

고속 Data 집적장치를 구비한 치아 조직 특성 시험용 마이크로 시험기의 개발

Development of Micro-Tester with High Rate Data Acquisition System for Measuring Mechanical Behavior on the Tissue of Teeth

유의식¹, 김수택¹, 조덕연¹, 전경진¹, 전승범², 남상규², *#고철웅¹,
 E.S. Youi¹, S.T. Kim¹, D.Y. Choi¹, K.J. Chun¹, S.B. Jeon², S.K. Nam², *#C.W. Ko¹
¹ 한국생산기술연구원 실버기술개발단, ² (주) R&B Inc.

Key words :Micro-Tester, High Rate Data Acquisition System, Mechanical Behavior, Tissue of Teeth, Biomechanics

1. 서론

치아는 구강내에서 상악골과 하악골의 치조부 치조연에 위치한 석회화된 경조직성 기관이다. 치아를 구성하는 주요한 고유조직은 법랑질(Enamel) 및 상아질(Dentin) 이며 인체의 다른 부위와 달리 석회화가 잘 되어있다. 치아의 내부조직은 치수(Pulp)로 구성되어 있으며, 혈관과 신경이 풍부하게 위치하고 치아에 영양을 공급한다. 또한, 치주조직인 백악질(Cementum), 치주인대(Periodontal Ligament), 치조골(Alveolar Bone), 치은(Gingiva) 등으로 구성되어 있으며 이들은 주로 치아를 지지하는 역할을 한다^{1,2,3}. 이렇게 복잡한 구조로 되어있는 치아의 물성은 각 조직별로 상이하게 나타나므로 치아에 대한 정확한 생체역학적 특성을 도출하기에는 현실적으로 많은 제약이 수반되고 있다. 특히, 치아의 파절 등을 예측하기 위해서는 무엇보다도 미세 치아조직에 대한 신뢰성 높은 실험적 Data가 요구되나, 치아조직의 미세한 시편 제작의 어려움 및 실험장비의 정밀도 등의 문제로 치아조직에 관한 연구는 충분하지 않다.

치아조직의 미세 시편을 이용한 치아 특성에 관한 기존의 연구는^{4,5,6} 주로 외국의 보고 예이며, 국내의 경우 한국인의 치아를 대상으로 치아조직 특성에 관한 연구 보고는 거의 없다. 본 연구에서는 한국인 치아조직의 생체역학적인 특성을 조사하기 위한 목적으로 신뢰성 높은 고속 Data 집적장치를 구비한 치아 전용 마이크로 시험기를 개발하였다.

2. 치아조직 특성 시험용 마이크로 시험기의 개발

2.1 마이크로 시험기 본체의 주요특성

본 연구에서 개발한 치아조직 특성 시험용 마이크로 시험기(Fig. 1)는 전자동 Software Control이 가능하며, 구비된 Hardware 측면의 주요 기능은 다음과 같다.

- 최대 사용 용량 2배의 하중을 고려한 고강성 프레임
- 장비의 변형을 보강하기 위한 2중 보강 Column 설치
- 고온 및 저온 실험을 위한 Chamber 사용
- 저 용량 사용자를 위한 정밀 Single Column Type
- 변위 정밀도를 위한 고 정밀 Ball Screw 사용
- 정밀한 변위제어를 위한 Servo Motor 사용
- 프레임 자체의 수평 기능과 이동이 용이한 이동바퀴
- 고분해능 Encoder(검출 거리: 0.041 μ m) 설치

2.2 Controller System

본 장비에 구비된 Nexcade Digital Controller는 High-Speed closed-Loop Control이 가능한 범용 Controller로서 Static 및 Dynamic 시험기에 겸용으로 사용할 수 있도록 개발되었다. 이 Controller는 Function Generation, Data Acquisition, Transducer Conditioning 기능을 포함하여 모든 재료 시험이 가능하도록 설계되었다. Controller의 구조는 Modular Type으로 쉽게 확장이 가능하며, Data 전송은 LAN을 이용한 TCP/IP 방식을 이용하였다. 특히, Conditioner는 최대 4개를 장착할 수 있도록 설계되었으며 크게 Power Supply Module, Processor Module, Conditioner Module로 구성하였다(Fig. 2).

2.3 고속 Data Acquisition 및 처리기능

본 장비에 구비된 Data Acquisition System은 하중, 변위, Strain을 10 kHz까지 수집 가능하며 Acquisition Rate를 시험 도중에 변경이 가능하다. 또한, 도출된 물성정보(UTS, YS, EL, PL, E, Elongation등)에 대하여 자동계산이 가능하며, 설정조건에 따라 실험 종료(실험 종료조건 충족, 각Limit충족)시 Data 취득 정지 기능을 구비하였다. 동시에, Data Filter 기능(Average Filter, Moving Average Filter)을 선택할 수 있도록 Design 하였다. 본 연구에서 개발된 치아조직 특성 시험용 마이크로 시험기의 주요사양은 Table 1과 같다.



Fig. 1 Micro-Tester with High Rate Data Acquisition System

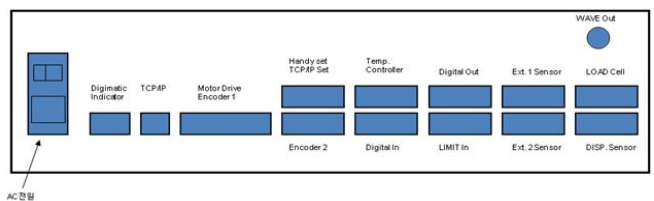


Fig. 2 Controller System (Back Panel)

Table 1 Summary of Main Specification

Item	Specification
Max Load	100 kgf
Min Load	1 gf
Load Resolution	± 0.1 %
Crosshead Travel	700 mm
Frame Stiffness	474 kN/mm
Moving Distance	10 mm
Max Speed	1,000 mm/sec
Min Speed	10 μ m/hour
Position Resolution	1 μ m
Max Dynamic Freq.	60 Hz
Wave Generation	100 Hz
Data Acquisition. Res/Rate	16 bit / 2 kHz
Input/Output CH.	8 ch / 2 ch
Column/Floor	Column
X-Y/Turn Table	X-Y table
Grip	Comp/Tens/Bend

3. 치아조직 미세 시편용 Grip & Jig 개발

3.1 Grip & Jig 의 주요특성

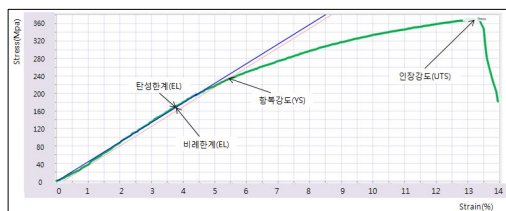
치아조직의 특성에 대하여 신뢰성 높은 생체역학적 특성을 도출하기 위해서는 치아의 고유조직(법랑질, 상아질)을 이용한 미세 시편의 정밀한 제작이 요구된다. 본 장비를 이용하여, 치아조직의 미세시편에 대한 인장, 압축, 굽힘시험이 가능한 Grip & Jig 를 신규로 개발하였다 (Fig.3). 인장 시험용의 경우, 미세한 인장시편 (□0.5mm×6 mm)이 시험 도중에 시편의 Slip 을 방지하도록 Screw 고정 Type 으로 설계하였고, 장착 시 시편의 손상을 방지하기 위해서 Guide Box 를 개발하였다. 압축 시험용의 경우에는, 압축시편(□1.5mm×4 mm)의 압축과정에서 상하측의 Alignment 보정을 위하여 점접촉 Tilting Type의 상부 Grip & Jig 구조로 설계하였고, 시험편의 비산 방지를 위하여 아크릴 커버를 장착하였다. 굽힘 시험용의 경우, 굽힘시편(□0.9mm×11 mm)의 위치 이탈 방지를 위한 Stopper를 설치하였고, 4점 굽힘시험 조건을 고려하여 Guide Bar Type 으로 설계하였다.



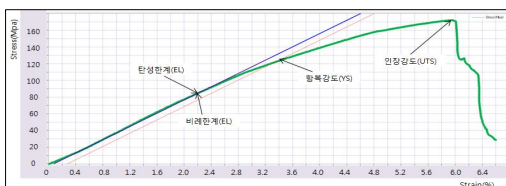
a. Tension b. Compression c. Bending
Fig. 3 Grip & Jig for Material Tests

3.2 시험장비 (Grip & Jig 포함) 의 유효성 검증

본 장비의 유효성을 확인하기 위하여 치아조직의 미세시편 크기와 동일한 인장 및 굽힘 시험용 대체시편 (재질: Al 2024-T4)을 제작하여 실험을 진행하였다. 실험 결과를 고찰한 결과, 인장 실험에서는 물성이 상대적으로 적게 얻어졌지만, 굽힘 실험에서는 유사한 물성이 확인되었다 (Fig. 4, Table 2). 이는 인장 시편의 Jig 물리부에서 시편의 고정 안정성이 부족했던 것으로 추측되며, 인장시편 양 끝단에 접촉 등의 고정 방법을 추가하는 것을 검토하였다. 하지만, 시편 고정이 불필요한 굽힘 실험에서는 양호한 결과가 얻어져 본 연구에서 개발한 마이크로 시험기 및 미세 시편용 전용 Grip & Jig 의 성능에 있어서의 유효성이 확인되었다.



a. Tension



b. Bending

Fig. 4 Material Test Results by Micro-Tester

Table 2 Comparison of Material Test Results

	물성Data (Al 2024-T4)		Micro-tester 도출Data	
	Tension	Bending	Tension	Bending
최대인장강도	> 481 MPa	>160 MPa	370 MPa	172 MPa
항복강도	> 363 MPa	>121 MPa	240 MPa	124 MPa
연신률	> 10%	>10%	12%	7%

4. 결론

본 연구에서는 치아조직 시편의 생체역학적 특성 시험^{7,8,9}이 가능한 고정도의 고속 Data 집적장치를 구비한 치아조직 특성 전용 마이크로 시험기를 개발하였다. 특히, 미세한 크기를 갖는 치아조직 시편의 특성 시험의 극한적인 환경을 고려하여 신뢰성 높은 인장, 압축, 굽힘 시험용의 전용 Grip & Jig 를 개발하였고, 미세 크기의 금속재 대체 시편을 이용하여 개발한 시험 장비의 유효성을 검증하였다. 향후, 본 시험 장비를 이용하여 한국인 치아 물성치의 Data-Base 구축을 위하여 치아의 고유조직(법랑질, 상아질)에 대한 특성을 조사할 예정이다.

후기

본 연구는 본 연구는 한국생산기술연구원 청정생산시스템 개발사업의 연구비 지원을 받아 수행하였다 (과제번호: 09-E0-1-0004).

참고문헌

1. 신제원, 1998, “치아형태학 제 2판“, 정문각, pp. 68-82.
2. Hiroshi Horiuchi 외, 2003, “구강생리학“, 고문사, pp. 129-152.
3. Black, G.V., 1914, "A Work on Operative Dentistry", pp. 3-20.
4. Craig, R. G. and Peyton, F. A., 1958, "Elastic and mechanical properties of human dentin," Journal of Dental Research, Vol. 37, No. 4, pp. 710-718.
5. Habelitz, S., Marshall, S. J., MarshallJr, G. W. and Balooch, M., 2001, "Mechanical properties of human dental enamel on the nanometre scale," Archives of Oral Biology, Vol. 46, No. 2, pp. 173-183.
6. De Santis, R., Ambrosio, L., Millica, F., Netti, P., Nicolais, L., 2007. Mechanical properties of human mineralized connective tissues. In: Modeling of Biological Materials. Birkhäuser, Boston, pp. 211-261
7. Dong, X., and Ruse, N. D., 2003, "Fatigue crack propagation path across the dentino-enamel junction complex in human teeth," Journal of Biomedical Materials Research, Vol. 66, No. 1, pp. 103-109.
8. Antonio, C. and Hardbound, R., 1992, Fatigue and fracture. In: ASM Handbook. ASM International, pp. 665-667
9. Potiket, N., Chiche, G. and Finger, I. M., 2004, "In vitro fracture strength of teeth restored with different all-ceramic crown systems," Journal of Prosthetic Dentistry, Vol. 92, No. 5, pp. 491-495.