

Comparison of Mechanical Properties between Bulk-fill and Conventional Composite Resin

Ujeong Seok, Jongbin Kim, Kiseob Kim, Jongsoo Kim

Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Dankook University

Abstract

The aim of this study was to compare the mechanical properties of high viscosity bulk-fill resin composites, Filtek™ Bulk Fill Posterior Restorative (FBF) and Tetric® N-Ceram Bulk Fill (TBF), with conventional composite (Filtek™ Z-350 XT, Z-350). The Vickers hardness test which indicates the degree of conversion was performed and the dye penetration test was performed to measure the microleakage which indicates polymerization shrinkage amount. To minimize experimental error, the standardized 3D-printed molds and the bovine teeth were used. Obtained data were analyzed by the Kruskal-Wallis test and Mann-Whitney test with the confidence interval of 95%. In the microhardness test within 1 hour of polymerization, lower surface of FBF and TBF showed significantly lower value than that of Z-350 ($p < 0.05$). But after 24 hours, the microhardness of FBF had increased and showed no significant difference with Z-350 ($p > 0.05$). In top and 2 mm depth surface, mean microhardness values were in the following order: Z-350 > FBF > TBF ($p < 0.05$). The mean microleakage value of TBF was significantly lower than others ($p < 0.05$). For clinical application of bulk-fill resin composites, caution for applying masticatory forces during 24 hours after polymerization is advised and further studies to decrease microleakage should be conducted.

Key words : Bulk-fill resin, Microhardness, Microleakage, 3D-printed molds, Bovine teeth

Ⅰ. 서 론

복합레진은 치질과의 접착력과 강도 및 심미성 등 여러 면에서 만족스러운 수복재료로 자리매김하고 있다. 그런데 유치와 영구치 간의 해부학적 구조 차이뿐만 아니라 소아치과 영역에서 발생하는 협조도의 문제로 영구치에 비해 유치에 적용한 복합레진의 수명이 상대적으로 짧은다는 보고들은 유치 수복 시 더욱 신중을 기해야 함을 의미한다¹⁻³⁾. 복합레진을 선택할 때 고려해야 할 중합수축은 복합레진 내의 단량체들이 교차 결합하여 고분자로 전환하는 과정에서 발생하는 2 - 3% 정도의 부피 감소로 치면과의 계면에 수축응력을 발생시킨다. 수축응력으로

인해 계면 간 미세누출이 발생할 경우 술 후 민감성, 수복물의 탈락, 이차우식 등으로 이어질 수 있다³⁻⁵⁾. 또한 광중합형 복합레진은 광원이 도달할 수 있는 깊이에 제한이 있어 적절한 중합을 얻고 중합수축을 최소화하기 위해 최대 2 mm 두께 이하로 적층충전 할 것을 권장하고 있다⁶⁾.

최근 소개된 bulk-fill 복합레진은 조성 및 함량의 최적화를 통해 4 mm 깊이까지 bulk-filling이 가능하며 중합시의 수축물 또한 감소시켰다고 알려져 있다^{7,8)}. 최근 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고는 있으나 교합면에 직접 적용이 가능한 재료보다는 이장용 재료에 국한된 연구가 대부분 이루어지고 있어 실제 적용과는 거리가 있는 실정이다⁹⁻¹¹⁾.

Corresponding author : Jongsoo Kim

Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Dankook University, 119, Dandae-ro, Dongnam-gu, 31116, Republic of Korea

Tel: +82-41-550-0223 / Fax:+82-41-551-1935 / E-mail : jskim@dku.edu

Received July 13, 2016 / Revised September 1, 2016 / Accepted August 25, 2016

따라서 본 연구에서는 교합면 적용이 가능한 두 종류의 고정도 bulk-fill 복합레진의 물성을 기존 복합레진과 비교해 보고자 하였다. 재료의 중합도를 반영할 수 있는 비커스 미세경도를 측정하고 색소 침투법으로 중합수축양을 간접 측정하였다¹²⁾. 또한 광조사 이후 Post-curing이 진행되는 재료임을 감안해 중합 1시간 이내와 24시간 이후의 미세경도 차이를 비교해 보았다. 실험 오차를 줄이기 위해 우치 및 3D 프린터로 제작한 주형을 사용하여 향후 재료 실험 설계 시 재료의 특성에 맞는 주형 제작에 해당 기기를 접목하였을 때의 효용성을 함께 평가해 보고자 하였다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

구치부 수복이 가능한 bulk-fill 복합레진인 Filtek™ Bulk Fill Posterior Restorative (3M ESPE, USA)와 Tetric® N-Ceram Bulk Fill (Ivoclar vivadent, Germany) 및 conventional 복합레진 Filtek™ Z-350 XT (3M ESPE, USA)에서 가장 밝은 색조를 선택해 각각 1, 2, 3군으로 하였으며 각 군당 시편 수는 15개로 설정하였다(Table 1). 상아질 접착제로는 Single bond (3M ESPE, USA)를 사용하였으며, Elipar Trilight (3M ESPE, USA)를 이용하여 광중합 하였다.

2. 방법

1) 미세경도 측정

(1) 주형 디자인

주형을 활택한 후에도 상, 하면이 구분되도록 상면에 음형의 dot를 디자인하였고 시편 절단 시 고정할 부분 및 절단면의 미세경도 측정 시 주형이 안정적으로 놓일 부분을 Fig. 1과 같이 디자인하였다. 123Design (Autodesk, USA) 프로그램으로 구현한 이미지를 DELTA KIT 250 (S3D, KOREA)를 이용해

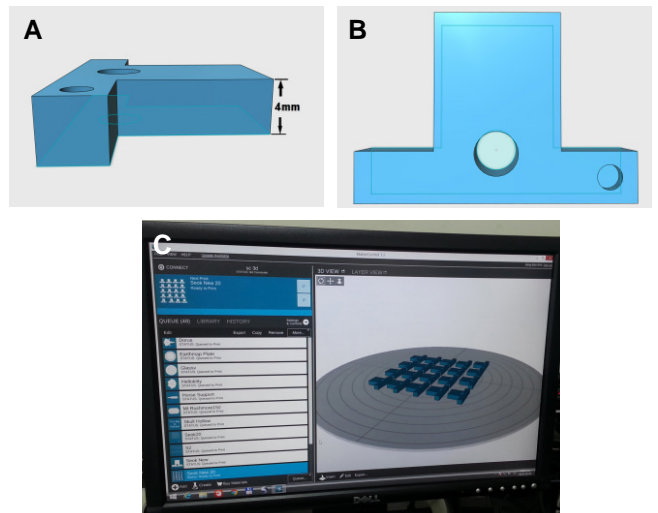


Fig. 1. Schematic diagram of the resin mold.

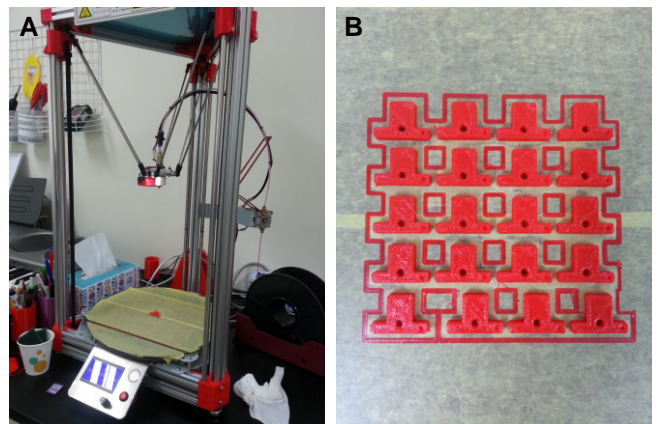


Fig. 2. (A) 3D printer used in this study. (B) PLA (Poly Lactic Acid) mold.

군 별로 다른 색상의 PLA (Poly Lactic Acid) 필라멘트로 압출 프린트하였다(Fig. 2).

Table 1. Materials used in this study and their composition

Group (n=20)	Material	Manufacturer	Shade	Organic Matrix	Filler	Filler Loading (wt%)
1	Filtek™ Bulk Fill Posterior Restorative (FBF)	3M ESPE	A2	BIS-GMA, BIS-EMA, UDMA, AFM, DDDMA	Zirconia/silica, Ytterbium Trifluoride	76.5
2	Tetric® N-Ceram Bulk Fill (TBF)	Ivoclar Vivadent	IVW	Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA	Barium glass, Ytterbium Trifluoride, Mixed oxide	75-77
3	Filtek™ Z-350 XT (Z-350)	3M ESPE	A2	BIS-GMA, BIS-EMA, UDMA with small amounts of TEGDMA	Zirconia/Silica	78.5

Bis-GMA = Bisphenol A dimethacrylate, Bis-EMA = Bisphenol A polyethylene glycol diether dimethacrylate, UDMA = Urethane dimethacrylate, AFM = Aromatic dimethacrylate, DDDMA = 1, 12-Dodecanediol dimethacrylate, TEGDMA = Triethyleneglycol dimethacrylate

(2) 시편 제작

유리판에 올린 주형에 복합레진을 레진기구로 가압충전하고 mylar strip으로 덮어 광중합을 시행하였다. 3군은 2 mm씩 2회로 나누어 충전하였으며 광중합은 한 번에 40초간 시행하였다.

(3) 미세경도 측정

비커스 경도기(MVK-H1, Akashi Co., Japan)로 1 kgf/10초의 하중을 가해 각 면당 3점씩 측정된 평균값을 기록하였다. 상면과 하면의 미세경도를 측정하고 고속절단기(RB 205 METSAW-HS, R&B, KOREA)로 주형을 절단하여 2 mm 깊이의 미세경도까지 중합 1시간 이내에 측정하였다. 측정된 시편은 증류수가 담긴 37℃의 항온수조에서 24시간 보관 후 재 측정하였다.

2) 미세누출 측정

(1) 시편 제작

① 와동 형성 및 복합레진 충전

육안 상 건전한 우치 15개를 선별하여 불소가 포함되지 않은 퍼미스로 불순물을 제거한 순면에 inlay용 TF-31 bur (Mani, Japan)로 bur의 폭경인 1.6 mm 및 4 mm 깊이를 가지는 와동을 나란히 3개 형성하였다(Fig. 3). 통상의 방법으로 산 부식 및 분당을 시행하였다. 적층 충진이 필요한 3군(Z-350)을 최우측 와동에 먼저 2 mm 충전하여 1회 중합 후, 와동의 상부와 1, 2군의 와동을 충전하여 동시에 중합을 시행하였다. 와동 변연에 과 충전된 복합레진을 제거하기 위해 polishing disc (Sof-Lex, 3M ESPE, USA)로 연마하였다.

② 열순환

열순환기(Tokyo, Japan)로 구강 내 온도를 재현한 5 - 55℃에서 침적시간 30초 계류시간 10초로 열순환을 1000회 실시하였다.

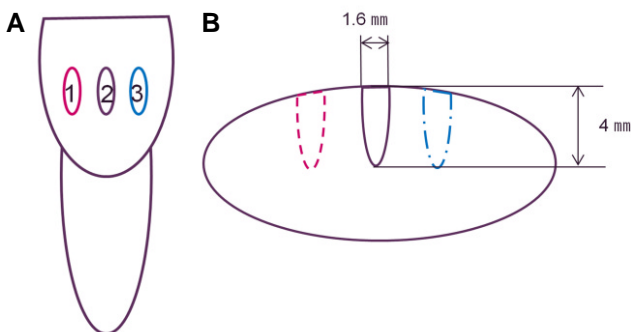


Fig. 3. Schematic draw of cavity design with its size.

③ 매몰 및 봉쇄

우치의 순면만이 노출되도록 화학중합형 레진을 이용하여 매몰하였으며, 와동 변연의 1 mm를 제외한 범랑질을 네일바니쉬로 2회 도포하여 표면을 봉쇄하였다.

④ 2% 메틸렌블루용액 침전

시편을 2% 메틸렌블루용액에 침전시킨 후 햇빛이 들지 않도록 은박지로 감싸 보관하였으며 24시간 후 흐르는 물에 충분히 세척하였다.

⑤ 시편 절단

고속 시편절단기(RB 205 METSAW-HS, R&B, KOREA)로 와동의 중앙을 가로질러 시편을 협설 방향으로 절단하였다.

(2) 편광현미경 관찰

절단된 시편을 1000, 2000 grit의 실리콘 카바이드 페이퍼로 연마하여 편광현미경(Nicon, Japan)으로 메틸렌블루용액이 침투한 양상을 관찰하였다. 미세누출정도는 포토샵 프로그램(Adobe photoshop CS5, Adobe systems Inc., USA)과 펜타블릿을 이용해 형성한 와동의 범랑질 길이 중 염색용액이 침투한 길이의 백분율로 계산하였다(Fig. 4).

3) 통계 분석

SPSS 프로그램(Version 17.0, SPSS Inc., USA)을 이용하여 Kruskal-Wallis test로 세 군 간의 유의성 검증 후 Mann-Whitney test로 사후 검정을 시행하였다($p < 0.05$).

Ⅲ. 연구 성적

1. 미세경도 측정

하면과 2 mm 깊이 단면 및 상면 미세경도의 평균값 및 표준편차를 Table 2에 나타내었다.

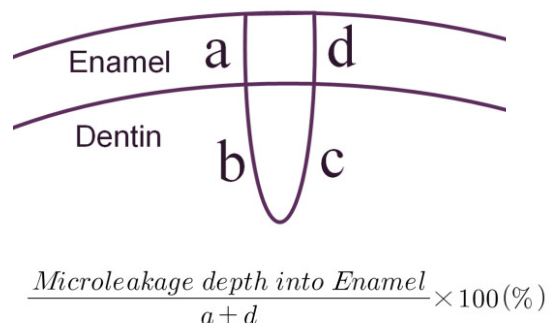


Fig. 4. Schematic draw of measuring microleakage score in enamel.

Table 2. Mean values and standard deviations of Vickers surface hardness measured in at bottom, 2 mm depth and top surface for each tested group

Material		Mean ± SD (VHN)		
		Bottom	2 mm	Top
FBF	Immediate	27.70 ± 4.71 ^a	57.47 ± 6.89	53.76 ± 4.67
	24hr Post-cure	47.33 ± 10.67 ^b	77.46 ± 6.64	76.07 ± 5.52
TBF	Immediate	30.36 ± 3.67 ^a	47.86 ± 3.57	48.11 ± 4.29
	24hr Post-cure	39.48 ± 10.67	65.68 ± 11.28	55.12 ± 4.46
Z-350	Immediate	44.04 ± 7.90	75.32 ± 6.49	75.40 ± 4.95
	24hr Post-cure	50.81 ± 8.83 ^b	86.37 ± 4.88	86.54 ± 7.39

FBF = Filtek™ Bulk Fill Posterior Restorative, TBF = Tetric® N-Ceram Bulk Fill, Z-350 = Filtek™ Z-350 XT

Same subscript letters in the columns indicate non-significant differences by the Mann-Whitney test ($p > 0.05$). The same small letters are for the comparison of different resin composites

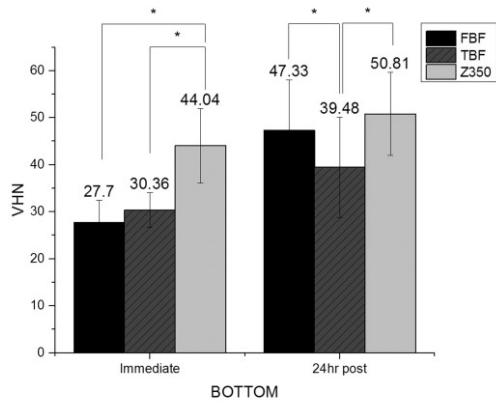


Fig. 5. The graph of the result from Vickers hardness test at the bottom.

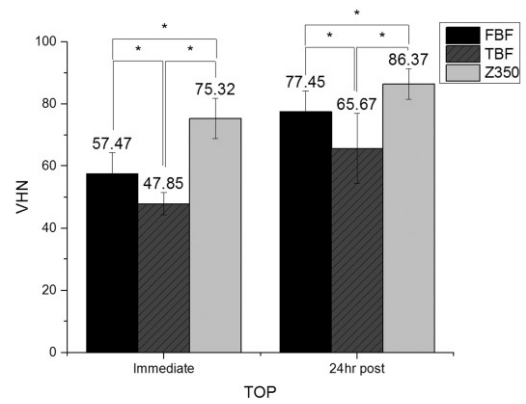


Fig. 6. The graph of the result from Vickers hardness test at the top.

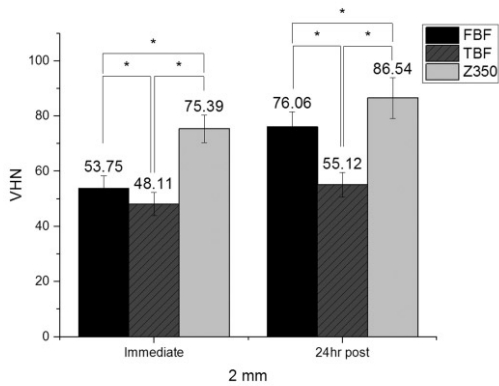


Fig. 7. The graph of the result from Vickers hardness test at 2 mm depth.

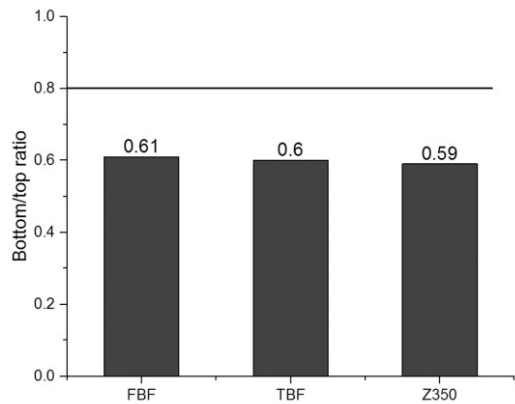


Fig. 8. Bottom/Top Vickers hardness ratios for resin composites immediate post-cure and 24hr following polymerization.

하면의 미세경도 측정 결과 세 군 모두 중합 1시간 이내에 비해 24시간 이후의 미세경도가 유의하게 증가하였다. 특히 1군의 미세경도가 눈에 띄는 증가를 보여 중합 1시간 이내에는 1군에 비해 3군의 미세경도가 유의하게 높게 나타났던 반면($p < 0.05$) 중합 24시간 후에는 1, 3군의 미세경도가 유의차를 보이지 않았다($p > 0.05$) (Fig. 5).

상면과 2 mm 깊이의 미세경도 측정 결과 세 군 모두 중합 1

시간 이내에 비해 24시간 이후의 미세경도가 유의하게 증가하였으며 중합 1시간 이내의 측정값과 24시간 이후의 측정값 모두 3군, 1군, 2군 순으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$) (Fig. 6, 7).

중합 24시간 후의 미세경도로 상면에 대한 하면의 미세경도 비율을 계산했을 때 기준치인 0.8을 충족하는 재료는 없었다 (Fig. 8).

Table 3. The number of samples corresponding penetration rate for each group

Penetration Rate (%)	FBF	TBF	Z-350
0	2	6	4
0 < a < 30	16	14	10
30 ≤ a < 50	2	1	1
50 ≤ a < 70	3	3	6
70 ≤ a < 100	0	0	0
100	1	1	4

FBF = Filtek™ Bulk Fill Posterior Restorative, TBF = Tetric® N-Ceram Bulk Fill, Z-350 = Filtek™ Z-350 XT

The letter 'a' means the dye penetration ratio (%) into enamel part of the cavity as described in fig. 4.

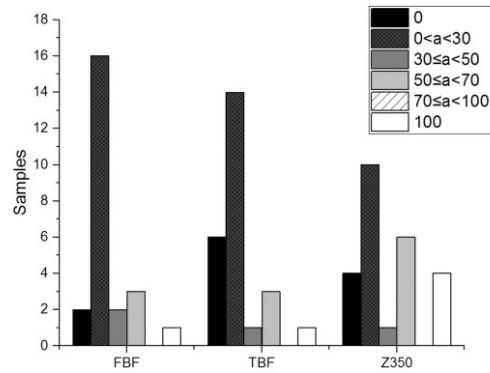


Fig. 9. The distribution of samples corresponding microleakage score of each group.

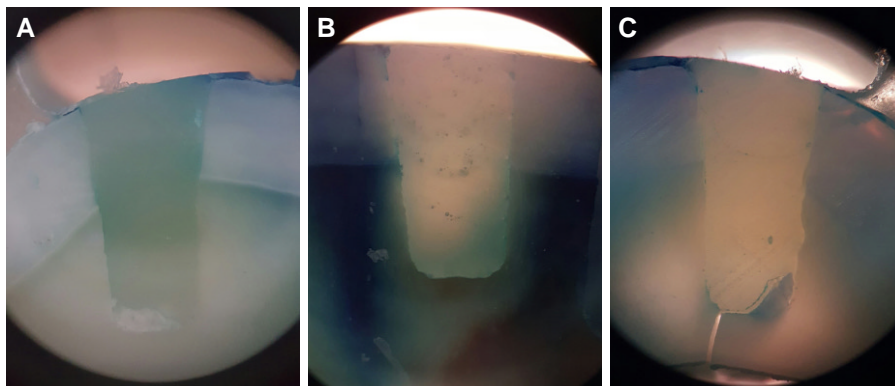


Fig. 10. Pictures of sectioned specimens of the methylene blue penetration (× 50).

2. 미세누출 측정

시편 단면의 법랑질 총 길이 중 염료가 침투한 길이의 비율을 백분율로 계산하여 미세누출정도를 비교하였을 때 Fig. 9와 같은 분포를 보였으며 1, 3군에 비해 2군이 유의하게 낮은 미세누출 값을 보였다(Fig. 9).

IV. 총괄 및 고찰

복합레진은 술식의 단순화를 통해 시술 시간을 절약하고 적용 오류를 최소화하여 수복의 성공률을 높이는 방향으로 발전해오고 있으며¹³⁻¹⁵⁾ 이러한 맥락에서 개발된 bulk-fill resin의 효용성에 대한 관심이 높아지고 있다.

복합레진의 중합반응은 단량체의 탄소 간 이중결합이 깨지며 발생한 자유기를 이용한 교차결합으로 고분자를 형성하는 과정이다. 여기에서 단량체 내에 존재하던 탄소 이중결합의 수 중 중합반응에 참여한 수의 비율을 중합도라고 한다. 그런데 실제 반응에서 단량체는 100% 반응에 참여하지 못하고 잔류단량체로 남게 된다. 중합도가 떨어지면 물성이 저하되고 남아있는 단량체가 유리되어 연조직에 자극을 줄 수 있기 때문에 중합도를

광중합형 레진 수복 성공률의 척도로 볼 수 있다¹⁶⁾.

그러나 광중합형 레진이 1970년대에 임상에 소개된 이후 40년이 지났음에도 불구하고 아직 적절한 중합도를 측정하는 방법과 그 기준에 대해 확립된 바가 없다. 주로 사용되는 측정법으로 원기둥 형태로 복합레진을 중합한 후 중합되지 않은 무른 부분을 긁어내고 남은 부분의 길이를 측정하는 방법, 중합 전 후 중합체 내부에 남아있는 탄소 이중결합의 수를 측정하는 방법 등이 있으며 이번 연구에서 사용한 방법은 중합 후 복합레진 상면의 미세경도를 기준으로 측정한 부분의 미세경도값이 상면의 0.8 또는 0.85에 달하면 적절한 중합이 이루어졌다고 판단하는 방법이다¹⁷⁾.

복합레진의 중합도를 반영할 수 있는 지표인 미세경도는 재료의 작은 부분에 외력을 가하여 변형시킬 때 나타나는 영구변형에 대한 저항력의 크기로 정의된다¹⁸⁾. 특히 저작력을 감당해야 하는 수복물을 평가할 때 반드시 고려해야 할 물성이므로 본 연구에서는 취성재료의 경도측정에 적합한 방법인 비커스 경도 측정법을 선택하였다¹⁹⁻²¹⁾.

미세경도에 영향을 줄 수 있는 인자에는 필러의 크기와 형태 및 함량, 그리고 모노머의 종류와 비율, 중합도, 광개시제의 종류 등이 있다¹⁶⁾. 본 연구에 사용된 복합레진은 모두 nanohy-

brid 복합레진으로 교합면에 적용 가능하도록 무기질 필러의 함량을 중량비 75% 이상으로 높은 재료들이므로 본 연구에서 나타난 미세경도의 차이는 필러요소보다 단량체의 차이에서 기인한 것으로 생각할 수 있었다.

본 연구의 미세경도 측정 결과 모든 군에서 중합 후 1시간 이내의 미세경도에 비해 24시간 후 유의한 증가를 보였으며, 특히 FBF이 가장 큰 증가를 보였다. 이는 광중합을 시행한 이후에도 서서히 강도가 증가해 24시간 후 최고 강도에 도달하는 광중합형 복합레진의 일반적 특성에 부합한다²²⁾. 여기에서 광중합 이후에 진행되는 중합반응을 post-curing이라고 하며 이 반응은 단량체의 유동성과 관련된다. 복합레진에 주로 사용되는 단량체의 점도는 Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA, TEGDMA 순으로 높으며, 일반적으로 단량체의 초기 점도가 높을수록 유동성이 떨어져 중합반응이 조기에 종결되므로 단량체의 점도와 중합도는 반비례하게 된다. 이 중 Bis-GMA는 수소 결합을 통해 강한 물성을 가질 수는 있으나 가장 점도가 높아 복합레진의 중합도가 상대적으로 떨어지므로 일반적으로 저점도인 UDMA, TEGDMA와 혼합해 사용한다²³⁾.

FBF는 저점도 단량체를 첨가해 중합 깊이를 증가시켰으며 TBF는 450 - 490 nm 파장범위의 빛을 주로 흡수하는 광개시제인 Camphorquinone (CQ)에 400 - 450 nm범위에서 높은 흡수율을 보이는 "Ivocerin"을 촉진제로 추가하여 중합 깊이를 증가시켰다고 알려져 있다^{24,25)}. 즉, TBF의 중합반응은 광개시제의 활성화에 대부분 의존하나 FBF는 저점도 단량체인 DDDMA (1, 12-Dodecanediol dimethacrylate)로 인해 광조사 이후에도 post-curing이 TBF에 비해 더 많이 진행된 것으로 사료된다. 다른 연구에서 TBF의 중합과정을 다른 종류의 bulk-fill resin과 비교했을 때 TBF의 중합역학이 상대적으로 빨리 감소되었다고 보고하였음은 이를 뒷받침한다²⁴⁾.

상면과 하면 그리고 2 mm 깊이에서 모두 Z-350의 미세경도가 가장 높았던 이유로 Z-350에는 다른 군들과 달리 적층 충진을 시행하면서 2회 전달된 빛 에너지의 총량으로 설명할 수 있을 것이다.

앞서 복합레진의 중합도를 평가할 때 통상적으로 상면 미세경도에 대한 하면의 미세경도의 비율이 0.8 이상일 때 적절한 중합이 이루어졌다고 평가할 수 있다고 언급하였으나 이번 실험에서 0.8을 충족하는 재료는 없었다. 그런데 통상의 방법대로 적층충진을 시행했던 Z-350 하면의 미세경도 또한 50.81 ± 8.83의 낮은 수치를 보였음을 감안한다면 실험 조건상의 문제로 생각해볼 수 있을 것이다. 또한 복합레진의 미세경도 기준을 제시하기 위한 여러 논문들 중 그 값이 50 이상이면 통상적으로 적절하다고 보고하기도 하며²⁶⁾, 재래형 복합레진의 미세경도가 평균 55 정도임을 감안한다면 24시간 후 하면의 미세경도가 50에 근접한 결과를 보인 FBF는 수복 후 24시간동안 강한 저작력을 가지지 않도록 주의한다는 전제 하에 Z-350에 비견할만한 미세경도를 가진다고 볼 수 있을 것이다.

미세누출은 중합수축응력 및 치질과 수복재간 열팽창계수의 차이로 인해 발생하며 이는 술 후 민감성, 수복물 탈락, 이차우

식 등으로 이어지게 된다. 본 연구에서는 다루기에 용이하고, 쉽게 구할 수 있으며 감염조절에 대한 위험도가 상대적으로 낮은 우치를 대상으로 실험하였다^{27,28)}. 그러나 육안 상 건전한 우치를 선별했음에도 편광현미경으로 관찰 시 법랑질 상에 존재 하던 균열을 통해 와동 저에 스며든 염료로 인해 상아질을 포함하는 통상적인 기준으로는 측정이 곤란하였으므로 법랑질 표면에서 침투한 부분을 법랑질에 국한하여 측정하였다. TBF가 가장 적은 미세누출을 보여 중합도가 높을수록 수복물의 중합수축량은 증가한다는 이론과 일치하는 결과를 보였으나, 상아질을 포함하지 않았다는 한계점은 이와 관련한 추가적인 연구가 필요로 한다. 또한 3개 와동에 충전한 복합레진을 광중합 할 때 조사 각도나 거리 등으로 인해 와동 간 흡수한 광량에 차이가 발생했을 가능성도 배제할 수 없다. 따라서 우치의 균열로 인한 영향을 배제하고 복합레진 간의 중합도 차이만을 변수로 설정해 미세누출량의 차이를 평가하기 위해서는 사람의 우치를 대상으로 각 복합레진의 중합도를 직접 측정해 보는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

3D프린터를 사용하여 본 연구의 요구에 맞는 주형형태를 디자인할 수 있어 한층 수월한 진행이 가능하였다. 실제로 실험 진행 도중 반영하고자 하는 수정사항을 바로 적용 가능하였고 추가적인 주형제작도 얼마든지 가능하다는 장점이 있었다. 프린터의 출력재로 주로 사용되는 PLA (Poly Lactic Acid)는 60°C 이상의 온도에서는 변형이 발생하는 열가소성이 있다. 연구 설계 시 이러한 점을 유의한다면 맞춤형 주형으로써 활용도가 높을 것으로 사료된다²⁹⁾.

V. 결 론

최근 개발된 bulk-fill과 conventional 복합레진의 미세경도 및 미세누출량을 비교 평가하였을 때, 하면을 제외한 미세경도는 3군, 1군, 2군 순으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 하면 미세경도에서 광중합 시행 1시간 이내에는 1군과 2군이 3군에 비해 유의하게 낮은 미세경도를 보였으나($p < 0.05$), 24시간 후에는 1군의 미세경도가 3군과 유의한 차이를 보이지 않을 만큼 현저히 증가하였다($p > 0.05$). 미세누출실험에서는 2군이 다른 두 군에 비해 유의하게 작은 미세누출량을 보였다($p < 0.05$).

References

1. Lee JK : Restoration of primary anterior teeth : review of the literature. *Pediatr Dent*, 24:506-510, 2002.
2. Anastasios G, Martin FJ, Fairpo CG : The influence of restorative material on the survival rate of restorations in primary molars. *Pediatr Dent*, 16: 282-288, 1994.
3. Nozaka K, Suruga Y, Amari E : Microleakage of

- composite resins in cavities of upper primary molars. *Int J Paediatr Dent*, 9:185-194, 1999.
4. Donly KJ, Garcia-Godoy F : The use of resin-based composite in children. *Pediatr Dent*, 24:480-488, 2002.
 5. Burgess JO, Walker R, Davidson JM : Posterior resin-based composite : review of the literature. *Pediatr Dent*, 24:465-479, 2002.
 6. Pilo R, Oelgiesser D, Cardash HS : A survey of output intensity and potential for depth of cure among light-curing units in clinical use. *J Dent*, 27:235-241, 1999.
 7. Scientific Documentation Tetric® N-Ceram Bulk Fill. Available from URL : <http://www.ivoclarvivadent.co.kr/ko/products/restorative-materials/composites/tetric-n-ceram-bulk-fill> 2014. (Accessed on November 3, 2015).
 8. Filtek™ bulk-fill-posterior restorative technical product profile. Available from URL : <http://multimedia.3m.com/mws/media/9766340/filtek-bulk-fill-posterior-restorative-technical-product-profile.pdf> 2015 (Accessed on November 3, 2015).
 9. Biasi MD, Calvi RM, Angerame D : Microhardness of a new flowable composite liner for posterior restorations. *Dent Mater*, 26:e25, 2010.
 10. Ilie N, Bucuta S, Draenert M : Bulk-fill Resin-based Composites : An In Vitro Assessment of Their Mechanical Performance. *Oper Dent*, 38:618-625, 2013.
 11. Leprince JG, Palin WM, Leloup G, *et al.* : Physico-mechanical characteristics of commercially available bulk-fill composites. *J Dent*, 42:993-1000, 2014.
 12. Dejou J, Sindres V, Camps J : Influence of criteria on the results of in vitro evaluation of microleakage. *Dent Mater*, 12:342-349, 1996.
 13. Yoo SH, Kim JS : The study on the microleakage of the restoration with self-etching priming/bonding agent. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 31:26-33, 2004.
 14. Tyas MJ, Burrow MF : Adhesive restorative materials : A review. *Aust Dent J*, 49:112-121, 2004.
 15. Frankenberger R, Perdigao J, Rosa BT, *et al.* : 'No-bottle' vs 'multi-bottle' dentin adhesives - a microtensile bond strength and morphological study. *Dent Mater*, 17:373-380, 2001.
 16. Abed YA, Sabry HA, Alrobeigy NA : Degree of conversion and surface hardness of bulk-fill composite versus incremental-fill composite. *Tanta Dent J*, 12:71-80, 2015.
 17. Flury S, Hayoz S, Lussi A, *et al.* : Depth of cure of resin composites : Is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? *Dent Mater*, 28:521-528, 2012.
 18. Korean Dental Material Prof. Council : Dental materials, 5th ed. Koonja Publishing INC. 58-60, 2008.
 19. Mandikose MN, Mcgicney GP, Carter JM, *et al.* : A comparison of the wear resistance and hardness of indirect composite resin. *J Prosth Dent*, 85:386-395, 2001.
 20. Hubbezoglu I, Bolayir G, Bek B, *et al.* : Microhardness Evaluation of Resin Composites Polymerized by Three Different Light Sources. *Dent Mater J*, 26:845-853, 2007.
 21. Santos GB, Medeiros IS, Braga RR, *et al.* : Composite Depth of Cure Obtained with QTH and LED Units Assessed by Microhardness and Micro-Raman Spectroscopy. *Oper Dent*, 31:79-83, 2007.
 22. 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.
 23. Gajewski VES, Pfeifer CS, Braga RR, *et al.* : Monomers Used in Resin Composites : Degree of Conversion, Mechanical Properties and Water Sorption/ Solubility. *Braz Dent J*, 23:508-514, 2012.
 24. Ilie N, Keßler A, Durner J : Influence of various irradiation processes on the mechanical properties and polymerisation kinetics of bulk-fill resin based composites. *J Dent*, 41:695-702, 2013.
 25. Krämer N, Lohbauer U, Frankenberger R, *et al.* : Light curing of resin-based composites in the LED era. *Am J Dent*, 21:135-142, 2008.
 26. Galvão MR, Caldas SG, Andrade MF, *et al.* : Evaluation of degree of conversion and hardness of dental composites photoactivated with different light guide tips. *Eur J Dent*, 7:86-93, 2013.
 27. Reeves GW, Fitchie JG, Puckett AD, *et al.* : Microleakage of New Dentin Bonding Systems Using Human and Bovine Teeth. *Oper Dent*, 20:230-235, 1995.
 28. Pazinato FB, Campos BB, Atta MT : Effect of the number of thermocycles on microleakage of resin composite restorations. *Presqui Odontol Brass*, 17:337-341, 2003.
 29. Dugan JS : NOVEL PROPERTIES OF PLA FIBERS. Available from URL : www.fitfibers.com/files/PLA%20Fibers.doc (Accessed on December 5, 2015).

국문초록

Bulk-fill과 Conventional 복합레진의 물성비교

석유정 · 김종빈 · 김기섭 · 김종수

단국대학교 치과대학 소아치과학교실

본 연구에서는 최근 개발된 교합면 수복용 bulk-fill resin인 Filtek Bulk Fill Posterior Restorative (FBF)와 Tetric® N-Ceram Bulk Fill (TBF)의 물성을 기존 복합레진(Filtek™ Z-350 XT, 이하 Z-350)과 비교하여 그 효용성을 평가하고자 하였다. 재료의 중합도를 반영할 수 있는 미세경도 및 중합수축을 반영하는 미세누출 양을 염료침투실험으로 측정하였다. 실험오차를 줄이기 위하여 정형화 된 3D 프린팅 몰드에 충전하여 미세경도를 측정하고, 우치를 대상으로 미세누출을 평가하였다. 측정된 미세경도와 미세누출정도는 Kruskal-Wallis test와 Mann-Whitney test를 이용하여 95%의 신뢰도로 각 군별 유의성을 평가하였다.

하면 미세경도에서 광중합 시행 1시간 이내에는 FBF와 TBF가 Z-350에 비해 유의하게 낮은 미세경도를 보였으나($p < 0.05$), 24시간 후에는 FBF의 미세경도가 Z-350과 유의한 차이를 보이지 않을 만큼 현저히 증가하였다($p > 0.05$). 하면을 제외한 미세경도는 Z-350, FBF, TBF 순으로 유의한 차이를 보였으며($p < 0.05$) 미세누출실험에서는 TBF가 다른 두 군에 비해 유의하게 작은 미세누출을 보였다($p < 0.05$). Bulk-fill 레진의 임상적 적용을 위해서는 중합 역학의 특성 상 수복 후 24시간 동안 저작력에 대한 주의가 필요하며 미세누출량을 감소시키기 위한 추가적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

주요어: Bulkfill resin, 미세경도, 미세누출, 3D-printed mold, 우치