

Evaluation of Shear Bond Strength and Microleakage of Bulk-fill Resin Composites

Hanbyeol Lee, Hyunwoo Seo, Juhyun Lee, Howon Park

Department of Pediatric Dentistry, Oral Science Research Center, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University

Abstract

The aim of this study was to evaluate shear bond strength (SBS) of bulk-fill resin composites (RCs) to dentin and their micro-leakage. One high-viscosity bulk-fill RC and 2 low-viscosity bulk-fill RCs were compared with 1 conventional RC. 7th generation bonding agents were used.

In order to evaluate SBS values, 40 permanent molars were selected and divided into 4 groups. The bulk-fill RCs were applied in 4 mm thickness, whereas the conventional RC was applied in 2 mm thickness.

In order to evaluate micro-leakage, class I cavities (5 × 2 × 4 mm) were prepared in 32 permanent molars. The teeth were divided into 4 groups and restored with resin composites in an increment of 4 mm for the bulk-fill RC and in 2 horizontal increments of 2 mm for the conventional RC.

The mean SBS value of conventional RC showed no statistically significant difference when compared with those of low-viscosity bulk-fill RCs. However, the mean SBS value of high-viscosity bulk-fill RC was significantly lower than that of conventional RC ($p < 0.05$).

There were no statistically significant differences in micro-leakage between the 4 groups.

For SBS and micro-leakage, the use of low-viscosity bulk-fill RCs might help clinicians simplify the procedure.

Key words : Bulk-fill resin composites, Shear bond strength, Micro-leakage, 7th generation bonding agent

I. 서 론

심미 수복에 대한 요구가 전치부 뿐만 아니라 구치부로 확대되면서 수복재료로써 복합레진의 사용이 증가해 왔으며, 이와 관련한 물리적, 기계적 성질 개선 및 수복 술식의 발전이 이루어져왔다.

현재 사용되는 대부분의 복합레진은 methacrylate 계열로, 제한된 중합깊이 및 중합수축과 관련하여 깊은 와동에서는 한번에 중합하는 복합레진의 깊이가 2 mm를 초과하지 않도록 수회에 걸쳐 적층충전 하는 방식이 추천되어왔다^{1,2)}. C-factor (cavity-configuration factor)는 접착면과 비접착면의 비율로, 적층충전을 시행할 경우 C-factor가 감소됨에 따라 2.9-

7.1vol%의 체적 중합수축 및 7 MPa에 달하는 복합레진내의 중합수축응력을 감소시킬 수 있다고 알려져 왔다²⁾. 그러나 적층충전의 경우 긴 술식 시간 및 수복물 내의 기포 함유 등의 단점과 적층충전이 항상 수축응력을 완화시키는 것은 아니며, 오히려 bulk충전에 비해 더 큰 중합수축을 발생시킨다는 주장이 제기되면서 술식 시간을 단축하고, 술식 과정을 단순화 할 수 있는 복합레진에 대한 연구가 진행되었다^{3,4)}.

이러한 노력으로 한번에 4 mm 깊이 또는 그 이상까지 한번에 충전 가능한 bulk-fill 복합레진이 개발되었다^{5,6)}. Bulk-fill 복합레진의 증가된 중합깊이는 반투명성(translucency)의 증가 및 광에 대한 높은 반응성과 관련이 있으며, 중합수축 응력을 감소시키는 기전으로는 중합수축 응력 이완제와 중합 조절제

Corresponding author : Juhyun Lee

Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University, 7 Jukheon-gil, Gangneung, 25457, Korea

Tel: +82-33-640-2452 / Fax: +82-33-640-3113 / E-mail: ljh55@gwnu.ac.kr

Received April 6, 2015 / Revised June 24, 2015 / Accepted June 24, 2015

등을 이용함이 보고되고 있다⁷⁻⁹⁾.

Bulk-fill 복합레진은 저점도(low-viscosity) bulk-fill 복합레진과 고점도(high-viscosity) bulk-fill 복합레진으로 분류할 수 있는데, 전자의 경우 4 mm 깊이에서의 충분한 중합률(degree of conversion)이 보고되고 있으며, 기계적 강도가 낮아 깊은 와동에서 이장재 또는 기저재로 사용되어진다^{6,7,10)}. 후자의 경우 제조사의 설명에 따르면 상부의 기존 복합레진 수복 없이 4 mm 깊이로 단일층 수복이 가능하고, 치아 구조를 재현할 수 있는 특징을 가지고 있다.

현재 bulk-fill 복합레진을 대상으로 기계적 성질, 투광성, 중합률 및 중합깊이, 중합수축 및 중합수축응력, 교두굴곡, 미세누출, 변연적합도, 전단결합강도와 creep변형 등에 관한 연구 결과가 보고되고 있다⁶⁻¹⁹⁾. 그러나 이전 연구의 대다수는 저점도 bulk-fill 복합레진에 국한되어 진행되었으며, 특히 저점도 및 고점도 bulk-fill 복합레진에 관한 전단결합강도 평가와 bulk-fill 복합레진을 4 mm 깊이로 충전했을 때의 미세누출에 관한 연구는 부족하다.

따라서 본 연구에서는 각 제조사에서 추천하는 7세대 상아질 접착제를 사용하여 1종의 고점도 bulk-fill 복합레진과 2종의 저점도 bulk-fill 복합레진의 상아질 전단결합강도 및 미세누출을 conventional 복합레진과 비교 평가하고자 한다.

II. 연구 재료 및 방법

본 연구는 강릉원주대학교 치과병원 임상심사위원회(IRB)의 승인을 받아 시행되었다(IRB File NO.: IRB 2015-01).

1. 연구 재료

이번 연구에서는 1종의 고점도 bulk-fill 복합레진(Tetric N-Ceram Bulk Fill; TBF), 2종의 저점도 bulk-fill 복합레진(Venus bulk fill; VB, SureFil SDR flow; SDR) 그리고 대조군으로 1종의 conventional 복합레진(Filtek Z350; FZ)을 사용하였다(Table 1).

동일 제조사의 복합레진-상아질 접착제의 조합으로 군을 분류하였으며(Table 2), 사용한 7세대 상아질 접착제 4종은 Table 3과 같다.

2. 전단결합강도 측정

1) 시편 제작

발거된 제3대구치 및 치주질환으로 발거된 제1, 2대구치 중 우식이나 파절 또는 수복물이 존재하지 않는 40개를 선택하여 실험 전까지 생리식염수에 보관하였다. 치아를 자가 중합 아크릴릭 레진(Jet Tooth Shade™ Powder, Lang Dental Mfg Inc, Wheeling, U.S.A.)에 임상 치관을 노출시켜 매물한 후 주수 하에 low-speed diamond saw (Accutom-50, Struers, Copenhagen, Denmark)를 이용하여 교합면에 평행하게 치관 중앙부를 절단하였다. 치아의 상아질면은 동일한 도말층 형성을 위해 주수 하에 600-grit sand paper로 표면을 30초간 연마하였고, sand paper는 10개 시편마다 새것으로 교체하였다. 제작된 시편은 무작위로 4개의 군(n = 10)으로 분류하였으며, 시편 제작 후 1시간 이내에 치수와 DEJ 간 거리 1/2 지점

Table 1. Resin composites used in this study

Resin type	Product	Composition	Shade
High-viscositybulk-fill resin composites	Tetric N-Ceram Bulk Fill	Matrix: UDMA, Bis-GMA, Bis-EMA Filer load: 60-61vol%, 79-81wt%	IVA
	Venus bulk fill	Matrix: UDMA, EBADMA Filer load: 38vol%, 65wt%	Universal
Low-viscositybulk-fill resin composites	SureFil SDR flow	Matrix: UDMA, EBPADMA, TEGDMA Filler load: 44vol%, 68wt%	Universal
	Filtek Z350	Matrix: UDMA, BIS-GMA, BIS-EMA, TEGDMA, PEGDMA Filer load: 63.3vol%, 78.5wt%	A2

Bis-GMA = Bisphenol A glycidyl dimethacrylate, Bis-EMA = Bisphenol A polyethylene glycol diether -dimethacrylate, UDMA = urethane dimethacrylate, EBPADMA = epoxyated Bisphenol A dimethacrylate, TEGDMA = triethyleneglycol dimethacrylate, PEGDMA = poly ethylene glycol dimethacrylate

Table 2. Coupling of resin composites and dentin adhesive system

Group	Materials			Manufacture
	Resin composites	Dentin adhesive		
TBF	Tetric N-Ceram Bulk Fill	Tetric N bond self etch		Ivoclar Vivadent,Schaan, Liechtenstein
VB	Venus bulk fill	iBOND Self Etch		Heraeus-Kulzer, Hanau, Germany
SDR	SureFil SDR flow	Xeno V+		Dentsply-Caulk, Molford, DE, USA
FZ	Filtek Z350	Singlebond universal		3M ESPE, St. Paul, MN, USA

TBF = Tetric N-Ceram Bulk Fill, VB = Venus bulk fill, SDR = SureFil SDR flow, FZ = Filtek Z350

에 상아질 접착제와 복합레진을 제조사의 지시에 따라 적용하였다(Fig. 1, Table 3). Bulk-fill 복합레진은 내경 2 mm, 높이 4 mm의 teflon mold를 이용하여 레진 블록을 축조하였고, conventional 복합레진은 내경 2 mm, 높이 2 mm의 teflon mold를 이용하여 레진 블록을 축조하였다. LED 광중합기 (Bluephase®, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)를

이용하여 복합레진 직상방에서 20초간 광조사를 시행하였으며, 실험 전과 각 군에 대한 실험 후 Power intensity meter (Dentamerica®, California, U.S.A.)를 이용하여 광중합기의 광도가 약 800 mW/cm²임을 확인하였다. 제작된 시편을 24시간 동안 상온의 증류수에 보관하였다²⁰⁾.

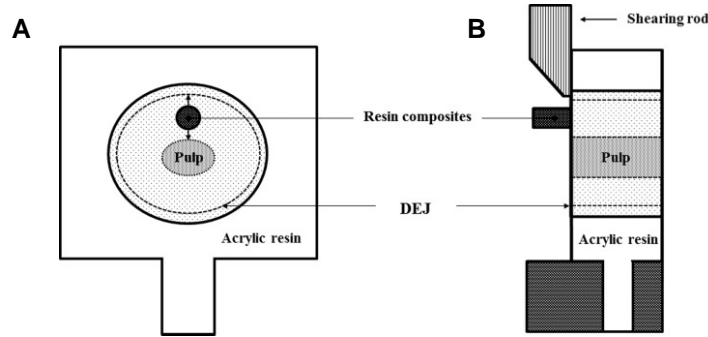


Fig. 1. Schematic diagram of the specimen (A) and the shear bond strength test set-up (B).

Table 3. 7th generation bonding agents used in this study

Product	Composition	General procedures (according to manufacturer)
Tetric N bond self etch	Bis-acrylamide derivative Bismethacrylamide dihydrogenphosphate amino acid acrylamide hydroxyalkyl methacrylamide nano-fillers (SiO ₂) initiators stabilizers water	1. Adhesive application (1 coat, 30s) 2. Air dry (5s) 3. Light polymerization (10s)
iBOND Self Etch	4-META glutaraldehyde UDMA TEGDMA Photoinitiator stabilizers acetone water	1. Adhesive application (1 coat, 20s) 2. Air dry (5s) 3. Light polymerization (20s)
Xeno V+	bifunctional acrylic amides acrylamido alkylsulfonic acid functionalized phosphoric acid ester acrylic acid camphoroquinone photoinitiator stabilizers butylated benzenediol tertiary butanol water	1. Adhesive application (1 coat, 20s) 2. Air dry (5s) 3. Light polymerization (10s)
Singlebond universal	Bis-GMA 2-hydroxyethyl methacrylate decamethylene dimethacrylate silane treated silica 2-Propenoic Acid, 2-Methyl-, reactionproducts with 1, 10-Decanediol phosphorous oxide copolymer of acrylic and itaconic acid camphorquinone dimethylaminobenzoat (-4) tolueneethanol water	1. Adhesive application (1 coat, 20s) 2. Air dry (5s) 3. Light polymerization 10s)

2) 전단결합강도 측정

24시간동안 증류수에 보관한 시편을 건조시킨 후 Universal Testing Machine (R&B Inc., Daejeon, Korea)을 이용하여 cross head speed 1 mm/min의 속도로 전단력을 가했다. 치아 표면에서 복합레진이 탈락될 때의 최대 힘을 컴퓨터에 연결된 Helio X 프로그램을 이용하여 kgf 단위로 측정하였으며, 치아-복합레진 간 접촉 면적으로 나누어 MPa단위로 환산하였다.

3) 파절 양상의 판별

전단결합강도 측정 후 시편의 각 접촉계면에서의 파절 부위를 10 nm 백금 입자 코팅 후 전계방사형 주사전자현미경 (Inspect™ F50, Oregon, U.S.A.)을 이용하여 100배의 비율로 관찰하였다. 파절양상은 다음과 같은 기준으로 판별하였다.

- (1) 부착성 파절(adhesive failure): 상아질과 접착제 사이의 계면에서 파절이 발생한 경우
- (2) 응집성 파절(cohesive failure): 치아 또는 복합레진 내에서 파절선이 존재하는 경우
- (3) 혼합성 파절(mixed failure): 접착계면에서 파절선이 시작하여 한 기질(치아 또는 복합레진)로 진행되는 경우

3. 미세누출 측정

1) 치아 준비 및 와동 형성, 복합레진 충전

발거된 제3대구치 및 치주질환으로 발거된 제1, 2대구치 중 우수식이나 파절 또는 수복물이 존재하지 않는 32개를 선택하여 실험 전까지 생리식염수에 보관하였다. 고속엔진용 #330 carbide bur, #556 carbide bur를 이용하여 주수 하에 치아의 교합면에 근원심 길이 5 mm, 협설 길이 2 mm, 깊이 4 mm의 I 급 와동을 형성하였으며, 5개의 와동을 형성할 때마다 새로운 bur를 사용하였다.

형성된 와동을 무작위로 8개씩 4개의 군으로 분류하였고, 제조사의 지시대로 상아질 접착제를 도포한 후(Table 3) 해당 복합레진을 다음과 같은 방법으로 충전하였다.

가. Bulk-fill 복합레진: 4 mm 단일층을 교합면으로부터 40 초간 광중합 하였다.

나. Conventional 복합레진: 2 mm씩 2회 수평 적층충전 하였고, 각 층마다 교합면으로부터 40초간 광중합 하였다.

중합된 복합레진 표면을 주수 하에 extra-fine diamond finishing bur를 이용하여 각 시편 당 15초씩 마무리와 연마를 시행하였으며, 모든 과정은 동일한 술자가 진행하였다.

2) 시편 처리

수복물의 완전한 경화를 위해 시편을 24시간 동안 상온의 증류수에 보관한 후 한 군당 제작된 8개의 시편을 무작위로 4 개씩 두 소집단(subgroup)으로 나누었다. 소집단 A에서는 열순환을 시행하지 않았으며, 소집단 B에서는 5℃와 55℃에서 각각 30초 씩 침적시키는 방법으로 총 500회의 열순환을 시행하였다²¹⁾.

치근단공을 통해 염색액이 침투하는 것을 막기 위해 치근단 공부위를 복합레진으로 봉쇄한 후 수복물 주위 1 mm를 제외한 전 치면에 nail varnish를 2회 도포하였다. 시편을 건조시킨 후 2% methylene blue 용액에 넣어 24시간 동안 침적시킨 후 흐르는 물에 세척하였다.

시편을 저속 diamond disk를 이용하여 주수 하에 각 수복물의 중앙부가 통과되도록 치아의 장축에 평행하게 협설 방향으로 이등분하였다. 각 시편의 절단면을 주수 하에 600-grit sand paper로 최종 연마하여 한 개의 와동에 대해 diamond disk의 두께 및 연마된 두께 만큼 떨어져 위치한 서로 다른 부위의 2개의 시편을 제작하였다(n = 16).

3) 미세누출의 판별

광학 현미경(Global dental microscope, St. Louis, MO, U.S.A)를 이용하여 19.2배율로 염색 용액의 침투정도를 협측, 설측의 치아-복합레진간 계면을 관찰하고 이를 기록하였다. 염색 용액의 침투도 판정기준은 다음과 같다(Fig. 2).

0: 색소 침투가 없는 경우

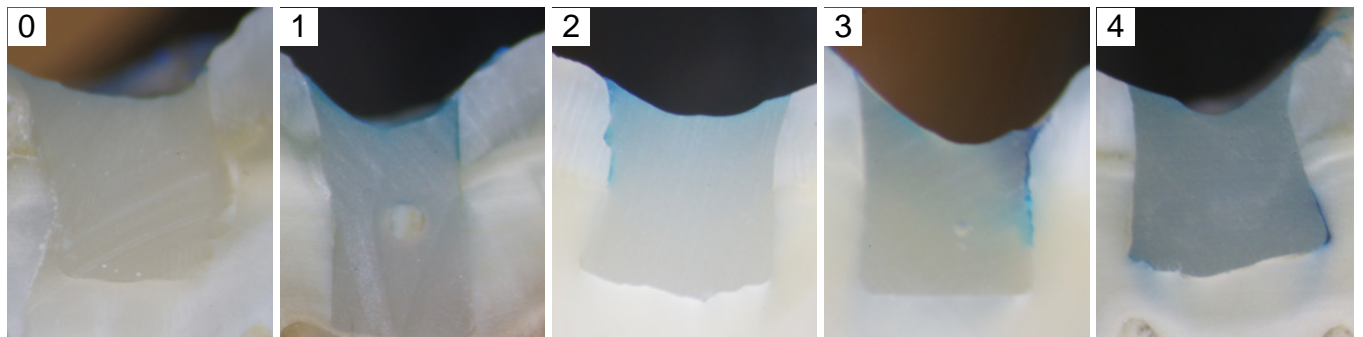


Fig. 2. Pictures of sectioned specimens for the rating of the methylene blue penetration (×19.2).

- 1: 색소가 와동 측벽 길이의 1/3이하로 침투한 경우
- 2: 색소가 와동 측벽 길이 합이 1/3을 초과하였으나 2/3이하인 경우
- 3: 색소가 와동의 측벽 길이 합이 2/3를 초과하였으나 치수 벽에 도달하지 않은 경우
- 4: 색소가 치수벽까지 침투한 경우

4. 통계처리

연구에 사용된 자료의 분석 및 통계처리는 SPSS 21.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, U.S.A.)을 사용하였고 유의수준은 0.05로 하였다. 각 군간의 전단결합강도를 비교하기 위해 One-way ANOVA를 이용하였으며, Tukey's honest significant difference test로 사후 검정하였다. 각 군간의 미세누출에 대한 유의성 검증은 Kruskal-Wallis test와 Mann-Whitney test ($p < 0.0083$, Bonferroni correction)를 이용하여 시행하였으며, 소집단 간의 차이는 Wilcoxon signed rank test를 이용하여 분석하였다.

Ⅲ. 연구 성적

1. 전단결합강도 측정

각 군의 평균 전단결합강도는 Table 4와 같다. 평균 전단 결합강도는 SDR군에서 21.91 MPa로 가장 높게 나타났고, TBF군에서 11.11 MPa로 가장 낮게 나타났다. SDR군과 FZ군 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 존재하지 않았으며, 두

군 모두 TBF군보다 유의하게 높은 값을 나타내었다($p < 0.05$). VB군은 다른 군과는 유의한 차이가 없었으나, SDR군에 비해 유의하게 낮은 전단결합강도 값을 보였다($p < 0.05$).

2. 파절 양상

본 실험에서 평균 전단결합강도 값이 가장 높게 나타난 SDR군에서는 혼합성 파절양상(60%)과 응집성 파절양상(40%)이 관찰되었다. FZ군과 TBF군에서는 세 가지 파절양상이 모두 관찰되었으나 평균 전단결합강도가 비교적 높은 FZ군에서는 주로 응집성 파절양상(50%)과 혼합성 파절양상(30%)이 관찰되었고, 평균 전단결합강도가 비교적 낮은 TBF군에서는 주로 부착성 파절양상(70%)이 관찰되었다. VB군의 경우 부착성 파절양상(80%)과 혼합성 파절양상(20%)이 관찰되었다(Table 5, Fig. 3-6).

3. 미세누출 측정

각 군의 미세누출 점수는 Table 6와 같다. 열순환처리를 하지 않은 소집단 A에서 FZ군이 가장 높은 미세누출을 보였고, SDR군에서 가장 낮은 미세누출을 보였으나 각 군 간의 통계적으로 유의한 차이는 존재하지 않았다. 열순환처리한 소집단 B에서는 VB군에서 가장 높은 미세누출을, SDR군에서 가장 낮은 미세누출을 보였으나 각 군 간의 통계적으로 유의한 차이는 존재하지 않았다. 모든 군에서 열순환처리한 소집단 B에서 열순환처리를 하지 않은 소집단 A보다 유의하게 높은 미세누출이 관찰되었다($p < 0.05$).

Table 4. Descriptive statistics of the shear bond strength values, results of the multiple comparison test (N = 10)

Group	Mean ± SD (MPa)	Minimal (MPa)	Maximal (MPa)
TBF	11.11 ± 6.19 ^a	5.07	22.08
VB	15.80 ± 4.73 ^{ac}	8.65	24.03
SDR	21.91 ± 2.43 ^b	18.02	24.95
FZ	21.16 ± 5.52 ^{bc}	11.77	28.11

TBF = Tetric N-Ceram Bulk Fill, VB = Venus bulk fill, SDR = SureFil SDR flow, FZ = Filtek Z350

SD = standard deviation

Within the same column, different superscript letters denote significant differences between groups at the $p = 0.05$ level according to the Tukey's honest significant difference test.

Table 5. Distribution of the mode of fracture according to the scanning electron photomicrographs (N = 10)

Group	Mode of fracture		
	adhesive	mixed	cohesive
TBF	7 (70%)	1 (10%)	2 (20%)
VB	8 (80%)	2 (20%)	0 (0%)
SDR	0 (0%)	6 (60%)	4 (40%)
FZ	2 (20%)	3 (30%)	5 (50%)

TBF = Tetric N-Ceram Bulk Fill, VB = Venus bulk fill, SDR = SureFil SDR flow, FZ = Filtek Z350

Table 6. Microleakage score (mean ± SD) of the groups tested (N = 16)

Group	Microleakage score										Mean ± SD	
	Subgroup A (without aging)					Subgroup B (with aging)					Subgroup A	Subgroup B
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4		
TBF	4	8	2	0	2	2	3	3	2	6	1.25 ± 1.23 ^a	2.44 ± 1.50 ^b
VB	6	5	2	1	2	1	4	3	1	7	1.25 ± 1.39 ^a	2.56 ± 1.45 ^b
SDR	4	6	6	0	0	1	3	7	2	3	1.13 ± 0.80 ^a	2.19 ± 1.16 ^b
FZ	6	4	3	0	3	3	4	0	0	9	1.38 ± 1.50 ^a	2.50 ± 1.78 ^b

TBF = Tetric N-Ceram Bulk Fill, VB = Venus bulk fill, SDR = SureFil SDR flow, FZ = Filtek Z350

SD = standard deviation

Within the same row, different superscript letters denote significant differences between groups at the $p = 0.05$ level according to the Wilcoxon signed rank test.

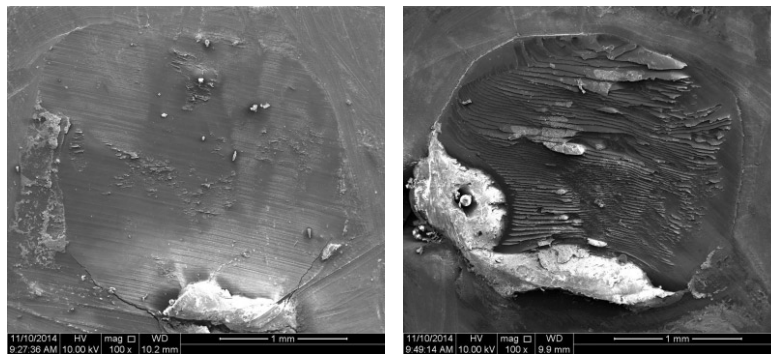


Fig. 3. Scanning electron photomicrographs of representative failure mode in TBF (Tetric N-Ceram Bulk Fill) group (Left: adhesive failure, Right: cohesive failure).

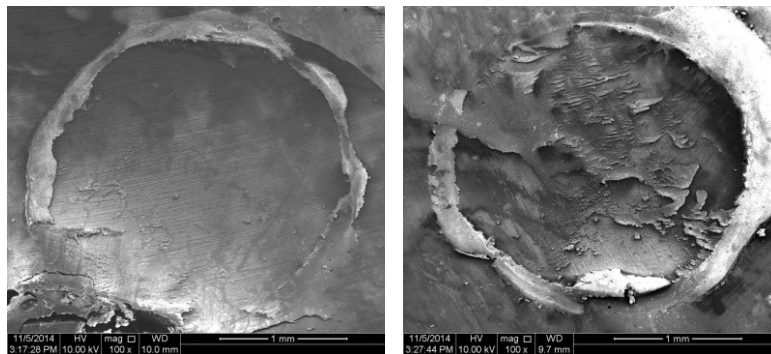


Fig. 4. Scanning electron photomicrographs of representative failure mode in VB (Venus bulk fill) group (Left: adhesive failure, Right: mixed failure).

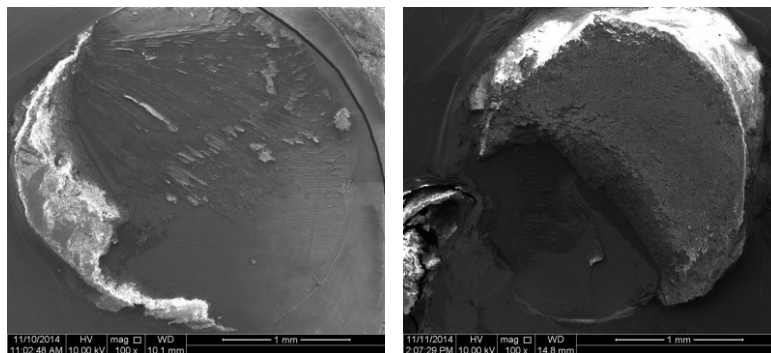


Fig. 5. Scanning electron photomicrographs of representative failure mode in SDR (sureFil SDR flow) group (Left: mixed failure, Right: cohesive failure).

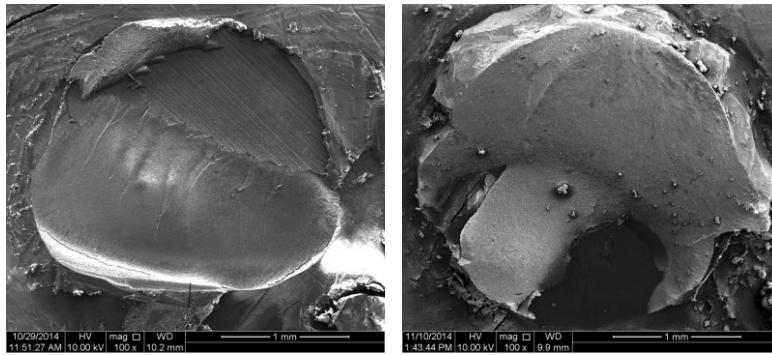


Fig. 6. Scanning electron photomicrographs of representative failure mode in FZ (Filtek Z350) group (Left: mixed failure, Right: cohesive failure).

IV. 총괄 및 고찰

복합레진의 중합수축은 중합이 일어날 때 생성되는 짧은 공유 결합에 기인한 단량체 분자간의 거리 감소로 인해 발생한다. 중합 과정 중 겔 지점에 도달하면 중합사슬이 얽히게 되어 공유-교차 결합 네트워크가 형성되는데, 이 때 수축응력이 복합레진 내부에 발생하게 된다²²⁾. 중합수축응력은 접착 치질의 변위를 초래하며, 결과적으로 변연부 소실, 미세누출, 이차 우식, 법랑질의 미세파절, 치아 교두 굴곡 및 술 후 과민증이 야기될 수 있다. 또한 중합수축응력의 크기가 복합레진-상아질 간 결합력보다 클 경우에는 결합 실패가 발생 한다²³⁻²⁵⁾.

저점도 bulk-fill 복합레진인 sureFil SDR flow와 Venus bulk fill의 경우 큰 크기의 필러를 사용하여 필러-매트릭스 접촉면적을 감소시킴으로써 광투과성이 개선되어 중합 깊이가 증가하였다고 생각되며, 최대수축응력 도달 시간의 연장 및 낮은 탄성계수가 중합수축응력을 감소시키는 기전으로 보고되고 있다^{11,14,26,27)}. 고점도 bulk-fill 복합레진인 Tetric N-Ceram bulk fill의 경우 기존 개시제와 더불어 새로운 광개시제인 Ivocerin을 사용하여 중합 효율과 중합깊이가 증가되었고, 중합수축응력 완충제 및 미리 중합된 필러의 사용이 탄성계수를 낮추어 중합수축응력을 감소시켰다고 알려져 있다²⁸⁾.

Bulk-fill 복합레진의 전단결합강도에 대한 이전의 연구에서는 Tetric EvoCeram Bulk Fill (TECBF)보다 SDR에서 높은 전단결합강도를 보고하고 있다^{17,18)}. TECBF는 이번 연구에서 사용한 TBF와 성분은 동일하나 matrix함량을 약 1.5% 줄이고, 필러 함량을 약 1.5% 증가시킨 복미 지역에서 출시된 동일 제조사의 제품이다. 이번 실험 결과 TBF군(11.11 MPa)과 비교하였을 때 SDR군(21.91 MPa)에서 유의하게 높은 평균 전단결합강도 값을 보여 이전의 연구 결과와 일치함을 확인하였다.

대조군인 FZ군과 비교하였을 때, 저점도 bulk-fill 복합레진인 SDR군과 VB군에서는 유의한 차이가 존재하지 않았으나, 고점도 bulk-fill 복합레진인 TBF군에서는 유의하게 낮은 전단결합강도 값이 관찰되었다. 이러한 결과의 요인으로 복합레진

의 흐름성과 중합깊이를 생각해 볼 수 있다^{10,14,17,29)}. 이번 연구에서는 복합레진을 축조하기 위하여 2 mm 직경의 teflon mold를 사용하였는데 상아질-복합레진 접촉 면적이 좁아 복합레진의 흐름성이 부족한 경우 제대로 치면과 접촉되지 않아 전단결합강도에 영향을 미쳤을 것으로 판단되며, 특히 표준편차 값이 가장 컸던 TBF군에서 그 영향이 컸으리라 생각한다. 중합 깊이와 관련하여 저점도 bulk-fill 복합레진에서는 4 mm 깊이에서 충분한 중합률이 보고되는 반면, 고점도 bulk-fill 복합레진에서는 논란이 있다^{10,14,29)}. 복합레진 전체 깊이에 충분한 광이 도달하지 못한다면 중합률 감소와 더불어 복합레진-상아질 결합강도가 약화되므로 이에 대한 후속 연구를 통해 상관성 확인이 필요하다³⁰⁾.

이번 연구 결과 저점도 bulk-fill 복합레진인 SDR군과 VB군 사이에 유의한 전단결합강도의 차이가 존재하였다. 이는 SDR군에 비해 VB군의 높은 중합수축응력을 보고한 이전 연구를 근거해서 VB군에서 낮은 전단결합강도 값이 나타났다고 생각할 수 있다^{4,31)}.

Leloup 등³²⁾은 결합 강도가 클수록 응집성 파절양상의 비율이 높다고 보고하였으며, Ilie 등¹⁷⁾은 혼합성 또는 응집성 파절양상이 높은 전단결합강도와 연관 있음을 보고하였다. 이번 연구에서도 평균 전단결합강도가 높은 SDR군과 FZ군에서는 혼합성 또는 응집성 파절양상이 주로 관찰된 반면, 평균 전단결합강도가 낮은 VB군, TBF군에서는 주로 부착성 파절양상이 관찰되어 기존의 연구와 일치함을 확인하였다.

이번 연구에서는 bulk-fill 복합레진의 미세누출을 확인하기 위하여 교합면에 4 mm깊이의 box형태의 와동을 형성하였다. 이 와동처럼 높은 C-factor를 가지는 경우에는 중합수축으로 인해 접착면이 파괴되어 미세누출이 발생하기 쉬워진다¹⁶⁾. 수복물의 미세누출을 평가하는 방법으로는 색소침투법, 주사전자현미경을 이용한 변연적합도 분석법, 공기압력 이용법, 방사선 동위원소 이용법, 중성자활성 분석법등을 이용할 수 있으며, 최근에는 3차원 재구성법, 미세단층 촬영법 등이 이용되고 있다. 이 중 2차원적 정성평가로 색소침투법과 주사전자현미경을 이용한 변연적합도 분석법이 널리 사용되고 있는데, 이 두 방법을 이용

한 외부변연적합도와 내부변연적합도 사이에 유의한 상관관계가 있다는 연구 결과에 따라 이번 연구에서는 미세누출을 확인하기 위하여 색소침투법을 사용하였다³³⁾.

이번 연구 결과 열순환처리 유무에 상관없이 SDR군에서 가장 낮은 미세누출 값을 보였으나 FZ군과 통계적으로 유의한 차이가 존재하지 않아 SDR이 기존 복합레진과 비슷한 수준의 변연적합도를 보인다는 이전의 연구결과와 일치하였다^{8,13,15,16)}. 또한 VB군과 TBF군에서도 FZ군과 통계적으로 유의한 차이가 존재하지 않아 저점도 뿐만 아니라 고점도 bulk-fill 복합레진의 사용 역시 미세누출정도에 영향을 미치지 않았음을 확인하였다.

이번 연구에서 사용한 7세대 상아질 접착제들은 표층의 도말층을 녹이거나 변형시켜 집적 접착시키는 방식으로, 높은 미세누출, 낮은 결합강도 그리고 수분 흡수 증가로 인한 장기간의 제한적인 내구성 등이 문제점으로 대두되어왔다³⁴⁾. 그러나 Margvelashvili 등³⁵⁾은 유기용매를 포함한 7세대 상아질 접착제가 4세대 상아질 접착제와 통계적인 관점에서 비견될 만한 결합 강도를 보임을 보고하였으며, 적용 과정의 단순성과 편리성으로 인해 최근 7세대 상아질 접착제의 사용이 증가하고 있다.

Roggendorf 등¹⁵⁾은 SDR을 기저제로 사용하였을 때 시효처리 전에는 4세대 및 7세대 상아질 접착제 모두에서 높은 변연적합성을 보였으나, 시효처리를 가하고 난 후에는 4세대 상아질 접착제를 사용했을 때 변연적합성이 유의성 있게 높았음을 보고하였다. 7세대 상아질 접착제를 사용한 이번 연구에서 열순환처리를 했을 때 모든 군에서 미세누출이 유의하게 증가함을 확인하였다. 이러한 경향에는 상아질 접착제가 주요 요인으로 작용할 수 있으며, 상아질 접착제 자체가 전단결합 강도에도 영향을 미칠 수 있으므로 다양한 세대의 접착 시스템을 사용한 후속 연구가 필요하다.

저점도 bulk-fill 복합레진은 강도 보강을 위해 상부 피복층이 필요하므로 단일층 충전이 가능한 고점도 bulk-fill 복합레진과 비교 시 시술 시간이 늘어나게 되나 기존의 적응술식에 비해서는 시간을 단축할 수 있다. 고점도 bulk-fill 복합레진의 경우 흐름성이 낮아 좁고 접근이 어려운 와동에 충전하는데 제한이 있으며, 본 실험결과 미세누출에서는 유의한 차이가 없었으나, 4 mm 깊이에서 유의하게 낮은 전단결합강도를 보였다.

따라서 전단결합강도와 미세누출 측면에서 생각했을 때 저점도 bulk-fill 복합레진의 사용이 술식 간소화와 관련하여 임상에서의 활용도가 높을 것으로 생각되며, 고점도 bulk-fill 복합레진에 관해서는 후속 연구를 통해 임상적 효용성에 대한 논의가 필요하다.

V. 결 론

본 연구는 1종의 고점도 bulk-fill 복합레진(Tetric N-Ceram Bulk Fill; TBF)과 2종의 저점도 bulk-fill 복합레진(Venus bulk fill; VB, SureFil SDR flow; SDR)의 상아질 전단결합강도 및 미세누출을 conventional 복합레진(Filtek Z350; FZ)과 비교 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

평균 전단결합강도값은 SDR (21.91 MPa), FZ (21.16 MPa), VB (15.80 MPa), TBF (11.11 MPa) 순으로 관찰되었고, 대조군인 FZ군과 비교하였을 때 저점도 bulk-fill 복합레진(SDR, VB)에서는 통계적으로 유의한 차이가 존재하지 않았으며, 고점도 bulk-fill 복합레진(TBF)에서는 유의하게 낮은 전단결합강도 값을 보였다($p < 0.05$).

미세누출과 관련하여 각 군 간의 통계적으로 유의한 차이는 존재하지 않았으며, 모든 군에서 열순환처리를 했을 때 열순환처리를 하지 않았을 때보다 유의하게 높은 미세누출이 관찰되었다($p < 0.05$).

References

1. Kubo S, Yokota H, Yokota H, Hayashi Y : The effect of light-curing modes on the microleakage of cervical resin composite restorations. *J Dent*, 32:247-254, 2004.
2. Karthick K, Sivakumar K, Geetha P, Shankar S : Polymerization Shrinkage of Composites - A Review. *J Ind Acad Dent Spec*, 2:32-36, 2011.
3. Winkler MM, Katona TR, Paydar NH : Finite element stress analysis of three filling techniques for class V light-cured composite restorations. *J Dent Res*, 75:1477-1483, 1996.
4. Versluis A, Douglas WH, Cross M, Sakaguchi RL : Does an incremental filling technique reduce polymerization shrinkage stresses? *J Dent Res*, 75:871-878, 1996.
5. Manhart J, Hickel R : Bulk-fill-composites. Modern application technique of direct composites for posterior teeth. *Swiss Dent J*, 124:19-37, 2014.
6. Czasch P, Ilie N : In vitro comparison of mechanical properties and degree of cure of bulk fill composites. *Clin Oral Investig*, 17:227-235, 2013.
7. Bucuta S, Ilie N : Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk fill vs. conventional resin based composites. *Clin Oral Investig*, 18:1991-2000, 2014.
8. Moorthy A, Hogg CH, Fleming GJ, et al. : Cuspal deflection and microleakage in premolar teeth restored with bulk-fill flowable resin-based composite base materials. *J Dent*, 40:500-505, 2012.
9. Campos EA, Ardu S, Krejci I, et al. : Marginal adaptation of class II cavities restored with bulk-fill composites. *J Dent*, 42:575-581, 2014.
10. Alrahlah A, Silikas N, Watts DC : Post-cure depth of bulk fill dental resin-composites. *Dent Mater*, 30:149-154, 2014.

11. El-Damanhoury H, Platt J : Polymerization shrinkage stress kinetics and related properties of bulk-fill resin composites. *Oper Dent*, 39:374-382, 2014.
12. Leprince JG, Palin WM, Leloup G, *et al.* : Physico-mechanical characteristics of commercially available bulk-fill composites. *J Dent*, 32:247-254, 2014.
13. Scotti N, Comba A, Berutti E, *et al.* : Microleakage at enamel and dentin margins with a bulk fills flowable resin. *Eur J Dent*, 8:1-8, 2014.
14. Jang JH, Park SH, Hwang IN : Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk-fill resin composites and highly filled flowable resin. *Oper Dent*, 40:172-180, 2015.
15. Roggendorf MJ, Kramer N, Frankenberger R, *et al.* : Marginal quality of flowable 4-mm base vs. conventionally layered resin composite. *J Dent*, 39:643-647, 2011.
16. Van Ende A, De Munck J, Van Meerbeek B, *et al.* : Bulk-filling of high C-factor posterior cavities: effect on adhesion to cavity-bottom dentin. *Dent Mater*, 29:269-277, 2013.
17. Ilie N, Schoner C, Bucher K, Hickel R : An in-vitro assessment of the shear bond strength of bulk-fill resin composites to permanent and deciduous teeth. *J Dent*, 42:850-855, 2014.
18. Flury S, Peutzfeldt A, Lussi A : Influence of increment thickness on microhardness and dentin bond strength of bulk fill resin composites. *Dent Mater*, 30:1104-1112, 2014.
19. El-Safty S, Silikas N, Watts DC : Creep deformation of restorative resin-composites intended for bulk-fill placement. *Dent Mater*, 28:928-935, 2012.
20. Goodis HE, Marshall GW Jr, Marshall SJ, *et al.* : Storage effects on dentin permeability and shear bond strengths. *Dent Mater*, 9:79-84, 1993.
21. Kim CY, Shin DH : Microleakage of composite resin restoration according to the number of thermocycling. *J Korean Acad Conserv Dent*, 32:377-384, 2007.
22. Venhoven BA, de Gee AJ, Davidson CL : Polymerization contraction and conversion of light-curing BisGMA-based methacrylate resins. *Biomaterials*, 14:871-875, 1993.
23. Sakaguchi RL, Wiltbank BD, Shah NC : Critical configuration analysis of four methods for measuring polymerization shrinkage strain of composites. *Dent Mater*, 20:388-396, 2004.
24. Yamazaki PC, Bedran-Russo AK, Pereira PN, Wsift EJ Jr : Microleakage evaluation of a new low-shrinkage composite restorative material. *Oper Dent*, 31:670-676, 2006.
25. Eick JD, Welch FH : Polymerization shrinkage of posterior composite resins and its possible influence on postoperative sensitivity. *Quintessence Int*, 17:103-111, 1986.
26. Technical Manual - SureFil SDR Flow from Dentsply Caulk. Assessment service. Available from URL: http://www.surefilstrflow.com/sites/default/files/SureFil_Technical_Manual.pdf (Assesd on September 7, 2014)
27. Scientific Compendium Venus BulkFill reported by Heraeus kulzer. Available from http://heraeus-kulzer-us.com/media/webmedia_local/media/pdf_files/scientific_compendiums__from_hkg/Venus_Bulk_Fill_Scientific_Compendium.pdf (Assesd on September 7, 2014)
28. Tetric N-Ceram Bulk Fill - Ivoclar Vivadent Asia. Assessment service. Available from URL: <http://asia.ivoclarvivadent.com/zoolu-website/media/document/15761/Tetric+N-Ceram+Bulk+Fill> (Assesd on September 7, 2014)
29. Alshali RZ, Silikas N, Satterthwaite JD : Degree of conversion of bulk-fill compared to conventional resin-composites at two time intervals. *Dent Mater*, 29:e213-e217, 2013.
30. Xu X, Sandras DA, Burgess JO : Shear bond strength with increasing light-guide distance from dentin. *J Esthet Restor Dent*, 18:19-27, 2006.
31. A laboratory Evaluation of Bulk-Fill Versus Traditional Multi-Increment-Fill Resin-Based Composites reported by ADA Professional Product Review. Assessment service. Availabe from URL: http://www.ada.org/~media/ADA/Publications/PPR/PPR_VOL8_ISS3.ashx (Assesd on December 10, 2014)
32. Leloup G, D'Hoore W, Vreven J, *et al.* : Meta-analytical review of factors involved in dentin adherence. *J Dent Res*, 80:1605-1614, 2001.
33. Hwang SJ, Shin DH : Estimation of relation for microleakage and SEM evaluation for marginal adaptation of the restoration. *J Korean Acad Conserv Dent*, 31:337-343, 2006.
34. Knobloch LA, Gailey D, Kerby RE, *et al.* : Bond strengths of one- and two-step self-etch adhesive systems. *J Prosthet Dent*, 97:216-222, 2007.
35. Margvelashvili M, Goracci C, Ferrari M, *et al.* : In vitro evaluation of bonding effectiveness to dentin of all-in-one adhesives. *J Dent*, 38:106-112, 2010.

국문초록

Bulk-fill 복합레진의 상아질 전단결합강도 및 미세누출

이한별 · 서현우 · 이주현 · 박호원

강릉원주대학교 치과대학 소아치과학교실 및 구강과학연구소

본 연구의 목적은 bulk-fill 복합레진의 상아질 전단결합강도 및 미세누출을 평가함에 있다.

실험군으로 1종의 고점도 bulk-fill 복합레진과 2종의 저점도 bulk-fill 복합레진을 사용하였고 대조군으로 1종의 conventional 복합레진을 사용하였다. 상아질 접착제는 7세대를 사용하였다.

영구치를 4군으로 나눈 후 전단결합강도 측정을 위해 레진블록을 실험군은 4 mm, 대조군은 2 mm 두께로 축조하였고, 미세누출을 평가를 위해 실험군은 4 mm 단일층 충전, 대조군은 2 mm씩 2회 적층충전을 시행하였다.

전단결합강도와 관련하여 대조군과 비교하였을 때 저점도 bulk-fill 복합레진에서는 통계적으로 유의한 차이가 존재하지 않았으나, 고점도 bulk-fill 복합레진에서는 유의하게 낮은 값이 관찰되었다($p < 0.05$).

미세누출과 관련하여 4군 사이에 통계적으로 유의한 차이가 존재하지 않았다.

주요어: Bulk-fill 복합레진, 전단결합강도, 미세누출, 7세대 상아질 접착제