



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

치의학박사 학위논문

열-순환 및 응력-순환처리가 다양한  
복합레진으로 수복한 치경부 수복물의  
미세누출과 접착강도에 주는 영향

2015 년 8 월

서울대학교 대학원

치의과학과 치과생체재료과학 전공

이 준 수

# 열-순환 및 응력-순환처리가 다양한 복합레진으로 수복한 치경부 수복물의 미세누출과 접착강도에 주는 영향

지도교수 안 진 수

이 논문을 치의학박사 학위논문으로 제출함

2015년 5월

서울대학교 대학원

치위과학과 치과생체재료과학 전공

이 준 수

이준수의 박사학위논문을 인준함

2015년 6월

위 원 장 \_\_\_\_\_ 인

부위원장 \_\_\_\_\_ 인

위 원 \_\_\_\_\_ 인

위 원 \_\_\_\_\_ 인

위 원 \_\_\_\_\_ 인

## 열-순환 및 응력-순환처리가 다양한 복합레진으로 수복한 치경부 수복물의 미세누출과 접착강도에 주는 영향

서울대학교 대학원 치의과학과 치과생체재료과학 전공  
(지도교수 안진수)

이준수

본 연구에서는 비우식성 치경부 와동 (NCCL)을 회복함에 있어 실제 구강내와 유사한 열-순환 및 응력-순환처리를 하였을 때 각 복합레진 수복물의 미세누출과 접착력에 주는 영향을 평가하고자 하였다. 수복에는 일반 flowable 복합레진, bulk-fill형 flowable 복합레진 및 일반 microhybrid 복합레진이 사용되었으며 미세누출, 미세인장접착강도 및 전단접착강도를 비교 평가하였다.

발치된 건전한 사람의 소구치 60 개를 선택하여 협측 치경부에 와동 (3mm × 2mm × 2mm)을 형성하였다. 시편은 무작위로 3개의 실험군으로 분류하였다 (n=10): FLOW, flowable 복합레진 (Filtek Z350 XT Flowable Restorative); BULK, bulk-fill형 flowable 복합레진 (Filtek Bulk Fill Flowable Restorative); Z250, microhybrid 복합레진 (Filtek Z250). 치경부 와동은 32% 인산으로 산-부식처리하고, Adper Single Bond 2 상아질 접착제를 적용하여 3종의 복합레진으로 수복하였다. 최소한의 표면 마무리 후, 교합면

에 반복하중을 가하면서 열-순환처리를 120,000회 실시하였다. 시편 일부는 메틸렌 블루 수용액에 24 시간 침지하고 침투 정도를 four-point score로 기록하였고, 나머지 시편으로 미세인장접착강도와 전단접착강도를 측정하였으며, 결과는 0.05 유의수준으로 통계분석 하였다.

FLOW 실험군은 BULK 실험군 ( $p=0.036$ ) 및 Z250 실험군 ( $p=0.036$ )에 비하여 유의하게 높은 변연누출지수를 보였다. BULK 실험군과 Z250 실험군은 유의한 차이를 보이지 않았다 ( $p>0.05$ ). 미세인장접착강도는 BULK 실험군이 다른 실험군과 비교하여 유의하게 높은 값을 보였다 ( $p = 0.002$ ). 전단접착강도는 모든 실험군에서 유의한 차이를 보이지 않았다 ( $p>0.05$ ).

구강 내 온도변화와 반복되는 저작 조건을 유사하게 재현하여 평가한 결과, 비우식성 치경부 와동에서 bulk-fill형 flowable 복합레진과 일반 microhybrid형 복합레진은 일반 flowable 복합레진에 비하여 유의하게 적은 미세누출을 나타냈다. 임상적으로 비우식성 치경부 병소 수복에서 추천되는 일반 microhybrid 복합레진을 대체하여 bulk-fill형 flowable 복합레진을 적용하는 경우에도 유의한 차이는 보이지 않을 것으로 보인다.

---

**주요어 :** 복합레진, 치경부 비우식성 병소, 미세누출, 접착강도, 응력-순환, 열-순환

**학 번 :** 2011-31198

# 목 차

1. 서론 .....	6
2. 연구 재료 및 방법 .....	9
1. 시편 제작 .....	9
2. 미세누출 (microleakage) 평가 .....	13
3. 접착강도 측정 .....	14
3-a. 미세인장접착강도 (microtensile bond strength) 측정 ...	14
3-b. 전단접착강도 (shear bond strength) 측정 .....	15
4. 통계분석 .....	16
3. 연구 결과 .....	17
1. 미세누출 .....	17
2. 미세인장접착강도 .....	18
3. 전단접착강도 .....	18
4. 고찰 .....	22
5. 결론 .....	25
6. 참고문헌 .....	26

## 서론

비우식성 치경부병소 (NCCL)는 치경부에 발생하는 경조직 결함으로 나이가 들어감에 따라 많이 발생되고 있다고 한다.<sup>14</sup> 치경부 병소에서 수복물이 유지되는 기간은 교합면 복합레진 수복물에 비해 상대적으로 짧은 편인데, 이는 NCCL에서 발견되는 특징적인 경화성 상아질 외에도 다음과 같은 다양한 요인들에 의하여 수복물이 조기 탈락되는 것으로 보인다.<sup>5</sup> 일반적으로 협측에 나타나는 치경부 병소는 와동에서 접착되지 않은 표면적에 대한 접착면의 비율을 나타내는 C-factor (Configuration factor)가 높아 중합 수축응력이 크고,<sup>6</sup> 기능 시 교합 하중이 치경부에 집중되어 수복물이 조기에 실패될 수 있다고 알려져 있다.<sup>7,8</sup> 교합 하중의 비기능성 분배에 의해 발생하는 응력은 치아를 굴곡시키고 이 응력이 치경부로 전달되어 결과적으로 치아와 치경부 수복물 계면에 인장응력을 유도시킨다.<sup>8,9</sup> 치경부에 집중되는 응력에 대한 설명인 치아굴곡이론 (tooth flexure theory)은 공학적 연구, 특히 유한요소 분석에 의해 입증된 바 있다.<sup>10-13</sup>

치과용 복합레진은 비우식성 치경부병소 수복에 가장 많이 사용되는 직접 수복용 재료이다. 중합시 발생하는 중합수축과 수축에 따른 응력은 치과용 복합레진의 임상 적용에 있어서 가장 큰 문제점으로 제기되고 있다. 중합수축은 중합과정에서 모노머들이 체인 형태의 폴리머 구조로 전환되면서 분자간 거리가 감소되어 발생한다.<sup>14</sup> 재료의 수축으로 접착 계면에서 발생한 응력이 치질과 수복물의 접착력을 초과할 경우 치질-복합레진 계면의 접착 유지에 문제가 발생할 수 있게 된다. 치

과 수복물 계면에서 이와 같은 결합은 지각과민증, 이차 우식 및 변연 변색 등을 유발시킬 수 있으며 궁극적으로는 복합레진 수복물의 임상 실패를 초래할 수 있게 된다.<sup>15</sup>

치경부 수복물에 가해지는 구강내 환경을 고려하여 탄성계수가 낮은 재료가 치경부 수복재료로 추천되고 있다.<sup>10, 16</sup> 탄성계수가 낮은 치과용 복합레진은 중합수축으로 발생하는 응력을 흡수하는 역할을 하여 상부의 복합레진을 유지하는 데에 도움을 준다고 알려져 있다. 대표적으로 flowable 복합레진은 사용의 편리성 때문에 치경부 병소의 수복재료로 사용되기도 하지만, 많게는 6%에 이르는 높은 중합수축으로 인해 구강 내로 노출되는 계면에 사용하는 것은 추천되지 않는다.<sup>17, 18</sup> 큰 중합 수축은 수복물의 내구성에 영향을 줄 수 있으므로 최종 충전재료보다는 깊은 와동의 이장재 용도로 많이 사용되고 있다.<sup>19</sup> 일반적으로는 미세혼합형 (microhybrid) 복합레진이 상아질과 유사한 탄성계수를 가지기 때문에 치경부 수복에 가장 적절한 것으로 알려져 있다.<sup>20, 21</sup>

최근 새로운 경향으로 소개된 bulk-fill형 복합레진은 중합 깊이가 4 mm까지 증가되어 기존에 사용하던 적층 충전법이나 추가적인 광조사 필요성이 감소되어 소요되는 치료시간을 단축시킬 수 있을 뿐 아니라 술식이 간편해지는 장점이 있다. 또한 술식에 특별한 기술을 요구하지 않고 임상적으로도 양호한 결과가 보고되고 있기 때문에 더욱 관심을 받고 있다.<sup>22</sup> Bulk-fill형 복합레진은 재래형 복합레진 보다 유동성이 증가되었으며, 일부 제품에서는 중합수축 정도가 감소되기도 하였다.<sup>23</sup> 최근까지 bulk-fill형 복합레진에 대한 많은 연구가 보고되었지만 치경부 병소에 적용한 경우에 대한 연구는 부족한 실정이다.<sup>24, 25</sup>

본 연구에서는 비우식성 치경부 병소에서의 bulk-fill형 복합레진 수



복을 일반 flowable 복합레진 및 microhybrid 복합레진 수복과 비교하기 위하여 열-순환처리와 응력-순환처리를 실시한 다음 미세누출, 미세인장 및 전단접착강도를 평가하였다.

# 연구 재료 및 방법

## 1. 시편 제작

치경부 수복물의 미세누출 정도 및 접착강도를 평가하기 위해 치료 목적으로 발치된 우식없이 건전한 사람 소구치 60 개를 각각 30 개씩 사용하였다. 치경부 병소 또는 치아의 파절 등 결함이 있는 치아는 실험에서 배제되었다. 치아 표면은 퍼미스로 세척하였고, 치경부와 치근의 치석은 초음파 스케일러로 조심스럽게 제거하였으며, 실험하기 전까지 0.1% thymol 용액에서 보관하였다. 고속 핸드피스에 carbide bur를 장착하여 충분한 주수 하에 근원 폭 3 mm, 높이 2 mm, 깊이 2 mm인 표준화된 협측 치경부 와동을 형성하였다. 와동의 교합측 변연은 법랑질에 위치하고 치은측 변연은 상아질에 위치하도록 하여 법랑질 변연과 상아질 변연에서의 미세누출 정도 차이를 관찰하였다. Cavo-surface 변연은 90°로 형성하였고 응력집중을 피하기 위해 와동 내부 선각은 둥글게 형성하였다.

제조사가 추천하는 방법에 따라 3가지 유형의 복합레진으로 충전하였다 (Table 1). 치경부 와동은 32% 인산 (Scotchbond Etchant, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA)을 사용한 total-etch 술식으로 15 초간 산-부식처리하고, 증류수로 10 초간 세척하였다. 표면은 완전히 건조하지 않고 wet bonding 술식에 따라 접착제 (Adper Single Bond 2, 3M ESPE)를 도포하고 압축공기로 건조하였다. 접착 층은 광중합기 (Elipar Freelight, 3M ESPE)를 이용하여 20 초 동안 광조사하였다. 시편은 무작위로 3 개 실험군 (n = 10)으로 분류하였다: FLOW, 일반 flowable 복합레진 (Filtek Z350 XT

flowable, 3M ESPE); BULK, bulk-fill형 flowable 복합레진(Filtek Bulk Fill flowable, 3M ESPE); Z250, 일반 microhybrid 복합레진 (Filtek Z250, 3M ESPE). 치아와 복합레진 수복물의 경계부위는 12 번 스칼펠을 이용하여 최소한으로 마무리하였다.

구강 내에서 수복물에 가해지는 임상 상황을 유사하게 재현하기 위하여 열-순환 및 응력-순환처리를 동시에 적용할 수 있는 저작 재현기 (CS-4.8, SD Mechatronik, Feldkirchen-Westerham, Germany)를 적용하였다 (Fig. 1).



**Figure 1.** Chewing simulator.

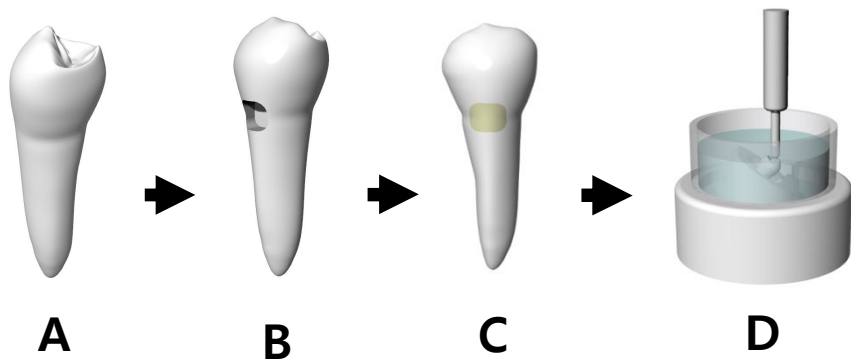
치아의 협측 교두에 가해지는 하중을 재현하기 위해 협측 교두의 사면에 40° 각도에서 60 N의 힘을 2 Hz 속도로 총 120,000 회 응력-순환처리를 실시하였다. 열-순환처리는 5 °C 및 55 °C에서 각 체류시간 40 초로

시행하였다. 열-순환 및 응력-순환처리 한 후 수복물의 미세누출, 전단 접착강도 및 미세인장접착강도 등을 비교 평가하였다.

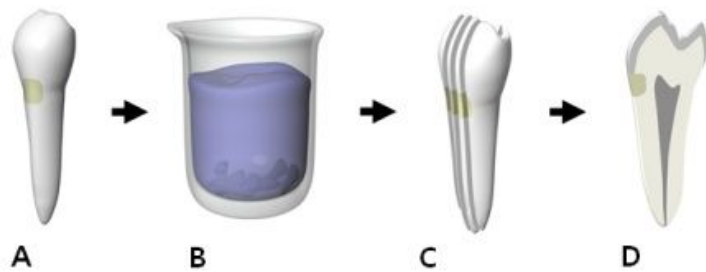
**Table 1.** The compositions of the materials used in the study (information provided by the manufacturers)

Material	Filler load	Composition	Batch No.
Scotchbond Etchant		32% phosphoric acid	N508263
Adper Single Bond 2 Adhesive	5-10 wt. %	ethyl alcohol, bis-GMA, HEMA, copolymer of acrylic and itaconic acids, glycerol 1,3-dimethacrylate, water, UDMA Filler: 5 nm silane-treated colloidal silica	N559692
Filtek Z350 XT Flowable Restorative	46 vol. % 65 wt. %	Matrix: bisGMA, TEGDMA, Procrylat resin Filler: Ytterbium trifluoride 0.1-5.0 $\mu\text{m}$ Non-agglomerated/non aggregated surface modified silica filler 20 nm Non-agglomerated/non-aggregated surface modified silica filler 75 nm Surface modified aggregated zirconia/silica cluster filler (20 nm silica and 4-11nm zirconia particles) 0.6-10 $\mu\text{m}$	N581674
Filtek Bulk Fill Flowable Restorative	42.5 vol. % 64.5 wt. %	Matrix: bisGMA, UDMA, bisEMA, Procrylat resin Filler: Zirconia/silica 0.01-3.5 $\mu\text{m}$ Ytterbium trifluoride 0.1-5.0 $\mu\text{m}$	N553474
Filtek Z250 Universal Restorative	60 vol. % 82 wt. %	Matrix: bisGMA, bisEMA, UDMA Filler: zirconia/silica 0.01-3.5 $\mu\text{m}$	N587674

bisGMA: Bisphenolglycidyl dimethacrylate,  
bisEMA: Bisphenol A polyethylene glycol diether dimethacrylate,  
TEGDMA: Triethyleneglycol dimethacrylate,  
UDMA: Urethane dimethacrylate,  
HEMA: 2-hydroxyethyl methacrylate.



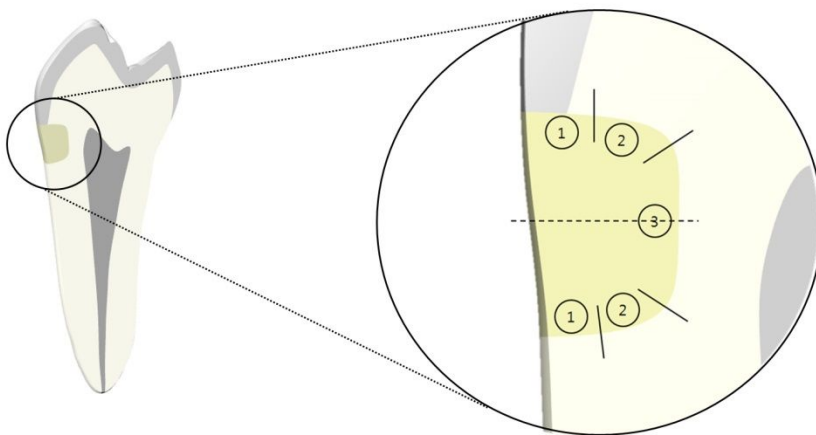
**Figure 2.** Schematic illustrations of the sample preparation. (A) Extracted human premolar was used. (B) Cervical cavity was prepared and (C) filled with each composite resin. (D) Simultaneous thermal and mechanical cycling was performed by using chewing simulator.



**Figure 3.** Schematic illustrations of the microleakage test. (A) The tooth (B) was immersed in methylene blue solution for 24 hours at 37°C. (C) The tooth was vertically sectioned and (D) prepared for the microscopic evaluation.

## 2. 미세누출 (microleakage) 평가

치경부에 복합레진이 수복된 30 개의 시편을 열-순환 및 응력-순환 처리한 후, 수복물의 미세누출을 평가하기 위해 시편의 표면은 치아와 수복물의 경계를 포함하여 외측으로 1 mm 부분 제외하고 바니쉬로 코팅하였다. 코팅된 시편은 0.5% 메틸렌 블루 수용액에 37℃에서 24시간 동안 침지하였다 (Fig. 2). 메틸렌 블루 수용액의 침투 정도는 교합측 및 치은측 변연에서 광학현미경 (SZN45T -MST2, SUNNY Optical Technology, China)을 이용하여 30 배율로 관찰하였다. CCD 센서를 이용하여 관찰면을 촬영하여 컴퓨터로 전송된 이미지를 Rhinoceros 5.0 프로그램 (McNeel & Associates, Seattle, WA, USA)을 이용하여 침투한 깊이를 측정하고 4-point scoring system으로 기록하였다. 변연의 미세누출은 법랑질과 상아질 변연에서 각각 측정하였다 (Fig. 4).



**Figure 4.** Schematic diagram of dye penetration scores.

변연부의 미세누출은 다음의 기준으로 평가하였다:

- 0- 육안으로 확인되는 침투 없음
- 1- 와동 전체 깊이 1/2 미만의 침투
- 2- 와동 전체 깊이 1/2를 초과하는 침투
- 3- 와동의 깊이를 넘어 기저부까지 연장된 침투

### 3. 접착강도 측정

치면과 수복재 계면의 접착강도는 ‘micro’와 ‘macro’ 수준에서 평가하였다. 총 30개의 치아 시편 와동의 중앙에서 너비 1 mm 인 2 개의 절단 표본을 얻은 후 미세인장강도와 전단강도를 측정하였다.

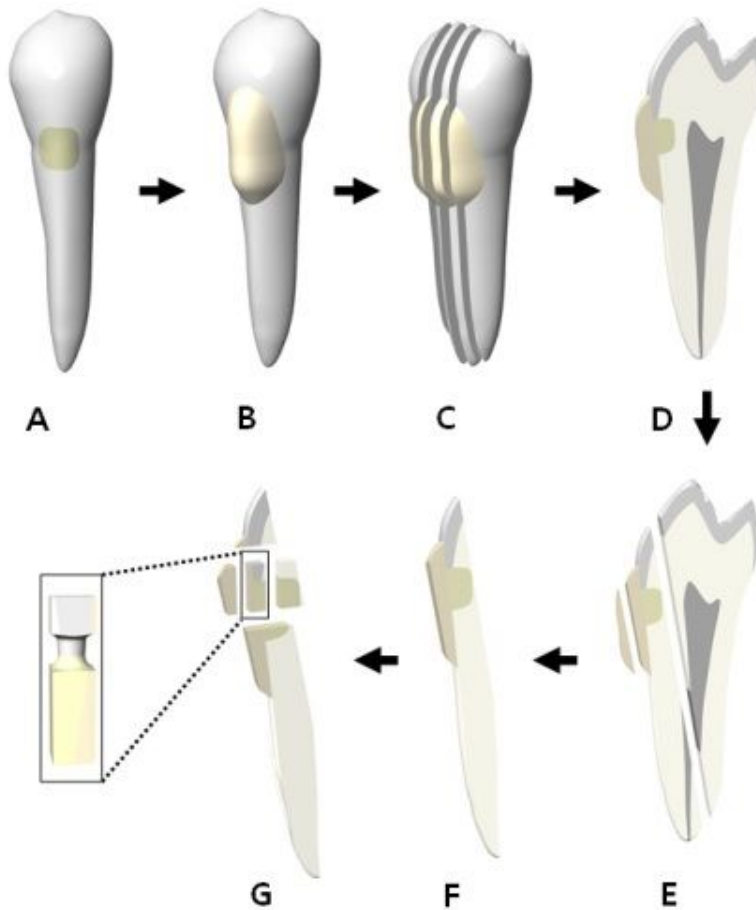
#### 3-a) 미세인장접착강도 (microtensile bond strength) 측정

치아의 협측에 복합레진을 추가로 부착하여 미세인장접착강도 측정용 시편 제작이 용이하도록 하였고, 제작된 시편 당 2 개씩 법랑질 및 상아질 계면을 가지는 시편을 제작하여 만능시험기에 장착시킨 후 1.0 mm/min의 crosshead speed로 미세인장접착강도를 측정하였다 (Fig. 5). 하중을 가한 후 수복물과 상아질의 계면에서 일어난 접착 실패로 인해 미세인장접착강도 측정은 법랑질 계면에서만 시행하였다.

#### 3-b) 전단접착강도 (shear bond strength) 측정

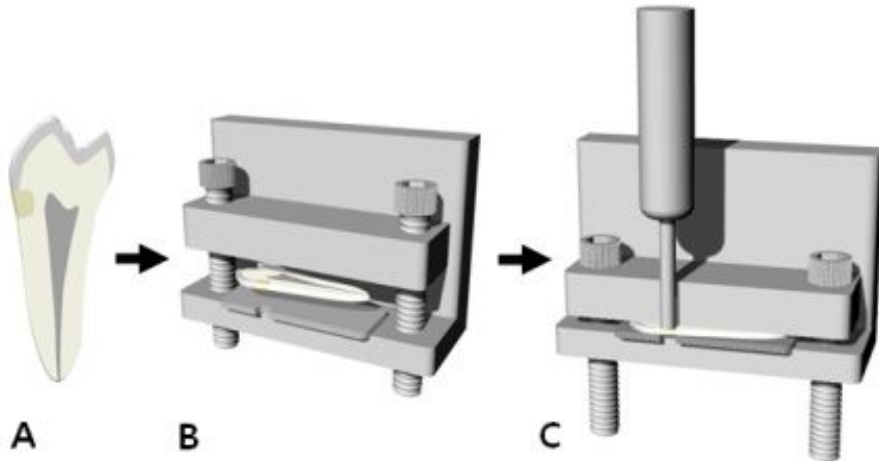
앞서 얻은 절단표본에서 전단접착강도를 측정하였다. 시편을 그림과 같이 와동의 크기와 동일한 크기의 공간이 형성된 금속 판 위에 올린

다음, 1.0 mm/min의 crosshead speed로 압축응력을 가하여 파절하는 순간의 최대 하중을 측정하였다 (Fig. 6). 파절시의 응력 (N)을 접촉면의 면적으로 나누어 MPa로 환산하였다.



**Figure 5.** Schematic illustrations of the sample preparation for microtensile bond test. (A) On the buccal surface the tooth sample, (B) an additional composite resin was added to facilitate the sample preparation. (C) The tooth was vertically sectioned and (D, E) trimmed to obtain the bonding surface of 1 × 1 mm at the enamel margin.





**Figure 6.** Schematic illustrations of the push-out shear bond test. (A) A vertically sectioned sample (B) was placed on the metal plate with a same sized proximal cavity. (C) Shear bond test was performed by using universal testing machine.

#### 4. 통계 분석

미세누출 점수는 비모수 검정 방법인 Kruskal-Wallis 일원분산분석 및 Mann-Whitney U test로, 접착강도 분석은 One-way ANOVA로 분석하였으며 사후검정은 Tukey's test로, SPSS 20.0 프로그램 (SPSS Science, Chicago, IL, USA)을 사용하여 95% 유의수준으로 분석하였다.

## 연구 결과

### 1. 미세누출

미세누출 실험 결과는 Table 2와 같이 상아질 변연에 위치한 경우, FLOW 실험군에서 mean rank가 가장 높았다. 변연 누출지수에서 유의한 차이가 BULK 실험군과 FLOW 실험군 간에서 관찰되었다 ( $p = 0.036$ ). Z250 실험군과 FLOW 실험군 간에서도 유의한 차이가 관찰되었다 ( $p = 0.036$ ). 법랑질 변연에서의 미세누출 지수는 유의한 차이가 없었다 ( $p > 0.05$ ). 상아질 변연에서의 미세누출 정도는 Fig. 7과 같이 FLOW 실험군에서 높게 나타났다.

Table 2. Microleakage scores and mean ranks at the enamel and dentin margins.

Group	Enamel					Dentin						
	0	1	2	3	n	Mean ranks	0	1	2	3	n	Mean ranks
FLOW	9	1	0	0	10	21.4 <sup>a</sup>	0	2	5	3	10	17.5 <sup>c</sup>
BULK	6	4	0	0	10	12.5 <sup>b</sup>	0	7	3	0	10	13 <sup>c</sup>
Z250	7	3	0	0	10	12.5 <sup>b</sup>	0	7	3	0	10	16 <sup>c</sup>

note : Data with same superscript letters demonstrate no significant difference ( $p > 0.05$ ).

### 2. 미세인장접착강도

미세인장접착강도 결과는 법랑질 변연에서만 평가가 이루어졌으며, Table 3과 같이 BULK, FLOW, Z250 실험군 순서로 감소하는 양상을 보였다 (Fig. 8).

법랑질 변연에서의 미세인장접착강도는 BULK 실험군이 다른 실험군에 비해 유의하게 높은 값을 보였다. FLOW 실험군과 Z250 실험군 간에는 유의한 차이가 관찰되지 않았다 ( $p>0.05$ ).

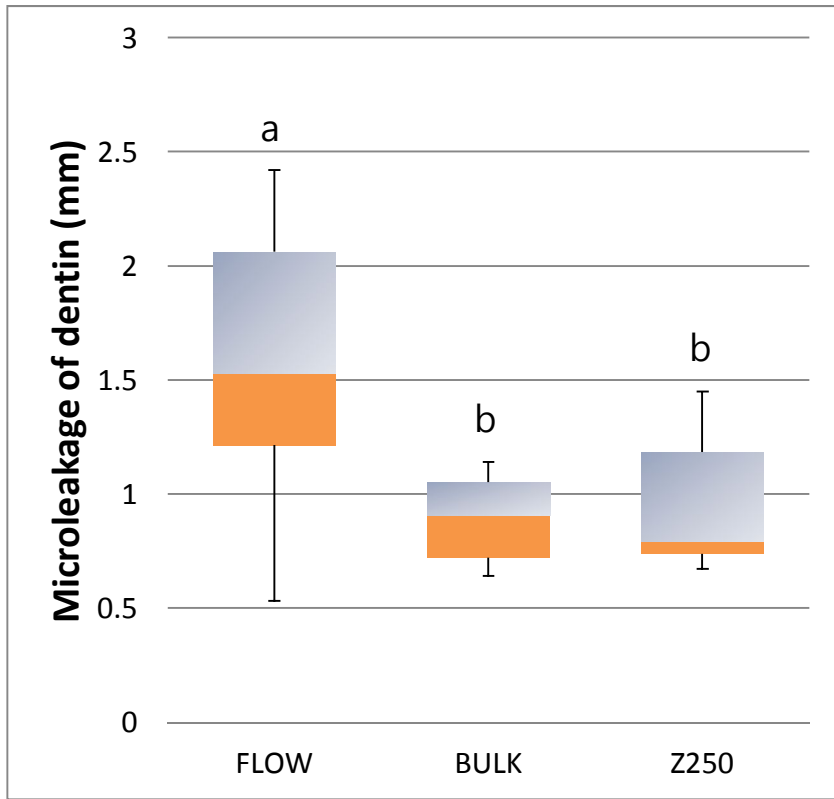
### 3. 전단접착강도

전단접착강도 결과는 Table 3에 나타내었다. 전단접착강도실험 결과는 미세인장접착강도와 동일하게 BULK, FLOW, Z250 순서로 감소하는 양상을 보였다 (Fig. 9). 그러나 각 실험군 간에서는 유의한 차이가 관찰되지 않았다 ( $p>0.05$ ).

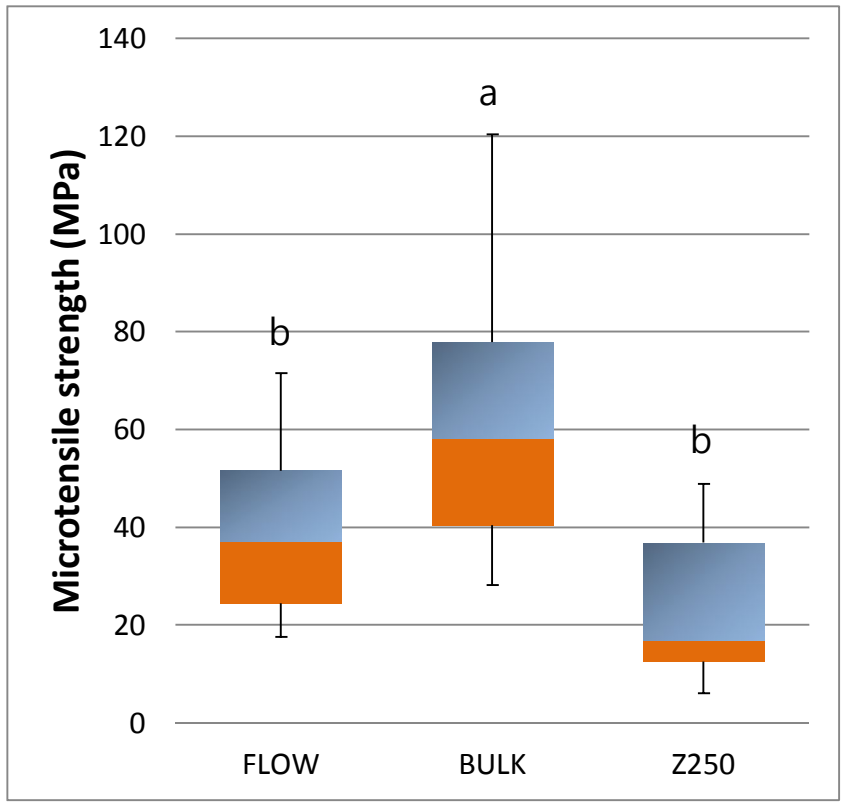
Table 3. Means and standard deviations of microtensile bond strength of enamel interface and shear bond strength.

Group	Microtensile Bond Strength (MPa)		Shear Bond Strength (MPa)	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.
	FLOW	39.2 <sup>a</sup>	17.9	4.4 <sup>c</sup>
BULK	62.9 <sup>b</sup>	30.2	5.3 <sup>c</sup>	2.6
Z250	23.7 <sup>a</sup>	15.3	3.3 <sup>c</sup>	1.5

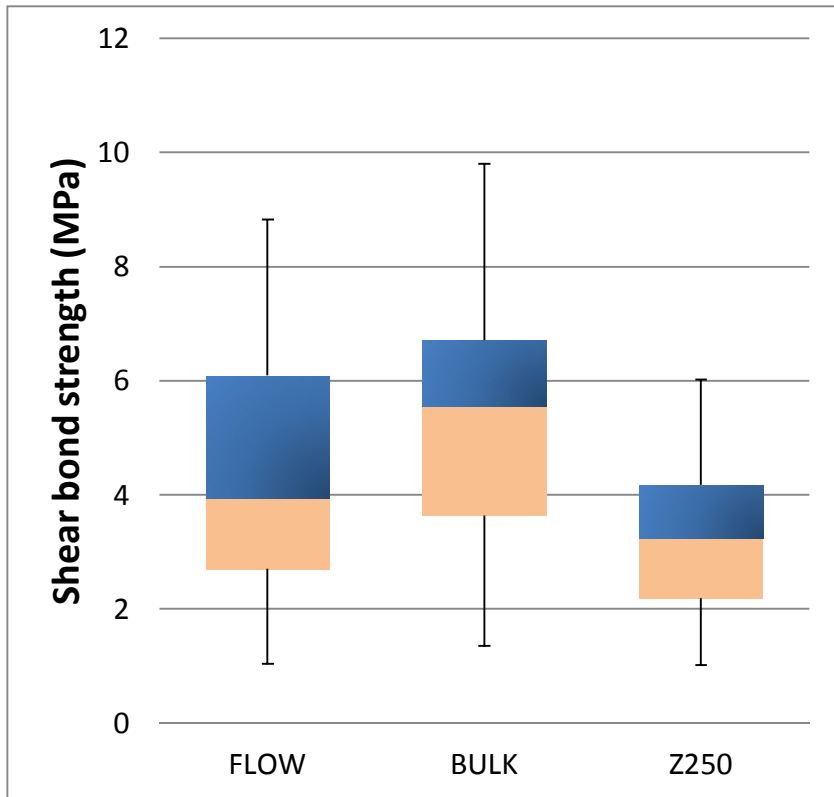
Note : Data with same superscript letters demonstrate no significant difference ( $p>0.05$ ).



**Figure 7.** Box-and-whisker plot of microleakage of dentin margin in millimeters.  
Data with same letter demonstrate no significant difference ( $p > 0.05$ ).



**Figure 8.** Microtensile bond strength of enamel margin. Data with same letter demonstrate no significant difference ( $p > 0.05$ ).



**Figure 9.** Shear bond strength of experimental group.

## 고찰

복합레진 재료의 중합 수축 및 중합 수축 응력은 수복물의 임상적 실패의 중요한 요인으로 알려져 있다. 부가적으로, 변연 위치 및 충전 재료에 전달되는 교합응력이 NCCL로 수복할 때 고려되어야 할 또 다른 도진적 요인이다. 기존 연구들은 복합레진의 점탄성 특성과 중합과정 중 응력 완화 현상이 중합 수축응력에 영향을 줄 수 있다는 것을 제시하였다. 이러한 복합레진의 특성들은 복합레진에 함유된 필러의 양, 필러 입자의 종류와 크기 및 단량체 등에 의해 정해진다. 높은 중합수축과 높은 탄성계수를 가지는 복합레진은 중합 시 높은 수축응력을 발생시킬 수 있으므로, 응력이 집중되는 치경부 부위에는 낮은 중합수축 및 낮은 탄성계수를 가지는 복합레진 사용이 특히 추천되고 있다.

본 연구에서는 bulk-fill형 flowable 복합레진의 변연 봉쇄능을 일반 flowable 복합레진 및 일반 microhybrid 복합레진과 비교하였다. 제조사에 의하면 본 연구에서 사용된 Filtek계열 복합레진은 기본적으로 동일한 레진 기질이 사용된다고 하였다. 따라서 본 연구 결과는 필러 입자 시스템을 중심으로 평가하였다.

Bulk-fill형 flowable 복합레진 및 재래형 복합레진은 상아질 변연에서 일반 flowable 복합레진에 비해 개선된 특성을 보였다. Table 1에서 알 수 있듯이 flowable 복합레진은 다른 복합레진과 달리 TEGDMA를 함유한다. BisGMA-기반 복합레진에서, 중합 수축량은 단량체의 분자량에 의해 영향을 받으므로 그들은 어느 정도 수축을 하게 된다.<sup>26</sup>

BisEMA 및 UDMA의 비교적 높은 분자량은 bulk-fill형 복합레진과 Z250 복합레진의 중합 수축을 감소하였을 것으로 생각된다. 반면 낮은

분자량을 가지는 TEGDMA는 일반 flowable 복합레진에서 중합 수축 감소에 기여하지 않았을 것으로 보인다.

Z250의 필러 함량은 다른 두 복합레진에 비해 높다. Bulk-fill형 flowable 및 일반 flowable 복합레진은 유사한 필러 함량을 보였는데 이는 유사한 탄성 계수를 의미하는 것으로 해석할 수도 있다. 본 연구 결과에 따르면, 유사한 필러 함량을 가지는 복합레진이 유사한 변연 봉쇄를 보이지 않았다. 이전 연구는 일반 flowable 복합레진이 microhybrid 복합레진과 유사한 수축을 보였다.<sup>27</sup> 여전히, 더 높은 필러 함량의 복합레진이 조기에 수축 응력을 형성함에도 불구하고 필러 함량과 수축 응력의 관계에 대하여는 아직 논란이 있다.<sup>28</sup>

중합수축이 영향을 줄 수 있는 다른 고려 요인으로 중합정도 (degree of conversion) 차이가 있다. Filtek bulk-fill형 복합레진의 비교적 낮은 중합정도가 중합 후 응력 완화에 영향을 줄 수 있을 것으로 보인다.<sup>22</sup>

열-순환 및 응력-순환처리 이후에, 기대된 대로 모든 실험군에서 상아질에서 보다 법랑질에서 더 우수한 변연 적합성을 보였다.<sup>24, 29</sup> 산-부식 세척 시스템은 특히 법랑질에서 견고한 결합을 얻을 수 있는 가장 효과적인 술식으로 알려져 있다. 상아질에서는 부가적인 인공 시효 처리가 임상 상황에서 일어나는 것과 마찬가지로 결합 실패에 영향을 준 것으로 보인다.<sup>30, 31, 32</sup>

변연 봉쇄와는 달리 본 연구에서 미세인장접착강도 및 전단접착강도 결과는 bulk-fill형이 비교적 우수하게 나왔으며, Z250은 통계적 유의성은 부족하나 낮은 접착강도를 보였다. 이는 탄성계수가 높고 취성을 가지며 상대적으로 유연성이 부족한 복합레진이 NCCL 수복물에서 응



력-순환에 대한 저항력이 낮다는 해석이 가능하다. 그러나 이러한 양상의 차이의 원인에 대하여는 좀 더 추가적인 연구가 필요하겠다.

염색 침투를 이용한 미세누출 시험은 2차원적 정보를 얻기 위해 사용된다. 정량적 분석에서 메틸렌 블루 용액에 침지하는 시간은 염색 용액의 침투량에 영향을 줄 수 있다. 시편의 침지 시간이 불충분하다면, 염색 침투와 현미경 관찰 간에 관련도가 감소하게 된다.

본 연구는 인간의 치주인대 (periodontal ligament, PDL)의 충격 흡수능력을 고려하지 않고 수행되었기 때문에 시편의 과도한 미세누출 지수 혹은 낮은 접착강도를 보일 가능성도 있다. 따라서 교합력에 대한 치아 보호시스템인 PDL 공간을 고려한 추가 실험이 이루어져야 할 것으로 생각한다.

NCCL의 불리한 위치로 인하여 교합 하중의 비기능적 분배가 집중된다. 그러나 다른 관점에서 보면, 이 부위는 직접적인 교합 접촉에 의한 힘과 교모의 영향을 덜 받는다. 이러한 점에서, 더 낮은 파괴인성 및 마모 저항성에도 불구하고, bulk-fill형 복합레진이 치경부에서 적절한 성능을 보여주었다.

## 결론

본 연구 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻었다:

1. 치경부 복합레진 수복물에서, 열-순환과 응력-순환 처리 후에 bulk-fill형 flowable 복합레진의 변연 봉쇄는 상아질에서 일반 microhybrid 복합레진과 유사하였다.
2. 본 연구에서 사용된 복합레진은 상아질에서 보다 법랑질에서 우수한 변연 봉쇄능 보여주었다.
3. 열-순환과 응력-순환 처리 후 미세인장접착강도는 bulk-fill형 flowable 복합레진이 높은 값을 나타내었다.

이를 바탕으로 미세누출 및 접착강도의 관점에서 볼 때, 치경부 수복에서 bulk-fill형 flowable 복합레진은 기존 microhybrid 복합레진을 대체할 수 있는 재료로 사용할 수 있을 것으로 보인다.

## References

1. Levitch L, Bader J, Shugars D, Heymann H. Non-carious cervical lesions. *Journal of Dentistry* 1994;22(4):195-207.
2. Ceruti P, Menicucci G, Mariani GD, Pittoni D, Gassino G. Non carious cervical lesions. A review. *Minerva Stomatol* 2006;55(1-2):43-57.
3. Ahmed H, Durr ES, Rahman M. Factors associated with Non-Carious Cervical Lesions (NCCLs) in teeth. *J Coll Physicians Surg Pak* 2009; 19(5):279-82.
4. Chan DC, Browning WD, Pohjola R, Hackman S, Myers ML. Predictors of non-carious loss of cervical tooth tissues. *Oper Dent* 2006;31(1):84-8.
5. Tay FR, Pashley DH. Resin bonding to cervical sclerotic dentin: a review. *J Dent* 2004;32(3):173-96.
6. Feilzer A, De Gee A, Davidson C. Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *Journal of Dental Research* 1987;66(11):1636-39.
7. Osborne-Smith KL, Burke FJ, Wilson NH. The aetiology of the non-carious cervical lesion. *Int Dent J* 1999;49(3):139-43.
8. Ichim I, Li Q, Loughran J, Swain MV, Kieser J. Restoration of non-carious cervical lesions Part I. Modelling of restorative fracture. *Dent Mater* 2007;23(12):1553-61.
9. Silva AG, Martins CC, Zina LG, et al. The association between occlusal factors and noncarious cervical lesions: a systematic review. *J Dent* 2013;41(1):9-16.
10. Ichim IP, Schmidlin PR, Li Q, Kieser JA, Swain MV. Restoration of non-carious cervical lesions Part II. Restorative material selection to minimise fracture. *Dent Mater* 2007;23(12):1562-9.
11. Rees J, Jacobsen P. The effect of cuspal flexure on a buccal Class V restoration: a finite element study. *Journal of dentistry* 1998;26(4):361-67.

12. Geramy A, Sharafoddin F. Abfraction: 3D analysis by means of the finite element method. *Quintessence Int* 2003;34(7):526-33.
13. Borcic J, Anic I, Smojver I, et al. 3D finite element model and cervical lesion formation in normal occlusion and in malocclusion. *J Oral Rehabil* 2005;32(7):504-10.
14. Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and contraction stress of dental resin composites. *Dent Mater* 2005;21(12):1150-7.
15. Carvalho RM, Pereira JC, Yoshiyama M, Pashley DH. A review of polymerization contraction: the influence of stress development versus stress relief. *Oper Dent* 1996;21(1):17-24.
16. Pecie R, Krejci I, Garcia-Godoy F, Bortolotto T. Noncarious cervical lesions (NCCL)--a clinical concept based on the literature review. Part 2: restoration. *Am J Dent* 2011;24(3):183-92.
17. Labella R, Lambrechts P, Van Meerbeek B, Vanherle G. Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composites and filled adhesives. *Dent Mater* 1999;15(2):128-37.
18. Cadenaro M, Marchesi G, Antonioli F, et al. Flowability of composites is no guarantee for contraction stress reduction. *Dent Mater* 2009;25(5):649-54.
19. Braga RR, Hilton TJ, Ferracane JL. Contraction stress of flowable composite materials and their efficacy as stress-relieving layers. *J Am Dent Assoc* 2003;134(6):721-8.
20. Heymann HO, Sturdevant J, Bayne S, et al. Examining tooth flexure effects on cervical restorations: A two-year clinical study. *Journal of the American Dental Association* (1939) 1991;122(5):41-47.
21. Tuncer D, Celik C, Yamanel K, Arhun N. 1 year clinical evaluation of microhybrid composites used in the restoration of non-carious cervical lesions. *Oral Health Dent Manag* 2014;13(2):366-71.
22. Leprince JG, Palin WM, Vanacker J, et al. Physico-mechanical characteristics of commercially available bulk-fill composites. *J Dent*

2014;42(8):993-1000.

23. Ilie N, Hickel R. Investigations on a methacrylate-based flowable composite based on the SDR technology. *Dent Mater* 2011;27(4):348-55.
24. Scotti N, Comba A, Gambino A, et al. Microleakage at enamel and dentin margins with a bulk fills flowable resin. *Eur J Dent* 2014;8(1):1-8.
25. Arslan S, Demirbuga S, Ustun Y, et al. The effect of a new-generation flowable composite resin on microleakage in Class V composite restorations as an intermediate layer. *J Conserv Dent* 2013;16(3):189-93.
26. McCubbin J. Abfraction. *J Am Dent Assoc* 2002;133(6):694, 96; author reply 96.
27. Rees JS. The effect of variation in occlusal loading on the development of abfraction lesions: a finite element study. *J Oral Rehabil* 2002;29(2):188-93.
28. Makeeva IM, Sheveliuk Iu V. [The role of abfraction in the aetiology of wedge-shaped defects]. *Stomatologiya (Mosk)* 2012;91(1):65-70.
29. Mitsui FH, Peris AR, Cavalcanti AN, Marchi GM, Pimenta LA. Influence of thermal and mechanical load cycling on microtensile bond strengths of total and self-etching adhesive systems. *Oper Dent* 2006;31(2):240-7.
30. Rees JS, Hammadeh M. Undermining of enamel as a mechanism of abfraction lesion formation: a finite element study. *Eur J Oral Sci* 2004;112(4):347-52.
31. Fruits T, VanBrunt C, Khajotia S, Duncanson Jr M. Effect of cyclical lateral forces on microleakage in cervical resin composite restorations. *Quintessence international (Berlin, Germany: 1985)* 2002;33(3):205.
32. Peumans M, De Munck J, Van Landuyt KL, et al. Restoring cervical lesions with flexible composites. *Dent Mater* 2007;23(6):749-54.

## Abstract

# Effect of thermo-mechanical cycling treatments on the microleakage and bond strength of different cervical composite restorations

Joon-Soo Yi, DDS, MSD

*Department of Dental Biomaterials Science,  
School of Dentistry, Seoul National University*

(Directed by Professor Jin-Soo Ahn, DDS, Ph.D)

The aim of this study is to evaluate the microleakage and the bonding strength of a flowable composite, a bulk-fill flowable composite and a conventional composite after thermal and mechanical cycling in non-carious cervical lesions (NCCL).

Sixty extracted human premolars with buccal cervical cavities (3mm × 2mm × 2 mm) were prepared. Samples were randomly divided into 3 groups (n = 10): FLOW: flowable composite (Filtek Z350 XT Flowable Restorative), BULK: bulk-fill flowable composite (Filtek Bulk Fill Flowable Restorative), Z250: conventional composite (Filtek Z250 Universal Restorative). The cavities were etched with 32% phosphoric acid and bonded with Adper SingleBond 2 Adhesive.

After filling with each composite, the samples were thermocycled under cyclic loading. 2% Methylene blue dye penetration was observed under microscope after 24 hours of immersion and the bonding tests were performed. All results were statistically analyzed ( $\alpha = 0.05$ )

Significantly higher microleakage scores were obtained in FLOW compared with BULK ( $p = 0.036$ ) and Z250 (Group 3) ( $p = 0.036$ ).

BULK group showed significantly high microtensile bond strength to other groups ( $p = 0.002$ ). However, there were no significant difference among groups in shear bond strength ( $p > 0.05$ ).

The bulk-fill composite showed comparable marginal sealing to the conventional microhybrid composite in NCCL after loading. Based on the result of this study, the clinical performance of a bulk-fill flowable composite might be comparable to that of a microhybrid composite in NCCL.

---

**Keywords:** composite resin, NCCL, microleakage, bond strength,  
thermo-mechanical cycling treatment

**Student Number:** 2011-31198