

## 레진강화형 글라스아이오노머의 2 축 굽힘강도

원광대학교 치과대학 치과보존학교실, 치과재료학교실\*  
서울대학교 치과대학 치과보존학교실\*\*

이용근\* · 임미경 · 구대회 · 이정식\*\*

Abstract

### BI-AXIAL FRACTURE STRENGTH OF RESIN MODIFIED GLASS IONOMERS

Yong-Keun Lee\*, Mi-Kyung Im, Dae-Hoi Koo and Chung-Sik Lee\*\*

*Dept. of Conservative Dentistry and Dept. of Dental Materials\*,*

*College of Dentistry Wonkwang University*

*Dept. of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Seoul National University\*\**

Resin-modified glass ionomers were introduced in 1988 to overcome the problems of moisture sensitivity and low early mechanical strengths of the conventional glass ionomers, and to maintain their clinical advantages.

The purpose of this study was to evaluate the bi-axial fracture strength of four resin-modified glass-ionomers(Fuji II LC, Vitremer, Dyract, VariGlass), one resin composite material(Z-100), and one conventional glass-ionomer(Fuji II).

Three specimens of each material and shade combination were made according to the manufacturers' instructions. Materials were condensed into metal mold with a diameter of 10mm and a thickness of 2.0mm and pressed between two glass plates. Resin-modified glass ionomers were polymerized using a Visilux II light curing unit by irradiating for 60 seconds from both sides, and conventional glass ionomer was cured chemically. After specimens were removed from the molds, surfaces were polished sequentially on wet sandpapers up to No. 600 silicone carbide paper. The specimens were thermocycled for 2,000 cycles between 5°C and 55°C distilled water. After thermocycling, bi-axial fracture strengths were measured using a compressive-tensile tester(Zwick 1456 Z020, Germany) with the cross head speed of 0.5mm/minute.

The results were as follows :

“본 연구는 1994년도 서울대학교병원 임상연구비 지원에 의한 결과임”

1. Two factors of the kind and color of materials had a main effect on bi-axial fracture strength ( $p < 0.01$ ), and bi-axial fracture strength was influenced significantly by the kinds of materials ( $p < 0.01$ ). But there was no significant interaction between two variables of the kind and color of materials ( $p > 0.05$ ).
2. Comparing the mechanical properties of the materials, the elastic modulus of Z100 was higher than any other material, and there was no difference in the displacement at fracture among materials. The bi-axial fracture strength of Z100 was significantly higher than any other material, and that of resin-modified glass ionomers was significantly higher than that of conventional glass ionomer ( $p < 0.05$ ).
3. In the same material group, the color of material had little influence on the mechanical properties.

## I. 서 론

레진강화형 글라스아이오노머는 3 급이나 5 급 와동의 충전 또는 치경부 침식이나 마모증, 치근부 우식의 충전 및 파절된 치아를 임시로 접착할 때 사용한다. 이 재료의 경화기전은 표준형 글라스아이오노머의 경화반응과 화학중합형 또는 광중합형 HEMA(hydroxyethyl methacrylate)의 중합반응이 같이 일어난다. HEMA를 중합할 때 광중합 방식만을 이용하는 경우를 2 중 중합형(dual-cure)이라 하고, 광중합과 화학중합을 같이 이용하는 경우를 3 중 중합형(triple-cure)이라 한다<sup>1)</sup>. 레진강화형 글라스아이오노머의 액에는 일반적으로 HEMA와 메타아크릴산이 부착된 폴리아크릴산 및 타르타르산이 들어있다. 분말과 액을 혼합하면 표준형 글라스아이오노머에서 나타나는 산-염기 반응이 일어나며 HEMA도 첨가된 반응개시제에 따라 화학중합 또는 광중합이 된다. 초기 경화는 HEMA의 중합에 의하여 이루어지는데 중합된 HEMA는 기질을 형성하며 이후에 일어나는 산-염기 반응에 의하여 강화된다. 광중합형 레진강화형 글라스아이오노머의 경화시간은 20 초 정도로 표준형 글라스아이오노머의 4 분보다는 짧다. 레진강화형 글라스아이오노머의 압축강도는 표준형 글라스아이오노머와 유사한 정도이며, 간접인장강도 및 굽힘강도는

표준형 글라스아이오노머의 2 배 정도로 알려져 있다. 또한 범랑질 및 상아질에 대한 화학 결합강도는 표준형 글라스아이오노머의 2 배 정도이며, 불소방출 정도는 표준형 글라스아이오노머와 유사한 정도이다<sup>2,3,4)</sup>.

현재까지의 레진강화형 글라스아이오노머의 물성은 주로 간접인장강도를 측정하였으나 간접인장강도는 시험재료가 완전한 취성을 보이지 않으면 부정확할 가능성이 높고 또한 시험재료의 내부 조직이나 조성에 따라 시험결과가 차이가 있을 수 있다. 기존의 연구에서는 표준형 글라스아이오노머, 금속첨가형 글라스아이오노머 및 콤포짓트 레진 등의 물성과 비교하였으며, 레진강화형 글라스아이오노머의 시편을 제작하여 보관조건 및 시간을 달리하여 물성을 측정해 보고도 있다<sup>5)</sup>. 그러나 각 보고마다 결과의 차이가 있어서 전체적인 레진강화형 글라스아이오노머의 물리적 특성을 파악하기는 어려웠다.

본 연구에서는 레진강화형 글라스아이오노머의 강도특성을 파악하기 위하여 비교적 실험편차가 적고 정확도가 높은 2 축 굽힘강도<sup>6,7)</sup>를 제품 및 제품 내의 각 색상별로 측정하여 비교하였다.

각 색상별로 시편을 제작하여 2,000 회 열순환한 후 2 축 굽힘강도를 측정하였는데 표준형 글라스아이오노머와 콤포짓트 레진을 대조군으로 하여 비교하였으며, 탄성률과 파절시 변위를

측정하여 분석하였다. 본 실험 결과 레진강화형 글라스아이오노머의 2 축 굽힘강도 및 강도특성의 일부를 파악하여 이에 보고한다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1) 실험재료

4종의 레진강화형 글라스아이오노머와 1 종의 제 2 형 글라스아이오노머, 1 종의 콤포지트 레진을 실험재료로 하였다(Table 1). 각각의 재료는 색상별로 분류하여 시편을 제작하였는데 색상의 종류는 결과표에 표시하였다.

### 2) 실험 방법

#### (1) 시편제작

각 재료의 색상당 3 개의 시편을 제작하였다. 제조자의 사용설명서에 의한 방법으로 혼합 또는 조작한 후 지름 10 mm, 두께 2 mm의 금속주형에 충전하고 양면을 압착한 후 화학 중합형은 실온에서 중합시켰고 광중합형은 광조사기(Visilux II, 3 M)를 이용하여 면당 60 초씩 중합하였다. 중합이 완료된 후 사포를 이용하여 600 번까지 연마하였다.

시편의 열순환은 5°C와 55°C의 증류수가 시편이 들어있는 용기에 30 초간 계류되다가 순환하는 방식의 열순환기(thermocycling machine)를 이용하여 2,000 회 시행하였다.

#### (2) 2 축 굽힘강도 측정

2,000 회 열순환이 완료된 시편의 2 축 굽힘강도를 측정하였다. 2 축 굽힘강도 측정용 기구를 제작하여 압축-인장 시험기(Zwick universal testing machine 1456 /Z020, Ger-

many)에 장착한 후 하중을 가하는 속도를 분당 0.5 mm로 측정하였다.

2 축 굽힘강도( $\sigma$ )는  $\sigma = A P / I^2$ 의 식을 이용하여 구하였다. 이 때  $A = (3/4\pi) [(2(1+\nu) \ln(a/r_0^*) + (1-\nu)(2a^2 - r_0^{*2})/2b^2 + (1+\nu)]$  이었는데  $P$ 는 파절시의 응력,  $\nu$ 는 프와송의 비인데 본 실험에서는 0.30을 사용하였다.  $a$ 는 시편을 지지하는 원의 직경으로 본 실험에서는 7 mm 이었으며  $r_0^*$ 는  $(1.6 r_0^2 + t^2)^{1/2} - 0.675 t$ 의 식으로 구하였는데 이때  $t$ 는 시편의 두께인 2 mm 이었으며,  $r_0$ 는 하중을 가하는 피스톤의 직경으로 본 실험에서는 3.5 mm 이었다.

2 축 굽힘강도를 측정하는 과정에서 구하여 지는 하중-변위 곡선에서 직선부분의 기울기는 탄성률을 나타내는 것으로 보이나 단위를 구할 수 없어서 본 실험에서는 가장 수치가 크게 나온 Z100에서 구하여진 하중-변위 곡선의 직선부분의 기울기에 대한 비율로 표시하고 이를 편의상 탄성률로 표시하였다. 또한 시편의 취성의 정도를 파악하기 위하여 파절 응력시 시편의 굽힘에 의한 변위정도를 분석하였다.

## III. 실험 성적

본 실험 결과는 편의상 표 2 에 실험군인 레진강화형 글라스아이오노머의 물성을 표시하였고, 표 3 에는 대조군인 표준형 글라스아이오노머와 콤포지트 레진을 표시하였다.

탄성률(Z100의 탄성에 대한 비율), 파절 응력시 변위 및 2 축 굽힘강도가 재료의 종류와 색상의 2 가지 변수에 영향을 받는지 알아보기 위하여 2 원 분산분석을 시행한 결과이다. 탄성률은 2 가지 변수에 의한 주효과가 있었으며

Table 1. Materials studied in this experiment

Code	Brand name	Batch Number	Manufacturer
DRT	Dytract	9606175	De Trey/Dentsply
FLC	Fuji II LC	090934	GC Co.
VGL	VariGlass	19951211	De Trey/Dentsply
VTM	Vitremer	19960807	3M Co.
FJT	Fuji II	950830A	GC Co.
Z100	Z-100 composite	19950329	3M Co.

Table 2. Mechanical properties of resin modified glass ionomers

Code	Shade	Elastic modulus (Ratio to Z100)		Displacement at fracture force(mm)		Bi-axial fracture strength (MPa)	
DRT	A2	0.681 (0.035)*	0.763 (0.126)**	0.095 (0.055)	0.102 (0.028)	52.492 (32.677)	58.332 (17.393)
	A3	0.741 (0.015)		0.084 (0.010)		47.799 (6.715)	
	A4	0.750 (0.013)		0.105 (0.031)		60.591 (18.755)	
	B1	0.728 (0.045)		0.109 (10.019)		61.134 (15.158)	
	B3	0.765 (0.031)		0.112 (0.032)		65.137 (18.225)	
	C2	0.952 (0.245)		0.103 (0.025)		60.387 (19.280)	
	C3	0.722 (0.030)		0.109 (0.027)		60.783 (17.464)	
ELC	A2	0.749 (0.025)	0.753 (0.043)	0.088 (0.010)	0.156 (0.262)	50.695 (3.444)	51.710 (5.942)
	A3	0.743 (0.037)		0.086 (0.020)		48.420 (7.909)	
	B2	0.768 (0.040)		0.085 (0.014)		50.018 (5.824)	
	B3	0.710 (0.028)		0.091 (0.005)		49.821 (4.159)	
	C2	0.797 (0.027)		0.430 (0.581)		59.593 (0.943)	
VGL	A2	0.649 (0.014)	0.571 (0.057)	0.074 (0.011)	.066 (0.012)	36.861 (6.116)	27.966 (6.573)
	B1	0.560 (0.021)		0.065 (0.014)		26.355 (6.038)	
	C2	0.513 (0.064)		0.065 (0.003)		23.488 (4.355)	
	C3	0.567 (0.040)		0.068 (0.021)		26.753 (6.999)	
	DY	0.566 (0.010)		0.060 (0.002)		26.3750 (1.392)	
VTM	A3	0.554 (0.017)	0.657 (0.068)	0.099 (0.029)	0.096 (0.017)	42.132 (13.073)	48.591 (10.265)
	A3.5	0.664 (0.087)		0.081 (0.024)		41.432 (14.861)	
	A4	0.637 (0.065)		0.099 (0.022)		49.487 (15.989)	
	B2	0.705 (0.014)		0.095 (0.010)		51.525 (6.208)	
	B3	0.684 (0.048)		0.098 (0.008)		51.526 (6.328)	
	C2	0.663 (0.024)		0.107 (0.018)		54.138 (9.243)	
	C4	0.690 (0.046)		0.095 (0.004)		49.897 (5.120)	

\* : Standard deviations are in parentheses.

\*\* : Average and standard deviation of the material regardless of shade

( $p < 0.01$ ), 재료 및 색상 각각에 의하여 유의한 영향을 받았고( $p < 0.01$ ), 2 가지 변수간에 상호작용 효과가 있었다( $p < 0.01$ ). 파절 응력시 변위는 재료의 종류 및 동일재료 내에서 색상이 변화하여도 영향을 받지 않았다( $p > 0.05$ ). 2 축 굽힘강도는 2 가지 변수에 의한 주효과가 있었으며( $p < 0.01$ ), 재료의 종류에 의하여 영향을 받았으나( $p < 0.01$ ), 2 가지 변수간의 상호작용 효과는 없었다( $p > 0.05$ ).

각 재료별로 색상을 고려하지 않은 조건에서

물성을 비교하기 위하여 유의수준 0.05에서 Scheffe의 사후 검증을 시행한 결과이다. 탄성률은 Z100이 다른 모든 군보다 유의하게 높았으며, DRT는 VGL, FJT 및 VTM보다 유의하게 높았고, FLC는 VGL, FJT보다 유의하게 높았다. 파절 응력시 변위는 재료별 차이가 없었다. 2 축 굽힘강도는 Z100이 74.665 MPa로 다른 모든 군보다 유의하게 높았으며, DRT는 FJT, VGL보다 유의하게 높았고, FLC는 FJT, VGL보다 유의하게 높았으며, VTM은 FJT, VGL보다 유의하게 높았다.

Table 3. Mechanical properties of control groups(glass ionomer and composite resin)

Code	Shade	Elastic modulus (Ratio to Z100)		Displacement at fracture force(mm)		Bi-axial fracture strength (MPa)	
FJT	21	0.558 (0.055)*	0.609 (0.066)	0.028 (0.003)	0.022 (0.012)	11.288 (0.866)	9.813 (4.821)
	22	0.662 (0.073)		0.019 (0.014)		11.385 (4.840)	
	23	0.653 (0.048)		0.015 (0.018)		6.765 (6.920)	
Z100	A2	1.083 (0.008)	1.000 (0.081)	0.116 (0.009)	0.100 (0.027)	92.586 (7.172)	74.665 (23.688)
	A3	1.013 (0.019)		0.102 (0.007)		76.165 (5.617)	
	A3.5	1.022 (0.032)		0.097 (0.014)		73.969 (12.491)	
	A4	0.846 (0.065)		0.069 (0.016)		43.552 (14.280)	
	B2	1.013 (0.030)		0.118 (0.029)		87.930 (20.762)	
	B3	1.079 (0.031)		0.110 (0.010)		87.895 (10.237)	
	C2	0.998 (0.045)		0.104 (0.041)		77.269 (33.221)	
	D3	0.945 (0.049)		0.081 (0.0471)		57.954 (38.436)	

\* : Standard deviations are in parentheses.

\*\* : Average and standard deviation of the material regardless of shade

Table 4 Regression analysis results

Variable 1 (Y)	Variable 2 (X)	Sig. F	Correlation coefficient	Y=aX+b			
				a	Sig T	b	Sig T
EM*	SF	0.1804	0.1340	0.2205	0.1804	0.7363	0.0000
FS	EM	0.0000	0.7500	100.7259	0.0000	-24.3283	0.0006
FS	SF	0.0021	0.2989	68.0689	0.0021	44.5699	0.0000

\* : EM ; Elastic modulus ratio, SF ; Displacement at fracture force

FS ; Fracture strength

동일 재료 내에서 색상에 따른 물성을 비교하기 위하여 유의수준 0.05에서 Scheffe의 사후검증을 시행한 결과이다. DRT, FJT, FLC, VTM의 경우 탄성률, 파절응력시 변위, 2축 굽힘강도 등 모든 측정치가 색상에 따라 유의한 차이가 없었다. VGL의 경우 A2 색상의 탄성률이 C2 색상의 탄성률보다 통계적으로 유의하게 높았으나, 그 외의 군간에는 유의한 차이가 없었으며, 파절응력시 변위, 2축 굽힘강도는 색상에 따른 유의한 차이가 없었다. Z100의 경우 A4 색상의 탄성률은 C2 및 D3을 제외한 다른

군보다 유의하게 낮았으나, 파절응력시 변위, 2축 굽힘강도는 색상에 따른 유의한 차이가 없었다.

각 측정치간의 상관관계를 알아보기 위하여 회귀분석을 시행한 결과는 표 4와 같은데 2축 굽힘강도와 탄성률, 2축 굽힘강도와 파절응력시 변위간에는 유의한 상관관계가 있었으며 유의수준은 표에 나타내었다. 이중 2축 굽힘강도와 탄성률의 상관관계를 산포도로 나타낸 결과가 그림 1이며 그림 2에는 2축 굽힘강도와 파절응력시 변위를 함께 그래프로 표시하였다.

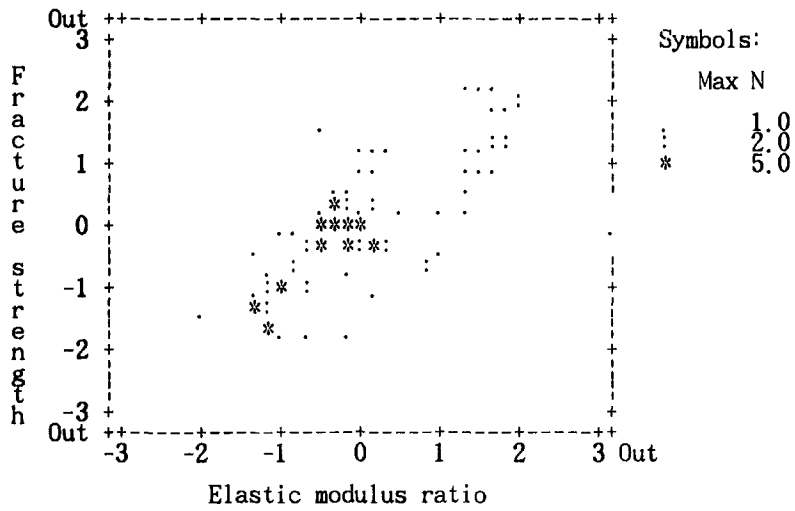


Fig. 1. Standardized scatterplot between elastic modulus ratio and fracture strength.

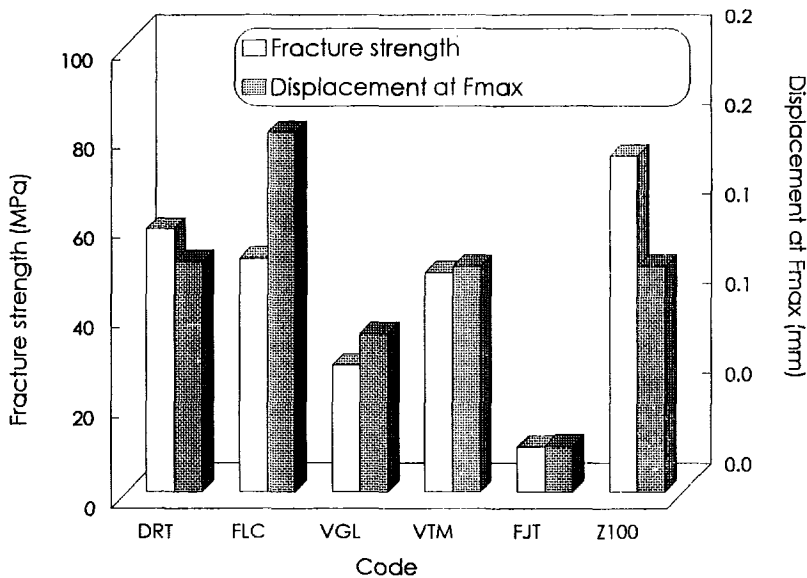


Fig. 2. Fracture strength and displacement at fracture force.

#### IV. 총괄 및 고안

Ban과 Anusavice<sup>6)</sup>는 2 축 굽힘강도(piston-on-three-balls), 4 점 굽힘강도, 간접인장강도를 측정하여 치과용 취성 수복재료의 파절응력을 비교하였다. 그 결과 2 축 굽힘강도는 피스톤의

크기나 시편의 두께, 응력을 분산시키는 박막의 존재 여부, 하중을 가하는 속도와 무관하다고 하였다. 각 재료마다 측정방법에 따라 파절응력이 차이가 있었는데 인산아연시멘트와 불투명도재의 4 점 굽힘강도는 2 축 굽힘강도보다 유의하게 낮았으나, body용 도재와 콤포지트

레진의 4 점 굽힘강도는 2 축 굽힘강도와 차이가 없었으며, 시험에 사용한 모든 재료의 간접인장강도는 2 축 굽힘강도보다 유의하게 낮았다고 하였다. 인산아연시멘트의 2 축 굽힘강도는 18.1 MPa, body용 도재의 2 축 굽힘강도는 52.4 MPa, 불투명 도재의 2 축 굽힘강도는 75.6 MPa, 콤포짓트 레진의 2 축 굽힘강도는  $103.9 \pm 15.6$  MPa 라고 하였는데 본 실험에서 콤포짓트 레진의 2 축 굽힘강도는  $74.665 \pm 23.688$  MPa로 약간 낮은 수치를 보였다. 이는 열순환 과정에 콤포짓트 레진의 강도가 낮아진 것에 그 원인이 있는 것으로 보인다. Ban 등<sup>2)</sup>은 치과용 시멘트의 2 축 굽힘강도를 측정하였는데 두께가 두꺼운 시편의 경우에는 파절이 하중을 가하는 피스톤 부분에서 시작될 가능성이 높기 때문에 이 방법을 적용하지 않아야 한다고 하였다. 글라스아이오노머의 2 축 굽힘강도는  $23.9 \pm 2.6$  MPa 라고 하였는데 본 실험에서는  $9.813 \pm 4.821$  MPa로 나타났다. 이 차이는 시편을 제작한 후 2,000 회 열순환하는 과정에 글라스아이오노머의 강도가 낮아져서 나타난 결과로 보인다.

Mount 등<sup>3)</sup>은 전단천공시험(shear punch test) 방법으로 치과 수복재의 물성을 평가하였다. 두께 1.0 mm, 직경 8.0 mm의 시편을 만들어 직경 3 mm의 punch를 이용하여 파절시키는 방법을 이용하였는데 이 방법은 압축강도 및 굽힘강도 측정을 대신할 수 있는 방법이라고 하였다. 본 실험에서 사용한 2 축 굽힘시험과 원리가 유사한 방법으로 수복재의 물성 평가할 때 통상 사용하는 압축강도나 굽힘강도를 측정하는 것보다 편리하며 편차가 적은 방법이라 생각된다. 그러나 전단강도를 측정할 결과와 굽힘강도를 측정할 결과 사이에는 차이가 있을 것으로 보이며 재료의 사용조건과 유사한 방법을 이용하여 물성을 측정하는 것이 바람직할 것이다.

기존의 연구는 레진강화형 글라스아이오노머의 간접인장강도를 주로 비교하였으며 일부는 압축강도를 측정할 경우도 있다. 그러나 간접인장강도는 파절이전에 시험재료의 변형이 크거나 2 개의 동일한 조각으로 파절되지 않으면

의미 없는 결과가 되며, 하중을 가하는 속도에 따라 강도가 달라지는 재료의 경우에도 사용할 수 없다(Craig, 1997)<sup>1)</sup>. 기존의 연구에서는 표준형 글라스아이오노머, 금속첨가형 글라스아이오노머 및 콤포짓트 레진 등의 물성과 비교하였는데 종합적으로 레진강화형 글라스아이오노머는 표준형 글라스아이오노머와 콤포짓트 레진의 중간 정도의 물성을 보이는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서는 비교적 실험 편차가 적고 정확도가 높은 2 축 굽힘강도를 동일한 제품 내의 각 색상별로 측정하여 비교하였다. 그 결과 동일한 재료 내에서 색상은 물성에 거의 영향을 주지 않는다는 사실을 재확인할 수 있었다. 또한 기존의 시험방법에서는 증류수에 시편을 침적하고 열순환을 하지 않았는데 본 실험에서는 2,000 회의 열순환을 시행하여 수복재가 구강 내에서 일정 시간 경과한 후와 유사한 조건에서 강도를 측정하였다.

Uno 등<sup>2)</sup>은 레진강화형 글라스아이오노머를 1 시간, 24 시간, 1 주 및 1, 3, 6 개월 동안 수중에 침적한 후 간접인장강도를 측정하여 표준형 글라스아이오노머 및 콤포짓트 레진과 비교하였다. 그 결과 표준형 글라스아이오노머의 강도가 가장 낮고 콤포짓트 레진의 강도가 가장 높았으며 레진강화형 글라스아이오노머는 2 종의 재료의 중간 정도이었으며, 1 개월까지는 강도가 낮아졌으나 그 이후에는 강도의 변화가 없었다고 하였다. 본 실험에서는 시편을 제작하여 5°C와 55°C사이에서 2,000회 열순환 후 2 축 굽힘시험을 시행하였는데 2 축 굽힘강도는 27.966~58.332 MPa로 콤포짓트 레진의 74.665 MPa 보다는 유의하게 낮았고 표준형 글라스아이오노머의 9.813 MPa보다는 유의하게 높았다. 또한 레진강화형 글라스아이오노머간에도 제품에 따라 강도에 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ). Levartovsky 등<sup>3)</sup>은 레진강화형 글라스아이오노머, 콤포짓트 레진과 기존 코아용 글라스아이오노머 시편의 간접인장강도, 굽힘강도, 압축강도를 측정하였다. 그 결과 측정할 모든 물성은 콤포짓트 레진이 가장 높고 레진강화형 글라스아이오노머, 코아용 글라스아이오노머의 순으로 낮았다고 하여 본 실험의 2 축 굽힘강도

결과와 유사하였다.

Mitra와 Kedrowski<sup>4)</sup>는 3종의 표준형 글라스아이오노머, 3종의 레진강화형 글라스아이오노머, 2종의 금속첨가형 코야용 글라스아이오노머 시편을 증류수에 1일 및 1, 4, 12, 24, 52주간 침적한 후 압축강도, 간접인장강도를 비교하였다. 그 결과 침적기간이 증가하여도 레진강화형 글라스아이오노머의 물성은 감소하지 않았으며, 표준형 글라스아이오노머의 탄성계수(compressive modulus)는 높고 간접인장강도는 낮은 것으로 보아 이 재료는 레진강화형 글라스아이오노머보다 취성이 높은 물질이라고 하였다. 시편을 수중에 보관하는데 따른 강도 변화에 관한 보고는 각각 상이하므로 명확한 분석이 필요할 것으로 보인다. 본 실험에서 탄성률을 보면 표준형 글라스아이오노머의 경우 0.609로 VGL, VTM과는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나, 표준형 글라스아이오노머의 탄성률이 레진강화형 글라스아이오노머보다 높지는 않았다. 또한 탄성률과 2축 굽힘강도 사이에는 상관계수는 본 실험결과를 재료의 종류를 고려하지 않고 분석한 결과 0.7500으로 긴밀한 상관관계를 보였는데, 이 결과로 보아 간접인장강도와 2축 굽힘강도는 탄성률과의 관계가 서로 다른 특성으로 여겨진다. Tolendano 등<sup>8)</sup>은 레진강화형 글라스아이오노머와 콤포지트 레진의 3점 굽힘강도를 증류수에 2개월까지 침적시키는 조건에서 측정하였다. 그 결과 콤포지트 레진의 강도가 가장 높았으며 레진강화형 글라스아이오노머의 강도는 침적 시간이 경과함에 따라 변화하였는데 제품에 따라 증감의 정도가 상이하였으며 편차도 크게 나타났다. Valarelli 등<sup>9)</sup>은 레진강화형 글라스아이오노머 시편을 제작하여 증류수에 보관하는 시간 차이에 따른 간접인장강도를 측정하였는데 1개월까지 침적한 후 측정된 결과 1개의 제품을 제외하고는 침적 기간이 증가함에 따라 간접인장강도가 증가하였다고 하였다. 그러나 이 결과는 Uno 등의 보고와는 상반된다.

Dhummarungrong 등<sup>10)</sup>은 레진강화형 글라스아이오노머(VGL, FLC)와 금속첨가형 코야용 글라스아이오노머, 콤포지트 레진(Z100)의

강도와 마모저항도를 평가하였다. 그 결과 콤포지트 레진의 압축강도, 인장강도 및 굽힘강도가 가장 높게 나타났는데 이는 레진강화형 글라스아이오노머는 3급 및 5급 와동의 충전에 사용할 수 있으나 높은 응력이 작용하는 부위에는 사용하지 않아야 한다는 것을 나타낸다고 하였다. 또한 FLC의 강도가 VGL보다 높았다고 하였는데 본 실험에서도 FLC의 2축 굽힘강도는 57.710 MPa로 VGL의 27.966 MPa보다 통계적으로 유의하게 높았다. de Gee<sup>11), 12)</sup> 등은 글라스아이오노머, 금속첨가형 글라스아이오노머와 레진강화형 글라스아이오노머의 경화후 시간경과에 따른 내마모도를 평가하였다. 그 결과 측정된 모든 재료는 초기에 높은 마모도를 보이다가 점차 마모도가 낮아졌는데 이는 장기간에 걸쳐 글라스아이오노머의 산-염기 반응이 진행되어 경화정도가 높아졌기 때문에 나타난 결과라고 하였으며, 레진강화형 글라스아이오노머의 마모도가 모든 시점의 마모 실험에서 표준형 글라스아이오노머보다 높았다고 하였다. 이 결과로 보아 글라스아이오노머 계통의 재료는 높은 응력을 받는 부위에는 사용하지 않아야 한다고 하였다. 또한 콤포지트 레진과 비교한 결과 4주간의 숙성기간이 지난 후에도 레진강화형 글라스아이오노머의 마모도는 콤포지트 레진보다 2~4배 높게 나타났다고 하였다. 레진강화형 글라스아이오노머의 강도나 경도 등은 표준형 글라스아이오노머와 콤포지트 레진의 중간정도인 것으로 알려져 있으나 내마모도는 표준형 글라스아이오노머보다 낫다는 사실에 주목하여야 할 것이다. Frey와 Soglowek<sup>13)</sup>은 레진강화형 글라스아이오노머의 내마모도를 나타낼 수 있는 물성으로는 탄성계수가 있으며 2가지 특성간의 상관계수는 0.95 이상이라고 하였다. 이 결과를 본 실험 결과와 조합하면 콤포지트 레진의 내마모도가 가장 높고 레진강화형 글라스아이오노머 중에서 DRT와 FLC의 내마모도가 VGL, VTM 및 표준형 글라스아이오노머보다 높다고 할 수 있으나 de Gee 등의 보고와는 상반되는 결과이다.

Kovarik과 Muncy<sup>14)</sup>는 콤포지트 레진, 레진강화형 글라스아이오노머(FLC, VGL)와 금속



## V. 결 론

강화형 글라스아이오노머의 시편을 제작하여 2주간 100% 상대습도에 보관한 후 파괴인성을 측정하였다. 그 결과 콤포짓트 레진은  $1.17 \pm 0.09$  MPa, 충전용 레진강화형 글라스아이오노머는  $0.90 \sim 1.27$  MPa, 접착용 레진강화형 글라스아이오노머는  $0.88 \sim 1.09$  MPa, 금속강화형 글라스아이오노머는  $0.30 \sim 0.51$  MPa의 파괴인성을 보였는데 충전용 레진강화형 글라스아이오노머에 속하는 일부 재료의 파괴인성이 다른 재료보다 유의하게 높았다고 하였다.

레진강화형 글라스아이오노머 중 접착용으로 사용하는 재료의 물성 측정도 이루어졌는데 Nicholson 등<sup>15)</sup>은 레진강화형 글라스아이오노머 시멘트의 경화후 시간경과에 따른 압축강도를 측정하였다, 그 결과 공기 중에 보관한 경우 강도가 가장 높았으며, 수중에 보관한 경우 시간경과에 따라 강도가 약해지고 파절 전에 소성 변형량이 증가하였으나 공기 중에 보관한 경우에는 취성을 계속 유지한다고 하였다. 이 결과로 보아 레진강화형 글라스아이오노머의 물성은 수분에 의하여 변하는 것으로 보이는데 이 보고는 레진강화형 글라스아이오노머 개발 초기의 결과로서 그 이후에 나온 보고들은 레진강화형 글라스아이오노머가 수분에 의하여 영향을 거의 받지 않는 것으로 보고되고 있다. Li 등<sup>16)</sup>은 레진강화형 글라스아이오노머 시멘트의 간접인장강도를 측정하였다. 수중에 침적하여 28 일이 경과한 이후에는 강도의 변화가 없었고 표준형 글라스아이오노머 시멘트보다는 유의하게 높은 강도를 보였다고 하여 본 실험의 충전용 레진강화형 글라스아이오노머의 경우와 유사하였다. 레진강화형 글라스아이오노머 개발 초기의 연구로 Mathis와 Ferracane<sup>17)</sup>은 글라스아이오노머에 소량의 액상 레진을 첨가하여 불소를 함유하며 상아질과 화학결합을 하고 강도가 높으며 취성은 낮고 구강 내에서 건조되어도 물성의 변화가 적은 재료를 개발하는 실험을 하였는데 1 시간 후의 물성은 표준형 글라스아이오노머보다 우수하였으며 표면에 잔금이 생기지 않는 장점을 보였다고 하였다.

레진강화형 글라스아이오노머는 3 급이나 5 급 와동의 충전 또는 치경부 침식이나 마모증, 치근부 우식의 충전 및 파절된 치아를 임시로 접착할 때 사용한다. 분말과 액을 혼합하면 표준형 글라스아이오노머에서 나타나는 산-염기 반응이 일어나며 HEMA도 반응개시제에 따라 화학중합 또는 광중합이 된다.

현재까지의 레진강화형 글라스아이오노머의 물성은 주로 간접인장강도를 측정하여 비교하였으나 간접인장강도는 시험 재료가 완전한 취성을 보이지 않으면 부정확할 가능성이 높고 또한 시험재료의 내부 조직이나 구성에 따라 시험결과가 차이가 있을 수 있다.

본 연구에서는 레진강화형 글라스아이오노머의 강도특성을 파악하기 위하여 2축 굽힘강도 및 탄성률, 파절시 변위를 측정하였다. 각 재료의 색상당 지름 10mm, 두께 2mm인 3 개의 시편을 제작하여 5°C와 55°C의 증류수를 시편이 들어 있는 용기에 30 초간 계류되다가 순환하는 방식의 열순환기(thermocycling machine)를 이용하여 2,000 회 열순환하였다. 2축 굽힘강도 측정용 기구를 제작하여 압축-인장 시험기(Zwick 1456 /Z020, Germany)에 부착한 후 하중을 가하는 속도를 분당 0.5 mm로 측정하였다.

본 실험에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 2축 굽힘강도는 재료의 종류 및 색상에 의한 주효과가 있었으며( $p < 0.01$ ), 재료의 종류에 의하여 영향을 받았으나( $p < 0.01$ ), 2 가지 변수에 의한 상호작용 효과는 없었다( $p > 0.05$ ).
2. 각 재료별로 물성을 비교한 결과 탄성률은 Z100이 다른 모든 군보다 유의하게 높았으며, 파절 응력시 변위는 재료별 차이가 없었다. 2축 굽힘강도는 Z100이 다른 모든 군보다 유의하게 높았으며, 레진강화형 글라스아이오노머의 2축 굽힘강도가 글라스아이오노머보다 유의하게 높았다( $p < 0.05$ ).
3. 동일 재료 내에서 색상에 의한 물성의 차이는

거의 없었다.

## REFERENCES

1. Craig, RG ed. : Restorative Dental Materials, Tenth Ed., 1997. Mosby.
2. Uno S, Finger WJ and Fritz U : Long-term mechanical characteristics of resin-modified glass ionomer restorative materials, Dent Mater. 1996 Jan. 12(1). P 64-9.
3. Levartovsky S, Kuyinu E, Georgescu M and Goldstein GR : A comparison of the diametral tensile strength, the flexural strength, and the compressive strength of two new core materials to a silver alloy-reinforced glass-ionomer material. J Prosthet Dent. 1994 Nov. 72(5). P 481-5.
4. Mitra SB and Kedrowski BL : Long-term mechanical properties of glass ionomers. Dent Mater. 1994 Mar. 10(2). P 78-82.
5. Mount GJ, Makinson OF and Peters MC : The strength of auto-cured and light-cured materials. The shear punch test. Aust Dent J. 1996 Apr. 41(2). P 118-23.
6. Ban S and Anusavice KJ : Influence of test method on failure stress of brittle dental materials. J Dent Res. 1990 Dec. 69(12). P 1791-9.
7. Ban S, Hasegawa, J and Anusavice KJ : Effect of loading conditions on bi-axial flexure strength of dental cements, Dent Mater. 1992 8 : 100-104.
8. Toledano M, et al. : Flexural strength evaluation of selected restorative materials, JDR, 76 (IADR Abstract) : 422, 1997.
9. Valarelli, FP, et al. : Effect of time on the diametral tensile strength of resin-modified restorative glass ionomer cements, JDR, 76 (IADR Abstract) : 423, 1997.
10. Dhummarong S, Moore BK and Avery DR : Properties related to strength and resistance to abrasion of VariGlass VLC, Fuji II LC., Ketac-Silver, and Z-100 composite resin. J Dent Child. 1994 Jan-Feb. 61(1). P 17-20.
11. de Gee AJ, van Duinen, RNB, Werner, A and Davidson, CL : Early and long-term wear of conventional and resin-modified glass ionomers, JDR, 75(8) : 1613-1619, 1996.
12. de Gee AJ, van Duinen, RNB, Werner, A and Davidson, CL : Wear performance of polyacid modified resin composites, JDR, 76 (IADR Abstract) : 74, 1997.
13. Frey, O and Soglowek, W : Correlation of abrasion resistance and mechanical properties of compomers, JDR, 76 (IADR Abstract) : 75, 1997.
14. Kovarik RE and Muncy MV : Fracture toughness of resin-modified glass ionomers. Am J Dent. 1995 Jun. 8(3). P 145-8.
15. Nicholson JW, Anstice HM and 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. 1992 Aug 8-22. 173(3). P 98-101.
16. Li J, von Beetzen M and Sundstrom F : Strength and setting behavior of resin-modified glass ionomer cements. Acta Odontol Scand. 1995 Oct. 53(5). P 311-7.
17. Mathis RS and Ferracane JL : Properties of a glass-ionomer/resin-composite hybrid material. Dent Mater. 1989 Sep. 5(5). P 355-8.