

## 혼성층의 두께가 three-step과 self-etching 상아질 접착제의 미세인장결합강도에 미치는 효과

이혜정 \* · 박정길 · 허 복  
부산대학교 치과대학 보존학교실

### ABSTRACT

#### THE EFFECT OF HYBRID LAYER THICKNESS ON MICROTENSILE BOND STRENGTH OF THREE-STEP AND SELF-ETCHING DENTIN ADHESIVE SYSTEMS

Hye-Jung Lee \*, Jeong-Kil Park, Bock Hur

Department of Conservative dentistry, College of Dentistry, Pusan National University

The purpose of this study was to evaluate the correlation between hybrid layer thickness and bond strength using confocal laser scanning microscope and microtensile bond strength test of two adhesive systems.

The dentin surface of human molars, sectioned to remove the enamel from the occlusal surface. Either Scotchbond Multi-Purpose(3M Dental Product, St. Paul, MN, U.S.A) or Clearfil SE Bond(Kuraray, Osaka, Japan) was bonded to the surface, and covered with resin-composite. The resin-bonded teeth were serially sliced perpendicular to the adhesive interface to measure the hybrid layer thickness by confocal laser scanning microscope. The specimen were trimmed to give a bonded cross-sectional surface area of 1mm<sup>2</sup>, then the micro-tensile bone test was performed at a crosshead speed of 1.0 mm/min. All fractured surfaces were also observed by stereomicroscope.

There was no significant differences in bond strengths the materials( $p>0.05$ ). However, the hybrid layers of three-step dentin adhesive system, SM, had significantly thicker than self-etching adhesive system, CS( $p<0.05$ ). Pearson's correlation coefficient showed no correlation between hybrid layer thickness and bond strengths( $p>0.05$ ). Bond strengths of dentin adhesive systems were not dependent on the thickness of hybrid layer.

**Key words** : Hybrid layer thickness, Microtensile bond strength, Confocal laser scanning microscope

### I. 서 론

1955년 Buonocore<sup>1)</sup>에 의해 레진 접착이 시작된 이래로 새로운 많은 접착 시스템이 개발되어 왔다. 최근 사용되는 접착 시스템은 도말층의 처리 방법에 따라 두 가지로 분류할 수 있는데, 그 하나는 도말층을 완전히 제거한 후에 접착을 시도하는 smear layer removing system으로, primer와 adhesive를 제공하는 방법에 따라 two-step과 three-step smear layer removing system으로 구분된다. 다른 하나는 도말층이 존재하는 상아질에 산성 레진을 침투시켜

접착을 시도하는 smear layer dissolving system으로, primer와 adhesive의 제공 방법에 따라 one-step과 two-step으로 나눌 수 있다<sup>2)</sup>. Self-etching 상아질 접착제는 etching과 priming 과정을 동시에 시행하는 smear layer dissolving system으로, 이는 수세 과정이 생략되므로 술식이 간단하고, 시술 시간이 단축되며, 수세와 건조 과정에서 일어날 수 있는 술자에 의한 over-wetting이나 over-drying의 가능성이 없어 균일한 결합력을 얻을 수 있다는 장점이 있다<sup>3,4)</sup>.

상아질 접착의 과정에서 표면을 산 처리하여 초기 탈회가

일어나면 상아질 내의 collagen fiber가 노출되는데, 이 곳에 점도가 낮은 primer가 흘러 들어가 혼성층을 형성한다. 형성된 혼성층의 두께는 상아질 접착제의 종류에 따라 다양하게 나타나는데, 기존의 etching과 priming을 따로 시행하는 접착제 사용 시 혼성층의 두께가 평균 4-5  $\mu\text{m}$ 인데 반해, self-etching 상아질 접착제 사용 시에는 약 1-2  $\mu\text{m}$  두께의 혼성층이 형성된다<sup>5-7)</sup>.

상아질 접착에서 혼성층의 두께와 결합 강도의 연관성 사이에는 여러 가지 의견이 있다.

Gwinnett 등<sup>8)</sup>은 in vivo study에서 혼성층의 형성이 상아질 접착의 근본적인 원인이 된다고 하였으나, 다른 연구에서는 이들 사이에 직접적인 상관관계가 없음을 보고하였다<sup>9)</sup>. Inai 등<sup>10)</sup>과 Kanca와 Sandrik<sup>11)</sup>은 혼성층의 두께가 결합 강도에 직접적인 영향을 미치지 않는다고 하였고, Finger W.J. 등<sup>12)</sup>과 J. Perdigao 등<sup>13)</sup>도 혼성층의 두께와 결합 강도에는 상관관계가 없음을 보고하였다. M. Hasgumoto 등<sup>14)</sup>은 장시간 etching에 의한 혼성층의 두께 증가가 오히려 결합 강도를 감소시킨다고 보고하였다.

일반적으로 혼성층을 관찰하기 위해서는 주사전자현미경이나 투과전자현미경을 사용한다. 이는 현미경 관찰을 위한 특별한 시편 처리가 필요하여, 동일한 시편으로 결합 강도를 측정하는 것이 불가능하다. 그러나, 공초점 레이저 주사현미경은 상아질 접착제에 형광 물질을 첨가하여 시편 손상 없이 혼성층을 관찰할 수 있고, 동일한 시편으로 결합 강도 측정 및 시편의 파절 양상을 관찰하는 것이 가능하다.

이에 본 실험에서는 three-step total etching 상아질 접착제인 Scotchbond Multi-Purpose(3M Dental Product, St. Paul, MN, U.S.A)와 self-etching 상아질 접착제인 Clearfil SE Bond(Kuraray, Osaka, Japan)로 수복한 시편의 혼성층의 두께를 공초점 레이저 주사현미경

으로 측정하고, 동일한 시편에서 미세인장결합강도를 측정하여 혼성층의 두께와 미세인장결합강도의 상관관계를 평가해 보고, 그 후 파절된 시편을 입체현미경으로 관찰하여 치질과 접착의 계면에서 파절 양상을 분석해 보고자 하였다.

## Ⅱ. 연구재료 및 방법

### 1. 시편 제작

우식에 이환 되지 않은 건전한 6개의 상, 하악 구치를 사용하였다. 상아질 접착제로는 three-step 상아질 접착제인 Scotchbond Multi-Purpose(3M Dental Product, St. Paul, MN, U.S.A)와 self-etching 상아질 접착제인 Clearfil SE Bond(Kuraray, Osaka, Japan)를 사용하였고, 충전용 레진으로는 Z-100(3M Dental Product, St. Paul, MN, U.S.A)을 사용하였다.

모든 치아를 저속 diamond disc(Isomet, Buehler, Ltd, U.S.A)를 이용하여 주수하에 치관부 법랑질을 제거하고 편평한 교합면 상아질을 노출시켰다. 6개의 치아를 무작위로 3개씩 2개의 군으로 분류하였다. 첫 번째 군은 Scotchbond Multi-Purpose(3M Dental Product, St. Paul, MN, U.S.A)를 사용하였고, 이 때 primer에는 형광색소인 fluorescene을, adhesive resin에는 rhodamine을 첨가하였다. 두 번째 군은 Clearfil SE Bond(Kuraray, Osaka, Japan)를 사용하였고, primer에는 fluorescene을, adhesive resin에는 rhodamine을 첨가하였다. 사용한 상아질 접착제의 성분은 Table 1과 같다. 각각의 상아질 접착제 처리 후, 광중합 레진인 Z-100(3M Dental Product, St. Paul, MN, U.S.A)을 10 mm 높이로 충전하였다. 충전 후 각 치아는 주수하에 저속 diamond saw를 이용하여 두께가

**Table 1.** Dentin bonding system used in this study

dentin bonding agent	conditioner	primer	adhesive resin
Scotchbond Multi-Purpose	35% phosphoric acid	HEMA, polyalkenoic acid, co-polymer, water	Bis-GMA, HEMA
Clearfil SE Bond	-	MDP, HEMA, Hydrophilic dimethacrylate, CQ, N, N-Diethanol p-toluidine, water	MDP, Bis-GMA, HEMA, Hydrophobic dimethacrylate, CQ, N, N-Diethanol p-toluidine, Silanized colloidal silica

1 mm인 절편이 되도록 치아 장축 방향으로 절단하였다. 6개의 치아에서 각각 5개의 시편이 절단되어, 군당 15개의 시편이 형성되었다.

## 2. 공초점 레이저 주사현미경 관찰

위와 같이 처리된 시편을 공초점 레이저 주사현미경(Olympus fluoview 300, Olympus, Tokyo, Japan)을 사용하여 관찰하였다. 이 때, primer에 혼합된 형광 색소인 fluorescein과 adhesive resin에 혼합된 rhodamine이 확산된 양상을 통하여, 형성된 혼성층의 형태를 관찰하고 그 두께를 측정하였다. 혼성층의 두께는 그 시편에서 가장 균일하게 형성된 부위를 측정하였다.

## 3. 미세인장결합강도 측정

고속 diamond bur를 사용하여 각 시편의 접착 계면을 조심스럽게 삭제하여, 결합부위의 표면적이 1 mm<sup>2</sup>인 hour-glass 모양으로 만들었다. Instron universal testing machine(EZ Test, Shimadzu, Kyoto, Japan)을 사용하여 cross-head speed 1.0 mm/min에서 미세인장결합강도를 측정하여 기록하였다.

## 4. 파절 양상 관찰

인장 강도 측정 후 파절된 시편을 입체 현미경(PM-10AK3, Olympus, Tokyo, Japan)으로 관찰하여, 파절 양상을 다음과 같이 분류하였다.

- type A : 상아질과 resin adhesive 사이의 계면에서 파절이 발생한 경우
- type B : 상아질에 resin adhesive가 50% 이하로 결합된 채 파절이 발생한 경우
- type C : 상아질에 resin adhesive가 50% 이상 결합된 채 파절이 발생한 경우
- type D : resin 내에서 cohesive failure가 발생한 경우
- type E : 상아질 내에서 cohesive failure가 발생한 경우

**Table 2.** Thickness of hybrid layer(THL) and microtensile bond strength(MTBS)

adhesive	THL( $\mu$ m)	MTBS(MPa)
SM	6.13 $\pm$ 2.63	15.94 $\pm$ 2.78
CS	2.88 $\pm$ 0.94	14.62 $\pm$ 3.21

## 5. 통계

개별 실험군의 평균값과 표준편차를 구한 후, 각 군의 혼성층의 두께와 미세인장결합강도를 각각 student T-test를 사용하여 분석하였고, 두 결과 사이의 상관관계를 피어슨 상관관계 분석을 이용하여 평가하였다.

## Ⅲ. 연구 결과

### 1. 혼성층의 두께

공초점 레이저 주사현미경(Olympus fluoview 300, Olympus, Tokyo, Japan)으로 측정된 각 실험군당 혼성층의 두께는 표 2와 같으며, three-step 상아질 접착제인 Scotchbond Multi-Purpose(3M Dental Product, St. Paul, MN, U.S.A)(SM) 군은 6.13 $\pm$ 2.63  $\mu$ m 이었고, self-etching 상아질 접착제인 Clearfil SE Bond (Kuraray, Osaka, Japan)(CS) 군은 2.88 $\pm$ 0.94  $\mu$ m로 측정되었다. 두 재료간의 혼성층의 두께는 통계적으로 유의한 차이가 있었다. (p<0.05) SM 군의 혼성층은 CS군에 비해 두껍게 형성되었고, 상아세관 내로 primer의 침투가 길게 나타났다(Fig. 1, 2).

### 2. 미세인장결합강도

각 실험군당 미세인장결합강도는 Table 2와 같으며, SM 군은 15.94 $\pm$ 2.78 MPa, CS 군은 14.62 $\pm$ 3.21 MPa 이었고, 두 실험군 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. (p>0.05)

**Table 3.** Failure mode

adhesive	No. of specimen	failure pattern				
		A	B	C	D	E
SM	15	1	9	5	0	0
CS	11	4	4	2	0	1

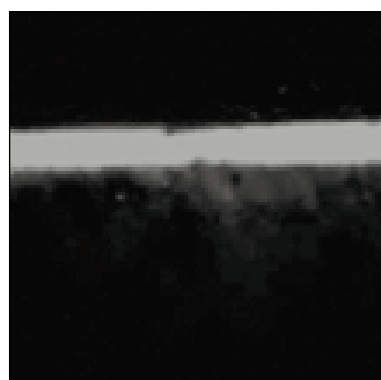
type A : adhesive failure between bonding resin and dentin

type B : mixed failure (above 50% adhesive failure)

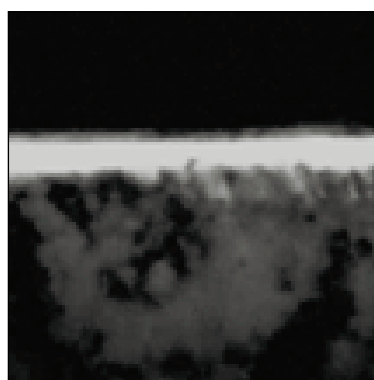
type C : mixed failure (below 50% adhesive failure)

type D : cohesive failure in resin

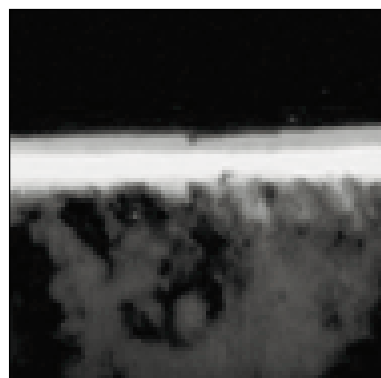
type E : cohesive failure in dentin



(A)



(B)



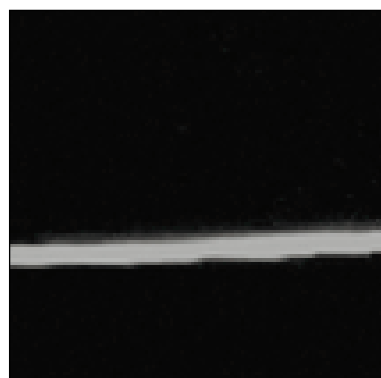
(C)

**Fig. 1.** Scotchbond Multi-Purpose (3M)

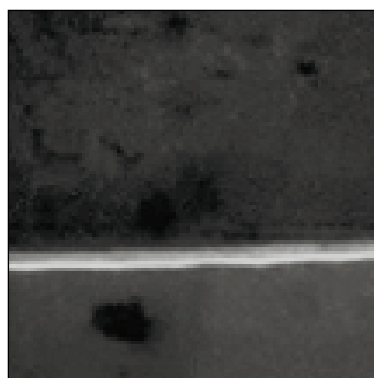
A: Adhesive layer(rhodamine)

B: Primer layer(fluorescence)

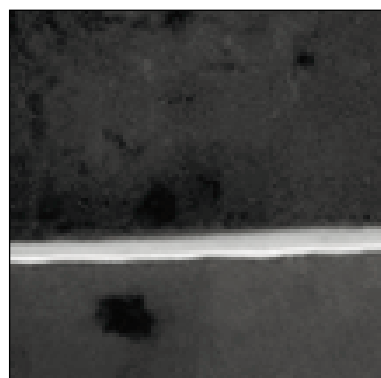
C: Adhesive layer + Primer layer



(A)



(B)



(C)

**Fig. 2.** Clearfil SE Bond (Kuraray)

A: Adhesive layer(rhodamine)

B: Primer layer(fluorescence)

C: Adhesive layer + Primer layer

### 3. 혼성층의 두께와 미세인장결합강도의 상관관계

각 실험군에서 혼성층의 두께와 미세인장결합강도의 실험 결과를 피어슨 상관관계 분석으로 평가한 결과, 두 결과 사이에는 통계적으로 유의한 상관관계가 나타나지 않았다. ( $p>0.05$ )

### 4. 파절 양상

Table 3에 두 실험군의 파절 양상을 나타내었다. SM 군에서는 상아질 표면에 resin adhesive가 결합된 채로 파절이 일어난 type B, C(혼합형 파절)가 대부분이었고, 상아질과 resin adhesive 사이 계면에서 파절이 일어난 type A(접착성 파절)도 있었으나, resin이나 상아질의 응집성 파절은 나타나지 않았다. CS 군의 경우에 type A, B, C가 비교적 고르게 나타났으며, 한 개의 시편에서 상아질의 응집성 파절이 일어났다.

## IV. 총괄 및 고찰

1982년 Nakabayashi 등에 의해 제안된 혼성층의 개념은 근간에 개발된 상아질 접착제의 접착 기전에 중요한 바탕이 되고 있다<sup>15,16)</sup>. 혼성층은 산 처리한 상아질의 표면에 접도가 낮은 primer가 침투하면서 형성되는데, 이렇게 형성된 혼성층의 두께가 결합 강도와 직접 비례하는 상관관계를 가지는 지에 대한 의견은 다양하다<sup>8-14)</sup>. 최근에 개발된 self-etching 상아질 접착제는 etching과 priming을 동시에 시행하여, 도말층을 제거하지 않고 bonding substrate로 사용한다. 이러한 방법은 기존의 three-step 상아질 접착제에 비하여 혼성층의 두께가 현저하게 감소하나, 결합 강도에는 큰 차이가 없음이 많은 연구에서 보고되었다<sup>12,17,18)</sup>. Kwong 등<sup>17)</sup>은 건전 상아질에 self-etching 상아질 접착제와 total-etching 상아질 접착제의 사용 시, 후자에서 더 두꺼운 혼성층이 형성됨에도 불구하고 평균 결합 강도에는 차이가 없다고 보고하였고, Yoshiyama 등<sup>5)</sup>은 self-etching 상아질 접착제의 사용은 2  $\mu$ m 이하의 얇은 혼성층을 형성하지만, 초기 결합 강도가 높다고 하였다. 이러한 연구들은 혼성층의 두께 측정을 위해 주사전자현미경이나 투과전자현미경을 사용하였는데, 이런 방법은 특수한 시편 처리가 필요하므로 혼성층의 두께를 측정된 후에 동일한 시편에서 결합 강도를 측정하는 것이 불가능했다. 본 실험에서는 공초점 레이저 주사현미경(Olympus fluoview 300, Olympus, Tokyo, Japan)을 사용하였는데, primer와 adhesive에 형광물질을 섞어서 시편을 제작한 후 공초점 레이저 주사현미경(Olympus fluoview 300, Olympus, Tokyo, Japan)으로 관찰함으로써 시편 손상 없이 혼성층

의 두께를 측정할 수 있었다. 본 실험의 결과에서 three-step 상아질 접착제인 Scotchbond Multi-Purpose(3M Dental Product, St. Paul, MN, U.S.A) 군의 혼성층의 두께는  $6.13 \pm 2.63 \mu\text{m}$ 로, self-etching 상아질 접착제인 Clearfil SE Bond(Kuraray, Osaka, Japan) 군의 혼성층의 두께는  $2.88 \pm 0.94 \mu\text{m}$ 로 측정되었으며, Clearfil SE Bond(Kuraray, Osaka, Japan)군의 두께가 유의성 있게 낮은 결과를 보였으며, 이는 이전의 연구들과도 일치했다<sup>5,12,17)</sup>. 현미경으로 관찰한 혼성층의 형태 또한 차이가 있었는데, Scotchbond Multi-Purpose(3M Dental Product, St. Paul, MN, U.S.A) 군에서는 혼성층과 상부의 adhesive층이 비교적 균일한 두께를 유지하고, 레진 tag의 침투 양상이 명확한 반면, Clearfil SE Bond (Kuraray, Osaka, Japan)군에서는 혼성층이 아주 얇고, 레진 tag의 침투 양상이 거의 보이지 않았다.

상아질 접착제의 결합력을 측정하기 위해서는 주로 전단 강도나 인장강도 시험을 사용해 왔다. 그러나 상아질 접착제의 발달에 따라 치질에의 결합력이 강해지면서, 결합 강도 측정에서 응집성 파절의 빈도가 증가하고 있는데<sup>19)</sup>, 어떤 경우에는 상아질의 응집성 파절의 발생 빈도가 80%에 이르기기도 한다<sup>20)</sup>. 이것은 adhesive와 상아질 사이에 진정한 결합 강도가 측정되지 않았음을 의미한다. 최근 Sano 등<sup>24)</sup>에 의해 새로운 결합 강도 측정 방법이 소개되었는데, 이를 미세인장결합강도 시험이라 한다. 이 방법은 상아질과 레진 사이의 매우 작은 단면에서 강도를 측정하므로, 균일한 stress distribution을 일으켜 상아질과 레진의 계면에서 대부분의 파절이 일어나게 된다<sup>3)</sup>. 미세인장결합강도 측정은 그 외에도 치아의 부위별 결합 강도를 측정할 수 있고, 한 치아에서 많은 시편을 만들 수 있으므로 한 치아 내에서 결합력의 평균과 편차를 구할 수 있으며, 더 높은 강도 측정이 가능하다는 장점이 있다. 그러나, 미세인장결합강도 측정을 위해서는 매우 작은 시편을 만들어야 하므로 정교한 기술이 필요하며, 결합 강도가 작은 부위(<5 MPa)는 측정이 힘들고 특별한 기구가 필요하다는 어려운 점이 있다<sup>19)</sup>.

본 실험에서 미세인장결합강도의 측정결과 Scotchbond Multi-Purpose(3M Dental Product, St. Paul, MN, U.S.A) 군은  $15.94 \pm 2.78 \text{ MPa}$ 의 결합 강도를 보였고, Clearfil SE Bond(Kuraray, Osaka, Japan) 군은  $14.62 \pm 3.21 \text{ MPa}$ 의 결합 강도를 보였다. 두 군의 결합 강도 사이에서는 유의할만한 차이가 나타나지 않았으며, 이는 three-step 상아질 접착제와 self-etching 상아질 접착제 사이에 초기 결합 강도에는 차이가 없다는 다른 연구들과도 일치했다<sup>5,21-23)</sup>. 본 실험에서 미세인장결합강도의 측정 결과는 다른 연구에 비해 다소 낮게 나타났는데, 그 이유는 시편을 만드는 방법의 차이와, 보관기간, 시편을 작게 만드는 과정에서 생기는 microcrack이나 defect 의한 것으로 사료된

다<sup>22)</sup>.

혼성층의 두께를 측정한 후, 동일한 시편에서 미세인장결합강도를 측정한 이번 실험에서의 결과를 피어슨 상관관계 분석으로 평가해 본 결과, 미세인장결합강도와 혼성층의 두께 사이에는 상관관계가 없음을 알 수 있었으며, 이는 이전의 연구 결과들과도 일치하였다<sup>5,12,17,18)</sup>.

파절된 시편을 입체 현미경으로 관찰하였는데, 이 때 adhesive와 resin의 경계가 불분명하여, 상아질 면에 남아 있는 adhesive resin의 양을 기준으로 파절 양상을 분석하였다. 두 실험군 모두에서 접착성 파절과 혼합형 파절인 type A, B, C가 대부분을 차지하였다. Scotchbond Multi-Purpose(3M Dental Product, St. Paul, MN, U.S.A) 군에서는 상아질 면에 약간의 adhesive( <50%)가 결합된 채로 파절된 type B가 가장 많았고, adhesive가 50% 이상 결합된 채 파절이 일어난 type C도 많이 나타났다. Clearfil SE Bond(Kuraray, Osaka, Japan)군에서는 상아질과 레진의 계면에서 파절된 type A와, 상아질 면에 adhesive가 50% 이하로 결합된 채 파절이 일어난 type B가 동일하게 가장 많이 나타났고, 상아질 내의 응집성 파절도 하나의 시편에서 나타났다. 이 결과는 self-etching 상아질 접착제와 three-step 상아질 접착제에서 모두 혼합형 파절이 주로 나타난다는 Sano 등<sup>24)</sup>과 Burrow 등<sup>18)</sup>의 연구와도 일치하였다.

본 연구를 통해 self-etching 상아질 접착제는 three-step 상아질 접착제에 비해서 얇은 혼성층을 형성하지만, 결합 강도에는 차이가 없음을 알 수 있었다. 또한 공초점 레이저 주사현미경(Olympus fluoview 300, Olympus, Tokyo, Japan)을 사용하여 시편의 손상 없이 혼성층의 두께를 측정하고 동일한 시편에서 미세인장결합강도를 측정하였을 때, 두 결과 사이에 직접적인 상관관계가 없음을 검증할 수 있었다. Self-etching 상아질 접착제인 Clearfil SE Bond(Kuraray, Osaka, Japan)는 정상적인 상아질에서 three-step 상아질 접착제와 비교해 보았을 때 비교적 좋은 결합력을 가지고 있음을 알 수 있었으나, 실제 임상에서의 다른 변수들을 고려한 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## V. 결 론

본 연구는 three-step 상아질 접착제와 self-etching 상아질 접착제에서 혼성층의 두께가 미세인장결합강도에 미치는 영향을 알아보았다. 최근 발거된 6개의 치아를 2군으로 나누어, Scotchbond Multi-Purpose(3M Dental Product, St. Paul, MN, U.S.A), Clearfil SE Bond(Kuraray, Osaka, Japan)를 사용하여 각각 수복하였다. 상아질과 접착제의 계면을 공초점 레이저 주사현미경

(Olympus fluoview 300, Olympus, Tokyo, Japan)으로 관찰하여 혼성층의 두께를 측정하고, 미세인장결합강도를 측정한 후, 각각의 시편을 입체 현미경으로 관찰하여 파절 양상을 분류한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 혼성층의 두께를 측정한 결과 Scotchbond Multi-Purpose(3M Dental Product, St. Paul, MN, U.S.A) 군은  $6.13 \pm 2.63 \mu\text{m}$ , Clearfil SE Bond(Kuraray, Osaka, Japan) 군은  $2.88 \pm 0.94 \mu\text{m}$ 로 나타났으며, 두 군 사이에는 통계적으로 유의성이 있었다. ( $p < 0.05$ )
2. 미세인장결합강도를 측정한 결과 Scotchbond Multi-Purpose(3M Dental Product, St. Paul, MN, U.S.A) 군은  $15.94 \pm 2.78 \text{ MPa}$ , Clearfil SE Bond(Kuraray, Osaka, Japan) 군은  $14.62 \pm 3.21 \text{ MPa}$ 로 나타났으며, 두 군 사이에는 통계적으로 유의성이 없었다. ( $p > 0.05$ )
3. 두 군의 혼성층의 두께와 미세인장결합강도 측정값 사이의 상관관계를 평가한 결과 통계적으로 유의성이 없었다. ( $p > 0.05$ )
4. 파절 양상의 관찰 결과 두 실험군 모두 혼합형 파절이 많았으며, Clearfil SE Bond의 한 시편에서만 상아질 내의 응집성 파절이 나타났다.

## 참고문헌

1. Bounocore M: A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 34: 849-53, 1995.
2. Van Meerbeek B, Perdigao J, Lambrechts P, and Vanherle G: The clinical performance of adhesives. *J Dent* 26(1): 1-20, 1998.
3. Bouillaguet S, Gysi P, Wataha JC, Ciucchi B, Cattani M, Godin Ch, and Meyer JM: Bond strength of composite to dentin using conventional, one-step, and self-etching adhesive systems. *J Dent* 29: 55-61, 2001.
4. Perdigao J, and Lopes M: Dentin Bonding-Questions for the new millennium. *J Adhes Dent* 1: 191-209, 1999.
5. Yoshiyama M, Matsuo T, Ebisu S, and Pashley D: Regional bond strengths of self-etching/self-priming adhesive systems. *J Dent* 26: 609-16, 1998.
6. Yoshiyama M, Sano H, Ebisu S, Tagami J, Ciucchi B, Carvalho RM, Johnson MH, and Pashley DH: Regional strengths of bonding agents to cervical sclerotic root dentin. *J Dent Res* 75: 1404-13, 1996.
7. Frankenberger R, Perdigao J, Rosa BT, and Lopes M: 'No-bottle' vs 'multi-bottle' dentin adhesives-a microtensile bond strength and morphological study. *Dent Mater* 17: 373-80, 2001.
8. Gwinnett AJ: Quantitative contribution of resin infiltration/hybridization to dentin bonding. *Am J Dent* 6: 7-9, 1993.
9. Gwinnett AJ: Altered tissue contribution to interfacial bond strength with acid conditioned dentin. *Am J Dent* 7: 243-6, 1994.

10. Inai N, Kanemura N, Tagami J, Watanabe LG, Marshall SJ, and Marshall GW: Adhesion between collagen depleted dentin and dentin adhesive. *Am J Dent* 11: 123-7, 1998.
11. Kanca J, and Sandrik J: Bonding to dentin. Clues to the mechanism of adhesion. *Am J Dent* 11: 154-9, 1998.
12. Finger WJ, Inoue M, and Asmussen E: Effect of wettability of adhesive resins on bonding to dentin. *Am J Dent* 7: 35-8, 1994.
13. Perdigao J, May KN Jr, Wilder AD Jr, and Lopes M: The effect of depth of dentin demineralization of bond strengths and morphology of the hybrid layer. *Oper Dent* 25: 186-94, 2000.
14. Hashimoto M, Ohno H, Endo K, Kaga M, Sano H, and Oguchi H: The effect of hybrid layer thickness on bond strength: demineralized dentin zone of the hybrid layer. *Dent Mater* 16: 406-11, 2000.
15. Nakabayashi N: Resin reinforced dentin due to infiltration of monomers into the dentin adhesive interface. *J Jpn Dent Mat Devices* 1: 78-81, 1982.
16. Harnirattisai C, Inokoshi S, Shimada Y, and Hosoda H: Adhesive interface between resin and etched dentin of cervical erosion/abrasion lesions. *Oper Dent* 18: 138-43, 1993.
17. Kwong SM, Cheung GSP, Kei LH, Ittagarun A, Smales RJ, Tay FR, and Pashley DH: Micro-tensile bond strengths to sclerotic dentin using a self-etching and a total-etching technique. *Dent Mater* 18: 359-69, 2002.
18. Phrukkanon S, Burrow MF, Hartley PG, and Tyas MJ: The influence of the modification of etched bovine dentin on bond strengths. *Dent Mater* 16: 255-65, 2000.
19. Pashley DH, Sano H, Ciucchi B, Yoshiyama M, and Carvalho RM: Adhesion testing of dentin bonding agents: A review. *Dent Mater* 11: 117-25, 1995.
20. Erickson RL, and Glasspoole EA: Bonding to tooth structure: a comparison of glass-ionomer and composite-resin systems. *J Esthet Dent* 6: 227-44, 1994.
21. Schreiner RF, Chappell RP, Glaros AG, and Eick JD: Microtensile testing of dentin adhesives. *Dent Mater* 14: 194-201, 1998.
22. Tanumiharja M, Burrow MF, and Tyas MJ: Microtensile bond strengths of seven dentin adhesives systems. *Dent Mater* 16: 180-7, 2000.
23. Watanabe I, Nakabayashi N, and Pashley DH: Bonding to ground dentin by a phenyl-p self-etching primer. *J Dent Res* 73: 1212-20, 1994.
24. Sano H, Shono T, Sonoda H, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho R, and Pashley DH: Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength - evaluation of a micro-tensile bond test. *Dent Mater* 10: 236-40, 1994.

---

## 이 해 정

부산대학교 치과대학 보존학교실  
 부산시 서구 아미동 1가 10번지  
 TEL: 051-240-7454  
 E-mail : momosori@freechal.com