

Comparison of the Mechanical Properties between Bulk-fill and Conventional Composites

Taehwan Noh¹, Eunju Song¹, Soyoung Park¹, Aeri Pyo², Yonghoon Kwon², Jiyeon Kim¹, Shin Kim¹, Taesung Jeong¹

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

²Department of Dental Materials, School of Dentistry, Pusan National University

Abstract

Composites are the most useful restorative material. However, composites have some disadvantages such as polymerization shrinkage, long working time, and susceptibility to water and contamination, which are stood out more especially when treating children. To solve these problems, bulk-fill composites have been developed. The aim of this study is to compare mechanical properties of bulk-fill and conventional composites.

Bulk-fill composites (SureFil SDR flow (SDR), Tetric N-Ceram bulk fill (TBF)) and conventional composites (Filtek Z-350 (Z-350), Unifil Flow (UF), Unifil Loflo Plus (UL)) were used. The Vickers hardness tester was used to measure the microhardness of materials, and Fourier transform infrared spectroscopy was used to measure the degree of conversion. Polymerization shrinkage was measured by using a linometer. Flexural and compressive properties were measured by using the universal testing machine. Data were statistically analyzed by ANOVA and Scheffé's post hoc test. The level of significance was set to $p < 0.05$.

Most conventional composites showed higher microhardness than bulk-fill composites. However, bulk-fill composites showed a higher top/bottom microhardness ratio than conventional composites. Bulk-fill composites showed a higher top/bottom degree of conversion ratio than conventional composites. The polymerization shrinkage was highest in UL and lowest in Z-350. The polymerization shrinkage of flowable composites was higher than that of non flowable composites. The compressive properties were highest in Z-350 and lowest in SDR and UL. In terms of flexural properties, Z-350 was the highest.

However, none of the bulk-fill composites exhibited mechanical properties as good as those of conventional composites. Nonetheless, the ratio of microhardness and degree of conversion, which are important properties of bulk filling, were higher in bulk-fill composites. Therefore, the bulk-fill composites might be considered suitable restorative materials in pediatric dentistry.

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

I. 서 론

복합레진은 1950년대부터 와동성 우식병소를 치료하기 위해 가장 많이 사용된 재료 중 하나이다¹⁾. 복합레진은 심미적이고, 치질을 최대한 보존할 수 있으며, 낮은 열전도성, 중합의 편리성, 적용의 용이함 등의 장점이 존재하여 임상에서 많은 선택을

받고 있다. 반면에 복합레진의 단점으로는 슬식 민감성이 크고, 작업시간이 길며, 수분 및 오염에 민감하며 중합수축이 나타날 수 있다는 것이다. 수복의 임상적 성공조건은 치아 경조직에 잘 접착될 수 있도록 중합수축이 나타나지 않는 것인데 복합레진의 경우 중합수축은 주요한 단점 중 하나이다²⁾.

복합레진에서 중합수축이 나타나는 이유는 레진의 구성성분

Corresponding author : Taesung Jeong

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Pusan National University, 20, Geumo-ro, Mulgeum-eup, Yangsan, 50612, Korea

Tel: +82-55-360-5181 / Fax: +82-55-360-5174 / E-mail: tsjeong@pusan.ac.kr

Received November 5, 2015 / Revised December 18, 2015 / Accepted December 16, 2015

인 methacrylate 단량체 분자의 중합 때문이다. 레진 단량체 분자들 사이에 0.3-0.4 nm의 반데르발스힘이 작용하는데 중합 과정을 거치면서 단량체 분자들 사이에 공유결합이 나타나 0.15 nm 정도로 분자들 사이 거리가 줄어들면서 중합수축이 나타나게 된다³⁾. 수축의 양은 2-7% 정도로 보고되었고 이로 인해 미세누출 및 이차우식, 치수염증, 술 후 과민증, 법랑질 파절, 변연착색, 유지력 상실 등이 나타날 수 있다⁴⁾. 중합에 따른 수축 효과를 낮추기 위해 많은 연구자들은 다양한 방법들을 보고하였다. 와동에 충전된 수복물의 접착면과 접착되지 않은 면의 면적 비를 나타내는 C-factor가 감소할수록 중합수축은 줄어들는데 적층충전은 C-factor를 감소시키기 때문에 널리 이용되지만 치료시간은 길어진다는 단점도 존재한다⁵⁾.

비협조적인 소아환자의 치아우식증을 치료할 때 복합레진의 단점들은 더 두드러진다. 광범위한 우식을 제거 후 수복할 때 중합수축을 고려하여 적층충전을 시행하면 술자의 숙련도가 높더라도 치료시간이 길어진다는 것과 함께 수분 및 오염 조절이 쉽지 않은 문제점이 있다⁶⁾. 치료시간을 단축하기 위해 와동에 복합레진을 한 번에 충전하면 큰 중합수축을 일으켜 앞서 언급한 문제점들이 발생할 수 있어 수복물의 예후에 영향을 미친다.

이러한 문제점을 해결하고 중합수축도 감소시키는 기술이 최근 소개되었다. Bulk filling은 중합방법의 향상, 교두굴곡의 감소, 중합수축 조절과 더불어 재료의 발전으로 이용 가능하게 되었다. 전통적인 방법은 최대 2 mm 높이의 레진 수복이 추천되는 반면에 이 방법은 최대 4-5 mm의 레진 수복이 가능하다⁷⁾. 이 방법이 가능한 이유는 bulk filling에 쓰이는 bulk-fill 복합레진이 중합수축 응력이 낮으며 광중합 깊이가 증가되었기 때문이다. 하지만 bulk-fill 복합레진은 중합수축이 없는 것은 아니며, 적절한 접촉면을 형성하기 힘들며, 불충분한 중합이 나타날 수 있다는 문제점도 존재한다⁸⁾. 또한 전통적인 복합레진에 비해 떨어지는 물성을 보인다고 알려져 있다.

Bulk-fill 복합레진이 소아환자 치료에 사용할 수 있는 적절한 재료인지에 대한 연구의 필요성이 존재하나 이에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이전 연구의 대부분은 수복재료의 기계적 성질에 대한 실험이었으나 소아환자에게 사용되는 복합레진과 bulk-fill 복합레진의 기계적 성질에 대한 비교 연구는 드물다^{9,10)}. 본 연구의 목적은 소아환자의 우식치료에 많이 사용되는 전통적 복합레진과 bulk-fill 복합레진의 물성을 다양한 방법으로 평가 및 비교하기 위함이다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 복합레진 및 광중합기

1) 복합레진

본 연구에서는 전통적 복합레진 3 종류(Z-350 (Z-350), Unifil Flow (UF), Unifil Loflo Plus (UL)), bulk-fill 복합레진 2종류(SureFil SDR flow (SDR), Tetric N-Ceram BulkFill (TBF))를 사용하였다(Table 1).

2) 광중합기

Light-emitting diodes (LED, Ultradent Valo, Ultradent, South Jordan, UT, USA) 광중합기를 사용하였다. 제조사에서 명시된 광도는 945 mW/cm²이나 분광기(SpectroPro-500, Acton Research, Acton, MA, USA)를 이용하여 측정한 결과 786 mW/cm²이었다. 광중합은 한번에 20초간 시행하였다.

2. 미세경도 측정

Bulk filling을 이용하여 복합레진마다 시편을 5개씩 제작하였다. 4 mm 높이, 3 mm 직경의 원통형 금속주형에 복합레진

Table 1. Investigated restorative materials and their composition according to information provided by the respective manufacturers

Product (code)/shade	Composition	Filler type	Filler content (vol%/wt%)	Manufacturer
UniFil LoFlo Plus (UL) / A2	UDMA	Fluoro-Alumino Silicate glass Microhybrid	42.7/63	GC CORPORATION, Tokyo, Japan
UniFil Flow (UF) / A2	UDMA	Fluoro-Alumino Silicate glass Microhybrid	Not available/68	GC CORPORATION, Tokyo, Japan
SureFil SDR flow (SDR) / universal	Modified UDMA, EBPDMA, TEGDMA	Ba-Al-F-B-silicate glass Average size 4.2 μm	44/68	Dentsply Caulk, Milford, DE, USA
Tetric N-Ceram BulkFill (TBF) / IVA	Bis-GMA, UDMA	Ba-Al-Si glass, prepolymer filler 0.04~3 μm	55/77 including prepolymer*	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein
Filtek Z-350 (Z-350) / Body A2	Bis-PMA, DUDMA, Bis-GMA, TEGDMA	Silica-zirconia filler Nanohybrid	63.3/78.5	3M ESPE, St.Paul, MN, USA

Abbreviations: UDMA (urethane dimethacrylate), EBPDMA (EthoxylatedBisphenol-A Dimethacrylate), TEGDMA (triethylene glycol dimethacrylate), Bis-PMA (2,2-bis-(4-(3-methacryloxypropoxy)phenyl)propane), DUDMA (diurethanedimethacrylate), Bis-GMA (Bisphenol-A diglycidyl ether dimethacrylate).

*Prepolymer includes monomer, glass filler and ytterbium fluoride.

을 충전한 다음 상면과 하면에 glass slide로 덮고 시편의 상부에서 20초간 광중합을 시행하였다. 광중합 후 금속주형에서 시편을 제거하고 상면과 하면을 표시한 뒤 24시간 동안 햇빛이 비취지 않는 37°C 항온기에 보관하였다. Vickers 경도측정기(MVK-H1, Akashi Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 10초간 100 gf 또는 200 gf load로 측정하였다. 시편마다 상면과 하면을 측정하였고, 시편측정에서 나타날 수 있는 오류를 최소화하기 위해 각 면당 3회씩 측정하였다.

3. 중합도 측정

중합도 측정을 위해 직경 8 mm, 높이 4 mm 아크릴 몰드를 제작하였다. 상면과 하면의 glass slide에 같은 복합레진을 위치시킨 후 glass slide를 위치시켜 복합레진이 얇게 펼쳐지도록 하였다. 상부만 20초 동안 광중합을 시행하였다. 이후 glass slide 제거 후 얇은 원판의 시편을 복합레진마다 5개씩 상하면에서 얻었다. 중합도는 Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR, Nicolet 6700/8700, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA)를 이용하여 측정하였다. 측정범위는 7800-350 cm⁻¹로 0.09 cm⁻¹의 해상도로 32회 스캔하였다.

4. 중합수축 측정

광중합 과정 중 선수축을 측정하기 위해 linometer (RB 404, R&B Inc. Daejeon, Korea)를 이용하였다. Linometer에 위치되는 알루미늄 디스크 위에 teflon 디스크 몰드를 올렸고, 복합레진을 직경 4 mm, 두께가 4 mm가 되도록 위치시켰다. 몰드 상방 과잉의 복합레진에 glass slide를 위치시킨 후 광중합기를 glass slide 가까이 위치시켰다. 광중합 전 알루미늄 디스크의 초기 위치를 원점으로 설정하고 광중합과 동시에 linometer를 작동시켰다. 광중합을 20초간 시행하였고 광조사가 진행되는 동안 복합레진은 광원 방향으로 수축을 하고, 복합레진과 함께 알루미늄 디스크도 같이 이동하였다. 센서를 통해 0.5초 간격으로 자동으로 측정되었고, 광중합 시간을 포함한 130초 동안 중합수축을 측정하였다. 이 과정을 복합레진별로 4번을 진행하였다.

5. 압축강도 측정

압축강도 측정을 위해 높이 6 mm, 직경 3 mm의 금속주형에 복합레진을 충전한 뒤 상면과 하면을 glass slide로 덮고 상하면에 각각 20초간 광중합을 시행하였다. 금속주형은 2개의 반원형으로 구성되고, 한 부분을 제거 후 측방으로 20초간 중합을 시행하였고 반대편 주형을 제거 후 다시 중합을 시행하였다. 복합레진별로 6개씩 시편을 제작하였다. 시편은 24시간 동안 햇빛이 비취지 않는 37°C 항온기에 보관하였다. 압축강도는 Universal testing machine (Instron3366, Instron Co.,

Ltd., MA, USA)을 이용하였고, 1 mm/min의 속도로 측정하였다. 압축강도는 다음과 같이 계산된다.

$$\sigma_c = P/A$$

P는 최대파괴하중이고, A는 응력을 받는 재료의 면적이다. 압축탄성계수는 탄성한계 내에서 물체가 갖는 단위하중당의 변형량으로 하중변위 곡선의 직선부분 기울기로 정의된다.

6. 3점 굽힘 강도

굽힘 강도는 굴곡강도 및 굴곡계수를 측정하기 위해 시행된다. 측정을 위해 ISO 4049의 규격에 따른 폭 2 mm, 높이 2 mm, 길이 25 mm의 금속주형에 복합레진을 충전한 뒤 상면을 glass slide로 덮었다¹¹⁾. 시편의 상면을 3부분으로 나누어 각 20초간 중합하였다. 복합레진별로 4개씩 시편을 제작하였다. 만들어진 시편은 24시간 동안 햇빛이 비취지 않는 37°C 항온기에 보관하였다. Universal testing machine (Instron3366, Instron Co., Ltd., MA, USA)를 이용하여 1 mm/min의 속도로 굴곡강도 및 굴곡계수를 측정하였다. 굴곡강도는 다음과 같이 계산된다.

$$\sigma_f = 3DP/(2WH^2)$$

D는 상부 하중점간의 거리를 나타내며(20 mm), P는 최대 파괴하중이고, W는 시편의 폭(2 mm), H는 시편의 높이(2 mm)이다. 굴곡계수는 다음과 같이 계산된다.

$$E = (P/D) \cdot (D^3/(4WH^3))$$

P/D는 하중 변위 곡선의 직선부분 기울기이다.

7. 통계분석

복합레진 5종류의 물성 비교를 위해 미세경도, 중합도, 중합수축, 압축강도, 굴곡강도를 측정하였다. 각 그룹 간 비교분석을 시행하였다. 통계분석에 필요한 각 변수들을 설정하고 평균, 표준편차 등의 기술통계량을 도출하였다. 이후 레진 종류 간 차이의 통계적 유의미성을 도출해내기 위하여 상면과 하면을 비교하는 미세경도 및 중합도는 이원분산분석(two-way ANOVA)를 시행하여 비교하였으며, 압축강도, 굴곡강도는 일원분산분석(one-way ANOVA)를 시행하여 비교하였다. 일원분산분석의 사후검정법으로는 Scheffe test를 채택하였다. 수집된 모든 실험 결과 데이터의 통계 처리는 SPSS version 20 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램으로 수행되었다.

Ⅲ. 연구 성적

1. 미세경도

6개 복합레진의 상면과 4 mm 높이 차가 있는 하면의 미세경도를 측정하였다(Table 2). 상면과 비교하여 하면은 낮은 미세경도를 보였고, 상면의 미세경도는 Z-350이 가장 높았고, 4 mm 하면은 TBF가 높게 나타났다. UL은 상하면 모두에서 가장 낮게 나타났다. 상면과 하면의 미세경도 비는 TBF, SDR이 높게 나타났다. 유동성 복합레진의 하면은 미세경도가 낮아 하중이 클 경우 비커스경도기로 측정이 불가능하여 200 gf가 아닌 100 gf로 측정을 진행하였다.

2. 중합도 측정

복합레진의 상면과 4 mm 높이 차가 있는 하면의 중합도를 측정하였다(Table 3). 상면은 하면보다 중합도 값이 높았고, 중합도는 상면의 경우 UF와 SDR이 높았고, Z-350이 가장 낮았다. 하면은 SDR이 가장 높게 나타났다. 상면과 하면의 중합도의 비는 SDR이 높게 나타났다. 중합도는 유동성 복합레진에서 높게 나타났다. Bulk-fill 복합레진의 중합도가 상하면 대부분에서 전통적 복합레진보다 높게 나타났다.

3. 중합수축 측정

각 복합레진의 중합수축 값은 Fig. 1과 같이 나타났다. 중합수축량이 가장 작은 재료는 Z-350이고, UL이 가장 높은 값을 보였으나 SDR 및 UF와는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다. 유동성 복합레진이 비유동성 복합레진보다 중합수축량이 많았다.

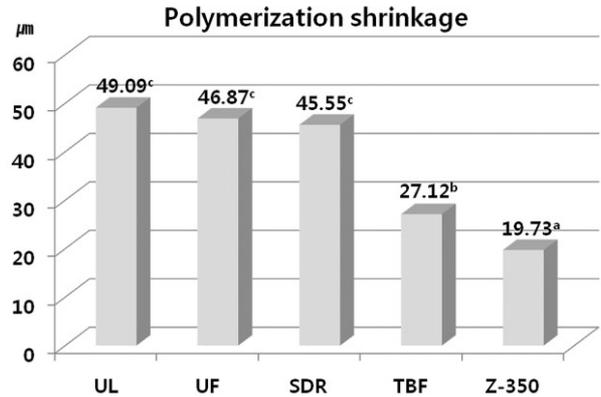


Fig. 1. The amount of polymerization shrinkage for the tested specimens. Different superscript letters indicate statistically different polymerization shrinkage values at $p < 0.05$ level. Same superscript letters are not significantly different ($p > 0.05$). One-way ANOVA was applied to examine the significance of polymerization shrinkage.

Table 2. Comparison of Vickers surface hardness of top and 4 mm bottom for each test group

	Material	Top surface			Bottom surface			Hardness ratio (SD)
		Load (gf)	Mean (Hv)	SD	Load (gf)	Mean (Hv)	SD	
Vickers surface hardness	UL	100	17.69 ^a	1.63	100	6.23 ^a	1.16	0.36 ^b (0.08)
	UF	200	31.90 ^c	1.31	100	8.23 ^a	2.29	0.26 ^{ab} (0.07)
	SDR	200	28.43 ^b	1.48	100	15.83 ^b	3.57	0.56 ^c (0.14)
	TBF	200	55.81 ^d	0.89	200	29.09 ^c	1.19	0.52 ^c (0.02)
	Z-350	200	77.08 ^d	2.12	200	17.44 ^b	4.61	0.23 ^a (0.06)

† Different superscript letters indicate statistically different Vickers surface hardness values at $p < 0.05$ level.

† p value from two-way ANOVA.

† Same superscript letters are not significantly different ($p > 0.05$).

† SD (standard deviation).

Table 3. Degree of conversion of the tested specimens

	Material	Top surface		Bottom surface		Degree of conversion ratio
		Mean (%)	SD	Mean (%)	SD	
Degree of conversion	UL	67.86 ^b	3.90	58.09 ^b	3.06	0.86 ^{ab}
	UF	73.73 ^b	4.27	59.75 ^b	1.82	0.81 ^a
	SDR	73.22 ^b	1.63	69.79 ^c	1.90	0.95 ^b
	TBF	66.60 ^b	3.35	56.44 ^b	4.49	0.85 ^{ab}
	Z-350	50.29 ^a	4.57	44.65 ^a	5.72	0.89 ^{ab}

† Different superscript letters indicate statistically different degree of conversion values at $p < 0.05$ level.

† p value from two-way ANOVA.

† Same superscript letters are not significantly different ($p > 0.05$).

† SD (standard deviation).

4. 압축강도 측정

각 복합레진에 대한 압축강도 및 압축계수를 측정하였다 (Table 4). 압축강도는 Z-350이 가장 높았고, SDR이 가장 낮게 나왔다. 전통적 복합레진이 bulk-fill 복합레진보다 높은 압축강도를 보였다. 압축계수는 Z-350과 TBF가 통계학적으로 유의한 차이가 없이 높게 나타났다. 유동성 복합레진에서는 SDR이 UL보다는 높게 나타났으나 UF와는 통계학적으로 차이가 유의하지 않았다.

5. 3점 굽힘 강도

실험에서 사용한 복합레진의 굴곡강도 및 굴곡계수의 통계학적 분석결과는 Table 5에 나타나있다. 굴곡강도 및 굴곡계수는 모두 Z-350이 가장 높았고, UL은 굴곡강도 및 굴곡계수 모두에서 가장 낮았다. 유동성 복합레진에서는 SDR이 비교적 높게 나타났으나 비유동성 복합레진에서는 TBF가 Z-350보다 낮은 값을 보였다.

Ⅳ. 총괄 및 고찰

Bulk filling이 가능한 것은 bulk-fill 복합레진에 포함된 광개시제의 발전과 함께, 무기질 필러의 함량은 적어지고 크기는

커졌기 때문이다. 필러의 크기를 크게 하면 투명도가 증가하여 광투과도가 증가하고 이에 따라 더 깊게 중합이 가능하다. 따라서 bulk-fill 복합레진은 hybrid 복합레진이나 유동성 복합레진보다 낮은 중합수축 응력을 보이며 수축률도 낮다고 알려져 있다^{9,12}. 복합레진의 중합수축은 단량체(sol)가 중합체(gel)로 바뀌면서 발생한다. 겔화 이전에 발생한 수축은 분자들의 이동에 의해 응력을 발생시키지 않고, 겔화 이후에 발생한 수축은 탄성계수의 증가로 응력을 발생시킨다. Bulk-fill 복합레진의 경우 초기 중합속도가 느려 흐름성을 유지할 수 있고, 이는 전통적 복합레진에 비해 수축이 감소되는 이유이다¹³.

복합레진의 물리적 특성은 필러의 함량 및 종류, 입자의 크기, 형태, 분포 등에 의해 영향을 받는다. 특히 필러의 함량은 탄성계수, 굴곡강도, 경도 등 여러 기계적 성질에 영향을 미친다고 하였다¹⁴. Bulk-fill 복합레진의 경우 필러의 함량을 줄였기 때문에 심미적 및 물리적 성질이 낮았으며, 표면 거칠기는 증가된 것으로 알려져 있다¹⁵. Bulk filling이 임상에서 치료시간 단축 등의 편리성을 가져다주지만 bulk-fill 복합레진의 물성이 떨어진다면 수복재료로는 사용되기 어렵다. 치아우식증이 있는 어린이의 수복치료를 시행할 때 많이 사용되는 재료와 bulk-fill 복합레진의 물성 비교가 중요한 이유이다.

미세경도는 광중합 복합레진의 중합깊이를 측정하고, 수복물의 내구성을 평가하기 위해서 사용한다. 미세경도는 재료 표면에 국소적 외력을 가했을 때 나타나는 영구변형에 대한 저항력

Table 4. Compressive properties of the tested specimens

Material	Compressive strength (CS) (MPa)		Compressive modulus (CM) (GPa)	
	Mean	SD	Mean	SD
UL	198.90 ^{ab}	9.86	2.36 ^c	0.30
UF	242.80 ^{bc}	30.40	3.07 ^b	0.24
SDR	181.28 ^a	9.62	3.49 ^b	0.11
TBF	253.99 ^c	19.38	4.00 ^c	0.15
Z-350	360.17 ^d	28.84	4.19 ^c	0.19

† Different superscript letters indicate statistically different compressive strength and modulus values at $p < 0.05$ level.

† p value from one-way ANOVA.

† Same superscript letters are not significantly different ($p > 0.05$).

† SD (standard deviation).

Table 5. Flexural properties of the tested specimens

Material	Flexural strength (FS) (MPa)		Flexural modulus (FM) (GPa)	
	Mean	SD	Mean	SD
UL	90.87 ^a	1.14	4.68 ^a	0.38
UF	128.07 ^b	9.05	6.44 ^{ab}	0.62
SDR	130.05 ^b	4.47	7.94 ^{bc}	0.94
TBF	117.20 ^b	3.32	10.76 ^c	1.26
Z-350	169.02 ^c	9.43	13.61 ^d	1.45

† Different superscript letters indicate statistically different flexural strength and modulus values at $p < 0.05$ level.

† p value from one-way ANOVA.

† Same superscript letters are not significantly different ($p > 0.05$).

† SD (standard deviation).

의 크기를 표시하는 기계적 성질이고, 재료의 강도 및 내마모성을 예측하는데 사용된다. 상면에서는 Z-350이 TBF보다 높은 미세경도 값을 보이거나 하면에서는 TBF가 Z-350보다 통계학적으로 유의하게 높은 값을 나타냈다. 상면의 미세경도가 큰 이유는 필러의 함량과 관계가 있는 것으로 예측된다. 유동성 복합레진 비교 결과 상면의 경도는 UF가 높은 값을 나타냈으나 하면은 SDR이 가장 높았다. 상면과 하면의 미세경도비는 bulk-fill 복합레진인 SDR, TBF가 다른 복합레진과는 달리 50% 이상을 보였고, 통계학적으로 유의한 차이가 나타났다(Table 2). 이는 bulk-fill 복합레진의 중합깊이가 다른 복합레진에 비해 향상되었다는 것을 보여주고, 불충분한 중합이 나타날 확률이 보다 낮다는 것을 의미한다.

중합도는 재료의 기계적 성능과 생체적합성을 판단하는데 중요하다. 강도, 경도, 탄성계수, 용해도는 중합도와 직접적으로 연관이 있다¹⁶⁾. 단량체로서 존재하던 이중결합이 중합되면서 단일결합 중합체를 형성하게 되고 이러한 과정에서 전환되는 수준에 따라 기계적 및 물리적 성질에 영향을 미친다. 이전 연구에서 보고된 레진의 중합도는 52-75% 사이였고, 대부분의 재료가 55-60% 사이였다. 중합도는 중합체 연결구조의 유리화에 의해 제약을 받아 대부분 55-75% 범위를 가지게 되고, 생체 내에서 마모된 깊이와 중합도 사이에는 55-65% 범위 내라면 상관관계가 없다고 보고되었다. 따라서 적어도 교합면에 있어서 중합도는 55% 이하로 내려가는 것은 추천되지 않는다¹⁶⁾. 본 연구에서는 대부분 중합도가 55% 이상으로 나타났으나 본 연구에서 Z-350은 4 mm 하면뿐만 아니라 상면에서도 이 기준에 미달되었다. Z-350의 물성은 TBF나 유동성 복합레진보다 높게 나타났으나 중합도가 떨어진다면 수복에 사용할 때 적절하지 않을 수 있다. 하지만 본 연구는 시편의 수가 많지 않았고, 제조사의 지시와는 달리 bulk filling으로 시편을 제작하였기에 이에 대한 연구는 더 필요할 것으로 판단된다. 중합복합레진이 낮은 중합도를 보이면 색 안정성 및 수복물의 물성도 떨어지고 접착력도 약해져 결국 수복물의 탈락 가능성이 높아지는 결과를 보인다¹⁷⁾. 필러의 함량이 작은 유동성 복합레진의 중합도가 높게 나타났다. 상하면의 중합도 비도 bulk-fill 복합레진에서 통계학적으로 유의하게 높게 나타나기 때문에 bulk-fill 복합레진이 bulk filling을 이용하는데 더 유용할 수 있다는 결론을 뒷받침한다. TBF는 광개시제인 ivocerin을 포함하고 있으며 이는 중합속도를 시켜 더 깊이 중합할 수 있게 한다. 다양한 단량체에서 최후의 중합도는 Bis-GMA가 가장 낮고 Bis-EMA, UDMA, TEGDMA 순으로 높아진다¹⁸⁾. Bis-GMA는 수산화기와 방향족 원자핵의 분자 내 수소결합 때문에 가장 점성이 높고 유동성이 낮은 단량체이다. UDMA도 마찬가지로 이미노기(NH)와 카보닐기(CO) 사이의 분자간 수소결합에 의해 점성을 나타낸다. 하지만 UDMA의 점성이 낮은 이유는 이미노기가 수산화기보다 수소결합이 낮기 때문이다¹⁹⁾.

본 연구에서 가장 낮은 중합수축을 보이는 재료는 Z-350이었으며 TBF도 비교적 우수한 중합수축을 나타냈다. TBF는 응력 완화 효과를 보이는 특별한 필러가 포함되어 있어 완충제 역

할을 하기 때문에 중합수축을 낮춰준다. SDR의 경우 다른 유동성 복합레진보다 낮은 중합수축을 보였으나 통계학적으로 유의하지는 않았다. 실험에 사용된 복합레진의 중합수축 값은 1.97-4.50% 사이이며 이는 현재 판매되고 있는 복합레진의 중합수축 값과 비교하였을 때 수용 가능한 수치이다. 복합레진을 충전하고 광조사를 시작할 때 중합수축률은 급격하게 증가하는 것으로 보였고 중합이 끝나는 시점에서 다시금 증가하는 양상을 보였다. 이후 서서히 증가하면서 일정한 값을 보인다. 이러한 양상을 보이는 이유는 복합레진이 중합할 때 나오는 열과 광조사기의 열에 의한 열팽창으로 중합수축의 일부와 상쇄되었다가 광조사가 끝나는 시점에 열팽창이 발휘되기 때문이다²⁰⁾.

압축강도는 재료가 파괴되지 않고 견딜 수 있는 최대의 압축 응력을 측정한다. 저작력 등 외부응력이 가해질 때 저항할 수 있어야 하므로 재료의 중요한 기계적 성질 중 하나이다. 본 연구에서 압축강도 및 압축계수를 실험한 결과 가장 높은 수치를 나타낸 재료는 Z-350이었으며 TBF는 Z-350과 비교해 통계학적으로 유의하게 낮은 결과를 보였다. 유동성 복합레진에서는 압축강도는 SDR이 압축계수는 UL이 가장 낮은 값을 나타냈다. 복합레진의 구성성분 중 필러의 함량이 많을수록 압축강도 및 압축계수 값이 증가하는 것을 본 연구를 통해 확인할 수 있었다²¹⁾.

굴곡강도는 마모, 파절 및 미세누출과 연관이 있고 임상에서 복합레진 수복과 관련된 기계적 성질 중 중요한 요소이다²¹⁾. 외부 자극이 가해지는 상황에서는 파절을 피하기 위해 높은 굴곡강도가 필요하다. 굴곡계수는 시편의 중앙에 상부로부터 힘을 가하는 값을 시편에 생기는 변형으로 나눈 값으로 굴곡계수가 클수록 강성이 높아지며 낮을수록 유연하다. 굴곡강도 및 굴곡계수는 SDR의 경우 유동성 복합레진과 비슷하였으나, TBF의 경우 Z-350보다 통계학적으로 유의하게 낮았다. 유동성 복합레진보다 필러의 함량이 높은 비유동성 복합레진의 굴곡강도 높은 것은 필러의 함량에 비례한다는 과거 연구와 같은 결과를 보였다²²⁾. 하지만 굴곡계수는 TBF가 유동성 복합레진과 비슷한 결과를 보여 필러의 함량뿐만 아니라 필러입자 크기도 연관이 있는 것으로 보인다.

본 실험에서 나타난 결과 유동성 bulk-fill 복합레진의 경우 일반 수복용 레진에 비해 물성이 낮아 전체와동을 충전하기에는 적합하지 않고 이장재 및 기저재로 사용하는 것이 좋다는 이전 연구결과를 뒷받침한다¹⁰⁾. 비유동성 bulk-fill 복합레진은 부가적으로 전통적 복합레진층을 필요로 하지 않으나¹³⁾, 유동성 bulk-fill 복합레진 사용 시에는 추가의 전통적 복합레진층이 필요할 것으로 판단된다. 이러한 과정은 표면의 경도를 강화시켜 줄 뿐만 아니라 추후의 수분 흡착을 방지하는 역할을 한다고 보고되었다⁹⁾.

소아환자의 수복치료 시 bulk filling은 유용하게 사용될 수 있다. 이를 가능하게 해주는 bulk-fill 복합레진의 물성을 전통적 복합레진과 비교하였다는 것에 본 실험의 의미가 있다. 전통적 복합레진보다 bulk-fill 복합레진은 물성은 떨어지지만 다른 복합레진과는 달리 bulk filling이 가능하다는 것을 본 연구의

중합도 및 미세경도 비를 통해 확인할 수 있었다. 성인에서 최대교합력은 392.3 ± 150.1 N 이라고 보고되었으나²³⁾, 3-6세 아동에서는 196.60 ± 69.77 N 이라고 보고되었다²⁴⁾. 성인에 비해 낮은 교합력을 보이는 소아에서 전통적 복합레진보다 낮은 물성을 보이는 bulk-fill 복합레진은 수복재료로서 사용이 가능할 것으로 판단된다. 하지만 실험에 사용된 전통적 복합레진의 경우 제조사의 지시와는 달리 bulk filling을 이용하여 시편을 제작한 부분은 이 연구의 한계점이다. 치아와 bulk-fill 복합레진 결합에서 나타날 수 있는 물리적 성질 등에 대해서는 최근에 연구가 활발히 진행 중이고²⁵⁾, 2급 와동에서 bulk-fill 복합레진의 유용성에 대해서도 연구가 진행 중이다²⁶⁾. 하지만 유치에 bulk-fill 복합레진의 적용을 연구한 논문은 부족하여 향후 이에 대한 연구는 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 소아환자에서 치아우식증 치료 시 나타나는 레진의 단점들을 보완하기 위해 제시된 bulk-fill 복합레진과 전통적 복합레진의 물성을 비교하기 위한 목적으로 진행하였다. 연구의 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

미세경도는 상면에서 Z-350이 가장 높은 값을 나타냈고, 하면은 TBF가 높은 값을 나타냈으나 UL은 상하면 모두에서 가장 낮은 값을 보였다. 상면과 하면의 미세경도 값의 비는 bulk-fill 복합레진에서 높게 나타났다. 중합도는 bulk-fill 복합레진과 유동성 복합레진 상하면 모두에서 높게 나타나고, Z-350은 상하면 모두에서 55% 이하로 나타났다. 압축강도는 Z-350이 가장 높았으며 SDR과 UL은 낮게 나타났다. 압축계수는 Z-350이 높게 나타났고, UL이 가장 낮았다. 굴곡강도 및 굴곡계수는 Z-350이 가장 높았다. 반면, UL은 굴곡강도 및 굴곡계수 모두 가장 낮게 나타났다. UL이 가장 높은 중합수축을 보였고, Z-350이 가장 낮은 중합수축 값을 나타냈다. 유동성 복합레진이 비유동성 복합레진보다 중합수축 양이 많았다.

결론적으로 bulk-fill 복합레진의 물성은 전통적 복합레진보다 떨어지지만 bulk filling에서 중요한 상하면의 미세경도비 및 중합도는 높게 나타났다. Bulk-fill 복합레진은 어린이의 치아우식증 수복치료에 사용할 수 있는 충전제 역할을 할 수 있을 것으로 사료된다.

References

1. Rueggeberg FA : From vulcanite to vinyl, a history of resins in restorative dentistry. *J Prosthet Dent*, 87:364-379, 2002.
2. Kwon YH, Park JK, Kim JH, et al. : Polymerization shrinkage, flexural and compression properties of low-shrinkage dental resin composites. *Dent Mater*, 33:104-110, 2014.
3. Gee AF, Feilzer AJ, Davidson CL : True linear poly-

- merization shrinkage of unfilled resins and composites determined with a linometer. *Dent Mater*, 9:11-14, 1993.
4. Krejci I, Planinic M, Bouillaguet S, et al. : Resin composite shrinkage and marginal adaptation with different pulse-delay light curing protocols. *Eur J Oral Sci*, 113:531-536, 2005.
5. Versluis A, Douglas WH, Sakaguchi RL, et al. : Does an incremental filling technique reduce polymerization shrinkage stresses? *J Dent Res*, 75:871-878, 1996.
6. Kim IY, Kim JM, Shin Kim, et al. : 5 years evaluation of composite resin restoration on permanent first molar in children. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 35:110-117, 2008.
7. Benetti AR, Havndrup-Pedersen C, Pallesen U, et al. : Bulk-fill resin composites: polymerization contraction, depth of cure, and gap formation. *Oper Dent*, 40:190-200, 2015.
8. Christensen GJ : Advantages and challenges of Bulk-fill resins. *Clinicians Report*, 5:1-2, 2012.
9. Jang JH, Park SH, Hwang IN : Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk-fill composites and highly filled flowable resin. *Oper Dent*, 40:172-180, 2015.
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. Craig RG : Chemistry, composition, and properties of composite resins. *Dent Clin North Am*, 25:219-239, 1981.
12. Par M, Gamulin O, Tarle Z, et al. : Effect of temperature on post-cure polymerization of bulk-fill composites. *J Dent*, 42:1255-1260, 2014.
13. 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.
14. Roulet JF, Walti C : Influence of oral fluid on composite resin and glass-ionomer cement. *J Prosthet Dent*, 52:182-189, 1984.
15. Ilie N, Schoner C, Hickel R, et al. : An in-vitro assessment of the shear bond strength of bulk-fill resin composite to permanent and deciduous teeth. *J Dent*, 42:850-855, 2014.
16. 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.
17. de Gee AJ, ten Harkel-Hagenaar E, Davidson CL : Color dye for identification of incompletely cured composite resins. *J Prosthet Dent*, 52:626-631, 1984.
 18. Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G : Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-based dental resins. *Biomater*, 23:1819-1829, 2002.
 19. Rodrigues Junior SA, Zanchi CH, Demarco FF, *et al.* : Flexural strength and modulus of elasticity of different types of resin-based composites. *Braz Oral Res*, 21:16-21, 2007.
 20. Ferracane JL : Resin-based composite performance: are there some things we can't predict? *Dent Mater*, 29:51-58, 2013.
 21. Ilie N, Hickel R : Investigations on a methacrylate-based flowable composite based on the SDR technology. *Dent Mater*, 27:348-355, 2011.
 22. Khatri CA, Stansbury JW, Antonucci JM, *et al.* : Synthesis, characterization and evaluation of urethane derivatives of Bis-GMA. *Dent Mater*, 19:584-588, 2003.
 23. Zivko-Babic J, Panduric J, Jakovac M, *et al.* : Bite force in subjects with complete dentition. *Coll Antropol*, 26:293-302, 2002.
 24. Mountain G, Wood D, Toumba J : Bite force measurement in children with primary dentition. *Int J Paediatr Dent*, 21:112-118, 2011.
 25. Lee HB, Seo HW, Park HW, *et al.* : Evaluation of shear bond strength and microleakage of bulk-fill resin composite. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 42:281-290, 2015.
 26. 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.

국문초록

Bulk-fill 복합레진과 전통적 복합레진의 물성비교

노태환¹ · 송은주¹ · 박소영¹ · 표애리² · 권용훈² · 김지연¹ · 김 신¹ · 정태성¹¹부산대학교 치의학전문대학원 소아치과학교실²부산대학교 치의학전문대학원 치과재료학교실

치아우식증을 치료할 때 가장 많이 사용되는 수복재료 중 하나는 레진이다. 하지만 레진은 중합수축, 긴 작업시간, 수분 및 오염에 민감하다는 단점들이 존재하고 어린이를 치료할 때 더 두드러진다. 이러한 단점들을 해결하기 위해 bulk filling이 나타나게 되었고, 이를 가능하게 하는 bulk-fill 복합레진이 개발되었다. 본 연구의 목적은 전통적 복합레진과 bulk-fill 복합레진의 물성을 다양한 방법으로 평가 및 비교하기 위함이다.

전통적 복합레진 3 종류(Filtek Z-350 (Z-350), Unifil Flow (UF), Unifil Loflo Plus (UL)), bulk-fill 복합레진 2종류(SureFil SDR flow (SDR), Tetric N-Ceram bulk fill (TBF))를 사용하였다. 광중합기는 light-emitting diodes를 사용하였고, 한번 중합할 때 20초간 시행하였다. 재료들의 미세경도는 비커스경도기로 측정하였고, 중합도 측정은 Fourier transform infrared spectroscopy을 사용하였다. 중합수축량은 컴퓨터로 제어되는 linometer를 이용하였다. 굴곡강도 및 굴곡계수는 3점 굽힘 시험법으로 측정하였고, 압축강도 및 압축계수와 함께 Universal testing machine을 이용하여 측정하였다. 통계분석은 ANOVA를 사용하였고, Scheffe의 사후검정을 하였다.

미세경도는 상면에서 Z-350이 가장 높은 값을 나타냈고, 하면은 TBF가 높은 값을 나타냈으나 UL은 상하면 모두에서 가장 낮은 값을 보였다. 상면과 하면의 미세경도 값의 비는 SDR, TBF가 높았다. 중합도는 bulk-fill 복합레진과 유동성 복합레진 상하면 모두에서 높게 나타나고, Z-350은 상하면 모두에서 55% 이하로 나타났다. 압축강도는 Z-350이 가장 높았으며 SDR이 낮게 나타났으나 UL과는 통계학적으로 유의하게 차이는 보이지 않았다. 압축계수는 Z-350이 높게 나타났고, UL이 가장 낮았다. 굴곡강도 및 굴곡계수는 Z-350이 가장 높았다. UL은 굴곡강도 및 굴곡계수 모두 가장 낮게 나타났다. UL이 가장 높은 중합수축을 보였고, Z-350이 가장 낮은 중합수축 값을 나타냈다. 유동성 복합레진이 비유동성 복합레진보다 중합수축 양이 많았다.

결론적으로 bulk-fill 복합레진의 물성은 전통적 복합레진보다 떨어지지만 bulk filling할 때 중요한 상하면의 미세경도비 및 중합도는 높게 나타나 어린이의 치아우식증 수복치료 시 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다.

주요어: Bulk-fill 복합레진, 미세경도, 중합도, 중합수축