

## 측정 방식에 따른 근관 충전용 실러와 치근단 수복 재료의 경화시간 비교

심규연<sup>1</sup>, 신성진<sup>2</sup>, 오승한<sup>1,3</sup>, 배지명<sup>1,3,4,\*</sup>

<sup>1</sup>원광대학교 치과대학 치과생체재료학교실

<sup>2</sup>단국대학교 조직재생공학연구소

<sup>3</sup>원광대학교 생체재료매식연구소

<sup>4</sup>원광대학교 근골격 및 면역질환 연구소

## Setting time of root canal sealers and root-end filling materials by different measuring methods

*Gyu-Yeon Shim<sup>1</sup>, Seong-jin Shin<sup>2</sup>, Seunghan Oh<sup>1,3</sup>, Ji-Myung Bae<sup>1,3,4,\*</sup>*

<sup>1</sup>*Department of Dental Biomaterials, College of Dentistry, Wonkwang University, Iksan, Korea*

<sup>2</sup>*Institute of Tissue Engineering, Dankook University, Cheonan, Korea*

<sup>3</sup>*Institute of Biomaterial-Implant, Wonkwang University, Iksan, Korea*

<sup>4</sup>*Musculoskeletal and Immune Disease Research Institute, Wonkwang University, Iksan, Korea*

The aim of this study was to evaluate the differences in setting times based on the methods for dental root canal sealers and calcium silicate cement used in root-end filling. Five kinds of dental root canal sealers and four kinds of calcium silicate cement for root-end filling were selected for the experiments. All materials were mixed according to the manufacturers' instructions and stored at 37 °C with a relative humidity of 95%. Setting time was measured using a 1/4 pound Gillmore needle and a 1 pound Gillmore needle to determine the time until indentation was no longer visible or the time until 2 mm penetration was no longer possible. The determination of indentation was based on the absence of visible impressions on the material surface when Gillmore needle was placed vertically. When comparing indentation time and penetration time using same type of Gillmore needle, only ProRoot MTA using 1 pound Gillmore needle showed significant difference between measuring methods ( $P < 0.05$ ) while there are no differences in measuring methods in other materials ( $P > 0.05$ ). By this study, we could expect to measure a setting time relatively similar to real clinical conditions through indentation method.

**Keywords** : Setting time, Root canal sealer, Root-end filling materials, Calcium silicate cement, Gillmore needle

Gyu-Yeon Shim (ORCID: 0009-0000-5742-8161)

Seong-jin Shin (ORCID: 0000-0002-4140-5157)

Seunghan Oh (ORCID: 0000-0002-7250-721X)

\*Correspondence: Ji-Myung Bae (ORCID: 0000-0002-8607-8604)

460 Iksan-daero, Iksan-si, Jeollabuk-do, Republic of Korea

Affiliation: Department of Dental Biomaterials, College of Dentistry, Wonkwang University, Iksan, Republic of Korea

Tel: +82-63-850-6859, Fax: +82-63-850-6859

E-mail: [baejimy@wku.ac.kr](mailto:baejimy@wku.ac.kr)

Received: Sep. 13, 2023; Revised: Sep. 26, 2023; Accepted: Sep 26, 2023

## 서론

세균에 의해 감염된 근관은 세균 자체와 그로 인한 독성이 근관을 통해 치수강에서부터 치근단 방향으로 진행되어 결국 치근단공이나 부근관 등을 통해 치근단 조직으로 퍼져 주위조직에 염증을 유발한다(1). 근관치료는 이러한 감염된 근관을 치료하는 과정으로 주된 생물학적 목표는 세균에 의해 감염된 근관 내부를 소독하고 밀폐해 재감염을 방지하는 것이다(2, 3). 근관치료는 root canal cleaning, shaping, filling의 과정으로 이루어지는데, 이 중 근관 충전은 소독된 근관 내부를 거타파차 등의 코어재료와 근관 충전용 실러를 통해 완전히 밀폐하는 것이다(4).

1982년 Grossman이 제시한 바에 의하면, 이상적인 실러는 근관과 치아 주변조직간의 교통을 차단하고, 근관내 상아 질벽과 거타파차 사이의 간극을 채워야 하고, 미생물을 근관내에 가둬 추가적인 감염을 막는 역할도 한다(5). 실러의 가장 중요한 특성은 밀폐하는 능력이며, 생체 친화성을 가지며 치근단 주변 조직에 위해성이 없어야 한다(6). 그 외에 체적 안정성과 낮은 용해도 등도 갖춰져야 하지만 이 모든 조건을 만족하는 제품은 아직 없다. 현재 근관 실러는 산화아연유지놀계, 글라스 아이오노머계, 그리고 수산화칼슘계 등 다양한 성분을 가진 제품들이 시판되어 있다(7).

근관 치료를 통한 치료가 실패한 경우, 치근단 충전을 통한 근관 수술이 필요하다. 이상적인 치근단 충전재는 절제된 치근단에 맞추어 완벽한 근관계의 밀폐를 이루는 것이 가장 중요한 특성이며, 독성이 없어야 한다(8). 이러한 목적으로 치근단 충전에 흔히 mineral trioxide aggregate (MTA)라 불리는 칼슘 실리케이트 시멘트(calcium silicate cement, CSC)가 많이 사용되고 있다(9). MTA는 기존에 사용되던 치과재료들과는 달리 우수한 밀폐효과, 생체적합성을 가지며 골형성을 유도하는 특성이 있다(10). 또한 재근관 치료와 치근단 수술의 원인이 되는 *Enterococcus faecalis*에 대한 항균효과도 밝혀진 바 있다(11). 따라서 근관치료 중 천공된 부분의 치유나 치수 복조, 치근단 역충전, 미성숙 영구치에서의 치근첨 형성술, 치수재생술 등 여러가지 술식에 사용되고 있다(12).

근관 충전용 실러의 경화시간은 적절한 작업시간을 갖도록 충분히 길어야 하고 근관계의 완벽한 밀폐를 위해 충분한

점조도를 부여해야 한다(7). 그러나, 너무 느린 경화시간은 조직 위해성을 일으켜 완전히 경화되기 전에 어느 정도의 독성을 나타낸다(13). 그러므로 근관 충전용 실러는 적절한 경화시간을 가져야 한다. 치근단 충전에 사용되는 MTA 재료는 다른 치근단 충전용 재료와 비교해서 낮은 독성과 미세누출을 보이지만 비교적 경화시간이 긴 단점이 있다(14). 그 활용을 고려하였을 때, 치근단 충전용 재료는 주변 조직과 접촉하여 오염되기 전에 경화되어야 하며, 이를 나타낼 수 있는 정확한 기준이 필요하다(15). 임상적으로, 근관 충전용 실러와 치근단 충전용 재료의 정확한 경화시간 측정은 이후의 술식을 위한 시간과 주변 조직에 미치는 위해성을 판단하기 위해 중요하다. ISO 6876:2012에 따르면 근관 충전용 실러의 경화시간은 무게 100 g, tip 직경 2 mm인 길모어 니들(Gillmore needle)을 이용해 측정되며 압흔이 남지 않는 시간을 기준으로 한다(16). 경화시간 측정에 필요한 재료를 담을 때, 경화시 수분이 필요한 재료는 직경 10 mm, 두께 1 mm인 석고 몰드에, 수분이 필요하지 않은 재료는 직경 10 mm, 두께 2 mm인 스테인리스 스틸 몰드에 넣어서 측정하도록 규정되어 있다. 그러나 같은 목적으로 사용되는 재료에 대해서는 동일한 몰드를 사용하여 측정되어야 할 것이다. 또한 비교적 최근에 발명된 재료인 치근단 충전용 재료에 대한 경화시간은 정해진 표준이 없어 다양한 방법으로 그 경화시간이 측정되고 있는데, 같은 재료에 대해서도 스테인리스 스틸과 석고 몰드의 다른 몰드를 사용하여 실험 환경이 다르기 때문에 논문들 간에 정확한 경화시간을 비교할 수 없다는 문제가 있다(12, 17). 치과에 사용되는 다른 시멘트인 zinc oxide-eugenol cement에 대한 경화시간은 ISO 3107:2022에 나타나 있다(18). 해당 표준에서는 무게 100 g, tip 직경 2mm인 길모어 니들(Indenter A)과 무게 400 g, tip 직경 1 mm인 길모어 니들(Indenter B)을 사용하며 2 mm의 재료가 완전히 관통 되지 않을 때를 기준으로 한다. 현재 사용되는 ISO 6876:2012나 ISO 3107:2022 등에서는 한 가지 종류의 길모어 니들만 사용하여 재료의 경화시간을 측정하고 있다. 그러나 ASTM C266/08에서는 무게 0.250 lb, tip 직경 2.12 mm인 길모어 니들을 사용해 초기 경화시간을 측정하고, 무게 1.000 lb, tip 직경 1.06 mm인 길모어 니들을 사용해 최종 경화시간을 측정하고 있다(19). 이처럼 다양한 방법으로 재료의 경화시간이 측정되고 있으며, 기본

적으로는 길모어 니들을 사용하지만 그 세부적인 방법이 달라 이를 통일시킬 수 있는 방법이 필요하다. 현재 ISO 6876:2012의 개정작업이 진행중이고 관련된 다양한 성분의 재료들의 경화시간을 임상적으로 의미있게 평가할 수 있는 표준화된 측정방법을 마련하는 것이 중요하다. ISO 6876과 ISO 3107에서의 경화시간 측정기준이 서로 다른데, 이에 따른 경화시간의 차이가 있는지 평가하여 더 임상적 연계성이 높은 측정방법을 알아보고, 이를 임상적인 상황에 적용할 수 있는 연구가 필요하다.

본 연구의 목적은 근관 충전용 실러와 치근단 충전재를 각각 같은 종류의 길모어 니들을 사용하였을 때 압흔방법과 관통방법의 두가지 측정 방법에 따른 경화시간의 차이를 비교하여 최종적으로 측정 방법 간의 경화시간을 비교하여 임상적으로 더 의미있는 측정 방법에 대해 알아보고자 한다. 이를 통해 경화시간과 제품의 성능 간의 관계를 더 잘 이해하고 제품 개발 및 임상 적용에 관한 의사결정에 도움을 줄 수 있을 것이다. 귀무가설은 “재료에 따라 압흔방법과 관통방법을 사용하여 측정된 경화시간 간에 차이가 없을 것이다”이다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료 선정

실험에 사용된 재료는 Table 1에 나타나있다.

### 2. 시편 준비

가로 76 mm, 세로 26 mm, 두께 1 mm 크기의 슬라이드 글라스 위에 내경 10 mm, 두께 2 mm의 스테인리스 스틸로 만들어진 경화시간 측정용 몰드를 올렸다(16). 각 실험군을 제조사의 지시에 따라 혼합 후 경화시간 측정용 몰드에 기포가 없게 넣었다. 이후 여분의 슬라이드 글라스를 몰드 위로 얹어 과잉의 재료를 제거하였다. 각 재료별로 측정방법마다 시편은 3개씩 제작하였고 측정은 각 시편당 3회씩 시행하였다.

### 3. 경화시간 측정

혼합된 재료가 들어있는 몰드를 37 °C, 95% 상대습도통 내에 보관된 가로 60 mm, 세로 30 mm, 높이 8 mm의 메탈 블럭 위에 올리고 통의 뚜껑을 닫은 뒤 경화시간을 측정하였다(16). 추가로 실리콘계 실러인 GF2와 GB, 레진계

**Table 1.** Classification of materials used in the study

Type	Material	CODE	Manufacturer	Chemical composition
Root canal sealer	CeraSeal	CS	MetaBiomed, Cheongju, Korea	Tricalcium silicate
	GuttaFlow 2 without silver	GF2	Coltene, Altstatten, Swiss	Silicone
	GuttaFlow bioseal	GB	Coltene, Altstatten, Swiss	Silicone
	MetaSEAL soft	MS	Sun Medical, Moriyama, Japan	Resin based with 4-META
	AH Plus	AH	Dentsply, Charlotte, NC, USA	Epoxy
Root end filling material	Biodentine	BD	Septodont, Saint-Maur-des-fosses, France	Tricalcium silicate
	Grey MTA Plus	GM	NuSmile LTD., Houston, TX, USA	Tricalcium silicate
	Endocem MTA	EM	Maruchi, Wonju, Korea	Tricalcium silicate
	ProRoot MTA	PM	Dentsply, Charlotte, NC, USA	Tricalcium silicate

실러인 MS와 AH는 새로운 슬라이드 글라스를 혼합된 재료 위에 덮어 공기 중 수분과의 접촉을 차단하였다. 경화시간 측정은 무게 100 g, tip 직경 2 mm인 길모어 니들(Indenter A)과 무게 400 g, tip 직경 1 mm인 길모어 니들(Indenter B)을 수직으로 시편의 표면에 적용할 수 있도록 Gillmore apparatus (Heungjin testing machine, Gimpo, Korea)를 이용하여 두 가지 방법으로 측정하였다. 경화시간 측정은 제조사의 명시된 기준에 따라 경화시간이 10분 이내인 경우 1분마다, 1시간 이내인 제품은 5분마다, 그 이상인 제품은 1시간마다 측정하였다. 압흔이 남거나 관통이 되는 경우는 tip 끝에 묻어난 재료를 제거해 깨끗이 하였다.

#### 1) 압흔에 의한 측정 방법

기존의 ISO 6876:2012의 방법을 따라 2 mm 몰드 내에 혼합된 재료에 길모어 니들을 수직으로 시편에 적용하여 육안으로 보았을 때 압흔이 생기지 않는 시간을 기준으로 측정하였다(16). Indenter A를 사용하여 측정한 시간을 초기 경화시간, Indenter B를 사용하여 측정한 시간을 최종 경화시간이라 하였다.

#### 2) 관통에 의한 측정 방법

관통에 의한 측정 방법은 2 mm 두께의 시편을 관통하지 못하는 시간을 기준으로 측정하였다(18). Indenter A를 이용하여 측정한 시간을 초기 경화시간, Indenter B를 사용하여 측정한 시간을 최종 경화시간이라 하였다.

### 4. 통계처리

통계 분석은 SPSS 프로그램(IBM SPSS Statistics version 26; IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하였다. 각각의 재료 타입에 따른 경화시간을 비교하기 위해 Kruskal-Wallis test를 시행하였고, 사후분석으로 Mann-Whitney test를 시행하였다. 두 가지 측정방법에 따른 경화시간을 비교하기 위해 Mann-Whitney U test를 시행하였다( $\alpha = 0.05$ ).

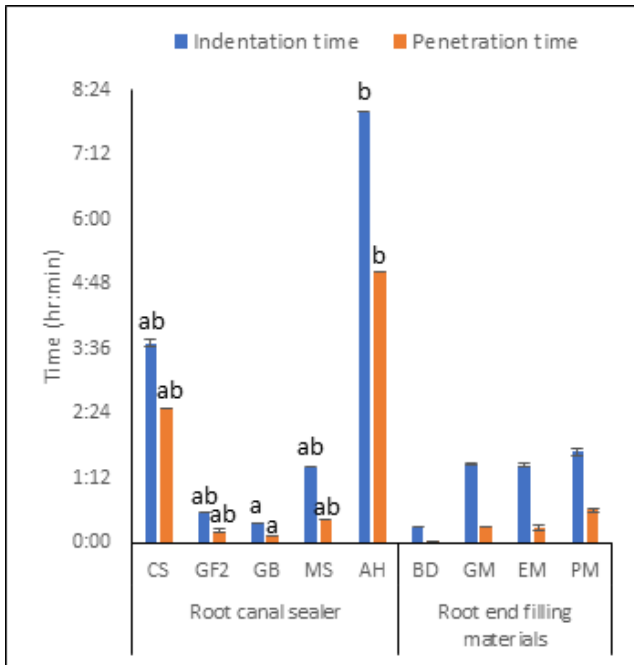
## 결 과

Indenter A를 이용한 초기 경화시간은 Table 2와 Figure 1에 나타나 있다. 초기 경화시간은 모든 재료에서 압흔과 관통에 의한 측정 방법 간의 통계적으로 유의한 차이를

**Table 2.** Initial setting time (hr:min) of each materials by Indenter A according to indentation and penetration

Type	Code	Indentation	Penetration
Root canal sealer	CS	3:42(0:04) <sup>ab</sup>	2:30(0:00) <sup>ab</sup>
	GF2	0:33(0:00) <sup>ab</sup>	0:13(0:01) <sup>ab</sup>
	GB	0:22(0:00) <sup>a</sup>	0:08(0:00) <sup>a</sup>
	MS	1:24(0:00) <sup>ab</sup>	0:25(0:00) <sup>ab</sup>
	AH	8:00(0:00) <sup>b</sup>	5:02(0:00) <sup>b</sup>
Root end filling materials	BD	0:17(0:00)	0:02(0:00)
	GM	1:28(0:01)	0:18(0:00)
	EM	1:26(0:01)	0:17(0:00)
	PM	1:41(0:03)	0:36(0:01)

Different lowercase letters are significantly different among each material type within the measuring method by Kruskal-Wallis test (column) and Mann-Whitney U test was used to analyze the difference between two test methods at  $\alpha = 0.05$ .



**Figure 1.** Initial setting time (hr:min) of each materials by indenter A according to indentation and penetration. Different lowercase letters are significantly different among each material type within the measuring method by Kruskal-Wallis test at  $\alpha=0.05$ .

보이지 않았다( $P>0.05$ ). 각 type별로 재료에 따른 경화시간의 차이를 비교해 보았을 때, 근관 충전용 실러 중에서는 GB가 AH에 비해 유의성있게 낮은 경화시간을 보였고 ( $P<0.05$ ) 나머지 재료들과는 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $P>0.05$ ). 치근단 충전재 에서는 재료들 간에 유의성있는 차이가 없었다( $P>0.05$ ).

Indenter B를 이용한 최종 경화시간은 Table 3과 Figure 2에 나타나 있다. 압흔과 관통에 의한 측정 방법간 최종 경화시간은 PM에서만 유의성있는 차이를 보였고( $P<0.05$ ), 나머지 재료들에서는 유의성있는 차이가 없었다( $P>0.05$ ). Type에 따른 재료별 경화시간의 차이를 비교해 보았을 때, 근관 충전용 실러 중에서는 GB가 CS 보다 유의성있게 낮은 경화시간을 보였고( $P<0.05$ ) 나머지 재료들과는 유의성있는 차이가 없었다( $P>0.05$ ). 치근단 충전재에서는 재료들 간에 유의성있는 차이가 없었다( $P>0.05$ ).

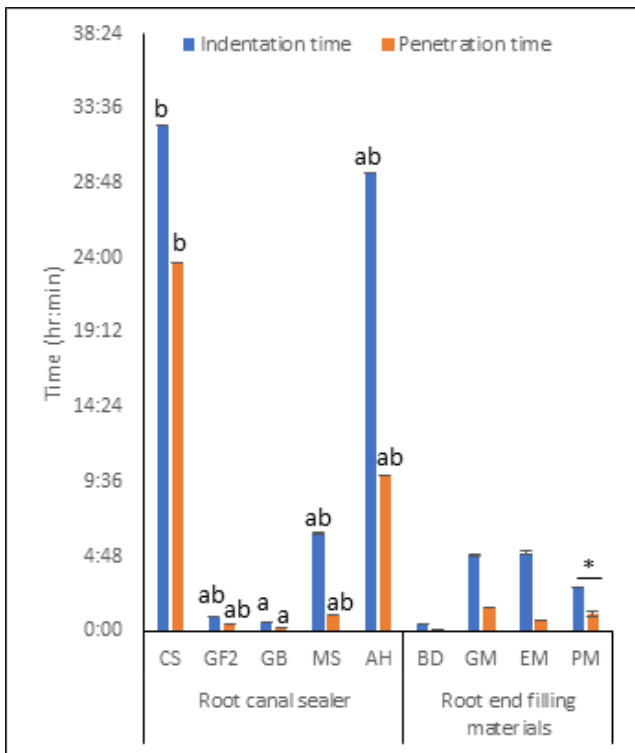
## 고 찰

본 실험에서는 근관 충전용 실러와 치근단 충전재를 측정 방법에 따라 경화시간의 차이가 있는지를 두 가지 종류의

**Table 3.** Final setting time (hr:min) of each materials by Indenter B according to indentation and penetration

Type	Code	Indentation	Penetration
Root canal sealer	CS	32:30(0:00) <sup>b</sup>	23:42(0:00) <sup>b</sup>
	GF2	0:53(0:02) <sup>ab</sup>	0:25(0:02) <sup>ab</sup>
	GB	0:31(0:00) <sup>a</sup>	0:11(0:00) <sup>a</sup>
	MS	6:16(0:02) <sup>ab</sup>	1:00(0:00) <sup>ab</sup>
	AH	29:30(0:00) <sup>ab</sup>	10:02(0:00) <sup>ab</sup>
Root end filling materials	BD	0:23(0:00)	0:08(0:00)
	GM	4:50(0:05)	1:28(0:00)
	EM	5:00(0:05)	0:40(0:02)
	PM	2:50(0:00)*	1:05(0:07)*

Different lowercase letters are significantly different among each material type within the measuring method by Kruskal-Wallis test (column) and \* means significant difference between measuring methods by Mann-Whitney U test at  $\alpha=0.05$ .



**Figure 2.** Final setting time (hr:min) of each materials by Indenter B according to indentation and penetration. Different lowercase letters are significantly different among each material type within the measuring method by Kruskal-Wallis test and \* means significant difference between measuring methods by Mann-Whitney U test at  $\alpha=0.05$ .

길모어 니들을 이용해 평가하였는데, ASTM C266/08에 따라 두 가지 길모어 니들을 모두 사용하여 초기 경화시간과 최종 경화시간을 모두 측정하였고, ISO 6876:2012의 방법을 수정하여 환경의 일관성을 부여하기 위해 스테인리스 스틸 몰드만 사용하였으며, ISO 6876:2012와 ISO 3107:2022에 따라 방법에 따른 경화시간의 차이를 비교하기 위해 압흔방법과 관통방법으로 경화시간을 측정하였다.

그 결과, 재료별로 경화시간의 차이를 보여 귀무가설은 기각되었다. 측정 방법에 따른 차이를 보면, PM을 제외하면 관통방법과 압흔방법에 따른 경화시간의 유의성있는 차이는 없었다. 하지만 indenter A를 사용한 경우, 관통방법에 따른 경화시간이 압흔방법보다 근관 충전용 실러는 30-68%, 치근단 충전용 재료는 12-36% 짧게 측정되었다. Indenter B를 사용한 경우, 관통방법에 따른 경화시간이 압흔방법보

다 근관 충전용 실러는 16-73%, 치근단 충전용 재료는 13-38% 짧았다. PM의 경우 관통방법에 따른 경화시간이 압흔방법보다 유의성있게 짧았다( $P<0.05$ ).

기존의 압흔방법을 이용하여 경화시간을 측정하는 방법은 실험자의 주관에 따라 그 결과가 매우 달라지는 단점이 있는데, 관통방법을 이용하여 경화시간을 측정 시 비교적 명확하게 그 결과를 판별할 수 있고 짧은 경화시간을 보인다. 실험에 사용된 근관 충전용 실러와 치근단 수복용 재료들은 재료의 중심부에서부터 pozzolanic reaction을 통해 경화되기 시작한다(20). 따라서 관통이 되지 않는 시간을 측정하면 재료가 경화되기 시작하는 시간을 측정할 수 있지만 기존의 압흔방법으로 측정시에는 재료의 표면까지 모두 경화가 일어나야 하기 때문에 더 길게 측정된다. 치근단 충전용 재료를 임상적으로 적용한 후향적 연구에서, 경화시간이 짧은 재료가 경화시간이 긴 재료에 비해 비교적 높은 임상적 성공률을 보였다(14). 이는 특히 슬식 적용 시 혈액과 조직액에 노출되는 기술적으로 어려운 상황에서, 경화시간이 짧은 재료가 임상적으로 유리함을 나타낸다.

기존의 ISO 6876:2012에 따라 재료의 특성별로 몰드를 다르게 하여 경화시간을 측정하면 몰드의 영향을 받아 경화시간이 다르게 측정된다. 석고 몰드와 스테인리스 스틸 몰드를 모두 사용하여 경화시간을 비교한 연구에 의하면(21), 석고 몰드를 사용하여 측정한 경화시간이 스테인리스 스틸 몰드를 사용하여 측정한 것보다 유의성있게 짧으며, 석고 몰드는 수분을 흡수할 수 있어 수분이 있는 근관계에 더 임상적으로 가깝다고 주장하고 있다. 그러나 상대습도통내에 혼합된 재료를 보관하면 스테인리스 스틸 몰드를 사용해도 충분한 수분을 공급할 수 있다. 또한 기존에 경화시간을 측정한 여러 논문들을 살펴보면, 실험에 사용된 석고 몰드의 정확한 종류를 특정하지 않는데, 사용되는 석고의 종류에 따라 수분의 흡수 정도가 달라져 경화시간에 영향을 미칠 수 있으므로 석고 몰드를 경화시간 측정에 사용하는 것은 적합하지 않다(17). MTA로 불리는 근관 충전용 실러와 치근단 충전제는 칼슘 실리케이트를 포함하는데, 이는 주위 조직에서 수분을 흡수하여 calcium hydroxide crystal을 형성한다. 반대로 기존에 근관 충전용 실러로 주로 사용되던 실리콘계 실러나 레진계 실러는 경화시 수분이 필요하지 않다. 실러가 거타퍼차와 함께 근관 내에 적용되는 과정이나 치근

단 충전용 재료가 채워지는 과정에 있어서 조직액에 노출되는데, 본 실험에서는 몰드에 넣어진 재료의 윗면만 공기 중의 수분에 노출되므로 이에 대한 추가적인 고려가 필요하다(21). 생리적 상태를 고려해 Hank's balanced salt solution (HBSS)에 노출된 상태와 건조한 상태의 근관 충전용 실러에 대해 경화시간을 측정한 연구에 따르면, HBSS에 노출된 재료의 경우 경화시간이 더 길게 측정되었고 일부 실러는 건조한 상태에서 경화되지 않았다(22). HBSS를 이용하여 수행된 다른 연구에 의하면, BD의 경화시간을 비교하였을 때, 본 연구에서 수행된 4가지 방법 중 Indenter B를 이용한 압흔 측정 방법이 가장 유사하게 측정되었다(9).

근관 충전용 실러 간 경화시간의 차이를 비교하였을 때, Indenter A를 사용한 경우 두 방법 모두에서 실리콘계 실러인 GB가 가장 짧은 경화시간을 보였고, 레진계 실러인 AH가 가장 긴 경화시간을 보였다. Indenter B를 사용한 경우 마찬가지로 실리콘계 실러인 GB가 가장 짧은 경화시간을 보였지만, 가장 긴 경화시간을 보인 것은 칼슘 실리케이트 시멘트인 CS 이었다. 실리콘계 실러에는 polydimethylsiloxane polymer가 포함되어 있는데, 이는 재료의 중합반응을 촉진시켜 다른 실러들에 비해 비교적 짧은 경화시간을 나타낸 것으로 보인다(23). 반대로 레진계 실러인 AH는 epoxy resin amine과 고분자 물질 간의 느린 중합반응으로 인해 긴 경화시간을 나타내며(23), 근관 내 상아세관에 흘러들어 갈 수 있는 충분한 시간을 가져 우수한 근관 폐쇄성을 나타내는 것으로 여겨진다(21). 또한 CS와 AH가 긴 경화시간을 보인 것은 시린지 형태의 실러에 포함된 thickening agent에 의한 작용으로 생각된다(10).

또한 길모어 니들을 이용해 압흔과 관통이 되는 지 보기 위해 실험 중 37 °C incubator을 열어 확인하는 과정에서 내부의 온도가 37 °C를 유지하지 못하고 낮아지는데, 이는 재료가 천천히 반응하게 되어 경화시간이 길어지는 결과를 초래한다. 따라서 각 재료의 실제 임상 상황에서의 경화시간은 추가적으로 평가할 필요가 있다. 본 실험에서는 각 재료와 실험방법 당 3개의 시편만을 사용했는데, 추후 연구에서는 통계 분석의 용이성을 위해서 5개 이상의 시편을 사용하고, 정확한 예비실험을 통해 incubator를 여는 시간을 최소화하여 보다 정확한 경화시간을 측정할 필요가 있다고 생각된다. 또한 실제로 in vivo 환경에서 재료의 경화시간과 추가로

비교할 필요성이 있다.

본 실험에서는 ISO 표준에 따라 근관 충전용 실러로 사용되는 재료들과 치근단 수복에 사용되는 재료들에 대해 두 가지 종류의 길모어 니들을 사용하여 압흔과 관통방법에 따른 경화시간을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다. Indenter A를 사용한 경우 두 가지 측정방법간에 유의한 차이가 없었고 Indenter B를 사용한 경우 ProRoot MTA에서만 관통방법이 압흔방법보다 짧은 경화시간을 나타냈다. 임상상황에의 적용에 대한 추가적인 연구가 필요하지만, 근관 충전용 실러 및 치근단 충전에 사용되는 재료에 압흔방법이 관통방법보다 비교적 생리적 상황을 유사하게 반영하여 경화시간을 나타낸다고 결론지을 수 있다.

## 사 사

본 연구는 정부(과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 보건복지부, 식품의약품안전처)의 재원으로 범부처전주기의료기기연구개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제고유번호: RS-2020-KD000045).

## 참고문헌

1. Khandelwal A, Janani K, Teja KV, Jose J, Battineni G, Riccitiello F, et al. Periapical Healing following Root Canal Treatment Using Different Endodontic Sealers: A Systematic Review. *Biomed Res Int.* 2022; 2022:1-9.
2. Jung C, Kim S, Sun T, Cho YB, Song M. Pulp-dentin regeneration: current approaches and challenges. *J Tissue Eng.* 2019;10:2041731418819263.
3. Cho YB. Perspective of endodontic sealers based on calcium silicate. *Korean J Dent Mater.* 2022;49(4):243-50.
4. Gomes-Filho JE, Moreira JV, Watanabe S, Lodi CS, Cintra LTA, Dezan Junior E, et al. Sealability of MTA and calcium hydroxide-containing sealers. *J Appl Oral Sci.* 2012;20(3):347-51.

5. Grossman LI, Oliet S, Del Rio CE. Endodontic practice, 11th ed. Lippincott Williams & Wilkins, editors, Philadelphia (PA): Lea & Febiger; 1988.
6. Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, Bhat A, Primus C, Imai Y. Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dent Mater J.* 2020;39(5):703-20.
7. Pang NS, Choi D, Jung J, Gwak E, Park W, Jung BY, et al. Root Canal Sealers: from Conventional Sealers to the Contemporary Sealers. *J Korean Acad Adv Gen Dent.* 2017;6(2):65-72.
8. Kim Y, Lee D, Kye M, Ha YJ, Kim SY. Biocompatible Properties and Mineralization Potential of Premixed Calcium Silicate-Based Cements and Fast-Set Calcium Silicate-Based Cements on Human Bone Marrow-Derived Mesenchymal Stem Cells. *Materials (Basel).* 2022;15(21):7595.
9. Grech L, Mallia B, Camilleri J. Investigation of the physical properties of tricalcium silicate cement-based root-end filling materials. *Dent Mater J.* 2013;29(2): e20-8.
10. Zamparini F, Prati C, Taddei P, Spinelli A, Di Foggia M, Gandolfi MG. Chemical-Physical Properties and Bioactivity of New Premixed Calcium Silicate-Bioceramic Root Canal Sealers. *Int J Mol Sci.* 2022;23(22):13914.
11. Moon SH, Shin SJ, Oh S, Bae JM. Antibacterial Activity and Sustained Effectiveness of Calcium Silicate-Based Cement as a Root-End Filling Material against *Enterococcus faecalis*. *Materials (Basel).* 2023;16(18): 6124.
12. Vivan RR, Zapata RO, Zeferino MA, Bramante CM, Bernardineli N, Garcia RB, et al. Evaluation of the physical and chemical properties of two commercial and three experimental root-end filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010;110(2):250-6.
13. Silva EJNL, Ehrhardt IC, Sampaio GC, Cardoso ML, Oliveira D da S, Uzeda MJ, et al. Determining the setting of root canal sealers using an in vivo animal experimental model. *Clin Oral Investig.* 2021;25(4): 1899-906.
14. Kim D, Lee H, Chung M, Kim S, Song M, Kim E. Effects of fast- and slow-setting calcium silicate-based root-end filling materials on the outcome of endodontic microsurgery: a retrospective study up to 6 years. *Clin Oral Investig.* 2020;24(1):247-55.
15. Cho YB. A review of the physical, chemical properties of MTA. *Korean J Dent Mater.* 2015;42(1):51-6.
16. International Organization for Standardization. ISO 6867:2012. Dentistry - Root canal sealing materials. Geneva: ISO; 2012.
17. Park YJ, Kang JH, Hyeon S, Song HJ, Park YJ. Effect of compositional variation of dental MTA cements on setting time. *Korean J Dent Mater.* 2021;48(2):99-118.
18. International Organization for Standardization. ISO 3107:2022. Dentistry-Zinc oxide-eugenol cements and non-eugenol zinc oxide cements. Geneva: ISO; 2022.
19. American Society for Testing and Materials. ASTM C 266-03. Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic-Cement Paste by Gillmore Needles. Philadelphia: ASTM; 2000.
20. Abu Zeid ST, Mokeem Saleh AA, Khafagi MGED, Abou Neel EA. Setting reaction of new bioceramic root canal sealers. *Spectrosc Lett.* 2018;51(8):426-30.
21. Koo J, Kwak SW, Kim HC. Differences in setting time of calcium silicate-based sealers under different test conditions. *J Dent Sci.* 2023;18(3):1042-6.
22. Xuereb M, Vella P, Damidot D, Sammut CV, Camilleri J. In situ assessment of the setting of tricalcium silicate-based sealers using a dentin pressure model. *J Endod.* 2015;41(1):111-24.
23. De Camargo RV, Silva-Sousa YTC, Da Rosa RPF, Mazzi-Chaves JF, Lopes FC, Steier L, et al. Evaluation of the physicochemical properties of silicone- and epoxy resin-based root canal sealers. *Braz Oral Res.* 2017;31:e72.



## 측정 방식에 따른 근관 충전용 실러와 치근단 수복 재료의 경화시간 비교

심규연<sup>1</sup>, 신성진<sup>2</sup>, 오승한<sup>1,3</sup>, 배지명<sup>1,3,4,\*</sup>

<sup>1</sup>원광대학교 치과대학 치과생체재료학교실

<sup>2</sup>단국대학교 조직재생공학연구소

<sup>3</sup>원광대학교 생체재료매식연구소

<sup>4</sup>원광대학교 근골격 및 면역질환 연구소

본 연구는 치과용 근관 충전용 실러와 치근단 수복에 사용되는 칼슘 실리케이트 시멘트에 대해 측정방법에 따른 경화시간의 차이를 평가하고자 하였다. 실험에 사용된 재료는 근관 충전용 실러5종과 치근단 수복용 칼슘 실리케이트 시멘트 4종이었다. 경화되는 동안 모든 재료는 각 제조사의 지시에 따라 혼합하여 37 °C, 상대습도 95% 통에서 보관하였다. 측정 방법은 1/4 파운드 길모어 니들(Indenter A)과 1파운드 길모어 니들(Indenter B)을 이용해서 압흔이 남지 않는 시간과 시편 두께인 2 mm를 관통하지 않는 시간, 2가지 방법으로 측정하였다. 압흔의 여부는 길모어 니들을 수직으로 놓았을 때, 육안으로 재료 표면에 자국이 남지 않는 때를 기준으로 하였다. 같은 종류의 길모어 니들을 사용하여 압흔이 남지 않는 시간과 시편 전체를 관통하지 않는 시간을 비교하였을 때, ProRoot MTA에서만 통계적으로 유의한 차이가 있었고( $P < 0.05$ ) 다른 재료들에서는 측정 방법 간의 차이가 없었다( $P > 0.05$ ). 본 실험을 통해 압흔방법을 통해 비교적 실제 임상상황과 유사한 경화시간을 측정할 수 있을 것이라고 기대한다.

**색인단어** : 경화시간, 근관 충전용 실러, 치근단 수복, 칼슘 실리케이트 시멘트, 길모어 니들

---