

다양한 엔진 구동형 파일의 근관 성형 능력 비교

박완기* · 이희주 · 허 복

부산대학교 치과대학 보존학교실

ABSTRACT

SHAPING ABILITY OF NICKEL-TITANIUM ROTARY FILES

Wan-Ky Park*, Hee-Joo Lee, Bock Hur

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Pusan National University

This study compared the shaping ability of nickel-titanium rotary files with different rake angle and radial land.

The nickel-titanium files used in this study were Profile(Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Switzerland), Hero 642(Micromega, Besancon, France), and K3(SybronEndo, Glendora, Ca, USA) file. Resin blocks substituted for root canals. 36 resin blocks were divided into 3 groups with 12 canals each. The time for canal preparation was recorded. The images of pre- and postoperative resin canal were scanned and those were superimposed. Amounts of canal deviation, total canal widths, inner canal widths, and outer canal widths were measured at apical 1, 2, 3, 4, 5, 6, and 7mm levels.

The amount of canal deviation was the smallest in Profile group, and the time for canal preparation was the shortest in Hero 642 group. K3 group resulted in competent characteristics in both measurements. Positive rake angle seemed to result in fast shaping of root canal and radial land guide the instrument in center of the canals and around curvatures. Radial land also tended to reduce the sense of screwing into the root canal.

The proper selection of the nickel-titanium file based on the knowledge about file design is needed for the safer, simpler and faster root canal therapy. [J Kor Acad Cons Dent 29(1):44-50, 2004]

Key words : Shaping ability, Nickel-titanium rotary file, Radial land, Rake angle

I. 서 론

근관 치료의 성공은 근관의 성형 및 세정, 그리고 3차원적인 충전에 달려 있다¹⁾. 성공적인 근관치료를 위해서 근관 성형은 치수조직, 미생물 및 감염 상아질의 완전한 제거라는

생물학적인 면과 가능한 원래의 크기를 유지하는 근단공과 치관부로 갈수록 넓어지는 깔때기 모양을 갖게 하는 형태적인 면을 만족시켜야한다²⁾. 첫 번째 측면은 치근단으로 전달되는 자극원을 제거하기 위한 것이고, 두 번째는 근관 세정제가 치근단까지 효과적으로 전달되어 잔사의 배출을 원활하게 하고, 근관 충전 시의 효율을 높이기 위함이다.

근관을 성형하는데는 수동형 기구와 엔진 구동형 기구를 이용할 수 있다. 많은 연구에 의하면 상기의 근관 성형의 목적을 만족시키는데는 수동형 기구보다 엔진 구동형 니켈-티타늄기구가 보다 효율적인 것으로 나타나고 있다³⁻⁵⁾.

엔진 구동형 니켈-티타늄 파일의 장점으로는, 첫 번째로 유연성이 커서 만곡된 근관에서도 잘 만곡되어 들어간다는

Corresponding author: Wan-Ky Park

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry,
Pusan National University

1-10, Ami-dong, Seo-gu, Pusan, 602-739, Korea

Tel : 051)240-7454

E-mail: beatl@freechal.com

점이다^{6,7)}. 두 번째로 crown-down technique을 사용하므로 치관부를 먼저 성형하여 근관의 변위나 근관장의 길이 변화가 적다는 점이 있다^{8,9)}. 세 번째로는 초기의 .02 경사도를 갖는 파일과는 달리 최근의 큰 각도를 갖는 파일은 근관 성형 후에 큰 경사도를 형성하므로 근관 세정 시에 근관 세정제의 원활한 이동 및 근관 충전 시에 충전압에 더 잘 견딜 수 있는 저항형태를 부여해준다는 점이 있다¹⁰⁾. 그리고 재근관치료 시에 gutta percha의 제거에도 사용되고 있다¹¹⁾.

그러나, 수동형 파일에 비해 고가이고 구동을 위한 엔진 기구가 필요한 단점이 있다. 또, 수동형 파일처럼 날이 풀어지거나 예각으로 꺾이는 등의 시각적으로 나타나는 파일의 파로도나 손상 정도를 인지하기 어려워서, 파절 위험이 있는 파일이 근관 내에서 분리되는 것을 막기 어렵다¹²⁾. 그리고, 수동형 파일에 비해 그 정도는 덜 하지만 만곡근관에서의 근관의 직선화, 근단공 부위에서의 근관 변위도 나타난다.

이런 문제를 해결하기 위해 많은 제조사들이 tip의 형태, radial land의 유무, rake angle의 차이, 대칭적 또는 비대칭적인 디자인 등 형태를 달리하여 다양한 파일들을 소개하고 있다¹³⁻¹⁵⁾. 현재 시판되고 있는 대부분의 니켈-티타늄 파일들은 non-cutting tip을 가지고 있으며 각 제조사들은 주로 rake angle을 달리하여 삭제능의 우수함을 내세우거나, radial land의 유무나 폭을 제시하며 근관의 변위 정도 및 파일의 파절 정도를 줄일 수 있다고 말하고 있다. 제조사들이 주장하는 내용은, rake angle이 양의 값을 가진 경우 음의 값을 가진 경우처럼 planing action이 아니라 cutting action을 가져서 삭제능이 높아진다는 것과 radial land를 가진 경우 그것이 없을 때보다 근관 성형 후에 근관의 변위

정도가 작다는 것이다¹⁶⁻²⁰⁾.

이번 연구의 목적은 현재 시판 중인 다양한 니켈-티타늄 파일 중, rake angle과 radial land에서 차이를 보이는 Profile(Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Switzerland), Hero 642(Micromega, Besancon, France), 그리고 K3(SybronEndo, Glendora, Ca, USA) 파일을 이용하여 레진 모형 상에 근관 성형 후 근관의 성형 시간을 측정하여 근관 성형 효율을 조사하고, 근관 성형의 전, 후 이미지를 중첩시켜 파일의 형태가 근관의 변위 정도에 미치는 영향을 알아보는 것이다^{4,5,21)}.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

만곡된 자연치의 근관 대응으로 근단부와 치관부의 직경이 각각 0.15mm, 0.35mm(± 0.02 mm)인 36개의 투명한 레진 모형(Endoblock, Maillefer, Ballaigues, Switzerland)을 사용하였다. 레진 모형은 18mm길이의 근관장을 가졌으며, 치관부 12mm 지점부터 40°의 만곡이 시작되었다²²⁾.

레진 모형을 12개씩 3군으로 나누었으며, Profile 파일을 사용한 P군, Hero 642 파일을 사용한 H군, 그리고 K3 파일을 사용한 K군으로 구분하여 각각을 근관 성형하였다 (Table 1).

세 종류의 파일의 특징은 Table 2에 요약되어 있다²³⁻²⁵⁾.

Table 1. Classification of groups

Group	Numbers of resin block	File system
P	12	Profile(Dentsply, Maillefer, Ballaigues Switzerland)
H	12	Hero 642(Micromega, Besancon., France)
K	12	K3(SybronEndo, Glendora, Ca., USA)

Table 2. Design of each files

File system	Rake angle	Radial land
Profile(Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Switzerland)	slight negative	Yes
Hero 642(Micromega, Besancon, France)	slight positive	No
K3(SybronEndo, Glendora, Ca, USA)	slight positive	Yes

2. 실험방법

레진 모형을 똑같은 방향과 각도로 정확히 유지할 수 있도록 장치를 제작하고 Scanjet 5400C(Hewlett-Packard, California, USA) 스캐너를 이용하여 근관 성형 전에 근관 형태의 이미지를 채득하였다. 비교를 위해 모든 레진 모형은 술전에는 빨간 색 염료로 근관을 채웠으며, 술후에는 파란 색 염료를 이용하였다.

레진 모형에서 수동형 #10 K 파일을 이용하여 근관장을 측정하고, 각각의 근관을 성형하였다. 이때 작업장은 근단공 쪽을 관찰하기 용이하도록 파일이 근단공을 빠져나오는 곳에서 1mm를 줄여 사용하였다. 표준화를 위해 각 파일 시스템 중에서 #30-.06T, #25-.06T, #20-.06T, 그리고 #20-.04T의 네 가지 파일을 선택하여 사용하였다. 근관 성형 방법은 crown-down technique을 시행하였으며, 많은 니켈-티타늄 파일 제조사들이 추천하는 회전속도인

300rpm을 선택하였다. 먼저 #30-.06T 파일로 근관의 직선 부위(12mm 지점)를 성형하고 #25-.06T와 #20-.06T 파일을 단계적으로 사용하였다. #20-.04T 파일로 근관장까지 성형한 후 다시 #20-.06T로 근관장까지 성형하였다. 마지막으로 #25-.06T 파일로 근관 성형을 마무리하였다(Table 3).

각 단계에서 날에 잔사가 많이 축적되어 더 이상 성형이 진행되지 않는 경우에는 젖은 거즈를 이용하여 파일을 닦아 잔사를 제거하고 다시 근관 성형을 시행하였다. 매 파일 사용 후에는 잔사로 인해 근단공이 막히지 않도록 수동형 #10 K 파일을 사용하여 근단공 개방을 유지하고, 물을 이용하여 단계마다 2ml씩 세척하였다^{2,26)}. 모든 근관 성형이 끝난 후 염료의 주입을 용이하게 하기 위해 페이퍼 포인트를 이용해 근관 내부를 건조시켰다.

각각의 파일의 성형 능력을 알아보기 위해 근관 성형 시의 소요 시간을 측정하였다. 이 때 파일을 바꾸고 길이를 조절하는 시간과 근관 세정하는 시간은 포함시키지 않았다.

근관 성형이 끝난 후, 다시 레진 모형을 재워치시켜 스캐너를 이용하여 이미지를 채득한 후에 Photoshop 6.0(Adobe Inc., California, USA)을 이용하여 불투명도를 50%로 감소시킨 술전 이미지와 술후 이미지를 중첩시키고(Fig. 1) 100배 확대하였다. 근단공에서 각각 1, 2, 3, 4, 5, 6, 그리고 7mm 떨어진 곳에서의 측정값을 얻었다. 술전 이미지의 근관 중심을 기준으로 각 지점에서 만곡 내측의 삭제 길이, 만곡 외측의 삭제 길이, 그리고 총 삭제 길이를 측정하였고, 결과를 바탕으로 근관의 변위 정도를 계산하였다.

ANOVA를 이용하여 계산된 결과에 대한 상호간의 유의성을 알아보고, Duncan's Multiple Range Test로 사후 검증하였다.

Table 3. Preparation sequence

Sequence	File	Working length(mm)
1	#30-.06T	12mm
2	#25-.06T	14mm
3	#20-.06T	16mm
4	#20-.04T	Working length
5	#20-.06T	Working length
6	#25-.06T	Working length

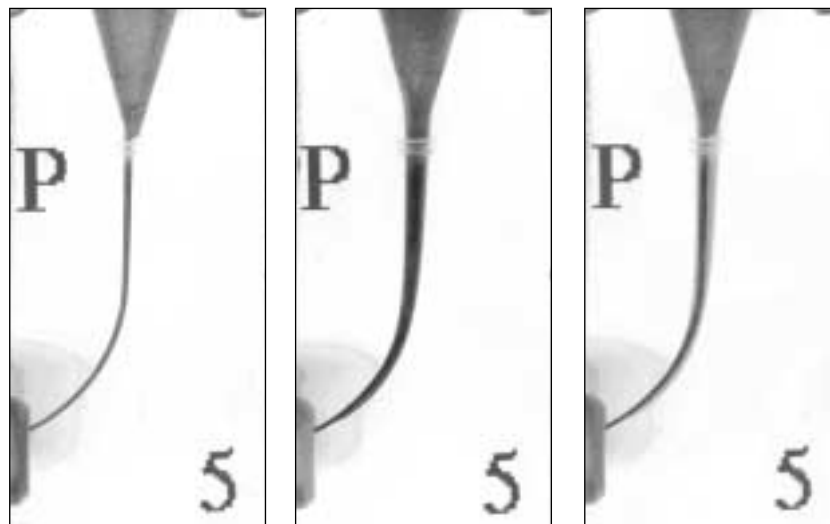


Fig. 1. Superimposing images of pre- and postoperative blocks

Ⅲ. 연구결과

1. 각 파일의 근관 성형 시간

측정된 값들은 아래의 Table 4와 같이 나타났다.

근관 성형 시간은 세 군 각각이 유의한 차이를 보여주고 있으며, H군이 가장 빨랐으며 K군, P군 순이었다. ($p<0.0001$)

2. 근관의 변위

먼저 근관 전체에서의 변위 방향을 알아보았는데, 세 군 모두 2-4mm 지점에서의 변위가 만곡의 외측으로 나타났다. 그 외의 지점에서는 실험적으로는 근관의 만곡이 시작되기 전 부분, 즉 치관부는 만곡의 내측으로 변위되고 만곡이 시작된 후에는 만곡의 외측으로 변위되는 경향을 보였으

Table 4. Time for canal preparation(second)

Sample No.	Profile	Hero 642	K3
1	162	120	136
2	165	116	129
3	160	118	133
4	145	115	138
5	160	124	134
6	148	115	130
7	140	105	134
8	162	120	129
9	170	106	119
10	167	110	135
11	163	114	119
12	150	125	124
Mean(SD)	157.7(±9.1)	115.7(±6.3)	130.0(±6.4)

Table 5. Mean values(standard deviation) of total canal width, outer canal width, inner canal width, and amount of deviation of each groups(mm)

Distance from apex		1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm
Total canal width	Group P	0.237	0.312	0.378	0.402	0.465	0.506	0.573
		(±0.030)	(±0.026)	(±0.032)	(±0.034)	(±0.015)	(±0.059)	(±0.020)
	Group H	0.272	0.419	0.518	0.518	0.532	0.597	0.652
		(±0.046)	(±0.075)	(±0.056)	(±0.037)	(±0.027)	(±0.029)	(±0.029)
	Group K	0.266	0.375	0.476	0.476	0.537	0.591	0.636
		(±0.058)	(±0.016)	(±0.020)	(±0.023)	(±0.028)	(±0.038)	(±0.038)
Outer canal width	Group P	0.146	0.215	0.265	0.263	0.253	0.230	0.259
		(±0.026)	(±0.034)	(±0.045)	(±0.035)	(±0.016)	(±0.040)	(±0.036)
	Group H	0.159	0.294	0.372	0.326	0.270	0.251	0.283
		(±0.038)	(±0.066)	(±0.052)	(±0.053)	(±0.025)	(±0.027)	(±0.030)
	Group K	0.153	0.252	0.303	0.298	0.268	0.246	0.280
		(±0.044)	(±0.032)	(±0.032)	(±0.024)	(±0.023)	(±0.026)	(±0.041)
Inner canal width	Group P	0.091	0.097	0.113	0.139	0.212	0.277	0.314
		(±0.005)	(±0.015)	(±0.021)	(±0.027)	(±0.022)	(±0.034)	(±0.035)
	Group H	0.114	0.125	0.146	0.192	0.262	0.346	0.370
		(±0.014)	(±0.020)	(±0.032)	(±0.036)	(±0.044)	(±0.042)	(±0.046)
	Group K	0.113	0.123	0.113	0.178	0.269	0.346	0.357
		(±0.021)	(±0.022)	(±0.029)	(±0.017)	(±0.027)	(±0.040)	(±0.051)
Amount of deviation	Group P	-0.025	-0.118	-0.152	-0.124	-0.041	0.047	0.055
		(±0.023)	(±0.046)	(±0.062)	(±0.052)	(±0.035)	(±0.046)	(±0.068)
	Group H	-0.045	-0.170	-0.227	-0.135	-0.008	0.095	0.087
		(±0.033)	(±0.063)	(±0.065)	(±0.083)	(±0.066)	(±0.065)	(±0.071)
	Group K	-0.040	-0.128	-0.171	-0.120	0.001	0.100	0.077
		(±0.037)	(±0.053)	(±0.058)	(±0.035)	(±0.041)	(±0.057)	(±0.084)

나, 유의한 차이가 없었다.

각 군간의 변위 차이는 3mm 지점에서의 변위에서만 유의한 차이가 났다. H군이 근관 만곡 외측으로의 변위량이 다른 군에 비해 유의하게 큰 것으로 나타났다.($p<0.01$)

3. 각 지점에서의 총 삭제량

총 삭제량은 모든 지점에서 H와 K군이 P군보다 유의하게 컸다. 또, 2-4mm 지점에서는 H군과 K군간에도 차이가 있었으며 H군이 더 컸다.($p<0.001$)

4. 근관 만곡 내측 삭제량

모든 지점에서 H와 K군이 P군보다 컸다.($p<0.05$) H와 K군간에는 유의한 차이가 없었다.

5. 근관 만곡 외측 삭제량

2-4mm 지점에서 유의한 차이가 나타났다. 2mm 지점에서는 H군이 K와 P군보다 컸으며, 3mm 지점에서는 H, K, 그리고 P군 순서로 크게 나타났다. 4mm 지점에서는 H와 K군이 P군보다 삭제량이 컸다.($p<0.001$)

IV. 총괄 및 고찰

이번 실험의 목적은 니켈-티타늄 파일이 가지고 있는 많은 특성 중 rake angle과 radial land의 차이가 근관 성형 시에 영향을 미치는 지를 알아보는 것이었다.

니켈-티타늄 파일의 성형 능력을 알아보기 위해서는 먼저 파일이 가지고 있는 특성들을 고려할 필요가 있다²⁷⁻³²⁾ (Table 6). 이런 특징들은 크게 세 가지 측면에서 생각해볼 수 있는데 첫 번째는 근관 성형 시 걸리는 시간, 두 번째는 만곡 근관에서의 변위 정도, 세 번째는 파일이 상아질 내로 파고 들어가는 정도가 그것이다.

Table 6. Overview of file design

	Profile	Hero 642	K3
Rake angle	Negative	Positive	Positive
Radial land	Yes	No	Yes
Tip	Non-cutting	Non-cutting	Non-cutting
Helical flute angle	Consistent	Variable	Variable
Pitch	Consistent	Variable	Variable
Shank	Metal	Plastic	Metal
	15mm	14mm	11.5mm

근관 성형 시 걸리는 시간에 영향을 미치는 부분은 파일의 rake angle, helical flute angle, 그리고 삭제날 후방의 clearance angle 등을 들 수 있다. Rake angle은 양의 값을 가진 경우 좋은 삭제력을 가지며, 음의 값을 가지는 경우에서 나타나는 planing action이 아닌 cutting action을 갖게 된다. 이 rake angle이 근관 성형 시간에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다. 이번 실험에서 나타난 결과에서도 양의 값을 가진 K3 파일과 Hero 642 파일을 사용한 군이 음의 값을 가진 Profile 파일 군보다 성형시간이 짧았다. Helical flute angle과 삭제날 후방의 clearance angle은 근관 성형 시에 상아질 잔사를 치관부로 배출하는 데 영향을 준다. 이들 특성도 성형 시간에 영향을 주는 것으로 생각되나 실험상에는 그 차이를 인지하기 어려웠다.

만곡 근관에서의 근관의 변위 정도에 영향을 주는 요소로는 radial land의 유무와 tip의 형태를 들 수 있다³³⁾. 현재 시판되는 대부분의 니켈-티타늄 파일들은 non-cutting tip을 가지므로 변위의 가장 큰 요소로는 radial land의 폭이나 유무가 될 것이다. Radial land를 가지는 경우 근관 성형 시 근관의 변위를 최소화하면서 삭제가 이루어진다고 알려져 있다³⁴⁾. 실험상에서도 radial land를 가지는 Profile 파일과 K3 파일 군이 Hero 642 파일 군보다 변위가 작았다. 통계학적으로는 치근단 3mm 지점에서만 Hero 642 파일 군의 변위가 유의하게 컸다. 이 결과는 1mm 간격으로 지점을 지정하여 얻은 통계치이므로 실제로는 지점이 아니라 어떤 범위-예를 들면 2.5mm에서 3.5mm-에서 유의한 차이가 있을 것으로 사료된다.

상아질 내로 파일이 파고 들어가는 정도에 영향을 미치는 요소로는 rake angle, radial land, helical flute angle, 단위 길이 당 날의 수(pitch), 그리고 tip의 형태 등이 있다. Koch와 Brave³³⁾은 나사못의 예를 들면서 일정한 helical flute angle과 일정한 단위 길이 당 날의 수를 가진 경우 앞서 지나간 날을 따라 가면서 파일이 근관 내로 파고 들어갈 가능성이 높다고 언급했다. 그러나 본 실험에 의하면 Profile 파일의 경우 일정한 helical flute angle과 일정한 단위 길이 당 날의 수를 가졌지만, 일정하지 않은 helical flute angle과 단위 길이 당 날의 수를 가지면서 양의 rake angle 값을 가지는 Hero 642 파일이나 K3 파일보다 근관 내로 파고 들어가는 정도가 작은 것으로 보아 다른 조건들보다도 rake angle이 파고 들어가는 정도에 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다. 그리고, Hero 642 파일의 근관 내로 파고 들어가는 정도가 가장 크게 나타나 radial land 역시 중요한 영향 요소로 생각된다.

본 실험에서는 레진 모형을 사용하였는데, 이런 경우 실제 치아의 상아질과는 성상이 많이 달라서 절대적인 값을 산출하기에는 무리가 있지만 각 파일의 삭제 경향을 알아보는 데는 유용하다고 알려져 있다. 그리고 실제 치아에서는 제어

가 불가능한 근관의 만곡이나 폭, 길이의 표준화가 가능하며 많은 실험에서 사용되고 있다³⁵⁻³⁹⁾.

이번 실험에서는 포함시키지 않았지만 파일 단면과 stiffness의 관계에 따른 근관 변위의 정도에 대한 연구와 함께, 파일의 개수와 경사도를 표준화하지 않고 제조사가 추천하는 방법으로 근관 성형 능력을 비교하는 연구, 그리고 레진 모형이 아닌 자연치에서의 근관 성형 능력 비교에 대한 연구가 더 시행되어야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 실험은 현재 시판 중인 다양한 니켈-티타늄 파일 중, rake angle과 radial land에서 차이를 보이는 Profile (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Switzerland), Hero 642 (Micromega, Besancon, France), 그리고 K3 (SybronEndo, Glendora, Ca, USA) 파일을 이용하여 근관 성형 후 근관의 성형 시간을 측정하여 근관 성형 효율을 조사하고, 근관 성형의 전, 후 이미지를 중첩시켜 파일의 형태가 근관의 변위 정도에 미치는 영향을 알아보기 위해 시행하였다. Profile 파일은 음의 값을 갖는 rake angle과 radial land를, Hero 642 파일은 양의 rake angle을 가지며 radial land는 없으며, K3 파일은 양의 rake angle과 radial land를 가지고 있다.

실험을 위해 36개의 레진 모형을 각각 12개씩 3군으로 나누어 근관 성형한 뒤에 각각의 성형 시간을 비교하였으며, 근단공에서 각각 1, 2, 3, 4, 5, 6, 그리고 7mm 떨어진 곳에서의 근관 변위 정도, 총 삭제 길이, 만곡 내측의 삭제 길이, 그리고 만곡 외측의 삭제 길이를 측정하여 각 파일의 성형 능력을 비교하였다.

실험 결과 얻은 내용은 다음과 같다.

1. 근관 성형 시간은 세 군 각각이 유의한 차이를 보여주고 있으며, H군이 가장 빨랐으며 K군, P군 순이었다. ($p<0.0001$)
2. 세 군 모두 2-4mm 지점에서의 변위는 만곡의 외측으로 나타났다.
3. 각 군간의 근관 변위 정도는 3mm 지점에서 H군이 유의하게 컸다. ($p<0.01$)
4. 총 삭제량은 모든 지점에서 H와 K군이 P군보다 유의하게 컸다. 또, 2-4mm 지점에서는 H군과 K군간에도 유의한 차이가 있었으며 H군이 더 컸다. ($p<0.001$)
5. 근관 만곡 내측 삭제량은 모든 지점에서 H와 K군이 P군보다 컸다. ($p<0.05$) H와 K군간에는 유의한 차이가 없었다.
6. 근관 만곡 외측 삭제량은 2-4mm 지점에서 유의한 차이가 나타났다. 2mm 지점에서는 H군이 K와 P군보다 컸으며, 3mm 지점에서는 H, K, 그리고 P군 순서로 크게

나타났다. 4mm 지점에서는 H와 K군이 P군보다 삭제량이 컸다. ($p<0.001$)

이상의 내용을 토대로 고려해 보면 니켈-티타늄 파일의 rake angle이 양의 값을 가진 경우 빠른 근관 성형이 가능하며, radial land를 가진 경우 근관의 만곡부에서 변위가 적게 일어남을 알 수 있다. 이런 파일의 특성을 잘 이해하고 적절한 파일을 선택한다면 빠르고 안전한 근관 성형을 하는데 많은 도움이 될 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Weine FS, Kelly RF, Lio PJ. The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. *J Endod* 1:255-262, 1975.
2. Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am* 18:269-296, 1974.
3. Coleman CL, Svec TA. Analysis of Ni-Ti versus stainless steel instrumentation in resin simulated canals. *J Endod* 23:232-235, 1997.
4. 박한수, 이민구, 김종진, 임영준, 장문성, 이종엽. 'Three file' 방식에 의한 만곡 근관 형성시 근관의 형태에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 25:494-498, 2000.
5. 박한수, 백승호. 'Two file' 방식에 의한 근관 형성시 근관의 형태에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 26:507-511, 2001.
6. Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod* 14:346-551, 1988.
7. Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J* 33:297-310, 2000.
8. Morgan LF, Montgomery S. An evaluation of the crown-down pressureless technique. *J Endod* 10:491-498, 1984.
9. Davis RD, Marshall JG, Baumgartner JC. Effect of early coronal flaring on working length change in curved canals using rotary nickel-titanium versus stainless steel instruments. *J Endod* 28:438-442, 2002.
10. Buchanan LS. The standardized-taper root canal preparation--Part 1. Concepts for variably tapered shaping instruments. *Int Endod J* 33:516-529, 2000.
11. Barrieshi-Nusair KM. Gutta-percha retreatment: effectiveness of nickel-titanium rotary instruments versus stainless steel hand files. *J Endod* 28:454-456, 2002.
12. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod* 26:161-165, 2000.
13. Powell SE, Simon JH, Maze BB. A comparison of the effect of modified and nonmodified instrument tips on apical canal configuration. *J Endod* 12:293-300, 1986.
14. Kuhn WG, Carnes DL Jr, Clement DJ, Walker WA 3rd. Effect of tip design of nickel-titanium and stainless steel files on root canal preparation. *J Endod* 23:735-738, 1997.
15. Kosa DA, Marshall G, Baumgartner JC. An analysis of canal centering using mechanical instrumentation techniques. *J Endod* 25:441-445, 1999.
16. Camps JJ, Pertot WJ. Torsional and stiffness properties of nickel-titanium K files. *Int Endod J* 28:239-243, 1995.
17. Haikel Y, Gasser P, Allemann C. Dynamic fracture of

- hybrid endodontic hand instruments compared with traditional files. *J Endod* 17:217-220, 1991.
18. Wildey WL, Senia ES, Montgomery S. Another look at root canal instrumentation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 74:499-507, 1992.
19. Bahcall JK, Barss JT. Understanding and evaluating the endodontic file. *Gen Dent* 48:690-692, 2000.
20. Averbach RE, Kleier DJ. Endodontics in the 21st century: the rotary revolution. *Compend Contin Educ Dent* 22:27-34, 2001.
21. 박한수. 만곡 근관에서 근침 형성 크기에 따른 근관의 전이 정도에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 26:200-205, 2001.
22. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 32:271-275, 1971.
23. Vulcain JM, Calas P. The three wave concept of Hero 642. *Endod Prac* 2:20-31, 1999.
24. Bryant ST, Dummer PM, Pitoni C, Bourba M, Moghal S. Shaping ability of .04 and .06 taper ProFile rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals. *Int Endod J* 32:155-164, 1999.
25. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: rationale, performance and safety. Status report for the American Journal of Dentistry. *Am J Dent* 14:324-333, 2001.
26. Buchanan LS. Curved root canals: treating the most common endodontic complexity. *Dent Today* 11:34-38, 1992.
27. Turpin YL, Chagneau F, Vulcain JM. Impact of two theoretical cross-sections on torsional and bending stresses of nickel-titanium root canal instrument models. *J Endod* 26:414-417, 2000.
28. Turpin YL, Chagneau F, Bartier, Cathelineau G, Vulcain JM. Impact of torsional and bending inertia on root canal instruments. *J Endod* 27:333-336, 2001.
29. Powell SE, Wong PD, Simon JH. A comparison of the effect of modified and nonmodified instrument tips on apical canal configuration. Part II. *J Endod* 14:224-228, 1988.
30. Miserendino LJ, Moser JB, Heuer MA, Osetek EM. Cutting efficiency of endodontic instruments. Part 1: a quantitative comparison of the tip and fluted regions. *J Endod* 11:435-441, 1985.
31. Miserendino LJ, Moser JB, Heuer MA, Osetek EM. Cutting efficiency of endodontic instruments. Part II: Analysis of tip design. *J Endod* 12:8-12, 1986.
32. Felt RA, Moser JB, Heuer MA. Flute design of endodontic instruments: its influence on cutting efficiency. *J Endod* 8(6):253-259, 1982.
33. Koch K, Brave D. The ultimate rotary file? *Oral Health March*:59-64, 2002.
34. Blum JY, Machtou P, Micallef JP. Location of contact areas on rotary Profile instruments in relationship to the forces developed during mechanical preparation on extracted teeth. *Int Endod J* 32:108-114, 1999.
35. Lim KC, Webber J. The validity of simulated root canals for the investigation of the prepared root canal shape. *Int Endod J* 18:240-246, 1985.
36. Schafer E. Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments and stainless steel hand K-Flexofiles in simulated curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 92:215-220, 2001.
37. Kum KY, Spangberg L, Cha BY, Il-Young J, Msd, Seung-Jong L, Chan-Young L. Shaping ability of three ProFile rotary instrumentation techniques in simulated resin root canals. *J Endod* 26:719-723, 2000.
38. Thompson SA, Dummer PM. Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals: Part 2. *Int Endod J* 33:255-261, 2000.
39. Thompson SA, Dummer PM. Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals: Part 1. *Int Endod J* 33:248-255, 2000.