

적외선 열화상장치를 이용한 열연화 거타퍼차 근관충전재료와 주입기의 온도 평가

문현주, 김민강, 최해림, 김해영, 송호준, 박영준*

전남대학교 치의학전문대학원 치과재료학교실

Temperature Evaluation of Thermoplastic Gutta-percha Obturation Materials and Injection Gun Device by Infrared Thermographic Method

Hyun-Joo Moon, Min-Kang Kim, Hae-Rim Choi, Hae-Young Kim, Ho-Jun Song, Yeong-Joon Park*

Department of Dental Materials, School of Dentistry, Chonnam National University, Gwangju, 500-757, Korea

(Received: Sep. 8, 2014; Revised: Sep. 22, 2014; Accepted: Sep. 22, 2014)

DOI : <http://dx.doi.org/10.14815/kjdm.2014.41.3.223>

ABSTRACT

The temperatures of commercially available eight thermoplastic gutta-percha (GP) materials and different positions of injection gun were measured while the materials were extruded from the Obtura injection gun set at 160°C and 200°C. The complex viscosity values of the materials were evaluated at the designated temperatures. The in-situ temperatures were measured every 10 s for 30 s using an infrared thermal imaging camera. Calibration and reconstruction of the recorded images were performed by applying respective material emissivity values for each measured parts. Depending on the tested GP materials, mean temperature values of the extruded melts were ranged in 57.5-88.4°C at 160°C setting and 84.0-110.6°C at 200°C settings. Among the tested materials, the melt of Obtura showed the lowest melt temperature values at both temperature settings ($p<0.05$). The highest measured temperatures of the needle and needle-adaptor parts of the injection gun were above 200°C during the 30 s from the beginning of triggering action. Based on these results, the temperatures of gutta-percha melts were changed by both the heating temperature and the brand or viscosity-type of tested materials. The injectable gutta-percha technique should be performed with caution when using the heated injection gun device.

KEY WORDS: Complex viscosity, Emissivity, Infrared thermography, Injectable gutta-percha technique, Temperature.

서론

열연화 거타퍼차 주입법 (injectable gutta-percha technique)은 전용 가열 주입기 (injection gun)에서 가열 연화된 열가소성 거타퍼차를 주입기 니들을 통해 근관계에 주입하여 근관을 밀폐하는 방법으로, 근관세척과 성형 후 근관내의 감염 자극원로부터 재감염을 차단하려는 목적으로 시행된다(Schilder, 1967; 대한치과재료학교수협

의회, 2006). 이 방법은 비교적 짧은 시술시간 동안에 쉬운 조작으로 균질하고 안정적으로 근관 내부를 밀폐하여 우수한 근관폐쇄 효과를 나타내기 때문에 근관치료 시술법으로 많이 사용되고 있다(Schilder, 1967; Friedman 등 1977). 성공적이고 안전한 시술을 위해서는 가열된 주입기의 설정온도와 주입기에서 압출되어 나온 거타퍼차 연화물의 온도와의 관계, 그리고 이에 따른 치아주위 조직의 온도변화를 이해하는 것은 중요하다. 이를 위해 주입기에서 가열되어 압출된 열가소성 거타퍼차 연화물의 실제온도를 정확히 측정하는 것은 임상적으로 측면에서 중요한 의미를 갖는다. 첫째, 연화물의 온도는 충전 과정과 수직가압과정에서 요구되는 열가소성재료로서의

* 교신저자: 광주광역시 북구 용봉동 300번지 (우 500-757) 전남대학교 치의학전문대학원 치과재료학교실 및 바이오미네랄장애연구센터, 박영준
Tel : 062-530-4871, E-mail : yjpark@jnu.ac.kr

흐름성과 응축저항성뿐만 아니라 열팽창-열수축 정도 등의 온도의존적인 열적-기계적인 물성을 이해하기 위한 정보를 제공한다. 둘째, 가열된 연화물에 의한 치아주위 조직의 온도상승 정도를 예측할 수 있게 한다. 실제 시술동안 구강 내 조직과 직접 접촉할 가능성이 있는 가열된 주입기의 니들 및 어댑터 등 주입부위의 온도분포를 정확히 파악하는 것도 안전한 임상시술을 위해 요구된다.

1967년 열연화 거타퍼차 주입법이 최초로 도입된 이래로, 압출물의 온도와 임상 물성과의 상호관계를 규명하기 위한 연구들이 꾸준히 보고되어 왔다(Schilder, 1967). Schilder 등 (1985)의 연구결과에 따르면 근관 내로 주입된 거타퍼차 연화물의 온도는 가압다짐공정(compaction process)을 실시하기 위해서는 최소한 64℃ 이상이 되어야 하며, Venturi 등 (2006)에 의하면 60℃ 이상의 거타퍼차 연화물이 부근관(accessory canal) 내에 1.2 mm 이상 충전됨을 보고하였다. 압출물의 온도와 임상적인 안전성과의 관계에 대해 가열된 거타퍼차로 인한 치근표면에서 10℃의 온도상승은 주위 치주조직에 해로운 결과를 나타낼 수 있다고 알려져 있다(Eriksson과 Albrektsson, 1983). 이는 골조직의 재생능력을 감소시키거나 비가역적인 손상을 가하지 않는 조직의 최대 온도 허용치는 47℃로 이 온도에서 1분간 지속될 때라고 하였다(Saunders, 1990; Lipski, 2004). 또한 Eriksson 등 (1983)은 골조직의 온도가 45℃ 이상 유지되면 골손상을 야기할 수 있다고 하였다.

열연화 거타퍼차 주입법에 사용되는 펠렛형태의 상용 거타퍼차 재료들이 근관충전에 적절한 흐름성을 갖기 위해서는 통상 연질형(soft type)의 재료에 대해서는 150~160℃, 경질형(hard type)의 재료에 대해서는 180~200℃의 온도로 가열하도록 권장하고 있다. 하지만 이러한 초기 설정온도 조건에서 가열되어 니들을 거쳐 압출되어

나온 거타퍼차 연화물의 실제 온도는 주입부 내부에서 외부로 나오는 동안 현저히 감소하는데, 그 정도는 제품과 점도 유형에 따른 열용량의 차이(Miner 등, 2006; Karr 등, 2007)에 의해 차이를 보이며 정확한 온도를 예측하기 힘들다.

이에 본 연구에서는 적외선 열화상장치를 사용하여 주입기를 통해 압출되는 거타퍼차 연화물의 실제 온도를 측정하고, 동시에 압출시간에 따른 주입기의 설정온도에 비교하여 주입기 각 부분의 온도분포를 측정하였다. 이 장치의 정확성은 피사물 주위의 온도, 습도, 공기흐름 등의 주위 조작환경에 민감하게 의존하며(Kells 등, 2000), 특히 피사물 표면의 정확한 방사율(emissivity)을 적용하여 보정된 값으로 화상을 재구성하여 평가하는 것이 필수적이다(Mc Cullagh 등, 2000). 또한 각 시험재료에 대해 이렇게 파악된 거타퍼차의 온도 측정결과와 유변물성 측정기(Advanced Rheometric Expansion System; ARES) 분석을 통해 얻어진 점도 측정결과와의 연관성을 평가하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

실험재료는 Table 1에 보인 국내에서 사용되는 총 8종의 상용 열가소성 거타퍼차 제품을 평가하였다. 본 연구에 사용된 모든 근관충전재료의 외형은 원통형 펠렛타입으로 제조사에 따라 직경과 길이가 약간 상이하지만(직경 2.79~2.95 mm, 길이 14~17 mm), 본 연구에 사용된 Obtura 가열 주입기에 모든 제품이 장전 가능하였으며, 상온에서 보관 후 추가적인 전처리 과정 없이 공급받은 상태로 사용하였다.

Table 1. Thermoplastic root-canal obturating materials tested

Groups	Brand name	Lot No.	Manufacturer
B&L-H B&L-S	B&L beta GP Pellet-Hard B&L beta GP Pellet-Soft	1079B 1014A	B&L Biotech, Ansan, Korea
Dia-H Dia-S	DiaDent GP Obturator-Hard DiaDent GP Obturator-Soft	170809 033109	
Metabio	Gutta Percha Point (Bar)	100218G	Meta Biomed Co. Ltd., Cheongju, Korea
Obtura	Obtura	33491003	Obtura Spartan, Earth city, MO, USA
Sure-H Sure-S	Sure-endo GP Obturator-Hard Sure-endo GP Obturator-Soft	1179D 1179D	SureDent Co. Ltd., Seongnam, Korea

2. 점도평가

근관충전재료의 복합점도(complex viscosity)를 유변물성측정기(advanced rheometric expansion system (ARES); RDA III, TA Instrument, USA)를 사용하여 평가하였다. 측정 시편 제작을 위해서는 캡부위 고정나사를 돌리면 경사진 외면을 갖는 이분할 몰드가 견고히 조여져서 원하는 내경의 몰드공간이 만들어지게 하는 이분할 금속몰드를 제작해 사용하였다. 이분할 금속몰드를 70℃로 가열한 후 측정하고자 하는 GP 바를 몰드 안으로 다져 넣고 유리판을 이용해 압박하여 디스크 상 시편(직경 25 mm, 두께 1.6 mm)을 준비하였다(Figure 1). 시편이 경화되면 이분할 몰드의 고정나사를 풀어 시편을 손상 없이 취하여 측정에 사용하였다.

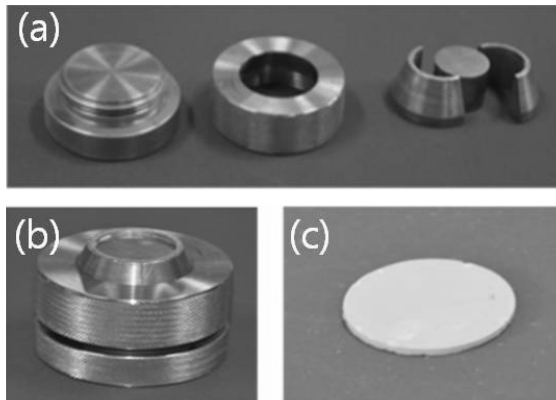


Figure 1. Split mold for preparing the ARES test specimens: (a) parts of split mold, (b) assembled mold, (c) test specimen prepared with split mold.

유변물성 측정기의 설정온도가 80℃가 되었을 때 지오메트리(직경 25mm)를 영점조정 후 사이의 간격이 1.8 mm가 되게 상부 지오메트리를 상승시켜 준비된 시편을 사이에 넣고, 축 방향이 60-80 g/cm²가 되도록 간격을 조절하였다. 시료의 온도를 80℃에서 200℃까지 10℃/min로 승온시키는 동안 주파수 10 Hz와 strain 10%로 측정하였다. 실험을 통해 직접 측정된 저장탄성율(storage modulus; G')과 손실탄성율(loss modulus; G'')로부터 계산된 복합점도(complex viscosity; η^*)는 다음과 같이 정의되어 결정되었다(Lee 등, 2007).

$$\eta^* = \frac{G^*}{\omega}$$

$$G^* = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2}$$

G* : complex shear modulus

ω : oscillation frequency in radians

3. 온도측정

1) 실험장치

8종의 근관충전재료(Table 1)의 압출물과 가열 주입기 주입부 표면의 온도를 측정하기 위해 각각의 재료가 장전된 가열 주입기와 비접촉 방식의 온도 측정을 위해 적외선 열화상장치를 사용하였다. 가열 주입기는 Obtura 시스템 (Obtura, Obtura Spartan, Fenton, MO, USA)을 사용하였다. 이 기기는 거타퍼차를 연화시키기 위한 가열장치가 내장된 건(hand-held gun)형태의 가열 주입기와 온도 조절기가 있는 외부 컨트롤장치로 구성되어 있으며, 25-200℃ 범위 내에서 1℃ 간격으로 온도설정이 가능하다. 연화된 거타퍼차를 주입하기 위해 23-gauge(직경 0.60 mm) 실버 재질의 주입 니들을 모든 실험에 동일하게 사용하였다. 동일한 실험자에 의해 실험을 진행하였으며, 언급하지 않은 세부사항은 모두 제조사에서 권장한 지침서(Obtura operator's manual)에 따라 수행하였다.

온도측정은 적외선 열화상 카메라(Testo 880 Thermal Imaging Camera, Testo AG, Lenzkirch, Germany)를 사용하였다. 가열 주입기와 수직이 되게 30 cm 높이에 카메라를 고정하여 촬영하였다. Testo 880 카메라의 spectral range는 8-14 μ m 이고, thermal sensitivity는 30℃ 에서 <0.1℃ 이며, 측정온도범위는 0-350℃ 이었다.

2) 실험방법

Obtura 가열 주입기 내부에 각 시험재료를 장전한 후, 가열을 시작해 설정온도에 도달하면 60초 후에 압출 조작을 하였다. 열화상의 측정은 최초 압출이 시작된 후 10초 간격으로 3회 측정하여 이미지를 취득하였다. 모든 측정은 조절된 환경조건(23 ± 1℃, 50 ± 5%습도)에서 수행하였다.

취득한 열화상 이미지는 카메라에 장착된 디스플레이를 통해 직접 확인할 수도 있으며, 함께 제공된 이미지 분석 소프트웨어(Testo IIRSoft software ver.2.7, Testo AG, Lenzkirch, Germany)를 통해 컴퓨터에서 보정, 분석하였다.

측정된 열화상 이미지는 이미지 분석 소프트웨어를 통해 측정거리, 온도 및 습도조건, 그리고 각 피사체의 방사율(emissivity)을 적용해 보정하였다(Bramson, 1968; West 등, 1984). 피사체의 재질에 따라 각기 다른 방사율을 적용해 보정하여 재구성(reconstruction)된 각 부위의 열화상 이미지로부터 연화된 근관충전재료와 가열 주입기의 여러 부위의 온도를 측정하였다. 총 8종의 시험재료에 대하여 각각 160℃와 200℃의 설정온도에서 측정하였다.

결과 및 고찰

본 연구에서는 적외선 열화상장치를 이용하여 8종의 열연화 주입법에 사용되는 열가소성 거타퍼차 충전제품에 대해 각각 160℃와 200℃로 설정된 가열 주입기에서 압출된 연화물의 온도와 가열된 주입기의 온도분포 및 최고 온도 발현부위를 파악하였다. 또한 제조사에서 제공한 제품정보와 점도측정 결과에 따라 고점도군과 저점도군으로 분류하여 측정된 압출물의 온도와 비교하였다. 유변물성 측정기로 의해 측정된 복합점도(complex viscosity) 결과를 Figure 2에 나타내었다.

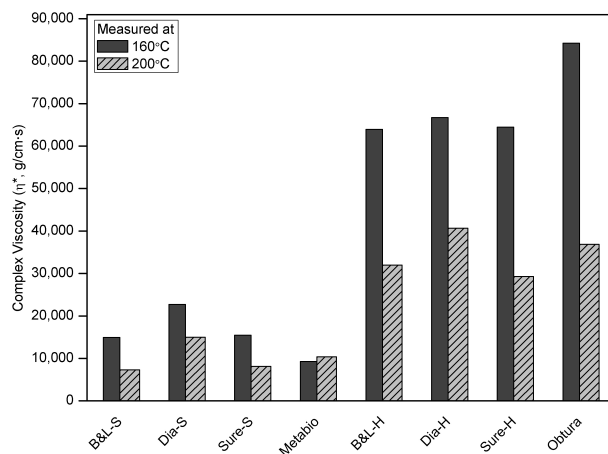


Figure 2. Complex viscosity of the tested materials measured using ARES at 160℃ and 200℃.

160℃와 200℃에서 측정된 B&L-S, Dia-S, Sure-S, Metabio의 복합점도 값이 B&L-H, Dia-H, Sure-H, Obtura에 비해 두 온도에서 모두 낮았다. 연질형인 B&L-S, Dia-S, Sure-S와 Metabio는 저점도군(low-viscosity 또는 high-flow)제품으로, 경질형인 B&L-H, Dia-H, Sure-H와 Obtura 제품은 고점도군(high-viscosity 또는 low-flow)제품으로 분류되는 유형표시와 일치하는 복합점도 값을 보였다. 일반적으로 경질형과 같은 고점도 재료는 비교적 넓은 근관충전의 경우에 유리하고, 연질형과 같은 저점도 재료는 좁은 근관이나 심하게 만곡된 근관의 충전에 보다 효과적으로 사용된다(Glickman, 2011).

저점도군으로 분류된 B&L-S, Sure-S, Dia-S, Metabio 제품은 제조사에서 권장하는 주입기의 설정온도가 150-160℃이며, 고점도군으로 분류된 B&L-H, Sure-H, Dia-H, Obtura 제품에 대해서는 180-200℃이다. 하지만, 본 연구에서는 모든 시험재료에 대해 동일하게 160℃와 200℃를 주입기의 시험조건으로 설정하였다. 가열된 충전재료가 치근표면의 온도에 미치는 영향에 관한 기존 연구들에서

도 가열 주입기의 온도를 160℃(Lipski 등, 2003), 185℃(Timothy 등, 2001)와 200℃(Chang 등, 2011)로 설정하여 연구하였다. 이들 연구에서 치근표면의 온도변화를 관찰하기 위하여 열전대방식(thermocouple)을 이용하거나(Timothy 등, 2001; Chang 등, 2011), 적외선 열화상장치를 이용하여(Lipski 등, 2003) 측정, 또는 두 가지 방법을 동시에 이용하는 연구(Mc Cullagh 등, 2000)가 수행되었다. 이 중 센서를 온도를 치근단 부위에 직접 접촉시켜야 하는 열전대 측정방식은 고정된 부위에서는 정확한 측정이 가능하지만, 온도분포의 파악을 위해서는 다수의 열전대를 장착하여야 하며 이는 센서 자체가 측정부위로부터 열을 흡수 또는 방출하게 되어 정확한 온도측정을 방해하는 요인이 된다. 따라서 본 연구에서처럼 거타퍼차와 같이 유동성을 갖는 재료에 대해서, 그리고 충전주입기 표면의 여러 부위의 온도분포를 평가하기 위해서는 열화상장치를 이용하여 측정하는 것이 유리하다.

비교적 간편한 측정방식의 열화상장치의 정확한 측정과 분석을 위해서는 엄격히 제어된 측정환경과 정확한 방사율을 적용하여 측정된 온도값을 보정하여 평가하는 것이 매우 중요하다(Kells 등, 2000; Mc Cullagh 등, 2000). 이론적으로 피사체 표면으로부터 복사된 에너지(W)는 피사체 표면의 방사율(ϵ)과 절대온도(T)와의 함수관계로 정의된다(Bramson, 1968). 측정된 온도데이터의 보정을 위해 적용된 거타퍼차 압출물의 방사율은 0.99를 적용하였고, 주입기 주입부의 방사율은 실버니들부, 니들 어댑터부, 건플라스틱부에 대해 각각 방사율 0.02, 0.30, 0.94로, 소재의 종류와 표면의 상태에 따라 알려져 있는 방사율 값을 적용하였다(Bramson, 1968; Weast 등, 1984). 이러한 방사율은 Plank법칙에 의한 흑체에 대한 방사(흡수)의 효율로서, 흑체의 방사율은 1로 정의되고 일반적인 물체는 방사율이 1보다 적게 된다. 거타퍼차 압출물과 같은 고분자 연화물의 방사율이 0.99로 가장 높고 열전도도가 높은 금속성의 실버니들부와 니들 어댑터부의 방사율은 각각 0.02와 0.30으로 낮은 방사율을 보인다.

Figure 3b는 가열 주입기의 실버니들부, 니들 어댑터부, 건플라스틱부(Figure 3a)에 대하여 획득한 미보정 열화상 이미지를 보여준다. 이 이미지에서 보인 온도분포는 측정 환경조건 변수적용과 각 부위별 방사율을 적용하여 보정시키기 이전의 이미지로서, 실제 온도분포를 의미하지 않는다.

이러한 미보정 열화상 이미지를 이미지 분석 소프트웨어를 통해 온도도환경 등의 측정 조건과 응용된 거타퍼차와 충전주입기의 상이한 재료에 대한 각각의 방사율을 적용하여 열화상 이미지를 보정한 결과, 실제 온도분포 이

미지를 얻을 수 있었다(Figure 4). 이러한 보정과정(calibration)을 거친 각각의 이미지(Figure 4)를 선택된 부위만을 떼어서 하나의 이미지로 통합, 재구성(reconstruction)하여 최종적인 열화상 이미지를 취득하였다(Figure 5). 이러한 일련의 과정, 즉 환경조건적용과 방사를 보정 및 이미지 재구성과정 결과, 최종적으로 취득한 열화상 이미지의 온도분포 결과는 보정과정을 거치기 이전의 이미지에서 각 측정의 온도(Figure 3b)와 차이가 있음을 알 수 있다.

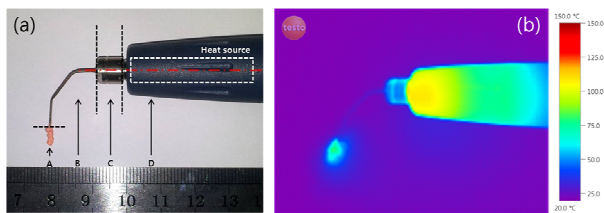


Figure 3. (a) Parts of Gutta-percha injection gun (Obtura System). The selected parts for thermal analysis were indicated as follows, A: extruded gutta-percha melt, B: injection needle, C: needle adaptor, D: gun plastic body. White broken line indicates the position of embedded heater inside the apparatus. (b) Typical thermal image 30 s after beginning of injection (set temperature: 160°C). This image does not mean actual temperature of the measured parts because this infrared thermal image is before reconstruction of the thermographic image in consideration of the respective emissivity of the measured parts.

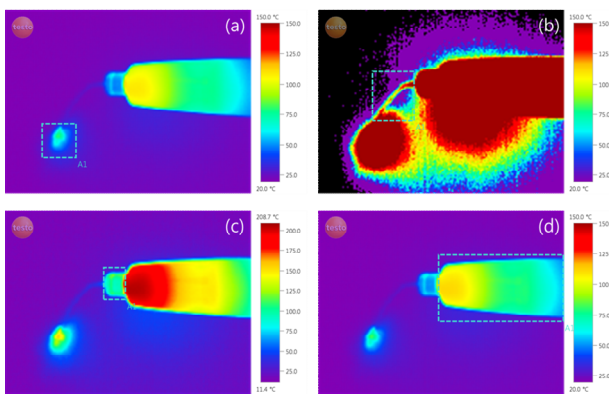


Figure 4. Calibrated thermal images obtained by applying different emissivity for selected areas (broken-lined box) of gun parts. (a) GP melt, emissivity=0.99, (b) injection needle, emissivity=0.02, (c) needle adaptor, emissivity=0.30, and (d) gun body, emissivity=0.94.

최종적으로 보정 재구성하여 획득한 열화상 이미지에서 거타퍼차 압출물의 온도분포를 분석한 결과를 Figure 6에 나타내었다. 160°C와 200°C로 설정된 주입기로부터 가열 시작 60 초 이후 3회(10 s, 20 s, 30 s) 거타퍼차 압출물의 온도를 측정된 결과, 동일한 재료에 대해 측정시간에 따라

온도가 증가하거나 감소하는 등의 양상을 보이지 않았다.

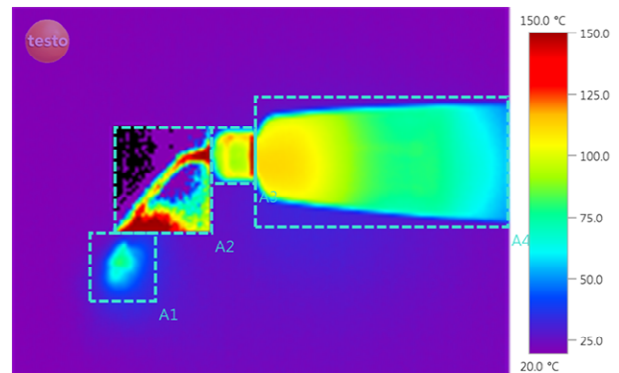


Figure 5. A reconstructed thermal image of gutta-percha injection gun (Obtura System) and thermoplastic gutta-percha material 30 s after beginning of injection (set temperature: 160°C). This image was reconstructed using four calibrated images.

전체 제품에 대해 160°C의 설정온도에서 압출된 연화물의 온도가 57.5-88.4°C를 보였으며, 200°C의 설정온도에서는 84.0-110.6°C를 보여, 주입기 내부에서 가열되어 니들을 거쳐 압출되어 나오는 동안 온도가 현저히 감소함을 알 수 있었다. Obtura재료가 두 설정온도 모두에서 모든 제품군 중에서 압출된 연화물의 온도가 설정온도보다 가장 많이 감소하여 가장 낮은 연화물 온도를 보였으며, 다른 제품들 간에도 유의한 차이가 있음을 확인하였다(Table 2).

Table 2. Mean (SD) temperatures of the thermoplastic obturation materials extruded using Obtura injection gun set at 160°C and 200°C

Groups	160°C	200°C
B&L-S	84.7 (3.8) ^{d,e}	105.2 (1.6) ^{b,c}
Dia-S	79.8 (2.6) ^{c,d}	104.0 (11.7) ^{b,c}
Sure-S	81.3 (3.4) ^{c,d}	110.6 (4.8) ^c
Metabio	88.4 (3.0) ^e	110.2 (5.4) ^c
B&L-H	78.2 (4.0) ^{b,c,d}	94.1 (10.4) ^{a,b}
Dia-H	72.0 (2.0) ^b	95.4 (12.4) ^{a,b}
Sure-H	76.4 (1.9) ^{b,c}	100.1 (3.2) ^{b,c}
Obtura	57.5 (6.6) ^a	84.0 (3.0) ^a

Identical superscript alphabets in the same column are not statistically different ($p > 0.05$)

또한 가열 주입기의 설정온도에 따른 차이는 160°C에서 200°C로 40°C 변화되었을 때, 측정된 압출된 연화물의 온도는 제품별로 온도 변화폭이 최소 15.9°C (B&L-H)에서 최대 29.3°C (Sure-S)로 제품에 따라 차이를 보였다.

가열 주입기의 설정온도 160°C에서는 저점도군(79.8-88.4°C)의 제품이 고점도군(57.5-78.2°C)의 제품보다 전체적

으로 높은 연화 압출물의 온도를 보였다. 고점도군 제품의 경우 실제 임상 시 권장온도 (180-200℃)보다 낮은 설정온도에서 연화 압출되면 이처럼 충전물의 온도가 낮아 근관 내에서 다짐공정 시 충분히 연화하지 못하여 가압과정에서 압력이 증가할 수 있다. 또한 주입공정 시에도 연화물의 압출 저항력 증가로 시술자의 피로도를 증가시키는 결과를 초래한다.

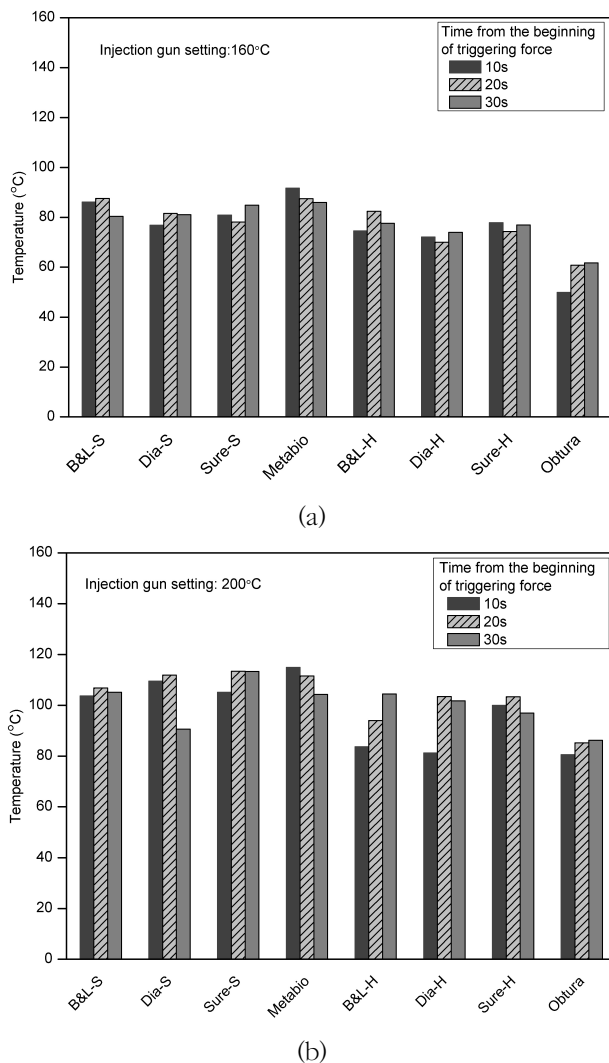


Figure 6. Temperatures of the thermoplastic materials extruded using Obtura injection gun set at (a) 160°C and (b) 200°C after 10 s, 20 s, and 30 s from the beginning of triggering force.

근관 내에서 적절한 가압다짐공정을 위해서 Schilder 등(1985)이 제시한 최소 64℃의 온도가 보장되어야 하지만, Obtura의 경우 본 실험에서처럼 160℃로 가열할 때 압출된 거타파차가 평가한 전체 재료 중에서 가장 낮은 온도인 57.5℃로 측정되어 보다 높은 온도로 가열이 필요함을 시사하였다. Obtura제조사는 통상 200℃, 최소한

185℃이상의 설정온도에서 가열시키고 임상 조작되어야 한다고 제시하고 있다. Tanomaru-Filho 등(2011)도 200℃에서 가열한 Obtura 압출물의 온도가 89.42℃임을 보고하고, 이 온도에서의 열가소성을 평가하였다. Chang 등(2011)도 200℃에서 Obtura압출물이 79.2℃를 보였으며, 유연학적 특성을 평가한 결과, 함께 시험한 거타파차 제품 중에서 가장 높은 점도와 가장 낮은 흐름성을 갖는다고 보고하였다.

200℃의 가열 주입기 설정온도 조건에서도 연화 압출물의 온도는 저점도군 제품(104.0-110.6℃)이 고점도군 제품(84.0-100.1℃)보다 높은 연화 압출물 온도를 보였다. 저점도군 제품이 권장온도(150-160℃)보다 높은 설정온도에서 연화 압출될 경우 충전물의 온도가 일정수준 이상으로 높게 되면 과도한 흐름성을 보여 다짐공정 시 적절한 기계적 저항성을 보이며 다져지지 못하고 근관 내 균일한 충전을 하기 어렵게 한다. 이와 같은 결과는 부적절한 온도설정이 과충전(over-filling)이나 저충전(under-filling), 또는 불완전한 충전으로 근관 내 빈 공간(voids)을 야기하게 되어 궁극적으로 근관치료의 실패요인이 되며(Song 등, 2011), 과도하게 가열될 경우 충전재료가 근관벽과 직접 접촉하기 때문에 근관의 온도상승(Lipski, 2006), 그리고 이를 통한 주위 조직의 열손상을 야기할 수 있어(Eriksson과 Albrektsson, 1983; Saunders, 1990) 세심한 임상적 주의가 필요하다. 또한 불필요한 가열은 거타파차 구성성분의 열변성과 이에 따른 치주조직의 생물학적 안전성 저해가 보고되고 있다(Maniglia-Ferreira 등, 2008). 모든 제품에 대해 권장설정온도에서, 즉 저점도군으로 분류된 B&L-S, Sure-S, Dia-S, Metabio는 160℃로, 그리고 고점도군으로 분류된 B&L-H, Sure-H, Dia-H, Obtura 제품에 대해서는 200℃로 가열 주입기의 온도를 설정하여 압출된 연화물의 온도는 약 80-100℃ 범위로 관찰되어, 각각 이 온도 범위에서 근관충전 시에 적절한 가압다짐공정이 용이할 것으로 사료된다.

각각 재료에 대한 주입기 설정온도에서의 복합점도와 이 온도에서 압출된 거타파차 연화물의 열화상분석에 의한 온도를 비교해 Figure 7에 나타내었다.

제품의 점도가 증가할수록 압출물의 온도는 감소하는 경향을 보였고, 이러한 상관관계는 $Temp_{(extruded)} = -0.00057^* + 104.14$ 의 선형적인 경향을 보였다. 동일한 설정온도에서 압출된 재료의 온도차이는 각 재료의 열용량(specific heat capacity)의 차이에 기인한다고 알려져 있지만(Miner 등, 2006; Tanomaru-Filho 등, 2011), 설정온도에서 측정된 점도의 차이에 따라서도 영향을 받을 수 있었다. 예로서, 고점도 제품을 권장온도에 비해 낮은 설정온도로

가열할 경우, 충분히 연화되지 못하고 높은 점성을 가져서, 가는 실버 니들 속을 통과할 때 열전도성이 높은 실버 니들에 머무는 시간이 증가하여 이를 통한 열손실이 크기 때문에 연화물의 온도가 낮아지는 것으로 설명할 수 있다. Karabucak 등(2008)은 제품의 종류에 따라 거타퍼차의 흐름속도와 이에 따른 근관충전의 차이를 보이는 주요 요인은 재료의 구성성분비와 이에 따른 점도의 차이에 기인한다고 보고하였다.

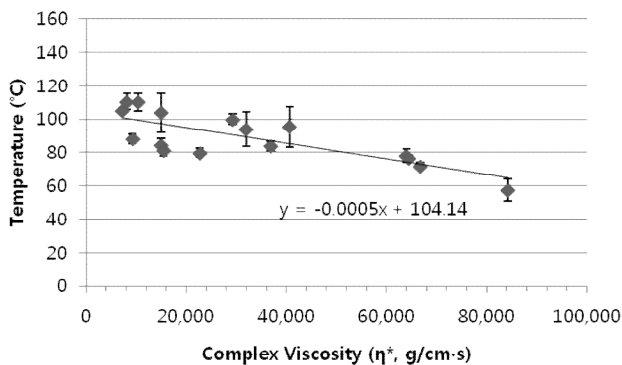


Figure 7. Relationship of the complex viscosities and thermographically measured temperatures of the thermoplastic gutta-percha materials (extruded from the injection gun set at 160°C or 200°C), with a solid line displaying the best fit line with a slope of -0.0005.

160°C와 200°C로 설정된 주입기의 압출 시 온도는 전체적으로 금속재료인 니들(설정온도 160°C일 때 209.1-232.0°C; 설정온도 200°C일 때 266.5-288.8°C)과 어댑터부(설정온도 160°C일 때 175.2-226.8°C; 설정온도 200°C일 때 199.6-259.3°C)가 플라스틱재료인 건바디부(설정온도 160°C일 때 108.8-111.9°C; 설정온도 200°C일 때 134.2-138.8°C) 보다 약 100°C 정도 높게 측정되었다(Figure 8). 압출 시간에 따라서는 니들과 어댑터부에서 사출되기 시작될 때 (1s) 최고 온도를 보였고, 이 후 시간이 경과됨에 따라 큰 차이를 보이지는 않아 주입기 내부히터의 열원자체가 지속적으로 일정온도를 유지함을 알 수 있었다. 니들부의 온도분포는 니들 어댑터와 연결된 부위에서 최고온도를 나타냈으며, 이 부위에서 멀어져서 니들 말단으로 갈수록 온도는 낮아졌다. 이는 열선이 장착된 내부가열기로부터 멀어질수록 온도가 감소하는 양상을 보였다. 이는 열전도도가 높은 실버니들의 경우 표면을 통해 열이 방출되어 어댑터 연결부위로부터 멀어질수록 니들 표면의 온도가 감소하기 때문이다. 따라서 임상시술 시 시술자와 환자의 안전을 위해 고온에 노출되는 니들부와 어댑터부와의 직접적인 접촉을 방지하기 위하여 단열보호캡이 필요하고, 주입기의 설정 온도가 높더라도 실제 니들을 통해 압출되

어 나오는 열가소성 재료의 온도는 열손상을 주는 범위의 온도가 아님을 알 수 있었다.

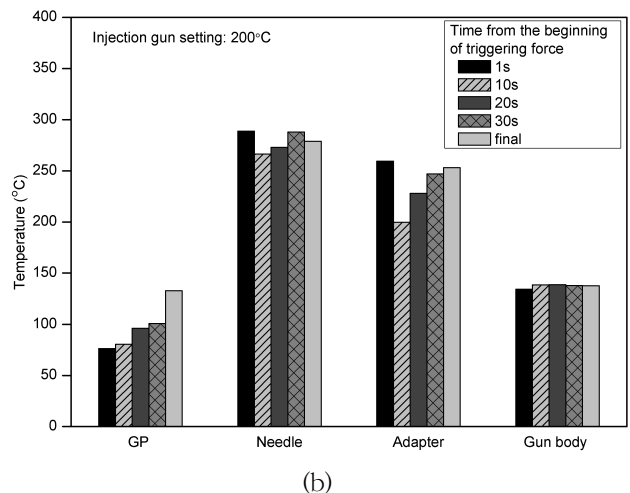
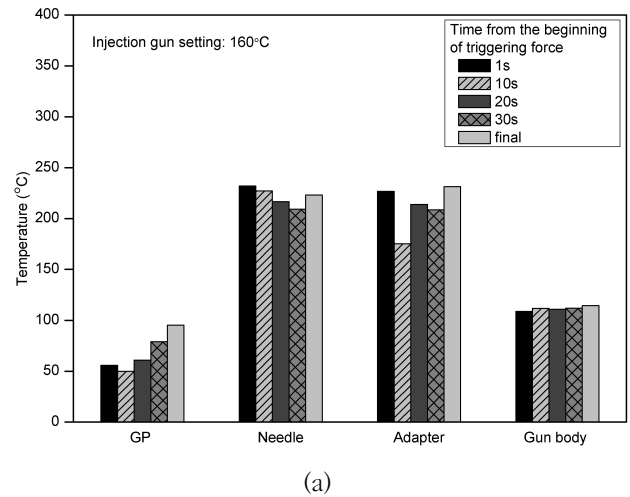


Figure 8. Surface temperatures on the different parts of the injected thermoplastic materials and Obtura injection System set at (a) 160°C and (b) 200°C after 1 s, 10 s, 20 s, and 30 s from the beginning of triggering force.

결론

본 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 복합점도 측정결과, B&L-H, Dia-H, Sure-H, Obtura 제품이 B&L-S, Dia-S, Sure-S, Metabio 제품보다 160°C와 200°C 온도에서 모두 높은 점도를 보였고, 이에 따라 저점도군과 고점도군으로 분류되었다.
2. 거타퍼차 압출물에 대한 열화상 이미지 분석결과, 압출물의 온도는 160°C 설정 시 57.5-88.4°C, 200°C 설정 시 84.0-110.6°C의 온도를 보였으며, 두 설정온도에서 저점도군의 제품이 고점도군의 제품보다 전체적으로 높은 압출물 온도를 보였으며, 제품의 점도가 높은 제

품일수록 압출물의 온도는 감소함을 확인하였다.

3. 가열 주입기의 주입부 최고온도는 금속재료인 니들부와 어댑터부에서 200℃ 이상임을 확인하였다.
4. 적외선 열화상 분석방법은 유동성이 있는 거타파차 연화 압출물의 온도변화를 분석하고, 가열 주입기 표면의 온도분포와 최고온도 발현부위를 분석하는데 유용한 방법임을 알 수 있었다. 특히, 정확한 온도분석을 위해서는 각 측정 피사물의 방사율로 보정 재구성한 열화상 이미지를 얻어서 평가되어야 함을 알 수 있었다.

이상의 결과를 통해 동일한 주입기를 이용하더라도 실제 가열된 거타파차 압출물의 온도는 제품에 따라 일정하지 않고, 저점도군 제품이 고점도군 제품에 비해 동일한 조건에서 높은 온도를 갖는 경향을 보여서 제품간의 교차사용 시 주의가 필요하며, 또한 연화 주입기의 주입부가 고온에 노출되므로 임상적인 주의가 필요함을 보여주었다.

Reference

- 한국치과재료학 교수협의회 (2006). 치과재료학. 4판. 서울: 군자출판사 p. 79
- Bramson M (1968). Infrared radiation : a handbook for applications, with a collection of reference tables. New York: Plenum Press.
- Chang J, Baek S-H, Lee I-B (2011). Rheological characterization of thermoplasticized injectable gutta percha and resilon. J Korean Acad Conserv Dent, 36:377-384.
- Eriksson A, Albrektsson T (1983). Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: a vital-microscopic study in the rabbit. J Prosthet Dent, 50:101-107.
- Friedman CE, Sandrik JL, Heuer MA, Rapp GW (1977). Composition and physical properties of gutta-percha endodontic filling materials. J Endod, 3:304-308.
- Glickman GN (2001). Injectable thermoplasticized gutta-percha systems. Pract Proced Aesthet Dent, 13:477-482.
- Karabucak B, Kim A, Chen V, Iqbal MK (2008). The Comparison of Gutta-Percha and Resilon Penetration into Lateral Canals with Different Thermoplastic Delivery Systems. J Endod, 34:847-849.
- Karr NA, Baumgartner JC, Marshall JG (2007). A comparison of gutta-percha and resilon in the obturation of lateral grooves and depressions. J Endod, 33:749-752.
- Kells BE, Kennedy JG, Biagioni PA, Lamey PJ (2000). Computerized infrared thermographic imaging and pulpal blood flow: Part 1. A protocol for thermal imaging of human teeth. Int Endod J, 33:442-447.
- Lee IB, Cho BH, Son HH, Um CM (2007). Rheological characterization of composites using a vertical oscillation rheometer. Dent Mater, 23:425-432.
- Lipski M, Woiniak K (2003). In vitro infrared thermographic assessment of root surface temperature rises during thermofil retreatment using system B. J Endod, 29:413-415.
- Lipski M (2006). In vitro infrared thermographic assessment of root surface temperatures generated by high-temperature thermoplasticized injectable gutta-percha obturation technique. J Endod, 32:438-441.
- Lipski M (2004). Root surface temperature rises in vitro during root canal obturation with thermoplasticized gutta-percha on a carrier or by injection. J Endod, 30:441-443.
- Maniglia-Ferreira C, Bonecker G, Silva JB, Jr., de Paula RC, Feitosa JP, Souza-Filho FJ (2008). Degradation of trans-polyisoprene after root filling with thermoplasticized techniques. Int Endod J, 41:296-302.
- Mc Cullagh JJ, Setchell DJ, Gulabivala K, Hussey DL, Biagioni P, Lamey PJ, Bailey G (2000). 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.
- Miner MR, Berzins DW, Bahcall JK (2006). A comparison of thermal properties between gutta-percha and a synthetic polymer based root canal filling material (resilon). J Endod, 32:683-686.
- Saunders EM (1990). In vivo findings associated with heat generation during thermomechanical compaction of gutta-percha. Part II. Histological response to temperature elevation on the external surface of the root. J Endod, 23:268-274.
- Schilder H (1967). Filling root canals in three dimensions. Dent Clin North Am, 723-744.
- Schilder H, Goodman A, Aldrich W (1985). The thermomechanical properties of gutta-percha. Part V. Vol-

- ume changes in bulk gutta-percha as a function of temperature and its relationship to molecular phase transformation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 59: 285-296.
- Song M, Kim H, Lee W, Kim E (2011). Analysis of the cause of failure in nonsurgical endodontic treatment by microscopic inspection during endodontic microsurgery. *J Endod*, 37:1516-1519.
- Tanomaru-Filho M, Pinto RV, Bosso R, Nascimento CA, Berbert FL, Guerreiro-Tanomaru JM (2011). Evaluation of the thermoplasticity of gutta-percha and resilon(R) using the obtura II system at different temperature settings. *Int Endod J*, 44:764-768.
- Timothy L, Sweatman JCB, Ronald L, Sakaguchi (2001). Radicular temperatures associated with thermoplasticized gutta-percha. *J Endod*, 27:512-515.
- Venturi M, Di Lenarda R, Breschi L (2006). An ex vivo comparison of three different gutta-percha cones when compacted at different temperatures: rheological considerations in relation to the filling of lateral canals. *Int Endod J*, 39:648-656.
- Weast RC, Astle MJ, Beyer WH (1984). *CRC handbook of chemistry and physics*. 65th ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc.; p. E-380.