

Microabrasive로 처리한 상아질표면에 대한 복합레진의 결합강도에 관한 연구

경희대학교 치과대학 치과보존학교실

최경규 · 민병순

Abstract

A STUDY OF THE BOND STRENGTHS OF COMPOSITE RESIN TO DENTIN SURFACES PREPARED WITH MICROABRASIVE

Kyoung-Kyu Choi, D.M.D., M.S.D., Byung-Soon Min D.D.S., Ph.D.

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Kyung Hee University

The bond strengths of composite resin to tooth dentin vary with the methods of cavity preparation and surface treatment. Recent developments in techniques of dentinal surface treatment have renewed interest in microabrasive as a means of tooth preparation. The purpose of this study was to determine the effects of a new method of cavity preparation on the bond of composite resin to dentin.

Freshly extracted 144 healthy human third molars were used in this study. The dentin surfaces prepared with #600 SiC abrasive paper were divided into control and air abrasion groups according to the method of dentin surface preparation using different combinations of delivery pressure, time, and acid etching.

The shear bond strengths were measured after the composite resin (Clearfil Photo Bright) was bonded to prepared dentin surfaces by light-curing using a dentin bonding system (All-bond 2). In addition, the average surface roughness was measured to investigate the effect of differently prepared dentin surfaces on the shear bond strengths. The surface changes of prepared dentin and the debonded dentin surfaces were observed with SEM (S-2300, Hitachi Co., Japan).

The following results from this study were obtained ;

1. There was no significant difference of shear bond strengths according to the changes of delivery pressure and time.
2. The shear bond strengths were lower than the control in the air abraded-only groups, but those of the

additional acid-etched groups were higher than the control.

3. The shear bond strengths to all air-abraded surfaces were increased by acid etching.
4. The correlation between shear bond strengths and surface roughness was not certain, although the mean surface roughness of all air-abraded surfaces has increased evidently while it has slightly decreased for additional acid etching.
5. On SEM examination, the dentinal tubules were almost occluded in the air abraded-only groups, but those were opened in the additional acid-etched groups.
6. The debonded surfaces were showed adhesive failure mode in the air abraded- only groups, while those were showed mainly the mixed and cohesive failure mode in the additional acid-etched groups.

These results suggest that the layer produced during cavity preparation or surface treatment with air abrasion must be removed for maximum bond strength of composite resin to dentin.

I. 서 론

치과보존수복을 위한 와동형성은 현재까지 저속 및 고속회전 삭제기구에 의하여 이루어져 왔으나, 최근 kinetic cavity preparation(KCP, microabrasive)이라 명명된 air abrasion 기술이 재등장하였다. 1943년 Robert B. Black에 의해 개발된 air abrasion 기술은 치아경조직을 제거하기 위하여 고속의 기류에 실린 산화알루미늄 입자의 운동에너지를 이용하는데, 수학적으로 $E_k = mV^2$ (E_k : 운동에너지, m : 질량, V : 속도)으로 정의된다. 초기 사용자들은 Airdent unit(S.S. White Co.)를 이용한 임상증례에서 치아삭제시 회전기구에 비하여 연조직에 위험이 없고 진동, 압력, 열, 악골을 통해 전달되는 소음 및 우식치질을 제거할 때 발생하는 악취 등이 감소되었다고 하였고, 이와 같은 이점으로 불쾌감과 동통이 감소되었고 시술한 환자의 대부분에서 마취의 필요성이 없었다고 보고하였다¹⁻³⁾.

Microabrasive에 의한 와동형성은 1950년대부터 60년대초까지 폭발적인 인기에도 불구하고, 장비의 가격과 기술숙지의 어려움 및 저렴한 가격의 고속회전터빈의 등장뿐 아니라 과량의 산화알루미늄 입자를 제거할 수 있는 고성능의 흡수장치가 없었기 때문에 실용화되지 못하였고 치면세마 및 초기 법랑질우식의 제거에 국한되어 사용되었다⁴⁻⁶⁾. 당시의 수복재는 아말감, 직간접 금 및 실리카이트 시멘트 등으로 제한되어 있어 이러한 수복물을 위한 와동은 예각의 와동내

면, 편평한 와동저 및 평활한 와벽을 요구하였기 때문에 microabrasive에 의해 형성된 와동은 회전기구나 수동기구를 이용하여 마무리하여야 하는 번거로움이 있었다^{1,7)}.

와동형성의 기본 개념은 100여년전 G.V. Black에 의해 소개되어 성공적인 아말감수복에 효과적이었으나, 변연 및 재발성우식의 방지를 위한 예방확대, 교합면을 통한 2급와동의 형성 및 유지형태 등은 종종 건강한 치질의 제거가 불가피하였다. 치과재료의 지속적인 개발은 직접 수복재를 위한 와동의 형성이론에 많은 변화를 가져왔다. 법랑질 및 상아질에 대한 산부식법과 접착기술의 발전은 복합레진, 글래스아이오노머 시멘트 및 레진 접착성 세라믹 등과 같은 접착성 수복에 있어서 사면의 변연이나 둥근 와동형태를 요구한다⁸⁻¹⁰⁾. 특히 복합레진의 사용으로 유지형태 및 법랑상아경계 하방의 불필요한 삭제를 피할 수 있게 되었다.

한편, microabrasive의 발전에 따라 산화알루미늄 입자의 흐름과 압력을 조절할 수 있게 되므로서 보다 정확하고 효과적으로 법랑질 및 상아질을 최소로 삭제하여 초기우식의 예방적 처치를 위한 치면열구전색재 및 글래스아이오노머 시멘트의 수복과 법랑질/상아질접착제와 함께 복합레진의 수복이 가능해졌다^{11,12)}. Microabrasive를 이용한 와동형성에 대하여, Laurell 등¹³⁾은 조직학적 실험에서 주수냉각하의 고속회전기구와 비교한 결과 치수의 병적 변화가 적게 발생함을 보고하였고, Laurell과 Hess¹⁰⁾는 주사전자

현미경(SEM)을 통하여 고속회전기구로 형성된 와동과 비교하였을 경우, 와동의 측벽과 와저 및 와연우각이 모두 등글게 형성되고 변연부에서 halo effect가 관찰되었으며 거칠고 불규칙한 표면과 상아세관의 폐쇄를 확인하였으며, Gwinnet과 Berry¹⁴⁾는 microabrasive에 의해 형성된 법랑질 및 상아질의 표면은 매우 거칠고 부가적인 산부식으로 상아세관이 개방되었다고 보고한 바 있다.

치과수복분야에서 microabrasive는 중합된 복합레진인레이의 내면처리에 이용되어 미세요철을 형성하여 레진시멘트에 대한 결합강도를 증가시키며^{15,16)}, 아말감¹⁷⁾, 도재 라미네이트³⁾ 및 오래된 레진수복물^{18,19)}을 복합레진으로 수리시 표면처리에 이용되어 회전삭제기구에 의하여 발생하는 미세균열이나 변연누출의 위험을 방지할 수 있는 등 임상적으로 유용한 가치를 지닌다고 할 수 있다.

Microabrasive에 대한 실험적 연구 중, Laurell 등²⁰⁾과 Roeder 등²¹⁾은 적용압력 및 알루미나입자의 크기를 변화시켜 표면처리한 후 primer의 도포여부에 따라 상아질에 대한 복합레진의 결합강도를 측정하였고, Keen 등²²⁾은 알루미나입자 크기 및 복합레진 결합압에 따른 결합강도를, Eakle 등²³⁾은 microabrasive의 적용압력 및 입자 크기를 변화시켜 표면처리한 후 상아질투과도와 결합강도를, Ploeger 등²⁴⁾은 적용조건이 다른 수종의 microabrasive를 이용하여 법랑질 표면처리와 부가적인 산부식에 따른 결합강도를 비교하였다. 그 외에도 Valentino와 Nathanson²⁵⁾ 및 Bae 등²⁶⁾은 microabrasive에 의한 치아표면 처리 후 산부식 여부에 따른 복합레진수복물의 변연누출에 대하여 연구한 바 있다.

이상과 같은 연구를 토대로 microabrasive는 보존수복을 위한 와동형성 및 수복물 접착력증가를 위한 표면처리의 방법으로서 재평가되어야 하며, 임상적용에 앞서 수복재의 치아에 대한 결합강도 및 형성된 치아표면에 대한 폭넓은 이해와 검증이 필요하여 본 연구를 계획하였다.

본 연구에서는 microabrasive의 압력 및 적용시간의 변화와 더불어 산부식 여부에 따라 상아질을 표면처리한 후 primer와 접착제를 도포하

고 복합레진을 결합시켜 전단결합강도를 측정하였고, 표면조도를 측정하여 전단결합강도와 상관성을 확인하고자 하였으며, 주사전자현미경을 이용하여 표면의 형태변화와 복합레진의 결합강도측정후 접착과단면을 관찰 분석하여 microabrasive로 처리한 상아질표면에 대한 복합레진의 결합에 미치는 영향을 구명하고자 하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

최근에 발거된 우식이 없는 144개의 상하악 제3대구치를 이용하여 표면에 부착된 유기잔사와 치석을 제거하고, 이 중 전단결합강도측정용으로 90개, 표면조도측정용으로 45개, 주사전자현미경에 의한 표면관찰용으로 9개를 선택하여 생리식염수에 보관 사용하였다. 상아질 산부식제는 All-Bond 2 system (Bisco Co., U.S.A.)의 All-etch를, 접착강화제는 동일회사의 primer A & B를, 접착제는 Dentin/Enamel bonding resin을 사용하였으며, 표면처리한 상아질에 결합시킨 복합레진은 Photo Clearfil Bright (shade-XL, Kuraray Co., Japan)를 사용하였고 각각의 주요 구성성분은 Table 1과 같다.

2. 실험방법

1) 시편제작

실험치아의 치근을 일부 절단한 후 직경 2.4cm, 높이 2.0cm의 플라스틱몰드 내에 치아의 협면이 접촉되도록 위치시키고 epoxy resin (Epon Chemical Co. Korea)을 주입 경화시켜 치아를 레진블럭 내에 포매하였다. 고속의 diamond abrasive point (Shofu #301)를 사용하여 상아질이 노출되도록 삭제한 후 치아표면을 표준화하기 위하여 주수하의 경조직 연마기 (Grinder-polisher, Buehler UK LTD., England)에서 #180, #320, #400, #600 SiC 표준연마지로 순차 연마하여 직경 4mm 이상의 평탄한 상아질이 노출되도록 시편을 제작한 후 실험에 사용 전까지 증류수에 보관하였다.

Table 1. Dentin bonding agent and composite resin used in this study.

Uses	Product name	Chemical composition	Batch No.	Manufacturer
Dentin Bonding Agent	All-bond 2	Etchant : 10% phosphoric acid	049100	Bisco Co., U.S.A.
		Primer	89261	
		(A) 2% NTG-GMA in ethanol & acetone	89231	
		(B) 16% BPDM in acetone	89191	
Composite Resin	Photo Clearfil Bright	BIS-GMA, TEGDMA	51137	Kuraray Co., Japan

표면처리에 사용한 microabrasive는 Kavity Prepmaster (KPM-101, Premiartech Co., Korea)를 이용하였고 마모재는 입자크기 50 μ m의 산화알루미나(Al_2O_3)를 사용하였다. Microair-brasive는 0.019 inch 직경의 nozzle을 이용하여 연속 회전동작으로 치아표면에 직각으로 3초 또는 5초간 시행하였고 압력은 60psi 및 120psi로 하였으며, nozzle과 상아질표면 사이에 일정한 거리를 유지하기 위한 장치를 제작하여 5mm거리에서 표면처리한 후 잔류 산화알루미나를 제거하기 위하여 30초간 수세 건조하였다. 표면의 산부식은 산부식제인 All-Etch (Bisco Co., U.S.A.)를 사용하여 제조회사의 지시에 따라 15초간 시행하고 수세후 건조시키지 않고 흡습지를 가볍게 눌러 윤택한 표면이 나타나도록 하였다.

이상과 같이 표면처리한 시편 144개를 전단결합강도 및 표면조도측정과 주사전자현미경 관찰을 위하여 사용하였다.

2) 실험군의 분류

제작된 시편을 대조군과 microabrasive로 처리한 군으로 분류하고 microabrasive로 처리한 군은 다시 압력, 시간 및 산부식 여부에 따라 8개의 실험군으로 분류하여 실험을 실시하였다.

대조군: 연마된 상아질표면을 산부식한 군.

L3군: 연마된 상아질표면을 60psi 압력의 microabrasive로 3초간 표면처리한 후 산부식하지 않은 군.

L3.E군: 연마된 상아질표면을 60psi 압력의 microabrasive로 3초간 표면처리한 후 산부식한 군.

L5군: 연마된 상아질표면을 60psi 압력의 microabrasive로 5초간 표면처리한 후 산부식하지 않은 군.

L5.E군: 연마된 상아질표면을 60psi 압력의 microabrasive로 5초간 표면처리한 후 산부식한 군.

H3군: 연마된 상아질표면을 120psi 압력의 microabrasive로 3초간 표면처리한 후 산부식하지 않은 군.

H3.E군: 연마된 상아질표면을 120psi 압력의 microabrasive로 3초간 표면처리한 후 산부식한 군.

H5군: 연마된 상아질표면을 120psi 압력의 microabrasive로 5초간 표면처리한 후 산부식하지 않은 군.

H5.E군: 연마된 상아질표면을 120psi 압력의 microabrasive로 5초간 표면처리한 후 산부식한 군으로, 실험조건 및 대조군과 실험군의 구성은 Table 2와 같다.

3) 전단결합강도의 측정

a) 복합레진의 결합

표면처리된 각 실험군당 10개의 시편에 제조회사의 지시에 따라 primer A, B를 혼합하여 5회 연속 도포하고 5-6초간 건조한 후 Dentin/Enamel bonding resin을 균일하게 도포하고 20초간 광조사하였다. 복합레진의 결합을 위하여 내경 4mm, 높이 2mm의 몰드를 상아질표면에 부착한 후 Photo Clearfil Bright를 2회에 걸쳐 적층하고 각각에 대해 30초간 광조사하였다.

Table 2. Experimental groups according to dental surface treatments.

Groups	Microabrasive		Acid Etching
	psi	second	
Control	-	-	+
L3	60	3	-
L3.E	60	3	+
L5	60	5	-
L5.E	60	5	+
H3	120	3	-
H3.E	120	3	+
H5	120	5	-
H5.E	120	5	+

L : low pressure (60psi),
H : high pressure (120psi),
E : acid etching

b) 측정

완성된 시편은 37±1℃ 증류수에 24시간 침지 보관한 후 만능강도시험기 (Instron 4467, U.S.A.)에서 분당 1mm 속도로 압축하중을 가하여 상아질로부터 복합레진이 분리될 때 나타난 최대 하중(kg)을 측정하고, 이를 단위면적당 결합강도 (MPa)로 환산하였다.

$$\text{Shear bond strength (lb/in}^2\text{)} = \frac{T}{\pi r^2}$$

T : Maximum load (pound)
r : Radius of specimen (inch)

4) 표면조도의 측정

표준 연마된 시편을 이용하여 실험군당 5개씩 Table 2와 같이 전단결합강도 측정실험과 동일하게 실험군을 분류하고 표면처리한 후, 각 시편 당 2부위에서 stylus tip의 직경이 0.2µm인 표면조도측정기 (Surftest, Mitutoyo Co., Japan)를 이용하여 25~50µm 범위에 대한 평균표면조도 (Ra)를 측정하였다.

$$\text{Mean surface roughness (Ra)} = \frac{\sum Hi}{L}$$

∑Hi : Sum of Profile height
L : Determined Length

측정된 전단결합강도와 표면조도의 평균값과 표준편차를 계산하고, 0.05 유의차 수준에서 ANOVA 테스트하였고, 등급은 Duncan's multiple range test로 결정하였다.

5) 주사전자현미경 관찰

Microabrasive 및 산부식에 의해 표면처리한 시편과 각 실험군의 결합강도측정 후 평균치에 근사한 시편의 상아질층 파단면을 관찰하기 위하여, 관찰부위를 두께 약 1mm 정도로 절단한 후 스티브에 고정하고 임계점까지 온도건조기 (HCP-2, Hitachi Co., Japan)에서 건조한 후 이온증착기 (IB-3 ION coater, Eiko Co., Japan)로 금증착하여 주사전자현미경 (S-2300, Hitachi Co., Japan)으로 가속전압 20kvp에서 1,000-4,000배로 관찰하였다.

III. 실험성적

1. 전단결합강도

각각 10개의 시편으로 구성된 상아질을 Table 2와 같이 표면처리하고 복합레진을 결합시킨 후 측정된 전단결합강도의 평균 및 표준편차는 Table 3과 같고 Fig. 1은 이를 도표로 나타낸 것이다.

대조군은 연마된 상아질표면을 산부식하여 복합레진을 접착한 군으로 전단결합강도는 17.97 MPa이었다. Microabrasive 단독 처리군(L3, L5, H3, H5)에서 H3군이 10.30MPa로 가장 낮은 결합강도를, H5군이 11.98MPa로 가장 높은 결합강도를 나타내었다. 산부식을 병행한 군(L3.E, L5.E, H3.E, H5.E)에서 결합강도는 microabrasive의 처리압력 및 시간의 증가에 따라 다소 감소되었으며, H5.E군이 19.28MPa로 가장 낮은 결합강도를, L3.E군이 21.22MPa로 가장 높은 전단결합강도를 보이므로써 상대적으로 약하게 표면처리한 상아질에서 더 높은 결합강도를 나타내었다. 대조군과 microabrasive로 처리한 군을 비교할 때, microabrasive 단독 처리군은 대조군에 비하여 현저히 낮은 결합강도를 보이는 반면, 산부식을 병행한 군은 대조군에 비하여 높은 결합강도

Table 3. Shear bond strengths of composite resin to prepared dentin surfaces (n=10).

Groups	Shear bond strengths (MPa)			
	Mean ± S.D.	Ranges		Coefficient of variation (%)
		Min	Max	
Control	17.97 ± 3.44	12.81	22.66	19.1
L3	10.82 ± 1.82	8.37	14.61	16.8
L3.E	21.22 ± 3.37	16.34	28.24	15.9
L5	10.52 ± 2.00	8.29	14.45	19.0
L5.E	20.76 ± 3.60	16.01	25.20	17.3
H3	10.30 ± 1.64	8.37	12.15	15.9
H3.E	19.50 ± 2.07	16.91	22.00	10.6
H5	11.98 ± 1.98	8.37	14.28	16.6
H5.E	19.28 ± 3.55	14.86	24.87	18.4

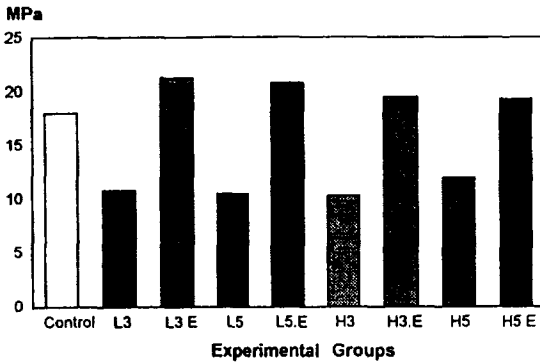


Fig. 1. Shear bond strengths of composite resin to prepared dentin surfaces.

를 보였다.

Fig. 2는 모든 실험군의 전단결합강도순으로 비교한 도표로, Duncan's multiple range test의 결과에 따라 통계학적으로 검증하였다. Micro-abrasive 단독 처리군간의 유의차는 없으나, 대조군과 비교할 때 통계학적 유의차는 있었다. 산부식을 병행한 군간에 유의차는 없었고, 대조군에 비하여 다소 높았으나 L3.E군을 제외하고는 통계학적 유의차는 없었다. 상아질 표면처리에 있어서 microabrasive의 압력 및 시간의 변화에 따른 결합강도의 차이는 크지 않았으며, 산부식 여부가 결합강도의 증감에 주된 요인으로 나타났다.

Fig 3은 대조군, microabrasive 단독 처리군 및 산부식을 병행한 군간에 평균전단결합강도를

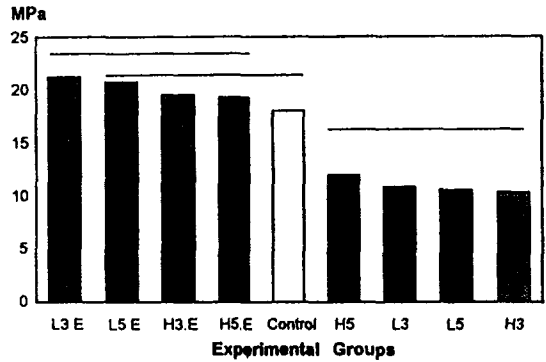


Fig. 2. Descending order of shear bond strengths to prepared dentin surfaces. Means linked by horizontal lines were not significantly different at the 95% confidence level tested by Duncan's multiple range test.

나타낸 도표로서 대조군은 17.97MPa의 결합강도를, microabrasive 단독 처리군은 10.90MPa로 평균 결합강도가 크게 감소하였으며, 부가적인 산부식을 병행한 군에서는 20.19MPa로 대조군보다 높은 평균결합강도를 나타내었다.

2. 표면조도

대조군 및 실험군당 5개의 시편을 Table 2와 같이 표면처리한 후 각 시편당 2부위에서 표면 조도를 측정된 결과, 평균 및 표준편차는 Table

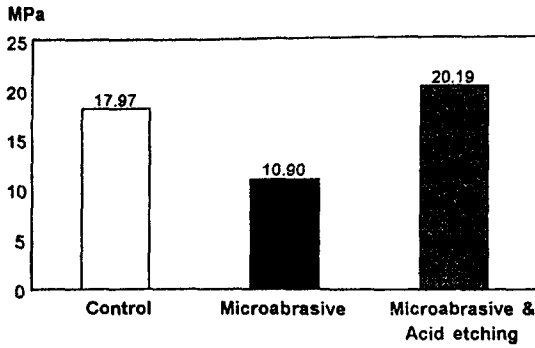


Fig. 3. Comparison of mean shear bond strengths to prepared dentin surfaces.

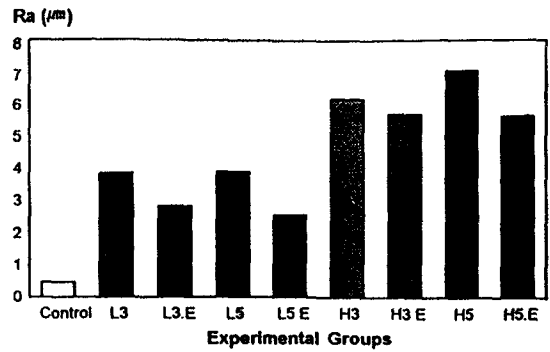


Fig. 4. Mean surface roughness of prepared dentin surfaces.

Table 4. Mean surface roughness(Ra) of prepared dentin surfaces (n=10)

Groups	Mean Surface Roughness (μm)			
	Mean ± S.D.	Ranges		Coefficient of variation (%)
		Min	Max	
Control	0.48 ± 0.09	0.35	0.62	18.1
L3	3.85 ± 0.50	2.87	4.60	13.1
L3.E	2.83 ± 0.55	2.05	3.95	19.4
L5	3.90 ± 0.75	3.00	5.30	19.2
L5.E	2.56 ± 0.80	1.87	4.57	31.1
H3	6.18 ± 1.08	4.50	7.40	17.4
H3.E	5.72 ± 0.98	4.00	7.60	17.1
H5	7.07 ± 1.38	4.72	8.60	19.5
H5.E	5.63 ± 2.05	3.40	8.70	36.4

4 및 Fig. 4와 같다.

표준 연마된 상아질표면에 산부식만을 시행한 대조군의 표면조도는 $0.48\mu\text{m}$ 이었고 microabrasive로 처리한 군에서의 표면조도는 대조군에 비해 현저히 증가되었는데, 120psi 압력으로 5초간 표면처리한 H5군이 $7.07\mu\text{m}$ 로 가장 높았고 60psi 압력으로 5초간 표면처리한 후 산부식한 L5.E군이 $2.56\mu\text{m}$ 로 가장 낮게 나타났다. 표면조도의 평균은 microabrasive 단독 처리군에서 $5.25\mu\text{m}$ 이었고, 산부식을 병행한 군에서는 $4.19\mu\text{m}$ 이었다(Table 4).

표면조도는 microabrasive 단독 처리군에서 압력 및 처리시간의 증가에 따라 증가되며, 동일한 압력에서 처리시간의 연장에 따른 표면조도

의 유의한 차이는 없었으나, 처리시간을 일정하게 하고 압력을 증가시킬 경우 표면조도는 증가되어 통계학적으로 유의한 차이가 있었다. 산부식을 병행한 군에서의 표면조도는 5초간 microabrasive로 처리한 군(L5.E 및 H5.E)이 3초간 처리한 군(L3.E 및 H3.E)보다 더욱 감소되었으나 통계학적 유의성은 없었다.

Microabrasive로 처리한 군에서 동일한 압력 및 시간으로 표면처리한 후 산부식을 병행한 모든 실험군의 표면조도는 감소되었으며 특히, 60psi 압력으로 처리한 실험군인 L3군과 L5군에 비하여 산부식을 병행한 L3.E군과 L5.E군에서 통계학적으로 유의하게 감소되었다.

3. 주사전자현미경 관찰

1) 상아질 표면처리후 표면관찰

Microabrasive 및 산부식에 의하여 처리된 표면의 주사전자현미경 관찰상은 Fig. 5~9와 같다. 산부식만을 시행한 대조군은 모든 상아세관이 개방되었고 활택한 관간상아질이 관찰되었다

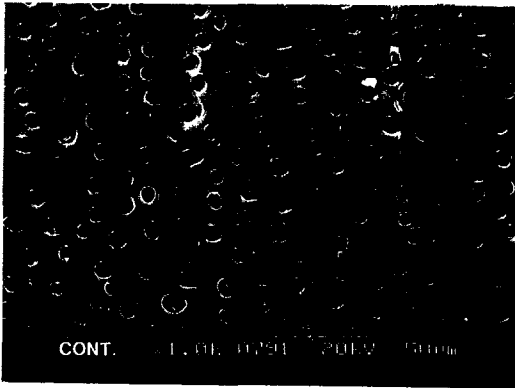


Fig. 5. SEM view of an acid-etched dentin surface which were ground with #600 SiC abrasive paper as the control. The surface shows typical feature of etched human dentin, as most of dentinal tubules are opened and intertubular dentin is smooth (X 1,000).

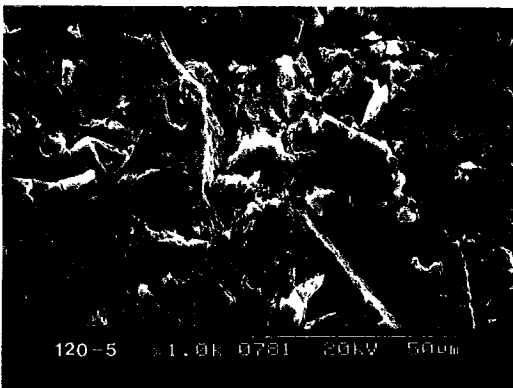


Fig. 7. SEM view of an strongly air-abraded dentin surface. The roughest textured surface is found, sometimes producing pit and fissure appearance by abrasive particles. Also, the dentinal tubules are occluded (X 1,000).

(Fig. 5). Microabrasive 단독 처리군에서 압력 및 시간을 약하게 처리한 군(L3)의 표면은 불규칙하며 비늘모양의 주름진 형태가 관찰되었고 대부분의 상아세관이 폐쇄되어 있었으며, 압력 및 시간을 강하게 처리한 군(H5)에서는 표면이 더욱 불규칙하며 거의 모든 상아세관이 폐쇄되어 있었다(Fig. 6, 7). Microabrasive로 약하게 처

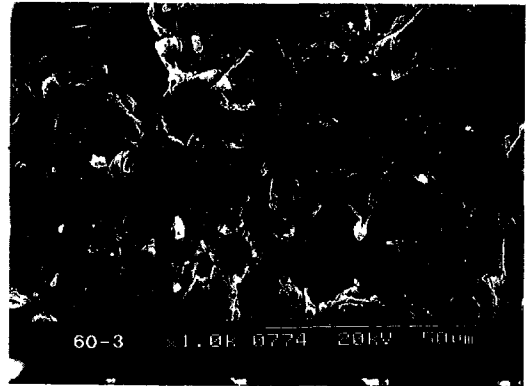


Fig. 6. SEM view of an slightly air-abraded dentin surface. The surface is microscopically rough and is showed scale appearance. The dentinal tubules are nearly occluded (X 1,000).

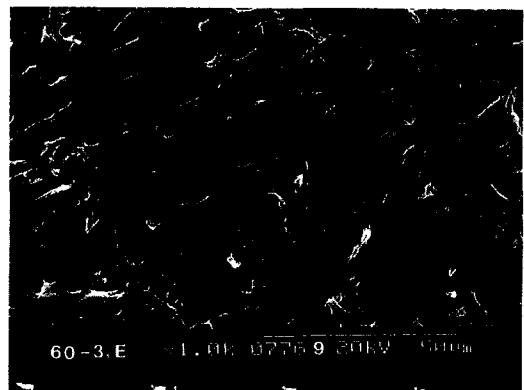


Fig. 8. SEM view of an additional acid-etched dentin surface which were slightly air-abraded. The surface is microscopically rough and the peritubular dentin are oblique exposed. The orifice of dentinal tubules are opened and enlarged (X 1,000).

리한 후 산부식을 병행한 군(L3.E)의 표면은 모든 상아세관이 개방되었고 불규칙하고 넓은 표면을 갖는 반면, microabrasive로 강하게 처리한 군(H5.E)에서는 상아세관의 개방이 적고 더욱 불규칙한 소견을 보였다(Fig. 8, 9).

2) 파단면 관찰

결합강도측정 후 상아질층 파단면의 주사전자

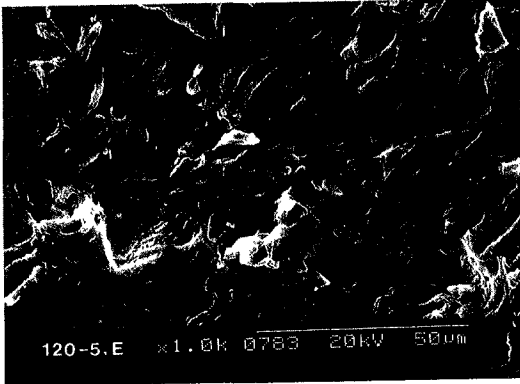


Fig. 9. SEM view of an additional acid-etched dentin surface which were strongly air-abraded. The surface is very rough, sometimes finding the abrasive particles. The dentinal tubules are partially occluded by such as dentinal plugs (X 1,000).

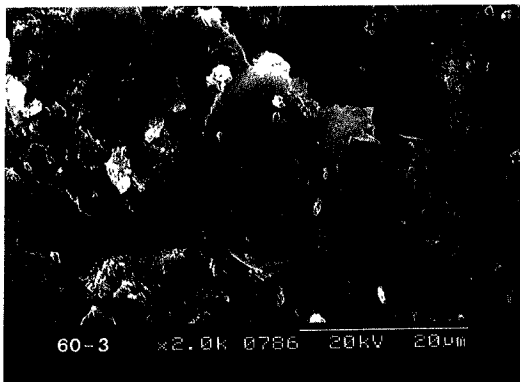


Fig. 11. SEM view of a debonded dentin surface which were slightly air abraded-only. The surface is irregular and the detached interface between dentin and adhesives is found (X 2,000).

현미경 관찰상은 Fig. 10~14와 같다. 대조군의 파단면상은 상아세관내 접착제가 침투되어 레진 tag이 파단되어 있고 관간상아질이 비교적 활택한 전형적인 접착계면 파괴양상을 나타내었다 (Fig. 10). Microabrasive 단독 처리군에서는 함요부위에 접착제가 파단되었고 상아질과 분리된 소견이 관찰되었으나 나머지 부위에는 접착의 흔적이 관찰되지 않았다(Fig. 11, 12). 산부식을

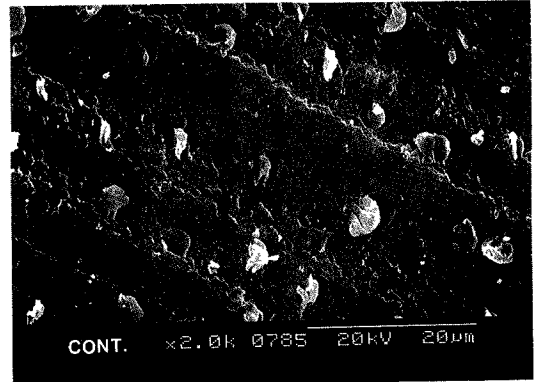


Fig. 10. SEM view of a debonded dentin surface as the control. The surface of adhesive failure mode demonstrate broken resin tags and some resin chips attached to intertubular dentin (X 2,000).

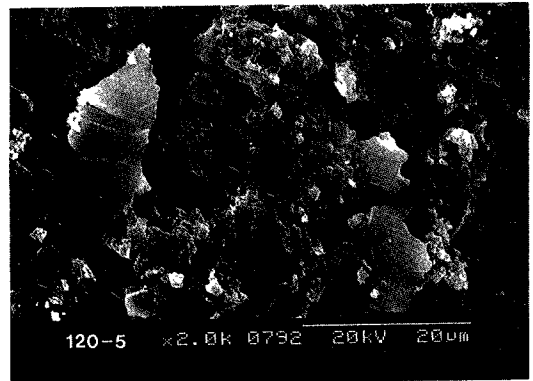


Fig. 12. SEM view of a debonded dentin surface which were strongly air abraded-only. The irregular surface and the detached interface are also seen. Some broken adhesives are found in fissured area (X 2,000).



Fig. 13. SEM view of a debonded dentin surface which were slightly air-abraded and acid-etched. Mixed failure mode demonstrate broken resin tags attached to peritubular dentin and the feature of brittle fracture of composite resin on intertubular dentin(X 2,000).

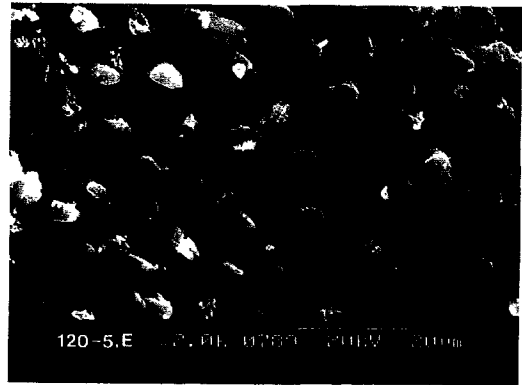


Fig. 14. SEM view of a debonded dentin surface which were strongly air abraded and acid etched. The surface is more rough and irregular. The broken resin tags in dentinal tubules and the rough resin chips attached to intertubular dentin are seen(X 2,000).

병행한 군에서는 microabrasive의 처리에 의하여 일부 노출된 관주상아질에 접착제가 침투되어 레진 tag이 파단되어 있는 소견을 보였고, 복합레진의 일부가 관간상아질과 결합되어 있는 혼합 및 응집 파괴양상이 관찰되었다(Fig. 13, 14).

IV. 총괄 및 고안

보존수복시 치질과 수복물의 접착은 수복물의 유지력을 증가시키고 변연 및 접착계면의 미세 누출을 감소시켜 치아의 보존뿐 아니라 수복물의 수명을 연장시킨다. 복합레진의 법랑질에 대한 접착은 미세기계적이고 산부식에 의해 만들어진 간극에 레진 tags의 침투에 의해 이루어지며 현재 임상적으로 예측할 수 있는 충분한 결합강도를 갖는 반면, 상아질접착에 관한 요소는 복잡하고 다양하다. 상아질은 법랑질과 비교하여 교원질을 포함한 유기성분이 많고 상아세관액의 유출현상으로 완전한 건조가 불가능하여 접착에 불리한 조건을 부여한다^{27,28)}. 최근 상아질접착제는 결합강도를 향상시키기 위하여 도말층(smear layer, 이하 도말층)의 처리와 혼합층(hybrid layer)의 형성에 중점을 두고 있다^{29,30)}.

Heymann과 Bayne³¹⁾는 성공적인 상아질 접착에 고려사항으로 상아질의 도말층, 상아세관의 밀도, 크기 및 길이 그리고 상아질의 경화도 등을 제시하였다. 도말층은 법랑질, 상아질 및 백악질의 분말과 타액, 혈액 및 세균 등의 혼합물로서 표면연마 및 치아삭제과정에서 필연적으로 발생한다. 도말층의 형태와 특성은 치아삭제의 속도와 조건에 따라 달라지며 삭제과정에서 발생하는 높은 열과 압력에 의하여 변화된다. 또한 도말층의 낮은 표면에너지와 도말층내 응집력은 접착제의 상아질 침투를 억제하여 결합강도에 영향을 미친다^{27,32,33)}.

접착성 수복재와 접착기술의 지속적인 발전은 심미수복분야를 다양화하였고 와동형성에 있어서 microabrasive의 이용을 가능케 하였다. Microabrasive는 입자의 운동성 충돌을 이용하여 치아를 미세한 조각으로 파괴시키므로서 회전삭제기구와 치아간에 충돌과는 달리 치질의 미세균열을 예방할 수 있고 주변 치아에 응력을 적게 가한다. 또한, 형성된 와동은 등근 와연우각 및 선각을 갖게되어 복합레진과 같은 성형수복물에 대한 와동형성이론에 적합하다⁸⁾. 치아삭제시 bur에 대한 불쾌감과 치수의 과민반응 또는 동통 등은 현재 사용하는 고속 및 저속회전기

구에서는 불가피한 것으로 여겨지며, 이로 인해 깊은 와동형성시 국소마취가 필요하지만 마취시의 환자가 느끼는 두려움과 치과치료에 대한 거부감의 원인이 될 수 있다. 따라서, micro-abrasive 사용에 의한 최대의 장점은 환자의 불편감을 감소시킨다는 것이다. Goldberg³⁴⁾는 microabrasive로 시술한 환자의 절반이 동통을 느끼지 못하였으며, 92%에서 기존의 기계적 와동형성보다 microabrasive를 선호한다고 보고하였고, Peyton과 Henry³⁵⁾는 치아삭제시 표면의 온도변화가 불과 4°F 내외라고 보고하였으며, Laurell 등¹³⁾은 조직학적 실험에서 주수냉각하의 고속회전기구와 비교할 때 치수조직의 변위, 파괴, 염증 및 괴사 등의 병적 변화가 적다고 보고한 바 있다. 주사전자현미경 관찰에서 micro-abrasive에 의해 표면처리된 법랑질에서는 법랑각주의 변형과 기계적 유지에 필요한 미세요철이 형성되는^{36,37)} 반면, 와동형성 또는 표면처리된 상아질에서는 상아세관, 관간 및 관주상아질 등의 본래 구조는 기계적으로 붕괴되어 있고 대부분의 상아세관은 폐쇄되어 있다^{10,14)}. 이와 같이, 상아세관이 와동형성 과정에서 계속 막혀져 있다면 치수압의 변화가 보다 적게 야기될 것으로 생각되나 연관성에 대해서는 검증이 요구된다. Laurell과 Hess¹⁰⁾는 이러한 최소의 온도변화와 상아세관의 폐쇄가 microabrasive에 의한 와동형성시 환자가 통증을 느끼지 못하는 이유라고 설명하였다.

상아질에 대한 microabrasive의 처리압력의 변화가 결합강도에 미치는 영향에 대한 선행들의 실험보고^{23,38)}의 차이가 있어 이를 확증하기 위하여, 본 실험에서는 microabrasive를 60psi 및 120psi 압력으로 표면처리하였다. Micro-abrasive는 임상적으로 상아질표면의 형태를 변화시켜 결합강도를 증가시킬 목적으로 이용할 수 있을 뿐 아니라 와동형성 자체를 위하여 이용할 수 있으므로 시간변수를 추가하여 3초 및 5초로 처리하였으며, 부가적인 산부식 여부에 따른 결합강도, 표면조도 및 표면의 형태변화에 대하여 연구하였다.

본 실험에서 전단결합강도 측정을 위하여 상아질접착제는 All-bond 2 system을, 복합레진은

Photo Clearfil Bright를 사용하였다. All-bond 2 system의 상아질전처리제는 10% 인산수용액으로서 상아질을 탈회시키고 임계표면장력을 증가시키며, 습윤상태는 교원질의 3차원 구조를 안정화시킨다. 접착강화제는 포함된 아세톤에 의해 수분의 표면장력을 감소시키고 물과 결합하는 친수성 기능기에 의해 잔존 상아질구조내 접착성 레진의 확산 및 침투를 용이하게 하므로서 결합강도를 증가시킨다³⁹⁻⁴²⁾.

전단결합강도 실험에서 대조군은 임상적으로 fine diamond point에 의한 치아삭제후 일반적인 상아질 접착술식에 의한 경우로서 17.97MPa로 측정되었는데, 이는 신세대 상아질접착제의 결합강도와 유사하였다⁴³⁾.

Microabrasive 단독 처리군의 전단결합강도는 적용압력 및 시간의 변화에 의한 유의차는 없었고 대조군보다 현저히 낮게 나타났으며, 평균결합강도는 10.90MPa이었고 120psi에서 3초간 표면처리한 경우(H3군) 10.30MPa로 가장 낮은 결합강도를 나타냈으며, 동일압력에서 5초간 표면처리했을 때(H5군) 11.98MPa로 가장 높은 결합강도를 나타내었으나 각군간에 유의한 차이는 보이지 않았다. 이 결합강도는 Ploeger 등²⁴⁾ 및 Valentino와 Nathanson²⁵⁾이 보고한 상아질에서 microabrasive로 표면처리한 후의 결합강도보다 높았으며, Laurell 등²⁰⁾, Eakle 등²³⁾ 및 Bae 등²⁶⁾의 실험성과 유사하였다. 특히, Keen 등²²⁾은 microabrasive로 처리한 표면에 대한 복합레진의 결합강도를 산부식만 시행한 경우와 비교할 때, 법랑질에서는 유사하지만 상아질과 중합된 복합레진에 대해서는 오히려 높다고 보고한 바 있으나, 본 실험에서는 이를 확증할 수 없었다.

Microabrasive로 표면처리 후 산부식을 병행한 군에서 복합레진의 전단결합강도는 처리압력 및 시간의 증가에 따라 비록 유의한 차이는 없으나 다소 감소되는 경향을 나타냈고, 평균결합강도는 20.19MPa로 단독처리군의 결합강도보다 현저히 증가되었으며 특히, 60psi 압력으로 3초간 표면처리한 후 산부식한 경우(L3.E군) 최대결합강도인 21.22MPa를 나타내므로서 대조군보다 유의성있는 증가를 보였다. 즉, microabrasive의 적용압력 및 시간을 상대적으로 약하게 처리하

고 부가적으로 산부식할 때 결합강도가 증가하므로, 임상에서 microabrasive는 높은 상아질 결합강도를 얻기 위한 표면처리방법으로서 종래의 회전삭제기구에 비해 유용할 것으로 생각된다.

상아질접착에 영향을 줄 수 있는 요소로 표면 조도를 생각할 수 있는데, 본 실험에서 표준연마된 상아질표면에 산부식만을 시행한 대조군에서의 표면조도는 $0.48\mu\text{m}$ 로 측정되었다. Microabrasive에 의한 표면처리후 표면조도는 약 7-15배 증가되었으며, 처리압력 및 시간의 증가에 따라 점차 증가되는 경향을 나타냈다. 동일한 압력에서 처리시간의 연장에 따른 표면조도는 유의한 차이가 없었으나, 처리시간을 일정하게 하고 압력을 증가시킬 경우 표면조도의 증가는 유의성이 있었다. 따라서, 표면조도는 처리시간보다 처리압력의 변화요인이 더욱 지배적이라고 볼 수 있다. Microabrasive에 의한 표면처리후 부가적인 산부식으로 표면조도는 오히려 감소되었는데, 이는 회전삭제기구에 의해 형성된 도말층과는 달리, 상아질의 본래구조가 산화알루미늄 입자에 의해 기계적으로 붕괴된 후 분리된 상아질조각이 약하게 부착되어 형성된 층이 산부식에 의해 제거되었기 때문으로 생각된다.

Finger 등⁴⁴⁾과 McInnes 등⁴⁵⁾은 표면조도와 결합강도간의 상관성 실험을 통하여 치아삭제과정에서 형성되는 상아질의 표면조도는 상아질접착제의 결합강도에 영향을 미치지 못한다고 보고하였으며, 본 연구에서도 microabrasive 처리에 의하여 산부식 여부와 무관하게 표면조도는 증가되었으나 전단결합강도는 이에 비례하지 않았다. Microabrasive에 의해 형성된 층은 피착면적의 증가에도 불구하고 복합레진의 결합을 결과적으로 취약하게 하여 산부식만 시행한 대조군보다 낮게 나타났다. Microabrasive에 의해 형성된 층을 부가적인 산부식에 의해 제거한 실험군의 결합강도는 대조군보다 증가되었는데, 이는 표면조도 자체보다는 넓은 피착면과 기계적 유지형태에 의하여 결합강도가 증가된 것으로 생각된다. 따라서 상아질표면의 형태보다는 표면의 특성이 결합강도에 중요한 역할을 하는 것으로 보인다. 이에 대하여 Panighi와 G'Sell⁴⁶⁾은 범랑질 및 상아질에 있어서 산부식과 같은 전처치

에 의한 무기성분의 조절과 표면의 구조가 결합강도를 좌우하며 특히, 표면의 미세경도가 중요한 역할을 한다고 주장하였다. 따라서, microabrasive로 처리된 상아질표면의 성상을 이해하기 위해서는 표면경도측정 및 형성된 표층의 성분분석에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

대조군의 주사전자현미경 관찰상에서 상아질 표면의 도말층은 모두 제거되었고 개방된 상아세관과 활택한 관간상아질이 보이며, 결합강도 측정후 파단면 관찰상에서 상아세관내 침투된 접착제에 의해 형성된 레진 tags이 파단되어 있고 관간상아질 표면에 전형적인 접착계면 파괴양상이 나타났다. Microabrasive 단독 처리군에서 표면은 상아질 고유구조가 붕괴되어 불규칙하고 거칠며, 비늘모양의 주름상과 부분적인 분화구상이 관찰되었고, 대부분의 상아세관은 dentinal plug에 의하여 폐쇄되었으며, 일부 관찰된 상아세관 역시 대조군에 비하여 작게 나타나는 등 Laurell과 Hess¹⁰⁾ 및 Gwinnett와 Berry¹⁴⁾의 전자현미경 관찰소견과 일치하였다. 결합강도 측정후 파단면 관찰상에서 산화알루미늄 입자에 의해 깊이 패인 함요부위에 접착제가 파단되었고 상아질과의 계면이 일부 분리되어 있으며, 나머지 부위에서는 접착의 흔적이 적게 관찰되었다. 비록 피착면의 표면적은 넓어졌으나, 상아세관내로의 레진 tags의 형성이나 관간상아질과 접착제의 결합이 충분히 이루어지지 않아 결과적으로 약한 결합강도를 나타낸 것으로 사료된다. Microabrasive로 처리한 후 산부식한 표면에 대한 전자현미경 관찰결과는 현재까지 보고된 바 없었다. 본 실험에서는 모든 상아세관이 개방되었고 입구가 확장되어 있으며 불규칙한 표면과, 아울러 관간상아질뿐 아니라 관주상아질까지 노출되어 넓은 피착면이 관찰되었다. 한편, microabrasive를 강하게 처리하고 산부식한 경우(H5, E군), 표면은 더욱 불규칙하지만 상아세관입구의 개방은 상대적으로 미약하였다. 파단면 관찰상에서 부가적인 산부식에 의하여 개방된 상아세관으로 접착제가 침투되어 레진 tags이 파단되어 있고 복합레진의 일부가 분리되어 상아세관 및 관간상아질과 결합되어 있는 혼합 및 응집파괴양상이 관찰되었고, 이로 인하여 결

Berry 등³⁸⁾은 글래스아이오노머 시멘트의 수복을 위한 와동형성에 microabrasive가 유용하지만 상아질 전처치의 필요성을 배제시키지는 못하였다고 하였고, Roeder 등²¹⁾은 복합레진의 상아질접착에 있어서 microabrasive에 의한 표면처리 후 primer 및 접착제와 같이 사용될 때 높은 결합강도를 나타냈다고 보고하였으며, Valentino와 Nathanson²⁵⁾은 microabrasive가 산부식과 더불어 이용될 때 상아질 결합에 효과적이며 5급와동의 치경부축 변연누출을 감소시키지만 복합레진을 상아질에 접착하기전 표면처리를 위하여 microabrasive 단독으로 이용될 수는 없다고 주장하였다. 이와 같은 연구는, microabrasive 이용 후 최대결합강도를 얻기 위해서는 회전삭제기구와 마찬가지로 상아질표면의 전처치가 필수적임을 시사하며 본 연구결과와 일치한다.

Microabrasive는 기존의 회전삭제구에 비하여 환자의 불편감을 감소시킬 수 있고 접착성 심미수복을 위한 와동형성뿐 아니라 견고한 접착을 위한 표면처리에 이용될 수 있으며, 또한 치과용 unit에 포함시켜 제작한다면 사용에 보다 편리하고 치과의사의 선호도는 증가할 것이다. 본 연구는 전단결합강도 측정과 표면조도 측정 및 주사전자현미경 관찰을 통하여 microabrasive에 의한 상아질 표면처리시 복합레진의 결합강도에 미치는 영향을 구명하고자 시행하였다. Microabrasive에 의해 형성된 표면은 불규칙하고 거칠며 상아질 본래 구조가 붕괴되어 기계적으로 형성된 표면과는 많은 차이가 있으며, 이러한 층의 본질이 어떤 것이든 최대의 결합강도를 얻기 위해서는 제거되어야 할 것이다. 향후 microabrasive로 처리한 상아질표면의 접착제 침투양상과 범랑질에서의 결합강도 및 와동형성 후 수복물의 변연누출에 대한 심도있는 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

상아질에 대한 복합레진의 결합강도는 와동형성 및 표면처리의 방법에 의하여 달라질 수 있는데, 본 연구는 microabrasive에 의한 상아질의 표

면처리를 위하여 144개의 실험군을 이용하여 협측상아질을 노출시킨 후, microabrasive의 적용압력을 60psi와 120psi로, 처리시간을 3초와 5초로 변화시키고 각각에 대하여 산부식 여부에 따라 대조군과 microabrasive로 처리한 군으로 분류하여 복합레진에 대한 전단결합강도를 측정하였고, 이와 상관성을 확인하고자 표면조도를 측정하였으며, 상아질표면의 형태변화와 접착부위의 상아질층 파단면을 주사전자현미경으로 관찰 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Microabrasive의 적용압력 및 시간의 변화에 따른 상아질과 복합레진과의 전단결합강도는 유의한 차이가 없었다.
2. 전단결합강도는 microabrasive 단독 처리군이 산부식만 시행한 대조군보다 낮게 나타났으며, 산부식을 병행한 군은 대조군보다 높게 나타났다.
3. Microabrasive 처리후 부가적인 산부식으로 전단결합강도는 현저히 증가되었다.
4. 표면조도는 대조군에 비하여 microabrasive 처리한 군에서 현저히 증가되었으며 부가적인 산부식으로 다소 감소되었으나, 표면조도와 전단결합강도와의 상관성은 확인할 수 없었다.
5. 주사전자현미경 관찰상에서 microabrasive 단독 처리군의 상아세관은 대부분 폐쇄되었고, 산부식을 병행한 군의 상아세관은 개방되었다.
6. Microabrasive 단독 처리후 복합레진을 접착시킨 경우 전단응력에 의한 접착계면 파괴양상이 나타났으나, 산부식을 병행한 군에서는 혼합 및 응집파괴양상이 관찰되었다.

REFERENCES

1. Black R.B. : Technic for nonmechanical preparation of cavities and prophylaxis. J.Am.Dent.Assoc., 32 : 955-965, 1945.
2. Black R.B. : Airbrasive : some fundamentals. J.Am. Dent.Assoc., 41 : 701-710, 1950.
3. Black R.B. : Application and reevaluation of air abrasive technic. J.Am.Dent.Assoc., 50 : 408-414,

- 1955.
4. White H.D., and Peyton F.A. : Effect of air abrasive in prophylaxis. *J.Am.Dent.Assoc.*, 49 : 155-163, 1954.
 5. Borde A. : Airpolishing effects on enamel, dentin, cement and bone. *Br.Dent.J.*, 156 : 287-291, 1984.
 6. Cooley R.L., Lubow R.M., and Patrissi G.A. : The effect of an air-power abrasive instrument on composite resin. *J.Am.Dent.Assoc.*, 112 : 362-364, 1986.
 7. Morrison A.H. : Evaluation of Airdent unit : preliminary report. *J.Am.Dent.Assoc.*, 46 : 298-303, 1953.
 8. Elderton R.J. : New approaches to cavity design with special reference to the class II lesion. *Br.Dent.J.*, 157 : 421-427, 1984.
 9. Goldstein, R.E., and Parkins F.M. : Air-abrasive technology : its new role in restorative dentistry. *J.Am.Dent.Assoc.*, 125(5) : 551-557, 1994.
 10. Laurell, K.A., and Hess, J.A., : Scanning electron micrographic effects of air-abrasion cavity preparation on human enamel and dentin. *Quint. Int.*, 26 : 139-144, 1995.
 11. Anderson M.H., Bales D.J., and Omnell K. : Morden management of dental caries. *J.Am.Dent.Assoc.*, 124 : 37-44, 1993.
 12. Hooper C.A. : Air-abrasive technology [letter ; comment]. *J.Am.Dent.Assoc.*, 125(9) : 1164-1166, 1994.
 13. Laurell, K.A., Carpenter W., and Beck M. : Pulpal effects of airbrasion cavity preparation in dogs (Abstract 1360). *J.Dent.Res (Special Issue)*, 72 : 273, 1993.
 14. Gwinnett A.J., and Berry E.A. : Morphological characteristics of enamel and dentin prepared with air abrasion (IADR Abstracts 877). *J.Dent.Res. (Special Issue)*, 75 : 127, 1996.
 15. Swift E.J., Brodeur C., Cvitko E., and Pires J.A.F. : Treatment of composite surfaces for indirect bonding. *Dent.Mater.*, 8 : 193-196, 1992.
 16. Latta M.A., and Barkmeier W.W. : Bond strength of a resin cement to a cured composite inlay material. *J.Prosthet.Dent.*, 72 : 189-193, 1994.
 17. Caughman W.F., Kovarik R.E., Rueggeberg F.A., and Snipes W.B. : The bond strength of Panavia Ex to air-abraded amalgam. *Int.J.Prostodont.*, 4 : 276-281, 1991.
 18. Swift E.J., LeValley B.D., and Boyer D.B. : Evaluation of new methods for composite repair. *Dent.Mater.*, 8 : 362-365, 1992.
 19. Turner C.W., and Meiers J.C. : Repair of aged, contaminated indirect composite resin with a direct, visible-light-cured composite resin. *Oper.Dent.*, 18 : 187-194, 1993.
 20. Laurell, K.A., Lord W., and Beck M. : Kinetic cavity preparation effects on bonding to enamel and dentin (Abstract 1437). *J.Dent.Res. (Special Issue)*, 72 : 283, 1993.
 21. Roeder L.B., Berry E.A., You III.C., and Powers J.M. : Bond strength of air-abraded enamel and dentin. *Oper Dent*, 20, 186-190, 1995.
 22. Keen D.S., von Fraunhofer J.A., and Parkins F.M. : Air-abrasive "etching" : composite bond strengths (Abstract 238). *J.Dent.Res. (Special Issue)*, 73 : 131, 1994.
 23. Eakle W.S., Goodis H.E., White J.M., and Do H.K. : Effect of microabration on dentin permeability and bond strength, (Abstract 239). *J.Dent.Res. (Special Issue)*, 73 : 131, 1994.
 24. Ploeger B.J., Hollis R.A., and Christensen R.P. : Enamel bond strengths produced by four different air abrasive units (IADR Abstracts 2984). *J. Dent. Res.(Special Issue)*, 75 : 390, 1996.
 25. Valentino M.F., and Nathanson D. : Evaluation of air-abrasiion preparation system for bonded restorations (IADR Abstracts 878). *J.Dent.Res. (Special Issue)*, 75 : 127, 1996.
 26. Bae K., Raymond L., Willardson J., and Dunn J.R. : SBS of composite to various surfaces prepared with air abrasion and acid etch (IADR Abstracts 2986). *J.Dent.Res. (Special Issue)*, 75 : 391, 1996.
 27. Baier R.E. : Principles of adhesion : *Oper.Dent.*, Supplement 5 : 1-9, 1992.
 28. Gerzina T.M., and Hume W.R. : Effect of hydrostatic pressure on the diffusion of monomers through dentin in vitro. *J.Dent.Res.* 74 : 369-373, 1995.
 29. Nakabayashi N., Nakamura M., and Yasuda N. : Hybrid layers as a dentin-bonding machanism. *J. Esthet.Dent.*, 3 : 133-138, 1991.
 30. Van Meerbeek B., Inokoshi S., Braem M., Lambrechts P., and Vanherle G. : Morphological aspects of the resin-dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive systems. *J.Dent.Res.* 71(8) : 1530-1540, 1992.
 31. Heymann H.O., and Bayne S.C. : Current concepts

- in dentin bonding. *J.Am.Dent.Assoc.*, 124 : 27-36, 1993.
32. Gwinnett A.J. : Smear layer ; morphological considerations. *Oper.Dent.*, Supplement 3 : 3-12, 1984.
 33. Tao L., Pashley D.H., and Boyd L. : Effect of different types of smear layers on dentin and enamel shear bond strengths. *Dent.Mater.* 4 : 208-216, 1988.
 34. Goldberg M.A. : Airbrasive : Patient reactions. *J. Dent.Res.*, 31 : 504-505, 1952.
 35. Peyton F.A., and Henry E.E. : The effect of high speed burs, diamond instruments and air abrasive in cutting tooth tissue. *J.Am.Dent.Assoc.*, 49 : 426-435, 1954.
 36. Katora, M.E., Jubach, T., and Polimus, M.M., : Airabrasive etching of the enamel surface. *Quint. Int.*, 12 : 967-968, 1981.
 37. Brockmann S.L., Scott R.L., and Eick J.D. : The effect of air-polishing device on tensile bond strength of a dental sealant. *Quint. Int.*, 20 : 211-217, 1989.
 38. Berry E.A., Berry L.L., and Powers J.M. : Bonding of hybrid ionomer to air-abraded enamel and dentin (Abstract 654). *J.Dent.Res. (Special Issue)*, 73 : 183, 1994.
 39. Kanca J. : Dental adhesion and the All-bond system. *J.Esthet.Dent.*, 3 : 129-132, 1991.
 40. Suh B.I. : All-bond — Fourth generation dentin bonding system. *J.Esthet.Dent.*, 3 : 139-147, 1991.
 41. Kanca J. : Resin bonding to wet substrate. I. Bonding to dentin. *Quint. Int.*, 23 : 39-41, 1992.
 42. Erickson R.L. : Surface interactions of dentin adhesive materials. *Oper.Dent.*, Supplement 5 : 81-94, 1992.
 43. Barkmeier W.W., and Cooley R.L. : Laboratory evaluation of adhesive systems. *Oper.Dent.*, Supplement 5 : 50-61, 1992.
 44. Finger W.J., Manabe A., and Alker B. : Dentin surface roughness vs. bond strength of dentin adhesives. *Dent.Mater.*, 5 : 319-323, 1989.
 45. McInnes P.M., Wendt S.L., Retief D.H., and Weinberg R. : Effect of dentin surface roughness on shear bond strength. *Dent.Mater.*, 6 : 204-207, 1990.
 46. Panighi M., and G'Sell C. : Effect of the tooth microstructure on the shear bond strength of a dental composite. *J.Biomed.Mater.Res.*, 27 : 975-981, 1993.