

# Thermal cycling과 시효처리가 Glass-Ionomer 수복재의 인장강도에 미치는 영향

백병주 · 김문현 · 이승영 · 이승익 · 김재곤

전북대학교 치과대학 소아치과학교실

## 국문초록

본 연구에서는 구강환경과 유사한 액상의 조건하에서의 온도변화가 광중합형 글래스이오노머계 수복재의 인장강도에 미치는 영향을 평가하기 위해 대조군으로 2종의 재래형 glass ionomer를 선택하고 실험군으로 2종의 광중합형의 resin-modified glass ionomer와 2종의 polyacid-modified resin composite을 선택한 다음 수중에서의 thermal cycling과 시효처리를 행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 글래스이오노머 수복재의 인장강도를 측정된 결과, polyacid-modified resin composite, resin-modified glass ionomer 그리고 재래형 glass ionomer 의 순으로 나타났다.
2. 인장강도는 30일간의 시효처리로 증가되는 경향을 보였다.
3. 재래형 glass ionomer 수복재의 인장강도는 thermal cycling 처리로 증가되는 경향을 보였으며, 37°C의 증류수 중에 1시간 침적한 군과 10,000회의 thermal cycling을 비교한 결과 유의한 차이로서 강도의 증가를 나타냈다( $P < 0.01$ ).
4. thermal cycling 군의 인장강도는 DR군이 45.4MPa로 최대치를, FL군이 13.4MPa로 최소치를 나타냈으며, 각 군간의 통계적 유의성을 검증한 결과 polyacid-modified resin composite의 인장강도가 나머지 군과 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ).
5. 특성강도는 DR군이 48.6MPa로 가장 높은 강도치를 보였으나, Weibull 계수는 CG군이 8.9로 가장 높은 값을 보여 시험재료 중에서 가장 작은 강도의 분산을 나타냈다.

**주요어 :** Glass-ionomer materials, 인장강도, Thermal cycling

## 1. 서 론

글래스이오노머 시멘트(GIC)는 치질에 대한 접착성이 있으며, 지속적인 불소의 방출에 의한 항우식성과 치수에 대한 친화력이 있는 등의 장점을 갖고 있지만, 경화과정에서의 감수성이 크고, 굽힘강도와 파괴인성 등의 기계적 성질이 낮으며, 조작이 불편한 등의 단점으로 인해 사용하기 어려운 재료로

서 인식되어 왔다. 최근 GIC를 수복용 재료로 사용하기 위해 GIC에 레진계 재료를 첨가하여 결점을 보완한 resin-modified 글래스이오노머 시멘트(RMGIC)가 임상에 도입되었으며, 이들 재료가 갖는 장점들로 인해 그의 이용이 점차 증가하고 있다. 재래형 GIC는 산-염기 반응으로 경화가 일어나므로 감수성이 크지만, RMGIC에서는 GIC에 methacrylate 계 모노머(주로 HEMA)를 첨가하여 GIC의

산-염기 반응과 레진의 래디칼 중합을 조합함에 따라 GIC의 경화초기에 나타나는 감수성이 크게 완화되고, 치질에 대한 접착력과 기계적 성질이 개선되었다고 보고하였다<sup>1-4</sup>. RMGIC의 일부는 GIC의 분말 성분인 fluoroaluminosilicate glass 및 폴리카르본산 미분말과 액성분인 methacrylate monomer를 혼합한 one paste type으로, 광조사에 의한 기질레진의 중합으로 경화가 일어나므로 중합기전이 복합레진과 동일하다. 성분중에 수분을 포함하지 않으므로 경화된 기질내부로 수분이 확산될 때까지는 GIC의 산-염기 반응이 일어나지 않기 때문에 GIC과 부르기 보다는 polyacid-modified resin composite (PMRC) 또는 COMPOsite에 glass ionoMER를 첨가한 재료라는 의미의 조어인 compomer라 부르고 있다<sup>5</sup>.

compomer는 복합레진에 보다 가까운 불소를 함유하는 수복재료로서, 재래형 GIC의 경우와 마찬가지로 불소방출성이 있기 때문에 우식억제 효과를 기대할 수 있고, 또한 광중합형 복합레진과 마찬가지로 균일한 페이스트의 광조사에 의해 경화가 일어나므로 충전조작이 간편하며, 강도가 재래형 GIC와 RMGIC를 상회하여 복합레진에 필적하므로 새로운 심미수복재료로서 관심이 집중되고 있지만, 변연봉쇄성이 그다지 우수하지 않기 때문에 치면처리법의 개선이 요망된다<sup>6</sup>.

시멘트와 같이 취성이 큰 재료의 파절은 주로 인장응력을 받는 결합부에서의 균열성장으로 야기되므로 인장강도를 측정하는 것이 요구되지만, 인장시험이 용이하지 않으므로 압축시험이나 압축에 의해 간접적으로 인장강도를 측정하는 간접인장시험(dimetral tensile test)이 빈번하게 적용되고 있으며, GIC에 대한 ISO 규격(ISO 9917, 1986)에서는 강도평가의 방법으로서 압축시험에 대하여 규정하고 있다.

압축강도나 간접인장강도는 이론적으로 소성변형이 없는 완전취성재료의 강도평가에 적용할 수 있지만, 압축과정에서 소성변형을 수반하는 재료의 경우에는 압축면상에 압축응력과 전단응력이 동시에 발생하므로 파괴가 인장에 의한 것인지 전단에 의한 것인지 예측하기 어려우며, 이같은 문제점으로 인해 굽힘시험에 의한 강도측정법이 빈번하게 적용되고 있다<sup>7</sup>. 宮崎 등<sup>8</sup>은 레진의 가소성에 기인한 변형 때

문에 복합레진의 강도평가에 간접인장시험을 적용하는 것이 무리라고 하였고, Indrani<sup>9</sup>는 복합레진의 수중에서의 시효처리시 레진의 가소성 증가로 인해 항복강도가 저하한다고 하였다. Nicholson 등<sup>10</sup>은 RMGIC의 수중침적시 탄소성 변형 거동을 보인다고 하였고, McCabe 등<sup>11</sup>은 RMGIC와 같이 약간의 소성변형을 수반하는 재료의 강도 평가는 압축시험보다 굽힘시험을 적용하는 것이 적절하다고 하였으며, 최근의 RMGIC에 관한 연구에서는 강도의 평가를 위해 굽힘시험을 빈번하게 적용하여 왔다. 굽힘시험의 경우에는 시편의 중앙 하중점 직하방에 최대 인장응력이 발생하여 파괴가 일어나지만, 인장시험의 경우에는 시편의 전단면에 걸쳐서 균일한 인장응력이 발생하여 파괴가 일어나므로 응력상태가 굽힘시험과는 차이가 있으며, 이같은 관점에서 최근의 복합레진에 관한 몇몇 연구에서는 소형 인장시편을 이용한 강도 측정법을 채택하고 있다<sup>12-15</sup>.

GIC를 수복용 재료로 사용하기 위한 많은 연구가 이루어져 왔으나 구강환경과 유사한 액상의 조건하에서의 열충격이 인장강도에 미치는 영향에 관해서는 거의 연구가 이루어지지 않았으며, 이에 본 연구에서는 광중합형 글래스아이오노머계 수복재의 인장강도에 미치는 수중에서의 thermal cycling과 시효처리의 영향에 관하여 조사하였다.

## Ⅱ. 연구재료 및 방법

### 1. 연구재료

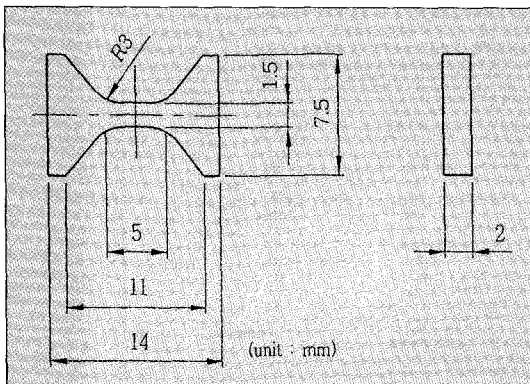
본 연구에서는 수복용으로 이용되는 2종의 재래형 글래스아이오노머 시멘트(Fuji II, Fuji IX), 2종의 resin-modified 글래스아이오노머 시멘트(Fuji II LC, Vitremer) 및 2종의 polyacid-modified 복합레진(Compoglass, Dyract)을 연구재료로 사용하였다(Table 1).

### 2. 연구방법

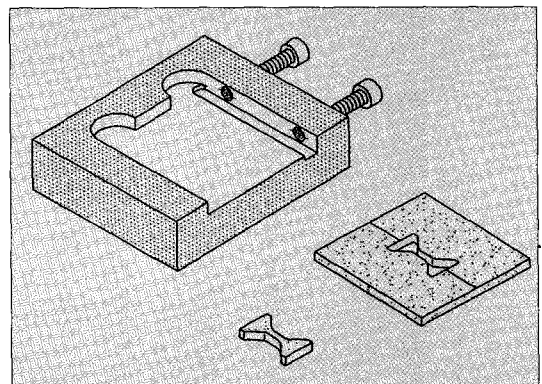
인장시험을 위해 평행부의 단면적이 1.5×2.0mm 이고 측정부의 길이가 5.0mm인 분할형의 테프론 몰드를 이용하였다(Fig. 1, 2). 테프론 몰드를 폴리에스테르 필름이 깔린 고정장치에 고정한 다음 준비한

**Table 1.** Restorative glass-ionomer materials used in this study

Material	Code	Composition	Type	Manufacturer
Fuji II	FT	fluoroalumino silicate glass, polyacrylic acid, polycarboxylic acid, H <sub>2</sub> O	Mixing	GC
Fuji IX	FN	fluoroalumino silicate glass polyacrylic acid, carboxylic acid, H <sub>2</sub> O	Mixing	GC
Fuji II LC	FL	fluoroalumino silicate glass, copolymer of acrylic acids and maleic acid, HEMA, H <sub>2</sub> O	Mixing	GC
Vitremer	VM	fluoroalumino silicate glass, polyalkenoate copolymer, HEMA, H <sub>2</sub> O	Mixing	3M
Compoglass	CG	barium-fluoroalumino silicate glass, Bis-GMA, UDMA	Capsule	Vivadent
Dyract	DR	strontium-fluoroalumino silicate glass, polyacrylic acid, UDMA, TCB	Capsule	Dentsply



**Fig. 1.** Dimension of tensile specimen



**Fig. 2.** Schematic diagram of mold and device to fabricate the specimen.

시료를 몰드 내에 약간 넘치도록 채우고 또 한장의 폴리에스테르 필름과 유리판을 덮고 손으로 압력을 가하여 여분의 시료를 제거하였다. 재래형의 화학중합형은 몰드 내에 페이스트를 주입한 시점으로부터 10분이 경과하였을 때 시편을 분리하여 varnish를 도포하였고, 광중합형은 12V, 120W의 할로젠 램프를 광원으로 하는 광조사기(Caulk, MAX)를 이용하여 시편의 상부와 하부에서 제조자가 추천한 시간동안 광중합을 행하였으며, 이어서 37℃의 온도에서 유지되는 증류수 중에 침적하였다.

구강환경과 유사한 액상의 조건 하에서 시효처리와 thermal cycling이 인장강도에 미치는 영향을 평

가하기 위해 준비한 시편을 다음과 같이 3개의 군으로 분류하였다. 제 1 군은 37℃의 증류수 중에서 1시간 침적처리를 행하였고, 제 2 군은 37℃의 증류수 중에서 30일간 침적처리를 행하였으며, 제 3 군은 5℃와 55℃의 온도가 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. 인장시험은 재료시험기(Instron Co., Model 4201)에 인장용 지그를 장착한 다음

crosshead speed 0.5mm/min에서 실시하였으며, 파절 양상을 평가하기 위해 파면을 주사전자현미경 (Jeol, JSM-6400)으로 관찰하였다. 측정된 결과는 분산분석에 의해 통계적 유의성을 검증한 다음, 각 군간의 차이를 비교하기 위해 Tukey 다중범위검증법과 t-test를 행하였다.

취성재료의 인장강도는 재료내에 포함된 결함 때문에 강도의 분산이 커지게 되므로 통계적 분석이 요구되며, 일반적으로 최약환설로부터 유도한 Weibull통계가 널리 적용되고 있다. 파절강도  $\sigma$ 인 재료가 이보다 낮은 응력 하에서 파괴될 확률을  $P_f$ 라 하면 파절강도와 파괴확률 사이에는 다음의 관계가 성립한다<sup>6)</sup>.

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

여기에서,  $m$ 은 Weibull 계수,  $\sigma_0$ 는 특성강도(char-

acteristic strength)이다. 식 (1)을 대수 변환하여  $\ln[1/(1-P_f)]$ 와  $\ln\sigma$ 의 관계로 표시하면 식 (2)가 얻어진다.

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

측정된  $n$ 개의 강도값을 오름차순으로 배열하여 순위를 정한 다음  $i$  번째 순위의 강도에 대한 파괴확률  $P_i$ 를 median rank 법에 관한 다음의 식(3)을 적용하여 계산하였다.

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

회귀분석에 의해  $\ln \ln[1/(1-P_f)]$ 와  $\ln\sigma$  사이의 상관관계를 구한 다음 Weibull 계수  $m$ 과 특성강도  $\sigma_0$ 의 값을 계산하였다.

### III. 실험성적

#### 1. 인장강도

Fig. 3은 37°C의 증류수 중에 1시간 침적한 군과 30일간 침적한 군 및 5°C와 55°C의 수중에서 10,000회의 thermal cycling을 행한 군의 인장강도를 비교한 것이다. 재래형 GIC의 경우에는 수중침적과 thermal cycling 처리로 강도가 증가되는 경향을 보였으며, 통계적 유의성을 검증한 결과 37°C의 증류수 중에 1시간 침적한 군에 비해 10,000회의 thermal cycling을 행한 군에서 유의한 강도의 증가

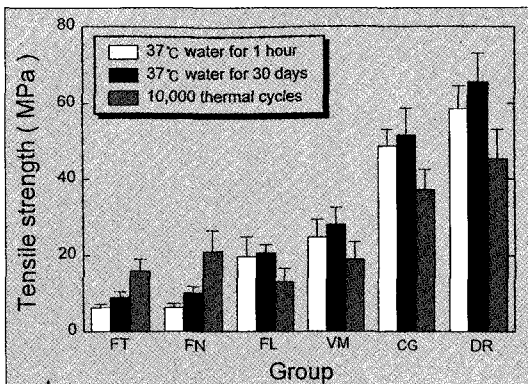


Fig. 3. Comparison of tensile strengths of glass ionomer restorative materials

Table 2. Weibull analysis data after 10,000 thermal cycles

Parameter	Group	FT	FN	FL	VM	CG	DR
$\sigma_f(0.5)$		16.4	21.4	13.5	19.5	37.5	45.9
$m$		5.8	4.2	4.3	4.6	8.9	6.6
$\sigma_0$		17.5	23.3	14.7	21.1	39.1	48.6
$r^2$		0.96	0.95	0.92	0.95	0.89	0.92
$\sigma_f(\text{avg})$		16.2	21.1	13.4	19.3	37.2	45.4
S.D.		3.0	5.5	3.4	4.6	4.5	7.7
N		12	12	12	12	12	12

$\sigma_f(0.5)$ =median fracture strength in MPa;  $m$ =Weibull modulus;  $\sigma_0$ =Characteristic strength in MPa;  $r^2$ =Weibull distribution regression coefficient square;  $\sigma_f(\text{avg})$ =Mean tensile strength in MPa; S.D.=Standard deviation; N=number of samples.

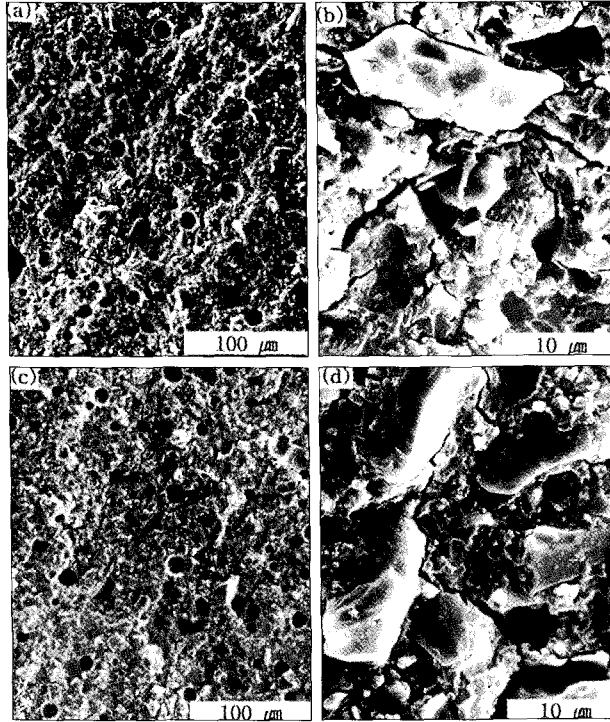


Fig. 4. Fracture surfaces of conventional glass ionomers (a), (b) ; FT group, (c), (d) ; FN group

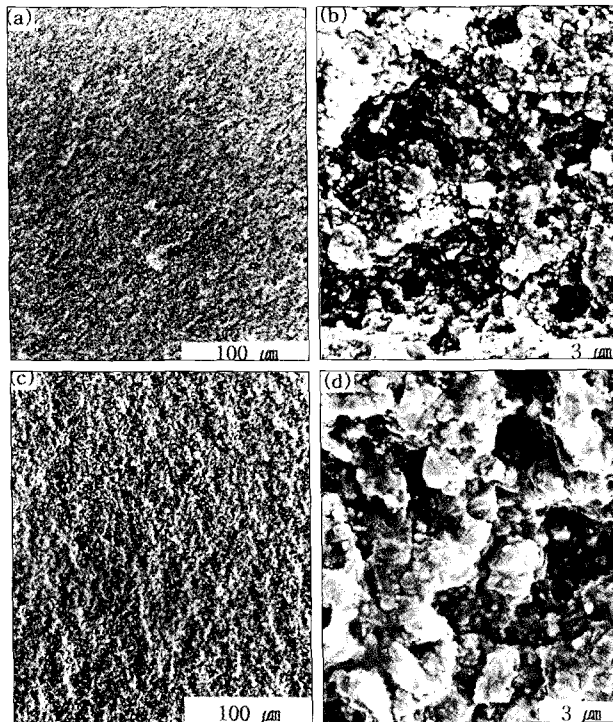
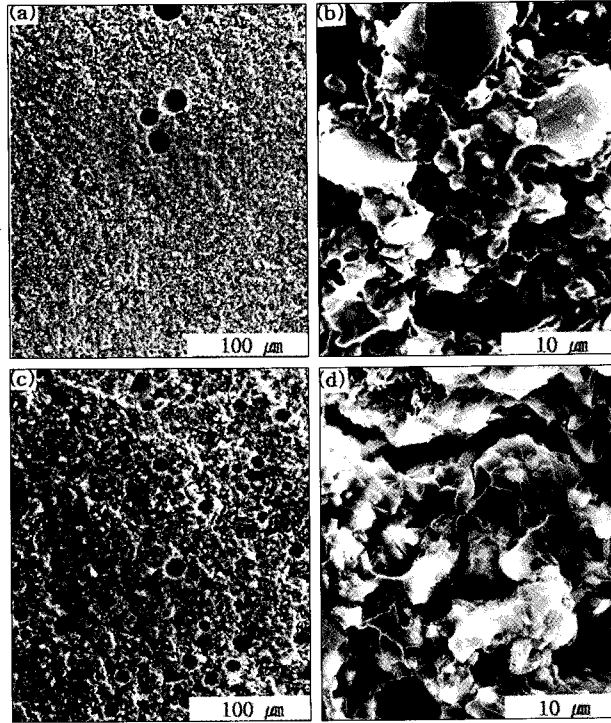


Fig. 5. Fracture surfaces of resin-modified glass ionomers (a), (b) ; FL group, (c), (d) ; VM group



**Fig. 6.** Fracture surfaces of polyacid-modified resin composites (a), (b) : CG group, (c), (d) : DR group

를 나타냈다( $P < 0.01$ ). RMGIC와 PMRC의 경우에는 37°C 증류수중에 1시간 침적한 군에 비해 30일간 침적한 군에서 수중침적으로 인장강도가 증가하는 경향을 보였지만, 37°C의 증류수 중에 1시간 침적한 군과 10,000회의 thermal cycling을 행한 군 사이에서는 모든 시험재료 군에서 유의한 강도의 감소를 나타냈다( $p < 0.01$ ). Thermal cycling 군의 인장강도는 DR군이 45.4MPa로 최대치를, FL군이 13.4MPa로 최소치를 나타냈으며, Tukey 다중범위 검증법에 의해 각 군간의 통계적 유의성을 검증한 결과 DR군과 CG군, DR군, CG군과 나머지 군 및 FN군과 FL군 사이에서 유의한 차이를 보였다( $P < 0.05$ ).

## 2. 주사현미경조건

Fig. 4 - Fig. 6은 10,000회의 thermal cycling을 행한 군의 인장시험 후의 파절면에 대한 주사전자현미경 사진이다. 시료의 준비과정에서 혼합을 행하는 재래형 GIC에서는 평균입경  $14.6 \pm 4.5 \mu\text{m}$ 에 달하는 다수의 기공과 미세균열이 파절면 전체에 걸쳐서 관

찰되었지만 혼합후 광중합을 행하는 resin-modified GIC에서는 기공과 미세균열이 감소된 양상을 보였으며, capsule 형의 polyacid-modified RC에서는 이같은 크기의 기공과 미세균열은 거의 관찰되지 않았다. 파괴는 균열이 기질을 가로질러 전파되어 일어나는 경향을 보였다.

## 3. FT-IR 분석

Fig. 7은 CG군의 광중합 전후 및 광중합후 thermal cycling을 행한 시료의 FT-IR 분석 결과이다. 중합을 행하지 않은 시료에서는 -COOH에서 비교적 강한 피크인  $\text{C}=\text{O}$  ( $1720\text{cm}^{-1}$ )과 지방족의  $\text{C}=\text{C}$  ( $1636\text{cm}^{-1}$ )가 관찰되었지만, 광중합후 이들 피크가 감소하였으며, 광중합후 thermal cycling을 행한 시료에서는 큰 차이를 보이지 않았다.

## 4. Weibull 분석

Fig. 8은 10,000회의 thermal cycling을 행한 군

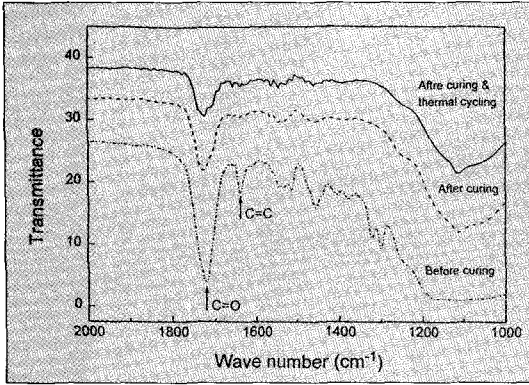


Fig. 7. FT-IR spectra of the CG group. Arrow indicate the aliphatic C=C(1636 cm<sup>-1</sup>) and ester C=O(1720 cm<sup>-1</sup>)

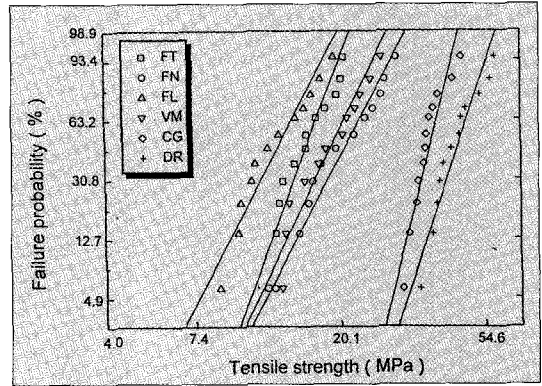


Fig. 8. Weibull plots of tensile strength data after 10,000 thermal cycles

의 인장강도와 파괴확률 사이의 관계를 나타낸 Weibull 선도이고, Table 2는 그의 분포특성을 표시하는 수치들로서, 파괴확률이 0.5일 때의 중앙값( $\sigma_f(0.5)$ ), Weibull 계수( $m$ ), 특성강도( $\sigma_0$ ), 결정계수( $\gamma^2$ ), 평균인장강도, 표준편차 및 시편의 수를 포함하고 있다. Weibull 분포는 single mode에 잘 일치하는 경향을 나타냈으며, 회귀분석 결과 결정계수  $r^2 > 0.89$ 의 높은 상관관계를 나타냈다. 특성강도는 DR군이 48.6MPa로 가장 높은 강도치를 보였으나, Weibull 계수는 CG군이 8.9로 가장 높은 값을 보여 시험재료 중에서 가장 작은 강도의 분산을 나타냈다.

#### IV. 총괄 및 고안

재래형 GIC는 치질 접착성과 항우식성의 면에서 장점이 있음에도 불구하고 감수성이 크고, 복합레진에 비해 심미성이 떨어지며, 조작이 불편하기 때문에 그다지 널리 이용되지 못하였으며<sup>17,18)</sup>, 이같은 단점을 극복하기 위해 중합이 가능한 레진을 첨가한 광중합형 글래스아이오노머 수복재가 개발되었다. 광중합형 글래스아이오노머 수복재는 재래형 GIC가 갖는 치질접착성과 불소방출성 등의 장점을 잃지 않으면서도 GIC의 결점으로 지적되어온 감수성, 기계적 성질 및 조작성 등이 개선되어 치과임상에서 그의 응용범위가 증가하고 있지만 구강환경하에서의 열충격이 인장강도에 미치는 영향에 관해서는 거의 연구가 이루어지지 못하였다. 이에 본 연구에서는 재래형 GIC, 광중합형의 RMGIC 및 PMRC계의

재료를 실험재료로 선택한 다음 수중에서의 thermal cycling과 시효처리가 인장강도에 미치는 영향에 관하여 조사하였다.

글래스아이오노머 수복재의 강도에 관하여, Momoi 등<sup>4)</sup>, Mathis와 Ferracane<sup>3)</sup> 그리고 Nicholson 등<sup>10)</sup>은 산-염기 반응으로 경화가 일어나는 재래형 GIC는 취성이 크지만, RMGIC는 레진에 의한 가소성의 증가로 취성이 감소하여 인성이 높게 나타난다고 하였고, Uno 등<sup>19)</sup>은 RMGIC의 기계적 성질은 hybrid 형의 복합레진에는 미치지 못하지만 재래형 GIC 보다는 우수하다고 하였으며, Li 등<sup>20)</sup>, Peutzfeldt<sup>21)</sup>는 글래스아이오노머 수복재의 강도는 재래형 GIC, RMGIC, compomer의 순으로 우수하게 나타났다고 하였다. 江入<sup>6)</sup>은 compomer의 굽힘강도가 microfil 형 복합레진의 경우보다 우수하게 나타났는데, 이것은 compomer 경화물 중의 filler 함량(72 - 82wt%)이 microfil 형인 Silux Plus(52wt%)의 경우보다 높기 때문이라고 하였고, Attin 등<sup>22)</sup>은 RMGIC와 PMRC의 기계적 성질이 hybrid 형의 복합레진에는 미치지 못하지만 Dyract에서는 hybrid 형의 복합레진에 가장 가까운 물성을 나타냈으며, Attin 등<sup>23)</sup>의 연구에서도 GIC보다 복합레진에 가까운 성질을 보였다고 하였다. Wilson<sup>24)</sup>은 GIC 성분중의 물은 경화초기에는 산-염기 반응을 위한 매질로 작용하지만 경화후기에는 금속이온과 polyalkenoic acid 사슬의 가교와 실리카의 수화작용에 기여한다고 하였고, Momoi 등<sup>4)</sup>, Uno 등<sup>19)</sup>, Pearson과 Atkinson<sup>25)</sup> 그리고 Crisp 등<sup>26)</sup>은 수중에서 시효처리를

행할 경우 실리카의 수화작용으로 인해 수중침적시간의 경과에 따라 강도의 증가를 보인다고 하였다. 광중합형의 RMGIC와 PMRC의 시효처리시 기계적 성질이 증가하는 이유로서, Tosaki와 Hirota<sup>27)</sup>는 광조사에 의해 레진의 methacrylate group의 중합이 일어난 후에도 수분이 작용하여 산-염기 반응이 지속적으로 진행됨에 따라 poly-HEMA와 polyacrylate salt가 균질의 기질을 형성하기 때문이라고 하였고, Peutzfeldt<sup>21)</sup>는 광조사에 의해 레진의 methacrylate group의 중합으로 경화가 일어난 후 구강내에서 레진기질을 통해 수분이 확산됨에 따라 산-염기 반응이 일어나 기계적 성질이 개선된다고 하였다. 본 연구에서 글래스아이오노머 수복재의 인장강도를 측정된 결과, 인장강도는 재래형 GIC, RMGIC, PMRC의 순으로 나타났으며, 37°C 수중에서 30일간 시효처리시 인장강도가 증가되는 경향을 보였다. 5°C와 55°C의 수중에서 10,000회의 thermal cycling을 행한 결과, 재래형 GIC에서는 인장강도가 증가하는 양상을 보였는데, 이는 수중에서 반복 열충격이 가해지는 동안 실리카의 수화작용으로 조직이 강화되었기 때문으로 생각된다. 또한 RMGIC와 PMRC에서는 thermal cycling으로 강도가 감소되는 경향을 보였는데, 이는 반복 열충격이 가해지는 동안 표면결합의 증가, 수분흡수로 인한 레진의 가소성 증가 및 실리카의 수화작용으로 인해 취성이 증가하였기 때문으로 생각된다.

취성재료의 파절은 가장 취약한 결합부에 인장응력이 작용할 때 균열이 성장하여 일어나지만, 재료 내의 결합의 크기를 표준화하는 것이 용이하지 않으므로 파절강도의 분산이 커지게 된다. 따라서 취성재료의 강도의 평가시는 통계적 분석이 빈번하게 적용되고 있으며, 일반적으로 파절강도가 재료의 균질성의 함수로 표시되는 Weibull 통계가 널리 적용되고 있다. Weibull 통계에서 Weibull 계수  $m$ 과 특성강도  $\sigma_0$ 는 분포의 특성을 표시하는 지수로서, 특성강도가 클수록 파절강도가 높게 되고, 파절강도가 동일한 경우에도  $m$ 값이 클수록 강도의 분산이 작아지게 되므로 평균치보다 낮은 응력하에서 파괴가 일어날 확률이 감소하게 된다<sup>16,28)</sup>. 일반적으로 취성이 큰 치과재료의 Weibull 계수는 5~20 정도로 보고되고 있다. Ban 등<sup>29)</sup>은 5종의 치과용 시멘트의 2축굽힘시험을 행한 다음 Weibull 계수가 2.1~9.6으로 나타났

고 하였고, Ban과 Anusavice<sup>30)</sup>는 인산아연 시멘트, 도재 및 복합레진의 2축굽힘시험을 행한 다음 Weibull 계수가 6.3~10.5로 나타났다고 하였다. 배 등<sup>31)</sup>은 광중합형 수복용 복합레진의 2축굽힘시험을 행하였을 때 Weibull 계수가 8.7~16.4로 나타났지만, 1,000회의 thermal cycling 후 6.1~10.1로 감소하였다고 하였으며, 백 등<sup>15)</sup>은 광중합형 수복용 복합레진의 인장시험을 행하였을 때 Weibull 계수가 8.7~16.4로 나타났지만, 10,000회의 thermal cycling 후 3.6~9.6으로 감소하였다고 하였다. 본 연구에서는 thermal cycling이 글래스아이오노머 수복재의 인장강도에 미치는 영향을 평가하기 위해 10,000회의 thermal cycling을 가한 다음 인장시험을 행하였다. 인장시험 결과에 대하여 Weibull 분석을 행한 결과, Weibull 분포가 single mode에 잘 일치하는 경향을 보였으며 ( $r^2 > 0.89$ ), Weibull 계수는 시험재료에 따라 4.2~8.9의 값을 보였다. DR군에서 특성강도가 48.6MPa로 최대를 보여 시험군 중에서 가장 높은 인장강도를 보였으나, Weibull 계수는 CG군에서 8.9로 최대를 보여 가장 작은 강도의 분산을 나타냈다.

## V. 결 론

본 연구에서는 구강환경과 유사한 액상의 조건하에서의 온도변화가 광중합형 글래스아이오노머계 수복재의 인장강도에 미치는 영향을 평가하기 위해 대조군으로 2종의 재래형 glass ionomer를 선택하고 실험군으로 2종의 광중합형의 resin-modified glass ionomer와 2종의 polyacid-modified resin composite을 선택한 다음 수중에서의 thermal cycling과 시효처리를 행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 글래스아이오노머 수복재의 인장강도를 측정된 결과, polyacid-modified resin composite, resin-modified glass ionomer 그리고 재래형 glass ionomer의 순으로 나타났다.
2. 인장강도는 30일간의 시효처리로 증가되는 경향을 보였다.
3. 재래형 glass ionomer 수복재의 인장강도는 thermal cycling 처리로 증가되는 경향을 보였으며, 37°C의 증류수 중에 1시간 침적한 군과 10,000회의 thermal cycling을 비교한 결과 유의한 차이로



서 강도의 증가를 나타냈다( $P<0.01$ ).

4. thermal cycling 군의 인장강도는 DR군이 45.4MPa로 최대치를, FL군이 13.4MPa로 최소치를 나타냈으며, 각 군간의 통계적 유의성을 검증한 결과 polyacid-modified resin composite의 인장강도가 나머지 군과 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ ).
5. 특성강도는 DR군이 48.6MPa로 가장 높은 강도치를 보였으나, Weibull 계수는 CG군이 8.9로 가장 높은 값을 보여 시험재료 중에서 가장 작은 강도의 분산을 나타냈다.

### 참고 문헌

1. Wilson AD : Resin-modified glass ionomer cements. *Int J Prosthodont* 3:425-429, 1990.
2. Triana R, Prado C, Garro J, et. al. : Dentin bond strength of fluoride-releasing materials. *Am J Dent* 7:252-254, 1994.
3. Mathis RS, Ferracane JL : Properties of a glass/resin-composite hybrid material. *Dent Mater* 5:355-358, 1989.
4. Momoi Y, Hirotsaki K, Kohno A, et. al. : Flexural properties of resin-modified hybrid glass-ionomers in comparison with conventional acid-base glass-ionomers. *Dent Mater J* 14:109-119, 1995.
5. McLean JW, Nicholson JW, Wilson AD : Proposed nomenclature for glass-ionomer dental cements and related materials(guest editorial). *Quintessence Int* 25:587-589, 1994.
6. 入江正郎 : コンポマーの齒科材料學としての位置づけ. *DE* 124:3-6, 1998.
7. 고영무, 김경남, 김광만 등 : 치과재료학-둘째판. 군자출판사 51-58, 1998.
8. 宮崎 隆, 藤島昭宏, 鈴木 暎, 宮治俊幸 : 白歯部 コンポジットレジン の引張強り度さに關する研究. *齒科材料・器械* 5:685-693, 1986.
9. Indrani DJ, Cook WD, Televantos F, Tyas MJ, Harcourt JK : Fracture toughness of water-aged composite restorative materials. *Dent Mater* 11:201-207, 1995.
10. Nicholson JW, Anstice M, McLean JW : A preliminary report on the effect of storage in water on the properties of commercial light-cured glass ionomer cements. *Br Dent J* 173:98-101, 1992.
11. McCabe JF, Watts DC, Wilson HJ, et. al. : An investigation of test-house variability in the mechanical testing of dental materials and the statistical treatment of results. *J Dent* 18: 90-97, 1990.
12. Yamamoto M, Takahashi : Tensile fatigue strength of light cure composite resins for posterior teeth. *Dent Mater J* 14:175-184, 1995.
13. 宮崎 隆, 藤島昭宏, 鈴木 暎, 宮治俊幸 : 白歯部 コンポジットレジン の引張強り度さに關する研究. *齒科材料・器械* 5:685-693, 1986.
14. 藤島昭宏, 宮崎 隆, 久根下 齊, et al : 小型試験片を用いたコンポジットレジン の直接引張試験に關する研究-試験片の製作方法と寸法および試験條件の影響について. *齒科材料・器械* 9:728- 733, 1990.
15. 백상현, 채민수, 이주형, 등 : 광중합형 수복용 복합 레진의 인장강도에 미치는 thermal cycling과 시효 처리의 영향. *대한치과기재학회지* 25:29-35, 1998.
16. 鈴木弘茂, 井關孝善 共驛 : セラミクスの強度と破壊. *共立出版株式會社* 142-168, 1977.
17. Bourke AM, Walls AW, McCabe JF : Light-activated glass polyalkenoate (ionomer) cements : the setting reaction. *J Dent* 20:115- 120, 1992.
18. Wilson AD : Developments in glass-ionomer cements. *Int J Prosthodont* 2:438-446, 1989.
19. Uno S, Finger WJ, Fritz U : Long-term mechanical characteristics of resin-modified glass ionomer restorative materials. *Dent Mater* 12:64-69, 1996.
20. Li J, von Beetzen M, Sundström F : Strength and setting behavior of resin-modified glass ionomer cements. *Acta Odontol Scand* 53:311-317, 1995.
21. Peutzfeldt A: Compomers and glass ionomers : Bond strength to dentin and mechanical properties. *Am J Dent* 9:259-263, 1996.
22. Attin T, Buchalla W, Kielbassa AM, et. al. : Curing shrinkage and volumetric changes of resin-modified glass ionomer restorative materials. *Dent Mater* 11:360-363, 1995.
23. Attin T, Vataschki M, Hellwig E : Properties of resin-modified glass- ionomer restorative materials and two polyacid-modified resin composite materials. *Quintessence Int* 27:203-209, 1996.

24. Wilson AD : Developments in glass-ionomer cements. *Int J Prosthodont* 2:438-446, 1989.
25. Pearson GJ, Atkinson AS : Long-term flexural strength of glass ionomer cements. *Biomaterials* 12:658-660, 1991.
26. Crisp S, Lewis BG, Wilson AD : Glass-ionomer cements : Chemistry of erosion. *J Dent Int J Prosthodont* 2:438-446, 1989.
27. Tosaki S, Hirota K : Current and future trends for light cured systems, Glass-Ionomers : The next generation, *Proceedings of the 2nd International Symposium on Glass Ionomers*. Editor Hunt PR, Philadelphia PA : 35-46, 1994.
28. 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* 1-28, 1985.
29. Ban S, Haserawa J, Anusavice KJ : Effect of loading conditions on bi-axial flexure strength of dental cements. *Dent Mater* 8:100-104, 1992.
30. Ban S, Anusavice KJ : Influence of test method on failure stress of brittle dental materials. *J Dent Res* 69:1791-1799, 1990.
31. 배태성, 김태조, 김효성 : 광중합형 수복용 복합레진의 기계적 성질에 미치는 수중침적과 thermal cycling의 영향. *대한의용생체공학회지* 17(3): 327-335, 1996.

Abstract

## EFFECT OF THERMAL CYCLING AND AGING ON THE TENSILE STRENGTH OF GLASS-IONOMER RESTORATIVE MATERIALS

Byeong-Ju Baik, D.D.S., Ph.D., Mun-Hyeon Kim, D.D.S., M.S.D.,  
Seung-Young Lee, D.D.S., M.S.D., Seung-Ik Lee, D.D.S., M.S.D., Jae-Gon Kim, D.D.S., Ph.D.

*Department of Pediatric Dentistry and 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 tensile strength of six commercially available glass-ionomer materials: two chemically set glass-ionomer materials(Fuji II, Fuji IX), two resin-modified glass-ionomer materials(Fuji II LC, Vitremer), and two polyacid-modified composite resins(Compoglass, Dyract). Rectangular tension test specimens were fabricated in a teflon mold giving 5mm in gauge length and 2mm in thickness. All samples were divided into 3 groups. Group 1 was immersed in a 37°C distilled water for 1 hour. Group 2 was immersed in a 37°C distilled water for 30 days. Group 3 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. Tensile testing was carried out at a cross-head speed of 0.5mm/min and fracture surfaces were examined with scanning electron microscope.

The results obtained were summarized as follows:

1. The polyacid-modified composite resins were stronger than the resin-modified glass-ionomer materials, which were much stronger than the conventional glass-ionomer materials.
2. Tensile strengths were slightly increased after aging treatments for 30days.
3. Tensile strengths of conventional glass ionomers were significantly increased after thermal cycling treatment( $p < 0.01$ ).
4. The highest tensile strength value of 45.4MPa was observed in the Dyract group and the lowest value of 13.3MPa was observed in the Fuji II LC group after the thermal cycling test, and the strengths of polyacid-modified composite groups were significantly higher than those of other groups.
5. The highest characteristic strength value of 48.6MPa was obtained in the Dyract group, however the highest Weibull modulus value of 8.9MPa was obtained in the Compoglass group after thermal cycling test.

**Key words** : Glass-ionomer materials, Tensile strength, Thermal cycling.