주파수 영역 확산광 단층촬영 장치를 이용한 비균질한 광 팬텀 및 인체 두뇌의 광 특성 연구

Studies on Optical Properties of Human Brain and Inhomogeneous Optical Phantom Using Frequency-Domain Diffuse Optical Tomography

호동수*, 권기운*, 이승덕*, 엄기윤*, 김법민*

* 연세대학교 의공학과

* dsho@yonsei.ac.kr

광 확산 단층촬영장치(Diffuse optical tomography: DOT)는 레이저 빛을 조직에 입사 시켜 조직 내에서 다중산란(multiple scattering)되어 나오는 광자를 측정 한 후 측정된 빛으로부터 조직의 광학적 특성을 결정하여 영상을 재구성하는 장비를 말한다. 호흡 등으로 인한 혈류 변화와 뇌 기능에 따른 인체의 반응을 볼 수 있고 비전리 방사선을 이용하여 비침습적으로 진단을 하며 비교적 빠른 기능적 영상을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 변조된 레이저 광원과 팬텀을 이용하여 시스템의 성능을 보정 최적화 하였다. 이를 이용하여 비균질한 팬텀과 인체의 두뇌 조직에 입사 시켜 얻어낸 광 정보를 바탕으로 내부 영상을 재구성 하여 보았다.

본 론

우리의 시스템은 658, 830nm 두 파장의 레이저 광원을 변조 하여 사용하였다. 이 두 레이저는 광분배기(optical switching)를 통해 하나는 측정하고자 하는 샘플에 보내고, 다른 하나는 PMT 검출기 쪽으로 보내게 된다. 이것은 나중에 heterodyne-detection 방법을 사용하여 우리가 최종 얻고자 하는 광 산란계수 및 흡수계수를 구하고자 하는데 사용된다. 변조된 100MHz와 100.009MHz의 레이저 광원을 mixer를 통해 혼합하고 광을 증폭 할 수 있는 AMP(amplifier)도 자체 제작하였다.

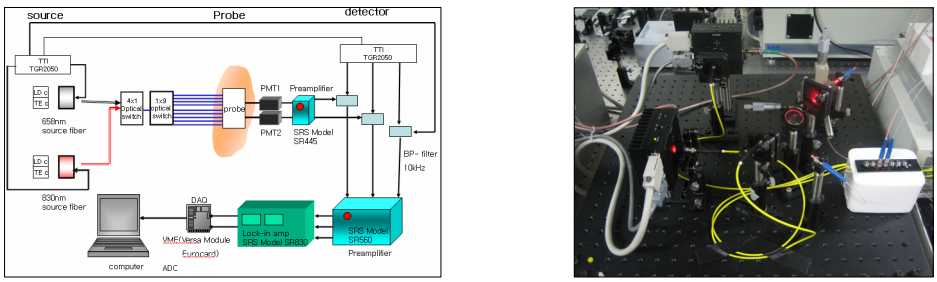

그림 1. 시스템의 개략도 및 시스템의 이미지

광 검출기로는 PMT(Photomultiplier Tube)를 사용하여 측정도(efficiency)를 높이려고 하였다. 본 연

구실에서 자체 제작한 광 증폭기와 9kHz band-pass filter를 사용하여 잡음을 줄이고 신호를 증폭하였다. 우리는 인체의 정확한 정보를 얻기 위해 광 검침자(Probe)도 자체 제작하였다. 그림 2는 인체 두뇌에서 대뇌, 그 부분의 기능 모형도와 연구실에서 제작한 광 검침자 이미지이다. 각 2개의 레이저 광원을 optical switching으로 분배하여 1cm 간격으로 놓아 집적 할 수 있게 하였고, 3mm bundle용 광 섬유를 통해 측정 하였다 . 또한 빠른 광 정보 획득을 위해 VME(ADC)를 통해 데이터를 받아 USB로 컴퓨터에 직접 저장되도록 하였다.

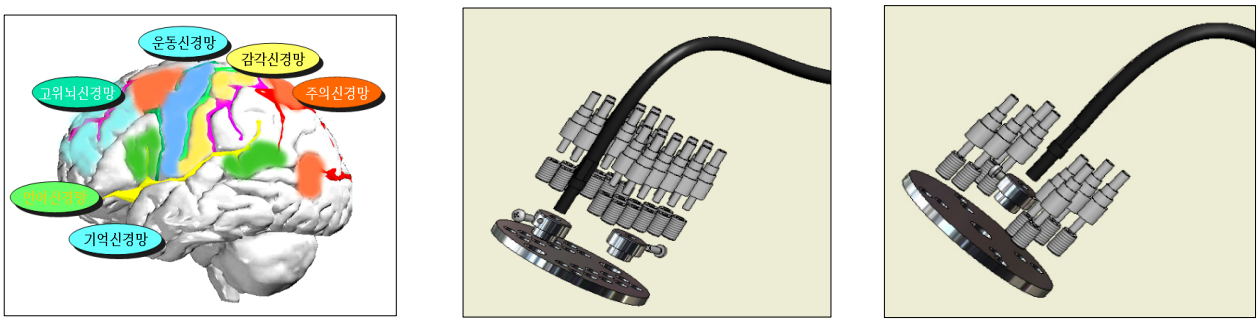

그림 2. 인체의 대뇌와 그 부분의 기능 모형도, 광 검침자 이미지

이 데이터를 이용하여 비균일 팬텀에 대해서는 Radiative Transfer Equation에 대한 Diffusion Approximation을 이용하여 얻어진 타원형 편미분 방정식에 관한 유한요소법을 Forward Solver로 이용하여 최적화 기법을 적용, 광특성을 측정하였다.[3] 인간의 뇌에 관해서는 복잡한 내부구조를 전부 고려하기 보다는 균일 매질로 가정하고 시간에 따른 혈류량의 변화에 중점을 두어 analytic solution 방법을 이용하였다[2]. 우리의 F-D DOT 시스템의 정확도와 최적화를 위하여 일정한 광 계수를 가지고 있는 균질한 팬텀을 제작하여 측정해 본 결과 거의 유사한 흡수, 산란 계수를 얻을 수 있었다. 또한 시스템 보정 작업을 통해 좀 더 정확한 광 계수를 측정 할 수 있도록 시스템을 최적화 할 수 있었다. 이러한 시스템을 바탕으로 본 연구에서는 자체 제작한 비균질한 생체 모형의 광 팬텀을 측정하였으며 우리 몸의 행동과 기능을 다스리는 중요한 장기인 뇌 부분을 측정하였다. 특히 140억 개의 신경세포로 이루어져 있고 사고, 판단, 대화, 언어, 청각, 후각 시각 활동 등을 담당하고 있는 대뇌 부분을 측정해 봄으로써 차후 본 시스템을 이용한 두뇌 진단 및 EEG 정보와 결합함으로써 새로운 형태의 뇌기능 융합 영상을 얻고자 하는 토대를 마련하고자 하였다.

참고 문헌

1. D. A. Boas. “Diffuse optical imaging of brain activation: approaches to optimizing image sensitivity, resolution, and accuracy”, *Neuroimage* 23: S275-S288, 2004.
2. S. Fantini, M. A. Franceschini, J. B. Fishkin, B. Barbieri, and E. Gratton, “Semi-infinite-geometry boundary problem for light highly scattering media: a frequency-domain study in the diffusion approximation”, *J. Opt. Soc.* Am 11(10):2128-2138, 1994
3. S. R. Arridge. “Optical tomography in medical imaging”, *Inverse Problems*, 15: R41-R93, 1999.
4. B. Chance, “Near-infrared images using continuous, phase-modulated, and pulsed light with quantitation of blood and blood oxygenation”, *Ann. N. Y. Acad. Sci,* 838: 19-45, 1998.