

盲人用人工視覺補助裝置에 關한 研究 (Study for an Artificial Visual Machine for the Blind)

洪 勝 弘*, 李 均 夏**
(Hong, Seung Hong and Lee, Kyoong Ha)

要 約

機械的 振動 周波數와 波形, 2點識別 threshold 值, 接觸子の 크기에 대한 皮膚 振動觸角의 機能的 性質을 心理物理實驗에 의해 연구했다. 이의 實驗 結果를 기초로 하여 壓電 振動素子를 이용한 振動觸角 刺戟裝置를 제작하여 한글을 認識하기 위한 盲人用 視覺補助 裝置로써 제안했다. 觸角出力像은 200 Hz 의 矩形波에 의해 振動하는 8列×1行의 小型 振動子列에 의해 집게 손가락에 표시했다. NOVA 미니컴퓨터의 제어에 의해 한글 字母 24字중 하나를 택하여 振動子列의 8點에 왼쪽에서 오른쪽으로 제시하도록 했다. 한글 識別率實驗은 설계한 實驗시스템에 의해 學習效果없이 행했으며 測定된 平均識別率은 90%였다.

Abstract

In this paper, the functional properties of vibrotactile sense of skin were studied by means of psychophysical experiments with respect to frequency and waveform of mechanical vibration, two-point threshold, contactor size of stimulators. Furthermore, based on the experimental result, a small vibrotactile stimulator made of piezoelectric reed vibrator array was proposed for an aid blind to recognition of the Korean letters. A tactile output image is presented by an 8 row×1 column array of small vibrator reeds with 200 Hz rectangular wave, the array fitting on a forefinger. Under the control of the NOVA mini-computer, the bimorph reeds array could represent any one of the 24 characters of the Korean vowel and consonant at the 8 positions from left to right on the array. Without learning effect, the identification test of the Korean characters by the designed experimental system was carried out. The average rate of correct response was 90%.

1. 序 論

最近, 身體障害者에 대한 補助裝置의 開發研究가 활발하게 進行되고 있지만 아직 身體障害者가 불편을 느끼지 않고 일상생활을 할 수 있는 우수한 것은 實用段階에 도달하지 못하고 있다. 盲人의 視覺을 代行하는 것으로써 옛날부터 지팡이, 點字, 盲導犬등이 이용되어 왔고 近年에 이르러 몇 종류의 視覺補助 裝置들이 개발되어 이용하려는 단계에 있다[1] [2] [3] [4]. 視覺이라고 하는 가장 풍부한 情報傳達手段을 補助하는 完전한 裝置의 개발은 여러가지 어려운 문제점이 제기

된다. 이와 같은 視覺補助 裝置를 目的에 따라 분류하면 環境認知用과 印刷物의 判讀을 위한 것으로 분류되고 種類別로는 視覺代行과 視覺再生用으로 나누어진다. 視覺代行은 皮膚感覺을 이용하거나 聽覺을 이용하는 방식이 있다. 특히 皮膚感覺을 視覺代行用으로 이용하는 데에는 文字識別用으로 손가락 끝의 피부를 자극하는 방법과 環境認知用으로 등위의 皮膚를 刺戟하는 방법 등이 이용되어지고 있다. 視覺再生은 皮質刺戟, 皮質下刺戟, 網膜刺戟등이 있다. 視覺再生用으로써는 人間의 大腦皮質을 直接電氣刺戟하는 것으로 電流에 의한 組織의 發熱, 皮質의 손상, 電極의 劣化, 實驗段階의 문제점이 있어서 實用에는 거리가 멀고[5], 皮質下刺戟方法으로 海馬를 刺戟했을 때 여러가지 物體의 환상을 보던지, 실제로 눈으로 보고 있는 物體의 像에 찌그러짐을 생기게 하던지[6], 혹은 Brindley[5]의 실

* 正會員, 仁荷大學校 工科學科 電子工學科

** 正會員, 光云工科學科 電子計算學科(Dept. of Electronics Eng., College of Eng., Inha Univ)

接受日字: 1978年 7月 10日

험에서 얻은 것과 같은 심판을 보던지 하는 보고가 있으나 再現性이 있는 결과는 얻고 있지 않다. 網膜刺戟方法으로 72000本の 光화이버를 매체로 하는 방법이 아직까지는 材料의 점토를 위해 動物實驗을 하고 있으며 生體反應이 문제가 되고 있다[6]. 聽覺을 이용한 代形裝置는 文字패턴의 音聲信號로 의 符號化의 복잡성, 裝置의 大型化가 되어 實用이 어렵다[7][8][9].

視覺代形으로써 皮膚感覺을 이용하는 한 방법으로 Collins 들은 등뒤에 20×20의 振動子를 두고 像을 直接振動刺戟시키는 裝置를 개발했다. TV 카메라에 의해서 얻어진 像을 20×20의 要素로 분해하고 각각의 要素를 정해진 threshold 값에 따라 數值化하여 400개의 振動子에 독립으로 動作하도록 하는 방법으로, 훈련에 의해 남녀의 얼굴이 구별되며 立體感도 얻어져 視覺補助의 機能을 갖고 있으나 裝置가 역시 大型化되고 불편한 점이 있다[10].

손가락의 皮膚에 刺戟을 주어 印刷物을 읽도록 하는 장치에 대해서는 비교적 많은 研究가 되어 있는데 이 중에서 대표적인 것이 Standford大學의 Bliss 들에 의해 개발된 Optacon[11]이다. 이 Optacon 은 144本の 振動子들에 의해 文字를 振動點으로 표현하여 숫자나 알파벳용으로 만들어진 것으로 漢字나 한글용에는 부적당하며 많은 진동자를 사용하므로 傳達되는 文字情報量은 많으나 高價인 것이 결점이다.

本文은 하나의 손가락 皮膚에 振動刺戟을 주어 한글을 識別할 수 있는 盲人用視覺補助裝置의 개발을 목적으로 한글을 識別하기 위한 最小數의 機械的振動子의 결정과 最適振動周波數, 振動刺戟波形, 振動子間의 최저 2점간격등을 구하여 振動刺戟裝置를 설계 제작하고 이를 이용한 한글文字의 識別率을 測定하여 實用성을 평가한 것이다.

2. 機械的 振動刺戟의 特性

人體 表面에 분포하는 皮膚感覺은 기계적, 전기적 혹은 각종의 刺戟에 반응을 나타내는데 어떠한 刺戟을 사용해서 情報를 傳達하는가가 문제이다. 電氣刺戟은 動作 範圍가 좁고 불쾌감을 주고, 痛에 의해 刺戟레벨이 변동하는 것등의 결점이 많아 機械刺戟이 적당하다.

機械的 振動刺戟을 손가락의 皮膚에 주어 情報 傳送을 수행하려고 할때 어떤 크기의 接觸子를 사용하는가, 그리고 接觸子間의 거리는 어느정도로 하여 情報 傳達를 集約하는가 하는 것이 문제로 되어진다. 가능한 굵은 接觸子를 사용하는 것이 振動感覺의 threshold가 적으나 하나의 손가락에 文字 패턴을 제시해야 하므로 될 수 있는한 가느다란 接觸子를 선정해야 한다. 心理物

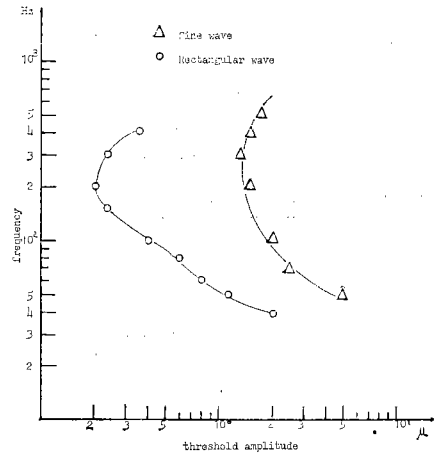


그림 1. 振動波形에 대한 振動感覺의 最低 threshold
Fig. 1. The minimum threshold of vibrotactile sensation as a function of frequency.

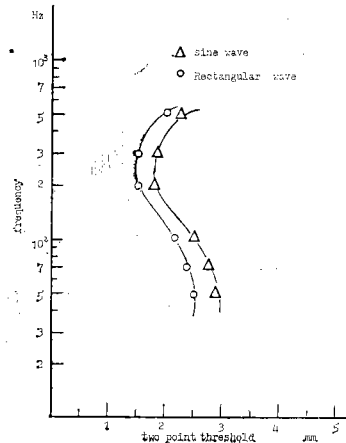


그림 2. 2點識別 threshold
Fig. 2. Two-point identification threshold.

理實驗에 의해 굵기에 대한 認識 threshold를 측정 한 결과 0.5 mmφ가 최소한계로 나타나는데, 이는 接觸子의 면적에 의한 感覺受容器의 面積, 神經線維密度의 依存性으로부터 허용되는 값이다. 刺戟部를 振動시키는 振動波形은 感覺의 微分特性이 작용하므로 矩形波가 적당하다. 이는 Lindblom Mountcastle[13]들의 生理學的 實驗에 의한 것이다. 周波數 特性을 고려하기 위해 여러 주파수에 대한 振動感覺識別最低 threshold를 測定하여 그림 1에 표시했다. 대체로 200 Hz 부근에서 최저값을 나타내고 2點 識別 最低의 threshold의 測定은 200 Hz의 矩形波와 사인波的 刺戟을 이용하여 비교실험한 결과 矩形波가 threshold值가 낮으며 최저식별 간격은 대략 1.3 mm 이었다.

最低간격의 측정은 한 점을 고정하고 다른 한 점을

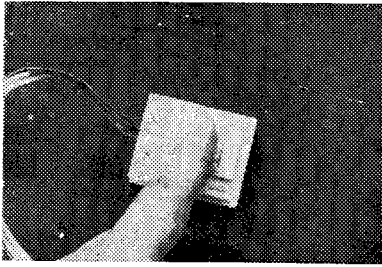


그림 3. 振動刺戟裝置의 사진
Fig. 3. Photograph of vibrostimulator.

이동시켜가면서 刺戟이 두점에 있는가, 한점에 있었는가를 답하도록 하여 두 점간의 거리를 측정했다. 그림 2는 이의 결과이다.

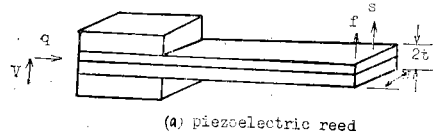
3. 振動子의 設計

위에서 얻어진 資料를 기초로 하여 한글 文字識別을 위한 機械 振動刺戟用 振動子列을 設計했다. 振動子로써는 전력소모, 重量, 경제성, 小形化, 裝置의 實用化를 충분히 고려하여 0.6 mm×6 mm×15 mm 크기의 bimorph 형 壓電素子를 이용했고 배열방식은 그림 3과 같이 1.5 mm 간격 8 列로 했다. 接觸子는 헤이브러쉬용의 나이론 핀(0.5 mmφ)을 이용했다. 손가락皮膚의 最低 threshold 値는 200 Hz 진후의 周波數에서 2 μ이므로 10 μ 정도이면 충분히 큰 振動으로 知覺되어지므로 壓電素子를 이용하여 200 Hz 에서 10 μ의 變位를 발생시킬 수 있으면 文字識別用 振動子로써 이용할 수 있다. 그러므로 피부에 10 μ의 變位를 생기게 하는데에 필요한 電力은 다음과 같이 구해진다. s를 振動子의 變位, f를 振動子에 發生하는 힘, z를 피부면의 力變位 이머턴스라 하면 사인파의 진동에 대해 다음식이 성립하여 電力 p가 구해진다[15].

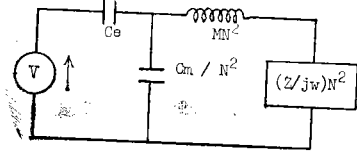
$$\left. \begin{aligned} s &= R_e S_e \bar{\epsilon} \omega t \\ f &= R_e F_e \bar{\epsilon} \omega t \\ z &= F/S = |z| \cdot \bar{\epsilon} \bar{\omega} \\ p &= \frac{|S|^2}{2} \omega |z| \sin \theta \end{aligned} \right\} \textcircled{1}$$

振動 周波數와 z의 관계는 Alonzo [14]의 손가락의 피부에 대한 결과를 이용하여 振動 周波數 200 Hz, 變位 10 μ라 하면 |z|는 600(newton/etmer), θ=45°가 되는데 ①식의 z, p는 각각 다음과 같이 얻어진다.

$$\left. \begin{aligned} z &= \frac{600 \epsilon \bar{\omega} \frac{\pi}{4}}{\bar{\omega} 2\pi(200)} \\ p &= \frac{(10^{-5})^2 \cdot (2\pi \times 200)}{2} (600) \sin \frac{\pi}{4} = 27 \mu W \end{aligned} \right\} \textcircled{2}$$



(a) piezoelectric reed



b)

그림 4. 壓電素子의 等價回路
Fig. 4. Electrical equivalent circuit of the piezoelectric reed element

따라서 200 Hz의 振動으로 皮膚를 10 μ 變位시키는데 27 μW의 전력이 필요하다.

本 研究에 사용한 壓電素子는 bimorph 형 세라믹 素子로, 부하가 없는 경우 200 Hz의 교류 1V(r.m.s.)를 가하면 약 1 μ의 진폭을 갖는 振動을 발생시킨다. 이 素子의 기계적인 共振周波數는 약 8 KHz 이고 電氣의 靜電容量은 2000 pF 이다. 중량은 1.1 gr 이다. 皮膚를 200 Hz로 10 μ 變位시키기 위해서는 27 μW가 필요하나 실제로는 壓電素子의 기계 및 전기적 임피던스에 의한 손실이 있기 때문에 27 μW보다 큰 電力이 필요하다. 이 素子에 필요한 電力은 그림 4와 같은 등가 회로에서 계산된다. 이 등가회로는 기계부와 전기부로 나누어 생각할 수 있는데 C_e는 기계부가 자유일때의 전기부 커패시턴스, C_m는 전기부가 개방하고 있을때의 기계부의 콤프라이언스, N는 부하가 없을때의 1 쿨롱당 變位이다. 이들 사이의 관계는

$$\left. \begin{aligned} V &= q/c_e + Nf \\ S &= Nq - c_m f \end{aligned} \right\}$$

여기서 V=1v(r.m.s)일때 S=10⁻⁶m 이므로 N=50⁰ 이고, 또 C_e=2000×10⁻¹²F이다. 부하가 있을때, 즉 손끝에 壓電素子의 끝이 接觸해 있을때는 皮膚의 기계적 임피던스 z와 振動子의 질량을 접속하면 된다. 따라서 素子를 손끝에 장치하고 있을때의 등가회로는 그림 4(b)와 같이 된다. 여기서 印加電壓을 V=R_e V_e \bar{\epsilon} \omega t 로 하면

$$\left. \begin{aligned} F &= ZS + (\bar{\omega})^2 MS \\ Q &= S/N + C_m F/N \end{aligned} \right\} \textcircled{4}$$

위 식으로부터 전류 I를 구하면 다음 식과 같이 된다.

$$I = \bar{\partial}\omega Q = \frac{V_m}{(N^2 z / \bar{\partial}\omega) + \bar{\partial}\omega M N^2} + \frac{\bar{\partial}\omega C_m \cdot V_m}{N^2} \quad \textcircled{5}$$

$$V_m = V - \frac{I}{\bar{\partial}\omega C_s}$$

이 식에 壓電素子の 상수, 피부인피던스등을 대입 하면 전류 및 전압이 구해져 전력이 계산된다. ② 식 으로부터 임피던스는 $Z = 0.38 \left(\frac{\text{Newtons}}{\text{meters/sec}} \right)$, 壓電素子の 기계적인 공진주파수가 8 KHz 이므로 $M \cdot C_m = 1 / (2\pi \times 8000) (\text{Hz})$ 의 관계가 성립한다. 다시 $M = 1.41 \times 10^{-4}$, $C_s = 2000 \times 10^{-12}$, $N = 500$ 을 대입해서 $V = 10 \text{V} (\text{r.m.s})$ 때의 I 를 계산하면 $I = 2.8 \times 10^{-6} \text{A}$ 가 되어 전력은 $p = 280 \mu \text{W}$ 이다. 이상과 같이 손가락 끝에 壓電素子を 장치시켜 200 Hz, 10μ 의 變位를 생기게 하기 위해서는 약 $280 \mu \text{W}$ 의 전력이 필요하다. 本研究에서는 최대 100μ 의 振動이 얻어지도록 하기 위해 1本の 振動子에 대해 最大 28mW 의 전력을 공급했다.

4. 한글文字識別實驗시스템

한글 子母識別率 實驗을 위해 24子母를 振動子列에 불규칙적으로 한자씩 제시하는 시스템 구성을 미니·컴퓨터에 의한 것과 전용시스템의 제작에 의한 것의 2 종류에 의해 실험했다. 먼저 미니·컴퓨터에 의한 예비실험을 행하고 어느정도의 가능성을 검토한 뒤에 專用裝置를 제작했다. 그림 5는 미니·컴퓨터에 의한 on-line 處理로 子母패턴을 振動子에 제시하는 시스템

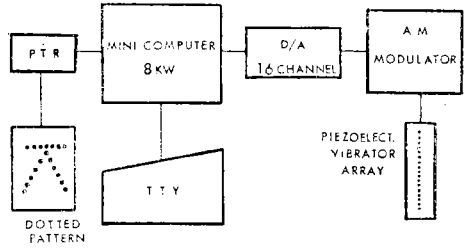


그림 5. 識別率實驗의 블럭圖
Fig. 5. Block diagram of identification rate measurement.

구성이다. CPU(16KW, 1W=16 bits, NOVA社)와 이에 접속되어 있는 入出力裝置, 제어장치로 구성했는데 入出力裝置는 PTR, A/D 變換器(16 ch, 12 bits, 變換時間 $43.95 \mu \text{sec}$), 出力裝置는 16 ch—D/A(10 bits, $73.2 \mu \text{sec}$)를 통해 振動子에 패턴을 제시하도록 했으며 제어장치는 typewriter(model 600)를 이용했다. 이들 시스템에 의한 예비실험을 실시한 후에 ROM을 이용한 子母識別率實驗 專用裝置를 구성했는데 그림 6은 이의 블럭圖이다. 이 장치의 기능은 24子母에 해당하는 24개의 key가 준비되어 있으며 이 중 한개의 key를 누르면 key에 할당되어 있는 한글 子母패턴이 1 column \times 8 row로 구성된 壓電素子를 통하여 機械的振動으로 바뀌어서 손가락의 皮膚에 전달하도록 했다. 이때 子母는 7 column \times 8 row의 dot pattern으로 구성되어

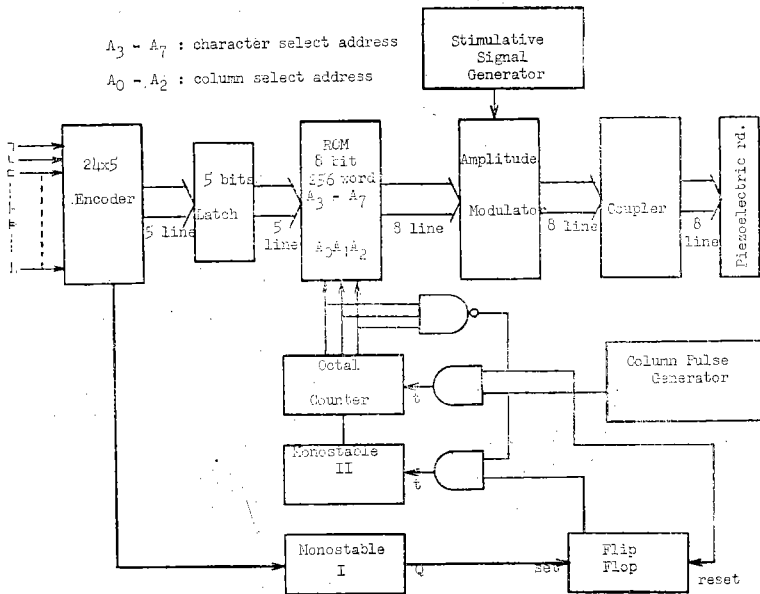


그림 6. ROM에 의한 識別率實驗專用裝置의 系統圖
Fig. 6. Block diagram of identification rate experiment system by ROM.

기는 0.5mmφ가 적당하였고 振動波形은 200 Hz 전후의 矩形波가 적당함이 실험을 통해서 알 수 있었다.

2) 2點識別最低間隔은 200 Hz의 矩形波에서 1.3 m의 값을 얻었다.

3) 사용한 振動子는 0.6 mm×6 mm×15 mm 크기의 세라믹 壓電素子인데 10μ의 變位를 얻기 위해서는 280 μW의 전력이 필요하다.

4) 盲人에 직접 실험하기 전에 한글을 모르는 外國人正眼者를 대상으로 하여 識別率을 구했는데, 平均全識別率은 90%였다. 이것은 學習效果없이 얻어진 결과로 學習과 훈련을 충분히 한다면 識別率이 향상될 것이다. 또한 비교적 복잡한 패턴 「ㄱ, ㄴ, ㄷ, ㅌ, ㅍ, ㅎ」등은 識別이 곤란하나 이는 한글의 사용빈도에서 20%이하이어서 별 문제되지 않는다.

5) 1行×8列의 振動子만으로 한글子母의 識別이 가능하므로 한글문자인 경우 1行×16列의 振動觸角裝置로 실용성이 기대된다.

本文에서는 刺戟部分에 대해 고찰했지만 앞으로 文字入力部도 개발중에 있으므로 實用化 가능성이 많으며 皮膚情報傳達特性에 관한 研究도 흥미 깊은 사항으로 다음 과제로 두었다.

謝 辭

本 研究를 위해 指導와 편의를 제공해준 北海道大學 應用電氣研究所長 吉本 千禎博士와 토론과 研究에 참여해준 伊福部 達博士께 감사드리며 이 研究는 1977年度 産學協同財團의 學術研究費에 의해 진행된 것임을 付記해 둔다.

參 考 文 獻

1. Patrick W. Nye and James C. Bliss, "Sensory aids for the blind," Proc. IEEE, Vol. 58, No. 2, pp1878~1893, December 1970.
2. John H. Davis and Paul A.B Radcliffe, "An Analog data storage system for a reading machine for blind readers," IEEE Trans. Bio-Med. Eng. vol. BME-19, No.6, pp.415-421, November 1972.
3. Raymond M. Fish, "An audio display for the blind," IEEE Trans. Bio-Med. Eng. Vol. BME-32 No.2, pp.114, ~154, March 1976.
4. 洪勝弘, 伊福部 達, 吉本 千禎, "한글文字識別

- 을 위한 盲人用觸讀裝置," 日本 ME 學會第17回大會 論文集, Vol. 17, July 1978.
5. Brindly, G.S. and Lewin, W.S., "The visual sensations produced by electrical stimulation of the medical occipital cortex," J. Physiol. 194, pp.54~55, 1968.
6. Sterling T.D., et al, "Visual prothesis," Academic press, 1971.
7. I.G. Matting, "Experimental methods for speech synthesis by rule," IEEE Trans. Audio-Electroacoustic, Vol Au-16, pp. 198~202, June 1968.
8. F.S. Cooper, et al, "Reading aid for the blind," A special case of machine-to-man communication," IEEE Trans. Audio Electroacoust., Vol Au-17, pp.266~270, December 1969.
9. M.P. Beddes and C.Y. Suen, "Evaluation and a method of presentation of the sound output from the Lexiphone A reading machine for the blind," "IEEE Trans. Bio-Med. Eng. Vol. BME-18, No.2, pp 85~81, March 1971.
10. Collins, C.C., "Tactile television-mechanical and electrical image projection," "IEEE Trans. MMS, 11-1, pp.65, March1970.
11. Bliss, J. C., et'al, "Optical-to tactile image conversion for the blind," "IEEE Trans. MMS, 11-1, pp. 58, March 1970.
12. U. Lindblom, "The afferent discharge elicited by vibrotactile stimulation," IEEE Trans. MMS, 11-1, pp. 2~5, March 1970.
13. V.B. Mountcastel and G. Werner, "Neural activity in mechano-receptive cutaneous afferents," J. Neuro-physiol., Vol.28, pp.359~397, 1965.
14. G.J. Alonzo, "Development of piezo-electric dynamic embosser for use as a reading machine," Tech. Rept. 4813-4, standford University, 1964.
15. 伊福部達氏, "portable 觸知 bocoder의 設計 Bulletin of the Research Institute of Applied Electricity, Vol. 29, pp.41~56, Hokkaido University, 1977.