

# 심미수복 시 접착제의 역할

연세대학교 치과대학 치과보존학교실 부교수 윤태철

수복물과 치아의 완전한 결합은 수복학의 분야에 있어서 가장 중요한 부분 중의 하나이며, 완전한 결합을 이루기 위한 많은 연구가 있어왔다. 그러나, 현재까지도 수복물과 치아를 완전하게 결합시키는 재료 및 방법은 개발되어있지 않다.

심미수복 시 사용되는 접착제의 경우도 많은 개선과 발전이 이루어져 오고 있으나, 완전한 결합을 할 수 있는 접착제는 아직도 개발되어있지 않다.

범랑질에 대한 레진의 결합은 상대적으로 쉽게 얻을 수 있었으나, 상아질에 대한 레진의 결합을 얻는 데는 많은 어려움이 있었으며, 최근에서야, 범랑질에서와 비슷한 강도의 결합을 얻을 수 있게 되었다.

최근에는 etching, bonding resin 등의 각각의 용어는 거의 사용되지 않으며 adhesive system으로서 종합적으로 사용되고 있다. Adhesive system내에는 dentin

conditioner, primer, adhesive resin의 각 요소가 포함되며, 각 요소는 서로 유기적인 관계를 이루면서, 전체 adhesive system을 이룬다.

상아질접착에서의 가장 큰 문제는 hydrophilic한 상아질에 hydrophobic한 복합레진을 결합시키고자 하는 점에 있다. 상아질접착제는 상이한 성질의 두 물질을 결합시키는 매개체로서 매우 중요한 역할을 하며, 상아질접착제가 없는 심미수복은 생각할 수조차 없다.

McLean과 Kramer(1952)의 최초보고 이후 상아질접착제는 많은 발전을 하여왔으며, 그 결합강도의 개선과 그 개념의 발달에 따라 1, 2, 3, 4세대로 구분되며 현재는 제5세대의 dentin adhesive system까지 소개되고 있다(각 단계의 구분은 학자에 따라 약간의 차이가 있다(표 1).

표 1. 상아질접착제의 세대와 그 특징

Bonding Generation	Characteristics	Bond Strength to Dentin	Examples
First	Very weak	2 MPa	Cervident Cosmic bond
Second	Weak adhesives Requires retentive prep. Prone to water degradation	4-6 MPa	Bond Life Scotchbond
Third	Two-components Primer Adhesive Reduced sensitivity Bonding to metal	10 MPa	Prisma Universal Bond Tenure Scotchbond II
Fourth	Hybridization Total etch Little sensitivity	> 15 MPa	All Bond II Pro Bond Tenure Bond It Syntac Scotchbond MP
Fifth	Single component Moist Bonding No mixing No sensitivity	> 15 MPa	Prime & Bond 2.1 Syntac Single Component Bond 1 One Step Tenure Quick F

### 제1세대 상아질접착제

제1세대 상아질접착제는 법랑질 접착제 (enamel bonding agent) 이상의 것은 아니었다. 상아질에 대한 접착강도는 2.0 MPa에 불과하였으며, 그 결합강도의 지속성은 매우 낮았다. 적절한 결합강도를 얻기 위하여는 법랑질이 필요하였고 아말감에서와 같은 retention form을 필요로 하였으며, postoperative hypersensitivity를 나타내는 등의 많은 문제점이 있었다. 제1세대 상아질접착제의 결과는 매우 불만족스러운 것이었으나, 상아질과의 결합강도(2.0 MPa)를 얻었다는 점에서 상아질접착제로 인정을 받고 있다.

### 제2세대 상아질접착제

제1세대 상아질접착제의 단점을 보완하기 위하여 smear layer를 이용한 새로운 dentin adhesive system이 개발되었으나, 4.0 - 6.0 MPa의 낮은 결합강도를 나타내었으며, 제1세대 상아질접착제의 단점을 극복하지 못하였다.

### 제3세대 상아질접착제

제3세대 상아질접착제의 특징은 상아질내의 collagen fiber와의 결합을 시도하였다는 점과 상아질표면의 변형을 시도하였다는 점이다. primer에 hydrophilic monomer인 HEMA, NTG-GMA, PMDM 등을 첨가하여 collagen fiber의 OH group과의 결합을 시도하여 10 MPa정도의 결합강도를 얻을 수 있었다. 그러나 이 결합강도의 대부분은 resin tag에 의한 기계적인 결합에 의한 것으로서 진정한 의미의 dentin adhesive system이라고는 할 수 없었다.

### 제4세대 상아질접착제

제4세대 상아질접착제의 특징은 hybrid layer의 사용이다. 제4세대의 상아질접착제는 intertubular dentin과 dentinal tubule 모두로부터 결합력을 얻을 수 있으므로 그 결합력은 극적으로 증가(20 MPa 이상)되었고, 비로소 제4세대 상아질접착제에 이르러서야 진정한 의미의 dentin adhesion이 가능하게 되었다. 또한 제4세대의 상아질접착제에 이르러서야 total etch 및 wet bonding의 개념을 적용할 수 있게 되었다. 이 dentin adhesion system에서는 conditioning, priming, adhesion의 3가지 단계는 필수적이므로 그 술식이 복잡하고

technique sensitivity가 높은 단점이 있다.

### 제5세대 상아질접착제

제4세대 상아질접착제에서의 복잡한 술식을 단순화시키고 technique sensitivity를 감소시키는 방법의 일환으로서 제5세대 상아질접착제가 개발되었다. Etching, priming, adhesion의 3단계를 1단계 또는 2단계로 단순화시킴으로써 technique에 민감한 문제를 해결하고 있다. 이러한 상아질접착제를 one component dentin adhesive system이라 한다.

### Conditioning of Dentin

산(acid) 등의 물질을 이용하여 상아질표면의 도말층(smear layer)을 제거하고 상아질표면을 탈회시킴으로써 상아질표면을 화학적으로 변화시키는 술식을 dentin conditioning이라고 정의할 수 있다. Dentin conditioning은 전체적인 상아질접착의 첫 번째 단계로서 법랑질과 상아질 모두에 동시에 행하여지며, citric acid, maleic acid, nitric acid, EDTA 및 phosphoric acid 등 많은 종류의 산이 사용되며, 각각의 adhesive system의 특성에 따라 그 성분 및 농도가 다르다.

상아질이 conditioning됨에 따라 표면의 도말층이 제거됨과 동시에 그 표면이 탈회되어 상아질의 collagen fibril이 노출되고 상아질표면의 porosity는 증가된다. 정상적인 상아질내의 collagen fibril은 상아질의 무기 물질에 둘러싸여 있으나, 상아질의 탈회에 의하여 노출된 collagen fibril은 수축(collapse)된다.

상아질표면이 탈회되는 깊이는 사용한 산(acid)의 종류, 농도, pH, 적용시간 및 첨가물의 종류에 따라 다르다. 또한 상아질세관 간의 거리에 의한 영향도 받는다. 상아질세관 간의 거리가 가까울수록 탈회되는 깊이는 증가된다. 산(acid)은 상아질세관의 입구를 확대시키는 작용이 있으므로 산은 상아질세관 내로 침투할 수 있다.

Dentin conditioning후에는 상아질표면의 습기를 유지하는 것이 매우 중요하다. Collagen fiber web의 건조는 unsupported collagen web의 수축(collapse)을 야기하여, primer에 의한 wetting 이나 primer내에 포함된 monomer의 침투가 방해를 받으며, 결국에는 상아질접착제의 결합강도를 저하시킨다.

임상적으로 과잉의 수분은 제거하여야 하며, wet bonding에 필요한 양만큼의 수분만을 유지시켜야 한다. 압축공기를 이용한 수분제거는 상아질표면을 과잉으로 건조시키는 경향이 있으므로 면구(cotton ball)를 이용하여 과잉의 수분을 제거하는 것이 좋다. 과잉의 수분은 primer를 희석시킴으로서 그 효과를 감소시키며 hybrid layer내에서의 monomer의 중합을 방해하거나, monomer와 경쟁하여 monomer의 침투를 방해한다. 결국 과잉의 수분은 상질접착제재의 전체적인 질(quality)을 저하시키는 역할을 한다. 남아있는 수분은 priming 단계에서 증발에 의하여 완전히 제거되고 monomer로 대체된다. 과잉으로 건조된 상아질표면에는 수분을 가함으로써 수축된 collagen fiber web을 확장시킬 수 있다.

## Primers

Primer는 상아질접착을 실질적으로 매개하는 역할을 하며, 일반적으로 acetone 또는 alcohol에 용해 시킨 hydrophilic monomer가 주성분으로 되어있다. primer에 사용된 용매는 휘발성이 강하므로, 상아질표면과 collagen network으로부터 수분을 제거하고 수분이 차지하고 있던 미세한 공간(nanospace)으로 monomer가 쉽게 침투될 수 있도록 하는 역할을 한다. primer에 포함된 monomer는 hydrophilic한 성질과 hydrophobic한 성질을 갖는 양극성을 띄고있다. hydrophilic한 site는 collagen fibril과 결합하고, hydrophobic한 site는 adhesive resin과 copolymerization한다. 이러한 양극성으로 인하여 hydrophilic한 상아질과 hydrophobic한 resin과의 adhesion을 유도할 수 있는 것이다. 따라서, primer가 dentin adhesive system중에서 가장 중요한 요소라고 할 수 있다.

Collagen fibril주위의 수분이 primer내의 monomer로 대체되고 monomer가 중합반응을 하게 됨에 따라 collagen fibril은 안정된 상태로 유지될 수 있다. priming에 의하여 형성된 Collagen fibril과 monomer의 층을 hybrid layer라 한다. priming후 collagen fibril이 건조되면, collagen fibril은 수축하게 되고 collagen network내의 미세공간(nanospace)이 감소되어 primer의 충분한 침투가 일어나지 못하게 된다. primer의 침투가 불완전하게 되면 hybrid layer가 불완전하게 형성

되고 결국은 dentin adhesion의 결합력(bonding force)이 저하되는 결과를 초래한다. 수분에 젖어있는 collagen fibril사이로 monomer를 침투시킴으로써 보다 완전하고 균일한 hybrid layer를 형성하고자 하는 방법이 “Wet Bonding”의 핵심 내용이다.

Primer에 사용되는 monomer에는 HEMA, NTG-GMA, PMDM, PENTA 등이 사용되고 있으며, photopolymerization initiator가 포함되어 있는 경우는 visible light로 즉시 polymerization시킬 수 있다.

## Adhesive Resin

Adhesive resin은 hybrid layer를 안정화(stabilization)시키고 resin tag를 형성하기 위하여 사용한다. Adhesive resin의 성분은 enamel-bonding resin의 성분과 동일하며, hydrophobic monomer(BIS-GMA, UDMA, TEG-DMA)와 wetting agent로서 HEMA가 주성분으로 되어있다.

Light-cure dentin adhesive의 경우는 polymerization 시 약 15 micron정도의 oxygen-inhibition layer가 형성되며, 이 layer는 restorative resin과의 copolymerization에 관여한다.

## 상아질접착의 전략

현재 사용되고있는 상아질접착은 다음의 3가지의 방법 중의 한 가지를 채택하고 있다.

1. smear layer를 변형시킨 후 dentin adhesion에 이용한다.
2. smear layer를 완전히 제거하고 상아질표면을 탈회시킨 후 상아질접착을 시도한다.
3. 1과 2의 방법을 혼용한 방법

Smear layer를 변형시킨 후 dentin adhesion에 이용하는 방법은 smear layer가 상아질세관을 폐쇄시킴으로써 치수에 대한 세균의 침입을 억제하며 상아질액(dentinal fluid)의 흐름을 차단하여 dentin adhesion의 효율성을 높일 수 있을 것이라는 개념에 근거를 두고 있다. smear layer내로 침투해 들어간 monomer의 중합으로 인하여 smear layer와 상아질의 결합이 강화되고 상아질과의 기계적인 결합이 보다 강하게 일어날 것으로 생각되어진다. 이 경우 상아질과 dentin

adhesive의 반응은 표면에서만 일어나므로 adhesive resin의 상아질로의 침투는 제한적인 깊이에까지만 일어난다(superficial penetration).

Smear layer를 제거하고 상아질을 탈회 시킨 후 변형된 상아질표면을 이용하여 dentin adhesion을 유도하는 경우는 주로 hybrid layer와 resin tag으로부터의 결합력에 의한 dentin adhesion을 얻는다. 이 방법을 사용하는 경우는 dentin conditioning, priming 후 adhesive resin을 도포하는 세 가지의 연속적인 step을 필수적으로 시행하여야 한다.

세 번째의 방법은 약산성의 primer 또는 self-etching primer를 이용하여, 상아질표면의 smear layer를 제거하고 상아질세관의 입구를 폐쇄하고 있는 smear plug는 남겨둠으로써 첫 번째 방법과 두 번째 방법을 혼용하는 방법이다. 이 경우 사용되는 self-etching primer를 Condiprimer(conditioner + primer)라 한다. 이 방법을 사용하면, 상아질표면으로부터 adhesive resin까지의 hybrid layer전체의 균일하고도 완전한 polymerization을 얻을 수 있으므로 dentin adhesion의 내구성 및 결합강도를 높일 수 있는 장점이 있다.

## Hybridization

상아질의 탈회에 의하여 노출된 collagen fiber web의 미세공간에 primer의 monomer가 침투되어 형성된 층을 hybrid layer라고 하며, 이 층이 형성되는 것을 hybridization이라고 한다. 이 hybrid layer는 최근의 dentin adhesion에서 가장 핵심적인 역할을 한다. hybrid layer에 의하여 hydrophilic한 상아질의 표면이 hydrophobic하게 변화되고, hydrophobic하게 변화된 상아질표면에 hydrophobic한 복합레진을 접착 시킬 수 있게 되는 것이다. 즉, hybrid layer는 hydrophobic한 복합레진과 hydrophilic한 상아질사이의 결합을 매개하는 역할을 한다.

상아질의 탈회에 의하여 노출된 collagen fibril web의 형태가 유지된 채로 hybridization되는 것은 dentin adhesion의 지속적인 결합강도를 유지하는데에 매우 중요하다. collagen fibril web이 건조되면, 수분의 상실로 인하여 collagen fibril web은 수축하고 이에 따라 fibril사이의 미세공간(nanospace)은 감소된다. 감소된

공간으로는 primer의 완전한 침투가 이루어지기 어려움으로 균일한 성질의 hybrid layer를 얻을 수 없을 뿐만 아니라 collagen fibril도 monomer의 충분한 보호(support)를 받을 수 없게 된다. 따라서 hybridization은 collagen fibril web에 수분이 유지된 상태에서 시행하여야 한다. 이렇게 수분이 있는 상태에서의 hybridization을 이용한 dentin adhesion을 “wet bonding”이라 하며, 최근에 시판되는 대부분의 상아질 접착제(dentin adhesion system)는 wet bonding을 이용하고 있다.

## Resin Tag Formation

Resin tag의 형성이 bond strength에 어느 정도 기여하는가 하는 점은 계속적으로 논란의 대상이 되어왔다. 그러나, 보다 깊은 와동을 형성하고 이에 따라 bonding area중에서 intertubular dentin의 비율이 감소함에 따라 결합강도가 감소됨이 밝혀짐에 따라 resin tag의 형성보다는 intertubular dentin의 존재가 더욱 더 중요한 것으로 여겨지고 있다.

상아세관(dentinal tubule)이 많을수록 상아질의 wetness는 증가되며 이는 와동(cavity)의 깊이가 깊을수록 와동의 wetness가 증가됨을 의미한다. 증가된 wetness의 상아질에서는 상아질표면과 dentin adhesive system간의 긴밀한 결합이 방해받을 것으로 예상되었으나, 최근의 dentin adhesive system의 hydrophilicity와 wettability의 증가에 힘입어 그 영향은 많이 감소되었다. 최근의 dentin adhesive system에서의 resin tag의 core는 hybridization된 상아질세관의 벽에 밀접하게 결합되어있는 양상을 보이며, lateral tubular branch에까지 침투되어 submicron resin tag 까지도 형성하고 있다.

현재 시판되고있는 dentin adhesive system은 각각의 system에 따른 각 component(conditioner, primer, adhesive)의 특성이 있으며, 각 system마다 그 구성 성분이 다르다. 각 구성 성분은 그 dentin adhesive system의 효과를 극대화 시킬 수 있는 조합으로 구성되었다. 따라서, dentin adhesion의 기전을 이용하는 점과 함께 제조회사의 지시를 충실하게 지키는 것 또한 매우 중요한 점이라 할 수 있다.

Dentin adhesive system의 주 역할은 hydrophilic한 상아질표면을 hydrophobic한 형태로 변화시킴으로써 hydrophilic한 상아질과 hydrophobic한 복합 레진의 결합을 매개하는 핵심적인 역할을 하고있다. 또한 발전을 계속하고 있으므로 앞으로는 보다 광범위한 사용이 예상되고있다.

## 참고문헌

- 1. RS Schwarz, JB Summit and JW Robbins : Fundamentals of Operative Dentistry. A Contemporary Approach
- 2. FJT Burke and AD McCaughey: The Four Generations of Dentin Bonding Am.J.Dent.,8(2):88-92, 1995
- 3. G. Freedman and F. Goldstep: Fifth Generation Bonding System : State of Art in Adhesive Dentistry CDA,63(6):439-443, 1997
- 4. TG Alex : Advances in Adhesive Technology Current Opinion in Cosmetic Dentistry, 69-74, 1995
- 5. M. Miyazaki, Y. Oshida and L. Xirouchaki : Dentin Bonding System. Part I: Literature Review Bio-Med. & Eng, 6(1):15-31, 1996
- 6. JD Eick, AJ Gwinnett, DH Pashley and SJ Robinson : Current Concepts on Adhesion to Dentin Crit Rev Oral Bio Med, 8(3):306-339, 1997
- 7. JL Ferracane : Current Trends in Dental Composite Crit Rev Oral Biol Med, 6(4):302-318, 1995