

유리 섬유의 첨가에 따른 자가중합 및 열중합 의치상용 레진의 강화효과

유 상 희, 김 연 수*, 최 운 재*, 전 종 남*
 원광대학교 치과대학 치과생체재료학교실, 원광보건대학 치기공과*

Effect of Reinforcement of Glass fiber on Auto and Heat polymerized denture base resin

Sang-Hui Yu, Yeoun-Soo Kim*, Un-Jae Choi*, Jong-Nam Jun*
 Department of Dental Biomaterials, College of Dentistry, Wonkwang University
 Department of Dental Laboratory Technology, Wonkwang Health Science College*

[Abstract]

This study evaluated the effect of concentration of glass fiber reinforcement on the flexural properties of auto and heat polymerized denture base resin.

The test specimens(64 × 10 × 3.3 mm) were made of auto and heat polymerized resin(Vertex, Dentimax, Netherlands). Glass fiber(ER 270FW, Hankuk Fiber Glass, Korea) were used to reinforce the denture base resin. The 2.6%, 5.3% and 7.9% volume pre-impregnated fiber were located at the bottom of specimen. The test specimens(n=7) of each group were stored in distilled water at 37°C for 50 hours before test. The flexural strength and modulus were measured by an universal testing machine(Z020, Zwick, Germany) at a crosshead speed of 5 mm/min in a three-point bending mode. The data was analyzed by one-way ANOVA and the Duncan's multiple range test($\alpha=0.05$). The difference of auto polymerized resin groups and heat polymerized resin groups were statistically analyzed by t-test($\alpha=0.05$).

Glass fiber showed significant reinforcing effects on auto and heat polymerized resin. For flexural strength and modulus, auto polymerized resin was the highest in 7.9% volume, while heat polymerized resin was the highest in 5.3% volume.

In this study, glass fiber at 7.9% volume ratio showed most effective reinforcing effect on auto polymerized resin and glass fiber at 5.3% volume ratio showed most effective reinforcing effect on heat polymerized resin in terms of flexural strength and flexural modulus.

○Key words : denture base resin, fiber-reinforced composite, glass fiber

교신저자	성명	유 상 희	전화	010-8648-0332	E-mail	wsh7901@naver.com
	주소	전북 익산시 신용동 344-2번지 원광대학교 치과대학 치과생체재료학교실				
논문접수	2009. 11. 10		수정재접수	2009. 11. 30		

I. 서 론

1937년 폴리메틸메타크릴레이트(polymethyl methacrylate: PMMA)가 의치상 재료로 도입된 이래 대부분의 의치상이 중합체를 이용하여 제작되고 있다. PMMA 레진은 심미적이며, 조작이 쉽고, 가격이 저렴하다는 장점이 있으나, 여러 가지 원인으로 파절이 일어날 수 있다. 의치의 파절양상은 주로 두 가지 형태로 나타나는데, 구강 내에서 반복적으로 발생하는 교합하중에 의한 굴곡피로파절과 의치를 떨어뜨렸을 때 발생하는 충격파절이다(한국치과재료학교수협의회, 2008; Polyzois 등, 2001).

의치상용 레진을 강화할 목적으로 여러 가지 방법이 사용되고 있다. 그 중 전통적인 방법은 금속 보강재를 넣어 의치상용 레진을 강화하는 것이다(Vallittu, 1996). 그러나 금속보강재 사용은 심미성이 떨어지며, 의치상용 레진과의 결합력이 떨어지는 문제점이 있다(Polyzois 등, 1996; Nagai 등, 2001). 이러한 금속 보강재의 문제점을 극복하기 위해 의치상용 레진을 강화시킬 수 있는 다양한 종류의 섬유-강화 복합재료(fiber-reinforced composite: FRC)가 연구되어 왔다. FRC란 레진 기질의 기계적인 성질을 강화시키기 위하여 분산상(dispersed phase)인 섬유를 레진에 포매한 형태의 복합재료이다(Bae 등, 2004; Callster, 2007). FRC 제작 시 주로 사용하는 섬유로는 유리(glass) 섬유, 탄소(carbon) 섬유, 폴리아미드(aramid) 섬유, 폴리에틸렌(UHMWP) 섬유 등이 있다(Kanie 등, 2000).

탄소 섬유와 아라미드 섬유는 여러 가지 장점에도 불구하고, 어두운 색의 탄소 섬유와 노란색의 아라미드 섬유가 심미성을 감소시킬 수 있는 문제가 있으며, 연마에도 어려움이 있어 치과용 재료로 적용 시 한계가 있다(Ekstrand 등, 1987; Kanie 등, 2000). 폴리에틸렌 섬유는 기계적 성질은 비교적 좋으나, 섬유와 레진사이의 결합이 떨어져 의치상용 레진의 기계적 성질을 증가시키지 않는다는 보고가 있다(Tagaki, 1996). 이에 반해 유리 섬유는 투명하여 레진에 첨가할 경우 우수한 심미성을 유지할 수 있으며, 세포독성이 없고, 인장 강도가 우수하여 PMMA레진의 파절저항성과 재료의 물리적 성질을 향상시킨다고 보고되고 있다(Stipho, 1998; Vallittu와 Narva,

1997; Vallittu, 1999). 유리 섬유는 E-glass, S-glass, R-glass 등으로 분류되는데, 이중 E-glass 섬유가 주로 사용되며, 의치상용 레진과의 결합력을 증가시키기 위하여 대부분 유리 섬유 표면을 실란 처리(silane treatment)하여 이용한다(Vallittu, 1993).

FRC의 물성은 섬유의 종류, 레진과 섬유의 함량 비율, 섬유 배열의 방향성, 섬유와 레진의 접착강도, 섬유가 레진에 미리 적셔있었는지의 여부 등, 여러 요인에 의해 많은 영향을 받게 된다(Bae 등, 2001; Tanimoto 등, 2004; Garoushi 등, 2007). 이에 따라 FRC를 이용한 의치상용 레진의 강화 실험에서도 섬유의 종류와 함량에 따른 연구, 섬유의 배열 방향성에 따른 연구, 레진의 성형 방법에 따른 섬유 강화효과 등이 수행되어지고 있다(Uzun 등, 1999; Vallittu, 1999; Karacaer 등, 2003).

본 연구는 자가중합 레진과 열중합 레진기질 내에서 유리 섬유의 부피비에 따른 강화효과의 차이를 분석하기 위해 자가중합레진과 열중합레진에 각각 2.6%, 5.3%, 7.9%의 부피비로 유리 섬유를 첨가하여 시편을 제작한 후 3점 굴곡강도 시험을 통해 굴곡강도, 굴곡계수의 차이를 비교하여 레진 기질의 종류와 유리 섬유의 함량에 따른 의치상용 레진의 강화효과를 평가하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시편 제작

시편의 강화에 이용할 유리 섬유(E-glass; ER 270FW, Hankuk Fiber Co., LTD, Milyang, Korea)를 테프론 시트지 위에 균일하게 배열한다. 자가중합 레진용 시편은 자가중합 의치상용 레진(Vertex SC, Dentimax, Netherlands), 열중합 레진용 시편은 열중합 의치상용 레진(Vertex RS, Dentimax, Netherlands)을 분말 3 g/액 9 g으로 혼합하여 정렬된 섬유를 미리 적신다. 레진에 적셔졌던 섬유가 고정이 되면 길이 64mm×폭 50mm이 되도록 자른다.

의치용 플라스크에 길이 64mm× 폭 50mm× 두께 5mm의 황동판을 석고로 플라스킹 후 황동판을 제거하여 주형을 형성한다. 플라스크에 형성된 주형의 바닥에 섬유를 위치시킨다. 자가중합 레진용 시편은 자가중합 레진을 제조자

의 지지대로 분말 20.4g/액 11.4g으로 30초간 혼합한 후 병상기가 되었을 때 주형의 나머지 부위에 채운 후 상온에 3시간동안 위치시킨다. 열중합 레진용 시편은 열중합 레진을 제조자의 지지대로 분말 12.9g/액 5.7g으로 30초간 혼합한 후 병상기가 되었을 때 주형의 나머지 부위에 채워준다. 레진이 전입된 플라스크를 수조에 넣고 온도를 서서히 올려 72°C에서 2시간 동안 중합한 뒤 100°C에서 1시간 중합하였다. 수조에서 꺼내 30분간 상온에 위치시키고, 흐르는 물에 15분간 놓아두었다. 분말 중합이 끝난 후 플라스크에서 제거한 시편을 SiC 연마지 200번, 600번, 800번, 1200번으로 시편의 양면을 순차적으로 연마하여 길이 64mm×폭 50mm×두께 3.3mm의 시편을 제작하였다. 연마된 시편은 저속 절단기(Low speed saw, ISOMET, Buehler, Ill, U.S.A.)를 이용하여 길이 64mm×폭 10mm×두께 3.3mm의 시편이 되도록 절단하였다(Fig. 1). 모든 시편은 국제표준규격 제1567호(ISO 1567:1999)를 참고로 하여 제작하였다. 대조군으로 열중합 레진과 자가중합 레진으로만 제작한 시편(Control)도 제작하였으며, 각 군당 시편 수는 7개씩이었다.

전체 시편에 대한 유리 섬유의 부피비는 각각 2.6%, 5.3%, 7.9%이었다. 각 섬유의 밀도와 무게를 Density Determination Kit(YDK01, Sartorius, Goettingen, Germany)으로 측정하여 부피를 환산하였다(유 등, 2009).

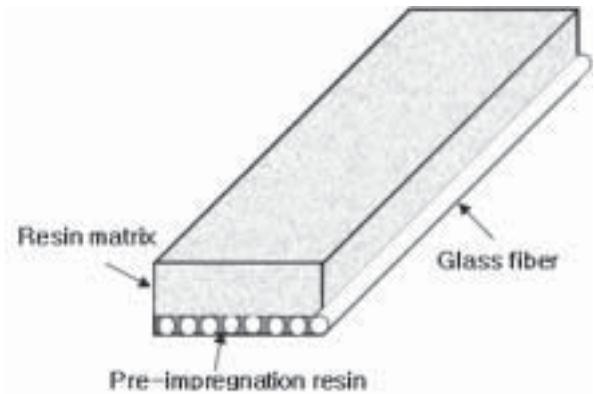


Fig. 1 Schematic diagram of test specimens used in the study

Table 1 Glass fiber used in the study

Fiber	Brand name	Manufacturer	Diameter (den)	Density (g/cm ³)	Elongation (%)
Glass	ER 270FW	Hankuk Fiber Co., LTD, Milyang, Korea	2.97 ± 0.44	2.21 ± 0.02	3.95 ± 0.73

2. 3점 굴곡강도 시험

제작된 시편은 실험을 할 때까지 밀폐된 용기 내에 증류수를 담아 37°C에서 50시간 동안 보관하였다. 만능시험기(Z020, Zwick, Ulm, Germany)를 이용하여 섬유가 위치된 쪽이 하방에 오도록 하여 3점 굴곡강도(flexural strength)와 굴곡계수(flexural modulus)를 측정하였다. 지지대간의 거리는 50mm, crosshead speed는 5mm/min이었다.

굴곡강도(σ)와 굴곡계수(E)의 계산식은 국제표준규격 제1567호(ISO 1567:1999)에 따라 다음과 같다.

$$\sigma = \frac{3Fl}{2bh^2}$$

- F : 시편에 가해진 최대 힘 (N)
- l : 지지대간의 거리 (mm)
- b : 물에 보관하기 전 측정된 시편의 폭 (mm)
- h : 물에 보관하기 전 측정된 시편의 두께 (mm)

$$E = \frac{Fl^3}{4bh^3d}$$

- F : 응력-변형률 곡선에서 직선구간에서의 한 점에 대한 힘 (N)
- d : 예서의 굴곡 (mm)
- l, b 와 h : 위와 동일

3. 통계분석

통계분석은 SPSS 프로그램(SPSS 12.0; SPSS GmbH, Munich, Germany)을 이용하였다. 동일한 부피비 내에서 레진의 종류에 따른 기계적 성질의 차이를 T-test로 분석하였다($\alpha=0.05$). 동일한 레진 기질 내에서 섬유 함량의 부피비에 따른 굴곡강도와 굴곡계수를 One-way ANOVA로 신뢰수준 95%에서 분석하였고, 사후검정으로 Duncan's multiple range test를 시행하였다($\alpha=0.05$).

III. 연구 성적

1. 굴곡강도

유리 섬유는 두 가지 의치상용 레진의 굴곡강도를 유의성 있게 강화시켰다($P<0.05$), (Fig. 2). 자가중합 레진에서는 부피비 7.9%의 굴곡강도가 가장 높게 나타나 대조군과 2.6%와 유의한 차이가 있었다($P<0.05$). 열중합 레진에서는 2.6%와 5.3%의 굴곡강도가 대조군과 7.9%보다 유의하게 높았고($P<0.05$), 2.6%와 5.3%는 유의차가 없었다($P>0.05$). 동일한 부피비에서는 대조군과 5.3%에서 열중합 레진이 자가중합 레진에 비해 유의하게 높게 나타났으며($P<0.05$), 다른 실험군에서는 열중합 레진과 자가중합 레진 사이에 유의차가 없었다($P>0.05$).

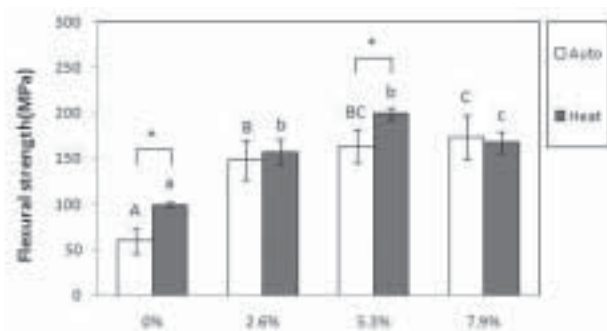


Fig. 2 Flexural strengths of denture base resins with reinforced fibers of 2.6%, 5.3% and 7.9% volume. The same letters were not significantly different by one way ANOVA at $\alpha=0.05$. Significantly different by t-test

2. 굴곡계수

두 가지 의치상용 레진에 첨가한 유리 섬유는 굴곡계수

를 유의성 있게 강화시켰다($P<0.05$), (Fig. 3). 자가중합 레진에서는 부피비 5.3%와 7.9%의 굴곡계수가 대조군과 2.6%보다 유의하게 높았고($P<0.05$), 5.3%와 7.9%는 유의차가 없었다($P>0.05$). 열중합 레진에서는 5.3%의 굴곡계수가 다른 실험군보다 유의하게 높았다($P<0.05$). 동일한 부피비에서는 7.9%에서 자가중합 레진이 열중합 레진에 비해 유의하게 높게 나타났으며($P<0.05$), 대조군과 다른 실험군에서는 열중합 레진과 자가중합 레진 사이에 유의차가 없었다($P>0.05$).

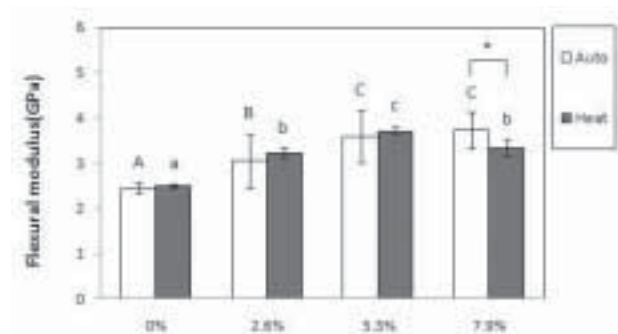


Fig. 3 Flexural modulus of denture base resins with reinforced fibers of 2.6%, 5.3% and 7.9% volume. The same letters were not significantly different by one way ANOVA at $\alpha=0.05$. Significantly different by t-test

IV. 고 찰

자가중합 레진과 열중합 레진에 유리 섬유를 2.6%, 5.3%, 7.9% 부피비로 첨가하여, 의치상용 레진을 가장 효과적으로 강화시키는 조건을 평가하고자 하였다.

국제표준규격 제 1567호(ISO 1567: 1999)에서 자가중합 레진의 굴곡강도는 60MPa 이상, 열중합 레진은 65MPa 이상이며, 굴곡계수는 자가중합 레진이 1.5GPa 이상, 열중합 레진은 2GPa 이상으로 규정하고 있다. 실험결과 유리 섬유를 첨가한 자가중합 레진과 열중합 레진 모두 국제표준규격 제 1567호의 굴곡강도와 굴곡계수를 만족시켰다. 또한 유리 섬유를 첨가한 모든 실험군의 굴곡강도, 굴곡계수가 대조군에 비해 유의성 있게 높아 유리 섬유가 자가중합 레진과 열중합 레진의 강화에 효과가 있는 것으로 나타났다. 자가중합 레진의 경우 유리 섬유

의 부피비를 2.6%, 5.3%, 7.9%로 증가시키에 따라 굴곡강도와 굴곡계수가 계속적으로 증가하는 양상을 보여 7.9% 부피비에서 가장 높은 강화효과를 보였으며, 대조군보다 175% 증가하였다. 반면, 열중합 레진에서는 2.6%에서 5.3%의 부피비로 유리 섬유를 증가시키에 따라 굴곡강도와 굴곡계수가 증가하였으나 부피비 7.9%에서는 감소하는 양상을 나타냈다. 자가중합 레진보다 열중합 레진의 굴곡강도와 굴곡계수가 대체적으로 높게 나타났으나, 부피비 7.9%에서는 자가중합 레진의 굴곡강도와 굴곡계수가 열중합 레진보다 높게 나타났다. Vallitu(1999)의 논문에서도 자가중합 레진과 열중합 레진에 단방향의 섬유를 첨가하여 굴곡강도를 측정할 결과 자가중합 레진의 굴곡강도가 열중합 레진보다 높게 나타났다고 보고하였다. 그러나 굴곡계수는 열중합 레진이 자가중합 레진에 비해 높게 나타나 본 연구와 다른 결과를 보였다.

유리 섬유가 레진에 적절히 적셔지지 않았을 경우 섬유와 섬유, 섬유와 레진 사이에 기포가 발생하여 섬유강화 복합재료의 강도가 오히려 약화되는 작용을 하는 것으로 보고되고 있다(Solnit, 1991; Vallittu, 1998). 본 실험에서는 섬유의 함량을 2.6%, 5.3%, 7.9%로 증가시킬 때, 섬유와 섬유 사이에 함입될 수 있는 기포를 감소시키고, 섬유 강화재와 레진의 결합을 증가시키기 위해 섬유를 시편에 넣기 전 물계 혼합한 레진으로 미리 적시는 방법을 선택하였다.

섬유를 단방향으로 배열하여 의치상용 레진에 첨가하는 것은 쉽지 않다. 단방향 섬유를 일률적으로 배열한 후 제작하고자 하는 시편과 동일한 레진으로 미리 적시면 섬유들이 레진에 의해 고정되기 때문에 반죽단계(dough stage)에서 다루야하는 의치상용 레진에서도 섬유를 시편의 바닥에 일률적으로 배치시킬 수 있다.

의치는 굴곡강도 시험이 구강 내에서의와 비슷한 조건의 응력이 가해지기 때문에 임상적으로 중요하다. 3점 굴곡 모드에서 중립축(neutral axis)을 중심으로 인장응력을 받게 되는 하부에 인장력에 저항할 수 있는 섬유를 위치시켜 강화시키면, 구강 내에서 오래 사용하여 반복응력이 누적되어 일어나는 피로 현상에 의한 의치의 파절을 방지할 수 있을 것으로 생각된다. 예비실험으로 시편의 하방에서 점점 위쪽으로 섬유를 첨가하여 굴곡강도를 측정할

결과 시편의 하방에 섬유를 위치시켰을 때는 $100.04 \pm 6.18\text{MPa}$, 하방에서 0.5mm 위에 위치시킨 경우 $92.80 \pm 0.98\text{MPa}$, 하방에서 1.0mm 위에 위치시킨 경우 $89.13 \pm 5.06\text{MPa}$, 하방에서 1.5mm 위에 위치시킨 경우 $86.57 \pm 1.45\text{MPa}$ 의 강도를 보여 시편의 하방에서 점점 위쪽으로 섬유를 위치시킨 경우 강도가 낮아지는 것으로 나타났다.

섬유의 배열 방향은 FRC의 물성에 영향을 미칠 수 있으므로, 동일한 함량으로 섬유를 적용시키더라도 단방향 형태, 직물 형태, 일정한 길이로 짧게 자른 형태에 따라 의치상용 레진을 강화시키는 효과는 달라질 수 있다(Dyer 등, 2004). 추후 연구에서는 섬유를 다양한 배열 방향으로 적용시켜 의치상용 레진의 강화효과를 비교할 필요가 있겠다. 또한 더 많은 섬유를 첨가한 경우 의치상용 레진의 강화에 더 효과적일 수 있기 때문에 부피비 7.9% 이상의 유리 섬유를 첨가하여 가장 효과적인 강화효과를 보이는 함량을 찾을 필요가 있다.

본 실험에서는 유리 섬유를 첨가한 자가중합 레진과 열중합 레진 모두 강화효과를 보였으며, 특히 자가중합 레진은 7.9% 부피비, 열중합 레진은 5.3% 부피비로 유리 섬유를 첨가한 경우 가장 높은 강화효과가 있었다. 임상 적용 시 의치의 파절이 일어나기 쉬운 상악 구개부나 하악 설측에 유리 섬유를 미리 첨가시켜 제작하거나, 의치 수리 시 파절부위에 유리 섬유를 첨가한다면 의치 보강에 효과적일 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구는 자가중합 의치상용 레진과 열중합 의치상용 레진에 2.6%, 5.3%, 7.9% 부피비로 유리 섬유를 첨가한 후, 3점 굴곡시험을 통해 굴곡강도와 굴곡계수를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 자가중합 의치상용 레진과 열중합 의치상용 레진에 첨가한 유리 섬유는 강화효과가 있었다.
2. 굴곡강도는 자가중합 레진에서 부피비 7.9%, 열중합 레진에서는 2.6%와 5.3% 부피비로 유리 섬유를 첨

가했을 때 높게 나타났다($P<0.05$).

3. 굴곡계수는 자가중합 레진에서 부피비 5.3%와 7.9%, 열중합 레진에서는 5.3% 부피비로 유리 섬유를 첨가했을 때 높게 나타났다($P<0.05$).
4. 동일한 부피비에서 굴곡강도를 비교한 결과 부피비 5.3%에서 열중합 레진이 자가중합 레진에 비해 유의하게 높게 나타났다($P<0.05$).
5. 동일한 부피비에서 굴곡계수를 비교한 결과 7.9% 부피비에서 자가중합 레진이 열중합 레진에 비해 유의하게 높게 나타났다($P<0.05$).

본 연구에 사용된 유리 섬유는 자가중합 의치상용 레진과 열중합 의치상용 레진의 강화에 모두 효과가 있는 것으로 나타났다. 특히 자가중합 레진에서 부피비 7.9%, 열중합 레진에서는 5.3% 부피비로 유리섬유를 첨가한 경우 굴곡강도와 굴곡계수 면에서 가장 효과적인 것으로 판명되었다.

참 고 문 헌

유상희, 김유리, 배지명. 의치상용 레진 수리시 첨가한 섬유의 종류에 따른 강화효과. 대한치과기재학회지, 36: 17-24, 2009.

치과재료학. 한국치과재료학교수협의회. 제5판, 군자출판사, 서울, 125-131, 2008.

Bae JM, Kim KN, Hattori M, Hasegawa K, Yoshinari M, Kawada E, Oda Y. The flexural properties of fiber-reinforced composite with light-polymerized polymer matrix. Int J Prothodont, 14: 33-39, 2001.

Bae JM, Kim KN, Hattori M, Hasegawa K, Yoshinari M, Kawada E, Oda Y. Fatigue strengths of particulate filler composites reinforced with fibers. Dent Mater J, 23: 166-

174, 2004.

Dentistry - Denture Base Polymers. International Standard Organisation. ISO 1567: 1999(E), ISO, Geneva, 1999.

Dyer SR, Lassila LVJ, Jokinen M, Vallittu PK. Effect of fiber position and orientation on fracture load of fiber-reinforced composite. Dental Mater, 20: 947-955, 2004.

Ekstrand K, Ruyter IE, Wellendorf H. Carbon/graphite fiber reinforced poly(methyl methacrylate): properties under dry and wet conditions. J Biomed Mater Res, 21: 1065-1080, 1987.

Garoushi S, Vallittu PK, Lassila LVJ. Fracture resistance of short, randomly oriented, glass fiber-reinforced composite premolar crowns. Acta Biomater, 3: 779-784, 2007.

Kanie T, Fujii K, Arikawa H, Inoue K. Flexural properties and impact strength of denture base polymer reinforced with woven glass fibers. Dent Mater, 16: 150-158, 2000.

Karacaer O, Polat Tn, Tezvergil A, Lassila LV, Vallittu PK. The effect of length and concentration of glass fibers on the mechanical properties of an injection- and a compression-molded denture base polymer. J Prosthet Dent, 90: 385-393, 2003.

Materials science and engineering: an introduction. Callister WD. 7th ed, John Wily & Son, Asia, 595-607, 2007.

Nagai E, Otani K, Satoh Y, Suzuki S. Repair of denture base resin using woven metal and glass fiber: effect of methylene chloride pretreatment. J Prosthet Dent, 85: 496-500, 2001.

Polyzois GL, Andreopoulos AG, Lagouvardos PE. Acrylic resin denture repair with adhesive resin and metal wires: effects on strength parameters. J Prosthet Dent, 75: 381-387,

- 1996.
- Polyzois GL, Tarantili PA, Frangou MJ, Andreopoulos AG. Fracure force, deflection at fracture, and toughness of repaired denture resin subjected to microwave polymerization or reinforced with wire or glass fiber. *J Prosthet Dent*, 86:613-619, 2001.
- Solnit GS. The effect of methyl methacrylate reinforcement with silane-treated and untreated glass fibers. *J Prosthet Dent*, 66: 310-304, 1991.
- Stipho HD. Effect of glass fiber reinforcement on some mechanical properties of autopolymerizing polymethyl methacrylate. *J Prosthet Dent*, 79: 580-584, 1998.
- Tagaki K, Fujimatsu H, Usami H, Ogasawara S. Adhesion between high strength and high modulus polyethylene fibers by use of polyethylene gel as an adhesive. *J Adhesion Sci Technol*, 10: 869-882, 1996.
- Tanimoto Y, Nishiwaki, T, Nemoto K. Numerical failure analysis of glass-fiber-reinforced composites. *J Biomed Mater Res A*, 68: 107-113, 2004.
- Uzun G, Hersek N, Tincer T. Effect of five woven fiber reinforcements on the impact and transverse strength of a denture base resin. *J Prosthet Dent*, 81: 616-20, 1999.
- Vallittu PK. Comparison of two different silane compounds used for improving adhesion between fibres and acrylic denture base material. *J Oral Rehabil*, 20: 533-539, 1993.
- Vallittu PK. Comparison of the in vitro fatigue resistance of an acrylic resin removable partial denture reinforced with continuous glass fibers or metal wires. *J Prosthet Dent*, 5: 115-121, 1996.
- Vallittu PK. Some aspects of the tensile strength of unidirectional glass fiber polymethyl methacrylate composite used in dentures. *J Oral Rehabil*, 25: 100-105, 1998.
- Vallittu PK. Flexural properties of acrylic polymers reinforced with unidirectional and woven glass fibers. *J Prosthet Dent*, 81: 318-326, 1999.
- Vallittu PK, Narva K. Impact strength of a modified continuous glass fiber-poly(methyl methacrylate). *Int J Prosthodont*, 10: 142-148, 1997.