

생체 특성에 따른 광분포 모델링

According to optical property of tissues, light distribution modeling

김미영, 김영관, 김용평, 오상기*, 박양하*
 경희대학교 전자정보대학, *한국전기연구원
 mingi00@nate.com

1. 서론

최근 생체 내에서 광의 산란, 흡수, 투과 특성을 이용하여 의학적으로 많은 응용을 하고 있다. 여러 생체조직은 각기 다른 특성을 가지기 때문에 생체 내에서 광의 진행과 분포에 있어서 뚜렷한 차이를 보인다. 매질의 특성을 결정짓는 흡수, 산란 계수와 등방성 계수에 따라서 광의 분포 특성은 달라진다. 본 연구에서는 몬테 카를로 방법을 이용하여 생체 내에서 광의 진행과 분포에 대한 모델링을 하였다. 이 결과 생체 조직에서 광의 진행과 분포에 대한 정보를 얻을 수 있다.

2. 본론

몬테 카를로 시뮬레이션은 확률분포로부터 변수의 임의 추출에 따르는 "throwing the dice"라는 방법을 사용한다. x 는 티슈에서 광진행에 대한 몬테카를로 시뮬레이션에 필요한 확률 변수이다. 이 변수는 티슈 경계면 사이에서 가변스텝사이즈, 산란된 광의 굴절각을 결정한다. 광이 매질을 진행하게 되면 매질과의 상호작용으로 인해서 흡수, 반사와 투과 현상이 일어나게 된다. 이에 대한 정보를 가지고 있는 흡수 계수와 산란 계수, 그리고 등방성 계수를 이용하여 생체 내에서 광의 진행을 추적한다. 광량의 초기값은 1이다. 광이 진행하기 시작하면 광이 입사하는 면에서 표면 반사가 일어나고, 남은 광량 W 는 매질속을 진행하기 시작한다. 스텝사이즈만큼 이동한 후에 광의 진행방향은 굴절각과 방위각에 의해 결정되어지며, 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned}\mu'_x &= \frac{\sin \theta}{\sqrt{1-\mu_z^2}} (\mu_x \mu_z \cos \phi - \mu_y \sin \phi) + \mu_x \cos \theta \\ \mu'_y &= \frac{\sin \theta}{\sqrt{1-\mu_z^2}} (\mu_y \mu_z \cos \phi - \mu_x \sin \phi) + \mu_y \cos \theta \\ \mu'_z &= -\sin \theta \cos \phi \sqrt{1-\mu_z^2} + \mu_z \cos \theta\end{aligned}\quad (1)$$

매질 내에서 진행되는 광은 매질과의 상호작용으로 인해서 광량이 문턱값 아래로 떨어지게 된다. 광량이 문턱값보다 작거나 같을 때 확률변수가 생존률 m 의 역수보다 작거나 같으면 mW 의 광량을 가지고 다시 진행을 하게 되고, 크게되면 광은 종결하게 된다. 이 방법은 에너지 보존 법칙을 만족시킨다.

3. 결과

표 1은 각각 진피, 맥관내막, 혈액에 대한 흡수 계수, 산란 계수, 등방성 계수이다.

표 1. 생체 특성

	μ_a [cm^{-1}]	μ_s [cm^{-1}]	g
진피	2.7	187	0.81
맥관내막	3.6	171	0.85
혈액	14.3	3660	0.9976

다음은 진피-맥관내막-혈액 순의 3층으로 이루어진 매질에 대한 시뮬레이션 결과이다.

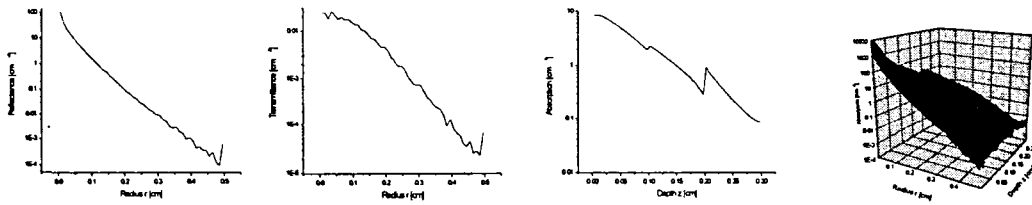


그림 1 Radius r에 따른 Reflectance [cm^{-2}] 그림 2 Radius r에 따른 Transmittance [cm^{-2}] 그림 3 Depth z에 따른 Absorption [cm^{-1}] 그림 4 Radius r, Depth z에 따른 Absorption [cm^{-3}]

그림 1과 그림 2는 광의 입사면으로 매질 내에서 반사되는 광량과 매질을 투과하는 광량을 보여준다. 매질의 특성 변화에 따라서 각 매질의 경계면에서 흡수량이 변화함을 그림 3을 통해서 알 수 있다. 그림 4는 매질의 반경과 깊이에 따라 흡수되는 광량을 3차원으로 나타내었다. 입사된 광량 중 2%의 광량이 매질의 표면에서 반사되었고, 66%의 광량이 매질에서 흡수되었다. 매질내에서 반사된 광량은 31%이고, 매질을 투과한 광량은 0.16%이다.

4. 결론

본 연구 결과로 다양한 특성의 어떤 매질에서도 광의 진행과 분포를 예상할 수 있다. 생체를 진행하는 광은 흡수 계수, 산란 계수, 등방성 계수 등 매질의 특성에 영향을 받는다. 매질의 특성에 따라서 흡수량, 반사량 그리고 투과량에 차이를 보일 것이다. 정상적인 생체 조직과 다른 광분포를 보이는 조직은 종양과 같이 변이된 물질이 있을 것이다. 본 연구 결과를 이용해서 그에 대한 검출이 가능하다. 이 결과는 광을 이용한 의학적 시스템에 적용할 수 있다.

참고 문헌

1. J. F. Beeky, P. Blokland, P. Posthumus, M. Aalders, J. W. Pickering, H. J. C. M. Sterenborg and M. J. Cvan Gemert, "Invitrodoube-integrating-sphere optical properties of tissues between 630 and 1064nm", 1997
2. B. Farina, S. Saponaro, E. Pignoli, S. Tomatisand and R. Marchesini, "Monte Carlo simulation of light fluence in tissue in a cylindrical diffusing fibre geometry", 1998
3. M. Hammer, A. Roggd, D. Schweitzert and G. Muller, "Optical properties of ocular fundus tissues-an in vitro study using the double-integrating-sphere technique and inverse Monte Carlo simulation", 1994
4. S. J. Preece and E. Claridge, "Monte Carlo modelling of the spectral reflectance of the human eye", 2002