

근관치료에 사용되는 규산칼슘 실러의 관점

조용범*

단국대학교 치과대학 치과보존학교실

Perspective of endodontic sealers based on calcium silicate

Yong-Bum Cho*

Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry,
Dankook University, Cheonan, Republic of Korea

Calcium silicate based sealers (CSBS) were introduced under the background of a calcium silicate based hydrophilic cement (mineral trioxide aggregate: MTA), composed by tricalcium and dicalcium silicate. Inspired by the excellent sealing ability and biocompatibility of MTA, the sealers establish a biological point of view on the canal obturation. There is no doubt that premixed calcium silicate based sealers has gained wide acceptance in clinical application, but unstable setting time, slight solubility and retreatability of the CSBS might compromise the usage and value of the new class of endodontics sealers. Further clinical studies are required to improve the properties of the calcium silicate based sealers.

Keywords : Calcium silicate based sealer, biocompatibility, bioactive, sealing ability

서론

1965년 Kakehashi 등이 치수 및 치근단 병소의 발전에 세균이 주된 역할을 한다는 것을 무균 쥐와 일반 쥐 모델로 입증하였고(1), Moller 등은 원숭이를 이용하여 실험한 결과 괴사된 치수라도 세균에 의해 감염이 되지 않은 경우는 치근단조직의 염증 반응을 유발하지 않는다는 동일한 결과를 얻었다(2). 다시 말하면 근관 감염은 치수가 괴사된 후에만 얻어지며, 이후 세균 및 그 독성이 치근단 방향으로 점차

진행, 치근단공을 통하여 치근단조직으로 도달하여 염증을 유발한다. 그러므로 근관치료의 주된 생물학적 목표는 치근단 치주염을 특정하고 근관계를 소독한 다음, 재감염을 막기 위해 밀폐해야 한다는 것에 공통된 의견이지만, 이 목표를 어떻게 달성하는지에 대해서 이견이 많다(3, 4). 근관치료 성공의 3대 요소는 debridement(괴사 조직제거), thorough disinfection(철저한 근관소독), 그리고 obturation(근관충진)이다. 이 중 근관충진의 목적은 근관세정에 의해 소독된 근관이 재감염 되는 것을 막기 위함이며, 근관내를 카타퍼차

*Correspondence: Yong-Bum Cho (ORCID: 0000-0003-2299-6198)
119 Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam, 31116, Korea
Affiliation: Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Dankook University, Cheonan, Republic of Korea
Tel: +82-41-550-1966, Fax: +82-41-550-0118
E-mail: raindrop@dankook.ac.kr

와 같은 코어재료와 근관전색제(root canal sealer; 이하 “실러”라 칭함)를 사용하여 폐쇄하고 있다. 가타퍼차는 코어 용 재료로 약 170년 이상 사용되어 온 유일한 단일재료이나 (5) 그에 비해 실러는 ZnO-eugenol계, Resin계, Glass Ionomer계 그리고 수산화칼슘계통 등 다양한 성분을 가지고 수 많은 제품이 사용되고 있다. 실러는 근관 상아질벽과 가타퍼차 사이의 간극을 채우고, 근관과 치아주위조직과의 교통을 차단하는 것이 기본 요건이기에 세균이 통과할 수 없는(bacteria tight seal) 밀폐능력이 가장 중요한 성질이며, 또한 생체 친화적이어야 하며, 치근단 조직에 위해작용이 없어야 한다(6). 그 외에도 체적안정성, 낮은 용해도 등이 요구되는데 이를 만족하는 제품은 아직까지 없다. 최근 Mineral Trioxide Aggregate (MTA)의 우수한 밀폐효과와 생체 적합성을 실러에 채택할 수 없을까 하는 시도로 같은 성분인 규산칼슘 실러[calcium silicate based sealer (CSBS); 이하 ‘규산칼슘 실러’라 칭함]가 개발되어 임상에서 적용되고 있다. 하지만 MTA가 Portland cement와 같은 뿌리를 두고 있는 시멘트이므로 근관 내에서 경화 후 재 치료가 필요하여 제거할 필요가 있을 때에 치근단공까지 작업장 (working length)를 재설정 할 수 있어야 하며, 동시에 치근단공 개방(Patency)을 얻을 수 있어야 한다. 본 고찰의 목적은 규산칼슘 실러의 대표적인 성질과 재치료할 때의 가능성을 조사하여 향후 임상에 적용할 경우 참고가 되는 요인을 개략적으로 살펴보고자 함이다.

본 론

1. 일반 sealer-AH Plus

다양한 실러 중 레진계인 AH 실러군은 중합을 위해 methenamine을 사용한 bis-phenol resin이며 경화할 때 formaldehyde이 발생되어, 개량을 거쳐 AH Plus sealer (Dentsply DeTrey BmbH, Konstanz, Germany)가 시판되고 있다(7). AH Plus는 측방가압법, 열연화가압충전법 등 현재 임상에서 가장 많이 사용되는 실러이며 낮은 용해도 및 분해성을 갖고 있고 체적 안정성도 우수하다(8). 하지만 AH Plus 실러는 생체와 작용하는 성질이 없으며(9) 골형성

에 관여하지 않는다(10).

MTA의 등장과 그 장점

Calcium silicate를 근간으로 하는 친수성 시멘트가 1990년 초반에 Mineral trioxide aggregate (MTA)라는 이름으로 개발, 소개 되었는데(11), 이는 Portland cement 와 유사한 물질로 주로 50~75%의 calcium oxide, 15~25%의 silicon dioxide, 그리고 aluminum oxide를 함유하고 있다(12).

MTA는 기존 치과재료와는 달리 밀폐효과와 생체적합성이 우수하여 치근천공의 치유나, pulp capping의 재료에 권고되며 점차 치수절단술 약제, 치근단역충전, 치근침형성술, 치근흡수 그리고 치수재생술의 재료 추천, 사용되고 있다(13-15). 이러한 광범위한 적용은 MTA가 골형성을 유도 촉진하는 것에 기인하는데(16, 17), Torabinejad 등은 개의 치근단에 충전된 MTA가 18주 후에도 염증반응이 적고 또 MTA의 표면을 백악질이 감싸며 형성됨을 조직학적으로 발견하여 치근단 조직과 접촉할 때 MTA가 조직 치유를 촉진시키며 신생골과 백악질의 형성을 자극한다고 보고하였다(18). 이러한 골형성유도 성질은 기존 재료에서 볼 수 없었던 것으로 가타퍼차와 실러를 사용한 기존 충전법을 할 수 없는 치근단 미성숙 사례나 치근단이 비정상적으로 파괴된 경우에 orthograde MTA plug를 형성하여 양호한 결과를 얻을 수 있었다(19).

이러한 MTA의 우수한 밀폐효과, 생체적합성, 그리고 골형성 유도와 같은 특성을 이용하여 정상적인 근관치료에서 근관충전제로 사용하려는 시도가 있었으나 시멘트와 같은 점도와 성상을 가진 재료를 근관내에 적용하는 것도 쉽지 않으며, 좁고 만곡된 근관을 지나 치근단공까지, 또 isthmus와 같은 복잡한 해부학적 구조까지 충전하기 어렵다.

2008년 Premixed Biocement Paste (PBP)가 개발, 특허 출원되었는데 규산칼슘 호제는 밀폐되어 있는 포장상태로는 액체로 남아있다가 근관과 같은 수분이 있는 환경에 주입되면, 규산칼슘 혼합물인 C2S 또는 C3S 가 규산칼슘수화물(calcium silicate hydrate) 젤 (C-S-H)과 수산화칼슘을 형성하며 경화되게 고안되었다(20). 그러므로 현재 사용되는 규산칼슘 실러는 밀봉된 주사기 형태에 담겨 필요할 때 근관에 주입하는 형태이다.

2. 규산칼슘 실러의 대표적 성질

규산칼슘 실러는 기존의 MTA의 성질과 같은 생체활성을 보이며, 우수한 생체적합성, 항균성을 보이며, 그리고 높은 골형성 유도를 나타내기 위해 소개, 사용되고 있다. 생체친화성에 대하여 iRoot SP (Innovative Bioceramics, Vancouver, BC, Canada), mineral trioxide aggregate (MTA) Fillapex (FLPX) (Angelus Soluções Odontológicas, Londrina, Brazil), DiaRoot Bioaggregate (DiaDent Group International, Burnaby, BC, Canada) 그리고 white MTA (Angelus, Londrina, Brazil)를 쥐의 괴하결합조직에 이식하고 90일 동안 관찰한 결과 MTA FLPX를 제외하고 생체적합성이 있었다(21). 또한 Zhang 등은 7개의 다른 근관치료용 실러 (AH Plus, Apexit Plus, iRoot SP, Tubli Seal, Sealapex, Epiphany SE, EndoRez)의 항균효과를 *Enterococcus faecalis* 로 실험한 결과 규산칼슘 실러계인 iRoot SP는 7일이 경과된 후에도 항균효과를 나타냈다고 하였으며(22), Chang 등은 규산시멘트 계통의 실러들이 치주인대세포의 골형성 분화를 촉진함을 보고하였다(23).

MTA의 개발 초기에 다양한 장점을 무색하게 만든 것이 너무 긴 경화 시간이었다. 이에 비해 규산칼슘의 경화 시간은 실험마다 차이가 심하게 나타나는데, Khalil 등은 BioRoot RCS (BioRoot RCS; Septodont, St Maur-des-Fossés, France)와 AH Plus를 일정 형틀에 넣고 37 °C 100% 습도에 보관한 다음 경화 시간을 측정한 결과 기존의 레진계 실러인 AH Plus가 1154분이었으나 BioRoot RCS는 27분만에 경화되었다고 보고한 반면(24), 다른 보고에서는 같은 방법으로 BioRoot RCS와 AH Plus를 비교한 결과 AH Plus가 612분, 그리고 BioRoot RCS가 324분을 보였다고 하였다(25). 또 다른 연구에서 EndoSequence BC Sealer (Brasseler USA, Savannah, GA), EndoSeal MTA (MARUCHI, Wonju, Korea), and MTA Fillapex (Angelus Soluções Odontológicas, Londrina, PR, Brazil)의 경화 시간을 조사한 결과 EndoSeal MTA는 평균 1223분이었으나 BC Sealer[®]와 MTA Fillapex는 1개월이 지난 후에도 습기가 있는 배양기 내에서 경화되지 않음을 보고하였다(26). 이와 같이 경화 시간 차이가 많이 나는 것은 미리 혼합된(premixed) 규산칼슘 실러가 외부의 일정하지 않은 수분의 양 때문에 상반된 결과가

나오는 것으로 사료된다. 부가적으로 너무 짧은 경화 시간은 작업 시간이나 근관계를 완전히 충전하는 충분한 점도를 부여할 수 없으며, 경화되지 않은 실러는 세포독성을 나타내거나 시간이 지나도 그 독성이 줄어들지 않거나(27) 경화 후 미세 정도에도 좋지 않다(28).

근관내에 주입된 규산칼슘 실러는 미세한 근관내 구조물이나 상아세관에 남아 있는 수분 또는 치근단주위조직에서 유입되는 수분 등에 의한 수화반응에 의해 경화가 되기에 수분 흡수와 용해도는 체적안정성에 큰 영향을 미친다(29). 규산칼슘 실러의 수분 흡수는 소량의 팽창을 유발하여 밀폐에 도움을 준다고 알려져 있는데 Tricalcium silicate 실러 (MTA Fillapex, Angelus, Brazil)와 AH Plus를 실러로 이용하여 열연화수직가압법으로 근관충진한 다음 fluid-filtration 법으로 밀폐효과를 조사한 결과 MTA Fillapex 가 7일 후에는 미세누출이 높게 보였으나, 4주 후에는 유의하게 우수한 밀폐효과를 보였다. 이는 MTA가 물과 만날 때 상아질의 calcium과 phosphate ion과 반응하여 calcium phosphate 침착물을 형성함으로써 팽창, 우수한 밀폐효과가 보인다고 설명하였다(30, 31).

하지만 근관치료용 실러의 용해도에 대하여 국제표준기구(ISO 6876:2012)는 증류수에 침적시켰을 때 3 wt% 이하로 정하였는 바(32) Poggio 등은 BioRoot RCS, TotalFill BC Sealer, MTA Fillapex, Sealapex TM, AH Plus, EasySeal, Pulp Canal Sealer의 용해도를 실험하였을 때 Bio-Root RCS와 TotalFill BC Sealer가 용해도가 기준 이상으로 높음을 주장하며 치근단 누출을 막기 위해 용해도를 줄여야 한다고 하였다(33).

3. 실러를 사용한 단일콘 충전법 (single cone technique)

최근 규산칼슘 실러를 사용하는 근관충진법은 기존의 측방가압법이나 열연화충진법과는 달리 단일콘과 실러만으로 충전하는 것을 권고하고 있다. 과거의 단일콘 방법은 근관의 상당부분이 실러로 채워지며 시간이 경과함에 따라 실러가 붕괴되어 근관밀폐효과가 감소되어 치근단 병소가 재발하는 원인이 되었다. 하지만 Wu 등은 실리콘계의 실러를 사용한 단일콘 방법으로 충전하고 1주, 1년 후의 충전상태

를 fluid transport model을 사용하여 평가한 결과 단일콘 가타퍼차를 사용한 경우 약 88%에서 실러가 치근단공 밖으로 유출되었지만 1년 후에도 어떤 미세누출을 보이지 않았다고 보고하였는데, 이는 과거의 단일콘 충전법은 용해도가 높은 산화아연 유지놀계의 실러를 사용하여 누출이 심했을 거라고 주장하였다(34).

4. 규산칼슘 실러의 재치료 가능성

이에 따라 현재 임상에서 사용하고 있는 규산칼슘 실러의 대부분은 단일콘을 사용하는 충전법으로 권고 사용되고 있는 바, 좁고 만곡된 근관에서 경화 후 재 치료가 필요할 때 제거가 용이한지 문제되고 있다. 통상적으로 근관치료가 실패했을 경우 근관충전재인 가타퍼차와 실러를 제거 하고 근관주변의 상아질을 세정하고 소독하여야 한다. 근관충전재인 가타퍼차나 실러를 제거 할 때 일반적으로 기계적 방법이나 또는 화학적으로 제거하기 위해 용매를 사용하는데, 어느 것을 사용하더라도 그 적용방법이 근관내에서 수동이나 회전 기구를 같이 사용하기 때문에 근관을 확장시킬 수 밖에 없다. 이때 근관 크기를 증가시킬 수 있으며 불필요한 상아질을 제거, 해부학적인 과오를 야기할 수 있다. 근관 충전재 중 가타퍼차보다 실러가 화학적으로 더 제거하기 힘들다고 알려져 있는데(35), 이는 재치료를 어렵게 하는 요인으로 작용한다. Kakoura와 Pantelidou는 근관을 확대 하더라도 실러를 완전 제거는 할 수 없다 하였고(36), 더 중요한 것은 근관장을 재설정하고 patency를 다시 확보하는 것이 치근단 치유를 더 향상시킬 수 있다고 하여 이 단계가 근관재치료 과정에서 더 중요한 과정이라고 주장하였다(37).

가타퍼차 및 실러의 제거할 때 기계적 방법과 더불어 chloroform 등을 많이 사용했지만, FDA에서 그 독성 때문에 약품이나 화장품에 사용하는 것을 금지하였다(38). 하지만 근관치료를 chloroform의 독성에 대한 구체적인 데이터가 없으며, 또한 안전하게 사용할 수 있다는 보고가 있다(39). 1998년 Chutich 등은 가타퍼차를 chloroform, xylene 또는 halothane과 같은 유기용매를 사용하여 제거를 시도했을 경우 모든 경우에 잘 녹아 나오며, 치근단공 밖으로 유출되는 양이 독성을 일으킬 양이 아니라고 하여 환자에게 위험이

없이 재 치료에 사용할 수 있다고 보고하였다(40). 최근 규산칼슘 실러를 사용하는 근관치료 전문의와 일반치과의 2335명을 조사한 보고에 따르면, 응답자의 51%가 규산칼슘 실러를 사용하며 그 중 63%가 단일콘 충전법을 사용하며 이 방법을 일반치과의가 더 많이 사용하였다(41). 단일콘 충전으로 규산칼슘 실러를 사용할 때 재치료의 가능성에 대한 조사로 Oltra 등은 EndoSequence BC Sealer[®] 와 AH Plus를 제거할 때 chloroform을 사용할 경우가 두 실러 모두에서 유의하게 더 제거가 잘 됨을 보고하였다(42). Hess 등은 BC Sealer[®] 와 AH Plus를 사용하여 충전한 후 다시 제거할 때 단일콘 충전법에서 근관장보다 2 mm 짧게 가타퍼차를 위치시키고 BC Sealer[®]를 경우는 치근단공 주위에 규산칼슘 실러가 남아 작업장에 도달하거나 치근단공 확인(patency)이 어렵다고 하였다(43).

규산칼슘 실러를 가타퍼차 단일콘법으로 근관충전을 한 경우에 chloroform과 같은 용매와 더불어회전식 NiTi file을 사용할 수 있는데, BioRoot RCS 와 Endo CPM을 H-file 및 Reciproc 을 사용하여 재치료할 때 AH Plus보다 제거가 용이 하였으며 수동기구보다 전동회전식 NiTi file이 더 제거가 잘 되었음을 보고하였다(44). 하지만 어떤 기계적 방법이나 용매를 사용하더라도 근관에 이미 충전된 재료를 완전 제거하는 것은 불가능하다 여겨지며, 이에 대하여 iRoot SP와 AH Plus를 엔진구동형 NiTi 기구와 함께 chloroform을 사용하며 재치료할 때 iRoot SP에서 실러의 잔사가 유의하게 많이 남아 있음이 보고되었다(45). 하지만 다른 연구에서 수동기구나 회전 기구를 사용하여 재치료를 한 다음 iRoot SP와 AH Plus의 잔사를 비교하였을 때 차이가 없다고 하였다(46).

가타퍼차나 실러의 화학적 제거에 효과가 좋다고 알려진 chloroform외에 다른 용매가 시도되기도 하는데, Garrib와 camilleri은 단일콘 충전법에 사용된 calcium silicate 실러를 제거하기 위해 회전기구와 EDTA 또는 formic acid를 사용한 결과 10% formic acid를 사용하여 기계적으로 사용한 경우 약 95% 이상 제거함을 보고하였다(47). 이는 formic acid가 건설산업에서 Portland 시멘트를 녹이는데 사용되며, 실험에서 우수한 결과를 나타낸 이유는 calcium silicate와 formic산이 반응하여 형성된 calcium formate가 쉽게 녹는 성질 때문이라 하였다(48). 또한 고농도인 20% formic

산은 너무 침습적이어서 상아질의 미세경도를 감소시키거나 10%의 formic산을 5분간 적용시키면 실러를 녹이며 상아질을 건전하게 보호할 수 있다고 하였다.

결론

규산칼슘 실러는 물과 반응하여 수경성 바이오세라믹 재료의 한 부분으로 기원이 되는 mineral trioxide aggregate (MTA)의 파생물질이다. 생체적합성과 밀폐효과가 우수한 MTA는 산화칼슘(CaO)과 이산화 규소(SiO₂)가 반응하여 만들어진 규산칼슘이 주성분이기에 같은 성분의 규산칼슘 실러는 MTA와 동일한 우수한 물리적 성질과 생물학적인 성질로 기존의 실러와 비교시 뒤떨어짐이 없으며, 근관내 또는 치근단 주변의 특징인 수분이 존재하는 환경에서도 잘 받아들여 진다는 성질로 임상에서 그 적용범위가 점차 넓어지고 있다. 다만 이미 충전된 가타퍼차 및 실러의 재치료가 쉽지 않기에 규산칼슘 실러도 필요할 경우 효과적으로 제거하는 연구가 이루어진다면 그 임상적 응용 범위는 더 증가할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology*.1965;20:340-9.
2. Möller AJ, Fabricius L, Dahlén G, Ohman AE, Heyden G. Influence on periapical tissues of indigenous oral bacteria and necrotic pulp tissue in monkeys. *Scandinavian Journal of Dental Research*.1981;89:475-84.
3. Peters OA, Peters CI, Basrani B. *Cleaning and shaping the root canal system. Pathway of the pulp*. 11 ed. Elsevier; 2016.p.209.
4. Bernáth M, Szabó J. Tissue reaction initiated by different sealers. *Int Endod J* 2003;36:256-61.
5. Friedman CE, Sandrik JL, Heuer MA, Rapp GW.

Composition and physical properties of gutta-percha endodontic filling materials. *J Endod* 1977;3: 304-8.

6. Ørstavik D. Materials used for root canal obturation: technical, biological and clinical testing. *Endod Topics* 2005;12:25-38.
7. Schroeder A. The impermeability of root canal filling material and first demonstrations of new root filling materials. *SSO Schweiz Monatschr Zahnheilkd* 1954; 64: 921-31.
8. Versiani MA, Carvalho-Junior JR, Padilha MI, Lacey S, Pascon EA, Sousa-Neto MD. A comparative study of physicochemical properties of AH Plus and Epiphany root canal sealants. *Int Endod J* 2006; 39:464-71.
9. Zhou HM, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng YF, Haapasalo M. Physical properties of 5 root canal sealers. *J Endod* 2013;39:1281-6.
10. Kim TG, Lee YH, Lee NH, Bhattarai G, Lee IK, Yun BS et al. The antioxidant property of pachymic acid improves bone disturbance against AH plus-induced inflammation in MC-3T3 E1 cells. *J Endod* 2013;39:461-6.
11. Torabinejad M, White DJ, Tooth filling material and use. US Patent Number, 5,769,638; May 1995.
12. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod* 1995;21:349-53.
13. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod* 1993;19:541-4.
14. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *J Endod* 2010; 36:16-27.
15. Darvell BW, Wu RC. "MTA"-an Hydraulic Silicate Cement: review update and setting reaction. *Dent Mater* 2011;27:407-22.
16. Holland R, de Souza V, Nery MJ, Otoboni Filho JA, Bemabe PF, Dezan Junior E. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tubes filled with mineral

- trioxide aggregate or calcium hydroxide. *J Endod* 1999;25:161-6.
17. Felipe WT, Felipe MC, Rocha MJ. The effect of mineral trioxide aggregate on the apexification and periapical healing of teeth with incomplete root formation. *Int Endod* 2006;39:2-9.
 18. Torabinejad M, Hong CU, Lee SJ, Monsef M, Pitt Ford TR. Investigation of mineral trioxide aggregate for root-end filling in dogs. *J Endod* 1995;21:603-8.
 19. Pace R, Giuliani V, Pini Prato L, Baccetti T, Pagavino G. Apical plug technique using mineral trioxide aggregate: results from a case series. *Int Endod J* 2007;40:478-84.
 20. Yang Q, Lu D. Premix biological hydraulic cement paste composition and using the same. United States Patent Application 2008029909, 2008.
 21. Bosio CC, Felipe GS, Bortoluzzi EA, Felipe MCS, Felipe WT, Rivero ERC. Subcutaneous connective tissue reactions to iRoot SP, mineral trioxide aggregate (MTA) Fillapex, DiaRoot BioAggregate and MTA. *Int Endod J* 2014;47:667-74.
 22. Zhang H, Shen Y, Ruse ND, Haapasalo M. Antibacterial activity of endodontic sealers by modified direct contact test against *Enterococcus faecalis*. *J Endod* 2009;35:1051-5.
 23. Chang SW, Lee SY, Kang SK, Kum KY, Kim EC. In vitro biocompatibility, inflammatory response, and osteogenic potential of 4 root canal sealers: Sealapex, Sankin apatite root sealer, MTA Fillapex, and iRoot SP root canal sealer. *J Endod* 2014;40:1642-8.
 24. Khalil I, Naaman A, Camilleri J. Properties of tricalcium silicate sealers. *J Endod* 2016;42:1529-35.
 25. Prüllage RK, Urban K, Schäfer E, Dammaschke T. Material properties of a tricalcium silicate-containing, a mineral trioxide aggregate-containing, and an epoxy resin-based root canal sealer. *J Endod* 2016;42:1784-8.
 26. Lee JK, Kwak SW, Ha JH, Lee W, Kim HC. Physicochemical properties of epoxy resin-based and bioceramic-based root canal sealers. *Bioinorg Chem Appl*. 2017;2017:2582849.
 27. Silva EJNL, Rosa TP, Herrera DR, Jacinto RC, Gomes BPFA, Zaia AA. Evaluation of cytotoxicity and physicochemical properties of calcium silicate-based endodontic sealer MTA Fillapex. *J Endod* 2013;39:274-7.
 28. Loushine BA, Bryan TE, Looney SW, Gillen BM, Loushine RJ. Setting properties and cytotoxicity evaluation of a premixed bioceramic root canal sealer. *J Endod* 2011;37:673-7.
 29. Donnermeyer D, Bürklein S, Dammaschke T, Schäfer E. Endodontic sealers based on calcium silicates: a systematic review. *Odontology* 2019;107:421-36.
 30. Asawaworarit W, Yachor P, Kijssamanmith K, Vongsavan N. Comparison of the apical sealing ability of calcium silicate-based sealer and resin-based sealer using the fluid-filtration technique. *Med Princ Pract* 2016;25:561-5.
 31. Gandolfi MG, Prati C. MTA and F-doped MTA cements used as sealers with warm gutta-percha. Long-term study of sealing ability. *Int Endod J*. 2010;43:889-901
 32. International Organization of Standardization. International Standard ISO 6876. Specification for dental root canal sealing materials. 3rd ed. Geneva: International Organization of Standardization; 2012.
 33. Poggio C, Dagna A, Ceci M, Meravini MV, Colombo M, Pietrocola G. Solubility and pH of bioceramic root canal sealers: a comparative study. *J Clin Exp Dent* 2017;9:e1189-94.]
 34. Wu MK, Van der Sluis LW, Wesselink PR. A 1-year follow-up study on leakage of single-cone fillings with Roeko RSA sealer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;101: 662-7.
 35. Martos J, Gastal MT, Sommer L, Lund RG, Del Pino FA., Osinaga PW. Dissolving efficacy of organic solvents on root canal sealers. *Clin Oral Investig*. 2006;10:50-4
 36. Kakoura F, Pantelidou O, Retreatability of root canals filled with gutta percha and a novel bioceramic sealer:

- a scanning electron microscopy study. *J Conserv Dent*. 2018;21:632-6.
37. Hess D, Solomon E, Spears R, He J. Retreatability of a bioceramic root canal sealing material. *J. Endod*. 2011;37:1547-19.
 38. Davidson IW, Sumner DD, Parker JC. Chloroform: a review of its metabolism, teratogenic, mutagenic, and carcinogenic potential. *Drug Chem Toxicol* 1982; 5:1-87.
 39. Margelos J, Verdelis K, Eliades G. Chloroform uptake by gutta-percha and assessment of its concentration in air during the chloroform-dip technique. *J Endod* 1996;22:547-50.
 40. Chutich MJ, Kaminski EJ, Miller DA, Lautenschlager EP. Risk assessment of the toxicity of solvents of gutta-percha used in endodontic retreatment. *J Endod* 1998;24:213-6.
 41. Guivarc'h M, Jeanneau C, Giraud T, Pommel L, About I, Azim AA, Bukiet F. An international survey on the use of calcium silicate-based sealers in non-surgical endodontic treatment *Clin Oral Investig*. 2020;24:417-24.
 42. Oltra E, Cox TC, LaCourse MR, Johnson JD, Paranjpe A. Retreatability of two endodontic sealers, Endo-Sequence BC Sealer and AH Plus: a micro-computed tomographic comparison. *Restor Dent Endod*. 2017; 42:19-26.
 43. Hess D, Solomon E, Spears R, He J. Retreatability of a bioceramic root canal sealing material. *J. Endod*. 2011;37:1547-9.
 44. Donnermeyer D, Bunne C, Schäfer E, Dammaschke T. Retreatability of three calcium silicate-containing sealers and one epoxy resin-based root canal sealer with four different root canal instruments. *Clin Oral Investig*. 2018;22:811-7.
 45. Oltra E, Cox TC, LaCourse MR, Johnson JD, Paranjpe A. Retreatability of two endodontic sealers, Endo-Sequence BC Sealer and AH Plus: a micro-computed tomographic comparison. *Restor Dent Endod*. 2017; 42:19-26.
 46. Ersev H, Yilmaz B, Dinçol ME, Dağlaroğlu R. The efficacy of ProTaper Universal rotary retreatment instrumentation to remove single gutta-percha cones cemented with several endodontic sealers. *Int Endod J*. 2012;45:756-62
 47. Garrib M, Camiller J. Retreatment efficacy of hydraulic calcium silicate sealers used in single cone obturation *Journal of Dentistry*.2020;98
 48. PavlíkV., Corrosion of hardened cement paste by acetic and nitric acids part I: calculation of corrosion depth, *Cem. Conc. Res* 1994;24:551-62.

근관치료에 사용되는 규산칼슘 실러의 관점

조용범*

단국대학교 치과대학 치과보존학교실

규산칼슘 실러는 mineral trioxide aggregate (MTA)의 후광을 업고 개발, 소개된 재료로 MTA와 같은 tricalcium과 dicalciumsilicate로 구성되어 있다. MTA의 우수한 밀폐효과와 생체적합성을 근관충전에 응용하고자 개발되었다. 상품화 되어 미리 혼합된 CSBS가 임상에 점차 적용되고 그 사용이 증가 되고있지만, 불완전한 경화시간과 용해성을 해결해야 하며 재치료가 용이한 지 주목을 받고 있다. 현재 사용되고 있는 기존 가타퍼차 및 실러가 근관 충전 후 제거가 쉽지 않아 재치료를 방해하는 인자로 작용하기에 규산칼슘 실러도 필요할 경우 효과적으로 제거된다면 그 임상적 응용 범위는 더 증가할 것으로 보이며, 이에 대한 임상적, 실험적 연구가 더 필요하다고 사료된다.

색인단어 : 규산칼슘 실러, 생체적합성, 생체활성도, 밀폐효과
