

인공추간판 슬라이딩 코어의 형상과 하중모드에 따른 응력 재분포

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

Stress Redistributions due to the Shape of Sliding Core and Applied Load Core in the Artificial Intervertebral Disc

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

ABSTRACT

The goal of total disc replacement is to restore pain-free mobility to a diseased functional spinal unit, by replacing the degenerated disc with a mobile bearing prosthesis. SB Charité III is named commercial product as the Artificial Intervertebral Disc (AID). SB Charité III consists of sliding core and endplate made by Ultra-high Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) and cobalt chrome alloy, respectively. To evaluate the effect of von-Mises stress in AID, and three-dimensional finite element model of AID analysis was performed for four different loading types of sliding core. Consequently, endplate was compared with a compressive preload at 400N and flexion moment at 3~9Nm. Therefore, this research has obtained result that von-Mises stress of sliding core in AID disc by radius curvature.

Key Words: Artificial Intervertebral Disc(인공추간판), Sliding Core(슬라이딩 코어), Endplate(종판), Radius of Curvature(곡률반경), Flexion-Extension Load(굴곡-신전 하중), Lumbar(요추)

1. 서 론

인공추간판 치환술은 기존의 척추융합술과 달리 굴곡-신전(flexion-extension)운동이 가능한 진보된 시술법이다. 그러나 반복적인 굴곡-신전운동은 인공추간판 슬라이딩 코어(sliding core)의 응력집중, 마멸, 구조적 변형을 발생시키고 결국 인공추간판의 파손을 초래한다.⁽¹⁾ 따라서 최근 인공추간판 연구는 슬라이딩 코어의 내구성 향상에 집중되고 있다. 본 연구에서는 세계적으로 가장 많이 사용되는 인공추간판 제품(SB Charité III)을 기본으로 유한요소모델을 제작하고, 곡률반경(ρ)의 변화가 슬라이딩 코어의 von-Mises 응력에 미치는 영향을 평가하였다. 또한, 이를 바탕으로 최적화된 슬라이딩 코어의 곡률반경을 제안하고 재응력 분포를 해석하였다.

2. 인공추간판 슬라이딩 코어의 유한요소 해석 및 결과

2.1 인공추간판의 곡률반경 및 유한요소해석

본 연구에서 적용된 인공추간판은 SB Charité III를 이용하여 유한요소모델을 제작하고 해석을 수행하였다. 요추부에 적용되는 SB Charité III의 자료를 바탕으로 Fig. 1(a)와 같이 모델링하였다. Fig. 1(a)에서 (i)는 슬라이딩 코어의 ρ , (ii)는 종판과 슬라이딩 코어의 결합형태, (iii)은 3차원형태, (iv)는 슬라이딩 코어에 작용하는 응력분포를 나타낸 것이다. 또한, 본 연구에서는 Fig. 1(a)를 바탕으로 슬라이딩 코어

의 ρ 를 최적화하여 Fig. 1(b)와 같은 새로운 모델을 제시하였다. 단, 종판의 고정돌기는 생략하였다. Fig. 1(a)(ii)과 Fig. 1(b)(ii)에 제시한 detail "A"와 "B"를 비교해보면 본 연구에서 제안한 새로운 모델의 굴곡량이 더 증가될 수 있음을 확인할 수 있다. 슬라이딩 코어 유한요소모델은 Fig. 1(a),(b) 모두 Ultra-high Molecular Weight Polyethylene (이하, UHMWPE)의 물성을 적용하였다. 인공추간판은 슬라이딩 코어를 중심으로 종판의 운동이 결정되고 슬라이딩 코어의 ρ 에 따라 순간중심이 변화하므로 ρ 를 중심으로 응력분포를 해석하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 최적의 응력분포를 갖는 슬라이딩 코어를 여러 단계에 걸쳐 설계하였고 최종적으로 Fig. 1(b)와 같은 최적모델을 설계할 수 있게 되었다. Fig. 1(a)(i)에서 SB Charité III ρ 은 $\rho_1=\rho_2=15.5\text{mm}$ 이고, 중간단계로 제작된 Model I과 II는 각각 $\rho_1=\rho_2=14\text{mm}$, $\rho_1=\rho_2=17\text{mm}$, New model은 $\rho_1=14\text{mm}$, $\rho_2=17\text{mm}$ 로 ρ 만을 변화시켜 유한요소모델을 제작하여 해석하였다. Fig. 1(b)의 New model은 중심구가 고정되어 있지 않고 상,하부 종판의 운동에 따라 상호작용을 한다. 슬라이딩 코어의 ρ 는 코어 상부의 큰 굴곡 회전량과 하부의 굴곡 회전량을 조절하여 적절한 운동량을 발생시키도록 설계하였다. 인공추간판의 상부 종판에 작용하는 수직압축하중은 400N의 균일분포하중을 적용하였고, 이후 3, 6, 9Nm의 굴곡모멘트를 가하였다.⁽²⁾ 하부 종판은 X, Y, Z축 모두 고정하였으며, 요소망은 삼각형 형태의 사면체 요소로 생성하였다.

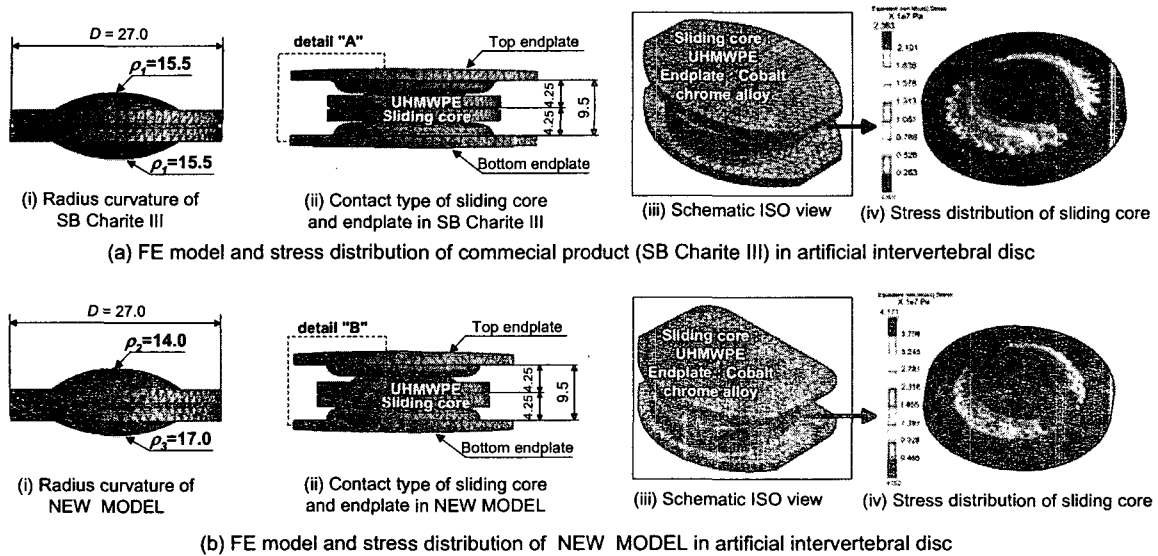


Fig. 1 FE model and stress distribution of SB Charite III versus NEW MODEL in artificial intervertebral disc

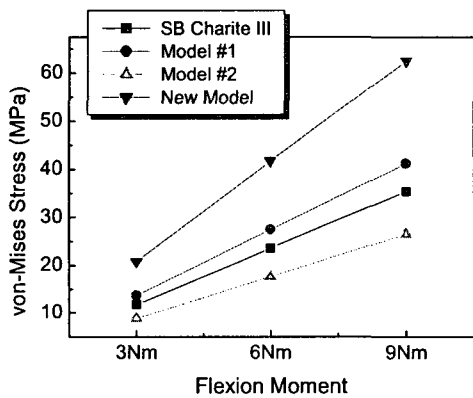


Fig. 2 Relationship between von-Mises stress and flexion moment in sliding core

2.2 슬라이딩 코어의 형상과 하중모드의 관계

Fig. 1(a),(b)의 (iv)는 SB Charité III과 New model을 6Nm의 굽곡모멘트를 작용하였을 때 슬라이딩 코어에 작용하는 von-Mises 응력의 결과값을 나타낸 것이다. 또한, Fig. 2는 언급된 4가지 슬라이딩 코어 모델에 400N의 균일분포하중과 굽곡모멘트가 작용할 경우 발생하는 von-Mises 응력과 굽곡모멘트의 관계를 나타낸 것이다. SB Charité III의 경우 23.63MPa이고 Model I은 27.49MPa, Model II는 17.73MPa인 반면, New model은 최대 응력이 41.71MPa로 가장 우수한 응력분포를 나타냈다. 곡률반경이 커질수록 상대적으로 최대응력은 낮게 나타난다. 결과적으로 슬라이딩 코어에 3~9Nm의 굽곡모멘트가 작용할 경우 New model이 SB Charité III보다 약 1.8배 높은 von-Mises 응력이 나타난다.

3. 결론

인공추간판의 세계적 상품인 SB Charite III는 최근 슬라이딩 코어의 피로파손이 보고되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이를 보완하기 위하여 슬라이딩 코어의 곡률반경을 변화시켜 새로운 인공추간판 모델을 제시하고 다음의 결론을 얻었다.

(1) 새로운 모델은 슬라이딩 코어 상하부의 곡률반경을 각각 14.0mm, 17.0mm로 적용하였다. 그 결과, SB Charité III의 슬라이딩 코어는 23.63MPa이고 New model의 슬라이딩 코어는 41.71MPa의 최대 응력을 나타내고 있으며, New model이 SB Charité III보다 1.8배의 우수한 최대응력을 나타내고 있다.

(2) New model의 슬라이딩 코어는 SB Charite III에 비해 응력집중부에 가해지는 응력을 감쇄할 수 있는 구조로 설계되었음을 확인할 수 있었다.

후기

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

참고문헌

- Steven M. Kurtz, John Pelozo, Ryan Siskey and Marta L. Villarraga, "Analysis of a Retrieved Polyethylene Total Disc Replacement Component," The spine journal 5, pp. 344 - 350, 2005.
- Jun Yao, Sergio R. Turteltaub, and Paul Ducheyne, "A Three-dimensional Nonlinear Finite Element Analysis of the Mechanical Behavior of Tissue Engineered Intervertebral Discs Under Complex Loads," Biomaterials 27, pp. 377-387, 2006.