

## 生體와 電子計測

朴 相 暎

延世大學校 理工大 電氣工學科 助教授, 工博

### 1. 序 言

생체에서 필요한 데이터를 얻어 내는 것은 의학에서 가장 기본적이고 절실한 문제이므로 의학은 새로운 생체 측정법의 개발에 많은 기대를 걸고 있는 것이다.

최근 공학적으로 발달한 기술이 점차로 생체 측정에 응용되고 있으며, 의학의 진보에 현저한 공헌을 나타내고 있는 것도 사실이다. 그러나 목적이 복잡하여 짐에 따라 공업적으로 발달한 기술을 그냥 그대로 의학 방면에 응용하려는 생각은 충분한 성과를 기대하기 어렵게 되었다. 이러한 원인은 생체와 공업 시스템의 특성이 틀리는 것에도 있겠으며, 또 공학자와 의학자 간의 견해 차이나 상호 이해 부족에도 중요한 원인이 있다고 본다.

그러므로 생체측측이라는 측면에서 전자공업의 기술을 효과적으로 활용하기 위하여 우선 이러한 학문의 조류를 살펴보고 생체의 특성을 간단히 소개한 다음 생체전기의 측정을 한정된 범위에서 살펴보고자 한다.

### 2. 醫用電子工學과 電子工業

생체측측이 속하고 있는 학문이 어떠한 과정을 밟아서 오늘에 이르고 있는지 그리고 그 취급 범위가 어떻게 확대되었는지를 살펴본다.

1780년경 이탈리아의 해부학자 Galvani가 행한 개구리의 실험은 전기 생리학의 시작이라고 볼 수 있으며, 1907년 Einthoven의 검류계를 써서 인체의 표면에서 심장의 활동전위(action potential)을 도출하여 기록하는데에 성공하였다. 여기에 전자공업의 발달은 생체의 측정 기술에

많은 영향을 미치게 되었으며, 따라서 생물을 포함한 의학과 물리학을 포함한 공학 사이에 존재하는 의용전자공학(ME; medical electronics)이라고 부르는 새로운 학문 분야의 탄생을 보게 된 것이다. 이와 동시에 전자 공업의 응용 기술도 여러가지 면에서 의학과 연결시키게 되었으며 특히 방사선과 초음파의 의학 응용은 활발하게 되어 벌써 확립된 분야로 발전하고 있다.

또한 전자공업의 발전은 정보처리의 기술이라든가 전자계산기의 의료에 이용이 아주 광범하게 이뤄지게 하고 있다. 그래서 최근에는 전자계산기를 포함한 대규모적인 의료 시스템 또는 보건 시스템을 선진국에서는 실행하고 있는 것이다.

이상의 제 분야는 전자공학, 정보공학, 그리고 시스템공학의 성과를 의학에 응용하는 것이고, 이것에 보다 더 광범한 공학 즉 기계 공학이라든가 재료에 관한 공학에 까지 여러면에서 의학과 연결된 의용공학(medical engineering)이라 부르는 학문이 형성되도록 발전하였다. 이의 대표적인 것은 인공 신장이나 인공 심장동이 있으며 이것은 인간-기계계(man-machine system)의 문제와도 관계 한다.

한편 인간은 기술의 발달에 따라 우주 공간이나 깊은 바다 속의 환경에 대해서도 생활하도록 이것의 환경이 인간에 주어지는 영향을 조사하지 않으면 안되게 되었다. 그래서 최근 공학에서 발달한 이론이나 수법, 예를 들면 정보이론 제어이론, 시스템이론, 계산기 시뮬레이션 등 말하자면 공학 기술을 써서 생체의 기능을 해명하려는 시도가 성행하게 되었다. 특히 시스템 측면에서 본 생체의 기능 또는 생체에서의 정보흐름은 흥미가 깊은 것이 많고 새로운 학문 분야

를 형성하기에 이르고 있다. 즉 의용생체공학 (biomedical engineering)이라는 분야로 뭉쳐 지게 되는데 이것은 다음과 같이 정의되는 학문이다.

“생체 시스템에 대한 생물학적, 의학적인 지식과 공학 기술을 응용하여 이들 개개의 시스템을 조화시키고 또 생체시스템과 공학시스템간의 기능 조화를 시키며 양 시스템에 존재하는 환경의 조화를 추구하는 학문이다.”

그림 1은 관계 영역을 잘 나타내 주고 있다.

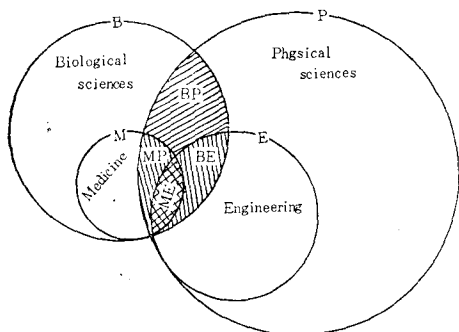


그림 1 ME의 위치

### 3. 生體의 特性

생체계측 기술이 의용 생체공학의 한 분야로서 큰 비중을 점유한 이유의 하나는 생체 그 자체의 특수성에 있다고 본다.

생체를 측정 대상으로 할 때 여러가지 점에서 인공적인 물체와 차이가 있는데 이것을 정리하면 삶에 기인하는 것과 생체의 물리 화학적인 구성에 기인하는 것으로 대별 할 수 있다.

#### (1) 삶에 기인하는 특성

생체 계측과 관련하여 아래와 같은 삶에 기인하는 특성을 항상 염두에 두어야 한다.

(a) 분활이 불가능—생체는 인공적인 물체와 같이 몇 개의 구성요소로 분활하여 그 특성을 측정할 수 없다. 그러므로 계측에 있어서는 생체 시스템 전체로의 동작을 이해하지 않으면 안 된다.

(b) 다중 귀환과 항상성 (hemoestasis)—생체 각 기관은 완충작용이 있어 안정한 동작을 하도록 구성되어 있고 더욱 여러가지 정보에 의한 다중 귀환제어를 받아서 그 목적을 정확히 달성

하게 되어 있다. 체액량 조절이나 전해액 농도 조절에서 보이는 항상성은 그의 대표적인 예로서 생존에 적합하게 아주 잘 제어되고 있다.

(c) 개인차와 변동—생체는 인종·년령·성별에 의한 개인차가 심하고 생체기능도 개체간에 크게 다르다. 그러나 하나의 개체에 관하여는 정상치가 아주 잘 일정하게 유지되고 있다. 이 때문에 진단등에 쓰이는 데이터는 다수 사람의 평균치에 대한 차보다는 개인의 평균치에 대한 차이가 중요한 의미를 가지고 있으며 측정의 절대치보다 차라리 그의 시간 경과에 대한 변화분이 더 중요한 경우가 많다.

(d) 적응성—생체는 외계의 변동에 대하여 적응하는 성질을 가지고 있다. 급격한 온도 변동에 대하여는 짧은 시간에 적응하고 寒冷地 순응과 같이 유전적으로 오래동안 적응하는 경우도 있다.

(e) 흥분성—생체는 능동적인 성질을 가지고 있어 문턱값(threshold value)을 넘으면 여러 가지 자극에 대하여 흥분한다.

#### (2) 물리화학적 특성

생체의 물리화학적 특성은 생체의 구성에 기인하므로 먼저 간단히 생체의 구성을 세포 레벨에서 생각하여 보기로 한다.

생체는 특성이 다른 여러 종류의 세포로 구성되지만 일반적으로 그림 2와 같은 단백질, 지방, 탄수화물등을 포함한 반유동 전해액(원형질)을 세포막으로 둘러 싸인 세포와 세포간을 채우고 있는 물질에 의해 이루어져 있다고 생각된다.

세포막은 2층의 지방질과 단백질로 이뤄져서

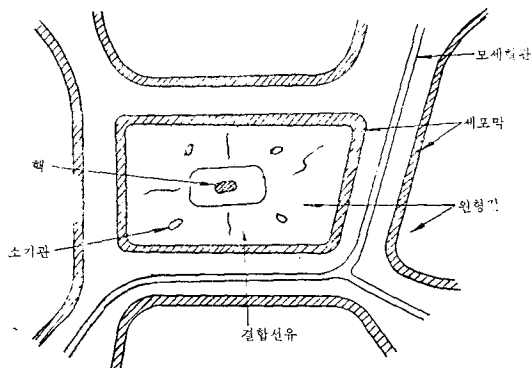


그림 2 세포의 모형

두께는 50~100Å으로 세포의 모양을 유지하거나 세포 내외를 격벽으로 해서 세포를 보호하면서 代謝에 關係하고 있다. 원형질이나 세포 사이의 물질에는 결합 纖維가 있고 또한 역학적으로 지지 하고 있다.

다음에 전체를 조직의 레벨로 생각하면 같은 종류의 세포가 모여서 조직을 만들고 여러가지의 조직이 복잡하게 조합되어서 생체가 구성되고 있다. 그 예로서 그림 3은 피부에서 근육까지의 단면을 보여 주고 있다. 표피는 선유가 많고 다른 조직보다 견고해서 생체의 모양 유지에 중요한 역할을 가지며 또 각질(角質)이기 때문에 생체를 보호하고 물이나 빛등의 침입을 막아 준다. 피하 조직은 지방질이 풍부하며 근육은 가늘고 긴 세포로 구성되어 수축하는 근선유(筋線維) 이외에 탄성선유나 유질선유(膠質線維)도 많이 있다.

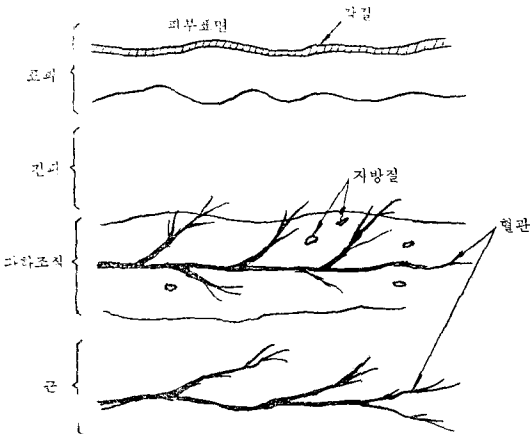


그림 3 조직의 모형

아래의 성질은 생체 계측에서 중요하다.

(a) 異方性—총 구조의 물체는 모든 물리량에 대하여 강한 이방성(異方性)을 나타내고 있음을 쉽게 알 수 있다.

(b) 비선형성—생체는 문턱값 보다 큰 자극에 대하여 흥분하고 문턱값 보다 적은 자극에는 응답하지 않는 二值的인 응답을 하며, 비선형성을 나타내고 있다. 또 흥분을 일으키지 않는 조그만 물리량에 대하여도 여러가지 형태의 비선형성을 나타내고 있다.

(c) 주파수 의존성—여러가지 물리량에 대하

여 여러 완화 현상을 나타낼 것이 추측되며 또한 여러가지 물리적 파동에 대하여도 특이한 흡수·산란 특성을 나타내고 있다.

생체 계측에 있어서는 이상과 같이 생체의 특성을 항상 염두에 두고 더욱 필요한 생리학적 인 지식을 의학자에 의해 흡수하여 목적에 적합한 좋은 측정이 되도록 노력하여야 한다.

#### 4. 生體 電氣의 計測

생체는 살아 있는 한 여러가지 물리량을 발생하고 있다. 심장의 활동에 수반하는 심전(心電)이나 心音은 그 대표적인 예이다. 이것은 생체의 상태를 반영하고 있는 것이 많아서 이것을 측정하면 임상 진단에 유력한 정보를 제공해 줄 수 있다.

생체에서의 신호는 일반적으로 에너지가 아주 적으므로 측정에는 상당한 주의가 필요하고 검출기도 성능이 좋은 것을 쓰는 것이 당연하지만 검출기와 생체의 상호 關係를 고려한 검출기가 되지 않으면 안된다. 음을 측정하는 경우 정합이 아주 곤란하고 전기 측정에서는 전극이 온도 측정에서는 검출기의 열특성이 문제가 되고 있다.

여기서는 생체전기의 계측에 關係된 몇가지 사항을 살펴 보기로 한다.

##### (1) 활동전위

생체가 활동하면 반드시 여기전력(勵起電力)을 일으키므로 생체에서 발생한 활동 전위(action potential)을 측정하면 생리기능의 검정에 적합하다. 세포는 안정시 세포 내외에 약 70(mV)의 전위차를 가지고 세포의 내측이 부전위(negative potential)인데 이 전위차의 원인은 아직 명확하지 않다. 세포가 어떤 자극으로 흥분하면 이 전위차는 없어지고 세포 내가 역으로 20(mV) 정도 정전위(positive potential)로 된다.

이 활동전위의 대표적인 예는 신경 세포 및 근육 세포의 흥분에 수반되어 발생하고 그림 4는 신경 세포에 전기 자극을 가하여 흥분시킨 경우의 활동전위를 나타낸 것이다. 筋細胞의 흥분에 수반한 활동전위도 대체로 같으나 골격근에서는 활동전위의 지속시간이 길고 心筋에서

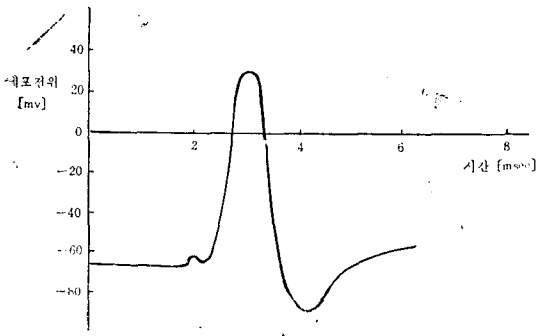


그림 4 신경 세포내 활동전위

는 더 길어진다.

입상에 쓰이는 體表로 측정된 생체 전기는 이와 같이 개개의 세포 흥분이 중합되어 전체적인 전기 현상으로 되다. 이것은 심장의 근육 활동에 의한 心電圖, 뇌신경의 활동에 의한 腦波, 근육의 활동에 의한 筋電圖, 그리고 눈의 활동에 의한 網膜電圖 등이 있다.

여러가지 생체 전기 현상의 특성을 표 1에 보여주고 있다.

표 1 생체 전기 현상의 특성

종 류	주파수대역 (Hz)	전 압	임피던스
심전도 (ECG)	0.1~200	1mV전후	1~20kΩ
뇌 파 (EEG)	0.5~70	수 μV-300 μV	10~50kΩ
근전도 (EMG)	10~200	10 μV-15mV	1~수십 kΩ
피부전기발사 (GSR)	0.03~15	수십 μV~수 mV	1~수십 kΩ
망막전도 (ERG)	DC~200	50 μV~1mV	수십 kΩ
세포내 활동전위	DC~3000	수십 mV	10~50MΩ

(2) 생체용 증폭기

생체 전기는 이와 같이 적은 양이므로 증폭하여 기록할 필요가 있다. 특히 생체용 증폭기에서 전치증폭기 (preamplifier)는 R-C 결합에 의한 시정수 회로와 직결증폭기의 조합으로 이루어지고 주증폭기는 직결증폭기 이다.

생체용 증폭기의 요건은 다음과 같은 것이 있다.

- (a) 높은 입력 임피던스가 있어야 한다.
- (b) 차동 증폭으로 높은 S/N을 가지고 있어야 한다.
- (c) 필요한 주파수 대역을 가지고 있어야 한다.

입력 임피던스가 높은 것은 생체 내의 전위 분포를 고르게 하여 주교 전극의 특성과 관련하여 유도잡음을 제거하기 위해서 필요하고 S/N의 개선에도 중요하다. 현재로는 특별한 경우를 빼고 입력 임피던스가 1(MΩ)~5(MΩ) 정도이다.

교류 전원에서 유도잡음을 없애기 위해서는 그림 5와 같이 접지 전극과 별도로 2개의 전극을 장치하여 이 사이의 전위차를 측정하고 접지 전극 부근의 유도 잡음 전위의 영향을 제거한다. 따라서 증폭기는 차동형으로 S/N가 크게 40~80(dB) 정도 되지 않으면 안된다.

전극과 생체간에는 직류 전위가 발생하므로

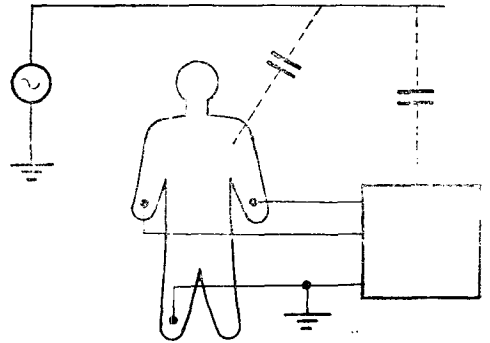
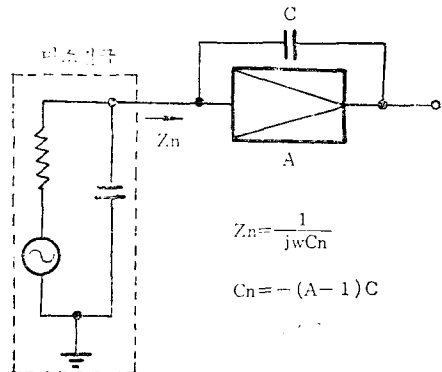


그림 5 생체 전기의 측정

입력회로는 R-C 결합으로 직류를 차단할 필요가 있으며 특히 심전도에서는 0.1(Hz) 정도가 필요한 경우 충분한 주의가 있어야 한다.

미소 전극을 사용한 경우 그림 6과 같이 負性容量 증폭기가 필요하다. 미소 전극과 병렬로



$$Z_n = \frac{1}{j\omega C_n}$$

$$C_n = -(A-1)C$$

그림 6 부성 용량 증폭기

들어간 표류 용량을 증폭기의 부성 용량으로 없애게 한다. 또 세포내의 이온 농도에 영향을 주지 않기 위해서 전극을 통하여 흐르는 전류를  $10^{-12}[A]$  이하로 억압하는 것도 필요하다.

**(3) 전극(Electrode)**

생체 전기를 측정하기 위해서는 생체에 전극을 장치하여 증폭기와 접촉한다. 피부는 전술한 바와 같이 물을 통과시키지 않으므로 저항이 아주 커서  $1[cm^2]$  정도의 단면에 수  $[k\Omega]$ 에서 수십  $[k\Omega]$ 이다. 이것을 적게하기 위하여 전해액과 銀粉을 혼합한 페스트(paste)를 도포한다. 생체내의 전기 전도는 전해액에 의한 것으로 생각해도 좋으므로 전극의 특성은 금속과 전해액 사이의 특성으로 보아도 된다. 따라서 전극과 생체간에는 그림 7과 같은 회로가 이뤄진다고 생각할 수 있다. 여기서  $C_d$ 는 전기 이중층이고,  $E$ 는 정지 전극 전위이며,  $Z$ 는 활성화 저항, 전기 화학 반응에 의한 임피던스, 그리고 확산 임피던스 등의 분극 임피던스에 대한 총합이다.

이와 같이 증폭기의 입력에는 생체전기의 다른 전극에 의한 정지전위가 附加되므로 만일 정

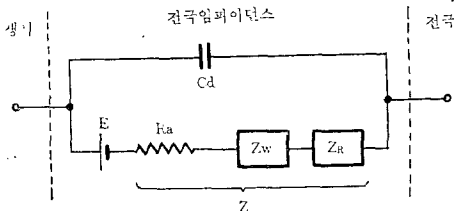


그림 7 전극 임피던스

지 전극전위가 변동하면 잡음으로 된다. 또 측정할 때 아주 미소하지만 전류가 흐르기 때문에 분극 임피던스에 의한 분극전압도 문제로 된다. 생체 전기가 체표에서는  $1[\mu V]$ 에서  $1[mV]$  정도에 대해 정지 전극 전위는 카로멜(calomel) 전극을 기준으로 하여 수십에서 수백  $[mV]$ 로 되어 정지 전극전위의 미소한 변동이 측정에 큰 영향을 주고 있다.

전극 및 계측기가 아주 안정하게 동작했다해도 측정된 파형과 피측정부의 기능과의 관계를 모르면 의미가 없다. 그렇기 때문에 체표 전위 분포에서 피측정 기전력의 위치와 크기의 추

정을 행하지 않으면 안된다.

전극의 종류는 표 2와 같다. 피부 전극인 경우는 페스트나 식염수에 담근 가제를 병용한다. 針電極은 주사침 중에 동선을 통해 동심(同心) 전극이 쓰이고, 전극 저항은 적으나 분극전압은 비교적 크다.

표 2 전극의 종류

종 류	접 착 방 법	용 도	
피부 전극	곡관 전극	식염수에 담근 가제, 도전성 페스트	심전도(肢誘導)
	흡착 전극	" "	심전도(胸部誘導)
침전극	명(皿)전극	도전성 케스트	뇌파근전도(표면)
	분극전극	" "	범용, 특히 운동중에 장시간의 측정
침전극	동심형침전극	직 접	근전도(筋內)
	미소 전극	직 접	세포내활동전위

**(4) 생체전기의 몇가지 話題**

(a) 심전도—생체의 예비력 추정은 미래 상태의 예측과 관련하여 중요하다. 이 예비력 추정의 한 방법으로 부하를 걸어서 그 응답을 관찰하게 되는데 그 대표적인 예가 부하 심전도이다.

또 심실에서 흥분 전도는 시간 공간적 현상이므로 보통의 심전도와 같이 시간적인 표현을 하는 대신에 복수개의 점으로 유도시킨 심전도에 전자계산기를 써서 체표면 전위 분포를 계속적으로 표시하는 것이 시도되고 있다.

(b) 뇌파—빛, 소리 등의 자극을 주어서 이것에 동기되는 뇌파의 파형을 수집회 가산하므로써 S/N을 개선하는 것이 유발 반응 가산법인데, 반응은 가산회수 N에 비례하여 증대하나 잡음은  $\sqrt{N}$  배로, S/N은  $\sqrt{N}$  배로 개선된다.

복수개의 점으로 유도시킨 뇌파에서 그의 기전력 벡터를 추정하는 뇌파의 기전력 벡터법이 또한 시도되고 있다.

(c) EOG (electro-oculography)—망막에 대하여 각막이 항상 약  $1[mV]$ 의 전위차를 나타내고 있으므로 안구는 상하, 좌우에 전극을 두므로써 움직이는 각도에 거의 비례한 전압을 얻을 수 있다.

안구운동 파형은 안진도(ENG, electro-nystagmogram)라 부르고 임상진단에 이용되고 있으나 EOG를 이용한 안진계가 가장 일반적이다.

적으로 할 수 있기 노력할 것을 약속 하면서 끝을 맺는다.

### 5. 結 言

생체 계측 중 생체진기의 계측을 몇가지 예를 중심으로 설명을 시도하였으나, 막상 탈고를 하고 보니 일부의 언급에 지나지 못함을 죄송스럽게 생각하며 기회 있는 대로 계속 보완하여 생체계측 기술에서 전자공업의 이용을 더욱 효과

### 참 고 문 헌

1. L.A. Geddes & L.E. Baker; Principle of Applied Biomedical Instrumentation, John Wiley, 1968
2. A. Watanabe; Biomedical Measurement, The Journal of IECE in Japan, Vol.55, No.11, 1972, pp.1498-1510
3. 박상희; 의용생체공학과 전기공학과의 관련, 대한전기 학회지, 제23권, 제 1 호, 1974년, pp.29-33

## 原 稿 募 集

다음 號의 原稿를 아래와 같이 募集하오니 많이 投稿하여 주시기 바랍니다.

- (1) 內容 : 報告, 最近技術解説, 세미나抄錄, 技術講座, 技術展望, 海外論文紹介, 圖書紹介, 施設紹介, 特許紹介, 新規格紹介, 會員動靜等.
- (2) 投稿要領 : 本誌投稿要領 參照.
- (3) 期日 : 1974年 10月 30日 限.
- (4) 送付處 : 서울特別市 鍾路區 新門路 1街 24番地, 高麗빌딩 506號室 大韓電子工學會(電話 75-5979) 우편번호 110.
- (5) 本誌에 關한 問議處 :
  - (가) 本學會 事務室(電話 75-5979)
  - (나) 高麗大學校 理工大 電子工學科  
金應鎭 教授(電話 (交) 94-9341~9)
  - (다) 延世大學校 理工大 電子工學科  
朴圭泰 教授(電話 33-0131)
  - (라) 原子力研究所 計測制御研究室  
朴寅用 室長(電話 96-5081~5)
  - (마) 서울大學校 工大 工業教育學科  
李忠雄 教授(電話 96-0041~5)