

## 요추에 있어서 파라미터 기법과 단면CT영상을 이용한 3차원 형상 모델링의 비교

김성민, ○김성재, 탁계래\*, 김남현  
연세대학교 의과대학 의용공학교실, 건국대학교 의과대학 의용공학과\*

### Comparison of 3-D Geometrical Modelling of the Lumbar Spine Using Parameterized and Cross-sectional CT Image Reconstruction Method

S. M. Kim, ○S. J. Kim, K. R. Tack\*, N. H. Kim

Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, Yonsei University  
Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, Konkuk University\*

#### ABSTRACT

In this study, a three-dimensional geometrical parameterized finite element modeling of the lumbar spine is compared with the 3-D reconstruction method from 2-D CT image. feasibility and accuracy of the parameterized modeling method is evaluated compared with conventional 3-D reconstruction method from 2-D CT image.

#### 서론

인체의 구조상 중요한 역할을 하는 척추는 성인의 85%가 일상생활에서 back pain을 경험하며, 30~50세 사이의 성인 중 25%이상의 사람들이 low back pain을 호소한다고 보고되고 있다[4]. 이러한 척추의 이상은 디스크이탈(herniation), 압축파괴(compression fractures), 척추협착(spinal stenosis), 과도한 인장(excessive strain), 염좌(sprain)등의 증상으로 나타나며 척추의 염증이나 ligamentous trauma를 유발한다[3]. 척추이상에 대한 치료법 가운데 하나인 척추고정술(spinal fixation)은 척추에 고정장치를 부착하여 선천성 기형이나 척추이상의 치료에 이용하고 있으며 그에 따르는 척추의 기계적 거동에 대한 해석은 필수 불가결한 부분으로써 기술개발에 필요한 임상실험이 요구되나 실험대상의 제한, 절차상의 어려움으로 인하여 컴퓨터 시뮬레이션기법이 사용되고 있다.

유한요소기법(Finite Element Method)은 해석대상의 동작분석, 응력분포, 응력-변형률관계, 하중에 따른 변형 등의 기계적 거동을 살필 수 있는 방법으로써 척추의 컴퓨터 시뮬레이션에 적합한 기법이라 할 수 있다. 그러나 기존의 CT 단면영상을 이용한 3차원 재구성 기법은 환자 각각의 척추형상이 틀리므로 기하학적 모델링에 많은 시간과 비용이 소요되고 있다.

이에 본 연구에서는 척추의 형상 파라미터를 이용한 유한요소해석 모델을 이용하여 기존 기법과의 비교 연구를 통해서 척추의 기계적 거동을 해석하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션에 필요한 형상모델을 제시하려 한다

#### 연구 방법

척추는 크게 경추, 흉추, 요추로 나뉘며 척추 각 개체의 구조는 vertebral body, superior articular process, inferior articular process, endplate, spinous process등의 구성요소를 가지며 각 구조에 연결 돼있는 인대들로 구성되어 있다.[2]

#### (1) 척추의 기하학적 모델링

척추의 유한요소해석에 필요한 기하학적 모델링은 CT나 X-ray로부터 척추의 형상치수를 추출하여 구성하게 되는데, 1992년 Lavaste등에 따르면 모델링에 필요한 주요한 형상치수는 6개로써 몸통부분(vertebral body)의 폭(A), 길이(B), 높이(C), 만곡깊이(E), 전체높이(H), 전체길이(L)로써 구성된다[1]. 좌표계에서 Z축은 end plate의 수직한 방향, Y축은 end plate에 수평하며 sagittal 방향이고 원점은 body의 가운데 지점이고 anterior방향에서 posterior쪽으로 2B/3 지점에 위치한다. vertebral body의 XY평면상의 형상은 kidney-shape 곡선에 의해 구성되며 그수식은,

$\theta \in [-\pi/2, -\pi/3]$  일 때,

$$R(\theta) = \frac{B}{3\sin\theta}$$

$\theta \in [-\pi/3, 0]$  일 때

$$R(\theta) = \frac{P(\theta)}{\sqrt{\left[\left(\frac{2\cos\theta}{U_1(z)}\right)^2 + \left(\frac{3\sin\theta}{2U_2(z)}\right)^2\right]}}$$

여기서  $P(\theta)$ 는

$$P(\theta) = \alpha X^5 + \beta X^4 + \gamma X^3 + \delta X^2 + 1, \quad X = \frac{2\theta}{\pi}$$

$$\alpha = 8\epsilon - 12, \quad \beta = 20\epsilon - 29.2, \quad \gamma = 16\epsilon - 23.4,$$

$$\delta = 4\epsilon - 6.7, \quad \epsilon = \frac{1}{1 + \frac{A}{2} + \frac{3B}{2}}$$

표 1 척추의 재료물성 값 및 유한요소해석에 사용된 요소 형태

Part	Element type	Elastic modulus(MPa)	Poisson ratio
Cortical bone	3-D 8-node elastic solid	12000	0.30
Cancellous bone		100	0.20
Inferior process		3500	0.25
Superior process		7000	0.25
Endplate		24	0.40

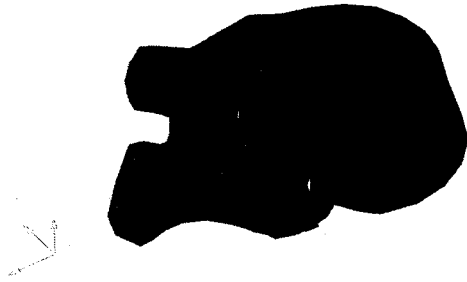


그림 1 CT 데이터를 이용한 유한요소해석 모델



그림 2 척추 형상치수를 유한요소 해석 모델

$\theta \in [0, \pi/2]$  일 때

$$R(\theta) = \frac{1}{\sqrt{\left[\left(\frac{2\cos\theta}{U_1(z)}\right)^2 + \left(\frac{3\sin\theta}{2U_2(z)}\right)^2\right]}}$$

이고 여기서  $U_1(z)$  와  $U_2(z)$ 는

$$U_1(z) = A - 2E + 8E \frac{z^2}{C^2}$$

$$U_2(z) = B - 3E + 6E \frac{z^2}{C^2}$$

( $-C/2 < z < C/2$  일때)

(2) FE 구성모델

그림1은 10mm간격으로 단층촬영한 CT(computerized tomography)데이터를 가지고 재구성한 3차원 척추모델로서 총 1018개의 노드와 1784개의 element로 구성되었다, 그림2는 척추형상치수의 파라미터 기법에 의한 3차원 모델이고 1101개의 노드와 1920의 element로 구성되었다.

(3) 재료의 물성 및 유한요소 해석

유한요소 해석에 사용한 프로그램은 형상 구성프로그램으로써 HyperMesh(Altair Computing, Inc.)[5]를 사용하였고 해석프로그램은 ABAQUS v5.7(Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc.)[5]을 사용하였다. 재료의 물성값들은 기존 실험에서 얻어진 척추의 물성값들을 사용하였고[6] 그 값들은 표1에 나타내었다. 경계조건은 요추 몸통부분의 아래쪽 부분의 모든 방향에 대하여 고정하였다.

결론

척추의 기계적 거동을 해석 할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션에 있어서 그 컴퓨터 모델의 유효성은 중요하다.

척추의 형상은 사람에 따라서 차이가 있으며, 이에 따른 컴퓨터 해석을 위한 모델링은 많은 시간과 비용이 소요된다. 이에 본 연구에서는 컴퓨터 해석 기법의 하나인 유한요소 해석에 필요한 파라미터를 이용한 기하학적 모델링 기법을 제시하여 이의 비교연구를 통한 효율성을 조사하였다. 향후 모델링 기법을 보완하여 좀더 실제 척추형상에 가까우며 그 유효성을 검증 할 수 있는 모델의 개발이 요구되는 바이다.

참고 문헌

1. F. Lavaste, W. Skalli, et al. , "Three-Dimensional Geometrical and Mechanical Modelling of the Lumbar Spine", J. Biomechanics, Vol. 25, No. 10, pp. 1153-1164, 1992
2. V. K. Goel, J. N. Weinstein, Biomechanics of the Spine: Clinical and Surgical Perspective, Florida, CRC Press Inc., pp. 8-12 ,1990
3. V. K. Goel, Y. E. Kim, T. H. Lim and J. N. Weinstein,"Analytical investigation of the mechanics of spinal instrumentation", Spine, Vol. 13, pp. 1003-1011, 1988
4. J. L. Wang, M. Parnianpour, A. Shirazi-Adl, et al.,"Development and validation of viscoelastic finite element model of an L2/L3 motion segment", Theoretical and Applied Fracture Mechanics, Vol. 28, pp. 81-93, 1997
5. Hibbit, Karlsson, Sorensen, ABAQUS User's Manual version 5.7.,1997
6. N. Maurel, F. Lavaste and W. Skalli, "A three-dimensional parameterized finite element model of the lower cervical spine. study of the influence of the posterior articular facets", J. Bio mechanics, Vol. 30, No. 9, pp. 921-931, 1997