

## 치아 우식증의 조기 진단을 위한 QLF-D 개발

박형주 · 김종수 · 유승훈 · 신지선

단국대학교 치과대학 소아치과학교실

### 국문초록

저자는 DSLR(digital single-lens reflex) 카메라를 이용한 QLF-D 시스템을 고안하여, 사람의 유구치에 자연 발생된 법랑질 초기 우식증을 관찰하고, 유구치 법랑질 시편을 대상으로 2일부터 14일까지 인공 탈회시킨 후 탈회 기간에 따른 상관관계를 편광 현미경 소견과 비교 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 탈회 기간에 따른 편광 현미경 상의 병소 깊이와 QLF-D 영상의 광밀도 값 비율 간의 피어슨 상관 계수는 0.969였다 ( $p<0.01$ ).
2. 편광현미경에서 측정된 병소 깊이의 탈회 기간에 대한 회귀분석 결과  $y=8.67x-1.16$ 의 회귀 방정식이 산출되었다 ( $p<0.05$ ).
3. QLF-D 영상에서 측정된 광도값 비율의 탈회 기간에 대한 회귀분석 결과  $y=3.53x+6.42$ 의 회귀 방정식이 산출되었다 ( $p<0.05$ ).

**주요어:** 유구치, 초기 법랑질 우식증, 조기 진단, Quantitative Light-induced Fluorescence

### I. 서 론

지난 20여 년간 어린이에서 치아우식증은 현저히 감소하였으나, 현재까지는 어린이의 구강 질환 중 가장 흔한 만성 치성질환이다<sup>1)</sup>. 치아우식증은 법랑질 표면에서 탈회와 재광화가 동시에 일어나는 역동적인 질환으로 법랑질의 초기 탈회는 불소를 이용하여 재광화시킬 수 있다<sup>2)</sup>. 그러므로 초기 치아우식증을 조기에 발견할 수 있다면 와동 형성과 같은 외과적 수복 개념이 아닌 비침습적 약물 치료법이 가능하게 된다<sup>3-4)</sup>.

그러나 전통적인 진단 방법 중 탈회와 재광화의 정도를 평가하거나 감시할 수 있는 방법은 없다. 탐침을 이용한 시진은 갓 맹출한 법랑질 표면에 손상을 입히거나 표층 병소를 파괴하여 오히려 와동을 유발하기도 한다<sup>5-9)</sup>. 방사선 촬영은 현재 가장 널리 쓰이는 진단 장비이지만, 방사선에 노출된다는 단점과 법랑질 우식이 법랑질 두께 1/2이상 진행되어야만 진단될 수 있다<sup>10-12)</sup>.

최근 치아우식증의 조기 진단을 위해 여러 가지 장비들이 개

발되었으며, 현재 임상에서 활용되고 있는 장비들로는 laser fluorescence<sup>12-16)</sup>, digital imaging fiber-optic trans-illumination<sup>17-20)</sup>와 quantitative light-induced fluorescence (QLF) 등<sup>1,21,22)</sup>이 있다.

1928년 Benedict<sup>23)</sup>는 사람의 치아는 형광을 띤다고 하였으며, Foreman<sup>24)</sup>은 치아의 형광과 관련된 미세 구조에 대해서 조사한 바 있다. 탈회는 법랑질 내부로부터 무기질이 외부로 빠져 나가면서 시작되는데, 보통 미세 통로(micro channel)의 지름이 0.2-1.5  $\mu\text{m}$ , 길이는 100  $\mu\text{m}$  정도 되며, 이 통로가 무기질의 이동 경로가 되어 탈회와 재광화의 중요한 역할을 한다<sup>25,26)</sup>. 조기 진단은 이렇게 미세 통로가 형성되고 법랑질 표층하부의 무기질이 탈회되기 시작하는 시점의 상태를 진단하는 장비이다. 무기질이 빠져 나간 법랑질은 빛의 불투과성으로 나타나게 되며, 이러한 불투과성을 진단하기 위해서 형광 빛을 이용한 방법이 de Josselin de Jong 등<sup>27)</sup>에 의해서 고안된 QLF이다.

Angmar-Masson 등<sup>28)</sup>, Shi 등<sup>29)</sup> 그리고 Pretty 등<sup>30)</sup>의 연

교신저자 : 김 종 수

충남 천안시 안서동 산 29 / 단국대학교 치과대학 소아치과학교실 / 041-550-1931 / jskim@dku.edu

원고접수일: 2011년 09월 23일 / 원고최종수정일: 2011년 11월 05일 / 원고채택일: 2011년 11월 14일

\*이 연구는 2010학년도 단국대학교 대학연구비 지원으로 연구되었음.

구에서 QLF의 임상 적용 가능성이 증명되었으며, Heinruch-Welrzen 등<sup>31)</sup>은 임상 적용의 유용성과 편리성에 대해 보고한 바 있다. Kuhnisch 등<sup>32)</sup>과 Higham 등<sup>33)</sup>은 QLF가 평활면 우식증 진단에는 매우 유용하지만, 인접면 우식증 진단에는 한계점이 있다고 지적하였으나, 현재 *in vitro*, *in situ*, *in vivo*에 대한 장기적인 연구에서는 가장 유용한 장비임에는 틀림없다고 일치된 견해를 보였다.

저자는 최근 널리 활용되고 있는 선명한 고화질의 DSLR (digital single-lens reflex) 카메라를 접목시킨 QLF-D 시스템을 구현하고, 이를 이용하여 자연치에 발생한 범랑질 초기 우식증을 관찰하고, 탈회 기간에 따른 병소의 깊이 변화를 편광현미경 소견과 비교 분석한 결과 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

## II. 연구 재료 및 방법

### 1. 연구 재료

최근 발거된 유구치들을 대상으로 하였으며, 부패 방지를 위하여 발거 직후 0.1% thymol 용액에 보관하여 수집하였다. 수거된 치아들 중 광학 돋보기로 살펴보아 치아우식증이나 균열 (crack)이 없는 치아 70개와 자연 우식이 존재하는 치아 100개를 선별하고, 스케일러로 치아 표면의 이물질을 제거한 후 실험 시작 전까지 0.1% thymol에 보관하였다.

본 연구에서는 디지털 카메라(EOS-450D, Canon, Japan)에 마크로 렌즈(EF-S 60 mm Ultrasonic, Canon, Japan)를 장착하여 사용하였다. 마크로 렌즈에는 치아에서 반사된 영상을 필터링하기 위해서 520 nm 파장의 황색 필터를 장착하였다. QLF-D 시스템은 405 nm 파장의 청색광을 내는 포터블 램프(Inspektor Research System bv, Netherland)와 충전기(Inspektor Research System bv, Netherland) 그리고 노트북 컴퓨터(Dell, USA)와 디지털 카메라를 연결하는 USB 케이블로 구성되어 있다.

### 2. 연구 방법

#### 1) 자연 치아의 우식증 관찰

치아우식증이 있는 자연치를 꺼내어 사진 촬영이 용이하도록 바닥에 대해 수직이 되도록 교정용 레진에 매몰하였다. 빛의 간섭을 차단하기 위해 촬영대를 암실에서 설치하였다. 디지털 카메라를 촬영대에 고정하고 치아에 수직이 되도록 조절한 다음 치아우식증이 존재하는 교합면, 협면 혹은 설면을 촬영하였다.

광원은 치아로부터 일정 거리를 유지하였으며, 촬영된 영상을 평가하여 가장 판독하기 양호한 상태를 설정하였다.

촬영은 디지털 카메라와 컴퓨터를 USB 케이블로 연결하고, 윈도우즈 XP(Microsoft, USA) 운영체제에서 Inspektor Research System에서 제공한 프로그램으로 디지털 카메라의 영상 조건 설정과 촬영을 하였고, 촬영된 영상은 노트북 컴퓨터

에 자동으로 저장되었다. 셔터 스피드 1/20초, 조리개 8, ISO 800 그리고 화이트 밸런스(white balance)는 자동으로 설정하고 촬영하였다.

QLF 촬영이 끝난 시편은 레진에 매몰한 후 고속 절단기로 해당 우식 부위가 포함되도록 절단하여 슬라이드 글라스에 부착하였다. 실리콘 카바이드 페이퍼로 활택 연마한 후 시편을 디지털 편광현미경(CX21, Olympus, Japan) 관찰대(stage)에 올려놓고 증류수 점적 하에서 관찰한 후 우식 병소가 가장 잘 보이는 상태에서 영상을 채득하였다.

#### 2) 인공 우식 치아의 관찰

탈회에 따른 QLF-D 영상의 변화를 평가하기 위하여 인공 우식을 유발하기 위한 탈회 용액을 제조하였다. 24시간동안 90℃에서 중당한 1 M의 젓산과 Carboxyl 907(USA) 그리고 수산화인회석을 혼합하여 제조하였다. 준비된 시약을 pH 5.0으로 조절하면서 혼합한 후 필터링하여 최종 1 L의 인공 우식 유발용 탈회 용액을 제조하였다.

인공 우식 유발 기간을 2일부터 14일까지 설정하고, 각 기간마다 우식이나 균열이 없는 유구치 10개씩을 무작위로 배정하였다(Table 1). 활택 연마가 용이하게 하기 위해서 왁스로 주형을 만들고 바닥에 수평이 되도록 치아를 위치시킨 다음, 협면 혹은 설면이 노출되도록 교정용 레진에 매몰하였다. 각 치아간의 표층 상태를 균질하게 위하여 범랑질 표면을 100 μm 정도 깊이까지 제거하였다.

활택 연마 후 노출된 표면을 반으로 나누고 한쪽 면에 불소가 포함되지 않은 투명한 네일 바니쉬를 도포하여 대조군으로 사용하였다. 준비된 시편을 탈회 용액에 담가 36℃로 조절된 항온기에 넣고 2일부터 14일까지 실험 계획에 따라 보관한 후 꺼내어 생리 식염수로 세척 후 보관하였다.

자연 치아의 우식 관찰과 같은 방법으로 암실에서 셔터 스피드 1/20 초, 조리개 8, ISO 800 그리고 화이트 밸런스(white balance)는 수동으로 설정하고 촬영하였다.

촬영된 QLF-D 영상은 영상 분석 프로그램(Able image analyser, USA)를 이용하여 대조군으로 설정한 영역과 실험군으로 설정한 영역의 광밀도 값을 측정하였다.

QLF-D 촬영이 끝난 시편은 탈회 기간에 따른 병소 깊이의 변화를 측정을 위하여 편광 현미경 시편을 제작하였다. 대조군

**Table 1.** Sample distribution for demineralization

Day	Sample number
2	10
4	10
6	10
8	10
10	10
12	10
14	10

인 정상 법랑질과 탈회 법랑질이 포함되도록 고속 절단기를 이용하여 시편을 절단하였다. 절단된 시편을 슬라이드 글라스에 접착하여 100 μm 두께가 될 때까지 활택 연마하였다. 완성된 시편은 슬라이드 글라스 보관함에 탈회 기간별로 정리하여 보관하였다.

슬라이드 글라스에 부착된 시편을 관찰하기 위해 디지털 편광현미경(CX21, Olympus, Japan) 관찰대에 올려놓고 증류수 점적 하에서 관찰대를 돌려가면서 탈회 법랑질 소견이 가장 잘 나타날 때의 영상을 컴퓨터에 저장하였다.

편광 현미경 이미지에 대한 병소 깊이는 영상 분석 프로그램(Able image analyser, USA)을 이용하여 측정하였다. 광밀도 값은 정상 법랑질에 탈회 법랑질의 광밀도 값을 백분율로 산출하였다.

SPSS 통계프로그램을 이용하여 탈회 기간에 따른 병소 깊이의 변화에 대한 회귀 분석을 시행하였고, QLF-D 영상의 광밀도 값과 탈회 기간에 대한 상관관계를 평가하였다.

### Ⅲ. 연구 성적

#### 1) 자연 치아우식증 관찰

법랑질 표면에 치아우식증이 있는 치아를 QLF-D 시스템으로 촬영하고, 해당 부위에 대한 편광 현미경 소견을 Fig. 1 부터 Fig. 4까지 나타내었다.

Fig. 1 은 상악 제2유구치 근심면에 있는 균열 부위에 발생한 치아우식증으로 백색광하에서 촬영된 영상에서 치아우식증의 존재를 확인할 수 있으며, QLF-D 영상에서 보다 명확한 대비를 보여 주고 있다. 편광 현미경에서는 균열을 따라 우식이 진행된 양상을 보여 주고 있으며, 이는 백색광하에서 관찰된 소견보다는 QLF-D 영상에서 보다 어둡게 나타난 소견이 우식의 깊이가 깊은 것을 좀 더 명확하게 표현해 주는 양상이다.

Fig. 2 영상에서는 백색광하에서 촬영된 영상에서 중앙부의 심한 탈회 부위는 명확하지만, 그 주변의 백색 병소가 비교적 불명확하다. 그러나 QLF-D 영상에서는 백색광하에서 촬영된

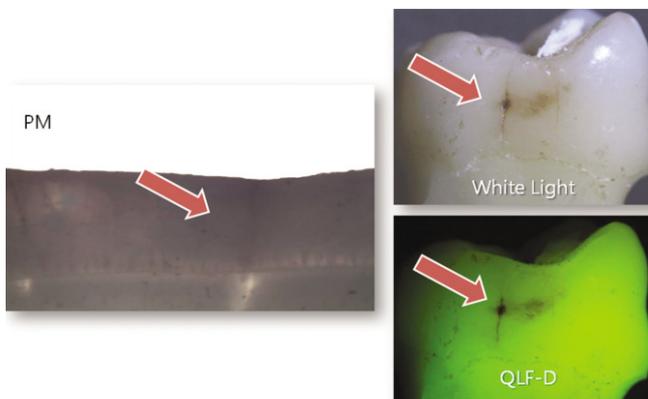


Fig. 1. Natural dental caries images of polarized microscope, white light and QLF-D.

영상에 비해 보다 뚜렷하고 명확한 경계를 보여 주어 치아우식증의 존재 여부를 확인할 수 있다. 동일 부위에 대한 편광 현미경 소견에서 병소 본체가 상당히 증가한 양상을 보여 주고 있어, 백색광하에서 촬영된 영상보다 QLF-D 영상에서 우식 병소의 진행 정도를 보다 잘 반영하고 있다.

Fig. 3 영상에서 백색광하에서 촬영된 영상에서 보면, 법랑질 표층의 탈회가 광범위하게 일어나고 있는 것을 관찰 할 수 있으나, 그 경계는 비교적 불확실하게 보여 주고 있다. 반면, QLF-D 영상에서는 비교적 명확한 경계를 보여 주어 탈회의 범위를 인지할 수 있다. 동일 부위에 대한 편광 현미경 소견에서 병소 본체가 비교적 작은 것을 알 수 있었으며, 이는 QLF-D 영상에서 비교적 명암이 좀 더 대조적으로 표현되고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 4 영상은 백색광하에서 촬영된 영상으로, Fig. 3 영상에 비해 좁은 부위에서 비교적 명확한 양상을 보여 주고 있다. 이것은 QLF-D 영상에서 보다 명확하게 나타나고 있다. 동일 부위에 대한 편광 현미경 소견에서 병소 본체가 비교적 작은 것을

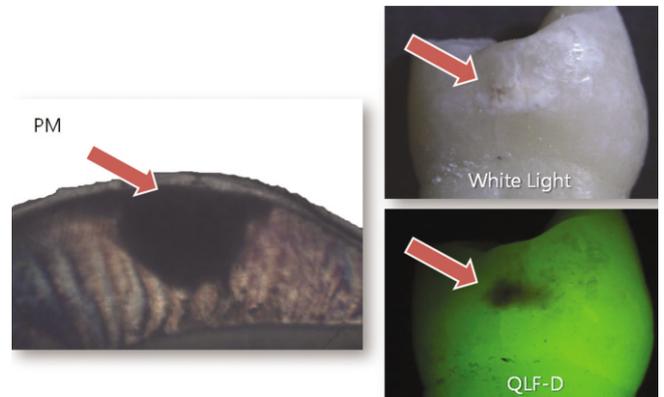
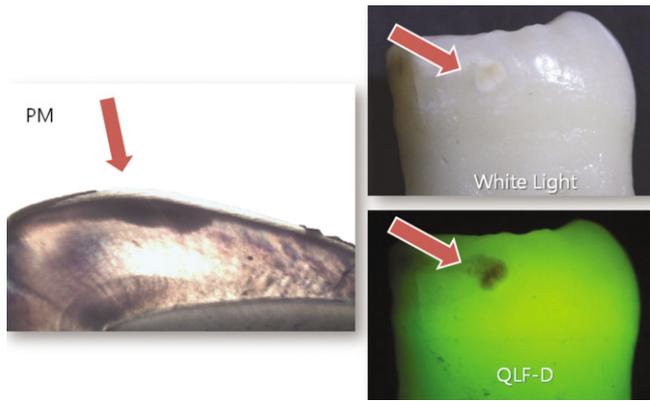


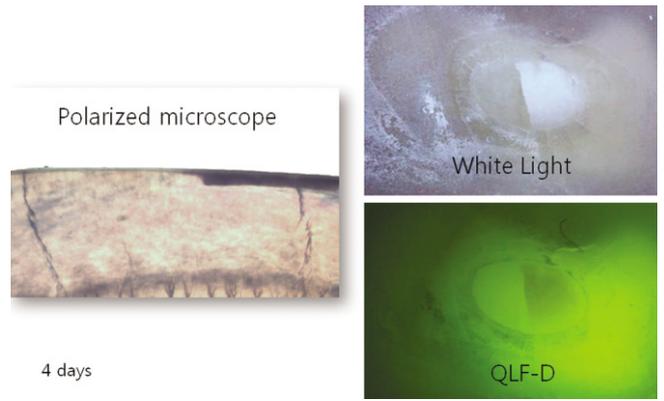
Fig. 2. Natural dental caries images of polarized microscope, white light and QLF-D.



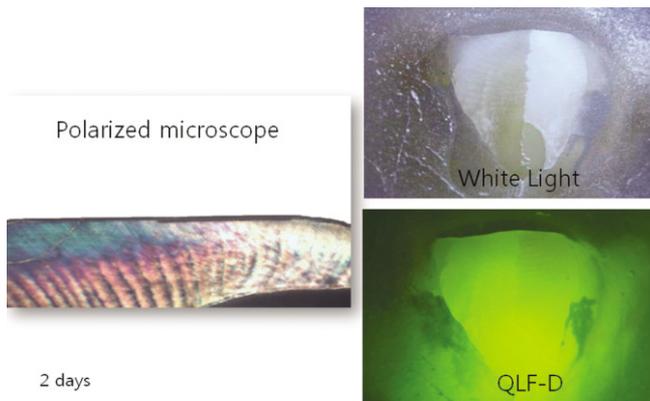
Fig. 3. Natural dental caries images of polarized microscope, white light and QLF-D.



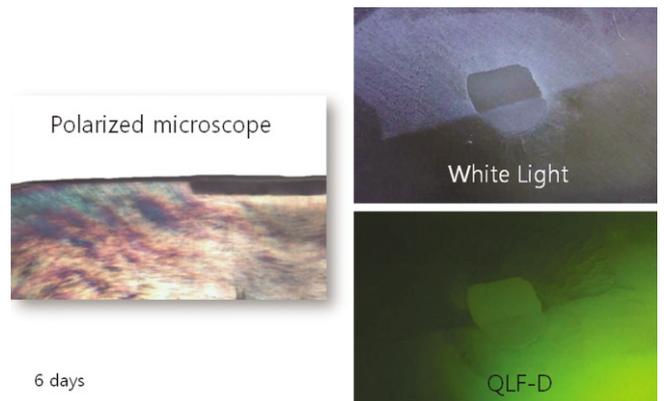
**Fig. 4.** Natural dental caries images of polarized microscope, white light and QLF-D.



**Fig. 6.** Demineralized enamel surface images during 4 days of polarized microscope, white light and QLF-D.



**Fig. 5.** Demineralized enamel surface images during 2 days of polarized microscope, white light and QLF-D.



**Fig. 7.** Demineralized enamel surface images during 6 days of polarized microscope, white light and QLF-D.

알 수 있으며, 이는 QLF-D 영상에서 Fig. 3 에 비해 비교적 형광 빛이 많이 소실되었음을 알 수 있다.

## 2) 인공 우식 병소의 관찰

준비된 시편을 2일부터 14일 동안 인공 우식을 유발시키고, 해당 기간에 대한 백색광 영상, QLF-D 영상 그리고 편광 현미경 소견을 촬영하고, Fig. 5부터 Fig. 12까지 나타내었다.

Fig. 5는 2일간 탈회 시킨 군으로 백색광 영상에서 백색의 탈회 표면이 관찰되며, QLF-D 영상에서도 해당 부위에서 형광 빛의 소실을 나타내고 있다. 편광 현미경 소견에서는 해당 부위의 탈회가 표면에만 국한되어 나타나고 있고, 영상 분석 프로그램에서 측정된 병소 깊이는  $10.62 \pm 4.11 \mu\text{m}$  이었다.

Fig. 6은 4일간 탈회 시킨 군으로 2일군에서와 마찬가지로 백색광 영상에서 백색의 탈회 표면이 관찰되며, QLF-D 영상에서 대조군에 비해 탈회 부위에서 형광 빛의 소실을 보여 주고 있다. 편광 현미경 소견에서 해당 부위의 탈회가 관찰되며, 영상 분석 프로그램에서 측정된 병소 깊이는  $34.03 \pm 3.10 \mu\text{m}$  이었다.

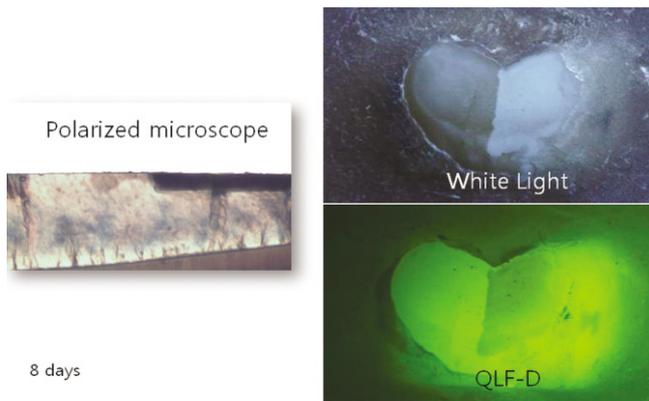
Fig. 7은 6일간 탈회 시킨 군으로 4일군에 비해 백색광 영상

에서 보다 명확한 탈회 표면이 관찰되며, QLF-D 영상에서 대조군에 비해 탈회 부위의 형광 소실이 뚜렷해지고 있다. 편광 현미경 소견에서 해당 부위의 탈회가 많이 진행 된 것이 관찰되며, 영상 분석 프로그램에서 측정된 병소 깊이는  $53.64 \pm 3.18 \mu\text{m}$  이었다.

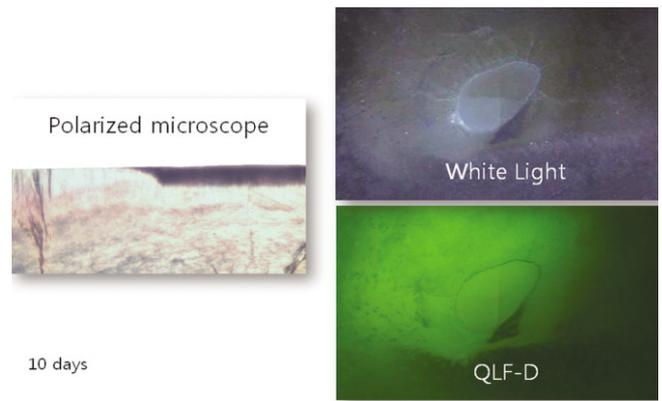
Fig. 8은 8일간 탈회 시킨 군으로 6일군에 비해 백색광 영상에서 보다 명확한 탈회 표면이 관찰되며, QLF-D 영상에서 대조군에 비해 탈회 부위의 형광 빛이 좀 더 감소되어 보인다. 편광 현미경 소견에서 해당 부위의 탈회가 많이 진행 된 것이 관찰되며, 영상 분석 프로그램에서 측정된 병소 깊이는  $71.73 \pm 2.32 \mu\text{m}$  이었다.

Fig. 9는 10일간 탈회 시킨 군으로 백색광 영상에서 명확한 탈회 표면이 관찰되며, QLF-D 영상에서 대조군에 비해 탈회 부위에서 형광 빛이 많이 소실되어 나타나고 있다. 편광 현미경 소견에서 해당 부위의 탈회가 많이 진행 된 것이 관찰되며, 영상 분석 프로그램에서 측정된 병소 깊이는  $85.84 \pm 3.16 \mu\text{m}$  이었다.

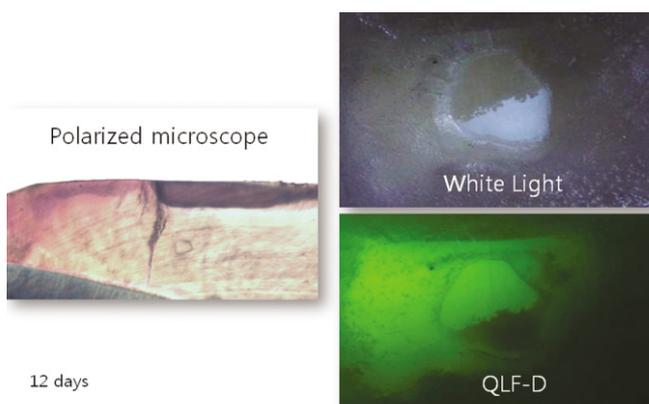
Fig. 10은 12일간 탈회 시킨 군으로 10일군에 비해 백색광 영상에서 보다 명확한 탈회 표면이 관찰되며, QLF-D 영상에서



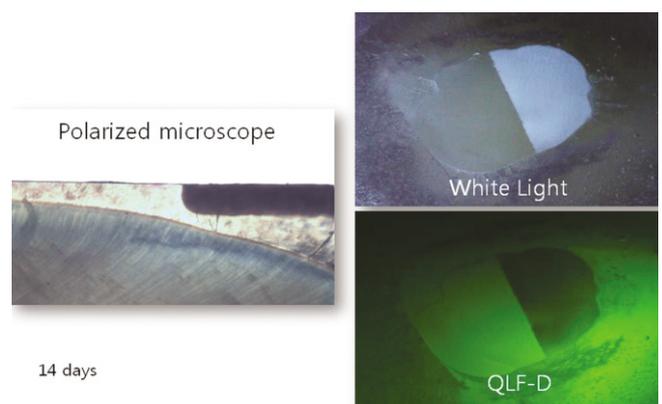
**Fig. 8.** Demineralized enamel surface images during 8 days of polarized microscope, white light and QLF-D.



**Fig. 9.** Demineralized enamel surface images during 10 days of polarized microscope, white light and QLF-D.



**Fig. 10.** Demineralized enamel surface images during 12 days of polarized microscope, white light and QLF-D.



**Fig. 11.** Demineralized enamel surface images during 14 days of polarized microscope, white light and QLF-D.

대조군에 비해 매우 대조적으로 탈회 부위에서 형광 빛의 소실이 나타나고 있다. 편광 현미경 소견에서 해당 부위의 탈회가 많이 진행 된 것이 관찰되며, 영상 분석 프로그램에서 측정된 병소 깊이는  $97.28 \pm 3.58 \mu\text{m}$  이었다.

Fig. 11은 14일간 탈회 시킨 군으로 12일군에 비해 백색광 영상에서 보다 뚜렷한 탈회 표면이 관찰되며, QLF-D 영상에서도 대조군에 비해 매우 대조적으로 심한 형광 빛의 소실을 보여 주고 있다. 편광 현미경 소견에서 해당 부위의 탈회가 많이 진행 된 것이 관찰되며, 영상 분석 프로그램에서 측정된 병소 깊이는  $120.64 \pm 5.57 \mu\text{m}$  이었다.

Table 2는 탈회 기간에 따른 병소 깊이의 평균과 표준 편차를 나타낸 표이다. 탈회 기간이 2일인 경우 병소 깊이는  $10.62 \pm 4.11 \mu\text{m}$  이었으며, 4일인 경우는  $34.03 \pm 3.10 \mu\text{m}$  이었다. 6일인 경우  $53.64 \pm 3.18 \mu\text{m}$  이었으며, 8일인 경우,  $71.73 \pm 2.32 \mu\text{m}$  이었다. 10일 군에서는  $85.84 \pm 3.16 \mu\text{m}$  이었고, 12일 군에서는  $97.28 \pm 3.58 \mu\text{m}$  이었으며, 14일 군에서는  $120.64 \pm 5.57 \mu\text{m}$  이었다. 병소 깊이는 탈회 기간이 증가할수록 증가함을 알 수 있었다.

탈회 기간에 따른 각 군의 병소 깊이에 대한 산포도와 회귀

**Table 2.** Lesion depth of each group by experimental period ( $\mu\text{m}$ )

Day	Mean	SD
2	10.62	4.11
4	34.03	3.1
6	53.64	3.18
8	71.73	2.32
10	85.84	3.16
12	97.28	3.58
14	120.64	5.57

분석 결과를 Fig. 12에 나타내었다. 2일경과 후부터 14일까지 탈회 깊이는 증가하였으며, 회귀 분석 결과  $y = 8.67x - 1.16$  의 회귀 방정식이 산출되었다. 산포도가 직선을 얼마나 잘 따르는지를 나타내는 r square 값이 0.98로 매우 우수하게 나타났다.

QLF-D 영상에서 정상 법랑질과 탈회 법랑질의 광밀도를 영상 분석 프로그램으로 측정하고, 정상 법랑질에 대한 탈회 법랑질의 광밀도 비율을 산출하였다. 탈회 기간에 따른 각 군의 광밀도 비율을 Table 3에 나타내었다.

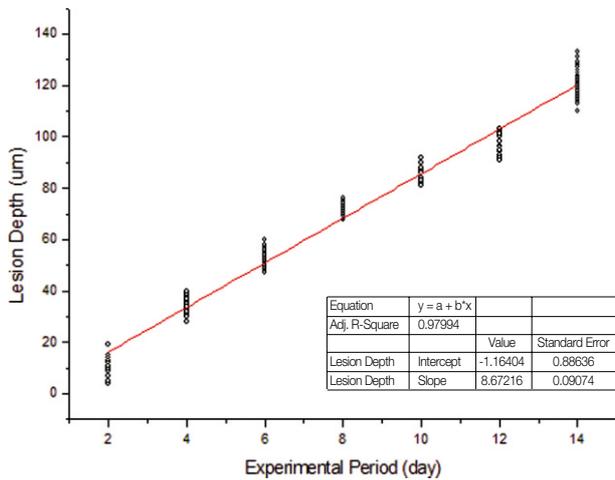


Fig. 12. Regression analysis of lesion depth of each group by experimental period.

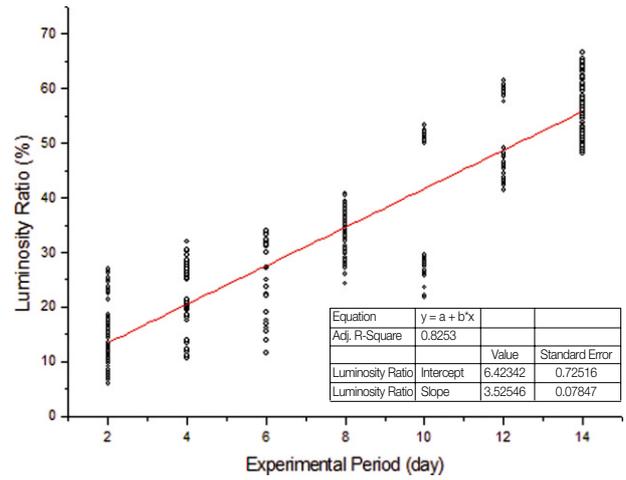


Fig. 13. Regression analysis of luminosity ratio of each group by experimental period.

Table 3. Mean and standard deviation of luminosity ratio of each group by experimental period (%)

Day	Mean	SD
2	15.06	5.57
4	20.04	6.52
6	26.29	6.74
8	33.68	3.88
10	37.1	12.68
12	52.81	7.37
14	56.36	5.18

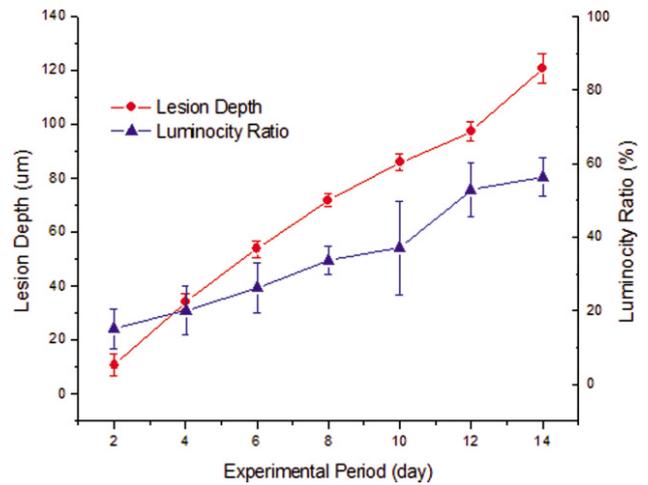


Fig. 14. Line graph of lesion depth and luminosity ratio of each group by experimental period.

Fig. 13은 QLF-D 영상을 영상 분석 프로그램으로 측정하여 산출한 광밀도 비율에 대한 산포도와 회귀 분석 결과이다. 2일 경과 후부터 14일까지 광밀도 비율이 유의하게 증가하였으며, 회귀 분석 결과  $y = 3.53x + 6.42$ 의 회귀 방정식이 산출되었다. 산포도가 직선을 얼마나 잘 따르는지를 나타내는 r square 값도 0.83으로 매우 높게 나타났다.

Fig. 14는 탈회 기간 경과에 따른 각 군의 병소 깊이와 광밀도 비율의 변화를 선 그래프로 나타낸 것으로 병소 깊이는 좌측의 y축을, 광밀도 비율은 우측의 y축을 따르고 있으며, 병소 깊이의 변화와 광밀도 비율의 변화 양상은 매우 유사하게 나타나고 있다. Correlation 분석 결과 피어슨 상관계수가 0.969로 매우 높은 상관관계를 보여 주었다( $p < 0.01$ ).

#### IV. 총괄 및 고안

건전한 표층이 존재하는 초기 범랑질 우식증을 조기에 진단함으로써 외과적 수복이 아닌 화학 요법을 통한 재광화를 기대할 수 있다. 이것은 장기적으로 구강 건강관리 비용의 절감과 함께 자연치를 보존할 수 있는 기회를 증가시키게 된다.

치아우식증의 조기 진단으로 와동 형성 단계로의 진행 가능성을 줄이고, 정상 범랑질로의 환원 가능성을 증가시킬 수 있다. 또한 깊은 와동으로 인한 치수 통증 가능성 감소와 정상 교합의 유지, 치아 고유의 심미성을 보존할 수 있으며, 간단한 화학 요법으로 치료할 수 있는 장점이 있다<sup>3,4)</sup>. 이러한 장점을 살리기 위해서는 매우 정밀한 조기 진단 장비의 개발이 절실한 실

정이다. 최근 광학 진단 장비들의 눈부신 발전에 힘입어 다양한 장비들이 임상에서 적극 활용되기 시작하였다.

Akarsu와 Koprulu<sup>14)</sup>는 laser fluorescence<sup>12-16)</sup>가 잘 보이지 않는 상아질 우식증의 진단에 매우 유용하지만, 통상의 방법인 탐침을 이용한 시진에 비해 우수하다고는 할 수 없으며, 탐침을 이용한 시진과 병행하여 사용하여야 조기 진단에 활용될 수 있을 것이라고 하였다. Costa 등<sup>31)</sup>도 시진이 더 우수한 정확성을 보이며, 의심되는 경우에 laser fluorescence가 유용하다고 하였다. 저자도 laser fluorescence가 단독으로 사용될 수는 없는데 의견을 같이하며, 오류를 최소화하기 위해서는 우식증 진단 시 오염이나 수분에 영향을 쉽게 받을 수 있기 때문에 건조에 유의해야 하며, 다양한 각도에서 레이저 조사를 위해 회전시키면서 측정하는 한다면 교합면 우식 진단에 매우 유용할 것이라고 생각된다.

Digital imaging fiber-optic trans-illumination은 1997년 Schneiderman 등<sup>17)</sup>에 의해서 소개되었으며, 빛이 범랑질을 투과하여 반대쪽 카메라에 영상이 잡히도록 고안된 장비로써, 인접면 우식증에 매우 유용한 장비로 인정받았다<sup>18-20,34)</sup>.

QLF는 1995년 de Josselin de Jong 등<sup>27)</sup>이 사람의 치아는 형광 빛을 낼 수 있다는 Benedict<sup>23)</sup>의 원리에 착안하여, 범랑질에 푸른색 형광 빛을 치아에 비추면 상아질에서 반사되어 녹색으로 보이는 치아의 모습을 구내 카메라로 영상을 채득하여 컴퓨터에 보관하도록 고안하였다. QLF<sup>TM</sup>는 2003년 상용화에 성공하여 임상과 실험실에서 범랑질의 초기 무기질 변화량을 모니터링하고 영상화하고 분석할 수 있도록 개발한 장치이다. Inspektor Research System사가 보유하고 있는 TMR (transmicroradiography)의 핵심 기술인 초기 범랑질 우식증의 영상 분석 프로그램을 QLF<sup>TM</sup> 영상과 겹쳐서 임상과 실험실에서 TMR을 대체하여 무기질 함량의 변화와 병소 깊이의 변화를 모니터링 할 수 있도록 하였다<sup>21)</sup>. QLF<sup>TM</sup>는 구내 카메라를 사용하여 치아의 국소 부위를 쉽게 촬영할 수 있고, 특정 부위를 정확하게 재촬영할 수 있는 기술이 포함되어 있으며, 촬영된 영상의 무기질 함량과 병소 깊이를 정량화 할 수 있도록 영상 분석프로그램이 포함되어 있다. 개발 초기에는 레이저를 광원으로 사용하였으나, 현재는 405 nm 파장의 푸른색 자연광을 사용하고 있다. 푸른색 광은 노란색을 띄는 상아질에서 반사되어 녹색으로 보이게 되며, 보다 선명한 영상을 얻기 위해 520 nm 파장의 황색 필터를 DSLR 카메라 렌즈에 장착하여 상아질의 노란색을 필터링하였다. 정상 범랑질은 형광 빛을 잘 투과시켜 밝은 빛을 보이지만, 탈회가 일어난 부위에서는 빛의 산란이 일어나 정상 범랑질에 비해서 어둡게 보이게 된다.

2006년 Ando 등<sup>34)</sup>은 초기 범랑질 우식증에 대해 수분이 있는 상태에서 건조시키는 과정을 QLF<sup>TM</sup>로 실시간 촬영하여 탈회 부위의 밝기의 변화가 있는 경우를 진행성 우식증, 없는 경우가 정지된 우식증이라는 것을 밝혀내었다. 이로써 QLF<sup>TM</sup>는 치아우식증의 존재 여부뿐 만 아니라 진행성인지도 알 수 있게 되었다. QLF<sup>TM</sup>는 기존의 범랑질 조기 진단뿐만 아니라 미백 치료에 대한 감시 장치로도 유용함이 입증되었다<sup>36)</sup>. 또한 Pretty

등<sup>35)</sup>은 수복물 주변에서 발생될 수 있는 이차 우식증의 진단에도 매우 유용하다고 하였고, 국내의 이 등<sup>22)</sup>도 인접면 우식증의 재광화 연구에 QLF<sup>TM</sup>를 이용하였다.

QLF<sup>TM</sup>는 임상적으로나 실험실 측면에서 매우 유용한 장비임에는 틀림없지만, 최근 급속히 발전되고 있는 광학 장비들과 많은 임상가들이 좀 더 저렴하고 좀 더 선명한 영상을 원하게 되었고, 보다 빠르고 정확하게 탈회 부위에 대한 분석을 요구하게 되었다. QLF<sup>TM</sup>은 임상에서 구강 전체를 1회에 촬영을 할 수 없어 개개의 치아를 촬영해야 하므로 시간소모가 많고, 실험실에서 사용하는 영상 분석 프로그램이 매우 고가인 단점이 있다.

이러한 시대적 요구에 발맞추어 QLF<sup>TM</sup>의 진화가 필요하게 되었고, 2010년부터 새롭게 개발되고 있는 QLF-D 시스템은 구내 카메라를 디지털 카메라로 대체하여 구강 전체를 한번 촬영할 수 있어 시간을 절약할 수 있을 뿐만 아니라, 새로운 적색 필터를 적용하여 치주 질환의 진단에도 널리 활용될 수 있는 장점이 있다. 구내 카메라 대신 DSLR 카메라가 사용되어 화질의 획기적인 개선은 이를 수 있지만, 카메라 렌즈의 크기가 크기 때문에, 구내에서 자유롭게 구치부의 원심면 등을 촬영하는데 한계점을 보이고 있다. 이러한 문제점은 소프트웨어의 개발과 카메라 렌즈의 크기를 최소화함으로써 개선될 수 있으리라 생각된다.

저자는 Inspektor Research System사로부터 QLF-D 시스템의 기본 원리를 실험실에서 구현할 수 있는 장비를 지원받아 실험실에서 자연치의 초기 범랑질 우식증 영상과 탈회 따른 변화 양상에 대한 영상을 채득하여 차후 실험실용 영상 분석 프로그램 개발의 기초 자료로 활용하고자 하였다.

탈회 범랑질의 병소 깊이를 얼마나 정확하게 반영하고 있는지를 평가하기 위하여 우식이나 균열이 없는 유구치의 평활면에 인공 우식을 유발시키고, 탈회 기간에 따라 QLF-D 영상을 촬영하고, 해당 부위에 대한 편광 현미경 시편을 제작하여 영상 분석 프로그램을 병소 깊이를 측정하여 상관관계를 분석하였다. 치아간의 오차를 최소화하기 위하여 100  $\mu$ m 정도의 범랑질 표면을 연마지로 제거하였다. 이는 Takagi 등<sup>37)</sup>이 언급한 바와 같이 범랑질 표면에 함유된 불소의 양에 의해 탈회 속도에 차이가 나타날 수 있기 때문이었다. QLF-D 영상 촬영시 주위의 빛의 간섭을 최소화하고 일정 광량 하에서 촬영하기 위하여 암실에서 카메라 촬영대에 고정시켜 촬영하였다.

현재 QLF-D 시스템을 이용한 실험실 연구는 매우 미흡한 상태이며, 임상 활용에 있어서도 QLF<sup>TM</sup>와는 달리 정량 분석은 현재 불가능한 상태이며, 치주 질환 진단으로 확대에 큰 의의를 두고 있는 실정이다.

본 연구 결과 QLF-D 시스템의 실험실 활용 가능성을 타진하고자 하였으며, 촬영용 카메라의 표준화, 렌즈의 소형화, 촬영 및 분석용 소프트웨어의 개발이 시급하다. 추후 QLF-D 시스템의 다양한 실험실 활용 가능성을 평가하기 위한 범랑질의 재광화 관찰 등이 필요하다고 생각된다.

V. 결 론

저자는 DSLR(digital single-lens reflex) 카메라를 이용한 QLF-D 시스템을 고안하고, 사람의 유구치에 자연 발생된 법랑질 초기 우식증을 관찰하고, 유구치 법랑질 시편을 대상으로 2일부터 14일까지 인공 탈회시킨 후 탈회 기간에 따른 상관관계를 편광 현미경 소견과 비교 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 탈회 기간에 따른 편광 현미경 상의 병소 깊이와 QLF-D 영상의 광밀도 값 비율 간의 피어슨 상관 계수는 0.969였다( $p < 0.01$ ).
2. 편광현미경에서 측정된 병소 깊이의 탈회 기간에 대한 회귀분석 결과  $y = 8.67x - 1.16$ 의 회귀 방정식이 산출되었다( $p < 0.05$ ).
3. QLF-D 영상에서 측정된 광도값 비율의 탈회 기간에 대한 회귀분석 결과  $y = 3.53x + 6.42$ 의 회귀 방정식이 산출되었다( $p < 0.05$ ).

이상의 결과를 종합해 볼 때, QLF-D 시스템은 법랑질에 형성된 초기 탈회 정도를 조기에 인식 할 수 있을 뿐만 아니라, 시간 경과에 따른 변화 양상을 감시할 수 있는 매우 유용한 장비이다. 법랑질 탈회 정도를 정량적으로 분석할 수 있는 소프트웨어가 개발된다면 임상에서 탈회 법랑질의 재광회 치료에 많은 도움을 줄 수 있을 것이라고 생각된다.

참고문헌

1. Wu J, Donly ZR, Donly KJ, et al. : Demineralization Depth Using QLF and a Novel Image Processing Software. *Int J Dent*, ID:958264, 2010.
2. Lussi A, Hibst R, Paulus R : DIAGNOdent: an optical method for caries detection. *J Dent Res*, 83 Spec No C:C80-83, 2004.
3. 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.
4. 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.
5. Ekstrand K, Qvist V, Thylstrup A : Light microscope study of the effect of probing in occlusal surfaces. *Caries Res*, 21:368-374, 1987.
6. van Dorp CS, Exterkate RA, ten Cate JM : The effect of dental probing on subsequent enamel demineralization. *ASDC J Dent Child*, 55:343-347, 1988.
7. Lussi A : Validity of diagnostic and treatment deci-

- sions of fissure caries. *Caries Res*, 25:296-303, 1991.
8. Penning C, van Amerongen JP, Seef RE, et al. : Validity of probing for fissure caries diagnosis. *Caries Res*, 26:445-449, 1992.
9. Warren JJ, Levy SM, Wefel JS : Explorer probing of root caries lesions: an in vitro study. *Spec Care Dentist*, 23:18-21, 2003.
10. Akarsu S, Koprulu H : In vivo comparison of the efficacy of DIAGNOdent by visual inspection and radiographic diagnostic techniques in the diagnosis of occlusal caries. *J Clin Dent*, 17:53-58, 2006.
11. Costa AM, Bezzerra AC, Fuks AB : Assessment of the accuracy of visual examination, bite-wing radiographs and DIAGNOdent on the diagnosis of occlusal caries. *Eur Arch Paediatr Dent*, 8:118-122, 2007.
12. Sridhar N, Tandon S, Rao N : A comparative evaluation of DIAGNOdent with visual and radiography for detection of occlusal caries: an in vitro study. *Indian J Dent Res*, 20:326-331, 2009.
13. Shi XQ, Tranaeus S, Angmar-Mansson B : Comparison of QLF and DIAGNOdent for quantification of smooth surface caries. *Caries Res*, 35:21-26, 2001.
14. Akarsu S, Koprulu H : In vivo comparison of the efficacy of DIAGNOdent by visual inspection and radiographic diagnostic techniques in the diagnosis of occlusal caries. *J Clin Dent*, 17:53-58, 2006.
15. Costa AM, Bezzerra AC, Fuks AB : Assessment of the accuracy of visual examination, bite-wing radiographs and DIAGNOdent on the diagnosis of occlusal caries. *Eur Arch Paediatr Dent*, 8:118-122, 2007.
16. Goel A, Chawla HS, Gauba K, et al. : Comparison of validity of DIAGNOdent with conventional methods for detection of occlusal caries in primary molars using the histological gold standard: an in vivo study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*, 27:227-234, 2009.
17. 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.
18. 맹명호, 김종수, 김승오 : Digital Imaging Fiber-Optic Trans-Illumination과 Laser Fluorescence를 이용한 법랑질 우식증의 조기 진단에 관한 비교 연구. *대한소아치과 학회지*, 33:207-220, 2006.

19. 황규선, 김종수, 유승훈 : Digital Imaging Fiber-Optic Trans-Illumination과 Laser Fluorescence를 이용한 평활면 초기우식증의 재광화에 관한 비교 연구. 대한소아치과학회지, 34:183-191, 2007.
20. 김종빈, 김종수, 유승훈 등 : DIFOTI 영상 최적화를 위한 광량에 대한 연구. 대한소아치과학회지, 37:13-23, 2010.
21. 이창근, 김종수, 유승훈 : Quantitative light-induced fluorescence를 이용한 법랑질 탈회 속도에 관한 비교 연구. 대한소아치과학회지, 31:506-515, 2004.
22. 이혁상, 현홍근, 장기택 : QLF(Quantitative light-induced fluorescence)를 이용한 글라스 아이오노머 수복물의 인접면 우식 재광화 효과에 관한 연구. 대한소아치과학회지, 38:244-249, 2011.
23. Benedict HC : A Note on the Fluorescence of Teeth in Ultra-Violet Rays. Science, 67:442, 1928.
24. Foreman PC : Fluorescent microstructure of mineralized dental tissues. Int Endod J, 21:251-256, 1988.
25. Frank RM, Brendel A : Ultrastructure of the approximal dental plaque and the underlying normal and carious enamel. Arch Oral Biol, 11:883-912, 1966.
26. Goldberg M, Arends J, Septier D, et al. : Microchannels in the surface zone of artificially produced caries-like enamel lesions. J Biol Buccale, 9:297-314, 1981.
27. de Josselin de Jong E, Sundstrom F, Westerling H, et al. : A new method for in vivo quantification of changes in initial enamel caries with laser fluorescence. Caries Res, 29:2-7, 1995.
28. 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.
29. Shi XQ, Tranaeus S, Angmar-Mansson B : Comparison of QLF and DIAGNOdent for quantification of smooth surface caries. Caries Res, 35:21-26, 2001.
30. 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.
31. 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.
32. Kuhnisch J, Heinrich-Weltzien R : Quantitative light-induced fluorescence(QLF)-a literature review. Int J Comput Dent, 7:325-338, 2004.
33. Higham SM, Pretty IA, Edgar WM, et al. : The use of in situ models and QLF for the study of coronal caries. J Dent, 33:235-241, 2005.
34. Ando M, Stookey GK, Zero DT : Ability of quantitative light-induced fluorescence (QLF) to assess the activity of white spot lesions during dehydration. Am J Dent, 19:15-18, 2006.
35. Pretty IA, Edgar WM, Higham SM : A study to assess the efficacy of a new detergent free, whitening dentifrice in vivo using QLF planimetric analysis. Br Dent J, 197:561-566: discussion 551, 2004.
36. 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.
37. Takagi S, Liao H, Chow LC : Effect of tooth-bound fluoride on enamel demineralization/ remineralization in vitro. Caries Res, 34:281-288, 2000.

## Abstract

### DEVELOPING OF QLF-D FOR EARLY DETECTION OF DENTAL CARIES

Hyung-Ju Park, Jong-Soo Kim, Seung-Hoon Yoo, Ju-Sun Shin

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

QLF-D system composed with DSLR(digital single-lens reflex) camera, and the images of natural enamel caries and artificial caries was developed from 2 days to 14 days captured by QLF-D system. The correlation between lesion depth of the polarized microscope and luminosity ratio of QLF-D image was analyzed and the results were summarized as follows:

1. The Pearson correlation value between the lesion depth of polarized microscope images and luminosity ratio of QLF-D images was 0.969( $p < 0.01$ ).
2. From Regression analysis of lesion depth from polarized image by demineralized period, the equation was  $y = 8.67x - 1.16$ ( $p < 0.05$ ).
3. From Regression analysis of luminosity ratio from QLF-D image by demineralized period, the equation was  $y = 3.53x + 6.42$ ( $p < 0.05$ ).

From the results, QLF-D system can detect the enamel caries at the very early stage and can monitor the progression of demineralization and remineralization. For the convenient use of QLF-D system in the laboratory, the image analysing software was needed to analyze of interest site of enamel caries lesion.

**Key words :** Primary dentition, Initial enamel caries, Early detection, Quantitative Light-induced Fluorescence