราเป็นประจำอย่างต่อเนื่องและซ่อมแซมส่วนที่ชำรุดตามอายุการใช้งาน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อป้องกันมิให้เครื่องจักรชำรุดและอยู่ในสภาพพร้อมทำงาน ซึ่งทำได้ในขณะที่เดินเครื่องทำงานและขณะหยุดเครื่อง

โดยปกติแล้วการขัดข้องของเครื่องจักรมีอยู่หลายแบบ แต่ละแบบจะมีอัตราการเสียที่มีความสัมพันธ์กัน จะเห็นได้ว่า อัตราเครื่องจักรเสียมีระดับแตกต่างกัน ในช่วงแรกของอายุการทำงานเครื่องจักร อัตราการเสียนี้จะสูงมาก เรียกว่าช่วง Infant Mortality ดังนั้นในอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมอิเล็คทรอนิคส์ต้องทดสอบการผลิตหลายครั้งเพื่อป้องกันปัญหาการเกิดของเสียเนื่องจากเครื่องจักรเสีย หรือ การเสียอาจเกิดขึ้นจากการใช้เครื่องจักรไม่ถูกวิธีซึ่งเป็นไปได้สูงในช่วงเริ่มแรกที่ฝ่ายผลิตยังไม่คุ้นเคยกับการใช้เครื่องจักรใหม่ ในช่วงต่อมาของอายุการทำงานเครื่องจักรเมื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระยะแรกได้แล้ว อัตราการเสียจะต่ำลงอยู่ในระดับปกติจนกระทั่ง

เข้าสู่ช่วงปลายของอายุการทำงานเครื่องจักร อัตราการเสียจะสูงขึ้นอีกครั้งจากความเก่าความสึกหรอของเครื่องจักรที่ใช้งานมานาน เรียกว่า Wear out Failure

ในการบำรุงรักษาแบบป้องกันจะมีวิธีการที่จัดการกับการเสียของเครื่องจักรในช่วงอายุต่าง ๆ อย่างแตกต่างกันไปแล้วแต่สาเหตุของปัญหาและต้นทุนของการบำรุงรักษา ดังต่อไปนี้

ก. ช่วงแรก ควรมีการวางระบบการบำรุงรักษาอย่างมีแบบแผนกำหนดระยะเวลาการดูแลและ ซ่อมบำรุงอบรมฝึกฝนพนักงานฝ่ายช่างในเรื่องการดูแลและสอนพนักงานฝ่ายผลิตให้ใช้เครื่องจักรอย่างถูกวิธี จนสามารถดูแลเครื่องจักรเองได้ในระดับหนึ่ง

ข. ช่วงกลาง ควรมีการศึกษาค่า MTBF ของแต่ละเครื่องจักร ว่ามีความไว้วางใจได้ในระดับใด และเตรียมการบำรุงรักษาแบบป้องกันให้พร้อม นอกจากนั้นควรมีการวิเคราะห์ถึงต้นทุนที่ประหยัด ของการบำรุงรักษา เพราะการบำรุงรักษาที่พอเหมาะพอควร พอควรคือ ต้นทุนรวมของค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมมีค่าต่ำที่สุด ต้นทุนของการบำรุงรักษามี 3 ประเภทด้วยกัน ดังต่อไปนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม อันได้แก่ ค่าแรงพนักงาน ช่างซ่อม ค่าอะไหล่ วัสดุ ค่าโสหุ้ยในการซ่อมแซม
2. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาป้องกัน อันได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบ และค่าสูญเสียเวลาในการผลิตเพื่อหยุดเครื่องจักรมาดูแลตามปกติ
3. ความเสียหายที่เกิดจากการชำรุด อันได้แก่

3.1 ค่าใช้จ่ายในการหยุดเครื่อง เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักรใช้งานไม่ได้ เช่น ค่าแรงของคนงานที่ต้องหยุดทำงาน ต้นทุนสินค้าคงคลังที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสินค้าคงคลังต้องค้างอยู่ในกระบวนการผลิตนานขึ้น ค่าใช้จ่ายนี้เป็นค่าใช้จ่ายคงที่ในการหยุดแต่ละครั้ง

3.2 ค่าใช้จ่ายสำหรับเวลาที่สูญเสีย เป็นค่าเสียโอกาสในการผลิตสินค้า ซึ่งขึ้นกับระยะเวลาการหยุดเครื่อง

3.3 ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องใหม่ เป็นค่าใช้จ่ายคงที่ในการเดินเครื่องใหม่แต่ละครั้ง

จะเห็นได้ว่าถ้ามีการบำรุงรักษามาก การซ่อมแซมและความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการชำรุดก็จะมีค่าใช้จ่ายน้อย แต่ก็จะมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูงมาก ถ้าบำรุงรักษาน้อย การซ่อมแซมและความเสียหายที่เกิดจากการชำรุดก็จะมีค่าใช้จ่ายสูง แต่ก็จะมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาน้อย จึงควรบำรุงรักษาในระดับที่ทำให้ต้นทุนรวมในการบำรุงรักษาต่ำสุด

นอกจากนี้ควรมีเครื่องมือที่จะบ่งบอกว่า เครื่องจักรใดถึงเวลาที่ควรได้รับการบำรุงรักษาแล้ว เช่นมีเกจวัดระดับน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องจักรติดอยู่ และที่สำคัญคือควรมีการบันทึกประวัติเครื่องจักร และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการซ่อมแซมบำรุงรักษาแต่ละครั้ง ซึ่งในปัจจุบันได้ใช้คอมพิวเตอร์เพื่อความสะดวกและถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ค. ช่วงท้าย ต้องพิจารณาตัดสินใจว่าควรจะซ่อมแซมบำรุงเครื่องจักรนั้นต่อไปหรือซื้อเครื่องจักรใหม่ทดแทนและคุ้มค่าเงินที่ต้องจ่ายมากกว่า เพราะเครื่องจักรที่เก่าเกินไปจะเสียค่าซ่อมบำรุงสูงมากและความเสี่ยงที่เครื่องจักรจะเสียก็มีมาก เมื่อเทียบกับการซื้อเครื่องจักรใหม่ที่มีความทันสมัยกว่า และมีอายุการใช้งานอีกยาวนาน

การบำรุงรักษาแบบป้องกันนี้ เป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากสำหรับเครื่องจักรที่มีกรรมวิธีการผลิตแบบต่อเนื่อง โดยเฉพาะกับเครื่องจักรหลักที่มีกระบวนการผลิตตามมาอีกหลายขั้นตอน ยิ่งจำเป็นมาก เพราะถ้าเครื่องจักรนี้เสียจะทำให้หลายกระบวนการผลิตหยุดชะงักหมด หรือในบางกรณีเครื่องจักรบางเครื่อง ถ้าปล่อยให้ชำรุดเสียหายก็จะเป็นอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้เป็นอย่างมาก เช่น หม้อน้ำ ลิฟต์ จึงต้องบำรุงรักษาแบบป้องกันตลอดเวลา

1.2 การบำรุงรักษาเพื่อซ่อมแซมเครื่องจักรที่เสีย (Breakdown Maintenance) เป็นการซ่อมแซมเมื่อเครื่องจักรเก่าชำรุดขัดข้องขึ้นโดยไม่มีการวางแผนการบำรุงรักษาไว้ล่วงหน้าเลย มักใช้กับกับเครื่องจักรที่ทำการผลิตอย่างไม่ต่อเนื่อง เป็นเครื่องจักรที่ทำงานเป็นอิสระไม่ขึ้นกับเครื่องจักรอื่น ซึ่งในกรณีนี้เมื่อเกิดเสียขึ้นก็ไม่ทำให้เครื่องจักรอื่น ๆ ต้องหยุดทำงาน การที่ปล่อยให้เดินเครื่องจักรไปจนกระทั่งชำรุดแล้วจึงค่อยทำการซ่อมแซมอาจประหยัดค่าใช้จ่ายได้ดีกว่าเพราะการป้องกันการชำรุดอาจจะเสียค่าใช้จ่ายมากกว่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นหากเครื่องชำรุด การบำรุงรักษาเล็กน้อยก็อาจมีบ้างเช่น การทำความสะอาด การหล่อลื่นเท่านั้น

การบำรุงรักษาแบบนี้จะใช้ในโรงงานที่มีเครื่องจักรเล็ก ๆ ชนิดเดียวกันเป็นจำนวนมาก เช่น จักรเย็บผ้า ที่จะใช้งานกันไปจนเครื่องเสียแล้วจึงทำการซ่อมแซม โดยที่ใช้เครื่องจักรอันอื่นที่มีอยู่ทำการผลิตต่อไปก่อน

2. การเพิ่มประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการซ่อมแซม เพื่อแก้ไขยกระดับความไว้วางใจได้ และทดแทนการขาดระบบการบำรุงรักษาแบบป้องกัน โรงงานควรต้องมีการซ่อมแซมที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็วให้เครื่องจักรกลับสู่สภาพเดิมได้อย่างรวดเร็วที่สุด ซึ่งต้องมีปัจจัยที่เอื้ออำนวย ดังต่อไปนี้

2.1 บุคลากรที่ได้รับการฝึกฝนมาอย่างดี ทั้งฝ่ายผลิตและฝ่ายช่างซ่อมบำรุง
2.2 ทรัพยากรหรืองบประมาณที่เพียงพอ
2.3 สมรรถนะในการสร้างแผนงานและลำดับความสำคัญของงานซ่อม
2.4 สมรรถนะและอำนาจต่อรองในการวางแผนชิ้นส่วนและอะไหล่ทดแทน
2.5 สมรรถนะในการวิเคราะห์หาสาเหตุของเครื่องจักรเสีย
2.6 สมรรถนะในการสร้างวิธีรการเพิ่ม MTBF

การเพิ่มประสิทธิภาพในการซ่อมแซมจะได้ผลอย่างมาก ถ้าสามารถเน้นการพัฒนาคนในระบบงานได้ ด้วยแนวความคิดในการให้อำนาจแก่คนงาน (Employee Empowerment) ในการตัดสินใจบริหารและปฏิบัติงานเองโดยให้คนงานที่ใช้เครื่องจักรนั้นอยู่ต้องทำความสะอาด ตรวจสอบ และ หมั่นสังเกตความผิดปกติที่เกิดขึ้นของเครื่องจักรที่ตนรับผิดชอบและใช้งานอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งแนวคิดนี้เพิ่งใช้ในอุตสาหกรรมตะวันตก หลังจากลองประยุกต์เอาระบบ TQC ที่ใช้ในอุตสาหกรรมญี่ปุ่นมาปฏิบัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการบำรุงรักษาให้ดีขึ้น

การบำรุงรักษาทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance) หรือ TPM

การบำรุงรักษาทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วม เป็นการบำรุงรักษาเพื่อให้เครื่องจักรและอุปกรณ์มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยมีต้นทุนการบำรุงรักษาต่ำสุดตลอดชั่วอายุการใช้งานและมีความพร้อมที่จะใช้งานได้ตลอดเวลา TPM เป็นระบบการบำรุงรักษาที่ไม่ได้มอบหมายความรับผิดชอบด้านการดูแลเครื่องจักรแก่ฝ่ายซ่อมบำรุงเท่านั้นแต่ทุกคนในโรงงานตั้งแต่ผู้บริหารระดับสูง ตลอดจนเจ้าหน้าที่ฝ่ายต่างๆ จะต้องร่วมมือร่วมใจกันปฏิบัติการบำรุงรักษาเพื่อให้เครื่องจักรเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ทำการผลิตทุกขั้นตอนได้อย่างราบรื่น

โดยปกติแล้วการบำรุงรักษาในโรงงานอุตสาหกรรม แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังต่อไปนี้

1. งานบำรุงรักษาเมื่อเกิเหตุขัดข้อง (Breakdown Maintenance) : BM เป็นการซ่อมบำรุงที่จะต้องกระทำเมื่อเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ไม่สามารถใช้งานได้ตามปกติได้ ถ้ายังไม่มีเหตุขัดข้องเกิดขึ้นการซ่อมบำรุงแบบนี้ก็จะไม่เกิดขึ้น ซึ่งจะเหมาะสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรที่มีความเป็นเอกเทศ ไม่มีความสำคัญต่อความปลอดภัยหรือเป็นเครื่องจักรที่มีชุดสำรอง หรือมีลักษณะที่สามารถทำการซ่อมบำรุงได้โดยใช้เวลาอันสั้น

2. งานป้องกันการบำรุงรักษา (Maintenance Prevention): MP เป็นการเลือกซื้อหรือออกแบบและติดตั้งเครื่องจักรที่มีความแข็งแรงทนทาน ต้องให้มีการซ่อมบำรุงให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ และถ้าจะต้องมีการซ่อมบำรุงต้องทำได้โดยง่ายและสูญเสียทรัพยากร น้อยที่สุด หรือสะดวกที่สุด

3. งานบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง (Corrective Maintenance): CM เป็นการดัดแปลงปรับปรุงแก้ไข เครื่องจักรหรืออุปกรณ์การผลิตให้มีสมรรถภาพในการผลิตสูงขึ้น หรือขจัดอาการขัดข้องที่เกิดขึ้นเป็นประจำให้หมดสิ้นไป การซ่อมบำรุงแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อประสิทธิภาพการผลิตด้อยลงทั้งคุณภาพและปริมาณ

4. งานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Prevention Maintenance): PM เป็นการบำรุงรักษาดูแลตรวจสภาพเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ทำการผลิตโดยมีการวางแผนไว้ล่วงหน้า ก่อนที่เครื่องจักรนั้นจะชำรุดขัดข้อง การซ่อมบำรุงแบบนี้เหมาะสำหรับเครื่องจักรที่มีความสำคัญต่อระบบการผลิตหรือมีความสำคัญต่อความปลอดภัย และสามารถทำการซ่อมบำรุงได้แม้ในขณะที่เครื่องจักรหรืออุปกรณ์

นั้น กำลังทำงานอยู่ กิจกรรมของ PM ประกอบด้วย

4.1 การทำความสะอาด (Cleaning)

4.2 การหล่อลื่น (Lubrication)

4.3 การตรวจสภาพ (Inspection)

4.4 การตรวจสภาวะ (Condition Checking)

4.5 การตรวจสอบความถูกต้อง (Function Test)

ขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อสร้างระบบงาน PM ซึ่งจะพัฒนาเป็นระบบการบำรุงรักษาทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วมมีดังต่อไปนี้

1. การจัดทำข้อมูลเครื่องจักรอุปกรณ์ (Plant data) อันประกอบด้วย

1.1 ชื่อเครื่องจักร

1.2 รหัสเครื่องจักร

1.3 Spec เครื่องจักร

1.4 สถานะเครื่องจักร

1.5 ประวัติการซ่อมบำรุง

2. การจัดทำ PM Instruction เป็นการจัดทำรายละเอียดของเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ต้องทำกิจกรรม PM ทั้งหมด

2.1 ชื่อเครื่องจักร

2.2 รหัสเครื่องจักร

2.3 ชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่ต้องบำรุงรักษา

2.4 งานและรายละเอียดของงานที่จะทำสำหรับชิ้นส่วนนั้น

2.5 บุคคลที่จะทำงาน

2.6 ความถี่ของงาน

2.7 ระยะเวลาในการทำงานนั้น

การบำรุงรักษาทำได้ทั้งขณะเครื่องจักรทำงานและหยุดเครื่อง

3. การวางแผน (Planning) เป็นการวางแผนจัดกิจกรรม PM ให้เป็นหมวดหมู่แล้วกำหนดการทำการบำรุงรักษาและการซ่อมบำรุงแยกออกจากกัน เพราะ PM ต้องทำต่อเนื่องตลอดเวลาซึ่งใช้ผู้รับผิดชอบมาก

4. การนำไปปฏิบัติ (Execution) โดยการอบรมพนักงานให้เข้าใจระบบ PM กำหนดแบบฟอร์ม ที่ใช้บันทึกเมื่อใช้วิเคราะห์ การให้พนักงานรายงานข้อมูลโดยมีระบบควบคุม

การวางระบบ PM ที่ดีจะเป็นพื้นฐานในการทำ TPM ที่มีประสิทธิภาพซึ่ง TMP ที่สมบูรณ์แบบจะมีเป้าหมายในการดำเนินงาน ดังนี้

ก. เครื่องจักรในระบบการผลิตจะต้องอยู่ในสภาพที่มีประสิทธิภาพสูงสุดตลอดเวลา

ข. สร้างระบบรวมของการบำรุงรักษา โดยมีเป้าหมายที่วัฏจักรชีวิตของเครื่องจักรทุกช่วงเวลา รวมทั้งทราบล่วงหน้าถึงการเสื่อมสภาพและการป้องกันแก้ไข อันจะมีผลให้ใช้เครื่องจักรอย่างคุ้มค่า

ค. สร้างความร่วมมือระหว่างทุกฝ่ายตั้งแต่ผู้บริหารระดับสูง จนถึงพนักงานระดับปฏิบัติการ

การบำรุงรักษาทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วม (TPM) จะทำให้การใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ในระบบการผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล โดยช่วยลดความสูญเสียจากการขัดข้องของเครื่องจักร การตั้งหรือปรับแต่งเครื่อง การเดินเครื่องสูญเปล่า การลดความเร็วในกาผลิต ฯลฯ ซึ่งส่งผลกระทบถึงผลผลิตทั้งสิ้น ระบบ TPM ที่ดีจะเป็นตัวเสริมกิจกรรม TQC และระบบการผลิตแบบ Just – In – Time เช่นเดียวกันกับระบบวิศวกรรมคุณค่าอันเป็นแนวทางที่ญี่ปุ่นใช้ในการบริหารอุตสาหกรรมจนประสบผลสำเร็จอย่างสูง

การบำรุงรักษาทวีผลเชิงปฏิบัติ

ในระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (JIT) เมื่อเกิดปัญหาในสายการผลิตที่จุดใด คนงานจะหยุดสาย การผลิตและเข้าไปแก้ไขที่จุดนั้น โดยกดไฟสัญญาณให้แสดงถึงจุดที่มีปัญหา ปัญหาที่เกิดขึ้นมีหลายสาเหตุตั้งแต่วัตถุดิบไม่ได้มาตรฐาน หรือ กระบวนการผลิตก่อนทำผิดวิธีแต่ปัญหาที่ร้ายแรงมากคือ ปัญหาการเสียของเครื่องจักร เพราะจะทำให้กระบวนการผลิตหยุดชะงักไปทั้งหมด ดังนั้นเพื่อป้องกันการหยุดของสายการผลิตอันอาจจะเกิดขึ้นเมื่อเครื่องจักรเครื่องใดเครื่องหนึ่งเสีย จึงต้องอบรมสอนวิธีการใช้งานเครื่องจักรที่ถูกต้องแก่คนงาน ให้ใช้อย่างระมัดระวังไม่ใช้งานเกินกำลังของเครื่องจักร

ในระบบ TPM จะมีแนวทางปฏิบัติที่ว่า ก่อนการทำงานในตอนเช้าคนงานจะต้องทำการตรวจสอบ ความพร้อมของเครื่องจักรและบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างง่าย ๆ เช่น หยอดน้ำมันหล่อลื่น , ตรวจสอบแรงดัน , ระดับน้ำมัน , สภาพของสายพาน เป็นต้น นอกจากนั้นคนงานทุกคนยังได้รับการสอนให้สามารถซ่อมบำรุงเครื่องจักรและแก้ไขการขัดข้องของเครื่องจักรเล็ก ๆ น้อย ๆ เมื่อเครื่องจักรเสียคนงานส่วนใหญ่จึงสามารถแก้ปัญหาได้เอง TPM เป็นกิจกรรมสำคัญที่ทุกโรงงานปฏิบัติกันอย่างเป็นระบบ ประวัติการใช้งานของเครื่องจักรทุกเครื่องจะได้รับการบันทึกอย่างละเอียดเพื่อวิเคราะห์ถึงความถี่ที่จำเป็นสำหรับการซ่อมบำรุง ประวัติการซ่อมของเครื่องจักรทุกเครื่องจะได้รับการจดบันทึกไว้อย่างละเอียด และต้องปฏิบัติตามคู่มือการซ่อมบำรุงและดูแลรักษาเครื่องจักรทุกเครื่องอย่างเคร่งครัด

แนวคิดในการกำหนดให้คนงานดูแลตรวจซ่อมเครื่องจักรที่ตนเองควบคุมอยู่เป็นส่วนหนึ่งของระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดีของอุตสาหกรรมญี่ปุ่น คนงานจะตรวจตราเครื่องจักรที่ตนรับผิดชอบอยู่ การตรวจสอบอาจทำโดยอาศัยราการตรวจสอบที่กำหนดไว้อย่างละเอียดเช่นเดียวกับการซ่อมบำรุงเครื่องบิน เพราะอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับการบินร้ายแรงมากต้องสูญเสียทั้งชีวิตคนแลทรัพย์สิน จึงควรตรวจสอบเครื่องจักรเสมือนการตรวจสอบเครื่องบินซึ่งสามารถป้องกันความเสียหายของเครื่องบินได้ดี

ในทางตรงกันข้าม โรงงานอุตสาหกรรมตะวันตกจะถือว่าเครื่องจักรต่าง ๆ ได้รับการออกแบบไว้ดีที่สุดแล้ว ไม่ว่าจะมีการซ่อมบำรุงดีเพียงใดก็ยังมีโอกาสที่เครื่องจักรจะเสียได้วิธีการแก้ปัญหา คือ ควรเก็บสินค้าคงคลังไว้ป้องกันการหยุดชะงักของกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นสิ่งที่ระบบ JIT พยายามหลีกเลี่ยงมากที่สุด

สรุป การซ่อมบำรุงระบบการผลิต หมายถึง การทำในสิ่งที่ชำรุดให้คืนดี หรือใช้งานได้ หรือกิจกรรมที่จัดให้มีขึ้นเพื่อให้เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ อยู่ในสภาพที่พร้อมที่จะใช้งานได้ตลอดเวลากระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ถูกใช้งานควรอยู่ในสภาพที่สามารถทำงานได้เต็มสมรรถนะในเวลาดำเนินงาน โดยไม่ชำรุดขณะเดินเครื่อง และมีเวลาหยุดเครื่องจักรน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้ระบบการผลิตสามารถดำเนินการไปได้อย่างคล่องตัวโดยมีต้นทุนต่ำ การบำรุงรักษาเครื่องจักรมีอยู่ 2 แนวทาง ดังนี้

1. การดำเนินการบำรุงรักษาแบบต่างๆ ประกอบด้วย การบำรุงรักษาแบบป้องกันการบำรุงรักษาเพื่อซ่อมแซมเครื่องจักรที่เสีย

2. การเพิ่มประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการซ่อมแซม ประกอบด้วย บุคลากรที่ได้รับ การฝึกฝนมาอย่างดี งบประมาณ และ แผนงานสนับสนุน การบำรุงรักษาทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วม(Total Productive Maintenance) หรือต้นทุนการบำรุงรักษาต่ำสุดตลอดชั่วอายุการใช้งาน และ พร้อมใช้งานได้ตลอดเวลา ซึ่งเป็นระบบที่ไม่ได้มอบหมายความรับผิดชอบด้านดูแลเครื่องจักรแก่ฝ่ายซ่อมบำรุงเท่านั้น แต่ทุกคนในโรงงานตั้งแต่ผู้บริหารระดับสูง ตลอดจนเจ้าหน้าที่ฝ่ายต่าง ๆ จะต้องร่วมมือกันร่วมใจกันปฏิบัติการบำรุงรักษา เพื่อให้เครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ทำการผลิตงานได้ทุกขั้นตอนได้อย่างราบรื่น

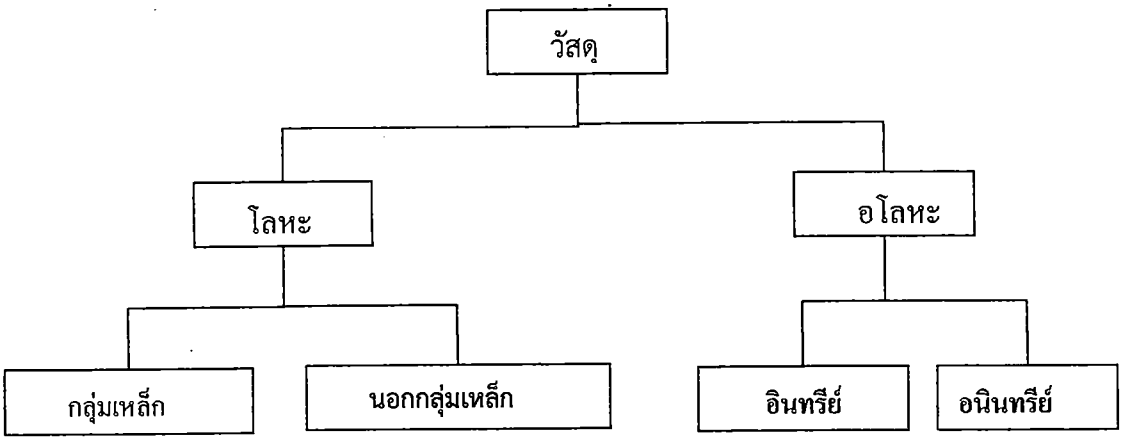
2.7 ขบวนการผลิตสปริงในอุสาหกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 การแบ่งประเภทของวัสดุ

วัสดุที่นำมาใช้ในงานต่างๆ มีมากมายหลายชนิด วัสดุแต่ละชนิดมีคุณลักษณะเฉพาะตัวและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ตลอดจนความเหมาะสมต่อการใช้ก็มีความแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามเรา

สามารถแบ่งวัสดุออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. ประเภทโลหะ (Metallic Materials)
2. ประเภทอโลหะ (Nonmetallic Materials)



รูปที่ 2.17 รูปการแบ่งประเภทของวัสดุ

2.2.1 โลหะ (Metallic) โลหะเป็นวัสดุที่มีความสำคัญมากที่สุด ในบรรดาวัสดุทั้งหมดที่ใช้ในอุตสาหกรรม ประมาณ 80% ของวัสดุทั้งหมดจะเป็นวัสดุประเภทโลหะ โลหะที่ถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมมีไม่น้อยกว่า 50 ชนิด โลหะที่ถูกนำมาใช้มาก ได้แก่ เหล็ก,อะลูมิเนียม,ทองแดง, แมกนีเซียม, นิเกิล, สังกะสี, ตะกั่ว, ดีบุก, โครเมียม, แมงกานีส, โมลิบดินั่ม, ไตตาเนียน, ทังสเตพลวง, ทอง, เงิน และแพลทินัม เป็นต้น

โลหะเป็นวัสดุที่มีลักษณะโครงสร้างแตกต่างจากวัสดุประเภทอื่น เป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าที่ดี มีคุณสมบัติความเป็นพลาสติก (Palsticity) สามารถนำมาขึ้นรูปด้ายการเชื่อมการหล่อ, การกลึง, ไส, กัด ได้ดีโลหะโดยทั่วไปเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง, มีน้ำหนักมากเป็นวัสดุทึบแสงและมีความเงางาม โลหะสามารถแบ่งออกได้ 2 กลุ่ม คือ

โลหะกลุ่มเหล็ก (Ferrous Metal) หมายถึง โลหะที่มีเหล็กเป็นธาตุผสมหลักโลหะที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ส่วนมากจะพบอยู่ในสินแร่เหล็ก (Iron Ore) ซึ่งมีอยู่ทั่วไปบริเวณเปลือกโลกและใต้พื้นโลก สินแร่เหล็กที่ได้มานี้จะมีสิ่งเจือปนอยู่ได้แก่ ออกซิเจน,ซัลเฟอร์,ไนโตรเจนซิลิคอน,ฟอสฟอรัส ฯลฯ โดยเฉพาะออกซิเจนจะมีอยู่จำนวนมาก ดังนั้น การจะนำเอาสินแร่เหล็กไปใช้ ประโยชน์จะต้องทำการขจัดบรรดาสิ่งเจือปนเหล่านี้ออกเสียก่อน กรรมวิธีในการขจัดสิ่งเจือปนเรียกว่า การถลุง ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดต่อไป โลหะกลุ่มเหล็กมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4

โลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non – Ferrous Metal) โลหะที่ไม่มีเหล็กเป็นธาตุผสมโลหะนอกกลุ่มเหล็กจะพบอยู่ในสินแร่ต่างๆ แล้วแต่ละชนิดของโลหะนั้นๆ เช่น ทองแดง จะพบในสินแร่ซัลไฟด์, อะลูมิเนียม พบอยู่ในสินแร่บ๊อกไซด์ เป็นต้น โลหะ นอกกลุ่มมีอยู่หลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 2.1 วัสดุประเภทโลหะ

กลุ่มเหล็ก	นอกกลุ่มเหล็ก
เหล็กหล่อ	อะลูมิเนียม
- สีเทา	ทองแดง
- สีขาว	แมกนิเซียม
- มัลเลียเบิ้ล	นิเกิล
- โนดูลาร์	ตะกั่ว
เหล็กอ่อน	ไตตาเนียม
เหล็กกล้า	สังกะสี ฯลฯ

2.2.2. อโลหะ (Nonmetallic) หมายถึง วัสดุที่ไม่ใช่โลหะ แบ่งออกได้ 2 กลุ่ม คือ

2.2.2.1. วัสดุอินทรีย์ (Organic) หมายถึงวัสดุที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบทางเคมี วัสดุอินทรีย์สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือวัสดุอินทรีย์ธรรมชาติ เช่น ไม้,ถ่านหิน,ปิโตรเลียม, ยางธรรมชาติ, หนัง ฯลฯ อีกประเภทหนึ่งคือวัสดุอินทรีย์สังเคราะห์ (Syntetics) เช่น ยางเคราะห์, พลาสติก, น้ำมันหล่อลื่น ฯลฯ คุณสมบัติของวัสดุอินทรีย์คือจะไม่ทำละลายในน้ำแต่จะทำละลายในของเหลวอินทรีย์ (Organic Liquid) เช่น อัลกอฮอล์, คาร์บอน, เตตาคลอไรด์ เป็นต้น

2.2.2.2. วัสดุอนินทรีย์ (Inorganic) วัสดุอนินทรีย์จะต่างจากวัสดุอินทรีย์ตรงที่สามารถทำละลายในน้ำได้ มีความด้านทานความร้อนได้ดีกว่า ตัวอย่างวัสดุอนินทรีย์ ได้แก่ ซีเมนต์, เซรามิค, แก้ว ฯลฯ

ตารางที่ 2.2 วัสดุประเภทอโลหะ

อินทรีย์	อนินทรีย์
พลาสติก	ซีเมนต์
ปิโตรเลียม	เซรามิค
ไม้	แก้ว
กระดาษ	กราไฟต์
ยาง	
หนัง	

2.2.3. คุณสมบัติของวัสดุ

2.2.3.1. คุณสมบัติทางเคมี

เป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาทางเคมีของวัสดุ การเลือกวัสดุเพื่อนำไปใช้ในงานจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุ อันได้แก่ การกัดกร่อน, ส่วนผสม และลักษณะโครงสร้างทางเคมีของส่วนผสมในวัสดุ เป็นต้น

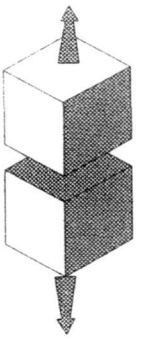
2.2.3.2. คุณสมบัติทางฟิสิกส์

เป็นคุณสมบัติของวัสดุ ที่ไม่เกี่ยวกับแรงที่มากระทำ แต่เกี่ยวกับคุณภาพ หรือคุณลักษณะ ของเนื้อวัสดุ, คุณภาพทางฟิสิกส์ ได้แก่ ความร้อนจำเพาะ, การนำความร้อนสัมประสิทธิ์การขยายตัว, ความหนาแน่น และความต้านทางไฟฟ้า เป็นต้น

2.2.3.3. คุณสมบัติทางกล

เป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของวัสดุเมื่อแรงจากภายนอกมากระทำต่อวัสดุ คุณสมบัติทางกลได้แก่ ความแข็งแรง, ความแข็ง, ความสามารถในการยืดตัว,ความยืดหยุ่น,ความเหนียว เป็นต้น คุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญมาก ดังนั้นการพิจารณาเลือกวัสดุเพื่อนำไปใช้ จะต้องแน่ใจว่าวัสดุนั้นสามารถรับแรงที่มากระทำได้เพียงพอ คุณสมบัติทางกลของวัสดุที่สำคัญ ได้แก่

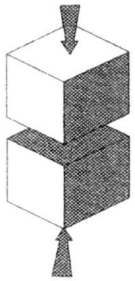
- ความแข็งแรง (Strength) หมายถึง ความสามารถของวัสดุในการรับแรงที่มากระทำโดยวัสดุยังคงสภาพเดิมไม่เกิดความเสียหาย ค่าความแข็งแรงของวัสดุ วัดเป็นแรงต่อพื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่รับแรง โดยมีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว (PSI)



รูปที่ 2.18 รูปวัสดุรับแรงดึง

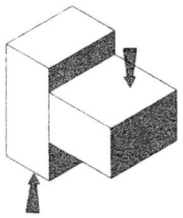
- ความแข็งแรงทางแรงดึง (Tensile Strength) แรงที่มากระทำต่อวัสดุจะอยู่ในลักษณะแรงดึง (Tension) แนวแรงจะตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ ดังดังรูป 2.18 วัสดุจะออกแรงต้านเพื่อไม่ให้เกิดการขาดออกจากกัน

- ความแข็งแรงทางแรงกด (Comprssive Strength) แรงที่มากระทำต่อวัสดุจะอยู่ในลักษณะแรงกด (Compression) แนวแรงตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ เช่นเดียวกับความแข็งแรงทางแรงดึง ดังภาพที่14วัสดุจะออกแรงต้านเพื่อไม่ให้เกิดการแตกหัก



รูปที่ 2.19 รูปวัสดุรับแรงกด

-ความแข็งแรงทางแรงเฉือน (Shear Strength) แรงที่มากระทำต่อวัสดุจะอยู่ในลักษณะของแรงเฉือน (Shear) แนวแรงที่มากระทำต่อวัสดุ แตกต่างจากแรงดึงและแรงกด โดยแนวแรงจะไม่ตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ แต่จะขนานกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ ดังรูปที่ 2.19 วัสดุจะออกแรงต้านเพื่อไม่ให้วัสดุถูกเฉือนขาด



รูปที่ 2.20 รูปวัสดุรับแรงเฉือน

-ความเค้น (Stress) เมื่อชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลหรือโครงสร้างต่างๆ ได้รับแรงจากภายนอกมากระทำจะเกิดแรงต้านภายในจากวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนเหล่านั้นขึ้น แรงต้านที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าความเค้นการวัดค่าความเค้นจะวัดเป็นแรงต่อพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่รับแรง ความเค้น มี 3 ชนิด ความเค้นแรงดึง, ความเค้นแรงกดและความเค้นแรงเฉือน

ถ้าความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าค่าแข็งแรงของวัสดุ แสดงว่า ชิ้นส่วนนั้นสามารถใช้งานต่อไปได้ แต่ถ้าความเค้นที่เกิดขึ้นมีค่าสูงกว่าค่าความแข็งแรงของวัสดุแสดงว่าชิ้นส่วนนั้นไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ถ้าหากนำไปใช้งานจะเกิดความเสียหายขึ้น

การคำนวณหาค่าความเค้นที่เกิดขึ้น สามารถคำนวณได้โดยอาศัยสูตร ดังนี้

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad (2.12)$$

เมื่อ σ = ความเค้น

F = แรงที่มากระทำต่อวัสดุ

A = พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ

- ความเครียด (Strain) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุ เมื่อมีแรงมากกระทำ การวัดค่าความเครียดจะวัดเป็นขนาดที่เปลี่ยนไปต่อขนาดเดิม ความเครียดมี 3 ชนิด ความเครียดแรงดึง, ความเครียดแรงกด และ ความเครียดเฉือน

การหาค่าความเครียด สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\epsilon = \frac{\delta}{I} \qquad (2.13)$$

เมื่อ ϵ = ความเครียด

δ = ค่าความเปลี่ยนของขนาดวัสดุ

I = ขนาดเดิมของวัสดุ

- ความแข็ง (Hardness) หมายถึง ความสามารถในการต้านทานต่อการขีดข่วน และ การกดเจาะ การกำหนดค่าความแข็งแบบที่ง่ายและเก่าแก่ที่สุดจะอาศัยมาตรฐานความแข็งโม่ห์สเกล ซึ่งใช้เปรียบเทียบความแข็งของแร่ โดยแบ่งออกเป็น 10 หมายเลขตั้งแต่ 1 ถึง 10 โม่ห์สเกลหมายเลข 1 มีค่าความแข็งน้อยที่สุด ได้แก่ แร่จำพวกแป้ง (Talc) โม่ห์สเกลหมายเลข 10 มีค่าความแข็งมากที่สุด ได้แก่ เพชร (Diamond) สำหรับค่าความแข็งอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 6

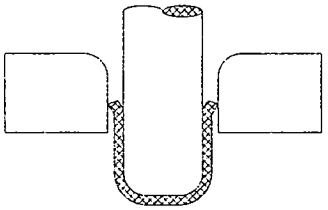
การวัดค่าความแข็งตามมาตรฐานโม่ห์สเกล เป็นเพียงการเปรียบเทียบความแข็งของวัสดุว่าวัสดุชนิดใดแข็งกว่ากันเท่านั้น ไม่สามารถบอกให้ทราบถึงค่าความแข็งที่แท้จริงของวัสดุได้ ดังนั้นงานอุตสาหกรรมจึงมีวิธีการวัดมาตรฐานความแข็งของวัสดุวิธีอื่น ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อการทดสอบความแข็งของวัสดุ

ตารางที่ 2.3 ความแข็งตามมาตรฐานโม่ห์สเกล

โม่ห์สเกลหมายเลข	ชนิดของแร่
1	ทัลค์ (Talc)
2	ยิบซั่ม (Gypsum)
3	แคลไซท์ (Calcite)
4	ฟลูออไรท์ (Fluorite)
5	อาปาไทท์ (Apatite)
6	เฟลสปาร์ (Feldspar)
7	ควอทซ์ (Quartz)
8	โทปาซ (Topaz)
9	โครันดัม(Corumdum)
10	เพชร (Daimond)

- ความสามารถในการยืดตัว (Ductillity) หมายถึง ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงของขนาดวัสดุ ก่อนที่วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อมีแรงมากระทำความสามารถในการยืดตัวนี้ดูได้จากเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุ (Percentage Elongation) ซึ่งได้จากการทดสอบทางแรงดึงของวัสดุ

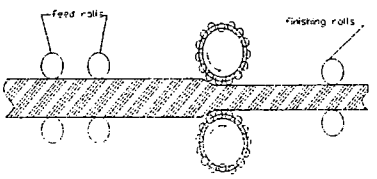
ความสามารถในการยืดตัวเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ ในการพิจารณาเลือกกรรมวิธีในการขึ้นรูปวัสดุ เช่น การกดขึ้นรูป (Drawing), การปั๊มขึ้นรูป (Stamping), การตีขึ้นรูป (Forging) ฯลฯ



รูปที่ 2.21 รูป การกดขึ้นรูป

- ความเหนียว (Toughness) หมายถึง ความต้านทานต่อการแตกหักของวัสดุความเหนียวจึงเป็นความสามารถของวัสดุในการที่จะดูดซึมพลังงานที่เกิดขึ้นจากแรงภายนอกที่มากระทำ การวัดค่าความเหนียวของวัสดุอาศัยการทำสอบทางแรงกระแทก (Impact)

- ความสามารถในการเปลี่ยนรูป (Malleability) หมายถึง การที่วัสดุเปลี่ยนรูปอย่างถาวรเมื่อได้รับแรงกดโดยไม่เกิดความเสียหาย ดังนั้น วัสดุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนรูปที่ดีจะทำให้สามารถนำมาทำการรีดขึ้นรูป (Rolling) หรือการตีขึ้นรูปด้วยค้อนตี (Hammering) โดยไม่มีการแตกหักได้ดี



รูปที่ 2.22 รูป การรีดขึ้นรูปวัสดุ

2.2.4 การทดสอบวัสดุ

จากที่กล่าวมาแล้วในการเลือกวัสดุมาใช้งานนั้นจำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติของวัสดุเสียก่อน การที่เราจะทราบคุณสมบัติของวัสดุได้นั้น จำเป็นต้องอาศัยวิธีการทดสอบวัสดุซึ่งเป็นการศึกษาพฤติกรรมของวัสดุ ภายใต้สภาวะที่กำหนดของการทดสอบวัสดุแบ่งออกได้ 2 ลักษณะคือ

- การทดสอบแบบทำลายสภาพ (Destructive Testing) การทดสอบลักษณะนี้ชิ้นส่วนวัสดุทดสอบ (Specimen) ที่นำมาทำการทดสอบ จะเกิดการชำรุดเสียหายไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การทดสอบแบบทำลายส่วนมากใช้สำหรับทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุ เช่น การทดสอบทางเคมี, การตรวจทางโลหะวิทยา, การทดสอบทางกล (ความแข็ง, แรงดึง, การโค้งงอ) การทดสอบด้วยแรงกระแทก เป็นต้น

- การทดสอบแบบไม่ทำลายสภาพ (Nondestructive Testing) การทดสอบลักษณะนี้ชิ้นวัสดุทดสอบจะไม่เกิดการชำรุดเสียหาย ปกติจะใช้สำหรับตรวจสอบหาข้อบกพร่องในวัสดุ และผลิตภัณฑ์ เช่น การตรวจสอบด้วยสายตา, การตรวจสอบด้วยการแทรกซึม, การตรวจสอบด้วยผงแม่เหล็ก, การตรวจสอบด้วยรังสี, การตรวจสอบด้วยกระแสเอ็ดดี้, การตรวจสอบเครื่องอุลตร้าโซนิค,

การตรวจสอบด้วยวิธีอะคูสติกอีมิชชั่น, การทดสอบเฟอร์ไรท์, การทดสอบด้วยของเหลวและแก๊ส เป็นต้น

2.2.5 อิทธิผลของธาตุในการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุสปริง

2.2.5.1 คาร์บอน เป็นธาตุที่ผสมอยู่ในเหล็กทุกชนิดทุกประเภท เป็นธาตุที่ความสำคัญต่อเหล็กมากเพราะเป็นธาตุที่ทำให้เหล็กมีความแข็ง

2.2.5.2 แมงกานีสเหล็กที่มีธาตุแมงกานีสผสมอยู่ถ้านำเหล็กชนิดนี้มารีด จะรีดได้ง่ายทำให้จุดหลอมละลายต่ำลงเพิ่มความเหนียวให้กับเหล็ก และ ทำให้เหล็กทนต่อการสึกหรอ

2.2.5.3 ซิลิกอน เป็นตัวลดออกไซด์ในน้ำเหล็ก โดยทำหน้าที่เพิ่มความแข็ง และความแข็งแรงให้กับเหล็ก

2.2.5.4 นิกเกิล เป็นธาตุที่ผสมร่วมกับธาตุอื่น เช่น โครเมียม, เหล็กโดยมีนิกเกิล และโครเมียมผสมอยู่ทำให้เหล็กนั้นมีความคงทนต่อการสึกหรอต่ออุณหภูมิสูง

2.2.5.5 โครเมียม โครเมียมเป็นธาตุที่ผสมร่วมกับนิกเกิลแล้วจะทำให้เหล็กมีความแข็งแรงทนต่อการสึกหรอ ไม่เป็นสนิม

2.2.5.6 โมลิบดีนัม ถ้าผสมอยู่ในเหล็กแล้วจะทำให้เหล็กมีความแข็งของผิวมากขึ้นมีความแข็งแรง

2.2.5.7 อทังสเตน หรือ วุลเฟรม ถ้าหากเหล็กชนิดใดที่เติมธาตุนี้ลงไปผสมแล้วจะทำให้เหล็กนั้นมีคุณสมบัติในด้านความแข็ง ความทนต่ออุณหภูมิสูงมาก ส่วนมากเหล็กที่มีทังสเตนผสมนั้นจะนำไปผลิตเป้นเหล็กเครื่องมือเป็นส่วนใหญ่

2.2.5.8 วาเนเดียม วาเนเดียมเป็นธาตุที่เพิ่มความแข็งให้กับเหล็ก มีขอบเขตความยืดหยุ่น และความสามารถในการยืดตัว

2.2.5.9 โคบอลต์ เป็นธาตุที่ผสมในเหล็กจะนำไปผลิตเป็นเหล็กเครื่องมือและ โคบอลต์ทำหน้าที่เป็นตัวประสานในการผลิตโลหะแข็ง

2.2.5.10 ซัลเฟอร์และฟอสฟอรัส เป็นธาตุที่ผสมในเหล็กแล้วทำให้เหล็กมีความสามารถในการตกแต่งผิวได้ง่าย

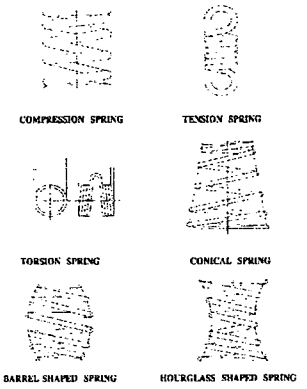
2.2.5.11 ทองแดง เป็นธาตุที่ผสมในเหล็กจะทำให้เหล็กมีความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนได้ดี

2.2.6 ความหมายของสปริง

สปริง คือ ชิ้นส่วนที่อยู่อย่างอิสระ ซึ่งถูกออกแบบเป็นพิเศษเพื่อใช้ประโยชน์ เรื่องของ “ความยืดหยุ่น” ในภาษาญี่ปุ่นคำว่า “BA-NE” ซึ่งหมายถึงสปริงนั้นมีรากเสียงมาจาก “Hane” (หมายถึงกระเด้ง) นอกจากนี้ยังมีคำอื่นๆ อีกที่หมายถึงสปริง ได้แก่ “ Hatsujyo” ,“Danjyo” ในภาษาอังกฤษคำว่า “spring” นั้นนอกจากหมายถึงสปริงแล้วยังหมายถึงฤดูใบไม้ผลิ,น้ำพุ,และความรู้สึกของวัยแรกรุ่นได้อีกด้วย (NHK SPRING JAPAN : แปลโดย นวรัตน์ อัศดรพิพัฒน์กุล . 2539)

2.2.6.1 ชนิดของสปริง (แยกตามรูปร่างลักษณะ)

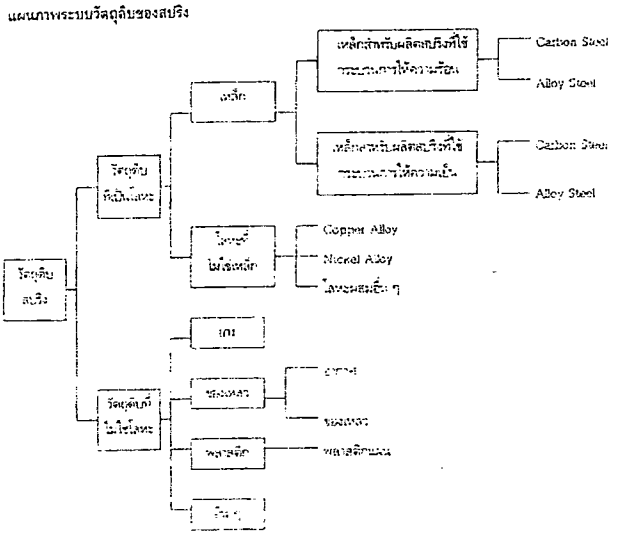
1. Coil Spring ค่าใช้จ่ายในการผลิตสปริงชนิดนี้จะถูกเมื่อเทียบกับสปริงชนิดอื่น และหากใช้เครื่องจักรพิเศษในการขึ้นรูปด้วยแล้ว สปริงจะมีราคาถูก ส่วนฟังก์ชันการทำงานในฐานะสปริงมีประสิทธิภาพที่แน่นอน อีกทั้งยังสามารถขึ้นรูปให้มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาได้ด้วย



รูปที่ 2.23 รูปร่างและลักษณะของสปริง

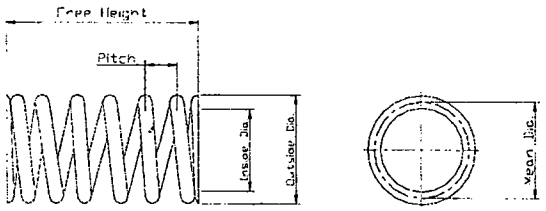
2.2.7 วัตถุดิบที่ใช้ทำสปริง

ในกรณีของสปริงที่มีฐานะเป็นองค์ประกอบของเครื่องจักรโดยทั่วไป ถ้าใช้วัตถุดิบที่มีขอบเขตความยืดหยุ่นน้อย แรงที่กระทำจากภายนอก หรือการเปลี่ยนรูปทรงจนทำให้เกินขอบเขตความยืดหยุ่นไปแม้เพียงเล็กน้อยจะเป็นเหตุให้ถึง แม้แรงที่กระทำจากภายนอกจะหมดไป แต่การเปลี่ยนรูปทรงยังคงค้างอยู่ (เรียกว่าเกิดการเสียรูป) จะทำให้การเคลื่อนตัวแบบสปริงมีประสิทธิภาพลดลง ข้อมูลดังกล่าว วัตถุดิบที่จะนำมาทำสปริง คุณสมบัติแรกสุดที่ต้องการคือมีขอบเขตความยืดหยุ่นมาก กล่าวคือมีขีดจำกัดความยืดหยุ่นสูงนั่นเอง ที่ใช้กันอยู่นั้นจะเป็นวัตถุดิบที่เป็นโลหะเสียส่วนใหญ่ แต่ก็ยังมีการใช้วัตถุดิบชนิดอื่นๆ ด้วย เช่น ยาง อากาศ ของเหลว เป็นต้น



รูปที่ 2.24 รูป ระบบวัตถุดิบที่ผลิตสปริง

2.2.8 คำอธิบายศัพท์เฉพาะทาง



รูปที่ 2.25 รูปลักษณะและชื่อเฉพาะทางของสปริง

1.Total Coil : จำนวนขดรวม คือ จำนวนขดของสปริงจากปลายด้านหนึ่งถึงปลายอีกด้านหนึ่ง สัญลักษณ์ที่ใช้คือ Nt

2. Non-active Coil : ขดที่ไม่ทำงาน คือ ส่วนปลายของสปริงที่ไม่มีการใช้งานในการรับน้ำหนัก

3. Total Active Coil : จำนวนขดที่ใช้งาน คือ จำนวนขดที่เป็นนมาตรฐานในการคำนวณค่าคงที่ของสปริง (Spring Constant) ซึ่งก็คือจำนวนขดที่ใช้งานได้ในฐานะสปริงนั่นเอง สัญลักษณ์ที่ใช้คือ Na

4. Free Height : ความสูงอิสระ คือ ความสูงของสปริง ณ สภาพที่ไม่ถูกน้ำหนักลดลง

5. Solid Height : ความสูงกดติด คือ ความสูงที่วัดเมื่อแต่ละขดของสปริงอยู่ติดกันแน่น สัญลักษณ์ที่ใช้คือ Hs

6. Mean Diameter : เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย คือ ค่าเฉลี่ยระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางนอกกับเส้นผ่านศูนย์กลางในของสปริงสัญลักษณ์ที่ใช้คือ D

7. Spring Index : ดรรชนีสปริง คือ อัตตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยกับเส้นผ่านศูนย์กลางหน้าตัดมุมฉากของวัตถุดิบหรือความกว้างของวัตถุดิบ สัญลักษณ์ที่ใช้คือ D/d (D by d) โดยทั่วไปควรเลือก D/d ที่มีค่าระหว่าง 4 ถึง 10

8. Height and width Rate : อัตราส่วนระหว่างแนวตั้งกับแนวนอน คือ อัตราส่วนระหว่างความสูงอิสระกับเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย

9. Pitch คือ ระยะห่างของเส้นขนานระหว่างเส้นศูนย์กลางขดลวดขดหนึ่งกับเส้นศูนย์กลางของขดลวดที่อยู่ใกล้เคียงกัน โดยทั่วไป Pitch ควรมีค่าไม่เกิน 0.5 D

10. Pitch Angle คือ มุมที่เกิดจากเส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางของขดลวดมาตั้งฉากกับเส้นศูนย์กลางของสปริง (Center Line)

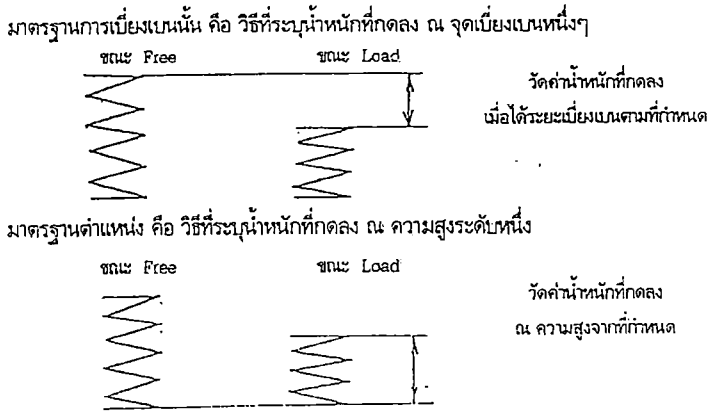
11. Right Coiling : ม้วนไปทางซ้าย เมื่อมองจากปลายสปริงจะเห็นว่าขดลวดม้วนตามเข็มนาฬิกาจากปลายสปริงลงไป หรือหากมองจากด้านข้างจะเห็นว่าขดลวดด้านขวาอยู่สูงกว่า

12. Left Coiling : ม้วนไปทางซ้าย เมื่อมองจากปลายสปริงจะเห็นว่าขดลวดม้วนทวนเข็มนาฬิกาจากปลายสปริงลงไปหรือหากมองจากด้านข้างจะเห็นว่าขดลวดด้านซ้ายอยู่สูงกว่า

13. Length of Tension Coil Spring : ความยาวของสปริงดึง คือ ความยาวด้านในที่อยู่ระหว่างจุด Hook ของสปริง

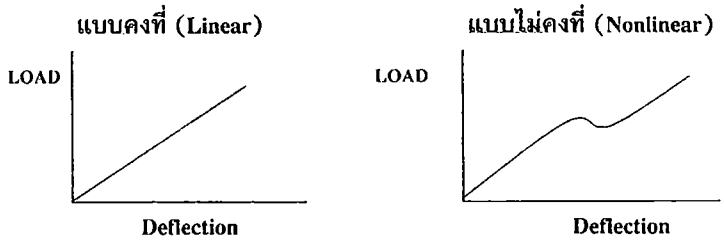
14. Initial Active Force : แรงดึงเริ่มต้น Tension Coil Spring ในสภาพที่ไม่ได้รับน้ำหนักนั้นขดจะยึดแน่นและเมื่อได้รับน้ำหนักหรือแรงดึง ขดจะยืดไปตามทิศทางของน้ำหนักนั้น แรงดึงเริ่มต้นจึงหมายถึงแรงที่ทำให้สปริงเริ่มยืดไปตามทิศทางาของน้ำหนักที่ได้รับนั่นเองกล่าวคือแม้จะมีการให้น้ำหนักหรือแรงดึงอยู่ แต่ถ้าไม่ถึงแรงดึงเริ่มต้นแล้วละก็ สปริงจะไม่ยืดออก

15. Specified Load : น้ำหนักที่กำหนด คือ น้ำหนักที่กำหนดโดยดูจากการใช้งานสปริงการหาค่าน้ำหนักที่กำหนดนั้น มีวิธีคิดตามมาตรฐานการเบี่ยงเบน (Deflection Standard) และมาตรฐานตำแหน่ง (Positional Stand)



รูปที่ 2.26 รูป วิธีคิดมาตรฐานการเบี่ยงเบน

16. Spring Constant : ค่าคงที่ของสปริง คือ น้ำหนักที่จำเป็นในการทำให้สปริงเกิดระยะเบี่ยงเบน (Deflection) 1 มม. ซึ่งมีทั้งแบบคงที่ เรียกว่า แบบเส้นตรง (Linear) และแบบไม่คงที่ เรียกว่า แบบไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear)



ภาพที่ 2.27 รูป ค่าคงที่ของสปริง

17. Fatigue : ความล้า เมื่อสปริงรับน้ำหนักซ้ำ ๆ หลายครั้ง จะมีแรงเค้นเกิดขึ้นภายในขัดจำกัดของความยืดหยุ่น ซึ่งดูเหมือนว่าจะปลอดภัยจากการชำรุด แต่หลังจากใช้น้ำหนักกดลงซ้ำๆ กันหลายแสน หลายล้านครั้ง จะเกิดการชำรุดอย่างกระทันหัน ซึ่งเรียกกันว่า การชำรุดจากความล้าและภาพดังที่กล่าวมานี้เองที่เรียกว่า “ความล้า”

2.2.9 กระบวนการผลิต Cylindrical Coil Spring ตามมาตรฐาน

วิธีการผลิตจะแตกต่างกันตามปัจจัยต่างๆ เช่น รูปร่างของสปริงและชนิดของวัตถุดิบ เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึง กระบวนการผลิตที่สำคัญของ Cylindrical Coil Spring (วัตถุดิบ: SWP จากกระบวนการรีดเย็น)

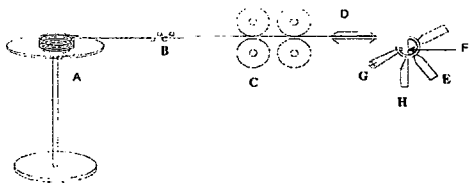
2.2.9.1 การตรวจรับวัตถุดิบ จากข้อกำหนดใน JIS G 3522 จะต้องดำเนินการตรวจสอบ Appearance, Dimension, Tensile Test, Twist Test, Corrosion Test และ RCarbonization Testซึ่งผลการตรวจสอบจะต้องผ่าน

รูปที่ 2.28 รูป เครื่องมือที่ใช้วัดขนาดวัตถุดิบ

2.2.9.2 Coiling Auto Coiling Machine (Lathe Coiling Machine) เส้นลวดจะถูกส่งไปโดย Feed Roller พร้อมกับดัดเส้นลวดให้ตรง จากนั้นจึงดัดให้โค้งงอตามตำแหน่งและปริมาณที่กำหนดโดยใช้ Coiling Pin

ระยะ Pitch จะถูกกำหนดโดยการเคลื่อนที่ของ Pitch Tool ตามโครงสร้างของลูกเบี้ยว ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า " Cam "

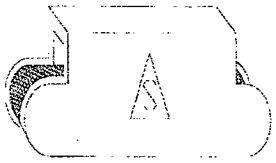
จากการปรับโครงสร้างเหล่านี้เองที่สามารถทำชิ้นงานให้เป็นชิ้นงานกรงกระบอก,ทรงนาฬิกาทราย, ทรงถังเบียร์ ฯลฯ อีกทั้งระยะ Pitch ก็สามารถทำให้เท่ากันหรือไม่เท่ากันหรือไม่มีเลยก็ได้



A = Reel Stand D = Wire Guide G = Pitch Tool
B = Straightner E = Coiling Pin H = Cutting Tool
C = Feed Roller F = Mandrel

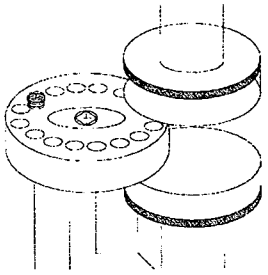
รูปที่ 2.29 รูปลักษณะการขึ้นรูปสปริง

2.2.9.3 อบอุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Annealing) Hot Air Circulation Electric Furnace นำชิ้นงานเข้ากระบวนการนี้เพื่อขจัดการเสียรูปที่อาจจะเกิดหลังจากการม้วนขึ้นรูป และเพื่อคงรูปร่างของสปริงไว้ ในขณะเดียวกันจะเป็นการเพิ่มความทนทานต่อความล้าด้วย โดยทั่วไปจะดำเนินการที่ 300 องศาเซลเซียส ถึง 430 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที



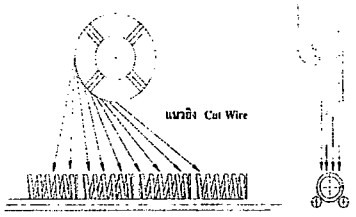
รูปที่ 2.30 รูป เครื่องจักรที่ใช้อบสปริง

2.2.9.4 Ends Grinding (Auto Ends Grinding m/c) เพื่อทำให้สปริงตั้งได้ดีต้องเจียรนัยปลายสปริง โดยทั่วไปรอยเจียรนัยควรเป็น 3/4 ของขอสปริงส่วนความหนาปลายควรเป็น 1/4 ของเส้นผ่านศูนย์กลางวัตถุดิบ



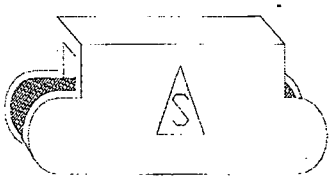
รูปที่ 2.31 รูป เครื่องจักรและการเจียรนัยสปริง

2.2.9.5 Shot peening คือ กระบวนการยิงเม็ดเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.7 มม. ด้วยความเร็วประมาณ 50 m/s ไปยังผิวของสปริงกระบวนการนี้เป็นการเพิ่มความทนทานต่อความล้าของสปริง



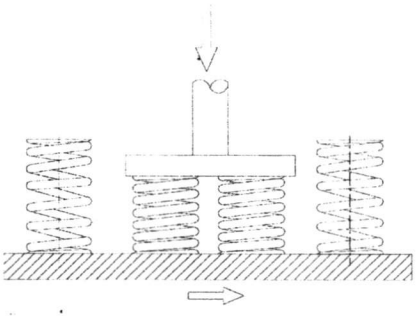
รูปที่ 2.32 รูป การยิงเม็ดเหล็ก (Shot Peening)

2.2.9.6 สปริงการอบที่อุณหภูมิต่ำ (Low Termperature Annealing) Hot Air Circulation Electric Furnace นำชิ้นงานเข้ากระบวนการนี้เพื่อขจัดการเสียรูปร่างที่เกิดจากการ Shot peening หรือการแก้ไขชิ้นงานเพื่อคงรูปร่างของสปริงไว้โดยทั่วไปจะดำเนินการที่ 230 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที



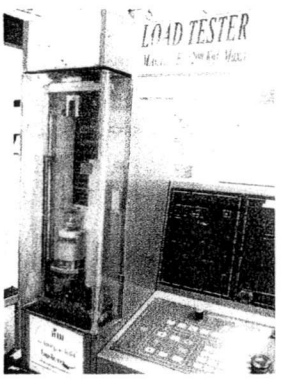
รูปที่ 2.33 เครื่องจักรที่ใช้อบสปริง

2.2.9.7 Setting (Auto Setting Press) คือ การเพิ่มแรงกด (Load) เกินพิกัด เพื่อให้สปริงเกิดการเปลี่ยนรูปร่างในระดับอย่างถาวร ทำให้มีขีดจำกัดความยืดหยุ่นสูงขึ้น และเพิ่มความทนทานต่อการล้าของสปริง



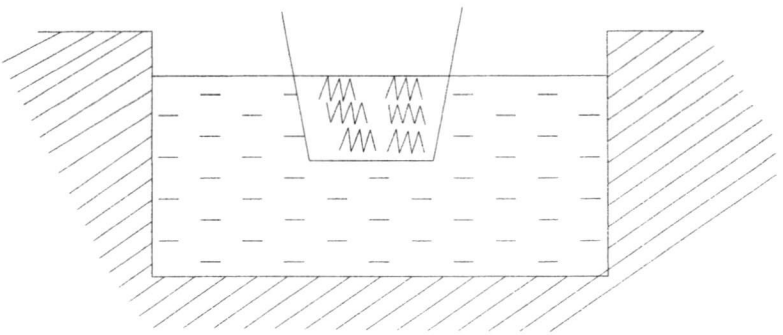
รูปที่ 2.34 การเพิ่มแรงกดสปริง

2.2.9.8 การตรวจสอบชิ้นงาน ทำการตรวจสอบรูปร่าง, รอยขีดข่วนและค่า LOAD จากนั้นส่งมอบสินค้าเฉพาะชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบ



รูปที่ 2.35 รูป เครื่องมือในการตรวจสอบภาระสปริง (Load Tester)

2.2.9.9 การจัดการที่ผิวของสปริง (Surface Treatment) คือ การจัดการกับผิวของสปริง เช่น การชุบผิว, การพ่นสี, การเคลือบน้ำมันกันสนิม เป็นต้น



รูปที่ 2.36 รูปการจัดการผิวของสปริง

2.2.10 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ทำสปริง (Wire Spring)

ตารางที่ 2.4 ชื่อและคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ทำสปริง

ประเภท	ชื่อวัตถุดิบ	สัญลักษณ์	การใช้งาน
เหล็กเส้นรีดเย็น	Hard Drawn Steel wire C Type	SWC	แรงที่ถูกกระทำน้อยๆ
	Piano Wire A Type	SWP-A	ใช้งานทั่วๆ ไป
	Piano Wire B Type	SWP-B	ใช้งานทั่วๆ ไป
	Piano Wire V Type	SWP-V	VALVE SPRING
	Stainless Steel B Type	SUS304-WPB	ใช้งานที่มีความร้อนสูงและทนต่อการกัดกร่อน
Oil Temper Wire	Carbon Steel A Type	SWOA	VALVE SPRING
	Carbon Steel	SWOV	VALVE SPRING
	Chromium Vanadium Steel	SWOCV-V	VALVE SP.+CLUTCH SP
	Silicon Chromium Steel	SWOSC-V	VALVE SP. ทนความร้อนได้สูง

หมายเหตุ : วัตถุดิบที่ผลิตใน Precision Spring เป็นส่วนใหญ่

สัญลักษณ์ของ Material

S	=	Steel
W	=	Wire
P	=	Piano
O	=	Oil Temper
C	=	Chromium
S	=	Silicon
V	=	Valve
A, B, C	=	Type
S U S : S	=	Stainless

2.2.11 Piano Wire แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ด้วยกัน คือ SWP-A, SWP-B, SWP-V ตามลำดับ โดยการอ้างอิงจาก Japan Industrial Standard (JIS) : JIS G3561

2.2.11.1 Tolerance of Material

ตารางที่ 2.5 ระยะเผื่อของขนาดวัตถุดิบ

Wire Diameter	Tolerance	Permissible ovality
0.50 or over up to and incl. 1.0	± 0.015	0.015 max
Over 1.00 up to and incl. 2.00	± 0.020	0.020 max
Over 2.00 up to and incl. 3.20	± 0.030	0.030 max
Over 3.2 up to and incl. 5.50	± 0.040	0.040 max

2.2.11.2 Flaw of Material

ตารางที่ 2.6 ขนาดของรอยแผลที่วัตถุดิบ

Wire diameter mm	Permissible depth of flaw
0.50 or over up to and incl. 2.00	0.01 mm max
Over 2.00 up to and incl. 6.00	At most 0.5% of wire diameter
Over 6.00 up to and incl. 10.0	At most 0.7% of wire diameter

2.2.11.3 Tensile Strength of Material

ตารางที่ 2.7 ค่าความแข็งแรงด้านแรงดึงของวัตถุดิบUnit : N/mm^2

Material size	SWP-A	SWP-B	SWP-V
0.08	2890 to 3190	3190 to 3480	-
0.09	2840 to 3140	3140 to 3430	-
0.10	2790 to 3090	3090 to 3380	-
0.14	2700 to 2990	2990 to 3290	-
0.20	2600 to 2840	2840 to 3090	-
0.26	2500 to 2750	2750 to 2990	-
0.80	2110 to 2350	2350 to 2600	-
0.90	2110 to 2300	2300 to 2500	-
1.00	2060 to 2260	2260 to 2450	2010 to 2210

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

Material size	SWP-A	SWP-B	SWP-V
1.20	2010 to 2210	2210 to 2400	1960 to 2160
1.40	1960 to 2160	2160 to 2350	1910 to 2110
1.60	1910 to 2110	2110 to 2300	1860 to 2060
1.80	1860 to 2060	2060 to 2260	1810 to 2010
2.00	1810 to 2010	2010 to 2210	1770 to 1910
2.30	1770 to 1960	1960 to 2160	1720 to 1860
2.60	1770 to 1960	1960 to 2160	1720 to 1860
2.90	1720 to 1910	1910 to 2110	1720 to 1860
3.20	1670 to 1860	1860 to 2060	1670 to 1810
3.50	1670 to 1810	1810 to 1960	1670 to 1810
4.00	1670 to 1810	1810 to 1960	1670 to 1810
4.50	1620 to 1770	1770 to 1910	1620 to 1770
5.00	1620 to 1770	1770 to 1910	1620 to 1770
5.50	1570 to 1710	1710 to 1860	1570 to 1720
6.00	1520 to 1670	1670 to 1810	1520 to 1670
6.50	1520 to 1670	1670 to 1810	-
7.00	1470 to 1620	1620 to 1770	-
8.00	1470 to 1620	-	-
9.00	1420 to 1570	-	-
10.0	1420 to 1570	-	-

ตารางที่ 2.8 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการออกแบบสปริง

Symbol	Meaning of Symbol	Units
D	Diameter of material	mm.
Di	Coil inside diameter	mm.
De	Coil outside diameter	mm.
D	Mean diameter of coil	mm.
Nt	Total number of turns	--
Na	Number of active turns	--
Hf	Free height (length)	mm.
Hs	Solid height	mm.

ตารางที่ 2.8 (ต่อ)

Symbol	Meaning of Symbol	Units
P	Pitch	mm.
Pi	Initial tension	N,{kgf}
C	Spring index	--
G	Modulus of transverse elasticity	N/mm2 {kgf/mm2}
P	Load acting on spring	N,{kgf}
δ	Deflection of spring	mm.
K	Spring constand	N/mm, {kgf/mm}
τo	Torsional stress	N/mm2 , {kgf/mm2}
$\tau \iota$	Initial stress	N/mm2 , {kgf/mm2}
χ	Stress correction factor	--
F	Frequency	Hz
U	Energy sored in spring	N, mm, {kgf.mm}
W	Weight per unit volume of material	N/mm3, {kfg/mm3}
W	Weight of moving part of spring	N,{kgf}
G	Acceleration ([1]) of gravity	Mm./S2

Note ([1]) In Measurement Law, the acceleration of gravity is defened As 9806.65 mm/s^2 ค่า.....(G)

(Modulus of transverse elasticity : G)

(Modulus of Lingitudinal elasticity : E)

ตารางที่ 2.9 ค่า Modulus ที่ใช้ในการคำนวณ

Material	ค่า G	ค่า E
Spring Steel Hard draw steel wire Piano Wire Oil temper Wire	8×10^3 kgf/mm^2	21×10^3 kgf/mm^2

ตารางที่ 2.9 ค่า (ต่อ) Modulus ที่ใช้ในการคำนวณ

Stainless Steel Wire for Spring SUS302 SUS304 SUS304N1 SUS316 SUS631J1	7×10^3 kgf/mm^2	19×10^3 kgf/mm^2
	7.5×10^3 kgf/mm^2	
Brass Wire Nickel Silver Wire	4×10^3 kgf/mm^2	10×10^3 11×10^3
Phosphor Bronze Wire	4.3×10^3 kgf/mm^2	10×10^3
Copper Beryllium alloy	4.5×10^3 kgf/mm^2	13×10^3

Note : 1 kg. = 9.80665 N 1 N/mm^2 = 1 Mpa

สูตรการคำนวณในการออกแบบสปริงดึง (Tension Spring Designing)

$K = Gd^4/8NaD^3$

$Na = Gd^4/8kD^3$

$C = D/d$

$\chi = [(4c-1)/(4c-4)+(0.615/c)]$

$\tau/P = \chi (8D/\pi d^3)$

2.3. วัสดุที่ใช้ในเครื่องจักรกล

คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุที่ใช้ทำเครื่องจักรกลมีดังต่อไปนี้

1. มีความแข็งแรงที่พอเพียง

ความแข็งแรงต่อแรงดึงและกดมีค่าสูง ค่าสัมประสิทธิ์การยืดหยุ่นมีค่าสูง มีความแข็งแกร่ง หรืออีกนัยหนึ่งคือ แตกหักได้ยาก ความแข็งแรงต่อความล้ามีค่าสูง และทนต่อการกัดกร่อน

2. สามารถปรับแต่งได้ง่าย

สามารถปรับแต่งได้โดยการปาดเนื้อหรือการเชื่อม สามารถปรับแต่งให้เกิดการดัดงอหรือยืดเปลี่ยนแปลงรูปทรงได้ดี

3. คุณสมบัติทางฟิสิกส์

ความหนาแน่น อัตราการขยายตัวเนื่องจากความร้อน ความสามารถในการนำความร้อน ความสามารถในการนำไฟฟ้า จุดหลอมละลาย เป็นต้น

วัสดุที่ใช้ในเครื่องจักรกลส่วนใหญ่มักเป็นโลหะ ในจำพวกโลหะด้วยกัน เหล็กจะถูกใช้มาก

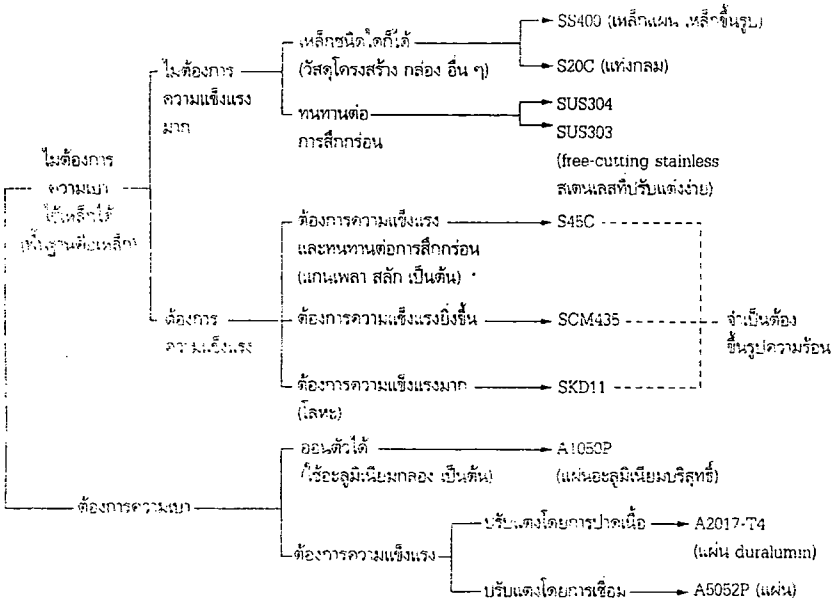
ที่สุด เหตุผลที่เหล็กถูกนำมาใช้มากก็เนื่องจากหาได้ง่าย ราคาถูก มีความแข็งแรงสูง ปรับแต่งได้ง่าย และทำให้ได้คุณสมบัติที่จำเป็นตามที่ต้องการได้โดยการขึ้นรูปความร้อนและอื่นๆ ในการออกแบบจริงนั้นสามารถพิจารณาว่าวัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่แล้วคือเหล็กได้เลย แต่ถึงแม้วัสดุที่ถูกใช้มากที่สุดคือเหล็กกล้า SS400 โครงแผ่นกระดานหรือวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างทั่วไปนั้นส่วนใหญ่สามารถใช้วัสดุ SS400 ได้ ในกรณีของแกนเพลาหรือส่วนที่ต้องการความแข็งแรงเป็นพิเศษจะใส่คาร์บอนประมาณ 0.5% ลงในเนื้อเหล็ก ทำให้ได้เป็นเหล็กคาร์บอน เหล็กคาร์บอนที่ถูกใช้มากคือ วัสดุ S45C (มีปริมาณคาร์บอนผสม 0.45%) เหล็กคาร์บอนสามารถขึ้นรูปทางความร้อนได้โดยการชุบแข็งหรืออบนิ่มเพื่อความแข็งได้ หากต้องการเพิ่มความแข็งให้มากขึ้นอีกก็สามารถทำได้โดยผสมโครเมี่ยมลงไป ความสามารถในการเพิ่มความแข็งแรงได้โดยการเพิ่มสารประกอบต่างๆ ลงไป หรือการขึ้นรูปด้วยความร้อนจึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเหล็ก

ในกรณีที่ต้องการความเบา เช่น ใช้ในเครื่องบิน ควรใช้วัสดุอะลูมิเนียม อะลูมิเนียมก็สามารถเพิ่มความแข็งแรงและความแข็งแกร่งได้โดยการใส่สารประกอบหรือการขึ้นรูปความร้อนได้เช่นเดียวกัน

ทองแดงมีคุณสมบัติที่สามารถนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี ดังนั้นจึงถูกใช้ในงานที่ต้องการคุณสมบัติเหล่านี้เป็นสำคัญ ใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เช่น ใช้ในเตาที่มีตัวทำความร้อนอยู่ภายใน

พลาสติกเป็นวัสดุที่เบาที่สุด (ความถ่วงจำเพาะมีค่า 1-2) แต่ความแข็งแรงมีค่าต่ำ ดังนั้นมักไม่ใช้เป็นวัสดุโครงสร้าง แต่ในกรณีที่ต้องการความเบาเป็นพิเศษ เช่น ในเครื่องบิน สามารถนำไปผสมกับเส้นใยคาร์บอนเป็นวัสดุเคลือบภายนอก ใช้ในส่วนที่มีการเคลื่อนที่ หรือส่วนที่ต้องการความโปร่งใส

คุณสมบัติของเซรามิค คือ มีความสามารถในการทนทางต่อความร้อนสูง จึงมักใช้มากในชิ้นส่วนเครื่องยนต์หรือชิ้นส่วนเครื่องทำความร้อน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเซรามิคแตกหักง่ายและปรับแต่งได้ยาก จึงไม่ได้รับความนิยมในการใช้เป็นวัสดุของเครื่องจักรกลมากนัก วิธีการเลือกวัสดุของเครื่องจักรกลอย่างง่ายแสดงดังภาพที่ 2.41



รูปที่ 2.37 รูปวิธีการเลือกวัสดุของเครื่องจักรกลอย่างง่าย

เหล็ก

วัสดุที่ใช้หลักๆ ในเครื่องจักรกล คือ เหล็ก

1. คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเหล็ก

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเหล็กแสดงไว้ในตารางที่ 9

ตารางที่ 2.10 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเหล็ก

ความหนาแน่น ρ	7.87 g/cm^3
สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น E	21,000 kgf/mm^2 (206 kN/mm^2)
สัมประสิทธิ์การยืดหยุ่นต่อแรงเฉือน G	8,400 kgf/mm^2 (82 kN/mm^2)
อัตราส่วนปัวซอง V	0.31
สัมประสิทธิ์การยืดตัว α	1.1 x 10^{-5} /K

หมายเหตุ ค่าต่างๆ ขึ้นอยู่กับสารประกอบที่เพิ่มลงไป แต่โดยทั่วไปแล้วสามารถ คำนวณโดยใช้ค่าต่างๆ ในตารางนี้ได้เลย

เหล็กมีความหนาแน่น 7.87 g/cm3 หนักประมาณ 8 เท่าของน้ำ แท่งเหล็กรูปลูกบาศก์ที่แต่ละด้านยาว 300 มม. จะมีน้ำหนักถึง 212 กก. ความหนาแน่นของเหล็กควรจำไว้เพื่อใช้ในการคำนวณหาน้ำหนัก สารประกอบในเนื้อเหล็กจะทำให้ความหนาแน่นแตกต่างจากค่านี้เล็กน้อย แต่โดยทั่วไปยังสามารถใช้ค่าที่ใช้ค่าที่ให้มานี้คำนวณน้ำหนักของเหล็กได้อยู่

สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น E หรือ G และค่าอัตราส่วนปัวซอง เป็นค่าที่จำเป็นต้องใช้ในการหาค่าความเค้นหรือความเครียดของเครื่องจักรกล หากมีค่าของความเค้นดึงขนาด 100 Mpa (100 N/mm^2) กระทำต่อแท่งเหล็ก จะก่อให้เกิดความเครียด ε ขนาด

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{100}{2.06 \times 10^5} = 485 \times 10^{-6}$$

หรือประมาณ 500 ไมโครสเตรน (ความเครียดขนาด 10^{-6} เรียกว่า ไมโครสเตรน) ในกรณีของแท่งเหล็กที่ยาว 200 มม. จะยืดออก Δl เป็นปริมาณ

$\Delta l = l\varepsilon = 200 \times 485 \times 10\text{-}6 = 0.097 = 0.1$ มม. หรือยืดออกไปประมาณ 0.1 มม.

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย การศึกษาและพัฒนา เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ โดยผู้วิจัยมีการดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3.3 วิธีการสร้างเครื่องมือ
3.4 การตรวจสอบและทดสอบเครื่องมือ
3.5 ขั้นตอนดำเนินการออกแบบ
3.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล
3.8 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากร ได้แก่ พนักงานงานบริษัท NHK SPRING (ประเทศไทย) จำกัด โรงงานสปริงเล็ก(Precision Spring Factory) ตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมเวลโกรว์ อำเภอบางประกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสปริง

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ พนักงานงานบริษัท NHK SPRING (ประเทศไทย) จำกัด โรงงานสปริงเล็ก (Precision Spring Factory) ตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมเวลโกรว์ อำเภอบางประกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสปริงและทำหน้าที่รับผิดชอบในการตรวจสอบและรับประกันคุณภาพของชิ้นงาน (Quality Assurance) ที่เป็นตัวแทนของประชากร ผู้วิจัยเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยทำการสุ่มแบบอย่างง่าย (Sample Random Sampling) ของ Robert V.Krejcie 30 คน

3.1.3 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

1. ตัวแปรต้น ได้แก่ เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง
2. ตัวแปรตาม

2.1 ประสิทธิภาพ เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ที่มีความแข็งแรง เที่ยงตรงและเหมาะสมกับการใช้งานตามเกณฑ์มาตรฐานของผู้ผลิตรถยนต์กำหนด

2.2 ความพึงพอใจของพนักงานที่ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงมีการติดตั้งง่ายต่อการใช้ และหัวหน้างาน มีความพึงพอใจในการใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่

สามารถใช้ได้หลายรูปแบบในเครื่องเดียว มีความเที่ยงตรงตามความต้องการของลูกค้าและตอบสนองความต้องการของลูกค้าตามเวลาที่กำหนด

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อ เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงและสอบถามเพื่อประเมินหาความพึงพอใจที่มีต่อเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง โดยมีกระบวนการดังนี้

- ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- สร้างแบบสอบถาม โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาเป็นแนวทางและประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้
- นำแบบสอบถามที่สร้างเสร็จ เสนอต่ออาจารย์ผู้ควบคุมสาระนิพนธ์ ทำการตรวจสอบแก้ไขความถูกต้องของเนื้อหา ความเหมาะสมของรูปแบบชนิดคำถาม ถ้อยคำและเนื้อหา จากนั้นนำมาให้ผู้ทรงคุณวุฒิทำการตรวจสอบ เพื่อให้มีความสอดคล้องเที่ยงตรงในเนื้อหาของแบบสอบถามที่ได้สร้างขึ้น (Index Item of Congruent : IOC)

3.3 วิธีการสร้างเครื่องมือ

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีวิธีการสร้างเครื่องมือเพื่อใช้ดำเนินการวิจัยดังนี้

3.3.1 ขั้นพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ผู้วิจัยสร้างเครื่องมือเพื่อใช้เป็นแบบประเมินงานวิจัยในครั้งนี้ โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบเครื่องจักร จำนวน 3 ท่าน

ลักษณะของเครื่องมือวิจัยแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ

3.3.1.1 แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงโดยมุ่งประเด็นที่ต้องการชี้วัด 3 ด้าน คือ

- ด้านการติดตั้งที่ง่ายหรือสามารถใช้ได้หลายรูปแบบ
- ด้านความเที่ยงตรง
- ด้านความคงทนแข็งแรง

ลักษณะของแบบสอบถามแบ่งเป็น 2 ตอน ดังนี้

<u>ตอนที่ 1</u> แบบสอบถามเกี่ยวกับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในประเด็นสำคัญ 3 ด้านจากข้อคำถามของหัวข้อใหญ่ โดยให้คะแนนระดับความคิดเห็นในแต่ละข้อเป็น 5 ระดับ คือ

5	หมายถึง	เหมาะสมมากที่สุด
4	หมายถึง	เหมาะสมมาก
3	หมายถึง	เหมาะสมปานกลาง
2	หมายถึง	เหมาะสมน้อย
1	หมายถึง	เหมาะสมน้อยที่สุด

ตอนที่ 2 ข้อเสนอแนะจากท่านผู้เชี่ยวชาญ ที่สามารถตอบได้อย่างอิสระ (Open End) เพื่อเป็นประโยชน์ที่สามารถในไปประกอบเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

3.3.1.2 สร้างแบบร่างเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ตามกรอบแนวคิดและทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย แล้วเลือกแบบที่ดีที่สุดมา 3 รูปแบบ เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมิน

3.3.2 ขั้นทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ตามเกณฑ์มาตรฐานและผู้ผลิตยานยนต์กำหนด โดยนำผลจากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ทั้ง 3 ท่าน นำมาวิเคราะห์แล้วสรุป โดยเลือกแบบที่ได้คะแนนเฉลี่ยในทุกๆ ด้านที่มากที่สุดมาเพียง 1 แบบ นำมาปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จากนั้นนำมาเขียนแบบเพื่อสร้างต้นแบบเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ขนาดที่เหมาะสม แล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพ ตามเกณฑ์มาตรฐานผู้ผลิตยานยนต์กำหนด ซึ่งทำการทดสอบในด้านเสถียรภาพของเครื่อง และด้านความแข็งแรงและง่ายต่อการใช้งานของเครื่อง

3.3.3 ขั้นตอนหาความพึงพอใจจากผู้ใช้เครื่องและหัวหน้าผู้ใช้เครื่อง ผู้วิจัยมีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

3.3.3.1 ให้ผู้ใช้เครื่องและหัวหน้าผู้ใช้ทดลองเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงว่ามีความแข็งแรง เที่ยงตรง และเหมาะกับการใช้งานพร้อมความสะดวกสบายในด้านการติดตั้ง

3.3.3.2 สร้างแบบสอบถาม เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้เครื่องและหัวหน้าผู้ใช้ทดลอง ที่มีต่อเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ทั้ง 4 ด้าน ตามกรอบแนวคิดด้านความพึงพอใจ

- ด้านพัฒนารูปแบบการติดตั้งได้ง่ายในการสับเปลี่ยนชิ้นส่วน
- ด้านขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน
- ด้านความเที่ยงตรงของเครื่อง
- ด้านราคาที่ถูกกว่า และการบำรุงรักษา

ลักษณะของแบบสอบถามแบ่งเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 แบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ การศึกษา ประสบการณ์ในการทำงาน และระดับตำแหน่งงาน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่อธิบายถึงลักษณะภาพรวมของกลุ่มตัวอย่าง

ตอนที่ 2 แบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้เครื่องและหัวหน้าผู้ใช้ทดลอง 4 ด้านจากข้อคำถามของหัวข้อใหญ่ โดยให้คะแนนระดับความคิดเห็นในแต่ละข้อเป็น 5 ระดับ คือ

5	หมายถึง	พึงพอใจมากที่สุด
4	หมายถึง	พึงพอใจมาก
3	หมายถึง	พึงพอใจปานกลาง
2	หมายถึง	พึงพอใจน้อย
1	หมายถึง	พึงพอใจน้อยที่สุด

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะจากผู้ตอบแบบสอบถาม ที่สามารถตอบได้อย่างอิสระ (Open End) เพื่อเป็นประโยชน์ที่สามารถในไปประกอบเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์เพื่อพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

3.4 การตรวจสอบและทดสอบเครื่องมือ

ผู้วิจัยมีวิธีการตรวจสอบและทดสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย โดยนำแบบสอบถามที่ปรับปรุงจนสมบูรณ์แล้ว มานำเสนอต่อ ผู้ทรงคุณวุฒิทำการตรวจสอบแบบสอบถามเชิงเนื้อหา (Content Validity) ของคำถามในแต่ละข้อ เพื่อให้มีความสอดคล้องเที่ยงตรงถูกต้องกับวัตถุประสงค์ในแต่ละข้อระหว่างข้อคำถามกับสิ่งที่ต้องการชี้วัดในการวิจัย (Index Item of Congruent : IOC) โดยผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่าน คือ

1. ดร. ทรงวุฒิ เอกวุฒิวงศา อาจารย์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธเนศ ภิรมย์การ อาจารย์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3. ดร. จตุรงค์ เลาหะเพ็ญแสง อาจารย์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.5 ขั้นตอนดำเนินการออกแบบ

ผู้วิจัยมีขั้นตอนดำเนินการออกแบบ ดังนี้

3.5.1 ผลวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบสอบถามพร้อมทั้งแบบร่าง (Sketch Design) ที่ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบเครื่องจักร จำนวน 3 ท่าน เลือกแบบที่ได้คะแนนเฉลี่ยในทุกๆ ด้านที่มากที่สุดมาเพียง 1 แบบ นำมาปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

3.5.2 เขียนแบบเข้าขนาดสัดส่วนจริงที่เหมาะสม

3.5.3 นำแบบเข้าสู่การผลิตในระบบอุตสาหกรรม

3.5.4 สร้างต้นแบบทดลองเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงขนาดเท่าจริง เพื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพ ตามเกณฑ์มาตรฐานของผู้ผลิตยานยนต์

3.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยมีวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.6.1 เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ผู้วิจัยใช้แบบสอบถามที่ผ่านการตรงสอบ (IOC) โดยผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่าน ที่ปรับปรุงจนสมบูรณ์พร้อมทั้งแบบร่างของเครื่องทดสอบความ

ทนทานของสปริง (Sketch Design) จำนวน 2 รูปแบบ นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบเครื่องจักรและผู้เชี่ยวชาญคุณภาพ และผู้เชี่ยวชาญระบบการผลิตรถยนต์ จำนวน 3 ท่าน ทำการประเมิน โดยมีรายนามดังต่อไปนี้

1. นาย ปรารมภ์ แสงอรุณ ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม เชี่ยวชาญทางด้านวิศวกรรมเครื่องจักรและการออกแบบ บริษัท เอ็นเอชเค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด

2. นาย สุชาติ ทรัพย์สอน ผู้จัดการฝ่ายคุณภาพ เชี่ยวชาญทางด้านการตรวจสอบหรือทดสอบชิ้นงานให้ได้คุณภาพตามความต้องการของลูกค้า บริษัท เอ็นเอชเค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด

3. นาย ธีรวุฒิ แก้วกัณฑา ผู้จัดการ TPS (TOYOTA PRODUCTION SYSTEM) เชี่ยวชาญทางด้านระบบการผลิต และข้อกำหนดของผู้ผลิตรถยนต์โตโยต้า

จากนั้นผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบเครื่องจักรและผู้เชี่ยวชาญคุณภาพ และผู้เชี่ยวชาญระบบการผลิตรถยนต์มาทำการวิเคราะห์มา สรุปหาแบบเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่ได้คะแนนเฉลี่ยในทุกๆ ด้านที่มากที่สุดนำมาปรับปรุง สู่กระบวนการเขียนแบบเข้าขนาดสัดส่วนจริง แล้วนำไปสร้างต้นแบบขนาดเท่าจริง เพื่อนำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป

3.6.2 ขั้นทดสอบประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมหรือข้อกำหนดลูกค้า

ผู้วิจัยมีวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้ นำเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่สร้างเสร็จขนาดที่เหมาะสม ส่งมอบให้บริษัท เอ็นเอชเค สปริง ประเทศไทย ในหน่วยงานทดสอบคุณภาพเพื่อตรวจเช็คสภาพความสมบูรณ์ของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ก่อนทำการทดสอบด้วยเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ โดยจะทำการทดสอบด้านเสถียรภาพของเครื่อง และทดสอบด้านความแข็งแรงและความเหมาะสมของเครื่อง จากนั้นนำข้อมูลผลการทดสอบเก็บรวบรวมข้อมูลไว้ เพื่อนำไปอธิบายผลของการวิจัยในครั้งนี้

3.6.3 ขั้นหาความพึงพอใจโดยให้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง จำนวน 30 คน ทำการตรวจสอบ ที่ผ่านการทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ทำการประเมินความพึงพอใจ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามเก็บรวบรวมข้อมูลไว้ เพื่อนำไปอธิบายผลของการวิจัย

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.7.1 ขั้นหาความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งวิเคราะห์โดยการหาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) วิเคราะห์เป็นรายข้อ เฉพาะด้าน โดยนำเสนอในรูปแบบของตารางพร้อมคำบรรยายประกอบ

เกณฑ์ในการวิเคราะห์พิจารณาประเมินจากช่วงของค่าเฉลี่ยเลขคณิต ดังนี้

4.50 – 5.00	หมายถึง	มากที่สุด
3.50 – 4.49	หมายถึง	มาก
2.50 – 3.49	หมายถึง	ปานกลาง
1.50 – 2.49	หมายถึง	น้อย
1.00 – 1.49	หมายถึง	น้อยที่สุด

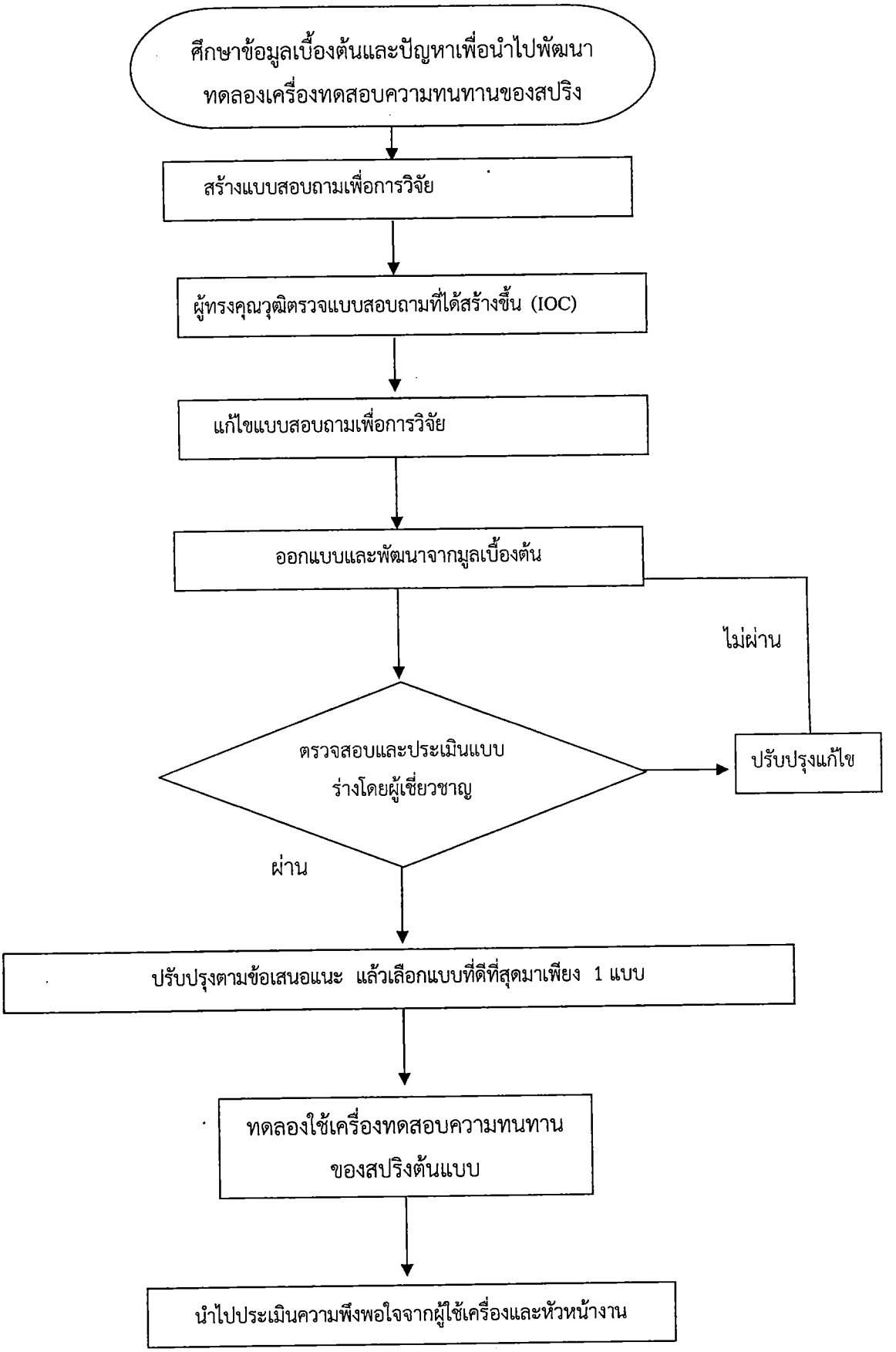
3.7.2 ขั้นหาความพึงพอใจของผู้ใช้เครื่องและหัวหน้างาน ซึ่งวิเคราะห์โดยการหาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) วิเคราะห์เป็นรายข้อ เฉพาะด้าน โดยนำเสนอในรูปแบบของตารางพร้อมคำบรรยายประกอบ

4.50 – 5.00	หมายถึง	มากที่สุด
3.50 – 4.49	หมายถึง	มาก
2.50 – 3.49	หมายถึง	ปานกลาง
1.50 – 2.49	หมายถึง	น้อย
1.00 – 1.49	หมายถึง	น้อยที่สุด

3.8 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. ร้อยละ (Percentage)
2. ค่าเฉลี่ย (Mean)
3. ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)



แผนผังแสดงกระบวนการในการพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ผู้วิจัยมีวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล โดยดำเนินการที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่มีความพึงพอในด้านคุณภาพ

4.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือมาตรฐานที่ผู้ประกอบรถยนต์กำหนด

4.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของ ผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่สามารถใช้ได้กับสปริงหลายรูปแบบ

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ขั้นตอนการศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือในการวิจัยอันได้แก่ แบบสอบถามผู้ใช้และหัวหน้างานที่ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง จำนวน 2 แบบ (แบบสปริงกด และ แบบ สปริงดึง) นำมาให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบเครื่องจักร ผู้เชี่ยวชาญด้านการทดสอบด้านคุณภาพของชิ้นงาน และ ผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตและข้อกำหนดของผู้ผลิตรถยนต์โตโยต้า จำนวน 3 ท่าน ทำการประเมินความคิดเห็นที่มีต่อเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ทั้ง 4 ด้าน คือ ด้านประโยชน์ใช้สอย, ด้านความปลอดภัย และด้านความรู้สึกสะดวกสบายและด้านการซ่อมบำรุง ข้อมูลที่ได้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถแปลผลของการวิเคราะห์ อธิบายได้ดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 3 ท่าน ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงรูปแบบสปริงกด และ แบบ สปริงดึง โดยมีความพึงพอใจดังนี้

ตารางที่ 4.1 สรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงกด และ แบบ สปริงดึงในด้านประโยชน์ใช้สอย ปรากฏผลการวิเคราะห์ตามค่าในตารางที่ 4.1 ดังนี้

รายการประเมิน	สปริงกด		สปริงดึง	
ด้านประโยชน์ใช้สอย	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงมีความเหมาะสมกับสัดส่วนของผู้ใช้งาน	4.33	0.58	3.67	0.58
เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น	4.33	0.58	4.33	0.58
สามารถใช้งานกับสปริงได้หลายรูปแบบ	4.67	0.58	4.33	0.58
สรุปความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ	**4.44**	**0.58**	**4.11**	**0.58**

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ที่ได้ประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ของสปริงกด และ แบบ สปริงดึงที่สามารถอธิบายในแต่ละรูปแบบของสปริงกด และ แบบ สปริงดึง และแต่ละข้อที่ได้ทำการประเมิน ดังนี้

รูปแบบของ สปริงกด เมื่อพิจารณาในแต่ละข้อของการประเมิน ด้านเหมาะสมมีความสามารถใช้งานกับสปริงได้หลายรูปแบบมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\overline{X}$ = 4.67) อยู่ในระดับ เหมาะสมมากที่สุด, รองลงมากับด้านมีความเหมาะสมกับสัดส่วนของผู้ใช้งานซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่เท่ากันกับประสิทธิภาพการทำงานที่เพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ย คือ ($\overline{X}$ = 4.33) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก

รูปแบบของ สปริงดึง เมื่อพิจารณาในแต่ละข้อของการประเมิน ด้านมีความเหมาะสมประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากันกับความสามารถใช้งานกับสปริงได้หลายรูปแบบ มีค่าเท่ากับ ($\overline{X}$ = 4.67) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก,รองลงมา คือ ด้านมีความเหมาะสมกับสัดส่วนของผู้ใช้งาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\overline{X}$ = 3.67) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก

จากข้อมูลสรุปได้ว่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงในด้านในด้านประโยชน์ใช้สอยปรากฏผลการวิเคราะห์ตามค่าในตารางที่ 4.1 โดยค่าเฉลี่ยของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน จะเห็นว่าสปริงกดมีค่ามากกว่าสปริงดึง

ตารางที่ 4.2 สรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ของสปริงกด และ แบบ สปริงดึงในด้านความความปลอดภัย ปรากฏผลการวิเคราะห์ตามค่าในตารางที่ 4.2 ดังนี้

รายการประเมิน	สปริงกด		สปริงดึง	
ด้านความปลอดภัย	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.
การวางตำแหน่งกลไกมีความปลอดภัย	4.33	0.58	4.00	0.00
เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง อุปกรณ์ต่างปลอดภัยในการติดตั้งชิ้นงาน	4.00	0.00	4.00	0.00
การเลือกใช้วัสดุในการผลิตโครงสร้างมีความปลอดภัย	4.33	0.58	4.67	0.58
การป้องกันต่างๆมีความปลอดภัย	4.67	0.58	3.67	0.58
สรุปความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ	**4.33**	**0.43**	**4.08**	**0.29**

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ที่ได้ประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ของสปริงกด และ แบบ สปริงดึงในด้านความความปลอดภัย ที่สามารถอธิบายในแต่ละรูปแบบ และแต่ละข้อที่ได้ทำการประเมิน ดังนี้

รูปแบบ สปริงกด เมื่อพิจารณาในแต่ละข้อของการประเมิน ด้านรูปร่างของปลอดภัยของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ที่มีต่อผู้ใช้งานและผู้อื่น มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด คือในด้าน การป้องกันต่างๆมีความปลอดภัย ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\overline{X}$ = 4.67) อยู่ในระดับ เหมาะสมมากที่สุด รองลงมามีค่าเฉลี่ยเท่ากันคือการเลือกใช้วัสดุในการผลิตโครงสร้างมีความปลอดภัยและการวางตำแหน่งกลไกมีความปลอดภัยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ($\overline{X}$ = 4.33) อยู่ในระดับเหมาะสมมากและรองลงมาคืออุปกรณ์ต่างปลอดภัยในการติดตั้งชิ้นงานมี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\overline{X}$ = 4.00) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก

รูปแบบ สปริงดึง เมื่อพิจารณาในแต่ละข้อของการประเมิน ด้านการเลือกใช้วัสดุในการผลิตโครงสร้างมีความปลอดภัย มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\overline{X}$ = 4.67) อยู่ในระดับ เหมาะสมมากที่สุด,รองลงมามีค่าเฉลี่ยเท่ากันคือการวางตำแหน่งกลไกมีความปลอดภัยและอุปกรณ์ต่างๆมีความปลอดภัยในการติดตั้งชิ้นงานด้านอุปกรณ์ต่างปลอดภัยในการติดตั้งชิ้นงาน ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.00) อยู่ในระดับเหมาะสมมาก,รองลงมาคือการป้องกันต่างๆมีความปลอดภัยค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 3.67) อยู่ในระดับเหมาะสมมาก

จากข้อมูลสรุปได้ว่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงในด้านในด้านความปลอดภัย ปรากฏผลการวิเคราะห์ตามค่าในตารางที่ 4.2 โดยค่าเฉลี่ยของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน จะเห็นว่าสปริงกดมีค่ามากกว่าสปริงดึง

ตารางที่ 4.3 สรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ของสปริงกด และ แบบสปริงดึงในด้านความสะดวกสบายปรากฏผลการวิเคราะห์ตามค่าในตารางที่ 4.3 ดังนี้

รายการประเมิน	**สปริงกด**		**สปริงดึง**	
ด้านความสะดวกสบาย	$\overline{X}$	**S.D.**	$\overline{X}$	**S.D.**
เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่เหมาะสมกับการใช้งานและผู้อื่น	4.00	0.00	4.33	0.58
เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง มีการปรับหรือเปลี่ยนสปริงเหมาะสมกับผู้ใช้งาน	4.00	0.00	4.33	0.58
ตำแหน่งการวางกลไกใช้งานสะดวก	3.67	0.58	4.00	0.00
สรุปความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ	**3.89**	**0.67**	**4.22**	**0.38**

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ที่ได้ประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงของสปริงกด และ แบบสปริงดึงในด้านความสะดวกสบายที่สามารถอธิบายในแต่ละรูปแบบและแต่ละข้อที่ได้ทำการประเมิน ดังนี้

รูปแบบสปริงกด เมื่อพิจารณาในแต่ละข้อของการประเมิน ด้านโครงสร้างของเครื่อง ทดสอบความทนทานของสปริง มีความเหมาะสมกับมีเหมาะสมกับการใช้งานและผู้อื่นมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากัน

กับด้านการปรับหรือเปลี่ยนสปริงเหมาะสมกับผู้ใช้งาน มีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.00) อยู่ในระดับเหมาะสมมาก,รองลงมาคือ ด้านตำแหน่งการวางกลไกใช้งานสะดวกมีค่าเฉลี่ย($\overline{X}$ = 3.67) อยู่ในระดับเหมาะสมมาก

รูปแบบสปริงดึงเมื่อพิจารณาในแต่ละข้อของการประเมินด้านโครงสร้างของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง มีความเหมาะสมกับมีเหมาะสมกับการใช้งานและผู้อื่นมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากันกับด้านการปรับหรือเปลี่ยนสปริงเหมาะสมกับผู้ใช้งาน มีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.33) อยู่ในระดับเหมาะสมมาก,รองลงมาคือ ด้านตำแหน่งการวางกลไกใช้งานสะดวกมีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.00)อยู่ในระดับเหมาะสมมาก

จากข้อมูลสรุปได้ว่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงในด้านในด้านความสะดวกสบาย ปรากฏผลการวิเคราะห์ตามค่าในตารางที่ 4.3 โดยค่าเฉลี่ยของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน จะเห็นว่าสปริงดึงมีค่ามากกว่าสปริงกด

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน (N=3) ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงของสปริงกด และแบบ สปริงดึง ในด้านการซ่อมบำรุง ปรากฏผลการวิเคราะห์ตามค่าในตารางที่ 4.4 ดังนี้

รายการประเมิน	สปริงกด		สปริงดึง	
ด้านการซ่อมบำรุง	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.
ด้านการดูแลรักษาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงง่ายต่อการทำความสะอาด	3.67	0.58	3.33	0.58
ง่ายต่อการซ่อมบำรุงและตรวจสอบ	4.00	1.00	3.67	1.15
การเลือกใช้วัสดุและกลไกซื้อหาง่ายและราคาไม่แพง	4.00	1.00	4.00	1.00
สรุปความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ	**3.89**	**0.86**	**3.66**	**0.91**

จากตารางที่ 4.4 สรุปความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ที่ได้ประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ของสปริงกด และ แบบ สปริงดึงในด้านการซ่อมบำรุง และแต่ละข้อที่ได้ทำการประเมิน ดังนี้

รูปแบบ สปริงกด เมื่อพิจารณาในแต่ละข้อของการประเมิน ด้านการซ่อมบำรุงและตรวจสอบและการเลือกใช้วัสดุและกลไกซื้อหาง่ายและราคาไม่แพง มีความเหมาะสมมากที่สุด เท่ากันง่ายต่อการซ่อมบำรุงและตรวจสอบมีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.00) อยู่ในระดับ เหมาะสมมากที่สุด, รองลงมาคือ ด้านการดูแลรักษาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงง่ายต่อการทำความสะอาด มีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 3.67) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก

รูปแบบ สปริงดึง เมื่อพิจารณาในแต่ละข้อของการประเมิน ด้านการซ่อมบำรุง ของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง มีเหมาะสมกับการเลือกใช้วัสดุและกลไกซื้อหาง่ายและราคาไม่แพงมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\overline{X}$ = 4.00) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก, รองลงมาคือ ด้านการดูแลรักษาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงง่ายต่อการทำความสะอาด มีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 3.67) อยู่ในระดับเหมาะสมมาก , รองลงมาคือ ด้านการดูแลรักษาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงง่ายต่อการทำความสะอาด มีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 3.33) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก

จากข้อมูลสรุปได้ว่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงในด้านในด้านการซ่อมบำรุง ปรากฏผลการวิเคราะห์ตามค่าในตารางที่ 4.4 โดยค่าเฉลี่ยของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน จะเห็นว่าสปริงกดมีค่าเฉลี่ยมากกว่าสปริงดึง

4.2 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพความเที่ยงตรงของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงกด และ แบบ สปริงดึง ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมยานยนต์

ในด้านของการทดสอบ ผู้วิจัยได้จัดทำเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ของสปริงกด และ แบบ สปริงดึงและส่งมอบบริษัท เอ็น เอช เค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด โรงงานสปริงเล็ก (Precision Spring Factory) ตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมเวลโกรว์ อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 1 เครื่อง เพื่อทำการตรวจสอบเบื้องต้นตามมาตรฐานอุตสาหกรรมยานยนต์หรือตามลูกค้ากำหนด ก่อนที่จะทำการทดสอบโดยการเปรียบเทียบกับเครื่องเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่มีใช้ขนาดใหญ่เพื่อดูผลการทดสอบและค่าออกมา มีความเสถียรภาพ ความเที่ยงตรงเหมือนกัน ซึ่งต้องผ่านการพิจารณาอนุมัติโดยผู้ทดสอบ และผู้จัดการด้านคุณภาพ จึงดำเนินการทดสอบในขั้นตอนต่อไป ตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมยานยนต์หรือข้อกำหนดของลูกค้า

วิธีทดสอบประสิทธิภาพความเที่ยงตรงของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ของสปริงกด และ แบบ สปริงดึง

4.2.1 ทดสอบเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่มีความเสถียรภาพของเครื่อง โดยทำการติดตั้งเครื่องทดสอบสปริงแล้วพร้อมกับเริ่มทำการทดสอบ และสังเกตว่าเครื่องทดสอบมีความแข็งแรง คงทน สมดุล และไม่โยกเหยก

4.2.2 ทดสอบเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่มีความเสถียรภาพของเครื่อง โดยทำการติดตั้งเครื่องทดสอบสปริงแล้วพร้อมกับเริ่มทำการทดสอบ และสังเกตว่าเครื่องทดสอบมีตำแหน่ง

ใดๆ ของเครื่อง หรือจุดยึดต่างๆ มีความแข็งแรง ที่อาจจะเกิดการเสียหายหรืออันตรายต่อผู้ใช้และผู้อื่น

4.2.3 ทดสอบเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่มีความเสถียรภาพของเครื่อง โดยทำการติดตั้งเครื่องทดสอบสปริงแล้วพร้อมกับเริ่มทำการทดสอบ และทดสอบแบบต่อเนื่องโดย สังเกตว่าเครื่องทดสอบมีจุดบกพร่องจุดใดบ้างทุกๆ 1 ชั่วโมง

4.2.4 ทดสอบเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่มีความเสถียรภาพความเที่ยงตรงของเครื่อง โดยทำการติดตั้งเครื่องทดสอบสปริงแล้วพร้อมกับทำการทดสอบโดยนำชิ้นงานใน LOT การผลิตเดียวกันมาเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบสปริงที่มีขนาดใหญ่ หรือทดสอบเปรียบเทียบผลจากเครื่องทดสอบของบริษัทแม่ บริษัท เอ็น เอช เค สปริง (ประเทศญี่ปุ่น) จำกัด โรงงาน อินะ

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพความเที่ยงตรงของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

รายการประเมิน	ผลการทดสอบ
1. เสถียรภาพของเครื่อง ความแข็งแรง คงทน และไม่โยกเหยก ไม่แกว่ง ล้ม	ผ่าน
2. เสถียรภาพของเครื่อง ตำแหน่งใดๆ ของเครื่อง หรือจุดยึดต่างๆ มีความแข็งแรง ที่อาจจะเกิดการเสียหายหรืออันตราย	ผ่าน
3. เสถียรภาพของเครื่อง กับเริ่มทำการทดสอบ และทดสอบแบบต่อเนื่องมากกว่า 3 ชั่วโมงอย่างต่อเนื่อง	ผ่าน
4. ผลจากการทดสอบโดยการเปรียบเทียบผล	ผ่าน

สรุปผลการทดสอบ เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่มีความเสถียรภาพความแข็งแรงเที่ยงตรง ปลอดภัย ตามเกณฑ์มาตรฐานหรือข้อกำหนดของผู้ผลิตรถยนต์

4.3 ผลการวิเคราะห์ด้านความพึงพอใจของผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงของสปริงกด และ แบบ สปริงดึง

4.3.1 ผลการวิเคราะห์เกี่ยวกับข้อมูลส่วนตัวของกลุ่มตัวอย่าง 30 คน ซึ่งเป็นผู้ประเมินในด้านความพึงพอใจที่มีต่อผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ดังอธิบายลักษณะของกลุ่มตัวอย่างดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างที่ประเมินความพึงพอใจ

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1. <u>เพศ</u>		
ชาย	28	93.33
หญิง	2	6.67
2. <u>อายุ</u>		
ต่ำ กว่า 20 ปี	0	0.00
21 – 30 ปี	13	43.35
31 – 40 ปี	11	36.65
41 – 50 ปี	6	20.00
50 ปีขึ้นไป	0	0.00
3. <u>อายุในการทำงาน</u>		
ต่ำ กว่า 1 ปี	7	23.33
1 – 3 ปี	0	00.00
3 – 5 ปี	4	13.33
5 – 10 ปี	10	33.34
10 ปีขึ้นไป	9	30.00
4. <u>ตำแหน่งการทำงาน</u>		
พนักงานชั่วคราว	7	23.33
พนักงานประจำ	3	10.00
หัวหน้างาน	4	13.33
วิศวกร	13	43.34
ผู้จัดการ	3	10.00

4.3.2 ผลการประเมินในด้านความพึงพอใจของผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง โดยกลุ่มตัวอย่าง 30 คน (N=30) โดยมีเกณฑ์แปลความหมายค่าเฉลี่ยระดับความพึงพอใจดังนี้

4.50 – 5.00	หมายถึง	มากที่สุด
3.50 – 4.49	หมายถึง	ใจมาก
2.50 – 3.49	หมายถึง	ปานกลาง
1.50 – 2.49	หมายถึง	น้อย
1.00 – 1.49	หมายถึง	น้อยที่สุด

ตารางที่ 4.7 สรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยความคิดเห็นของผู้ใช้งานและหัวหน้างาน 30 ท่าน ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงกด และ แบบสปริงดึง ในด้านประโยชน์ใช้สอย ปรากฏผลการวิเคราะห์ตามค่าในตารางที่ 4.7 ดังนี้

รายการประเมิน	สปริงกด		สปริงดึง	
ด้านประโยชน์ใช้สอย	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงมีความเหมาะสมกับสัดส่วนของผู้ใช้งาน	4.20	0.61	4.03	0.80
เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น	4.27	0.58	4.10	0.66
สามารถใช้งานกับสปริงได้หลายรูปแบบ	4.37	0.67	4.20	0.71
สรุปความคิดเห็นของผู้ใช้งาน	**4.28**	**0.62**	**4.11**	**0.72**

จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นของผู้ใช้งานและหัวหน้างาน 30 ท่าน ที่ได้ประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ของสปริงกด และ แบบ สปริงดึงที่สามารถอธิบายในแต่ละรูปแบบของสปริงกด และ แบบ สปริงดึง และแต่ละข้อที่ได้ทำการประเมิน ดังนี้

รูปแบบของ สปริงกด เมื่อพิจารณาในแต่ละข้อของการประเมิน ด้านเหมาะสมมีความสามารถใช้งานกับสปริงได้หลายรูปแบบมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\overline{X}$ = 4.37) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก,รองลงมาด้านมีประสิทธิภาพการทำงานที่เพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.27) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก,รองลงมาด้านมีความเหมาะสมกับสัดส่วนของผู้ใช้งานค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.20) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก

รูปแบบของ สปริงดึงเมื่อพิจารณาในแต่ละข้อของการประเมิน ด้านมีความเหมาะสมประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากันกับความสามารถใช้งานกับสปริงได้หลายรูปแบบ มีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.33) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก, รองลงมา คือ ด้านมีความเหมาะสมกับสัดส่วนของผู้ใช้งาน มีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 3.67) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก

จากข้อมูลสรุปได้ว่าความคิดเห็นของผู้ใช้งานและหัวหน้างาน 30 ท่าน ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงในด้านในด้านประโยชน์ใช้สอย ปรากฏผลการวิเคราะห์ตามค่าในตารางที่ 4.1 โดยค่าเฉลี่ยของของผู้ใช้งานและหัวหน้างาน 30 ท่าน จะเห็นว่าสปริงกดมีค่ามากกว่าสปริงดึง

ตารางที่ 4.8 สรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยความคิดเห็นของผู้ใช้งานและหัวหน้างาน 30 ท่านที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ของสปริงกด และ แบบ สปริงดึงในด้านความความปลอดภัย ปรากฏผลการวิเคราะห์ตามค่าในตารางที่ 4.8 ดังนี้

รายการประเมิน	สปริงกด		สปริงดึง	
ด้านความปลอดภัย	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.
การวางตำแหน่งกลไกมีความปลอดภัย	4.43	0.62	4.27	0.69
เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงอุปกรณ์ต่างปลอดภัยในการติดตั้งชิ้นงาน	4.37	0.67	4.13	0.68
การเลือกใช้วัสดุในการผลิตโครงสร้างมีความปลอดภัย	3.97	0.76	4.00	0.91
การป้องกันต่างๆมีความปลอดภัย	4.37	0.61	4.10	0.76
สรุปความคิดเห็นของผู้ใช้งาน	**4.28**	**0.66**	**4.12**	**0.76**

จากตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นของผู้ใช้งานและหัวหน้างาน 30 ท่าน ที่ได้ประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ของสปริงกด และ แบบ สปริงดึงในด้านความความปลอดภัย ที่สามารถอธิบายในแต่ละรูปแบบ และแต่ละข้อที่ได้ทำการประเมิน ดังนี้

รูปแบบ สปริงกด เมื่อพิจารณาในแต่ละข้อของการประเมิน ด้านการวางตำแหน่งกลไกมีความปลอดภัยอยู่ที่ ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = **4.33**) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก รองลงมามีค่าเฉลี่ยเท่ากันคือ อุปกรณ์ปลอดภัยในการติดตั้งชิ้นงานและการป้องกันต่างๆมีความปลอดภัยมีค่าเฉลี่ยเท่ากัน ($\overline{X}$ = **4.37**) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก และรองลงมาคือการเลือกใช้วัสดุในการผลิตโครงสร้างมีความปลอดภัย ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = **3.97**) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก

รูปแบบ สปริงดึง เมื่อพิจารณาในแต่ละข้อของการประเมิน ด้านการวางตำแหน่งกลไกมีความปลอดภัย มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\overline{X}$ = **4.27**) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก, รองลงมาคือด้านอุปกรณ์ต่างๆ มีปลอดภัยในการติดตั้งชิ้นงานมีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = **4.13**) อยู่ในระดับเหมาะสมมาก , รองลงมาคือการป้องกันต่างๆมีความปลอดภัยมีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = **4.10**) อยู่ในระดับ เหมาะสมมากรองลงมาคือการเลือกใช้วัสดุในการผลิตโครงสร้างมีความปลอดภัยมีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = **4.00**) อยู่ในระดับเหมาะสมมาก

ตารางที่ 4.9 สรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยความคิดเห็นของผู้ใช้งานและหัวหน้างาน 30 ท่าน ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ของสปริงกด และ แบบ สปริง ดึงในด้านความสะดวกสบายปรากฏผลการวิเคราะห์ตามค่าในตารางที่ 4.9 ดังนี้

รายการประเมิน	สปริงกด		สปริงดึง	
ด้านความสะดวกสบาย	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่เหมาะสมกับการใช้งานและผู้อื่น	4.13	0.57	4.00	0.64
เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงมีการปรับหรือเปลี่ยนสปริงเหมาะสมกับผู้ใช้งาน	4.07	0.69	3.70	0.71
ตำแหน่งการวางกลไกใช้งานสะดวก	4.03	0.67	3.90	0.60
สรุปความคิดเห็นของผู้ใช้งาน	**4.07**	**0.64**	**3.86**	**0.65**

จากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นของผู้ใช้งานและหัวหน้างาน 30 ท่าน ที่ได้ประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงของสปริงกด และ แบบ สปริงดึงในด้านความสะดวกสบาย ที่สามารถอธิบายในแต่ละรูปแบบ และแต่ละข้อที่ได้ทำการประเมิน ดังนี้

รูปแบบ สปริงกด เมื่อพิจารณาในแต่ละข้อของการประเมิน ด้านความสะดวกสบาย การใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงด้านมีเหมาะสมกับการใช้งานและผู้อื่นมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{X}$ = 4.13) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก, รองลงมาคือการปรับหรือเปลี่ยนสปริงเหมาะสมกับผู้ใช้งานค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.07) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก, รองลงมาคือ ด้านตำแหน่งการวางกลไกใช้งานสะดวกมี ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.03) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก

รูปแบบ สปริงดึง เมื่อพิจารณาในแต่ละข้อของการประเมิน ด้านโครงสร้างของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง มีความเหมาะสมกับมีเหมาะสมกับการใช้งานและผู้อื่นมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{X}$ = 4.00) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก, รองลงมาคือ ด้านตำแหน่งการวางกลไกใช้งานสะดวกมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 3.90) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก,รองลงมาคือ ด้านการปรับหรือเปลี่ยนสปริงเหมาะสมกับผู้ใช้งานมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 3.70)อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก

จากข้อมูลสรุปได้ว่าความคิดเห็นของผู้ใช้งานและหัวหน้างาน 30 ท่าน ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงในด้านในด้านความสะดวกสบาย ปรากฏผลการวิเคราะห์ตามค่าในตารางที่ 4.9 โดยค่าเฉลี่ยของผู้ใช้งานและหัวหน้างาน 30 ท่าน จะเห็นว่าสปริงกดมีค่ามากกว่าสปริงดึง

ตารางที่ 4.10 สรุปค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยความคิดเห็นของผู้ใช้งานและหัวหน้างาน 30 ท่าน (N=30) ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ของสปริงกด และ แบบ สปริงดึง ในด้านการซ่อมบำรุง ปรากฏผลการวิเคราะห์ตามค่าในตารางที่ 4.10 ดังนี้

รายการประเมิน	สปริงกด		สปริงดึง	
ด้านการซ่อมบำรุง	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.
ด้านการดูแลรักษาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงง่ายต่อการทำความสะอาด	4.17	0.59	3.97	0.61
ง่ายต่อการซ่อมบำรุงและตรวจสอบ	4.03	0.71	3.90	0.75
การเลือกใช้วัสดุและกลไกซื้อหาง่ายและราคาไม่แพง	4.33	0.66	4.07	0.69
สรุปความคิดเห็นของผู้ใช้งาน	**4.17**	**0.65**	**3.98**	**0.68**

จากตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า ผลการประเมิน ความคิดเห็นของผู้ใช้งานและหัวหน้างาน 30 ท่าน ที่ได้ประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ในด้านซ่อมบำรุงที่สามารถอธิบายในแต่ละรูปแบบของสปริงกด และ แบบ สปริงดึง และแต่ละข้อที่ได้ทำกาประเมิน ดังนี้

รูปแบบของ สปริงกด เมื่อพิจารณาในแต่ละข้อของการประเมิน ด้านการเลือกใช้วัสดุและกลไกซื้อหาง่ายและราคาไม่แพงมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\overline{X}$ = **4.33**) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก,รองลงมาคือด้านการดูแลรักษาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงง่ายต่อการทำความสะอาด มีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = **4.17**) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก ,รองลงมาคือง่ายต่อการซ่อมบำรุงและตรวจสอบมีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = **4.03**) อยู่ในระดับ เหมาะสมมากรูปแบบของ สปริงดึง เมื่อพิจารณาในแต่ละข้อของการประเมินด้านเลือกใช้วัสดุและกลไกซื้อหาง่ายและราคาไม่แพงมีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.07) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก, รองลงมาคือด้านการดูแลรักษาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงง่ายต่อการทำความสะอาด คือ มีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 3.97) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก,รองลงมากับด้านมีการปรับหรือเปลี่ยนสปริงเหมาะสมกับผู้ใช้งานซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ ($\overline{X}$ = 3.90) อยู่ในระดับ เหมาะสมมาก

จากข้อมูลสรุปได้ว่าความคิดเห็นของผู้ใช้งานและหัวหน้างาน 30 ท่าน ที่ทำการประเมินผู้ใช้เครื่องทดสอบความ ทนทานของสปริงในด้านซ่อมบำรุงปรากฏผลการวิเคราะห์ตามค่าในตารางที่ 4.10 โดยค่าเฉลี่ยของผู้ใช้งานและหัวหน้างาน 30 ท่าน จะเห็นว่าสปริงกดมีค่ามากกว่าสปริงดึง

สรุป ผลการประเมินด้านความพึงพอใจของผู้ใช้และหัวหน้างาน ที่มีต่อเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง มีค่าเฉลี่ยในทุกด้านเท่ากับ ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = **4.15**) อยู่ในระดับ พึงพอใจมาก ในเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงทั้งสปริงกด และสปริงดึง

ส่วนในเรื่องข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน และ ความคิดเห็นของผู้ใช้งานและหัวหน้างาน 30 ท่านส่วนใหญ่มีความเห็นในเรื่องมีความเหมาะสมมากในเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงทั้งสปริงกด และสปริงดึง ควรพิจารณาในส่วนของการวัดหรือปรับระดับให้มีความเที่ยงตรงและสามารถปรับระยะอย่างง่าย รวมทั้งให้พิจารณาชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่มีการเสียดสีเพราะมีการสึกหรอและอาจมีอายุการใช้งานที่จำกัดได้

4.4 วิธีทดสอบพัฒนาเครื่องทดสอบความคงทนของสปริง

เครื่องมือในการทำวิจัยในครั้งนี้มีขั้นตอนดังนี้

1 นำสปริงที่ได้มาจากการผลิตจำนวนมากและ LOT เดียวกัน (การผลิตที่มีเงื่อนไขเหมือนกัน) และทำการสุ่มมาเพื่อไปทำการทดสอบความทนทานของสปริง

รูปที่ 4.1 รูปสปริงดึงและสปริงกด ที่ได้จากการผลิต

ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา (NHK SPRING) (19 กุมภาพันธ์ 2555)

2. นำสปริงที่สุ่มมาทำการตรวจสอบ ขนาด (Dimension) ต่างๆ ให้ตรงกับแบบ(Drawing) ของลูกค้าที่กำหนดมาและทำการตรวจสอบและวัดค่าความสูงของสปริงโดยใช้เครื่องมือวัด (Vernier digital) แล้วทำการจดบันทึกไว้

รูปที่ 4.2 รูปแสดงการวัดค่าความสูงของสปริงก่อนทดสอบ

ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา (NHK SPRING) (19 กุมภาพันธ์ 2555)

3 . นำสปริงที่สุ่มมาทำการตรวจสอบ หลังจากวัดค่าความสูงแล้ว มาทำการตรวจสอบและวัดค่ารับภาระน้ำหนักถ่วง (Load) โดยใช้เครื่อง Load Test พร้อมทำการจดบันทึกค่าไว้

รูปที่ 4.3 รูปแสดงการวัดค่ารับภาระน้ำหนักถ่วง (Load) ก่อนทดสอบ

ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา (NHK SPRING) (19 กุมภาพันธ์ 2555)

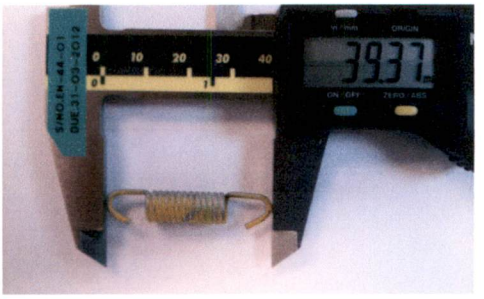
4. หลังจากทำการบันทึกค่าความสูงและค่ารับภาระน้ำหนักถ่วง (Load) เรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการ ติดตั้งชิ้นงานเข้ากับเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่พัฒนาขึ้น โดยการตั้งค่าความสูงในการยืดหรือการกด

รูปที่ 4.4 รูปเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ที่พัฒนาขึ้น

ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา (NHK SPRING) (19 กุมภาพันธ์ 2555)

5. ทำการปรับแต่ง ตัวนับจำนวนรอบ (Counter) ตามที่แบบกำหนด จากนั้นทำการเดินเครื่องเพื่อทำการทดสอบ และทำการตรวจสอบจุดต่างๆรวมทั้งสปริง เพื่อหาจุดบกพร่องต่างๆแล้วทำการแก้ไข

6. ทำการตรวจสอบและวัดค่าความสูงของสปริงโดยใช้เครื่องมือวัด (Vernier digital) แล้วทำการจดบันทึกไว้ หลังการทดสอบ



รูปที่ 4.5 รูปแสดงการวัดค่าความสูงของสปริงหลังทดสอบ

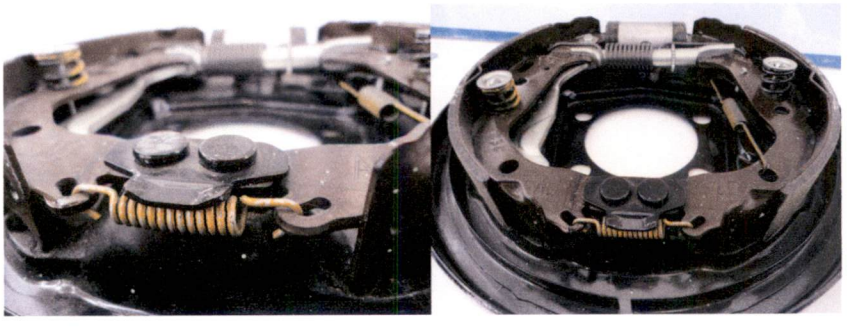
ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา (NHK SPRING) (19 กุมภาพันธ์ 2555)

7. นำสปริงที่ทำการทดสอบแล้วมาตรวจสอบ มาทำการตรวจสอบและวัดค่ารับภาระน้ำหนักถ่วง (Load) โดยใช้เครื่อง Load Test พร้อมทำการจดบันทึกค่าไว้

รูปที่ 4.6 รูปแสดงวัดค่ารับภาระน้ำหนักถ่วง (Load) หลังทดสอบ

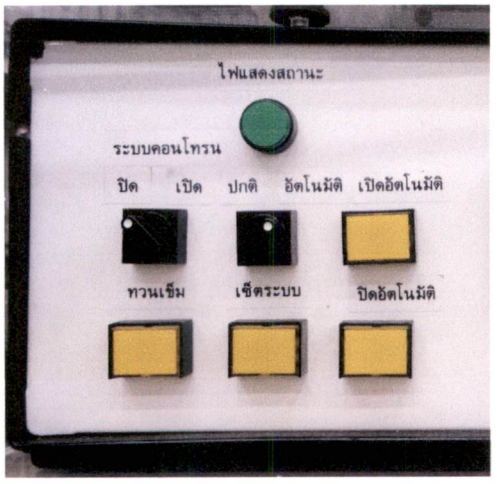
ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา (NHK SPRING) (19 กุมภาพันธ์ 2555)

8. หลังจากทำการวัดเรียบร้อยแล้วทำการลงบันทึกลงในใบรายงาน และทำการตัดสินว่าสปริงที่นำมาทดสอบตามกระบวนการทดสอบและผ่านการทดสอบ ผ่านหรือไม่โดยการคำนวณว่ามีการเสียความเป็นสปริง หรืออยุบตัวมากกว่า 10 % และมีการเสียหาย หรือหัก ระหว่างการทดสอบหรือไม่ หลังจากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องจากหัวหน้าทางด้านคุณภาพ และส่งทำการอนุมัติโดยผู้จัดการแผนกประกันหรือควบคุมคุณภาพ เพื่อประกันคุณภาพของสปริงใน LOT นั้นๆ



รูปที่ 4.7 รูปของสปริงดึงที่ทำหน้าที่ในการห้ามล้อ

ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา (NHK SPRING) (19 กุมภาพันธ์ 2555)



รูปที่ 4.8 รูปแสดงการควบคุมระบบไฟฟ้า (Switch control)

ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา (NHK SPRING) (19 กุมภาพันธ์ 2555)

รูปที่ 4.9 รูปการควบคุมระบบไฟฟ้าการนับจำนวนการหมุน (Counter)

ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา (NHK SPRING) (19 กุมภาพันธ์ 2555)

รูปที่ 4.10 รูปการควบคุมระบบไฟฟ้าระบบความปลอดภัย (Safety limit switch control)

ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา (NHK SPRING) (19 กุมภาพันธ์ 2555)

รูปที่ 4.11 รูปเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา (NHK SPRING) (19 กุมภาพันธ์ 2555)

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ผู้วิจัยสามารถสรุปผลการวิจัย อภิปรายผลพร้อมข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

5.1 ผลของการวิจัยตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยที่คาดหวังไว้ 3 ประการ ดังต่อไปนี้

เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ ทั้ง 3 ท่าน โดยมีผลการประเมินจากแบบสอบถามและแบบร่าง ในประเด็นที่สำคัญ 4 ด้าน คือ ด้านประโยชน์ใช้สอย, ด้านความปลอดภัย และด้านด้านความรู้สึกสะดวกสบายและด้านการซ่อมบำรุง ข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ผู้วิจัยสามารถแปลผล สรุปผลเป็นภาพรวม และนำข้อดี-ข้อเสียที่ได้จากการประเมินทำการออกแบบและจัดทำต้นแบบเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงขนาดเท่าจริง เพื่อส่งทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยานยนต์หรือลูกค้ากำหนด จากนั้นจึงนำไปประเมินเพื่อหาความพึงพอใจจากผู้ใช้งานและหัวหน้างาน

5.1.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

5.1.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยานยนต์หรือข้อกำหนดของผู้ผลิตรถยนต์

5.1.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้และหัวหน้างาน ที่มีต่อเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

5.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

5.2.1 ประชากร ได้แก่ พนักงานบริษัท เอ็นเอช เค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด โรงงานสปริงเล็ก (Precision Spring Factory) ตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมเวลโกรว์ อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสปริง

5.2..2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ พนักงานบริษัท เอ็น เอช เค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด โรงงานสปริงเล็ก (Precision Spring Factory) ตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมเวลโกลว์ อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสปริงและตรวจสอบรับประกันคุณภาพของชิ้นงาน (Quality Assurance) ที่เป็นตัวแทนของประชากร ผู้วิจัยเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยทำการสุ่มแบบอย่างง่าย (Sample Random Sampling) ของ Robert V.Krejcie 30 คน

5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

5.3.1 แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิศวกรรมเครื่องจักรและการออกแบบ คุณภาพ เชี่ยวชาญทางด้านการตรวจสอบหรือทดสอบชิ้นงานให้ได้คุณภาพตามความต้องการของลูกค้า และ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านระบบการผลิตและข้อกำหนดของผู้ผลิตรถยนต์โตโยต้า จำนวน 3 ท่าน

5.3.2 แบบทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ของส่วนอุตสาหกรรมยานยนต์ หรือข้อกำหนดของผู้ผลิตรถยนต์กำหนด ซึ่งทำการทดสอบในด้านเสถียรภาพของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงกดและสปริงดึงโดยการเปรียบเทียบข้อมูลที่มีความเที่ยงตรงกับมาตรฐานหรือผู้ผลิตรถยนต์กำหนด

5.3.3 แบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้และหัวหน้างาน ที่มีต่อเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง โดยวัดความพึงพอใจจากผู้ใช้และหัวหน้างาน

ในส่วนของนำแบบสอบถามที่สร้างเสร็จ ผู้วิจัยได้นำเสนอต่ออาจารย์ผู้ควบคุมสาระนิพนธ์ ทำการตรวจสอบแก้ไขความถูกต้องของเนื้อหา ความเหมาะสมของรูปแบบชนิดคำถาม ถ้อยคำและเนื้อหา จากนั้นนำมาให้ผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่าน ทำการตรวจสอบเพื่อให้มีความสอดคล้องเที่ยงตรงในเนื้อหาของแบบสอบถามที่ได้สร้างขึ้น (Index Item of Congruent : IOC)

5.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

5.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง โดยทำการหาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) วิเคราะห์เป็นรายข้อเฉพาะด้าน โดยนำเสนอในรูปแบบของตารางพร้อมคำบรรยายประกอบ

5.5 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลของโครงการวิจัย การศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง มี 3 ขั้นตอน ดังนี้

1 . ศึกษาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง สรุปผล คือ ได้ทำการศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงในรูปแบบต่างๆ พบว่าการออกแบบผลิตภัณฑ์เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงมีลักษณะการใช้งานที่สอดคล้องเหมาะสมกับสปริงขนาดเล็กที่มีขนาดความโตของลวดไม่เกิน 2 มิลลิเมตรและยาวไม่เกิน 100 มิลลิเมตรและสอดคล้องตามกรอบแนวคิดของการวิจัย รวมทั้งความสะดวกสบายในการเปลี่ยนชิ้นงานในการทดสอบ ไม่มีความซับซ้อน มีความปลอดภัยในการใช้ และวัสดุหรืออุปกรณ์ที่เลือกใช้มีราคาถูกสามารถหาซื้อได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับ

เครื่องที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ อุปกรณ์หายาก มีราคาแพง และใช้เวลาการสั่งซื้อที่นานเกินควร ทำให้เครื่องจักรหยุดรออุปกรณ์และเกิดความเสียหายได้ โดยผลการประเมินเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง จากผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบเครื่องจักร ให้ทุกด้านมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{x}$ = 4.19) ซึ่งอยู่ในระดับเหมาะสมมาก ในด้านผู้ใช้และหัวหน้างาน สรุปผล คือ ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานและหัวหน้างานที่มีต่อเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง โดยรวมทุกด้าน มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$ = 4.15) ซึ่งหมายความว่า อยู่ในระดับ พึงพอใจมาก

ข้อเสียหรือข้อบกพร่อง จากคำแนะนำ พบว่า การออกแบบผลิตภัณฑ์เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ยังมีความยากในเรื่องของการปรับระยะความสูงในการติดตั้งสปริงที่จะทำการทดสอบ

2. **ศึกษาขั้นตอนทดสอบประสิทธิภาพ** เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง สรุปผลการทดสอบ โดยการให้ผู้ใช้และหัวหน้างานนำชิ้นงานสปริงกดและสปริงดึง จากการผลิตที่เงื่อนไขเดียวกันมาทดสอบและจดบันทึกโดยการเฝ้าสังเกตอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 3 ชั่วโมงผล ผ่านการทดสอบด้านประสิทธิภาพ และนำผลจากการใช้ข้อมูลมาเปรียบเทียบกับผลของเครื่องทดสอบความทนทานสปริงขนาดใหญ่ที่นำเข้ามาจากประเทศญี่ปุ่นผลจากการเปรียบเทียบมีประสิทธิภาพได้ผ่านการทดสอบด้านประสิทธิภาพตามเกณฑ์หรือข้อกำหนดผู้ประกอบรถยนต์ ทั้งสปริงกดและสปริงดึงตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมยานยนต์หรือข้อกำหนดผู้ผลิตรถยนต์กำหนด กำหนดไว้

ข้อเสียหรือข้อบกพร่อง จากคำแนะนำ พบว่า การออกแบบผลิตภัณฑ์เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ยังไม่สามารถนับจำนวนการหมุนได้อย่างต่อเนื่องเกิน 1000 รอบ ต้องทำให้เสียเวลาในการปิด เปิดใหม่

3. **ศึกษาขั้นตอนหาความพึงพอใจของ** ผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ที่สามารถใช้ได้กับสปริงหลายรูปแบบ จากการออกแบบ สรุปผลการทดสอบ โดยการให้ผู้ใช้และหัวหน้างานนำชิ้นงานสปริงกดและสปริงดึง มีความเหมาะสมในการเปลี่ยนชิ้นงานทดลอง ซึ่งหมายความว่าสามารถใช้ได้โดยไม่ต้องถอดหรือเปลี่ยนแม่แบบ และสามารถถอดเปลี่ยนด้วยมือเปล่าอย่างสะดวกและง่าย ในด้านการควบคุมความเร็ว และปิดเปิด ง่ายต่อการใช้ โดยมีป้ายชี้บ่งหรือไฟ แสดงสถานะอย่างชัดเจน

ข้อเสียหรือข้อบกพร่อง จากคำแนะนำ พบว่า จำนวนการใส่สปริงดึงสามารถใส่ได้แค่ 2 ชิ้น ซึ่งน้อยกว่าจำนวนการใส่ สปริงกดที่สามารถใส่ได้มากถึง 4 ชิ้นต่อการทดสอบหนึ่งครั้ง

5.6 อภิปรายผล

การประเมินเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง จากผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบเครื่องจักร ผู้เชี่ยวชาญด้านการทดสอบด้านคุณภาพของชิ้นงาน และ ผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตและข้อกำหนดของผู้ผลิตรถยนต์โตโยต้า ทั้ง 3 ท่าน ให้ทุกด้านมีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$ = 4.19) ซึ่งอยู่ในระดับเหมาะสมมาก โดยเฉพาะด้านความสะดวกสบาย ที่เหมาะสมกับผู้ใช้ การบำรุงรักษาและความปลอดภัย ซึ่งสอดคล้องกับกรอบแนวคิด ของ อุดมศักดิ์ สาริบุตร. (2549:10-16,เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม)

ที่ได้ทำวิจัยผลการประเมินในด้านหน้าที่ใช้สอยและความสะดวกสบายในการใช้งาน, และความแข็งแรงของโครงสร้างและความปลอดภัย รวมทุกด้านอยู่ในระดับ เห็นด้วยมาก เช่นกัน ซึ่งสามารถกล่าวถึงรายละเอียดของด้านที่ได้ค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ ด้านประโยชน์ใช้สอย มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$ = 4.28) ของสปริงกดและ มีค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$ = 4.11) ของสปริงดึง ซึ่งอยู่ในระดับ เหมาะสมมาก ที่มีความสอดคล้องกับทฤษฎีของ อุดมศักดิ์ สาริบุตร. (2549 : 10-16,เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม). ออกแบบอุตสาหกรรมและเครื่องกล. กล่าวว่า กระบวนการออกแบบคือการแก้ปัญหาเชิงระบบ ซึ่งมีการศึกษาการวางแผนและขั้นตอนการดำเนินงานอย่างมีประสิทธิภาพได้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพและมีคุณค่า และต้องออกแบบให้ถูกต้องเป็นจริงสนองความต้องการของผู้ใช้ให้ได้มากที่สุด มีความสะดวกสบาย (Ergonomics) น่าใช้และมีความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องจักรกลกับคน ซึ่งหมายถึงลักษณะของเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ที่ต้องมีความสะดวกสบายและความปลอดภัย ดังนั้นผู้วิจัยจึงสรุปรูปแบบแล้วนำสู่การเขียนแบบเพื่อการผลิต นำมาสร้างเป็นเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงต้นแบบขนาดเท่าจริง แล้วนำไปทดสอบขั้นตอนต่อไป

ด้านความเสถียรประสิทธิภาพของเครื่องโดยการเปรียบเทียบผลให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมยานยนต์หรือข้อกำหนดผู้ประกอบรถยนต์ โดยผลออกมาใกล้เคียงกับเครื่องทดสอบความทนทานสปริงขนาดใหญ่ที่นำเข้ามาจากประเทศญี่ปุ่น และผ่านข้อกำหนดของผู้ผลิตรถยนต์

การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้และหัวหน้างานที่มีต่อเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงโดยรวมทุกด้าน มีค่าเฉลี่ยรวม ($\bar{x}$ = 4.15) ซึ่งหมายความว่า อยู่ในระดับ พึงพอใจมาก ซึ่งสามารถกล่าวถึงรายละเอียดของด้านที่ได้ค่าเฉลี่ยสูงสุด

5.7 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาวิจัยเรื่องการศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ผู้วิจัยได้มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

5.7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ในการพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงควรพิจารณาถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งานและหัวหน้างานที่มีต่อเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ในด้านพัฒนารูปแบบการเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง , ด้านขนาดเหมาะสมกับการใช้งานจริง, ด้านความเหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงานที่มีความสะดวกสบาย, ด้านความความปลอดภัย, ด้านความเหมาะสมกับเวลาในการติดตั้งรวมทั้งการทดสอบได้มากกว่าหนึ่งชิ้น ในรูปแบบการใช้งานทั้งสปริงกดและสปริงดึงในเครื่องเดียวกันโดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบได้ง่าย เหมาะสมกับสปริงต่างๆ ที่ใช้ในบริษัท เอ็น เอส เค สปริง

(ประเทศไทย) จำกัด โรงงานสปริงเล็ก (Precision Spring Factory) หรือโรงงานอุตสาหกรรมอื่น มีความสัมพันธ์กับการใช้งานของสปริง

2. ผลิตภัณฑ์สปริงที่มีผู้ใช้งานเป็นเด็กหรือสปริงที่เสี่ยงต่อความปลอดภัย ควรมีการทดสอบมาตรฐานอุตสาหกรรม เพื่อให้มีความปลอดภัย แข็งแรง อีกทั้งยังเป็นการความเชื่อมั่นและยกระดับให้มีมาตรฐานเทียบเท่าสากล

3. การศึกษาทฤษฎีและแนวคิดใหม่ๆ มีความสำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องจักรที่ทันสมัยสามารถใช้แทนคน โดยที่คนไม่สามารถทำได้หรือทำได้แต่มีความลำบาก เป็นอย่างยิ่ง รวมถึงการศึกษาข้อมูลด้านรูปแบบ วัสดุที่มีคุณภาพและราคาถูก เทคโนโลยีการผลิต ข้อมูลใหม่ที่มีความเป็นสากลอยู่ตลอดเวลา จะทำให้เครื่องจักรทุกอุตสาหกรรมและอุตสาหกรรมยานยนต์มีการพัฒนาขึ้นและมีคุณภาพ เหมาะสมกับการใช้งาน

5.7.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยในครั้งต่อไป

เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่พัฒนาแล้วสามารถนำไปใช้หรือประยุกต์เพื่อพัฒนาในส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีการเคลื่อนไหวแบบซ้ำๆ ได้ โดยอ้างอิงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งไม่เพียงแต่อุตสาหกรรมการผลิตสปริงเท่านั้น ยังใช้ได้กับ อุตสาหกรรม อื่นๆ ที่ต้องมีการทดสอบความทนทานของผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพื่อมั่นใจกับของผลิตภัณฑ์หรือสิ้นค้าเหล่านั้น ทุกผลิตภัณฑ์หรือสินค้า ที่ไม่มีการทดสอบความทนทานอาจสร้างความเสียหายหรือเสียชื่อเสียงได้ ซึ่งนักออกแบบควรให้ความสนใจในเรื่องของการทดสอบผลิตภัณฑ์เป็นอย่างยิ่ง

งานวิจัยนี้เป็นเพียงตัวอย่างหนึ่งของงานวิจัยประเภท การวิจัยและพัฒนา (Research and Development) ซึ่งสามารถนำวิธีการ หลักการและกระบวนการของงานวิจัยชิ้นนี้ เป็นแนวทางในการศึกษา การทำวิจัยประเภทเดียวกันหรือประเภทที่ใกล้เคียงกัน เพื่อการพัฒนาการศึกษาและวิจัยและออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

บรรณานุกรม

กิตติคุณ วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ .**การออกแบบสำหรับการแตกหักเนื่องจากการล้า** : กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

กิตติคุณ วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์. **ความรู้เรื่องสปริง** : กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ครุสภาลาดพร้าว.

กรมวิชาการ, กระทรวงศึกษาธิการ. 2534. **การตรวจสอบคุณภาพของผลิต.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

กรมวิชาการ, กระทรวงศึกษาธิการ. 2539. **การซ่อมบำรุงระบบการผลิต.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

ดลต์ รัตนทัศนีย์ . **หลักการออกแบบผลิตภัณฑ์** , [Online]. Available : http;//www.product.exteen.com

นวรัตน์ อัศดรพิพัฒน์กุล , ผู้แปล .2539 : สมุทรปราการ **ขั้นตอนการผลิตสปริง.** NHK SPRING (JAPAN) CO.,LTD. INA PLANT

เปรื่อง กิจรัตน์ภร. : 2537.**การควบคุมคุณภาพทางสถิติ** : กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว. กรุงเทพฯ:

เปรื่อง กิจรัตน์ภร, 2537. **การบริหารอุตสาหกรรมระบบ และกระบวนการผลิต.** กรุงเทพฯ : คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏพระนคร

วิชัย แหวนเพชร . 2534. **การควบคุมคุณภาพ :** กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันราชภัฏพระนคร.

สมชัย อัครทิวา, ผู้แปล. 2547. **การซ่อมบำรุงระบบการผลิต:** กรุงเทพฯ กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น)

สมชัย อัครทิวา , ผู้แปล.2547.**วิธีการทำงานภายในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อความปลอดภัย:** กรุงเทพฯ 2547 : กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น)

อุดมศักดิ์ สาริบุตร. 2549 :**เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม** : กรุงเทพฯ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ภาคผนวก ข. หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการทำวิจัย

ภาคผนวก ค. การประเมินรูปแบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

ภาคผนวก ง. แบบสำหรับการผลิต

ภาคผนวก จ. ขั้นตอนการปฏิบัติในการใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

ภาคผนวกภาค ก

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

หัวข้อสาระนิพนธ์ เรื่อง การศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง
หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
โดย นาย ธรรมศาสตร์ คำราชา
อาจารย์ที่ปรึกษาสาระนิพนธ์ รศ.อุดมศักดิ์ สาริบุตร

วัตถุประสงค์ในการวิจัย มีดังนี้คือ

1.เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่มีความพึงพอในด้านคุณภาพ

2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือมาตรฐานที่ผู้ประกอบรถยนต์กำหนด

3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของ ผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ที่สามารถใช้ได้กับสปริงหลายรูปแบบ

คำชี้แจง : ลักษณะแบบสอบถามมี 2 ลักษณะที่ต้องการใช้ประกอบร่วมกันมีดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 แบบสอบถามที่มีความสอดคล้องเที่ยงตรงถูกต้องกับวัตถุประสงค์ในแต่ละข้อต่อเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงโดยขอความกรุณาให้ท่านพิจารณาโปรดทำเครื่องหมาย / ช่องของระดับค่าความคิดเห็นที่ท่านคิดว่าเหมาะสมที่สุด ในแต่ละข้อคำถาม

+1 คือ เห็นด้วยมากที่สุด
0 คือ เห็นด้วยปานกลาง
-1 คือ เห็นด้วยน้อยที่สุด

ตอนที่ 2 ข้อเสนอเพิ่มเติมของผู้ทรงคุณวุฒิในตอนท้ายของแบบสอบถามเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการวิจัยในครั้งนี้

หมายเหตุ : ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามนี้จะเก็บไว้เป็นความลับ เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น จึงขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้กรุณาช่วยประเมินตอบแบบสอบถามในการวิจัยครั้งนี้

ตารางที่ ข.1 แบบตรวจสอบความสอดคล้องของแบบประเมินการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ข้อที่	ข้อคำถาม	คะแนนการพิจารณา		
		+1	0	-1
1	ด้านหน้าที่ประโยชน์ใช้สอย			
	1.1 เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง มีความเหมาะสมกับสัดส่วนของผู้ใช้งาน			
	1.2 ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น			
	1.3 สามารถใช้งานกับสปริงได้หลายรูปแบบ			
2	ด้านความปลอดภัย			
	2.1 การวางตำแหน่งกลไกมีความปลอดภัย			
	2.2 สภาพแวดล้อมมีความปลอดภัยในการใช้งาน			
	2.3 การเลือกใช้วัสดุในการผลิตโครงสร้างมีความปลอดภัย			
	2.4 การป้องกันต่างๆมีความปลอดภัย			
3	ด้านความสะดวกสบาย			
	3.1 เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่เหมาะสมกับการใช้งาน			
	3.2 การปรับหรือเปลี่ยนสปริงเหมาะสมกับผู้ใช้งาน			
	3.3 ตำแหน่งการวางกลไกใช้งานสะดวก			
4	ด้านการซ่อมบำรุง			
	4.1 การดูแลรักษาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ง่ายต่อการทำความสะอาด			
	4.2 ง่ายต่อการซ่อมบำรุงและตรวจสอบ			
	4.3 การการเลือกใช้วัสดุและกลไกซื้อหาง่ายและราคาไม่แพง			

ตอนที่ 2 ข้อเสนอเพิ่มเติมของผู้ทรงคุณวุฒิในตอนท้ายของแบบสอบถามเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการวิจัยในครั้งนี้

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผู้ประเมิน

.....

( )

ตารางที่ ข.2 ความสอดคล้องของแบบประเมินด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ข้อคำถาม (ข้อที่)	ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			รวมคะแนน	IOC	ผลของการประเมิน
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3			
1.ด้านหน้าที่ใช้สอย						
1.1						
1.2						
1.3						
2.ด้านความปลอดภัย						
2.1						
2.2						
2.3						
2.4						
3.ด้านความสะดวกสบาย						
3.1						
3.2						
3.3						
4.ด้านการซ่อมบำรุง						
4.1						
4.2						
4.3						

หัวข้อสาระนิพนธ์ เรื่อง การศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

โดย นาย ธรรมศาสตร์ คำราชา

อาจารย์ที่ปรึกษาสาระนิพนธ์ รศ.อุดมศักดิ์ สาริบุตร

วัตถุประสงค์ในการวิจัย มีดังนี้คือ

1.เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่มีความพึงพอในด้านคุณภาพ

2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือมาตรฐานที่ผู้ประกอบรถยนต์กำหนด

3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของ ผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง ที่สามารถใช้ได้กับสปริงหลายรูปแบบ

คำชี้แจง : ลักษณะแบบสอบถามมี 2 ลักษณะที่ต้องการใช้ประกอบร่วมกันมีดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 แบบสอบถามที่มีความสอดคล้องเที่ยงตรงถูกต้องกับวัตถุประสงค์ในแต่ละข้อต่อเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงโดยขอความกรุณาให้ท่านพิจารณาโปรดทำเครื่องหมาย / ช่องของระดับค่าความคิดเห็นที่ท่านคิดว่าเหมาะสมที่สุด ในแต่ละข้อคำถาม

+1 คือ เห็นด้วยมากที่สุด

0 คือ เห็นด้วยปานกลาง

-1 คือ เห็นด้วยน้อยที่สุด

หมายเหตุ : ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามนี้จะเก็บไว้เป็นความลับ เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น จึงขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้กรุณาช่วยประเมินตอบแบบสอบถามในการวิจัยครั้งนี้

ตอนที่ 2 ข้อเสนอเพิ่มเติมของผู้ทรงคุณวุฒิในตอนท้ายของแบบสอบถามเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการวิจัยในครั้งนี้

ข้อที่	ข้อคำถาม	คะแนนการพิจารณา		
		+1	0	-1
1	ด้านหน้าที่ประโยชน์ใช้สอย			
	1.1 เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงมีความเหมาะสมกับสัดส่วนของผู้ใช้งาน			
	1.2 ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น			
	1.3 สามารถใช้งานกับสปริงได้หลายรูปแบบ			
2	ด้านความปลอดภัย			
	2.1 การวางตำแหน่งกลไกมีความปลอดภัย			
	2.2 สภาพแวดล้อมมีความปลอดภัยในการใช้งาน			
	2.3 การเลือกใช้วัสดุในการผลิตโครงสร้างมีความปลอดภัย			
	2.4 การป้องกันต่างๆมีความปลอดภัย			
3	ด้านความสะดวกสบาย			
	3.1 เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่เหมาะสมกับการใช้งาน			
	3.2 การปรับหรือเปลี่ยนสปริงเหมาะสมกับผู้ใช้งาน			
	3.3 ตำแหน่งการวางกลไกใช้งานสะดวก			
4	ด้านการซ่อมบำรุง			
	4.1 การดูแลรักษาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงง่ายต่อการทำความสะอาด			
	4.2 ง่ายต่อการซ่อมบำรุงและตรวจสอบ			
	4.3 การการเลือกใช้วัสดุและกลไกซื้อหาง่ายและราคาไม่แพง			

ตอนที่ 2 ข้อเสนอเพิ่มเติมของผู้ทรงคุณวุฒิในตอนท้ายของแบบสอบถามเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการวิจัยในครั้งนี้

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผู้ประเมิน

.....

( )

ตารางที่ ข.4 ความสอดคล้องของแบบประเมินด้านความพึงพอใจผู้ใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

ข้อคำถาม (ข้อที่)	ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ			รวมคะแนน	IOC	ผลของการประเมิน
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3			
1.ด้านหน้าที่ใช้สอย						
1.1						
1.2						
1.3						
2.ด้านความปลอดภัย						
2.1						
2.2						
2.3						
2.4						
3.ด้านความสะดวกสบาย						
3.1						
3.2						
3.3						
4.ด้านการซ่อมบำรุง						
4.1						
4.2						
4.3						

สาขา เทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง ออกแบบและพัฒนา เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง
รายวิชา INDIVIDUAL SYUDY **อาจารย์ผู้สอน** รองศาสตราจารย์ อุดมศักดิ์ สาริบุตร

.....

แบบสอบถามความพึงพอใจ

แบบสอบถามความพึงพอใจนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คณะคุรุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทั้งนี้ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้อมูลของแบบประเมินนี้ไปทำการสรุป ผู้วิจัยจึงขอความกรุณาจากท่านช่วยตอบแบบสอบถามตามความเป็นจริง เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

แบบประเมิน ชุดนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอนประกอบด้วย

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ตอนที่ 2 แบบแบบสอบถามความพึงพอใจในการใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะ

แบบประเมินชุดนี้จัดทำขึ้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิจัยเท่านั้น การวิเคราะห์และการนำเสนอจะจัดทำภาพรวม ดังนั้นคำตอบจากแบบประเมินจึงไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อตัวท่านและบุคคลที่เกี่ยวกับตัวท่านแต่อย่างใด

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านผู้เชี่ยวชาญที่ได้ให้ความร่วมมือในการตอบแบบประเมินเพื่อนำไป ใช้เป็นแนวทางการศึกษาในโครงการออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

นาย ธรรมศาสตร์ คำราชา รหัส 53630805 (ข)
นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาขา เทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง ออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง
รายวิชา INDIVIDUAL SYUDY **อาจารย์ผู้สอน** รองศาสตราจารย์ อุดมศักดิ์ สาริบุตร

.....

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

เพศ ( ) ชาย ( ) หญิง

อายุ ( ) ต่ำกว่า 20 ปี ( ) 21-30 ปี ( ) 31-40 ปี ( ) 41-50 ปี ( ) มากกว่า 50 ปี

อายุการทำงาน ( ) ต่ำกว่า 1 ปี ( ) 1-3 ปี ( ) 3-5 ปี ( ) 5-10 ปี ( ) มากกว่า 10 ปี

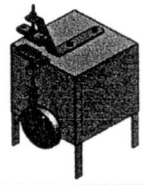
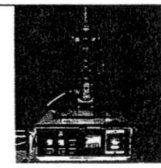
ตำแหน่ง ( ) พนักงานทดลองงาน ( ) พนักงานประจำ ( ) หัวหน้างาน ( ) วิศวกร ( ) ผู้จัดการ

ตอนที่ 2 แบบประเมินความเหมาะสม ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

คำชี้แจง โปรดพิจารณาการออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง แล้วทำเครื่องหมาย √ ลงในช่องระดับการประเมินของท่าน โดยผู้วิจัยได้กำหนดตัวเลขระดับความเหมาะสมดังต่อไปนี้

5 หมายถึง ระดับดีมาก
4 หมายถึง ระดับดี
3 หมายถึง ระดับปานกลาง
2 หมายถึง ระดับน้อย
1 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด

สาขา เทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง ออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

ข้อ	รายการประเมินความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ									
											
		5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
1	**ด้านหน้าที่ประโยชน์ใช้สอย** 1.1 เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงมีความเหมาะสมกับสัดส่วนของผู้ใช้งาน										
	1.2 ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น										
	1.3 สามารถใช้งานกับสปริงได้หลายรูปแบบ										
2	**ด้านความปลอดภัย** 2.1 การวางตำแหน่งกลไกมีความปลอดภัย										
	2.2 สภาพแวดล้อมมีความปลอดภัยในการใช้งาน										
	2.3 การเลือกใช้วัสดุในการผลิตโครงสร้างมีความปลอดภัย										
	2.4 การป้องกันต่างๆมีความปลอดภัย										
3	**ด้านความสะดวกสบาย** 3.1 เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่เหมาะสมกับการใช้งาน										
	3.2 การปรับหรือเปลี่ยนสปริงเหมาะสมกับผู้ใช้งาน										
	3.3 ตำแหน่งการวางกลไกใช้งานสะดวก										
4	**ด้านการซ่อมบำรุง** 4.1 การดูแลรักษาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงง่ายต่อการทำความสะอาด										
	4.2 ง่ายต่อการซ่อมบำรุงและตรวจสอบ										
	4.3 การการเลือกใช้วัสดุและกลไกซื้อหาง่ายและราคาไม่แพง										

สาขา เทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง ออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

.....

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะ
คำชี้แจง โปรดแสดงความคิดเห็นอื่น ๆ หรือข้อเสนอเพิ่มเติมของท่าน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่าน ที่กรุณาสละเวลาในการตอบแบบสอบถาม

สาขา เทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง ออกแบบและพัฒนา เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง
รายวิชา INDIVIDUAL SYUDY **อาจารย์ผู้สอน** รองศาสตราจารย์ อุดมศักดิ์ สาริบุตร

.....

แบบสอบถามความพึงพอใจ

แบบสอบถามความพึงพอใจนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทั้งนี้ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้อมูลของแบบประเมินนี้ไปทำการสรุป ผู้วิจัยจึงขอความกรุณาจากท่านช่วยตอบแบบสอบถามตามความเป็นจริง เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

แบบประเมิน ชุดนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอนประกอบด้วย

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ตอนที่ 2 แบบแบบสอบถามความพึงพอใจในการใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะ

แบบประเมินชุดนี้จัดทำขึ้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิจัยเท่านั้น การวิเคราะห์และการนำเสนอจะจัดทำภาพรวม ดังนั้นคำตอบจากแบบประเมินจึงไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อตัวท่านและบุคคลที่เกี่ยวกับตัวท่านแต่อย่างใด

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านผู้เชี่ยวชาญที่ได้ให้ความร่วมมือในการตอบแบบประเมิน เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางการศึกษาในโครงการออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

นาย ธรรมศาสตร์ คำราชา รหัส 53630805 (ข)
นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาขา เทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง ออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง
รายวิชา INDIVIDUAL SYUDY **อาจารย์ผู้สอน** รองศาสตราจารย์ อุดมศักดิ์ สาริบุตร

.....

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

เพศ ( ) ชาย ( ) หญิง

อายุ ( ) ต่ำกว่า 20 ปี ( ) 21-30 ปี ( ) 31-40 ปี ( ) 41-50 ปี ( ) มากกว่า 50 ปี

อายุการทำงาน ( ) ต่ำกว่า 1 ปี ( ) 1-3 ปี ( ) 3-5 ปี ( ) 5-10 ปี ( ) มากกว่า 10 ปี

ตำแหน่ง ( ) พนักงานทดลองงาน ( ) พนักงานประจำ ( ) หัวหน้างาน ( ) วิศวกร ( ) ผู้จัดการ

ตอนที่ 2 แบบประเมินความเหมาะสม ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

คำชี้แจง โปรดพิจารณาการออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง แล้วทำเครื่องหมาย √ ลงในช่องระดับการประเมินของท่าน โดยผู้วิจัยได้กำหนดตัวเลขระดับความเหมาะสมดังต่อไปนี้

5 หมายถึง ระดับดีมาก
4 หมายถึง ระดับดี
3 หมายถึง ระดับปานกลาง
2 หมายถึง ระดับน้อย
1 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด

สาขา เทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง ออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

ข้อ	รายการประเมินความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ									
		สปริงดึง					สปริงกด				
		5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
1	**ด้านหน้าที่ประโยชน์ใช้สอย** 1.1 เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงมีความเหมาะสมกับสัดส่วนของผู้ใช้งาน										
	1.2 ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น										
	1.3 สามารถใช้งานกับสปริงได้หลายรูปแบบ										
2	**ด้านความปลอดภัย** 2.1 การวางตำแหน่งกลไกมีความปลอดภัย										
	2.2 สภาพแวดล้อมมีความปลอดภัยในการใช้งาน										
	2.3 การเลือกใช้วัสดุในการผลิตโครงสร้างมีความปลอดภัย										
	2.4 การป้องกันต่างๆมีความปลอดภัย										
3	**ด้านความสะดวกสบาย** 3.1 เครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่เหมาะสมกับการใช้งาน										
	3.2 การปรับหรือเปลี่ยนสปริงเหมาะสมกับผู้ใช้งาน										
	3.3 ตำแหน่งการวางกลไกใช้งานสะดวก										
4	**ด้านการซ่อมบำรุง** 4.1 การดูแลรักษาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงง่ายต่อการทำความสะอาด										
	4.2 ง่ายต่อการซ่อมบำรุงและตรวจสอบ										
	4.3 การการเลือกใช้วัสดุและกลไกซื้อหาง่ายและราคาไม่แพง										

สาขา เทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

.....

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะ
คำชี้แจง โปรดแสดงความคิดเห็นอื่น ๆ หรือข้อเสนอเพิ่มเติมของท่าน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่าน ที่กรุณาสละเวลาในการตอบแบบสอบถาม

ภาคผนวกภาค ข

หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการทำวิจัย

ที่ ศธ 0524.04/ **0012**

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

4 มกราคม 2555

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินแบบสอบถามและประเมินการออกแบบ

เรียน คุณธีรวุฒิ แก้วกัณฑา

ด้วย นายธรรมศาสตร์ คำราชา นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำสาระนิพนธ์ เรื่อง "ศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง"

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินแบบสอบถามและประเมินการออกแบบของ นายธรรมศาสตร์ คำราชา

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)
คณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ
โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 329-8436
ติดต่อนักศึกษา โทร.081- 833-1455

เนื่องจากไม่ได้ประเมินการในหัวข้อดังกล่าว
คือ ความปลอดภัย (Safety Point) ในการทดสอบ
ดังนั้นจึงไม่มีความคิดเห็นในเรื่องของการออกแบบ
และผลของการทดสอบในระยะยาวครับ
13-Jan-2012

บันทึกข้อความ

หน่วยงาน คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. ส่วนสนับสนุนวิชาการ โทร.3692
ที่ ศธ 0524.04 / **0012** วันที่ ๔ มกราคม 2555

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบสอบถามเพื่อการวิจัย

เรียน ดร.จตุรงค์ เลาะเพ็ญแสง

ด้วย นายธรรมศาสตร์ คำราชา นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำสาระนิพนธ์ เรื่อง "ศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง" คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบสอบถามดังที่แนบมาพร้อมนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของนายธรรมศาสตร์ คำราชามีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ได้แนบแบบสอบถามเพื่อการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(รองศาสตราจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)
คณบดี

(ดร. จตุรงค์ เลาะเพ็ญแสง)

ที่ ศธ 0524.04/ **0012**

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

4 มกราคม 2555

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินแบบสอบถามและประเมินการออกแบบ

เรียน คุณสุชาติ ทรัพย์สอน

ด้วย นายธรรมศาสตร์ คำราชา นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำสาระนิพนธ์ เรื่อง "ศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง"

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินแบบสอบถามและประเมินการออกแบบของ นายธรรมศาสตร์ คำราชา

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)
คณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ
โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 329-8436
ติดต่อนักศึกษา โทร.081- 833-1455

ทางหน่วยงานได้ดำเนินการโครงการ
ที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว และมีประโยชน์
ต่อบริษัท และขอขอบคุณ.
จึงเรียนมาเพื่อการพิจารณาอนุมัติ.
20-1-12
QA MGR.

ที่ ศธ 0524.04/ **0012**

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

๒๑ มกราคม 2555

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินแบบสอบถามและประเมินการออกแบบ

เรียน คุณปรารมภ์ แสงอรุณ

ด้วย นายธรรมศาสตร์ คำราชา นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำสาระนิพนธ์ เรื่อง "ศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง"

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินแบบสอบถามและประเมินการออกแบบของ นายธรรมศาสตร์ คำราชา

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)
คณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ
โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 329-8436
ติดต่อนักศึกษา โทร.081- 833-1455

ที่ ศธ 0524.04/ **0013**

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

๙ มกราคม 2555

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ให้กับนักศึกษา

เรียน คุณสามารถ สุภานันท์

ด้วย นายธรรมศาสตร์ คำราชา นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความประสงค์จะขอข้อมูลและขอสัมภาษณ์ คุณสามารถ สุภานันท์ และกลุ่มพนักงาน เรื่อง การศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความคงทนทานของสปริง และขอถ่ายภาพ เพื่อประกอบการจัดทำสาระนิพนธ์ เรื่อง "ศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความคงทนทานของสปริง"

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ให้กับนักศึกษาดังกล่าว และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดี และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)
คณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ
โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 329-8436
ติดต่อนักศึกษา โทร.081-833-1455

cc: คุณสามารถ
คุณสุภาพ
คุณมานพ

(นายธรรมศาสตร์ คำราชา)
ขอสัมภาษณ์ข้อมูลเกี่ยวกับ
และขอถ่ายภาพ
และเก็บรวบรวมข้อมูล
ของเครื่องทดสอบ
ขอบคุณครับ
9/1/2012

บันทึกข้อความ

หน่วยงาน คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. ส่วนสนับสนุนวิชาการ โทร.3692
ที่ ศธ 0524.04 /0012 วันที่ 4 มกราคม 2555

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบสอบถาม

เรียน ผศ.ธเนศ ภิรมย์การ

ด้วย นายธรรมศาสตร์ คำราชา นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำสาระนิพนธ์ เรื่อง "ศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง" คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบสอบถาม ดังที่แนบมาพร้อมนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายธรรมศาสตร์ คำราชา มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(รองศาสตราจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)
คณบดี

ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิ

บันทึกข้อความ

หน่วยงาน คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. ส่วนสนับสนุนวิชาการ โทร.3692
ที่ ศธ 0524.04 /0012 วันที่ 4 มกราคม 2555

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบสอบถาม

เรียน ดร.ทรงวุฒิ เอกวุฒิวงศา

ด้วย นายธรรมศาสตร์ คำราชา นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำสาระนิพนธ์ เรื่อง "ศึกษาและพัฒนาเครื่องทดสอบความทนทานของสปริง" คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบสอบถาม ดังที่แนบมาพร้อมนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายธรรมศาสตร์ คำราชา มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(รองศาสตราจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์)
คณบดี

อาจารย์ ดร.ทรงวุฒิ เอกวุฒิวงศา
สาขาสถาปัตยกรรมและการออกแบบ
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวกภาค ค.

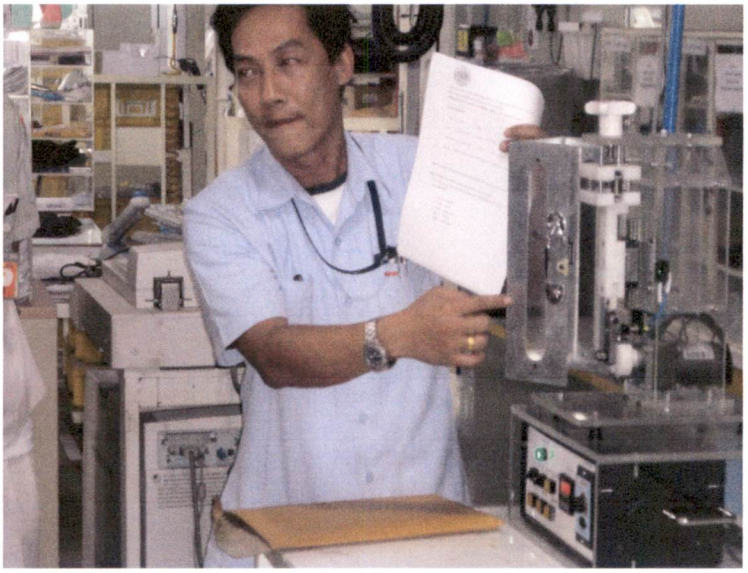
การประเมินรูปแบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

ภาพที่ ค.1 ผู้วิจัยอธิบายเครื่องทดสอบความทนทานของสปริงที่พัฒนา กับกลุ่มตัวอย่าง

ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา (10 มีนาคม 2555)

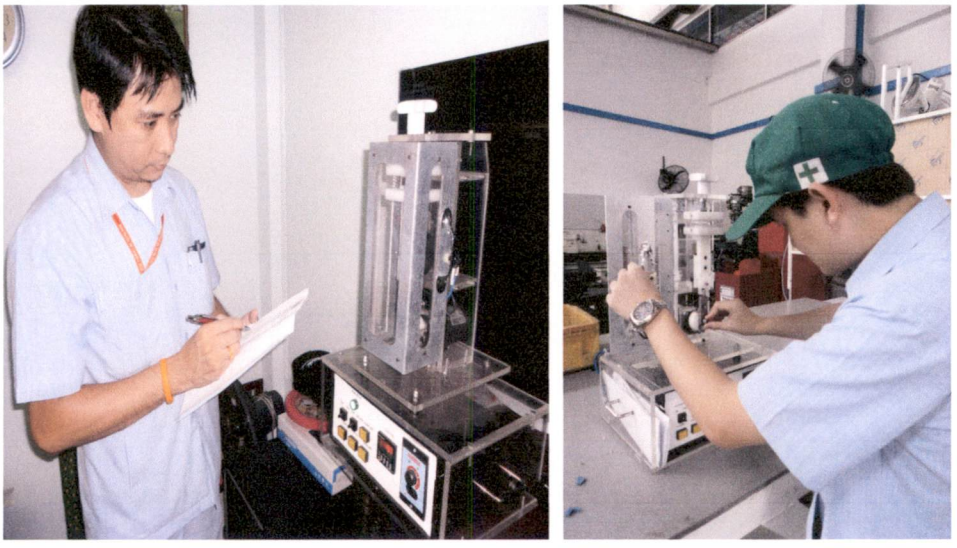
ภาพที่ ค.2 ผู้วิจัย กลุ่มตัวอย่างผู้ใช้หรือหัวหน้างาน

ภาพโดย : **ธรรมศาสตร์ คำราชา (10 มีนาคม 2555)**



ภาพที่ ค.3 ผู้วิจัยอธิบายเครื่องมือแบบสอบถาม ตามหัวข้อการประเมินทดสอบความทนทานของสปริงที่พัฒนาขึ้น

ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา (10 มีนาคม 2555)



ภาพที่ ค.4 กลุ่มตัวอย่างหัวหน้างานและวิศวกรที่เกี่ยวข้อง

ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา (15 มีนาคม 2555)

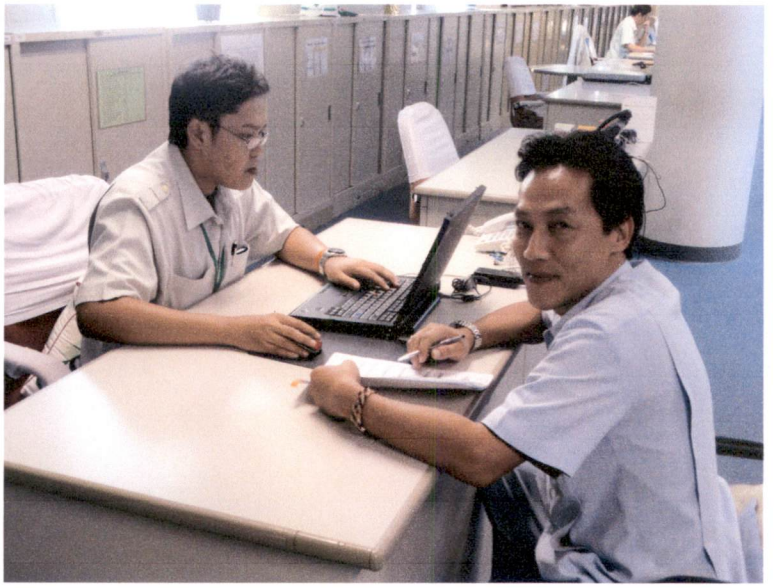
ภาพที่ ค.5 กลุ่มตัวอย่างระดับผู้จัดการ

ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา (10 มีนาคม 2555)

ภาพที่ ค.6 กลุ่มตัวอย่างกำลังตอบแบบสอบถามหลังจากทดลองใช้เครื่องของจริง

ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา และสมชาย กุลเสวกวิบูลย์ (15 มีนาคม 2555)

ภาพการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ



ภาพที่ ค.7 นาย ปรารมภ์ แสงอรุณ ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม เชี่ยวชาญทางด้านวิศวกรรมเครื่องจักรและการออกแบบ บริษัท เอ็น เอช เค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด

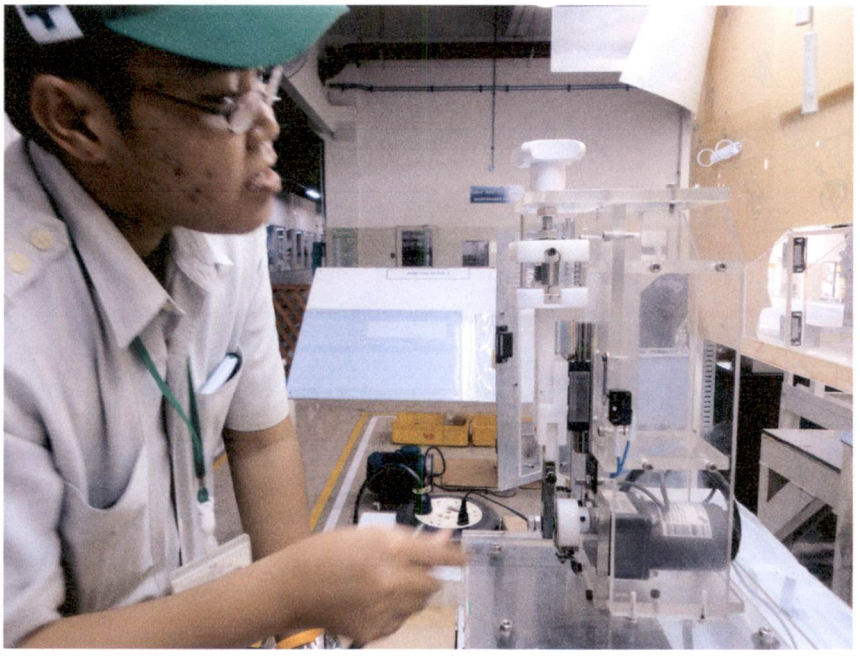
ภาพโดย : **ธรรมศาสตร์ คำราชา (10 มีนาคม 2555)**

ภาพที่ ค.8 นาย สุชาติ ทรัพย์สอน ผู้จัดการฝ่ายคุณภาพ เชี่ยวชาญทางด้านการตรวจสอบหรือทดสอบชิ้นงานให้ได้คุณภาพตามความต้องการของลูกค้า บริษัท เอ็น เอช เค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด ทำการตรวจแบบ

ภาพโดย : **ธรรมศาสตร์ คำราชา (10 มีนาคม 2555)**

ภาพที่ ค.9 นายธีรวุฒิ แก้วกัณฑา ผู้จัดการ TPS (TOYOTA PRODUCTION SYSTEM) เชี่ยวชาญทางด้านระบบการผลิต และข้อกำหนดของผู้ผลิตรถยนต์โตโยต้า ทำการตรวจแบบ

ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา (10 มีนาคม 2555)



ภาพที่ ค.10 นาย ปรารมภ์ แสงอรุณ ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม เชี่ยวชาญทางด้านวิศวกรรมเครื่องจักรและการออกแบบ บริษัท เอ็น เอช เค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด

ภาพโดย : ธรรมศาสตร์ คำราชา (10 มีนาคม 2555)

ภาพที่ ค.11 นาย สุชาติ ทรัพย์สอน ผู้จัดการฝ่ายคุณภาพ เชี่ยวชาญทางด้านการตรวจสอบหรือทดสอบชิ้นงานให้ได้คุณภาพตามความต้องการของลูกค้า บริษัท เอ็นเอชเค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด

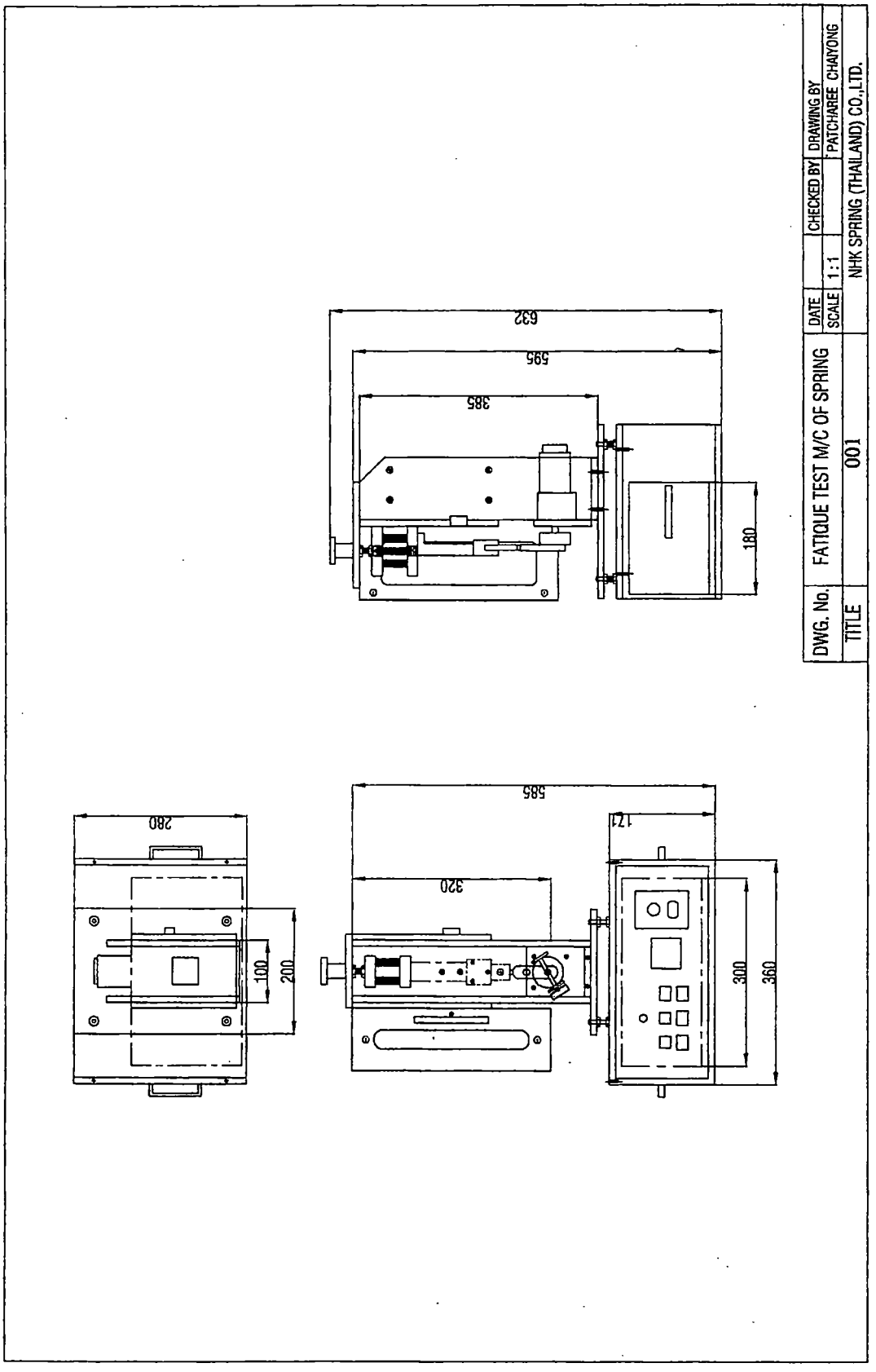
ภาพโดย : **ธรรมศาสตร์ คำราชา (15 มีนาคม 2555)**

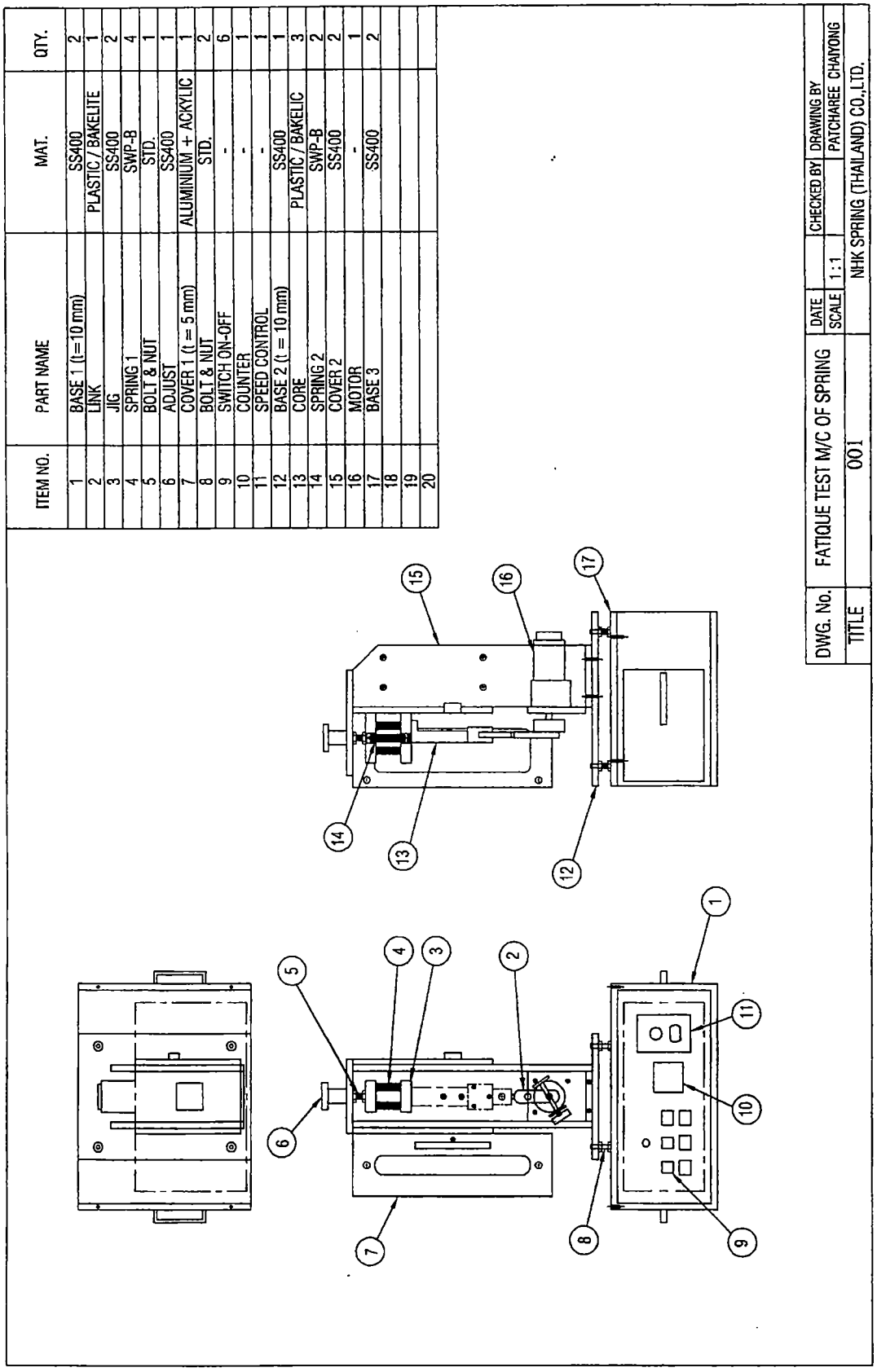
ภาพที่ ค.12 นายธีรวุฒิ แก้วกัณฑา ผู้จัดการ TPS (TOYOTA PRODUCTION SYSTEM) เชี่ยวชาญทางด้านระบบการผลิต และข้อกำหนดของผู้ผลิตรถยนต์โตโยต้า

ภาพโดย : **ธรรมศาสตร์ คำราชา (10 มีนาคม 2555)**

ภาคผนวกภาค ง.

แบบสำหรับการผลิต


632
595
385
180
585
121
320
280
100
200
300
360
DWG. No.
FATIQUE TEST M/C OF SPRING
TITLE
001
DATE
SCALE
1:1
CHECKED BY
DRAWING BY
PATCHAREE CHAIYONG
NHK SPRING (THAILAND) CO.,LTD.



ITEM NO.	PART NAME	MAT.	QTY.
1	BASE 1 (t=10 mm)	SS400	2
2	LINK	PLASTIC / BAKELITE	1
3	JIG	SS400	2
4	SPRING 1	SWP-B	4
5	BOLT & NUT	STD.	1
6	ADJUST	SS400	1
7	COVER 1 (t = 5 mm)	ALUMINIUM + ACRYLIC	1
8	BOLT & NUT	STD.	2
9	SWITCH ON-OFF	-	6
10	COUNTER	-	1
11	SPEED CONTROL	-	1
12	BASE 2 (t = 10 mm)	SS400	1
13	CORE	PLASTIC / BAKELIC	3
14	SPRING 2	SWP-B	2
15	COVER 2	SS400	2
16	MOTOR	-	1
17	BASE 3	SS400	2
18			
19			
20			

DWG. No.	FATIQUE TEST M/C OF SPRING	DATE	CHECKED BY	DRAWING BY
		SCALE 1:1		PATCHAREE CHAYONG
TITLE	001	NHK SPRING (THAILAND) CO.,LTD.		

ภาคผนวกภาค จ

ขั้นตอนการปฏิบัติในการใช้เครื่องทดสอบความทนทานของสปริง

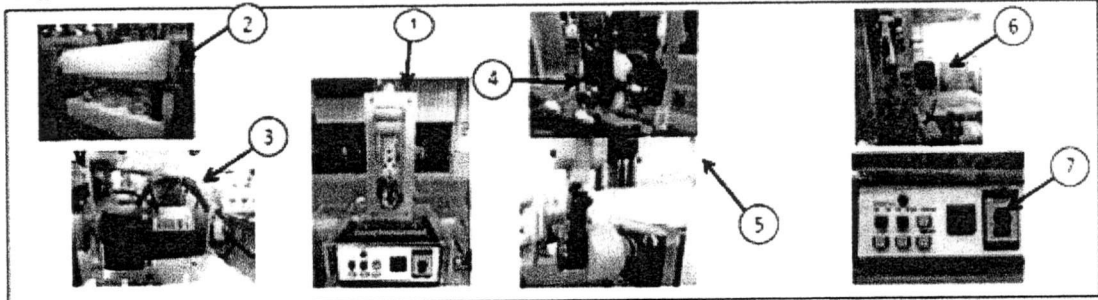
FATIGUE TEST OF SPRING CHECK SHEET M/C

M/C NAME : FATIGUE TEST OF SPRING

M/C CODE :

RANK : B

SECTION : SPRING, SMALL



วันที่	รายละเอียดการแก้ไข	ผู้แก้ไข

No.	หัวข้อการตรวจสอบ	มาตรฐานการตรวจสอบ	ความถี่ในการตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	หมายเหตุ
1	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
2	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
3	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
4	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
5	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
6	[illegible]	[illegible]	[illegible]		
7	[illegible]	[illegible]	[illegible]		

หัวข้อการตรวจสอบ CONDITION CHECK

○ [illegible]

◎ [illegible]

△ [illegible]

รายละเอียดปัญหา :

FATIGUE AND ENDURANCE TEST REPORT

Document No.

Customer	xxxxx
Part No.	xxxxx
Part Name	Spring Tension
Work Order	Sample 1st
Lot No.	

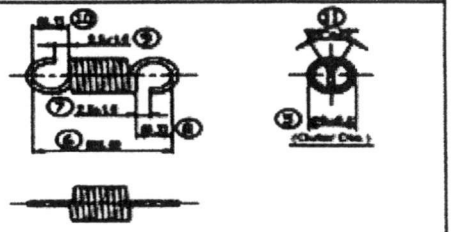
Purpose

☐ Follow Plan ☑ Try M/C
☐ New Model ☐ Change Mat
☐ Quality Problem :
☑ Other :

Drawing Specification

Type Of Spring	☐ Valve ☐ Comp ☑ Tension ☐ Torsion ☐ Flat ☐ Other
Material Type	SUS 304 WPB
Wire Diameter	1.2 mm
Coiling Direction	☑ Right ☐ Left
Total Coil	8.5 Coil
Outer Diameter	9.0 +/- 0.30 mm
Inner Diameter	mm
Shot Peening	☐ Have Shot ☑ Not Have Shot
Other	

Drawing Or Picture



Testing Condition

Upper Stroke	36 mm
Lower Stroke	29.6 mm
Fatigue Test Distance	6.4 mm
Fatigue Test	100,000 Time
	Hr
Fatigue Test Speed	20 Hz : 1200 Time/Min.
Temperature	°C

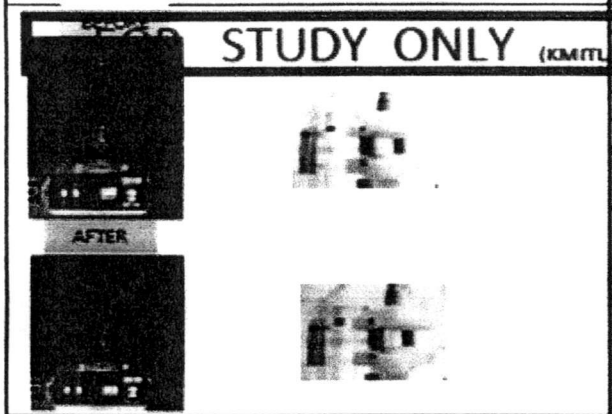
Evaluation STD. (Internal Std. Or Requirment)

Classify	Criteria
Dimension (Ho,Angle,Other)	Loss Not Over 10%
Function (Load,Torque,Other)	Loss Not Over 10%
Appearance	Not Crack , Broken , Deform , Other Defect

Testing Result (Before And After Testing)

NO.	Ho =	26.0		mm	H1 =	29.6		mm	H2 =			mm
		25.95	26.5		P1 =	23.7 +/- 2.37		N	P2 =	52.0		N
		Min	Max			21.33	26.07					
						Min	Max			Min	Max	
	BEFORE	AFTER	DEVIATION	% VARIATION	BEFORE	AFTER	DEVIATION	% VARIATION	BEFORE	AFTER	DEVIATION	% VARIATION
1	25.28	25.25	0.03	0.12%					52.60	52.55	0.05	0.10%
2	25.30	25.27	0.03	0.12%					52.70	52.62	0.08	0.15%
X	25.29		1.76	7.00%	#DIV/0!				52.65			

Picture or Other (Before & After)



Summary Result

Ho Height Loss	(Max.)
H1 Load Loss	(Max.)
P2 Load Loss	(Max.)
Appearance	NG (Broken)

Testing Period (Start & Finish Date)	Testing Judgement	
2/3/12	OK	●
	NG	
	No Judge	

Remark

Document Co:

☑ COE ☐ SQE ☑ IFC ☑ ENG (Wire) ☐ ENG (Flat)
☑ Manu (Wire) ☐ Manu (Flat) ☐ Other

APPROVED	CHECKED	REPORTED
Rittikorn	Suchin	PIYA
3/3/2012	3/3/2012	3/3/2012

FATIGUE AND ENDURANCE TEST REPORT

Document No.

Customer	
Part No.	AAAAA
Part Name	Spring , Compression
Work Order	Sample 1 st
Lot No.	

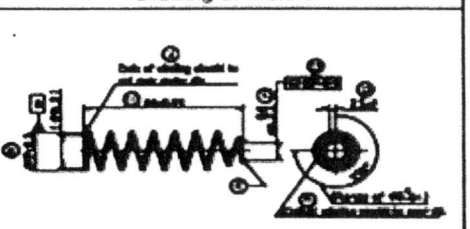
Purpose

- ☐ Follow Plan
- ☑ Try M/C
- ☐ New Model
- ☐ Change Mat
- ☐ Quality Problem :
- ☑ Other :

Drawing Specification

Type Of Spring	☐ Valve ☑ Comp ☐ Tension ☐ Torsion ☐ Flat ☐ Other
Material Type	SWP B
Wire Diameter	1.4 mm
Coiling Direction	☑ Right ☐ Left
Total Coil	9 Coil
Outer Diameter	17.4 ± 0.2 mm
Inner Diameter	8.4 ± 0.4 mm
Shot Peening	☐ Have Shot ☑ Not Have Shot
Other	Surface Treatment Black Oxide

Drawing Or Picture



Testing Condition

Upper Stroke	36.4 mm
Lower Stroke	20.7 mm
Fatigue Test Distance	15.7 mm
Fatigue Test	100,000 Time Hr
Fatigue Test Speed	0.6 Hz ; 36 Time/Min
Temperature	°C

Evaluation STD. (Internal Std. Or Requirment)

Classify	Criteria
Dimension : (Ho,Angle,Other)	Loss Not Over 10%
Function : (Load,Torque,Other)	Loss Not Over 10%
Appearance	Not Crack , Broken , Doform , Other Defect

Testing Result (Before And After Testing)

NO	Ho =	61.4 ± 0.93		mm	H1 =	36.4		mm	H2 =	20.7		mm
		60.07	61.93		P1 =	34.9		N	P2 =	57.1		N
		Min	Max			Min	Max			Min	Max	
	BEFORE	AFTER	DEVIATION	% DEVIATION	BEFORE	AFTER	DEVIATION	% DEVIATION	BEFORE	AFTER	DEVIATION	% DEVIATION
1	60.70	58.93	1.77	2.92%					60.97	57.45	3.52	5.77%
2	60.71	58.97	1.74	2.87%					60.70	57.11	3.59	5.91%
3	60.79	59.02	1.77	2.91%					60.27	57.28	2.99	4.96%
4	61.05	59.28	1.77	2.90%					61.25	57.85	3.40	5.55%
X	60.81	59.05	1.76	2.90%					60.80	57.42	3.38	5.55%

Picture or Other (Before & After)

FOR STUDY ONLY

BEFORE

AFTER

Summary Result

Free Height Loss	2.92%	(Max.)
P1 Load Loss	0.00%	(Max.)
P2 Load Loss	5.91%	(Max.)
Appearance	OK	

Testing Period (Start & Finish Date)	Testing Judgement	
15/12/2011 3/01/2012	OK	●
	NG	
	No Judge	

Remark

Document Cc:

☐ COE ☐ SQE ☐ IFC ☐ ENG (Wire) ☐ ENG (Flat)
☐ Manu (Wire) ☐ Manu (Flat) ☐ Other

APPROVED	CHECKED	REPORTED
Rittikorn	Suchin	Surachai
		15/1/2011

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	นายธรรมศาสตร์ คำราชา
วัน เดือน ปีเกิด	1 ตุลาคม 2514
สถานที่เกิด	จังหวัด ตาก
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	422 / 387 ซอย 8 ม.ปรีชาสุวินทวงค์ ถ. สุวินทวงค์ แขวงแสนแสบ มีนบุรี กรุงเทพ 10510
ประวัติการศึกษา	ปี 2542 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพมหานคร ปี 2555 สำเร็จการศึกษาปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์ อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
สถานที่ทำงาน	บริษัท NHK SPRING (ประเทศไทย) จำกัด โรงงานสปริงเล็ก นิคมอุตสาหกรรม Wellgrow บางประกง ฉะเชิงเทรา
ตำแหน่ง	หัวหน้าวิศวกรรมอาวุโส