

## 두 가지 타입의 MR-Compatible 맥파 측정 시스템 개발과 비교

### Development and comparison of two types MR-Compatible Photoplethysmograph Amplifiers

이경상, 양재웅, 최미현, 이수정, 전재훈, 이봉수, 정순철\*

건국대학교 의료생명대학 의학공학부

#### ABSTRACT

본 연구에서는 광섬유를 이용하여 반사형과 투과형의 MR-Compatible Photoplethysmograph (PPG) 측정 시스템을 개발하고, 그 성능을 비교하고자 한다. 반사형 타입은 광섬유 다발의 끝단을 피부에 접촉시킨 후 반사현상을 이용하여 PPG 신호를 측정하고, 투과형 타입은 광섬유 사이에 피부를 접촉시킨 후 투과현상을 이용하여 PPG 신호를 측정한다. PPG 측정 시스템은 광 신호를 검출하는 센서 부분, 근적외선 광 신호를 송수신하는 광케이블 부분, 신호 증폭 부분, 잡음 제거를 위한 필터부분으로 구성되어 있다. 반사형 및 투과형 PPG 신호의 SNR을 비교한 결과 반사형은 23.5dB이고 투과형은 22.2dB로 차이가 거의 없었다. 그러므로 실험 환경이나 목적에 따라 두 가지 타입 중 효율성이 좀 더 높은 것을 선택하여 사용할 수 있을 것이다.

플라스틱광섬유, PPG, 반사형 및 투과형 PPG, MR

## 1. 서론

생체 신호에 비해 Magnetic Resonance (MR) 영상은 공간분해능은 뛰어나지만, 시간분해능에는 단점이 있다. 생체신호 측정장비는 시간분해능은 뛰어나지만, 공간분해능에는 단점이 있다. 이에 따라 뛰어난 시간 및 공간 분해능의 정보를 동시에 획득하기 위해 최근 MR 영상획득과 동시에 다양한 생체 신호를 측정하고자 하는 연구들이 진행되고 있다.

최근 MR 환경에서 Electroencephalogram (EEG) 신호를 안정적으로 측정하는 기술이 개발되고 있다. MR 영상 획득 시 발생하는 유발 잡음을 최소화 하기 Ag/AgCl electrode 대신에 carbon electrode 를 사용하였고, lead 들을 서로 꼬아주어 lead 에 유기되는 전자장을 상쇄시키는 방법을 사용하였다

[1]. 또한 MR 영상에 왜곡을 줄이기 위해 전도체의 길이를 최소화시키고, 측정장비를 shielding 시키며, 금속성 물질의 사용을 최소한으로 배제하였다. 이러한 기술을 바탕으로 뇌기능 영상(functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI) 과 EEG 신호를 동시에 획득할 수 있게 되어 시간 및 공간 분해능을 모두 충족하는 중추 기전의 규명이 가능해졌고 서로간의 상호관계를 밝히고자 하는 연구들이 수행되고 있다 [1-3].

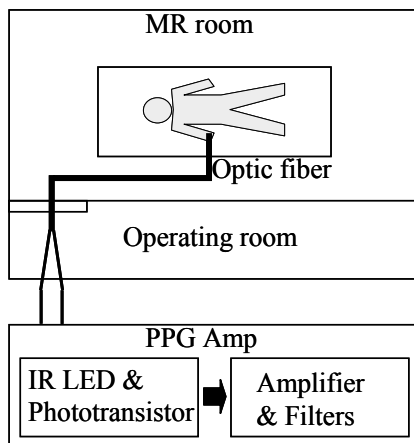
또한 fMRI 를 이용한 중추와 Electrocardiogram (ECG) 신호 측정을 이용한 말초의 기전을 동시에 밝히는 연구가 일부 수행되고 있지만 아직 시작단계에 있다. 피부전도반응인 Skin Conductance Response (SCR) 및 Galvanic Skin Response (GSR) 신호와 fMRI 결과의 상호관계 분석을 시도한 연구가 일부 수행되기도 했지만, 중추와 말초신경 모두를

정확히 규명하기에는 아직 부족한 실정이다 [4,5].

본 연구에서는 MR 영상 획득과 동시에 말초 신경 중 자율신경에 대한 정보를 제공하는 PPG 신호 [6,7]를 측정하기 위해 플라스틱 광섬유를 이용하여 반사형과 투과형의 MR-Compatible PPG 측정 시스템을 개발하고자 한다. 또한 MR 환경에서 측정된 두 가지 타입의 PPG 신호를 비교 분석하고자 한다.

## 2. 방법

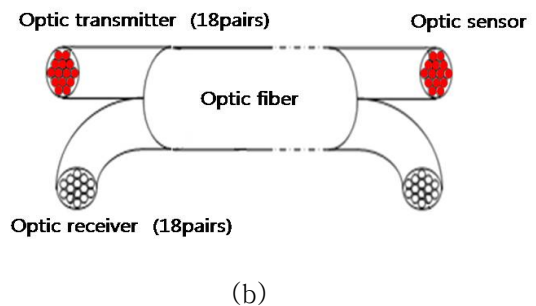
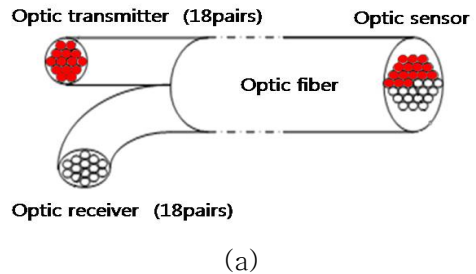
### 2.1 MR-Compatible PPG System



[그림 1] PPG 측정 구성도

그림 1 과 같이 MR room 내부에서는 PPG 센서와 광섬유가 위치한다. MR room 외부에는 Infrared (IR) LED 를 사용하여 광원을 전달하는 송신부와 피부로부터 반사된 PPG 신호를 수신하여 증폭시키는 부분, 그리고 필터부분이 위치하게 된다. 송신부의 IR LED 는 650nm의 파장의 신호를 사용 하였으며, 신호를 수신하는 부분인 포토 트랜지스터에서는 비반전 증폭기를 사용하였다. clipping 현상을 방지하면서 최적의 이득을 얻을 수 있도록 약 1000배까지 증폭율을 가변 할 수 있도록 하였다. 고주파 잡음제거를 위하여 4차 low-pass 필터를 사용하였다. high-pass 필터를 사용하여 base line 의 drift 현상을 제거하고 맥파의 주요

주파수 대역인 0.5 - 20Hz 의 신호를 계측할 수 있도록 하였다. 또한 증폭기가 operating room 가까이 위치할 경우 많은 전원잡음이 유발되므로 notch 필터를 사용하여 hum 을 제거하도록 하였다.



[그림 2] (a) 반사형 센서 (b) 투과형 센서

반사형 PPG는 광섬유를 각각 18 pairs 씩 나누어서 신호를 송수신 하도록 하였다. 광센서 부분은 각각의 18 pairs 의 광섬유를 모아 한 다발로 묶은 후, 피부에 접촉시켜 reflect method를 이용하여 PPG 신호를 계측할 수 있도록 하였다 (그림 2(a)).

투과형 PPG 센서의 송수신부는 반사형 PPG센서와 동일하게 하였고 광센서 부분을 각각 18 pairs 씩 나누어 피부에 접촉시켜 transmission method 를 이용하여 PPG 신호를 계측하였다 (그림 2(b)). 광센서와 피부의 접촉은 밴드타입 형태로 housing 을 하여 신호 계측 시 움직임에 의해 유발될 수 있는 잡음을 최소화 하였다.

### 2.2 Test of MR-Compatible PPG System

반사형과 투과형 센서 제작 후 PPG 신호를 계측하여 Signal-to-Noise (SNR) 를 계산하여 두 신

호를 비교 하였다.

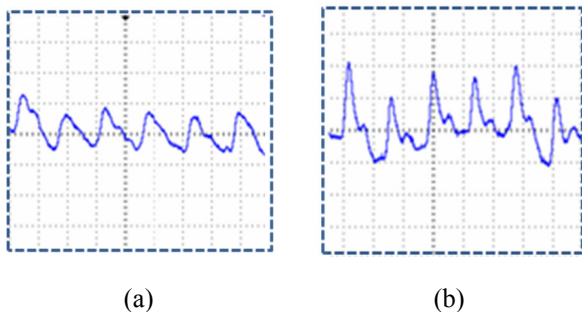
광 센서나 광 케이블이 MR 영상에 잡음을 유발하는지를 관찰하기 위해 광센서와 케이블을 phantom에 부착한 후 MR 영상을 획득하였다.

광센서와의 접촉부위를 확인하기 위해서 marker 를 부착하였고, marker 를 지나는 단면과 그 전후 단면의 phantom 영상을 획득하였다. 이를 통해 MR room 내부에 위치한 광센서와 광섬유가 MR 영상에 어떠한 영향을 미치는지를 확인하고자 하였다. 이때 3.0 Tesla MR system (Magnum 3.0; Medinus Inc., Korea) 에서 Fast spin echo (FSE) 기법으로 TR/TE 4400/96ms, field of view 240mm, matrix 256×256, slice thickness 3mm, number of slices 15의 image parameters 를 사용하여 T2-weighted 영상을 획득 하였다.

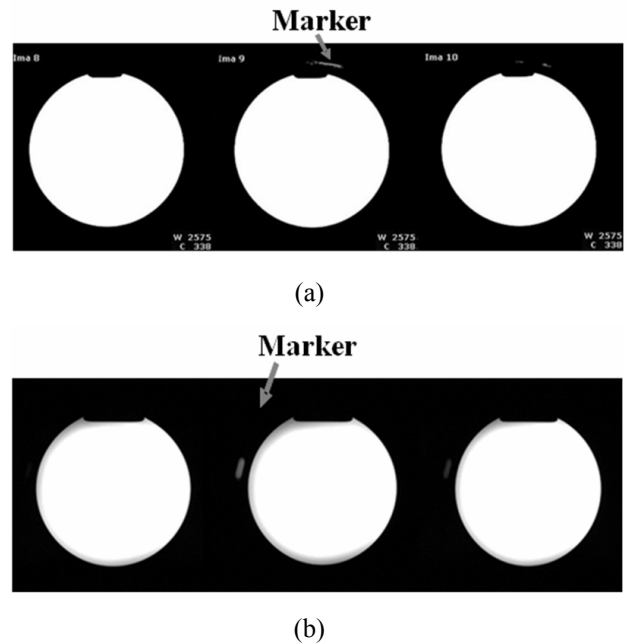
### 3. 결과

그림 3 은 반사형과 투과형 센서를 사용하여 MR 내부에서 측정된 PPG 신호이다. 반사형 PPG 신호와 투과형 PPG 신호의 SNR을 비교한 결과 반사형은 23.5dB이고 투과형은 22.2dB로 차이가 없었다.

그림 4 는 광센서와 광케이블을 phantom에 부착한 후 획득한 MR 영상이다. 광센서와 광케이블이 MR영상에 어떠한 왜곡도 유발하지 않음을 확인할 수 있었다.



[그림 3] (a) 반사형 PPG 신호  
(b) 투과형 PPG 신호



[그림 4] MR phantom 영상  
(a) 반사형 센서 (b) 투과형 센서

### 4. 논의

본 연구에서는 광섬유를 이용하여 반사형과 투과형의 MR-Compatible Photoplethysmograph (PPG) 측정시스템을 개발하고, 그 성능을 비교하고자 하였다.

단일 광섬유를 사용하여 광 신호를 전송할 경우 움직임에 민감하여 계측되는 PPG 신호에 motion artifact가 유발될 수 있다. 또한 광 신호의 amplitude와 quality는 광섬유의 pair가 늘어남에 따라 증가한다 [8]. 그러므로 본 연구에서는 MR room 내부로 관통하는 hole의 규격을 고려하여 최대 36 pairs로 구성하였다.

본 연구에서는 MR room 내부에 위치하는 광센서 부분과 광케이블에 금속 성분을 완전히 배제하고 광섬유로만 구성하여 MR과의 상호 작용 잡음의 가능성을 최소화 하였다.

반사형 센서의 SNR 은 23.5 dB 이고, 투과형 센서의 SNR 은 22.2dB 로 차이가 없었다. 실험 환경이나 목적에 따라 두 가지 센서 중 효율성이 좀

더 높은 최적의 센서를 선택하여 다양한 임상 연구 및 정서 연구에 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

## 5. 후기

이 논문은 2009년 교육과학기술부로부터 지원 받아 수행된 연구임. (지역거점연구단육성사업 / 충북BIT연구중심대학육성사업단)

## 참고문헌

- [1] Goldman, R. I. Stern, J. M. Jr, J. E., Cohen, M. S. (2000). Acquiring simultaneous EEG and functional MRI. *Clinical Neurophysiology*, 111, 1974-1980.
- [2] Obler, R. Köstler, H. Weber, B. P. Mack, K. F. Becker, H. (1999) Safe electrical stimulation of the cochlear nerve at the promontory during functional magnetic resonance imaging. *Magnetic Resonance in Medicine*, 42:371-378.
- [3] Liu, J. Z. Dai, T. H. Elster, T. H. Sahgal, V. Brown, R. W. Yue, G. H. (2000). Simultaneous measurement of human joint force, surface electromyograms, and functional MRI-measures brain activation. *Journal of Neuroscience Methods* 101, 49-57.
- [4] Chung, S.C. Yi, J.H. Tack, G.R Lee, B. Kwon, J.H. Kim, S. Sohn, J.H. (2006). Development of an MR-compatible ECG Amplifier. *Key Engineering Materials Vols. 321-323*, 1032-1035.
- [5] Abi-Abdallah, D. Chauvet, E. Bouchet-Fakri, L. Bataillard, A. Briguët, A. Fokapu, O. (2006) Reference signal extraction from corrupted ECG using wavelet decomposition for MRI sequence triggering: application to small animals. *BioMedical Engineering OnLine*2006, 5:11 doi:10.1186/1475-925X-5-11.
- [6] Demmel, R. Ridd, F. Olbrich, R. (2000). Autonomic reactivity to mental stressors after single administration of lorazepam in male alcoholics and healthy controls. *Alcohol & Alcoholism*. Vol. 35, No. 6, pp. 617-627.
- [7] Lundström, J. N. Olsson, M. J. (2005). Subthreshold

amounts of social odorant affect mood, but not behavior, in heterosexual women when tested by a male, but not a female, experimenter. *Biological Psychology* 70. 197-204.

[8] Ugnell, H. Öberg, P. Å. (1995). The time-variable photo-plethysmographic signal; dependence of the heart synchronous signal on wavelength and sample volume. *Med. Eng. Phys.* Vol. 17, No. 8, pp.571-578.