

## 네가지 상아질 접착제의 전단 결합 강도 비교

부산대학교 치과대학 치과보존학교실

조경미 · 허 복 · 이희주

### Abstract

#### COMPARISON OF SHEAR BOND STRENGTHS OF FOUR DENTINAL ADHESIVES

Kyeong-Mee Cho, D. D. S., Bock, Hur, D. D. S., M. S. D., Ph. D.

Hee-Joo Lee, D. D. S., M. S. D., Ph. D.

*Department of Dentistry, Graduate School, Pusan National University*

The purpose of this study was to assess comparatively the shear bond strength on dentin of four dentin bonding agents used in conjunction with light-curing composite resins. Clearfil New Bond, Scotchbond Multipurpose Dentin Adhesive, All-Bond 2 and X-R Bond were applicated on labial dentin surfaces just below dentin - enamel juction of bovine incisor teeth .

After shear bond strength testing with the universal testing machine, the bonding interface of the specimens were observed under light stereomicroscope.

Following results were obtained.

1. The shear bond strength was high in the order of B,C,D,A and group B Scotchbond Multipurpose Dentine Adhesive revealed greater bond strength than Clearfil New Bond and X-R Bond. ( $p < .001$ )
2. When using ANOVA and Duncan's multiple range test, there were statistical differences among the four groups , except between group B and C, group D and A.
3. There was no relationship between mode of failure and shear bond strength.

### I. 서 론

산부식법으로 수복재를 법랑질에 결합시키는 방식은<sup>1-4)</sup> 실험실 연구에서 뿐 아니라 장기간의

임상 응용에서도 매우 성공적임이 밝혀짐에 따라 현재에는 예방, 수복, 교정 치료 분야에서 광범위하게 이용하고 있다. 한편 외동의 수복에 있어서 상아질과 수복재와의 결합도 필수적이

므로 상아질 접착에 관한 연구도 계속되어 왔다. 그러나 법랑질과는 달리 상아질의 산부식은 생물학적 위해성 때문에 금기시 되어 생물학적으로 안전한 방법을 모색하게 되었다.

이를 살펴보면 1950년대 초반의 제 1세대 제품<sup>1,4)</sup>에는 상아질 표면의 칼슘을 치환하는 결합 촉진제로서 표면 활성 comonomer 인 NPG-GMA (N-Phenylglycine glycidyl methacrylate), glycerophosphoric acid dimethacrylate 등이 포함되어 있어 도말층과 화학적으로 결합하는 방식을 취하였으나 도말층과 상아질과의 결합이 불량하기 때문에 결합 강도가 3.0 MPa 미만으로서 임상 사용에는 부적합하였다. 이후 제 2세대의 상아질 접착제<sup>4)</sup>는 중합 가능한 phosphates 를 Bis-GMA resin 에 첨가하는 방법으로 상아질 내 칼슘과의 결합을 도모하였으나 제 1세대 제품과 마찬가지로 소수성이고 도말층을 제거하지 않는 방식을 취하였기 때문에 약간의 결합력 향상에도 불구하고 수복물의 유지를 위해서는 기계적인 유지 형태가 부가적으로 필요하였다. 이와 같이 상아질에 대한 화학적 결합을 시도할 경우에는 상아질 자체의 높은 유기질 함량, 표면의 수분, 상아세관 내부의 조상아세포 및 상아 세관액, 상아질 투과성, 내부 조성의 변이 등으로 인해서 많은 어려움이 있으며<sup>1-6)</sup> 상아질 삭제 과정에서 형성되는 도말층<sup>1,3,4,6-9)</sup>도 상아질 접착을 방해하는 요소로 작용하였다고 생각할 수 있다. 따라서 1980년 대 중반부터 등장하게 된 제 3세대 상아질 접착제들<sup>1,4,8,10)</sup>은 상아질 표면의 처리 과정에서 도말층을 용해시켜 제거하거나 또는 보존하되 결합에 유리하도록 변형시키는 방식을 채택하여 결합력이 상당히 향상되었으나 법랑질과의 결합에 비해 만족스러운 정도는 아니었다.

가장 최근에 소개되고 있는 상아질 접착제들-Scotch Bond Multipurpose Dentin Adhesive (3M), All-Bond 2 (Bisco Dental Products), C & B Metabond-은 법랑질 뿐 아니라 상아질에도 동시에 결합되면서 그외 아말감등의 다른 물질과도 결합 가능한 "multipurpose dentin adhesive"이다. 이러한 제품들은 생물학적

위해성 때문에 상아질에 대한 산처리를 금기시 하였던 종래의 개념과는 달리 대부분이 산처리제 (acidic conditioner) 를 이용하여 도말층을 완전히 제거하면서 하방의 상아질을 부분적으로 탈회시킨다. 이후 primer를 도포하면 탈회되어 노출된 상아질면의 교원 섬유들 사이로 친수성 레진 단량체가 침투하여 hybrid layer 또는 interdiffusion zone<sup>1-5,9,11-21,25,30,34-36,38,39)</sup> 을 형성함으로써 법랑질에서의 전단 결합 강도와 유사한 결합력을 발휘한다고 알려져 있다.

다른 수복 재료와 마찬가지로 상아질 접착제의 경우에도 임상 평가가 가장 믿을만한 방법이지만 상당한 기간과 비용이 소모되고 임상 조사가 완결되기 전에 상아질 접착제의 구성 요소가 종종 바뀌기 때문에 단기간에 평가가 가능한 인장 강도, 전단 결합 강도, 변연 누출 등의 측정과 같은 실험실 연구가 필수적이다<sup>1,9,11)</sup>.

이에 본 실험에서는 현재 시판되고 있는 네 가지 접착제의 상아질에 대한 전단 결합 강도를 측정함으로써 도말층 처리 방식이 결합강도에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

## II. 연구 재료 및 방법

### 1. 연구 재료

표면 손상이 없는 permanent bovine incisor 40 개를 이용하였으며 수복에 사용한 각각의 상아질 접착제와 복합 레진은 표 1 과 같다.

### 2. 연구 방법

#### 1) 시편 제작

bovine tooth 의 치근을 자가 중합 레진에 매식하여 block을 제작하였으며 이 때 백악-법랑경계가 충분히 노출되도록 하였다. 그리고 diamond disk 로 순면 치경부 치관의 법랑질을 제거하면서 직경 5mm 이상의 평탄한 표층 상아질면을 형성한 후 600 번 연마지로 연마하였다.

2) 상아질 접착제 도포 및 레진 기둥 부착  
네개의 실험군으로 나누어 첫번째 실험군 (A)에는 Clearfil New Bond, 두번째 실험군

(B) 에는 SMPDA, 세번째 실험군 (C) 에는 All-Bond 2, 네번째 실험군 (D) 에는 X-R Bond 를 사용하였으며 각 군당 10개씩의 치아에 제조회사의 지시대로 해당하는 상아질 접착제를 도포하였다(표 2). 그리고 결합강도를 측정한 후 파절면을 관찰할 때 파절 양상의 식별이 용이하도록 접착제에 형광색소를 첨가하였다(표 2). 이후 matrix로 이용한 직경 및 길이가 각각 5 mm의 gelatin capsule내에 각 상아질 접착제와 동일한 제조회사의 복합레진을 3 회에 나누어 충전하고 중합시켰다. 이때 처음 1 회와 2 회에는 2mm 씩 충전하고 40 초간 광중합하였으며 마지막 3 회 째에는 약간 과잉 충전하고 조심스럽게 여분의 레진을 제거한 후, 레진기 등의 네 방향에서 각각 40 초 씩 총 160 초 동안 광중합 시켜 치면에 직각으로 부착된 레진 기등을 만들었다.

### 3) 전단 결합 강도 측정

37도의 생리적 식염수에 24시간동안 시편을 보관한 후 만능시험기(Instron Universal Testing Machine)로 결합 강도를 측정하였으며 이

때 500 kg compression load cell 의 중앙에 시편이 위치되도록 하고 5 mm / min 의 속도로 레진기등과 상아질면의 접촉 부위에 chisel shaped rod가 접촉되어 압축 하중(50 kg full scale load)이 가해지도록 하였다. 상아질면에서 레진기등이 분리될 때의 최대하중을 기록한 후 다음 공식을 이용하여 전단 결합강도를 계산하고 Megapascal(MPa) 단위로 환산하였다.

$$*Shear Bond Strength(kgf/cm^2) = T/\pi \gamma^2$$

T : Maximum load (kgf)

$\gamma$  : Radius of specimen

### 4) 광학 입체 현미경 관찰

레진기등이 떨어져 나간 각각의 치면을 광학 입체 현미경하에서 10배의 배율로 관찰하여 파절된 양상이 adhesive failure인지, cohesive failure 인지, 혹은 두 가지 형태가 모두 나타나는 경우인지를 평가하였다.

### 5) 통계 처리

각 실험군 간의 결합강도 차이에 대한 유의

Table 1. Four dentin bonding agents and composite resins

| Products                |                 | Manufactures | Composition of bonding system   |
|-------------------------|-----------------|--------------|---|
| Adhesive system         | Composite Resin |              |   |
| Clearfil New Bond       | Clearfil FII    | Kuraray      | etchant : 37% phosphoric acid<br>Universal liquid<br>Catalyst liquid  |
| Scotchbond Multipurpose | Z-100           | 3M           | etchant : 10% maleic acid<br>primer : HEMA & polyalkenoic acid copolymer<br>adhesive : HEMA, Bis-GMA          |
| All-Bond 2              | All-Bond        | Bisco Dental | etchant : 10% phosphoric acid<br>primer : 2% NTG-GMA & 16% BPDM in acetone<br>adhesive : Bis-GMA, UDMA & HEMA |
| X-R Bond                | Herculite       | Kerr         | primer : ethanol solution of phosphonated dimethylacrylate<br>adhesive : phosphonated Bis-GMA                 |

- HEMA : hydroxyethyl methacrylate
- NTG-GMA : N-tolyglycine-glycidyl methacrylate
- BPDM : biphenyl dimethacrylate

Table 2. Procedures of bonding agents application

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Clearfil New Bond       | acid etching : 30sec. washing : 20sec.<br>dry : 30sec.<br>adhesvie application   |
| Scotchbond Multipurpose | acid etching : 15sec. washing : 15sec.<br>dry : 20sec.<br>primer application & dry<br>adhesvie application & light curing : 10sec.   |
| All-Bond 2              | acid etching & washing : 15sec. & 5sec.<br>dry : 2sec. Do not desiccate !<br>mix primer A & B : consecutive<br>coating(at least 5 layers)<br>adhesvie application & light curing : 20 sec. |
| X-R Bond                | primer application & light curing :<br>30sec. & 10sec.<br>adhesive application & light curing :<br>10sec. & 20sec.   |

성은 ANOVA Test와 Duncan's multiple range test 로 검정하였다.

### III. 연구 결과

가 . 전단 결합 강도 측정 결과  
결합 강도의 크기는 표 3과 같이 B>C>D

>A 군의 순서로서 B군이 11.13MPa로 가장 컸으며 A군이 4.38MPa로 가장 작았다. 각 군간의 결합 강도 차이를 ANOVA와 Duncan's multiple range test로 검정한 결과 표 4와 같이 B군과 C군 사이, D군과 A군 사이에는 차이가 없었으나 그외의 경우에는 모두 유의할만한 차이가 있었다(p<0.01).

Table 3. Shear bond strength of for experimental groups.

| Group | Shear bond strength(MPa) |      |                |
|-------|--------------------------|------|----------------|
|       | Mean                     | SD   | Range(Min-Max) |
| A     | 4.39                     | 2.09 | 1.49- 7.47     |
| B     | 11.13                    | 5.02 | 5.24- 20.08    |
| C     | 9.41                     | 3.17 | 4.25- 13.51    |
| D     | 6.63                     | 2.07 | 3.27- 9.24     |

Table 4. Result of ANOVA & Duncan's multiple range test.

| Mean  | Group | A | D | C | B |
|-------|-------|---|---|---|---|
| 4.39  | A     |   |   | * | * |
| 6.63  | D     |   |   | * | * |
| 9.41  | C     | * | * |   |   |
| 11.13 | B     | * | * |   |   |

\* significantly different(P<0.01) F= 8.078

Table 5. Mode of specimen failure.

| Group | Number of specimen | Mixed failure* | Adhesive failure |
|-------|--------------------|----------------|------------------|
| A     | 10                 | 5              | 5                |
| B     | 10                 | 3              | 7                |
| C     | 10                 | 3              | 7                |
| D     | 10                 | 1              | 9                |

\* Partial adhesive and cohesive failure

나. 레진 기둥이 떨어져 나간 상아질면의 광학 입체 현미경 관찰 결과

모든 군에서 완전한 cohesive failure를 보이는 시편은 없었으며, Adhesive failure 와 Cohesive failure 가 혼합된 형태인 Mixed failure는 A군에서 50 %, B 군과 C 군에서는 30 %, D 군에서는 10 % 의 시편에서 관찰되었다. 그리고 Adhesive failure 양상은 A군에서 50 %, B 군과 C 군에서는 70 %, D 군에서는 90 % 의 시편에서 볼 수 있었다 (표 5, 사진 1-6).

#### IV. 총괄 및 고찰

범랑질과는 다른 화학적 조성 및 상아질의 구조적 특이성-상아 세관, 관주 상아질, 관간 상아질 등-은 상아질 접착제의 결합 강도에 큰 영향을 미친다<sup>1,4,5,22)</sup>. 즉, 상아질은 범랑질 보다 높은 유기질과 수분의 함량으로 인해 표면에너지가 낮아서 수복 재료의 접착에 불리하다. 또한 치수에 가까운 심부 상아질에서는 상아 세관의 개구부가 크고 밀집되어 있어 상아질의 투과성이 높으므로 상아 세관액에 의해 표면이 오염되기 쉬워 상아질 접착제의 결합에 장애가 된다.

또한, 상아질 접착에 영향을 미치는 중요한 변수 중의 하나는 도말층으로서, Pashley<sup>6)</sup> 등은 도말층이 상아질 및 상아 세관의 일부를 덮고 있기 때문에 oral fluid와 세균의 독소에 대한 투과성을 감소시키는 natural cavity liner 역할을 한다고 보고 있다. 따라서 이들은 도말층을 제거하면 상아세관 액이 유출되어 상아질과 접착제의 결합을 방해할 뿐만 아니라 치수에도 위해한 자극을 가하게 되므로 보존하거나 결합에 유리하도록 변형하는 것이 타당하다고

주장하였다. 이와는 반대로, 도말층은 오히려 세균의 서식처로 작용할 뿐 아니라 하방의 상아질과 불완전하게 부착되어 있어서 결합을 방해하므로 산 처리제를 사용하여 제거하는 것이 결합력 증강에 유리하다는 주장<sup>7,8)</sup>도 있다. 오늘날에는 상아질 접착의 기전을 화학적인 결합보다는 범랑질 접착에서와 같이 기계적인 결합으로 이해하고 있으나 범랑질에서와는 달리 상아 세관 내에 macro resin tag가 형성되는 것이 접착제의 기계적 결합 강도 증가에 큰 도움을 주는 것 같지는 않다<sup>1,5,23)</sup>. 왜냐하면 상아 세관 내에 존재하는 조상아세포돌기와 치수 내압의 영향으로 접착제가 침투하기 어려울 뿐 아니라 심부에서의 중합 불량이 흔하기 때문이다. 오히려 관주 상아질에 비해 비교적 광화도가 낮은 관간 상아질이 부분적으로 탈회된 부위에서 교원섬유와 상아질 접착제가 결합하여 수지함입층-Hybrid Layer of resin reinforced dentin -을 형성하는 것이 결합강도를 증가시키는 가장 중요한 요인으로 생각된다. 이는 분자수준에서 상아질접착제와 상아질 구성성분의 혼합물이 형성된 것으로서 산에 강하고 미생물 침투에 효과적인 방어막 역할을 하는 것으로 생각되어 이에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>1-5,9,11-21,25,30,34-36,38,39)</sup>.

이에 도말층을 제거하여 상아질 접착을 시도한 제품들 (Clearfil New Bond, Scotchbond Multipurpose, All-Bond 2) 과 보존하여 변형시킨 제품 (X-R Bond) 의 결합 강도를 측정하여 비교한 본 실험의 결과를 보면 네 가지의 접착제 중에서 산으로 표면을 처리하여 도말층을 제거하는 방식을 채택한 SMPDA와 All-Bond 2 의 결합 강도가 비교적 높게 측정되었다. 그리고 이 두 가지 상아질 접착제를 비교하면 통계학

적으로 유의할 만한 차이는 아니었으나 SMPDA의 결합력이 약간 우수하였다. 이와 같이 다소의 결합력 차이를 보이는 요인들을 추정하면, 첫째, SMPDA와 All-Bond 2는 약산으로 처리된 관간 상아질 내로 친수성 primer<sup>1, 8, 18, 24)</sup>가 침투하여 수지 함입층을 형성하나 All-Bond 2에 의해 형성되는 수지함입층은 2-2.5nm로서 이는 전체 탈회 깊이인 7.5nm에 못미친다고 한다<sup>1, 8, 18, 25)</sup>. 즉 SMPDA에 비해 All-Bond 2에 의해 형성된 수지함입층은 불완전하다고 볼 수 있다. 둘째, SMPDA의 경우 비교적 수분에 덜 민감하여 불리한 상황에서도 양호한 결합을 얻을 수 있는 반면<sup>26)</sup> All-Bond 2는 산으로 처리한 후 건조시킬 때 상아질면이 적절한 수분을 유지할 수 있도록 세심한 주의를 기울이지 않으면 결합력이 저하되는 불리함이 있다<sup>15, 27-29)</sup>. 셋째, 10% 인산이 관간 상아질을 효과적으로 탈회시키지 못한다는 지적도 있다<sup>31)</sup>.

Clearfil New Bond의 경우 산으로 도말층을 제거 하였음에도 불구하고 결합 강도가 낮게 측정된 이유는 상아질면을 처리할 때 범랑질에서와 같이 강산인 37% 인산을 사용함으로 인해 smear layer, smear plug이 제거될 뿐 아니라 탈회 시 수산화 인회석의 지지가 상실되어 교원 섬유층이 수축된 결과라고 할 수 있다. 또한 고농도의 산처리에 의해 관간 상아질이 용해되거나 약해져서 상아 세관의 입구가 깔대기 모양으로 넓어지고, 고장성액이 수분을 상아질로부터 표면으로 끌어내어 단랑체의 확산이 방해 받게 되는 것이 결합 강도를 저하시키는 요인으로 추정된다<sup>33)</sup>.

X-R Bond는 도말층을 제거하지 않았음에도 불구하고 도말층을 제거한 Clearfil New Bond보다 오히려 높은 결합강도를 보였다. 이것은 primer 성분 중 phosphonated ester & dimethylacrylate가 상아질의 칼슘과의 결합을 촉진시키고 도말층의 특성을 변화시킨 때문인 것으로 추측하고 있다<sup>25, 32, 37)</sup>.

광학 입체 현미경으로 레진 기둥이 탈락된 이후의 접착 계면을 관찰해 본 결과 비교적 결합 강도가 높은 SMPDA, All-Bond 2, X-R Bond에서는 주로 adhesive failure가 일어난 반면,

가장 낮은 결합 강도를 보인 Clearfil New Bond는 다수 시편에서 레진 기둥 자체가 파절된 양상을 보였다. Clearfil New Bond에서의 레진 기둥 파절은 레진의 물리적 강도가 다른 제품과 다르기 때문에 야기된 것으로 생각된다. 그러나 상아질 자체의 파절은 구분하기가 곤란하였으므로 본 실험 결과에서 파절 양상과 상아질 접착제의 결합 강도 사이의 연관성을 발견하지는 못했다.

이상과 같은 고찰을 토대로 하여 상아질 접착에 영향을 미치는 요소들을 고려해 볼 때 도말층의 처리 방식과 수지 함입층의 형성이 가장 결정적 역할을 한다고 여겨진다. 앞서 언급한 바와 같이 도말층의 이용 및 제거 여부에 관해서는 아직까지도 논란이 많은 부분이지만 강산으로 도말층을 제거하여 상아질 세관 구조 자체를 붕괴시키기 보다는 약산으로서 도말층을 제거하되 하방 상아질 구조를 크게 변화시키지 않음으로서 궁극적으로 수지함입층을 형성하는 것이야말로 결합력을 증강시킬 수 있다고 할 수 있다.

## V. 결 론

도말층 처리 방식에 따른 결합 강도의 차이를 조사할 목적으로 permanent bovine incisor teeth의 순면 치경부 상아질에 네 가지의 상아질 접착제—Clearfil New Bond, SMPDA, All-Bond 2, X-R Bond—를 도포하고 상용하는 복합 레진으로 기둥을 만들어 부착시킨 다음 만능시험기로 전단 결합 강도를 측정하였다. 그리고 결합 강도와 파절 양상과의 관계를 파악하고자 파절된 시편의 접착 계면을 광학 입체 현미경으로 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 결합 강도의 크기는 B>C>D>A 군의 순서로서 B군이 11.13MPa로 가장 컸으며 A군이 4.38MPa로 가장 작았다.
2. 각 군간의 결합 강도 차이를 ANOVA와 Duncan's multiple range test로 검정한 결과 B군과 C군 사이, D군과 A군 사이에는 차

이가 없었으나 그외의 경우에는 모두 유의할만한 차이가 있었다( $p < 0.01$ ).

3. 파절 양상과 전단 결합 강도 사이의 상관성은 없었다.

### 참고 문헌

1. Swift, E.J., Perdigao, J. and Heymann, H.D. : Bonding to enamel and dentin-A brief history and state of the art, 1995. *Quint. Int.* 26 : 95-110, 1995.
2. Pitrillo, Swift, E.J. : Shear bond strengths of composite to dentin using six dental adhesive systems. *Operative Dent.* 20 : 46-50, 1995.
3. YAP, U.J., Stokes, A.N. and Person, G.J. : Concepts of adhesion-a review. *New Zealand Dental Journal* 90 : 92-98, 1994.
4. Barkmeier, W.W. and Cooley, R.L. : Laboratory evaluation of adhesive systems. *Operative Dent. (Supplement 5)* : 50-61, 1992.
5. Marshall, G.H. : Dentin-Microstructure and characterization. *Quint. Int.* 24 : 606-617, 1993.
6. Pashley, D.H. : Clinical correlations of dentin structure and function. *J. Prosthet Dent.* 66 : 777-81, 1991.
7. Joynt, R.B. and Davis, E.L. : Dentin bonding agents and the smear Layer. *Operative Dent.* 16 : 186-191, 1991.
8. Dickinson, G.L. and Stevens, J.T. : Comparison of shear bond strengths of some third-generation dentin bonding agents. *Operative Dent.* 16 : 223-230, 1991.
9. Pashley, D.H. and Ciucchi, B. : Permeability of dentin to adhesive agents. *Quint. Int.* 24 : 618-631, 1993.
10. Mandras, R.S. : Shear bond strengths of 10 dentinal bonding restorative systems. *General Dent.* : 133-137, 1993.
11. Hasegawa, T. : Shear bond strength and quantitative microleakage of a multi-purpose dental adhesive system resin bonded to dentin. *J. Prosthet Dent.* 73 : 432-438, 1995.
12. Eick, J.D. and Robinson, S.J. : The dental surface-Its influence on dental adhesion. Part III. *Quint. Int.* 24 : 571-582, 1993.
13. Nakabayashi, N. : Adhesive bonding with 4-META. *Operative Dent. (SUPPLEMENT 5)* : 125-130, 1992.
14. Leinfelder, K.F. : Current Development in dentin bonding systems : Major progress found in today's products. *JADA.* 124 : 40-42, 1993.
15. Swift, E.J. and Triolo, P.T. : Bond strengths of Scotchbond Multi-Purpose to moist dentin and enamel. *Am J. Dent.* 5 : 318-320, 1992.
16. Nakabayashi, N. and Ashizawa, M. : Identification of resin-dentin hybrid layer in vital human dentin created in vitro : durable bonding to vital dentin. *Quint. Int.* 23 : 135-141, 1992.
17. Jacobsen, T. and Finger, W.J. : Morphology of coupling sites between bonding agents and dentins in vivo and in vitro. *J. Dent.* 21 : 150-157, 1993.
18. Perdigao, J. and Swift, E.J. : In vitro bond strengths and SEM evaluation of dentin bonding systems to different dentin substrates. *J. Dent. Res.* 73(1) : 44-55, 1994.
19. Goracci, G. and Bazzucchi, M. : In vivo and in vitro analysis of a bonding agent. *Quint. Int.* 25 : 627-635, 1994.
20. Chappell, R.P. and Eick, J.D. : Shear bond strength and scanning electron microscope observation of six current dentinal adhesives. *Quint. Int.* 25 : 359-366, 1994.
21. Ferrari, M. : Morphologic aspects of the resin-dentin interdiffusion zone with five different dentin adhesive systems tested in vivo. *J. Prosthet Dent.* 71 : 404-408, 1994.

- 1994.
22. Meerbeek, B.V. and Lambrechts, P. : Factors affecting adhesion to mineralized tissues. *Operative Dent.*(supplement 5) : 111-124, 1992.
  23. Retief, D.H. : Phosphoric acid as a dentin etchant. *Am. J. Dent.* 5 : 24-28, 1992.
  24. Pashley, D.H. : In vitro simulations of in vivo bonding conditions. *Am. J. Dent.* 4 : 237-240, 1991.
  25. Prati, C. et al. : Dentine permeability and bond quality as affected by new bonding systems. *J. Dent.* 23 : 217-226, 1995.
  26. Plasmans, P.J.J.M. and Reukers, E.A.J. : Air humidity-a detrimental factor in dentin adhesion. *J. Dent.* 21 : 228-233, 1993.
  27. Kanca III, J. : Resin bonding to wet substrate. I. Bonding to dentin. *Quint. Int.* 23 : 39-41, 1992.
  28. Perdigao, J., Swift, E.J., and Cloe, B.C. : Effects of etchants, surface moisture, and resin composite on dentin bond strengths. *Am. J. Dent.* 6 : 61-64, 1993.
  29. Kanca III, J. : Effect of resin primer solvents and surface wetness on resin composite bond strength to dentin. *Am. J. Dent.* 5 : 213-215, 1992.
  30. Hilton, T.J. and Schwartz, R.S. : The effects of air thinning on dentin adhesive bond strength. *Operative Dent.* 20 : 133-137, 1995.
  31. Kanca III, J. : A1 method for bonding to tooth structure using phosphoric acid as a dentin-enamel conditioner. *Quint. Int.* 22 : 285-290, 1991.
  32. Chappell, R.P. : Shear bond strength and scanning electron microscopic observation of current dentinal adhesives. *Quint. Int.* 22 : 831-839, 1991.
  33. 강 지영 . 허 복 : 상아질과 접착제간의 계면 양상. *대한치과보존학회지.* 20 : 183-192, 1995.
  34. Heymann, H.D. : Current concepts in dentin bonding. *JADA.* 124 : 27-36, 1993.
  35. Bertolotti, R.L. : Conditioning of the dentin substrate. *Operative Dent.* (supplement 5) : 131-136, 1992.
  36. Erickson, R.L. : Surface interactions dentin adhesive materials. *Operative Dent.* (supplement 5) : 81-94, 1992.
  37. Barkmeier, W.W. and Cooley, R.L. : Shear bond strength, microleakage and SEM study the XR Bond adhesive system. *Am. J. Dent.* 2 : 111-115, 1989.
  38. Gwinnett, A.J. and Kanca III, J. : Micromorphology of the bonded dentin interface and its relationship to bond strength. *Am. J. Dent.* 5 : 73-77, 1992.
  39. Gwinnett, A.J. and Kanca III, J. : Micromorphological relationship between resin and dentin in vivo and in vitro. *Am. J. Dent.* 5 : 19-23, 1992.



사진 부도 설명

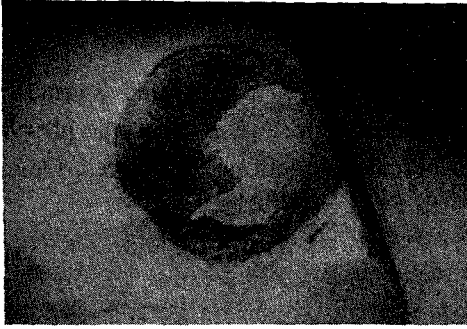


Fig 1. Clearfil New Bond  
:Mixed failure

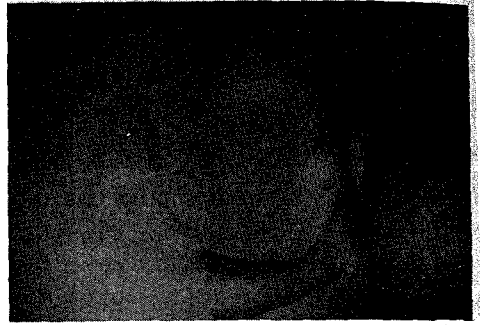


Fig 2. Clearfil New Bond  
:Adhesive failure



Fig 3. SMPDA  
:Mixed failure

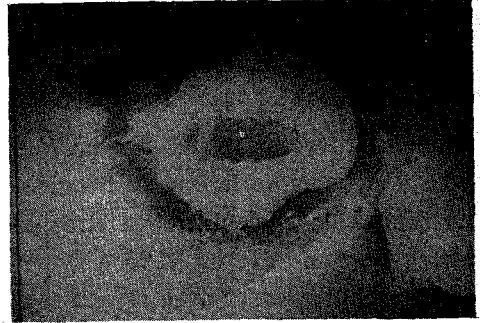


Fig 4. All-Bond 2  
:Adhesive failure



Fig 5. X-R Bond  
:Adhesive failure

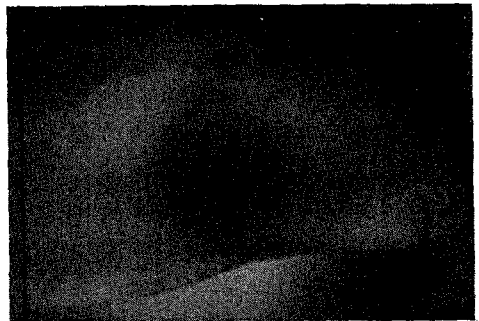


Fig 6. X-R Bond  
:Adhesive failure