치아 미세조직 시험을 통한 물성치 획득 및 기계적 거동특성 분석을 위한 유한요소해석에의 적용

A Study on Mechanical Behaviors of Dental Hard Tissues and Characterization of the mechanical behavior for the finite element analysis

*최현호[1], #전경진[1]

*H. H. Choi[1], #K. J. Chun(chun@kitech.re.kr)[1]

[1]한국생산기술연구원 실버기술연구그룹

Key words : Human teeth, Compression test, Finite element method

1. 서론

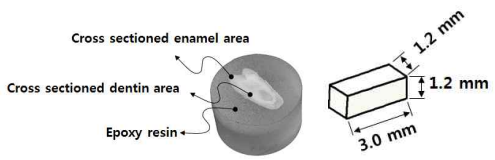
치과 치료에서 사용되는 다양한 치아 대체 재료들은 치아의 기계적 거동 특성과 유사할 필요가 있다. 그러나 치아의 구조가 복잡하고 물성은 각 조직별로 상이하게 나타나므로 치아의 기계적 거동 특성 분석을 수행하기에 많은 제약이 있다.

이러한 문제로 인해 기존의 연구에서는 치아 조직의 미세 시편을 이용한 치아의 기계적 특성 분석을 수행해왔다.[1] 이러한 연구의 결과는 각 조직별 기계적 거동특성만 예측을 할 수 있지만 복잡한 치아의 구조를 감안하였을 경우에는 적용하기 힘든 실정이다. 더구나 한국인의 치아를 이용한 치아 조직의 미세 시편을 이용한 연구결과는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 한국인 치아조직의 미세시편을 이용하여 각 조직의 기계적 거동 특성을 분석하였다. 또한 분석된 각 조직의 기계적 특성을 적용한 유한요소해석법을 통해 한국인 치아의 기계적 거동 특성 분석을 수행하였다.

2. 방법

치아조직 미세시편의 기계적 거동 특성을 분석하기 위해 전혀 손상이 없는 사람 (age : 19.3 ± 4.1) 의 건강한 치아를 적출하여 사용하였다. 적출된 치아는 Fig. 1 (a) 에서 보이는 바와 같이 에폭시 레진 몰딩 (epoxy resin : epoxy hardener = 40 : 10 혼합) 후 단층 절삭하였다. 단층 절삭된 치아를 이용하여 1.2 mm × 1.2 mm × 3.0 mm (Width × Height × Length) (fig. 1(b)) 의 크기로 법랑질 10개씩, 상아질 10개씩 절삭가공 하였다.



(a) (b)

Fig. 1 (a) Cross sectioned tooth specimen in epoxy resin (b) Dimensions of compression test specimens

절삭된 각 시편은 #3000의 습 연마 (wet sanding)가 가능한 연마기 (METPOL2, R&B Inc., Korea)를 이용하여 실험에 적합한 상태로 마무리 하였다. 압축시험 시편들을 micro-load system (Universal Testing System, R&B Inc., Korea)을 이용하여 압축시험을 수행 하였다. 압축시험 중 하중을 측정하기 위해 시편의 파괴하중을 고려하여 100kgf 용량의 로드셀을 선택하고 위쪽 지그에 장착하였다 . 모든 시편의 압축시험은 0.1 mm/sec의 하중속도로 제어했다. 실험 수행 후 압축응력 (σ in MPa) 과 변형률 (ε in %) 을 획득하고 탄성계수 (E, modulus of elasticity) 를 계산하였다.

유한요소해석을 위해 적출된 치아(#34) 3개를 이용하여 미세단층촬영기를 통하여 단층촬영을 수행하였다. 얻어진 층별 높이가 0.02131mm인 1024장의 2차원 치아 단면 정보로부터 V-Works를 사용하여 외곽라인을 3차원으로 각 조직에 따라 재구성하였다. 재구성된 치아 형상은 Hypermesh (Altair Engineering. inc, V7.0)를 이용하여 형상을 유한요소 모델로 재구현하였다. ABAQUS(X.X)를 사용하여 경계조건은 치아의 수직에 대한 45°방향

으로 협측삼각융선(Buccal triangular ridge) 부위에 하악 제1소구치의 최대 교합력인 250N의 분포하중을 가하였으며, 치경선 아래 치근부의 x, y, z 축을 고정하였다.

3. 결과

Table 1. 은 실험에서 획득된 각 조직의 최대응력 (Max. stress), 최대 변형률 (Max. strain), 탄성계수 (E) 의 평균값과 standard deviation을 나타낸다.

Table 1 Mean values and standard deviations of mechanical properties of dental hard tissues

	Max. Stress (MPa)	Max. Strain (%)	E (MPa)
Enamel	62.2±23.8	4.5±0.8	1338.2±307.9
Dentin	193.7±30.6	11.9±0.1	1653.7±277.9

획득된 결과와 참고문헌에서 획득된 결과를 토대로 유한요소 해석을 수행하였다 (Table 2).

Table 2 Material properties for FEM

	E (MPa)	Poisson's ratio $(\nu)^{2,3}$
Enamel	1338.2±307.9	0.20
Dentin	1653.7±277.9	0.31

유한요소 해석의 결과는 Fig. 2과 같다. 각 유한요소 모델에서 계산된 최대응력은 6.024 MPa, 4.222 MPa, 5.196 MPa 이다. 기존 물성치를 이용한 유한요소해석에서 계산된 최대응력은 45 MPa으로 본 연구에서 계산된 값에 비해 약 9배 크다.

4. 결론

기존의 유한요소 해석을 통한 치아의 기계적 거동특성 분석에서 사용된 치아 조직 물성 중 탄성계수는 본 연구에서 실험을 통해 획득한 탄성계수에 비해 법랑질의 경우 약 62.8배, 상아질의 경우 약 11.2배 크다. 본 연구에서 획득한 탄성계수는 치아 조직을 미세 가공 및 micro-load system을 이용한 결과이다. 또한 시편의 크기와 압축시험의 조건이 동일하다. 따라서 유한요소해석 수행에서 입력값으로 적용되는 탄성계수에 적용하기에 적합하다고 생각된다. 하지만 치아의 크기로 인해 시험시편의 크기에도 제한점이 존재하였고 스트레인 게이지 (strain gauge)를 사용할 수 없어 정확한 프와송비(poisson ratio)를 계산하지 못한 한계점이 있다. 추후 압축시험 도중 현미경과 초고속카메라를 통한 시편의 파괴시 이미지획득을 통해 변형률을 계산한다면 이러한 한계점도 해결 가능할 것으로 사료된다.

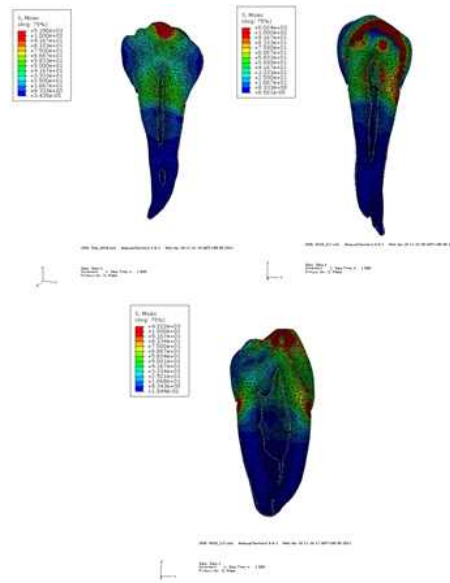


Fig. 2 The results of finite element method

참고문헌

1. Yu-yong CHEN et al.,“ Microstructures and properties of titanium alloys Ti-Mo for dental use”, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Volume 16, Supplement 2, June 2006, Pages s824-s828
2. H. E. Lee., C. L. Lin., C. H. Wang., C. H. Cheng., C. H .Chang., "Stresses at the cervical lesion of maxillary premoler-a finite element investigation", Journal of Dentistry, Vol.30, pp. 283-290, 2002.
3. C. L. Lin., C. H. Chang., C. S. Cheng., C. H. Wang., H. E. Lee., "Automatic finite element mesh generation for maxillary second premolar", Computer Methods and programs in Biomedicine, Vol. 59, pp. 187-195, 1999.