

ข้อบทความ: การศึกษาลักษณะการกระจายทางสถิติของขนาดของอนุภาคการสึกหรอในสารหล่อลื่นเพื่อการประเมินสภาพเครื่องจักรกล

โดย: ดร.สุรพล ราชภูริชัย

ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เลขที่ 1518 ถนนพิบูลสงคราม เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10800

(โทรศัพท์ 02- 9109600 ต่อ 8217, 8221 โทรสาร 02-5856149)

บทคัดย่อ:

เทคโนโลยีการออกแบบและการผลิต รวมไปถึงการวิจัยและพัฒนาในปัจจุบันได้ส่งผลให้เครื่องจักรกลเครื่องกลด้นกำลัง เครื่องจักรกลในการผลิต และรวมไปถึงชุดโรปกรณ มีรูปแบบและลักษณะการทำงานที่มีความสลับซับซ้อนมากยิ่งขึ้น วิธีการในการซ่อมและบำรุงรักษาเครื่องจักรดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาจากแนวทางในการซ่อมแซมและบำรุงรักษาในแนวทางในอดีต เช่น วิธีการซ่อมเมื่อเสีย (BREAKDOWN OR EMERGENCY MAINTENANCE) หรือ การซ่อมบำรุงตามระยะเวลาซึ่งอาจจะรู้จักกันในชื่อ “การซ่อมบำรุงตามแผน” (TIME-BASED MAINTENANCE OR PLANNED MAINTENANCE - PM) แนวทางการซ่อมบำรุงแผนใหม่ในปัจจุบันที่มีการนำใช้ในการซ่อมและบำรุงรักษาเครื่องจักรในประเทศด้านตะวันตก หรือในทวีปยุโรปคือการซ่อมบำรุงตามสภาพ (CONDITION-BASED MAINTENANCE) ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ความสั่นสะเทือน (VIBRATION ANALYSIS), การศึกษารูปร่าง และองค์ประกอบของอนุภาคการสึกหรอ (WEAR PARTICLE ANALYSIS) และ รวมไปถึงการวิเคราะห์สภาพทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว (USED OIL ANALYSIS) เป็นต้น วิธีการดังกล่าวเป็นการประยุกต์ใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ทางด้านการวิเคราะห์ต่างๆ ที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดเพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์นั้นมาทำการประเมินสภาพเครื่องจักร โดยที่ข้อดีของวิธีการเหล่านี้ก็คือ การที่ไม่จำเป็นต้องหยุดสายการผลิต หรือ หยุดการปฏิบัติงานของเครื่องจักรเลย เช่นเพียงแค่กำหนดจุดที่จะทำการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น หรือ จุดที่ต้องการจะวัดค่าความสั่นสะเทือน เป็นต้น ประโยชน์ที่ได้จากการประเมินสภาพเครื่องจักรทำให้แผนซ่อมบำรุงสามารถจัดเตรียมแรงงาน เครื่องมือ ชิ้นส่วนอะไหล่ และปรับเรียบแผนการผลิตไว้เป็นการล่วงหน้า ซึ่งในองค์การที่มีการผลิตแบบต่อเนื่องในทางธุรกิจนั้น นับว่าเป็นประโยชน์อย่างมากมาย

การศึกษาวิเคราะห์อนุภาคการสึกหรอในสารหล่อลื่นสำหรับเครื่องจักรที่มีการใช้สารหล่อลื่น เช่นมีการใช้จาระบี หรือน้ำมันหล่อลื่น สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการประเมินสภาพเครื่องจักรกลได้ เทคนิคสำหรับการศึกษา วิเคราะห์ และ การประเมินผลกลุ่มของการสึกหรอ (WEAR MODES) ในรูปแบบของโมเดลทางสถิติของลักษณะการกระจายของขนาดอนุภาคการสึกหรอเพื่อใช้ในการคาดคะเน หรือ พยากรณ์สภาพของเครื่องจักรได้ถูกนำเสนอ และ อภิปราย บทความฉบับนี้กระมีศึกษาสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคทางด้านสถิติเหล่านี้ได้ถูกนำเสนอเป็นสองกรณีคือ แท่นทดสอบแบบลื่นไถล (FOUR BALL SLIDING WEAR TESTER) และการศึกษาอนุภาคการสึกหรอของแท่นทดสอบสลลิปรัง (SLIP-RING TEST RIG)

Wear Evaluation of Oil - Lubricated Machine Component through Statistical Wear Particle Size Analysis

Abstract

Current state-of-art in machine design, production technology and in addition, research and development for machinery automation have led to greater complexion of machinery operating regimes. As a result of that, maintenance staffs have faced more difficulties in maintaining their machines both schedule and unschedule shut-down. It has long been recognised that the two most popular maintenance policies are "**break-down maintenance**" and "**preventative maintenance**". Although these maintenance policies are utilised in most industrial plants throughout our country, unschedule machinery break down still occur from time to time.

In the past few decades a newly developed maintenance policy, originally in the western countries, which is called "Machinery Condition Monitoring - MCM" is introduced. Basically, the MCM philosophy is that machinery would generate some form of "signatures" i.e. vibration signals, wear particles in used-oil/grease and also the characteristic of lubricating oils throughout its operating period. By selection of appropriate monitoring parameters can then be used to evaluate the condition of each machine. The maintenance engineer can then prepare his manpower, tools, spare-parts and other resources required in performing a "schedule" maintenance task. In addition, production plan can be adjusted in advance.

In this paper, wear particle statistical size analysis is employed to verify its usefulness in evaluation of wear mode in two situations. The first case is on the application of "Weibull statistical distribution" in extracting the Weibull statistics to represent different adhesive wear regimes from a well-controlled tests. The conventional four ball machine is used throughout in this instance. Consequently in the second case, a slip-ring wear tester is used to generate typical wear debris from a series of tests. Similar statistical procedures are used to extract representative statistics from series of tests. The results shown in this paper have demonstrated that it is possible to use the particle size analysis as part of routine machinery condition monitoring as the evaluation of wear in machine components can be established.

ข้อบทความ: การศึกษาลักษณะการกระจายทางสถิติของขนาดของอนุภาคการสึกหรอในสารหล่อลื่นเพื่อการประเมินสภาพเครื่องจักรกล

บทนำ

ปัจจุบันแม้ว่าเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมการหล่อลื่นจะก้าวหน้าไปมาก แต่การที่จะขจัดความสึกหรอซึ่งเป็นต้นกำเนิดของอนุภาคการสึกหรอเป็นสิ่งที่หนีไปไม่พ้นนอกเสียจากการที่จะลดโอกาสที่จะทำให้เกิดการสึกหรอให้น้อยที่สุด ดังนั้นด้วยความจริงในข้อนี้เองถ้าวิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุงสามารถทำความเข้าใจถึงกลไกของการสึกหรอและอนุภาคการสึกหรอที่ปะปนอยู่ในสารหล่อลื่นของระบบการทำงานใดๆของเครื่องจักรที่ถูกหล่อลื่นไว้ด้วยน้ำมันหล่อลื่น จาระบี หรือในบางกรณีอาจจะเป็นอนุภาคการสึกหรอแบบแห้งหรือปราศจากสารหล่อลื่น (DRY WEAR) ก็เป็นไปได้ เช่น แผ่นคัลท์แบบแห้ง แผ่นผ้าเบรก กลไกต่างๆในยานอวกาศ เป็นต้น การศึกษาและการวิเคราะห์ลักษณะของอนุภาคการสึกหรอไม่ว่าจะเป็นการศึกษาถึงขนาด (อาจจะพิจารณาเฉพาะขนาดที่ใหญ่ที่สุดที่พบ (MAXIMUM WEAR PARTICLE SIZE ANALYSIS) หรือการศึกษาถึงลักษณะของการกระจายของกลุ่มตัวอย่างของอนุภาคการสึกหรอ (WEAR PARTICLE SIZE DISTRIBUTION ANALYSIS) ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และข้อจำกัดในแต่ละสถานะการณ์), ลักษณะของรูปร่าง, สี และธาตุที่เป็นองค์ประกอบของอนุภาคการสึกหรอเป็นต้น ซึ่งก็เป็นแนวทางที่ทำให้วิศวกรซ่อมบำรุงสามารถที่จะทำการประเมินสภาพเครื่องจักรในความรับผิดชอบได้ ซึ่งผลประโยชน์ที่เห็นได้อย่างชัดเจนคือการที่ฝ่ายซ่อมบำรุงสามารถเตรียมการในด้านการเตรียมชิ้นส่วนอะไหล่, วางแผนการจัดสรรแรงงาน, เครื่องมือ และช่วงเวลาที่เหมาะสมในการทำการซ่อมแซมเครื่องจักรโดยไม่ทำให้แผนการผลิตในโรงงานที่มีการผลิตแบบต่อเนื่องต้องหยุดชะงักลง ข้อดีอีกประการหนึ่งที่สำคัญก็คืออาจจะทำให้สามารถหลีกเลี่ยงการชำรุดเสียหายแบบต่อเนื่องที่อาจลุกลามต่อไปยังชิ้นส่วนหรือระบบอื่นๆ ก่อนที่จะได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้วิธีการในการวิเคราะห์การกระจายทางสถิติของอนุภาคการสึกหรอนั้น จะขอกล่าวแนะนำถึงกลไกของการสึกหรอ (WEAR MECHANISMS) และอนุภาคการสึกหรอ (WEAR PARTICLES) ที่เกิดขึ้นในระบบของการเคลื่อนไหวยของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลโดยทั่วไปในหัวข้อต่อไป

กลไกและอนุภาคการสึกหรอ (MECHANISMS AND PARTICLES OF WEAR)

เนื่องจากว่ากลไกการสึกหรอแต่ละประเภทจะมีความสัมพันธ์กับชนิด, ขนาด และ รูปร่างลักษณะของอนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงควรทำความเข้าใจถึงประเภทของกลไกการสึกหรอประเภทหลักๆที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในระบบการหล่อลื่นชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องจักร การสึกหรอถูกให้นิยามไว้ว่าคือ การเปลี่ยนแปลงผิวของชิ้นงานในลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งก่อให้เกิดการหลุดแยกออกมาของอนุภาคการสึกหรออันเนื่องมาจากกลไก

สึกหรอแบบใดแบบหนึ่ง หรือหลายกลไกในขณะเดียวกัน และโดยทั่วไปแล้วการสึกหรอมักจะเกิดขึ้นจาก
 ปรซึ่งต้องมีการเคลื่อนไหวและสัมผัสกันภายใต้ภาระกรรมทางกล (MECHANICAL LOAD) และ/หรือมีภาระ
 ปรทางไฟฟ้า, เคมีที่ก่อให้เกิดการสึกหรอแบบอื่นอีกด้วยก็เป็นได้ กลไกการสึกหรออาจจะแบ่งออกเป็นประเภท
 ปรได้ดังนี้คือ[1,2,3,4]

กลไกการสึกหรอแบบยึดติด (ADHESIVE WEAR MECHANISM)

การสึกหรอแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อโลหะของชิ้นอุปกรณ์ หรือ เสียดสีกัน โดยมีหรือไม่มีสารหล่อลื่นเลยก็เป็นได้
 โดยที่พื้นผิวสัมผัสของอุปกรณ์ที่มาสัมผัสกันจะมีขนาดที่ต้องพิจารณากันในระดับจุลภาค (MICROSCOPIC-
 PERITY SCALE) ซึ่งทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นเกินจุดยึดตัวของวัสดุ (YIELD POINT OF MATERIALS) ดังนั้น
 ปรภาระกรรมทางกลที่มีต่อชิ้นส่วนอุปกรณ์จะ ไม่สูงมากนักก็ตาม ก็ยังทำให้เกิดการเกาะยึดตัวกันระหว่าง
 ปรกลชิ้น โดยที่มีผลทำให้อนุภาคมีการเคลื่อนย้ายถ่ายเท (METAL TRANSFER) ไปมาระหว่างชิ้นส่วนที่สัมผัส
 ปรไปมาๆ และสุดท้ายก็จะหลุดแยกออกมาเนื่องจากการล้าตัวของวัสดุ (FATIGUE FRACTURE) หรืออาจจะถูก
 ปรหลุดออกมาเป็นก้อนๆในบางกรณี ในกรณีของการเกิดการสึกหรอแบบลื่นไถล (SLIDING WEAR) ภายใต้
 ปรภาระกรรมทางกลต่ำๆนั้นจะทำให้เกิดการร่อนหลุดออกมาของอนุภาคการสึกหรอจากบริเวณผิวชั้นนอกของโลหะที่
 ปรเรียกว่า Bailey layer โดยที่นักค้นคว้าทางด้านนี้ยังไม่มีการตกลงกันได้ว่ากลไกการเกิดอนุภาคการสึกหรอ
 ปรนี้เกิดจากกลไกแบบ MILD ADHESIVE WEAR หรือ ทฤษฎีที่ถูกเรียกว่า DELAMINATION WEAR
 ปรBORY กันแน่ แต่ถึงแม้ว่าจะยังไม่มีข้อยุติในเรื่องของกลไกที่แท้จริงในการก่อให้เกิดอนุภาคการสึกหรอนี้
 ปรการที่ตรวจพบอนุภาคดังกล่าวเป็นอาการที่ปกติของระบบการสึกหรอ สำหรับอนุภาคแบบ RUBBING
 ปรPARTICLES ภายใต้การส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์นั้นมักจะมีขนาดเล็กกว่า 15 μm , รูปร่างเป็นแผ่นบางๆ,
 ปรสว่างสดใส (UNDER REFLECTED LIGHT MODE) และมีอัตราส่วนของความยาวต่อความหนาที่มีค่าสูง ใน
 ปรตรงกันข้ามเมื่อเกิดการสึกหรอแบบ SEVERE ADHESIVE WEAR นั้นลักษณะของอนุภาคจะมีขนาดโตกว่า
 ปร μm , มีผิวสีน้ำตาล หรือสีน้ำตาลอันเกิดจากการยึดติดแบบรุนแรงที่อุณหภูมิสูงและรวมไปถึงภาระกรรมทางกล
 ปรความเร็วในการเคลื่อนที่ที่มาสัมผัสกันมีค่ามากๆนั่นเอง อีกประการหนึ่งที่เป็นลักษณะเด่นของอนุภาคชนิดนี้
 ปรจะมีรอยขีดเป็นร่องๆขนานกันบนผิวหน้าของอนุภาคชนิดนี้

กลไกการสึกหรอแบบขูดขีดเป็นร่อง (ABRASIVE WEAR MECHANISM)

การสึกหรอแบบขูดขีดเป็นร่องนี้เกิดจากภาระกรรมทางกลของการถูถูเฉือนออกไปของเนื้อโลหะ โดยที่
 ปรจะเกิดจากการที่มีสิ่งสกปรกแปลกปลอม (CONTAMINANTS) เช่น เม็ดทราย ฝุ่นละออง หรือเม็ดแร่ธาตุที่มี
 ปรแข็งและคม หลุดลอดเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างผิวสัมผัสของโลหะภายใต้ภาระกรรมทางกล อีกรูปแบบหนึ่ง
 ปรกลไกการสึกหรอแบบนี้คือการที่ชิ้นอุปกรณ์สองชนิดที่มีความแข็งแตกต่างกันมากๆเมื่อมีการสัมผัสกันและ
 ปรไอน์ที่ไปด้วยความเร็วกับภาระกรรมทางกล ชิ้นอุปกรณ์ที่มีความแข็งมากกว่าก็จะขูดขีดชิ้นอุปกรณ์ที่อ่อนตัวกว่า
 ปรเป็นร่อง ผลที่เกิดขึ้นจากกลไกการสึกหรอแบบนี้จะทำให้เกิดอนุภาคการสึกหรอเป็นเส้นเล็กๆเหมือนเส้นด้ายที่

ขดตัวโค้งงอในรูปแบบต่างๆ หรืออาจจะเปรียบเทียบได้กับเศษโลหะที่เกิดจากการกลิ้งขกเว้นเสียแต่ว่ามีขนาดที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าเท่านั้นเอง โดยทั่วไปแล้วอนุภาคแบบนี้จะมีขนาดตั้งแต่ประมาณ 5 μm และในบางกรณีอาจจะยาวกว่า 100 μm ก็เป็นไปได้ โดยเฉลี่ยจะมีความกว้างประมาณ 2-5 μm และในบางครั้งอาจจะมีผิวสีฟ้าแกมน้ำเงิน หรือสีน้ำตาลอมส้มซึ่งแสดงถึงช่วงของความร้อนในขณะถูกฟอร์มตัว การที่ตรวจพบอนุภาคการสึกหรอชนิดนี้ในจุดที่บ่งชี้ว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นในระบบการทำงานของเครื่องจักร และควรมีการติดตามสภาพต่อไปอย่างใกล้ชิด

การสึกหรอเนื่องจากการล้า (FATIGUE WEAR MECHANISM)

การสึกหรอแบบนี้เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นเนื่องจากผิวสัมผัสของชิ้นส่วนอุปกรณ์ได้รับภาระกรรมทางกลกระทำเป็นคาบ (CYCLIC LOAD) เป็นระยะเวลานานๆ และทำให้เกิดการล้าขึ้นได้ทั้งในบริเวณผิวและภายในชิ้นงาน ตัวอย่างที่เกิดจากกลไกการสึกหรอแบบนี้ได้แก่ ในกรณีของตลับลูกปืนแบบโรลเลอร์ (ROLLER BALL BEARING) ซึ่งเมื่อถึงจุดๆหนึ่งอนุภาคการสึกหรอก็จะร่อนหลุดออกมาจากผิวของเม็ดและกรงลูกปืน ด้วยกลไกแบบนี้จะทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื่องในลักษณะของผิวชิ้นงานที่เป็นหลุมลึกหรือรอยร้าวลงสู่ผิวอุปกรณ์และอาจจะก่อให้เกิดการแตกหักเสียหายได้ เช่นในกรณีของเฟืองตรงในกระปุกเฟืองเป็นต้น ลักษณะของอนุภาคการสึกหรอแบบนี้มีหลายรูปแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ เช่นในกรณีของอนุภาคการสึกหรอจากฟันเฟืองก็จะมีรูปร่างที่แปลกๆและไม่สมมาตร (IRREGULAR SHAPED WEAR PARTICLES), อัตราส่วนของความยาวต่อความหนาที่มีค่าค่อนข้างต่ำ (ประมาณ 10: 1) ดังนั้นส่วนใหญ่อนุภาคจะมีลักษณะเป็นก้อน (CHUNKY TYPE WEAR PARTICLES) แต่สำหรับในกรณีของการสึกหรอแบบล้าตัวของตลับลูกปืนก็จะมีชนิดของอนุภาคที่แตกต่างออกไป คืออาจจะมีอนุภาครูปทรงกลมขนาด 1-5 μm เกิดขึ้น รวมทั้งอาจจะมีอนุภาคแบบเป็นแผ่น (ขนาดโตกว่า 15 μm) ที่มีรูปร่างแปลกๆเกิดขึ้นด้วย

การสึกหรอแบบไทรโบ-เคมีคอล (TRIBO-CHEMICAL WEAR MECHANISM)

การสึกหรอแบบนี้เกิดขึ้นจากการที่ชิ้นส่วนอุปกรณ์ได้รับทั้งภาระทางกลและทางเคมีรวมเข้าด้วยกัน โดยที่ส่วนใหญ่แล้วนักวิจัยที่ทำงานเกี่ยวข้องกับงานในด้านนี้ได้จัดเอากลไกการสึกหรอประเภทย่อยๆมารวมไว้ในหัวข้อนี้ เช่นการกัดกร่อน (CORROSION WEAR) การกัดเซาะ (EROSION) และ FRETTING WEAR (FRETTING WEAR ยังไม่มีศัพท์บัญญัติเป็นภาษาไทย) จากข้อเท็จจริงโดยทั่วไปแล้วพบว่าในระบบหล่อลื่นเครื่องจักรจะมีโอกาสที่จะพบกลไกการสึกหรอแบบนี้ค่อนข้างน้อย (น้อยกว่า 5%) รวมทั้งอนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้นมักจะอยู่ในรูปแบบของออกไซด์ของเหล็กในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง เช่น Fe_2O_3 (RED FERROUS OXIDE) หรือ Fe_3O_4 (BLACK FERROUS OXIDE) เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้วในระบบการหล่อลื่นเครื่องจักรด้วยน้ำมันหล่อลื่นนั้นอนุภาคการสึกหรอที่เป็นธาตุเหล็กอิสระ (FERROUS FREE METALLIC WEAR PARTICLES - FFM) และมักจะตกอยู่ในอนุภาคที่เกิดจากกลไกการสึกหรอในสามประเภทแรกคือ ADHESIVE, ABRASIVE และ FATIGUE ดังนั้นในกรณีที่สามารถใช้วิธีการ

ใดๆก็ตามที่ทำให้สามารถบ่งชี้และแยกแยะลักษณะของ FFM จากน้ำมันหล่อลื่นจากรูปร่าง (OUTLINE SHAPE), ลักษณะขอบโดยรอบ (EDGE DETAIL CHARACTERISTICS), สี (COLOUR), ความหยาบบนผิวหน้า (SURFACE TEXTURE), อัตราส่วนความยาวต่อความหนา (THICKNESS RATIO) ก็จะทำให้สามารถประเมินสภาพเครื่องจักรนั้นๆได้โดยไม่ต้องมีการรื้อถอนชิ้นส่วนใดๆของเครื่องจักรเลย[5,6,7] วิธีการของการวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์ (COMPUTER IMAGE ANALYSIS) ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการศึกษาอนุภาคการสึกหรอ

ระบบการวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์ในการวัดการกระจายทางสถิติของอนุภาคการสึกหรอ

จากที่กล่าวมาข้างต้นว่าการศึกษาในเรื่องรูปพรรณสัณฐานของอนุภาคการสึกหรอ (WEAR PARTICLE MORPHOLOGY ANALYSIS) ผู้เชี่ยวชาญ (EXPERTS) ก็จะใช้คุณลักษณะทั้งหกประการของอนุภาคการสึกหรอเพื่อทำการบ่งชี้ถึงกลไกการสึกหรอ อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวต้องอาศัยประสบการณ์ และในบางกรณีอาจที่จะมีการประเมินลักษณะหรือชนิดของอนุภาคที่แตกต่างกันไปได้ทั้งนี้เนื่องจากแต่ละบุคคลมีประสบการณ์และข้อสรุปที่เป็นของตัวเอง ดังนั้นหากมีการนำเอาเทคนิคการวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์มาใช้ในการหาค่าต่างๆของรูปร่างของอนุภาคการสึกหรอออกมาเป็นค่าเชิงปริมาณ ก็จะทำให้การสรุปคำตอบ หรือการสรุปว่าอนุภาคที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นเป็นอนุภาคชนิดใด สามารถกระทำได้อย่างถูกต้องด้วยความเชื่อมั่น และให้ผลลัพธ์ที่คงเดิมเสมอ

ในช่วงระยะเวลา 5-10 ปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์สำหรับระบบการวิเคราะห์ภาพได้มีการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพที่สูงมากขึ้นมาก ในขณะที่ราคาก็ไม่สูงจนเกินไป (ผู้ที่สนใจสามารถหาอ่านรายละเอียดในบรรณานุกรมลำดับที่ 8,9,10,11) รูปที่ 1 แสดงถึงองค์ประกอบของระบบที่ใช้ในการศึกษาอนุภาคการสึกหรอในงานวิจัยนี้ การทำงานโดยสรุปก็คือชุดกล้องจุลทรรศน์ที่สามารถใช้ได้ทั้งในกรณีของแสงสะท้อน (REFLECTED LIGHT) และ แสงส่องผ่าน (TRANSMITTED LIGHT) จากทางด้านล่าง โดยที่มีกล้องวิดีโอ หรือ กล้องซีซีดี (VIDEO OR CHARGED-COUPLE DEVICE (CCD) CAMERA) เป็นตัวรับภาพจากกล้องจุลทรรศน์ แล้วส่งสัญญาณภาพไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยที่เครื่องคอมพิวเตอร์ดังกล่าวจะประกอบไปด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของการวิเคราะห์ภาพที่เหมาะสม นอกจากนี้ระบบการวิเคราะห์ภาพดังกล่าวยังได้ถูกติดตั้งไว้ด้วยโทรทัศน์สี (COLOUR TV MONITOR) ทั้งนี้เพื่อเป็นการสะดวกในการเลือกกลุ่มตัวอย่างของอนุภาคการสึกหรอเพื่อการวิเคราะห์ขนาดต่อไป และค่าขนาดต่างๆที่วัดได้ในเชิงปริมาณที่นำมาใช้ในการแยกแยะสภาวะของการสึกหรอในครั้งนี้ใช้ หน่วยเป็นไมครอน- μm

การทดลองการสึกหรอในห้องทดลอง

การทดลองด้วยแท่นทดสอบ FOUR BALL SLIDING TESTS

โดยการใช้แท่นทดสอบแบบเลื่อนไถลชนิดนี้ถูกบอลล์โลหะ 4 ลูกถูกจัดให้สัมผัสกันในลักษณะของปิระมิด เมื่อมีการเปลี่ยนภาระกรรมจะทำให้ได้อนุภาคการสึกหรอสองประเภทคือ อนุภาคจากภาวะก่อน และ หลังการเกิดแบบรุนแรง (BEFORE AND AFTER SEVERE ADHESIVE WEAR) ในทุกๆการทดลองใช้ลูกบอลล์เหล็กมาตรฐาน AISI 52100 (เทียบเท่าเกรด E_n 31) ขนาด 12.5 มม. ที่ค่าความแข็งประมาณ 800-850 VHN โดยใช้ น้ำมันหล่อลื่นเกรด SAE10 ที่ไม่มีสารปรุงแต่งเลข (BASE OIL, NO EXTREME PRESSURE ADDITIVES) ประมาณ 10 มล. ในแต่ละการทดลอง การทดลองใช้ความเร็วรอบที่ 1500 รอบต่อนาที ภาระกรรมคงที่ที่ 450 นิวตันในการทดลอง มีการแปรเปลี่ยนค่าระยะเวลาในแต่ละการทดลองระหว่าง 5-60 วินาที เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองในระดับภาระกรรม น้ำมันในอ่างน้ำมันทั้งหมดจะถูกถ่ายเก็บไว้ในขวดตัวอย่างน้ำมันและนำไปแยกอนุภาคการสึกหรอออกเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยระบบการวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์ต่อไป ผลจากการหาค่าในเชิงตัวเลขของการกระจายของขนาดอนุภาคการสึกหรอ และนำค่าที่ได้ไปพล็อตบนกระดาษกราฟไวบูลล์ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2 สำหรับรูปที่ 3 และ 4 แสดงถึงลักษณะของอนุภาคตัวอย่างจากภาวะก่อนและหลังการเกิด SEVERE ADHESIVE WEAR จากการทดสอบบนแท่นทดสอบชนิดนี้ตามลำดับ

การทดลองโดยแท่นทดสอบสลีปรिंग (SLIP-RING WEAR TESTS)

ตัวอย่างอนุภาคการสึกหรอในกรณีศึกษานี้ได้มาจากการทดลองในห้องทดลองของบริษัท R.J. Lee Group, Monroeville, Pittsburgh, ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นแท่นทดสอบสลีปรिंगทองคำผสม โดยที่สลีปรिंगประเภทนี้ติดตั้งไว้ในระบบนำร่องของเรือบในกองทัพเรือของประเทศไทย ซึ่งสภาพการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

- หน้ากว้างของสลีปรिंगประมาณ 6-9 มม. เป็นทองคำผสม
- แปรง (BRUSH) เป็นทองคำผสมมีขนาดประมาณ 1 ใน 100 ของนิ้ว
- ภาระกรรมอยู่ระหว่าง 1 ถึง 10 กรัม
- ความเร็วในการทดลองอยู่ระหว่าง 0.016-2 ซม.ต่อวินาที
- ใช้สารหล่อลื่นในทุกการทดลอง

การทดลองประกอบด้วย 9 การทดลองย่อยๆแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลองโดยมีสัญลักษณ์สำหรับแต่ละการทดลองเป็น ET3I01, ET3I02, ET3I03, ET3I05 และ PS3C01, PS3C02, PS3C03, PS3C04, PS3C05 ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจากการสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่ากลไกการสึกหรอที่เกี่ยวข้องในระบบของสลีปรिंगมี 2 ประเภทหลักคือ ABRASIVE และ ADHESIVE WEAR MECHANISMS และจากการศึกษาในครั้งนี้ก็พบเช่นนี้

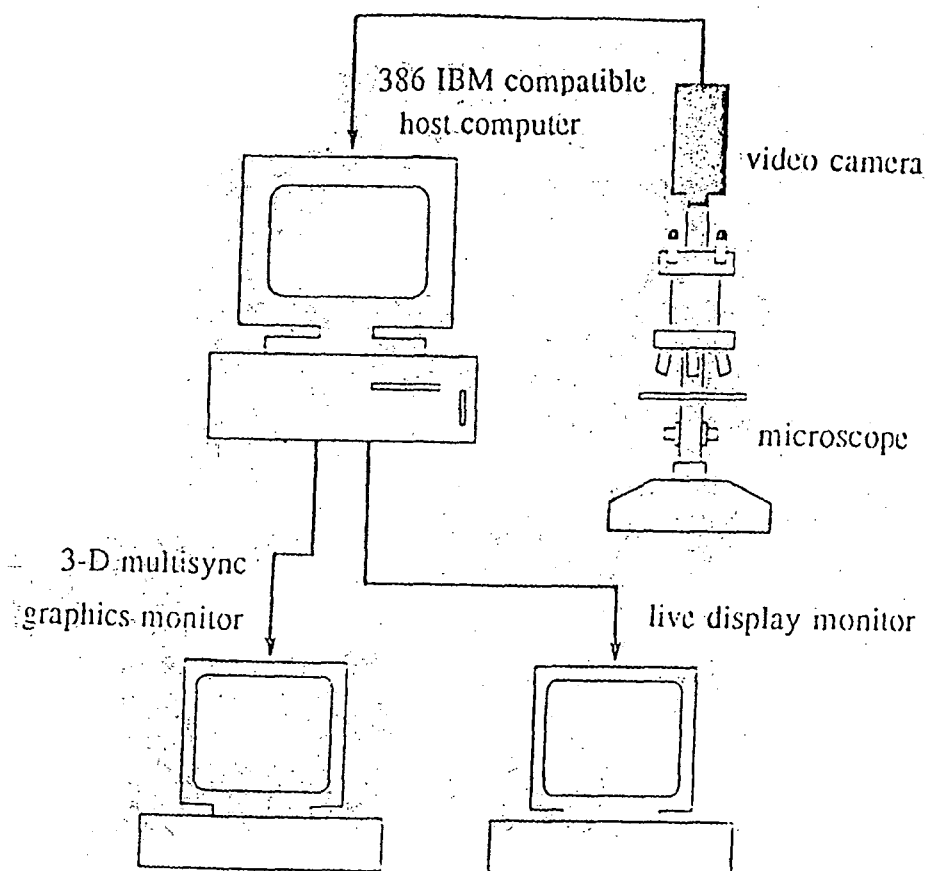
กันว่ามีรูปแบบใหญ่ๆของอนุภาคการสึกหรอ 2 แบบดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6 สำหรับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์การกระจายของขนาดอนุภาคการสึกหรอแล้วใช้ข้อมูลการทดลองทั้งสองชุดดังกล่าวพล็อตลงบนกระดาษกราฟไวบูลล์ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 7 และ 8 ซึ่งผลที่ได้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการวัดค่าต่างๆในการทดลอง เช่นค่าของ Friction torque, Noise level ในแต่ละการทดลอง[15]

ข้อสรุป

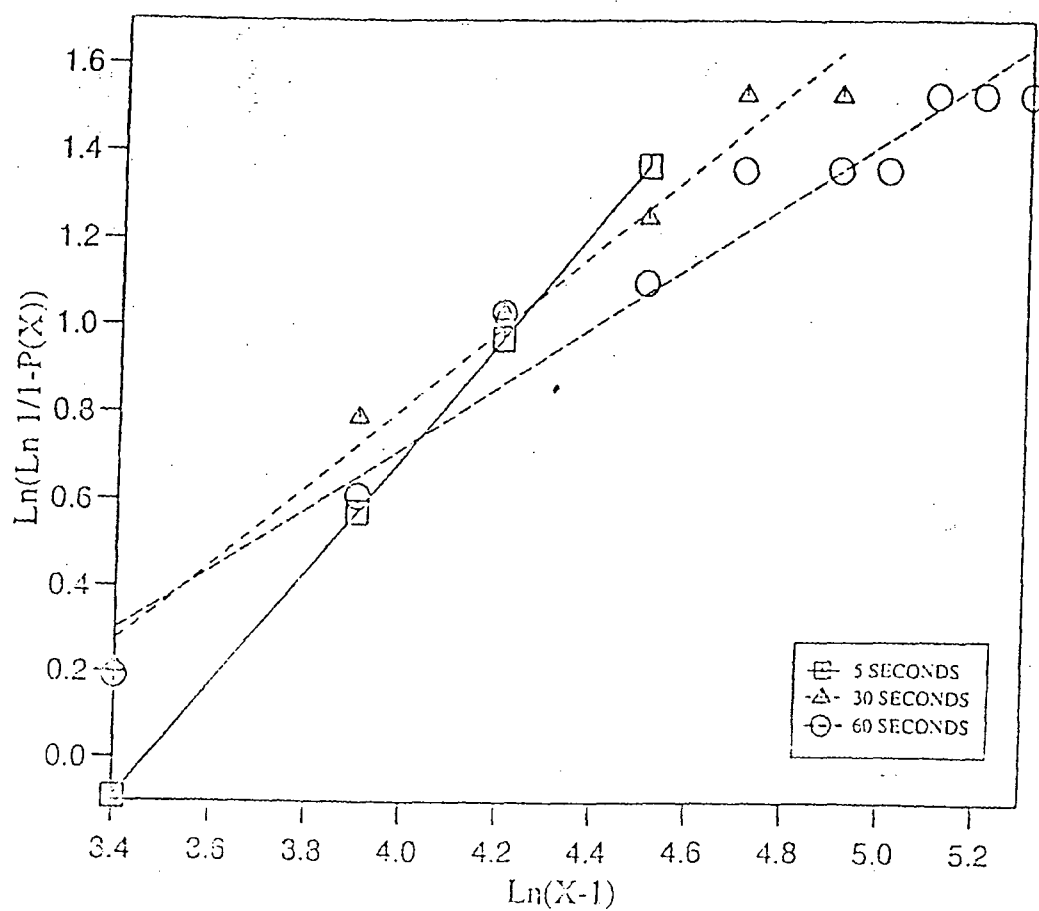
จากการศึกษาอนุภาคการสึกหรอที่นำมาจากแท่นทดสอบทั้งในกรณี FOUR BALL WEAR TESTER และแท่นทดสอบ SLIP-RING โดยการใช้ระบบการวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์นั้น พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้ผลลัพธ์เชิงปริมาณจากการวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการแยกแยะการกระจายของขนาดของอนุภาคที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสึกหรอ และผลที่ได้ก็อาจจะใช้เป็นข้อมูลประกอบในการพิจารณาของวิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุงในการประเมินสภาพเครื่องจักรได้ อย่างไรก็ตามแต่ละระบบการทำงานของเครื่องจักรก็จะมีลักษณะเฉพาะตัว ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบการใช้งาน, ภาระกรรมที่แตกต่าง, ลักษณะการเคลื่อนที่, อุณหภูมิใช้งาน ฯลฯ ซึ่งอาจจะมีผลให้มีการเกิดลักษณะของอนุภาคการสึกหรอที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นการวิจัยค้นคว้าในด้านนี้ยังคงต้องดำเนินต่อไปอีก ไม่ว่าจะเป็นการศึกษาอนุภาคการสึกหรอจากแท่นทดสอบแบบอื่นๆ หรือการเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นจากระบบต่างๆของการใช้งานจริงเพื่อทำการเปรียบเทียบกันว่าอนุภาคที่ได้มาจากทั้งสองลักษณะนั้นมีความเหมือนหรือแตกต่างกันในลักษณะใดบ้าง นอกจากนั้นการศึกษาถึงคุณสมบัติของตัวน้ำมันเองเช่น ค่าความหนืด, ค่ารวมความเป็นกรดและ/หรือค่ารวมความเป็นด่าง เป็นต้น เป็นสิ่งที่ควรดำเนินการศึกษา ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวนี้กำลังอยู่ในขั้นเริ่มต้นที่ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ความก้าวหน้าที่จะเกิดขึ้นในอนาคตนั้นผู้วิจัยคงจะมีโอกาสเสนอให้ทราบตามวาระที่อำนวย

บรรณานุกรม

1. Aronson, R.B., *Wear particles predict machine malfunction*, Machine Design, 48, No.15, p.84-89, 1974.
2. Rabinowicz, E., *Wear*, Scientific American, 206, No.2, p.127-136, February 1962.
3. Scott, D., Seifert, W.W. and Westcott, V.C., *The particles of wear*, Scientific American, 230, No.5, p.88-97, August 1974.
4. Anderson, D.P., *Wear particle atlas*, Naval Air Engineering Center, Lakehurst, NJ08733, USA, 1976.
5. Beddow, J.K., Fong, S.T. and Vetter, A.F., *Morphological analysis of metallic wear debris*, Wear, 58, p.201-210, 1980.
6. Neale, M.J., *A guide to the condition monitoring of machinery*, Her Majesty's Stationary Office, London, 1979.
7. Senholzi, P.B., *Oil analysis/Wear particle analysis*, IMechE Conference Publications, p.113-118, 1978.
8. Uedelhoven, W., Franzl, M. and Guttenger, J., *The use of automated image analysis for the study of wear particles in oil-lubricated tribological system*, Wear, 142, p.107-113, 1991.
9. Swanson, P.A. and Vetter, A.F., *The measurement of abrasive particle shape and its effect on wear*, ASLE Transactions, 28, p.225-230, 1985.
10. Roylance, B.J., Wang, G. and Bovington, C.H., *The determination of particle morphological parameters to assist in elucidation of the wear process*, Proc. of 18th Leeds-Lyon Symposium on Tribology, Lyon, p.285-292, 1991.
11. Seow, S.T. and Kuhnell, B.T., *Computer aided diagnosis of wear debris*, Proc. of 3rd Bath International Fluid Power Workshop on Computers in Fluid Power, Bath University, p.124-136, 1990.
12. Wang, G.L., *The running-in wear of automotive cam and follower systems used for lubricant testing and development*, PhD Dissertation, University of Wales, February, 1991.
13. Roylance, B.J., *Determination of particle shape by image analysis*, Report No.90/709, Swansea Tribology Centre, February, 1990.
14. Raadnui, S., *The utilisation of computer image analysis for wear particle analysis*, PhD Dissertation, April, 1995.



รูปที่ 1 แสดงระบบการวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์



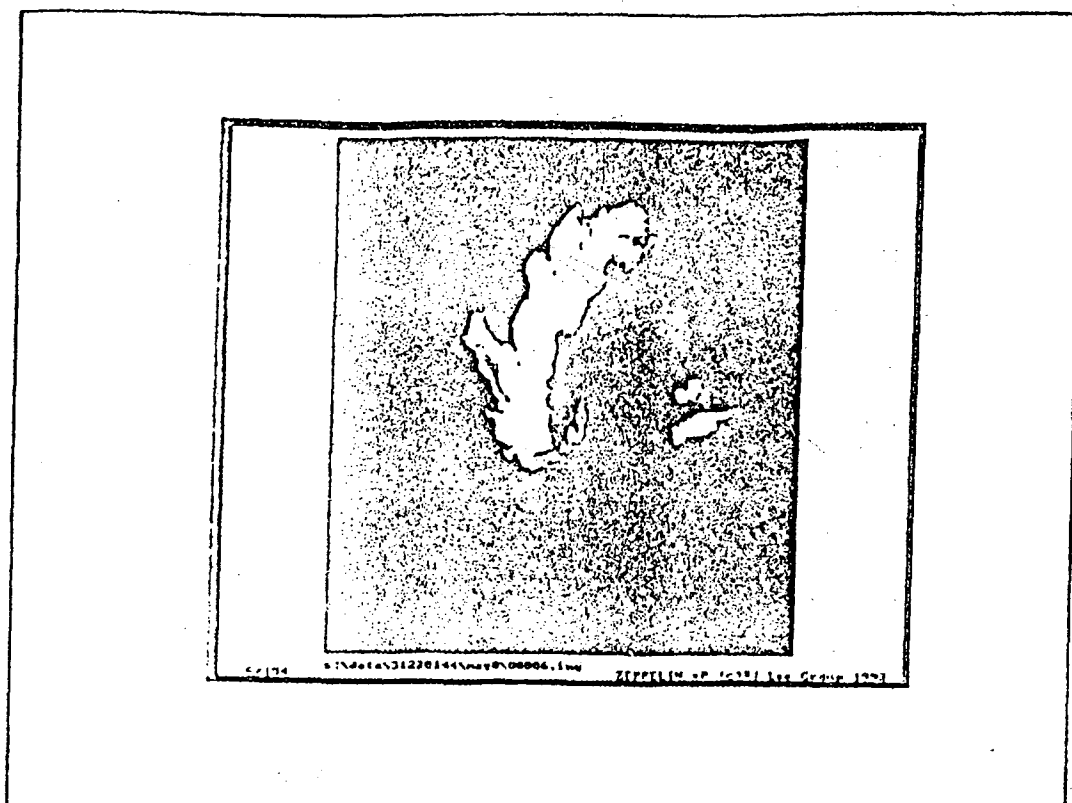
รูปที่ 2 แสดงการกระจายทางสถิติแบบไวบูลล์ของขนาดอนุภาคการสีกหรือ



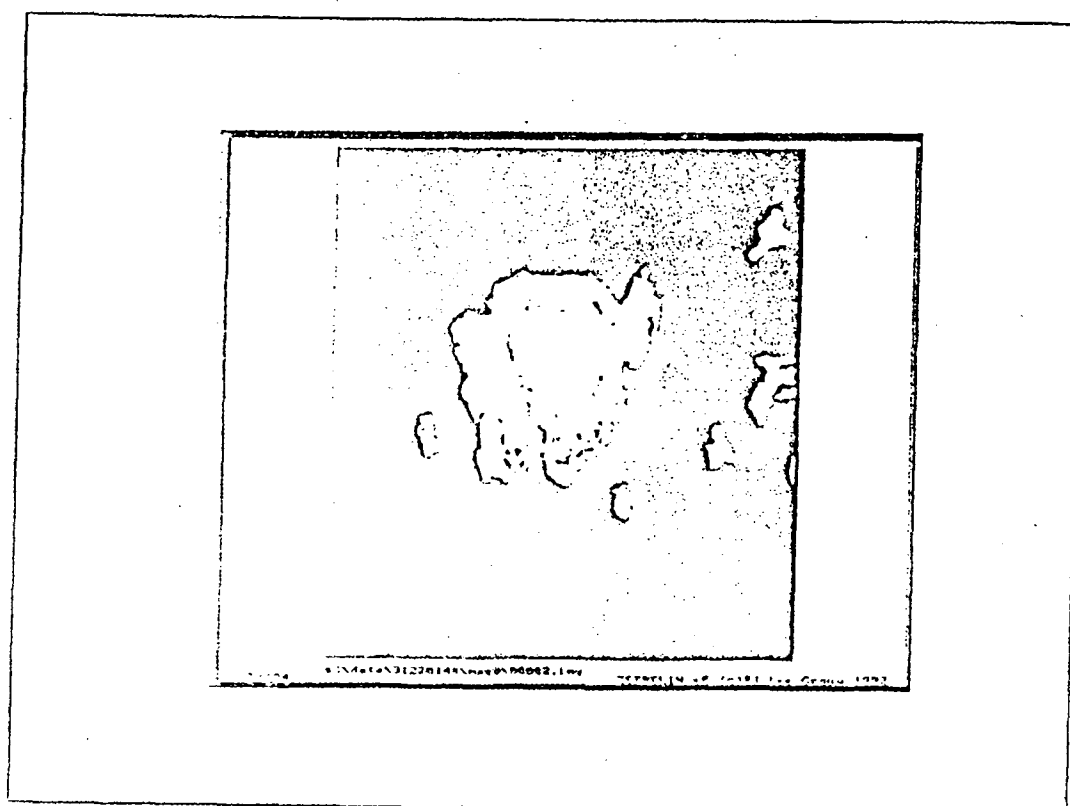
รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างของอนุภาคการสึกหรอ - สภาวะก่อน SEVERE ADHESIVE WEAR



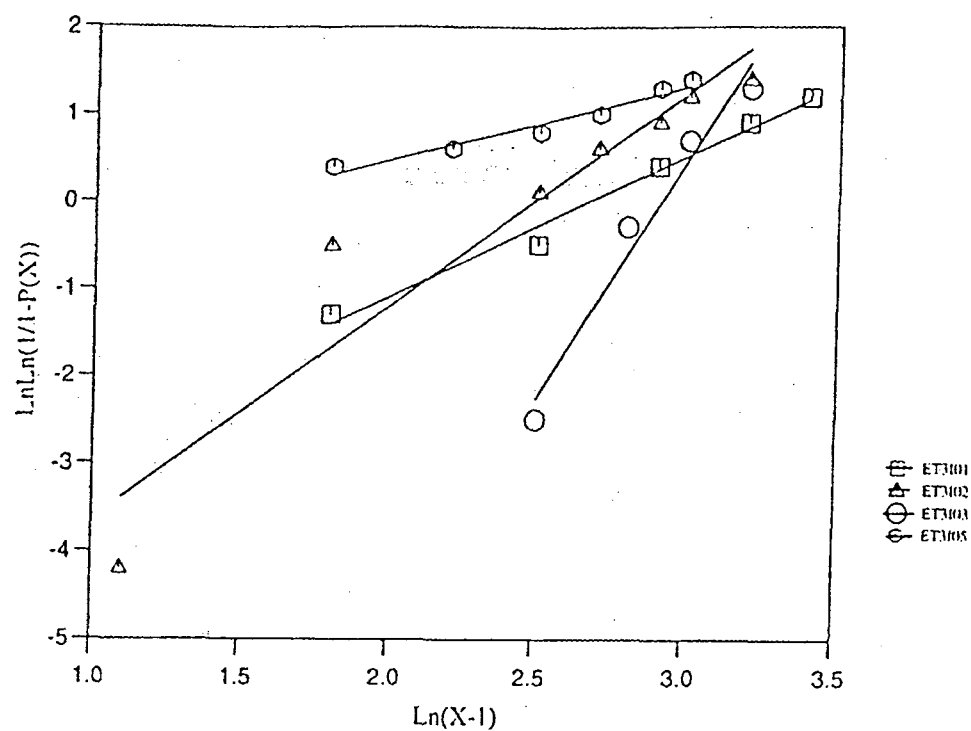
รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างของอนุภาคการสึกหรอ - สภาวะหลัง SEVERE ADHESIVE WEAR



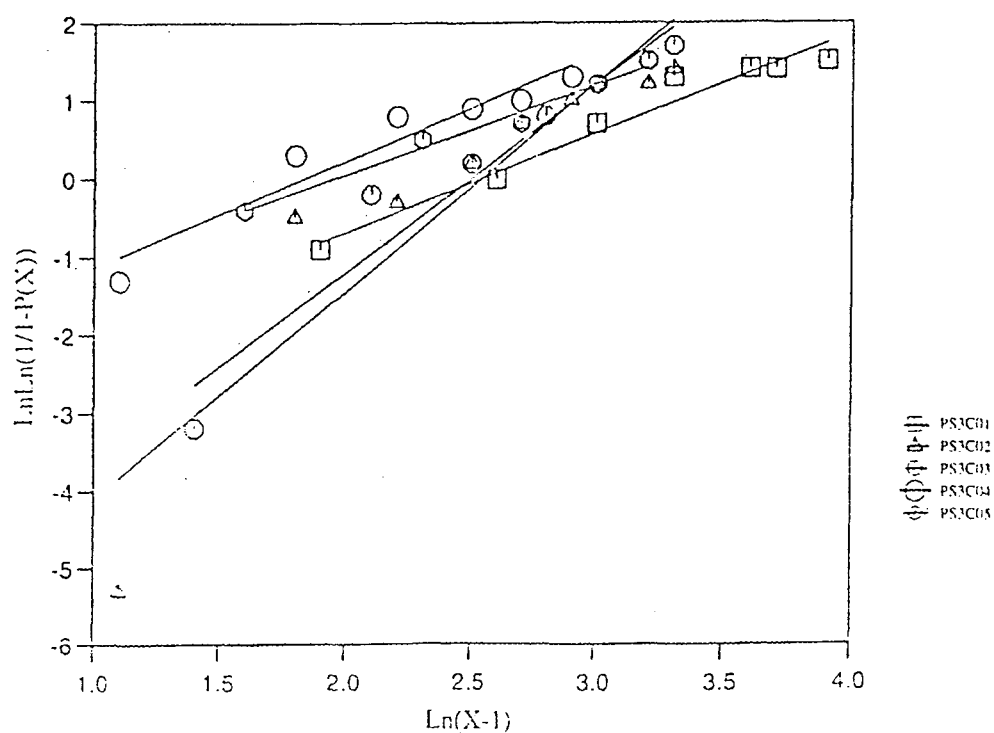
รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างของอนุภาคการสึกหรอแบบ ABRASIVE จากแท่นทดสอบสลีปริง



รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างของอนุภาคการสึกหรอแบบ ADHESIVE จากแท่นทดสอบสลีปริง



รูปที่ 7 แสดงกราฟแบบไวกบูลต์ของการกระจายทางสถิติของอนุภาคการสีกหรือ
(ชุดทดลอง ET3I01-ET3I05)



รูปที่ 8 แสดงกราฟแบบไวกบูลต์ของการกระจายทางสถิติของอนุภาคการสีกหรือ
(ชุดทดลอง PS3C01-PS3C05)