

## 광원과 필터가 형광에 의한 치아 우식 탐지에 미치는 영향

김민정<sup>1,4)</sup>, 진보형<sup>2,4)</sup>, 임범순<sup>3,4)</sup>, 이인복<sup>1,4)\*</sup>

서울대학교 치의학대학원 치과보존학교실<sup>1)</sup>, 예방치학교실<sup>2)</sup>, 치과생체재료과학교실<sup>3)</sup>, 치학연구소<sup>4)</sup>

〈Abstract〉

### Effect of light source and filter on caries detection by light-induced fluorescence

Min-Jung Kim<sup>1,4)</sup>, Bo-Hyoung Jir<sup>2,4)</sup>, Bum-Soon Lim<sup>3,4)</sup>, In-Bog Lee<sup>1,4)\*</sup>

Dept. of Conservative Dentistry<sup>1)</sup>, Dept. of Preventive and Social Dentistry<sup>2)</sup>, Dept. of Dental Biomaterials Science<sup>3)</sup>,  
School of Dentistry and Dental Research Institute<sup>4)</sup>, Seoul National University, Seoul, Korea

The purpose of this study was to evaluate the effect of the wavelengths of LED device with caries inspecting function and filters on detection of dental caries using light-induced fluorescence. LED light of 405 nm or 460 nm was irradiated to 9 extracted human teeth with initial carious lesions. Images of teeth and fluorescence through one of three caries inspecting filters (Medes, Dentalo, and Find) or one composite curing filter (Elliptic) were captured by using a CCD camera. In the images, RGB (red, green, blue) values of red fluorescence emitting areas were analyzed. All images through all kinds of filter under 405 nm LED light showed red fluorescence from the carious lesions. However, red fluorescence was not emitted under 460 nm light. The fluorescence observed with Dentalo filter was better than with ambient and Find filter ( $p < 0.05$ ). In conclusion, the LED device with caries inspecting mode could be used to detect carious lesion by fluorescence. Dentalo filter showed better results than Find filter for visualizing red fluorescence from carious lesions.

*Key words* : Caries detection, Filter, Fluorescence, LED dental curing lights

## I. INTRODUCTION

치질을 보존하기 위해서 치아 우식 병소는 가능한 초기에 발견하는 것이 중요하며, 초기에 발견된 우식 병소의 경우 그 진행을 멈추게 할 수 있어서 침습적인 치료의 필요성을 감소시킬 수 있다(Angmar-Mansson 등, 1998). 특히, 소와 열구의 복잡한 해부학적 형태나(de Paula 등, 2011; Rodrigues 등

2008; Ricketts 등, 1997), 방사선학적 평가 시 구강 구조물의 중첩, 그리고 불소의 광범위한 사용으로 인한 우식 병소 외형의 변화(Weerheijm 등, 1997; Chong 등, 2003)로 인해 초기의 작은 교합면 우식의 탐지는 어렵다. 기존 연구에 의하면 조직학적으로 치아 우식이 치아 내부에 존재하지만, 임상적으로 건전하다고 진단되는 확률은 15%에서 33% 정도로 보고되었다(Weerheijm 등, 1992; Aoba, 2004). 현재까지는 주로 육안을 통한 평가와 방사선학적 평가를 이용하여 치아우식의 진단이 이루어지고 있지만, 이러한 전통적인 방법은 법랑질 내부로 최소한 300-500  $\mu\text{m}$  정도 진행된 우식 병소만을 탐지할 수 있다(Stokey, 2005).

우식의 제거과정에서도 남아있는 우식 상아질을 확인하는

\* Correspondence: 이인복

서울시 종로구 대학로 111, 서울대학교 치의학대학원  
치과보존학교실, 110-744

Tel: +82-2-2072-3953, Fax: +82-2-2072-3859

E-mail: inboglee@snu.ac.kr

Received: Jun 16, 2015; Revised: Jun 26, 2015 ; Accepted: Jun 26, 2015

방법으로는 육안 및 탐침으로 확인하는 방법이 가장 많이 사용되고, 염색제 등이 임상적으로 사용되어 왔다. 염색제는 우식 부위를 가시화할 수 있지만, 그 특이성이 낮아 건전 치질을 삭제하게 될 위험을 가할 수 있고(McComb, 2000), 수복물의 접착강도에 영향을 미치기도 한다(Singh 등, 2011).

빛을 이용하여 치아의 형광을 탐지하는 장비로는 QLF (quantitative light-induced fluorescence), fluorescence camera 및 laser fluorescence 등이 소개되었다. 이 중 QLF와 fluorescence camera는 각각 370 nm와 405 nm 파장의 빛을 조사하고, 치아와 우식 병소에서 방출되는 형광을 육안으로 관찰하기 위해 일정 범위의 파장만을 통과시키는 필터를 이용하여 형광을 가시화한다(al-Khateeb 등, 1997; Thoms, 2006). 이들은 자체 내장된 프로그램을 이용하여 우식 병소를 정량화하고 모니터링 할 수 있는 장점이 있다. 치아에서 형광이 방출된다는 것은 Benedict(1928)에 의해 가장 먼저 제시되었으며, 자외선을 조사하였을 때 건전 치질에서는 푸른색 형광을 나타낸 반면, 우식 병소에서는 형광이 소실되는 것이 관찰되었다. 이후 많은 연구자들은 빛에 의해 치아와 우식 병소에서 방출되는 형광에 관하여 연구하였고, 빛을 이용한 형광 탐지법은 우식의 활성을 찾아낼 수 있는 중요한 방법으로 각광받아 왔다. 아직 치아 경조직에서 형광을 유발하는 형광단 (fluorophore 또는 chromophore)에 대해서 명확히 밝혀진 바는 없지만, 푸른색 형광은 di-tyrosine에 의해(Booij와 ten Bosch, 1982), 노란색 형광은 proteinic chromophore에 의해(Spitzer와 Bosch, 1976; Hafström-Björkman 등, 1991) 및 붉은색 형광은 미생물 대사산물인 protoporphyrin에 의해 방출되는 것으로 알려져 있다(König 등, 1999).

Porphyrin은 400 nm 부근인 Soret band라고 불리는 파장 영역에서 붉은색 형광을 효율적으로 방출하고, 500 nm에서 630 nm 사이의 피크를 갖는 파장 영역의 4개의 Q band에서는 보다 낮은 효율로 붉은색 형광을 방출한다고 알려져 있으며(Giovannetti, 2012), porphyrin 유도체의 작용기에 따라 형광 밴드의 피크는 shift될 수 있다(Thoms, 2006). 붉은색 형광 대사산물을 생성하는 세균으로 주로 치주염과 연관된 세균이 알려져 왔지만(van der Veen 등, 2006; Koenig와 Schneckenburger, 1994), 치아 우식과 연관이 있는 *S. mutans* 또한 580 nm에서 640 nm 파장에서 방출 스펙트럼을 갖는다

(Thoms, 2006).

기존에 개발된 QLF나 fluorescence camera의 경우, 치아 우식 탐지를 위해 고가의 장비를 구비해야 했다. 또한 영상 획득과 분석을 위해서 프로그램이 필요하기 때문에 진료의자 옆에서 우식을 탐지할 때 공간적 제약이 따르고, 치아가 아닌 모니터를 통해서 관찰해야 한다는 단점이 있었다. 그러나, 최근에는 장비 간소화에 대한 요구와 광조사 기술의 발달로 광조사기에 여러 가지 기능이 탑재되어 출시되고 있는 실정이다. 최근에 출시된 광조사기인 Ledex WL-090+curing light (Dentmate Technology Co., Ltd., Taipei, Taiwan)는 광조사기 기능과 치아 우식 탐지 및 치태 탐지 기능을 함께 갖고 있다. 제조사에 따르면, 이 장비는 390-480 nm의 파장대를 방출하며, 405 nm와 460 nm의 첨두파장(peak wavelength)을 갖는다. 이와 같이 다양한 기능을 가지고 있는 이유는, 복합레진을 중합하기 위한 광과 우식을 탐지하기 위해 형광을 유발시키는 파장의 광을 발산하는 LED를 함께 장착하고 있고, 기능별로 서로 다른 필터를 사용하여 원하는 파장만을 통과한 빛을 볼 수 있기 때문이다. 이를 통해 임상에서 우식 및 치태의 존재를 형광을 이용하여 보다 더 쉽게 확인할 수 있을 것이다. 하지만 이러한 새로운 광조사기의 개발에 비해 이들의 효용성에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다.

본 연구에서는 초기 우식 병소를 가진 치아 시편을 Ledex WL-090+curing light를 이용하여 405 nm와 460 nm 영역대 파장의 빛을 조사하여 다양한 필터를 사용했을 때 형광이 관찰되는 정도의 차이를 알아봄으로써 사용된 장비의 임상적인 효용성에 대해 평가하고, 광원의 파장과 필터가 형광을 이용한 우식 탐지에 미치는 효과에 대해 알아보려고 하였다.

## II. MATERIALS AND METHODS

### 1. 영상 저장 장치

우식 치아에서 형광을 얻기 위해 사용된 광원으로는 LED 광조사기인 Ledex WL-090+ curing light(Dentmate Technology Co., Ltd., Taipei, Taiwan)를 사용하였으며, 우식 탐지 모드(Inspect on caries mode, 405 nm)와 광중합 모드(Standard,

460 nm)의 두 가지 파장의 빛을 사용하였다. 형광을 관찰하기 위하여 사용된 필터는 3개의 우식 탐지용 필터(Medes, Seoul, Korea; Dentalo, Seoul, Korea; Dentmate Technology Co., Ltd., Taipei, Taiwan)와 1개의 복합레진 광중합용 필터(Dentmate Technology Co.)를 사용하였다(Table 1). 치아와 형광의 영상을 저장하기 위해 2,736×2,192 픽셀의 컬러 CCD 디지털 비디오 카메라(GX-FW-60S6C-C, Point Grey Research Inc., Richmond, BC, Canada)와 렌즈(×1, MML1-HR110, Moritex Corp, Tokyo, Japan)가 사용되었다(Figure 1).

## 2. 시편 준비

발치된 사람 치아 중에서 초기 우식이 있는 치아 9개를 선택하여 100% 습도에 보관하였으며, 칫솔로 표면을 닦은 후 관찰하였다. 그 중 3개의 치아에서는 우식의 일부를 제거하여 하방에 치아 우식을 남겨둔 채 관찰하였다. 치관 부위를 치관-치근 경계 부위 하방 3 mm에서 절단한 후 슬라이드 글라스 위에 고정하였다. 치아 시편을 카메라 렌즈 하방에 위치시켜 초점을 맞추고, 우식 부위로부터 약 5 mm 떨어진 부위에

서 LED 광원을 조사하였다(Figure 1). LED 광원은 일광(daylight)이 비추는 조건에서 405 nm와 460 nm의 두 가지 파장을 각각 조사하였고, 각 파장마다 Table 1에 기술된 4종의 필터를 각각 CCD 카메라 앞에 장착하여 사용하였다.

## 3. 영상 획득 및 자료 분석

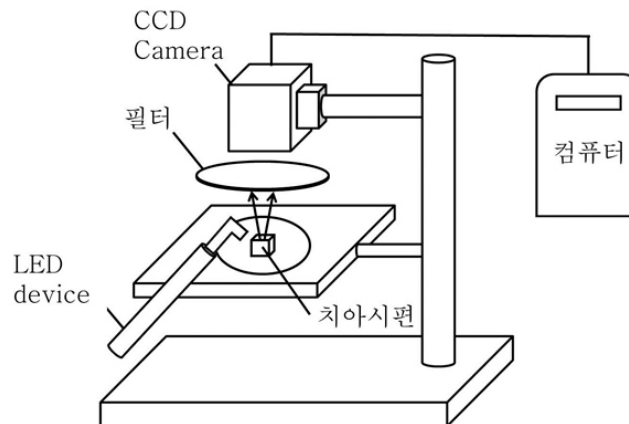
CCD 카메라에 의해 획득한 영상을 컴퓨터에 저장한 후, Processing 언어를 이용하여 자체 제작한 프로그램을 이용하여 405 nm와 460 nm 파장에서 얻은 영상의 붉은색 형광 부위의 RGB(Red, Green, Blue) 값을 분석하였다(Figure 1).

## 4. 필터의 투과도(transmittance, %)와 흡광도(absorbance)의 측정

4개의 필터에서 가시광선(400-700 nm)에 대한 투과도와 흡광도를 spectrophotometer(CM-3500d, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan) 및 소프트웨어(SpectraMagic NX, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다.

**Table 1.** Filters used in the study

Filters (color of filter)	Usage	Company
Find (yellow)	Caries detection	Dentmate, Taipei, Taiwan
Elliptic (orange)	Composite curing	Dentmate, Taipei, Taiwan
Medes (red)	Caries detection	Medes, Seoul, Korea
Dentalo (red)	Caries detection	Dentalo, Seoul, Korea



**Figure 1.** Schematic diagram of an optical system composed of a CCD camera and a filter.

## 5. 통계 분석

우식 탐지용 빛(405 nm)으로 광조사했을 때 획득한 영상에서 얻은 필터의 변화에 따른 붉은색 형광의 측정값은 Minitab을 이용하여 일원분산분석(one-way ANOVA)과 다중비교분석(Tukey's multiple comparison test)을 이용하여 비교하였다( $p=0.05$ ).

## III. RESULTS

### 1. 우식 탐지용 빛(405 nm)과 서로 다른 필터를 통과했을 때의 영상

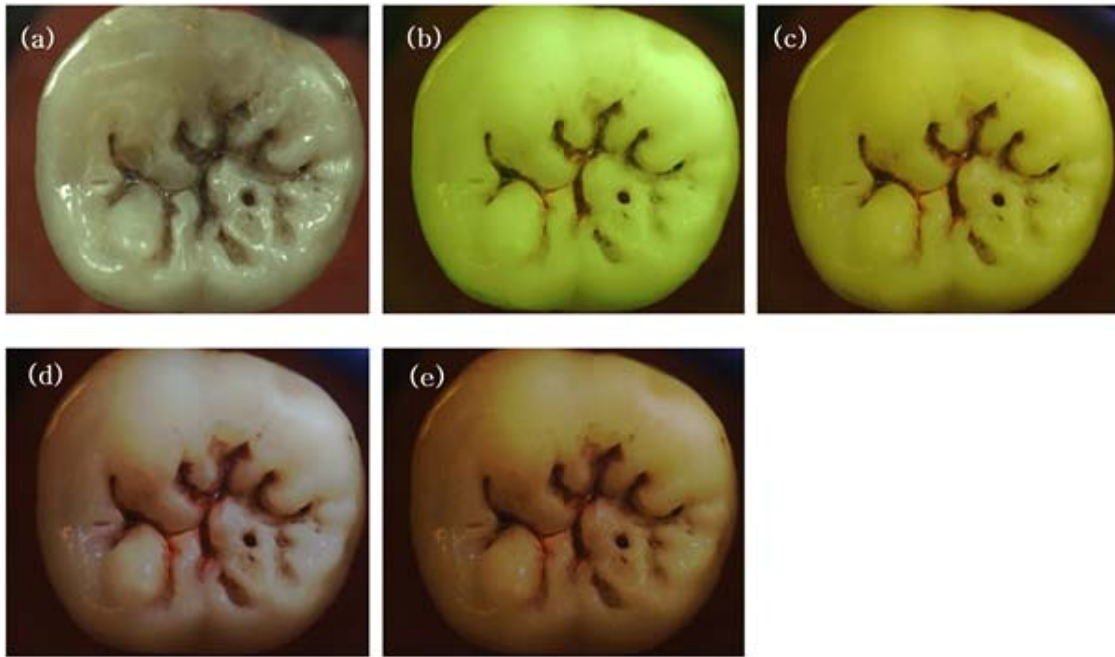
우식 탐지 모드(405 nm)에서 우식 부위의 붉은색 형광은 4가지 필터를 사용했을 때 모두 관찰되었다. 붉은색 형광은 우식 부위 전반에 걸쳐 나타나지 않았으며, 우식이 있는 곳 주변의 일부분에서 형광을 발산하였다. 필터의 종류에 따라 주변 건전치질의 배경색이 다르게 나타났는데, Dentmate사의 Find 필터에서는 배경색이 연두색으로 관찰되었고

(Figure 2b), Elliptic 필터를 사용한 경우는 어두운 노란색의 배경색이 관찰되었다(Figure 2c). Medes 필터와 Dentalo 필터에서는 각각 밝은 붉은색과 어두운 주황색의 배경색이 관찰되었다(Figure 2d, 2e). 모든 필터에서의 배경색은 붉은색 우식 병소와 대조를 이루어 관찰을 용이하게 하였다.

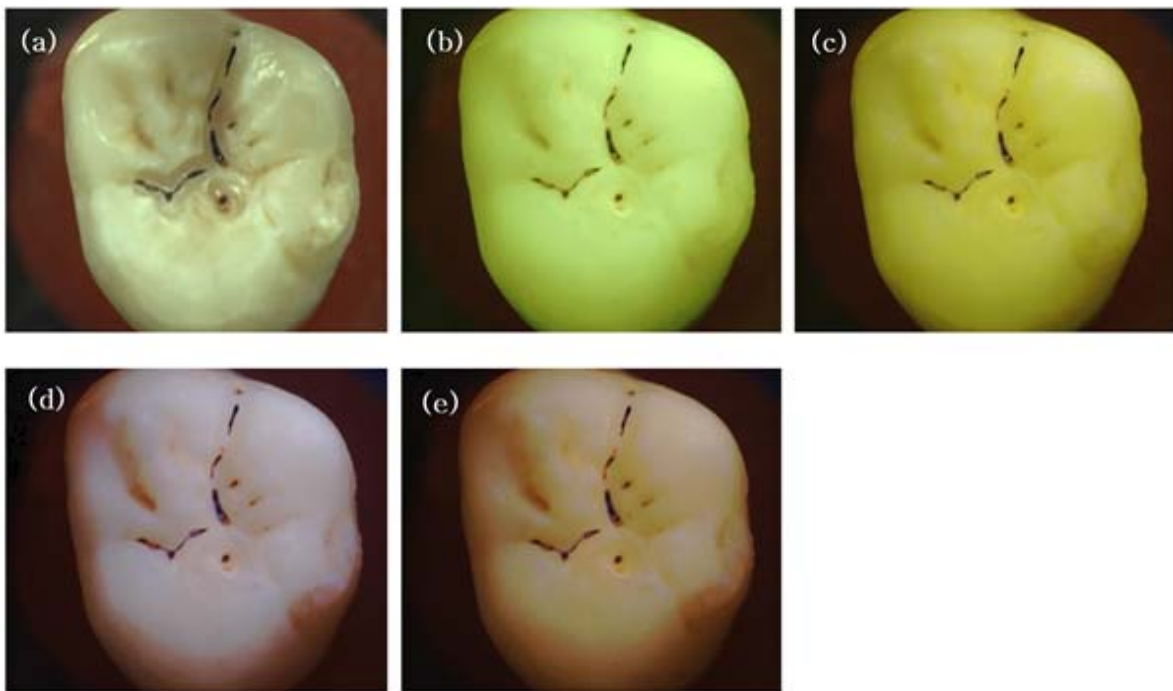
초기 우식이 있는 치아의 우식 일부를 제거하고 관찰한 우식 병소 하방에서도 4가지 필터를 사용했을 때 모두 붉은색 형광이 관찰되었다(Figure 3).

### 2. 광중합용 빛(460 nm)과 서로 다른 필터를 통과했을 때의 영상

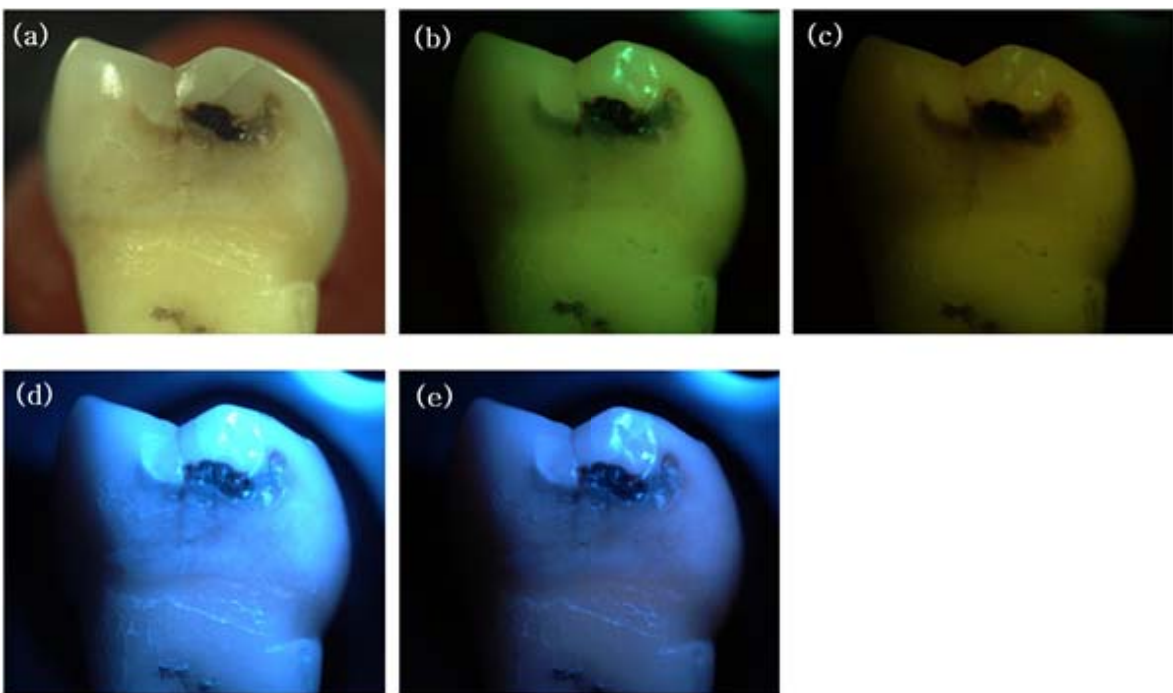
광중합용 빛을 조사했을 때에는 우식 부위를 탐지할 수 있는 붉은색 형광이 관찰되지 않았다. Dentmate사의 Find 필터는 우식 병소를 어둡게 나타내어 형광에 의한 차이를 나타내지 못하였다. 광중합용 필터인 Elliptic 필터를 사용했을 때 광중합용 빛의 차단이 가장 잘 되어 어두운 영상을 보여주었다. Medes 및 Dentalo 필터의 경우 광중합용 파란색 빛을 통과시켜 우식이 없는 치질은 파란색으로, 우식 병소는 어두운 색으로 나타났다(Figure 4).



**Figure 2.** Representative images of a tooth under ambient light or caries inspect mode (405 nm) of LED device with 4 different filters: (a) Ambient, (b) Find filter, (c) Elliptic filter, (d) Medes filter, (e) Dentalo filter.



**Figure 3.** Representative images of a tooth after partial removal of carious lesion under ambient light or caries inspect mode (405 nm) of LED device with 4 different filters: (a) Ambient, (b) Find filter, (c) Elliptic filter, (d) Medes filter, (e) Dentalo filter.



**Figure 4.** Representative images of a tooth under ambient light or standard curing mode (460 nm) of LED device with 4 different filters: (a) Ambient, (b) Find filter, (c) Elliptic filter, (d) Medes filter, (e) Dentalo filter.

### 3. RGB값 측정

405 nm 파장 하에 붉은색 형광을 나타낸 부위에서의 RGB 값을 측정하기 위해 형광을 발산하는 치아 우식 부위의 작은 영역이 선택되었다. 각 필터를 통과했을 때 9개 치아의 선택된 우식 병소 영역에서 RGB값이 측정되었다.

RGB값 중 R값이 대체로 가장 크고 B값이 가장 작았으며, Dentalo 필터와 Medes 필터를 사용했을 때 다른 필터에 비해 R값이 상대적으로 G값 및 B값보다 높은 것으로 관찰되었다. 다른 색상에 대비하여 R값의 상대적인 크기를 비교하기 위해  $(R-(G+B))/2/(R+G+B)/3$ 의 비율을 계산한 결과 필터 종류에 따라 계산된 값 사이에 유의한 차이가 있었다( $p<0.05$ ). Dentalo 필터를 사용한 경우 자연광을 포함하여 Dentmate사의 Find 필터를 사용한 경우보다 더 높은 값을 보였다(Table 2).

### 4. 필터의 투과도(transmittance, %)와 흡광도(absorbance)

가시광선 영역의 빛에 대한 필터의 투과도를 측정했을 때 Find 필터는 약 510 nm 이상의 파장 영역을 투과시켜 초록색부터 붉은색까지의 가장 넓은 영역의 빛을 투과시켰다. Elliptic 필터는 약 550 nm 이상의 파장 영역을 투과시켰다. Medes 필터는 450-600 nm 영역의 파장을 30% 미만으로 투과시켰으며, 600 nm 이상의 붉은색 빛을 주로 투과시켰다. Dentalo 필터는 620 nm 부근의 빛은 약 65% 정도로 투과시켰으며, 680 nm 영역 이상의 붉은색 빛을 주로 투과시켰다(Figure 5a).

필터의 흡광도를 측정한 결과 Find 필터와 Elliptic 필터는 주로 475 nm 부근 영역의 푸른색 빛을 흡수하였고, Medes 필터와 Dentalo 필터는 주로 400-450 nm 영역의 보라색 빛을 흡수하였다(Figure 5b).

## IV. DISCUSSION

현재까지 연구에 사용되고 있는 형광 영상을 이용한 우식 측정 장비로는 QLF와 fluorescence camera 종류 몇 가지 정도이다. 그 중 405 nm LED를 이용한 장비로는 porphyrin에

의해 방출되는 붉은색 형광과 건전한 치아에 의해 방출되는 녹색 형광의 비율을 이용하여 우식 병소를 녹화하고 측정할 수 있는 Vistaproof(Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Germany)가 가장 많이 사용되었다(Jablonski-Momeni 등 2011; Rodrigues 등, 2011). 그러나 별도의 장비, 모니터 및 소프트웨어가 필요함에 따라 경제적인 부담과 공간적인 제약이 따르기 때문에 우식 탐지 기능과 광조사기 기능을 함께 탑재한 LED 장비가 최근 개발되고 있지만 이에 대한 연구는 이루어지지 않고 있다. 본 연구에서는 형광에 의한 치아 우식 탐지 효과를 관찰하기 위해 우식 탐지와 광조사에 해당하는 두 가지 파장을 광조사할 수 있는 기능이 탑재된 광중합용 LED 장비인 Ledex WL-090+curing light와 여러 가지 필터를 사용하였다. 이 장비는 휴대성이 편리하고, 두 가지 파장을 방출할 수 있는 기능이 탑재되었다는 점이 그 장점으로 별도의 소프트웨어와 모니터가 필요하지 않아 공간적인 제약 또한 적다.

형광에 의해 치아 우식을 탐지하기 위해서는 세균 대사산물인 porphyrin 유도체가 흡수할 수 있는 적절한 파장의 빛의 조사가 필요하며, 이로써 여기된(exited) 붉은색 형광만을 효율적으로 통과시킬 수 있는 필터가 필요하다. 본 연구에서 405 nm 광원을 조사했을 때에는 붉은색 형광이 관찰된 반면, 460 nm 광원을 조사했을 때에는 붉은색 형광을 관찰하지 못하였다. 이 결과는 치근 및 법랑질 우식에서 porphyrin 특유의 뚜렷한 형광 밴드(600-700 nm)를 가장 잘 여기시키는 빛의 파장 영역이 405 nm 부근이라는 것을 밝힌 기존 연구 결과와 일치한다(Buchalla 등, 2004; Buchalla, 2005).

405 nm 파장을 광조사하는 경우 서로 다른 필터를 사용했을 때 육안으로 관찰 가능한 형광의 정도는 필터마다 다른 양상을 보였다. 형광의 정도가 차이를 보이는 이유는 필터의 빛에 대한 투과도에 의존한다. 붉은 계열 필터인 Medes와 Dentalo 필터는 다른 필터보다 600-700 nm의 빛을 주로 투과시키는 반면, Find와 Elliptic 필터의 경우는 600-700 nm의 파장과 500 nm 부근의 단파장 영역 또한 함께 투과시켜 porphyrin에 의한 형광을 관찰하는데 불필요한 빛을 함께 투과시켰다.

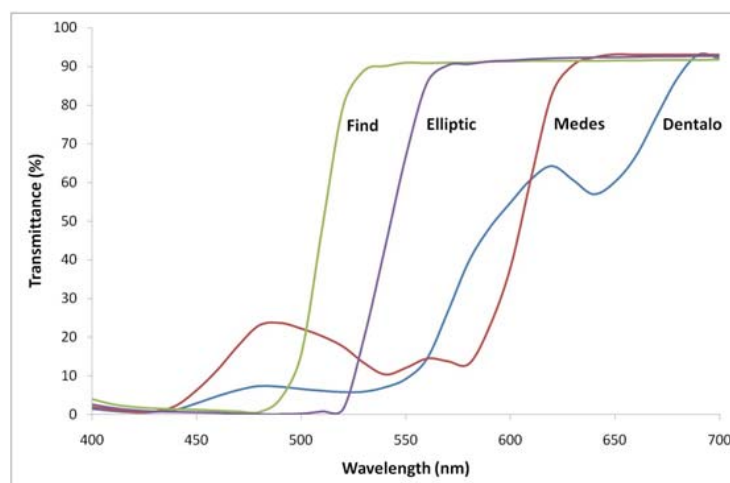
육안으로 관찰되는 붉은색 형광의 정도를 정량적으로 평가하기 위해 붉은색 형광 부위의 RGB값에 대한 상대적인 R값의 비율을 계산한 결과, Dentalo 필터에서 가장 높게 측정되었으



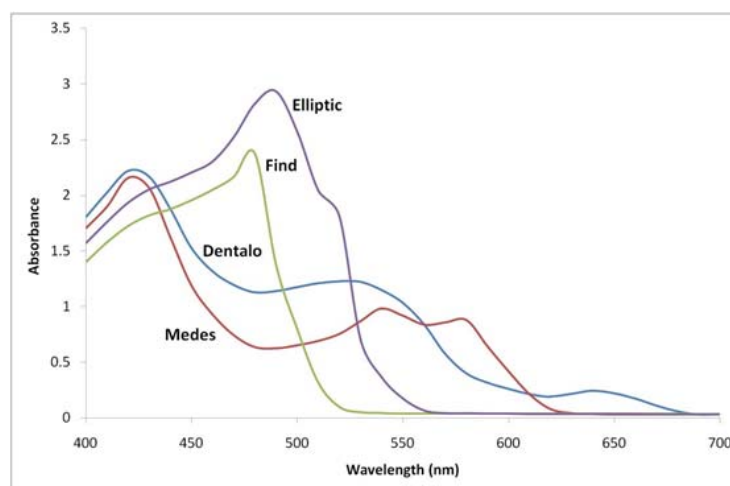
**Table 2.** Ratio of  $\{R-(G+B)/2\}$  to  $\{R+G+B\}/3$  of red fluorescence under caries inspecting light (405 nm)

Filters	$\{R-(G+B)/2\}/\{R+G+B\}/3$
Ambient	0.40 (0.14) <sup>A</sup>
Find	0.56 (0.13) <sup>A,B</sup>
Elliptic	0.77 (0.17) <sup>B,C</sup>
Medes	0.77 (0.31) <sup>B,C</sup>
Dentalo	1.04 (0.25) <sup>C</sup>

\* Different superscript letters denote there are significant differences between groups ( $p < 0.05$ ).



(a)



(b)

**Figure 5.** (a) Transmittance (%) and (b) absorbance of filters as a function of light spectrum.

나, Dentalo, Medes 및 Elliptic 필터 간의 통계학적인 유의성은 관찰되지 않았다( $p < 0.05$ ). Medes 필터를 투과하는 파장 영역 중 푸른색 영역의 파장이 일부 포함되어 있고, Dentalo 필터의 경우 노란색~주황색의 영역을 함께 투과시키기 때문 일 것이라고 사료된다.

Find 필터의 경우 육안으로는 붉은색 형광이 관찰되었지만, 정량화 하였을 때 상대적인 R값은 자연광 하에서와 차이가 없는 것으로 나타났다. 그 이유는 우식부위에서 녹색 또한 상대적으로 많이 방출되고 투과되기 때문이다. Find 필터는 약 490 nm 이하의 파장을 차단하는데, 이는 Vistaproof에 사용되는 필터와 비슷한 투과 영역을 갖는다(Thoms, 2006). Vistaproof로 우식 병소를 관찰하고 정량화할 때에는 소프트웨어에 의해 건전한 치질의 녹색 형광에 대한 우식 부위의 붉은색 형광의 비율로서 평가되는 것에 반해, 본 연구에서는 우식 병소 상에서의 상대적인 R값만을 중시하였기 때문에 Find 필터의 상대적인 R값이 현저히 낮게 나온 것으로 여겨진다.

460 nm 광조사용 빛을 조사했을 때 Elliptic 필터가 빛을 가장 효율적으로 차단하였는데, 이는 Elliptic 필터의 흡광도가 475 nm 부근에서 가장 높게 측정된 것으로부터 추측할 수 있다. Elliptic 필터는 광조사용에 사용될 수 있도록 고안되었지만, 600-700 nm 사이의 붉은색 형광 영역 또한 투과시킬 수 있어 조사광에 따라 우식 탐지 또한 가능한 것으로 간주된다.

본 연구에서 자연광 또는 LED 광원의 위치에 따라 빛의 양이 변화하여 카메라 조건을 동일하게 할 경우 영상이 너무 밝거나 어둡게 나타났다. 그러므로 각각의 광원 조건에 따라 카메라 조정 소프트웨어에서 명도, 노출, 셔터스피드, RGB 이득값 등을 바꿔야 할 필요가 있었다. 하지만 카메라 세팅을 변경하는 것은 통과되는 형광이 가시화 되는 정도 또한 달라지고, 주변 건전 치질의 자가형광 및 색조 또한 달라지는 문제점을 내포하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 동일한 광원에서는 모든 시편에 대해 카메라 세팅 값을 일정하게 유지함으로써 편차를 줄이기 위해 노력하였고, 이로써 필터의 변화에 따른 상대적인 형광 측정값의 비교를 가능하게 하였다.

3가지 치아 표본에서 우식 병소를 일부 제거했을 때에도 하방에 붉은 색의 우식 활성을 나타내는 부위가 관찰되는 것

을 볼 수 있었다. 임상에서 남아 있는 우식 병소 확인을 위해 탐침(explorer)을 이용하거나 spoon excavator를 이용하며, 단단한 이환 상아질(affected dentin)이 남아 있는 부위까지 제거 하는 방법을 주로 이용하고 있다. 405 nm의 빛과 적절한 필터를 이용하여 우식에 의한 붉은색 형광을 가시화하는 방법을 임상적으로 적용할 경우, 우식이 있는 치아를 삭제할 때 하방에 남아있는 우식을 가시화할 수 있어 잔존 우식 병소를 확인하고 제거하는 데에 부가적인 도움을 줄 수 있을 것으로 여겨진다.

우식 병소를 나타내는 붉은색 형광의 정도를 RGB값을 이용하여 비교하였는데, 별도의 분석 소프트웨어가 장착되어 있지 않은 LED 광조사기에서 인간의 시각과 비교하여 형광의 정도를 정량화하기 위한 도구로 RGB값 분석은 유용하다고 검토되었다. 각각의 필터마다 나타나는 배경색의 RGB 색상의 조건이 다르기 때문에 붉은색 형광이 가시화되는 정도를 비교하기 위해서 R 값의 절대값을 단순히 사용할 수는 없다. 그러므로 붉은색의 형광을 띠는 우식 부위에서 붉은색이 상대적으로 얼마나 효율적으로 관찰되는지를 수치화하기 위해 RGB값으로부터  $(R-(G+B))/2/((R+G+B)/3)$  계산식을 이용하여 나타났다. G값 또는 B값에 대비해서 R값의 상대적인 비율을 비교하는 것이 유용하다고 판단되어, 3가지 색상의 수치의 평균을 기준으로 하여 R값이 G값과 B값으로 나타나는 색상의 평균 수치보다 얼마나 큰 값을 나타내는지를 계산한 것이다. 색의 값끼리 서로 더하는 것은 색상을 나타내는 데에는 의미가 없지만, R값이 다른 값에 비하여 얼마나 두드러지는지 수치화하는 데에 이러한 계산법은 유용하게 사용될 수 있었다.

붉은색 형광을 육안으로 관찰함으로써 치아 우식 탐지에 대한 임상적인 유용성을 평가한 본 연구의 결과는 기존에 개발된 QLF 또는 fluorescence camera를 사용했을 때와 직접적으로 비교하기는 어렵다. QLF를 이용한 치아 우식의 탐지는 520 nm 이상의 파장을 투과시키는 필터를 사용하며, 탈회기 일어난 초기 우식 병소에서는 조사된 빛이 산란되어 녹색의 자가 형광이 감소되는 양을 측정하는 방법을 이용하기 때문이다(de Josselin de Jong 등, 1995). 또한 fluorescence camera의 경우, 건전 치질에서의 녹색의 자가 형광과 우식 병소에서 붉은 형광 모두 관찰이 가능하고 형광강도의 비율(R/G)을



이용하여 소프트웨어로 분석하는 방법을 이용하므로 본 연구의 결과와 비교하기 어렵다(Thoms, 2006). 붉은색 형광의 상대적 강도를 측정본 연구에서는 앞서도 언급했듯이 Dentmate사의 Find 필터의 유용성이 낮게 평가되었다. 그러나 Find 필터를 사용했을 때 건전 치질에서 녹색의 자가 형광이 관찰되므로 건전 치질과 우식 부위의 contrast의 차이를 이용하여 분석할 경우 의미 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 새로 개발된 우식 탐지용 기능을 가진 광조사기와 다양한 범위의 투과도를 갖는 필터를 이용하였을 때 치아 우식 부위에서 여기되는 형광을 관찰한 결과, 405 nm 광원 하에 600-700 nm의 영역에서 높은 투과도를 갖는 4가지 필터 모두에서 붉은색 형광을 관찰할 수 있었다. Dentalo, Medes 및 Elliptic 필터를 사용했을 때 상대적인 R값의 비율이 높게 정량화되었고, 그 중 Dentalo 필터는 Find 필터에 비해 더욱 효율적으로 상대적인 붉은색 형광을 가시화 한다는 것을 보여주었다( $p < 0.05$ ). 현재까지 전통적으로 사용되어 왔던 육안과 방사선학적 방법으로 탐지하던 기존의 치아 우식 탐지 방법을 형광 이미징과 같은 새로운 장비로 대체할 수는 없다. 하지만 우식 탐지를 위한 장비의 장, 단점을 이해하고 보조적인 장비로 치아 우식 탐지에 사용이 된다면 최소 침습적(minimally invasive) 치료에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다. 앞으로의 연구에서는 우식 탐지 기능을 가진 광조사기를 이용한 재현성(reproducibility) 평가가 필요하고, 육안 및 방사선학적 방법 또는 다른 우식 탐지 장비들과의 성능을 비교하여 진단의 타당성(validity) 및 특이도와 민감도 등을 관찰하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

## V. CONCLUSIONS

본 연구에서는 우식 탐지용 기능이 탑재된 광조사기를 이용하여 405 nm 및 460 nm 영역대의 빛의 파장으로 조사하여 다양한 필터를 사용했을 때 형광이 관찰되는 정도의 차이로부터 광원의 파장과 필터가 형광을 이용한 우식 탐지에 미치는 효과에 대해 알아보고자 하였다.

우식 탐지 모드인 405 nm 파장의 빛은 우식에 의한 붉은색

형광을 탐지하는데 유용하게 사용될 수 있었고, 광조사용 빛에서는 붉은색 형광이 관찰되지 않았다. 우식 탐지용으로 개발되거나 광조사용으로 개발된 여러 회사의 필터들은 모두 600-700 nm 영역에서 높은 투과도를 가져 우식 부위에서 발산되는 붉은색 형광을 통과시켜 육안으로 관찰 가능하게 하였다. Elliptic, Medes, Dentalo 필터를 사용했을 때 600-700 nm 영역에서 투과를 많이 하여 Ambient보다 높은 R값이 측정되었다. Dentalo 필터는 Find 필터에 비하여 붉은색 우식 형광 영역을 더욱 분명하게 가시화할 수 있었다( $p < 0.05$ ).

## REFERENCES

- al-Khateeb S, ten Cate JM, Angmar-Månsson B, de Josselin de Jong E, Sundström G, Exterkate RA, Oliveby A (1997). Quantification of formation and remineralization of artificial enamel lesions with a new portable fluorescence device. *Adv Dent Res* 11:502-506.
- Angmar-Mansson BE, al-Khateeb S, Tranaeus S (1998). Caries diagnosis. *J Dent Educ* 62:771-780.
- Aoba T (2004). Solubility properties of human tooth mineral and pathogenesis of dental caries. *Oral Dis* 10:249-257.
- Benedict HC (1928). A note on the fluorescence of the teeth in ultra-violet rays. *Science* 67:442.
- Booij M, ten Bosch JJ (1982). A fluorescent compound in bovine dental enamel matrix compared with synthetic dihydroxyacetone phosphate. *Arch Oral Biol* 27:417-421.
- Buchalla W, Lennon AM, Attin T (2004). Comparative fluorescence spectroscopy of root caries lesions. *Eur J Oral Sci* 112:490-496.
- Buchalla W (2005). Comparative fluorescence spectroscopy shows differences in noncavitated enamel lesions. *Caries Res* 39:150-156.
- Chong MJ, Seow WK, Purdie DM, Cheng E, Wan V (2003). 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.
- de Josselin de Jong E, Sundström F, Westerling H, Tranaeus S, ten Bosch JJ, Angmar-Månsson B (1995). A new method for in vivo quantification of changes in initial enamel caries with laser fluorescence. *Caries Res* 29:2-7.
- de Paula AB, Campos JA, Diniz MB, Hebling J, Rodrigues JA (2011). In situ and in vitro comparison of laser fluorescence with visual inspection in detecting occlusal caries lesions. *Lasers Med Sci* 26:1-5.
- Giovannetti R (2012). The Use of Spectrophotometry UV-Vis for the Study of Porphyrins, Macro To NanoSpectroscopy, Dr. Jamal Uddin (Ed.), In Tech; pp. 87-108.
- Hafström-Björkman U, Sundström F, ten Bosch JJ (1991). Fluorescence in dissolved fractions of human enamel. *Acta Odontol Scand* 49:133-138.
- Jablonski-Momeni A, Schipper HM, Rosen SM, Heinzl-Gutenbrunner M, Roggendorf MJ, Stoll R, Stachniss V, Pieper K (2011). Performance of a fluorescence camera for detection of occlusal caries in vitro. *Odontology* 99:55-61.
- Koenig K, Schneckenburger H (1994). Laser-induced autofluorescence for medical diagnosis. *J Fluoresc* 4:17-40.
- König K, Schneckenburger H, Hibst R (1999). Time-gated in vivo autofluorescence imaging of dental caries. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand)* 45:233-239.
- McComb D (2000). Caries-detector dyes-how accurate and useful are they? *J Can Dent Assoc* 66:195-198.
- Moriyama CM, Rodrigues JA, Lussi A, Diniz MB (2014). Effectiveness of fluorescence-based methods to detect in situ demineralization and remineralization on smooth surfaces. *Caries Res* 48:57-514.
- Ricketts D, Kidd E, Weerheijm K, de Soet H (1997). Hidden caries: what is it? Does it exist? Does it matter? *Int Dent J* 47:259-65.
- Rodrigues JA, Hug I, Diniz MB, Lussi A (2008). Performance of fluorescence methods, radiographic examination and ICDAS II on occlusal surfaces in vitro. *Caries Res* 42:297-304.
- Rodrigues JA, Hug I, Neuhaus KW, Lussi A (2011). Light-emitting diode and laser fluorescence-based devices in detecting occlusal caries. *J Biomed Opt* 16:107003.
- Singh UP, Tikku A, Chandra A, Loomba K, Boruah LC (2011). Influence of caries detection dye on bond strength of sound and carious affected dentin: An in-vitro study. *J Conserv Dent* 14:32-35.
- Spitzer D, Bosch JJ (1976). The total luminescence of bovine and human dental enamel. *Calcif Tissue Int* 20:201-208.
- Stookey GK (2005). Quantitative light fluorescence: a technology for early monitoring of the caries process. *Dent Clin North Am* 49:753-770.
- Thoms M (2006). Detection of intraoral lesions using a fluorescence camera. *Proceedings of SPIE Lasers in Dentistry XII* 6137:1-7.
- van der Veen MH, Thomas RZ, Huysmans MC, de Soet JJ (2006). Red autofluorescence of dental plaque bacteria. *Caries Res* 40:542-545.
- Weerheijm KL, Gruythuysen RJ, van Amerongen WE (1992). Prevalence of hidden caries. *ASDC J Dent Child* 59:408-412.
- Weerheijm KL, Kidd EA, Groen HJ (1997). The effect of fluoridation on the occurrence of hidden caries in clinically sound occlusal surfaces. *Caries Res* 31:30-34.