

การปรับปรุงคุณภาพผิววัสดุทางการแพทย์เพื่อลดการสึกหรอ Improvement of biocompatible material's surface for wear reduction

ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ¹* และ ชัญญาพันธ์ วิรุพหิศรี¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

* ติดต่อ: E-mail: pairat.t@chula.ac.th โทรศัพท์: 02 218 6748-9, โทรสาร: 02 252 2889

บทคัดย่อ

ผู้ป่วยจากการผ่าตัดเปลี่ยนสะโพกเทียมส่วนใหญ่ต้องประสบปัญหาการผ่าตัดซ้ำเนื่องจากเกิดการหลุดหลวมบริเวณหัวสะโพกเทียม ซึ่งมีสาเหตุหลักจากการสึกหรอของคู่สัมผัสโลหะที่สามารถใช้ในร่างกายมนุษย์ (Biocompatible Grade) เช่น โคบอลท์-โครม (Cobalt-Chrome) ไทเทเนียม (Titanium) และสแตนเลสสตีล (Stainless Steel) กับพลาสติก UHMWPE (Ultra high molecular weight polyethylene) และการผ่าตัดแต่ละครั้งยังมีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นการแก้ปัญหาการหลุดหลวมของหัวสะโพกเทียมจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการสึกหรอในหัวสะโพกเทียมคือ การสึกหรอเนื่องจากการขัดเจียนกันของวัสดุ (Abrasive wear) และการสึกหรอเนื่องจากการยึดติดกันของวัสดุ (Adhesive wear) จากการศึกษาพบว่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นจะมีจุดที่เหมาะสม (Optimum point) ทำให้เกิดการสึกหรอของพลาสติก UHMWPE น้อยที่สุด เมื่อทำการทดสอบโดยใช้คู่สัมผัสคือสแตนเลสสตีลและพลาสติก UHMWPE พบว่าจุดที่เหมาะสมนี้เกิดเมื่อ สแตนเลสสตีลมีค่าความหยาบผิว (Roughness) ประมาณ 0.13 ไมโครเมตร เมื่อใช้พลาสติก UHMWPE ที่ค่าความหยาบผิว 1.3 ไมโครเมตร เมื่อลดค่าความหยาบผิวของสแตนเลสสตีลให้มีค่าน้อยกว่า 0.13 ไมโครเมตรจะเกิดการสึกหรอมากขึ้นเนื่องจากเกิดการสึกหรอแบบยึดติด ในขณะที่เพิ่มค่าความหยาบผิวของสแตนเลสสตีลให้มีค่ามากกว่า 0.13 ไมโครเมตร จะเกิดการสึกหรอมากขึ้นเช่นกัน เนื่องจากเกิดการสึกหรอแบบขัดเจียน นอกจากนี้เมื่อทดสอบโดยกำหนดค่าความหยาบผิวของพลาสติก UHMWPE ให้มากขึ้นและน้อยลงในช่วงที่เกิดการสึกหรอแบบยึดติดพบว่าค่าความหยาบผิวที่มากขึ้นส่งผลต่อการสึกหรอของคู่สัมผัสโดยเกิดการสึกหรอน้อยกว่า Optimum point ซึ่งเป็นผลดีในการลดการสึกหรอที่เกิดกับหัวสะโพกเทียมได้มากขึ้นไปอีก อันเป็นการลดโอกาสในการหลุดหลวม และลดปัญหาการผ่าตัดซ้ำ

คำหลัก: ข้อสะโพกเทียม การสึกหรอ วัสดุทางการแพทย์

Abstract

The objective of this research is to study the cause of wear in hip prosthesis and to find methods to improve its surface in order to reduce wear. The study show that the wears occur in plastic used for hip prosthesis are mainly abrasive wear and adhesive wear. There is an optimum point in the wear test where the least value of wear occurs. The optimum point is found at roughness of 0.13 and 1.3 micrometer for stainless steel 316L and UHMWPE accordingly. Reducing stainless steel roughness below

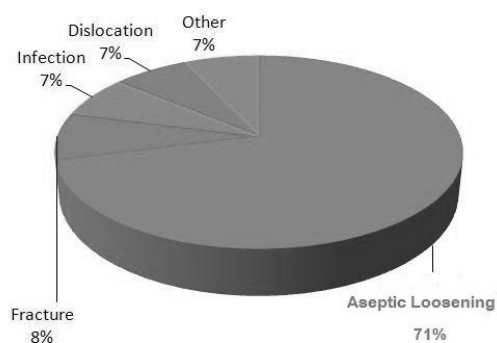
the optimum point, the adhesive wear become more dominant. While increasing the roughness cause the abrasive to dominate. After the preliminary result, further test is conducted by reducing and increasing UHMWPE roughness in the adhesive dominant zone. The result yields that more roughness can effectively lower the adhesive wear therefore reduce the total wear rate. These findings can lead to the reduction of aseptic loosening and revision. Moreover, they can be a beginning toward future hip prosthesis production in Thailand.

Keywords: Hip prosthesis, Wear, Biocompatible material.

1. บทนำ

ปัญหาเกี่ยวกับสะโพกเกิดขึ้นมากกับประชากรทั่วโลก อาจมีสาเหตุมาจากการประสบอุบัติเหตุ การเสื่อมสภาพของหัวสะโพกเนื่องจากอายุที่มากขึ้น หรือการใช้งานสะโพกที่ไม่เหมาะสมในชีวิตประจำวัน

ในประเทศไทยก็เช่นเดียวกันพบว่าประชากรไทยมากกว่า 100,000 คน/ปี [1] ความจำเป็นต้องผ่าตัดเปลี่ยนสะโพกเทียม แต่ด้วยต้นทุนค่าผ่าตัดและการนำเข้าข้อสะโพกเทียมมีค่าใช้จ่ายที่สูงมากซึ่งประมาณ 1 แสนบาท ทำให้มีผู้ป่วยจำนวนน้อยรายที่มีโอกาสได้รับการผ่าตัดนี้ และเมื่อผ่าตัดไปแล้วระยะหนึ่งพบว่าผู้ป่วยบางรายเกิดอาการปวดหรืออาการแทรกซ้อนอื่นๆตามมา ทำให้ต้องผ่าตัดซ้ำอีกครั้ง โดยมีสาเหตุหลักจากการหลุดหลวมของสะโพกเทียม (Aseptic Loosening) คิดเป็น 71% ของผู้ป่วยที่เข้ารับการผ่าตัดซ้ำ [2] ดังแสดงในรูปที่ 1



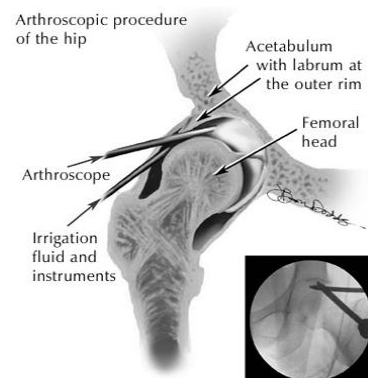
รูปที่ 1 แสดงสาเหตุการผ่าตัดซ้ำ
ของผู้ที่ใช้สะโพกเทียม

การหลุดหลวมนี้มีสาเหตุจากการสึกหรอของคู่สัมผัสบริเวณหัวสะโพกเทียม ดังนั้นการแก้ไขปัญหาคือการหลุดหลวมของข้อสะโพกเทียมจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับสะโพก

กระดูกสะโพกประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือส่วนหัวกระดูกต้นขา (femur) มีลักษณะคล้ายลูกบอล และส่วนเบ้าสะโพก (acetabulum) ซึ่งกลไกการทำงานของสะโพกมีลักษณะคล้ายกับการหมุนของลูกบอลที่อยู่ในเบ้า ทำให้เคลื่อนไหวได้ทุกทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบสะโพก

สะโพกเทียมแบ่งออกเป็นสองชนิด คือ

1. สะโพกเทียมแบบโททอล (Total Hip) ซึ่งมีทั้งก้านสะโพก ส่วนเบ้าสะโพกและส่วนหัวสะโพก ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 สะโพกเทียมแบบโททอล

2. สะโพกเทียมแบบพาร์เชียล (Partial Hip) ซึ่งมีเฉพาะส่วนก้านสะโพกกับหัวสะโพก และหัวสะโพกก็แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ แบบยูนิโพลาร์ (Unipolar head) และแบบไบโพลาร์ (Bipolar head) ดังแสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 5 ตามลำดับ



รูปที่ 4 หัวสะโพกเทียมแบบยูนิโพลาร์



รูปที่ 5 หัวสะโพกเทียมแบบไบโพลาร์

2.2 การสึกหรอที่เกิดขึ้นในหัวสะโพกเทียม

การสึกหรอ (Wear) คือ ความเสียหายบนพื้นผิวของของแข็ง เกิดในวัสดุที่มีการเสียดสีสัมผัสหรือทำปฏิกิริยากัน เมื่อแรงที่กระทำกับผิวนั้นเกินกว่าค่าความแข็งแรงของแอสเพอริตี (Asperities) คือยอดแหลมของความหยาบผิว (Roughness) ที่ยื่นออกมาจากวัสดุจะทำให้เกิดการยุบตัวและเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ก็จะทำให้แอสเพอริตีถูกฉีกออก

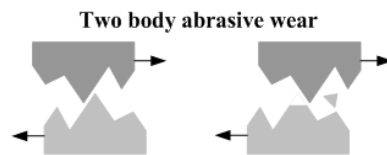
การสึกหรอของสะโพกเทียมมีอยู่หลายสาเหตุโดยสาเหตุหลักของการสึกหรอในหัวสะโพกเทียมของคู่สัมผัสโลหะกับพลาสติก UHMWPE มี 2 ลักษณะ คือ การสึกหรอจากการตัดเฉือน (Abrasive wear) และการสึกหรอจากการยึดติด (Adhesive wear)

2.2.1 การสึกหรอเนื่องจากการตัดเฉือนกันของวัสดุ (Abrasive Wear)

การสึกหรอประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อมีวัสดุที่มีความแข็งมากกว่าเคลื่อนไปบนวัสดุที่อ่อนกว่าเป็นผลให้เกิดการสึกหรอบนพื้นผิวของวัสดุที่อ่อนกว่า โดยเกิดได้สองสถานะ คือ

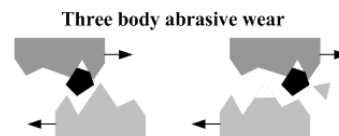
1) การตัดเฉือนของวัสดุสองชิ้น (Two Body Abrasive)

สถานะนี้เกิดขึ้นเมื่อมีวัสดุที่ผิวแข็งกว่าถูไปบนวัสดุที่ผิวอ่อนกว่า ทำให้วัสดุที่ผิวอ่อนกว่าหลุดออกมาเนื่องจากความแข็งแรงน้อยกว่าดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 กลไกการสึกหรอของวัสดุแบบสองวัสดุ

2) การตัดเฉือนกันของวัสดุ 3 ชนิด (Three Body Abrasive) เกิดขึ้นเมื่อมีวัตถุแปลกปลอมมาคั่นกลางอยู่ระหว่างคู่ผิววัสดุสองชิ้นถูกกันไปมาดังแสดงในรูปที่ 7 โดยเศษวัตถุที่คั่นกลางระหว่างผิวสัมผัสของวัสดุทั้งสองนั้น อาจเป็นวัตถุแปลกปลอมจากภายนอกกระบบหรือวัตถุที่เกิดจากความเสียหายจากการขัดสีกันระหว่างวัสดุคู่สัมผัสในตอนแรกแล้วหลุดออกมาอยู่ระหว่างผิวสัมผัสของวัสดุทั้งสองในตอนหลัง

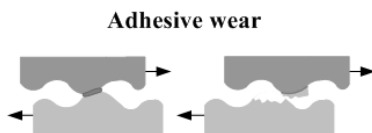


รูปที่ 7 กลไกการสึกหรอของวัสดุแบบสามวัสดุ

2.2.2 การสึกหรอเนื่องจากการยึดติดกันของวัสดุ (Adhesive Wear)

การสึกหรอแบบนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการที่พื้นผิวของวัสดุสองชิ้นเคลื่อนผ่านกันโดยมีแรงกดที่มากเพียงพอจนทำให้เกิดการยึดติดกันของเนื้อวัสดุทั้งสอง

โดยแรงกดนี้เป็นแรงที่ทำให้ความเค้น (Stress) ระหว่างผิวหน้าของพื้นผิววัสดุเกินกว่าความเค้นที่จุดคราก (Yield Point) ของวัสดุนั้นๆ จึงทำให้ผิวหน้าของวัสดุของชิ้นที่แข็งแรงน้อยกว่าหลุดติดอยู่ระหว่างวัสดุทั้งสองดังแสดงในรูปที่ 8

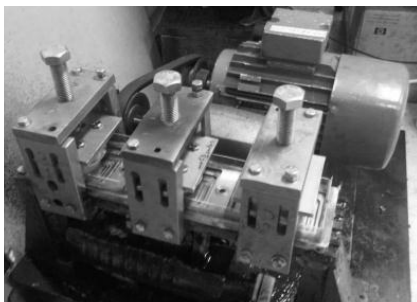


รูปที่ 8 กลไกการสึกหรอแบบยึดติดของวัสดุ

3. การเตรียมการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องทดสอบการสึกหรอดังรูปที่ 9
2. ประแจทอร์ก (Torque wrench)
3. เซอร์มิเล็ดลูกว้าว
4. น้ำกลั่นชนิด RO (Reverse Osmosis)
5. ชิ้นงานสแตนเลสสตีล 316L
6. ชิ้นงานพลาสติก UHMWPE
7. เครื่องชั่งมวลยี่ห้อ Mettler รุ่น AB204 (ความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม)



รูปที่ 9 เครื่องทดสอบการสึกหรอ

3.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

3.2.1 การเตรียมชิ้นงานสแตนเลสสตีล 316L

1. นำแผ่นสแตนเลสสตีล 316L เข้าเครื่องกัด (Milling) เพื่อทำการกัดขอบสี่ด้านให้ได้ขนาดชิ้นงาน 82x45 มิลลิเมตร

2. เจียรแผ่นชิ้นงานที่ได้ เพื่อทำการลบมุม ดังรูปที่ 10

3. นำกระดาษทรายมาขัดเพื่อทำความสะอาดชิ้นงานก่อนที่จะนำไปเข้าเครื่องขัดเพื่อกำหนดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานตามที่ต้องการ

4. วัดค่าความหยาบผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว (Surfcom 1400D ACCRETECH-TOKYO SEIMITSU: Straightness accuracy 50 นาโนเมตร) ให้มีค่าความหยาบผิวตามที่ได้ออกแบบไว้ (ค่าคลาดเคลื่อน ± 50 นาโนเมตร)



รูปที่ 10 ชิ้นงานสแตนเลสสตีล 316L

3.2.2 การเตรียมชิ้นงาน UHMWPE

1. กลึงชิ้นงานพลาสติก UHMWPE ให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 34 มิลลิเมตร

2. ปาดหน้าชิ้นงานพลาสติก UHMWPE โดยใช้ความเร็วในการป้อนใบมีดที่ค่า 0.02 มิลลิเมตร/รอบ, 0.1 มิลลิเมตร/รอบ, 0.4 มิลลิเมตร/รอบตามลำดับเพื่อกำหนดค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

3. ตัดแต่งชิ้นงานพลาสติก UHMWPE ให้ได้ความยาว 30 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 11

4. วัดค่าความหยาบผิวด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว (ค่าคลาดเคลื่อน ± 50 นาโนเมตร)



รูปที่ 11 แท่งพลาสติก UHMWPE

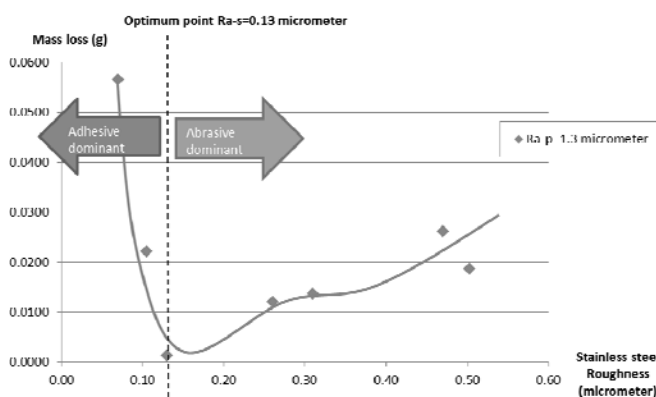
4. การทดลอง

4.1 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักชิ้นงานพลาสติก UHMWPE ก่อนการทดสอบ จากนั้นใส่สแตนเลสสตีล 316L และ UHMWPE ในเครื่องทดสอบ
2. ใส่ตัวกลางของเหลว 200 มิลลิลิตร ในแท่นรองรับ ให้ท่วมหน้าสัมผัสของสแตนเลสสตีล และ ชิ้นงานพลาสติก UHMWPE
3. ปรับสเกลของประแจเทอร์ไวท์ 73.5 ปอนด์-นิ้ว (เพื่อให้ค่าแรงกดบนชิ้นงานประมาณ 3000 นิวตัน)
4. เปิดสวิตช์เพื่อเริ่มการทำงานของเครื่องทดสอบ
5. ทำการทดสอบการสึกหรอต่อเนื่องเป็นเวลานาน 20 ชั่วโมง
6. เมื่อทำการทดสอบครบ 20 ชั่วโมงแล้ว ชั่งน้ำหนักชิ้นงานทดสอบอีกครั้ง

4.2 ผลการทดลองและอภิปราย

การสึกหรอของชิ้นงานพลาสติก UHMWPE ในช่วงที่สแตนเลสสตีลมีค่าความหยาบผิวต่ำจะเกิดการสึกหรอในอัตราสูงและค่อย ๆ ลดลง จนถึงที่ค่าความหยาบผิวประมาณ 0.13 ไมโครเมตร เป็นจุดที่มีการสึกหรอของชิ้นงานพลาสติก UHMWPE ต่ำที่สุด จากนั้นการสึกหรอก็ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 กราฟแสดงผลการทดสอบการสึกหรอระหว่างสแตนเลสสตีลที่ค่าความหยาบผิวระหว่าง 0.07 – 0.5 ไมโครเมตร และพลาสติก UHMWPE ที่ค่าความหยาบผิว 1.3 ไมโครเมตร

ในกรณีที่สแตนเลสสตีลที่มีค่าความหยาบผิวน้อยจะทำให้เกิดการสึกหรอแบบการยึดติดกันของวัสดุมาก เนื่องจากระยะห่างของผิวคู่สัมผัสโดยเฉลี่ยจะอยู่ใกล้กันมาก ทำให้ชิ้นงานพลาสติก UHMWPE หลุดติดไปกับสแตนเลสสตีลได้ง่าย ส่วนที่ค่าความหยาบผิวที่สูง ๆ จะเกิดการสึกหรอแบบตัดเฉือนกันของวัสดุมาก เนื่องจากค่าความหยาบผิวที่มีค่าสูงจะทำหน้าที่เหมือนกับฟันมีดกัดขนาดใหญ่ ทำให้เกิดการตัดเฉือนชิ้นงานมากขึ้น

5. เทคนิคลดการสึกหรอแบบการยึดติดกันของวัสดุ

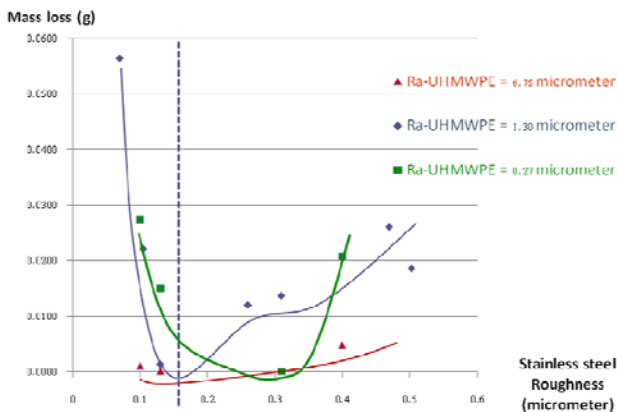
5.1 การออกแบบการทดลอง

จากผลการทดสอบเบื้องต้นในหัวข้อที่ 4 เมื่อพิจารณาในช่วงการสึกหรอแบบการตัดเฉือนกันของวัสดุพบว่าถ้ายิ่งลดความหยาบผิวของสแตนเลสสตีลลง การสึกหรอของชิ้นงานพลาสติก UHMWPE ยิ่งน้อยลงตามจนถึงค่าหนึ่งซึ่งเป็นจุดต่ำสุด ในทางตรงกันข้ามในช่วงการสึกหรอแบบยึดติดกันของวัสดุถ้ายิ่งลดความหยาบผิวของสแตนเลสสตีลลง การสึกหรอของชิ้นงานพลาสติก UHMWPE ก็จะลดลงแต่การทดลองการสึกหรอกลับมากขึ้นดังนั้นแนวความคิดในการลดการสึกหรอคือการลดความหยาบผิวของของสแตนเลสสตีลเพื่อลดกลไกการสึกหรอแบบการยึดติดกันไปพร้อมกับเพิ่มความหยาบผิวของของสแตนเลสสตีลเพื่อลดการสึกหรอแบบการตัดเฉือนไป

5.2 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 13 พบว่า การสึกหรอในช่วงค่าความหยาบผิวของสแตนเลสสตีลในช่วงการสึกหรอแบบยึดติดกันของวัสดุ(การทดลองส่วนแรก) นั้นลดลงเมื่อเพิ่มค่าความหยาบผิวของชิ้นงานพลาสติก UHMWPE จาก 1.3 ไมโครเมตรเป็น 6.75 ไมโครเมตร แต่การสึกหรอเพิ่มมากขึ้นเมื่อลดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานพลาสติก UHMWPE ให้มีค่าเท่ากับ 0.27 ไมโครเมตร เมื่อเพิ่มค่าความหยาบผิวของชิ้นงานพลาสติก UHMWPE พบว่าการสึกหรอ

ลดลง เนื่องจากระยะห่างของผิวคู่สัมผัสโดยเฉลี่ยนั้น เพิ่มขึ้นจากเดิมทำให้ผิวของชิ้นงานพลาสติก UHMWPE หลุดติดไปกับสแตนเลสสตีลได้ยากมากขึ้น แต่เมื่อลดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานพลาสติก UHMWPE พบว่าการสึกหรอเพิ่มมากขึ้นเนื่องจาก ระยะห่างของผิวคู่สัมผัสโดยเฉลี่ยลดลงจากเดิม ทำให้ ผิวของชิ้นงานพลาสติก UHMWPE หลุดติดไปกับสแตนเลสสตีลง่ายขึ้น



รูปที่ 13 กราฟแสดงการสึกหรอของ UHMWPE ที่ค่าความหยาบผิวต่างๆ เมื่อเสียดสีกับสแตนเลสสตีล ที่ค่าความหยาบผิว 0.07 – 0.5 ไมโครเมตร

6. สรุปผลการทดลอง

1. การสึกหรอของชิ้นงานพลาสติก UHMWPE เมื่อนำไปเสียดสีกับสแตนเลสสตีลที่มีค่าความหยาบผิวต่างกัน จะมีจุดๆหนึ่งซึ่งเป็นจุดที่เกิดการสึกหรอต่ำที่สุด แสดงถึงการเปลี่ยนลักษณะของการสึกหรอแบบยึดติดที่ค่าความหยาบผิวน้อย ไปสู่แบบตัดเฉือนที่ค่าความหยาบผิวมาก

2. การสึกหรอของชิ้นงานพลาสติก UHMWPE ในช่วงการสึกหรอแบบยึดติดกันของวัสดุสามารถลดลงได้โดยการเพิ่มความหยาบผิวของชิ้นงานพลาสติก UHMWPE

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Royal Thai Air Force, Ministry of Defence (Thailand), *Statistic Data*, URL: <http://www.rtaf.mi.th/rtafnews/rtafnewsdetail.asp?id=821>, access on 01/01/2011.

[2] Thai Birmingham Hip Resurfacing, Police Hospital, Royal Thai Police, Ministry of Public Health, URL: <http://www.thaibhr.org/faqs.php>, access on 01/01/2011.