

# 전기자극을 이용한 점자인식장치의 최적조건

이승직\*·신재호\*\*·野口 誠—\*\*\*

= Abstract =

## Optimal Conditions of Braille Recognition System Using Electrical Stimulus

Seungjik Lee\*, Jaeho Shin\*\*, Seiichi Noguchi\*\*\*

In this paper, we calculated chronaxy value in order to determine the optimal conditions and stimulus pulse of information transmission. We also developed an electrical equivalent circuit of the hand including the contact part, which consists of two resistors (a contact resistor and finger resistor) and a capacitor. The minimum recognition voltage was measured by using electrical stimulus. We found that the ranges of the above two resistances and the capacitance are 30~130KΩ, 20~60KΩ and 10~30nF respectively. We found that the minimum recognition voltage was the lowest at 100~300Hz and 10% of the duty ratio.

**Key words** : Stimulus pulse, Chronaxy value, Recognition voltage

### 서 론

사회가 발전하고, 풍요로워질수록 노인복지 분야를 비롯한 노후 복지 분야에 대한 많은 관심을 갖게 된다. 그 중 매년 선천적으로나 후천적으로 늘어만 가고 있는 장애인을 위한 복지 분야는 최근 세계적으로 연구가 많이 진행되고 있다[1-5]. 장애인이란 신체의 일부기능이 부자유스러운 사람들이지만 그 중에서도 특히 시각기능이 마비된 맹인들에게는 외부로부터 받아들이는 정보가 매우 적다.

인간이 외부로부터 받아들이는 정보의 대부분은 시각에 의한 시각정보인데, 문자나 도형, 그림등을 인식하거나, 자신의 위치를 알고 이동하기 위해서 주변의 환경을 인식하는데 있어서 시각은 매우 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 선천적으로나 후천적으로 시각 기능이 마비되거나 저하된 맹인들에게는 일상생활이나 사회 활동등에 있어서 큰 불편과 불이익을 받고 있다.

이러한 불편함을 조금이나마 덜어주기 위하여 시각대행

장치의 개발이 오래 전부터 연구 개발되고 있다[2-3]. 현재에도 주류를 이루고 있는 것으로 맹인들에게 문자정보를 전달시키기 위하여 개발된 점자의 경우는 대표적으로 맹인들에게 외부로부터 정보를 전달시켜 주는 방법이다.

시각대행장치란 맹인들에게 잔존감각을 이용하여 외부의 정보를 인식시켜 주기 위한 장치인데, 점자는 맹인들에게 남아 있는 잔존감각인 촉각을 이용하고 있다.

맹인들에게 대표적으로 이용되고 있는 잔존감각은 촉각과 청각을 주로 이용하고 있다. 촉각은 전체의 피부를 사용할 수 있다는 장점이 있고, 또한 청각의 경우에는 데이터를 음성으로 바꾸어 사용자인 맹인이 특별한 장치를 접촉하지 않고, 청각을 이용할 수 있다는 장점이 있다.

현재 개발되어 있는 촉각을 이용한 시각대행장치로서는 기계적 진동자극을 이용하고 있고, 1966년 미국의 스탠포드대학의 J. Bliss 교수에 의해서 개발된 옵타콘(OPTA-CON)이 대표적이다.

그러나 이러한 방법은 가난한 맹인들이 사용하기란 높은 가격으로 인하여 많은 무리가 따른다. 이는 접촉부 진

\*대원전문대 전자통신과

\*Daewon junior college

\*\*동국대학교 전자공학과

\*\*Dongguk University

\*\*\*日本 新潟大 電氣電子工學科

\*\*\*Niigata University

통신저자 : 이승직, (390-230) 충북 제천시 신월동 산 22-8 대원전문대 전자통신과, Tel.(0443)49-3232, Fax.(0443)45-9170

동소자의 제작이 매우 복잡하여 소자의 가격이 높기 때문이다.

이에 비하여 간단하게 소자의 제작이 가능한 전기적인 자극방법을 생각할 수 있으나 현재까지 전기자극을 이용하는 시스템으로서는 병원에서 마비된 수족의 기능을 제어하기 위한 기능적 전기자극을 위한 자극시스템에서 대표적으로 사용되고 있다[6-7]. 이러한 자극법에 착안하여 시각대행장치를 구성하려고 하는 연구가 진행되고 있다[8-10].

본 연구는 시각장애자에게 정보전달을 하기 위하여 전기자극을 이용한 시각대행장치를 개발하는데 있어서 최적의 자극펄스와 최적의 접촉조건을 찾고자하는 것이 목적이다.

### 실험방법

생체세포에 전기자극을 가하는 경우에 다음 사항을 고려하여야 한다[11].

- 1) 적은 에너지로 자극할 수 있을 것
- 2) 생체의 조직에 대해서 손상을 주지 않을 것.
- 3) 전극자체가 기계적으로 견고하고, 화학적으로 안정할 것.
- 4) 필요로하는 흥분 부위만을 선택적으로 자극할 수 있을 것.

위의 사항에 대하여 다음과 같이 생각하여 측정방법을 구성하였다.

1)의 항에 대해서는 가장 적은 에너지로 자극할 수 있는 chronaxy 치를[11-14] 측정하기 위하여 전류파형을 관찰하고, 2)의 항에 대해서는 생체의 조직에 손상을 가하지 않게 하기 위하여 최저인식전압을 측정하였다. 3)의 항에 대해서는 전극자체를 접촉부로 구성하여 고정시키는 방법을 취하고, 4)의 항에 대해서는 가능한 한 한정된 부위만을 자극하기 위하여 손가락을 포함한 손의 범위 내에서만 자극하도록 하였다.

측정회로는 그림 1에 표시되어 있다. 이 측정회로는 맹인이 점자를 읽는 방법과 동일하게 하기 위해서 손가락 끝으로 접촉부를 접촉하여 점자를 인식하는 방법을 고려하였다. 손가락 끝의 접촉점은 구형펄스가 연결되어 있어서 손가락 끝에 전기적인 자극이 가해지도록 되어 있다. 또한 손의 등부분에는 전도성접촉밴드(저주파 치료기용 대형전극밴드)를 사용하여 이를 전기적으로 저항을 통하여 ground 로 연결하였다. 저항은 1 K $\Omega$ 을 사용하였고, 또한 저항양단에 걸리는 전압파형을 오실로스코프로 관측을 하고, 이를 전류파형으로 유도 하였다. 그러나 본 연구의 모든 측정결과는 측정장치의 전체 저항에 비해서 오실로스코프의 입력단자 양단의 저항(1K $\Omega$ )이 매우 적기 때문

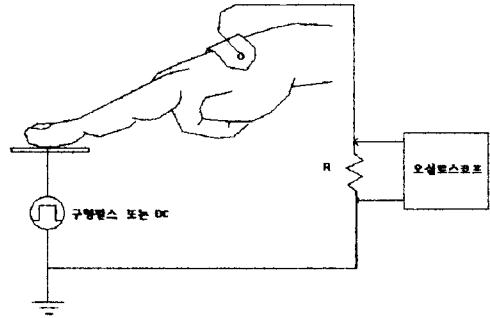


그림 1. 측정장치의 모식도  
Fig. 1. Schematic of the experimental apparatus

표 1. 각 재질의 전기비저항  
Table 1. Resistivity at 20 $^{\circ}$ C

단위 : $\mu\Omega$ -Cm, 20 $^{\circ}$ C				
	알루미늄	금	은	동
전기비저항	2.69	2.3	1.6	1.67

에, 이 저항의 영향은 무시하였다.

측정에 사용한 접촉부의 형태는 정사각형으로서 각각의 면적은 3mm  $\times$  3mm, 4mm  $\times$  4mm, 5mm  $\times$  5mm, 6mm  $\times$  6mm, 7mm  $\times$  7mm, 8mm  $\times$  8mm 및 10mm  $\times$  10mm의 7가지의 접촉의 크기를 사용하였다. 접촉의 재질로서는 전기비저항에 따른 인체와의 접촉조건과 저항변화를 살펴보기 위하여 주위에서 쉽게 구할 수 있는 금, 은, 동 및 알루미늄의 4가지를 사용하였다.

참고로 접촉부에서 사용하고 있는 각 재질의 전기비저항은 표 1과 같다.

자극펄스의 경우는 단상의 구형파를 사용하였고, 주파수는 50Hz, 100Hz, 200Hz, 400Hz, 600Hz, 1000Hz 및 2000Hz의 변화를 하여 측정하였으며, duty 비는 10%, 20%, 40%, 50%, 60% 및 80%로 변화시켜 측정을 하였다.

### 전류파형과 등가회로

앞에서 설명한 chronaxy 치를 구하기 위하여 전류파형을 유도하였다. 그림 1에서 자극펄스를 인가했을 때 손가락과 손에 흐르는 전류파형은 그림 2와 같이 측정된다. 전류파형은 인가하는 펄스전압의 상승부분에서 최대전류( $I_{max}$ )가 흐르고 그 후 급격히 감소하여 자극펄스의 끝부분에서는 일정한 값( $I_{min}$ )에서 안정된다. 측정장치의 모식도의 기본적인 등가회로는 그림 3과 같이 생각할 수 있다[10]. 접촉부의 접촉저항을  $R_s$  라고 하고 손가락과 손의 인체저항과 손등의 접촉밴드의 접촉저항의 합을  $R_p$

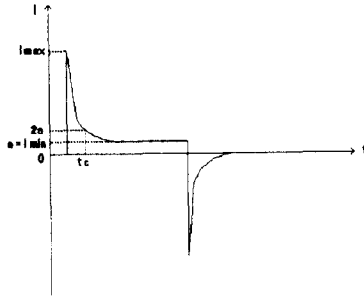


그림 2. 그림 1의 장치로 측정된 전류파형  
Fig. 2. Current waveform which was measured through Fig. 1

라고 하고, 병렬 capacitance를 C라고 하면 인체에 흐르는 전류파형으로 부터 그림 3의 각 소자의 값을 유도할 수 있다.

1. R<sub>p</sub>와 R<sub>s</sub>의 계산

초기치는 C를 Short 로 생각할 수 있으므로 식 (1)을 유도할 수 있다.

$$R_s = \frac{V_o}{I_{max}} \quad (1)$$

또한, 그림 2로 부터 안정된 부분의 전류(I<sub>min</sub>) 으로 부터 식 (2)를 유도할 수 있다.

$$R_s + R_p = \frac{V_o}{I_{min}} \quad (2)$$

$$R_p = \frac{V_o}{I_{min}} - R_s \quad (3)$$

식 (1)과 식 (3)에서 오실로스코프로 측정된 전류파형으로 부터 R<sub>p</sub>와 R<sub>s</sub>를 계산할 수 있다.

2. C의 계산

그림 3으로부터 회로방정식을 구하면 다음과 같다.

$$V_o = (i_c + i_r)R_s + V_c \quad (4)$$

$$i_r = \frac{V_c}{R_p}$$

$$i_c = C \frac{dV_c}{dt} \quad (5)$$

식 (4)와 식 (5)의 관계로부터 i<sub>c</sub> + i<sub>r</sub>을 구할 수 있다.

$$i_c + i_r = \frac{V_o}{R_s + R_p} + \frac{V_o}{R_s} \frac{R_p}{R_s + R_p} e^{-\frac{t}{CR_1}} \quad (6)$$

오실로스코프로부터 관측된 파형을 조사하여, I<sub>max</sub>가 1/e

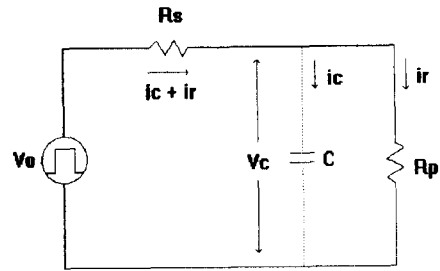


그림 3. 전 측정시스템의 등가회로  
Fig. 3. Equivalent circuit of total system

가 되는 (약 37%) 시간 T<sub>0</sub>를 구하면

$$CR_1 = T_0 \quad (7)$$

가 된다.

여기서 R<sub>1</sub> = R<sub>s</sub>//R<sub>p</sub> 이다.

식 (6)에 의해서 T<sub>0</sub>를 관측하면 capacitance를 구할 수 있다.

위의 이론을 기초로 하여 실제로 접촉면적에 따른 R<sub>s</sub>, R<sub>p</sub>와 C의 값을 구하기 위하여 접촉면적 10mm × 10mm, 7mm × 7mm, 5mm × 5mm 및 3mm × 3mm의 4종류에 대하여 오실로스코프로 측정된 전류파형을 그림 4에 나타내었다. 그림 4에 따르면 전체적으로 전류파형의 크기는 접촉면적이 적을 수록 낮아지지만 면적에 따른 파형들은 모두 일정한 형태를 보이고 있음을 알 수 있다.

그림 4로 부터 각각의 접촉면적에 따른 R<sub>s</sub>, R<sub>p</sub>와 C의 값의 변화를 그림 5와 그림 6에 나타내었다.

이들 변화의 범위는 표 2와 같다.

3. chronaxy 값의 측정

그림 4의 전류파형으로 부터 접촉면적이 10mm × 10mm의 경우의 전류파형에서 I<sub>min</sub>의 값은 190μA 정도이고, 이 값의 2 배가 되는 380μA가 될 때의 시간은 0.1~0.2ms의 범위내에 있고, 나머지 접촉면적 7mm × 7mm, 5mm × 5mm와 3mm × 3mm의 전류파형에서도 같은 방법으로 관찰 해 보면 전류 값이 2I<sub>min</sub>의 값이 될 때의 시간은 0.1~0.2ms 범위내에 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 구성하고 있는 측정시스템으로 최소의 에너지로서 자극할

표 2. R<sub>s</sub>, R<sub>p</sub>와 C의 범위

Table 2. The range of R<sub>s</sub>, R<sub>p</sub> and C

종류	범위
R <sub>p</sub>	30 ~ 130kΩ
R <sub>s</sub>	20 ~ 60kΩ
C	10 ~ 30nF

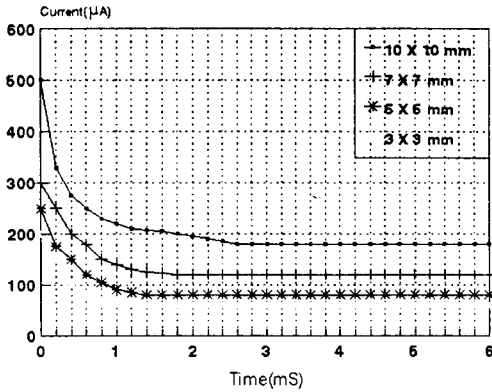


그림 4. 면적에 따른 전류파형  
Fig. 4. The current shape for contact areas

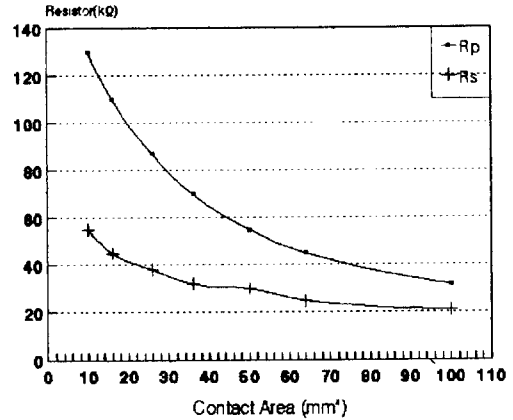


그림 5.  $R_p$ 와  $R_s$ 의 변화  
Fig. 5. The variation of  $R_p$  and  $R_s$

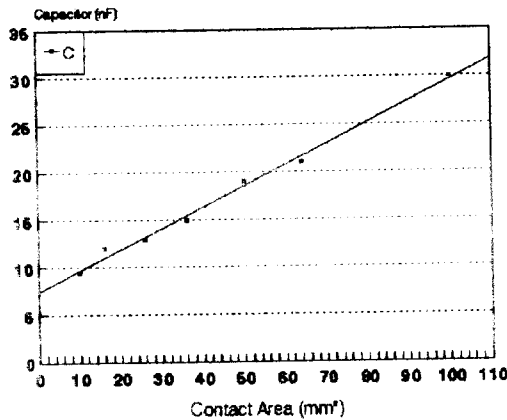


그림 6. C의 변화  
Fig. 6. The variation of C

수 있는 chronaxy 값은 0.1~0.2ms임을 알 수 있고, 자극펄스의 폭은 0.1~0.2ms 내에서 설정하는 것이 좋음을 알 수 있다.

### 최저인식전압의 측정

인체에 너무 많은 전류를 흘리는 것은 생체세포에 손상을 입히게 된다. 또한 펄스로 생체를 자극하는 경우에 자극펄스의 파라메타로서는 자극펄스의 폭과 진폭이라고 발표되어 있다(11). 너무 큰 전류는 인체에 위험을 줄 우려가 있어서 가장 적은 전류를 흘려서 인식시키는 것이 매우 중요한 요소가 된다. 그러나 너무 낮은 전압으로의 전기자극은 피부에서 인식을 하지 못하므로, 가장 낮은 인식전압과 최적의 펄스의 주파수와 duty 비를 찾아내는 것이 무엇보다도 중요하다. 따라서 최적의 자극펄스를 찾아내기 위하여 펄스의 주파수와 duty 비의 변화에 따른 최저인식전압을 측정하였다.

그림 7은 duty 비 10% 일 때의 각 재질에 따른 최저 인식전압을 나타내는 그래프이다. 그림 7에 의하면 최저 인식전압은 재질에 따라서 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

그림 8은 접촉재질이 동일 할 때의 펄스의 주파수와 duty 비에 따른 최저인식전압의 그래프를 나타낸 것이다. 그림 8에 따르면 주파수가 100Hz 부터 300Hz 부근에서 최저 인식전압이 가장 낮게 나타나고 있음을 알 수 있고, 300Hz 보다 높은 주파수에서는 최저인식전압이 점점 높아지고, 또한 duty 비가 낮을수록 최저인식전압이 낮아짐을 알 수 있다.

### 실험결과와 검토

이상의 실험결과로서 다음과 같이 해석을 할 수가 있다. 본 연구의 대상으로서는 사람의 손가락과 손의 생체세포에 대해서 전기적으로 자극을 주었을 때, 전기적 특성을 살펴보고, 최적의 자극 펄스를 찾아보았다. 기본적으로 생체세포는 반투과성 막을 가지고 있고, 여러가지 이온 (대부분은  $Na^+$  이온과  $K^+$  이온으로 구성) 되어 있다. 반투과성막의 영향으로 세포내·외 간의 전위는 -90mV 에서 평형을 이루고 있다(13). 외부자극에 의해서 세포는 탈분극 상태로 되며, 흥분상태로 된다. 등가회로 중에서  $R_p$ 와  $R_s$ 의 변화를 살펴보면 접촉면적이 클수록 저항이 감소하고 있음을 의미하고, 이는 큰 접촉면적에서 낮은전압에서도 쉽게 생체세포가 흥분상태로 된다는 것을 의미하고 있다. 그러나 인식전압에 대해서는, 외부에서 DC 전압으로 자극을 주는 경우와 펄스로 자극을 주는 경우로 생각할 수 있다. DC 전압으로 자극을 주는 경우에는 생체세포가 한번 흥분상태로 되면, 다시 원래의 평형상태로 돌아가지 않고, 흥분상태를 지속하게 되어서 자극을 잘 느끼지 못하게 된다. 이에 비해서 펄스의 경우

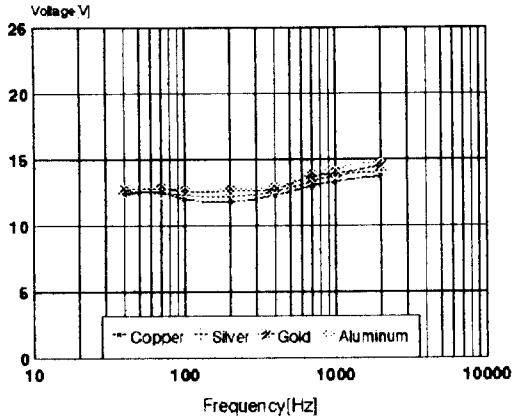


그림 7. 재질에 따른 최저인식전압  
Fig. 7. The minimum recognition voltage for different materials

에서는, 세포가 흥분된 상태에서 펄스의 크기가 0V가 되는 시간동안에 평형상태로 되돌아가고 다음 펄스가 인가되는 경우에는 세포는 다시 흥분된상태로 되는 현상이 되풀이 되어 자극의 강도는 DC 전압의 경우보다 강하게 된다. 그러나 그림 8에서 보면 주파수가 1000Hz와 2000Hz이고 duty 비가 80%인 경우에는 자극을 받아 흥분된 세포가 평형상태로 되돌아가는데 시간이 부족하여 인식전압이 점점 높아짐을 알 수 있고, 이 경우는 펄스의 형태가 DC 전압에 가까운 파형이 되기 때문임을 알 수 있다. 또한 duty 비가 작고 저주파인 경우에는 흥분된 생체세포가 평형상태로 환원되는 시간이 충분함을 알 수 있고, 낮은 전압에서 인식, 즉 자극의 강도가 큼을 알 수 있다.

### 결 론

본 연구는 생체에 펄스자극을 이용하여 정보전달을 위한 접촉부의 최적조건과 최적의 펄스를 찾아내기 위하여 실행하였다. 본 연구의 결과로서 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

- ① 손가락 끝이 접촉부에 접촉할 때의 접촉저항은 접촉부의 재질에 따라서 달라지나, 재질의 전기 비저항이 낮을 수록 저항치가 낮아지며 큰 차이가 없고, 오히려 접촉면적에 따른 저항변화가 큼을 알 수 있다.
- ② 접촉면적에 따른 저항변화를 살펴봄으로서 접촉면적과 저항치의 관계를 유추할 수 있다.
- ③ 주파수에 따른 인식전압의 특징을 살펴보면, 주파수가 100Hz 에서 300Hz 정도에서 가장 낮은 전압에서 인식이 됨을 알 수 있고, 또한 duty 비는 낮을 수록 인식전압이 낮아짐을 알 수 있다.
- ④ 주파수 200Hz, 접촉면적 10mm × 10mm, duty 비 10% 에서 느낄 수 있는 최저인식전압은 12V 정도이다.

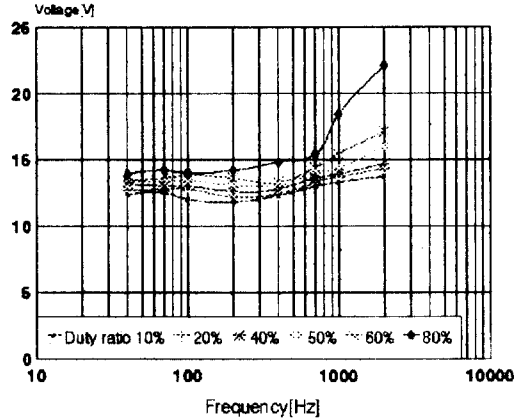


그림 8. Duty 비에 따른 최저인식전압  
Fig. 8. The minimum recognition voltage for different duty ratios

⑤ 가장 적은 에너지로 자극을 주기 위한 자극펄스의 폭은 0.1~0.2ms 범위내에 있음을 실험을 통하여 알 수 있었다.

본 연구는 전기자극을 이용하여 사람에게 정보를 전달하기 위한 최적의 펄스를 찾고, 또한 최적의 접촉부를 설계하기 위하여 수행하였다. 일반적으로 사람에게 전기를 가한다는 것이 전기를 잘 알지 못하는 사람에게는 거부감을 느낄 수 있어서 충분한 훈련과 전기에 대한 인식이 필요할 것으로 생각된다. 접촉부의 재질로서는 주변에서 쉽게 구할 수 있는 재질을 사용하였으나 이는 녹이 잘 슬어서 인체와의 접촉시에도 녹이 잘 슬지 않는 재질의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

또한 전기자극을 이용한 시각대행장치나 점자 독서기의 접촉부의 설계에 이용될 수 있어서 값 싼 시각대행장치의 개발에 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

1. 伊藤春樹,小田浩一, "PC를 이용한盲聾者のコミュニケーションエイド", 第18回 感覺代行シンポジウム 發表論文集, pp.84-87, Dec. 1992.
2. 牧野 秀夫, "盲人用地圖制作および音聲案内システムの開發", 電子情報通信學會論文誌, Vol. J73-A, No. 3, pp.619-625, 1990.
3. 河井 良浩,大西 昇,彬江 昇, "盲人用圖面認識支援システム", 電子情報通信學會論文誌, D-II Vol. J72-D-II, No.9, pp.1526-1533. 1989.
4. 吉本千禎, "感覺補助代行の基本問題", 日本音響學會誌, 43卷5號, pp.327-328, 1987.
5. 大竹 勉, "点字讀取り中の指先擊動解析", 電子情報通信學會論文誌, Vol. J74-A, No.10, pp.1526-1533, 1989.

6. 朴炳林, 金民先, 金相洙, 鄭東明, 洪勝弘, “일측마비 환자의 전기자극에 의한 보행기능의 회복”, 전자공학회 논문지, 제29권 B편, 제6호, pp.465-472, 1992.
7. 飯島 克己, 二見 豪弘, 星宮 望, 牛田 康延, “多チャンネル機能的電氣刺激(FES)システム”, MBE84-107, pp. 191-200, 1984.
8. 李承植, 申宰浩, 朱鉉弼, 野口誠一, “電氣刺激を加えた時の指の等價回路について”, 日本電子情報通信學會 秋季大會, pp. 361-362, 1992年 10月.
9. Seungjik Lee, Jaeho Shin and Seiichi Noguchi, “The sensitivity finger due to electrical stimulus pulse for a tactile vision substitution system.”, IEICE Trans. on fundamentals vol. E76-A, No.7, pp. 1204-1206, July.1993.
10. Seungjik Lee, Jaeho Shin, Hyunpil Joo, Takashi Uchiyama and Seiichi Noguchi, “A study on the tactile recognition of finger using electrical stimulus”, IEICE Trans. on Fundamentals, vol. E77-A, pp. 962-967, No.6, June, 1994.
11. 池田謙一, “醫用電子工學“, コロナ社, 1980.
12. 星宮 望, “生體工學”, 昭晃堂, 1990.
13. 吉田 徹, “醫用計測技術”, コロナ社, 1979.
14. 綿貫 詰, 内山 明彦, 池田 研二, “生體用テルメータ·電氣刺激裝置”, コロナ社, 1980.

= 국문 초록 =

본 논문에서는 전기자극을 이용하여 정보전달을 하기 위한 최적의 자극펄스를 찾기 위하여 접촉부와 손 그리고 손등의 접촉부를 포함한 전기적인 등가회로, 자극펄스의 주파수와 접촉부의 면적에 따른 최저인식전압을 측정하고 최적의 접촉조건을 유도하기 위하여 접촉면적과 접촉부의 재질에 따른 최저인식전압을 측정하였다. 그 결과 등가회로의 손가락 끝의 접촉저항과 인체저항은 30~130k $\Omega$ 과 20~60k $\Omega$ 의 범위내에 있었고 병렬 Capacitance는 10~30nF 범위내에 있었다. 최저인식전압은 주파수 범위가 100~300Hz 범위내에서 가장 낮게 측정되었으며, duty 비는 낮을 수록 최저인식전압이 낮아짐을 알 수 있었다.