

Degree of Conversion and Polymerization Shrinkage of Low and High Viscosity Bulk-Fill Giomer-based and Resin-based composites

Heera Kim¹, Jaesik Lee¹, Hyunjung Kim¹, Taeyub Kwon², Soonhyeun Nam¹

¹Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Kyungpook National University

²Department of Dental Biomaterials, School of Dentistry, Kyungpook National University

Abstract

The aim of this study was to compare the degree of conversion and polymerization shrinkage of low and high viscosity bulk-fill giomer-based and resin-based composites. Two bulk-fill giomer (Beautiful Bulk Restorative (BBR), Beautiful Bulk Flowable (BBF)), two bulk-fill (Tetric N-Ceram Bulk-fill (TBF), SureFil SDR flow (SDR)) and two conventional resin composites (Tetric N-Ceram (TN), Tetric N-flow (TF)) were selected for this study. The degree of conversion was measured by using Fourier transform infrared spectroscopy. Polymerization shrinkage was measured with the linometer. For all depth, BBR had the lowest degree of conversion and SDR had the highest. At 4 mm, the degree of conversion of low and high viscosity bulk-fill giomer resin composites was lower than that of bulk-fill resin composites ($p < 0.05$). At the depth between 2 mm and 4 mm, there were significant difference with TBF, TN and TF ($p < 0.05$), while no significant difference in the degree of conversion was measured for BBR, BBF and SDR. Polymerization shrinkage of six resin composites decreased in the following order: TF > SDR > BBF > TBF > TN and BBR ($p < 0.05$). Polymerization shrinkage of bulk-fill giomer resin composites was lower than that of bulk-fill resin composites ($p < 0.05$). From this study, it is found that the bulk-fill giomer resin composites and TBF were not sufficiently cured in 4 mm depth. The degree of conversion of low and high viscosity bulk-fill giomer resin composites was significantly lower than bulk-fill resin composites in both 2 mm and 4 mm depths. Therefore, such features of bulk-fill giomer resin composites should be carefully considered in clinical application.

Key words : Bulk-fill giomer, Bulk-fill, Degree of conversion, Polymerization shrinkage

I. 서 론

전통적 복합레진은 심미성이 우수하고 조작이 간편하여 우식 치료에 흔히 사용되는 재료로서 소아치과 영역에서도 그 사용이 꾸준히 증가하고 있다. 그러나 복합레진은 술식 민감성이 크고, 수분 및 오염에 민감하며 중합수축과 중합깊이의 한계와 같은

단점을 가지고 있어 이와 관련된 기계적 성질과 물성의 개선 및 조작과정을 간편하게 하려는 많은 노력이 지속되고 있다.

복합레진의 단점 중 하나인 중합수축은 중합과정에서 단량체 분자 사이의 약한 반데르발스 결합이 공유결합으로 전환되면서 분자간 거리가 감소하기 때문에 발생한다. 중합수축에 의한 중합응력은 수복물 내부 뿐 만 아니라, 치면과의 계면에도 가해지

Corresponding author : Soonhyeun Nam

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Kyungpook National University, 2177, Dalgubeol-daero, Jung-gu, Daegu, 41940, Korea

Tel: +82-53-600-7212 / Fax: +82-53-426-6608 / E-mail: shnam@knu.ac.kr

Received October 1, 2018 / Revised October 29, 2018 / Accepted October 23, 2018

며[1,2], 이는 결과적으로 술 후 민감성, 치질의 미세파절, 교두 변위, 이차 우식, 수복물의 탈락을 일으킬 수 있다[3,4]. 이를 극복하기 위해 C-factor를 감소시키기 위한 적층 충전, 글라스 아이오노머 시멘트를 이용한 샌드위치 테크닉, 유동성 복합 레진의 사용 등의 다양한 시도가 있었다. 특히 깊은 와동에서 나타나는 중합수축에 의한 수복물 내의 응력을 감소시키기 위해 2 mm 이상의 와동에서는 적층법이 흔히 사용되지만, 적층법은 층 사이의 기포형성, 오염 가능성 및 술식 시간의 증가 등의 단점이 있다[5]. 따라서 짧은 시간 내에 치료를 마쳐야 하는 비협조적인 소아환자의 치료에는 적용이 어렵다.

이에 수축 응력 감소와 술식 과정을 단순히 하기 위하여 bulk-fill 복합레진이 개발되었다. Bulk-fill 복합레진은 하이브리드 복합레진이나 유동성 복합레진보다 낮은 중합수축을 보인다[6,7]. 일반적으로 전통적인 복합레진에서는 한 번에 최대 2 mm 높이로 수복하는 것이 추천되는 반면, bulk-fill 복합레진은 조성 및 필러의 조절을 통해 4 mm 높이까지 단일층 수복이 가능하다[8,9]. 이는 반투명성의 증가 및 광에 대한 높은 반응성과 관계가 있으며, 변형된 광개시제, 중합 응력 감소 단량체와 미리 중합된 입자 등을 사용하여 중합수축을 감소시켰기 때문이다[10].

최근에는 bulk-fill 복합레진의 장점과 더불어 글라스아이오노머의 장점을 지닌 bulk-fill giomer 복합레진이 소개되었다. Giomer는 Fluoro-aluminosilicate glass filler와 폴리아크릴산 사이의 산-염기 반응을 통해 만들어진 수화 실리카겔을 동결 건조 처리하고 가공하여 실란처리 후 prereacted glass ionomer(PRG) 필러를 만들어 이를 레진 기질 내에 포함시켜 제조한다[11]. Giomer는 지속적인 불소 유리화 재충전이 가능하고 심미적이며 물리적 성질이 우수하다고 알려졌다[12,13]. Bulk-fill giomer 복합레진의 제조사에 따르면, 저점도와 고점도 모두 4 mm 깊이에서 적절한 중합을 보이며, 특히 고점도 bulk-fill giomer 복합레진은 이상용 재료가 아닌 교합면에 직접 적용이 가능하다고 하였다. 그러나 이를 뒷받침할만한 bulk-fill giomer 복합레진의 광조사에 따른 중합수축 및 전환율에 대한 연구는 미흡하다. 일반적으로 고광도 광조사를 단시간동안 시행하게 되면 bulk-filling시 복합레진을 통과하는 광조사량이 감소해 불충분한 중합이 나타나 단량체에서 중합체로의 전환율이 감소될 수 있으며[6], 전환율이 낮아질 경우 수분 흡수나 용해율이 증가하여 수복물의 탈락 가능성이 증가하게 되고, 잔존하는 미반응 단량체가 방출되면 박테리아의 성장을 촉진하고 과민반응을 일으키게 된다[14-16].

따라서 이번 연구는 소아환자의 수복치료 시 사용할 수 있는 수종의 복합레진 재료 중, 최근에 소개된 저점도 및 고점도 bulk-fill giomer 복합레진의 전환율과 중합수축을 bulk-fill 복합레진 및 전통적 복합레진과 비교 평가해 보고자 하였다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 복합레진

1) 복합레진

이번 연구에서는 복합레진 별로 고점도 1종, 저점도 1종씩을 대상으로 하였다. Bulk-fill giomer 복합레진 2종류(Beautifil Bulk Restorative(BBR), Beautifil Bulk flow(BBF)), bulk-fill 복합 레진 2종류(Tetric N-Ceram BulkFill(TBF), SureFil SDR flow(SDR)), 전통적 복합레진 2종류(Tetric N-Ceram(TN), Tetric N-flow(TF))를 사용하였다(Table 1).

2) 광중합기

복합레진을 중합시키기 위하여 충전 후 Bluephase 20i(Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) 광중합기를 사용하였다. 광중합은 1200 mW/cm² 단일광도로 15초 시행하였다.

2. 전환율 측정

전환율 측정을 위해 직경 4.0 mm, 높이 2.0, 4.0 mm의 아크릴릭 몰드를 제작하였다. 시편 제작을 위해 Mylar strip(Dupont, USA) 상부에 몰드를 위치시키고 복합레진을 한 번에 충전한 후, 상면에 Mylar strip과 slide glass를 위치시켰다. 15초간 광중합을 시행하였으며, 광중합 하는 동안 광중합기의 가이드 팁 부분은 slide glass의 상면과 접촉한 상태로 유지시켰다. 각 복합레진에 따른 시편을 5개씩 제작하였다. 전환율은 중합 후 1시간 이내에 시편만을 측정하였으며, 시편의 하면을 반사 크리스탈 면쪽으로 향하게 하여 올려놓고 Fourier transform infrared spectroscopy(FTIR, Nicolet 6700/8700, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA)을 사용하여 측정하였다. 측정범위는 4000 - 600 cm⁻¹로 해상도 4 cm⁻¹, scan number 32회로 측정하여 스펙트럼을 얻었다.

1638 cm⁻¹ 위치의 지방족(aliphatic C=C)의 흡수도와 1608 cm⁻¹(SDR의 경우 1600 cm⁻¹)위치의 방향족(aromatic C=C)의 흡수도는 표준 기선법(standard baseline technique)에 의해 측정되었다[17]. 각 복합레진의 중합 전과 후의 방향족 위치인 1608 cm⁻¹에서의 흡수도와 지방족 위치인 1638 cm⁻¹에서의 흡수도를 구하여 아래와 같은 식을 이용하여 전환율(Degree of Conversion, DC)을 계산하였다.

$$DC(\%) = \left[1 - \frac{\text{Aliphatic}(C=C)_{abs.} / \text{Aromatic}(C=C)_{abs.} \text{ polymer}}{\text{Aliphatic}(C=C)_{abs.} / \text{Aromatic}(C=C)_{abs.} \text{ monomer}} \right] \times 100$$

Table 1. Resin composites used in this study

Type	Product (code) / shade	Composition	Filler content (vol% / wt%)	Manufacturer
High Viscosity				
Bulk-fill giomer resin composites	Beautifil Bulk Restorative (BBR) / Universal	Bis-GMA, UDMA, Bis-MPEPP, TEGDMA	74.5 / 87	Shofu, Kyoto, Japan
Bulk-fill resin composites	Tetric N-Ceram Bulk Fill (TBF) / IVA	UDMA, Bis-GMA, Bis-EMA, Ba-Al-Si glass	60 - 61 / 79 - 81	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein
Conventional resin composites	Tetric N-ceram (TN) / A1	UDMA, Bis-GMA, Bis-EMA, Ba-Al-Si glass	55 / 76	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein
Low Viscosity				
Bulk-fill giomer resin composites	Beautifil Bulk flow (BBF) / Universal	Bis-GMA, UDMA, Bis-MPEPP, TEGDMA	NA / 72.5	Shofu, Kyoto, Japan
Bulk-fill resin composites	SureFil SDR flow (SDR) / Universal	Modified UDMA, EBPADMA, TEGDMA, Ba-Al-F-B-silicate glass	44 / 68	Dentsply-Caulk, Molford, DE, USA
Conventional resin composites	Tetric N-flow (TF) / A1	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA	43 / 63.8	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein

Bis-GMA (Bisphenol-A diglycidyl ether dimethacrylate), UDMA (urethane dimethacrylate), Bis-MPEPP (2,2-bis[(4-methacryloxy polyethoxy)phenyl]propane), TEGDMA (triethylene glycol dimethacrylate), Bis-EMA (ethoxylated bisphenol A glycol dimethacrylate), EBPADMA (Ethoxylated Bisphenol-A Dimethacrylate)

3. 중합수축 측정

de Gee 등[18]이 고안한 방법에 의거하여 제작된 Linometer (R&B Inc., Daejeon, Korea)를 사용하여 각 시편의 두께에 따른 복합레진의 선형 중합수축 양을 실시간으로 측정하였다. 알루미늄 디스크 상면에 지름 내면이 4.0 mm, 두께가 4.0 mm인 Teflon(polytetrafluoroethylene, PTFE) 디스크 몰드를 놓고 복합레진을 채워 넣었다. 복합레진 시편의 상면을 slide glass로 덮은 후 이어 광중합기의 가이드 팁이 slide glass 상면에 접촉되도록 위치시켰다. 광중합 전 알루미늄 디스크의 초기 위치를 원점으로 설정하고 광중합을 15초 동안 시행하였다. 복합레진이 중합되면서 광원 방향으로 수축이 발생하게 되고 알루미늄 디스크도 복합레진과 함께 광원 방향으로 이동하는데, 이를 센서를 통해 알루미늄 디스크의 움직임을 0.5초 간격으로 130초 동안 자동으로 측정하였다. 이번 연구에서 사용한 수축 센서는 비접촉식이었으며, 각 복합레진별로 4번을 진행하였다.

4. 통계 분석

전환율은 고점도 군과 저점도 군으로 나누어 분석을 시행하였다. 재료와 중합깊이에 따른 전환율 차이를 이원배치분산분석법(Two-way ANOVA)을 사용하여 검정한 결과 재료와 중합깊이의 교호작용이 통계적으로 유의하여 재료와 중합깊이에 따른 전환

율의 차이를 층화 분석하였다. 각 중합깊이에서 재료에 따른 전환율의 차이는 일원배치분산분석법(One-way ANOVA)으로 검정한 후 통계적으로 유의한 차이가 있는 경우 Tukey 방법을 이용하여 사후 검정을 시행하였으며, 각 재료에서 중합깊이에 따른 전환율 차이는 독립표본 t-검정을 이용하여 분석하였다. 중합수축은 일원배치분산분석법으로 검정한 후 Tukey 방법을 이용하여 사후 검정을 시행하였다. 모든 데이터의 통계 처리는 SPSS 18.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하였다.

Ⅲ. 연구 성적

1. 전환율 측정

1) 고점도 복합레진

2 mm, 4 mm 깊이에서 고점도 복합레진 하면의 전환율의 평균값 및 표준편차를 Table 2에 나타내었다. 하면의 전환율 측정 결과 BBR이 2 mm와 4 mm 모두 가장 낮은 전환율을 보였다. 4 mm 깊이에서 TBF, TN, BBR 순으로 낮은 값을 보였으며, BBR은 TBF에 비해 유의하게 낮은 값을 보였으나($p < 0.05$), TN과는 유의차를 보이지 않았다. 각 복합레진의 깊이에 따른 전환율을 측정할 결과 2 mm와 4 mm 값 비교 시 TBF 및 TN은 유의차를 보였으며($p < 0.05$), BBR은 유의차를 보이지 않았다.

Table 2. Degree of conversion of the high viscosity group (n=5)

Material	Mean (%) ± SD		p value†
	2 mm	4 mm	
BBR	26.67 ± 1.56 ^a	26.16 ± 2.53 ^a	0.712
TBF	50.92 ± 1.10 ^b	48.38 ± 0.90 ^b	0.004
TN	51.10 ± 3.61 ^b	27.78 ± 5.64 ^a	0.000
p value‡	0.000	0.000	

† p values were determined by independent t-test

‡ p values were determined by one-way ANOVA

^{a,b} Different characters mean statistically significant difference between groups by Tukey's multiple comparison

BBR = Beautifil Bulk Restorative, TBF = Tetric N-Ceram Bulk Fill, TN = Tetric N-ceram

Table 3. Degree of conversion of the low viscosity group (n=5)

Material	Mean (%) ± SD		p value†
	2 mm	4 mm	
BBF	50.39 ± 5.58 ^a	48.89 ± 5.24 ^a	0.673
SDR	66.85 ± 2.21 ^c	66.69 ± 1.38 ^b	0.895
TF	58.22 ± 5.23 ^b	41.36 ± 6.80 ^a	0.002
p value‡	0.000	0.000	

† p values were determined by independent t-test

‡ p values were determined by one-way ANOVA

^{a,b,c} Different characters mean statistically significant difference between groups by Tukey's multiple comparison

BBF = Beautifil Bulk flow, SDR = SureFil SDR flow, TF = Tetric N-flow

2) 저점도 복합레진

2 mm, 4 mm 깊이에서 저점도 복합레진 하면의 전환율의 평균값 및 표준편차를 Table 3에 나타내었다. 하면의 전환율 측정 결과 2 mm와 4 mm 모두 SDR이 다른 재료들에 비해 유의하게 높은 전환율이 나왔다($p < 0.05$). 4 mm 깊이에서 SDR, BBF, TF 순으로 낮은 값을 보였으며, BBF는 SDR에 비해 유의하게 낮은 값을 보였으나($p < 0.05$), TF와는 유의차를 보이지 않았다. 각 복합레진의 깊이에 따른 전환율을 측정한 결과 2 mm와 4 mm 값 비교 시 TF는 유의차를 보였으며($p < 0.05$), BBF 및 SDR은 유의차를 보이지 않았다.

2. 중합수축 측정

중합수축의 평균값은 Fig. 1과 같이 나타났다. TF, SDR, BBF, TBF, TN, BBR 순으로 낮은 값을 보였다. BBR와 TN은 유의한 차이를 보이지 않았고, 그 외의 재료는 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 저점도 복합레진이 고점도 복합레진보다 중합수축량이 높았으며, bulk-fill giomer 복합레진은 bulk-fill 복합레진보다 낮은 값을 보였다.

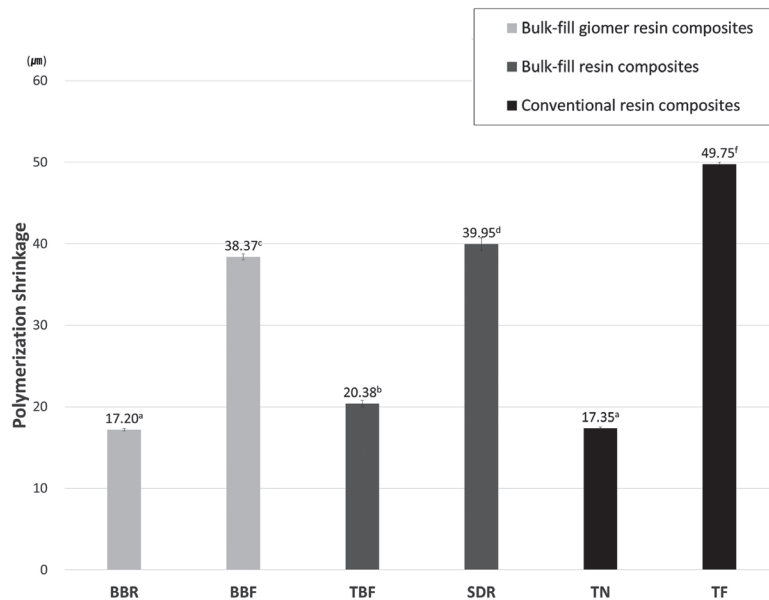


Fig. 1. Polymerization shrinkage of the tested group.

^{a,b,c,d,f} Different characters mean statistically significant difference between groups by Tukey's multiple comparison

BBR = Beautifil Bulk Restorative, BBF = Beautifil Bulk flow, TBF = Tetric N-Ceram Bulk Fill, SDR = SureFil SDR flow, TN = Tetric N-ceram, TF = Tetric N-flow

IV. 총괄 및 고찰

Bulk-fill giomer 복합레진은 F, Na⁺, Sr²⁺, Al³⁺, BO₃³⁻, SiO₃²⁻ 이온이 유리되어 광화과와 항우식 작용 등의 장점을 가진다[19]. 이러한 수복물에서의 불소 유리 능력은 구강 위생 관리 능력이 부족하여 이차 우식의 빈도가 높은 소아환자에서 유용하게 사용할 수 있다고 알려졌다[20]. 그러나 bulk-fill giomer 복합레진의 실제 임상적 성공률에 영향을 미칠 수 있는 전환율 및 중합수축에 대한 보고가 많지 않다. 이에 이번 연구에서는 저점도 및 고점도 bulk-fill giomer 복합레진의 전환율과 중합수축을 측정하여 기존 임상에서 널리 쓰이고 있는 전통적인 복합레진 및 bulk-fill 복합레진과 비교 분석하고자 하였다.

복합레진의 적절한 중합은 그 재료의 물성을 결정하는데 필수적인 요소이다. 단량체로서 각각 존재하던 탄소 이중결합이 단일결합으로 연결된 중합체 구조를 형성하는 전환수준에 따라 복합레진의 물리적 기계적 성질이 결정된다. 이상적으로는 모든 단량체가 중합되어야 하지만 Rueggeberg와 Cratg[21]에 의하면 약 50-75%만 중합되고 나머지 잔존하는 미반응 단량체는 복합레진의 강도 감소, 마모의 증가, 색 안정성 저하 등 여러 물성 저하를 일으킨다고 하였다. 미반응 단량체의 양은 중합된 레진의 최표면층에서 전환율 즉, 복합레진기질 내 탄소의 이중결합이 단일결합으로 변환된 정도를 평가하여 얻어질 수 있다. 전환율을 측정하는 방법에는 핵자기공명분석법(nuclear magnetic resonance), 가스크로마토그래피(gas chromatography), 시차주사열계량법(differential scanning calorimetry), FTIR 등이 있다. 이 중 FTIR을 이용한 전환율 측정 방법은 비교적 간편하고 정확하며 신뢰도가 높은 것으로 보고되고 있으며[22], 이에 이번 연구에서는 FTIR 방법을 사용하였다.

이전 연구에서[23] 보고된 대부분의 복합레진의 전환율은 55 - 60% 범위를 나타냈으며, 교합면 수복재료에 있어서 55% 이하로 내려가는 것은 추천되지 않는다고 하였다[24]. Bulk-fill 복합레진의 전환율에 대하여 Czasch과 Ilie[25] 및 Yu 등[26]은 FTIR 방법을 이용하여 측정한 결과, bulk-fill 복합레진이 4 mm 깊이에서 55%이상의 전환율을 보인다고 하였으며, Noh 등[27]은 4 mm 깊이에서 bulk-fill 복합레진의 상하면의 미세경도비와 중합도가 전통적인 복합레진에 비해 높게 나타났다고 보고하였다. 그러나 Jang 등[9]은 4 mm 깊이에서 저점도 bulk-fill 복합레진은 표면 미세경도 비율이 중합의 기준인 80%의 미세경도 비율을 만족시켰으나, 고점도 bulk-fill 복합레진에서는 80%이하 값으로 불충분한 중합을 보였다고 보고하였다. 이러한 연구 결과는 광조사량, 실험 방법, 조사된 재료의 차이에 기인하는 것으로 보인다.

이번 연구에서 고점도 복합레진인 BBR, TBF, TN의 전환율을 비교한 결과, bulk-fill giomer 복합 레진인 BBR의 전환율은 2 mm와 4 mm 모두에서 가장 낮은 값을 보였으며, 4 mm 깊이에서는 전통적 복합레진인 TN과 통계적 유의차는 없었으나, bulk-fill 복합레진인 TBF에 비해 통계적으로 유의하게 낮은 값을 보였다. Al-Ahdal 등[28]은 광중합 24시간 후 전환율을 측정한 연구에서 bulk-fill giomer 복합레진이 다른 bulk-fill 복합레진 재료들에 비해 낮은 전환율을 나타낸다고 하였다. Ilie와 Fleming[29]도 bulk-fill giomer 복합레진 및 bulk-fill 복합레진을 대상으로 연구한 결과, 2, 4, 6 mm의 모든 깊이에서 BBR이 가장 낮은 전환율을 나타내었다고 하였으며, bulk-fill 복합레진의 전환율과 중합깊이가 강한 상관관계(R² > 0.90)가 있음을 보고하였다. Bulk-fill 복합레진의 필러 크기와 모양을 주사전자현미경(Scanning electron microscope)을 통해 비교한 이전의 연구에서[29,30] bulk-fill giomer 복합레진의 필러 크기는 점도에 관계없이 bulk-fill 복합레진에 비해 크다고 보고하였다. 일반적으로 필러 크기의 증가는 필러와 기질간의 면적을 감소시켜 반투명성과 광투과도를 증가시키지만, bulk-fill giomer 복합레진은 다른 재료들에 비해 높은 필러 함량으로 인하여 중합깊이 증가 시 빛 투과성의 감소가 일어난 것으로 생각된다.

이번 연구결과 4 mm 깊이에서 TBF의 전환율은 BBR과 TN보다 통계적으로 유의하게 높게 나타났다. 이러한 결과는 가장 흔히 사용되는 광개시제인 Camphorquinone은 단 1개의 자유기를 발생시키는데, TBF는 광개시제로 Ivocerin을 추가하여 중합 개시를 위한 최소 2개의 자유기를 발생시켜 중합을 더 촉진 시켰기 때문으로 생각된다. 또한 제조사의 주장과 같이 TBF는 TN보다 반투명성이 증가하여 광투과성이 높고 이에 따라 광중합깊이의 개선이 이루어졌을 것이라 생각된다. 하지만 이번 연구에서 4 mm 깊이에서 TBF의 전환율은 48.38%로 55%이하 값을 나타내었다. Yap 등[31]과 Garoushi 등[32]은 bulk-fill 복합레진의 중합깊이를 측정한 결과, TBF의 중합깊이가 4 mm 이하라고 보고했으며, AlQahtani 등[33]은 40초 이상 광조사를 시행했을 때, TBF의 상하면의 미세경도 비율이 중합의 기준인 80%를 충족시켰다고 보고했다. 이들 선행의 연구를 참조 시, 제조사에서는 1000 mW/cm² 이상의 광도에서 10초간의 광조사를 추천하였지만, 적절한 중합을 위해서는 더 긴 광조사 시간이 필요할 것으로 생각된다.

한편, 저점도 복합레진인 BBF, SDR, TF의 전환율을 비교한 결과, 2 mm와 4 mm 깊이 모두에서 bulk-fill 복합레진인 SDR이 가장 높은 전환율을 보였으며, 4 mm 깊이에서의 전환율이 66.69%로 55%이상 값을 보였다. 또한 4 mm 깊이에서 bulk-fill giomer 복합레진인 BBF는 SDR에 비해 통계적으로 유의하게 낮은 값을

보였으며, 전통적 복합레진인 TF보다는 높았으나 통계적으로 유의차를 보이지 않았다. 앞서 언급한 바와 같이 bulk-fill giomer 복합레진의 높은 필러 함량으로 인하여 전환율의 감소가 나타난 것으로 생각된다. 반면 SDR의 높은 전환율은 이전의 연구 [26,34]들과 일치하는 결과이며, 이는 SDR이 UDMA-based 레진 기질로 이루어져 있으며 큰 필러 입자를 가지기 때문으로 생각된다. Sideridou 등[35]의 연구에서 전환율은 Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA, TEGDMA 순으로 높다고 보고했다. 이는 UDMA가 Bis-GMA보다 점성이 낮은 단량체이며 이미노기(-NH-)를 사슬 반응에 사용하여 중합 반응의 지속을 위한 대체 경로를 제공하기 때문이라고 하였다[28].

복합레진의 광중합 시 단량체가 중합체로 전환되는 과정에서 중합수축이 일어나 복합레진과 치질 계면의 응력을 야기하고 미세간극을 형성하여 임상에서 여러 문제를 발생하게 되는데[36], 이를 측정하고 줄이기 위한 여러 가지 방법이 고안되었다. 중합수축을 측정할 수 있는 방법으로서, 수은팽창계(Mercury dilatometer), 물팽창계(Water dilatometer), 비디오영상기법(Optimal video-imaging technique), 선형변위변환기(Linear displacement transducer) 등의 방법이 있으며, 이번 연구에서는 linometer를 사용하였다. Linometer는 시편 내 선형 중합수축을 측정하는 방법으로 절대적인 중합 부피의 측정에는 한계가 있지만, 재료 간의 상대적인 비교를 위해서는 비교적 간단하고 정확한 방법으로 보고되고 있다[37]. 이번 연구에서 저점도 복합레진은 고점도 복합레진에 비해 높은 중합수축 값을 나타내었으며, bulk-fill giomer 복합레진인 BBR과 BBF는 다른 복합레진 재료에 비해 낮은 중합수축을 보였다. Braga 등[38]은 중합수축은 필러의 함량이 낮고 유기기질의 함량이 높은 저점도 복합레진이 고점도 복합레진에 비해 높은 값을 보이며 복합레진의 전환율이 증가할수록 중합수축도 증가한다고 하였고, Yu 등[26]은 복합레진의 중합수축과 전환율은 양의 상관관계를 보인다고 밝혔다. 이는 bulk-fill giomer 복합레진의 낮은 중합수축은 높은 필러의 함량과 다른 재료에 비해 낮은 전환율을 보이는 것과 관계가 있음을 설명해준다.

저점도 bulk-fill 복합레진인 SDR은 저점도 전통적 복합레진인 TF보다 통계적으로 유의하게 낮은 중합수축 값을 나타냈다. 이는 SDR은 849 g/mol 의 높은 분자량 단량체인 UDMA로 이루어져 단위 부피당 반응기의 수를 감소시켰으며, Ilie와 Hickel[39]이 보고한 바와 같이 SDR은 내부의 응력 조절 단량체가 레진 골격 중심부에 위치하여 겔 포인트를 늦춰 중합초기에 유동시간을 더 부여하기 때문이라 생각된다. 이번 연구에서 복합레진의 시간에 따른 수축양상은 광조사가 이루어지는 초기 15초간 급격하게 증가하다가 광조사가 끝나는 시점에 변곡점을 보이고 이후에 서

서히 증가하면서 일정한 값을 보였다. 이는 복합레진의 중합열과 광조사기의 열에 의한 열팽창에 의해 중합수축의 일부가 가려졌다가 광조사가 끝나는 시점에 열팽창이 다시 나타나기 때문이다[40].

각 복합레진마다 제조사에서 권고하는 광도에 따른 광조사 시간이 상이하였지만, 이번 연구에서는 모든 시편을 단일광도 및 단일시간으로 광중합을 적용한 한계점이 있어, 각 재료에 따른 최적의 광중합 조건을 적용한 추가적인 연구가 필요하리라 사료된다. 또한 임상적으로는 중합 시 중합수축량 보다 수축응력이 더 큰 의미를 지니며, 중합수축량이 큰 것이 수축응력이 크다는 것을 의미하지는 않는다[41,42]. 중합수축에 의한 간접적 비교보다는 직접적인 수축응력 및 와동 내의 내부적합성 등을 평가하는 연구가 필요할 것이다. 또한 이번 연구에서는 초기 전환율 및 중합수축만을 대상으로 하였으므로 더 장시간의 중합 및 수축양상에 대한 고찰이 필요하리라 사료된다.

이번 연구에서 bulk-fill giomer 복합레진의 중합수축은 기존의 전통적 복합레진 및 bulk-fill 복합레진과 비슷하였으나, 4 mm 깊이에서의 전환율이 bulk-fill 복합레진에 비해 낮게 나타나 기계적, 물리적 성질의 향상이 필요한 것으로 생각된다. 따라서 임상적인 적용을 위해서는 이에 대한 충분한 고찰 및 주의가 필요할 것으로 생각되며 시편을 증가시켜 다양한 광중합 조건을 적용시킨 연구 및 와동 적합성 등의 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

이번 연구에서는 저점도 및 고점도 bulk-fill giomer 복합레진의 전환율과 중합수축을 기존 bulk-fill 복합레진 및 전통적 복합레진과 비교 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

고점도 복합레진 하면의 전환율 측정 결과 2 mm와 4 mm 모두 BBR에서 가장 낮게 나왔으며, 4 mm 깊이에서 BBR은 TBF에 비해 유의하게 낮은 전환율을 나타내었다($p < 0.05$). 저점도 복합레진 하면의 전환율 측정 결과 2 mm와 4 mm 모두 SDR에서 가장 높게 나왔으며, 4 mm 깊이에서 BBF는 SDR에 비해 유의하게 낮은 값을 보였다($p < 0.05$). 깊이에 따른 전환율 비교 시 TBF, TN, TF는 유의차를 보였으며($p < 0.05$), BBR, BBF, SDR는 유의차를 보이지 않았다. 중합수축 연구에서는 저점도 복합레진이 고점도 복합레진보다 중합수축량이 높았으며, bulk-fill giomer 복합레진은 bulk-fill 복합레진보다 낮은 값을 보였다.

결론적으로, 4 mm 깊이에서 bulk-fill giomer 복합레진 및 TBF는 불충분한 중합을 나타냈으며, 2 mm와 4 mm 모두에서 bulk-fill giomer 복합레진은 bulk-fill 복합레진에 비해 낮은 전환율을 보였다.

References

1. Moraes RR, Garcia JW, Stansbury JW, *et al.* : Control of polymerization shrinkage and stress in nanogel-modified monomer and composite materials. *Dent Mater*, 27:509-519, 2011.
2. Shortall AC, Wilson HJ, Harrington E : Depth of cure of radiation-activated composite restoratives-influence of shade and opacity. *J Oral Rehabil*, 22:337-342, 1995.
3. Alomari QD, Reinhardt JW, Boyer DB : Effect of liners on cusp deflection and gap formation in composite restorations. *Oper Dent*, 26:406-411, 2001.
4. Ferracane JL, Mitchem JC : Relationship between composite contraction stress and leakage in Class V cavities. *Am J Dent*, 16:239-243, 2003.
5. Abbas G, Fleming GJ, Burke FJ, *et al.* : Cuspal movement and microleakage in premolar teeth restored with a packable composite cured in bulk or in increments. *J Dent*, 31:437-444, 2003.
6. Garcia D, Yaman P, Dennison J, Neiva G : Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk fill flowable composite resins. *Oper Dent*, 39:441-448, 2014.
7. Marovic D, Tauböck TT, Tarle Z, *et al.* : Monomer conversion and shrinkage force kinetics of low-viscosity bulk-fill resin composites. *Acta Odontol Scand*, 73:474-480, 2015.
8. 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.
9. 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.
10. Moszner N, Fischer UK, Rheinberger V, *et al.* : Benzoyl germanium derivatives as novel visible light photoinitiators for dental materials. *Dent Mater*, 24:901-907, 2008.
11. Gonulol N, Ozer S, Sen Tunc E : Water Sorption, Solubility, and Color Stability of Giomer Restoratives. *J Esthet Restor Dent*, 27:300-306, 2015.
12. Itota T, Carrick TE, Yoshiyama M, McCabe JF : Fluoride release and recharge in giomer, compomer and resin composite. *Dent Mater*, 20:789-795, 2004.
13. Hatibović-Kofman S, Koch G : Fluoride release from glass ionomer cement in vivo and in vitro. *Swed Dent J*, 15:253-258, 1991.
14. Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G : Study of water sorption, solubility and modulus of elasticity of light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials*, 24:655-665, 2003.
15. Carmichael AJ, Gibson JJ, Walls AW : Allergic contact dermatitis to bisphenol-A-glycidyl dimethacrylate (BisGMA) dental resin associated with sensitivity to epoxy resin. *Br Dent J*, 183:297-298, 1997.
16. Hansel C, Leyhausen G, Mai UE, Geurtsen W : Effects of various resin composite (co)monomers and extracts on two caries-associated micro-organisms in vitro. *J Dent Res*, 77:60-67, 1998.
17. Stansbury JW, Dickens SH : Determination of double bond conversion in dental resins by near infrared spectroscopy. *Dent Mater*, 17:71-79, 2001.
18. de Gee AJ, Feilzer AJ, Davidson CL : True linear polymerization shrinkage of unfilled resins and composite determined with a linometer. *Dent Mater*, 9:11-14, 1993.
19. Fujimoto Y, Iwasa M, Nakatsuka T, *et al.* : Detection of ions released from S-PRG fillers and their modulation effect. *Dent Mater*, 29:392-397, 2010.
20. Varpio M : Clinical aspects of restorative treatment in the primary dentition. *Swed Dent J Suppl*, 96:1-47, 1993.
21. Rueggeberg FA, Cratg RG : Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. *J Dent Res*, 67:932-937, 1988.
22. Bala O, Olmez A, Kalayci S : Effect of LED and halogen light curing on polymerization of resin-based composites. *J Oral Rehabil*, 32:134-140, 2005.
23. Asmussen E : Factors affecting the quantity of remaining double bonds in restorative resin polymers. *Scand J Dent Res*, 90:490-496, 1982.
24. Silikas N, Eliades G, Watts D : Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. *Dent Mater*, 16:292-296, 2000.
25. 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.
26. Yu P, Yap A, Wang XY : Degree of Conversion and Polymerization Shrinkage of Bulk-Fill Resin-Based Composites. *Oper Dent*, 42:82-89, 2017.
27. Noh T, Song E, Jeong T, *et al.* : Comparison of the Mechanical Properties between Bulk-fill and Conventional Composites. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 43:365-373, 2016.
28. Al-Ahdal K, Ilie N, Silikas N, Watts DC : Polymerization kinetics and impact of post polymerization on the Degree of

- Conversion of bulk-fill resin-composite at clinically relevant depth. *Dent Mater*, 31:1207-1213, 2015.
29. Ilie N, Fleming GJ : In vitro comparison of polymerisation kinetics and the micro-mechanical properties of low and high viscosity giomers and RBC materials. *J Dent*, 43:814-822, 2015.
30. Tsujimoto A, Barkmeier WW, Miyazaki M, *et al.* : Depth of cure, flexural properties and volumetric shrinkage of low and high viscosity bulk-fill giomers and resin composites. *Dent Mater J*, 36:205-213, 2017.
31. Yap AU, Pandya M, Toh WS : Depth of cure of contemporary bulk-fill resin-based composites. *Dent Mater*, 35:503-510, 2016.
32. Garoushi S, Säilynoja E, Vallittu PK, Lassila L : Corrigendum to 'Physical properties and depth of cure of a new short fiber reinforced composite' [*Dent Mater* 29 (8) (2013) 835-841]. *Dent Mater*, 32:1196, 2016.
33. AlQahtani MQ, Michaud PL, Price RB, *et al.* : Effect of High Irradiance on Depth of Cure of a Conventional and a Bulk Fill Resin-based Composite. *Oper Dent*, 40:662-672, 2015.
34. Fronza BM, Rueggeberg FA, Giannini M, *et al.* : Monomer conversion, microhardness, internal marginal adaptation, and shrinkage stress of bulk-fill resin composites. *Dent Mater*, 31:1542-1551, 2015.
35. Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G : Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomaterials*, 23:1819-1829, 2002.
36. Bausch JR, de Lange K, de Gee AJ, *et al.* : Clinical significance of polymerization shrinkage of composite resins. *J Prosthet Dent*, 48:59-67, 1982.
37. Lim MY, Cho KM, Hong CU : Polymerization shrinkage of composite resins cured by variable light intensities. *J Korean Acad Conserv Dent*, 32:28-36, 2007.
38. Braga RR, Ballester RY, Ferracane JL : Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: a systematic review. *Dent Mater*, 21:962-970, 2005.
39. Ilie N, Hickel R : Investigations on a methacrylate-based flowable composite based on the SDR™ technology. *Dent Mater*, 27:348-355, 2011.
40. Ferracane JL : Resin-based composite performance: are there some things we can't predict? *Dent Mater*, 29:51-58, 2013.
41. Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL : Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations. *Dent Mater*, 6:167-171, 1990.
42. Kinomoto Y, Torii M, Takeshige F, Ebisu S : Comparison of polymerization contraction stresses between self- and light-curing composites. *J Dent*, 27:383-389, 1999.

국문초록

저점도 및 고점도 Bulk-fill Giomer 복합레진과 Bulk-fill 복합레진의 전환율과 중합수축

김희라¹ · 이제식¹ · 김현정¹ · 권태엽² · 남순현¹¹경북대학교 치과대학 소아치과학교실²경북대학교 치과대학 치과생체재료학교실

이번 연구에서는 저점도 및 고점도 bulk-fill giomer 복합레진의 전환율과 중합수축을 기존 bulk-fill 복합레진 및 전통적 복합레진과 비교 평가해보고자 하였다. Bulk-fill giomer 복합레진 2종류(Beautifil Bulk Restorative(BBR), Beautifil Bulk Flowable(BBF)), bulk-fill 복합레진 2종류(Tetric N-Ceram Bulk-fill(TBF), SureFil SDR flow(SDR)), 전통적 복합레진 2종류(Tetric N-Ceram(TN), Tetric N-flow(TF))를 사용하였다. 중합도 측정은 Fourier transform infrared spectroscopy을 사용하였으며, 중합수축은 linometer을 이용하여 측정하였다.

복합레진 하면의 전환율 측정 결과 2 mm와 4 mm 깊이 모두 BBR에서 가장 낮게 나왔으며, SDR에서 가장 높게 나왔다. 4 mm 깊이에서 고점도 및 저점도 bulk-fill giomer 복합레진의 전환율은 bulk-fill 복합레진에 비해 유의하게 낮은 값을 보였다($p < 0.05$). 깊이에 따른 전환율 비교 시 TBF, TN, TF는 유의차를 보였으며($p < 0.05$), BBR, BBF, SDR는 유의차를 보이지 않았다. 중합수축은 TF > SDR > BBF > TBF > TN, BBR 순서로 감소 했으며($p < 0.05$), bulk-fill giomer 복합레진은 bulk-fill 복합레진보다 낮은 중합수축량을 보였다($p < 0.05$).

이번 연구 결과 4 mm 깊이에서 bulk-fill giomer 복합레진 및 TBF는 불충분한 중합을 나타냈으며, 2 mm와 4 mm 모두에서 고점도 및 저점도 bulk-fill giomer 복합레진은 bulk-fill 복합레진에 비해 낮은 전환율을 보였다. 그러므로 bulk-fill giomer 복합레진의 임상적인 적용을 위해서는 이에 대한 충분한 고찰 및 주의가 필요할 것으로 생각된다.