내저온열화 특성을 갖는 지르코니아/알루미나 복합세라믹의 마멸평가

김환[1], 이권용[1,2], 김대준[2], 이명현[3], 서원선[3]

[1]세종대학교 기계공학과, [2]세종대학교 의공학연구소, [3]요업(세라믹)기술원 신소재분석평가팀,
전화: (02)3408-3281, **FAX**: (02)3408-3333, **E-mail**: kwonlee@sejong.ac.kr

Kim H[1], Lee, KY[1,2], Kim DJ[2], Lee, MH[3], Seo, WS[3]

[1]Dept. of Mechanical Engineering, Sejong University,
[2]Dept. of Bioengineering Research Center, Sejong University,
[3]Advanced Material Analysis and Evaluation Team, KICET, Seoul, Korea

Abstract— Ceramic femoral heads in the total hip replacement have been developed to reduce the polyethylene liner wear. Alumina and zirconia (3Y-TZP) are using in clinical application worldwide and there are many good test reports. However, alumina has a risk of catastrophic failure, and zirconia has the low temperature degradation in spite of enhanced fracture toughness. Recently, novel zirconia/alumina composite having low temperature degradation-free character and high fracture tough was developed and it leads the lower wear of polyethylene than alumina and zirconia.

In the present study, in order to optimise the microstructure of low temperature degradation (LTD)-free zirconia/alumina composite for the best wear resistance of polyethylene, various compositions of (LTD)-free zirconia/alumina composites were fabricated, and the sliding wear of UHMWPE against these novel composites were examined and compared with that against alumina and zirconia ceramics used for total hip joint heads.

Key words - Zirconia/Alumina composite, Low temperature degradation-free, Femoral head, Polyethylene wear.

1. 서 론

인공 고관절 치환술이 1960년대 시작된 이래로 지금까지 매우 성공적으로 시행되어 왔으며, 의학 발달에 의한 노년 층 평균 수명의 연장과 교통사고나 격렬한 운동을 통한 젊은 층 환자의 증가로 인해 그 수요가 증가하고 있는 추세다. 고관절 치환 수술은 골 관절염이나 류마티스성 관절염과 같은 퇴행성 질병, 무혈성 괴사, 골수암, 그리고 사고에 의한 고관절의 외상 등을 치료하여 환자들의 고통을 완화시키며 관절의 기능을 획기적으로 회복시킨다[1-2]. 고관절 치환에 사용되는 인공고관절의 수명은 주로 고관절 골두와 마찰을 일으키는 초고분자량 폴리에틸렌(UHMWPE) 비구컵의 마멸율에 따라 결정된다. 이러한 UHMWPE 마멸량을 최소화시키기 위해 새로운 조성의 비구컵과 골두재료의 개발이 요구된다. 인공 관절에 쓰이

는 대표적인 생체재료들은 Ti 합금, Co-Cr 합금, PMMA bone cement, 초고분자량 폴리에틸렌 (UHMWPE), 세라믹 등이다. 이중 인공 고관절 치환술에서 femoral head의 재료는 주로 Co-Cr alloy가 사용되어 왔으며, 최근에 폴리에틸렌 비구컵과의 접촉에서 마멸 입자의 생성을 줄이기 위한 노력으로 알루미나 골두가 개발되어 사용되고 있으며 또한, 알루미나 세라믹 보다 파괴인성이 좋은 지르코니아를 사용한 골두도 개발되어 사용되고 있다. 지르코니아는 서유럽에서 시술되는 년간 36만 건의 고관절 수술에서 약 20%에 해당하는 골두재료로 사용되며[3] 년간 15만에서 20만 건이 시술되는 미국에서는 약 6%가 지르코니아 골두로 사용되고 있다[4]. 1985년부터 시술된 지르코니아 골두는 현재 약 40만개 이상으로 추정된다.

지르코니아 골두의 일반적인 조성은 97 mol% ZrO_2와 3 mol% Y_3O_3 (3Y-TZP)으로 되어 있다. 그러나 이러한 조성을 갖는 지르코니아 골두의 인체안정성은 지르코니아의 저온열화에 의한 급격한 강도저하에 의해 의문이 제기되어 왔다[4-6]. 저온열화는 지르코니아를 100~300℃에서 장기간 열처리 시 정방정상에서 단사정상으로의 자발적인 상전이에 의해 일어나는 것으로 알려져 있다. 상전이에 따른 미세균열들이 시간이 지남에 따라 서로 연합되어 거대 균열로 발전되고 이러한 거대균열이 지르코니아의 강도를 급격히 저하시키는 원인이 된다. 상기 온도 영역 외에도 인체조건에서 저온열화가 일어날 수 있는데 이는 저온열화가 상전이에 관련된 동역학(kinetics)에 의해 결정되므로[7] 인체매식 후 체온 하에서 장기간에 걸쳐 일어날 수 있을 뿐만 아니라 저온열화가 수분 하에서 촉진됨으로[8] 체액이 있는 인체에서 발생될 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 새로이 개발된 내저온열화 특성을 갖는 지르코니아/알루미나 복합체를 대상으로 폴리에틸렌 마멸특성을 평가하여 기존의 알루미나와 지르코니아 골두 재료와 비교 분석하였다.

2. 재료 및 실험방법

2-1. 시편

Pin-on-disk 마멸시험을 위하여 disk 시편은 기존의 지르코니아(3Y-TZP), 알루미나(Al_2O_3)와 저온열화가 일어나지 않는 4가지 조성의 지르코니아/알루미나 복합체를 준비하였다. 4가지 복합체의 조성은 Z/A#1:3Y-TZP/10Vol%Al_2O_3; Z/A#2:3Y-TZP/1mol%Nb_2O_5/3.6mol%CeO_2/20Vol%Al_2O_3; Z/A#3:3Y-TZP/20Vol%Al_2O_3; Z/A#4:3Y-TZP/1.6mol%Nb_2O_5/25Vol%Al_2O_3.

각 분말을 지름 77mm 금속몰드를 이용하여 disk형 시편으로 1차 성형한 후 140MPa의 압력으로 정수압 성형하였다. 성형체는 각 소결조건에서 2시간 동안 유지시켜 소결을 완료하고 로냉하여 시편을 제작하였다. 제조된 시편은 산술표면조도(Ra)가 0.03μm 이하가 되도록 경면 가공하였다. Pin 시편은 압출성형된 초고분자량 폴리에틸렌 봉(GUR 4150HP, Westlake Plastic, 70mm Dia.)으로부터 지름 1cm, 길이 8mm 수직원통형 핀으로 가공하여 사용하였다.

2-2. 실험장치

본 실험을 실시할 때 사용한 Pin-on-disk 마멸 실험장치(Fig.1)는 RPM, TIME, 마찰 접촉면의 길이, 하중 등을 조절할 수 있으며, 하중은 지렛대의 원리에 의해 추의 무게에 3배에 해당하는 하중이 가해지게된다. 상대 미끄럼 운동은 회전반복운동과 직선왕복 운동을 동시에 실시할 수 있으며, 각 운동당 3 stations에서 실험을 실시할 수 있다.

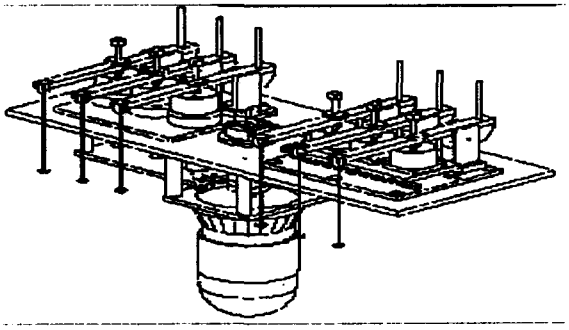

Fig. 1. Pin-on-disk wear taster

2-3. 실험 방법

2-3-1. 시편 준비

Pin 시편 - 준비된 시편을 비누거품과 물을 이용해서 침수시키지 않고 tissue로 깨끗이 세척한 후 Ultrasonic Cleaner (BRANSONIC 5510R-DTH)를 이용하여 15분간 더 세척한다. 60~70℃ 정도의 온도에 5분간 건조시킨 다음 상온에서 15분간 더 건조시킨다. 세척과 건조가 끝난 시편을 저울을 이용해서 초기무게를 측정하였다.

Disk 시편 - Pin 시편의 세척과정과 똑같이 실시하되 무게 측정은 하지 않는다. 건조가 끝난 시편은 Pin-on-disk 마멸실험 장치의 지그에 장착한다.

2-3-2. 윤활액

마멸시험 시 윤활액으로는 3차 증류수를 이용하여 1% sodium azide 용액을 만들고 이를 다시 소 혈청(adult bovine serum)과 체적비가 1:2 되도록 희석한 소 혈청용액을 상온에서 사용하였다.

2-3-3. 마멸 시험

마멸시험은 초고분자량 폴리에틸렌 Pin이 세라믹 disk에 대하여 반복회전 미끄럼(Repeat pass rotational sliding) 및 왕복직선 미끄럼(Linear reciprocal sliding)의 두 가지 기구학적 운동 하에서 수행하였다. 정상 보행 시 평균 고관절 하중에 해당되는 4 MPa의 접촉응력이 정하중에 의하여 일정하게 가해지고, 반복회전 운동과 왕복직선 운동이 1Hz 주기로 1×10^6cycles 동안 지속하였으며, 각 cycle 당 63mm의 거리를 이동하도록 설정하였다. 폴리에틸렌 pin 시편의 마멸량은 전자저울(Sartorius Genius Series ME Models)을 이용하여 10^{-5}g의 정확도로 매 10^5cycles마다 무게의 변화로 측정하였다. 핀 시편이 실험 중에 흡수하는 수분에 의한 무게변화를 측정하는 soak control 실험을 실시하고, 측정 마멸량을 보정하여 실질 마멸량을 결정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

지르코니아, 알루미나, 지르코니아/알루미나 복합체 disk 시편에 대한 폴리에틸렌 Pin 시편의 평균 마멸양이 두 가지 기구운동에 대하여 Fig.2에 나타내어 졌다. 모든 세라믹 disk에 대한 폴리에틸렌 Pin 시편의 마멸량은 실험 전반적으로 선형적인 증가를 나타내었다. 두 가지 기구운동의 경우에는 왕복직선 운동에서의 마멸양이 반복회전 운동에서의 마멸량 보다 모든 시편에서 크게 나타났다. 모든 세라믹 disk 시편을 비교해 봤을 때 미끄럼 운동 상태에서 폴리에틸렌 Pin의 마멸량은 지르코니아/알루미나 복합체 Z/A#1 disk 시편이 가장 적게 나타났다. 또한 내저온열화 특성을 갖는 지르코니아/알루미나 복합체 중에서 지르코니아/알루미나 복합체 Z/A#3가 폴리에틸렌의 마멸량을 가장 많이 발생시켰다.

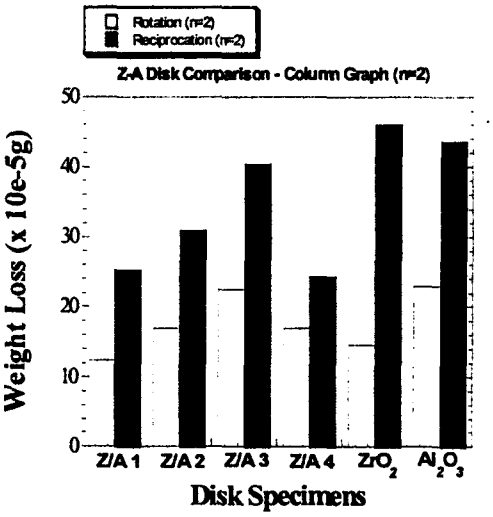

Fig.2 Polyethylene pin wear against all ceramic disks.

마멸시험 이후 각 disk 표면이 관찰되었으며 Fig.3, 4, 5는 각각 지르코니아, 알루미나, 지르코니아/알루미나 복합체 Z/A#1 시편에 대한 표면상태를 나타낸다. 알루미나와 지르코니아 disk의 sliding track에서는 일정 양의 transfer film이

형성된 것을 볼 수 있으나, 지르코니아/알루미나 복합체 disk에서는 거의 형성되지 않았다. Transfer film을 제거하였을 때 알루미나 disk의 표면 거칠기는 증가하였지만 지르코니아 disk와 지르코니아/알루미나 disk의 표면거칠기는 변하지 않았다. 이 현상은 알루미나 세라믹 disk의 표면에서 micro pitting wear가 일어나는 것이 반복되는 접촉하중 하에서 grain boundary가 파손되고 이것이 피로에 의해 더 커지면서 생겨난다는 것을 보여주고 있다. 그리고 지르코니아/알루미나 복합체의 표면 손상이 가장 적게 나타났다.

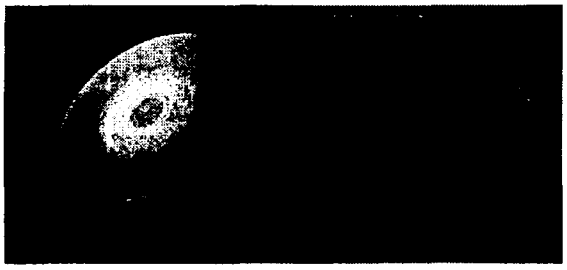

Fig.3. Formation of transfer film of Alumina

Fig.4. Formation of transfer film of Zirconia

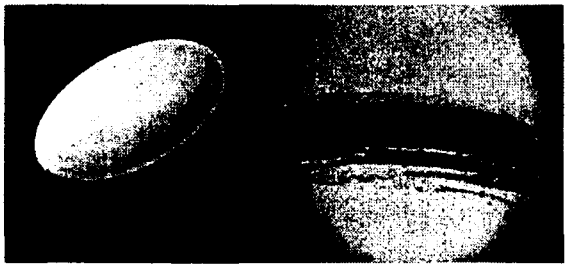

Fig.5. Formation of transfer film of Zirconia/Alumina

4. 맺음말

본 실험결과를 관찰해 보면 폴리에틸렌 Pin의 마멸은 세라믹 재료의 종류와 접촉상태에 밀접한 관계가 있다는 것을 알 수 있다. 결론적으로, 여러 가지 세라믹 재료들을 실험한 결과 폴리에틸렌 Pin의 마멸량이 가장 적게 나타난 것은 지르코니아/알루미나 복합체 Z/A#1이고 이것은 인공 고관절 골두를 대신할 재료로서의 잠재적인 가능성을 보여주는 것이라 할 수 있다.

후 기

본 연구는 산업자원부 차세대신기술개발사업(N11-A08-1402-03-1-3)으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 김대준, 한국세라믹스연감 2000, pp 169-175, 월간세라믹스, 2000.
2. 김대준, 세라미스트 3[3], 32, 2000.
3. J. Briggs: Engineering Ceramics in Europe and The USA (Enceram, UK 1999).
4. FDA: Recall of zirconia ceramic femoral heads for hip implants, (Sep. 13, 2001).
5. FDA: Steam Re-sterilization causes deterioration of zirconia ceramic heads of total hip prosthesis, (Jun. 5, 1997).
6. IC Clarke et. al. Abstract Book of 104th Ann. Meeting of the Am. Ceram Soc., (2002) 73.
7. D.-J. Kim, H.-J. Jung and D.-H. Cho: Solid State Ionics Vol 80 (1995), P. 67.
8. S. Lawson: J. Eur. Ceram. Soc. Vol 15 (1995), p. 485.

논 문 발 표

Session I(B) 마찰 · 마멸

구와 거친표면의 미끄럼 접촉 온도 해석 및 실험에 관한 연구 97

CAM/TAPPET 재료조합에 따른 마찰 · 마모특성 비교 105

경사선로에서의 차륜과 레일간 상호작용에 따른 마모 현상 연구 112

자동차용 Leaf 스프링 재질의 마찰 및 마멸특성 118