

상아질 접착제의 성상이 미세인장결합강도에 미치는 영향

김현진 · 허 복* · 김현철

부산대학교 치과대학 보존학교실

ABSTRACT

THE EFFECT OF ADHESIVE PROPERTY ON MICROTENSILE BOND STRENGTH TO HUMAN DENTIN

Hyoun-Jin Kim, Bock Hur *, Hyun-Cheol Kim

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

The purposes of this study were to evaluate the effect of adhesive property on microtensile bond strength and to determine the failure mode.

Flat occlusal dentin surfaces were prepared using low-speed diamond saw. The dentin was etched with 37% phosphoric acid. The following adhesives were applied to the etched dentin to manufacturer's directions: Scotchbond Multi-Purpose in group SM, Prime&Bond NT in group NT, Scotchbond Multi-Purpose followed by Tetric-flow in group TR. After adhesive application, a cylinder of resin-based composite was built up on the occlusal surface. Each tooth was sectioned vertically to obtain the $1 \times 1\text{mm}^2$ "sticks". Microtensile bond strength were determined. Each specimen was observed under stereomicroscope and scanning electron microscope (SEM) to examine the failure mode. Data were analyzed using one way ANOVA.

The results of this study were as follows:

1. The microtensile bond strength value were: group SM ($18.98 \pm 3.01\text{MPa}$), group NT ($16.01 \pm 4.82\text{MPa}$) and group TR ($17.56 \pm 3.22\text{MPa}$). No significant statistical differences were observed among the groups ($P > 0.05$).
2. Most of specimens showed mixed failure. In group TR, there was a higher number of specimens showing areas of cohesive failure in resin. [J Kor Acad Cons Dent 29(3):281-287, 2004]

Key words : Microtensile bond strength, Adhesive, Dentin, Stereomicroscope, Scanning electron microscope, Failure mode

I. 서 론

심미수복물에 대한 관심이 증대됨에 따라, 복합레진 수복

물은 전치부와 구치부 수복시 널리 이용되고 있다. 그럼에도 불구하고 복합레진은 여전히 중합수축, 아말감에 비해 낮은 마모저항성 등의 개선되어야 할 문제들이 존재한다¹⁾. 특히 중합수축으로 인해, 복합레진 수복물의 임상적인 성공은 범랑절과 상아질에 대한 접착제의 효과적인 결합에 달려 있다고 볼 수 있다²⁻⁴⁾.

중합수축에 의해 생긴 스트레스가 상아질의 와동벽과 접착층 사이의 결합력을 초과하면, 'contraction gap'이 형성된다⁵⁾. 그 결과 변연부 미세누출과 2차 우식이 발생하게 되고 이것이 수복물 교체의 주된 원인이 된다. 그러므로 상아

* Corresponding author: **Bock Hur**

Department of Conservative Dentistry,
College of Dentistry, Pusan National University
1-10 Ami-dong, Seo-gu, Pusan, 602-739, Korea
Tel : 82-51-240-7454
E-mail : bhur@pusan.ac.kr

질과 복합레진의 접착계면이 이러한 스트레스를 견딜 수 있어야 한다. 이 때 스트레스의 정도는 복합레진의 비접착면에 대한 접착면의 비를 나타내는 C-factor와 복합레진의 탄성계수의 영향을 받는다^{6,7)}.

Kemp-Scholte와 Davidson⁸⁾은 'elastic cavity wall'의 개념을 발전시켰는데, 그들은 상아질과 복합레진의 계면에서 접착층이 복합레진의 체적변화를 보상할 수 있을 정도의 탄성을 가진다면, 상아질의 결합력이 중합수축을 능가할 수 있다고 보고했다. 높은 탄성계수를 가진 물질은 계면으로 스트레스가 더 잘 전달되어 복합레진과 상아질의 결합을 파괴하게 되고, 그로 인해 슬루민감성과 불량한 변연을 보일 것이다⁹⁾. 혼성층은 스트레스를 흡수할 수 있을 정도로 탄성계수가 낮으나 인접한 접착제에 비해 너무 얇은 층으로 되어 있어 스트레스를 해소하는 역할을 기대할 수 없다^{10,11)}.

이러한 개념에 근거하여 filled adhesive가 도입되었다. 이것은 혼성층을 강화시키고 결합력을 증가시키기 위해 filler를 접착제에 첨가시킨 것으로, OptiBond Solo (Kerr Corp., Orange, CA, USA), Prime&Bond NT (Dentsply Caulk, Milford, DE, USA) 등이 존재한다⁵⁾. 스트레스의 흡수는 두께와 탄성계수와 관련이 있기 때문에, filler를 포함하여 더 두꺼워진 접착층은 스트레스를 더 잘 흡수할 것이다^{9,12)}. 그러나 filler의 첨가에 관해서는 논란의 여지가 있다. Kemp-Scholte와 Davidson⁸⁾은 휨성이 있는 중간 레진층이 복합레진의 중합수축에 잘 저항하고 또한 열, 교합력 등에 의한 스트레스를 잘 분산시킨다고 했다. Tani 등¹³⁾은 4-META MMA/TBB 접착제에 filler를 첨가하면 미세간극의 형성을 줄이고 미세인장결합강도를 증가시킨다고 했다. 그러나 filler 함량의 증가는 접착시스템의 점성을 증가시켜 흐름성을 감소시킬 것이다. 만약 filler가 산부식된 상아질과 노출된 교원섬유로의 접착제의 적합을 방해한다면 적절한 혼성층이 형성될 수 없고 결국 결합력과 변연 적합성이 감소될 것이다^{14,15)}.

'유동성 복합레진'이라 불리는 낮은 점성의 복합레진도 filled adhesive와 비슷한 목적으로 사용된다. 1996년 처음 도입된 유동성 복합레진은 전통적인 hybrid composites와 동일하게 작은 입자 크기를 유지하면서 filler 함량을 감소시켜서 결과적으로 점성을 감소시켰다. 이러한 낮은 filler 함량으로 인해 전통적인 hybrid composite에 비해 낮은 기계적 성질과 높은 중합수축을 가져왔다^{16,17)}. 높은 중합수축은 중합시 계면에서 더 큰 스트레스를 가져올 수 있으나, 이 재료의 낮은 탄성계수로 인해 흐름성을 가져서 중합수축을 보상하게 된다. 따라서, 혼성층과 접착층, 복합레진 사이에서 스트레스 흡수층으로 작용하게 된다¹⁸⁾.

이에 본 연구에서는 unfilled adhesive와 filled adhesive, 유동성 복합레진을 접착시스템으로 이용하여 복합레진으로 수복하였을 때, 상아질 접착제의 성상이 복합레진의

상아질에 대한 미세인장결합강도에 미치는 영향을 조사하고자 하였다.

II. 연구재료 및 방법

1. 시편제작

우식에 이환되지 않은 건전한 9개의 상, 하악 대구치를 사용하였다. 범랑질의 제거를 위해 주수하에 저속 diamond disc를 이용하여 치아의 장축에 수직이 되게 교합면을 제거하여 편평한 상아질면을 노출시켰다. 각 치아의 상아질면을 37% 인산으로 산부식 후, 무작위로 3개씩 3개의 군으로 분류하였다. 첫 번째 군 (SM)은 unfilled adhesive인 Scotchbond Multi-Purpose (3M Dental Products, St Paul, MN, USA)를 사용하였고, 두 번째 군 (NT)은 nanofiller가 포함되어 있는 Prime&Bond NT (Dentsply Caulk, Milford, DE, USA)를 사용하였다. 세 번째 군 (TR)은 Scotchbond Multi-Purpose를 사용한 후, 중간층으로 유동성 복합레진인 Tetric-flow (Vivadent, Schaan, Liechtenstein)를 사용하였다. 각각의 접착제에 rhodamine B를 첨가한 후, 제조사의 지시에 따라 각각의 상아질 접착제를 적용하였다. 그 후 광중합 레진인 Tetric-ceram (Vivadent, Schaan, Liechtenstein)을 이용하여 5mm 높이로 적층 충전하였다. 충전 후 각 치아는 주수하에 저속 diamond saw를 이용하여 가로 1mm, 세로 1mm의 막대 모양의 절편이 되도록 치아장축방향으로 절단하였다. 9개의 치아에서 각 군당 23개의 시편이 형성되었다.

2. 미세인장결합강도 측정

각 군당 20개의 시편을 이용하였다. 각 시편을 cyanoacrylate 접착제인 Zapit (Ultradent Products Inc, South Jordan, UT, USA)을 이용하여 미세인장결합강도 측정기에 부착한 후 1mm/min의 속도로 미세인장결합강도를 측정하였다.

3. 파절양상 관찰

미세인장결합강도 측정 후 파절된 시편을 입체현미경으로 관찰하여 파절양상을 다음과 같이 분류하였다.

- Type A : 상아질과 접착제 사이의 계면에서 파절이 발생한 경우
- Type B : 상아질과 접착제가 50%이하 결합된 채 파절이 발생한 경우
- Type C : 상아질과 접착제가 50%이상 결합된 채 파절이 발생한 경우

Table 1. Materials

Material	Composition
Scotchbond Multi-Purpose (SM)	Primer: HEMA, polyalkenoic copolymer, water Adhesive: HEMA, Bis-GMA, initiator
Prime&Bond NT (NT)	PENTA, UDMA, ResinR5-62-1, T-resin, D-resin, nano-filler, initiator, stabilizer, cetylaminehydrofluoride, acetone
Tetric flow (TF)	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, ytterbium trifluoride, barium glass, pigments, initiator
Tetirc Ceram (TC)	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, ytterbium trifluoride, barium glass, pigments, initiator

Table 2. Bonding procedures

Bonding system	Directions
Scotchbond Multi-Purpose (SM)	Etched for 15s, rinsed, lightly dried to a moist surface, primer applied, lightly dried for 5s, adhesive applied, light-cured for 10s
Prime&Bond NT (NT)	Etched for 15s, rinsed, lightly dried to a moist surface, adhesive applied and left on for 20s, dried for 10s, light-cured for 10s

Type D : 레진 내에서 응집성 파절이 발생한 경우
 Type E : 상아질 내에서 응집성 파절이 발생한 경우

4. 접착계면 및 파절면 관찰

각 군당 미세인장결합강도를 측정하지 않은 시편과, 측정 후 파절된 시편 중 무작위로 선택하여 주사전자현미경으로 관찰하였다. 이 때 미세인장결합강도를 측정하지 않은 시편은 1200 grit silicone carbide paper로 연마 후, 35% 인산으로 40초간 산부식하고 2.5% NaOCl solution에 30분간 담귀두었다. 각 시편은 70%, 80%, 90%, 100% ethyl alcohol에 24시간씩 담귀어 탈수시켰다. 탈수시킨 시편을 gold-palladium으로 표면처리 후 주사전자현미경 (HITACHI S-4200, Tokyo, Japan)을 이용하여 관찰하였다.

5. 통계 분석

개별 실험군의 평균값과 표준편차를 구한 후, 각 군의 미세인장결합강도를 one-way ANOVA를 이용하여 분석하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 미세인장결합 강도 측정

측정된 각 군의 미세인장결합강도는 Table 3과 같다. 미세인장결합강도는 NT군이 SM군에 비해 다소 낮게 나타났으나, 세 군 사이에는 유의성이 있는 차이가 없었다 ($P > 0.05$).

2. 파절양상

세 실험군의 파절 양상은 Table 4와 같다. 세 군 모두 type B와 C (혼합형 파절)가 대부분이고, type A (접착성 파절)도 나타났다. SM군은 type E (상아질의 응집성 파절)가 존재했으나, NT나 TR군에는 나타나지 않았다. TR군은 다른 군에 비해 type D (레진의 응집성 파절)가 더 높은 비율로 나타났다.

3. 접착계면 및 파절면 관찰

파절양상을 측정하지 않은 시편 중에서 무작위로 선택하여, 그 접착계면의 주사전자현미경 소견을 Figures 1~3에

Table 3. Microtensile bond strength(MTBS; Unit: MPa, Mean \pm SD)

Groups	MTBS
SM	18.98 \pm 3.01
NT	16.01 \pm 4.82
TR	17.56 \pm 3.22

Table 4. Failure mode

Groups	failure pattern				
	A	B	C	D	E
SM	4	9	3	2	2
NT	6	6	7	1	0
TR	3	7	4	6	0

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

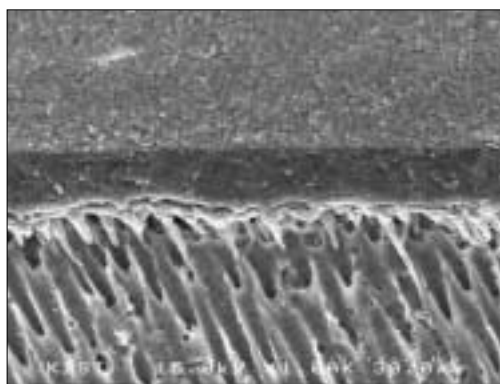


Figure 1. SEM photomicrograph of the resin/dentin interface produced by Scotchbond Multi-Purpose ($\times 1000$)

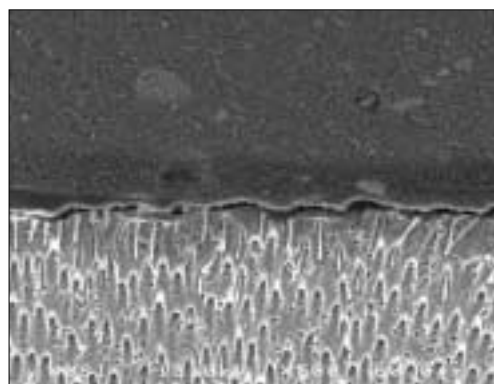


Figure 2. SEM photomicrograph of the resin/dentin interface produced by Prime&Bond NT ($\times 500$)

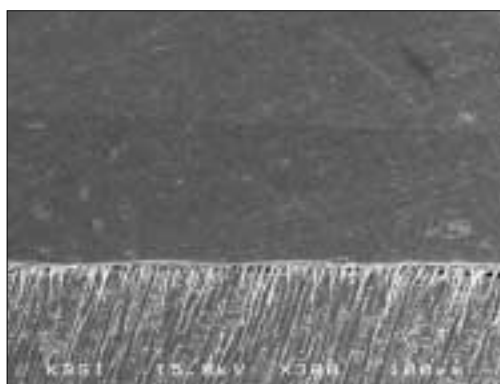


Figure 3. SEM photomicrograph of the resin/dentin interface produced by Scotchbond Multi-Purpose and Tetric-flow ($\times 300$)

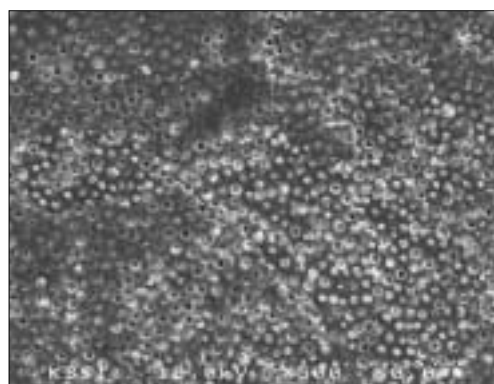


Figure 4. SEM photomicrographs of fractured dentin side of specimens. Adhesive failure can be observed ($\times 500$)

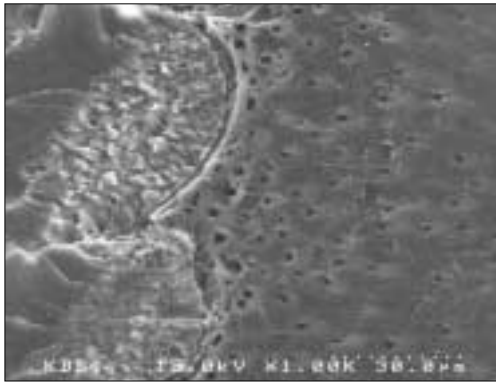


Figure 5. SEM photomicrographs of fractured dentin side of specimens. Mixed failure can be observed ($\times 1000$)

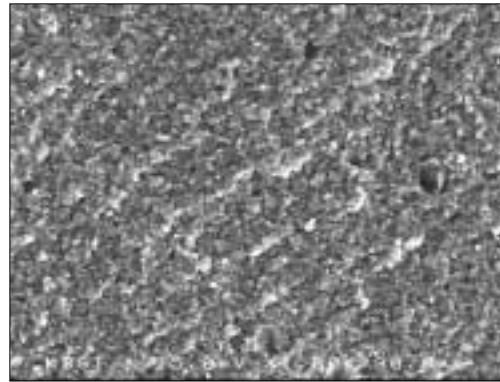


Figure 6. SEM photomicrographs of fractured dentin side of specimens. Cohesive failure in resin can be observed ($\times 1000$)

나타내었다. 접착층의 두께는 SM군은 $13.7 \mu\text{m}$ (Figure 1), NT군은 $27.5 \mu\text{m}$ 이었다 (Figure 2). TR군에서 Tetric-flow의 두께는 대략 $113 \mu\text{m}$ 로 측정되었다 (Figure 3). Figures 4~6은 미세인장결합강도 측정 후 파열된 시편 중에서 무작위로 선택된 상아질측의 파절양상을 나타낸 것으로 Figure 4는 접착성 파절, Figure 5는 혼합형 파절, Figure 6은 응집성 파절을 나타낸다.

IV. 총괄 및 고찰

복합레진의 중합수축을 조절하는 것은 성공적인 수복과정에서 매우 중요한 문제이다. 중합수축에 의한 스트레스는 접착계면에 영향을 미치기 때문에 임상적으로 중합수축은 삭제된 와동 벽에 의해 제한되어서 수축에 의한 스트레스를 유발하게 된다^{7,18}. 이러한 스트레스가 증가되면 치아계면에 인장력이 발생한다. 일반적으로 복합레진과 법랑질 계면은 안정적으로 유지되나 복합레진과 상아질 계면은 그렇지 않다⁴. 복합레진과 상아질의 결합과괴는 미세간격을 형성해서 미세누출과 슬루 민감성을 유발하게 된다¹⁹.

이러한 복합레진의 중합수축에 의한 스트레스를 해소하기 위해 “elastic cavity wall”의 개념이 도입되었고⁸, 이러한 개념에 근거한 것이 filled adhesive와 유동성 복합레진이다. filler의 중요성에 관해서는 여러 가지 의견이 존재한다. Gallo 등²⁰은 filler는 접착제의 결합력의 결정적인 요소는 아니며, filled adhesive는 unfilled adhesive와 통계학적으로 차이가 없거나 또는 더 높은 결합력을 가진다고 보고했다. Miyazaki 등²¹은 접착제 내의 적절한 수준의 filler 함량이 상아질에의 결합력을 최적화시키는데 매우 중요하다고 진술했다.

또한 낮은 점성을 가진 복합레진이 스트레스 흡수층으로

사용되어왔다. 이것은 상아질과 전통적인 복합레진 사이에서 휘어짐을 허용하여, 변연봉쇄 증가와 상아질의 결합을 더 잘 유지시키는 역할을 기대할 수 있다¹⁸. Abdalla와 Davidson²²은 중간레진 이장제를 상아질과 복합레진 사이에 적용했을 때 변연누출이 거의 0에 가까움을 보고했다. Fortin 등²³은 낮은 점성을 가진 중간레진층을 사용시 결합력이 증대되고 미세누출은 감소함을 보고했다. 또한 유동성 복합레진이 filled adhesive로 사용하도록 제안되기도 했다⁹. 그러나 최근 연구에서, Trankonberger 등²⁴은 낮은 점성의 복합레진이 접착제를 대신할 수는 없다고 보고했다.

한편, 여러 연구에서 상아질 접착은 상아질 위치의 차이와 치아의 부위에 따른 상아질의 변화에 영향을 받는다고 보고되었다²⁵⁻²⁷. Sano 등²⁸에 의해 미세인장결합강도시험이 도입되면서 작은 접착면적을 가지는 시편의 결합력을 측정할 수 있게 되었고, 따라서 이러한 미세인장결합강도 측정은 복잡한 와동의 수복물에서, 국소적인 부위에 따른 결합력을 평가하고, 임상적으로 중요한 와동 내에서의 접착에 대한 정보를 더 제공할 수 있게 되었다²⁹.

이에 본 연구에서는 filled adhesive와 유동성 복합레진이 복합레진의 상아질에 대한 결합력에 미치는 영향을 미세인장결합강도를 측정하여 평가하였다. 이번 연구에서 Schotcbond Multi-purpose (SM)군은 $18.98 \pm 3.01 \text{ MPa}$, Prime&Bond NT (NT)군은 $16.01 \pm 4.82 \text{ MPa}$, Tetric-flow (TR)군은 $17.56 \pm 3.22 \text{ MPa}$ 의 결합강도를 나타내었다. 세 군 사이에 통계학적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. 이것은 Braga 등⁵의 연구와 일치하는데, 편평한 상아질면에서는 unfilled adhesive와 filled adhesive 사이에서 차이가 나타나지 않으며, 이는 편평한 상아질 면은 중합수축으로 인한 스트레스가 최소화되기 때문이라고 보고했다. Montes 등¹⁸의 연구에서도 unfilled adhesive,

filled adhesive, 낮은 점성의 복합레진은 편평한 상아질에서 사용했을 때, 파절양상에만 차이를 보이고, 결합력에서는 차이가 나타나지 않았다. 또한 Gallo 등²⁰⁾의 연구에서 편평한 상아질에서 실험했을 때, filler의 첨가가 전단결합강도를 증가시키지 않았다. 오직 몇 연구에서만 복잡한 와동내에서의 결합력을 평가했다^{30,31)}.

이번 실험에서 NT군은 유의할 만한 차이는 아니지만 SM군에 비해 결합력의 저하를 보였고, 표준편차도 다소 크게 나타났다. Prime&Bond NT는 acetone-based adhesive이다. Acetone based adhesive는 콜라겐 섬유 사이에서 수분을 이동시킬 수 있는 친수성의 solvent이지만 남아있는 수분의 정도에 크게 영향을 받는 technique-sensitive한 접착제이다³²⁾. 상아질이 건조된 경우 acetone-based adhesive가 ethanol이나 water-based adhesive보다 결합력이 떨어진다는 보고가 있다^{33,34)}. 이번 연구에서는 시편 표면의 수분조절을 표준화시키기가 어려웠기 때문에 이것이 결합력에 영향을 준 것이라 생각된다.

파절된 시편을 입체현미경과 주사전자현미경으로 관찰하였다. 세 실험군에서 모두 혼합형 파절이 대부분을 차지했다. SM군에서는 상아질의 응집성 파절이 나타났으나 NT군과 TR군은 상아질의 응집성 파절이 나타나지 않았다. 상아질의 응집성 파절은 상아질로 휘어지는 힘이 전달되어 생기는 것으로 볼 수 있다. NT군과 TR군이 응집성 파절이 나타나지 않은 것은 filled adhesive와 유동성 복합레진이 "stress-breaker"의 역할을 했다고 생각해 볼 수 있다¹⁸⁾. Braga 등⁵⁾은 접착제의 두께는 균일하게 스트레스가 확산되는 정도와 비례하며, 결국 상아질의 응집성 파절을 예방한다고 보고한 바 있다. 또한 레진내의 응집성 파절이 TR군에서 증가된 것을 관찰할 수 있었는데, 이것은 유동성 복합레진 내에서 응집성 파절이 일어난 것이다. 이것은 100 μ m 이상의 두께를 가지는 유동성 복합레진층이 스트레스를 흡수하는 역할을 했다고 볼 수 있다. 이러한 결과는 낮은 점성의 복합레진에서 응집성 파절이 많이 나타난다는 Montes 등¹⁸⁾의 연구와도 일치했다. 또한 Reis 등³⁵⁾에 의한 연구에서, 유동성 복합레진을 이장했을 때 결합력은 개선되지 않으나 파절양상에는 영향을 준다는 결과와도 연관된다. 그러나 이번 결과는 입체현미경으로 파절양상을 분류했기 때문에 결과의 정확성을 확신할 수 없으며 또한 시편의 수가 제한되어 있기 때문에 더 많은 시편을 통한 정확한 평가가 필요하다고 생각된다.

본 연구에서는 unfilled adhesive, filled adhesive, 그리고 유동성 복합레진이 미세인장결합강도에서 차이가 없음을 알 수 있었다. 그러나 이번 연구는 편평한 상아질 면에서 시행되었기 때문에 중합수축에 의한 스트레스가 최소화된 결과이다. 그러므로 더 정확한 평가를 위해서는 C-factor를 고려한 3차원적으로 삭제된 와동에서의 연구가 필요하며,

또한 실제 임상에서의 여러 가지 다른 변수들을 고려한 더 많은 연구가 필요한 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구의 목적은 unfilled adhesive와 filled adhesive, 유동성 복합레진을 접착시스템으로 이용하여 복합레진으로 수복하였을 때, 상아질 접착제의 성상이 복합레진의 상아질에 대한 미세인장결합강도에 미치는 영향을 조사하고, 그 파절양상을 관찰하고자 하는 것이었다.

최근 발거된 건전한 9개의 치아를 3군으로 나누어, unfilled adhesive인 Scotchbond Multi-Purpose (3M Dental Products, St Paul, MN, USA)와 nanofiller가 포함되어있는 Prime&Bond NT (Dentsply Caulk, Milford, DE, USA), 유동성 복합레진인 Tetric-flow (Vivadent, Schaan, Liechtenstein)를 이용하여 각각 수복하였다. 각각의 미세인장결합강도를 측정 후 각 시편들을 입체현미경으로 관찰하여 그 파절양상을 분류하고, 주사전자현미경으로 파절면을 관찰한 바 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 미세인장결합강도를 측정한 결과, Scotchbond Multi-Purpose군은 18.98 ± 3.01 MPa, Prime&Bond NT군은 16.01 ± 4.82 MPa, Scotchbond Multi-Purpose와 Tetric-flow를 사용한 군은 17.56 ± 3.22 MPa로 측정되었다. 세 군 사이에는 유의성이 있는 차이가 없었다 ($P > 0.05$).
2. 파절양상을 관찰한 결과, 세 실험군 모두 혼합형 파절이 대부분이었다. Tetric-flow를 사용한 군은 다른 군에 비해 레진의 응집성 파절이 많이 나타났다.

이상의 결과를 토대로, filled adhesive나 유동성 복합레진이 복합레진의 상아질에 대한 미세인장결합강도에 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 그러나 이번 연구는 중합수축의 스트레스가 최소화되는 편평한 상아질에서의 연구이므로, C-factor가 존재하는 와동에서의 연구가 필요함을 알 수 있었다.

References

1. Carvalho RM, Pereira JC, Yoshiyama M, Pashley DH. A review of polymerization contraction: the influence of stress development versus stress relief. *Oper Dent* 21(1):17-24, 1996.
2. Perdigao J, Lambrechts P, Van Meerbeek B, Braem M, Yildiz E, Yucel T, Vanherle G. The interaction of adhesive systems with human dentin. *Am J Dent* 9(4):167-173, 1996.
3. Swift EJ Jr, Perdigao J, Heymann HO. Bonding to enamel and dentin: a brief history and state of the art, 1995. *Quintessence Int* 26(2):95-110, 1995.

4. Davidson CL, de Gee AJ, Feilzer A. The competition between the composite-dentin bond strength and the polymerization contraction stress. *J Dent Res* 63(12):1396-1399, 1984.
5. Braga RR, Cesar PF, Gonzaga CC. Tensile bond strength of filled and unfilled adhesives to dentin. *Am J Dent* 13(2):73-76, 2000.
6. Kemp-Scholte CM, Davidson CL. Marginal sealing of curing contraction gaps in Class V composite resin restorations. *J Dent Res* 67(5):841-845, 1988.
7. Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL. Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res* 66(11):1636-1639, 1987.
8. Kemp-Scholte CM, Davidson CL. Complete marginal seal of Class V resin composite restorations effected by increased flexibility. *J Dent Res* 69(6):1240-1243, 1990.
9. Unterbrink GL, Liebenberg WH. Flowable resin composites as "filled adhesives": literature review and clinical recommendations. *Quintessence Int* 30(4):249-57, 1999.
10. Swift EJ Jr, Triolo PT Jr, Barkmeier WW, Bird JL, Bounds SJ. Effect of low-viscosity resins on the performance of dental adhesives. *Am J Dent* 9(3):100-104, 1996.
11. Van Meerbeek B, Willems G, Celis JP, Roos JR, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Assessment by nano-indentation of the hardness and elasticity of the resin-dentin bonding area. *J Dent Res* 72(10):1434-1442, 1993.
12. Labella R, Lambrechts P, Van Meerbeek B, Vanherle G. Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composites and filled adhesives. *Dent Mater* 15(2):128-137, 1999.
13. Tani C, Itoh K, Hisamitsu H, Wakumoto S. Effect of filler content on bonding efficacy of 4-META MMA/TBB bonding agent. *Dent Mater J* 13(2):131-37, 1994.
14. Nakabayashi N. Dentinal bonding mechanisms. *Quintessence Int*. 1991 Feb;22(2):73-4.
15. Kanca J. Effect of resin primer solvents and surface wetness on resin composite bond strength to dentin. *Am J Dent* 5(4):213-215, 1992.
16. Bayne SC, Thompson JY, Swift EJ Jr, Stamatiades P, Wilkerson M. A characterization of first-generation flowable composites. *J Am Dent Assoc* 129(5):567-577, 1998.
17. Rada RE. The versatility of flowable composites. *Dent Today*. 1998 Apr;17(4):78-83.
18. Montes MA, de Goes MF, da Cunha MR, Soares AB. A morphological and tensile bond strength evaluation of an unfilled adhesive with low-viscosity composites and a filled adhesive in one and two coats. *J Dent* 29(6):435-441, 2001.
19. Eick JD, Welch FH. Polymerization shrinkage of posterior composite resins and its possible influence on post-operative sensitivity. *Quintessence Int* 17(2):103-111, 1986.
20. Gallo JR, Comeaux R, Haines B, Xu X, Burgess JO. Shear bond strength of four filled dentin bonding systems. *Oper Dent* 26(1):44-47, 2001.
21. Miyazaki M, Ando S, Hinoura K, Onose H, Moore BK. Influence of filler addition to bonding agents on shear bond strength to bovine dentin. *Dent Mater* 11(4):234-238, 1995.
22. Abdalla AI, Davidson CL. Shear bond strength and microleakage of new dentin bonding systems. *Am J Dent* 6(6):295-298, 1993.
23. Fortin D, Swift EJ Jr, Denehy GE, Reinhardt JW. Bond strength and microleakage of current dentin adhesives. *Dent Mater* 10(4):253-258, 1994.
24. Frankenberger R, Lopes M, Perdigao J, Ambrose WW, Rosa BT. The use of flowable composites as filled adhesives. *Dent Mater* 18(3):227-238, 2002.
25. Giannini M, Carvalho RM, Martins LR, Dias CT, Pashley DH. The influence of tubule density and area of solid dentin on bond strength of two adhesive systems to dentin. *J Adhes Dent* 3(4):315-324, 2001.
26. Marshall GW Jr, Marshall SJ, Kinney JH, Balooch M. The dentin substrate: structure and properties related to bonding. *J Dent* 25(6):441-458, 1997.
27. Phrukkanon S, Burrow MF, Tyas MJ. The effect of dentine location and tubule orientation on the bond strengths between resin and dentine. *J Dent* 27(4):265-274, 1999.
28. Sano H, Shono T, Sonoda H, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho R, Pashley DH. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength—evaluation of a micro-tensile bond test. *Dent Mater* 10(4):236-240, 1994.
29. Phrukkanon S, Burrow MF, Tyas MJ. The influence of cross-sectional shape and surface area on the microtensile bond test. *Dent Mater* 14(3):212-221, 1998.
30. Armstrong SR, Keller JC, Boyer DB. The influence of water storage and C-factor on the dentin-resin composite microtensile bond strength and debond pathway utilizing a filled and unfilled adhesive resin. *Dent Mater* 17(3):268-276, 2001.
31. Bouillaguet S, Ciucchi B, Jacoby T, Wataha JC, Pashley D. Bonding characteristics to dentin walls of class II cavities, in vitro. *Dent Mater* 17(4):316-321, 2001.
32. Nunes MF, Swift EJ, Perdigao J. Effects of adhesive composition on microtensile bond strength to human dentin. *Am J Dent* 14(6):340-343, 2001.
33. Perdigao J, Swift EJ Jr, Gomes G, Lopes GC. Bond strengths of new simplified dentin-enamel adhesives. *Am J Dent* 12(6):286-290, 1999.
34. Kanca J 3rd. One step bond strength to enamel and dentin. *Am J Dent* 10(1):5-8, 1997.
35. Figueiredo Reis A, Giannini M, Ambrosano GM, Chan DC. The effects of filling techniques and a low-viscosity composite liner on bond strength to class II cavities. *J Dent* 31(1):59-66, 2003.