

인체 전기 신호 계측을 위한 pre-amplifier의 제작

박종환* · 천우영* · 박형준* · 박병림**

* 원광대학교 공과대학 전기공학과, ** 원광대학교 의과대학 생리학교실

전라북도 익산시 신용동 344-2

The manufacture of pre-amplifier for measuring the electrical signal of human body

Jong-Hwan Park* · Woo-Young Chun · Hyung-Jun Park · Byung-Lim Park

* Dept of Electric Engineering, Wonkwang University, ** Wonkwang Medical School

344-2, Shinyong-Dong, Iksan-Shi, Chollabuk-Do 570-749, Korea

pahumu@wonms.wonkwang.ac.kr

Abstract

In this study, the pre-amplifiers were manufactured, which corresponds with the properties of signal source. For measuring the EMG, EEG, ECG and EOG's signal, which are generated at human body, the pre-amplifiers were manufactured in this study which was corresponding with the properties of each signal source. So as to do, the bandwidth of filters and the amplitude of amplifiers were adaptively adjusted, according to signal source. Then, the usefulness was represented by showing the measured examples.

1. 서 론

인간의 정신적 활동과 육체적인 활동에 대한 인체의 상태를 해석하기 위하여 물리적, 화학적, 전기적 관점 등에 의한 연구가 이루어지고 있다. 최근에 와서는 특히 전기적인 관점 즉, 인체의 전기 신호 계측에 의한 연구가 많이 수행되고 있다. 그 이유는 계측된 전기신호는 발생원에 대한 기능과 특성을 그대로 반영하고 있기 때문이다. 예를 들면, 근육이 가지는 수축 특성을 규명하기 위하여 근육의 수축 시 발생하는 근전도(electromyogram)를 계측하여 이를 분석하기도 하고, 뇌파의 분석을 통하여 뇌의 활성화 정도를 가시화하기도 한다. 이와 같은 인체 전기 신호에 대한 응용

분야는 여러 분야에 걸쳐 널리 퍼져있고 점점 확산되어 가는 추세이다.

인체 전기 신호를 처리하는데 있어서 계측한 인체 전기 신호를 적절한 방법으로 수집하는 일은 인체 해석시 가장 기본적인 일이다. 최근의 장치에 의한 인체 전기 신호의 수집은 크게 신호의 전처리(필터링과 증폭)와 A/D 변환의 두 부분으로 나눌 수 있다. 인체 전기 신호는 발생원에 따라 각각 크기와 주파수 대역이 다르고, 또한 원하는 신호 외의 다른 생체 신호에 의한 간섭이나 노이즈를 제거해야 함으로 계측한 신호의 전처리 과정은 반드시 필요하다.

우리 나라의 현 실정은 인체 신호 계측을 위한 장비의 거의 대부분을 수입에 의존하고 있다. 최근, 외국의 추세는 인체 전기 신호의 계측에 필요한 장비들을 직접 제작하여 사용하고 있다. 직접 제작한 계측 장비나 구입한 장비 모두 내부적으로 동작하는 원리와 성능은 거의 유사하지만, 오히려 직접 제작함으로써 비용 절감 면에서나 수리의 용이성 또는 용도변경 등의 관점에서 더욱 유리할 수 있다. 점차적으로 노하우를 터득함으로써 각 연구 목적에 알맞은 pre-amplifier를 제작할 수 있을 것이고, 이를 점차적으로 개선해나갈 수도 있을 것이다.

본 연구에서는 인체의 대표적인 전기 신호인 근전도(electromyogram; EMG), 심전도(electrocardiogram; ECG), 뇌파(electroencephalogram; EEG), 안전도(electrooculogram; EOG)의 계측을 위하여, 각 신호 발생원의 특성(크기와 주파수)에 부합하는 pre-amplifier를 제작하는 것을 목적으로 한다.

2. 인체 전기 신호 발생원에 따른 Amplifier의 제작

제작하려 하는 amplifier는 신호원에 따라 조금씩은 다르지만, 기본 원리와 구조는 동일하다. 본 논문에서는 근전도 계측용 amplifier를 예를 들어 설명하려는데, 다른 신호원에 의한 amplifier도 이를 참고하여 신호원의 특성에 따라 필터링부의 cutoff frequency의 대역을 조정하거나, 증폭률을 조정함으로써 각 신호원의 특성에 맞는 amplifier를 제작할 수 있다.

2.1 근전도 계측용 amplifier

근전도는 근육의 전기적인 활동을 기록한 것으로, 대뇌 피질의 운동 신경세포에서 발생한 임펄스가 척수를 지나서 척수의 전주세포에 전달되고, 이 세포의 흥분에 의한 임펄스가 운동신경을 지나 운동신경에 지배되어 있는 근섬유근을 수축시킨다. 전주세포와 이의 지배하에 있는 근섬유근을 모아서 신경근 단위(neuromuscular unit; NMU)라고 하는데 이 NMU의 활동전위를 세포 외에서 검출한 것이 근전도(electromyogram; EMG)이다. 일반적으로 근전도는 수축하는 근섬유 근처에 설치한 기록전극과 어느 정도 거리를 갖고 떨어져 있는 기준전극간에 나타나는 활동전위를 측정한다.

EMG의 크기는 대략 수 mV에서 수백 mV의 값을 갖고, 주파수 대역은 10Hz에서 330Hz 정도이다. EMG의 특성에 의하여 근전도 계측용 앰프는 그림 1과 같은 구조를 가진다. 계측하고자 하는 근육부위의 두 활성전극(active electrode)과 활성전극의 기준이 되는 기준전극(reference electrode)을 통하여 계측된 전위는 차동증폭부의 입력이 된다.

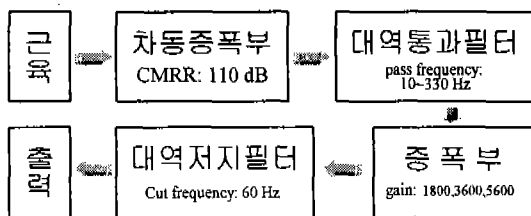


그림 1. 근전도 계측용 amplifier의 블록도

차동증폭부에서는 활성전극과 기준전극간의 전위차와 다른 활성전극과 기준전극간의 전위차를 차동 증폭하여 두 활성전극 사이의 동상성분을 제거시킨다. 이때, 동상 성분 제거비 CMRR은 생체 전기 신호 계측 시에는 80dB 이상이 요구되며, 본 연구에서는 CMRR을 약 110dB로 하였다. 대역통과 필터에서는 근전도의 주파수특성에 맞게 필터링이 되고, 증폭부를 거쳐 관측하기에 적당한 정도로 증폭시킨

다. 또한 전원에 의한 noise의 영향을 받을 수 있으므로, 대역저지 필터에 의하여 60Hz를 제거시킨다. 그리고, pre-amplifier의 증폭률은 1800, 3600, 5600으로 하였고, 이를 변경할 수 있도록 하였다.

제작한 근전도 계측용 amplifier의 주파수 특성은 그림 2와 같다. 대역통과필터(10~330Hz)와 대역저지필터(60Hz)의 특성에 의하여 cutoff frequency인 10Hz, 330Hz, 60Hz에서 -3dB 포인트를 보여주고 있다.

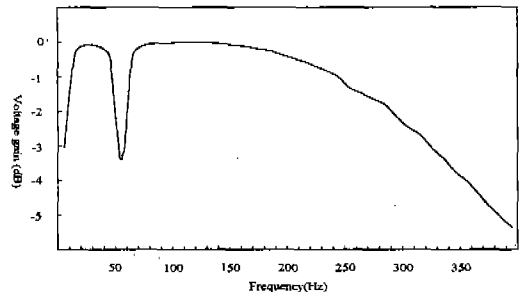


그림 2. 제작한 근전도 계측용 amplifier의 주파수 특성

2.2 뇌파 계측용 amplifier

대뇌피질의 기능은 단일 신경의 활동이 아니라 신경들의 활동에 달려 있다. 신경 집단의 행동을 관찰하는 지표로는 미세 전극보다는 큰 전극(macro-electrode)을 피질표면 또는 두피표면에 설치하고 이 전극이 감지할 수 있는 모든 전기적 변화를 기록하는 방법이 사용된다. 피질표면에서 기록하는 경우는 피질전기도(electrocorticogram, ECoG)라 하고, 두피에서 기록하는 경우는 뇌파(electroencephalogram; EEG)라 한다.

EEG의 크기는 대략 수 μ V에서 수백 μ V의 값을 갖고, 유효 주파수 대역은 0.5Hz에서 30Hz 이다. 주파수 대역에 따라 δ (0.5~3.5Hz), θ (4~7Hz), α (8~13Hz), β (14~30Hz)와 등으로 분류되기도 한다. 이러한 뇌파의 특성에 의하여 뇌파 계측용 amplifier는 0.4~30Hz의 대역폭과, 14400, 17300, 21600의 증폭률을 갖는다.

2.3 심전도 계측용 amplifier

심장근육이 수축, 이완할 때 전기적인 탈분극과 재분극이 전위차를 발생시키는데, 이 전위차를 피부에 표면전극(surface electrode)을 부착하여 검출한 것이 심전도이다.

심전도는 수십 μ V에서 수 mV의 크기와, 100Hz 미만의 주파수 대역을 갖는다. 이에 따른 심전도 계측용 amplifier는 근전도의 블록도와 비슷한 구조를 갖는다.

저역통과 필터의 cutoff frequency(100Hz)에 의하여 계측한 신호의 저역만이 통과되고, 설정한 증폭률(4700, 5600,

8200)에 따라 적절한 크기로 증폭된다. 끝으로, 대역저지 필터에 의하여 60Hz의 전원 노이즈가 제거된다.

2.4 안전도 계측용 amplifier

안구는 전기적으로 작은 배터리라 할 수 있다. 전기적으로 양성인 각막(cornea)과 음성인 망막(retina)에 의하여 하나의 전압원이 되는데, 안구운동에 의한 전기적인 극성 이동에 의하여 전위차가 발생하게 되는데, 이를 안구주위에 전극을 부착하여 계측한 것을 안전도(electrooculogram; EOG)라 한다.

EOG는 수십 μV 에서 수 mV의 크기를 가지는 수 Hz의 저주파 신호이다. 신호의 특성에 의하여 EOG 계측용 amplifier는 차동증폭부, 저역통과필터. 증폭부의 구조를 갖는데, 저역통과 필터의 cutoff frequency는 30Hz로 하였고, 증폭률은 1800, 2800, 3600배로 하였다.

3. 인체 전기 신호 계측 결과의 예

3.1 근전도(EMG)

그림 3은 본 연구에서 제작한 근전도 계측용 앰프를 사용하여 flexor pollicis longus muscle의 피부표면에 표면전극을 두어 근전도를 계측한 예이다. 파형의 크기가 작은 부분은 휴식상태이고, 파형이 큰 부분은 근육이 수축하였을 때이다. 다른 연구에서 계측한 결과와 거의 유사한 값을 표시하였다.

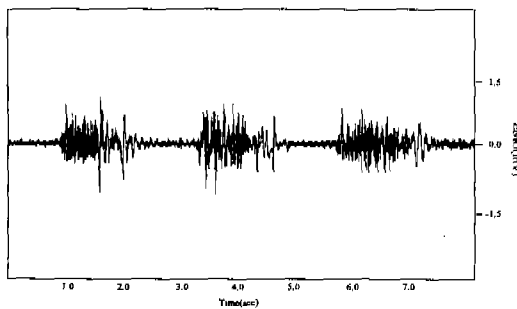


그림 3. 근전도 계측 결과의 예

3.2 뇌파(EEG)

그림 4는 뇌파 계측용 앰프를 사용하여 밝은 장소에서 눈을 떴을 때와 눈을 감았을 때의 뇌파를 계측한 신호로서, α 파에 미치는 영향을 알 수 있다. 그림 안의 사각 영역이 눈을 감은 상태로서, 눈을 감은 상태에서는 α 파가 매우 우세하다는 것을 알 수 있다(그림 5 참조). 여기에서 활성전극 위치는 O₂ 영역으로 하였다.

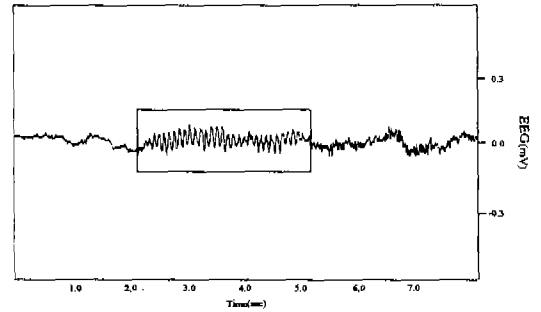


그림 4. 뇌파 계측 결과의 예

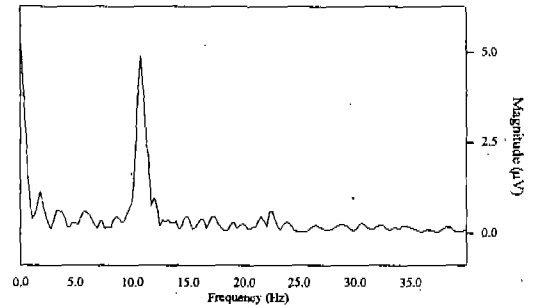


그림 5. 그림 4의 사각 영역을 FFT한 그래프 (α 파의 우세가 나타남)

3.3 심전도(ECG)

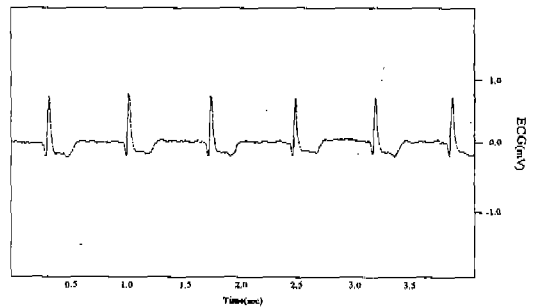


그림 6. 심전도 계측 결과의 예

그림 6은 제작한 심전도 계측용 앰프를 사용하여 계측한 심전도 신호이다. 일반적인 심전도 파형과 유사한 형태를 나타낸다.

3.4 안전도(EOG)

그림 7은 제작한 EOG 계측용 앰프에 의해 계측한 EOG 신호이다. vertical EOG는 안구의 눈썹 부분과 안구 아래의 피부에 두 활성전극을 부착하였을 때의 EOG신호이고, horizontal EOG는 양 관자놀이와 안구사이에 두 활성전극을 부착하였을 때의 EOG이다. 각 신호의 전반부는 vertical 운동을 하였을 때의 EOG 신호이고, 후반부는 horizontal

운동을 하였을 때 신호이다.(horizontal 운동은 안구를 좌우로 움직였을 때이고, vertical 운동은 상하로 움직였을 때를 말함)

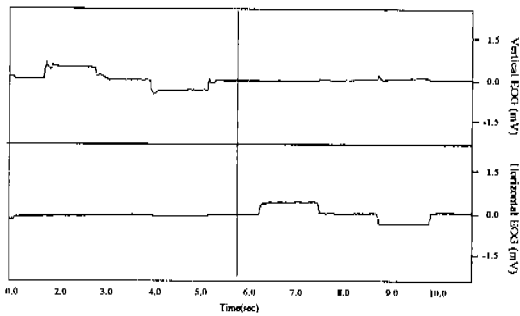


그림 7. EOG 계측 결과의 예

4. 검토 및 결론

지금 까지 인체 전기 신호 계측을 위한 pre-amplifier를 제작하여 보았다. 계측된 전기 신호를 관찰하면, 제작한 amplifier는 시판되고 있는 장치와 유사하게 신호원에 따라 특유의 인체 전기 신호 파형을 보인다. 따라서, 제작한 amplifier는 올바른 동작을 한다고 볼 수 있다. 만약 문제가 있다고 하더라도 앰프의 각 부분만을 교체하거나 변경함으로써 간단히 이를 수정할 수 있다. 또한, 제작한 앰프의 출력을 어떠한 종류의 AD 변환기에 연결한 다 할지라도 interface 부분만 적절히 바꾸어 주면 어느 장치에서나 사용이 가능하다. 참고로 본 연구에서의 데이터 수집은 Biopac사의 A/D 변환기(MP100)를 이용하여 수집하였다.

이를 이용하여 거의 전량 수입에 의존하고 있는 인체 전기 신호 계측을 위한 장비들을 대체하는 등의 효과가 기대된다.

[참고문헌]

- [1] Willis J. Tomkins: Design of Microcomputer Based Medical Instrumentation. Prentice Hall, 1989
- [2] Richard Aston: Principles of Biomedical Instrumentation and Measurement, Maxwell Macmillan, 1991
- [3] John G. Webster: Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation.(Vol.1-4), John Wiley & Sons, 1988
- [4] Coughlin · Driscoll: Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits
- [5] John L. Andreassi: Human Behavior & Physiological Response

- [6] R. Cooper: EEG Technology. Butterworths, 1980.
- [7] J. V. Basmajian: Muscle Alive. Williams & Wilkins, 1985
- [8] Peter W. Macfarlane and T D Veitch Lawrie: Comprehensive Electrocardiology, Pergamon Press, 1989