



치과용 복합레진의 굽힘 특성과 시험 신뢰도에 미치는 시편 크기의 영향

임용운^{1,2}, 황성식², 김사학², 이해형^{1,3*}

단국대학교 치과대학 생체재료학교실¹, 경동대학교 치기공학과², 단국대학교 조직재생공학연구소³

〈Abstract〉

Effects of specimens dimension on the flexural properties and testing reliability of dental composite resin

Yong-Woon Im^{1,2}, Seong-sig Hwang², Sa-hak Kim², Hae-Hyoung Lee^{1,3*}

¹Department of Biomaterials Science, College of Dentistry, Dankook University, Cheonan, Korea

²Department of Dental Technology, Kyungdong University, Wonju, Korea

³Institute of Tissue Regeneration Engineering, Dankook University, Cheonan, Korea

The aim of the present study was to investigate the effects of specimen dimension on the flexural properties and testing reliability of dental composite resin. The composite resin was prepared experimentally by mixing a resin matrix with silanated micrometer glass filler at 50 vol%. Flexural specimens with various dimension in specimen's width were fabricated by light curing using a split metal mold; 25×2×2 mm, 25×2×4 mm, 25×2×6 mm in length × height × width. The flexural strength and modulus were determined according to ISO 4049 test protocol at a span length of 20 mm (normal-flexural strength; NFS). Another flexural test was conducted using mini-sized specimens (12×2×2 mm, 12×2×4 mm, 12×2×6 mm) from the broken specimens at a span length of 10 mm (mini-flexural strength; MFS). Data were analyzed with ANOVA and Duncan's post-hoc test and the test reliability was evaluated by Weibull analysis. Results showed that there are generally no significant difference in flexural strength with the increase in the specimen width in NFS and MFS tests. However, the test reliability of flexural strength based on Weibull analysis was largely changed with the variables in the dimension of width and span length. The flexural modulus of NFS was increased as the dimension of specimens width increased while there was no trend in flexural modulus of MFS test. Overall results recommend that the evaluation of flexural properties and the reliability of dental composite resins should be performed with more than one test method.

Key words : composite resin, flexural properties, Weibull reliability, specimen dimension

서론

치과용 복합레진 수복재는 1960년대 중반 Bowen에 의해 개발된 Bis-GMA기질과 각종 무기 필러 그리고 이들을 연결하

는 silane 커플링제로 구성한다. 개발 초기에는 치아 접착에 대한 기술적 어려움과 재료 자체의 중합 수축으로 인한 변연부 미세누출 현상 등으로 많은 문제점을 야기하였다. 또한 거대 충전 입자 (filler)를 사용하는 초기 재료들은 연마성 및 기계적 특성에 많은 문제를 가지고 있었다. 그러나 오늘날 치과용 복합레진은 필러의 크기와 함량 면에서 많은 개선이 이루어져 심미수복재로서 전·구치부에서 폭넓게 사용되고 있으며 치과용 아말감을 빠르게 대체하고 있다 (Powers and Sakaguchi, 2012).

* Correspondence: 이해형 (ORCID ID: 0000-0001-7224-5507)
 (31116) 충남 천안시 동남구 단대로 119 단국대학교 치과대학 생체재료학교실
 Tel: +82-41-550-1925, Fax: +82-41-559-7925
 E-mail: haelee@dku.edu

Received: Sep. 07, 2017; Revised: Sep. 20, 2017; Accepted: Sep. 21, 2017

* 이 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2015R1A2A2A01007567).

치과용 아말감 (AM, amalgam)과 복합레진 (CR, composite resin) 수복의 12년간 임상수명에 대한 조사연구에서 우식활성도가 높은 환자에 있어서는 AM/CR 두 수복물이 비슷한 수명을 보였으나 우식활성도가 낮은 그룹에서는 오히려 CR의 임상 성과가 우수한것으로 밝혀졌다 (Opdam et al., 2010). 또한 2급와동의 복합레진 수복에 대한 30년 간의 추적조사 보고에서 우수한 임상성과가 보고되었다 (Pallesen and van Dijken, 2015). 그 외 많은 연구가 복합레진의 임상 성과를 보고하고 있다. 그러나 한편으로 복합레진 재료의 파절은 이차우식의 발생과 함께 수복실패의 주원인으로 보고되고 있다 (van Dijken, 2000; Opdam et al., 2010; van Dijken and Pallesen, 2010; Da Rosa Rodolpho et al., 2011; Pallesen and van Dijken, 2015). 따라서 좀더 우수한 물리적 특성을 갖는 복합레진의 개발과 이에 따른 기계적 특성의 평가에 대한 많은 연구가 있어왔다.

치과용 복합레진의 기계적 거동을 예측하기 위해서 굽힘시험, 압축강도, 간접인장강도, 파괴인성시험 등 다양한 기계적 특성 평가가 이루어져왔다 (Li et al., 1985; Ferracane et al., 1987; Penn et al., 1987; Kim et al., 2002; Ilie and Hickel, 2009; Jun et al., 2013; Im et al., 2015). 이중 3점 굽힘강도는 시편의 제작이 쉽고, 인장 응력에 의한 재료의 파절 저항성을 평가할 수 있기에 가장 일반적으로 사용되고 있으며, 치과용 복합레진의 국제규격 (ISO 4049)의 시험항목으로 채택되었다. 치과용 복합레진의 굽힘 강도 측정은 ISO 4049가 제시하는 방법에 따라 25×2×2 mm (길이×높이×폭) 크기의 빔 (beam) 형태 시편을 제작하여 3점 굽힘시험을 시행할 것을 권장하고 있다.

그러나 빔형태의 시편은 굽힘시험 시 모서리 결함이 있으면 응력 집중에 의하여 조기 파절이 일어날 수 있다. 또한 일반적 광중합기의 조사 팁 직경은 ~10 mm로 ISO 시편을 중합하려면 전 길이 (25 mm)에 따라 중첩 광조사를 해야 하며, 이에 따라 시편내 불균일 중합이 일어날 가능성이 있으며 이 같은 영향들은 시험 신뢰도에 영향을 미친다. 한 연구에서는 동일 재료에 대한 ISO 4049 굽힘강도는 여러 선행 보고들 사이에 큰 차이가 존재함을 보고하였는데 (Jun et al., 2013), 시편마다 발생할 수 있는 불균일 중합은 그러한 원인의 하나 일 수 있다. 이런 문제점의 대안으로 일부 연구자는 규격보다

작은 길이 (10~15 mm)의 굽힘시편을 제작하여 굽힘강도를 조사하였다 (Yap and Teoh, 2003; Muench et al., 2005; Peutzfeldt and Asmussen, 2005; Calheiros et al., 2006; Pick et al., 2010; Garoushi et al., 2012). 그러나 복합레진 시편의 크기의 조건에 있어서 폭에 대한 굽힘특성의 영향은 분석된 예가 거의 없다.

본 연구에서는 실험용 복합레진을 제조하여 ISO 4049 규격에서 시편 폭의 길이와 지점간 거리의 영향을 분석하고자 25×2×2 mm, 25×2×4 mm, 25×2×6 mm 크기의 시편을 제작하였다. 이들 시편의 굽힘 시험 후 파절된 시편 (12×2×2 mm, 12×2×4 mm, 12×2×6 mm)들을 회수하여 각각 굽힘 강도 (flexural strength, FS), 굽힘 탄성계수 (flexural modulus, FM)를 구하였다. 또한 다양한 규격 하에서 내재되는 결함의 정보를 나타내는 와이블 분석을 통한 강도 시험의 신뢰도를 분석하여 치과용 복합레진의 기계적 거동 평가에 유용한 정보를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

1. 복합레진의 제조

본 연구에서 사용된 실험용 복합레진의 레진기질은 Bis-EMA (Bisphenol-A-ethoxylate dimethacrylate), Bis-GMA (Bisphenol-A-glycerolate dimethacrylate), UDMA (Glycerol dimethacrylate), TEGDMA [Tri(ethylene glycol) dimethacrylate]로 구성하였으며, 이외 광중합에 필요한 Camphorquinone, Ethyl 4(dimethylamino) benzoate 등이 소량 함유되어 있다. 복합레진의 필러로는 실란 처리된 barium-silicate glass (Schott Glas, d50 0.78 um) 분말을 사용하였다. 두 재료는 유성 진공 혼합기 (Planetary vacuum mixer, U-NiWon Machinery, Korea)를 이용하여 50 vol%의 필러 함량이 되도록 혼합하여 실험용 복합레진을 제조하였다.

2. 시편 제작

각 크기의 굽힘강도 시편 제작을 위하여 분리가 가능한 길이 25 mm, 높이 2 mm, 폭 2/4/6 mm의 금속 몰드에 제조한

복합레진을 채운 후 정하중기를 이용하여 약 50-N의 하중을 3분간 가압하여 주입하였다. 이때 시편의 양면은 투명 셀룰로이드 스트립 (celluloid strip)을 게재 시켰다. 시편의 중합은 팁 직경 10 mm의 LED 광중합기 (Twinlex LED XP-1800, Monitex, Taiwan)를 이용하여 표면에 접촉시켜 1400~1500 mW/cm²의 세기로 양면을 조사하였다. 특히 시편 길이방향에서 일률적인 광중합을 위하여 각각 10초간씩 7부분에서 충분히 중첩되도록 제작한 가이드를 사용하여 광중합 하였다. 중합된 시편의 잉여 (flash) 부분은 #1200 SiC 연마지로 연마하여 마무리 하였다. 이후 시편들은 ISO 4049에 따라 시험 전 37°C의 증류수에서 24시간 보관하였다.

3. 굽힘 특성 측정

시편의 굽힘강도 측정은 재료 시험기 (Instron 3344, MA, USA)를 이용하여 지점간 거리 20 mm의 치구에 올려놓고 3점 굽힘시험으로 결정하였다. 1.0 mm/min의 하중속도로 실시하였다. 3점 굽힘강도 (3-point FS, σ), 굽힘 탄성계수 (FM, E)는 다음 식에 의하여 결정하였다.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2}$$

$$E = \frac{L^3m}{4bd^3}$$

여기서 P는 최대굽힘하중 (N), L은 지점간 거리 (mm), b는

시편의 폭 (mm), d는 높이 (mm), m은 하중-변형률 관계에서의 직선부 기울기 (N/mm) 이다.

모든 시편들은 2등분으로 파절되었다. 각 파절 시편중 하나를 길이 12 mm로 조정하고 지점간 거리 10 mm에서 3점 굽힘 시험을 실시하고 위 식을 이용하여 FS와 FM을 결정하였다. 시편의 형상 별로 10개의 시편을 제작하여 시험을 실시하였다 (n=10). 시편군의 대표적 크기와 코드들은 Table 1에 게시하였다.

4. 와이블(Weibull) 분석

각 굽힘강도들의 신뢰성을 분석하기 위하여 2-변수 와이블 (2-parameters Weibull)분석을 실시하였다. 각 시편의 데이터 값을 아래의 식에 대입하여 와이블 계수 (m)를 구하여 비교하였다 (Quinn and Quinn, 2010a).

$$P_f = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^m\right]$$

$$P_f = \frac{i-0.5}{N}$$

여기서 i는 재료의 순차, N은 시편의 개수, σ_0 은 σ (강도 값)에 대한 scale parameter이다. m은 와이블 계수(modulus)로 $\ln\ln[1/(1-P_f)]$ 과 $\ln(\sigma)$ 의 선형회귀 관계 직선 그래프 식 ($y = mx + b$)에서 기울기를 말한다.

Table 1. Results of flexural strength (FS), flexural modulus (FM), and Weibull analysis of specimens according to specimen dimension and span length.

Specimen size (mm)	Span length (mm)	FS (MPa)	FM(GPa)	m	r2	σ_0
25*2*2	20	97.2 (7.9) ^{ab}	5.65 (0.3) ^c	13.77	0.821	100.9
25*2*4	20	93.1 (11.0) ^a	6.20 (0.4) ^d	9.88	0.959	97.8
25*2*6	20	90.2 (12.4) ^a	6.44 (0.3) ^e	8.18	0.965	95.6
12*2*2	10	104.5 (7.7) ^b	3.79 (0.2) ^{ab}	15.93	0.938	107.9
12*2*4	10	105.7 (6.4) ^b	4.00 (0.2) ^b	18.95	0.847	108.6
12*2*6	10	92.8 (15.0) ^a	3.60 (0.1) ^a	6.63	0.846	99.6

5. 통계처리

시편의 길이와 지점간 거리 따른 굽힘 강도를 측정된 데이터는 IBM SPSS(SPSS v.20.0 INC, USA)를 이용하여 이원배치 분산분석 (Two-way ANOVA)을 실시하였다. 굽힘강도, 굽힘탄성계수에 대하여 $P < 0.05$ 유의수준에서 Duncan의 사후검정을 실시하였다.

결과

Fig. 1은 주사전자현미경 (Scanning electronic microscope, S-3000H, Hitachi, Japan)으로 촬영한 복합레진 시편의 미세구조 사진이다. 제조한 복합레진은 레진 기질과 필러가 결합되어 있고 잘 분산되어 있는 양상을 보였다.

본 연구에서 제조한 복합레진의 시편 폭과 시편의 크기에 따른 FS와 FM결과들은 Table 1에 나타내었고, Fig. 2와 Fig. 3에 그래프로 표시하였다. 또한 각 시편군들의 와이블 분석결과는 Fig. 3과 Fig. 4에 표시하였다. 각 시편의 크기와 지점간 거리에 대한 2원배치분산분석결과는 Table 2에 정리하였다. FS/FM 모두 시편의 크기와 지점거리는 유의한 영향을 주었다 ($P < 0.05$). 그러나 FS에 대한 두 변수의 상호작용은 유의하지 않았다 ($P > 0.05$)

복합레진의 평균 FS는 지점간 거리 (span length) 20 mm에서는 시편 폭의 증가에 따라 감소하였으나 통계적 유의한 차이를 보이지 않았다 ($P > 0.05$). 그러나 강도의 와이블 계수는 시편 폭의 증가에 따라 크게 감소하였다. 시편의 폭이 6 mm 군에서 길이와 상관없이 가장 낮은 와이블 계수를 보였다. 스패 10 mm의 결과에서 시편 폭 6 mm ($12 \times 2 \times 6$)의 FS는 와이블계수와 함께 유의한 감소를 보였다.

반면 평균 FM 값은 스패길이 20 mm에서 시편 폭의 증가와 함께 증가하였다. 그러나 스패길이 10 mm에서 FM 값은 통계적 차이가 나타나지 않았다. 전체적으로 스패 길이의 증가에 따라 FS값은 증가하였고 FM 값은 감소하였다.

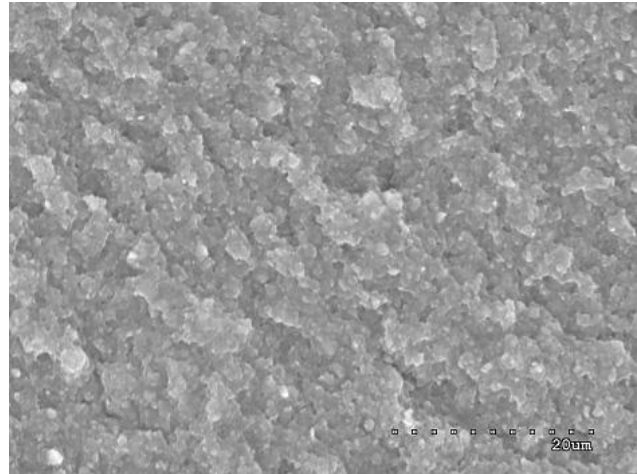


Figure 1. SEM image of the prepared experimental composite resin.

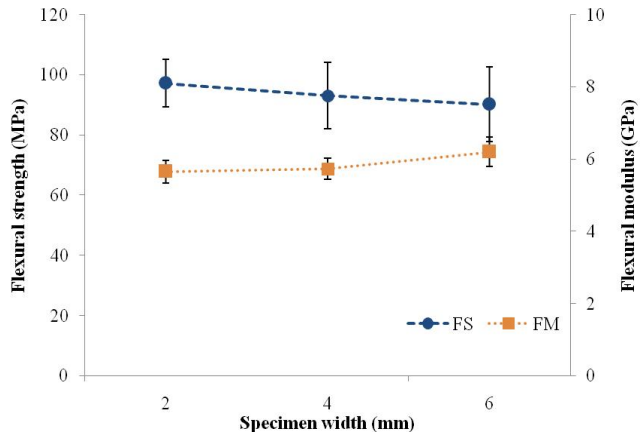


Figure 2. Flexural strength and modulus according to the dimension of specimen width (mm) in 25-mm length and 20-mm span, FS (flexural strength), FM (flexural modulus).

Table 2. Results of two-way ANOVA

Source	FS (MPa)	FM (GPa)
Dimension	0,022	0,000
Span	0,013	0,000
Dimension*Span	0,309	0,000

고찰

일반적 굽힘강도에 대한 역학적 계산은 지점간 거리 (s)와 시편의 높이(h)의 비 (span-to-thickness ratio) $s/h=10$ 의 가정에서 값을 제공한다 (Pick et al., 2010). 따라서 재료의 굽힘특성들의 값은 시편의 모양, 크기 및 그 비율에 따라 굽힘 모멘트가 달라지고 영향을 받는다 (Im 등, 2015). 본 연구에서는 제조한 복합레진의 시편의 굽힘특성을 지지점간 거리 (span length) 20 mm ($s/h=10$)의 '정상 굽힘강도' (normal flexural strength; NFS)와 상대적으로 작은 시편을 이용하여 지지점간 거리 10 mm ($s/h=5$)에서 측정한 '미니 굽힘강도' (mini-flexural strength; MFS)로 측정 비교하였다.

본 연구에서 제조한 복합레진의 평균 NFS는 시편 폭의 증가와 함께 감소하였으나 통계적 유의성이 없었다. 전체적으로 같은 시편 폭에서는 MFS가 NFS보다 높았으나, 본 연구에서 폭 2 mm의 ISO 4049 정규시편의 NFS와 MFS 값은 유사하였다. 이와 같은 결과는 한 선행 연구결과와 일치하였다 (Muench et al., 2005). 그러나 와이블 계수 (m)은 시편 폭이 증가함에 따라 13.8에서 8~10으로 감소하였다. 즉 시편의 형상에 따라 측정 강도 값의 분산이 커짐을 의미한다. MFS시험에서는 폭 2/4 mm 시편의 결과는 유사하였으나 6 mm 시편은 와이블 계수와 함께 유의한 감소를 보였다. 기존의 규격 시험 조건보다 작은 시편에서도 규격 시험과 유사한 결과가 얻어진다면 시편 제작의 비용과 시간 그리고 제작의 용이성 면에서는 장점이 있다. 그러나 시험법의 신뢰도에 변화가 발생할 수 있음을 유의해야 한다.

일반적으로 s/h 비가 감소함에 따라 강도가 증가하는 것은 시편 내부에 전단 응력이 발생하기 때문으로 풀이된다 (Pick et al., 2010). 한 연구에서 치과용 복합레진의 미니 시편 ($10 \times 2 \times 2$ mm)의 MFS는 ISO 4049 강도보다 약 25%의 증가가 관찰되었다 (Yap and Teoh, 2003; Calheiros et al., 2013). 그러나 다른 연구에서는 스패 길이의 감소에 따라 강도가 감소하는 기존의 역학적 예측과 다른 현상을 관찰하였다 (Garoushi et al., 2012). 시편들의 굽힘탄성계수 (FM)는 NFS 시험에서 강도와 반대로 통계적 차이가 있는 증가를 보였다. 이는 필러가 없는 폴리머 재료인 아크릴 레진 의치상 재료에서 존재하는 FS와 FM의 강한 상관성과 다른 결과로 복합재료

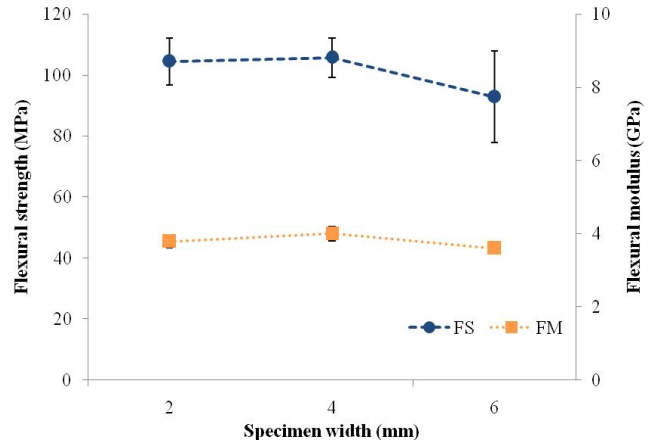


Figure 3. Flexural strength and modulus according to the dimension of specimen width (mm) in 12-mm length and 10-mm span, FS (flexural strength), FM (flexural modulus).

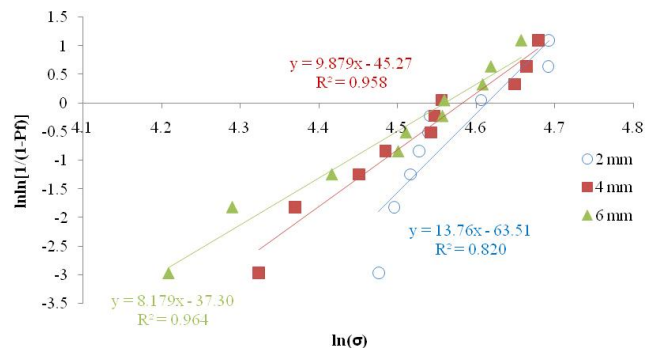


Figure 4. Weibull analysis of normal flexural strength data (20-mm span).

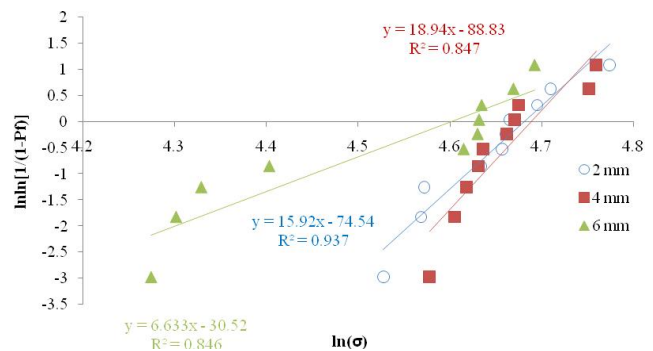


Figure 5. Weibull analysis of mini-flexural strength data (10-mm span).

의 특징의 하나로 볼 수 있다 (Lee et al., 2012). MFS시험의 FM은 NFS 시험 값보다 작았으며 일관성이 나타나지 않았다. 치과용 복합레진의 FM은 필러 함량과 경도 값과 큰 상관성을 갖는다 (Jun et al., 2013). 따라서 복합레진의 FM 측정을 위해서는 충분한 스캔 길이를 갖는 굽힘시험이 바람직하다.

굽힘강도 시험의 크기가 증가함에 따라 와이블 계수가 감소하는 것은 인장하중 하에 놓이게 되는 시험의 유효면적 (effective area)이 커지게 되고 결함의 존재 가능성이 증가함에 따라 비정상적 파절이 일어나는 결과로 해석된다 (Quinn and Quinn, 2010a; Quinn and Quinn, 2010b). 따라서 복합레진들에 있어서 평균 굽힘강도의 순위를 평가하기에는 상대적으로 작은 크기의 시험편으로 시험하는 것이 적합할 것이다. 본 연구에서도 폭 2 mm의 NFS와 2/4 mm의 MFS가 폭 6 mm 시험편의 결과보다 상대적으로 와이블 계수가 높았다 (Table 1).

선행 연구들에서 디스크 시험편의 이축굽힘시험에 의한 이축굽힘강도(biaxial flexural strength; BFS)는 3점굽힘강도 결과에 비하여 높은 와이블 계수를 보였다 (Palin et al., 2003; Pick et al., 2010). 따라서 복합레진들의 강도 차이를 평가하는데 있어서 BFS시험이 3점굽힘시험보다 유리하다고 주장하였다. 그러나 이러한 연구에서 발생한 와이블 계수의 차이가 재료 고유의 차이인지, 시험편의 크기와 시험 형상에 기인한 것인지는 명확하지 않다. 서로 다른 재료를 동일 강도 시험법으로 시행하였을 때 발생하는 와이블 계수의 차이는 재료 고유의 결함 존재확률과 관계된다. 즉 결함이 많은 재료들은 강도 값의 일관성이 어렵다. 그러나 같은 재료를 서로 다른 시험법으로 시행할 때 재료에 부가되는 유효면적이 같다고 하더라도, 시험법에 따라 1축 이상의 다양한 응력방향이 발생하기 때문에 얻어지는 결과의 신뢰성도 다르게 나타날 수 있다. 앞의 연구들과 다른 결과인, 동일 재료에 대한 BFS가 3점굽힘 NFS보다 값의 분산이 더 크다는 Chung 등의 보고는 이러한 근거가 된다 (Chung et al., 2004).

본 연구에서는 마이크로미터 크기의 필러를 함유하는 실험용 복합레진을 만들고, 정규 시험 (길이×두께, 25×2 mm)과 미니 시험 (12×2 mm) 에서 굽힘강도와 신뢰성에 대한 시험편 폭의 크기와 시험지지점간 거리의 영향을 조사하였다. 미니 시험편의 굽힘강도(MFS) 결과는 정규시험편의 굽힘강도(NFS)와

통계적 차이를 보이지 않았다. 그러나 와이블 계수에 근거한 시험편과 시험법에 따른 신뢰도는 큰 차이가 나타났다. 결론적으로, 본 연구와 선행연구의 결과를 종합하면 복합레진 재료의 굽힘 특성과 신뢰도 분석은 한가지 이상의 시험법으로 시행하여 비교하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

참고문헌

- Calheiros FC, Kawano Y, Stansbury JW, Braga RR (2006). Influence of radiant exposure on contraction stress, degree of conversion and mechanical properties of resin composites. *Dent Mater* 22(9):799-803.
- Calheiros FC, Pfeifer CS, Brandao LL, Agra CM, Ballester RY (2013). Flexural properties of resin composites: influence of specimen dimensions and storage conditions. *Dent Mater J* 32(2):228-232.
- Chung SM, Yap AU, Chandra SP, Lim CT (2004). Flexural strength of dental composite restoratives: comparison of biaxial and three-point bending test. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 71(2):278-283.
- Da Rosa Rodolpho PA, Donassollo TA, Cenci MS, Loguercio AD, Moraes RR, Bronkhorst EM *et al.* (2011). 22-Year clinical evaluation of the performance of two posterior composites with different filler characteristics. *Dent Mater* 27(10):955-963.
- Ferracane JL, Antonio RC, Matsumoto H (1987). Variables affecting the fracture toughness of dental composites. *J Dent Res* 66(6):1140-1145.
- Garoushi S, Lassila LV, Vallittu PK (2012). The effect of span length of flexural testing on properties of short fiber reinforced composite. *J Mater Sci Mater Med* 23(2):325-328.
- Ilie N, Hickel R (2009). Investigations on mechanical behaviour of dental composites. *Clin Oral Investig* 13(4):427-438.
- Im Y-W, Jun S-K, Kim S-C, Kim D-A, Kim G-R, Kim N-S

- et al.* (2015). Standardized test methods for mechanical properties of dental prosthetic/restorative materials and their applications. *Kor J Dent Mater* 42(3):259-270.
- Jun SK, Kim DA, Goo HJ, Lee HH (2013). Investigation of the correlation between the different mechanical properties of resin composites. *Dent Mater J* 32(1): 48-57.
- Kim KH, Ong JL, Okuno O (2002). The effect of filler loading and morphology on the mechanical properties of contemporary composites. *J Prosthet Dent* 87(6):642-649.
- Lee HH, Lee CJ, Asaoka K (2012). Correlation in the mechanical properties of acrylic denture base resins. *Dent Mater J* 31(1):157-164.
- Li Y, Swartz ML, Phillips RW, Moore BK, Roberts TA (1985). Effect of filler content and size on properties of composites. *J Dent Res* 64(12):1396-1401.
- Muench A, Correa IC, Grande RH, Joao M (2005). The effect of specimen dimensions on the flexural strength of a composite resin. *J Appl Oral Sci* 13(3):265-268.
- Opdam NJ, Bronkhorst EM, Loomans BA, Huysmans MC (2010). 12-year survival of composite vs. amalgam restorations. *J Dent Res* 89(10):1063-1067.
- Palin WM, Fleming GJP, Trevor Burke FJ, Marquis PM, Randall RC (2003). The reliability in flexural strength testing of a novel dental composite. *J Dent* 31(8):549-557.
- Pallesen U, van Dijken JW (2015). A randomized controlled 30 years follow up of three conventional resin composites in Class II restorations. *Dent Mater* 31(10): 1232-1244.
- Penn RW, Craig RG, Tesk JA (1987). Diametral tensile strength and dental composites. *Dent Mater* 3(1):46-48.
- Peutzfeldt A, Asmussen E (2005). Resin composite properties and energy density of light cure. *J Dent Res* 84(7):659-662.
- Pick B, Meira JB, Driemeier L, Braga RR (2010). A critical view on biaxial and short-beam uniaxial flexural strength tests applied to resin composites using Weibull, fractographic and finite element analyses. *Dent Mater* 26(1):83-90.
- Powers JM, Sakaguchi RL (2012). Craig's Restorative dental materials. In: Restorative materials-Composites and polymers. JM Powers and RL Sakaguchi editors. Mosby, pp. 161-198.
- Quinn JB, Quinn GD (2010a). A practical and systematic review of Weibull statistics for reporting strengths of dental materials. *Dent Mater* 26(2):135-147.
- Quinn JB, Quinn GD (2010b). Material properties and fractography of an indirect dental resin composite. *Dent Mater* 26(6):589-599.
- van Dijken JW (2000). Direct resin composite inlays/onlays: an 11 year follow-up. *J Dent* 28(5):299-306.
- van Dijken JW, Pallesen U (2010). Fracture frequency and longevity of fractured resin composite, polyacid-modified resin composite, and resin-modified glass ionomer cement class IV restorations: an up to 14 years of follow-up. *Clin Oral Investig* 14(2):217-222.
- Yap AU, Teoh SH (2003). Comparison of flexural properties of composite restoratives using the ISO and mini-flexural tests. *J Oral Rehabil* 30(2):171-177.

치과용 복합레진의 굽힘 특성과 시험 신뢰도에 미치는 시편 크기의 영향

임용운^{1,2}, 황성식², 김사학², 이해형^{1,3*}

단국대학교 치과대학 생체재료학교실¹, 경동대학교 치기공학과², 단국대학교 조직재생공학연구소³

본 연구의 목적은 치과용 복합레진의 굽힘특성과 시험 신뢰성에 대한 시편의 크기의 영향을 분석하기 위함이다. 실험용 치과용 복합레진은 레진 매트릭스와 50 vo%의 silane 처리된 글라스 필러를 혼합하여 제조하였다. 복합레진의 굽힘강도 시편은 폭의 크기가 다른 금속 몰드에 채워 각각 25×2×2 mm, 25×2×4 mm, 25×2×6 mm (길이×높이×폭) 크기로 광중합하여 제작하였다 (n=10). 이들 굽힘 시편들은 ISO 4049 시험법에 의거 시편의 지지점간 거리 20 mm에서 굽힘강도와 굽힘탄성계수를 결정하였다 (normal-flexural strength; NFS). 여기서 파절된 시편들로부터 길이를 12 mm로 조정된 시편들(12×2×2 mm, 12×2×4 mm, 12×2×6 mm)을 이용하여 지지점간 거리 10 mm에서 다시 한번 굽힘특성 값을 얻었다(mini-flexural strength; MFS). 데이터는 ANOVA와 Duncan 사후검정을 실시하였으며 결과의 신뢰도는 와이블 분석으로 실시하였다. 결과에서 NFS, MFS시험 모두 시편 폭의 증가에 따라 굽힘강도에는 유의한 차이가 나타나지 않았다(P > 0.05). 그러나 와이블 계수에 근거한 시험 신뢰도는 시편의 크기와 지지점간 거리의 변화에 따라 큰 변화가 발생하였다. NFS시험의 굽힘탄성계수는 시편의 크기 증가와 더불어 증가하였으나, MFS시험에 의한 탄성계수는 경향이 관찰되지 않았다. 본 연구의 결과를 종합하면, 치과용 복합레진의 굽힘특성과 그 신뢰도는 한가지 이상의 시험법으로 해야 함이 권장된다.

색인 단어 : 복합레진, 굽힘특성, 와이블 신뢰성, 시편 크기