

강화형 치관용 복합레진의 인장강도에 관한 연구

전북대학교 치과대학 보철학교실 및 구강생체과학 연구소,
조선대학교 치과대학 보철학교실*

안승근 · 강동원*

I. 서 론

금속-도재 보철물은 파손되거나 상실된 치아를 심미적으로 수복해주는 고정성 보철치료방법으로 현재까지 성공적이고 광범위하게 사용되고 있지만 도재의 파절 경향 및 대합치에 대한 마모유발등 몇 가지의 단점들이 지적되고 있다^{1,2)}.

1937년에 보철재료로서 치과계에 소개된 레진 치관수복 재료는 처음에 MMA (methylmethacrylate)계 자가중합 레진 및 열중합 레진이 사용되었으며, 레진이 더 광범위하게 이용될 수 있었던 것은 Bis-GMA(bisphenol glycidylmethacrylate)가 개발되면서부터였는데, 이 구조는 더 큰 분자량을 가지며 기계적인 성질이 많이 개선되었고 중합수축량은 줄게되어 더욱 넓은 적용 범위를 갖게 되었다^{3,5)}. 이와 같은 구조는 30여년 동안 화학적인 구성에는 거의 변화가 없이 사용되어 왔으며, 따라서 기계적 성질이 사실상 크게 개선된 바 없지만, 중합정도를 개선시킬 목적으로 중합과정을 변경시킨 결과 마모 저항성이나 탄성율을 포함한 몇 가지의 임상적 개선은 이를 수 있었다^{5,7)}.

1980년대에 복합레진을 이용해서 간접법으로 인레이와 온레이등의 제작이 가능하게 되었고, 거의 비슷한 시기에 상아질 접착제가 소개되면서 전치부 뿐만 아니라 구치부에도 심미접착 보철물이 사용되게 되었다^{8,9)}. 하지만 이 시기에 사용되었던 간접법용 복합레진은 미세입자충전 복합레진으로서 무기질 필러의 함량이 적었고 낮은 강도와 탄성율, 약한 마

모저항성을 보이며, 특히 사용중 광택의 소실이나 색조변화등이 문제점으로 지적되었다. 최근에 기질 레진과 필러의 강화로 종래의 치관용 경질레진에 비해 물성이 많이 좋아진 치관용 레진이 소개되었는데, 도재와 복합레진의 장점을 가진 것으로 소개되고 있으며, polyglass, ceramic polymer, hybrid ceramic composite, polymerceramic, polymer glass ceramic 혹은 ceromer(ceramic optimized polymer)등으로 불리우고 있다. 이는 기질 레진에 무기질인 세라믹 필러가 함유된 구조를 가지고 있으며, Christensen 등은 이를 '증가된 가교결합과 중합반응에 의해 개선된 복합레진'이라 정의한 바 있는데, 결국 물성이 개선된 복합레진의 범주에 들어간다고 볼 수 있다^{10,11)}. Touati 등¹⁾은 낮은 굴곡강도와 낮은 탄성률 및 마모저항성이 낮았던 초기의 미세입자충전 복합레진인 Dentacolor(Kulzer Co., Wehrheim, Germany), Visio-Gem (Espe Co., Germany)과 SR Isosit N(Ivoclar Co., Schaan Liechtenstein)등을 1세대 기공용 레진이라 명명하였고, 그 이후의 것을 2세대 간접법용 기공용 레진이라 명명한 바 있다. 현재 사용되고 있는 하이브리드형 간접법용 복합레진에는 Belleglass HP(Kerr Co., California, U.S.A.), Targis/Vectris(Ivoclar Co., Schaan Liechtenstein)과 Sculpture/FibreKor(Jeneric Pentron Co., Wallingford, U.S.A.)등이 있으며, 강화섬유를 사용하지 않는 것으로는 Estenia(Kuraray Co., Japan)와 Artglass(Heraeus Kulzer Co., Wehrheim, Germany), Sinfony(Espe Co., Germany)

등이 있다. 또 다른 분야로 유리 섬유강화 폴리아마이드를 CAD/CAM으로 깎아내 구조물을 제작하는 기공용 복합레진도 소개되고 있다.^{4,12)}

이러한 강화형 치관용 복합레진은 무기 필러의 함량이 60vol% 이상으로 높아지고 그 크기, 형태, 구성 등에 있어서도 상당한 개선이 있었으며, 최소한의 중합 수축, 치관 가공의치의 하부 금속 구조물에 대한 접착 가능성, 법랑질과 비슷한 마모저항성등을 특징으로 하고 있다. 굴곡 강도는 120-150MPa로서 일반적인 장식도재(65MPa)보다 크고 Dicor (Dentsply Co., Milford, U.S.A.)의 굴곡강도(130MPa)와 비슷한 것으로 보고되고 있다. 또한 강화형 치관용 복합레진은 인레이와 온레이, 라미네이트, 자켓관, 임프란트 상부 보철물등에 사용할 수 있으며, 구강내에서 쉽게 보수할 수 있는 점, 가공치와 치조제 이행부위의 용이한 조절성, 인접면 접촉점의 조절 용이성, 이갈이등 악습관이 있는 환자에게서 교합 스트레스를 감소시킬 수 있는 점 등이 향후 임상적용을 넓혀나갈 수 있는 장점으로 거론되고 있다.^{1,9,13-15)}

치관용 복합레진은 수복용 레진에 비해서 상대적으로 구강내에 노출되는 면적이 넓고, 또한 직접적인 외력을 받는 경우가 많으므로 지금까지 내마모성¹⁶⁻²⁰⁾, 기계적 성질^{15,21-24)}, 하부금속과의 결합성²⁵⁻²⁹⁾, 심미성^{30,31)} 등에 관한 연구가 주로 행해져왔다. Wendt^{32,33)}는 광중합후 열처리를 가한 복합레진에서 강도와 마모저항성이 증가했음을 보고했으며, Ziemięcki 등³⁴⁾도 2차적인 열처리가 인접면과 교합면 부위에서 마모저항성을 향상시켰다고 보고한 바 있다. Jones 등³⁵⁾, Matsumura 등¹⁸⁾은 PMMA계 경질 레진보다 광중합형의 전장용 복합레진의 경도와 내마모성이 더 우수하다고 하였고, Ambjornsen 등¹⁶⁾은 미세입자형 전장용 복합레진의 내마모성이 법랑질보다 우수하다고 하였다. Komi 등³⁶⁾, Yamaga 등²²⁾은 필러의 함량이 증가함에 따라 취성이 증가하지만, 기질레진과 중합방법의 개선에 의해 인장이나 굽힘강도의 저하를 방지할 수 있으며, 미세입자형 필러보다는 hybrid형이, 열가소성의 선상 고분자 대신 3차원적 망상구조를 이루는 다관능 레진을 기질로 하는 경우에 기계적 성질이 우수하다고 보고한 반면에, Suzuki 등²⁰⁾은 무기입자의 함유량이 너무 많을 경우 자기마모량이 적고 기계적 특성은 높지만 대합

치 법랑질의 마모가 나타났다고 보고하였다.

구강내 보철물은 저작과정중의 높은 응력과 반복 응력에 노출되어 있고, 음식물에 의한 온도 변화, 수분, 타액과 미생물등 복합적인 요인이 수복재료의 내구성에 영향을 미치므로, 임상결과를 예측하기 위해서는 구강환경에서와 유사한 조건에서 물성평가가 요구된다. 지금까지 저작을 상정한 반복하중이 가해지는 상황, 혹은 액상의 환경하에서 온도변화의 영향을 고려한 연구가 행해져왔다^{37,38)}. 구강내 평균 온도는 대개 35℃정도로 보고되고 있으며, 온도 변화의 영향을 평가하기 위한 thermal cycling은 최저 0-36℃, 최고 40-100℃등 다양하게 행해져 왔고 일반적으로 5℃와 55℃사이가 추천되고 있다³⁹⁻⁴²⁾. Gale 등⁴³⁾은 thermal cycling이 일반적으로 변연누출을 증가시키지만 직접적으로 임상실패와 연관시키는 것은 어렵고, 15℃, 35℃, 45℃등 세 부분으로 나누어진 수조를 이용하는 것이 좋으며, 10,000회의 반복침적이 바람직하다고 보고한 바 있다.

고⁴⁴⁾, Miyazaki 등⁴⁵⁾은 레진의 가소성에 기인한 변형 때문에 복합레진의 강도평가에 간접인장강도를 적용하는 것은 무리라고 하였고, Indrani⁴⁶⁾는 복합레진을 수중에서 시효처리시 레진의 가소성 증가로 인해 항복강도가 저하한다고 하였다. 굽힘시험의 경우에는 시편의 중앙 하중점 직하부에 최대 인장응력이 발생하여 파괴가 일어나지만, 인장시험의 경우에는 시편의 전단면에 걸쳐서 균일한 인장응력이 발생하여 파괴가 일어나므로 응력상태가 굽힘시험과는 차이가 있으며, 이같은 관점에서 최근의 복합레진에 관한 연구에서는 소형 인장시편을 이용한 강도측정법이 채택되고 있다^{47,48)}.

강화형 치관용 레진의 물리적 성질에 대한 보고는 Touati 등⁸⁾이 보고한 바 있지만, 이는 주로 제조회사에서 제공한 자료에 근거한 것이었고, 특히 구강환경과 비슷한 액상의 조건하에서 열변환이 인장강도에 미치는 영향에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았으므로, 본 실험에서는 이와 같은 조건을 부여한 상태에서 수종의 강화형 치관용 레진의 인장강도를 상호 비교하고자 한다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험 재료

본 실험에서는 최근 소개된 4 종의 강화형 치관용 복합레진인 Artglass(Heraeus Kulzer Co., Wehrheim, Germany), Estenia (Kuraray Co., Japan), Sculpture(Jeneric Pentron Co., Wallingford, U.S.A.) 및 Targis(Ivoclar Co., Schaan Liechtenstein) 레진을 사용해서 실험용 시편을 제작하였으며, 금속-도재관용 도재인 Vita VMK 68(Vita Zahnfabrik, Germany) 및 Ceramco(Ceramco Co., U.S.A.) 도재시편을 대조군으로 사용하였다(Table 1).

2. 실험방법

1) 시편 제작 및 처리
인장시험을 위해 평행부의 단면이 $1.5 \times 2.0\text{mm}$ 이고 측정부의 길이가 4.5mm 인 분할형의 테프론 몰드를 제작하였다(Fig. 1, Fig. 2).

테프론 몰드를 폴리에스테르 필름이 깔린 고정장치에 고정된 다음 준비한 시료를 몰드내에 약간 넘치도록 채우고, 또 한 장의 폴리에스테르 필름과 유리판을 덮고서 손으로 압력을 가하여 여분의 시료를 제거하는 방법을 사용하였다.

먼저 Artglass의 경우 축성된 레진시편을 UniXS에서 270초간 중합시킨후 제거하여 시편을 제작하였고, Estenia는 α -Light II를 이용해서 360초간 광중합시키고 계속해서 KL100을 사용한 15분간의 추가 중합으로 실험시편을 완성하였다. Cure-Lite Plus를 이용한 60초간의 광중합과 Conquest Curing Oven 내에서 15분간의 부가중합으로 Sculpture시편을 제작했으며, Targis 시편은 Targis Quick을 이용하여 10초간 중합시킨 후 Targis gel을 도포하고, 다시 Targis Power에서 25분간 중합시켜 시편을 제작하였다(Table 2).

대조군으로 사용될 도재시편은 분말상의 도재를 전용액으로 혼합하여 slurry로 만든 다음 금형에 주입하였으며, vibration과 blotting법으로 축성하였다. 제조회사의 지시에 따라 2회 소성하여 시편을

Table 1. Materials used in this study and abbreviated group name

Brand name	Code	Manufacturer
Ceramco	CE	Ceramco Co., U.S.A
VMK 68	VM	Vita Zahnfabrik, Germany
Artglass	AG	Heraeus Kulzer Co., Wehrheim, Germany
Estenia	ET	Kuraray Co., Japan
Sculpture	ST	Jeneric Pentron Co., Wallingford, U.S.A.
Targis	TG	Ivoclar Co., Schaan Liechtenstein

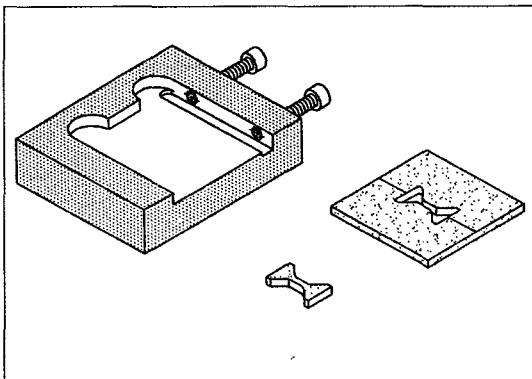


Fig. 1. Schematic diagram of mold and device to fabricate the specimen.

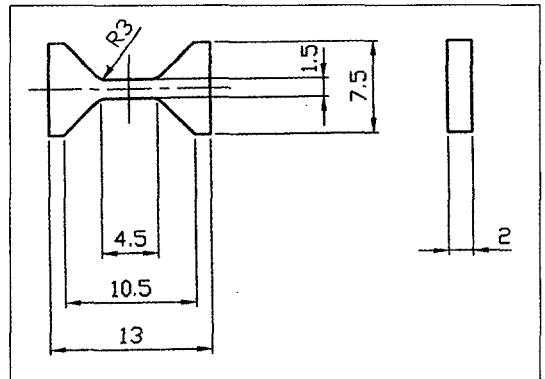


Fig. 2. Dimension of tensile specimen(mm).

Table 2. Composition and curing conditions of each resin composite for crown

Brand name	Monomer	Filler content (wt%)	Curing method	Curing source and time
Artglass	UDMA	70	Light	UniXS, 270sec
Estenia	UTMA	92	Light and heat	α -Light II, 360sec KL100(110°C), 15min
Sculpture	PCDMA	79	Light and heat	Cure-Lite Plus, 60sec Conquest Curing Oven, 15min
Targis	Bis-GMA Decandiol UDMA	75-85	Light and heat	Targis Quick, 10sec Targis Power, 25min

*UDMA: urethane dimethacrylate, UTMA: urethane tetramethacrylate
PCDMA: polycarbonate dimethacrylate, Bis-GMA: Bisphenol glycidylmethacrylate

완성하였다. 준비된 모든 시편은 240 - 2,000번 emery paper 단계까지 연마하였고, 인장면상의 미세 결함을 제거하기 위해 1 μ m와 0.3 μ m의 다이아몬드 페이스트로 연마한 다음, 0.1 μ m 알루미나 페이스트로 최종 연마하였다.

증류수하에서 5분간 초음파 세척한 후, 25°C의 건조기내에서 10일간 건조 처리한 군과 thermal cycling군으로 분류하였다. 구강환경과 유사한 온도 변화 조건에서 수분이 전장용 레진의 인장강도에 미치는 영향을 평가하기 위해, 5°C의 냉방 순환수조(RCB-20, Jeio Tech. Co., Korea)와 55°C에서 유지되는 외부순환수조(WBC-3030, Jeio Tech. Co., Korea)로 구성된 냉온수 순환장치(광덕 F.A., Korea)를 사용하여 침적시간 15초의 조건으로 10,000회의 thermal cycling을 시행하였다.

2) 인장강도 시험 및 분석

인장 시험은 재료시험기(Model 4201, Instron Co., U.S.A.)에 인장용 지그를 장착한 다음 crosshead speed 0.5mm/min에서 실시하였으며, 파면은 주사전자 현미경(JSM-6400, Jeol Co., Japan)으로 관찰하였다. 또한 광중합 전과 후, thermal cycling 전후의 기질레진의 변화양상을 조사하기 위해서 전반적으로 강도가 가장 크게 나온 Estenia와 thermal cycling 후에 강도의 저하가 가장 크게 나타난 Targis에 대해 Fourier 변환 적외선 분광계(FTIR: Fourier Transform Infrared Spectroscopy, Bio-Red, FTS-165)로 분해능 8cm⁻¹에서 탄소 이중

결합농도를 측정하였다. 측정된 결과는 분산분석에 의해 통계적 유의성을 검증한 다음, 각 군간의 차이를 비교하기 위하여 Tukey 다중범위 검증법과 t-test를 행하였다.

강도가 결함에 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.

$$Pf = 1 - \exp[-(\sigma/\sigma_0)^m] \quad (1)$$

여기에서, m은 Weibull 계수, σ_0 는 특성강도(characteristic strength)이다. 식 (1)을 대수 변환하여 $\ln \ln[1/(1-Pf)]$ 와 $\ln\sigma$ 의 관계로 표시하면 식 (2)가 얻어진다.

$$\ln \ln \frac{1}{1-Pf} = m \ln\sigma - m \ln\sigma_0 \quad (2)$$

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

$$P_i = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \quad (3)$$

회귀분석에 의해 $\ln \ln[1/(1-P_i)]$ 와 $\ln\sigma$ 사이의 상관

관계를 조사한 다음 Weibull 계수 m 과 특성강도 σ_0 의 값을 계산하였다.

III. 실험 성적

1: 인장강도

Table 3에는 23℃에서 10일간 건조처리한 군과 5℃와 55℃의 수중에서 10,000회의 thermal cycling을 행한 군의 인장강도 수치가 나타나 있으며, Fig. 3은 그 둘을 비교한 것이다. 10일 건조처리 조건에서는 Estenia의 인장강도가 105.2±15.7MPa로서 가장 높았으며, 도재 대조군을 제외하고는 Artglass의 강도가 68.9±7.8MPa로 가장 낮았고, Estenia와 다른 레진 실험군간에 유의한 강도차이가 있었다 ($p < 0.05$). Thermal cycling군의 경우에도 Estenia가 94.8±6.6MPa로서 가장 높은 인장강도를 보였지만, 건조처리군과는 달리 Targis가 40.3±4.3으로 가

장 낮은 강도를 나타냈으며, 각각의 레진들간에 모두 유의한 강도차이가 있는 것으로 분석되었다 ($p < 0.05$). Thermal cycling 전후를 비교하였을 때 Sculpture를 제외하고는 Artglass와 Targis군은 유의수준 $\alpha = 0.01$ 에서, Estenia군은 유의수준 $\alpha =$

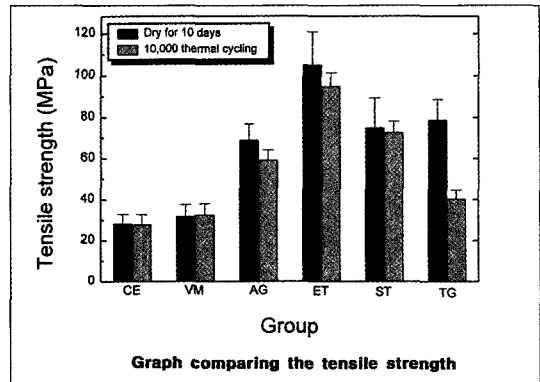
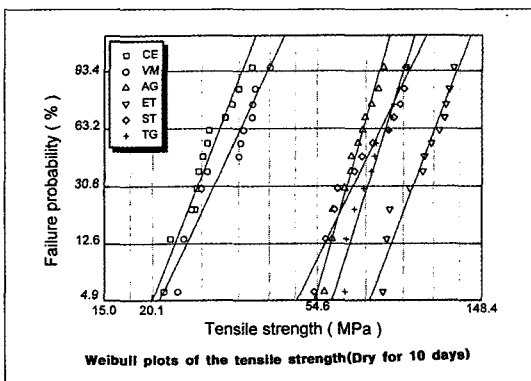


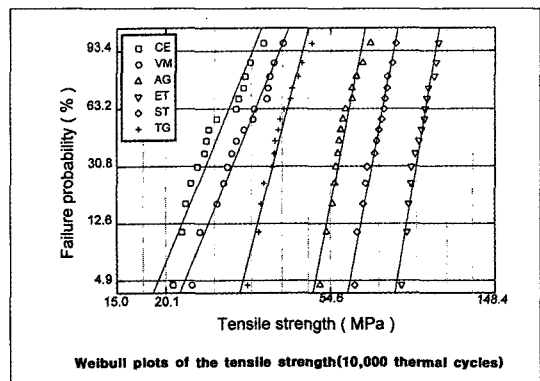
Fig. 3. Comparison of tensile strength of reinforced veneering composite resins for crown.

Table 3. Mean tensile strength of the metal bonding porcelain and reinforced veneering composite resins for crown

Group	Mean tensile strength(MPa)	
	Drying for 10 days	10,000 thermal cycles
CE	28.4±4.5	27.8±4.9
VM	31.9±5.6	32.5±5.7
AG	68.9±7.8	59.1±4.9
ET	105.2±15.7	94.8±6.6
ST	74.9±14.4	72.6±5.5
TG	78.7±9.9	40.3±4.3



(a) Dry for 10 days



(b) 10,000 thermal cycles

Fig. 4. Weibull plots of tensile strength of reinforced veneering composite resins for crown.

Table 4. Weibull analysis data after drying for 10 days

Parameter \ Group	CE	VM	AG	ET	ST	TG
$\sigma_r(0.5)$	28.7	32.3	69.6	106.6	75.8	79.6
m	6.9	5.8	9.7	7.1	5.6	8.7
σ_0	30.3	34.4	72.3	112.2	80.9	83.0
r^2	0.94	0.92	0.96	0.94	0.94	0.95
$\sigma_r(\text{avg})$	28.4	31.9	68.9	105.2	74.9	78.7
CV	15.8	17.6	11.4	14.9	19.2	12.6
N	12	12	12	12	12	12

* $\sigma_r(0.5)$ = median fracture strength(MPa); m = Weibull modulus; σ_0 = Characteristic strength(MPa); r^2 = Weibull distribution regression coefficient squared; $\sigma_r(\text{avg})$ = Mean tensile strength(MPa); CV = Coefficient of variation; N = number of samples.

Table 5. Weibull analysis data after 10,000 thermal cycles

Parameter \ Group	CE	VM	AG	ET	ST	TG
$\sigma_r(0.5)$	28.1	32.9	59.5	95.5	72.8	40.7
m	6.2	6.6	13.4	16.1	14.6	10.6
σ_0	29.9	34.8	61.3	97.7	75.1	42.1
r^2	0.91	0.97	0.92	0.95	0.96	0.96
$\sigma_r(\text{avg})$	27.8	32.5	59.1	94.8	72.6	40.3
CV	17.6	17.5	15.9	7.0	7.6	10.7
N	15	15	15	15	15	15

0.05에서 유의한 차이를 보였다.

Fig. 4는 건조처리군과 thermal cycling을 행한 군의 인장강도와 파괴확률 사이의 관계를 나타낸 Weibull 선도이고, Table 4와 Table 5는 분포특성을 표시한 수치들로서, 파괴확률이 0.5일 때의 중앙값($\sigma_r(0.5)$), Weibull 계수(m), 특성강도(σ_0), 결정계수(r^2), 평균인장강도, 표준편차 및 시편의 수가 표시되어 있다.

Weibull 분포는 single mode에 잘 일치하는 경향을 나타냈으며, 회귀분석 결과 결정계수(r^2) > 0.91의 높은 상관관계를 나타냈다. 특성강도는 Estenia군이 건조처리 조건에서 112.2MPa, thermal cycling 조건에서 97.7MPa로 가장 높게 나타났으며, Weibull 계수는 건조처리 군의 경우에는 9.7을 보인 Artglass군이, thermal cycling 군에서는 Estenia가 16.1의 가장 높은 값을 보여 시험재료 중에서 가장 작은 강도의 분산을 나타냈다.

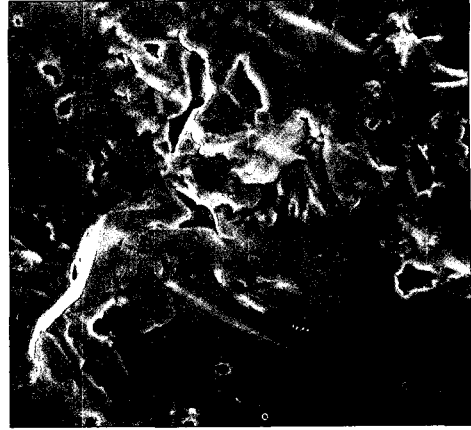
2. 주사전자 현미경 소견 및 FTIR 분석

Fig. 5는 파절면에 대한 SEM사진으로서 도재 대조군은 다수의 기공을 가진 전형적인 파절면을 보이고 있으며, Sculpture와 Targis는 비교적 균일한 크기의 구상 필러와 불규칙한 파절선을 관찰할 수 있다. Estenia와 Artglass는 다른 실험군에 비해서 상대적으로 크고 불규칙한 형태의 필러로 구성되어 있고, 균열이 기질레진 및 레진과 필러 사이의 계면을 따라서 전파되어 일어났으며, 파면상에 노출된 필러에서는 부분적으로 레진이 필러의 표면에 부착된 모습을 보였다.

Fig. 6과 Fig. 7은 Estenia와 Targis에 대한 광중합 전후 및 thermal cycling을 행한 후의 FTIR 분석 결과이다. 중합을 행하지 않은 시료에서는 비교적 강한 피크인 C=O (1721 cm^{-1})과 지방족의 C=C (1636 cm^{-1})가 관찰되었으며, 광중합후 이들 피크가 감소하였고, 광중합후 thermal cycling을 행한 시료에



a



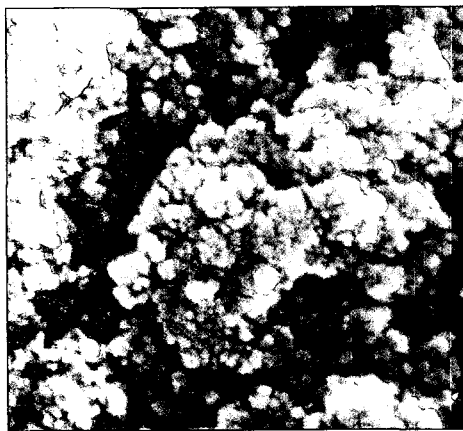
b



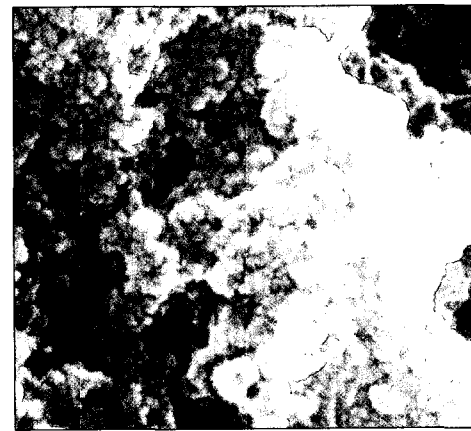
c



d

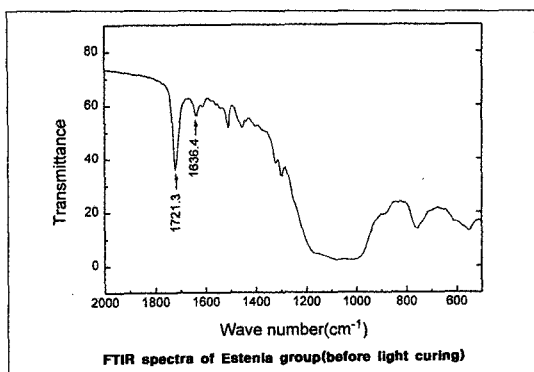


e

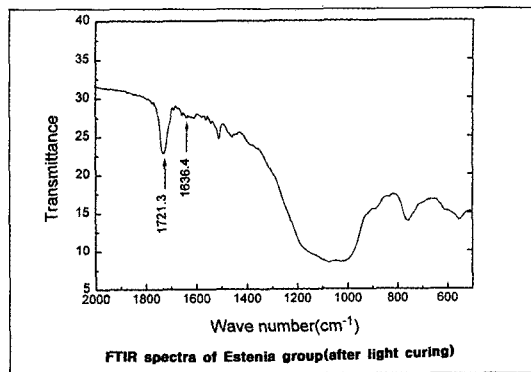


f

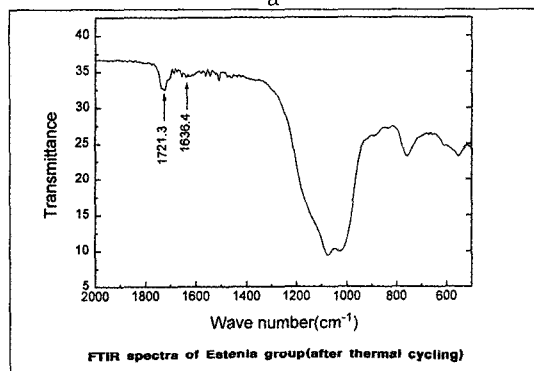
Fig. 5. SEM micrographs of fracture surfaces after 10,000 thermal cycles. (a)Ceramco , (b)Vita VMK, (c) Artglass (d) Estenia, (e) Sculpture, (f) Targis.



a

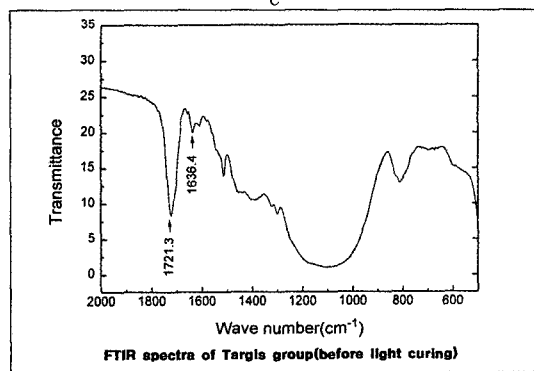


b

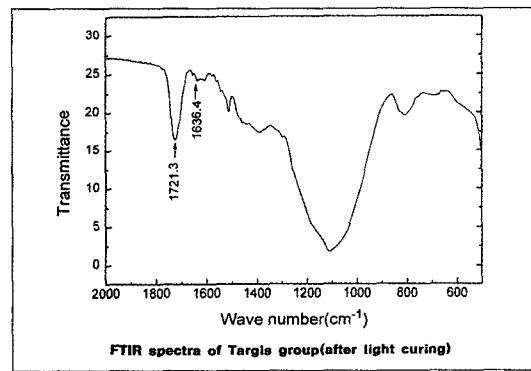


c

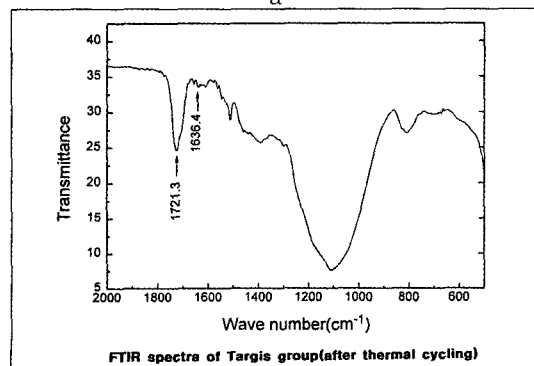
Fig. 6. FTIR spectra of Estenia group. Arrow indicate the aliphatic C=C(1636 cm^{-1}) and ester C=O(1721 cm^{-1}). (a) before light curing, (b) after light curing, (c) after thermal cycling.



a



b



c

Fig. 7. FTIR spectra of Targis group. Arrow indicate the aliphatic C=C(1636 cm^{-1}) and ester C=O(1721 cm^{-1}). (a) before light curing, (b) after light curing, (c) after thermal cycling.

서는 큰 차이를 보이지 않았다.

IV. 고 찰

오늘날 치과 보철 치료 분야에서는 기능의 회복 못지 않게 심미적인 면이 크게 강조되는 추세에 있으며, 심지어 구치부에서조차 치아색과 같은 색조의 보철물에 의한 수복욕구가 증가하고 있다. 이러한 목적으로 치과용 도재나 경질 레진의 사용이 많아지고 있는데, 치과용 도재는 뛰어난 심미성과 높은 생체 친화성이 큰 장점이지만, 강도 보완을 목적으로 금속과 같이 사용되었을 때에는 하부 금속 구조물의 비심미성, 부식가능성, 도재의 파절 경향, 대합치의 마모유발 가능성등이 단점으로 지적될 수 있다. 이러한 단점을 해소하고자 제작된 전부 도재관의 경우에 하부금속에 의한 비심미성은 어느정도 개선시킬 수 있지만, 이것의 제작에 사용되는 결정화 유리나 코어용 세라믹의 제작이 쉽지않고, 여전히 대합치에 대한 마모유발 가능성, 구강내 수복의 어려움 및 파절 가능성은 한계로 남아 있다¹⁻³⁾.

치과 재료로 아크릴릭 레진이 사용되기 시작한 것은 1930년대부터이며, 초창기의 그것은 도재에 비해 심미성, 색조, 기계적 성질이 대단히 열등하였기 때문에 단지 제작이 용이한 값싼 상품으로만 인지도였다^{4,49)}. 1960년대 초기에 MMA 레진에 가교제를 다량 첨가함으로써 종래의 레진보다 강하고 단단한 성질을 갖는 가열 중합형의 경질 레진도 도입되었지만, 내마모성, 내변색성, 결합계면에서의 미세누출 등의 면에서 여전히 많은 문제점이 나타났다. 1980년대에는 PMMA대신 실리카 미세분말과 메타크릴레이트 레진을 중합한 후 미세분말로 만든 유기질 복합필러가 이용되면서 내마모성이 크게 향상되었고, 필러 배합기술의 진보에 힘입어 입자의 크기가 다른 미세분말 그래스를 배합하여 충진율을 증가시킨 하이브리드형의 치관전장용 복합레진이 개발되었으며, 이들은 기존의 경질 레진에 비해 내마모성이 뛰어난 장점을 보였다. 또한 기질레진으로 열가소성의 선상고분자 대신 가교에 의해 3차원 망상구조를 이루는 다관능 메타크릴레이트 레진을 사용하고, 중합방식이 가열중합형에서 광중합과 가열중합을 병행하는 방식으로 바꾸면서 기계적 성질의 개선과 함께 조작성과 색조 재현성이 크게 개선되었다

35,36)

이러한 강화된 치관용 복합레진은 자연치와 비슷한 마모도를 보이며, 구치부의 교합압에도 견딜 수 있는 강한 강도를 가졌고, 성형이나 색조재현이 용이한 점, 내변색성이 우수한 점등을 장점으로 들 수 있으며, 레진 단독으로 혹은 FRC(fiber reinforced composite)나 금속하부구조물과 결합하여 보철재료로 사용되고 있다. 초기 치관용 복합레진에 비해서 무기 필러의 함유량이 66%이상으로 더 많아졌으며, 그 형태도 둥근 형태에서 더 길고 큰(1-5 μ m) 모양으로 바뀌었고, 주로 silica barium glass와 ceramic으로 구성되어 있다.

본 실험에서는 4 가지의 치관용 레진을 사용하였으며, 그 중 Artglass는 1995년에 시장에 출시되었으며 UDMA와 4개에서 6개 까지의 반응기를 가진 methacrylic ester로 기질 레진이 구성되고, 필러는 평균입자 크기 0.7 μ m의 silicon dioxide와 barium-alumina silica glass로 총 중량의 70%를 차지하고 있다. 이러한 구조로 인해 좀 더 많은 탄소 이중결합으로의 전환이 가능해지고, 고차원적인 가교결합을 이룰 수 있을 뿐만 아니라, 가교결합이 일어나는 곳의 탄소고리 위치를 더 잘 조절할 수 있게 되었다. 광중합은 xenon stroboscopic light(UniXS, Heraeus/Kulzer, Germany)에서 이루어지며 빛의 방출 범위는 320-500nm이다. Leinfelder등⁵⁾은 광촉매제인 camphor quinone이 470nm에서 최적화되기 때문에 위와같은 방출범위가 적절하다고 지적한 바 있다.

Esteria는 평균 입자 크기 2 μ m의 미립자 필러 사이에 평균 입경 0.02 μ m의 초미립자 필러를 배합하여 본 실험군중에서는 그 함량이 92wt%로 가장 높다. 관능기가 4개인 UTMA레진을 사용하여 고도의 가교구조를 형성하고 있으며, 광중합후 열중합에 의해 중합반응의 향상을 도모하고 있다. Sculpture의 기질 레진은 PCDMA, TEGDMA 및 ethoxylated A dimethacrylate로 구성되어 있으며, 평균입자크기 0.6 μ m의 barium borosilicate glass와 silica입자가 75wt% 이상 함유되어 있고, 광중합 및 질소가스하에서의 가열, 가압으로 중합이 이루어진다. Targis는 Bis-GMA, Decandiol, UDMA로 기질 레진이 구성되어 있으며, 1mm 직경의 barium-aluminum-silicon glass사이에 40nm 크기의 silicon dioxide 필러와 200nm 크기의 혼합된 oxide가 75~85wt%까지

배합되어 있다.^{5,13,50)}

강화된 치관용 복합레진의 물성향상은 다음과 같이 설명 가능하리라 생각된다. 첫째 복합레진은 필러와 기질 레진으로 구성된 불균일한 구조이지만, 하이브리드형 복합레진에서는 필러의 고밀도 충전과 미세화로 인접한 필러들 사이의 거리단축과 함께 필러와 기질 레진이 평균화된 균일한 구조를 이루므로 연마성과 내마모성이 향상되었으며, 둘째 복합레진은 필러의 함량이 증가할수록 취성재료의 특성을 나타내므로 경도가 상승하고 인장강도나 파괴인성이 감소하는 경향을 나타내지만, 최근의 치관용 복합레진에서는 필러 이외의 부분 즉, 기질레진과 중합방법의 개선으로 인장강도 및 굽힘강도의 저하를 방지한다는 점이다. 중합방법의 변경에 대해서 Leinfelder 등⁵¹⁾은 광중합후 부가적인 열처리가 인접면과 교합면 부위에서 보철물의 마모저항성을 향상시켰다고 보고하였지만, Wendt 등^{32,33)}은 광중합후 열처리를 가한 복합레진에서 몇 가지의 기계적 성질, 특히 강도와 마모저항성은 60~70%이상 증가했지만, 계속되는 임상시험에서 그 둘 사이에 마모율의 차이는 없었다고 보고한 바도 있다. 세 번째로는 기질레진으로 경도가 높은 다관능성 모노머를 도입함과 함께 입자의 직경이 빛의 파장의 1/10 이하인 초미립자 필러를 고밀도로 충전함으로써 기질과 필러 사이의 물성 차이를 크게 감소시켰다는 점이다.

이상의 강화기전과 그 효과를 증명하고자하는 많은 실험들이 실시되었고 보고되었는데, Lyzak 등⁵¹⁾은 Artglass와 Targis가 포함된 치관전장용 복합레진의 강도시험에서 그 둘 사이에 강도차이가 없으며, 구강내에서 재수복시 굽힘강도의 저하와 접합부의 탈락을 보고하였고, Cattani-Lorente 등⁵²⁾은 필러 함량이 가장 높은 전장용 레진의 간접인장 강도와 굽힘강도가 가장 크고, 물 속에서의 시효처리 기간이 물성저하에 영향을 미치지 않았음을 보고한 바 있다. Ferracane 등^{53,54)}은 광중합후 추가적인 열처리에 의해 필러와 기질간의 결합개선으로 물성이 향상된다고 하였으며, 계속되는 그의 연구에서 부가적인 열처리가 폴리머의 전환율(conversion rate)을 증가시키기 때문에 나름의 장점은 있지만, 열처리에 의해 나타난 강도의 증가는 일시적이며 지속적인 수분점축으로 레진의 기질이 변하여 그 효력은 상실된다고 하였다. Suzuki 등⁵⁵⁾은 치관용 레진에 함유되는

필러에 대한 연구에서 상대적으로 작은 크기의 필러가 큰 것에 비해서 마모저항성이 강했으며, 현미경 관찰에서도 양호한 접촉상태를 보인다고 하였고, Christensen 등⁵⁶⁾은 임상시험에서 치관전장용 레진의 1년간 임상시험 결과는 양호하지만 마모나 하부 구조물과의 탈락, 술후 파면반응등이 있음을 보고했다.

치관용 복합레진과 같이 무기필러를 다량 함유하는 취성 재료의 파절은 재료의 표면이나 내부에 존재하는 가장 취약한 결함부에 인장응력이 작용함에 따라 균열이 성장하여 일어나므로 인장강도나 파괴인성의 측정이 요구되지만, 취성재료는 인장시험이 용이하지 않기 때문에 비교적 측정이 용이한 압축시험이나 압축에 의해 간접적으로 인장강도를 측정하는 간접인장시험, 굽힘시험등이 빈번하게 적용되어 왔다. 압축강도나 간접인장강도는 이론적으로 소성변형이 없는 완전 취성재료의 강도평가에 적용할 수 있지만, 압축과정에서 소성변형을 수반하는 재료의 경우에는 압축면상에 압축과 전단응력이 동시에 발생하므로, 파괴가 인장에 의한 것인지 전단에 의한 것인지 예측하기 어려운 면이 있다. 이같은 관점에서 저자는 Yamamoto 등⁴⁷⁾이 제시한 소형 인장시험을 이용한 강도측정 시험을 행하였다.

강도가 재료내의 결함에 민감하게 영향을 받는 취성재료는 강도의 분산이 크므로 통계적 분석이 요구되며, 일반적으로 파절 강도가 재료의 균질성의 함수로 표시되는 Weibull 통계가 적용되고 있는데, Weibull 분석은 물리적인 원칙보다는 통계적인 개념에 근거를 두고 있기 때문에, 다양한 방향에서 스트레스를 받는 복잡한 기하학적인 구조를 가진 구조물의 파괴확률을 정확하게 예측하기에는 다소의 제한점이 있지만 적용의 용이함 때문에 널리 사용되고 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.⁵⁷⁻⁵⁹⁾

몇 가지 종류의 세라믹 재료와 취성이 큰 치과재료에서 Weibull 계수는 5~20 정도의 값을 갖는 것으로 보고되고 있으며, Ban 등⁶⁰⁾은 복합레진의 2축굽힘시험을 실시하였을 때 Weibull 계수와 특성강도가 각각

6.27과 111.6MPa를 보였다고 하였다. 배 등⁶⁰⁾은 광중합형 수복용 복합레진의 2축굽힘시험을 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 등⁴⁸⁾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 실험에서는 thermal cycling이 치관전장용 복합레진의 인장강도에 미치는 영향을 조사한 결과, Weibull 분포는 single mode에 잘 일치하는 경향을 보였다($\chi^2 > 0.91$). Thermal cycling 후에 도재 대조군을 제외한 모든 레진 실험군의 특성강도와 평균인장강도는 모두 감소하였으며, 감소폭은 Targis군에서 가장 크게 나타났다. 하지만 Weibull 계수는 대조군을 제외한 실험군에서는 모두 증가하였으며, 특히 Estenia의 수치가 16.1로 가장 높은 값을 보였다. Weibull 계수가 증가하였다는 것은 그만큼 강도의 분산이 작고 평균치보다 낮은 응력하에서 파괴가 일어날 확률이 감소하였다는 것을 의미하는데, 특성강도는 비록 낮아졌지만 지속적인 안정화가 이루어졌다고 해석할 수 있겠다. Bagis 등⁶¹⁾도 광중합후 부가적인 열중합이 monomer conversion을 증진시키며 물속에서의 시효처리로 물리적 성질이 저하되기는 하지만 monomer conversion값이 변하지는 않았다고 했으며, Mair 등⁶²⁾도 42일간 10,000회의 열변환군과 같은 기간동안 물속에서 시효처리만 행한 군에서 물성의 저하는 관찰되지만, 그 둘 사이에 차이가 크지 않으며 구강내 환경이 레진의 인성을 저하시키는 중요 인자는 아니라고 지적한 바 있다.

치관전장용 복합레진의 기계적 성질은 레진과 필러의 구성 및 중합방법에 크게 의존하는데, Kawahara 등⁶³⁾은 필러의 함량이 증가할수록 취성이 커지므로 굽힘으로 인해 높은 인장응력이 발생하는 부위에서는 하부금속이 굽힘에 저항할 수 있을 정도의 충분한 강도를 가져야 한다고 하였다. Kawaguchi 등⁶⁴⁾은 고밀도의 가교구조가 형성되는 4개의 관능기를 갖는 UTMA계 레진이 2개의 관능기를 갖는 UDMA계 레진보다 강성이 크다고 하였고, 채 등⁶⁵⁾도

UTMA 레진의 압축강도가 Bis-GMA 레진보다 높게 나타난다고 하였으며, Yamaga 등²²⁾은 UDMA 계보다 UTMA 계 치관전장용 복합레진의 경도와 파괴인성이 더 크며 필러의 함량과 경도 사이에는 선형비례 관계를 보인다고 하였다. Asmussen 등⁶⁶⁾은 BisGMA나 TEGDMA를 UDMA로 바꾸었을 때 인장강도, 굴곡강도가 증가하였으며, BisGMA를 TEGDMA로만 교체시 인장강도는 증가하지만 굴곡강도는 감소한다고 보고하면서, 이러한 기질 레진의 배율을 적절하게 조정하는 것이 복합레진의 기계적 인 성질에 크게 영향을 미친다고 하였다. Komi 등³⁶⁾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 Estenia의 강도와 내마모성이 종래의 전장용 복합레진에 비해 크게 개선되었다고 하였다.

Ferracane 등⁵³⁾은 광중합후 추가적인 열처리가 레진과 필러 사이의 결합을 개선한다고 하였고, Yamaga 등²²⁾은 치관전장용 복합레진의 경도와 색조안정성을 개선하기 위해서는 광중합 후 열원이나 광원을 이용한 재중합 처리가 요구된다고 하였는데, Freilich 등⁶⁷⁾은 7개월동안의 임상실험에서 실패는 없었지만 장착 2주후부터 표면광택의 소실이 나타남을 보고한 바 있다. 본 실험에서 치관전장용 복합레진의 인장강도를 조사한 결과, Estenia군이 다른 군에 비해 필러의 함량이 높지만 인장강도가 더 크게 나타나고 있는데, 이는 Komi 등³⁶⁾, Yamaga 등²²⁾이 언급한 것과 같이, 기질레진과 중합방법의 개선으로 인해 레진의 중합율과 가교밀도가 개선되었기 때문으로 생각되지만, Suzuki²⁰⁾가 지적했듯이 Estenia의 높은 강도는 오히려 대합치의 범랑질을 마모시킬 수 있는 부작용도 예상할 수 있다.

수중에서의 시효처리나 thermal cycling을 행했을 경우에 수분의 침투에 의한 레진 기질의 가소성 증가와 silane 결합의 가수분해, 미중합 레진의 중합수축으로 인한 레진과 필러 계면에서의 내부응력 증가, 수분에 의한 필러와 레진의 응력 부식 등 복합적인 요인이 작용하여 기계적 성질을 저하시키는 것으로 볼 수 있다.^{46,61,62)} 이에 대해 Indrani 등⁴⁶⁾은 수분

흡수는 주로 실험 초기에 발생되며, 수분에 의한 레진 기질의 가소성 증가와 그로 인한 가소영역의 확대가 균열을 촉발시키면서 물성저하로 이어진다고 보고한 바 있다. Thermal cycling으로 인해 물성저하가 일어나는 것은 확실하지만, Gale 등⁴³⁾이 지적한대로 실험실에서의 열변환 시험에 의한 결과들이 임상적인 실패와 확실히 연관이 있다고 단정할 수는 없으며, 본 실험 결과에서도 인장강도의 저하는 있었지만 Weibull 계수는 오히려 증가하였기 때문에 평균 이하의 응력하에서 파괴될 확률은 더 낮아진 것으로 볼 수 있다.

FTIR분석법은 중합 전과 후의 지방족 탄소 이중결합의 농도를 측정하고, 중합후에도 반응하지 않고 일정한 흡수도를 유지하는 방향족 탄소이중결합 흡수도를 내부기준으로 삼아 중합후에 잔류하는 지방족 탄소이중결합 비율을 계산하여 중합률을 산정하는 방법이며, 최근에 Duray 등⁶⁸⁾은 내부표준화나 외부 수치의 변환이 필요없는 multiple standard additions technique을 소개한 바 있다. 본 실험에서는 구체적인 중합률을 계산하지는 않았으며, 단지 가장 큰 특성강도를 보인 Estenia와 thermal cycling 후에 가장 큰 강도의 감소를 보인 Targis를 소재로 중합전과 후, thermal cycling이 완료된 후에 지방족 탄소이중결합의 흡수강도를 측정하였는데 중합후에 지방족 탄소이중결합의 흡수강도가 감소하였고, thermal cycling 후에는 약간 증가하는 경향을 보였다.

본 연구결과 강화형 치관용 복합레진의 인장강도는 Estenia군이 상대적으로 높게 나타났지만, 실제 임상에서는 본 실험에 사용된 시편과는 달리 치아형태의 복잡한 보철물이 사용되고, 특히 구치부에서는 보강용 금속이나 섬유구조물에 전장용 레진이 접합되는 형태를 띠므로, 그와같은 상황을 상정한 시편 제작과 저작력을 가하는 실험조건을 통해 좀 더 실제적이고 객관적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. Thermal cycling에 관련해서도 지금까지의 많은 실험들이 본 실험에서와 같은 조건에서 행해졌지만, 온도 조건과 계류시간등을 실제상황에 유사한 조건으로 변경한 상태에서 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

최근에 소개되어 현재 임상에서 관심을 끌고 있는 4종의 강화형 치관용 복합레진인 Artglass(Heraeus Kulzer Co., Wehrheim, Germany), Estenia(Kuraray Co., Japan), Sculpture (Jeneric Pentron Co., Wallingford, U.S.A.) 및 Targis(Ivoclar Co., Schaan Liechtenstein)레진을 실험군으로, 금속-도재관용 도재인 Vita VMK 68(Vita Zahnfabrik, Germany) 및 Ceramco(Ceramco Co., U.S.A.)도재시편을 대조군으로 한 thermal cycling 전후의 인장강도 실험과 FTIR분석에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각각의 실험조건에서 Estenia가 가장 높은 인장강도를 보였으며, 다른 실험군과 통계학적으로 유의한 강도차이를 나타냈다($p < 0.05$).
2. Weibull 분포는 single-mode에 잘 일치하는 경향을 보였으며, 모든 레진 실험군에서 Weibull 계수는 thermal cycling 후에 증가하였다.
3. Thermal cycling 후에 Estenia의 인장강도가 가장 컸으며, Targis가 가장 낮은 값을 보였고, 레진 실험군 상호간에 통계학적으로 유의한 강도 차이를 보였다($p < 0.05$).
4. Estenia와 Targis의 FTIR 분석결과 광중합후 지방족 탄소이중결합의 흡수강도가 감소했으며, thermal cycling 이후에는 큰 차이를 보이지 않았다.

References

1. Touati B. The evolution of aesthetic restorative materials for inlays and onlays: A review. *Pract Periodont Aesthet Dent* 1996;8:657-66.
2. McLean JW. The science and art of dental ceramics. 2nd ed. Chicago: Quintessence: 1982. p.415-17.
3. Craig RG. Restorative dental materials. 6th ed. St.Louis: Mosby:1980.
4. Kato T. Evolution and the problem of dental crown resin in 1999, and 'Bell Glass', Part 1: Evolution of resin materials for teeth and the hybrid composite resin. Quintessence

- Dent Technol 1999;24:26-35.
5. Leinfelder KF. Resin restorative systems. JADA 1997; 128:573-81.
 6. Dennison JB, Craig RG. Physical properties and finished surface texture of composite restorative resins. JADA 1972;85:101-8.
 7. Nuckles DB, Cosby CC Jr. Comparison of physical properties of four commercial composite resins. J Dent Res 1972;51:1512.
 8. Touati B, Aidan N. Second generation laboratory composite resins for indirect restorations. J Esthet Dent 1997;9:108-18.
 9. Bertolotti RL. A new polymer glass utilized for modification and repair of fixed partial dentures. Quint Int:1997;28:437-39.
 10. McLaren EA, Rifkin R, Devaud V. Considerations in the use of polymer and fiber-based indirect restorative materials. Pract Periodont Aesthet Dent 1999;11:423-32.
 11. Ceramic-Polymer crowns and fixed prostheses: CRA Newsletter. 1997:21.
 12. Armstrong D, Kimball D. Fiber-reinforced polymer-ceramic fixed partial dentures in the esthetic zone: A clinical and laboratory case perspective. QDT 1999:95-106.
 13. Nakamura T, Yamada K, Maruyama T. Clinical application of a newly developed hybrid ceramic composite for posterior prostheses. QDT 1999:83-93.
 14. Christensen GJ. Porcelain-fused-to-metal vs. nonmetal crowns. JADA 1999;130:409-11.
 15. Okada K, Omura I, Yamauchi J. A newly developed composite crown and inlay material (abstract 1452). J Dent Res 1997;76:195.
 16. Ambjornsen E, Holland RI. In vitro abrasion of two acrylic veneers. Dent Mater 1994;10:107-10.
 17. Matsumura H, Leinfelder KF. Localized three-body wear of six types of light-activated composite resin veneering materials. J Prosthet Dent 1993;70:207-13.
 18. Matsumura H, Leinfelder KF. Three-body wear of four types of light-activated composite resin veneering materials. Quintessence Int 1994;25:425-30.
 19. Boretti R, Krejci I, Lutz F. Clinical and scanning electron microscopic evaluation of fine hybrid composite restorations in posterior teeth after four years of wear (abstract 222). J Dent Res 1997;76:41.
 20. Suzuki S. In vitro wear of indirect resin composite restoratives (abstract 204). J Dent Res 1998;77:657.
 21. Berge M. Properties of prosthetic resin-veneer materials processed in commercial laboratories. Dent Mater 1989;5:77-82.
 22. 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;22:857-63.
 23. Matsumura H, Tanoue N, Atsuta M, Kitazawa S. A metal halide light source for laboratory curing of prosthetic composite materials. J Dent Res 1997;76:688-93.
 24. Freilich MA, Karmaker AC, Burstone CJ, Goldberg AJ. Flexure strength of fiber-reinforced composites designed for prosthodontic application (abstract 999). J Dent Res 1997;76:138.
 25. Yoshida K, Matsumura H, Atsuta M. Monomer composition and bond strength of light-cured opaque resin. J Dent Res 1990;69:849-51.
 26. 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;22:493-99.
 27. Sorensen JA, Malloy CM. Shear bond strength of resin composite restorative materials to metal (abstract 1363). J Dent Res 1997;76:184.
 28. Nergiz I, Pfeiffer P, Niedermeier W. Effects of surface treatment on resin veneer/alloy bond

- strength(abstract 2390). *J Dent Res* 1997;76:312.
29. Alex G, Gwinnett AJ. The effect of artglass liquid on bonded artglass assemblies(abstract 2392). *J Dent Res* 1997;76:312.
 30. Li D, O'Keefe KL, Powers JM. Effect of alloy on color of artglass(abstract 1451). *J Dent Res* 1997;76:195.
 31. Setz J, Engle E. In vivo color stability of resin-veneered telescopic denture: A double blind pilot study. *J Prosthet Dent* 1997;77:486-91.
 32. Wendt SL. The effect of heat used as a secondary cure upon the physical properties of three composite resins. I. Diametral tensile strength, compressive strength and marginal dimensional stability. *Quintessence Int* 1987;18:265-71.
 33. Wendt SL. The effect of heat used as a secondary cure upon the physical properties of three composite resins. II. Wear, hardness and color stability. *Quintessence Int* 1987;18:351-6.
 34. Ziemiecki TL, Wendt SL, Leinfelder KF. Effect of heating composite resin on posterior proximal contact maintenance(special abstract). *J Dent Res* 1992;72:752.
 35. 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.
 36. Komi H, Shinya A. The latest dental hard resin. *J Dental Engineering*(No. 122) 1997 : 29-34.
 37. Mazer RB, Leinfelder KF, Russel CM. Degradation of microfilled posterior composite. *Dent Mater* 1992;8:185-9.
 38. Wendt J, McInnes PM, Bickinson GL. The effect of thermocycling in microleakage analysis. *Dent Mater* 1992;8:181.
 39. Spierings TAM, Peters MCRB, Bosman F, Plasschaert AJM. Verification of theoretical modelling of heat transmission in teeth by in vivo experiments. *J Dent Res* 1987;66:1336-9.
 40. Tibbets VR, Schnell RJ, Swartz ML, Phillips RW. Thermal diffusion through amalgam and cement bases: comparison of in vitro and in vivo measurements. *J Dent Res* 1976;55:441-51.
 41. Buonocore MG, Sheykhoslam Z, Glana R. Evaluation of an enamel adhesive to prevent marginal leakage: an in vitro study. *J Dent Child* 1973;40:119-24.
 42. Garcia-Godoy F, Finger WJ. Reliability of microleakage evaluation using dentin bonding agents(abstract 1636). *J Dent Res* 1993;72:308.
 43. Gale MS, Darvell BW. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent* 1999;27:89-99.
 44. Ko YM, Kim KN, Kim KM et al. Dental materials-2nd ed. KunJa publishing co, 1998:51-8.
 45. Miyazaki H, Suzuki E, Miyazi T. Effects of thermal cycling on the mechanical properties of posterior composite resins. *Dent Mater Engin* 1986; 5 : 187-195.
 46. Indrani DJ, Cook WD, Televantos F, Tyas MJ, Harcourt JK. Fracture toughness of water-aged composite restorative materials. *Dent Mater* 1995;11:201-7.
 47. Yamamoto M, Takahashi. Tensile fatigue strength of light cure composite resins for posterior teeth. *Dent Mater* 1995;14:175-84.
 48. Baek SH, Chae MS, Lee JH et al. Effects of aging and thermal cycling on the tensile strength of light-cured composites. *J Kor Res Soc Dent Mater* 1998;25:29-35.
 49. Roulet JF. Degradation of dental polymers. Basel:New York:Karger,1987.
 50. Krejci I, Boretti R, Lutz F, Giezendanner P. Adhesive crowns and fixed partial dentures

- of optimized composite resin with glass fiber-bonded framework. QDT 1999 :107-27.
51. Lyzak WA, Campbell SD, Wen Z. Flexural strength of repaired composite veneer materials for fixed prosthodontics (abstract 1333). *J Dent Res* 1998;77:272.
 52. Cattani-Lorente M, Godin C, Meyer JM. Mechanical properties of three polymer-based crown & bridge veneering materials (abstract 1485). *J Dent Res* 1998;77:817.
 53. Ferracane JL, Condon Jr. Post-cure heat treatments for composites: properties and fractography. *Dent Mater* 1992;8:290-5.
 54. Ferracane JL, Hopkin JK, Con JR. Properties of heat-treated composites after aging in water. *Dent Mater* 1995;11:354-58.
 55. Suzuki S, Leinfelder KF, Kawai K, Tsuchitani Y. Effect of particle variation on wear rates of posterior composites. *Am J Dent* 1995;8:173-78.
 56. Christensen RP, Smith SL, Hein DK, Woolf SH. Clinical performance of 3 filled polymer crowns with & without substructures (abstract 1631). *J Dent Res* 1999;78:309.
 57. Suzuki H et al. Strength and destruction of ceramics. Public publishing.co. 1977 : 142-168.
 58. Sakibana S. The action of new ceramics: its science and technology. Agnefiks 1985: 1-28.
 59. Ban S, Anusavice KJ. Influence of test method on failure stress of brittle dental materials. *J Dent Res* 1990;69:1791-99.
 60. Bae TS, Kim TJ, Kim HS. Effects of aging and thermal cycling on the mechanical properties of light-cured composite resin. *J Kor Bio Mater Enginer* 1996;17:327-35.
 61. Bagis YH, Rueggeberg FA. Effect of post-cure temperature and heat duration on monomer conversion of photo-activated dental resin composite. *Dent Mater* 1997;13:228-32.
 62. Mair LH, Vowles R. The effect of thermal cycling on the fracture toughness of seven composite restorative materials. *Dent Mater* 1989;5:23-6.
 63. Kawahara M, Netda M. The strength of light cured hard resin: about its wear resistance. *Dent Lab* 1987; 15 : 765-772.
 64. Kawaguchi N, Fukusima D, Horibe R, Watanabe M. The properties and strength of urethanetetramethacrylate composite resin. *Dent Mater Enginer* 1990; 9 : 762-770.
 65. Chae MS, Chu YH, Bae TS. A study on the compressive strength of light-cured composite resin. *J Kor Res Soc Dent Mater* 1995; 22 : 113-121.
 66. Asmussen E, Peutzfeldt A. Influence of UEDMA, BisGMA and TEGDMA on selected mechanical properties of experimental resin composites. *Dent Mater* 1998;14:51-6.
 67. Freilich MA, Duncan JP, Meiers JC, Goldberg AJ. Clinical evaluation of fiber-reinforced fixed partial dentures : preliminary data (abstract 2218). *J Dent Res* 1999;78:383.
 68. Duray SJ, Gilbert JL, Lautenschlager EP. Comparison of chemical analysis of residual monomer in a chemical-cured dental acrylic material to an FTIR method. *Dent Mater* 1997;13:240-45.

Reprint request to:

Søung-Gøun Ahn

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Chonbuk Natonal University
Chonju 561-756, Korea
sgahn@moak.chonbuk.ac.kr

ABSTRACT

A STUDY ON THE TENSILE STRENGTH OF REINFORCED VENEERING COMPOSITE RESINS FOR CROWN

Seung-Geun Ahn, Dong-Wan Kang*

*Department of Prosthodontics and Institute of Oral Bio Science,
School of Dentistry, Chonbuk National University,
Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Chosun University**

Recently a new generation of crown and bridge veneering resins containing submicron glass fillers was introduced. These ultrasmall particle hybrid composite materials distinguish themselves, compared with conventional microfill crown and bridge resins, through improved mechanical properties. It is claimed that these composites are suitable for metal free crowns and even bridges using fiber reinforcement.

The purpose of this study was to evaluate the effect of thermal cycling on the tensile strength of the following veneering composites: Artglass(Heraeus Kulzer Co., Wehrheim, Germany), Estenia(Kuraray Co., Japan), Sculpture(Jeneric Pentron Co., Wallingford, U.S.A.), and Targis(Ivoclar Co., Schaan Liechtenstein). According to manufacturer's instructions, rectangular tensile test specimens measuring 1.5×2.0×4.5 mm were made using a teflon mold. Whole specimens were divided into two groups. One group was dried in a desiccator at 25°C for 10 days, and another group was subjected to thermal cycling(10,000×) in water(5/55°C). All test specimens were placed in a universal testing machine and loaded until fracture with a crosshead speed of 0.5mm/min.

Weibull analysis and Tukey's test were used to analyze the data. The fracture surfaces of specimens were observed in SEM and the aliphatic C=C absorbance peak of Estenia and Targis resin was analyzed using Fourier transform infrared(FTIR) spectroscopy.

Within the limitations imposed in this study, the following conclusions can be drawn:

1. Both in drying condition and thermal cycling condition, the highest tensile strength was observed in Estenia testing group($p < 0.05$).
2. The strength data were fit to single-mode Weibull distribution, and the Weibull modulus of all veneering composite resin specimens increased after thermal cycling treatment.
3. After thermal cycling test, the highest tensile strength was observed in the Estenia group, and the lowest value was observed in the Targis group. The tensile strength values showed the significant differences between each group($p < 0.05$).
4. The aliphatic C=C absorbance peak of Estenia and Targis resin was decreased after light curing, and there was no distinct change after thermal cycling.

Key words : Veneering composites, Tensile strength, Weibull analysis, FTIR