

## 상아질의 경도, 위치 및 잔존 상아질 후경이 상아질에 대한 부위별 미세 전단결합강도에 미치는 영향

원광대학교 치과대학 보존학교실

황선성 · 임미경 · 이용근

### Abstract

#### REGIONAL MICRO-SHEAR BOND STRENGTH TO DENTIN: EFFECTS OF DENTINAL HARDNESS, POSITION, AND REMAINING DENTIN THICKNESS

Seon-Seong Hwang, Mi-Kyung Im, Yong-Keun Lee

*Dept. of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Wonkwang University*

The aim of this study was to measure the regional micro-shear bond strength of dentin bonding agents to dentin, and to investigate the relationship between the micro-shear bond strength and two dentinal characteristics: Vickers hardness and remaining dentin thickness.

Twenty-four freshly extracted, noncarious human molars were selected for this study. The materials tested in this study consisted of two commercially available dentin bonding agents (MAC-BOND, ONE-STEP) and two restorative light-cured composite resins (AELITEFIL, Z100). The occlusal or side surface of tooth crown was sectioned to expose dentin, and the exposed surface was finally polished with # 600 sandpaper. Four groups of application methods were used combining the filling materials and the dentin bonding agents. The composite resin-attached tooth specimens were embedded in a cold cure acrylic resin, and were cut with a low speed diamond saw to the dimension of 1mm×1mm. Nine specimens were obtained from each tooth. The cut specimens were divided into three groups depending on the position of the dentin bonding surface.

The micro-shear bond strength, remaining dentin thickness, and dentinal hardness were measured. Experimental results were then statistically analyzed with ANOVA, t-test, Scheffe test, and regression analysis.

From this experiment, the following results were obtained :

1. In the case of occlusal surface bonding, the pooled micro-shear bond strength of ONST-AELIT group (16.62 MPa) was significantly higher than that of MACB-AELIT group (9.91 MPa) ( $p < 0.05$ ). However, there was no significant difference in the micro-shear bond strength depending on the dentin position ( $p > 0.05$ ).
2. In the case of side surface bonding of crown, the pooled micro-shear bond strength of four different bonding groups was not significantly different among each other ( $p > 0.05$ ). However, in three of the test groups (ONST-AELIT, MACB-Z100, ONST-Z100), the micro-shear bond strength to the lower 1/3(Ⅲ) position was significantly lower than that to middle 1/3(Ⅱ) position of surface ( $p < 0.05$ ).
3. In the ONST-AELIT bonding group, the pooled micro-shear bond strength to the occlusal surface was significantly lower than that to the side surface of crown ( $p < 0.05$ ).
4. There was no significant correlation between the micro-shear bond strength and dentin hardness / remaining dentin thickness ( $p > 0.05$ ).

## I. 서 론

레진/상아질 혼성층을 생성하는 방법이 도입된 이후 지난 수년간 상아질 결합 술식은 유의하게 발달하여 왔다. 이런 상아질 결합제는 누출이 없는 수복물을 양산할 뿐만 아니라 상아질에 대한 컴포지트의 결합강도를 증가시키기 위해 도입되었다<sup>1)</sup>.

대부분의 상아질 결합제는 표면조절(conditioning), 전처리(priming), 결합용 레진도포(adhesive application)의 개별적인 단계가 필요하지만, 최근에 개발된 몇 가지의 상아질 결합제는 2단계로 단순화되어 있다.

상아질 결합제의 효율은 실험실에서 인장이나 전단 결합강도 측정으로 평가되어 왔으며, 실험실 실험을 통한 치아와 충전재간의 결합력은 치아의 종류, 치아의 보관매체<sup>2)</sup>, 상아질 표면을 형성하는 방법, 상아질의 깊이 및 종류<sup>3-7)</sup>, 접촉면의 면적<sup>8)</sup>, 상아질 표면의 건조여부<sup>9)</sup>, 상아질 결합제의 피막도, 발거 및 시편제작 후 경과시간<sup>2,4)</sup>, 시험방법, 하중을 가하는 속도, 시험기의 종류 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있다<sup>10,11)</sup>.

치질과 화학적 결합을 하는 제재의 상아질 결합력을 측정할 기존의 실험실 결합강도 측정법은 치아의 협설면 또는 교합면을 넓게 노출시키고 여기

에 직경 5mm 정도의 충전재를 부착하여 전단 결합강도 또는 인장 결합강도를 측정하는 방법을 주로 이용하였으나, 최근에는 상아질의 부위에 따른 미세 강도를 측정할 논문이 소개되면서<sup>12)</sup> 상아질의 부위 및 상아세관의 배열에 따른 상아질 결합제의 미세 결합강도에 관한 관심 및 연구가 증가하고 있다<sup>13)</sup>.

결합에 이용될 수 있는 고품 상아질의 면적이 인장 결합강도에 영향을 미치는 주된 인자들 중의 한 가지라는 것은 이전에 보고되었다<sup>6)</sup>. 상아질의 깊이가 증가함에 따라, 노출된 관간 상아질의 면적 비율이 감소되어 결합강도가 심부에서 감소한다.

상아질의 특성은 치아의 유형, 나이, 치아 내의 부위와 치수로부터의 거리에 따라 다양하며, 결합강도와 상아질 특성간의 상관성은 광범위하게 논의 되어왔으나, 전단 결합강도와 상아질의 특성간의 관련성은 아직도 정립되어 있지 않다<sup>1,3,7,14)</sup>.

본 연구의 목적은 상기 2단계 처리로 시술이 간편화된 상아질 결합제와 충전재를 교합면 또는 치관의 측면 상아질에 접착하고 이를 부위에 따라 9개로 절단한 후 충전재와 상아질간의 미세 전단결합강도를 측정하고, 그 결합강도와 상아질의 경도 및 잔존 상아질 후경과의 관련성을 조사하고자 하였다.

## II. 실험재료 및 방법

본 실험에 사용한 상아질 결합제는 습식 결합형인 ONST, MACB 2종, 광중합형 충전재인 AELIT, Z100 2종을 사용하였다(표 1). MACB System은 저농도의 말레인산, 접착성 단량체인 MAC-10 등을 함유하는 표면조절제(MB conditioner)와, 레진의 주성분인 Bis-GMA, TEGDMA, HEMA, MAC-10 등을 함유하는 결합용 레진(MAC-BOND)으로 구성되어있고, ONST system은 항균제인 염화 알코늄을 포함하는 32% 인산 반-교화체(semi-gel)인 UNI-ETCH와, NTG-GMA, BPDM, Bis-GMA, HEMA를 함유하는 ONE-STEP으로 이루어져있다.

### 1. 시편 제작

완전히 맹출하고, 3 개월 이내에 발거된 인간의 비우식성 대구치 24 개를 본 연구를 위해 선택하였으며, 발거 후에 치아를 생리 식염수에 저장하였다. 각 치아를 방사선 촬영하여 치수강의 위치를 확인한 후, 아크릴릭 레진으로 일부분(피착 상아질이 교합면인 경우는 치근, 치관의 측면인 경우는 반대측 측면)만 포매하여, 물 냉각하에서 저속 다이아몬드 톱(Low speed diamond saw, Buehler, England)으로 절단하여 법랑질을 제거하였으며, 노출된 피착 상아질면을 600번 실리콘 카마이드 연마포로 연마한 후 접착에 이용하였다. 상아질 피착면에 상아질 결합제 및 충전재를 사용 설명서에 따라 적용하였으며(표 2), 충전재의 높이

Table 1. Materials studied in this experiment

Species	Code	Brand name	Batch number	Manufacturer
Dentin bonding agent	MACB	Tokuso MAC-BOND System	56014P	Tokuyama Soda Co., Japan
	ONST	ONE-STEP	119175	Bisco, Inc. U.S.A.
Filling material	Z100	Restorative Z100	19970602	3M, Dental Products Division, U.S.A.
	AELIT	AELITEFIL	069036	Bisco, Inc. U.S.A.

Table 2. Application sequences of Dentin bonding agents and filling materials

MAC-BOND ONE-STEP	ONE-STEP
Rinsing / drying	Rinsing / drying
↓	↓
MB conditioner a/b (with sponge for 20-30 sec)	Uni-Etch (for 15 sec)
↓	↓
Rinsing (for 3-5 sec) / drying (for 2 sec with air syringe)	Rinsing / drying (for 2 sec with air syringe)
↓	↓
Apply MAC-BOND (with sponge)	Apply adhesive (2 consecutive coat) (with brush saturated thoroughly)
↓	↓
Light activation ( for 10 sec )	Drying / light activation (for 10 sec)
↓	↓
Apply composite resin in 1 mm increments, light-cure 40 sec	Adhesive remaining on brush & drying
	↓
	Apply composite resin in 1 mm increments, light-cure 40 sec

는 약 3mm로 축소하였다.

피착 상아질의 위치는 교합면인 경우와 교합면에 수직인 치관의 측면으로 대별하였으며, 상아질 결합제, 충전재 및 피착 상아질의 위치에 따라 8개의 실험군으로 분류하였다.

접착이 완료된 치아 시편을 아크릴릭 레진에 포매한 후 상기의 저속 다이아몬드 톱을 이용하여 절단하였는데 시편의 크기는 가로, 세로가 각각 1mm로 하였다.

각 피착면에서 상아질의 위치를 3부분 (교합면, 치관의 측면을 각각 I,II,III 군으로 함)으로 나누어서 결합강도를 측정하였는데 이를 모식도로 나타내면 다음과 같다(그림 1).

## 2. 전단강도 측정

인장압축시험기 (Universal testing machine, Zwick 020, Germany)를 이용하여 시험하였다. 시편은 측정시까지 생리 식염수에 보관하다가 측정 직전에 꺼내어 습기가 있는 상태에서 측정하였다. Load cell의 용량은 50 kg이었으며, 전단강도를 측정할 수 있는 시편 홀더와 하중을 주는 기구를 제작하여 인장압축시험기에 부착하여 측정하였다. 측정시 preload를 100 g으로하고 하중을 가하는 속도는 0.5 mm/min으로 하여 하중-변위 곡선을 구한 후 이 곡선으로부터 직선부분의 기울기, 전단 결합강도, 최대하중, 최대하중시의 충전재 변위 및 파열시까지 흡수된 에너지를 구하였다.

미세 전단결합강도는 최대하중을 시편의 단면적

으로 나누어 계산하였는데 시편의 크기는 가로, 세로 1 mm를 기준으로 하였으나  $\pm 0.25$  mm 정도의 오차가 있었다.

## 3. 잔존 상아질 두께 및 경도 측정

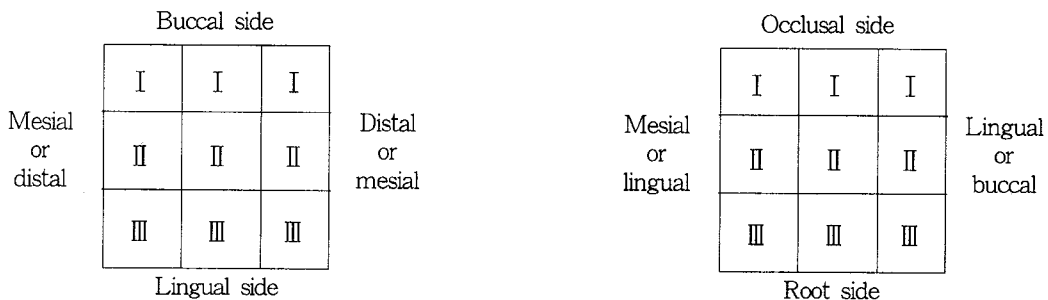
결합된 표면으로부터 치수강이나 근관강까지의 가장 가까운 지점까지의 거리 (잔존 상아질 후경)를 버어니어 캘리퍼(Mitutoyo, Japan)로 5/100 mm까지 측정하였다. 측정 후 결합면을 600번 실리콘 카바이드 연마포로 연마한 후에 디지털 미세경도 측정기(digital microhardness tester, Matsuzawa Seiki Co., Japan)를 이용하여 200g의 하중으로 Vickers 경도(Vickers hardness number, VHN)를 측정하였으며, 이것은 각 시편당 5회 측정하여 그 평균을 계산하였다.

## 4. 통계 처리

측정치들 통계처리 프로그램인 SPSS/PC+를 이용하여 0.05 유의수준에서 t-test 및 ANOVA one way test와 사후검정인 Scheffe test를 시행하였으며, 전단 결합강도와 상아질의 경도 및 잔존 상아질 후경과의 관련성을 일차 회귀 분석을 이용하여 평가하였다.

## III. 실험성적

피착 상아질이 교합면일 때와 치관의 측면일 때의 미세 전단결합강도, 상아질의 경도, 그리고 잔



A. In the case of occlusal surface bonding

B. In the case of side surface bonding of crown

Figure 1. Dentin position

존 상아질의 후경을 접착방법에 따라 정리한 결과는 각각 표 3, 4와 같다.

피착 상아질면이 교합면일 때, 피착 상아질면에서의 접착위치를 고려하지 않고 같은 방법으로 접착한 경우를 동일군으로 보고 상아질 결합제 및 컴포지트 레진의 종류에 따른 4 가지 접착방법의 미세 전단결합강도, 상아질의 경도, 그리고 잔존 상아질의 후경을 비교하였다.

미세 전단결합강도를 측정된 결과는 표 5와 같으며, 이를 Scheffe 사후 검정한 결과는 표 6과 같다. 상아질의 경도는 네 가지 접착군간에 유의한 차이가 없었다 ( $p>0.05$ ).

피착 상아질이 치관의 측면일 때, 접착위치를 고려하지 않고 같은 방법으로 부착한 경우를 동일군으로 보고 4가지 접착방법에 따른 미세 전단결합강도, 상아질의 경도, 잔존 상아질의 후경을 비교하였는데, 미세전단결합강도, 상아질의 경도 및 잔존상아질의 후경모두 접착방법에 따라 유의한 통계적 차이는 없었으며 ( $p>0.05$ ), 미세 전단결합강도 값은 10.44~13.06 MPa 범위였다.

그리고 피착면이 교합면인 경우와 치관의 측면인 경우 모두 컴포지트 레진에 따른 상아질 결합제의 미세 전단결합강도의 유의한 차이는 없었다 ( $p>0.05$ ).

동일한 상아질 결합제와 충전재를 사용했을 때 교합면과 측면의 미세 전단결합강도, 상아질의 경도 및 잔존 상아질 후경을 측정하였다.

미세 전단결합강도의 측정 결과는 표 7과 같고, ONST-AELIT 접착군에서만 교합면과 치관의 측면간에 통계적으로 유의한 차이를 보였으며 ( $p<0.05$ ), 상아질의 경도 및 잔존 상아질 후경은 모두 교합면인 경우가 치관의 측면인 경우보다 유의하게 높았다 ( $p<0.05$ ).

동일한 치아 내에서 상아질의 3 가지 위치 (I, II, III)에 따른 미세 전단결합강도, 상아질의 경도 및 잔존 상아질의 후경을 각각 비교하였다.

피착 상아질이 교합면인 경우, 미세 전단결합강도와 상아질의 경도는 4 가지 접착방법 모두 부위별로 유의한 차이가 없었으며( $p>0.05$ ), 잔존 상아질의 후경은 MACB-AELIT 접착군에서 I 부위가

Table 3. Regional micro-shear bond strength, hardness, and remaining dentin thickness on different dentin positions of occlusal surface(mean±standard deviation)

DBA	Filling material	Dentin position	Bond strength (MPa)	Hardness (VHN)	Remaining dentin thickness(mm)
MACB	AELIT	I	11.01±2.06	55.01±2.76	3.36±0.71
		II	10.58±2.59	55.20±3.49	3.01±0.63
		III	7.97±1.65	54.89±2.62	2.18±0.67
		Total	9.91±2.62	55.07±3.19	2.82±0.83
	Z100	I	13.45±2.27	60.20±5.06	2.73±0.70
		II	10.54±3.91	58.54±9.60	3.32±0.66
		III	11.38±2.77	63.83±4.47	3.00±0.78
		Total	11.85±3.34	60.75±7.33	3.02±0.77
ONST	AELIT	I	19.95±2.41	62.54±10.20	4.33±0.23
		II	18.00±8.84	61.27±8.18	2.93±0.89
		III	11.45±3.75	51.83±2.03	3.69±0.61
		Total	16.62±7.40	58.87±9.23	3.32±0.95
	Z100	I	16.07±4.39	56.62±3.88	2.57±0.40
		II	8.98±3.99	57.43±5.35	2.43±0.53
		III	16.10±1.76	52.81±7.39	2.09±0.80
		Total	13.50±5.12	55.30±6.49	2.34±0.68

Table 4. Regional micro-shear bond strength, hardness, and remaining dentin thickness on different dentin positions of side surface of tooth crown(mean±standard deviation)

DBA	Filling material	Dentin position	Bond strength (MPa)	Hardness (VHN)	Remaining dentin thickness(mm)
MACB	AELIT	I	11,81±3,29	52,13±4,44	1,02±0,23
		II	9,75±1,75	49,72±8,57	0,95±0,33
		III	9,54±3,72	49,69±6,74	0,94±0,36
		Total	10,44±3,32	50,54±6,95	0,97±0,32
	Z100	I	9,43±2,12	48,95±5,51	1,20±0,18
		II	15,06±2,73	47,93±6,32	1,63±1,20
		III	11,01±0,97	52,54±3,68	1,20±0,47
		Total	12,60±3,34	49,81±5,75	1,35±0,81
ONST	AELIT	I	13,03±4,09	54,70±8,45	1,37±0,48
		II	13,21±2,94	45,73±8,70	1,19±0,36
		III	6,26±1,57	48,20±10,95	1,02±0,39
		Total	0,83±4,57	49,43±10,47	1,19±0,45
	Z100	I	8,30±1,58	51,07±5,33	1,14±0,49
		II	16,88±3,66	41,05±12,41	0,88±0,39
		III	12,86±3,08	50,67±6,16	1,02±0,42
		Total	13,06±4,81	48,12±9,49	1,01±0,46

Table 5. Micro-shear bond strength(MPa) on occlusal surface of four groups(mean±standard deviation)

Code	MACB-AELIT	ONST-AELIT	MACB-Z100	ONST-Z100
Bond strength	9,91±2,62	16,62±7,40	11,85±3,34	13,50±5,12

Table 6. Scheffe test for micro-shear bond strength of occlusal four groups

Code	MACB-AELIT	MACB-Z100	ONST-Z100	ONST-AELIT
MACB-AELIT				
MACB-Z100				
ONST-Z100				
ONST-AELIT	*			

\*:Denotes pairs of groups significantly different at the 0,05 level.

Table 7. Micro-shear bond strength (MPa) on occlusal and side surfaces of four groups (mean±standard deviation)

Code	MACB-AELIT	ONST-AELIT	MACB-Z100	ONST-Z100
Occlusal surface	9,91±2,62	16,62±7,40	11,85±3,34	13,50±5,12
Side surface	10,44±3,32	10,83±4,57	12,60±3,34	13,06±4,81

III 부위보다 유의하게 높았다( $p < 0.05$ ).

피착 상아질이 치관의 측면인 경우, 미세 전단 결합강도는 ONST-AELIT 접착군에서 III 부위가 I이나 II 부위보다 유의성있게 낮았고( $p < 0.05$ ), MACB-Z100 접착군은 II 부위가 I이나 III 부위보다 유의성있게 높았으며( $p < 0.05$ ), ONST-Z100 접착군은 II 부위가 I이나 III 부위보다 유의성있게 높았다( $p < 0.05$ ). MACB-AELIT 접착군은 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ). 상아질의 경도와 잔존 상아질의 후경은 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ).

미세 전단결합강도와 상아질의 경도 및 잔존 상아질 후경과의 관련성을 조사하기 위해, 경도와 잔존 상아질 후경을 각각 범위별로도 나누어 일차 회귀 분석을 시행하였으나, 상아질 결합제, 충전재, 그리고 피착 상아질의 위치에 따른 8가지 접착군 모두에서 통계적으로 유의한 상관관계가 없었다( $p > 0.05$ ).

#### IV. 총괄 및 고찰

상아질은 50%의 무기질, 30%의 유기질 및 20%의 수분으로 구성되어 있는 조직으로서, 치관부에서는 상아법랑 경계로부터, 치근에서는 백악질로부터 전상아질 쪽으로 모아지며, 고도로 광화된 관주 상아질로 둘러싸인 상아세관이 특징적이다. 각 상아세관은 상아법랑 경계에서 직경이 작고(0.5~0.9 $\mu$ m), 치수 측에서 증가하는(2~3 $\mu$ m) 원형형이며, 단위 면적당 수와 평균 횡단면적 백분율은 치수로부터의 거리에 따라 다양하다. 즉 상아법랑 경계에서 그 수와 횡단면적 백분율은 각각 22,000/ $\text{mm}^2$ , 3.6%, 치수벽과 상아법랑 경계의 중간에서 37,000/ $\text{mm}^2$ , 6.2%, 그리고 치수가가이에서 48,000/ $\text{mm}^2$ , 10.2%로서 상아법랑 경계에서보다 치수 근처에서 단위면적당 상아세관의 수는 2 배 이상, 횡단면적 백분율은 3 배 이상 증가한다. 상아질은 위치에 따라 다양한 조성 및 미세 조직으로 구성되어 있으므로 상아질의 특성과 기질의 성질은 위치에 따라 상이하게 나타난다<sup>15-17</sup>.

상아질 결합제는 대개 표면조절제, 전처리제 및 결합용 레진으로 구성된다. 표면 조절제는 도말층을 변형하거나 제거하며 인산, 구연산 등의 강산,

또는 말레인산 등 약산, 그리고 EDTA 및 글루탈 알데하이드 등을 사용한다. 전처리제는 상아질 및 결합용 레진과 함께 결합하는 친수성 제재로 HEMA, PMDM, BPDM, NPG-GMA, 및 NTG-GMA 등을 사용하며, 결합용 레진은 Bis-GMA계나 UDMA계를 사용한다<sup>18,19</sup>.

소수성이며 상아질의 도말층에 결합한 초기의 상아질 결합제의 전단결합강도는 6 MPa 이하였으며, 이는 하부 상아질에 대한 도말층의 부착력과 도말층 입자들의 상호간 고유의 응집력에 의해 결합강도가 제한되기 때문이다<sup>20</sup>. 도말층을 제거하는 초기의 표면조절 술식으로 결합강도는 10~12MPa로 증가하였으나 상아질을 과부식하는 경향이 있었으며, 결합제를 화학적으로 변화시켜 더욱 친수성으로 만든 후에는 18~20MPa로 증가하였다<sup>19</sup>. 상아질 결합제는 전단결합강도 자료에 근거하여 3범주 즉 전단결합강도가 각각 5~7, 8~14, 그리고 20 MPa까지로 분류되기도 하지만<sup>21,22</sup>, 일반적으로 그 접착 시스템에 의해 제1, 2, 3, 4세대로 분류된다. 제1세대는 법랑질과 상아질을 함께 부식함으로써 도말층을 제거하여 기계적인 결합력을 시도하였으며, 제2세대는 도말층의 치수보호 개념과 화학적 결합력을 시도하였고, 제3세대는 도말층을 전부 혹은 일부 제거하여 미세 기계적인 결합력을 시도하였다. 그리고 제4세대는 법랑질과 상아질외에 포세라인, 여러 가지 금속, 아말감, 복합레진 등과 접착이 가능한 다목적 결합제(Multi-purpose bonding agents or Universal bonding system)이다<sup>19</sup>. 그리고 최근의 상아질 결합제는 사용하기에 편리하도록 표면조절, 전처리, 결합용 레진적용의 개별적인 3단계가 2단계 처리로 단순화되어 있으며, 그 중 ONE-STEP은 전처리제와 결합용 레진이, MAC-BOND는 표면조절제와 전처리제가 하나로 조합되어 있다.

상아질과의 결합강도를 증가시키기 위하여 상아질을 회전기구로 삭제할 때 형성되는 도말층을 제거해야 하는지 여부에 대해 많은 논란이 있었으나, 현재는 상아질의 기본 구조를 변형하지 않는 적정 농도의 산을 사용하여 도말층을 변형하거나 제거하고<sup>24</sup> 혼성층을 형성하는 것을 권장한다<sup>18</sup>. 많은 상아질 결합제가 상아질의 무기질 또는 유기질과 화학적 결합이 일어나도록 조성되어 있으나, 최종

적인 결합력에는 거의 영향을 미치지 않는다. 최근 시판되는 많은 상아질 전처리제나 결합제는 친수성과 소수성 그룹을 갖고 있어 도말층을 관통하여 상아질 조절제에 의해 부분 탈회된 상아질면과 상아세관에 스며들고 그 곳에서 중합함으로써, 상아질 교원질과 얽히게 되어, 그 위에 다른 레진이 결합될 수 있는 혼성층을 형성한다. 그 두께는 상아질 결합제의 특정 화학적 작용에 따라 1~5 $\mu$ m 깊이로 다양하다. 이렇게 하여 상아질과 화학적 결합 뿐만 아니라 미세 기계적으로 결합하며, 일반적으로 결합강도는 90% 혹은 그 이상이 미세 기계적 결합으로 간주되고, 특히 부분 탈회된 관간 상아질에 대한 미세 기계적 결합에 주로 의존한다. 그러나 과도한 산 부식은 1~10 $\mu$ m 깊이까지 상아질을 탈회시킬 수 있으며, 만일 이 탈회된 상아질 부위가 전처리제로 채워지지 않는다면, 파절이 일어나는 약화된 층으로 작용할 것이다<sup>10)</sup>.

상아질 결합제의 결합력에 영향을 주는 변수가 될 수 있는 인자로는 시험 방법, 열 순환 여부, 치아의 종류, 발거한 치아의 보관 방법, 상아질 표면을 형성하는 방법, 시험 하중을 가하는 속도, 상아질의 깊이 및 종류, 상아질 결합제의 피막도, 접촉면의 면적, 시편제작후 경과 시간, 상아질 표면의 건조 여부, 시험기의 종류 등이 있다<sup>11)</sup>.

상아질에 대한 결합력 시험을 위한 기질로는 대개 인간의 치아를 사용하였으며, 그 대체물로서 소의 치아가 문헌에 보고되어 왔다<sup>1025)</sup>. Söderholm<sup>26)</sup>, Rueggeberg<sup>10)</sup>은 치아의 발거후 경과 시간은 실험실 시험에 있어서 주된 변수가 아니며 최대 6개월까지는 비슷한 결과를 나타내고, 저장 매체는 실험실에서의 시험 결과에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 어떤 시험에서든 명확히 규정해야 한다고 보고하였고, Burrow 등<sup>4)</sup>은 상아질의 깊이나 나이가 결합강도에 큰 영향을 주지는 않는다고 하였으며, Yamaguchi 등<sup>27)</sup>은 부식을 하지 않은 상아질, 10% 폴리아크릴릭산으로 표면조절한 상아질, 그리고 인산으로 부식한 상아질로 분류하여 인장결합강도를 측정하였는데, 산 부식을 시행하지 않은 경우, 표면조절을 시행한 경우, 산부식을 시행한 경우 순으로 높았다고 하였다. Tagami 등<sup>28)</sup>은 표면처리 전후에 다이아몬드 버를 사용한 고속 절삭과 80번 카바이드 연마포로 시행한 연마가 상아질의

투과성과 결합강도에 미치는 영향을 비교하였으며, Tao 등<sup>26)</sup>은 도말층이 제거된 경우 모의 치수압은 결합제의 결합강도를 감소시켰다고 보고하였다. Sano 등<sup>8)</sup>은 접착면의 면적은 미세 인장결합강도와 역비례관계가 있다고 보고하였고, van Noort 등<sup>29)</sup>은 상아질 결합제의 인장결합강도를 측정할 때 결합제 도포과정에 계면을 넘어 퍼져나가 부착된 결합제는 인위적으로 결합강도를 높게 나타나게 하므로 결합제의 도포범위는 결합 부위에만 국한시킨 상태에서 결합강도를 측정해야 한다고 하였다. 본 실험에서는 충전재를 접착후 절단하여 결합강도를 측정하였으므로 이런 문제는 없었다.

피착 상아질의 건조 정도는 상아질 결합강도에 영향을 주는 것으로 알려져 있으며, 그 이유는 습식 접착법을 이용하는 제재는 아세톤계 상아질 전처리제를 사용하며, 수분이 있어야 상아질 중의 콜라겐이 수축 응집되지 않아 레진이 침투할 공간이 생기기 때문이다<sup>30)</sup>. Kanca<sup>31)</sup>는 레진-전처리제 혼합물의 독특한 작용(아세톤-물 상호작용)으로 인하여 상아질 표면에 훨씬 더 철저하고 긴밀하게 적합되므로 습한 상아질 표면에 대한 결합강도가 건조한 표면보다 유의하게 더 높은 결합강도를 나타낸다고 보고하였고, De Goes 등<sup>9)</sup>은 상아질 표면의 건조 상태에 따른 ONST의 전단결합강도를 측정하였는데, 흡수지를 이용하여 흡인 건조한 경우, 도포용 솔을 이용하여 수분을 제거한 경우 또는 면봉으로 흡인 건조한 경우의 결합강도는 17.73~20.96MPa로 완전 건조한 경우의 12.43MPa보다 유의하게 높았다고 하였다. ONST는 습식 접착법을 이용하는 상아질 결합제로서, 본 실험에서도 습식 접착법으로 적용하였고, 습윤 상아질에 대한 미세 전단결합강도는 교합면인 경우에는 충전재에 따라 13~16MPa, 치관의 측면인 경우에는 10~13MPa 정도로 나타났다.

Watanabe 등<sup>31)</sup>은 Watanabe assembly를 이용한 전단결합강도 측정법이 표준화된 접착면 면적을 제공하고, 시험 술식동안 시편을 제자리에 유지시키고, 인장응력 성분을 포함하지 않는 더욱 순수한 전단결합강도를 나타낸다고 하였다. 본 실험에서는 knife-edge chisel이 직접 콤포지트 레진 plug를 누르는 방법을 이용하였는데, 순수한 전단력만을 가할 수 있는 시험 방법을 이용하는 것이 바람



직하다고 할 수 있으나 본 실험의 결과로도 각 구간  
의 차이를 비교할 수 있었다.

Watanabe 등<sup>12)</sup>은 상아질의 전단강도를 상아세  
관의 방향 및 치관 내에서 상아질의 위치에 따라  
측정하였는데, 중심소와에서 교두 방향으로 갈수  
록 전단강도가 증가한다고 보고하였고, Yoshiyama  
등<sup>5)</sup>은 경화성 상아질에 대한 결합강도가 정상 상  
아질에 대한 결합강도보다 20~45 % 정도 낮다고  
하였으며, Suzuki와 Finger<sup>6)</sup>는 치수에 가까운 상아  
질에서 기록된 결합강도는 일관되게 주변(per-  
ipheral) 상아질 결합강도의 30~40%라고 하였고,  
Tagami와 Tao 등<sup>3)</sup>은 일반적으로 상아질의 두께와  
접착 레진의 결합강도간에는 통계적으로 유의한 역  
비례관계가 있다고 보고하였다. Yoshiyama 등<sup>32)</sup>은  
치근과 치관부 상아질에 대한 부위별 결합강도를  
연구하여, 도말층을 제거한 All Bond 2의 경우 모  
든 부위에서 높은 결합강도를 보였으나, 치경부 치  
근 상아질에서 유의하게 낮았고, 도말층을 제거하  
지 않은 Imperva Bond는 모든 부위에서 비교적 높  
은 결합 강도를 나타냈다고 하였으며, Tao와  
Pashley<sup>7)</sup>는 산 부식으로 도말층이 제거된 경우 표  
층부 상아질에서의 결합강도가 심부 상아질에서의  
그 것보다 유의성있게 더 높고, 비록 치수각과 중  
앙부사이의 결합강도간에 유의한 차이는 없지만,  
치수각 상방의 단위면적당 상아세관수가 중심와의  
상아질에서보다 더 많고, 중심부 상아질에 대한 결  
합강도가 치수각 상방의 상아질에 대한 것보다 더  
높은 경향이 있다고 보고하였다. 본 실험에서는, 교  
합측에서 채취한 시편들의 부위별 전단 결합강도  
를 비교하였는데, 통계적으로 유의한 차이를 나타  
내지는 않았다. 또한 경화성 치경부 상아질은 산  
부식이 덜 되고, 그 상아세관이 대개 광물질로 막  
혀 있어 보통의 상아질보다 결합강도가 낮을 것으  
로 생각되며, 교합측 상아질이 인접면이나 협측 상  
아질보다 더 낮은 결합강도를 보인다는 보고도 있  
다<sup>13)</sup>. 본 실험에서 동일한 재료를 사용하여 교합면  
과 치관 측면의 미세 전단결합강도를 비교하였는  
데, ONST-AELIT 접착군은 치관 측면의 결합강  
도가 교합면의 그것보다 유의하게 높았으며, 나머  
지 군은 통계적으로 유의한 차이가 없었다

상아질의 경도는 상아법랑 경계로부터 치수실 쪽  
으로 감소하며, 상아질의 Vickers 경도(VHN)와

Knoop 경도(KHN)는 25~82KHN, 36~98VHN범  
위이다. 상아세관의 수와 직경은 무기물(주로 실  
제적인 상아질 표면)의 양에 역비례하며, 이런 양  
상은 무기물의 양이 치수 쪽에 접근하면서 점차로  
감소한다는 사실에 기인하고, 상아질의 경도와 상  
아세관 밀도간의 역비례 관계는 경도와 상아질의  
단위 표면적당 석회화된 기질의 양과의 직접적인  
관계에 기인한다. Vickers 경도는 실제적인 상아질  
표면의 일차 함수로서 표현될 수 있으며, 상아질  
의 위치, 칼슘 농도에 따라 변화한다. 상아세관은  
석회화된 관간 상아질의 그것과 비교해서 압입에  
대한 저항을 거의 제공하지 못 한다. 한편, 치수 근  
처에서 상아세관의 밀도는 더 크고, 또한 세관의  
직경도 더 크고 관주 상아질이 거의 없다. 관주 상  
아질이 발생하면서 상아세관의 직경이 치수로부터  
약 0.5mm에서 극적으로 감소된다. 세관의 밀도가  
치수 근처에서 증가하기 때문에, 개방된 세관에 의  
해 차지된 면적이 증가하고, 실제적인 상아질  
표면은 크게 감소한다. 이런 모든 인자들이 치수  
에 근접함에 따른 Vickers 경도 감소에 기여할 것  
이다<sup>14)</sup>.

비록 화학적인 성분이 치아 조직의 물리적인 성  
질에 유의하게 영향을 미치지만, 단지 몇몇 연구  
들만이 성분 분석을 취급했을 뿐이다. Perinka 등<sup>1)</sup>  
은 소의 상아질에서 칼슘 농도와 잔존 상아질 후  
경 간에는통계적인 관련성이 없다고 하였고, Amory  
등<sup>14)</sup>은 칼슘과 인의 농도 및 비율이 치관부 상아  
질의 여러 부위에서 거의 일정하며, 상아질의  
경도는 실제적인 상아질 표면과 칼슘 농도에 따라  
변화하고, 전단결합강도는 상아질의 특성 및 칼슘  
농도와 관계가 없다고 하였다.

결합용 레진의 상아질에 대한 결합 기전에 대해  
여러 개념들이 제안되어 왔다. 첫째는 산 부식된  
상아질의 상아세관에서의 레진 태그형성을 통한 결  
합이고, 둘째는 전처리된 상아질 기질 상에 결합  
용 레진이 화학적으로 혹은 기계적으로 결합할 수  
있는 침전물을 형성하는 것이며, 셋째는 상아질 기  
질의 무기 성분이나 유기 성분에 대한 화학적인 결  
합이다. 네 번째는 미세 기계적인 맞물림 원리로서  
현재 근본적인 기전으로 제안되어진다. 즉, 전  
처리된 상아질 기질의 표면 하부로 단량체가 침투  
하고 그 곳에서 중합되어 레진-강화 상아질인 혼

성층을 생성한다. 이 새롭게 형성된 혼합물이 레진-강화 상아질 위에 놓여 중합된 레진과 하부의 상아질을 결합한다<sup>4,33</sup>. Eick 등<sup>38</sup>과 Triolo 등<sup>34</sup>은 많은 상아질 결합제들이 높은 결합강도를 일관성 있게 나타낼 수 없는 이유는 그들이 조절된 상아질 표면을 충분히 적시고 침투하지 못하는 것과 직접적으로 관계되어 있으며, Nakabayashi 등<sup>33</sup>은 HEMA가 상아질 기질의 침투성과 확산성을 증가 시킴으로써 혼성층 형성을 강화하며, 탈회된 상아질로 단량체가 주입되고 그곳에서 중합되어 혼성층을 형성하는 것이 높은 결합 강도를 획득하는데 필수적인 인자라고 하였다.

실험실에서 상아질 결합제의 결합강도에 영향을 주는 변수에 관해 이용 가능한 보고는 많다. 이런 변수들 중에, 칼슘 농도<sup>1</sup>, 잔존 상아질 두께<sup>1,3,4,6,8</sup>, 상아질 투과성<sup>327</sup>, 그리고 상아질의 나이<sup>24</sup>가 중요한 기질상의 인자들이다. 심부의 상아질이 표층의 상아질에 비해 더 낮은 결합강도를 보인다는 것은 일반적으로 받아들여져 왔으나, Sano<sup>8</sup>, Burrow<sup>4</sup> 등은 잔존 상아질 후경과 결합강도와는 관련이 없다고 하였다. 본 실험에서 상아질의 경도와 잔존 상아질 후경은 각각  $41.05 \pm 12.41 \sim 63.83 \pm 4.47$  VHN,  $0.88 \pm 0.39 \sim 4.33 \pm 0.22$  mm이었으며, 미세 전단결합강도와는 관계가 없었다. 이런 결과는 개별 치아의 다양성과, 상아질이나 레진 내부에서의 응집성 파절, 그리고 작은 접착 면적, 시험 방법과 같은 실험조건의 차이 등에 기인할 것이며, 또한 본 연구에서 사용한 결합제가 수분과 습한 상아질에 더 잘 견딜 것으로 여겨진다.

그러나 무엇보다도 전처리제의 적용으로 인회석 표면의 칼슘 부위와의 결합이 주된 역할을 하지 않을 정도로, 상아질에 대한 레진의 미세 기계적인 결합이 상당히 향상<sup>40</sup>된 것에 기인한 것으로 추측된다.

본 연구를 통하여 전단 결합강도와 상아질의 경도 및 잔존 상아질의 후경간에는 관련성이 없는 것으로 나타났다. 그러나 이에 대한 여러 보고들의 결과는 일치되지 않는다. 앞으로 이에 대한 더 많은 연구와 비교 가능한 표준화된 시험술식 개발을 위한 노력이 필요하리라 사료된다.

## V. 결론

충전재로 광중합형 콤포지트 레진 2종(AELIT, Z100), 상아질 결합제로는 적용 술식이 2단계로 간편화된 ONST와 MACB를 사용하여 상아질에 대한 부위별 미세 전단결합강도를 측정하였고, 상아질의 경도 및 잔존 상아질의 후경과의 관련성을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 접착면이 교합면인 경우, 접착방법과 피착 상아질의 위치가 미세 전단결합강도에 영향을 주는 지 조사한 결과 ONST-AELIT 접착군(16.62 MPa)과 MACB-AELIT 접착군(9.91 MPa)간에 통계적으로 유의한 차이를 보였고( $p < 0.05$ ), 피착 상아질의 위치에 의해서는 영향을 받지 않았다( $p > 0.05$ ).
2. 접착면이 치관의 측면인 경우, 접착방법과 피착 상아질의 위치가 미세 전단결합강도에 영향을 주는 지 조사한 결과 접착방법에 영향을 받지 않았고, 4개 실험군중 3개 군(ONST-AELIT, MACB-Z100, ONST-Z100)에서 치은측 1/3(III) 부위가 중간 1/3(II) 부위보다 유의하게 낮았다( $p < 0.05$ ).
3. 접착방법이 동일할 때, 피착 상아질이 교합면과 치관 측면인 경우의 미세 전단결합 강도를 비교한 결과 ONST-AELIT 접착군의 치관 측면에 대한 결합강도가 교합면인 경우보다 유의하게 높았고( $p < 0.05$ ), 나머지 접착군은 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ).
4. 상아질 결합제의 미세 전단결합강도와 상아질의 경도 및 잔존 상아질 후경과는 유의한 상관관계가 없었다( $p > 0.05$ ).

## 참고문헌

1. Perinka L, Sano H, Hosoda H. Dentin thickness, hardness, and Ca-concentration vs. bond strength of dentin adhesives. *Dent Mater* 1992; 8:229-233.
2. Cooley RL, Dodge WW. Bond strength of three dentinal adhesives on recently extracted versus aged teeth. *Quint Int* 1989; 20: 513-516.

3. Tagami J, Tao L, Pashley DH. Correlation among dentin depth, permeability, and bond strength of adhesive resins. *Dent Mater* 1990; 6:45-50.
4. Burrow MF, Takakura H, Nakajima M, Inai N. The influence of age and depth of on bonding. *Dent Mater* 1994;10:241-246.
5. 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* 1996;75:1404.
6. Suzuki T, Finger WJ. Dentin adhesives: site of dentin vs. bonding of composite resins. *Dent Mater* 1988;4:379-383.
7. Tao L, Pashley DH. Shear bond strengths to dentin: effects of surface treatments, depth, and position. *Dent Mater* 1988;4:371-378.
8. Sano H, Shono T, Sonoda H. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength-evaluation of a micro-tensile bond test. *Dent Mater* 1994;10:236-240.
9. De Goes MF, Pachane GCF, Garcia-Godoy F and Gwinnet AJ. Effect of drying methods on resin bond strength to dentin. *J Dent Res* 1997;76:65 #416.
10. Rueggeberg FA. Substrate for adhesion testing to tooth structure-Review of the literature. *Dent Mater* 1991;7:2-10.
11. Pashley DH, Sano H, Ciucchi B, Yoshiyama M, Carvalho RM. Adhesion testing of dentin bonding agents: A review. *Dent Mater* 1995;11: 117-125.
12. Watanabe LG, Marshall GW, Marshall SJ. Dentin shear strength: effects of tubule orientation and intratooth location. *Dent Mater* 1996; 12:109-115.
13. 이용근. 상아질 결합용 제재의 미세 상아질 전 단결합강도에 관한 연구. *대한치과 기재학회지* 1997;24:35-53.
14. Amory C, Yvon J. Shear bond strength of a light-cured resin composite vs. dentin characteristics. *Dental Mater* 1994;10:203-209.
15. Pashley DH. Clinical correlations of dentin structure and function. *J Prosthet Dent* 1991; 66:777-781.
16. Marshall GW. Dentin: Microstructure and characterization. *Quint Int* 1993;24:606-617.
17. Dourda AO, Moule AJ, Young WG. A morphometric analysis of the cross-sectional area of dentin occupied by dentinal tubules in human third molar teeth. *International Endodontic Journal* 1994;27:184-189.
18. 김철위, 김명국, 백기석, 이용근. 상아질 결합제의 결합력에 관한 연구. *대한치과기재 학회지* 1994;21:7-19.
19. Sturdevant CM, Roberson TM, Heymann HO, Sturdevant JR. *The art and science of operative dentistry*. 3rd ed. St. Louis: CV Mosby, 1995:241-263.
20. Tao L, Pashley DH. Dentin perfusion effects on the shear bond strengths of bonding agents to dentin. *Dent Mater* 1989;5:181-184.
21. Eick JD, Robinson SJ, Cobb CM, Chappell RP, Spencer P. The dentinal surface: its influence on dentinal adhesion. Part II. *Quint Int* 1992;23: 43-51.
22. Eick JD, Robinson SJ, Chappell RP, Cobb CM, Spencer P. The dentinal surface: its influence on dentinal adhesion. Part III. *Quint Int* 1993;24: 571-582.
23. Eick JD, Cobb CM, Chappell RP, Spencer P, Robinson SJ. The dentinal surface: its influence on dentinal adhesion. Part I. *Quint Int* 1991;22: 967-977.
24. Chappell RP, Spencer P, Eick JD. The effects of current dentinal adhesives on the dentinal surface. *Quint Int* 1994;25:851-859.
25. Nakamichi I, Iwaku M, Fusayama T. Bovine teeth as possible substitutes in the adhesion test. *J Dent Res* 1983;62:1076-1081.
26. S derholm K-JM. Correlation of in vivo and in vitro performance of adhesive restorative materials: A report of the ASC MD 156 Task

- Group on Test Methods for the Adhesion of Restorative Materials, *Dent Mater* 1991;7:74-83.
27. Yamaguchi R, Powers JM, Dennison JB. Parameters affecting in vitro bond strength of composites to enamel and dentin. *Dent Mater* 1989;5:153-156.
28. Tagami J, Tao L, Pashley DH, Hosoda H, Sano H. Effects of high-speed cutting on dentin permeability and bonding. *Dent Mater* 1991;7:234-239.
29. Noort RV, C rdew GE, Howard IC, Noroozi S. The effect of local interfacial geometry on the measurement of the tensile bond strength to dentin. *J Dent Res* 1991;70:889-893.
30. Kanca J. Resin bonding to wet substrate. I. Bonding to dentin. *Quint Int* 1992;23:39-41.
31. Watanabe LG, Lacy AM, Davis DR. Shear bond strength: Single plane versus conventional lap shear. *J Dent Res* 1987;67:383.
32. Yoshiyama M, Carvalho RM, Sano H, Horner JA, Pashley DH. Regional bond strengths of resins to human root dentin. *J Dent* 1996;24:435-442.
33. Nakabayashi N, Takarada K. Effect of HEMA on bonding to dentin. *Dent Mater* 1992; 8:125-130.
34. Triolo PT, Swift EJ. Shear bond strengths of ten dentin adhesive systems. *Dent Mater* 1992; 8:370-374.