

การศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการสึกหรอของลวดสลิง

EXPERIMENTAL STUDY ON WEAR BEHAVIOUR OF WIRE ROPE

นายกฤติน ชลวาสิน
นายวรลภย์ จุฑาเจริญสุข
นายอติวิชญ์ จิระสุทธิตระกูล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการสึกหรอของลวดสลิง

EXPERIMENTAL STUDY ON WEAR BEHAVIOUR OF WIRE ROPE

นาย กฤติน ชลวาสิน

นาย วรลภย์ จุฑาเจริญสุข

นาย อติวิชญ์ จิระสุทธิตระกูล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

EXPERIMENTAL STUDY ON WEAR BEHAVIOUR OF WIRE ROPE

KRITIN CHONVASIN

WORRALOP CHUTHACHAROENSUK

ATIWIT CHIRASUTHTRAKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการสึกหรอของลวดสลิง

EXPERIMENTAL STUDY ON WEAR BEHAVIOUR OF WIRE ROPE

ผู้จัดทำ

1. นาย กฤติน ชลवासิน รหัสประจำตัว 54010048
2. นาย วรลภย์ จุฑาเจริญสุข รหัสประจำตัว 54011133
3. นาย อติวิชญ์ จิระสุทธิ์ตระกูล รหัสประจำตัว 54011462



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์)

การศึกษาเชิงทดลองหาพฤติกรรมการสีทหของลวดสลิง

นาย กฤติน ชลวาสิน 54010048

นาย วรภย จุฑาเจริญสุข 54011133

นาย อติวิชญ์ จิระสุทธิตระกูล 54011462

รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

การศึกษาพฤติกรรมของสลิงในปริญญานิพนธ์นี้จะศึกษาการสีทหเนื่องจากการเสียดสีซึ่งเกิดจากการใช้งานเป็นเวลานานและการสีทหเนื่องจากความล้าที่เกิดจากการที่ลวดสลิงถูกตัดขณะผ่านพูลเลย์โดยการทดลองนี้ทดลองโดยนำลวดสลิงมาคล้องผ่านพูลเลย์ 2 ตัว และยึดด้วยปลอกอะลูมิเนียมซึ่งถูกอัดโดยไฮดรอลิกให้มีลักษณะคล้ายสายพานโดยพูลเลย์ตัวหนึ่งถูกยึดอยู่กับที่ขณะที่พูลเลย์อีกตัวหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ขณะใส่ภาระโหลดโดยกระบอกไฮดรอลิกตั้งนั้นลวดสลิงจะได้รับโหลดตามที่ต้องการ หลังจากนั้นจึงเดินเครื่องทดสอบ และพิจารณาการสีทหตามจำนวนรอบที่กำหนดโดยในการทดลองนี้จะมีตัวแปรสำคัญสองตัวที่ต้องเปลี่ยนคือ เส้นผ่าศูนย์กลางของพูลเลย์ซึ่งมีขนาด 3.5, 5 และ 7 inch และภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับคือ 50, 60 และ 70 kg/cm² ผลการทดลองที่คาดหวังคือลวดสลิงจะมีการสีทหช้าลงเมื่อพูลเลย์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่ขึ้นและภาระโหลดที่ใส่น้อยลง

EXPERIMENTAL STUDY ON WEAR BEHAVIOR OF WIRE ROPE

Kritin	Chonvasin	54010048
Worralop	Chuthacharoensuk	54011133
Atiwit	Chirasuthtrakul	54011462
Assoc.Prof.Dr.Mongkol Mongkolwongrojn		Advisor
Year 2014		

ABSTRACT

This thesis presents the experimental study of wear behavior for endless wire rope. Wear of wire ropes due to operation for a long time and failure due to fatigue from wire rope move along pulley have been investigated through experiments. The design and development of the test apparatus are consisted of wire rope a driving pulley and a driver pulley with adjustable applied loads via hydraulic cylinder. In the experiment, the tensions of the wire rope are 50, 60 and 70 kg/cm² and size of pulley are 3.5, 5 and 7 inch in diameter. Useful life of wire rope decreases rapidly for small pulley with heavy load. Therefore, diameter of pulley and loads have significant affected the wear of wire rope.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทเล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลือจาก รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำปริญญาโท และคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ได้ให้ความรู้ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญาโทเล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำปริญญาโทเล่มนี้ คณะเพื่อนทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและกำลังใจในการทำงาน และสุดท้ายบิดามารดา และครอบครัวที่ให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

นาย กฤติน ชลวาสิน

นาย วรลภย์ จุฑาเจริญสุข

นาย อติวิษณุ จิระสุทธิ์ตระกูล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
บทที่ 3 การสึกหรอของลวดสลิง.....	5
3.1 การสึกหรอแบบ Wear.....	5
3.1.1 การสึกหรอแบบ Adhesive.....	5
3.1.2 การสึกหรอแบบ Abrasive.....	5
3.1.3 การสึกกร่อน.....	5
3.1.4. Fatigue Wear.....	5
3.2 การสึกหรอแบบ Fatigue.....	6
3.2.1 รอบความเค้น.....	8
3.2.2 รูปแบบของความเค้นซึ่งเป็นสาเหตุของความล้า.....	11
3.2.2.1 ความเค้นสูงสุดและต่ำสุดจะเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม (Reverse Stress Cycle)	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2.2 ความเค้นสูงสุดและต่ำสุดมีทิศทางเดียวกัน (Repeated Stress Cycle).....	12
3.2.2.3 ความเค้นแบบสุ่ม(Irregular Stress Cycle).....	12
3.2.3 ภาวะกับจำนวนรอบที่เกิดความเสียหาย (S-N Fatigue Properties).....	12
3.2.3.1 การล้าแบบรอบต่ำ (Low Cycle Fatigue, LCF).....	14
3.2.3.2 การล้าแบบรอบสูง (High Cycle Fatigue, HCF).....	14
3.2.4 อัตราส่วนความเค้น (Stress Ratio, R).....	15
3.2.5 การป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ (Preventing Fatigue Failure).....	17
3.2.6 การวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการล้า (Fatigue Failure Analysis).....	17
บทที่ 4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	18
4.1 ชั้นส่วนที่รับแรงเป็นหลัก.....	19
4.2 ชุดส่งกำลัง.....	26
4.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	28
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	29
5.1 กราฟผลการทดลอง.....	29
5.2 การวิเคราะห์ความเสียหายของลวดสลิง.....	41
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย.....	44
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	44
6.1.1 การสึกหรอของพูลเลย์.....	44
6.1.2 การสึกหรอของลวดสลิง.....	44
6.2 ปัญหาที่พบในการในการทดลอง.....	44
เอกสารอ้างอิง.....	45
ภาคผนวก.....	46

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดสลิ้ง ($\frac{d_2}{d_1}$) ที่เปลี่ยนไป เมื่อจำนวนรอบมากขึ้นที่พูลเลย์ขนาด 5 นิ้ว.....	47
2 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดสลิ้ง ($\frac{d_2}{d_1}$) ที่เปลี่ยนไป เมื่อจำนวนรอบมากขึ้นที่พูลเลย์ขนาด 7 นิ้ว.....	48
3 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดสลิ้ง ($\frac{d_2}{d_1}$) ที่เปลี่ยนไป เมื่อจำนวนรอบมากขึ้นที่พูลเลย์ขนาด 3.5 นิ้ว.....	49
4 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวตามขนาด 5 นิ้ว ($\frac{\Delta d}{d_0}$) ที่เปลี่ยนไปเมื่อจำนวนรอบมากขึ้น.....	50
5 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวตามขนาด 7 นิ้ว ($\frac{\Delta d}{d_0}$) ที่เปลี่ยนไป เมื่อจำนวนรอบมากขึ้น.....	51
6 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวตามขนาด 3.5 นิ้ว ($\frac{\Delta d}{d_0}$) ที่เปลี่ยนไป เมื่อจำนวนรอบมากขึ้น.....	52
7 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวข้อขนาด 5 นิ้ว ($\frac{\Delta d}{d_0}$) ที่เปลี่ยนไป เมื่อจำนวนรอบมากขึ้น.....	53
8 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวข้อขนาด 7 นิ้ว ($\frac{\Delta d}{d_0}$) ที่เปลี่ยนไป เมื่อจำนวนรอบมากขึ้น.....	54
9 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวข้อขนาด 3.5 นิ้ว ($\frac{\Delta d}{d_0}$) ที่เปลี่ยนไป เมื่อจำนวนรอบมากขึ้น.....	55

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 ลำดับการแตกร้าวของวัสดุเนื่องจากการล้าตัว.....	7
3.2 ความเสียหายเนื่องจากการล้าตัวรูปแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนวัสดุที่ใช้งาน.....	8
3.3 แผนภูมิ S-N Curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและจำนวนรอบของการทำงาน.....	8
3.4 เส้นลวดที่ขาดเนื่องจากการรับภาระสลับไปสลับมา.....	9
3.5 ความเสียหายที่เกิดจากความล้าตัวของเฟืองเกียร์.....	9
3.6 ตัวอย่างกลไกการเกิดความล้าและแนวการเกิดการล้าตัวในวัสดุ(Fatigue Striation).....	10
3.7 แสดงรูปแบบต่างๆ ในการเปลี่ยนแปลงของรอบความเค้น.....	12
3.8 S-N Curve ของวัสดุชนิดต่างๆ.....	13
3.9 การแตกหักความล้าที่รอบต่ำ (LCF) เนื่องจากแรงบิดของเพลลา.....	14
3.10 การแตกหักเนื่องจากความล้าที่รอบสูง (HCF) ของเพลลาที่ทำงานด้วยภาระ (Load) ที่ต่ำแต่หมุนด้วยความเร็วรอบสูง.....	14
3.11 ความเค้นลักษณะต่างๆ ที่เกิดขึ้นใน 1 รอบความเค้น.....	16
3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเค้น(R) กับรอบความเค้นที่ทำให้เกิดความเสียหาย(Nf).....	16
4.1 รูปชุดทดลอง.....	18
4.2 แสดงชุดพูลเลย์.....	19
4.3 ขณะใส่โหลด $T_1=T_2$	19
4.4 แสดงบริเวณที่เกิดการตัดของสลิงเนื่องจากพูลเลย์.....	19
4.5 แรงที่กระทำต่อเพลลา.....	20
4.6 กราฟระหว่างระยะของเพลลากับโมเมนต์.....	21
4.7 เพลลาของพูลเลย์ตัวตาม.....	22
4.8 โครงเหล็กสี่เหลี่ยม.....	22
4.9 ชุดยึดไฮดรอลิก.....	23
4.10 แรงที่กระทำต่อเพลลาของพูลเลย์ตัวซับ.....	23
4.11 กราฟระหว่างระยะของเพลลากับโมเมนต์.....	25

4.12 ชุดพุลเลย์ตัวจับ.....	26
4.13 ชุดส่งกำลัง.....	27
5.1 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพุลเลย์ตัวจับที่เปลี่ยนไปกับเส้นผ่านศูนย์กลางของพุลเลย์ที่เปลี่ยนไปโดยรับโหลด 50 kg/cm^2	29
5.2 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพุลเลย์ตัวจับที่เปลี่ยนไป กับเส้นผ่านศูนย์กลางของพุลเลย์ที่เปลี่ยนไปโดยรับโหลด 60 kg/cm^2	29
5.3 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพุลเลย์ตัวจับที่เปลี่ยนไป กับเส้นผ่านศูนย์กลางของพุลเลย์ที่เปลี่ยนไปโดยรับโหลด 70 kg/cm^2	30
5.4 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพุลเลย์ตัวจับขนาด 3.5 in ที่เปลี่ยนไปกับแรงดึงในลวดสลิงที่เปลี่ยนไป.....	30
5.5 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพุลเลย์ตัวจับขนาด 5 in ที่เปลี่ยนไปกับแรงดึงในลวดสลิงที่เปลี่ยนไป.....	31
5.6 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพุลเลย์ตัวจับขนาด 7 in ที่เปลี่ยนไปกับแรงดึงในลวดสลิงที่เปลี่ยนไป.....	31
5.7 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพุลเลย์ตัวจับขนาด 3.5 in ที่เปลี่ยนไปกับจำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน.....	32
5.8 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพุลเลย์ตัวจับขนาด 5 in ที่เปลี่ยนไปกับจำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน	32
5.9 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพุลเลย์ตัวจับขนาด 7 in ที่เปลี่ยนไปกับจำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน.....	33
5.10 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพุลเลย์ตัวตามี่เปลี่ยนไป กับเส้นผ่านศูนย์กลางของพุลเลย์ที่เปลี่ยนไปโดยรับโหลด 50 kg/cm^2	33
5.11 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพุลเลย์ตัวตามี่เปลี่ยนไป กับเส้นผ่านศูนย์กลางของพุลเลย์ที่เปลี่ยนไปโดยรับโหลด 60 kg/cm^2	34
5.12 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพุลเลย์ตัวตามี่เปลี่ยนไป กับเส้นผ่านศูนย์กลางของพุลเลย์ที่เปลี่ยนไปโดยรับโหลด 70 kg/cm^2	34
5.13 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพุลเลย์ตัวตามี่ขนาด 3.5 in ที่เปลี่ยนไปกับแรงดึงในลวดสลิงที่เปลี่ยนไป.....	35

5.14 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพลูเลย์ต์ัวตามขนาด5 in ที่เปลี่ยนไปกับแรงดึงใน ลวดสลิงที่เปลี่ยนไป.....	35
5.15 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพลูเลย์ต์ัวตามขนาด7 in ที่เปลี่ยนไปกับแรงดึงใน ลวดสลิงที่เปลี่ยนไป.....	36
5.16 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพลูเลย์ต์ัวตามขนาด 3.5 in ที่เปลี่ยนไปกับ จำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน.....	36
5.17 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพลูเลย์ต์ัวตามขนาด 5 in ที่เปลี่ยนไปกับ จำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน.....	37
5.18 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพลูเลย์ต์ัวตามขนาด 7 in ที่เปลี่ยนไป กับจำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน.....	37
5.19 กราฟระหว่าง การสึกหรอของลวดสลิงที่เปลี่ยนไป เมื่อใช้พลูเลย์ต์ 3.5 in กับ จำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน.....	38
5.20 กราฟระหว่าง การสึกหรอของลวดสลิงที่เปลี่ยนไป เมื่อใช้พลูเลย์ต์ 5 in กับ จำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน.....	38
5.21 กราฟระหว่าง การสึกหรอของลวดสลิงที่เปลี่ยนไป เมื่อใช้พลูเลย์ต์ 7 in กับ จำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน.....	39
5.22 กราฟระหว่าง จำนวนรอยขาดที่ตรวจพบ กับจำนวนรอบการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยใช้พลูเลย์ต์ 3.5 in.....	39
5.23 กราฟระหว่าง จำนวนรอยขาดที่ตรวจพบ จำนวนรอบการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยใช้พลูเลย์ต์ 5 in.....	40
5.24 กราฟระหว่าง จำนวนรอยขาดที่ตรวจพบ กับจำนวนรอบการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยใช้พลูเลย์ต์ 7 in.....	40
5.25 รูปการเสียหายของลวดสลิง.....	41
5.26 รูปการเสียหายของลวดสลิง.....	41
5.27 รูปการเสียหายของลวดสลิง.....	42
5.28 รูปการเสียหายของลวดสลิง.....	42
5.29 รูปการเสียหายของลวดสลิง.....	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกมากมายที่ใช้สลิงเป็นส่วนประกอบในการรับน้ำหนักต่างๆ เช่น สลิงในลิฟต์ สลิงในเครน ดังนั้น จึงมีความสำคัญมากในการติดตามพฤติกรรมของสลิงขณะรับน้ำหนัก เพื่อคาดการณ์ หรือป้องกัน ความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับสลิงซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายอย่างมากในเวลาต่อมา เช่น ถ้าสลิงลิฟต์ขาด จะต้องมีคนจำนวนมากเสียชีวิต รวมถึงบริษัทต้องจ่ายค่าเสียหายต่างๆมากมาย ทั้งค่าซ่อมแซม ค่าชดเชย ให้กับครอบครัวผู้เสียชีวิต

ในการติดตามพฤติกรรมของสลิงในรายงานเล่มนี้ จะเป็นการติดตามในลักษณะของความรู้สึกหรือของ สลิงที่เกิดจาก การเสียดสี การใช้งานเป็นเวลานาน การสึกหรอเนื่องจากความล้า ซึ่งได้ออกแบบชุดทดลองให้มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับการทำงานของลิฟต์

จากการติดตามพฤติกรรมของสลิงโดยใช้วิธีการดังกล่าว ผู้ทดสอบหวังว่า การทดลองนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากในเชิงวิศวกรรม เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นจากลวดสลิงซึ่งถูกใช้เป็นเวลานาน และได้ทราบแนวโน้มของความเสียหายของลวดสลิงอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 ออกแบบและสร้างชุดทดสอบ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของลวดสลิงที่มีผลมาจากการสึกหรอขณะใช้งาน
- 1.2.3 เพื่อหาแนวโน้มความเสียหายของลวดสลิง
- 1.2.4 เพื่อหาอายุการใช้งานของเส้นลวดสลิง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 การสึกหรอของลวดสลิงที่เกิดขึ้นนั้น เกิดได้จากสองสาเหตุก็คือ การเสียหายแบบ wear ซึ่งการเสียหายแบบ wear นั้น เกิดจากเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์มีขนาดใหญ่ และการเสียหายแบบ fatigue นั้น เกิดจาก เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์มีขนาดเล็ก ซึ่งการเสียหายแบบ fatigue จะทำให้อายุการใช้งานของลวดสลิงลดลง หรือลวดสลิงเสียหายเร็วขึ้น

1.3.2 ความเร็วไม่มีผลต่อการสึกหรอของลวดสลิง (ไม่ศึกษาผลของความเร็ว)

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 พัฒนาชุดทดลองทดสอบลวดสลิง

1.4.2 Endless wire rope ใช้ในการศึกษา

1.4.3 ขนาดของสลิงที่ใช้ในการศึกษาคือ 3 mm.

1.4.4 ภาระโหลดที่ใช้ในการศึกษา คือ 50 kg/cm^2 , 60 kg/cm^2 , 70 kg/cm^2

1.4.5 ขนาดของพูลเลย์ที่ใช้ในการศึกษาคือ 3.5 in, 5 in, 7 in

1.4.6 ใช้พูลเลย์ร่องเรียบในการศึกษา

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

การวิจัยเริ่มต้นจากรวบรวมองค์ความรู้ที่เกี่ยวกับพฤติกรรมการสึกหรอของลวดสลิงซึ่งได้มาจากงานวิจัยที่ผ่านมา แล้วนำมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องทดสอบ โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

1.5.1 รวบรวมและศึกษาบทความหรือวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับการสึกหรอและมาตรฐานการตรวจสอบสลิง

1.5.3 ออกแบบและวิเคราะห์เครื่องทดสอบสลิง

1.5.4 สร้างเครื่องทดสอบสลิงตามแบบที่ได้ออกแบบไว้

1.5.5 ทำการทดลองและเก็บผลการทดลอง

1.5.6 นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 บทนำ

ในการออกแบบและศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของลวดสลิงนั้นจำเป็นต้องศึกษาหลักการวิเคราะห์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ รวมทั้งการศึกษารายงานการวิจัยของผู้ที่ได้ศึกษามาในอดีต เพื่อให้ทราบถึงการประยุกต์ใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และหลักการคิดวิเคราะห์ ที่มีผลต่อพฤติกรรม การสึกหรอของลวดสลิง ซึ่งการศึกษาและวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการสึกหรอของลวดสลิงนั้นได้ถูกริเริ่มมาตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องทดสอบให้เพิ่มขึ้นยิ่งขึ้นไป และมีรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของลวดสลิงดังต่อไปนี้

2.2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Dekun Zhang, Kai Chen, Xiaofan Jia, Dagang Wang, Songquan Wangb, Yong Luo, Shirong Ge [1] ได้วิจัยเรื่อง.”Bending fatigue behavior of bearing ropes working around pulleys of different materials.” ทดลองหาพฤติกรรมการสึกหรอของเส้นลวดสลิงเมื่อเปลี่ยนวัสดุพูลเลย์ระหว่างพูลเลย์เหล็กกับพูลเลย์ในลอนซึ่งสรุปผลการทดลองออกมาได้ดังนี้

1. อายุความล้าของลวดเชือกที่ทำงานรอบพูลเลย์ในลอนจะมากกว่าลวดเชือกที่ทำงานรอบพูลเลย์เหล็ก 2 เท่า การใช้งานกับพูลเลย์ในลอนนั้น การแตกหัก การสึกหรอ และความเสียหายที่ลวดเส้นนอกจะมีอยู่น้อย อัตราการเติบโตของรอยแตกและผลรวมความเสียหายต่อความยาวเฉลี่ย จะต่ำด้วย

2. ยกเว้นการตรวจสอบรอยหักที่สามารถเห็นได้ ค่าความเสียหายที่ใช้เครื่องมือตรวจสอบก็เป็นตัวแปรสำคัญสำหรับความเสียหายของเชือก หลังจากลวดถูกหยุดใช้งาน ค่าความเสียหายในแต่ละความยาวเฉลี่ยของเชือกที่ทำงานกับพูลเลย์ในลอนมีค่าสูงขึ้น ผลการทดลองบ่งชี้ว่าอัตราส่วนของความเสียหายภายในเกิดจากความล้าและการสึกเพิ่มขึ้นเมื่ออายุความล้าของเชือกเพิ่มขึ้น

3. การเสียหายเริ่มแรกของสลิงที่ถูกตัดคือการสึกหรอและการแตกหัก การแตกหักของพื้นผิวแสดงได้ภายใต้ 2 เงื่อนไข การแตกหักเกิดในลวดส่วนนอก การแตกหักในเชือกที่ทำงานกับพูลเลย์เหล็กจัดว่าเป็นการแตกหักจากการสึกหรอ ภายใต้เงื่อนไขอื่นๆ การแตกหักนี้ถูกจัดว่าเป็นการแตกหัก

จากความล้า การแตกหักของพื้นผิวของเชือกที่ทำงานกับพุลเลย์ในลอนจะมีการเริ่มต้นการแตกที่น้อยกว่าพุลเลย์เหล็ก มีการกระจายตัวของการแตกที่กว้างกว่าและช่วงการขาดที่แคบกว่าพุลเลย์เหล็ก

4. อายุความล้าของเชือกเพิ่มขึ้นเพราะว่าความเสียหายที่ลดลงระหว่างลวดด้านนอกและพุลเลย์เมื่อพุลเลย์เป็นพุลเลย์ในลอน

Yusuf Aytac Onur และ C Erdem Imrak [2] ได้วิจัยเรื่อง "Experimental and theoretical investigation of bending over sheave fatigue life of stranded steel wire rope." ได้ทดลองหาอายุการใช้งานของลวดสลิงจากการคำนวณตามสมการของ Feyrer estimation และจากการทดลองโดยใช้ Regression analysis ในการวิเคราะห์ผล ซึ่งผลที่ได้ก็คือ อายุการใช้งานของลวดสลิงจะลดลงก็ต่อเมื่อ tensile load เพิ่มขึ้น และเส้นผ่านศูนย์กลางของพุลเลย์ลดลง

André Luiz Pinto, Carlos Sérgio da Costa Viana, Luiz Paulo Mendonça Brandão, Marcelo Savi and Pedro Manuel Calas Lopes Pacheco [3] ได้วิจัยเรื่อง "FAILURE ANALYSIS OF A WIRE ROPE BELONGING TO THE TRACTION SYSTEM OF A CABLE CAR". ได้นำลวดสลิงที่เสียหายเนื่องการใช้งานมาตรวจสอบหาความเสียหายทั้งทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองคือเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสลิงจะลดลงจากเส้นผ่านศูนย์กลางเดิม ซึ่งผู้ทำการวิจัยได้แนะนำว่า ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง เป็น 6% ของเส้นผ่านศูนย์กลางเดิมก็ควรที่จะเปลี่ยนลวดสลิงที่ใช้งานอยู่เป็นเส้นใหม่

S. Nabijou และ R.E. Hobbs [4] ได้ทำการวิจัยในเรื่อง "Fatigue of wire ropes bent over small sheaves" [4] ซึ่งได้ทดลองเพื่อหาอายุการใช้งานของลวดสลิง ซึ่งได้ใช้ D/d ratio เท่ากับ 12 และ 20 และใช้ชนิดของลวดสลิงที่ต่างกัน ซึ่งผลที่ได้คือ ลวดสลิงที่ทำจากลวดสลิงต่างชนิดกันจะมีอายุการใช้งานต่างกัน

บทที่ 3

การสึกหรอของลวดสลิง

3.1 การสึกหรอแบบ Wear

การสึกหรอ หมายถึงการต้องสูญเสียเนื้อสารจำนวนหนึ่งออกไปจากชิ้นวัตถุโดยไม่ปรารถนา สาเหตุของการสึกหลอมีหลายประการ และมักจะเกิดจากหลายสาเหตุพร้อม ๆ กัน การสึกหลอสามารถแบ่งได้ตามสาเหตุเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

3.1.1 การสึกหรอแบบ Adhesive เกิดจากการที่ผิวโลหะมาเสียดสีกัน และยอดแหลมที่หลอมติดกันถูกกระแทกให้แตกหักอันเป็นขบวนการเกิดแรงเสียดทานนั่นเอง น้ำมันหล่อลื่นป้องกันและลดการสึกหรอประเภทนี้โดยการทำหน้าที่ลดการสัมผัสกันระหว่างหน้าสัมผัสได้ อันเป็นการลดแรงเสียดทานไปในตัว การสึกหลอประเภทนี้มักเกิดจากการหยุดและไปของผิวหน้าสัมผัสก่อนที่ฟิล์มน้ำมันจะเกิดขึ้นได้ หรือความล้มเหลวอื่น ๆ ของฟิล์มน้ำมันที่จะแยกหน้าสัมผัสออก

3.1.2 การสึกหรอแบบ Abrasive เกิดจากการที่มีชิ้นส่วนของแข็งขนาดเล็กหลุดเข้าไปในบริเวณผิวสัมผัส และครูดไถไปบนผิวหน้าที่อาจจะอ่อนกว่าชิ้นส่วนของแข็งนี้อาจจะเป็นสิ่งแปลกปลอมจากภายนอก หรือเศษที่แตกหักมาจากการสึกหรอนั่นเอง ดังนั้นปัจจัยของการสึกหลอแบบ Abrasive คืออนุภาคของแข็งต้องมีขนาดใหญ่กว่าความหนาของฟิล์มน้ำมันและมีความแข็งกว่าผิวหน้าสัมผัส น้ำมันหล่อลื่นสามารถทำหน้าที่ชะล้างหรือพัดพาเอาอนุภาคของแข็งที่เป็นอันตรายต่อผิวหน้านี้ไปได้ เป็นการลดการสึกหรอโดยที่อุปกรณ์ของระบบหล่อลื่น เช่นซีลและไส้กรอง มีส่วนสัมพันธ์กับหน้าที่นี้มาก

3.1.3 การสึกกร่อน (Corrosive) หมายถึงการที่เนื้อสารถูกสารอื่นเข้าไปกัดกร่อนทำปฏิกิริยาเคมี เช่น จากในบรรยากาศทั่ว ๆ ไป จากสารที่เกิดจากน้ำมันหล่อลื่นที่เสื่อมสภาพกลายเป็นกรด หรือจากไอกรดกำมะถันจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้เผาไหม้และอื่น ๆ น้ำมันหล่อลื่นช่วยลดการสึกกร่อนได้ 2 วิธี คือ การทำตัวเป็นฟิล์มเคลือบผิวหน้าป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน และการที่น้ำมันหล่อลื่นมีสารเคมีที่จะหยุดยั้งหรือชิงเข้าทำปฏิกิริยากับสารที่เป็นอันตรายนั้นเสียก่อน

3.1.4. Fatigue Wear เกิดจากความเสียหายภายใต้ผิวหน้าอันเป็นผลมาจากการที่ผิวหน้าถูกแรงกระทำซ้ำ ๆ กันเป็นเวลานาน และเกิดการล้าของเนื้อสารนั้น อาการที่พบได้มักจะเป็นรู หรือการ

แตกที่เกิดโดยฉับพลัน ไม่สามารถคาดการณ์ได้ สำหรับการสึกหลอประเภทนี้ยังไม่สามารถชี้ชัดถึงความสามารถของน้ำมันหล่อลื่นว่ามีส่วนช่วยลดหรือป้องกันได้ประการใด

3.2 การสึกหรอแบบ Fatigue

ความเสียหายที่เกิดจากการล้าของวัสดุ (Fatigue Failures)

ความเสียหายจากความล้าของวัสดุเป็นการเสียหายที่เกิดขึ้นจากการที่วัสดุหรือชิ้นส่วนนั้นๆ เกิดความล้าตัวอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของแรงที่เปลี่ยนแปลงขนาดและกระทำกลับไปกลับมา (Dynamics Load) บนวัสดุในช่วงเวลาที่พิจารณา (Repeated Cycling of the Load) ซ้ำกันไปเป็นเวลานานทำให้วัสดุในจุดที่รับความเค้น (Stress) เกิดการล้าตัวมากขึ้นเรื่อย ๆ

หลังจากนั้นในจุดดังกล่าวของวัสดุก็จะเกิดรอยแตกร้าว (Crack) ขึ้น จากรอยแตกร้าวเล็ก ๆ ก็ จะขยายเป็นรอยที่ใหญ่ขึ้นและพังเสียหายในที่สุด เราเรียกความเสียหายดังกล่าวที่เกิดจาก Dynamics Loading ว่าความล้า (Fatigue) ซึ่งความเสียหายดังกล่าวที่เราสามารถพบได้ดังเช่น เพลลา ขับของรถยนต์ ใบพัดเครื่องบิน ตลอดจนชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรกล เช่น ผิวหน้าของฟันเฟือง โซ่ หรือส่วนที่เป็นร่องลิ้นของมู่เล่ สำหรับความเสียหายที่เกิดกับชิ้นส่วนของเครื่องจักรเราพบว่า ประมาณ 90% มาจากความล้าตัวของโลหะหรือวัสดุ

กลไกความเสียหายที่เกิดขึ้นมีรายละเอียดคร่าว ๆ 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

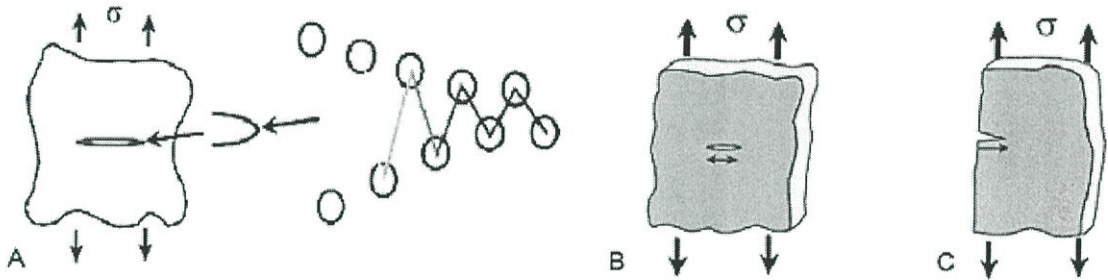
- การเริ่มต้นแตก (Crack Initial) เริ่มต้นเกิดรอยแตกร้าวขนาดเล็กขึ้นที่ผิววัสดุ โดยส่วนที่ เริ่มต้นการแตกร้าว นั้นจะเริ่มต้นจากส่วนต่าง ๆ ดังเช่น พื้นผิวที่มีรอยขีดข่วนหรือรอยลึก (Surface Screeches) มุมและเหลี่ยมคมของวัสดุ (Sharp Corners) ร่องลิ้น (Key Way) รูปที่ 3.2A เกลียว และเฟือง (Thread or Gear) และส่วนโค้งเว้าต่าง ๆ ของเครื่องจักร

เนื่องจากส่วนต่าง ๆ เหล่านี้มีพื้นที่น้อยจึงทำให้ความแข็งแรงน้อยกว่าส่วนอื่น ๆ ดังนั้นเมื่อต้อง รับภาระเท่ากับส่วนอื่น ๆ ส่วนนี้จึงเกิดการล้าตัวและเกิดความเสียหายก่อนส่วนอื่นที่รับความเค้นน้อยกว่า

- การขยายตัวของรอยแตก (Crack Propagation) รอยแตกร้าวที่เกิดจากขั้นตอนของการ เริ่มต้นแตก (Initial Crack) ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของความเสียหายจะขยายตัวต่อไปเป็นรอยแตกขนาดใหญ่ขึ้น (Progressive Crack Growth Across the Part) จากตอนเริ่มต้นเกิดรอยแตกความเค้นที่ เกิดขึ้นจะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากพื้นที่รับแรงจะน้อยลงเพราะว่าเมื่อพื้นที่ส่วนหนึ่งแตกออก

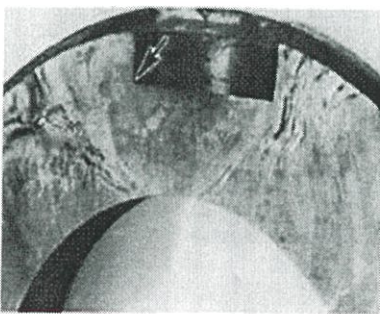
ตรงส่วนที่แตกออกจะไม่สามารถรับแรงได้ ดังนั้นพื้นที่รับแรงที่เหลือของวัสดุจะน้อยลงในขณะที่ภาระ (Load) ที่วัสดุรับยังเท่าเดิม ดังแผนภูมิ S-N Schematic ดังรูปที่ 3.3 (จะอธิบายในหัวข้อที่ 1.1) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress, S) กับจำนวนรอบหรือจำนวนครั้งที่วัสดุรับความเค้น (Cycle, N)

จะเห็นว่าถ้าจะทำให้รอบหรือจำนวนครั้งในการรับความเค้นของวัสดุมากขึ้นหรืออายุการใช้งานที่ยาวขึ้นเราจะต้องลดความเค้น (Stress, S) ลงหรือลดภาระ (Load) ที่กระทำกับวัสดุลงนั่นเอง สำหรับความเสียหายที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้จะดำเนินไปอย่างช้า ๆ ซึ่งจะช้ามากหรือช้าน้อยก็จะขึ้นอยู่กับจำนวนภาระ (Load) ที่มากระทำกับวัสดุ

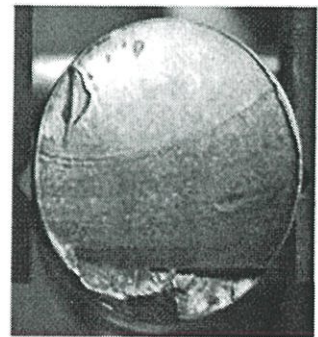


รูปที่ 3.1 ลำดับการแตกร้าวของวัสดุเนื่องจากการล้าตัว

- ความเสียหายในขั้นตอนสุดท้าย (Final Failure) การแตกหักเสียหายอย่างกะทันหันจะเกิดขึ้นกับพื้นที่วัสดุที่เหลือจนพังเสียหายและไม่สามารถที่จะใช้การได้ในที่สุด



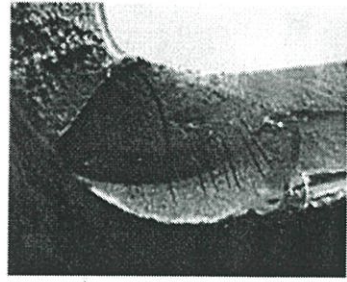
A. จุดที่เริ่มต้นเกิดการแตกร้าวของร่องลึมหือเหลี่ยมด้านใน



B. ลักษณะของเพลลาที่เสียหายจากการล้า



C. การล้าตัวบนรางเบร้งเนื่องจากมีน้ำผสมในน้ำมันหล่อลื่น



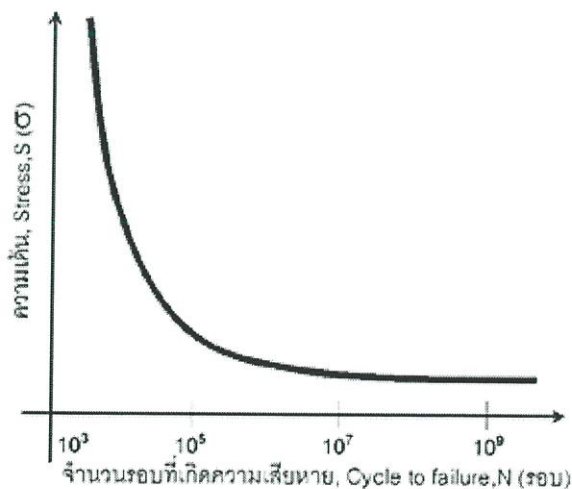
D. การแตกเนื่องจากความล้าของข้อต่อซี่เนื่องจาก Over Load

รูปที่ 3.2 ความเสียหายเนื่องจากการล้าตัวรูปแบบต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนวัสดุที่ใช้งาน

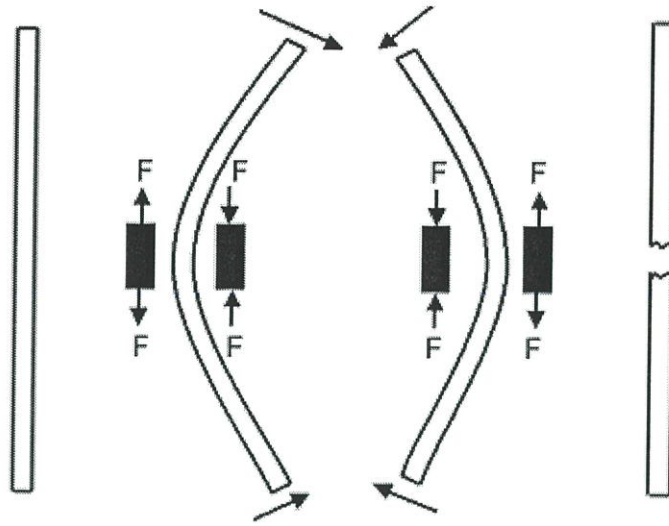
3.2.1 รอบความเค้น (Stress Cycle, N) ต้นเหตุแห่งความเสียหายจากการล้าของวัสดุ

ดังที่กล่าวไว้แล้วในข้างต้นว่าต้นเหตุของความเสียหายที่เกิดจากความเค้นของวัสดุนั้นมีความเกี่ยวพันกันโดยตรงกับรอบความเค้นหรือถ้าจะกล่าวกันให้เข้าใจง่าย ๆ คือจำนวนครั้งที่วัสดุนั้นรับแรงหรือรับภาระ การที่ความเค้นเกิดสลับไปสลับมาซ้ำ ๆ กันหรือรอบความเค้น (Stress Cycle, N)

ถ้าจะยกตัวอย่างให้เข้าใจง่าย ๆ เช่น เมื่อนำลวดเส้นหนึ่งมาจับแล้วหักไปหักมาสลับกันไปเรื่อย ๆ เมื่อเราหักไปหักมากก็จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นบนเส้นลวดในจุดที่หักและเมื่อเรายังหักลวดดังกล่าวไปมาเรื่อย ๆ ในที่สุดลวดเส้นนั้นก็ขาดในที่สุดเนื่องจากความล้าที่เกิดขึ้นในจุดที่หัก ดังรูปที่ 3.4

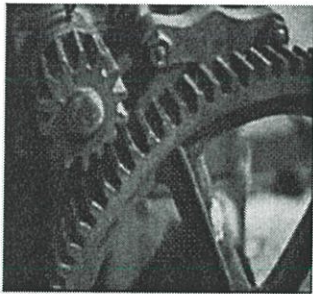


รูปที่ 3.3 แผนภูมิ S-N Curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและจำนวนรอบของการทำงาน



รูปที่ 3.4 เส้นลวดที่ขาดเนื่องจากการรับภาระสลับไปสลับมา

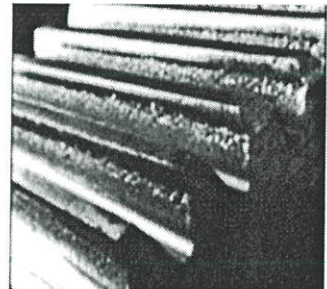
ในการขบแล้วปล่อยของฟันเกียร์แต่ละครั้งคือ 1 รอบความเค้น (1 Cycle Stress) ที่ฟันเกียร์ตัวนั้นได้รับดังนั้นเมื่อฟันเกียร์ทำงานไปเรื่อย ๆ จำนวนรอบความเค้นที่เกียร์ได้รับก็จะเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ จากสลับ เป็นร้อยเป็นพันเป็นหมื่นเป็นแสนรอบ ตามอายุการทำงานของเกียร์เหล่านั้น



A. การส่งถ่ายกำลังของฟันเกียร์



B. การเกิดพिटติงหรือพิตติงตามแนวเส้นสัมผัสของเกียร์เนื่องจากความเค้นที่กระทำซ้ำ ๆ กันเกิดขึ้น ในระยะแรกจะเกิดการล้าตัวของผิวสัมผัสและหลุดร่อนออกของผิวฟันเกียร์



C. การเกิดพिटติงหรือพิตติงแบบรุนแรงบนพื้นผิวจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงและเป็นพิตติงเพราะความเค้นมากขึ้นเนื่องจากพื้นที่รับแรงน้อยลงเนื่องจากการหลุดร่อนของพื้นผิว

รูปที่ 3.5 ความเสียหายที่เกิดจากความล้าตัวของเฟืองเกียร์

สำหรับการทำงานที่เป็นปกติการสึกหรอก็จะเกิดขึ้นตามระยะเวลาการใช้งานของชิ้นส่วนหรือวัสดุ แต่สำหรับในสถานะที่การทำงานไม่เป็นปกติเช่น เมื่อฟันเกียร์ตามตัวอย่างในรูปที่ 3.5 มีการหล่อลื่นไม่เพียงพอก็จะทำให้พื้นที่ของฟันเกียร์สัมผัสกันโดยตรงโดยไม่มีฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นมาเป็นตัวกัน

และถ่ายทอดแรงอัดต่อพื้นที่ผิวสัมผัสจากผิวหน้าพื้นตัวขับสู่วิวหน้าพื้นตัวตาม เมื่อพื้นเกียร์สัมผัสกัน พื้นที่ดังกล่าวก็จะรับกับความเค้นไปเรื่อย ๆ ซ้ำกันไปตลอดเวลาที่พื้นเกียร์ทำหน้าที่ส่งถ่ายกำลัง

ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้จะส่งผลให้เกิดความล้า (Fatigue) ขึ้นที่ผิวหน้าของพื้นเกียร์และจะส่งผลให้เกิดรอยแตกเล็ก ๆ ขึ้น และเมื่อผิวหน้าของพื้นเกียร์ต้องรับแรงต่อไปเรื่อย ๆ ตามจังหวะการทำงาน รอยแตกเล็ก ๆ ดังกล่าวก็จะขยายใหญ่ขึ้นและหลุดออกในที่สุด เมื่อพื้นที่หน้าพื้นส่วนที่แตกหลุดออกไปจนทำให้ผิวหน้าของพื้นเกียร์จะมีลักษณะเป็นหลุมพิตดิ่งขนาดเล็กเกิดขึ้นดังรูปที่ 3.5B

หลังจากนั้นเมื่อผิวหน้าบางส่วนหลุดออกไปในขณะที่ผิวหน้าของพื้นเกียร์ยังรับภาระหรือแรงเท่าเดิมความเค้นก็จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากพื้นที่รับแรงลดลงส่วนผิวหน้าที่เหลือก็จะเริ่มล้าตัว แตกและหลุดออกเพิ่มขึ้นจนเกิดเป็นพิตดิ่งขนาดใหญ่ที่ผิวหน้าของพื้นเกียร์ดังรูปที่ 3.5C ความเสียหายจะเกิดขึ้นเป็นทวีคูณในตอนหลัง เพราะในตอนแรกที่ไม่มีการสึกพื้นที่รับแรงของเฟืองเกียร์จะมากจึงส่งผลให้ความเค้นที่เกิดขึ้นน้อย ดังสมการที่ 3.1

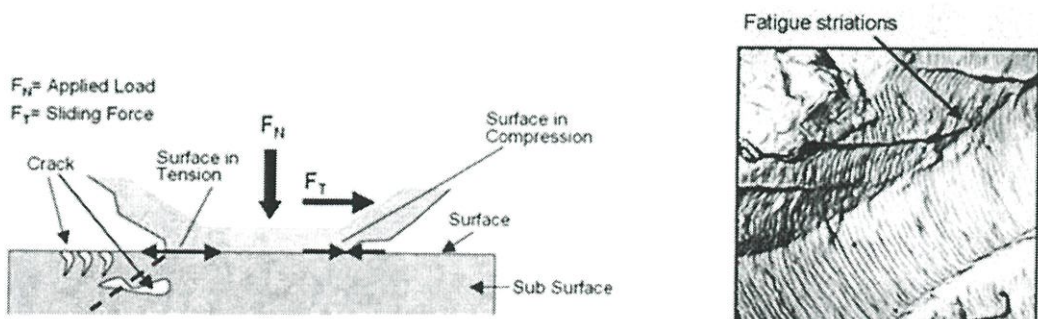
$$\delta = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

เมื่อ δ คือความเค้นที่เกิดขึ้น, (แรง/พื้นที่)

F คือแรงที่กระทำบนพื้นที่รับแรง,

A คือพื้นที่รับแรง

แต่หลังจากที่เกิดการล้าตัวและหลุดร่อนออกในบางส่วนทำให้ส่วนที่เป็นพื้นที่รับแรงน้อยในขณะที่แรงยังเท่าเดิมผลก็คือจะทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นบนพื้นที่รับแรงมากขึ้น และจะมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเกิดการหลุดร่อนออกของผิวของเฟืองเกียร์เพิ่มมากขึ้น



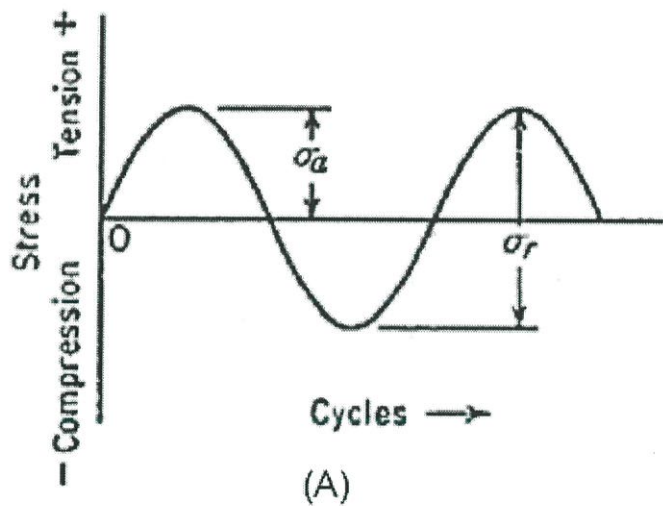
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างกลไกการเกิดความล้าและแนวการเกิดการล้าตัวในวัสดุ (Fatigue Striation)

3.2.2 รูปแบบของความเค้นซึ่งเป็นสาเหตุของความล้า

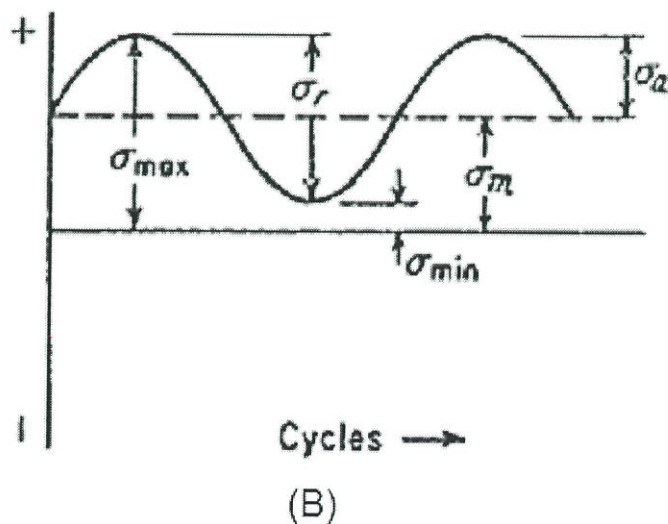
ชนิดของความเค้นซึ่งเป็นสาเหตุของความล้าซึ่งจะอธิบายในรายละเอียดที่แสดงถึงการรับภาระความเค้นแบบกลับไปกลับมาหรือรอบความเค้นดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็นสามแบบคือ

3.2.2.1 ความเค้นสูงสุดและต่ำสุดจะเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม (Reverse Stress Cycle)

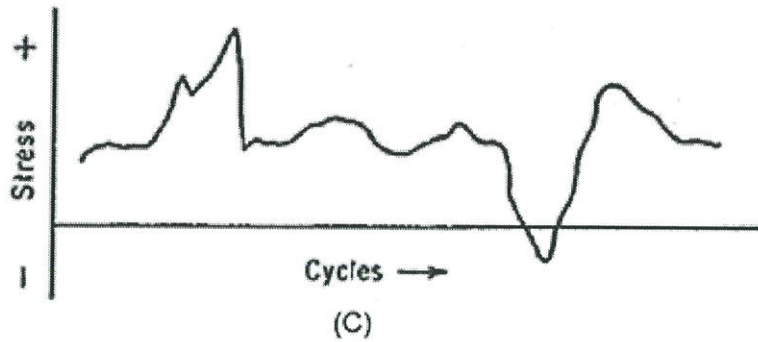
ดังรูปที่ 3.7(A) แสดงรูปแบบของรอบความเค้นในรูปของคลื่นไซน์ (Sine Wave or Sinusoidal) โดย σ_a คือขนาดของความเค้นสูงสุดและความเค้นต่ำสุดที่มีขนาดเท่ากัน (ความเค้นสูงสุดอยู่ในรูปของแรงดึง (Tension, +) และความเค้นต่ำสุดอยู่ในรูปของแรงกดหรือแรงอัด (Compression, -))



(A) รอบความเค้นแบบตรงกันข้าม (Reverse Stress Cycle)



(B) รอบความเค้นแบบทิศทางเดียว (Repeated Stress Cycle)



(C) รอบความเค้นแบบไม่สม่ำเสมอหรือแบบสุ่ม (Irregular or Random Stress Cycle)

รูปที่ 3.7 แสดงรูปแบบต่าง ๆ ในการเปลี่ยนแปลงของรอบความเค้น

3.2.2.2 ความเค้นสูงสุดและต่ำสุดมีทิศทางเดียวกัน (Repeated Stress Cycle)

ดังที่ 3.7(B) แสดงให้เห็นถึงรอบของความเค้นที่มีแรงกระทำเพียงด้านเดียวคือแรงดึงโดยที่ส่วนสูงสุดของแอมพลิจูด (Amplitude) เป็นแรงดึง (Tension) และส่วนที่ต่ำสุดของแอมพลิจูดก็เป็นแรงดึง (Tension) เช่นกัน

ตัวอย่างเช่น แรงดึงในลวดที่ใช้ยกของที่ในเวลาของลวดจะรับแรงดันสูงสุด แต่หลังจากที่เอาของออกไปแล้วลวดก็จะเหลือน้ำหนักของตัวเองที่ยังเป็นแรงดึงอยู่ ลักษณะของรอบความเค้นดังกล่าวสามารถที่จะเป็นสาเหตุให้เกิดการล้าตัวในจุดที่มีความแข็งแรงน้อยสุดได้

3.2.2.3 ความเค้นแบบสุ่ม (Irregular or Random Stress Cycle)

ดังรูปที่ 3.7(C) ซึ่งมีแรงกระทำไม่คงที่ ทั้งขนาด และทิศทาง โดยไม่สามารถคาดเดาลักษณะของแรงได้ แสดงให้เห็นถึงความไม่แน่นอนในการเปลี่ยนแปลงการรับภาระ (Load) ที่เกิดขึ้นกับวัสดุ ตัวอย่างการรับภาระของวัสดุแบบนี้ก็คือโครงสร้างของสะพาน หรือปีกของเครื่องบิน ในกรณีที่มีการรับภาระอย่างหนักและเกิดขึ้นอย่างรุนแรงอย่างกะทันหันเป็นประจำจะเป็นสาเหตุของการล้าตัวของวัสดุได้เช่นกัน

3.2.3 ภาวะกับจำนวนรอบที่เกิดความเสียหาย (S-N Fatigue Properties)

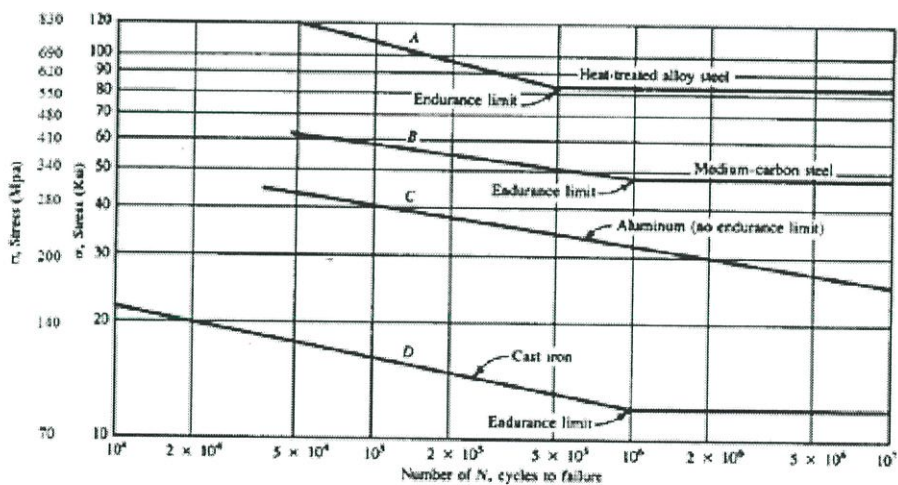
คือตัวแปรสองตัวที่มีความสัมพันธ์กัน จากการทดลองโดย เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress, S) ที่เป็นสาเหตุของการเสียหายที่เกิดขึ้นบนวัสดุกับจำนวนรอบ (Cycle, N) ของความเค้นที่เกิดขึ้น และนำมาแสดงในรูปของความสัมพันธ์ในกราฟระหว่างปริมาณความเค้นกับจำนวนรอบของความเค้นที่เกิดขึ้น ที่รู้จักกันในรูปของกราฟภาวะกับจำนวนรอบที่เกิดความเสียหาย

หรืออายุล้า (S-N Curve, S = Stress N = Cycle Stress Number) ซึ่งในส่วนของปริมาณจำนวนรอบของความเค้นนั้นจะแสดงอยู่ในรูปของ Log Scale

จากข้อมูลการทดลองการให้ความเค้นสลับไปมาในจำนวนรอบที่ต่อเนื่องกับวัสดุตัวอย่างที่เป็นเหล็กจนกระทั่งเกิดการพังเสียหาย การทดสอบกับตัวอย่างแรกโดยให้ความเค้นในอัตราที่สูงกับวัสดุทดสอบปรากฏว่าวัสดุทดสอบขึ้นดังกล่าวพังเสียหายที่ระยะเวลาอันรวดเร็วในจำนวนรอบความเค้นที่ต่ำ

จากนั้นทำการทดสอบกับวัสดุเดียวกันแต่ให้ความเค้นที่ต่ำกว่าเดิมวัสดุทดสอบเกิดการเสียหายที่รอบการทดสอบที่มากกว่าเดิม และจากการทดสอบโดยลดความเค้นของวัสดุทดสอบลงมาเรื่อย ๆ จนถึงระดับหนึ่งก็พบว่าวัสดุทดสอบจะไม่เกิดความเสียหายเมื่อจำนวนรอบความเค้นเพิ่มขึ้น ที่จุดนี้เราเรียกว่าขีดจำกัดความล้า (Fatigue Limit หรือ Endurance Limit) ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ที่รอบความเค้นระหว่าง 10⁶-10⁷ รอบสำหรับเหล็กกล้าคาร์บอน (ในตำราทั่ว ๆ ไประบุ 10⁶ รอบ)

ขีดจำกัดความล้า (Fatigue Limit หรือ Endurance Limit) อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Fatigue Threshold ซึ่งก็คือระดับความเค้นตั้งแต่ 1/4 จนถึง 1/2 เท่าของความเค้นที่จุดครากของวัสดุนั้น ๆ



รูปที่ 3.8 S-N Curve ของวัสดุชนิดต่าง ๆ

- เหล็กที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน, ขีดจำกัดความล้าที่ประมาณ 500,000 รอบความเค้น
- เหล็กกล้าคาร์บอน, ขีดจำกัดความล้าที่ประมาณ 1,000,000 รอบความเค้น
- อะลูมิเนียม, ไม่มีขีดจำกัดความล้า อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับภาระและรอบความเค้น
- เหล็กหล่อ, ขีดจำกัดความล้าที่ประมาณ 1,000,000 รอบความเค้น

* 1 ksi (kilo pound force per square inch) = 6.897 Mpa

โดยสรุปแล้วสำหรับวัสดุจำพวกเหล็กจะมีการเสียหายจากรอบความเค้นอยู่สองลักษณะคือ

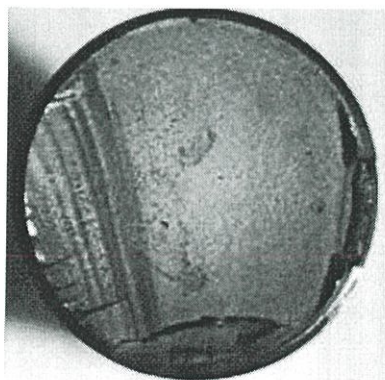
3.2.3.1 การล้าแบบรอบต่ำ (Low Cycle Fatigue, LCF) จะเกิดขึ้นเมื่อความเค้นที่กระทำกับวัสดุมากกว่าความเค้นที่จุดคราก (Yield Point) ของวัสดุนั้น ๆ ซึ่งจะเกิดขึ้นกับชิ้นงานที่มีความถี่ในการเคลื่อนที่หรือความเร็วรอบที่ต่ำ ๆ ต้องรับภาระ (Load) เช่นความเค้น ที่อยู่ในรูปของแรงอัด แรงดึงหรือแรงบิดมากเกินไปดังตัวอย่างในรูปที่ 3.9

หรือต้องอยู่ในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงความเค้นเนื่องจากอุณหภูมิมาก เช่น วัสดุที่ต้องอยู่ในสภาพที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมาก ๆ โดยทั่ว ๆ ไปจำนวนรอบที่เกิดความเสียหาย (Nf) จะน้อยกว่า 104 รอบ (Nf < 104 Cycle) หรือ 10,000 รอบความเค้น

3.2.3.2 การล้าแบบรอบสูง (High Cycle Fatigue, HCF) จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อความเค้นที่กระทำกับวัสดุมีน้อย ซึ่งโดยปกติจะต้องน้อยกว่าความเค้นที่จุดคราก (Yield Point) ของวัสดุนั้น ๆ โดยปกติจำนวนรอบที่เกิดความเสียหาย (Nf) จะอยู่ที่ประมาณ 10^6 รอบความเค้น หรือไม่เกิน 1,000,000 รอบความเค้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 การแตกหักจากความล้าที่รอบต่ำ (LCF) เนื่องจากแรงบิดของเพลลา



รูปที่ 3.10 การแตกหักเนื่องจากความล้าที่รอบสูง (HCF) ของเพลลาที่ทำงานด้วยภาระ (Load) ที่ต่ำแต่หมุนด้วยความเร็วรอบสูง

สำหรับวัสดุที่ไม่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบ (Nonferrous Material) เช่นอะลูมิเนียม พบว่า S-N Curve จะลดลงเรื่อย ๆ โดยไม่เข้าสู่แนวระดับ ดังนั้นวัสดุประเภทนี้จึงไม่มีค่า Fatigue Limit ที่แท้จริง แต่สามารถกำหนดให้ความเครียดที่วัสดุสามารถรับได้ โดยไม่เกิดความเสียหายที่ 10^8 ถึง 5×10^8 รอบเป็น Fatigue Limit

3.2.4 อัตราส่วนความเค้น (Stress Ratio, R)

ดังที่กล่าวในหัวข้อที่แล้วถึงแบบต่าง ๆ ในการเปลี่ยนแปลงของรอบความเค้น สิ่งที่จะบอกถึงลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของรอบความเค้นที่เกิดขึ้นได้คือ ค่าอัตราส่วนความเค้น (Stress Ratio, R) ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่างความเค้นต่ำสุด min และความเค้นสูงสุด max ในแต่ละรอบความเค้นซึ่งจะแสดงออกมาในรูปของอัตราส่วนความเค้นที่มีค่าดังต่อไปนี้

$$R = \min/\max \quad (3.2)$$

เมื่อ R คือ อัตราส่วนความเค้น

min ความเค้นต่ำสุดของแอมพลิจูด, Mpa หรือหน่วยทางความเค้นอื่น ๆ

max ความเค้นสูงสุดของแอมพลิจูด, Mpa หรือหน่วยทางความเค้นอื่น ๆ

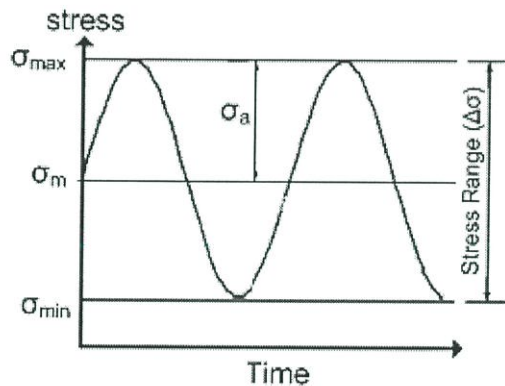
โดยพิจารณารูปที่ 3.7 ประกอบด้วยคือ

1. ถ้ารอบความเค้นที่เกิดขึ้นเป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกันครบทุกรอบ หรือแต่ละรอบมีทั้งความเค้นดึงสูงสุด (Maximum Tensile Stress) และความเค้นอัดสูงสุด (Maximum Compression Stress) เท่ากัน (Fully Reversed) R จะเท่ากับ -1 ($R = -1$) ดังรูปที่ 3.7A จากรูปดังกล่าวถ้าความเค้นอัด (-) เท่ากับ 20 Mpa และความเค้นดึง (+) ที่เกิดขึ้นเท่ากับ 20 Mpa, $R = -1$ หรือ 100%
2. ถ้ารอบความเค้นที่เกิดขึ้นมีบางส่วนที่มีทิศทางตรงกันข้ามและความเค้นสูงสุดที่เป็นความเค้นอัด (-) และส่วนที่เป็นความเค้นดึง (+) สูงสุดไม่เท่ากัน (Partially Reversed) ค่า R จะมีค่าน้อยกว่า -1 ($R < -1$) เช่นถ้าความเค้นดึง (+) สูงสุดในแต่ละรอบความเค้นเท่ากับ 10 Mpa และความเค้นอัด (-) เท่ากับ 20 Mpa $R = -2$ หรือ 200%
3. ถ้ารอบของความเค้นที่เกิดขึ้นอยู่ระหว่างความเค้นสูงสุดกับความเค้นเป็นศูนย์ (No Load) ค่า R จะเท่ากับ 0
4. ถ้าทั้งค่าความเค้นต่ำสุด (min) และความเค้นสูงสุด (max) เป็นความเค้นดึง (-) ค่า R จะน้อยกว่า 1 ($R < 1$) ดังรูป 3.7B ถ้าความเค้นดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นเท่ากับ 20 Mpa ความเค้นดึงต่ำสุด 10 Mpa อัตราส่วนความเค้นจะเท่ากับ $R = 0.5$ หรือ 50 %

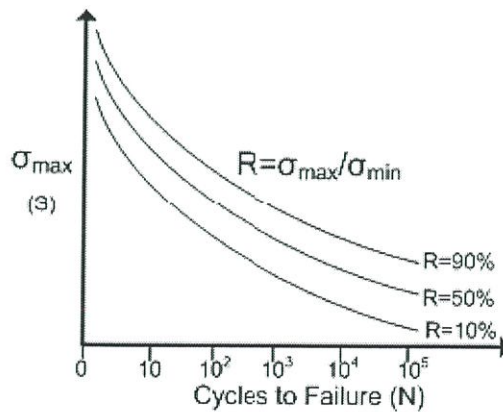
การเปลี่ยนแปลงความเค้นที่เกิดขึ้นระหว่างรอบความเค้น (Stress Cycle) ระหว่างความเค้นต่ำสุด (min) และความเค้นสูงสุด (max) ที่อยู่ในเทอมของอัตราส่วนความเค้น (R) นั้น จะเป็นตัวที่บ่งบอกถึงเวลาของวัสดุที่จะเสียหายจากการล้าตัวของวัสดุ (Fatigue Life) หรือเป็นตัวที่บ่งบอกว่าวัสดุจะใช้เวลานานแค่ไหนถึงจะพังเสียหาย

จากรูปที่ 3.12 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเค้น (R) กับรอบความเค้นที่ทำให้เกิดความเสียหาย (Nf) เราจะเห็นว่าถ้าที่ระดับความเค้นเท่ากันวัสดุที่รับภาระที่อัตราส่วนความเค้นต่ำกว่าจะเกิดความเสียหายก่อนหรือเสียหายที่รอบความเค้นที่ต่ำกว่า

ตัวแปรอีกตัวหนึ่งซึ่งมีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าอัตราส่วนความเค้นคือความเค้นเฉลี่ย (Mean Stress, m) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างความเค้นสูงสุดและความเค้นต่ำสุด ดังแสดงรูปที่ 3.11 เพราะถ้าหากค่าความเค้นเฉลี่ยยิ่งมากก็จะเป็นตัวบ่งบอกว่าวัสดุนั้นจะเกิดความเสียหายจากการล้าตัวเร็วยิ่งขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 3.11 ความเค้นลักษณะต่างๆ ที่เกิดขึ้นใน 1 รอบความเค้น



รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเค้น (R) กับรอบความเค้นที่ทำให้เกิดความเสียหาย (Nf)

3.2.5 การป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ (Preventing Fatigue Failure)

1. ออกแบบวัสดุที่เป็นชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบของเครื่องจักรให้มีความเหมาะสมเพื่อป้องกันความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุนั้น ๆ นอกจากนั้นก็เป็นการปรับสภาพในการทำงานของเครื่องจักรไม่ให้เกิดความเค้นมากเกินไป

2. ลบมุมของวัสดุที่เป็นเหลี่ยมมุม เพื่อลดความเค้นที่จะเกิดขึ้น

3. เอาใจใส่ดูแลความเรียบร้อยในการประกอบและจุดจับยึดต่าง ๆ ของเครื่องจักร

3.2.6 การวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการล้า (Fatigue Failure Analysis)

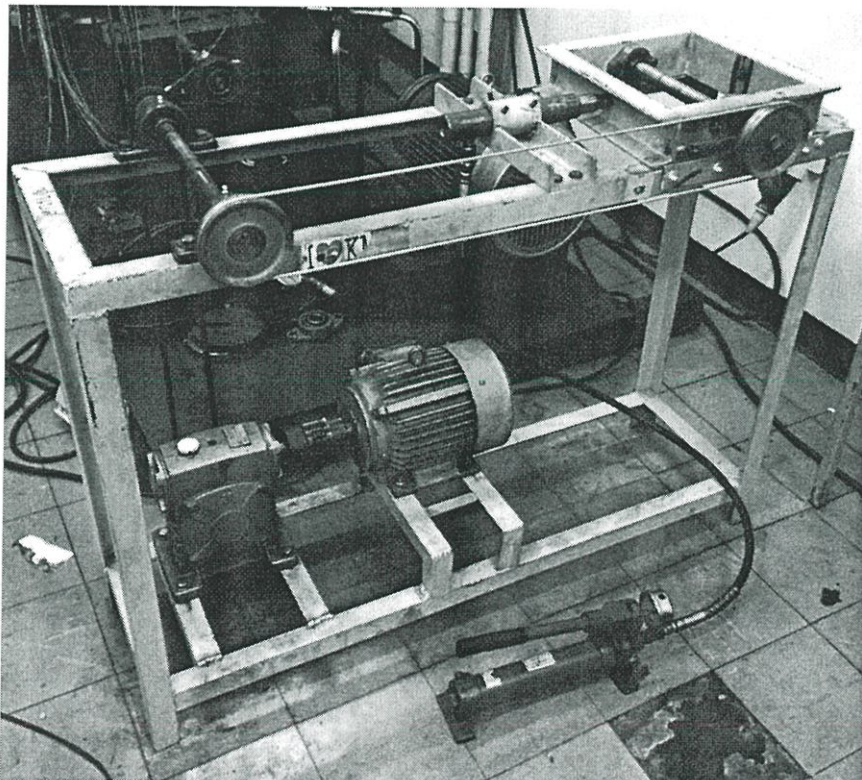
ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการล้าตัว (Fatigue) ของวัสดุนั้นเป็นผลโดยตรงจากการกระทำของภาระ (Load) ที่ซ้ำ ๆ กันต่อวัสดุภายใต้จุดล้าตัวของวัสดุนั้น ๆ ผลที่เกิดขึ้นก็คือวัสดุนั้นจะเกิดความเสียหายในเวลาต่อมา ซึ่งในการออกแบบชิ้นส่วนของเครื่องจักรในบางครั้งเราไม่ได้นึกถึงในรายละเอียดของส่วนนี้ หรือในสภาพการทำงานและการใช้งานบางครั้งสภาพแวดล้อมของเครื่องจักรก็ทำให้เกิดสิ่งนี้ขึ้น

ดังนั้นเราจึงต้องพิจารณาถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นและหาสาเหตุถึงที่มาที่ไปของความเสียหายที่เกิดขึ้นโดยละเอียดเพื่อป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรจากรอบความเค้นซึ่งเป็นสาเหตุของความเสียหายที่เกิดจากการล้าของวัสดุ

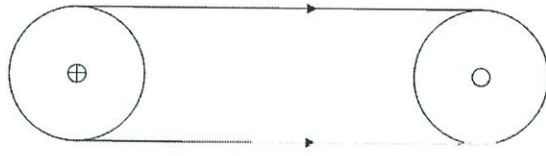
บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

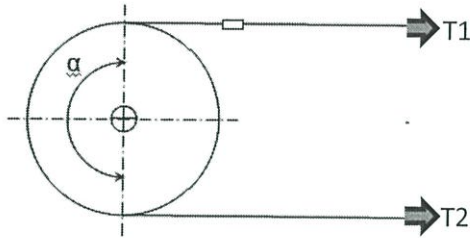
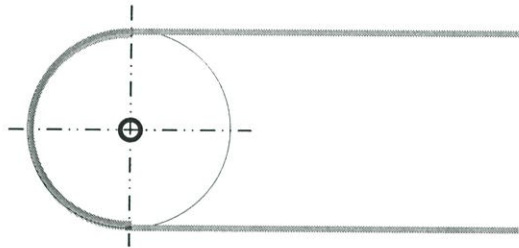
ในการทดลองนี้จะมีลักษณะเป็นโต๊ะดังรูป 4.1 โดยพูลเลย์ตัวข้างซ้ายจะถูกยึดให้อยู่กับที่โดยแบร็ริงและตัวโต๊ะ ในขณะที่พูลเลย์ตัวขวาสามารถเคลื่อนที่ได้ซ้ายขวาในโครงเหล็กสี่เหลี่ยม เพื่อให้สลิงสามารถรับน้ำหนักที่จะใส่โดยไฮดรอลิกได้ จากรูป 4.3 เป็นรูปขณะใส่โหลด ซึ่ง Hydraulic จะต้องเท่ากับ 2 เท่าของแรงดึงเชือกตามสมการสมดุล กระบอกไฮดรอลิก(กระบอกสีแดง)จะถูกยึดโดยปลอกทรงกระบอกดังรูป 4.1 ในขณะที่เครื่องทำงานแรงดึงเชือก 2 แรงจะไม่เท่ากัน ซึ่งแรงที่เพิ่มขึ้นมานั้นเกิดจากทอร์คของมอเตอร์ เนื่องจากสลิงต้องผ่านส่วนโค้งของพูลเลย์จึงทำให้เกิดการดัดให้โค้งงอและดัดเป็นเส้นตรงสลับกันจึงเป็นผลให้เกิดการสีกหรือเนื่องจากความล้า รูปที่ 4.4 แสดงบริเวณที่เกิดการดัดให้โค้ง(สีแดง)และบริเวณที่กลับมาเป็นเส้นตรง(สีเขียว)



รูปที่ 4.1 รูปชุดทดลอง



รูปที่ 4.2 แสดงชุดพูลเลย์

รูปที่ 4.3 ขณะใส่โหลด $T_1=T_2$ 

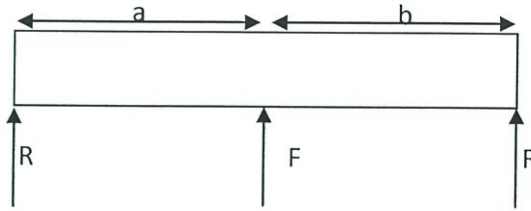
รูปที่ 4.4 แสดงบริเวณที่เกิดการตัดของสลิงเนื่องจากพูลเลย์

4.1 ชิ้นส่วนที่รับแรงเป็นหลัก

จากรูปที่ 4.1 ชิ้นส่วนที่รับแรงตั้งจากไฮดรอลิกโดยตรงมีดังต่อไปนี้

1. เพลาของพูลเลย์ตัวขับ
2. เพลาของพูลเลย์ตัวตาม
3. โครงเหล็กสี่เหลี่ยม
4. ชุดยึดไฮดรอลิก
5. เหล็กแนวยาวที่ถูกยึดด้วยแบริ่ง โครงเหล็กสี่เหลี่ยม และชุดยึดไฮดรอลิก

พิจารณาเพลลาของพูลเลย์ตัวตามก่อน



รูปที่ 4.5 แรงที่กระทำต่อเพลลา

1. พิจารณาแรงที่มากกระทำกับเพลลา ในที่นี้มีอยู่ 2 ส่วนคือ แรงจากพูลเลย์และแรงปฏิกิริยาจากแบร์ริง

2. เขียนสมการของแรงที่กระทำบนเพลลาโดยใช้ singularity function คือ

$$q = R_1 \langle x-0 \rangle^{-1} + F_p \langle x-a \rangle^{-1} + R_2 \langle x-a-b \rangle^{-1} \quad (4.1)$$

เมื่อ q คือ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อคาน

R_1 คือ แรงปฏิกิริยาที่แบร์ริง

R_2 คือ แรงปฏิกิริยาที่แบร์ริง

F_p คือ แรงที่กระทำจากไฮโดรลิก

a, b คือ ระยะห่างจากจุดที่แรงจากไฮโดรลิกกระทำต่อคานถึงแบร์ริง

3. อินทิเกรต 2 ครั้งเพื่อได้สมการโมเมนต์เป็น

$$M = R_1 \langle x-0 \rangle + F_p \langle x-a \rangle + R_2 \langle x-a-b \rangle + C_1 x + C_2 \quad (4.2)$$

เมื่อ M คือ โมเมนต์ลัพธ์ที่กระทำต่อคาน

R_1 คือ แรงปฏิกิริยาที่แบร์ริง

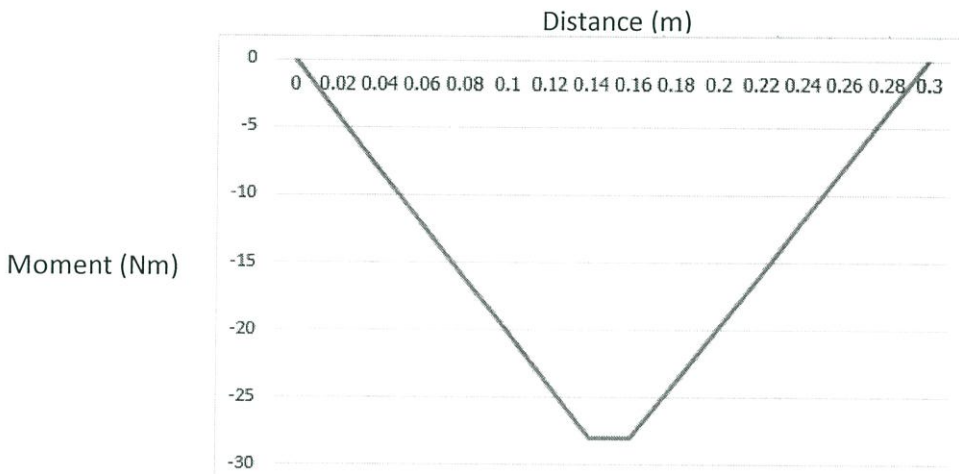
R_2 คือ แรงปฏิกิริยาที่แบร์ริง

F_p คือ แรงที่กระทำจากไฮโดรลิก

C_1, C_2 คือ ค่าคงที่

a, b คือ ระยะห่างจากจุดที่แรงจากไฮโดรลิกกระทำต่อคานถึงแบร์ริง

4. แก้มการหาค่า R_1 , R_2 โดยที่ค่า F_p ได้จากการคิดโหลดที่ใส่ให้กับสลิงข้างละ 200N ดังนั้นแรงที่พูลเลย์สามารถตัดเพลลาได้คือ 400 N โดยที่ C_1 และ C_2 มีค่าเท่ากับศูนย์เนื่องจากแรงปฏิกิริยาถูกรวมเข้าไปในสมการ q แล้ว
5. นำค่า R_1 และ R_2 ที่ได้คือ -200 ทั้งสองค่าไปแทนในสมการ M และกำหนดค่า a และ b เท่ากับ 0.15m และ 0.15m ตามลำดับลงไปในสมการ
6. แทนค่าตำแหน่งต่างๆ (ตัวแปร x) ลงในสมการโมเมนต์จะได้กราฟดังรูปต่อไปนี้ซึ่งจะได้ค่าโมเมนต์สูงสุดคือ -28 Nm



รูปที่ 4.6 กราฟระหว่างระยะของเพลลา กับโมเมนต์

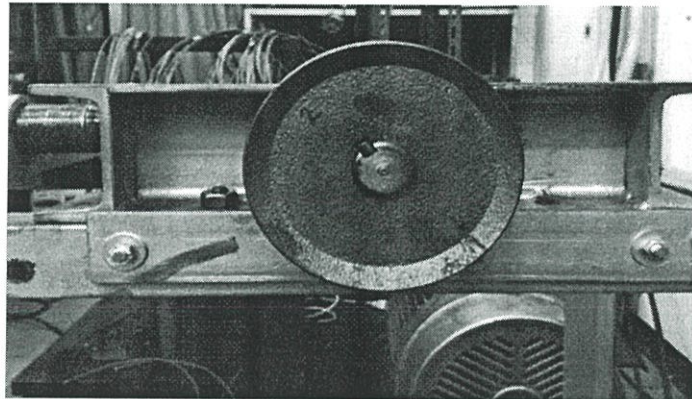
7. จากสมการเส้นผ่านศูนย์กลางของสลิง

$$d_2 = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[\left(K_f \frac{M_a}{S_f} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(K_{fsm} \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (4.3)$$

- เมื่อ d_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลา
- N_f คือ ค่า safety factor ของเพลลา
- K_f คือ stress fatigue concentration-factor
- K_{fsm} คือ shear-stress fatigue concentration-factor
- M_a คือ alternating component of moment
- T_m คือ mean component of torque
- S_f คือ fatigue strength of the shaft material

S_y คือ yield strength of the shaft material

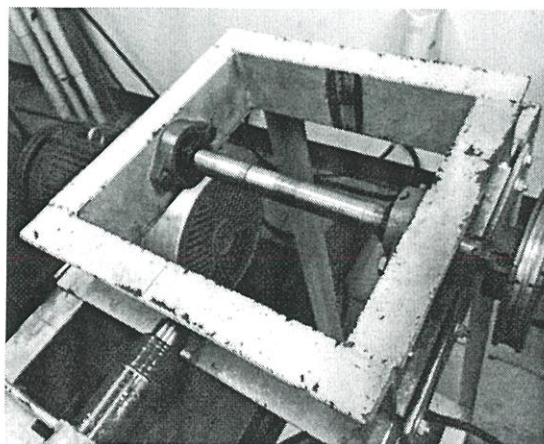
แทนค่า โมเมนต์ที่ได้จากข้อ 6 ให้ N_f (safety factor) = 2.5 $S_f = 27.3\text{kpsi}$ $S_y = 38\text{kpsi}$ จากคุณสมบัติของเหล็ก SAE 1020 สมมติให้ K_f และ $K_{fsm} = 2.25$ และ 1.57 ตามลำดับและใช้ค่าทอร์คของมอเตอร์หลังทรอบผ่านเกียร์ทดเท่ากับ 150.38Nm จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาเท่ากับ 3 cm



รูปที่ 4.7 เพลาของพูลเลย์ตัวตาม

พิจารณาโครงสี่เหลี่ยม

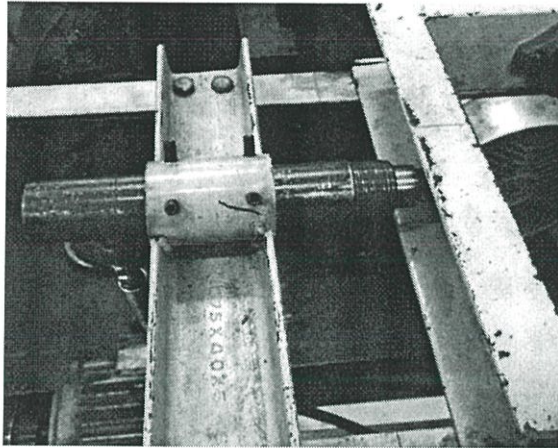
จากรูปที่ 4.8 ชิ้นส่วนหลักในโครงสี่เหลี่ยมที่ต้องกังวลคือบริเวณที่ถูกไฮดรอลิกดันซึ่งแรงที่กระทำต่อชิ้นส่วนในบริเวณนี้กระทำในลักษณะเดียวกันกับเพลาดังนั้นจึงสามารถคิดโมเมนต์ออกมาได้ในขนาดที่เท่ากันดังนั้นจึงสามารถหาความเค้นภายในได้ หลังจากนั้นพิจารณาความเค้นเฉือนเนื่องจากแรงไฮดรอลิกแล้วนำมาเปรียบเทียบกับเพื่อทราบกรณีที่มีผลมากที่สุด



รูปที่ 4.8 โครงเหล็กสี่เหลี่ยม

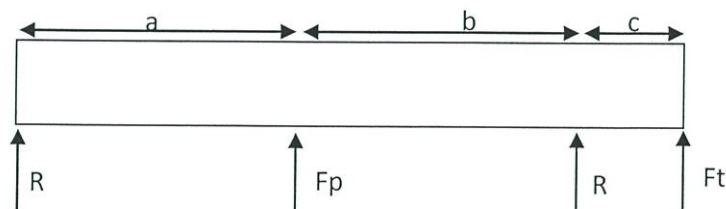
พิจารณาชุดยึดไฮดรอลิก

จากรูปที่ 4.9 ชุดยึดไฮดรอลิกประกอบด้วยเหล็กตัวยู เชื่อมติดกับปลอกทรงกระบอกโดยมีตัวยึด 4 ตัวขันแน่นเพื่อยึดไฮดรอลิกและปลอกไว้ด้วยกัน ชุดยึดไฮดรอลิกนี้จะมีชิ้นส่วนที่พิจารณาสองส่วนคือ บริเวณปลอกทรงกระบอก และเหล็กรูปตัวยู บริเวณทรงกระบอกจะต้องยึดไฮดรอลิกและทรงกระบอกเข้าด้วยกันได้ดังนั้นการขันตัวยึดเข้ากับกระบอกไฮดรอลิกจะต้องขันแน่นพอให้แรงเสียดทานของตัวยึดทุกตัวสามารถต้านทานแรงจากไฮดรอลิกได้ ในส่วนของเหล็กรูปตัวยู จะพิจารณาโมเมนต์ที่ถูกกระทำเนื่องจากกระบอกไฮดรอลิกซึ่งจะสามารถสร้างความเค้นภายในได้ซึ่งโมเมนต์ที่กระทำต่อเหล็กนั้นสามารถพิจารณาได้ในลักษณะเดียวกับเพลลาของพูลเลย์ตัวขับและมีขนาดโมเมนต์ที่เท่ากัน



รูปที่ 4.9 ชุดยึดไฮดรอลิก

พิจารณาพูลเลย์ตัวขับ



รูปที่ 4.10 แรงที่กระทำต่อเพลลาของพูลเลย์ตัวขับ

1. พิจารณาแรงที่มากระทำกับเพลลา ในที่นี้มีอยู่ 2 ส่วนคือ แรงจากพูลเลย์และแรงปฏิกิริยาจากแบร็ง

2. เขียนสมการของแรงที่กระทำบนเพลลาโดยใช้ singularity function คือ

$$q = R1\langle x-0 \rangle^{-1} + Fp \langle x-a \rangle^{-1} + R2\langle x-a-b \rangle^{-1} + Ft\langle x-a-b-c \rangle^{-1} \quad (4.1)$$

เมื่อ q คือ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อคาน
 $R1$ คือ แรงปฏิกิริยาที่แบร็ง
 $R2$ คือ แรงปฏิกิริยาที่แบร็ง
 Fp คือ แรงที่กระทำจากไฮโดรลิก
 a, b คือ ระยะห่างจากจุดที่แรงจากไฮโดรลิกกระทำต่อคานถึงแบร็ง

3. อินทิเกรต 2 ครั้งเพื่อได้สมการโมเมนต์เป็น

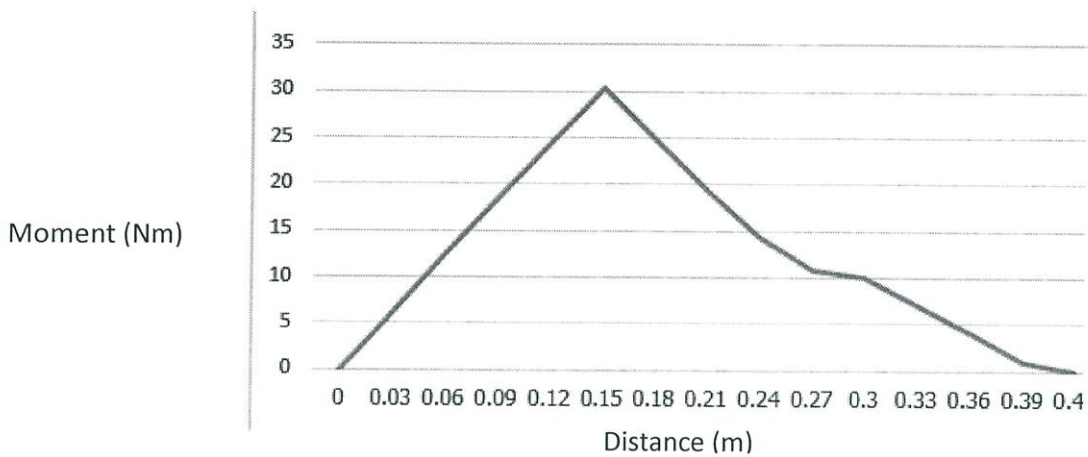
$$M = R1\langle x-0 \rangle + Fp \langle x-a \rangle + R2\langle x-a-b \rangle + Ft\langle x-a-b-c \rangle + C1x + C2 \quad (4.2)$$

เมื่อ M คือ โมเมนต์ลัพธ์ที่กระทำต่อคาน
 $R1$ คือ แรงปฏิกิริยาที่แบร็ง
 $R2$ คือ แรงปฏิกิริยาที่แบร็ง
 Fp คือ แรงที่กระทำจากไฮโดรลิก
 $C1, C2$ คือ ค่าคงที่
 a, b คือ ระยะห่างจากจุดที่แรงจากไฮโดรลิกกระทำต่อคานถึงแบร็ง

4. แก่สมการหาค่า $R1$, $R2$ โดยที่ค่า Fp ได้จากการคิดโพลดที่ใส่ให้กับสลิงข้างละ 200N ดังนั้นแรงที่พูลเลย์สามารถดึงเพลลาได้คือ 400 N โดยที่ $C1$ และ $C2$ มีค่าเท่ากับศูนย์เนื่องจากแรงปฏิกิริยาถูกรวมเข้าไปในสมการ q แล้ว

5. นำค่า $R1$ และ $R2$ ที่ได้คือ -200 ทั้งสองค่าไปแทนในสมการ M และกำหนดค่า a, b และ c เท่ากับ 0.15m, 0.15m และ 0.1m ตามลำดับลงไปในสมการ

6. แทนค่าตำแหน่งต่างๆ (ตัวแปร x) ลงในสมการโมเมนต์จะได้กราฟดังรูปที่ 4.11 ซึ่งจะได้ค่าโมเมนต์สูงสุดคือ 30Nm



รูปที่ 4.11 กราฟระหว่างระยะของเพลากับโมเมนต์

7. จากสมการเส้นผ่านศูนย์กลางของสลิง

$$d_2 = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[\left(K_f \frac{M_a}{S_f} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(K_{fsm} \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (4.3)$$

เมื่อ d_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเพล

N_f คือ ค่า safety factor ของเพล

K_f คือ stress fatigue concentration-factor

K_{fsm} คือ shear-stress fatigue concentration-factor

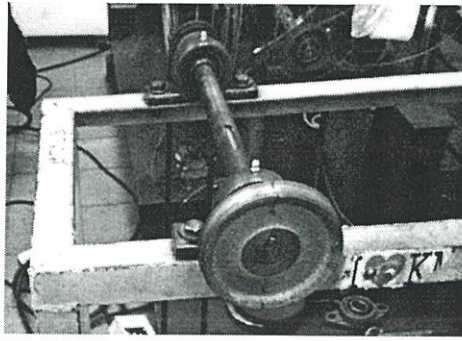
M_a คือ alternating component of moment

T_m คือ mean component of torque

S_f คือ fatigue strength of the shaft material

S_y คือ yield strength of the shaft material

แทนค่า โมเมนต์ที่ได้จากข้อ 6 ให้ N_f (safety factor) = 2.5 $S_f = 27.3$ kpsi $S_y = 38$ kpsi จากคุณสมบัติของเหล็ก SAE 1020 สมมติให้ K_f และ $K_{fsm} = 2.25$ และ 1.57 ตามลำดับและใช้ค่าทอร์คสูงสุดโดยไม่ทำให้สลิงเกิดการลื่นไถลเท่ากับ 150 Nm จะได้เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลเท่ากับ 3 cm



รูปที่ 4.12 ชุดพูลเลย์ตัวขับ

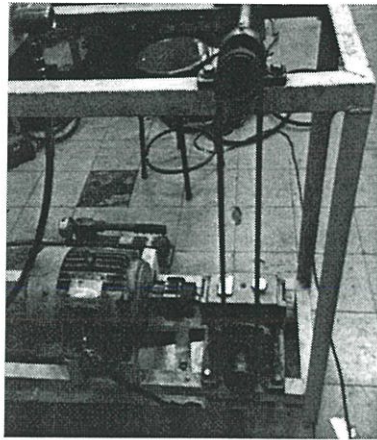
พิจารณาเหล็กแนวยาวที่ถูกยึดด้วยแบริ่ง โครงเหล็กสี่เหลี่ยม และชุดยึดไฮดรอลิก

1. พิจารณาชิ้นส่วนที่มีแนวโน้มเสียหายมากที่สุดซึ่งเป็นชิ้นส่วนบริเวณที่ติดกับแบริ่ง
2. เนื่องจากชิ้นส่วนชิ้นนี้จะได้รับแรงดึงเพียงอย่างเดียวเนื่องจากแบริ่งซึ่งเท่ากับฝั่งละ 2900N ดังนั้นนำแรงที่คิดได้นี้หารด้วยพื้นที่หน้าตัดจะได้ความเค้นโครงสร้างถูกกระทำ
3. ในกรณีนี้เลือกเหล็กฉากเป็นโครงสร้าง กำหนดความหนาและความกว้างของเหล็กเท่ากับ 0.003m และ 0.03m ตามลำดับ
4. นำค่าความเค้นที่โครงสร้างถูกกระทำไปหารด้วยค่า yield strength ในที่นี้คือ 262000777 Pa จะได้ค่า safety factor ออกมาซึ่งต้องได้เกิน 1 ขึ้นไปเพื่อให้วัสดุไม่เสียหาย ในกรณีนี้ได้ค่า safety factor เกิน 1 ดังนั้นใช้ขนาดตามที่กำหนดได้

4.2 ชุดส่งกำลัง

จากรูป 4.13 ชุดส่งกำลังจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. มอเตอร์
2. ชุดเกียร์ทด
3. พูลเลย์ตัวตาม



รูปที่ 4.13 ชุดส่งกำลัง

พิจารณาส่วนของมอเตอร์

มอเตอร์จะต้องเอาชนะแรงดึงของสลิ้งที่ถูกกระทำโดยไฮดรอลิก เนื่องจากมอเตอร์นี้เป็นมอเตอร์จากงานวิจัยของบัณฑิตที่สำเร็จการศึกษาแล้วซึ่งมีกำลังเท่ากับ 3 แรงม้า และการใช้งานในงานวิจัยนี้ไฮดรอลิกใส่แรงลงไปไม่มากนักจึงทำให้มอเตอร์นี้สามารถใช้งานได้

พิจารณาอัตราทดในการส่งกำลัง

ในการส่งกำลังจะให้พูลเลย์หมุนประมาณ 23 รอบต่อนาทีเนื่องจาก ถ้าหมุนเร็วไปจะทำให้ สลิ้งเกิดการลื่นไถลได้ การที่จะลดรอบของมอเตอร์ลงจาก 1420 รอบต่อนาทีเหลือ 23 รอบต่อนาทีนั้นไม่สามารถใช้เกียร์ทดซึ่งมีอัตราทด 1:10 เพียงอย่างเดียวได้ ต้องมีชุดพูลเลย์อย่างน้อย 1 ชุดเข้ามาเสริมในกรณีนี้เลือกใช้พูลเลย์ 1 ชุดเนื่องจาก ถ้าใช้พูลเลย์ 2 ชุดจะทำให้การวางชุดส่งกำลังนั้นยุ่งยากเพราะต้องเหลือพื้นที่ให้พูลเลย์ส่งกำลังซึ่งอยู่ระหว่างมอเตอร์กับเกียร์ทด ทำให้ฐานของตัวโต๊ะนั้นกว้างไม่เหมาะกับการใช้งาน จึงเลือกที่จะใช้การต่อตรงระหว่างมอเตอร์กับเกียร์ทดและเพิ่มขนาดพูลเลย์ที่ต่อกับเพลลาขับให้มีขนาดใหญ่ขึ้นจะเหมาะสมมากกว่าดังรูป 4.12

เนื่องจากอัตราทดของเกียร์ทดนั้นคือ 1:10 การที่จะลดรอบให้เหลือ 23 รอบต่อนาทีได้นั้น ชุดพูลเลย์ระหว่างเกียร์ทดและเพลลาขับนั้นจะต้องมีอัตราทด 1:1.2 ดังนั้นพูลเลย์ที่ต่อเข้ากับเกียร์ทดจึงเลือกขนาดที่เล็กที่สุดที่สามารถสวมเข้ากับเกียร์ทดได้คือ 3 นิ้วและพูลเลย์ที่ต่อกับเพลลาขับนั้นจะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.5 นิ้ว

4.3 ขั้นตอนการทดลอง

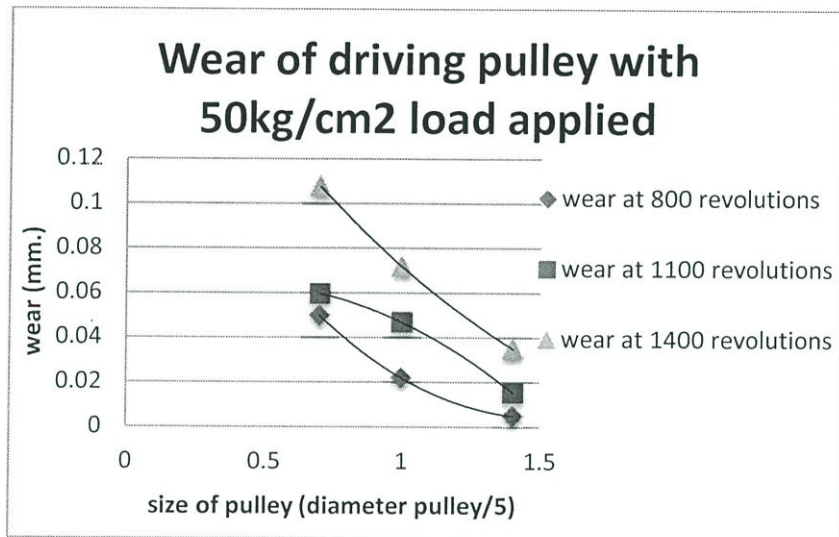
ในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 9 การทดลอง ตามขนาดพูลเลย์คือ 3.5 in, 5 in และ 7 in และขนาดน้ำหนักที่ใส่ให้ลวดสลิงคือ 50 kg/cm^2 , 60 kg/cm^2 และ 70 kg/cm^2 ซึ่งขั้นตอนการทดลองทุกการทดลองจะเหมือนกันหมดต่างกันเพียงขนาดพูลเลย์หรือน้ำหนักที่ใส่ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ใส่พูลเลย์ตามขนาดที่ต้องการจะทดลอง ซึ่งพูลเลย์ทั้ง 2 ฝั่ง ทั้งตัวขับและตัวตามต้องเป็นขนาดเดียวกัน
2. นำสลิง Endless ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่สอดคล้องกับระยะห่างระหว่างพูลเลย์ไปใส่เข้าไปในชุดพูลเลย์
3. ใส่น้ำหนักโดยโยกคันโยกไฮโดรลิกให้เพิ่มขึ้นตามน้ำหนักที่ต้องการ
4. เปิดเครื่องเพื่อให้มอเตอร์หมุน สลิงจะถูกขับให้หมุนไปเรื่อยๆในทิศทางเดียวกัน
5. จับเวลาในการเดินเครื่องเป็นเวลา 10 นาที
6. เมื่อครบเวลาที่กำหนด วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของสลิงที่ลดลง ขนาดร่องของพูลเลย์ที่สึกมากขึ้น และนำสลิงที่ถูกใช้งานมาตรวจสอบความเสียหาย
7. ดำเนินการตั้งแต่ขั้นตอนที่ 4-6 จนกว่าร่องรอยความเสียหายจะเกินที่มาตรฐานกำหนดไว้
8. นำค่าที่ได้มาพลอตลงในตารางและพลอตกราฟเพื่อหาแนวโน้มการสึกหรอ
9. วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้และสรุปผลการทดลอง

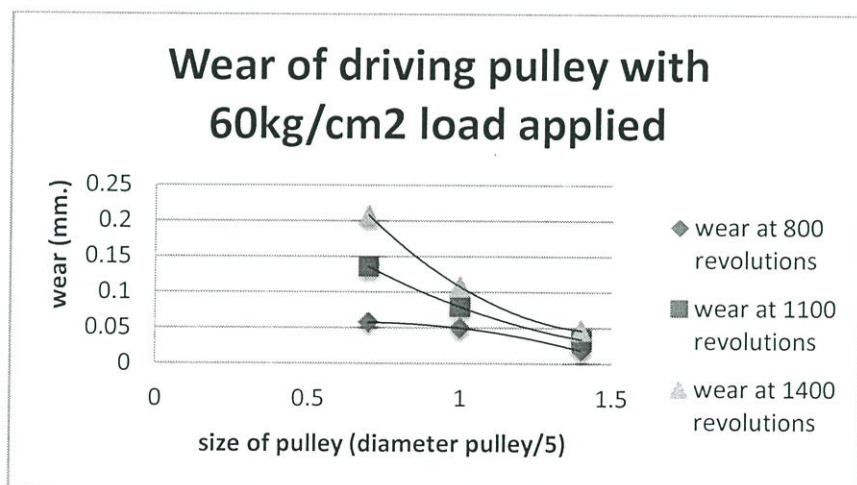
บทที่ 5

ผลการทดลอง

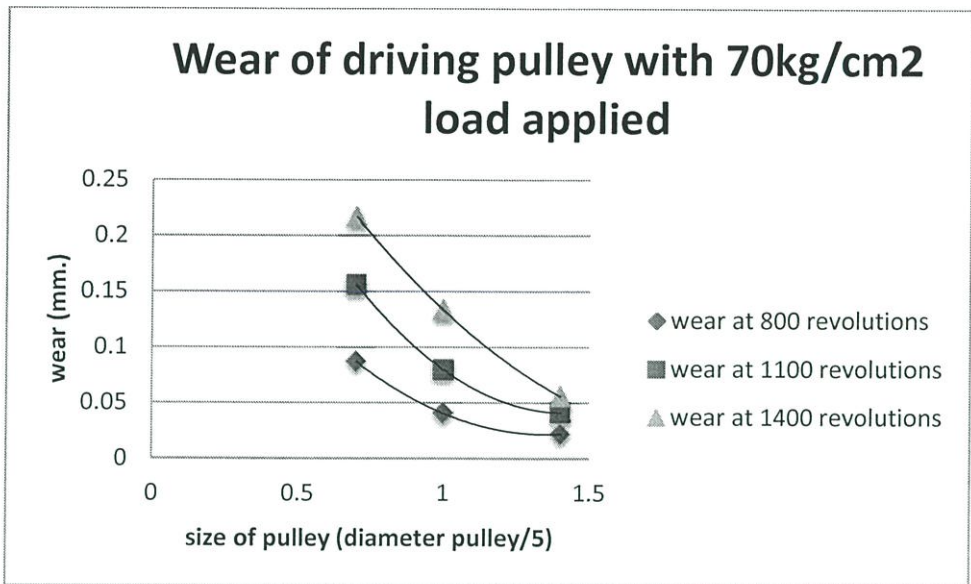
5.1 กราฟผลการทดลอง



รูปที่ 5.1 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพูลเลย์ตัวขับที่เปลี่ยนไป กับเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ ที่เปลี่ยนไปโดยรับโหลด 50 kg/cm²

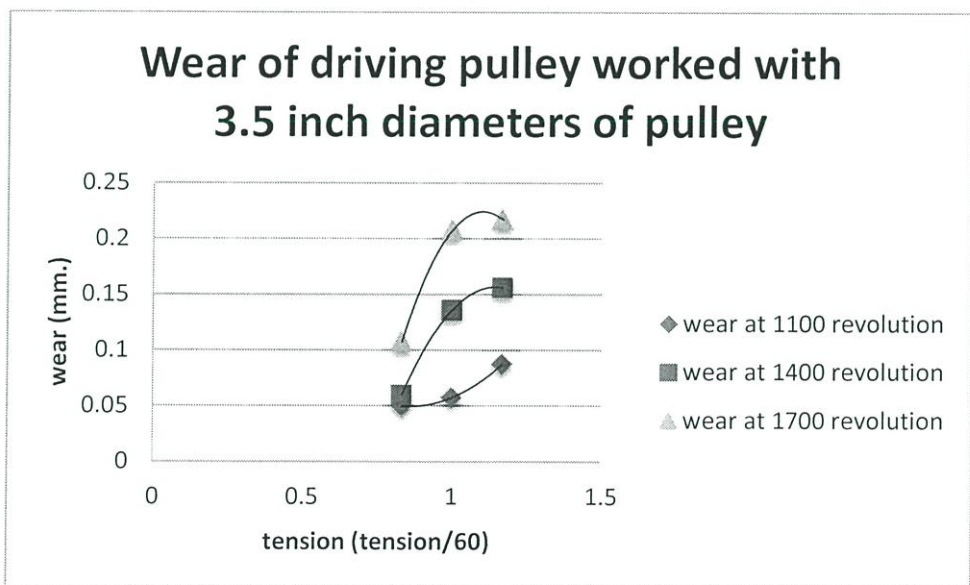


รูปที่ 5.2 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพูลเลย์ตัวขับที่เปลี่ยนไป กับเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ ที่เปลี่ยนไปโดยรับโหลด 60 kg/cm²

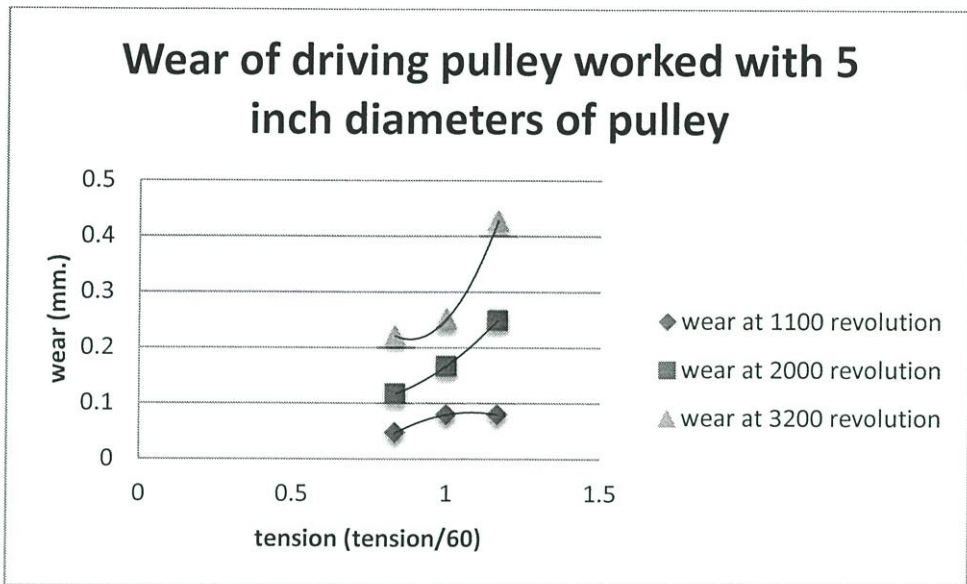


รูปที่ 5.3 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพูลเลย์ตัวขับที่เปลี่ยนไป กับเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ที่เปลี่ยนไปโดยรับโหลด 70 kg/cm²

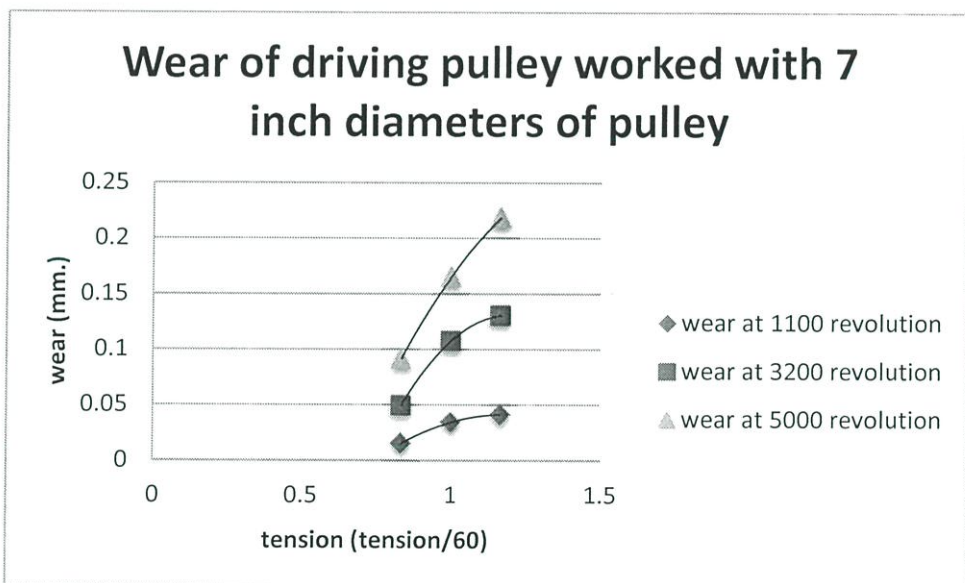
จากรูปที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์เพิ่มขึ้นทำให้การสึกหรอของพูลเลย์ตัวขับลดลง โดยเมื่อจำนวนรอบของการทดลองเพิ่มขึ้นนั้นทำให้การสึกหรอเพิ่มขึ้น และเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ลดลงนั้น จะทำให้การสึกหรอของพูลเลย์ตัวขับเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.4 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพูลเลย์ตัวขับขนาด 3.5 in ที่เปลี่ยนไป กับแรงดึงในลวดสลิงที่เปลี่ยนไป

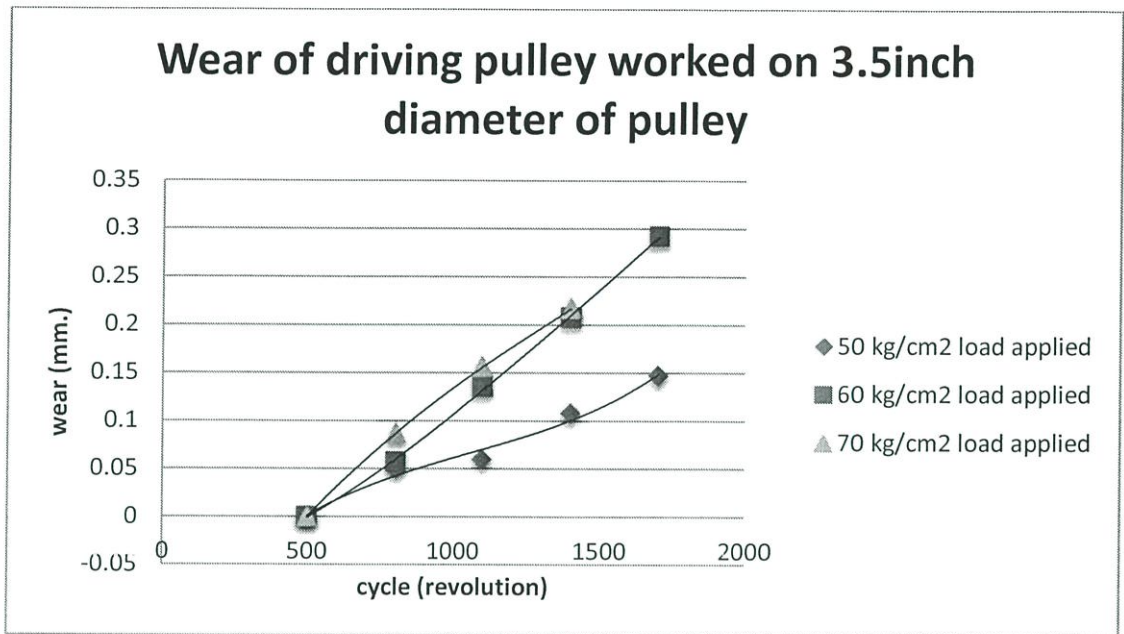


รูปที่ 5.5 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพูลเลย์ตัวขับเคลื่อนขนาด 5 in ที่เปลี่ยนไปกับแรงดึงในลวดสลิงที่เปลี่ยนไป

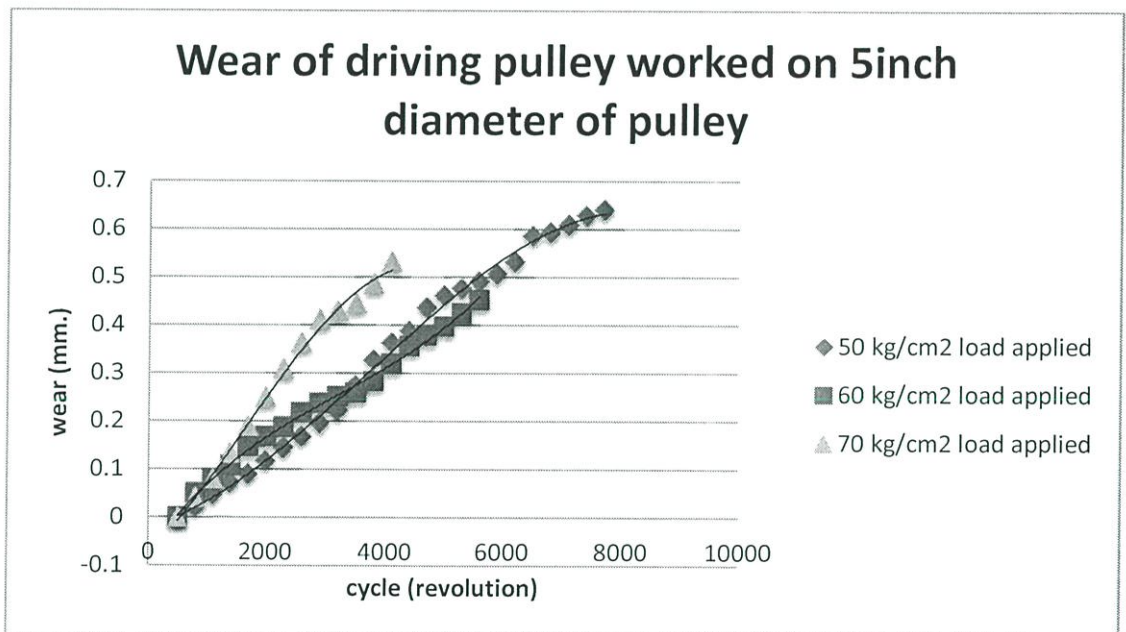


รูปที่ 5.6 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพูลเลย์ตัวขับเคลื่อนขนาด 7 in ที่เปลี่ยนไปกับแรงดึงในลวดสลิงที่เปลี่ยนไป

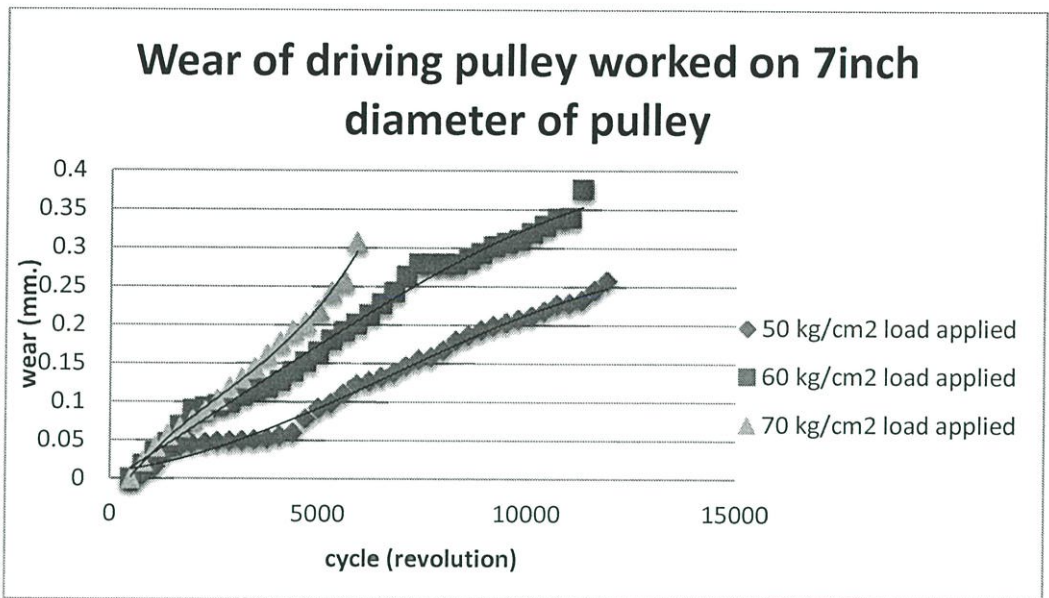
จากรูปที่ 5.4, 5.5 และ 5.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อแรงดึงในลวดสลิงเพิ่มมากขึ้น จะทำให้การสึกหรอของพูลเลย์ตัวขับเคลื่อนเพิ่มมากขึ้นตาม โดยเมื่อจำนวนรอบของการทดลองเพิ่มมากขึ้นทำให้การสึกหรอเพิ่มมากขึ้นตาม และเมื่อแรงดึงในลวดสลิงลดลงนั้น จะทำให้การสึกหรอของพูลเลย์ตัวขับเคลื่อนลดลงตาม



รูปที่ 5.7 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพุลเลย์ตัวขับเคลื่อนขนาด 3.5 in ที่เปลี่ยนไปกับจำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน

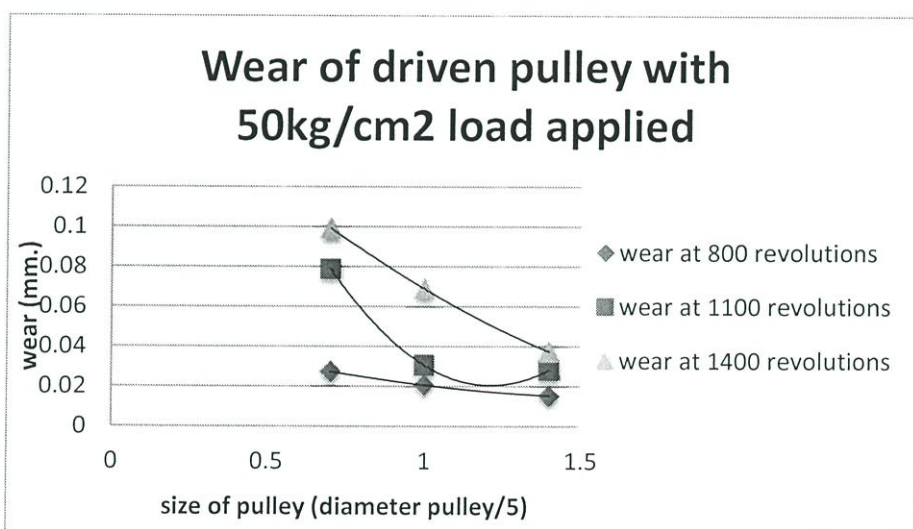


รูปที่ 5.8 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพุลเลย์ตัวขับเคลื่อนขนาด 5 in ที่เปลี่ยนไปกับจำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน

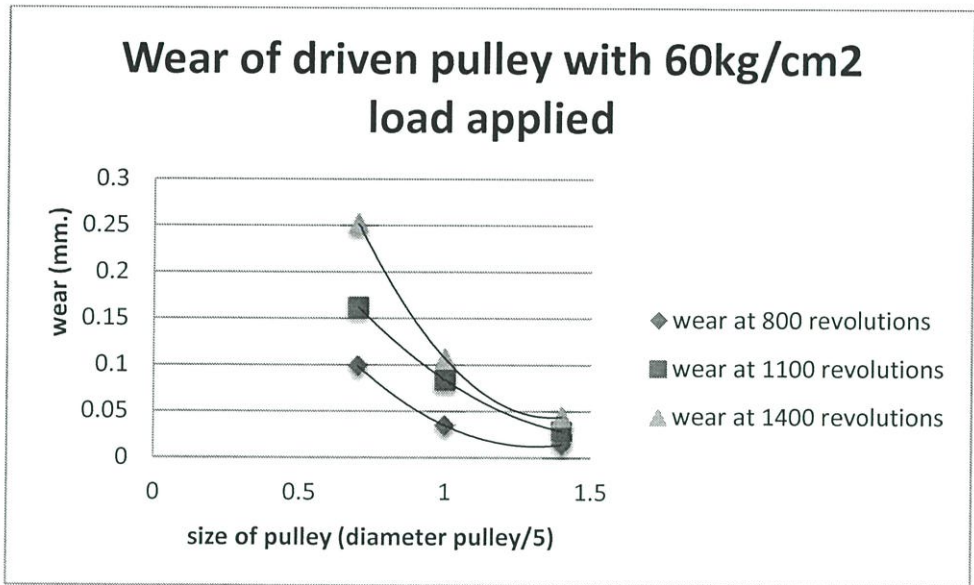


รูปที่ 5.9 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพูลเลย์ตัวขับเคลื่อนขนาด 7 in ที่เปลี่ยนไปกับจำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน

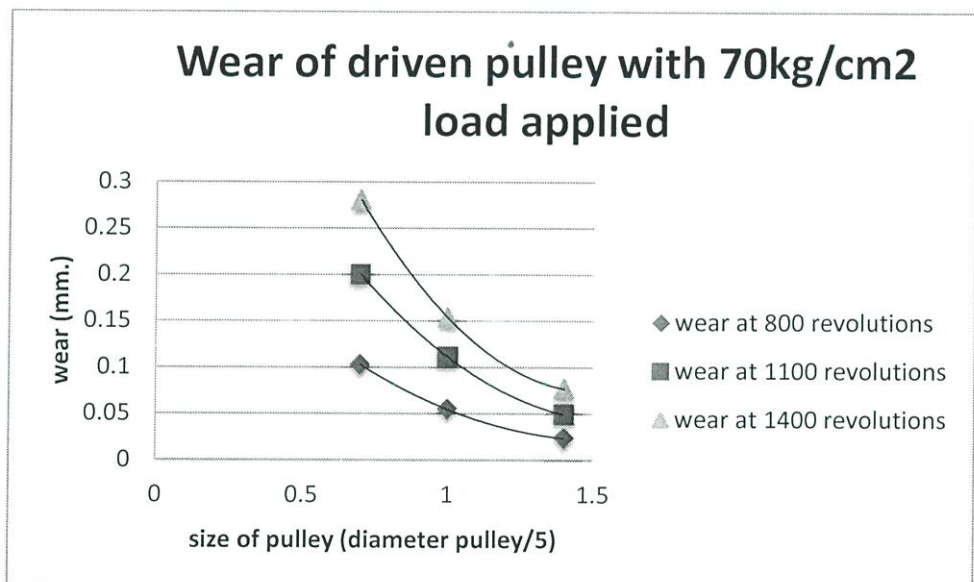
จากรูปที่ 5.7, 5.8 และ 5.9 จะเห็นได้ว่า เมื่อจำนวนรอบของการทดลองเพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้การสึกหรอของพูลเลย์ตัวขับเคลื่อนเพิ่มมากขึ้นตาม โดยถ้าภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับเพิ่มมากขึ้นจาก 50 kg/cm², 60 kg/cm² และ 70 kg/cm² ตามลำดับก็จะทำให้การสึกหรอของพูลเลย์ตัวขับเคลื่อนเพิ่มมากขึ้นตาม ซึ่งเมื่อเครื่องทดสอบรันไป 1700 rev สำหรับ รูปที่ 5.7 ,8000 rev สำหรับ รูปที่ 5.8 และ 11900 rev สำหรับ รูปที่ 5.9 ผู้ทดลองได้หยุดการทดลอง เพราะลวดสลิง เสียหายเกินเกณฑ์ที่ตั้งไว้



รูปที่ 5.10 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพูลเลย์ตัวขับเคลื่อนที่เปลี่ยนไป กับ เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ที่เปลี่ยนไปโดยรับโหลด 50 kg/cm²

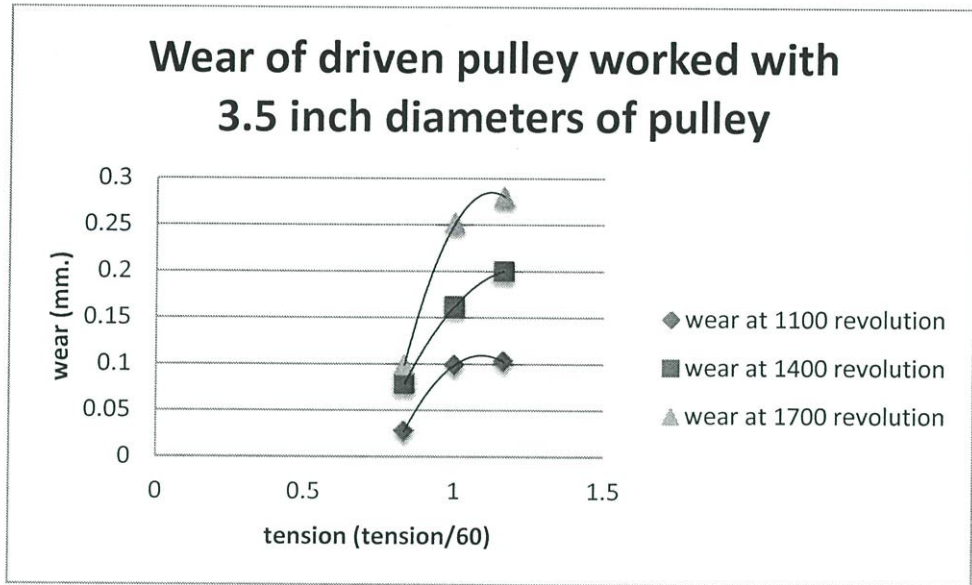


รูปที่ 5.11 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพูลเลย์ตัวตามี่เปลี่ยนไป กับเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ที่เปลี่ยนไปโดยรับโหลด 60 kg/cm²

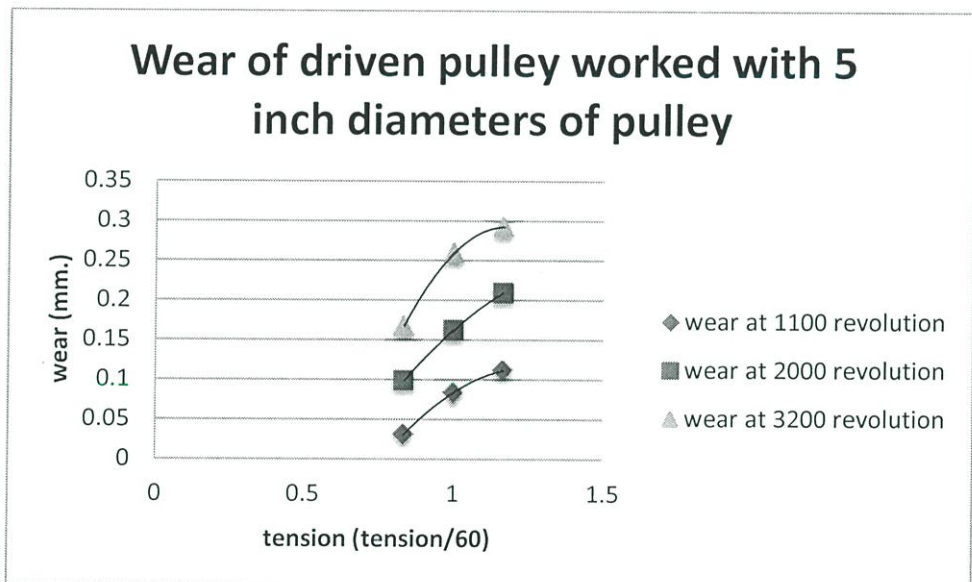


รูปที่ 5.12 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพูลเลย์ตัวตามี่เปลี่ยนไป กับ เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ที่เปลี่ยนไปโดยรับโหลด 70 kg/cm²

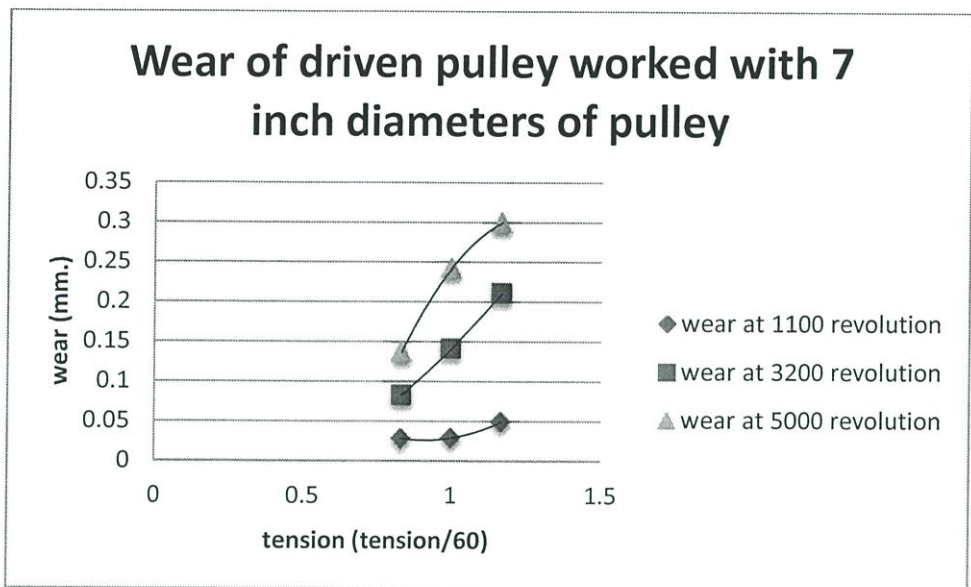
จากรูปที่ 5.10, 5.11 และ 5.12 จะเห็นได้ว่าเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์เพิ่มขึ้นทำให้การสึกหรอของพูลเลย์ตัวตามลดลง โดยเมื่อจำนวนรอบของการทดลองเพิ่มขึ้นนั้นทำให้การสึกหรอเพิ่มขึ้น และเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ลดลงนั้น จะทำให้การสึกหรอของพูลเลย์ตัวตามเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.13 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพลูเลย์ตัวตามขนาด 3.5 in ที่เปลี่ยนไปกับแรงดึงใน ลวดสลิงที่เปลี่ยนไป

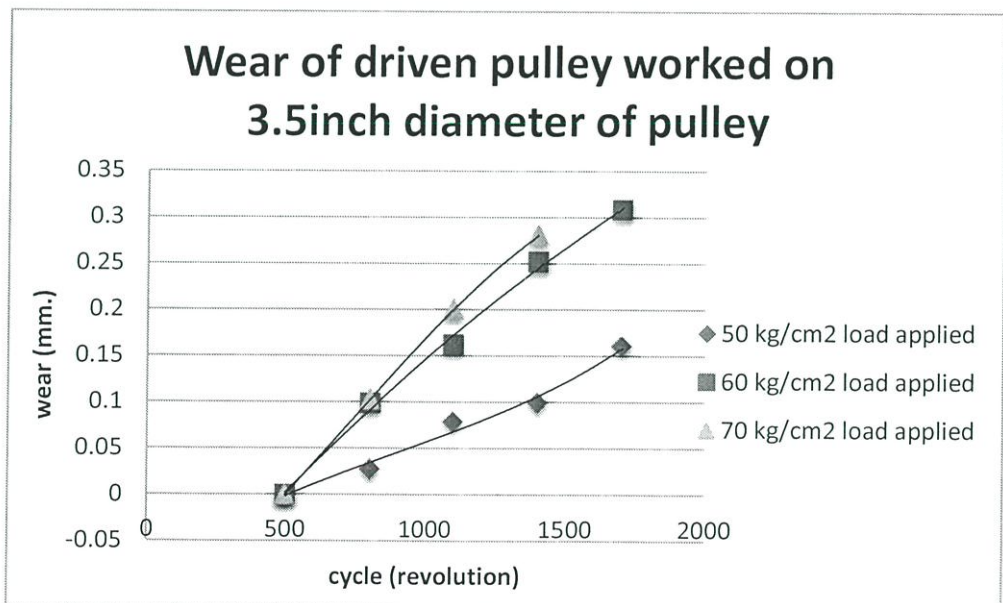


รูปที่ 5.14 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพลูเลย์ตัวตามขนาด 5 in ที่เปลี่ยนไปกับแรงดึงใน ลวดสลิงที่เปลี่ยนไป

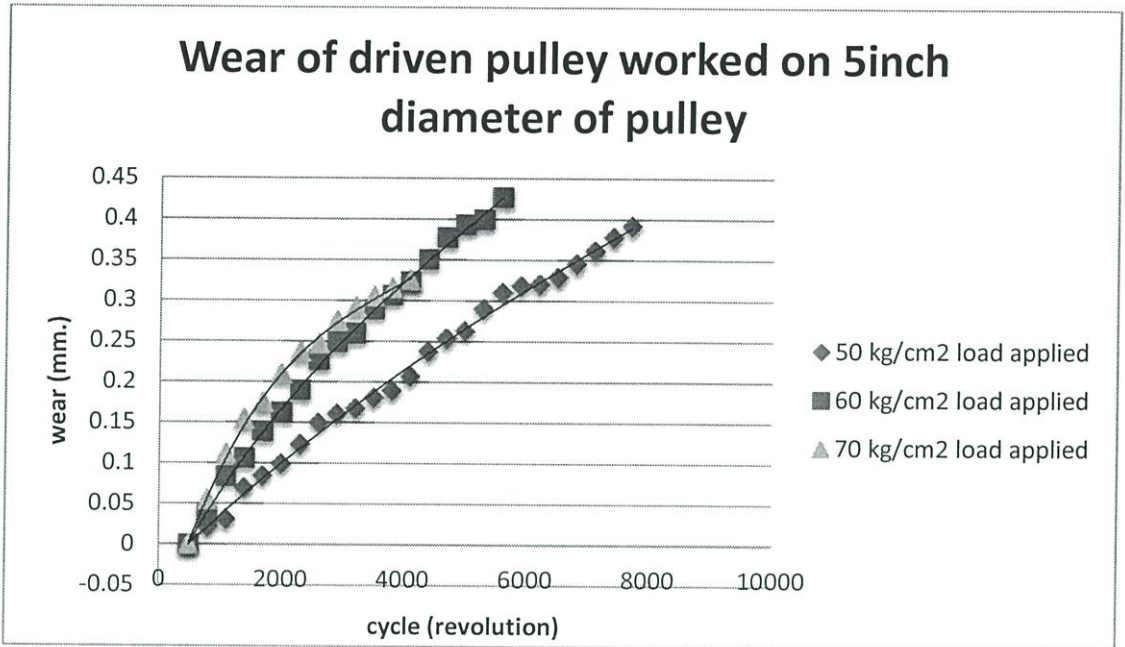


รูปที่ 5.15 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพูลเลย์ตัวตามขนาด 7 in ที่เปลี่ยนไปกับแรงดึงใน ลวดสลิงที่เปลี่ยนไป

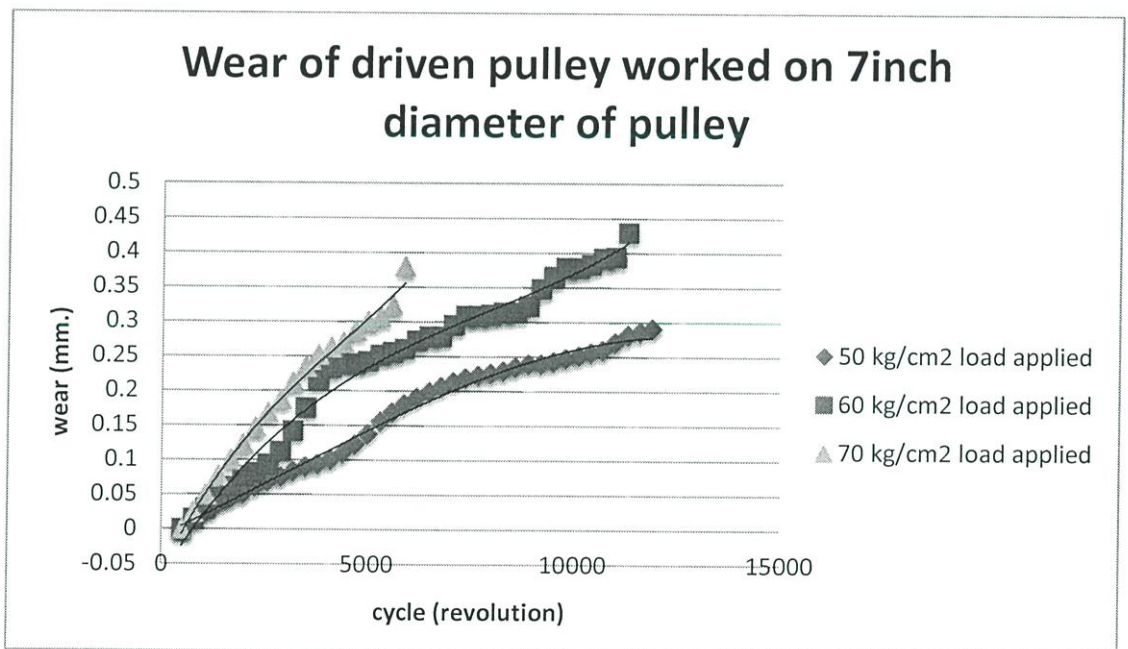
จากรูปที่ 5.13, 5.14 และ 5.15 จะเห็นได้ว่าเมื่อแรงดึงในลวดสลิงเพิ่มมากขึ้น จะทำให้การสึกหรอของพูลเลย์ตัวตามเพิ่มมากขึ้นตาม โดยเมื่อจำนวนรอบของการทดลองเพิ่มมากขึ้นทำให้การสึกหรอเพิ่มมากขึ้นตาม และเมื่อแรงดึงในลวดสลิงลดลงนั้น จะทำให้การสึกหรอของพูลเลย์ตัวตามลดลงตาม



รูปที่ 5.16 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพูลเลย์ตัวตามขนาด 3.5 in ที่เปลี่ยนไปกับจำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน

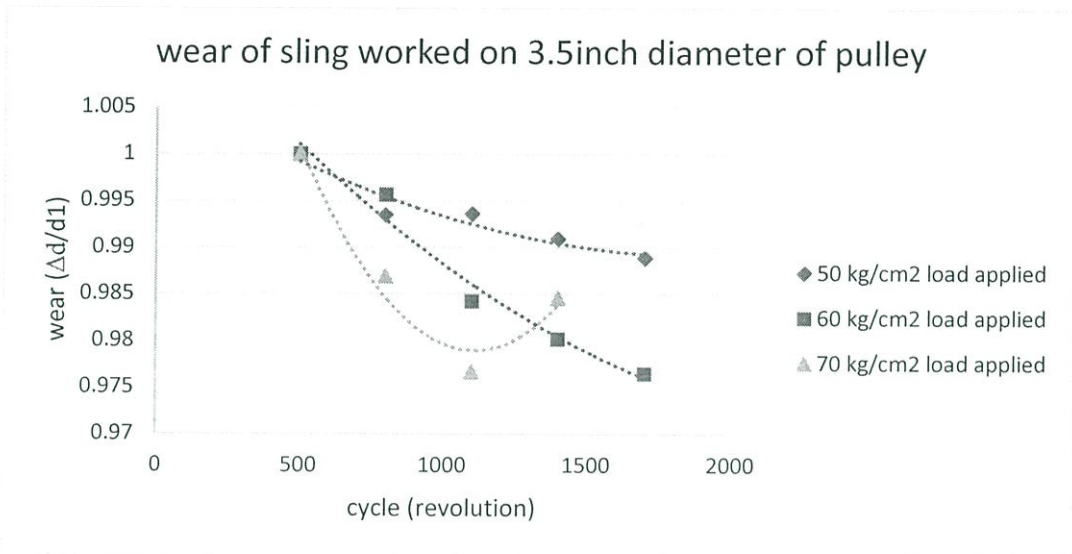


รูปที่ 5.17 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพลูเลย์ตัวตามขนาด 5 in ที่เปลี่ยนไปกับจำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน

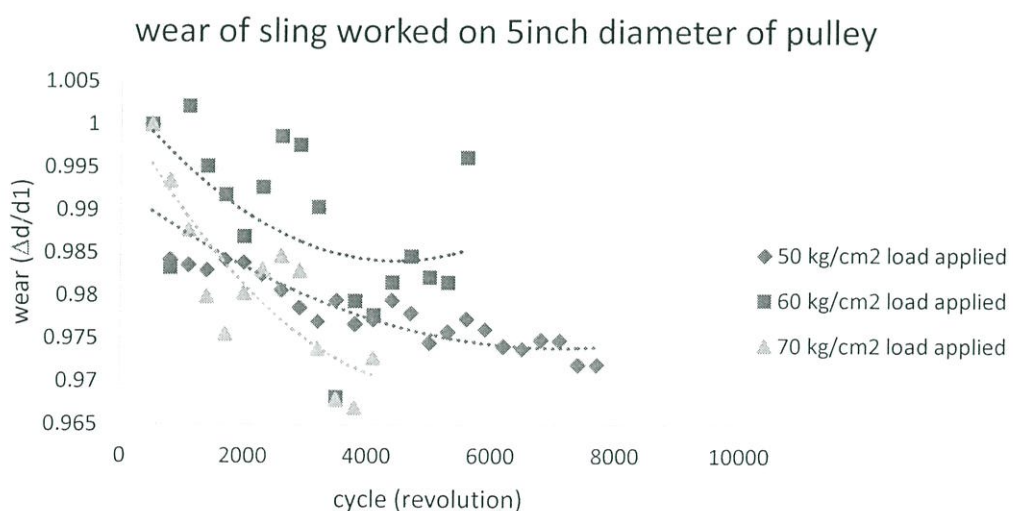


รูปที่ 5.18 กราฟระหว่าง การสึกหรอของพลูเลย์ตัวตามขนาด 7 in ที่เปลี่ยนไปกับจำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน

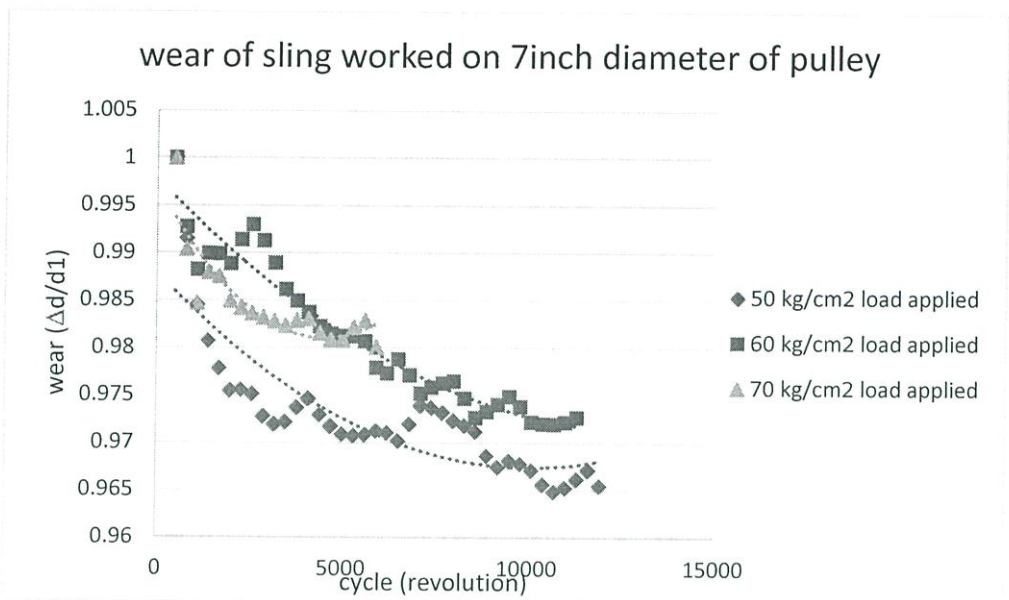
จากรูปที่ 5.16, 5.17 และ 5.18 จะเห็นได้ว่า เมื่อจำนวนรอบของการทดลองเพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้การสึกหรอของพูลเลย์ตัวตามเพิ่มมากขึ้นตาม โดยถ้าภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับเพิ่มมากขึ้นจาก 50 kg/cm², 60 kg/cm² และ 70 kg/cm² ตามลำดับก็จะทำให้การสึกหรอของพูลเลย์ตัวตามเพิ่มมากขึ้นตาม ซึ่งเมื่อเครื่องทดสอบรันไป 1700 rev สำหรับ รูปที่ 5.7 ,8000 rev สำหรับ รูปที่ 5.8 และ 11900 rev สำหรับ รูปที่ 5.9 ผู้ทดลองได้หยุดการทดลอง เพราะลวดสลิง เสียหายเกินเกณฑ์ที่ตั้งไว้



รูปที่ 5.19 กราฟระหว่าง การสึกหรอของลวดสลิงที่เปลี่ยนไป เมื่อใช้พูลเลย์ 3.5 in กับจำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน



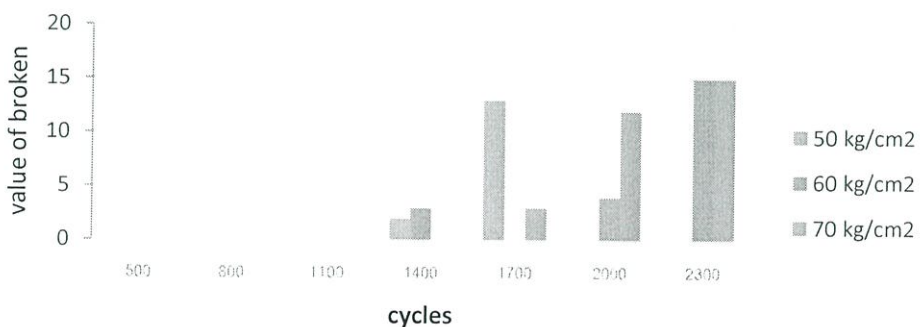
รูปที่ 5.20 กราฟระหว่าง การสึกหรอของลวดสลิงที่เปลี่ยนไป เมื่อใช้พูลเลย์ 5 in กับจำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน



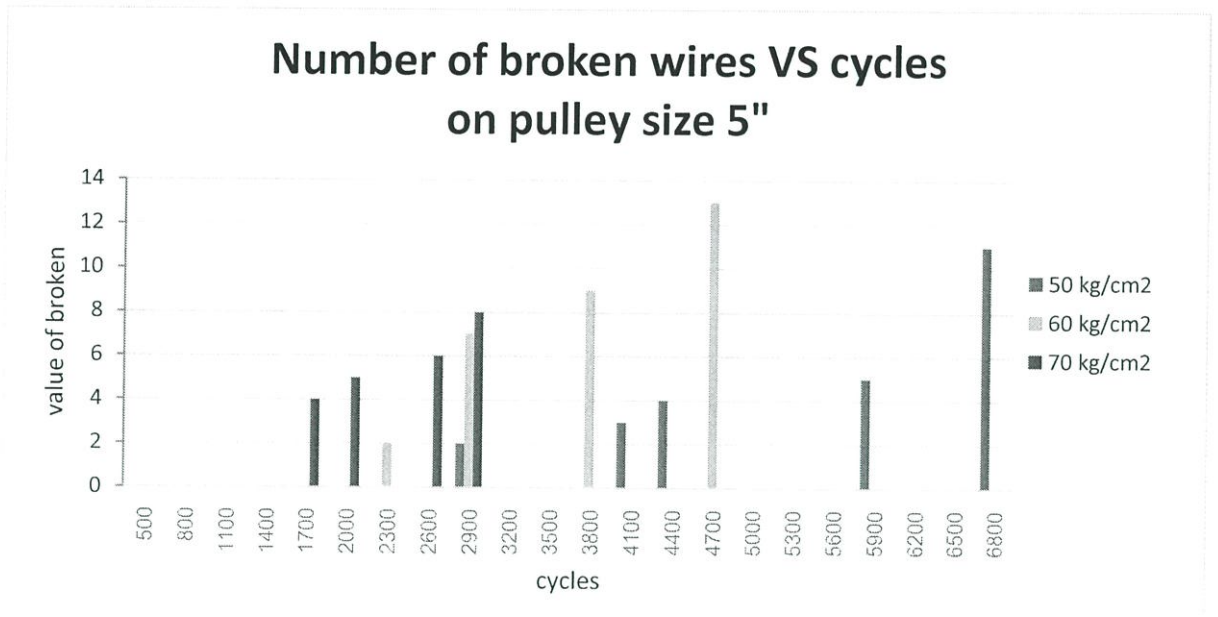
รูปที่ 5.21 กราฟระหว่าง การสึกหรอของลวดสลิงที่เปลี่ยนไป เมื่อใช้พูลเลย์ 7 in กับจำนวนรอบในการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับต่างกัน

จากรูปที่ 5.19, 5.20 และ 5.21 จะเห็นได้ว่า เมื่อจำนวนรอบของการทดลองเพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้การสึกหรอของลวดสลิงเพิ่มมากขึ้นตาม โดยถ้าภาระโหลดที่ลวดสลิงได้รับเพิ่มมากขึ้นจาก 50 kg/cm², 60 kg/cm² และ 70 kg/cm² ตามลำดับก็จะทำให้การสึกหรอของลวดสลิงเพิ่มมากขึ้นตาม ซึ่งเมื่อเครื่องทดสอบรันไป 1700 rev สำหรับ รูปที่ 5.19 ,8000 rev สำหรับ รูปที่ 5.20 และ 11900 rev สำหรับ รูปที่ 5.21 ผู้ทดลองได้หยุดการทดลอง เพราะลวดสลิง เสียหายเกินเกณฑ์ที่ตั้งไว้

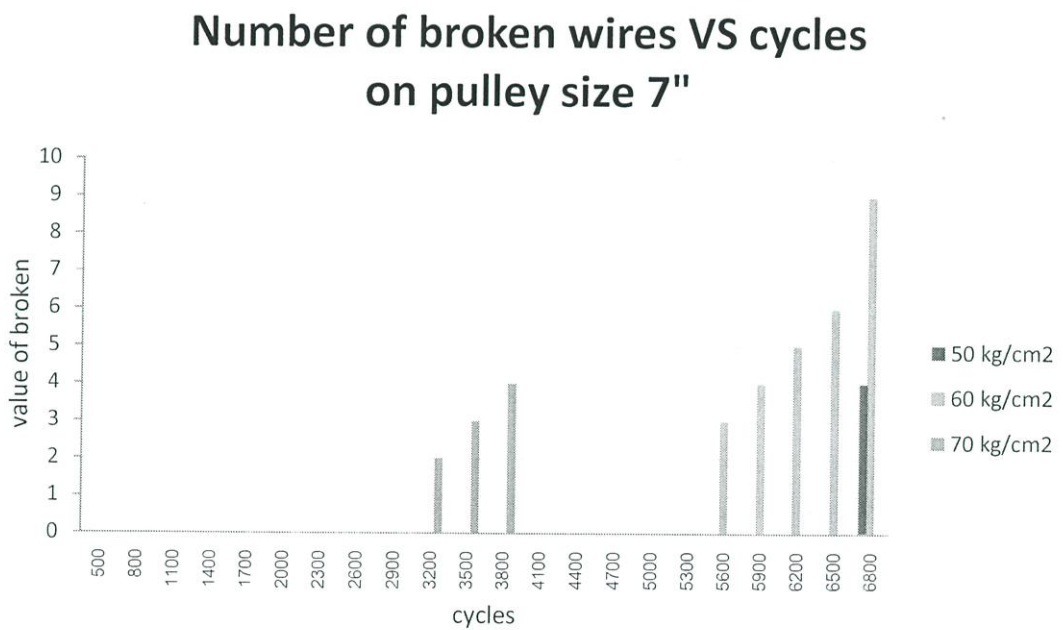
Number of broken wires VS cycles on pulley size 3.5"



รูปที่ 5.22 กราฟระหว่าง จำนวนรอยขาดที่ตรวจพบ กับจำนวนรอบการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยใช้พูลเลย์ 3.5 in



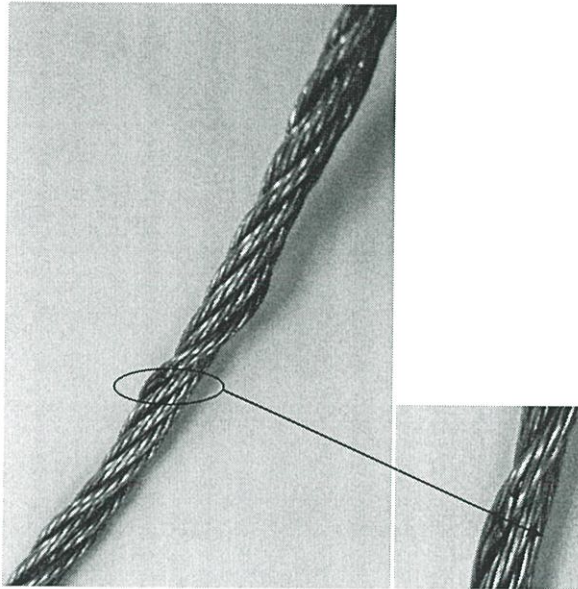
รูปที่ 5.23 กราฟระหว่าง จำนวนรอยขาดที่ตรวจพบ จำนวนรอบการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยใช้พูลลีย์ 5 in



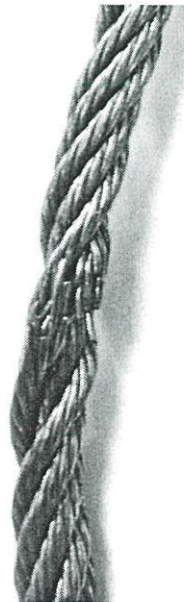
รูปที่ 5.24 กราฟระหว่าง จำนวนรอยขาดที่ตรวจพบ กับจำนวนรอบการทดลองที่เพิ่มขึ้น โดยใช้พูลลีย์ 7 in

จากรูปที่ 5.22, 5.23 และ 5.24 จะเห็นได้ว่า เมื่อแรงดึงในลวดสลิงเพิ่มขึ้น จะทำให้อายุการใช้งานของลวดสลิงลดลง, จำนวนรอยขาดของลวดสลิงจะยิ่งโตเร็วกว่าแรงดึงในลวดสลิงลดลง และยังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ลดลงจะทำให้อายุการใช้งานของลวดสลิงลดลงตาม

5.2 การวิเคราะห์ความเสียหายของลวดสลิง



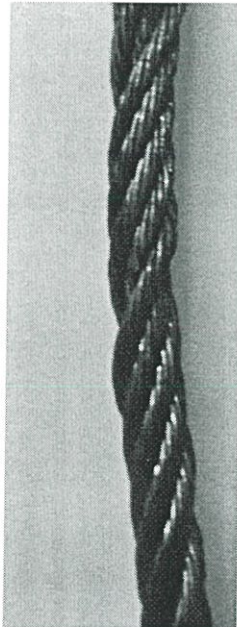
รูปที่ 5.25 รูปการเสียหายของลวดสลิง



รูปที่ 5.26 รูปการเสียหายของลวดสลิง



รูปที่ 5.27 รูปการเสียหายของลวดสลิง



รูปที่ 5.28 รูปการเสียหายของลวดสลิง



รูปที่ 5.29 รูปการเสียหายของลวดสลิง

จากรูปที่ 5.22 – 5.26 จะเห็นได้ว่าเมื่อรันเครื่องทดสอบไประยะหนึ่ง ลวดสลิงจะเริ่มมีการสึกหรือเกิดขึ้นเนื่องจาก เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ที่เปลี่ยนไป ซึ่งเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์มีขนาดเล็ก, แรงดึงในลวดสลิงที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อายุการใช้งานของลวดสลิงน้อยลงอย่างมาก ดังนั้นปัจจัยสำคัญที่ทำให้อายุการใช้งานของลวดสลิงลดลงคือ เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์มีขนาดเล็ก, แรงดึงในลวดสลิงที่เพิ่มขึ้น

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

6.1 สรุปผลการทดลอง

6.1.1 ออกแบบและพัฒนาชุดทดสอบลวดสลิงเพื่อศึกษาการสึกหรอของลวดสลิง

6.1.2 การสึกหรอของลวดสลิงนั้นเกิดจาก 2 ปัจจัยหลักๆคือ ภาวะที่ลวดสลิงได้รับ และเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ที่ลดลง ซึ่งสรุปได้ว่า ถ้าภาวะลวดสลิงได้รับเพิ่มมากขึ้น จะทำให้แรงดึงในลวดสลิงเพิ่มมากขึ้น (tension เพิ่มมากขึ้น) และถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์มีขนาดเล็กลง จะทำให้การสึกหรอของลวดสลิงเพิ่มมากขึ้น หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ทำให้อายุการใช้งานของลวดสลิงลดลงอย่างมาก ซึ่งปัจจัยที่มีผลมากกว่าก็คือเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ที่มีขนาดเล็ก มีผลมากกว่าภาวะที่ลวดสลิงได้รับ

6.1.3 เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวขับเคลื่อนมีขนาดเล็กลง จะทำให้อายุการใช้งานของลวดสลิงลดลงอย่างมาก

6.1.4 เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวตามมีขนาดเล็กลง จะทำให้อายุการใช้งานของลวดสลิงลดลงอย่างมาก ซึ่งมีผลมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวขับเคลื่อนมีขนาดเล็กลง

6.2 ปัญหาที่พบในการในการทดลอง

6.2.1 กระบอกไฮดรอลิกมีปัญหาน้ำมันรั่วระหว่างการทดลอง เนื่องจากเป็นอุปกรณ์เก่า

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dekun Zhang , Kai Chen , XiaofanJia , Dagang Wang, SongquanWangb, Yong Luo , ShirongGe.”Bending fatigue behaviour of bearing ropes working around pulleys of different materials.” Engineering Failure Analysis issue. 33,2013.Page 37–47
- [2]YusufAytacOnur,CErdemImrak.”Experimental and theoretical investigation of bending over sheave fatigue life of stranded steel wire rope.” Indian Journal of Engineering & Materials Sciences Vol. 19, June 2012, Page 189-195
- [3] André Luiz Pinto, Carlos Sérgio da Costa Viana, Luiz Paulo MendonçaBrandão, Marcelo Saviand Pedro Manuel Calas Lopes Pacheco.” FAILURE ANALYSIS OF A WIRE ROPE BELONGING TO THETRACTION SYSTEM OF A CABLE CAR.”
InstitutoMilitar de Engenharia, Dept. of Mechanical and Materials Engineering, Rio de Janeiro, Brazil
Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE – Dept. of Mechanical Engineering, Rio de Janeiro, Brazil
CEFET/RJ, D,ept. of Mechanical Engineering, Rio de Janeiro, Brazil
- [4] S. Nabijou and R.E. Hobbs “Fatigue of wire ropes bent over small sheaves.” International Journal of Fatigue Volume 16, Issue 7, 1994, Pages 453–460
- [5] M.G. Hamblin and G.W. Stachowiak “Environmental and sheave material effects on the wear of roping wire and sheave”Tribology International Volume 28, Issue 5, August 1995, Pages 307–315
- [6] LubomirJanovsky.”Elavator mechanical design.” Ellis Horwood Ltd.,Chichester,1992
- [7] Robert L. Norton.”Machine design.” Pearson prentice hall.2005

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสลิง ($\frac{d_2}{d_1}$) ที่เปลี่ยนไป เมื่อจำนวนรอบมากขึ้น
ที่พูลเลย์ขนาด 5 นิ้ว

Cycle(rev)/ $\frac{d_2}{d_1}$	50 kg/cm ²	60 kg/cm ²	70 kg/cm ²
500	1	1	1
800	0.984200	0.983275	0.993450
1100	0.983592	1.002129	0.987732
1400	0.982985	0.995135	0.979934
1700	0.984200	0.991790	0.975568
2000	0.983896	0.986924	0.980298
2300	0.982478	0.992702	0.983105
2600	0.980655	0.998632	0.984665
2900	0.978630	0.997618	0.982897
3200	0.977009	0.990370	0.973852
3500	0.979440	0.968172	0.967926
3800	0.976705	0.979423	0.966991
4100	0.977262	0.977751	0.972813
4400	0.979491	0.981603	
4700	0.977971	0.984643	
5000	0.974528	0.982211	
5300	0.975794	0.981603	
5600	0.977313	0.996199	
5900	0.976098		
6200	0.974123		
6500	0.973819		
6800	0.974882		
7100	0.974781		
7400	0.971996		
7700	0.971996		

ตารางที่ 2 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสลิง $\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$ ที่เปลี่ยนไป เมื่อจำนวนรอบมากขึ้น

ที่พูลเลย์ขนาด 7 นิ้ว

Cycle(rev)/ $\frac{d_2}{d_1}$	50 kg/cm ²	60 kg/cm ²	70 kg/cm ²
500	1	1	1
800	0.99154	0.992734	0.990397
1100	0.984507	0.988220	0.984721
1400	0.980700	0.989930	0.987922
1700	0.977820	0.989899	0.987512
2000	0.975494	0.988830	0.984951
2300	0.975570	0.991403	0.984209
2600	0.975105	0.992985	0.983626
2900	0.972778	0.991275	0.983199
3200	0.971940	0.988938	0.982772
3500	0.972152	0.986160	0.982345
3800	0.973706	0.984932	0.982886
4100	0.974631	0.983767	0.983042
4400	0.972939	0.982271	0.981548
4700	0.971709	0.981476	0.980871
5000	0.970863	0.981262	0.980871
5300	0.970750	0.981234	0.982166
5600	0.970829	0.980715	0.982863
5900	0.971252	0.977937	0.980089
6200	0.971032	0.977324	
6500	0.970186	0.978820	
6800	0.971963	0.977136	
7100	0.973917	0.975224	
7400	0.973706	0.975865	
7700	0.973198	0.976307	

8000	0.972352	0.976521	
8300	0.971839	0.974717	
8600	0.971190	0.972685	
8900	0.968652	0.973326	
9200	0.967468	0.974059	
9500	0.968102	0.974913	
9800	0.967789	0.973853	
10100	0.967098	0.972244	
10400	0.965618	0.972030	
10700	0.964873	0.971981	
11000	0.965296	0.972195	
11300	0.966168	0.972711	
11600	0.967152		
11900	0.965460		

ตารางที่ 3 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดสลิง ($\frac{d_2}{d_1}$) ที่เปลี่ยนไป เมื่อจำนวนรอบมากขึ้น
ที่พูลเลย์ขนาด 3.5 นิ้ว

Cycle(rev)/ $\frac{d_2}{d_1}$	50 kg/cm ²	60 kg/cm ²	70 kg/cm ²
500	1	1	1
800	0.993433	0.995652	0.986926
1100	0.993595	0.984248	0.976676
1400	0.990948	0.980198	0.984573
1700	0.988870	0.976478	

ตารางที่ 4 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวตามขนาด 5 นิ้ว $\left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)$ ที่เปลี่ยนไป เมื่อ
จำนวนรอบมากขึ้น

Cycle(rev)/ Δd	50 kg/cm ²	60 kg/cm ²	70 kg/cm ²
500	0	0	0
800	0.003287	0.00631	0.010246
1100	0.004882	0.015236	0.020793
1400	0.010978	0.019315	0.028705
1700	0.013343	0.025329	0.032513
2000	0.015755	0.029514	0.039146
2300	0.019544	0.034561	0.044214
2600	0.023806	0.04127	0.046122
2900	0.025629	0.045265	0.051459
3200	0.02669	0.047229	0.054562
3500	0.028748	0.052606	0.057016
3800	0.030161	0.055779	0.058852
4100	0.033027	0.058785	0.060737
4400	0.037829	0.063771	
4700	0.040452	0.068708	
5000	0.04191	0.071579	
5300	0.046193	0.072715	
5600	0.049396	0.077663	
5900	0.050694		
6200	0.051049		
6500	0.052396		
6800	0.055046		
7100	0.05759		
7400	0.060267		
7700	0.062472		

ตารางที่ 5 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวตามขนาด 7 นิ้ว $\left(\frac{\Delta d}{d_0}\right)$ ที่เปลี่ยนไป เมื่อ
จำนวนรอบมากขึ้น

Cycle(rev)/ Δd	50 kg/cm ²	60 kg/cm ²	70 kg/cm ²
500	0	0	0
800	0.003025	0.002783	0.004703
1100	0.005551	0.005667	0.009763
1400	0.007366	0.008692	0.015252
1700	0.008705	0.012004	0.019878
2000	0.010032	0.015005	0.024327
2300	0.011968	0.015973	0.029085
2600	0.013556	0.018361	0.033321
2900	0.014839	0.021992	0.037103
3200	0.016319	0.027817	0.041879
3500	0.017603	0.034376	0.046383
3800	0.018329	0.042242	0.04992
4100	0.019767	0.04576	0.052023
4400	0.021598	0.046938	0.05342
4700	0.024019	0.046938	0.056836
5000	0.026923	0.047664	0.05947
5300	0.030554	0.049479	0.060934
5600	0.033249	0.050359	0.064096
5900	0.03558	0.05123	0.075254
6200	0.037396	0.053651	
6500	0.039022	0.054812	
6800	0.040474	0.054812	
7100	0.041818	0.058056	
7400	0.042988	0.060718	
7700	0.043714	0.060718	
8000	0.044363	0.061105	
8300	0.044976	0.061702	
8600	0.046186	0.061702	

8900	0.046976	0.063574	
9200	0.047097	0.068415	
9500	0.047769	0.071876	
9800	0.048617	0.074498	
10100	0.049464	0.074498	
10400	0.05025	0.075418	
10700	0.050976	0.077233	
11000	0.053193	0.077451	
11300	0.055245	0.084469	
11600	0.056213		
11900	0.057182		

ตารางที่ 6 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวตามขนาด 3.5 นิ้ว ($\frac{\Delta d}{d_0}$) ที่เปลี่ยนไป
เมื่อจำนวนรอบมากขึ้น

Cycle(rev)/ Δd	50 kg/cm ²	60 kg/cm ²	70 kg/cm ²
500	0	0	0
800	0.004131	0.016385	0.016023
1100	0.011869	0.026891	0.031197
1400	0.014951	0.041785	0.043705
1700	0.024164	0.051174	

ตารางที่ 7 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวขับเคลื่อนขนาด 5 นิ้ว ($\frac{\Delta d}{d_0}$) ที่เปลี่ยนไป เมื่อ

จำนวนรอบมากขึ้น

Cycle(rev)/ Δd	50 kg/cm ²	60 kg/cm ²	70 kg/cm ²
500	0	0	0
800	0.003485	0.009051	0.007596
1100	0.007461	0.014473	0.014891
1400	0.011437	0.01961	0.02482
1700	0.014282	0.026681	0.035279
2000	0.018655	0.030451	0.046535
2300	0.023068	0.034154	0.057616
2600	0.026704	0.03961	0.067747
2900	0.031316	0.043194	0.076807
3200	0.035291	0.045762	0.07991
3500	0.043702	0.047117	0.083013
3800	0.05214	0.051412	0.090538
4100	0.057812	0.058093	0.099288
4400	0.061664	0.064743	
4700	0.069522	0.068805	
5000	0.073498	0.072129	
5300	0.075844	0.077312	
5600	0.07824	0.08225	
5900	0.080891		
6200	0.084794		
6500	0.093359		
6800	0.094685		
7100	0.097074		
7400	0.100122		
7700	0.102121		

ตารางที่ 8 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวขับเคลื่อนขนาด 7 นิ้ว ($\frac{\Delta d}{d_0}$) ที่เปลี่ยนไป เมื่อ
จำนวนรอบมากขึ้น

Cycle(rev)/ Δd	50 kg/cm ²	60 kg/cm ²	70 kg/cm ²
500	0	0	0
800	0.000968	0.003631	0.004391
1100	0.003006	0.006761	0.008178
1400	0.006879	0.009181	0.011105
1700	0.008181	0.013506	0.013169
2000	0.008747	0.017669	0.015096
2300	0.00911	0.018274	0.017536
2600	0.009409	0.018879	0.020301
2900	0.009651	0.019484	0.02335
3200	0.009783	0.021187	0.025847
3500	0.009972	0.022663	0.028559
3800	0.010335	0.023268	0.031975
4100	0.010935	0.025059	0.035151
4400	0.011739	0.02748	0.038175
4700	0.01537	0.0299	0.040248
5000	0.018032	0.032562	0.043395
5300	0.019242	0.035588	0.048152
5600	0.021669	0.037678	0.051023
5900	0.024169	0.039582	0.060914
6200	0.025016	0.042002	
6500	0.025989	0.044737	
6800	0.027078	0.047763	
7100	0.028924	0.051869	
7400	0.030505	0.054975	
7700	0.03111	0.054975	
8000	0.032877	0.054975	
8300	0.035285	0.054992	
8600	0.036737	0.056202	

8900	0.038049	0.057646	
9200	0.039138	0.059461	
9500	0.039951	0.060357	
9800	0.040694	0.061123	
10100	0.041541	0.062939	
10400	0.042817	0.064754	
10700	0.044512	0.066569	
11000	0.044928	0.066787	
11300	0.045722	0.074012	
11600	0.048142		
11900	0.050563		

ตารางที่ 9 ผลการทดลอง เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวขับเคลื่อนขนาด 3.5 นิ้ว ($\frac{\Delta d}{d_0}$) ที่เปลี่ยนไป เมื่อ

จำนวนรอบมากขึ้น

Cycle(rev)/ Δd	50 kg/cm ²	60 kg/cm ²	70 kg/cm ²
500	0	0	0
800	0.007486	0.009521	0.013564
1100	0.008995	0.02254	0.024318
1400	0.01623	0.034465	0.033807
1700	0.022186	0.048493	