

이어클립 맥파센서 (아날로그 신호 출력)

개요 (Overview)

EP520은 연속광 방식으로 맥파(Photoplethysmography, PPG)를 검출하여 아날로그 신호를 출력하는 능동 센서이다. 센서는 귓볼에 장착될 수 있는 집게형 구조물에 맥파(PPG)를 검출할 수 있는 광 센서(RED LED, Photo-Diode)를 구비하고 있으며 투과식으로 신호를 검출할 수 있도록 구성되어 있다.

센서를 귓볼에 장착하여 연결된 도선에 +3V~+5V의 단전원(Vs)과 LED 구동 전류 제어 전압(Vc)을 인가하면 신호선(Sig)에서 완전한 아날로그 파형을 얻을 수 있다.

센서 출력신호에 포함된 DC 성분의 크기는 인가 전압(Vs)의 절반값이다. LED 구동 전류 제어 전압(Vc)은 0 ~ Vs(V)의 범위를 갖는다. Vc값이 증가할수록 LED 구동 전류와 맥파(PPG) 신호 크기는 증가한다. 센서의 Vc입력단은 10kΩ 저항이 pull-down되어 있다.

센서는 0.3~5Hz 대역을 갖는다. 신호 크기는 Vc로 조정되며, 센서의 소비전류는 Vc가 클수록 증가한다.

Vc에 의해 설정된 LED 구동 전류는 Photo-diode의 검출 전류의 크기에 의해 조절된다. 주어진 Vc에 대해 LED의 밝기는 피검체(귓볼)에서 투과되는 광량에 따라 변동된다. 센서가 외부 광에 노출될 경우, 센서의 LED는 꺼지고, 어두운 곳에 두면 켜진다.



그림[1]. 맥파 센서 외형



그림[2]. 귓볼에 센서를 장착한 모습

기능 & 주요특징 (Functions & Key Features)

● 기능

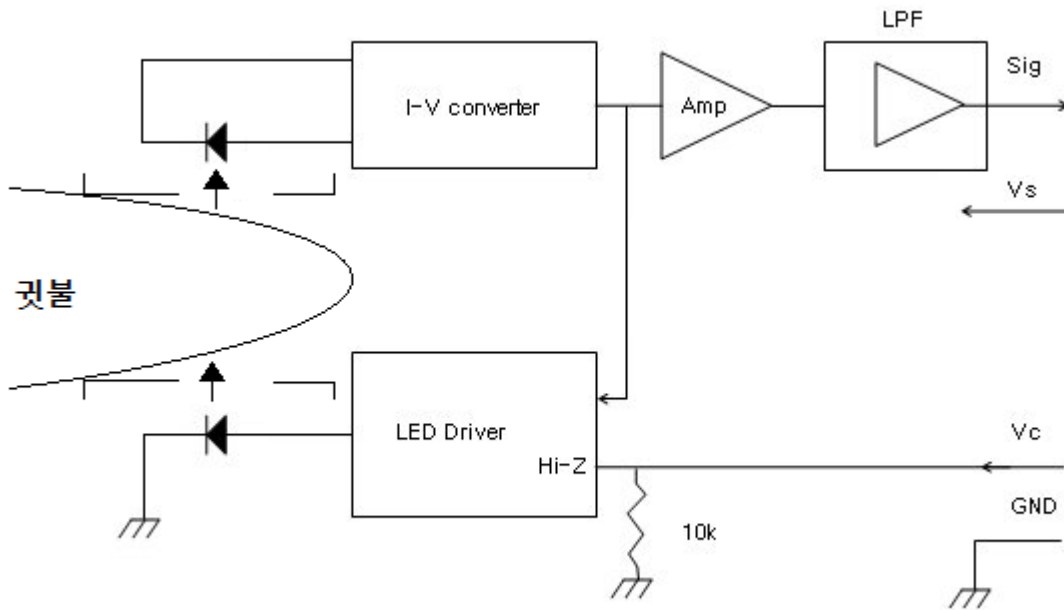
- 본 센서는 귓볼에 장착할 수 있는 외장을 지닌 집게와 센서 구동 및 신호 출력을 위한 연결선으로 이루어져 있다. 센서 몸체에는 맥파 검출을 위한 광 소자로서 red LED와 photo-diode를 포함하는 맥파 검출 회로가 구비되어 있으며, 연결 선은 네 가닥으로 이루어져 있다. 전원 인가용(Vs), 접지용(GND), LED 구동 전류 제어 전압 인가용(Vc) 그리고 신호 출력용(Sig)이 그것이다.
- 전원 인가 선(Vs)에 단일 전원(+3~+5V)을 연결하고, LED 구동 전류 제어 전압(Vc)을 인가하여 집게형태의 센서를 귓볼에 장착하면 신호 출력 선(Sig)에서 완전한 맥파(PPG) 신호를 관찰할 수 있다. 이 신호는 전압 범위만 맞다면 곧바로 ADC에 활용될 수 있다.
- 센서는 투과식-연속광 방식으로 동작되며, 연속광의 세기는 LED 구동 전류 제어 전압(Vc)의 크기와 photo-diode에 입사되는 광량에 의해 조절된다.

● 주요특징

- 투과식-연속광 방식의 능동 맥파 센서
- 4 가닥 연결선 (+Vs, GND, Vc, Sig)
- 집게형 센서 몸체 (귓볼에 장착하거나, 작은 손가락에 장착할 수 있다.)
- 완전한 맥파(PPG) 신호 제공
- Vc를 통한 LED 구동 전류 및 신호 크기 제어 가능

이어클립 맥파센서 (아날로그 신호 출력)

블록도(Block Diagram)



그림[3]. 기능 블록도

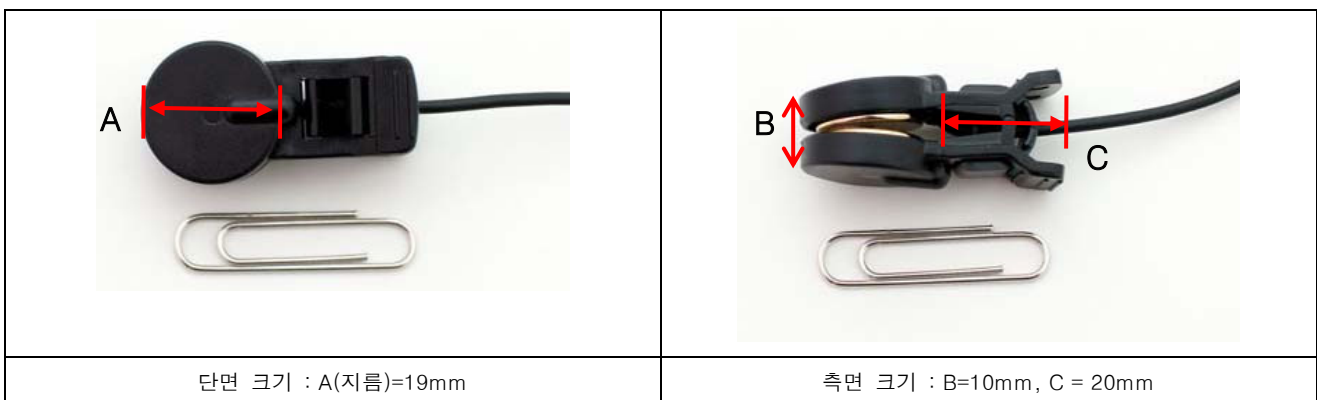
작동원리(Principle of Operation)

- 맥파 파형은 심장 박동에 의한 혈액과 혈관의 운동학적 특성이 반영된 것이다.
- 연속광을 피부 조직에 조사하여 투과되는 광량을 광-다이오드로 검출한다. 광-다이오드는 입사 광량에 비례하는 전류를 생성하며 그 전류를 전압으로 변환하는 회로를 포함한다. I-V 변환기의 출력은 LED 구동회로와 신호 증폭 회로의 입력으로 활용된다. 신호 증폭 회로는 입력 신호를 교류 증폭(차단 주파수 ~0.3Hz)하고, 증폭된 신호는 LPF(차단 주파수 ~5Hz)를 거쳐 완전한 맥파 신호(PPG)로 출력된다. 한편, LED 구동 회로는 제어 전압(Vc)과 I-V 변환기의 출력을 입력 받아 두 전압 크기가 동일하도록 LED 구동 전류를 출력한다.
- Vc가 증가하면 LED 구동 전류, 맥파 신호 크기가 증가한다.
- 센서의 출력 임피던스는 100Ω이고, LED 제어 전압(Vc) 입력단의 입력 임피던스는 10kΩ이다.
- LED 구동 전류 제어 전압(Vc)의 인가에 의한 LED 구동 전류는 대략 3sec 정도의 응답 시간을 갖는다.
- 센서 장착 부위가 변동하는 외부 광원에 노출되면 안정적인 출력 신호를 얻기 어렵다.

이어클립 맥파센서 (아날로그 신호 출력)

사양 (Specification)

항목	내용	값	단위	비고
Vs	구동 전압(센서 입력 전압)	3~5	V	DC 단전원
Is	구동 전류	12 (25)	mA	최대. @3.3V (5.0V)
Vc	LED 구동 전류 제어 전압	0~Vs	V	Vc=0V에서도 외부 광원의 밝기에 따라 신호 관측 가능
Z_Vc	Vc 입력단의 입력 임피던스	10	kΩ	Pull-down.
VOL	출력 신호 범위	0~Vs	V	인가 전원 전압 범위
Voff	출력 신호에 나타나는 DC 성분의 전압크기	Vs/2	V	인가 전원 전압의 1/2
BW	출력 신호의 주파수 대역	0.3 ~ 5	Hz	-3dB 대역
Td	신호출현 지연 시간(typ.)	70	ms	입력 신호 에 대해 Td시간 후에 출력 신호가 나타남.
λp	LED 중심 파장	640	nm	RED LED (single)
T_LED	LED 응답 시간	~3	sec	Vc 변동에 따른 LED 구동 전류 응답 시간
L	센서 도선 길이	1.5	m	-
맥파 검출 방식	혈관 요동을 검출하는 방식	연속광-투과식	-	피사체에 연속광 조사. 투과된 광량 변화 검출 방식
Topr	동작 온도	10 ~ 50	°C	실내 환경에서 사용
Tstg	운송 및 보관 온도	-40 ~ 100	°C	-



그림[4]. 센서 외장의 크기 정보.

이어클립 맥파센서
(아날로그 신호 출력)

사용법 (Applications)

센서 착용

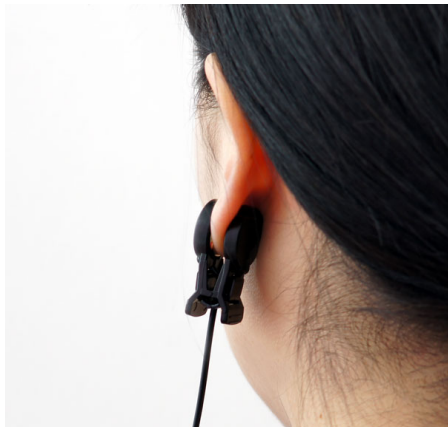
[주의 사항1] 측정 부위에 귀걸이가 있는 경우, 제거하고 센서를 장착한다.

[주의 사항2] 안정된 신호를 얻기 위해, 귀가 차갑지 않도록 보온 상태를 유지할 필요가 있다.

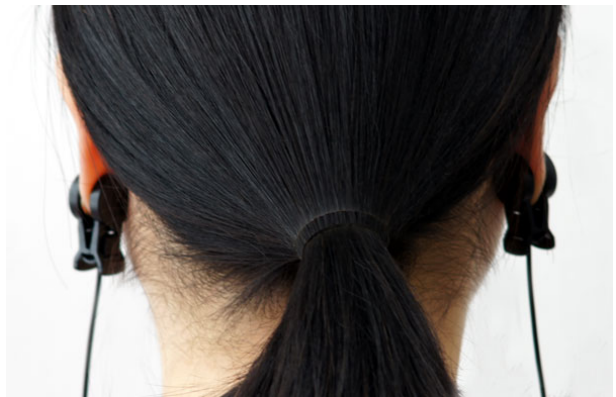
[주의 사항3] 측정 중에 지나치게 움직이면, 신호가 왜곡되므로 가능하면 안정된 자세를 취한다.

[주의 사항4] 오랫동안 센서를 착용하면 통증이 있을 수 있다.

[주의 사항5] 귓볼이 아닌 곳을 센서를 장착할 경우에는 센서가 안정적으로 장착되도록 한다.



[한쪽 귓볼에 센서를 장착한 경우]



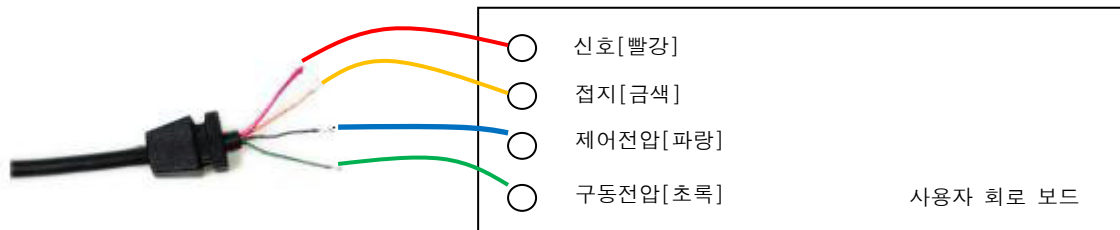
[양쪽 귓볼에 센서를 장착한 경우]

그림 [5]. 센서를 착용하는 예시

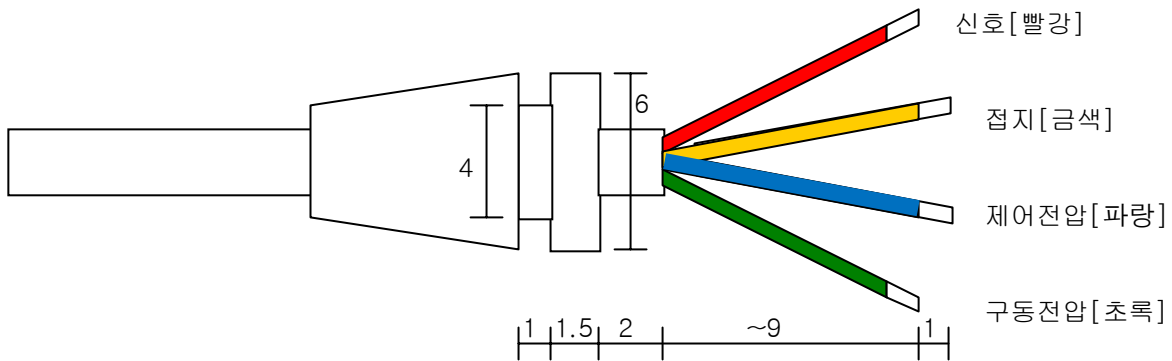
이어클립 맥파센서 (아날로그 신호 출력)

결선

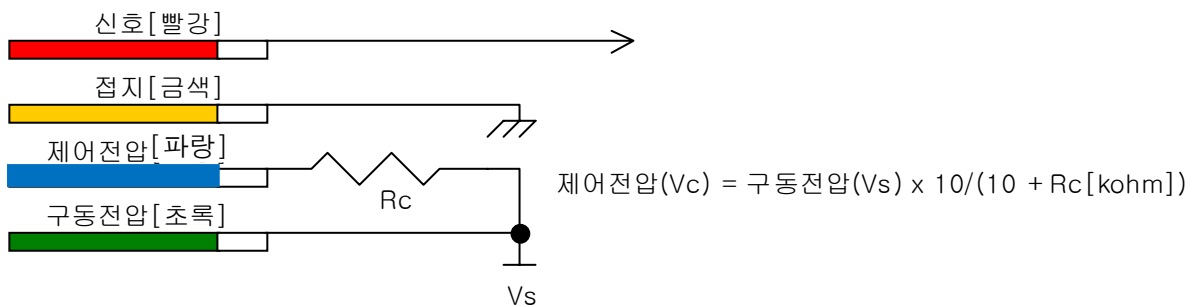
본 맥파 센서는 능동 센서로서 LED 구동 전류 제어 전압과 센서 전원을 인가하면 완전한 맥파 신호를 제공한다. 결선 방식은 아래 그림과 같다. 출력이 포화되지 않도록 LED 구동 전류 제어 전압(Vc) 적절히 조절할 필요가 있다.



[주의 : 제어전압은 구동전압을 절대 초과하지 않도록 할 것.]



[참고1 : 연결 도선에 구비된 도선-지지대의 구조(평면)와 치수]



[참고2 : 단일 구동전압(Vs)으로 센서(EP520) 결선하는 간단한 방법. 예를 들어, 구동전압(Vs)을 3.0V로, 제어전압(Vc)을 1.5V로 설정하고자 한다면, Rc=10kohm을 사용하면 됨.]

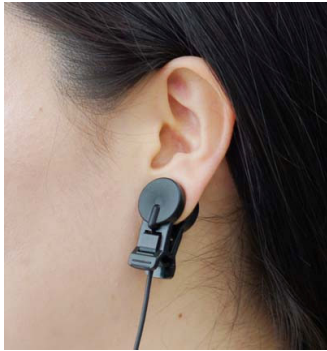
그림[6]. 센서 결선 정보

이어클립 맥파센서
(아날로그 신호 출력)

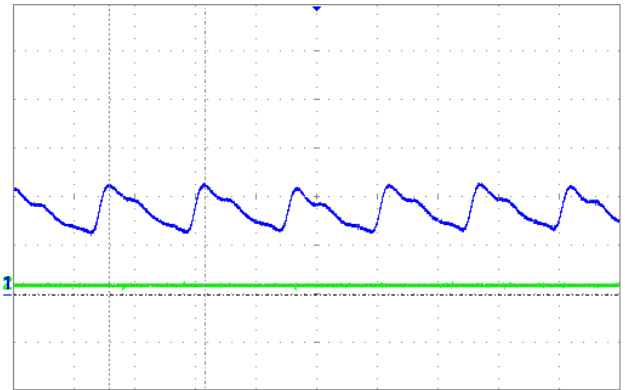
센서 출력 파형

센서를 그림[6]의 방식에 따라 결선하여 얻은 파형을 그림[7]에 나타낸다.

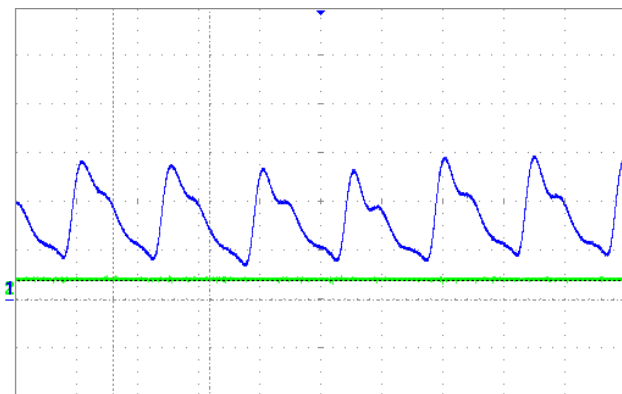
- 인가 전압(V_s) : 3.3V
- LED 구동 전류 제어 전압(V_c) : 0.2V(A), 0.4V(B), 0.6V(C)
- 센서 장착 : 왼쪽 귓불.
- 피검자의 호흡 상태에 따라 맥파(PPG) 신호의 진폭은 변동될 수 있음.
- 피검자의 피부의 상태에 따라 소비전류, 신호 진폭은 변동될 수 있음.



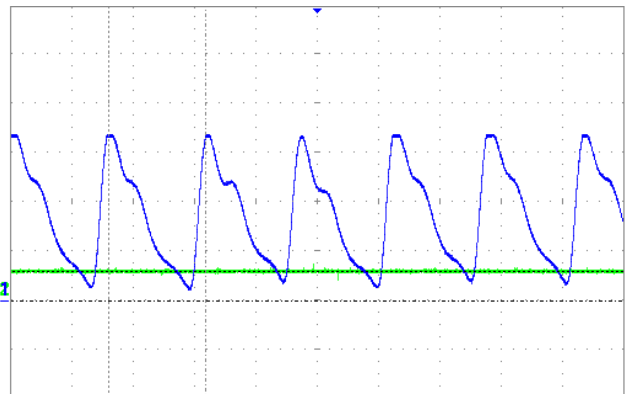
[주] 피부 탄성이 억제되면 신호가 약하고 왜곡될 수 있음.



(A). $V_c=0.2V$, $I_s=1mA$; CH1-PPG. CH2- V_c . 500ms/div, 1V/div



(B). $V_c=0.4V$, $I_s=2mA$; CH1-PPG. CH2- V_c . 500ms/div, 1V/div



(C). $V_c=0.6V$, $I_s=3mA$; CH1-PPG. CH2- V_c . 500ms/div, 1V/div

그림[7]. EP520 센서를 활용한 맥파(PPG) 신호 검출. V_c 가 증가할수록 신호 크기와 센서 소비 전류도 증가함을 확인한다.

$V_c=0.6V$ 에서 신호는 이미 포화 상태에 이른다. 귓불은 혈관이 발달되어 있고 조직이 얇아 신호 계측이 비교적 용이하다. 센서 장착 부위에 따른 신호 크기의 차이는 V_c 로 제어할 수 있다.

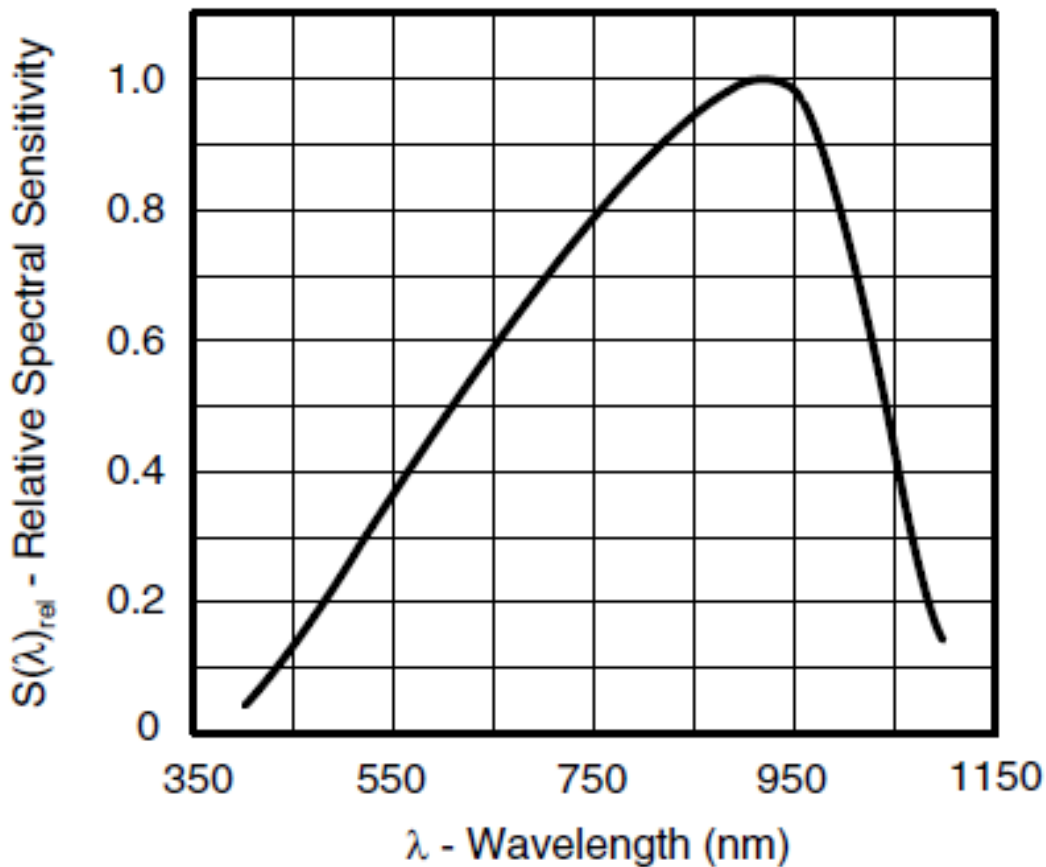
이어클립 맥파센서 (아날로그 신호 출력)

센서 동작 특성

센서에 도입된 광-다이오드의 감도 특성을 비롯한 센서 동작 특성을 나타내는 몇 가지 항목을 기술한다.

광-다이오드 감도

사용한 광원은 빨간색 가시광이다(640nm). 광-다이오드의 분광 감도를 그림[8]에 나타낸다. 사용한 LED 파장대에서 상대적 감도는 대략 60% 수준이다. 적외선에서 가장 강한 감도를 갖지만, 이 정도 값으로도 PPG 신호 검출에는 전혀 문제없다. SpO2 검출을 목적으로 하지 않으면 두 광원이 굳이 필요없다.

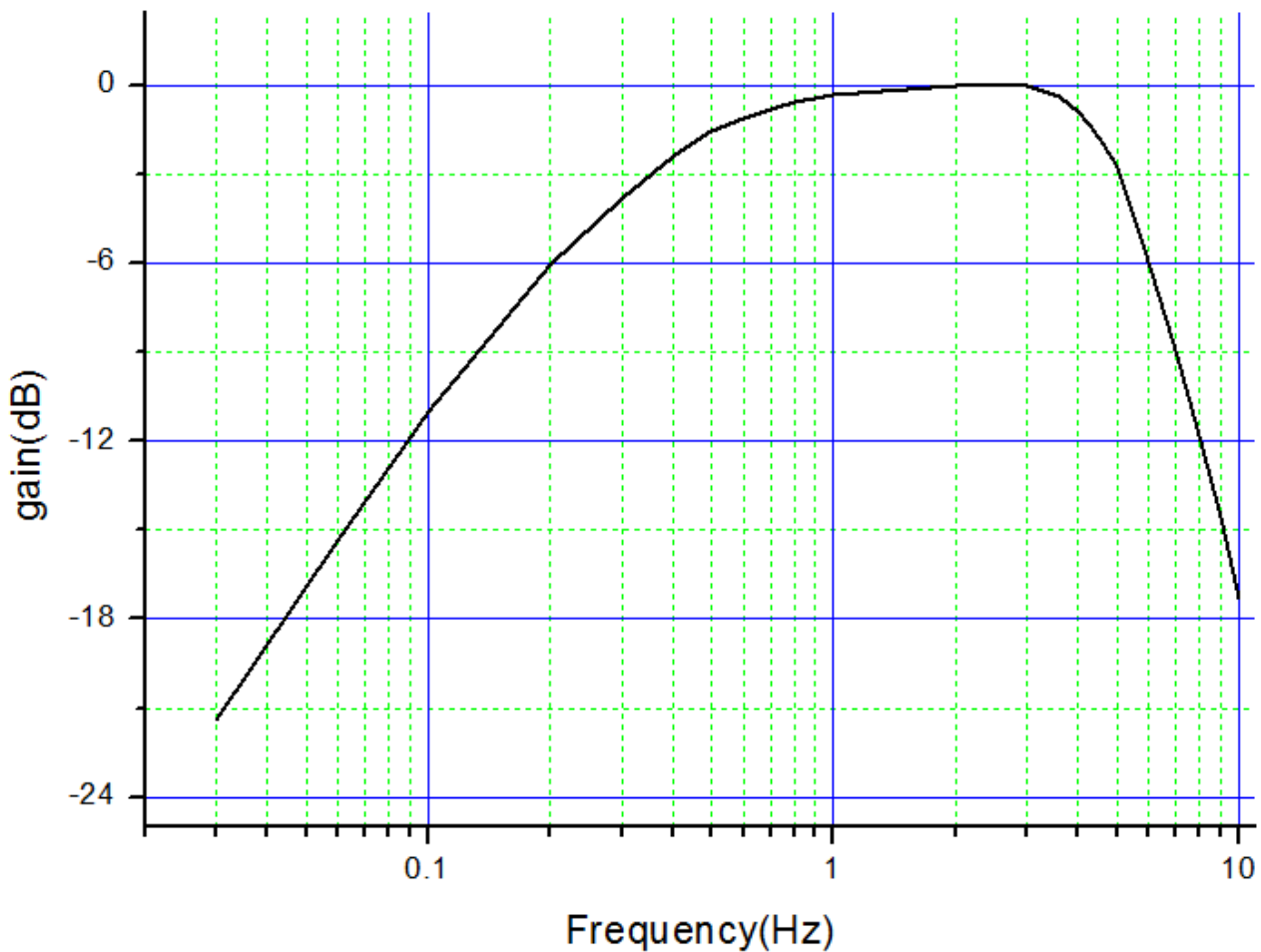


그림[8]. 광-다이오드의 파장에 따른 상대적 분광 감도. 640nm에서 대략 60%의 감도를 갖는다.

이어클립 맥파센서 (아날로그 신호 출력)

센서의 주파수 응답 곡선

센서는 RED LED에 의한 송신부와 광-다이오드에 의한 수신부로 구분된다. 광-다이오드는 수신 광의 세기에 따른 전류를 출력한다. 센서 회로부는 그 전류를 전압으로 변환하고, 신호를 증폭, 필터하여 최종 출력 신호를 제공한다. 광-다이오드를 포함하는 수신부의 주파수 응답 특성을 그림[9]에 나타낸다. 검출한 맥파(PPG)신호는 통과시키고, 불필요한 잡음은 제거하는 필터의 주파수 응답 특성을 보여준다.



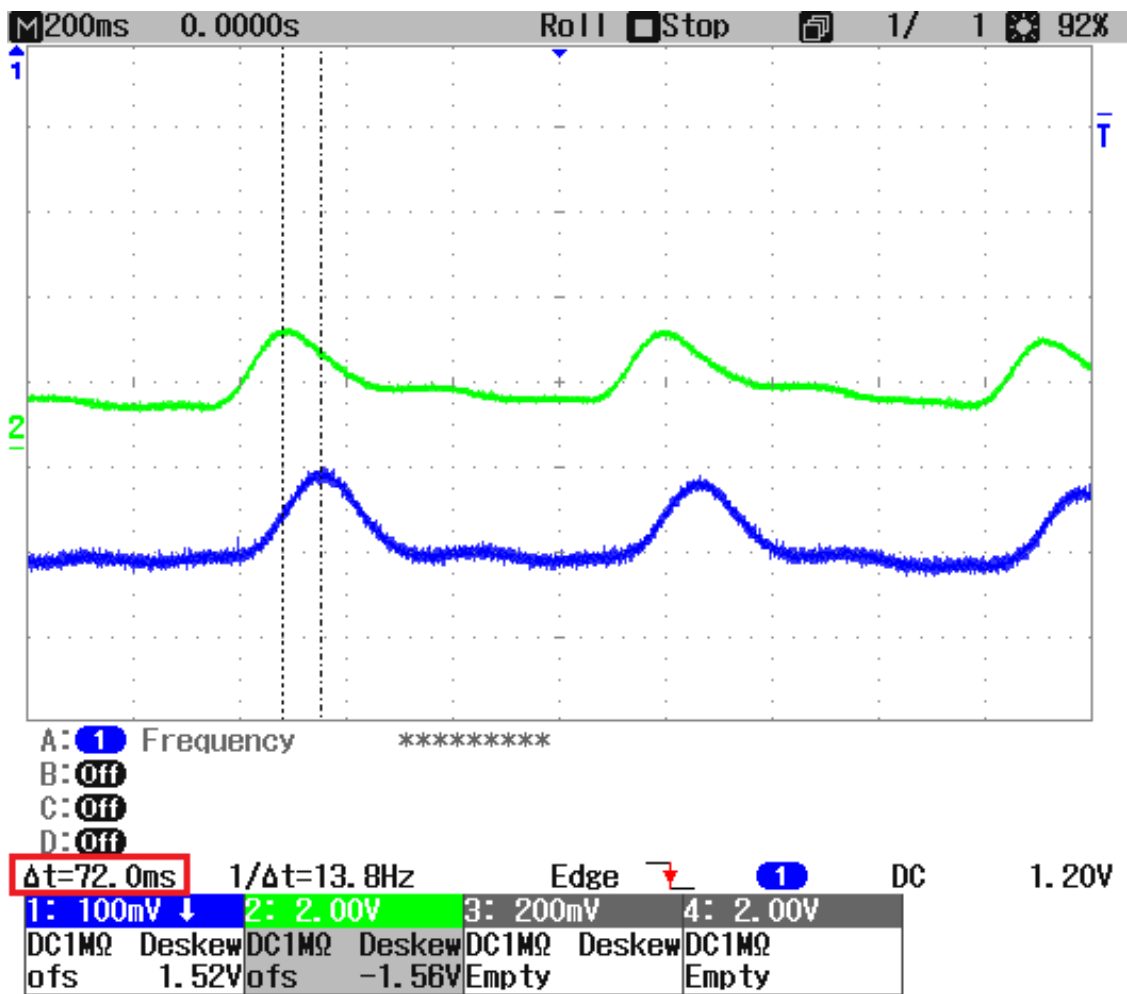
그림[9]. 센서(EP520)의 주파수 응답 특성 곡선. -3dB 대역이 대략 0.3 ~ 5Hz 영역임을 확인한다. 이득은 최대 출력값으로 규격화하여 얻은 것이다. 맥파 신호는 비교적 좁은 주파수 대역을 갖는다.

이어클립 맥파센서
(아날로그 신호 출력)

입력 신호에 대한 출력 신호의 시간 지연 특성

센서에 검출한 신호는 증폭되고 필터되어 최종 출력된다. 센서의 필터 주파수 특성으로 인해 검출한 원 신호는 출력시 약간의 시간 지연을 갖게 된다. 센서의 통과 대역을 갖는 신호를 인가할 경우, 출력에 나타나는 신호가 얼마나 시간적으로 지연되는지 조사한 것이 그림[10]이다.

측정값은 72msec 수준이다. 이 값은 각종 생체신호의 상대적 시간 정보가 중요할 경우, 보상 요소로서 활용될 수 있다. 맥파 신호가 제공하는 기본적인 정보인 심박펄스 검출에는 이 시간 지연이 문제되지 않는다.



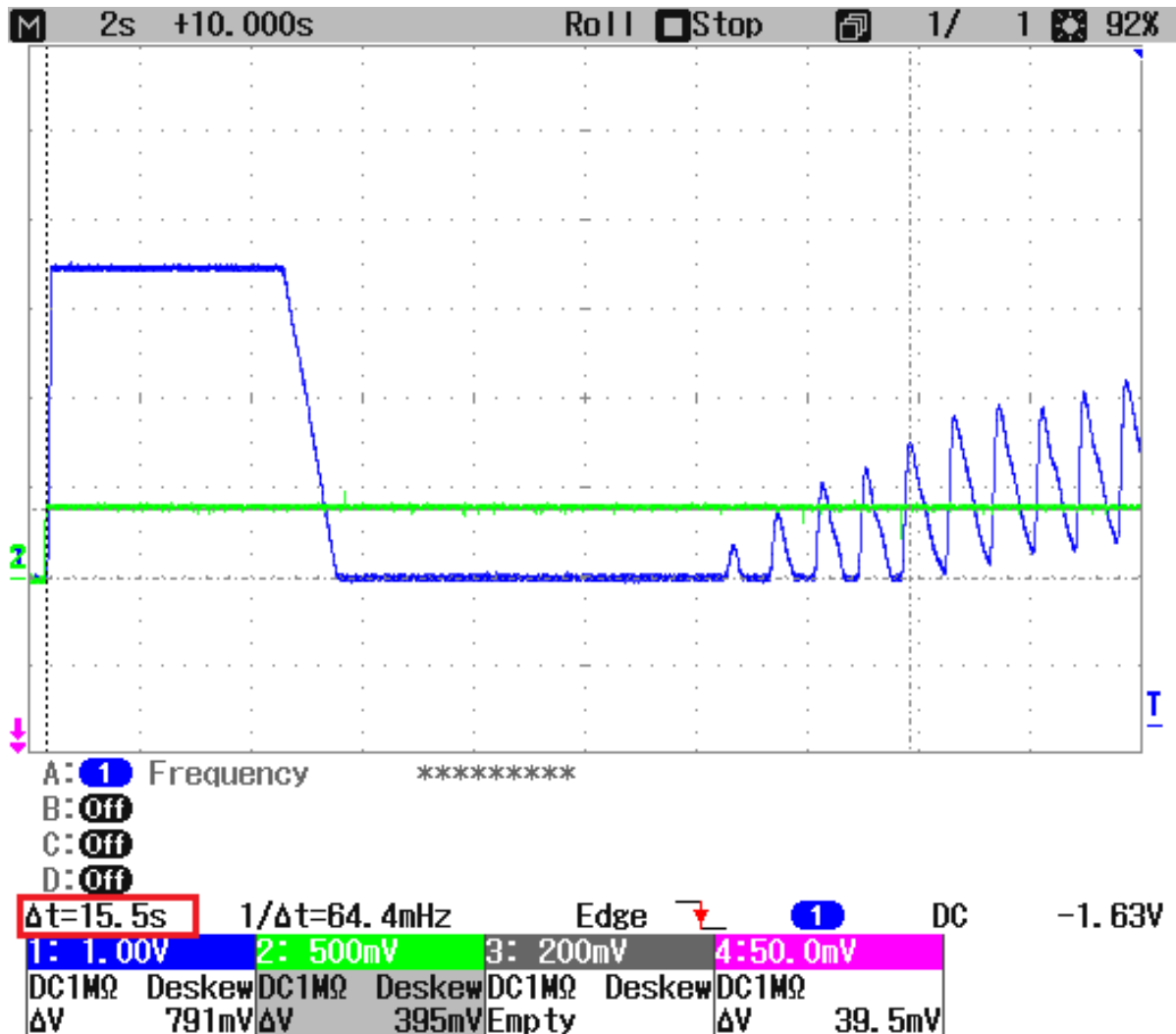
그림[10]. 센서의 입력출 파형에 대한 시간 지연 현상.

입력(CH2(녹색)) 신호에 대해 출력(CH1(파란색)) 신호가 72msec 후에 나타난다. 여기서 입출력 신호 크기 비교는 무의미 하다.

이어클립 맥파센서
(아날로그 신호 출력)

전원 인가 후 신호 출현 시간 측정

센서에 전원을 인가한 후 얻은 출력 신호를 그림[11]에 나타낸다. 센서를 컷볼에 장착한 상태에서 인가 전압을 3.3 VDC로 설정하고, LED 구동 전류 제어 전압을 대략 $V_c=0.4V$ 로 인가하여 얻은 센서 출력 파형이다. 전원을 인가한 후 대략 15초 후 신호가 완전하게 나타난다. LED 응답 시간과 신호의 필터 특성에 기인한 결과이다. 안전된 상태에서 출력 신호는 전원 전압 범위 내에 머물고 있음을 확인한다.



그림[11]. 전원 인가 후 15초 후 완전한 맥파(PPG) 신호가 나타난다.