

형광 검출을 이용한 치석 진단 시스템 개발

장선희* · 이영림* · 이우철**

Development of Dental Calculus Diagnosis System using Fluorescence Detection

Seon-Hui Jang* · Young-Rim Lee* · Woo-Cheol Lee**

요 약

치아는 주기적으로 치과에 가서 검진을 하지 않으면 평소에 통증이나 불편이 있기 전에는 치아 질병을 알아차리기 어렵다. 치석은 구강 내 음식 또는 이물질과 세균의 결합으로 생성된다. 치석을 이루고 있는 세균으로부터 전분이 분해되는데 이때 발생하는 산이 치아의 법랑질을 녹여 충치가 되기 때문에 치석관리가 중요하다. 입속 세균의 대사 산물인 포피린은 405nm 파장에서 반응하여 붉은 형광을 띠게 되며 특정 파장의 필터를 거치면 영상으로 세균을 확인할 수 있다. 위의 방법으로 프라그 및 치석을 형광으로 검출하고 500nm 이상의 파장을 통과시키는 노란색 계열의 필터를 카메라 앞에 부착하여 촬영한다. 이는 매트랩을 이용하여 이미지 영상처리를 통해 적색 형광 부분을 검출 후 표시한다. 또한, 광계측 회로를 통해 정상 치아와 치석의 치아 전압 값 차이를 이용해 아두이노로 연결하여 LCD에 표시한다. 사용자는 이를 통해 보다 정확한 치석의 유무와 위치를 알 수 있다.

ABSTRACT

If you don't regularly go to the dentist to check your teeth, it is difficult to notice cavities or various diseases of your teeth until you have pain or discomfort. Dental plaque is produced by the combination of food or foreign substances and bacteria in the mouth. Starch breaks down from the bacteria that form tartar. The acid that occurs at this time melts the enamel of the teeth and becomes a cavity. So tartar management is important. Porphyrin, the metabolism of bacteria in the mouth, reacts at 405 nm wavelengths and becomes red fluorescent, which can be seen by imaging through certain wavelength filters. By the above method, Frag and tartar are fluorescently detected and photographed with a yellow series of filters that pass wavelengths of 500 nm or more. It uses MATLAB to detect and display red fluorescence through image processing. Using the difference in voltage between normal teeth and tartar through an optical measuring circuit, it was connected to an Arduino and displayed on the LCD. This allows the user to know the presence and location of dental plaque more accurately.

키워드

Fluorescence Detection, Porphyrin, Dental Calculus Diagnosis

치석 형광 검출, 포피린, 치석 우식 진단

* 을지대학교 의료공학과 (tjsgml729@naver.com, qwpodudfal12@naver.com, wcleee@eulji.ac.kr)

** 교신저자 : 을지대학교 의료공학과

• 접수 일 : 2022. 06. 14

• 수정완료일 : 2022. 07. 13

• 게재확정일 : 2022. 08. 17

• Received : Jun. 14, 2022, Revised : Jul. 13, 2022, Accepted : Aug. 17, 2022

• Corresponding Author : Woo-Cheol Lee

Dept. Biomedical Eng. Eulji University,

Email : wcleee@eulji.ac.kr

1. 서 론

치과 방문의 목적은 예방치료가 가장 크다. 치과는 다른 의료영역보다 보험적용이 적어 개인의 부담이 있다. 치석은 구강 내 음식과 이물질이 남아 세균과 결합하여 생긴다. 이는 주기적으로 관리를 잘해준다면 충치 발생을 예방할 수 있다. 충치의 시작은 프라그로부터 발병된다. 프라그를 이루고 있는 세균으로부터 전분이 분해된다. 이때 발생하는 산이 치아의 법랑질을 녹여 충치가 발생 된다. 치아는 주기적으로 검진을 권장하지만, 치과에 대한 부담과 두려움으로 치과 방문에 대해 망설이는 사람들이 많다. 치아는 특히 통증이나 불편이 있기 전에는 구강 내 질병을 확인하기 어렵다. 충치의 경우 법랑질만 충치가 생긴 경우 일반인이 육안으로 판단하기가 어렵다[1-3]. 하지만 치아는 초기 진단이 중요하며 치료 시기가 늦을수록 비용 부담이 많이 발생하게 된다. 이런 상황을 보았을 때, 충치의 원인이 될 수 있는 치석의 유무를 가정이나 개인이 확인할 수 있는 기기가 필요하다. 세균의 대사 산물인 포피린은 405nm 파장에서 반응하며 이는 붉은 형광을 띤다. 형광검출 방법을 통해 치석을 검출하여 영상처리를 통해 사용자가 치석의 위치를 인식할 수 있도록 한다[4-6].

정량광형광검출의 기술을 보면 1세대 Inspektor Pro는 405nm의 가시광선을 치아에 조사 후 마이크로 CCD를 이용하여 이미지를 얻었다[7-8]. 2세대 정량광형광검출 QLF-D 제품은 HD 이미지를 촬영하여 SLR 카메라와 고주파 통과, 480nm 이상을 통과하는 필터와 분홍색 필터를 추가하여 이중필터로 구성되었다. 3세대 정량광형광검출 기기는 2세대의 이중필터가 아닌 한 장의 유리 필터를 이용한다[9-11]. 하지만 이러한 제품들은 대부분 병원에서 이용되는 제품으로 개인이 사용하는 제품의 필요성을 인식하였다[1]. 정량광형광검출 원리를 이용한 제품은 광학식치아우식 진단장치 품목명으로 국내에 9개가 등록되어 있다. I사에서 출시한 큐스캔과 큐레이엠을 제외한 나머지 기기들은 병원을 대상을 하고 있거나 일부 판매가 중지된 제품이다. 가정에서 구입할 수 있는 기존의 제품은 혼자 사용하였을 때 구강 결면을 확인하기에는 용

이하였으나 구강 내부의 치아를 확인하기엔 어려움이 있었다. 이를 개선하고 치석의 위치를 사용자에게 보여주었을 때 더욱 편리하게 치아 관리를 할 수 있다고 생각하여 형광검출을 이용한 치석 진단 시스템 개발을 진행하였다.

본 연구를 진행함에 있어 다음과 같은 제한 점이 있다. 치석 이외에 형광을 가지고 있는 물체일 때 시스템상에서 발견될 수 있다. 실험대상의 치아 상태가 치석의 양이 적어 연구의 진행에 어려움이 있어 영상 처리에 사용된 사진은 정량광형광검출 원리를 이용한 아이오바이오 사의 사진을 이용하였다. 측정된 센서 및 신호처리의 오차가 있을 수 있다[12-13]. 영상처리를 하기 위해서는 어두운 곳에서 촬영한 사진이 필요하다. 사진 촬영은 스마트폰을 이용하여 촬영하였기 때문에 카메라에 따른 색감 차이가 있을 수 있다.

II. 시스템 개발

2.1 연구의 개발 방법론

형광검출은 정량 광유도 형광검출법을 이용한다. 인체에 무해한 405nm 파장을 이용하여 치아에 조사하고 반사된 빛을 수광센서와 카메라로 촬영한다. 반사된 빛은 물리적 필터에 의해 405nm의 빛은 제거된다. 이 필름은 500nm 이상의 파장을 효과적으로 통과시키는 필름이다. 치아에 조사한 후 카메라로 촬영하면 치아는 흰색에 가까운 파란색으로 보이며 치석은 붉은 형광을 띤다. 붉은 형광을 띠는 원리는 푸른색 가시광선을 치아에 조사하면 건전한 치아의 법랑질 조직은 푸른색을 흡수하지만, 치아의 무기질이 소실된 부분은 형광이 감소 되어 어둡게 나타나고, 구강 내의 바이오 필름들이 가지고 있는 포피린 성분으로 인해 붉은 형광으로 나타나게 되는 것이다[2]. 이를 통해 정상 치아와 치석이 있는 치아를 구별한다. 치아에서 반사되는 빛을 수광센서로 받아들여 색의 정도를 정량화하고, 카메라로 촬영한 치아의 상태를 영상처리를 통해 진단하는 방식이다. 이 2가지를 이용하여 진단 시스템의 정확도를 높였다. 수광센서의 값은 기존 정상 치아의 값보다 치석의 부분에서 더 높은 전압값으

로 나타났다. 영상처리를 한 치아 사진은 치석의 위치를 확인할 수 있다.

III. 실험과정 및 결과

3.1 시스템 구성

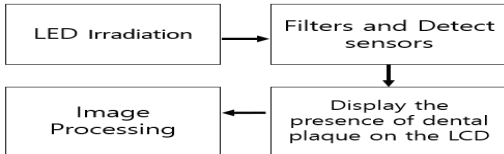


그림 1. 시스템 구성도
Fig. 1 System diagram

3.2 센서 회로 구성

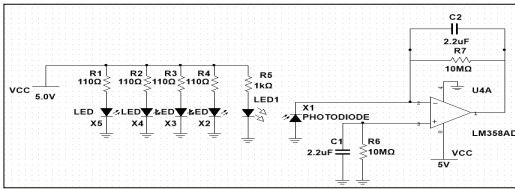


그림 2. 센서 회로
Fig. 2 Sensor circuit

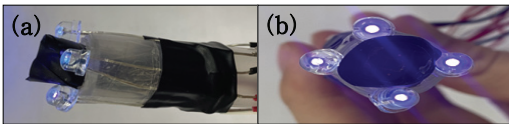


그림 3. 센서 구성 (a) 측면, (b) 정면
Fig. 3 Sensor configuration (a) side, (b) front

3.3 LED 구동 파장 확인

빛 파장 검출기를 이용하여 발광부 LED의 파장을 측정하여 그림 4에 나타났다.

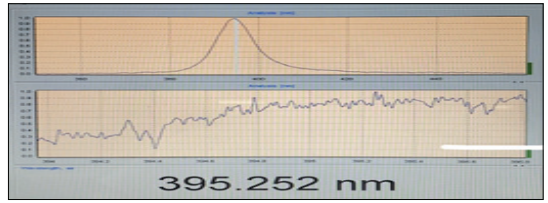


그림 4. 기기 LED의 실제 파장 확인
Fig. 4 Check the actual wavelength of the LED

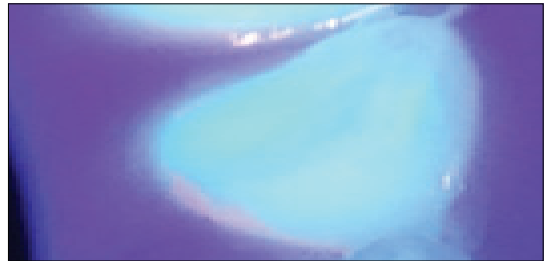


그림 5. LED를 치아에 조사 후 포피린 반응 확인
Fig. 5 LED Irradiation and check porphyrin's response

이후 LED 파장에 의해 포피린이 형광으로 반응하는지 확인한다. 사진과 같이 치석이 있는 부분은 붉은색 형광으로 나오는 것 확인하였고 그림5에 나타났다. 이는 포피린이 반응해서 나타나는 붉은 형광이다. 결과적으로 395.2~ 405nm 파장 대역에서 LED에 의해 포피린이 검출되는 것을 확인했다. LED 파장 대역은 395nm 와 405nm의 10nm 차이는 실험의 정확도에 영향이 없었다.

3.4 필터 특성

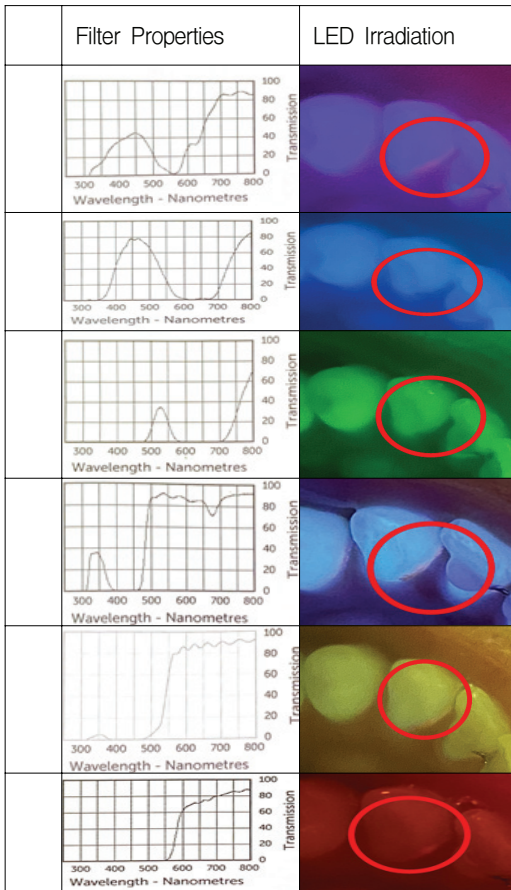
육안으로 포피린의 붉은 형광을 확인 가능하지만 카메라를 통해 영상처리를 하기 위해서는 필터가 필요하였다. 물리적인 필터를 이용하지 않는 경우 조사 각도에 따른 치아의 빛 반사가 심하여 카메라로 촬영 시 치석이 있는 치아의 사진을 선명하게 촬영하는 것이 어려웠다. 젤라틴 조명 필터를 이용하여 적합한 색상의 필터를 사용하였다. 이 필터의 특성은 표 1에서 확인할 수 있다.

크게 6가지의 분류, 300여 개의 젤라틴 조명 필터로 테스트하였을 때 치아와 포피린의 대비가 잘 되는 색상은 보라색, 노란색, 주황색계열이 있다. 405nm를

차단시키고 치석과 치아의 색이 대비가 잘되는 필터를 선택하였다. 그 필터는 노란색 계열이었다. 노란색 필터는 500nm 파장의 이상을 통과시켰다. 이를 확인하고자 빛 파장 검출기를 이용하여 파장을 확인하였다. 선택한 노란색 필터를 통과한 405nm 빛의 파장은 560nm ~ 788nm를 통과시키는 값이 나왔다.

표 1. 필터특성과 치아조사 결과 비교

Table 1. Comparison of filter characteristics and dental examination results



3.5 수광센서의 빛 검출

직접 실험한 치아의 치석 검출량이 적어 측정에 어려움이 있었기 때문에 광계측부와 포피린에 의해 적색으로 반응하는 치석을 대신하여 적색 LED를 이용한 회로를 구성하였다. 이는 Calibrator 역할을 한다. 저항

이 같을 경우, 거리가 가까울수록 높은 전압값이 나타났다. 또한, 포화상태는 3.85V 값이다. 같은 거리에서는 저항의 값이 낮을수록 빛의 세기가 강해지기 때문에 높은 전압값이 나타난 것을 표 2에 나타내었다.

표 2. 거리와 저항값에 따른 출력 전압값 변화
Table 2. Variation of output voltage according to distance and resistance

When the resistance is 1000Ω, the voltage value according to the distance(mm/y)						
distance	0.5	1	1.5	2	2.5	3
voltage	3.85	3.74	2.78	2.26	1.56	1.4
When the resistance is 500Ω, the voltage value according to the distance						
distance	0.5	1	1.5	2	2.5	3
voltage	3.85	3.85	2.88	2.5	2.47	2.3
When the resistance is 240Ω, the voltage value according to the distance						
distance	0.5	1	1.5	2	2.5	3
voltage	3.85	3.85	3.24	3.06	2.91	2.67

3.6 매트랩을 이용한 영상 신호 처리

영상신호처리는 매트랩의 과정은 플로우 차트로 정리할 수 있다(그림 6).

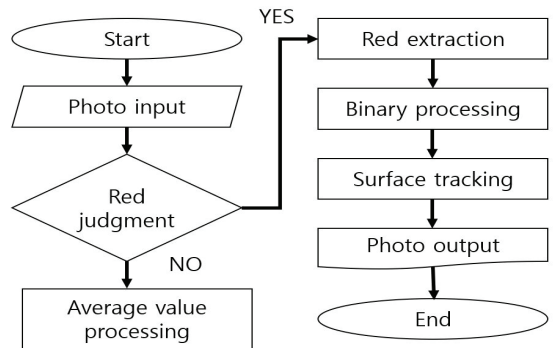


그림 6. 영상 신호처리 플로우차트

Fig. 6 Video signal processing flowchart

3.7 치아 형광 측정 사진

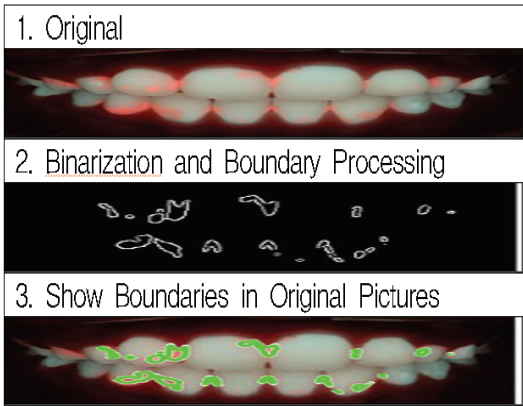


그림 7. 영상신호처리 후 치석 위치 표시 과정
Fig. 7 Process of displaying calculus location after image signal processing

Calibrator를 통해 수광센서의 작동을 확인한 후 치아에 직접 적용해보았다. I사 제품에서 검출된 치석과 연구에 이용된 기기의 치석을 비교하였다.

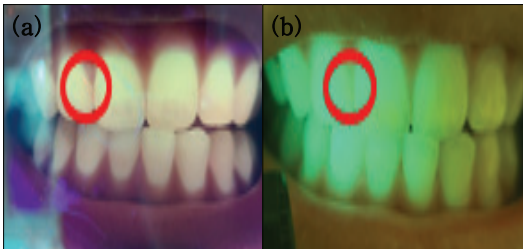


그림 8. I사 제품과 연구 기기의 실제 치아 적용과 치석 사진 비교 (a)큐스캔, (b)연구 기기

Fig. 8 Comparison of actual application photos of Q scan and research devices

두 제품을 통해 치석이 있음을 확인한 후 기기를 사용하여 형광 검출량 전압값을 측정하였다. 이를 표시하기 위해 마이크 A/D 신호처리하여 전압값을 디지털 처리하여 LCD에 수치값을 표시하였다.

표 3. 정상 치아와 치석의 측정 전압값 디지털 출력 결과

Table 3. Digital output result of measured voltage values of normal teeth and tartar

normal teeth	tartar teeth
COM3	COM3
0.55	0.83
0.55	0.83
0.55	0.84
0.56	0.84
0.56	0.84

치아의 치석 양이 적고 적색 LED처럼 일정한 값을 가지고 있지 않기 때문에 전압값은 1V 미만의 값으로 측정되었다. Calibrator 회로를 이용하였을 때 적색 LED보다 청색 LED 값이 작게 나온 것을 확인하여 표 3에 나타내었다. 치석 치아에서 0.7~0.8V값이 나왔다. 평균값인 0.75V를 기준으로 이 값 이상이 측정될 때 LCD에 ‘치석 치아’, 이하의 값에서는 ‘정상 치아’를 표시하였다.



그림 9. 정상, 치석치아의 측정전압 및 0.75V를 기준으로 결과 LCD표시 (a)정상치아, (b)치석치아

Fig. 9 Display result LCD based on normal teeth, tartar measurement voltage and 0.75V (a) normal teeth, (b) tartar teeth

IV. 결론 및 고찰

고령화와 국민들의 건강에 관한 관심이 증가한 만큼, 치아 건강에 관한 관심도 증가하였지만 유독 치아에 대해 두려움을 나타내는 사람들이 많다. 치아는 인체의 많은 질병과 연관이 있다. 하지만 치아를 가정에

서 진단하거나, 병원을 가지 않고서는 쉽게 치아에 대한 정보를 알 수 없다. 또한, 시중에서 구할 수 있는 기기는 매우 제한적이다. 본연구에서는 형광검출과 매트랩을 이용하여 치석을 진단할 수 있는 시스템을 구현하였다.

405nm LED는 기기의 겉 부분에 일정한 간격으로 부착하였다. 기기의 형태는 펜 형식으로 구강 내도 확인이 가능하도록 제작하였다. 이 형태는 한 번에 모든 치아의 상태를 확인할 수 없다는 제한 점이 있다. 본 연구에서는 수광센서의 0.75V 이상의 전압값일 때 LCD에 '치석 치아' 표기와 영상처리를 통해 가정에서도 치석 진단이 가능하도록 설계하였다. 영상처리를 통해 얻은 사진을 통해 치석의 유무를 확인할 수 있다. 또한, 치석으로 진행되기 전 단계인 치태도 진단 가능하다. 따라서 기기를 통해 치태의 위치를 파악하고 양치질로 치태를 제거하여 치석이 쌓여 충치가 되는 것을 예방하는 효과를 기대할 수 있다. 또한, 이를 이용한다면 치아의 상태를 쉽게 확인할 수 있어 치아 관리의 본인 부담금과 두려움을 해소하여 치아 관리에 대한 부담을 줄일 수 있다고 기대한다.

References

- [1] S. Park, H. Lee, S. Kim, E. Lee, E. Jong, and B. Kim, "Comparison of fluorescence loss measurements among various generations of QLF devices," *J. of Korean Dental Association*, vol. 56, no. 1, 2018, pp. 8-16.
- [2] M. Eom, "Results of an auxiliary use of 405 nm wavelength light in the survey of dental caries," Doctoral Thesis, *Gangneung-Wonju University Graduate School of Dentistry*, 2019.
- [3] S. Park, S. Park, E. Kim, S. Kye, Y. Wee, and O. Lee, "Development of early diagnosis system of caries based on mobile fluorescence imaging," *Proceedings of the Fall Conf. Busan, Korea*, Oct. 2018, pp. 480-481.
- [4] M. Kim, B. J. B. Lim, and I. Lee, "Effect of light source and filter on caries detection by light-induced fluorescence," *J. of the Korean Society of Dental Materials*, vol. 42, no. 3, 2015, pp. 187-196.
- [5] K. Mo, J. Yoon, S. Kim, and S. Lee, "Detection of proximal caries using laser fluorescence," *J. Korean Acad Pediatr*, vol. 31, no. 2, 2004, pp. 323-330.
- [6] H. Hintze, "Screening with conventional and digital bite-wing radiography compared to clinical examination alone for caries detection in low-risk children," *Caries Res*, vol. 27, no. 6, 1993, pp. 499-504.
- [7] H. Hintze, A. Wenzel, and C. Jones, "In vitro comparison of D- and E-speed film radiography, RVG, and visual digital radiography for the detection of enamel approximal and dentinal occlusal caries lesions," *Caries Res*, vol. 28, no. 5, 1994, pp. 363-367.
- [8] S. Jessee, S. Makins, and W. Brets, "Accuracy of proximal caries depth determination using two intraoral film speeds," *Gen Dent*, vol. 47, no. 1, 1999, pp. 88-93.
- [9] S. Noar and B. Smith, "Diagnosis of caries and treatment decisions in approximal surfaces of posterior teeth in vitro," *J. Oral Rehabil*, vol. 17, no. 3, 1990, pp. 209-218.
- [10] H. Hintze and A. Wenzel, "Clinically undetected dental caries assessed by bitewing screening in children with little caries experience," *Dentomaxillofac Radiol*, vol. 23, no. 1, 1994, pp. 19-23.
- [11] B. Mansson and J. Bosch, "Optical methods for the detection and quantification of caries," *Adv. Dent. Res*, vol. 1, no. 1, 1987, pp. 14-20.
- [12] J. Choi, "PID Controlled UAV Monitoring System for Fire-Event Detection," *J. of the KIECS*, vol. 15, no. 1, 2020, pp. 1-8.
- [13] J. Lim, N. Park, B. Choi, Y. Kim, and J. Kim, "A Study on the Multi-sensor Toilet," *J. of the KIECS*, vol. 17, no. 1, 2022, pp. 201-200.

저자 소개



장선희(Seon-Hui Jang)

2022년 을지대학교 의료공학과
졸업(공학사)



이영림(Young-Rim Lee)

2022년 을지대학교 의료공학과
졸업(공학사)



이우철(Woo-Cheol Lee)

1983년 건대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1986년 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2006년 국민대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1993년 ~2021 현재 을지대학교 바이오융합대학 의료공학과 교수

※ 관심분야 : 생체계측, 헬스케어의료기기시스템

