

피부 활성점 측정을 위한 회로설계 및 측정방법연구

A Study on the circuit design and measurement method for the measurement of active points on skin

김민수*, 조영창*

Min Soo Kim*, Young Chang Cho*

Abstract

The method of measuring skin active points is a technique for obtaining a lot of biometric information because it is measured with convenience, low cost and non-invasive methods. In this paper, we used in a three electrode measure method that has the advantage of measuring the impedance of the APs under the skin. The impedance measuring method is well illustrated by a simple model of an equivalent electrical circuit that correlates well with experimental results. The characteristic frequencies of APs are about 15-30Hz higher than that of surrounding skin and the values of measured reactance are about 35-77kΩ smaller. This technology analyzed accurately and objectively the reactance and characteristic frequency of APs and the surrounding skin using a non-invasive measuring system.

요약

피부 활성점(경혈) 측정 방법은 편리성, 저비용 및 비 침습으로 측정하기 때문에 많은 생체정보를 얻기 위한 기술이다. 본 연구에서는 피부 아래에 활성점을 측정할 수 있는 장점이 있는 3전극 측정방법을 사용되었다. 임피던스측정방법은 측정실험 결과와 관련성이 있는 등가전기회로를 통해서 증명되었다. 활성점의 특성주파수는 주변 피부보다 15-30Hz 높고, 리액턴스는 35-77kΩ 더 작게 측정되었다. 이 기술은 비침습 측정 시스템을 이용해서 활성점과 주변피부의 리액턴스와 특성주파수를 정확하고 객관적으로 분석되었다.

Key word: Non-invasive, Skin active point, Three electrode, Characteristic frequency

1. 서론

생체임피던스 측정 방법은 편리성, 저비용 및 비 침습으로 측정하기 때문에 많은 생체정보를 얻기 위한 기술로 많은 분야에서 연구가 진행되고 있다 [1]-[3]. 특히 한의학의 활성점(경혈)은 경락이 외

부와 통하는 통로 역할을 하며, 장부의 상태를 나타내는 반응점인 동시에 침이나 뜸으로 장부를 조절하는 치료점으로 인식되고 있다. 경혈은 전기저항의 주변의 피부에 비해서 저저항 특성을 가진다고 보고되고 있다[4-6]. 그 중에서도 교류전류를 이용하여 경혈의 대표적 특성인 임피던스 특성차이

* Dept. of Avia. Info. Com. Eng., Kyungwoon University

★ Corresponding author

E-mail : yccho@ikw.ac.kr, Tel : +82-54-479-1313

※Acknowledgment

Manuscript received Aug. 7, 2020; revised Sep. 12, 2020; accepted Sep. 14, 2020.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

점에 대한 연구들이 많이 행해져왔다[7-12]. 1950년 경락과 경혈을 밝힌 일본의 Nakatnani[13], 전기생리학을 이용하여 각 장부의 기능 상태를 진단 및 치료를 목적으로 하는 장치인 EAV를 도입한 독일의 Voll[14], Dry electrodes를 이용하여 경혈의 저저항 특성을 밝힌 Yamamoto[15]와 경혈과 비경혈 차이를 저항과 커패시터차이 등을 밝힌 Prokhorov [16] 등 연구가 꾸준히 진행되었으나 경락이나 경혈 실체에 대한 객관적이고 재현적인 결과는 얻지 못하고 있다.

본 논문에서는 비침습으로 교류 3전극법을 이용하여 피부를 측정하므로 경혈점과 비경혈의 전기적 특성을 비교 분석하였다[17]. 활성점 측정시스템으로 리액턴스와 특성주파수를 분석하므로 객관적인 해석이 가능하였다. 활성점은 주변피부에 비해 높은 특성주파수 특성과 저저항 특성을 가지고 있음을 실험을 통해서 알 수 있었다.

II. 측정원리 및 방법

비침습적인 방법으로 활성점과 주변피부의 전기적 특성을 리액턴스와 특성주파수차이를 비교하기 위하여 본 연구에서 사용한 활성점 측정의 원리는 피부에 일정한 크기의 전류를 흘린 후 측정하고자 하는 부위의 전위를 측정하고, 두 측정 전극사이의 저항과 리액턴스를 구하는 것이다. 이 때 전류를 인가하기 위한 두 개의 전극 단자와 전압을 측정하기 위한 전극 단자가 각각 2개씩 필요하다. 4개의 전극을 이용하여 생체의 임피던스를 측정할 수 있고, 피부에 부착하는 4개의 전극 배치방법에 따라 2전극법, 3전극법, 4전극법으로 나누어 다양한 생체임피던스를 측정할 수 있다. 그림 1은 3전극법의 전극배치와 측정시스템을 나타내고 있으며, 일정한 교류전류를 인가하는 AC current source, 측정전압을 저항과 리액턴스값으로 변환하는 Lock in amplifier 장치와 측정값을 저장하고, 해석 가능한 제어시스템으로 구성되었다. 3전극법은 특정한 위치의 임피던스를 측정하는 방법으로 간단하고 안정되게 측정할 수 있는 장점을 가진 방법이다. 또 이 방법을 이용하게 되면 측정전극 아래 edge 부분에 경혈과 비경혈이 있을 때 전류밀도의 변화가 보다 커짐으로 인해서 임피던스 값을 측정하기가 쉬어진다. 경혈을 측정하기 위한 전극은 부유전극으로 전극과

전해질과의 상대적인 움직임을 줄이고, 표피층의 저항을 일정하게 할 수 있는 장점이 있는 방법으로 측정하였다.

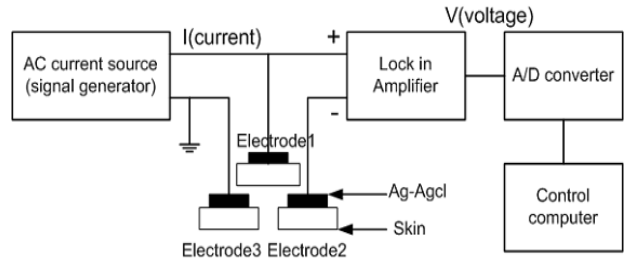


Fig. 1. Active point measurement system and electrode system.

그림 1. 활성점 측정시스템 및 전극시스템

2-1. 실험재료 및 방법

실험에 참가한 피 실험자들은 임상적으로 정상이라고 판단되는 성인남자 30대를 대상으로 10회 실험했다. 측정 방법은 3전극 시스템으로 전류인가 전극과 측정전극을 같이 두었고, 기준전극과 접지전극을 따로 두어서 실험했다. 측정전극과 기준전극은 (주)Biopac Ag-AgCl 전극(EL258H)의 8mm전극으로 측정하였고, 접지전극은 1회용 ECG 전극((주)Biopac EL 503)을 이용했다. 또 측정의 민감도를 높이기 위해서 전극안에 사용된 전극 paste는 (EC33 skin conductance)를 사용했다. 활성점(경혈)은 곡택, 대릉과 극문으로 정하고, 주변피부와와의 거리를 5~10mm두어서 비교하였다. 그리고 활성점과 주변피부 특성차이는 저항과 특성주파수의 차이를 비교하였다. 측정 외란을 줄이기 위해서 피 실험자는 측정 전에 20분 정도 휴식을 취하게 하고 측정표피는 알코올을 이용해서 깨끗하게 닦아낸 다음 몇 분정도 말린 후 측정을 시작하였다. 그리고 주변온도(23~25℃)를 일정하게 유지한 상태에서 피실험자에게 측정을 실시하였다. 본 활성점 측정시스템은 digital lock-in amplifier(RS830 Stanford Research System), AC current source(Keithley 6221)와 Labview system(National Instrument PXI)으로 구성되었다. 활성점측정을 위한 주파수 범위는 1-1kHz로 입력 사인파 전류는 10uA 이하로 인가했으며, 측정주파수는 각각 1000개의 다른 주파수에 대한 임피던스를 측정하였다. 전체 측정하는 시간은 대략 10분 정도 소요되었다.

2-2. CPE 소자의 특성

CPE는 식(1)로 표현되는데, 식 (2)에서와 같이 CPE를 실수부와 허수부로 분리하면 주파수에 무관하게 위상이 항상 일정하게 표현되는 소자임을 알 수 있다.

$$Z_{cpe} = \frac{1}{T \cdot (j\omega)^\alpha} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Z_{cpe} &= T^{-1} \cdot (j\omega)^{-\alpha} \\ &= T^{-1} \omega^{-\alpha} \cdot (\sin \frac{\alpha\pi}{2} - j \cos \frac{\alpha\pi}{2}) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, T는 각속도 ω 가 1일때의 CPE 어드미턴스 크기인데, 본 논문에서는 CPE 크기라 명명한다. α 는 매질의 특성을 표현하는 파라메타로써 생체 물질의 경우 0.5에서 1사이의 값을 가진다.

파라메타 α 의 값에 대한 CPE의 특성을 살펴보면, α 의 값이 1이면 식(3)에서와 같이 이상적인 커패시터 소자가 되고 α 의 값이 0인 경우 이상적인 저항소자가 된다. 그러므로 α 의 값이 0에서 1사이의 값을 가진다면 CPE는 커패시터와 저항의 중간 성질을 가진 소자라고 할 수 있다.

$$Z_{cpe(\alpha=1)} = \frac{1}{T \cdot (j\omega)} \equiv \frac{1}{j\omega C} \quad (3)$$

$$Z_{cpe(\alpha=0)} = \frac{1}{T} \equiv R$$

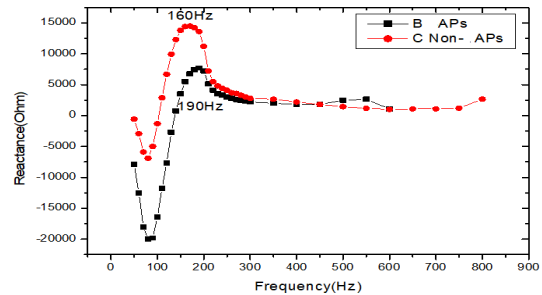
이러한 성질을 가진 CPE가 저항과 병렬로 조합이 되면 복소 임피던스 평면에 표현되는 주파수 응답특성은 저항과 커패시터의 병렬 조합 회로와 같이 반원 궤적을 이룬다.

파라메타 α 의 물리적 의미를 살펴보면 α 는 생체의 이완 시간의 분포 정도를 표현 한다. 생체는 여러 개의 세포로 이루어져 있고, 각 세포는 크기와 모양이 조금씩 다르다. 그렇기 때문에 각 세포가 가지는 저항과 커패시터 값은 조금씩 차이가 나는데 이로 인하여 각 세포의 저항 성분과 커패시터 성분에 의한 시정수 혹은 이완 시간 τ 는 조금씩 차이가 난다.

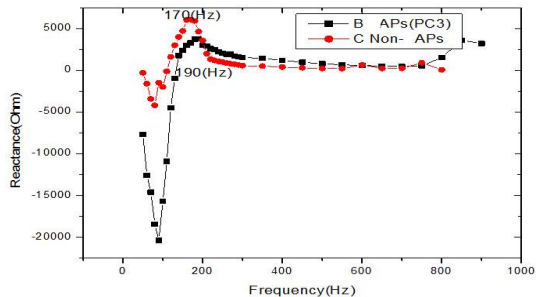
III. 경혈측정 실험결과

그림 2의 (a)는 피 실험자에게 $10\mu A$ 이하 전류를 인가 시 곡택(PC-3)과 주변피부측정 결과로서 특성주파수는 30Hz 이상차이가 났고, 리액턴스저항은 75k Ω 로 차이가 났다. 그림 2의 (b)에서 보듯이 대릉(PC-7)과 주변피부의 측정값을 비교했을 때 특성주

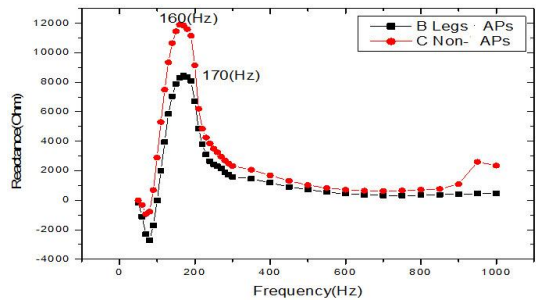
파수는 20Hz이며, 저항은 30k Ω 의 차이가 남을 알 수 있다. 그림 2의 (c)는 극문(PC-4)인데 주변피부와 비교시 특성주파수차이가 20Hz정도 차이가 났고, 저항은 35k Ω 차이가 났다. 측정결과 전기적 특성에서의 특성주파수의 차이는 20~30Hz사이의 차이가 남을 알 수 있고 그리고 리액턴스특성에서는 활성점이 주변피부에 비해서 35~75k Ω 로 저 저항 특성을 나타내었다. 따라서 본 활성점 측정시스템에서는 10uA 이하의 전류를 인가 시 정확하게 특성주파수와 리액턴스값을 가지고 경혈을 정확하게 찾을 수 있다. 저항과 특성주파수를 동시에 측정하는 방법으로 거리에 따른 오차와 활성점을 찾는 시간을 줄일 수 있어서 신뢰성과 객관성을 가지는 장점이 있다.



(a) PC-3 and Surrounding skin Measurement Results.
(a) 곡택과 주변피부 측정결과



(b) PC-7 and Surrounding skin Measurement Results.
(b) 대릉과 주변피부 측정결과



(c) PC-4 and Surrounding skin Measurement Results.
(c) 극문과 주변피부 측정결과

Fig. 2. Results of reactance and characteristic frequency measurement of active point and surrounding skin.
그림 2. 활성점과 주변피부의 리액턴스와 특성주파수 측정 결과

본 연구의 피부모델 등가전기회로를 그림 3에 나타내고 있다. 표피, 진피(표피아래층) 그리고 하부구조를 나타낸 것으로써 두 개의 유전체가 직렬로 연결되고 커패시터 값이 저주파수일 때 더 작은 값으로 수렴을 하게 되는데 이러한 현상을 통하여 직렬로 연결된 두 개의 유전체에서 주파수에 따른 유전율의 감소를 설명할 수 있다[18]. 그림 4는 Z-view 시뮬레이션을 통해서 표피아래층의 저항 값의 변화에 의해서 저항, 리액턴스와 특성주파수의 변화를 확인 했다. 그림 5는 전기회로실험에서 표피아래저항을 가변했을 때 전기적 특성은 저항이 낮을수록 리액턴스값이 작아지고 특성주파수가 높아짐을 알 수 있다. 표 1은 활성점과 주변피부의 등가회로로 사용된 파라메타를 비교한 결과이다.

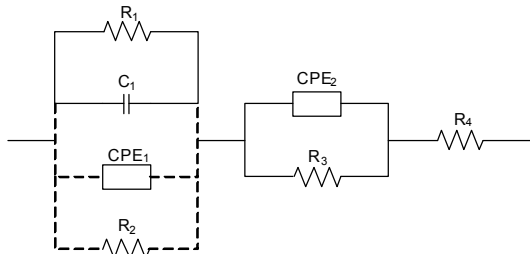


Fig. 3. Electrical circuit model of active point and surrounding skin.

그림 3. 활성점과 주변피부의 전기회로 모델

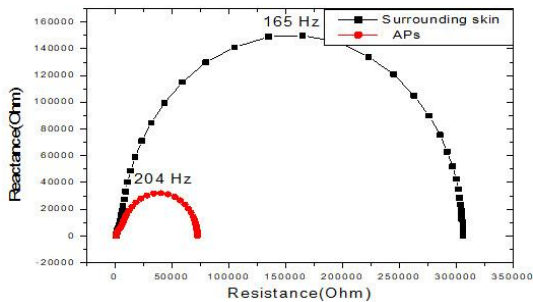


Fig. 4. Simulation results of Cole model of active point and surrounding skin.

그림 4. 활성점과 주변피부의 Cole 모델의 모의실험결과

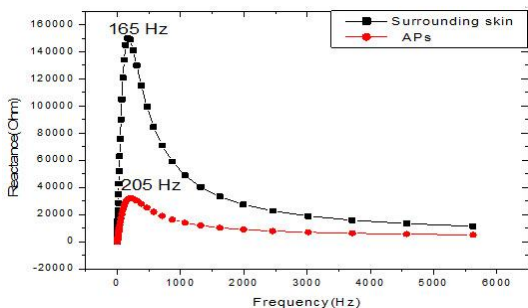


Fig. 5. Simulation results of the characteristic frequency comparison of the skin around the active point.

그림 5. 활성점 주변피부의 특성주파수 비교 모의실험결과

Table 1. Comparison of parametrics in simulated chamber hum with equivalent circuit of active point and surrounding skin.

표 1. 활성점과 주변피부의 등가회로 모의실험의 파라메타 비교

Com. Point	R ₁	C ₁	CPE ₁	α	R ₂	CPE ₂	α	R ₃	R ₄
APs	300 kΩ	3 nF	0.9×10 ⁻⁹	0.92	90 kΩ	0.1×10 ⁻⁹	0.90	5 kΩ	1 kΩ
Sur. Skin	300 kΩ	3 nF				0.1×10 ⁻⁹	0.90	5 kΩ	1 kΩ

IV. 결론

본 논문에서는 활성점(경혈)과 주변피부 측정을 위해서 활성점 측정시스템을 이용하였다. 측정시스템은 교류 전기를 흘려줌으로서 주파수에 따른 임피던스 변화특성을 분석과 해석하였다. 측정값의 정확성을 기하기 위해서 Z-View 시뮬레이션을 이용해서 전기회로모델실험을 하였다. 본 연구에서 사용한 생체모델과 유사한 시스템으로 실험함으로써 정확성을 검증했다. 실험에서 사용된 파라메타 값을 이용했을 때 가장 만족한 결과를 얻을 수 있었다.

생체측정에서 가장 중점을 두었던 부분은 활성점과 주변피부의 리액턴스와 특성주파수가 얼마나 차이가 나는가의 실험이다. 실험결과 활성점은 주변피부보다 리액턴스는 3.kΩ~75kΩ 정도 작고, 특성주파수는 20~30Hz 정도 크다. 활성점의 특성주파수는 활성점마다 다를 수 있었다. 본 활성점 측정 시스템은 리액턴스와 특성주파수를 동시에 측정하여 활성점과 주변피부의 측정결과를 객관적으로 쉽게 구분가능 하였다. 그리고 측정시간의 단축과 측정하고자 하는 지점을 쉽게 찾음으로서 보다 신뢰성을 가지는 시스템으로 역할을 할 것이다. 따라서 본 측정시스템을 이용한다면 한의학의 객관화된 활성점(경혈) 특성을 해석가능 할 것이다.

References

[1] H. Jain, D. Isaacson, P. M. Edic, and J. C. Newell, "Electrical impedance tomography of complex conductivity distributions with noncircular

- boundary," *IEEE Trans. Biomedical Engineering*, vol.44, pp.1051-1-60, 1997. DOI: 10.1109/10.641332
- [2] S. Grimnes, "Impedance measurement of individual skin surface electrodes," *Med. Biol. Eng. Comput.*, vol.21, pp.750-755, 1983. DOI: 10.1007/BF02464038.
- [3] O. G. Martinsen, S. Grimnes, and J. Karlwen, "Electrical methods for skin moisture assessment," *skin Pharmacol.*, vol.8, pp.237-245, 1995. DOI: 10.1159/000211353.
- [4] J. Hyvarinen, M. Karlsson. "Low-resistance skin points that may coincide with acupuncture loci," *Med. Biol.* vol.55, pp.88-94. 1977.
- [5] T. Croley. "Electrical acupuncture point conductance in the living compared to that in the dead," *Am. J. Acupunct.*, vol.14, pp.57-60, 1986. DOI: 10.1089/acm.2007.7193
- [6] S. Rezaei, A. Khorsand, J. Jamali, "Characterisation of human skin impedance at acupuncture point PC4 Ximen and pericardium meridian using the four-electrode method," *Acupunct. Med.* vol.30, pp.127-31, 2012. DOI: 10.1136/acupmed-2011-010071
- [7] R. Becker, A. Marino, "Electromagnetism and life," *State University of New York Press*; 1982.
- [8] W. Zhang, R. Xu and Z. Zhu, "The Influence of acupuncture on the impedance measured by four electrodes on meridians," *Acupuncture Electro-Therap Res Int J* vol.24, pp.181-1888, 1999. DOI: 10.3727/036012999816356273
- [9] N. Barlea, H. Sibianu and R. Ciupa, "Electrical detection of acupuncture points," *Acta Electrotech Napocensis*, vol.41, pp.59-61, 2000.
- [10] H. Johng, J. Cho, H. Shin, K. Soh , T. Koo, S. Choi, et al, "Frequency dependence of impedance at the acupuncture point Quze(PC3)," *IEEE Eng. Med. Biol.* vol.21, pp.33-36, 2002. DOI: 10.1109/MEMB.2002.1000183
- [11] A. Comunetti A, S. Laage, N. Schiessl and A. Kistler, "Characteristics of human skin conductance at acupuncture point," *Experientia*, vol.51, pp. 328-331, 1995. DOI: 10.1007/BF01928888
- [12] M S Kim and Geunbae Lim, "Electrical

Characteristics Analysis of Biological Active Points using Real Time Measurement," *The 2nd International Meeting on Microsensors and Microsystems*, 166. 2006.

- [13] Y. Nakatani, "Essai sur l'acupuncture Chinoise," *Clinic of Chinese Medicine*, vol.3, No.7, pp.54, 1956.
- [14] R. Voll, "Messbara acupuncture-diagnostic und Therapie fur den praktiker," *Erfahrungsheilkunde*, vol.4, 1955.
- [15] T. Yamamoto, Y. Yamamoto, and A. Yoshida et al, "Measurement of low-resistance points on the skin by dry roller electrodes," *IEEE Trans. Biomedical Eng.*, vol.35, No.3, pp.203-209, 1988. DOI: 10.1109/10.1363
- [16] E. F. Prokhorov and J. Gonzalez-Hernandez et al, "In vivo electrical characteristics of human skin, including at biological active points," *Med. Biol. Eng. Comput.*, vol.38, pp.507-511, 2000. DOI: 10.1007/BF02345745
- [17] Li. Dachao et al, "A Method for Measuring the Volume of Transdermally Extracted Interstitial Fluid by a Three-Electrode Skin Resistance Sensor," *Sensors*, vol.14, pp.7084-7095, 2014. DOI: 10.3390/s140407084
- [18] H. Fricke, "The Maxwell-Wagner dispersion in a suspension of colloidal particle in electrolyte solution," *J. Phys. Chem.*, vol.57, pp.934-937, 1953.

BIOGRAPHY

Min Soo Kim (Member)



1996 : MS degree in Electrical Engineering, Yeungnam University
 2004 : Ph. D: degree in Electronic Engineering, Yeungnam University
 2014 : current: Professor, Dept. of Aviation Information & Communication Engineering, Kyungwoon University

Young Chang Cho (Member)

1996 : MS degree in Electronic
Engineering, Yeungnam University
2001 : Ph. D in degree in Electronic
Engineering, Yeungnam University
1999 : current: Professor, Dept. of
Aviation Information &
Communication Engineering,
Kyungwoon University