

퇴행성 요추부 척추관 협착증 치료를 위한 극돌기간 고정기구의 설계 및 생체역학적 분석

허순*(부산대 대학원 기계설계공학과), 손권(부산대 기계공학부),
이성재(인제대 의용공학과), 문병영(부산대 ILIC)

Design of the Interspinous Process Fixator Using Biomechanical Analysis for the Treatment of Degenerative Lumbar Spinal Stenosis

S. Heo*(Dept. of Mech. Eng., Pusan National Univ.), K. Son(School of Mech. Eng., PNU),
S. J. Lee(Dept. of Biomed. Eng., Inje Univ.), B. Y. Moon(Industrial Liaison Innovation Cluster, PNU)

ABSTRACT

Degenerative lumbar spinal stenosis(DLSS) is a disease inducing low back pain, leg pain, convulsion, numbness, and neurogenic claudication from compression of nerve root. Intervertebra fixation was reported to increase the degenerative of neighbor region after treatment. Recently, a new surgical technique of inserting a fixator between interspinous processes has been introduced. The purpose of this study is to design of the interspinous process fixator with flexibility to complement the trouble of using fixator in DLSS. This study evaluated the existing fixator through the mechanical test and modified fixators using the finite element analysis(FEA). Displacement, stiffness and Von-Mises stress were found to have similar values to those obtained from the mechanical test and the FEA in the biomechanical loading condition. Effects of variation in length and thickness were investigated to design an optimal fixator.

Key Words : Biomechanics (생체역학), Degenerative-lumbar spinal stenosis (퇴행성 요추부 척추관 협착증)
Spinal instrument (기구 고정술), Interspinous process implant (극돌기간 삽입술)

1. 서론

퇴행성 요추부 척추관 협착증은 요추부의 퇴행성 변화에 의해 척추관, 주관공, 신경근관 등이 좁아지게 되는 현상이다. 이러한 현상으로 인한 신경의 압박은 하리와 엉덩이 및 다리에 통증과 마비, 경련, 저림, 근력약화를 유발시키며 신경계 장애를 유발시키게 된다. 특히 요추부의 퇴행성 변화는 노년층에서 많이 발생하는 것으로 척추체 각 부위의 퇴행화에 의해 빈번히 발생하는 질환으로 알려져 있다.^(1,2,3)

요추부 척추관 협착증의 치료방법은 크게 보존적 치료방법과 수술적 치료방법으로 나눌 수 있다. 보존적 치료 방법으로는 약물투여, 운동요법, 보조기 사용 등이 있으며, 수술적인 치료방법으로는 추궁 절제술(laminectomy), 내측 후관절 절제술(medial facetectomy), 추간공 절제술(foraminatectomy) 등의 감

압술(decompression)과 후방 척추경 나사(posterior pedicle screw)와 막대(rod)를 이용한 융합술 등이 있다. 그러나 이러한 치료방법은 과도한 추궁과 후관절, 주관공등의 절제로 척추의 구조적 변형이 발생하는 것으로 알려져 있다. 그로 인해 척추체의 불안정을 초래한다. 그리고 척추경 나사와 막대를 사용한 융합술은 인접부위의 척추체 운동을 제한하게 된다. 이는 요추부의 만곡을 감소시키게 되고 퇴행성 변화를 일으켜 인접 부위에 새로운 문제를 발생시키는 것으로 보고되고 있다.^(3~6, 10)

최근 새로운 수술 방법으로 극돌기 사이에 고정기구를 삽입하여 척추체 사이의 신장(extension)운동을 제한하고 굽힘(flexion)을 만들어 주어 통증을 감소시키는 극돌기간 삽입술(interspinous process implant)이 소개되었다.⁽¹¹⁾ 그리고 왜지 요추를 이용하여 고정기구의 삽입 시 요추의 운동범위를 분석하는 연구도 발표되었다.⁽¹²⁾

본 연구의 목적은 기존의 기구 고정술이 나타내는 문제점을 보완하고, 유연성을 발휘하는 극돌기간 고정기구를 설계하는 것이다. 이것은 차로 후신전운동을 제한하는 동시에 인접부위의 퇴행성을 감소시키기 위한 것이다.

본 연구에서는 만능재료시험기를 이용하여 기존 극돌기간 고정기구의 기계적 성능을 평가하였다. 그리고 기존 극돌기간 고정기구의 유한요소모델을 구성하고 실험결과와 비교하여 유한요소모델의 타당성을 검증하였다. 검증된 모델을 통해 극돌기간 고정기구의 새로운 모델을 제안하였다. 그리고 두 모델 사이의 해석결과를 비교, 분석하여 제안된 극돌기간 고정기구의 유연성 및 안정성을 평가하였다.

2. 실험 및 유한요소 해석

2.1 극돌기간 고정기구

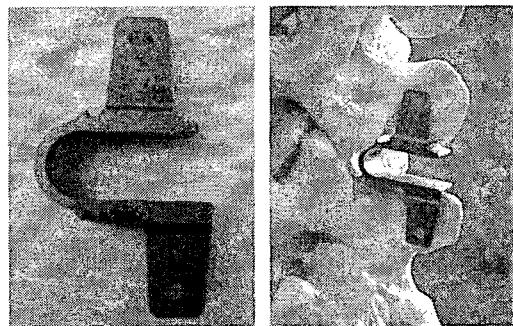
극돌기간 고정기구(Interspinous-U, Fixano, France)는 척추의 신전운동을 제한하기 위하여 Fig. 1과 같이 퇴행성 요추부 척추관협착증 환자의 극돌기간에 삽입된다. 이 때 고정기구는 극돌기 사이에서 발생하는 하중을 받게 된다. 이러한 하중에 대한 변위를 분석하기 위하여 현재 국내에서 시술되는 티타늄(Ti-ASTM F136) 재료로 제작된 극돌기간 고정기구를 사용하였다. 고정기구의 형상은 높이 12 mm, 전체길이 23 mm, 두께 1.5 mm이다.

2.2 하중제어 실험

하중을 받는 기존 극돌기간 고정기구의 강성값을 얻기 위하여 Fig. 2와 같이 만능재료시험기(MTS 858 Bionix Test System)를 이용한 하중제어 실험을 하였다. 실험방법은 Fig. 3과 같이 압축하중을 고정기구의 상단면에 수직한 방향으로 가하여 30초 동안에 도달하게 하였다. 하중조건은 암은 자세에서 요추부 극돌기 사이에 발생하는 최대하중인 215 N을 적용하였다.⁽⁷⁾

2.3 유한요소 모델 구성

Fig. 4(a)는 기존 극돌기간 고정기구를 유한요소 모델로 구성한 것이다. 기존 극돌기간 고정기구의 설계를 위하여 3차원 측정에 의한 각 부분의 치수를 얻고 2차원 모델을 얻었다. 그리고 3차원 모델링과 유한요소 모델의 구성을 위해 상용프로그램(CATIA, Dassault Systems, France)을 사용하여 솔리드 모델링을 통한 유한요소 모델을 구성하였다. Fig. 4(b)는 제안된 극돌기간 고정기구의 형상으로 높이 12 mm, 전체길이 20 mm, 두께 1.2 mm의 유한요소 모델을 구



(a) Sagittal view (b) Insertion of the fixator
Fig. 1 Interspinous-U and its inserted configuration

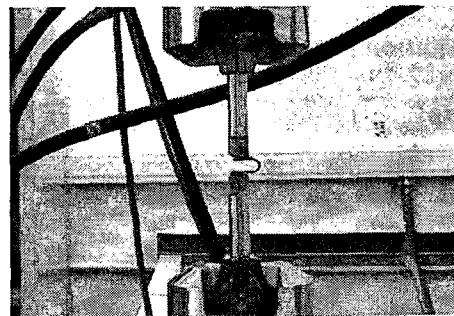


Fig. 2 Load control test system for mechanical testing

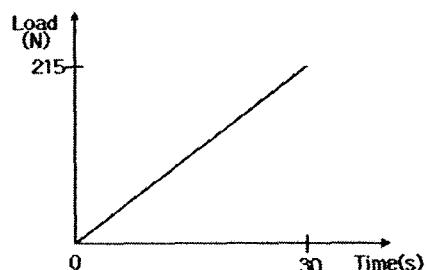
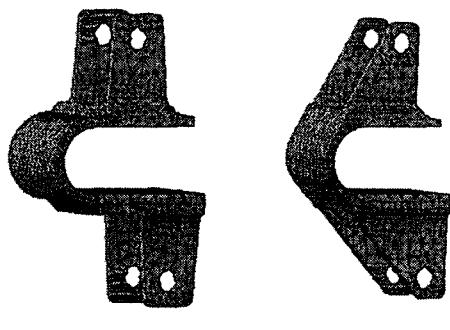


Fig. 3 Loading condition

성한 것이다. 사용된 물성값은 Table 1에 나타내었다. 요소망은 삼각형 형태의 사면체요소로 생성하였다. 해석의 신뢰성을 얻기 위하여 하중에 대한 영향이 많이 발생하는 부위에 요소의 면도를 높게 설정하였다. 기존 극돌기간 고정기구의 유한요소모델은 노드 16077개, 요소 8561개로 생성되었다. 그리고 제안된 극돌기간 고정기구의 유한요소모델은 노드 15573개, 요소 8129개로 생성되었다.

3. 실험 및 유한요소 해석 결과

실험 및 유한요소 해석 결과들을 비교하기 위하



(a) Interspinous-U (b) Proposed model
Fig. 4 Finite element models of fixators

여 하중과 변위 사이의 관계에서 나타나는 강성값을 적용하였다.

$$K = w/\delta$$

여기서 K 는 강성값, w 는 극돌기간 고정기구에 작용하는 하중, δ 는 하중에 의해 나타난 변위이다.

Fig. 5는 기존 극돌기간 고정기구의 실험결과와 유한요소모델의 해석결과에서 나타난 하중-변위 사이의 관계를 나타낸다. Table 2는 기존 극돌기간 고정기구의 실험결과와 유한요소모델의 해석결과이다. 실험결과 최대 변위는 1.72 mm였으며, 유한요소 해석결과 최대 변위는 1.75 mm로 나타났다. 그리고 강성값은 실험결과 124.3 kN/m였으며, 유한요소 해석결과 122.9 kN/m였다. 변위와 강성값을 비교해 볼 때 실험 결과와 유한요소해석 결과는 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 유한요소모델의 타당성을 검증할 수 있었다.

검증된 유한요소모델을 이용하여 기존 모델과 유연성을 높이기 위해 새롭게 설계된 모델과의 비교 해석을 수행하였다. Fig. 6은 기존 모델과 제안된 모델의 유한요소해석 결과를 나타낸 하중-변위 그래프이다. Table 3은 기존 모델과 제안된 모델의 해석결과인 최대변위, 강성값 그리고 Von-Mises 응력값을 나타내었다. 기존모델의 최대 변위는 1.75 mm였으며, 제안된 모델은 1.96 mm로 나타났다. 그리고 강성값은 기존모델이 122.9 kN/m였으며, 제안모델은 109.7 kN/m로 제안된 모델이 약 10.7%의 유연성을 더 발휘하는 것으로 나타났다.

Fig. 7은 기존 모델과 제안된 모델의 Von-Mises 응력분포를 나타내었다. 기존 모델은 전방 골반 부위에 응력분포가 넓게 나타났으며, 제안된 모델은 설계 형상에 따라 전방 골반 부위에 응력분포가 좁게 나타났다. Table 3에서 기존 모델과 제안된 모델의 최대 발생응력은 각각 722 MPa과 756 MPa이었다. 이것은 제표의 최대항복강도인 896 MPa 이하의

Table 1 Material properties of Ti-alloy F136

Metal	Young's modulus (GPa)	Yield strength, forged annealed (MPa)	Poisson's ratio
Ti-alloy F136	116	896	0.31

Table 2 The maximum displacements by mechanical test and finite element analysis

	Maximum displacement (mm)	Stiffness coefficient (kN/m)
Experiment	1.72	124.3
FEA	1.75	122.9

Table 3 Results of the finite element analysis

	Maximum displacement (mm)	Stiffness coefficient (kN/m)	Von-Mises stress (Mpa)
Interspinous-U	1.75	122.9	722
Proposed model	1.96	109.7	756

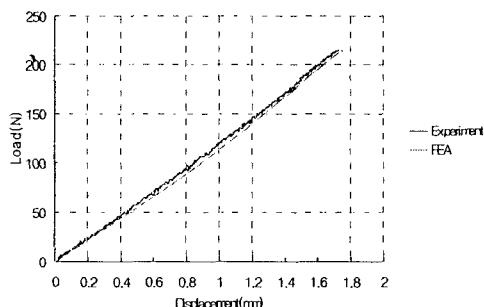


Fig. 5 Relationship between load and displacement of Interspinous-U and finite element model

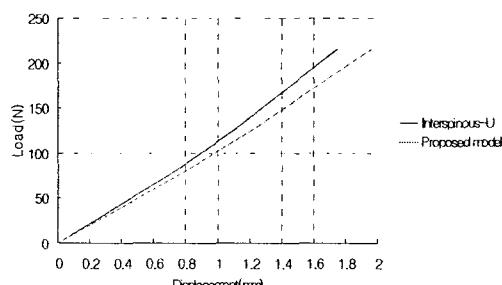
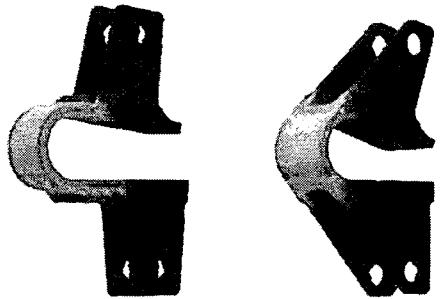


Fig. 6 Relationship between load and displacement of finite element models of Interspinous-U and proposed fixator



(a) Interspinous-U (b) Proposed model
Fig. 7 Distribution of Von-Mises stress

발생응력으로 제안된 모델 역시 기계적 안정성을 만족하였다.

4. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 기존 극돌기간 고정기구와 제안된 형상의 극돌기간 고정기구를 하중-변위 사이에서 나타나는 강성값으로 비교하였다. 이때 높이 12 mm, 전체길이 20 mm, 두께 1.2 mm로 제안된 모델이 약 10.7%의 유연성을 더 나타내었다.

(2) 제안된 극돌기간 고정기구의 유한요소해석 결과 발생응력은 재료의 항복강도 이하의 값으로 기계적 안정성을 만족하였다.

향후 이러한 결과들을 바탕으로 설계된 극돌기간 고정기구의 시제품을 제작하여 생체역학적 조건에서의 실험적 평가가 필요할 것으로 판단된다. 그리고 임상 실험에 앞서 척추체 모델을 유한요소 모델로 구성하고 극돌기간 고정기구의 유한요소 모델을 적용하여 생체역학적 조건에서의 해석이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 퇴행성 요추부 척추관 협착증 환자의 극돌기간 삽입술에 사용하는 고정기구의 설계시 적용할 수 있는 자료로 활용될 수 있을 것이다.

후기

본 연구는 산학협력중심대학 기술개발과제의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- Fritz, J. M., Delitto, A., Welch, W. C., and Erhard, R. E., "Lumbar spinal stenosis: A review of current concepts in evaluation, management, and outcome

measurements," Arch Phys Med Rehabil Vol. 79, pp. 700-708, 1998.

- Arnoldi, C. C., Brodsky, A. E., Cachoix J., Crock, H. V., Dommissse, G.F., and Edgar, M. C., "Lumbar spinal stenosis and nerve root entrapment. Syndromes, definition, and classification," Clin Orthop. Vol. 115, pp. 4-5, 1976.
- Stromqvist, B., "Postlaminectomy problems with reference to spinal fusion," Acta Orthop Scand(suppl), Vol. 251, pp. 87-89, 1993.
- Johnson, K. E., Willner, S., and Johnson, K., "Postoperative instability after decompression for lumbar spinal stenosis," Spine, Vol. 11, p. 107, 1990.
- Esses, S. I. and Huler, R. J., "Indications for lumbar spine fusion in the adult," Clin Orthope, Vol. 279, pp. 87-100, 1992.
- Katz, J. N., Lipson, S. J., and Larson, M. G., "The outcome of decompressive laminectomy for degenerative lumbar stenosis," J Bone Joint Surg[AM], Vol. 73, pp. 809-816, 1991.
- Yerby, S. A., Lindsey, D. P., and Kreshak, J., "Failure load of the lumbar spinous process," 28th Annual Meeting of the International Society for the Study of the Numbar Spine, Edinburgh, Scotland, 19-23 June, 2001.
- Lindsey, D. P., M. S., Swanson, K. E., Fuchs, P., Hsu, K. Y., Zucherman, J. F., and Yerby, S. A., "The effects of an interspinous implant on the kinematics of the Instrumented and Adjacent levels in the Lumbar Spine," Spine, Vol. 28, pp. 2192-2197, 1990.
- 이희성, 신규진, 문수정, 정태근, 이권용, 이성재, "요추부 척추관 협착증 치료를 위한 극돌기간 삽입술의 3차원 분석을 통한 생체역학적 분석," 한국정밀공학회 추계학술대회, 04F151, 2004.
- 석세일, 척추 외과학, 죄신의학사, pp. 255-277, 2004.