

# 생체 임피던스 (Biological Impedance)

徐 丙 高

漢陽大學校 工科學 電子通信學科, 助教授

## I. 서 론

갈바니 (Galvani)가 생체에서 전기적 현상을 발견한 이래 생체 시스템의 전기적 속성에 관한 연구는 중요한 과제가 되어 왔다. 전자 측정기기의 개발로 인한 현대식 측정 기술 개발이후 패시브 (passive)한 전기적 특성들을 측정 가능하게 하였다. 포텐셜 (potential) 이론을 사용하여 그 패시브한 전기적 특성들을 설명하여 주는 기전 (mechanism)을 세워 전기적 신호들의 전도현상과 자극현상 (excitability)의 원천 (origin)을 이해하게 되었다. 특히 컴퓨터의 출현으로 수학적 모델링에 크나큰 도움을 주었을 뿐만 아니라 실험적으로 관측된 데이터를 효율적으로 처리할 수 있게 하여 자극 현상의 많은 사실을 이해할 수 있었다. 그러나 지난 수십여년간의 노력으로 생체의 전기적 현상에 대한 이해의 크나큰 진전은 있었으나 이러한 현상을 완전히 설명하여 주는 분자적 기전에 대한 이해는 아직 제한되어 있다.

생체 세포나 조직 그리고 이들을 구성하는 성분들의 액티브 (active)하고 패시브한 전기적 특성에 대한 이해는 전기적 원리들의 진단적 및 치료적 응용 때문에 의학에 있어서는 학문자체 뿐만 아니라 임상적인 측면에서 상당히 중요하다.

본 논문에서는 생체에서 일어나는 전기적 특성들을 이해하는데 있어서 근간적인 역할을 하는 생체 임피던스에 대해서 중점으로 서술하고자 한다.

## II. 임피던스의 정의

어떠한 물질의 전기적 속성물은 교류 전류에 의해 측정되어 질 수 있고 임피던스 즉  $Z=R+jX$ 로 표시될 수 있다. R은 리지스턴스를 말하며 X는 리액턴스

이다. 또한 임피던스의 역인 어드미턴스 즉  $Y=G+j\omega C$ 로 나타낼 수 있다. G는 컨덕턴스, C는 커패시턴스,  $\omega$ 는 각 (angular) 주파수를 의미한다. R과 G는 전기적 에너지가 열로써 방출될 때 일어나고 X와 C는 손실 (loss)이 없는 저장상태 (storage)로 부터 발생한다. 어떠한 임방 센티미터를 고려할 때 G가  $ohm^{-1}$ 으로 표현되었다면 G는 전도를  $K ohm^{-1} cm^{-1}$  되고 C는  $C=\epsilon \times Cr$  관계에 있다.  $\epsilon$ 는 유전상수 (dielectric constant)를 의미하며 Cr은 자유공간 (free space)에서 용량 (capacity)을 나타낸다. ( $Cr=0.0884\mu\mu f/cm$ )  $\epsilon$ 과 K의 값들은 전해질이나 세포막 같은 물질에 대해서는 비교적 광범위한 주파수 영역에 걸쳐서 일정하며 이들 변수들은 간단한 물리적 해석을 갖고 있기 때문에 생체구조의 분석과 묘사를 위해서는 편리하다.

생체 구조에 있어서는 에너지는 어떠한 장소에서 다른 장소로 이동하거나 어떠한 형태에서 다른 형태로 전환된다.  $\epsilon$ 과 K의 값은 주파수에 따라 변화하며 이러한 프로세스는 시간상수 (time constant)에 의해 나타난다. 이와 같이 시간에 의존하는 전기적 현상들은 Schwan (1957)에 의해 잘 연구 조사 되었다. 그는 계단함수 (step function)의 자극을 가했을 때 발생하는 응답 사 이에 지수적 시간지연 (T)이 임피던스와는 아래와 같은 관계로 나타낼 수 있음을 보였다.

$$Z=a+\frac{b}{1+j\omega T} \quad (1)$$

또한 자극과 응답 사이가 지수적 시간 지연이 아닐 때는 다른 기전에 의하기 때문에 다수의 시간 상수로 표시할 수 있음을 보였다.

$$Z=a+\sum \frac{b}{1+j\omega T_r} \quad (1')$$

이러한 시간의 상관 함수로 되어 있는 극화 (pola-

rization) 현상을 설명하는 2개의 기전이 존재한다. 그 하나는 정이온과 음이온의 분포 불균형으로 생겨나는 극성물질(polar molecule)의 존재로 인하여 자장에 따라 회전을 일으킨다는 것이다.

이러한 경우에는 시간 정수는 어떠한 분자가 자장과 함께 회전하는데 필요로 되는 시간을 말하며, 분자의 형태, 크기, 점성, 온도에 따라 변화한다. 다른 하나의 기전은 이질적(heterogeneous) 구조의 존재로 인한 것이다. 이러한 구조들은 서로 다른 전기적 속성들을 갖고 있는 물질들로 구성되어 있기 때문에 서로 다른 물질을 분리시키는 경계면들은 전하를 갖게 될 것이다. 이것을 이온의 이동을 가져오게 되며 시간을 필요로 하게 된다. 전자의 기전은 "극성이완(polar relaxation)"이라고 불리며 1929년 Debye에 의해 처음으로 연구되었고 후에 Böttcher (1952)와 Smyth (1955) 등에 의해서 연구되었다. 후자의 기전은 "구조적 이완(structural relaxation)"라고 불리며 1914년 Wagner에 의해서 연구되었으며 Maxwell-Wagner" 이론이라고 부르기도 한다. Cole (1928), Dänzer (1934) Fricke (1925, 1953) 등에 의해서 연구되었다. 사실상 생체적 구조는 이질성과 극성분자를 포함하고 있기 때문에 2개의 기전이 존재한다고 말할 수 있다.

생체에서 일어나는 극화현상은 이완기전에 의해 잘 설명될 수 있으며 혈액과 같은 간단한 세포의 서스펜션(suspension)에서는 쉽사리 발견된다. 그림 1에서 볼 수 있는 것 같이 계단함수의 포텐셜을 가했을 때 시간에 의존하는 극화현상을 볼 수 있다.

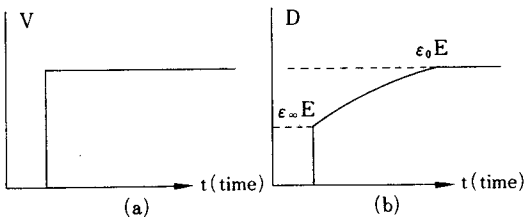


그림 1.

그림 1(a)는 계단 포텐셜 함수를 나타내며 그림 1(b)는 이완 현상을 보여주고 있다. D는 디엘렉트릭 디스플레이스먼트를 나타내며  $f^{\perp} \text{idt}$ 에 의해 정의된다. 그림 1(b)는 관계식  $D(t) = \epsilon_{\infty} E + (\epsilon_0 - \epsilon_{\infty}) (1 - e^{-t/T}) E$  으로 표시될 수 있다. 여기서  $\epsilon_0$ 은 저주파에서의  $\epsilon$ 의 값이며  $\epsilon_{\infty}$ 은 고주파에서  $\epsilon$ 의 값이다.

$\epsilon$ 은 아래와 같은 관계식을 만족하면서 변화함을

Dänzer(in Rajewsky, 1938)에 의해 입증되었다.

$$\epsilon = \epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_0 - \epsilon_{\infty}}{1 + j\omega T} \tag{2}$$

관계식(2)는 아래와 같이 분리될 수 있다.

$$\epsilon = \epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_0 - \epsilon_{\infty}}{1 + (\omega T)^2}; K = K_0 + (K_{\infty} - K_0) \frac{(\omega T)^2}{1 + (\omega T)^2} \tag{3}$$

여기서  $T = 1/2\pi fc$ 인 시간상수이다.  $fc$ 는 이산(dispersion)의 중심에 있는 특정주파수(characteristic frequency)이다(Schwan, 1957).

관계식(3)에 의해 묘사되는 시스템에 시간  $t=0$ 에서 일정한 포텐셜을 가했을 때 우리가 구하고자 하는 생체 임피던스 관계식(4)를 유도할 수 있다.

$$I/V = K_{\infty} + (K_{\infty} - K_0) (1 - e^{-t/T}) \tag{4}$$

$\epsilon$ 과 K의 관계식:  $(\epsilon_0 - \epsilon_{\infty}) Cr = (K_{\infty} - K_0) T$ 을 참조할 때 관계식(4)는 쉽사리 이해할 수 있다. 관계식(4)를 우리는 생체 임피던스로 정의한다.

대부분의 세포나 조직에서는 관계식(2)에서와 같이 하나의 시간상수로 표현될 수는 없을 것이다. 분자적 특성 및 이질성의 복잡으로 여러 개의 시간상수로 관계식(1)'과 같은 표현으로 대치되어야 할 것이다. 그러나 실험적 결과를 간주할 때 관계식(2)로서 충분하다.

### III. 이완현상(Relaxation Phenomenon)

이완현상은 시간상수들과 관련된 현상이다. 생체 물질의 유전상수(dielectric constant)는 주파수에 따라 변화하며, 3개의 주요 주파수 영역 즉 저주파, 중주파(radio frequency), 고주파(microwave frequency)에서 이산(dispersion)될 수 있는 것으로 알려졌다. 이들을 각각  $\alpha, \beta, \gamma$  이산으로 부른다. 근육 조직에 대해 조사된 이완현상이 그림 2에 나타나 있다.

이들 이완현상은 서로 다른 기전에 의해 발생한다. 그림 2에서 볼 수 있듯이  $\alpha$  이산은  $100\epsilon/\text{sec}$  가까이 저주파 영역에서 일어나며 세포 멤브린들 사이의 경계면에서 발생하는 시간 지연에 과정에서 일어난다고 생각되고 있다.  $\beta$  이산은 라디오 주파수 영역인  $1\text{Mc}/\text{sec}$  근처에서 일어나며 조직내에 있는 세포 멤브린의 용량(capacity)으로부터 발생한다. 이것에 대한 기전이 가장 잘 이해되고 있다.  $\gamma$  이산은 고주파인  $10\sim 100\text{K Mc}/\text{sec}$  근처에서 일어나며 이것에 대한 기전은 내부 세포구조와 이를 구성하고 성분들로부터 기인한다

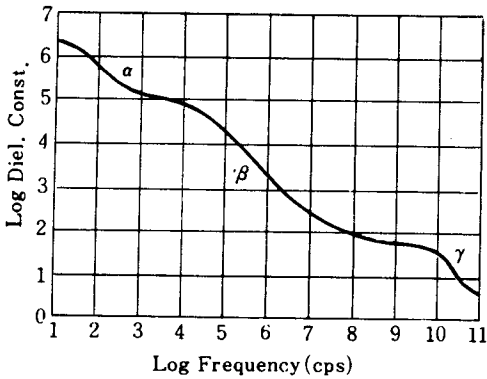


그림 2.

는 것을 내용으로 하고 있다.

이들 이산현상을 조사한 몇 가지 예를 아래와 같이 도시화 하였다.

이 도표로 부터 보면 전해질이나 물은  $\alpha$ 와  $\beta$  이산에는 아무런 기여를 하지 못한다는 것을 알 수 있다. 주파수가 변화함에 따라 유전상수의 변화( $\Delta\epsilon$ ) 및 전도율의 변화( $\Delta K$ )를 이산크기(dispersion magnitude)라 한다.  $\Delta\epsilon$ 와  $\Delta K$ 는 한 개의 시간상수만이 존재할 때는

표 1.

|                    | $\alpha$ -이산 | $\beta$ -이산 | $\gamma$ -이산 |
|--------------------|--------------|-------------|--------------|
| 전해질 및 물            | 없음           | 없음          | 20,000 MC    |
| 단백질 및 다른 고분자 서스펜션  | 없음           | 1-10Mc      | "            |
| 세포내액물질 (핵, 미토콘드리아) | 없음           | 1-10Mc      | "            |
| 세포 서스펜션, 박테리아 및 조직 | 0.1-10Kc     | 0.1-10Mc    | "            |

다음과 같은 관계식이 성립한다:  $\epsilon_r \frac{\Delta\epsilon}{T} = \Delta K$  이산크기는 물질에 따라 달라질 수 있을 뿐만 아니라 농도, 주변이온의 종류, 온도 등과 같은 요소에 영향을 받는다. 이러한 요소들을 고려하여 최대값을 취한 이산크기는 3개의 이산 영역에서 아래와 같은 값을 나타낸다.

표 2.

|                     | $\alpha$ -이산         | $\beta$ -이산 | $\gamma$ -이산 |
|---------------------|----------------------|-------------|--------------|
| $\Delta\epsilon$    | $5 \times 10^6$      | $10^5$      | 75           |
| $\Delta K$ (mho/cm) | $0.1 \times 10^{-3}$ | $10^{-2}$   | 0.8          |

표 3. (a) 특정저항(Specific Resistance)

|    | 주파수       | 근육             | 간                  | 폐       | 지라      | 신장      | 대뇌        | 지방조직                   | 꿀 및 꿀수    | 전혈      |
|----|-----------|----------------|--------------------|---------|---------|---------|-----------|------------------------|-----------|---------|
| 1  | 100 Hz    |                | 1060               |         |         |         |           |                        |           | 166     |
| 2  |           |                |                    |         |         |         |           |                        |           |         |
| 3  |           |                |                    |         |         |         |           |                        |           |         |
| 4  | 1 KHz     | 800            | 800                | 1000    |         |         |           | 1500-5000<br>1700-2500 |           | 166     |
| 5  |           | 970            | 400-850            |         |         |         |           |                        |           |         |
| 6  |           | 980            | 700-1300           | 260-430 |         |         |           |                        |           |         |
| 7  | 10KHz     | 880            | 850                |         |         |         |           |                        |           | 130-180 |
| 8  |           |                |                    |         |         |         |           |                        |           |         |
| 9  |           |                |                    |         |         |         |           |                        |           |         |
| 10 | 100KHz    | 170-250<br>520 | 460                | 220-550 | 165-200 | 250-500 | 150-270   | 460-850                |           | 147     |
| 11 |           |                | 550-800            |         |         |         |           |                        |           |         |
| 12 |           |                |                    |         |         |         |           |                        |           |         |
| 13 | 1 MHz     | 160-210<br>250 | 210-420<br>400-550 | 150-180 | 230-380 | 140-250 | 430-700   |                        |           | 140     |
| 14 |           |                |                    |         |         |         |           |                        |           |         |
| 15 |           |                |                    |         |         |         |           |                        |           |         |
| 16 | 10MHz     | 150-170        | 180-260            | 110-150 | 150-170 | 120-170 | 300-450   |                        |           | 90      |
| 17 |           |                |                    |         |         |         |           |                        |           |         |
| 18 |           |                |                    |         |         |         |           |                        |           |         |
| 19 | 100MHz    | 100-130        | 120-145            | 95-130  | 85-105  | 100-120 | 160-230   | 1170-1250              | 4100-5300 | 82      |
| 20 |           | 120-160        | 150-200            | 100-140 | 110-150 | 100-150 | 200-300   | 1500                   |           |         |
| 21 |           | 140-200        | 180-210            | 150     | 130-160 | 220-260 | 2200-4300 | 1000-2300              |           |         |
| 22 | 1,000MHz  | 75-79          | 98-100             | 137     |         | 81-82   |           | 700-1400               | 1000-2300 | 120-150 |
| 23 |           | 81-84          | 92-100             |         |         |         |           | 1100-3500              |           |         |
| 24 |           | 77             | 100                |         |         |         |           | 2500                   |           |         |
| 25 | 10,000MHz | 12             | 15-17              |         |         |         |           | 240-370                | 60-200    | 9.5     |
| 26 |           | 13             | 210                |         |         |         |           | 100-130                |           |         |

(b) 유전상수 (Dielectric Constant)

|    | 주 파 수    | 근 육               | 간                   | 폐                | 지 라     | 신 장     | 대 뇌     | 지방조직             | 골밀골수      | 전 혈     |
|----|----------|-------------------|---------------------|------------------|---------|---------|---------|------------------|-----------|---------|
| 1  |          | $800 \cdot 10^3$  |                     |                  |         |         |         |                  |           |         |
| 2  | 100 Hz   |                   | $900 \cdot 10^3$    | $450 \cdot 10^3$ |         |         |         | $150 \cdot 10^3$ |           |         |
| 3  |          | $1000 \cdot 10^3$ |                     |                  |         |         |         |                  |           |         |
| 4  |          | $130 \cdot 10^3$  | $150 \cdot 10^3$    | $90 \cdot 10^3$  |         |         |         | $50 \cdot 10^3$  |           | 2900    |
| 5  | 1 KHz    | $170 \cdot 10^3$  |                     |                  |         |         |         |                  |           |         |
| 6  |          | $100 \cdot 10^3$  |                     |                  |         |         |         |                  |           |         |
| 7  |          | $50 \cdot 10^3$   | $50 \cdot 10^3$     | $30 \cdot 10^3$  |         |         |         | $20 \cdot 10^3$  |           | 2810    |
| 8  | 10KHz    | $90 \cdot 10^3$   |                     |                  |         |         |         |                  |           |         |
| 9  |          | $50 \cdot 10^3$   |                     |                  |         |         |         |                  |           |         |
| 10 |          |                   |                     |                  |         |         |         |                  |           |         |
| 11 | 100KHz   | $30 \cdot 10^3$   |                     |                  |         |         |         |                  |           | 2740    |
| 12 |          | $20 \cdot 10^3$   | $(7-12) \cdot 10^3$ |                  |         |         |         |                  |           |         |
| 13 |          |                   |                     |                  |         |         |         |                  |           |         |
| 14 | 1 MHz    |                   |                     |                  |         |         |         |                  |           | 2040    |
| 15 |          | $2 \cdot 10^3$    | $(12-2) \cdot 10^3$ |                  |         |         |         |                  |           |         |
| 16 |          |                   |                     |                  |         |         |         |                  |           |         |
| 17 | 10MHz    |                   |                     |                  |         |         |         |                  |           | 200     |
| 18 |          |                   |                     |                  |         |         |         |                  |           |         |
| 19 |          |                   |                     | $65-75$          |         |         |         | $8-13$           |           |         |
| 20 | 100MHz   |                   |                     |                  |         |         |         |                  |           |         |
| 21 |          | $69-73$           | $72-74$             |                  | $88-90$ | $83-84$ | $70-75$ |                  |           | $72-74$ |
| 22 |          |                   | $49-52$             | $46-47$          |         |         |         | $4.3-7.8$        | $4.3-7.8$ | $58-62$ |
| 23 | 1,000MHz | $53-55$           | $44-52$             | 35               |         | $53-56$ |         | $3.2-6$          |           | 63      |
| 24 |          | 61                | 50                  |                  |         |         |         | 9.5              |           |         |
| 25 |          |                   |                     |                  |         |         |         |                  |           |         |
| 26 | 1,000MHz | $40-42$           | $34-38$             |                  |         |         |         | $3.5-3.9$        | $4.4-6.6$ | $50-52$ |
|    |          | 29                |                     |                  |         |         |         | 3.6              | 6         | 45      |

표 2에서 볼 수 있듯이 근육조직과 같은 생체물질에서는 동일물질의 액체나 고체에 비할 때 유전상수 값이 상당히 높다. 이것은 세포 서스펜션(cell suspension), 조직, 이온 이동과정에서 볼 수 있는 이질적 구조를 고려할 때 쉽사리 이해된다.

IV. 실험적 조사 자료

생체 임피던스의 측정은 많은 종류의 생물질에서 시

도되었다. 제한된 지면때문에 몇 개의 중요한 것만을 아래에 도표화 할 것이다. 도표화된 자료는 교류전류로서 측정된 것이며 우리 신체속에 존재하는 조직(tissue)의 전기적 특성을 보여 주고 있다. 아래에 있는 표 3(a)는 특정저항(specific resistance)을 표시화 했고 표 3 (a)는 유전상수(dielectric constant)를 나타낸다.

표 4.

| Data        |            | Data                |            | Data            |            |
|-------------|------------|---------------------|------------|-----------------|------------|
| Coordinates | References | Coordinates         | References | Coordinates     | References |
| 1 A-C, G    | [1]        | 6 I                 | [16]       | 14 A-F          | [4]        |
| 1 I         | [3]        | 7 A-C, G            | [1]        | 14 I            | [6]        |
| 2 A         | [2]        | 8 A                 | [2]        | 15 A            | [7]        |
| 2 B         | [1]        | 8 B                 | [1]        | 15 B            | [8, 9]     |
| 4 A-C, G    | [1]        | 8 I                 | [6]        | 17 A-F          | [4]        |
| 4 I         | [3]        | 9 A                 | [7]        | 17 I            | [6]        |
| 5 A         | [2]        | 10 B                | [4]        | 19 A-G, I       | [10, 11]   |
| 5 B         | [1]        | 11 A-F (Resist.)    | [1]        | 20 A-G          | [4]        |
| 5 C, G      | [5]        | 11 A (Diel. const.) | [2]        | 21 A, B, D-I    | [12]       |
| 5 I         | [6]        | 11 I                | [6]        | 22 A, B, G-I    | [13]       |
| 6 A         | [7]        | 12 A                | [7]        | 23 A-C, E, G, I | [14]       |
| 6 B, D, F   | [8,9]      | 12 B                | [8,9]      | 24 A, B, G      | [17]       |
|             |            |                     |            | 25 A, B, G-1 I  | [13]       |
|             |            |                     |            | 26 A, G, H, I   | [15]       |

표 4에서 [1]은 37°C에서 개의 조직 [2]는 25°C에서 개구리의 조직 (3)은 180°C에서 양의 조직 [4]는 23°C에서 인간의 조직 [5]는 37°C에서 개의 조직 [6]과 [7]은 방온도에서 토기의 조직 [8]과 [9]는 23°C에서 인간 및 다른 동물의 조직 [10]과 [11]은 37°C에서 인간의 조직 [12]는 20°C에서 쇠고기와 돼지고기 [13]은 38°C에서 개와 말의 조직 [14]는 27°C에서 인간의 조직 [15]는 37°C에서 인간의 조직 [16]은 180°C에서 양의 조직 [17]은 22°C에서 쇠고기의 조직을 표시하고 있다. (이들 자료를 위해 참고문헌을 참조.)

### V. 중요성

생체를 연구하는데 있어서 전기적 속성인 생체 임피던스에 대한 지식은 필요 불가결한 것이다. 몇 가지 실 예를 들어보면, (1) 이론적인 심전도는 신체표면 (body surface)에서 측정된 심장의 활동에서 생겨나는 전기적 포텐셜을 상응되는 간단한 제너레이터 (generator)인 점에서 이해하려는 시도를 하고 있는 것이다. 심장과 다른 인체부분을 분리시키는 조직의 전기적 특성에 대한 지식은 신호를 만들어 내는 심장이 신호가 인체 표면에 도착하기 전에 변형 (distortion) 되는지 여부를 결정짓는데 중요한 역할을 한다. (2) 고주파를 이용한 전기치료기인 diathermy에서도 고주파에서 조직의 전기적 특성에 대한 이해는 diathermy기계에서 발생하는 전류가 높은 주파수에서 인체에 침투되는 현상 및 열을 발생시키는 현상을 이해하는데 필요 불가결한 것이다. (3) 인간에 대한 마이크로파 (microwave)에 대한 영향은 상당히 큰 것으로 알려졌다. 조직에 대한 마이크로파 특성은 전자기파 (electromagnetic wave)가 인체에 침투되는 현상을 결정짓는 중요한 요소들 및 흡수상수 (absorption coefficient)를 정하는데 있어서 중요한 역할을 한다. 또한 이와 같은 지식은 임상적 치료에 응용될 뿐만 아니라 방사선이 인간에 미치는 영향을 연구하는데 있어서도 중요하다.

### VI. 결 론

생체의 구성 요소인 세포 및 조직 등에 대한 전기적 특성의 중요한 요소인 생체 임피던스에 대한 개념 및 정의를 서술하였고 주파수에 따라 변화하여 이완현상 (relaxation phenomenon)이 일어난다는 사실이 언급되었다. 또한 이 현상 중 3개의 주요한 이산 (dispersion)이 있다는 사실도 명시되었다. 이러한 이완현상은

시간지연 (time delay)을 의미하는 시간 상수의 함수적 관계로 표시되어질 수 있음과 이 현상을 설명할 수 있는 기전을 간략하게 서술되었다. 다양한 생체 임피던스의 측정 자료가 많을지라도 이 중 몇 개만을 선정하여 본 논문 표 3(a), (b)에 도시화 하였다. 이들 측정 자료들은 환경 조건 및 측정 기술에 따라 그 측정 값이 달라질 수 있기 때문에 좀 더 정확한 전자식 측정 기기의 개발과 표준적 자료를 작성하여 생체 분야에 종사하는 연구자에 도움이 될 수 있는 공인된 "사전 (dictionary)"을 만들어야 할 것이다. 기전에 대해서도 많은 학설들이 있으나 가장 널리 인정되는 학설을 본 논문에서는 소개하였다. 이 기전에 대해 확실한 이해는 못하고 있으나 상당히 많은 연구자의 노력으로 많은 진척을 보여왔고 가까운 장래에 좋은 결과를 얻을 것으로 생각된다. 본 논문이 필자의 필력 부족과 제한된 지면으로 내용 전달에 미흡하였음을 사과하며, 의용 생체 분야에 종사하는 연구자들에게 다소나마 도움이 되길 바란다.

### 참 고 문 헌

1. 표 4 작성을 위해 :
  - [1] Schwan, H. P. and C. F. Kay : *Circulat. Res.* 4, 664(1956) ; 5, 439, (1957).
  - [2] — *Z. Naturforsch.* 9b, 245, (1954).
  - [3] — *Z. ges. exp. Med.* 109, 531, (1941).
  - [4] Rajewsky, B. : *Results of biophysical research.* vol. 1. Leipzig : Thieme, (1938).
  - [5] Kaufman, W. and F. D. Johnston : *Amer Heart J.* 26, 42, (1943).
  - [6] Fricke, H., and H. J. Cartis : *J. gen. Physiol.* 18, 821, (1935).
  - [7] — *Physics* 1, 106, (1931).
  - [8] Stachowlak, R. : *Ann. Physik* 37V, 495, (1940).
  - [9] — *Pflüg, Arch. ges. physiol.* 244, 570, (1941).
  - [10] Schatter, H. : *Z. ges. exp. Med.* 100, 706, (1937).
  - [11] — *Erforschung U. Praxis Wärmebeh. Medizin,* pp. 71ft. Leipzig : Steinkopff (1937 2).
  - [12] — *Fortschr, Rontgenster.* 54, 59, (1936).
  - [12] Osswalk, K. : *Hochfrequenztech. U. Elektroakust.* 49, 40, (1937).
  - [13] Herrick, J. F., D. G. Jelatis and G. H. Lee : *Fed. Proc.* 9, 60, (1950).

- [14] Schwan, H.P. and K. Li : Proc. I. R. E. 41, 1735, (1953).  
Debye P. : Physik. 2, 13, 97.  
Debye P. : The Chemical Catalog Co. N. Y., (1929).
- [15] England, T. S. and N. A. Sharples : Nature (Lond ) 163, 487, (1949).  
Fricke, H. : Phys. Rev. 24, 678, (1925).  
Fricke, H. : Nature 172, 731, (1953 C).
- [16] Rajewsky, B., and H. P. Schwan : Z. ges. exp. Med. 113, 553, (1944).  
L. A. Geddes and L. E. Baker : Med. & Biol. Engng. 5. 271, (1967).
- [17] Hartmuth, L. : Z. Naturforsch. 9 b, 257, (1954).  
Schwan, H. P. and Kay, C. F. : Ann. N. Y. Acad. Sci., (1957).  
2. 논문작성을 위해 :  
Smyth, C. P. : "Dielectric Behaviour and Structure" McGraw-Hill, N. Y., (1955).  
Böttcher, C. J. F. : Elsevier Press, Houston, Texas (1952).  
Wagner, K. W. : Am. Physik 40, 817, (1913).  
Cole, K. S. : J. Gen. Physiol. 12, 29, 1928 2.  
Dänzer, H. : Ann. Physik[V] 20, 463 : [V]21, 783, (1934).

♣ 用語解説 ♣

**E.E (Electric to Electric):** By depressing the record button on VCR the recording circuit output is connected to the input terminals of playback circuit, and the program which is being recorded can be monitored on the connected TV screen. In this case, the picture appearing on the screen is not affected by magnetic factors (video head or video tape characteristics), that is to say, the signal is just transferred from one electric circuit to another without any modification. This mode is called E.E mode and the signal which is handled in this mode is called E.E signal.

**Encoder:** The device in a color camera, which converts electric signal into TV signal PAL/SECAM/NTSC.

**End Sensor:** Aluminium foil attached on the leader tape at the end and at the beginning of video tape and two oscillation coils activate auto shut-off circuit to stop tape transport immediately.

**Equalizer:** Performs frequency correction of output signal and also adjusts the balance between A and B channel levels.

**FM Demodulation/Low Pass Filter:** Demodulates the FM signal into the original video signal.

**Guard Band:** A very narrow blank part inserted between two video tracks to avoid interference (crosstalk) between two tracks. Betaformat employs the new guard-bandless system which eliminates this blank, unused part, while still assuring a clear picture.

**Head Gap:** Video head is composed of two ferrite cores facing each other. Between these two cores, there is a very narrow space, which is called "head gap".

**Head Pre-amp:** Amplifies the head output. FET's in cascode configuration are employed in this circuit.

**HPF (High Pass Filter):** Only the luminance signal (FM) passes through this filter.

**Impedance Matching:** Generally, the impedance of the current supply side and that of the current receiving side should be correctly matched so that an optimum power can be transferred. Connecting cables may be said to have a sort of impedance (electric resistance). Ordinary coaxial cables have an impedance of 75-ohm. Therefore, terminals equipped on VCR equipments are standardized to have 75-ohm impedance.