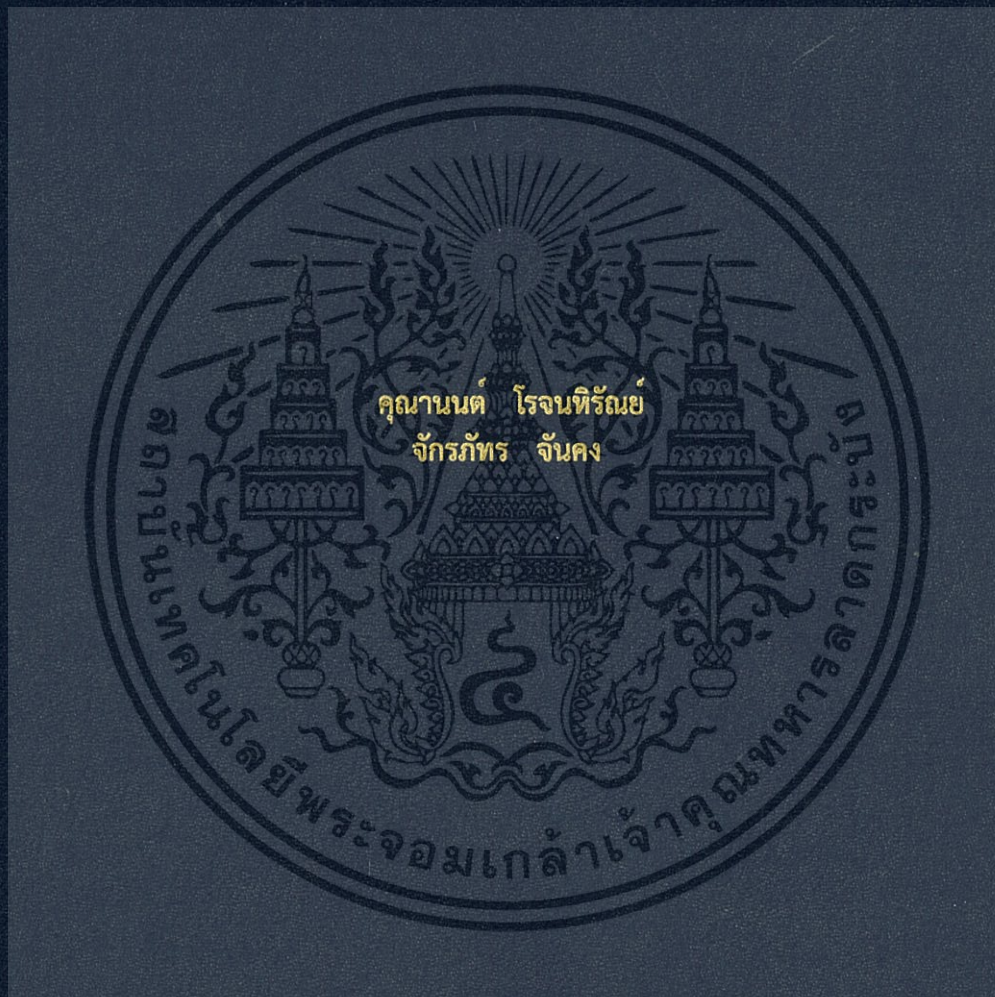


การศึกษาอายุความล้าของสปริงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิเลเมนต์
Evaluation of Spring Fatigue Life Using by Finite Element Method



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การศึกษาอายุความล้าของสปริงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

Evaluation of Spring Fatigue Life Using by Finite Element Method



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Evaluation of Spring Fatigue Life Using by Finite Element Method

Khunanon Rotchanahiran

Chakkaphat Chankhong

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาอายุความล้าของสปริงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

Evaluation of Spring Fatigue Life Using by Finite Element Method

ผู้จัดทำ

1. นาย คุณานนต์ โจรจนทริณย์ รหัสประจำตัว 57010147
2. นาย จักรภัทร จันคง รหัสประจำตัว 57010160



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.ปัญญา ชันธุ์สุวรรณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาอายุความล่าของสปริงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

นายคุณานนต์ โรจนศิริพันธ์	57010147
นายจักรภัทร จันคง	57010160
ผศ.ดร.ปัญญา ชันธุ์สุวรรณ	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2560	

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอในเรื่องของพฤติกรรมความล่าของสปริงใช้ในเครื่องกันการสั่นสะเทือนในระบบกันการสั่นสะเทือนของรถยนต์ ในการศึกษานี้จะค้นหาอายุการใช้งานของสปริงด้วยโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ การหาอายุการใช้งานของสปริงสามารถทดสอบได้โดยการใช้เครื่องทดสอบ แต่ในการใช้เครื่องทดสอบต้องใช้เวลาานกว่าจะได้ผลออกมา ดังนั้นจึงสามารถทดแทนได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ แรงที่ใช้ในการวิเคราะห์นำมาจากการจำลองแรงของรถยนต์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการวิเคราะห์หาอายุการใช้งานใช้ความเค้น ความเครียดและการโตของรอยแตกเป็นวิธีการหาอายุการใช้งาน ซึ่งความเค้นที่เหมาะสมที่สุดในการจำลองคือความเค้นหลักสูงสุด ผลลัพธ์จะแสดงถึงสปริงที่ไม่มีความเสียหายเกิดขึ้นในส่วนใดส่วนหนึ่งของสปริง

EVALUATION OF SPRING FATIGUE LIFE USING BY FINITE ELEMENT METHOD

Khunanon	Rotchanahiran	57010147
Chakkaphat	Chankhong	57010160
Asst.Prof.Dr.Panya Kansuwan		Advisor
Year 2560		

ABSTRACT

This project presents the fatigue behavior of springs used in shock absorbers in automobile suspension systems. In this study will find a fatigue life of spring from computer software. Finding fatigue life can use the testing machine, but testing machine usage time to test too long, so the fatigue life can use computer software to find. Loading data from dynamic car analysis were used for fatigue analysis. Strain life method, Stress life method and Crack growth method were used for Fatigue analysis. The absolute maximum principal stress method is found to be the best suited. The results show that the spring has not fail at any point.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก ผศ.ดร.ปัญญา ชันธุ์สุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้คำปรึกษา แนะนำเกี่ยวกับความรู้ อบรมให้ทำงานอย่างมีระเบียบแบบแผน พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือและตรวจทานปริญญาบัตรนี้ ทำให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ เพื่อการวิเคราะห์งานโครงการพิเศษนี้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และเพื่อนนักศึกษาที่ให้คำแนะนำเป็นกำลังใจ และช่วยเหลือให้คำปรึกษาในการดำเนินโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การศึกษาตลอดระยะเวลา 4 ปี และให้ทุนสนับสนุนการนำเสนอผลงานจนสำเร็จการศึกษา

สุดท้ายนี้ประโยชน์และความรู้อันพึงมีจากโครงการพิเศษฉบับนี้ขอมอบแต่บิดา มารดา ครอบครัวผู้มีพระคุณ และคุณอาจารย์ทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้ศึกษาขอน้อมรับและขอภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นายคุณานนต์ โรจนศิริณย์

นายจักรภัทร จันคง

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	III X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	1
1.4 วิธีการดำเนินงานของโครงการ.....	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ความเค้น (Stress).....	3
2.1.1 ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress).....	3
2.1.2 ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress).....	3
2.1.3 ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress).....	3
2.2 ความเครียด (Strain).....	4
2.2.1 การเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติก (Elastic Deformation or Elastic Strain).....	4
2.2.2 การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation or Plastic Strain).....	4
2.2.3 การวัดและคำนวณหาค่าความเครียด.....	5
2.2.3.1 ความเครียดเชิงเส้น.....	5

2.2.3.2 ความเครียดเฉือน (Shear Strain)	6
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress-Strain Relationship).....	6
2.4 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ (mechanical properties of materials).....	7
2.4.1 การทดสอบการยืดและการกดอัด (the tension and compression test).....	7
2.4.2 แผนภาพความเค้น-ความเครียด (the stress-strain diagram).....	7
2.4.3 กฎของฮุก (hooke's law)	8
2.4.4 อัตราส่วนปัวซอง (poisson's ratio).....	9
2.5 ทฤษฎีเสียหายของวัสดุเนื่องจากการคืบและความล้า	9
2.5.1 การคืบ (creep).....	9
2.5.2 ความล้า (fatigue)	10
2.6 ทฤษฎีการหาอายุความล้า	13
2.6.1 การหาอายุความล้าเนื่องจากความเค้น.....	13
2.6.1.1 วิธีแก้ไขค่าความเค้น.....	15
2.6.2 การหาอายุความล้าเนื่องจากความเครียด	17
2.7 วิธีการแก้ไขค่าความเครียดเฉลี่ย	17
2.7.1 การแก้ไขด้วยวิธีของ Morrow	18
2.7.2 การแก้ไขด้วยวิธีของ Smith – Watson Topper (SWT).....	18
2.8 วิธีการของ Rain Flow Counting	19
2.8.1 ขั้นตอน Hysteresis Filtering.....	20
2.8.2 ขั้นตอน Peak – Valley Filtering	21
2.8.4 ขั้นตอน Four Point Counting	22
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินโครงการงาน	23
3.1 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของสปริง	23
3.2 การวิเคราะห์หาแรงที่กระทำต่อสปริง	25
3.2.1 แรงที่กระทำกับสปริงที่ได้จากการวิเคราะห์บนพื้นถนนเรียบ.....	26
3.2.2 แรงที่กระทำกับสปริงที่ได้จากการวิเคราะห์บนพื้นถนนขรุขระ	27

3.2.3	แรงที่กระทำกับสปริงที่ได้เพิ่มเข้าไป.....	28
3.3	การทดสอบหาค่าคงที่ของสปริงและความเครียดที่ผิวด้านนอกและด้านในของสปริง.....	28
3.4	การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของสปริง.....	29
3.5	การวิเคราะห์หาอายุการใช้งานเนื่องจากความล้าของสปริง.....	30
3.5.1	การวิเคราะห์ Stress-Life.....	30
3.5.2	การวิเคราะห์ Strain-Life หรือการเกิดรอยแตกเนื่องจากความล้า.....	31
3.6	การวิเคราะห์หาอายุการใช้งานเนื่องจากรอยแตกของสปริง.....	31
บทที่ 4	ผลการทดลอง.....	33
4.1	ค่าคงที่ของสปริง.....	33
4.2	ความเครียดของสปริง.....	35
4.3	อายุการใช้งานโดยทฤษฎี Stress-Life.....	36
4.3.1	การแก้ไขค่าความเค้นเฉลี่ยของ Goodman.....	36
4.3.2	การแก้ไขค่าความเค้นเฉลี่ยของ Gerber.....	37
4.3.3	ไม่ใช้การแก้ไขค่าความเค้นเฉลี่ย.....	38
4.4	อายุการใช้งานโดยทฤษฎี Strain-Life.....	40
4.4.1	การแก้ไขค่าความเครียดเฉลี่ยของ SWT.....	40
4.4.2	การแก้ไขค่าความเครียดเฉลี่ยของ Morrow.....	40
4.5	อายุการใช้งานโดยทฤษฎีรอยแตก.....	42
4.5.1	ทฤษฎีรอยแตกเมื่อใช้แรงจากถนนตรงเรียบ.....	42
4.5.2	ทฤษฎีรอยแตกเมื่อใช้แรงจากถนนตรงขรุขระ.....	42
4.5.3	ทฤษฎีรอยแตกเมื่อใช้แรงที่เพิ่มเข้าไป.....	43
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง.....	44
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	44
5.1.1	การวิเคราะห์หาอายุการใช้งานเนื่องจากความล้าของสปริงโดยใช้วิธี Stress-Life..	44
5.1.2	การวิเคราะห์หาอายุการใช้งานเนื่องจากความล้าของสปริงโดยใช้วิธี Strain-Life..	44

5.1.3 การวิเคราะห์หาอายุการใช้งานเนื่องจากรอยแตกของสปริง	44
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	45
5.3 แผนงานในอนาคต	45



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ลักษณะทางกายภาพของสปริง	23
3.2 ลักษณะทางวัสดุของสปริง	24
3.3 ข้อมูลพื้นฐานของรถยนต์	25
4.1 ระยะเวลาตัวและค่าคงที่ของสปริงจากการทดลองและการวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์	34
4.2 ความเครียดที่ได้รับจากเสตรนเกจและความเครียดเฉือนสูงสุด	35
4.3 ความเครียดเฉือนสูงสุดที่พื้นผิวด้านนอกและด้านในของสปริงจากเสตรนเกจและโปรแกรม	36
4.4 อายุการใช้งานจากวอเคอเรจแบบ Stress-Life	39
4.5 อายุการใช้งานจากวอเคอเรจแบบ Strain-Life	41



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ความเค้นลักษณะต่างๆ.....	4
2.2 ความเครียดเชิงเส้น.....	5
2.3 ความเครียดเฉือน.....	5
2.4 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด แบบมีจุดคราก.....	7
2.5 แผนภาพ stress-strain diagram	8
2.6 แผนภาพ $\sigma - t$ ของแอสเทนเลสสตีลที่อุณหภูมิ 1200 °F และความเครียด 1%.....	10
2.7 ผิวหน้าแตกหักจากการล้าของเพลลาเหล็กกล้าไร้สนิม	11
2.8 Liberty Ship เสียหายด้วยกลไกความล้า	11
2.9 Fatigue loading cycle	13
2.10 S-N Curves ของโลหะกลุ่มเหล็กและนอกกลุ่มเหล็ก.....	13
2.11 กราฟแสดง S-N curve ของเหล็ก 1045 ASTM.....	14
2.12 S-N Curve ในวัสดุที่มีขีดจำกัดความอดทน.....	15
2.13 S-N Curve ในวัสดุที่ไม่มีขีดจำกัดความอดทน.....	15
2.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Gerber และ Goodman.....	16
2.15 กราฟแสดงค่า S-N Curve ที่มีค่าลดลง.....	16
2.16 กราฟแสดงผลค่าความเค้นเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น	16
2.17 กราฟแสดงการหาอายุความล้าเนื่องจากความเครียด	17
2.18 Morrow Correction.....	18
2.19 Smith Watson Topper Correction.....	19
2.20 ค่าแอมพลิจูดคงที่.....	19

2.21 ค่าแอมพลิจูดไม่คงที่	20
2.22 แสดงขั้นตอน Hysteresis Filtering	20
2.23 แสดงวิธีตัดข้อมูลซึ่งต่ำกว่าตัววัด	21
2.24 แสดงขั้นตอนของ Peak – Valley Filtering	21
2.25 แสดงขั้นตอน Discretization	22
3.1 โมเดลของสปริง	24
3.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของระบบช่วงล่างของรถยนต์	26
3.3 แสดงลักษณะทางกายภาพของรถยนต์	26
3.4 แสดงกราฟระหว่างแรงกับเวลา	27
3.5 แสดงกราฟระหว่างแรงกับเวลา	27
3.6 แสดงกราฟระหว่างแรงกับเวลา	28
3.7 เครื่องทดสอบแรงกด UTM AGS-X Shimadzu และการติดตั้งเสตรนเกจ	28
3.8 แสดงเอเลเมนต์ทั้งหมดของสปริง	29
3.9 แสดงความเค้นและความเครียดของสปริง 1 ความเค้น 2 ความเครียด	30
3.10 กราฟแสดง S-N Curve ของวัสดุของสปริง	31
3.11 แสดงลักษณะของเอเลเมนต์บริเวณรอยแตก	31
3.12 แสดงการโตของตัวแปร Y ของรอยแตก	32
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะหดตัวของสปริงจากคอมพิวเตอร์	33
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะหดตัวของสปริงจากเครื่องกดและคอมพิวเตอร์	34
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและค่าคงที่ของสปริงจากเครื่องกดและคอมพิวเตอร์	35
4.4 แสดงอายุการใช้งานเมื่อใช้การแก้ไขค่าความเค้นเฉลี่ยของ Goodman	37
4.5 แสดงอายุการใช้งานเมื่อใช้การแก้ไขค่าความเค้นเฉลี่ยของ Gerber	38

4.6 แสดงอายุการใช้งานเมื่อไม่ใช้การแก้ไขค่าความเค้นเฉลี่ย.....	39
4.7 แสดงอายุการใช้งานเมื่อใช้การแก้ไขค่าความเครียดเฉลี่ยของ SWT.....	40
4.8 แสดงอายุการใช้งานเมื่อใช้การแก้ไขค่าความเครียดเฉลี่ยของ Morrow.....	41
4.9 แสดงอายุการใช้งานจากรอยแตกเมื่อใช้แรงจากถนนตรงเรียบ.....	42
4.10 แสดงอายุการใช้งานจากรอยแตกเมื่อใช้แรงจากถนนตรงขรุขระ.....	43
4.11 แสดงอายุการใช้งานจากรอยแตกเมื่อใช้แรงที่เพิ่มเข้าไป.....	43



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในชีวิตประจำวันของคนในยุคปัจจุบันมีอุปกรณ์มากมายซึ่งมีสปริงเป็นส่วนประกอบ ซึ่งคนส่วนมากไม่ทราบหรือไม่คำนึงถึงอายุการใช้งานของสปริงซึ่งเกิดจากความล้าใช้งาน ในอุปกรณ์ส่วนใหญ่ที่ใช้อยู่ได้มีการระบุอายุการใช้งานของสปริงซึ่งส่วนใหญ่ได้ข้อมูลมาจากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ ใช้ระยะเวลาในการทดสอบนาน และเครื่องซึ่งมีราคาแพง

เนื่องจากการหาอายุการใช้งานซึ่งเกิดจากความล้านั้นสามารถหาได้สอง คือ การคำนวณและการทดสอบ การทดสอบนั้นใช้เวลามากกว่าการคำนวณ โดยเฉพาะการทดสอบแบบกว้าง เช่นเดียวกับการใช้งานอุปกรณ์จริงอย่างเช่น ทดสอบสปริง 1 นาที แล้วพักสปริง 2 นาที ซึ่งสปริงจะเสียหายต้องใช้เวลา

จากปัญหาของการทดสอบ สามารถแก้ไขได้โดยใช้การคำนวณของคอมพิวเตอร์ โดยการจำลองสถานการณ์หลากหลายในโปรแกรมซึ่งโปรแกรมในคอมพิวเตอร์นั้นมีให้เลือกใช้ทฤษฎีได้หลากหลายทฤษฎีซึ่งให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อลดต้นทุนในการหาอายุความล้าของสปริง

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบทฤษฎีความเสียหายความล้าต่อผลอายุความล้าของสปริง จากการคำนวณทางคอมพิวเตอร์

1.2.3 หาทฤษฎีที่เหมาะสมสำหรับการหาอายุความล้าของสปริงกับการคำนวณทางคอมพิวเตอร์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

โครงการนี้จะทำการศึกษาความเสียหายความล้าต่อผลอายุความล้าของสปริงด้วยวิธีการคำนวณในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยเปรียบเทียบกับทฤษฎีความเสียหายความล้าเพื่อหาทฤษฎีที่เหมาะสมที่สุด

1.4 วิธีการดำเนินงานของโครงการ

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 วาดสปริงโดยใช้โปรแกรม CAD

1.4.3 เขียนโปรแกรมหาอายุเนื่องจากความล้าของสปริงด้วย Microsoft Visual Studio

1.4.4 แร่งที่กระทำในสปริงซึ่งจำลองจากโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

1.4.5 จำลองเพื่อหาความเค้นและความเครียดที่เกิดกับสปริงเนื่องจากแรงที่ใส่เข้าไปโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.6 จำลองเพื่อหาอายุการใช้งานของสปริงของสปริงโดยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

1.4.7 เปรียบเทียบผลการจำลองและการคำนวณ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถอธิบายความเสียหายความล้าต่อผลอายุความล้าของสปริงได้

1.5.2 สามารถอธิบายค่าความคลาดเคลื่อนของผลการคำนวณในโปรแกรมคอมพิวเตอร์
เปรียบเทียบกับทฤษฎีได้

1.5.3 สามารถระบุทฤษฎีในการจำลองที่เหมาะสมกับการหาอายุการใช้งานเนื่องจากความล้า
ของสปริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเค้น (Stress)

ความเค้น(Stress) หมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ความเค้นกล่าวในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยแรงกระทำภายนอก มีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน การหาค่าความเค้นสามารถเขียนเป็นสมการได้

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

(2.1)

เมื่อ σ = ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็นปาสกาล (Pa, 1 Pa = 1N/m²) หรือ kgf/m หรือ psi (lbf/in²)

P = แรงภายนอกที่มากระทำ มีหน่วยเป็น N หรือ kgf หรือ lbf

A = พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ : m² หรือ mm² หรือ in²

ความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะตามแรงที่มากระทำ

2.1.1 ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress)

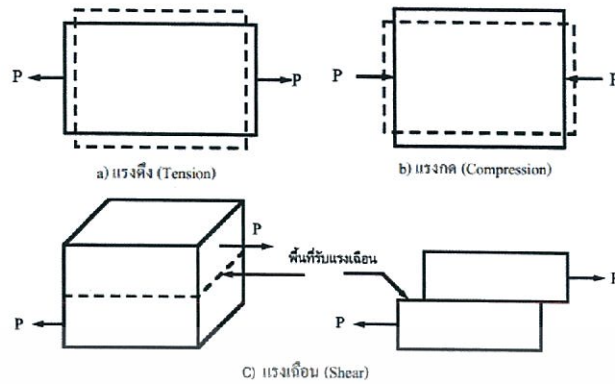
เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน

2.1.2 ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress)

เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง

2.1.3 ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress)

เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากกระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกัน มีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear Force) ทหารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวางซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน



รูปที่ 2.1 ความเค้นลักษณะต่างๆ

2.2 ความเครียด (Strain)

ความเครียด (Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนรูปของวัสดุเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ

2.2.1 การเปลี่ยนรูปแบบอิลาสติก (Elastic Deformation or Elastic Strain)

เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวยเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ ยางยืด, สปริง เมื่อดึงแล้วปล่อยวัสดุจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

2.2.2 การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation or Plastic Strain)

เป็นการเปลี่ยนรูปเมื่อปลดแรงกระทำนั้นออกวัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไป โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม วัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมของการเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำ หรือความเค้นว่ามีมากน้อยเพียงใด หากไม่เกินพิกัดการคืนรูป (Elastic Limit) แล้ว วัสดุนั้นจะมีพฤติกรรมคืนรูปแบบอิลาสติก (Elastic Behavior) แต่ถ้าความเค้นเกินกว่าพิกัดการคืนรูป แล้ววัสดุก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวรหรือแบบพลาสติก (Plastic Deformation) นอกจากความเครียดทั้ง 2 ชนิดนี้แล้ว ยังมีความเครียดอีกประเภทหนึ่งซึ่งพบในวัสดุประเภทโพลีเมอร์ เช่น

พลาสติก เรียกว่าความเครียดกึ่งอีลาสติกจะมีลักษณะที่เมื่อปราศจากแรงกระทำวัสดุจะมีการคืนรูป แต่จะไม่กลับไปจนมีลักษณะเหมือนเดิม

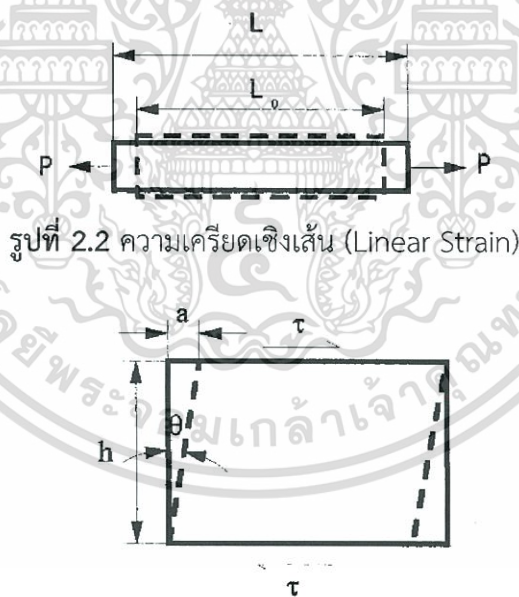
2.2.3 การวัดและคำนวณหาค่าความเครียด

2.2.3.1 ความเครียดเชิงเส้น

ความเครียดที่วัดได้จะเรียกว่า ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) จะใช้ได้เมื่อแรงที่มากกระทำมีลักษณะเป็นแรงดึงหรือแรงกด ค่าของความเครียดจะเท่ากับความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม ดังสมการ

$$(2.2) \quad e = \frac{\Delta L}{L_o}$$

เมื่อ e = ความเครียดเชิงเส้น
 ΔL = ความยาวที่เปลี่ยนไป ($L - L_o$)
 L_o = ความยาวเดิมของวัสดุ



รูปที่ 2.3 ความเครียดเฉือน (Shear Strain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 ความเครียดเฉือน (Shear Strain)

ใช้กับกรณีที่แรงที่กระทำมีลักษณะเป็นแรงเฉือน (τ) ดังรูป ค่าของความเครียดจะเท่ากับระยะที่เคลื่อนที่ไปต่อระยะห่างระหว่างระนาบ ดังสมการ

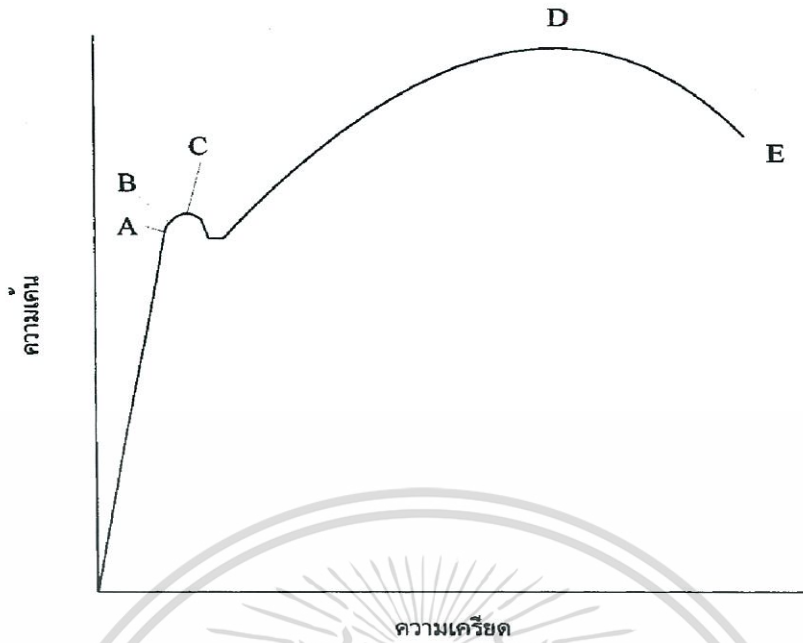
$$\gamma = \frac{a}{h}$$

(2.3)

เมื่อ γ = $\tan \theta \approx \theta$ (Radian ในกรณีที่มุมน้อย)
 a = ระยะที่เคลื่อนที่ไป (Displacement)
 h = ระยะห่างระหว่างระนาบ
 θ = มุมที่เปลี่ยนไป

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress-Strain Relationship)

ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด จะใช้เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) ได้จากการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) เป็นหลัก โดยจะพลอตค่าของความเค้นในแกนตั้งและความเครียดในแกนนอน การทดสอบแรงดึง นอกจากจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดแล้ว ยังจะแสดงความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุ ความเปราะ เหนียวของวัสดุ (Brittleness and Ductility) และอาจใช้บอกความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุ (Formability) ได้



รูปที่ 2.4 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) แบบมีจุดคราก (Yield Point)

2.4 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ (mechanical properties of materials)

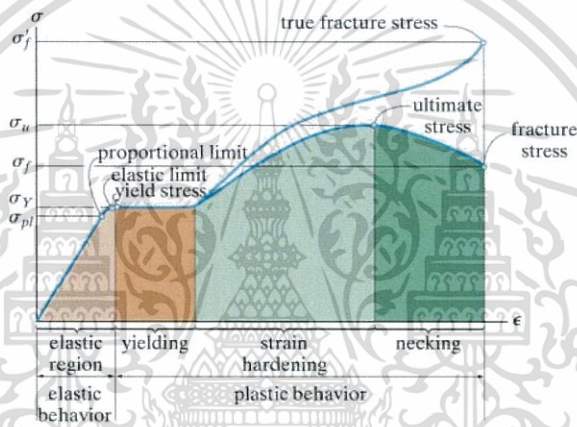
2.4.1 การทดสอบการยืดและการกดอัด (the tension and compression test)

ความแข็งแรงของวัสดุขึ้นอยู่กับความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนรูปเมื่อมีแรงมากระทำ การที่จะได้มาซึ่งความสามารถนี้ขึ้นอยู่กับทดสอบหนึ่งในวิธีการทดสอบ ได้แก่ การทดสอบการดึง (tension) หรือการอัด (compression) เป็นการทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุทางวิศวกรรม ดังเช่นจะเซรามิก, โพลีเมอร์หรือวัสดุผสมโดยในการทดสอบต้องมีการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างให้ได้ขนาดและรูปร่างตามมาตรฐาน หลังจากนั้นจึงนำไปทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น

2.4.2 แผนภาพความเค้น-ความเครียด (the stress-strain diagram)

สามารถอธิบายความสัมพันธ์จากกราฟในรูปที่ 2.5 ได้ดังนี้ ช่วงพฤติกรรมยืดหยุ่น (elastic behavior) เป็นช่วงที่เมื่อออกแรงดึงวัสดุแล้ววัสดุจะยังสามารถคืนสู่ ความยาวปกติได้ ช่วงแรกของการดึง จะมีความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเป็นเส้นตรง (linear elastic) จุดที่มีค่าความเค้นสูง

ที่สุดของช่วงนี้เรียกว่า ขีดจำกัดความเป็นสัดส่วน (proportional limit) แทน สัญลักษณ์ด้วย σ_{pl} จากนั้นเมื่อถึงอีกเพียงเล็กน้อยจะเข้าสู่ ขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่น (elastic limit) แทน สัญลักษณ์ด้วย σ_e ช่วงครากตัว (yielding) เป็นช่วงที่อยู่ในช่วงพฤติกรรมแบบพลาสติก (plastic behavior) คือเมื่อวัสดุถูกดึงต่อไปแล้วจะไม่สามารถคืนตัวได้ จุดที่ค่าความเค้นมีค่าถึงจุดครากตัวเรียกว่า ความเค้นคราก (yield stress หรือ yield point) แทนสัญลักษณ์ด้วย σ_y หลังจากนั้นจะเป็นช่วงที่เรียกว่า ช่วงต้านแรงหลักครากตัว (strain hardening) จากนั้นเมื่อขึ้นงานถูกดึงต่อไปจะเข้าสู่จุดที่มีค่าความเค้นสูงที่สุดหรือเรียกว่า ความเค้นประลัย (ultimate stress) หรือใช้สัญลักษณ์ σ_u ช่วงที่เกิดคอคอด (necking) เมื่อผ่านจุดที่มีค่าความเค้นสูงที่สุดแล้วขึ้นงานจะเข้าสู่ช่วงคอคอด จากนั้น ขึ้นงานจะเสียหาย ค่าความเค้นสุดท้ายที่ทำให้ขึ้นงานเสียหายเรียกว่า ความเค้นทำลาย (rupture stress) หรือใช้สัญลักษณ์ σ_f



รูปที่ 2.5 แผนภาพ stress-strain diagram

2.4.3 กฎของฮุก (hooke's law)

กฎของฮุก เป็นการหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ซึ่งค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นนี้ หาค่าจากสัดส่วนระหว่างค่าความเค้นต่อความเครียดของวัสดุนั้น ๆ เมื่อมีแรงมากระทำ ดังสมการ

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

(2.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนด E หมายถึง โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity หรือ Young's Modulus) ค่าของ E นั้นจะมีค่าคงที่เสมอเฉพาะในช่วงของกราฟเส้นตรงจาก 0 ถึงจุด Proportional Limit เท่านั้น

2.4.4 อัตราส่วนปัวซอง (poisson's ratio)

เมื่อวัสดุที่นำมาใช้ในการทดสอบ หรือวัสดุต่างๆ มีแรงมากระทำในทิศทางใดทางหนึ่งแล้ว วัสดุจะมีการหดตัวในทิศทางขวางกับแนวการยืดตัว และเมื่อสมมติให้วัสดุมีคุณสมบัติเป็นวัสดุไอโซทรอปิก (isotropic material) แล้ว เมื่อนำเอาค่าสัมบูรณ์ของความเครียดตามแนวขวางหารด้วยความเครียดตามแนวการยืดตัว จะได้ค่าคงตัวของวัสดุนั้นๆ เรียกว่า อัตราส่วนของปัวซอง (poisson's ratio) ซึ่งเขียนแทนสัญลักษณ์ ด้วย ν ซึ่งเรียกตามชื่อของซีมง เดอเนปี ปัวซอง ซึ่งเป็นนักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศส สามารถเขียนได้ตามสมการ

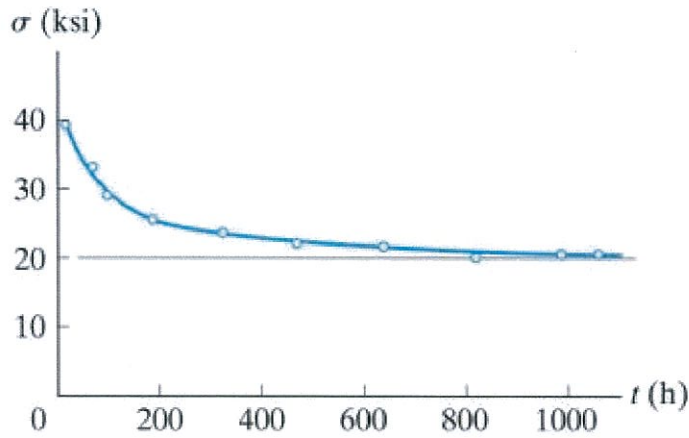
$$\nu = -\frac{\epsilon_{\text{trans}}}{\epsilon_{\text{long}}}$$

(2.5)

2.5 ทฤษฎีเสียหายของวัสดุเนื่องจากการคืบและความล้า

2.5.1 การคืบ (creep)

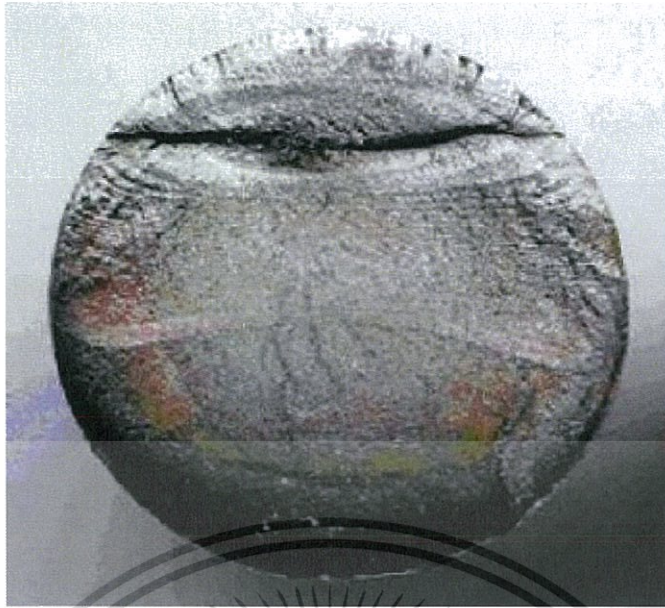
การเสียหายของวัสดุโดยการคืบ (creep) เป็นกระบวนการที่ขึ้นอยู่กับเวลา เมื่อวัสดุอยู่ภายใต้การรับแรงเค้นจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาด (dimensional change) เป็นเวลานานๆ จะทำให้เกิดการเสียหาย ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในสภาวะที่อุณหภูมิสูง โดยการคืบหรือการเปลี่ยนแปลงขนาดจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุได้รับความเค้นมากระทำและอุณหภูมิการใช้งาน สูงขึ้น วัสดุจะเกิดการเสียหายจากการคืบเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดจนไม่สามารถใช้งานได้ตามหน้าที่ที่ ออกแบบไว้ การยืดตัวหรือการคืบที่มากเพียงพอสามารถทำให้เกิดการแตกหักได้ หรือที่ทราบกันดี คือ การแตกขาดจากกัน (stress rupture) การทดสอบคุณสมบัติการคืบมีหลายวิธีการด้วยกัน หนึ่งในนั้นได้แก่การทดสอบการ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นและเวลาที่ทำให้เกิดการเสียหายของวัสดุ การคืบจะแสดงอยู่ในลักษณะ ของแผนภาพของ $\sigma - t$ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 แผนภาพ $\sigma - t$ ของเสตนเลสสตีลที่อุณหภูมิ 1200 °F และความเครียด 1%



รูปที่ 2.6 แผนภาพ $\sigma - t$ ของแสดนเลสสตีลที่อุณหภูมิ 1200 °F และความเครียด 1%

2.5.2 ความล้า (fatigue)

ความล้าเป็นรูปแบบการเสียหายที่เกิดขึ้นกับวัสดุมากที่สุด เนื่องจากเป็นรูปแบบการเสียหายที่มีแรงเค้นมากกระทำกับวัสดุในค่าที่ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้มาก จากข้อมูลที่มีการสำรวจ พบว่าการเสียหายด้วยด้วยรูปแบบดังกล่าวคิดเป็นประมาณ 90% ของการแตกหักของวัสดุทั้งหมด ความล้า (Fatigue) หมายถึง การที่ชิ้นงานรับแรงซ้ำไปซ้ำมาหรือเป็นคาบ (Cyclic Load) ส่งผลให้เกิดรอยร้าวขึ้น รอยร้าวที่เกิดขึ้นจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ภายในชิ้นงาน จนในที่สุดชิ้นงานจะเหลือพื้นที่ในการรับแรงเพียงเล็กน้อย และเกิดการแตกหักทันทีทันใดเมื่อได้รับความเค้นเพียงเล็กน้อย ความเสียหายเนื่องจากความล้าจึงเป็นอันตรายมาก ตัวอย่างชิ้นส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมที่เสียหายจากการล้าแสดงในรูปที่ 2.7 และ Liberty Ship ที่เสียหายด้วยกลไกการล้าแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 ผิวหน้าแตกหักจากการล้าของเพลลาเหล็กกล้าไร้สนิม

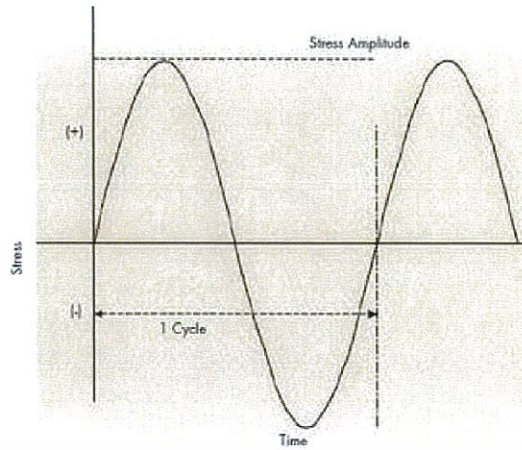


รูปที่ 2.8 Liberty Ship เสียหายด้วยกลไกความล้า

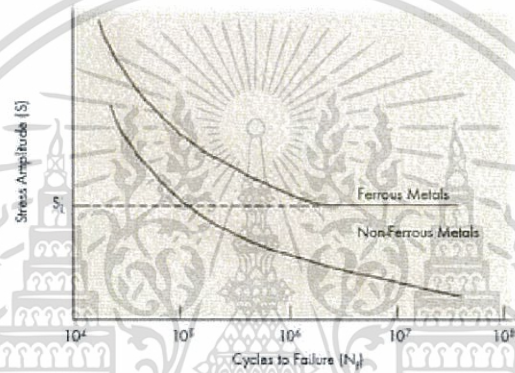
การเสียหายเนื่องจากความล้าเกิดขึ้นเมื่อวัสดุเกิดการแตกหักออกเป็นสองชิ้นหรือมากกว่า หลังจากรับแรงเค้นแบบคาบ (Cyclic Stress) เป็นระยะเวลาที่ยาวนานต่อเนื่องกัน ค่าความเค้นสูงสุดสำหรับการเสียหายเนื่องจากการล้าจะต่ำกว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ของวัสดุ ถ้าสามารถควบคุมแรงเค้นที่กระทำให้มีค่าต่ำ และอยู่ในระดับที่คงที่ การเสียหายด้วยรูปแบบดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ยากมาก แรงกระทำที่เป็นคาบทำให้เกิดจุดเริ่มและการขยายตัวของรอยแตก และถ้าวัสดุเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแตกร้าวจนไม่สามารถที่จะรองรับแรงได้อีกก็เกิดการแตกหักในที่สุด กลไกการเสียหายจากความล้าแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ 1. การเริ่มต้นของรอยแตก (Crack Initiation) 2. การขยายตัวของรอยแตก (Crack Propagation) และ 3. การแตกหักของวัสดุ (Material Rupture) ลักษณะที่เกิดขึ้นคล้ายกับการแตกหักแบบเหนียวและการแตกหักแบบเปราะ คือ รอยแตกจากความล้า จะเริ่มบริเวณที่เป็นจุดบกพร่องของวัสดุ ได้แก่ ร่อง หลุม ความไม่ต่อเนื่องของผิวหน้า รอยบิ่น และจุดบกพร่องอื่นๆ จุดบกพร่องที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าวัสดุดังกล่าวจะแสดงตัวเป็นจุดรวมความเค้น เมื่อเกิดการสะสมของแรงเค้นจนเกินขีดจำกัดของค่าความแข็งแรง ณ จุดนั้นของวัสดุ และเกิดเป็นรอยร้าวตามมา วิธีที่ดีเพื่อป้องกันการเสียหายจากความล้าตัวคือ ต้องกำจัดจุดที่แสดงตัวเป็นจุดรวมความเค้น คือพยายามกำจัดหรือลดจุดบกพร่องบนผิวหน้าวัสดุ และลดค่าความกว้างของแรงเค้น (Stress Amplitude) รอยแตกจากการล้าจะขยายตัวไปตามบริเวณที่เป็นจุดอ่อนในวัสดุ ดังนั้นการลดจำนวนจุดบกพร่องภายในเนื้อวัสดุ เช่น ช่องว่างและสารเจือปนจะเพิ่มระยะเวลาการขยายตัวของรอยแตก เมื่อรอยแตกที่เกิดขึ้นทำให้วัสดุไม่สามารถรองรับแรงที่กระทำต่อไปได้ จึงเกิดการแตกหัก ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งจากแรงเฉือนและแรงดึง เป็นที่ทราบกันดีว่าความล้าไม่ได้ขึ้นอยู่กับเวลาแต่จะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของแรงที่กระทำ โดยรอบ (Cycle) ประกอบด้วยแรงเค้นที่กระทำจะเพิ่มขึ้นจากจุดเริ่มต้น (ในบางกรณีมีค่าเป็นศูนย์หรือติดลบ) จนถึงค่าสูงสุดที่เป็นบวกและลดลงผ่านค่าเริ่มต้นจนถึงค่าต่ำสุด (ในบางกรณีจะเป็นค่าของแรงกระทำที่มีค่าติดลบมากที่สุด) และสุดท้ายก็จะกลับมายังค่าเริ่มต้น (รูปที่ 2.9) อย่างไรก็ตาม แรงกระทำที่มีค่าเป็นลบจะไม่ใช้ค่าเป็นจุดเริ่มของการล้า แต่จะเกิดขึ้นกับค่าแรงเค้นมีค่าเป็นบวก มากไปกว่านั้นความเค้นแบบคาบไม่จำเป็นต้องมีลักษณะที่สมมาตร แต่สามารถเกิดขึ้นได้แบบสุ่ม โดยทั่วไปโลหะกลุ่มเหล็ก หรือโลหะเหล็กผสม เป็นวัสดุที่มีค่าความต้านทานต่อการล้าตัว (Endurance Limit; S_L) ซึ่งเป็นค่าระดับความเค้นที่ไม่ทำให้เกิดการเสียหายจนกว่าจะมีค่าเกินจำนวนรอบที่เหมาะสมกับวัสดุนั้นๆ ในขณะเดียวกัน การเพิ่มค่าความเค้นสูงสุด (Stress Amplitude) สามารถทำให้เกิดการเสียหายด้วยการล้าที่จำนวนรอบต่ำๆ ส่วนโลหะนอกกลุ่มเหล็ก เช่น อะลูมิเนียม และไทเทเนียม จะไม่มีค่าขีดจำกัดของการล้าตัว (Fatigue Limit) ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 Fatigue loading cycle



รูปที่ 2.10 S-N Curves ของโลหะกลุ่มเหล็กและนอกกลุ่มเหล็ก

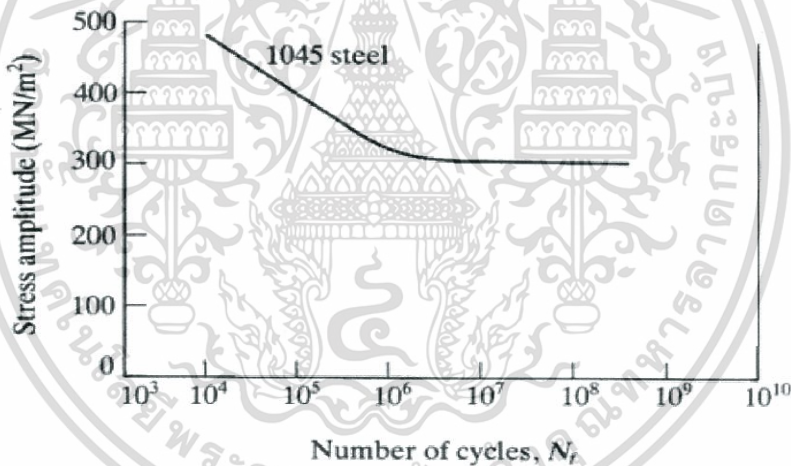
2.6 ทฤษฎีการหาอายุความล้า

2.6.1 การหาอายุความล้าเนื่องจากความเค้น

การหาอายุความล้าเนื่องจากความเค้น หรือ S-N คือ วิธีการแรกที่ใช้ในการพยายามทำความเข้าใจ และคำนวณความเมื่อยล้าของโลหะ เป็นมาตรฐานการออกแบบความเมื่อยล้ามากกว่า 100 ปี วิธีการหาอายุความล้าเนื่องจากความเค้นยังคงใช้กันอย่างแพร่หลายในการออกแบบการประยุกต์ใช้ความเค้นในช่วงความยืดหยุ่นของวัสดุและอายุการใช้งานในระยะยาว เช่น เพลาส่งกำลัง วิธีหาอายุความเค้นนี้ไม่สามารถใช้งานได้ดีในวัฏจักรที่ีรอบการใช้งานต่ำที่ใช้ความเค้นพิจารณาในวัสดุที่มีพลาสติกเป็นองค์ประกอบหลัก การแบ่งความล้าที่มีวัฏจักรสูงและวัฏจักรต่ำขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้พิจารณาโดยปกติอยู่

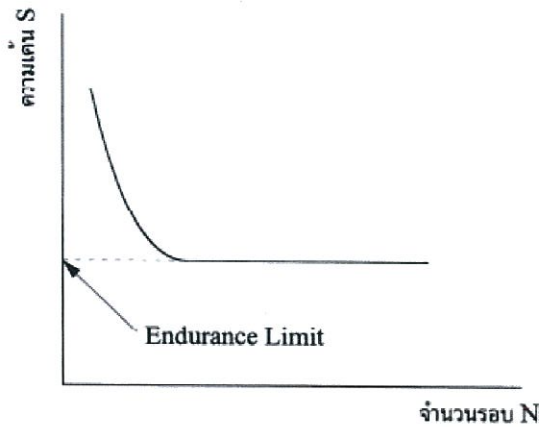
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่าง 10 ถึง 100000 รอบ การหาอายุความล้าเนื่องจากความเค้นโดยพื้นฐาน คือ วิธีการของวอเลอร์ (Wöhler) หรือ แผนภาพ S-N ขั้นตอนที่พบมากที่สุดสำหรับการสร้างข้อมูล S-N คือ การทดสอบการดัดด้วยการหมุน ข้อมูลการทดสอบ S-N มักจะถูกนำเสนอบนพล็อต log-log ด้วย เส้น S-N ที่แท้จริงหมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูล วัสดุบางอย่างซึ่งมีหลักเป็นศูนย์กลาง (BCC) เหล็กมีความเมื่อยล้าขีดจำกัด S_e ซึ่งเป็นระดับความเค้นที่ด้านล่างของวัสดุที่อายุเป็นอนันต์ สำหรับวัสดุประสงค์ด้านวิศวกรรมชีวิตแบบอนันต์คือ โดยปกติถือว่าเป็น 1 ล้านรอบ แกนตั้งของแผนภาพ S-N เป็นค่าความต้านแรงแทนด้วย S เสมอ โดยแกนนอนเป็น จำนวนรอบ (N) ที่เกิดความเสียหาย ส่วนค่าความต้านแรงตรงจุดที่เกิดการงอเรียกว่า ขีดจำกัดความ ต้านทาน (Endurance limit) S_e หรือขีดจำกัดความล้า (Fatigue Limit) ถัดไปจากจุดที่เกิดการงอจะ ไม่เกิดความเสียหาย (ค่า S ต่ำกว่า S_e) ส่วนความเค้นที่เกิดที่ $N \leq 10^3$ Cycle เป็นความล้า ไซเคิลต่ำ ถ้าเกิดขึ้นที่จำนวน $N > 10^3$ เป็นความล้าไซเคิลสูง ขีดจำกัดความอดทนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของช่องว่างอะเลเมนต์(element) เช่นคาร์บอนหรือไนโตรเจนในเหล็กนี้จะช่วยป้องกันกลไกการเสียรูปที่นำไปสู่การเกิด ไมโครแคร็ก(microcrack) ต้องระมัดระวังเมื่อใช้มากเกินไปจนขีดจำกัดทำให้เกิดความเสียหายได้

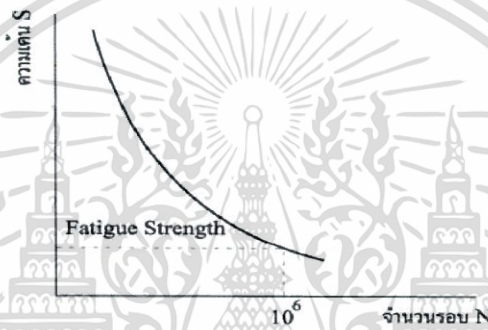


รูปที่ 2.11 กราฟแสดง S-N curve ของเหล็ก 1045 ASTM

สำหรับโลหะในกลุ่มเหล็กเกือบทั้งหมดและโลหะที่ไม่ใช่เหล็กบางชนิด จะมีขีดจำกัดความอดทน (Endurance Limit) ดังรูปที่ 2.12 ส่วนพวกโพลีเมอร์และโลหะที่ไม่ใช่เหล็กหลายชนิดจะไม่มีขีดจำกัดความอดทนดังรูปที่ 2.13 สำหรับโลหะที่มีขีดจำกัดความอดทนนั้นจะมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งแรงสูงสุด สำหรับการออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ต้องรับแรงสลับควรต้องคำนึงถึงเรื่องของความล้าด้วย และพยายามออกแบบให้รับความเค้นต่ำกว่าขีดจำกัดความอดทน หรือ ค่าความแข็งแรงสูงสุด



รูปที่ 2.12 S-N Curve ในวัสดุที่มีขีดจำกัดความอดทน



รูปที่ 2.13 S-N Curve ในวัสดุที่ไม่มีขีดจำกัดความอดทน

2.6.1.1 วิธีแก้ไขค่าความเค้น

วิธีการที่ใช้หาความล้าจากความเค้นที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการประยุกต์ใช้ในวัฏจักรรอบการใช้งานสูง ประยุกต์ใช้ในช่วงความเค้นของวัสดุและช่วยให้อายุความล้าของวัสดุมีอายุยาวนานขึ้นมีอยู่ คือ วิธีการของ Goodman และวิธีการของ Gerber ซึ่งมีอยู่ในเกณฑ์การหาอายุของความเค้น ในการสร้างความสัมพันธ์ของสองวิธีการนี้จะได้จากการทดสอบ ได้เส้นกราฟของความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของความเค้น, ความเค้นเฉลี่ย และค่าความต้านทานสูงสุดของความเค้นดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 2.14 เมื่อค่าความเค้นเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ เส้น S-N Curve ในกราฟเคลื่อนย้ายลงดังรูปที่ 2.15 สมการของความสัมพันธ์ของ Gerber

$$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_u} = 1$$

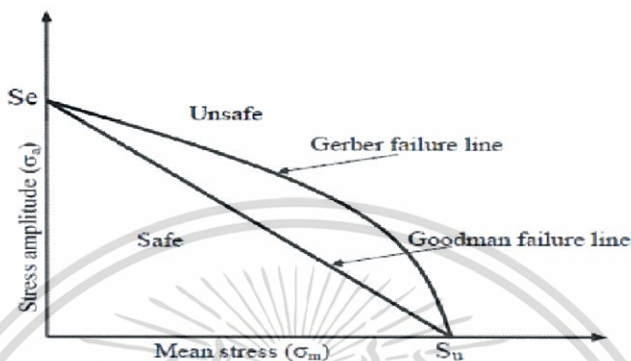
(2.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

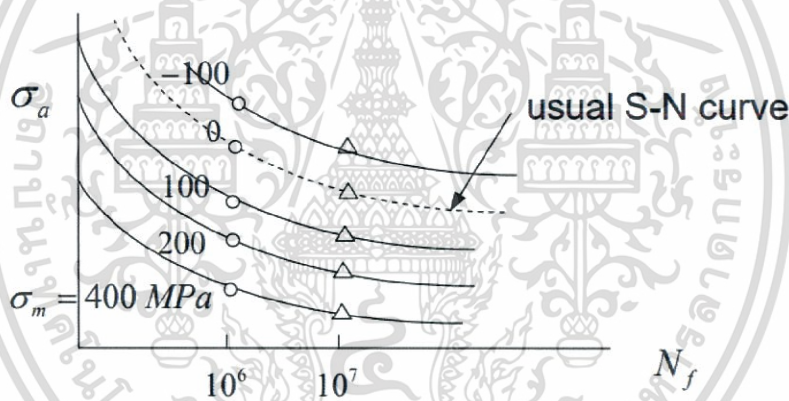
สมการความสัมพันธ์ของ Goodman

$$\frac{S_a}{S_e} + \left(\frac{S_m}{S_u} \right)^2 = 1$$

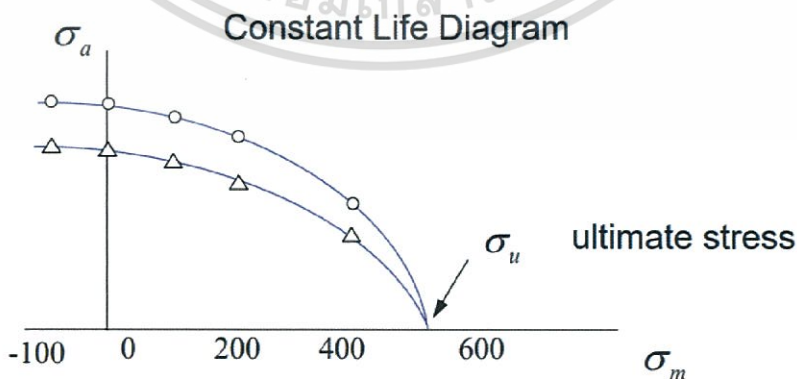
(2.7)



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Gerber และ Goodman



รูปที่ 2.15 กราฟแสดงค่า S-N Curve ที่มีค่าลดลง

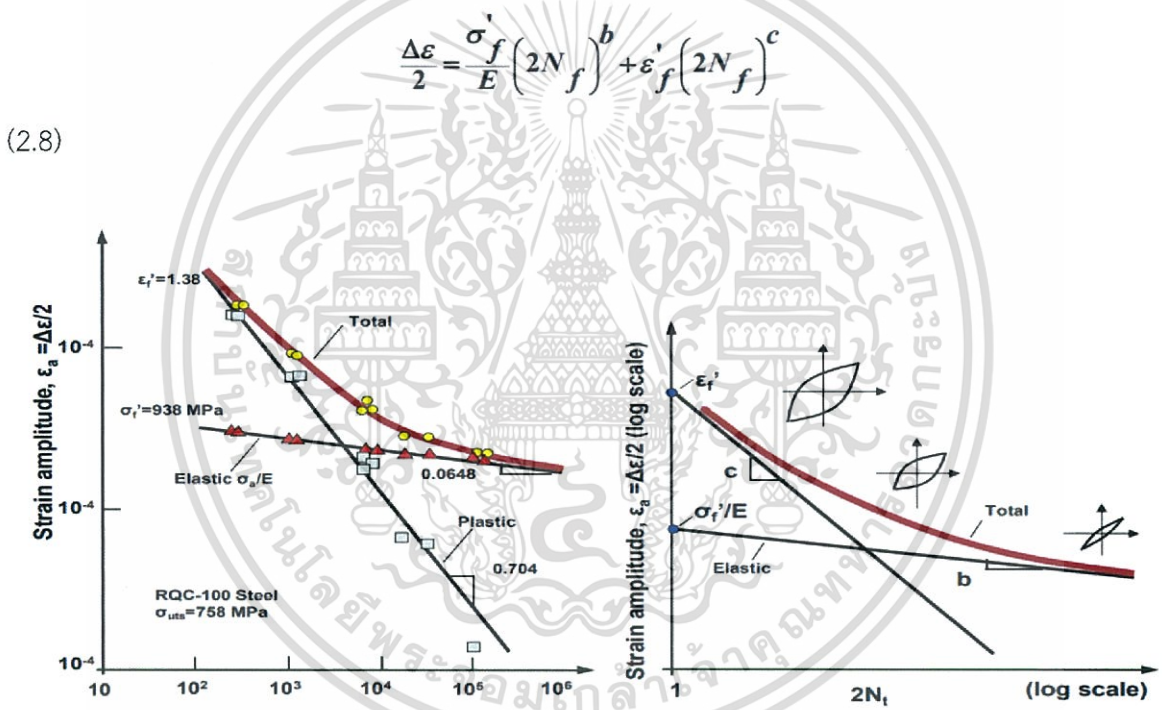


รูปที่ 2.16 กราฟแสดงผลค่าความเค้นเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การหาอายุความล้าเนื่องจากความเครียด

วิธีการทดสอบความเครียดใช้หลักการสังเกตการณ์ว่าในส่วนประกอบต่างๆของการตอบสนองของวัสดุในจุดรอยบากซึ่งเกิดจากความเครียดหรือการเสียรูปถาวร ระดับภาระต่ำความเค้นและความเครียดมีความสัมพันธ์เชิงเส้น ดังนั้นผลการทดสอบในช่วงนี้การควบคุมโหลดและการควบคุมความเครียดมีค่าเท่ากัน สร้างขึ้นจากการทดสอบในระดับกำลังโหลดสูงในการตอบสนองต่อความเค้นและความเค้นแบบวงกลม และทำให้ทราบพฤติกรรมของวัสดุเป็นแบบอย่างที่ดีที่สุดภายใต้สภาวะที่ควบคุมด้วยความเครียด ซึ่งพบว่าเหมาะสมกับการคำนวณหาอายุความล้าของวัสดุที่มีรอบการใช้งานต่ำ โดยอายุของความเครียดใช้งานสามารถแสดงได้โดยกราฟเรียกว่า E-N ดังรูป 2.17 โดยมีสมการความสัมพันธ์แสดงดังนี้



รูปที่ 2.17 กราฟแสดงการหาอายุความล้าเนื่องจากความเครียด

2.7 วิธีการแก้ไขค่าความเครียดเฉลี่ย

วิธีการหลักสองวิธีในการแก้ไขค่าความเครียดเฉลี่ยเฉพาะแห่งของวิธีการทดสอบความเครียด(E-N)

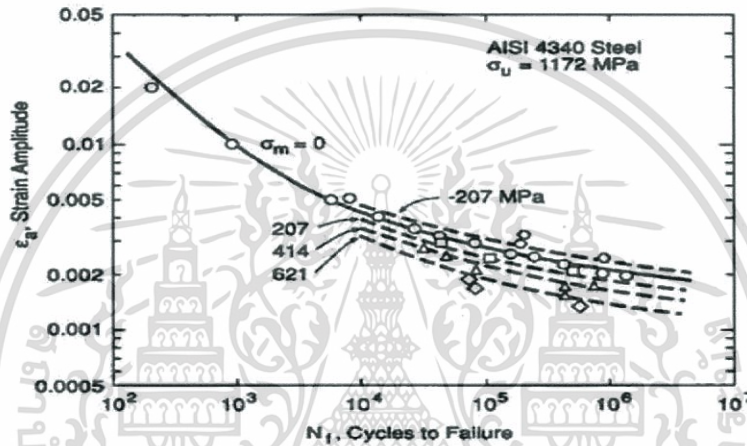
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 การแก้ไขด้วยวิธีของ Morrow

วิธีการนี้จะทำการย้ายเส้น elastic life ขึ้นและลงตามค่าความเครียดเฉลี่ยของแต่ละรอบ

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma'_f}{E} \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma'_f} \right) (2N_f)^b + \varepsilon'_f (2N_f)^c$$

(2.9)



รูปที่ 2.18 Morrow Correction

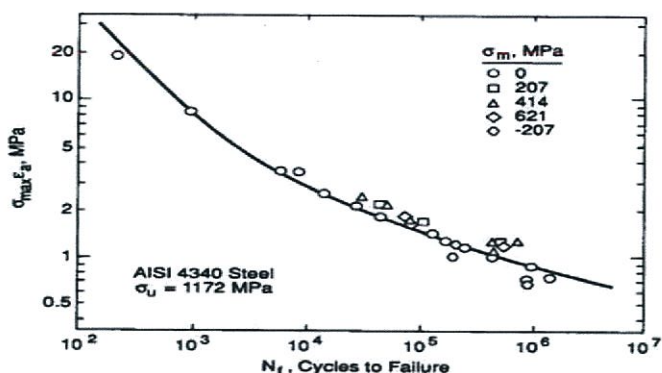
2.7.2 การแก้ไขด้วยวิธีของ Smith - Watson Topper (SWT)

วิธีนี้จะใช้ตัวแปรความเสียหายซึ่งประกอบด้วยความเครียดสูงสุดของแต่ละรอบ

$$\sigma_{\max} \varepsilon_a = \frac{(\sigma'_f)^2}{E} (2N_f)^{2b} + \sigma'_f \varepsilon'_f (2N_f)^{b+c}$$

(2.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

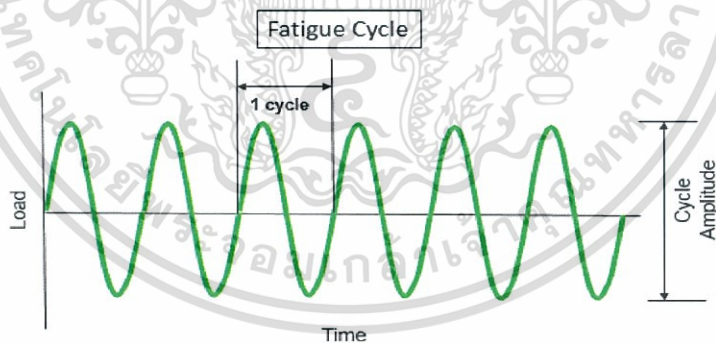


รูปที่ 2.19 Smith Watson Topper Correction

เปรียบเทียบวิธีการของ Smith – Watson Topper กับวิธีการของ Morrow
 วิธีการของ Smith – Watson Topper ทำการแก้ไขค่าความเครียดที่มากกว่าวิธีการของ Morrow
 วิธีการของ Smith – Watson Topper มีแนวโน้มที่จะอนุรักษ์แรงดึง
 วิธีการของ morrow มีแนวโน้มที่จะอนุรักษ์แรงอัด

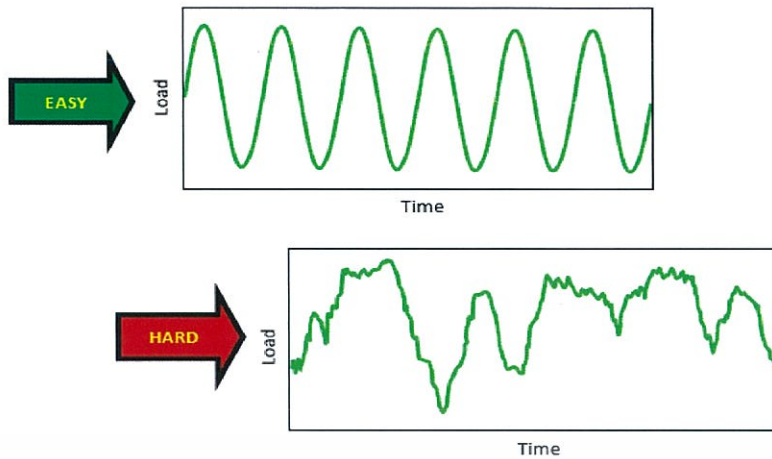
2.8 วิธีการของ Rain Flow Counting

วิธีของ Rain Flow Counting นี้ใช้คำนวณหาความล้าโดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่างโหลดกับเวลา ถ้าแอมพลิจูดคงที่ดังแสดงในรูปที่ 2.20 จะสามารถคำนวณความเสียหายจากความล้าจาก S-N Curve และ Miner rule ได้โดยง่าย แต่ในความเป็นจริงค่าแอมพลิจูดนั้นไม่คงที่ดังแสดงในรูป 2.21



รูปที่ 2.20 ค่าแอมพลิจูดคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

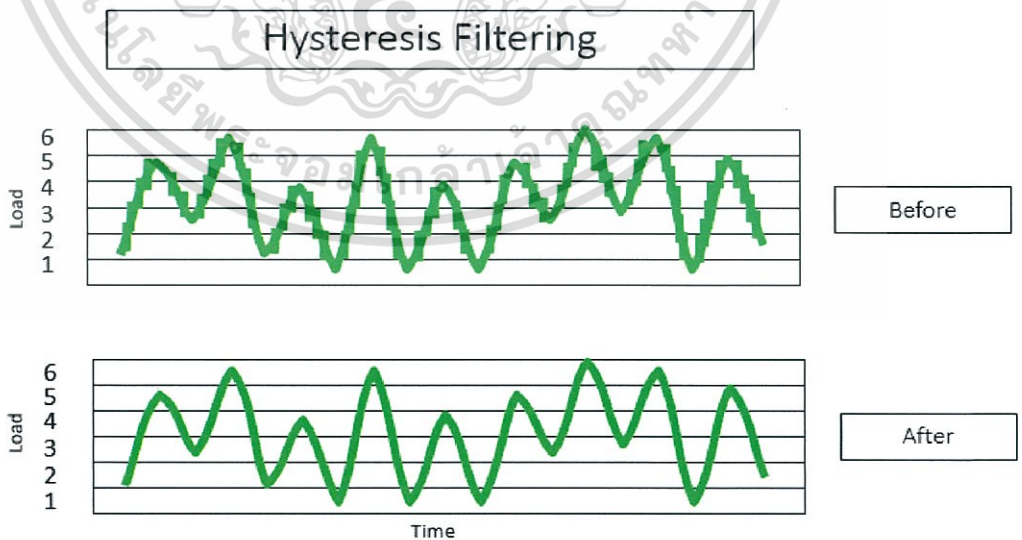


รูปที่ 2.21 ค่าแอมพลิจูดไม่คงที่

จึงมีวิธีที่ชื่อว่า rain flow counting ซึ่งจะใช้หาจำนวนวัฏจักรเทียบค่าเฉลี่ย ซึ่ง rain flow counting ยังช่วยลดขนาดของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ กระบวนการของ rain flow counting มี 4 ขั้นตอน

2.8.1 ขั้นตอน Hysteresis Filtering

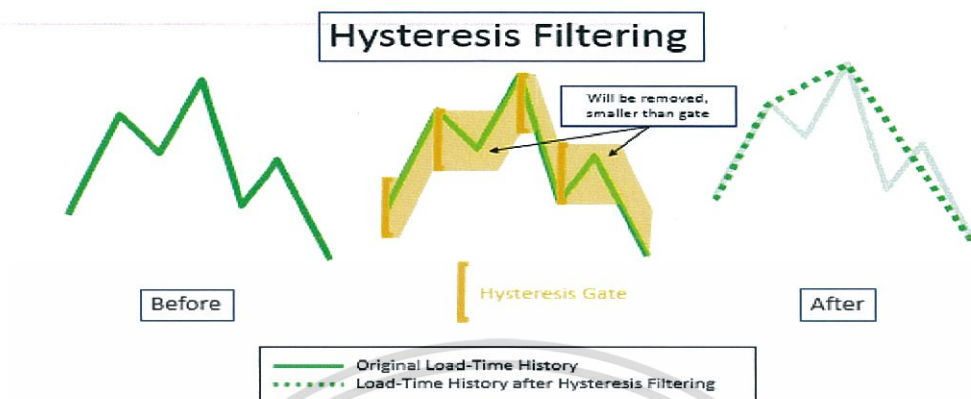
ขั้นตอนนี้เป็นการลดจำนวนข้อมูลที่เล็กน้อย เพื่อละทิ้งผลของความเสียหาย



รูปที่ 2.22 แสดงขั้นตอน Hysteresis Filtering

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

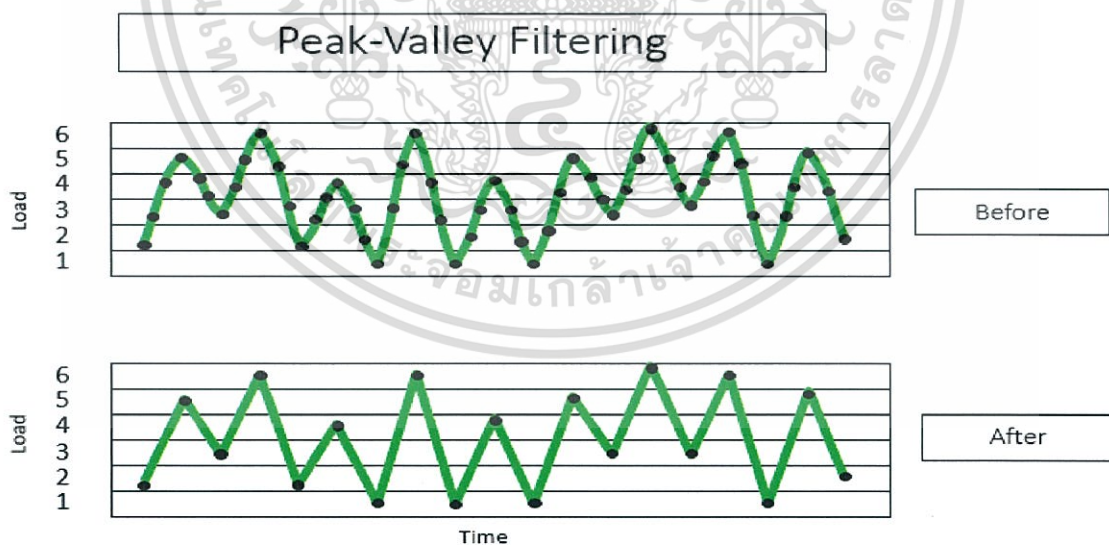
โดยวิธีตัดข้อมูลถ้าข้อมูลใดต่ำกว่าตัววัด(gate) จะถูกตัดออก วิธีหาตัววัดจะอยู่ที่ขั้นตอนที่ 3



รูปที่ 2.23 แสดงวิธีตัดข้อมูลซึ่งต่ำกว่าตัววัด

2.8.2 ขั้นตอน Peak – Valley Filtering

จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้คือ ใช้เก็บข้อมูลจุดสูงสุดและจุดต่ำสุดของแต่ละรอบวัฏจักร

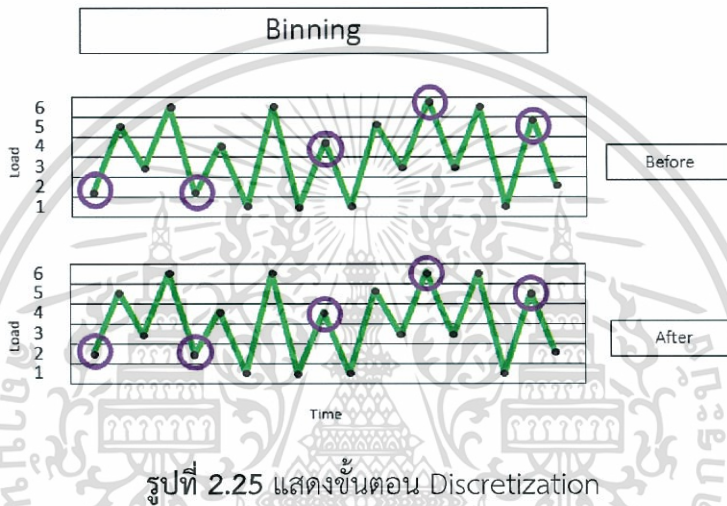


รูปที่ 2.24 แสดงขั้นตอนของ Peak – Valley Filtering

2.5.3 ขั้นตอน Discretization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนนี้แกน y จะถูกแบ่งเป็นช่วงในรูปของกล่องโดยในแต่ละกล่องจะมีช่วงแอมพลิจูดที่คงที่ การวัดข้อมูล จะถูกวัดที่ศูนย์กลางของแต่ละกล่อง แอมพลิจูดของข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เทียบกับกล่อง จึงเป็นเหตุผลเพียงพอที่จะวิเคราะห์ของด้วยการแบ่งแกน y เป็นกล่อง ดังนั้น แอมพลิจูดจะไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก โดยจะขึ้นกับความชัน S-N Curve 15% ที่เปลี่ยนแปลงในโหลดเป็นผลทำให้ความล่าช้าเปลี่ยนแปลงเป็น 2 เท่า โดยส่วนใหญ่ แกน y จะถูกแบ่งให้มีกล่องน้อยที่สุด 64 กล่องในโปรแกรมที่ทันสมัยจะสามารถแบ่งได้มากกว่าซึ่งทำให้มีความแม่นยำมากขึ้นแต่ขนาดไฟล์จะใหญ่ขึ้น ทำให้ใช้เวลาในการคำนวณนานขึ้น



2.8.4 ขั้นตอน Four Point Counting

จะมีวิธีคือ 1) เลือกจุดติดกัน 4 จุด 2) หาความเครียดภายใน (จุดที่2-จุดที่3) 3)หาความเครียดภายนอก(จุดที่1-จุดที่4) โดยถ้าช่วงความเครียดภายในมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับช่วงความเครียดภายนอก และจุดนั้น ประกอบไปด้วยช่วงความเครียดภายในจะถูกล้อมรอบโดยขอบด้านนอก ช่วงนั้นก็จะมีถูกนับ หรือถ้าช่วงความเครียดภายในมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับช่วงความเครียดภายนอก และจุดนั้น ประกอบไปด้วยช่วงความเครียดภายในจะไม่ถูกล้อมรอบโดยขอบด้านนอก ช่วงนั้นก็จะมีไม่ถูกนับ

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

3.1 ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของสปริง

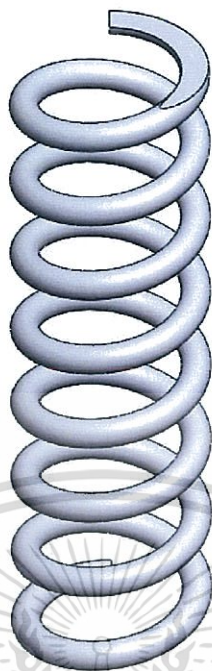
รถทุกคันที่วิ่งใช้งานจะมีระบบช่วงล่างซึ่งประกอบไปด้วยโช้คอัพ ทำหน้าที่ดูดซับแรงกระแทกเมื่อตัวรถวิ่งผ่านบนถนนหรือเส้นทางขรุขระ เป็นหลุม เป็นเนิน โช้คอัพจะช่วยให้แรงกระทำที่มาจากล้อสะท้อนสู่ตัวรถน้อยลง ในระบบช่วงล่างจะใช้โช้คอัพทำงานร่วมกับสปริง ทั้งแบบสปริงประกอบรวมกับตัวโช้คอัพเลยที่จะเห็นได้ในช่วงล่างแบบ MacPherson Strut, Double Wishbones และแบบสปริงแยกกับโช้คอัพที่มีอยู่ในระบบช่วงล่างแบบ Torsion Beam เป็นต้น

สปริงในระบบช่วงล่างที่ทำมาจากเหล็กถูกกดให้เป็นวง นิยมเรียกกันว่า “สปริงขด” หรือ “คอยล์สปริง (COIL SPRING)” นอกจากจะช่วยในการทำหน้าที่ซึมซับแรงกระแทกร่วมกับตัวโช้คอัพ ยังมีส่วนสำคัญในการแบกรับน้ำหนักของรถยนต์และเป็นตัวกำหนดระดับความสูงของตัวรถอีกด้วย

ตารางที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพของสปริง

ลักษณะทางกายภาพของสปริง	ค่า
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของสปริง	94 mm
เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของสปริง	78 mm
เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของสปริง	110 mm
เส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดสปริง	16 mm
ความยาวกดติด	144 mm
ความยาวอิสระ	375 mm
ความยาวติดตั้ง	314.5 mm
ระยะกดติดตั้ง	60.5 mm
ระยะห่างระหว่างขดลวด	50 mm
จำนวนขดทำงาน	7
จำนวนขดทั้งหมด	8
ค่าความโค้งของขดลวด	5.875

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 โมเดลของสปริง

ตารางที่ 3.2 ลักษณะทางวัสดุของสปริง

ลักษณะทางวัสดุของสปริง	ค่า
มวล	16 kg
ความหนาแน่น	$7.874e-9 \text{ t/mm}^3$
วัสดุ	ASTM A232
ความต้านทานแรงดึงน้อยสุด	1350 MPa
โมดูลัสของความคงรูป	79300 MPa
โมดูลัสของยัง	206180 MPa
โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น	190000 MPa
โมดูลัสของแรงเฉือน	73000 MPa
ความต้านทานแรงดึงสูงสุด	1790 MPa
เปอร์เซ็นต์การหดตัวของหน้าตัด	46%
อัตราส่วนปัวซอง	0.3

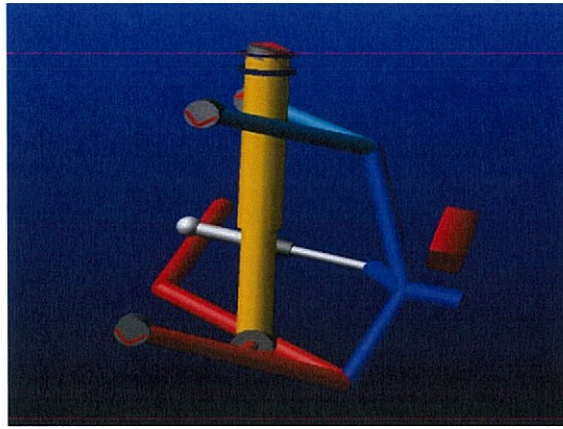
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การวิเคราะห์หาแรงที่กระทำต่อสปริง

แรงที่กระทำต่อสปริงสามารถหาได้จากการวิเคราะห์โดยการใส่โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการวิ่งของรถบนพื้นถนนในรูปแบบต่างๆ โดยทำการออกแบบรถยนต์ให้มีคุณลักษณะตามต้องการ แล้วนำไปทำการจำลองแล้ววิเคราะห์แรงที่กระทำต่อสปริงออกมา

ตาราง 3.3 ข้อมูลพื้นฐานของรถยนต์

Description	Value
น้ำหนักยานยนต์ทั้งหมด	1977 kg
น้ำหนักยานยนต์บนล้อคู่หน้า	1102 kg
น้ำหนักยานยนต์บนล้อคู่หลัง	875 kg
น้ำหนักยานยนต์บนล้อคู่ข้างขวา	973 kg
น้ำหนักยานยนต์บนล้อคู่ข้างซ้าย	1004 kg
ระยะห่างจุด CG จากแกนเพลาล้อหน้า	1365 mm
ระยะห่างจุด CG จากแกนเพลาล้อหลัง	1720 mm
ระยะห่างระหว่างแกนเพลาล้อหน้ากับแกนเพลาล้อหลัง	3085 mm
ความสูงของจุดศูนย์ถ่วงยานยนต์	638 mm
ระยะห่างจุด CG จากแนวแกนล้อขวา	770 mm
ระยะห่างจุด CG จากแนวแกนล้อซ้าย	770 mm
ระยะห่างระหว่างแกนล้อขวากับแกนล้อซ้ายด้านหน้า	1540 mm
ระยะห่างระหว่างแกนล้อขวากับแกนล้อซ้ายด้านหลัง	1550 mm



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของระบบช่วงล่างของรถยนต์

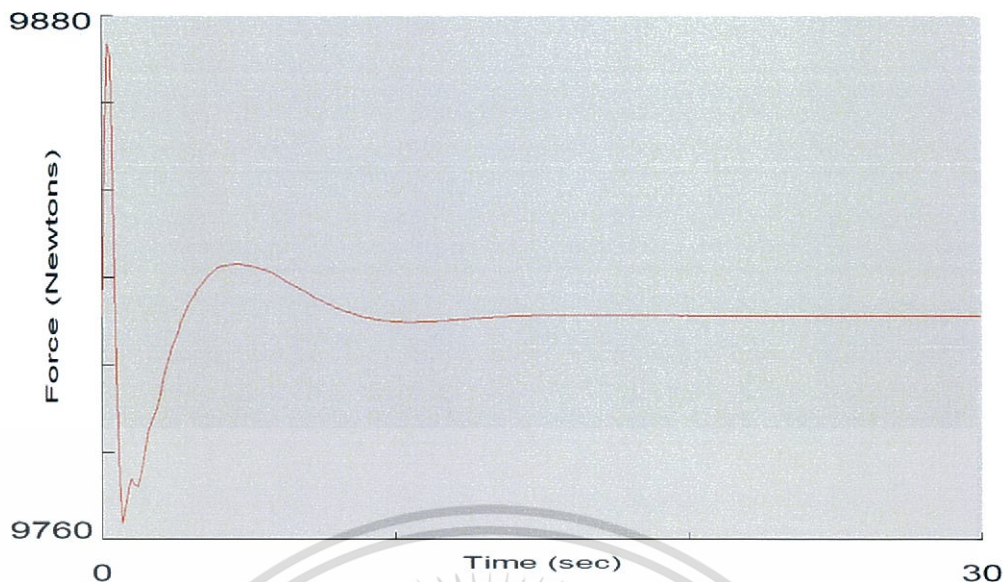


รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะทางกายภาพของรถยนต์

3.2.1 แรงที่กระทำกับสปริงที่ได้จากการวิเคราะห์บนพื้นถนนเรียบ

ที่ความเร็วคงที่ 40 กม/ชม เป็นเวลา 30 วินาที ซึ่งแรงสูงสุดที่ได้คือ 9880 นิวตัน

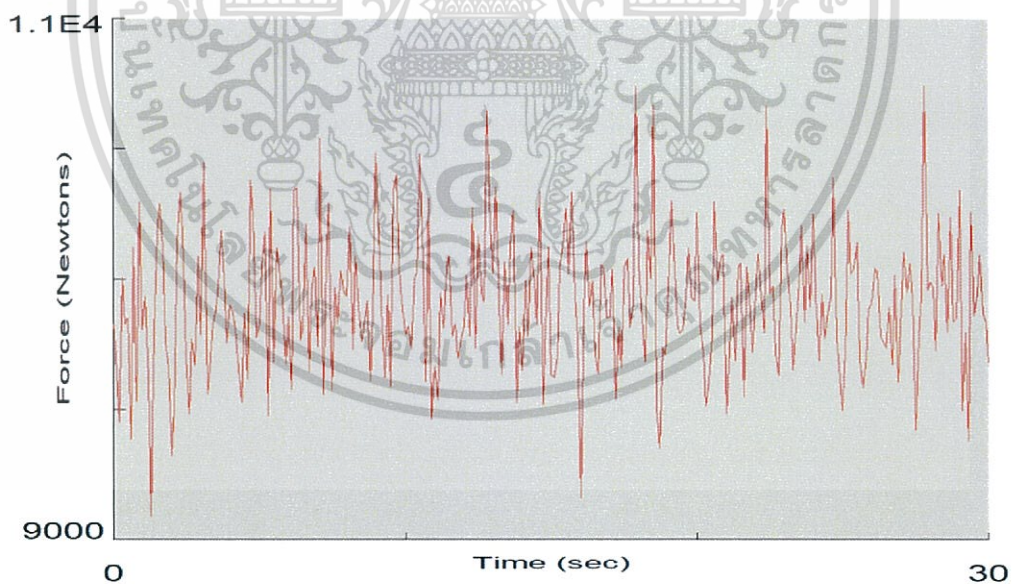
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงกราฟระหว่างแรงกับเวลา

3.2.2 แรงที่กระทำกับสปริงที่ได้จากการวิเคราะห์บนพื้นถนนขรุขระ

ที่ความเร็วคงที่ 40 กม/ชม เป็นเวลา 30 วินาที ซึ่งแรงสูงสุดที่ได้คือ 11000 นิวตัน

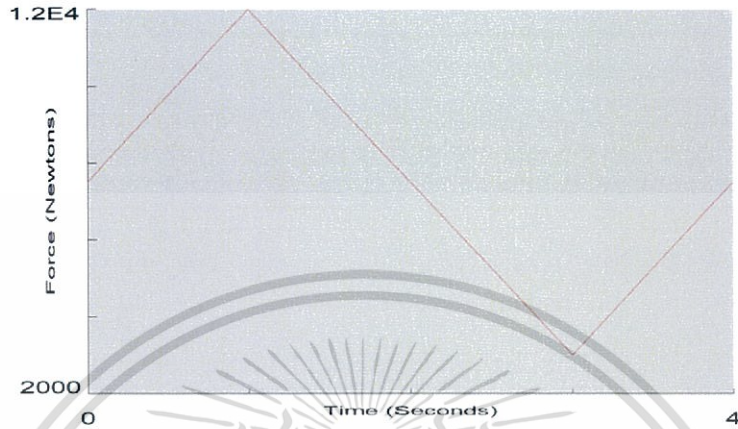


รูปที่ 3.5 แสดงกราฟระหว่างแรงกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 แรงที่กระทำกับสปริงที่ได้เพิ่มเข้าไป

ในกรณีที่แรงทั้งสองก่อนหน้านี้ไม่สามารถทำให้สปริงเกิดความล้าเนื่องจากการใช้งานได้ ซึ่งแรงสูงสุดที่ได้คือ 12000 นิวตัน



รูปที่ 3.6 แสดงกราฟระหว่างแรงกับเวลา

3.3 การทดสอบหาค่าคงที่ของสปริงและความเครียดที่ผิวด้านนอกและด้านในของสปริง

การหาค่าคงที่ของสปริงสามารถทำได้จากการนำแรงที่ใช้กดสปริงมาส่วนด้วยระยะยุบตัวของสปริง หรือก็คือความชันของกราฟแรงกดสปริงกับระยะยุบตัวของสปริง โดยใช้เครื่องกด UTM AGS-X Shimadzu แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์

การหาความเค้นที่บริเวณผิวด้านนอกและด้านในของสปริงสามารถทำได้จากการใช้สเตอรนเกจชนิด 3 แกน ติดไว้บริเวณผิวด้านนอกและด้านในตามแนวแกนสปริงของคอนลสปริงที่ 4



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบแรงกด UTM AGS-X Shimadzu และการติดตั้งสเตอรนเกจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าความเครียดจากเส้นสีแดง สีเขียวและสีขาวยุคือ ϵ_1 ϵ_2 และ ϵ_3 เพื่อใช้ในการคำนวณค่าความเครียดในทิศต่างๆ

$$\begin{aligned}\epsilon_1 &= \epsilon_R = \epsilon_x \cos^2 \theta_1 + \epsilon_y \sin^2 \theta_1 + \gamma_{xy} \sin \theta_1 \cos \theta_1 \\ \epsilon_2 &= \epsilon_G = \epsilon_x \cos^2 \theta_2 + \epsilon_y \sin^2 \theta_2 + \gamma_{xy} \sin \theta_2 \cos \theta_2 \\ \epsilon_3 &= \epsilon_W = \epsilon_x \cos^2 \theta_3 + \epsilon_y \sin^2 \theta_3 + \gamma_{xy} \sin \theta_3 \cos \theta_3\end{aligned}$$

ซึ่งหากมุมทั้ง 3 มุมของเสตรนเกจ คือ 45 องศา ก็จะได้สมการ

$$\begin{aligned}\epsilon_x &= \epsilon_2 \\ \epsilon_y &= \epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 \\ \gamma_{xy} &= -\epsilon_1 + \epsilon_3\end{aligned}$$

โดยค่าความเครียดเฉือนสูงสุดสามารถหาได้จากสมการ

$$\gamma_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_{\max}}{2}\right)^2} = \frac{1}{2} \sqrt{(2\epsilon_2 - \epsilon_1 - \epsilon_3)^2 + (-\epsilon_1 + \epsilon_3)^2}$$

3.4 การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลเมนต์ของสปริง

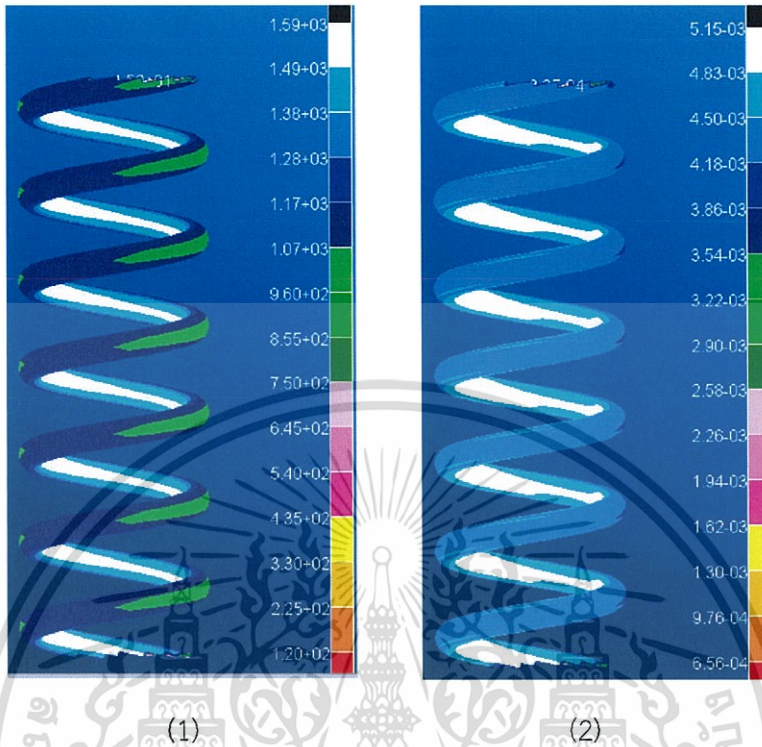
จากตารางที่ 3.2 นำสปริงมาแบ่งเป็นเอลเมนต์ขนาดเล็ก ซึ่งจะทำให้การจำลองนั้นมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.8 แสดงเอลเมนต์ทั้งหมดของสปริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นทำการกดแรงลงไปทางด้านบนของสปริงด้วยแรงขนาดเท่ากับแรงที่มากที่สุด คือ 12000 นิวตัน เพื่อหาความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นกับสปริง



รูปที่ 3.9 แสดงความเค้นและความเครียดของสปริง 1 ความเค้น 2 ความเครียด

จากการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์พบว่าความเค้นที่มากที่สุด คือ 1590 MPa ซึ่งน้อยกว่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของวัสดุที่ 1790 MPa

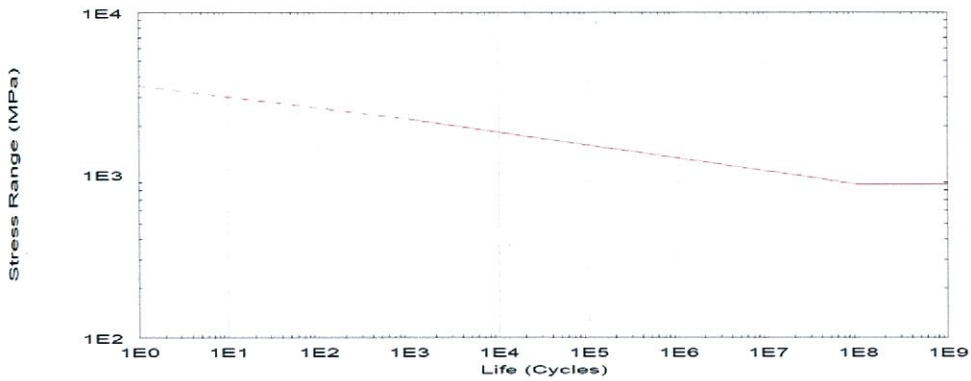
3.5 การวิเคราะห์หาอายุการใช้งานเนื่องจากความล้าของสปริง

การหาอายุการใช้งานเนื่องจากความล้าของสปริงนั้นหลักๆ จะมีอยู่ 2 วิธี คือ การใช้วิธี Stress-Life และ Strain Life และยังสามารถหาอายุการใช้งานเนื่องจากรอยแตกบนผิวของสปริงได้โดยการใช้ทฤษฎีของ Paris' law

3.5.1 การวิเคราะห์ Stress-Life

หาอายุการใช้งานเนื่องจากความล้าของสปริงโดยใช้การแก้ไขค่าความเค้นของ Goodman และ Gerber และไม่ใช้การแก้ไขค่าความเค้นแล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละทฤษฎี โดยทำการกดสปริงด้วยแรงกดทั้ง 3 แรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 กราฟแสดง S-N Curve ของวัสดุของสปริง

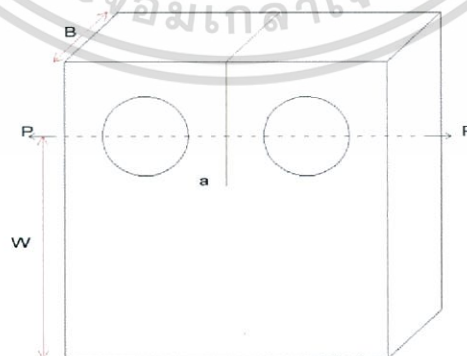
3.5.2 การวิเคราะห์ Strain-Life หรือการเกิดรอยแตกเนื่องจากความล้า

หาอายุการใช้งานเนื่องจากความล้าของสปริงที่ทำให้เกิดรอยแตกบนผิวของสปริง โดยการวิเคราะห์แบบ S-W-T และ Morrow แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละทฤษฎี โดยทำการทดสอบสปริงด้วยแรงกดทั้ง 3 แรง

3.6 การวิเคราะห์หาอายุการใช้งานเนื่องจากรอยแตกของสปริง

หาอายุการใช้งานเนื่องจากรอยแตกบนผิวของสปริงด้านในโดยใช้ทฤษฎีของ Paris โดยการกำหนดรอยแตกเริ่มต้น แล้วทำการทดสอบสปริงด้วยแรงกดทั้ง 3 แรง เพื่อหารอยแตกเริ่มต้นที่น้อยที่สุดก่อนที่รอยแตกจะเริ่มโตขึ้น

โดยจะสร้างรอยแตกที่ผิวด้านในของสปริงเป็นแนวตั้งฉากกับผิวของสปริงที่มีความเค้นสูงสุดและแนวขดลวดตามยาวของสปริง

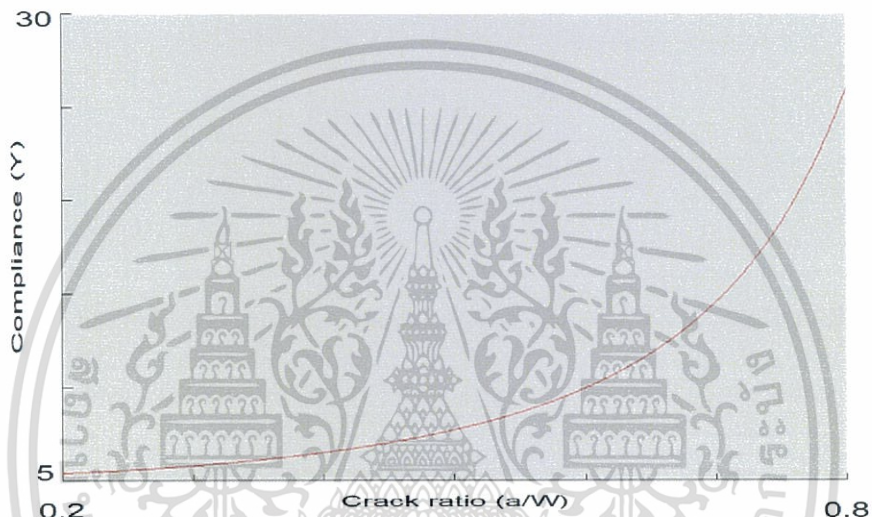


รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะของเอลเมนต์ปริมาตรรอยแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่า	B	คือ ความหนาของเอเลเมนต์
	W	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของสปริง
	a	คือ ขนาดรอยแตก
	P	คือ แรงที่กระทำกับเอเลเมนต์

โดยเมื่อนำลักษณะของเอเลเมนต์บริเวณรอยแตกไปหาค่าตัวแปร Y ก็จะได้ตั้งรูปด้านล่าง ซึ่งค่าตัวแปร Y นี้จะแตกต่างกันไปตามลักษณะของรอยแตกและเอเลเมนต์รอยแตก



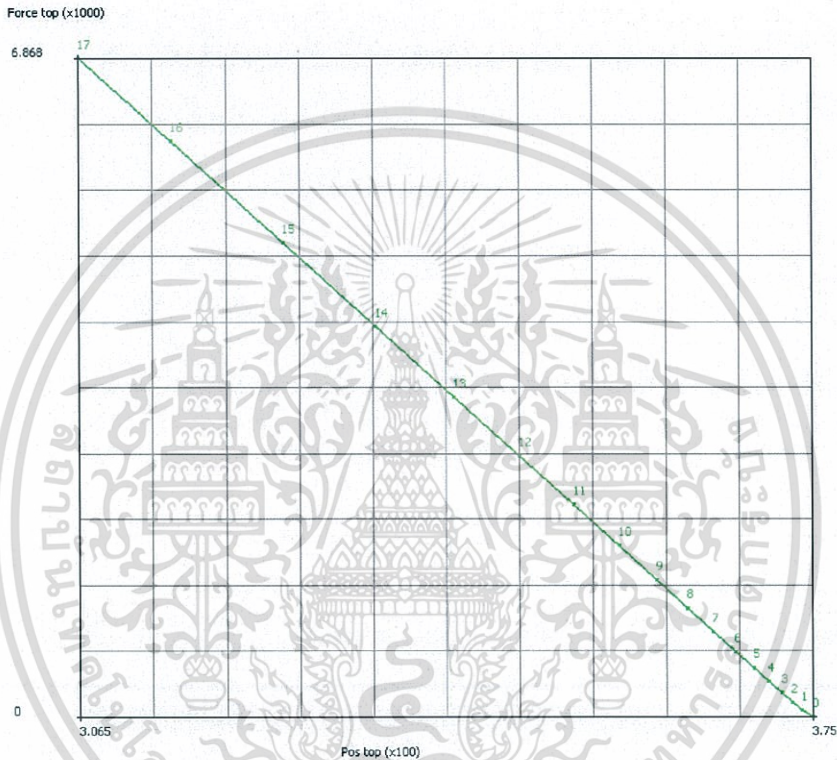
รูปที่ 3.12 แสดงการโตของตัวแปร Y ของรอยแตก

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ค่าคงที่ของสปริง

โดยจะทำการทดสอบสปริงด้วยแรง 6868 นิวตัน และวัดค่าระยะหดตัวของสปริง เพื่อนำมาเปรียบเทียบ กับผลการทดลองด้วยเครื่องกด



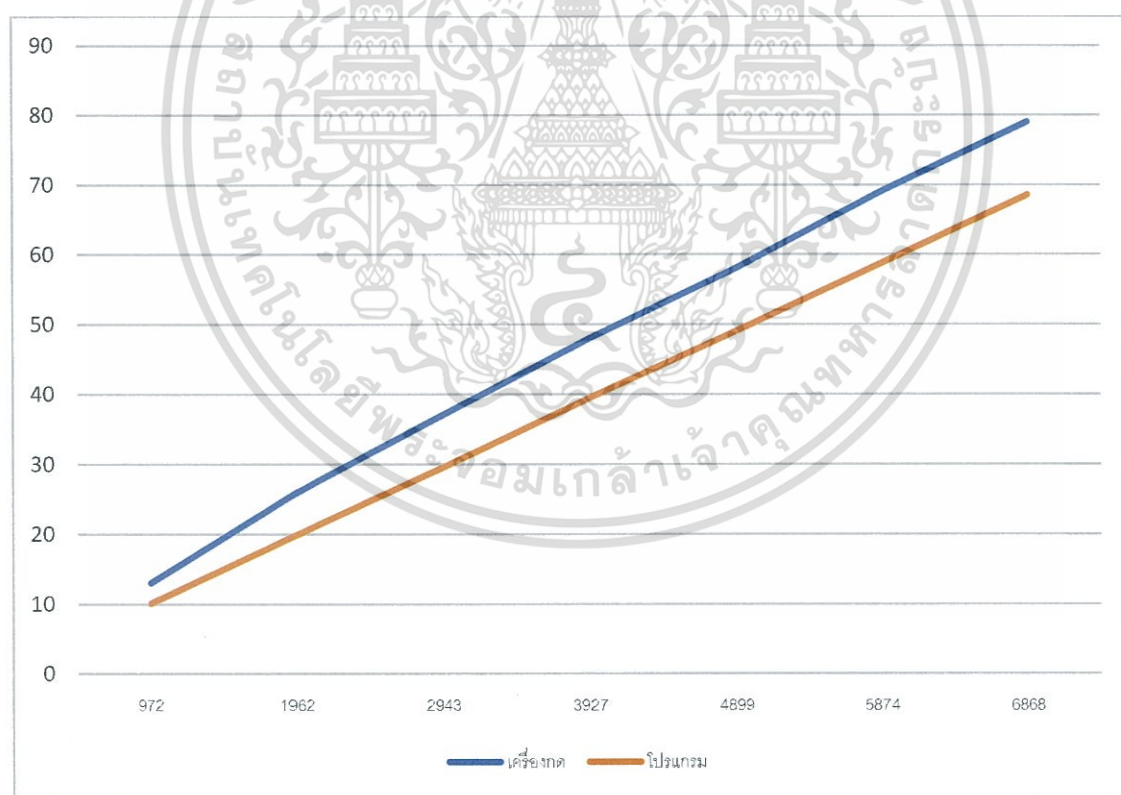
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะหดตัวของสปริงจากคอมพิวเตอร์

หากนำแรงที่กระทำกับสปริงมาส่วนด้วยระยะหดตัวของสปริงก็จะได้ค่าคงที่ของสปริง ซึ่งสามารถนำมาเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบการกดสปริงได้

ตารางที่ 4.1 ระยะหัดตัวและค่าคงที่ของสปริงจากการทดลองและการวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์

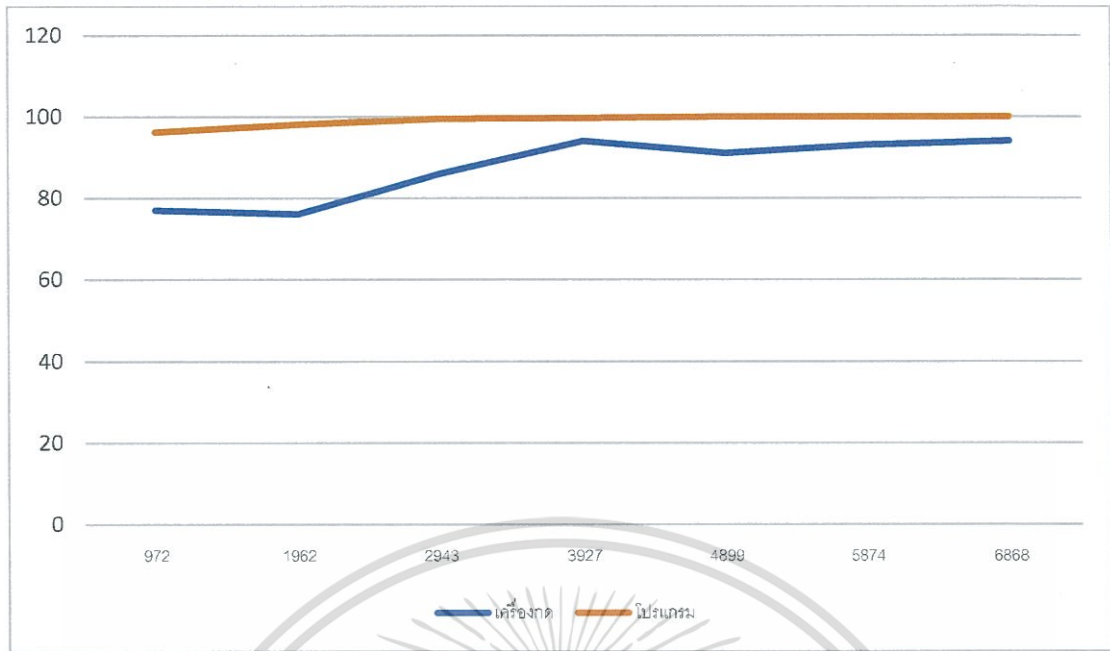
แรง (นิวตัน)	ระยะหัดตัว		ค่าคงที่	
	ทดลอง (มม.)	โปรแกรม (มม.)	ทดลอง (นิวตัน/มม.)	โปรแกรม (นิวตัน/มม.)
972	13	10.1	77	96.2
1962	26	19.9	76	98.1
2943	37	29.6	86	99.4
3927	48	39.4	94	99.7
4899	58	49	91	100
5874	69	58.7	93	100
6868	79	68.5	94	100

เมื่อนำข้อมูลจากตารางมาวาดเป็นกราฟเปรียบเทียบกันก็จะได้ดังนี้



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะหัดตัวของสปริงจากเครื่องทดและคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและค่าคงที่ของสปริงจากเครื่องกดและคอมพิวเตอร์

4.2 ความเครียดของสปริง

เก็บค่าความเครียดที่ได้จากสเตรนเกจทั้ง 3 แกน ทั้งด้านนอกและด้านใน แล้วนำสมการในหัวข้อที่ 3.3 มาใช้หาความเครียดเฉือนสูงสุด จะได้ค่าเป็นตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความเครียดที่ได้รับจากสเตรนเกจและความเครียดเฉือนสูงสุด

แรง (นิวตัน)	มิตด้านใน (ไมโครสเตรน)							มิตด้านนอก (ไมโครสเตรน)						
	1	2	3	ex	ey	exy	ความเครียด เฉือนสูงสุด	1	2	3	ex	ey	exy	ความเครียด เฉือนสูงสุด
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
972	347	-271	-525	-271	93	-872	945	342	154	-246	154	-58	-588	625
1962	675	-532	-1012	-532	195	-1687	1837	673	330	-452	330	-109	-1125	1208
2943	1030	-725	-1482	-725	273	-2512	2703	990	452	-683	452	-145	-1673	1776
3927	1490	-854	-1932	-854	331	-3341	3545	1287	518	-937	518	-168	-2224	2327
4899	1795	-984	-2392	-984	387	-4187	4406	1589	585	-1195	585	-191	-2784	2890
5874	2180	-1103	-2739	-1103	544	-4919	5187	1889	649	-1450	649	-210	-3339	3448
6868	2569	-1202	-3274	-1202	497	-5843	6085	2189	705	-1794	705	-310	-3983	4110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการเก็บค่าความเครียดของสปริงจากการวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์ โดยเก็บที่จุดเดียวกันกับจุดที่ติดเสตรนเกจในการทดลองกดสปริง แล้วกดสปริงด้วยแรง 6868 นิวตัน

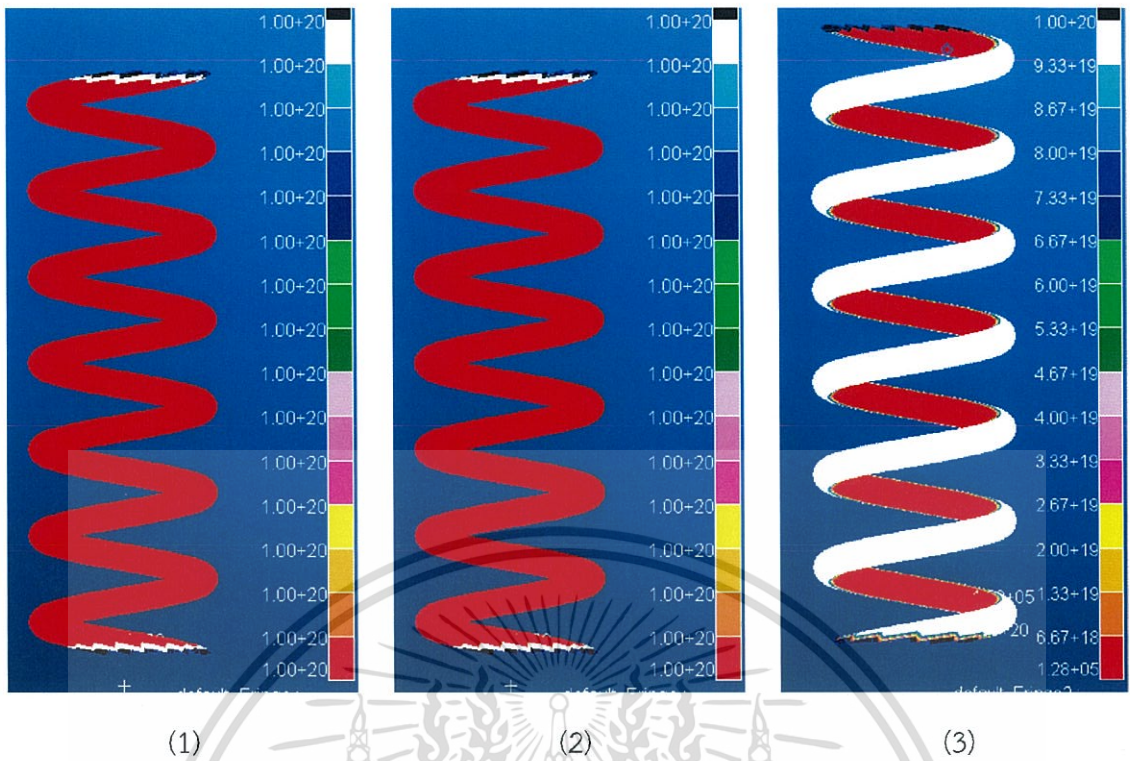
ตารางที่ 4.3 ความเครียดเฉือนสูงสุดที่พื้นผิวด้านนอกและด้านในของสปริงจากเสตรนเกจและโปรแกรม

แรง (นิวตัน)	ผิวด้านใน		ผิวด้านนอก	
	ทดลอง (ไมโครสเตรน)	โปรแกรม (ไมโครสเตรน)	ทดลอง (ไมโครสเตรน)	โปรแกรม (ไมโครสเตรน)
972	945	527	625	352
1962	1837	1064	1208	710
2943	2703	1596	1776	1065
3927	3545	2129	2327	1421
4899	4406	2656	2890	1773
5874	5187	3185	3448	2125
6868	6085	3724	4110	2485

4.3 อายุการใช้งานโดยทฤษฎี Stress-Life

4.3.1 การแก้ไขค่าความเค้นเฉลี่ยของ Goodman

จากผลการทดลองอายุการใช้งานของสปริงเมื่อใช้แรงจากถนนเรียบและถนนขรุขระ สปริงนั้นจะมีอายุการใช้งานที่ไม่สั้นสุด และเมื่อใช้แรงที่ได้เพิ่มเติมเข้าไปนั้น สปริงมีค่าอายุการใช้งานต่ำที่สุด คือ 128000 รอบ

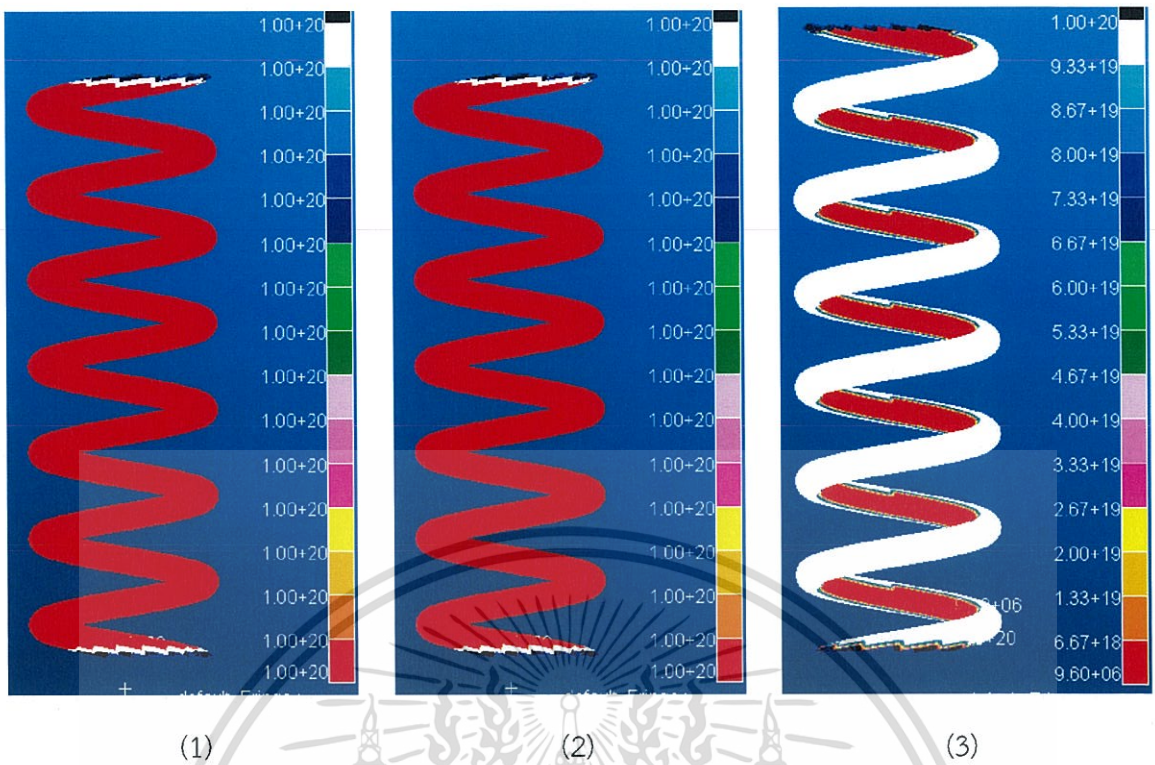


รูปที่ 4.4 แสดงอายุการใช้งานเมื่อใช้การแก้ไขค่าความเค้นเฉลี่ยของ Goodman

1 ถนนเรียบ 2 ถนนขรุขระ 3 แรงที่เพิ่มเข้าไป

4.3.2 การแก้ไขค่าความเค้นเฉลี่ยของ Gerber

จากผลการทดลองอายุการใช้งานของสปริงเมื่อใช้แรงจากถนนเรียบและถนนขรุขระ สปริงนั้นจะมีอายุการใช้งานที่ไม่สิ้นสุด และเมื่อใช้แรงที่ได้เพิ่มเติมเข้าไปนั้น สปริงมีค่าอายุการใช้งานต่ำที่สุด คือ 9600000 รอบ

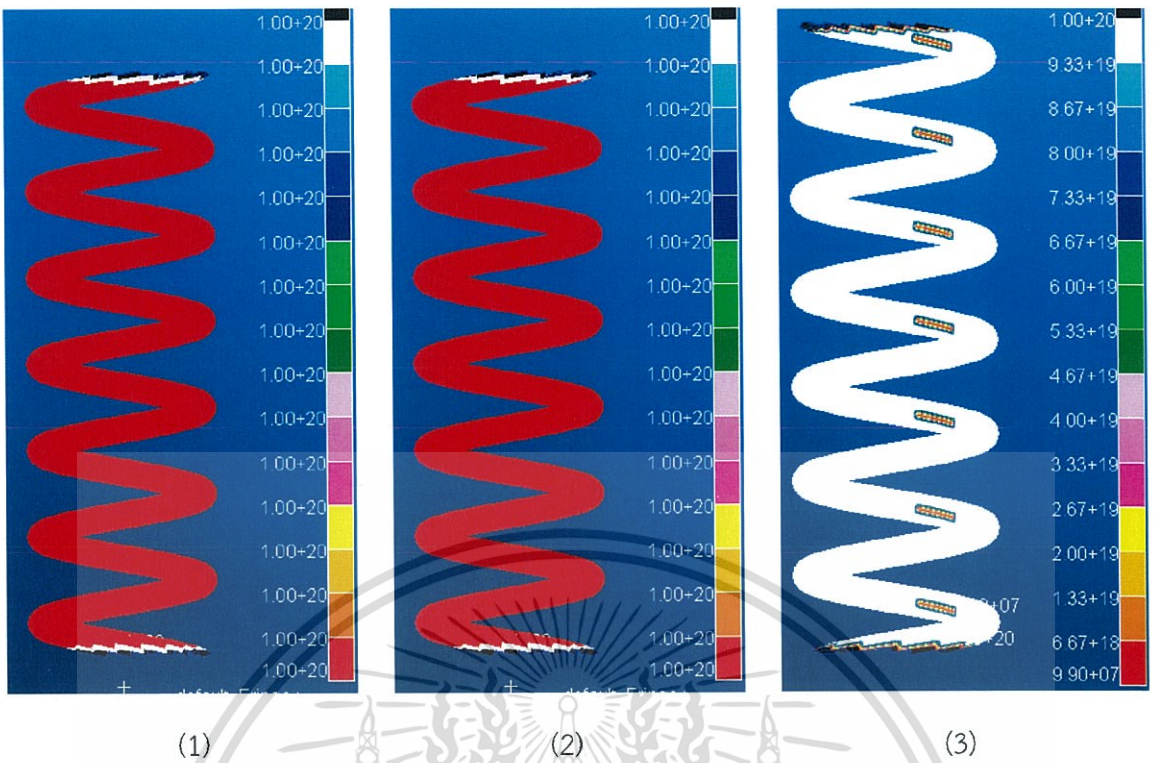


รูปที่ 4.5 แสดงอายุการใช้งานเมื่อใช้การแก้ไขค่าความเค้นเฉลี่ยของ Gerber

1 ถนนเรียบ 2 ถนนขรุขระ 3 แรงที่เพิ่มเข้าไป

4.3.3 ไม่ใช้การแก้ไขค่าความเค้นเฉลี่ย

จากผลการทดลองอายุการใช้งานของสปริงเมื่อใช้แรงจากถนนเรียบและถนนขรุขระ สปริงนั้นจะมีอายุการใช้งานที่ไม่สั้นสุด และเมื่อใช้แรงที่ได้เพิ่มเติมเข้าไปนั้น สปริงมีค่าอายุการใช้งานต่ำที่สุด คือ 99000000 รอบ



รูปที่ 4.6 แสดงอายุการใช้งานเมื่อไม่ใช้การแก้ไขค่าความเค้นเฉลี่ย

1 ถนนเรียบ 2 ถนนขรุขระ 3 แรงที่เพิ่มเข้าไป

นำค่าทั้งหมดของการหาอายุการใช้งานแบบ Stress-Life มาใส่ลงในตาราง จะได้ตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 อายุการใช้งานจากควอเคราะห์แบบ Stress-Life

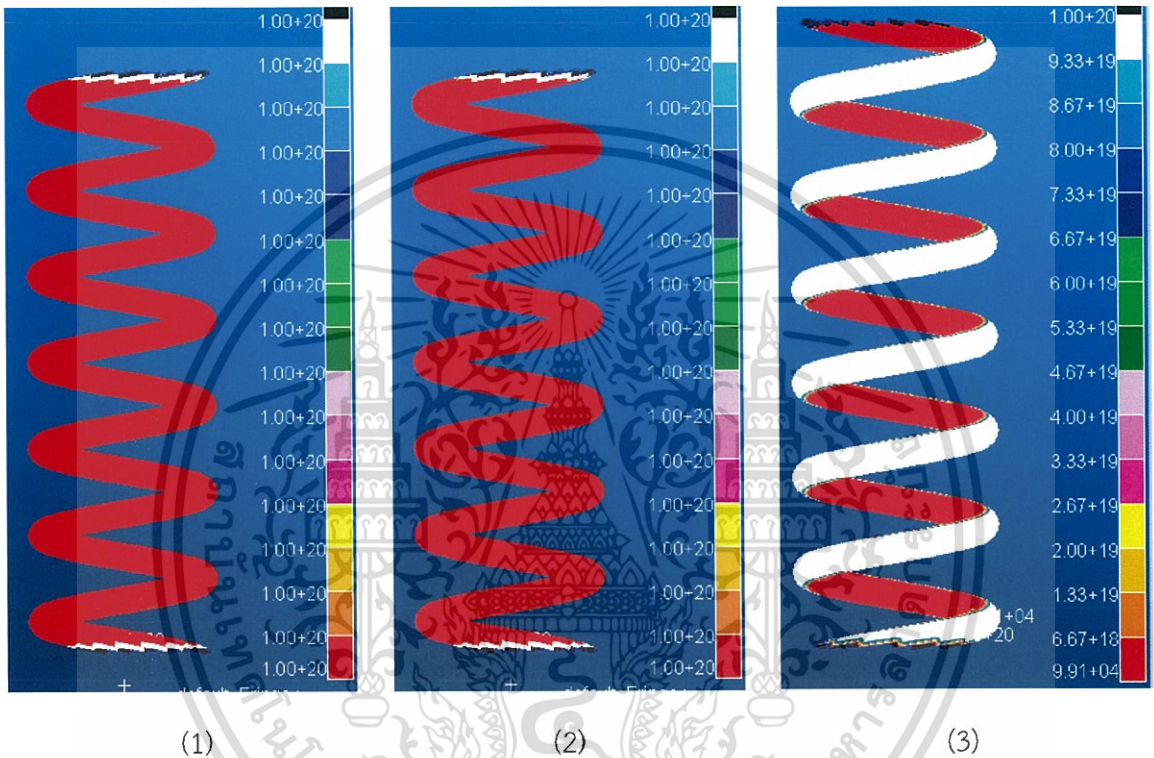
การแก้ไขค่า ความเค้น	ถนนตรงเรียบ (รอบ)	ถนนตรงขรุขระ (รอบ)	แรงที่เพิ่มเข้าไป (รอบ)
Goodman	-	-	$1.28 * 10^5$
Gerber	-	-	$9.60 * 10^6$
ไม่ใช่	-	-	$9.90 * 10^7$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 อายุการใช้งานโดยทฤษฎี Strain-Life

4.4.1 การแก้ไขค่าความเครียดเฉลี่ยของ SWT

จากผลการทดลองอายุการใช้งานของสปริงเมื่อใช้แรงจากถนนเรียบและถนนขรุขระ สปริงนั้นจะมีอายุการใช้งานที่ไม่สั้นสุด และเมื่อใช้แรงที่ได้เพิ่มเติมเข้าไปนั้น สปริงมีค่าอายุการใช้งานต่ำที่สุด คือ 99100 รอบ



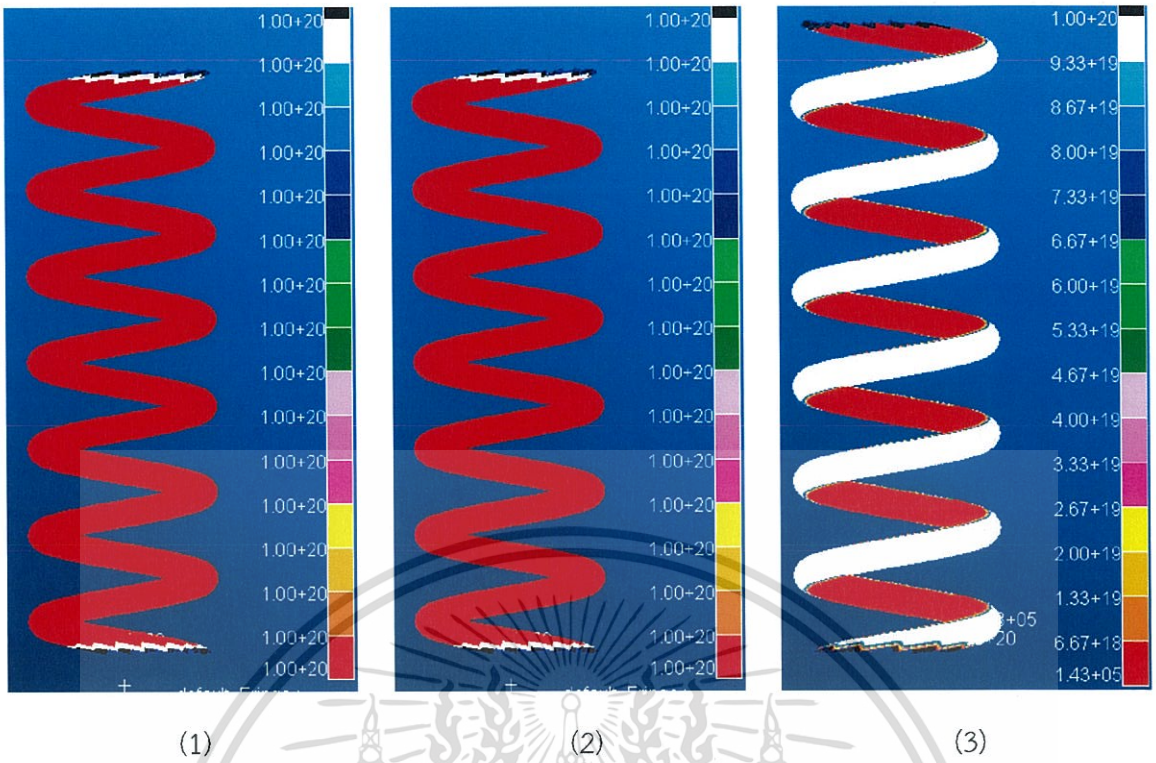
รูปที่ 4.7 แสดงอายุการใช้งานเมื่อใช้การแก้ไขค่าความเครียดเฉลี่ยของ SWT

1 ถนนเรียบ 2 ถนนขรุขระ 3 แรงที่เพิ่มเข้าไป

4.4.2 การแก้ไขค่าความเครียดเฉลี่ยของ Morrow

จากผลการทดลองอายุการใช้งานของสปริงเมื่อใช้แรงจากถนนเรียบและถนนขรุขระ สปริงนั้นจะมีอายุการใช้งานที่ไม่สั้นสุด และเมื่อใช้แรงที่ได้เพิ่มเติมเข้าไปนั้น สปริงมีค่าอายุการใช้งานต่ำที่สุด คือ 143000 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงอายุการใช้งานเมื่อใช้การแก้ไขค่าความเครียดเฉลี่ยของ Morrow

1 ถนนเรียบ 2 ถนนขรุขระ 3 แรงที่เพิ่มเข้าไป

นำค่าทั้งหมดของการหาอายุการใช้งานแบบ Strain-Life มาใส่ลงในตาราง จะได้ตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 อายุการใช้งานจากวอเคราะห์แบบ Strain-Life

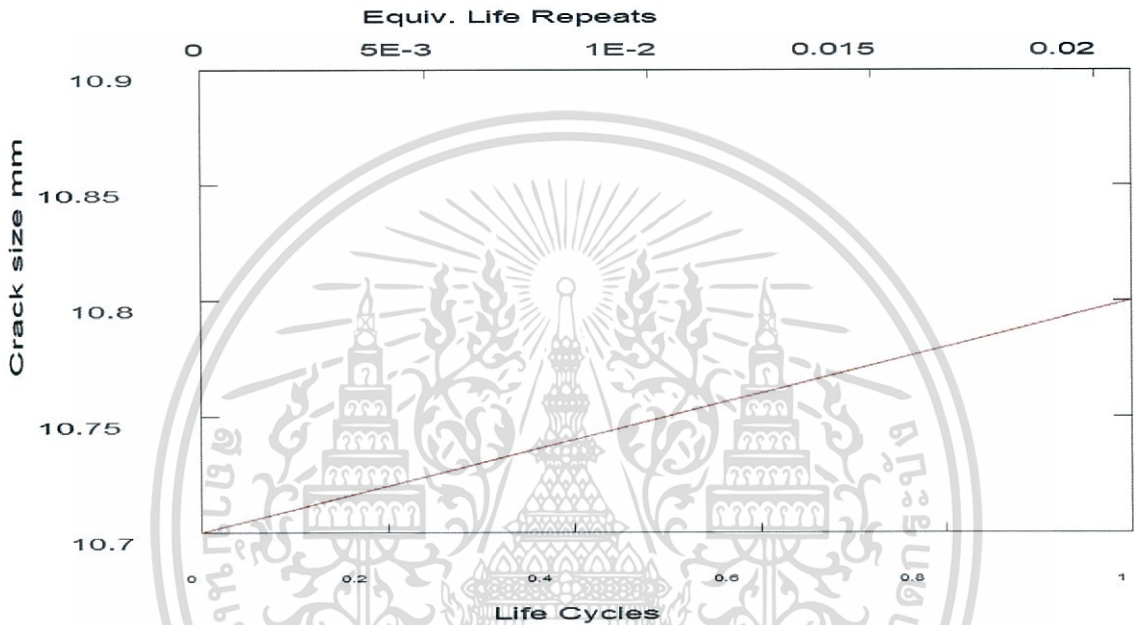
การแก้ไขค่า ความเครียด	ถนนตรงเรียบ (รอบ)	ถนนตรงขรุขระ (รอบ)	แรงที่เพิ่มเข้าไป (รอบ)
SWT	-	-	$9.91 * 10^4$
Morrow	-	-	$1.43 * 10^5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 อายุการใช้งานโดยทฤษฎีรอยแตก

4.5.1 ทฤษฎีรอยแตกเมื่อใช้แรงจากถนนตรงเรียบ

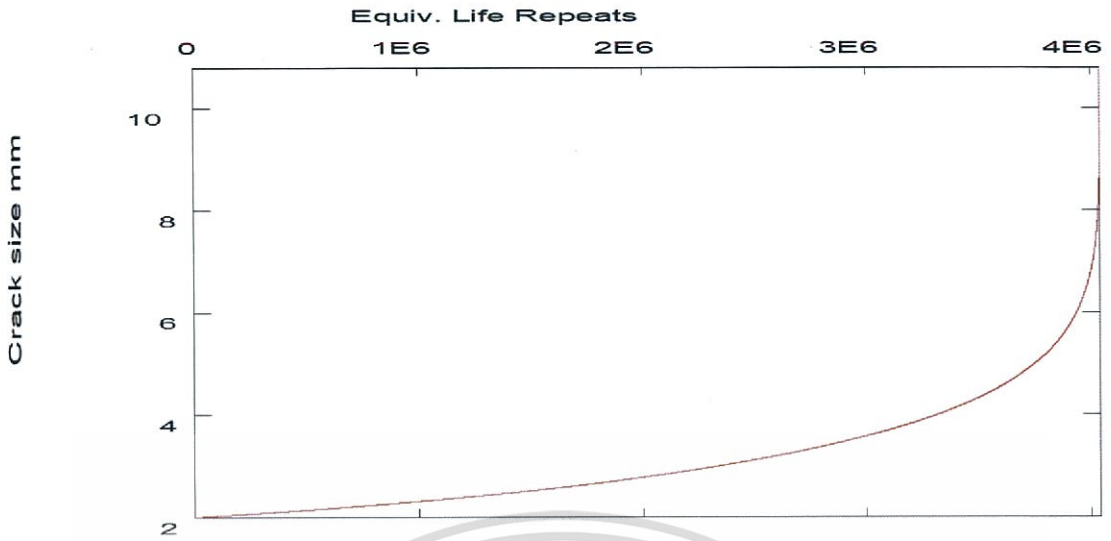
โดยรอยแตกจะเริ่มมีการโตขึ้นเมื่อ รอยแตกมีขนาด 10.7 มม. และรอยแตกจะมีอายุแค่เพียง 0.02 การทำซ้ำ เป็น 10.7 มม. ซึ่งจะทำให้สปริงบริเวณรอยแตกนั้นมีความเค้นที่มากกว่าความเค้นสูงสุดที่สปริงจะรับได้ ทำให้สปริงขาดออกจากกัน



รูปที่ 4.9 แสดงอายุการใช้งานจากรอยแตกเมื่อใช้แรงจากถนนตรงเรียบ

4.5.2 ทฤษฎีรอยแตกเมื่อใช้แรงจากถนนตรงขรุขระ

โดยรอยแตกจะเริ่มมีการโตขึ้นเมื่อ รอยแตกมีขนาดประมาณ 2 มม. และรอยแตกจะมีอายุ 4060000 การทำซ้ำ หรือรถยนต์จะเคลื่อนที่ได้ประมาณ 1300000 กม. บนถนนตรงขรุขระ

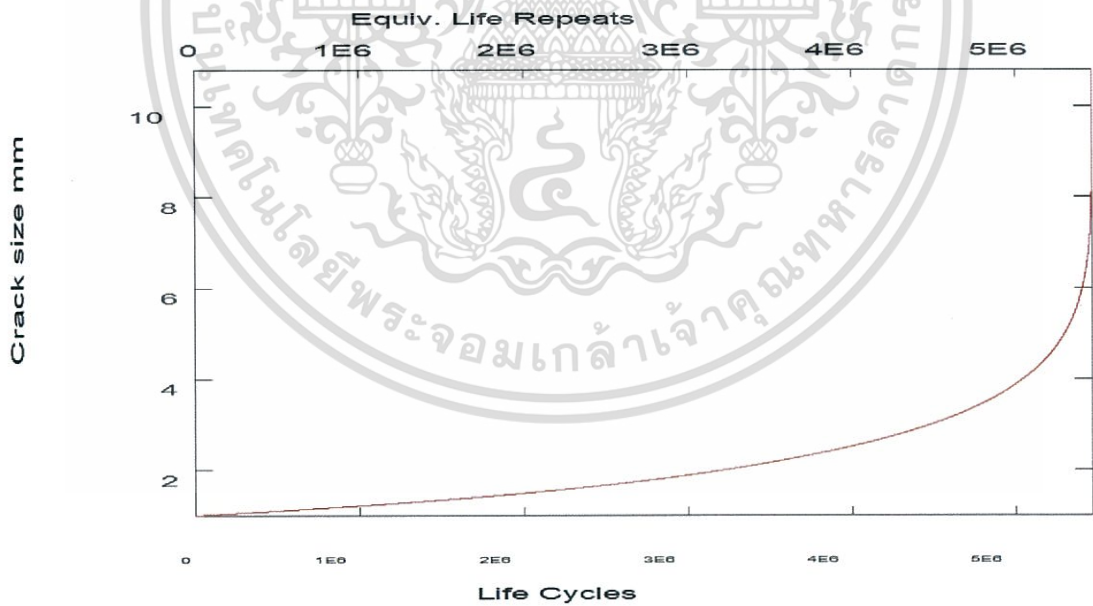


รูปที่ 4.10 แสดงอายุการใช้งานจากรอยแตกเมื่อใช้แรงจากถนนตรงขรุขระ

4.5.3 ทฤษฎีรอยแตกเมื่อใช้แรงที่เพิ่มเข้าไป

โดยรอยแตกจะเริ่มมีการโตขึ้นเมื่อ รอยแตกมีขนาดประมาณ 1 มม. และรอยแตกจะมีอายุ

5340000 รอบ



รูปที่ 4.11 แสดงอายุการใช้งานจากรอยแตกเมื่อใช้แรงที่เพิ่มเข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การวิเคราะห์หาอายุการใช้งานเนื่องจากความล้าของสปริงโดยใช้วิธี Stress-Life

เมื่อใช้แรงที่มาจากผลการจำลองบนถนนตรงผิวเรียบและผิวขรุขระ สปริงจะมีอายุการใช้งานที่ไม่
สิ้นสุด

แต่เมื่อใช้แรงที่เพิ่มเข้าไป การใช้การแก้ไขค่าความเค้นของ Goodman ให้ค่าอายุการใช้งานที่ต่ำ
ที่สุด คือ 128000 รอบ การใช้การแก้ไขค่าความเค้นของ Gerber ให้ค่าอายุการใช้งาน คือ 9600000
รอบ และเมื่อไม่ใช้การแก้ไขค่าความเค้นอายุการใช้งาน คือ 99000000 รอบ

5.1.2 การวิเคราะห์หาอายุการใช้งานเนื่องจากความล้าของสปริงโดยใช้วิธี Strain-Life

เมื่อใช้แรงที่มาจากผลการจำลองบนถนนตรงผิวเรียบและผิวขรุขระ สปริงจะมีอายุการใช้งานที่ไม่
สิ้นสุด

แต่เมื่อใช้แรงที่เพิ่มเข้าไป การใช้การแก้ไขค่าความเครียดของ SWT ให้ค่าอายุการใช้งานที่ต่ำ
ที่สุด คือ 99100 รอบ และการใช้การแก้ไขค่าความเครียดของ Morrow ให้ค่าอายุการใช้งาน คือ
143000 รอบ

5.1.3 การวิเคราะห์หาอายุการใช้งานเนื่องจากรอยแตกของสปริง

เมื่อใช้แรงจากถนนตรงเรียบรอยแตกจะโตขึ้นเมื่อรอยแตกมีขนาด 10.7 มม. มีอายุ 0.02 การ
ทำซ้ำ เมื่อใช้แรงจากถนนตรงขรุขระรอยแตกจะโตขึ้นเมื่อรอยแตกมีขนาด 2 มม. มีอายุ 4.06 ล้านการ
ทำซ้ำหรือ 1.3 ล้านกิโลเมตร และเมื่อใช้แรงที่เพิ่มเข้าไปรอยแตกจะเริ่มโตขึ้นเมื่อรอยแตกมีขนาด 1 มม.
มีอายุ 5.34 ล้านรอบ

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้แรงจากถนนตรงผิวเรียบและถนนตรงผิวขรุขระกับวิธี Stress-Life และ Strain-Life สปริงมีอายุการใช้งานที่ไม่สั้นสุด หรือก็คือ สปริงนั้นได้ถูกออกแบบให้สามารถใช้งานปกติได้โดยมีอายุการใช้งานที่ไม่สั้นสุด

จากการทดลองวิธีการหาอายุการใช้งานเนื่องจากความล้าของสปริงเมื่อใช้แรงที่เพิ่มเข้าไปวิธี Stress-Life แบบใช้การแก้ไขค่าความเค้นของ Goodman นั้นให้ผลต่ำสุดและให้ค่าใกล้เคียงกับวิธี Strain-Life โดยใช้การแก้ไขค่าความเค้นของ S-W-T และ Morrow แต่ผลลัพธ์ของวิธี Stress-Life แบบใช้การแก้ไขค่าความเค้นของ Gerber และ แบบไม่ใช้การแก้ไขค่าความเค้นซึ่งให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างจากวิธีอื่นอย่างมาก

5.3 แผนงานในอนาคต

- 5.3.1 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับชิ้นส่วนอื่นๆ ได้
- 5.3.2 สามารถนำไปต่อยอดหาอายุการใช้งานของสปริงที่มีลักษณะทางกายภาพอื่นๆ ได้



เอกสารอ้างอิง

- [1] Julie A. Bannantine, Jess J. Comer, James L. Handrock. **Fundamentals of metal fatigue analysis**. New Jersey : Prentice Hall, Inc. 1990
- [2] Charles R. Mischke, Joseph E. Shigley. **Mechanical Engineering Design**. 11th ed. New York : McGraw-Hill, Inc. 2011
- [3] Bishop NWM, Sherratt F. **Finite element based fatigue calculations**. Netherlands: NAFEMS, Inc. 2000
- [4] Kamal M, Rahman MM. **Finite element-based fatigue behaviour of springs In automobile suspension**. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2013
- [5] Altair P. Alliance. 2012, 12, 7. **The Neuber Correction: A Notch Above the Rest for Linear Stress**. Retrieved from <https://innovationintelligence.com>
- [6] Stephens RI, Fatemi A, Stephens RR, Fuchs HO. **Metal fatigue in engineering**. New York: John Wiley and Sons, Inc. 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้