

치과용 수복재의 용해성에 관한 분석연구

경희대학교 치과대학 보존학교실

나금균 · 박상진

목 차

- I. 서 론
- II. 연구재료 및 방법
- III. 연구 성적
- IV. 총괄 및 고찰
- V. 결론
- 참고문헌
- 영문초록

I. 서 론

치과용 수복재료는 우식치아의 병소조직을 제거한후 이상적인 형태및 기능으로 수복할 수 있어야 한다. 치아를 수복하는 재료의선택은 임상에서 중요한 과정이다. 보존 수복용 재료를 선택함에 있어 재료가 갖추어야 할 필수조건으로는 강도, 심미성, 경제성등을 열거할 수 있으며 물리적, 생물학적 고려도 뒷받침되어야 한다¹⁾.

생물학적 측면에선 생체에 대한 독성 및 화학적 안정성이 중요하며 물리학적 관점에서 미세누출과 온도에 대한 안정성 및 파괴에 대한 저항성을 생각할 수 있으며²⁾, 구강내 장착후 내구성 및 생체 적합성을 좌우하는 여러 요인에 따라 수복재로서 적합한 재료인가를 평가할 수 있다.

치아에 수복된 수복물은 타액, 구강내 세균, 각종 식품과 음료수 및 위로 부터 역류된 화학 물질들과 직접 접촉하게 되므로 이들에 의해 극미량이라 하더라도 수복재료가 용해되거나 성분이 용출될 수 있으며, 치술질이나 저작을 통한 기계적 마모 및 수복물 주위에 발생한 2차 우식증의 영향으로 이와 같은 현상은 증가할 수 있으므로 수복재료의 용해성이 치과 임상 특히 보존학 영역에서 수복물의 수명을 좌우하는 원인이라고 할 수 있다.

Paffenbarger 외 2인^{3,4)}은 실리케이트 시멘트와 인산아연 시멘트의 용해성 및 물리적 성질에 대해서 보고한 이래 Norman등^{5,6)}은 유기 산용액내 수종의 치과용 시멘트의 용해도를 조사한 바 있으며 그후 용해도와 피막도(film thickness), 변연누출도 및 흡수도에 대한 연구를 계속 하였으며⁷⁻¹⁰⁾, 수복재료의 용해도 측정에서 보다 진보적인 연구방법을 제시한 바 있다¹¹⁻¹³⁾.

그러나 상기의 연구들은 사용한 용액의 종류 및 대상재료들이 서로 상이하었으므로 연구결과를 상호 비교 또는 분석하는데 일치점을 발견하기가 어려웠다.

한편 수복의 성패를 좌우하는 중요 요소의 하나인 변연 누출에 대한 문제는 보존재료의 선택에서의 필수적인 고려사항이라 할 수 있다. 실제로 치질과 완벽한 결합을 이루는 재료

란 기대하기 어렵기 때문에 수복물과 와동벽 사이에는 항상 미세간격이 존재하고¹⁴⁻¹⁶⁾이 간격을 통하여 세균이 침투할 가능성이 있고¹⁷⁻¹⁹⁾, 또 이로 인한 2차 우식증이 발생되며^{20,21)}, 결과적으로 수복물의 수명을 좌우하는 주요인자로 작용하게 되는 것이다. 변연누출을 측정하기 위하여 Glyn Jones¹⁴⁾, Kidd등²²⁾, Limberman등²³⁾ 및 Crim과 Champman²⁴⁾등은 색소침투 방법을 이용하였고, Gross등²⁵⁾과 Hembree²⁶⁾은 자기방사법을 이용하였으며 Going등²⁷⁾, Jacobson 등²⁸⁾ 및 Myers등²⁹⁾은 변연 누출에 대한 정량적 평가 방법에 대한 보고를 한 바 있다. 그러나 이러한 연구결과는 미세간격을 통한 단순한 색소의 침투나 수복재 하방의 방사성동위원소의 유출만을 고려한 고안이었으며, 수복물 자체의 용해에 대한평가는 제외된 실험방법이다.

따라서 저자는 현재 치과보존학 영역에 널리 사용되고 있는 재료의 용해성을 측정함과 아울러, 재료의 용해성이 변연 누출에 미치는 영향을 확인할 목적으로 ion chromatograph를 이용하여 실험을 실시한 후 그 결과를 보고하는 바이다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

본 실험에 사용된 재료는 현재 국내에서 널리 사용되고 있는 상품 중 광중합형 복합레진인 Silux plus(CS), 화학중합형 레진으로 Hi-pol(CH), Clearfil F-II(CF), 충전용 Glass-Ionomer 시멘트인 Fuji Type II(GI), 치면 열구전색제인 Fissure-seal(FS)과 그밖에 아말감(AM), 인산아연시멘트(ZP) 및 gutta-percha(GP)의 8종을 사용하였다(Table 1.).

2. 연구방법

I. 용해성분 및 용해율 측정

1) 내경 15.0mm, 두께 1.5mm인 Teflon ring을 사용하여 상기 8종의 재료를 제조회사의 지시대로 혼화, 충전한후 유리판을 덮어 평판하게 하여 여분의 재료를 제거하고 경화후 주형에서 시편을 분리하여 상대습도 100% 37°C에서 보관하였으며, 용해성분 측정용 시편을 재료 및 침지시간 별로 3개씩 총 24개의 시

Table 1. The tested materials

Materials	Brand	Code	Manufacturer	Batch No.
Composite resin	Silux plus	CS	3M, U.S.A.	OBA1
Composite resin	Hi-pol	CH	Boo-Pyung Dental Chemicals Co., Korea	B:61011 C: 60108
Composite resin	Clearfil F-II	CF	Kuraray Co., Ltd., Japan	53126
Sealant	Fissure-seal	FS	GC Dental Industrial Co., Japan	B:140982 C:140982
Glass Ionomer	Fuji II	GI	GC Dental Industrial Co., Japan	P:281291 L:170101
Amalgam	Cavex 68	AM	Cavex, Holland	
Zinc phosphate cement	Crown bridge and inlay cement	ZP	GC Dental Industrial Co., Japan	P:AT13 L:280491
Gutta-percha	Stopping	GP	GC Dental Industrial Co., Japan	90203

편을 제작하였고(Fig.1), 용해성분 측정은 Ion chromatograph(4000 i, Dionex Co., U. S.A)를 사용하였다.

2) 용해성분의 측정

용해성분 측정목적으로 8종의 재료로부터 제작된 총 24개의 시편을 탈이온수, 0.01M lactic acid 및 0.005M KOH 용액 각각 20ml 에 1일, 3일 및 7일간 침지시간 별로 3개씩의 시편을 침지시킨 후 용해성분을 ion chromatograph를 이용하여 음이온으로 F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , PO_3^- , 및 SO_4^{2-} 와 2가 양이온으로 Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , 그리고 전이금속으로 Pb, Cu, Cd, Co, Zn 및 Ni의 농도를 다음과 같은 방법으로 측정하여 평균치를 산출하였다.

가. 음이온 분석

F^- , Cl^- , Br^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_3^- , 및 SO_4^{2-} 들을 분석할 목적으로 각이온 1,000 ppm의 표준액을 NaF, NaCl, NaBr, $NaNO_2$, $NaNO_3$, KH_2PO_4 , 및 Na_2SO_4 를 사용하여 조제하였으며 eluant는 1.80mM Na_2CO_3 와 1.70mM $NaHCO_3$ 를 사용하였고 regenerant는 25mM H_2SO_4 를 사용하였다.

측정은 conductivity detector가 장착된 ion chromatograph를 사용하였으며 측정조건외 guard column은 HPIC-AS4A, separator column은 HPIC-AG4A, suppressor는 anion micro-membrane을 사용하였다.

나. 2가 양이온 분석

Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} 이온들을 분석할 목적으

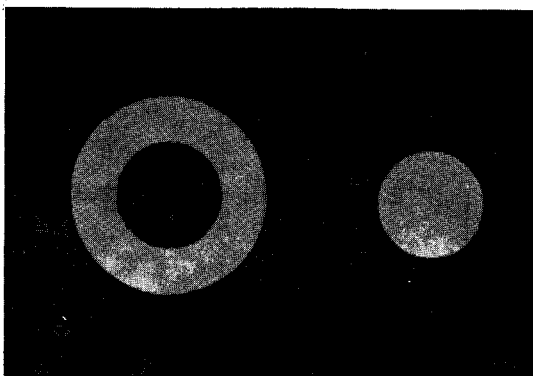


Fig. 1. Taflon ring and a specimen used in solubility test.

로 각각의 원자흡광분석용 1,000 PPM 표준시약(Junsei Chemical Co., Japan)을 사용하여 Mg^{2+} , Ca^{2+} , 및 Sr^{2+} 을 각각 5, 10 및 30ppm이 되도록 제조하여 표준용액으로 사용하였으며 eluant로는 48mM HCl과 16mM DAP.HCl을 regenerant는 100mM tetrabutyl ammonium hydroxide를 사용하였다. 측정은 conductivity detector가 장착된 ion chromatograph를 사용하였으며, 이때 guard column은 HPIC-CG3, separator는 cation micro-membrane을 사용하였다.

다. 전이금속의 분석

Pb, Cu, Cd, Co, Zn, Ni이온들을 분석할 목적으로 원자흡광 분광 분석용 1,000ppm 표준시약을 사용하였다. eluant는 50mM oxalic acid와 95mM lithium hydroxide를 사용하였으며 postcolumn reagent는 0.4mM PAR (4-(2-pyridylazo)resorcinol), 1M acetic acid 및 3M ammonium hydroxide혼합물을 사용하였다.

용해성분 측정은 UV/vis detector를 장착한 ion chromatograph를 사용하였으며 이때 guard column은 HPIC-CG5, separator column은 HPIC-CS5, 혼합기는 membrane reactor였고 detector wave length는 520nm였다. 각 이온 측정시의 기기조건은 Table 2와 같다.

II) 용해율의 측정

상기에서 제작된 각 재료당 4개씩의 시편, 포함 32개의 시편을 건조기 내에서 37°C, 24시간 건조시킨 후 전자천평(Sartorius, West Germany)에서 0.1mg 단위로 무게를 측정한 후 치실(dental floss silk, unwaxed) 매달아 0.01 M lactic acid 20ml가 담긴 용기 각 2개씩에 24시간 침지시킨 후 꺼내서 건조기내에서 37°C로 24시간 건조후 무게를 재측정하고, 평균 감소량을 퍼센트로 환산하여 아래의 공식을 이용하여 용해율로 정하였다.

$$\text{용해율}(\%) = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0} \times 100$$

W_0 : 건조 후 시료의 무게

W_1 : 용액내 침지 후 건조시킨 무게

Table 2. Conditions of ion chromatograph

	Anion	Divalent cation	Transition metals
Sample Loop Volume	50 μl	50 μl	50 μl
Guard Column	HPIC-AG4A	HPIC-CG ₃	HPIC-CG ₅
Separator Column	HPIC-AS4A	HPIC-CS ₃	HPIC-CS ₅
Eluant	1.80mM Na ₂ CO ₃	48mM HCL	50mM Oxalic acid
	1.70mM NaHCO ₃	16mM DAP. HCL	95mM Lithium Hydroxide
Suppressor	Anion micro-membrane	Cation micro-membrane	-
Mixing Device	-	-	Membrane reactor
Eluant Flow Rate	2.0mL/min	1.0mL/min	-
Regenerant	25mL H ₂ SO ₄	100mL TBAOH	0.2mM PAR
			1M Acetic acid
			3M NH ₄ OH
Regenerant Flow Rate	3mL/min	10mL/min	0.7mL/min
Detector Wave Length	-	-	520 nm

III) 변연누출 평가

1) 시편제작

4년생 한우에서 발거한 중절치 8개에 범랑질 표면의 넓이가 8×8mm 되도록 disc로 절단한 후 순면에 직경 4.0mm, 깊이 2.0mm인 원통형 와동을 형성하여 인산아연 시멘트를 와동내 0.5mm 두께로 이장한 후 Silux plus(CS), Fuji Type II(GI), Hi-pol(CH) 및 Clearfil F-II(CF)를 이용하여 각 재료당 2개의 와동에 충전하였다. 충전과정에서는 산부식재 및 결합재를 사용하지 않았으며 순면 이외의 절삭면에 대하여는 nail varnish로 도포하여 변연누출 평가용 시편을 제작하였다.

2) 용해성분 측정

제작된 시편을 각각 0.001M 및 0.01M lactic acid 10ml 용액내에 24시간 침지시켜 용액내의 아연농도를 측정하여 평균치를 산출하였다. 각종 재료의 용해성분 분석법은 복잡한 처치단계와 측정오차가 나타나는 습식방법과 각 원소를 개별적으로만 측정하는 원자흡광분석법 등이 주로 사용되어져 왔으나 본 연구에

서는 이러한 결점을 해결하기 위하여 동일조건 의 시편으로부터 각종 이온의 종류와 양을 동시에 분석비교할 수 있는 ion chromatograph 를 사용하였다.

III. 연구성적

I. 용해성분 측정결과

1) 용출 음이온

8개 수복재료의 탈이온수, 0.01M lactic acid 및 0.005M KOH에서 각각 1일 3일 및 7일간 침지시킨 후의 용출 음이온의 측정 결과는 Table 3, 4, 5와 같으며 이중 탈이온수내에서는 침지기간동안 F⁻는 AM 및 GP를 제외한 6종의 재료에서 용출되었으며 GI에서 7일간 침지시 27.526ppm이 용출되었다. Cl⁻은 CS 및 GP를 제외한 6종에서 용출되었고 NO₂⁻는 모든 재료에서 용출되지 않았으며 Br⁻은 CH에서만 용출되었다.

NO₃⁻는 CH 및 CF에서 용출되었고 PO₃⁻는

Table 3. Anionic concentration leached from tested materials which immersed in deionized water (cummulated data, in ppm)

Code	Day	F	Cl	NO ₂	Br	NO ₃	PO ₃	SO ₄
CS	1	0.110	-	-	-	-	-	-
	3	0.210	-	-	-	-	-	-
	7	0.250	-	-	-	-	-	-
CH	1	0.179	0.110	-	0.060	0.129	-	0.287
	3	0.220	0.200	-	0.060	0.129	-	0.471
	7	0.240	0.260	-	0.060	0.129	-	0.911
CF	1	2.941	0.344	-	-	0.009	-	-
	3	4.425	0.622	-	-	0.012	-	-
	7	6.664	0.702	-	-	0.014	-	-
FS	1	0.099	0.427	-	-	-	-	-
	3	0.013	0.550	-	-	-	-	-
	7	0.013	0.550	-	-	-	-	-
GI	1	15.920	0.546	-	-	-	-	14.090
	3	22.343	0.895	-	-	-	-	18.845
	7	27.526	1.310	-	-	-	-	23.222
AM	1	-	0.008	-	-	-	-	-
	3	-	0.123	-	-	-	-	-
	7	-	0.150	-	-	-	-	-
ZP	1	0.022	0.062	-	-	-	3.220	-
	3	0.022	0.018	-	-	-	5.038	-
	7	0.035	0.018	-	-	-	5.970	-
GP	1	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-
	7	-	-	-	-	-	-	-

ZP에서만 7일간 침지시 5.970 ppm이 용출되었다. SO₄²⁻는 CH와 GI에서만 용출되었다 (Table 3).

0.01M lactic acid 용액내에서 침지기간동안 F⁻는 AM과 GP를 제외한 6종의 재료에서 용출되었으며, Cl⁻, NO₂⁻ 및 Br⁻은 모든재료에서 용출되지 않았으며 그밖에 NO₃⁻는 CH, CF, FS에서 용출되었고 PO₃⁻는 CS, FS, AM을 제외한 5종의 재료에서 용출되었으며 ZP에서 7일간 침지시 48.484ppm이 용출되었

다. SO₄²⁻의 경우에는 CS를 제외한 7종의 재료에서 모두 용출되었다. 또 Cl⁻, NO₂⁻ 및 Br⁻은 모든 재료에서 용출되지 않았다 (Table 4).

0.005M KOH용액내에 7일간 침지시켰을 때의 음이온중 F⁻의 용출은 CF, GI 및 ZP에서만 나타났으며, 그밖의 재료에선 음이온은 용출되지 않았다 (Table 5).

2) 용출 2가 양이온 측정결과
탈이온수, 0.01M lactic acid 및 0.005M

Table 4. Anionic concentration leached from tested materials which immersed in 0.01 M lactic acid (cumulated data, in ppm)

Code	Day	F	Cl	NO ₂	Br	NO ₃	PO ₃	SO ₄
CS	1	0.150	-	-	-	-	-	-
	3	1.350	-	-	-	-	-	-
	7	1.577	-	-	-	-	-	-
CH	1	0.204	-	-	-	0.484	-	0.164
	3	0.234	-	-	-	0.507	-	0.317
	7	0.234	-	-	-	0.512	0.507	0.413
CF	1	0.970	-	-	-	0.285	0.065	0.122
	3	1.715	-	-	-	0.331	2.562	1.358
	7	2.888	-	-	-	0.331	6.236	2.466
FS	1	0.082	-	-	-	0.936	-	0.296
	3	0.082	-	-	-	0.957	-	0.427
	7	0.082	-	-	-	0.957	-	0.514
GI	1	22.300	-	-	-	-	0.737	12.790
	3	28.645	-	-	-	-	0.802	26.739
	7	34.211	-	-	-	-	0.802	38.289
AM	1	-	-	-	-	-	-	0.199
	3	-	-	-	-	-	-	0.199
	7	-	-	-	-	-	-	0.199
ZP	1	0.038	-	-	-	-	21.818	3.685
	3	0.138	-	-	-	-	35.438	6.947
	7	0.341	-	-	-	-	48.484	9.759
GP	1	-	-	-	-	-	0.108	0.474
	3	-	-	-	-	-	0.108	0.688
	7	-	-	-	-	-	0.108	0.688

KOH 내에서 8종 재료의 2가 양이온 용출량 측정결과는 Table 6과 같다.

탈이온수 침지시 Mg²⁺의 경우는 CS, ZP 및 GP에서 용출되었으며, ZP에서 7일간 침지시 6.050 ppm으로 가장 높게 나타났으며 0.01 M lactic acid 내에서는 AM를 제외한 7종의 재료에서 Mg²⁺가 용출되었으며 GP와 ZP에서 각각 7일간 침지시 8.122 및 3.707ppm이 용출되어 가장 많은양을 나타내었다. Ca²⁺는 탈이

온수 침지시, AM와 GP를 제외한 모든 재료에서 용출되었으며 0.01 M lactic acid 내에서는 CF에서 Ca²⁺가 7일간 침지시 86.75ppm으로 가장 많은 양이 용출되었다.

3종의 침지액 내에서 Sr²⁺은 모든 재료에서 용출되지 않았다(Table 6).

3) 전이금속이온 측정결과

8종의 연구대상재료를 탈이온수 0.01M lactic acid 및 0.005M KOH에 침지시킨 후 1

Table 5. Anionic concentration leached from tested materials which immersed in 0.005 M KOH (cummulated data, in ppm)

Code	Day	F	C1	NO ₂	Br	NO ₃	PO ₃	SO ₄
CS	1	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-
	7	-	-	-	-	-	-	-
CH	1	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-
	7	-	-	-	-	-	-	-
CF	1	1.057	-	-	-	-	-	-
	1	1.057	-	-	-	-	-	-
	7	1.256	-	-	-	-	-	-
FS	1	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-
	7	-	-	-	-	-	-	-
GI	1	12.520	-	-	-	-	-	-
	3	17.346	-	-	-	-	-	-
	7	18.258	-	-	-	-	-	-
AM	1	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-
	7	-	-	-	-	-	-	-
ZP	1	0.221	-	-	-	-	-	-
	3	0.233	-	-	-	-	-	-
	7	0.233	-	-	-	-	-	-
GP	1	-	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-	-	-
	7	-	-	-	-	-	-	-

일, 3일 및 7일간에 용출되는 전이금속 이온에 대한 분석결과는 Table 7, 8, 9와 같다.

8종 재료로부터의 Pb, Cd, Co 및 Ni 용출은 3개 침지액 내에서 공히 검출되지 않았으며 Zn은 8종의 재료가 3종의 침지액 내에서 모두 용출되었고 Cu는 탈이온수 침지내에서 AM에서만 용출되었으며, 0.01 lactic acid 침지시 GI, CF, AM 및 GP에서만 용출되었다.

Zn은 3종 침지액내에서 공히 ZP와 GP에서

가장 많은 용출을 보였다.

2.0.001M 및 0.01M lactic acid에 의한 용해율 비교

상기 제작된 8개 재료의 시편(재료당 4개)을 0.001M 및 0.01M lactic acid에서 24시간 침지시킨 후, 측정된 용해량을 %로 환산하여 용해율을 측정된 결과는 Table 10과 같다.

Table 6. Divalent cationic concentration leached from tested materials which immersed in deionized water, 0.01M lactic acid and 0.005M KOH, respectively (cummulated data, in ppm)

Code	Day	DI			Lactic Acid			KOH		
		Mg	Ca	Sr	Mg	Ca	Sr	Mg	Ca	Sr
CS	1	0.023	0.112	-	0.212	0.155	-	0.009	0.071	-
	3	0.069	0.257	-	0.611	0.410	-	0.022	0.123	-
	7	0.096	0.425	-	0.823	0.494	-	0.032	0.178	-
CH	1	-	0.167	-	-	0.260	-	0.027	0.524	-
	3	-	0.340	-	0.029	0.509	-	0.056	1.128	-
	7	-	0.472	-	0.239	0.688	-	0.056	1.354	-
CF	1	-	0.290	-	0.060	23.738	-	-	0.857	-
	3	-	0.637	-	0.116	45.546	-	-	1.559	-
	7	-	0.721	-	0.168	86.752	-	0.027	1.896	-
FS	1	-	-	-	0.025	0.368	-	-	0.328	-
	3	-	0.120	-	0.300	0.869	-	0.040	0.784	-
	7	-	0.260	-	0.312	1.326	-	0.077	1.097	-
GI	1	-	1.256	-	0.031	6.133	-	0.020	3.392	-
	3	-	1.466	-	0.031	6.476	-	0.065	3.912	-
	7	-	2.102	-	0.056	6.778	-	0.127	4.658	-
AM	1	-	-	-	-	0.112	-	-	0.171	-
	3	-	-	-	-	0.465	-	-	0.397	-
	7	-	-	-	-	0.480	-	-	0.512	-
ZP	1	2.289	-	-	21.210	1.446	-	1.992	0.291	-
	3	4.530	0.213	-	43.430	2.758	-	2.901	0.533	-
	7	6.050	0.383	-	69.420	4.959	-	3.707	0.720	-
GP	1	0.476	-	-	8.197	0.446	-	1.181	0.332	-
	3	0.810	-	-	15.055	0.446	-	4.339	0.659	-
	7	1.590	-	-	22.010	0.900	-	8.122	1.090	-

0.001M 보다 0.01M lactic acid에 침지시 높은 용해율을 보였으며, 0.01M lactic acid 침지시의 ZP 및 GI에서 각각 5.40%와 4.82%로서 가장 높은 용해율을 나타냈다. 0.001M lactic acid 침지시의 용해율은 GI가 2.87%로 가장 높았으며 다음이 ZP와 FS로 각각 1.

75% 및 0.57%였고 두 용액 모두에서 AM이 0.01%로 가장 낮은 용해율을 나타내었다.

3. Zn 누출량 측정결과

소의 전치에 와동을 형성하고 인산아연 시멘

Table 7. Transition metal concentration leached from tested materials which immersed in deionized water (cumulated data, in ppm)

Code	Day	Pb	Cu	Cd	Co	Zn	Ni
CS	1	-	-	-	-	0.184	-
	3	-	-	-	-	0.565	-
	7	-	-	-	-	0.802	-
CH	1	-	-	-	-	0.046	-
	3	-	-	-	-	0.073	-
	7	-	-	-	-	0.199	-
CF	1	-	-	-	-	0.195	-
	3	-	-	-	-	0.238	-
	7	-	-	-	-	0.414	-
FS	1	-	-	-	-	0.198	-
	3	-	-	-	-	0.262	-
	7	-	-	-	-	0.364	-
GI	1	-	-	-	-	0.036	-
	3	-	-	-	-	0.096	-
	7	-	-	-	-	0.114	-
AM	1	-	-	-	-	0.075	-
	3	-	0.007	-	-	0.152	-
	7	-	0.009	-	-	0.244	-
ZP	1	-	-	-	-	0.062	-
	3	-	-	-	-	1.254	-
	7	-	-	-	-	3.064	-
GP	1	-	-	-	-	0.834	-
	3	-	-	-	-	1.658	-
	7	-	-	-	-	3.566	-

트로 이장한 후 CS, CH, CF 및 GI를 충전한 시편을 각각 0.001M 및 0.01M lactic acid에 침지시켜 누출되는 Zn의 양을 측정한 결과는 Table 11과 같다. CS, CH, CF 및 GI를 0.001M lactic acid 내 침지시켜 Zn 용출량을 측정한 결과 CS와 CF에서는 각각 0.048 ppm과 0.011 ppm으로 측정되었으며 CH와 GI에서는 Zn의 용출이 없었다. 0.01M lactic acid

침지시에는 CS, CH, CF 및 GI의 경우, 각각 0.199, 0.137, 0.046 및 0.107 ppm으로 나타났다.

Table 8. Transition metal concentration leached from tested materials which immersed in 0.01M lactic acid (cumulated data, in ppm)

Code	Day	Pb	Cu	Cd	Co	Zn	Ni
CS	1	—	—	—	—	0.295	—
	3	—	—	—	—	0.975	—
	7	—	—	—	—	1.762	—
CH	1	—	—	—	—	0.112	—
	3	—	—	—	—	0.229	—
	7	—	—	—	—	0.467	—
CF	1	—	0.017	—	—	0.286	—
	3	—	0.036	—	—	0.409	—
	7	—	0.051	—	—	0.513	—
FS	1	—	—	—	—	0.313	—
	3	—	—	—	—	0.405	—
	7	—	—	—	—	0.515	—
GI	1	—	0.006	—	—	0.224	—
	3	—	0.009	—	—	0.394	—
	7	—	0.010	—	—	0.612	—
AM	1	—	0.019	—	—	0.186	—
	3	—	0.019	—	—	0.354	—
	7	—	0.045	—	—	0.567	—
ZP	1	—	—	—	—	195.950	—
	3	—	—	—	—	417.870	—
	7	—	—	—	—	675.970	—
GP	1	—	—	—	—	209.170	—
	3	—	—	—	—	394.520	—
	7	—	3.130	—	—	585.830	—

Table 9. Transition metal concentration leached from tested materials which immersed in 0.005M KOH (cumulated data, in ppm)

Code	Day	Pb	Cu	Cd	Co	Zn	Ni
CS	1	—	—	—	—	0.011	—
	3	—	—	—	—	0.045	—
	7	—	—	—	—	0.124	—
CH	1	—	—	—	—	0.069	—
	3	—	—	—	—	0.169	—
	7	—	—	—	—	0.253	—
CF	1	—	—	—	—	0.057	—
	3	—	—	—	—	0.179	—
	7	—	—	—	—	0.280	—
FS	1	—	—	—	—	0.338	—
	3	—	—	—	—	0.434	—
	7	—	—	—	—	0.526	—
GI	1	—	—	—	—	0.178	—
	3	—	—	—	—	0.222	—
	7	—	—	—	—	0.291	—
AM	1	—	—	—	—	0.067	—
	3	—	—	—	—	0.112	—
	7	—	—	—	—	0.196	—
ZP	1	—	—	—	—	3.049	—
	3	—	—	—	—	4.693	—
	7	—	—	—	—	5.650	—
GP	1	—	—	—	—	0.423	—
	3	—	—	—	—	0.590	—
	7	—	—	—	—	1.112	—

Table 10. Solubility of tested materials in 0.001M and 0.01M lactic acid (% W/W) for 24 hours

Lactic Acid	CS	CH	CF	FS	GI	AM	ZP	GP
0.001 M	0.26	0.10	0.16	0.57	2.87	0.01	1.75	0.43
0.01 M	0.26	0.16	0.33	0.76	4.82	0.01	5.40	0.55

Table 11. Zn concentration in 0.001M and 0.01M lactic acid in which restored teeth are immersed (in ppm)

Lactic acid	CS	CH	CF	GI
0.001 M	0.048	0.000	0.011	0.000
0.01 M	0.199	0.137	0.046	0.107

IV. 총괄 및 고찰

보본 수복재는 적절한 물리적 및 생물학적으로 생체와 적절한 적합성을 구비함은 물론, 구강내에서 용해성이 낮고 치질과의 경계에서 변연누출이 적거나 없어야 한다. 한편 그 성분은 유해 물질이 포함되지 않아야 하며 구강내에서 항우식효과를 나타낼 수 있다면 더욱 만족스러울 것이다.

일반적으로 증류수에 의한 수복용 재료의 용해성은 낮은 것으로 알려져 있고 용해도에 대한 연구는 주로 접착재에 한정되어 있으며 실제 구강내에는 환경변화가 다양하므로 접착재 뿐만 아니라 충전용 재료의 여러 조건에서의 용해성은 수복재의 수명을 좌우하는 요인임에 틀림없다. 본 연구에서는 치과 보존영역에서 널리 사용되는 재료를 택하여 산성, 중성 및 알칼리성 조건하에서 용해성분을 측정 분석하였으며, 각종 이온의 용출량을 분석하여 지금까지의 단순중량 변화를 측정하는 방법을 개선하였다.

수복재료의 용출물질 측정에 대하여 Chew 등³⁰⁾과 Takahashi³¹⁾는 각각 증류수 및 각종 용액에 의한 Hg의 유리량을 조사보고하였으며 Ferracane 등³²⁾은 생리 식염수내에서 Ag, Cu 및 Hg를 측정 보고한 바 있고 Class-Ionomer 시멘트의 용해성은 Fukazawa 등³³⁾과 김 등³⁴⁾이 F, Al, Ca 및 Si에 대한 재료의 형태 및 용액의 종류에 따른 각 성분의 용해량을, Söderholm^{35,36)}은 복합레진의 용해 성분중 Si, Sr 및 Ba이 포함되어 있음을 보고한 바 있다.

그러나 이와같은 연구결과는 한종류의 재료를 대상으로 주요 구성성분에 대하여만 평가한

결과로 불순물이나 일부 첨가성분의 용해도에 대한 조사는 포함시키지 않았으므로 동일 조건에서 서로 다른 수복재의 용출된 성분을 비교할 수 없었다.

본 연구에서 시편제작을 위해 내경 15.0mm 두께 1.5mm의 Teflon ring을 사용한 이유는 연구재료중 gutta-percha (GP)가 포함되어 있으며 침지액의 용량을 20ml로 사용하기 위해서는 내경의 감소가 요구되었기 때문이다.

용액내에 각종 수복재에 대한 침지방법은 Fukazawa 등³³⁾의 방법과 동일한 치실(dental floss silk)을 사용하였다.

8종의 재료에 대하여 탈이온수, 0.01M lactic acid, 0.005M KOH용액에 침지시킨 후 음이온의 분석결과 NO_2^- 는 용출되지 않았으며 Br^- 도 CH를 탈이온수에 침지시킨 경우에만 측정되었고 PO_3^- 및 SO_4^{2-} 는 0.01M lactic acid에 침지시킨 ZP의 경우 다른 재료에 비하여 비교적 많은 음이온이 용출되었으나, 이것은 상수도수의 수질기준³⁷⁾에, 비교할 만한 양은 아니었다.

음이온 용출량 중 F^- 는 탈이온수 및 0.01M lactic acid에 침지시 AM 및 GP를 제외한 6종의 재료에서 용출되었는데 CF 및 GI를 제외한 4개 재료의 경우, 임상적으로 큰 의미는 없다고 생각되며 또 불규칙한 양상으로 검출되었으므로 음이온의 용출량에 대하여 침지액에 따른 순위 정하기는 곤란하였다. 단지 GI에서만 0.01M lactic acid, 탈이온수 및 0.005M KOH의 순서로 각각 침지시간에 따라 용출량이 증가함을 나타내었다(Table 3, 4, 5).

치아우식증의 예방을 위한 성분으로 알려진 F^- 는 상수도와 치약 등에 포함시키거나 국소적도포의 방법으로 사용되고 있으며 수복 재료내 함유된 불화물의 치질내 침착에 대한 연구보고^{38,39)} 이후 F^- 를 유리하는 실리케이트 시멘트 및 Glass-Ionomer 시멘트에 대한 조사보고가 있었고 이밖에 F^- 를 포함한 복합레진, 아말감 및 인상재등에 관한 연구도 최근까지 진행되고 있다^{40~45)}. Glass-Ionomer 시멘트에 의해 유리된 F^- 는 법랑질내로 흡착되며^{46,47)}, 치아우식증에 대한 저항성을 갖게 된다고 보고⁴⁸⁾

된 바 있으며, F⁻의 유리는 F⁻의 유리는 F⁻ 함유 수복재로 충전 제1일 후에 가장 많이 유리되고 그 후 점차 감소되어 일정한 양에 도달되며 이때 F⁻의 유리량은 시간의 제곱근에 비례한다고 보고되었다^{33,34,49,50}.

본 연구에서 7일간의 F⁻의 용출량은 Glass-Ionomer(GI)의 경우 탈이온수에서 약 0.55mg, 0.01M lactic acid에서 약 0.68mg 및 0.005M KOH에서 약 0.37mg으로, 용액의 pH가 낮을수록 용출량은 많은것으로 나타났는데 이 결과는 김 등³⁴), Walls 등⁵¹)과 Iwaku 등⁵²)의 보고내용과 동일한 양상으로 확인되었다. 그러나 F⁻의 용출량이 김등³⁴)의 보고 내용에서보다 적은 것으로 나타난 결과는 연구 방법 및 조건을 변경하여 지속적인 연구가 요망되었다. 한편 F⁻의 용출이 CS, SH, 및 FS에서도 관찰된 결과는 시편제작시의 오염(상수도사용등)으로 예견할 수 있으며⁴⁹) 용출량과 PH와의 관련성은 본 연구에서 확인하기 어려웠다.

연구 대상으로 사용된 8종의 수복재료로 부터의 Mg²⁺, Ca²⁺ 및 Sr²⁺의 2가 양이온의 용출량을 분석한 결과에서 실험 대상재료에서는 Sr²⁺이 용출되지 않았으며 0.01M lactic acid에서 7일간 침지시 Mg²⁺의 용출은 ZP와 GP에서, Ca²⁺의 용출은 CF에서 비교적 많은 양이 측정되었으며 그밖의 경우에는 3종의 침지액내에서 용출된 2가 이온농도가 10ppm이하로 측정되었다.

7일간 3종의 침지액내로 용출된 각 재료의 2

가 양이온 용출량을 합하여 이것을 질량으로 환산하면 탈이온수나 0.005M KOH보다는 0.01M lactic acid에 침지시 용출이온량이 가장 많음을 알 수 있었으며 이것은 8종의 재료가 모두 중성이나 알칼리성 보다는 산성에서 용해율이 더 높은것을 간접적으로 보여주는 것이다 (Table 12).

Pb, Cu, Cd, Co, Zn 및 Ni을 분석한 실험 결과는 8종 재료 모두 에서 탈이온수와 0.01M lactic acid 및 0.005M KOH 내에선 Pb, Cd, Co 및 Ni은 검출되지 않았으며, Cu의 경우 탈이온수내에선 AM에서만, 0.01M lactic acid내에선 CF, GI, AM 및 GP에서 용출되었고, Zn는 모든 재료에서 용출되었으나 대부분 주목 할 만한 양은 아니었다.

그러나 0.01 M lactic acid에 침지시의 Zn는 ZP 및 GP에서 다량 검출되었으며 침지시 간경과에 따라 증가하는 양상으로 나타났다. 이러한 결과는 ZP와 GP에서 7일동안 시간당 각각 약 80μg 및 70μg씩이 용출된 양이며 7일간의 총용출량은 1cm²당 각각 약 3.12mg과 2.76mg으로서 매우 높게 측정되어 상당량의 용해가 발생하였음을 확인할 수 있다.

Meryon등⁵⁵)은 Zn의 양에 대한 세포독성에 대한 실험에서 독성의 유무를 5ppm을 기준으로 판정하였는데 본 연구에서 확인된 ZP및 GP의 경우 7일간 0.01 M lactic acid에 침지시 이보다 높게 용출된 양으로 미루어 보아 세포독성이 나타났을 것으로 생각된다. 그러나

Table 12. Total eluted amounts of divalent cation from the tested materials in each solution for 7 days (in micrograms)

Code	CS	CH	CF	FS	GI	AM	ZP	GP
Deionized water	10.42	9.44	14.42	5.20	42.04	0.00	128.60	31.80
0.01M lactic acid	26.34	18.54	1738.00	32.76	136.60	9.60	1487.00	458.20
0.005 M KOH	4.20	28.20	38.46	23.48	95.70	10.24	88.54	184.20

이와 같은 Zn의 용해가 실제 구강내에서의 독성여부에 대한 반응에 대하여는 다른 방법의 실험이 필요하다고 사료된다.

한편 Pb, Cd, Co 및 Ni은 인체에 유해한 성분으로 특히 국내의 경우 음료수의 수질기준에 대하여 Pb와 Cd의 허용한계를 각각 0.1 ppm 및 0.001ppm으로 규정³⁷⁾하고 있으나 본 연구대상 재료에서는 이상의 4개 중금속 성분은 용출되지 않았다. 그러나 Gjerdet 등⁶⁰⁾의 지적대로 각종 아말감에 대해서 중금속의 용출에 대한 보다 철저한 평가가 필요하다고 사료된다.

Tobias 등⁵⁷⁾은 치과재료로 부터 유래할 수 있는 원소 중에서 Hg, Cu, F 및 Zn의 항균능력이 있음을 평가하고, Hg, Cu 및 Zn이 수복물과 치질간의 경계면으로 침투하는 세균의 성장을 억제한다고 보고한 바 있는데, Cu, F 및 Zn의 효과는 본 연구방법과 함께 항균효과에 대한 연구를 동시에 한다면 치과재료에 대한 보다 안정되고 편리한 임상 적용이 가능하리라 사료된다.

각종 재료의 용해 성분 분석법은 복잡한 처리단계와 측정오차가 나타나는 습식방법과 각 원소를 개별적으로 측정하는 원자흡광분석법 등이 주로 사용되어져 왔으나 본 연구에서는 ion chromatograph를 사용하여 이러한 결점을 해결함과 동시에 동일조건의 시료로부터 각종 이온의 종류와 양을 동시에 분석비교할 수 있었다.

본 연구의 예비실험에서 0.01M citric acid 및 0.005M NaOH를 이용하여 시도한바 각각 0.01M 및 0.005M에서의 Baseline의 불량으로 만족할 만한 기대를 하기 어려워 lactic acid와 KOH를 연구용액으로 대체하여 침지용액으로 사용하였다. 그러나 citric acid 및 NaOH를 각각 10배씩 희석한 시료에 대해서는 baseline이 안정되게 나타나 실험 연구에 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

수복재의 용해성에 대한 대부분의 연구보고는 증류수에 대한 24시간 침지 후의 용해량을 측정 평가하고 있으나 수복재는 실제 구강내 환경에서 다양한 정도의 pH와 접촉하게 되

로 그 용해성을 평가 함에 있어 구강내에 존재하는 모든 변화에 대한 검토가 요망되는 것이다.

본 연구는 8종류의 재료에 대하여 0.001M 및 0.01M lactic acid에 24시간 침지시킨 후의 용해량을 0.1mg 단위로 측정하여 평가하였는데 실험결과는 8종의 모든재료에서 용해되었으며 0.01M lactic acid에 침지시 많은 용해량을 보였다. 가장 많은 용해가 발생 한 것은 ZP 및 GI의 경우로서 각각 5.40% 및 4.82%의 용해량을 보였다. Fan 등⁵⁸⁾은 수종의 레진을 증류수내에 30일간 침지시킨 후의 용해율을 0.04%로 부터 1.3%까지로 보고한 바 있는데 최대 및 최소치를 제외하면 0.2~0.6% 범위의 용해율을 나타내었다고 보고 하였다. 본 실험에서도 4종의 복합레진을 0.001M 및 0.01M lactic acid에 24시간 침지시킨 결과 0.10%로 부터 0.76%로 용해율이 측정되어 Fan 등⁵⁸⁾의 보고와 유사한 것으로 미루어 복합레진도 산에 대한 지속적 접촉으로 용해가 크게 증가했음을 인정할 수 있었다. 따라서 수복재료의 선택시 산에 대한 용해성이 참고 되어야 한다.

보존 수복후 수복물의 성패는 2차 우식증의 발생여부에 좌우되므로 충전재와 치질간의 변연봉쇄성이 수명을 좌우하는 요건이 된다.

본연구에서는 Tani 등⁵⁹⁾, Shimizu 등⁶⁰⁾의 연구보고를 토대로 재료의 용해성과 변연누출간의 관계를 확인할 목적으로 수복물 하방의 인산이온 시멘트로부터 유리되어 나오는 Zn의 양을 측정하였다. 즉, 변연누출 평가용 시편을 0.001M lactic acid에 침지시켜 용출된 Zn이온은 CS, CF에서 각각 0.048과 0.011ppm이였고 CH와 GI에서는 Zn이 검출되지 않았으며 0.01 M lactic acid 에서는 CS, CH, CF 및 GI에서 각각 0.199, 0.137, 0.046 및 0.107 ppm으로 확인되어 0.001M lactic acid에 의한 측정치보다 높게 측정되었다. 그러나 0.01M lactic acid에 적경 15.0mm, 두께 1.5mm의 시편을 침지시켰었던 용해성분 측정시에서도 CS, CH, CF 및 GI에서 각각 0.295, 0.112, 0.286 및 0.224ppm으로 측정되었으므로 변연누출로 인한 Zn의 용출양이라고 결론짓기는 곤

란하였으며, 직경 4.0mm인 수복물의 표면적이 용출성분 측정시 사용한 시편 표면적의 약 3%에 지나지 않는다 하더라도 수복부위로부터 용해된 양이 일부 포함되었을 것으로 추측되어 그양의 차이가 나타났다고 생각된다.

한편 Zn의 누출량 측정에서의 침지액의 용량은 10ml로서 용출성분 측정시의 2분의 1에 해당하므로 실제의 용출된 Zn의 양은 Table 11에 제시된 양의 2분의 1에 해당한다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서의 실험 결과로부터 각 재료에 대한 변연누출량을 gm수로 표시하거나 순위를 정하는 데에는 다소 미흡한 점이 있다.

본 연구에서는 8개 수복재료의 동일 조건하에서의 용해성분의 양을 동시측정하였으나 각 재료의 전체성분에 대한 사용 침지용액의 다양화 및 표준화를 통해 수복재료에서의 전체 용출성분을 종합적으로 평가하는 연구의 필요성이 있다고 사료된다.

V, 결 론

저자는 8종의 수복재 즉 Silux plus(CS), Clearfil F-II(CF), Hi-pol(CH), Glass-Ionomer 시멘트 Fuji type II(GI), Fissure-seal(FS), 아말감 Cavex 68(AM), 인산아연 시멘트(ZP) 및 gutta-percha(GP)를 탈이온수, 0.01 M lactic acid 및 0.005M KOH 용액에 의한 용해성과 변연누출과의 관계를 확인할 목적으로 본 연구를 실시하였다.

Ion chromatograph를 이용하여 음이온, 2가 양이온 및 전이금속을 정량 분석 하였으며, 총 용해율 비교와 함께 소의 법랑질에서 와동형성후 인산아연 시멘트로 이장하고 CS, CH, CF 및 GI를 충전하여 0.001M 및 0.01M lactic acid 내에 침지시켜 Zn의 변연누출량을 측정하여 이들 결과를 비교 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 8종의 수복재료로부터의 각종 이온의 용출량은 0.01M lactic acid 에서 가장 많았으며, 탈이온수에서 가장 적었다.

2. 용출된 음이온 분석결과 F⁻의 경우는 0.01M lactic acid에 7일간 침지시킨 Glass-Ionomer 시멘트(GI)에서 가장 많이 용출되었다.

3. 용출된 2가 양이온의 분석결과 0.01M lactic acid에 7일간 침지시킨 경우에 Mg²⁺은 인산아연시멘트(ZP)에서, Ca²⁺은 Clearfil F-II(CF)에서 가장 많은양이 용출되었다.

4. 8종의 재료의 전이금속 용출은 Cu 및 Zn만이 검출되었다.

5. 8종의 재료의 용해율은 lactic acid의 농도가 0.01 M일 경우 0.001 M의 경우에 비해 크게 나타났으며, 0.01M일때 인산아연 시멘트 (ZP)에서 가장 높았으며 (5.4%) 아말감(AM)에서 가장 낮게 나타났다(0.01%)

6. Z.P.C가 이장된 수복재료로 부터 Zn의 누출량은 0.001M에서 보다는 0.01M lactic acid의 경우에 더 많았다.

REFERENCES

1. Gilmore, H.W. and Lund, M.R.: Pulp protection and selection of restorative materials. Operative Dentistry, 4th Ed., Mosby, London, pp. 78-80, 1981.
2. Philips, R.F.: Physical properties of dental materials. Science of dental materials, 8th Ed., W.B. Saunders Co., Philadelphia, pp. 58-61, 1982.
3. Paffenbarger, G.C., Sweendy, W.T. and Issacs, A.: Zinc phosphate cement: physical properties and a specification. J. Dent. Res., 21:1907, 1934.
4. Paffenbarger, G.C., Schoonova, I.C. and Souder, W.: Dental silicate dental cements. Physical properties and specification. J. Dent. Res., 25:32, 1938.

5. Norman, R.D., Swartz, M.L. and Phillips, M.W.: Studies on solubility of certain dental materials. *J. Dent. Res.*, 36:977-985, 1957.
6. Norman, R.D., Swartz, M.L. and Phillips, M.W.: Additional studies on solubility of certain dental materials. *J. Dent. Res.*, 38: 1028-1037, 1959.
7. Norman, R.D., Swartz, M.L. and Phillips, M.W.: Studies on film thickness solubility and marginal leakage of dental cements. *J. Dent. Res.*, 42:950-958, 1963.
8. Crisp, S., Lewis, B.G. and Wilson, A.D.: Characterization of glass-ionomer cements. 6. A study of erosion and water absorption in both neutral and acidic media. *J. Dent.* 8:68-74, 1980.
9. Mitchem, J.C. and Gronas, D.G.: Clinical evaluation of cement solubility. *J. Prosthet. Dent.*, 40:453-456, 1978.
10. Mitchem, J.C. and Gronas, D.G.: Continued evaluation of the clinical solubility of luting cements. *J. Prosthet. Dent.*, 45: 289-291, 1981.
11. Richter, W.A. and Ueno, H.: Clinical evaluation of dental cement durability. *J. Prosthet. Dent.*, 33:294-299, 1975.
12. Moffa, J.P., Jenkins, W.A., and Razzano, M.R.: An evaluation of zinc oxide and eugenol cements. *Int. Assoc. Dent. Res. Abst. No. 669*, 1970.
13. Beech, D.R. and Bandyopadhyay, S.: A new laboratory method for evaluating the relative solubility and erosion of dental cements. *J. Oral Rehabil.*, 10:57-63, 1983.
14. Glyn Jones, J.C., Grieve, A.R. and Kidd, E.A.M.: An in vitro comparison of marginal leakage associated with three resin based filling materials. *Br. Dent. J.*, 145:299-302, 1978.
15. Grieve, A.R. & Glyn Jones, J.C.: Marginal leakage associated with four inlay cementing materials, an in vitro comparison. *Br. Dent. J.*, 151:331-334, 1981.
16. Kidd, E.A.M.: Cavity sealing ability of composite and glass ionomer cement restorations. *Br. Dent. J.*, 144:139-142, 1978.
17. Going, R.E.: Microleakage around dental restorations: A summari-review. *J. Am. Dent. Assoc.*, 84:1349-1357, 1972.
18. Going, R.E.: Reducing marginal leakage: A review of materials and techniques. *J. Am. Dent. Assoc.*, 99:646-651, 1979.
19. Cox, C.F., Keall, C.L., Keall, H.J., Ostro, E. and Bergenholtz, G.: Biocompatibility of surface-sealed dental materials against exposed pulps. *J. Prosthet. Dent.*, 57: 1-8, 1987.
20. Trowbridge, H.O.: Pathogenesis of pulpitis resulting from dental caries. *J. Endod.*, 7:52-60, 1981.
21. Brannstrom, M.: Communication between the oral cavity and the dental pulp associated with restorative treatment. *Operative Dentistry*, 9:57-68, 1984.
22. Kidd, A.M., Harrington, E. and Grieve, A.R.: The cavity sealing ability of composite restoration subjected to thermal stress. *J. Oral Rehabil.* 5:279-286, 1978.
23. Liberman, R., Ben-Amar, A., Eli, I. et al.: A comparison of the influence of two bonding agents on the marginal seal of composite resin restorations in radicular dentin-an in vitro study. *Quintessence Int.*, 17:539-543, 1985.
24. Crim, G.A. and Chapman, K.W.: Effect of placement technique on microleakage of a dentin-composite resin. *Quintessence Int.*, 17:21-24, 1986.
25. Gross, J.D., Retief, D.H. and Bradley, E.L.:

- Microleakage of posterior composite restorations. *Dent. Mater.*, 1:7-10, 1985.
26. Hembree, J.H.: In vitro microleakage of a new dental adhesive system. *J. Prosthet. Dent.*, 55:442-445, 1986.
 27. Going, R.E., Myers, H.M. and Prussin, S.G.: Quantitative method for studying microleakage in vitro and in vivo. *J. Dent. Res.*, 47:1128-1132, 1968.
 28. Jacobsen, P.H., Von, Fraunhofer, J.A.: Assessment of microleakage using a conductimetric technique. *J. Dent. Res.*, 54: 41-48, 1975.
 29. Myers, J.M., Dennison, J.B. and Craig, R.G.: Improved method of neutron activation analysis for microleakage studies. *J. Dent. Res.*, 54:356-363, 1974.
 30. Chew, C.L., Soh, G., Lee, A.S. and Yeoh, T.S.: Comparison of release of mercury from three dental amalgams. *Dent. Mater.*, 5:244-246, 1989.
 31. Takahashi, Y., Hasegawa, J. and Kameyama, Y.: Dissolution of metallic mercury in artificial saliva and eleven other solutions. *Dent. Mater.*, 5:256-259, 1989.
 32. Feraccane, J.L., Mafiana, P., Cooper, C. and Okabe, T.: Time-dependent dissolution of amalgam into saline solution. *J. Dent. Res.*, 66(8):1131-1135, 1987.
 33. Fukazawa, M., Matsuya, S. and Yamane, M.: Mechanism for erosion of glass-ionomer cements in an acidic buffer solution. *J. Dent. Res.*, 66(12):1770-1774, 1987.
 34. 김용준, 김철위 : 접착용 글라스아이오노머 시멘트의 용해도에 관한 연구. *대한치과기재학회지*, 15(1) : 73-82, 1988.
 35. Söderholm, K.J.M.: Degradation of glass filler in experimental composites. *J. Dent. Res.*, 60:1867-1875, 1981.
 36. Söderholm, K.J.M.: Leaking of fillers in dental composites. *J. Dent. Res.*, 62(2): 126-130, 1983.
 37. 부용철, 최유진 : 도시 상수도수불소화사업의 비용절약에 관한 연구. *경희치대논문집*, 12(1) : 81-99, 1990.
 38. Norman, R.D., Phillips, R.W. and Swartz, M.L.: Fluoride uptake by enamel from certain dental materials. *J. Dent. Res.*, 39(1):11-16, 1960.
 39. Norman, R.D., Platt, J.R. and Phillips, R.W., Swartz, M.L.: Additional studies on fluoride uptake by enamel from certain dental materials. *J. Dent. Res.*, 40(3):529-537, 1961.
 40. Turpin-Mair, J.S., Rawls, H.R. and Christensen, L.V.: An in vitro study of caries prevention, cavity adaptation, homogeneity and microleakage of a new fluoride-releasing resin. *J. Oral Rehabil.*, 9(6):523-530, 1982.
 41. Rawls, H.R., Zimmerman, B.F.: Fluoride-exchanging resins for caries protection. *Caries Res.*, 17(1):32-43, 1983.
 42. Souganidis, D.J., Athanassouli, T.M.N. and Papastathopoulos, D.S.: A study of in vivo fluoride uptake by dental tissues from fluoride-containing silver amalgams. *J. Prosthet. Dent.*, 60(2):105-108, 1981.
 43. Hurst, P.S. and Von Fraunhofer, J.A.: In vitro studies of fluoridated amalgam. *J. Oral Rehabil.*, 5(1):5-62, 1978.
 44. Hattab, F. and Frostell, G.: The release of fluoride from two products of alginate impression materials. *Acta. Odontol. Scand.*, 38:385, 1980.
 45. Hattab, F. and Frostell, G.: The release of fluoride from alginate impression materials. *Community. Dent. Oral. Epidemiol.*, 6: 273-274, 1978.
 46. Wesenberg, G. and Hals, E.: The in vitro effect of a glass ionomer cement on dentin

- and enamel walls. *J. Oral Rehabil.*, 7:35-42, 1980.
47. Retief, D.H., Bradley, E.L. and Denton, J.C. and Switzer, P.: Enamel and cementum fluoride uptake from a glass ionomer cement. *Caries. Res.*, 18:250-257, 1984.
 48. Hicks, M.J., Flaitz, C.M. and Silverstone, L.M.: Secondary caries formation in vitro around glass ionomer restorations. *Quintessence. Int.*, 17:527-532, 1986.
 49. Swift, Jr., E.J.: Fluoride release from two composite resins. *Quintessence. Int.*, 20:895-897, 1989.
 50. Temin, S.C. and Csuros, Z.: Long-term fluoride release from a composite restorative. *Dent. Mater.*, 4:184-186, 1988.
 51. Walls, A.W.G., McCabe, J.F. and Murray, J.J.: The effect of the variation in pH of the eroding solution upon the erosion resistance of glass polyalkenoate (ionomer) cements. *Br. Dent. J.*, 164:141-144, 1988.
 52. Iwaku, M., Takatsu, T. and Fusayama, T.: Comparison of three luting agent. *J. Prosthet. Dent.*, 43:423-425, 1980.
 53. Wilson, A.D. and Batchelor, R.F.: Dental silicate cements: III. Environment and durability. *J. Dent. Res.*, 47(1):115-120, 1968.
 54. Wilson, A.D., Kent, B.E. and Lewis, B.G.: Zinc phosphate cements: Chemical study of in vitro durability. *J. Dent. Res.*, 49(5): 1049-1054, 1970.
 55. Meryon, S.D. and Jakeman, K.J.: Zinc release from dental restorative materials in vitro. *J. Biomed. Mater. Res.*, 20:285-291, 1986.
 56. Gjerdet, N.R. and Berge, M.: Liberation of copper, zinc and cadmium from different amalgams. *Acta. Odontol. Scand.*, 41:217-220, 1983.
 57. Tobias, R.S., Rippin, J.W. and Browne, R.M. and Wilson, C.A.: A further study of the antibacterial properties of dental restorative materials. *Int. Endod. J.*, 21:381-392, 1988.
 58. Fan, P.L., Edahl, R., Leung, L. and Stanford, J.W.: Alternative interpretations of water sorption values of composite resins. *J. Dent. Res.*, 64(1):78-80, 1985.
 59. Tani, Y., Nambu, T. and Makishima, T.: Microleakage of composite resin restorations with dentin margins. *Dent. Mater. J.*, 5(2): 233-236, 1986.
 60. Shimizu, A., Ui, T. and Kawakami, M.: Microleakage of amalgam restoration with adhesive resin cement lining, glass ionomer cement base and fluoride treatment. *Dent. Mater. J.*, 6(1):64-69, 1987.

– ABSTRACT –

A STUDY ON THE SOLUBILITY OF DENTAL RESTORATIVE MATERIALS

Keung Kyun Na, D.D.S., M.S.D., Sang Jin Park, D.D.S., M.S.D., Ph.D.
Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Kyung Hee University

The purpose of this experiment was to measure the leaking and solubility of commonly used dental restorative materials – Silux plus (CS), Hi-pol (CH), Clearfil F-II, Fissureseal (FS), Glass-Ionomer cement Fuji Type II (GI), Amalgam Cavex 68 (AM), Zinc Phosphate Cement (ZP) and gutta-percha (GP) and investigate the relation between the solubility and marginal leakage.

Disc-shape specimens were fabricated with each material and dipped into deionized water, 0.01M lactic acid and 0.005M KOH solution, thus the total ionic concentrations in each solution was measured with ion chromatograph after 1, 3, and 7 days, respectively. For the solubility test, each specimen was immersed in 0.001M and 0.01M lactic acid for 24 hours, respectively and total weight loss was calculated. Also, Zn leaking through the margin of restorations was measured. The obtained results were as follows:

1. The amounts of eluted ion from the eight materials were most in 0.01M lactic acid and least in deionized water.
2. Of the eight materials, the fluoride release was greatest for glass ionomer cement (GI) in 0.01M lactic acid after 7 days.
3. In analysis of the divalent cation, Mg was eluted most for zinc phosphate cement (ZP) and Ca for Clearfil F-II (CF) in 0.01M lactic acid after 7 days.
4. In analysis of transition metals, Cu and Zn were detected only.
5. The solubility rate of eight materials was greater in 0.01M lactic acid than in 0.001M for 24 hours, for zinc phosphate cement (ZP) the rate was greatest (5.4%) in 0.01M lactic acid, and amalgam least (0.01%).
6. The Zn concentration of restorative material with Z.P.C base was greater in 0.01M lactic acid than in 0.001M lactic acid.