섬유강화복합재(FibreKor®)의 굽힘특성

연세대학교 대학원

치의학과

박 열

섬유강화복합재(FibreKor®)의 굽힘특성

지도 최 광 철 부교수

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2003년 12월 일

연세대학교 대학원
치의학과
박 열

박 열의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 _____인

심사위원 _____인

심사위원 _____인

연세대학교 대학원

2003년 12월 일

감사의 글

논문을 마무리하면서 지난 시간을 돌이켜 보니 저의 능력보다도 훨씬 많은 분들의 격려와 은혜가 있었기에 오늘의 제가 있지 않았나 하는 생각이 듭니다. 논문이 완성되기까지 아낌없는 지도와 조언을 해주신 최광철 교수님께 깊은 존경과 감사를 드리며, 따뜻한 관심과 따끔한 충고를 해주신 박영철 교수님과 김광만 교수님께 감사를 드립니다. 또한 제가 교정이란 학문을 할 수 있도록 기회를 주시고, 매진할 수 있도록 도와주시며 늘 관심어린 눈으로 지켜봐주신 유영규 교수님, 손병화 교수님, 백형선 교수님, 황충주 교수님, 유형석 교수님에게도 깊은 감사를 드립니다. 그리고 지금까지 깊은 사랑으로 키워주시고 돌봐주신 어머님, 아버님 또 제 아내와 딸들에게 이 논문을 바칩니다.

2003년 12월

박 열

차 례

그림 및 표 차례 ····· ii
국문 요약 ····· iii

I. 서론 ····· 1

II. 실험 재료 및 실험 방법 ····· 4
1. 실험 재료 ····· 4
2. 실험 방법 ····· 4
가. 항복굽힘모멘트(Yield bending moment) ····· 5
나. 굽힘강성(Flexural stiffness) ····· 5
다. 굽힘계수(Flexural modulus) ····· 6

III. 연구 결과 ····· 7
1. 항복굽힘모멘트(Yield bending moment) ····· 7
2. 굽힘강성(Flexural stiffness) ····· 8
3. 굽힘계수(Flexural modulus) ····· 9

IV. 총괄 및 고찰 ····· 10

V. 결론 ····· 12

참고 문헌 ····· 13

영문 요약 ····· 16

그림 차례

Figure 1. Torque gauge ····· 4
Figure 2. Schemetic diagram of the cantilever loading ····· 5
Figure 3. Dimension of the FibreKor® samples ····· 6
Figure 4. Yield bending moment in accordance with crosssection & size of the materials ····· 7
Figure 5. Flexural stiffness in accordance with size & crosssection of the materials ····· 8
Figure 6. Flexural modulus in accordance with size & crosssection of the materials ····· 9

표 차례

Table 1. Yield bending moment in accordance with size & crosssection of the materials ····· 7
Table 2. Flexural stiffness in accordance with size & crosssection of the materials ····· 8
Table 3. Flexural modulus in accordance with size & crosssection of the materials ····· 9

국 문 요 약

섬유강화복합재(FibreKor®)의 굽힘특성

본 연구의 목적은 partially polymerized FRC인 FibreKor®(Jeneric/Pentron, Wallingford, USA)의 굽힘모멘트(bending moment)를 측정하고 굽힘계수(flexural modulus)를 계산하여 단면모양 및 크기에 따라 어떤 차이가 있는지를 알아봄으로써 FRC의 임상적 사용에 도움을 주고자 함이다. 이를 위해 FibreKor® 직사각형단면(폭경:3mm)1, 2, 3겹과 원형단면(지름:0.45mm)1, 2, 3겹 그리고 비교를 위해 임상적으로 많이 사용되는 017×025인치 stainless steel archwire(Ormco, USA)등 총 7실험군에 대해 각 5 sample씩 35 sample을 대상으로 항복굽힘모멘트(Yield bending moment)(3도 offset), 굽힘강성(Flexural stiffness), 굽힘계수(Flexural modulus) 등을 측정 및 계산하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 017×025인치 stainless steel archwire의 항복굽힘모멘트를 1로 했을 때 직사각형단면1, 2, 3겹과 원형단면1, 2, 3겹 FibreKor®는 각각 0.24, 0.37, 0.64, 0.69, 1.11, 1.28이었다.
2. 017×025인치 stainless steel archwire의 굽힘강성을 1로 했을 때 직사각형단면 1, 2, 3겹과 원형단면1, 2, 3겹 FibreKor®는 각각 0.09, 0.20, 0.35, 0.37, 0.76, 0.98이었다.
3. 017×025인치 stainless steel archwire의 굽힘계수를 1로 했을 때 직사각형단면1, 2, 3겹과 원형단면1, 2, 3겹 FibreKor®는 각각 0.16, 0.04, 0.02, 0.06, 0.01, 0.006으로서 일정하지 않았다.

핵심 되는 말 : FibreKor®, 항복굽힘모멘트, 굽힘강성, 굽힘계수

섬유강화복합재(FibreKor®)의 굽힘특성

연세대학교 대학원 치의학과

(지도 **최 광 철** 부교수)

박 열

I. 서 론

FRC(fiber-reinforced composite)는 fiber가 들어있는 resin polymer matrix로 구성되는데 높은 stiffness/weight와 strength/weight로 인해 우주선, 자동차, 레크레이션 공업 등의 영역에서 널리 사용된다. 치과영역에서는 지난 40여년간 prosthodontic framework, orthodontic retainer, splint등으로 사용되어 왔으며 다양한 연구보고도 있었으나(Goldberg등 1992) 아직 교정분야에서는 효과적으로 사용되지 못하고 있다. 과거에는 fiber와 uncured resin을 손으로 섞은 다음 중합하여 사용했기 때문에 fiber와 polymer사이의 coupling이 좋지 않아 효과적인 composite을 만들어낼 수 없었으나(Freudenthaler등 2001) 최근에는 미리 조절된 상태에서 어느정도 중합된 partially polymerized FRC(pre-pregs)가 사용되고 있으며 이는 coupling이 우수하여 최종중합전에 쉽게 모양을 형성해줄 수 있다(Freilich등 1999).

Partially polymerized FRC(pre-pregs)는 pultrusion을 통해서 제작이 가능한데 이 과정에서 resin polymer와 fiber bundle이 압출기로부터 동시에 사출되어 나오게 됨으로써 일정하고도 연속적인 형태를 갖추게 된다(Goldberg등 1992). 그리고 단면모양과 크기가 결정될 뿐 아니라 fiber의 양, distribution, resin-wetting의 정도까지 조절되기 때문에(Chong 2003) partially polymerized FRC(pre-pregs)에 형태를 부여하여 최종중합을 거치면 적절한 기계적 성질과 안정된 형태를 가지게 된다.

FRC의 강도나 stiffness는 주로 fiber의 배열에 좌우되고(Morley등 1987) fiber의 종류에는 carbon-graphite fiber, aramid fiber, fiberglass fiber, silk fiber, Celanese fiber등이 있는데(Galan 1992) 교정용으로 많이 사용되는 것은 glass fiber이다. Glass fiber는 amorphous(noncrystalline), isotropic하고 구조적으로는 silicon, oxygen, 기타 atom들이 random하게 배열되어 있는 3차원적 network이다(Schwartz등 1996). Glass fiber에는 여러가지 type이 있는데 흔히 사용되는 것이 E-glass(electrical glass) fiber와 S-glass(silica glass) fiber이다. S-glass fiber가 E-glass보다 hardness나 flexural modulus가 높고 plastic deformation에도 더 큰 저항성을 가지나 composite에서는 차이가 없다(Vallittu등 1998).

Glass fiber 자체로는 높은 tensile strength를 가지지만 fiber를 함유한 FRC의 강도는 fiber-volume fraction, matrix의 stress-strain behavior, fiber-matrix interface와 같은 인자에 의해 결정되며(Karmaker등 1997) continuous fiber composite은 unidirectional 또는 bidirectional의 서로 다른 fiber 구조를 가진 형태로 제작된다(Chong등 2003). FRC material의 강도는 load의 방향에 대한 fiber의 orientation에 좌우되는데 unidirectional longitudinal fiber의 경우 load가 fiber의 방향으로 가해질 때 FRC material을 최대한 보강하다가 load가 fiber방향과 경사지거나 수직이 되면서 감소되고, bidirectional fiber(wooven fiber)의 경우 fiber의 반만이 load의 방향과 일치하므로 보강효율(reinforcing efficiency)은 unidirectional longitudinal fiber의 1/2이다(Schwartz등 1996).

현대교정학의 특징 중 하나가 유용한 물리적 성질을 가진 재료의 발전이다. 과거에 교정의들은 stainless steel archwire의 단면적을 통해서 stiffness를 조절했으나 β-Ti, Ni-Ti, multi-stranded archwire 등 다양한 물리적 성질을 가진 재료들이 도입됨에 따라, 주어진 상황에 가장 적당한 archwire material과 crosssectional size를 선택해서 사용해야 효과적인 치료를 수행할 수 있게 되었다. 그리고 최신의 호선들은 임상적으로 선택의 폭이 넓을 뿐 아니라 조작도 용이하다. 이러한 재료의 발달은 학문의 발전에 기여하는 바가 큰데 최근들어 그 물리적 성질이 크게 개선되고 있는 FRC(fiber-reinforced composite)도 향후 치과교정학의 발전에 많은 영향을 주리라 기대된다. 임상교정영역에서의 FRC의 사용이 지금은 bonded retainer정도에 제한되

고 있으나(Burstone등 2000) 향후 물리적 성질이나 조직친화성, 심미성, 임상이나 기공과정에서의 조작성이 개선되면 교정용호선으로도 사용이 기대될 뿐 아니라 (Goldberg등 1992) partially polymerized FRC의 향후 사용빈도가 증가할 것으로 예상되기 때문에 이의 flexural modulus를 계산하여 임상에서의 사용시에 도움을 주고자 하였다.

Ⅱ. 실험 재료 및 방법

1. 실험 재료(시편 제작)

FibreKor®(Jeneric/Pentron, Wallingford, USA)를 폭, 두께는 제작되어 나온 대로 유지하고 길이는 15mm로 잘라서 직사각형단면1겹시편을 제작하였고(폭:3mm, 두께:0.08mm) 원형단면1겹시편은 직사각형단면1겹시편을 손으로 둥글게 말아 제작하였다.(폭:3mm, 두께:0.08mm)(Fig. 3) 그리고 비교를 위해서 임상적으로 많이 사용되는 017×025인치 stainless steel archwire(Ormco, USA)를 같은 길이로 잘라서 시편을 제작하였다. 시편의 중합은 임상에서 많이 사용하는 plasma arc light인 Flipo(Lobel, France)를 이용하여 실제로 구강내에서 부분별로 중합하듯 시편의 한쪽끝에서부터 15초씩 5mm단위로 3번, 총 45초간 이루어졌다. 시편크기는 Absolute digimatic (Mitutoyo, Japan)을 이용하여 측정하였다.

2. 실험 방법

시편은 상부chuck에 5mm 길이로 고정시키고 50gmm씩 모멘트를 증가시킨후 굽힘각도를 측정하고 다시 모멘트를 0 gmm로 내려 하중제거시의 영구변형 각도를 측정하였다. 이와 같은 측정을 시편이 파절될 때까지 반복하여서 moment-degree graph로 나타내었다. (Fig.1,2)

Fig 1. Torque gauge

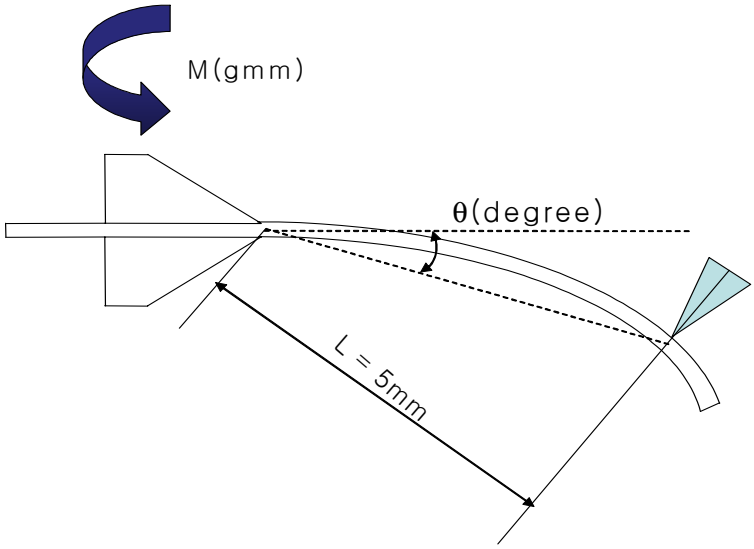

Fig 2. Schemetic diagram of the cantilever loading

가. 항복굽힘모멘트(Yield bending moment)

시편에 하중을 가하면 탄성범위와 소성범위사이에서 무시할만한 정도의 영구변형을 일으키는 모멘트를 항복굽힘모멘트라 하고 미리 정한 영구변형량을 그 항복굽힘모멘트의 offset이라 한다. 진성탄성한계(true elastic limit)는 이론적인 값이며 실측이 불가능하기 때문에 주어진 offset에서의 항복굽힘모멘트가 실용적이다.

Moment-degree graph에서 하중제거시 3도이하의 영구변형을 보인 자료값을 바탕으로 단면모양(직사각형, 원형)에 따른 선형회귀를 실시했다. 3도의 영구변형을 보일 때의 모멘트를 항복굽힘모멘트로 정하고 실험군별 항복굽힘모멘트값을 예측하였다.

나. 굽힘강성(Flexural stiffness, moment/degree)

강성이란 변형에 대하여 와이어가 저항하는 능력, 즉 일정한 거리만큼 변형 또는 구부릴 때 필요한 힘의 양을 말하며 하중/변위 곡선의 기울기에 해당한다. 본 실험에서는 moment-degree graph에서 영구변형 3도이하의 하중제거시 기울기자료를 이용하여 실험군별 강성의 평균값을 계산하였다.

다. 굽힘계수(Flexural modulus)

물질이 proportional limit내에서 변형되는 경우 응력과 변형(률)간의 비율이다. 일반적으로 물질고유의 값이고 물리적으로 변화시킬수 없는 특성이므로 열처리를 하여도 일정하나 측정방법에 따라서 약간의 변화는 있을 수 있다. 재질에 따라 다르므로 재료의 강도를 나타내는 척도가 되고 동일한 모양의 단면과 크기를 가진 beam의 경우 강도는 굽힘계수에 비례한다. 본 실험에서는 다음의 공식에 의해서 실험군별로 굽힘계수를 구하였다.

$E=LM/3I\theta$

E=flexure modulus(굽힘계수)
L=sample length
M=applied moment
θ=bended angle
I=moment of inertia

rectangular crosssection: $I=bh^3/12$(b:sample width, h:sample thickness)
circular crosssection: $I=\pi Ø^4/64$(Ø:sample diameter)

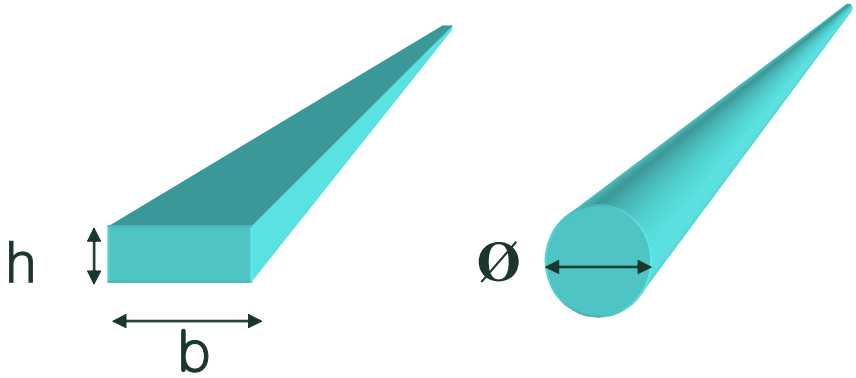

Fig 3. Dimension of the FibreKor® samples

Ⅲ. 연구 결과

1. 항복굽힘모멘트(Yield bending moment)

단면의 모양과 크기에 따른 결과를 Table 1에 요약하였으며 비교를 쉽게 하기 위해서 상대적모멘트(relative moment)로 표시하였다. 원형단면이 직사각형단면보다 큰 값을 보였고 단면모양에 상관없이 크기가 증가할수록 모멘트가 증가하였다. 그리고 017×025인치 stainless steel archwire를 1로 하였을 때 원형단면 2겹과 3겹이 각각 1.1, 1.3정도의 비율을 나타냈다.(Table 1, Fig. 4)

Table 1. Yield bending moment in accordance with crosssection & size of the materals

Group	Linear regression	Yield moment (unit:gmm)	Relative yield moment
rectangle 1-layer	y=19x+59	116	0.24
rectangle 2-layers	y=43x+55	184	0.37
rectangle 3-layers	y=75x+91	316	0.64
circle 1-layer	y=77x+109	340	0.69
circle 2-layers	y=159x+69	546	1.11
circle 3-layers	y=207x+5.8	627	1.28
0170×25ss(2nd order)	y=229x-196	491	1

(x: degree, y: moment)

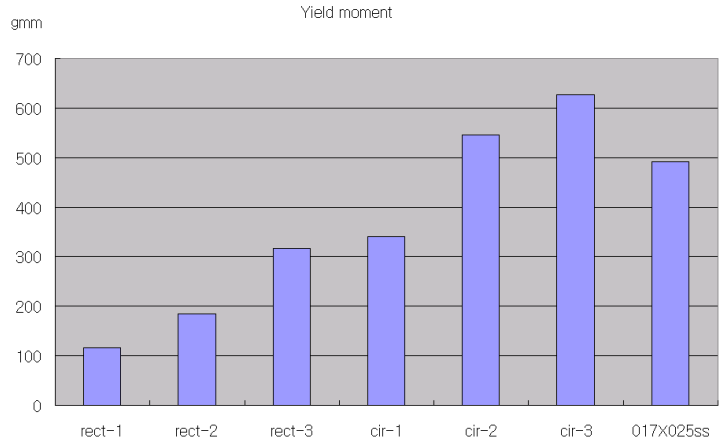

Fig 4. Yield bending moment in accordance with crosssection & size of the materials (rect-1, 2, 3: 직사각형단면1, 2, 3겹, cir-1, 2, 3:원형단면1, 2, 3겹)

2. 굽힘강성(Flexural stiffness, moment/degree)

단면의 모양과 크기에 따른 결과를 Table 2에 요약하였으며 비교를 쉽게 하기 위해서 상대적강성(relative stiffness)으로 표시하였다. 전반적으로 원형단면이 직사각형단면보다 큰 값을 보였고 단면모양에 상관없이 크기가 증가할수록 강성이 증가하였으며 직사각형단면3겹이 원형단면1겹과, 원형단면3겹이 017×025ss과 유사한 값을 나타내었다.(Table 2, Fig. 5)

Table 2. Flexural stiffness in accordance with crosssection & size of the materials

Group	Mean(unit:gmm/degree)	Relative stiffness
rectangle 1-layer	19.82	0.09
rectangle 2-layers	43.01	0.21
rectangle 3-layers	75.04	0.36
circle 1-layer	77.56	0.37
circle 2-layers	159.71	0.76
circle 3-layers	206.95	0.99
017×025ss(2nd order)	209.45	1

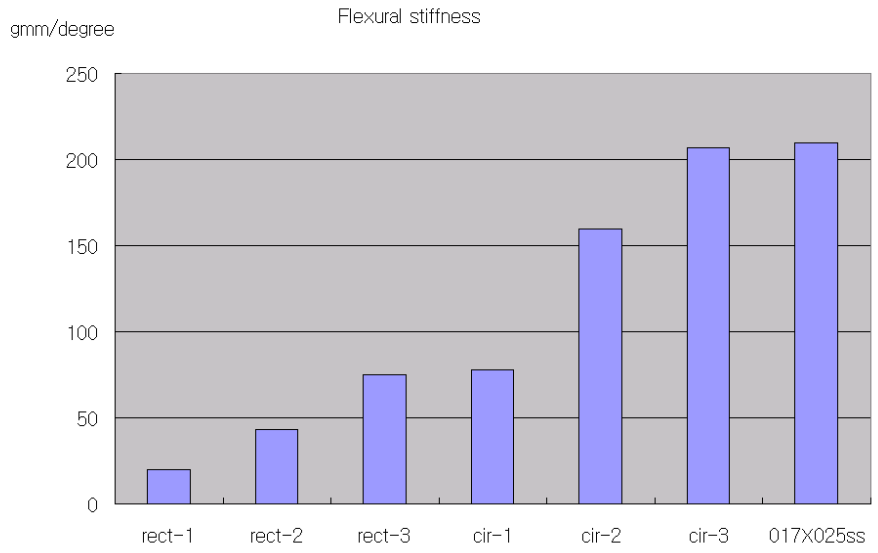

Fig 5. Flexural stiffness in accordance with crosssection & size of the materials (rect-1, 2, 3: 직사각형단면1, 2, 3겹, cir-1, 2, 3:원형단면1, 2, 3겹)

3. 굽힘계수(Flexural modulus)

단면의 모양과 크기에 따른 결과를 Table 3에 요약하였으며 비교를 쉽게 하기 위해서 상대적계수(relative modulus)로 표시하였다. 단면의 모양과 크기에 따라 일정한 값을 보이지는 않았으며 017×025ss와 비교해서는 1/150～1/6정도의 작은 값을 나타내었다.(Table 3, Fig. 6)

Table 3. Flexural modulus in accordance with crosssection & size of the materials

Group	Mean(unit:MPa)	Relative modulus
rectangle 1-layer	$2.70\times10^{4}\pm3235.5$	0.165
rectangle 2-layers	$7.15\times10^{3}\pm2860.1$	0.044
rectangle 3-layers	$4.47\times10^{3}\pm3884.6$	0.027
circle 1-layer	$1.00\times10^{4}\pm1414$	0.061
circle 2-layers	$1.65\times10^{3}\pm295.8$	0.010
circle 3-layers	$9.83\times10^{2}\pm97.5$	0.006
017×025ss(2nd order)	$1.63\times10^{5}\pm5361.4$	1

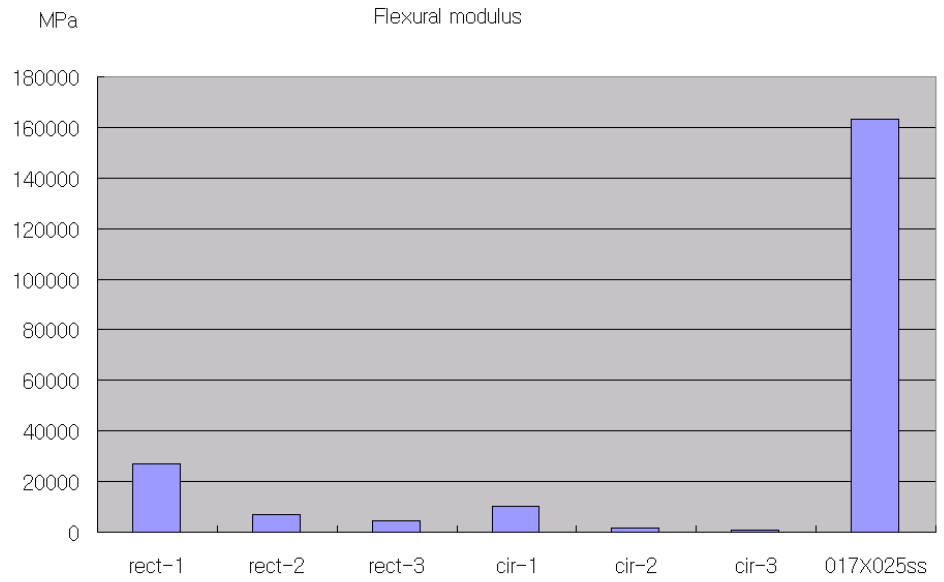

Fig 6. Flexural modulus in accordance with crosssection & size of the materials (rect-1, 2, 3: 직사각형단면1, 2, 3겹, cir-1, 2, 3:원형단면1, 2, 3겹)

Ⅳ. 총괄 및 고찰

재료의 발달과 더불어 그 재료의 물리적 성질에 대한 정확한 측정과 이해가 교정의들에게 요구되는데 굽힘계수는 그 기본적인 성질중의 하나이다. 과거에는 tensile test에 의해 elastic modulus를 얻은 다음 classical mechanic theory에 의해 정해진 (tensile, bending, torsional behavior사이의) 관계에 따라서 굽힘계수가 계산되었으며 (Crandall등 1959) 이 값은 교정용 합금이나 와이어의 크기를 비교하는데 사용되었다 (Kusy등 1981). 그리고 Brantly등은(1978) 016인치 stainless steel wire의 굽힘계수가 검체의 길이에 따라서 28~36×10^6psi까지 다양하게 나타난다고 하였다. 그러나 tensile data로부터 계산된 굽힘계수는 실제의 교정치료상황에는 맞지 않을 수 있고 검체길이에 따른 굽힘계수의 차이도 너무 컸기 때문에 Yoshikawa등은(1981) 상대적으로 큰 deflection에 대해 작은 직경을 가진 와이어의 굽힘계수 측정을 위한 방법을 제시한 바 있다. 실제 이 방법으로 stainless steel, Cr-Co-Ni, Ni-Ti, β-Ti를 대상으로 한 연구에서 β-Ti를 제외한 나머지의 굽힘계수가 tensile modulus와 다르게 나타났으며 특히 multi-stranded archwire에서는 마찰력의 차이로 인해 activation방향에 따라서도 다른 값을 보였다(Burstone등 1983).

임상에서 archwire를 사용할 때 항상 탄성한계내에서 작용하지는 않으며 많은 경우에서 그 한계인 진성탄성한계를 넘어가게 된다. 따라서 실제로는 허용가능한 최소한의 변형량(offset)에서의 모멘트인 항복모멘트를 사용하게 되며 이때 사용된 offset에 따라서 실질적인 탄성한계의 추정치가 될 수도 그렇지 않을수도 있다. 본 연구에서는 3도 offset에서의 항복모멘트를 구하였는데 그 이하로 할 경우 데이타의 부족과 측정오차로 인해 결과의 신뢰성이 떨어질 것이 우려되었다.

항복굽힘모멘트는 단면모양에 상관없이 크기가 커질수록 증가했으며, 직사각형단면3겹이 원형단면1겹보다 작은 수치를 보인 것은 힘이 가해지는 방향으로의 실질적인 시편두께는 직사각형단면3겹이(0.24mm) 원형단면1겹에(0.45mm) 미치지 못했기 때문이라고 생각된다.

굽힘강성은 017×025인치 stainless steel archwire를 1로 했을 때 직사각형단면1, 2,

3겹과 원형단면1, 2, 3겹에서 각각 0.09, 0.20, 0.35, 0.37, 0.76, 0.98로서 단면모양에 상관없이 크기가 커질수록 증가했으며 원형단면3겹은 017×025ss과 거의 동일한 값을 나타내었다. 이론적으로 강성은 탄성범위내에서 굽힘계수(E)에 비례하고 와이어재료나 단면의 영향을 받는다(Burstone등 1983). 단면의 크기가 증가했을 때 직사각형단면은 두께(h)의 3승 원형단면은 지름(Ø)의 4승만큼 강성이 증가해야 하는데 이에는 미치지 못했으며 이는 충분치 못한 중합시간, 시편간의 약한 결합이 그 원인이었을 것으로 생각된다.

굽힘계수는 017×025인치 stainless steel archwire를 1로 했을 때 직사각형단면1, 2, 3겹과 원형단면1, 2, 3겹에서 각각 0.16, 0.04, 0.02, 0.06, 0.01, 0.006으로서 일정하지 않았다. 굽힘계수는 단면의 모양이나 크기에 따라 변하지 않는 물질고유의 값임에도 불구하고 이와 같은 차이를 보이는 것에 대해 다음과 같은 원인들을 생각해볼 수 있었다. 첫째 시편간 결합의 약화로서 시편크기가 증가함에 따른 굽힘계수의 감소분이 비교적 일정하다는 사실이 이를 반증하는데 이는 pultrusion에 의해서 미리 원하는 크기의 시편을 제작한다면 해결이 가능하다. 둘째 충분치 못한 중합시간이 시편의 크기가 증가함에 따라 항복굽힘모멘트와 굽힘계수를 감소시킨 원인이라고 생각되며 이는 3분 내지 5분정도의 충분한 중합시간을 가지면 개선이 가능하다고 생각된다. 셋째 기성 FRC의 크기가 일정치 않은 것도 원인이 될 수 있으며 이는 실험군의 sample수를 늘리거나 크기가 맞는 FRC만을 sample로 선택하면 개선이 가능하다.

이상으로부터 FibreKor®(Jeneric/Pentron, USA)의 굽힘계수가 단면의 모양이나 크기에 따라 일정치 않으며, 강성도 단면의 크기에 비례하여 증가하나 이론과는 차이가 있음을 알 수가 있었으며 향후 이상에서 언급한 문제점들을 보완한 방법으로 보다 정밀한 실험이 있어야 알 것으로 생각되며 그 외에도 Halogen, LED, Laser등 중합종류에 따른 굽힘계수의 차이여부, FibreKor®에 resin coating을 한 후에 굽힘계수의 변화에 대한 연구도 필요하리라 사료된다.

V. 결 론

본 연구의 목적은 partially polymerized FRC인 FibreKor®(Jeneric/Pentron, Wallingford, USA)의 굽힘모멘트(bending moment)를 측정하고 굽힘계수(flexural modulus)를 계산하여 단면모양 및 크기에 따라 어떤 차이가 있는지를 알아봄으로써 FRC의 임상적 사용에 도움을 주고자 함이다. 이를 위해 FibreKor® 직사각형단면(폭경:3mm)1, 2, 3겹과 원형단면(지름:0.45mm)1, 2, 3겹 그리고 비교를 위해 임상적으로 많이 사용되는 017×025인치 stainless steel archwire(Ormco, USA)등 총 7실험군에 대해 각 5 sample씩 35 sample을 대상으로 항복굽힘모멘트(Yield bending moment)(3도 offset), 굽힘강성(Flexural stiffness), 굽힘계수(Flexural modulus) 등을 측정 및 계산하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 017×025인치 stainless steel archwire의 항복굽힘모멘트를 1로 했을 때 직사각형단면1, 2, 3겹과 원형단면1, 2, 3겹 FibreKor®는 각각 0.24, 0.37, 0.64, 0.69, 1.11, 1.28이었다.
2. 017×025인치 stainless steel archwire의 굽힘강성을 1로 했을 때 직사각형단면1, 2, 3겹과 원형단면1, 2, 3겹 FibreKor®는 각각 0.09, 0.20, 0.35, 0.37, 0.76, 0.98이었다.
3. 017×025인치 stainless steel archwire의 굽힘계수를 1로 했을 때 직사각형단면1, 2, 3겹과 원형단면1, 2, 3겹 FibreKor®는 각각 0.16, 0.04, 0.02, 0.06, 0.01, 0.006으로서 일정하지 않았다.

참 고 문 헌

최광철, 손병화. Continuous straight archwire에 의하여 발생하는 force system의 분석. 대치교정지 1996:26:181-90

최광철, 김경호, 박영철, 강창수. 교정용 와이어의 비틀림 모멘트. 대치교정지 2000: 30:467-73

Brantley WA, Augat WS, Myers CL, Winders RV. Bending deformation studies of orthodontic wires. J Dent Res 1978:57:609-15.

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

Burstone CJ, Kuhlberg AJ. Fiber-reinforced composites in orthodontics. J Clin Orthod 2000:34:271-9.

Chong KH, Chai. Strength and mode of failure of unidirectional and bidirectional glass fiber-reinforced composite materials. J Int J Prosthodont. 2003:16: 161-6.

Crandall SH, Dahl NC. Introduction to the mechanics of solids, New York: McGraw-Hill, 1959: 189,244,290.

Diamond M. Resin fiberglass bonded retainer. J Clin Orthod 1987:21:182-3.

Freilich MA, Duncan JP, Meisers JC, Goldberg AJ. Clinical evaluation of fiber-reinforced fixed partial dentures: preliminary data [abstract 2218]. J Dent Res 1999:78:383.

Freilich MA, Meiers JC, Duncan JP, Goldberg AJ. Fiber-reinforced composites in clinical dentistry, Chicago: Quintessence: 1999.

Freudenthaler JW, Tischler GK, Burstone CJ. Bond strength of fiber-reinforced composite bars for orthodontic attachment. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2001:120:648-53.

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

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.

Goldberg AJ, Morton J, Burstone CJ. The flexure modulus of elasticity of orthodontic wires. J Dent Res 1983:62(7):856-8.

Hyer MW. Stress analysis of fiber-reinforced composite materials. New York: McGraw-Hill, 1998.

Karmaker AC, Dibenedetto AT, Goldberg AJ. Continuous fiber reinforced composites as alternatives for metal alloys used for dental appliances. J Biomater Appl 1997:11:318-28.

Karmaker AC, Dibenedetto AT, Goldberg AJ. Extent of conversion and its effect on the mechanical performance of BIS-GMA/PEGDMA-based resins and their composites with continuous glass fibers. J Mater Sci Mater Med 1997:8:369-74.

Karmaker AC, Freilich MA, Burstone CJ, Goldberg AJ, Prasad A. Performance of fiber-reinforced composites intended for prosthodontic frameworks [abstract]. Proceedings of the 23rd Annual Meeting of Soc Biomaterials: 1997 Apr 30-May 4; New Orleans. St Paul Minn: Society of Biomaterials. p. 231.

Kusy RP. Comparison of nickel-titanium and beta-titanium wire sizes to conventional orthodontic arch wire materials. Am J Orthod 1981:79:625-9.

McCullough RL. Concepts of fiber-resin composites. New York: Marcel Dekker, 1971:82.

Morley JG. Outline of the general characteristics of structural materials and the fabrication and applications of fiber composites. In: High perfomance fiber composites. London: Academic Press, 1987:1-19.

Patel A, Burstone CJ, Goldberg AJ. Clinical study of fiber-reinforced thermoplastics as orthodontic retainers [abstract 87]. J Dent Res 1992:71:526.

Schwartz MM. Fibers and matrices. in: Composite materials. vol 1: Properties, nondestructive testing, and repair. Princeton, NJ: Prentice Hall, 1996.

Schwartz MM. Processing of composite materials. In: Composite materials. vol 2: Processing, fabrications, and applications. Princeton, NJ: Prentice Hall, 1996:1-276.

Thurow RC. Edgewise orthodontics, 4th ed., St. Louis: C.V. Mosby, 1982: 34-8.

Vallittu PK. Compositional and weave pattern analysis of glass fibers in dental polymer fiber composites. J Prosthodont 1998:7:170-6.

Vallittu PK. Flexural properties of acrylic resin polymers reinforced with unidirectional and woven glass fibers. J Prosthet Dent 1999:81:318-26

Yoshikawa DK, Burstone CJ, Goldberg AJ, Morton J. Flexure modulus of orthodontic wires. J Dent Res 1981:60:139-45.

영 문 요 약

Flexural characteristics of the Fiber Reinforced Composite(FibreKor®)

Yeul Park
Department of Dentistry
The Graduate School, Yonsei University

(Directed by Associated Professor Kwang-Chul Choi)

The purpose of this study was to investigate the flexural stiffness and the flexural modulus of FibreKor®(Jeneric/Pentron Inc., Wallingford, USA), which is one of the partially polymerized FRC, according to its cross-sectional shape and size. Rectangular FibreKor®(width:3mm) 1, 2, 3 layers, circular FibreKor® (diameter:0.45mm) 1, 2, 3 layers and 017×025inch stainless steel archwire(Ormco, USA) were tested to measure and calculate the Yield bending moment(offset: 3degree), Flexural stiffness and Flexural modulus.

The results were as follows.

1. When the yield bending moment of 017×025inch stainless steel archwire was supposed to be 1, those of the rectangular FibreKor® 1, 2, 3 layers, circular FibreKor® 1, 2, 3 layers were 0.24, 0.37, 0.64, 0.69, 1.11 and 1.28 respectively.
2. When the flexural stiffness of 017×025inch stainless steel archwire was supposed to be 1, those of the rectangular FibreKor® 1, 2, 3 layers, circular FibreKor® 1, 2, 3 layers were 0.09, 0.20, 0.35, 0.37, 0.76 and 0.98 respectively.
3. When the flexural modulus of 017×025inch stainless steel archwire was supposed to be 1, those of the rectangular FibreKor® 1, 2, 3 layers, circular FibreKor® 1, 2, 3 layers were 0.16, 0.04, 0.02, 0.06, 0.01 and 0.006 respectively.

Key words : FibreKor®, Yield bending moment, Flexural stiffness, Flexural modulus