

การศึกษาผลกระทบของขนาดอนุภาคเขม่าต่อการสึกหรอของโลหะโดยใช้วิธีโฟร์บอลไทรโบโลยี

Impact of Soot Particle Size On Metal Wear Using Four-Ball Tribology

นายภัทร ฉ่ำมะนา*, ผศ.ดร.ปรีชา การินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง

เขตลาดกระบัง, 10520

*pattara_ra@hotmail.com, 0878914019, 02-3543126

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาขนาดของเขม่าที่ขนาดแตกต่างกันต่อผลกระทบของการสึกหรอของโลหะโดยใช้วิธีโฟร์บอลไทรโบโลยี (Four-ball Tribology) ในการทดสอบซึ่งเป็นการวัดขนาดความสึกหรอและความขรุขระในระดับไมครอนโดยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูง (Optical Microscope) และกล้องจุลทรรศน์ 3 มิติ (3D Optical Microscope) โดยได้ใช้คาร์บอนแบล็คเบอร์ N220, N330, N550, N660 เป็นตัวแทนเขม่าในการจำลองการทดสอบ ในส่วนการศึกษาการกระจายตัวขนาดอนุภาคเขม่า (Particle Size Distribution) ที่ขนาดอนุภาคเดียวแตกต่างกันในน้ำมันหล่อลื่นใช้การทดสอบที่เรียกว่าเทคนิคการเลี้ยวเบนของแสง (Laser Diffraction Technique) และการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology) และโครงสร้างในระดับนาโน (Nano Structure) ของอนุภาคเขม่าที่ได้ใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope) เป็นเครื่องมือในการทดสอบ

ผลทดสอบพบว่าขนาดของอนุภาคคาร์บอนแบล็คที่เบอร์ N220, N330, N550 และ N660 มีขนาดอนุภาคเดียว (Primary particle) ที่แตกต่างกันคือ 23.6, 30.4, 44.6, 54 นาโนเมตรตามลำดับ และคาร์บอนแบล็คทั้ง 4 เบอร์จะมีรูปร่างเป็นทรงกลม ในส่วนของการกระจายตัวของเขม่าในน้ำมันหล่อลื่นพบว่า คาร์บอนแบล็คเบอร์ N220, N330, N550 และ N660 ที่ 1% มีค่าการกระจายตัวอนุภาคขนาดเล็กในช่วง 40 nm ถึง 50 um ประมาณ 3.3, 4, 5, และ 6% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าขนาดอนุภาคเดียวของคาร์บอนแบล็คที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อปริมาณอนุภาคคาร์บอนแบล็คขนาดเล็กที่กระจายตัวในน้ำมันหล่อลื่นมากขึ้น ในส่วนของค่าความสึกหรอของโลหะจะวัดจากค่าเส้นผ่านศูนย์กลางการสึกหรอเฉลี่ย (Average Wear Scar) พบว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ผสมคาร์บอนแบล็คมีค่าการสึกหรอของโลหะมากกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ไม่ผสมคาร์บอนแบล็ค โดยน้ำมันหล่อลื่นที่ไม่ผสมคาร์บอนแบล็คมีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางการสึกหรอเฉลี่ย 621 ส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ผสมคาร์บอนแบล็คเบอร์ ที่ N220, N330, N550 และ N660 ที่ 1% มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางการสึกหรอเฉลี่ย 784, 860, 877 และ 865 ตามลำดับ

Abstract

In this research has studied the morphology of different soot particle sizes to the effects of metal wear using Four ball tribology testing, which is a measure of wear and roughness at the micron level by the microscope with power high magnification (Optical microscope) and 3D Optical microscope. The use of carbon black in different particle sizes representing soot in a simulation test. The test is called Laser diffraction technique to test particle size distribution of different sizes in the lubricant. In the study of morphology and Nano Structure. Soot particles that have a microscope TEM (Transmission electron microscope) as a tool for testing.

The results showed that the average primary particle size of the Carbon Black No. N220, N330, N550, N660 is 23.6, 30.4, 44.6, 54 nm, respectively and the soot particle shape of the 4 numbers of carbon black is a sphere. In terms of the distribution of soot in formulate oil, Carbon Black No. N660, N550, N330 and N220 have a distribution of small particles size in the 40 nm to 50 um about 6, 5, 4, and 3.3% respectively. The result showed that the average primary particle size of carbon black have effect to maintain agglomerate particles size in Formulate oil. The effect of metal wear showed that wear diameter of four metal balls in case of testing with soot are larger than without soot. The average wear diameter of balls in case of testing in Formulate oil without carbon black is 621 microns, and with carbon black N220, N330, N550, N660 are 784, 860, 877 and 865 microns respectively.

Keywords: soot, wear, morphology, agglomerate particles.

1. บทนำ

ในปัจจุบันรถโดยสารส่วนบุคคลได้เข้ามามีบทบาทในประเทศไทยเป็นอย่างมากเนื่องจากมีความสะดวกสบายในการที่จะเดินทางไปยังที่ต่าง ๆ ตามที่ต้องการ แต่อย่างไรก็ตามเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในก็ยังเป็นเครื่องจักรที่กำเนิดไอเสียอยู่ดีและเขม่าก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งในนั้น

หนึ่งในสาเหตุหลักของความเสียหายของเครื่องยนต์เนื่องจากคุณภาพของเชื้อเพลิงและน้ำมัน คือความหนาของน้ำมันหล่อลื่นเนื่องจากปฏิกิริยาเทอร์โม-ออกซิเดชัน (Thermo-Oxidation) และเขม่า (Soot). Guatum. [1].

1.1 การเกิดเขม่า (Soot Generation)

เขม่า (Soot) คืออนุภาคที่ประกอบด้วยคาร์บอนขนาดเล็กมาก ๆ โดยเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ซึ่งประกอบไปด้วย คาร์บอน (Carbon), ซี้เถ้า (Ash), ไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด (Unburned hydrocarbon) โดยที่ไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด (Unburned hydrocarbon) คือ อะเซทิลีน (Acetylene) และโพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbons) ที่มีสภาพเป็นกรด และสารระเหยในระดับที่สูง จากการวัดปริมาณองค์ประกอบของธาตุพบว่า มีคาร์บอน (Carbon) 90%, ออกซิเจน (Oxygen) 4%, ไฮโดรเจน (Hydrogen) 3% รวมทั้งส่วนประกอบอื่นๆ เช่น ซัลเฟอร์ (Sulphur) และเศษโลหะ Clague et al. [2].

Rocca et al. [3] ได้ทำการศึกษาลักษณะของเขม่าในน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์แก๊สโซลีนแบบฉีดตรง (GDI) ด้วย

กล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (TEM) พบว่าขนาดของอนุภาคเดี่ยวเฉลี่ย (Average Primary Particles Size) มีรูปร่างเป็นทรงกลม (Spherical) มีค่า 36 นาโนเมตร และอนุภาคกลุ่มก้อนเฉลี่ย (Average Agglomerates Particles Size) มีค่าความกว้าง 59 นาโนเมตร และความยาว 153 นาโนเมตรตามลำดับ

1.2 ผลกระทบของเขม่าต่อคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น

Truhan et al. [4]. ได้ทำการค้นคว้าการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเนื่องจากเขม่า ผลลัพธ์คือค่าความหนืดที่ 40 และ 100°C มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นเขม่ามากขึ้น

1.3 กลไกการสึกหรอ (Wear Mechanism)

โดยทั่วไปนิยมแบ่งกลไกการสึกหรอออกเป็นตามประเภทกลไกการสึกหรอ 4 ประเภทดังต่อไปนี้

- การสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive Wear) เกิดขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนที่ไถลที่รอยต่อระหว่างหน้าสัมผัส และเกิดแรงดึงส่วนที่ติดแน่นและอ่อนแอกว่าแยกจากกันเกิดฟิล์มถ่ายโอน (Transfer Film) ไปสู่อีกพื้นผิวหนึ่ง

การสึกหรอแบบนี้เป็นพื้นฐานของความเสียหายทุกชนิดที่มีการไถล

- กลไกการสึกหรอแบบขูดขีด (Abrasion) การขูดขีดเกิดจากการที่เนื้อวัสดุหลุดหายไปจากการถูกขีดข่วน หรือถูกขูดเป็นร่องลึก หรือเกิดจากการที่มีผงฝุ่นสิ่งสกปรกที่มีความแข็งมากๆ แทรกอยู่ระหว่างผิวคู่สัมผัส

- การล้าตัว (Material Fatigue) เป็นการสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของเนื้อวัสดุ ซึ่งจะให้เห็นว่าผิววัสดุมีหลุม มีรอยแตกหรือรอยแยก

- ปฏิกิริยาไทรโบเคมีคอล Tribichemical Reactions) ผลพวงของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างผิววัสดุสัมผัสกับสารหล่อลื่นในระหว่างผิวสัมผัส ภายใต้การเคลื่อนที่ที่มีความเค้นกด ทำให้เกิดการสึกหรอ อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีดังกล่าวจะเรียกสิ่งเหล่านี้ว่า การสึกหรอแบบกัดกร่อน (Corrosive Wear) [5]

1.4 Tribology

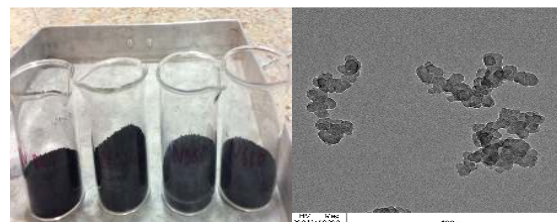
Tribology เป็นศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับพื้นผิวที่มีปฏิสัมพันธ์กันในระหว่างการเคลื่อนที่สัมผัส โดยรวมถึงการศึกษาและการใช้งานของหลักการแรงเสียดทาน การหล่อลื่น และการสึกหรอ ด้วยการใช้กราฟ Stribeck (Stribeck Curve) ทำให้สามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงจากการหล่อลื่นแบบโดยรอบ (Boundary Lubrication) ไปเป็นการหล่อลื่นแบบผสม (mixed lubrication) และจากการหล่อลื่นแบบผสม (Mixed Lubrication) ไปเป็นการหล่อลื่นแบบ Elasto-hydrodynamic (Elasto-hydrodynamic Lubrication) ได้ ซึ่งก็ทำให้สามารถคาดการณ์รูปแบบการหล่อลื่นที่หน้าสัมผัสได้นี้

การทดสอบโดยวิธีโฟร์บอล (Four-ball Test) เป็นการทดสอบเพื่อวัดคุณสมบัติการป้องกันการสึกหรอ (Anti Wear) ของน้ำมันหล่อลื่น (Lubricating oil) และสารหล่อลื่นจำพวกจาระบี (Grease) พื้นผิวการสัมผัสถูกจำลองโดยการนำลูกบอลเหล็กจำนวน 4 ลูก เส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตรแช่ลงในสารหล่อลื่นโดยให้ลูกบอลลูกหนึ่งออกแรงกดลงบนลูกบอลอีกสามลูกซึ่งถูกยึดให้อยู่กับที่ ตัวแปรต่างๆ เช่น ความเร็วรอบของลูกบอลที่ใช้กด, แรงกด รวมถึงอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบถูกกำหนดตามมาตรฐาน ASTM การวัดคุณสมบัติการป้องกันการสึกหรอทำได้โดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยที่เกิดจากการเสียดสี [6]

2. ขั้นตอนการทดลอง

ในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับผลกระทบของขนาดอนุภาคเดี่ยวที่แตกต่างต่อการสึกหรอโลหะนั้น ในขั้นตอนแรกได้ทดลองโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

(Transmission Electron Microscope) เพื่อที่จะศึกษาสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ของคาร์บอนแบล็คจำนวน 4 ตัวอย่าง และเขม่าจากเครื่องยนต์ เพื่อที่จะเปรียบเทียบขนาดอนุภาคเดี่ยวเฉลี่ยของคาร์บอนแบล็คกับเขม่าจากเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งได้แสดงถึงรูปร่างของอนุภาคเดี่ยว (Single Particles) และอนุภาคที่รวมตัวกัน (Agglomerate Particles) สำหรับ ขั้นตอนที่สองนั้น มีจุดประสงค์ในการทดสอบเพื่อจะศึกษาพฤติกรรมการกระจายตัวของอนุภาคเขม่าในน้ำมันหล่อลื่น ในขั้นตอนนี้น้ำมันหล่อลื่นจะถูกผสมด้วยคาร์บอนแบล็คเบอร์ N220, N330, N550, N660 ตัวอย่างละ 1% โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นตัวอย่างจะถูกทดสอบเพื่อหาค่าการกระจายตัวของอนุภาคเขม่าในน้ำมันหล่อลื่นโดยวิธี Laser Particle Size detector และในขั้นตอนสุดท้าย ได้ทดลองวัดค่าการสึกหรอของโลหะเนื่องจากคาร์บอนแบล็คโดยวิธี Four-ball Tribology โดยในขั้นตอนนี้น้ำมันหล่อลื่นที่ผสมคาร์บอนแบล็คได้ถูกทดสอบการสึกหรอของโลหะตามมาตรฐาน ASTM D-4172 ลูกบอลเหล็กทรงกลมขนาด 12.7 มิลลิเมตร จำนวน 4 ลูก โดยมี 3 ลูกประกบกันอยู่ด้านล่าง และลูกที่ 4 วางประกบด้านบนและมีแรงกดขนาด 392 นิวตัน อุณหภูมิที่ 75 องศาเซลเซียส ลูกบอลที่อยู่ด้านบนจะหมุนด้วยความเร็วรอบ 1,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที ผลการทดลองจะถูกเปรียบเทียบโดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางการสึกหรอเฉลี่ย (Average Wear Scar Diameter Size) ของลูกบอลสามลูกด้านล่าง ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางการสึกหรอเฉลี่ยจะถูกตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope) หลังจากนั้นจะมี รูป 3 มิติ เพื่อช่วยในการตรวจสอบ รูปร่างของการสึกหรอ และความขรุขระของพื้นผิว ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจกลไกการสึกหรอของโลหะที่เกิดจากคาร์บอนแบล็คที่ผสมอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นได้มากขึ้น

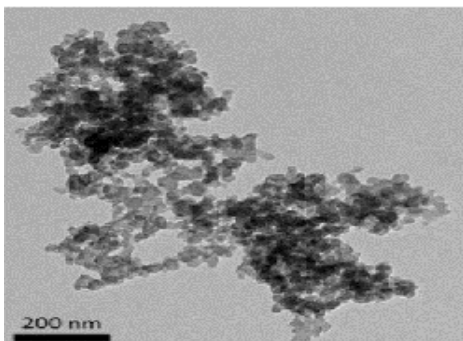


รูปที่ 1 รูปด้านซ้ายคือคาร์บอนแบล็คจำนวน 4 เบอร์ N220, N330, N550 และ N660 รูปด้านขวาคือ เขม่าจากเครื่องยนต์

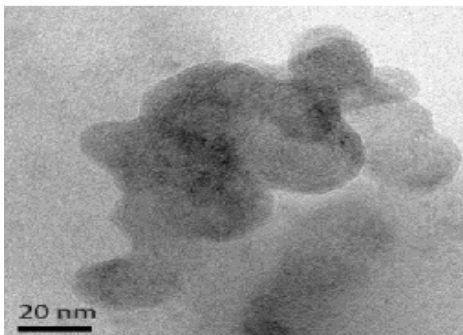
3. ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

3.1 ขนาดของอนุภาคเขม่าในระดับนาโนเมตร

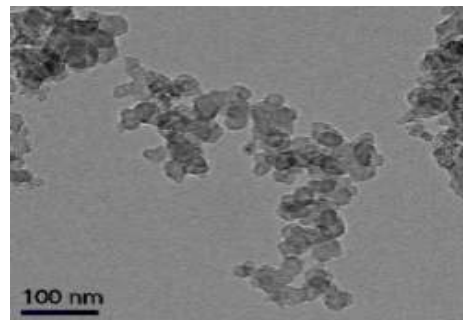
P.Karin et al [7]. ได้ทำการค้นคว้าและวัดขนาดของเขม่าเครื่องยนต์และพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคเฉลี่ยของเขม่ามีค่า 30 นาโนเมตร ในการทดลองนี้ได้ทำการตรวจวัดขนาดอนุภาคเดี่ยวคาร์บอนแบล็คเบอร์ N220, N330, N550, N660 จากรูปภาพทั้งหมดประมาณ 60 รูปภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2 ผลปรากฏว่าค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคเดี่ยวคาร์บอนแบล็คเบอร์ N220, N330, N550 และ N660 มีค่า 23.6, 30.4, 44.6 และ 54 นาโนเมตรตามลำดับ ซึ่งพบคาร์บอนแบล็คเบอร์ N330 มีขนาดอนุภาคเดี่ยวเฉลี่ยใกล้เคียงกับเขม่าจากเครื่องยนต์มากที่สุด ในการวิจัยได้ใช้คาร์บอนแบล็คเป็นตัวแทนในการจำลองการทดสอบซึ่งไม่ได้คำนึงถึงผลกระทบจากเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมดที่อยู่ในเขม่า



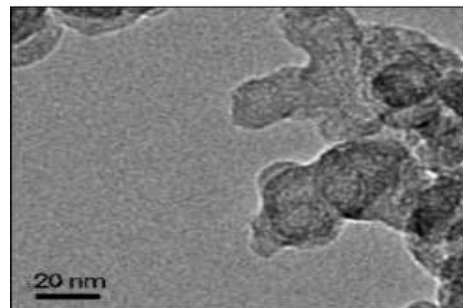
(a) เขม่าจากเครื่องยนต์ P.Karin et al [7].



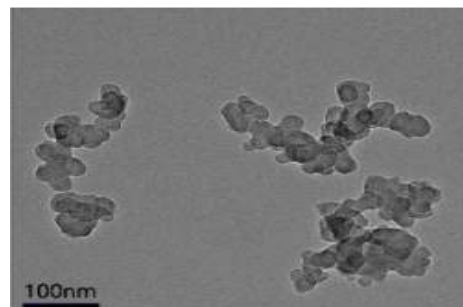
(b) เขม่าจากเครื่องยนต์ P.Karin et al [7].



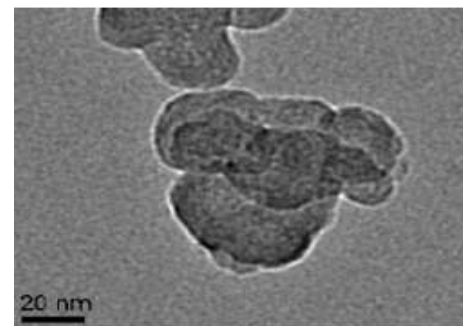
(c) คาร์บอนแบล็ค (carbon black N220)



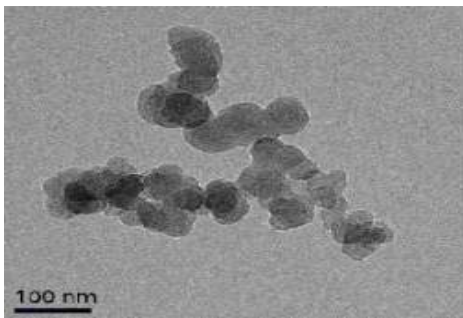
(d) คาร์บอนแบล็ค (carbon black N220)



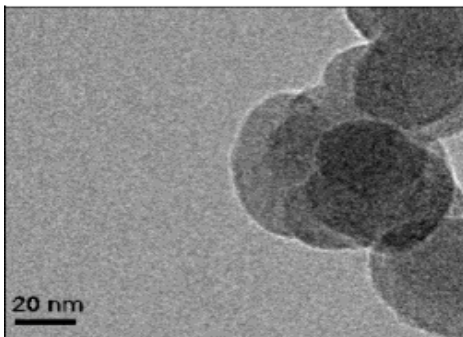
(e) คาร์บอนแบล็ค (carbon black N330)



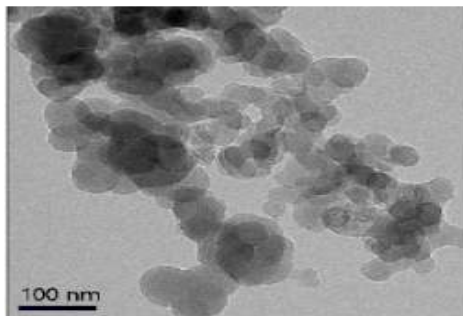
(f) คาร์บอนแบล็ค (carbon black N330)



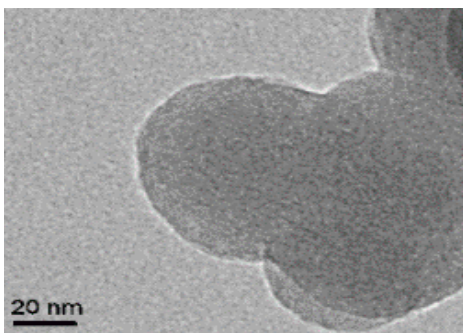
(g) คาร์บอนแบล็ค (carbon black N550)



(h) คาร์บอนแบล็ค (carbon black N550)



(i) คาร์บอนแบล็ค (carbon black N660)



(j) คาร์บอนแบล็ค (carbon black N660)

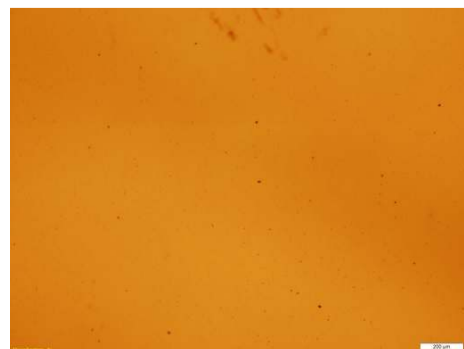
รูปที่ 2 รูปจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (TEM) ของ (a-b) เขม่าจากเครื่องยนต์ และ (c-j) คาร์บอนแบล็ค



(a) N220 1% โดยน้ำหนัก



(b) N330 1% โดยน้ำหนัก



(c) N550 1% โดยน้ำหนัก

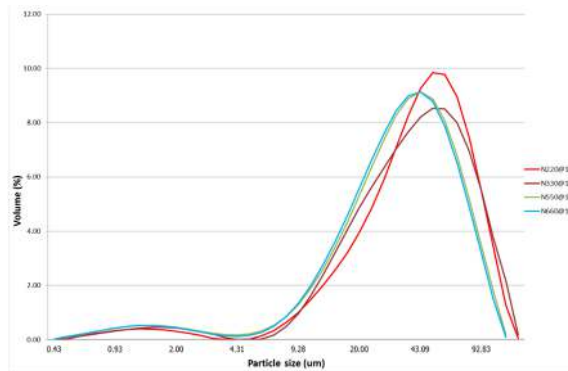


(d) N660 1% โดยน้ำหนัก

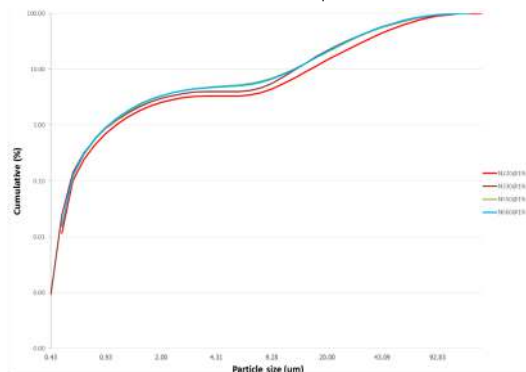
รูปที่ 3 ภาพการกระจายตัวของคาร์บอนแบล็คเบอร์ N330 ใน น้ำมันหล่อลื่น

Statistical Data	Diesel Soot	Carbon Black N220	Carbon Black N330	Carbon Black N330	Carbon Black N660
Particle Count	330	293	159	202	232
Maximum	62.1 nm	49 nm	74.4 nm	83.4 nm	120.2 nm
Minimum	8.1 nm	11.3 nm	9.4 nm	15.9 nm	14.9 nm
Average	29.5 nm	23.6 nm	30.4 nm	44.6 nm	54 nm
S.D.	10.8	6.8	10.9	14.1	17.8

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของอนุภาคเดี่ยวของเขม่า และคาร์บอนแบล็ค

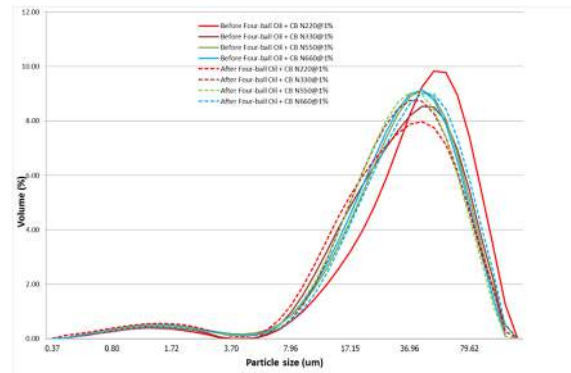


(a) กราฟการกระจายตัวของอนุภาคคาร์บอนแบล็ค

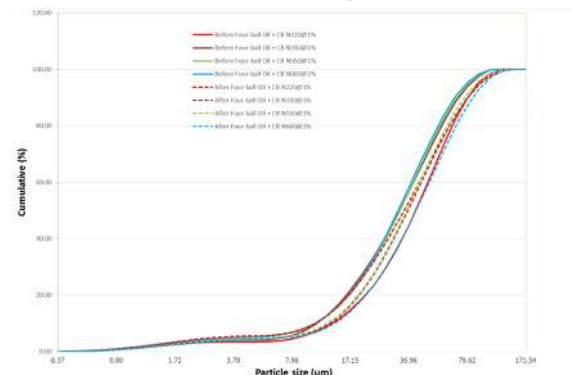


(b) กราฟการกระจายตัวของอนุภาคสะสม

รูปที่ 4 คาร์บอนแบล็ค และอนุภาคโลหะที่สึกหรอ(a) การกระจายตัวขนาดอนุภาค (b) การกระจายตัวขนาดอนุภาคสะสมในน้ำมันหล่อลื่นก่อนทดสอบ Four-ball Tribology



(a) กราฟการกระจายตัวของอนุภาคคาร์บอนแบล็ค



(b) กราฟการกระจายตัวของอนุภาคสะสม

รูปที่ 5 คาร์บอนแบล็ค และอนุภาคโลหะที่สึกหรอ(a) การกระจายตัวขนาดอนุภาค (b) การกระจายตัวขนาดอนุภาคสะสมในน้ำมันหล่อลื่นหลังทดสอบ Four-ball Tribology

3.2 การกระจายตัวของอนุภาคเขม่าในน้ำมันหล่อลื่น

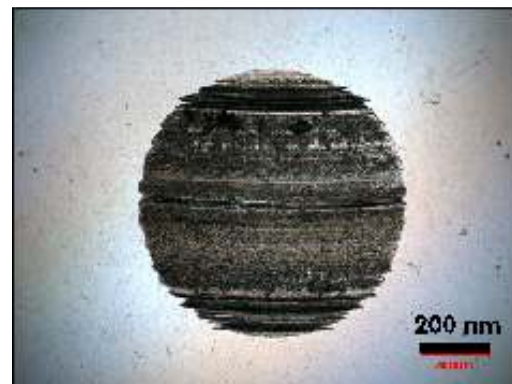
ในงานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำมันหล่อลื่นเกรด SAE 5W-30 มาผสมกับคาร์บอนแบล็คเบอร์ N220, N330, N550 และ N660 ในปริมาณ 1% เพื่อจำลองการกระจายตัวของอนุภาคเขม่าในน้ำมันหล่อลื่นโดยมีภาพถ่ายจากกล้อง (Optical Microscope) รูปที่ 3 เพื่อดูการกระจายตัวของเขม่าในน้ำมันหล่อลื่นเบื้องต้นก่อนที่จะนำไปทดสอบด้วยวิธี Laser Diffraction ผลปรากฏว่ามีความแตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อมองด้วยภาพถ่าย รูปที่ 4 ได้แสดงถึงการกระจายตัวของอนุภาคคาร์บอนแบล็คในน้ำมันหล่อลื่นทั้งก่อน และหลังทดสอบโฟร์บอล ผลปรากฏว่าพบขนาดอนุภาคกลุ่มก่อนคาร์บอนแบล็คอยู่ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มก่อนคาร์บอนแบล็คขนาด 400-5,000 นาโนเมตร และ 5-150 ไมครอน จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของอนุภาคคาร์บอนแบล็คมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

3.3 ผลกระทบของเขม่าต่อการสึกหรอของโลหะโดยใช้วิธี Four-ball Tribology ในการทดสอบ

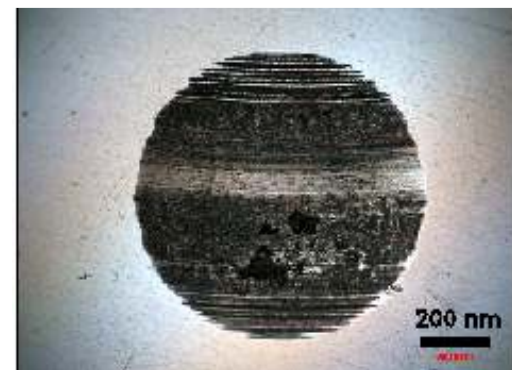
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางการสึกหรอจะถูวัดโดยกล้อง Optical Microscope ที่แสดงให้เห็นถึงภาพของการสึกหรอที่พบบนลูกบอลเหล็กสามลูกด้านล่างหลังจากการทดสอบ ซึ่งแสดงในรูปที่ 5 (a) น้ำมันหล่อลื่น (b) น้ำมันหล่อลื่นผสมกับคาร์บอนแบล็ค N220 1% โดยน้ำหนัก (c) น้ำมันหล่อลื่นผสมกับคาร์บอนแบล็ค N330 1% โดยน้ำหนัก (d) น้ำมันหล่อลื่นผสมกับคาร์บอนแบล็ค N550 1% โดยน้ำหนัก (e) น้ำมันหล่อลื่นผสมกับคาร์บอนแบล็ค N660 1% โดยน้ำหนัก พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางการสึกหรอของลูกบอลโลหะในกรณีน้ำมันหล่อลื่นผสมเขม่ามีค่ามากกว่ากรณีน้ำมันหล่อลื่นที่ไม่ผสมเขม่า โดยค่าเส้นผ่านศูนย์กลางการสึกหรอเฉลี่ยของน้ำมันหล่อลื่นที่ไม่ผสมคาร์บอนแบล็คมีค่า 621 ไมครอน และที่ผสมคาร์บอนแบล็ค N220, N330, N550, N660 มีค่า 784, 860, 878 และ 870 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งแสดงในตารางที่ 2 และ รูปที่ 6 ในส่วนของรูปที่ 8 นั้นแสดงถึงรูปพื้นผิว 3 มิติจากกล้อง (Optical Microscope) ที่จะช่วยตรวจสอบลักษณะรอยพื้นผิวการสึกหรอและช่วยทำความเข้าใจกลไกการสึกหรอของโลหะ นอกจากนี้ยังแสดงค่าความขรุขระ (Roughness) ของรอยการสึกหรอบนลูกบอลโลหะ และค่าความขรุขระ (Roughness) ของน้ำมันหล่อลื่นที่ไม่ผสมคาร์บอนแบล็คมีค่า 2.28 ไมครอน และที่ผสมคาร์บอนแบล็ค N220, N330, N550, N660 มีค่า 1.77, 1.49, 1.81 และ 1.60 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 7 การสึกหรอที่เกิดขึ้นนั้นอาจเป็นเพราะว่าอนุภาคของคาร์บอนแบล็คสามารถที่จะเข้าไปในระหว่างบริเวณพื้นผิวสัมผัสของโลหะแล้วทำให้เกิดการสึกหรอบนลูกบอลโลหะได้ โดยในส่วนของอนุภาคเดี่ยวและอนุภาคกลุ่มก้อนของคาร์บอนแบล็คมีผลกระทบโดยตรงต่อกลไกการสึกหรอ



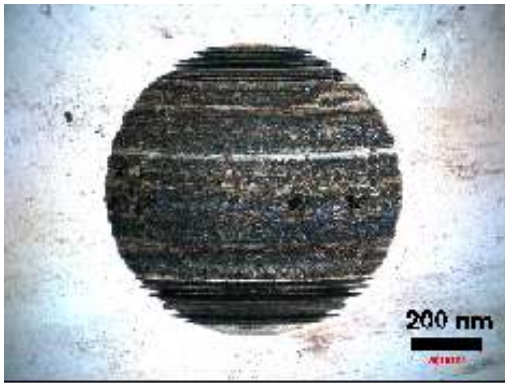
a) น้ำมันหล่อลื่น



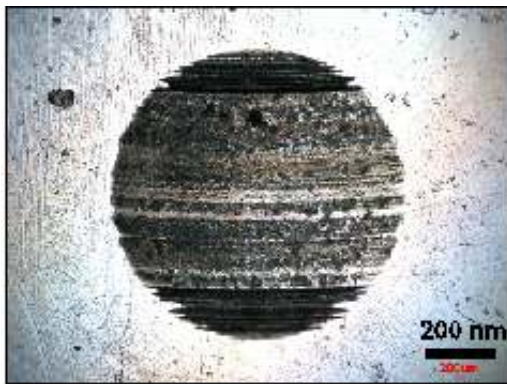
(b) น้ำมันหล่อลื่นผสมกับคาร์บอนแบล็ค N220 1% โดยน้ำหนัก



(c) น้ำมันหล่อลื่นผสมกับคาร์บอนแบล็ค N330 1% โดยน้ำหนัก

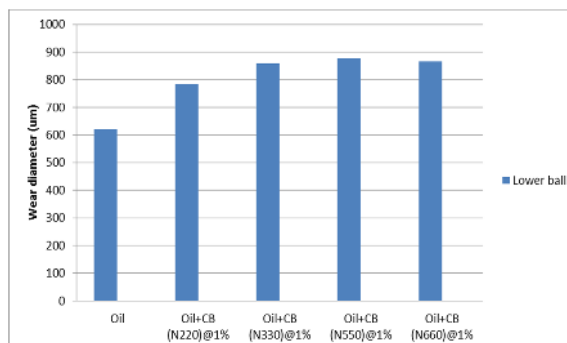


(d) น้ำมันหล่อลื่นผสมกับคาร์บอนแบล็ค N550 1%
โดยน้ำหนัก



(e) น้ำมันหล่อลื่นผสมกับคาร์บอนแบล็ค N660 1%
โดยน้ำหนัก

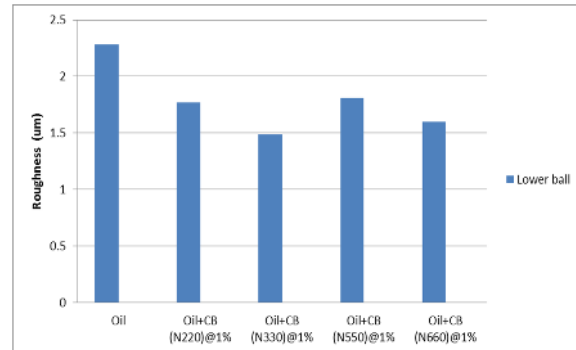
รูปที่ 6 รอยการสึกหรอบนลูกบอลโลหะของ (a) น้ำมันหล่อลื่น
(b) น้ำมันหล่อลื่นผสมกับคาร์บอนแบล็ค N220 ที่ 1%
โดยน้ำหนัก (c) น้ำมันหล่อลื่นผสมกับคาร์บอนแบล็ค
N330 ที่ 1% โดยน้ำหนัก (d) น้ำมันหล่อลื่นผสมกับ
คาร์บอนแบล็ค N550 ที่ 1% โดยน้ำหนัก และ (e)
น้ำมันหล่อลื่นผสมกับคาร์บอนแบล็ค N660 ที่ 1% โดย
น้ำหนัก



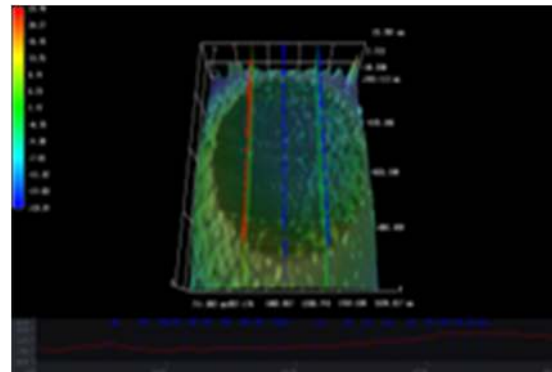
รูปที่ 7 เส้นผ่านศูนย์กลางการสึกหรอเฉลี่ยบนลูกบอลโลหะ

Wear		Oil	Oil+CB (N220) @1%	Oil+CB (N330) @1%	Oil+CB (N550) @1%	Oil+CB (N660) @1%
Wear diameter	Lower ball	621	784	860	878	870
Roughness	Lower ball	2.3	1.77	1.49	1.81	1.6

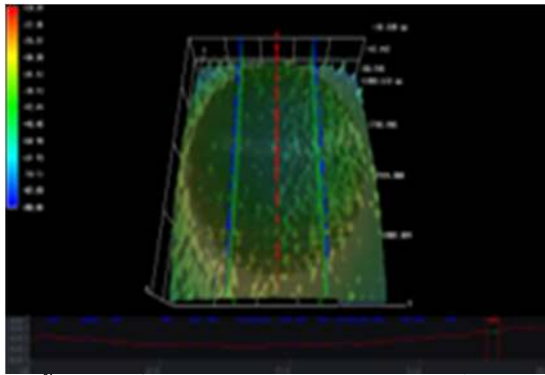
ตารางที่ 2: เส้นผ่านศูนย์กลางการสึกหรอเฉลี่ย และค่าความ
ขรุขระเฉลี่ยบนลูกบอลโลหะ



รูปที่ 8 ค่าความขรุขระเฉลี่ยบนลูกบอลโลหะ



(a) น้ำมันหล่อลื่นผสมคาร์บอนแบล็คเบอร์ N220 ที่ 1%
โดยน้ำหนัก



(b) น้ำมันหล่อลื่นผสมคาร์บอนแบล็คเบอร์ N330 ที่ 1%
โดยน้ำหนัก

รูปที่ 8 รูปสามมิติแสดงถึงค่าความขรุขระบนลูกบอลเหล็ก (a)
ในกรณีน้ำมันหล่อลื่นผสมกับคาร์บอนแบล็ค N220
1% โดยน้ำหนัก (b) น้ำมันหล่อลื่นผสมกับคาร์บอน
แบล็ค N330 1% โดยน้ำหนัก

4. สรุป

คาร์บอนแบล็คเบอร์ N330 มีขนาดอนุภาคเดี่ยวเฉลี่ย
ใกล้เคียงกับเขม่าจากเครื่องยนต์มากกว่าคาร์บอนแบล็คเบอร์
N220, N550 และ N660

ขนาดอนุภาคเขม่าในน้ำมันหล่อลื่นมีผลต่อการสึกหรอของ
โลหะโดยที่ขนาดอนุภาคเดี่ยวของเขม่ามากจะทำให้การสึกหรอ
ของโลหะมากกว่าขนาดอนุภาคเดี่ยวของเขม่าน้อย เนื่องจากมี
ปริมาณของอนุภาคเขม่าที่ขนาดเล็กที่สามารถเข้าไปแทรก
ระหว่างบริเวณหน้าผิวสัมผัสของโลหะได้มากกว่า

อนุภาคเขม่าสามารถที่จะช่วยลดความขรุขระของโลหะได้
อาจเป็นเพราะเขม่าเข้าไปทำหน้าที่ในลักษณะช่วยให้เกิดการ
ลื่นไถลระหว่างบริเวณหน้าผิวสัมผัสของโลหะ

เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Guatam, K. Chitoor, M. Durbha, and J.C. Summers: Effect of Diesel Soot Contaminated Oil on Engine Wear Investigation of Novel Oil.
- [2] AD H. Clague, J.B. Donnet, T.K. Wang, and J.C.M. Peng: A Comparison of Diesel Engine Soot with Carbon Black: Carbon, 30, p.1553-1565 (1999).

[3] A L. Rocca, G.D. Liberto, P.J. Shayler, and M.w. Fay: The Nanostructure of soot-in-oil Particles and Agglomerates from an Automotive Diesel Engine: Tribology International, 61, p.80-87 (2013).

[4] J.J. Truhan, J. Qu, and P.J. Blau: The Effect of Lubricating oil Condition on the Friction and Wear of Piston Ring and Cylinder Liner Materials in a Reciprocating Bench Test: Wear, 259, p.1048-1055 (2005).

[5] สุรพล ราชภูริบุญ. วิศวกรรมการหล่อลื่นเบื้องต้น, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น

[6] http://www.ins-thai.com/thai/Brochure_InSThai_Thai

[7] P. Karin C. Supanamo K. Hanamura: IMPACT OF SOOT ON METAL WEAR CHARACTERISTICS USING LASER DIFFRACTION SPECTROSCOPY: Journal of Research and Applications in Mechanical Engineering ,Vol. 4, No. 2, 126-134