

# Glass Ionomer Cement의 방사선 불투과성에 관한 연구

서울대학교 치과대학 치과보존학교실

박수경 · 이정식

## 목 차

- I. 서 론
- II. 실험재료 및 방법
- III. 실험성적
- IV. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록

## I. 서 론

1970년대 초에 개발된 glass ionomer cement은 치질에 대한 접착성이 우수하고 변연봉쇄성이 양호하며 인장 강도가 크고 치수에 대한 자극성이 적으며 열팽창 계수가 치질과 유사하고 불소이온 침투에 의한 항우식성이 있어 수복물의 합착, 이장, 소와 열구의 전색 및 치은연부의 마모나 침식에 의한 5급외동의 수복재로 사용되고 있으며, 1977년 Wilson과 McLean<sup>1)</sup>에 의해 산부식된 glass ionomer cement 표면과 복합레진이 기계적으로 결합할 수 있음이 보고된 후 "sandwich technique"이라 불리는 composite-glass ionomer cement 복합 수복으로 전치부 3,4,5급 외동 및 구치부 1,2급 외동에 까지 적용범위가 확대되었다<sup>2,3)</sup>.

최근 광중합형 glass ionomer cement가 개발되어 물리적 성질이 향상되었으며 경화가 빠르고 조작시간이 충분하여 상아질을 대체하는 이장재료써 관심이 고조되었으나<sup>4)</sup> 초기에 개발된 glass ionomer cement는 방사선 불투과성이 결여되어 이차우식이나 변연결손, 수복물의 위치, 기포등을 진단하기 어려

우며<sup>5)</sup>, zinc phosphate cement, zinc-oxide eugenol cement 및 calcium hydroxide 같은 이장재가 명백한 방사선 불투과성을 갖는점에 비추어 볼 때 이차우식을 진단하기 위해서는 glass ionomer cement가 방사선 불투과성을 필수적으로 갖추어야 한다고 할 수 있다. 근래에 시판되는 glass ionomer cement는 strontium(Sr), barium(Ba), lanthanum(La)을 첨가시켜 다양한 방사선 불투과성을 갖고 있다<sup>6)</sup>.

70년대 말까지 대부분의 복합레진은 범랑질보다 매우 낮은 방사선 불투과성을 지닌 것이 대부분이었으나 구치부 복합레진의 사용이 일반화되어 2급외동에 까지 적용 범위가 확대되면서 Ba, Sr, zinc(Zn)같은 원자번호가 높은 원소를 입자에 첨가시켜 방사선 불투과성을 부여하였다<sup>6,7)</sup>. 근래에 와서 복합레진의 물리화학적 성질은 많이 개선되었지만 변연누출로 인한 치아우식과 낮은 마모저항도는 해결되지 않은 주요 문제점으로 남아 있는 상황에서<sup>8)</sup>, 임상적 진단이 어려운 구치부 2급외동에서는 방사선 사진상에서의 이차우식 진단이 필수적이었기 때문에 적정 수준의 방사선 불투과성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

1990년 Prevost<sup>5)</sup>과 Williams와 Billington<sup>9)</sup>이 수종의 glass ionomer cements에 대해 방사선 불투과성을 측정하였는데, 상아질의 방사선 불투과성을 기준으로 하여 이장용은 상아질의 것보다 더 높았고 합착용은 상아질의 것보다 낮은 것으로 나타났으며, glass ionomer cement의 방사선 불투과성이 상아질과 같거나 큰 것을 이장재료 사용할 것을 추천한 바 있다.

이 연구는 1991년도 서울대학교병원 임상연구비 지원에 의한 결과임.

이에 본 실험은 수종의 glass ionomer cements의 방사선 불투과성을 densitometer로 측정한 후 법랑질과 상아질의 방사선 불투과성을 기준삼아 다섯군으로 분류하고, 각 군의 대표재료를 3급와동에 적용시켜 방사선사진상에서의 진단능력(observer performance)을 비교하여 2차우식 진단에 가장 용이한 적정 수준의 방사선 불투과성을 제시해보고자 하였다.

## II. 실험재료 및 방법

### 가. 방사선 불투과성의 측정

본 실험은 glass ionomer cement 9종류(F I, F II, F I-LC, F II-LC, S I, S II, Vit, B-VLC 및 AC)와 4종류의 이장제(Ultra-Blend, zinc phosphate cement, Cavitec 및 Dycal)를 사용하였다(Table 1).

수복재료시편의 제작을 위해 두께 2.0mm, 직경 7.0mm의 금속주형을 제작한 후 표준분액비를 기준으로 하여 제조회사의 지시에 따라 조작한 수복재료를 충전하고 양쪽면에 유리판을 대고 조임쇠로 압접하였으며, 팽중합형의 경우 팽조사기(Visilux II, 3M Co., U. S. A.)를 사용하여 30초간 양면을 조사하였고, 자가중합형은 경화후 금속주형에서 분리하여 varnish(Fuji Varnish, GC International Corp., Japan)에 30초간 침전시켰다. 각 재료마다 12개씩, 156개의 시편을 제작하였다.

법랑질, 상아질 및 치수의 방사선 불투과성을 측정하기 위한 치아절편을 얻기위해 교정목적으로 최근에 발거된 정상적인 상악소구치를 diamond blade가 달린 저속절단기(Bueler Isomet low speed saw, Bueler LTD., U. S. A.)를 사용하여 협설측 교두정을 기준삼아 2.0mm 두께로 치아를 절단하였으며, 방사선 불투과성의 기준을 위해 12개의 step으로 구성된 12mm 두께의 aluminum step wedge를 제작하여 사용하였다.

Kodak E-speed occlusal film(Eastman Kodak Co., Rochester, New York)에 aluminum step wedge, 치아절편 및 수복재료 시편들을 위치시킨 후 60kVp, 10mA, 2.16mm aluminum filtration으로 고정된 dental X-ray unit(동서아사히, 한국)을 사용하여 target과 film 사이의 거리는 25cm, 노출 시간은 0.2초로 하여 방사선 촬영을 한 다음, 현상된 방사선사진상에 나타난 방사선 불투과성은 X-rite 301 densitometer(X-rite Inc., Grandville, Michigan)을 이용하여 각각 5군대를 측정하 값의 평균값으로 하였다.

### 나. 이차우식의 진단

와동 형성을 위해 성별과 연령에 관계없이 최근에 치주질환으로 발거된 치아중 치관부에 손상이 없는 상악중절치를 생리식염수에 보관 후 사용하였으며, 연마제로 치면을 세마하고, 동일한 방사선 조사를 위해 각 치아를 직육면체의 석고모형에 치근만 매

Table 1. materials under evaluation

Material	Code	Cure system	Color	p/l ratio	Manufacturer
Fuji Ionomer I	F I	Auto	#3	1:2=1.8g/1.0g	GC International Corp., Japan
Fuji Ionomer II	F II	Auto	#21	1:1=2.7g/1.0g	GC International Corp., Japan
Fuji Lining LC	F I-LC	Photo		1:1=1.4g/1.0g	GC International Corp., Japan
Fuji II LC	F II-LC	Photo	A2	1:2=3.0g/1.0g	GC International Corp., Japan
Sofu GIC-I	S I	Auto		1:2=1.5g/1.0g	Sofu Dental Corp., Japan
Sofu GIC-II	S II	Auto	#1	1:1=2.5g/0.79ml	Sofu Dental Corp., Japan
Vitrebond	Vit	Photo		1:1=1.4g/1.0g	3M Dental Prod., St. Paul, MN
Baseline VLC	B-VLC	Photo		1:1=1.3g/1.0g	Dentsply Ltd., England
Aqua-Cem	AC	Auto		1:2	Dentsply Ltd., England
Ultra-Blend	UB	Photo	#0426		Ultradent Products Inc., U. S. A.
Zinc Phosphate	ZP	Auto		1:1=2.6g/1.0ml	Conf-Dental Prod., Colorado
Cavitec	Cav	Auto		equal volumes	Kerr Mfg. Company, Michigan
Dycal	Dyc	Auto		equal volumes	L. D. Caulk Company, Milford, DE

물한 후 각 치아의 인접면에 No. 557 carbide fissure bur를 이용하여 3급와동을 형성하였다. 와동의 깊이는 1.25mm, 측벽은 외측으로 볼록하게 만들어 incisogingival과 faciolingual 쪽으로 치아의 외형에 준하였고, 와동의 너비는 순설간 거리의 반으로 하였다.

측정된 각 재료는 법랑질과 상아질의 방사선 불투과성을 기준으로 하여 다섯군으로 분류하였다. 상아질보다 낮은 방사선 불투과성을 갖는 재료는 제1군으로(S I, SII, AC), 상아질보다 높은 방사선 불투과성을 갖는 재료는 제2군으로(F I-LC, UB), 법랑질보다 약간 낮은 방사선 불투과성을 갖는 재료는 제3군으로(Vit, B-VLC, F I), 법랑질보다 약간 높은 방사선 불투과성을 갖는 재료는 제4군으로(FII), 법랑질보다 2.0mm Al 이상 높은 방사선 불투과성을 갖는 재료는 제5군으로(FII-LC, Dyc, Cav, ZP) 하였다.

위와 같이 분류된 각 군의 대표 재료(S I, F I-LC, Vit, FII, FII-LC)를 3급와동에 이장하여 대조군으로 하였으며, faciogingivoaxial point angle에 저속용 No. 2 round bur 직경 크기의 홈을 파서 방사선 사진상에 투과상을 보이는 inlay wax를 채워 인위적으로 이차우식을 형성한 와동에 이장하여 실험군으로 하였다.

Kodak E-speed standard film에 치아를 위치시킨 뒤 동일조건(60kVp, 10mA, 2.16mm aluminum filtration, target과 film사이의 거리는 25cm, 노출시간은 0.2초)하에 방사선 촬영을 하여 얻은 도합 50장(대조군 25장, 실험군 25장)의 방사선 사진을 무작위로 배열하고 보존과 전공의 15명이 확대경을 사용하지 않고 viewing box에서 이차우식 유무를 판단하였다.

방사선 사진상에 이장재 주위에서 발견되는 이차우식 유무의 확실정도에 따라 5점으로 나누어(1점-이차우식이 확실히 없다, 2점-이차우식이 없는 것 같다, 3점-잘 모르겠다, 4점-이차우식이 있는 것 같다, 5점-이차우식이 확실히 있다.)평가하도록 하였으며, 1,2와 3점을 합하여 음성진단(negative diagnosis), 4와 5점을 합하여 양성진단(positive diagnosis)으로 양분한 뒤 진위(true or false)에 따라 네가지 decision matrix, 즉 True Positive(TP), True Negative(TN), False Positive(FP), False Negative(FN)로 분류하였다. 민감도(sensitivity)와

특이도(specificity)는 Chi-square 통계 처리하고, Bayes's rule에 의거하여 predictive value를 구하였으며, ROC 분석법(Receiver Operating Characteristic Analysis)<sup>10-15)</sup>을 적용하여 ROC curve를 얻어 nonparametric Wilcoxon statistic으로 ROC area를 산출하였다.

### III. 실험성적

#### 가. 방사선 불투과성의 측정

Densitometer로 측정된 aluminum step wedge의 광학 밀도(optical density)와 두께간의 상관관계를 이용하여  $LnD = 1.09 - 0.128X$  (D : Densitometer readings, X : Al thickness)의 방정식을 갖는 표준곡선(standard curve) (Fig. 1)을 얻은 후 이 곡선에 따라 치질과 시편의 광학 밀도를 알루미늄 두께(mm Al)로 환산하였다(Table 2).

동일두께에서 알루미늄보다 더 높은 방사선 불투과성을 갖는 이장재는 열 종류(F I, FII, F I-LC, FII-LC, Vit, B-VLC, UB, ZP, Cav, Dyc)였으며, 세 종류(S I, SII, AC)는 그 보다 낮은 것으로 나타났다(Fig. 2).

S I, SII, UB는 상아질보다 높은 방사선 불투과성을 갖는 제1군에, F I-LC, UB는 상아질보다 높은 방사선 불투과성을 갖는 제2군에, Vit, B-VLC, F I는 법랑질보다 약간 낮은 방사선 불투과성을 갖는 제3군에, FII는 법랑질보다 약간 높은 방사선 불투과성을 갖는 제4군에, FII-LC, Dyc, Cav, ZP는 법랑

Fig. 1. Standard curve for the optical density of the aluminum step wedge.

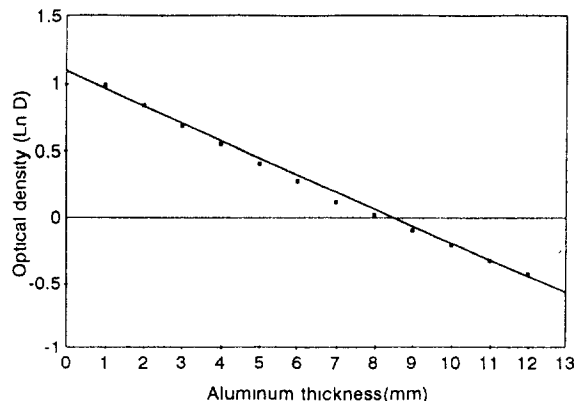
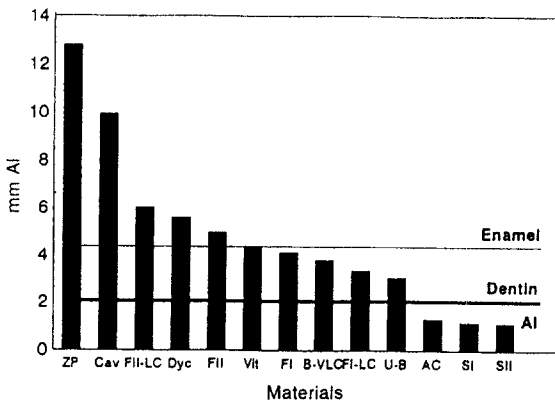


Table 2. Mean values and standard errors of the radiopacity values calculated in terms of equivalent thickness of aluminum for the materials, enamel, dentin and pulp.

Material	No.	Densitometer readings	Equivalent thickness of Al(mm Al)
Fuji Ionomer I	12	1.757 ± 0.136	4.113
Fuji Ionomer II	12	1.572 ± 0.086	4.984
Fuji Lining LC	12	1.936 ± 0.903	3.355
Fuji II-LC	12	1.378 ± 0.137	6.011
Sofu GIC- I	12	2.568 ± 0.288	1.148
Sofu GIC-II	12	2.580 ± 0.279	1.111
Vitrebond	12	1.699 ± 0.088	4.375
Baseline VLC	12	1.829 ± 0.138	3.798
Aqua-Cem	12	2.525 ± 0.286	1.280
Ultra-Blend	12	2.012 ± 0.268	3.054
Zinc Phosphate	12	0.578 ± 0.043	12.798
Cavitec	12	0.835 ± 0.047	9.925
Dycal	12	1.449 ± 0.091	5.618
Enamel	12	1.700 ± 0.264	4.370
Dentin	12	2.280 ± 0.111	2.077
Pulp	12	2.680 ± 0.091	0.814

Fig. 2. Radiopacity of base and liner materials in comparison with enamel, dentin and aluminum.



절보다 2.0mm Al 이상 높은 방사선 불투과성을 갖는 제5군에 해당하였다(Fig. 2).

#### 나. 이차우식의 진단

각군의 대표 재료(SI, FI-LC, Vit, FII, FII-LC)를 대조군의 와동과 인위적으로 이차우식을 형성한 실험군의 와동에 충전한 후 촬영된 방사선 사진50

장을 15명의 치과의사가 진단한 결과 얻은 각 군에 따른 확신 정도의 점수(confidence rating) 분포를 Table 3에 표시하였다. Table 3의 결과를 토대로 1,

Table 3. Diagnosis of secondary caries. Distribution of confidence ratings according to group. Increasing confidence of caries being present from score 1 to 5.

Caries	Confidence rating					Total
	1	2	3	4	5	
Group I	15	89	3	24	24	75
Group II	5	3	2	13	52	75
Group III	5	2	2	14	52	75
Group IV	2	3	0	16	54	75
Group V	3	3	1	13	55	75
No caries						
Group I	47	20	4	2	2	75
Group II	45	20	4	3	3	75
Group III	37	21	10	6	1	75
Group IV	39	16	7	12	1	75
Group V	53	7	13	12	80	75

2,3점을 합하여 음성 진단, 4와 5점을 합하여 양성 진단으로 양분한 뒤 진위에 따라 TP, FN, FP, TN으로 분류하여 각 군에 따른 decision matrix의 분포를 Table 4에 표시하였다.

민감도(TP ratio)는 제4군에서 최고치였으나 제2, 3,4,5군 모두 우수하였으며, 특이도(TN ratio)는 제4,5군에 비해 제1,2,3군이 높은 것으로 나타났다(Table 5). 제1군에서 제5군으로 갈수록 민감도가 증가하고 특이도는 감소하는 상관관계를 보였으나

Table 4. Diagnosis of secondary caries. Distribution of four possible decision matrix obtained from confidence ratings according to group. The five-graded rating scale was dicotomized.

	Decision outcomes				Total
	TP	FN	FP	TN	
<b>Group I</b>					
(number)	48	27	4	71	150
(percent)	32.0	18.0	2.7	47.3	100.0
<b>Group II</b>					
(number)	65	10	6	69	150
(percent)	43.3	6.7	4.0	46.0	100.0
<b>Group III</b>					
(number)	66	9	7	68	150
(percent)	44.0	6.0	4.7	45.3	100.0
<b>Group IV</b>					
(number)	70	5	13	62	150
(percent)	46.7	3.3	8.7	41.3	100.0
<b>Group V</b>					
(number)	68	7	12	63	150
(percent)	45.3	4.7	8.0	42.0	100.0

제5군보다 제4군에서 민감도가 약간 높고 특이도는 약간 낮게 나타났다(Fig. 3). FP ratio는 범랑질보다 방사선 불투과성이 높은 제4, 5군에서 높게 나타났다(Table 5). 제1군에서 제5군으로 갈수록 P. P. V.(Positive Predictive Value)는 감소하고 N. P. V.(Negative Predictive Value)는 증가하는 양상을 보였다(Table 5).

ROC curve에서는 제1군에서 제5군으로 갈수록 좌측 상단에 가까워지는 양상을 보였다(Fig. 4). ROC area 비교에서는 제5군이 가장 높게 나타났으나 제2, 3, 4, 5군이 유의할 만한 차이없이 모두 우수한 것으로 보여지며( $P>0.05$ ) 제1군이 유의할 만한게 낮게 나타났다( $P<0.01$ ) (Table 6).

Fig. 3. Radiographic diagnosis of secondary caries associated with materials. The points represent the values for sensitivity and specificity for the observers.

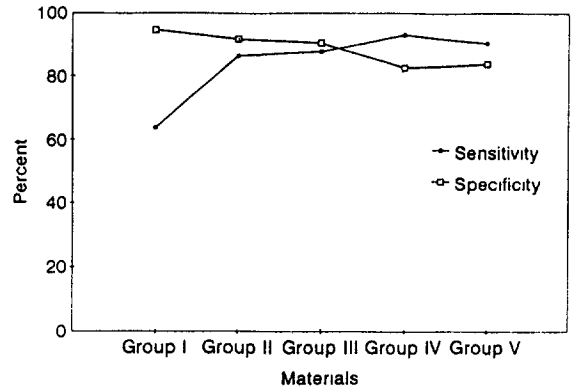


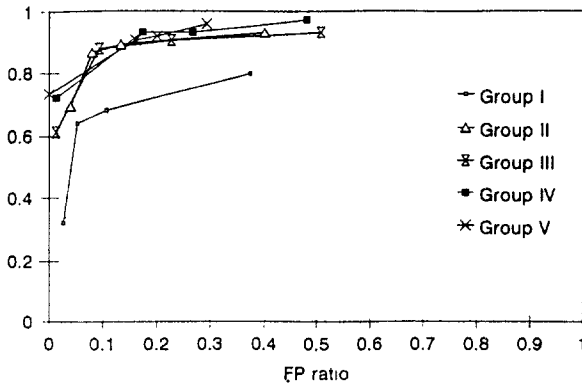
Table 5. A set of diagnosis characterized by proportions derived from the decision matrix.

	TP ratio	TN ratio	FP ratio	FN ratio	P. P. V.	N. P. V.
	TP	TN	FP	FN	TP	TN
	TP+FN	TN+FP	FP+TN	FN+TP	TP+FP	TN+FN
Group I	0.640	0.947	0.053	0.630	0.923	0.724
Group II	0.867	0.920	0.080	0.133	0.916	0.873
Group III	0.880	0.907	0.093	0.120	0.904	0.883
Group IV	0.933	0.827	0.173	0.067	0.843	0.925
Group V	0.907	0.840	0.160	0.903	0.850	0.900

Table 6. Observer performance measured as area beneath ROC curve and the corresponding significance levels for comparison between groups. The values given are nonparametric Wilcoxon statistics.

	Group I	Group II	Group III	Group IV	Group V
Group I	0.8136 ± 0.0365				
Group II	P < 0.01	0.9156 ± 0.0257			
Group III	P < 0.01	P > 0.05	0.9174 ± 0.0253		
Group IV	P < 0.01	P > 0.05	P > 0.05	0.9406 ± 0.0197	
Group V	P < 0.01	P > 0.05	P > 0.05	P > 0.05	0.9480 ± 0.0180

Fig. 4. ROC curves representing pooled radiographic scores diagnosing secondary caries in connection with different degrees of radiopacity.



#### IV. 총괄 및 고안

Glass ionomer cement를 구성하는 기본 입자는  $\text{SiO}_2\text{-AlO}_3\text{-CaF}_2\text{-AlPO}_4\text{-Na}_3\text{AlF}_6$ , 즉 calcium fluoroaluminosilicate glass라 할 수 있는데<sup>16)</sup> Sr, Ba 또는 La를 첨가시킴으로써 방사선 불투과성을 높여 줄 수 있다<sup>4)</sup>. Sr은 Ca과 이온직경이 유사( $\text{Sr}^{2+}=1.13\text{\AA}$ ,  $\text{Ca}^{2+}=0.99\text{\AA}$ )하여 입자구조를 파괴시키지 않으면서 Ca을 대체하여 투명도 상실없이 방사선 불투과성을 높여줄 수 있으나 Ba과 La은 Ca보다 이온직경이 상당히 큰 것으로 보여진다( $\text{La}^{3+}=1.35\text{\AA}$ ,  $\text{Ba}^{2+}=1.35\text{\AA}$ ). 1985년 McLean과 Gasser<sup>17)</sup>, Simmons<sup>18)</sup>은 Silver를 입자에 용융시키거나 zinc oxide나 zirconium oxide에 혼합시켜 물리적 성질을 개선시키고 동시에 방사선 불투과성을 부여한 cermet-ionomer

cement를 개발하였다.

Goshima등<sup>19)</sup>과 Curtis등<sup>20)</sup>은 수복물의 방사선 불투과성은 수복재료의 방사선 흡수에 의해 결정되며 방사선 흡수는 재료의 조성, 수복물의 두께와 중첩되는 치질의 양에 의해 영향을 받게된다고 보고하였다. 본 실험에서는 제조회사에서 제시한 표준분액비에 준하여 시편을 제작하였으며, 이차우식 진단을 위한 3급와동의 너비를 순설간 거리의 반으로 하여 방사선 사진상에 투과되는 이장재와 치질의 두께가 유사하도록 하였다.

Cook<sup>21)</sup>은 방사선 생성방법, film 종류, filtration, kVp, 방사선 흡수량등이 방사선 불투과성에 미치는 영향을 연구한 결과 kVp가 방사선 불투과성에 많은 영향을 미친다고 하였으며, 그 이유는 kVp변화에 따라 Ba과 Sr의 방사선 흡수 특성이 다르기 때문이라고 보고하였다. 본 실험에서는 Ba과 Sr의 mass absorption coefficient가 급격히 변하는 X-ray energy를 고려하여 2.16mm Al filtration, 60 kVp, 10mA, 노출시간 0.2초로 고정하여 시행하였다.

치과용 수복재료의 방사선 불투과성은 일반적으로 알루미늄의 방사선 불투과성을 기준삼아 알루미늄 두께(mm Al)로 표시되는데<sup>22)</sup> densitometer로 측정되는 aluminum step wedge의 광학 밀도에 자연로그를 취하여 알루미늄 두께와의 상관관계를 그래프로 나타내보면  $\text{LnD}=1.09-0.128X$  (D : Densitometer readings, X : Al thickness)의 방정식을 갖는 표준곡선을 얻을 수 있다(Fig. 1). Cook<sup>21)</sup>과 Beyer-Olsen등<sup>23)</sup>은 이 직선관계를 Lambert씨 방정식에 의하여 설명하였다.  $I=I_0 \times e^{-\mu X}$ , 여기서 I는 물체를 통과한 후 방사선 강도,  $I_0$ 는 방사선 초기 강도,  $\mu$ 는 linear absorption coefficient, X는 방사선이 통과되는 물체의 두께를 나타낸다. 양변에 로그를 취

하여  $\log I \propto -\mu X$ 로 변환시킬 수 있으며, 과장에 변환을 줄 수 있는 실험 조건들을 동일하게 맞추고 기준재료로 법랑질과  $\mu$ 값이 같은 알루미늄을 사용하여 densitometer로 I를 측정하면  $\log(D : \text{densitometer readings}) \propto -X$  관계를 갖는다. 따라서 알루미늄 두께가 증가함에 따라 D값은 감소, 즉 방사선 불투과성이 증가하며, 여기에서 얻어진 표준 곡선(Fig. 1)에 따라 여러 재료의 광학 밀도 차이를 알루미늄 두께로 환산할 수 있다(Table 2).

1985년에 발표된 ISO No. 4049 규격에 의하면 제조회사가 방사선 불투과성을 갖는다고 표시한 제품은 동일 두께에서 알루미늄보다 더 높은 방사선 불투과성을 가져야 한다<sup>24)</sup>. 본 실험에 사용된 이장재증 방사선 불투과성이 있다고 표시할 수 있는 제품은 열 종류(F I, F II, F I-LC, F II-LC, Vit, B-VLC, UB, ZP, Cav, Dyc)였다(Fig. 2). Sewerin<sup>25)</sup>은 2급와동 수복물에서 방사선이 film에 도달되기 전에 와동에 인접한 협설층 두층의 치질을 통과해야 되므로 ISO기준을 임상적으로 적용하기에는 한계가 있다고 보고하였다. 1990년 Prevost<sup>26)</sup>과 Williams와 Billington<sup>9)</sup>이 glass ionomer cement의 방사선 불투과성을 측정할 바 있으나 알루미늄 두께로 환산하지 않았으며, densitometer에 나타난 수치의 비교를 통해 법랑질과 상아질을 기준으로 한 순서의 나열에 그치고 있다.

80년대 중반 이전의 연구들은 수복재료와 치질간의 방사선 불투과성 차이가 크면 클수록 이차우식이나 변연결손 진단에 도움을 준다고 생각하였다. 그러므로 재료의 방사선 불투과성을 크게 하는데 주력하였고 적정 수준의 방사선 불투과성에 대한 연구는 활발하지 못하였다. Abou-tabl<sup>26)</sup>은 18종의 복합레진의 방사선 불투과성을 측정하였으며, 수복재료로 이용되기 위해서는 상아질의 방사선 불투과성보다 작아서는 안된다고 보고하였다. Dijken<sup>27)</sup>은 복합레진이 2급와동에 사용될 경우 법랑질이 중첩되므로 이차우식을 진단하기 위해서는 방사선 불투과성이 법랑질보다 높아서는 안된다고 보고하였다. Goshima<sup>19, 27)</sup>은 법랑질보다 방사선 불투과성이 너무 높은 복합레진이나 아말감등은 이차우식이나 변연결손 및 기포의 방사선 사진상을 무효화하기 때문에 법랑질과 비슷한 정도의 방사선 불투과성이 이차우식 진단에 적절하다고 보고하였다. Tveit과 Espelid<sup>28)</sup>,

Kim<sup>29)</sup>은 수종의 복합레진을 이급와동에 적용시킨 결과 법랑질보다 약간 높은 방사선 불투과성을 갖는 제품이 이차우식 진단에 유리하다고 보고하였다. Omer<sup>30)</sup>은 복합레진이 법랑질보다 훨씬 높은 방사선 불투과성을 갖을 때 진단에 유리하나 아말감에서와 같은 과도한 방사선 불투과성은 이차우식 진단에 지장을 줄 수 있다고 보고하였다. Glass ionomer cement에 있어서는 Prevost<sup>26)</sup>이 glass ionomer cement의 방사선 불투과성이 상아질의 것보다 같거나 커야지 진단에 유리하므로 상아질보다 낮은 방사선 불투과성을 갖는 것은 사용을 피할 것을 권장하고 있을 뿐이다.

복합레진의 적정 수준의 방사선 불투과성에 관한 연구에 있어 Cutis<sup>20)</sup>, Goshima<sup>19)</sup>는 aluminum step wedge block에 흡을 파서 이차우식이나 변연결손을 판별하는 방법을 이용하였으며, Espelid<sup>31)</sup>은 치은 연에 우식이 있는 치아에 와동을 형성하는 방법을 이용하였다. 본 실험에서는 실제 임상과 유사하게 하기 위해 발거된 치아를 사용하였으며, 구강내에서 발생하는 이차우식이나 변연결손이 일정한 두께로 발생하는 것은 아니지만 재료의 표준화된 비교를 위해 3급 와동의 faciogingivoaxial point angle에 동일한 크기의 결손을 형성하여 결손 부위에 wax를 채우는 방법을 이용하였다.

질환을 얼마나 정확히 진단내릴 수 있는가를 진단능력으로 표현하며 정확도, 민감도(sensitivity)와 특이도(specificity), ROC 분석법으로 평가할 수 있다<sup>11)</sup>.

정확도는  $TP+TN/(\text{total number of tests}) \times 100$ 으로 표현되는데, Turner<sup>11)</sup>에 의하면 이는 질환의 이환률에 민감하여 특히 이환률이 아주 높거나 낮은 경우에는 진단 능력이 떨어지는 단점이 있다고 하였다.

이러한 단점을 보완하기 위해서 민감도와 특이도의 비교가 필요하다. TP ratio는 실제 이차우식이 있는 경우에 있어 이차우식이 있다고 진단한 경우의 비율, 즉  $TP/(TP+FN)$ 으로서 민감도로 표현되며, TN ratio는 실제 이차우식이 없는 경우에 있어 이차우식이 없다고 진단한 경우의 비율, 즉  $TN/(TN+FP)$ 로서 특이도로 표현된다. Douglass와 McNeil<sup>14)</sup>은 민감도, 특이도와 함께 Bayes's rule에 의거해 특정경우에 있어 이차우식 유무의 확률을 유추함으로써 이환률을

고려해 줄 수 있다고 보고하였다. P. P. V.는 TP/(TP+FP)로 이차우식이 있다고 진단했을 때 실제 이차우식이 존재할 확률을 나타내며, N. P. V.는 TN/(FN+TN)로 이차우식이 없다고 진단했을 때 실제 이차우식이 존재하지 않을 확률을 나타낸다<sup>10</sup>.

본 실험에서는 방사선 불투과성이 커질수록 민감도가 증가하고 특이도는 감소하는 상관관계를 보였으나 제5군보다 방사선 불투과성이 낮은 제4군에서 민감도가 높게 나타나(Table 5, Fig. 3) 방사선 불투과성이 너무 큰 것보다는 범랑질 정도의 방사선 불투과성이 진단에 유리하다고 사료되며 그 이유는 첫째로 명암 차이가 심한 부위가 인접해 있을 때 그 경계부위는 밝기가 실제보다 더 높아 보이거나 낮아 보이는 Mach effect 때문이며 그 결과 FII-LC가 범랑질에 인접해 있을 때 범랑질 쪽의 경계부위가 실제보다 더 어둡게 보이므로 오진하게 된다. 두 번째는 와동의 협설축 변연에 존재하는 우식인 경우 방사선 불투과성이 너무 높은 재료는 우식으로 나타나는 방사선 사진상을 무효화시키므로 실제 존재하는 우식도 방사선 사진상에서 진단하기 어렵다.

Swets<sup>15</sup>에 의하면 민감도가 클수록 진단능률이 우수하다고 할 수 있는데 본 실험에서는 범랑질 정도의 방사선 불투과성을 갖는 제4군이 최고치였으나 제2, 3, 4, 5군 모두 우수한 것으로 보여 상아질의 방사선 불투과성 이상이면 이차우식 진단에 용이할 것으로 사료된다.

그러나 Metz<sup>10</sup>는 진단기준을 낮추어보면 민감도를 증가시킬 수 있으며 진단기준은 진단자의 편견, 진단자의 숙련도, 진단 정보의 양과 질을 결정할 수 있는 실험 조건등에 따라 달라질 수 있으므로 진단자의 편견을 제어해 주고 기준을 어디 두었느냐에 무관하게 진단능률을 평가해 줄 수 있는 ROC 분석법을 적용해야 한다고 보고하였다. ROC 분석법은 1982년 Swets<sup>15</sup>에 의해 기술되어 이듬해에 약간 수정되었는데 Turner<sup>11</sup>는 ROC curve가 변화되는 진단기준에 따른 TP ratio와 FP ratio간의 절충 관계를 연속적으로 표현해 줌으로써 질환의 이환률, 진단자내의 변이(interobserver variation), 진단자간의 변이(intraobserver variation) 및 설정한 기준에 무관하게 진단능률을 평가할 수 있다고 보고하였다.

ROC curve는 multi-category rating scale me-

thod에 따라 진단후 광범위하고 연속적인 진단 기준에 따른 각 경우에서 FP ratio를 X축, 민감도(TP ratio)를 Y축으로 하여 기록한 것으로 진단 정보를 제공하는 실험 조건의 오차라든지 진단자 평가에 관여하는 조건들이 다양하게 고려되어 적절한 진단 기준을 사용하여 얻은 곡선의 어느 한 점에 표현되게 된다. Metz<sup>10</sup>는 곡선이 좌측 상단에 위치할수록 TP ratio가 낮아지더라도 TP ratio를 높게 유지할 수 있으므로 진단능률이 우수하다고 보고하였다. 본 실험에서는 제1군에서 제5군으로 갈수록 좌측 상단에 가까워지는 양상을 보였는데 상아질보다 높으나 범랑질보다 낮은 방사선 불투과성을 갖는 제2군과 3군보다 범랑질보다 높은 방사선 불투과성을 갖는 제4군과 5군이 약간 우수한 것으로 보이나 제1군을 제외한 나머지군 모두 이차우식 진단에 용이할 것으로 사료된다(Fig. 4).

Hanley와 McNeil<sup>12, 13</sup>은 ROC curve이하의 면적을 산출, 즉 가정한 모든 경우의 진단기준에 대한 민감도를 적분하여 진단능률을 총체적으로 비교할 수 있다고 보고하였다. 본 실험에서는 방사선 불투과성이 증가할수록 ROC area가 증가하여 제5군에서 최대치를 나타내었으나 제2, 3, 4, 5군이 유의할만한 차이를 보이지 않아 ( $P > 0.05$ ) 상아질의 방사선 불투과성 이상이면 이차우식 진단에 용이할 것으로 사료된다(Table 6).

이상의 결과들을 종합해보면 민감도는 제4군이 가장 높게 나타났으나 제2, 3, 4, 5군 모두 우수한 것으로 보여지며 ROC area는 제5군이 가장 높게 나타났으나 제2, 3, 4, 5군이 유의할만한 차이를 보이지 않아, 상아질 이상의 방사선 불투과성을 갖는 제2, 3, 4, 5군이 이차우식 진단에 있어서 제1군보다 우수한 것으로 나타났다.

따라서 glass ionomer cement가 이장재로 사용되기 위해서는 상아질의 방사선 불투과성 이상이어야 이차우식 진단이 용이할 것으로 보이나, 임상적용이 가능한 방사선 불투과성의 기준을 마련하기 위해서는 임상을 잘 반영할 수 있는 실험방법과 방사선 불투과성에 영향을 미치는 여러 요인들에 대한 연구가 계속 이루어져야 할 것으로 사료된다.



## V. 결 론

Glass ionomer cements의 방사선 불투과성 정도를 알아보고 이차우식 진단에 가장 용이한 적정 수준의 방사선 불투과성을 제시해보고자 수종의 glass ionomer cements의 방사선 불투과성을 densitometer로 측정된 후, 법랑질과 상아질의 방사선 불투과성을 기준 삼아 다섯군으로 분류하고 각 군의 대표재료를 3급와동에 적용시켜 방사선 사진상에서의 진단능률을 민감도와 특이도, ROC 분석법으로 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 측정된 glass ionomer cements의 방사선 불투과성은 1.111mm Al에서 6.011mm Al까지 다양하게 나타났다.
2. 측정된 13종의 재료중 상아질보다 낮은 방사선 불투과성을 갖는 제1군은 3종류, 상아질보다 높은 방사선 불투과성을 갖는 제2군은 2종류, 법랑질보다 약간 낮은 방사선 불투과성을 갖는 제4군은 1종류, 법랑질보다 2.0mm Al 이상 높은 방사선 불투과성을 갖는 제5군은 4종류였다.
3. 민감도는 제4군이 가장 높게 나타났으나 제2, 3, 4, 5군 모두 우수한 것으로 보여지며, ROC area는 제5군이 가장 높게 나타났으나 제2, 3, 4, 5군이 유의할만한 차이를 보이지 않았다( $P > 0.05$ ).
4. 이차우식 진단에 있어서는 상아질 이상의 방사선 불투과성을 갖는 제2, 3, 4, 5군이 제1군 보다 우수하였다( $P < 0.01$ ).

## REFERENCES

1. Wilson AD, McLean JW : Glass ionomer cement. Chicago : Quintessence, 1988.
2. Jordan RE : Esthetic composite bonding : technique & materials. St. Louis : C. V. Mosby Co., 1987.
3. McLean JW, Powis DR, Prosser HJ, Wilson AD : The use of glass ionomer cements in bonding composite resins to dentin. Br Dent J 158 : 140-14, 1985.
4. Smith DC : Composition and characteristics of glass ionomer cements. JADA 120 : 20-22,

- 1990.
5. Prevost AP, Forest D, Tanguay R : Radiopacity of glass ionomer dental materials. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 70 : 231-5, 1990.
6. Bowen RL, Cleek GW : A new series of X-ray opaque reinforcing fillers for composite materials. J. Dent. Res. 51 : 177-82, 1972.
7. Van Dijken JWV, Wing KR, Ruyter IE : An evaluation of the radiopacity of the composite restorative material used in class I & class II cavities. Acta Odont Scand 47 : 401-7, 1989.
8. Moffa JP, Jenkins WA, Hamilton JC : The longevity of composite resins for the restoration of posterior teeth(abstract). J Dent Res 63 : 199, 1984.
9. Williams JA, Billington RW : The radiopacity of glass ionomer dental materials. J. Oral Rehabil 17(3) : 245-8, 1990.
10. Metz CE : Basic principles of ROC analysis. Seminars in Nuclear Medicine 4 : 283-98, 1978.
11. Turner DA : An intuitive approach to ROC analysis. J Nucl Med 19 : 213-20, 1978.
12. Hanley JA, McNeil BJ : A method of comparing the areas under ROC curves derived from the same cases. Radiology 148 : 839-43, 1983.
13. Hanley JA, McNeil BJ : The meaning and use of the area under a ROC curve. Radiology 143 : 29-36, 1982.
14. Douglass CW, McNeil BJ : Clinical decision analysis methods applied to diagnostic tests in dentistry. J Dent Education 47(11) : 708-12, 1983.
15. Swets JA : ROC analysis applied to the evaluation of medical imaging techniques. Investigative Radiology 14 : 109-21, 1979.
16. Wilson AD, Kent BE : The glass ionomer cement. A new translucent dental filling material. J Appl Chem Biotech 2 : 313, 1971.
17. McLean JW, Gasser O : Glass cermet cements. Quintessence Int 16 : 333-43, 1985.

18. Simmons JJ : Silver alloy powder and glass ionomer cement. *JADA* 120-49-52, 1990.
19. Goshima T, Goshima Y : The optimal level of radiopacity in posterior composite resins. *Dentomaxillo Fac Radiol* 18 : 19-21, 1989.
20. Curtis PM, Fraunhofer A, Farman AG : The radiographic density of composite restorative resins. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 70 : 226-30, 1990.
21. Cook CD : An investigation of the radiopacity of composite restorative materials. *Aust Dent J* 26(2) : 105-12, 1981.
22. Abou-Tabl ZM, Tidy DC, Combe EC : Radiopacity of composite restorative materials. *Br Dent J* 147 : 187-8, 1979.
23. Beyer-Olsen,  $\phi$  restavik : Radiopacity of root canal sealers. *Dent Radiology* 5(3) : 320-8, 1981.
24. ISO : DP 4049 Dental resin based restorative materials. International standards organization (draft proposal) Clause 6 : 10, 1985.
25. Sewerin I : radiographic identification of simulated caries lesions in relation to fillings with Adaptic Radiopaque. *J Dent Res* 88 : 377-81, 1980.
26. Abou-tabl ZM, Tidy DC, Combe EC : Radiopacity of composite restorative materials. *Brit Dent J* 147 : 187-8, 1979.
27. Goshima T, Goshima Y : Radiographic detection of recurrent caries lesions associated with composite restorations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 70 : 236-9, 1990.
28. Tveit AB, Espelid I : Radiopacity of restorations and detection of secondary caries. *Dent mater* 7 : 114-7, 1987.
29. Kim BH, Lee CS, Um CM : A study on the optimal radiopacity of posterior composite resins. *J Korean Academy Conservative Dent* 17 (1) : 206-13, 1992.
30. Omer OE, Wilson NHF, Watts DC : Radiopacity of posterior composite. *J Dent* 14 : 178-9, 1986.
31. Espelid I, Tveit AB, Erickson RL, Keck SC, Glasspode EA : Radiopacity of restorations and detection of secondary caries. *Dent mater* 7 : 114-7, 1991.

## A STUDY ON THE RADIOCAPACITY OF GLASS IONOMER CEMENTS

Soo - Kyeong Park, D. D. S., Chung - Sik Lee, D. D. S., Ph. D.

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

The aim of this study was to investigate the level of radiopacity of glass ionomer cements and to determine the optimum level of radiopacity that is the most compatible with the radiographic diagnosis of secondary caries. The experiments were performed in two parts.

In the first part, the radiopacities of 9 glass ionomer cements (FI, FII, FI-LC, FII-LC, SI, SII, Vit, B-VLC, AC) and base materials (Ultra-Blend, Zinc phosphate cements, Cavitec, Dycal) were measured by densitometer. Then all experimental materials were divided into 5 groups based on the level of radiopacity of enamel and dentin.

In the second part, class III cavities with or without secondary caries were prepared in extracted anterior teeth. The representative materials of each group with different radiopacities were inserted into each cavity. The radiographs were interpreted by 15 dentists and secondary caries were diagnosed according to a five-point confidence rating.

Sensitivity and ROC analysis were used to compare observer performance.

The following results were obtained :

1. The radiopacity of glass ionomer cements varied between 1.111mm Al and 6.011mm Al equivalent.
2. Among experimental materials, three materials in group I had lower radiopacity than that of dentin. The radiopacity of two materials in group II slightly exceeded that of dentin. Three materials in group III had slightly lower radiopacity than that on enamel. The radiopacity of one material in group IV was slightly higher than that of enamel. Four materials in group V had the radiopacity that exceeded over 2.0mm Al equivalent to that of enamel.
3. The group IV was the highest for sensitivity and the group V was the highest for ROC area. However, no significant differences were obtained among group II, III, IV and V ( $P < 0.05$ ) but only group I was significantly lower ( $P < 0.01$ ).
4. In comparison with the observer performance for the radiographic diagnosis of secondary caries, the group II, III, IV, and V were superior to the group I ( $P < 0.01$ ). And so the optimum level of radiopacity to detect the secondary caries was the radiopacity that is higher than that of dentin.