

## 도말층 존재 유무에 따른 One-step 접착 시스템의 미세인장결합강도

송용범 · 진정희 · 이세준 · 이광원

전북대학교 치과대학 치과보존학교실 및 구강생체과학연구소

### ABSTRACT

#### MICROTENSILE BONDING OF ONE-STEP ADHESIVES TO SMEARED AND NON-SMEARED DENTIN

Yong-Beom Song, Jin-Jeong Hee, Se-Joon Lee, Kwang-Won Lee

*Department of Conservative Dentistry & Institute for Oral Bioscience,  
College of Dentistry, Chonbuk National University*

The purposes of this study were to evaluate the microtensile bond strength of one-step adhesives according to various dentin surface treatments and to observe the interface between resin(Z-100™) and dentin under SEM.

In this study forty-five non-carries extracted human molars and three adhesive systems were used ; All-Bond 2(AB), One-Up Bond F(OU), AQ-Bond(AQ). ; In Group 1, 2, 3, AB was used and tooth surfaces were treated by smearing(S), ultrasonic cleansing(US), etching(E) respectively. In Group 4, 5, 6, One-Up Bond F was used and tooth surfaces were also treated as the same way above. In Groups 7, 8, 9, AQ Bond was used and tooth surfaces were treated as the same way. Each specimen was prepared for microtensile bond testing, and were stored for 24hrs in 37℃ distilled water. After that, microtensile bond strength for each specimen was measured. Specimens were fabricated to examine the failure patterns of interface between resin and dentin and observed under the SEM.

The results were as follows:

1. The results(mean±SD) of microtensile test were group 1, 25.69±4.31MPa; group 2, 40.93±10.94MPa; group 3, 47.65±8.85MPa; group 4, 36.98±9.14MPa; group 5, 39.66±8.45MPa; group 6, 43.26±13.01MPa; group 7, 25.07±4.2MPa; group 8, 30.4±4.74MPa; group 9, 33.61±7.88MPa.
2. One-Up Bond F was showed the highest value of 36.98±9.14MPa in dentin surface treatment with smearing, and there were significant differences to the other groups(p<0.05).
3. All-Bond 2 was showed the highest value of 40.93±10.94MPa in dentin surface treatment with ultrasonic cleansing, but was no significant difference to One-Up Bond F(p>0.05).
4. All-Bond 2 was showed the highest value of 47.65±8.85MPa in dentin surface treatment with etching(10%phosphoric acid), and there were significant differences to the other groups(p<0.05).
5. All-Bond 2 was showed the highest value of 47.65±8.85MPa in dentin surface treatment according to manufacture's directions, but was no significant difference to One-Up Bond F(p>0.05).
6. AQ Bond was showed the lowest microtensile bond strength with various dentin surface treatment, and the were significant differences to the other groups(p<0.05).

### I. 서 론

Buonocore"가 85%인산으로 법랑질을 부식시켜 아크릴

레진을 접착시킨 이후로 접착 시스템의 발달은 많은 양의 치질을 삭제하던 기존의 와동형성 디자인을 좀더 보존적인 형태를 이룰 수 있도록 해주었다. 이러한 결과 와동형태 보

다는 그들의 결합력에 비중을 높이게 하였고, 이에 결합력 측정 방법도 다양하게 발전되어 왔다. 접착력에 대한 측정 방법으로는 전단 시험과 인장 시험이 있다. 그러나 기존의 방법을 이용해 Pashley DH 등<sup>2)</sup>은 직경이 3~4mm인 시편의 전단 시험결과 비교적 낮은 수치인 10~15MPa 정도의 결과를 보고하였다. 그러나 최근 개발된 접착 시스템은 상아질의 cohesive failure(응집성 파절)를 일으킬 정도의 향상된 결합력을 보인다. 이런 향상된 결합력을 측정하기 위해 미세인장결합강도 시험(microtensile bond test)이 고안되었고, 이 방법을 이용한 시험결과들이 보고되고 있다<sup>3,4)</sup>.

최근 개발된 one-step 접착제는 기존의 에칭, 프라이밍, 본딩의 세가지 단계를 한가지 단계로 줄임으로써 시술 시간을 줄였으며, 습윤 접착시의 모호함과 과도한 에칭으로 인한 결합력 약화 등의 시술 시 발생하는 술자 의존도를 줄임으로써 많이 사용되고 있는 추세이다. 물론 two-step 접착제가 먼저 개발되고, 여러 연구 결과가 보고되고 있지만 이는 에칭과 프라이밍을 합한 단계와 본딩단계의 두 단계로 이루어져 있거나, 에칭 후 프라이밍과 본딩단계를 합한 단계의 두 단계로 이루어져 있으므로 진정한 의미에서 한 단계로 이루어진 시스템이라 볼 수 없다.

이에 이번 연구는 새로 개발된 one-step 접착 시스템인 One-Up Bond F(Tokuyama, Corp., Japen), AQ Bond (Sunmedical Co., Ltd., Japen)와 기존의 three-step 접착 시스템인 All Bond 2(Bisco, In., U.S.A)의 결합력을 여러 다양한 표면처리 후에 미세인장결합강도 시험을 통해 비교해 보려고 한다. 또한 미세인장결합강도 실험 후 시편들의 주사전자 현미경 관찰을 통해 각 접착 시스템과 치질과의 계면에서 파절양상을 분석해 보려고 한다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험재료

최근에 발치된 45개의 상·하악 대구치에 복합레진(Z-100<sup>TM</sup>)을 접착하였으며, 사용된 접착 시스템은 three-step 인 All-Bond 2(AB)와 one-step인 One-Up Bond F(OU)와 AQ Bond(AQ)을 사용하였으며, 상아질 부식을

위해 10% phosphoric acid를 사용하였다(Table 1).

### 2. 실험방법

#### 1) 시편의 초기 제작

범랑질의 제거를 위해 주수 하에 Low-speed diamond saw를 이용하여 치아의 장축에 수직이 되게 치관의 교합면을 자른 후 노출된 상아질면을 #400, 800, 1000 sandpaper를 이용해 연마한다. 연마된 상아질면을 다양한 표면처리(Smearing(S), Ultrasonic cleaning(UC), 10% phosphoric acid를 이용한 etching(E))를 한 후 Table 1에 나와있는 접착 시스템을 적용한다.

다음과 같은 군으로 나뉘어 적용된다(Table 2).

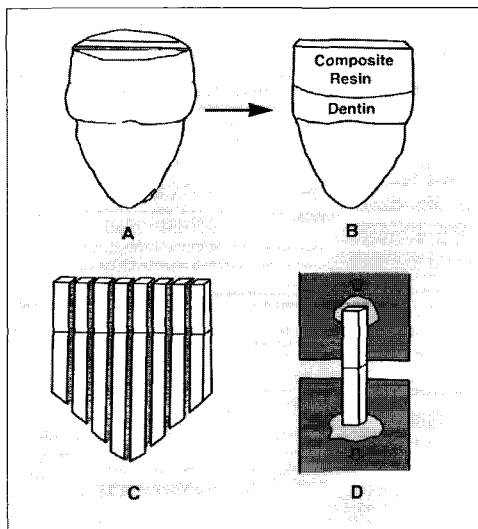
- 1군: 접착 시스템으로 All-Bond 2(AB)를 이용하고, 에칭 없이(Smearing) 프라이머와 본딩제를 적용한다.
- 2군: 접착 시스템으로 All-Bond 2를 이용하고, 초음파 세척을 4분간 실시한 후 프라이머와 본딩제를 적용한다.
- 3군: 접착 시스템으로 All-Bond 2를 이용하고, 10% phosphoric acid로 15초간 에칭한 후 프라이머와 본딩제를 적용한다(제조자의 지시에 따른 적용).
- 4군: 접착 시스템으로 One-Up Bond F(OU)를 이용하고, 에칭 없이(Smearing), 본딩제를 적용한다(제조자의 지시에 따른 적용).
- 5군: 접착 시스템으로 One-Up Bond F를 이용하고, 초음파 세척을 4분간 실시한 후, 본딩제를 적용한다.
- 6군: 접착 시스템으로 One-Up Bond F를 이용하고, 10% phosphoric acid로 15초간 에칭한 후 본딩제를 적용한다.
- 7군: 접착 시스템으로 AQ Bond(AQ)를 이용하고, 에칭 없이(Smearing), 본딩제를 적용한다(제조자의 지시에 따른 적용).
- 8군: 접착 시스템으로 AQ Bond를 이용하고, 초음파 세척을 4분간 실시한 후, 본딩제를 적용한다.
- 9군: 접착 시스템으로 AQ Bond를 이용하고, 10% phosphoric acid로 15초간 에칭한 후 본딩제를 적용한다.

**Table 1.** Materials used in this study

Brand	Manufacture	Type	Lot No.
Z-100 <sup>TM</sup>	3M, U.S.A.	Composite resin	20000914
All-Bond 2	Bisco, U.S.A.	Adhesive system	089127
One-Up Bond F	Tokuyama, Japan	Adhesive system	991470
AQ-Bond	Sunmedical, Japan	Adhesive system	VW2
All etch	Bisco, U.S.A.	10%H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0100000517

**Table 2.** Group classification

Groups	No. of Specimens	Adhesive sys.	Surf. Treatment
Group 1	30	All-Bond 2	Smearing
Group 2	30	All-Bond 2	Ultrasonic cleaning(4min)
Group 3	30	All-Bond 2	Etching(15sec)
Group 4	30	One-Up Bond F	Smearing
Group 5	30	One-Up Bond F	Ultrasonic cleaning(4min)
Group 6	30	One-Up Bond F	Etching(15sec)
Group 7	30	AQ-Bond	Smearing
Group 8	30	AQ-Bond	Ultrasonic cleaning(4min)
Group 9	30	AQ-Bond	Etching(15sec)



**Fig. 1.** Schematic illustration of the microtensile test

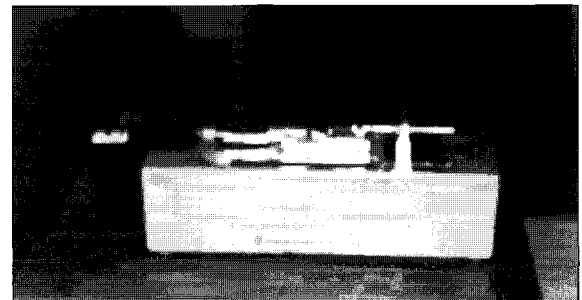
2) 미세인장결합강도 시험을 위한 시편제작

접착 시스템을 적용한 후 복합레진 (Z-100™)을 높이 약 3mm이며, 윗 부분이 평평한 면이 되도록 2번에 나누어 적층한다. 각 층은 60초 동안 광중합한다. 이 시편을 주수 하에 low-speed diamond saw를 이용하여 두께는 0.5~1.0mm이하가 되도록 치아장축방향으로 절단한 후, 이 절단된 부분을 다시 0.5~1.0mm이하의 두께가 되도록 장축 방향으로 절단한다. 결국 두께 0.5~1.0mm이하의 직육면체 모양의 스틱(stick)이 된다(Fig. 1, 2).

각 군당 30개의 스틱을 가지게 되며, 이 시편들은 37℃ 증류수에 24시간동안 보관된다.

3) 미세인장결합강도 시험

Fig. 1, D처럼 testing apparatus에 시편을 위치시키고, 스틱의 각 끝을 cyanoacrylate adhesive를 적용하여 고정



**Fig. 2.** Microtensile tester

시킨 후 시험을 시행한다. 양쪽으로 1 mm min<sup>-1</sup>의 속도로 인장력을 가하여 시편이 부서질 때의 load(kg)를 기록한뒤 계산된 파절부위의 단면적으로 나누어 결합강도의 수치를 구한다. 부러진 시편을 주사전자현미경 관찰(SEM)을 하기 위해 식염수에 넣어 보관한다.

4) 주사전자현미경 관찰을 위한 시편제작

각 군 당 치아시편을 1개씩 선택하여 시편을 7일간 건조기에 넣어 완전 건조시킨 후 상아질층 파단면을 aluminum stub에 mounting하고 진공상태에서 금 증착을 거쳐 주사전자현미경(Hitachi S-450 SEM, Japan)하에서 파절양상(failure pattern)과 파절면을 관찰한다.

5) 사용된 통계

개별 실험군의 평균값과 표준편차를 환산한 뒤 군간의 통계학적 유의성을 One-Way ANOVA를 이용하여 분석하였고, 사후 검정은 Tukey HSD와 Bonferroni를 이용해 실시하였다.

### Ⅲ. 실험결과

#### 1. 미세인장결합강도

각 군당 측정된 미세인장결합강도를 Table 3과 Fig. 3, 4에 나타내었다. Three-step 접착제인 AB는 각 표면처리(Smearing, Ultrasonic cleansing, Etching)시 25.69±4.31MPa(S), 40.93±10.94MPa(UC), 47.65±8.85MPa(E)이었고, one-step 접착제인 OU는 36.98±9.14MPa(S), 39.66±8.45MPa(UC), 43.26±13.01MPa(E)이며 AQ는 25.07±4.2MPa(S), 30.4±4.74MPa(UC), 33.61±7.88MPa(E)를 나타내었다.

AB에서 E시 가장 높은 수치인 47.65±8.85MPa를 나타내었으며, UC와는 통계적으로 유의성이 없고(p>0.05),

**Table 3.** Microtensile bond strength of various surface treatments

Groups	Microtensile strength. Mean±SD(MPa)
Group 1	25.69±4.31
Group 2	40.93±10.94
Group 3	47.65±8.85
Group 4	36.98±9.14
Group 5	39.66±8.45
Group 6	43.26±13.01
Group 7	25.07±4.2
Group 8	30.4±4.74
Group 9	33.61±7.88

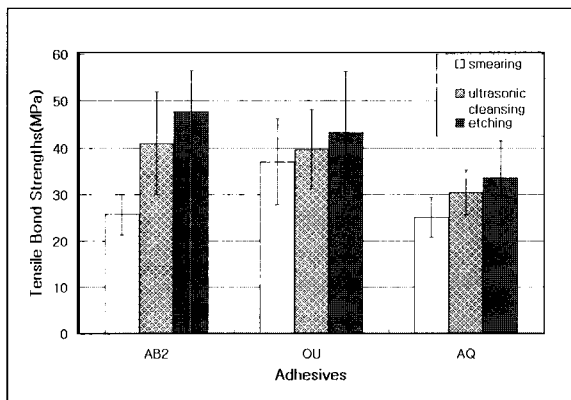
S와는 통계적으로 유의성이 있었다(p<0.05). OU에서는 E시 가장 높은 수치인 43.26±13.01MPa를 나타내었으며, UC와 S모두에 통계적으로 유의성이 없었다(p>0.05). AQ에서도 E시 가장 높은 수치인 33.61±7.88MPa를 나타내었으며, UC와는 통계적으로 유의성이 없고(p>0.05), S와는 통계적으로 유의성이 있었다(p<0.05)(Table 4)(Fig. 3). S시에는 OU가 가장 높은 수치인 36.98±9.14MPa를 나타내었으며, AB와 AQ모두에 통계적으로 유의성이 있었다(p<0.05). UC시에는 AB가 가장 높은 수치인 40.93±10.94MPa를 나타내었으며, OU와는 통계적으로 유의성이 없었으며(p>0.05), AQ와는 통계적으로 유의성이 있었다(p<0.05). E시에는 AB가 가장 높은 수치인 47.65±8.85MPa를 나타내었으며, OU와 AQ모두에 통계적으로 유의성이 있었다(p<0.05)(Table 5)(Fig. 4).

제조자의 지시에 따른 미세인장결합강도의 비교에서 AB가 47.65±8.85MPa로 OU의 36.98±9.14MPa와 AQ의 25.07±4.2MPa보다 높은 수치로 나왔으며, OU와는 통계적으로 유의성이 없었으며(p>0.05), AQ와는 통계적으로 유의성이 있었다(p<0.05)(Fig. 5).

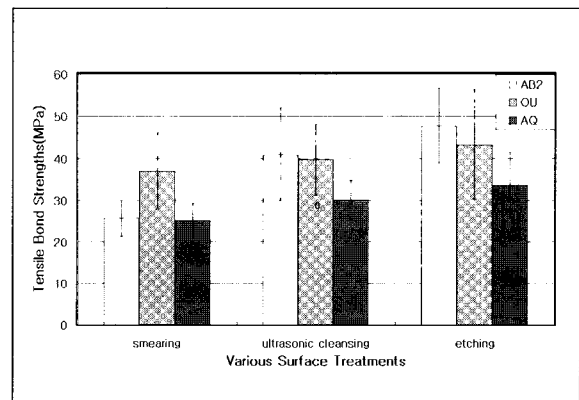
AQ는 다른 모든 군과의 비교에서 미세인장결합강도가 낮았으며, 이는 통계학적인 유의성이 있었다(p<0.05).

#### 2. 파절 양상 결과

Table 6과 Fig. 6의 결과에서 에칭한 군에서 cohesive failure가 많이 나타났으며, 전체 시편 중 26개의 시편에서 나타났으며, 이는 약 22%의 수치를 나타내고 있다. smearing과 초음파 세척시에는 비교적 적은 수치를 보인다.



**Fig. 3.** Tensile Bond Strengths(MPa) of Adhesives Using Various Surface Treatments

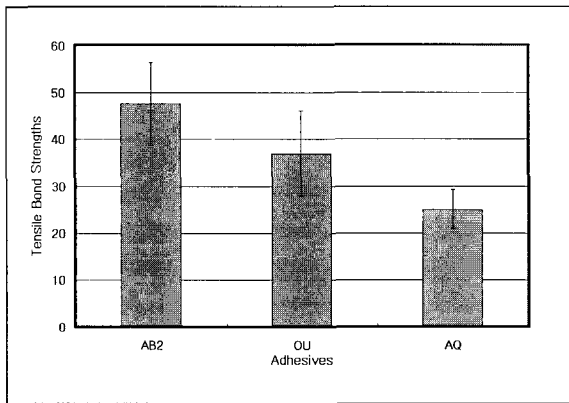


**Fig. 4.** Tensile Bond Strength(MPa) According to Various Surface Treatments

**Table 4.** Comparison of microtensile strength in groups according to various surf. tx.

Adhesives	Surf. treatment	S	UC	E
AB	S		*	*
	UC	*		*
	E	*	*	
OU	S			
	UC			
	E			
AQ	S		*	*
	UC	*		
	E	*		

P<0.05 (One-Way ANOVA, Tukey HSD and Bonferroni)

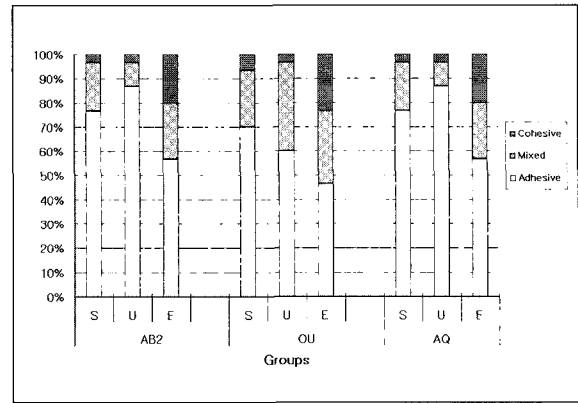


**Fig. 5.** Tensile Bond Strengths(MPa) of Adhesives According to Manufacture s Directions

**Table 5.** Comparison of microtensile strength in surface treatments according to various adhesives.

Surface treatment	Adhesives	AB	OU	AQ
S	AB		*	
	OU	*		*
	AQ		*	
UC	AB			*
	OU			*
	AQ	*	*	
E	AB			*
	OU			*
	AQ	*	*	

P<0.05 (One-Way ANOVA, Tukey HSD and Bonferroni)



**Fig. 6.** Failure pattern

**Table 6.** Failure pattern of dentin to resin under SEM

Adhesives	Surface treatment	No. of specimen	Failure pattern		
			adhesive	mixed	cohesive
AB	S	30	23	6	1
	UC	30	26	3	1
	E	30	17	7	6
OU	S	30	21	7	2
	UC	30	18	11	1
	E	30	14	9	7
AQ	S	30	23	6	1
	UC	30	26	3	1
	E	30	17	7	6

### 3. SEM 관찰결과

모든 접착 시스템에서 에칭한 군에서 mixed failure와 cohesive failure가 더욱 뚜렷이 보였으며, Smearing시에는 모든 접착 시스템에서 뚜렷한 양상의 파절 양상이 보이지 않았다. 사진 부도 (Fig. 7-15)

## IV. 총괄 및 토의

서론에서도 말했듯이 많은 실험에서 접착 시스템의 결합력을 측정하기 위해 간단한 형태의 전단강도 시험이나 인장강도 시험을 사용했다. 일반적으로 이러한 시험에서는 비교적 낮은 결과를 보인다. 그러나 최근 개발된 접착 시스템은 상아질의 cohesive failure를 빈번하게 일으킬 수 있을 정도의 향상된 결합력을 보인다. 또한 Eick 등<sup>41)</sup>과 Chappell 등<sup>4)</sup>은 18~20MPa 이상의 측정치에 도달할수록 상아질의 cohesive failure가 증가한다고 하였다. 또한 상아질에서의 cohesive failure는 레진과 치질사이의 결합력이 상아질 자체보다 강하다는 것을 간접적으로 보여주지만, Pashley DH 등<sup>2)</sup>은 이는 단지 인장력이나 전단력을 가했을 때 발생한 스트레스가 치질의 어느 약한 금(crack)이 간 부위에 집중되어 치질자체에서 파절(failure)이 발생한다고 하였고, 이러한 스트레스의 집중은 100MPa 이상까지 도달하기도 한다고 한다. 또한 상아질의 cohesive failure의 빈도는 결합강도가 25MPa 이상일 때 약 80% 정도를 보인다고 보고되었다<sup>14)</sup>. 이러한 높은 수치의 결합력을 측정하기 위해 미세인장결합강도시험(microtensile bond test)이 고안되었다<sup>11-13)</sup>.

기존의 방법은 측정되는 시편의 계면면적이 넓지만 미세인장결합강도 시험에 사용되는 시편은 최소의 면적으로 만들어져 이론적으로 시편에 스트레스를 더욱 일정하게 분산시키도록 고안되었다<sup>5,15)</sup>. 또한 Sano와 Sudsangiam 등<sup>15)</sup>은 미세인장결합강도 시험은 시편의 금(crack)형성을 발생시키는 국소적인 스트레스 집중을 발생시키는 내부적인 요소를 줄여줌으로써 기존의 시험방법에서 나타났던 낮은 수치에서 발생하던 cohesive failure의 가능성을 줄이게 되어 더 높은 결합력을 보인다고 하였다. Pashley 등<sup>15)</sup>은 스트레스 분산에 관한 어떠한 분석도 보고된 바 없지만 작은 면적은 더욱 향상된 스트레스 분산을 유도하여 시편의 파절이 발생될 때의 힘이 그들의 ultimate strength와 매우 근접한 수치일 것이라고 하였다. 따라서 기존의 방법은 시편의 정확한 측정치에 도달하기 전에 cohesive failure가 발생하여 정확한 측정치를 측정할 수 없었으나 미세인장결합강도 시험은 스트레스의 분산으로 말미암아 이 보다 훨씬 높은 수치까지 도달한 후 cohesive failure를 보이므로 더욱 정확한 측정치를 얻을 수 있고, 기존의 방법보다 훨씬 높은 측

정치를 보인다<sup>16)</sup>. Rebeca F 등<sup>3)</sup>은 미세인장결합강도 시험과 전단결합강도 시험(shear bond test)의 결합력을 비교한 결과 미세인장결합강도 시험이 전단결합강도 시험보다 훨씬 높은 수치를 보임을 보고하였다. Sano 등<sup>11)</sup>은 미세인장결합강도 시험을 이용해 상아질의 인장강도는  $106 \pm 16$ MPa임을 보고하였다. 이 측정치는 미세인장결합강도 시험 시 상아질 자체의 cohesive failure의 가능성을 줄일 수 있음을 간접적으로 보여주고 있다. 또한 Rebeca F 등<sup>3)</sup>은 미세인장결합강도 시험과 전단결합강도 시험의 파절 양상을 비교한 실험에서 전단결합강도 시험 시 상아질에서의 cohesive failure가 훨씬 많음을 보고하였다.

본 실험에서 결합강도의 측정결과 모든 군에서 비교적 높은 수치의 결합강도를 보였으며, AQ Bond의 경우 제조사의 지시에 따른 표면처리 후  $25.07 \pm 4.2$ MPa의 결합강도를 보였으며, 이는 기존의 인장강도 시험 후 제조사에서 보고한  $12 \pm 2.5$ MPa(dry bond)과  $12.7 \pm 3.2$ MPa(wet bond)의 수치보다 약 2배 가량 높은 수치를 보였다. One-Up Bond F의 경우도 본 시험에서는  $36.98 \pm 9.14$ MPa이었으며, 제조사에서 보고한 수치는  $15.7 \pm 5.3$ MPa이었으며, 이도 역시 2배 이상의 결합강도를 보이고 있다. Cohesive failure의 경우도 Table 6에 나온 것 처럼 AB의 경우 S일 때 1개, UC일 때 1개 E일 때 6개를 보이며, OU의 경우 S일 때 2개, UC일 때 1개 E일 때 7개를 나타냈으며, AQ의 경우 S일 때 1개, UC일 때 1개 E일 때 6개를 보였다. 이는 전체 시편의 개수가 270개인 반면, cohesive failure의 경우 26개로 약 22%의 cohesive failure를 보였다. 기존의 전단 시험의 경우 25MPa이상의 수치를 보일 경우 약 80%의 cohesive failure를 보이는 것보다 훨씬 적은 수치를 보이는 것이다. 즉 높은 수치의 결합강도를 비교적 정확하게 측정했다는 것을 의미하는 것이다.

기존의 상아질 접착 시스템은 에칭과정을 통해 도말층을 제거하고, 치질을 탈회시킨 후 프라이머와 본딩재를 적용시켜 탈회된 치질내로 프라이머와 본딩재가 침투하여 하이브리드 층을 형성하여 치질에로의 접착을 유도하는 세가지 단계로 이루어짐이 밝혀졌다<sup>36)</sup>. 이러한 하이브리드 층의 형성은 Nakabayashi<sup>17)</sup>에 의해 처음 소개되었고, 그 후 Gwinnett 등<sup>18)</sup>, Buonocore 등<sup>19)</sup>에 의해 연구되어, 후에 Simmelink 등<sup>20)</sup>과 Gwinnett과 Ripa 등<sup>21)</sup>에 의해 하이브리드 층이 확인되고 증명되었다. 상아질은 탈회 후 완전 건조시키면 수분이 없어 남겨진 콜라겐이 수축되므로 습윤한 상태를 유지시켜서 콜라겐의 수축을 막아야한다고 한다<sup>22)</sup>. 이를 위해 친수성의 프라이머를 노출된 콜라겐으로 적용하여 하이브리드 층을 형성해야 한다고 한다<sup>23,24)</sup>. 그러나 임상적으로 적당한 습윤 상태를 이루기는 모호하며, 과 습윤과 과 건조가 되어 후에 결합력에 영향을 미치게 된다. 또한 에칭 시간이 길어지면 상아질의 탈회정도는 증가하며, 이 증가된 탈회 층

에 프라이머와 본딩제가 완전히 침투하지 못하면 이 부위는 비어 있게 된다. Suzuki 등<sup>25)</sup>은 Laser-Raman Spectroscope를 이용하여 탈회 상아질 속으로 레진 침투 정도가 하이브리드 층의 기저부로 갈수록 감소했다는 것을 보고하였고, Sano 등<sup>26)</sup>도 SEM관찰을 통해 하이브리드 층의 기저부에 레진이 침투하지 않은 부분이 남는다고 보고하였다. 또한 Sano 등<sup>38-40)</sup>은 이런 부분은 후에 여러 다양한 형태의 미세누출을 발생시킨다고 보고했으며, 이를 nanoleakage라 하였다. 이때 발생한 공동(voids)은 후에 결합력을 약화시키게 되는 한 요인이 되며<sup>26)</sup>, 이는 에칭과 프라이밍과 본딩단계에서 술자의 숙련도가 크게 작용한다는 것을 말해 준다.

즉, 임상에서 이러한 복잡한 단계는 시간을 많이 소요하고 술자 의존도가 높아진다고 보고되었다<sup>37)</sup>. 최근에 개발된 one-step 상아질 접착 시스템은 에칭, 프라이밍, 본딩의 세 단계를 한번의 단계로 줄여 각 단계에서 발생하는 결점을 보완하려고 한다.

One-Up Bond F는 2개의 용액으로 구성되어 있으며, A용액은 Methacryloyloxyalkyl acid phosphate와 칼본산 모노머인 MAC-10의 두 종류의 모노머를 함유하며, B용액은 모노머, 물, 불소방출이 가능한 Fluoro-alumino-silicate glass powder외에 새로운 중합 촉매제로 Borate catalyst로 구성되어 있다. 이 중 Borate catalyst는 TBB 촉매와 같은 붕소(B)를 포함하는 촉매로써 TBB는 화학적으로 불안정하고 모노머와 공존하는 것이 불가능하지만 Borate catalyst는 모노머에 안정하고, 광조사 또는 acid-monomer에 의해 분해하여 중합을 시작하게 한다. A용액의 pH는 0.31이며 B용액의 pH는 8.01이다. 이들의 혼합액의 pH는 1.17~1.26을 나타낸다. 이는 상아질을 탈회시키는 역할을 하게된다. 탈회 후 남겨진 도말층은 본딩제중의 산성성분에 의해 용해되고 본딩제와 함께 경화한다. 즉, One-Up Bond F는 그 자체의 낮은 pH에 의해 치질을 탈회하고, 도말층은 용해되어 하이브리드 층에 함께 섞여 있게 되는 과정을 거쳐 레진을 치질에 결합시키는 것이다.

AQ Bond의 구성은 base liquid와 AQ-sponge로 구성되어 있으며, Base는 Methacrylate monomers including 4-META in acetone(약 40%), 물(약 30%)로 이루어졌으며, AQ-sponge는 Polyurethane foam containing p-toluene sulinic acid sodium salt로 구성되어 있다. AQ Bond의 base는 pH가 2.5이며, 이러한 낮은 pH는 도말층을 변형시켜 water-soluble하게 만들며, AQ-sponge와 base를 섞어 적용한 후 acetone는 증발되고, 물과 모노머가 두 층으로 분리되어 남아 있게 된다. 즉 물은 상부에 모노머는 치아쪽으로 위치하게 된다. 이때 변형된 도말층은 상층부의 물에 섞여 있게 되고, 술자가 공기를 불어 이를 제거하는 과정을 거친다. 이러한 과정을 거쳐 치질과의 접착을

유도한다.

최근 접착제는 레진과 상아질 사이에 미세기계적 결합을 유도하기 위해 두가지 수단을 이용한다<sup>27)</sup>. 첫 번째 방법은 chelating agent나 mineral acid를 이용해 에칭을 하여 상아질을 탈회시키고, 도말층을 제거한 후 접착제를 적용하는 방법이다. 이들은 주로 긴 레진 태그를 형성하여 결합한다. 두 번째 방법은 도말층을 bonding substrate로 사용하여 하이브리드 층에 포함시킨다<sup>28)</sup>. 이러한 방법을 self-etching 방법이라 한다. 이는 도말층을 포함한 접착제는 치질을 탈회시키는 동시에 그 자리에서 중합되므로 air-blowing에 의해 콜라겐이 수분을 잃고 탈회되어 붕괴되는 것을 막는다<sup>29)</sup>. 이들은 짧은 레진 태그를 형성함에도 불구하고 도말층이 남아 있으므로 좋은 seal을 보인다<sup>30)</sup>. 그 외에 self-etching 방법이 결합력을 향상시킨다는 보고들이 있다<sup>31-35)</sup>. 이러한 위의 고찰에서 볼 수 있듯이 OU는 변형된 도말층을 하이브리드 층에 포함하고, AQ는 처음부터 에칭이란 과정을 거치지 않는 반면 air-blowing이란 과정을 거쳐 변형된 도말층을 하이브리드 층에 포함하려 하지 않는 차이점이 있다. AB의 경우는 에칭과정을 거쳐 완전한 탈회와 도말층을 제거하여, 도말층을 포함하지 않은 하이브리드 층을 유도하여 결합을 이룬다. 이에 본 실험에서는 도말층의 존재 유무에 따른 결합력을 비교 측정하려 했다. 결과에서 보았듯이 도말층이 남아있는 군보다 초음파 세척과 에칭을 하여 도말층을 제거한 군에서 높은 결합력을 보였다. AB의 경우 S한 군보다 UC한 군이 통계적으로 유의할만하게 더 높은 수치를 보였고 E한 군도 마찬가지였다( $p < 0.05$ ). OU의 경우에는 수치상 도말층을 제거한 층이 높게 나타났으나 각 군끼리 통계적으로 유의할 만한 차이가 없다고 나왔다( $p > 0.05$ ). 이는 OU가 도말층을 하이브리드 층에 포함하여 결합력을 얻으려는 시스템이므로 도말층의 유무에 관계없이 비교적 높은 수치의 결합력을 보이는 것 같다. AQ Bond의 경우도 도말층을 제거할수록 결합력의 향상을 보였으며, 이들 각 군사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ). 이는 역시 이 시스템이 도말층을 하이브리드 층에 포함하지 않고 결합력을 얻으려는 것을 간접적으로 나타내는 것이다. 제조자의 지시에 따른 표면처리 후 결합력 비교에서 AQ보다는 OU가 높고, OU보다는 AB가 높은 결합력을 보였으며, AQ는 OU와 AB와 통계적으로 유의한 차이가 보였으나( $p < 0.05$ ) OU는 AB와 유의할 만한 차이를 보이지 못했다( $p > 0.05$ ). 이는 에칭을 하지 않고 도말층을 포함한 하이브리드 층을 형성하여 결합을 유도한 OU와 같은 one-step 접착시스템의 좋은 결합강도를 보여준다. AQ의 경우 에칭과정을 따로 하지 않지만 air-blowing과정 시의 술자의 숙련도에 따라 결합력의 감소를 초래할 수 있을 것이다. 본 실험에서 OU가 AQ보다 높은 결합력을 보인 요인 중의 하나가 이러한 시술과정동안의 숙련의존이 적기 때문인 것

같다.

본 연구를 통해 최근 개발된 향상된 결합력을 가진 접착 시스템의 정확한 측정방법에 관해 논했으며, 이러한 방법에는 미세인장결합강도 시험이 유용함을 알았으며, one-step 접착제와 three-step 접착제의 결합력을 비교함으로써 OU가 비교적 좋은 결합력을 가짐을 알 수 있었으나, 실제 임상에서 사용된 지가 오래지 않고, 이에 대한 연구와 보고도 적으므로 앞으로 더욱 많은 연구가 필요하리라 사료된다.

## V. 결 론

여러 다양한 표면처리에 따른 one-step 접착시스템의 인장결합강도의 변화를 연구하고, three-step 접착시스템의 인장결합강도와 비교를 연구하기 위해 최근에 발거된 45개의 대구치를 이용하여 실험군을 분류하고, 미세인장결합강도를 측정 후 One-Way ANOVA를 이용하여 분석하였고, 사후 검정은 Tukey HSD와 Bonferroni를 이용해 실시하였다. 또한 주사전자현미경을 이용하여 파절 양상을 구분하고 파절 단면을 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 각 군당 다음과 같은 인장강도를 얻었다.  
1군(ABS):  $25.69 \pm 4.31$ MPa, 2군(ABUS):  $40.93 \pm 10.94$ MPa, 3군(ABE):  $47.65 \pm 8.85$ MPa, 4군(OUS):  $36.98 \pm 9.14$ MPa, 5군(OUUC):  $39.66 \pm 8.45$ MPa, 6군(OUE):  $43.26 \pm 13.01$ MPa, 7군(AQS):  $25.07 \pm 4.2$ MPa, 8군(AQUC):  $30.4 \pm 4.74$ MPa, 9군(AQE):  $33.61 \pm 7.88$ MPa
2. Smearing시 One-Up Bond F가  $36.98 \pm 9.14$ MPa로 가장 높은 수치를 보였으며, 이러한 결과는 다른 군들과 통계적으로 유의성이 있었다( $p < 0.05$ ).
3. 초음파 세척시 All-Bond 2가  $40.93 \pm 10.94$ MPa로 가장 높은 수치를 보였으나 이러한 결과는 One-Up Bond F와는 통계적으로 유의성이 없었다( $p > 0.05$ ).
4. 에칭시 All-Bond 2가  $47.65 \pm 8.85$ MPa로 가장 높은 수치를 보였으며, 이러한 결과는 One-Up Bond F와는 통계적으로 유의성이 없었다( $p > 0.05$ ).
5. 제조사의 지시에 따른 표면처리 후 All-Bond 2가  $47.65 \pm 8.85$ MPa로 가장 높은 수치를 보였으며 이러한 결과는 다른 시스템과 통계적인 유의한 차가 있었다( $p < 0.05$ ).
6. AQ Bond는 모든 군에서 가장 낮은 결과를 보였으며, 이는 통계적으로 유의성이 있다( $p < 0.05$ ).
7. 파절양상관찰 결과 각 군마다 adhesive failure가 많았으며, cohesive failure는 전체적으로 26개로 약 22%를 보였다.
8. 모든 접착 시스템에서 에칭을 한 경우에 상아질의 탈회와 떨어져 나간 상아질, 떨어져 나간 레진을 볼 수가 있었지만, Smearing에는 거의 관찰하기 힘들었다.

위와 같은 결과로 one-step 접착 시스템보다는 여전히 three-step 접착 시스템의 결합력이 높았으며, 이는 상아질의 탈회와 도말층의 제거가 결합력을 향상시킨다는 것을 보여 주는 것이다.

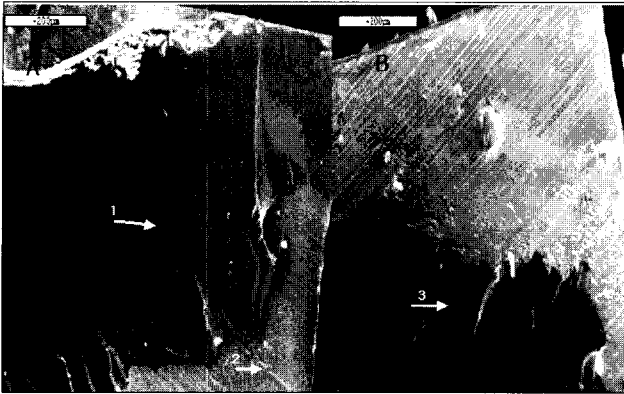
## 참고문헌

1. Buonocore, M. : A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces, J. Dent. Res., 1995;34:849-853.
2. Pashley DH, Carvalho RM, Sano H, Nakajima M, Yoshiyama M, Shono Y, Fernandes CA, Tay F : The microtensile bond test : a review, J. Adhes. Dent. 1999;1(4):299-309.
3. Rebeca F, Schreiner, Robert P, Chappell, Alan G, Glaros, J, David Eick : Microtensile testing of dentin adhesives, Dent. Mater. 1998 June;14:194-201.
4. Chappell R, Schreiner R, Glaros A, Eick J(1997). Pilot study to determine sample size for micro-tensile testing, J. Dent. Res. 76:38. Abstr. no. 193.
5. Sano H, Sonoda H, Shono J, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho RM, Pashley DH. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength - Evaluation of a microtensile bond test, Dent. Mater. 1994a;10:236-240.
6. Sano H, Ciucchi B, Matthews WG, Russell CM, Pashley DH. Tensile properties of mineralized and demineralized human and bovine dentin, J. Dent. Res. 1994;73:1205-1211.
7. Sano H, Takatsu T, Ciucchi B, Russell CM, Pashley DH. Tensile properties of resin-infiltrated demineralized human dentin, J. Dent. Res. 1995;74:1093-1102.
8. Sano H, Yoshikawa T, Pereira PNR, Kanemura N, Morigami M, Tagami J, Pashley DH. Long-term durability of dentin bonds made with a self-etching primer in vivo, J. Dent. Res. 1999;78:906-911.
9. Schreiner RF, Chappell RP, Glaros AG, Eick JD. Microtensile testing of dentin adhesives, Dent Mater 1998;14:194-202.
10. Shono Y, Terashita M, Pashley EL, Brewer PD, Pashley DH. Effects of surface area on resin-enamel tensile bond strength, Dent Mater 1997;13:290-296.
11. Zheng L, Pereira PN, Nakajima M, Sano H, Tagami J : Relationship between adhesive thickness and microtensile bond strength, Oper. Dent. 2001 Jan-Feb; 26(1):97-104.
12. Samsri S, Van Noort R : Do dentin bond strength tests serve a useful purpose?, J. Adhes. Dent. 1999;1:57-67.
13. Van Noort R, Noroozi S, Howard IC, Cardew G : A critique of bond strength measurements, J. Dent. 1989; 17:61-67.
14. Versluis A, Tantbirojn D, Douglas WH : Why do shear bond tests pull out dentin?, J. Dent. Res. 1997;76: 1298-1307.
15. Pashley DH, Sano H, Ciucchi B, Yoshiyama M, Carvalho RM. Adhesion testing of dentin bonding agents : A Review, Dent. Mater. 1995;11:117-125.
16. Cardoso PEC, Braga RR, Carrilho MRO : Evaluation of microtensile, shear and tensile tests determining the bond strength of three adhesive systems, Dent Mater 1999;14:394-398.
17. Nakabayashi N., Kojima K. and Masuhara E. The pro-

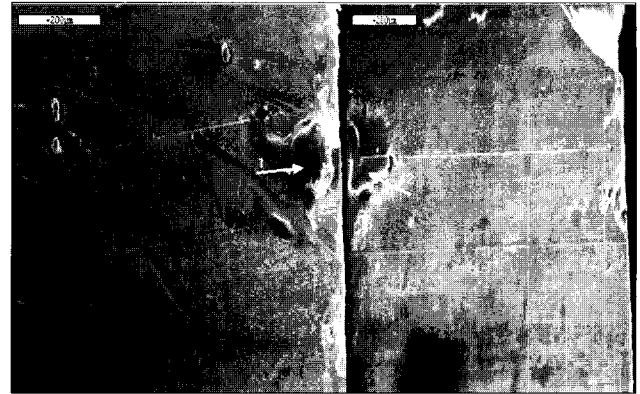


- motion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth states, *Dent. Mater.* 1982;16:265-273.
18. Gwinnett, A. J. and Matsui, A. A study of enamel adhesives. The Physical relationship between enamel and adhesive, *Arch. Oral. Biol.*, 1967;12:1615-1620.
  19. Buonocore, M. G., Matsui, A. and Gwinnett, A. J. Penetration of resin dental materials into enamel surfaces with reference to bonding, *Arch. Oral. Biol.*, 1968;13:61-70.
  20. Simmelink, J. W., Nygaard, V. K. and Scott, D. B. Penetration of resins into partially demineralized enamel in vivo, *Arch. Oral. Biol.*, 1974;18:435-439.
  21. Gwinnett, A. J., and Ripa, L. W. Penetration of pit and fissure sealants into conditioned enamel in vivo, *Arch. Oral. Biol.*, 1973;18:435-439.
  22. H. Wakabayashi, Y. Kondo, K. Suzuki, H. Yatani, A. Ymashita. Effect of dissolution of collagen on adhesion to dentin, *Int. J. Prosthodont.*, 1994;7:302-306.
  23. Kanca, J. : Wet bond. Effect of drying time and distance, *Am. J. Dent.*, 1996;9:273-276.
  24. Gwinnett A.G., Tay F. R. and Wei S. H. Y. : Bridging the gap between overly dry and overwet bonding phenomenon of dentin hybridization and tubular seal. In: Shino, M., Maeda, T., Suda, H., Takayashi, K., eds. *Dentin/pulp complex*, Tokyo, Quintessence, 1996:359-363.
  25. Suzuki, M., Kato, H., Wakumoto, S. : Vibrational analysis by Raman spectroscopy of the interface between dental adhesive resin and dentin, *J. Dent. Res.*, 1991;70:1092-1097.
  26. Sano, H., Shono, t., Hosoda, H. : Microporous dentin zone beneath resin-impregnated layer, *Oper. Dent.*, 1994;19:59-64.
  27. Pashley DH, Carvalho RM. Dentin permeability and dentine adhesion, *J. Dent.* 1997;25:355-72.
  28. Franklin R. Tay, David H. Pashley. Aggressiveness of contemporary self-etching systems I: Depth of penetration beyond dentin smear layers. *Dent. Mater.* 2001;17:296-308.
  29. Nakabayashi N, Saimi Y. Bonding to intact dentin, *J. Dent. Res.* 1996;75:1706-15.
  30. Ferrari M, Mannocci F, Vichi A, Davidson CL. Effect of two etching times on the sealing ability of Clearfil Liner Bond 2 in Class V restorations, *Am. J. Dent.* 1997;10:66-70.
  31. Watanabe I, Nakabayashi N, Pashley DH. Bonding to ground dentin by a phenyl-P self-etching primer, *J. Dent. Res.* 1994;73:1212-20.
  32. Hume WR. Influence of dentine on the pulpward release of eugenol or acids from restorative materials, *J. Oral Rehabilitation* 1994;21:469-73.
  33. Watanabe I, Nakabayashi N, Saimi Y. Effect of smear layer on bonding to ground dentin—relationship between grinding condition and tensile bond strength, *Journal of the Japanese Society of Dental Materials and Devices* 1994;13:101-8.
  34. Toida T, Watanabe A, Nakabayashi N. Effect of smear layer on bonding to dentin prepared with bur, *Journal of the Japanese Society of Dental Materials and Devices* 1995;14:109-16.
  35. Miyasaka K, Nakabayashi N. Combination of EDTA conditioner and Phenyl-P/HEMA self-etching primer for bonding to dentin, *Dental Materials* 1999;15:153-7.
  36. G. Eliades, G. Vougiouklakis, G. Palaghias. Heterogeneous distribution of single-bottle adhesive monomers in the resin-dentin interdiffusion zone, *Dent. Mater.* 2001;17:277-288.
  37. Sano H, Uno S, Inoue S. Clinical considerations of dentin adhesion. In: Sano H, Uno S, Inoue S, editors. *Modern trends in adhesive dentistry*, Osaka: Kuraray, 1998. p 1-13.
  38. H. Sano, T. Takatsu, B. Ciucchi, J.A. Horner, W.G. Matthews, D.H. Pashley. Nanoleakage: leakage within the hybrid layer, *Oper. Dent.* 1995;20:18-25.
  39. H. Sano, T. Shono, T. Takatsu, H. Hosoda. Microporous dentin zone beneath resin-impregnated layer, *Oper. Dent.* 1994;19:59-64.
  40. H. Sano, M. Yoshiyama, S. Ebisu, M.F. Burrow, T. Takatsu, B. Ciucchi, R. Carvalho, D.H. Pashley. Comparative SEM and TEM observations of nonleakage within the hybrid layer, *Oper. Dent.* 1995;20:160-170.
  41. Eick JD, Robinson SJ, Chappell RP, Cobb CM, Spencer P. The dentinal surface : its influence on dentinal adhesion III. *Quintessence Inter.* 1993;24(8):571-574.

사진부도 ①



**Fig. 7.** All Bond 2의 Smearing시 SEM  
A: fractured dental surface, B: fractured resin surface.  
1: resin, 2: dentin, 3: separated resin



**Fig. 8.** All Bond 2의 Ultrasonic cleaning시 SEM  
A: fractured dental surface, B: fractured resin surface.  
1: resin, 2: separated resin



**Fig. 9.** All Bond 2의 Etching시 SEM  
A: fractured dental surface, B: fractured resin surface.  
1: dentin, 2: bonding agent, 3: resin, 4: separated resin



**Fig. 10.** One-Up Bond F의 Smearing시 SEM  
A: fractured dental surface, B: fractured resin surface.  
1: bonding agent, 2: resin

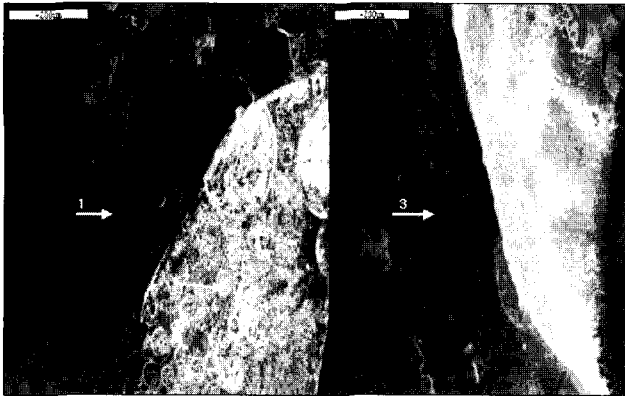


**Fig. 11.** One-Up Bond F의 Ultrasonic cleaning시 SEM  
A: fractured dental surface, B: fractured resin surface.  
1: dentin, 2: resin, 3: separated dentin

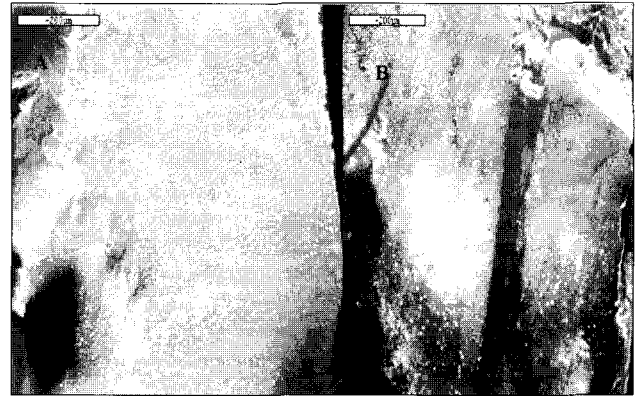


**Fig. 12.** One-Up Bond F의 Etching시 SEM  
A: fractured dental surface, B: fractured resin surface.  
1: separated dentin, 2: dentin, 3: resin, 4: dentin

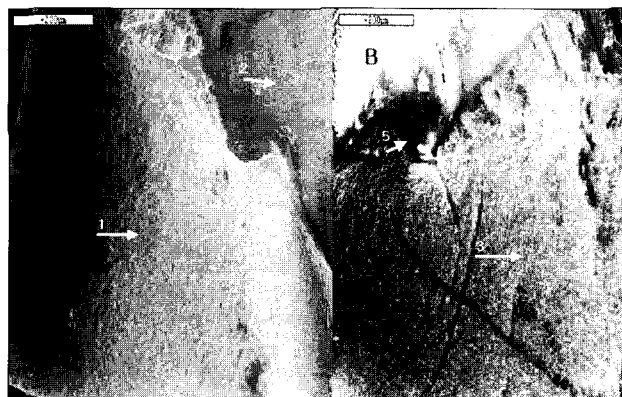
사진부도 ②



**Fig. 13.** AQ Bond의 Smearing시 SEM  
 A:fractured dental surface, B:fractured resin surface.  
 1:separated resin, 2:dentin, 3:resin, 4:separated dentin



**Fig. 14.** AQ Bond의 Ultrasonic cleaning시 SEM  
 A:fractured dental surface, B:fractured resin surface.



**Fig. 15.** AQ Bond의 Etching시 SEM  
 A:fractured dental surface, B:fractured resin surface.  
 1:dentin, 2:separated resin, 3:separated dentin, 4:resin,  
 5:bonding agent