

적외선열화상장치를 이용한 Buchanan plugger 표면의 온도상승 분석

최성아 · 김선호 · 황윤찬 · 윤 창 · 오병주 · 최보영* · 정우남* · 정선외** · 황인남 · 오원만
전남대학교 치과대학 보존학교실, 치의학연구소, 전남대학교 공과대학 자동차공학부*
서남대학교 의과대학 치과학교실**

ABSTRACT

INFRARED THERMOGRAPHIC ANALYSIS OF TEMPERATURE RISE ON THE SURFACE OF BUCHANAN PLUGGER

Sung-A Choi, Sun-Ho Kim, Yun-Chan Hwang, Chang Youn, Byung-Ju Oh,
Bo-Young Choi*, Woo-Nam Juhng*, Sun-Wa Jeong**, In-Nam Hwang, Won-Mann Oh
Dept. of Conservative Dentistry, College of Dentistry, DSRI,
School of Mechanical Systems Engineering College of Engineering* Chonnam Natl. Uni.
Dept. of Dentistry, College of Medicine, Seonam University**

This study was performed to evaluate the temperature rise on various position of the Buchanan plugger, the peak temperature of plugger's type and the temperature change by its touching time of heat control spring.

The heat carrier system 'System B' (Model 1005, Analytic Technologies, USA) and the Buchanan's pluggers of F, FM, M and ML sizes are used for this study. The temperature was set to 200°C which Dr. Buchanan's "continuous wave of condensation" technique recommended on digital display and the power level on it was set to 10. In order to apply heat on the Buchanan's pluggers, the heat control spring was touched for 1, 2, 3, 4 and 5 seconds respectively. The temperature rise on the surface of the pluggers were measured at 0.5 mm intervals from tip to 20 mm length of shank using the infrared thermography (Radiation Thermometer-IR Temper, NEC San-ei Instruments, Ltd, Japan) and TH31-702 Data capture software program (NEC San-ei Instruments, Ltd, Japan). Data were analyzed using a one way ANOVA followed by Duncan's multiple range test and linear regression test.

The results as follows.

1. The position at which temperature peaked was approximately at 0.5 mm to 1.5 mm far from the tip of Buchanan's pluggers ($p < 0.001$). The temperature was constantly decreased toward the shank from the tip of it ($p < 0.001$).
2. When the pluggers were heated over 5 seconds, the peak temperature by time of measurement revealed from $253.3 \pm 10.5^\circ\text{C}$ to $192.1 \pm 3.3^\circ\text{C}$ in a touch for 1 sec, from $218.6 \pm 5.0^\circ\text{C}$ to $179.5 \pm 4.2^\circ\text{C}$ in a touch for 2 sec, from $197.5 \pm 3.0^\circ\text{C}$ to $167.6 \pm 3.7^\circ\text{C}$ in a touch for 3 sec, from $183.7 \pm 2.5^\circ\text{C}$ to $159.8 \pm 3.6^\circ\text{C}$ in a touch for 4 sec and from $164.9 \pm 2.0^\circ\text{C}$ to $158.4 \pm 1.8^\circ\text{C}$ in a touch for 5 sec. A touch for 1 sec showed the highest peak temperature, followed by, in descending order, 2 sec, 3 sec, 4 sec. A touch for 5 sec showed the lowest peak temperature ($p < 0.001$).
3. A each type of pluggers showed different peak temperatures. The peak temperature was the highest in F type and followed by, in descending order, M type, ML type. FM type revealed the lowest peak temperature ($p < 0.001$).

The results of this study indicated that pluggers are designed to concentrate heat at around its tip, its actual temperature does not correlate well with the temperature which Buchanan's "continuous wave of condensation" technique recommend, and finally a quick touch of heat control spring for 1sec reveals the highest temperature rise.

Key words : Infrared thermographic analysis, Buchanan plugger

I. 서 론

완벽한 근관치료를 위해서는 근관계의 3차원적인 폐쇄가 필수적이다¹⁾. 이를 위해 실러(sealer)와 거타퍼차(gutta-percha)가 근관충전 재료로서 사용되고 있다. 이러한 근관충전재를 근관내에 충전하는 방법에는 여러 가지 술식이 이용되고 있다²⁾. 술식의 간편성 때문에 측방가압법(lateral condensation)²⁾이 많이 이용되었으나 최근에는 거타퍼차를 보다 균일하게 충전해주고 체적으로 안정되게 해주는 장점이 있으며 특히 우수한 근관폐쇄 효과를 나타내기 때문에 가열수직가압법(warm vertical condensation technique)¹⁾이 많이 사용되는 추세이다. 그러나 이 술식은 가열기구로 거타퍼차에 열을 가하여 충전하기 때문에 치아 주위 조직에 해로운 열손상을 야기할 수 있으며 충전기법이 복잡한 등의 단점이 있다¹⁾.

가열수직가압법에 의한 충전시 치근표면으로의 열 전달에 관한 많은 보고들이 있는 바, Hand 등³⁾은 불꽃에 의해 가열된 충전기구를 근관 내 삽입시에 충전기구의 온도가 380℃를 나타내었다고 하였고 가열수직가압법에 의한 근관충전시 3~4℃의 치근표면의 온도상승을, Marlin과 Schilder⁴⁾은 4℃에서 12.5℃의 근관 내의 온도상승이 있음을 보고하였다. Barkhordar 등⁵⁾은 가열가압충전시 근단공으로부터 2 mm 부위에서 4~7℃의 온도상승이 있음을 보고하였다.

Eriksson 등⁶⁾은 골조직에 45℃ 이상이 가해지면 골손상을 야기한다고 하였으며, Eriksson과 Albrektsson^{7,8)}에 의하면 골조직의 재생능력을 감소시키거나 비가역적인 손상을 가하지 않는 최대 온도의 허용치는 47℃ 정도의 온도 자극이 1분간 지속될 때라고 하였다. 이것은 치근 표면에서 10℃의 온도상승이며 이 이상의 열이 치근 표면에 가해지면 주위치주조직에 해로운 결과를 나타냄을 시사한다.

치근 표면의 온도를 측정하는 방법에는 열전대(thermocouple)⁹⁻¹²⁾와 적외선 열화상장치(infrared thermal imaging system)¹³⁾를 이용할 수 있다. 본 연구에서는 Buchanan plugger 표면의 온도를 직접 측정하기 위한 방법으로 적외선 열화상장치를 이용하였다.

Buchanan이 System B HeatSource(Model 1005, Analytic Technologies, USA)를 이용한 continuous wave of condensation technique¹⁴⁾을 개발하여 소개한 이래 충전법이 간편하고 빠르기 때문에 최근에 많이 이용되고 있다. 그러나 Buchanan plugger를 사용시 System B HeatSource에서 Buchanan plugger로 야기되는 열은 치아 주위조직에 손상을 야기할 수 있어 이에 관한 연구가 필요하다.

System B HeatSource의 digital temperature display 상에 온도가 설정되었다 하더라도 열이 Buchanan plug-

ger로 전달되는 동안 열손실이 나타날 수 있어 digital temperature display상의 온도와 Buchanan plugger 상의 온도가 일치하지 않을 수 있다. 따라서 적외선 열화상장치를 이용하여 Buchanan plugger의 종류와 가열시간에 따라 System B HeatSource의 설정온도와 Buchanan plugger상의 실제온도의 온도변화 차이의 여부와 그 정도를 구명하고자 본 연구를 시행하였다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 실험 재료

실험조건 변화에 따라 온도변화를 측정하기 위하여 충전기구로는 Buchanan plugger의 F(Fine), FM(Fine Medium), M(Medium) 및 ML(Medium Large)를 사용하였다. Plugger는 끝 부분의 지름이 0.5 mm로 일정하지만 경사도는 F plugger가 .06 taper, FM plugger가 .08 taper, M plugger가 .10 taper 및 ML plugger가 .12 taper를 각각 나타낸다. 따라서 plugger는 형성된 근관의 크기나 경사도에 따라 적당한 것을 선택한다. 전기적 열전달기로는 System B HeatSource (Model 1005, Analytic Technologies, USA)를 사용하였다.

2. 실험 장치 및 방법

1) 실험 장치

본 연구에서 실험 장치는 plugger 표면의 온도를 측정하기 위해 plugger와 plugger에 열에너지를 공급하는 System B HeatSource 그리고 온도 계측을 위한 적외선 열화상 장치로 이루어져 있다(Fig. 1).

System B HeatSource는 온도와 power를 조절 할 수 있게 되어 있고 본 연구에서는 설정온도는 200℃, power

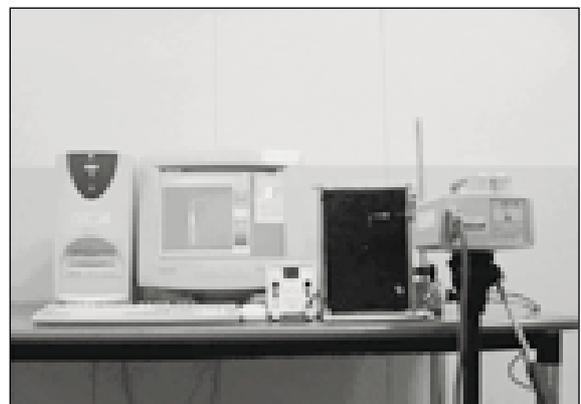


Fig. 1. Infrared thermal imaging system.

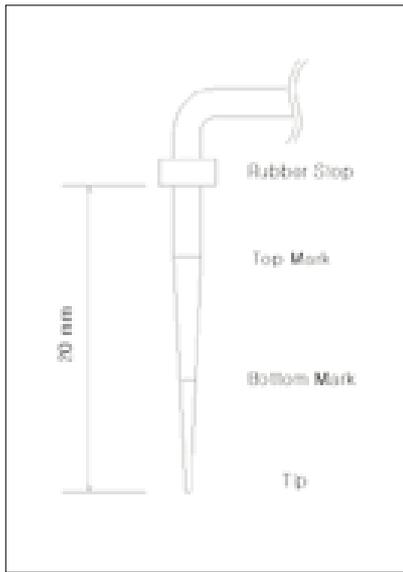


Fig. 2. Schematic illustration of Buchanan plugger.

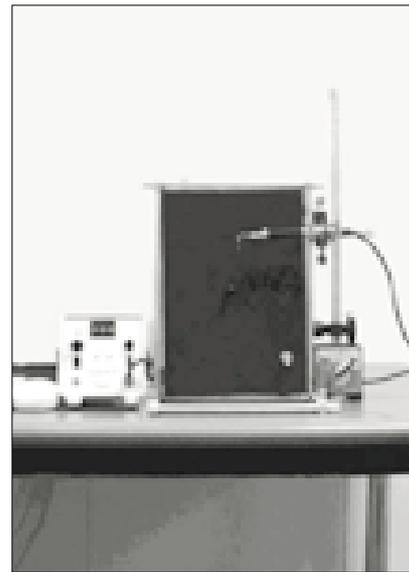


Fig. 3. The fixation device of heat carrier of System B HeatSource and System B Heat Source.

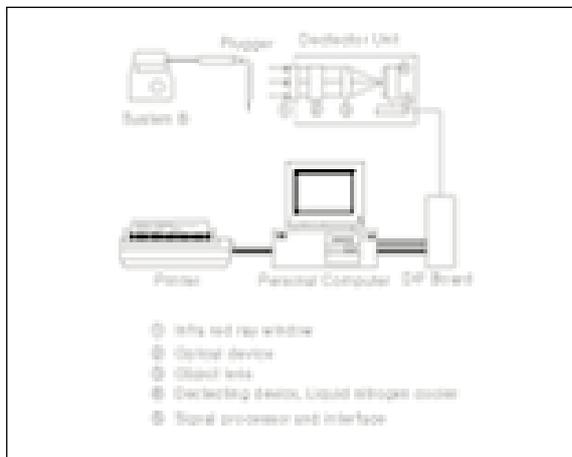


Fig. 4. Schematic illustration of the whole system.

level은 10으로 하였다.

각각의 plugger에는 plugger의 선단으로부터 Fig. 2에서와 같이 20 mm에 러버 스탑퍼(rubber stopper)가 위치해 있고 plugger의 복사에너지 방사율(emissivity, ϵ)을 알 수 없어 복사율이 알려진 내열 도료($\epsilon=0.93$, Asahipen Corp.)를 4 μ m의 두께로 도포 하였다. 이 plugger를 System B HeatSource에 장착한 후 실험하는 동안 plugger의 고정을 위해 클램프를 사용하였고 주위 환경으로부터 영향을 줄이기 위해 plugger의 뒷편에 스크린을 사용하였

다(Fig. 3).

Pluggers 표면 온도 측정을 위해 표면 온도 측정 장치인 적외선 열화상장치(Radiation Thermometer-IR Temper, NEC San-ei Instruments, Ltd, Japan)를 이용했고, 이 적외선 열화상장치 시스템의 하드웨어적인 구성은 계측 부위의 온도를 얻는 Detector unit, Detector unit과 컴퓨터간의 인터페이스를 위해 DIF board와 이것들을 운영하는 컴퓨터로 되어있고 적외선 열화상장치의 구동과 열화상을 캡처하는 소프트웨어로는 TH31-702 Data capture software program(NEC San-ei Instruments, Ltd, Japan)을 사용하였다(Fig. 4).

Detector unit은 적외선 파장대역만을 통과시키는 Infrared ray window와 초점을 조절하는 광학적 장치, 온도 검출 장치 그리고 신호를 처리하고 DIF board로 데이터를 전송하는 부분으로 이루어졌다. DIF 보드는 컴퓨터 내의 슬롯에 연결하여 detector unit과 컴퓨터간의 인터페이스를 시켜 주는 장치이다.

TH31-702 Data capture software program은 열화상을 실시간으로 얻을 수 있고, 열화상의 임시 저장은 4개의 버퍼를 이용하여 일정한 시간 간격을 두고 열화상을 임시 저장 할 수 있다. 또한 이 소프트웨어는 주위 환경의 복사열전달에 의한 신호에 대해서 보정하는 기능을 가지고 있다. 이 소프트웨어로 얻은 하나의 열화상은 255×255의 화소로 구성되어 있고 각각의 화소는 계측부위의 온도 값을 가지고 있다.

2) 실험 방법

F, FM, M 및 ML plugger를 사용하여 plugger의 종류별로 5초 동안 시간에 따른 온도 변화를 평가하고자 heat control spring의 접촉시간은 5초 이상으로 하고 매 초마다 열화상을 취득하여 1초에서 5초의 데이터를 얻었다.

데이터의 취득을 위한 준비로 열화상 장치를 구동하여 초점을 맞춘 다음 열화상 장치에서 매초 마다 열화상을 버퍼에 저장하도록 설정하였다. 또한 주위로부터 전달되는 복사열전달에 대한 보정은 소프트웨어에서 보정하였다.

Plugger에 열을 가하기 위해 heat control spring의 조작은 실험자의 체온이 plugger에 영향을 끼치지 않도록 고무 막대를 이용하고 5초 이상 눌러 System B HeatSource에서 열을 공급하게 하였다.

열화상장치의 버퍼는 4개의 열화상만을 임시 저장 할 수 있으므로 5초간의 온도 분포를 측정하기 위해서는 두 번의 실험이 필요하다. 첫 번째 실험에서 1초부터 3초의 데이터를 얻고 4초와 5초의 데이터는 두 번째 실험에서 얻어 이것을 1 회 실험으로 하였다. 이 실험은 시간에 따른 온도 분포를 보는 것이 주요 목적이므로 정확한 시간에서 데이터를 얻는 것이 중요하다. 그러나 plugger를 가열하기 시작하는 시간과 열화상을 받기 시작하는 시간이 일치해야 하지만 heat control spring의 수동적인 조작은 이러한 조건을 만족할 수 없어 총 15회 반복 실험하였다. 이렇게 해서 하나의 plugger에 대해 15(회)×5(초)개의 열화상을 얻었다.

이 열화상으로부터 plugger 부분만의 화상을 취득하고 plugger 선단에서부터 스타팁까지 화소의 개수와 실제 길

이를 비교함으로써 plugger 표면의 위치에 따른 온도분포를 얻었다.

각각의 plugger에 대해 위와 같은 방법으로 반복 실험하여 온도 데이터를 얻었다.

3. 통계분석

Plugger의 종류와 접촉시간에 따른 최고온도의 유의성을 검증하기 위해 일원분산분석법을 시행하였고 사후검정으로 Duncan's multiple range test를 시행하였다. Plugger 표면의 위치에 따른 온도변화의 유의성을 검증하기 위하여 선형회귀분석을 시행하였다.

Ⅲ. 실험결과

1. Plugger의 종류에 따른 최고온도와 최고온도 발현 부위

가장 온도가 높은 부위는 Buchanan plugger의 선단에서부터 약 0.5 mm에서 1.5 mm 떨어진 부위였다. F plugger가 다른 plugger에 비해 높은 온도를 나타냈다($p < 0.001$). Plugger의 종류 및 가열시간에 따른 최고온도와 최고온도의 발현부위는 다음과 같다(Table 1, Fig. 5).

F plugger의 경우, 1초, 2초, 3초, 4초 및 5초 가열시의 최고온도는 각각 $253.3 \pm 10.5^\circ\text{C}$, $218.6 \pm 5.0^\circ\text{C}$, $197.5 \pm 3.0^\circ\text{C}$, $183.7 \pm 2.5^\circ\text{C}$ 및 $162.1 \pm 8.1^\circ\text{C}$ 를 나타내어 1초에

Table 1. The position at which the temperature peaked on the surface of Buchanan plugger (mm)

	Plugger Type			
	F	FM	M	ML
	♣	♣	♣	♣
1sec D (mm)	1.5	1	0.5	0.5
T (°C)	253.3±10.5	196.4±4.4	213.1±3.2	192.1±3.3**
2sec D (mm)	1.5	1	1	1
T (°C)	218.6±5.0	179.5±4.2	193.7±2.1	187.6±3.0**
3sec D (mm)	1.5	1	1	1
T (°C)	197.5±3.0	167.6±3.7	179.7±1.9	174.4±2.2**
4sec D (mm)	1.5	1	1	1
T (°C)	183.7±2.5	159.8±3.6	171.6±3.1	164.9±1.4**
5sec D (mm)	1.5	1.5	1	1
T (°C)	162.1±8.1	158.4±1.8	164.9±2.0	159.3±2.8**

D : Distance from tip of plugger(mm), T: Maximum temperature(mean±SD) (°C)

** : represents significant difference by plugger type($p < 0.001$).

♣ : represents significant difference by time of measurement($p < 0.001$).

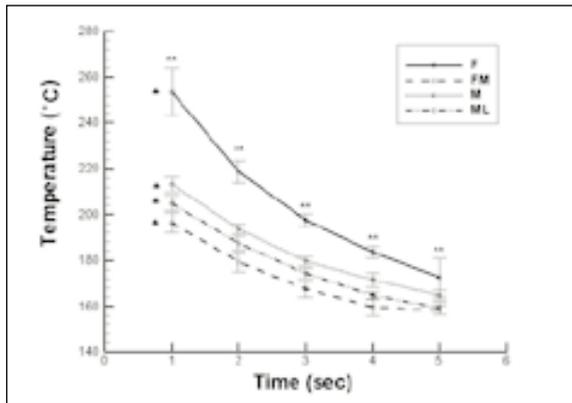


Fig. 5. Maximum temperature at time of measurement.

Time(sec) : heating time of heat control spring

** : represents significant difference by plugger type (p<0.001).

♣ : represents significant difference by time of measurement(p<0.001).

서 가장 높았으며 가열시간이 증가할수록 온도는 낮아졌다 (p<0.001). 가장 높은 온도를 나타내는 곳은 선단으로부터 1.5 mm 부위였다(p<0.001).

FM plugger의 경우, 1초, 2초, 3초, 4초 및 5초 가열시의 최고 온도는 각각 196.4±4.4℃, 179.5±4.2℃, 167.6±3.7℃, 159.8±3.6℃ 및 158.4±1.8℃를 나타내어 1초에서 가장 높았으며 가열시간이 증가할 수록 온도는 낮아졌다(p<0.001). 또한 최고온도의 발현부위는 1초, 2초, 3초 및 4초 가열시에 선단으로부터 1 mm에 나타났고 5초 가열시에는 선단으로부터 1.5 mm에 나타났다(p<0.001).

M plugger 경우, 1초, 2초, 3초, 4초 및 5초 가열시의 최고 온도는 각각 213.1±3.2℃, 193.7±2.1℃, 179.7±1.9℃, 171.6±3.1℃ 및 164.9±2.0℃를 나타내어 1초에서 가장 높았으며 가열시간이 증가할 수록 온도는 낮아졌다 (p<0.001). 또한 최고온도의 발현부위는 1초 가열시에 선단으로부터 0.5 mm에 나타났고 2초, 3초, 4초 및 5초 가열시에는 선단으로부터 1 mm 부위에 나타났다(p<0.001).

ML plugger 경우, 1초, 2초, 3초, 4초 및 5초 가열시의 최고 온도는 각각 192.1±3.3℃, 187.6±3.0℃, 174.4±2.2℃, 164.9±1.4℃ 및 159.3±2.8℃를 나타내어 1초에서 가장 높았으며 가열시간이 증가할 수록 온도는 낮아졌다 (p<0.001). 또한 최고온도의 발현부위는 1초 가열시에 선단으로부터 0.5 mm 부위에 나타났고 2초, 3초, 4초 및 5초 가열시에는 선단으로부터 1 mm 부위에 나타났다(p<0.001).

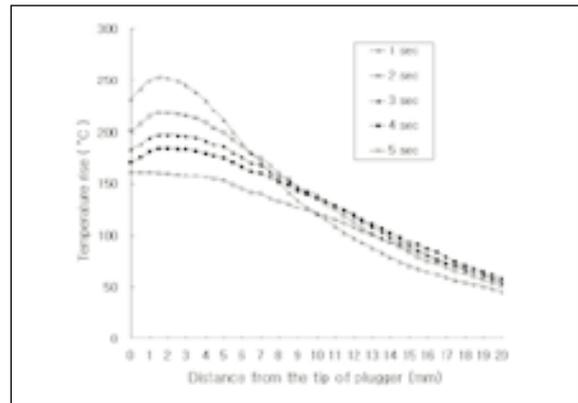


Fig. 6. Temperature changes on the surface of Buchanan plugger(F).

(setting temperature: 200℃, power level: 10)

0 : Tip of plugger, 20 : Shank of plugger

2. Plugger 표면의 온도변화

F plugger 경우, 1초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 232.3±7.6℃, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.5 mm 부위에서는 253.3±10.5℃를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 45.3±0.7℃를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 6, Fig. 10, $Y=-11.98X+258.19$, $R=-0.98$, $p<0.01$). 2초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 201.6±4.0℃, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.5 mm 부위에서는 218.6±5.0℃를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 50.6±0.5℃를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 6, Fig. 11, $Y=-9.61X+233.86$, $R=-0.96$, $p<0.01$). 3초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 182.9±3.1℃, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.5 mm 부위에서는 197.5±3.0℃를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 53.8±0.9℃를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 6, Fig. 12, $Y=-8.05X+215.09$, $R=-0.98$, $p<0.01$). 4초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 170.3±3.7℃, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.5 mm 부위에서는 183.7±2.5℃를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 57.3±0.5℃를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적

로 감소하였다(Fig. 6, Fig. 13, $Y=-6.90X+200.21$, $R=-0.98$, $p<0.01$). 5초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 $151.6\pm 8.1^{\circ}\text{C}$, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.5 mm 부위에서는 $162.1\pm 8.1^{\circ}\text{C}$ 를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 $54.7\pm 2.0^{\circ}\text{C}$ 를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 6, Fig. 14, $Y=-6.21X+186.37$, $R=-0.98$, $p<0.01$).

FM Plugger의 경우, 1초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 $185.5\pm 6.0^{\circ}\text{C}$, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.0 mm 부위에서는 $196.4\pm 4.4^{\circ}\text{C}$ 를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 $33.5\pm 0.9^{\circ}\text{C}$ 를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 7, Fig. 15, $Y=-8.62X+173.70$, $R=-0.93$, $p<0.01$). 2초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 $171.4\pm 4.8^{\circ}\text{C}$, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.0 mm 부위에서는 $179.5\pm 4.2^{\circ}\text{C}$ 를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 $37.1\pm 1.4^{\circ}\text{C}$ 를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 7, Fig. 16, $Y=-7.98X+172.97$, $R=-0.96$, $p<0.01$). 3초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 $157.4\pm 4.8^{\circ}\text{C}$, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.0 mm 부위에서는 $167.6\pm 3.7^{\circ}\text{C}$ 를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 $40.4\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 7, Fig. 17, $Y=-7.28X+169.14$, $R=-0.98$, $p<0.01$). 4초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 $150.1\pm 4.4^{\circ}\text{C}$, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.0 mm 부위에서는 $159.8\pm 3.6^{\circ}\text{C}$ 를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 $42.1\pm 1.4^{\circ}\text{C}$ 를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 7, Fig. 18, $Y=-6.68X+164.24$, $R=-0.99$, $p<0.01$). 5초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 $147.2\pm 3.8^{\circ}\text{C}$, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.5 mm 부위에서는 $158.4\pm 1.8^{\circ}\text{C}$ 를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 $45.6\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ 를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 5, Fig. 19, $Y=-6.42X+165.70$, $R=-0.99$, $p<0.01$).

M plugger의 경우, 1초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 $204.4\pm 3.8^{\circ}\text{C}$, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 0.5 mm 부위에서는 $213.1\pm 3.2^{\circ}\text{C}$ 를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 $33.9\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 를 나타내 선단으로부터 멀어질수

록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 8, Fig. 20, $Y=-9.26X+177.82$, $R=-0.90$, $p<0.01$). 2초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 $184.9\pm 3.7^{\circ}\text{C}$, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.0 mm 부위에서는 $193.7\pm 2.1^{\circ}\text{C}$ 를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 $37.4\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ 를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 8, Fig. 21, $Y=-8.66X+177.55$, $R=-0.94$, $p<0.01$). 3초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 $172.5\pm 2.3^{\circ}\text{C}$, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.0 mm 부위에서는 $179.7\pm 1.9^{\circ}\text{C}$ 를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 $40.1\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 8, Fig. 22, $Y=-7.94X+172.88$, $R=-0.96$, $p<0.01$). 4초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 $163.5\pm 5.0^{\circ}\text{C}$, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.0 mm 부위에서는 $171.6\pm 3.1^{\circ}\text{C}$ 를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 $41.9\pm 1.1^{\circ}\text{C}$ 를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 8, Fig. 23, $Y=-7.37X+168.31$, $R=-0.97$, $p<0.01$). 5초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 $155.8\pm 3.4^{\circ}\text{C}$, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.0 mm 부위에서는 $164.9\pm 2.0^{\circ}\text{C}$ 를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 $44.8\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ 를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 8, Fig. 24, $Y=-6.84X+165.81$, $R=-0.98$, $p<0.01$).

ML plugger의 경우, 1초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 $185.4\pm 4.0^{\circ}\text{C}$, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 0.5 mm 부위에서는 $192.1\pm 3.3^{\circ}\text{C}$ 를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 $31.7\pm 0.9^{\circ}\text{C}$ 를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 9, Fig. 25, $Y=-8.51X+161.79$, $R=-0.88$, $p<0.01$). 2초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 $180.1\pm 4.1^{\circ}\text{C}$, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.0 mm 부위에서는 $187.6\pm 3.0^{\circ}\text{C}$ 를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 $36.8\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 9, Fig. 26, $Y=-8.20X+165.80$, $R=-0.93$, $p<0.01$). 3초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 $166.0\pm 3.0^{\circ}\text{C}$, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.0 mm 부위에서는 $174.4\pm 2.2^{\circ}\text{C}$ 를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 $39.6\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 를 나타내 선단으로부터 멀어질수

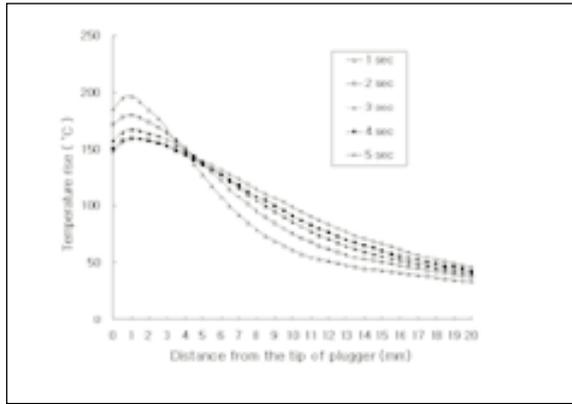


Fig. 7. Temperature changes on the surface of Buchanan plugger(FM).
(setting temperature: 200°C, power level: 10)
0 : Tip of plugger, 20 : Shank of plugger

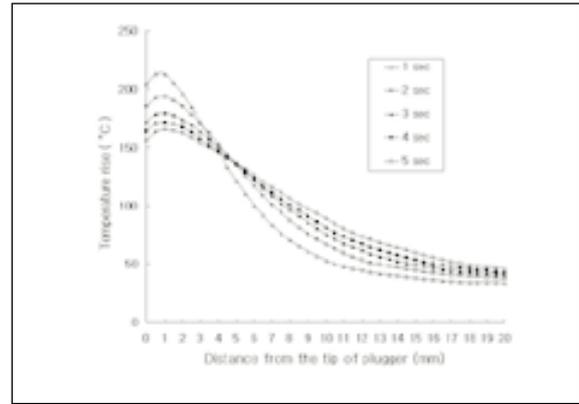


Fig. 8. Temperature changes on the surface of Buchanan plugger(M).
(setting temperature: 200°C, power level: 10)
0 : Tip of plugger, 20 : Shank of plugger

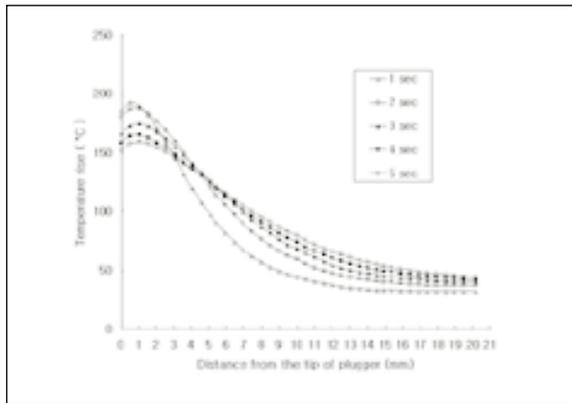


Fig. 9. Temperature changes on the surface of Buchanan plugger(ML).
(setting temperature: 200°C, power level: 10)
0 : Tip of plugger, 20 : Shank of plugger

록 표면온도는 역선형적으로 감소하였다(Fig. 9, Fig. 27, $Y = -7.58X + 162.85$, $R = -0.95$, $p < 0.01$). 4초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 $158.3 \pm 2.6^\circ\text{C}$, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.0 mm 부위에서는 $164.9 \pm 1.4^\circ\text{C}$ 를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm 부위에서는 $41.7 \pm 0.4^\circ\text{C}$ 를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 9, Fig. 28, $Y = -6.91X + 157.60$, $R = -0.96$, $p < 0.01$). 5초 가열시 plugger의 표면 온도는 선단 부위에서는 $152.0 \pm 2.7^\circ\text{C}$, 최고온도를 나타내는 선단으로부터 1.0 mm 부위에서는 $159.3 \pm 2.8^\circ\text{C}$ 를 나타냈으며 선단으로 멀어질수록 온도가 낮아져 선단으로부터 20 mm

부위에서는 $43.7 \pm 0.7^\circ\text{C}$ 를 나타내 선단으로부터 멀어질수록 표면온도는 역 선형적으로 감소하였다(Fig. 9, Fig. 29, $Y = -6.53X + 155.37$, $R = -0.97$, $p < 0.01$).

IV. 총괄 및 고찰

최근에는 가열수직가압법(warm vertical condensation technique)¹¹⁾이 많이 사용되는 추세이다. 그러나 이 술식은 가열기구로 거타피차에 열을 가하여 충전하기 때문에 치아 주위조직에 해로운 열손상을 줄 수 있는 단점이 있어 이에 대한 연구가 많이 필요하고 따라서 근관 내로 가열된 충전 기구를 사용시 치근표면으로 전달되는 열량의 효과로 생기는 온도를 측정하는 것이 중요하다. 치근표면의 온도를 측정할 수 있는 방법에는 통상 열전대⁹⁻¹²⁾와 적외선열화상장치¹³⁾를 이용한 두가지가 쓰인다. 열전대의 원리는 서로 다른 두 금속의 접점에서 열전기적 효과에 의해 기전력이 발생하는 것을 이용하며 매우 정확한 것으로 보고되어 있다.

그러나, 열전대는 접촉된 치근표면에서만 온도측정이 가능하며 넓은 부위의 온도측정을 위해선 더 많은 열전대들을 장착해야 한다. 또한 정확한 온도측정을 위해선 열전대와 표면사이의 접촉이 적절해야 한다¹²⁾. 하지만, 많은 열전대들을 장착하는 것은 열전대로의 열전달을 유도하여 Buchanan plugger의 정확한 온도분석에 오히려 방해가 될 수 있다. 왜냐하면, 열전대는 표면의 온도를 계속하는 역할을 하는 동시에 표면의 열을 방출하게 하는 역할도 하기 때문이다.

적외선 열화상장치는 치근표면의 넓은 부위에 걸쳐 온도를 측정할 수 있고 이 온도분포가 온도에 따라 각기 다른 색상으로 표현되기 때문에 육안으로 온도변화를 확인할 수 있

는 장점을 가지고 있다¹³⁾. 본 연구에서는 Buchanan plugger의 온도를 직접 측정하기 위해서 적외선 열화상장치를 이용하였다. 적외선 열화상장치의 정확성은 여러 가지 조건에 의존 하지만 특히 실험 재료의 복사율(emissivity)을 알고 있어야 한다¹²⁾. 따라서 본 연구에서는 Buchanan plugger의 복사율을 일정하게 하기 위해서 복사율이 정해져 있는 내열도료($\epsilon=0.93$, Asahipen corp.)을 4 μm 의 두께로 도포하였다. 4 μm 두께로 Buchanan plugger에 도포된 내열도료($\epsilon=0.93$, Asahipen corp.)는 본래의 Buchanan plugger의 열 전도 효과에 거의 영향을 미치지 않아 정확한 측정을 가능하게 하였다. 적외선 열화상장치를 이용하여 온도를 측정할 때는 주위 환경이 또한 중요하다. 실험 재료 주위의 대류나 외부광원, 술자의 존재등이 plugger의 온도 분포에 영향을 준다. 따라서 적절히 조절된 환경하에 정확한 실험이 요구된다. 본 연구에서는 술자의 체온에 의해 Buchanan plugger의 실제 온도분포가 영향을 받을 수 있기 때문에 heat control spring은 고무막대를 이용하여 조작하였고 본 연구에서 사용한 TH31-702 Data capture software program이 외부 광원에 대한 보정 기능을 가지고 있어 다른 광원에 의한 측정재료의 온도 분포에 대한 방해 줄일 수 있게 되었다. 본 연구에서 사용한 적외선 열화상장치(Radiation Thermometer-IR Temper, NEC San-ei Instruments, Ltd, Japan)는 또한 기계자체의 오차범위가 $\pm 1^\circ\text{C}$ 로 거의 정확한 온도값을 나타내었다.

최근에 소개된 System B HeatSource(Model 1005, Analytic Technologies, USA)은 새로운 형태의 전기적인 가열기구로써 digital temperature display와 다양한 resistor control을 가지고 있으며 사용자가 원하는 온도를 맞출 수 있게 되어 있다¹⁵⁾. 그러나 제조회사에서 제시한 온도와 실제 설정해서 사용하는 온도와는 일치하지 않는다고 보고되어 있다¹⁶⁾.

Buchanan이 소개한 Continuous wave of condensation technique¹⁴⁾은 전기적으로 달군 plugger를 이용하여 근관을 충전하는 방법으로 System B HeatSource(Model 1005, Analytic Technologies, USA)와 함께 사용하도록 특별히 디자인되었다. Continuous wave of condensation technique¹⁴⁾에서 System B의 설정온도는 200°C 로 하며 power level은 10에 둔다. 이 술식에서 plugger는 1.5초에서 2초동안 달군 후 plugger의 접촉점보다 3-4 mm 짧은 곳까지 넣은 후 touch spring을 댄 상태에서 치근단측으로 압력을 가하면서 접촉점까지 밀어넣고 거터퍼치의 냉각시 발생하는 수축에 보상하기위해 10초동안 치근단 압박을 유지한 후 1초간 다시 가열하고 근관내에서 plugger를 빼낸다. Backfill 과정시는 System B의 설정온도를 100°C 로 놓고 사용한다. 본 연구에서는 실험시 설정온도를 200°C 로 정하여 실제 설정온도와 plugger를 통하여

측정되는 온도와의 차이를 비교해 보고자 하였다. 또한 plugger를 5초이상 가열하여 1초, 2초, 3초, 4초 및 5초에서 각각의 온도값을 얻어 실제 임상에서 사용되는 시간과 비슷하게 하였고 plugger의 종류에 따른 온도분포도 측정하였다.

본 연구에서 실험한 결과 System B의 설정온도와 실제 Buchanan plugger에서 측정되는 온도는 차이를 보였다. 각각의 plugger의 종류에 따른 시간별로의 온도분포에서 1초, 2초, 3초, 4초 및 5초에서의 온도분포는 plugger의 종류에 상관없이 선단에서 멀어질수록 온도가 감소하였고 F plugger와 M plugger의 1초에서 얻은 온도값과 F plugger의 2초에서 얻은 온도값을 제외하고는 모두 System B의 설정온도인 200°C 에는 못미쳤다. 이는 plugger내부로 공급되는 열량은 내부의 온도를 200°C 로 유지하게 하지만 대류에 의한 효과로 인해 plugger 표면의 온도가 떨어지는 것으로 추정된다. 또한 온도는 선단에서 멀어질수록 감소하는 양상을 보이거나 선단에서 최고온도를 보이는 것이 아니라 선단에서 0.5 mm에서 1.5 mm 떨어진 부위에서 최고온도를 나타내었다. 이러한 결과로 열원이 plugger의 선단에 있는 것이 아니라 선단에서 약간 떨어진 부위에 있는 것으로 생각된다. 시간대별로 온도분포를 비교 분석한 결과 1초에서는 최고온도에 빨리 도달하지만 대체적으로 높은 온도분포를 보이는 부분이 좁게 나타났고 그에 비해 2초에서 5초로 가열시간이 증가할수록 최고온도는 1초에 비해 낮지만 높은 온도분포를 보이는 부분은 넓게 나타남을 보여주었다. 이는 열확산(thermal diffusion)에 의한 열전도 효과로 가열 후 시간이 경과할수록 plugger내에서 스타퍼쪽으로 열이 전도되어 최고온도 값은 떨어지고 최고온도의 위치는 스타퍼쪽으로 이동하는 것으로 관찰되었다. 이러한 결과로 System B의 열원자체가 연속적으로 공급되는 것이 아님을 유추할 수 있다.

각각의 plugger 표면의 온도분포를 비교 분석한 결과 F에서 ML로 갈수록 같은 가열시간에서 온도가 낮아지는 결과를 보여주었다. 이것은 재료의 재질과 질량이 관련되어 같은 재질일 경우 질량이 클수록 열에너지를 많이 공급해주어야 원하는 온도에 도달할수 있으므로 본 연구에서 실험한 결과와 일치함을 보여주었다. 하지만 본 연구에서는 질량이 적은 FM plugger에서 M, ML plugger보다 온도분포가 낮은 경향을 보여주어 이는 연구가 좀 더 필요할 것으로 사료된다.

본 실험을 근거로 System B의 설정온도와 적외선 열화상장치를 이용해서 plugger에서 측정되는 온도는 차이가 있음을 알 수 있으며 실제 표면의 온도분포는 Buchanan의 "continuous wave condensation"방법에서 추천한 온도와 그다지 상관관계가 있지 않았다. 또한 가열시간이 많을수록 높은 온도를 보이는 것이 아니라는 것도 알 수 있었다. 따라서 System B를 사용하여 가열수직가압법시 Buchanan

plugger에서 나타나는 온도분포를 참고로 하여 적절한 사용법과 실제 임상에서 사용시 주의할 점을 고려해야 할 것으로 생각된다. 특히 실제 치아를 모델로 실험하여 치근표면을 통해 나오는 열의 양을 측정함으로써 좀 더 임상에 가까운 결과를 얻는 것이 필요하리라 생각된다.

V. 결 론

적외선 열화상장치를 이용하여 Buchanan plugger의 종류, heat control spring의 가열시간 및 System B HeatSource의 설정온도에 따라 얼마간의 온도변화 차이가 나타나는지 측정하여 평가한 후, 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Buchanan plugger의 선단으로부터 약 0.5 mm에서 1.5 mm부위에서 가장 높은 온도를 보였으며 온도는 선단에서 멀어질수록 낮아졌다($p < 0.001$).
 2. Heat control spring을 5초이상 가열하여 얻은 온도값들에서 매 초마다 최고 온도는 1초에서 $253.3 \pm 10.5^\circ\text{C}$ 에서 $192.1 \pm 3.3^\circ\text{C}$, 2초에서 $218.6 \pm 5.0^\circ\text{C}$ 에서 $179.5 \pm 4.2^\circ\text{C}$, 3초에서 $197.5 \pm 3.0^\circ\text{C}$ 에서 $167.6 \pm 3.7^\circ\text{C}$, 4초에서 $183.7 \pm 2.5^\circ\text{C}$ 에서 $159.8 \pm 3.6^\circ\text{C}$, 5초에서 $164.9 \pm 2.0^\circ\text{C}$ 에서 $158.4 \pm 1.8^\circ\text{C}$ 를 나타내 1초에서 5초로 갈수록 최고온도는 감소하는 경향을 보였다($p < 0.001$).
 3. Plugger 종류에 따라 서로 다른 최고온도를 보여주었다. 최고온도는 F type에서 가장 높았으며 M, ML 및 FM 순으로 낮아졌다($P < 0.001$).
- 이상의 결과는 plugger의 선단 근처에 열이 집중되도록 고안되어 있으며, 제조회사에서 추천한 설정온도와 실제 측정온도가 일치하지 않고, 1초 동안의 접촉이 가장 높은 온도상승을 나타냄을 시사하였다.

참고문헌

1. Schilder H : Filling root canals in three dimensions. Dent Clin North Am 11:723-744, 1967.

2. Nguyen NT : Obturation of the Root Canal System. Pathways of the Pulp. 6th ed., St. Louis, Mosby Co., 1994, pp 219-271.
3. Hand RE, Hugel EF, Tsaknis PJ : Effect of a warm gutta-percha technique on the lateral periodontium. Oral Surg 42:395-401, 1976.
4. Marlin J, Schilder H : Physical properties of gutta-percha when subjected to heat and vertical condensation. Oral Surg 36:872-879, 1973.
5. Barkhordar RA, Goodis HE, Watanabe L, Koundjian J : Evaluation of teeth during root canal obturation technique. Quint Int 21:585-588, 1990.
6. Eriksson A, Albrektsson T, Grane B, McQueen D : Thermal injury to bone : a vital-microscopic description of heat effect. Int J Oral Surg 11:115-121, 1982.
7. Eriksson AR, Albrektsson T : The effect of heat on bone regeneration. Oral Surg 42:705-711, 1984.
8. Eriksson AR, Albrektsson T : Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury : a vital-microscopic study in the rabbit. J Prosthet Dent 50:101-107, 1983.
9. Lee FS, Van Cura JE, BeGole E : A comparison of root surface temperatures using different obturation heat sources. J Endod 24:617-620, 1998.
10. Weller RN, Jurcak JJ, Donley DL, Kulild JC : A new model system for measuring intracanal temperatures. J Endod 17:491-494, 1991.
11. Floren JW, Weller RN, Pashley DH, Kimbrough WF : Changes in root surface temperatures with *in vitro* use of the system B HeatSource. J Endod 25:593-595, 1999.
12. Mc Cullagh JJ, Setchell DJ, Gulabivala K, Hussey DL, Biagioni P, Lamey PJ, Bailey G : A comparison of thermocouple and infrared thermographic analysis of temperature rise on the root surface during the continuous wave of condensation technique. Int Endod J 33:326-332, 2000.
13. Biagioni PA, Longmore RB, McGimpsey JG, Lamey P-J : Infrared thermography - its role in dental research with particular reference to craniomandibular disorders. Dentomaxillofacial Radiology 25:119-124, 1996.
14. Buchanan LS : Continuous wave technique. Dentistry today 1:60-64, 1996.
15. Analytic Technology Corp. Instruction guidelines for system B HeatSource model 1005. Redmond, WA: Analytic Technology Corp., 1997.
16. Jurcak JJ, Weller RN, Kulild JC, Donley DL : *In vitro* intracanal temperatures produced during warm lateral condensation of gutta-percha. J Endod 18:1-3, 1992.

사진부도 설명

- Fig. 10. Representative thermographic image of F type (1 sec)
- Fig. 11. Representative thermographic image of F type (2 sec)
- Fig. 12. Representative thermographic image of F type (3 sec)
- Fig. 13. Representative thermographic image of F type (4 sec)
- Fig. 14. Representative thermographic image of F type (5 sec)
- Fig. 15. Representativ thermographic image of FM type (1 sec)
- Fig. 16. Representative thermographic image of FM type (2 sec)
- Fig. 17. Representative thermographic image of FM type (3 sec)
- Fig. 18. Representative thermographic image of FM type (4 sec)
- Fig. 19. Representative thermographic image of FM type (5 sec)
- Fig. 20. Representative thermographic image of M type (1 sec)
- Fig. 21. Representative thermographic image of M type (2 sec)
- Fig. 22. Representative thermographic image of M type (3 sec)
- Fig. 23. Representative thermographic image of M type (4 sec)
- Fig. 24. Representative thermographic image of M type (5 sec)
- Fig. 25. Representative thermographic image of ML type (1 sec)
- Fig. 26. Representative thermographic image of ML type (2 sec)
- Fig. 27. Representative thermographic image of ML type (3 sec)
- Fig. 28. Representative thermographic image of ML type (4 sec)
- Fig. 29. Representative thermographic image of ML type (5 sec)

사진부도 ①

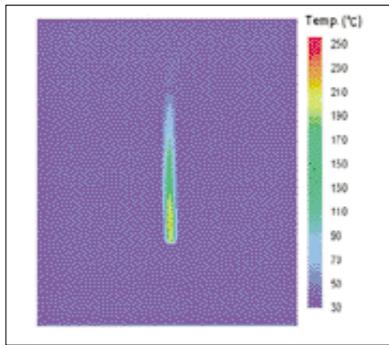


Fig. 10

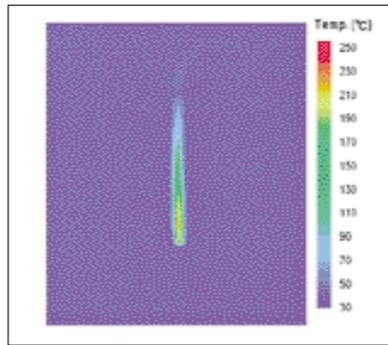


Fig. 11

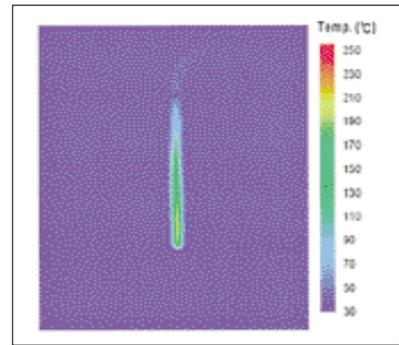


Fig. 12

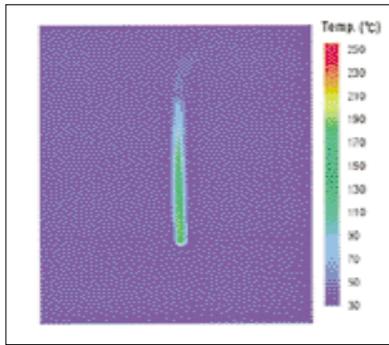


Fig. 13

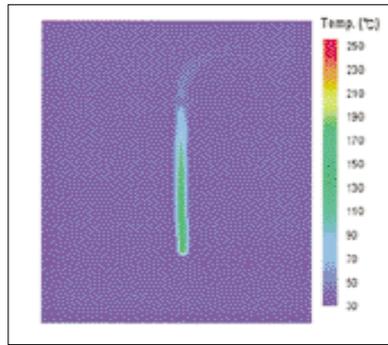


Fig. 14

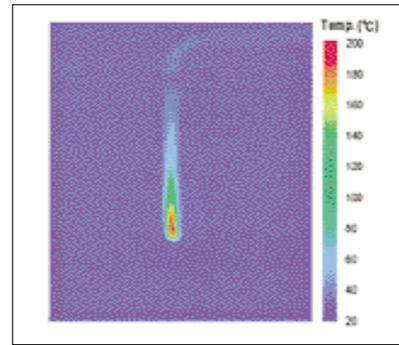


Fig. 15

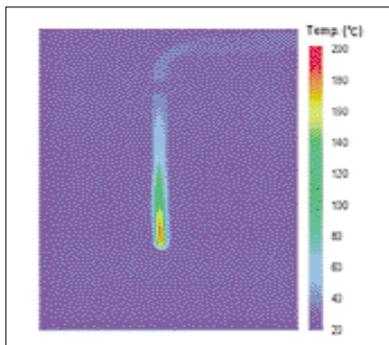


Fig. 16

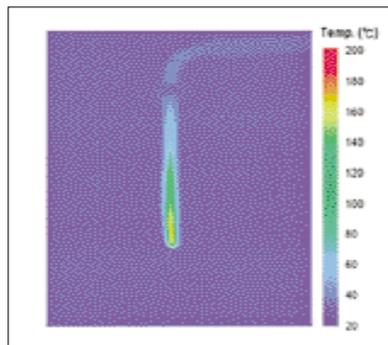


Fig. 17

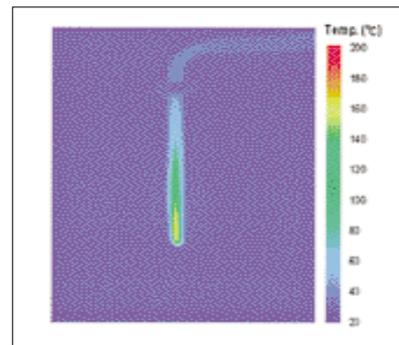


Fig. 18

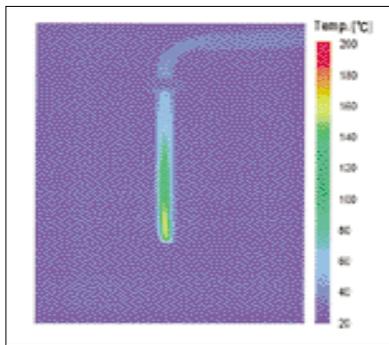


Fig. 19

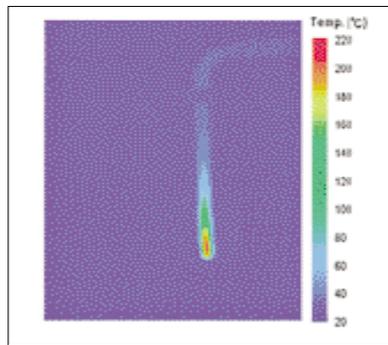


Fig. 20

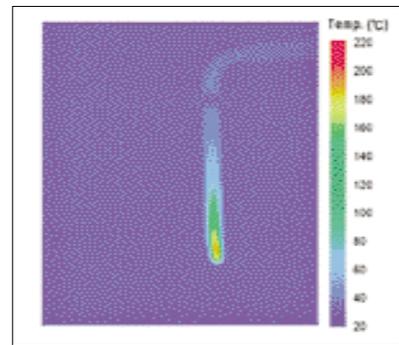


Fig. 21

사진부도 ②

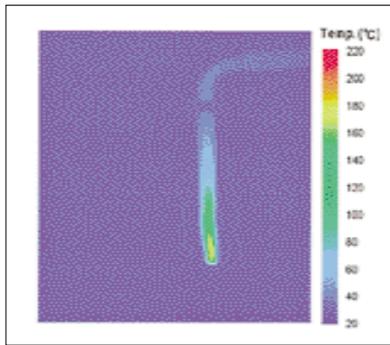


Fig. 22

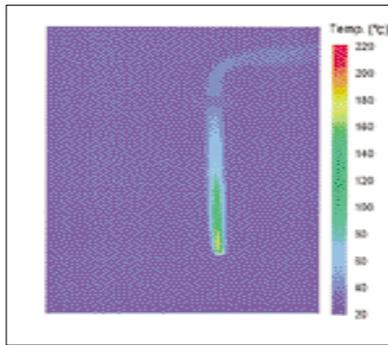


Fig. 23

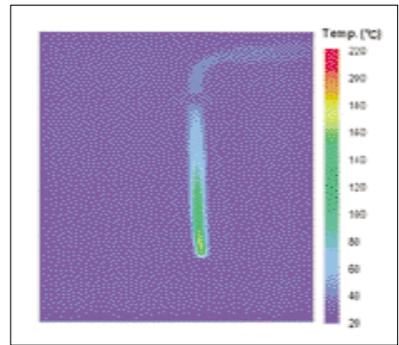


Fig. 24

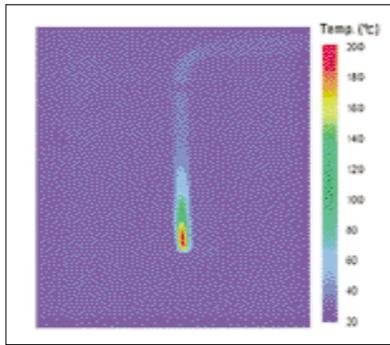


Fig. 25

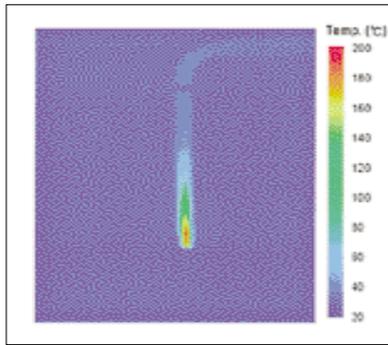


Fig. 26

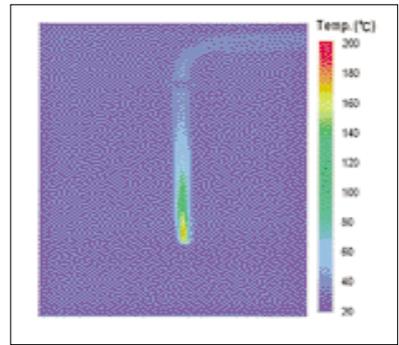


Fig. 27

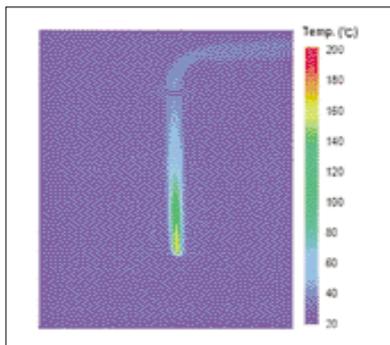


Fig. 28

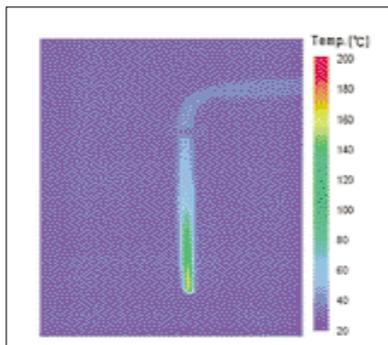


Fig. 29