

Magnetocardiography System in Open-door Magnetically-shielded Room

J. M. Kim^{*,a}, Y. H. Lee^a, H. Kwon^a, K. K. Yu^a, K. Kim^a, Y. K. Park^a, I. Sasada^b

^a Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon, Korea

^b Kyushu University, Fukuoka, Japan

Received 12 August 2007

열린 자기차폐실의 심자도 시스템

김진목^{*,a}, 이용호^a, 권혁찬^a, 유권규^a, 김기웅^a, 박용기^a, Ichiro Sasada^b

Abstract

We have installed a 61-channel magnetocardiography (MCG) system inside a magnetically shielded room (MSR) with a size of 2.4 m x 2.4 m x 2.4 m. The MCG system consists of 1st-order axial gradiometers containing double relaxation oscillation SQUIDs (DROSs) with pick-up coils of a base line of 70 mm. The MSR holds a shielding factor of 50 at 0.1 Hz and 10000 at 100 Hz, when its door in the middle on a front wall is closed. On opening the MSR door, we have obtained the characteristics of the MCG system with a 2.9 Hz noise generated from an air conditioning unit at 13 m distance off the MSR. In an open-door MSR (140° opening), a noise at the center channel increases up to 700 fT/Hz^{1/2} at 2.9 Hz and 1.7 pT/Hz^{1/2} at 60 Hz. MCG signals for a healthy human do not show distortion until the door opens to 45°, but show the effect of noise when the door opens further at 90° and 140°. With the door opens to 45°, MCG measurement can be performed with ease of door operation and without creating claustrophobia for the patient.

Keywords : DROS, magnetocardiography, MSR, SQUID

I. 서론

초전도 양자간섭장치(SQUID)로 만든 심자도 (Magnetocardiography, MCG) 장치는 심장에서 발생하는 미세한 자기장을 검출할 수 있어 심근경색, 허혈, 부정맥 등 심장관련 질병을 진단

하는 의료 장비로 개발하여 사용한다[1-3]. 심자도 장치는 측정시간을 줄이고 정밀한 심자도 신호를 얻기 위해 60 채널 이상 다채널 장치를 자기차폐실(Magnetically shielded room, MSR)에 설치하여 운용한다. 또한 자기차폐실은 외부 전자기잡음을 차단하거나 감소시켜 SQUID가 안정하게 작동하고 미세한 자장 신호를 측정하게 하지만 자기차폐실의 차폐율을 증가할수록 전체 무게가 올라가고 이에 따라 차폐실 문의

*Corresponding author. Fax : +82 42 868 5237

e-mail : jmkim@kriis.re.kr

무게도 함께 증가하여 문을 열고 닫을 때 힘들게 된다. 한편 차폐실 문을 닫고 MCG를 측정할 때 차폐실 안은 밀폐된 공간으로 외부와 단절되어 피측정자의 상태를 직접 관찰하기 어렵고 피측정자가 폐소공포증(claustrophobia)을 가진 경우 측정이 불가능할 수 있다. 기존 차폐실에서 문을 열어 외부 잡음이 심자도 장치에 어느 정도 영향을 미치는지 알아보고 정상인의 심자도를 측정하여 문의 열림 정도에 따라 심자도 신호의 변화를 알아보았다.

II. 심자도장치와 자기차폐실

61 채널 심자도 장치는 이중이완발진스퀴드(Double relaxation Oscillation SQUID, DROS)와 Z 축방향 권선형 1차 미분계 픽업코일을 결합한 센서를 이용하여 자기장을 측정하며 61개 센서로 심장에서 나오는 자장신호를 한꺼번에 검출한다 [4]. DROS 센서의 축방향 픽업코일 간 거리는 70 mm이고 감도는 $6 \text{ fT}/\text{Hz}^{1/2}$ 이하이다. DROS 센서는 헬륨 드어 안에 넣어 4.2 K 액체 헬륨에 잠겨있고 센서는 직경 240 mm 안에 Fig. 1과 같은 형태로 배치되고 드어 밖에 있는 구동회로에 망간닌선으로 연결되어 작동한다. 그림에서 윗부분이 머리쪽, 아래가 다리쪽, 왼쪽 부분은 차폐실 문쪽 방향으로 센서를 표시한다. 61채널 드어에 센서를 넣었을 때 중앙 부분에서 DROS 센서 감도는 $10 \text{ fT}/\text{Hz}^{1/2}$ 가장자리에서 $20 \text{ fT}/\text{Hz}^{1/2}$ 로 증가하는데 이는 드어에서 발생하는 잡음 때문에 발생한다. 구동회로에서 처리한 출력 신호는 자기차폐실 밖에 설치한 아날로그 신호처리장치로 연결되고 이곳에서 신호를 100배 증폭하고 0.1 Hz 고역통과필터, 100 Hz 저역통과필터, 60 Hz 제거필터를 통과한 뒤 컴퓨터에 있는 신호수집장치에 연결된다[5]. 신호수집장치로 들어온 출력 신호를 컴퓨터에서 LabView 소프트웨어로 화면에 표시하고 분석 처리한다. 센서 배치와 출력신호를 컴퓨터 화면으로 Fig. 1에서 보이고 있다.

자기차폐실은 벽 두께 100 mm이고 9 mm 나

무합판(MDF)/1.6 mm Permalloy/30 mm MDF /7 mm Al/30 mm MDF/1.5 mm Permalloy / 9 mm MDF로 제작되며 문 위치는 앞면 중간에 있다. 차폐실 전체 크기는 2.4 m x 2.4 m x 2.4 m이고 문의 크기는 84 cm x 183 cm이고 앞면 모습을 Fig. 2에서 보인다. 문을 닫았을 때 차폐율은 50 @ 0.1 Hz, 300 @1 Hz, 2000 @10 Hz, 10000 @100 Hz을 갖고 차폐실을 잠근 상태에서 내부를 심자도 장치로 출력 신호를 측정하여 Fig. 1에서 보이고 있으며 각 채널의 측정 범위는 $\pm 0.75 \text{ pT}/\text{cm}$ 이다.

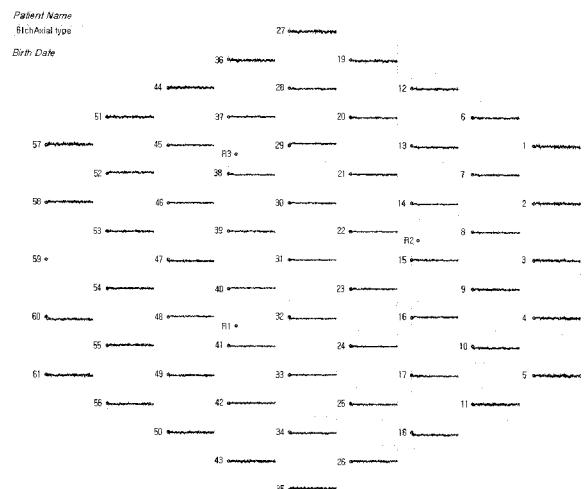


Fig. 1. Output signals of 61-channel MCG system displayed on the computer screen; top channel 27 is toward the head of human and left channel 59 is toward the right arm. Channel 59 is off and is not displayed.

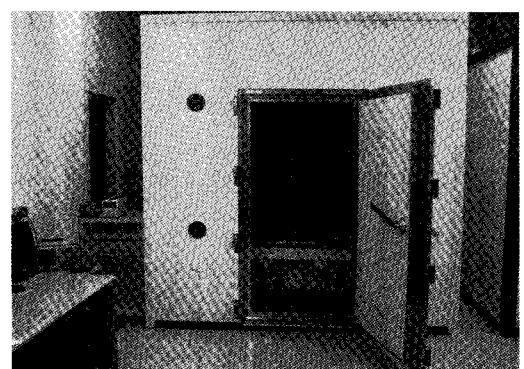


Fig. 2. Magnetically shielded room (MSR) at open door with a size of 2.4 m x 2.4 m x 2.4 m.

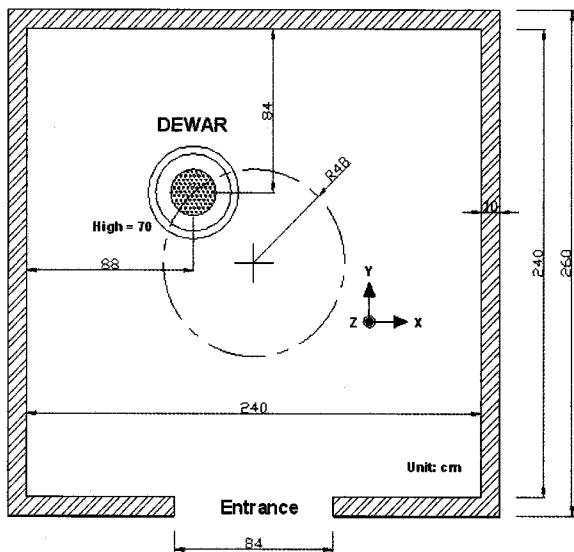


Fig. 3. MCG sensors and dewar in Magnetically shielded room (MSR), located in the distance of 48 cm from the center.

61채널 심자도 장치의 드어와 DROS 센서는 문에서 볼 때 차폐실 바닥 중앙에서 위 왼쪽 모서리로 48 cm 떨어진 지점에 있고, 그곳에서 높이 70 cm로 지지대에 고정되어 있다. 자기차폐실 내부 크기와 장치의 위치를 단면으로 Fig. 3에서 표시한다.

III. 잡음 측정

차폐실 문에서 1.3 m 떨어진 바깥에서 자력계(Mag-03MS100, Bartington)로 차폐실 주위 자장을 측정하여 Fig. 4에서 보이고 있다. 문에서 차폐실 안을 볼 때 왼쪽에서 오른쪽 방향을 X축, 문에서 안쪽 방향을 Y축, 바닥에서 천정 방향을 Z축으로 정하고 Fig. 3과 같이 표시하며 축방향에 따라서 환경 잡음을 표시한다. 항온 향습기에서 발생하는 잡음은 $0.5 \text{ nT/Hz}^{1/2}$ @2.9 Hz이고 교류전원 잡음은 $60 \text{ nT/Hz}^{1/2}$ @ 60 Hz, $20 \text{ nT/Hz}^{1/2}$ @120 Hz, $40 \text{ nT/Hz}^{1/2}$ @180 Hz로 각각 나타난다. X 축 방향의 잡음 레벨은 Y와 Z 축보다 작지만 2.9 Hz 잡음과 교류전원 잡음은 비슷하게 측정된다.

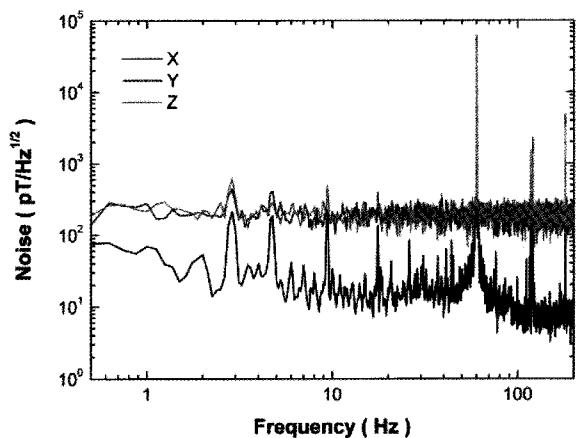


Fig. 4. Environment magnetic field noise at 1.3 m distance from the front of MSR.

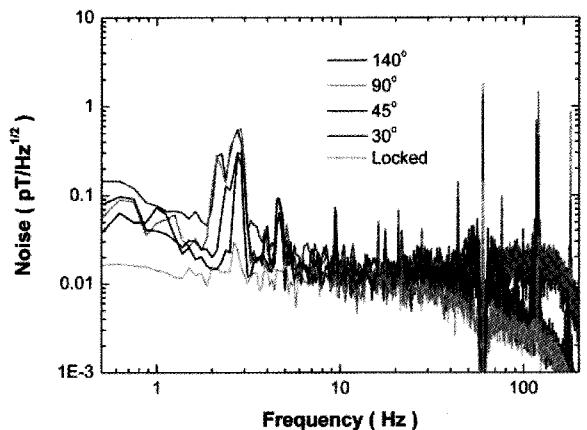


Fig. 5. Noise of channel-12 DROS sensor, depending on the open state of MSR door; a peak at 2.9 Hz is generated by an air-conditioner unit, peaks at 60, 120, 180 Hz by AC 220 V power lines.

차폐실 문을 열 때 외부의 잡음이 차폐실로 유입되어 이때 심자도 장치에 영향을 미치는 신호를 측정하였다. 차폐실 문을 30°, 45°, 90°, 140°로 열면서 심자도 신호를 측정하였다. 문에서 가장 먼 쪽에 있는 채널12번의 잡음 스펙트럼 Fig. 5에서 문을 열수록 저주파영역과 20 Hz 이상에서 잡음이 증가됨을 볼 수 있고 항온향습기에서 발생하는 2.9 Hz 잡음도 함께 증가한다. 140° 열린 상태에서 3개 채널을 골라 잡음의 영향을 스펙트럼으로 분석하고 Fig. 6에서 보인다.

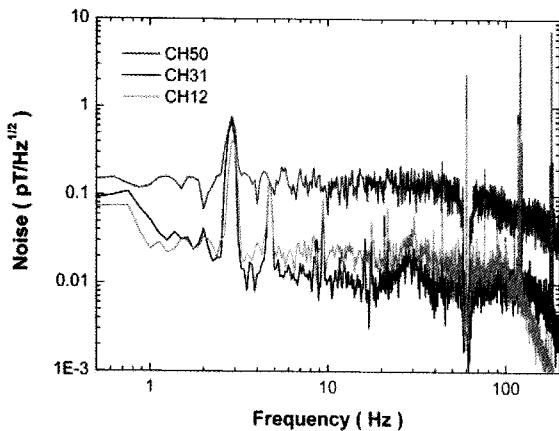


Fig. 6. Noise of channel-12, 31, 50 at the 140° open state of MSR door; a peak at 2.9 Hz is generated by an air-conditioner unit, peaks at 60, 120, 180 Hz by AC 220 V power lines.

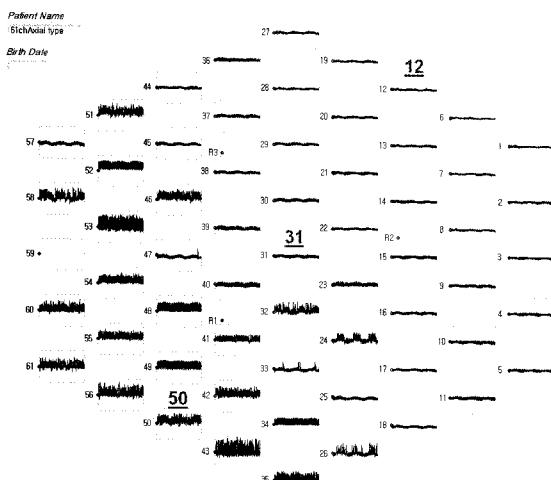


Fig. 7. Output signals of 61-channel MCG system at the 140° open state of MSR door; the full range of outputs is 3pT/cm.

문에 가까운 채널50번에서 교류전원 잡음으로 $2.3 \text{ pT}/\text{Hz}^{1/2}$ @ 60 Hz, $6.8 \text{ pT}/\text{Hz}^{1/2}$ @ 120 Hz, $7.6 \text{ pT}/\text{Hz}^{1/2}$ @ 180 Hz으로 가장 크게 측정된다. 한편 2.9 Hz에서 잡음은 차폐실에서 13 m 떨어진 곳에 위치한 항온항습기가 발생시키는 잡음으로 채널 12, 31, 50번 채널에서 $0.4 \sim 0.8 \text{ pT}/\text{Hz}^{1/2}$ 로 측정되고 차폐실 안쪽으로 갈수록 작게 나타난다. 문이 140° 열린 상태에서 60개 채널의 출력신호를 Fig. 7에서 표시하고 각 채널의 측

정 범위는 $\pm 3 \text{ pT}/\text{cm}^{\circ}$ 이다.

IV. MCG 측정

건강한 사람을 대상으로 차폐실을 열면서 심장신호를 측정하였다. 문을 45° , 90° , 140° 열었을 때 문이 잠긴 상태와 함께 Fig. 8에서 보이고 있으며 30초 동안 측정한 뒤 각 그림의 아래 왼쪽에 선택한 채널에서 측정한 현재 심자도 파형과 이를 RMS(root-mean-square)로 변환파형을 보이고, 아래 오른쪽에 30초 동안 얻은 신호를 평균한 심자도 파형과 그 RMS 신호를 함께 보인다. 표시된 각 채널의 최대 측정 범위는 $\pm 3 \text{ pT}/\text{cm}$ 이다. 잠긴 문에서 측정한 신호 Fig. 8에서 잡음은 나타나지 않고, 45° 열린 문에서 측정한 파형 Fig. 9에서 심자도는 잡음이 섞이지만 분석하기에 충분한 QRS 파형을 얻을 수 있으며 평균한 심자도 파형에서 잡음이 더

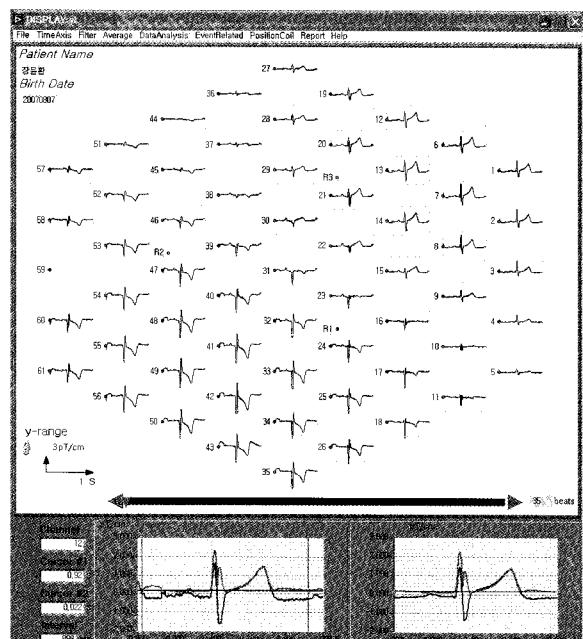


Fig. 8. MCG signals of a healthy human at the locked door of MSR; the bottom left graph displays real-time MCG and RMS signal at each selected channel, and the bottom right displays an averaged MCG and RMS signal for 30 s. The full range of 61 outputs is 3pT/cm.

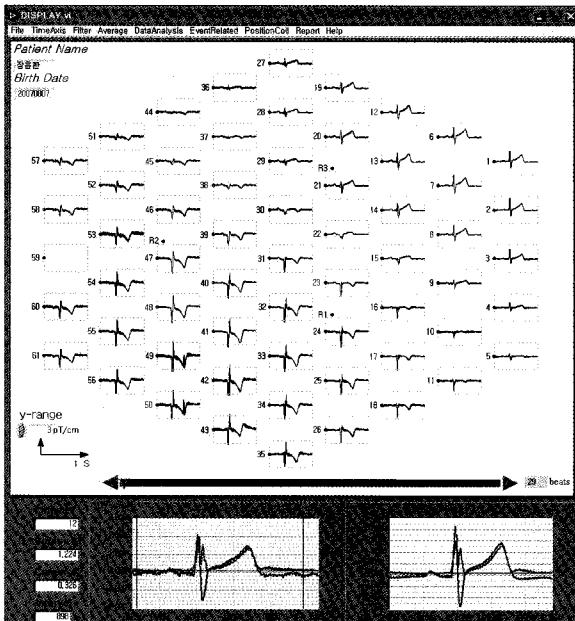


Fig. 9. MCG signals of a healthy human at the 45° open door of MSR.

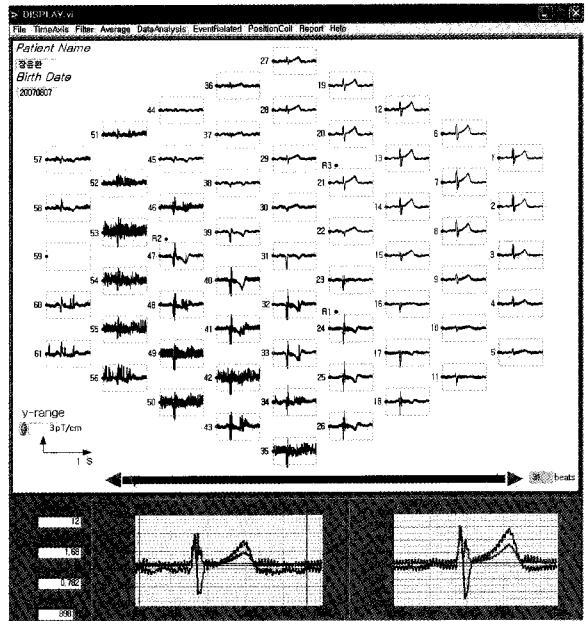


Fig. 11. MCG signals of a healthy human at the 140° open door of MSR.

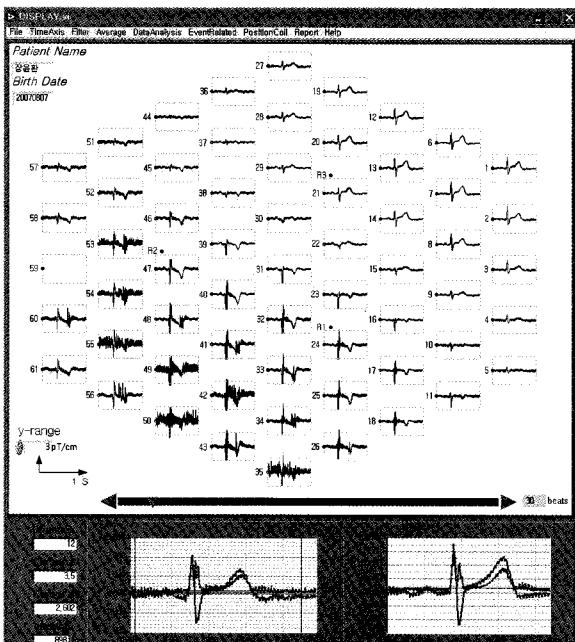


Fig. 10. MCG signals of a healthy human at the 90° open door of MSR.

줄어 표시된다. 90° 열린 문의 심자도 신호 Fig. 10에서 원쪽 아래 부분 채널에서 잡음이 섞여

QRS 파형이 문혀 보인다. 또한 140° 열린 문의 심자도 신호 Fig. 11에서 90° 보다 많은 채널에 잡음이 섞여 심자도 QRS 파형을 구분하기 더 어렵게 한다.

V. 결론

61채널 축방향 권선형 1차 미분계 심자도 장치를 자기차폐실에 넣고 차폐실 문을 열면서 장치에 미치는 외부 잡음을 측정하고, 사람을 대상으로 심자도를 측정하였다. 차폐실 문을 45° 까지 열고 측정하더라도 심자도에 거의 영향을 미치지 않았으나 90° , 140° 를 열었을 때 차폐실 문에 가까운 센서들에 잡음 유입이 증가하여 잘못된 심자도 정보를 얻을 수 있다. 그러나 차폐실 문을 45° 만 열더라도 환자의 상태를 확인하거나 폐소공포증 환자에게 안정감을 줄 수 있는 장점이 있고, 아울러 무거운 차폐실 문을 잠그지 않고 작동할 수 있어 장치를 작동하는 측정자에게 한층 쉬운 측정 방법을 제공한다.

References

- [1] H. Nowak, "Biomagnetic Instrumentation," in Magnetism in Medicine, eds. W. Andra and H. Nowak, Berlin: Wiley-VCH, pp. 88-135 (1998).
- [2] K. Sternikel and A. I. Braginski, "Biomagnetism using SQUIDs: status and perspectives," *Supercond. Sci. Technol.* Vol. 14, pp. 160-171(2006).
- [3] R. Fenici, D. Brisinda, and A. M. Meloni, "Clinical application of magnetocardiography," *Expert Rev. Mol. Diagn.*, vol. 5, pp. 291-313 (2005).
- [4] Y. H. Lee, H. C. Kwon, J. M. Kim, Y. K. Park, and J. C. Park, "Double relaxation oscillation SQUID with high flux-to-voltage transfer and its application to a biomagnetic multichannel system," *J. Kor. Phys. Soc.*, vol. 32, pp. 600-605 (1998)
- [5] J. M. Kim , K. D. Kim, Y. H. Lee, K. K. Yu, K. W. Kim, H. C. Kwon, and I. Sasada, "Noise characteristics of readout electronics for 64-channel DROS magnetocardiography system," *Progress in Superconductivity*, vol. 7, pp.46-51 (2005).