

## 접착기전의 개념 및 치과영역에의 응용

### The Basic Concepts of the Adhesion Mechanism and the Application in Dentistry

서울대학교 치과대학 치과재료학교실

김 철 위

손상된 치질을 심미적이나 기능적으로 회복하는 경우, 수복재료와 치아와의 접착은 중요하게 고려해야할 사항으로 최근 범랑질과 상아질을 표면처리하여 결합력을 높이는 방법이 연구되고 있으나 아직도 많은 미해결점이 있다.

본문에서는 접착의 기본개념과 결합표면과의 작용기전 및 접착의 치과적 응용에 관한 몇가지 재료의 접착양상에 관하여 기술하고자 한다.

#### 접착의 정의(Definitions of adhesion)

접착은 인접하여 있는 서로 다른 분자간의 결합력으로서, 서로 같은 분자간의 인력을 표시하는 응집력(cohesion)과는 다르고, 분자나 아주 미세한 구조로 이루어 지므로, 원자가(valence forces)의 개념이 포함된다. 실제로는 분자간의 인력없이 얼마든지 강한 결합을 할수 있으므로 접착에는 기계적유지에 의한 결합개념도 포함된다. 그림 1은 분자간의 결합없이 미세한 부위가 서로 얽히는 현상이다. 모든 물체의 표면은 미세한 요철로 구성되어 있어, 실제로 기계적인 결합없이 분자간인력 만으로는 접착되지 않는다. 물론 이것은 미세구조의 기계적 연결(mechanical interlocking)을 의미하며, 보다 큰 구조의 기계적유지력(mechanical retention)과는 다르다. 모든 치과재료의 접착은 실제로 이와 같은 미세한 기계적 결합으로 이루어지고 있다. 고유접착(specific adhesion)이나 진성접착(true adhesion)은 분자간인력에 의한 결합(molecular attraction based adhesion)으로 기계적 유지와는 의미가 다르다. 접착제는 대개가 액상으로 접착제의 표면을 완전히 적시고, 굳은후에 기계적으로도 완전

한 성질을 갖고 있어야 한다. 그러나 치과용 실리케이트 시멘트는 접착성이 없는 단순중전재이고, 인산아연시멘트도 치질과 접착력이 없는 이장재이며, 카복실네이트 시멘트는 범랑질과 상아질에 결합되는 접착제이다. 즉 치과용 접착제는 각각 특성에따라 그 용도가 다른데 만일 치아수복재가 이러한 성질을 갖고 있으면 매우 이상적인 재료로 될수있다. 치과용 실리케이트 시멘트는 알루미늄네이트와 실리케이트가 배합된 산업용 시멘트와 기능이 유사하다. 수복물과 치아와 접촉되는 기전은 매우 복잡하며 대개 고유접착, 기계적접착 및 유지력에 의해 이루어진다. 치과에서 접착(adhesion)이란 두 재료를 접촉시켜 결합하는 것으로, 예컨대 치과용레진을 범랑질에 부착 시킬때, 37%의 인산으로 범랑질 표면을 처리하면 10~30 마이크론 깊이의 홈(channels)이 형성되고, 액상의 레진이 모세관현상으로 이속에 침투되어 응고됨으로서 두 재료가 견고하게 결합되는 것을 들수있다.

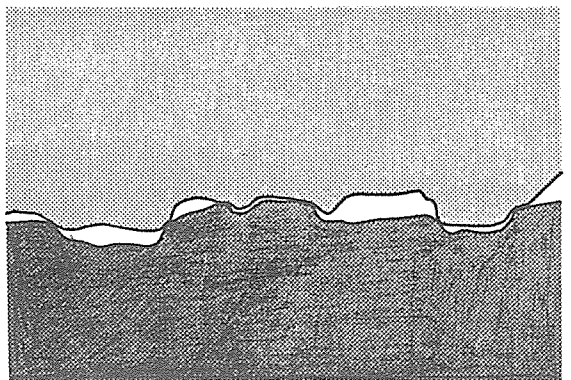


그림 1. 기계적연결로 형성된 접착

응집력에 의한 정점설 (Cohesive plateau theory)

완전히 접착되었을때 결합강도는 각 재료 자체의 강도보다 높게 나타날수 있다. 이때 두 재료를 다시 분리해 보면, 파절부위는 결합부위가 아닌 재료 자체의 내면에 나타난다. 부식방법으로 접착한 경우 결합강도는 미세구조가 얼마나 형성되어 있는가에 따라 달라진다. 그림 2는 법랑질을 산으로 부식하고 레진을 접착시킨 것으로 부착이 형성된 부위는 태그(tags)인데, 결합강도는 이 태그의 수가 증가함에 따라 높아진다.

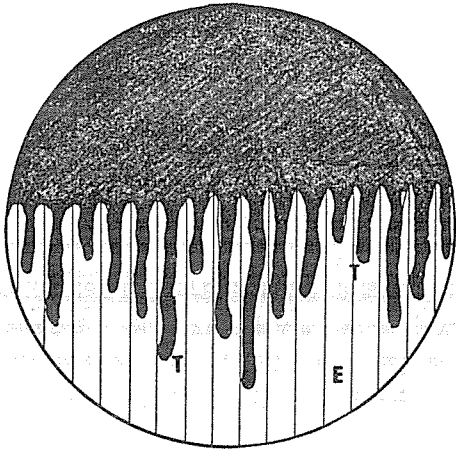


그림 2. 법랑질이 부식되어 레진이 결합된 부위

그림 3은 레진을 부착한후 다시 제거하였을때, 파절부위는 강도가 약한 법랑질에 나타나 있는것이다. 도재와 합금이 결합된 경우, 도재의 강도가 합금보다 약하므로 파절은 도재에서 일어난다. 즉 최대

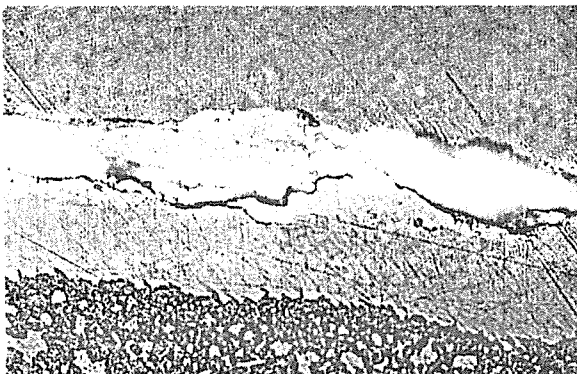


그림 3. 복합레진의 파절부위는 중합수축으로 법랑질에 나타나 있음.

결합강도는 도재자체의 응집강도 (cohesive strength of porcelain)와 일치하게 된다. 부착되는 축의 밀도에 영향을 주는 조건은 아래와 같다.

(1) 청결도 (Cleanliness)

결합면에 잔사(debris)나 오염물이 있어서는 안 된다.

(2) 표면의 침투 (Penetration of surface)

소와열구충진재 (pit and fissure sealant, 小窩裂溝充填材)와 같은 액상의 접착제는 산으로 형성된 틈 (crevices)사이로 침투를 해야한다.

(3) 화학반응 (Chemical reactions)

두재료 사이에 강한 화학적 결합이 형성되는 경우에 결합강도는 크게 증가한다. 이 현상은 도재와 귀금속합금의 표면에 있는 주석, 인디움, 철등의 산화물사이에 볼 수 있다. 화학반응으로 보다 약한 화합물이 형성 될수도 있는데, 이 경우는 결합부위 보다 약한 경계부 (boundary layer)가 형성된다.

(4) 접착제의 수축 (Shrinkage of adhesion)

액상으로 되어있는 접착제는 경화중 용매가 회발 되거나, 중합반응으로 수축되는 수가 있다. 이때 접착제는 분리 되거나 응력을 받게되고 따라서 결합력을 감소된다. 그림 4에서 수축은 접착제의 중앙으로 일어나고 있음을 알수있다.

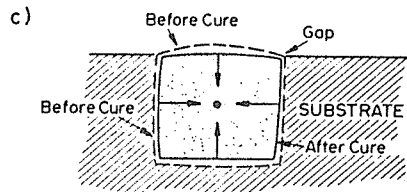
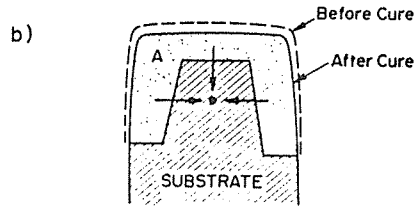
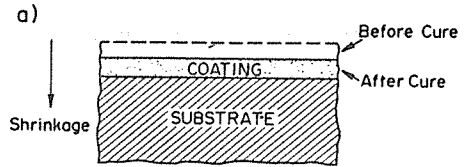


그림 4. 접착제의 수축은 중앙을 향하고 있음  
(a) 피막 (b) 금판 (c) 충전물

**(5) 열에 의한 응력 (Thermal stresses)**

접착제와 접착물의 열팽창계수가 서로 다른 경우 열변화에 의하여 결합부에 응력(stress)이 야기된다. 즉 도재와 합금을 고온에서 결합하고, 실온으로 냉각시킬때 응력을 받게된다. 따라서 사용되는 재료의 열팽창계수가 서로 유사해야 응력을 감소시킬수 있다.

**(6) 부식성 조건 (Corrosive environment)**

물이나 부식성이 강한 액체에서는 결합부가 변형될 수 있다. 예를들면 부식되지 않는 법랑질에도 처음은 부착되나 물속에서는 결합부가 파절된다.

**접착성 (The nature of adhesion)**

접착기전 (adhesive mechanism)은 표 1과 같이 기계적접착 (mechanical adhesion)과 고유접착 (specific adhesion)으로 분류한다.

**표 1. 접착의 분류**

1. 기계적 접착 (mechanical adhesion)
  - 1) 표면요철에 의한 미세유지력 (micromechanical retention)
  - 2) 체적변화에 의한 유지력 (retention due to dimensional changes)
2. 고유 결합 (specific adhesion)
  - 1) 1차원자간의 힘 (primary valence forces)
    - 이온접착 (ionic adhesion)
    - 공유접착 (covalent adhesion)
    - 금속접착 (metallic adhesion)
  - 2) 2차원자간의 힘 (secondary valence forces)
    - 키솜과 디바이의 힘 (Keesom and Debye forces)
    - 런던의 분산력 (London dispersion forces)
    - 수소결합 (hydrogen bonding)

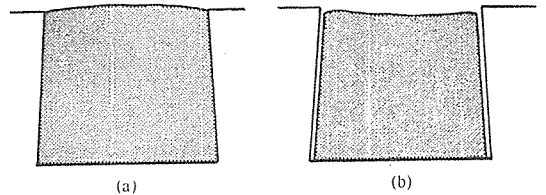
**1. 기계적 접착 (mechanical adhesion)**

육안으로 평활 (smooth)하게 보이는 면이라도 원자의 크기에서보면, 매우 불규칙하여 그림 1과 같은 양면의 기계적 결합이 성립된다. 만일 특수 표면처리를 하여 요철을 증가시키고, 이사이로 액이 침투되어 경화하는 접착제를 사용할 수 있다면, 이때의 결합력은 크게 증가될 수 있다. 예를들면 법랑질을 산으로 부식시킬때 결합력을 더욱 증가된다. 이와같이 미세한 유지력을 이용하여 접착시킬

때는 다음과 같은 현상을 볼수있다. 즉,

- 1) 분자간인력 없이도 강한 결합강도를 얻을수 있고.
- 2) 특히 전단응력하에서 강한 결합이 나타나며.
- 3) 접착제의 응집강도에 따라 결합의 최종강도가 좌우된다. 즉 결합부위가 파절되기 전에 접착제에서 파절이 일어난다.
- 4) 접착제와 접착물을 근접시키면, 분자간 인력을 얻을 수 있다.

온도변화나 상태, 구조의 변화에서 오는 체적의 변화로 재료를 접착시킬수도 있다. 예를들면, 어떤 튜브를 다른곳에 끼우고저 할때는 열팽창계수가 다른 것을 이용하면 수축에 의하여 이룰수 있다. 원자가 큰 재료는 고체상태에서 상 (phase)의 변화나 화학적반응을 일으키며, 체적의 변화를 이용하여 접착시킬수 있다. 와동을 충전하는 경우, 그림 5와 같이 충전제가 약간 팽창하는것이 오히려 바람직하나 실제로 치과용 레진은 거의 모두 중합반응 과정에서 분자 사이에 강한 결합을 형성하면서 수축된다. 실리콘케이드 시멘트도 경화중에 수축되고, 금속도 액상에서 고상으로 변화 하면서 수축하여 금속 구조물의 적합도에 큰 영향을 준다. 그러나 아말감은 여러 단계의 반응을 거치는 동안, 체적이 팽창하는데 이때의 열팽창량은 아말감의 성상, 합금수은의 비율과 혼합방법 차이등에 따라 달라지므로 가능한 적은량의 팽창이 일어나도록 해야한다.



**그림 5. 충전재료의 팽창현상**

(a) 팽창으로 외벽에 적합된 경우

(b) 수축으로 경계부에 틈이 형성되었음

**2. 고유접착 (Specific adhesion)**

1차와 2차원자간의 힘 (primary and secondary valence forces)으로 분류한다. 화학적결합 (chemical bond)은 1차원자 결합을 물리적결합 (physical bond)는 2차원자 결합을 의미한다. 그러나 명확한 구분이 없으므로 화학적접착 (chemical adhesion)과 고유접착 (specific adhesion)은 같은 의미로 사용된다.

### 1) 1차원자결합(primary valence bonds)

분자나 고분자구조(macromolecular structure)를 형성하기 위하여 원자가 서로 뭉치는 결합을 말하며, 이온(ionic), 공유(covalent) 및 금속(metallic) 결합등이 여기에 해당된다. 이들은 예외적으로 강한 결합력을 나타내는데 예를들면, 납착(soldering)이나 용접(welding)에서는 접착물 사이에 금속결합이 되는것이다.

### 2) 2차원자결합(secondary valence bonds)

1차원자결합에 비하여 매우 약하며, 분자간인력이라고 알려진 반데르·발스의 힘(Van der Waals forces)이 여기에 속한다. 2차결합에는 여러 종류가 있고, 모두 정전기적인 불안정(electrostatically unbalanced)에서 오는 분자간의 결합에 의해 나타난다. 그림 6-a에서 두개 원자가 모여서 공유결합방식(covalent bonding)으로 하나의 분자를 형성하였다고 가정하면, 전자(shared electrons)는 두개의 원자 사이에 공유하여 상당히 안정성있는 분자(balanced molecule)가 되고, 이것은 무극성(non-polar)을 이루게 된다. 그러나 공유결합이 되어있는 분자라도, 그림 6-b와 같이 X원자의 전기음성도(electronegative)가 Y원자의 것보다 클때는 전자(electrons)가 X원자쪽으로 치우치게 된다. 따라서 X원자는 음성(negative charge)을, Y원자는 양성(positive charge)을 나타내어 정전기적 안정성은

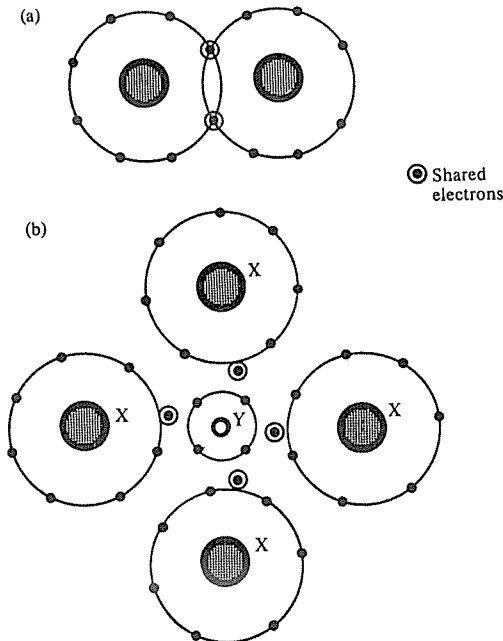


그림 6.

파괴(electrostatic imbalance)된다. 이것을 극성(polar)라 부르고, 여기에는 하나의 분자가 두개의 극을 갖고있어, 쌍극(dipole)이라 한다. 즉, 서로 다른 원자로 구성된 공유결합의 경우, 극성을 갖게되는데, 사염화탄소(carbon tetrachloride,  $CCl_4$ )와 메틸렌요도(methylene iodide,  $CH_2I_2$ ) 등을 예를들수 있다. 큰 유기분자도 종종 극성인것이 있으며 이 극성을 갖인 중합체는 접착용으로 유용하게 사용할수 있다. 극성분자인력은 쌍극간의 정전기적인 인력에 의하여 나타나고, 서로 다른 형태의 쌍극간에는 자기 다른 형태의 반데르·발스의 힘이 나타나는데 그 기전은 다음과 같다.

#### (1) 키솜과 디바이의 힘(Keesom and Debye force)

그림 7-a과 같이 인접된 두개이상의 분자에서 영구쌍극(permanent dipoles)간의 직접작용(direct interaction)으로 나타난다. 이때 쌍극의 내부에너지는 다른 분자의 극을 당기는 인력을 최대로 갖게 된다.

한편, 디바이의 힘을 극성과 비극성분자(non-polar molecules)간에 나타나는 현상으로, 먼저 설명한것이 쌍극자 모멘트(dipole moment)에 속하며, 이 디바이의 힘은 정전기장의 양상(electrostatic field)을 나타낸다. 즉 그림 7-b와 같이 극성분자(polar molecules)간의 인력을 나타내어 결국 쌍극이 형성 된다.

#### (2) 런던의 분산력(London dispersion forces)

전자(electrons)는 원자주위의 한정된 공간에서 무한한 운동을 계속하고 있고, 이론적으로 분자의 내부를 회전하므로 비록 비극성분자(non-polar molecule)라 하더라도 극성의 양상을 보인다. 이와같이 잠정적으로 쌍극을 이루는 분자는 그림 7-c와 같이 인접한 다른 분자와 인력을 갖게되는데, 이를 런던의 분산력(London dispersion forces)라고 한다. 극성분자(polar molecule)와 같이 영구쌍극에 지배되지 않고, 어느 분자에나 나타나며 또 쌍극간의 힘(dipole interaction forces)중에서 가장 강하다.

#### (3) 수소결합(Hydrogen bonding)

쌍극과의 상호결합 중에서 특히 수소를 갖고있는 결합을 말한다. 이 결합의 한측은 수소이고, 다른 쪽은 수소나 불소와 같이 전기음성도가 낮은 원자로 이루어지는데, 그림 7-d는 특히 두개의 분자가 물과같이 동일한 것으로 구성된 것을 보여준다. 물

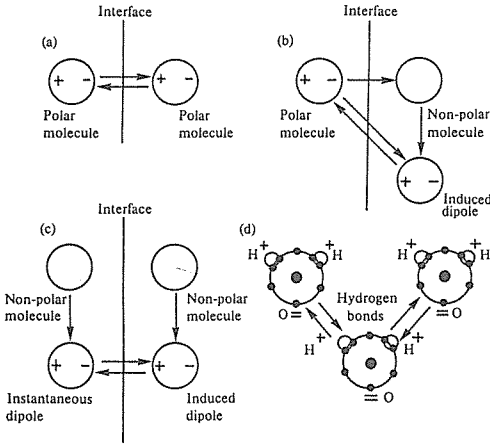


그림 7. 2차원자결합(Secondary valence bonds)

- (a) 키솜의 힘 (Keesom forces)
- (b) 디바이의 힘 (Debye forces)
- (c) 런던의 분산력 (London dispersion forces)
- (d) 수소결합 (hydrogen bonding)

은 전자가 전기음성도가 높은 산소쪽으로 가까히 있어 극성을 보이고, 음성을 나타내게 되며 각각의 수소원자는 양성을 띄우게 된다.

따라서 서로 인접한 물의 분자가 산소와 수소간의 쌍극에 의한 상호작용으로 수소결합을 형성하게 된다. 이 결합은 대단히 강한 것으로, 물과같은 분자량을 가지는 실온에서 가스상태로 되어있는 황화수소 (hydrogen sulphide,  $H_2S$ )나 암모니아 (ammonia,  $NH_3$ )보다 상당히 안정성이 높다. 수소결합은 고분자구조 (polymeric structure)의 하이드록실기 (hydroxyl, -OH)나 카복실기 (carboxyl, -COOH)와같은 높은 극성군에서도 형성될수 있기 때문에 많은 치과용 접착제에서 중요한 작용을 한다.

### 접착제의 선택기준 (Criteria for achieving adhesion)

위의 접착기전중 어떤것을 이용하던간에 접착표면을 완전히 적실수 있고, 액상에서 고상으로 변화하는 과정에서 체적의 변화가 없어야 하는데 몇가지 조건이 있다.

#### 1) 습윤 (Wetting, 濕潤)

습윤이란 접착물과 어느정도의 기계적 또는 화학

적인 결합을 할수 있는가를 의미한다. 이것은 결합체가 어느정도 퍼질수 있는 점조도 (viscosity)와 표면의 거칠은 정도나 오염물질등에 따라 달라진다. 이중 점조도는 가장 중요한 것으로 액상과 고상의 표면에너지의 관제에 따라 좌우된다. 즉 습윤 (wetting)은 고체표면에 액체를 떨어 뜨렸을때 얼마나 퍼질수 있는가를 나타내는 것으로 그림 8은 고체면과 액체면이 형성하는 접촉각 (contact angle), 세타 ( $\theta$ )를 이용하여 습윤정도를 표시한 것이다. 만일 이 각도가 제로(0)인 경우는 액체가 완전히 퍼진 것이며, 각도가 적을수록 습윤도 쉽게 일어난다. 접촉각도가 90도인 경우는 습윤현상은 아주 좋지않은 것이다.

표 2는 각종액체와 고체간에 접촉각을 표시한 것으로 만일, 접촉각이 낮아 습윤이 쉽게 일어난것은 액체와 고체간인력이 매우 강하고 또 모세관 침투현상과 접착이 잘된것을 말한다. 쉽게 습윤이 나타난것은 납착이나 또는 의치에서 유지력을 얻는데 매우 중요한 성질이다. 또 치아수복물의 표면에 얇은 타액의 습윤막을 형성하면 보다 자연스러운 심미성을 얻을 수 있다.

테프론 (teflon)이나 실리콘 같이 침수성이 없는것을 물과 접촉하는 경우 접촉각은 크게 나타난다.

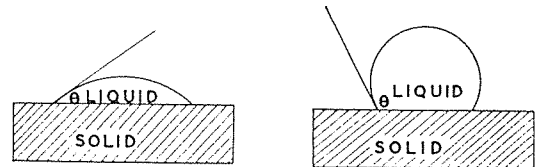


그림 8. 습윤 (wetting) 현상

- 좌 : 접촉각이 낮아 습윤이 높음
- 우 : 접촉각이 높아 습윤이 낮음

표 2. 각종액체와 고체사이의 접촉각

SOLID	LIQUID	CONTACT ANGLE (DEGREES)
Amalgam-alloy	Water	80
Silicate cement	Water	10
Acrylic	Water	75
Teflon	Water	110
Ag <sub>3</sub> Sn	Mercury	140
Gold alloys	Porcelain enamel	40-50
Nickel alloys	Porcelain enamel	80-100
Hydron	Water	0
Etched enamel	Pit and fissure sealants	0

#### (1) 표면에너지와 접촉각 (Surface energies and contact angle)

액체나 고체 모두가 그 표면에 있는 원자나 분자는 내부에 있는것 보다 높은 에너지를 갖고 있는데, 액

체인 경우 이 에너지를 표면장력(surface tension)이라 한다. 그림 9에서 표면의 분자가 증발할때 분자간의 거리는 더욱 멀어지고, 그림 10과 같이 멀어진 거리에 의하여 분자간의 순수인력이 나타나며, 높은 에너지의 인력(higher energy of attraction)을 갖게된다. 표 3은 각종 물질의 표면에너지를 나타낸것으로 액체보다는 금속이나 산화물의 표면에너지가 더 큰것을 알수있다. 일반적으로 표면에너지가 클수록 결합강도는 높은 것으로 액체가 이루고 있는 반데르발스의 결합보다는 금속의 에너지가 크므로 금속의 결합은 더욱 강하게 나타난다. 표면에너지의 단위는 대부분 에르그/제곱센티미터 이나, 표면장력의 단위는 다인/센티미터로 되어있다. 따라서 표면에너지는 표면장력과 표면넓이를 함께 나타내고 있음을 알수있다. 즉, 단위면적당의 표면에너지가 크게 나타나는 경우, 그 재료는 분말이나 콜로이드상으로 매우 미세화 되어 있어서 표면적을 넓게 하여 준 것이다. 예를들면, 금속이나 이온의 결정등이다.

이상적으로 균일한 액체나 고체는 그구조에 빈공간 없이 그림 11-a와 같이 주위에도 동일한 분자로 쌓여있어 어느 방향으로나 균일한 인력을 받는 평형상태(state of equilibrium)를 이루고 있다. 그러나 표면근처는 그림 11-b와 같이 분자간힘의 균형이 파괴되어 많은수의 분자가 있는 안쪽으로 인력이 작용한다.

이와같이 내측을 향한 인력은 물체의 표면에너지를 증가시키고, 액체와 고체의 표면장력은 분자구조에 따라 좌우되므로서 어느재료의 특성으로 나타난다.

그림 12에서 고체위에 액체를 놓을때 교차점에 형성되는 각도를 접촉각(contact angle)이라 하고, 이것은 고체의 표면에너지와 액체의 표면장력에 따라 영향을 받는다. 즉 접촉각이 적은 액체는 고체위에 넓게 퍼지므로 습윤현상은 쉽게 형성되고, 반대인 경우는 잘 일어나지 않는다. 그런데 모든 물체는 항상 가장 낮은 에너지 형태를 유지하려고 하나, 고체의 표면에너지는 매우 높으므로 비교적 낮은 표면에너지를 갖고있는 다른 재료를 끌어 당기게 되며, 이것을 흡착현상(absorption phenomena)이라고 한다.

표면장력이 작은 액체는 큰 액체보다 넓게 퍼지는 성질이 있고, 또 표면장력이 큰 액체는 체적에 비해 가급적 적은 표면을 유지하므로 구상형의 방

울이 형성 된다. 대개 표면장력이 적은 액체는 넓게 퍼져서 표면에너지가 높은 고체의 표면을 적신다. 따라서 표면장력이 서로 다른 액체를 고체위에 놓으면 액체는 전술한 바와 같이 각각의 접촉각을 형성하고, 만일 이 각도의 코사인(cosines)값을 이용하여 도표를 그리면 그림 13과 같이 일직선이 되는데 이것을 지스만도면(Zisman plot)라고 한다. 즉 표면장력이 적을수록 각도는 적어지고, 코사인 값은 커진다. 접촉각이 0도인경우(코사인 1)는 액체가 완전한 습윤효과를 나타낼수 있는 것이며, 이 값보다 높은 경우는 완전한 습윤현상을 나타낼수 없는 것이다. 이러한 이유로 에폭시레진과 같은 공업용 접착제는 비교적 낮은 표면장력( $3-3.5 \times 10^{-2}$  N/m)을 갖고있는 반면, 테프론(teflon)이나 폴리에틸렌과 같이 접착이 잘 안되는것은 예외적으로 낮은 기준의 표면장력( $1.85 \times 10^2$  N/m)을 갖고 있다. 실제로 접착제의 표면장력과 접착물의 기준표면장력이 일치하는 경우, 가장 우수한 접착을 얻을 수 있다. 또 모든 물체의 표면은 미세한 요철이 존재함으로 보조적 접착효과도 얻을수 있다. 이경우 접착제는 미세한 틈사이로 균등하게 침투될수 있어야 한다. 그림 14에서 모세관에 용액이 침투되는 높이는 표면장력과 정비례의 관계를 이루고 있고, 이러한 과정을 얻기 위하여 표면장력이 상당히 큰 재료를 이용한다. 표면장력이 높은 경우 액체는 불균질한 요철면으로 균등히 침투되어 접착력이 증가된다. 그러나 접착제의 표면장력은 접착물의 기준표면장력(critical surface tension)보다 높아서는 안된다. 또 접착제와 접착물은 가능한 밀착시키어 내부분자

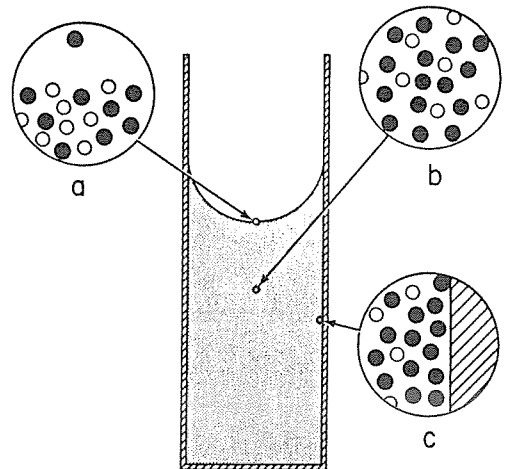


그림 9.

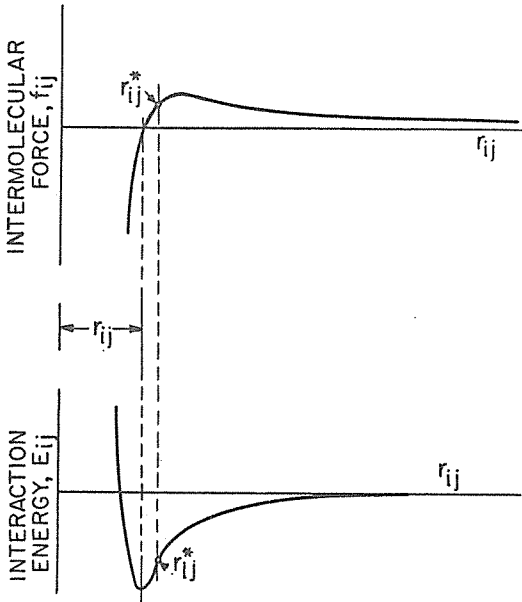
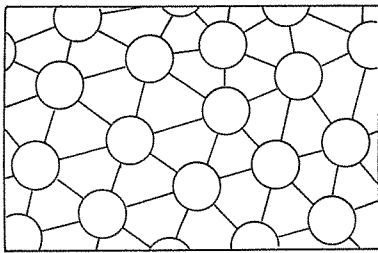


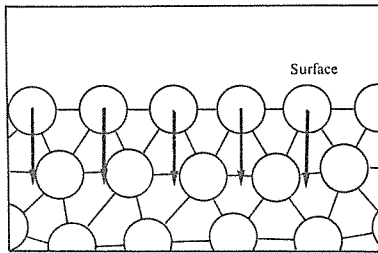
그림10. 분자력, 분자에너지와 거리와의 관계

표 3. 각종물질의 표면에너지

SUBSTANCE	SURFACE ENERGY (ERGS/CM <sup>2</sup> )	TEMPERATURE (°C)
Water	72	20
Benzene	29	20
Olive oil	36	20
Saliva	56	23
NaCl crystal	300	25
Dental porcelain	365	1000
Copper, solid	1430	1080
Silver, solid	1140	750



(a)



(b)

그림11.

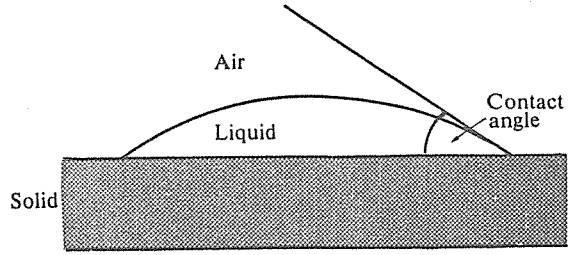


그림12. 액체와 고체의 교차점에 형성된 접촉각

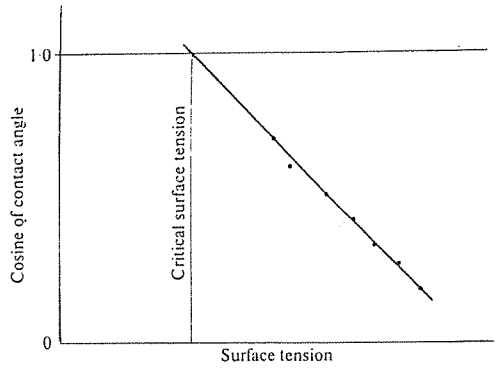


그림13.

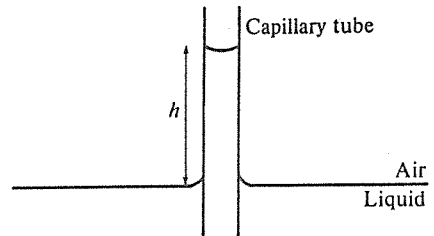


그림14. 모세관에서 액체의 상승현상, 그 높이는 표면장력과 정비례한다

인력이 가능한한 크게 나타나게 하여 계면(interfacial, 界面)의 에너지는 가급적 적게 해야한다.

(2) 표면조도(surface roughness, 表面粗度)

표면의 요철을 이용하여 상당히 높은 접착력을 얻을 수 있는데, 이 효과를 얻기 위하여 접착제를 도포하기 전에 접착면을 고의로 마손(abrasion) 시키는 수가 있다. 기계적 유지를 이용하는 경우, 전단강도(shear strength)가 증가되고, 또 표면적이 증가되어 고유접착을 얻을 수 있다.

(3) 점조도(viscosity, 粗度)

표면에너지를 보면 접착제가 접착물을 완전히 적실 수 있는 것으로 생각되나 접착제의 점조도가 높은 경우 이러한 현상은 나타나지 않는다. 점조도는

액상의 상태로 퍼지거나 유동성을 나타내는 능력을 의미한다. 점성이 있는것은 점조도가 높은 것이며, 물과같이 흐를수 있는 것은 점조도가 낮은 것이다. 이 개념은 윤활한면에 접촉시키는 경우 차이가 없으나 거친면에 접촉시킬때는 중요하게 취급된다.

## 2) 모세관 침투(Capillary penetration)

액의 표면에너지는 일종의 압력을 형성할 수 있고, 작은 틈 사이로 액을 밀어넣을수 있다. 즉 수분물과 치아의 틈새(leakage)로 타액이 침투되는 현상으로 의치의 유지력을 설명할수 있다.

### (1) 모세관의 침투높이(Capillary rise)

그림 15-a에서 유리관을 어떤 용액에 넣으면 용액이 관의 내부로 올라오는데 이때의 용액의 높이는 다음 공식으로 계산된다.

$$h = \frac{2r \cos \theta}{rdg}$$

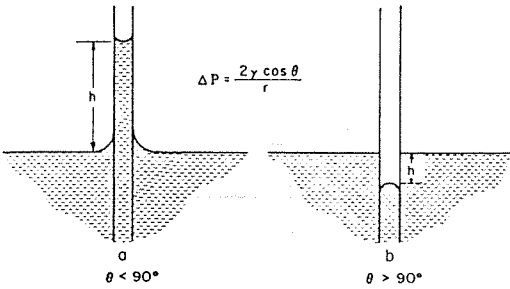


그림 15. 접촉각과 모세관침투와의 관계

좌: 모세관 상승  
우: 모세관 저하

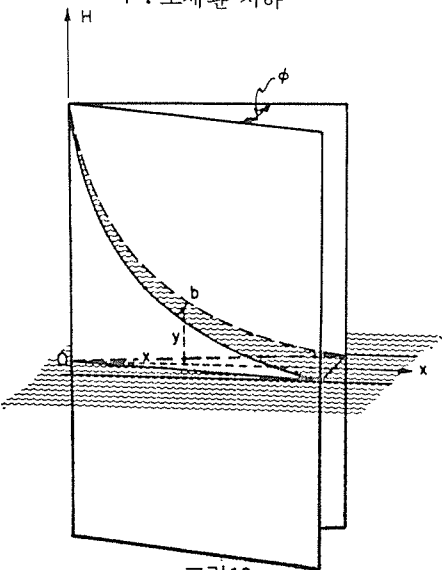


그림 16.

이와같이 용액이 상승하는 것은 유리관과 용액면이 형성하는 접촉각이 90도 이하인 경우에만 나타나며, 90도를 초과하는 경우는 그림 15-b와 같이 오히려 액이 내부로 들어간다.

또 두장의 유리판을 그림 16과 같이 실험할때 액의 침투높이는 유리관 사이의 간격에 관계된다. 그림 17에서 애클릴릭의치 주위표면에 실리카를 도포하여 접촉각을 감소시킨 경우, 타액의 침투는 증가된다. 그러나 유지력에서 보면, 접촉각을 조절하는 것 보다 의치와 구강점막 사이의 간격을 가능한한 적게하여 주는것이 좋다.

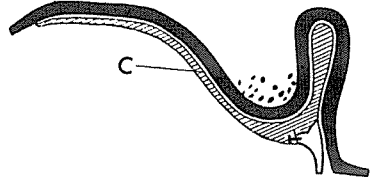


그림 17. 의치와 구강점막의 모세관사이 간격

### (2) 침투계수 (penetration coefficient)

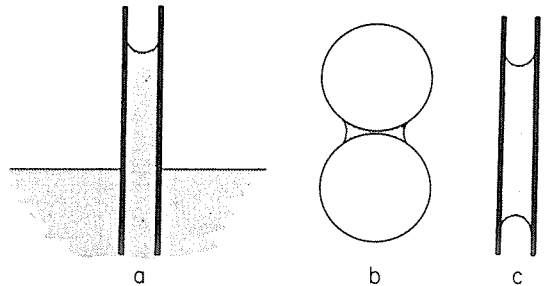
모세관 사이의 간격으로 용액이 침투되는 속도는 표면장력( $\gamma$ ), 접촉각( $\theta$ ), 점조도( $\eta$ )등에 따라 결정되며 다음의 공식으로 표시된다.

$$P.C = \gamma \cos \theta / 2\eta$$

여기서 점조도와 접촉각이 낮고, 표면장력이 큰 경우는 이와 반대 성질을 갖인 액체에 비해 빠른속도로 침투된다. 이것은 소와열구충전재 (pit and fissure sealant, 小窩裂溝充填材)와 같이 조잡한 면에 침투하여 강한 결합을 얻어야 하는경우 매우 중요한 성질이다.

### (3) 모세관 접착(Capillary adhesion)

그림 18 에서 물속에 담겨져 있지않은 상태의 모세관을 아이소캡(isocaps)라 부르나, 이 경우는 모세관현상에 의하여 발생된 음압(negative pressure)



Isocaps

그림 18.



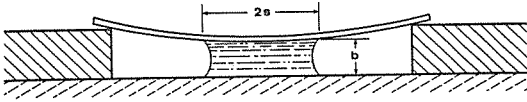


그림19. 모세관 접촉으로 유리판이 휘것

이 물속에 있는 액체와 평행상태를 이룰수 없기 때문에 그림19와 같이 유리판을 구부릴 수 있다.

(4) 우식부위의 모세관응압 (negative capillary pressure at caries sites)

그림20을 보면, 치아주위의 타액이 침투되어 쉽게 우식되나, 만일 소량의 타액이 여기에 있으면 아이소캡(isocaps)이 형성되어 이 부위의 타액은 음압(negative pressure)를 받게된다. 그림21의 장치를 이용하여 세균에 음압을 가하면서 배양시킨바 그림22와 같이 세균 배양속도가 증가되었다. 즉 22

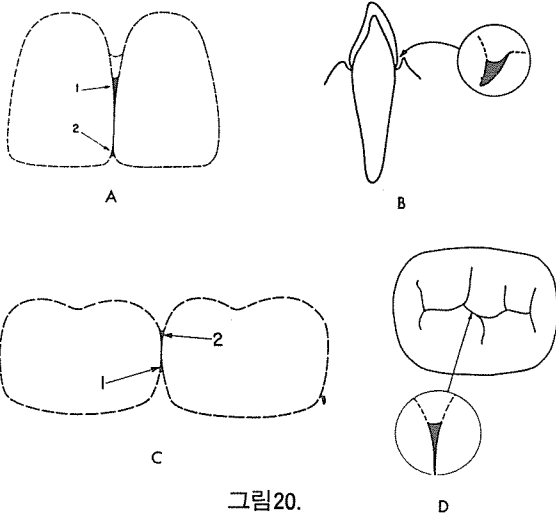


그림20.

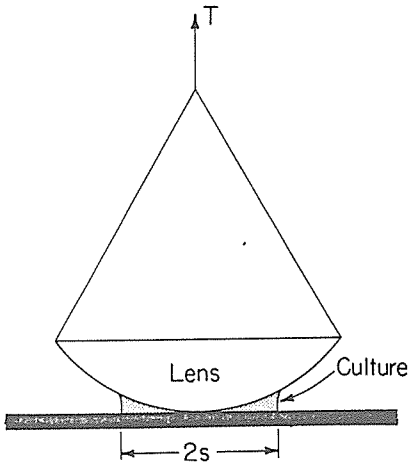


그림21.

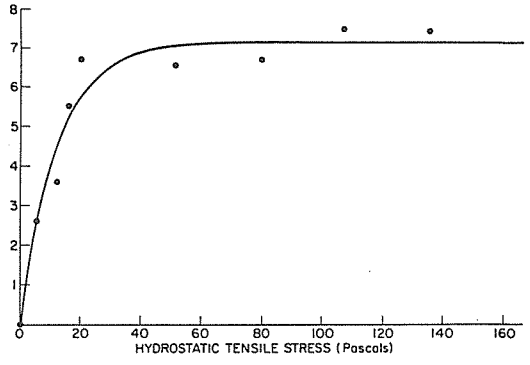


그림22.

%의 음압을 가 하면서 바실러스 시리우스(Bacillus cereus)를 배양한 결과 그성장 속도는 가장 크게 나타났다.

3) 액상에서 고상으로의 전환(Liquid-solid transformations)

접착할때 점조도가 낮아 쉽게 접착물을 흡윤시켜야 하나, 일단 경화되면 점조도는 급히 증가하고, 전단강도는 최대 상태에 이르러야 하며, 또 체적의 변화도 없어야 한다. 즉 어느정도의 탄성이있는 고체(elastic solid)를 이루는 것이 이상적이다. 액상에서 고상으로 변화하는데는 여러가지 기전이 있으나 다음과 같이 요약한다.

- (1) 용해점 이하로 액체를 냉각시키는 경우
- (2) 접착제에서 휘발성용매를 급히 증발시키는 경우
- (3) 단량체(monomer)의 중합에 의하여

이중 처음경우는 고온에서 사용함으로써 구강내에서는 부적당하고, 금속을 용접하거나 고온에서 용해되는 레진접착제등이 해당된다.

두번째 경우는 용매가 증발될때 수축이오고, 또 증발되는 용매는 인체에 독성이 있고, 치과 용으로 는 적합치 않다.

세번째는 중합반응을 이용하여 경화시키는 것으로 치과용으로 사용되나 다음과 같은 제한이 있다. 즉,

- 1. 단량체에는 독성이 있고, 촉매제(catalyst)도 접막에 자극을 준다.
- 2. 중합반응시 열이 발생되므로 온도가 증가된다.
- 3. 온성중 수축되어 접착부위에서 이탈된다. 이것은 중합반응으로 생긴 부산물이 증발되고, 응축합형레진(condensation polymer)에서는 물, 알콜등 부산물이 생긴다. 또 접착부의 일

차결합의 형성으로 공유결합인 경우나 반데르 발스등의 경우에 비해 원자사이의 길이가 감소되어 생긴다.

레진접착제에서 수축현상은 내부의 어떤 응력을 초래하여 접착제가 쉽게 떨어지며, 수축때의 힘이 클수록 이 현상은 더욱 크게 나타난다. 접착제의 부피를 적게할때, 수축량은 감소되므로 가능한 한 얇게 도포하는것이 좋다. 접착제에 약간의 탄성을 주면, 잔유응력으로 인한 수축을 방지할 수 있다.

### 치아경조직과의 접착 (Adhesion to hard tooth substances)

산업용으로 많은 접착제가 있으나, 치과용은 독성, 온도, 습도와 구강내의 특수조건등으로 그 사용에 제한을 받는다. 교정, 예방치과 분야에서는 법랑질과의 접착을 치아수복의 경우는 주로 상아질과의 접착을 중요시 한다. 그러나 법랑질과 상아질은 그 조성, 구조가 서로 다르므로 접착에 차이가 있다.

#### 1) 법랑질

법랑질의 95%는 수산화인회석칼슘[Calcium hydroxyapatite,  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ ]이라는 무기상(phase)으로 구성되어있고, 여기에 소량의 불소결정과 다른상이 함께 나타날수 있다. 나머지에서 1%는 유기물이고, 4%는 물로서 소량은 결합되어 있으나 대부분 쉽게 빠져나올수 있게 되어있다. 때문에 법랑질과의 무기상과 주로 결합되도록 해야한다. 법랑질에는 직경  $6\mu m$ 의 프리즘(prisms)이 전체를 통해 침투되어있는 구조로 되어있다. 이 프리즘 내부는 작은 인회석결정이 유기질(organic matrix)와 결합되어 있다.

그림23-a에서 프리즘의 경계부는 결정상이 변화한곳으로 이것은 금속에서 결정구조를 이루고 있는 곳이 다른 방향의 결정과 교차하는 곳에 계면(grain boundaries)을 형성하는 것과 같은 구조이다. 결정의 밀도가 감소되는것은 유기상의 농도가 증가 되는것으로 따라서 유기상과 같이 결합되어있는물도 나타날수 있다. 프리즘 자체의 구조는 균질하지 않으며, 많은 불규칙한 상이 나타날수 있다. 따라서 법랑질과 기계적 결합을 시킬때는 법랑질 외면에 있는 프리즘의 구조를 정확히 아는것이 중요하다. 또 법랑질이 구강내 타액에 오래 노출되어 있

는 경우, 타액이 법랑질 표면에 침착되어 원래 구조와 조성이 다른 상태를 이루게 된다, 접착에서 보면, 이것은 불순물이며 완전히 제거해야 한다.

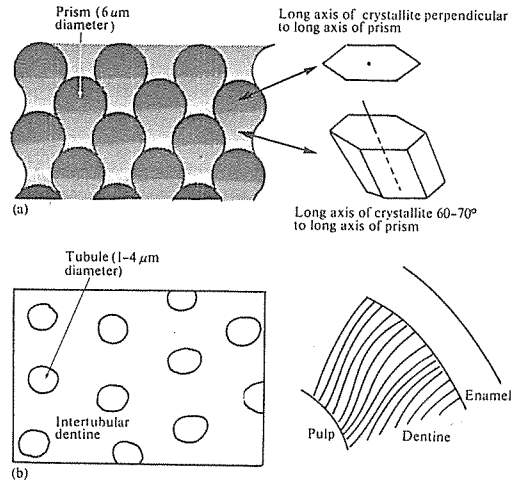


그림23.

#### 2) 상아질

법랑질에 비해 유기상(organic phase)과 물이 많이 들어있는데 유기상은 20~30%인데 대부분 콜라겐(collagen)으로 구성되어 있다.

무기상은 50~67%이고, 13~20%, 정도의 물은 대개 결합되지 않은 상태이고, 무기상도 수산화 인회석칼슘으로 불소와 같은 이온이 상당히 들어있다. 접착은 주로 무기물의 결정인 인회석(apatite)과 결합되는 것으로 유기상 특히 교질(collagen)과는 전혀 친화력이 없다. 따라서 상아질과의 접착은 낮게 나타난다. 대부분 치과용 접착제는 유기질 보다 무기물과 고유 접착을 하도록 되어있어 상아질 보다 법랑질과의 접착력이 월등히 높다.

상아질은 그림 23-b와 같이 직경 1~4 마이크론의 관상구조(tubular structure)로 되어있고, 내부에는 치수에 있는 조치세포(odontoblasts)의 원형질로 채워져 있다. 인회석결정(apatite)은 관사이의 상아질(intertubular dentine)에 나타나 있는데, 법랑질에 비해 그 양은 적으나 유기질 사이에 불규칙하게 분포되어 있다. 상아질의 미세구조는 매우 복잡하고 다양하며, 각각의 관은 만곡을 이루고 있고, 관사이에 측관(lateral)을 형성한 경우도 있다. 석회화정도는 각기 달라 과다하게 석회화된 부위와 과소한 부위가 함께 나타나있다. 이러한 이유로 상아질은 법랑질 보다 약하게 결합이 형성된다.

**법랑질과 상아질의 결합에 사용되는 재료**  
(Materials for bonding to enamel and dentine)

많은 치과용 수복재료를 치아에 접착시키고, 경화한 후 보면, 약간의 결합력을 나타내고 있다. 즉 일단 굳은후에 이것을 다시 치아에서 제거할때는 어느정도의 힘이 필요하다. 이러한 성질이 있는 것은 에크릴릭레진, 콤포짓레진, 인산아연 시멘트나 아연화유지들 시멘트 등으로 이들의 접착양상은 완전히 알려져 있지는 않으나 모두 고유결합을 하지는 않는다. 따라서 법랑질이나 상아질 표면의 미세한 구조를 이용한 기계적인 접촉으로 생각된다. 만일 물이 먼저 닿으면 결합강도는 제로(0)가 된다. 따라서 법랑질이나 상아질면에 특수 처리를 하지 않고 이러한 재료를 사용하는 경우는 완전한 구조적인 결합을 얻기 어렵기 때문에, 법랑질에 어떤 특수처리를 하여 기계적인 유지력을 얻도록하는 방법을 응용하고 있다. 카복실기(carboxyl group, -COOH)를 함유하고 있는 재료를 이용하면 법랑질과 상아질에 고유결합을 할수 있는데 이 경우에 해당되는 재료로 카복실레이트와 글라스 아이오노머계 시멘트를 들수 있다. 이 시멘트의 분말은 각각 산화아연(zirc oxide)과 칼슘 알루미늄 실리케이트(calcium aluminosilicate)이고, 액은 폴리아크릴릭산(polyacrylic acid solution)으로 되어있다.

이것은 치아면을 완전히 적실수 있는 성질이 있고, 극성면(polar substracts)에 극성결합(polar adhesion)을 할 수 있으므로 이와같은 고유결합을 할 수 있다. 즉 접착제가 그림24-a와 같이 아직 액상일때는 수소결합(hydrogen bonds)을 형성하려는 경향이 있기 때문에 극성인 치아의 면을 적시게 되며 이로인하여 중합체가 치아와 결합될수 있다. 결국 접착물을 완전히 적시어 경화하면 수소결합을 형성하므로 폴리아크릴릭산은 수종의 재료와 완전히 결합할 수 있다. 그러나 그림 24-b와 같이 시멘트가 경화됨에 따라 이러한 약한 수소결합 대신 이온성의 분말이나 치아에서 나온 음이온(cations)이 폴리애시드(polyacid)의 수소이온(hydrogen atoms)과 대체하여 이온결합이 형성된다. 접착제가 얼마나 치아면을 적실수 있는가 하는것은 액에 얼마나 많은 카복실기(free-COOH groups)가 나타나는가에 달려 있으므로 가능한한 시멘트는 경화초기단계에

치아에 도포해야 한다. 즉 시멘트는 경화함에 따라 이온이 대체되어 반응하므로 자유기(free groups)가 줄어들고, 습윤은 차츰 감소된다.

물체로 치아표면에 있는 단백질성의 잔사(proteinaceous debris)를 완전히 제거하여야 더욱 강한 습윤효과를 기대할수 있다. 예를들면 글라스아이오노머 시멘트에서는 이 목적으로 싸이트릭산(citric acid)를 이용한다.

세제는 치아와 이온결합(ionic bonding)을 촉진시키기 위하여 필요한 음이온(anions)을 충분히 공급해야 한다. 이것은 법랑질의 경우 대단히 우수하여 칼슘이온을 내어놓아 그림24-c와 같이 이온브리지(ionic bridge)가 형성될 수 있다. 상아질에는 칼슘의 양이 법랑질보다 적으므로 접착결합력은 낮다. 그러나 유기질이 많고 무기질이 적은 상아질이라도 이온은 그림 24-d와 같이 이온성유리(ion leachable glass)에서 나오는 음이온을 이용하고, 카복실기(-COOH groups)는 상아질의 아미노산(-NH<sub>2</sub>)과 결합되도록 할 수 있다.

비록 이러한 시멘트에 극성면(polar surfaces)이 있다면, 다른 여러가지 재료와도 접착 시킬수 있다. 예를들면, 산화물(oxides)의 경우에 음이온간의 정전기적인 인력(electrostatic attraction)을 이용하여 결합을 시킬수 있다. 표 4는 글라스 아이오노머 시멘트와 각종치과용 재료와의 결합을 표시한것으로, 여기서 결합은 극성을 나타내는 면을 갖고있는 경우에만 가공한 것으로, 금속에는 산화막이 형성되어 있지 않아 이와같은 접착기전은 기대할수 없으며, 또 도재에서도 이와같은 반응성이 전혀 없음

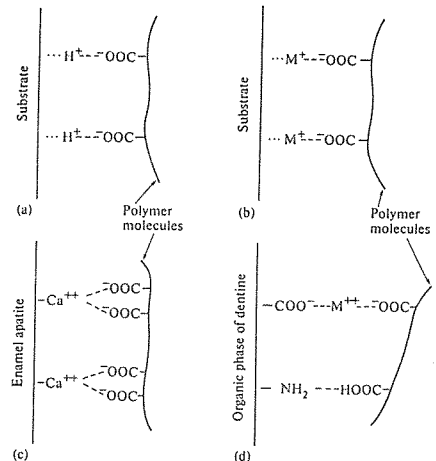


그림24.

표 4. 수중재료와 그라스아이오노머시멘트 사이의 결합강도

Substrate	Bond strength (N/mm <sup>2</sup> )
Enamel	4.0
Dentine	2.9
Stainless steel	6.8
Platinum	0
Gold	0
Porcelain	0
Platinum/tin oxide	3.8

으로 역시 접착이 안된다. 이러한 시멘트와 고유접착을 하지 못하는 시멘트와의 차이는 인산이나 유지놀과 같은 단량의 산(monomeric acid)에 의한 것이 아니고, 이량액체(donating liquid)로 되어있는 수소이온을 낼수있는 액에 달려있다는 것이다. 예를들면 인산염을 형성하여 결합되는 시멘트(phosphate bonded cement)는 금속-산소-인산염의 결합(links)를 이루게 되나, 카복실레이트 시멘트에서는 이러한 결합양상은 볼수 없다.

### 치아면의 전처리

#### (Pretreatment of tooth surfaces)

치아면과 접착을 높이기 위하여 다음 여러가지 방법을 응용한다.

#### 1) 청결처리(Cleansing treatments)

법랑질표면이나 와동내면의 상아질등 모든 치아표면은 오염되어 있어서 잔사(debris)가 있는 경우 접착제의 흡윤효과는 억제됨으로 접착제를 도포하기 전에 모든 표면은 세척해야 한다. 그라스아이오노머 시멘트를 사용하기 전에는 50%의 구연산(citric acid)으로 30초간 도포하고 물로 세척한다. 과산화수소와 인산용액으로 교대로 처리하면 결합강도는 약 2배까지 증가된다.

#### 2) 석회화용액(Calcifying fluids)

법랑질은 칼슘이온의 수가 상아질 보다 많기 때문에 접착력이 높다. 따라서 상아질표면에 이와같은 칼슘의 수를 증가시키기 위하여 칼슘량이 많은 액체로 석회화 시키는 방법을 응용하고 있다. 여러종류가 있는데 칼슘의 복합물을 이용하는 브러사이트(Brushite, calcium hydrogen phosphate dihydrate)와 불소이온이 많이 포함되어 있는 완충용액(buffer solution, phosphate buffer)과 함께 사용한다.

이용액은 상아질표면의 원래의 수산화 인회석 결정(crystalline hydroxyapatite)에 더하여 새로운 결정을 침착시킨다. 이때의 침착층두께는 접착에 필요한 1층의 분자정도의 두께면 충분하다. 앞으로 이와같은 침착이 가능한 단시간내에 일어날수 있도록 개발된다면 이 석회화용액(calcifying fluids)는 널리 사용될 것이다.

#### 3) 산에 의한 부식법(Acid-etching)

기계적인 접착을 높이기 위하여 산으로 부식시키는 방법으로 법랑질은 비균질적구조(heterogeneous structure)로서 산으로 부식한 경우 미세한 요철을 갖인면이 형성되어 기계적유지에 도움을 준다. 여러종류의 산이 개발되었으나 현재 50%의 인산을 사용할때 도포 시간이 짧고, 자극성이 비교적낮다. 산으로 법랑질을 부식하는 경우 표면의 용해속도는 미세구조에 따라 달라지는데 프리즘 내부는 주위조직이 비하여 용해속도가 빠르기 때문에 그 자리에 함몰된면을 만든다. 어떤경우는 반대로 프리즘 주위 조직이 파이고 프리즘 중앙조직은 그대로 남는 수도 있고, 때로는 프리즘 주위조직과 내부 조직이 동시에 같은 속도로 용해된다. 이러한 현상은 법랑질의 조직 및 조성차이나 산의 변화에 따라 일어날 수 있다. 이러한 함몰부위(etched surface)로 인해 그림25와 같은 표면을 얻을수 있으며, 기계적 유지력이 크게 증가된다. 동시에 청결효과도 얻을수 있고, 표면적의 증가로 고유접착의 효과도 얻을수 있다.

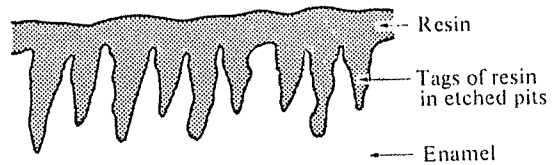


그림25. 부식된 법랑질사이로 접착제가 침투된모습.

#### 4) 결합제(Coupling agents)

고유접착을 하도록 결합제(coupling agent)를 도포하는 방법으로, 그림26에 있는 분자에는 반응할 수 있는 여러개의기가 있고, 각각다른 형태의 결합을 하게된다. 따라서 각각의 부분에서 결합을 하여 이재료는 치아에 대하여 특수한 결합을 하게된다. 예를들면, 사이란(silane)은 복합레진의 경우에 레진과 충전재를 결합시키는 작용을 한다. 사이란

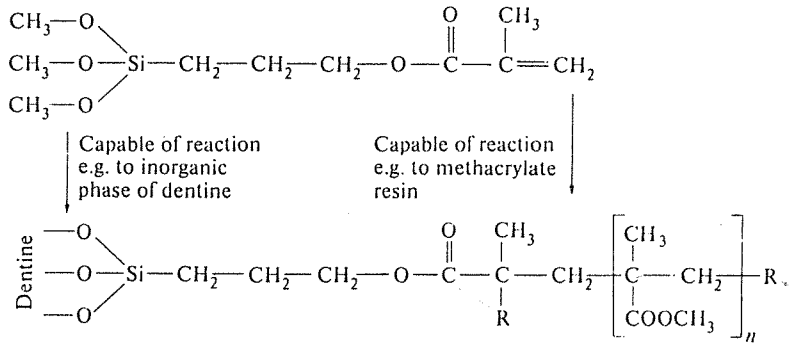


그림26. 사이란(Silane)을 이용하여 접착력을 증가시킨 구조.

을 이용하는 경우에는 법랑질과 레진의 접착력을증  
가시킬수 있다. 즉 이 결합제의 한쪽에서는 킬레이  
트(chelate)를 형성하여 치아의 칼슘과 결합을 하

고, 다른 한쪽은 레진의 중합반응에 직접참여하여,  
결합하게 되므로 결국은 레진과 법랑질과의 접착력  
을 크게 증가시켜준다.

## ◇ 토막소식 ◇

- 大韓齒友會 第21回, 서울齒友會 第22回 定期總會 및 學術講演會 盛了
- 總豫算 3千3百餘萬圓 討議없이 承認
- 李喜炳氏 會長就任, 次期會長에는 金鍾旭會員 選任
- 金鴻基博士(서울市齒科醫師會 會長)「臨床임프란트에 對하여」學術講演 盛況

대한치우회와 서울치우회가 지난23일 강남 남서  
울 호텔에서 전국에서 모인 130여 회원이 참석리에  
성대하고 화기애애한 가운데 개최됐다.

齒協 金東順회장과 池憲澤會長 및 徐永圭 서울대  
동창회장, 金鴻基 서울회회장등 다수 내빈이 참석한  
가운데 열린 이날 회의는 李喜炳회원이 會長에 就  
任(身病으로 入院中으로 不參)했으며, 차기 會長에  
金鍾旭氏를 選任했다. 이어 예산안 심의에 들어가  
2천400여만원의 모금된 기금을 위시하여 3천3백  
여만원에 대한 예산안을 승인함으로써 총회를 마쳤  
는데 차기 총회 개최는 全羅齒友會 主管으로 全州  
에서 개최될 예정이다.

이보다 앞서 열린 서울齒友會 제22회 총회에서는  
金斗千 회장직무대리의 개최사에 이어 예산안 심의  
에 들어가 1천6백여 만원의 예산을 원안대로 승  
인하고 대한치우회 총회를 주관할 준비에착수했다.

이자리에서 명예회원에게 회원패 증정이 있었는  
데 本 協會誌 李承婁主幹이 새로 명예회원으로 추



〈사진은 대한치우회 총회 광경〉

대 되었다.

서울을 위시한 각 지부에서 추대된 회원은 자동  
적으로 대한치우회 회원이 되는데, 이로서 명예회  
원은 4명에서 5명으로 늘어났다. 현재 명예 회원은  
李熙昌, 金用瑄, 池憲澤, 崔曉峰等 諸氏와 이번 새  
로 추대된 李承婁主幹등 5명이다.