

經皮 電氣刺戟을 위한 波形 파라메터에 관한 研究

* * * *
 함광근, 민홍기, 이호재, 허웅

* 명지대학교 전자공학과, ** 인천대학교 정보통신공학과

A Study on Waveform Parameter for the Electrotactile Stimulation

K.K. HAM, H.K. MIN, H.J. LEE, W. HUH

* Dep. of Electronic Eng., Myong Ji Univ.

** Dep. of Information Communi. In-Cheon Univ.

ABSTRACT

In this paper, we have performed an experiment to obtain an optimized electric stimulation condition on the tip of a finger skin.

The desired parameters for stimulation of the finger tip skin are waveforms, frequency, stimulation intensity, duty cycle.

As a result, when the finger skin was stimulated with monophasic, biphasic, and differntial phasic, the most appropriate condition was 200 to 250[Hz] in frequency, 10 to 25[%] in duty cycle.

Burst type pulse was more sensitive effect than that of continuous pulse methode.

1. 서론

시각을 대신하기 위해서 각종의 시각 대행장치가 제작된 바 있다[1, 2, 3].

시각을 잃어버린 경우 청각이나 촉각을 이용하여 문자나 도형을 인식할 수 있다. 이와같은 시각 장애자들의 시각보조를 위해서 도형과 문자를 소리의 형태로 정립하여 청각적 이미지로 변환하는 방법과 진동패턴으로 변환하여 피부촉각으로 인지하게 하는 방법[4]등 여러가지 방식이 행해지고 있다.

인체에 정보를 전달하고자 할때 이용할 수 있는 감각수용기로는 여러가지가 고려될 수 있겠지만, 본 연구에서 피부촉각을 이용한 이유는, 촉각은 체표면에 넓게 분포하는 감각기관으로서 정보전달의 대상으로 별로 이용되고 있지 않기 때문에, 그 일부를 이용해 지장은 비교적 적기 때문이다[5]. 촉각은 피부부위마다 특성이 현저하게 다르고[6], 연령차와 개인에 따라 크게 다르다. 현재 일반적으로 사용하고 있는 부위는, 손가락의 지문부위와 등부분의 피부부위이다.

피부를 자극하는 방법은, 전기자극의 기계 진동자극과 공기압자극등이 연구되고 있으며[7, 8, 9], 이들 중 전기자극의 장점은 자극을 줄때 다른방법에 비해 필요한 에너지가 적고, 장치의 소형·경량화가 용이하며 자극신호의 파형제어가 용이하다는 이점이 있다.

전기자극은 피부의 극부를 통해 미소 전류를 흐르게 하여 피부의 자극을 일으키는데, 이때 부적합한 자극파형이나 전극을 사용하면 피험자에게 불쾌하고 손끝을 찌르는 듯한 통증을 주게 되고, 신체에 무리를 줄 수 있다[10].

따라서, 피부자극방법에서 피부조직은 부하로 사용되기 때문에 적절한 자극신호의 파라메터(파형의 종류, 주파수, 듀티사이클, 전압, 주기등) 선정은 피부조직을 상하지 않게 하는데 매우 중요하다[11, 12, 13].

본 연구는 전기자극방법에 의한 촉각 인지(認知)특성을 실험하여, 자극신호의 파라메터가 인간에게 적용될 경우 미치는 영향과 최적의 자극조건을 찾는 데 그 목적이 있다.

2. 시스템 구성

본 연구에서는 피험자에게 적당한 자극을 가하기 위하여 그림 1과 같이 링형전극, 원형전극, 리턴전극으로 구성된 전극과 다양한 파라메터 설정이 가능한 자극 패턴 발생기로 시스템을 구성하였다.

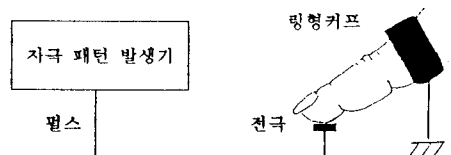


그림 1. 시스템 구성도.

Fig. 1. Block diagram of the system.

2.1. 전극

a) 링형전극

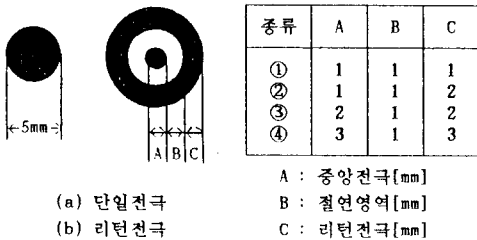
공통전극이라고도 하는데, 검지손가락의 기저부에 착용할 수 있도록 폭 5[mm], 직경 14[mm]의 銅으로 제작하였으며 손가락 굽기에 따라 조절이 가능 하도록 설계하였다.

b) 일반전극

전극은 두가지 형태로 제작하였는데, 손가락과 접촉하는 전극은 직경 5[mm]의 원형전극을 사용하였으며, 전기적 안정성을 높이기 위해서 銅 위에 금도금을 하였다. 그리고 리턴전극은 표 1과 같이 4종류로 제작하였다.

표 1. 리턴전극의 규격.

Table 1. Standard of return electrode.



2.2. 자극신호 발생기

자극신호 발생기는 주파수, 듀티비, 진폭을 임의로 설정하고, 가변할 수 있도록 구성하였다.

본 실험에 사용되는 자극신호의 파형 패턴의 종류는 그림 2와 같으며, 종류별로 피험자에게 자극을 가한다.

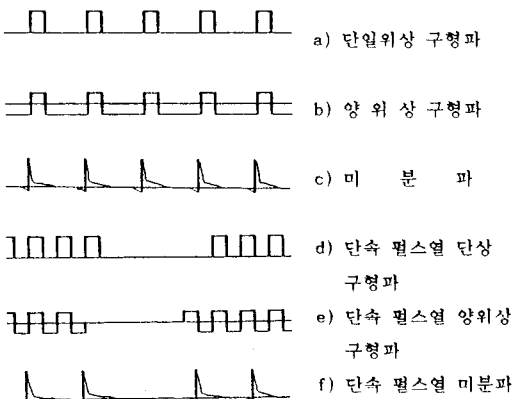


그림 2. 자극신호의 파형패턴.

Fig. 2. Wave pattern of the stimulation signal.

a) 단일위상 구형파

위상이 제로(zero)레벨을 기준으로 양(positive)위상만 가지는 파형인데, 주파수 가변범위는 1~1.5[KHz]이고, 듀티비는 0~90 [%]까지 조절 가능하다. 전압은 0~46[V]범위내에서 가변하여 인가할 수 있다.

b) 양위상 구형파

위상이 음(negative)위상과 양위상을 모두 가지는 파형으로서 인가전압을 $\pm 12[V]$ 로 하였으며, 주파수 가변범위는 1~2.5[KHz]이고, 삼각파의 기울기를 조절하는 방법으로 출력 듀티비를 0~90[%]까지 가변되도록 하였다.

c) 변형된 미분파

단일위상 구형파 발생회로에서 발생한 펄스를 변압기를 이용하여 100~200[V]로 승압하였으며, 주파수 가변범위는 1~1.5[KHz]이다. 변압기의 입력전압에 따라 출력도 달라지게 되고, 출력은 미분파가 발생하도록 하였다.

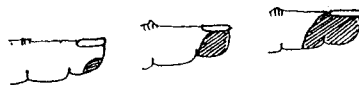
d) 단속 펄스열 발생회로부

위에서 언급한 세가지 파형에 대해 시간에 따라 단속하여 자극변화를 주도록 장치를 구성 하였다.

3. 실험방법

자극신호 발생기에서 출력되는 각각의 파형패턴을 전극을 통해서 피험자에게 가한다. 이때 커피는 피험자의 손가락에 잘 접촉되도록 조절한후, 피험자가 자극을 느끼기에 적당하다고 생각되는 정도까지 압력을 가한 후, 자극신호의 파라메터를 가변한다.

실험을 여러번 행하게 되면 피험자는 자극에 대해 학습이 되고, 또한 산만한 환경에 정확한 데이터 수집이 어려워 질 수 있다. 이와같이 학습으로 인하여 발생하는 일관성 오차를 제거하기 위해서 피험자는 외부요인으로 부터 완전히 통제된 상태에서 실험이 이루어져야 한다. 이때 실험과정에서 피험자에게 실험 결과에 대한 힌트를 전혀 주어서는 안되며, 피험자가 결과를 직접 기록하도록 한다. 또한, 자극부위의 표피임피던스가 다르면 자극강도가 다르므로 실험시 자극부위의 습기를 완전히 제거하고, 필요에 따라 수시로



a) 약한자극 b) 양호한 자극 c) 강한자극

그림 3. 자극 인식 부위도(빗금친 부분은 자극 인식범위).

Fig. 3. Recognition parts of the stimulation.

자극부위의 땀을 제거해 가면서 실험을 한다.

실험과정에서 인식조건에 따라 측정값이 달라지고, 심한 전기적 쇼크가 온다거나, 인식이 안되는 경우도 고려해야 한다.

단일전극에 대해서는 그림 3과 같이 자극은 지문부위에만 물리도록 한다.

3.1 단일위상 구형파

앞에서 언급한 단일전극과 리턴전극에 대해서, 다음과 같이 자극신호의 파라미터를 적용한다. 먼저, 피험자에게 자극 파형의 전압을 0~46[V]까지 가변하여 적당하다고 느끼는 자극강도를 찾은 다음, 자극신호의 주파수를 가변하여 자극강도가 가장 양호하다고 생각되는 주파수를 찾는다. 그리고, 마지막으로 그 주파수에서 듀티비를 10~90[%]까지 가변하여 자극강도를 기록하도록 한다. 이와같은 실험과정을 여러차례 반복하여 자극강도를 기록한다.

3.2 양위상 구형파

양위상 구형파 자극은 구형파 펄스를 OP앰프를 이용하여 자극신호를 발생시키기 때문에 출력은 한정되어 있다.

양위상 펄스를 이용하여 앞에서 실행한 방법과 마찬가지로 주파수에 따른 자극강도와 듀티비의 효과를 기록하고, 여러 차례 실험을 반복하여 그 결과를 기록한다.

3.3 변형된 미분파

번압기를 통해서 나오는 출력을 직접 커프를 통해서 자극 부위에 자극을 주기에는 적절하지 않다. 자극전압이 높으면 부하로 사용되는 면적이 클 경우 손가락의 실세포가 파괴될 우려가 있기 때문에 면적이 좁은 리턴전극에 한해서 인가 전압, 주파수, 듀티비를 가변하여 실험을 실시하고 그 자극 강도를 기록한다.

3.4 펄스열 자극부

펄스열은 펄스 발생부에서 펄스를 시간적으로 나누어서 발생시키는데, 가변저항으로 펄스의 주기와 간격을 증가하거나 감소해 가면서 자극을 측정한다. 이때 펄스열의 주기에 따른 자극강도와 펄스열 갯수에 따른 효과를 측정하여 기록한다.

4. 실험결과 및 고찰

실험은 22세부터 30세의 건강한 남성 15인을 대상으로 하였다.

4.1 원형전극의 경우

지문부위에서 자극을 얻기위해 실험을 행한 결과, 단일위상 구형파에서 피험자가 양호하다고 느낀 결과를 피험자에 따라 정리하면 그림 4와 같다.

단일 구형파를 가지고 손끝을 자극 했을때 지문부위에 양호하게 나타나는 주파수 범위는 100 ~ 334[Hz]에 걸쳐 나타남을 그래프를 통해서 알 수 있다. 그리고 지문자극에 최적 주파수 범위는 150~250[Hz]임을 그래프를 통해 알 수 있다.

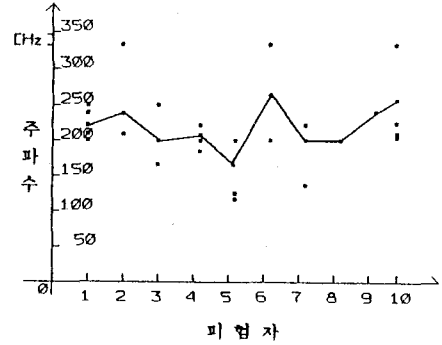


그림 4. 단일 구형파의 최적자극 주파수 분포도.
Fig. 4. Frequency distribution for optimal stimulation using monophasic rectangular wave.

주파수에 따른 자극강도를 측정된 결과, 대체로 주파수가 낮은 경우에는 관절부위 전체에 걸쳐서 자극이 나타났으며, 주파수가 높아질에 따라 자극이 손끝으로 물리는 현상을 보였다. 그리고 듀티비에 대한 자극강도를 알아보기 위해서 200~250[Hz]의 범위내에서 듀티비를 10~90[%]까지 가변한 결과, 10~25[%]에서 가장 큰 자극이 얻어졌으며, 50[%]가 넘을 경우는 자극이 소멸되는 현상이 나타났다. 이 결과는 문헌[3.6.7.8]에서 자극진동에 이용한 범주와 일치한다. 양위상 구형파에서의 결과는 그림 5에 그 결과를 보였다. 그림 5에서 보는바와 같이 주파수분포는 100~400[Hz]에 걸쳐서 자극분포가 이루어짐을 알 수가 있다. 최적 자극주파수는 200[Hz] 부근 이었다. 단일 구형파에서의 자극분포와 유사한 양상을 보이고 있으나 최적 자극 주파수의 편차는 좁은 편이었다.

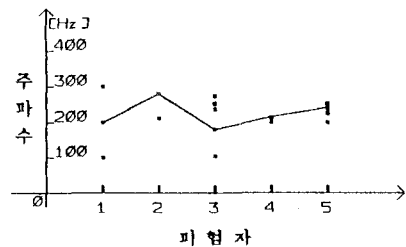


그림 5. 양위상 구형파의 최적자극 주파수 분포도.
Fig. 5. Frequency distribution for optimal stimulation using biphasic rectangular wave.

주파수에 대한 자극강도는 저주파에서는 관절부위에, 고주파에서는 자극이 손끝으로 물림을 알 수가 있었다. 그리고 듀티비가 25[%] 이하에서는 비교적 강한 자극을 보였고, 50[%] 이상에서는 자극강도가 약해졌다.

손끝으로 자극을 감지하기에 가장 적당한 전압은 18[V]를 전, 후로 인가하였을 경우이며, 20[V]를 초과하면 자극부위가 손끝에서 관절로 이동했다.

4.2 리턴전극의 경우

이 실험에서는 리턴전극을 사용하기 때문에 손가락 전체에 걸쳐서, 또는 지문부위 전체에 걸쳐 자극을 얻을 수가 없다. 그래서 지문부위중 중앙부위를 기준으로 바늘로 찌르는 듯한, 마치 열이 발생하는 느낌을 주는점을 찾아 기록 하였다.

피험자를 통해 진술 받은 내용을 보면 200~250[Hz]에서 양호한 자극을 얻을 수 있었다. 그림 6은 미분파를 인가 하였을 경우, 주파수 분포도를 나타낸다.

인가전압이 낮은 경우는 인식이 되지 않았고, 변압기를 이용한 미분파 발생기의 경우는 120[V]를 전, 후에서 확실한 자극을 얻을 수 있었다.

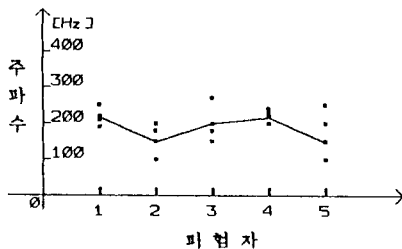


그림 6. 미분파에서의 주파수 분포.
Fig. 6. Frequency distribution of differential wave.

4-3. 단속 펄스열에서의 경우

주파수 200[Hz], 인가전압은 일반전극의 경우 18[V]와 리턴전극의 경우는 120[V]를 각각 인가하고, 각 단속 펄스열의 단속주기에 따른 영향을 측정한 결과, 연속펄스 자극보다 민감한 반응을 보였다. 단속에서 무자극 기간이 길수록 자극은 강하게 느껴졌으며, 자극금지 시간이 작아짐에 따라 그 효과는 연속적인 자극과 같아지는 현상을 보였다.

그림 7은 단속형 펄스열을 사용한 실험에서 피험자가 가장 느끼기에 좋은 조건의 경우의 값을 표시한 것이다. 최적 감각의 범위는 15~45[ms]정도이며, 30[ms]정도의 자극금지 구간을 주는 것이 적당한 것으로 판정된다.

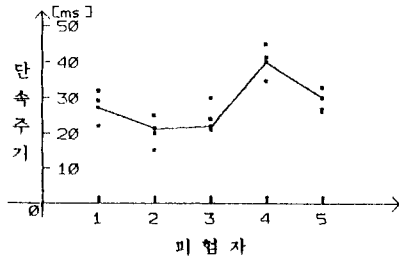


그림 7. 단속형 펄스열에서 최적자극 주기분포도.
Fig. 7. Time distribution for optimal stimulation using intermittence type pulse string.

5. 결론

본 연구는 시각 장애자들의 대행감각으로 인지의 경피조직을 이용하여 문자나 도형을 인식하기 위한 일환으로, 인지에 전기자극을 주어 시각 장애자들이 그 자극을 거부감이 수용할 수 있고, 또한 편안하고 불쾌감을 주지 않는 최적의 전기자극 조건을 알아보기 위해서 여러가지 파라미터를 설정하여 그 효과를 알아본 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 자극신호 파형은 지속적인 파형보다는 구형파신호의 펄스열 자극이 가장 큰 효과를 보였다.
2. 자극신호의 주파수는 200~250[Hz]범위에서 가장 효과적이었다.
3. 듀티비(Duty Ratio)는 10~20[%]에서 가장 큰 자극효과를 보였다.
4. 자극신호 전압은 신체에 무리를 주지 않는 범위에서 커프를 사용할 경우에는 18[V]에서, 리턴전극을 사용할 경우에는 120[V]에서 가장 좋은 자극을 보였다. 전기자극을 이용할 경우, 장비를 소형화 시킬수 있으므로 휴대가 용이하다는 이점이 있다. 반면에, 전기적인 자극은 개인간에 차가 크므로 신체에 무리를 주지 않도록, 자극신호의 파라미터의 선정에 주의를 요해야만 한다. 전기자극을 통해서 문자나 도형인식이 가능하면 시각장애자들도 손쉽게 문자정보를 수용할 수 있을 것으로 사료된다.

參考文獻

- [1] 허웅, "맹인용 촉각식 문자읽기장치의 입력시스템", 대한전자공학회, 하계종합학술대회 논문집, 제14권, 제1호, P.418~421, 1991.
- [2] 伊藤部達, "感覺代行", BME, vol.2, No.11, P.715-721, 1988.
- [3] 임안수, "시각장애자의 정보접근", 視覺障礙研究, 제7집, P.3-24, 1991.
- [4] 田中兼一, "觸覺における凸点パターン認識特性", 醫用電子と生體工學, 제20권 제5호, P.301-306, 9, 1982.
- [5] 谷江和雄, "經皮電氣刺激의強度感覺에對するパルス幅의效果", 醫用電子と生體工學, 제15권, 제5호, 9, P.315-319, 1977.
- [6] MOSHE SOLOMONOW, "Electrotactile two-point discrimination as function of frequency, body site, laterality, and stimulation codes^{1,2}", Annals, Biomed. Eng., 5, P.47-60, 1977.
- [7] 本多正憲, "電氣刺激による觸覺 패턴 認識裝置の研究", 니카가大學 工學部 卒業研究論文, 1991.
- [8] 田中兼一, "薄膜ヒータ 利用した点字發生素子", 醫用電子と生體工學, 제19권 제6호, P.429-432, 10, 1981.
- [9] Hideo IDE, "Color Character Tracter Aid for the Blind", transact. IECE, JAPAN, vol.E69, No.6, P.730-731, June, 1984.
- [10] Kurt A.Kaczmarek, "A 16-Channel 8-parameter waveform electro tactile stimulation system", IEEE Transact. Biomed. Eng., vol.38, No.10, P.933-942, 10, 1991.
- [11] Bruce R.Bowman, "Effects of waveform parameters on comfort during transcutaneous neuromuscular electrical stimulation", Annals, Biomed. Eng., vol.13, P.59-74, 1985.
- [12] RUDOLF BÜTIKOFER, "Electrocutaneous nerve stimulation-I : Model and Experiment", IEEE Transact. Biomed. Eng, vol. BME-25, No.6, pp526-531, Nov, 1978.
- [13] RUDOLF BÜTIKOFER, "Electrocutaneous nerve stimulation-II: Stimulus waveform selection", IEEE Transact. Biomed. Eng., vol BME-26, No.2, P.69-75, 2, 1979.