

시효처리와 thermal cycling이 치관전장용 복합레진의 2축굽힘강도에 미치는 영향

전북대학교 치과대학 보철학교실, 구강생체과학 연구소

정관호 · 하일수 · 송광엽

I. 서 론

치과보철은 형태적 및 기능적 수복을 목적으로 행하여져 왔지만, 최근 심미적 수복에 대한 욕구가 증가하면서 전치부에서만 아니라 구치부에도 적용이 가능한 치관색 보철재료에 관심이 고조되고 있으며, 많은 유기 및 무기재료가 개발되어 임상에서 사용되고 있다.

세라믹 재료는 심미성은 뛰어나지만 재료의 준비와 수복물의 제작과정이 복잡하고, 대합치가 자연치인 경우 마모가 심하게 일어나는 등의 단점을 보인다^{1,2)}. 전장용 경질레진은 마모에 대한 저항성이 약하고 사용 중에 광택의 소실과 색조의 변화가 일어나는 등의 단점을 보이지만, 세라믹 재료에 비해 가공조작이 간편하고, 구강내에서 수리가 가능하며, 자연치와의 색일치가 용이한 점등의 잇점 때문에 세라믹 재료만큼 흔하게 이용되지는 않았지만 치과임상에서 오랜 기간동안 사용되어 왔으며, 근래 개선된 치관전장용 복합레진에서는 기질레진과 필러의 강화로 종래의 경질레진의 단점으로 지적되어 온 색조의 안정성과 기계적 성질이 크게 개선되었다³⁻⁹⁾. 치관전장용 복합레진은 도재전장구조관의 경우와는 달리 모든 종류의 합금에 적용할 수 있는 잇점이 있으나 하부금속과의 결합력이 낮은 단점을 보였으며, 이같은 단점을 보완하기 위해 금속 대신 섬유강화재인 FRC(fiber-reinforced composites)를 하부구조에 도입하고 있다¹⁰⁾.

수복용 복합레진과는 달리 치관용 복합레진은 구

강내에 노출되는 면적이 크고, 또한 직접 외력을 받는 경우가 많으므로, 세라믹을 대신하는 심미수복재료로 사용하기 위해 내마모성³⁻⁶⁾, 기계적 성질^{7,11-15)}, 심미성^{8,9)}, 그리고 하부금속과의 접착성¹⁶⁻²¹⁾ 등에 관한 많은 연구가 이루어져 왔다. Jones 등¹¹⁾, Matsumura와 Leinfelder⁶⁾는 PMMA계 경질레진보다 광중합형 치관전장용 복합레진의 경도와 내마모성이 더 우수하다고 하였고, Jones 등¹¹⁾, Matsumura와 Leinfelder⁶⁾, Berge¹²⁾는 열중합형보다 광중합형의 기계적 성질이 더 우수하게 나타난다고 하였으며, Yamaga 등¹³⁾,五味와 新谷⁷⁾, Okada 등¹⁵⁾은 필러에 따라서는 microfill 형보다 hybrid 형이, 기질레진에 따라서는 열가소성의 선상고분자 대신 3차원적 망상구조를 이루는 다관능 레진을 이용하는 경우에 강도가 높게 나타난다고 하였다. Cook과 Johansson²²⁾, Ferracane과 Condon²³⁾, Yamaga 등¹³⁾은 색조의 안정성과 기계적 성질을 개선하기 위해서는 광중합 후의 재중합 처리가 요구된다고 하였고,五味와 新谷⁷⁾, 川原과 熱田²⁴⁾는 필러의 함량 증가에 따라 복합레진의 취성이 증가하므로 인장강도나 굽힘강도 등의 기계적 성질이 저하하는 것이 일반적이지만, 최근의 치관전장용 복합레진에서는 기질레진과 중합방법의 개선으로 필러의 함량 증가에도 불구하고 이들 기계적 성질이 높게 나타난다고 하였다.

액상의 환경하에서 일어나는 온도변화가 복합레진의 기계적 성질에 미치는 영향을 평가하기 위해 수중에서의 시효처리나 thermal cycling 시험이 빈번하게 이루어지고 있다. Arikawa 등²⁵⁾, Yamamoto와

Takahashi²⁶⁾는 필러의 함량이 많고 수중에서의 침적 시간이 길수록 굽힘강도의 감소율이 높게 나타난다고 하였고, Indrani 등²⁷⁾은 수분흡수로 인한 기질레진의 가소성 증가로 수중침적 직후에 파괴인성의 증가가 일어난다고 하였으며, Ferracane과 Condon²⁸⁾, Ferracane 등²⁹⁾은 수중에서의 시효처리로 파괴인성의 감소가 일어난다고 하였다. 富崎 등³⁰⁾은 thermal cycling으로 인한 복합레진 표면층의 열화(degradation)로 기계적 성질이 저하한다고 하였으며, 배 등³¹⁾은 thermal cycling으로 인한 복합레진 표면층의 열화와 실란 결합의 가수분해로 인해 강도와 경도 등의 기계적 성질이 저하한다고 하였다.

치관전장용 복합레진의 내마모성, 금속에 대한 접착성, 기계적 성질에 관한 많은 연구가 이루어져 왔으나, 시효처리와 thermal cycling 이 2축굽힘강도에 미치는 영향에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았으며, 이에 본 연구에서는 음식물의 저작과정에서 일어날 수 있는 온도범위에서의 시효처리와 thermal cycling이 2축굽힘강도에 미치는 영향에 관하여 조사하였다.

Table 1. Materials used in this study

Brand	Code	Shade	Manufacturer
Dentacolor	DC	A3	Kulzer, Germany
Artglass	AG	A3	Kulzer, Germany
Esternia	ET	A3	Kuraray Co., Ltd., Japan
Targis	TG	A3	Ivoclar AG., Liechtenstein

Table 2. Composition and curing condition of each veneering resin composite for crown^{10,11)}

Brand	Monomer	Filler content (wt%)	Curing method	Curing source and time
Dentacolor	UDMA	72	Light	Unilux AC, Code 5
Artglass	UDMA	70	Light	UniXS, 270 sec
Estenia	UTMA	92	Light and heat	α -Light II, 360 sec KL100(110℃), 15 min
Targis	Bis-GMA DCDMA	75-85	Light & heat	Targis Power, 25 min

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

본 연구에서는 최근 치과임상에서 고정성 보철물의 제작에 사용하고 있는 shade A3의 4종의 치관전장용 복합레진을 연구재료로 사용하였다(Table 1).

2. 연구방법

1) 시편의 제작 및 처리

치관전장용 복합레진을 사용하여 직경 12mm×두께 1mm의 원판상 시편을 제작하기 위해 테프론 몰드를 이용하였다. 몰드 내에 복합레진 페이스트를 약간 넘치도록 채우고 폴리에스테르 필름을 개재한 상태에서 유리판에 압력을 가하여 여분의 레진을 제거하였으며, 이어서 제조자가 추천한 조건에 따라 중합을 시행하였다(Table 2). 준비한 시편은 양면을 240-2000번의 emery paper로 순차적으로 연마하였고, 인장면 상의 미세결함을 제거하기 위해 1 μ m와 0.3 μ m의 diamond paste(Beuhler Ltd.)로 연마한 다음 0.1 μ m 알루미나 페이스트로 마무리 연마를 행하였다.

구강환경과 유사한 액상의 조건하에서의 시효처리와 thermal cycling이 치관전장용 복합레진의 2축굽힘강도에 미치는 영향을 평가하기 위해 준비한 시편을 4개의 군으로 분류하였다. 제1군은 23℃의 건조기내에서 30일간 건조처리를 행하였고, 제2군과 제3군은 각각 37℃와 65℃의 증류수중에 30일간 침적

을 행하였으며, 제4군은 5℃와 55℃의 온도에서 유지되는 수중에서 10,000회의 thermal cycling을 행하였다. thermal cycling 시험은 5℃에서 유지되는 냉동순환수조(Jeio Tech Co., Ltd., RCB-20)와 55℃에서 유지되는 외부순환수조(Jeio Tech Co., Ltd., WBC-3030)로 구성된 순환장치를 이용하여 수중침적시간 15초의 조건에서 시행하였다.

2) 2축 굽힘시험 및 결과의 분석

본 연구에서는 강도의 평가를 위해 취성이 큰 얇은 세라믹 원판의 파절강도 평가 시에 빈번하게 적용되는 방법인 2축굽힘시험을 실시하였다. Fig. 1에 표시한 것과 같이, 재료시험기(Instron Co., Model 4201)에 2축굽힘장치를 장착한 다음, 여기에 원판상의 시편을 올려놓고 시편의 중앙부에서 동일한 크기의 강구로 crosshead speed 0.5mm/min 으로 압축력을 가하였다. 2축굽힘강도는 식 (1)을 이용하여 계산하였다.

$$\sigma = \frac{AP}{t^2}$$

$$A = \frac{3}{(4\pi)} \left(2(1+\nu) \ln\left(\frac{a}{r_0}\right) + (1-\nu) \left(\frac{2a^2 - r_0^2}{2b^2} \right) + (1+\nu) \right) \quad (1)$$

$$r_0 = \sqrt{(1.6r_0^2 + t^2)} - 0.675t$$

여기에서, P는 시편의 파절하중, ν 는 프와송의 비, a는 지점을 지나는 원주의 반경, b는 시편의 반경, t는 시편의 두께, r_0 는 하중봉 끝의 강구의 반경, r_0^* 는 하중봉과 시편 사이의 접촉면의 반경이다. 본 연구에서 프와송의 비는 0.28로 설정 하였다. 측정된 결과는 분산분석에 의해 통계적 유의성을 검증한 다음 Tukey 다중범위검증법에 의해 각 시험재료군 사이의 차이를 비교하였으며, 측정조건에 따른 통계적 유의성을 검증하기 위해 t-test를 행하였다. 또한 thermal cycling 후의 치관전장용 복합레진의 변화양상을 조사하기 위해 표면을 주사전자현미경(Hitachi, S-4000)으로 관찰하였다.

강도가 결합에 민감하게 영향을 받는 취성재료는 파절강도의 분산이 커지게 되므로 통계적 분석이 요구되며, 일반적으로 Weibull 통계가 널리 적용되고 있다. 파절강도 σ 인 재료가 이보다 낮은 응력하에서

파괴될 확률을 Pf라 하면 파절강도와 파괴확률 사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$Pf = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^m\right] \quad (2)$$

여기에서, m은 Weibull 계수, σ_0 는 특성강도(characteristic strength)이다. 식 (1)을 대수 변환하여 $\ln \ln[1/(1-P_f)]$ 와 $\ln \sigma$ 의 관계로 표시하면 식 (3)이 얻어진다.

$$\ln \ln \frac{1}{1 - P_f} = m \ln \sigma - m \ln \sigma_0 \quad (3)$$

측정된 n개의 강도값을 오름차순으로 배열하여 순위를 정하였을 때, i 번째 순위의 강도에 대한 파괴확률 P_i 는 median rank 법에 의하면 다음과 같이 표시된다.

$$P_i = \frac{i-0.3}{n+0.4} \quad (4)$$

회귀분석에 의해 $\ln \ln[1/(1-P_i)]$ 와 $\ln \sigma$ 사이의 상관관계를 조사한 다음 Weibull 계수 m과 특성강도 σ_0 의 값을 계산하였다.

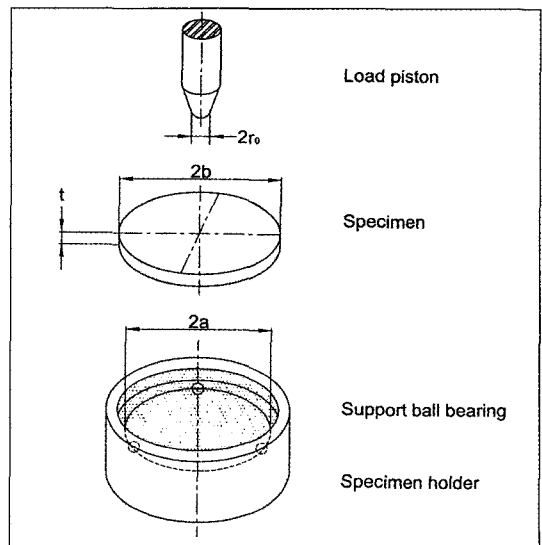


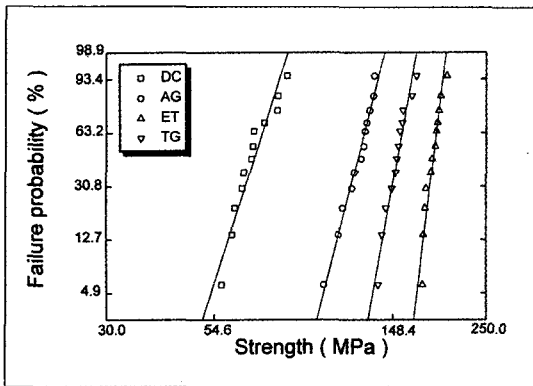
Fig. 1. Schematic illustration of biaxial flexure by means of a ball-on-three-ball technique.

Table 3. Weibull analysis data after drying for 30 days

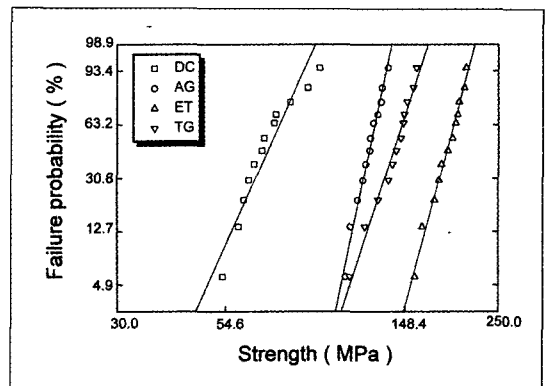
Parameter \ Group	DC	AG	ET	TG
$\sigma_r(0.5)$	67.3	123.0	186.2	153.0
m	10.8	13.0	21.6	17.6
σ_0	69.6	126.5	189.4	156.2
r^2	0.90	0.98	0.90	0.94
N	12	12	12	12

Table 4. Weibull analysis data after 10,000 thermal cycles

Parameter \ Group	DC	AG	ET	TG
$\sigma_r(0.5)$	70.3	122.5	189.0	140.9
m	6.8	15.6	12.4	10.1
σ_0	74.2	125.4	194.7	146.1
r^2	0.90	0.96	0.95	0.96
N	12	12	12	12



(a) Drying for 30 days



(b) 10,000 thermal cycles

Fig. 2. Weibull Plots of biaxial flexure strength of facing resin composites for crown.

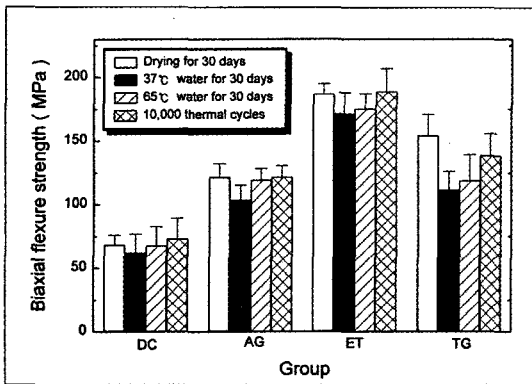


Fig. 3. Comparison of biaxial flexure strength of facing resin composites for crown.

III. 연구성적

Fig. 2는 건조처리군과 thermal cycling 군의 2축굽힘강도와 파괴확률 사이의 관계를 나타낸 Weibull 선도이고, Table 3과 Table 4는 그의 분포특성을 표시하는 수치들로서, 파괴확률이 0.5일 때의 중앙값

($\sigma_r(0.5)$), Weibull 계수(m), 특성강도(σ_0), 결정계수(r^2) 및 시료의 갯수(N)를 포함하고 있다. Weibull 분포는 single mode에 잘 일치하는 경향을 나타냈다(r^2)0.90). 건조처리를 행한 경우에는 ET 군에서 특성강도가 189.4MPa, Weibull 계수가 21.6으로 모든 시험군 중에서 가장 높게 나타났으나, thermal cycling을 행한 경우에는 특성강도는 ET 군이 194.7MPa로, Weibull 계수는 AG 군이 15.6으로 가장 높게 나타났다.

Fig. 3은 23°C에서 30일간 건조처리한 군, 37°C와 65°C의 증류수 중에 30일간 침적처리한 군 및 5°C와 55°C의 수중에서 10,000회의 thermal cycling을 행한 군의 2축굽힘강도를 비교한 것이다. 37°C의 수중침적군이 모군 시험군중에서 가장 낮은 강도값을 보였으며, 건조처리군과의 비교시 AG 군과 TG 군은 유의수준 $\alpha=0.01$ 에서, ET 군은 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 유의한 차이를 보였다. 65°C의 수중침적군과 thermal cycling군에서는 TG군이 건조처리군에 비해 유의한 강도의 감소를 보였지만($P<0.05$). 나머지 군

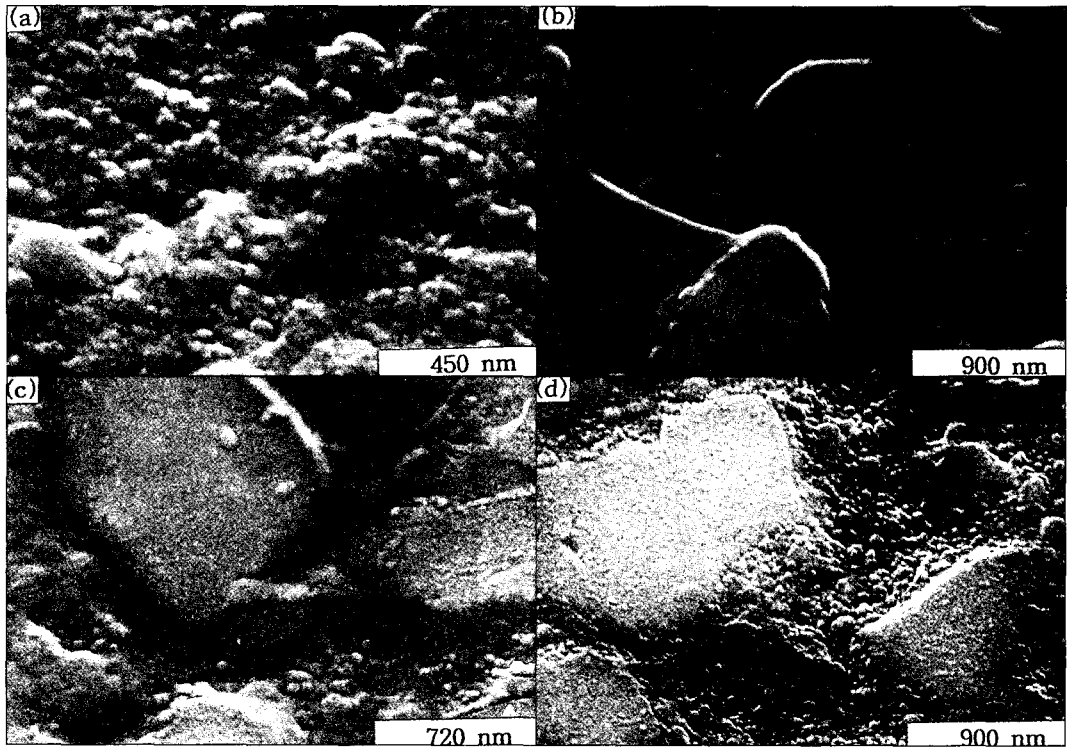


Fig. 4. SEM micrographs of polished surfaces after the 10,000 thermal cycles.
 (a) DC, (b) AG, (c) ET, (d) TG

사이에는 유의한 차이를 보이지 않았다. thermal cycling 군의 2축굽힘강도는 ET 군이 188.8MPa로 최대치를, DC 군이 73.2MPa로 최소치를 보였으며, Tukey test에 의해 각 군간의 통계적 유의성을 검증한 결과 각 시험재료군 상호간에 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$).

Fig. 4는 치관전장용 복합레진의 표면을 0.3 μ m의 diamond paste 단계까지 경면연마한 다음 10,000회의 thermal cycling을 행한 경우의 표면 SEM 사진으로, 비교적 큰 필러를 둘러싸는 기질레진의 영역에서 ditching 양상이 심하게 나타났다.

IV. 총괄 및 고찰

취성이 큰 재료는 인장시험이 용이하지 않으므로 압축시험이 빈번하게 적용되어 왔지만, 파절은 주로 인장응력을 받는 결합부에서 균열이 성장하여 일어나므로 강도의 평가를 위해 시편의 하면 상에 인장

응력이 발생하는 3점 굽힘시험, 4점 굽힘시험 및 2축 굽힘시험이 널리 적용되고 있다. 3점이나 4점 굽힘시험은 이론적으로 잘 정립되어 있으므로 해석이 용이한 장점은 있지만, 시편의 폭에 비해서 길이가 길므로 분말의 축성과 소결에 의해서는 균일한 시편을 제작하는 것이 용이하지 않으며, 또한 굽힘시험 과정에서 종종 지지점에서의 응력집중으로 인한 파절이 일어나는 단점을 나타낸다³²⁾. 치의학 분야에서는 취성재료의 굽힘강도 평가 시에 원판 상의 시편을 이용하는 2축 굽힘시험이 빈번하게 적용되어 왔다³¹⁻³⁵⁾. 2축굽힘시험은 시편의 지지와 하중을 가하는 방식에 따라 여러가지 시험 방법이 제안되고 있지만, 일반적으로 동일 원주 상의 3위치에서 시편을 지지하고 중앙부에서 하중을 가하는 방식인 ball-on-three-ball 법이 널리 적용되고 있다. Wachtman 등³⁴⁾은 2축 굽힘시험은 최대 인장응력이 중앙 하중점에 나타나므로 3점이나 4점 굽힘시험에서 볼 수 있는 부적절한 선단의 파절이 적고, 약간 굽은 시편

에서도 용이하게 굽힘강도를 측정할 수 있는 신뢰도가 높은 방법이라고 하였고, Ban과 Anusavice³⁵⁾는 다른 강도측정법에 비해 시편의 크기와 준비절차가 임상조건과 유사한 편리한 방법이라고 하였다. 본 연구에서는 치관전장용 복합레진의 강도 평가를 위해 임상 절차에 따라 비교적 용이하게 시편을 제작할 수 있는 2축 굽힘시험을 실시하였으며, 표면층의 물성변화가 강도에 미치는 영향을 평가하기 위해 수중에서의 시효처리와 thermal cycling 시험을 행하였다.

강도가 재료 내의 결함에 민감하게 영향을 받는 취성재료는 강도의 분산이 크므로 통계적 분석이 요구되며, 일반적으로 파절강도가 재료의 균질성의 함수로 표시되는 Weibull 통계가 널리 적용되고 있다. Weibull 통계에서 Weibull 계수 m 과 특성강도 σ_0 는 분포의 특성을 표시하는 지수로서, 특성강도가 클수록 파절강도가 높게 되고, 파절강도가 동일한 재료에 대해서도 Weibull 계수 m 이 작을수록 강도의 분산이 커지게 되므로 평균치보다 낮은 응력하에서 파괴가 일어날 확률이 증가하게 된다^{36,37)}. 몇가지 종류의 세라믹 재료와 취성이 큰 치과재료에서 Weibull 계수는 5 - 20 정도의 값을 갖는 것으로 보고되고 있다³¹⁻³⁸⁾. Ban 등³⁹⁾은 5종의 치과용 시멘트의 2축굽힘 시험을 실시하였을 때 Weibull 계수가 2.1 - 9.6, 특성강도가 1.4 - 25.7MPa를 보였다고 하였고, Ban과 Anusavice³⁰⁾는 복합레진의 2축굽힘시험을 실시하였을 때 Weibull 계수와 특성강도가 각각 6.27과 111.6MPa를 보였다고 하였다. 배 등³¹⁾은 광중합형 수복용 복합레진의 2축 굽힘시험을 행하였을 때 Weibull 계수가 6.7 - 12.1, 특성강도가 109.5 - 192.0MPa로 나타났지만, 1,000회의 thermal cycling 후 Weibull 계수가 4.5 - 10.1, 특성강도가 68.8 - 133.0으로 감소를 보였다고 하였으며, 백 등³⁹⁾은 광중합형 수복용 복합레진의 인장시험을 행하였을 때 Weibull 계수가 8.7 - 16.4, 특성강도가 53.9 - 109.8MPa를 보였지만, 10,000회의 thermal cycling 후 Weibull 계수가 3.6 - 9.6, 특성강도가 15.4 - 90.1MPa로 감소를 보였다고 하였다. 본 연구에서 thermal cycling이 치관전장용 복합레진의 2축 굽힘강도에 미치는 영향을 조사한 결과, Weibull 분포는 single mode에 잘 일치하는 경향을 보였다 ($r^2 > 0.90$). thermal cycling 후 AG 군을 제외한 나머

지 시험군에서는 Weibull 계수의 감소를 보여 thermal cycling이 표면층의 물성 저하에 영향을 미치는 양상을 보였으며, 배 등³¹⁾, 백 등³⁹⁾이 보고한 수복용 복합레진과 비교하여 볼 때 치관전장용 복합레진이 수복용 복합레진에 비해서는 thermal cycling의 영향을 작게 받는 경향을 보였다. AG 군에서는 Weibull 계수와 특성강도가 thermal cycling 전후에 거의 변화를 보이지 않았지만, hybrid 형의 여타의 시험재료에 비해서는 상대적으로 낮은 강도를 보였다. 건조처리군의 Weibull 계수와 특성강도는 각각 10.8 - 21.6과 69.6 - 189.4MPa를 보였지만, thermal cycling 후에는 각각 6.8 - 15.6과 74.2 - 194.7MPa를 보여 Weibull 계수의 감소에도 불구하고 특성강도의 저하를 보이지 않고 있으며, 이는 표면층의 물성 저하에도 불구하고 thermal cycling 과정에서 미중합레진의 중합이 일어나 기질레진의 강화가 일어났기 때문으로 생각된다.

치관전장용 복합레진의 기계적 성질은 레진과 필러의 구성 및 중합방법에 크게 의존한다. Yamaga 등¹³⁾은 필러의 개선으로 microfill 형 전장용 복합레진의 경도가 개선되었으나 경도가 상아질(60 - 70)에는 미치지 못한다고 하였고, 川原과 熱田²⁴⁾은 필러의 함량이 증가할수록 취성이 커지므로 굽힘으로 인해 높은 인장응력이 발생하는 부위에서는 하부금속이 굽힘에 저항할 수 있을 정도의 충분한 강도를 가져야 한다고 하였다. 川口 등⁴⁰⁾은 고밀도의 가교구조가 형성되는 4개의 관능기를 갖는 urethane tetramethacrylate (UTMA) 레진이 2개의 관능기를 갖는 urethane dimethacrylate(UDMA) 레진보다 강성이 크다고 하였고, 채 등⁴¹⁾, 최 등⁴²⁾은 UTMA 레진의 압축강도가 Bis-GMA 레진보다 높게 나타난다고 하였으며, Yamaga 등¹³⁾은 UDMA 계보다 UTMA 계 치관전장용 복합레진의 경도와 파괴인성이 더 크며 필러의 함량과 경도 사이에는 선형적인 비례관계를 보인다고 하였다. 五味와 新谷⁷⁾은 필러의 함량이 증가함에 따라 취성재료의 특성을 나타내므로 경도가 상승하는 것이 일반적이지만, 최근의 치관전장용 복합레진에서는 기질레진과 중합방법을 개선하고 있기 때문에 필러의 함량 증가에도 불구하고 인장강도와 굽힘강도가 높게 나타난다고 하였으며, Okada 등¹⁵⁾은 구치부용으로 개발된 Esternia의 강도와 내마모성이 종래의 전장용 복합레진에 비해 크게 개선되었

다고 하였다. Jones 등¹¹⁾, Matsumura와 Leinfelder⁶⁾는 열중합형보다 광중합형이 더 우수한 특성을 보인다고 하였고, Cook과 Johansson²²⁾은 광중합후의 재중합 처리는 잔류 모노머의 감소와 가교밀도를 증가시킨다고 하였다. Farracane과 Condon²³⁾은 재중합 처리는 레진과 필러 사이의 결합을 개선한다고 하였고, Yamaga 등¹³⁾은 치관전장용 복합레진의 경도와 색조 안정성을 개선하기 위해서는 광중합 후 열원이나 광원을 이용한 재중합 처리가 요구된다고 하였다. 본 연구에서 치관전장용 복합레진의 2축굽힘강도를 조사한 결과, ET 군이 AG 군과 TG 군에 비해 필러의 함량이 높게 나타나고 있음에도 불구하고 굽힘강도가 더 높게 나타나고 있으며, 이는 五株와 新谷⁷⁾, Yamaga 등¹³⁾이 언급한 것과 같이, 기질레진과 중합방법의 개선으로 인해 레진의 중합율과 가교밀도가 개선되었기 때문으로 생각된다.

구강환경이 복합레진의 기계적 성질에 미치는 영향을 평가하기 위해 액상의 조건하에서 시효처리나 thermal cycling 시험이 빈번하게 행해지고 있다. 시효처리나 thermal cycling을 행할 경우, 수분의 침투로 인한 레진기질의 가소성 증가와 수분에 의한 실란결합의 가수분해^{27,43,44)}, 미중합 레진의 중합수축으로 인한 레진과 필러 계면의 내부응력 증가^{45,46)}, 수분에 의한 필러와 레진의 응력부식^{44,47)} 등 복합적 요인으로 기계적 성질이 저하한다. Arikawa 등²⁵⁾은 37℃의 수중에서 시효처리를 행할 경우 필러의 함량이 증가할수록 침적시간이 길수록 굽힘강도의 감소율이 크게 나타난다고 하였으며 실란결합의 가수분해가 강도감소의 주된 원인이라고 하였고, Yamamoto와 Takahashi²⁶⁾는 37℃의 수중에서의 시효처리가 인장강도에 미치는 영향을 조사한 다음 hybrid 형은 그다지 큰 강도의 저하를 보이지 않지만 microfiller 형에서는 강도의 저하가 크게 나타난다고 하였다. Kamel과 Neri⁴³⁾, Indrani 등²⁷⁾은 수분흡수에 의한 기질레진의 가소성 증가로 강도의 저하가 일어난다고 하였고, S derholm⁴⁴⁾은 수분에 의한 레진과 필러 계면의 실란결합의 가수분해로 강도의 저하가 일어난다고 하였으며, Drummond⁴⁵⁾는 수분에 의한 레진과 필러의 응력부식으로 파절강도의 감소가 일어나며 응력부식은 필러의 표면, 필러에 인접한 레진 및 레진내에서 일어날 수 있다고 하였다. Troung과 Tyas⁴⁶⁾, Mair와 Vowl⁴⁷⁾은 레진의 중합수축으로 인한

내부응력 증가로 레진과 필러의 계면에 미세균열이 형성될 경우, 구강내 온도변화와 저작력 등의 영향으로 균열성장이 일어나 강도의 저하가 일어난다고 하였다. 본 연구에서 수중에서의 시효처리와 thermal cycling이 치관전장용 복합레진의 강도에 미치는 영향을 조사한 결과, 65℃ 수중에서의 시효처리군과 thermal cycling 시험군이 37℃ 수중에서의 시효처리군에 비해 강도가 높게 나타나는 경향을 보였다. 37℃ 수중에서의 시효처리군이 모든 시험군 중에서 가장 낮은 강도치를 보인 것은 수분흡수로 인한 레진의 가소성 증가와 함께 레진과 필러 계면의 실란결합에서 가수분해가 일어났기 때문으로 생각된다. 65℃ 수중에서의 시효처리군은 건조처리군에 비해 그다지 강도의 저하를 보이지 않고 있으며, 이는 시효처리 과정에서의 온도상승으로 인해 미중합 레진의 중합이 일어남에 따라 레진의 가소성 증가와 실란결합의 가수분해로 인한 영향이 상쇄되었기 때문으로 생각된다. thermal cycling 군이 65℃ 수중에서의 시효처리군에 비해 높은 강도를 보이는 것은 주사전 자현미경 사진(Fig. 4)에서 볼 수 있듯이 thermal cycling으로 인한 표면층의 열화가 크지 않고, 또한 30일간 수중침적을 행한 시효처리군에 비해 thermal cycling 시험군의 수중침적 기간이 12일로서 짧았기 때문에 이같은 결과를 보였다고 생각된다.

V. 결 론

본 연구에서는 구강환경과 유사한 액상의 조건하에서의 온도변화가 치관전장용 복합레진의 강도에 미치는 영향을 평가하기 위해, 4종의 치관전장용 복합레진을 실험재료로 선택한 다음 37℃와 65℃의 증류수 중에서 30일간의 시효처리 및 5℃와 55℃의 수중에서 10,000회의 thermal cycling 처리를 행한 다음 2축 굽힘강도를 측정하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Weibull 계수는 AG 군을 제외한 나머지 군에서 thermal cycling 처리로 감소되는 경향을 보였다.
2. 2축굽힘강도는 37℃의 시효처리군에서 가장 낮게 나타났으며, 건조처리군과의 비교시 DC군을 제외한 나머지 군에서 유의한 차이로서 감소를 보였다(p(0.05).
3. thermal cycling 군의 2축굽힘강도는 ET군이

188.8MPa로 최대치를, DC군이 73.2MPa로 최소치를 나타냈으며, 각 시험재료군 상호간에 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

4. thermal cycling 처리 후의 표면에서는 큰 필리의 주위에서 레진의 수축으로 인한 ditching 양상이 관찰되었다.

참 고 문 헌

1. McLean JW, The science and art of dental ceramics. Vol II, Quintessence 1980, pp 416.
2. Krejci I, Lutz F, Reimer M, Heinzmann JL, Wear of ceramic inlay, their enamel antagonists, and luting cements. J Prosthet Dent 1993; 69:425-430.
3. Ambjørnsen E, Holland RI, In vitro abrasion of two acrylic veneers. Dent Mater 1994;10:107-110.
4. Gallegos LI, Nicholls JI, In vitro two-body wear of three veneering resins. J Prosthet Dent 1988;60:172-178.
5. Matsumura H, Leinfelder KF, Localized three-body wear of six types of composite resin veneering materials. J Prosthet Dent 1993;70:207-213.
6. Matsumura H, Leinfelder KF, Three-body wear of four types of light-activated composite resin veneering materials. Quintessence Int 1994;25:425-430.
7. 五味治徳, 新谷明喜, 最近の硬質レジン. J Dental Engineering 1997;122: 29-34.
8. Setz J, Engle E, In vivo color stability of resin-veneered telescopic denture : A double blind pilot study. J Prosthet Dent 1997;77: 486-491.
9. Li D, O'Keefe KL, Powers JM, Effect of alloy on color of Artglass. J Dent Res 1997;76:Abstr 1451.
10. Targis, Technical information and product description. Ivoclar 1996: 1-6.
11. Jones RM, Goodacre CJ, Moore BK, Dykema

- RW, A comparison of the physical properties of four prosthetic veneering materials. J Prosthet Dent 1989;61:38-44.
12. Berge M, Properties of prosthetic resin-veneer materials processed in commercial laboratories. Dent Mater 1989;5:77-82.
13. Yamaga T, Sato Y, Akagawa Y, Taira M, Wakasa K, Yamaki M, Hardness and fracture toughness of four commercial visible light-cured composite resin veneering materials. J Oral Rehabil 1995; 22:857-863.
14. Matsumura H, Tanoue N, Atsuta M, Kitazawa S, A metal halide light source for laboratory curing of prosthetic composite materials. J Dent Res 1997;76:688-693.
15. Okada K, Omura I, Yamauchi J, A newly developed composite crown and inlay material. J Dent Res 1997;76:Abstr. 1452.
16. Shue SL, Nicholls JI, Townsend JD, The effect of metal retentive designs on resin veneer prostheses. J Prosthet Dent 1987;58:297-305.
17. Yoshida K, Matsumura H, Atsuta M, Monomer composition and bond strength of light-cured opaque resin. J Dent Res 1990;69:849-851.
18. Vojvodic D, Predanic-Gasparac H, Brkic H, Celebic A, The bond strength of polymers and metal surfaces using the 'silicoater' technique. J Oral Rehabil 1995;22:493-399.
19. Sorensen JA, Malloy CM, Shearbond strength of resin composite restorative materials to metal. J Dent Res 1997;76:Abstr 1363.
20. Nergiz I, Pfeiffer P, Niedermeier W, Effect of surface treatment on resin veneer/alloy bond strength. J Dent Res 1997;73:Abstr 2390.
21. 양홍서, 박영준, 금전착이 치과용 합금과 전장 레진 간의 접착강도에 미치는 영향. 대치보철 1997;35:103-113.
22. Cook WD, Johansson M, The influence of post-curing on the fracture properties of photo-cured dimethacrylate based dental composite resins. J Biomed Mat Res 1987;21:979-989.

23. Ferracane J L, Condon JR, Post-cure heat treatments for composites : properties and fractography. *Dent Mater* 1992;8:290-295.
24. 川原光正, 熱田 充, 光重合型硬質レジンの強度, 耐磨耗性について. *歯科技工* 1987;15:765-772.
25. Arikawa H, Kuwahata H, Seki H, Kanie T, FujiiK, Inoue K, Deterioration of Mechanical properties of composite resins. *Dent Mater J* 1995;14:78-83.
26. Yamamoto M, Takahashi, Tensile fatigue strength of light cure composite resins for posterior teeth. *Dent Mater J* 1995;14:175-184.
27. Indrani DJ, Cook WD, Televantos F, Tyas MJ, Harcourt JK, Fracture toughness of water-aged composite restorative materials. *Dent Mater* 1995;11:201-207.
28. Ferracane JL, Condon JR, Degradation of composites caused by accelerated aging. *J Dent Res* 1991;70:480, Abstr 1716.
29. Ferracane JL, Hopkin JK, Condon JR, Properties of heat-treated composites after aging in water. *Dent Mater* 1995;11:354-358.
30. 宮崎 隆, 鈴木 暎, 宮治俊幸, サマルサイクルが臼歯部 コンポジットレジンの機械的性質に及ぼす影響. *歯材・器械* 1986;5:187-195.
31. 배태성, 김태조, 김효성, 광중합형 수복용 복합레진의 기계적 성질에 미치는 수중침적과 Thermal Cycling의 영향. *대한의용생체공학회지* 1996; 17:327-335.
32. 고영무, 김경남, 김광만, 김교한, 김형일, 박영준, 배태성, 임호남, 조혜원, 최기열, 치과재료학. 둘째판, 군자출판사 1998, pp 54-58.
33. 유형우, 배태성, 송광엽, 박찬운, All-Ceramic Crown 용 도재의 동적 피로특성 평가. *대한치과보철학회지* 1998;35:781-792.
34. Wachtman JB, Capps W, Mandel J, Bi-axial flexure tests of ceramic substrates. *J Mater* 1972;7:188-194.
35. Ban S, Anusavice KJ, Influence of test method on failure stress of brittle dental materials. *J Dent Res* 1990;69:1791-1799.
36. 鈴木弘茂, 關孝善 共驛, セラミックスの強度と破壊. 共立出版株式會社, 1977, pp142-168.
37. 作花濟夫編, ニューセラミックスの活躍-その科學と技術-. *アグネブックス* 1985, pp 1-28.
38. Ban S, Haserawa J, Anusavice KJ, Effect of loading conditions on bi-axial flexure strength of dental cements. *Dent Mater* 1992;8:100-104.
39. 백상현, 채민수, 이주형, 김태조, 배태성, 광중합형 수복용 복합레진의 인장강도에 미치는 thermal cycling과 시효처리의 영향. *대한치과기재학회지* 1998;25:29-35.
40. 川口 念, 福島忠男, 堀部陸, 渡邊猛士, ウレタンテトラメタクリレート系コンポジットレジンの物性と硬化深さ. *歯科材料・機器* 1990;9:762-770.
41. 채민수, 추용호, 배태성, 광중합형 복합레진 제조시의 압축강도에 관한 연구. *대한치과기재학회지* 1995;22:113-121.
42. 최규형, 원대희, 이민호, 배태성, 광중합형 복합레진의 압축강도에 미치는 레진과 필리의 영향. *대한의용생체공학회지* 1997;18:1-8.
43. Kamel IL, Neri GA, Radiation modified filler for dental restorative composites. *J Math Phys Chem*: 1979;14:603-611.
44. Söderholm K-J, Degradation of glass filler in experimental composites. *J Dent Res* 1981;60:1867-1875.
45. Drummond JL, Cyclic fatigue of composite restorative materials. *J Oral Rehabil* 1989;16:509-520.
46. Troung VT, Tyas MJ, Prediction of in vivo wear in posterior composite resins : A fracture mechanics approach. *Dent Mater* 1988; 4:318-327.
47. Mair LH, Vowel R. The effect of thermal cycling on the fracture toughness of seven composite restorative materials. *Dent Mater* 1989;5:23-26.

ABSTRACT

EFFECTS OF AGING AND THERMAL CYCLING ON THE BIAXIAL FLEXURE STRENGTH OF VENEERING RESIN COMPOSITES FOR CROWN

Gwan-Ho Jeong, Il-Soo Ha, Kwang-Yeob Song

*Department of Prosthetic Dentistry, Institute of Oral Bioscience,
College of Dentistry, Chonbuk National University*

This study was performed to evaluate the effect of aging and thermal cycling on the biaxial flexure strength of four commercially available veneering resin composites for crown (Dentacolor : DC, Artglass : AG, Esternia : ET and Targis : TG). Disc specimens were fabricated in a teflon mold giving 12mm in diameter and 1mm in thickness. All samples were divided into 4 groups. Group 1 was dried in a dessicator at 25°C for 30 days. Group 2 was immersed in distilled water at 37 °C for 30 days. Group 3 was immersed in distilled water at 65°C for 30 days. Group 4 was subjected to 10,000 thermal cycles between 5°C and 55°C, and the immersion time in each bath was 15 seconds per cycle. Biaxial flexure test was conducted using the ball-on-three-ball method at the cross head speed of 0.5mm/min and fracture surfaces were observed with scanning electron microscope.

The results obtained were summarized as follows:

1. Weibull modulus values, except for the AG group, decreased after thermal cycling treatment.
2. Biaxial flexure strength values of aging group at 37°C were the lowest in all sample groups. Except for the DC group, strength values were significantly decreased for the drying group.
3. After thermal cycling test, the highest value of biaxial flexure strength of 188.8 MPa was observed in the ET group and the lowest value of 73.2 MPa was observed in the DC group. The strength values showed the significant differences in each group ($p < 0.05$).
4. Observation of surfaces after thermal cycling test revealed the ditching in the part of surrounding large fillers.

Key words : Veneering composite resin, Aging, Thermal cycling, Biaxial flexure test.