

몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 치아 조직내 OCT 신호 해석 및 최적화

황대석* · 이승용* · 김신자* · 류광렬* · 이호근** · 이영우*

*목원대학교 · **(주)한백전자

OCT Signal Analysis and Optimization in Dental Medium using Monte-Carlo Simulation

Dae-seok Hwang* · Seung-Young Lee* · Sheen-ja Kim* · Kwang-Ryol Ryu* · Ho-Guen Lee** ·
Young-Woo Lee*

*Mokwon University · **Hanback electronics co., ltd.

E-mail : ywlee@mokwon.ac.kr

요 약

치아 조직안에서의 OCT 신호의 검출 및 최적화를 위해 몬테카를로 수치해석 프로그램을 개발하였다. 수치해석 결과에 의해 치아 조직 내에서의 깊이에 따라 서로 다른 전파 특성을 갖는 두가지 신호를 얻었다. 검출 신호는 약 $60\mu\text{m}$ 이상의 깊이에서 잡음 신호가 특성 신호에 비해 커짐으로 검출이 어려웠으나, 검출 영역 및 각도의 제한에 의해 $500\mu\text{m}$ 이상으로 검출 깊이가 증가함을 알수 있었다

ABSTRACT

We developed the monte-carlo simulation code for analysis of the OCT signal in dental medium. In calculation, we obtain the two different propagation signals as a function of the probing depth. Signal 2 begins to exceed the signal 1 at a very small probing depth($\approx 60\mu\text{m}$). For reduce the signal, detection area is limited to radius and detection angle. As numerical result, probing depth becomes approximately $500\mu\text{m}$.

키워드

Dental Medium, Monte-Carlo Simulation, Optical Coherence Tomography

I. 서 론

최근 생체계측 분야에 있어 OCT(Optical Coherence Tomography)는 매우 주목받는 기술중 하나이다. OCT는 기존의 의료분야 진단 기술인 X-Ray 나 초음파에 비해 고 분해능의 단면 영상을 손쉽게 얻을 수 있다. OCT의 응용분야로는 눈의 영상을 얻는데 가장 많이 이용되지만, 심장, 위장, 방광, 호흡기, 뇌, 여성 생식기 등의 연구 분야에서 OCT가 초기 종양의 변화로 발생하는 상피와 샘 기관에서 변화를 감지할 수 있다는 사실이 보고되어 있다.

본 논문에서는 여러 조직 중, 치아 매질 모델에

대해 몬테 카를로 수치해석을 이용하여 치아 매질에 입사된 빔의 신호를 분석하였으며 분석결과에 의해 검출부를 최적화하였다.

II. 몬테카를로 시뮬레이션 모델

몬테 카를로 시뮬레이션은 우연현상의 경과를 난수를 써서 수치적, 모형적으로 실현시켜 관측하여 문제의 근사해를 얻는 방법으로 일반적으로 산란 및 확산 방정식에 대해 입자의 진로를 구체적으로 추적하여 많은 입자에 관한분포에서 수치해를

구하는 방법이다. 본 논문에서는 치아에서 광 전파 특성을 해석하기 위해 몬테 카를로 시뮬레이션을 사용하였다[1].

본 논문에서는 치아 조직내에서 광자의 산란각을 결정하기 위해 Henyey-Greenstein 위상함수를 적용하였다.

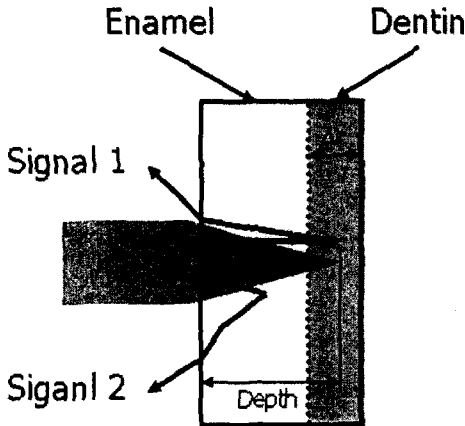


그림 1. 치아 매질에서 광신호 전파 모델

그림 1은 치아 매질로 입사된 광의 전파를 보여 준다. 치아 매질안에서 광신호는 검출하고자 하는 지점의 광(Signal 1)과 그 이전에 산란되는 광(Signal 2)으로 나눌수 있다. 검출하고자 하는 위치는 식(1)과 같이 나타낼수 있다.

$$2n\Delta z = l_c \quad (1)$$

여기에서 n 은 매질의 굴절율, l_c 는 광원의 가간섭거리, Δz 는 단면의 두께이다.

치아 매질에 입사된 광자들은 몬테-카를로 수치 해석에 적용된 Henyey-Greenstein 위상 함수에 따라 매질 안에서 산란된다. 산란된 광들은 조건에 따라 Signal 1과 Signal 2로 구분되어지며 동시에 가간섭거리에 따라 선택되어진다.

OCT 신호는 산란광의 강도와 검출기에 따라 많은 영향을 받는다. Signal 1과 Signal 2는 가간섭거리 이내 ($[p - l_c/2, p + l_c/2]$)에서 검출되며, 가간섭거리 안에서 동시에 검출된 Signal 1에 대해 Signal 2는 잡음으로 작용하여 치아조직단면 영상의 명확도를 흐리게 된다. 검출기의 경우 수광면적과 수광 각도에 의해 영향을 받게 된다. 검출기의 각도와 면적에 대해 안테나 이론을 적용하였다.

$$(\Delta\theta)^2 \approx \lambda^2/A \quad (2)$$

여기에서 A 는 검출기의 수광면적, $\Delta\theta$ 는 검출기의 수광각, λ 는 광파장이다.

$$p(\cos\theta) = \frac{1-g^2}{2(1+g^2-2g\cos\theta)^{3/2}} \quad (3)$$

여기에서 g 는 비균질 인자이고 θ 는 광자의 단일 산란에서의 굴절각이다.

표 1은 치아 매질내에서 광 전파 특성의 수치 해석에 사용되어진 상수값들이다[2].

표 1. 수치해석에 사용된 치아 매질 상수

Tissue	Constant	Value
Enamel	$\mu_s (cm^{-1})$	15±5
	$\mu_a (cm^{-1})$	< 1
	g	9.96±0.02
	$f_d (%)$	35±5
Dentin	$\mu_s (cm^{-1})$	260±78
	$\mu_a (cm^{-1})$	3 - 4
	g	0.93±0.02
	$f_d (%)$	0~2

III. 수치 해석 결과

그림 2는 몬테-카를로 수치해석을 이용한 치아 매질에서의 광신호의 결과이다.

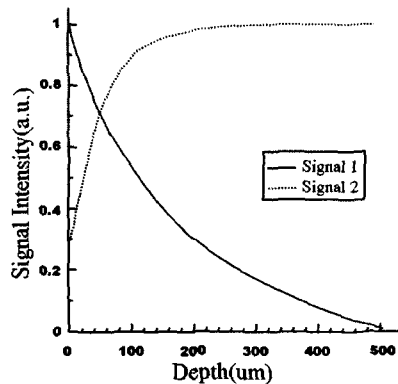


그림 2. 깊이에 따른 Signal 1과 Signal 2의 광강도

그림 2에서 Signal 2는 약 100 μm 에서부터 급격히 증가하여 Signal 1보다 큰 값을 갖게 되어 검출 깊이가 증가함에 따라 Signal 2의 검출이 힘들어짐을 알 수 있다. 치아 매질에서 산란되어 나오는 Signal을 식(2)와 같이 검출기의 검출각 및 검출영역으로 제한($A:314\mu\text{m}$, $\Delta\theta:5^\circ$, $\lambda:1.3\mu\text{m}$)하여 다시 적용한 결과를 그림 3에 보인다.

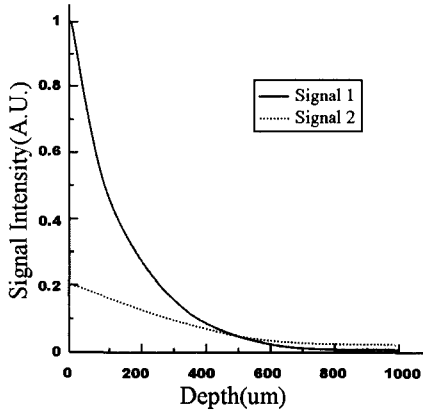


그림 6 검출영역 제한에 의한 Signal 1과 Signal 2의 깊이에 대한 광 강도

검출영역의 제한으로 Signal 1에 비해 Signal 2는 산란횟수 및 산란 각도가 큼으로 인해 치아 매질 전체에서 나오는 Signal에 비해 SNR의 상승으로 또한 검출 깊이가 제한하기 전에 비해 깊어진 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

치아 조직안에서의 광 신호의 전파 특성 및 검출의 최적화를 위해 치아의 Enamel과 Dentin의 모델을 만들고 몬테카를로 수치해석 프로그램을 이용하여 분석하였다. 수치해석 결과에 의해 치아 조직 내에서의 깊이에 따라 서로 다른 전파 특성을 갖는 신호를 얻었다. 검출 신호는 약 60 μm 이상의 깊이에서 잡음 신호가 특성 신호에 비해 커짐으로 검출이 어려움 알 수 있었다. 이를 검출 영역 및 각도($A:314\mu\text{m}$, $\Delta\theta:5^\circ$)를 제한하여 500 μm 이상의 검출 깊이까지 검출 깊이가 증가함을 알 수 있었다

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

- [1] L. H. Wang, S. L. Jacques and L. Q. Zheng, MCML-Monte Carlo modeling of photon transport in multi-layered tissue, Computer methods Programs in Biomedicine 47, 131-146, 1995
- [2] D. Fried, R. E. Glens, J. D. B. Featherstone, W. Seka, Nature of light scattering in dental enamel and dentin at visible and near-infrared wavelengths, Applied Optics, 34, 1278-1285, 1995