

# Digital Imaging Fiber-Optic Trans-Illumination과 Laser Fluorescence를 이용한 법랑질 우식증의 조기 진단에 관한 비교 연구

맹명호 · 김종수 · 김승오\*

단국대학교 치과대학 소아치과학교실, \*치과마취과학교실

## 국문초록

새로 개발된 조기 진단 장비들로는 laser fluorescence device(LFD), 초음파 진단 시스템, confocal laser scanning microscopy(CLSM), quantitative light-induced fluorescence(QLF) 시스템 그리고 digital imaging fiber-optic trans-illumination(DIFOTI) 시스템 등이 있다.

본 연구는 임상에서 사용되고 있는 DIFOTI 시스템과 LFD를 이용하여 유치 교환 시기에 있는 환자 21명, 25개의 유치를 대상으로 각 치아당 1~3점을 선정하여 구강내에서 초기 우식법랑질에 대한 DIFOTI 이미지 촬영 결과와 LFD 측정값을 3회 측정하고 그 평균을 대표값으로 한 결과를 CLSM과 비교하여 진단 능력을 평가하였다.

실험실 연구에서는 인공우식 용액을 이용하여 수거된 40개의 유치를 협설면에 2×3 mm 크기의 창을 형성하고 4, 8, 12, 16일간 탈회시키면서 그 변화를 DIFOTI 시스템과 LFD를 이용하여 측정하고 이를 CLSM과 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 구강내에서 촬영된 DIFOTI의 민감도는 88.2%이었고, 특이도는 76.9%이었다.
2. 구강내에서 측정된 LDD의 민감도는 76.5%이었고, 특이도는 69.2%이었다.
3. 실험실 연구에서 유치 법랑질의 탈회 기간에 따른 DIFOTI 광투과율의 회귀 분석한 결과, 탈회 시간에 따라 광투과율은 감소하였다( $r=-0.96$ ,  $p<0.05$ ).
4. 실험실에서 탈회 기간에 따른 LFD의 측정값의 회귀 분석 결과 통계적 유의성을 보이지 않았다( $p>0.05$ ).
5. DIFOTI 이미지의 광투과율과 CLSM의 병소 깊이에 대한 상관 계수는  $-0.688$ 이었으나( $p<0.05$ ), LFD의 측정값은 유의성을 보이지 않았다.

**주요어** : Digital Imaging Fiber-Optic Trans-Illumination, 레이저 형광 진단기, 조기 진단, 치아우식증

## I. 서 론

치아 우식증은 발병율이 감소함에도 불구하고 현재까지 인류에게 가장 흔한 질병이며 이를 감지하고 예방하기 위해서는 조

기 진단과 정량화가 매우 중요하다고 할 수 있다<sup>1)</sup>.

초기 법랑질 우식은 건전한 표층이 유지된 상태에서 법랑질 내 무기질들이 법랑질 표면의 미세구(micropore)를 통해 구강 내로 빠져나가는 탈회 과정과 구강내 타액에 존재하던 무기질들이 미세구를 통해 법랑질 내로 유입되는 재광화 과정이 동시에 일어나는 진행성 질환이다. 이러한 법랑질의 미세한 변화는 기존의 임상 진단법으로는 식별이 어렵다<sup>2,4)</sup>.

현재 임상에서 가장 흔히 사용되는 시진과 방사선 판독은 초기 법랑질 우식을 진단해 내지 못할 뿐만 아니라 치태, 착색 그리고 형태 이상 등으로 인해 소와 열구내 치아 우식증을 인지하는데도 어려움이 많다. 탐침을 이용한 진단법은 25% 정도의

교신저자 : 김 종 수

충남 천안시 안서동 산29

단국대학교 치과대학 소아치과학교실

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

E-mail: jskim@dku.edu

낮은 민감도(sensitivity)를 보이며, 오히려 와동 형성을 촉진시키는 부작용을 일으키게 된다. 또한 방사선 사진 촬영법은 방사선 노출에 대한 우려뿐만 아니라 광물질의 40%이상 소실이 있는 후에야 진단이 가능한 단점이 있다<sup>1,5-7)</sup>.

구강 관리에 대한 관심 증가와 다양한 홍보 교육 및 예방 프로그램 등으로 교합면 우식증 발생율은 감소하고 있는 추세에 있으나, 인접면 우식증은 교합면 우식증에 비해 상대적으로 증가하는 양상을 나타내고 있어 초기 인접면 우식증의 조기 진단 필요성이 더욱 강조하게 되고 있다<sup>8,9)</sup>.

초기 우식증의 조기 진단을 통한 예방적 차원의 치아 우식증 관리 개념이 대두되고 있으며 이를 위해서는 새로운 실험 장비와 기구를 이용한 다각적인 연구가 필요하게 되었으며, 최근 범랑질의 미세한 탈회까지 인지할 수 있는 다양한 장비들이 연구 개발되었다<sup>10,11)</sup>.

이러한 목적으로 새로 개발된 조기 진단 장비들로는 레이저를 광원으로 사용하여 치면 열구 내에 존재하는 초기 치아 우식증을 조기에 진단해 줄 수 있는 laser fluorescence device (LFD)<sup>12-17)</sup>, 탈회 범랑질의 빈 공간에 차 있는 수분이 초음파를 흡수한다는 원리를 이용한 초음파 진단 시스템<sup>18)</sup>, back-scattered radiation을 이용하여 표면 직하부 관찰이 가능한 점을 응용한 confocal laser scanning microscopy(CLSM)<sup>19-22)</sup>, 인체에 해가 없는 가시광선을 광원으로 하여 탈회 정도에 따라 반사량이 달라진다는 점에 착안하여 고안된 quantitative light-induced fluorescence(QLF) 시스템<sup>13,23)</sup>과 가시광선이 범랑질 표면을 통과할 때 탈회 부위에서 불투과성을 보인다는 원리를 이용한 Digital Imaging Fiber-Optic Trans-Illumination (DIFOTI) 시스템<sup>24,25)</sup> 등이 있다.

본 연구는 임상에서 사용되고 있는 DIFOTI와 LFD를 이용하여 초기 범랑질 우식증 진단 능력을 비교 분석하고, 임상 검사 결과에 대한 자료를 실험실에서 재확인하여 임상 적용 가능성을 재평가하고, 초기 범랑질 우식증의 재광화 연구를 위한 기초 자료를 마련하고자 하였다.

## II. 연구 재료 및 방법

### 1. 연구 대상 및 재료

#### 1) 연구 대상

*In vivo* 연구에서는 유치 교환시기가 도래하여 단국대학교 치과대학 부속치과병원 소아치과에 내원한 환자 21명의 유치 25개를 대상으로 하였다. 대상치아에 대한 구강 검진에서 치아 우식증이 존재하는 것으로 판단된 근심 및 원심소와와 중심소와 30곳을 선정하였다.

*In vitro* 연구에서는 발거된 건전 유구치를 개인 병·의원과 단국대학교 치과병원 소아치과로부터 수거하였다. 수거된 유치들은 24시간동안 흐르는 물에 세척하여 혈액을 모두 제거한 다음 표본 채취 전까지 2주 이상 0.1% thymol 용액에 보관하였다.

### 2) 연구 재료

#### ① DIFOTI 시스템

DIFOTI 시스템으로는 가시광선을 광원으로 하여 탈회 정도를 평가할 수 있는 DIFOTI® 시스템(DIFOTI®, Electro-Optical Sciences Inc., Irvington, New York, USA)을 이용하였다. DIFOTI® 시스템은 CCD 카메라가 장착된 핸드피스와 저전압 50 watt arc 램프가 내장된 광원의 조절과 영상 전달을 담당하는 광량 조절 장치, 영상 캡처를 위한 USB 방식의 발조 작용 페달 그리고 영상 관리를 위한 컴퓨터로 구성되어 있다.

#### ② Laser fluorescence device(LFD)

Laser fluorescence device로는 독일 Kavo사의 DIAGNODent(Kavo, Germany)를 사용하였다. 655 nm 파장의 적외선 다이오드 레이저를 광원으로 하여 범랑질에 조사된 후 반사되는 레이저의 양을 00에서 99의 디지털 수치로 우식 정도를 진단하는 장비이다.

#### ③ Confocal laser scanning microscopy(CLSM)

본 연구에서 Confocal Laser Scanning Microscopy(FV 300, OLYMPUS)는 DIFOTI 시스템과 LFD에서 진단된 초기 범랑질 우식증의 진단 능력을 평가하기 위한 gold standard로 사용되었다. Olympus사의 FLUO View V4.2 프로그램을 이용하여 이미지 분석 및 저장을 하였다. Fontana 등<sup>21)</sup>의 연구에서 CLSM가 transversal microradiography(TMR)를 대체할 수 있는 gold standard 라고 제안한 점에 착안하여 CLSM 촬영을 시행하였다.

## 2. 연구방법

### 1) *In vivo* study

#### ① 0.1% thymol 제조

500 ml 증류수에 1.2 g thymol(98%, FW 150.22, Fisher, USA)를 첨가한 후, 실온에서 6시간 동안 교반기에서 용해시킨 후 전체 용량이 1000 ml가 될 때까지 증류수를 첨가하여 제조하였다.

#### ② DIFOTI 이미지 촬영

치과용 진료 의자에서 대상 치아에 대한 치면 세마 후 구강 검진을 시행하고 DIFOTI 이미지 촬영을 시행하였다. CCD 카메라가 내장된 핸드 피스를 구강내에 넣고 위치와 방향을 조절하여 최상의 영상이 모니터에 나타난 상태에서 발조작 페달을 눌러 이미지를 캡처한 후 컴퓨터에 저장하였다. 일회용 교합면용 마우스 피스를 사용하여 교합면에 대한 이미지를 촬영하였다. CCD 카메라를 통해 전달된 영상은 비압축 형태인 BMP 파일 형식으로 저장되었다.

DIFOTI 이미지의 범랑질 치아 우식증의 진단 평가 기준은 Ando 등<sup>11)</sup>의 방법을 수정하여 사용하였다(Table 1). Table 1

에 따라 평가한 후 0점과 1점은 우식이 존재하지 않는 것으로, 2점에서 4점까지는 우식이 존재하는 것으로 평가하였다.

③ Laser fluorescence value 측정

대상 치아의 교합면에서 미리 선정된 근심소와, 중심소와 그리고 원심소와에 대해서 한 곳에서 3회씩 측정치를 기록하여 엑셀 프로그램(MS-Office 2003, Microsoft, USA)에 입력하여 평균값을 구하고, 이를 대표값으로 선정하였다. 대상 치아에 대한 구강 사진을 촬영한 후 측정 부위를 디지털 이미지에서 표시하고 후에 시편 제작에 활용하였다. 측정값은 다음 Table 2에 따라 평가한 후 0점과 1점은 우식이 존재하지 않는 것으로, 2점에서 4점까지는 우식이 존재하는 것으로 평가하였다.

④ 방사선 사진 촬영

디지털 영상 촬영 후 해당 치아에 대한 교익 방사선 사진을 촬영하였다. 방사선 사진은 부박스에서 치아 우식증 진행 정도를 평가하였다. 방사선 촬영이 끝난 후 치과용 진료 의자에서 해당 치아를 발거한 후 시편 제작 전까지 0.1% thymol 용액에 보관하였다.

⑤ 시편 준비

구내 디지털 사진 촬영 자료를 참고하여 LFD로 측정한 우식 부위가 포함되도록 저속 경조직 절삭기(Dariwon, Korea)를 이용하여 치아를 협설 방향으로 절단하였다.

절단된 시편들은 작업이 용이하도록 매몰한 다음 320번 연마지를 사용하여 수평을 맞춘 후, 600, 1200, 2600번 연마지로 활택 연마한 후 30, 1, 0.5  $\mu$ m 알루미늄산화물과 파우더를 순차적으로 적용하여 최종 연마하였다. 준비된 시편을 슬라이드 글라스에 순간접착제로 고정시킨 후 반대면도 같은 방법으로 연마 활택하여 시편의 두께가 500  $\mu$ m 이하가 되도록 하였다.

**Table 1.** Criteria for caries status by Digital Imaging Fiber-Optic Trans-Illumination

Score	Criteria
0	No evidence of enamel darkness
1	Slight change in enamel darkness
2	Enamel darkness distinctly visible without enamel broken
3	Enamel darkness distinctly visible with enamel broken
4	Enamel darkness distinctly visible with cavitation

⑥ 형광 염색

준비된 시편들에 대한 CLSM 촬영을 위해 Rhodamine B(FW 479.02, Fisher, USA)를 사용하여 염색하였다. Rhodamine B는 빛에 민감하기 때문에 용액 제조 및 시편 염색 작업은 암실에서 진행되었다.

Fontana<sup>21)</sup> 등의 방법에 따라 경조직 이미지 촬영에 가장 적합한 것으로 알려진 0.1 mM 농도로 제조하기 위하여 Rhodmin B 0.0479 mg을 1 l 용기에 넣고 교반하였다. 준비된 시편을 0.1 mM Rhodmin B 용액에 1시간동안 담근 후, wipe paper로 잔여 염색용액을 제거한 후 알루미늄 호일을 이용해 빛을 차단하여 보관하였다.

⑦ Confocal laser scanning microscopy 촬영

CLSM 촬영은 암실에서 진행되었으며, 준비된 시편들은 촬영 직전에 알루미늄 호일을 제거하였다. Laser를 광원을 투과시켜 30배율 하에서 이미지를 관찰하고 비압축 TIFF 형식으로 컴퓨터에 저장하였다. CLSM 이미지는 Table 3에 따라 평가한 후 0점과 1점은 우식이 존재하지 않는 것으로, 2점에서 4점까지는 우식이 존재하는 것으로 평가하였다.

⑧ 통계 분석

각 시편에 대한 CLSM를 gold standard로 하여 DIFOTI 시스템과 LFD의 민감도와 특이도를 산출하였다.

민감도는 CLSM상에서 우식의 존재 여부에 대한 DIFOTI 이미지와 laser fluorescence 값을 비교분석하였다.

특이도는 CLSM상에서 우식이 없는 것으로 확인된 측정 지점에 대해 DIFOTI 이미지 상에 우식이 존재하지 않는다고 평가된 측정 지점 수에 대한 백분율로 산출하였다.

2) *In vitro* study

① 치아 준비

0.1% thymol 용액에 보관되어 수집된 유치들은 육안으로 관찰하여 와동 형성이나 수복 경향이 없는 치아들만 선별하여 세척 후 이물질 제거하고 다시 실체 현미경 10배율 하에서 crack이 없는 유치만 선별하여 시편 제작 전까지 0.1% thymol 용액에 보관하였다.

**Table 2.** Criteria for caries status by laser fluorescence device

Score	Criteria
0	00 - 08
1	09 - 15
2	16 - 30
3	31 - 50
4	51 - 99

② 탈회 용액 제조

탈회 용액은 구강 내에서 자연 발생된 법랑질 초기 우식증을 가장 잘 재현하는 것으로 알려진 White<sup>26)</sup>의 방법에 따라 탈회 용액을 제조하였다.

0.1% 젓산 500 ml에 50% 수산화나트륨을 첨가하여 pH 5.0으로 조절하였다. 이 용액에 1.5 g Tribase calcium phosphate(34%~40%, FW 502.3, Fisher, USA)를 염산을 이용하여 pH 5.0으로 유지하면서 30분 동안 용해시킨 후 필터링 하였다. 필터링된 용액에 1 M 젓산 50 ml와 1M Carbopol 907 stoc solution 200 ml를 첨가하였다. 이후 증류수를 1000 ml이 되도록 첨가하였다.

③ 유치 법랑질 탈회

Table 4와 같이 탈회 기간에 따라 군 당 10개씩 배정하였다. 협설면에 각각 탈회시킬 면을 2 × 3 mm 크기로 창을 만들고 나머지 모든 부위를 불소가 포함되지 않은 네일 바니쉬(Hera, Korea)로 도포한 후, 치관이 모두 잠기도록 용기에 넣은 후 37 °C 항온기에서 탈회 기간에 따라 보관하였다. 실험 기간이 경과한 후 증류수를 이용하여 잔여 탈회 용액을 세척한 후, 아세톤으로 네일 바니쉬를 제거하고 증류수에 보관하였다.

④ 방사선 촬영

휴대용 방사선 촬영기(DS-S, 동서의료기상사, 한국)를 이용하여 정격 전압 60 kV, 정격 관전류 10 mA, 전압 100 mV, 노출 시간 0.6초의 조건으로 성인용 구치부 필름(IP-21, Kodak, USA)을 사용하여 촬영하였다.

⑤ Laser fluorescence value 측정

대상 치아의 교합면에서 연구 대상으로 선정된 근심소와, 중 심소와 그리고 원심소와에 대해서 한 곳에서 3회씩 laser fluorescence 측정치를 기록한 후 Excel 프로그램(MS-Office 2003, Microsoft, USA)에 입력하여 평균값을 구하고, 이를 대

표값으로 선정하였다. 측정값은 다음 Table 2에 따라 평가한 후 0점과 1점은 우식이 존재하지 않는 것으로, 2점에서 4점까지는 우식이 존재하는 것으로 평가하였다.

⑥ DIFOTI 이미지 촬영 및 분석

대상 치아에 대한 DIFOTI 이미지 촬영을 시행한 후 촬영된 DIFOTI 이미지들은 Visual Basic V6.0(Microsoft, USA)으로 자체 제작한 분석용 프로그램을 이용하여 정상 법랑질에 대한 탈회 법랑질의 투과율을 환산하여 기록하였다.

$$\text{투과율(\%)} = \frac{\text{Demineralized surface (T}_D\text{)}}{\text{Sound surface (T}_S\text{)}} \times 100$$

⑦ 시편 제작

인공 치근을 제거하고 저속 경조직 절삭기(다리원, 한국)를 이용하여 대상 치아를 근원심 방향으로 이등분 한 후, 다시 우식 부위가 포함되도록 협설 방향으로 절단하였다. 최종 시편의 두께가 1 mm이내가 되도록 절단하였다.

절단된 시편들은 작업이 용이하도록 매몰한 다음 320번 연마지를 사용하여 수평을 맞춘 후, 600, 1200, 2600번 연마지로 활택 연마한 후 30, 1, 0.5 μm 알루미늄실리케이트 파우더를 순차적으로 적용하여 최종 연마하였다. 준비된 시편을 슬라이드 글라스에 순간접착제로 고정시킨 후 반대면도 같은 방법으로 연마 활택하여 시편의 두께가 500 μm 이하가 되도록 하였다. 준비된 시편들을 in vivo study와 동일한 방법으로 Rhodamine B로 염색하였다.

⑧ Confocal laser scanning microscopy 촬영

Gold standard를 얻기 위해 30배율 하에서 CLSM 이미지 촬영을 시행하였다. 촬영된 이미지의 치아 우식증 존재 여부는 Table 3의 평가 기준에 따라 평가하였으며, 이미지 분석용 프

**Table 3.** Criteria for caries status by confocal laser scanning microscopy

Score	Criteria
0	No evidence of enamel fluorescence
1	Slight change in enamel fluorescence
2	Enamel fluorescence distinctly visible without enamel broken
3	Enamel fluorescence distinctly visible with enamel broken
4	Enamel fluorescence distinctly visible with cavitation

**Table 4.** Sample distribution and time schedule

Group	Demin. time (day)	Sample No.	Detection method
I	4	10	Digital fiber-optic trans-illumination
II	8	10	Laser fluorescence
III	12	10	Radiography
IV	16	10	Confocal laser scanning microscopy

로그랩(Image Pro Plus V3.01, USA)을 이용하여 실험 기간에 따라 치아 우식증 병소 깊이를 측정하였다.

⑨ 통계 분석

각 시편에 대한 CLSM를 gold standard로 하여 in vivo study와 동일 방법으로 DIFOTI 이미지와 LFD의 민감도와 특이도를 산출하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. In vivo study

구강내에서 촬영된 DIFOTI 이미지를 Fig. 1에서 4까지 나타내었다. 원은 본 연구에서 비교 분석을 위해 선정된 측정 지점들을 나타내고 있다.

Gold standard로 사용된 CLSM로 촬영한 이미지를 Fig. 5에서 8까지 나타내었다. Fig. 5와 6은 건전 법랑질을 나타내고 있으며, Fig. 7에서 8은 초기 법랑질 우식증이 존재하는 것을 보여 주고 있다.

DIFOTI 시스템에 의해서 진단된 치아 우식증의 진단 결과를 Table 5에 나타내었다. Gold standard로 사용된 CLSM 이미지 분석 결과를 기준으로 우식이 있는 것으로 확인된 측정점 17개 중 DIFOTI 이미지상에서 2개의 측정 지점은 없는 것으로 판정되었고 15개의 측정 지점에서는 치아 우식증이 존재하는 것으로 판정되어 민감도는 88.2%이었다.

또한 CLSM상에서 우식이 없는 것으로 확인된 측정점 13개 중 DIFOTI 이미지상에서 10개의 측정 지점에서는 없는 것으로 판정되었고 3개의 측정 지점에서는 치아 우식증이 있는 것으로 판정되어 특이도는 76.9%이었다.

CLSM 분석 결과를 gold standard로 하여 LFD의 측정 결과를 Table 6에 나타내었다. CLSM 이미지에서 우식이 존재하는 것으로 확인된 측정 지점 17개중 LFD 측정 결과 4개의 측정점은 없는 것으로 판정되었고 13개의 측정 지점에서는 치아 우식증이 존재하는 것으로 판정되어 민감도는 76.5%이었다.

또한 CLSM상에서 우식이 없는 것으로 확인된 측정 지점 13개 중 LFD 측정 결과 9개의 측정 지점에서는 없는 것으로 판정되었고 4개의 측정 지점에서는 치아 우식증이 있는 것으로 판정되어 특이도는 69.2%이었다.

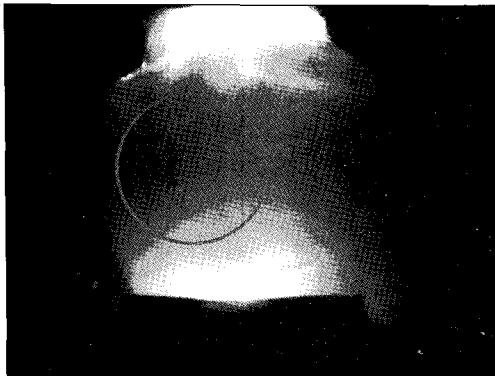


Fig. 1. Occlusal view of DIFOTI image of distal pit caries.

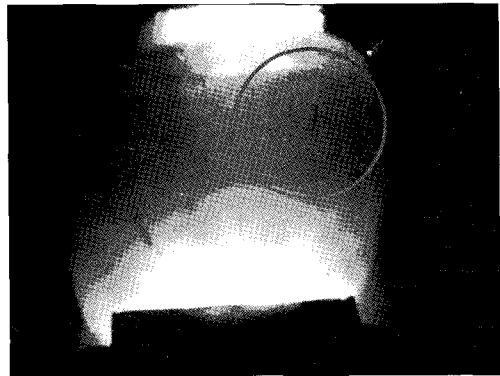


Fig. 2. Occlusal view of DIFOTI image of mesial pit caries.

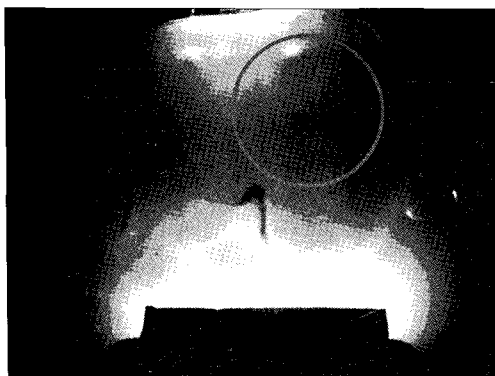


Fig. 3. Occlusal view of DIFOTI image of central pit caries.

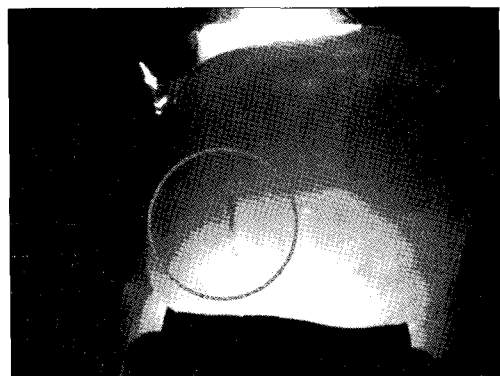


Fig. 4. Occlusal view of DIFOTI image of distal pit caries.

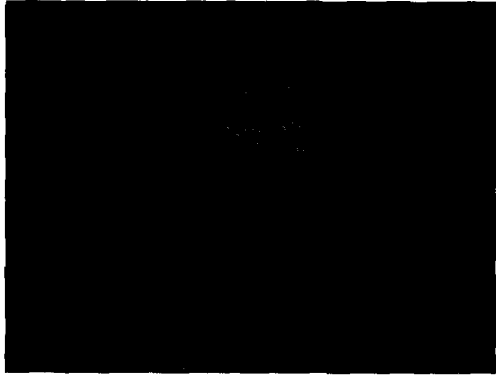


Fig. 5. CLSM image of sound pit.



Fig. 6. CLSM image of sound pit.

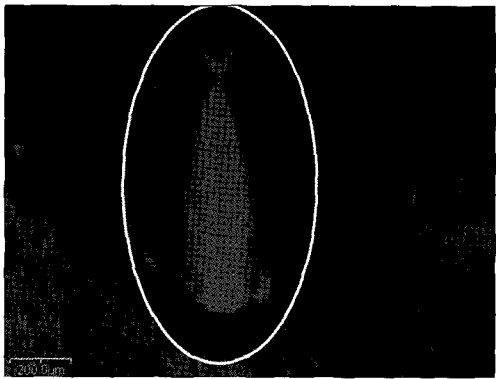


Fig. 7. CLSM image of pit caries.



Fig. 8. CLSM image of pit caries.

## 2. In vitro study

탈회 기간이 지남에 따라 치아 우식증의 탈회 정도를 진단하는 능력을 평가 하기 위해 DIFOTI 이미지를 촬영하였다. 기간에 따른 DIFOTI 이미지 촬영 결과를 Fig. 9부터 12까지 나타내었다. 4일간 탈회시킨 Fig. 9에서 설측 교두에 하방에 존재하는 탈회 부위를 확인할 수 있다. Fig. 10은 8일간을 Fig. 11과 12는 12일간과 16일간 탈회시킨 모습으로 탈회가 진행됨에 따라 투과도가 감소하는 양상을 볼 수 있다.

DIFOTI 이미지를 분석하기 위해 자체 개발한 프로그램을 이용하여 정상 법랑질에 대한 탈회 법랑질의 광투과도를 분석한 결과를 Table 7에 나타내었다. 탈회 4일군에서의 광투과율은  $75.8 \pm 8.5\%$ 였고, 8일군에서는  $50.4 \pm 8.8\%$ , 12일군에서는  $38.8 \pm 8.8\%$  그리고 16일군에서는  $35.5 \pm 11.7\%$ 로 나타나 실험 기간이 경과함에 따라 광투과도가 감소하였다. 이를 실험 기간에 따른 광투과도를 회귀 분석 결과 r값은  $-0.96$ 으로 나타났다 ( $p < 0.05$ , Fig. 17).

탈회 기간에 따른 LFD의 측정값을 Table 8에 정리하였다. 탈회 기간과 무관하게 측정값의 변화가 없었으며, paired t-test 결과에서도 정상 및 탈회 법랑질 간에도 측정값 유의차가

없었다 ( $p > 0.05$ ). 탈회 기간에 따른 측정치의 회귀 분석 결과 통계학적 유의차가 없었다 ( $p > 0.05$ ).

DIFOTI 이미지의 광투과율(%)과 LFD의 측정값을 Fig. 13의 선그래프로 나타내었다. 좌측의 Y축은 정상 법랑질에 대한 탈회 법랑질의 백분율이고, 우측의 Y축은 LFD 측정치를 나타낸 것이다. DIFOTI 이미지는 실험 기간 경과에 따라 현저하게 감소하는 양상을 보여 주고 있으나 LFD 측정치의 변화는 실험 오차 범위 내에 있음을 알 수 있다.

방사선 사진 촬영 결과에서도 탈회 기간이 지남에 따라 협설면에서 탈회에 의한 어떠한 변화도 관찰되지 않았다.

탈회 기간이 진행됨에 따라 탈회가 일어난 정도를 분석하기 위해 촬영된 CLSM 이미지를 Fig. 14에서 17까지 나타내었다.

탈회 4일군에서 탈회가 진행된 양상을 Fig. 14에서 볼 수 있다. 화살표로 표시된 부위가 우식이 진행된 것을 나타내고 있으며 탈회된 부위는 Rhodamin B에 염색이 되어 밝게 나타난다. 8일, 12일, 16일로 탈회 기간이 증가할수록 우식 깊이가 증가하는 양상을 보이고 있으며 법랑질 표면 부위에서 밝게 나타나는 탈회 부위를 확인할 수 있었다.

영상 분석 프로그램을 이용하여 CLSM 이미지에 나타난 우식 깊이를 측정한 결과를 Table 9에 나타내었다.

**Table 5.** Sensitivity and specificity of DIFOTI system in *in vivo*

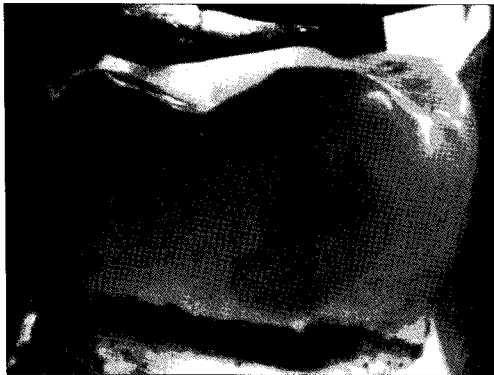
CLSM \ DIFOTI	Negative	Positive	Total
Absent	10	3	13
Present	2	15	17

(n=30)

**Table 6.** Sensitivity and specificity of laser fluorescence device in *in vivo*

CLSM \ DIFOTI	Negative	Positive	Total
Absent	9	4	13
Present	4	13	17

(n=30)



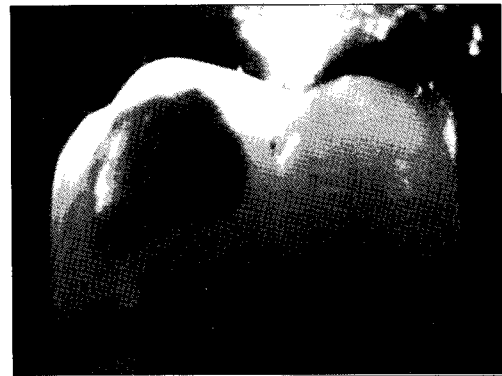
**Fig. 9.** DIFOTI image of 4 days.



**Fig. 10.** DIFOTI image of 8 days.



**Fig. 11.** DIFOTI image of 12 days.



**Fig. 12.** DIFOTI image of 16 days.

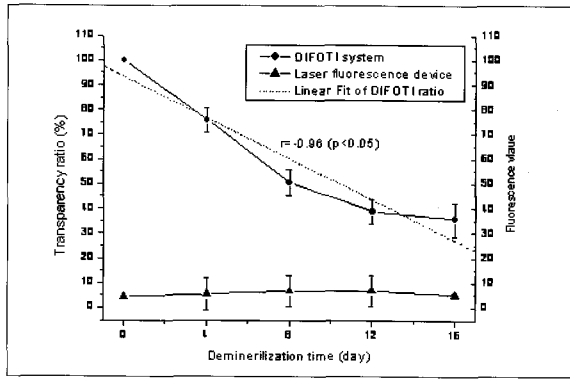
**Table 7.** Mean and standard deviation of transparency ratio of demineralized and sound enamel surface by DIFOTI images

Demin. Time (day)	No.	Mean ± S.D
4	10	75.8 ± 8.5
8	10	50.4 ± 8.8
12	10	38.8 ± 8.8
16	10	35.5 ± 11.7

**Table 8.** Mean and standard deviation of laser fluorescence values of demineralized and sound enamel surface

Demin. Time (day)	No.	Sound	Demineralized
4	10	4.4 ± 0.89	5.48 ± 1.50
8	10	4.95 ± 1.50	6.75 ± 1.26
12	10	4.18 ± 0.81	6.9 ± 1.25
16	10	4.29 ± 1.53	5.14 ± 1.28

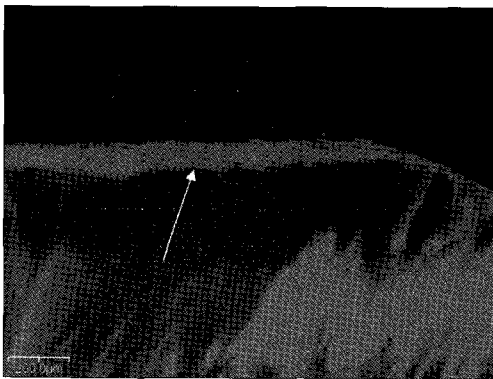
(Mean ± S.D)



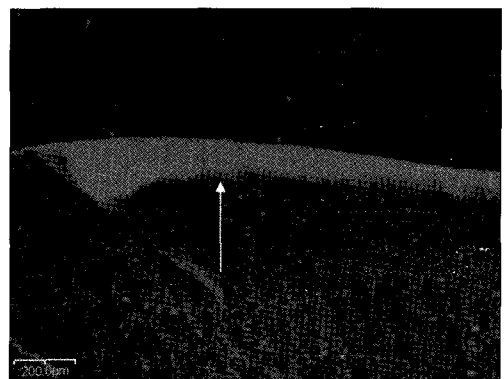
**Fig. 13.** Transparency ratio of DIFOTI image and fluorescence value of laser fluorescence device with regression analysis.

**Table 9.** Lesion depth by confocal laser scanning microscopy analysis

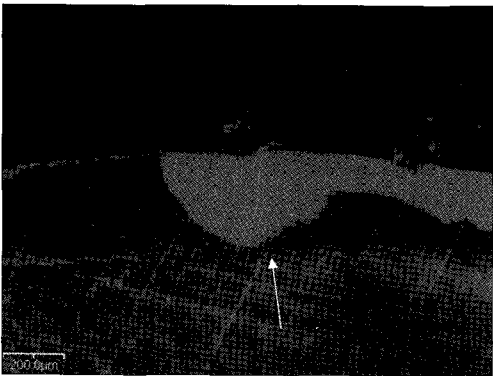
Demin. Time (day)	No.	Mean ± S.D (μm)
4	10	79.18 ± 18.9
8	10	116.17 ± 16.6
12	10	324.8 ± 44.1
16	10	558.1 ± 143.9



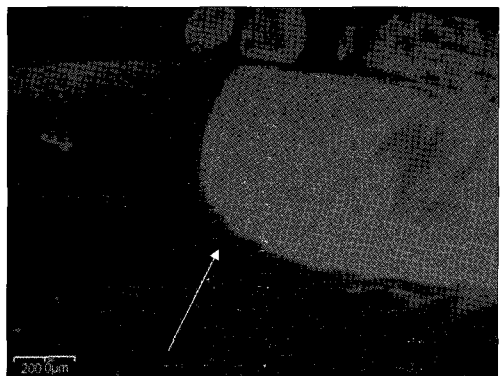
**Fig. 14.** CLSM image of 4 days.



**Fig. 15.** CLSM image of 8 days.



**Fig. 16.** CLSM image of 12 days.



**Fig. 17.** CLSM image of 16 days.

CLSM 분석 결과에 대한 회귀 분석 결과 우식 병소는 깊이는 탈회 기간에 통계결과 r값이 0.95로 나타나 통계학적으로 유의하게 증가하였다(p<0.05, Fig. 18).

CLSM 영상 분석에서 얻어진 우식 깊이에 대한 DIFOTI image의 광투과도율과 LFD 측정값 간의 Pearson 상관 분석 결과를 Table 10에 나타내었다.

DIFOTI 광투과도율은 우식 병소 깊이에 대한 상관 계수는 -0.688로 나타났으며(p<0.05), 이는 탈회 기간에 대해 역상관 관계가 있음을 보여 주었다. 그러나 LFD의 laser fluorescence value는 상관 분석 결과 통계학적 유의성을 발견할 수 없었다(p>0.05).



IV. 총괄 및 고안

초기 치아 우식증(incipient caries, early caries)이란 표층이 건전하게 존재하는 상태에서 법랑질 내부에서 외부로 무기질이 과다하게 빠져나간 법랑질 탈회 상태로서 와동이 형성되지 전까지는 생화학 요법 등에 의해 정상 법랑질로 회복될 가능성을 가지고 있는 단계라고 볼 수 있다<sup>27)</sup>. 와동이 형성되기 전 단계에 치아 우식증을 진단하고 비침습적(non-invasive) 접근을 통한 보존적 치료 개념이 유럽을 중심으로 시작된 이후 초기 법랑질 우식증 진단에 대한 관심은 미국, 일본 등 여러 나라에서 활기차게 진행되고 있다<sup>28,30)</sup>. 초기 법랑질 우식증은 통상의 진단법으로는 발견하기 어려우며<sup>5-7)</sup>, 특정 장비에 의해서만 탈회 상태가 인지될 수 있는 단계에 있다는 의미를 내포하고 있다<sup>10,11,28,29)</sup>.

치아 우식증의 초기은 미래의 임상 치의학 분야에서 다음과 같은 장점들을 가져다 줄 수 있다. 첫째, 탈회 초기 단계의 법랑질을 와동 형성 전에 재광화시킬 수 있는 가능성을 증가시킬 수 있으며, 둘째, 와동 형성으로 인한 외과적 수복 단계로 진행될 가능성을 감소시킬 수 있고, 셋째, 깊은 와동 형성을 차단하여 치수 자극을 예방할 수 있으며, 넷째, 와동 형성 및 수복을 위한 비용을 절감할 수 있고, 다섯째, 자연 교합 상태를 그대로 유지할 수 있으며, 마지막으로 법랑질 고유의 자연미를 보존할 수 있는 장점들을 기대할 수 있다<sup>28)</sup>.

최근 치아 우식증의 초기 진단의 필요성이 미국을 중심으로 재조명되었고, 새로운 진단 방법 개발에 대한 다양한 가능성이 논의된 바 있다. 또한 이러한 초기 인지가 곧 질환에 대한 진단을 의미하는 것은 아니며, 단지 법랑질내의 무기질 변화를 분자 수준에서 정량화하고 실험실 연구를 통한 임상 적용 가능성을 재확인하고 임상 조기 적용을 위한 적극적인 임상 연구가 필요하다는데 의견을 같이 하기로 하였다<sup>26,30)</sup>.

현재 미국을 중심으로 세계적으로 추진되고 있는 초기 진단법의 목표는 법랑질 평할면 표면의 200 μm 깊이 이내의 병소, 소와 열구 하방 200 μm 깊이 이내의 병소, 교합면 소와 열구 부

위에서 법랑질 두께 1/2 범위에 존재하는 감추어진 우식증(hidden caries), 법랑질 두께 1/2 범위내의 이차 우식증 등을 인지할 수 있어야 하고, 불필요한 침습적(invasive) 시술을 줄일 수 있는 잘못된 양성 진단(false positive diagnosis)을 감소시켜야 하며, 재광화정도를 정량 및 정성 분석할 수 있어야 하며, 초기에 우식에 민감한 환자를 구분해 낼 수 있어야 것이다<sup>28)</sup>.

반면, 초기 진단과 관련된 문제점도 지적되고 있는 바, 초기 진단 과정에 소요되는 치과의사의 시간과 노력이 충분히 보상받을 수 없다는 점과 육안으로 식별 불가능한 질환의 진단과 치료에 대해 치료비를 지불해야 하는데 부정적 견해를 가지고 있는 환자가 있을 수 있다는 측면뿐만 아니라 침습적 시술을 최소화하고 예방이 우선시 되는 치료 개념이 치과대학 교육이나 전문의들의 지지를 받지 못할 상황이 발생할 수도 있다는 점들이 우려되고 있다<sup>28)</sup>.

그러나 이러한 우려에도 불구하고 초기 진단에 대한 관심이 시작된 초기에 개발된 LFD<sup>12-17)</sup> 외에도 실험실 연구에서 성능의 우수성이 높게 평가되었던 QLF 시스템<sup>21,31-37)</sup>과 DIFOTI 시스템<sup>22,38,39)</sup>이 이미 소개되어 최근 임상가에서 사용되기 시작하였으나 아직까지 임상 적용을 위한 많은 연구가 필요한 상태이다.

유럽을 중심으로 널리 사용되고 있는 LFD는 사용의 편의성과 간편성, 상대적으로 저렴할 뿐만 아니라 디지털화 수치 표현으로 환자 교육에 매우 유용하지만, 재현력이 부족하고 오염, 염색 등에 매우 민감하며 상대적으로 낮은 민감도와 특이도를 나타내어 보다 적극적인 임상 적용 연구가 필요하다.

이외에도 DIFOTI 시스템이나 QLF 시스템도 실험실 연구에서 성공적인 결과를 보여 주었으나 임상 적용에서 몇 가지 문제점을 가지고 있다.

본 연구는 임상 적용을 위해 21명의 내원 환자를 대상으로 하여 연구 대상의 수가 많지 않다는 한계성을 가지고 있으나 이러한 한계점에도 불구하고 현재 임상 적용 연구가 매우 적은 상태에서 이루어진 임상 연구라는데 그 의의가 크다 하겠다.

본 연구를 통해 저자는 초기 진단 장비가 고가임에도 불구하고 초진 및 재진시 초기 진단에 대한 보험 청구가 불가능할 뿐만 아니라 환자들의 인식 부족으로 일반 청구도 어렵다는 점이 임상 적용의 가장 큰 걸림돌로 작용하나 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 초기 진단 장비를 이용한 부가 가치 창출을 위한

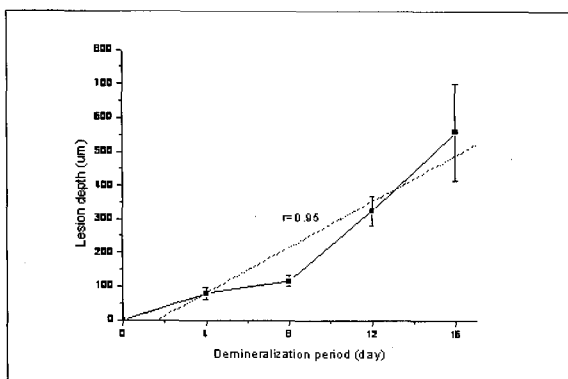


Fig. 18. Lesion depth by confocal laser scanning microscopy analysis with regression analysis.

Table 10. Correlation between Fluorescence value, DIFOTI ratio and lesion depth by Confocal analysis

	DIFOTI ratio	Laser fluorescence value
Lesion depth by confocal laser scanning microscopy analysis	-0.688*	0.289

(\*:p<0.05 by Pearson Correlation)

새로운 진료 서비스가 필요할 것으로 사료되었다.

본 연구에서 사용된 DIFOTI 시스템의 활용 방안을 살펴보면, 첫째 시진 및 탐침 등을 통해 진단된 치면 열구 전색 시술의 실패 원인인 열구내 우식증의 정확한 진단이 가능해지며, 법랑질 채형성술 등을 통한 유동성 복합 레진의 수복과 치면 열구 전색재 도포의 정확한 판단 기준이 될 수 있으며, 둘째 방사선 사진으로 진단되지 않는 인접면 초기 법랑질 우식증을 보다 명확히 진단해 줄 수 있고 환자나 보호자에게 이에 대한 이미지 정보를 제공해 주어 환자 교육에도 많은 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라 불소 치료 등을 이용한 재광화 시술에 대한 결과를 제시할 수 있어, 와동 형성 단계의 치료뿐 아니라 그 전단계의 치료까지 가능하다고 판단된다. 부가적으로 2차 우식증이나 외상에 의한 치아 파절 등을 정확하게 진단해 줄 수 있는 장점 등이 있다.

개인의 노력뿐만 아니라 국민 구강 보건 건강 향상을 위한 치과계의 예방 사업이 국가 차원의 적극적인 지원으로 확산됨에 따라 치아 우식증은 세계적으로 감소 추세에 있으며, 결과적으로 치아 우식증의 발생 부위가 교합면에서보다는 상대적으로 인접면으로 이환되어가는 양상을 보이고 있다<sup>3,4)</sup>. 또한 교합면 우식증의 경우 깊은 열구 내에서 우식 유발율이 상대적으로 증가하고 있는 현상<sup>40)</sup> 불소 등을 이용한 재광화 노력의 결과로 판단되어 긍정적으로 평가할 수 있는 반면 우식의 진단 측면에서는 오히려 오진 가능성이 높아지고 있다<sup>41-43)</sup>. 식별이 용이하지 않은 부위에 발생하는 우식을 조기 진단하기 위해서는 새로운 장비의 개발이 절실한데 Pitts<sup>43)</sup>는 이상적인 진단 장비로 인정받기 위해서는 치아 우식증이 없는 경우와 예방 치료가 추천되는 경우 그리고 보존 치료가 추천되는 경우 등을 명확히 구분지어 진단해 줄 수 있어야 한다고 주장하였다.

1997년 Schneiderman 등<sup>24)</sup>은 DIFOTI 시스템을 치아 우식증의 진단에 신뢰도가 높은 새로운 장비라고 소개하였다. 이 장비는 가시 광원을 광섬유를 통해 치아에 전달하고 Charge-Coupled Device(CCD) 카메라로 영상을 획득하여 컴퓨터로 보내고 실시간으로 우식 병소를 진단할 수 있도록 고안되었다.

Keem과 Elbaum<sup>38)</sup>은 DIFOTI 시스템이 방사선 노출이 없고, 필름이 필요하지 않으며, 실시간으로 진단할 수 있고, 기존의 방사선 사진에 비해 매우 높은 민감도를 보여 준다는 장점을 소개하였다. 이러한 장점들은 인내심이 부족하고 성장 중에 있어 방사선에 매우 민감한 소아 환자의 치아 우식증 진단에 매우 유용하다고 판단되어 소아치과 임상에 적극 활용되어져야 할 것으로 사료되었다.

LFD는 infrared diode에서 방출되는 레이저를 광원으로 탈회 법랑질에서 반사되는 양을 평가하여 우식 정도를 디지털 수치로 표현해 주는 장비이다. 임상에서 사용하기 쉽고 편리하지만 결과의 재현성이나 정확성 등에 대한 의구심이 있어 본 연구에 포함시켜 연구하였다.

내원 환자를 대상으로 구강내에서 촬영한 DIFOTI 이미지와 LFD 측정치를 CLSM 분석치와 비교 분석하여 각 장비의 진단 능력을 평가하였다. 특정 장비에 대한 진단능을 평가하는데 사

용되는 민감도와 특이도에 대한 정의를 살펴보면, 측정된 변수에 대해 양성 결과를 나타낸 개체의 수, 즉 true positive의 수를 true positive와 false negative를 합한 수로 나눈 값으로 정의되며, 어떤 분석법이 원하는 결과를 정확하게 감지해내는 능력이라고 설명된다. 이에 반해 특이도는 측정된 변수에 대해 음성의 결과를 나타내는 개체의 수, 즉 true negative의 수를 true negative와 false positive를 합한 수로 나눈 값으로 정의되며, 진단 오류를 감소시키기 위해서는 특이도가 더 중요하며, 특히 임상에서 그 중요성이 더욱 강조된다고 볼 수 있다.

Gold standard를 얻기 위한 조직학적 분석을 위해서는 Transverse Microradiography(TMR)가 일반적으로 사용되지만<sup>44)</sup>, 많은 시간과 경비가 소요되고 국내에는 장비가 전문한 상태이다. Fontana 등<sup>21)</sup>의 연구 결과에서 CLSM의 조직학적 분석 결과가 TMR가 매우 높은 상관 관계를 보이므로, CLSM을 TMR을 대체할 수 있다고 주장하였다. CLSM 장비는 국내에서도 비교적 쉽게 접할 수 있어 gold standard로 활용하게 되었다.

CLSM 촬영시 치의학 분야에서 사용될 수 있는 염색제는 두 가지가 있으며, 복합 레진의 침투 깊이나 미세 누출 등을 관찰을 위해서 레진 결합제나 전처리제에 섞어서 사용하는 Rhodamine B isothiocyanate가 있으며 농도는 0.1%가 추천된다<sup>45)</sup>. 치아나 경조직의 탈회부위 또는 우식부위의 관찰을 위해서는 Rhodamine B가 추천되며, 경조직에서 탈회되거나 부식된 부위로 염색액이 침투해 들어감으로서 해당 부위를 관찰할 수 있으며, 적정 농도는 0.1 mM이 추천된다<sup>21)</sup>.

치아 우식증의 진단 방법에 있어 통상적인 시진 및 탐침법은 개인의 주관적 판단에 의존하게 되므로 불필요할 수도 있는 침습적 와동 형성으로 치질 손상을 유발할 수 있거나 교합면 초기 우식증의 오진에 따른 치면 열구 전색재 도포로 인한 2차 우식증을 유발할 수도 있다. 평활면이나 교합면에 발생하는 초기 우식증의 진단은 육안이나 탐침으로 진단하기에는 불가능할 뿐만 아니라<sup>5,6)</sup>, 탈회된 열구가 탐침에 의해 쉽게 손상되어 와동 형성을 가속화하고 세균과 함께 부산물이 치질내로 침입하게 됨에 따라 의원성 치아 우식증을 야기하게 된다<sup>46)</sup>. 또한 감염된 치아로부터 치아 우식 원인균이 탐침을 통해 다른 치아로 옮겨가 되어 치아 우식증을 더욱 확산시키게 된다<sup>47)</sup>. 또한 Lussi<sup>42)</sup>는 탐침 사용 여부가 진단의 정확도를 높여 주지 못했으며, 오히려 치료하지 않아도 될 건강한 치아를 치료하게 되는 결과를 초래할 수 있다고 주장한 바 있으며, 본 연구 결과에서도 육안으로 구별하기 어려운 유치의 초기 법랑질 우식증에 대한 DIFOTI 이미지의 민감도가 88.2%, 특이도가 76.9%로 나타났고, LFD의 민감도는 76.5%, 특이도는 69.2%로 나타나 시진보다 우수한 결과를 보여 주었다. 또한 Schneiderman 등<sup>24)</sup>의 연구에서도 기존의 방사선 촬영법보다 DIFOTI 이미지 분석이 보다 우수한 민감도를 보였다고 하였으며, 본 연구에서도 방사선 사진과 비교 분석한 결과 DIFOTI 이미지상에서는 구별되는 초기 법랑질 우식증에 대한 소견을 방사선 사진상에서는 진단할 수 없었다. 이와 같이 기존의 진단 방법인 시진과 탐침은 치

아 우식증 진단에 도움이 못되고, 오히려 의원성 와동 형성 및 우식 감염의 확산만을 초래하므로 구강 검진에 많은 주의를 기울여야 할 것이다.

본 연구에서는 유치 법랑질의 탈회 정도를 평가하기 위하여 DIFOTI 이미지 분석 프로그램을 개발하여 분석하였다. 분석 프로그램에서 사용된 광투과율에 대한 용어 정의는 광섬유를 통해 전달된 가시광선이 법랑질을 투과해 CCD 카메라에 잡힌 영상에 나타난 정상 법랑질에 대한 탈회 법랑질의 밝기의 비를 나타내며, 현재까지 이에 대한 정확한 용어 정의가 확립되어 있지 않다. 조기 진단 장비인 QLF 시스템은 정상 법랑질에 대한 탈회 법랑질의 형광빛 반사 정도를 나타내는 fluorescence radiance ratio 라는 용어를 사용하고 있으며, 본 연구에서도 이러한 원리를 응용하였다.

유치 법랑질에 대한 광투과도를 4일, 8일, 12일 그리고 16일 간 탈회시킨 후 DIFOTI 이미지에서 정상 법랑질에 대한 탈회 법랑질의 광투과율을 산출한 다음, 이를 회귀 분석한 탈회 시간이 경과함에 따라 유의하게 감소하였으며, 결정 계수  $r=0.96$ , 즉 96%의 매우 우수한 설명력을 보여 주었다( $p<0.05$ ). 이러한 결과로 미루어 본 연구에서 개발된 프로그램은 탈회 법랑질 양상을 분석에 적극 활용할 수 있을 것으로 사료되었다.

실험 기간에 따라 방사선 사진을 촬영하고 파독하였으나 우식 진행에 관한 어떠한 변화도 관찰되지 않았으나 DIFOTI 시스템의 경우 예방 치료가 필요한 평활면에 존재하는 초기 단계부터 그 변화를 인지할 수 있었다. 그러나 LFD는 탈회 기간과 무관하게 정상 법랑질로 진단하여 협설면 초기 우식증 진단에는 적합하지 않은 것으로 평가되었다.

현재 개발되어 임상에서 사용되어지기 시작한 또 다른 장비 중의 하나인 QLF 시스템은 치아 표면에 비추어진 형광빛에 반사된 이미지를 분석하는 방식으로 주변 빛의 간섭에 영향을 많이 받으며, 치아 표면에 존재하는 타액과 같은 수분에 민감하다는 단점이 지적되고 있다. 이에 반해 DIFOTI 시스템은 가시광선이 법랑질 내부로 확산되는 방식이어서 주변 빛이나 수분에 영향을 거의 받지 않는 장점을 가지고 있다. 또한 DIFOTI 시스템의 핸드피스 구성물 중 구강 내에 들어가는 마우스 피스는 일회용으로 설계되어 있어 추가적인 살균 소독 등이 필요치 않으며, 크기에 따라 영구치와 유치용으로 구분된 인접면 촬영용과 교합면 촬영용으로 구분되어 있다. 다만 핸드피스의 크기가 비교적 크고 무게감이 있어 장시간 사용시 손의 피로감을 쉽게 느낄 수 있으며, 광원의 밝기가 다소 어두워 처음 사용자에게는 올바른 광원의 방향을 설정하기 어렵고, 손과 발이 잘 협조하여 원하는 이미지가 잡혔을 때 순간적으로 발로 스위치를 눌러야 하기 때문에 익숙해질 때까지 어려움을 많이 겪어야 한다. 이러한 불편 사항을 고려하여 옵션으로 제공되는 음성 작동 스위치는 영어로 명령을 내려야 하며 익숙해질 때까지 반복 학습이 필요하다. 또한 이미지 캡처 인터페이스가 PCI 방식으로 컴퓨터 내에 장착되어야 하기 때문에 설치 및 이전에 다소 어려움이 있을 수 있어 USB 방식으로 개선되어야 할 것이다.

DIFOTI 시스템을 이용한 치아 우식증 진단법은 육안으로 구별하기 어려운 유치의 초기 법랑질 우식증의 진단에 매우 유용할 것으로 기대되며<sup>48,49</sup>, 방사선 사진에서 판독 불가능한 협면과 설면에 대한 진단 능력과 방사선 노출이 필요 없고, 촬영과 현상 및 유지 관리에 필요한 비용과 시간이 절약될 수 있으며, 실시간으로 촬영 결과를 확인할 수 있는 장점을 가지고 있어, 보호자의 구강 위생 교육 및 치료 계획 수립에 많은 도움을 줄 수 있을 것이다. 그러나 촬영 시간 동안 환자가 머리를 움직이지 않도록 협조를 얻어야 하며, 장비가 비교적 크고 무거운 능숙하게 다루기 위해서는 다소의 숙련이 필요하며, 촬영 각도에 따라 다양한 영상을 보이기 때문에 원하는 영상을 얻기 위해 다소의 숙련이 필요하며, 촬영된 영상 진단시 타액이나 음식물 잔사, 변색 등과의 감별 진단에 유의해야 한다<sup>49</sup>. 향후 좀 더 다루기 쉽도록 핸드피스가 경량화할 필요성이 있으며, 충분한 광원이 전달되도록 마우스 피스의 밝기 개선되어야 할 것이며 추가적으로 실험실 연구 등을 위한 영상 분석 프로그램이 제공되어야 할 것으로 사료된다.

결론적으로 DIFOTI 시스템과 LFD는 앞으로 개선되어야 할 여지를 많이 가지고 있으나 예방적 접근을 우선시해야 할 것으로 사료되는 미래 치의학 분야에서 지향해야 할 목표를 충족시켜줄 수 있는 훌륭한 장비라고 판단되며, 조기 진단 장비의 부가 가치를 극대화하기 위해서는 보다 효율적인 재광화 방법이고안되어야 하며, 탈회 정도에 따른 재광화의 반응 정도 등에 대한 정성 분석이 가능할 수 있도록 개선되어야 할 것이다.

## V. 결 론

치아 우식증의 조기 진단을 위해 새로 개발된 DIFOTI 시스템과 LFD의 진단 능력을 검증하기 위해 구강내에서 촬영한 결과와 CLSM를 이용한 조직학적 분석을 비교 결과와 실험실에서 인공적으로 탈회시킨 유치에 대한 DIFOTI 이미지와 LFD의 측정치를 CLSM에서 측정된 병소 양상을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 구강내에서 촬영된 DIFOTI의 민감도는 88.2%이었고, 특이도는 76.9%이었다.
2. 구강내에서 측정된 laser fluorescence device의 민감도는 76.5%이었고, 특이도는 69.2%이었다.
3. 실험실 연구에서 유치 법랑질의 탈회 기간에 따른 DIFOTI 광투과율의 회귀 분석한 결과, 탈회 시간에 따라 광투과율은 감소하였다( $r=-0.96$ ,  $p<0.05$ ).
4. 실험실에서 탈회 기간에 따른 LFD의 측정값의 회귀 분석 결과 통계적 유의성을 보이지 않았다.
5. DIFOTI 이미지의 광투과율과 CLSM의 병소 깊이에 대한 상관 계수는  $-0.688$ 이었으나( $p<0.05$ ), laser fluorescence device의 측정값은 유의성을 보이지 않았다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 DIFOTI 시스템과 LFD는 구강내 교합면 우식증 진단에 매우 유용한 장비라고 판단된다. 그러

나 순면의 평활면 초기 우식증의 경우 DIFOTI 시스템은 매우 높은 진단력을 보이는 반면 LFD는 그렇지 못했다. 방사선 사진에서는 초기 우식증을 진단해 내지 못했으며 이러한 이유로 새로운 조기 진단 장비가 필요성은 더욱 강조되어야 할 것이며, 추후 조기 진단 장비의 초기 우식증 재공화에 대한 평가 능력에 대한 연구와 초기 치아 우식증의 정성 분석 능력의 개선이 필요하다고 사료된다.

### 참고문헌

1. 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*, 169-184, 1999.
2. Von der Fehr FR, Loe H, Theilade E : Experimental caries in man. *Caries Res*, 4(2):131-148, 1970.
3. Joyston-Bechal S, Kidd EA : The effect of three commercially available saliva substitutes on enamel in vitro. *Br Dent J*, 163(6):187-190, 1987.
4. Manji F, Fejerskov O, Nagelkerke NJ, et al. : A random effects model for some epidemiological features of dental caries. *Community Dent Oral Epidemiol*, 19(6):324-328, 1991.
5. Ekstrand K, Qvist V, Thylstrup A : Light microscope study of the effect of probing in occlusal surfaces. *Caries Res*, 21(4):368-374, 1987.
6. Ismail AI : Clinical diagnosis of precavitated carious lesions. *Community Dent Oral Epidemiol*, 25(1):13-23, 1997.
7. Penning C, van Amerongen JP, Seef RE, et al. : Validity of probing, for fissure caries diagnosis. *Caries Res*, 26(6):445-9, 1993.
8. Creanor SL, Russell JI, Strang DM, et al. : The prevalence of clinically undetected occlusal dentine caries in Scottish adolescents. *Br Dent J*, 169(5):126-129, 1990.
9. Lussi A : Comparison of different methods for the diagnosis of fissure caries without cavitation. *Caries Res*, 27(5):409-416, 1993.
10. Pitts NB, Kidd EA : Some of the factors to be considered in the prescription and timing of bitewing radiography in the diagnosis and management of dental caries. *J Dent*, 20(2):74-84, 1992.
11. Moss ME, Zero DT : An overview of caries risk assessment, and its potential utility. *J Dent Educ*, 59(10):932-940, 1995.
12. Ando M, Hall AF, Eckert GJ, et al. : Relative ability of laser fluorescence techniques to quantitate early mineral loss in vitro. *Caries Res*, 31(2):125-131, 1997.
13. Lussi A, Imwinkelried S, Pitts N, et al. : Performance and reproducibility of a laser fluorescence system for detection of occlusal caries in vitro. *Caries Res*, 33:261-266, 1999.
14. Shi XQ, Tranaeus S, Angmar-Mansson B : Comparison of QLF and DIAGNOdent for quantification of smooth surface caries. *Caries Res*, 35(1):21-26, 2001.
15. Chong MJ, Seow WK, Purdie DM, et al. : Visual-tactile examination compared with conventional radiography, digital radiography, and Diagnodent in the diagnosis of occlusal occult caries in extracted premolars. *Pediatr Dent*, 25:341-349, 2003.
16. 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(1):24-28, 2003.
17. Lussi A, Hibst R, Paulus R : DIAGNOdent: an optical method for caries detection. *J Dent Res*, 83 Spec No C:C80-83, 2004.
18. Caliskan Yanikoglu F, Ozturk F, Hayran O, et al. : Detection of natural white spot caries lesions by an ultrasonic system. *Caries Res*, 34(3):225-232, 2000.
19. Watson TF, Petroll WM, Cavanagh HD, et al. : In vivo confocal microscopy in clinical dental research: an initial appraisal. *J Dent*, 20(6):352-358, 1992.
20. Gonzalez-Cabezas C, Li Y, Noblitt TW, et al. : Detection of mutans streptococci in secondary carious lesions using immunofluorescent techniques and confocal laser scanning microscopy. *Caries Res*, 29(3):198-203, 1995.
21. Fontana M, Li Y, Dunipace AJ, et al. : Measurement of enamel demineralization using microradiography and confocal microscopy. A correlation study. *Caries Res*, 30(5):317-325, 1996.
22. 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.
23. 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(3):158-167, 2002.

24. 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(2):103-110, 1997.
25. Zero DT, Mol A, Roriz CS, et al. : Caries detection using digital imaging fiber-optic Transillumination (DIFOTI™): A preliminary evaluation. *Early Detection of Dental Caries Proceeding II of the 4th Annual Indiana Conference*, 169-184, 1999.
26. White DJ : Use of synthetic polymer gels for artificial carious lesion preparation. *Caries Res*, 21(3): 228-242, 1987.
27. Takagi S, Liao H, Chow LC : Effect of tooth-bound fluoride on enamel demineralization/ remineralization in vitro. *Caries Res*, 34(4):281-288, 2000.
28. Anusavice KJ : Need for early detection of caries lesions: A United States Perspective. *Proceedings of 4th Annual Indiana Conference*, 13-29, 1999.
29. Ie YL, Verdonshot EH : Performance of diagnostic system in occlusal caries detection compared. *Comm Dent Oral Epidemiol*, 22:187-191, 1994.
30. Hume WR : Need for change in dental caries diagnosis. *Proceedings of 1st Annual Indiana Conference*, 1-10, 1996.
31. 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(6):464-470, 2001.
32. Angmar-Mansson B, ten Bosch JJ : Quantitative light-induced fluorescence(QLF): a method for assessment of incipient caries lesions. *Dentomaxillofac Radiol*, 30(6):298-307, 2001.
33. Gonzalez-Cabezas C, Fontana M, Gomes-Moosbauer D, et al. : Early detection of secondary caries using quantitative, light-induced fluorescence. *Oper Dent*, 28(4):415-422, 2003.
34. 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(3):158-167, 2002.
35. Pretty IA, Ingram GS, Agalamanyi EA, et al. : The use of fluorescein-enhanced quantitative light-induced fluorescence to monitor de- and re-mineralization of in vitro root caries. *J Oral Rehabil*, 30(12): 1151-1156, 2003.
36. Pretty IA, Pender N, Edgar WM, et al. : The in vitro detection of early enamel de- and re-mineralization adjacent to bonded orthodontic cleats using quantitative light-induced fluorescence. *Eur J Orthod*, 25(3):217-223, 2003.
37. 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(5):368-374, 2003.
38. Keem S, Elbaum M : Wavelet representations for monitoring changes in teeth imaged with digital imaging fiber-optic transillumination. *IEEE Trans Med Imaging*, 16(5):653-663, 1997.
39. Young DA : New caries detection technologies and modern caries management: merging the strategies. *Gen Dent*, 50(4):320-331, 2002.
40. Truin GJ, van't Hof MA, Kalsbeek H, et al. : Secular trends of caries prevalence in 6- and 12-year-old Dutch children. *Commun Dent Oral Epidemiol*, 21:249-252, 1993.
41. Kidd EA, Naylor MN, Wilson RF : Prevalence of clinically undetected and untreated molar occlusal dentine caries in adolescents on the Isle of Wight. *Caries Res*, 26(5):397-401, 1992.
42. Lussi A : Validity of diagnostic and treatment decisions of fissure caries. *Caries Res*, 25(4):296-303, 1991.
43. Pitts NB : Diagnostic tools and measurements - impact on appropriate care. *Community Dent Oral Epidemiol*, 25(1):24-35, 1997.
44. Arends J, Bosch JJ : Demineralization and remineralization evaluation techniques. *J Dent Res* 71(Spec Iss):924-928, 1992.
45. Pioch T, Stotz S, Staehle HJ, et al. : Applications of confocal laser scanning microscopy to dental bonding. *Adv Dent Res*, 11(4):453-461, 1997.
46. van Dorp CS, Exterkate RA, ten Cate JM: The effect of dental probing on subsequent enamel demineralization. *ASDC J Dent Child*, 55(5):343-347, 1988.
47. Basting RT, Sena MC : Occlusal caries: diagnosis and non-invasive treatments. *Quintessence int* 30: 174-178, 1999.
48. Friedman MJ : Early detection of caries. *Compend Contin Educ Dent*, 21(8):668-674, 2000.
49. 염혜웅, 김종수, 유승훈 : Digital imaging fiber-optic trans-illumination을 이용한 초기 법랑질 우식 병소의 조기 진단. *대한소아치과학회지*, 31(4):587-597, 2004.

Abstract

COMPARATIVE STUDY ON THE EARLY DETECTION OF ENAMEL  
LESIONS USING DIFOTI AND LASER FLUORESCENCE

Myoung-Ho Maeng, Jong-Soo Kim, Seung-Oh Kim\*

*Department of Pediatric Dentistry, \*Department of Dental Anesthesiology  
School of Dentistry, Dankook University*

The newly developed equipments for the early detection of carious lesion are LFD(laser fluorescence device), Ultrasonic diagnostic system, CLSM(confocal laser scanning microscopy), QLF(quantitative light-induced fluorescence) and DIFOTI(digital imaging fiber-optic trans-illumination) system.

In this study, DIFOTI system and LFD were used for the detection of early enamel caries.

Twenty five primary teeth extracted from twenty one children at around the dentitional exchanging period were selected as samples. The results obtained from DIFOTI imaging and LFD measurement were compared with those of CLSM and comprehensive evaluations were made for the diagnostic capacity of each device.

In vitro test, 40 sample teeth with their buccal & lingual surface formed by a window of 2×3 mm in diameter were immersed in artificial demineralizing solution for the period of 4,8,12 and 16 days. The results obtained from the experimental groups(DIFOTI, LFD) were compared to control group(CLSM) and we have reached to the following conclusions.

1. The sensitivity and specificity of DIFOTI system operated in oral environment was 88.2% and 76.9% respectively.
2. The sensitivity and specificity of LFD measured in oral environment was 76.5% and 69.2% respectively.
3. Regression analysis on the light transparent rate of DIFOTI showed its decrease according to the length of primary enamel decalcification performed *in vitro*( $r=-0.96$ ,  $p<0.05$ ).
4. No statistically significant difference between LFT measurement and the length of in vitro decalcification was found in regression analysis( $p>0.05$ ).
5. The correlation coefficient of DIFOTI image transparent rate and the lesion depth of CLMS was -0.6988( $p<0.05$ ), whereas no statistically significant difference was found for LFD measurement.

**Key words** : Digital Image Fiber-optic Trans-illumination, Laser fluorescence, early detection, Dental caries