

Resin-Modified Glass-Ionomer와 Compomer의 경화 반응 특성의 비교에 관한 연구

고용준 · 유현미* · 엄정문

서울대학교 치과대학 치과보존학교실, 성균관대학교 의과대학 삼성의료원 치과*

ABSTRACT

A COMPARISON OF THE SETTING CHARACTERISTICS BETWEEN RESIN-MODIFIED GLASS-IONOMERS AND COMPOMERS

Yong-Joon Ko, Hyeon-Mee Yoo*, Chung-Moon Um

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Seoul National University

*The Institute of Oral Health Science, Samsung Medical Center**

To overcome problems of conventional glass ionomers, resin components have been added to glass ionomers. On a continuum between glass ionomers and composites are a variety of blends, employing different proportions of acid-base and free radical reactions to bring about cure. Popular groups defined between the ends are resin-modified glass-ionomers(RMGIs), polyacid-modified composite resins(Compomers) and ionomer modified resins. These groups show different clinical properties, and in selecting these materials for a restoration, one should sufficiently understand these different setting properties. In this study, some difference in the setting characteristics of different groups of hybrid ionomers were examined.

Two RMGIs (Fuji2 *LC,GC* / Vitremer, *3M*), three Compomers (Dyract AP, *Dentsply* / F2000, *3M* / Elan, *Kerr*) were involved in this study. The identification of the setting characteristics of different groups was achieved by a two-stage study. First, thermal analysis was performed by a differential scanning calorimeter, and then the hardness of each group at different depth and time were measured by a micro-hardness tester. Thermal analysis was performed to identify the inorganic filler content and to record the heat change during setting process. The setting process was progressed for each material by chemical set mode and light-cured mode. In the hardness test, samples of materials were prepared with a 6mm-diameter metal ring, and the hardness was measured at the top, and 1mm, 2.5mm, 4mm below at just after a 40 second-cure, and after 10 minutes, 24 hours, and 7 days. Statistical analysis was performed by Mann-Whitney rank sum test to assess significant differences between set modes and types of materials, and by ANOVA and T-test to evaluate the statistical meanings of data at different times and depths of each materials.

Followings are findings and conclusions derived from this study.

Thermal analysis:

1. Compomers show no evidence of chemical setting while RMGIs exhibit heat output during the process of chemical setting.
2. Heat of cure of RMGIs exceed Compomers.
3. The net heat output of RMGIs through light-cured mode is higher than through chemically set mode.

※ 본 연구는 1999년도 보건복지부 보건의료기술연구개발사업 (HMP-99-E 10-0003)의 지원에 의한 결과임.

Hardness test:

1. Initial hardness of RMGIs immediately after light cure is relatively low, but the hardness increases as time goes by. On the contrary, Comomers do not show evident increase of the hardness following time.
2. Compomers show a marked decrease of setting degree as the depth of the material increases. In RMGIs, the setting degree at different depths does not significantly differ.

Key words : Resin-modified glass-ionomer, Compomer, Thermal analysis, Micro-hardness test, Setting characteristics

I. 서 론

최근의 수복 치과학 영역에 후아말감 시대(post-amalgam age)가 도래하고 있다. 이는 치아색 수복물과 접착 치과학에 근거하는 것이라 할 수 있다¹⁾. 직접 충전법에서 가장 많이 사용되는 치아색 수복 재료로는 복합 레진과 글래스 아이오노머를 들 수 있다.

글래스 아이오노머는 임상적으로 적절한 시간 내에 경화 반응이 일어나는, 산-염기 반응에 기초한 수복 재료를 일컫는다²⁾. 이는 1972년 Wilson과 Kent에 의하여 개발된 이래³⁾ 많은 발전을 거쳐 현재에는 심미 수복 재료로서 널리 사용되고 있다. 이 재료가 지닌 가장 큰 장점이라면 치질과의 화학적 접착, 그리고 불소이온을 방출하는 성질이라 할 수 있으며 이러한 특성은 이 재료 자체의 고유의 수복 영역을 형성하는 기초를 제공한다. 최근에 치근 우식 발병율이 증가하는 추세에서 불소가 유리되는 성질은 이 재료가 많은 임상가들에 의하여 우선적으로 선택될 수 있게 한다.

하지만 이 재료를 사용함에 있어서 몇 가지 문제점이 나타난다. 즉, 경화 초기의 수분 민감성, 약한 강도, 상대적으로 떨어지는 심미성, 느린 경화 반응, 그리고 조작 민감성 등이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 복합 레진의 성분 중 일부를 첨가시켰다⁴⁾. 이러한 혼성 재료는 일부는 산-염기 반응에 의하여, 그리고 일부는 광화학적 중합에 의하여 경화된다. 글래스 아이오노머와 복합레진의 연속선상에는 성분비에 따라 많은 종류의 재료가 존재할 수 있다. 글래스 아이오노머에 가까운 재료는 산-염기 반응에 의하여 경화되는 재료들이 갖는 성질, 즉, 높은 산-염기에 의한 주접착, 적은 경화 수축, 높은 불소 유리, 그리고 낮은 열팽창을 보이게 된다. 반면에, 복합레진에 가까운 재료는 광중합 재료에 가까운 물성 양상을 띄게 된다.

Albers⁵⁾, 그리고 Burgess 등⁶⁾은 글래스 아이오노머와 복합레진 사이의 연속선에 관하여 도식화하여 정리한 바 있다. 이 정리에 의하면 글래스 아이오노머와 복합레진 사이

에 몇 가지 혼성 재료군이 존재한다. 이중 대표적인 군의 명칭은 글래스 아이오노머에 가까운 "resin-modified glass-ionomer"와 복합레진에 가까운 "polyacid-modified composite resin"이다.

약자 RMGI로 통용되는 resin-modified glass-ionomer는 재료의 기질 부위가 산-염기 반응과 중합 반응이 모두 일어나는 글래스 아이오노머이다. Polyacid-modified composite resin은 흔히 compomer라고도 불리며 글래스 아이오노머의 중요 성분을 일부 함유하지만 수분을 포함하지 않아 빛이 없는 상태에서는 경화 반응이 일어나지 않는다.

이들 두 가지 혼성 재료들은 각기 다른 임상적 성질을 보여준다. RMGI와 compomer사이에는 중요한 성질의 차이가 존재한다⁷⁾. 이 두 재료를 구분 짓는 차이점은 빛이 없는 조건하에서, 임상적으로 적절한 시간 내에 경화될 수 있는 능력의 보유 유무이다.

직접 치아색 수복 재료의 선택, 특히 글래스 아이오노머 시멘트의 선택에 있어서 다른 재료 군 사이의 이러한 경화 반응의 차이를 충분히 숙지할 필요가 있다.

본 연구의 목적은 직접 치아색 심미 수복 재료의 선택, 특히 우식 호발 부위에 많이 사용되는 글래스 아이오노머의 선택에 있어서 서로 다른 혼성 재료인 RMGI와 compomer의 경화 반응의 차이점을 제시하여 각각의 임상적 특성을 파악하고 나아가 재료의 선택 기준을 판단함에 일조를 하고자 함이다.

II. 실험 재료 및 방법

두 단계의 실험으로 서로 다른 두 군의 글래스 아이오노머, 즉 RMGI와 compomer의 경화 특성의 차이를 규명하고자 하였다. 시차 주사 열계량기에 의한 재료의 열분석을 실시한 후, 미세 경도 측정기를 사용하여 각 군의 시간별, 깊이별 경도변화를 측정하였다.

실험에 사용된 재료는 Table 1과 같다.

Fuji2 LC와 Vitremer는 분말/액체 성상으로 수동 혼합

Table 1. Materials tested in this study

Product	Code	Manufacturer	Batch No.	Type	Formula
Fuji2 LC	Fj	GC Corporation, Japan	170271	RMGI	Powder, Liquid
Vitremer	Vm	3M Dental Products, U.S.A.	19970604	RMGI	Powder, Liquid
Dyract AP	Dy	Dentsply DeTrey GmbH, Germany	9712000752	Compomer	Paste, Compule
F2000	F2	3M Dental Products	19970923	Compomer	Paste, Compule
Elan	El	Sds Kerr, U.S.A.	808423	Compomer	Paste, Compule

형태이며 본 실험에서는 RMGI군에 분류된다. Dyract AP, F2000, 그리고 Elan은 paste성상으로 compule 형태로 시판되며 본 실험에서는 compomer군으로 분류된다.

열분석 실험 (Thermal Analysis)

30℃에서 800℃까지 10℃ 증온시키며 질소 조건하에서 열중량 분석을 실시하여 각 재료의 무기 충전재의 함유율을 측정하였다(TGA7 system, Perkin-Elmer LLC, 761 Main Ave., Norwalk, CT 06859-0010, U.S.A.). 시차 주사 열계량기(DSC7 system, Perkin-Elmer LLC, 761 Main Ave., Norwalk, CT 06859-0010, U.S.A.)를 사용하여 두 종류의 RMGI와 세 종류의 compomer의 경화시 열변화를 기록, 측정하였다. 각 재료에 대하여 열분석은 광중합 조건 및 자가 경화 조건에서 모두 실시하였다.

광중합 조건에서 시편은 제조사의 지시대로 제작하여 시편 팬(pan)에 담아 DSC cell내에 위치시킨 후, 광조사기의 조사구가 위치하는 유도구가 있는 아크릴 유도기(guide)를 시편 팬, 기준 팬 위에 위치시켰다. 조사구와 시편의 상단까지의 거리는 통상의 조사 거리인 1mm로 고정하였다. 광조사기는 모델 XL3000 광조사기(3M Dental Products, St.Paul, MN 55144-1000, U.S.A.)를 사용하였다. 각 재료에 대하여 공히 일반적인 광조사 시간인 40초 동안 광조사하였다. 15분의 기록기간 동안 40초의 주된 조사 외에 두 번의 추가 조사를 40초씩 실시하였으며, 이는 추후에 총 발열량에서 광조사기에 의한 발열량을 제외한 재료 자체의 순수 발열량을 측정하기 위함이다. 이 추가 조사 곡선 하방의 면적들을 계산, 이를 평균하여 광조사기 발열량으로 정하고 초기 경화시키면서 발생한 발열량에서 이를 감하여 각 재료의 순수 발열량으로 정하였다. 재료 별로 3회씩 측정, 평균하여 그 값을 각 재료의 고유 반응열로 인정하였다.

자가 경화에 의한 각 재료의 경화열도 측정하였다. 이 경우, 시편 팬과 기준 팬은 DSC cell내에 위치시킨 후, DSC cell의 뚜껑을 닫고 광조사 없이 30분간 열흐름을 계속하였다.

통계 분석은 Mann-Whitney rank sum test를 통하여 경화 방식과 실험군 간의 발열량 차이의 유의성의 유무를 검정하였다.

미세 경도 측정 실험 (Microhardness Test)

미세 경도 측정기를 사용하여 시편의 경도를 미리 선정된 시간별, 깊이별로 25g-10초간의 부하 조건하에서 측정하였다. 시편의 제작을 위하여 지름 6mm의 원형 금속 주형을 사용하였다. 이 때, 깊이는 재료 별로 1.0mm, 2.5mm 그리고 4.0mm의 차이를 각각 두었다. 실험대위에 검은 색의 천을 깔고 그 위에 유리판을 평평하게 위치시켰다. Mylar matrix strip을 놓고 각 재료를 제조사 지시대로 혼합하여 matrix strip위에 위치한 금속 주형 내에 재료를 주입한 후 같은 순서로 덮어 재료를 주형의 상하 면이 평평하게 압착시킨다. 그 후에 XL3000 광조사기로 각각 40초씩 광조사하였다. 이 때 광도 측정기(Model 100, Demetron Research Corporation, 5 Ye Olde Road, Danbury, CT 06810-7377)로 미리 측정된 광강도는 600mW/cm²였다.

각 시편의 표면을 광중합한 후, 1mm 깊이의 금속 주형의 표면과 각 깊이별 금속 주형의 밑면의 미세 경도를 40초 광조사 직후, 10분, 24시간, 7일 후 측정하였다. 각 실험 기간 동안 시편들은 100% 상대 습도, 암실에서 보관하였다. 각 재료에 대하여 5개의 시편이 제작되었으며 각 시편 별로 3회의 경도 측정이 이루어졌다. ANOVA와 t-test를 통하여 실험결과의 통계적 의미를 평가하였다.

Ⅲ. 실험 성적

열중량 분석의 결과를 Table 2에 열거하였다.

시차 주사 열계량기에 의한 본 실험 결과 중에서 전형적인 양상을 나타내는 열흐름 곡선은 Figure 1-4 와 같다.

열흐름 곡선에서 계산된 실험재료들의 반응열 이 Table 3에 열거되었다.

RMGI인 Fuji2 LC와 Vitremer의 경우 자가 경화시 각각 35.73J/g과 45.41J/g의 발열량을 보여준 반면 광중합시는 각각 84.60J/g, 61.22J/g의 발열량을 보였다. Compomer의 경우, 광조사가 없는 경우 전혀 발열을 보이지 않았으나 광조사를 실시한 경우 확연한 발열 양상을 나타냈다. 즉, Dyract 32.48 J/g, F2000 33.90 J/g, 그리고 Elan 35.30 J/g의 열발산을 기록하였다.

이러한 결과는 RMGI의 경우가 compomer의 경우보다

Table 2. TGA result of test materials(%)

Fj	Vm	Dy	F2	El
71.32	63.65	75.53	81.56	78.18

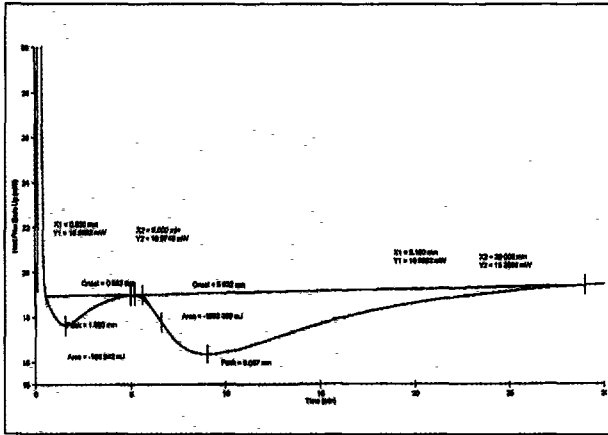


Fig. 1 DSC curve of Fuji 2 LC (Chemically set)

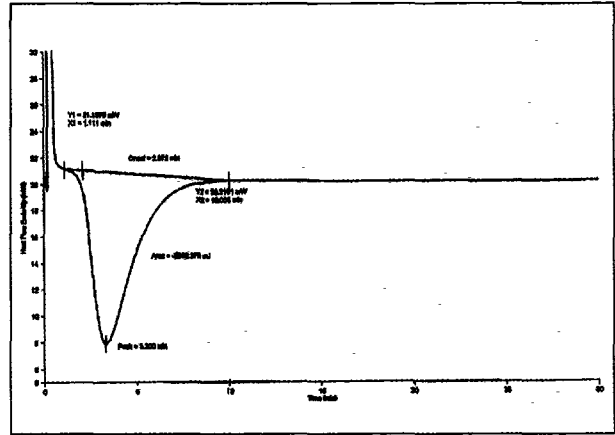


Fig. 2 DSC curve of Vitremer (Chemically set)

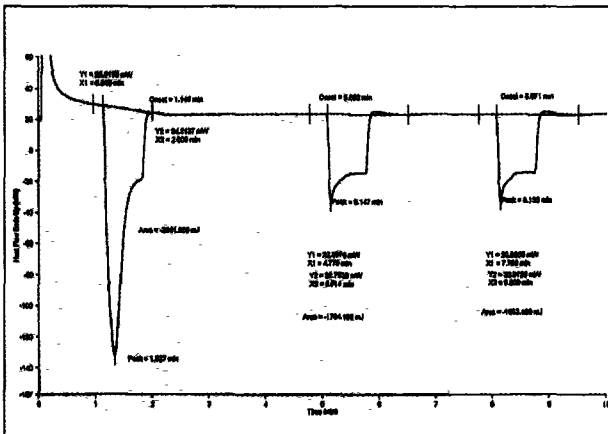


Fig. 3 DSC curve of Vitremer (Light-cured)

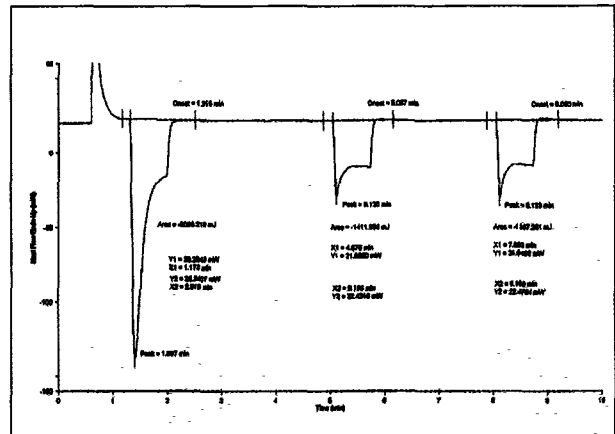


Fig. 4 DSC curve of F2000 (Light-cured)

Table 3. Heat of reactions of test materials (J/g, n=3)

Material	Chemically set mode		Light-cured mode	
	Average	S.D.	Average	S.D.
Fj	35.73	2.94	84.60	1.53
Vm	45.41	4.66	61.22	0.62
Dy	0	0	32.48	2.15
F2	0	0	33.90	0.76
El	0	0	35.30	1.31

경화시 더 많은 열발산을 하는 것을 보여준다. RMGI에 관하여 살펴보면 자가 경화를 시킨 경우보다 광중합으로 경화 시킨 경우의 열발산이 많은 것을 알 수 있다.

각 실험 재료 별 평균 Vickers hardness number (VHN)가 Table 4에 열거되었다.

Table 4의 결과를 도식화하면 Figure 5-9와 같다.

실험에서는 크게 두 가지 중요한 변수가 존재하는 바, 시

간과 깊이가 그것이다. 본 실험에서 측정 기준으로 삼은 시간은 임상적으로 중요한 의미가 있다. 시간이 지남에 따라 compomer는 깊이가 증가할수록 경화정도가 현저히 감소하는 반면, RMGI는 표면과 심부의 경도 차이에 대한 유의성이 없다(Table 6). 실험 재료들은 공통적으로 경화의 증가 양상을 나타낸다. 특히 RMGI의 경우 이러한 경향은 두드러지게 나타난다. 예를 들어 Fuji2 LC의 경우 광중합 직

Table 4. VHN for each test group following a 40s irradiation (bold:mean, italic: standard deviation)

	F1							
	40s		10m		24h		7d	
0mm	9.72	0.91	13.71	0.91	39.75	2.77	46.47	3.76
1.0	9.08	1.04	13.02	1.00	41.07	2.61	47.63	4.08
2.5	8.94	0.86	13.63	1.43	40.81	2.87	48.16	2.57
4.0	8.20	0.92	14.18	1.46	41.33	1.72	50.80	2.48

	Vm							
	40s		10m		24h		7d	
0mm	11.71	1.07	18.31	3.27	51.27	2.92	52.26	3.29
1.0	8.60	1.39	12.77	1.92	45.79	2.99	50.15	4.05
2.5	-	-	11.56	1.35	42.46	2.53	50.61	3.56
4.0	-	-	-	-	26.67	1.47	49.47	3.44

	Dy							
	40s		10m		24h		7d	
0mm	55.99	4.20	56.04	4.42	59.14	3.74	60.24	2.78
1.0	42.75	5.06	44.56	4.73	47.13	1.72	47.85	2.53
2.5	30.15	2.45	31.28	3.21	32.04	3.34	32.63	4.02
4.0	12.43	1.05	12.76	0.60	13.02	0.61	13.16	0.90

	F2							
	40s		10m		24h		7d	
0mm	71.89	3.56	72.83	2.99	75.66	3.83	76.22	3.04
1.0	62.81	3.50	64.52	3.25	69.62	3.12	70.75	2.35
2.5	58.15	2.95	61.47	4.23	64.76	3.21	65.11	2.55
4.0	43.36	2.24	46.51	1.97	48.74	2.44	48.74	2.56

	E1							
	40s		10m		24h		7d	
0mm	48.91	3.49	50.04	3.51	50.93	2.65	50.57	2.71
1.0	45.81	3.41	46.71	3.46	49.05	3.55	49.59	3.02
2.5	37.66	1.53	37.89	1.96	41.65	2.16	42.33	2.36
4.0	13.45	2.11	14.61	1.53	15.31	2.08	15.75	1.78

s : seconds, m: minutes, h: hours, d: days

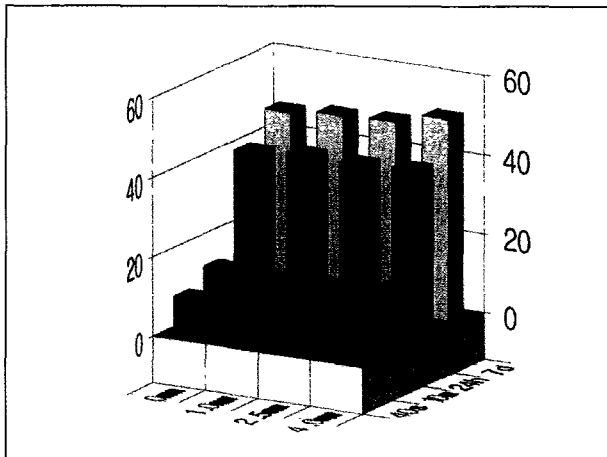


Fig. 5 VHN of Fuji2 LC (GC)

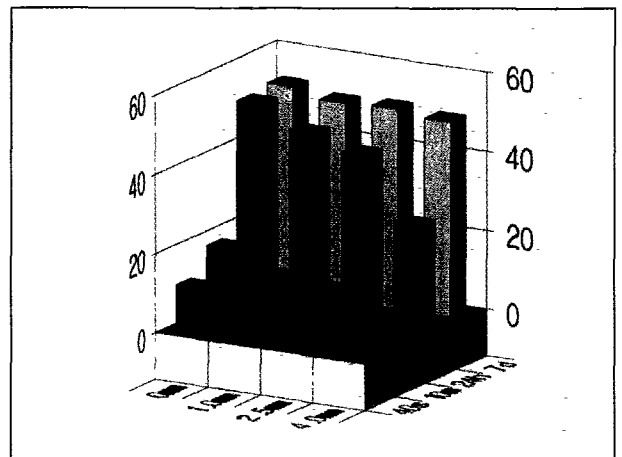


Fig. 6 VHN of Vitremer (3M)

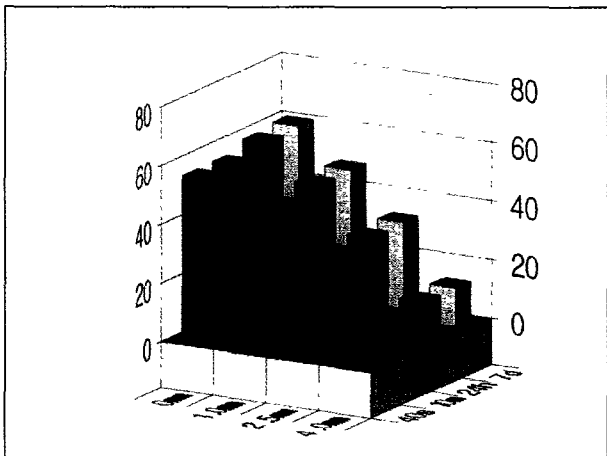


Fig. 7 VHN of Dyract AP (Dentsply)

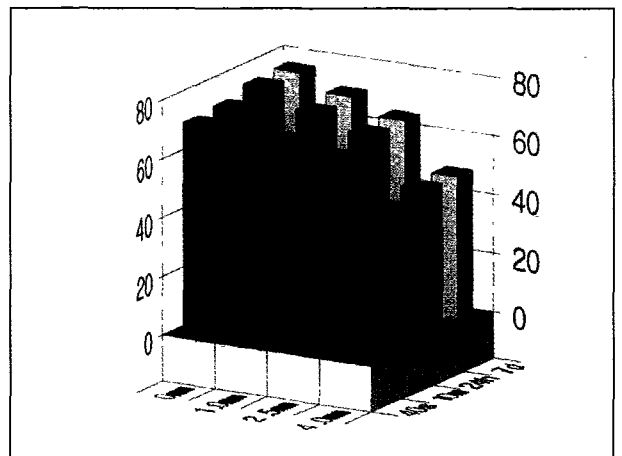


Fig. 8 VHN of F2000 (3M)

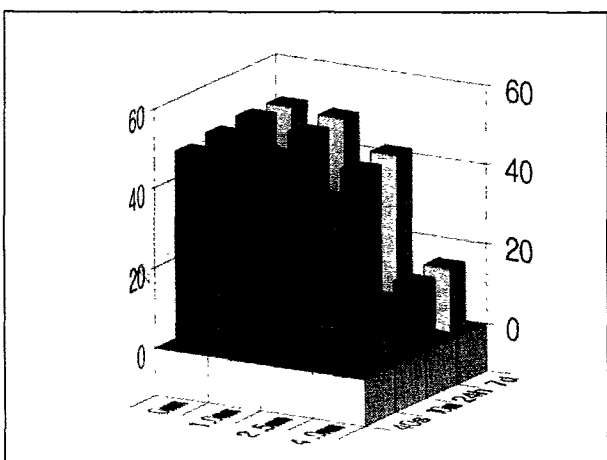


Fig. 9 VHN of Elan (sds-Kerr)

후의 표면 경도는 최종 표면 경도의 20.9%를 보이는 반면 Dyract의 경우는 92.9%를 나타낸다. Vitremer에서 40초 후의 2.5mm, 4.0mm와 10분 후의 4.0mm에서 빈칸은재료의 경도가 측정 한계 이하의 경도를 보인 것이다(Table 4, Vm). 시간에 따른 경화 양상을 자세히 살펴보기 위하여 필요한 부분을 Table 5에 요약하였다. 깊이별 중합 양상에 관하여 살펴보면 다른 군간의 일반적인 경화 양상의 차이를 볼 수 있다. 즉, compomer는 표면에서 깊은 부위로 내려갈수록 경화정도가 현저히 감소하는 반면, RMGI는 표면과 심부의 경도 차이에 대한 유의성이 없다 (Table 6).

Table 5. Time-related setting tendency of tested materials

	F1			Vm				
	40s	7d	Ratio	40s	7d	Ratio		
0mm	9.72	*	46.27	0.201	11.71	*	52.26	0.224
1.0	9.08	*	47.63	0.191	8.60	*	50.65	0.170
2.5	8.94	*	48.16	0.186	-	-	50.61	-
4.0	8.20	*	50.86	0.161	-	-	49.47	-

	Dy			F2			E1					
	40s	7d	Ratio	40s	7d	Ratio	40s	7d	Ratio			
0mm	55.99	*	60.24	0.929	71.89	*	76.22	0.943	48.91	50.57	0.967	
1.0	42.75	*	47.85	0.893	62.81	*	70.75	0.888	45.81	*	49.59	0.924
2.5	30.15		32.63	0.924	58.15	*	65.11	0.893	37.66	*	42.33	0.890
4.0	12.43	*	13.16	0.945	43.36	*	48.74	0.890	13.45	*	15.75	0.854

Ratio = 40초 후의 경도 / 7일 후의 경도

* : 40초군과 7일군간에 경도 차이의 통계적 유의성이 있음

Table 6. Setting tendency of materials regarding to curing depth

	F1				Vm			
	40s	10m	24h	7d	40s	10m	24h	7d
0mm	9.72	13.71	39.75	46.47	11.71	18.31	51.27	52.26
							*	
4.0	8.20	14.18	41.33	50.80	-	-	26.67	49.47
Ratio	0.844	1.034	1.040	1.093	-	-	0.520	0.947

	Dy				F2			
	40s	10m	24h	7d	40s	10m	24h	7d
0mm	55.99	56.04	59.14	60.24	71.89	72.83	75.66	76.22
		*	*	*	*	*	*	** *
4.0	12.43	12.76	13.02	13.16	43.36	46.51	48.74	48.74
Ratio	0.222	0.228	0.220	0.218	0.603	0.639	0.644	0.640

	E1			
	40s	10m	24h	7d
0mm	48.91	50.04	50.93	50.57
	*	*	*	*
4.0	13.45	14.61	15.31	15.75
Ratio	0.275	0.292	0.301	0.311

Ratio = 4.0mm 깊이에서의 경도 / 표면에서의 경도

* : 0mm군과 4.0mm군간에 경도 차이의 통계적 유의성이 있음

IV. 총괄 및 고찰

재래형 글래스 아이오노머는 많은 발전을 거듭하여 오늘에 이르고 있다. 초기에 Wilson 등⁶⁾은 경화 반응을 개선하기 위하여 tartaric acid를 첨가하였다. 그 이후에도 acrylic-maleic acid등의 반응성 polyacid를 첨가하여 물리적, 화학적 성질을 개선하였고, 또 재료의 glass성분도 변화를 주어 물성 개량에 성공하였다.

이러한 발전에도 불구하고 최근까지 수분 민감성과 느린 경화 속도는 이 재료의 취약점으로 남아 있었다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 복합 레진의 성분을 일부 첨가하게 되었다¹⁾.

이 혼성물질의 경우, 성분 비율에 따라 무수히 많은 재료가 생성될 수 있다. 이들 중 실용적인 재료로서 두 가지 군, 즉 resin-modified glass-ionomer와 polyacid-modified composite resin이 상용되고 있다. RMGI는 명칭에서 알 수 있듯이 재래형 글래스 아이오노머의 기본 성질은 유지하면서 레진의 기질이 첨가됨으로 변형된 것이다. 이 재료는 두 가지 다른 방식의 혼성이 존재한다. 첫째는 글래스 아이오노머의 기질에 레진의 기질을 그대로 첨가하여 두 가지 서로 다른 경화 과정이 서로 혼합망(interpenetrating network)을 이루는 혼성이다²⁾.

이 경우 재료 내에 결가지 형태로 methacrylate군이 부착된 복잡한 polyacid polymer를 함유하게 된다. 이들을 일컬어 single polymer resin ionomer system이라 한다³⁾. 두 번째 기전은 polyacid에 중합 가능한 group을 부착시켜 부분적으로 변형시키는 방법이다. 이 경우 잔존하는 carboxyl group은 글래스와 산-염기 반응을 일으킬 수 있다. 이들을 multipolymer resin-modified glass system이라 한다³⁾. Compomer는 기본적으로 수수성이며 저 불소 유리 복합 레진이라 할 수 있다. 이들은 재래형 GIC와 크게 두 가지 점에서 다르다. 첫째, 글래스 입자들을 기질에 직접 부착시키기 위하여 부분적으로 실란화(silanize)시키게 된다. 둘째, 기질의 형성은 광활성 자유 유리기(free radical) 중합 과정에 전적으로 의존한다. 따라서 이들은 빛이 없는 조건하에서는 중합되지 않게 된다. 하지만 추후에 수분을 흡수할 경우 제한적이거나 산-염기 중화 반응(acid-base neutralization reaction)이 기시될 수 있다⁴⁾.

열분석법은 재료의 경화 속도 및 과정을 밝히고 서로 다른 종류를 구별하는 유용한 방법이 될 수 있다⁵⁾. 본 연구에서는 시차 주사 열계량기에 의한 열분석을 통하여 RMGI와 compomer의 경화 반응의 차이를 규명하였다. Table 3에 제시된 바대로 정상적인 중합 방식, 즉 광중합을 시켰을 때, RMGI가 compomer보다 유의성 있게 높은 열발산을 하는 것으로 나타났다. Table 2에서 보면 RMGI가 compomer보다 무기질 충전제의 함량이 낮다. 낮은 무기질 함량은 역

으로 화학적 반응이 가능한 영역이 더 크다는 반증으로 여기에는 중합 가능한 HEMA부위, 화학적 레진 중합 부위, 그리고 산-염기 중화 반응을 위한 다량체 부위 등이 있을 수 있다. 비충전 레진인 HEMA의 경우, 재료 자체의 열용량(heat capacity)이 낮기 때문에 충전된 레진에 비하여 중합 시 발열량이 많아지게 된다¹⁷⁾. 산-염기 반응에 의한 열발산은 더 점진적으로 일어나며 광중합 과정에 의하여 제한될 수 있으나 이 역시 RMGI의 열발산에 일조할 것으로 사료된다. 본 실험에 사용된 두 가지 RMGI의 경우 우연히 두 가지 모두 methacrylate 단량체의 중합에 기초한 화학 중합 기전을 내포하고 있다¹⁶⁾. 이 역시 재료의 열발산에 일조할 것이다.

DSC 연구에서 RMGI는 자가 경화시킨 경우 보다 광중합시킨 경우, 열발생이 더 크다(Table 3). 이러한 경향은 광중합시의 발열 중합 반응에 의한 것이라고 볼 수 있다⁸⁾. 여기에 적은 양이나마 화학중합에 의한 발열과 산-염기에 의한 발열이 합쳐져 이 재료의 경화 초기의 높은 발열을 형성하게 되는 것으로 사료된다. 자가 경화 반응이 가능한 모든 실험 재료는 혼합 후 3분 이내에 경화가 시작되었고, 이로 미루어 보아 화학 반응이 비교적 일찍 시작한다고 볼 수 있으며 광중합이 추가될 경우 광중합시 초기의 큰 발열 현상에 한 요소로 기여할 수 있게 된다⁶⁾.

DSC 연구를 통하여 다른 종류의 재료를 구별할 수 있다. 특히 자가 중합하는 재료를 측정, 분석했을 때 명확하게 그 차이점이 나타난다. Figure 1과 2에서 보면 서로 다른 재료 간에는 서로 다른 모양의 발열 곡선을 그리는 것을 알 수 있다. 또한 Figure 1과 2에서 두 재료의 빛에 대한 서로 다른 민감성도 알 수 있다. Fuji2 LC의 경우 두 개의 정점을 갖는 곡선, 즉 작은 곡선에 이어지는 큰 곡선의 모양을 보여준다. 여기서 작은 곡선은 경화 반응의 아주 초기에, 그것도 일부는 혼합 중에 반응이 시작됨을 알 수 있으며 여기서 추론할 수 있는 상황은 자연광에 의하여 혼합 중에 이미 반응이 시작된다는 점이다. 즉, 이 재료는 매우 광민감도가 크다고 할 수 있다. 실제로 ISO 4049에 설명된 대로 시행한 선행 실험들에서 Vitrebond와 Photac bond는 60초 이상의 작업 시간을 갖는 반면, Fuji2 LC와 Fuji Liner LC는 작업 시간이 30초에 불과한 사실이 알려져 있다¹²⁾. 본 실험에서 얻은 DSC 그래프로 이러한 사실을 입증할 수 있었다.

본 연구에서 열분석 실험은 제한된 초기 경화 과정의 동적 양상을 알아보기 위하여 시행되었고 경도 측정 실험은 재료의 경화 과정의 정적, 임상적 양상을 알아보기 위하여 이루어졌다.

본 연구에서 경도 측정의 결과(Table 4)는 두 가지 관점에서 관찰해야 할 것이다. 첫째, 시간의 흐름에 따라 RMGI와 compomer의 경화 양상이 상이할 것인가? 둘째, 깊이에 따라 두 재료 간의 경화 양상의 차이가 존재할 것인가?

두 가지 관점 모두 재료가 빛이 없는 조건에서의 경화 능력을 알아보고 과학적으로 규명하기 위함이다. 결과는 Figure 5-9, 그리고 Table 5와 6에서 확실하게 나타난다.

모든 재료에서 40초간의 광조사 직후 보다 최종 시점인 7일 후의 경도가 높은 것으로 나타난다. 그러나 그 정도에서 RMGI와 compomer는 명백한 차이를 보여준다. Compomer의 경우, 40초 광조사 직후의 경도는 최종 경도의 88-95%를 보이는 반면, RMGI는 16-23%의 수치를 보인다. 이는 compomer의 경우 대부분의 경화는 광조사 기간 중에 이루어지며 RMGI의 경우 약 80%정도의 경화는 광조사가 끝난 후, 자가 반응으로 이루어짐을 알 수 있다.

본 실험에 사용된 두 종류의 RMGI의 결과만을 비교하면, Fuji2 LC와 Vitremer는 공통된 경화 양상을 보여준다. 경화 과정은 24시간을 기준으로 나누어 볼 수 있다. 이 재료들은 24시간 이전에 대부분의 경화가 일어나지만 24시간 이후에도 상당량의 경화가 일어남을 보여준다. 광조사 이후 24시간 이내의 경화를 일으키는 주된 요소는 화학적 자유 유리기 중합이 될 것이며, 24시간 이후의 경화를 일으키는 것은 대부분 산-염기 중화 반응이 될 것이다. Compomer의 경우 24시간 이후의 경도는 그 전의 경도와 비교하여 유의한 차이가 없는 것으로 나타나며 이는 산-염기 중화 반응이 거의 일어나지 않기 때문이다. 만일 실험 구상을 바꾸어 100% 상대습도가 아닌 물에 담가서 보관을 했다면 결과가 다소 달라졌을 것이다. 즉, 재료가 물을 흡수하여 어느 정도 산-염기 중화 반응이 일어나 경도에 차이를 보였을 것이다.

깊이에 따른 경화 정도를 비교하여도 RMGI와 compomer를 구별할 수 있었다. Compomer의 경우 중합 깊이가 증가함에 따라 경화 정도가 현격히 감소함을 보여준다. 이는 각 회사별 재료 모두에서 공통적으로 나타나는 경향이다. 이 결과로 추론하여 보면 빛이 도달되지 않는 깊은 와동에서는 compomer로 수복하는 경우 경화 부족으로 인하여 불완전한 수복물이 될 수도 있다. RMGI의 경우 광조사 직후를 제외하고는 깊이에 따른 경도의 차이가 없고 심지어 깊은 부위가 더 경화가 많이 일어난 경우도 있으며 시간에 따라 증가하는 양상이 확실하다. 이로 미루어 RMGI의 경우 와동의 깊은 부위에서도 적절하게 경화되는 것을 알 수 있다. 본 실험에서 입증된 RMGI의 경화 양상은 Kakaboura 등⁷⁾의 연구 결과, 즉 자유 유리기 중합과 산-염기 반응이 동시에 일어날 경우 전자가 후자를 제한할 수 있다는 결과와 일치한다. 특히 Fuji2 LC의 경우 광중합이 자연스럽게 일어난 표면 보다 깊은 부위의 경도가 높은 것은 이를 잘 설명할 수 있다. Vitremer 재료의 24시간 후의 경도가 다른 재료에 비하여 낮게 나온 것은 재현성이 있는 결과일 뿐 아니라 최종 경도가 다른 재료와 유사한 점으로 미루어 재료 자체의 특성이라 볼 수 있다. 이 특성을 해석해보면 전술한 대로 24시간 이후의 경화의 대부분은 산-염기 반

응에 의하여 일어나며 따라서 Vitremer의 경우 Fuji2 LC 보다 산-염기 반응에 의한 경화의 비중이 높다고 할 수 있다.

본 실험의 두 단계 실험 모두 한 가지의 공통 사항을 규명하고 있다. 즉, RMGI와 compomer 모두 글래스 아이오노머의 변형 재료이나 경화 특성이 서로 상이한 것으로 RMGI의 경우 광조사 없이 내재된 산-염기 중화 반응과 화학 중합 반응에 의하여 경화될 수 있는 반면 compomer의 경우는 중합 반응을 기시할 광조사 없이는 경화가 일어나지 않는다.

본 연구에 의한 또다른 응용 사항은 마무리/연마 시간이다. Yap 등²⁰⁾의 보고에서와 같이 compomer의 경우, 초기와 최종 경도의 차이가 유의성이 없다. 즉 광조사 직후의 마무리 및 연마가 가능하다는 것이다. 반면에 RMGI의 경우, 24시간 후에도 최종 경도에 못 미치는 바, 마무리 및 연마는 이 시간 이후에 시행하는 것이 재료의 최고의 물성을 유지하는 방법이 될 것이다.

V. 결 론

본 실험에서는 RMGI인 Fuji2 LC(GC)와 Vitremer (3M), Compomer인 Dyract AP(Dentsply), F2000 (3M), 그리고 Elan(Kerr)에 대하여 열중량 분석기와 시차 주사 열계량기를 이용하여 각각 재료의 무기질 함유율 및 각 재료의 중합시의 경화 반응 양상과 반응열을 측정하였고 미세 경도 측정기를 이용하여 각 재료의 표면, 1.0mm, 2.5mm, 4.0mm하방에서의 시간대별 경도를 측정, 분석하였다.

시차 주사 열계량기에 의한 열분석 실험의 결론은 다음과 같다.

1. 복합레진에 가까운 compomer의 경우 자가 경화로는 경화되지 않은 반면, RMGI의 경우 확연한 열발산을 나타내어 경화됨을 보여준다.
2. 일반적인 광중합 경화시 RMGI의 중합열이 compomer에 비하여 큰 것으로 나타났다.
3. RMGI의 경우 광중합의 경우가 자가 중합의 경우보다 큰 발열량을 보이는 것으로 나타났다.

미세 경도 측정기를 이용한 경도 측정 실험의 결론은 다음과 같다.

1. RMGI의 경우 광중합 직후 초기 경도는 낮았으나 시간이 지나면서 경도가 증가하는 양상을 나타냈으나 compomer의 경우 시간의 흐름에 따른 경도 증가의 증거는 미약했다.
2. Compomer의 경우 깊이 증가에 따른 경도의 감소가 확

연하였으나 반대로 RMGI의 경우 깊이에 따른 경도의 차이가 없었다.

참고 문헌

1. Albers HF. Tooth-colored restoratives. edition 8.0, Alto Books, Santa Rosa, 1996; 3a-4b.
2. Antonucci JM, McKinney JE, Stansbury JW. Resin-modified glass-ionomer cements. *US Patent Application* No. 160856, 1988.
3. Bourke AM, Walls AWG, McCabe JF. Light-activated glass polyalkenoate (ionomer) cements: the setting reaction. *J Dent* 1992;20:115-20.
4. Burgess JO, Norling BK, Rawls HR, Org, JL. Directly placed esthetic restorative materials - the continuum. *The compendium* 1996;17:731-748.
5. Gasser O. Evolution of the glass systems. *Proceedings of the second international symposium on glass ionomers* 1994:23-31.
6. Guggenburger R, May R, Stefan KP. New trends in glass-ionomer chemistry. *Biomaterials* 1998;19:479-83
7. Kakaboura A, Eliades G, Palaghias G. An FTIR study on the setting mechanism of resin-modified glass ionomer restoratives. *Dent Mater* 1996;12:173-78.
8. Kanchanavista W, Pearson GJ, Anstioe HM. Temperature rise in ion-leach-able cements during setting reaction. *Biomaterials* 1995;16:1261-65
9. Lutz FU. Advanced adhesive restorations:the post-amalgam age. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 1996;8(4):385-94, quiz 398.
10. Lutz FU. State of the art of tooth-colored restoratives. *Oper Dent* 1996;21:237-48.
11. Mathis R, Ferracane IL. Properties of a new glass ionomer / composite resin hybrid restoratives. *J Dent Res* 1987;66:113.
12. McCabe JF. Resin-modified glass-ionomers. *Biomaterials* 1998;19:521-27.
13. McLean JW, Nicholson JW, Wilson AD. Proposed nomenclature for glass-ionomer dental cements and related materials. *Quint Int* 1994;25:587-89.
14. Meyer JM, Cattani-Lorente MA, Dupuis V. Compomers: between glass-ionomer cements and composites. *Biomaterials* 1998;19: 529-39.
15. Mount GJ, Hume WR. Preservation and restoration of tooth structure. *Mosby* 1998:69-91.
16. Swift EJ Jr., Pawlus MA, Vargas MA, Fortin D. Depth of cure of resin-modified glass ionomers. *Dent Mater* 1995;11:196-200.
17. Vaidyanathan J, Vaidyanathan TK, Wang Y, Viswanadhan T. Thermoanalytical characterization of visible light cured dental composites. *J Oral Rehabil* 1992; 19:49-64.
18. Wilson AD, Kent BE. A new trans-luscent cement for dentistry. *Br Dent J* 1972;132:133-35.
19. Wilson AD. Resin-modified glass-ionomer cements., *Int J Prosthodont* 1990;3:425-29.
20. Yap AU, Sau CW, Lye KW. Effects of finishing/polishing time on surface characteristics of tooth-coloured restoratives. *J Oral Rehabil* 1998;25(6):456-61.