

GT rotary file을 이용한 만곡 근관형성시 작업 효율 및 file 변형 발생에 관한 연구

신주희 · 백승호 · 배광식 · 임성삼 · 윤수한 · 김병현*
서울대학교 치과대학 치과보존학교실, 현대중앙병원*

ABSTRACT

A STUDY OF WORKING EFFICIENCY AND FILE DEFORMATION OF GT ROTARY FILE IN CURVED CANALS

Joo-Hee Shin, Seung-Ho Baek, Kwang-Shik Bae, Sung-Sam Lim, Soo-Han Yoon, Byung-Hyun Kim*
Department of conservative dentistry, College of Dentistry, Seoul National University
*University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center**

Root canal preparation process is of utmost importance in successful treatment of root canal. Also, one of the most important purpose of the root canal preparation is to enlarge the root canal three dimensionally without changing the curvature of the root canal. However, as the curvature of the root canal increases, there are many difficulties involved in formation of optimum root canal. Therefore, in order to solve the above mentioned problems, new developments in methods of root canal preparation and equipments for such purposes were made. Recently, vigorous studies about newly introduced engine-driven nickel-titanium rotary file are conducted. As shown in research results to dates, it is well established that the use of nickel-titanium file is better suited for curved root canal than stainless steel file in maintaining the curvature of root canal and reducing the deformation of root canal. However, it is also acknowledged that there are a few discrepancies in research results according to protocol, due to failure to remove variables in experiments. In addition, although it is recommended by the manufacturer that the GT rotary file should maintain a low rotational speed of 150~350rpm and 'light pressure' as light as not to break the lead of a pencil, academic studies about the vertical force which is not yet standardized are not sufficiently explored.

Therefore, this research devised and utilized a special research equipment to standardize the appropriate range of vertical force for GT rotary file through experiments by breaking of the lead of a pencil as expressed by the manufacturer and to accurately measure factors involved through repeating and recreating the environment of root canal preparation. Forming nine experimental groups by varying the vertical forces (150g, 220g, 300g) and rpm (150rpm, 250rpm, 350rpm), the effects of changing vertical forces and rpm on working efficiency were measured in terms of time expended in root canal preparation by crown-down method using a transparent resin block with 35 degree curvature and GT rotary file (z-test). The following research using this special research equipment that involved nine experimental groups and varying the vertical force for root canal preparation from 300g which is within the normal vertical force range to 700g and 1000g which fall outside the normal rpm range.

※ 이 연구는 1999년도 서울대학교병원 임상연구비(01-1999-072-0) 지원에 의한 결과임.

The results were as follows :

1. Analysis of the experiment results revealed that the time spent in root canal preparation decreased as the vertical forces and rpm increased ($p < 0.05$). Also, the effects of rpm were greater than those of the vertical forces within the normal vertical force range (β -weight test).
2. Observation of the deformation of GT rotary file revealed that deformation increases in a direct correlation with the vertical force increase and in a reverse correlation with the rpm decrease. In the case of the vertical forces close to the normal range, the probability of GT rotary file deformation were quite different depending on the rpm changes. In the case of greater vertical forces, the occurrences of deformation of the file were more frequent regardless of the rpm changes.
3. Deformation and breakage of file were also commonly observed in the expended time measurement experiments and GT rotary file deformation experiments in which low speed rpm (150rpm) was used and at the curved portion of the resin block.

Key words : GT rotary file, Crown-down method, Working efficiency, Vertical force, Rpm, Deformation and breakage of file

I. 서 론

근관형성 과정은 성공적인 근관치료에 매우 중요하며^{1,2)}, 치료 전 근관의 만곡도를 변화시키지 않으면서 근관을 3차원적으로 넓혀주는 것이 근관형성의 중요한 목적이기도 하다. 그러나 근관의 만곡도가 증가할수록 근관형성시 근관이 직선화되며, ledge, zip, 근관 천공, 근관 변이 등의 가능성이 커져 이상적인 근관형성에 많은 어려움이 따르게 된다^{3,4)}. 만곡 근관형성시 근관의 전이에 관계되는 요인으로는 근관의 만곡도, 근관형성 방법, 근관형성 기구의 형태 및 재질 등을 들 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 다양한 근관형성 방법과 근관형성을 위한 기구의 발전이 계속되어 왔다. Weine 등⁵⁾은 step-back 방법을 소개하였고, Goerig 등⁶⁾은 step-down 방법을 소개한 바 있으며, Morgan과 Montgomery는⁷⁾ crown-down pressureless 법을, 그리고 Roane 등⁸⁾은 balanced force 법을 소개한 바 있다. 그러나 이러한 근관형성 방법은 유연성과 taper가 적은 stainless steel file로 taper가 큰 형태의 근관을 형성해야 하므로 과정이 복잡하고 숙련되기까지 많은 노력이 필요하며 근관의 크기와 taper 정도를 조절하기 힘든 단점이 있다. 또한 다른 연구들에 의해 file의 크기가 증가하게 되면 근관이 직선화되는 것을 피하기 어렵다고 보고되었다⁹⁻¹²⁾.

1988년 Walia 등¹³⁾은 교정용 재료로 사용되는 nickel titanium(NiTi) 합금으로 file을 만들어 사용할 것을 제안하였는데, NiTi file은 파절 저항성이 높으며 #15

NiTi file은 같은 크기의 stainless steel(SS) file에 비하여 bending과 torsion의 탄성적 유연성(elastic flexibility)이 2~3배 정도 큰 것으로 보고하였다. File의 유연성은 근관형성의 중요한 요소로, 유연한 file일수록 만곡 근관에서 근침부까지 더 잘 도달하는 경향이 있으며, 만곡 근관을 직선화시키거나 ledge, zip, 근관 천공 등을 유발할 가능성이 더 적은 것으로 나타났다¹⁴⁾. NiTi file에 대한 계속적인 연구 개발이 이루어져, 최근에는 엔진 구동형 NiTi file인 Lightspeed (Lightspeed Tech., U.S.A.), ProFile¹⁵⁾ (Maillefer Co., Swiss), Quantec¹⁶⁾ (Tycom Co., U.S.A.), GT rotary file (Maillefer Co., Swiss) 등이 이미 국내에도 소개되어 사용되고 있으며, 이를 이용한 연구도 활발히 진행되고 있다.

최근까지 진행된 국내외 연구 결과에서 보여지듯이 만곡 근관에서 NiTi file이 SS file보다 근관의 만곡을 더 잘 유지하고 근관의 변이가 적다는 사실에는 이견이 없으며¹⁷⁻²¹⁾, NiTi file로 근관형성할 때 file의 사용법에 대한 연구들에서 NiTi file은 SS file과는 달리 reaming 법으로 사용할 때와^{22,23)} 엔진 구동형으로 사용했을 때²⁴⁾ 보다 더 빠르게 근관의 형태를 잘 유지하면서 근관형성을 시행할 수 있다고 보고하고 있다. 그러나 이들 연구는 술자에서 나타날 수 있는 요소를 제거하지 못하여 실험 방법에 따른 결과상의 다소의 차이를 보이는 것이 사실이다.

Crown-down pressureless 법⁷⁾은 만곡 근관을 형성하는데 효과적인 방법으로, 근관의 치관부를 먼저 확대

형성하고 중간 부위를 확대한 후 마지막으로 근첨부의 근관을 형성하는 방법으로 정의될 수 있다. 최근에 많이 사용되고 있는 GT rotary file은 tip의 diameter가 0.20mm로 동일하며, taper size는 각각 .06, .08, .10, .12인 네 개의 file로 구성되어 있어서 crown-down 방법으로 만곡 근관을 형성, 세척하는데 효과적인 것으로 알려져있다. 또한 GT rotary file은 토크를 높게 설정할 수 있는 모터와 느린 회전 속도를 갖는 rotary handpiece에 장착하여 사용하면 빠르고 근관의 변이가 거의 없는 완벽한 형태의 근관을 형성할 수 있다고 제조회사는 밝히고 있다.

GT rotary file을 이용한 근관형성시 제조회사는 150rpm~350rpm의 저회전 속도와 연필심이 부러지지 않을 정도의 'light pressure'를 지켜줄 것을 요구하고 있다. 그러나 국외의 여러 실험들에서, 기준 회전 속도(rpm) 범위 내에서 발생하는 ProFile의 파절이나 변형이 회전 속도에 따라 주목할 만한 차이가 있음을 밝힌 바 있고²⁵⁾, 이들은 또 회전 속도와 근관형성 기구의 파절에 대한 관계나 근관형성에 대한 효율성에 대해 연구할 필요성이 있음을 지적하고 있다^{25,26)}. 또한 수직 하중에 대한 사용법도 그 정의가 'light pressure'로 애매하여 정량화 되어 있지 않고 수직 하중이나 토크가 근관 형태나 만곡도, 근관형성 기구의 크기, 근관형성 깊이 등에 미치는 영향에 대한 연구가 부족한 형편이다²⁷⁾.

따라서 본 연구에서는 제조회사에 의해 표현된 ProFile의 적합한 상용 하중 범위를 정량화시키고, 이들 상용 하중 범위 내에서 수직 하중과 file의 회전 속도를 변화시켜 가면서 근관형성을 시행한 후 수직 하중과 회전 속도의 변화가 작업 효율에 미치는 영향을 시간으로 평가하였으며 이 과정 중 file의 변형 여부를 관찰하였다. 또한 상용 회전 속도 범위 내에서 근관형성을 시행하는 수직 하중을 변화시켜 가면서 GT rotary file의 파절 및 변형을 평가하였다.

II. 연구재료 및 방법

1. 레진 블럭 및 GT rotary file의 이용

본 연구에서는 35°의 만곡 정도를 가지며 근관장은 20mm이고, 근첨공의 크기가 .015, taper가 .02인 oval 형태의 투명 레진 블럭인 ENDO TRAINING-BLOC(Dentsply Maillefer Co., Swiss)을 사용하였다.

엔진 구동형 NiTi file인 GT rotary file(Maillefer Co., Swiss)을 이용하였으며, 이를 제조사의 지시대로 사용하기 위하여 회전 속도와 토크가 조절되는 electronic

handpiece system인 Aseptico motor(AEU-20 Aseptico., U.S.A.)와 1/16 reduction contra-angle(NPB BO114593 NSK, Japan)을 사용하였다.

2. 실험장치의 제작

GT rotary file에 의한 근관형성 작업 조건들을 정확히 반복 재현하고 계측하기 위하여 전용 실험장치를 제작, 구성하였다. GT rotary file은 핸드피스(NPB BO114593 NSK, Japan)와 모터(AEU-20, Aseptico, U.S.A.)에 의해 설정된 회전 속도와 최대 토크에서 회전하며, 전진 운동은 제작된 실험장치에 의해 이루어지도록 하였다. Fig. 1에서와 같이 GT rotary file이 장착된 핸드피스는 스테핑 모터(SANYO DENKI Co., Japan)와 연결된 볼 스크류(Ball Screw)와 직선운동베어링(Linear Motion Guide, LM Guide)에 고정되어 편차 없이 전진 운동을 하게 된다. 레진 블럭은 근관형성 중 발생하는 수직 하중을 측정할 수 있도록 홀더에 의해 로드셀에 고정되며 반복적인 근관형성 작업의 기준점을 정확히 설정하기 위하여 반사형 포토 인터럽터(Photo Interrupter, EE-SPY 402, Omron, Japan)를 사용하였다.

GT rotary file의 전진에 의한 근관형성 깊이와 속도는 스테핑 모터의 회전 각도와 회전 속도를 제어함으로써 조정되게 하였다. 즉, 근관형성 깊이는 스테핑 모터에 입력된 전기 펄스의 갯수를 전자 카운터(FX4S, Autonics Co., Korea)로 계측함으로써 제어되며 전진 속도는

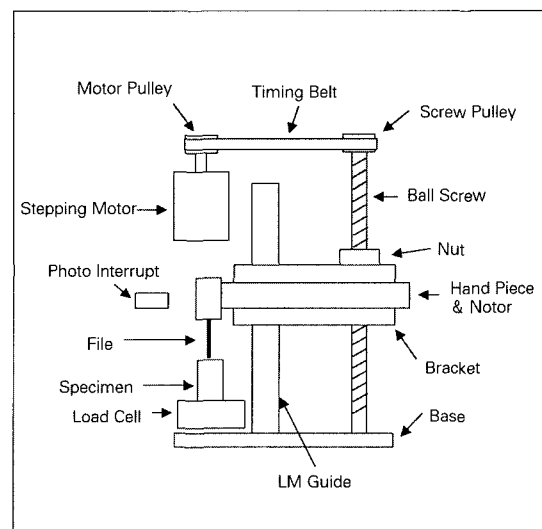


Fig. 1. 근관형성 실험을 위한 GT rotary file 전진 운동 제어기구 구성도

입력 펄스의 주파수에 의해 제어된다. 로드셀은 디지털 인디케이터(FS 1010, Fine Co. Korea)에 의해 전자적으로 2g 단위의 정밀도를 갖고 계측되며, 이 값은 제어기에 전기적 신호로 입력되어 전진 속도의 제어와 근관형성 시간 측정을 위한 전자 타이머(FX5S-1, Autonics Co., Korea)의 동작 제어에 이용된다. 근관형성 작업 중 GT rotary file의 전진 속도와 수직 하중은 서로 비례하는 종속관계이므로 서로 독립적으로 설정할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 근관형성 작업 중 설정된 수직 하중이 일정하게 유지되도록 근관형성 속도를 가감하여 조절하였다. 수직 하중이 순간적으로 급격히 증가하여 설정된 값의 40% 이상이 되는 경우, 수직 하중이 기준값에 도달할 때까지 스테핑 모터를 역회전시켜 수직 하중을 감소시키도록 하였다.

3. 상용 범위의 수직 하중 결정

ProFile 제조회사에서 추천하는 상용 수직 하중인 연필심이 부러지지 않을 정도의 힘의 범위를 결정하기 위하여, 실제로 연필심이 부러질 때의 수직 하중을 로드셀을 이용한 전자 저울과 신호 분석기로 구성된 실험장치를

통해 측정하였다. 측정된 수직 하중의 범위는 본 연구에 적용되었다.

실험에 사용된 연필은 Table 1에 나타난 바와 같이 여러 제조회사에서 제조된 HB type 4개와 B type 3개였다. 모든 연필에 동일 조건을 부여하기 위하여 연필심은 같은 형태를 갖도록 하였고 지면과 연필심은 서로 같은 각도가 유지되도록 하였다. 수직 하중이 급격히 증가됨으로써 발생될 수 있는 오차를 줄이기 위하여, 하중은 서서히 증가시켰으며, 신호 분석기에서 계측된 하중을 분석하여 파절 하중을 결정하였다.

Table 2는 상용 수직 하중 범위를 설정하기 위한 연필심 파절 실험 결과를 나타낸다.

측정 결과 HB type의 경우 평균 파절 하중이 459.5g 이상으로 나타났으며, B type의 경우는 349.5g 이상의 범위를 갖는 것으로 나타났다. 이에 따라 GT rotary file 제조회사에서 추천한 상용 수직 하중 범위를 350g 이내의 하중으로 정량화 하였다.

4. Crown-down 방법을 이용한 근관형성시 소요시간 측정

방법 3에서 결정된 상용 수직 하중 범위에 따라 실험에 이용될 하중 조건을 150g과 220g, 300g의 3단계로 나누고 file의 회전 속도는 GT rotary file 제조회사의 추천 범위에 포함되는 150rpm, 250rpm과 350rpm의 3단계로 나누었다. 근관형성 속도는 최대 2mm/sec이 내의 범위에서 설정되도록 하였다. 이 값은 각 회전 속도에서 최대 300g의 수직 하중 범위를 충분히 만족시킨다. 모터의 토크값은 실험에 이용된 모든 회전 속도의 범위를 충분히 만족시킬 수 있도록 level 3으로 설정하였다.

Crown-down 방법으로 근관형성을 시행하였으며, 이때 GT rotary file 종류에 따른 근관형성 깊이 범위는 모든 회전 속도에서 근관형성이 용이하도록 예비실험을

Table 1. 실험에 사용된 연필의 종류 및 제조회사

Type	제조회사
HB	1. M1사 (Korea)
	2. M2사 (Korea)
	3. D사 (Korea)
	4. T사 (Japan)
B	1. M1사 (Korea)
	2. M2사 (Korea)
	3. D사 (Korea)

(M1:문화연필, M2:모나미, D:동아연필, T:Tombow)

Table 2. 연필심 파절 하중 측정 실험 결과

Type	제조회사	1회	2회	3회	4회	평균
HB	M1사 (Korea)	426g	490g	480g	510g	476.5g
	M2사 (Korea)	432g	480g	504g	422g	459.5g
	D사 (Korea)	450g	548g	456g	510g	491.0g
	T사 (Japan)	502g	528g	402g	458g	472.5g
B	M1사 (Korea)	448g	326g	322g	352g	362.0g
	M2사 (Korea)	432g	396g	316g	330g	368.5g
	D사 (Korea)	406g	352g	360g	280g	349.5g

거쳐 설정하였다. 이는 특정 rpm과 하중에서 일부 구간의 근관형성 시간이 지연됨으로써 생길 수 있는 시간 효율 측정의 오차를 배제하기 위함이다. GT rotary file 종류에 따른 crown-down 방법에 의한 근관형성의 깊이 범위는 Table 3에 나타나 있다. 회전 속도와 수직 하중에 따라 Table 4과 같이 9개의 실험군을 설정하였으며 각 군별로 10개의 레진 블럭 시편을 포함시켰다.

방법 1의 레진 블럭에서 #10 K-file(Maillefer Co., Swiss)로 근침까지의 patency를 확인한 후 블럭 홀더를 이용하여 로드셀에 블럭을 고정하였다. 레진 블럭에 형성되어 있는 근관 부위에 27G needle을 이용하여 증류수를 주입한 후, GT rotary file을 blue, red, yellow, white의 순서대로 Table 3에 나타난 구간에 따라 근관형성을 시행하였다. Flaring은 .04 taper의 ProFile #20과 #25를 이용하였으며, 각 단계의 근관형성이 끝날 때마다 1ml의 증류수로 27G needle을 이용하여 근관세척 및 레진 블럭 내의 레진 잔사를 제거하였다. 또한 각 단계의 시행 후 #15 K-file로 근관의 patency를 확보하였다.

각 단계의 근관형성 중에 작용하는 수직 하중은 로드셀에 의하여 측정되며, 이때 10g 이상의 수직력이 작용하는 시간을 전자 카운터를 이용하여 측정하였다. 시간 측정은 근관형성을 위해 file이 전진하는 경우에만 이루어지도록 하였으며 근관세척이나 file을 바꾸는데 걸리는 시간은 제외하였다. 각 file은 한 단계의 근관형성 작업 후에 이상 유무를 확인하고 레진 잔사를 제거하였다. File의 이상 유무는 x10의 현미경으로 관찰하였으며, 이상이 있는 file은 더 이상 사용하지 않았고, 이상이 없는 경우

에도 4회까지만 사용하였다.

5. GT rotary file의 변형 실험

GT rotary file의 변형에 회전 속도와 수직 하중이 미치는 영향을 알아보기 위하여 다음의 실험을 시행하였다. 회전 속도는 150rpm과 250rpm, 350rpm의 세 구간으로 나누고 수직 하중은 상용 하중 범위 내에서 비교적 큰 값인 300g과 상용 범위를 벗어난 구간의 700g, 1000g을 선택하여 file의 변형에 미치는 영향을 평가하였다. Crown-down 방법에 의한 GT rotary file을 이용한 근관형성에 있어서 근관형성 깊이의 결정은 Table 5에 나타난 바와 같이, 실제 임상에서처럼 설정된 회전 속도와 수직 하중 범위 내에서 특별한 저항감을 느끼지 않고 한번에 근관형성이 가능한 깊이까지로 결정하였다. 근관형성 속도는 시간 효율 측정 실험에 비하여 수직 하중 값이 커졌으므로, 설정된 하중에 적절한 속도를 하중과 feed 속도와의 비례관계²⁸⁾를 고려하여 이를 기초로 한 예비 실험을 통해 각 하중별로 2mm/sec, 4mm/sec, 5mm/sec로 정하였다. 회전 속도와 하중, feed 속도에 따른 9개의 실험군이 Table 6에 나타나 있다.

방법 1의 레진 블럭을 사용하였으며, 각 단계별 crown-down 방법에 의한 근관형성 과정은 방법 4와 동일한 방법으로 토크는 모터에서 설정된 값 중 level 3으로 맞추어 5회에 걸쳐 시행하였다. 각 단계별로 file은 1회 사용을 원칙으로 하였으며, 근관형성 후 file의 변형 여부는 x10의 현미경을 사용하여 사용하지 않은 file과의 비교를 통해 관찰하여 변형 발생 빈도를 구하였다

Table 3. 시간 효율 측정을 위한 근관형성시 GT rotary file에 따른 깊이의 각 단계

Feed (mm)	file의 종류		
crown-down 10	GT rotary file	blue	(.12 taper #20)
11		red	(.10 taper #20)
12		red	(.10 taper #20)
13		red	(.10 taper #20)
15		yellow	(.08 taper #20)
16		yellow	(.08 taper #20)
17		yellow	(.08 taper #20)
18		white	(.06 taper #20)
18.5		white	(.06 taper #20)
19		white	(.06 taper #20)
flaring 20	.04 taper ProFile		# 20 # 25

Table 4. 시간 효율 측정을 위해 설정한 9개의 실험군

실험군 조건	회전속도 (rpm)	수직하중(g)	feed 속도 (mm/sec)
T1	150	150	2
T2	150	220	2
T3	150	300	2
T4	250	150	2
T5	250	220	2
T6	250	300	2
T7	350	150	2
T8	350	220	2
T9	350	300	2

(모터 토크 : level 3)

Table 5. GT rotary file 변형 실험에서의 근관형성 깊이

Feed (mm)	file의 종류	
crown-down	11.5	GT rotary file blue (.12 taper #20)
	15	red (.10 taper #20)
	18	yellow (.08 taper #20)
	20	white (.06 taper #20)
flaring	20	.04 taper ProFile # 20
		# 25

6. 통계처리

각 군별 근관형성 소요시간의 해석은 평균, 표준 편차와 함께 5%의 유의성을 가지는 신뢰구간으로 나타내고, 각 군별 모집단에서의 근관형성 소요시간 차이는 z-test를 통해 5%의 유의성으로 표본 평균과 비교하였다. 또한 근관형성 소요시간에 미치는 회전 속도와 하중간의 중요도를 평가하기 위해 β -weight test를 시행하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 근관형성 소요시간 측정 실험

방법 4의 각 군 시편들에 대한 근관형성 소요시간을 측정하였다. 실험을 진행하는 도중 150rpm의 회전 속도를 갖는 T1, T2, T3 군은 Table 7과 같이 file의 파절 현상이 발생하였다.

그밖에 근관형성 작업 이후 각 file의 이상 유무를 관찰한 결과 아래의 Table 8과 같이 변형이 관찰되었다. 근관형성 작업 후 변형이 관찰된 file들은 파절의 경우와 마찬가지로 모두 150rpm의 회전 속도를 갖는 실험군의 만곡 구간에서 관찰할 수 있었다. 파절되어 더 이상의 근관형성을 진행하지 못한 실험군을 제외하고는 어떤 실험군에서도 근관 변이는 관찰되지 않았다.

Table 9는 각 실험군 별 시편들의 근관형성 시간의 평균값을 나타낸다. 각 시편들의 평균값과 표준편차로부터 모집단 평균을 95%의 신뢰수준을 갖고 유추하였다. Table

Table 7. 근관형성 중 파절된 file

실험군	파절 갯수	file	근관형성 구간
T1	1	.04 taper ProFile #20	20 mm
T2	1	GT rotary file white(.06 taper #20)	18.5 mm
T3	1	GT rotary file white(.06 taper #20)	19 mm

Table 6. GT rotary file 변형 실험에서의 실험군

실험군 조건	회전속도 (rpm)	수직하중(g)	feed 속도 (mm/sec)
F1	150	300	2
F2	150	700	4
F3	150	1000	5
F4	250	300	2
F5	250	700	4
F6	250	1000	5
F7	350	300	2
F8	350	700	4
F9	350	1000	5

(모터 토크 : level 3)

7의 파절이 발생된 시편은 파절된 부분이 ब्ल럭에 삽입되어 있어 더 이상의 근관형성이 불가능하였으므로 통계에서 제외시켰다.

각 실험군들에 대해 z-test를 수행한 결과 95% 이상의 신뢰수준에서 유의할 만한 근관형성 소요시간 차이를 보였다.

Fig. 2는 수직 하중과 회전 속도의 변화에 따른 근관형성 소요시간을 나타낸다. 그림에서 나타난 그래프의 기울기로부터 회전 속도가 하중에 비하여 근관형성 소요시간에 더 많은 영향을 주는 것이 관찰되었다(β -weight test).

Fig. 3은 13mm 이내의 직선 구간과 13mm 이상의 곡선 구간에서의 근관형성 소요시간을 나타낸다. 전체 근관형성 중 곡선 구간은 79.9%에서 86.7%의 비율로 근관형성 소요시간의 대부분을 차지하는 것을 알 수 있었다.

2. GT rotary file의 변형 실험

Table 10은 방법 5에 의해 실시된 file 변형 발생 실험의 결과를 나타낸다. 대부분의 변형이 GT rotary file yellow에서 관찰되었으며, 다음 빈도로 GT rotary

Table 8. 근관형성 후 변형이 관찰된 file

실험군	변형 file 수	시편	file	근관형성 구간
T1	4	1	ProFile #20	20mm
		5	GT rotary file yellow	17mm
		6	GT rotary file yellow	17mm
		7	GT rotary file yellow	17mm
T2	2	2	GT rotary file yellow	17mm
		3	GT rotary file white	19mm
T3	8	1	GT rotary file yellow	15mm
			GT rotary file yellow	17mm
		3	GT rotary file yellow	15mm
			GT rotary file yellow	15mm
		6	GT rotary file yellow	16mm
			GT rotary file yellow	17mm
		7	GT rotary file yellow	17mm
9	GT rotary file yellow	17mm		

Table 9. 측정된 근관형성 소요시간의 평균값

실험군	시편수	평균 소요시간 (단위 : 초)
T1	9	24.29±3.55
T2	9	17.68±0.70
T3	9	16.25±1.03
T4	10	16.61±1.30
T5	10	15.92±0.95
T6	10	14.61±0.84
T7	10	15.27±1.06
T8	10	13.47±0.36
T9	10	12.71±0.62

(p<0.05)

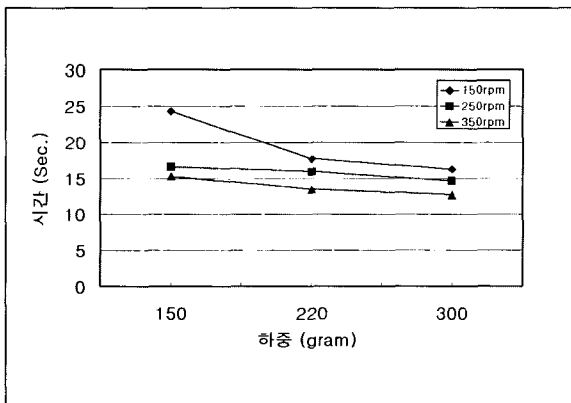


Fig. 2. GT rotary file의 수직 하중과 회전 속도 변화에 따른 근관형성 시간.

file white에서 발생하였다. 150rpm의 회전 속도와 700g 이상의 수직 하중이 작용하는 실험군 F2와 F3은 11.5mm의 구간에서 GT rotary file blue의 스크류 작용에 의하여 레진 블럭에 file이 나사처럼 박히는 결과가 나타나 실험이 불가능하였다.

Fig. 4는 file의 회전 속도와 수직 하중 변화에 따른 GT rotary file의 평균 변형 발생 빈도를 나타내고 있다. 1000g의 하중에서는 250rpm과 350rpm의 변형이 같은 빈도로 높게 나타났다.

250rpm의 경우 700g의 하중에서 1000g과 같은 변형 빈도를 보여서 700g의 하중에서 이미 포화된 양상을 보였으나, 350rpm의 경우는 300g 하중에서는 file의 변형이 발생하지 않았고, 700g 하중에서의 변형 비율이

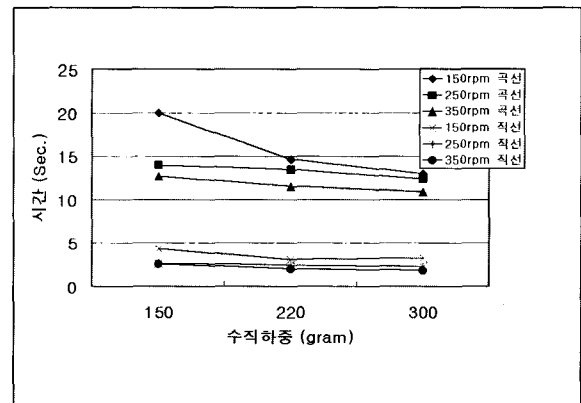


Fig. 3. 레진 블럭의 직선 구간과 곡선 구간의 근관형성 소요 시간.

Table 10. 회전 속도와 수직 하중 변화에 따른 실험군 별 변형 발생 빈도 (단위: %)

구간	실험군										
	file	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	평균
11.5mm	GT rotary file blue	0	*	*	0	0	0	0	0	0	0
14mm	GT rotary file red	0			0	0	0	0	0	0	0
17mm	GT rotary file yellow	100			100	100	100	0	37.5	62.5	71.4
19mm	GT rotary file white	50.0			37.5	62.5	62.5	0	75.0	62.5	50.0
20mm	.04 ProFile #20	0			0	0	0	0	0	0	0
Flaring	.04 ProFile #25	0			0	0	0	0	0	37.5	5.3
	평균	25			22.9	27.1	27.1	0	18.8	27.1	21.1

* 레진 블럭에 file이 박힘

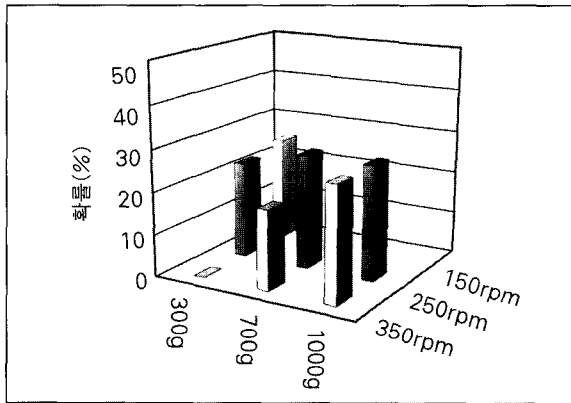


Fig. 4. 회전 속도와 수직 하중 조건에 따른 실험군 별 GT rotary file의 변형 발생 빈도.

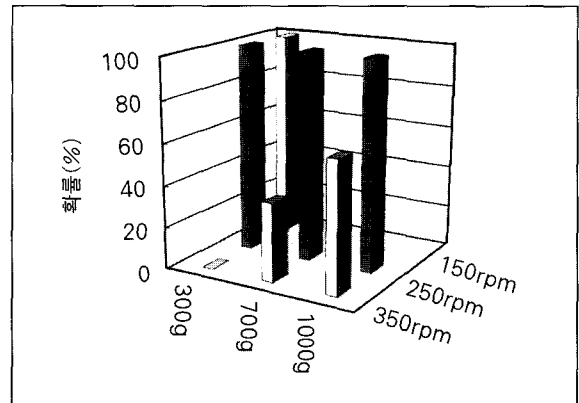


Fig. 5. 회전 속도와 수직 하중 조건에 따른 GT rotary file yellow의 변형 발생 빈도.

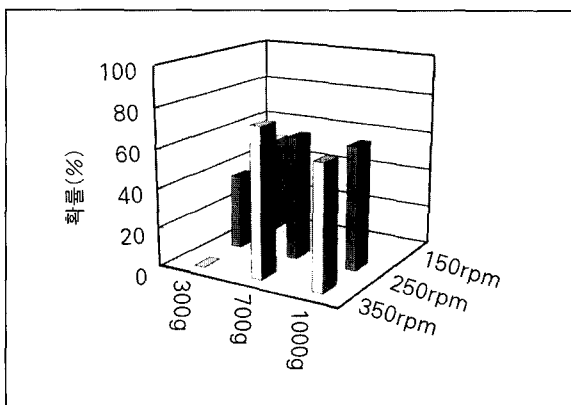


Fig. 6. 회전 속도와 수직 하중 조건에 따른 GT rotary file white의 변형 발생 빈도.

1000g에 비하여 적게 나타났다. Fig. 5와 Fig. 6은 변형 발생 빈도가 높은 GT rotary file yellow와 GT ro-

tary file white의 회전 속도와 수직 하중의 변화에 따른 변형 발생 빈도를 나타낸다. 만곡의 끝부분을 형성하게 되는 GT rotary file white에서는 yellow에 비해 350rpm의 700g 군을 제외하고는 변형 발생 빈도가 적게 나타났다.

IV. 총괄 및 고안

본 연구에서는 만곡 근관을 GT rotary file을 사용하여 crown-down 방법으로 근관형성을 시행할 때의 수직 하중 조건을 350g 이내의 하중으로 정량화 하였고, 술자에 의해 나타날 수 있는 결과상의 변수를 배제하기 위하여 반복성과 재현성이 있고 수직 하중 및 feed 속도 등이 제어되는 실험장치를 개발하였다. 이를 이용하여 상용 하중 범위내에서 제조회사가 추천하는 file의 회전 속도 변화에 따른 근관형성시의 작업 효율을 연구하였으며, 사용된 GT rotary file의 변형에 수직 하중과 회전 속도가

미치는 영향을 평가하였다. 모든 실험에서 실제 치아를 사용함으로써 생길 수 있는 근관의 직경이나 만곡도에서의 차이 등을 배제하고 방법상으로 정량화 시키기 위하여 레진 블럭을 사용하였으며, 레진 블럭을 사용한 근관 형성 술식의 평가는 여러 논문들^{11,17,29)}에서 적절한 방법으로 인정하고 있다.

Fig. 7은 본 연구를 위하여 개발된 실험장치로 이는 핸드피스를 구동시키기 위한 모터, 실험 구동부, 구동 제어부 및 전자 저울로 구성된다. 실험 구동부의 구조는 Fig. 1(연구재료 및 방법)에 나타난 바와 같다. 근관형성 깊이와 속도는 스테핑 모터의 회전량과 회전 속도에 의해 결정되며 이 값들은 개발된 제어기에 의해 전자적으로 제어된다. 스테핑 모터는 전기적 펄스(pulse)에 의하여 1.8° 단위로 구동되며 스테핑 모터의 회전 운동은 타이밍 벨트에 의해 볼 스크류의 회전 운동으로 전달되고 볼 스크류는 스테핑 모터의 회전 운동을 핸드피스의 전진 운동으로 변환하여 준다. 여기서 사용된 볼 스크류의 피치는 4mm로써 핸드피스를 0.02mm의 구동 단위로 움직이게 한다. 근관형성 깊이는 전자 카운터를 이용하여 제어된다. 제어기에서 발생하는 펄스에 의해 핸드피스는 0.02mm 단위로 움직이므로 이 펄스를 전자 카운터로 계수하여 근관형성 깊이를 측정한다. 근관형성 깊이가 설정한 값에 도달하면 전자 카운터는 제어기로 신호를 내보내며, 제어기는 모터를 역회전하여 기준 위치로 되돌린다.

수직 하중의 제어는 로드셀에서 측정된 하중을 계측하여 file 전진 속도를 조절함으로써 설정된 일정한 값이 유지되도록 하였다. 수직 하중에 따른 전진 속도의 제어는 아래의 Fig. 8과 같이 설정된 수직 하중 값과 계측된 값과의 차이를 비교하여 이루어진다. 수직 하중이 설정된 값에 도달하지 못하는 경우 전진 속도를 증가시키며 반대의 경우에는 속도를 감소시킨다. 수직 하중이 설정값

에 가까울수록 작은 속도 변화량을 갖게 하였으며, 속도 감소량이 속도 증가량 보다 크게 하였다. 이는 견고한 성질을 갖는 실험 시편의 특성에 의해 순간적으로 수직 하중이 설정값 보다 크게 작용하는 경우를 고려한 결과이다. 이 경우 설정 하중에 비하여 40% 이상의 하중이 작용할 때 모터를 서서히 역회전시킴으로써 수직 하중이 빠르게 감소되도록 하였다. 전진 속도의 최대값은 제어기에서 설정되며, 근관형성 중 file의 전진 속도는 이 최대 설정값을 넘지 않도록 하였다.

근관형성의 기준 위치는 포토 인터럽터를 사용하여 설정하였다. 포토 인터럽터는 적외선을 방출하는 발광부와 이를 인식하는 수광부로 이루어져 핸드피스가 전진하여 기준점에 도달하게 되면 발광부에서 나온 적외선이 핸드피스에 반사되고 반사된 적외선은 수광부에 인식되어 포토 인터럽터에서 출력되는 전기신호가 바뀌게 되어 제어기에서 이를 인식하게 된다.

근관형성 작업 중 file에 작용하는 하중은 크게 핸드피스에 의한 작용하중과 레진 블럭이 가공, 제거됨으로써 발생하는 저항하중의 두 종류로 나눌 수 있다. 핸드피스의 작용하중 성분은 모터 회전에 의한 토크(A)와 핸드피스 전진에 의한 수직력(B)으로, 이 토크와 하중에 의해 file의 회전과 전진 운동이 이루어지게 되므로 file의 운동과 같은 방향을 갖는다. 근관형성 중 레진 블럭에 의한 저항하중은 file과 레진 블럭의 접촉면에서 분포되어 발생하며, file의 회전과 전진 운동을 방해하는 방향, 즉 file 운동의 반대 방향으로 작용한다. 저항하중은 접촉면에서 발생하므로 근관의 형태에 따라 복잡하게 분포되나 그 결과는 핸드피스의 작용하중에 대한 반작용력으로 작용하며 Fig. 9에 나타난 바와 같이 file이 곡면에 맞게 구부러지게 하는 굽힘 모멘트(C), file의 전진 방향을 방해하는 저항력(D) 및 file의 회전을 방해하는 저항토크(E)의 형태로 나뉘어진다³⁰⁾.

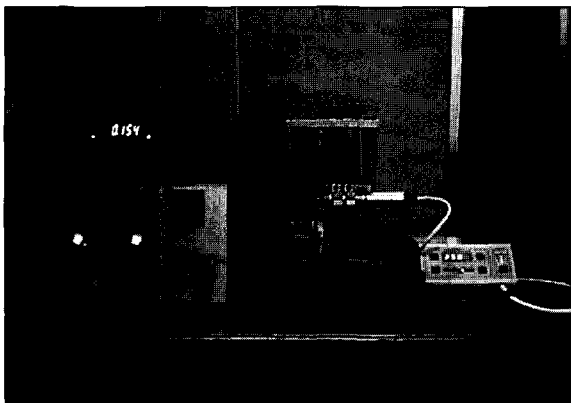


Fig. 7. 실험장치 구성.

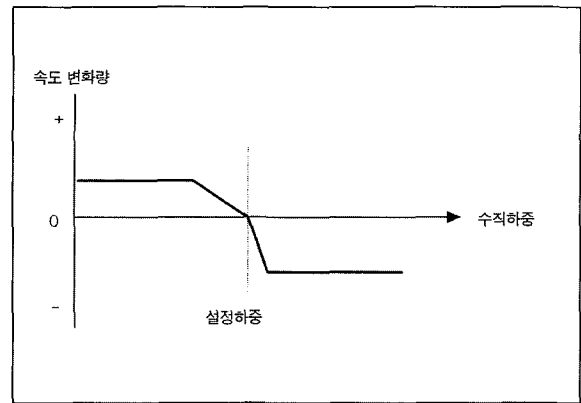


Fig. 8. 수직 하중에 따른 속도 변화량.

고 한 바 있고, crown-down 방법은 직경이 큰 근관형성 기구로 근관의 치관부 상아질을 먼저 제거하기 때문에 step-back 방법보다 근관형성이 용이하고 시간상의 작업 효율이 클 것으로 여겨진다.

Roane 등⁸⁾ 과 Kyomen 등³¹⁾ 은 주어진 근관형성 기구에서 발생하는 하중과 토크가 절삭 효율과 관련 있다고 가정 한 바 있는데, 이번 실험의 결과와도 관련이 있다. 절삭 효율이 큰 경우에 근관형성 소요시간이 감소하게 되는데, 본 실험의 경우 수직 하중과 회전 속도가 모두 영향을 끼치는 것으로 나타났으며, 특히 회전 속도가 더 큰 영향을 주는 것으로 실험결과 나타났다. 그러나 본 연구에 보완적으로, 제조회사의 추천 범위 밖의 회전 속도인 500rpm의 회전 속도와 300g의 하중인 경우에 대하여 방법 4와 같이 실험한 결과, 350rpm이면서 300g의 하중을 갖는 실험군 T9과 거의 차이가 없는 시간이 측정되었으며, GT rotary file white에서 파절이 2개 관찰되었다. 이 결과로 상용 회전 속도 범위를 벗어난 구간은 근관형성 작업 효율과 관련성이 적은 것으로 보여진다. Poulsen 등²⁶⁾ 도 Lightspeed를 이용한 실험에서, 기준 회전 속도 범위 내에서는 회전 속도가 증가할수록 근관벽을 더 빠르고 효율적으로 제거한다고 보고한 바 있다.

상용 하중 범위 내에서는 150rpm의 실험군에서만 변형이 발생하였다. 이는 다른 연구들과는 차이를 보이는 결과이다. 1999년 Gabel과 Hoen²⁵⁾ 은 166.67rpm과 333.33rpm에서의 ProFile .04의 변형에 대해 연구한 결과 333.33rpm에서 4배 많은 변형이 발생하였다고 보고하였다. 그러나 이들은 electronic handpiece를 사용하지 않았으며, 한 사람의 술자가 정량화되어 있지 않은 light pressure로 각각의 file을 이용하여 4초간 근관형성한 경우로 본 연구와는 방법상 다소의 차이를 보인다. 또한 Dietz 등³²⁾ 도 ProFile .04의 파절이

150rpm에서 가장 적은 것으로 보고한 바 있는데, 이 실험은 electronic handpiece를 Instron에 연결시켜 5mm/sec의 속도로 반지름이 5mm이고 폭이 동일한 bovine bone canal에 장착시켜 각각 150, 250, 350rpm으로 근관을 형성하는 모델에서 시행되었는데, file이 부러질 때까지 삽입되는 깊이로써 파절에 대한 저항을 연구한 것이다. 그러나 Instron crosshead의 속도가 5mm/min인 느린 속도는 실제 임상과는 많은 차이가 있으며, 시간의 제한이 없으므로 350rpm의 경우, 만족된 관 속에서 150rpm 보다 거의 2배의 회전을 하는 셈이므로 파절 확률은 크게 나타날 수 있다. 그리고 엔진 구동형 NiTi file의 변형 특성상, 대부분은 파절 전에 변형이 발생하게 되는데^{33,34)} 여기서는 file의 변형을 간과한 것 등을 문제로 지적할 수 있겠다.

실험에 사용된 로드셀에 연결된 전자 저울에 동적신호 분석기(Dynamic signal analyzer, HP35670A)를 연결하게 되면 file이 근관형성하면서 전진할 때 발생하는 압축하중과 근관형성이 끝난 후 후퇴할 때 발생하는 인장하중을 측정할 수 있게 된다. 압축하중은 file을 압축하는 방향으로 작용하며 이 힘을 로드셀에서 측정하면 +방향의 하중으로 측정된다. 또한 인장하중은 file이 늘어나는 방향으로 작용하며 이를 로드셀에서 측정하면 -방향의 하중으로 측정된다.

Fig. 11의 두 그래프는 이번 실험에서의 구간별 회전 속도와 수직 하중 그래프에서 최대 압축력과 최대 인장력을 나타낸 것이다. 최대 압축하중은 file의 회전 속도가 클수록 작아진다. 이는 회전 속도가 증가함에 따라 블럭력과 file의 힘 접촉면이 제거되는 속도가 빠르기 때문으로 보여진다. 최대 인장하중은 압축하중과 마찬가지로 일부 데이터를 제외하고는 회전 속도가 클수록 작아진다. 인장하중이 작용하는 원인은 결국 file이 원하는 구간까

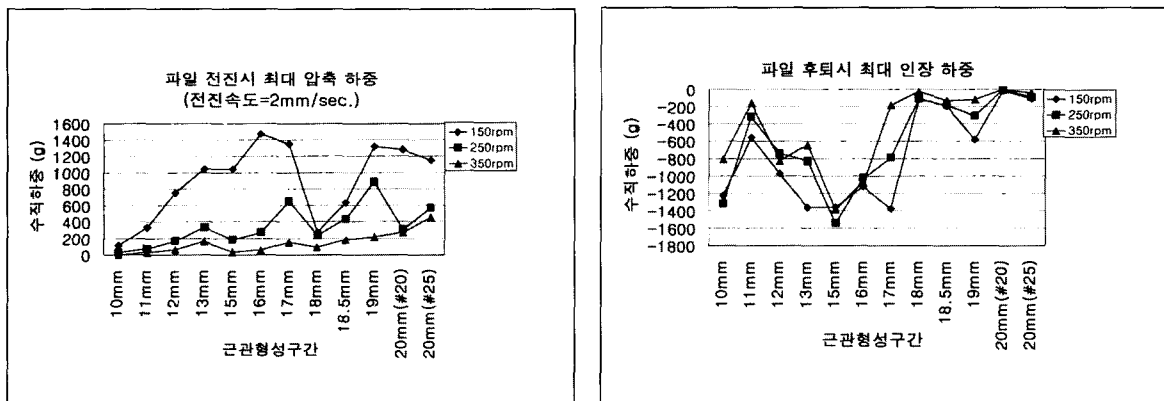


Fig. 11. 근관형성시 발생하는 최대 압축하중과 최대 인장하중.

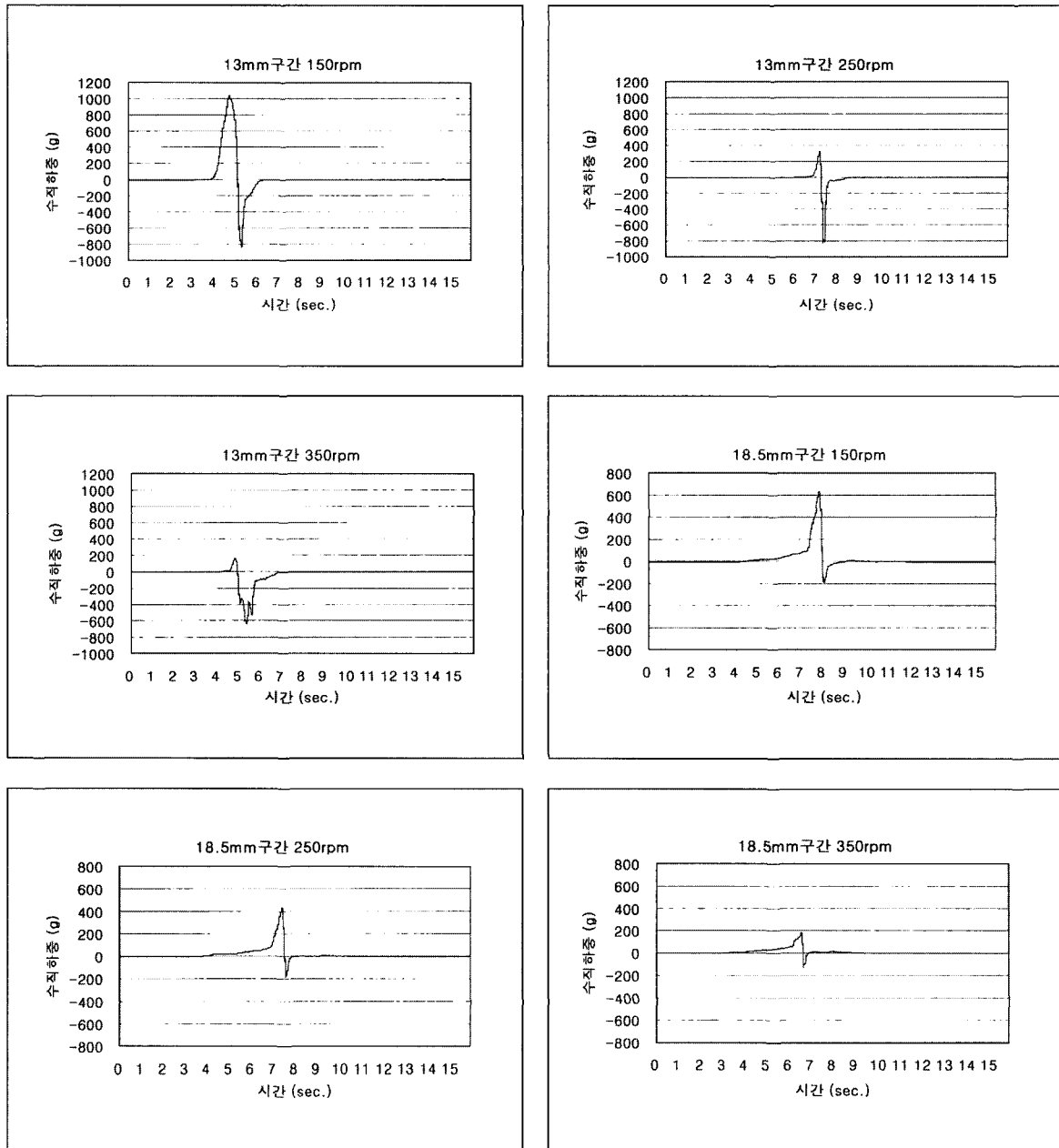


Fig. 12. File 전진 속도가 2mm/sec일 때 회전 속도와 구간별 수직 하중의 특성.

지 전진한 후 후퇴할 때 레진 블럭 잔사(resin debris)가 얼마나 블럭 몸체와 잘 떨어져 있는가에 따라 결정된다. 회전 속도가 클수록 file이 전진할 때 블럭 잔사가 몸체와 잘 분리되어 file이 후퇴할 때 수월하게 빠지고 결과적으로 인장력이 작게 작용한다. 실제 치아를 사용한 경우에서도 근관형성 중에 기구의 후퇴시에 더 큰 응력이 발생했다는 보고도 있으나²⁷⁾, 이러한 현상이 레진의 물성에 의해 특징적으로 나타나는 현상일 수도 있으므로 실제 치아에 대한 연구가 필요할 것으로 여겨진다.

Fig. 11의 10mm 구간에서는 압축하중이 거의 작용하지 않고 매우 큰 인장하중이 작용한다. 이는 이 구간에서는 file이 전진할 때 file이 나사 못 처럼 블럭에 파고드는 스크류 작용에 의한 것으로 볼 수 있다. 이 구간에서 사용된 file은 taper 정도가 .12로 굵고 강하기 때문에 높은 인장하중에도 불구하고 변형이 관찰되지 않았다. 13mm~17mm 구간에서 file 후퇴 시에 매우 큰 인장하중이 작용한다. 이 결과는 시간 효율 측정 실험에서 150rpm 군의 file 변형의 대부분이 15mm~17mm 구

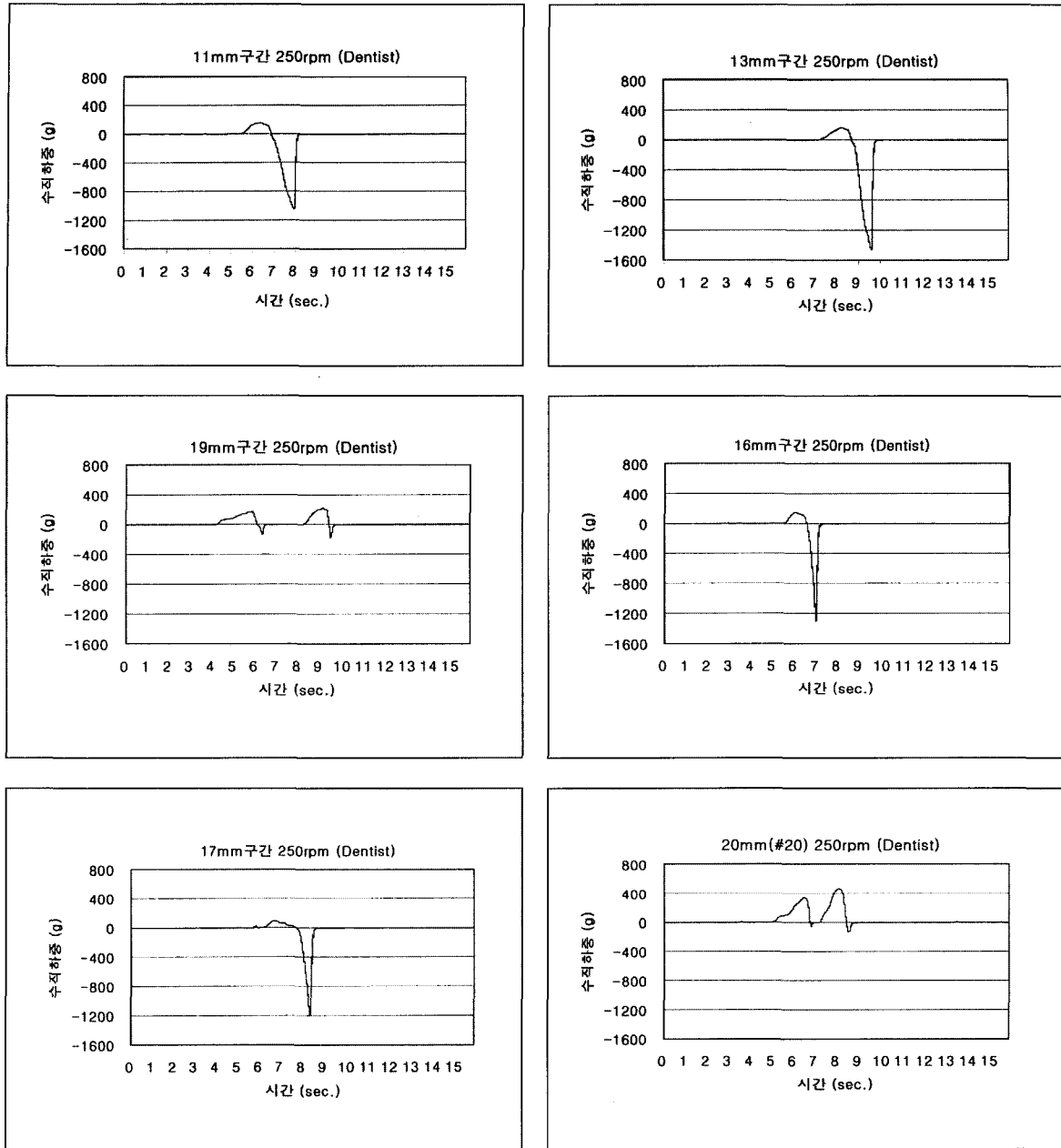


Fig. 13. 250rpm에서 손으로 근관형성을 시행한 구간별 수직 하중의 특성.

간에서 발생한 것과 같은 결과로 보여진다. 15mm~17mm구간에서와 같은 크기 정도의 인장하중이 10mm와 13mm 구간에서 관찰되었으나 시간 효율 측정에서는 이 구간에서 file의 변형이 관찰되지 않았다. 이는 file의 taper 정도가 다른 점과 15mm~17mm 구간과는 다르게 이 구간이 만곡 구간이 아닌란 점을 그 이유로 들 수 있겠다.

Fig. 12는 실험 방법 4와 같은 방법이나 수직 하중의 제어 없이 2kg의 범위 내에서 feed 속도를 2mm/sec로

하여 나타난 수직 하중의 특성을 동적신호분석기를 이용하여 나타낸 그래프로, 직선 구간과 곡선 구간의 특징적인 한 구간씩을 보이고 있다. 직선 구간과 곡선 구간 모두에서 150rpm의 경우에 가장 큰 수직 하중 값을 나타내었고 근관형성을 위해 더 많은 시간이 소요되었음을 알 수 있다.

이러한 특성은 수직 하중의 제어 없이 치과의사가 실험장치에 블록을 고정시켜 crown-down 방법으로 근관형성 할 때도 유사하게 나타남을 알 수 있었다. Fig. 13

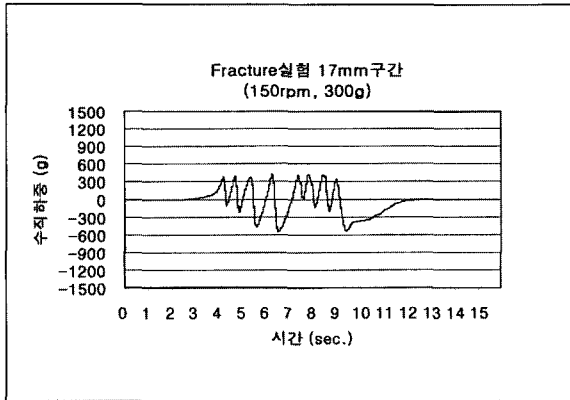


fig. a

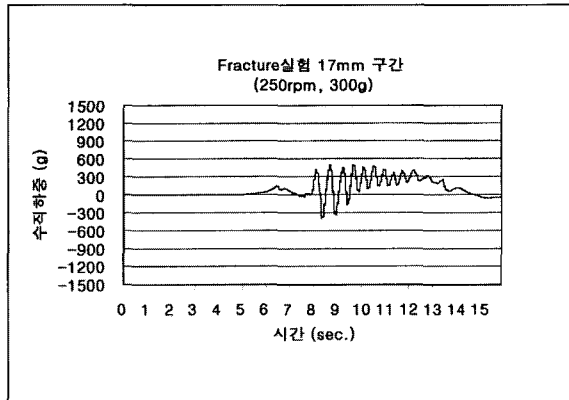


fig. b

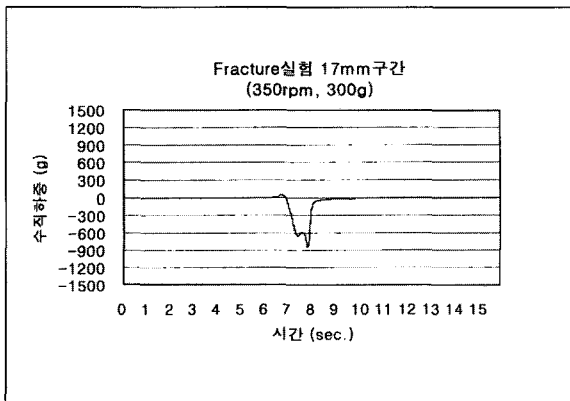


fig. c

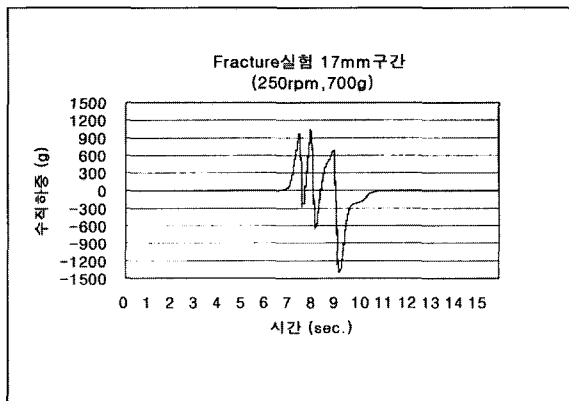


fig. d

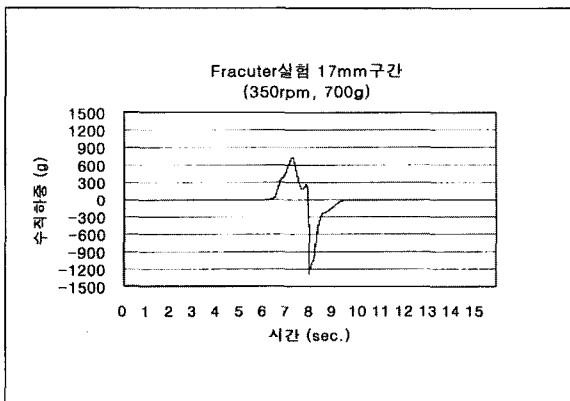


fig. e

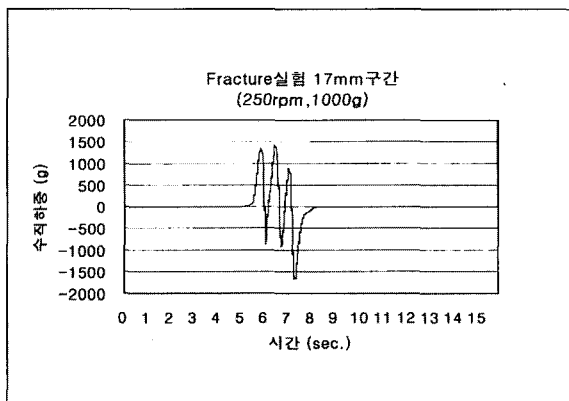


fig. f

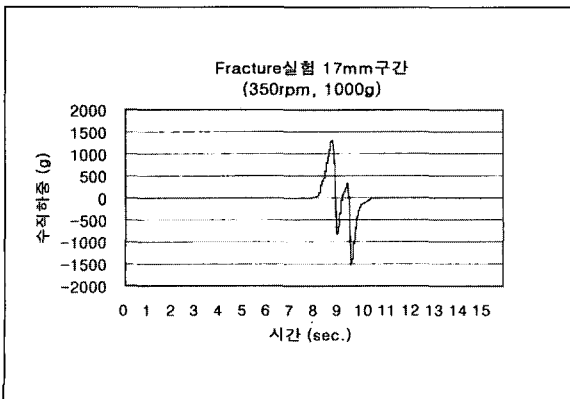


fig. g

Fig. 14. File 변형 실험 17mm 구간에서의 각 회전 속도와 수직 하중별 특성 그래프.

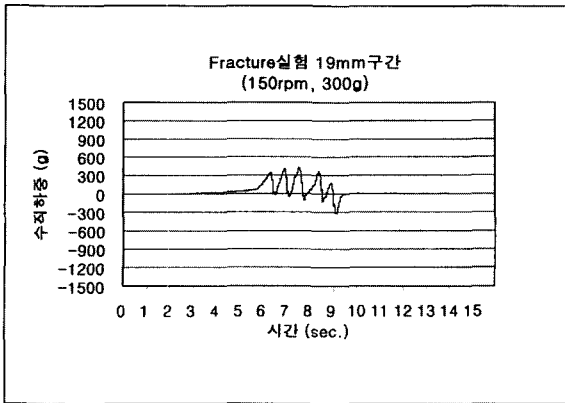


fig. h

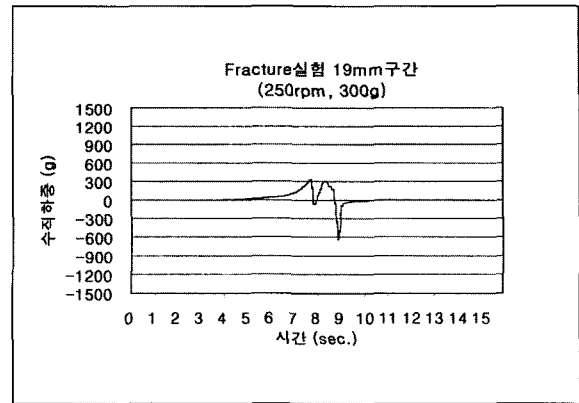


fig. i

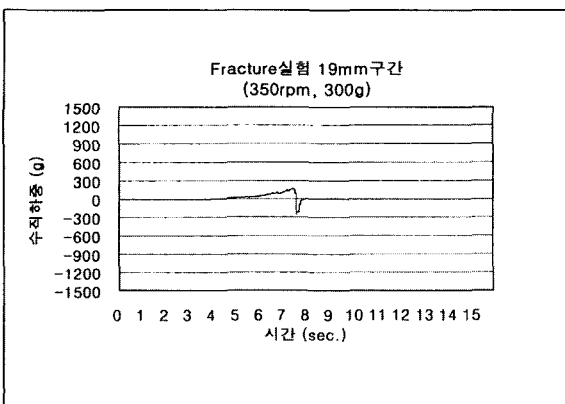


fig. j

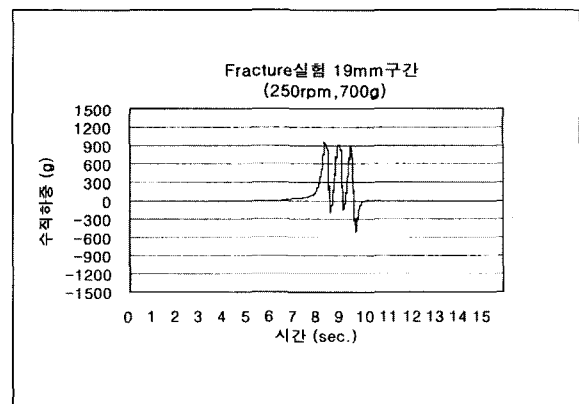


fig. k

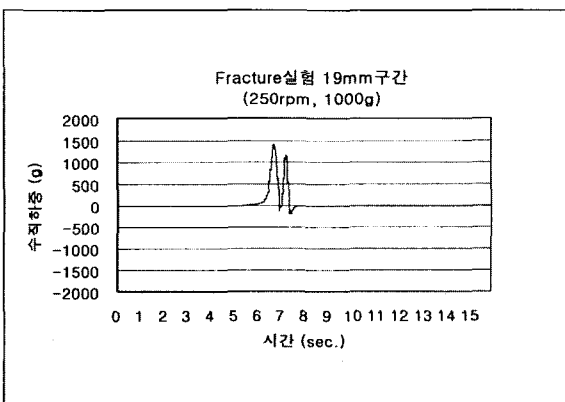


fig. l

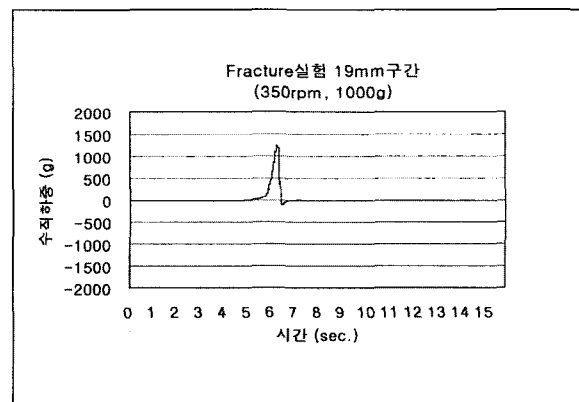


fig. m

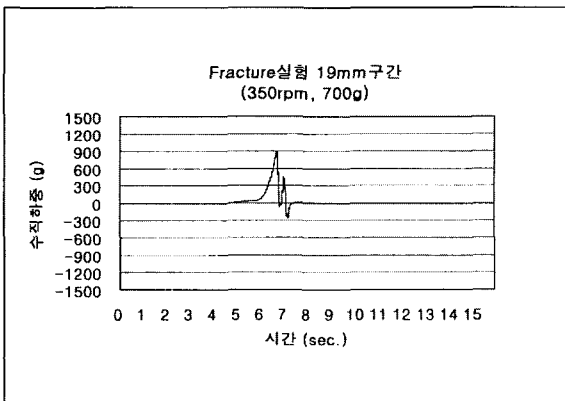


fig. n

Fig. 15. File 변형 실험 19mm 구간에서의 각 회전 속도와 수직 하중별 특성 그래프.

은 250rpm으로 실제 임상에서와 같이 한번에 형성이 가능한 구간까지 임의로 나누어 근관형성을 하면서 나타나는 수직 하중의 특성을 동적신호분석기로 나타낸 것이다.

이 경우에서 각 회전 속도 별 전진시 압축하중의 범위는 180~400g 정도로 나타났으며 이는 1.76~3.92N에 해당하는 범위로 실제로 근관형성 중 발생하는 수직 하중과 토크를 측정 한 Blum 등²⁷⁾의 실험결과와 유사한 값을 보인다. 압축하중은 150rpm에서 가장 크게 나타났고, 그 다음으로 250rpm이었으며 350rpm이 가장 작은 값을 보였다. 또한 전반적인 후퇴시의 인장하중은 저회전일수록 더 큰 음의 값을 보였다. 19mm 구간과 20mm 구간은 packing motion을 보여주고 있다.

American National Standards Institute/American Dental Association(ANSI/ADA) specification No.28은 근관형성 기구인 stainless steel hand file의 최소한의 토크값과 각도의 굴절 등을 규정³⁵⁾하고 있으나, 이는 정적인 상태에서 행하여지는 시험 방법으로 최근에 사용되는 엔진 구동형 NiTi file 같은 지속적인 회전 운동을 하는 기구에는 적합하지 않다. 1995년 Serene 등³³⁾은 엔진 구동형 근관형성 기구의 파절은 비틀림 파절(torsional fracture)과 굴곡 변형(flexural fatigue)에 의해 발생한다고 보고하였다. 비틀림 파절의 경우 file의 축은 회전하는데 끝이나 기구의 다른 부분이 근관에 끼어서 발생하는데, 특정 금속의 탄성 한계를 지나게 되어 변형이 unwinding, reverse winding등으로 선행된 후 파절이 발생하게 된다. 굴곡 파절의 경우 기구가 만곡 근관에서 자유롭게 회전하다가 굴곡 지점에서 최대 변형에 도달하여 파절이 발생하는 것으로, 영구 변형이 일어나지 않은 상태에서도 파절이 발생할 수 있다는 점에서 임상적으로 중요성을 가진다. 본 연구의 회전 속도와 수직 하중 별 시간 효율 측정 실험에서 150rpm의 경우, 만곡 구간을 근관형성하는 도중 3개의 file에서 파절이 관찰되었고, 14개의 file에서는 늘어나는 변형이 발생되었으며 이들은 모두 taper가 작은 file이었다. 파절된 file은 굴곡 변형에 의한 것이고, 늘어난 file은 비틀림에 의해 unwinding된 것으로 이번 실험에서는 비틀림에 의한 변형이 많이 관찰되었는데 이는 Sattapan 등³⁴⁾이나 Gabel과 Hoen²⁵⁾에 의한 실험결과와 유사한 것이다. Sattapan 등³⁴⁾은 또한 굴곡 변형에 의한 파절이나 제조시의 문제 또는 변형된 것등을 관찰하기 위해서는 적어도 10 배로 확대하여 file을 관찰할 것을 제안하였다.

File 변형 발생에 관한 실험에서는 만곡 구간에서 대부분의 file 변형이 발생하였다. 앞서서도 언급한 바와 같이, file 변형은 작용하는 수직 하중과 토크 및 근관의 만곡 여부, 그리고 file의 종류 등 복합적인 조건에 따라 결정된다. Fig. 14에서는 실험방법 5에 의한 file의 변형 실

험에서 GT rotary file yellow(.08 taper #20)에서 나타난 회전 속도와 수직 하중 및 file의 전진 속도의 변화에 따른 변형 발생 빈도를 동적신호분석기를 사용하여 그 특성을 분석해 보고자 한 것으로 fig. a, fig. b, fig. d, fig. f는 file의 변형 실험에서 100%의 변형 발생을 보였다. 각각의 경우 모두 수직 하중이 급격히 증가함으로써 설정 하중의 140%를 넘게되어 모터가 하중 조절을 위해 역회전하게 되는 현상을 보인다. (그래프에서 압축하중이 설정값의 1.4배 이상이 되며 빼죽 튀어나온 부분이 모터가 역회전 하는 부분이다.) 특히 최대 2mm/sec의 전진 속도를 갖는 fig. a와 fig. b는 14~17mm 구간을 근관형성하기 위해 상당히 많은 모터의 역회전이 필요한 것을 알 수 있다. 이 구간에서 file 변형 원인은 모터의 역회전 변환시에 file에 작용하는 토크가 주 원인으로 파악된다. 하중 설정값을 높이면 모터의 역회전 수가 작아지나 이는 file 변형 발생을 감소시키는데 도움이 되지 않는다(fig. d와 f). 왜냐하면 이 경우 모터의 역회전 수는 줄어들지만 결국 높은 하중에서 모터의 역회전이 발생하거나 설정 구간까지 file이 전진하고 후퇴할 때 더 높은 인장하중이 작용하기 때문에 file 변형 발생은 높아질 수 있다. Fig. c는 file에 변형이 전혀 발생하지 않은 실험군으로 file 전진 시에 수직 하중이 매우 작기 때문에 fig. a, b에서 나타난 하중 조절을 위한 모터의 역회전 현상은 전혀 보이지 않았다. 결국 같은 조건에서 file의 회전 속도가 고회전(350rpm)으로 변하면 레진 블럭 제거가 잘되기 때문에 근관형성이 원만하게 이루어짐을 알 수 있었다. 350rpm을 사용한 실험결과를 살펴보면, fig. e는 최대 4mm/sec의 전진 속도를 가지며 수직 하중이 700g으로 설정된 경우로 file 전진 시에 수직 하중이 원만하게 증가함으로써 모터의 역회전 현상이 없이 설정 하중인 700g을 유지하는 것을 알 수 있다. 이 실험군은 변형 발생 빈도가 37.5%였으며 file 후퇴시에 작용하는 인장하중과 토크가 변형의 원인임을 알 수 있었다. Fig. f는 최대 5mm/sec의 전진 속도를 가지며 수직 하중이 1000g으로 설정되어 있는 군으로 모터의 역회전 현상을 1회 관찰할 수 있었으며 file 후퇴시에 인장하중도 1500g 정도로 증가하였다. 이에 따라 결국 file의 변형 발생 빈도도 62.5%로 증가를 보였다.

Fig. 15의 fig. h부터 fig. n은 19mm 구간의 근관을 형성할 때 file의 회전 속도와 수직 하중, 전진 속도의 변화에 따른 특성을 나타낸 것으로 전반적으로 17mm 구간에 비하여 압축 및 인장하중이 작게 작용하며 모터의 역회전 횟수도 적게 나타났다. 이는 17mm 구간(GT rotary file yellow)에 비해 19mm 구간(GT rotary file white)의 file 변형 발생 빈도가 적다는 사실과 부합한다고 볼 수 있다.

결국 실험 방법 4에 의한 시간 효율 측정 실험에서 발생한 file의 변형 정도와 비교하였을 때 가장 중요하게 작용한 원인은 수직 하중의 증가로 볼 수 있으며 이는 Barbakow와 Lutz³⁶⁾의 연구 결과와 일치한다.

File의 변형이나 파절에 관해서는 특정한 이론이 존재한다기 보다 다양한 추론이 있는데, Pruett 등³⁷⁾은 file이 근관벽을 제거, 형성하면서 file과 근관벽의 접촉면이 커져서 이것이 응력을 야기하게 되며 이로 인해 file이 파절된다고 하였고 또 하나의 가설로 직경이 작은 file의 만곡 부위에서 응력을 받아서 탄성 한계를 지나게 되면 파절이 발생하는 것 같다고도 하였다.

최근에 엔진 구동형 NiTi file을 이용한 연구들이 다양하게 이루어지고 있으나, 실험방법에 따른 결과의 차이를 보이고 있는 것이 사실이다. 본 연구의 GT rotary file을 이용한 시간 효율 측정 실험과 file의 변형 발생 실험의 결과가 다른 연구의 결과와 다소의 차이를 보이고 있지만 이전의 연구들에서는 근관형성을 시행함에 있어 술자에 의존하는 방법이었으므로 정량화나 표준화가 어려웠다는 차이점을 들 수 있을 수 있다. 본 연구에서는 GT rotary file 제조회사에 의해 file 사용시의 적절한 하중으로 표현된 'light pressure'를 정량화 시켰으며, 술자에 의해 발생할 수 있는 오차를 배제하기 위하여 반복성과 재현성이 있고 정확한 계측이 가능한 실험장치를 개발하였다. 이 실험장치를 통하여 다양한 엔진 구동형 NiTi file을 이용한 실험에 방법적 표준화를 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

V. 결 론

본 연구에서는 35°의 만곡도를 가지는 레진 블럭에 GT rotary file을 이용하여 crown-down 방법으로 근관형성을 시행할 때의 file의 회전 속도(rpm)와 file에 작용하는 수직 하중 변화에 따른 근관형성 소요시간과 GT rotary file의 변형 발생 빈도를 실험적으로 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상용 수직 하중 범위와 GT rotary file 구동 모터의 회전수 범위 내(150rpm~350rpm)에서 하중과 회전 속도가 증가할수록 근관형성 소요시간이 감소하였다 ($p < 0.05$). 또한 상용 하중 구간 내에서 회전 속도의 영향이 하중의 영향보다 더 크게 나타났다(β -weight test).
2. 상용 하중을 포함하여 그 이상 범위의 하중과, GT rotary file 구동 모터의 회전수 범위 내(150rpm~350rpm)에서 근관형성 중 GT rotary file의 변형은 하중이 증가하고 회전 속도가 감소할수록 증가하였다. 상용 구간에 가까운 수직 하중이 작용하는 경우 GT ro-

tary file의 변형 발생 빈도는 회전 속도의 변화에 따라 매우 다양하게 나타났으며, 높은 수직 하중이 작용하는 경우 file의 변형 발생 빈도는 회전 속도 변화와 상관없이 높게 나타났다.

3. 근관형성 소요시간 측정 실험과 GT rotary file의 변형 실험에서 발생한 file의 변형 및 파절 현상은 저속인 150rpm을 이용한 군의 만곡 구간에서 공통적으로 관찰되었다.

참고문헌

1. Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. Dent. Clin. North. Am. 1974;18:269-96.
2. Weine F. Endodontic therapy. St. Louis: CV Mosby, 1989:277.
3. Lim K.C. and Webber J. The effect of root canal preparation on the shape of the curved root canal. Int. Endod. J. 1985;18:233-9.
4. Kessler J. R., Peters D. D. and Lorton L. Comparison of the relative risk of molar root perforations using various endodontic instrumentation techniques. J. Endod. 1983;9:437-9.
5. Weine F., Kelly R. F. and Lio P. J. The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. J. Endod. 1975;1:255-62.
6. Goerig A. C., Michelich R. J. and Schultz H. H. Instrumentation of root canals in molars using the step-down techniques. J. Endod. 1982;8:550-4.
7. Morgan L. F. and Montgomery S. An evaluation of the crown-down pressureless technique. J. Endod. 1984;10:491-8.
8. Roane J., Sabala C. and Duncanson M. The balanced force concept for instrumentation of curved canals. J. Endod. 1985;11:203-11.
9. El Deeb. M. and Boraas J. The effect of different files on the preparation shape of severely curved canals. Int. Endod. J. 1985;18:1-7.
10. Cimis F. M., Boyer T. J. and Pelleu G. B. Effect of three file types on the apical preparation of moderately curved canals. J. Endod. 1988;14:441-4.
11. Alodeh M. A., Doller R. and Dummer P. H. Shaping of simulated root canals in resin blocks using the step-back technique with K-files manipulated in a simple in/out filing motion. Int. Endod. J. 1989;22:107-17.
12. Leseberg D. A. and Montgomery S. The effect of Canal Master, Flex-R, and K-Flex instrumentation on the root canal configuration. J. Endod. 1991;17:59-65.
13. Walia H., Brantley W. A. and Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. J. Endod. 1988;14:346-51.
14. Mullaney Y. P. Instrumentation of finely curved canals. Dent Clin North Am. 1979;23:575-92.
15. ProFile technique guide. Tulsa Dental Products, 1994.
16. Advanced Geometries in Endodontic Micro Files. The Rationale. 1996.
17. 박한수, 이민구, 김중진, 이종엽. ProFile을 이용한 만곡 근관형성시 근관의 형태에 관한 연구. 대한치과보존학회지 1999;24:633-8.
18. 소문섭, 임미경, 이진일, 이용근, 이수종. Nickel-Titanium file과 stainless steel file을 이용한 근관형성시 컴퓨터 단층

- 촬영 사진상의 근관형태 변화에 대한 연구. 대한치과보존학회지 1997;22:659-69.
19. James M. and Marden A. Comparison of Nickel-Titanium and stainless steel hand file instrumentation using computed tomography. *J. Endod.* 1996;22:369-75.
 20. Schafer E. and Lau R. Comparison of cutting efficiency and instrumentation of curved canals with Nickel-Titanium and stainless steel instruments. *J. Endod.* 1999;25:427-30
 21. Short J. A., Morgan L. A. and Baumgartner J. C. A comparison of canal centering ability of four instrumentation techniques. *J. Endod.* 1997;23:503-7.
 22. Luiten D., Morgan L. and Baumgartner J. C. A comparison of four instrumentation techniques on apical canal transportation. *J. Endod.* 1995;21:26-32.
 23. Elliott L. M., Curtis R. V. and Pitt Ford T. R. Cutting pattern of nickel-titanium files using two preparation techniques. *Endod. Dent. Traumatol.* 1998;14:10-5.
 24. Zakariasen K. L., Frick K. J. and Deguzman J. D. Comparison of hand filing with two engine driven technique. *J. Endod.* 1996;22:214.
 25. Willis P. Gabel and Michael Hoen. Effect of rotational speed on Nickel-Titanium file distortion. *J. Endod.* 1999;25:752-4.
 26. Bruce W. Puolsen, Brent S. Dove and Carlos E. del Rio. Effect of Nickel-Titanium engine-driven instrument rotational speed on root canal morphology. *J. Endod.* 1995;21:609-12.
 27. J. Y. Blum, A. Cohen and P. Machtou. Analysis of forces developed during mechanical preparation of extracted teeth using ProFile NiTi rotary instruments. *Int. Endod. J.* 1999;32:24-31.
 28. *Machining Data Handbook*. 3rd ed. vol.1. Metcut Research Associates Inc. 1980:75-77.
 29. Baumgartner J. C., Martin H., Sabala C. L., Strittmatter E. J., Wildey W. L. and Quigley N. C. Histomorphometric comparison of canals prepared by four techniques. *J. Endod.* 1992;18:530-4.
 30. *An Introduction to the Mechanics of Solids*. 2nd ed. NewYork : McGraw-Hill. 1978:147 and 167.
 31. Kyomen S. M., Caputo A. A., and White S. N. Critical analysis of the balanced force technique in endodontics. *J. Endod.* 1994;20:332-7.
 32. Daniel B. Dietz, Peter M. Di Fiore and James K. Bahcall. Effect of rotational speed on the breakage of nickel-titanium rotary files. *J. Endod.* 2000;26:68-71.
 33. Serene T. P., Adams J. D. and Saxena A. Nickel-titanium instrument : application in endodontics. St. Louis : Ishiyaku EuroAmerica Inc., 1995.
 34. Boonrat Sattapan, Garry J. Nervo, Joseph E. A. Palamara and Horold H. Messer. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J. Endod.* 2000;26:161-5.
 35. Council on Dental Materials and Devices. New American Dental Association specification No. 28 for endodontic files and reamers. *J. Am. Dent. Assoc.* 1976; 93:813-7.
 36. Barbakow F. and Lutz F. The 'Lightspeed' preparation technique evaluated by Swiss clinicians after attending continuing education courses. *Int. Endod. J.* 1997; 30:46-50.
 37. Pruett J. P., Clement D. J. and Carnes D. L. Cyclic fatigue testing of Ni-Ti endodontic instruments. *J. Endod.* 1997; 23:77-85.