

# Quantitative Light-induced Fluorescence를 이용한 법랑질 탈회 속도에 관한 비교 연구

이창근 · 김종수 · 유승훈

단국대학교 치과대학 소아치과학교실

## 국문초록

치아 우식증을 조기에 발견하여 기존의 외과적 와동 형성을 피하고 건전한 치질을 최대한 보존하고자 하는 예방적 시술 개념에 대한 관심과 연구가 최근 유럽을 중심으로 확산되고 있다.

치아 우식증의 임상적 조기 진단을 위해 새로운 장비들이 개발되고 있으며, 이미 실험실 연구를 통해 성능의 우수성이 입증된 바 있다. 본 연구의 목적은 치아 우식증의 조기 진단을 목적으로 새로 개발된 Quantitative light induced fluorescence analysis (QLF) 시스템을 이용하여 우치, 사람의 유치 및 영구치의 법랑질 탈회 속도를 비교 평가하고자 하였다.

각 군당 25개씩 배정된 실험 대상 치아들은 표면을 약 50~100 $\mu$ m 정도 제거한 후 활택하여 탈회 용액(0.1mol/L 젯산, 0.2% 카보폴 907 그리고 50%로 농축된 수산화 인회석으로 제조)에서 1, 2, 4 그리고 8일 동안 탈회시켰다.

모든 시편들은 QLF 분석을 시행하였으며, 실험 일정에 따라 5개의 시편들을 선택하여 gold standard로 사용하기 위해 Transverse Microradiography analysis (TMR)를 시행하였다. TMR 분석을 통하여 무기질의 탈회량(IML)과 병소 깊이(LD)를 측정하였다.

QLF 분석에서 측정된 정상 법랑질의 fluorescence radiance (FRs) 값에 대한 탈회 법랑질의 fluorescence radiance (FRd)의 비율인 FR ratio (FRd/FRs)를 산출하였다.

우치에서는 FR Ratio와 병소 깊이 간에 통계적 유의성이 있었으며(p<0.05), 유치에서는 FR Ratio와 광물질 소실 및 병소 깊이 간에는 유의성이 없었다(p>0.05). 영구치에서는 FR Ratio와 광물질 소실 및 병소 깊이 간에 통계적 유의성이 있었다(p<0.05).

탈회 시간에 대한 FR Ratio의 회귀 분석 결과에서 얻은 회귀 계수 값은 우치에서는 -4.643(p<0.05), 유치에서는 -5.421(p<0.05), 영구치에서 -4.435(p<0.05)로 나타났다.

**주요어** : Quantitative Light-induced Fluorescence, 조기 진단, 치아 우식증, 법랑질, 우치

## I. 서 론

치아 우식증의 치료 방법에 대한 개념이 와동 형성과 수복의 외과적 시술 개념에서 미래에는 와동 형성으로 진행되기 전 단계의 초기 치아 우식증에 대한 조기 진단을 통한 약물 치료법으

로 발전되어야 한다는 움직임이 유럽 및 미국을 중심으로 활발히 진행 중이다<sup>1,2)</sup>.

치아 우식증의 조기 진단을 위한 새로운 개념의 장비들이 유럽을 중심으로 개발되고 있으며, 이러한 장비들을 이용한 초기 치아 우식증에 대한 진단 능력 검증은 이미 많은 실험실 연구를 통해 충분히 이루어진 상태이다<sup>3,4)</sup>.

최근 새로 개발되었거나 진행중인 치아 우식의 조기 진단 장비들로는 Laser Fluorescence Technique<sup>5)</sup>, Ultrasonic System<sup>6)</sup>, Confocal microscopy<sup>7)</sup>, Quantitative Light-induced Fluorescence(QLF)와 DIAGNOdent<sup>8)</sup>, Digital Imaging Fiber-Optic Trans-Illumination<sup>9)</sup> 등이 있다.

교신저자 : 김 종 수

충남 천안시 안서동 산29

단국대학교 치과대학 소아치과학교실

Tel : 041-550-1931,2 Fax : 041-555-2329

E-mail : jskim@dgu.edu

1981년 Featherstone과 Mellberg<sup>10)</sup>는 사람의 치아를 대신 할 수 있는 동물 치아의 법랑질 탈회 연구를 통해 우치의 법랑질 탈회 속도는 사람의 영구치 법랑질에 비해 약 3배, 유치의 약 2배 정도로 나타난다고 보고한 바 있으며 그 후에도 여러 학자들에 의해 법랑질 우식증의 탈회 속도에 대한 다양한 연구들이 보고되어 왔다<sup>11-15)</sup>. 이러한 연구들을 바탕으로 우치가 사람의 치아 대신 실험에 사용하기 가장 적합한 동물 치아로써 인정받기에 이르렀으며 이에 따라 우치에 대한 다양한 물성들이 연구되어져 왔다<sup>16-18)</sup>. 법랑질의 조직학적 연구들에서 우치의 법랑질 소주의 크기, 법랑 소주 간격의 크기와 배열이 사람 치아와 많은 차이를 보이며, 법랑 결정체(enamel crystalite)가 사람의 법랑질보다 더 두껍다고 보고되었다<sup>19-21)</sup>.

최근 연구 결과들을 종합해 볼 때, 법랑질 탈회 속도는 불소 함유량<sup>22,23)</sup>과 법랑질의 구조적 차이점<sup>18)</sup>, 법랑질의 다공성<sup>24)</sup> 및 미세 원소 분포<sup>25)</sup> 등의 요인에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다.

본 연구는 새로 개발된 조기 진단 장비인 QLF를 이용하여 우치가 법랑질 탈회 속도를 비교하는 실험실 연구에서 사람 치아를 대체할 수 있는지의 여부를 평가하고자 하였다.

## II. 연구 재료 및 방법

### 1. 연구재료

#### 1) 우치

도살 직후 발거된 하악 전치들을 10% 포르말린 용액이 담겨 용기에 넣어 실험실로 가져온 후 24시간동안 흐르는 물로 세척하여 혈액을 모두 제거한 다음, 표본 채취 전까지 2주 이상 10% 포르말린 용액에 보관하였다.

#### 2) 유치 및 영구치

유치 교환 시기가 도래된 환아로부터 상악 유전치들을 발거 직후 10% 포르말린 용액에 보관하여 실험실로 가져온 후, 24시간동안 흐르는 물에 세척하여 혈액을 모두 제거하고 표본 채취 전까지 2주 이상 10% 포르말린 용액에 보관하였다.

#### 3) 영구치

만성 치주염 등의 원인으로 상·하악 전치들을 발거 직후 10% 포르말린 용액에 보관하여 실험실로 가져온 후, 24시간 동안 흐르는 물에 세척하여 혈액을 모두 제거하고 표본 채취 전까지 2주 이상 10% 포르말린 용액에 보관하였다.

## 2. 연구방법

### 1) 대상 치아 준비

표본 제작을 위하여 치아들을 0.1% thymol로 세척 후 보관하였다. 균열이나 우식이 있는 치아들은 육안으로 선별하여 실험 대상에서 제외시켰다.

지름 3mm의 hollow core drill(Continental Diamond Tool Corp., USA)을 각 대상 치아 표면에 수직이 되도록 접근시키고 주수 하에서 작동시켜 2.5mm이상의 상아질이 포함된 법랑질 표본을 채취하였다.

우치에서는 한 치아당 2~3개, 유치는 1개, 영구치는 1~2개씩의 법랑질 표본을 채취하였다. 채취된 표본은 지름 9mm의 레진봉(polymethylmethacrylate resin rod)에 지름 4mm, 깊이 10mm의 구멍을 뚫고 법랑질 표본을 dura base를 이용하여 고정시켰다.

고정된 표본의 법랑질 표면은 100 grade carbide paper와 400 grade abrasive paper discs를 이용하여 약 50~100µm

**Table 1.** Sample distribution of each group

Dentitions	Group	Demineralization Time(day)							
		1		2		4		8	
Bovine Permanent	I n=20	n=5	QLF TMR	n=5	QLF TMR	n=5	QLF TMR	n=5	QLF TMR
	II n=5	QLF		QLF		QLF		QLF	
5 specimens were just used for QLF without TMR.									
Human Deciduous	III n=20	n=5	QLF TMR	n=5	QLF TMR	n=5	QLF TMR	n=5	QLF TMR
	IV n=5	QLF		QLF		QLF		QLF	
5 specimens were just used for QLF without TMR.									
Human Permanent	V n=20	n=5	QLF TMR	n=5	QLF TMR	n=5	QLF TMR	n=5	QLF TMR
	VI n=5	QLF		QLF		QLF		QLF	
5 specimens were just used for QLF without TMR.									

Total n=75

정도 제거하였으며 실제 현미경 하에서 균열이나 상아질의 노출이 발견된 표본은 실험군에서 제외하였다. 법랑질 표면 자동 활택기(OHRI, Indianapolis, USA)에서 각 레진봉당 10g의 하중을 부여하고 60분간 aluminosilicate powder로 최종 활택하였다. 활택이 끝난 모든 표본을 다시 실제 현미경으로 관찰하여 균열이나 상아질이 노출된 표본은 선별하여 제외시켰으며 탈이온수가 담긴 용기에 활택 법랑질의 보호를 위해 거즈를 깔고 습윤 하에 보관하였다.

2) 군 배정

각 25개씩의 우치, 유치 및 영구치 표본을 미리 정해진 연구 계획에 따라 무작위로 총 6군으로 나누어 배정하였다(Table 1). I군, III군, V군은 1일, 2일, 4일 그리고 8일 경과 후 각각 탈회용액에서 꺼내어 Quantitative Light-induced Fluorescence(QLF)와 Transverse Microradiography (TMR) 분석을 시행하였고, II군, IV군, VI군은 1일, 2일, 4일 경과 후 QLF 분석을 시행하고 다시 탈회 과정을 진행하여 8일 경과 후 마지막 QLF 분석을 하였으며 TMR 분석은 시행하지 않았다.

3) 탈회 과정

대상 표본의 법랑질 표면을 반으로 나누어 한쪽 면을 불소가 함유되어 있지 않은 바니쉬로 도포하여 대조군으로 선정하였고 나머지 반쪽 면을 실험군으로 설정하여 탈회 과정을 진행하였다(Fig. 1).

탈회 용액은 1987년 발표되어 현재까지 널리 사용되어지고 있는 White<sup>26)</sup>의 방법에 따라 0.1mol의 젓산과 0.2% 카보폴 907(Noveon Inc., Ohio, USA) 그리고 50%로 농축되도록 하이드록시아파타이트를 추가한 다음 수산화나트륨을 점적하여 pH 5.0으로 조절하여 조제하였다.

실험 대상 법랑질 표면이 탈회 용액에 충분히 담기도록 뚜껑에 고정시킨 후 37°C로 조절된 항온기에 각기 정해진 실험 기간동안 보관하였고, 3일째, 5일째, 6일째, 7일째에 각각 실험 용기를 1회씩 흔들어 주었다.

4) QLF 분석

실험 기간에 따라 탈회 과정이 완료된 표본을 꺼내어 바니쉬를 아세톤으로 제거하였다. QLF hand-piece를 고정대에 고정시킨 후 법랑질 표면에서 45mm 거리를 유지하도록 조절하였다(Fig. 2). 정상면과 탈회면에 대한 Fluorescence Radiance (FR) 값을 측정하였으며, 정상면 FR값(FRs)에 대한 탈회면 FR값(FRb)인 FR ratio는 Excel(MS-Office XP, Microsoft, USA) 프로그램을 이용하여 퍼센트로 환산하여 산출하였으며 SPSS 통계프로그램(SPSS Inc., USA)으로 통계 분석하였다.

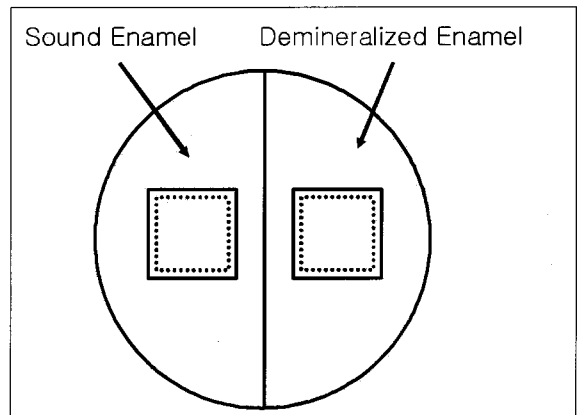


Fig. 1. Diagram of enamel core for QLF & TMR.

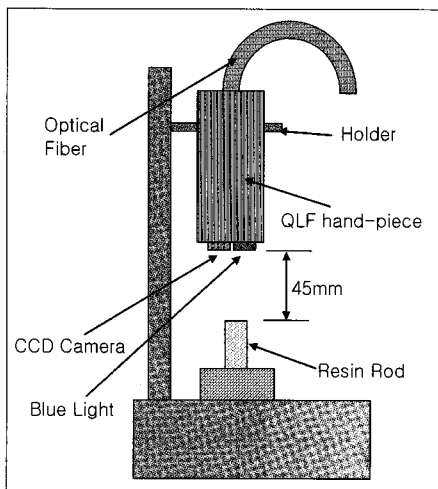


Fig. 2. Diagram of QLF System.

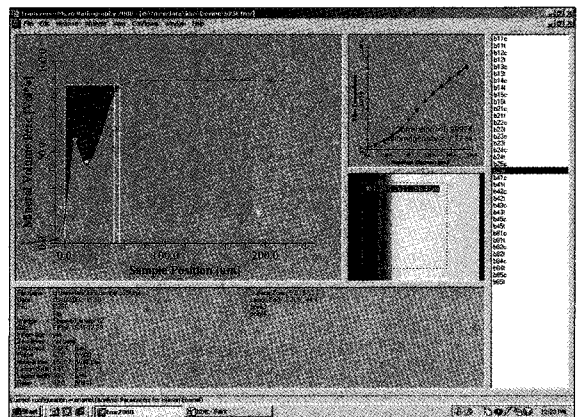


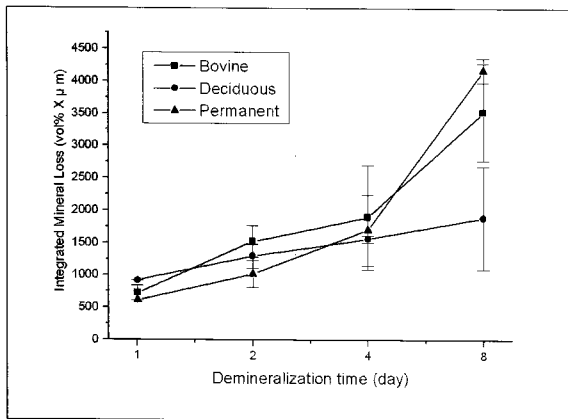
Fig. 3. Captured image of TMR analysis.

**Table 2.** Means and standard errors of all analyses for bovine, deciduous and permanent teeth in group I, III and V

Dentition	Demin. Time (day)	TMR			QLF			
		No**	IML*, vol% X $\mu$ m	Depth, $\mu$ m	No**	Sound	Demineralized	FR <sub>D</sub> /FR <sub>S</sub> X100
Bovine (Group I)	1	5	726.2±119.5	27.8±3.5	5	986.6±36.5	666.8±64.8	67.3±5.2
	2	5	1524.7±239.8	46.7±3.8	5	1169.8±102.7	611.2±50.0	52.6±1.5
	4	5	1896.2±805.1	53.9±21.0	5	798.3±45.2	390.3±26.5	48.8±1.1
	8	5	3524.9±753.3	87.7±16.8	5	848.5±37.3	344.0±23.1	40.5±1.3
Deciduous (Group III)	1	5	923.4±2.1	30.4±3.1	5	1258.8±55.5	965.3±114.9	77.1±9.3
	2	5	1300.0±183.4	35.9±4.4	5	1532.5±155.0	799.3±77.9	55.8±12.4
	4	5	1562.5±54.5	42.8±0.7	5	1309.8±129.2	601.3±54.4	46.2±3.2
	8	5	1889.8±794.0	48.9±15.9	5	1242.6±71.6	413.8±14.4	33.7±2.2
Permanent (Group V)	1	5	612.6±0.2	21.8±1.3	5	1245.0±82.3	1004.2±31.9	81.4±2.9
	2	5	1022.1±210.6	29.0±3.7	5	1104.3±76.4	769.3±101.3	69.2±5.9
	4	5	1697.2±546.6	38.9±10.4	5	887.3±50.4	457.8±5.4	52.0±2.7
	8	5	4167.7±188.4	91.6±6.9	5	944.0±113.0	419.0±21.0	44.8±3.1

\* IML : integral mineral loss

\*\* : "No" means sample numbers of each group



**Fig. 4.** Integrated mineral loss of all dentitions at each demineralization time in group I, III and V.

5) TMR 분석

QLF 이미지 촬영이 끝난 I, III, V군의 법랑질 시편을 한 시편당 최대 3개의 절편이 채취되도록 thin-sectioning microtome(Series 1000 Deluxe, Silverstone-Talyor, USA)을 이용하여 절단하였다. 각 절편의 두께가 100 ± 20  $\mu$ m 범위 내에 있는지 현미경을 통해서 확인하였다.

절편을 plate film에 고정시키고 microradiography 이미지 촬영을 시행하였다. 촬영된 필름을 암실에서 현상하여 컴퓨터에 연결된 현미경을 통해 이미지를 입력하였다. 함께 촬영된 aluminum wedge를 이용하여 표준화 작업을 시행한 후 TMR 분석용 프로그램을 이용하여 각 이미지를 분석하였다(Fig. 3).

TMR 분석을 통해 각 시편의 광물질 소실량과 병소 깊이를 산출하였으며, 산출된 값을 SPSS 프로그램을 이용하여 통계 분석하였다.

III. 연구 결과

1일, 2일, 4일 그리고 8일 경과 후 QLF 분석과 TMR 분석을 시행한 결과를 Table 2에 나타내었다. 모든 군에서 탈회 시간이 경과함에 따라 무기질 탈회량, 병소 깊이는 증가한 반면 FR ratio는 감소하는 양상을 보였다.

Table 3은 QLF 분석치와 TMR 분석치간의 상관관계를 나타낸 도표로서 우치에서는 FR ratio와 병소 깊이 간에 상관관계가 있었으며, 영구치에서는 무기질 소실량과 병소 깊이 모두에서 FR ratio와 상관관계가 입증되었다. 반면 유치에서는 각 항목간에 상관관계를 보이지 않았다(p>0.05).

Fig. 4은 탈회 시간에 따른 각 군 법랑질의 무기질 탈회량을 나타낸 그래프로서 시간이 지남에 따라 모든 군에서 증가하는 양상을 보여 주고 있다. 우치 및 영구치의 진행 양상은 매우 유사하게 나타나고 있으나 유치에서는 탈회 진행 속도가 다른 군에 비해 다소 낮게 나타나고 있다.

Fig. 5은 탈회 시간에 따른 각 법랑질의 병소 깊이의 변화를 나타낸 선 그래프로서 무기질 탈회와 매우 유사한 양상을 보여 주고 있으며, 역시 유치에서 다소 완만한 병소 깊이의 증가를 보여 주고 있다.

Table 4는 탈회 시간에 따른 무기질 탈회량의 변화를 분석한 회귀 분석 결과를 나타낸 표로서 시간에 따른

변화량의 크기를 나타내는 회귀 상수값이 우치는 375.8, 영구치는 519.5로 나타났으며, 두 군에서는 모두 통계적 유의성을 보였으나, 유치에서는 통계적 유의성을 보이지 않았다.

Table 5는 탈회 시간에 따른 병소 깊이의 변화에 대한 회귀 분석 결과를 나타낸 표로서 우치의 회귀 상수값은 7.945, 영구치 회귀 상수값은 10.307로 나타났으며 통계적 유의성을 보여 주었다. 그러나 유치에서는 무기질 탈회량에서와 마찬가지로

**Table 3.** Correlations of TMR values between QLF value in each group

TMR Values QLF value	Mineral Loss	Lesion Depth
Bovine FR ratio	-0.467	-0.532*
Deciduous FR ratio	-0.207	-0.203
Permanent FR ratio	-0.642*	-0.642*

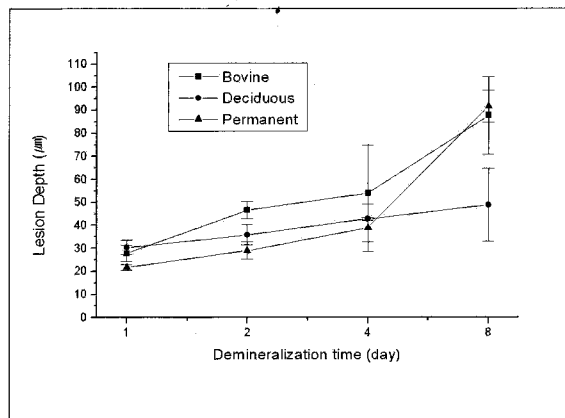
\*:p<0.05

**Table 5.** Regression analysis of lesion depth by demineralization time in each group

	Coefficient (=B)	p value
Bovine	7.945	0.001
Deciduous	2.372	0.227
Permanent	10.307	0.000

**Table 4.** Regression analysis of mineral loss by demineralization time in each group

	Coefficient (=B)	p value
Bovine	375.8	0.000
Deciduous	116.1	2.310
Permanent	519.5	0.000



**Fig. 5.** Lesion depth of all dentitions at each demineralization time with group I, III and V.

**Table 6.** Means and standard error of QLF values for bovine, deciduous and permanent enamel

Dentition	Demin. Time (day)	QLF Values			
		No	Sound	Demineralized	FR <sub>D</sub> /FR <sub>S</sub> X100
Bovine (Group 1,2)	1	10	1011.3±46.0	758.8±52.1	75.0±3.9
	2	10	1170.4±65.6	793.3±96.6	66.1±4.6
	4	10	976.63±74.7	533.9±65.4	53.4±2.1
	8	10	978.7±104.2	419.3±55.0	42.4±1.5
Deciduous (Group 3,4)	1	10	1311.1±45.9	1089.1±97.4	82.8±6.0
	2	10	1508.3±86.3	1001.5±114.0	68.2±8.2
	4	10	1291.9±73.7	725.6±80.5	57.0±7.3
	8	10	1340.7±80.5	570.4±101.9	41.4±5.2
Permanent (Group 5,6)	1	10	1252.0±74.4	983.7±66.6	78.6±2.4
	2	10	784.1±84.4	836.8±114.5	69.1±4.3
	4	10	1046.7±88.9	642.8±126.2	58.6±5.1
	8	10	1062.0±57.0	526.3±36.2	49.5±1.9

\* "No" means sample numbers of each group

통계적 유의성을 보여 주지 않았다.

Table 6은 모든 군에 대한 QLF 분석 결과를 나타낸 표로서 정상 범랑질에 대한 탈회 범랑질의 FR 값을 백분율로 환산하여 나타내었다.

Fig. 6은 각 군의 시간에 따른 FR ratio의 변화를 나타낸 선 그래프로서 모든 군에서 탈회 시간에 따라 FR ratio가 감소하는 것으로 나타났다. Table 7은 이를 회귀 분석한 결과로서 보

**Table 7.** Regression analysis of FR ratio by demineralization time in each group

	Coefficient (=B)	p value
Bovine	-4.643	0.000
Deciduous	-5.421	0.000
Permanent	-4.435	0.000

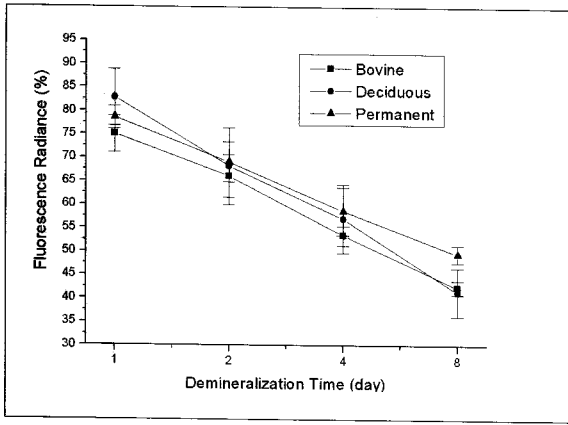


Fig. 6. Mean values of fluorescence radiance of all dentitions at different demineralization time

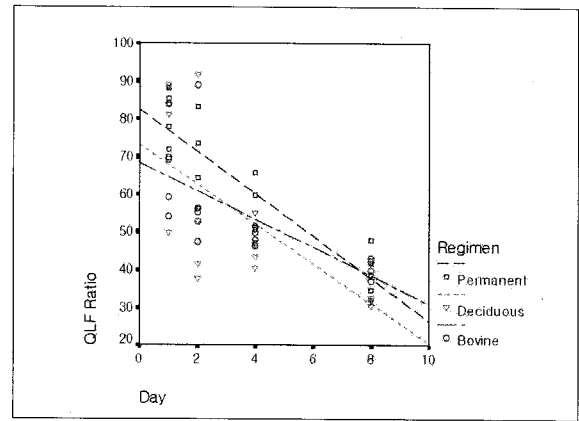


Fig. 7. Scatter graph with regression line of each group.

든 군에서 통계적으로 유의하게 탈회 시간에 따라 FR ratio가 감소하는 것으로 나타났으며, 시간에 따른 변화 정도를 나타내는 회귀 상수값이 우치는 -4.643, 유치는 -5.421, 영구치는 -4.435로 나타나 우치와 영구치의 탈회 속도는 매우 유사한 것으로 나타났으며 유치의 탈회 속도가 가장 빠른 것으로 나타났다. 산포도와 회귀 분석에 산출된 식에 의한 회귀선을 Fig. 7에 나타내었다.

#### IV. 총괄 및 고안

유럽을 중심으로 추진되고 있는 새로운 개념의 조기 진단과 치료에 대한 연구가 미국 인디애나 치과대학의 참여와 함께 미국의 여러 연구소와 치과대학들이 동참한 가운데 1996년부터 새로운 개념의 조기 진단 장비를 개발할 목적으로 Indiana Conference가 진행되어 오고 있다<sup>1,2)</sup>. 이러한 움직임에 일본도 적극 참여하고 있으며 아직 시작 단계에 불과해 이 분야에 대한 많은 관심과 임상 연구가 필요한 실정이다.

건전한 표층(surface zone)이 존재하는 초기 법랑질 우식증을 조기에 진단함으로써 기대할 수 있는 이점으로는 와동 형성 단계로의 진행을 최소화하고, 정상 법랑질로 환원될 수 있는 가능성이 높아진다는 것이다. 또한 깊은 와동으로 인한 치수 통증 가능성을 감소시킬 수 있으며, 정상 교합을 유지할 수 있도록 할 수 있으며, 치아 고유의 심미성을 보존할 수 있고, 보다 쉽게 치료할 수 있다는 것이다<sup>1,2)</sup>.

이미 조기 진단 장비들에 대한 prototype의 장비들이 실험실 단위에서 개발되었으며 이중 QLF<sup>®</sup>와 DIFOTI<sup>®</sup> 시스템은 임상용으로 개발되어 사용되기 시작했다.

본 연구에서 사용된 QLF 시스템은 현재 네덜란드에서 개발되어 인디애나 치과대학을 중심으로 실험실 연구가 진행되어져 왔으며 2003년 5월 제3차 Indiana Conference를 통해 임상 연구 단계가 진행되기 시작했으며, 일본과 미국에서 임상 연구들이 진행 중에 있다.

1981년 Featherstone과 Mellberg<sup>10)</sup>는 여러 포유 동물들을 대상으로 사람 치아를 대신하여 실험실 연구에서 사용될 수 있는 법랑질을 찾아내는데 초점을 맞추고 여러 동물들의 법랑질을 채취하여 탈회 속도를 측정하여 발표한 바 있으며, 이 연구는 법랑질 탈회 속도에 대해 가장 잘 정리하여 발표된 연구로 인정되고 있으며 이후 많은 학자들에 의해서 새로운 측면에서 재조명되어 오고 있다<sup>11-15)</sup>. 그러나 Featherstone과 Mellberg<sup>10)</sup>의 연구에서 사용된 Gelatin/Lactic acid 탈회 용액과 탈회 정도의 평가 방법은 그동안 발전된 기법에 의해 대체되고 있으므로 결과의 신뢰성 또한 재평가되어야 할 것으로 사료된다. 이러한 관점에 초점을 맞춘 본 연구에서는 QLF 시스템을 이용하여 무기질 탈회 정도를 평가하는데 정확하게 평가하고 gold standard로 Transverse Microradiography를 사용하여 연구 결과의 신뢰도를 높여 노력하였다. Featherstone과 Mellberg<sup>10)</sup>의 연구 결과에서는 우치가 사람의 영구치에 비해 약 3배정도 빠른 것으로 보고되었으나, 본 연구에서는 법랑질의 탈회량의 변화를 QLF 시스템을 이용하여 측정하고, 탈회 정도를 반영하는 FR ratio의 변화 정도를 평가하기 위하여 탈회 시간에 대한 회귀 분석을 시행하고, 탈회량의 변화 정도를 나타내는 회귀 상수를 구하였다. 우치의 회귀 상수가 -4.643, 유치가 -5.421 그리고 영구치가 -4.435로 나타나, 우치, 유치 및 영구치의 탈회 속도비가 1.04 : 1.22 : 1로 나타나 우치의 탈회 속도가 영구치보다 약간 빠르게 나타났으며, 유치는 영구치에 비해 약 22%정도 더 큰 것으로 나타났다. 우치의 탈회 속도가 영구치의 약 104% 정도로 나타났으며, 이는 Featherstone과 Mellberg<sup>10)</sup>의 연구 결과와 대조적인 결과를 보였으나, 보다 최근의 연구들<sup>11-15)</sup>과 다소 유사한 양상을 보였다. 일반적으로 유치의 탈회 속도가 영구치보다 빠르다고는 하지만, 1.5배 이상 빠른 것으로 보고된 Featherstone과 Mellberg<sup>10)</sup>의 결과보다는 다소 낮은 약 22% 차이를 나타냈다. 본 연구에서는 우치가 영구치에 비해 약 104%로 나타나 탈회 속도가 매우 근소한 차이를 보임으로써 우치가 영구치를 대신

하기에 법랑질 탈회 연구에 사용되어지기에 적합한 것으로 판단할 수 있겠다. 우치에 대한 대체 가능성에는 약간의 논란의 여지가 있으나 이는 우치 법랑질 개체간의 개체 변이와 실험상의 오류 안에서 용인될 수도 있을 수 있는 범위라고 판단되며 이에 대한 연구가 더 필요하다고 사료되었다.

법랑질의 탈회 정도를 평가하기 위한 연구들은 최근까지도 계속되어 지고 있는데, 주로 Ultrasonic Sound, Confocal Microradiography나 Contact Microradiography 등을 사용하고 있으며, 실험 준비 절차가 복잡하고 각 시편마다 측정 소요 시간이 매우 커서 많은 실험 표본을 대상으로 진행하기 어려운 문제점을 보이고 있다. 본 연구에 사용된 QLF 시스템은 표준화 과정도 1~2분 내에 완료할 수 있으며 각 표본 당 측정 소요 시간이 약 15초 이내로 매우 짧은 이점이 있으며, 재현성과 신뢰도가 매우 높아 초기 법랑질 우식증에 대한 연구의 발전에 큰 도움을 주고 있다.

Featherstone과 Mellberg<sup>10)</sup>의 연구 이후로 여러 학자<sup>16-18)</sup>들에 의해 사람 치아를 대신할 우치에 대한 연구들이 진행되어져 왔으며, 여러 가지 조직학적 차이점<sup>19-21)</sup>에도 불구하고 우치는 사람 치아를 대신해서 법랑질 치아 우식증의 연구에 많은 사용되어져 오고 있다. 우치의 장점으로는 치아의 크기가 커서 단일 개체로부터 다량의 표본을 채취할 수 있으며, 발거와 동시에 완벽하게 저장 관리할 수 있으며 비교적 비용이 저렴하다는 것들을 들 수 있다.

Isaac 등<sup>22)</sup>과 Takagi 등<sup>23)</sup>은 법랑질 표면에 함유된 불소의 양에 의해 탈회 속도에 차이가 나타날 수 있다고 하였으며, 본 연구에서는 이러한 개체간의 차이를 극복하고자 법랑질 표면을 약 50~100 $\mu$ m 정도 abrasive paper를 이용하여 삭제하였다.

ten Bosch 등<sup>24)</sup>의 연구에서는 우치 및 영구치의 경우 구강내 맹출시 존재하던 미세공(micro pore)들이 타액으로부터 전달된 무기질들로 인해 숙성(maturation)되면서 폐쇄되어 시간에 따라 탈회 속도에 차이를 보일 수 있다고 하였다. 본 연구에서는 우치는 교환 시기에 탈락된 치아들을 사용하여 숙성 정도에 의한 차이를 고려하지 않아도 될 것으로 사료되었으며, 영구치의 경우 만성 치주염 등을 주소로 발거한 치아들이었으므로 대부분 숙성이 완료된 시점으로 판단되었으며, 우치와 영구치 모두 법랑질 표면 삭제법을 통해 이러한 표면의 숙성에 의한 개체간 변이를 제거하려고 노력하였다.

사람 치아의 경우 법랑소주(enamel rod)가 4~7  $\mu$ m 정도의 두께를 가지며 법랑질 표면으로부터 법랑상아경계를 향해 수직으로 배열하고 있으며<sup>27)</sup>, Arends 등<sup>14)</sup>의 주장과 같이 법랑소주 간격에 의한 무기질의 탈회 정도가 전체적인 법랑질 탈회 속도에 영향을 줄 것이라고 추측된다.

Isaac 등<sup>22)</sup>은 산에 대한 저항력은 표면 법랑질이 내부 법랑질보다 더 높은 것으로 나타나는데 이는 표면에 포함되어 있는 불소 때문이라고 하였으며, Theuns 등<sup>28)</sup>은 탈회속도는 법랑질 내부로 들어갈수록 증가하게 되는데, 이는 무기질의 함량 차이 때문일 것으로 추측된다고 하였으며, Weatherell 등<sup>29)</sup>은 탄산염

(carbonate)이 가장 큰 영향을 미친다고 주장한 반면, Robinson 등<sup>30)</sup>은 마그네슘의 함량 때문일 것이라고 하였다. 이러한 사실들은 Margolis 등<sup>31)</sup>의 보고서에서도 확인된 바 있다.

초기 법랑질의 무기질 손실을 조기에 진단하기 위한 장비의 개발에 관련된 연구들로는 Laser Fluorescence Technique에 대한 Ando 등<sup>5)</sup>의 연구와 김 등<sup>32)</sup>과 이 등<sup>33,34)</sup>의 국내 연구 등이 있다.

Gonzalez-Cabezas 등<sup>7)</sup>은 back scattered radiography를 이용한 Confocal microradiography에 의한 연구를 진행하고 있는데, confocal microradiography는 현재 실험실에서 주로 사용되어지고 있으며 임상보다는 기초 실험 분야의 한 분야로 자리 잡을 것으로 전망된다.

초기 우식증의 조기 진단과 관련하여 최근 발표된 연구 보고들<sup>35-37)</sup>에서도 새로 장비들에 대한 임상 적용을 위한 실험실 및 임상 연구들이 계속되고 있다.

본 연구에 사용된 Quantitative Light-induced Fluorescence System은 현재 가장 진보된 형태의 조기 진단용 장비의 하나로서 주목받고 있으며 Angmar-Mansson 등<sup>38)</sup>과 Pretty 등<sup>39-42)</sup>, Heinrich-Weltzien 등<sup>43)</sup>의 연구에서도 그 우수성에 대한 연구가 입증되고 있다. 그러나 아직 임상 연구가 많이 부족한 상태이고 임상용으로 개발된 제품에 대한 신뢰도 검증이 부족한 상태이며, 임상 적용시 주위 조명이 매우 민감하게 반응하며, 동일 부위의 변화를 평가하고자 계속적인 관찰을 재현성에 많은 어려움이 있고, 수분의 정도에 따라 서로 다르게 나타나는 단점이 지적되고 있으며 향후 임상 적용을 위한 임상 연구가 더욱 진행되어야 할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

우치, 우치 및 영구치의 탈회 속도를 비교 평가하고자 카보폴을 이용한 탈회 용액에서 1일, 2일, 4일 그리고 8일 동안 탈회 시킨 후 QLF 분석과 gold standard로 사용된 TMR 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 우치에서는 FR Ratio와 병소 깊이 간에 통계적 유의성이 있었으며( $p < 0.05$ ), 우치에서는 FR Ratio와 광물질 소실 및 병소 깊이 간에는 유의성이 없었으며( $p > 0.05$ ), 영구치에서는 FR Ratio와 광물질 소실 및 병소 깊이 간에 통계적 유의성이 있었다 ( $p < 0.05$ ).
2. 탈회 시간에 대한 FR Ratio의 회귀 분석 결과에서 얻은 회귀 계수 값은 우치에서 -4.643( $p < 0.05$ ), 우치에서 -5.421( $p < 0.05$ ), 영구치에서는 -4.435( $p < 0.05$ )로 나타났다.

이상의 결과를 요약해 보면 우치의 탈회 속도는 영구치의 약 104%, 우치의 약 116% 정도의 탈회 속도를 보이며 기존의 연구와 다소 차이를 보이는데, 이는 탈회 속도 측정 방법에 따른 결과로 사료되며, 이에 대한 연구는 계속 진행되어야 할 것으로 사료된다. 또한 QLF를 이용한 법랑질 탈회 연구는 영구치 및

우치에서 유효하다고 판단되며, 유치에 대해서는 보다 많은 연구가 진행되어야 할 것이며, 치아 우식증의 탈회 속도에 대한 상대 비교 연구에 영구치를 대신해서 우치를 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- Pitts N : Need for early caries detection methods : A european perspective. Early Detection of Dental Caries Proceeding II of the 4th Annual Indiana Conference, 3-12, 1999.
- Anusavice KJ : Need for early detection of dental caries : A Unite States perspective. Early Detection of Dental Caries Proceeding II of the 4th Annual Indiana Conference, 13-30, 1999.
- Zero D, Mol A, Roriz CS, et al. : Caries detection using digital imaging fiber-optic transillumination (DIFOTITM): A preliminary evaluation. Early Detection of Dental Caries Proceeding II of the 4th Annual Indiana Conference, 169-184, 1999.
- Ando M, Eggertsson H, Isaacs RL, et al. : Comparative studies of several methods for the early detection of fissure lesions. Early Detection of Dental Caries Proceeding II of the 4th Annual Indiana Conference, 279-300, 1999.
- Ando M, Hall AF, Eckert GJ, et al. : Relative ability of laser fluorescence techniques to quantitate early mineral loss in vitro. Caries Res, 31:125-131, 1997.
- Caliskan Yanikoglu F, Ozturk F, Hayran O, et al. : Detection of natural white spot caries lesions by an ultrasonic system. Caries Res, 34:225-232, 2000.
- Gonzalez-Cabezas C, Fontana M, Stookey GK : Measurement of mineral gain and loss on dental enamel and dentin using confocal microscopy. Methods Enzymol, 307:485-496, 1999.
- Shi XQ, Tranaeus S, Angmar-Mansson B : Comparison of QLF and DIAGNOdent for quantification of smooth surface caries. Caries Res, 35:21-26, 2001.
- Schneiderman A, Elbaum M, Shultz T, et al. : Assessment of dental caries with Digital Imaging Fiber-Optic Transillumination (DIFOTI): in vitro study. Caries Res, 31:103-110, 1997.
- Featherstone JD, Mellberg JR : Relative rates of progress of artificial carious lesions in bovine, ovine and human enamel. Caries Res, 15:109-114, 1981.
- Christoffersen J, Arends J : Progress of artificial carious lesions in enamel. Caries Res, 16:433-439, 1982.
- Hoppenbrouwers PM, Scholberg HP, Borggreven JM : Measurement of the permeability of dental enamel and its variation with depth using an electrochemical method. J Dent Res, 65:154-157, 1986.
- Gao XJ, Elliott JC, Anderson P : Scanning and contact microradiographic study of the effect of degree of saturation on the rate of enamel demineralization. J Dent Res, 70:1332-1337, 1991.
- Arends J, Christoffersen J, Christoffersen MR, et al. : Rate and mechanism of enamel demineralization in situ. Caries Res, 26:18-21, 1992.
- Anderson P, Elliott JC : Rates of mineral loss in human enamel during in vitro demineralization perpendicular and parallel to the natural surface. Caries Res, 34:33-40, 2000.
- Nakamichi I, Iwaku M, Fusayama T : Bovine teeth as possible substitutes in the adhesion test. J Dent Res, 62:1076-1081, 1983.
- Larsen MJ : The nature of early caries lesions in enamel. J Dent Res, 65:1030-1031, 1986.
- Edmunds DH, Whittaker DK, Green RM : Suitability of human, bovine, equine, and ovine tooth enamel for studies of artificial bacterial carious lesions. Caries Res, 22:327-336, 1988.
- Arends J, Jongebloed WL : Crystallites dimensions of enamel. J Biol Buccale, 6:161-171, 1978.
- Boyde A, Fortelius M, Lester KS, Martin LB : Basis of the structure and development of mammalian enamel as seen by scanning electron microscopy. Scanning Microsc, 2:1479-1490, 1988.
- Arends J, Jongebloed WL, Schuthof J : Crystallite diameters of enamel near the anatomical surface. An investigation of mature, deciduous and non-erupted human enamel. Caries Res, 17:97-105, 1983.
- Isaac S, Brudevold F, Smith FA, Gardner DE : Solubility rate and natural fluoride content of surface and subsurface enamel. J Dent Res, 37:254-263, 1958.
- Takagi S, Liao H, Chow LC : Effect of tooth-bound fluoride on enamel demineralization/ remineralization in vitro. Caries Res, 34:281-288, 2000.
- ten Bosch JJ, Fennis-le Y, Verdonshot EH : Time-dependent decrease and seasonal variation of the porosity of recently erupted sound dental enamel in vivo. J Dent Res, 79:1556-1559, 2000.



25. Grobler SR, Theunissen FS, Kotze TJ : The relation between lead concentrations in human dental tissues and in blood. *Arch Oral Biol*, 45:607-609, 2000.
26. White DJ : Use of synthetic polymer gels for artificial carious lesion preparation. *Caries Res*, 21:228-242, 1987.
27. Anderson P, Levinkind ML, Elliott JC : Scanning microradiography studies of rates of in vitro demineralization in human and bovine dental enamel. *Arch Oral Biol*, 43:649-656, 1998.
28. Theuns HM, Driessens FCM, van Dijk JWE, Groeneveld A : Experimental evidence for a gradient in the solubility and in the rate of dissolution of human enamel. *Caries Res*, 20:24-31, 1986.
29. Weatherell JA, Robinson C, Hiller CR : The distribution of carbonate in thin sections of dentinal enamel. *Caries Res*, 2:1-9, 1968.
30. Robinson C, Weatherell JA, Hallsworth AS : Distribution of magnesium in mature human enamel. *Caries Res*, 15:70?-77, 1981.
31. Margolis HC, Ruth MB, Moreno EC, et al. : Solubility gradients in enamel (abstract 219). *J Dent Res*, 75:45, 1996.
32. 김효석, 이상호, 이창섭 등 : 초기우식병소에 대한 레이저 fluorescence의 광학적 탐지 감도. *대한소아치과학회지*, 26:109-118, 1999.
33. 이상호, 이창섭 : 치아우식증 진단을 위한 고감도 우식활성 검사 모형 개발. *대한소아치과학회지*, 27:169-179, 2000.
34. 이상호, 한국재, 이창섭 : 레이저 형광과 광활성재를 이용한 초기 우식증의 진단. *대한소아치과학회*, 30:1-9, 2003.
35. Wright GZ, Simon I : An evaluation of transillumination for caries detection in primary molars. *ASDC J Dent Child*, 39:199-202, 1972.
36. Ando M, van Der Veen MH, Schemehorn BR, et al. : Comparative study to quantify demineralized enamel in deciduous and permanent teeth using laser- and light-induced fluorescence techniques. *Caries Res*, 35:464-470, 2001.
37. Ando M, Schemehorn BR, Eckert GJ, et al. : Influence of enamel thickness on quantification of mineral loss in enamel using laser-induced fluorescence. *Caries Res*, 37:24-28, 2003.
38. Angmar-Mansson B, ten Bosch JJ : Quantitative light-induced fluorescence (QLF): a method for assessment of incipient caries lesions. *Dentomaxillofac Radiol*, 30:298-307, 2001.
39. Pretty IA, Edgar WM, Higham SM : Detection of in vitro demineralization of primary teeth using quantitative light-induced fluorescence (QLF). *Int J Paediatr Dent*, 12:158-167, 2002.
40. Pretty IA, Hall AF, Smith PW, et al. : The intra- and inter-examiner reliability of quantitative light-induced fluorescence (QLF) analyses. *Br Dent J*, 193:105-109, 2002.
41. Pretty IA, Edgar WM, Higham SM : The erosive potential of commercially available mouthrinses on enamel as measured by Quantitative Light-induced Fluorescence (QLF). *J Dent*, 31:313-319, 2003.
42. Pretty IA, Smith PW, Edgar WM, et al. : Detection of in vitro demineralization adjacent to restorations using quantitative light induced fluorescence (QLF). *Dent Mater*, 19:368-374, 2003.
43. Heinrich-Weltzien R, Kuhnisch J, van der Veen M, et al. : Quantitative light-induced fluorescence (QLF) - a potential method for the dental practitioner. *Quintessence Int*, 34:181-188, 2003.

**Abstract**

**COMPARATIVE STUDY ON THE RATE  
OF DENTAL ENAMEL DEMINERALIZATION USING A QLF**

Chang-Keun Lee, Jong-Soo Kim, Seung-Hoon Yoo

*Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Dankook University*

The objective of this study was to compare the rate of in vitro demineralization of bovine permanent (BP), human deciduous (HD) and human permanent (HP) enamel.

Twenty five flattened and polished enamel samples for each group (BP, HD, HP) were immersed in a demineralizing solution (0.1 mol/L lactic acid, 0.2% Carbopol 907, and 50% saturated hydroxyapatite) for 1, 2, 4 or 8 days. All 25 samples from each group were subjected to Quantitative light induced fluorescence analysis (QLF) and 5 samples from each group were randomly selected for Transverse Microradiography analysis (TMR). Integrated mineral loss (IML) and lesion depth (LD) were determined by TMR. The fluorescence radiance (FR) of sound enamel (FR<sub>s</sub>), demineralized enamel (FR<sub>D</sub>) were determined by QLF and FR ratio (FR<sub>D</sub>/FR<sub>s</sub>) was calculated.

Bovine enamel samples showed significant correlation between FR ratio and lesion depth( $p < 0.05$ ), and deciduous enamel samples does not showed significant correlation between FR ratio and lesion depth( $p > 0.05$ ). Permanent enamel samples showed significant correlation between FR ratio and lesion depth( $p < 0.05$ )

The constant of demineralization time between FR ratio from regression analysis were as follows: bovine enamel was  $-4.643(p < 0.05)$ , deciduous enamel was  $-5.421(p < 0.05)$  and permanent enamel was  $-4.435(p < 0.05)$ .

**Key words** : Quantitative Light-induced Fluorescence, Early detection, Dental caries, Enamel, Bovine