การวิเคราะห์อนุภาคการสึกหรอของตามดทางไฟฟ้าบนรองลื่นแบบกลิ้งตัวภายใต้อิทธิพลของไฟฟ้ากระแสสลับ

Electrical Pitting Wear Particle Analysis on Rolling Element Bearing under AC Electric current

ภิสัก เลิศวิจิตรพันธุ์ วศ.บ. (Pisak Lertvijitpun, B.Eng.)[1]

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้เพื่อวิเคราะห์อนุภาคการสึกหรอของตามดทางไฟฟ้าบนรองลื่นแบบกลิ้งตัวภายใต้อิทธิพลของไฟฟ้ากระแสสลับ รองลื่นแบบกลิ้งตัวซึ่งทำงานในสภาวะที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ก่อให้เกิดกลไกการสึกหรอแบบตามดทางไฟฟ้า โดยยังไม่มีการรายงานลักษณะทางกายภาพของเศษโลหะจากการสึกหรอดังกล่าว จึงไม่สามารถวินิจฉัยปัญหาและระบุถึงระดับความรุนแรง ตามวิธีการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ได้อย่างถูกต้อง

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบรองลื่นแบบกลิ้งตัวบนเครื่องทดสอบตามดทางไฟฟ้า โดยแปรผันค่ากระแสไฟฟ้าที่ 10, 40 และ 80 แอมแปร์ รวมถึงค่าภาระทางกลที่ 2 และ 10 กิโลกรัม ให้กระทำกับรองลื่นในช่วงเวลา 60 นาที จากนั้นวิเคราะห์รูปร่าง,สี,ค่าอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ และขนาดรอยแผลจากการสึกหรอของรองลื่น จากการวิจัยพบว่า เศษโลหะจากการสึกหรอสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มตามลักษณะทางกายภาพคือ ทรงกลม แผ่นสีดำ และแผ่นสีดำสลับกับสีโลหะพื้น โดยสามารถนำไปเป็นข้อมูลเปรียบเทียบในการวิเคราะห์เศษโลหะจากสารหล่อลื่นใช้แล้ว ส่วนกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างส่งผลต่อค่าอุณหภูมิ รวมถึงขนาดของรอยแผลจากการสึกหรอ แต่ภาระทางกลที่แตกต่างไม่ส่งผลต่อค่าอุณหภูมิ รวมถึงขนาดของรอยแผลจากการสึกหรอ ผลจากการวิจัยจะสามารถวินิจฉัยและระบุระดับความรุนแรงของปัญหาที่ค่ากระแสไฟฟ้า 10, 40 และ 80 แอมแปร์ รวมถึงค่าภาระทางกลที่ 2 และ 10 กิโลกรัมในช่วงเวลา 60 นาที ตามวิธีการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : ตามดทางไฟฟ้า การวิเคราะห์อนุภาคการสึกหรอ รองลื่นแบบกลิ้งตัว

ABSTRACT

The purpose of this research was to gain a better understanding of the occurrence of electrical pitting on bearings while an AC current flows through them. . There has been limited

[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

research on the physical characteristics of electrical pitting wear particles. The researcher has not diagnosed nor identified any other problems related to electrical pitting wear. Thus, the predictive maintenance performance was affected.

The method used for this research was an electrical pitting wear tester that the ball bearings were tested on. The electrical pitting wear test included; increasing the AC electrical current to 10, 40, and 80 amperes, while increasing the mechanical load of 2kg to 10kg, both within the 60 minute bearing test period. The bearing temperature, race scar width, race scar length and the characteristics of wear particles were recorded. The results of this research found that there were 3 groups of wear particles; 1) Spherical, 2) Dark surface sliding, and 3) Free-ferrous surface severe sliding. It was also found that the increase of AC electrical current caused increases in the bearing temperature, scar width, and the scar length. However, the increase of the mechanical load had no significant influence on the 3 factors. In conclusion, the research experiment results were used to diagnose and identify the severity of the problems with predictive maintenance.

Keywords : Electrical Pitting ,Wear Particle Analysis, Rolling Element Bearing

บทนำ

การวิเคราะห์รูปร่างเศษโลหะนั้นสามารถนำไปใช้เพื่อสืบหารูปแบบและกลไกการสึกหรอ หรือการชำรุดของชิ้นส่วนต่างๆ ได้หลากหลาย โดยทั่วไปได้แบ่งรูปร่างของเศษโลหะไว้อย่างคร่าวๆ 4 รูปแบบ คือ 1. เศษโลหะจากการสึกหรอแบบยึดติด 2. เศษโลหะจากการสึกหรอแบบขูดขีด 3. เศษโลหะจากการสึกหรอแบบล้าตัว 4. เศษโลหะจากการสึกหรอแบบไทรโบเคมีคอล เป็นต้น (สุรพล ราษฎร์นุ้ย, 2549) และพบว่ามีข้อมูลของการสึกหรอจากไฟฟ้ารั่วผ่านรองลื่นชนิดเม็ดลูกกลิ้งทรงกระบอก ซึ่งเกิดจากปัจจัยหลายด้าน เช่น ความเร็ว ภาระทางกล เวลา ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของจาระบี ที่ส่งผลต่อลักษณะของอนุภาคการสึกหรอ ซึ่งในช่วงเริ่มต้นจะมีอุณหภูมิสูงเนื่องจากการอาร์ก ก่อให้เกิดอนุภาคการสึกหรอขนาดเล็กที่หลุดจากผิวสัมผัสและนำไปสู่การเกิดหลุมยาว (corrugate) ที่เพิ่มความรุนแรงมากขึ้น (Prashad, H., 2006)

พฤติกรรมการเกิดตามดทางไฟฟ้าได้ถูกศึกษาโดยทดลองนำลูกบอล และแผ่นทดสอบที่ทำจากวัสดุเหล็กกล้าแบริ่งใส่ในอ่างน้ำมันและควบคุมความหนาฟิล์มน้ำมันระหว่างลูกบอลกับแผ่นทดสอบ จากนั้นให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านบริเวณผิวคู่สัมผัสของลูกบอลกับแผ่นทดสอบ ทำให้เกิดการอาร์กทางไฟฟ้า และรอยแผลจากการสึกหรอถูกเรียกว่าตามดทางไฟฟ้า ช่วงที่ทำให้เกิดการสึกหรอถูกกำหนดขึ้นจากความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและความหนาฟิล์มน้ำมัน (Yuang-Cherng Chiou, Rong-Tsogn Lee, & Chung-Ming Lin, 1999)

จากนั้นหากวัสดุที่ใช้ทำแผ่นทดสอบเป็นแบ็บบิทอัลลอยด์ พบว่ารอยแผลของแผ่นทดสอบจะมีขนาดโตขึ้นกว่ากรณีที่เป็นวัสดุชนิดเดียวกัน และจะมีอนุภาคการสึกหรอ เช่น ดีบุก ติดอยู่ที่ผิวของลูกบอล (Yuang-Cherng Chiou, Rong-Tsogn Lee and Chung-Ming Lin, 2001) โดยเห็นได้ว่างานวิจัยที่อ้างถึงนั้นจะไม่ทดสอบกับชิ้นงานจริง จึงขาดความสมจริงในด้านของตัวแปรที่มีผลต่อการสึกหรอ ทั้งยังไม่มี การวิเคราะห์ถึงลักษณะทางกายภาพของเศษโลหะที่เกิดจากการสึกหรอด้วย จึงไม่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์สารหล่อลื่นในด้านการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะศึกษาผลกระทบของกระแสไฟฟ้า ภาระทางกล และเวลาที่มีต่อ ลักษณะทางกายภาพ ค่าอุณหภูมิ และขนาดรอยแผลจากการสึกหรอแบบตามดทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการผลิตเศษโลหะจากชิ้นส่วนของรองลื่นชนิดกลิ้งตัวที่หล่อลื่นด้วยจาระบีจากกลไกการสึกหรอแบบตามดทางไฟฟ้า ด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอตามดทางไฟฟ้า ที่ทำงานภายใต้อิทธิพลของไฟฟ้ากระแสสลับ

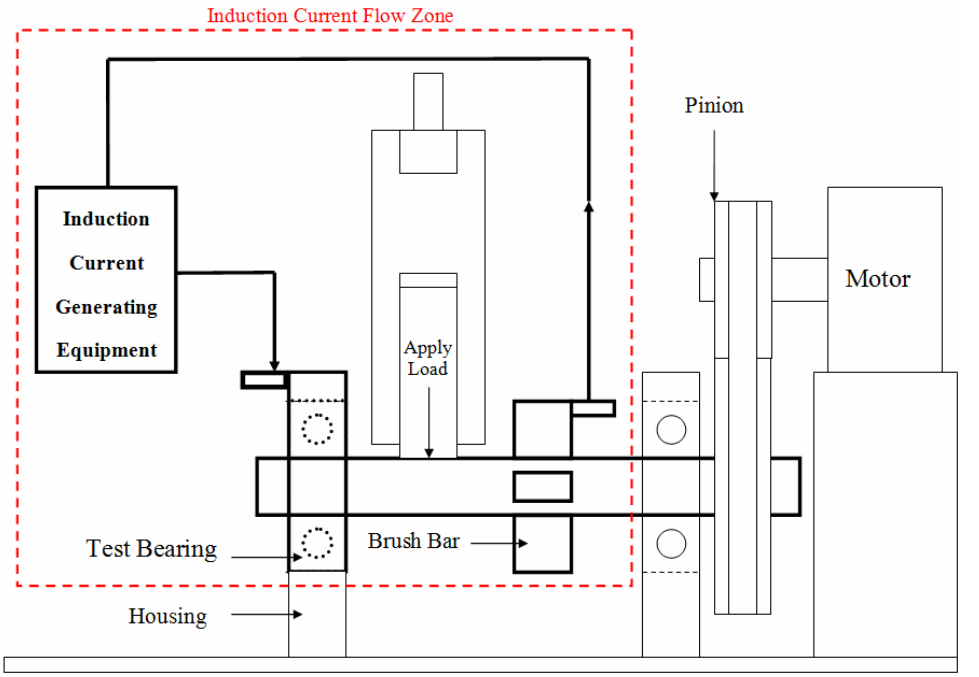
ระเบียบวิธีวิจัย

ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดขึ้นมาจากกลไกการสึกหรอที่เกิดขึ้นจริงในรองลื่น ซึ่งได้แก่ ภาระที่กระทำต่อรองลื่น และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรองลื่นในระดับต่างๆ โดยเศษโลหะที่ได้จากการทดลองนี้จะนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์เศษโลหะที่ได้จากตัวอย่างจาระบี จากรองลื่นที่ใช้งานจริง เพื่อวิเคราะห์ถึงรูปแบบและกลไกการสึกหรอ รวมไปถึงติดตามสภาพของรองลื่นแบบกลิ้งตัว เพื่อประโยชน์ในการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

1. อุปกรณ์และการดำเนินการ

1.1 เตรียมชุดให้ภาระกับรองลื่น และชุดจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับรองลื่น ประกอบรวมกับเครื่องทดสอบการทำงานของรองลื่น เพื่อใช้เป็นเครื่องทดสอบการสึกหรอของตามดทางไฟฟ้าบนรองลื่นแบบกลิ้งตัวภายใต้อิทธิพลของไฟฟ้ากระแสสลับ โดยรองลื่นที่ใช้เป็นแบบกลิ้งตัวชนิดแถวเดี่ยวเม็ดกลมร่องลึก (Single Row Deep Groove Ball Bearing) เบอร์ 6202-2Z

1.2 นำรองลื่นที่จะใช้ทดสอบ (Test Bearing) บรรจุเข้ากับบล็อกใส่รองลื่น (Housing) ต่อขั้วไฟฟ้าเข้ากับบล็อกใส่รองลื่น และต่อขั้วไฟฟ้าอีกด้านเข้ากับแปรงถ่าน (Brush Bar) ดังภาพที่ 1 โดยใช้โอห์มมิเตอร์ตรวจสอบเส้นทางการไหลของกระแสไฟฟ้า เพื่อให้แน่ใจว่ากระแสไฟฟ้าสามารถไหลออกจากขั้วไฟฟ้าลงสู่บล็อกใส่รองลื่นไปยังรองลื่น ผ่านแกนเพลา และไหลออกทางแปรงถ่านที่ต่อกับขั้วไฟฟ้า



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมเครื่องทดสอบตามดทางไฟฟ้า

2. ตัวแปรต้นที่สนใจและสามารถควบคุมค่าตัวแปรได้มีดังนี้

2.1 ค่าภาระทางกล

สามารถปรับได้โดยใช้แผ่นน้ำหนักโดยค่าภาระที่สนใจได้กำหนดไว้ 2 ระดับ คือ 2 กิโลกรัม และ 10 กิโลกรัม ทั้งนี้เพื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบของภาระทางกลที่มีต่ออนุภาคการสึกหรอของตามดทางไฟฟ้า

2.2 ค่ากระแส

ทำโดยการใช้กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดทุติยภูมิ มาต่อเข้ากับเครื่องทดสอบให้กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีการไหลผ่านรองลื่นขณะทำงาน โดยปรับค่ากระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ 3 ระดับ คือ 10 แอมแปร์ 40 แอมแปร์ และ 80 แอมแปร์ ตามลำดับ เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากค่ากระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีต่ออนุภาคการสึกหรอของตามดทางไฟฟ้า

2.3 เวลาที่ใช้

ทำโดยการกำหนดเวลาในการทดสอบรองลื่นแต่ละตัว เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบของเวลาในการทดสอบที่มีต่ออนุภาคการสึกหรอของตามดทางไฟฟ้าของรองลื่นที่ 20 ,40 , 60 นาที



3. การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเศษโลหะและพื้นผิวของรองลื่น

3.1 หลังจากทดสอบครบตามกำหนดเวลาของแต่ละสภาวะ ถอดรองลื่นออกจากบล็อก ไปทำการเปิดซีลออก นำใส่ลงในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้ เทสารละลายอะซิโตน ลงในบีกเกอร์ แล้วนำไปล้างในเครื่องเขย่าอัลตราโซนิคนานเป็นเวลาประมาณ 15 นาที

3.2 นำแม่เหล็กดูดเศษโลหะที่ผ่านด้านข้างบีกเกอร์ พร้อมกับเทของเหลวในบีกเกอร์ออกให้หมด ต่อจากนั้นนำแม่เหล็กวางไว้ด้านล่างของแผ่นสไลด์ แล้วนำแท่งกวนกวาดเศษโลหะลงบนสไลด์

3.3 วางแผ่นสไลด์ขนาดเล็กลงด้านบนให้ทับเศษโลหะ ติดเทปกาว แล้วนำเศษโลหะที่เตรียมไว้ไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ (รูปร่าง สี และขนาด) ของอนุภาคเศษโลหะที่เกิดจากการสึกหรอด้วยกล้องจุลทรรศน์

3.4 นำชิ้นส่วนของรองลื่น (รางวิ่งด้านใน และรางวิ่งด้านนอก) มาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ (รูปร่าง สี และขนาด) ด้วยการมองผ่านทางกล้องจุลทรรศน์

3.5 ถ่ายภาพ และจดบันทึกขนาดอนุภาคเศษโลหะ และรอยแผลบนรางวิ่งที่เกิดจากการสึกหรอ (ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่าย)

4. การคำนวณค่าความหนาฟิล์มน้ำมันหล่อลื่น

เนื่องจากในการทดสอบใช้รองลื่นชนิดเม็ดลูกกลิ้ง ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าความหนาฟิล์มน้ำมันจากสมการดังต่อไปนี้ (Dowson, D. & Higginson, G.R., 1977)

$$H = \frac{1.6G^{0.6} \times U^{0.7}}{W^{0.13}} \quad (1)$$

เมื่อ

$$G = \alpha E' \quad (2)$$

$$U = \frac{\eta_0 u}{E' R} \quad (3)$$

$$W = \frac{w}{E' R} \quad (4)$$

α คือ สัมประสิทธ์ความดันและความหนืด (Pressure Viscosity Coefficient)

E' คือ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุใช้ทำรองลื่น (Elastic Modulus of the Roller Pair)

n_0 คือ ค่าความหนืดจลน์ของสารหล่อลื่น (Dynamic Viscosity of Lubricant)

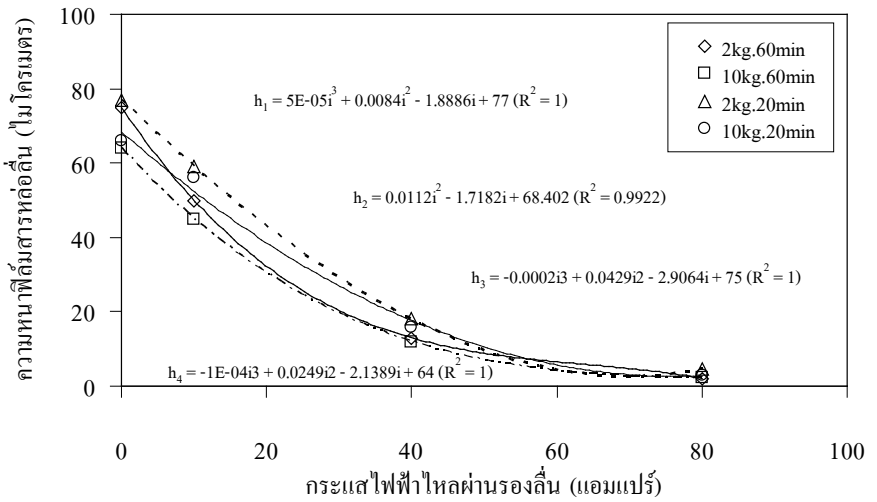
u คือ ค่าความเร็วสัมพัทธ์ของรางวิ่งกับเม็ดลูกกลิ้ง (Speed)

R คือ ค่าเฉลี่ยรัศมีระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก และด้านใน (Radius of Roller Pair)

w คือ ภาระที่กระทำบนรองลื่นในแนวรัศมี (Load per Unit Width)

H คือ ค่าความหนาฟิล์มน้ำมันต่ำสุด (Minimum Oil Film Thickness)

จากสมการด้านบนจะสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นกับกระแสไฟฟ้าได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นกับกระแสไฟฟ้า

3. การวัดค่าอุณหภูมิของรองลื่นขณะทำการทดสอบ

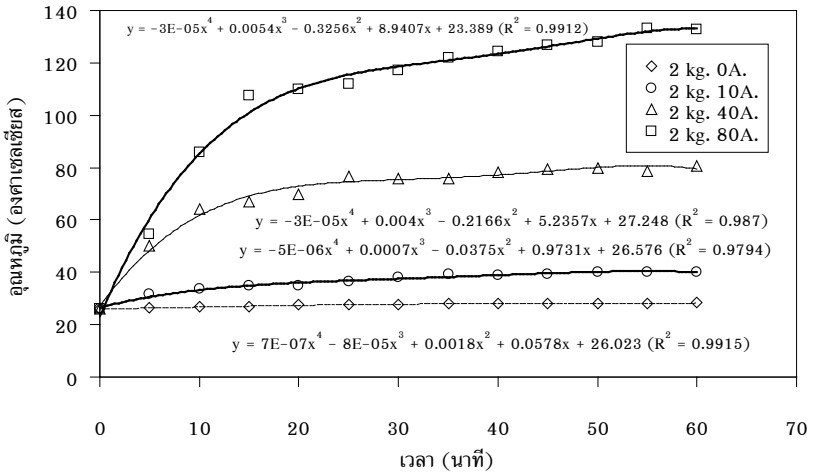
เนื่องจากในการทดลองโดยใช้เครื่องทดสอบตามดทางไฟฟ้านั้น ได้มีการตั้งสมมติฐานก่อนทำการทดลองว่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ผิวของรองลื่นนั้น จะเพิ่มขึ้นตามการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรองลื่นในขณะทำการทดสอบกรณีภาระที่กระทำมีค่าคงที่ ทำโดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิดเค (type K) ทำการวัดแบบสัมผัสกับพื้นผิวนอกด้านข้างของรองลื่นที่เวลาห่างกัน 5 นาทีในแต่ละครั้ง ทำจนถึงเวลา 60 นาที ตามเงื่อนไขในการทดลองดังต่อไปนี้คือ ที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ภาระกระทำ 2 kg มีกระแสไหลผ่านรองลื่นที่ 10, 40 และ 80 แอมแปร์, ที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที ภาระกระทำ 10 kg มีกระแสไหลผ่านรองลื่นที่ 10, 40 และ 80 แอมแปร์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาพล็อตกราฟเทียบกับเวลาเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับตัวแปรอื่นๆ

ผลการวิจัย

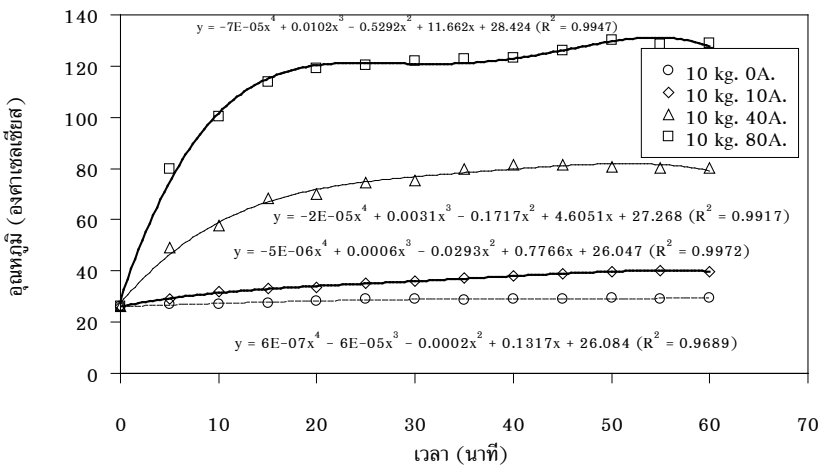
1. อุณหภูมิผิวนอกของรางวิ่ง

จากภาพที่ 3 และภาพที่ 4 จะเห็นว่าที่ภาระคงที่ 2 กิโลกรัมและ 10 กิโลกรัม นั้น อุณหภูมิที่ผิวนอกของรางวิ่งด้านนอกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 20 นาทีแรกกรณีมีกระแส ไฟฟ้าไหลผ่านรองลื่น 80 แอมแปร์ ในช่วง 10 นาทีแรกกรณีมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านรองลื่น 40 แอมแปร์ และในช่วง 5 นาทีแรก (โดยประมาณ)

กรณีมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านรองลื่น 10 แอมแปร์ ซึ่งค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนคือ เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรองลื่นมีค่ามาก อุณหภูมิของรองลื่นก็จะสูงขึ้นตามค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน โดยในช่วงแรกนั้นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเทียบกับเวลาจะมีค่าสูง แต่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 20 นาที



ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวนอกรางวิ่งเทียบกันเวลาที่ภาระทางกล 2 กิโลกรัม

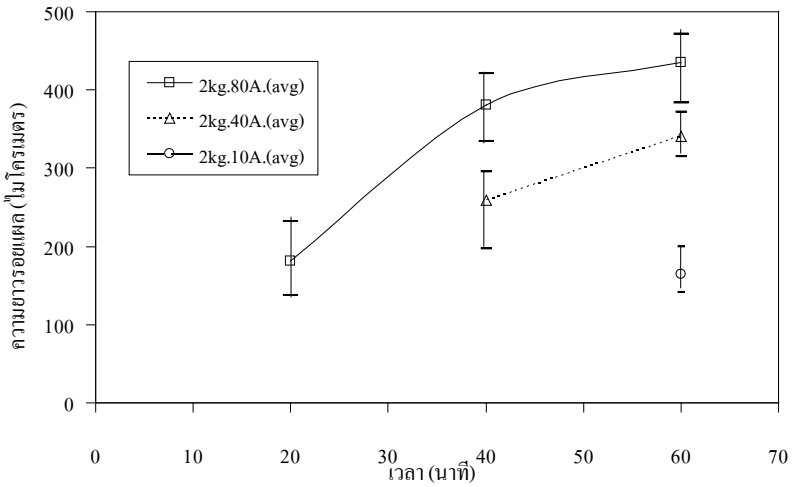


ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวนอกรางวิ่งเทียบกับเวลาที่ภาระทางกล 10 กิโลกรัม

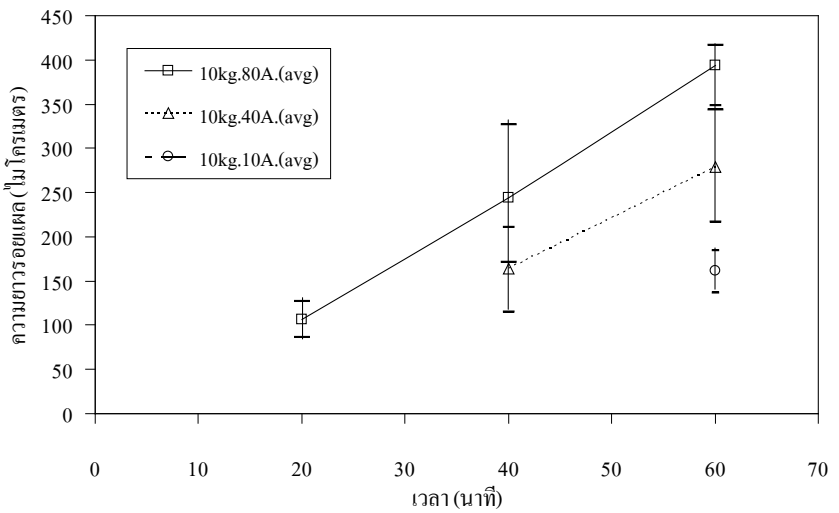
2. ความยาวของรอยแผลที่ผิวรางวิ่ง (corrugate length)

ที่ภาระทางกล 2 กิโลกรัมและภาระทางกล 10 กิโลกรัม เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านรองลื่นที่ 10 แอมแปร์ ภาระทางกล 2 กิโลกรัมไม่พบว่า รางวิ่งเกิดรอยแผลเมื่อเวลาผ่านไป 40 นาที และค่ากระแสไฟฟ้า

ไหลผ่านรองลื่นที่ 40 แอมแปร์ ภาระทางกล 10 กิโลกรัมไม่พบว่ารางวิ่งเกิดรอยแผลเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที สังเกตได้ชัดเจนว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรองลื่นมีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความยาวรอยแผลที่เกิดขึ้นที่รางวิ่งมีค่าเพิ่มขึ้น หรือเกิดการสึกหรอรุนแรงมากขึ้น ดังภาพที่ 5 และภาพที่ 6



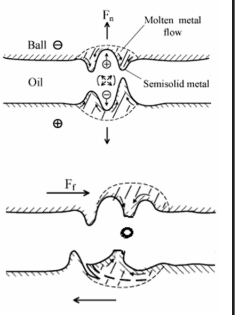
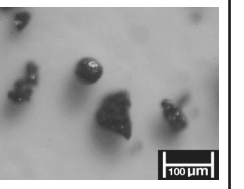
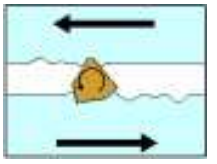
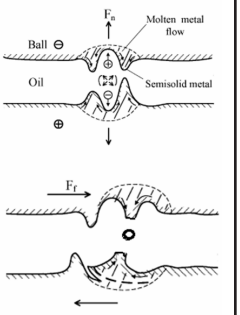
ภาพที่ 5 แสดงค่าความยาวของรอยแผล (corrugate) ที่ภาระทางกล 2 กิโลกรัม



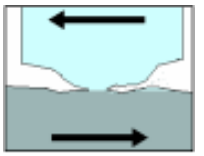
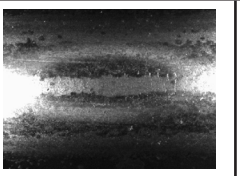
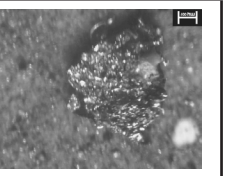
ภาพที่ 6 แสดงค่าความยาวของรอยแผล (corrugate) ที่ภาระทางกล 10 กิโลกรัม

จากตารางที่ 1 รอยแผลรางวิ่งที่เกิดจากการสึกหรอของรองลื่นในช่วงแรกของการทดสอบจะเริ่มจากลักษณะเป็นหลุมกลมเล็กๆ ดังภาพ (a) และเศษโลหะที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นทรงกลม ขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน เนื่องจากการอาร์กในระดับจุลภาคดังภาพ (b) ส่วนรอยแผลรางวิ่งในช่วงที่ 2 มีลักษณะเป็นหลุมยาวตามแนวเส้นสัมผัสของรางวิ่งกับลูกบอลเหมือนนำหลุมกลมในช่วงแรกมาเรียงต่อกันดังภาพ (c) และเศษโลหะที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นแผ่นที่มีผิวสีดำเนื่องจากได้รับผลพวงจากการอาร์กในช่วงแรกดังภาพ (d) ส่วนรอยแผลในช่วงที่ 3 มีลักษณะเป็นร่องขนาดใหญ่ตามเส้นรอบวงของราววิ่งซึ่งศูนย์เสียเนื้อวัสดุไปบางส่วนดังภาพ (e) และเศษโลหะที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะคล้ายกับเศษโลหะชนิดยึดติดอย่างรุนแรง (severe sliding) เนื่องจากภาวะขาดสารหล่อลื่นดังภาพ (f)

ตารางที่ 1 เศษโลหะและการแบ่งช่วงกลไกการสึกหรอของตามดทางไฟฟ้า

ช่วงที่	การสึกหรอทางกล	การสึกหรอทางไฟฟ้า	การสึกหรอที่รางวิ่ง	เศษโลหะ
1	 (ที่มา http://en.wikipedia.org / wiki/File:Asperities.svg)	 (Yuang-Cherng Chiou, Rong-Tsogn Lee and Chung-Ming Lin , 2009)	 (a)	 (b)
2	 (ที่มา http://www.gordonengland.co.uk/wear.htm)	 (Yuang-Cherng Chiou, & Rong-Tsogn Lee, & Chung-Ming Lin. , 2009)	 (c)	 (d)

ตารางที่ 1 (ต่อ) เศษโลหะและการแบ่งช่วงกลไกการสึกหรอของตามดทางไฟฟ้า

ช่วงที่	การสึกหรอทางกล	การสึกหรอทางไฟฟ้า	การสึกหรอที่รางวิ่ง	เศษโลหะ
3	 (ที่มา http://www.gordonengland.co.uk/wear.htm		 (e)	 (f)

อภิปรายผล

กลไกการสึกหรอของตามดทางไฟฟ้าบนรองลื่นเม็ดลูกกลิ้งทรงกลม ในช่วงเริ่มต้นของการทำงาน อุณหภูมิของแบริ่งยังต่ำ รวมทั้งพื้นผิวยังไม่เกิดการสึกหรอ ดังนั้นการสึกหรอที่เกิดขึ้น จะมาจากผลทางไฟฟ้าเป็นส่วนใหญ่ เศษโลหะที่เกิดจะมีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดเล็กมาก (< 100 μm) ซึ่งเกิดจากผลของการสปาร์ก เนื่องจากพื้นที่สัมผัสระหว่างลูกบอลกับรางวิ่งในระดับจุลภาค (asperity contact) ยังมีค่าน้อยทำให้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (current density) มีค่าสูง ส่งผลให้อุณหภูมิของรองลื่นสูงขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่เริ่มทำงาน เมื่อความร้อนถูกเก็บสะสมมากขึ้นส่งผลให้พื้นผิวของรางวิ่งเกิดการเสียรูปตามแนวเส้นสัมผัสอย่างถาวร (plastic deformation) เนื่องจากภาระกดทับจากเม็ดลูกกลิ้ง เมื่อการรับภาระของบริเวณที่เสียรูปอย่างถาวรเกิดขึ้นเป็นหลาย ๆ วัฏจักรทำให้เกิดการหลุดร่อนของเศษโลหะที่ผิวรางวิ่ง (ตามแนวเส้นสัมผัสของลูกบอลกับรางวิ่ง) ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นๆ สีดำ (เนื่องจากผลของการสปาร์กในช่วงแรก) และมีเศษโลหะทรงกลมที่เกิดขึ้นก่อนหน้าถูกฝังทับบริเวณพื้นผิว ที่รางวิ่งจะเกิดเป็นหลุมยาวตามแนวเส้นสัมผัส (ของลูกบอลกับรางวิ่ง) เรียงกันตลอดเส้นรอบวงของรางวิ่งลักษณะคล้ายลูกคลื่น (corrugate pattern) ส่วนเศษโลหะที่หลุดออกมานี้จะได้รับอิทธิพลจากความร้อนที่สูง และถูกหล่อเย็นด้วยจาระบี เปรียบเสมือนกรรมวิธีการชุบแข็ง เมื่อเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างลูกบอลกับรางวิ่งจะทำให้การสึกหรอรุนแรงมากขึ้น มีลักษณะของหลุมยาวเรียงกันและมีความลึกของหลุมมากขึ้นตามเวลาทดสอบ

จากการทดสอบรองลื่นด้วยเครื่องทดสอบตามดทางไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยค้นพบเศษโลหะกลุ่มใหม่ที่ไม่เคยมีรายงานไว้ก่อน คือเศษโลหะจากการสึกหรอแบบตามดทางไฟฟ้า ที่สามารถแบ่งลักษณะเศษโลหะได้เป็น 3 กลุ่มย่อย คือ 1) เกิดจากการสึกหรอทางไฟฟ้า 2) เกิดจากการสึกหรอระหว่างทางกลร่วมกับการสึกหรอทางไฟฟ้า 3) เกิดจากการสึกหรอทางกล รวมไปถึงสามารถอธิบายถึงกลไกการเกิดตามดทางไฟฟ้าได้ดังนี้คือ

1. จากการปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรองลื่นทำให้พบว่า เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรองลื่นมีค่าสูงขึ้น จะส่งผลให้อุณหภูมิของรองลื่นเพิ่มขึ้น และนำไปสู่การสึกหรอที่รุนแรงมากขึ้น

2. จากการปรับค่าภาระทางกลที่กระทำต่อรองลื่นทำให้พบว่า ที่เวลา ณ จุดเริ่มต้นของการทดสอบค่าพื้นที่สัมผัสระหว่างลูกบอลกับรางวิ่งที่ได้จากการคำนวณจะแปรผันตามค่าภาระทางกล ซึ่งค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าจะแปรผกผันต่อค่าของพื้นที่ผิวสัมผัส และค่าความหนาฟิลม์สารหล่อลื่นยังแปรผกผันต่อค่าภาระทางกลอีกด้วย

3. จากการศึกษาผลของเวลาที่มีต่อการสึกหรอทำให้พบว่า หากตัวแปรอื่น ๆ นอกเหนือ จากเวลาในการทดสอบมีค่าคงที่ สามารถบอกได้ว่าเมื่อเวลาทดสอบมีค่ามาก การสึกหรอที่เกิดขึ้นจะมีความรุนแรงมากขึ้นตามไปด้วย

สรุปผล

จากผลการวิจัยเกี่ยวกับอุณหภูมิ ความยาวของรอยแผลและลักษณะทางกายภาพของเศษโลหะสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. อุณหภูมิผิวนอกของรองลื่นจะสูงขึ้น ตามค่ากระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ในกรณีที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านรองลื่นคงที่ ค่าภาระทางกลที่แตกต่างจะส่งผลกระทบต่อค่าอุณหภูมิในช่วงเวลาประมาณ 20 นาทีแรกเท่านั้น

2. ความกว้างและความยาวของหลุม จะเพิ่มขึ้นหากกระแสที่ไหลผ่านรองลื่นมีค่าสูงขึ้น (กรณีภาระทางกล และเวลาที่ใช้ทดสอบเท่ากัน)ส่วนภาระทางกลที่ต่ำกว่าจะ ส่งผลให้ขนาดรอยแผลมีพื้นที่มาก หากเปรียบกับกรณีที่ภาระทางกลสูงกว่า (กรณีกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรองลื่น และเวลาที่ใช้ในการทดสอบเท่ากัน)

3. เศษโลหะจากการสึกหรอของตามดทางไฟฟ้าที่พบมีขนาดโดยประมาณตั้งแต่ 10 - 1200 ไมโครเมตร โดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มย่อยได้คือ

กลุ่มที่ 1 เศษโลหะเม็ดทรงกลมผิวดำวาว มีขนาด 10-100 ไมโครเมตร พบมากในช่วง แรก (ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้า และภาระทางกล) ซึ่งเกิดจากการสึกหรอทางไฟฟ้า

กลุ่มที่ 2 เศษโลหะแผ่นแบนยาวผิวดำมีขนาด 200-1000 ไมโครเมตร พบมากในช่วง 20-60 นาทีแรก (ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้า และภาระทางกล) มีผิวสีดำเนื่องจากผลพวงของการสึกหรอทางไฟฟ้าในช่วงแรก

กลุ่มที่ 3 เศษโลหะแผ่นแบนคล้ายกับกลุ่มเศษโลหะจากการสึกหรออย่างรุนแรง เนื่องจากทำงานในสภาวะขาดสารหล่อลื่น ที่ผิวจะสังเกตเห็นเนื้อโลหะมันวาวสลับดำ มีขนาด 150 - 1200 ไมโครเมตร พบมากในช่วง 20-60 นาทีแรก (ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้า และภาระทางกล)

รายการอ้างอิง

สุรพล ราษฎร์นุ้ย. (2545). **วิศวกรรมการบำรุงรักษา.** กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

สุรพล ราษฎร์นุ้ย. (2549). **การหล่อลื่นเบื้องต้นทางวิศวกรรม.** กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

Dowson, D. and Higginson, G.R. (1977). **Elasto-Hydrodynamic Lubrication.** Oxford: Robert Maxwell.

Prashad, H. (2006) .**Tribology in Electrical Environments.** Oxford: Elsevier.

Prashad, H. (2006). **Solving Tribology Problem in Rotating Machine.** Cambridge: Woodhead.

Stolarski, T.A. and Tobe, S. (2000). **Rolling Contacts.** London: Professional Engineering.

Yuang-Cherng Chiou, Rong-Tsogn Lee and Chung-Ming Lin. (1999). **Formation Criterion and Mechanism of Electrical Pitting on the Lubricated Surface under AC Electric Field.** Wear. 236: 62-72.

Yuang-Cherng Chiou, Rong-Tsogn Lee and Chung-Ming Lin. (2001). **Pitting Mechanism on Lubricated Surface of Babbitt Alloy/Bearing Steel Pair under ac Electric Field.** Wear. 249: 133-142.

Yuang-Cherng Chiou, Rong-Tsogn Lee and Chung-Ming Lin. (2004). **Effect of MoS2 Additive on Electrical pitting Mechanism of Lubricated Surface for Babbitt Alloy/Bearing Steel Pair under ac Electric Field.** Wear. 257: 833-842.

Yuang-Cherng Chiou, Rong-Tsogn Lee and Chung-Ming Lin. (2009). **Formation Mechanism of Electrical Damage on Sliding Lubricated Contacts for Steel Pair under DC Electric Field.** Wear. 266: 110-118.