

치근단 역충전용 포틀랜드 시멘트 신복합재료의 물리적 성질 고찰

이상진 · 조옥인 · 염지완 · 박정길 · 허 복 · 김현철*

부산대학교 치의학전문대학원 치과보존학교실

ABSTRACT

Physical properties of novel composite using Portland cement for retro-filling material

Sang-Jin Lee, Ok-In Cho, Jiwan Yum, Jeong-Kil Park, Bock Hur, Hyeon-Cheol Kim*

Department of Conservative Dentistry, Pusan National University School of Dentistry, Yangsan, Korea

Objectives: The aim of this study was to compare apical sealing ability and physical properties of MTA, MTA - AH-plus mixture (AMTA) and experimental Portland cement - Epoxy resin mixture (EPPC) for a development of a novel retro-filling material.

Materials and Methods: Forty-nine extracted roots were instrumented and filled with gutta-percha. Apical root was resected at 3 mm and the retro-filling cavity was prepared for 3 mm depth. Roots were randomly divided into 3 groups of 15 roots each. The retro-filling was done using MTA, AMTA, and EPPC as the groups divided. Four roots were used as control groups. After setting in humid condition for 24 hours, the roots were immersed in 1% methylene blue dye solution for 72 hours to test the apical leakage. After immersion, the roots were vertically sectioned and photos were taken to evaluate microleakage. Setting times were measured with Vicat apparatus and digital radiographs were taken to evaluate aluminum equivalent thickness using aluminum step wedge. The results of microleakage and setting time were compared between groups using one-way ANOVA and Scheffe's post-hoc comparison at the significance level of 95%.

Results: AMTA and EPPC showed less microleakage than MTA group ($p < 0.05$). AMTA showed the highest radio-opacity than other groups and the novel EPPC showed 5 mm aluminum thickness radio-opacity. EPPC showed the shortest initial and final setting times than other groups while the MTA showed the longest ($p < 0.05$).

Conclusions: Under the condition of this study, the novel composite using Portland cement-Epoxy resin mixture may useful for retro-filling with the properties of favorable leakage resistance, radio-opacity and short setting time. [J Kor Acad Cons Dent 2010;35(6):445-452.]

Key words: Epoxy resin; MTA; Portland cement; Radio-opacity; Retro-filling; Setting time

-Received 4 June 2010; revised 24 August 2010; accepted 30 August 2010-

Lee SJ, DDS, MS, PhD student; Cho OI, DDS, MS, PhD student; Yum J, DDS, MS, PhD student, Clinical lecturer; Park JK, DDS, PhD, Associate Professor; Hur B, DDS, PhD, Professor; Kim HC, DDS, PhD, Associate Professor, Department of Conservative Dentistry, Pusan National University School of Dentistry, Yangsan, Korea

*Correspondence to Hyeon-Cheol Kim, DDS, PhD.

Associate Professor, Department of Conservative Dentistry, Pusan National University School of Dentistry, 3-3 Beomeo-ri, Mulgeum, Yangsan, Korea 626-810

TEL, +82-55-360-5222; FAX, +82-55-360-5214; E-mail, goldident@pusan.ac.kr

*본 연구는 2010년도 부산대학교병원 임상연구비 지원으로 이루어졌음.

서론

1993년에 치근단 치근단 역충전 및 근관 천공부 충전재료로 소개된 mineral trioxide aggregate (MTA)는 그 목적에 적합한 성질을 가진 유용한 치과재료로 임상적 여러 분야에 확대 적용되고 있다.¹ MTA의 밀폐능력과 생체친화성은 여러 연구²⁻⁴에서 입증되었고 이러한 장점으로 인해 MTA는 치근단 역충전, 천공부 충전뿐만 아니라 치수 복조, 치수 절단술, 근첨폐쇄술 (apexification: artificial apical barrier placement), 근첨유도술 (apexogenesis) 및 재혈관화 (revascularization) 등의 술식에 사용되는 대표적인 치과재료로 자리잡고 있다.³⁻⁸ 하지만 MTA는 임상적용에 있어서 너무 긴 경화시간과 불리한 조작성이 여전히 문제가 되고 있다.^{9,10} 제조사에 따른 ProRoot MTA (Dentsply Tulsa Dental, Johnson City, TN, USA)의 경화시간은 4-6 시간이며, 다른 연구보고에 따르면 75분¹¹에서 4시간¹²에 이르며 심지어 72시간¹³에 이른다는 보고도 있을 정도로 다양하다. 이렇게 긴 경화시간은 근첨폐쇄술, 치수 복조술 등의 임상술식을 시행하는 경우 환자의 추가 내원을 필요로 할 수 있으며, 특히 치근단 수술의 경우처럼 조직액이나 혈액에 노출될 수 있는 상황에서는 경화되지 않은 MTA는 씻김 (wash-out) 현상이 생겨 미세누출에 의한 실패를 초래할 수 있다. 또한 제조사의 권고사항인 3 : 1 (분말 : 액)의 분액비로 혼합한 MTA를 역충전 와동에 적용하기가 어렵다는 것에 많은 임상가들이 동의한다. 이러한 MTA의 단점을 극복하고자 다양한 첨가물에 의한 경화시간의 촉진, 적용기구의 개발, 새로운 대체물의 개발 등이 연구 발표되고 있다.¹⁴⁻¹⁶

본 연구는 치근단 역충전 재료로서 MTA의 이러한 단점을 극복할 수 있는 재료로 MTA와 AH-plus root canal sealer의 혼합물과 개발재료인 신개발재료인 Portland cement-Epoxy resin 복합물의 여러 물성을 MTA와 비교 분석하여 임상에 보다 쉽게 적용할 수 있는 새로운 역충전 재료의 개발을 목적으로 시행되었다.

재료 및 방법

완성된 치근을 가진 49개의 발거된 인간 단근치를 사용하

였다. 모든 치아는 초음파를 이용하여 세척 후 5.25% 차아염소산나트륨 (NaOCl) 용액에 20분간 담근 후 생리 식염수로 다시 세척하였다. 저속 다이아몬드디스크 (Horico diamond disk 350; Pfingst & Company, Inc., South Plainfield, NJ, USA)를 사용하여 모든 치아의 임상 치관을 잘라내었다. #10 K-file을 사용하여 치근단공을 통과시킨 후 근첨공을 지나는 길이에서 0.5 mm 뺀 길이를 작업장으로 결정한 후 ProTaper Universal NiTi file (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)을 사용하여 F2 크기까지 근관을 성형하였다. 근관형성을 하는 동안 세척액은 5.25% 차아염소산나트륨 용액을 사용하였고 최종세척은 15% EDTA 용액을 2분간 적용하였다. 치근단 형성은 모두 #30 K-file을 사용하여 완성한 후 AH-plus sealer를 근관 내에 paper point를 이용하여 도포하고 continuous wave of condensation technique으로 충전하였다. 근관 접근과동은 자가중합 Glass Ionomer cement (Ketac-Fil: 3M ESPE, St. Paul, MN, USA)로 충전하였다.

미세누출

근관충전이 끝난 모든 치근은 저속 디스크를 사용하여 치아 장축에 수직으로 근단공에서 3 mm 떨어진 곳을 절단하였다. 모든 치근은 표면에 nail varnish를 2회 도포하여 완벽한 밀폐를 도모하였다. 음성 대조군으로 사용할 2개의 치근을 제외한 모든 치근은 길이 3 mm, 폭 1 mm인 실린더형 다이아몬드 버를 이용하여 3 mm 깊이의 근단 역충전 와동을 형성하였다. 치근은 무작위로 15개씩 3개의 실험군으로 분류하였다 (Table 1).

첫번째 MTA군은 제조사의 지시 (powder : liquid = 3 : 1)에 따라 혼합한 MTA를 hand plugger (S-Kondensor; Obtura Corporation, Fenton, MO, USA)로 치근단 와동을 역충전하였다. 충전이 끝난 모든 치근단 와동은 멸균 증류수에 적신 면구를 사용하여 다듬어 마무리하였다. 두 번째 AMTA군은 MTA와 AH-plus sealer의 혼합물 (1 : 1 중량비)을 충전용 Centrix syringe (C-REZ syringe & tip; Centrix dental Coporation, Shelton, CT, USA)를 사용하여 주입 충전하고 알코올 솜을 사용하여 잉여 충전물

Table 1. Experimental groups

Group	No.	Material preparations
MTA	15	MTA mixed with sterile water as manufacturer's instruction
AMTA	15	MTA mixed with AH plus sealer
EPPC	15	Portland cement mixed with epoxy resin, barium sulfate
Positive control	2	Apical preparation and no apical filling
Negative control	2	No apical preparation and nail varnish coating on entire root surface

MTA, mineral trioxide aggregate; AMTA, AH-plus mixture; EPPC, epoxy resin mixture.

을 제거하고 다듬었다. 세 번째 EPPC군은 Portland cement와 Epoxy resin을 혼합 (1 : 1 wt. Ratio)하고 방사선 불투과성을 위하여 Barium Sulfate를 35% 중량비로 추가 혼합한 후 AMTA군과 같은 방법으로 주입 충전하였다. 2개의 치근은 양성 대조군으로 사용하기 위하여 역충전을 시행하지 않았다.

역충전이 완료된 모든 실험군은 상온에서 젖은 거즈로 덮고 밀폐 용기에서 24시간 동안 경화되도록 하였다. 이 후, 1% Methylene blue 용액에 72시간 동안 담가 미세누출 착색이 일어나도록 하였다. 치근을 세척 및 건조시킨 후, 저속 다이아몬드 디스크를 사용하여 근단부 역충전 재료를 종단하도록 치아 장축 방향으로 5 mm 이상 치근단을 분리하고 다시 절단된 부위의 치관측을 치아 장축에 수직으로 절단한 후 파절 시켜 시편을 제작하였다. 근단부 미세누출을 평가하기 위해 디지털카메라 (Canon 350D; Canon Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 각 시편의 절단면을 사진촬영하였다.

미세 누출의 평가는 역충전 와동의 수직벽을 따르는 누출을 평가하였으며, 수직적인 누출이 없는 경우는 0점, 1 mm 이내는 1점, 1-2 mm는 2점, 2-3 mm는 3점, 와동측벽을 지나쳐 근단부 역충전 와동의 치관측 상연까지 착색이 일어난 경우는 4점으로 점수를 부여하였다.

경화시간

각 재료의 경화시간은 주문 제작한 Vicat apparatus를 사용하여 측정하였다. 직경 1 mm의 Vicat needle을 사용하였으며 300 g 무게로 시편에 압입 하중을 가하였다. 역충전에 적용한 동일한 방법으로 각 실험군을 5개씩 혼합하여 혼화가 완료된 시점부터 5분 간격으로 경화 정도를 평가하였다.

Vicat needle의 팁이 5 mm 이내의 깊이로 침하가 일어나기 시작하는 시간을 초기 경화시간 (Initial setting time)으로 결정하였고, 혼화물의 표면에 Vicat needle에 의한 흔적이 나타나지 않는 시점을 최종 경화시간 (Final setting time)으로 기록하였다.¹⁷ 대기 습도 (건조도)에 의한 경화시간 차이가 나타나지 않도록 측정시간을 제외하고는 밀폐 공간에 시편을 유지하였다.

방사선 불투과도

각 재료들을 실험비율에 따라 혼합하여 두께 1 mm, 내경 8 mm로 주문 제작한 금속링 (washer)에 채워 넣어 방사선 불투과도 측정용 시편을 만들었다. 완전히 경화된 시편을 각 3개씩 만들어 순수 (99%이상) aluminum으로 제작한 step wedge (1-10 mm 두께)와 함께 방사선사진을 촬영하였다 (Figure 1). 디지털 X-ray sensor (Schick

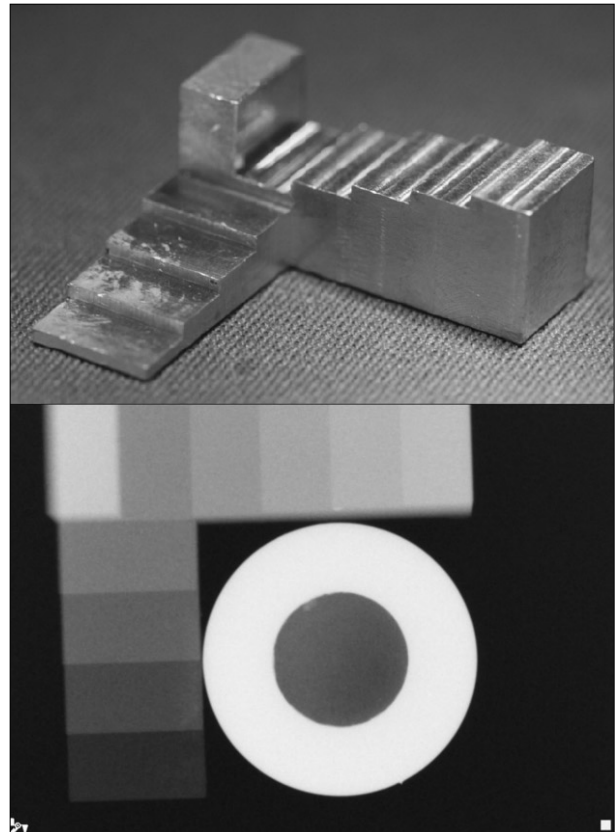


Figure 1. Aluminum step-wedge used in this study and representative digital radiograph image.

technology Inc., Long Island City, NY, USA)를 사용하여 60 Kv, 2 mA, 0.08초 노출시간의 촬영 조건으로 시편에서 10 cm 떨어진 곳에서 촬영하였다. 디지털 X-ray 이미지를 Photoshop (Adobe photoshop 7.0; Adobe systems Incorporated, San Jose, CA, USA)을 사용하여 aluminum wedge equivalent thickness (mmAl)를 평가하였다.

통계 분석

미세 누출 점수와 경화시간에 대해 각 군간의 차이를 SPSS ver. 12.0 (SPSS, Chicago, IL, USA)을 사용하여 통계 처리하였다. 일원배치분산분석 및 Scheffe 사후 검증으로 유의수준 95%에서 시행하였다.

결 과

미세누출

미세누출 점수를 부여한 예를 Figure 2에 나타냈다.

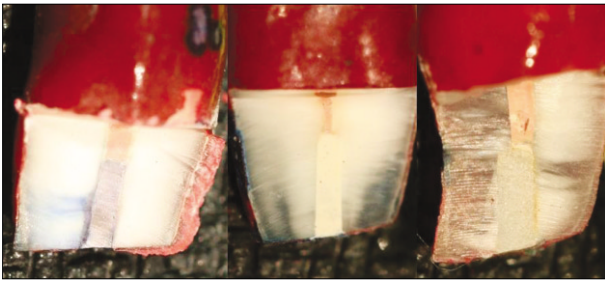


Figure 2. Representative samples from each group with dye leakage score. MTA specimen shows leakage with score 2 and AMTA and EPPC specimens show no leakage. MTA, mineral trioxide aggregate; AMTA, AH-plus mixture; EPPC, epoxy resin mixture.

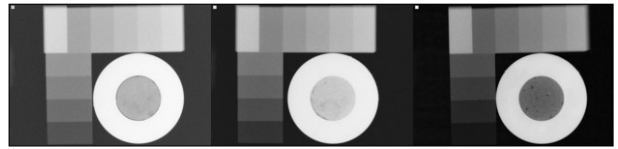


Figure 3. Representative samples of radiograph from each group with aluminum step wedge (Left: MTA with 6 mmAl, Mid: AMTA with 10 mmAl, and Right: EPPC with 5 mmAl).

MTA, mineral trioxide aggregate; AMTA, AH-plus mixture; EPPC, epoxy resin mixture.

Table 2. Leakage score, setting time (min) and aluminum equivalent radio-opacity (mmAl)

	Leakage	Setting time (min)		Radio-opacity (mmAl)
		Initial	Final	
MTA	2.8 ± 0.8^a	164 ± 9^b	594 ± 36^a	5.7
AMTA	0.8 ± 0.9^b	183 ± 4^a	404 ± 92^b	9.7
EPPC	1.0 ± 1.1^b	62 ± 4^c	83 ± 3^c	5

MTA, mineral trioxide aggregate; AMTA, AH-plus mixture; EPPC, epoxy resin mixture.

^{a,b,c}; Different superscripts means significant differences between groups in vertical row ($p < 0.05$).

AMTA와 EPPC가 MTA보다 낮은 미세누출을 보였다 ($p < 0.05$, Table 2).

경화시간

EPPC군이 다른 군에 비해 가장 빠른 경화시간을 보였다 ($p < 0.05$, Table 2). 최종 경화시간은 MTA가 약 10시간이 걸렸지만 EPPC군은 평균 83분으로 나타났다.

방사선 불투과도

각 군의 aluminum equivalent radiopacity를 측정한 방사선 사진의 예를 Figure 3에 나타냈다. AMTA가 가장 높은 평균 불투과도인 9.7 mmAl로 측정되었고 EPPC는 5 mmAl, MTA는 5.7 mmAl의 평균 불투과도를 보였다.

고 찰

MTA는 뛰어난 밀폐능력, 생체친화성, 항균성, 방사선 불투과성 등 치근단 역충전 재료로서의 많은 장점을 가지고 있음이 많은 연구들에서 입증되었다.^{1,2,11,12} 하지만 이런 많은 장점과 함께 MTA는 긴 경화시간, 조작의 어려움, 고비용이라는 문제점도 동시에 가지고 있다. 먼저 긴 경화시간

은 조직액과 혈액 등에 장시간 노출되어야 하는 치근단 역충전 재료의 특성상 충진된 재료의 wash-out이 문제점으로 제기되고 있고,¹⁰ 이를 극복하고자 많은 연구와 시도가 이루어지고 있다. 일반적으로 시도되는 방법은 MTA에 경화촉진제를 첨가하는 방법이다. Wiltbank 등¹⁴은 MTA에 Portland cement accelerator로 Calcium chloride, Calcium nitrite/Calcium nitrate, Calcium formate 등을 첨가했을 때 유의할만한 경화시간 단축을 보고하였고, 또 다른 최근 연구에서는 15% Disodium hydrogen orthophosphate(Na_2HPO_4) 액을 MTA와 혼합함으로써 물성의 변화가 없는 성공적인 경화시간의 단축을 나타냈다고 보고하였다.^{18,19}

치근단 수술과정은 특성상 시야가 좁고 기구의 접근성이 제한될 수밖에 없으며 이러한 영역에 사용되는 재료의 조작성은 임상사용에 있어서 매우 중요한 요소이다. MTA는 granular consistency를 가지고 있음으로 해서 조작시간 (working time)이 불과 4분여 정도로 짧고 조작성이 떨어지며, 이를 극복하고자 특별히 고안된 이송 기구도 개발되었지만 여전히 임상 사용에는 어려움이 없지 않다. Ber 등은 MTA에 1%의 Methycellulose-anti-washout ingredient를 첨가했을 때 zinc oxide eugenol cement과 유사한 정도의 조작성을 얻을 수 있었다고 보고하고 있고,²⁰ Kogan 등의 연구에서는 NaOCl gel, K-Y Jelly와 5%

CaCl₂을 MTA와 혼합했을 때 경화 시간의 단축과 더불어 조작성의 향상이 있었다고 보고했다.²¹ 또 다른 최근 연구²²에서는 23.1wt%의 calcium lactate gluconate 용액을 물 대신에 MTA와 혼합해 사용 함으로서 경화시간의 단축뿐 아니라 뛰어난 조작성을 얻을 수 있다고 발표했다.

근관치료에 사용되는 epoxy resin 계열의 sealer인 AH-plus는 근관충전 시 미세누출의 차단에 매우 효과적인 재료로 보고되고 널리 사용되고 있다.²³ 또한 AH-plus의 생체친화성이나 독성에 대한 여러 가지 연구에서도 양호한 결과를 보고하고 있다. Leyhausen 등의 연구에서는 AH-plus의 경우 유전독성 (genotoxicity)이나 세포독성 (cytotoxicity)이 거의 없다고 보고했고,²⁴ Scarparo 등이 발표한 다른 종류의 sealer와의 비교연구에서도 제한적인 초기의 염증반응만이 나타났다고 보고하고 있다.²⁵ 최근 개발된 Methacrylate-based resin sealer인 EndoRez, Epiphany, Metaseal 등과의 비교연구에서도 AH-plus가 생체적합성 및 세포 독성 비교에서 모두 더 양호한 결과를 보였다.²⁶

따라서 본 실험에서는 미세누출 차단과 생체적합성에서 모두 뛰어난 결과를 보이는 AH-plus와 MTA를 섞어 사용함으로써 조작성의 확보와 폐쇄 능력 향상, 생체적합성을 얻을 수 있을 것으로 기대하고 실험군에 포함하였으며, 이러한 가능성을 바탕으로 AH-plus의 주성분인 epoxy resin과 MTA와 성분이 유사한 Portland cement의 복합물을 새로운 치근단 역충전 재료로 개발 및 제안하고자 본 연구를 시행하였다.

이번 연구에서 사용한 AH-plus-MTA mixture, Portland cement-Epoxy resin mixture는 모두 Centrix syringe를 사용한 주입 충전이 용이하였으며 알코올 솜을 사용한 마무리에도 적절한 점도 및 조작성을 가지고 있었다. 이렇게 주입 방법에 의한 조작이 가능한 것은 Epoxy resin을 전달 및 기저체로 사용하였기 때문이다. 하지만, EPPC group의 경우 몇몇 시편에서 역충전 상태 혹은 미세누출의 평가과정에 충전물 내부에 기포가 혼입 된 것이 발견되기도 하였다. 이는 방사선 불투과성 확보를 위해 수작업으로 진행한 Barium Sulfate의 혼화 과정 중에 나타났거나 주입충전을 위한 syringe내로 넣는 과정에서 유입된 공기에 의한 영향도 있을 것으로 사료된다. 그렇지만 이러한 기포 혼입에도 불구하고 미세누출 실험결과 또한 MTA를 단독으로 사용한 경우보다 Epoxy resin과 혼합한 AMTA, 개발중인 EPPC group에서 유의하게 적은 미세누출을 보였다. 이는 조작성 향상에 의해 주입 충전 후 충분한 가압이 가능했던 점과 Epoxy resin이 가지는 접착 밀폐 효과에 의한 것으로 사료된다.^{27,28} 이러한 미세 누출 감소 결과는 methacrylate 계열의 resin을 MTA와 혼합하여 실험한 이전의 Kim 등의 연구 결과와도 일치된다.²⁹

MTA의 또 다른 단점 중 하나는 너무 고가의 재료라는 문

제이며, 이런 이유로 MTA와 chemical composition이 유사한 Portland cement가 MTA의 대체 재료로서 많이 연구되고 있고,^{9,30-32} 특히 생체 독성 문제에 있어서도 Portland cement가 MTA와 유사하다는 결과가 보고되고 있다.³³ 따라서 이번 연구에서 사용한 Portland cement-Epoxy resin mixture는 저가의 대체재로서도 가능성 있는 재료로서 선택되었다. Portland cement 등의 hydraulic cement의 경화시간 측정에는 Vicat needle,¹⁷ Gilmore needle^{34,35} 등을 사용하는데 이번 연구에서는 1 mm 직경의 Vicat needle을 이용하여 300 g의 하중으로 조사하였다. 본 실험에서는 Vicat method에 따라 초기 경화시간과 최종 경화시간을 구분하여 측정하였는데, 이번 연구에서 측정한 MTA의 최종 경화시간은 10시간이나 되어 일반적으로 발표된 평균 MTA 경화 시간인 164분^{11,12}에 비해 훨씬 늦은 경화 시간을 보였다. 아마도 기존 연구에서 발표된 경화시간은 초기 경화시간일 수도 있을 것으로 판단된다. 그러나 최종 경화 이전까지는 습도나 수분에 의한 wash-out 현상이 일어날 수도 있으므로 최종 경화시간을 비교하는 것이 적절할 것으로 사료된다. 또한 MTA의 특성에 의해 분백비, 혼화 방법이나 시간, 응축 시의 압력, 습도 등 주위여건에 의해 경화 시간이 다양하게 나타난 것으로 추정된다.^{13,21,36-37} 본 실험에서는 EPPC가 최종 경화시간이 가장 짧고 MTA가 가장 길게 측정되었다. MTA는 일반적으로 Portland cement에 비해 긴 경화시간을 가지는 것으로 발표되는데, 이는 MTA가 sulfur와 tricalcium aluminate가 상대적으로 적게 함유되었기 때문이다.³⁸ 본 실험에서 AMTA의 긴 경화시간은 AH-plus sealer의 긴 경화시간 (제조사 발표 자료; 8시간) 때문인 것으로 사료된다. AH-plus 자체의 경화시간보다 약 1시간 짧은 정도의 최종 경화시간을 보였는데 이는 MTA powder의 추가에 의한 것으로 판단된다. 실험적 재료인 EPPC는 상대적으로 아주 짧은 경화시간을 나타냈는데 이는 epoxy resin의 경화에 주로 의존했기 때문인 듯 하며 이는 임상 적용 시 장점이 될 수 있을 것이라고 추정된다.

방사선 불투과성 검사 결과는 AMTA군에서 가장 높게 나타났다는데 이는 제조사가 발표한 13.6 mmAl에 이르는 AH-plus sealer가 가지는 본래의 높은 방사선 불투과성 기인한 것으로 보인다. 실험적 복합물인 EPPC군은 MTA와 유사한 정도로 나타났으며 임상사용에 적절할 것으로 생각된다. EPPC군에서는 방사선 불투과성을 위해 중량비 35%의 barium sulfate를 첨가하였는데 Bismuth oxide를 첨가한 다른 연구 보고^{30,39}에 비추어 볼 때, barium sulfate에 의한 물성변화 혹은 혼합비율에 따른 차이에 대해서 추가 연구도 필요할 것으로 생각된다.

아울러 이번 연구에서 복합물의 일부로 사용한 MTA 혹은 Portland cement는 수분을 사용하지 않고 혼화하였으

므로, 수분과 접촉 함으로서 생기는 수화 과정⁴⁰이 제한되었을 것이다. 이는 수화 과정에 의해 형성되는 부산물의 생성 또한 제한 됨을 의미하며, MTA가 가지는 생체친화적인 장점 즉 강알칼리성 성분에 의한 항염 작용 등이 발현되지 않을 수도 있을 것으로 추정된다.

이상의 연구결과에 비추어 Portland cement-epoxy resin mixture는 치근단 역충전 재료로 사용하기에 충분한 조작성을 가졌고, MTA에 비교해 유의할만한 미세누출의 감소를 보였기에 치근단 역충전 재료로서의 뛰어난 물리적 성질을 가진 것으로 보인다. 그러나, 향후 이 혼합물의 생체 적합성 및 독성에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

결 론

본 연구의 조건 하에서, 신개발 재료인 EPPC는 치근단 역충전 재료로서 기존의 MTA보다 양호한 밀폐능력과 방사선 불투과성 및 짧은 경화시간 등의 역충전 재료로서 적절한 물리적 성질을 가진 것으로 보인다.

References

- Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *J Endod* 1993;19:591-595.
- Camilleri J, Pitt Ford TR. Mineral trioxide aggregate: a review of the constituents and biological properties of the material. *Int Endod J* 2006;39:747-754.
- Pitt Ford TR, Torabinejad M, Abedi HR, Bakland LK, Kariyawasam SP. Using mineral trioxide aggregate as a pulp-capping material. *J Am Dent Assoc* 1996;127:1491-1494.
- Salako N, Joseph B, Ritwik P, Salonen J, John P, Junaid TA. Comparison of bioactive glass, mineral trioxide aggregate, ferric sulfate, and formocresol as pulpotomy agents in rat molar. *Dent Traumatol* 2003;19:314-320.
- Bakland LK. Management of traumatically injured pulps in immature teeth using MTA. *J Calif Dent Assoc* 2000;28:855-858.
- Witherspoon DE, Ham K. One-visit apexification: technique for inducing root-end barrier formation in apical closures. *Pract Proced Aesthet Dent* 2001;13:455-460.
- Holden DT, Schwartz SA, Kirkpatrick TC, Schindler WG. Clinical outcomes of artificial root-end barriers with mineral trioxide aggregate in teeth with immature apices. *J Endod* 2008;34:812-817.
- Banchs F, Trope M. Revascularization of immature permanent teeth with apical periodontitis: new treatment protocol? *J Endod* 2004;30:196-200.
- Camilleri J. The physical properties of accelerated Portland cement for endodontic use. *Int Endod J* 2008;41:151-157.
- Islam I, Chng HK, Yap AU. Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and portland cement. *J Endod* 2006;32:193-197.
- Chng HK, Islam I, Yap AU, Tong YW, Koh ET. Properties of a new root-end filling material. *J Endod* 2005;31:665-668.
- Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-filling material. *J Endod* 1995;21:349-353.
- Sluyk SR, Moon PC, Hartwell GR. Evaluation of setting properties and retention characteristics of mineral trioxide aggregate when used as a furcation perforation repair material. *J Endod* 1998;24:768-771.
- Wiltbank KB, Schwartz SA, Schindler WG. Effect of Selected Accelerants on the Physical Properties of Mineral Trioxide Aggregate and Portland Cement. *J Endod* 2007;33:1231-1234.
- Ber BS, Hatton JF, Stewart GP. Chemical modification of proroot mta to improve handling characteristics and decrease setting time. *J Endod* 2007;33:1231-1234.
- Asgary S, Shahabi S, Jafarzadeh T, Amini S, Kheirieh S. The properties of a new endodontic material. *J Endod* 2008;34:990-993.
- American Society for Testing and Materials. Standard test method for time of setting of hydraulic cement by Vicat needle. ASTM C191-04. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials; 2004.
- Huang TH, Shie MY, Kao CT, Ding SJ. The effect of setting accelerator on properties of mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2008;34:590-593.
- Ding SJ, Kao CT, Shie MY, Hung C Jr, Huang TH. The physical and cytological properties of white MTA mixed with Na₂HPO₄ as an accelerant. *J Endod* 2008;34:748-751.
- Ber BS, Hatton JF, Stewart GP. Chemical modification of ProRoot MTA to improve handling characteristics and decrease setting time. *J Endod* 2007;33:1231-1234.
- Kogan P, He J, Glickman GN, Watanabe I. The effects of various additives on setting properties of MTA. *J Endod* 2006;32:569-572.
- Hsieh SC, Teng NC, Lin YC, Lee PY, Ji DY, Chen CC, Ke ES, Lee SY, Yang JC. A novel accelerator for improving the handling properties of dental filling materials. *J Endod* 2009;35:1292-1295.
- Whitworth JM, Baco L. Coronal leakage of sealer-only backfill: an in vitro evaluation. *J Endod* 2005;31:280-282.
- Leyhausen G, Heil J, Reifferscheid G, Waldmann P, Geurtsen W. Genotoxicity and cytotoxicity of the Epoxy resin based root canal sealer AH plus. *J Endod* 1999;25:109-113.
- Scarpato RK, Grecca FS, Fachin EV. Analysis of tissue reactions to methacrylate resin-based, epoxy resin-based, and zinc oxide-eugenol endodontic sealers. *J Endod* 2009;35:229-232.
- Al-Hiyasat AS, Tayyar M, Darmani H. Cytotoxicity evaluation of various resin based root canal sealers. *Int Endod J* 2010;43:148-153.
- De Almeida WA, Leonardo MR, Tanomaru Filho M, Silva LA. Evaluation of apical sealing of three endodontic sealers. *Int Endod J* 2000;33:25-27.
- Oguntebi BR, Shen C. Effect of different sealers on thermoplasticized Gutta-percha root canal obturations. *J Endod* 1992;18:363-366.
- Kim JC, Kim MR, Ko HJ, Won KY. Apical microleakage of MTA with 4-META/MMA & TBB resin as a root-end filling material. *J Kor Acad Cons Dent* 2009;

- 34:371-376.
30. Coomaraswamy KS, Lumley PJ, Hofmann MP. Effect of bismuth oxide radioopacifier content on the material properties of an endodontic Portland cement-based (MTA-like) system. *J Endod* 2007;33:295-298.
31. Ribeiro DA, Duarte MA, Matsumoto MA, Marques ME, Salvadori DM. Biocompatibility in vitro tests of mineral trioxide aggregate and regular and white Portland cements. *J Endod* 2005;31:605-607.
32. Islam I, Chng HK, Yap AU. Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and portland cement. *J Endod* 2006;32:193-197.
33. Chang SW, Yoo HM, Park DS, Oh TS, Bae KS. Ingredients and cytotoxicity of MTA and 3 kinds of Portland cements. *J Kor Acad Cons Dent* 2008;33:369-376.
34. American Society for Testing and Materials. Standard test method for time of setting of hydraulic-cement paste by Gillmore needles. ASTM C266-03. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials; 2003.
35. International Organization for Standardization. Dental root canal sealing materials. ISO 6876:2001(E). Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2001.
36. Watts JD, Holt DM, Beeson TJ, Kirkpatrick TC, Rutledge RE. Effects of pH and mixing agents on the temporal setting of tooth-colored and gray mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2007;33:970-973.
37. Fridland M, Rosado R. Mineral trioxide aggregate (MTA) solubility and porosity with different water-to-powder ratios. *J Endod* 2003;29:814-817.
38. Dammaschke T, Gerth HU, Züchner H, Schäfer E. Chemical and physical surface and bulk material characterization of white ProRoot MTA and two Portland cements. *Dent Mater* 2005;21:731-738.
39. Saliba E, Abbassi-Ghadi S, Vowles R, Camilleri J, Hooper S, Camilleri J. Evaluation of the strength and radiopacity of Portland cement with varying additions of bismuth oxide. *Int Endod J* 2009;42:322-328.
40. Camilleri J. Hydration mechanism of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J* 2007;40:462-470.

국문초록

치근단 역충전용 포틀랜드 시멘트 신복합재료의 물리적 성질 고찰

이상진 · 조옥인 · 염지완 · 박정길 · 허 복 · 김현철*

부산대학교 치의학전문대학원 치과보존학교실

연구목적: 이 연구의 목적은 새로운 근단 역충전 재료를 개발하기 위해 MTA, MTA와 AH-plus 혼합물 (AMTA), 그리고 실험적 개발재료인 Portland cement-Epoxy resin composite (EPPC)의 미세 누출 및 물리적인 성질을 비교하는 것이다.

연구 재료 및 방법: 발거 치아 49개를 근관 성형하고 gutta-percha와 sealer로 충전하였다. 각 치아의 치근을 근단부 3 mm 에서 절단하고 3 mm 깊이의 역충전 와동을 형성하였다. 15개씩 무작위로 분류한 치근을 세 군으로 나누어 각각 MTA, AMTA, EPPC로 충전하였고 네 개의 치근은 대조군으로 사용하였다. 각 군의 재료로 역충전이 완료된 모든 실험군을 젖은 거즈로 덮고 24시간 동안 경화시켰다. 경화 후 72시간 동안 1% methylene blue 염색액에 담근 후, 치근단을 수직 절단하여 사진을 촬영하고 미세 누출을 평가하였다. Vicat apparatus를 사용하여 실험군 별로 경화시간을 측정하였으며, aluminum step wedge를 사용한 디지털 방사선 사진을 촬영하여 각 군의 방사선 불투과도를 평가하였다. 미세누출과 경화시간에 대해 각 군간의 차이를 일원배치분산분석 및 Scheffe 사후 검증으로 유의수준 95%에서 평가하였다.

결과: AMTA와 EPPC는 MTA군에 비해 적은 미세누출량을 보였다 ($p < 0.05$). AMTA는 가장 높은 방사선 불투과도를 보였으며 개발 재료인 EPPC군은 5 mm aluminum 두께의 방사선 불투과도를 보였다. MTA가 가장 긴 경화시간을 나타낸 반면 EPPC군은 다른 군에 비해 초기경화와 최종경화 모두 가장 짧은 경화시간을 나타냈다 ($p < 0.05$).

결론: 이 연구 조건하에서, 신개발 재료인 EPPC는 치근단 역충전 재료로서 기존의 MTA보다 양호한 밀폐능력과 방사선 불투과성 및 짧은 경화시간 등의 역충전 재료로서 적절한 물리적 성질을 가진 것으로 보인다.

주요단어: 경화시간; 방사선불투과도; 에폭시 레진; 역충전; 포틀랜드 시멘트; MTA