

물 흡수에 따른 fiber reinforced composite (FibreKor[®])의 굽힘 특성 변화

김석범^a · 김민정^b · 김경호^c · 최광철^d

보철이나 수복 영역에서 재료 자체의 기계적 특성을 강화하기 위해 많이 사용되어 오던 fiber reinforced composite (FRC)는 최근 교정 영역까지 그 사용이 확대되고 있다. 이 연구의 목적은 silica glass fiber로 강화된 FRC (FibreKor[®], Jeneric/Pentron Inc., Wallingford, U.S.A.)를 다양한 기간 동안 물에 저장하였을 때 물 흡수가 FRC의 굽힘 특성에 미치는 영향을 알아보고자 함이었다. 시편은 임상에서 적용하는 원형, (직사)각형의 두 가지 형태를 기준으로 plasma arc light를 이용하여 광중합하여 제작하였다. 각형, 원형 각각 5개의 시편을 실온(평균 23°C)의 증류수 안에 0시간, 1시간, 1일, 1주, 15일, 1개월, 3개월의 기간 동안 보관한 후 torque tester를 이용하여 굽힘 시험을 시행하였다. 굽힘 강성(flexural stiffness)은 24시간 후에 원형의 경우 59%, 각형의 경우 25%로 감소했으며 3개월 후에는 각각 29%, 19%의 실험 전 상태의 강성을 나타냈다. 항복 굽힘 모멘트(yield flexural moment, 3° offset)는 24시간 후에 원형의 경우 45%, 각형의 경우 76%로 감소했으며 3개월 후에는 실험 전 항복 굽힘 모멘트의 29%, 60%로 각각 감소하였다. 파절 굽힘 모멘트(ultimate flexural moment)는 24시간 후에 원형의 경우 36%, 각형의 경우 76%로 감소했으며 3개월 후에는 실험 전 값의 25%, 37%로 각각 감소하였다. 이상의 실험을 통하여 FibreKor[®]는 물에 보관 시 초기에 굽힘 강성이 급격히 저하됨을 알 수 있었다. 따라서 수분에 대한 굽힘 강도 증가를 위한 연구가 향후 필요할 것이다.

(주요 단어: FRC (fiber reinforced composite), 물 흡수, 굽힘 강성, 굽힘 모멘트)

서 론

두 종류 또는 그 이상의 재료들을 결합하여 컴포지트 재료를 만들게 되면 개개의 재료들을 사용할 때보다 더 강한 기계적 성질을 얻을 수 있다. Glass,

carbon/graphite, aramid, polyethylene 등과 같은 다양한 형태의 fiber를 중합체 결합체(polymer binder)인 레진 기질과 결합시킴으로써 컴포지트의 강성(stiffness)과 강도(strength)를 증가시킬 수 있다.

이런 fiber에 의해 강화된 컴포지트(fiber reinforced composite: FRC)는 현재 여러 분야에서 사용되고 있다. 산업용으로는 에폭시에 기초한 레진이 가장 흔하게 사용되는데 이는 다른 물질에 비해 단위 무게 당 높은 강성을 보이는 성질을 이용하는 것으로 항공, 선박, 자동차 등 기존의 소재를 대체하는 용도로 성공적으로 널리 사용되고 있다. 의학 영역에서는 carbon fiber로 강화된 에폭시 레진으로 제작되어진 semirigid plates가 인간 경골의 고정재 사용되어져

^a 공중보건의.

^b 전공의, ^c 교수, ^d 부교수, 연세대학교 치과대학 교정학교실, 영동세브란스병원.

교신저자: 최광철

서울시 강남구 도곡동 146-92

영동세브란스병원 치과 / 02-2019-3567

kchoy@yumc.yonsei.ac.kr

원고접수일: 2005년 2월 21일 / 원고최종수정일: 2005년 4월 20일

/ 원고채택일: 2005년 4월 22일

왔다.¹

60, 70년대에 들어 치과분야에 FRC가 도입되어 레진을 짧거나 긴 fiber로 강화한 의치상 레진에 대한 보고가 있었다.² 하지만 그 사용이 널리 보편화되지 않은 채 30여년이 지난 후 최근 몇 년간 FRC에 의한 새로운 적용들이 이루어져 porcelain-to-metal bridge, chair-side bridge, endodontic post, periodontal splint, 유지 장치, 의치상 및 고정식 보철물과 같은 많은 용도로 사용되고 있다.³⁻⁵

사회 전반적으로 심미성이 중요시 되면서 치과 교정학 분야에도 그에 대한 관심이 어느 때보다 강조되고 있으며, 이로 인해 치료결과 뿐만 아니라 긴 치료 과정에 있어서의 심미성 개선의 필요성이 대두되고 있다. 여러 다른 fiber 중에서도 glass fiber는 우수한 심미성과 silane coupling agents를 통한 중합체 (polymer)와의 우수한 접착력 때문에 교정용 재료로써 그 이용가치가 높다.⁶ 교정 용도로는 설측 유지 장치, 공간 유지 장치, 치주치료 동안 가공치를 치아에 붙이기 위한 교정 후 임시 고정 장치, 외상 후 고정식 스플린트 등으로 편리하고 심미적으로 사용된 임상 증례도 보고된 바 있다.⁷

FRC가 치과용으로 사용되기 위해서는 생체친화성, 심미성, 치아구조나 다른 레진에 접착할 수 있는 능력, chair-side나 가공작업 시 용이성 등의 특수한 성질이 요구되며 구강 내 환경에서의 높은 기계적 성질과 안정성이 필요하다. 특히 구강과 같은 수분이 많은 환경에서는 중합체 기질을 통해 확산된 물에 의해 glass fiber 표면에 부식현상이 일어날 수 있다.⁸ 따라서 FRC를 물 속에 장기간 보관할 경우 glass fiber 성분에서 배출되는 알칼리와 산화 알칼리 토류의 수화 현상에 영향을 받아 컴포지트 구조에 변화가 생겨 그 기계적 성질에 영향을 준다고 알려져 있다.⁹⁻¹¹

그러나 이러한 물 흡수에 따른 FRC의 기계적 성질에 대한 기존의 연구들은 시편 제작 시 실험의 ISO 규격화를 위해 구강 내에 적용할 수 없는 크기나 형태의 틀을 사용하거나,^{12,13} 시편의 중합 시 10분 이상의 광중합 후 110°C 진공하의 열중합기에서 15분 동안 추가 중합하는 등¹⁴ 실제 임상에서 적용하기 어려운 방법으로 연구되었다.

본 연구에서는 silica glass fiber가 filler로 들어있는 상품화되어 있는 FRC를 이용하여 실제 임상에서 적용하는 원형과 각형의 두 가지 형태를 기준으로 plasma arc light를 이용하여 광중합한 후 다양한 기간 동안 물에 저장되었을 때 물 흡수가 FRC의 굽힘

특성에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

연구대상 및 방법

시편제작

상품명으로 FibreKor[®](Jeneric/Pentron Inc., Wallingford, U.S.A.)로 판매되고 있는 pre-impregnated glass fiber 컴포지트 테이프를 이용하여 시편을 제작하였다. 컴포지트 테이프의 폭과 두께는 제작되어 나온 자체의 크기로 유지한 채 15 mm의 길이로 자른 후 그대로 중합한 것을 각형 시편으로 사용했고, 양쪽의 cellulose strip을 제거 후 둥글게 말아 중합한 것을 원형 시편으로 사용하였다. 시편의 중합은 plasma arc light인 Flipo(Lobel, France)를 이용하여 실제로 구강 내에서 부분별로 중합하듯 시편의 한쪽 끝에서부터 15초씩 5 mm 단위로 3번, 총 45초간 이루어졌다. 380-520 nm의 파장 영역을 가지는 Flipo는 일반 복합 레진의 경우 3초의 중합 시간을 추천하고 있으나, 좀 더 완벽한 중합을 위하여 임의로 중합 시간을 15초로 정하였다. 각형 시편의 크기는 가로 2.72 mm, 세로 0.08 mm였고, 원형 시편의 지름은 평균 0.45 mm였다.

시편들은 실온(평균 23°C)의 증류수 안에 0시간, 1시간, 1일, 1주, 15일, 1개월, 3개월의 기간 동안 보관한 후 굽힘 시험을 시행하였다. 기간별 시편의 수는 각형 5개, 원형 5개였다.

실험방법

이 연구에 사용된 측정기기는 torque tester로 외팔보 형태 선재의 굽힘 시험에 많이 사용된 바 있다.^{15,16} 이 gauge는 두 개의 Jacob chuck로 구성되어 있는데 아래쪽 chuck는 위쪽 chuck과 동축선 상의 연장선에서 5 mm 거리를 일정하게 유지하는 연장부를 부착하였다. 이 연장부는 단면이 원형으로 되어있어 시편의 회전 시 시편과 선 접촉을 이룰 수 있게 제작되었다. 위쪽 chuck에는 torque gauge(651X-3M, Data Instruments Inc., MA, U.S.A.)를 장착하였다(최대 측정치 3700 gmm). 연장부의 측면으로 바늘을 장착하고 재료의 휘어진 각도를 측정하기 위해 각도계를 부착하였다 (Fig 1, 2).

시편은 상부 chuck 부위의 상하 고정나사 사이에 고정시키고 50 gmm씩 모멘트를 증가시켜 시편의 변

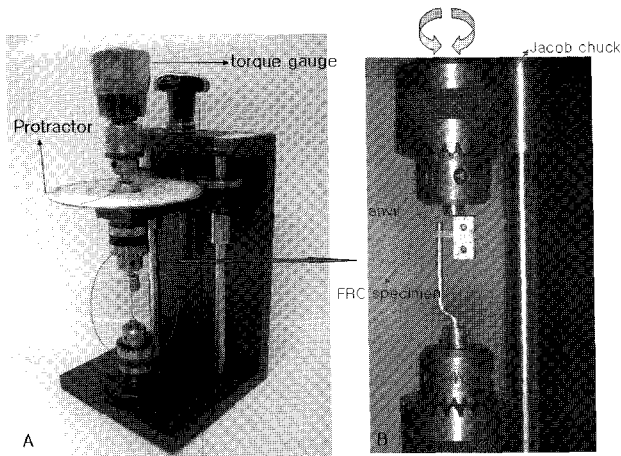


Fig 1. Torque tester. A, Overall view; B, close-up view.

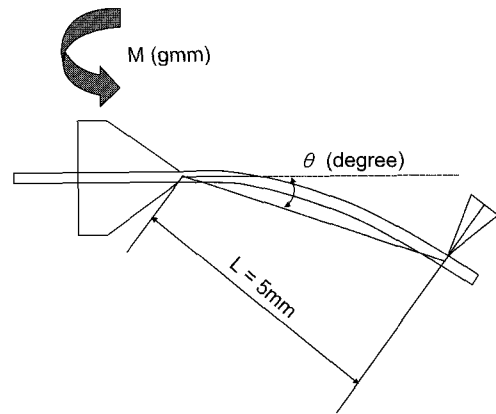


Fig 2. Schematic drawing of the gauge.

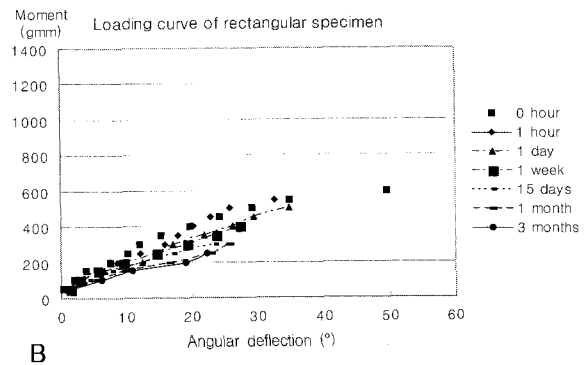
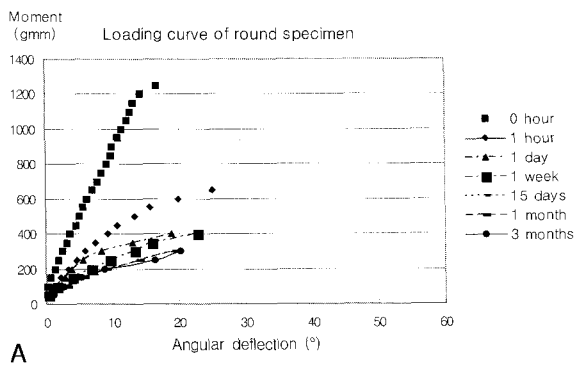


Fig 3. Flexural moment-angular deflection graph, A, Round specimen; B, rectangular specimen.

형 정도를 바늘의 각도로서 측정하고 다시 모멘트를 0 gmm로 내려 시편의 움직임이 없을 때 영구변형 각도를 측정하였다. 각형 시편의 경우 시편을 고정시킨 후 시편이 너비 방향으로 휘도록 힘을 가하였다.

굽힘 모멘트-변형각(Flexural moment-angular deflection)

부하 곡선(Loadng curve)

각 시간대별로 5개 시편의 굽힘 시험을 시행하여 원형 및 각형 FRC의 기간에 따른 굽힘 성질의 차이를 알아보았다. 5개의 시편들 가운데 중간값을 갖는 시편 1개의 부하에 따른 모멘트-변형각 그래프에서 0 시간, 1시간, 1일, 1주, 15일, 1개월, 3개월의 시기별 각도 변화에 따른 모멘트의 변화를 알아보았다.

탈부하 곡선(Unloading curve)

굽힘 모멘트-변형각 그래프에서 영구변형 3° 이하에서 탈부하 시 기울기의 자료를 이용하여 시편의 모형별, 시기별 굽힘 강성(flexural stiffness)의 평균값을 계산하였다. 증류수에 보관한 시간에 따른 원형과 각형 시편의 강성의 변화를 알아보았다.

항복 굽힘 모멘트(Yield flexural moment)

모멘트-변형각의 그래프에서 각 시간대별로 5개 시편의 굽힘 시험을 시행한 자료 값으로 회귀 직선을 구하여, 3° 영구 변형이 일어났을 때의 모멘트 값을 항복 굽힘 모멘트로 정하였다. 원형과 각형 시편의 굽힘 모멘트를 비교하기 위해 0시간의 항복 굽힘 모멘트 값을 1로 하는 상대 항복 모멘트(relative yield moment)를 구하였다.

Table 1. Mean, relative value of stiffness

Shape	Duration	Mean (gmm/°)	Relative stiffness
Round	0 hour	171.3 ± 115.1	1.00
	1 hour	112.6 ± 60.2	0.66
	1 day (24 hours)	100.9 ± 44.5	0.59
	1 week (168 hours)	87.3 ± 65.4	0.51
	15 days (360 hours)	72.0 ± 37.3	0.42
	1 month (720 hours)	53.7 ± 25.1	0.31
	3 months (2160 hours)	50.1 ± 12.3	0.29
Rectangular	0 hour	119.5 ± 83.9	1.00
	1 hour	34.6 ± 21.8	0.29
	1 day (24 hours)	29.5 ± 16.7	0.25
	1 week (168 hours)	33.7 ± 9.8	0.28
	15 days (360 hours)	27.2 ± 9.6	0.23
	1 month (720 hours)	27.2 ± 9.5	0.23
	3 months (2160 hours)	22.8 ± 11.1	0.19

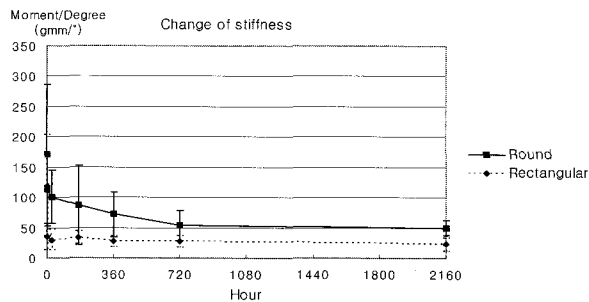


Fig 4. Changes of stiffness in round and rectangular specimens.

파절 굽힘 모멘트(Ultimate flexural moment)

Torque tester를 이용하여 50 gmm씩 모멘트를 증가시키면서 굽힘 시험을 시행하여 얻을 수 있는 최대 모멘트, 즉 시편이 파절되기 직전에 측정된 모멘트의 값을 파절 굽힘 모멘트로 정하였다. 원형, 각형 시편 5개의 물에 보관한 기간에 따른 파절 굽힘 모멘트의 평균, 표준편차를 측정하였다.

통계처리

Window용 SAS(Statistical Analysis System, version 8.1) 통계 package(SAS Institute Inc., U.S.A.)를 사용하여 실험값의 평균과 표준편차 및 회귀 방

정식을 구하였다.

연구성적

굽힘 모멘트 변형각

부하 곡선

원형 시편

0시간 때의 굽힘 시험 결과는 각도에 따라 거의 직선적으로 일정하게 모멘트가 증가하는 양상을 보였으며 1시간 이후의 굽힘 시험결과는 각도의 증가에 따라 그래프의 기울기가 감소하는 포물선 모양의 완만한 곡선을 나타냈다 (Fig 3, A).

각형 시편

각형 시편의 굽힘 시험 결과 직선에 가까운 양상을 나타냈으며, 물 보관 시간의 증가에 따라 굽힘 성질이 감소하는 양상을 관찰할 수 있었다 (Fig 3, B).

탈부하 곡선

탈부하 시 시편들의 영구변형이 3° 이하의 기울기를 보이는 시편들의 평균값과 표준편차를 각형, 원형 별로 기간에 따라 구하였다.

물 보관 기간이 증가함에 따라 굽힘 강성은 감소하는 양상을 보였다. 원형 0시간 때의 강성을 1로 한 상대적인 강성을 살펴보면 3개월 때 원형은 0.29, 각형

Table 2. Linear regression equation and yield moment at 3° of round specimen

Duration	Linear regression equation (x: degree, y: moment)	Yield moment (gmm)	Relative yield moment
0 hour	$y = 77.6x + 109.6$	342.2	1.00
1 hour	$y = 43.1x + 55.8$	187.5	0.55
1 day (24 hours)	$y = 31.4x + 61.0$	155.1	0.45
1 week (168 hours)	$y = 21.1x + 61.8$	125.1	0.37
15 days (360 hours)	$y = 19.2x + 53.8$	111.4	0.33
1 month (720 hours)	$y = 18.2x + 39.9$	94.7	0.28
3 months (2160 hours)	$y = 20.6x + 38.3$	100.2	0.29

Table 3. Linear regression equation and yield moment at 3° of rectangular specimen

Duration	Linear regression equation (x: degree, y: moment)	Yield moment (gmm)	Relative yield moment
0 hour	$y = 19.8x + 59.2$	118.7	1.00
1 hour	$y = 17.1x + 53.0$	104.4	0.88
1 day (24 hours)	$y = 13.9x + 49.0$	90.8	0.76
1 week (168 hours)	$y = 15.1x + 51.1$	96.3	0.81
15 days (360 hours)	$y = 12.7x + 44.1$	82.3	0.69
1 month (720 hours)	$y = 11.1x + 37.3$	70.7	0.60
3 months (2160 hours)	$y = 7.7x + 47.8$	70.9	0.60

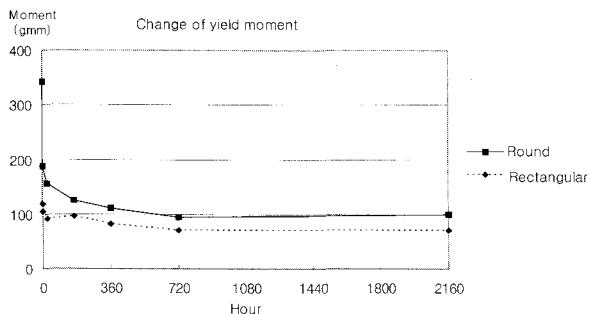


Fig 5. Changes of yield moment in round and rectangular specimens.

은 0.19에 해당하는 상대 강성을 보였다 (Table 1, Fig 4).

항복 굽힘 모멘트

원형 시편

물 보관 기간이 길어짐에 따라 항복 굽힘 모멘트가

감소하는 양상을 보였다. 다만 3개월간 침수한 경우 1개월 간 침수한 시편보다 항복 굽힘 모멘트 값이 큰 경향이 있었으나 유의성 있는 증가는 아니었다. 상대적인 항복 모멘트의 비교에서 원형 시편을 1시간 물에 보관했을 때 건조 상태의 약 절반에 해당하는 55% 정도로 그 강도가 크게 감소하였고, 1일에 45%, 1주 때 37%, 15일에는 33%, 1개월 이후로는 28% 정도까지 항복 모멘트의 감소를 보였다 (Table 2, Fig 5).

각형 시편

대체적으로 물에 보관한 기간이 길어짐에 따라 항복 굽힘 모멘트가 감소하는 양상을 보였다. 다만 1주 때의 항복 모멘트가 1일 때의 값보다 조금 컸으며 3개월과 1개월의 항복 모멘트는 거의 유사하게 측정되었다. 상대적인 항복 모멘트의 비교에서는 각형, 원형 모두 물 보관 기간이 증가함에 따라 조금씩 그 값이 감소하였다 (Table 3, Fig 5).

Table 4. Mean, relative value of ultimate flexural moment

Shape	Duration	Mean (gmm)	Relative moment
Round	0 hour	1090 ± 155.7	1.00
	1 hour	650 ± 35.4	0.60
	1 day (24 hours)	390 ± 22.4	0.36
	1 week (168 hours)	350 ± 50.0	0.32
	15 days (360 hours)	320 ± 27.4	0.29
	1 month (720 hours)	280 ± 27.4	0.26
	3 months (2160 hours)	270 ± 27.4	0.25
Rectangular	0 hour	590 ± 22.4	1.00
	1 hour	450 ± 100.0	0.76
	1 day (24 hours)	450 ± 50.0	0.76
	1 week (168 hours)	350 ± 35.4	0.59
	15 days (360 hours)	280 ± 27.4	0.47
	1 month (720 hours)	250 ± 35.4	0.42
	3 months (2160 hours)	220 ± 27.4	0.37

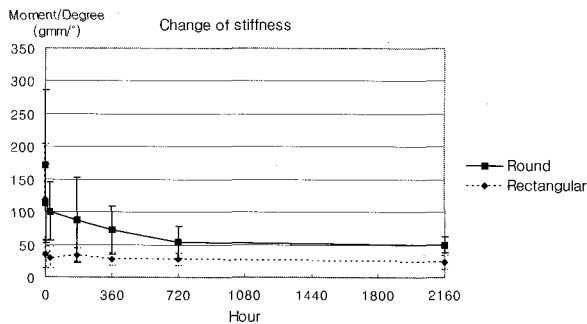


Fig 6. Changes of ultimate flexural moment in round and rectangular specimens.

파절 굽힘 모멘트

원형과 각형 시편 모두 물에 보관한 시간에 따라 파절 모멘트가 감소하는 값을 나타냈다. 원형의 경우 0시간 때 1090 gmm에서 1시간 때 650 gmm, 1일의 경우 390 gmm으로 모멘트의 유의성 있는 감소를 보였고 3개월에서는 270 gmm의 값을 보였다. 각형의 경우 0시간 때 590 gmm, 3개월일 때 220 gmm로 모멘트가 감소하였다. 전반적으로 같은 기간에서의 원형의 파절 모멘트가 컸으나 1주 이상의 기간에서는 원형과 각형의 파절 모멘트에는 큰 차이는 없었다 (Table 4, Fig 6).

고찰

교정 영역으로의 FRC의 도입은 심미성, 작업 용이성, 치아 표면의 우수한 접착성 등 여러 측면에서 만족스러운 것으로 평가할 수 있다. 하지만 구강이라는 특수한 환경에서 파절이나 탈락 없이 장기간의 치료과정동안 안정적으로 유지되기 위해서는 적절한 강도와 치아 표면의 우수한 접착력이 요구된다. 따라서 설측 고정식 유지 장치나 구치부의 고정원 보강, 그 외에 횡구개 또는 설측 호선 등과 같이 임상에서 적용 가능한 방법으로 원형과 각형의 형태로 시편을 제작하였다. 시편은 실제 임상에서의 중합 과정과 유사하게 최근 많이 사용하는 plasma arc light를 이용하여 1 cm 이내의 거리에서 시편을 3부분으로 나누어 15초씩 중합하였다. 이렇게 중합한 시편을 물에 보관했을 때 나타나는 기간에 따른 강도의 변화를 알아 보기 위해 굽힘 시험을 시행하였다.

FRC의 굽힘 시험결과 모멘트가 파절 모멘트에 근접할수록 굽힘 각도의 증가가 크게 나타났다. 그 결과 처음에는 어느 정도 직선적으로 증가하다 완만해지는 포물선 모양의 곡선으로 나타났다. 원형 시편의 0시간의 경우나 각형 시편들의 경우에는 모멘트와 각도의 관계가 주로 직선 형태로 나타났는데, 이는 실험시 50 gmm씩 모멘트를 증가시켰기 때문이라 생각된다. 파절 모멘트에 접근할수록 조금 더 세밀한 단위로

모멘트를 증가시켰더라면 포물선 부분이 나타났을 것이다. 50 gmm 단위로 모멘트를 증가시킬 때 나타나는 시편 개체 내의 변화를 살펴보면 직선적으로 각도가 증가하지 않고 어느 단계에서는 굽힘 각도가 적게 증가하다 다음 50 gmm의 모멘트를 더 증가시키는 단계에서는 크게 증가하는 계단모양의 증가양상을 나타냈다. 이는 선학들이 연구한 스테인리스 강철¹⁷이나 TMA,¹⁸ 또는 NiTi¹⁵의 굽힘 시험 시 나타나는 형태와는 다른 양상을 보이는데 그 이유는 FRC의 제작 방법이 향상되어 fiber의 양과 조성이 어느 정도 균일하게 제작되었다 하더라도 스테인리스 강철이나 다른 금속보다는 분자 단위의 균일한 조성을 보일 수 없기 때문이다. 실제로 시험 시 내부 fiber의 미세파절이 일어날 때마다 그 값이 증가하는 현상을 관찰할 수 있었다.

FRC의 부하 시 회귀식을 모형별, 기간별로 추정하였다. 이 연구에서 3°의 변형일 때의 모멘트를 항복 모멘트로 정한 이유는 3° 이하에서는 각도의 변화에 따른 모멘트의 변화가 비교적 직선 형태로 나타나 이 부위를 탄성 범위로 생각했기 때문이다.

항복 굽힘 모멘트와 파절 모멘트의 시험 결과를 보면 유사한 점들이 관찰되었다. 각형 시편의 항복 굽힘 모멘트와 파절 모멘트가 처음에는 원형에 비해 훨씬 작은 값을 나타냈으나, 물 보관 시간이 증가함에 따라 거의 비슷한 값을 가지는 것으로 나타났다. 이는 원형 시편은 초기 물의 흡수에 따른 영향이 매우 커서 1일 내에 초기 모멘트의 65% 이상을 소실한 반면 각형은 물의 흡수에 따른 영향이 초기에 크지 않고 시간이 지남에 따라 서서히 감소하는 경향을 보였기 때문이다.

하중-변형률(load-deflection rate)은 재료의 강성 또는 강도로 이 시험에서는 모멘트-변형각 그래프의 기울기에 해당하며 적당한 굽힘 시험 시 그 예측성이 높은 것으로 알려져 있다.¹⁹ 시간에 따른 시편의 강성 변화를 살펴보면 원형의 경우 물에 보관한 기간에 따라 점차 감소하는 양상을 보이다가 1개월 이후에는 큰 변화는 없었다. 각형의 경우 물에 보관 후 1시간 때 강성이 많이 감소했으며 그 이후로는 거의 일정하게 유지되었다.

FRC의 강성에 영향을 주는 요소로는 fiber나 레진 기질과 같은 재료 자체의 강도, 인성, fiber 제조 과정에서의 질이나 수분, 중합상태, 물리적 또는 열에 의한 응력 등을 고려할 수 있다. 레진 기질에 fiber를 접착시키는데 사용되는 실란 처리 역시 컴포지트의 수

화 안정성에 영향을 끼친다. Silica fiber 표면의 산도 때문에 silica 표면과 n-propylamine 사이에서 산 염기 반응이 나타나고 이로 인해 접착(adhesion)이 감소된다.²⁰ 따라서 시험 시 이러한 여러 요인들이 오차로 작용할 수 있다.

굽힘 특성을 감소시키는 원인으로 Ekstrand 등⁹은 물 흡수를 주된 요인으로 보았으며, fiber와 레진 기질의 불량한 접착 때문에 그 값이 감소한다 하였다. 주사 전자 현미경 상에서 fiber와 레진 기질의 접착 효과를 관찰한 결과 건조한 상태에서도 그 사이에 공간이 존재했으며 물에 보관 후 접촉이 떨어져 있는 부분이 관찰되었다. 그리고 Meyer 등¹⁰은 FRC를 5000시간(약 208일) 동안 3가지 다른 온도(37°C, 65°C, 95°C)의 생리 식염수에 담근 후 관찰한 결과 보관 시간과 온도에 따라 fiber와 레진 기질의 계면 간 극한 결합강도가 유의성 있게 감소함을 관찰하였다. Jancar 등²¹은 물에 보관된 상태에서 fiber와 레진 기질 사이의 계면에서의 물의 화학적 흡수 성질에 의해 trans-esterification과 수화가 3점 굽힘 강도의 비가역적인 감소를 가져왔다고 하였다. Imai 등²²도 fiber와 레진 기질 사이의 interlaminal shear strength의 감소와 glass fiber의 부분적인 파절을 강도 감소의 원인으로 보았다.

하지만 Vallittu¹¹는 28.0-33.2 vol%의 woven type의 E-glass fiber로 강화한 의치상 중합체를 180주간 물에 담근 후 극한 3점 굽힘 강도를 측정할 결과 27%의 감소를 보였으며 이 원인으로 중합체 기질과 E-glass fiber의 계면에서 일어나는 비가역적인 변화보다는 중합체 기질의 연화과정에 의한 것으로 보았다. 그리고 이 감소의 대부분은 4주 이내에 일어나는 것으로 관찰하였다. 하지만 이 시험에 사용된 시편을 살펴보면 fiber가 실란처리된 되었으나 단량체 또는 중합체로 pre-impregnated되지 않은 상태였다. 따라서 이런 제조과정의 문제점으로 인해 물 흡수가 증가되었을 것이며, FRC의 기계적인 성질의 감소에 더 큰 영향을 주었을 것이다.

이번 연구에서는 최근의 발달된 제조기술로 pre-impregnated된 FRC제품을 사용하였으므로 이러한 제조상의 문제점은 상당히 감소되었을 것이다. 하지만 기존의 연구들과 비교해 볼 때 물에 보관 시 많은 양의 굴곡 특징이 감소하였다. 결과에 차이가 나는 이유로 우선 시험 방법 자체가 임상에서 사용 가능한 범위 내에서 이루어졌기 때문에 중합의 양이 충분치 못했으며, 그 외에 여전히 남아있는 FRC 제작에 있어

서의 불균일성 및 아날로그식의 측정방법 등의 오차 가능성을 들 수 있다. 시편을 형성하는 과정에서 발생할 수 있는 불균일한 접촉으로 인한 기포 형성 가능성 및 최종 형태의 불균일성 역시 굴곡 특징의 감소에 대한 또 다른 이유가 될 수 있을 것이다.

이번 연구의 결과를 통해 FRC의 임상 사용 시 흔히 문제가 될 수 있는 요소를 알 수 있었다. 원형의 경우 각형 시편에 비해 전 보관 기간 동안 더 높은 강성을 보여 물 보관 3개월 후에도 더 높은 모멘트를 유지하였으나(원형은 초기 강도의 29%, 각형은 19%의 강도 유지) 물에 의한 강도의 감소는 더 지속적으로 일어나 초기 값을 1로 하였을 때의 최종 상대 항복 굽힘 모멘트 또는 상대 파절 굽힘 모멘트 값은 각형 시편에서 더 높게 나타났다. 우선 원형 시편의 경우 각형 시편에 비해 관성 모멘트가 더 커서 더 높은 강성을 보일 수 있었다. 그러나 더 얇은 각형 시편은 15초로도 비교적 균일하게 중합되었으나, 원형 시편의 경우 0.45 mm로 두꺼웠기 때문에 중합이 불균일했던 것으로 생각해 볼 수 있다. 따라서 임상 사용 시 원형 시편의 높은 초기 강도를 높은 수준으로 유지하기 위해선 중합 시간을 좀 더 길게 하여 완전한 중합을 해야 할 것이다. 이와 같이 현 연구에서는 시편의 형태에 따라 물 흡수에 차이가 있는 것으로 나타났는데 이는 continuous unidirectional, woven 형태의 glass fiber로 강화한 의치상용 레진의 물 흡수에 따른 체적의 변화를 관찰한 실험에서, 물 흡수는 첫 14일 내 주로 일어났으며 형태에 따른 차이는 없다고 보고한 Çal 등⁸의 연구에 상반되는 결과이다.

따라서 이러한 강도를 보강하기 위한 방법으로 FRC의 표면 코팅이 필요하다. 실제 FRC의 임상 적용 시 반복되는 칫솔질로 인해 발생하는 표면 마모로 fiber가 노출되는 경우가 있는데 이를 방지하기 위해 flowable resin으로 FRC 표면을 강화하고 있다. 이런 강화 재료가 물에 대한 FRC의 굽힘 강도 증가에 도움이 되는지에 대한 연구 및 수분 노출에 따른 굽힘 강도 저하를 막기 위한 연구가 향후 필요할 것이다.

결 론

FRC를 이용하여 임상에서 적용하는 각형과 원형의 두 가지 형태를 plasma arc light를 이용하여 광중합한 후 물에 저장하였을 때 물 흡수가 FRC의 굽힘 성질에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 각형 5개, 원형 5개의 시편들을 실온(평균 23°C)의 증류수 안에

0시간, 1시간, 1일, 1주, 15일, 1개월, 3개월의 기간 동안 보관한 후 굽힘 시험을 시행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 굽힘 강성은 24시간 후 원형의 경우 59%, 각형의 경우 25%로 감소했으며 3개월 후에는 각각 29%, 19%의 실험 전 상태의 강성을 나타냈다.
2. 항복 굽힘 모멘트(3° offset)는 24시간 후 원형의 경우 45%, 각형의 경우 76%로 감소했으며 3개월 후에는 각각 29%, 60%의 실험 전 상태의 모멘트를 나타냈다.
3. 파절 굽힘 모멘트는 24시간 후 원형의 경우 36%, 각형의 경우 76%로 감소했으며 3개월 후에는 각각 25%, 37%의 실험 전 상태의 모멘트를 나타냈다.

이상의 실험을 통하여 FibreKor[®]는 물에 보관 시 초기에 굽힘 강성이 급격히 저하됨을 알 수 있었다. 따라서 수분에 대한 굽힘 강도 증가를 위한 연구가 향후 필요할 것이다.

참 고 문 헌

1. Tayton K, Johnson-Nurse C, McKibbin B, Bradley J, Hastings G. The use of semi-rigid carbon-fibre-reinforced plastic plates for fixation of human fractures. Results of preliminary trials. *Ultimates*. *J Bone Joint Surg Br*. 1982;64:105-11.
2. Smith DC. Recent developments and prospects in dental polymer. *J Prosthet Dent* 1962;12:1066.
3. Goldberg AJ, Burstone CJ. The use of continuous fiber reinforcement in dentistry. *Dent Mater* 1992;8:197-202.
4. Goldberg AJ, Burstone CJ, Hadjinikolaou I, Jancar J. Screening of matrices and fibers for reinforced thermoplastics intended for dental applications. *J Biomed Mater Res* 1994;28:167-73.
5. Freilich MA, Karmaker AC, Burstone CJ, Goldberg AJ. Development and clinical applications of a light-polymerized fiber-reinforced composite. *J Prosthet Dent* 1998;80:311-8.
6. Burstone CJ, Kuhlberg AJ. Fiber-Reinforced Composites in Orthodontics. *J Clin Orthod* 2000;34:271-9.
7. Karaman AI, Kir N, Belli S. Four applications of reinforced polyethylene fiber material in orthodontic practice. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;121:650-4.
8. Çal NE, Hersek N, Şahin E. Water sorption and dimensional changes of denture base polymer reinforced with glass fibers in continuous unidirectional and woven form. *Int J Prosthodont* 2000;13:487-93.
9. Ekstrand K, Ruyter IE, Wellendorf H. Carbon/graphite fiber reinforced poly(methyl methacrylate): properties under dry and wet conditions. *J Biomed Mater Res* 1987;21:1065-80.
10. Meyer MR, Friedman RJ, Delschutte H Jr, Latour RA Jr. Long-term durability of the interface in FRP composites after exposure to simulated physiologic saline environments. *J Biomed Mater Res* 1994;28:1221-31.
11. Vallittu PK. Effect of 180-Week water storage on the flexural

- properties of E-glass and silica fiber acrylic resin composite. *Int J Prosthodont* 2000;13:334-9.
12. Miettinen VM, Vallittu PK, Doent DT. Water sorption and solubility of glass fiber-reinforced denture polymethyl methacrylate resin. *J Prosthet Dent* 1997;77:531-4.
 13. Parr GR, Rueggeberg FA. In vitro hardness, water sorption, and resin solubility of laboratory-processed and autopolymerized long-term resilient denture liners over one year of water storage. *J Prosthet Dent* 2002;88:139-44.
 14. Karmaker A, Prasad A. Effect of design parameters on the flexural properties of fiber-reinforced composites. *J Mater Sci letter* 2000;19:663-5.
 15. Burstone CJ, Qin B, Morton JY. Chinese NiTi wire-a new orthodontic alloy. *Am J Orthod* 1985;87:445-52.
 16. 최광철, 김경호, 박영철, 강창수. 교정용 와이어의 비틀림 모멘트. *대치교정지* 2000;30:467-73.
 17. Yoshikawa DK, Burstone CJ, Goldberg AJ, Morton J. Flexure modulus of orthodontic stainless steel wires. *J Dent Res* 198;60:139-45.
 18. Goldberg AJ, Burstone CJ, Koenig HA. Plastic deformation of orthodontic Wires. *J Dent Res* 1983;62:1016-20.
 19. Burstone CJ, Goldberg AJ. Maximum forces and deflections from orthodontic appliances. *Am J Orthod* 1983;84:95-103.
 20. Vallittu PK, Ruyter IE, Ekstrand K. Effect of water storage on the flexural properties of E-glass and silica fiber acrylic resin composite. *Int J Prosthodont* 1998;1:340-50.
 21. Jancar J, Dibenedetto AT, Goldberg AJ. Thermoplastic fiber-reinforced composites for dentistry. Part II. Effects of moisture on flexural properties of unidirectional composites. *J Mater Sci* 1993;4:562-8.
 22. Imai T, Watari F, Yamagata S, Kobayashi M, Nagayama K, Nakamura S. Effects of water immersion on mechanical properties of new esthetic orthodontic wire. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999; 116:533-8.

- ORIGINAL ARTICLE -

Flexural characteristic changes of fiber reinforced composite (FibreKor[®]) according to water absorption

Sueck-Bum Kim, DDS, MSD,^a Min-Jeong Kim, DDS,^b
Kyung-Ho Kim, DDS, MSD, PhD,^c Kwangchul Choy, DDS, MSD, PhD^d

Fiber reinforced composite (FRC) has been widely used in operative and prosthetic fields of dentistry and its use is expanding into the orthodontic field. The purpose of this study was to examine the changes of flexural properties of FRC reinforced with silica glass fiber (FibreKor[®], Jeneric/Pentron Inc., Wallingford, U.S.A.) according to the duration of water absorption. Specimens were grouped according to their shape as round and rectangular cross sections, and were immersed in distilled water at room temperature (23°C) for 0 hour, 1 hour, 1 week, 15 days, 1 month and 3 months. The number of specimens was 5 for each duration and bending test was done using a torque tester. The flexural stiffness after 24 hour water immersion was reduced to 59% for round specimens and 25% for rectangular specimens and after 3 months of water immersion it was reduced to 29% and 19% stiffness of the 0 hour-specimen respectively. Yield flexural moment after 24 hour water immersion was reduced to 45% for round specimens and 76% for rectangular specimens and after 3 months of water immersion it was reduced to 29% and 60% stiffness of the 0 hour-specimen respectively. Ultimate flexural moment after 24 hour water immersion was reduced to 36% for round specimens and 76% for rectangular specimens and after 3 months of water immersion it was reduced to 25% and 37% stiffness of 0 hour-specimen respectively. Those results suggested that the flexural stiffness of FibreKor[®] decreased greatly after initial water immersion. Consequently, further research for the maintenance of strength against water will be necessary.

Korean J Orthod 2005;35(5):361-70

※ **Key words:** FRC (fiber-reinforced composite), Water absorption, Flexural stiffness, Flexural moment

^a Public Health Dentist

^b Resident, ^c Professor, ^d Associate Professor, Department of Orthodontics, College of Dentistry, Yonsei University

Reprint requests: **Kwangchul Choy**

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Yonsei University, 146-92, Dogok-Dong, Gangnam-Gu, Seoul 135-720, Korea

+82 2 2019 3567

kchoy@yumc.yonsei.ac.kr

Received February 21, 2005; Last Revision April 20, 2005; Accepted April 22, 2005