

심미적 수복제로서의 글라스 아이오노머 시멘트



부교수 남순현

경북대학교 치과대학 소아치과학교실

치아의 모든 경조직과 수복물간에 강하고 영구적인 기계적 및 화학적인 결합이 가능하다면 수복물 유지를 위한 추가적인 치질삭제가 불필요하게 될 것이며, 또한 수복물 변연부에서 미세누출이 감소되어 상아질 지각과민증, 치수병변 등을 예방할 수 있을 것이다.

이러한 요구에 의하여 1972년 Wilson 과 Kent 에 의해 소개된 글라스 아이오노머 시멘트는 silicate cement와 polycarboxylate cement의 장점만을 합쳐 개발한 것으로, ion exchange에 의해 치질과 접촉력을 얻고, 추가적으로 수복물의 수명을 다할때까지 불소를 방출한다는 독특한 특징이 있다.

이 시멘트는 비교적 심미성이 양호하고, 법랑질과 상아질에 직접 결합하며, 불소의 방출에 의한 항우식성을 가지며 낮은 치수자극성과 경화시 수축이 적고, 열팽창계수가 치질과 유사하여 변연누출이 적고 경화시 미약한 온도상승 등의 장점이 있다.

그러나 낮은 인장강도 및 압축강도, 마모저항성이 낮으며 조작시간이 짧고, 경화반응 초기에 수분에 대하여 민감하며, 최종적인 성형과 연마를 위해서는 최소 24시간 기다려야 하는 등 단점이 있어 수복재료로서 임상적 사용이 제한되어 왔다.

이에 화학중합형 글라스 아이오노머의 단점을 보완하기 위하여 개발된 광중합형 글라스 아이오노머는 치질이나 복합레진과의 결합력 및 물성이 기존 화학중합형 글라스 아이오노머 시멘트보다 우수하며, 조작시간이 화학중합형보다 상대적으로 길고, 복합레진과 결합시 표면처리가 불필요하고, 경화시간을 짧게 조절할 수 있어 초기 수분민감성을 제거할 수 있으며, 다양한 색조를 지니고 있어 심미적으로 우수하여 수복영역에 광범위하게 사용되고 있다.

오늘날 글라스 아이오노머 시멘트는 수복, 주조물 접착, 이장, core 제작, 치면열구전색 등 다용한 용도로 사용되고 있지만, 본 고찰은 주로 심미 수복용으로 사용되는 Type II 시멘트에 관하여 논하기로 한다.

글라스 아이오노머 시멘트의 구성성분 및 경화반응

A) 화학중합형 글라스 아이오노머 시멘트

Table 1. Examples of modern ionomer glasses

Species	Composition (%)	% Mass
SiO ₂	41.9	35.2
Al ₂ O ₃	28.6	20.1
AlF ₃	1.6	2.4
CaF ₂	15.7	20.1
NaF	9.3	3.6
AlPO ₄	3.8	12.0

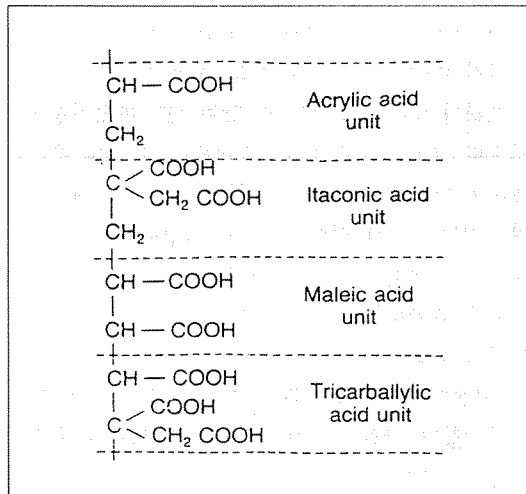


Fig. 1. Structure of a poly(alkenoic acid). The drawing shows various types of carboxylic acid units used in ionomer polyacids.

제조회사간에 다소 차이는 있지만 글라스 아이오노머 시멘트는 대체로 주성분이 실리카, 알루미늄, 칼슘불화석 등으로 구성된 분말과, unsaturated mono-di-tri-carboxylic acids의 monopolymer 또는 copolymer로 구성된 polyalkenoic acid의 액상으로 구성되어 있다(Table 1, Fig. 1.). Polyacid는 용액의

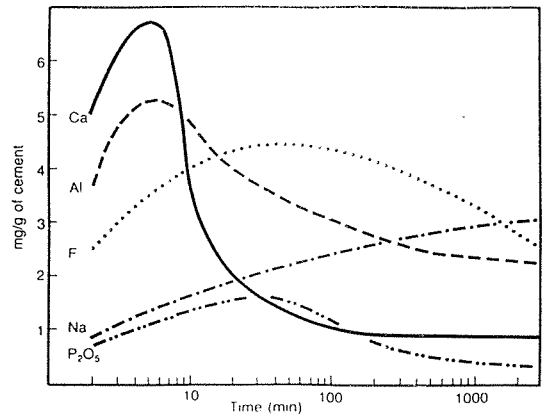


Fig. 2. Extraction and precipitation of ion during the setting of a glass-ionomer cement

형태이거나, 또는 건조시켜 시멘트 분말에 혼합시켜 물 또는 tartaric acid의 수용액이 혼합될때 활성화되게 한 종류가 있다.

이들을 혼합시 나타나는 경화 반응은 근본적으로 과 염기의 반응이며 최종적으로는 염을 형성하는 것으로 다음과 같은 몇 단계의 과정을 거쳐 최종적인 경화가 일어난다.

1. 분말과 액상이 혼합되었을시에 액상의 -COOH기가 분해되면서 나온 H⁺ 기에 의해 글라스 분말의 표면이 공격받아 용해되면서 Al³⁺, Ca⁺² 같은 금속 양이온이 액상내로 방출되기 시작한다. 결국 분말입자 표면에는 silicic acid가 형성된 후 중합되어 siliceous gel상태로 되며, 겔로 둘러싸인 분말입자 내부는 반응하지 않은 원래의 상태로 유지된다.
2. 방출된 양전하를 띤 금속이온이 음전하를 띤 COO⁻ 기와 반응하기 위해서 전해질인 액중에서 이동하게 된다. 초기에는 금속 이온중에서 Ca⁺² 이온이 훨씬 많이 존재하지만 시간이 경과하면, 서서히 방출되는 Al³⁺ 이온이 증가하게 된다(Fig. 2).
3. 반응초기에 많이 존재하는 Ca⁺² 이온과 COO⁻ 기

가 결합하여 calcium polyacrylate를 형성하여 초기경화가 시작된다.

칼슘염의 형성은 혼합을 시작한 때를 기준으로 4-5분 후부터 진행되고 약 3시간 후에 대부분의 칼슘염 형성이 완료되며, 또한 Al^{3+} 이온도 혼합 약 30분 경과 후부터 COO^- 기와 반응하여 알루미늄염을 형성하기 시작한다. 이들 알루미늄염은 강하며 비교적 수분에 용해되지 않아 시멘트 강도의 근간을 형성하며 이들 염의 형성이 종료될 때 비로서 최종적인 경화반응이 완료된 때로 간주할 수 있다.

- 이들 염을 형성하는 경화반응은 일시적으로 일어나는 것은 아니고 수일 또는 그 이상이 소요되며, 경화의 진행에 따라 점점 강도와 투명도가 증가되게 된다.

B) 광중합형 글라스 아이오노머 시멘트 (Dual Cure Cement)

광중합형 글라스 아이오노머 시멘트는 dual

Table 2. The Visible light-cured Glass ionomer

Product	Composition
Fuji Lining LC Type I	P : Ionomer glass Camphoroquinone L : Polyacrylic-methacrylate copolymer 2-HEMA, H ₂ O Dimethaminoethyl methacrylate
Type II	P : Alumino silicate glass powder : Polyacrylic acid L : HEMA Water Comphoroquinone Amine계 환원제
Vitrabond	P : Fluoroaluminosilicate glass Camphoroquinone L : Acrylic-itakonic acid copolymer with pendant methacryloxy groups 2-HEMA, H ₂ O

setting reaction을 가지는데, dual cure라는 용어는 화학중합형의 산-염기반응이 그대로 진행되며, 이에 부가하여 광중합형 레진반응이 일어난다는 것을 의미한다. 즉 산-염기 반응은 보통처럼 시작되어 수주간에 걸쳐 일어나지만, 광중합반응이 이들 산-염기반응의 상부에서 일어나서 수분으로부터 초기 산-염기반응을 보호하며 초기 강도를 나타내게 되는 것이다.

광중합형 글라스 아이오노머의 구성성분은 제조 회사에 따라 다소 차이가 있다. 분말은 화학중합형 시멘트와 거의 유사하지만, 그러나 대부분 용액내에 resin 성분으로서 HEMA가 18-20%가량 첨가되어 있으며, 이들 외에 광중합개시제가 첨가되어 있다 (Table 2).

Primary setting reaction은 470nm 영역의 가시광선에 노출되었을때 시작되며, 중합을 활성화 시키는 방법은 광중합 복합레진의 기전과 유사하다(Fig. 3).

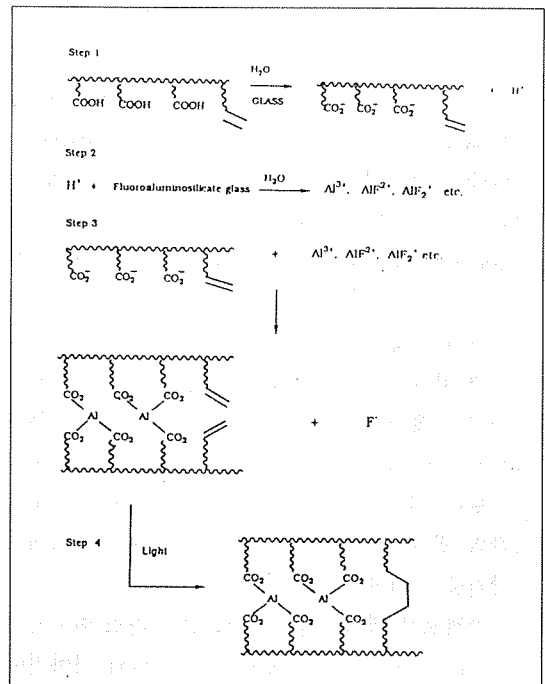


Fig. 3. Setting reactions of Vitrabond™ Light-cure Glass Ionomer Liner/Base.

분말과 액상을 혼합 하였을시 HEMA는 carboxyl 기와 결합하고 수분을 흡수시키기 때문에 산-염기 반응을 지연시키며, 작업시간을 연장시킨다. 그러나 광조사를 시작하면 HEMA의 중합으로 초기 강도가 급격히 증가되는데, 이때 광원에 의한 시멘트의 중합 깊이는 재료자체의 불투명도와 두께, 재료와 광원과의 거리, 광원의 세기등의 요인에 의해 영향받는다.

secondary setting reaction은 시멘트 혼합 개시부터 시작하여 계속되는 산-염기 반응으로 화학중합형 글라스 아이오노머 시멘트와 동일하며, 이 반응이 시멘트의 최종적인 성숙에 이르게 한다. 혼합된 시멘트를 광원에 노출시키지 않고 두었을 때에도 느리지만 지속적인 경화반응이 나타나며, 광조사 후에도 시간의 경과에 따라 표면경도 및 물성이 증가되는데, 이것은 재료내부에서 화학합반응이 계속 된다는 것을 의미한다.

물성 및 기타 특성

치질과의 접착기전 및 접착강도

시멘트와 치질과의 접촉시 역시 diffusion-based adhesion이 일어나게 된다. Polyalkenoic acid가 치질면을 연화시키고 치질내의 hydroxyapatite의 Ca 이온과 P이온이 떨어져 나오게 하여, 결국 Ca, aluminum phosphate와 polyacrylate가 풍부한 층이 시멘트와 치질 사이에 형성되는 것이다. 초기에는 치질과의 결합이 수소결합의 형태를 취하나 시간의 경과에 따라 점점 극성 또는 이온결합으로 되어 더 강하게 결합한다. 이들 시멘트는 주로 치아의 무기질과의 반응으로 대부분의 접착력을 얻게 되므로 상아질보다 법랑질에서 더 높은 접착력을 나타내며, 시간의 경과에 따라 점차 증가되어 1년 후 최대의 접착력을 나타낸다.

일반적으로 화학중합형 Type II 글라스 아이오노머의 접착강도는 법랑질에서 4.2-9.6 Mpa, 상아질에서 1.6-3.3 Mpa로 사용제품과 연구자에 따라 다양하게 보고되어 있다.

치질과의 접착력을 증진시키기 위한 방법으로 치질을 표면처리(conditioning)시키는 방법이 있다. 표면처리제로서 주로 25% polyacrylic acid, tartaric acid가 많이 사용되며, 표면 처리시에 치질의 surface energy의 감소와 도말층이 제거되어 시멘트가 고도로 광화된 치질위에 직접 잘 접합되며, 접착강도가 증가한다. 치질을 표면처리 하였을 경우 접착강도는 법랑질에 대해 4.1-9.9 Mpa, 상아질에서 2.5-4.1 Mpa범위의 접착강도를 나타낸다고 알려져 있다.

압축강도, 굴곡강도 및 인장강도

이 시멘트의 물성은 제조회사, 시멘트의 type에 따라 매우 다양하게 나타나므로, 임상에 적용시 각 제품의 물성을 파악하여 적절하게 사용하여야 할 것이다.

화학중합형 시멘트의 압축강도는 시멘트 혼합 24시간 경과시 140-195 Mpa로서 복합레진보다 떨어진다. 그러나 시간의 경과에 따라 강도는 증가되며, 약 1년후에는 초기 24시간의 강도에 비해 약 2배의 강도까지 도달하는데, 이것은 이온의 cross-link수가 증가되기 때문이다.

Mitra 등(1994)에 의하면 Fuji II, Fuji Cap II, Ketac-Fil, Miracle mix, Ketac silver 등 화학중합 시멘트와 Fuji II LC, Vitremer Tri-cure, Variglass VLC등 광중합형 시멘트의 물성을 비교한 결과 혼합 24시간 후 굴곡강도는 화학중합형에서 10.6-26.9 Mpa 범위였고, 광중합형은 20.3-61.7 Mpa를 나타내었다고 하였다. 또 혼합 24시간 후 diametral tensile strength를 측정된 결과 화학중합형은 7.9-16.3 Mpa를 나타낸 반면, 광중합 시멘트는 약 25.9-40.9 Mpa 정도를 나타내었다고 하여 화학중합형에 비해 광중합형 시멘트의 물성이 우수함을 보고 하였다.

체적안정성(Dimensional stability)

체적변화의 원인으로 경화수축, 수분접촉 및 온도

에 의한 팽창과 수축이 있다.

이 시멘트는 경화시에 약간의 경화수축을 나타내지만 미미한 정도이다. 이들은 상대습도가 80-85% 일때 평형상태를 이루며, 습도가 높거나 물중에 존재할때는 물을 흡수하여 약간의 팽창이 일어난다. 이 시멘트에서는 이러한 팽창이 경화수축보다 약간 크므로 전체적으로는 약간의 팽창이 있다고 생각할 수 있지만 무시할 수 있을 정도이다.

또한 열팽창계수는 $13 \times 10^{-6}(\text{mm/mm.K})$ 로서 치아의 팽창계수(11.4×10^{-6})와 가장 비슷한 재료로 알려져 있다.

불소방출(Fluoride release)

불소는 시멘트의 분말을 제조하는 과정에서 용융제로 사용되며, 최종 분말입자내에는 calcium fluoride과 sodium fluoride형태로 분말의 12-18%정도 포함되어 있다. 불소는 기질을 형성하는 중요 성분은 아니며, 이것은 acid diffusion phase동안 방출되지만, 경화후에 이들의 방출에 의한 상실이 발생하여도 시멘트의 강도는 약화되지 않는다.

불소는 시멘트의 밖으로 또는 안으로 자유롭게 이동할 수 있으며, 또한 불소와 apatite내의 hydroxyl ion 사이에는 화학적 유사성이 존재하는데, 즉 거의 비슷한 크기와 동일한 전하를 가짐으로서 시멘트와 치질사이를 쉽게 이동할수 있게 된다. 이 결과로 글라스 아이오노머 시멘트는 불소의 저장고로서 계속적으로 불소를 방출하고, 수복물에 인접한 치질의 3mm범위까지 영향을 미칠 수 있어 치아우식에 저항성을 지니게 한다.

불소 방출양상은 수복 초기에서는 다량 방출되지만, 후 2-3개월 동안 점차 감소되어 일정한 수준을 유지하게 되며 그 후에는 더 이상 감소되지 않아 5년 이상, 즉 수복물이 유지되는 한 계속적인 불소 방출이 되는 것으로 알려져 있다. 이와같은 양상은 화학중합형 뿐 아니라 광중합형에 있어서도 동일하게 나타난다.

Biocompatibility

polyalkenoic acid는 다소 약산이며 산도는 시간이 경과함에 따라 더욱 약해진다. 이들은 큰 분자량을 가진 사슬형태로서 서로 실타래처럼 얽혀져서 상아질을 쉽게 침투 통과할 수 없으며, 또한 상아질은 산에 대한 우수한 완충효과를 가지고 있을뿐 아니라 상아질에 침투된 산은 상아세관내의 칼슘이온과 결합할 수 있다. 따라서 글라스 아이오노머 시멘트는 치수에 대한 자극성이 아주 적으며, 아주 깊은 부위를 제외하고 수복물 하방에 이장재를 도포해 줄 필요가 없다. 치면의 넓은 부위를 Ca(OH)_2 등으로 이장하였을 경우 시멘트가 결합할 수 있는 치면이 감소되기 때문에 오히려 미세누출을 촉진시키는 결과를 초래하게 된다.

불소가 지속적으로 방출되는 것은 수복물 주위의 연조직을 건강하게 유지하는데 중요한 역할을 하는데, 이는 특히 mutans streptococci같은 세균의 성장이 불소에 억제 되기 때문으로 생각된다. 이러한 성질 때문에 이들 시멘트의 연마후에 수복물 평활도가 부족함에도 불구하고 수복물의 인접 치은조직은 건강한 상태를 나타낸다.

임상적 응용

글라스 아이오노머 시멘트는 심미적인 수복재로서 많이 사용되고 있으며, 특히 우식의 발생과 진행이 현저하게 빠른 소아의 심미수복재로서 그 이용도가 증가되고 있다.

그러나 재료 자체의 기계적 성질이 취약하여 교합력이 많이 가해지는 부위인 Class II 와동이나 Class IV에는 사용할 수 없으며, 또한 지극히 심미성이 요구되는 큰 우식부에는 사용이 제한된다.

일반적인 수복치료를 하기 위한 술식은 다음과 같다.

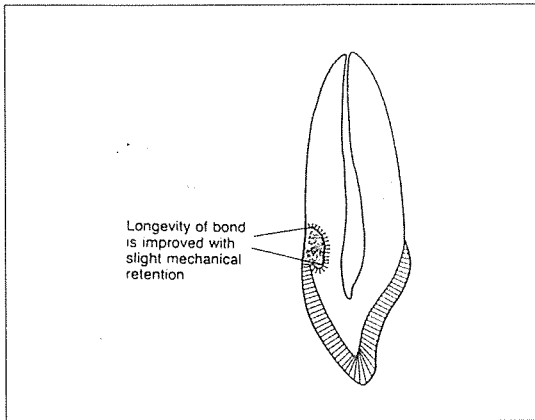


Fig. 4. Diagram of an ideal cavity preparation for a Class V carious lesion

임상술식

1. 적절한 색조의 시멘트를 선택하고 치아를 러버뎀으로 격리한다.
2. 우식을 제거하고 와동 형성을 시행한다.
치질은 최소로 제거하며, 단지 치면을 깨끗하게 하는 것으로서도 어느정도 접착력은 얻을 수 있지만 부가적으로 상아질 부위에 작은 undercut을 만들어 줌으로서 유지력이 훨씬 증가 될 수 있다 (Fig. 4).
3. 필요시에 치수와 근접된(0.5mm이하) 최소한의 부위만 Dycal을 도포한다.
4. 와동의 치질에 표면처리제를 도포하고, 수세 및 건조시킨다.
이때 치질을 너무 건조시키면 시멘트가 치질에 잘 흘러 들어가지 않기 때문에 좋지 않다.
5. 시멘트를 혼합한 후 와동에 충전한다.
시멘트의 혼합은 제조회사의 지시대로 철저히 시행하는 것이 좋다.
수복용 일때는 다소 thick하게 혼합하는 것이 좋은데, 이것은 시멘트의 강도를 증가시키며, 습기에 의한 공격에 더 저항성을 지니게 되며, 경화가 빨리되게 된다. 충전시에는 기포가 형성되지 않고

치면에 밀접하게 접촉되도록 주의하여야 한다.

6. matrix를 접합시키고 약 4분간 경화시킨다.

matrix는 시멘트가 경화되는 동안 보호해 줄 뿐만 아니라, 시멘트를 치질과 밀접하게 접촉하게 하며 기포형성을 감소시켜 시멘트의 물성을 증진시키기 때문에 권장된다.

7. matrix를 제거하고 즉시 방수용 재료 (water-proof varnish)를 도포한다.

경화 초기에 물에 노출되면 시멘트를 형성하는 이온인 Ca^{+2} 와 Al^{+3} 이 씻겨서 상실된다. 이러한 경우 시간 경과와 함께 시멘트 분해가 일어나며, 따라서 물리적 성질 특히 표면의 마모도와 시멘트의 강도가 저하되며, 표면이 쉽게 착색되고, 투명도가 상실되게 된다.

최소한 60분 이상 격리되어야 단단하고 투명한 수복물을 얻을 수 있는데, 이때 보호제로서는 varnish, vaseline, light cured bonding agent 등이 있다.

8. 날카로운 스케일러 또는 나이프로서 시멘트의 과잉부를 제거해 내고, 다시 varnish 또는 광중합 bonding agent를 도포한다.

9. 다음 내원시 최종 연마를 시행한다

최종연마를 시행시 절대 건조한 상태에서 시행하지 말아야 하며, 연마후 다시 varnish 또는 bonding agent를 도포한다.

수복을 위하여 화학중합형 시멘트를 사용하였을 경우는 분말-액상비 및 초기 수분노출에 대한 세심한 배려가 필요하였으나, 광중합 시멘트를 사용하면 우수한 물성, 초기 수분 민감성 및 수복 즉시 연마를 할 수 있다는 편리한 점이 있다(Fig. 5).

Lamination (Double laminated technique, sandwich technique)

글라스 아이오노머 시멘트의 단점을 극복할 수 있는 한 방법으로서, 시멘트 상방에 복합레진을 겸용하여 사용하는 것이 있으며, 이것을 sandwich technique이라고 한다. 이 방법은 복합레진의 부피를

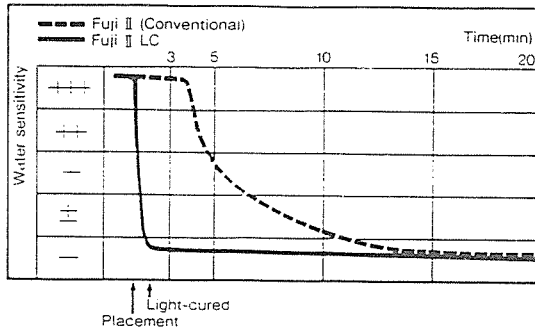


Fig. 5. Changes in water sensitivity over time

감소시켜 중합수축을 감소시키며, 물성이 우수한 복합레진이 표층에 존재하여 심미성과 마모 저항성을 높일 수 있고, 변연부 미세누출을 최소로 할 수 있는 장점이 있다.

Sandwich technique의 술식은 다음과 같다

1. 와동형성 및 표면처리는 일반적인 술식에 준하여 시행한다.
2. 글라스 아이오노머 시멘트를 상아질에 한정시켜 도포한다.
이때 시멘트는 최소 0.5mm 이상의 두께를 유지하여야 산부식에 산이 상아질 내로 침투하지 못하며, 복합레진의 중합수축시에 발생하는 응력을 견딜 수 있다.
이장용 시멘트는 혼합후 2-3분 이내에 산부식이 가능하지만, 이 시멘트는 알루미늄 성분을 많이 포함하고 있어 굴곡강도 인장강도등 시멘트 자체의 강도가 감소하며, 투명도가 감소되어 심미성이 떨어지므로 이것을 사용한 경우에는 복합레진의 두께가 최소 1 mm 이상이 되어야 한다.
따라서 심미성이 요구되거나 복합레진이 들어갈 공간을 충분하게 만들 수 없다면 type II 글라스 아이오노머 시멘트를 사용하는 것이 좋다.
3. 글라스 아이오노머 시멘트를 삭제해 내어 복합레진이 들어갈 공간을 만들고 법랑질 변연부를

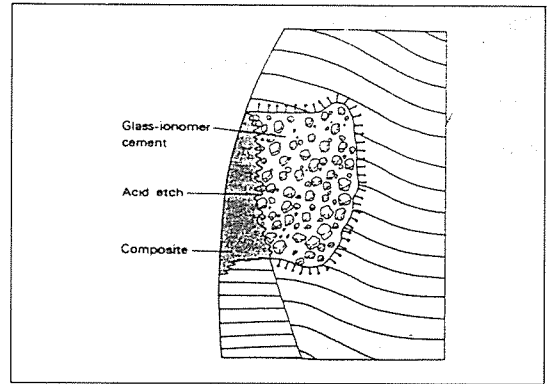


Fig. 6. Diagram of the glass-ionomer acid-etch technique for a ClassV cavity.

정리한다(Fig. 6).

4. 시멘트와 법랑질 모두 산부식한다.
이때 시멘트의 산부식 시간은 20-30초가 적절하며, 이 이상을 초과시에는 시멘트 기질의 파괴가 일어나 오히려 결합력이 감소될 수 있다.
광중합형 시멘트는 일반적으로 산부식이 불필요하다. 광중합 시멘트인 경우에는 산부식 하거나 수세하면 광중합 시멘트의 성분인 HEMA가 부분적으로 제거되며, 또한 표면의 oxygen inhibited functional methacrylate group의 능력이 감소되게 된다.
5. 산부식후에 시멘트 표면을 철저히 수세하고 건조시킨다.
6. low-viscosity light cured bonding resin을 도포하고, 최소 20초간 광조사 한 후, 복합레진을 충전한다. 이때 치경부쪽에서 글라스 아이오노머 시멘트의 일부는 심미적인면과 계속적인 불소방출이 가능하도록 구강환경에 노출되게 할 수 있다.

이 술식에서 가장 흔한 실패 원인은 글라스 아이오노머 시멘트가 경화되기 전에 산부식을 하는 경우와, 시멘트를 너무 묽게 혼합하였거나 얇게 도포하는 경우이다.

종래의 화학중합형 시멘트를 사용하였을 경우에는 레진충전 하기 전에 산부식을 위해서는 시멘트가

경화될때까지 기다려야 한다는 단점이 있었으나, 최근에 개발된 광중합형을 사용하면 이러한 단점을 극복할 수 있다. 마지막으로 복합레진은 1 mm 이상 충분한 두께가 되게 하여야 하며, 인접치와의 접촉부는 레진으로 형성하여야 한다.

결 론

옛날 재료는 수복재를 위한 공간을 형성하기 위해

어느정도 건전한 치질삭제가 필수적 이었으나, 글라스 아이오노머 시멘트는 초기 치아우식부를 치료하는데 있어 치질삭제를 최소로 할 수 있다는 장점이 있다. 아직까지도 이들 시멘트의 물성이 만족할 만한 정도는 아니지만 광중합형 시멘트의 개발로 많이 개선된 상태이며, 여러 가지 장점으로 인해 그 사용빈도가 증가되고 있다. 특히 치아우식의 발생과 진행이 빠른 소아에서는 심미적 수복 및 우식예방을 위한 매우 유용한 수복 재료로 생각된다.