

상아질접착제에 대한 광조사가 접착에 미치는 영향

류현욱 · 김기옥 · 김성교

경북대학교 치과대학 치과보존학교실

ABSTRACT

INFLUENCE OF LIGHT IRRADIATION OVER SELF-PRIMING ADHESIVE ON DENTIN BONDING

Hyun-Wook Ryu, Ki-Ok Kim, Sung-Kyo Kim

*Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry
Kyungpook National University, Taegu, Korea*

The purpose of this study was to investigate the influence of light irradiation over self-priming adhesive on dentin bonding. After acid etching the exposed dentin, a self-priming adhesive (Prime&Bond[®]NT dental adhesive system, Dentsply DeTrey, GmbH, Konstanz, Germany) was applied and light irradiation was done for 20 sec with regular intensity (600 mW/cm²) in group I and for 3 sec with ultra-high intensity (1930 mW/cm²) in group III. No light irradiation was done over self-priming adhesive in groups II and IV. Composite resin was added on the self-priming adhesive and irradiated for 40 sec with regular intensity (600 mW/cm²) in groups I and II and for 3 sec with ultra-high intensity (1930 mW/cm²) in groups III and IV.

To see the effect of light curing time on dentin bonding, another 3 group specimens were prepared. Without light-irradiation over self-priming adhesive, added composite resin was irradiated for 3, 6, or 12 sec with ultra-high intensity light.

After bonded specimens were stored in 37°C distilled water for 24 hours, shear bond strength were measured using a universal testing machine (4202, Instron, Instron Co., U.S.A.) and fractured surfaces were examined under a stereomicroscope (SZ-PT Olympus, Japan). Statistical analysis were done with one-way, two-way ANOVA and chi-square test.

The results were as follows:

1. The shear bond strengths from the groups irradiated over self-priming adhesive were significantly higher than those from the groups without irradiation ($p < 0.05$).
2. There was no significant shear bond strength difference between regular intensity light irradiation groups and ultra-high intensity ones ($p > 0.05$).
3. There was no significant shear bond strength difference among various irradiation time groups with ultra-high intensity ones ($p > 0.05$).
4. In stereomicroscopic examination of fractured surfaces, adhesive-cohesive mixed failure mode was mostly seen in all groups, and there was no significant difference in failure mode among groups ($p > 0.05$).

Key words : Light irradiation, Self-priming adhesive, Dentin bonding, Shear bond strength

I. 서 론

수복물과 치아의 완전한 결합을 위한 많은 연구가 있었으나 현재까지도 수복물과 치아를 완전하게 접착시키는 재료 및 방법은 개발되어 있지 않다. 최근 임상적으로 널리 쓰이고 있는 심미-접착성 수복재료인 복합레진 수복법이 갖는 큰 이점 중의 하나는 치질에 대한 접착성능을 이용한다는 점이다^{1,2)}. 레진 수복물의 접착에는 중합 시 발생하는 수축, 치아와 수복물 간의 열 팽창계수의 차이, 그리고 저작시 발생하는 응력 등^{3,5)}이 영향을 미칠 수 있으며, 중합시 발생하는 수축은 접착제의 접착강도, 수복재료의 탄성계수, 필러의 형태, 크기 및 함량, 와동의 형태, 조사광의 강도, 그리고 중합시간 등⁶⁻¹¹⁾에 의해 영향을 받을 수 있다.

레진 수복에 사용하는 상아질접착제는 일반적으로 상아질 표면의 도말층을 제거하여 상아세관을 개방하고 표층 상아질을 탈회시키는 전처리제, 탈회된 관주상아질과 관간상아질 사이사이로 침투해 상아질 표면을 접착에 유리한 성상으로 개선시키는 접착강화제 (primer), 그리고 접착강화제를 따라 상아질 표층에 침투하여 중합 경화되는 접착레진 등으로 구성되어 있다. 자가중합 방식의 접착레진은 체온에 의해 상대적으로 온도가 높은 상아질에서 중합이 개시되는 이론적인 장점이 있으나 중합이 느리다는 단점을 가진다¹²⁾. 광중합 방식의 접착레진은 적절한 광조사에 의해 단시간에 경화되므로 안정적인 접착레진층이 형성되어 레진-상아질의 접착을 안정시키는 역할을 한다¹³⁻¹⁵⁾.

상아질 표층과 상아세관 속으로 침투한 접착레진이 중합 경화되어 얻어진 혼성층은 접착레진층을 안정화시키며¹⁶⁾ 접착레진층은 상부의 수복레진의 중합시 발생하는 수축응력을 완화시키는 완충작용을 하여 레진-상아질 접착을 견고하게 한다. Kemp-Scholte와 Davidson¹⁷⁾은 접착레진 층이 상아질과 레진 사이에서 완충역할을 함으로써 수복레진의 중합수축에 의한 응력을 보상하고 레진-상아질 접착의 유지에 기여한다고 주장하였고, Choi 등¹⁸⁾은 이러한 접착제 층의 두께를 증가시킬수록 수축응력을 감소시킬 수 있다고 보고하였다.

자가중합형 복합레진에 비해 많은 임상적인 장점을 가지는 광중합 복합레진의 개발로 작업시간은 최대화하면서 중합시간은 최소화 할 수 있게 되었으나, 광중합형 복합레진이 자가중합형 복합레진에 비해 중합수축응력이 크고 유동성이 낮으므로 이를 보완하기 위한 다양한 중합방법들이 연구되어졌다. 즉 중합광의 강도를 저하시켜 중합반응을 지연시킴으로써 레진 내부에서 점성흐름이 일어나는 시간을 연장시키는 방법들로서 저광도로 장시간 중합하는 방법^{19,21)}, 저광도에서 고광도로 서서히 광도를 증가시키며 중합하는 방법²²⁾, 저광도에서 초기 중합 후 고광도로 최종 중합하는

방법^{23,24)}, 그리고 저광도로 단시간에 초기중합 후 일정시간 지연과정을 거치고 나서 고광도로 최종 중합하는 방법²⁵⁻²⁷⁾ 등이 보고되었다.

복합레진을 이용한 접착수복처치는 시술과정에 따라서 그 접착성능이 크게 영향을 받는다. 김 등²⁸⁾은 상아질 접착과정에서 일어날 수 있는 오염이 접착강도에 미치는 영향을 연구하여 오염은 상아질접착을 현저히 저하시킨다고 하였고, 특히 접착강화제 적용후의 오염이 접착강도에 가장 큰 영향을 미쳤다고 보고하였다. 오염을 피하기 위한 방법으로 레진수복 치료의 소요시간을 단축시키는 방법을 고려할 수 있다. 접착시키는 과정을 단순화시켜 임상적 편의성을 얻기 위해 접착강화제와 레진접착제 도포를 동시에 시행하게 한 self-priming형 상아질접착제²⁹⁾가 소개되었고, 상아질 전처리과정까지도 동시에 시행하게 한 self-etching primer형 상아질접착제³⁰⁾도 소개되었다.

레진 중합을 위한 광조사시간 단축에 관한 연구도 보고되었는데, 최근에는, 중합반응에 소요되는 시간을 극소화함으로써 단량체가 고분자 중합체로 전환될 때 분자들이 공간적으로 재구성되는 것을 억제하여 중합수축을 감소시킨다는 개념³¹⁾을 가진 플라즈마 광 중합법이 소개되고 있다. Venhoven과 Rezende^{32,33)}는 할로겐 광 중합기와 플라즈마 광 중합기로 복합레진을 중합시키는 실험을 통해 중합수축량과 중합수축응력을 측정한 결과, 플라즈마 광 중합법에서 낮은 계층치를 나타내었으나 통계적인 유의치는 없었다고 보고하였다. 한편 박³⁴⁾은 1930 mW/cm²의 광도로 3초간 광조사 한 군이 600 mW/cm²의 보통광도로 30초간 광조사한 군이나 300 mW/cm²의 저광도로 60초간 광조사한 군에 비해 치질과 복합레진 수복물 사이의 접착면에 유의하게 높은 색소 침투도를 보였음을 보고하였다. 초고광도 중합법에 관한 논란에도 불구하고 최근 초고광도 중합법은 극히 단시간에 중합이 가능하여 시술시간을 줄일 수 있다는 장점으로 인해 임상에서의 사용이 시도되고 있다.

그리고 복합레진 수복치료에서 접착과정을 단순화시켜 시술시의 실수를 최소화하기 위한 접착강화제와 접착레진의 시스템에 관한 연구 및 단기 광조사 방식에 대한 연구³⁵⁻³⁷⁾가 있었다. 따라서 단일용기 시스템에서 접착레진을 중합시키기 위한 접착과정을 보다 단순화시키기 위한 연구는 상기의 같은 맥락에서 의미가 있을 것이다.

본 연구에서는 산 처리된 우치 상아질표면을 이용한 레진-상아질 접착과정에서 초고광도 광조사법을 이용한 경우 상아질접착제 및 상부 레진수복체에 대한 일괄중합의 가능성 및 그 접착성능에 어떠한 차이를 나타내는지를 평가하여 소기의 결과를 얻었으므로 이에 보고하는 바이다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 재료 및 기구

도살직후 발거하여 냉동 보관한 소의 전치 120개를 실험 직전에 해동시켜 본 실험에 사용하였다. 충전용 복합레진으로는 하이브리드형의 Spectrum™ TPH (Dentsply DeTrey GmbH, Germany)의 A2 shade를, 상아질접착제로는 self-priming형인 Prime&Bond®NT (Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Germany)를 사용하였다. 광증합기로는 600 mW/cm²의 일반광도를 내는 Spectrum™800 (Dentsply De Trey GmbH, Konstanz, Germany)과 1930 mW/cm²의 초고광도를 낼 수 있는 플라즈마 아크 방식의 Apollo™95E (DMD, Westlake, U.S.A.)를 사용하였다.

2. 시편제작

내경 3 cm, 깊이 1.5 cm의 금속원형 몰드 내 정중앙에 치아의 순면을 위치시킨 후 자가중합형 아크릴 레진을 주입하여 경화시켰다. 아크릴 레진 내에 포매된 범랑질을 경조직 연마기를 이용하여 연마하여 직경 3 mm 이상의 상아질 평활 면이 노출되도록 한 후 600번 및 800번 silicone carbide paper로 주수하에서 상아질 표면을 연마하였다.

상아질접착제에 대한 광조사 여부 및 조사광도에 따른 접착실험

80개의 치아를 무작위로 Table 1과 같이 20개씩 4개 군으로 분류하여 실험하였다. 산 부식제 (36 % 인산, Detrey® conditioner 36 etching gel)를 상아질 면에 도포하고 15초간 경과 한 후 15초간 수세하였다. 상아질 면을 면구 (cotton ball)로 blot dry시킨 후, 충분한 양의 자가접착강화제접착제를 적용하고 20초경과 시켰다. 주사기를 이용하여 조심스럽게 5초간 건조한 다음 I 군은 일반광도 광조사기로 20초간 조사하였고 III군은 초고광도로 3초간 광조사하였으나 II군과 IV군은 광조사 과정을 생략하였다. 그 위

Table 1. Light irradiation modes over dentin adhesive and over composite resin

Group	Dentin adhesive	Composite resin
I	600 mW/cm ² for 20 sec	600 mW/cm ² for 40 sec
II	None	600 mW/cm ² for 40 sec
III	1930 mW/cm ² for 3 sec	1930 mW/cm ² for 3 sec
IV	None	1930 mW/cm ² for 3 sec

에 두께 2 mm의 mold를 이용하여 복합레진을 충전하였다. 이때 제 I, II군은 보통광도로 40초간 광조사하였고 제 III, IV군은 초고광도로 3초간 광조사하였다.

상아질접착제에 대한 광조사 생략시 복합레진에 대한 초고광도 광조사 시간에 따른 접착실험

Table 2와 같이 각 군당 20개씩 3군으로 나누어 실험하였다. 상기 실험에서와 같이 상아질 면을 산 부식 처리하고 자가 접착강화제접착제를 적용하였으며 상기 제 IV군에서와 같이 상아질접착제에 대한 광조사는 생략하고 mold를 이용하여 복합레진을 충전 후 초고광도로 광조사 하였다. 이때 A군은 3초간, B군은 6초간, 그리고 C군은 12초간 광조사하였다. 제작된 시편은 증류수에 담그어 37도 항온조에서 24시간 동안 보관하였다.

3. 전단접착강도의 측정

제작, 보관된 시편을 만능시험기 (4202, Instron, Instron Co., U.S.A.)에서 load cell 100 kgf, cross head speed 0.5 mm/min으로 전단접착강도를 측정하였다.

4. 파단양상의 관찰

전단결합강도를 측정한 각 시편의 상아질-접착제-복합레진의 파단양상을 입체현미경 하에서 관찰하였으며 파단양상에 따라 부착성, 응집성, 부착-응집혼합성 파괴로 분류하여 기록하였다.

5. 실험결과의 통계적 분석

상아질접착제에 대한 광조사 여부 및 조사광도에 따른 전단접착강도는 이원변량 분석법 (two-way ANOVA)을 이용하여 비교 분석하였으며 초고광도 광조사시간에 따른 전단접착강도는 일원변량 분석법을 사용하고, 파단양상은 chi-square test를 이용하여 비교, 분석하였다.

Table 2. Light irradiation modes over composite resin with ultra-high intensity light (1930 mW/cm²)

Group	Irradiation time
A	3 sec
B	6 sec
C	12 sec

Ⅲ. 실험성적

1. 상아질접착제에 대한 광조사 여부 및 조사광도에 따른 접착

1) 전단접착강도

측정된 각 군의 전단접착강도의 평균치와 표준편차는 Table 3과 같이 나타났다. 상아질접착제를 도포한 후 일반광도 광조사기로 광조사하고 레진 충전 후 다시 광조사한 I 군에서 전단결합강도가 $11.53 \pm 1.96\text{MPa}$ 로 가장 높게 나타났고, 상아질접착제에 대한 광조사과정을 생략하고 레진 충전 후 일반광도로 광조사한 II 군에서는 전단접착강도가 $8.98 \pm 1.35\text{MPa}$ 로 가장 낮게 나타났으며, 상아질접착제를 도포한 후 초고광도 광조사기로 광조사하고 레진 충전 후 다시 초고광도 광조사기로 광조사한 III 군에서는 전단접착강도가 $10.38 \pm 1.49\text{MPa}$ 로 나타났고, 상아질접착제에 대한 광조사과정을 생략하고 레진 충전 후 초고광도 광조사기로 3초간 광조사한 IV 군에서는 전단접착강도가 $9.48 \pm 1.70\text{MPa}$ 로 나타났다.

이를 통계적으로 비교, 분석한 바, 상아질접착제에 대한 광조사 과정을 시행한 I, III 군이 이 과정을 생략한 II, IV 군에 비해 유의하게 높은 전단접착강도를 나타내었다 ($p < 0.05$). 그러나 일반광도 및 초고광도의 광도에 따른 접착강도에는 유의한 차이가 나타나지 않았다 ($p > 0.05$) (Fig. 1).

Table 3. Shear bond strength (MPa) of groups with and without irradiation over self-priming adhesive

Group	n	Mean	S.D.
I	20	11.53	1.96
II	20	8.98	1.35
III	20	10.38	1.49
IV	20	9.48	1.70

Table 4. Number of specimens with each failure modes in groups with and without irradiation over self-priming adhesive

Group	n	Adhesive	Mixed
I	20	7	13
II	20	10	10
III	20	5	15
IV	20	6	14

2) 파단양상

상아질-접착제-복합레진 시편의 파단양상은 Table 4에 나타나있다. 상아질과 복합레진 계면간에 파괴양상중 부착성 파단은 I 군에서 7개, II 군에서 10개, III 군에서 5개, 그리고 IV 군에서 6개가 나타났으며 혼합성 파단은 I 군에서 13개, II 군에서 10개, III 군에서 15개, 그리고 IV 군에서 14개가 나타났으나 각 군간에 통계적 유의차는 없었다.

2. 상아질접착제에 대한 광조사 생략시 복합레진에 대한 초고광도 광조사 시간에 따른 접착

1) 전단접착강도

측정된 각 군의 전단접착강도의 평균치와 표준편차는 Table 5와 같이 나타났다. 상아질접착제를 도포한 후 광조사 과정을 생략하고 레진 충전 후 초고광도로 3초간 광조사한 A 군에서는 전단접착강도가 $9.48 \pm 1.70\text{MPa}$ 로 나타났으며 6초간 광조사한 B 군에서는 $10.04 \pm 1.66\text{MPa}$, 그리고 12초간 광조사한 C 군에서는 $10.46 \pm 1.44\text{MPa}$ 로 나타났다. 초고광도로 광조사한 경우에 조사시간이 길수록 전단결합강도가 증가하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의한 차이를 나타내지는 않았다 ($p > 0.05$) (Fig. 2).

2) 파단양상

상아질-접착제-복합레진 시편의 파단양상은 Table 6에 기록되어 있다. 상아질과 복합레진 계면간에 파괴양상중

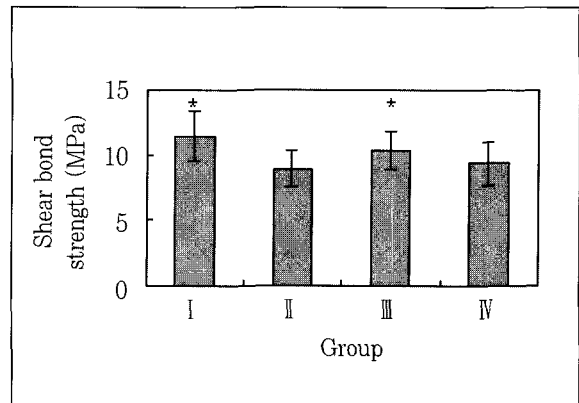


Fig. 1. Shear bond strength of groups with and without irradiation over self-priming adhesive. The results are expressed as the mean \pm S.D. n=20 each. * Significance of difference between groups of irradiation over self-priming adhesive (I, III) and groups without irradiation (II, IV) ($p < 0.05$) as tested with two-way ANOVA.

Table 5. Shear bond strength (MPa) of groups with different irradiation time with ultra-high intensity light (1930 mW/cm²) over composite resin when no irradiation was done over self-priming adhesive.

Group	Irradiation time	n	Mean	S.D.
A	3 sec	20	9.48	1.70
B	6 sec	20	10.04	1.66
C	12 sec	20	10.46	1.44

Table 6. Number of specimens with each type of failure modes in groups with different irradiation time with ultra-high intensity light (1930 mW/cm²) over composite resin when no irradiation was done over self-priming adhesive

Group	Irradiation time	n	Adhesive	Mixed
A	3 sec	20	6	14
B	6 sec	20	5	15
C	12 sec	20	5	15

부착성 파단은 A군에서 6개, B군에서 5개, 그리고 C군은 5개가 나타났으며, 혼합성 파단은 A군에서 14개, B군에서 15개, 그리고 C군에서 15개가 나타났으나, 각 군간에 통계적 유의차는 없었다.

IV. 고 찰

상아질과 수복레진 간의 강한 접착은 복합레진 수복의 성공을 위해 매우 중요하며 이러한 상아질 접착을 위해서는 상아질 표면의 삭제에 따른 성상의 변화와 상아질 자체의 생물학적 특성이 충분히 고려되어야 할 뿐 아니라 상아질 표면 내지는 접착계면에서 접착성능을 적절히 발휘할 수 있는 물리 화학적 성질을 갖춘 접착재료를 필요로 한다.

레진-상아질의 접착은 도말층을 제거하여 상아세관을 개방하고 표층 상아질을 탈회시키기 위한 상아질의 산 처리³⁶⁾, 탈회된 상아질 내로 침투하여 상아질 표면을 접착에 용이한 성상으로 개선시키는 양극성 접착강화제의 도포, 그리고 접착강화제를 따라 상아질 표층에 침투하여 중합되므로써 복합레진과 상아질 면 사이에 혼화층을 형성하는 접착레진의 적용 순으로 이루어지는데 이는 상아질 접착시스템의 기본이 된다^{16,39)}. 따라서 최근의 접착제들은 상아질의 산 처리에 의한 교원질 섬유질의 풍부한 노출과 함께 습윤성이 좋은 접착강화제를 이용하여 접착레진이 잘 침투된 안정된 혼화층을 얻는데 초점이 맞추어지고 있다^{40,41)}.

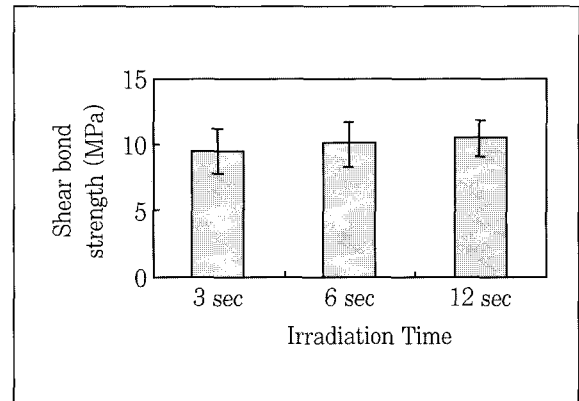


Fig. 2. Shear bond strength of groups with different irradiation time with ultra-high intensity light (1930 mW/cm²) over composite resin when no irradiation was done over self-priming adhesive. The results are expressed as the mean±S.D. n=20 each. There was no significant difference among groups (p>0.05) as tested with one-way ANOVA.

본 연구에서는 상아질접착제에 대한 광조사과정을 시행한 군이 이 과정을 생략한 군에 비해 높은 접착강도를 나타내었다. 이는 중합에 의해 레진-상아질 접착이 안정화되면 상부에 수복되는 수복레진의 중합수축시 일어나는 응력에 저항할 수 있다는 설명으로 해석된다. 따라서 접착레진을 미리 중합시키면 상아질 표면 및 상아세관 속으로 레진이 확장되어 형성된 혼성층이 안정화되므로 수복레진의 중합 수축 응력에 저항할 수 있어 레진-상아질 접착을 유지한다고 볼 수 있다¹³⁻¹⁵⁾.

접착레진에 함유되는 필러의 양이 증가 될수록 혼성층이 강화되고 중합수축이 줄어들므로 접착력을 증가시키는 역할을 하나 어느 정도 이상에서는 강성 (stiffness)이 증가하여 혼성층 형성을 방해한다⁴²⁾. 접착레진의 강성은 중합수축 응력을 보상하는 큰 역할을 하는데 강성은 탄성 (elasticity)의 Young's modulus로 정량화 되며 이는 탄성변형에 저항할 수 있는 정도를 나타내는 것으로 영의 계수가 낮을수록 탄성은 커져 잔존 수축 응력을 감소시킬 수 있다⁴³⁾. 접도가 높은 접착레진은 강성이 큰 상아질 와동벽과 수축이 일어나는 충전레진 사이에서 비교적 두꺼운 레진층을 형성하므로 낮은 Young's modulus를 가진 접착레진을 사용하여 이 중간층을 얇게 한다면 충전레진 중합시 발생하는 응력을 완화하는 충분한 탄성을 얻을 수 있다고 하였다⁴⁴⁻⁴⁶⁾. 이 이론을 기초로 탄성접착개념 (elastic bonding concept)이 발전하였다. Moon과 Chang⁴⁷⁾은 접착레진층의 두께가 125µm일 때 수축응력을 상아질 접착력 이하로 감소

시켜 접착이 유지되게 한다고 하였다. Meerbeek 등⁴⁸⁾은 탄력 있는 중간층은 온도변화, 수분의 침투 및 교합력 등에 의한 응력도 더 잘 분배, 전달한다고 하였고, Hansen과 Swift¹⁵⁾는 Gluma[®] (Heraeus Kulzer, Dormagen, Germany) 접착레진을 수복레진 적용 전에 미리 중합시켜 놓은 경우에서 중합시키지 않은 경우에서보다 낮은 미세누출을 보였다고 하였다.

본 실험에서는 8% 미만의 필러를 포함한 접착레진을 이용하였는데 Gallo 등⁴⁹⁾은 필러가 함유된 네 가지 접착레진과 필러가 포함되지 않은 접착레진을 비교한 결과 전단접착강도에서 유의성이 없었다고 보고하였다.

레진-상아질 계면에서 중합이 시작되었을 때 레진의 수축 방향은 와동 벽에서 멀어지는 것보다는 와동 벽을 향하는 것이 접착에 유리하다. 광중합형 레진의 경우 수축이 광조사 방향으로 일어나며 자가중합형 레진의 경우 중합수축이 레진 가운데 방향으로 일어나지만, 광중합형과 자가중합형 모두 레진 상아질 경계면 인 와동 벽으로부터 복합레진을 바깥 방향으로 끌어당기는 인장 응력이 발생한다고 하였다⁵⁰⁾.

본 연구에서는 상아질접착제를 미리 광조사한 경우는 수복레진을 적용하기 전에 이미 접착레진이 어느 정도 중합되었을 것이므로 상아질접착제에 대한 광조사를 시행하지 않고 수복레진을 광조사한 경우에 비해 와동 바깥으로 당기는 인장응력에 대한 저항이 컸을 것으로 본다. 한편 Versluis 등⁵¹⁾은 광조사 방향으로 수축이 일어난다는 이론과는 반대로 중합수축방향은 광조사 방향에 영향을 받지 않고 대신 와동의 모양과 접착의 질이 중합수축 방향의 벡터에 영향을 미친다고 하였다. Fuzayama¹²⁾는 체온에 의해 화학반응이 가속되므로 상아질면쪽에서 자가중합형 레진의 초기경화가 시작되므로 수복물의 수축이 와동벽쪽으로 일어난다고 하였으나, Perdigo 등⁵²⁾은 자가중합형과 광중합형 레진접착제의 변연간극을 조사한 결과 별 차이가 없이 나타났으며 자가중합형이 응력완화에 직접적인 장점을 가지지는 않는다고 하였다. 광중합형 레진에서는 광조사에 먼저 노출되는 표면에서부터 중합이 시작되므로 유동성에 의한 응력완화는 상당히 감소되어 레진-상아질 접착면에서 레진이 수축된 틈이 생기는데 이런 문제를 줄이기 위해 일정 두께로 한 층씩 중합시켜 가는 점층법이 사용되어졌다. 이 점층법으로 깊은 부분의 많은 양의 레진을 동시에 중합시킬 때 당면하는 광투과 깊이의 한계를 극복할 수 있게 되었으나⁵³⁻⁵⁵⁾ 복합레진 수축응력을 완화한다는 이론에는 아직 논란이 많은 실정이다⁵⁶⁾.

어떤 접착시스템들은 상아질표면에서 화학적 중합이 개시되도록 디자인되어졌다^{57,58)}. Gluma[®] 2000 (Heraeus Kulzer, Dormagen, Germany) 시스템은 글라이신 형태의 아민 촉매시스템이 상아질 표면에 침투해 교원질과 화학결합을 형성하고⁵⁹⁾ 캄퍼퀴논은 또 다른 촉매시스템의 한 부

분으로 접착레진에 포함된 HEMA와 bis-GMA와 같은 메타아크릴 단량체들을 선택하므로 중합은 접착계면에서 시작될 것으로 예상되어졌다. 이런 단순화된 전처치 기술이 상아질과 법랑질 모두에서 변연간극을 줄임으로서 매우 효과적인 것으로 증명되어졌으나 몇몇 아미노산을 사용한 다른 보고들은 정반대의 결과를 나타내었다^{60,62)}.

본 연구에서 상아질접착제의 중합을 위한 광조사 과정을 시행한 군들이 광조사를 시행하지 않은 군들에 비해 유의성 있게 높은 전단접착강도를 나타내었다. 따라서 접착레진의 중합을 위한 광조사 과정이 접착에 중요한 역할을 한 것으로 나타났다. 이는 경화되어 있지 않은 접착레진은 수복레진 적용 시에 이탈 될 수 있으며, 또한 접착레진이 중합되지 않은 상태에서 광중합에 의해 수복레진과 함께 경화가 일어나게 되면 수복레진 쪽에서 먼저 중합반응이 일어나므로 접착레진층이 치질과 수복레진 사이에서 중합수축 응력을 완화시키는 완충역할¹⁷⁾을 할 수 없을 것이기 때문에 사료된다.

전단결합강도를 측정된 각 시편의 파단은 Table 4에 나타난 바와 같이 상아질접착제의 중합을 위한 광조사 과정을 시행한 군들에서 광조사를 시행하지 않은 군들에 비해 부착-응집의 혼합성 파단양상을 많이 나타내었는데 이는 접착강도가 클수록 혼합성 파단양상이 부착성 파단양상보다 많이 나타난다고 해석할 수 있다. 이와 관계하여 장과 김⁶³⁾은 접착강도가 클수록 응집파괴 양상이 많이 나타나는 경향을 보인다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 응집성 파단양상은 관찰되지 않았다.

복합레진의 단량체가 고분자화 되는 중합반응 초기에는 레진 내부에서 흐름이 일어나 와동 벽에 접착되어 있지 않은 부위의 분자들이 다른 위치로 이동하거나 배열을 바꿀 수 있어 중합수축 응력이 완화될 수 있으나 중합반응이 진행되면서 유동성이 감소하고 복합레진의 강성이 증가하면 중합수축 응력도 증가하게 된다. 따라서 중합광의 강도를 저하시켜 중합반응을 지연시킴으로써 레진 내부에서 점성이 일어나는 시간을 연장시키는 방법을 통하여 잔류 변형률이 적은 복합레진을 만들려는 연구들이 진행되었다¹⁹⁻²⁷⁾.

최근 소개되고 있는 초고광도 중합법은 아르곤 레이저를 이용한 방법과 플라즈마 아크 램프를 이용한 방법이 있는데, 그 중 플라즈마 아크 방식을 이용한 중합기는 1930 mW/cm²의 출력을 내는 Apollo[™]95E (DMD, Westlake, U. S. A.), 2040 mW/cm²의 출력을 내는 Virtuoso (Den-Mat, U. S. A.), 그리고 1600 mW/cm²의 출력을 내는 Wavelight (Schein, U. S. A.) 등이 있다. 본 연구에서는 플라즈마 아크 방식의 광중합기로 Apollo[™]95E light curing unit를 사용하였는데, 이 중합기는 1930 mW/cm²의 출력으로 1초, 2초, 또는 3초간 광조사하는 연속출력방식과 1280 mW/cm²의 출력으로 2초간 조사 후, 자동적으

로 1900 mW/cm²로 출력이 증가하여 6초간 조사되는 계단식 출력방식을 가지고 있다. Tarle 등³¹⁾은 플라즈마를 근원으로 한 급속한 중합이 중합분자들의 재구성을 억제함으로써 수축의 발생률을 줄여주고 수복물에서 응력을 감소시킨다고 하였다.

본 연구에서 접착레진의 중합을 위하여 일반광도 중합법으로 광조사한 I, II 군에서 초고광도 광중합법으로 광중합한 III, IV 군보다 상아질에 대한 전단결합강도가 높게 나타났으나 통계적으로 유의성은 없었다. CRA 보고⁶⁴⁾에 의하면 할로겐 램프, 레이저, 그리고 플라즈마 방식의 중합기를 사용하여 복합레진을 중합시킨 결과, 광조사 방식의 차이는 복합레진의 중합수축과 변연에서의 응력수준에 유의한 영향을 미치지 않았다고 하였다.

Ruyter와 Oysaed⁶⁵⁾는 광조사 시간의 증가는 중합깊이와 중합률에 영향을 미친다고 하였는데 광조사 시간이 길어지면 중합을 개시하는 자유라디칼을 형성하는 빛이 많이 도달하고, 중합률이 증가함으로써 수복물의 깊은 부위에서 경도가 증가한다고 하였다. Cook⁶⁶⁾은 광중합 레진의 중합깊이는 광강도 및 시간에 영향을 받으며, 2 mm 이상의 두께를 갖는 수복물에서 10배 이상의 광조사 시간이 필요하다고 보고하였다. Young 등⁶⁷⁾은 광조사 후에도 지속적인 중합이 일어남으로써 광중합형 치면열구 전색제의 경우, 3개월까지 미세경도가 증가한다고 하였으나, Stilwater와 Louka⁶⁸⁾는 중합 1일 후의 경도는 7일 후의 경도와 유의한 차이가 없었다고 보고하였다. 김 등⁶⁹⁾은 광조사 시간이 증가함에 따라 중합률이 증가하였으나 Z-100 (3M, St. Paul, U. S. A.)은 4 mm, Charisma (Kulzer, GmbH, Germany)는 3 mm 이상에서 광조사 시간에 관계없이 중합률에 유의한 차이가 없었다고 하였다.

본 연구에서 상아질접착제에 대한 광조사 과정을 생략한 경우에서 수복레진 충전 후 초고광도 광조사 시간을 달리하여 접착시킨 복합레진의 전단결합강도를 평가한 결과, 조사 시간이 길수록 전단결합강도가 증가하는 경향이 나타났으나 통계적으로 유의성을 나타내지는 않았다. 따라서 상아질 접착제에 대한 광조사 과정을 생략하고 수복레진을 광중합하는 경우 광조사시간을 증가시킨다고 하여 전체적인 결합강도가 증가되지는 않는 것으로 볼 수 있다. 그리고 상아질 접착제에 대한 광조사 과정을 생략한 군이 이 과정을 생략하지 않고 시행한 군에 비해 유의하게 낮은 전단결합강도를 나타내었으므로 상아질접착제에 대한 광조사과정을 생략하고 수복레진에 대한 광조사시간을 증가시키는 방법으로는 상아질접착제에 대한 광조사과정을 생략하지 않는 경우만큼의 높은 전단결합강도를 얻지는 못하는 것으로 보여진다. 이는 충분한 중합이 일어난 안정화된 탄성접착레진층이 충전레진의 중합수축응력에 저항하여 레진-상아질접착을 유지한다¹⁷⁻¹⁹⁾는 것과 유사한 결과이다.

이상을 종합해 볼 때 상아질접착제에 대한 광조사 과정은 접착강도의 측면에서 생략할 수 없는 중요한 단계의 술식이라고 보여지며, 상아질접착제에 대한 광조사 과정을 생략하고 수복레진에 대한 광조사시간을 증가시키는 것은 접착력 회복에 별 도움이 되지 않는 것으로 생각된다.

그리고 광조사과정이 복합레진 수복의 접착강도에 미치는 영향을 보다 구체적으로 이해하기 위해서는 단계별, 층별 중합률 및 수축응력분산에 대한 연구가 계속되어야 할 것으로 생각된다.

V. 요약

상아질접착제의 광조사가 상아질접착에 미치는 영향을 알아보기 위하여 in vitro에서 접착실험을 하였다. 120개의 발거된 소의 전치 협면 상아질을 노출시키고 산 부식 한 다음 self-priming형 상아질접착제 Prime&Bond[®]NT (Dentsply DeTrey, GmbH, Konstanz, Germany)를 도포 하였으며 600 mW/cm²의 일반광도 또는 1930 mW/cm²의 초고광도 광조사를 각각 20초 및 3초간 시행한 군과 시행하지 않은 군으로 나누어 복합레진 첨가 후 광조사하였다. 접착제에 대한 광조사를 시행하지 않은 경우에는 복합레진 첨가 후 초고광도로 3초, 6초 및 12초간 광조사하였다. 접착양상 평가를 위해 만능시험기로 전단접착강도를 측정하고 파단면을 입체 현미경으로 관찰한 바를 일원 및 이원 변량분석법과 카이제곱검사법으로 통계 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 상아질접착제를 광조사한 군이 광조사하지 않은 군에 비해 유의하게 높은 전단접착강도를 나타내었다 (p<0.05).
2. 일반 광도 및 초고광도 광조사에 따른 전단접착강도에는 유의한 차이가 나타나지 않았다 (p>0.05).
3. 상아질접착제를 광조사하지 않고 복합레진 첨가 후 초고광도로 광조사한 군간에 조사시간에 따른 전단접착강도에는 유의한 차이가 나타나지 않았다 (p>0.05).
4. 파단면 관찰 결과, 모든 군에서 접착계면에서의 파절을 포함하는 혼합파단양상이 가장 많이 나타났으며 군간에는 유의한 차이가 없었다 (p>0.05).

참고문헌

1. 신일, 박진훈.: Benzalkonium Chloride가 NTG-GMA/BPDM계 및 DSDM계 상아질접착제의 접착성능에 미치는 영향, 대한치과보존학회지, 20: 699-720, 1995.
2. Gwinett, A. J.: Micromorphology of the bonded dentin interface and its relationship to bond strength, Am. J. Dent., 5: 73-77, 1992.
3. Davidson, C. L. and Feilzer, A. J.: Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives, J. Dent., 25: 435-440, 1997.

4. Seltzer, S.: The penetration of micro-organism between the tooth and direct resin fillings, *J. Am. Dent. Assoc.*, 51: 560-566, 1955.
5. Bowen, R. L., Rapson, J. E., and Dickson, G.: Hardening shrinkage and hygroscopic expansion of composite resins, *J. Dent. Res.*, 61: 654-658, 1982.
6. Feilzer, A. J., De Gee, A. J., and Davidson, C. L.: Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations, *Dent. Mater.*, 6: 167-171, 1990.
7. Feilzer, A. J., De Gee, A. J., and Davidson, C. L.: Curing contraction of composite and glass ionomer cements, *J. Prosthet. Dent.*, 59: 297-300, 1988.
8. Miyazaki, M., Hinoura, K., Onose, H., and Moore, B. K.: Effect of filler content of light cured composites on bond strength to bovine dentin, *J. Dent.*, 19: 301-303, 1991.
9. Feilzer, A. J., De Gee, A. J., and Davidson, C. L.: Setting stress in composite resin in relation to configuration, *J. Dent. Res.*, 66: 1636-1639, 1987.
10. Reinhardt, K. J.: Effect of the light source on the marginal adaptation of composite fillings, *Deutsche Zahnarliche Zeitschrift*, 46: 132-134, 1991.
11. Pilo, R. and Cardash, H. S.: Post-irradiation polymerization of different anterior and posterior visible light-activated resin composites, *Dent. Mater.*, 8: 99-394, 1992.
12. Fusayama, T.: The problems of the light-cured composite resin, *Quintess. Int.*, 24: 225, 1993.
13. Crim, G. A.: Prepolymerization of Gluma 4 sealer: effect on bonding, *Am. J. Dent.*, 3: 25, 1990.
14. Erickson, R. L.: Surface interactions of dentin adhesive materials, *Oper. Dent.*, suppl 5: 81, 1992.
15. Hansen, S. E. and Swift, E. J.: Microleakage with Gluma: effects of unfilled resin polymerization and storage time, *Am. J. Dent.*, 2: 266, 1989.
16. Nakabayashi, N. and Nakamura, M.: Hybrid layer as a dentin - bonding mechanism, *J. Esthetic. Dent.*, 3: 133-138, 1991.
17. Kemp-Scholte, C. M. and Davidson, C. L.: Marginal sealing of curing contraction gaps in class V composite resin restorations, *J. Dent. Res.*, 67: 842-845, 1988.
18. Choi, K. K., Condon, J. R., and Ferracane, J. L.: The effect of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite, *J. Dent. Res.*, 79: 812-817, 2000.
19. Ronald, L. Sakaguchi., and Hong, X. B.: Reduce light energy density decreases post-gel contraction while maintaining degree of conversion in composites, *J. Dent.*, 26: 695-700, 1998.
20. Feilzer, A. J., Dooren, L. H., De Gee, A. J., and Davidson, C. L.: Influence of light intensity on polymerization shrinkage and integrity of restoration-cavity interface, *Eur. J. Oral. Sci.*, 103: 322-326, 1995.
21. Saliha, S., Davidson-Kagan, Carel, L., Davidson, C. L., Feilzer, A. J., De Gee, A. J., and Nejdet, E.: The effect of curing light variations on bulk curing and wall-to-wall quality of two types and various shades of resin composites, *Dent. Mater.*, 13: 344-352, 1997.
22. Goracci, G., Mori, G., and Luca Casa de' Martinis.: Curing light intensity and marginal leakage of resin composite restorations, *Quintess. Int.*, 27: 355-362, 1996.
23. Uno, S. and Asmussen, E.: Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at reduced rate, *Scan. J. Dent. Res.*, 99: 440-444, 1991.
24. Mehl, A., Hickel, R., and Kunzelmann, K. H.: Physical properties and gap formation of light-cured composites with and without 'soft start-polymerization', *J. Dent.*, 25: 321-330, 1997.
25. Suh, B. I.: Reducing the residual strain in composites with the pulse-delay cure technique, *A. P. D. N.*, July-Sep.: 4-7, 2000.
26. Kanca, J., Suh, B. I., and Vinson, W.: Pulse activation: reducing resin-based composite contraction stresses at the enamel cavosurface margins, *Am. J. Dent.*, 12: 107-112, 1999.
27. Kanca, J. and Suh, B. I.: Reducing resin-based composite contraction stresses at the enamel cavosurface margins, *Am. J. Dent.*, 12: 107-112, 1999.
28. 김기옥, 안식환, 김성교, 조광현, 박진훈.: 타액 및 혈액 오염이 상아질접착에 미치는 영향, *대한치과보존학회지*, 21: 585-601, 1996.
29. Ferrari, M.: Bonding mechanism of three "one-bottle" systems to conditioned and unconditioned enamel and dentin, *Am. J. Dent.*, 10: 224-230, 1997.
30. Al-Ehaideb, A. A. and Mohammed, H.: Microleakage of "One Bottle" dentin adhesive, *Oper. Dent.*, 26: 172-175, 2001.
31. Tarle, Z., Meniga, A., and Ristic, M.: The effect of the photopolymerization method on the quality of composite resin samples, *J. Oral. Rehabil.*, 25: 436-442, 1998.
32. Venhoven, B. A. M. and Rezende, J. A.: Contraction of composites using a standard and a high-energy curing light, Department of Dental Materials Science, Academic Center for Dentistry Amsterdam, Netherlands, 1998.
33. Venhoven, B. A. M., Rezende, J. A., and Feilzer, A. J.: Contraction stress using a standard and a high-energy curing light, Department of Dental Materials Science, Academic Center for Dentistry Amsterdam, Netherlands., 1998.
34. 박은숙: 광조사 방식이 복합레진 수복물의 변연누출에 미치는 영향, *경북대학교 치의학석사 학위논문*, 2월, 2001.
35. Pilo, R. and Ben-Amar, A.: Comparison of microleakage for three one-bottle and three multi-step dentin bonding agents, *J. Prosthet. Dent.*, 82: 209-213, 1999.
36. 양철영, 유현미, 권혁춘.: 광중합 복합레진 수복시 여러 광조사 방법에 따른 미세변연누출에 관한 연구, *대한치과보존학회지*, 25: 299-306, 2000.
37. 박준규, 조병훈, 이인복, 권혁춘, 임정문.: 광조사강도의 변화에 따른 광중합 복합레진의 중합반응에 관한 연구, *대한치과보존학회지*, 26: 86-94, 2001.
38. Gwinnett, A. J.: The morphologic relationship between dental resins and etched dentin, *J. Dent. Res.*, 56: 1155-1160, 1977.
39. Nakabayashi, N.: The promotion of adhesive by the infiltration of monomers into tooth substrates, *J. Biomed. Mater. Res.*, 16: 265-273, 1982.
40. Pashley, D. H., Michelich, V., and Kehl, T.: Dentin permeability effects of smear layer removal, *J. Prosthet. Dent.*, 46: 531-537, 1981.
41. Pashley, D. H. and Ciucchi, B.: Permeability of dentin to adhesive agents, *Quintessence Int.*, 24: 618-613, 1993.
42. Fanning, D. E., Wakefield, C. W., Robbins, J. W., and Bagley, A. L.: Effect of a filled adhesive on bond strength in three dental bonding systems, *Gen. Dent.*, 43: 256-262, 1995.

43. Braem, M.: An in-vitro investigation into the physical durability of dental composites [thesis], Leuven, Belgium: Catholic University of Leuven, 1985.
44. Bream, M., lambrechts, P., Vanherle, G., and Davison, C. L.: Stiffness increase during the setting of dental composite resins, *J. Dent. Res.*, 66: 1713-1716, 1987.
45. Kemp-Scholte, C. M. and Davidson, C. L.: Complete marginal seal of class V resin composite restorations effected by increased flexibility, *J. Dent. Res.*, 69: 1240-1244, 1990.
46. Kemp-Scholte, C. M. and Davidson, C. L.: Marginal integrity related to bond strength and strain capacity of composite resin restorative systems, *J. Prosth. Dent.*, 63: 658-661, 1990.
47. Moon, P. C. and Chang, Y. H.: Effect of DBA layer thickness on composite resin shrinkage stress, *J. Dent. Res.*, 71: 275-279, 1992.
48. Van Meerbeek, B., Willems, G., and Celis, J. P.: Assessment by nano-indentation of the hardness and elasticity of the resin-dentin bonding area, *J. Dent. Res.*, 72: 1434-1438, 1993.
49. Gallo, J. R., Comeaux, R., and Haines, B.: Shear Bond Strength of four filled dentin bonding systems, *Oper. Dent.*, 26: 44-47, 2001.
50. Imai, Y., Kadoma, Y., and Kojima, K.: Importance of polymerization initiator systems and interfacial initiation of polymerization in adhesive bonding of resin to dentin, *J. Dent. Res.*, 70: 1088-1091, 1991.
51. Versluis, A., Tantbirojn, D., and Douglas, W. H.: Do dental composites always shrink toward the light?, *J. Dent. Res.*, 77: 1435-1439, 1996.
52. Perdigao, J., Lambrecht, P., and Van Meerbeek, B.: The interaction of adhesive systems with human dentin, *Am. J. Dent.*, 9: 167-171, 1996.
53. Hansen, E. K.: Effect of cavity depth and application technique on marginal adaptation of resins in dentin cavities, *J. Dent. Res.*, 65: 1319-1322, 1986.
54. Lutz, F., Krejci, I., and Barbakow, F.: Quality and durability of marginal adaptation in bonded composite restorations, *Dent. Mater.*, 7: 107, 1991.
55. Torstenson, B. C. and Oden, A.: Effect of bonding agent types and incremental techniques on minimizing contraction gaps around resin composites, *Dent. Mater.*, 5: 218-221, 1989.
56. Versluis, A., Douglas, W. H., Cross, M., and Sakaguchi, R.L.: Does an incremental filling technique reduce polymerization shrinkage stresses?, *J. Dent. Res.*, 75: 871-875, 1996.
57. Asmussen, E., de Araujo, P. A., and Peutzfeldt, A.: In-vitro bonding of resins to enamel and dentin, *Trans. Acad. Dent. Mater.*, 2: 36, 1989.
58. Asmussen, E. and Munksgaard, E. C.: Bonding of restorative resins to dentin: status of dentin adhesive and impact on cavity design and filling techniques, *Int. Dent. J.*, 38: 97-101, 1988.
59. Asmussen, E., Antonucci, J. M., and Bowen, R. L.: Adhesion to dentin by means of Gluma resin, *Scan. J. Dent. Res.*, 96: 584-589, 1988.
60. Jordan, R. E., Suzuki, M., and MacLean, D. F.: Early clinical evaluation of Tenure and Scotchbond 2 for conservative restoration of cervical erosion lesions, *J. Esthet. Dent.*, 1: 10-15, 1989.
61. Perdigao, J. and Swift, E. J.: Analysis of dentin bonding system using the scanning electron microscope, *Int. Dent. J.*, 44: 349-352, 1994.
62. Meerbeek, B., Peumans, M., and Verschuere, M.: Clinical status of ten dentin adhesive system., *J. Dent. Res.*, 73: 1690-1694, 1994.
63. 장병성, 김성교: 내표면 처리에 따른 레진 인레이와 글래스아이오노머 베이스간의 접착, *대한치과보존학회지*, 25: 399-406, 2000.
64. Resin curing light test result which curing light and resin cause the least detrimental effect?, *CRA Newsletter*, 22(12), 1998.
65. Ruyter, I E. and Oysaed, H.: Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials, *Acta. Odontol. Scand.*, 40: 179-192, 1982.
66. Cook, W. D.: Factors affecting the depth of cure of UV polymerized composite, *J. Dent. Res.*, 59: 800-808, 1980.
67. Young, K. C., Cummings, A., and Main, C.: Microhardness studies on the setting characteristics of fissure sealants, *J. Oral Rehab.*, 7: 369-375, 1978.
68. Stilwater, J. C. and Louka, A. N.: A study on the depth and post exposure polymerization of light cured composite resins, *J. Dent Res.(Spec. Iss.)*, 62: 218, abst. No. 444, 1983.
69. 김경현, 권오승, 김현기, 백규철, 엄정문, 권혁춘: 수중 과중합 복합레진의 중합 깊이와 광조사 시간에 따른 중합률에 관한 연구, *대한치과보존학회지*, 22: 35-53, 1997.