

척추 고정체의 유한 요소법을 통한 피로해석

*김성민¹, 양인철², 조성윤³

¹ 건국대학교 의학공학부, ² 건국대학교 일반대학원 신기술융합학과, ³ 유엔아이(주)

Fatigue Analysis of Spinal Fixation System by Finite Element Method

*S. M. Kim¹, I. C. Yang², S. Y. Cho³

¹ Dept. of Biomedical Eng., Konkuk Univ., ² Dept. of Advanced Technology Fusion, Konkuk Univ., ³ U&i Corporation

Key words : Spinal Fixation System, Fatigue, Finite Element Method, Life

1. 서론

현대인들은 생활하면서 뜻하지 않게 많은 사고와 맞닥뜨리며 살아가고 있다. 특히 교통사고나 추락사고시 경추나 요추가 골절되거나 인대의 심한 손상으로 척추신경이나 신경근이 손상되는 경우가 발생하고 또한 급속한 노령화 사회로 접어들면서 노년층의 요추부 뿐만 아니라 척추체 각 부위의 퇴행성 변화가 많이 발생하고 있다. 이러한 질환들에 대한 적절하고 빠른 조치가 없으면 증상이 악화되어 영구히 불구가 될 수 있다. 따라서 약물치료, 물리치료, 주사요법 등 비교적 간단한 기술이나 작은 규모의 수술들의 적용이 소용이 없다고 판단 되어질 때 척추 고정술이 고려되어진다. 척추 고정술은 하나의 관절을 형성하는 척추 사이에 뼈를 이식하여 불입으로서 움직임을 없애고 배열을 유지하며 안전성을 획득하도록 하는 목적이 있다.

이러한 척추 고정술을 수행할 시 절대적으로 필요한 것이 내고정용 의료기기인 척추 고정체이다. 과거 척추 후방 고정술은 1891년 Hadra가 처음으로 경추 골절에 강선을 극돌기에 묶어 사용하였다. 이후 적용기술의 증가와 기술발달로 많은 방법들이 연구되고 시행 되어져 왔다. 최근 몇 년 사이 후방 고정술로 lateral mass screw & rod system, pedicle screw & rod system이 개발되어 기술이 활성화 되어가고 있는 추세이다. 이러한 시스템은 기술의 편리함 뿐만 아니라 여러 가지 형태에 적용될 수 있으므로 높은 시장 성장력을 보이고 있다. 그러나 이러한 내고정용 척추 고정체의 성능에 대한 생체역학적 연구가 부족한 현실이다.

따라서 본 연구는 내고정용 척추 고정체의 성능을 생체역학적으로 해석하여 그 피로수명을 예측하고 보다 더 내구성있는 척추 고정체를 개발하는데 그 목적이 있다.

본 연구는 기계적 특성을 실험한 결과와 유한 요소법을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 비교하여 유한 요소 모델의 타당성을 검증하고 검증된 모델을 통해 다양한 설계변수와 피로수명을 얻고, 새로운 모델 개발에 필요한 데이터를 획득하려고 한다. 유한요소 모델링과 해석은 Ansys Workbench 10.0 을 사용하였다.

2. 척추 고정체의 유한요소 모델

척추 고정체는FDA에서 요구하는 규격인 ASTM F1717에 따라 Vertebrectomy 모델을 구성하여 척추를 대신하는 Ultra High Molecular Weight Polyethylene(UHMWPE) block에 Pedicle Screw, Set Screw 와 Rod로 구성된 고정체를 체결시켜 척추 고정술 시술시의 상황을 재현한다.

3 차원 유한요소 모델을 구성하기 위하여 상용프로그램 Ansys Workbench 10.0 을 사용하여 솔리드 모델링을 통한 유한요소 모델을 구성하였다. 요소망은 사각형 형태의 사면체 요소로 형성하였으며 고정기구의 유한요소 모델에서 Node 는 59931 개, Element 는 35712 개로 생성하였다.

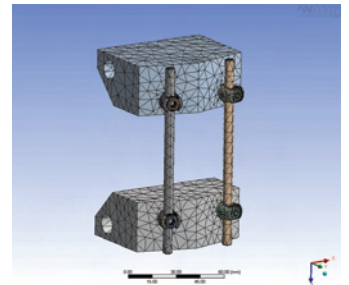
Table 1 에서는 각 부품들의 물성과 Node 와 Element 의 개수를 나타내었다. Fig. 1 은 척추 고정체의 실험모델과 유한 요소 모델을 보여준다.

Table 1 The number of mesh element

Part Name	Material	Node	Element
Block	UHMWPE	19345	12810
Fixation System	Ti6Al4ELI	40586	22902
Total		59931	35712



(a) Experimental Model



(b) Finite Element Model

Fig. 1 Spinal Fixation System

해석에 사용된 재료는 해석모델의 정확한 특성을 나타내기 위한 중요한 자료이다. 척추 고정체에 사용된 재료의 구체적인 물성치는 Table 2 에 나타내었다^{1,2}.

Table 2 Material properties of Ti6Al4ELI

Material	Young's modulus(MPa)	Poisson's ratio	Compressive yield strength(MPa)
Ti6Al4ELI	1.16e+5	0.33	795

3. 연구 방법

척추 고정체의 피로해석을 하기 위해 기계적 실험을 시행 하였고 실험은 Fig. 2 와 같은 형태로 구성하여 MTS 858 Mini-Bionix II 로 모델 유효성 확인을 위해 Static 상황에서 Compression bending force 를 가하였다.



(a) Test Setup



(b) Test termination

Fig. 2 Loading configuration of compression bending test

위의 그림과 같이 실험 장비를 설정하여 Compression bending test를 통해 얻은 Load-displacement curve결과와 컴퓨터시뮬레이션 한 결과 값과 비교하여 시뮬레이션 상의 Boundary condition에 대한 신뢰성을 확보하였다. 그리고 Fig. 2 에서와 같이 0N 에서 500N까지의 하중 조건을 변화 시키면서 실시하였다. 여기서 Compressive bending yield load의 평균값이 403N임을 도출하였고 그 결과를 피로해석에 적용하였다. 따라서 피로해석은 Maximum Compression Bending Load값을 403N부터 ASTM F1717 fatigue testing procedure에 따라서 75%, 50%, 41%, 33%, 25%의 하중을 적용 시키며 실시하였다⁵.

4. 해석결과

유한요소 모델을 검증하기 위하여 기계적 실험과 동일한 구속조건과 하중조건을 적용하여 유한 요소 해석을 수행하였다. 먼저 구속조건에 대한 검증은 Compressive bending test 의 Load-Displacement Curve 를 통해 얻은 결과 값을 비교하여 실시하였다. 기계적 실험 결과와 유한요소 해석을 통해 얻은 결과와 10%이내의 오차 범위에 포함되었음을 확인하고 해석을 진행하였다. Fig. 3 에 Load-Displacement Curve 를 나타내었다.

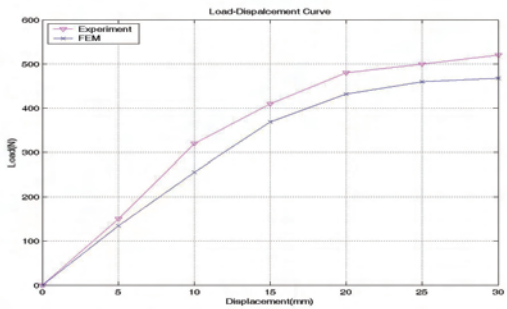


Fig. 3 Load-Displacement Curve at Compressive bending test

Max. Compression bending load인 403N 을 적용하여 피로 해석한 결과를 Fig. 4 에 나타내었다. 또한 Fig. 5 에는 하중의 변화에 따른 Fatigue sensitive 를 나타내는 그래프를 도시하였다.

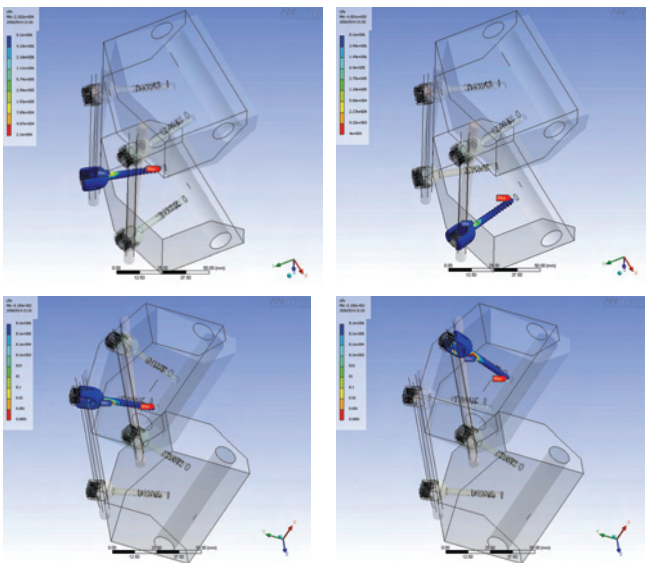


Fig. 4 The Life of Screws at compression load of 403 N

아래 Fig. 5 에서 보듯이 가해지는 하중이 증가 할 수록 수명이 감소하는걸 확인 할 수 있다. 이 결과는 기계적

실험값과 유사함을 확인할 수 있었다.

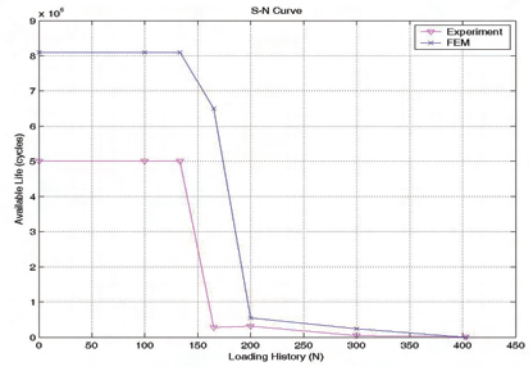


Fig. 5 Diagram of Available life by loading history

4. 결론

피로해석결과 기계적 실험 결과와 일반적인 경향이 동일함을 확인 할 수 있었다. 403N 의 33%에 해당하는 133N 까지는 무한 수명이라 할 수 있는 피로 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 50%의 하중이 넘어 갈수록 수명이 급격히 감소함을 보여 무리한 하중을 가할 경우 파단이 발생할 것으로 판단되었다. 실제 기계적 실험 결과에도 이와 같은 결과를 확인할 수 있었다.

이 결과를 통해 보다 더 오차 범위를 줄여 더욱더 신뢰할 수 있는 모델의 개발이 필요하고 이러한 유한요소 해석을 통해 피로 수명을 예측 할 수 있는 시스템의 개발로 기계적 실험을 실시하면서 발생하는 시간적 물리적 손실을 절감 할 수 있으리라 기대한다. 1 개의 SN curve 를 만들기 위해 fatigue testing 이 2 개월 이상 소요되는데, 본 system 을 통해 기계적 parameter 의 최적값을 사전에 예측하게 되어 개발 속도가 빨라질 수 있고 또한 보다 빠른 신제품의 개발이 가능해 지면서 시장의 요구에 바로 대응할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Heo, S., Son, k., Park, J. H., Lee, S. J., "Biomechanical analysis of lumbar interspinous process fixators," KSPE, Vol. 23, No. 3, 2006.
2. Annual Book of ASTM Standard, Vol. 03.01 Medical and Surgical Materials and Devices, 2002.
3. ASTM international, Designation F 136-02a, 2002
4. Annual Book of ASTM Standard, Vol. 08.01 Spinal Devices, 2002.
5. ASTM international, Designation F 1717-01, 2002
6. 정일섭, 안면환, "척추의 유한 요소 해석을 위한 강성행렬 요소의 적용," 한국정밀공학회지, Vol. 20, No. 10, 2003.