

한국인 자연치아의 파괴시험을 통한 기계적 거동에 관한 연구

A Study of Mechanical Behavior by Fracture Tests of Korean Teeth

*김수택¹, #전경진¹, 고철웅¹, 조덕연¹, 유의식², 이종엽³

*S.T. Kim¹, #K.J. Chun(Chun@kitech.re.kr)¹, C.W. Ko¹, D.Y. Cho¹, O.S. Yoo², J.Y. Lee³

¹ 한국생산기술연구원 실버기술개발단, ²(주)코렌텍 중앙기술연구소, ³강북삼성병원 치과

Key words : Mechanical Behavior, Stress-Displacement Curve, Mandibular First Premolar, Dental Property, Micro-CT

1. 서론

인간의 소화기능, 발음기능, 미적기능 등을 담당하는 중요한 기관인 치아는 고도로 석회화된 법랑질(Enamel)과 이보다는 적게 석회화된 상아질(Dentin)이라는 경조직으로 구성되어 있으며, 외부하중이 법랑질에 가해지면 상아질이 이를 지지하는 구조로 이뤄진다. 한계치 이상의 외부하중이 가해질 때 유발 되는 취성과 파괴는 여러 물질이 유합되어 있는 치아의 구조 특성상 경계면이나 취약 부분에서만 파괴되는 것이 아니라 복합적인 파괴(Complex Fracture)를 발생시킨다. 치아에서는 내부응력¹이 법랑질과 상아질의 경계를 따라 분포하기는 하나 응력이 집중되는 치경선(Dental Cervical Line)은 그보다 하단에 위치하며, 경계면의 합착력은 비교적 높으므로 파괴 및 변형²은 다양한 양상을 보일 것으로 예상된다. 그러나 기존 연구된 치아 시편의 물성만으로는 파절이 발생하는 최대 하중(Maximum Force) 또는 최대 응력(Maximum Stress)을 측정하는 것이 난해하며, 유한요소해석(Finite Element Analysis)에 의해 예측되는 결과³ 역시 설정한 가정에 의해 제한적일 수밖에 없다. 또한 기존 연구의 대부분이 외국인 치아를 대상으로 진행되어 한국인에 대한 연구는 매우 미비한 실정이다.

본 연구에서는 치아의 구조와 형태(Dental Morphology)에 따라 발생할 수 있는 변수를 포함한 기계적 거동 특성을 파악하기 위해 형태규격시편이 아닌 자연치아(Natural Tooth) 시편을 이용한 “자연치아 파괴시험(Fracture Test)”을 통해 한국인 하악 제1소구치(Mandibular First Premolar)의 최대 하중 및 변위를 측정하고 응력-변위 곡선(Stress-Displacement Curve)를 도출하여 치아의 기계적 거동(Mechanical Behavior)에 대하여 분석하였다.

2. 실험방법

2.1 Test 시편

자연치아 파괴시험은 구치 중에서 형태학적으로 개별 차아간의 차이가 적으며, 발치 시 상대적으로 결합 발생이 낮은 하악 제1소구치를 대상으로 수행하였으며, 총 5개(남성 1개, 여성 4개)의 시편이 사용되었다 (Table. 1). 입수된 시편은 발치 후 글루콘산 클로르헥시딘(Chlorhexidine Gluconate)액을 0.5% 함유하는 적색의 투명한 헥사메딘액에 보존하여 살균 및 적정 수분유지가 가능하도록 하였다. 또한 Micro-CT (SkyScan-1073, SkyScan Inc.) 영상정보를 추출하고 영상정보 재구성(Reconstruction) 및 분석 상용소프트웨어인 Mimics 13.0 (Materialise Inc.) 사용하여 내부 균열(Crack)이 존재하는 시편을 선별하였다.

Table 1 Reference of Specimens

Specimen No.	Gender	Age
T01	Female	22
T02	Female	46
T03	Female	22
T04	Female	22
T05	Male	29

2.2 실험장치 및 실험준비

본 연구에서 사용된 만능재료시험기(Universal Material Test Machine)는 정격용량이 10 kN인 Instron 8871(Instron Inc.)을 사용하였으며, 치아의 파괴하중의 범위를 고려하여 100 kgf의 로드셀(Loadcell)을 장착하였다. 그리고 외력에 의한 측정오차를 최소화하기 위해 로드셀에 푸쉬로드(Push-Rod)를 직렬 결합하였다. (Fig. 1)

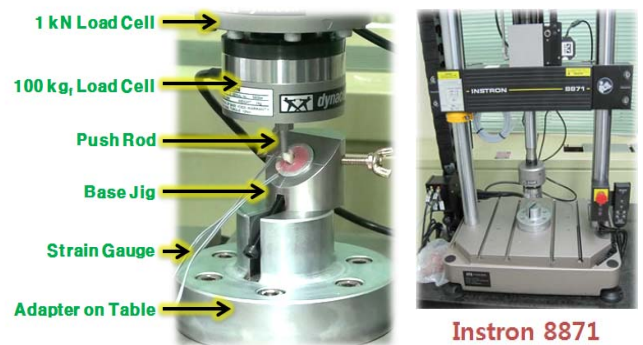


Fig. 1 Testing Instruments

치아 시편이 고정되는 몰딩 지그(Molding Jig)는 만능재료시험기에 결합되는 베이스 지그(Base Jig)에 45° 방향으로 고정되도록 설계하였다 (Fig. 2). 이는 치아의 교합이 치아의 수직에 45° 방향으로 발생하기 때문이다. 또한 치아가 하악골에 식립되어 있는 상태와 유사한 조건을 부여하기 위해 각각의 시편에 기준축(Datum Axes)을 설정하였으며, PMMA(Polymethyl Methacrylate)를 사용하여 몰딩 지그에 고정하였다 (Fig. 3).

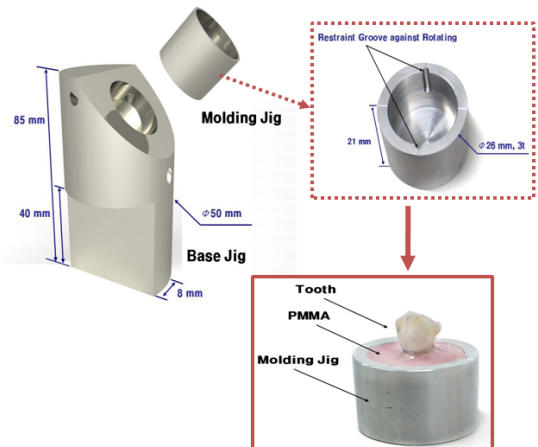


Fig. 2 Base and Molding Jigs for Fracture Test of Korean Teeth

2.3 실험조건

시편 고정부분은 실제 치조골의 위치와 유사하게 설정하였으며, 치조골의 식립 깊이는 치경선의 1.0 mm 아래부터 존재하는 것으로 가정⁵하여 고정하였다. 그리고 치아의 협측삼각교두에 수직하중이 부과될 수 있도록 지그를 만능재료시험기에 고정 한 후 오프셋(Offset)을 설정하였다. 하중을 부과하는 푸쉬로드의 속도는 0.1 mm/sec로 하여⁶ 정적인 조건에서 데이터를 얻고자 하였다.

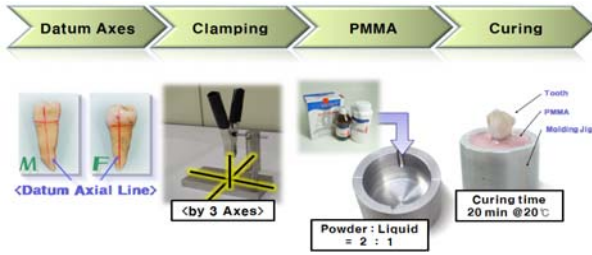


Fig. 3 Preparation Process of Test Specimen

3. 결과 및 고찰

본 실험에서는 자연치아의 최대 파괴하중 및 변위, 변위 변화에 따른 하중-변위 곡선을 측정하였다. 측정된 데이터는 치아의 크기 및 조직의 두께와 상관성이 있으므로 각각 시편의 형태학적 수치들을 측정하였다 (Table 2, Fig. 4).

Table 2 Morphological Values of Specimen for Fracture Test

Specimen No.	Cervical Cross Section Area (1)	Length of Tooth (2)	Length of Crown (3)	Buccal-Lingual Diameter of Crown (4)	Mesial-Distal Diameter of Crown (5)
T01	30.32	22.45	8.33	7.35	5.30
T02	27.13	19.35	7.62	7.65	4.68
T03	25.90	22.97	9.21	7.33	5.05
T04	24.97	21.70	8.92	7.20	5.12
T05	29.31	23.40	10.11	8.90	5.92

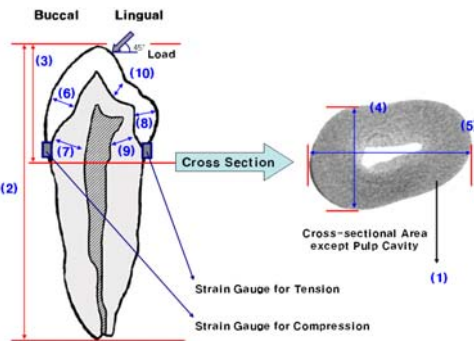


Fig. 4 Definition of Morphological Values (Table 2)

자연치아 파괴시험에서 측정된 데이터는 2종류의 그래프로 도시하여 분석하였다. 첫째는 치아에 하중이 부과되는 시점에서 파괴가 발생하는 시점까지 변위(Displacement)에 따른 하중(Force) 그래프를 분석하였으며, 둘째는 첫 번째 그래프를 변환하여 변위비(Displacement Rate=Displacement/Length of Crown)에 따른 응력(Stress=Force/Cervical Cross Section Area) 변화를 분석하였다. 이는 시편 중 레진에 고정되지 않는 부분(Length of Crown; (3))에 비례할 것이며, 시편의 최대 하중은 치경의 단면적(Cervical Cross Section Area; (1))과 상관성이 존재할 것으로 예상하였기 때문이다. 도시한 그래프의 일부는 다음과 같다 (Fig. 5, 6).

측정된 시편(T01~05)의 최대 하중(Max. Force)은 957±52 N, 최대 변위(Max. Displacement)는 0.70±0.13 mm의 분포를 나타냈으며, 여성(T01~04)과 남성(T05)의 차이는 하중과 변위에서 3.8%, 6.8%로 상당히 유사한 결과를 보였다. 최대 응력(Max. Stress)은 35.0±3.9 MPa, 최대 변위비는 0.080±0.017 mm/mm로 측정되었으며 남녀차이(응력: 11.7%, 변위비: 10.9%)는 매우 유사한 결과를 나타내었다 (Table 3).

4. 결론

본 연구는 자연치아의 파괴시험을 통해 치아의 구조와 형태에 따라 발생할 수 있는 변수를 포함한 하악 제1소구치의 기계적

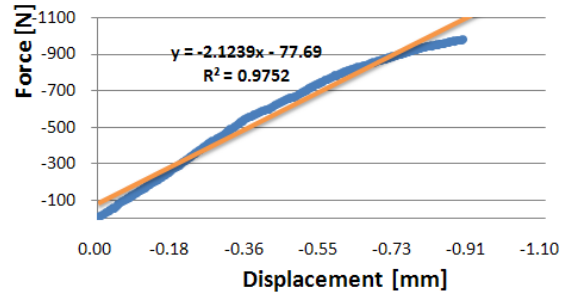


Fig. 5 Force-Displacement of Specimen T01

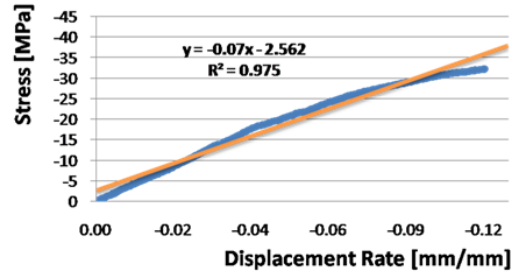


Fig. 6 Stress-Displacement Rate of Specimen T01

Table 3 Experimental Results of Specimens for Fracture Test

Specimen No. (Gender)	Max. Force (N)	Max. Displacement (mm)	Max. Stress (MPa)	Max. Disp. Rate (mm/mm)
T01 (F)	980	0.90	32.3	0.108
T02 (F)	932	0.60	34.3	0.079
T03 (F)	909	0.59	35.1	0.064
T04 (F)	1036	0.68	41.5	0.076
T05 (M)	928	0.74	31.7	0.073
Ave±SD	957 ±52	0.70 ±0.13	35.0 ±3.9	0.080 ±0.017

거동 특성 분석하였다. 회귀분석 결과 하중-변위 그래프의 경우 기울기(Slope)는 2606 N/mm, 상관계수(Coefficient of Correlation; R²)는 0.99로 선형적으로 나타났다. 또한 응력-변위비의 그래프 역시 기울기 467 MPa/mm, 상관계수 0.99로 선형적 경향을 보였다. 측정된 결과는 시편의 제한성으로 인해 소량(5개)의 시편을 사용하였다. 그러므로 현 단계에서 물성의 정량화는 난해하나 지속적인 시편의 입수를 통해 데이터를 확보한다면 한국인 자연치아의 기초 데이터 확보 및 관련 연구에 중요한 의미를 가질 것으로 기대한다.

후기

본 연구는 한국생산기술연구원 청정생산시스템개발사업의 연구비 지원을 받아 수행되었다 (과제번호: 10-E0-2-0005).

참고문헌

1. Chun, K. J., et al., "A study of standardization of Korean mandibular second premolar," 3th Asian Pacific Conference on Biomechanics, S220, 2007.
2. Palamara, D., et al., "Strain patterns in cervical enamel of teeth subjected to occlusal loading," Dental Materials, 16, 412-419, 2000.
3. H. E. Lee., et al., "Stresses at the cervical lesion of maxillary premolar-a finite element investigation," Journal of Dentistry, Vol.30, pp. 283-290, 2002.
4. Hiroshi Horiuchi 외, "구강생리학," 고문사, 2003.
5. 김영진 외, "치면세마론," 대한나래출판사, 2005.
6. An, G. B., et al., "Effect of strength mis-match and dynamic loading on ductile fracture initiation," Engineering Fracture Mechanics, 70(11), 1359-1377, 2003.