

자연치아를 이용한 기계적 거동 분석

Analysis of Mechanical Behavior using Natural Tooth

*유의식¹, #전경진¹, 이종엽², 이계한³, 정우원³

*O. S. Yoo¹, #K. J. Chun(chun@kitech.re.kr)¹, J. Y. Lee², K. H. Rhee³, W. W. Jeong³

¹ 한국생산기술연구원 실버기술개발단, ²강북삼성병원 치과, ³명지대학교 기계공학과

Key words : Mandibular First Premolar, Fracture Test, Maximum Force, Stress-Displacement Rate Curve, Dental Morphology

1. 서론

치아는 고도로 석회화된 법랑질과 이보다는 적게 석회화된 상아질이라는 경조직으로 이루어져있으며, 외부하중이 법랑질에 가해지면 상아질이 이를 지지하는 구조를 이룬다. 지나친 외부하중이 치아에 가해질 때 발생하는 취성과파괴는 법랑질만의 물성에 관계된 것이라 볼 수 없다. 따라서 기존 연구된 조직별 시편의 물성만으로는 파괴가 발생하는 최대 하중 또는 최대 응력을 정확하게 알기 어렵다. 유한요소해석에 의해 예측되는 결과 역시 미리 세운 가정에 의해 제한적일 수밖에 없다. 반면, 치아의 규격시편을 이용하지 않고 자연 시편을 이용하는 경우 치아의 구조와 형태에 따라 발생할 수 있는 변수들을 포함한 결과들을 얻을 수 있다.

이에 본 연구에서는 치아의 거동 특성을 파악하기 위해 자연 치아 시편을 사용하는 '치아파절시험'을 통하여 하악 제1소구치의 최대 하중과 최대 변위를 알아보고, 응력-변위비(Stress-displacement rate curve)를 구하여 치아의 기계적 거동에 대해 분석하였다.

2. 실험방법

치아파절시험은 구치 중에서 형태학적으로 개별 치아간의 차이가 적은 하악 제1소구치를 대상으로 수행하였다. 각 시편은 우식과 외견상 균열이 없는 것만을 사용하였으며, 시편 T01은 44세 여성으로부터, 시편 T02는 51세 여성으로부터, 시편 T03은 36세 남성으로부터, 시편 T04는 23세 남성으로부터 획득하였다.

시험기는 정격용량이 10 kN인 Instron 8511, 로드셀은 500 kg, 까지 가능하도록 LCF-500K (TWS)를 선택하였다. 스트레인 앰프(F-800, TWS)는 로드셀에 전원을 공급하고, 회로를 구성하여 변형에 따른 출력 전압을 전기적 신호로 바꾸어 주는 역할을 한다. 앰프는 지역통과여파기와 A/D 컨버터가 결합되어 있다. 로드셀의 하중 Data와 Instron 8511의 변위를 동기화시키기 위해 4채널 오실로스코프(TDS 3034, Tektronix)를 사용하였다.

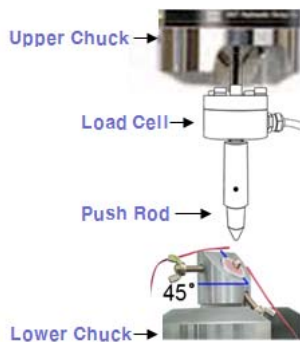


Fig. 1 Testing Instruments and Tooth Specimen

Fig. 1은 치아의 교합과 같은 조건에서 실험할 수 있도록 스트레인게이지를 부착한 시편과 몰딩 지그, 베이스 지그를 Instron 8511에 장착한 모습이다. 치아 교합시 접촉은 Worner의 교합력에 대한 연구결과[28]와 같이 치아의 수직에 대해 45° 방향으로 협측삼각용선 부위에서 일어난다. 따라서 시편이 고정

된 몰딩 지그는 베이스 지그에 45° 방향으로 삽입되도록 하였다. Instron 8511의 속도는 시편에 정적 하중을 주기 위하여 0.1 mm/sec 로 설정하였다^{1,2}.

실험에서 획득한 각각의 최대 하중과 최대 변위는 치아의 크기 및 조직의 두께와 관련이 있을 것으로 예상하였다. 따라서, 형태학적 수치를 측정하기 위해 Micro-CT (SkyScan-1072, Skyscan)를 사용하여 단층 영상을 획득하였다. 단층 영상의 해상도는 21.3 μm * 21.3 μm이며, 층간 간격은 21.3 μm 로 설정하였다. 획득한 단층 영상은 Vworks (CyberMed, ver. 4.0)를 사용하여 법랑질, 상아질, 치수(Pulp)로 나누어 각각 표면 모델로 재구성하였으며, Hypermesh (Altair Engineering, ver. 7.0)를 이용하여 하나의 모델로 작성하였다³.

3. 결과

각각의 치아파절시험은 두 가지 종류의 그래프로 파악하여 볼 수 있다. 첫째는 치아에 하중이 가해질 때부터 파괴될 때까지의 변위에 따른 힘 그래프이다. 둘째는 첫째 그래프를 변환한 것으로 '변위비(Displacement Rate)'에 따른 '응력(Stress)' 그래프이다. 이러한 그래프를 함께 비교하는 이유는 Instron 8511를 통해 측정된 변위는 시편 중 레진에 파묻히지 않는 부분의 길이 즉, 치관의 길이에 비례할 것이며, 시편이 견딜 수 있는 최대 하중은 치경의 단면적에 비례할 것으로 예상하였기 때문이다. 그래프에서 사용할 용어는 Table 1에 그 정의를 나타내었다.

Table 1 Description of Terms for Test Results

Terms	Description
Stress [MPa]	Force / A _c (A _c is the cervical cross sectional area except pulp cavity)
Displacement Rate [mm/mm]	Displacement / L _c (L _c is the length of crown)

그래프의 일부를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. T04 시편은 23세 남성의 좌측 하악 치아로 0 N에서 시작하여 248 N 이 최대 하중이며, 이때 최대 변위는 0.36 mm였다. 하중은 시간에 따라 비교적 일정하게 증가되었으며, 변형에 따른 하중도 선형적으로 나타났다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 시편은 최대 하중이 나타난 이후 취성 파괴를 보였으며, 1차 회귀모형을 적용한 결과 기울기는 621 N/mm, 상관계수는 0.97로 나타났다.

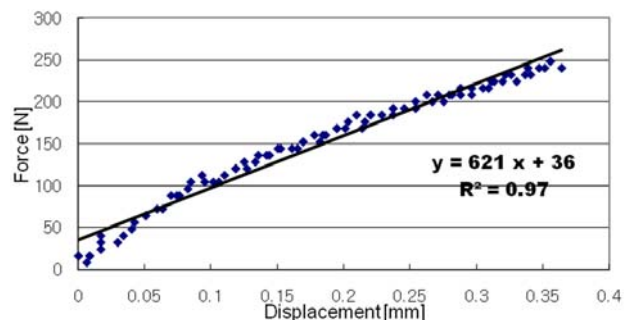


Fig. 2 Force vs. Displacement of Specimen T04

Fig. 3은 ‘변위비’(Displacement rate)에 따른 ‘응력’(Stress)을 나타낸 것으로 Figure 12과 동일한 경향을 보인다. 치경단면의 면적은 32.25 mm²이며, 최대 ‘응력’(Stress)은 7.7 MPa이 된다. 치아가 법랑질로 덮여있는 치관의 길이는 8.39 mm이며, 치아의 최대 ‘변위비’는 0.042 mm/mm이다.

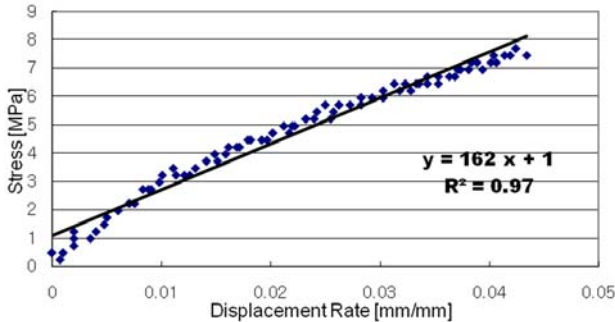


Fig. 3 Stress vs. Displacement Rate of Specimen T04

각 시편에 대하여 파괴실험을 통해 얻은 최대 하중(Maximum force)은 278±26 N, 최대 변위(Maximum displacement)는 0.357±0.018 mm의 분포를 보였다. 여성의 치아인 시편 T01과 T02의 ‘응력’은 각각 11.9 MPa, 12.6 MPa로 비슷하게 나타났으며, 남성의 치아인 시편 T03과 T04의 ‘최대 응력(Maximum Stress)’은 각각 9.3 MPa, 7.7 MPa로 여성 시편에 비해 작게 나타났다. 최대 변위비(Maximum displacement rate)는 0.042±0.000 로 일정하게 나타났다.

Table 2 Linear Fitting of Fracture Test

Graph Specimen	Force vs. Displacement [N/mm]	Stress vs. Displacement Rate [MPa]
T01	831 (0.97)	295 (0.97)
T02	678 (0.96)	255 (0.96)
T03	804 (0.98)	210 (0.98)
T04	621 (0.97)	162 (0.97)
Ave±SD	734±100 (0.97±0.01)	231±57 (0.97±0.01)

4. 결론

각 시편에 대하여 표시한 그래프의 기울기와 상관계수는 Table 2와 같다. 그래프가 선형에 가까우므로 1차 회귀모형을 사용하여 비교한 결과, ‘변위’에 따른 ‘하중’ 그래프의 기울기는 734±100 N/mm, 응력-변위비 그래프의 기울기는 231±57 MPa이며, 상관계수는 0.97±0.01로 비교적 높게 나타났다. 따라서 자연 치아의 ‘변위비’는 ‘응력’에 비례함을 알 수 있었다.

시험 결과는 자연 치아 시편을 사용하였으므로 생물학적으로 차이가 있을 수 있고, 단 4개의 시편만을 실험한 결과이기에 물성을 일반화하기는 어렵다. 그럼에도 불구하고 이와 같은 결과는 치아의 조직별 물성이 아닌 자연 치아의 물성에 대한 것으로, 임플란트 개발에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

후기

본 연구는 한국생산기술연구원 생산기술연구 사업의 연구비 지원을 받아 수행되었으며, 연구수행에 도움을 주신 한국과학기술연구원 최귀원 박사님께 감사드립니다.

참고문헌

1. Arola, D., "Fatigue and fracture of bovine dentin", *Experimental Mechanics*, 42, 380-388, 2002.

2. Palamara, D., et al, "Strain patterns in cervical enamel of teeth subjected to occlusal loading", *Dental Materials*, 16, 412-419, 2000.
3. Chun, K. J., et al, "A study of standardization of Korean mandibular second premolar", 3th Asian Pacific Conference on Biomechanics, S220, 2007.