

섬유의 종류와 조합이 열중합 의치상 레진의 강화에 미치는 영향

유상희¹ · 김영임[†]

¹원광대학교 치과대학 치과생체재료학교실, 전주비전대학 치위생과

Effect of Fiber Type and Combination on the Reinforcement of Heat Polymerized Denture Base Resin

Sang-Hui Yu¹ and Young-Im Kim[†]

¹Dept. of Dental Biomaterials, College of Dentistry, Wonkwang University, Iksan-City 570-749, Korea
Dept. of Dental Hygiene, Vision College of Jeonju, Jeonju 560-760, Korea

Abstract The aim of this study was to evaluate the effect according to the fiber type and combination on the reinforcement of heat-polymerized denture base resin. The heat-polymerized resin(Vertex RS, Dentimax, Netherlands) was used in this study. Glass fiber(GL; ER 270FW, Hankuk Fiber Glass, Korea), polyaromatic polyamide fiber(PA; aramid; Kevlar-49, Dupont, U.S.A.) and ultra high molecular weight polyethylene fiber(PE, polyethylene; P.E, Dong Yang Rope, Korea) were used to reinforce the denture base resin specimens. The final size of test specimen was 64 mm×10 mm×3.3 mm. The specimens of each group were stored in distilled water at 37°C for 50 hours before measurement. The flexural strength and flexural 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. In this study, all fibers showed reinforcing effects on denture base resin($p<0.05$). In terms of flexural strength and flexural modulus, glass fiber 5.3 vol.% showed most effective reinforcing effect on heat polymerized denture base resin. For flexural modulus, PA/GL was the highest in denture base resin specimen for hybrid FRC using two combination ($p<0.05$). Glass fiber 5.3 vol.% and PA/GL are considered to be applied effectively in reinforcing the heat polymerized denture base resin.

Key words Denture base resin, Fiber-reinforced composite(FRC), Glass fiber, Polyaromatic polyamide fiber, Polyethylene fiber

서 론

현재 임상에서 총의치나 가철성 국소의치 제작에 가장 널리 사용되고 있는 의치상 재료는 폴리메틸 메타크릴레이트(polymethyl methacrylate; PMMA) 레진으로 비교적 만족할 만한 물리적 성질, 우수한 심미성과 조작성의 편리성, 구강 내 환경에서의 안정성, 경제성 등 많은 장점이 있다¹⁻³). 그러나 PMMA로만 제작된 레진 의치상은 충격이나 피로에 의해 파절이 일어날 수 있으며, 아직까지 풀리지 않는 문제로 남아있다⁴). 의치상의 파절은 상악이 하악에 비해 약 2배 이상 많은 빈도를 갖는 것으로 보고되고 있으며⁵), 특히 상악 의치상 파절은 주로 순측절흔과 연결되는 전후방 구개정중선부위에서 발생한다^{6,7}).

의치의 파절을 방지하기 위하여 레진 의치상을 강화하는 방법은 금속 와이어나 mesh를 첨가하는 것이다⁸). 금속 와이어나 mesh를 이용하여 레진 의치상을 강화하는 방법에 대해서는 지금까지 많은 연구들이 진행되어 왔으며, 고강도의 금속이 의치상 레진의 굴곡강도와 충격강도를 증가시키는 것으로 나타났다⁹⁻¹¹). 그러나 금속 강화재의 경우 레진 기질과의 결합력이 떨어지고, 응력집중이 문제가 될 수 있으며, 금속 고유의 색 때문에 심미성이 떨어지는 단점이 있다¹²⁻¹⁴). 의치상을 강화하는 또 다른 방법은 섬유를 의치상 레진에 첨가하여 강화한 섬유강화 복합재료(fiber-reinforced composite; FRC)를 이용하는 것이다.

FRC는 레진 기질의 기계적인 성질을 강화시키기 위하여 분산상(dispersed phase)인 섬유를 레진에 포매한 형태의 복합재료이다. 많은 복합재료는 두 개의 상으로 구성되어 있으며, 각 상은 화학적으로 다르고, 분명한 경계에 의해 구분되어 있어야 한다^{15,16}). FRC에 사용할 수 있는

[†]Corresponding author
Tel: 063-220-4103
Fax: 063-220-4109
E-mail: yikim@jvision.ac.kr

섬유로는 탄소(carbon) 섬유, 유리(glass) 섬유, 폴리아로마틱 폴리아마이드(polyaromatic polyamide; 아라미드) 섬유, 초고분자량 폴리에틸렌(Ultra high molecular weight polyethylene; UHMWPE) 섬유 등이 있다. 탄소 섬유는 높은 비탄성률(specific modulus)과 비강도(specific strength)를 가지고 있으며, 스포츠와 여가용 장구(낚시대, 골프채), 군용 및 상업용 항공기의 고정 날개와 헬리콥터 날개, 몸체 등의 부품에 많이 사용되고 있다¹⁶⁾. 탄소 섬유는 의치상 레진의 기계적 성질을 강화시키는 효과가 있으나, 어두운 색상이 심미성을 감소시킬 수 있는 문제가 있으며, 연마에도 어려움이 있다^{17,18)}. 유리 섬유는 강도가 강하며, 주로 자동차와 보트의 몸체, 플라스틱 파이프, 저장 탱크 등의 제작에 이용되어 왔다¹⁶⁾. 유리 섬유는 PMMA레진의 파절저항성과 물리적 성질을 향상시키며, 심미성을 유지하는데도 매우 효과적이어서 많은 연구가 진행되어 왔다^{8,19,20)}. 아라미드 섬유는 듀폰사의 Kevlar 섬유가 대표적이며, 고강도 고강성 재료로, 방탄 제품, 스포츠 용품, 타이어 등에 사용되고 있다^{16,21)}. 아라미드 섬유는 PMMA에 적용 시 파절저항성이 증가하였으나²²⁾, 노란색을 띠기 때문에 심미성이 강조되는 부위에는 그 사용이 제한될 수 있다^{23,24)}. 폴리에틸렌 섬유의 경우 최근 치과재료에 응용하는 연구가 많아지고 있어 계속가공의치의 제작, 치주용 splint, 포스트, 교정용 장치의 보강, 그리고 의치상의 보강 등에 사용하고 있다^{23,25-28)}.

FRC의 물성에 영향을 주는 인자로는 섬유의 종류, 섬유의 직경과 길이, 섬유와 레진의 함량비, 섬유의 위치와 배열 방향성(orientation), 레진 기질과 섬유의 접착강도, 섬유가 레진에 pre-impregnation 되었는지의 여부 등이 있다²⁹⁻³¹⁾. 새로운 섬유강화 복합재료인 hybrid FRC는 2개 이상의 다른 종류의 섬유가 같은 기질에 섞여 있는 것으로, 한 가지 종류의 섬유를 사용한 것보다 더 좋은 특성 조합을 가지게 된다¹⁶⁾.

지금까지 섬유의 종류, 길이와 함량^{1,23,32)}, 섬유의 위치와 방향성^{3,18,33)}, 섬유의 pre-impregnation^{34,35)}에 따른 강화 효과와 관련된 많은 연구들이 이루어져 왔다. 그러나 서로 다른 종류의 섬유 조합에 따른 의치상 레진의 강화 효과를 평가한 연구는 지금까지 없었다.

본 연구의 목적은 FRC의 물성에 영향을 미치는 여러 요인 중 섬유의 종류와 서로 다른 섬유의 조합에 따른 열

중합 의치상 레진의 강화에 미치는 효과를 평가하는 것이다. 열중합 의치상 레진에 유리 섬유, 아라미드 섬유, 폴리에틸렌 섬유를 각각 단독으로 2.6%, 5.3%의 부피비로 첨가하여 섬유의 종류에 따른 강화효과를 평가하고, 섬유를 두 가지씩 조합한 hybrid FRC로 제작하였을 때, 동일 함량의 단독 섬유 FRC에 비해 굴곡성질이 더 우수한지 그리고 가장 우수한 강화효과를 나타내는 조합이 무엇인지를 알아보려고 하였다.

연구재료 및 방법

1. 시편제작

시편 제작은 국제표준 제 20795-1 호 치의학 - 베이스 폴리머 - 제1부 : 의치상용 폴리머(ISO 20795-1:2008, Dentistry-Base polymers-Part 1: Denture base polymers)를 참고로 하여 제작하였다.

본 연구에서 사용한 의치상 레진은 열중합형 레진(Vertex RS, Vertex Dental B.V., Zeist, Netherlands) 이었다. 시편의 강화에 사용한 3가지 섬유는 유리 섬유(E-glass; ER 270FW, Hankuk Fiber Co., LTD, Milyang, Korea), 폴리아로마틱 폴리아마이드 섬유(아라미드; Kevlar-49, Dupont Co., Inc, DE, U.S.A.), 폴리에틸렌 섬유(ultra high molecular weight polyethylene; P.E, Dong Yang Rope Mfg. Co., LTD, Busan, Korea)이었다(Table 1). 각각의 섬유는 시편에 첨가 시 용이하도록 한 방향으로 균일하게 배열한 후 열중합 의치상 레진을 분말 3g/액 9g으로 묽게 혼합하여 미리 고정시키고 길이 64mm × 폭 50mm로 잘라 준비하였다.

의치용 플라스크에 길이 65 mm × 폭 50 mm × 두께 5 mm의 황동판을 석고로 플라스크 후 황동판을 제거하여 주형을 형성하였다. 플라스크에 형성된 주형에 열중합 의치상 레진을 분말 4 g/액 8 g으로 혼합하여 붓고 그 위에 길이 64 mm × 폭 50 mm로 자른 각 섬유를 조합에 따라 각각 위치시켜, 주형의 레진에 섬유를 적셨다. 섬유의 윗부분, 즉 주형의 나머지 부위는 열중합 의치상 레진을 제조사의 지시대로 분말 12.9 g/액 5.7 g으로 30초간 혼합한 후 병상기가 되었을 때 채웠다. 레진이 전입된 플라스크를 수조에 넣고 온도를 서서히 올려 74°C에서 2시간 동안 중합한 뒤 100°C에서 1시간 중합하였다. 수조에서 꺼내 30

Table 1. Fibers used in the study and the measured density, fiber diameter and tenacity

Fiber	Group	Brand name	Manufacturer	Density (g/cm ³)	Fiber diameter (denier)	Tenacity (g/denier)
Glass	GL	ER 270FW	Hankuk Fiber Co., LTD, Milyang, Korea	2.21 (0.02)	2.97 (0.44)	11.44 (1.91)
Polyaromatic polyamide	PA	Kevlar-49	Dupont Co., Inc, DE, U.S.A.	1.28 (0.00)	1.42 (0.10)	23.37 (2.14)
Polyethylene	PE	P.E	Dong Yang Rope Mfg. Co., LTD, Busan, Korea	0.95 (0.01)	3.59 (0.54)	11.73 (1.61)

*The number in parentheses means standard deviation.

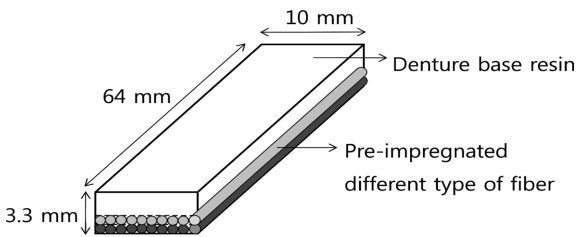


Fig. 1. Schematic diagram of test specimens used in the study. The specimens were cut to size of 64 mm × 10 mm × 3.3 mm.

분간 상온에 위치시키고, 흐르는 물에 15분간 놓아두었다. 중합이 끝난 후 플라스크에서 제거한 시편은 연마기 (Grinder-polisher, METASERV, Buehler, Coventry, England) 를 이용하여 SiC 연마지(200, 400, 600, 800, 1200번)로 길이 64 mm × 폭 50 mm × 두께 3.3 mm가 되도록 양면을 순차적으로 연마하였다. 연마된 시편은 저속 절단기 (Low speed saw, ISOMET, Buehler, Lake Bluff, Illinois) 를 이용하여 국제표준규격 제 20795-1 호(ISO 20795-1:2008) 기준에 맞춰 길이 64 mm × 폭 10 mm × 두께 3.3 mm이 되도록 절단하였다(Fig. 1). 대조군으로 열중합 의치상 레진으로만 제작한 시편(Control)도 제작하였으며, 각 군당 시편 수는 7개씩이었다.

각 섬유유의 밀도와 무게를 Density Determination Kit (YDK01, Sartorius, Goettingen, Germany)으로 측정하여 부피를 계산하였다. 단일 섬유 FRC 제작을 위해서 유리 섬유(GL), 아라미드 섬유(PA), 폴리에틸렌 섬유(PE)를 각각 시편 전체 크기에 대한 부피비 2.6%, 5.3%가 되도록 제작하였다. 두 가지 섬유의 조합으로 구성된 hybrid FRC 제작은 GL/PA, GL/PE, PA/GL, PA/PE, PE/GL, PE/PA로 두 개씩 조합하여, 시편 전체 크기에 대한 총 부피비 5.3%의 6가지 조합을 제작하였다.

2. 3점 굴곡강도

제작된 시편은 실험을 할 때까지 밀폐된 용기 내에 증류수를 담아 37°C에서 50시간 동안 보관하였다. 만능시험기(Z20, Zwick, Ulm, Germany)를 이용하여 시편이 섬유가 위치한 쪽이 인장력이 가해지는 하방에 오도록 하여 3점 굴곡강도(flexural strength)와 굴곡계수(flexural modulus)를 측정하였다(Fig. 2). 지지대간의 거리는 50mm, crosshead speed는 5mm/min이었다. 굴곡강도(σ)와 굴곡계수(E)의 계산식은 국제표준규격 제 20795-1호(ISO 20795-1:2008)에 따라 다음과 같다.

$$\sigma = 3Fl/2bh^2$$

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)

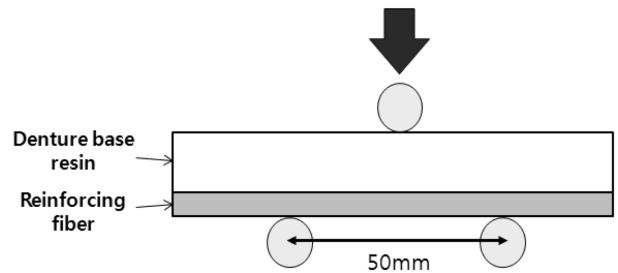


Fig. 2. Schematic diagram of the specimens in three-point flexural strength test in the study.

$$E = F_1 l^3 / 4bh^3 d$$

F₁ : 응력-변형률 곡선에서 직선구간에서의 한 점에 대한 힘 (N)

d : 에서의 굴곡 (mm)

l, b와 h : 위와 동일

3. 통계분석

통계분석은 SPSS 프로그램(SPSS 12.0; SPSS GmbH, Munich, Germany)을 이용하였다. 모든 실험군과 대조군의 굴곡강도와 굴곡계수를 one-way ANOVA로 신뢰수준 95%에서 분석하였고, 사후검정으로 Duncan's multiple range test를 시행하였다(α=0.05).

결 과

1. 굴곡강도

섬유를 첨가한 모든 실험군의 굴곡강도는 대조군에 비해 유의한 강화효과를 보였다(p<0.05). 단독 섬유 FRC에서는 5.3% GL 섬유군의 굴곡강도가 209.41 MPa, 5.3% PE 섬유군은 200.95 MPa로 나타나, 5.3% PA 섬유군을 제외한 나머지 단독 섬유 FRC보다 유의성 있게 높았다(p<0.05). 두 가지 섬유 조합 hybrid FRC의 경우 단독 섬유 FRC에서 가장 높게 나타난 5.3% GL, PE 섬유군과 유의성 있는 차이가 없었다(p>0.05).

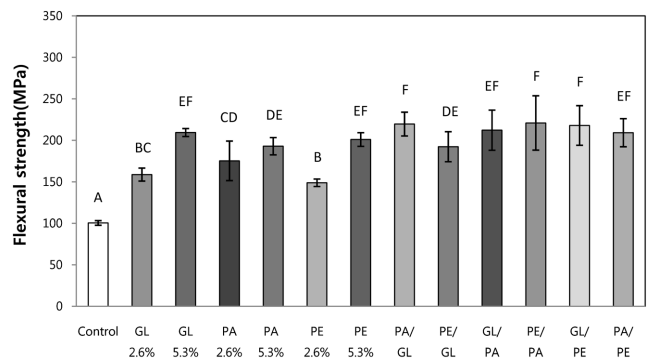


Fig. 3. Flexural strengths of denture base resins with reinforced three type fibers of various combination. The superscripts with the same letters were not significantly different by one way ANOVA at α=0.05.

Table 2. Mean values of flexural strengths of denture base resins with reinforced three type fibers of various combination(n=7)

	Control	GL 2.6%	GL 5.3%	PA 2.6%	PA 5.3%	PE 2.6%	PE 5.3%	PA/ GL	PE/ GL	GL/ PA	PE/ PA	GL/ PE	PA/ PE
Mean	100.41	158.69	209.41	175.23	192.88	148.83	200.95	219.58	192.27	212.18	220.88	217.86	209.17
Standard deviation	2.81	7.81	4.80	23.83	10.41	4.51	8.21	14.32	18.08	24.19	32.74	23.88	16.92

2. 굴곡계수

굴곡계수의 경우 섬유를 첨가한 모든 실험군이 대조군에 비해 유의한 강화효과를 보였다($p<0.05$). 단독 섬유 FRC의 경우 5.3% GL섬유군의 굴곡계수가 4.82 GPa로 가장 높게 나타나, 나머지 단독 섬유 FRC와 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 두 가지 섬유 조합 hybrid FRC의 경우 PA/GL 섬유군이 5.15 GPa로 가장 높게 나타나 나머지 실험군과 유의한 차이를 보였고, 단독 섬유 FRC에서 가장 높게 나타난 5.3% GL 섬유군 보다 높게 나타났다($p<0.05$). PE/GL, PE/PA 섬유군의 경우 단독 섬유군에서 가장 높게 나타난 5.3% GL 섬유군과 유의성 있는 차이가 없었다($p>0.05$).

고찰

본 연구에서는 열중합 의치상 레진에 유리 섬유, 아라미드 섬유, 폴리에틸렌 섬유를 2.6%, 5.3% 부피비로 첨가하여 섬유의 종류에 따른 강화효과를 평가하고자 하였다. 또한 이 세 가지 종류의 섬유를 두 가지로 조합한 hybrid FRC를 열중합 의치상 레진에 첨가하여 동일 함량의 단독

섬유 FRC에 비해 굴곡성질이 더 우수한지 평가하여, 가장 우수한 강화효과를 나타내는 조합을 찾아내고자 하였다.

의치상 레진의 강화를 위해 유리 섬유, 아라미드 섬유, 폴리에틸렌 섬유를 단독 또는 서로 다른 섬유를 조합하여 첨가한 모든 실험군의 굴곡강도와 굴곡계수는 대조군에 비해 유의한 강화효과를 나타냈다. 단독 섬유 FRC에서는 굴곡강도와 굴곡계수 면에서 5.3% 부피비의 유리섬유가 가장 높은 강화효과를 나타냈다. John 등¹⁾의 연구에서도 유리 섬유, 아라미드 섬유, 나일론 섬유 중에서 유리 섬유의 굴곡강도가 가장 높게 나타났으며, 다양한 형태로 첨가한 유리 섬유가 의치상 레진의 굴곡강도와 굴곡계수의 증가에 효과적이라고 보고한 많은 연구가 있다^{2,8,18,19)}.

유리 섬유는 높은 인장 강도를 가지며, 심미성도 뛰어나고 화학적으로도 안정적이고^{16,18,23)}, 아라미드 섬유는 고강도, 고강성 재료로 인성, 충격저항, 피로 저항이 높은 특성을 가진다¹⁶⁾. 또한 폴리에틸렌 섬유는 생체 적합성을 보이고, 높은 강성과 강도를 가진다^{36,37)}. 이러한 각 섬유의 장점을 이용하여 섬유를 조합하면 시너지 효과를 발생시켜 의치상 레진의 강화에 보다 효과적일 것이라 판단하고, 서로 다른 섬유를 두 가지로 조합한 hybrid FRC를 제작하였다. 두 가지 섬유를 조합한 hybrid FRC의 굴곡강도는 PE/GL 섬유군을 제외하고 단독 섬유 FRC에 비해 증가하는 양상을 보였으나, 단독 섬유 FRC에서 가장 높은 강화효과를 보인 부피비 5.3% GL, PE섬유군과 유의성 있는 차이가 없었다. 그러나 PA/GL 섬유군의 경우 굴곡계수에서 단독 섬유 FRC에서 가장 높은 강화효과를 보인 부피비 5.3% GL섬유군보다 유의성 있게 높게 나타나 열중합 의치상 레진의 강화에 효과적임을 알 수 있었다. 다양한 섬유를 조합하여 의치상 레진에 첨가하여 강화효과를 평가한 연구는 국내는 물론 국외에서도 시행된 바가 없어 본 연구 결과를 직접 비교할 수 없었다. 본 실험과 레진 기질은 다르지만 직접 제작한 복합레진에 유리 섬유, 폴리아마이드 섬유, 폴리에틸렌 섬유를 다양한 함량과 hybrid FRC로 첨가한 손 등³⁸⁾의 실험에서는 hybrid FRC

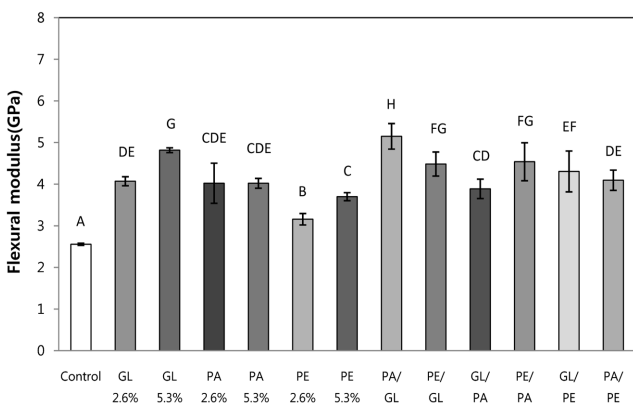


Fig. 4. Flexural modulus of denture base resins with reinforced three type fibers of various combination. The superscripts with the same letters were not significantly different by one way ANOVA at $\alpha=0.05$.

Table 3. Mean values of flexural modulus of denture base resins with reinforced three type fibers of various combination(n=7)

	Control	GL 2.6%	GL 5.3%	PA 2.6%	PA 5.3%	PE 2.6%	PE 5.3%	PA/ GL	PE/ GL	GL/ PA	PE/ PA	GL/ PE	PA/ PE
Mean	2.56	4.07	4.82	4.02	4.02	3.16	3.70	5.15	4.49	3.89	4.54	4.31	4.10
Standard deviation	0.03	0.11	0.06	0.48	0.12	0.14	0.10	0.31	0.29	0.23	0.46	0.49	0.24

가 동일 함량에서 가장 높은 굴곡강도와 굴곡계수를 나타낸 단독 섬유군과 유의한 차이가 없거나 낮게 나타나 우수한 기계적 성질을 나타내지는 않았다. 3점 굴곡모드에서 힘이 가해질 때, 강화재가 첨가되지 않은 동질의 레진 시편의 경우 neutral axis는 시편의 중앙에 위치하고, 시편의 neutral axis 하방에서 인장력이 발생한다. 그러나 시편에 강화섬유가 첨가되어 섬유층과 레진층으로 나뉜 구조가 되면 neutral axis는 섬유층 쪽으로 움직인다^{3,18)}. Hybrid FRC의 개념이 정확히 적용되려면, neutral axis를 찾아 그 하방에 인장력에 저항성이 큰 섬유를 위치시키고, 그 상방에 압축력에 저항성이 강한 섬유를 위치시켜야 한다. 본 연구에서는 시편제작 시 단일, 두 겹으로 층층이 쌓은 섬유를 시편의 가장 바닥에 위치를 시켰기 때문에 주로 인장력이 가해지는 부분에 섬유가 집중되었다. 추후 연구에서는 neutral axis 지점을 고려하여 섬유의 종류에 따라 압축력과 인장력에 효과적인 섬유를 더 정확하게 평가하고, 압축력이 가해지는 부위와 인장력이 가해지는 부위에 저항성이 강한 hybrid FRC 제작을 고려해 볼 필요가 있겠다.

본 연구에서는 서로 다른 종류의 섬유의 조합에 따른 강화효과를 비교하였으나, 서로 다른 방향성을 가진 섬유의 조합도 의치상 레진의 기계적 성질에 영향을 미칠 수 있다. 더 우수한 기계적 성질을 가지는 hybrid FRC 조건을 찾기 위해, 섬유의 종류뿐만 아니라 다른 배열(orientation)을 가진 섬유의 조합을 통해 최상의 기계적 성질을 가지는 hybrid FRC를 제작해볼 필요가 있다.

요 약

본 연구에서는 열중합 의치상 레진에 유리 섬유, 아라미드 섬유, 폴리에틸렌 섬유를 2.6%, 5.3% 부피비로 첨가하여 섬유의 종류에 따른 강화효과를 평가하고, 각 섬유를 두 가지로 조합한 hybrid FRC를 제작하여 동일 함량의 단독 섬유 FRC보다 굴곡성질이 더 우수한지 평가하고자 하였다.

단독 섬유 FRC에서는 5.3% 부피비의 GL, PE 섬유군의 굴곡강도가 높게 나타났다.

두 가지 섬유 조합FRC의 굴곡강도는 단독 섬유 FRC보다 증가하는 양상을 보였으나, 5.3% GL, PE 섬유군과 유의한 차이가 없었다.

단독 섬유 FRC의 굴곡계수는 5.3% 부피비의 GL 섬유군이 가장 높게 나타났다.

두 가지 섬유 조합FRC의 굴곡계수는 단독 섬유 FRC의 5.3% GL 섬유군보다 높게 나타나 유의한 차이를 보였다.

열중합 의치상 레진의 강화를 위해 섬유를 단독으로 이용할 경우 5.3% 부피비로 첨가한 유리 섬유가 굴곡강도와 굴곡계수 면에서 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 본다. 두 가지 섬유 조합FRC의 경우 굴곡강도 면에서는

강화효과가 크지 않았지만, 굴곡계수 면에서 볼 때 유리 섬유를 하방에 아라미드 섬유를 그 상방에 위치 시킨 조합을 의치상의 강화에 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 본다.

참고문헌

1. John J, Gangadhar SA, Shah I: Flexural strength of heat-polymerized polymethyl methacrylate denture resin reinforced with glass, aramid, or nylon fibers. *J Prosthet Dent* 86(4): 424-427, 2001.
2. Nakamura M, Takahashi H, Hayakawa I: Reinforcement of denture base resin with short-rod glass fiber. *Dent Mater J* 26(5): 733-738, 2007.
3. Narva KK, Lassila LV, Vallittu PK: The static strength and modulus of fiber reinforced denture base polymer. *Dent Mater* 21(5): 421-428, 2005.
4. Darbar UR, Huggett R, Harison A: Denture fracture-A survey. *Br Dent J* 176(9): 342-345, 1994.
5. Beyli MS, von Fraunhofer: An analysis of causes of fracture of acrylic resin dentures. *J Prosthet Dent* 46(3): 238-241, 1981.
6. Hargreaves AS: The prevalence of fractured dentures. A survey. *Br Dent J* 126(10): 451-455, 1969.
7. Morris JC, Khan Z, von Fraunhofer JA: Palatal shape and the flexural strength of maxillary denture bases. *J Prosthet Dent* 53(5): 670-673, 1985.
8. Vallittu PK: Flexural properties of acrylic polymers reinforced with unidirectional and woven glass fibers. *J Prosthet Dent* 81(3): 318-326, 1999.
9. Carroll CE, von Fraunhofer JA: Wire reinforcement of acrylic resin prostheses. *J Prosthet Dent* 52(5): 639-641, 1984.
10. Ruffino AR: Effect of steel strengtheners on fracture resistance of the acrylic resin complete denture base. *J Prosthet Dent* 54(1): 75-78, 1985.
11. Vallittu PK: A review of methods used to reinforce polymethyl methacrylate resin. *J Prosthet Dent* 4(3): 183-187, 1995.
12. Sehajpal SB, Sood VK: Effect of metal fillers on some physical properties of acrylic resin. *J Prosthet Dent* 61(6): 746-751, 1989.
13. Polyzois GL, Andreopoulos AG, Lagouvardos PE: Acrylic resin denture repair with adhesive resin and metal wires: effects on strength parameters. *J Prosthet Dent* 75(4): 381-387, 1996.
14. 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(5): 496-500, 2001.
15. Bae JM et al.: Fatigue strengths of particulate filler composites reinforced with fibers. *Dent Mater J* 23(2): 166-174, 2004.
16. Callister WD: Materials science and engineering: an introduction. 7th ed. John Wiley & Son. pp.595-607, 2007.
17. Ekstrand K, Ruyter IE, Wellendorf H: Carbon/graphite fiber reinforced poly(methyl methacrylate): properties under dry and wet conditions. *J Biomed Mater Res* 21(9): 1065-1080, 1987.
18. 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(2): 150-158, 2000.

19. Stipho HD: Repair of acrylic resin denture base reinforced with glass fiber. *J Prosthet Dent* 80(5): 546-550, 1998.
20. Vallittu PK, Narva KK: Impact strength of a modified continuous glass fiber-poly(methyl methacrylate). *Int J Prosthodont* 10(2): 142-148, 1997.
21. Mallick PK: *Fiber-reinforced composites*. 2nd ed. Marcel Dekker, New York, pp.6-84, 1993.
22. Berrong JM, Weed RM, Young JM: Fracture resistance of Kevlar-reinforced poly(methyl methacrylate) resin: a preliminary study. *Int J Prosthodont* 3(4): 391-395, 1990.
23. Uzun G, Hersek N, Tinger T: Effect of five woven fiber reinforcements on the impact and transverse strength of a denture base resin. *J Prosthet Dent* 81(5): 616-620, 1999.
24. Vallittu PK, Lassila VP: Reinforcement of acrylic resin denture base material with metal or fiber strengthener. *J Oral Rehabil* 19(3): 225-230, 1992.
25. Unlu N, Belli S: Three-year clinical evaluation of fiber-reinforced composite fixed partial dentures using prefabricated pontics. *J Adhes Dent* 8(3): 183-188, 2006.
26. Deliperi S, Bardwell DN, Coiana C: Reconstruction of devital teeth using direct fiber-reinforced composite resins: a case report. *J Adhes Dent* 7(2): 165-171, 2005.
27. Drummond JL, Bapna MS: Static and cyclic loading of fiber-reinforced dental resin. *Dent Mater* 19(3): 226-231, 2003.
28. Karaman AI, Kir N, Belli S: Four applications of reinforced polyethylene fiber material in orthodontic practice. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 121(6): 650-654, 2002.
29. Bae JM et al.: The flexural properties of fiber-reinforced composite with light-polymerized polymer matrix. *Int J Prosthodont* 14(1): 33-39, 2001.
30. Tanimoto Y, Nishiwaki T, Nemoto K: Numerical failure analysis of glass-fiber-reinforced composites. *J Biomed Mater Res A* 68(1): 107-113, 2004.
31. Garoushi S, Vallittu PK, Lassila LV: Fracture resistance of short, randomly oriented, glass fiber-reinforced composite premolar crowns. *Acta Biomater* 3(5): 779-784, 2007.
32. Doğan OM et al.: The effect of esthetic fibers on impact resistance of a conventional heat-cured denture base resin. *Dent Mater J* 26(2): 232-239, 2007.
33. Kanie T et al.: Deformation and flexural properties of denture base polymer reinforced with glass fiber sheet. *Dent Mater J* 24(3): 297-303, 2005.
34. Kanie T et al.: Light-curing reinforcement for denture base resin using a glass fiber cloth pre-impregnated with various urethane oligomers. *Dent Mater J* 23(3): 291-296, 2004.
35. Bertassoni LE et al.: Effect of pre- and postpolymerization on flexural strength and elastic modulus of impregnated, fiber-reinforced denture base acrylic resins. *J Prosthet Dent* 100(6): 449-457, 2008.
36. Capaccio G, Ward IM: Properties of ultra-high-modulus linear polyethylene. *Nature, Phys Sci* 243(1): 143-145, 1973.
37. Ward IM: The preparation, structure and properties of ultra-high modulus flexible polymers. *Adv Polymer Sci* 70(10): 1-70, 1985.
38. Son DK et al.: The reinforcing effect of fiber according to the type, content, and combination on resin matrix. *The journal of the korea research society for dental materials* 35(1): 29-38, 2008.

(Received November 10, 2010; Revised November 30, 2010;
Accepted December 13, 2010)

