

การปรับปรุงตัวปรับตั้งความตึงโซ่ร่าวลิ้น เพื่อให้คงทนต่อความล้า  
ภายใต้แรงกระทำสลับแบบต่อเนื่อง

ENHANCE OF CAM CHAIN TENSION LIFTER IN ORDER TO ENDURE FATIGUE  
FROM FLUCTUATING LOAD

อภิสิทธิ์ ประมูณสาร

APISITH PRAMOONSARN

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2553

การปรับปรุงตัวปรับตั้งความตึงโซ่ราวลิ้น เพื่อให้คงทนต่อความล้า  
ภายใต้แรงกระทำสลับแบบต่อเนื่อง

อภิสิทธิ์ ประมูลสาร

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2553

**ENHANCE OF CAM CHAIN TENSION LIFTER IN ORDER TO ENDURE FATIGUE  
FROM FLUCTUATING LOAD**

**APISITH PRAMOONSARN**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR  
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING  
IN MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI**

**2010**

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอก หรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า



นายอภิสิทธิ์ ประมูลสาร



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงตัวปรับตั้งความตึงโซ่ร่าวลิ้น เพื่อให้คงทนต่อความล้า  
ภายใต้แรงกระทำสลับแบบต่อเนื่อง  
ENHANCE OF CAM CHAIN TENSION LIFTER IN ORDER TO  
ENDURE FATIGUE FROM FLUCTUATING LOAD

ชื่อนักศึกษา

นายอภิสิทธิ์ ประมุขสาร

รหัสประจำตัว

115070403008-01

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์

วัน เดือน ปี ที่สอบ

23 กันยายน 2553

สถานที่สอบ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ดร.มนูศักดิ์ จานทอง)

..... กรรมการ

(พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีวัชร จิระเกล้า)

..... กรรมการ

(ดร.ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์)

..... กรรมการ

(ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์)

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชัย หิรัญวโรดม)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงตัวปรับตั้งความตึงโซ่ราวลิ้น เพื่อให้คงทนต่อความล้า ภายใต้แรงกระทำสลับแบบต่อเนื่อง
ชื่อนักศึกษา	นายอภิสิทธิ์ ประมูลสาร
รหัสประจำตัว	115070403008-01
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์

### บทคัดย่อ

ตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้นแบบสปริงชุด ที่ติดตั้งอยู่ในรถจักรยานยนต์ที่เป็นเครื่องยนต์แบบ 4 จังหวะ ทำหน้าที่สร้างแรงกดให้กับโซ่ราวลิ้น ซึ่งต้องรับแรงกดที่มีทิศทางตรงกันข้ามกระทำสลับแบบต่อเนื่องและภายหลังจากการใช้งานไปได้นานระยะหนึ่งความล้าที่เกิดขึ้นกับสปริงชุด จะส่งผลให้ตัวปรับความตึงโซ่ไม่สามารถรักษาสภาพความตึงของโซ่ราวลิ้นได้ ทำให้เกิดปัญหาเสียงดัง ผิดปกติและเกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนในของเครื่องยนต์

การศึกษารุ่นนี้ได้ทำการทดสอบตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้นที่มีระยะการใช้งานตั้งแต่ 0 - 30,000 กิโลเมตร โดยใช้เครื่องทดสอบแบบขับด้วยโซ่ขับเคลื่อนและเครื่องทดสอบแบบใช้แรง สันตะเทือนซึ่งผลที่ได้คือในช่วงระยะทาง 0 - 5,000 กิโลเมตร ตัวปรับความตึงโซ่จะมีความต้านทาน ต่อแรงกดได้นานที่สุดเท่ากับ 20.16 วินาที แต่หลังจากการทดสอบต่อไปจึงพบว่าความต้านทานต่อ แรงกดจะมีค่าลดลงและจะมีค่าน้อยที่สุด คือ 12.67 วินาที ที่ระยะทางใช้งาน 30,000 กิโลเมตร หรือ ลดลงคิดเป็น 58% เมื่อเปรียบเทียบกับระยะ 0 กิโลเมตร แต่ภายหลังจากการติดแผ่นซับบนแผ่น สปริงชุดตรงจุดที่เกิดความเค้นสูงสุด ที่ได้ผลวิเคราะห์จากโปรแกรม Ansys แล้วทดสอบนาน 120 นาที ความเครียดที่วัดได้ลดลง 0.005 ไมโครสเตรน เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดแผ่นซับ ซึ่งจะมีการเพิ่มขึ้นของค่าความเครียดอย่างต่อเนื่อง

การติดแผ่นซับลงบนแผ่นสปริงชุด จึงถือว่าเป็นวิธีการที่ช่วยลดการเพิ่มความเครียดบนแผ่น สปริงชุดซึ่งมีผลต่อความเสียหาย เนื่องจากความล้าและช่วยเพิ่มความสามารถต้านทานต่อแรงกด ให้กับสปริงชุดได้ โดยสังเกตได้จากระดับเสียงดังของเครื่องยนต์ที่ลดลงภายหลังจากติดแผ่นซับบน แผ่นสปริงชุดตรงจุดที่เกิดความเค้นสูงสุดในตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้นที่เคยเกิดปัญหามาก่อน

คำสำคัญ : แรงกระทำสลับแบบต่อเนื่อง, แผ่นสปริงชุด.

**Thesis Title :** ENHANCE OF CAM CHAIN TENSION LIFTER IN ORDER TO  
ENDURE FATIGUE FROM FLUCTUATING LOAD

**Student Name :** Mr. Apisith Pramoonsarn

**Student ID :** 115070403008-01

**Degree Award :** Master of Engineering

**Study Program :** Mechanical Engineering

**Academic Year :** 2010

**Thesis Advisor :** Dr. Pipat Pramot

### ABSTRACT

The tension lifter of cam chain in 4-stroke motorcycle engine obtains both the tensile force and compressive force due to the flap of cam chain. Both tensile and compress loads are called the fluctuating load. After some mileages, the fatigue occurred in spiral spring which affected to the tension of cam chain, abnormal noise, and engine damage.

In this study, the tension lifters of cam chain, which has already been used between 0 to 30,000 kilometers, were tested by cam chain tester and vibration tester. The results show that the distance between 0 - 5,000 kilometer, has the best compressive resistance time which is 20.16 second of the testing time. The testing was done continuously, the compressive resistance had reduced to 12.67 second at 30,000 kilometer. It dropped down to 58% when compared to 0 kilometer. The Ansys program gave the analysis result where the maximum stress occurred on the spiral spring, then the absorber was attached. After 120 minutes of the testing time, the results shown the strain decreased to 0.005 micro strain compared to the part without absorber.

This procedure decreases the strain occurred on spiral spring that caused by fatigue. Also, it increases the compressive resistance of the tension lifter and the engine noise has consequently reduced after applied the absorber.

**Keywords:** Fluctuating Load , Spiral Spring.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ เรื่อง การปรับปรุงตัวปรับตั้งความตึงโซ่ราวลิ้น เพื่อให้คงทนต่อความล้าภายใต้แรงกระทำสลับแบบต่อเนื่องฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยการชี้แนะและการให้ความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ขอขอบคุณ ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมทั้ง ผศ.ณัฐสิทธิ์ พัฒนะอ้อม หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ดร.มนูศักดิ์ งานทอง , ดร.ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี , บริษัท เอ.พี.ฮอนด้า จำกัด , กลุ่มผู้ผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์, ร้านผู้จำหน่ายรถจักรยานยนต์ที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูล ชิ้นงานทดสอบและงบประมาณในการทำวิจัย เป็นผลให้งานวิจัยประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี จึงใคร่ขอขอบพระคุณ ณ โอกาสนี้

นายอภิสิทธิ์ ประมูลสาร

23 กันยายน 2553





## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 เป้าหมาย	4
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	4
1.5 ข้อยกเว้นของการศึกษา	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทบทวนวรรณกรรม	5
2.2 อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด หรือสเตรนเกจ	6
2.3 ความเค้น	9
2.4 ความเครียด	9
2.5 ความยืดหยุ่นของโมดูลัส	10
2.6 ความต้านทานแรงดึงรวม	10
2.7 วัฏจักรความเค้น	10
2.8 ความล้าของโลหะ	11
2.9 ความทนทานต่อความล้า	12
2.10 แรงที่กระทำให้เกิดความล้า	13
2.11 แฟกเตอร์ที่มีผลต่อความแข็งแรงของความล้า	14
2.12 การคำนวณหาอายุของความล้า	14
2.13 สปริง	15
2.14 ตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้น	21
2.15 ตัวปรับความตึงโซ่แบบสปริงขด	22

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	24
3.1 แผนงานการดำเนินงานวิจัย	24
3.2 การค้นหาและคัดเลือกปัญหา	24
3.3 ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	24
3.4 ทดสอบชิ้นงานและเก็บข้อมูล	25
3.5 การวิเคราะห์ผล และปรับปรุง	30
3.6 การสรุปผล	30
บทที่ 4 ผลดำเนินงานวิจัย	31
4.1 สภาพก่อนการปรับปรุง	31
4.2 สภาพหลังการปรับปรุง	35
บทที่ 5 สรุปผลดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	39
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	39
5.2 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์	40
5.3 สรุปผลการวิเคราะห์หลังการปรับปรุง	41
5.4 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย	42
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก	
ก คู่มือการใช้สเตรนเกจ	44
ข คู่มือการใช้สเตรนมิเตอร์	57
ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	71
ประวัติผู้เขียน	77

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติทางกลของลวดสปริง	18
3.1 แผนดำเนินงานวิจัย	24
3.2 การสร้างระยะทางใช้งานของชิ้นงานทดสอบ	26
4.1 เวลาที่แกนค้ำโช้ยยุบตัวในแต่ละระยะทางใช้งาน	32
4.2 ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นสปริง	33
4.3 ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นสปริง (ก่อนและหลังติดแผ่นซับ)	43



## สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ตำแหน่งของตัวปรับตั้งความตึงโซ่ในเครื่องยนต์	1
1.2 สถิติการเกิดปัญหาความบกพร่องของตัวปรับตั้งความตึงโซ่	2
1.3 สภาพความบกพร่องของตัวปรับตั้งความตึงโซ่	2
1.4 สถิติระยะทางที่ตัวปรับตั้งความตึงโซ่เกิดปัญหาครั้งแรก	3
1.5 ความเสียหายของเฟืองขับและโซ่ร้าวลื่น	3
2.1 การเกิดค่าความต้านทานอันเนื่องมาจากความเครียด	7
2.2 วงจรแบ่งแรงดันหรือวงจรโพเทนชันมิเตอร์	8
2.3 วงจรวิทส โคนบรีดจ์แบบสี่แขน	9
2.4 S-N Curve ในวัสดุที่มี Endurance Limit	12
2.5 S-N Curve ในวัสดุที่ไม่มี Endurance Limit	12
2.6 การเปรียบเทียบความทนทานระหว่างเหล็กและอลูมิเนียม	13
2.7 รูปแบบของแรงที่กระทำแบบซ้ำสลับต่อเนื่อง	13
2.8 รูปแบบของแรงที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบ	14
2.9 กราฟของความเค้นกับจำนวนรอบ หรือ SN Curve	15
2.10 ความสัมพันธ์ของแรงสปริงและระยะทางเคลื่อนที่สปริง	16
2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงสปริงและระยะทางสปริงเคลื่อนที่	16
2.12 ความแข็งของสปริงและเส้นโค้งแสดงคุณสมบัติของสปริง	17
2.13 ลักษณะของสปริงขดก้นหอย	17
2.14 แรงกระทำซ้ำทิศทางเดียว	19
2.15 เส้นที่ไข่ออกแบบสปริงของวาล์ว	20
2.16 สปริงขดแบบบิด	21
2.17 ตำแหน่งการติดตั้งตัวปรับความตึงโซ่ในเครื่องยนต์	21
2.18 ส่วนประกอบภายในตัวปรับความตึงโซ่	22
2.19 ทิศทางของแรงจากตัวปรับความตึงโซ่	22
2.20 ทิศทางของแรงที่ตัวปรับความตึงโซ่ได้รับ	23
3.1 การทดสอบชิ้นงานจริงเพื่อศึกษาสภาพความชำรุดของตัวปรับความตึงโซ่	25
3.2 ขั้นตอนการทดสอบความล้าของตัวปรับความตึงโซ่ร้าวลื่น	25
3.3 เครื่องทดสอบแบบใช้โซ่ร้าวลื่น	26
3.4 เครื่องทดสอบแบบใช้แรงสั่นสะเทือน	27

## สารบัญรูป (ต่อ)

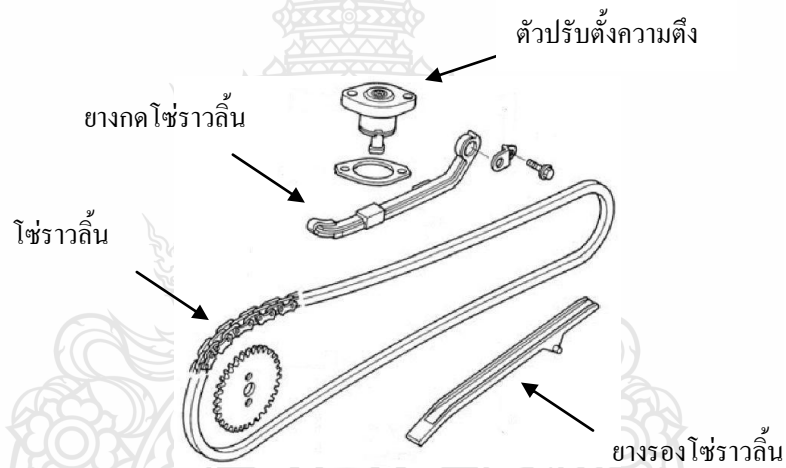
	หน้า
3.5 ระยะเวลาขยับตัวของแกนคันไഴ์ราวลิ้น	27
3.6 การหาค่าความเค้นบนแผ่นสปริงด้วยโปรแกรม Ansys	28
3.7 การเตรียมสเตรนเกจก่อนเริ่มต้นติดบนผิวชิ้นงาน	29
3.8 การติดสเตรนเกจบนแผ่นสปริง	29
3.9 ใช้สเตรนเกจกับเครื่องทดสอบ	29
4.1 จำนวนการเกิดปัญหาครั้งแรกของตัวปรับความตึงไഴ์ราวลิ้น	31
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางใช้งานและเวลาเฉลี่ยของการขยับตัว	32
4.3 กราฟค่าความเครียดที่เปลี่ยนแปลงในระยะทางที่แตกต่างกัน	34
4.4 S-N Curve ของแผ่นสปริงที่แสดงผลจากโปรแกรม Ansys	35
4.5 ทิศทางของแรงที่กระทำต่อแผ่นสปริงขดในโปรแกรม Ansys	36
4.6 จุดที่เกิดความเค้นสูงสุดและตำแหน่งที่มีการติดแผ่นซับ	36
4.7 ลักษณะของแผ่นซับ	37
4.8 ภาพมุมกว้างของตำแหน่งที่ติดแผ่นซับ	37
4.9 การเปรียบเทียบค่าความเครียดที่วัดได้ก่อนและหลังติดแผ่นซับ	38
5.1 ความสัมพันธ์ของผลที่ได้จากการใช้งานจริงและผลการทดสอบ	39
5.2 ผลการวิเคราะห์ความเค้นบนชิ้นงานด้วยโปรแกรม Ansys	40
5.3 ผลการตรวจความเสียหายจากชิ้นงานจริง	40
5.4 เปรียบเทียบความต้านทานต่อแรงกดที่เพิ่มขึ้นหลังติดแผ่นซับ	41

# บทที่ 1

## บทนำ

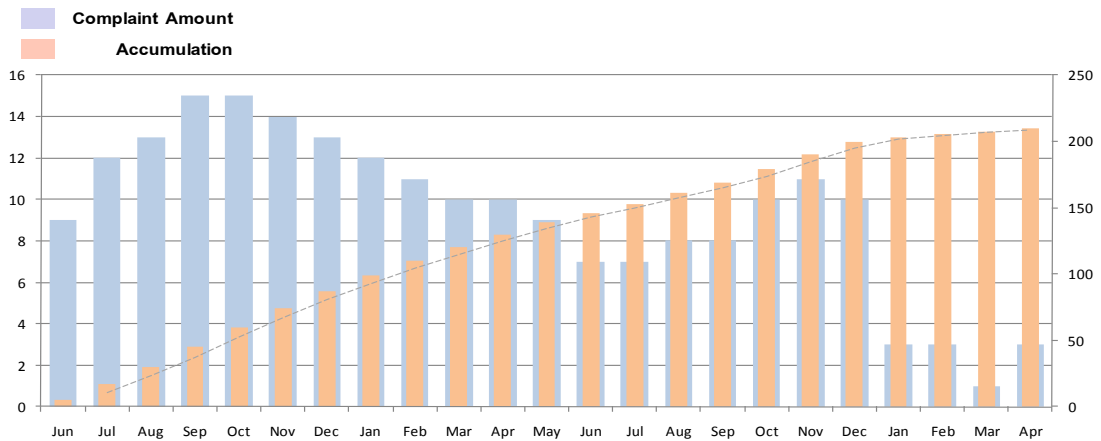
### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องยนต์ของรถจักรยานยนต์แบบ 4 จังหวะที่ผลิตในประเทศไทย ที่มีการใช้โซ่ร้าวลิ้นในการส่งกำลังจากการหมุนของเพลาคือข้อเหวี่ยง ไปขับเคลื่อนกลไกควบคุมการทำงานของวาล์วที่ติดตั้งอยู่บนฝาสูบ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการใช้ตัวปรับความตึงโซ่ร้าวลิ้นแบบสปริงชด พบว่าเมื่อตัวปรับความตึงโซ่เกิดความชำรุดจะส่งผลทำให้เกิดเสียงดังผิดปกติขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน และจังหวะการทำงานของวาล์ว (Valve Timing) ที่ผิดพลาดนอกจากนี้ยังส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และมลภาวะจากไอเสียของรถจักรยานยนต์ [1]



รูปที่ 1.1 ตำแหน่งของตัวปรับตั้งความตึงโซ่ในเครื่องยนต์ [2]

อาการปัญหาเครื่องยนต์มีเสียงดังผิดปกติ (Abnormal Noise) เนื่องจากความบกพร่องของตัวปรับความตึงโซ่ร้าวลิ้นถือว่าเป็นปัญหาที่มีความสำคัญและมีผลกระทบต่อผู้ขับขี่รถ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสถิติการแจ้งปัญหาเสียงดังผิดปกติของเครื่องยนต์ที่ผ่านมา

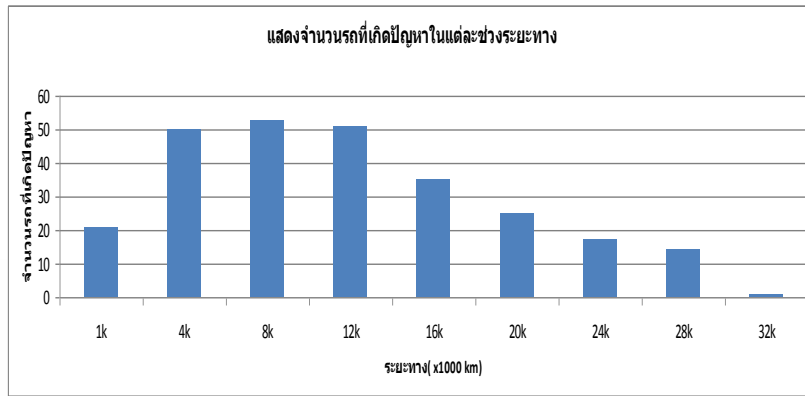


รูปที่ 1.2 สถิติการเกิดปัญหาความบกพร่องของตัวปรับตั้งความตึงโซ่ [3]



รูปที่ 1.3 สภาพความบกพร่องของตัวปรับตั้งความตึงโซ่ [3]

จากสถิติการเกิดปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปกติ เนื่องจากความชำรุดของตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้นชี้ให้เห็นปริมาณความต่อเนื่องของปัญหา ที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน โดยในเบื้องต้นพบว่าการความทนทานของตัวปรับความตึงโซ่ เมื่อพิจารณาจากสถิติระยะทางการเกิดปัญหาครั้งแรกพบว่าตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้นส่วนใหญ่ จะมีอายุการใช้งานอยู่ในช่วงระยะทาง 4,000 – 12,000 กิโลเมตร



รูปที่ 1.4 สถิติระยะทางที่ตัวปรับตั้งความตึงโซ่เกิดปัญหาครั้งแรก [3]



รูปที่ 1.5 ความเสียหายของเฟืองขับและโซ่ราวลิ้น [3]

ดังนั้นการศึกษาเพื่อหาความทนทานของตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้นจึงมีความจำเป็นเพื่อที่จะเป็นข้อมูลพื้นฐาน สำหรับการพัฒนาและเสริมสร้างความทนทานของตัวปรับความตึงโซ่ให้มีระยะเวลาใช้งานที่ยาวนานออกไป ซึ่งจะช่วยให้ลดอายุการใช้งานและลดการสูญเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแก้ปัญหา ทั้งในกรณีที่รถอยู่ในระยะรับประกันและในกรณีที่รถพ้นจากระยะรับประกันแล้วคิดเป็นมูลค่าประมาณ 300 บาท/ครั้ง หรือค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ได้รับผลกระทบจากความชำรุดของตัวปรับความตึงโซ่ เช่น การชนของวาล์วและลูกสูบเนื่องจากโซ่ราวลิ้นทำงานผิดจังหวะซึ่งมีมูลค่าประมาณ 4,000 บาท/ครั้ง [4]

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อหาจุดคงอยู่ของชิ้นงานต่อแรงกระทำสลับแบบต่อเนื่อง
- 1.2.2 เพื่อหาจุดที่เกิดการแตกหักจากความล้าของชิ้นงาน
- 1.2.3 เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มความต้านทานแรงทนทานของชิ้นงานที่สามารถนำไปขยายผลให้เกิดการบำรุงรักษา, การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากความชำรุดของชิ้นงาน
- 1.2.4 เพื่อพัฒนาให้ชิ้นงานมีความคงทนต่อความล้าจากแรงกระทำได้มากขึ้น



### 1.3 เป้าหมาย

- 1.3.1 สร้างเครื่องจำลองการทำงานของตัวปรับความตึงโซ่
- 1.3.2 สร้างวิธีการตรวจเช็คความสามารถด้านทานต่อแรงกดของตัวปรับตึงโซ่
- 1.3.3 เพิ่มความสามารถด้านทานต่อแรงกระทำต่อสปริงขดในตัวปรับความตึงโซ่
- 1.3.4 สร้างข้อเสนอแนะเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากความล้าของสปริงขด

### 1.4 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.4.1 ชิ้นงานทดสอบ ตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้น หมายเลข 14520-KRS-901
- 1.4.2 แรงกดชิ้นงาน 49.50 นิวตัน
- 1.4.3 ความถี่ของแรงกระทำ 1400 รอบต่อนาที
- 1.4.4 อุณหภูมิห้องทดสอบ 25 องศาเซลเซียส

### 1.5 ข้อยกจำกัดของการศึกษา

- 1.5.1 ความร้อนที่เกิดจากความฝืด เนื่องจากการเสียดสีระหว่างโซ่ราวลิ้นกับรางเลื่อนที่รองรับการเคลื่อนที่ของโซ่ในเครื่องทดสอบแบบใช้โซ่
- 1.5.2 แรงสั่นสะเทือนของชุดส่งกำลังในเครื่องทดสอบแบบใช้โซ่ และแบบใช้แรงสั่นสะเทือนทำให้เครื่องทดสอบมีการสั่นสะเทือนมากกว่าระหว่างทดสอบ
- 1.5.3 พื้นที่การติดตั้งสเตรนเกจในสปริงขดที่มีอย่างจำกัด ทำให้เกิดความเสียหายต่อสายไฟของสเตรนเกจ

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 รู้ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความล้าของสปริงขดในตัวปรับความตึงโซ่
- 1.6.2 รู้วิธีการเสริมความทนทานให้กับสปริงขดโดยไม่สร้างผลกระทบต่อการทำงาน
- 1.6.3 ได้แนวทางในการตรวจเช็คเพื่อป้องกันการเกิดปัญหา
- 1.6.4 ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแก้ปัญหา
- 1.6.5 เพิ่มความสามารถในการวิเคราะห์อาการปัญหาที่เกิดจากความบกพร่องของตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้น

## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและวิจัยสำหรับงานนี้ได้มีการศึกษาทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อช่วยให้ผลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ได้ผลประโยชน์และสอดคล้องต่อส่วนที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.1 ทบทวนวรรณกรรม

ณัฐวุฒิ สุขสำราญ [5] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบสร้างและทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ตรวจวัดแรง (strain gauge) โดยการวัดการเปลี่ยนแปลงความเครียดเนื่องจากแรงได้ทุกทิศทางซึ่งชุดทดสอบประกอบด้วย สเตรนเกจ, มัลติมิเตอร์, ชุดวงจรวิสโตนบรีจจ์, หม้อแปลงขนาด 15 โวลต์, ตุ่มน้ำหนักร จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อมีแรงกระทำกับชิ้นงานทดสอบความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จะลดลงอย่างไรก็ตามปัญหาที่เกิดจากความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าไม่คงที่

ชิซาว่า เค. อิชิฮาระ (Shizawa K., Ishihara S.) [6] ได้สรุปผลการศึกษา S-N curve ที่ได้จากการทดสอบความล้าที่เกิดจากการหมุนบิด (rotary bending) ชิ้นงานทดสอบที่มีรูปร่างเหมือนนาฬิกาทราย (hourglass-shaped specimens) ซึ่งทำจากเหล็กทรงเส้นชุบโครเมียม-คาร์บอน พบว่าเกิดความเสียหาย 2 รูปแบบ ซึ่งแต่ละแบบมีจุดที่เกิดรอยร้าวแตกต่างกันแบบแรกมีรอยแยกของผลึกบนผิวของชิ้นงานทดสอบโดยเป็นความล้าในช่วงสั้น (short fatigue life) และความเค้นระดับสูง (high stress amplitude) ส่วนแบบที่สองเป็นแบบที่ไม่ใช่โลหะ โดยทำให้เกิดรอยแยกที่ผิวชั้นบนเป็นความล้าในระยะยาว (long fatigue life) และความเค้นระดับต่ำ (low stress amplitude)

จักร จันทลักษณ์ และ กนก ลิ้มสมุทรเพชร [7] ได้เสนอวิธีการนำข้อมูลจากโหมดการสั่น เช่น ความถี่ธรรมชาติและรูปร่างการสั่น มาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อออกแบบโครงสร้างของล้อรถจักรยานยนต์ที่ทำจากโลหะผสมแมกนีเซียมซึ่งเรียกกันทั่วไปว่าล้อแม็ก ที่ตามลักษณะการใช้งานมีโอกาสเผชิญภาระพลวัตทั้งแบบเร็นดอมจากสภาวะพื้นถนน, การกระแทกและแบบฮาร์โมนิกจากการขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ซึ่งโหมดการสั่นที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน เนื่องจากลักษณะสมมาตรของรูปทรงล้อแม็กเอง หรือการออกแบบก้านล้อที่ให้ค่าความแข็งดิ่งในบางทิศทางใกล้เคียงกัน ล้วนส่งผลต่อโอกาสในการมีโหมดใกล้เคียงกัน ตัวอย่างของล้อแม็กแบบ 3 ก้าน และ 6 ก้าน ได้ถูกนำเสนอถึงการวิเคราะห์ความเค้นรวมทั้งที่เกิดจากโหมดการสั่นที่ใกล้เคียงกัน โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ และพิสูจน์ยืนยันผลการทำนายด้วยการทดสอบโมดัลที่ให้เทคนิคในการแสดงโหมดการสั่นที่เกิดในหลายทิศทาง

บรูโน ไคเซอร์ (Bruno Kaiser) และ คริสติน่า เบอร์กเกอร์ (Christina Berger) [8] ได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติด้านความล้าของสปริงขด (helical springs) ได้ทำการทดสอบความล้าของสปริงที่มีความแตกต่างกันทางด้านวัสดุและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ภายใต้ความเค้นเฉลี่ย (mean stress) แบบอยู่กับที่ด้วยจำนวนรอบการทดสอบที่มากถึง  $10^7$  รอบ และนำผลที่ได้ไปแปลงเป็นไดอะแกรมของกู๊ดแมน (goodman diagram) แล้วเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ในการทดสอบต่อมาได้เพิ่มจำนวนรอบขึ้นไปถึง  $1.5 \times 10^9$  รอบ ซึ่งส่งผลในการลดความทนทานต่อการล้าในระยะยาว กับสปริงที่ได้รับ การขัดผิวซึ่งผลิตจากเส้นลวดที่ผ่านการอบชุบแข็งด้วยน้ำมัน

ซีออน จิม คิม (Seon Jim Kim) และ ซุง ฮวอน ยูน (Sung Hwan Yoon) [9] ได้ศึกษาวิธีการคาดคะเนการแพร่กระจาย ที่น่าจะเป็นไปได้สำหรับการเพิ่มขึ้นของรอยแตกร้าวจากความล้าโดยการจำลองความทนทานต่อการเกิดรอยแตกร้าว ที่เพิ่มขึ้นจากความล้าของวัสดุซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบคือ ค่าคงที่ของระดับความเค้นแรงดึง  $R=0.2$  จากชิ้นงานทดสอบที่มีความหนา 6, 12 และ 18 มิลลิเมตร โดยวิธีการดังกล่าวนี้ช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายที่จะต้องใช้ในการทดสอบซ้ำหลายครั้ง

## 2.2 อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด หรือสเตรนเกจ (Strain Gauge)

สเตรนเกจ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดจากความเครียดภายในวัสดุอันหนึ่งมาจากความเค้น (Stress) ที่มากระทำ [10]

### 2.2.1 ทฤษฎีการใช้งานสเตรนเกจ

ถ้าวัสดุตัวนำที่มีความยาวเท่ากับ  $L$  และมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ  $A$  ได้รับความเค้นในแนวแกนซึ่งทำให้ความยาวเพิ่มขึ้น ขนาดของลวดตัวนำจะลดลงเป็นฟังก์ชันของปัวซองเรโซ (Poisson's Ratio) ในขณะที่ความต้านทานภายในเส้นลวด ( $R$ ) จะขึ้นอยู่กับความยาว ( $L$ ) พื้นที่หน้าตัด ( $A$ ) และค่าความต้านทานจำเพาะ (Specification Resistance;  $\rho$ ) เมื่อสเตรนเกจถูกยืดออกความยาวของมันจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่พื้นที่หน้าตัดจะลดลงผลก็คือความต้านทานของเส้นลวดจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้านทานภายในของโลหะตัวนำนั้นแปรผันตรงกับความยาว และแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัด ดังความสัมพันธ์ในสมการต่อไปนี้

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (2.1)$$

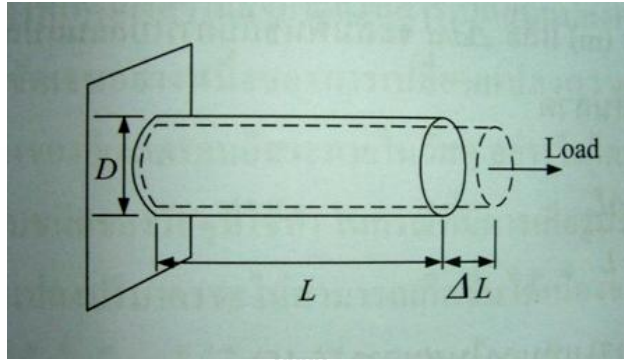
เมื่อ  $R$  คือค่าความต้านทานของเส้นลวด ( $\Omega$ )

$\rho$  คือค่าความต้านทานของเส้นลวด ( $\Omega\text{-m}$ )

$L$  คือค่าความต้านทานของเส้นลวด ( $\text{m}$ )

$A$  คือค่าความต้านทานของเส้นลวด ( $\text{m}^2$ )

การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ( R ) ของตัวนำที่มีลักษณะเป็นเส้นลวด แสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเกิดค่าความต้านทานอันเนื่องมาจากความเครียด [10]

เกจแฟกเตอร์ (Gauge Factor, G) ของสเตรนเกจหมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางกายภาพของตัวแปรสองตัวคือความต้านทานและความยาวของเกจที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีความเครียดเกิดขึ้นกับตัววัสดุ

$$G = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $\Delta R$  คือค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปเมื่อมีความเค้นมากระทำ  
 $\Delta L$  คือค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีความเค้นมากระทำ

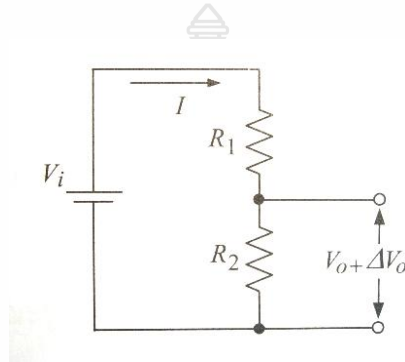
การหาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของเกจจะใช้ร่วมกับวงจรไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้วงจรแบ่งแรงดัน หรือวงจรวิดสโตน บริจจ์ (Wheatstone Bridge) แบบควอเตอร์บริจจ์ (Quarter Bridge) โดยวงจรชนิดนี้จะมีแขนข้างหนึ่งที่เป็นสเตรนเกจคือ  $R_1$  ส่วนแขนที่เหลืออีกสามแขนจะเป็นตัวต้านทานแบบค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากันทุกตัว และมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ  $R_1$  ดังนั้น  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$  ในขณะที่  $\Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4 = 0$

### 2.2.2 วงจรสเตรนเกจ (strain gauge circuit)

การหาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของเกจจะใช้ร่วมกับวงจรไฟฟ้า เช่น วงจรแบ่งแรงดัน หรือวงจรวิดสโตนบริจจ์

ก. วงจรแบ่งแรงดัน หรือวงจรโพเทนชันมิเตอร์ (potentionmeter) ซึ่งมักจะรู้จักกันใน

ซึ่งวงจรบาลลาสต์ (ballast) โดยประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ( $V_i$ ) หรือบางครั้งอาจใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับภาระที่ใช้งาน โดยมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมอยู่ระหว่างตัวความต้านทาน  $R_1$  และ  $R_2$  ที่มีตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้งสองตัวเป็นสเตรนเกจ ส่วนแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต ( $V_o$ ) ที่เกิดขึ้นจะตกคร่อมตัวต้านทาน ซึ่งกำหนดให้มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูง (high input impedance) ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต สามารถหาได้จากสมการที่ 2.4



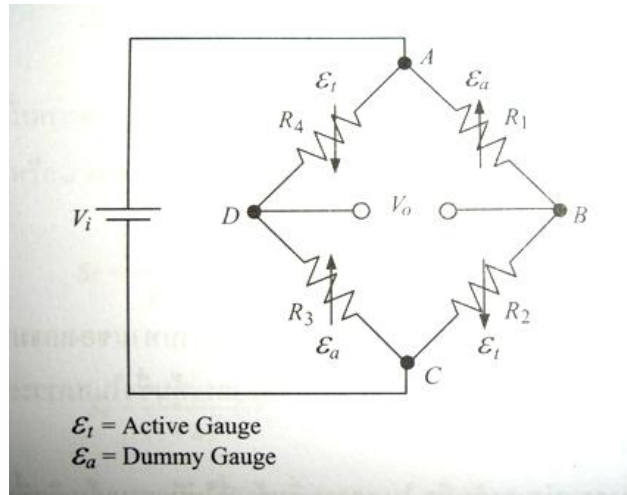
รูปที่ 2.2 วงจรแบ่งแรงดัน หรือวงจรโพเทนชันมิเตอร์ [10]

$$V_o = V_i \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.3)$$

ข. วงจรวีทสโตนบริดจ์ (wheatstone bridge)

การต่อวงจรลักษณะนี้สำหรับตรวจวัดความเครียดโดยปกติแล้วจะใช้วงจรวีทสโตนบริดจ์ แบบสี่แขน ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งระหว่างจุด B และ D จะมีความต่างศักย์เท่ากับ

$$\begin{aligned} V_0 &= V_{AB} - V_{AD} \\ &= V_i \left[ \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right] \\ &= V_i \left[ \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \right] \end{aligned} \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.3 วงจรวิศโตนบริดจ์แบบสี่แขน [10]

### 2.3 ความเค้น (Stress, $\sigma$ )

หมายถึง แรงที่กระทำต่อวัตถุ A คือเนื้อแรงกระทำซึ่งอาจจะเป็นเนื้อที่ตั้งฉากกับแรงหรือขนานกับแรง แล้วแต่มุมของความเค้น หน่วยความเค้นเป็นนิวตัน/ตารางเมตร

$$\sigma = \frac{P}{A_o} \quad (2.5)$$

เมื่อ

$\sigma$  คือ ความเค้น

P คือ แรงที่มากระทำ

$A_o$  คือ พื้นที่หน้าตัด

### 2.4 ความเครียด (Strain, $\epsilon$ )

หมายถึง เมื่อวัตถุถูกกดหรือดึง ความยาวของวัตถุก็จะเปลี่ยนไปตามอัตราส่วนระหว่างส่วนที่ยืดออกหรือหดเข้า หากด้วยความยาวเดิม ความเครียดมีหน่วยเป็นนิ้ว/นิ้ว(เท่ากับไม่มีหน่วย) เมื่อวัตถุมีความเครียดก็จะแสดงว่าวัตถุถูกแรงภายนอกมากระทำทำให้เปลี่ยนแปลงรูปร่างไป

$$\epsilon = \frac{l - l_o}{l_o} \quad (2.6)$$

เมื่อ

$\epsilon$  คือ ความเครียด

1 คือ ความยาวที่เพิ่มหรือลดลง

$l_0$  คือ ความยาวเดิม

## 2.5 ความยืดหยุ่นของโมดูลัส (Modulus of Elasticity, E)

ความยืดหยุ่น (Elasticity) หมายถึง เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุ ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวตามขนาดแรงที่มากระทำ ในขณะเดียวกัน ก็จะมีแรงต้านภายในเกิดขึ้น ถ้าเอาแรงภายนอกออก อะตอมก็จะเลื่อนกลับมาอยู่ที่เดิม และวัตถุก็จะกลับคืนสู่รูปเก่า ค่ายังโมดูลัส หรือ โมดูลัสของฟิลาสติกสำหรับวัสดุชนิดหนึ่งๆ จะมีค่าเฉลี่ยคงที่ มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.7)$$

เมื่อ

E คือ ค่าโมดูลัสของยัง (ค่าคงที่)

$\sigma$  คือ ค่าความเค้น

$\varepsilon$  คือ ค่าความเครียด

## 2.6 ความต้านทานแรงดึงรวม (Ultimate Tensile Strength, $S_{ut}$ )

ความเค้นทั่วทั้งชิ้นงานทดสอบจะเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุด หรือ ถึงจุดที่เรียกว่าความต้านทานแรงดึงรวม (Ultimate Tensile Strength) ซึ่งก็คือค่า  $S_{ut}$  ที่จุด  $u$  นั้นเอง โดยพิจารณาว่าจุดนี้เป็นจุดที่วัสดุจะทนต่อแรงดึงได้มากที่สุดก่อนที่จุดเกิดการแตกขาด

## 2.7 วิถีจักรความเค้น (Cyclic Stress)

2.7.1 ความเค้นเฉลี่ย (Mean Stress,  $\sigma_m$ ) คือค่าทางพีชคณิตของค่าความเค้นสูงสุด และต่ำสุดใน Fatigue cycle

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (2.8)$$

2.7.2 ช่วงความเค้น (Range of stress,  $\sigma_r$ ) คือความแตกต่างระหว่าง  $\sigma_{\max}$  และ  $\sigma_{\min}$

$$\sigma_r = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (2.9)$$

2.7.3 แอมพลิจูดความเค้น ( Stress amplitude,  $\sigma_a$  ) เป็นค่าครึ่งหนึ่งของ Stress cycle

$$\sigma_a = \frac{\sigma_r}{2} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (2.10)$$

2.7.4 อัตราส่วนความเค้น ( Stress ratio, R ) เป็นอัตราส่วนของค่าความเค้นต่ำสุดกับความเค้นสูงสุด

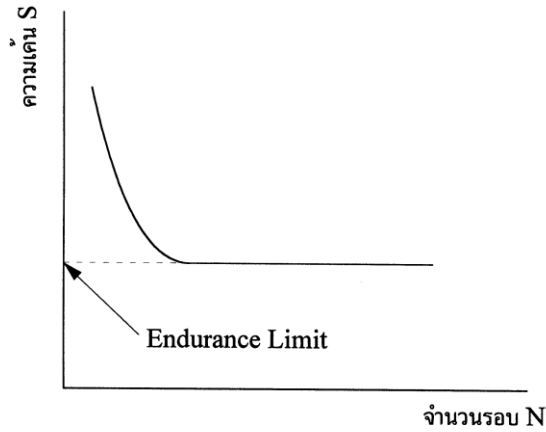
$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (2.11)$$

## 2.8 ความล้าของโลหะ (Fatigue of Metals)

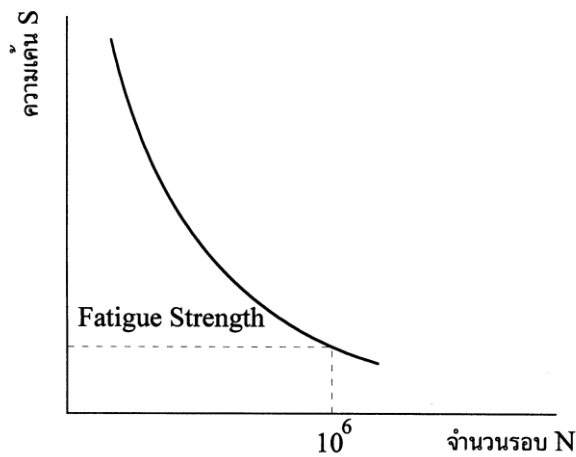
การใช้โลหะในงานบริการแบบต่างๆ ซึ่งเป็นงานที่ทำซ้ำๆ หรือเกิดความเค้นซ้ำ (cyclic stresses) ทำให้เกิดความเสียหายขึ้น เนื่องจากการเกิดความล้าแม้จะใช้งานที่ความเค้นต่ำ โดยที่โลหะสามารถทนได้อย่างดีเมื่อใช้ความเค้นสูงๆ เพียงครั้งเดียว การแตกหักที่เกิดขึ้นภายใต้การทำซ้ำๆ หรือ cyclic stressing เรียกว่า การแตกหักจากความล้า (fatigue failure) ตัวอย่างเช่น เพลลา ชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่เคลื่อนไหวดตลอดเวลา ซึ่งทำหน้าที่ต่อกับเพลลาและเกียร์ เป็นต้น ได้มีการประเมินว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ของเครื่องจักรเสียหายเพราะเกิดจากความล้า

เมื่อวัสดุถูกแรงซึ่งต่ำกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Strength) มากกระทำกลับไปกลับมาซ้ำๆ กันก็อาจจะเกิดการแตกหักขึ้นได้เนื่องจากเกิดความล้า ความล้าที่เกิดขึ้นในวัสดุนี้เป็นสาเหตุใหญ่ของการเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องจักรต่างๆ เพราะตลอดอายุงานของเครื่องจักรเช่นเครื่องยนต์จะต้องเกิดความเค้นสลับไปสลับมาเป็นล้านๆ ครั้ง ทำให้เกิดความล้าขึ้นในชิ้นส่วนของมันได้ จำนวนรอบของความเค้นที่ทำซ้ำไปซ้ำมาแล้ว (โดยปกติจะใช้ที่ค่า  $10^6$  รอบ) ค่าความเค้นที่จะทำให้วัสดุแตกหักได้ที่จำนวนรอบของความเค้นนั้น เราเรียกว่าฟาทิกสเตร็ง (Fatigue Strength) และไม่ว่าจำนวนรอบของแรงที่กระทำจะเป็นเท่าใดวัสดุจะไม่แตกออก ค่าความเค้นนี้เรียกว่าเอ็นดูรานซ์ลิมิต (Endurance Limit) [11]





รูปที่ 2.4 S-N Curve ในวัสดุที่มี Endurance Limit [11]



รูปที่ 2.5 S-N Curve ในวัสดุที่ไม่มี Endurance Limit [11]

การทดสอบความล้ามีอยู่หลายวิธี แต่โดยหลักการจะเหมือนกันคือ จะให้แรงกระทำเป็นรอบๆ กับชิ้นทดสอบ โดยให้เกิดความเค้นค่าต่างๆ แล้วบันทึกจำนวนรอบ (Cycles) ที่วัสดุจะทนได้จากนั้นนำมาวาดเป็นกราฟที่เรียกว่าเอส-เอ็นเคิร์ฟ (S-N Curve)

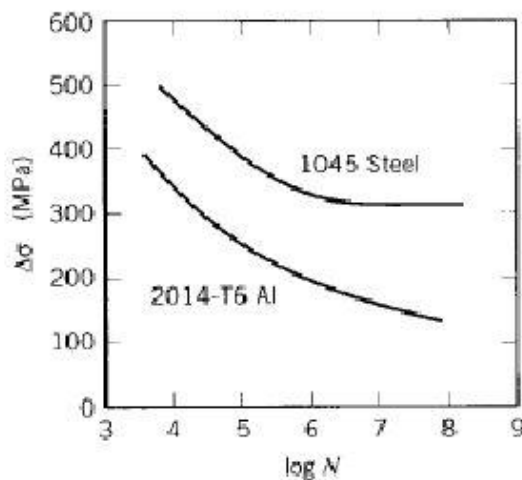
## 2.9 ความทนทานต่อความล้า (Fatigue Strength) และ ขีดจำกัดความทนทาน

### (Endurance Strength)

บางชิ้นงานในเครื่องจักรอาจได้รับแรงแบบอยู่กับที่ตลอดเวลา ซึ่งจะพบว่าแรงที่กระทำและความเค้นจะเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาโดยที่วัสดุต้องรับภาระแบบตัดและต่อซึ่งเรียกว่า แรงที่ทำให้เกิดความล้า (Fatigue Loads) ซึ่งเป็นแรงที่กระทำแบบคงที่ เครื่องจักรส่วนใหญ่จะออกแบบด้วยการ

พิจารณาจากแรงที่ชิ้นงานได้รับตลอดเวลา ซึ่งเรารู้จักในชื่อความทนทานต่อความล้าของวัสดุภายใต้แรงกระทำต่างๆ

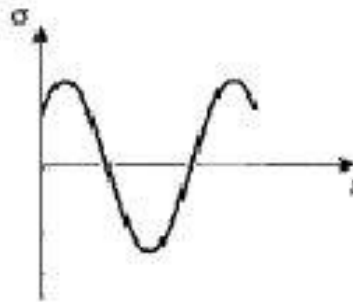
การทดสอบที่มีแรงกระทำคงที่ในระดับที่ต่อเนื่อง จนกระทั่งชิ้นงานแตกหัก (Part Fracture) ภายใต้แรงกระทำซ้ำต่อเนื่อง มีตัวอย่างของวัสดุหลายอย่างที่ถูกทดสอบด้วยวิธีนี้จนกระทั่งค่าความเค้น(S) เป็นโคง ซึ่งถูกเรียกว่า แผนภาพอายุความทนทานของ ออยเลอร์ (Wohler) หรือ เอส-เอ็น ไดอะแกรม (S-N diagram) โดยจะเห็นว่าบางส่วนของชิ้นงานเกิดการแตกหักที่จุดรอบการทดสอบหนึ่งของความเค้นซ้ำแบบเต็มรอบ [12]



รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบความทนทานระหว่างเหล็กและอะลูมิเนียม [11]

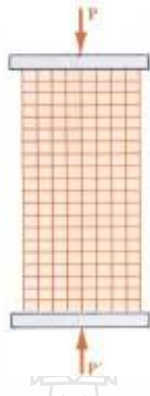
## 2.10 แรงที่กระทำให้เกิดความล้า

แรงกระทำใดๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาก็เป็นสาเหตุให้เกิดความล้าได้ คุณสมบัติของแรงที่กระทำต่างๆ นี้จะถูกเปลี่ยนจากสิ่งหนึ่งไปเป็นสิ่งอื่นๆ ในชุดอุปกรณ์ทำงานต่างๆ แรงที่กระทำจะเป็นช่วงคลื่นที่เกิดขึ้นซ้ำกันไปมาตลอด



รูปที่ 2.7 รูปแบบของแรงที่กระทำแบบซ้ำสลับต่อเนื่อง [11]

โดยแรงที่กระทำกับชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นแรงกระทำแบบกดที่มีน้ำหนักของแรงกระทำสลับแบบต่อเนื่อง เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นกับตัวปรับความตึงโซ่ในเครื่องยนต์



รูปที่ 2.8 รูปแบบของแรงที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบ [11]

## 2.11 แฟกเตอร์บางอย่างที่มีผลต่อความแข็งแรงของความล้าของโลหะ

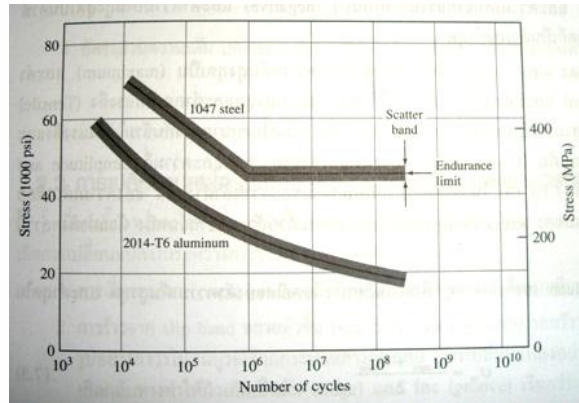
**2.11.1 จุดรวมของความเค้น (Stress Concentration)** ความแข็งแรงต่อความล้าจะลดลงอย่างมากโดยทำให้ความเค้นเกิดขึ้นมากสเตรสไรเซอร์ (Stress Raiser) เช่นมีรอยตำหนิ รอยบาก รูร่องลิ้ม หรือมีส่วนที่เป็นคม ตัวอย่างเช่นการแตกหักเพราะความล้า ซึ่งเริ่มต้นจากร่องลิ้มในเพลลาเหล็ก การแตกหักเพราะความล้าสามารถทำได้โดยพยายามออกแบบไม่ให้มี สเตรสไรเซอร์ เท่าที่จะทำได้

**2.11.2 ความขรุขระของผิว (Surface Roughness)** โดยทั่วไปถ้าผิวของโลหะยิ่งเรียบเท่าใด ความแข็งแรงต่อความล้ายิ่งสูงขึ้นเท่านั้น ถ้าผิวขรุขระทำให้เกิดสเตรสไรเซอร์ซึ่งทำให้เกิดรอยแตกหักจากความล้าได้ง่ายขึ้น เนื่องจากการแตกหักจากความล้ามักจะเริ่มเกิดขึ้นที่ผิวของโลหะก่อน[11]

## 2.12 การคำนวณหาอายุของความล้า (Fatigue life)

การหาอายุความล้าของวัสดุมีด้วยกันหลายแบบ วิธีธรรมดาที่ใช้กันมากที่สุดคือใช้สเกลเล็กในการทดสอบความล้า โดยทดสอบแบบหมุนแกนซึ่งชิ้นงานจะถูกอัดและถูกดึงสลับกันไปด้วยแรงเท่ากันในขณะหมุน ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ทดสอบแบบ อาร์.อาร์.มอร์ (R.R. Moore) สำหรับหาค่าความล้า ผลของการทดลองจะพลอตเป็น S-N Curve คือวาดค่า S ที่ทำให้เกิดการแตกหักกับจำนวนไซเคิล N ที่เกิดการแตกหัก แสดงลักษณะของ S-N curve ของตัวอย่างเหล็กกล้าที่มีคาร์บอนสูง และโลหะผสมของอลูมิเนียมที่มีความแข็งแรงสูง สำหรับโลหะผสมอลูมิเนียมความเค้นที่ทำให้เกิดการแตกหักจะลดลงตามจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้น สำหรับเหล็กกล้า นั้นค่าความแข็งแรงการล้าจะไม่ลดลงตามจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้น เราเรียก S-N curve นี้ว่า ซิดจำกัดความล้าหรือซิดจำกัดความคงทน (Fatigue

or Endurance Limit) ซึ่งมีค่าอยู่ในระหว่าง  $10^6 - 10^{10}$  รอบ โลหะผสมของเหล็กหลายชนิดมีขีดจำกัดของความคงทนประมาณครึ่งหนึ่งของเทนไซล์ Tensile Strength ของมันและโลหะผสมอื่นๆ ที่ไม่ใช่เหล็ก เช่น โลหะผสมของอลูมิเนียมจะไม่มีค่าขีดจำกัดของความคงทนแต่จะมีค่า Fatigue Strength ก่อนข้างต่ำประมาณหนึ่งในสามของเทนไซล์สเตร็งท์ [11]



รูปที่ 2.9 กราฟของความเค้นกับจำนวนรอบ หรือ SN curve [11]

## 2.13 สปริง (Spring)

สปริงเป็นส่วนเครื่องจักรกลที่รับภาระแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบยืดหยุ่น งานที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปนี้จะเป็นพลังงานศักย์ที่สะสมในสปริง เมื่อคลายภาระที่กระทำต่อสปริงออก พลังงานนี้ก็จะสูญหายไป ตัวอย่างการทำงานของสปริง

ใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับกลไกต่างๆ เช่น ลานนาฬิกา กล้องถ่ายภาพ และของเด็กเล่น

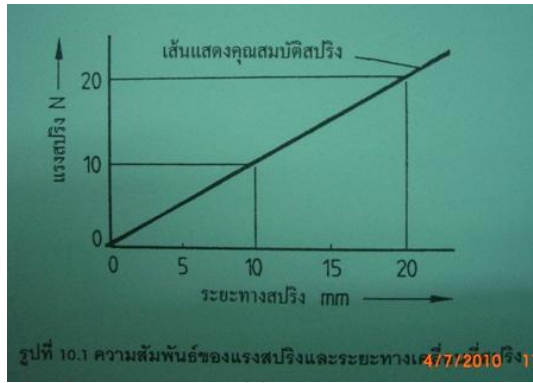
ใช้วัดแรง เช่น ตาชั่งสปริง ไดนาโมมิเตอร์ และอุปกรณ์ปรับต่างๆ

ใช้ทำหน้าที่บังคับให้ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลกลับคืนตำแหน่งเดิม เช่น ตัวตามเพลาลูกเบี้ยว ก้านวาล์ว

ใช้ส่งแรงจากชิ้นส่วนหนึ่งไปยังอีกชิ้นส่วนหนึ่ง เช่น สปริงแผ่นคลัทช์ คับปลิง

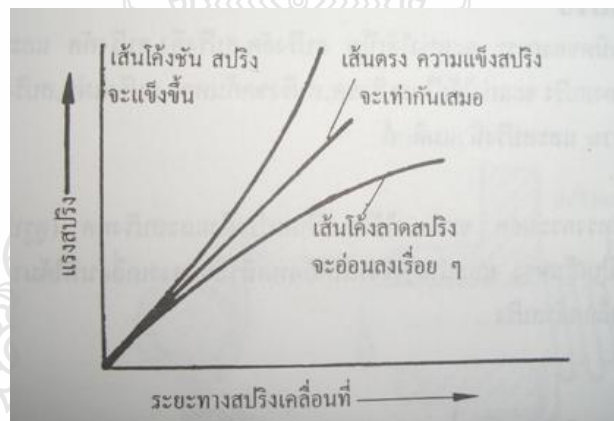
### 2.13.1 คุณสมบัติของสปริง

ในการทำให้สปริงเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นได้ จะต้องใช้แรงมากกระทำ แรงกระทำยิ่งมากก็ยิ่งทำให้ระยะทางเคลื่อนที่ของสปริงมากขึ้นตามไปด้วย ความสัมพันธ์ของแรงและระยะทางเคลื่อนที่ของสปริง ได้ดังรูปที่ 2.10



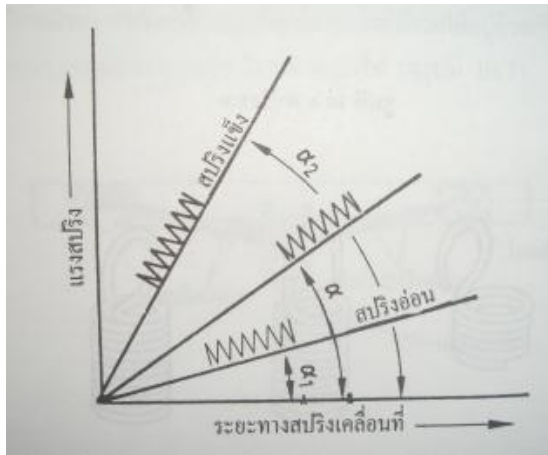
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ของแรงสปริงและระยะทางเคลื่อนที่สปริง [12]

จากรูปที่ 2.10 เส้นแสดงคุณสมบัติที่เป็นเส้นตรงแสดงว่า แรงกระทำและระยะทางเคลื่อนที่เป็นสัดส่วนต่อกัน นั่นแสดงว่า ถ้าแรงกระทำเป็นสองเท่า ระยะทางเคลื่อนที่สปริงก็จะเป็นสองเท่าเช่นกัน



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงสปริงและระยะทางสปริงเคลื่อนที่ [12]

จากรูปที่ 2.11 เส้นแสดงคุณสมบัติยิ่งชันก็จะต้องใช้แรงกระทำมากขึ้นในการทำให้สปริงเปลี่ยนรูป สปริงที่มีมุมเส้นแสดงคุณสมบัติน้อย ( $\alpha_1$ ) จะบอกให้รู้ว่าเป็นสปริงอ่อน ส่วนสปริงที่มีมุมเส้นแสดงคุณสมบัติน้อย ( $\alpha_2$ ) แสดงว่าเป็นสปริงแข็ง



รูปที่ 2.12 ความแข็งสปริงและเส้น โคง์งแสดงคุณสมบัติของสปริง [12]

### 2.13.2 สปริงขดกันหอย

เป็นสปริงตัดชนิดหนึ่ง ส่วนใหญ่จะผลิตจากเหล็กกล้าสปริง มีภาคตัดขวางเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากแล้วม้วนขึ้นรูปเป็นรูปกันหอย ระยะห่างของขดกันหอยจะแปรผันอย่างเป็นสัดส่วนกับมุมหมุนบิด สปริงนี้จะใช้เป็นสปริงดึงกลับตำแหน่งเดิมในอุปกรณ์วัดทางอุตสาหกรรม, เป็นสปริงสะสมกำลังงานของระบบนาฬิกาและในระบบคลัทช์แบบหมุนบิดยืดหยุ่นได้



รูปที่ 2.13 ลักษณะของสปริงขดกันหอย [12]

### 2.13.3 คุณสมบัติทางกลของลวดสปริง

ค่าความต้านทานแรงของวัสดุที่ใช้ทำลวดสปริงจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของลวดสปริง ดังนั้นสมการที่ใช้หาค่าความต้านแรงของวัสดุลวดสปริงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใดๆ คือ

$$\sigma_u = \frac{A}{d^x} \quad (2.12)$$

$$\tau = \frac{B}{d^y} \quad (2.13)$$

เมื่อ  $\sigma_u$  คือ ความต้านแรงดึงต่ำสุด  
 $\tau_n$  คือ ความต้านแรงเฉือนทนทาน  
 $d$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสปริงเป็น mm

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกลของลวดสปริง [12]

ชนิดของวัสดุ	ขนาดลวด(mm)	X	Y	A	B
Hard drawn wire (ASTM A227)	0.50 - 16.00	0.190	0.340	1780	560
Music wire (ASTM A228)	0.10 - 6.30	0.154	0.154	2150	565
Oil tempered wire (ASTM A229)	0.50 - 16.00	0.190	0.340	1855	560
Valve spring steel (ASTM 230)	1.50 - 6.25	0.100	0.150	1730	515
Cr-V steel (ASTM 231)	0.50 - 12.50	0.166	0.150	1976	515
Cr-Si steel (ASTM A401)	0.80 - 12.00	0.107	0.150	1965	515
Stainless steel (ASTM A313)	0.20 - 12.50	0.140	0.170	1840	360

#### 2.13.4 ความแข็งดึงของสปริง

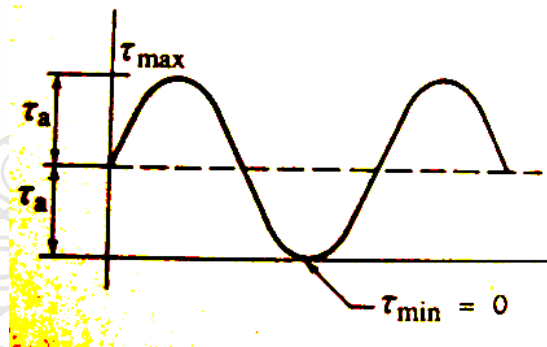
ความแข็งดึงของสปริง (spring stiffness) หมายถึงปริมาณของแรงที่ใช้ในการทำให้สปริงยืดหดหนึ่งหน่วยความยาวในแนวแกนของสปริง ซึ่งยังมีชื่อเรียกอีกหลายชื่อแตกต่างกันไป

เช่น ค่าคงที่ของสปริง(spring constant) อัตราสปริง(spring rate) โมดูลัสของสปริง และเกรเดียนของสปริง(spring gradient) เป็นต้น ถ้าให้  $\sigma$  เป็นระยะยุบตัวของสปริงภายใต้แรงกด  $F$  ค่าความแข็งตึงของสปริงคือ [12]

$$k = \frac{F}{\sigma} \quad (2.14)$$

### 2.13.5 การออกแบบสปริงขดภายใต้แรงเปลี่ยนแปลง

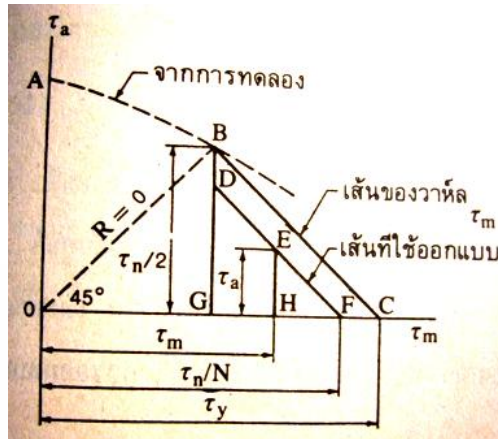
สปริงขดส่วนมากจะรับแรงที่มีการเปลี่ยนแปลง จากค่าต่ำสุดไปยังค่าสูงสุด เป็นวัฏจักร ดังนั้นสปริงประเภทนี้จึงมักจะเสียหายเนื่องจากความล้า ถ้าแรงที่มากกระทำตลอดอายุการใช้งานของสปริงมีจำนวนครั้งนับไม่ถ้วน(มีค่ามากกว่า  $10^6$  ครั้งขึ้นไป) สปริงนั้นมักจะออกแบบให้มีอายุการใช้งานไม่จำกัด วิธีการออกแบบที่นำมาใช้ก็ดัดแปลงมาจากวิธีการของ โซเคอร์เบอร์ค ทั้งนี้เพราะสปริงขดที่ใช้งานอยู่ทั่วไปจะไม่ใช้รับแรงกระทำซ้ำสองทิศทาง แต่จะรับแรงที่กระทำซ้ำทิศทางเดียวดังในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แรงกระทำซ้ำทิศทางเดียว [12]

วาล์วจึงได้เสนอเส้นที่แสดงการเสียหายของสปริงบนแผนภาพ  $\tau_a - \tau_m$  ดังรูปที่ 2.15 เส้น AB เป็นเส้นที่แสดงการเสียหายของสปริงที่ได้จากการทดลอง ถ้าคิดให้แรงที่กระทำต่อสปริงขดเริ่มจากค่าศูนย์





รูปที่ 2.15 เส้นที่ใช้ออกแบบสปริงของวาห์ล [12]

$$R = \frac{\tau_{\min}}{\tau_{\max}} = 0 \quad (2.15)$$

ดังนั้น

$$\tau_m = \tau_a = \frac{\tau_{\max}}{2} \quad (2.16)$$

นั่นคือเส้น OB เป็นเส้นที่จำกัดขอบเขตของความเค้นในสปริงขด วาห์ลได้กำหนดเส้นแสดงการเสียหายของสปริงโดยประมาณคือ ลากเส้นจากจุด B มายังจุด C ดังในรูปที่ 2.15 ถ้าความเค้นสูงสุดในสปริงเท่ากับความต้านทานแรงเฉือนทนทาน  $\tau_n$  ความสูง BG จะเท่ากับ  $\frac{\tau_n}{2}$

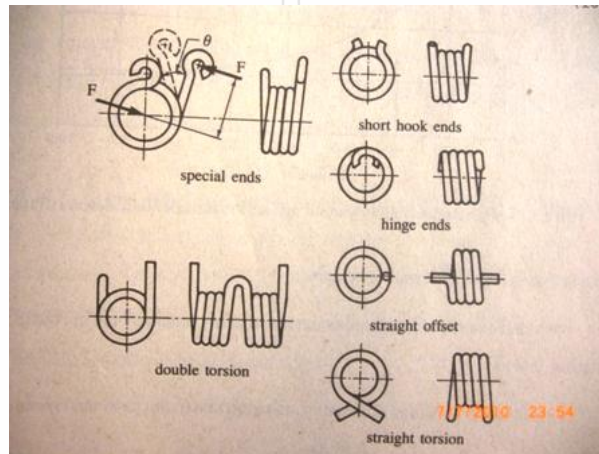
### 2.13.6 สปริงขดแบบบิด

สปริงขดแบบบิด (helical torsion spring) ใ้รับแรงบิดรอบแกนของสปริง เช่น สปริงที่สตาร์ทเตอร์ (starter) ของรถยนต์ สปริงที่บานประตู เป็นต้น จากลักษณะของแรงที่กระทำต่อสปริงดังในรูป จะเห็นได้ว่าความเค้นในสปริงส่วนใหญ่จะเป็นความเค้นดัด ซึ่งแตกต่างกับสปริงขดแบบกดหรือแบบดึงซึ่งความเค้นส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นเป็นความเค้นเฉือน ความเค้นดัดที่เกิดขึ้นนี้สามารถคำนวณได้โดยใช้ทฤษฎีของคานโค้งซึ่งจัดอยู่ในรูป [12]

$$\sigma = \kappa_b \frac{Mc}{I} \quad (2.17)$$

โดยที่  $k_b$  เป็นตัวประกอบความเค้นหนาแน่น เนื่องจากฟิวส์ด้านในของขอมมีความโค้งมากกว่าฟิวส์ด้านนอก ดังนั้นค่า  $k_b$  ของฟิวส์ด้านในจึงมีค่ามากกว่าฟิวส์ด้านนอก ภายหลังได้หาตัวประกอบความเค้นหนาแน่นสำหรับลวดกลมซึ่งมีสมการเป็น

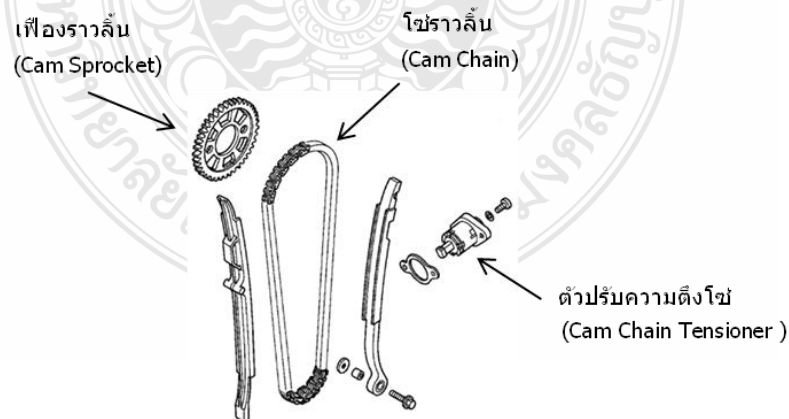
$$k_b = \frac{4C^2 - C - 1}{4C(C - 1)} \quad (2.18)$$



รูปที่ 2.16 สปริงชนิดแบบบิด [12]

## 2.14 ตัวปรับความตึงโซ่ร้าวลิ้น

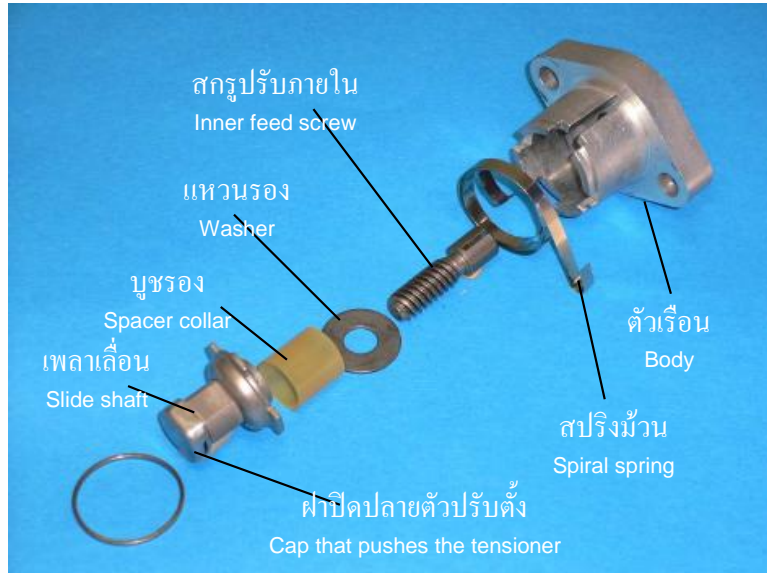
ตัวปรับความตึงโซ่ร้าวลิ้น ทำหน้าที่สร้างแรงกดเพื่อให้โซ่ร้าวลิ้นมีความตึงที่เหมาะสม (Proper Tension) ในการส่งกำลังระหว่างเพลาค้อเหวี่ยง (Crankshaft) และเพลาร้าวลิ้น (Camshaft) เพื่อให้เกิดการทำงานที่ถูกต้องตามจังหวะการปิด-เปิดวาล์ว (Valve Timing)



รูปที่ 2.17 ตำแหน่งการติดตั้งตัวปรับความตึงโซ่ในเครื่องยนต์ [1]

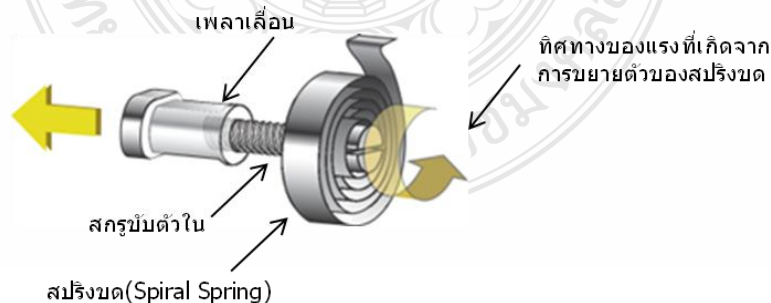
## 2.15 ตัวปรับความตึงโซ่แบบสปริงชนิด (Spiral Spring Type)

ตัวปรับความตึงโซ่แบบสปริงชนิด เป็นแบบที่ได้รับความนิยมใช้ในเครื่องยนต์ขนาดเล็ก โดยทั่วไป[1] เนื่องจากสามารถออกแบบให้มีได้หลายขนาดเพื่อให้เหมาะสมกับระยะการเคลื่อนที่ของลูกสูบ (Working Stroke) และตำแหน่งการติดตั้งในเครื่องยนต์ [13]



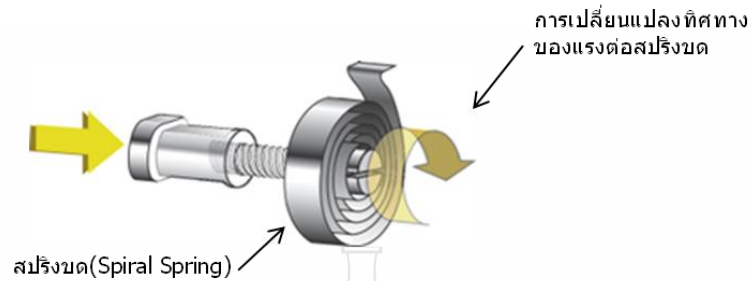
รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบภายในตัวปรับความตึงโซ่ [13]

สปริงชนิด (Spiral Spring) เป็นส่วนประกอบสำคัญอันหนึ่งในตัวปรับความตึงโซ่แบบใช้แรงดันของสปริง (Spring Tensioner) ซึ่งเป็นแบบที่นิยมติดตั้งในเครื่องยนต์เนื่องจากมีความสะดวกในการออกแบบจุดติดตั้งและใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ใช้แรงดันของน้ำมันเครื่อง (Oil Pressure Tensioner) ปลายสปริงจะเกี่ยวเข้ากับเรือนสปริง ส่วนปลายอีกด้านของสปริงจะเกี่ยวอยู่กับสกรูจับตัวใน



รูปที่ 2.19 ทิศทางของแรงจากตัวปรับความตึงโซ่ [13]

แรงบิดจากการขยายตัวของสปริงขดในตัวปรับตั้งความตึงโซ่จะบังคับให้สกรูจับตัวใน เกิดการเคลื่อนที่หมุนตามเส้นรอบวง (ทิสทวนเข็มนาฬิกา) ตามการขยายตัวของสปริง เพลากลื่นซึ่งมีเกลียวสวมเข้ากับสกรูจับตัวในก็จะเกิดการหมุนเคลื่อนที่ออกไปกุดโซ่ราวลิ้น



รูปที่ 2.20 ทิศทางของแรงที่ตัวปรับความตึงโซ่ได้รับ [13]

ขณะที่เครื่องยนต์หมุนทำงานอยู่นั้น โซ่ราวลิ้นจะเกิดอาการสั่นกระพือ ทำให้เกิดแรงกดในทิศตรงข้ามกดให้เพลากลื่นเคลื่อนที่เข้าหาสปริงขด ซึ่งมีผลให้สกรูจับตัวในเกิดการหมุนตามเส้นรอบวง (ทิสทวนเข็มนาฬิกา) แรงที่กระทำกับสปริงขดในลักษณะ 2 ทิศทาง คือแรงที่มีทิศทางตามการขยายตัวของสปริง และแรงที่ตรงข้ามกับการขยายตัวของสปริง กระทำสลับไปมาเช่นนี้เรียกว่าแรงกระทำแบบสลับต่อเนื่อง ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดความล้าที่เป็นสาเหตุของความเสียหายและลดอายุการทำงานของชิ้นส่วน



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานสำหรับการวิจัยนี้ มี 4 ขั้นตอน คือการสำรวจสภาพปัญหา, การหาสาเหตุ การแก้ไข ปรับปรุง และการสรุปผล โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.1 แผนงานการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงานวิจัยมีรายละเอียด ตามแผนภูมิดังนี้

ตารางที่ 3.1 แผนงานการดำเนินงานวิจัย

หัวข้อ	ปี 2552 -----> ปี 2553				
	ก.ค.-ก.ย.	ต.ค.-ธ.ค.	ม.ค.-มี.ค.	เม.ย.-มิ.ย.	ก.ค.-ก.ย.
1. ค้นหาและคัดเลือกปัญหา	▼	▼			
2. ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง		▼	▼		
3. ทดสอบและเก็บข้อมูล			▼	▼	
4. วิเคราะห์ผลและปรับปรุง				▼	▼
5. สรุปผล					▼

#### 3.2 ค้นหาและคัดเลือกปัญหา

ผู้วิจัยเริ่มต้นด้วยการค้นหาปัญหาที่มีความสำคัญ และมีผลกระทบต่อผู้ใช้รถจักรยานยนต์ด้วยการใช้ข้อมูลจากผลการสำรวจอัตราการซ่อมแก้ปัญหาลูกค้าในครั้งเดียว (TSI Survey) ทำให้ทราบว่าปัญหาที่เกิดจากความชำรุดของตัวปรับความตึงโซ่ร้าวลิ้น ชนิดหมายเลขอะไหล่ 14520-KSS-901 เป็นปัญหาที่มีผลกระทบต่อ การซ่อมแก้ปัญหามากกว่าหนึ่งครั้ง (First Right Repair Index) [14]

#### 3.3 ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

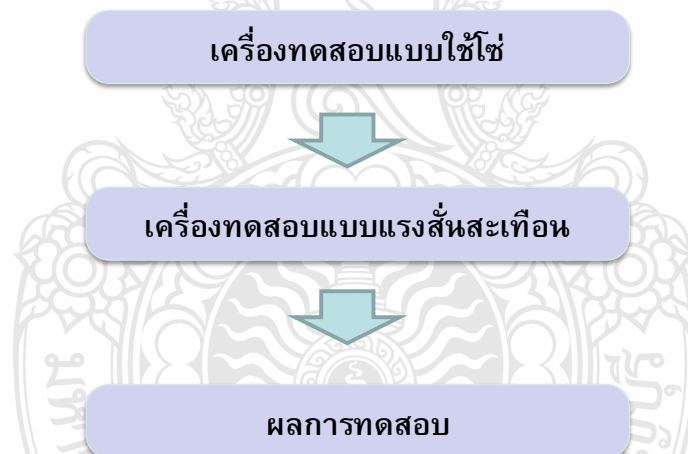
ผู้วิจัยได้ศึกษาการทำงานของตัวปรับความตึงโซ่ร้าวลิ้นจากคู่มือฝึกอบรมด้านเทคนิคและทดสอบด้วยการ ทำงานจริงของชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ เพื่อให้เข้าใจลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นจากความบกพร่องของตัวปรับ ความตึงโซ่เนื่องจากความล้า และเนื่องจากสปริงเป็นส่วนประกอบภายในที่เกิดความล้า ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ ทำการศึกษาเพิ่มเติมจากผลงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องสปริง เช่นความล้าของสปริง ความทนทานของสปริงต่อแรง กระทำในแบบต่างๆ



รูปที่ 3.1 การทดสอบชิ้นงานจริงเพื่อศึกษาสภาพความชำรุดของตัวปรับความตึงโซ่ [3]

### 3.4 ทดสอบชิ้นงานและเก็บข้อมูล

ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือทดสอบความล้าของตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้น ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นเหมาะสำหรับการทดสอบความล้าของตัวปรับความตึงโซ่แบบสปริงชด ตามขั้นตอนทดสอบดังนี้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทำสอบเพื่อความล้าของตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้น [15]

#### 3.4.1 การสร้างความล้าต่อการใช้งานด้วยเครื่องทดสอบแบบโซ่ราวลิ้น

เป็นขั้นตอนที่มีวัตถุประสงค์คือการสร้างความล้าต่อการใช้งานให้กับสปริงชดภายในตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้น ด้วยการนำ ตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้น ชนิดหมายเลขอะไหล่ 14520-KSS-901 เข้าทดสอบกับเครื่องทดสอบแบบโซ่โซ่ขับ (Chain Drive Tester) ซึ่งเป็นเครื่องทดสอบที่มีลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกับภาระที่กระทำกับตัวปรับความตึงโซ่ โดยมีการใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ขนาด 1/3 HP (0.25 kW) หมุนด้วยความเร็ว

1,440 รอบต่อนาที โดยมีแกนของตัวปรับความตึงโซ่กดโซ่ผ่านรางเลื่อนโซ่ เพื่อสร้างความตึงให้กับโซ่ราวลิ้น เหมือนกับการทำงานจริงในเครื่องยนต์



รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบแบบใช้โซ่ราวลิ้น [15]

หลังจากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบโซ่ราวลิ้นจะทำให้ได้ตัวปรับความตึงโซ่ที่มีระยะเวลาใช้งานแตกต่างกันตามตารางที่ 3.1 ซึ่งประกอบด้วยตัวปรับความตึงโซ่ที่ยังไม่ได้ใช้งาน (0 ก.ม.) ,ตัวปรับความตึงโซ่ที่ใช้งานแล้วระยะทาง 5,000 ก.ม. , 10,000 ก.ม. , 15,000 ก.ม. , 20,000 ก.ม. , 25,000 ก.ม. , 30,000 ก.ม. และ 35,000 ก.ม. ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 การสร้างระยะทางใช้งานของชิ้นงานทดสอบ [15]

ลำดับชิ้นงานทดสอบ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ระยะเวลา(ชั่วโมง)
1	0	0
2	5,000	82
3	10,000	164
4	15,000	246
5	20,000	328
6	25,000	410
7	30,000	492
8	35,000	574

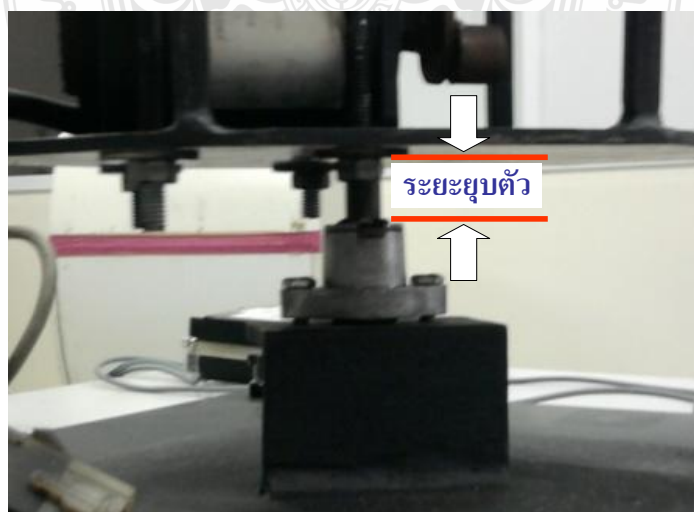
### 3.4.2 การหาความสามารถต้านทานต่อแรงกดด้วยเครื่องทดสอบแบบแรงสั่นสะเทือน

เป็นขั้นตอนที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาคุณสมบัติของความต้านทานต่อแรงที่จะกระทำให้แก่ดินโซ่ ราวลิ้นเกิดการยุบตัว โดยนำตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้นที่ผ่านการปรับความล้าจากเครื่องทดสอบแบบโซ่มาแล้ว เข้าทำการทดสอบกับเครื่องทดสอบแบบแรงสั่นสะเทือน (Vibration Tester) ซึ่งมีมอเตอร์ที่กำหนดความเร็ว รอบไว้ที่ 1,440 รอบต่อนาที หมุนขับหน้าแปลนที่มีก้อนน้ำหนักเพื่อสร้างแรงเหวี่ยงและการสั่นสะเทือนและมีน้ำหนักกดขนาด 49.50 นิวตัน กดลงในแนวแกนดินโซ่ซึ่งเป็นทิศทางเดียวกับที่ได้รับแรงกระทำจากโซ่ราวลิ้น



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบแบบใช้แรงสั่นสะเทือน [15]

การทดสอบเริ่มด้วยการเปิดเครื่องทดสอบให้ทำงานแล้วทำการจับเวลาที่แกนดินโซ่ราวลิ้นจะเกิดการยุบตัวลงจากตำแหน่งสูงสุดถึงตำแหน่งต่ำสุด (ยุบตัวลงสุด) โดยจะทำการทดสอบจำนวน 3 ครั้งต่อหนึ่งชิ้นงาน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่แกนดินโซ่เกิดการยุบตัวเมื่อได้รับแรงกระทำ

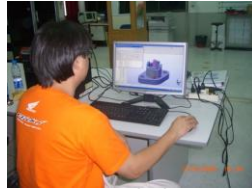


รูปที่ 3.5 ระยะยุบตัวของแกนดินโซ่ราวลิ้น [15]



### 3.4.3 การหาค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นสปริงจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เป็นการหาจุดที่จะเกิดความเค้นสูงสุดบนแผ่นสปริงเมื่อมีการรับแรงกระทำที่ทำให้เกิดความเค้นด้วยวิธีการเขียนแบบบนโปรแกรม Ansys และเมื่อได้จุดที่ทำให้รู้ว่าคุณค่าความเค้นเกิดขึ้นมากที่สุดจุดใดก็จะทำการลดค่าความเค้นในจุดนั้นลง



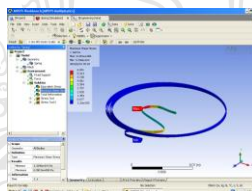
สร้างชิ้นงานจากขนาดและแบบที่กำหนด



กำหนด element และค่าที่เกี่ยวข้อง



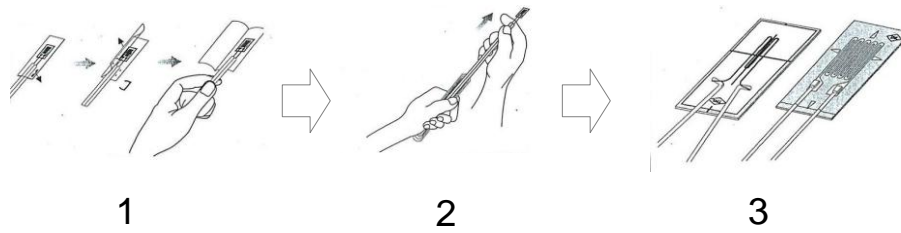
แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม



รูปที่ 3.6 การหาค่าความเค้นบนแผ่นสปริงด้วยโปรแกรม Ansys

### 3.4.4 การหาค่าความเครียดบนจุดที่เกิดความเค้นสูงสุดบนแผ่นสปริงด้วยสเตรนเกจ

หลังจากรู้จุดที่เกิดค่าความเค้นสูงสุดบนแผ่นสปริงด้วยโปรแกรม Ansys แล้ว ก็ทำการหาค่าความเค้นบนแผ่นสปริงด้วยเครื่องวัดความเค้น (Strain Meter) ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ใช้การติดสเตรนเกจขนาด 5 มิลลิเมตร (FLA-5-11-1L) ซึ่งมีขนาดเหมาะสมกับขนาดของแผ่นสปริง โดยเริ่มจากการทำความสะอาดผิวที่จะติดสเตรนเกจจากนั้นหยดกาวชนิดพิเศษลงบนผิว เพื่อให้สเตรนเกจมีการติดยึดบนผิวชิ้นงานได้ดียิ่งขึ้น หลังจากนั้นจึงทำการติดสเตรนเกจลงตรงจุดที่จะทำการวัดค่าความเครียด โดยติดในลักษณะวางตัวไปตามขนาดความยาวของแผ่นสปริงขด [16]

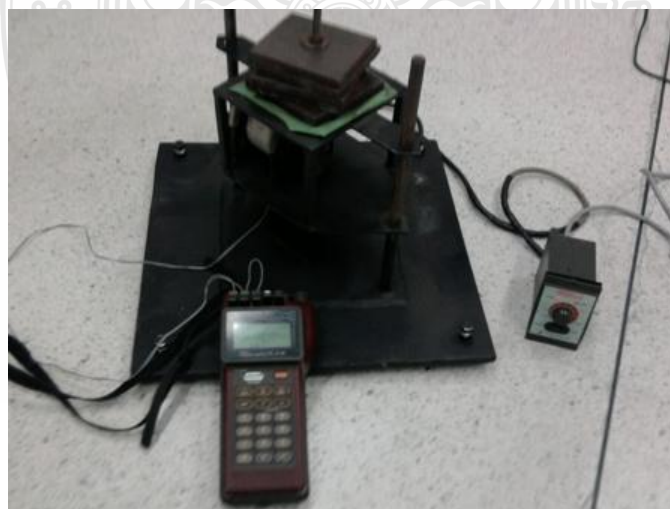


รูปที่ 3.7 การเตรียมสเตรนเกจก่อนเริ่มติดบนผิวชิ้นงาน [16]



รูปที่ 3.8 การติดสเตรนเกจบนแผ่นสปริง

ชิ้นงานทดสอบทุกชิ้นที่ได้รับการติดสเตรนเกจแล้ว จะถูกนำไปต่อเข้ากับสเตรนมิเตอร์เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าสเตรนที่เกิดขึ้นบนแผ่นสปริงขณะที่ชิ้นงานทดสอบได้รับแรงกดจากเครื่องทดสอบแบบแรงสั่นสะเทือน



รูปที่ 3.9 ใช้สเตรนเกจกับเครื่องทดสอบ

การทดสอบในขั้นตอนนี้ จะทำให้ได้ค่าการเปลี่ยนแปลงของความเค้นบนจุดที่เกิดความเค้นบนแผ่นสปริงมากที่สุด โดยจะทำการวัดกับชิ้นงานทดสอบทุกชิ้นเพื่อให้ได้ค่าก่อนการปรับปรุงความต้านทานของตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้น

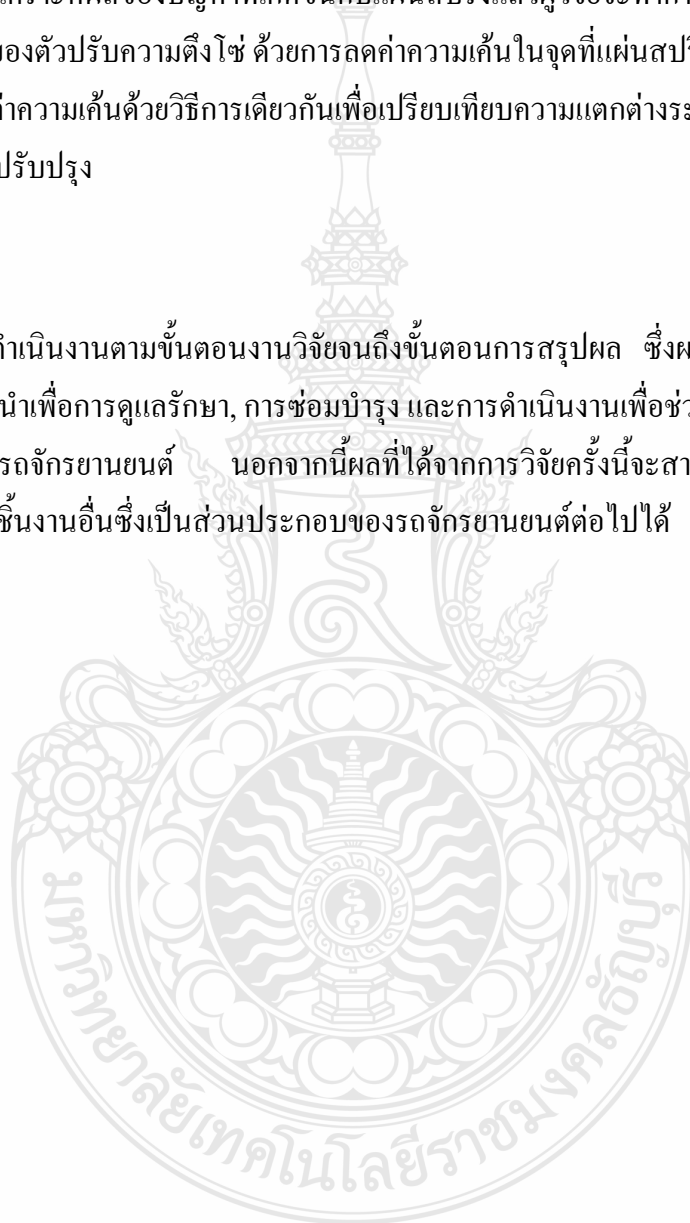
### 3.5 การวิเคราะห์ผล และปรับปรุง

ภายหลังจากการวิเคราะห์ผลของปัญหาที่เกิดขึ้นกับแผ่นสปริงแล้วผู้วิจัยจะทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มความต้านทานต่อแรงกระทำของตัวปรับความตึงโซ่ ด้วยการลดค่าความเค้นในจุดที่แผ่นสปริงขดได้รับ

แล้วจะทำการวัดค่าความเค้นด้วยวิธีการเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความเค้นบนแผ่นสปริงก่อนและหลังการปรับปรุง

### 3.6 การสรุปผล

หลังจากการดำเนินงานตามขั้นตอนงานวิจัยจนถึงขั้นตอนการสรุปผล ซึ่งผลสรุปที่ได้ออกมาจะทำการขยายไปเป็นข้อเสนอแนะเพื่อการดูแลรักษา, การซ่อมบำรุง และการดำเนินงานเพื่อช่วยลดอัตราการเกิดปัญหาที่จะมีผลกระทบต่อผู้ใช้รถจักรยานยนต์ นอกจากนี้ผลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้จะสามารถเป็นผลการศึกษาที่ใช้อ้างอิงเพื่อการพัฒนาชิ้นงานอื่นซึ่งเป็นส่วนประกอบของรถจักรยานยนต์ต่อไปได้

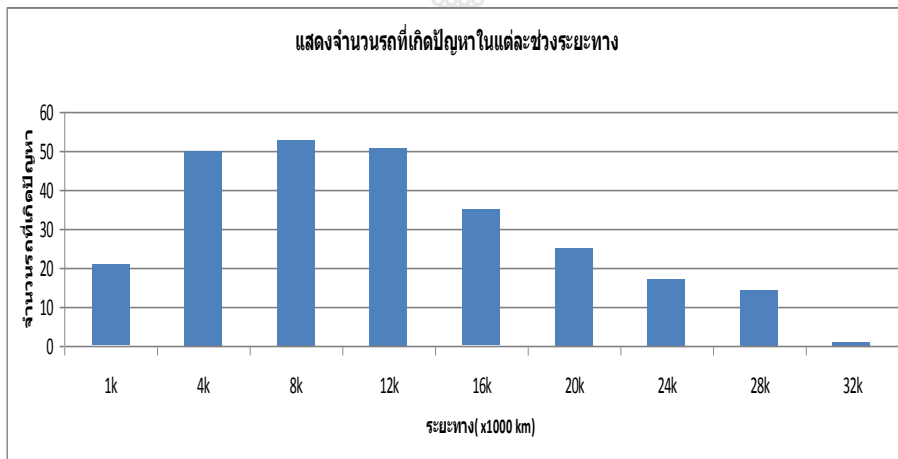


## บทที่ 4

### ผลดำเนินงานวิจัย

#### 4.1 สภาพก่อนการปรับปรุง

ก่อนการปรับปรุงตัวปรับความตึงโซ่ พบว่าการสูญเสียความต้านทานต่อแรงกดของตัวปรับความตึงโซ่ส่วนใหญ่จะเกิดในช่วงระยะทาง 4,000 – 12,000 กิโลเมตร



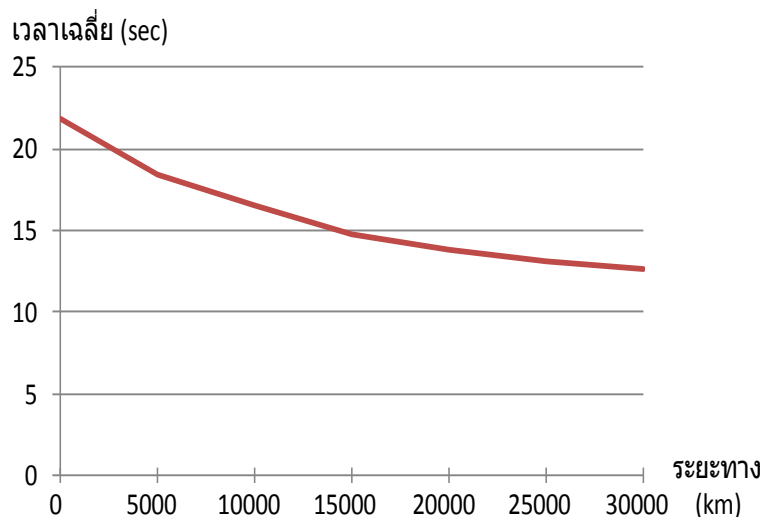
รูปที่ 4.1 จำนวนการเกิดปัญหาครั้งแรกของตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้น [3]

เมื่อนำตัวปรับความตึงโซ่ที่ผ่านการใช้งานในช่วงระยะทางที่แตกต่างกันด้วยเครื่องทดสอบตัวปรับความตึงโซ่ด้วยเครื่องทดสอบแบบใช้แรงสั่นสะเทือน ผลที่ได้คือระยะเวลาที่ตัวปรับความตึงโซ่สามารถต้านทานแรงกดที่แตกต่างกัน โดยพบว่าเมื่อทดสอบตัวปรับตึงโซ่ที่ยังไม่เคยใช้งานหรือมีระยะทางใช้งาน 0 กิโลเมตร, 5000 , 10000 , 15000 , 20000 , 25000 และ 30000 กิโลเมตร โดยพบว่าตัวปรับความตึงโซ่ที่มีระยะทางใช้งานอยู่ในช่วง 0 - 5000 กิโลเมตร สามารถต้านทานแรงกดได้นานที่สุดโดยจะเกิดการยุบตัวลงภายในเวลา 21.89 วินาที

ตารางที่ 4.1 เวลาที่แกนคันโซ่ยุบตัวในแต่ละระยะทางใช้งาน

ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาที่แกนคันโซ่ยุบตัวลงสุด(วินาที)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	22.12	22.34	21.22	21.89
5,000	18.02	19.03	18.22	18.42
10,000	16.50	16.24	16.79	16.51
15,000	14.28	15.11	14.89	14.76
20,000	13.98	13.77	13.64	13.80
25,000	12.98	13.21	13.01	13.07
30,000	12.50	12.60	12.91	12.67

จากการทดสอบตัวปรับความตึงโซ่ที่มีระยะทางใช้งาน 10000 , 15000 , 20000 , 25000 , และ 30000 กิโลเมตร ก็ทำให้พบว่าเมื่อตัวปรับความตึงโซ่ที่มีระยะทางใช้งานมากขึ้น ความต้านทานแรงกดก็จะมีค่าลดลง โดยในช่วงระยะทาง 5000-15000 กิโลเมตร ตัวปรับความตึงโซ่จะมีความสามารถต้านทานแรงกดได้ดีกว่าช่วงระยะทาง 15000 - 30000 กิโลเมตร



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางใช้งานและเวลาเฉลี่ยของการยุบตัว

เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะทางการใช้งานที่เพิ่มขึ้นและความสามารถต้านทานต่อแรงกดของตัวปรับความตึงโซ่ ทำให้เห็นได้ว่าหลังจากเริ่มต้นการใช้งานแล้ว ความสามารถต้านทานต่อแรงกดของของตัวปรับความตึงโซ่จะลดลง 1.2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระยะ

ทาง 0 ก.ม. (21.89 วินาที) กับระยะทาง 5000 ก.ม. (18.42 วินาที) หลังจากใช้งานต่อไปจนถึงระยะทาง 15000 ก.ม. ความสามารถด้านทานต่อแรงกดจะลดลง 1.5 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับระยะทาง 0 ก.ม. และลดลงต่อไปจนถึงระยะทาง 25000 ก.ม. ความสามารถด้านทานต่อแรงกดลดลง 1.7 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับระยะทาง 0 ก.ม. และคงที่ต่อไปจนถึงระยะทาง 30000 ก.ม. ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของกลไกควบคุมการปิดเปิดควาล์ว และเสียงเนื่องจากสภาพการหย่อนของโซ่ราวลิ้นขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงาน

หลังจากรู้ผลกระทบที่ตัวปรับความตึงโซ่ได้รับจากการใช้งานแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเครียด โดยการติดสเตรนเกจลงบนจุดที่เคยพบการขาดของแผ่นสปริงชุดในตัวปรับความตึงโซ่ แล้วทำการวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความเครียดจากตัวปรับความตึงโซ่ที่มีระยะทางใช้งานตั้งแต่ 0 ก.ม. ถึง 30000 ก.ม. ด้วยเครื่องทดสอบแบบแรงสั่นสะเทือนและเครื่องวัดค่าความเครียด (Strain Meter) [17]

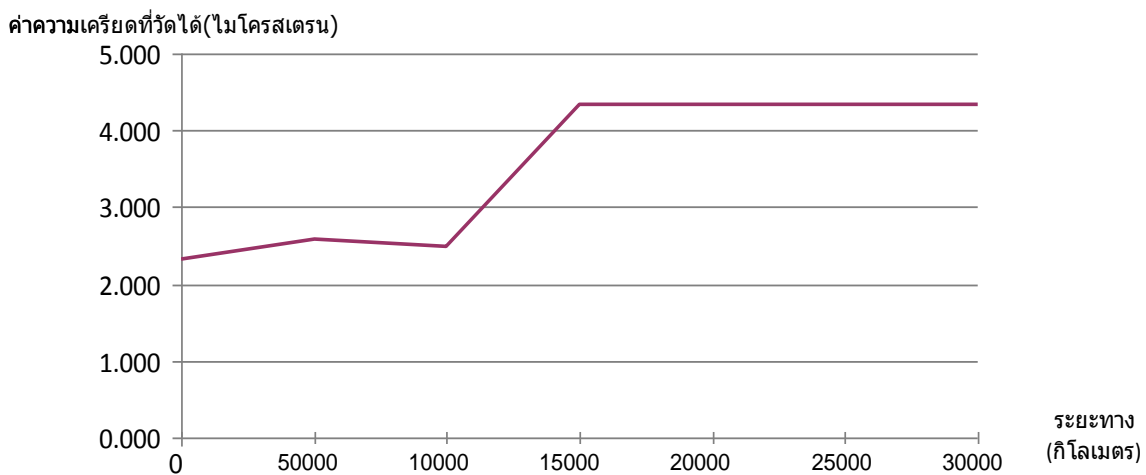
ตารางที่ 4.2 ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นสปริง

ระยะทาง (กิโลเมตร)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ค่าสเตรนที่วัดได้ (ไมโครสเตรน)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0	0	2.033	2.532	2.399	2.321
5,000	82	2.365	2.782	2.637	2.595
10,000	164	2.612	2.596	2.270	2.493
15,000	246	4.209	4.495	4.310	4.338
20,000	328	4.209	4.495	4.310	4.338
25,000	410	4.209	4.495	4.310	4.338
30,000	492	4.209	4.495	4.310	4.338

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเครียดบนแผ่นสปริงชุด ทำให้รู้ว่าที่ระยะทาง 0 ก.ม. ค่าความเครียดที่วัดได้คือ 2.321 ไมโครสเตรน ต่อจากนั้นค่าความเครียดจะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.595 ไมโครสเตรน เมื่อตัวปรับความตึงโซ่มีระยะทางการใช้งานต่อไปจนถึงระยะทาง 5000 ก.ม. การเปลี่ยนแปลงของความเครียดบนแผ่นสปริงจะลดลงเท่ากับ 2.493 ไมโครสเตรน ที่ระยะทาง 10000 ก.ม. แต่ค่าความเครียดจะเพิ่มขึ้นเป็น 4.338 ไมโครสเตรน ที่ระยะทาง 15000 ก.ม. หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเครียดที่วัดได้ระยะทาง 0 ก.ม. อย่างไรก็ตาม ตั้งแต่ระยะทางการใช้งาน 15000 ก.ม. ถึง 30000 ก.ม. ค่าความเครียดมีค่าคงที่ คือเท่ากับ 4.338 ไมโครสเตรน

ค่าความเครียดของแผ่นสปริงชุด ตรงจุดที่มีการติดสเตรนเกจมีความสัมพันธ์กับระยะการใช้งานของตัวปรับความตึงโซ่ กล่าวคือเมื่อมีการใช้งานเพิ่มขึ้น ค่าความเครียดก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น สภาพดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อความสามารถด้านการบิดตัวของสปริงชุดเพื่อผลักดันให้เกิดแรงกดโซ่ราวลิ้น ซึ่งผลกระทบดังกล่าวก็มีลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับการลดลงของความสามารถด้านทานต่อแรงกดของตัวปรับความตึงโซ่จากตารางที่ 4.1

กล่าวคือคือมีการใช้งานการบิดตัวด้วยแรงกระทำสลับต่อเนื่องที่แผ่นสปริงขดได้รับจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านความยาวของแผ่นสปริงโดยเฉพาะตรงจุดที่มีการวัดด้วยสเตรนเกจ ความเครียดที่เกิดขึ้นนี้จะมีผลต่อความสามารถในการบิดตัวเพื่อต้านทานแรงกดที่กระทำต่อตัวปรับความตึงโซ่ โดยเฉพาะเมื่อค่าความเครียดมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ 4.338 ไมโครสเตรน ที่ระยะทาง 30000 ก.ม. ความสามารถต้านทานต่อแรงกดก็ลดลงเหลือเพียง 58 % ( 12.67 วินาที ) เมื่อเปรียบเทียบกับระยะทาง 0 ก.ม. (21.89 วินาที) ดังนั้นการยืดตัวของแผ่นสปริงขดจะมีผลสัมพันธ์กับความสามารถด้านการต้านทานต่อแรงกดของแผ่นสปริงขด การยืดตัวของแผ่นสปริงขดเพิ่มขึ้น ความสามารถต้านทานต่อแรงกดก็ลดลง



รูปที่ 4.3 กราฟค่าความเครียดที่เปลี่ยนแปลงในระยะทางที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของความเครียดบนแผ่นสปริงขดที่ระยะทาง 0 ก.ม. , 5000 ก.ม. และ 10000 ก.ม. มีค่าเฉลี่ย 2.470 ไมโครสเตรน ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วง 2.321 ถึง 2.493 ไมโครสเตรน แต่ที่ระยะการใช้งานตั้งแต่ 10000 ก.ม. เป็นต้นไป ค่าความเครียดจะเพิ่มขึ้นเป็น 4.338 ไมโครสเตรน หรือเพิ่มขึ้น 1.7 เท่าของค่าเฉลี่ยของความเครียดที่อยู่ในช่วง 0 ถึง 5000 ก.ม. ปรากฏการณ์นี้เป็นผลต่อเนื่องจากการเกิดการยืดตัวเนื่องจากผลกระทบจากความร้อนที่สะสมในแผ่นสปริงเมื่อผ่านการใช้งานมาจนถึงระยะทาง 10000 ก.ม.

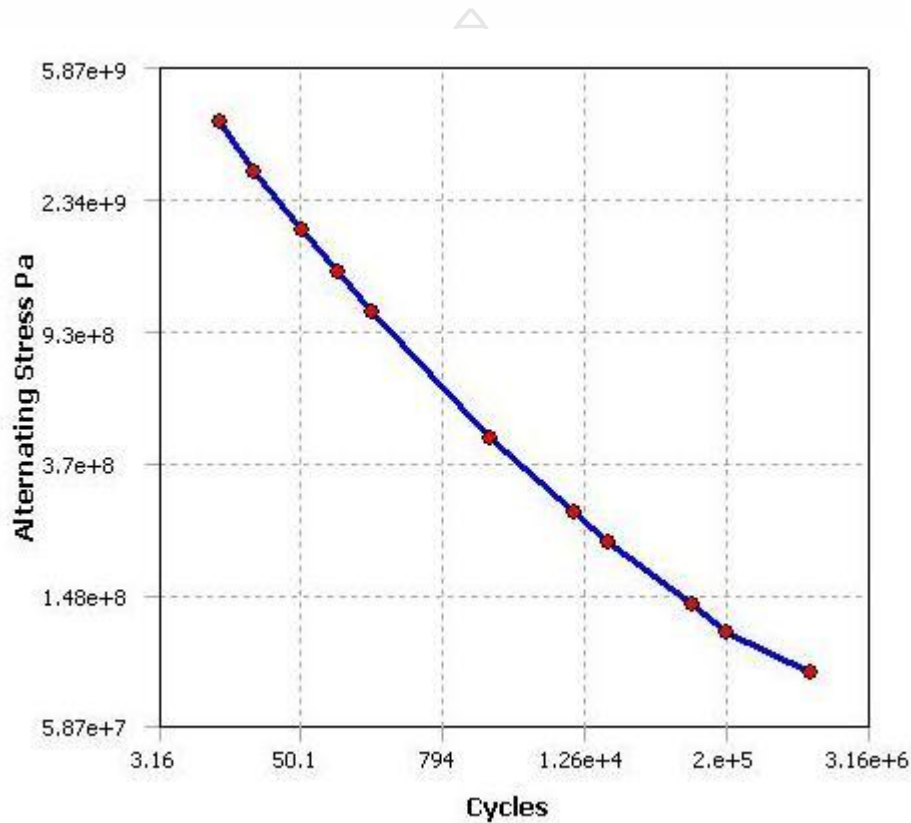
อย่างไรก็ตาม ค่าความเครียดของแผ่นสปริงยังคงมีค่าคงที่ตั้งแต่ระยะทางการใช้งาน 15000 ก.ม. จนถึงระยะทาง 30000 ก.ม. ซึ่งเป็นผลมาจากสภาพการยึดตัวของสปริงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงดังกล่าว

นอกจากการทดลองชิ้นงานจากเครื่องทดสอบแล้ว ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Ansys ผ่านทางแบบจำลองที่สร้างตามขนาด ข้อมูลจำเพาะของสปริงขด และกำหนดค่าให้มีความสอดคล้องกับการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบใช้โซ่และแบบใช้แรงสั่นสะเทือน ทำให้ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและจำนวนรอบการทำงานของแผ่นสปริงขดในตัวปรับความตึงโซ่ (S-N Curve) ตามรูปที่ 4.4

ค่าความเค้นที่กระทำสลับแบบต่อเนื่องต่อแผ่นสปริงในตัวปรับความตึงโซ่จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามจำนวนรอบหรือความถี่ของการรับแรงของแผ่นสปริงขด ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของความเครียดที่วัด

ได้จากสเตรนเกจจากผลการทดสอบ กล่าวคือ เมื่อตัวปรับความตึงโซ่ได้รับแรงกระทำแบบสลับต่อเนื่องนี้เป็นจำนวนหลายๆ รอบแล้ว ความเค้นที่สปริงจะได้รับก็จะมีค่าลดลง

ดังนั้นการลดความเค้นที่สปริงขดให้มีค่าลดลงจากสภาพที่เป็นอยู่ปัจจุบัน ด้วยวิธีการที่ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของแผ่นสปริงและการผลิตจึงเป็นวิธีการที่ผู้วิจัยจะทำการทดสอบเพื่อหาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นหลังการลดความเค้นบนแผ่นสปริงขด

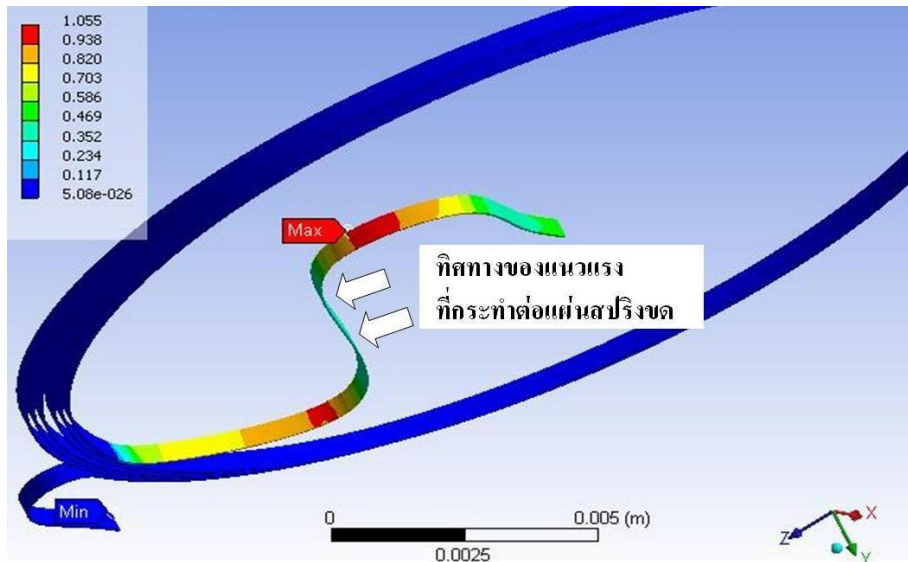


รูปที่ 4.4 S-N Curve ของแผ่นสปริงที่แสดงผลจากโปรแกรม Ansys

## 4.2 สภาพหลังการปรับปรุง

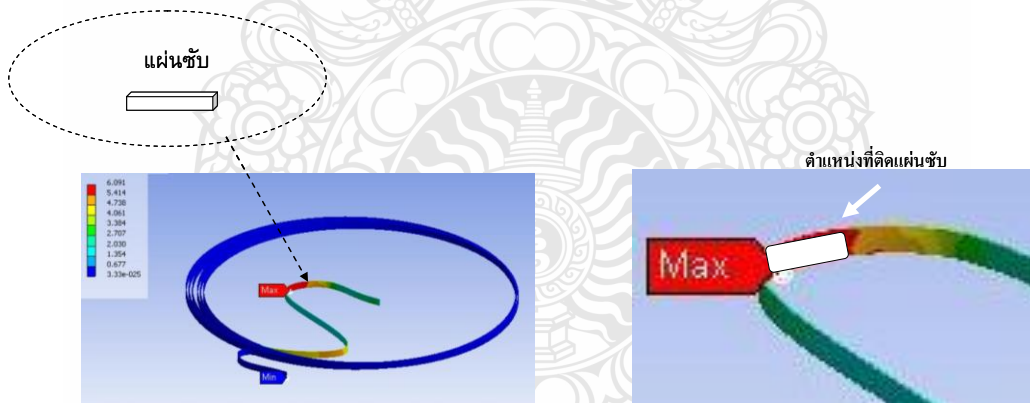
ก่อนการปรับปรุง ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเค้นที่แผ่นสปริงได้รับด้วยโปรแกรม Ansys โดยการกำหนดทิศทางของแรงตามลักษณะการทำงานของแผ่นสปริงในตัวปรับความตึงโซ่ และกำหนดขนาดแรงที่กระทำต่อแผ่นสปริงเท่ากับ 49.5 นิวตัน ซึ่งเป็นค่าที่เท่ากับน้ำหนักกดลงบนแกนตัวปรับความตึงโซ่ในเครื่องทดสอบแบบแรงสั่นสะเทือน ดังแสดงในรูปที่ 4.5





รูปที่ 4.5 ทิศทางของแรงที่กระทำต่อแผ่นสปริงขดในโปรแกรม Ansys

หลังจากจุดที่เกิดความเค้นสูงสุดบนแผ่นสปริงขดแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการการปรับปรุงเพื่อเพิ่มความทนทานให้กับแผ่นสปริง โดยผู้วิจัยได้เลือกวิธีการติดแผ่นซับ (damper) ติดลงตรงส่วนโค้งด้านในซึ่งเป็นพื้นที่ที่สามารถติดแผ่นซับได้ดีที่สุด โดยได้รับผลกระทบจากการเสียดสีกับแผ่นสปริงที่ขดอยู่ในตัวปรับความตึงโซ่ ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 จุดที่เกิดความเค้นสูงสุดและตำแหน่งที่มีการติดแผ่นซับ

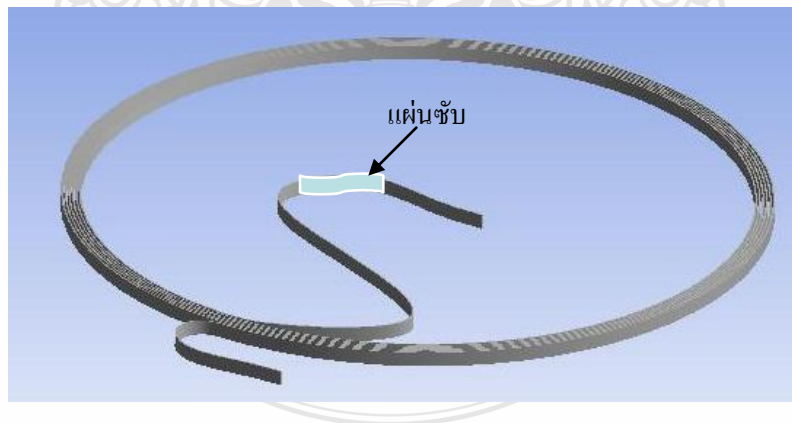
แผ่นซับที่นำมาใช้ติดบนแผ่นสปริงได้แสดงให้เห็นตามรูปที่ 4.6 เป็นเทปกาวชนิดเป็นม้วน ส่วนใหญ่ถูกใช้ในงานปิดกล่องตรงจุดที่ต้องการป้องกันการกระแทก เช่น ชิ้นงานที่เป็นพลาสติก สิ่งของที่แตกหักง่าย ผู้วิจัยเลือกเทปกาวชนิดนี้เนื่องจากทำมาจากวัสดุจำพวกโพลีเมอร์จึงมีความยืดหยุ่น ไม่ขาดง่าย ด้านหนึ่งของแผ่นซับมีกาวเคลือบผิวไว้ซึ่งใช้เป็นส่วนที่ติดบนแผ่นสปริง ผู้วิจัยได้ติดแผ่นซับให้มีขนาด กว้าง 2.5 มิลลิเมตร

, ยาว 5 มิลลิเมตร, หนา 1 มิลลิเมตร เพื่อให้มีขนาดเหมาะสมกับช่องว่างระหว่างแผ่นสปริงที่ขุดอยู่ในตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้น



รูปที่ 4.7 ลักษณะของแผ่นซับ [18]

หลังจากติดแผ่นซับเสร็จแล้ว ผู้วิจัยทำการประกอบสปริงชุดเข้ากับส่วนประกอบของชุดตัวปรับความตึงโซ่และทำการทดสอบซ้ำด้วยเครื่องทดสอบแบบสั่นสะเทือน พร้อมกับวัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นสปริงด้วยเครื่องมือวัดความเครียด จากรูปที่ 4.7 จะสังเกตเห็นว่าแผ่นซับจะอยู่ในตำแหน่งที่ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของแผ่นสปริงชุด และสกรูจับตัวใน ดังนั้นการติดตั้งด้วยวิธีนี้จึงสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว

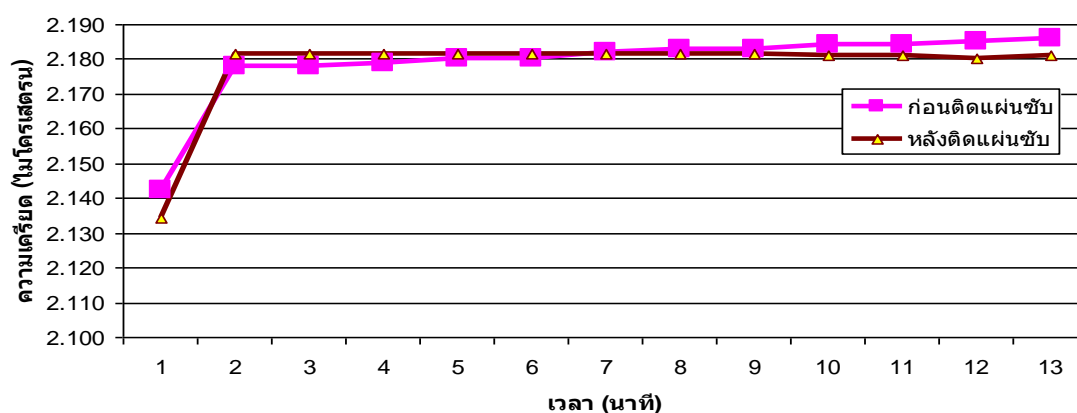


รูปที่ 4.8 ภาพมุมมองกว้างของตำแหน่งที่ติดแผ่นซับ

ตารางที่ 4.3 ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนแผ่นสปริง (ก่อนและหลังติดแผ่นซับ)

ระยะเวลาทดสอบ (นาที)	ค่าโมโครสเตรน (ก่อนติดแผ่นซับ)	ค่าโมโครสเตรน (หลังติดแผ่นซับ)
0	2.142	2.134
10	2.178	2.182
20	2.178	2.182
30	2.179	2.182
40	2.180	2.182
50	2.182	2.182
60	2.183	2.182
70	2.183	2.182
80	2.184	2.182
90	2.184	2.181
100	2.185	2.180
110	2.186	2.181
120	2.177	2.181

ผลจากการวัดค่าความเครียดของแผ่นสปริงที่ได้ไม่ได้รับการติดแผ่นซับกับสปริงที่ได้รับการติดแผ่นซับซึ่งมีระยะเวลาใช้งานที่เท่ากัน โดยเริ่มวัดค่าไปพร้อมกันตั้งแต่เวลา 0 ไปจนถึงเวลา 120 นาที ( 2 ชั่วโมง ) พบว่าที่ระยะเวลาเริ่มต้น 0 - 10 นาที ค่าความเครียดจะไม่แตกต่างกันมาก ก็จะเพิ่มขึ้นไปพร้อมๆกัน เมื่อเวลาผ่านไป เมื่อความเค้นเกิดขึ้นบนแผ่นสปริงมากขึ้น สปริงขดที่ไม่ได้รับการติดแผ่นซับจะมีค่าความเครียดเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันนั้นสปริงขดที่ได้รับการติดแผ่นซับจะมีค่าความเครียดคงที่กล่าวคือไม่มีการเพิ่มค่าความเครียด



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าความเครียดที่วัดได้ก่อนและหลังติดแผ่นซับ

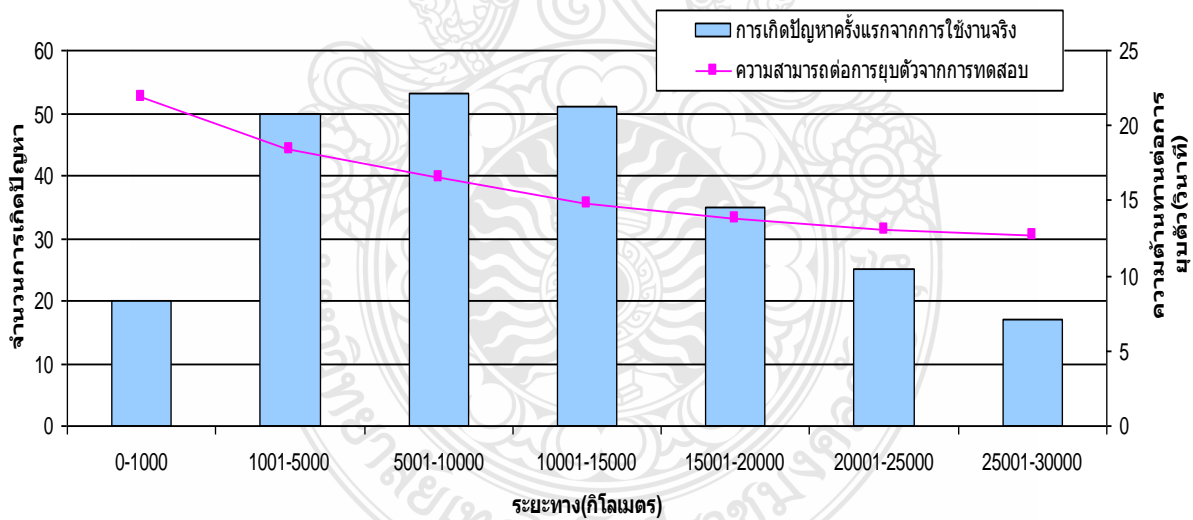
## บทที่ 5

### สรุปผลดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

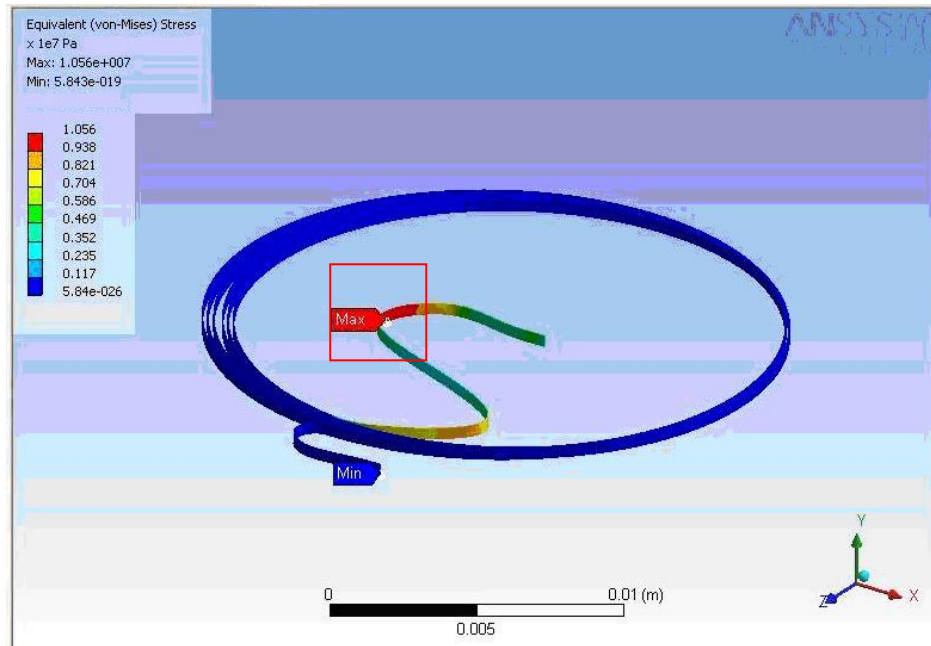
ผลที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบโซ่และแบบสั้นสะเทือนชี้ให้เห็นว่าที่ระยะทางใช้งานเริ่มแรก คือระหว่าง 0 - 1,000 กิโลเมตรแรกนั้น ตัวปรับความตึงโซ่ยังมีความสามารถด้านความต้านทานต่อแรงกดได้เป็นอย่างดี แต่หลังจากการใช้งานพ้นระยะทาง 1,000 กิโลเมตรไปแล้ว ความสามารถด้านความต้านทานต่อแรงกดของตัวปรับความตึงโซ่มีค่าลดลง ซึ่งที่ได้จากการทดสอบนี้ก็ยังคงสอดคล้องกับจำนวนการเกิดปัญหาที่มาจากการใช้งานจริง กล่าวคืออัตราการเกิดปัญหามีจำนวนเพิ่มขึ้นกว่า 2 เท่า ทันทีที่มีการใช้งานพ้นจากระยะทาง 1000 กิโลเมตรแรกไปแล้ว และจำนวนการเกิดปัญหาอยู่ในระดับการเกิดที่มีความต่อเนื่องสัมพันธ์กับระยะทางการใช้งานที่เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ พร้อมกับการลดลงของความต้านทานต่อแรงกดของตัวปรับความตึงโซ่ซึ่งจะลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะทางการใช้งาน

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าความต้านทานต่อแรงกดของตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้น มีค่าลดลงต่อเนื่องไปตามการเพิ่มขึ้นของระยะทางใช้งาน แต่จำนวนการเกิดปัญหาก็มีค่าลดลงทีละน้อยตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของผลที่ได้จากการใช้งานจริงและผลการทดสอบ

## 5.2 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ความเค้นบนชิ้นงานด้วยโปรแกรม Ansys

จากการแสดงผลการวิเคราะห์ความเค้นบนชิ้นงานด้วยโปรแกรมแอนซิส ซึ่งใช้วิธีการคำนวณแบบไฟไนต์ ทำให้พบว่าค่าความเค้นสูงสุดจะเกิดบนแผ่นสปริงตรงจุดโค้ง ที่มีเกี่ยวเข้ากับสกรูเกลียวขั้วในตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้น ซึ่งผลที่ได้นี้มีความสอดคล้องกับผลการตรวจสอบความเสียหายของแผ่นสปริงชุดที่ผ่านการใช้งานระหว่างระยะทาง 10,000 - 20,000 กิโลเมตร ที่มีการฉีกขาดบนแผ่นสปริงชุดตรงจุดเดียวกับที่เกิดค่าความเค้นสูงสุดจากโปรแกรม Ansys



รูปที่ 5.3 ผลการตรวจความเสียหายจากชิ้นงานจริง

### 5.3 สรุปผลการวิเคราะห์หลังการปรับปรุง

หลังจากการติดตั้งแผ่นซับลงตรงจุดที่เกิดค่าความเค้นสูงสุดบนแผ่นสปริงและได้ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบเดียวกันกับการทดสอบก่อนการปรับปรุงความทนทาน พบว่าการติดแผ่นซับเป็นวิธีการที่ช่วยลดการเกิดความเครียดบนจุดที่เกิดความเค้นภายใต้แรงกระทำสลับต่อเนื่องได้เป็นอย่างดี กล่าวคือแผ่นซับจะทำหน้าที่ลดการสั่นสะเทือนด้วยการดูดซับแรงสั่นสะเทือนที่ผิวเอาไว้ ทำให้ค่าความเค้นสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นที่ผิวชิ้นงานนั้นได้รับการลดระดับความเข้มข้นลง และส่งผลให้แผ่นสปริงสามารถคงความสามารถในการบิดตัวให้เกลียวสกรูจับตัวในหมุนผลัดกัน หรือต้านทานต่อแรงสับคของโซ่ราวลิ้นได้ดีขึ้น ทำให้ระดับเสียงการทำงานของโซ่ราวลิ้นและส่วนประกอบจึงอยู่ในระดับปกติตามปกติการทำงาน

การเพิ่มความทนทานของแผ่นสปริงชุดด้วยวิธีการติดแผ่นซับนี้ ถือว่าเป็นวิธีการที่ใช้เวลาและงบประมาณที่น้อยกว่าการปรับปรุงด้วยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติหรือขนาดของวัสดุ ด้วยเวลาเพียง 5 นาทีต่อการติดแผ่นซับลงบนสปริง 1 อัน นอกจากนี้วิธีการดังกล่าวยังช่วยแก้ไขสภาพที่ตัวรับความตึงโซ่เริ่มมีอาการปัญหาเนื่องจากความสามารถในการบิดตัวของแผ่นสปริงลดลง จากรูปที่ 5.4 แสดงการยุบตัวของแกนตัวรับความตึงโซ่ของชิ้นส่วนที่เกิดปัญหา เนื่องจากแผ่นสปริงชุดไม่สามารถทนทานต่อแรงกดของโซ่ราวลิ้นได้จำนวน 2 ชิ้นจากรถที่มีระยะทางใช้งาน 9,073 กิโลเมตร และระยะทางใช้งาน 1,116 กิโลเมตร



รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบความต้านทานต่อแรงกดที่เพิ่มขึ้นหลังติดแผ่นซับ

เมื่อได้ทำการคิดแผ่นซับลงตรงจุดที่เกิดความเค้นสูงสุดบนแผ่นสปริงชด และประกอบชิ้นส่วนกลับเข้ากับเครื่องยนต์และสังเกตการทำงานของเครื่องยนต์ที่รอบเดินเบา 30 นาที พบว่าเสียงการทำงานของเครื่องยนต์อยู่ในระดับปกติ หลังจากนั้นได้ทำการถอดตัวปรับความตึงโซ่ออกมาก็พบว่าแกนของตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้นยังอยู่ในสภาพที่ไม่เกิดการยุบตัวลงเหมือนสภาพก่อนการคิดแผ่นซับ ดังรูปที่ 5.4

การคิดแผ่นซับลงบนแผ่นสปริงชดนี้ เป็นทางเลือกของการลดอาการปัญหาและยืดอายุการใช้ตัวปรับความตึงโซ่ให้สามารถใช้งานต่อไปได้ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนของผู้ใช้รถและเป็นวิธีการที่สามารถทดแทนวิธีการถอดชิ้นส่วนออกม้างทำความสะอาดด้วยน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งถือว่าเป็นวิธีที่สร้างความสิ้นเปลืองด้านการใช้เชื้อเพลิง และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งผู้ใช้รถจะต้องเสียค่าใช้จ่ายต่อการถอดชิ้นส่วนออกม้างทำความสะอาด ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 40 นาที หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายตามเวลาทำงานประมาณ 150 บาทต่อครั้ง ในขณะที่วิธีการคิดแผ่นซับซึ่งเป็นวิธีที่ปราศจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการล้างชิ้นส่วนต่างๆ จะใช้เวลาประมาณ 20 นาที และเมื่อคำนวณค่าใช้จ่ายแล้วต่ำกว่าวิธีการเดิม คือประมาณ 40 บาทต่อครั้ง [16]

อย่างไรก็ตาม วิธีการคิดแผ่นซับนี้ก็ยังมีข้อจำกัดด้านผลกระทบจากความร้อน และไอระเหยของน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นหัวข้อที่ผู้วิจัยจะทำการศึกษาและพัฒนาต่อเนื่องเพื่อลดข้อจำกัดด้านการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงลำดับต่อไป

## 5.4 ประโยชน์ที่ได้จากการวิจัย

5.4.1 ทำให้รู้ว่าแรงกระทำสลับแบบต่อเนื่องมีผลต่อความล้าของสปริงชด โดยสังเกตได้จากผลที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบที่จำลองรูปแบบการทำงานของตัวปรับความตึงโซ่

5.4.2 ทำให้ได้วิธีการที่จะเสริมความสามารถในการต้านทานต่อแรงกระทำแบบสลับต่อเนื่อง โดยที่ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของตัวปรับความตึงโซ่ในเครื่องยนต์

5.4.3 ทำให้ได้แนวทางในการตรวจเช็คตัวปรับความตึงโซ่ก่อนที่จะเกิดปัญหา ด้วยการให้แนวทางการตรวจเช็คการทำงานของตัวปรับความตึงโซ่ และเสียงการทำงานของเครื่องยนต์ที่ระยะทางตรวจเช็คเครื่องยนต์ 8000 กิโลเมตร ซึ่งถือว่าเป็นระยะทางก่อนที่สปริงชดจะเกิดการการยืดตัว หรือค่าความเครียดจะเพิ่มขึ้นโดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากรูปที่ 4.3

5.4.4 เป็นทางเลือกที่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการแก้ไขปัญหาลักษณะนี้ จากความหย่อนของโซ่ราวลิ้นเนื่องจากความล้าของแผ่นสปริงชดในตัวปรับความตึงโซ่

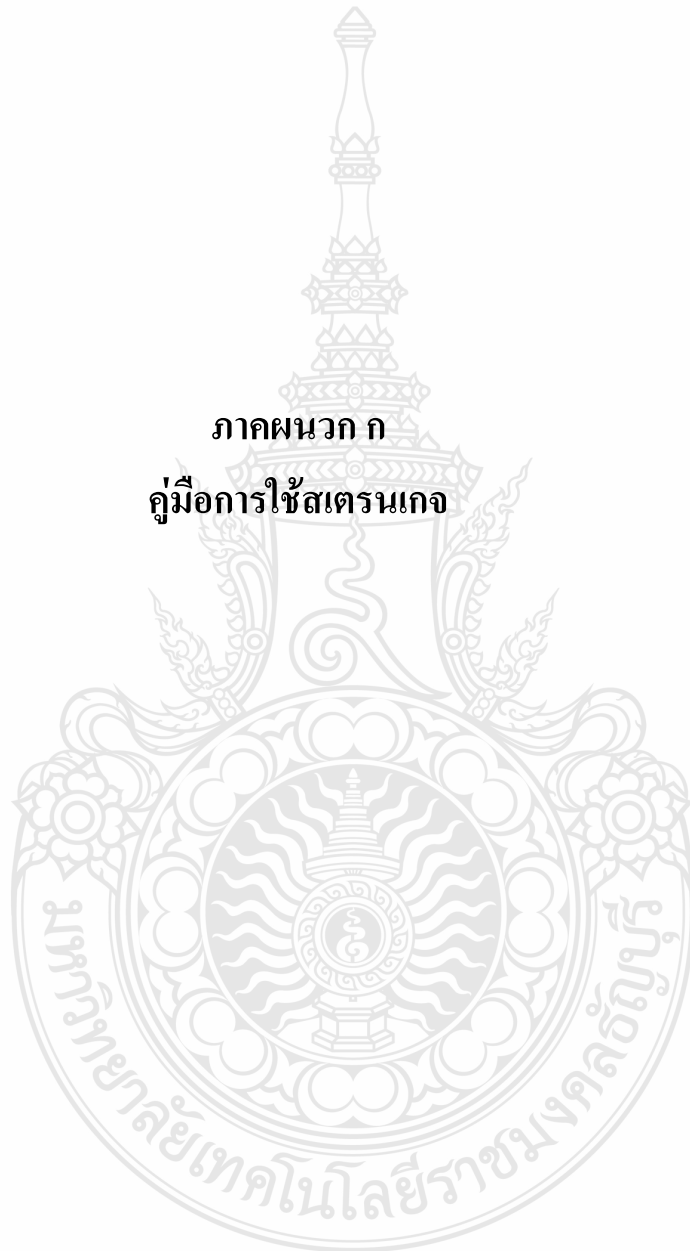
5.4.5 เป็นแนวทางที่สามารถประยุกต์ใช้ในการฝึกอบรมความรู้ด้านการบริการที่จะช่วยในการตรวจประเมินสภาพการทำงานของตัวปรับความตึงโซ่ก่อนที่จะเกิดปัญหาจริง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท เอ.พี.ฮอนด้า จำกัด, คู่มือการฝึกอบรมหลักสูตรนายช่างระดับ 3, 2553.
- [2] บริษัท เอ.พี.ฮอนด้า จำกัด, คู่มือรายการอะไหล่ รุ่น Wave 125 i , 2546.
- [3] บริษัท เอ.พี.ฮอนด้า จำกัด, รายงานด้านเทคนิค เลขที่ QIC2APH2010140, 2553.
- [4] บริษัท เอ.พี.ฮอนด้า จำกัด, เอกสารประกอบการฝึกอบรมด้านเทคนิค, 2552.
- [5] ญัฐวุฒิ สุขสำราญ, อุปกรณ์ตรวจวัดแรง, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2550.
- [6] Shizawa K.,Ishihara S., “Improvement of Fatigue Limit by Shot Peening for Spring Steel Specimens Containing an Artificial Surface Defect”, Japan.
- [7] จักร จันทลักษณ์, กนก ลิมสุมทรเพชร, “การวิเคราะห์โครงสร้างของล้อรถจักรยานยนต์ที่ทำจากโลหะผสม”, 2550.
- [8] Bruno Kaiser, Christina Berger, “Recent Findings to The Fatigue Properties of Helical Springs”, Germany.
- [9] Seon Jim Kim , Sung Hwan Yoon, “On Estimate of Probability Distribution for Fatigue Crack Growth Life”, China, 2007.
- [10] วิสรุต ศรีรัตนะ, เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์ในงานอุตสาหกรรม. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2550.
- [11] แม้น อมรสิทธิ์, วัสดุวิศวกรรม. สำนักพิมพ์แมคกรอฮิล, 2550.
- [12] วรวิทย์ อิงภากรณ์, การออกแบบเครื่องจักรกล. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน), 2522.
- [13] ฮอนด้ามอเตอร์, คู่มือฝึกอบรมทักษะด้านบริการและความรู้เทคนิค. 2549.
- [14] บริษัท เอ.พี.ฮอนด้า จำกัด , รายงานผลการสำรวจอัตราการใช้ซ่อมแก้ปัญห, 2551.
- [15] สุรเดช จิวภรณ์สวัสดิ์ ,นายเอกกรักษ์ กุณาทน, เครื่องมือทดสอบความล้าของตัวปรับตั้งความตึงโซ่ร้าวลิ้น, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล .มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2552.
- [16] บริษัท ทีเอ็มแอล จำกัด, คู่มือการใช้งานสเตรนเกจ, หน้า 13-18.
- [17] บริษัท รีเสิร์ช อีควิปเมนต์ จำกัด, คู่มือการใช้งาน Digital Strainmeter, หน้า 1-5.
- [18] บริษัท แพลทตินั่มพลาสติก จำกัด. <http://www.platinumplastic.com>(10 October 2010).



ภาคผนวก ก  
คู่มือการใช้สเตรนเกจ



# ひずみゲージユーザーズガイド

---

## STRAIN GAUGE USERS' GUIDE

本書でご案内の特記事項  
Special Reference in This Book



安全衛生に関わる取扱上の注意事項を記述しています。  
Guide to careful attention to safty operation.



取扱上の要点を記述しています。  
Guide to special technique on operation.



事前を知っておくと便利な情報について記述しています。  
Guide to further explanation for convenience.

### お問い合わせ Information

TMLひずみゲージユーザーズガイド及び記載製品に関するお問い合わせは、営業員もしくは各営業所にて承ります。  
また、技術的なお問い合わせは、担当営業所もしくは本社営業技術課までお願いいたします。  
If you have any questions about this book, please contact TML or your local representatives.

本書の内容に関しては予告なく変更させて戴くことがあります。あらかじめご了承ください。  
Please note that this book is subject to change without prior notice.

# TML Strain Gauges

---

## 〈TMLひずみゲージ〉

1954年の創業以来、東京測器研究所は応力測定機器の専門メーカーとしてひずみゲージを中心に数多くのオリジナル製品を提供してまいりました。その40年以上の歴史の中で、常に時代ごとのニーズをとらえ、業界最高レベルの4,000種にもおよぶ幅広い製品を用意し、お客様個々のニーズにきめ細かくお応えしております。TMLひずみゲージは開発、製造、試験、検査までの一貫した体制のもと、「信頼にこだわる製品づくり」を品質方針に、NAS 942、OIML等の国際規格に基づいた各種の試験を実施し、万全の品質管理に取り組んでおります。

## 〈TMLひずみゲージユーザーズガイド〉

TMLひずみゲージは測定条件に合わせ、数多くの種類を用意しておりますが、全ての「ひずみゲージは接着あるいは抵抗溶接などによって対象材料に取り付けて」機能します。ひずみゲージは測定対象物の材質、使用温度、ゲージ寸法などを誤りなく選択し、正しく取り付けることにより、精度の良いひずみ測定が可能です。しかしながら、この接着に代表されます対象材料へのひずみゲージの取り付けは、現在でも手作業で行われておりますので、ひずみゲージは取扱経験を必要とします。この「TMLひずみゲージ ユーザーズガイド」はひずみ測定の初心者にも、ひずみゲージの選択から接着、結線、コーティングまでの施工方法を正しく、効果的に行っていただくために用意しました。この「TMLひずみゲージ ユーザーズガイド」はひずみ測定現場でのハンドブックにご利用いただくことの編集方針から、当社の工場および計測現場において、実際に行われている作業を中心にひずみゲージの取扱上の要点をまとめてあります。ひずみゲージの取り付けは測定対象の材質、形状、寸法、環境などにより、多種多様となりますが、この「TMLひずみゲージ ユーザーズガイド」を基本にTMLひずみゲージをお使いください。

## <<TML Strain Gauges – Background>>

Since it was founded in 1954, Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd.(TML) has established itself as specialized manufacturer of stress measurement instruments. The TML original products cover the full range of strain gauges as well as many associated products. Throughout its 40-year history TML has striven to meet the needs of its customers, providing as many as 4,000 models to choose from, the largest product range in the industry. TML strain gauges are built using an integrated system of development, production, testing and inspection. This integrated system ensures that our products are subjected to the full range of tests required by international standards such as NAS942 and OIML. In line with our policy of "Building Products You Can Trust", strict product quality control applies to every TML strain gauge.

## <<TML Strain Gauge Users' Guide>>

The wide range of TML strain gauges cater to almost all measurement conditions, and all TML strain gauges function by being attached to the specimen either by adhesive bonding or resistance welding. Accurate measurements can only be obtained as long as the specimen material, operational temperature and strain gauge dimensions are selected correctly and the strain gauge is correctly installed. However, because even the latest strain gauges are typically bonded to the specimen by hand, the strain gauge must be installed by an experienced technician. The TML Strain Gauge Users' Guide is designed to allow engineers who have limited experience with strain gauges to use them correctly and effectively, and covers each step from selecting the correct strain gauge through to attaching the gauge to the specimen, connecting the lead wires, and applying coatings. This Users' Guide was compiled for use as an on-site handbook for using TML strain gauges, and its explanations stress the actual tasks involved in using the strain gauge, whether you are using the gauge in your factory or out in the field. Strain gauges can be installed on a specimen in many different ways depending on the shape and dimensions of the specimen, the material it is made of, and the environment in which the measurements are taken. Always refer to this TML Strain Gauge Users' Guide before using a TML strain gauge.



## ひずみゲージによるひずみ測定

### Measurement Using Strain Gauges

#### 1. ひずみ測定の目的とひずみゲージの優位性 Strain Gauge Purposes and Criteria for Selection

##### 1.1 ひずみ測定の目的

ひずみ測定には概ね3つの目的があります。

- ひずみによる変形量を知りたい場合。
- ひずみから応力を知り、その材料またはそれを用いた構造物の安全度を知りたい場合。
- ひずみに変換して各種の物理量を間接的に知りたい場合。

ひずみ測定には機械的および電気的な多種の測定方式がありますが、ひずみゲージは優れた特性により、応力測定を中心に最も多く用いられています。

##### 1.2 ひずみゲージの優位性

ひずみゲージは多くの利便性を備えているものの、一方で限界があることも事実です。

温度、ひずみ量、疲労、環境などに対して一定の使用限界がありますので、あらかじめ限界を見極めてひずみゲージを使う必要があります。

###### (1) ひずみゲージの特長

- 構造が簡単で質量、容積が小さく測定対象物の応力状態を乱さない。
- 標点距離を短くでき、局所的な評価ができる。
- 周波数応答性が良く、応力の急激な変化に追従できる。
- 多点の同時測定、遠隔測定ができる。
- 出力が電気量なので、データ処理が容易。

###### (2) ひずみゲージの短所

- 温度変化に対して影響を受けやすい。
- 耐水性、耐湿性などが弱く、防水・防湿および環境対策が必要。
- 取り扱いにテクニックを要する。

##### 1.1 Strain Gauge Purposes

Strain gauges are generally used for one of three reasons:

- To ascertain the amount of deformation caused by strain.
- To ascertain the stress caused by strain and the degree of safety of a material or of a structural element that uses that material.
- To indirectly ascertain various physical quantities by converting them to strain.

There are a number of ways of measuring strain mechanically and electrically, but the vast majority of stress measurement is carried out using strain gauges due to their superior measurement characteristics.

##### 1.2 Selecting a Strain Gauge

Strain gauges are provided with many convenient features, but they also have limitations.

Each strain gauge has its limitations in terms of temperature, fatigue, the amount of strain, and the measurement environment. These limitations must be examined before a strain gauge is used.

###### (1) Strain Gauge Features

- Simple construction with a small mass and volume so as not to interfere with the stresses on the specimen.
- Short distances between measuring points for localized evaluation.
- Good frequency response for tracking rapid fluctuations in stress.
- Simultaneous measurement of multiple points and remote measurement.
- Electrical output for easy data processing.

###### (2) Strain Gauge Shortcomings

- Susceptibility to temperature variations.
- Low resistance to moisture and humidity, necessitating waterproofing or other protective measures.
- Need for skilled technicians.

Point!

###### ●ひずみゲージの特性

###### Strain Gauge Characteristics

当社はユーザの皆様へ現状のひずみゲージの技術水準をお知らせし、使用限度内での効果的なひずみ測定方法を紹介しています。

TML will appraise all client staff of the current strain gauge technical standards, and will briefly explain how to use the strain gauge effectively within the usage limitations.

## 2. ひずみゲージの原理と構造 Strain Gauge Principles and Structure

### 2.1 ひずみとは

材料に引張力(または圧縮力)が加わりますと、これに対応する応力 $\sigma$ が材料内部に発生します。この応力に比例した引張ひずみ(圧縮ひずみ)が発生し、長さ $L$ の材料は $L+\Delta L$ (または $L-\Delta L$ )に変形します。このときの $L$ と $\Delta L$ の割合をひずみと言います。

ひずみ  
L: 材料の始めの長さ  
 $\Delta L$ : 外力 $P$ による変化分  
P: 外力

$$\text{<式1.1>} \dots \varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

(例題1.1) 長さ100mmの材料が外力を受けて0.1mm変形したときのひずみ( $\varepsilon$ )は式1.1から

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{0.1}{100} = 0.001 = 1000 \times 10^{-6}$$

となります。

ひずみは $1 \times 10^{-6}$ を基準にしますので上の値のように $1000 \times 10^{-6}$ ひずみ(または $1000 \times 10^{-6}$ や $1000 \mu\text{m/m}$ )で表します。読み方は1000マイクロひずみとなります。

### 2.2 ひずみゲージの原理

ひずみゲージを取り付けた測定対象物(以下試験体と称す)にひずみが発生すると、ゲージベースを経由して抵抗体にひずみが伝わります。抵抗体は、このひずみにより寸法変化を生じて、対応した抵抗変化が起こります。

このときのひずみと抵抗変化の関係は式1.2のようになります。

$$\text{<式1.2>} \dots \varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta R/R}{K}$$

$\varepsilon$ : 求めるひずみ  
R: ゲージ抵抗  
 $\Delta R$ : ひずみを受けたときの抵抗変化量  
K: ゲージ率(ゲージパッケージに記載)

### 2.1 What is Strain?

When a material is stretched (or compressed), the force used generates a corresponding stress  $\sigma$  inside the material. This stress in turn generates a proportional tensile strain (or compressive strain) which deforms the material by  $L+\Delta L$  (or  $L-\Delta L$ ), where  $L$  is the original length of the material.

When this occurs, the strain is the ratio of  $\Delta L$  to  $L$ .

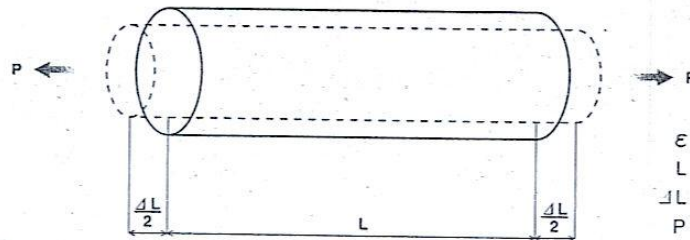


Fig. 1.1 引張ひずみ  
Tensile Strain

$\varepsilon$ : Strain  
L: Initial material length  
 $\Delta L$ : Deformation caused by external force P  
P: External force

$$\text{<Equation 1.1>} \dots \varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

(Example 1.1) When external force is applied to a material 100mm in length causing a deformation of 0.1mm, equation 1.1 gives the strain ( $\varepsilon$ ) as follows:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{0.1}{100} = 0.001 = 1000 \times 10^{-6}$$

Because the standard format for expressing strain values is  $1 \times 10^{-6}$ , the above result is given as  $1000 \times 10^{-6}$  (or  $1000 \mu\text{m/m}$ ). This is referred to as a 1000-microstrain.

### 2.2 Strain Gauge Principles

When strain is generated in the material being measured (referred to hereafter as the 'test specimen') and a strain gauge is attached, the strain is relayed via the gauge base to the resistance wire or foil in the gauge. This strain changes the dimensions of the wire or foil, which causes a corresponding change in the resistance. Equation 1.2 shows the relationship between the strain and the variation in resistance.

$$\text{<Equation 1.2>} \dots \varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta R/R}{K}$$

$\varepsilon$ : Strain measured  
R: Gauge resistance  
 $\Delta R$ : Resistance change due to strain  
K: Gauge factor (shown on gauge package)

## 2.3 ひずみゲージの構造

ひずみゲージは、ゲージベースの上に格子状の抵抗線またはフォトエッチング加工した抵抗箔を形成し、引き出し線(ゲージリード)を付けたものです。

これを試験体の表面に専用接着剤で接着して使用します。

## 2.3 Strain Gauge Structure

A strain gauge consists of a gauge base, onto which a resistance wire laid out in a grid or a photographically etched metallic resistance foil is bonded. Gauge leads are then attached to the resistance wire or foil. The strain gauge is attached to the surface of the test specimen using a special bonding adhesive.

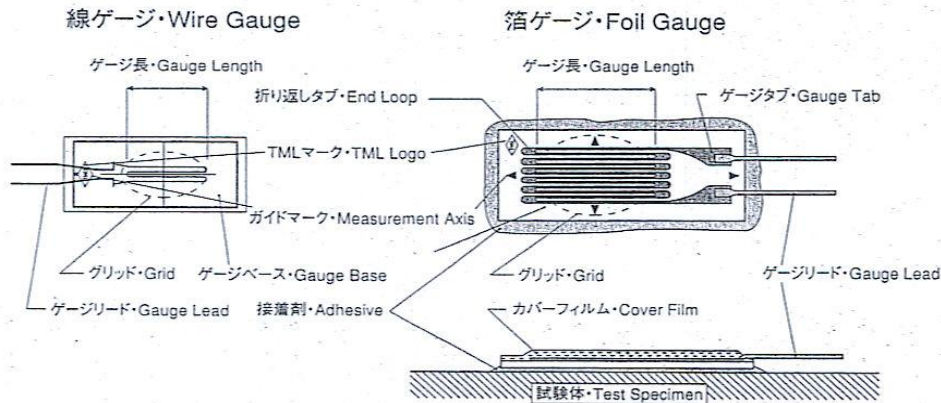


Fig. 1.2 ひずみゲージの構造  
Structure of a Strain Gauge

### ● ゲージベース

ゲージ受感部の形状を保ち、試験体のひずみをゲージ受感部へ伝達することと電気的絶縁の役目を果たす部分です。

### ● ゲージ長

ひずみゲージのゲージ受感部の長さです。折り返しタブの内側の長さです。

### ● グリッド

ゲージ受感部で抵抗変化に寄与する部分です。

### ● ゲージリード

ゲージ受感部またはゲージタブから引き出された細い導線です。

### ● 折り返しタブ

箔ゲージにおいて、ゲージ受感部の折り返し部分です。

### ● ガイドマーク

グリッドの中心に設けられた位置決め用のマークです。

### ● カバーフィルム

ゲージ受感部を保護するための、薄いフィルムです。

### ● ゲージタブ

箔ゲージにおいて、ゲージリードを取り付けるために箔が広がっている部分です。

### ● 接着剤

ひずみゲージを試験体へ固定し、ひずみをゲージベースへ伝達します。

### ● Gauge Base (Matrix)

The gauge base maintains the shape of the sensitive elements in the gauge, and relays the strain in the test specimen to the sensitive elements. The gauge base also functions as an electrical insulator.

### ● Gauge Length

The gauge length is the length of a sensitive element in the strain gauge, and is the distance between end loops.

### ● Grid

The grid is that part of the strain gauge's sensitive element that produces the change in resistance.

### ● Gauge Leads

The gauge leads are fine conducting wires that are connected to the gauge's sensitive element or gauge tabs.

### ● End Loops

On a foil gauge, the end loops are the loops formed in the grid where the sensitive element loops back in the opposite direction.

### ● Measurement Axis

The measurement axis is an axis running through the center of the grid (indicated by locating arrow markers).

### ● Cover Film (Encapsulation)

The cover film is a thin film used to protect the sensitive element.

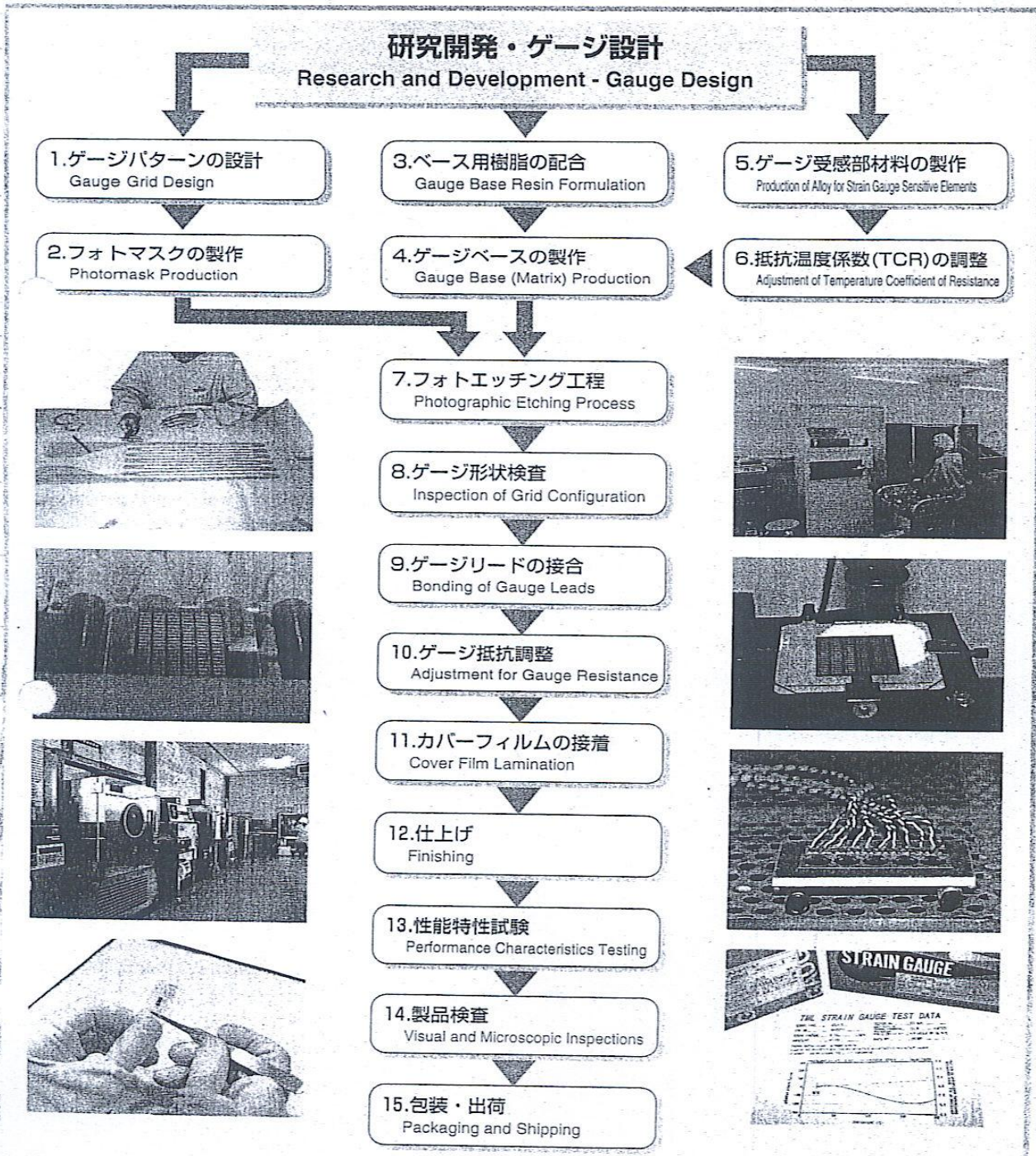
### ● Gauge Tab

On a foil gauge, the gauge tabs are the areas where the sensitive element widens to allow gauge leads to be attached.

### ● Adhesive

Adhesive is used to bond the strain gauge to the test specimen and to relay the strain to the gauge base.

1. TML 箔ひずみゲージの製造工程  
Manufacturing Process for TML Foil Strain Gauges



## 2. ひずみ測定的方式 Strain Measurement Methods

ひずみゲージがひずみを受けて抵抗変化する量は(ゲージ抵抗120Ω、ひずみ量 $1000 \times 10^{-6}$ ひずみ、G.F. 2.00の場合で、0.24Ω)極めて小さく、通常のテスターなどでは精度良くその抵抗変化を測定するのは困難です。一般に、ひずみゲージは、ホイートストンブリッジ回路(以下ブリッジ回路と省略)を用いて、抵抗変化を電圧に変換してひずみ測定を行います。

ブリッジ回路にひずみゲージを図のように組み込み、入力側に電圧を加えるとひずみゲージの抵抗変化に比例して、出力側に電圧が発生します。ひずみと出力電圧の関係は

<式3.1>

$$\Delta E = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} E_{in}$$

$\Delta E$  = 出力電圧  
 $E_{in}$  = 入力電圧  
 $R_1$  = ゲージ抵抗値  
 $R_2 \sim R_4$  = 固定抵抗の値  
 となります。

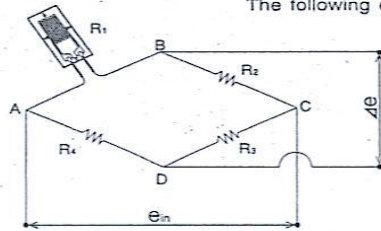


Fig. 3.1 ホイートストンブリッジ  
Wheatstone bridge

The size of the resistance change when strain is exerted on a strain gauge is extremely small (0.24 Ω for a gauge resistance of 120 Ω, a strain of  $1000 \times 10^{-6}$  and a gauge factor of 2.00), and this change cannot easily be measured with any real precision by a normal tester. Usually, strain gauges use a Wheatstone bridge circuit (referred to hereafter simply as a bridge circuit or bridge) to convert the resistance change to a voltage output for strain measurement. Figure 3.1 shows how the strain gauge is built into a bridge circuit. Voltage applied on the input side produces a proportional resistance change which in turn generates voltage on the output side.

The following equation shows the relationship between strain and output voltage:

<Equation 3.1>

$$\Delta E = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} E_{in}$$

$\Delta E$  = Output voltage  
 $E_{in}$  = Input (exciting) voltage  
 $R_1$  = Gauge resistance  
 $R_2$  to  $R_4$  = Fixed resistance values

$R = R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ とすると、ひずみゲージにひずみが加わってひずみゲージの抵抗 $R$ が $R + \Delta R$ になり

<式3.2> ...  $\Delta E = \frac{E_{in} \cdot \Delta R}{4R + 2\Delta R}$

$\Delta R \ll R$ を考慮すれば

<式3.3> ...  $\Delta E = \frac{E_{in} \cdot \Delta R}{4R} = \frac{E_{in} \cdot K}{4} \epsilon$

となります。

Where  $R = R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ , the strain gauge resistance  $R$  when strain is applied varies to  $R + \Delta R$ .

<Equation 3.2> ...  $\Delta E = \frac{E_{in} \cdot \Delta R}{4R + 2\Delta R}$

If we assume  $\Delta R \ll R$ , then:

<Equation 3.3> ...  $\Delta E = \frac{E_{in} \cdot \Delta R}{4R} = \frac{E_{in} \cdot K}{4} \epsilon$

ひずみが零でも、ブリッジ各辺の抵抗が同一でない場合は、その抵抗値差による出力電圧が生じます。したがって、ひずみが生じた出力電圧から、この初期不平衡電圧を差し引いたものが上式の電圧になります。また、上図の場合AD間とDC間の抵抗値は必ずしもゲージ抵抗値と同じでなくても、両者の抵抗値が等しければ上式は成り立ちます。もし各辺が全部変化したとしますと

<式3.4>

$$\Delta E = \frac{E_{in}}{4} \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) = \frac{E_{in} \cdot K}{4} (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4)$$

ここに $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$

すなわち、上図の隣りあう抵抗変化(ひずみ)は差となり、対辺は和となります。従って、もし隣同士が極性反対なら絶対値の和となり、対向辺同士が極性反対の場合は絶対値の差となります。この原理はうまく組み合

If the resistance at each arm of the bridge is not the same when the strain is zero, the difference in resistance generates an output voltage. Accordingly, the voltage obtained from the above equation is the output voltage generated by the applied strain minus the initial voltage imbalance.

Even if the resistances between A and D and between D and C in Figure 3.1 are not necessarily equal to the gauge resistance, the above equations hold as long as the two resistance values are equal. If we assume that all values change on each side of the circuit then:

<Equation 3.4>

$$\Delta E = \frac{E_{in}}{4} \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) = \frac{E_{in} \cdot K}{4} (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4)$$

Here,  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ .

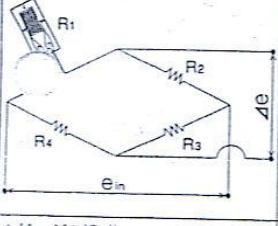
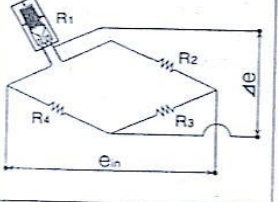
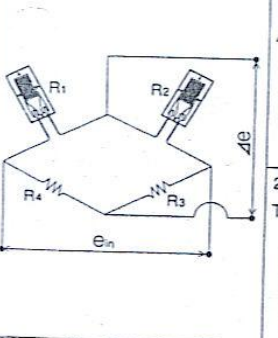

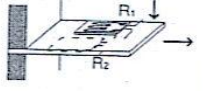
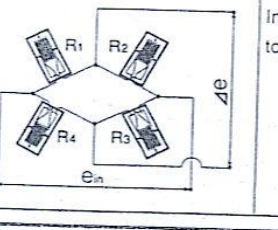
Consequently, differences arise between adjacent resistance changes (strains) in Figure 3.1, and the difference across the two sides is the sum of these. As a result, if adjacent resistance



わせると、不必要なものを消去したり、出力を増大させたりすることもできます。  
 目的に合ったひずみ測定方式を、下表を参考に選択してください。

changes have opposing polarity, the difference across the sides becomes the sum of the absolute values. Likewise, if resistance changes on opposite sides of the bridge have opposing polarity, the difference across the sides is the difference between the absolute values. The skilful combination of these principles allows you to eliminate any unnecessary elements and to maximize the output. Use the table below as a guide to selecting the best strain measurement method for the measurement purpose.

Table 3.1 結線方法とその特徴  
 Connection Methods and Their Characteristics

結線方法 Connection Method	特 徴 Characteristics
1ゲージ2線式 Quarter bridge 2-wire system 	この方法は、 $R_1$ にひずみゲージ、 $R_2 \cdot R_3 \cdot R_4$ は固定抵抗でブリッジ回路を構成します。ひずみゲージの最も単純な使い方で、自己温度補償ゲージを用いる場合や温度変化がない場合、または動的測定などで温度変化の影響を無視できる場合の方法です。 In this method, the bridge circuit is made up of a strain gauge as $R_1$ and fixed resistances for $R_2, R_3$ and $R_4$ . This is the simplest way to use a strain gauge, and is the method used for self-temperature compensated strain gauges or when there is no temperature change, or when the effects of temperature change can be ignored, as in dynamic measurement.
1ゲージ3線式 Quarter bridge 3-wire system 	1ゲージ法でリード線が長い場合や、細いリード線を使用する場合は、リード線の抵抗値が変化します。通常、リード線の心線は、抵抗温度係数の大きい銅線を使用しますので、リード線の抵抗値は小さくても抵抗変化分は無視できない、熱出力の量となります。このリード線の温度による抵抗変化の悪影響を除くために3線式結線法が使われます。 In this method, the resistance values for the lead wires change if the lead wire is long or is particularly fine. Because lead wire cores are normally made of copper wire, which has a large thermal coefficient of resistance, the change in resistance cannot be ignored, however small the resistance, as it adds to the thermal output. The three wire system is used to avoid an unexpected effects of resistance change caused by the lead wire temperature. This is measurement method most often recommended for strain measurement.
2ゲージ法 Half bridge 	この方法はひずみゲージ2枚で他の2辺は固定抵抗でブリッジ回路を構成します。 This method uses a bridge circuit made up of two strain gauges and fixed resistances on the other two sides of the circuit. アクティブ・ダミー法 Active-dummy method  $R_1$ をアクティブゲージ、 $R_2$ をダミーゲージと呼び、ひずみゲージとリード線の温度補償を行う測定方式です。 In this method, $R_1$ is the active gauge and $R_2$ is a dummy gauge. This is used to compensate for the strain gauge and lead wire temperature. 2アクティブ法 Two active method  引張成分を除去し、曲げ成分だけを測定したり、出力を大きく取り出したい場合の方式です。 This method eliminates the tensile component and is used to measure just the bending stress or when a large output is required.
4ゲージ法 Full bridge 	この方法は、ブリッジの4辺ともひずみゲージを用いる方法で、トランスジューサやトルク測定に使われますが、一般の応力測定では限られた測定方式です。 In this method, strain gauges are connected on all four sides of the bridge. This is used in transducers and to measure torque, but has limitations in ordinary strain measurement.

### 3. ひずみゲージの種類と選択 Strain Gauge Types and Selection

ひずみゲージは冒頭に記しましたように試験体の材質、使用温度、ゲージ寸法などを正しく選択し、正しく取り付けますと、精度の良いひずみ測定が可能です。

しかしながら、実際には測定条件などから、思いどおりの施工ができないケースも多々あります。

- 加熱硬化型接着剤との組み合わせで使いたいが、対象物が加熱困難な場合。
- 溶接型ゲージを使いたいが、試験体の材質が溶接困難である場合。
- 十分なコーティングをすれば耐水性が得られるのに構造的に施工ができない場合。

など、測定対象ごとにいろいろな制約が出てまいります。

試験体や測定環境の十分な事前調査を行い、適切なひずみゲージを選択してください。

As stated in the introduction, accurate strain measurement is only possible if you select the correct gauge for the test specimen materials, operating environment and gauge dimensions, and then install the gauge correctly.

Even so, there are many instances where actual measurement does not proceed as anticipated due to the measurement conditions.

The specimen itself can impose a variety of limitations, for example:

- When you want to use a heat-curing adhesive but heating the test specimen is problematic.
- When you want to use a weldable gauge but the test specimen material is difficult to weld.
- When the amount of coating required to waterproof the gauge causes structural problems with gauge functioning.

You should thoroughly examine the test specimen and the measurement environment before you select the appropriate strain gauge.



● ひずみゲージの選択

Strain Gauge Selection

ひずみゲージの選択の際は当社総合カタログも合わせてご参照ください。

Refer to the TML catalog also when you select a strain gauge.

#### 3.1 ひずみゲージの種類

ML ひずみゲージは使用目的および特性などから、20種を超えるゲージシリーズで構成していますが、ほぼ4つに大別されます。

(1) ひずみゲージの分類

#### 3.1 Strain Gauge Types

The range of TML strain gauges includes over 20 gauge series each with differing purposes and features, which can be classified into 4 broad groups.

(1) Strain Gauge Classification

Table 3.2 ひずみゲージの分類  
Strain Gauge Classification

分類 Classification	ひずみゲージの種別 Strain Gauge Type
使用温度 Testing Temperature	低温、常温、高温、超高温 Low temperature, normal temperature, high temperature, super-high temperature
試験体の材質 Material	金属、コンクリート、木材、プラスチック、複合材、ガラスなど Metal, concrete, wood, plastic, composite material, glass, etc.
特殊用途 Special Uses	塑性域（大ひずみ）、応力集中、残留応力、ボルト軸力、無誘導、トルクなど Large elongation, stress concentration, residual stress, bolt axial, magnetic field, torque, etc.
変換器製作用途 Transducer Use	高抵抗、ダイアフラムなど High resistance, diaphragm, etc.

(2) ひずみゲージの大きさ

ひずみゲージの大きさの選択条件は二つあります。

● ゲージ寸法

ひずみゲージを取り付ける場所や材料により、ひずみゲージの大きさの制限を受けます。

また、ひずみゲージは接着後にゲージ端子の接着、防湿のためのコーティングが必要ですので、コーティングスペースも考慮して、ひずみゲージの大きさを決めます。

● ゲージ長

ゲージ長は、ひずみゲージのひずみ感受部の長さです。

測定対象に応じて、局所的なひずみ測定にはゲージ長の短いひずみゲージを、平均化したひずみ測定にはゲージ長の長いひずみゲージを用います。

※TMLひずみゲージは、0.2~120mmのゲージ長を用意しています。

(2) Strain Gauge Size

The second criteria for strain gauge selection is the size of the gauge.

● Gauge Size

The location of gauge installation and the material on which it is installed impose restrictions on the strain gauge size.

Also, because lead wires have to be connected to the connecting terminal and a coating applied to protect the gauge from moisture, the space required for the coating must also be considered when you determine the gauge size.

● Gauge Length

The gauge length is the length of the sensitive element in the gauge. You should use different gauge lengths depending on the specimen. Gauges with short gauge lengths are used to measure localized strain, while gauges with long gauge lengths can be used to measure averaged stress over a larger area.

※ TML strain gauges range in length from 0.2mm to 120mm.

Table 3.3 ゲージ長と測定対象  
Gauge Lengths and Gauge Applications

ゲージ長・Gauge Length	測定対象・Gauge Application
0.2 ~ 1mm 0.2mm to 1mm	集中応力の測定 For stress concentration measurement
2 ~ 6mm 2mm to 6mm	金属の一般ひずみ測定 For metal and general use
10 ~ 20mm 10mm to 20mm	モルタル、木材、FRPなどの一般ひずみ測定 For mortar, wood, FRP, etc.
30 ~ 120mm 30mm to 120mm	コンクリートの一般ひずみ測定 For concrete



● ゲージ長の選択

Selecting the Gauge Length

不均質な材料の場合には、ひずみを平均化できると思われる適当な長さが必要です。

例えば、コンクリートはセメントと骨材(砂利・砂など)とから構成されますので、コンクリートの平均的な材質の評価には、砂利粒径の三倍程度のゲージ長が使われています。

For a heterogeneous material, a gauge length is required that can average out the irregular stresses in the material.

For example, because concrete is composed of cement and an aggregate (gravel or sand, etc.), the length of the gauge used is three times the diameter of the gravel pieces so as to give an averaged evaluation of the concrete.

● ゲージ幅

Gauge Width

ゲージ長が同じでゲージ幅の狭いタイプ(FLKタイプ)もあります。

パイプ・丸棒などで、細い試験体の場合にはゲージ幅の狭いひずみゲージを選択してください。

Strain gauges with the same gauge length are also available in a narrower width (FLK-type).

Select narrow strain gauges for thin specimens such as cylindrical pipes, etc.

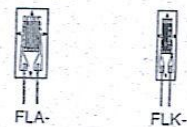


Fig. 3.2 ゲージ幅  
Gauge Width







(3) ひずみゲージの形状

TML ひずみゲージは用途別に各種の形状を用意しています。目的にあったゲージ形状を選択してください。

(3) Strain Gauge Shape

TML also supplies strain gauges in different patterns for a range of applications. Select the appropriate gauge patterns for your application.

Table 3.4 ひずみゲージの形状  
Strain Gauge Patterns

ゲージ素子数 No. of Gauge Elements	1素子 1	2素子 2	2素子 2	3素子 3	3素子 3	5素子 5
ゲージ形状 Gauge Patterns						
当社の呼称 TML Nomenclature	単軸 Single element	クロス 2-element Rosette	クロス 2-element Rosette	ロゼット 3-element Rosette	ロゼット 3-element Rosette	5連 5-element Single-axis
グリッド配置 Grid Layout	— —	積層型 Stacked Type	分散型 Plane Type	積層型 Stacked Type	分散型 Plane Type	— —

(4) ひずみゲージの使用温度範囲

当社では熱出力、ゲージ率の温度係数、温度クリープ、温度ドリフトなどの特性から使用温度範囲を決めています。ゲージ受感部の材質や形状、ゲージベースの材質などによって使用温度範囲が異なります。

(4) Strain Gauge Operational Temperature Range

TML determines the operational temperature range of its strain gauges on the basis of characteristics such as the thermal output, thermal coefficient of gauge factor, thermal creep and thermal drift of the strain gauge. The operational temperature ranges of strain gauges differ depending on the material and grid configuration of the sensitive element and the material used in the gauge base.

Table 3.5 TML ひずみゲージ使用温度範囲  
Operational Temperature Range for TML Strain Gauges

使用温度範囲 Operational Temperature Range	区分 Type	受感部材料 Element Material	ゲージベース材料 Gauge Base(Matrix) Material	ゲージシリーズ Strain Gauge Series
-196℃～室温 -196℃ to Room Temp.	低温用 Low temperature	Ni-Cr合金 Ni-Cr alloy	エポキシ樹脂 Epoxy resin	CF CF series
-20～80℃ -20℃ to 80℃	常温用 Normal temperature	Cu-Ni合金 Cu-Ni alloy	エポキシ樹脂 Epoxy resin	F F series
-20～200℃ -20℃ to 200℃	中高温用 High temperature	Cu-Ni合金 Cu-Ni alloy	ポリイミド樹脂 Polyimide resin	QF QF series
-20～300℃ -20℃ to 300℃	高温用 High temperature	Ni-Cr合金 Ni-Cr alloy	ポリイミド樹脂 Polyimide resin	ZF ZF series
室温～650℃ Room Temp. to 650℃	超高温 Super-high temperature	Pt-W合金 Pt-W alloy	— —	AWH AWH series

(5) 自己温度補償ゲージ

当社では線膨張係数が3、5、8、11、17、23、50、70×10<sup>-6</sup>/℃の材料に適合した、自己温度補償ゲージを用意しています。巻末の物性表を参考に自己温度補償ゲージを選択してください。尚、標準的な材料用として11、17、23×10<sup>-6</sup>/℃用のひずみゲージは赤、茶、緑にそれぞれゲージベースを色別しています。

(5) Self-Temperature Compensated Strain Gauges

TML supplies self-temperature compensated strain gauges for use with materials with a coefficient of linear thermal expansion of 3, 5, 8, 11, 17, 23, 50 or 70×10<sup>-6</sup>/℃. Refer to the table of physical properties at the end of this guide when you are selecting a self-temperature compensated strain gauge. The three most commonly found material coefficients of linear thermal expansion are 11, 17 and 23×10<sup>-6</sup>/℃, and TML self-temperature compensated strain gauges for these properties are identified using gauge base (matrix) colors of red, brown and green respectively.



●自己温度補償ゲージと熱出力

Self-Temperature Compensated Strain Gauge and Thermal Output

自己温度補償ゲージを使いましても、測定中に温度変化が大きくなりますと熱出力が大きくなり、測定値の補正が必要になります。(63頁の5章2. 熱出力を参照)

Even when a self-temperature compensated strain gauge is used, a sufficiently large temperature change will produce thermal output large enough to necessitate measurement correction. (See "2. Thermal Output" in Chapter [5] (P.63).)

●特殊な材料の場合

For Special Material

ご希望の材料に適した自己温度補償ゲージも製作可能です。当社営業部員にご相談ください。

TML can also manufacture custom self-temperature compensated strain gauges for a desired material. Contact your TML representatives for details.

### 3.2 ひずみゲージの選択

一般的なひずみゲージの選択は以下の条件をもとに行います。

### 3.2 Selecting the Strain Gauge

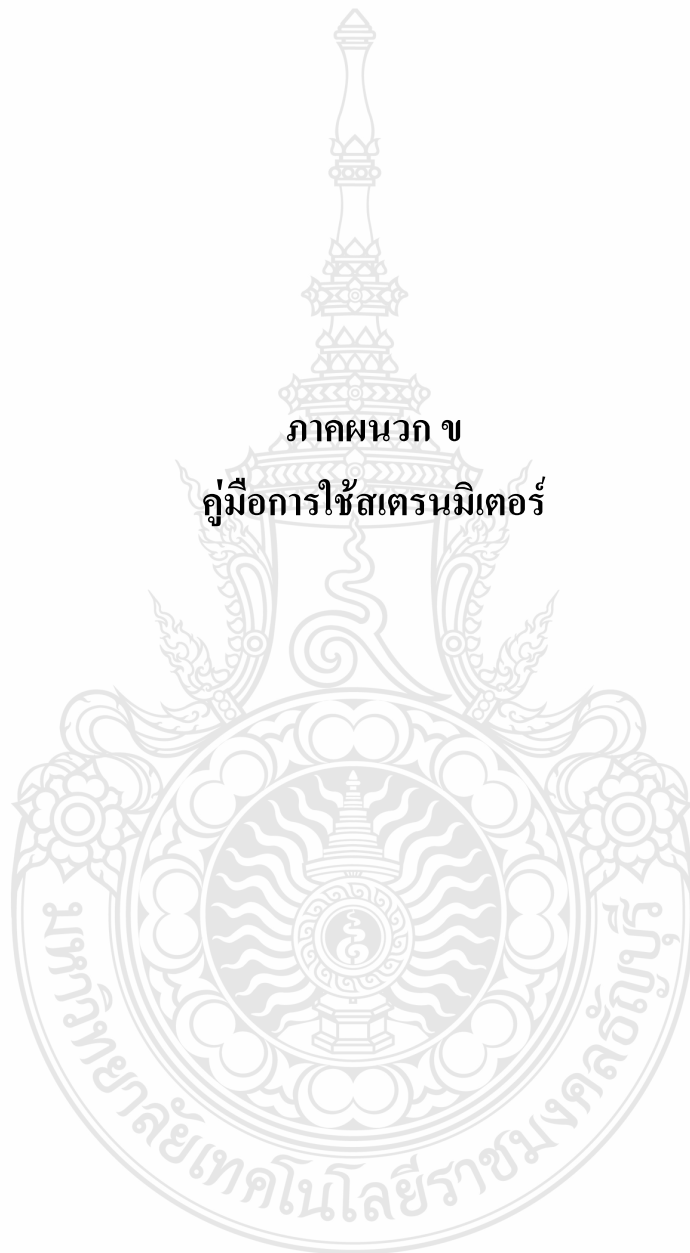
Use the table below as a guide to selecting a strain gauge for ordinary strain measurement.

Table 3.6 ひずみゲージの選択条件  
Strain Gauge Selection Criteria

選択条件 Criterion	選択項目 Item Selected	選択方法 Selection Method
試験温度 Testing temperature	ゲージシリーズ Gauge series	試験温度で機能するゲージシリーズを選択します。 Select a gauge series capable of functioning at the testing temperature.
試験体の材質 Test specimen material	自己温度補償ゲージ Self-temperature compensated strain gauge	試験体の材質にあった自己温度補償ゲージを選択します。 Select the appropriate self-temperature compensated strain gauge for the specimen material.
ひずみ分布など Strain distribution, etc.	ゲージ長とゲージ幅 Gauge length and width	ひずみ分布、材質などから測定目的に合ったゲージ寸法を選択します。 Select the appropriate gauge size for the measurement purpose based on the strain distribution and material, etc.
測定目的 Measurement purpose	ゲージ形状 Gauge pattern	単軸(1軸)、クロス(2軸)、ロゼット(3軸)、集中ゲージ、応力解析の方式から、ひずみゲージ取付位置とひずみゲージの形状を選択します。 Select the strain gauge pattern and installation location based on whether a single-element, 2-element rosette, 3-element rosette, stress concentration (5-element) or stress analysis strain gauge is required.
試験の種類 Type of test	測定方式 Measurement method	静ひずみ、動ひずみ、1ゲージ2線式、1ゲージ3線式など測定対象と目的から測定方式を決めます。 Determine measuring method such as the static strain, dynamic strain, quarter-bridge with two wire, or quarter-bridge with three wire system depending on the object being measured and the purpose.

ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้สเตรนมิเตอร์



# คู่มือการใช้งาน

## Digital Strainmeter

TML

Model TC-31K



RESEARCH EQUIPMENT CO., LTD.

บริษัท รีเสิร์ช อีควิปเมนต์ จำกัด

64 Moo 1 Soi Ruamsuk 4 Jivajonni Road, Tambon Sanmai, Amphur Muang PATUMTHANI 12000 THAILAND

64 หมู่ 1 ซอยรามสุก 4 ซ.จิวาจน์ ต.บ้านใหม่ อ.เมือง จ.ปทุมธานี Tel. 0 2501 2696, 0 2961 3514 Fax. (+662) 961 3516

## TC-31K

### การตั้งค่า Coefficient :

- กดปุ่ม Power เพื่อเปิดเครื่อง เข้าสู่ Monitor Mode
- กดปุ่ม 4/Disp Form
- กดปุ่ม F1 เพื่อตั้งค่า Coefficient
- ใส่ค่า Coefficient ที่ต้องการ เป็นตัวเลข 4 หลัก
- กด Shift เพื่อสลับค่าระหว่าง + และ -
- กด ENT เพื่อบันทึกค่าที่ตั้งไว้ลงในหน่วยความจำของเครื่อง หรือกด DEL เพื่อยกเลิกการตั้งค่า

### การตั้งจำนวนหลักทศนิยม (Decimal Point Setting) :

- จาก Monitor Mode
- กดปุ่ม 4/Disp Form
- กดปุ่ม F2 เพื่อตั้งจำนวนหลักทศนิยม
- กดเลข 0-6 เพื่อกำหนดหลักทศนิยม
- กด ENT เพื่อบันทึกค่าที่ตั้งไว้ลงในหน่วยความจำของเครื่อง หรือกด DEL เพื่อยกเลิกการตั้งค่า

### การตั้งหน่วยของการวัด (Unit Setting) :

- จาก Monitor Mode
- กดปุ่ม 4/Disp Form
- กดปุ่ม F3 เพื่อตั้งหน่วยของการวัด
- กดเลข 00-35 เพื่อกำหนดหน่วยของการวัด ตามตารางข้างล่าง
- กด ENT เพื่อบันทึกค่าที่ตั้งไว้ลงในหน่วยความจำของเครื่อง หรือกด DEL เพื่อยกเลิกการตั้งค่า

#### ตารางหน่วยของการวัด

Number	Unit	Number	Unit	Number	Unit	Number	Unit
00	$\mu$	09	tf	18	V	27	PPM
01	mm	10	N	19	mA	28	Tor
02	cm	11	KN	20	A	29	space
03	m	12	MN	21	$\Omega$	30	Nm
04	$^{\circ}$ C	13	Kg/mm	22	M $\Omega$	31	###
05	$^{\circ}$ F	14	KPa	23	Hz	32	K $\Omega$
06	Deg	15	MPa	24	G	33	m/s <sup>2</sup>
07	gf	16	Kgm	25	%	34	kg/cm
08	Kgf	17	mV	26	rpm	35	HPa

### การตั้งค่า Capacity และ Sens. :

- จาก Monitor Mode
- กดปุ่ม 4/Disp Form
- กดปุ่ม Shift เพื่อตั้งค่า Cap. และ Sens.



- Cap. ← กดตัวเลข 6 หลักเพื่อตั้งค่า Cap.
- Point ← กดตัวเลข 0-6 เพื่อกำหนดจำนวนหลักทศนิยม หรือกด F1/F2 เพื่อลด/เพิ่มจำนวนหลักทศนิยม
- Unit ← กดตัวเลข 00-35 เพื่อกำหนดหน่วยของการวัด หรือกด F1/F2 เพื่อเลือกหน่วยของการวัด
- Sens. ← กดตัวเลข 4 หลักเพื่อตั้งค่า Sens.
- กด ENT เพื่อบันทึกค่าที่ตั้งไว้ลงในหน่วยความจำของเครื่อง หรือกด DEL เพื่อยกเลิกการตั้งค่า

การเข้าสู่ Mode การวัดแบบง่ายที่สุด :

- จาก Monitor Mode
- กดปุ่ม 0/Simp-Meas เพื่อสลับกันระหว่าง Simple Measure Mode และ Mode การวัดที่ต้องการ กำหนดค่าต่าง ๆ ด้วยตนเอง

Simple Measure Mode จะมีการกำหนดค่าต่าง ๆ ดังตารางต่อไปนี้

Sensor Mode	Sensor	Coefficient	Decimal Point	Unit	Minimum resolution
11 ~ 16	Straingage	1.000	0	μ	1 με
20 ~ 26	Thermocouple	1.000	1	°C	0.1 °C
40	RTD	1.000	1	°C	0.1 °C
30	Voltage 240 mV	1.000	3	mV	0.001 mV
32	Voltage 24 V	1.000	4	V	0.0001 V
34	Voltage Auto	1.000	*	*	*

การบันทึกข้อมูล :

- จาก Monitor Mode
- กดปุ่ม 2/M-WR เพื่อเข้าสู่การบันทึกข้อมูล จะปรากฏหมายเลขชุดของข้อมูลที่กำลังจะทำการบันทึก
- กดปุ่ม ENT เพื่อเตรียมพร้อมที่จะทำการบันทึกข้อมูล
- กดปุ่ม ENT อีกครั้ง เพื่อกำหนดให้บันทึกข้อมูลลงในหมายเลขชุดของข้อมูลที่ปรากฏอยู่ หรือกดหมายเลขชุดของข้อมูลที่ต้องการบันทึก เป็นตัวเลข 4 หลัก แล้วกด ENT หรือหากต้องการเพียงเปลี่ยนค่าหมายเลขชุดของข้อมูล ให้กดหมายเลขชุดของข้อมูลที่ต้องการ เป็นตัวเลข 4 หลัก แล้วกด Shift
- กดปุ่ม ENT อีกครั้ง เพื่อเริ่มต้นการบันทึกข้อมูล
- กดปุ่ม DEL เพื่อทำการยกเลิกการบันทึกข้อมูล
- กดปุ่ม 2/M-WR อีกครั้งเพื่อออกจาก Mode การบันทึกข้อมูล

การอ่านข้อมูล :

- จาก Monitor Mode
- กดปุ่ม 1/M-RD เพื่อเข้าสู่การอ่านข้อมูล จะปรากฏหมายเลขชุดของข้อมูลที่กำลังจะทำการอ่าน
- กดปุ่ม ENT เพื่ออ่านข้อมูลจากชุดของข้อมูลที่ปรากฏ
- กดปุ่ม ENT อีกครั้ง เพื่อเปลี่ยนไปยังข้อมูลชุดถัดไป
- กดปุ่ม ENT อีกครั้ง เพื่ออ่านข้อมูลจากชุดของข้อมูลที่ปรากฏ

ที่ต้องการอ่าน เป็นตัวเลข 4 หลัก แล้วกดปุ่ม ENT

- ถ้าผู้ใช้พยายามอ่านข้อมูลจากชุดข้อมูลลำดับที่เกินกว่าลำดับสุดท้ายที่มีการบันทึกไว้ จะปรากฏข้อความ "NO DATA" บนหน้าจอ

การลบข้อมูลออกจากหน่วยความจำ :

- จาก Monitor Mode
- กดปุ่ม 2/M-WR เพื่อเข้าสู่การบันทึกข้อมูล
- กดปุ่ม ENT เพื่อเตรียมพร้อมที่จะทำการบันทึกข้อมูล
- กำหนดหมายเลขชุดของข้อมูลให้เป็น "0000" แล้วกดปุ่ม ENT ข้อมูลเก่าทั้งหมดจะถูกลบทิ้งหลังจากกำหนดให้บันทึกข้อมูลลงที่หมายเลข "0000"

การตรวจสอบการทำงาน :

- จาก Monitor Mode
- กดปุ่ม 3/CHECK เพื่อเข้าสู่ Mode การตรวจสอบการทำงาน
- กดปุ่ม F1 เพื่อตรวจสอบ Insulation และกดปุ่ม DEL เพื่อสิ้นสุดการตรวจสอบ หรือ
- กดปุ่ม F2 เพื่อตรวจสอบ Resistance และกดปุ่ม DEL เพื่อสิ้นสุดการตรวจสอบ

การวิเคราะห์ข้อมูล :

- จาก Monitor Mode
- กดปุ่ม SHIFT เพื่อเข้าสู่ Menu
- กดปุ่ม F1 เพื่อเข้าสู่การวิเคราะห์ข้อมูล
- ใช้ลูกศรขึ้น/ลง เพื่อเลือก Field ที่ต้องการกำหนดค่า
- ใช้ลูกศรซ้าย/ขวา เพื่อเลือกค่าที่ต้องการ
- จากนั้น จึงกดปุ่ม F1 เพื่อให้เครื่องวาดกราฟบนหน้าจอ
- ถ้าต้องการพิมพ์กราฟที่ได้ ออกทางเครื่องพิมพ์ผล ให้กด F2 เพื่อทำการพิมพ์
- ถ้าต้องการยกเลิกการพิมพ์ ให้กดปุ่ม DEL

การตั้ง Timer :

- จาก Monitor Mode
- กดปุ่ม SHIFT เพื่อเข้าสู่ Menu
- กดปุ่ม F3 เพื่อเข้าสู่ Timer Mode
- กดเลข 0 เพื่อตั้งนาฬิกาในเครื่อง
  - ใช้ปุ่ม F1 และ F2 เพื่อเลื่อน Cursor
  - ใช้ปุ่มตัวเลขในการกำหนดวันที่ และเวลา ที่ต้องการ
  - กดปุ่ม ENT เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงวันที่และเวลา
  - กดปุ่ม DEL เพื่อยกเลิกการเปลี่ยนแปลงวันที่และเวลา
  - ถ้าต้องการอ่าน Help ให้กดปุ่ม F3
- กดเลข 1 เพื่อตั้งค่า Interval Time
  - ใช้ปุ่ม F1, F2, ลูกศรขึ้น และลง เพื่อเคลื่อน Cursor
  - ใช้ปุ่มตัวเลขในการกำหนดค่า Interval Time

- Start ถ้ากดปุ่ม SHIFT ในขณะที่ Cursor อยู่ที่ตำแหน่ง Repeat Field จะเป็นการเปลี่ยน Timer Mode ให้เป็นแบบ Real Time Start
- ถ้ากดปุ่ม SHIFT ในขณะที่ Cursor อยู่ที่ตำแหน่ง Hour หรือ Minute Field จะเป็นการเปลี่ยน Timer Mode ให้เป็นแบบ Just Time Start
- กดปุ่ม ENT เพื่อสิ้นสุดการกำหนดค่า
- กดปุ่ม DEL เพื่อยกเลิกการกำหนดค่า
- ถ้าต้องการอ่าน Help ให้กดปุ่ม F3
- กดเลข 2 เพื่อเริ่มต้น Timer
  - ใช้ปุ่มลูกศรเพื่อตั้งค่า Sleep Mode เป็น YES หรือ NO
  - กดปุ่ม ENT เพื่อเริ่มต้น Timer
  - กดปุ่ม DEL เพื่อยกเลิก Timer Start Mode
- กดเลข 3 เพื่อสิ้นสุด Timer
  - กดปุ่ม ENT เพื่อหยุด Timer
  - กดปุ่ม DEL เพื่อยกเลิก Timer Stop Mode

การพิมพ์ข้อมูล :

- จาก Monitor Mode
- กดปุ่ม SHIFT 2 ครั้ง แล้วกด F1 เพื่อเข้าสู่ Mode การพิมพ์ข้อมูล
- ใช้ปุ่มตัวเลขเพื่อกำหนดหมายเลขชุดข้อมูลที่ต้องการเริ่มต้นพิมพ์
- กดปุ่ม ENT เพื่อเริ่มพิมพ์
- กดปุ่ม DEL เมื่อต้องการหยุดการพิมพ์ชั่วคราว

การตั้งค่าการทำงานของระบบ :

มีทั้งหมด 5 ส่วน

1. Memory cascade function
  2. Burn out check function
  3. Internal reference compensation
  4. Auto power off
  5. Data out function
- จาก Monitor Mode
  - กดปุ่ม SHIFT 2 ครั้ง แล้วกดปุ่ม F3 เพื่อเข้าสู่ Mode การตั้งค่าการทำงานของระบบ
  - ใช้ปุ่มลูกศรชี้ขึ้น/ลง ในการเลื่อน Cursor
  - ใช้ปุ่มลูกศรซ้าย/ขวา ในการเลือก YES/No
  - กดปุ่ม ENT เพื่อกำหนดค่าต่าง ๆ
  - กดปุ่ม DEL เพื่อยกเลิกการตั้งค่า

การตั้งค่า Communication Parameter :

- จาก Monitor Mode
- กดปุ่ม SHIFT 2 ครั้ง แล้วกดปุ่ม F2 เพื่อเข้าสู่ Mode การกำหนดค่า Communication Parameter

- เซบุมลुकศรชย/ชว เนการเลอก YES/No
- กดปุ่ม ENT เพื่อกำหนดค่าต่าง ๆ
- กดปุ่ม DEL เพื่อยกเลิกการตั้งค่า

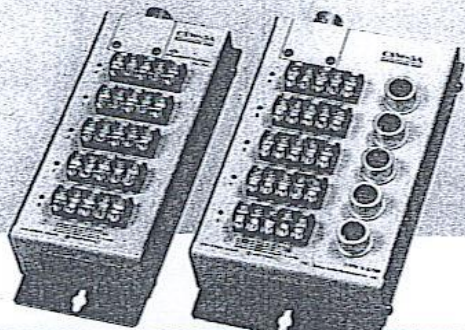
# Digital Strainmeter

## TC-31K TYPE S238C



PC card flash memory  
available 8~128MB  
(PC Card standard Type II)

**New**



5-ch Switching Boxes  
CSW-5A

CSW-5A-05



Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd.

**DIGITAL STRAINMETER TC-31K**



TYPE S238C

# A Handy Tool that Goes Anywhere

**DIGITAL STRAINMETER TC-31K** TYPE S238C

TC-31K TYPE S238C is an upgraded model accepting Flash memory card. It succeeds the originality of former model such as fundamental functions including splash proofing construction (IP-54) and easy mounting connector. In addition to strain, dc voltage, thermocouple and Pt-RTD measurements, it can be used as a digital multi-meter for measurement of resistance and insulation resistance. Interval timer with sleep function is also provided. Measurement data can be stored using PC card (PCMCIA Type II, 8 - 128MByte) on the market. Measured data can easily be processed and analyzed by application software such as MS-Excel. Ten units of five-channel switching box CSW-5A can be connected at maximum (for 50 channels) as same as former model. Control and data transfer are also available by connecting personal computer using exclusive connection cable.

## Design

Designed specifically for field measurement

◆ **Use of Flash memory card**

A flash memory card (PCMCIA Type II) which is acceptable by PC card drive equipped as a standard specification for notebook computer can be used. A card having capacity of 8 to 128MByte should be used.  
Note) SRAM card which is accepted by former model of TC-31K cannot be used.



◆ **COMPACT AND LIGHTWEIGHT**

Weighing only 850g, the unit fits perfectly in your hand.

◆ **DURABLE**

The moisture tight case protects the instrument with the IP-54 proof class from incidental moisture encountered in the field, and it is shock resistant as well. Connector receptacles are equipped with attached caps to keep moisture out.

◆ **SUPERB PORTABILITY**

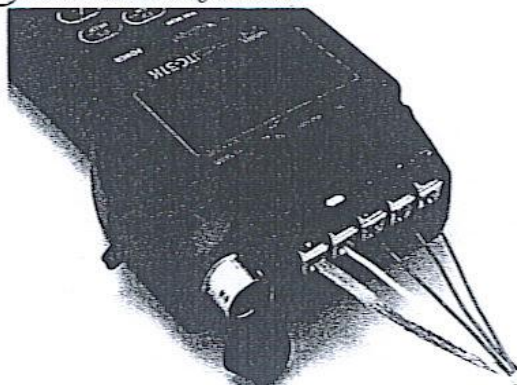
Everything about its design and construction make it ideal to transport in the field. Lightweight, easy to grip and battery powered.

## Easy to Use

Convenience at your fingertips

■ **QUICK MOUNT TERMINALS**

These innovative connectors allow you to quickly and easily connect and disconnect different sensors - an essential feature for measurement and checking in the field.



The input terminals on the upper end feature a finger-touch design (Patent No.3253202) that facilitates connecting leads; no screws or solder needed. Leads with arrow and banana plugs can be inserted into the terminals as well - a real time saver when more than one sensor needs to be connected and read.

■ **EASY TO READ DISPLAY**

◆ **Liquid crystal display with backlight**

The display screen shows not only the value measured, but auxiliary information associated with programming of the instrument, like sensor mode and scaling parameter to give you a constant visual reminder of these important setting. The backlighted display means you can take readings in the dark if necessary.



■ **FLEXIBLE POWER SUPPLY**

◆ **LR6 batteries**

Alkaline or rechargeable Ni-Cd batteries can power the TC-31K. The unit continues to measure while you charge the battery on an AC adaptor (option). A built-in battery protects data from loss when you replace the batteries. Rechargeable nickel-hydrogen battery on the market can also be used as power source. In this case, exclusive charger should be used to recharge batteries.

◆ **Automatic power-off**

Power is cut automatically after about 10 minutes of inactivity in order to preserve the battery.

# Anytime Flash memory card (PCMCIA Type II) accepted

DIGITAL STRAINMETER



## Functions

Superb functionality -- In a league of its own

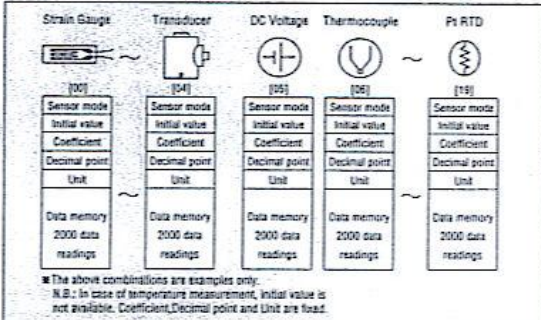
### ◆ A wide range of measurable quantities

The TC-31K can read strain gauge and strain gauge based transducer inputs, DC voltage, thermocouples and platinum resistance temperature devices. In addition, it can measure resistance, which is handy for trouble shooting strain gauge installation. The unit displayed with readings can be programmed. The output from a device can be multiplied by a programmed constant before display in order to transform it into the desired physical quantity.

### ◆ Large capacity data memory

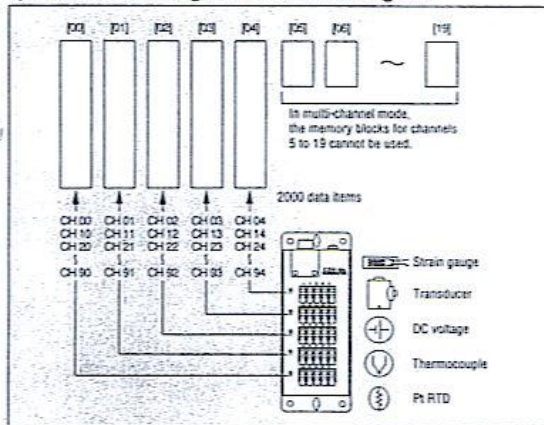
The built-in data memory can be used in a variety of ways (see below) depending on the situation.

#### 1). Measurement Using Only the TC-31K



The data memory is partitioned into 20 blocks, 00 to 19, and each block can have its own input parameters defined independently. This allows you to connect and switch between sensors at up to 20 measuring points and to display and record direct readings of physical quantities. Using the 20 data memory blocks as a continuous block, you can record up to 40,000 data readings. (In this case, you can use only one coefficient, sensor mode and initial value).

#### 2). Measurement Using the CSW-5A Switching Box



The measurements can be saved in the corresponding data memory blocks. Each block is capable of recording 2,000 data items. Two or more CSW-5A switching boxes are manually changeovered to switch for measurement, with a total of 2,000 measurement scans. The sensor mode, coefficient and initial value data for up to ten CSW-5A switching boxes (50 points) can be saved in the TC-31K's memory and direct-reading measurements of physical quantities saved in the data memory. The saved data can then be recorded directly onto a flash memory card.

### ◆ Data visualization and data transfer

Readings saved in the various memory blocks can be accessed in four different ways.

For small data sets it may be convenient to recall individual readings from memory to the screen display. With a few keystrokes, one can create a screen plot of the

data versus time. A memory card and printer (optional accessories) can be connected to the TC-31K. Finally, data can be transferred via an RS-232C cable (optional accessory) to a PC compatible microcomputer.

### ◆ Data storage using Flash memory card (PCMCIA Type II)

Data measured and stored by TC-31K can be transferred to a personal computer using Flash memory card (PCMCIA Type II) which is accessible irrespective of personal computer's OS. Flash memory card on the market (8 - 128Mbyte) can be used.

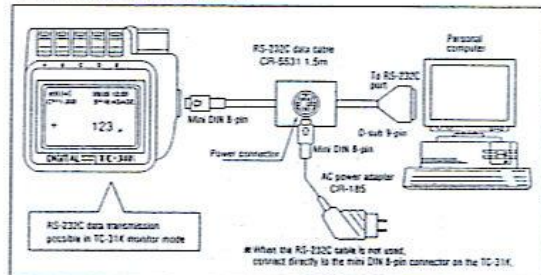
Note) SRAM card which is accepted by former model of TC-31K cannot be used.

### ◆ Interval timer

You don't have to be on site to record data. Using the five step interval timer in conjunction with an auto-start function, the unit will activate, record a series of readings according to the time sequence programmed and then return to an inactive state. An indicator light denotes that the instrument is in this "sleep mode".

### ◆ Computer interface

The TC-31K can be connected to the serial port of your microcomputer for both control of the unit and for downloading of data from the instrument's memory. (Use the optional CR-5531 cable.)



### ◆ Automatic switching box CSW-5A

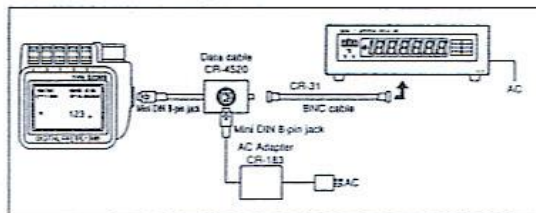
The single channel TC-31K can be upgraded to multi-channel if there is a need to monitor more than one device without manually connecting and disconnecting each to the instrument prior to reading.

The 5 channel switching box allows automatic channel changing for those channels. More than 5 channels can be accommodated by the addition of up to 10 CSW-5A units, although the instrument must be manually connected to each 5 channel unit before taking readings. The CSW-5A-05 is equipped with screw clip connectors for lead wires, and 7 pin connector plug receptacles are also available as an option.

### ◆ External display unit EDU-11

This is an optional display unit used to monitor the measured value indicated on TC-31K from a distant place. Data cable CR-4520 is required for connecting EDU-11 to TC-31K. Two or more units of EDU-11 can be cascaded to one TC-31K.

Note) Physical unit is not displayed on EDU-11.





## DIGITAL STRAINMETER

### Specifications

#### [Measurement Mode]

Item	Strain	DC Voltage	Thermocouple	Pt-RTD
Measurement Mode	Initial Direct Measure	Initial Direct Measure	Direct	Direct
Initial Value Storing Range	$\pm 240000 \times 10^{-6}$ strain or less	$\pm 24V$ or less	—	—
Sampling Speed	Approx. 0.25 sec	Approx. 0.25 sec	Approx. 0.5 sec	Approx. 0.25 sec
Notes	1G3W (Quarter bridge 3-wire method): 120, 240 or 350 $\Omega$ 2G, 4G(Half or Full bridge method): 120 $\Omega$ to 1000 $\Omega$ Constant current full bridge: 350 $\Omega$ Coefficient setting: $\pm(0.001\sim 9.999)$	Input impedance: V240mV 500M $\Omega$ or more V24V 1M $\Omega$ Coefficient setting: $\pm(0.001\sim 9.999)$	Built-in RJC (external compensation also available) Digital linearization	Applicable JIS C1604-1997 Pt100 $R_{100}=100.00\Omega$ $R_{100}/R_0=1.385$ $R_0$ : Resistance at 0 $^{\circ}C$ $R_{100}$ : Resistance at 100 $^{\circ}C$

#### [Strain / DC Voltage Measurement Accuracy]

Mode	Measurement Range	Resolution	Accuracy $\pm(\%rdg+dig.)$ at 23 $\pm 3^{\circ}C$	Temperature Coefficient $\pm(\%rdg) / ^{\circ}C$	Variation with Age $\pm(\%rdg) / year$
Strain Full bridge (4G)	$\pm 30000 \times 10^{-6}$ strain	$1 \times 10^{-6}$ strain	$\pm 0.08+1$	0.0045	0.04
	$\pm 240000 \times 10^{-6}$ strain	$2 \times 10^{-6}$ strain	$\pm 0.08+2$	0.0045	0.04
DC Voltage V240mV range	$\pm 30mV$	0.001mV	$\pm 0.08+2$	0.0045	0.04
	$\pm 240mV$	0.002mV	$\pm 0.08+2$	0.0045	0.04
DC Voltage V24V range	$\pm 3V$	0.1mV	$\pm 0.08+2$	0.0045	0.04
	$\pm 24V$	0.2mV	$\pm 0.08+2$	0.0045	0.04

Allowable input voltage V240mV range:  $\pm 5V$   
V24V range:  $\pm 35V$

#### [Temperature Measurement Accuracy - Thermocouple and Pt-RTD]

Thermocouple	Measurement Range	Accuracy $\pm(\%rdg+dig.)$ at 23 $\pm 3^{\circ}C$		Resolution $^{\circ}C$	Temperature Coefficient $\pm(\%rdg) / ^{\circ}C$	Variation with Age $\pm(\%rdg) / year$
		External RJC	Internal RJC			
K (CA)	-200 $\sim$ -100 $^{\circ}C$	0.152+0.2	0.152+1.5	0.1	0.0086	0.076
	-100 $\sim$ +1370 $^{\circ}C$	0.094+0.1	0.094+0.8	0.3	0.0053	0.047
(CC)	-200 $\sim$ -100 $^{\circ}C$	0.14 +0.2	0.14 +1.5	0.1	0.0079	0.070
	-100 $\sim$ +400 $^{\circ}C$	0.095+0.1	0.095+0.9	0.1	0.0053	0.047
J (IC)	-200 $\sim$ -100 $^{\circ}C$	0.143+0.1	0.143+1.3	0.1	0.0081	0.072
	-100 $\sim$ +1200 $^{\circ}C$	0.09 +0.1	0.09 +0.7	0.1	0.0051	0.045
E (CRC)	-200 $\sim$ -100 $^{\circ}C$	0.138+0.1	0.138+1.4	0.1	0.0078	0.069
	-100 $\sim$ +1000 $^{\circ}C$	0.092+0.1	0.092+0.8	0.1	0.0052	0.046
S	-10 $\sim$ +1760 $^{\circ}C$	0.086+0.4	0.086+1.1	0.2	0.0049	0.043
B	+200 $\sim$ +400 $^{\circ}C$	0.04 +1.0	0.04 +1.0	0.5	0.0023	0.020
	+400 $\sim$ +1760 $^{\circ}C$	0.053+0.5	0.053+0.5	0.3	0.0030	0.026
R	-10 $\sim$ +1760 $^{\circ}C$	0.084+0.4	0.084+0.1	0.2	0.0047	0.042
N	-200 $\sim$ -100 $^{\circ}C$	0.161+0.3	0.161+1.7	0.2	0.0091	0.081
	-100 $\sim$ +1300 $^{\circ}C$	0.092+0.1	0.092+0.8	0.4	0.0052	0.046
Pt-RTD	-200 $\sim$ +650 $^{\circ}C$	$\pm(0.2\% rdg+0.4 digit)$		0.1		

#### [Check Mode]

	Insulation Resistance	Resistance
Measuring Range	0 $\sim$ 500M $\Omega$	0 $\sim$ 24k $\Omega$
Accuracy	$\pm 2\%rdg$ (0 $\sim$ 10M $\Omega$ ) $\pm 5\%rdg$ (10 $\sim$ 100M $\Omega$ ) $\pm 20\%rdg$ (100 $\sim$ 500M $\Omega$ )	$\pm(0.5\%rdg+2dig.)$
Resolution	0.1M $\Omega$	0.1 $\Omega$ (0 $\sim$ 2.4k $\Omega$ ) 1 $\Omega$ (2.4 $\sim$ 24k $\Omega$ )
Sampling Speed	Approx. 1 sec	Approx. 0.25 sec
Notes	Excitation voltage Approx. 2.9V	Excitation current 10 $\mu A$

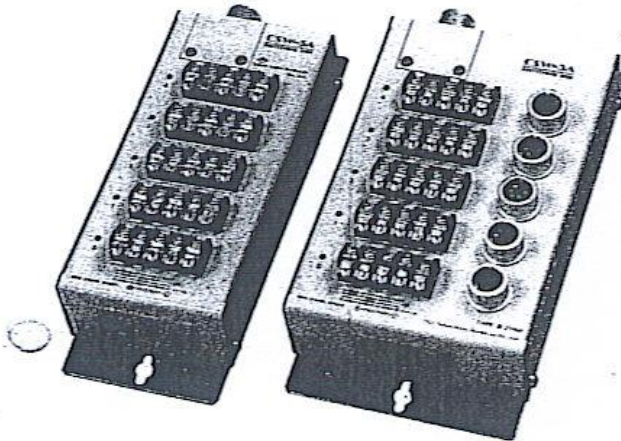






## SWITCHING BOX

### 5-channel automatic operation CSW-5A/CSW-5A-05



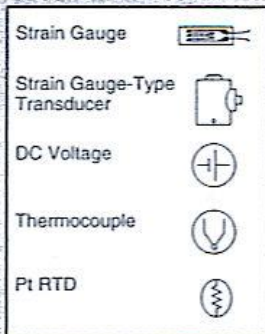
CSW-5A

CSW-5A-05

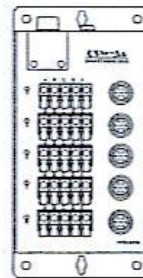
The CSW-5A is a 5 channel automatic switching box which allows multiple channel inputs. Each channel can be programmed with its own scaling parameter, sensor mode, etc. through the key pad of the TC-31K. Up to 10 of these units can be used, giving a total capability of 50 channels. In addition, automatic measurement is possible using the interval timer function of the TC-31K. The CSW-5A-05 provides connector receptacles in addition to the standard screw clips. These are handy for use with strain gauge based transducers.

- Switching boxes specially designed for the TC-31K
- Can be used for strain gauge, strain gauge-type transducer, DC voltage, thermocouple and platinum resistance-temperature device measurements
- Input connection by screw or soldering
- Compact and light
- CSW-5A-05 provides both terminals and simple, one-push connectors

#### ■ Measurement with 5 or less channels



Switching Box  
CSW-5A

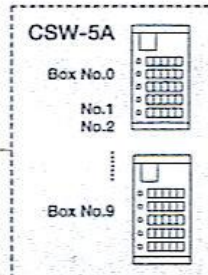
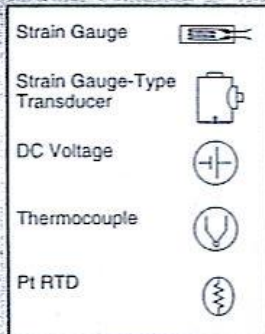


Digital  
Strainmeter  
TC-31K



- Up to 5 channels can be automatically measured using the TC-31K interval timer.

#### ■ Measurement with up to 50 channels



Digital  
Strainmeter  
TC-31K



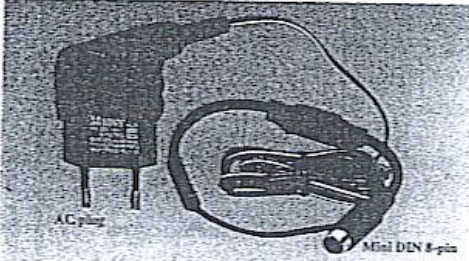
- Initial values and coefficients can be programmed for up to 50 channels (10 CSW-5A switching boxes).
- Measurement is made every 5 channels by using CSW-5A.



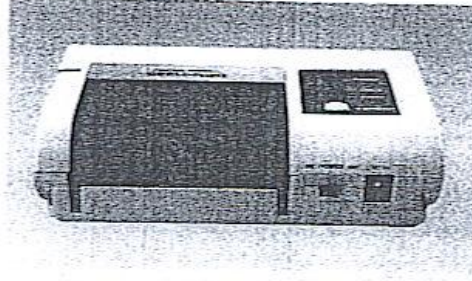
## OPTION ACCESSORIES

### OPTION

◆ CR-185 AC Power Adapter for the TC-31K  
Input: 220V AC      Output: 7.5V DC, 480mA



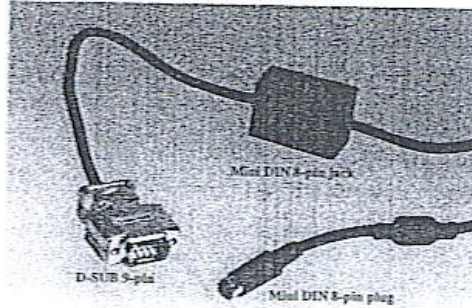
◆ DPU-H245 Printer



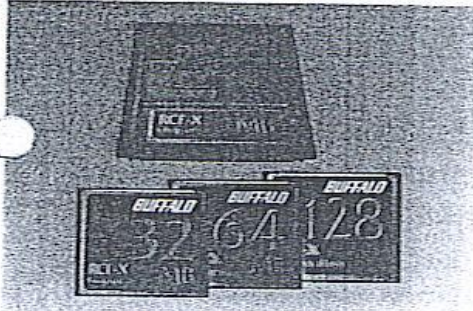
CR-5531 RS-232C Data Cable



◆ CR-451 Printer Connection Cable



◆ Flash Memory card and Card adapter



◆ External Display Unit EDU-11



CE

ISO 9001



Approval Certificate No.:0957261  
Design and manufacture of strain  
measuring equipment and transducers  
No.2 and No.3 Production Divisions

Specifications subject to change without prior notice.



**Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd.**  
[www.tml.jp/e](http://www.tml.jp/e)

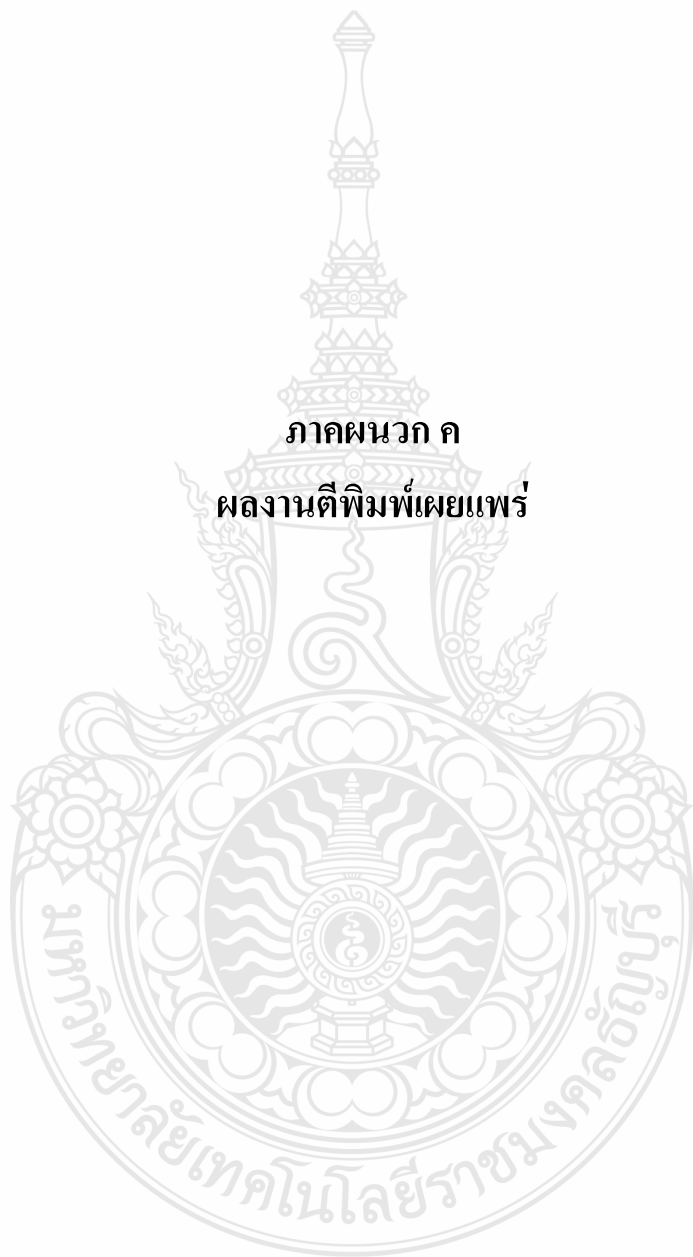
8-2, Minami-Ohi 6-Chome, Shinagawa-Ku, Tokyo 140-8560, JAPAN  
TEL: Tokyo 03-3763-5611 FAX: Tokyo 03-3763-5713

R100

08152X

ภาคผนวก ค

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่





# วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏบุรีรัมย์

## Journal of Engineering, RMUTT

● ปีที่ 7 ● ฉบับที่ 1 - 2 ● เดือนมกราคม - ธันวาคม 2552

ISSN 1685-5280

- ◆ ก๊าซเรดอนในอาคารและวัสดุก่อสร้าง 1  
Radon Gas in Buildings and Construction Materials  
โดย ฉันทิทิพย์ คำนวนทิพย์
- ◆ การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารชุด 12  
Using Artificial Neural Networks for Designing of Electrical System for Buildings  
โดย บัณฑิต ฤทธิทอง, ผดุงชัย ศุภพิทักษ์สกุล
- ◆ การทดสอบระบบจ่ายและระบายความร้อนเพื่อผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลเทียร์ 22  
The experimental of heat providing and cooling for electric generation by peltier.  
โดย ภาณุพงศ์ ศิริกุล, ทิพัฒน์ ปราโมทย์, มนูญศักดิ์ จานทอง
- ◆ การวิเคราะห์การออกแบบโครงสร้างเครื่องกัดรอบสูงความเร็วด้วยระบบ CNC 33  
An Analysis of the Designed Structure of a CNC High-Speed Milling Machine  
โดย สมศักดิ์ แก่นทอง
- ◆ การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนของแผ่นเมมเบรนทรงกลมจากคลื่นอะคูสติก 40  
A study of membrane geometric using acoustic wave (theoretical and experimental analysis)  
โดย ทิพัฒน์ ปราโมทย์, ณัฐสิทธิ์ พัฒนะอ้อม
- ◆ การศึกษาการใช้ผ้าใบไทรคอร์ดเก่าในแอสฟัลต์คอนกรีต 46  
A Study of Using Waste Tire Cord Fabric in Asphalt Concrete  
โดย นิรชร นกแก้ว
- ◆ การศึกษาความต้องการพัฒนาตนเองของพนักงาน บริษัท ทีโอเอ เพ้นท์ (ประเทศไทย) จำกัด 57  
A STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF COTTON YARN SIZED WITH OXIDIZED STARCH  
โดย วิรัตน์ ดวงจินดา, ปราโมช ธรรมกรณ
- ◆ การศึกษาคุณลักษณะของเส้นด้ายฝ้ายที่ลงแป้งโดยใช้แป้งมันสำปะหลังตัดแปรแบบออกซิไดซ์ 65  
A STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF COTTON YARN SIZED WITH OXIDIZED STARCH  
โดย ยศวัต ตั้งฐานานุกิตต์, ปลื้มจิตต์ เตชธรรมรักษ์, สมภพ นราภิรมย์อนันต์
- ◆ เทคนิคการเขียนหนังสือวิชาการได้รวดเร็วและมีคุณภาพ 71  
Technique in Writing a Quick and Quality Textbook  
โดย มานพ ต้นตระกูลบัณฑิตย์
- ◆ ปัญหาการทำงานในโครงการภาครัฐที่จัดจ้างด้วยวิธีการสอบราคา ก่อนและหลังมาตรการช่วยเหลือผู้ประกอบการรายย่อย 78  
WORK ABANDONMENT PROBLEMS IN PUBLIC CONSTRUCTION PROJECTS BY PRICE SEARCH METHOD BEFORE AND AFTER THE SUPPORT: A CASE STUDY OF THE CABINET RESOLUTION PASSED ON 17 JUNE 2008.  
โดย ภาณุมาศ แก้วตา, พุทธิพล ทองอินทร์ดำ, กองกฤษณ์ โคชัยวัฒน์
- ◆ ผลกระทบจากความล้าของตัวปรับความตึงโซ่รอลิ้นแบบสปริงชนิด 88  
Effect due to the Fatigue of Tension Lifter Typed Spiral Spring  
โดย อภิสิทธิ์ ประมุขสาร, ทิพัฒน์ ปราโมทย์
- ◆ Development of a Small Rice Combine Harvester 93  
โดย R. Kalsirisilp, V.M. Salokhe, C. Youprasobchok, C. Polwong, A. Fanchaiyapoom,  
S. Baisaengchan and W. Panyawan

## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิผู้พิจารณาบทความ

รศ.มานพ ต้นตระกูลบัณฑิตย์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.วันชัย ธิวัชรวิชัย	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบุญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ณรงค์ บวบทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.นภพินท์ อนันตรศิริชัย	คณะวิศวกรรมศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.กานต์ พนาศุภมัสสุ	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.บวรรงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ผศ.ดร.ทวีชัย สำราญวานิช	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผศ.ดร.ปิติศักดิ์ กวีมาต	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.กัณวีรัช พลุฑประชาญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
ผศ.ดร.อังคณา พันธุ์หล่อ	วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผศ.ดร.อาทิตย์ โสตร์โยม	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยสยาม
ผศ.ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
ผศ.ดร.นำคุณ ศรีสนิท	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
ผศ.มิ่ง โลกิจแสงทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.อิสสรีย์ หารราชารุญโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	
รศ.ดร.เข้มชัย เหมะจันทร์	คณะวิทยาศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ชัยยุทธ ช่างสาร	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ก้องเกียรติ พลูสวัสดิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
ผศ.ดร.ณฐา คุปต์ขีเชียร	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.ศิวกร อ่างทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.ยุทธชัย บันเทิงจิต	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.จงจันต์ ผลประเสริฐ	คณะสาธารณสุขศาสตร์	มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.ประเทืองทิพย์ ปานบำรุง	คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รศ.ดร.เจียรนัย เล็กอุทัย	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รศ.เวทิน ปิยรัตน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ	คณะวิศวกรรมศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ธัญญา นียมาภา	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

.....

### ผลกระทบจากความล้าของตัวปรับความตึงโซ่รอกลิ้นแบบสปริงจัด Effect due to the Fatigue of Tension Lifter Typed Spiral Spring

อภิสิทธิ์ ประมูลสาร<sup>1</sup> และ พัทธพันธ์ ปรามิโท<sup>2</sup>

#### บทคัดย่อ

ตัวปรับความตึงโซ่รอกลิ้นแบบสปริงจัดซึ่งทำหน้าที่สร้างแรงกดให้กับโซ่รอกลิ้นและต้องรับแรงกดที่มีทิศทางตรงกันข้าม อันเนื่องมาจากการกระพือของโซ่ซึ่งเรียกแรงที่กระทำกลับไปมาแบบนี้ว่าแรงกระทำแบบสลับต่อเนื่องและภายหลังจากการใช้งานไปได้ระยะหนึ่ง ความล้าที่เกิดขึ้นกับสปริงจัดจะส่งผลให้ตัวปรับความตึงโซ่ไม่สามารถรักษาสภาพความตึงของโซ่รอกลิ้นทำให้เกิดปัญหาเสียงดังผิดปกติและความเสียหายเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดสอบตัวปรับความตึงโซ่ที่มีการใช้งานในระยะทางที่แตกต่างกัน เพื่อหาระยะทางที่ตัวปรับความตึงโซ่สามารถต้านทานต่อแรงกดไว้ได้นานที่สุด โดยผลที่ได้คือระยะทางระหว่าง 0 - 5000 กิโลเมตร ซึ่งมีค่าที่สัมพันธ์กับการใช้งานจริงที่จำนวนการเกิดปัญหาของตัวปรับความตึงโซ่ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่ระยะทาง 5,000 กิโลเมตรขึ้นไป ซึ่งเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องสามารถใช้งานได้ใช้งานจริง นอกจากนี้ยังพบว่าผลของความล้าจากการใช้งานทำให้ความสามารถในการต้านทานแรงกดของตัวปรับความตึงโซ่มีค่าลดลง

คำสำคัญ: แรงกระทำสลับแบบต่อเนื่อง, แผ่นสปริงจัด

#### Abstract

The tension lifter of cam chain obtains the both tensile and compressive force. Due to the flap of cam chain, both an alternating loads are called the fluctuating load. After some mileages, the fatigue occurred in spiral spring which affects to the tension of cam chain reduction, abnormal noise, and engine damage occurred. This study is the testing of tension lifter of cam chain which was used in variety of distances. The goal was to find the properly distance that gives the tension lifter the best compressive resistance. The testing results show the distance of 0- 5000 km that the springs have the best endurance. Furthermore, the testing gave the fatigue affects on compressive resistance of tension lifter which is decreased proportion to the distance.

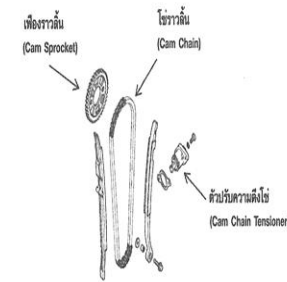
Keyword : fluctuating load, spiral spring

<sup>1</sup> นิสิตศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

<sup>2</sup> อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

#### 1. บทนำ

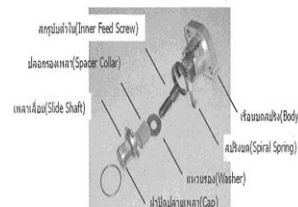
เครื่องยนต์ของรถจักรยานยนต์แบบ 4 จังหวะที่ผลิตในประเทศไทยซึ่งใช้โซ่รอกลิ้นในการส่งกำลัง จากการหมุนของเพลาลูกเบี้ยวซึ่งขับเคลื่อนโดยควบคุมการทำงานของวาล์วที่ติดตั้งอยู่บนฝาสูบ ส่วนใหญ่เป็นการใช้ตัวปรับความตึงโซ่รอกลิ้นแบบสปริงจัดพบว่าเมื่อตัวปรับความตึงโซ่เกิดความล้าจะส่งผลทำให้เกิดเสียงดังผิดปกติ ขณะที่เครื่องยนต์ทำงานและจังหวะการทำงานของวาล์ว (Valve Timing) ที่ผิดพลาด และยังส่งผลต่อประสิทธิภาพและมลภาวะจากไอเสียของรถจักรยานยนต์ [1]



รูปที่ 1 การใช้ตัวปรับความตึงโซ่รอกลิ้นในเครื่องยนต์

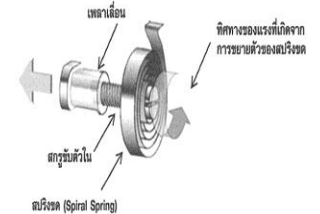
#### 2. ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

สปริงจัด (Spiral Spring) เป็นส่วนประกอบสำคัญอันหนึ่ง ในตัวปรับความตึงโซ่แบบใช้แรงดันของสปริง (Spring Tensioner) ซึ่งเป็นแบบที่นิยมติดตั้งในเครื่องยนต์เนื่องจากมีความสะดวกในการออกแบบจุดติดตั้งและใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ใช้แรงดันของน้ำมันในเครื่อง (Oil Pressure Tensioner) ปลายสปริงจัดจะเกี่ยวเข้ากับเรือนสปริง ส่วนปลายอีกด้านของสปริงจะเกี่ยวอยู่กับสกรูขันตัวใน



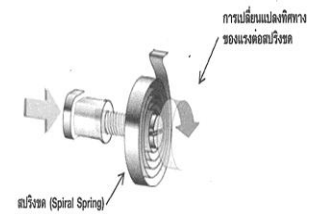
รูปที่ 2 ส่วนประกอบของตัวปรับความตึงโซ่แบบสปริงจัด

แรงบิดจากการขยายตัวของสปริงจัดในตัวปรับความตึงโซ่จะบังคับให้สกรูขันตัวใน เกิดการเคลื่อนที่หมุนตามเส้นรอบวง (ทิศทางเข็มนาฬิกา) ตามการขยายตัวของสปริง เพลาลูกเบี้ยวซึ่งมีเกสร่วมเข้ากับสกรูขันตัวใน ก็จะเกิดการหมุนเคลื่อนที่ออกไปไกลโซ่รอกลิ้น



รูปที่ 3 โซ่รอกลิ้นถูกดึงจากการหมุนบิดของสปริงจัด

ขณะที่เครื่องยนต์หมุนทำงานอยู่นั้น โซ่รอกลิ้นจะเกิดการสั่นกระพือ ทำให้เกิดแรงกดในทิศทางตรงกันข้ามให้เพลาลูกเบี้ยวเคลื่อนที่เข้าหาสปริงจัด ซึ่งส่งผลให้สกรูขันตัวในเกิดการหมุนตามเส้นรอบวง(ทิศทางเข็มนาฬิกา) [2]



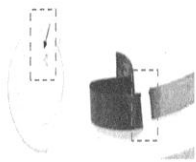
รูปที่ 4 สปริงจัดเคลื่อนที่ทางขยายตัว เนื่องจากการกระพือของโซ่รอกลิ้น

แรงที่กระทำกับสปริงจัดในลักษณะ 2 ทิศทาง คือแรงที่มีทิศทางตามการขยายตัวของสปริง และแรงที่ตรงข้ามกับการขยายตัวของสปริง กระทำสลับไปมาเช่นนี้เรียกว่าแรงกระทำแบบสลับต่อเนื่อง (Fluctuating Load) ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดความล้า (Fatigue) ที่เป็นสาเหตุของความเสียหายและลดอายุการใช้งานของชิ้นส่วน

เมื่อความล้าที่สปริงจัดได้รับเกิดขึ้นซ้ำๆ กัน (Repeated Stress) จะมีค่าสูงกว่าความต้านทานแรง

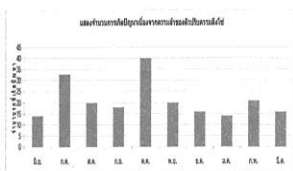
ทนทาน (Endurance Strength) ของสปริงชุด ทำให้เกิดรอยแตกขึ้นที่สปริง รอยแตกนี้จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งสปริงชุดเกิดการขาดออกจากกัน

จุดที่เกิดการขาดของสปริงชุด



รูปที่ 5 การขาดของแผ่นสปริงชุดตรงส่วนที่รับแรงแบบ Fluctuating Load [3]

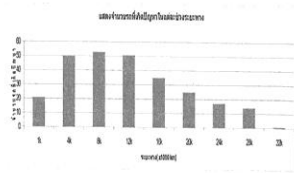
ภายหลังจากที่สปริงชุดเกิดการขาดส่งผลกระทบต่อที่กระทำกับตัวรถจักรยานเพื่อที่จะไปกดโซ่ร้าวลื่นนั้นหายไป การกระพือของโซ่ร้าวลื่นจึงเกิดขึ้นได้มากกว่าปกติ ซึ่งเป็นต้นเหตุของการปัญหาเครื่องที่มีลักษณะเสียงดังผิดปกติ (Abnormal Noise) และอาจทำให้เกิดการกระโดดขึ้นตำแหน่งของเฟืองร้าวลื่น ทำให้ล้อลื่นเคลื่อนที่ไปจนกับลูกสูบเกิดความเสียหายในเครื่องยนต์



รูปที่ 6 สถิติจำนวนปัญหาจากความถี่ของสปริงชุด ความถี่โซ่ร้าวลื่น ระหว่าง ม.ย. พ.ศ. 51- มี.ค. พ.ศ.52 [4]

จากสถิติการเกิดปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปกติ เนื่องจากความถี่ของตัวรับความถี่โซ่ร้าวลื่นขึ้นให้เห็นปริมาณความถี่ของปัญหา ที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน โดยในเบื้องต้นพบว่าความทนทานของตัวรับความถี่โซ่

เมื่อพิจารณาจากสถิติระยะทางการเกิดปัญหาครั้งแรกพบว่าตัวรับความถี่โซ่ร้าวลื่นส่วนใหญ่ จะมีอายุการใช้งานอยู่ในช่วงระยะทาง 4,000 - 12,000 กิโลเมตร



รูปที่ 7 สถิติระยะทางการเกิดปัญหาครั้งแรกของตัวรับความถี่โซ่ร้าวลื่น ระหว่าง ม.ย. 51- มี.ค. 52 [4]

ดังนั้นการเสริมความทนทานของตัวรับความถี่โซ่ให้ มีระยะเวลาใช้งานที่ยาวนานออกไป จึงเป็นความจำเป็นเพื่อที่จะช่วยยืดอายุการใช้งานและลดการสูญเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแก้ปัญหา ทั้งในกรณีที่ยังอยู่ในระยะรับประกันและในกรณีที่พ้นจากระยะรับประกันแล้ว ซึ่งคิดเป็นมูลค่าประมาณ 300 บาท/ครั้ง หรือค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ได้รับผลกระทบจากความถี่ของตัวรับความถี่โซ่ เช่น การชนของวาล์วและลูกสูบเนื่องจากโซ่ร้าวลื่นทำงานผิดปกติจะมีมูลค่าประมาณ 4,000 บาท/ครั้ง

ในการศึกษาเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของตัวรับความถี่โซ่ร้าวลื่น ใช้การคำนวณหาอายุตามทฤษฎีของปารีส (Paris's Law) [5]

$$N = \int_{a_i}^{a_f} \frac{1}{C \Delta K^n} da \quad (1)$$

โดยที่ N = จำนวนรอบการใช้งานของชิ้นงาน

C = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นฟังก์ชันกับวัสดุ

$$\Delta K = K_{max} - K_{min}$$

การศึกษานี้เกี่ยวกับคุณสมบัติความถี่ความถี่ของสปริงชุด (Helical Springs) โดย Bruno Kaiser และ Christina Berger ได้ทำการทดสอบความถี่ของสปริงที่มีความแตกต่างกันทางด้านวัสดุและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใต้ความเค้นเฉลี่ย (Mean Stress) แบบอยู่กับที่ด้วยจำนวนรอบการทดสอบที่มากถึง 10<sup>7</sup> รอบ และนำผลที่ได้

ไปแปลงเป็น โคออร์เดตของกู๊ดแมน (Goodman Diagram) แล้วเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ในการทดสอบต่อมาได้เพิ่มจำนวนรอบขึ้นไปถึง 1.5x10<sup>7</sup> รอบ ซึ่งส่งผลให้การลด ความทนทานต่อการล้าในระยะยาว กับสปริงที่ได้รับแรงขีด ค่าซึ่งผลได้จากเส้นลวดที่ผ่านการอบชุบแข็งด้วยน้ำมัน [6]

Seon Jim Kim และ Sung Hwan Yoon ได้ศึกษาวิธีการภาคกระแอมการกระจาย ที่น่าจะเป็นไปได้สำหรับการเพิ่มขึ้นของรอยแตกเร็วจากความถี่ โดยการจำลองความทนทานต่อการเกิดรอยแตกเร็ว ที่เพิ่มขึ้นจากความถี่ของวัสดุซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบคือ ค่าคงที่ของระดับความเค้นแรงดึง R=0.2 จากชิ้นงานทดสอบที่มีความหนา 6, 12 และ 18 มิลลิเมตร โดยวิธีการดังกล่าวช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายที่จะต้องใช้ในการทดสอบซ้ำหลายครั้ง [7]

### 3. ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนแรกคือการสร้างเครื่องทดสอบแบบโซ่โซ่ขับ (Chain Drive Tester) ให้มีลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกับที่กระทำกับตัวรับความถี่โซ่ ซึ่งมีต้นกำเนิดเป็นมอเตอร์ขนาด 1/3 HP (0.25 kW) หมุนด้วยความเร็ว 1,440 รอบต่อนาที ทำหน้าที่ขับเคลื่อนโซ่ร้าวลื่นโดยมีแกนของตัวรับความถี่โซ่กดโซ่ผ่านแรงเคลื่อนโซ่เพื่อสร้างความถี่ให้กับโซ่ร้าวลื่น และมีเงื่อนไขของการทดลองคือการใช้ตัวรับความถี่โซ่ร้าวลื่น หมายเลขอะไหล่ 14520-KSS-901 เป็นชิ้นงานทดสอบแบบเดียวกับที่ใช้ในการวิจัยเพื่อควบคุมขนาดและคุณสมบัติชิ้นงานทดสอบให้เหมือนกันทุกชิ้น



รูปที่ 8 เครื่องทดสอบแบบโซ่โซ่ขับ

เมื่อโซ่ร้าวลื่นถูกขับด้วยมอเตอร์เพื่อให้ได้การทำงานตามระยะทางที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นจะทำการเก็บชิ้นงานมาทดสอบกับเครื่องทดสอบ แบบโซ่โซ่ขับเคลื่อน (Vibration Tester) ด้วยมอเตอร์ที่กำหนดความเร็วรอบที่ 1,440 รอบต่อนาที หมุนขับหน้าแปลนแรงหนึ่งเพื่อสร้างแรงสั่นสะเทือนที่มีน้ำหนักขนาด 49.50 นิวตัน กดลงบนแกนต้นโซ่ร้าวลื่น ที่ยึดอยู่บนฐานเครื่องทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลเวลาที่ตัวรับความถี่โซ่ขับตัวจากตำแหน่งเริ่มต้นแล้วขยับลงถึงตำแหน่งสุดท้าย



รูปที่ 9 เครื่องทดสอบแบบโซ่โซ่ขับเคลื่อน

### 4. ผลการทดสอบ

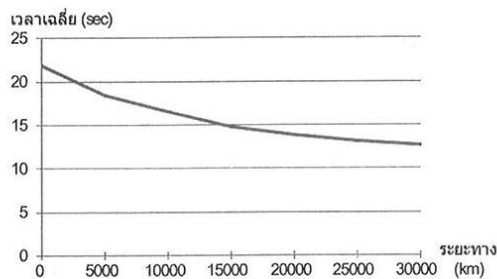
จากการทดสอบตัวรับความถี่โซ่ด้วยเครื่องทดสอบแบบโซ่โซ่ขับเคลื่อน ผลที่ได้คือระยะเวลาที่ตัวรับความถี่โซ่สามารถต้านทานแรงกดที่แตกต่างกัน โดยพบว่าเมื่อทดสอบตัวรับความถี่โซ่ที่ยังไม่เคยใช้งาน หรือมีระยะทางใช้งาน 0 กิโลเมตร, 5000, 10000, 15000, 20000, 25000 และ 30000 กิโลเมตร โดยพบว่าตัวรับความถี่โซ่ที่มีระยะทางใช้งานอยู่ในช่วง 0 - 5000 กิโลเมตรสามารถต้านทานแรงกดได้มากที่สุด โดยจะเกิดการขยับตัวลงภายในเวลา 21.89 วินาที



ตารางที่ 1 เวลาที่แกนคันทันโซ่ยุบตัวในแต่ละระยะทางใช้งาน

ระยะทาง(km)	เวลาที่แกนคันทันโซ่ยุบตัวลงสุด (sec)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0	22.12	22.34	21.22	21.89
5,000	18.02	19.03	18.22	18.42
10,000	16.5	16.24	16.79	16.51
15,000	14.28	15.11	14.89	14.76
20,000	13.98	13.77	13.64	13.80
25,000	12.98	13.21	13.01	13.07
30,000	12.50	12.60	12.91	12.67

อย่างไรก็ตามจากการทดสอบตัวปรับความตึงโซ่ที่มีระยะทางใช้งาน 10000 , 15000 , 20000 , 25000 , และ 30000 กิโลเมตร ก็ทำให้พบว่าเมื่อตัวปรับความตึงโซ่ที่มีระยะทางใช้งานมากขึ้น ความต้านทานแรงกดก็จะมีค่าลดลงในช่วงระยะทาง 5000 -15000 กิโลเมตรตัวปรับความตึงโซ่จะมีความสามารถต้านทานแรงกด ได้ดีกว่าช่วงระยะทาง 15000 - 30000 กิโลเมตร



รูปที่ 10 เครื่องทดสอบแบบใช้แรงสั่นสะเทือน [8]

### 5. สรุปผลการทดสอบ

ผลที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบชี้ให้เห็นว่า ความสามารถต้านทานแรงกดของตัวปรับความตึงโซ่ราวลันมีค่าลดลงไปตามระยะทางการใช้งาน กล่าวคือเมื่อระยะทางใช้งานมากขึ้นความสามารถในการต้านทานแรงกดก็จะลดลงซึ่งสภาพดังกล่าวก็จะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการสร้างแรงตึงให้กับโซ่ราวลันขณะที่เครื่องยนต์หมุนทำงาน ถ้าแรงกดจากตัวปรับความตึงโซ่มีค่าน้อยลงโซ่ก็จะเกิดความหย่อนมากขึ้นการสะบัดและกระพือของโซ่จะทำให้เกิดปัญหาเสียงดังและความเสียหายแก่ชิ้นส่วนในเครื่องยนต์

การทดสอบครั้งนี้ ทำให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับความสามารถต้านทานแรงกดของตัวปรับความตึงโซ่ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบเมื่อมีการพัฒนา และปรับปรุงความต้านทานของตัวปรับความตึงโซ่ เพื่อให้สามารถใช้งานได้ยาวนานขึ้น

### 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, บริษัท เอ.พี.ฮอนด้า จำกัด, ผู้จำหน่ายรถจักรยานยนต์ฮอนด้า และผู้ผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ฮอนด้า ที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูล, ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ และงบประมาณในการทำวิจัยชิ้นนี้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท เอ.พี.ฮอนด้า จำกัด, 2552. คู่มือการฝึกอบรมหลักสูตรนายช่างระดับ 3.
- [2] ฮอนด้ามอเตอร์, 2549. คู่มือฝึกอบรมทักษะด้านบริการและความรู้เทคนิค.
- [3] บริษัท เอ.พี.ฮอนด้า จำกัด, 2552. รายงานผลการวิเคราะห์ปัญหาเทคนิค.
- [4] บริษัท เอ.พี.ฮอนด้า จำกัด, 2552. รายงานผลการสำรวจอัตราการซ่อมแก้ปัญหาด้านเทคนิค.
- [5] บริษัท ชิกมาร์โซลูชั่น จำกัด, 2552. คู่มือการอบรมหลักสูตรการวิเคราะห์หาอายุของโครงสร้างที่เกิดความล้า.
- [6] Bruno Kaiser , Christina Berger . **Recent finding to the fatigue properties of helical springs**, 2007.
- [7] Seon Jim Kim , Sung Hwan Yoon . **On estimate of probability distribution for fatigue crack growth life**, 2007.
- [8] สุรเดช จิวงรณ์สวัสดิ์ , นายเอกรักษ์ กุณาทน , 2552. เครื่องมือทดสอบความล้าของตัวปรับตั้งความตึงโซ่ราวลัน, ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอภิสิทธิ์ ประมูลสาร
วัน เดือน ปี	19 กรกฎาคม 2519
ที่อยู่	371/64 ต.แพรงกษา อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิตสาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น
ประวัติการทำงาน	
2537- 2539	เจ้าหน้าที่แผนกอะไหล่ บริษัท โตโยต้าขอนแก่น ผู้จำหน่ายโตโยต้า จำกัด
2542-ปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่ฝ่ายบริการ บริษัท เอ.พี.ฮอนด้า จำกัด
ผลงานวิจัย	
	อภิสิทธิ์ ประมูลสาร , พิพัฒน์ ประโมทย์ , ผลกระทบจากความล่าช้าของตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้นแบบสปริงชนิด , วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี ปีที่ 7 ฉบับที่ 1-2 เดือนมกราคม - ธันวาคม 2552.

