

치아조직시편의 파괴시험을 통한 한국인 치아의 기계적 거동 분석

Analysis of Mechanical Behavior by Tissue Specimen Fracture Tests of Korean Teeth

*김수택¹, #전경진¹, 고철웅¹, 이의석²

*S.T. Kim¹, #K.J. Chun(chun@kitech.re.kr)¹, C.W. Ko¹, E.S. Lee²

¹한국생산기술연구원 실버기술개발단, ²고려대학교 구로병원 치과

Key words : Korean Teeth, Dentin Tissue Specimen, Fracture Test, Mechanical Behavior

1. 서론

인간의 치아는 고도로 석회화된 법랑질(Enamel)과 상대적으로 적게 석회화된 상아질(Dentin)의 경조직(Hrad Tissue)으로 구성되며, 내부의 혈관과 신경이 풍부하게 위치하며 영양을 공급하는 역할을 하는 치수(Pulp)가 존재한다. 치아는 법랑질에 외부하중이 작용할 때 상아질이 이를 지지하는 구조로 이뤄지며, 한계치 이상의 하중으로 발생되는 취성 파괴의 경우 구조적 특성으로 인해 복합적인 파괴(Complex Fracture)를 발생시킨다.

복잡한 구조적 특성으로 인한 복합적인 파괴양상을 보이는 치아의 생체역학적 특성과 기계적 거동(Mechanical Behavior)을 분석하기 위해서는 조직별 물성에 대한 연구가 요구된다. 하지만, 이러한 연구는 주로 외국인의 치아를 대상으로 보고¹되고 있으며, 한국인 치아에 대한 연구는 전무한 실정이다. 본 연구에서는 한국인 치아의 조직별 생체역학적 특성을 조사하기 위해 치아의 상아질 미세조직 시편(Dentin Tissue Specimen)을 이용한 파괴시험을 통하여 기계적 거동을 분석하였다.

2. 실험방법

2.1 Test 시편

치아의 상아질 미세조직 시편의 파괴시험에서는 압축(Compression) 및 3점 굽힘(3-Point Bending) 시험을 수행하였으며, 문헌¹을 참조하여 시편 크기를 선정하였다 (Table 1).

Table 1 Information of Dentin Tissue Specimens

Test	Size: W×H×L (mm)	Dentin (EA)
Compression	1.2x1.2x3.0	11
3 Point - Bending	1.0x1.0x6.0	11

조직시편의 정밀절삭 및 연마에는 EXAKT 300, 400CS (EXAKT Inc., Germany)를 사용하였다. 시편의 가공 절차는 자연치아를 Molding 하여 일정한 두께로 절삭한 후, 상아질 조직에서 시편을 적출하고 연마를 통해 완성하였다 (Fig. 1). 완성된 상아질 시편에 대해서는 광학현미경(Optical Microscope) BX-41M(OLYMPUS, Japan)과 Micro-CT(Skyscan 1073; SKYSCAN, Belgium) 영상정보를 이용하여 가공면의 미세 균열(Crack)을 확인하였다.

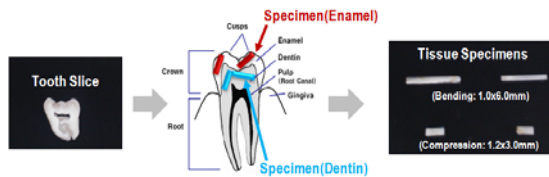


Fig. 1 Production Process of Dentin Tissue Specimen

2.2 시험장비

본 연구에서 사용된 시험장비는 한국생산기술연구원(KITECH)과 ㈜R&B의 협력으로 개발된 치아조직 특성 분석용 마이크로 시험기(Micro-Test Machine)이며², 미세 조직시편의 압축 및 굽힘 파괴 하중을 고려하여 각각 10kgf, 500kgf의 Loadcell을 장착하였다. 압축시험 시에는 하중이 전달되는 종축이 시편에 정확히 정렬(Alignment)되도록 반구형의 결함부를 적용하고, 파괴로 인한 비산방지 커버장착 지그를 사용하였다. 굽힘시험의 경우 기계적 진동을 최소화하면서 일정한 위치에 하중이 부과되도록 Guide Bar를 장착하고, 시편의 전·후방향의 정확한 정렬을 위하여 Stopper를 설치한 지그를 사용하였다. 시험조건은 압축/굽힘 모두 0.1mm/sec의 하중 속도를 부과하였다 (Fig. 2).



Fig. 2 Micro-Test Machine and Jigs for Fracture Tests of Korean Dentin Tissue Specimen

3. 실험결과 및 고찰

치아 미세조직 시편의 파괴시험을 통해 상아질의 압축 및 굽힘 시 최대 파괴하중, 변위, 응력, 변형률, 탄성계수(E), 항절력(TRS: Transverse Rupture Strength) 등을 측정하였다 (Table 2).

Table 2 Summary of Dentin Tissue Fracture Test Results

Compression Test					
Tissue	Specimen	Max Force (N)	Max Stress (MPa)	Max Strain (%)	E (GPa)
Dentin (D)	DC 01	229.5	159.4	11.6	1.44
	DC 02	421.9	293.0	17.1	2.20
	DC 03	425.3	295.4	23.7	1.73
	DC 04	286.7	199.1	15.4	1.82
	DC 05	304.1	211.2	11.7	1.87
	DC 06	297.7	206.7	12.2	1.97
	DC 07	333.2	225.7	15.1	1.84
	DC 08	451.9	284.6	22.4	1.94
	DC 09	330.2	222.1	16.7	1.90
	DC 10	242.3	159.0	14.8	1.22
	DC 11	248.1	178.2	11.9	1.53
AVE		324.6	221.3	15.7	1.77
3-point Bending Test					
Tissue	Specimen	Max Force (N)	TRS (MPa)		
Dentin (D)	DB 01	36.2	217.2		
	DB 01	43.0	258.0		
	DB 02	31.2	187.2		
	DB 03	38.4	230.4		
	DB 04	28.0	168.0		
	DB 06	43.0	258.0		
	DB 07	42.3	207.4		
	DB 08	33.9	426.1		
	DB 09	43.7	359.8		
	DB 10	57.7	454.4		
	DB 11	35.0	301.3		
AVE		39.3	278.9		

압축 시 최대 파괴하중(Fracture Force)은 324.6 ± 77.6 N, 최대 응력(Stress)은 221.3 ± 50.0 MPa 로 측정되었다. 굽힘 시 최대 파괴하중은 39.3 ± 8.0 N으로 압축에 비해 12.1%의 수준이었다. 이는 치아가 압축에 강한 성질을 보이는 특성을 잘 보여주고 있다. 탄성계수(E: Elastic Modulus)는 1.8 ± 0.3 GPa로 항절력(파단강도) 278.9 ± 96.1 MPa에 비해 상대적으로 큰 값을 보였으며, 취성(Brittle) 재질의 경향을 보였다. 이러한 결과는 소성변형이 거의 발생하지 않고 비교적 작은 변형률 값에서 파단이 일어나는 취성 재료의 특성으로 응력-변형률(Stress-Strain) 곡선에서도 잘 나타나고 있다 (Fig. 3).

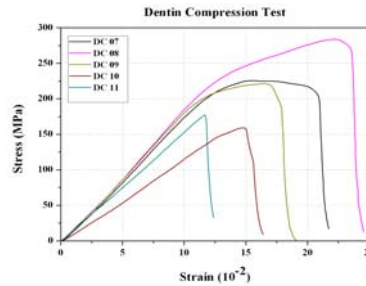


Fig. 3 S-S Curve of Dentin Tissue Fracture Tests

4. 결론

본 연구에서는 한국인 치아의 상아질 미세 조직시편의 파괴시험을 통하여 기계적 거동을 분석하였다. 측정 결과, 탄성계수가 항절력에 비해 크게 나타났으며, 소성변형이 거의 발생하지 않고 파단이 발생하는 취성 재질의 경향을 보였다. 치아 미세 조직시편 가공의 어려움으로 제작시편 수의 제한이 있지만, 한국인 치아의 상아질에 있어서 기계적 거동에 대한 정량적 정보가 도출되었다. 향후, 상아질은 물론 법랑질에 대해서도 시험 Data 축적을 통하여 한국인 치아의 생체역학적 특성을 조사할 예정이다.

후기

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

참고문헌

1. Sabine B., et al., "The Fracture behavior of dental enamel," *Biomaterials*, **31**, 375-384. 2010.
2. 유의식 외, "고속 Data 직접장치를 구비한 치아조직 특성 시험용 마이크로 시험기의 개발," 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, 613-614, 2009.