

인공추간판의 피로하중 모드에 따른 슬라이딩 코어의 피로균열전파 거동

김철웅*(고려대 기계공학과/유엔아이㈜ 고려대연구소), 강봉수(유엔아이㈜ 고려대연구소)

Fatigue Crack Propagation of Sliding Core in Artificial Intervertebral Disc due to the Fatigue Loading Mode

Cheol-Woong Kim*(Mech. Eng., U&I Research Center, Korea Univ.), Bong-Su Kang(U&I Research Center)

ABSTRACT

Today, the Artificial Intervertebral Disc (AID) is being developed by increasing the oblique of the endplate gradually. In other words, Ultra-high Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) which is apply to the sliding core of the AID, does not change the shape but alters the oblique of endplate. However, the unreasonable increase of degree of freedom (DOF) can result in the aggravation of the bone fusion and the initial stability and it can also lead to the increase of the concentrated force in core. For these reasons, it is necessary to develop the advanced techniques, which choose the most adequate DOF. In this study, the new optimized modeling of the sliding core and the endplate, the fatigue characteristics, the crack propagation and the formation mechanism of wearing debris was studied and the minimizing technique will be derived from this research.

Key Words : Artificial Intervertebral Disc (인공추간판), Fatigue Crack Propagation (피로균열전파), Sliding Core (슬라이딩 코어), Endplate (중판), Transverse Crack (측부관통균열)

1. 서론

인공추간판(Artificial Intervertebral disc) 제품은 Johnson & Johnson, Depuy Spine Co.의 SB Charite™ 시리즈가 전세계 시장을 석권하고 있다. 슬라이딩 코어(sliding core)의 형태변화는 없고 종판(endplate)의 경사각만 서서히 증가되는 형태로 제품이 발전하고 있다. 최근까지는 인공추간판의 자유도의 증가가 매우 중요한 핵심기술이자 관심사였지만, 향후에는 인공추간판 시술 후의 인체 내에서 인공추간판이 어떠한 피로거동을 나타낼 것인지에 대해 큰 관심을 가져야 한다. 인공추간판의 설계 및 제작에 있어서 중요한 핵심기술은 다음과 같다. 1) 종판 및 슬라이딩 코어가 이상적인 상호작용을 수행할 수 있게 설계되었는가? 2) 내마멸, 피로파손, 파편(debris)등을 총체적으로 고려한 피로파괴 메커니즘 설계가 수행되었는가? 이상의 관점에서 볼 때 불행하게도 현재 시판되는 인공추간판 제품들은 점차로 심각한 문제점이 부각되고 있다. Fig. 1은 49세의 여성 환자의 L5-S1에 삽입했던 인공추간판을 1.6년이 경과된 후 제거한 슬라이딩 코어의 사진이다. Fig. 1(a)를 살펴보면 Endplate Hook부와 접촉한 코어부위에 Anterior Hook Damage와 Posterior Hook Damage가 나타나 있음을 관찰할 수 있다. 또한, Fig. 1(b)를 살펴보면 슬라이딩 코어의 중심부에 측부관통균열(transverse Cracks)이 발생되어 그 균열이 성장해 갔음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 SB Charite

III 인공추간판 제품의 응력해석을 수행하고 이를 바탕으로 설계를 변형하여 피로특성을 증가시키기 위한 방법을 모색하고자 하였다.

2. 결과 및 고찰

SB Charite III 제품에 대해 Fig. 2(a)와 같이 3-D 모델링을 수행하였고, Fig. 2(b),(c)와 같은 응력해석 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 2(b)는 의자에 정좌하고 있는 요추 L4-L5에 삽입된 인공추간판의 응력해석 결과이고, Fig. 2(c)는 상체의 중심을 후방으로 이동하였을 때의 응력분포 결과를 나타낸 것이다.

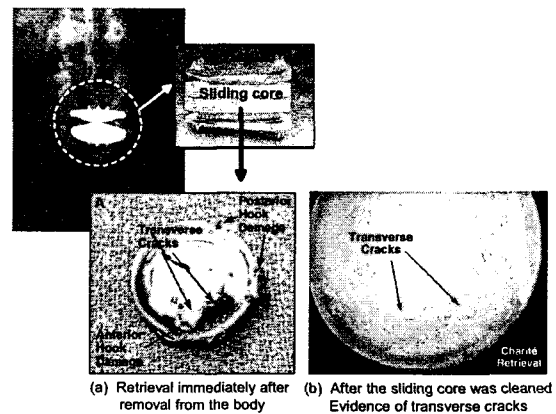


Fig. 1 Transverse cracks and hook damage in artificial intervertebral disc (SB Charite™)⁽¹⁾

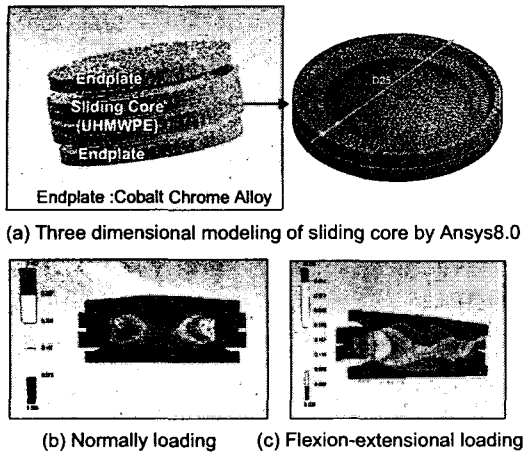


Fig. 2 Results of stress distributions according to the normally cyclic loading versus flexion-extensional cyclic loading by FEM in sliding core

슬라이딩 코어의 파손은 형상의 급격한 변화에 의한 응력집중과 Hook의 압축에 의한 영향이 중첩되어 Fig. 2(b)에 제시된 바와 같은 심각한 응력집중부를 만들어 내고 있음을 알 수 있다. 또한, 이 응력집중부는 측부관통균열의 개시부로 작용하게 되었음을 알 수 있다. 이상의 결과를 바탕으로 Fig. 3과 같은 새로운 인공추간판 모델을 제시하였다. SB Charite III의 설계 조건인 flexion-extension DOF = 10°, 5°, lateral DOF = 5°, 5° (좌우), axial rotation DOF = ±3° 로 적용하여 그 이상의 모션 자유도를 갖도록 설계하였다. 추간판을 중심으로 상하에 위치한 척추체(vertebrae)는 추간판을 통해서 일정한 모션을 갖게 되는데 이때에는 추간판의 변형에 의해서 모션의 중심점이 일정한 지점이 아닌 궤적을 그리게 된다. 인공추간판의 모션 중심을 어디에 위치하느냐에 따라 실제 척추 모션 자유도나 치료효과, 척추 구조물의 안정성이 크게 달라질 수 있음을 착안하여 슬라이딩 코어를 설계하였다. Fig. 3은 볼-소켓 조인트의 중심을 서로 다르게 설계하여 모션의 중심이 궤적을 형성하도록 설계한 결과이다. 모션 자유도는 볼-소켓 조인트부의 중심을 서로 다르게 설계하여 상부중판, 슬라이딩 코어, 하부중판 모션을 서로 다르게 작동하게 하였고, 인공추간판의 삽입 위치 결정 및 이탈방지를 위해 중판 앞부분에 stopper와 spike를 각각 설계하였다. 또한, 인공추간판의 삽입을 용이하게 하기 위하여 분리형으로 설계하였다. 시술의 편의성을 부여하기 위해 인스트루먼트 고정부분을 설계하였다. Fig. 4는 피로하중 모드 후 나타난 슬라이딩 코어 표면의 손상 결과이다. 응력이 집중되는 요곡부에 중심으로 내마멸성 피로손상이 발생해 있음을 관찰할 수 있다.

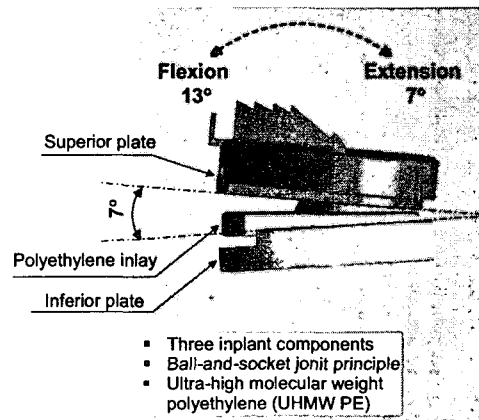


Fig. 3 DOF of flexion-extension and lateral bending using new concept model of artificial intervertebral disc

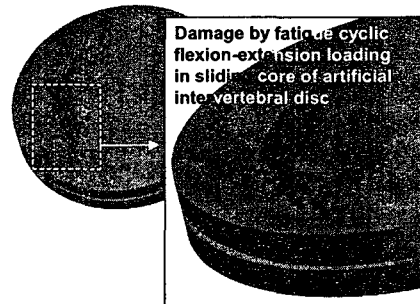


Fig. 4 surface damage of sliding core by flexion-extensional cyclic fatigue loading

3. 결론

인공추간판의 세계적 제품인 SB Charite™ 제품의 작용하중에 따른 응력분포를 살펴보았다. 그 결과를 바탕으로 모션 자유도가 증가되고 시술의 편의성을 증대시킨 새로운 모델을 제시할 수 있었다. 또한, 새로운 모델에 동적 피로를 가하였을 때 응력이 집중되는 요곡부에 내마멸성 피로손상이 발생함을 관찰할 수 있었다.

후기

본 연구는 한국과학재단 젊은과학자 연구활동지원사업(No. R08-2004-000-10423-0)으로 수행했습니다

참고문헌

1. Steven M. Kurtz, J. Pelozo, R. Siskey, M. L. Villarraga "Analysis of retrieved polyethylene total disc replacement," *The Spine Journal* 5, pp. 344-350, 2005.