

물 흡수에 따른 Fiber Reinforced  
Composite(FibreKor<sup>®</sup>)의  
굽힘 특성 변화

연세대학교 대학원  
치의학과  
김 석 범

물 흡수에 따른 Fiber Reinforced  
Composite(FibreKor<sup>®</sup>)의  
굽힘 특성 변화

지도 최 광 철 부교수

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2003년 12월 일

연세대학교 대학원

치의학과

김 석 범

# 김석범의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 \_\_\_\_\_인

심사위원 \_\_\_\_\_인

심사위원 \_\_\_\_\_인

연세대학교 대학원

2003년 12월 일

## 감사의 글

교정학이라는 학문에 입문한 지 어느덧 4년이 되어가고 병원에서의 생활도 마무리할 시기에 접어들었습니다. 논문이 마무리 될 때까지 지속적인 관심과 격려로 이끌어주신 최광철 교수님께 감사드리며 따뜻한 관심으로 지도해주신 박영철 교수님과 김광만 교수님께 진심으로 감사드립니다.

그동안 많은 가르침을 주신 유영규 교수님, 손병화 교수님, 박영철 교수님, 백형선 교수님, 황충주 교수님, 유형석 교수님, 김경호 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

끈끈한 의국애를 느낄 수 있도록 해주신 희선형, 정운형, 선욱형, 정섭형에게 고마움을 전합니다. 그리고 옆에서 많은 도움을 준 중훈이와 성진이, 진영이, 정호. 그리고 준희, 예벗, 민정, 재우형, 미경. 다들 내게는 여러모로 고마운 인연들입니다.

속만 썩이는 아들 하나만 바라보시고 뒷바라지에 여념이 없으신 부모님, 제 인생에 치과라는 학문의 존재와 의미를 처음으로 알려주셨고 지속적인 관심을 보여주시는 지훈형님과 지용형님께 깊은 감사의 마음을 전합니다.

# 차 례

감사의 글	iv
그림 및 표 차례	vi
국문 요약	vii
I. 서론	1
II. 연구 재료 및 연구 방법	4
1. 시편 제작	4
2. 실험 방법	4
(1) 굽힘 모멘트-각도 및 굽힘 강성	5
(2) 항복 굽힘 모멘트	6
(3) 파절 굽힘 모멘트	6
III. 연구 결과	7
IV. 총괄 및 고찰	16
V. 결론	20
참고 문헌	21
영문 요약	24

## 그림 및 표 차례

Figure 1. Torque tester and schematic drawing of gauge	5
Figure 2. Flexural moment-Degree graph of round cross section	8
Figure 3. Flexural moment-Degree graph of rectangular cross section	8
Figure 4-a. Change of stiffness in round and rectangular cross section	10
Figure 4-b. Major change of stiffness in round and rectangular cross section within 24 hours	10
Figure 5-a. Change of yield moment in round and rectangular cross section	12
Figure 5-b. Major change of yield moment in round and rectangular cross section within 24 hours	13
Figure 6-a. Change of ultimate fractural moment in round and rectangular cross section	14
Figure 6-b. Major change of ultimate fractural moment in round and rectangular cross section within 24 hours	15
Table 1. Mean, relative value of stiffness	9
Table 2. Linear regression equation and yield moment at 3° of round cross section	11
Table 3. Linear regression equation and yield moment at 3° of rectangular cross section	12
Table 4. Mean, relative value of ultimate flexural moment	14

## 국 문 요 약

### 물 흡수에 따른 Fiber Reinforced Composite(FibreKor®)의 굽힘 특성 변화

Fiber Reinforced Composite(FibreKor®, Jeneric/Pentron Inc., Wallingford, USA)를 이용하여 임상에서 적용하는 직사각형, 원형 두 가지 형태를 기준으로 plasma arc light를 이용하여 광중합한 후 물에 저장되었을 때 물 흡수가 FRC의 굽힘 성질에 미치는 영향을 알아보았다. 직사각형 5개, 원형 5개의 시편들을 실온(평균 23°C)의 증류수 안에 0시간, 1시간, 1일, 1주, 15일, 1개월, 3개월의 기간동안 보관 한 후 굽힘 시험을 시행하였다.

1. 굽힘 강성(Flexural stiffness)은 24시간 후 원형의 경우 59%, 직사각형의 경우 25%로 감소했으며 3개월 후에는 각각 29%, 19%의 실험 전 상태의 강성을 나타냈다.
2. 항복 굽힘 모멘트(Yield flexural moment, 3° offset)는 24시간 후 원형의 경우 45%, 직사각형의 경우 76%로 감소했으며 3개월 후에는 각각 29%, 60%의 실험 전 상태의 모멘트를 나타냈다.
3. 파절 굽힘 모멘트(Ultimate flexural moment)는 24시간 후 원형의 경우 36%, 직사각형의 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.

---

핵심 되는 말 : FRC(fiber reinforced composite), 물 흡수, 굽힘 강성,

항복 굽힘 모멘트, 파절 굽힘 모멘트

# 물 흡수에 따른 Fiber Reinforced Composite(FibreKor<sup>®</sup>)의 굽힘 특성 변화

연세대학교 대학원 치의학과

(지도 최 광 철 부교수)

김 석 범

## I. 서 론

두 종류 또는 그 이상의 재료들을 결합하여 composite material을 만들게 되면 개개의 재료들을 사용할 때 보다 더 강한 기계적 성질을 얻을 수 있다. Glass, carbon/graphite, aramid, polyethylene 등과 같은 다양한 형태의 fiber를 polymer binder인 resin matrix와 결합시킴으로써 composite의 stiffness와 strength를 증가시킬 수 있다.

이런 fiber에 의해 강화된 composite(FRC)는 현재 여러 분야에서 사용되고 있다. 산업용으로는 Epoxy에 기초한 resin이 가장 흔하게 사용되는데 이는 다른 물질에 비해 단위 무게당 높은 강성을 보이는 성질을 이용하는 것으로 항공, 선박, 자동차 등 기존의 소재를 대체하는 용도로 성공적으로 널리 사용되고 있다. 의학 영역에선 carbon fiber로 강화된 epoxy resin으로 제작되어진 semirigid plates가 인간 tibia의 고정에 사용되어져 왔다(Tayton 등, 1982).

60년대, 70년대 들어 치과분야에 FRC가 도입되어 레진에 짧거나 긴 fiber로 강화한 denture resin에 대한 보고가 있었다(Smith, 1962). 하지만 그 사용이 널리 보편화되지 않은 채 30여년이 지난 후 최근 몇 년간 FRC는 치과영역에서 새로운 적용들이 이루어져 porcelain-to-metal bridge, chair-side bridge, endodontic post, periodontal splint, retainers, dentures, crown과 같은 많은 치과적 용도로 사용되고 있다(Goldberg와 Burstone, 1992; Goldberg 등, 1994; Freilich 등, 1998).

사회 전반적으로 심미성이 중요시 되면서 치과 교정학 분야에도 심미적인 관심이 그 어느 때보다 강조되고 있다. 이는 비록 치료결과 뿐만 아니라 긴 치료과정에 있어서의 심미성의 개선이 대두되고 있다. 따라서 여러 다른 fiber중에서도 glass fiber는 우수한 심미성과 silane coupling agents를 통해 polymer로서의 우수한 접착력을 가지기 때문에 교정용 재료로 그 이용가치가 높다(Burstone과 Kuhlberg, 2000). 교정용도로는 fixed retainer, space maintainer, 치주치료 동안 pontic을 치아에 붙이기 위한 temporary post-orthodontic fixation 장치, 외상 후 고정성 splint 등으로 편리하고 심미적으로 사용된 임상증례도 보고 된 바 있다(Karaman 등, 2002).

FRC가 치과용으로 사용되기 위해서는 생체친화성, 심미성, 치아구조나 다른 resin에 접착할 수 있는 능력, chair side나 기공작업시의 용이성 등의 특수한 성질이 요구되며 구강 내 환경에서의 높은 기계적 성질과 안정성이 필요하다. 특히 구강 내와 같은 수분이 많은 환경에서는 polymer matrix를 통해 확산된 물에 의해 glass fiber 표면의 부식현상을 일으킬 수 있다(Çal 등, 2000). 따라서 장기적으로 관찰시 glass fiber성분에서 배출되는 alkali와 earth alkali oxides의 수화현상에 의해 영향을 받아 composite 구조의 변화를 가져오며 기계적 성질에 영향을 준다고 알려져 있다(Ekstrand 등, 1987; Meyer 등, 1994; Vallittu, 2000).

그러나 이러한 물 흡수에 따른 FRC의 기계적 성질에 대한 기존의 연구들은 시편 제작 시 실험의 ISO규격화를 위해 구강 내에 적용할 수 없는 크기나 형태의 mold를 사용하거나(Miettinen와 Vallittu, 1996; Parr와 Rueggeberg, 2002), 시편의 중합 시 10분 이상의 광중합 후 110°C 진공하의 열 중합기에서 15분 동안 추가 중합하는 등(Karmaker와 Prasad, 2000) 실제 임상에서 적용하기 어려운 방법으로

연구되었다.

본 연구에서는 silica glass fiber가 filler로 들어있는 상분화 되어있는 FRC strip을 이용하여 실제 임상에서 적용하는 원형, 직사각형 두 가지 형태를 기준으로 plasma arc light를 이용하여 광중합한 후 다양한 기간동안 물에 저장되었을 때 물 흡수가 FRC의 굽힘 성질에 미치는 영향을 알아보았다.

## II. 실험 재료 및 방법

### 1. 시편 제작

상품명으로 FibreKor<sup>®</sup>(Jeneric/Pentron Inc., Wallingford, USA)로 판매되고 있는 pre-impregnated glass fiber composite tape을 이용하여 시편을 제작하였다. composite tape를 폭과 두께는 제작되어 나온 자체의 크기로 유지한 채 15mm의 길이로 자른 후 그대로 중합한 것을 직사각형 시편으로 사용했고, 원형의 시편 제작은 양쪽의 cellulose strip을 제거 후 둥글게 말아 중합하였다. 시편의 중합은 최근 사용이 증가하고 있는 plasma arc light인 flipo (Lobel, France)를 이용하여 실제로 구강 내에서 부분별로 중합하듯 시편의 한쪽 끝에서부터 15초씩 5mm단위로 3번, 총 45초간 이루어졌다. 단면이 직사각형 모양인 시편의 크기는 가로 2.72mm x 세로 0.08mm였으며, 단면이 원형인 시편의 지름은 평균 0.45mm였다.

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

### 2. 실험 방법

이 연구에 사용된 측정기기는 torque tester로 cantilever 형태의 선재의 굽힘 실험에 많이 사용된 바 있다(Burstone 등, 1985; 최 등, 2000). 이 gauge는 두 개의 Jacob chuck로 구성되어있는데 아래쪽의 chuck는 위쪽의 chuck와 동축선 상의 연장선에서 5mm 거리를 일정하게 유지하는 연장부를 부착하였다. 이 연장부는 단면이 원형으로 되어있어 시편의 회전 시 시편과 선 접촉을 이룰 수 있게 제작되었다. 위쪽의 chuck에는 torque gauge(651X-3M, Data Instruments Inc.)를 장착하였는데 최소 100gmm에서 최대 3700gmm까지 측정할 수 있다. 연장부의 측면으로

바늘을 장착하고 재료의 휘어진 각도를 측정하기 위해 각도계를 부착하였다(Fig. 1).

시편은 상부의 chuck 부위의 상하 고정나사 사이에 고정시키고 50gmm씩 모멘트를 증가시켜 시편의 변형 정도를 바늘의 각도로서 측정하고 다시 모멘트를 0gmm로 내려 시편의 움직임이 없을 때까지 충분히 기다린 후 unloading시의 영구변형 각도를 측정하였다.

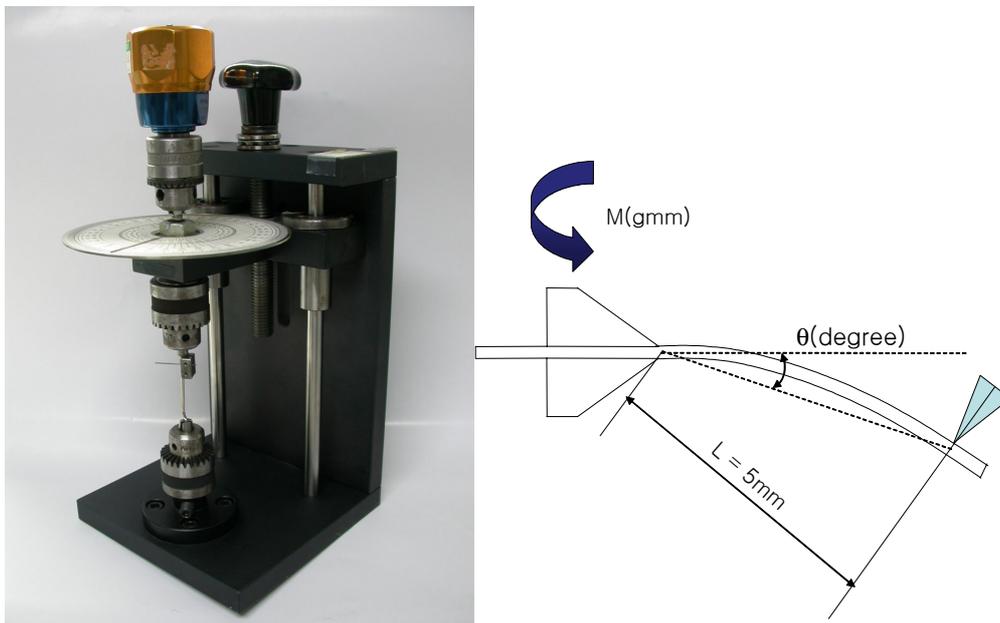


Fig. 1. Torque tester and schematic drawing of gauge

(1) 굽힘 모멘트-각도(Flexural moment-Degree)

1) 부하 곡선>Loading curve)

각 시간대별로 5개 시편의 굽힘 실험을 시행하여 원형, 직사각형 형태의 FRC

의 기간에 따른 굽힘 성질의 차이를 알아보았다. 5개의 시편들 가운데 개체의 특성을 대표하는 시편 1개의 자료를 loading에 따른 모멘트-각도 그래프에서 0시간, 1시간, 1일, 1주, 15일, 1개월, 3개월의 시기별에 따른 각도 변화에 따른 모멘트의 변화를 알아보았다.

## 2) 탈부하 곡선(Unloading curve)

Flexural moment-degree graph에서 영구변형  $3^\circ$  이하의 unloading시 기울기의 자료를 이용하여 시편의 모형별, 시기별 굽힘 강성(flexural stiffness)의 평균값을 계산하였다. 증류수에 보관한 시간에 따른 원형, 직사각형 시편의 강성의 변화를 알아보았다.

## (2) 항복 굽힘 모멘트(Yield flexural moment, gmm)

모멘트-각도의 그래프에서 각 시간대별로 5개 시편의 굽힘 실험을 시행한 자료 값으로 회기직선을 구하였다. 그리고  $3^\circ$ 의 offset을 기준으로 회기 직선식을 이용하여 yield flexural moment의 값을 구하였다. 원형과 직사각형의 yield moment를 비교하기 위해 0시간의 yield moment의 값을 1로 하는 relative yield moment를 구하였다

## (3) 파절 굽힘 모멘트(Ultimate flexural moment, gmm)

Bending tester를 이용하여 50gmm씩 모멘트를 증가시키면서 굽힘 시험을 진행하여 시편이 파절되기 직전에 측정된 모멘트의 값을 파절 굽힘 모멘트로 정하였다. 원형, 직사각형 시편 5개의 물에 보관한 기간에 따른 파절 굽힘 모멘트의 평균, 표준편차를 측정하였다.

### III. 연구 결과

#### 1. 굽힘 모멘트 - 각도(Flexural moment - Degree)

##### 1) 부하 곡선>Loading curve)

###### 가. 원형 FRC

0시간 때의 굽힘 실험 결과는 거의 직선적으로 일정하게 각도에 따라 모멘트가 증가하는 양상을 보였으며 1시간 이후의 굽힘 실험결과는 각도의 증가에 따라 그래프의 기울기가 감소하는 포물선 모양의 완만한 곡선을 나타냈다(Fig. 2).

###### 나. 직사각형 FRC

직사각형 모양의 시편의 굽힘 실험 결과 직선에 가까운 양상을 나타냈으며 시간에 따라 굽힘 성질 양상이 감소하는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 3).

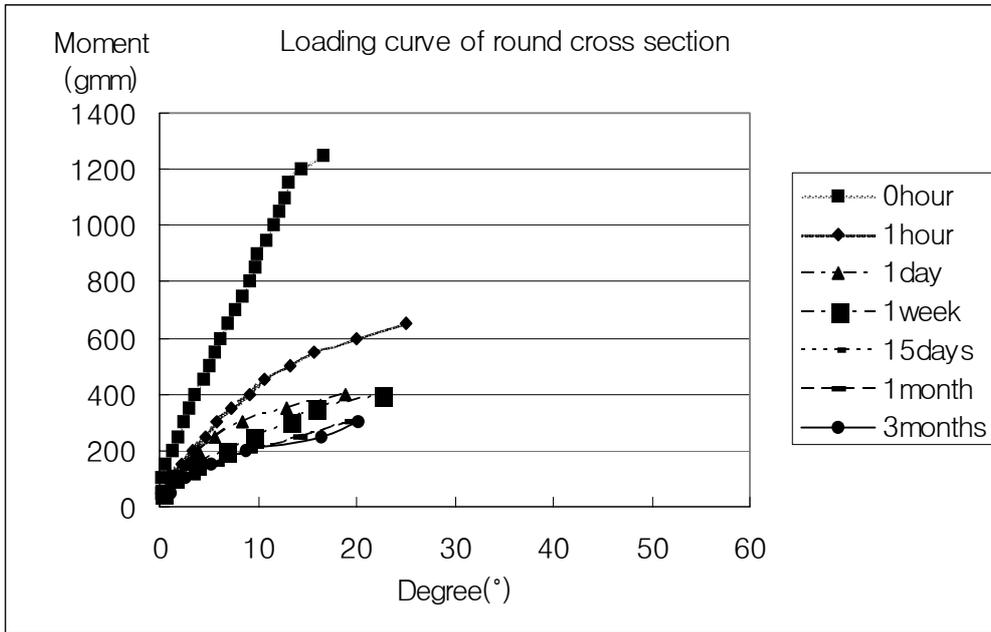


Fig. 2. Flexural moment–Degree graph of round cross section

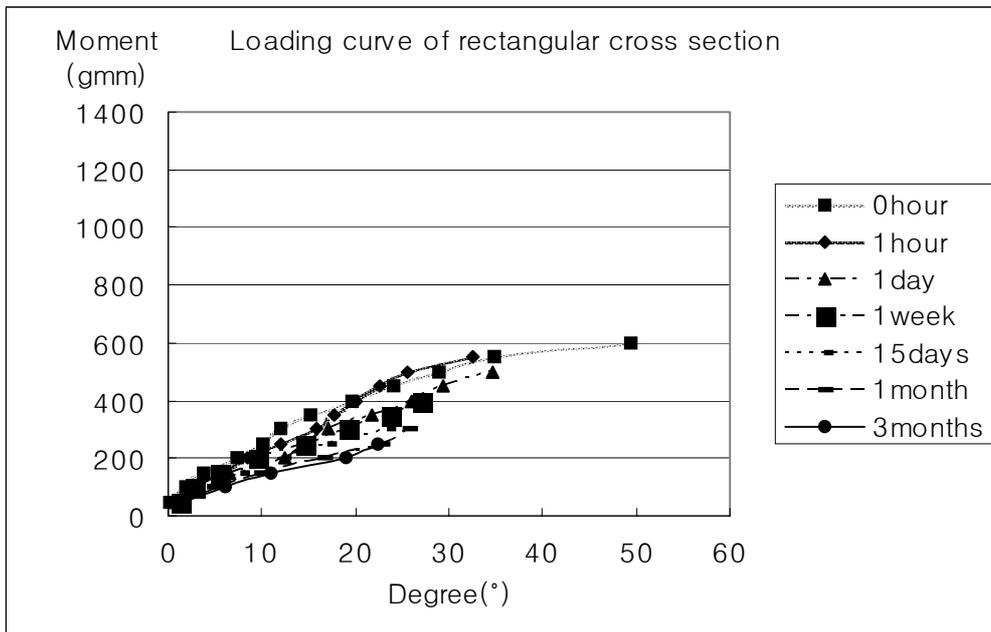


Fig. 3. Flexural moment–Degree graph of rectangular cross section

## 2) 탈부하 곡선(Unloading curve)

Unloading시의 시편들의 영구변형 3° 이하의 기울기들의 평균값과 표준편차를 직사각형, 원형별로 기간에 따라 구하였다.

굽힘 강성(Flexural stiffness)은 물에 보관한 기간에 따라 감소하는 양상을 보였다. 원형 0시간 때의 강성을 1로 한 상대적인 강성을 살펴보면 원형의 경우 3개월 때 29%정도의 강성을 보였으며 직사각형의 경우는 3개월 때 19%에 해당하는 강성을 유지하였다(Table 1, Fig. 4-a,b).

Table 1. Mean, relative value of stiffness

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

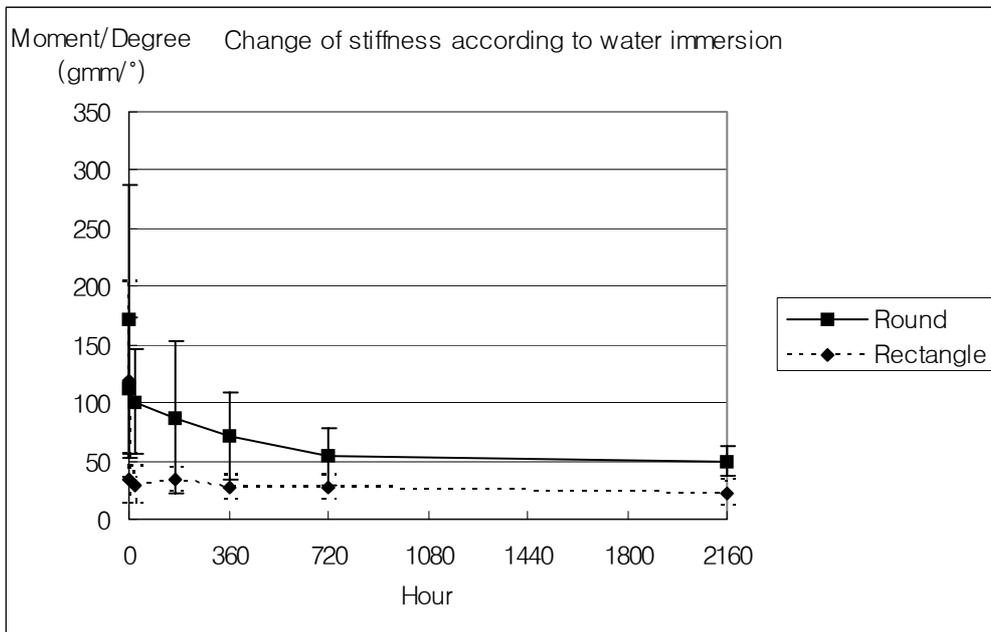


Fig. 4-a. Change of stiffness in round and rectangular cross section

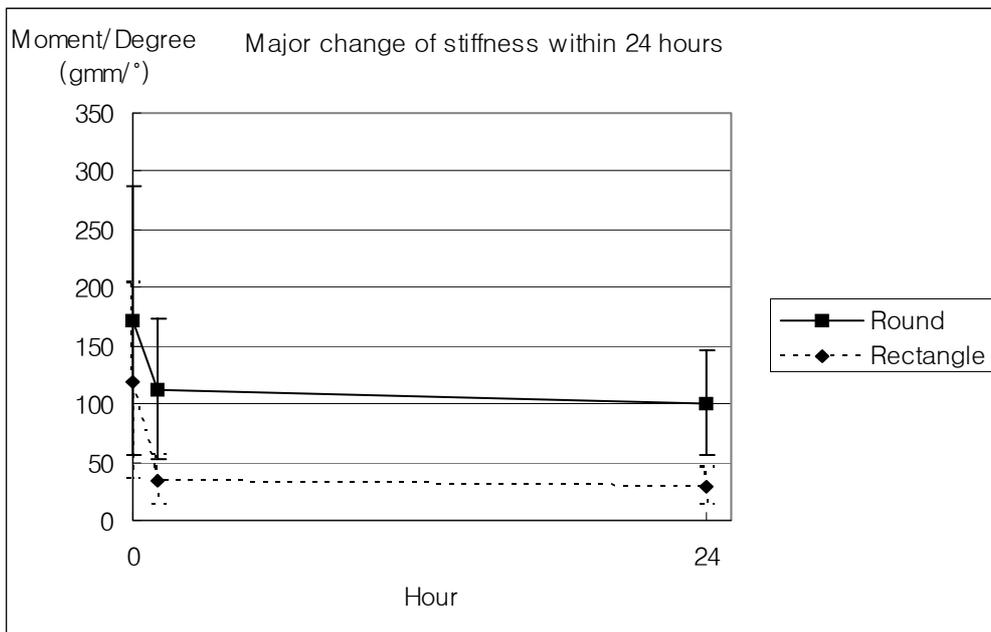


Fig. 4-b. Major change of stiffness in round and rectangular cross section within 24 hours

## 2. 항복 굽힘 모멘트(Yield flexural moment, gmm)

### 가. 원형 FRC

물에 보관한 기간이 길어짐에 따라 yield flexural moment가 감소하는 양상을 보였다. 다만 3개월이 1개월 때의 moment보다 값이 조금 크게 나왔지만 유의성 있는 증가는 아니었다. 상대적인 yield moment의 비교에서는 원형 시편을 1시간 물에 보관한 후 dry 상태의 약 절반에 해당하는 55%정도로 그 강도가 크게 감소하는 것을 알 수 있었고 1일에서 45%정도, 1주 때 37%, 15일에는 33%, 1개월이후로는 28%정도의 moment의 감소를 보였다(Table 2, Fig. 5-a,b).

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

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

### 나. 직사각형 FRC

대체적으로 물에 보관한 기간이 길어짐에 따라 yield flexural moment가 감소하는 양상을 보였다. 다만 1주 때의 yield moment가 1일 때의 moment보다 값이 조금 컸으며 3개월과 1개월의 yield moment가 거의 유사하게 측정되었다. 상대적

인 yield moment의 비교에서는 직사각형, 원형 모두 물에 보관한 기간이 증가함에 따라 조금씩 그 값이 감소함을 알 수 있었다(Table 3, Fig. 5-a,b).

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

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

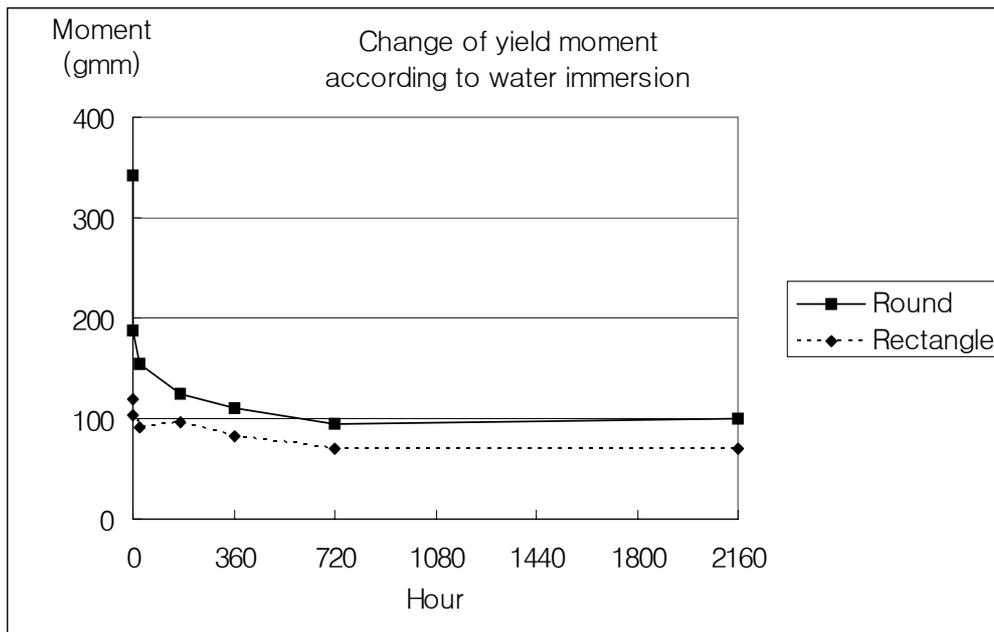


Fig. 5-a. Change of yield moment in round and rectangular cross section

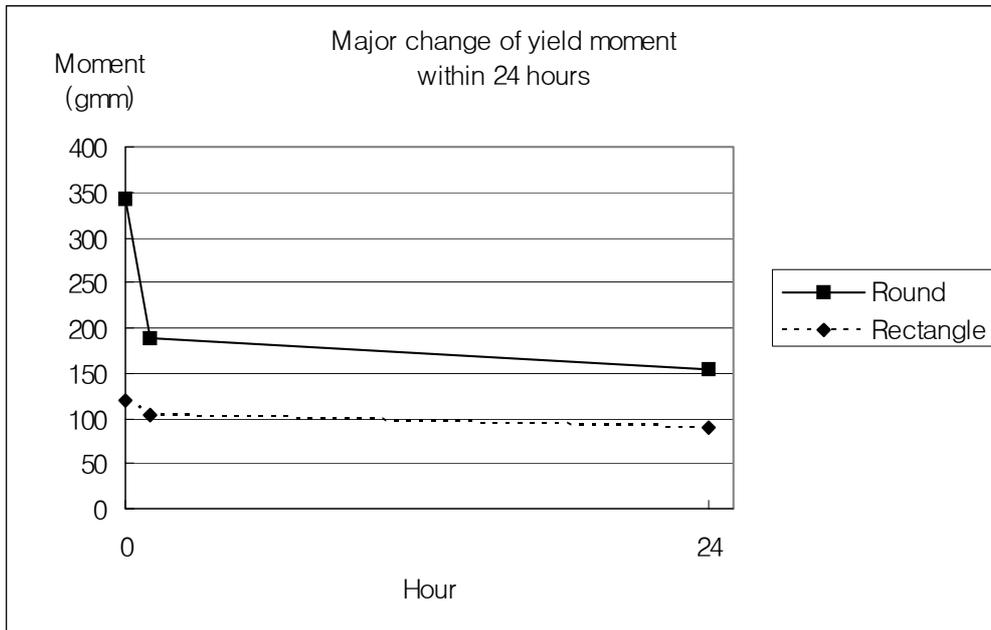


Fig. 5-b. Major change of yield moment in round and rectangular cross section within 24 hours

### 3. 파절 굽힘 모멘트(Ultimate flexural moment)

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

Table 4. Mean, relative value of ultimate flexural moment

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

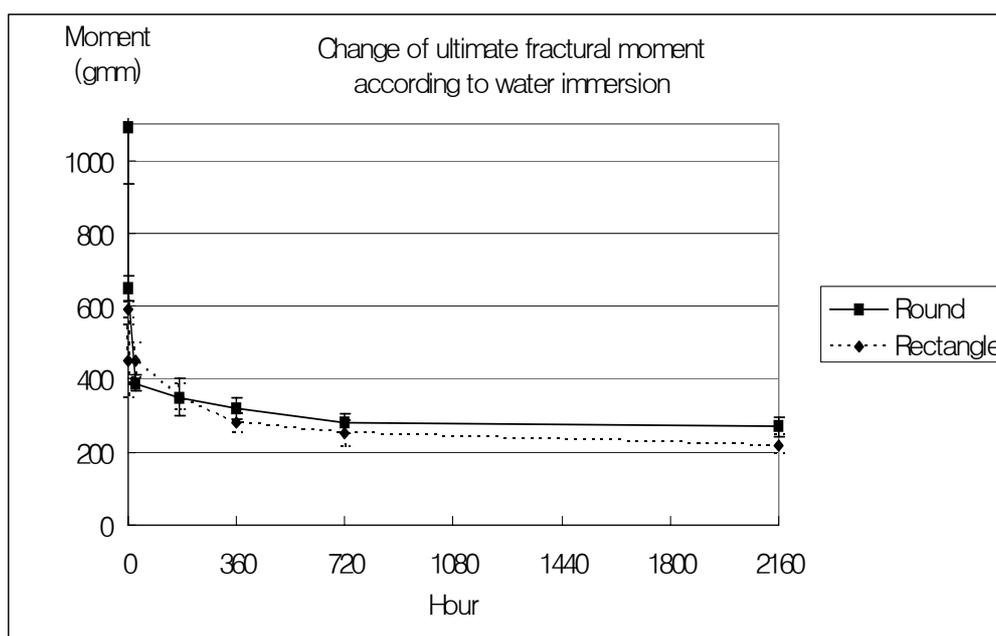


Fig. 6-a. Change of ultimate fractural moment in round and rectangular cross section

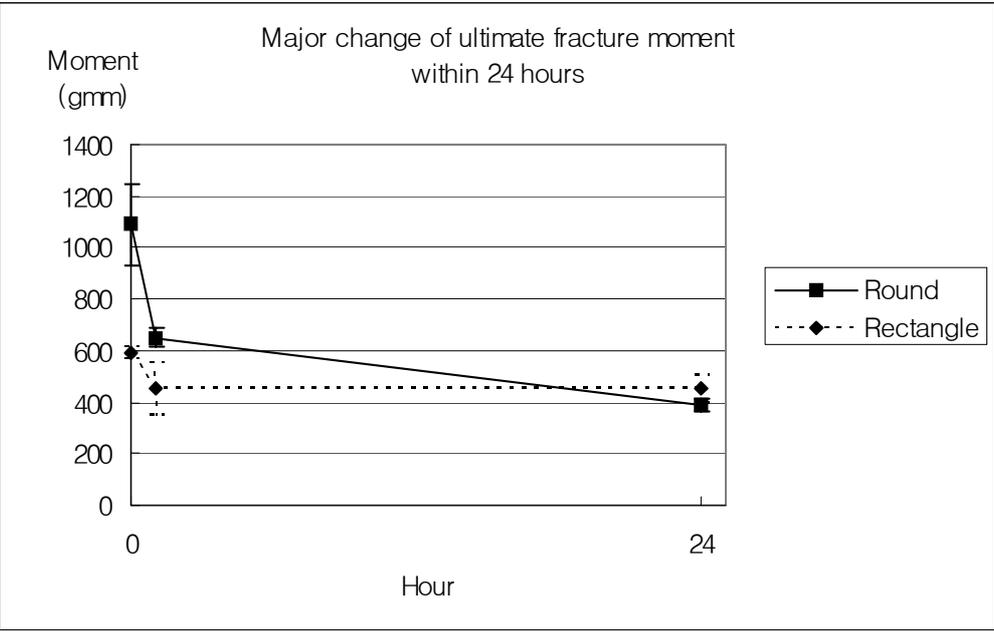


Fig. 6-b. Major change of ultimate fractural moment in round and rectangular cross section within 24 hours

## IV. 총괄 및 고찰

교정영역으로의 FRC의 도입은 심미성, 작업 용이성, 치아 표면의 우수한 접착성 등 여러 측면에서 만족스러운 것으로 평가할 수 있다. 하지만 구강 내라는 특수한 환경에서 파절이나 탈락 없이 장기간의 치료과정동안 안정적으로 유지되기 위해서는 적절한 강도와 치아 표면의 우수한 접착력이 요구된다. 따라서 lingual fixed retainer나 구치부의 anchorage preparation, 그 외에 trans-palatal arch나 lingual arch 등과 같이 임상에서 적용 가능한 방법으로 원형과 직사각형의 형태로 시편을 제작하였다. 시편의 중합도 최근 많이 사용하고 증가하고 있는 plasma light curing을 이용하여 구강 내에서 FRC를 치아에 접착시키고 형태를 형성한 후 부위별로 옮겨가며 중합하듯이 시편의 중합을 1cm 이내의 거리에서 15초씩 시편을 3부분으로 나누어 중합하였다. 이렇게 중합한 시편을 물에 보관했을 때 나타나는 기간에 따른 강도의 변화를 알아보기 위해 bending test를 시행하였다.

FRC의 굽힘 시험결과 모멘트가 ultimate moment에 근접할수록 굽힘 각도의 증가가 크게 나타났다. 그 결과 처음에는 어느 정도 직선적으로 증가하다 완만해지는 포물선 모양의 곡선으로 나타났다. 원형 0시간이나 직사각형 시편들은 모멘트와 직선의 관계가 주로 직선형태로 나타났지만 이는 실험 시 50gmm씩 모멘트를 증가시켰기 때문에 나타난 결과라 생각된다. 파절 모멘트에 접근할수록 조금 더 세밀한 단위로 moment를 증가시켰더라면 포물선의 부분이 나타났을 것이다. 50gmm단위의 moment를 증가할 때 나타나는 시편 개체내의 변화를 살펴보면 직선적으로 각도가 증가하지 않고 어느 단계에서는 굽힘 각도가 작게 증가하다 다음 50gmm의 모멘트를 더 증가시키는 단계에서는 크게 증가하는 계단모양의 증가양상을 나타냈다. 이는 선학들이 연구한 stainless steel이나 TMA, 또는 NiTi의 bending test시 나타나는 형태와는 다른 양상을 보이는데(Yoshikawa 등, 1981; Goldberg 등, 1983; Burstone 등, 1985) 그 이유는 FRC의 제작방법이 향상되어 fiber의 양과 조성이 어느 정도 균일하게 제작되었다 하더라도 stainless steel이나

다른 금속보다는 분자 단위의 균일한 조성을 보일 수 없기 때문이다. 실제로 실험 시 내부 fiber의 미세파절이 일어날 때마다 바늘이 증가하는 현상을 관찰할 수 있었다.

FRC의 loading시 회귀식을 모형별, 기간별로 추정하였다. 이 연구에서  $3^\circ$ 의 변형일 때의 모멘트를 yield moment로 정한 이유는  $3^\circ$  이하에서는 각도의 변화에 따른 모멘트의 변화가 비교적 직선형태로 나타났기 때문에 이 부위를 elastic range로 생각했기 때문이다.

항복 굽힘 모멘트와 파절 모멘트의 실험 결과를 보면 유사한 점들이 관찰되었다. 직사각형의 시편의 moment가 원형에 비해 처음에는 훨씬 작은 값을 나타내나 물속에 보관된 시간이 증가함에 따라 거의 비슷한 값을 가지는 것으로 나타났다 즉 원형은 초기 물의 흡수에 따른 영향이 매우 커서 1일내에 초기 moment의 65%이상을 소실하며 직사각형은 물의 흡수에 따른 영향이 초기에 크지 않고 시간이 지남에 따라 서서히 감소하는 경향을 보였다.

Load-deflection rate는 재료의 stiffness 또는 rigidity로 이 실험에서는 moment-degree curve의 기울기에 해당하며 굽힘 실험 시 load-deflection rate는 적당한 bending test시 그 예측성이 높은 것으로 알려져 있다(Burstone 등, 1983). 원형, 직사각형의 시간에 따른 stiffness의 변화를 살펴보면 원형의 경우 물에 보관한 기간에 따라 점차 감소하는 양상을 보이다가 1개월 이후에는 큰 변화는 없었다. 직사각형의 경우 물에 보관한 1시간 때 stiffness가 많이 감소했으며 그 이후로는 거의 일정하게 유지되는 결론을 얻었다.

FRC의 stiffness에 영향을 주는 요소로는 fiber나 matrix같은 재료자체의 강도, toughness, fiber 제조 과정에서의 quality나 수분, 중합상태, 물리적 또는 열에 의한 stress 등을 고려할 수 있다. Matrix에 fiber를 접착시키는데 사용되는 silanization 역시 composite의 수화 안정성에 영향을 끼친다. Silica fiber 표면의 산도 때문에 silica 표면과 n-propylamine사이에서 산 염기 반응이 나타나고 이로 인해 adhesion이 감소된다(Vallittu 등, 1998). 따라서 실험 시 이러한 여러 요인들이 오차로 작용할 수 있다.

Flexural property를 감소시키는 원인으로 Ekstrand 등 (1987)은 물 흡수를 주된 요인으로 보았고 flexural property의 감소는 fiber와 matrix의 poor adhesion때문으로 생각하였다. SEM상에서 fiber-matrix adhesion의 효과를 관찰한 결과 건조한 상태에서도 fiber와 matrix사이에 공간이 존재했으며 물에 보관 후 matrix와 fiber의 접촉이 떨어져 있는 부분이 관찰되었다. 그리고 Meyer 등 (1994)은 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 matrix의 계면 간 ultimate bond strength(결합강도)가 유의성 있게 감소함을 관찰하였다. Jancar 등(1993)은 물에 보관된 상태에서 fiber와 matrix사이의 interface에서의 물의 화학적 흡수성질에 의해 trans-esterification과 수화가 transverse strength의 비가역적인 감소를 가져왔다고 하였다. Imai 등 (1999)도 fiber와 matrix사이의 interlaminar shear strength의 감소와 glass fiber의 부분적인 파절을 strength 감소의 원인으로 보았다.

하지만 Vallittu (2000)는 28.0-33.2 vol%의 woven cross section의 E-glass fiber로 강화한 의치상 polymer를 180주간 물에 담근 후 ultimate transverse strength를 측정된 결과 27%의 감소를 보였으며 이 원인으로 polymer matrix와 E-glass fiber계면에서 일어나는 비가역적인 변화보다는 polymer matrix의 연화과정에 의한 것으로 보았다. 그리고 이 감소의 대부분은 4주 이내에 일어나는 것으로 관찰하였다. 하지만 이 실험에 사용된 시편을 살펴보면 fiber는 silane처리는 되었으나 monomer 또는 polymer로 pre-impregnated되지 않은 상태였다. 따라서 이 연구에서는 이런 제조과정의 문제점으로 인해 물 흡수가 증가되었을 것이며 이는 FRC의 기계적인 성질의 감소에 더 큰 영향을 주었을 것이다.

이번 연구에서는 최근의 발달된 FRC 제조기술로 pre-impregnated된 FRC제품을 사용함으로써 이러한 제조상의 문제점은 상당히 감소될 것이다. 하지만 기존의 연구들과 비교해 볼 때 물에 보관 시 많은 양의 flexural property의 감소가 존재하였다. 결과에 차이가 많은 이유로는 우선 실험방법 자체가 임상에서 사용 가능한 범위 내에서 이루어졌기 때문에 중합의 양도 충분치 못했으며 그 외에 FRC제작에 있어서의 여전히 남아있는 불균일성, 원형 시편 제작시의 불균일한 접촉과

형태, 아날로그식의 측정방법 등 오차의 가능성이 존재했기 때문으로 생각된다.

하지만 이 연구를 통해 흔히 임상에서 적용 시 문제가 될 수 있는 요소를 알 수 있었다. 우선 원형의 경우 물에 의한 강도의 감소가 지속적으로 생겼다는 점을 들 수 있다. 따라서 원형의 경우 중합시간을 좀 더 길게 하여 완전한 중합을 해야 한다. 둘째로는 시편을 3개월 동안 물에 보관한 결과 원형은 초기 강도의 29%, 직사각형은 19%의 강도만을 유지한 결과가 나왔다. 이러한 현상의 원인으로서는 직사각형의 경우 중합 시 시편의 두께가 0.08mm로 얇기 때문에 15초의 중합으로도 충분한 중합이 이루어졌으나 원형의 경우 시편의 두께가 0.45mm로 두꺼웠기 때문에 중합이 불완전했던 것으로 생각된다. 위의 결과를 보면 불충분한 중합으로 인해 형태에 따라 물의 흡수가 차이가 있는 것으로 보이는데 Çal 등 (2000)은 continuous unidirectional, woven 형태의 glass fiber로 강화한 의치상용 레진의 물의 흡수에 따른 체적의 변화를 관찰한 결과 물의 흡수는 주로 첫 14일내 주로 일어났으며 형태에 따른 차이는 없다고 보고한 바 있다.

따라서 이러한 강도를 보강하기 위한 방법으로 FRC의 표면에 강도를 강화시킬 수 있는 coating이 필요하다. 실제 FRC를 임상에 적용 시 칫솔질의 반복으로 인해 FRC표면의 abrasion으로 fiber가 노출되는 경우가 있는데 이를 방지하기 위해 flowable resin으로 FRC 표면을 덮고 있다. 이런 coating 재료가 물에 대한 FRC의 굽힘 강도 증가에 도움이 되는지 좀 더 연구가 필요할 것이다.

## V. 결 론

Fiber Reinforced Composite(FibreKor<sup>®</sup>, Jeneric/Pentron Inc., Wallingford, USA)를 이용하여 임상에서 적용하는 직사각형, 원형 두 가지 형태를 기준으로 plasma arc light를 이용하여 광중합한 후 물에 저장되었을 때 물 흡수가 FRC의 굽힘 성질에 미치는 영향을 알아보았다. 직사각형 5개, 원형 5개의 시편들을 실온(평균 23℃)의 증류수 안에 0시간, 1시간, 1일, 1주, 15일, 1개월, 3개월의 기간동안 보관 한 후 굽힘 시험을 시행하였다.

1. 굽힘 강성(Flexural stiffness)은 24시간 후 원형의 경우 59%, 직사각형의 경우 25%로 감소했으며 3개월 후에는 각각 29%, 19%의 실험 전 상태의 강성을 나타냈다.
2. 항복 굽힘 모멘트(Yield flexural moment, 3° offset)는 24시간 후 원형의 경우 45%, 직사각형의 경우 76%로 감소했으며 3개월 후에는 각각 29%, 60%의 실험 전 상태의 모멘트를 나타냈다.
3. 파절 굽힘 모멘트(Ultimate flexural moment)는 24시간 후 원형의 경우 36%, 직사각형의 경우 76%로 감소했으며 3개월 후에는 각각 25%, 37%의 실험 전 상태의 모멘트를 나타냈다.

이상의 실험을 통하여 FibreKor<sup>®</sup>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

최광철, 김경호, 박영철, 강창수: 교정용 와이어의 비틀림 모멘트. 대치교정지 30: 467-473, 2000

Burstone CJ, Goldberg AJ: Maximum forces and deflections from orthodontic appliances. Am J Orthod Dentofacial Orthop 84: 95-103, 1983.

Burstone CJ, Qin B, Morton JY: Chinese NiTi wire-A new orthodontic alloy. Am J Orthod Dentofacial Orthop 87: 445-452 1985.

Burstone CJ, Kuhlberg AJ: Fiber-Reinforced Composites in Orthodontics. JCO 34: 271-279, 2000.

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 13: 487-493, 2000.

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.

Freilich MA, Karmaker AC, Burstone CJ, Goldberg AJ: Development and clinical applications of a light-polymerized fiber-reinforced composite. J Prosthet Dent 80:311-8, 1998.

Goldberg AJ, Burstone CJ, HA Koenig: Plastic Deformation of Orthodontic Wires. J Dent Res 62: 1016-1020, 1983

Goldberg AJ, Burstone CJ: The use of continuous fiber reinforcement in dentistry. Dent Mater 8:197-202, 1992.

Goldberg AJ, Burstone CJ, Hadjinikolaou I, Jancar J: Screening of matrices and fibers for reinforced thermoplastics intended for dental applications. J Biomed Mater Res 28: 167-173, 1994.

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 4:562-8, 1993.

Karaman AI, Kir N, Belli S: Four applications of reinforced polyethylene fiber material in orthodontic practice. Am J Orthod Dentofacial Orthop 121: 650-4, 2002.

Karmaker A, Prasad A: Effect of design parameters on the flexural properties of fiber-reinforced composites. J Mater Sci letter 19: 663-665, 2000.

Meyer MR, Friedman RJ, Schutte HD, Latour RA: Long-term durability of the interface in FRP composites after exposure to simulated physiologic saline environments. J Biomed Mater Res 28: 1221-1231, 1994.

Miettinen VM, Vallittu PK: Water sorption and solubility of glass fiber-reinforced denture polymethyl methacrylate resin. J Prosthet Dent 76: 531-4, 1996

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* 88: 139-44, 2002.

Smith DC: Recent developments and prospects in dental polymer. *J Prosthet Dent* 12:1066, 1962.

Tayton K, Jhonson-Nurse C, McKibbin B, Bradley J, Hastings G: The use of semi-rigid carbon-fibre-reinforced plastic plates for fixation of human ulimates. *J Bone Joint Surg* 64: 105-111, 1982.

Tohru Imai, Fumio Watari, Shuichi Yamagata, Masahiro Kobayashi, Kazunori Nagayama, Shinji Nakamura: Effects of water immersion on mechanical properties of new esthetic orthodontic wire. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 116: 533-8, 1999.

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* 11:340-350, 1998.

Vallittu PK: Effect of 180-Week Water Storage on the Flexural Properties of E-Glass and Silica Fiber Acrylic Resin Composite. *Int J Prosthodont* 13: 334-339, 2000.

Yoshikawa DK, Burstone CJ, Goldberg AJ, Morton J : Flexural modulus of orthodontic stainless steel wires. *J Dent Res* 60(2):139-145, 1981.

## 영문 요약

### Abstract

#### The change of flexural characteristics of Fiber Reinforced Composite(FibreKor<sup>®</sup>) according to water absorption

Sueck Bum Kim

Department of Dentistry

The Graduate School, Yonsei University

(Directed by Associate Professor Kwangchul Choy)

Using fiber reinforced composite(FibreKor<sup>®</sup>, Jeneric/Pentron Inc., Wallingford, USA), the change of flexural properties of FRC(Fiber Reinforced Composite) according to water absorption was examined. Specimens were grouped by shape as round and rectangular cross section and were immersed in distilled water at 23°C during 0hour, 1hour, 1week, 15days, 1month, 3months. The number of specimens was 5 at each duration and bending test was done. The conclusions were as follows.

1. The flexural stiffness after 24 hour water immersion was reduced to 59% for round cross section and 25% for rectangular cross section and after 3 month water immersion it was reduced to 29% and 19% stiffness of 0 hour-specimen respectively.
2. Yield flexural moment after 24 hour water immersion was reduced to 45% for round cross section and 76% for rectangular cross section and after 3 month water immersion it was reduced to 29% and 60% stiffness

of 0 hour-specimen respectively.

3. Ultimate flexural moment after 24 hour water immersion was reduced to 36% for round cross section and 76% for rectangular cross section and after 3 month water immersion it was reduced to 25% and 37% stiffness of 0 hour-specimen respectively.

The above results suggest that the flexural stiffness of FibreKor<sup>®</sup> were much decreased under initial water immersion. Consequently the further research for the maintenance of strength against the water will be necessary.

---

Key words : FRC(fiber reinforced composite), Water absorption,  
Flexural stiffness, Flexural moment, Ultimate flexural moment