

# 12채널 Multi-frequency를 이용한 경혈 임피던스 측정시스템 개발 및 평가

김수병<sup>1</sup> · 이재우<sup>2</sup> · 이승욱<sup>1</sup> · 이나라<sup>1</sup> · 김영대<sup>1</sup> · 신태민<sup>3</sup> · 이용흠<sup>1</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 보건과학대학 의공학과 한의공학연구소,  
<sup>2</sup>연세대학교 과학기술대학 정보통계학과, <sup>3</sup>연세대학교 보건과학대학 의공학과

## Development & Evaluation of Acupuncture Point Impedance Measurement System Using 12 Channels Multi-Frequency

Soo-Byeong Kim<sup>1</sup>, Jae-Woo Lee<sup>2</sup>, Seung-Wook Lee<sup>1</sup>, Na-Ra Lee<sup>1</sup>  
Young-Dae Kim<sup>1</sup>, Tae-Min Shin<sup>3</sup>, Yong-Heum Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Biomedical Engineering, College of Health Science Oriental medical Engineering Lab, Yon-Sei University

<sup>2</sup>Dept. of Information & Statistics, College of Science & Technology, Yon-Sei University

<sup>3</sup>Dept. of Biomedical Engineering, College of Health Science, Yon-Sei University

### Abstract

**Objectives** : The object of this study is to evaluate and develop the system that reflects acupoints electrical properties by the multi-frequency using the SPAC (Single Power Alternative Current) stimulation method based on BIA (Bioelectrical impedance method).

**Methods** : The 12 channel meridian impedance measurement system (MIMS) was designed, which sets multi-frequency with 10 steps (1~10kHz). To check acupoints electrical properties, impedance of acupoints were measured from 11 acupoints selected from the LU and ST meridians.

**Results** : Regarding distribution of measurement values by multi-frequencies, we found the lowest response at 1kHz was in common. But frequency bands which represent the highest response at each acupoint were various. Measurement values of each acupoint by multi-frequencies were expressed similar distribution ( $P<0.05$ ). Also we could check same frequency band which showed the highest response at left/right equal acupoints ( $P<0.05$ ).

**Conclusions** : Through change of acupoints electrical properties by multi-frequency stimulation, we checked oriental medical diagnostic possibilities by using this system. We would progress variable clinical trials with this system for oriental medical diagnosis.

**Key words** : BIA, SPAC, Multi-frequency, Impedance, Meridian and acupoint, LU, ST

## 1. 서 론

한의학은 인체를 매우 유기적이고 전체적인 관점에서 바라봄으로써, 경혈의 상태를 진단 및 치료하여 내부적으로 전신적인 증상을 평가하고 개선하는 의학이다. 이에 한의학은 Life energy(Qi)가 흐르는 통로인 경락(meridian)을 통하여 경혈과 장부가 연결되어있다는 경락학설을 기반으로 진단

· 교신저자: 이용흠, 강원도 원주시 연세대길 1번지  
연세대학교 보건과학대학 의공학과  
Tel. 033-760-2863, Fax. 033-763-1953  
E-mail: koaim@yonsei.ac.kr

· 투고 : 2011/02/28 심사 : 2011/03/15 채택 : 2011/03/23

및 치료를 이행하고 있다. 경혈 자극을 통하여 탁월한 치료의 효과를 얻을 수 있는 생체반응 유도 가능성이 가능하며, 수기자극을 비롯한 다양한 치료수단의 효과가 신경학, 혈액학, 정신적 부분으로 다양하게 규명되고 있다. 이와 같이 다방면으로 치료수단으로의 효과를 규명한 연구들이 진행되고 있는 반면, 경혈·경락의 상태를 정확히 진단하기 위한 연구가 아직 부족한 실정이다. 이에 따라 경락·경혈의 작용과 현상을 객관적으로 측정 및 평가하여 명확한 한의학적 진단영역을 확보할 필요성이 있다. 이러한 실정에 따라 경혈의 상태를 객관화 하고자 하는 많은 연구가 진행되어왔으며 그 중 대표적으로 경혈에서 인입전류에 대한 피부임피던스와 피부전도도를 측정한 연구가 다수이다.

그 결과 비경혈보다 경혈부위가 저항 성분이 낮고 용량 성분이 높은 곳이라는 결과를 보고하였다. 그 중 경혈의 상태를 판단하기 위한 대표적 연구들로 미약전류 자극에 의한 경혈 반응 특성을 분석한 EAV(Electro-acupuncture According to Voll) 체계와 경혈에서 전기저항을 측정하고 전기가 잘 통하는 양도점을 식별하고, 그 점을 이은 선이 거의 경락에 해당하는 양도락을 일컬을 수 있다<sup>1-3)</sup>. 그러나 양도락의 경우 12V의 고전압을 사용하며, 측정도자를 누르는 압력 정도에 따라 데이터의 안정성과 재현성에 문제점이 제기되었다<sup>4)</sup>. 또한 EAV 체계는 인체에 직류전류(Direct Current)가 인가됨에 따라 세포분극현상이 초래되어 시간에 따른 피부저항값의 변화로 인한 전도특성이 달라지는 현상과 측정하고자하는 부위의 건/습 정도가 각기 다르므로 재현성이 낮은 문제점이 내포되어 있다<sup>5)</sup>. 이들 장비들은 동시에 다채널로 자극할 수 없을 뿐만 아니라, 경혈 자극원이 고정되어 경락별 주파수 반응특성을 확인하기 어렵다.

위와 같은 단점을 극복하고자 교류전류 인가방식인 BIA(생체전기저항법, Bioelectrical impedance method)이 많이 사용되고 있으며 이는 다른 방법에 비하여 측정이 빠르고 편리하며 개인 간의 변동이 적고 체지방, 체수분량의 재현성과 타당성이

높게 평가할 수 있는 방법이다<sup>6,7)</sup>. 하지만 교류전류 인가방식 중 단일 주파수 형태의 자극방식으로는 총 수분량에 대한 세포외액량 또는 세포내액량의 비율에 관한 개인차를 충분히 반영하지 못하고 있다<sup>8,9)</sup>. 이에 다주파수 형태 자극 기법을 이용하면 저주파 대역의 교류에서는 세포막을 관통하지 않고 세포내액에 흐르는 적은 전류가 고주파 대역이 되면 증가하는 특성을 이용하여 저주파 전류의 저항값으로부터 세포외액, 고주파 전류로부터는 총체수분량을, 그리고 양자의 차이로부터 세포내액을 추정할 수 있다고 보고하였다<sup>10,11)</sup>.

그러나 BIA의 표면 전극법은 피부저항(10,000Ω/cm<sup>2</sup>)에 의한 인가된 전류의 불안정을 감소하기 위하여 고전류(800μA)와 고전압을 사용하는 단점이 있다. BIA는 횡단면의 면적이 균일한 전도체 물질의 길이에 관한 저항(R)은 길이(L)에 비례하며 횡단면적(A)에 역비례한다는 기초 이론에 근거하였다. 인체는 균일한 실린더 형태나 일정한 도체가 아니지만 (Length<sup>2</sup>/R)과 총 체액량에 관한 실증적인 관계가 성립하고 실제 길이(L)보다는 팔목부터 발목까지의 높이(H)를 측정하는 것이 더 유의하다는 근거로 (Height<sup>2</sup>/R)과 총체액량의 관계를 규명하였다. 이에 인체는 해부학적으로 각 부위에 따른 전도성이 다른 매질이므로 이에 따라 결정된 비저항 계수 ρ를 이용함으로써 다음과 같은 공식 Equation 1이 성립한다.

$$Volume = \rho L^2 / R$$

Equation 1.

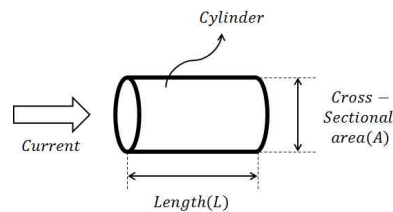


Fig. 1. Principles of BIA from physical characteristics to body composition.

The resistance of a length of homogeneous conductive material of uniform cross-sectional area is proportional to its length(L) and inversely proportional to its cross

sectional area(A).

Hence resistance (R)= $\rho L/A=\rho L^2/V$  and volume (V)= $\rho L^2/R$ .

그러나 BIA방식은 다음과 같은 근거로 한의학 적 이론에 따른 경혈 판별 방식에 적합하지 않다. 우선 BIA방식의 저항성분 판별은 횡단면적(A)와 체수분량(V)에 반비례하며 길이(L)에 비례하는 원리이다. 경혈은 해당 오장육부와 연결되어 있는 경락의 영향을 받으므로 각기 다른 경락이 내포되어 있는 손목과 발목의 신체 길이(L) 혹은 높이(H)가 아닌 해당 경락 자체의 길이(L) 혹은 높이(H)가 되어야 적합하다. 또한 비저항계수  $\rho$ 는 경혈의 해당부위의 근골격계 및 피하층으로 인한 전체 특성을 반영한 계수이며, 이는 경혈 혹은 경혈 자체 특성 계수가 아니다.

이러한 BIA 측정방법의 단점을 극복해보고자 인입 전하량과 동일한 전하량을 인출하는 방식의 SPAC(Single Power Alternative Current)의 자극 방식이 제시되었다. 이에 따라 경혈과 비경혈에 주파수 대역을 40Hz~25kHz 대역까지 변화시켜 자극해보았을 시, 3kHz~10kHz 대역에서 비경혈에 비하여 경혈의 저저항성분에 의하여 크게 측정되었음을 보고하였다<sup>12,13)</sup>. 기존의 BIA방식에서 탈피하여 일반적인 피부에 전류를 인가하였을 시 타 기기들과의 비교를 통하여 경혈의 저저항성분의 반영률과 재현성을 높인 연구결과이다. 그러나 경혈의 저저항성분의 반영률을 높인 것 외의 경혈의 상태를 판별 및 분석하지 않은 결과이며, 이는 일정압력에 의한 SPAC 인가방식이 아닌 시술자가 전극으로 경혈을 직접 자극하는 방식이다. 또한 해당 경락의 경혈부위를 대상으로 측정값에 대한 신뢰성이 낮은 단점을 내포하고 있다.

이에 본 연구에서는 기존의 시스템의 단점을 극복하고자 SPAC자극 인가를 경혈에 일정한 압력으로 인가할 수 있는 전극과 시스템을 개발하였으며, 해당 경락의 다수 경혈에서 측정하기 위하여 12채널로 설계하였다. 또한 3kHz~10kHz 대역에서 비경혈

에 비해 경혈의 저저항성분에 의하여 크게 측정됨을 보고한 기존의 연구 결과에 따라 특정 경혈에서 다양한 정보를 유추하기 위하여 1kHz에서 10kHz까지 가변하여 측정 가능하도록 하였다. 즉, 다주파수(1~10kHz)에 따른 동일 경락에서 다수 경혈들(12 points)의 주파수반응 특성을 알아보고자 수태음폐경(LU)과 족양명위경(ST)에서의 좌/우 임피던스 변화를 측정하였다. 이를 통하여 인가되는 전류의 주파수에 따른 경혈의 전기적 특성에 대하여 분석하고, 각 경락마다 동일 주파수에서 좌/우 경혈의 MEP(Meridian Electrical Property)를 비교·분석하여 새로운 경락·경혈 평가 방법으로써의 가능성을 제시하고자 한다.

## II. 실험방법

### 1. 시스템 설계 및 전극 설계

기존의 BIA기법은 피부저항의 영향을 최소화하기 위하여 고전류와 고전압을 이용하는 방식이다. 하지만 전위차를 발생시키기 위한 표면 전극 부착부위의 거리가 멀기 때문에 인체 각 분절은 상이한 피부 건/습 정도 및 저항에 의하여 전류의 흐름이 일정하지 않으므로 경혈의 전기적 특성을 정확하게 판별하기 어렵다. 이에 경혈 자체의 저항성분으로 인한 전위를 판별하기 위하여 Fig. 2와 같은 측정방법을 제시하였다. SPAC 자극은 경혈자체의 저항 성분과 시스템 고정 저항성분의 합에 따라 전류의 흐름이 다르다. 이에 경혈의 저항성분의 증감에 따라 고정저항성분에 흐르는 전류의 값과 상이하며 이로 인하여 고정 저항값에서 유발되는 전위차가 증/감한다. 이에 고정 저항성분에서의 전위차를 증폭시켜 관찰하기 위하여 차동증폭을 하였으며 이를 ADC(Analog to Digital Converter)하여 0~5V 범위를 10bit-digital값으로 환산하였다.

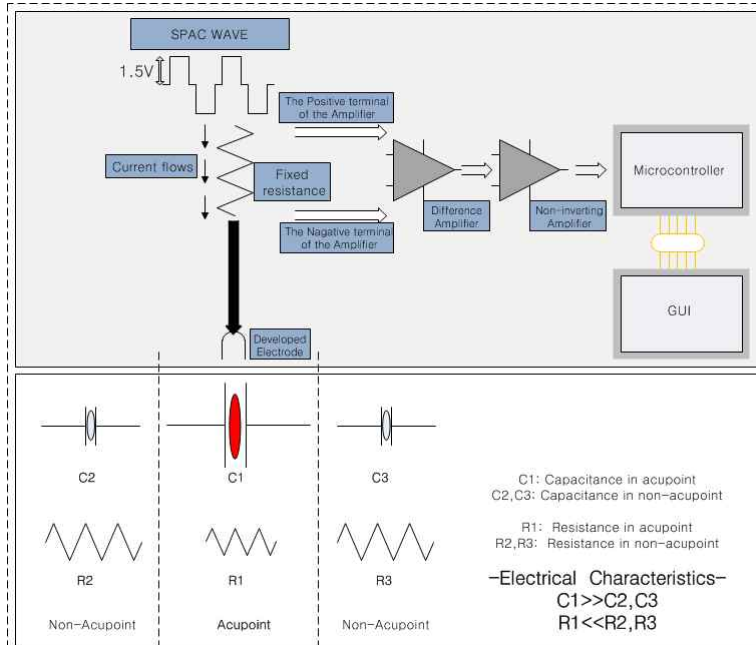


Fig. 2. Equivalent circuit diagram for impedance measurement in a cell or tissue.

SPAC 자극 전압으로 1.5V를 선정하였으며, 안정적인 정전압, 정전류를 발생시키는 소자로써 R-78A2.5-0.5의 Adjustable Output Voltage Converter를 이용하였다. 저항 양단의 전압을 차동 증폭하기 위하여 Low power J-FET QUAD OPERATIONAL AMPLIFIER인 TL064를 이용하여 Differential Amplifier를 제작하였다. 또한 의료기기 임상실험을 위하여 필수 조건인 순간적인 과전압과 과전류를 방지하기 위하여 인체에 부착하는 전극부에 Varistor와 Clipper 회로를 추가적으로 제작하였다. Fig. 3(a)는 12채널에 대하여 멀티 주파수로 경혈을 자극하고, 각 채널에 대한 임피던스 변화를 측정할 수 있는 시스템[12channels meridian impedance measurement system]의 시제품이다.

Fig. 3(b)는 측정 전극으로 자체 제작된 전극으로써, 매우 작고 도전성이 우수한 저항  $7[\Omega]$ 의 전극을 사용하였다. 또한 피부에 부착이 가능하도록 제작하였으므로 측정하는 동안 일정한 압력과 동

일한 위치를 유지하며 미동으로 인한 오차를 최소화하였다. 전극 부착은 부직포로 하였으며, 전극은 비침습적이고 압통을 느끼지 않도록 라운드 형태로 경혈의 크기를 고려하여 직경 5mm로 제작하였다.

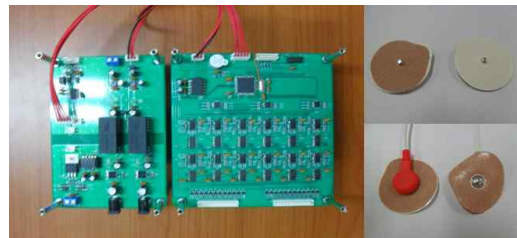


Fig. 3. (a) Sample of 12channels meridian impedance measurement system, (b) Electrodes(dry type) for impedance measurement.

## 2. 실험방법

특정한 질환이 없는 일반 대학생 남(24± 2세) 20명을 대상으로 측정하였다. 모든 실험 대상으로

부터 실험 참여 동의를 받았으며, 자발적 참여자로 선정하였다. 실험 전 모든 피험자는 특정 질환에 대한 진단과 치료 경력이 없음을 확인하였으며, 4시간 이상 금연, 커피 및 음료섭취를 제한하였다. 실내온도는 25℃로 지속적으로 유지하였으며, 20분 동안 안정상태를 취한 후 실험을 진행하였다. 전극 부착 전 모든 경혈 부위에서 피부 건/습 영향을 최소화하기 위해 의료용 소독을 실시하고, 전극을 부착한 후 10분 뒤 측정하였다. 실험을 진행하는데 있어 데이터의 오차를 줄이기 위해 각 주파수별로 5회씩 연속 측정하였으며, 1~10kHz의 주파수를 순차적으로 가변함에 있어 각 주파수별 측정간격을 10초로 설정하였다. 각 경혈별로 大學經絡經穴學實習의 내용을 참고하여 경혈의 위치 및 취혈 방법을 선택하였으며<sup>14)</sup>, 수태음폐경(LU)의 좌/우 소상(LU11), 어제(LU10), 태연(LU9), 경거(LU8), 열결(LU7), 공최(LU6), 척택(LU5), 협백(LU4), 천부(LU3), 운문(LU2), 중부(LU1)에서 피험자 10명을 대상으로 측정하였으며 족양명위경(ST)의 좌/우 여태(ST45), 함곡(ST43), 충양(ST42), 해계(ST41), 풍릉(ST40), 하거허(ST39), 조구(ST38), 상거허(ST37), 족삼리(ST36), 독비(ST35), 양구(ST34)에서 나머지 10명을 측정하였다.

이에 14경맥상 임맥에 속하는 경혈로 중기를 품고 영기가 나오는 곳인 중완(CV12)를 접지 및 기준점으로 선정하였다. 또한 Fig. 4와 같이 실험장비를 구성하고 Matlab version 7.1을 사용하여 시스템에서 측정된 10bit-digital값을 전송받아 처리하였다.

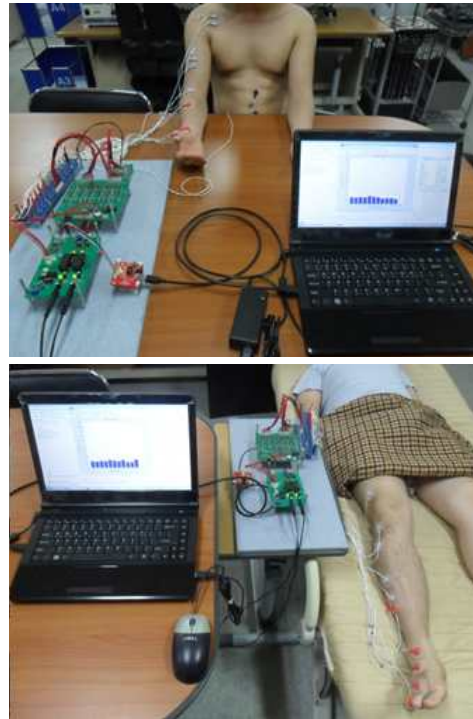


Fig. 4. Experiment set up in LU and ST meridians.

### 3. 측정 데이터 분석 방법

주파수에 따른 경락 주파수 측정 시스템의 측정값을 분석하기 위해서 PASW STATISTICS 18 (SPSS Inc. USA)을 이용하여 다항회귀분석(Quadratic Regression, Cubic Regression)을 사용하였다. Quadratic Regression과 Cubic Regression은 각각 비선형적인 모형에 대한 회귀분석 기법으로써, 각각 2차 곡선과 3차 곡선에 의한 최소제곱법을 이용한 회귀분석을 통하여 결과를 도출하였으며, 또한 경혈의 좌/우의 동질성을 검정하기 위하여 소프트웨어를 통하여 Logistic Regression을 사용하였다. 도출된 결과에 대한 유의성 판별을 위하여 유의 수준 0.05에서 결과를 분석하였으며, 유의 확률이 유의 수준보다 작게 나올 경우 주파수에 따른 변화 패턴에 대하여 경혈 좌/우간의 상호 독립성을 반증하므로 좌/우의 변화 패턴이 연관성을 가지게 된다.

### III. 결 과

#### 1. 수태음폐경(LU)과 족양명위경(ST)에서 10단계 주파수 기변에 따른 측정값 분포

Fig. 5는 피험자 1명에 대하여 1kHz에서 10kHz까지의 경혈 저항 성분 측정값의 대표적 변화추이를 표현한 결과이다. 좌/우측 동일 경혈에서 자극주파수에 따른 측정값이 유사하거나 큰 차이를 보이는 다양한 패턴이 관찰되었다. 하지만 공통적으로 최저 자극주파수인 1kHz에서 모두 측정값이 낮게 측정됨을 확인하였다. 각 경혈마다 측정값의 최대치와 자극주파수는 각기 상이하게 관찰되었다. 하지만 Fig. 5와 같이, 좌/우측 수태음폐경의 경혈에서 8kHz, 9kHz, 10kHz에서 가장 높은 측정값이 관찰되었다. Fig. 6는 피험자 1명에 대하여 족양명위경의 1kHz에서 10kHz까지의 경혈 저항 성분 측정값의 대표

적 변화추이를 표현한 결과이다. 수태음폐경과 동일하게 경혈마다 주파수에 따른 측정값과 좌/우측 동일 경혈의 측정값의 상관관계성 또한 다양하게 관찰되었다. 또한 최저 자극 주파수인 1kHz에서 모두 측정값이 낮게 측정됨을 확인하였다. 하지만 좌/우측 경혈 저항 측정값의 최대치와 자극주파수는 각기 상이하게 관찰되었으나 수태음폐경과 다르게 좌/우측 족양명위경의 경혈에서 7kHz, 8kHz, 9kHz에서 가장 높은 측정값의 관찰빈도가 높음을 확인하였다. Fig. 5와 6에 표시된 사각형은 그 경혈에서 가장 크게 측정된 주파수이며, 이는 그 주파수에서 경혈의 저항성분이 낮게 측정되었다는 의미를 내포하고 있다. Table 1은 모든 피험자들의 수태음폐경과 족양명위경에서 측정된 값들을 평균 낸 결과로 가장 높은 측정값들이 관찰된 주파수를 나타낸 것이다. Table 1에서 확인된 결과는 Fig. 5와 6에서 확인된 바와 동일함을 관찰하였다.

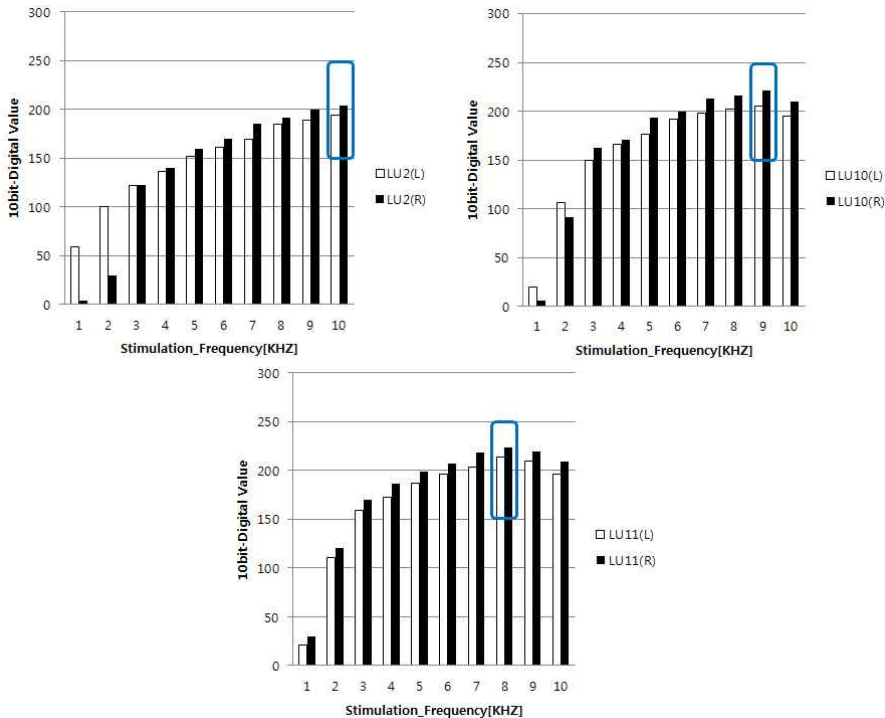


Fig. 5. The representative case of the various Acupoint impedance measurement in LU (n=1).

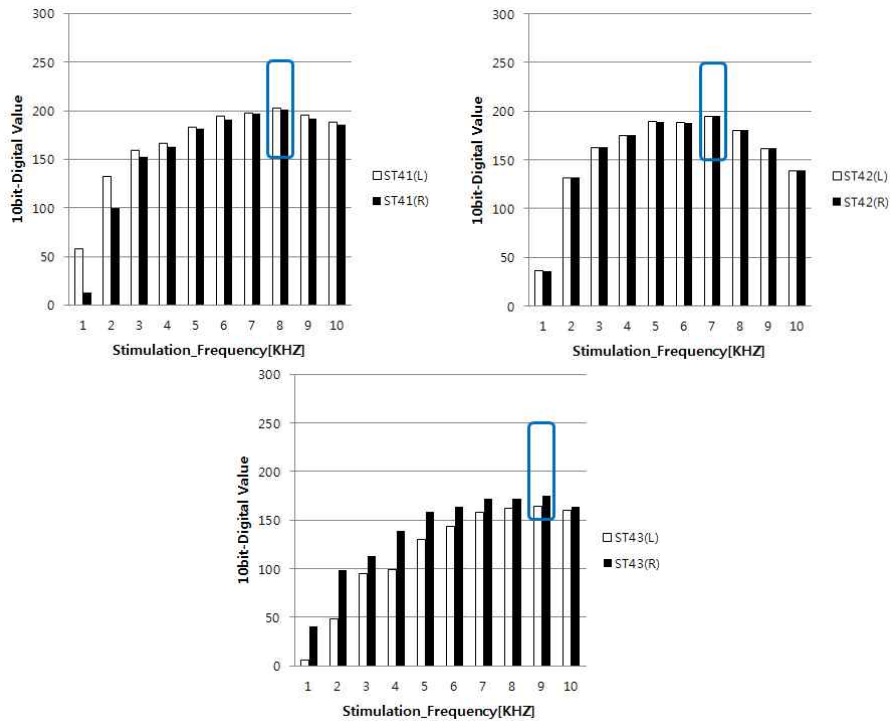
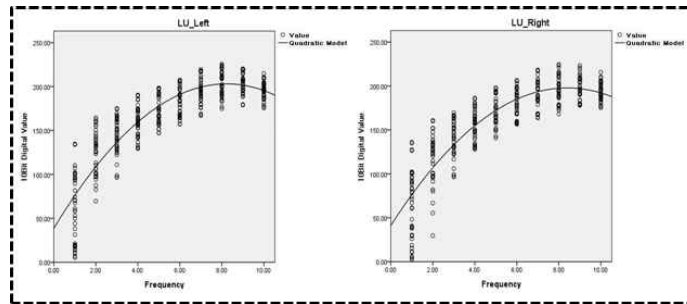


Fig. 6. The representative case of the various Acupoint impedance measurement in ST (n=1).

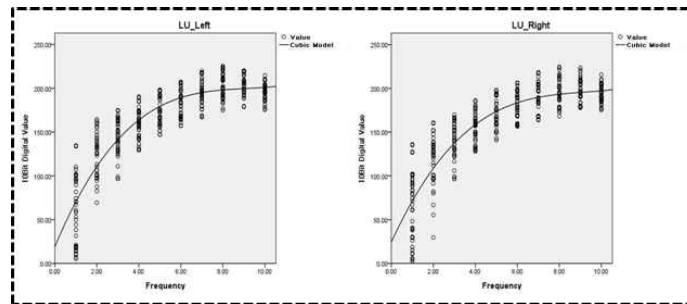
**Table 1. The frequency distribution result in observed maximum value on each acupoints in LU(n=10) & ST(n=10) meridians**

Acupoint	LU		ST		
	Left	Right	Acupoint	Left	Right
LU11	8kHz	8kHz	ST45	8kHz	8kHz
LU10	9kHz	9kHz	ST43	9kHz	9kHz
LU9	8kHz	8kHz	ST42	7kHz	7kHz
LU8	9kHz	10kHz	ST41	7kHz	7kHz
LU7	8kHz	8kHz	ST40	8kHz	8kHz
LU6	8kHz	8kHz	ST39	8kHz	8kHz
LU5	8kHz	9kHz	ST38	7kHz	7kHz
LU4	9kHz	9kHz	ST37	7kHz	7kHz
LU3	9kHz	9kHz	ST36	7kHz	8kHz
LU2	10kHz	10kHz	ST35	8kHz	8kHz
LU1	9kHz	9kHz	ST34	8kHz	7kHz

Fig. 7과 8은 각 수태음폐경(LU)와 족양명위경(ST)에서 좌/우측 경혈에 대하여 자극 주파수에 따른 측정값의 변화패턴이 유사한지에 대한 유의확률을 분석해본 결과, 모두  $P < 0.05$ 로 자극 주파수에 따른 측정값의 변화패턴이 유사한 것으로 확인하였다. 이에 좌/우측의 변화패턴이 유사한가에 대하여 Quadratic Regression과 Cubic Regression을 이용하여 비선형적 모델에 대해 2차, 3차 곡선으로 추이를 비교 분석해본 결과, 모든 경혈마다 각기 다른 측정값을 가지지만 전반적으로 좌/우측의 변화패턴이 유사한 것을 확인하였다.



(a) Quadratic Model in LU



(b) Cubic Model in LU

**Fig. 7. The Change pattern Left/Right Acupoint impedance measurement in LU (n=10).**



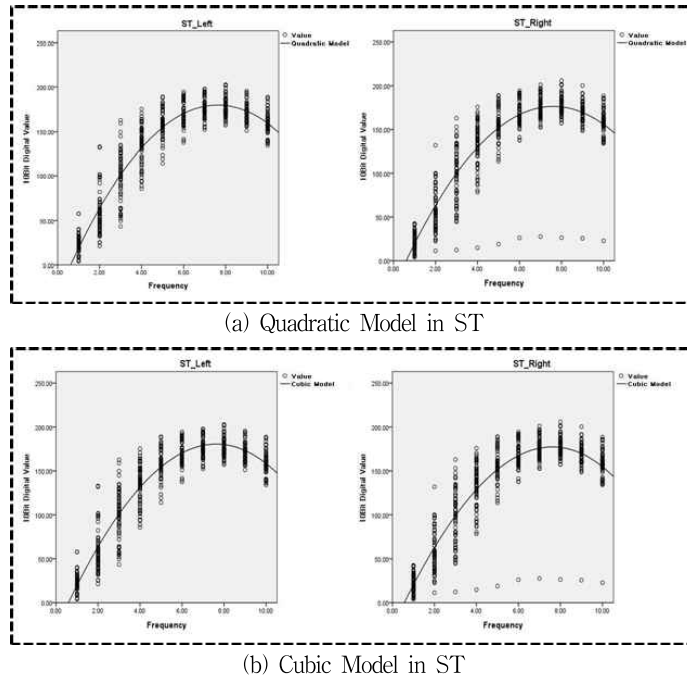
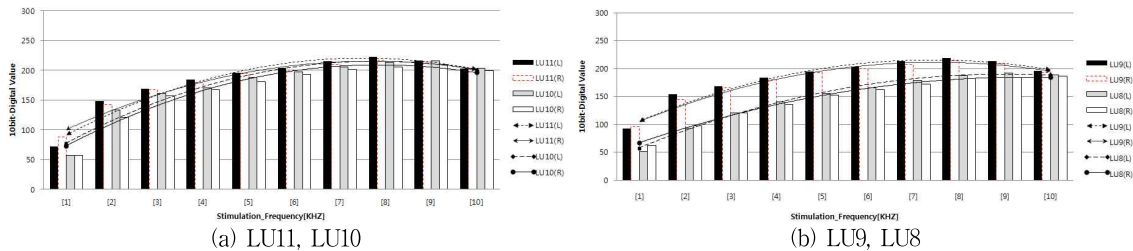


Fig. 8. The Change pattern Left/Right Acupoint impedance measurement in ST (n=10).

## 2. 주파수 가변에 따른 수태음폐경(LU)과 족양명위경(ST)에서 좌/우 동일 경혈의 상태변화 비교·분석

Fig. 9는 모든 피험자에 대하여 각 자극 주파수 대역에 따른 수태음폐경(LU)의 측정값을 평균 낸 결과이다. 1kHz에서 10kHz까지의 경혈 저항 성분 측정값의 최소, 최대값은 각 경혈마다 달랐으며 자극 주파수 대역에 따른 변동정도 또한 각기 상이하였다. 하지만 Fig. 9와 같이 동일 경혈에서의 주파수에 따른 측정값의 변동 추이가 유사한 것을 재확인

하였다. 좌/우 동일 경혈에서 최대값이 측정되는 주파수 대역의 동일여부에 관하여 회귀분석(Logistic Regression)을 해본 결과, 소상(LU11)  $P < 0.006$ , 어제(LU10)  $P < 0.000$ , 태연(LU9)  $P < 0.006$ , 경거(LU8)  $P < 0.000$ , 열결(LU7)  $P < 0.001$ , 공취(LU6)  $P < 0.006$ , 척택(LU5)  $P < 0.001$ , 협백(LU4)  $P < 0.000$ , 천부(LU3)  $P < 0.000$ , 운문(LU2)  $P < 0.000$ , 중부(LU1)  $P < 0.000$ 으로 분석되었다. 이에 모든 좌/우 동일 경혈에서  $P < 0.05$  이하로 최대값이 측정된 주파수 대역이 동일하다는 결과를 도출하였다.



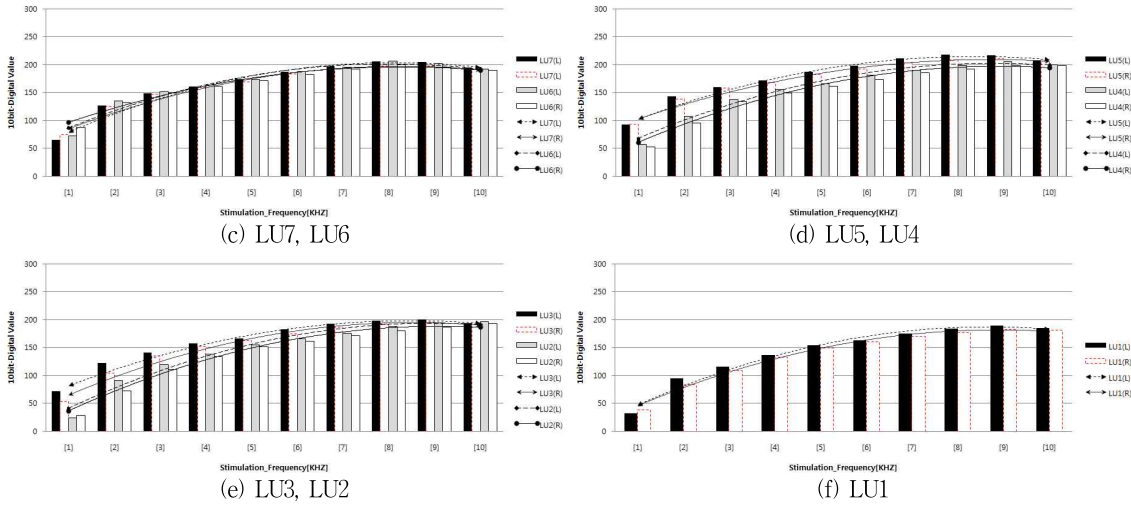
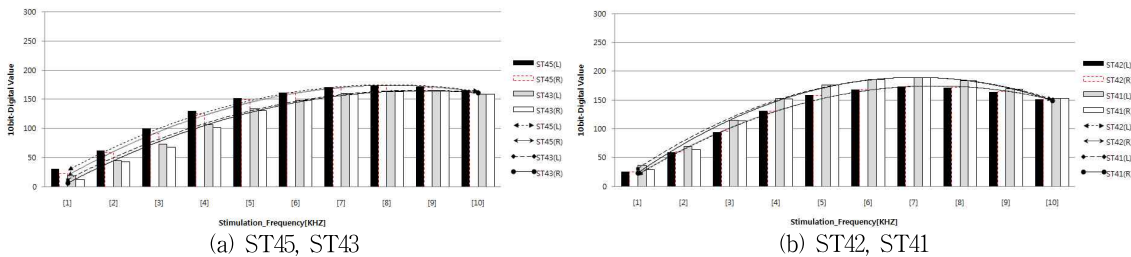


Fig. 9. Measurement value for multi-frequency stimulation in LU (n=10).

Fig. 10은 모든 피험자에 대하여 각 자극 주파수 대역에 따른 족양명위경(ST)의 각 경혈 저항 측정값을 평균 낸 결과이다. 수태음폐경(LU)과 동일하게 1kHz에서 10kHz까지의 경혈 저항 성분 측정값의 최소, 최대값은 각 경혈마다 상이하며 자극 주파수 대역에 따른 증가 정도가 다양하게 관찰되었다. 좌/우측의 측정값의 차이가 증/감하는 주파수 대역은 각기 다르나 동일 경혈에서의 주파수에 따른 측정값의 변동 추이가 유사한 것을 재확인하였다. 이에 모든 피험자에 대하여 각 좌/우 경혈마다 최

대 측정값이 측정된 주파수가 동일한지에 관하여 회귀분석(Logistic Regression)을 이용하여 분석해 본 결과, 여태(ST45)  $P < 0.000$ , 함곡(ST43)  $P < 0.000$ , 충양(ST42)  $P < 0.003$ , 해계(ST41)  $P < 0.068$ , 풍릉(ST40)  $P < 0.001$ , 하거허(ST39)  $P < 0.000$ , 조구(ST38)  $P < 0.031$ , 상거허(ST37)  $P < 0.023$ , 족삼리(ST36)  $P < 0.012$ , 독비(ST35)  $P < 0.006$ , 양구(ST34)  $P < 0.023$ 로 대부분의 경혈에서  $P < 0.05$  이하로 수태음폐경(LU)와 마찬가지로 유의한 결과를 확인하였다.



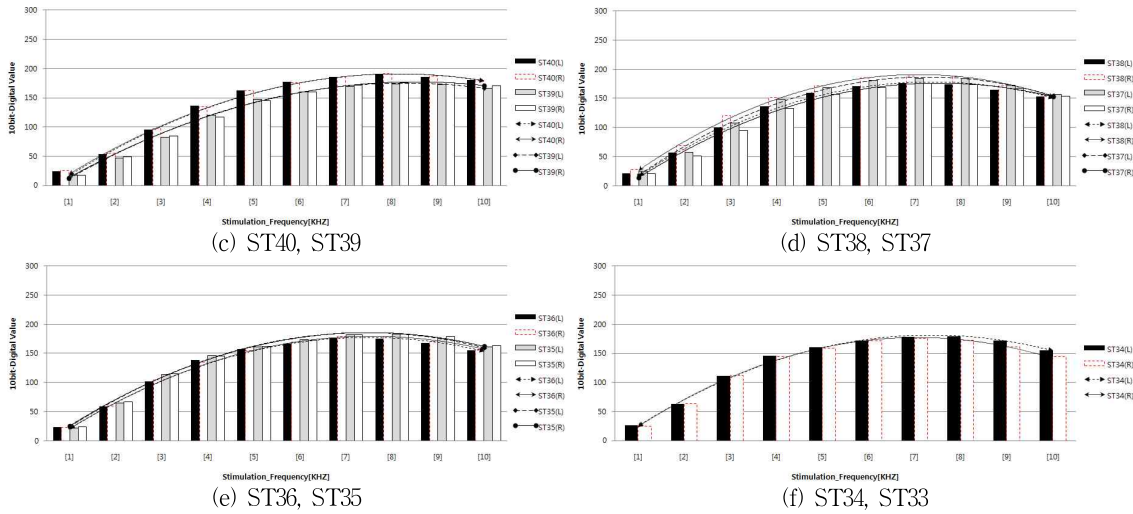


Fig. 10. Measurement value for multi-frequency stimulation in ST (n=10).

#### IV. 고 찰

각 경혈에 SPAC자극을 인가하였을 시 전도되는 전류의 양은 단위체적(V)당 이온수(Ni)에 비례한다. 이에 기존의 연구결과에서 X-ray 형광법을 이용하여 경혈의 화학성분을 분석한 결과, 비경혈에 비하여  $Ca^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ 과 같은 금속성 양이온의 분포가 매우 높으며 경혈에 분포된 이온이 각기 다르다고 규명되었다<sup>15)</sup>. 즉, 동일 주파수 대역에서 Equation 2에 따른 각 경혈의 A(Acupoint's peculiarity coefficient)값이 각각 다르므로 서로 상이한 측정값이 관찰되었다고 사료된다.

$$I_{acu} = \frac{ANi}{V}$$

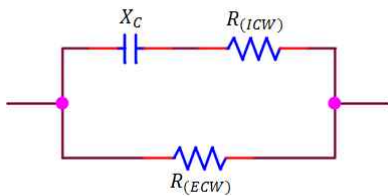
#### Equation 2. 경혈의 전도되는 전류의 양

$I_{acu}$ : Acupoint's conduction current A: Acupoint peculiarity coefficient Ni: ion quantity V: SPAC wave voltage

Fig. 11은 경혈에서의 세포 내외에 대한 등가회로를 모식화한 것이다. 자극전류가 저주파일 시, 세포막과 조직계면의 임피던스인  $X_c$ 가 증가함에 따라 인가전류는 체수분량을 통해서만 통과한다.

저주파에서 전류는 주로 세포의 방향으로 흐르며 이때 임피던스는  $R_{(ECW)}$ 와 동일하게 된다. 높은 주파수에서 전류는 세포막을 완전하게 통과하게 되며 이때 임피던스는  $R_{(ECW)} R_{(ICW)} / (R_{(ECW)} + R_{(ICW)})$  ( $ECW$ :Extra-cellular water,  $ICW$ :Intra-cellular water)와 같다. 즉 자극 주파수 대역에 따라 전체 경혈의 임피던스의 크기가 다르며 이는  $Z^2 = R^2 + Xc^2$ 으로 정의 가능하다. 전체 경혈의 임피던스 크기가 최대값일 시는 자극 주파수가 임계주파수 혹은 특성주파수일 때이다. 특성주파수는  $Xc$ 가 최대가 될 때의 주파수이며 Capacitance와 세포내의 Resistance가 세포막의 투과성, 세포내 조성과 세포의 크기 형태 방향 그리고 조직의 분포 등의 차이에 기인한 것이다.  $Xc = 1/2 \pi f C$ 이므로 저주파일수록 전체 경혈의 임피던스 크기가 증가함에 따라 전류의 흐름이 원활하지 않으며 측정값이 낮아진다. 이와 같이 모든 경혈에서 자극 주파수 중 최소 측정값이 나타나는 특성주파수는 1kHz로 확인되었다. 특성주파수를 넘으면 세포막과 조직계면이 용량성 능력을 상실하게 되고  $Xc$ 는 감소하게 된다. 결과적으로 전체 경혈 임피던스 크기가 작아지며 경혈의 세포 내외로 전류가 소통함에 따라 측정값

은 최대값과 근접하는 추이를 확인가능하다. 경혈마다 세포막의 상태가 각기 다르므로 자극 주파수에 의한 세포막과 상호작용이 다르게 작용된다. 이에 따라 최대값이 측정되는 주파수 대역은 각기 다르며 고주파로 갈수록 측정값이 증가하는 추이를 확인하였다. Equation 2에서 의미한 A(Acupoint peculiarity coefficient)는 저주파일 시 세포외액의 이온의 양을 의미하며 고주파로 갈 시, 세포 내외의 총체이온양을 의미한다. 이에 따라 각 경혈의 세포 내외의 상태가 각기 다르므로 10단계 주파수 대역에서 서로 상이한 측정값이 관찰됨을 확인하였다. 이에 Fig. 5와 6의 LU10, LU2, ST41, ST43에서 1kHz, 2kHz의 좌/우 측정값의 낮은 상관성을 확인함에 따라 이는 동일 경혈안의 저주파 대역에서 이온의 양이 각기 상이한 결과이므로, 한의학적 경맥 관점에서의 진단 가능성을 시사한다.



**Fig. 11. Equivalent circuit diagram in a cell or tissue inside and outside.**

Firce's circuit. Two parallel electrical conductors:  $R_{(ECW)}$ :  $H_2O-Na$ ,  $R_{(ICW)}$ :  $H_2O-K$ , isolated by a cell membrane( $X_c$ ).

## V. 결 론

한의학의 진단의 중요한 지표인 경락과 경혈의 전기적 특성을 객관적으로 평가하기 위하여 경혈 자체의 세포 내·외막에 존재하는 이온 양에만 반응하는 [12channels meridian impedance measurement system]을 개발하였다. 이 시스템을 이용하여 경락·경혈 상태의 판별을 객관화하기 위한 유의성을 확보하고자 수태음폐경(LU)에서의 좌/우 소상(LU11), 어제(LU10), 태연(LU9), 경거(LU8), 열결(LU7), 공취(LU6), 척택(LU5), 협백(LU4), 천

부(LU3), 운문(LU2), 중부(LU1)을 1kHz에서 10kHz의 주파수 대역으로 자극하여 그에 대한 반응을 측정하였다. 또한 경락마다 경혈의 전기적 특성의 차이가 있는지에 대한 판별을 하기 위하여 족양명위경(ST)의 좌/우 여태(ST45), 함곡(ST43), 충양(ST42), 해계(ST41), 풍릉(ST40), 하거허(ST39), 조구(ST38), 상거허(ST37), 족삼리(ST36), 독비(ST35), 양구(ST34)를 측정하였다. 두 경락의 모든 경혈에서 1kHz 주파수 대역에서 가장 낮은 측정값이 관찰되었으며 수태음폐경(LU)은 8kHz, 9kHz, 10kHz에서 최대값의 빈도가 높았고 족양명위경(ST)은 7kHz, 8kHz, 9kHz에서 최대값의 빈도가 높았다. 좌/우 동일 경혈에서 최대값이 측정되는 주파수 대역의 동일 여부는 수태음폐경(LU)의 경우 소상(LU11)  $P < 0.006$ , 어제(LU10)  $P < 0.000$ , 태연(LU9)  $P < 0.006$ , 경거(LU8)  $P < 0.000$ , 열결(LU7)  $P < 0.001$ , 공취(LU6)  $P < 0.006$ , 척택(LU5)  $P < 0.001$ , 협백(LU4)  $P < 0.000$ , 천부(LU3)  $P < 0.000$ , 운문(LU2)  $P < 0.000$ , 중부(LU1)  $P < 0.000$ 로 확인되었고 족양명위경(ST)의 경우 여태(ST45)  $P < 0.000$ , 함곡(ST43)  $P < 0.000$ , 충양(ST42)  $P < 0.003$ , 해계(ST41)  $P < 0.068$ , 풍릉(ST40)  $P < 0.001$ , 하거허(ST39)  $P < 0.000$ , 조구(ST38)  $P < 0.031$ , 상거허(ST37)  $P < 0.023$ , 족삼리(ST36)  $P < 0.012$ , 독비(ST35)  $P < 0.006$ , 양구(ST34)  $P < 0.023$ 로 최대값이 측정된 주파수 대역이 동일한 결과를 확인하였다. 각 경혈에서 주파수대역에 따른 측정값의 변화 추이가 좌/우 모든 동일 경혈에서  $P < 0.05$ 로 유사함을 확인하였다. 또한 각 경혈마다 가장 높은 측정값의 주파수 대역이 상이하나 좌/우 동일 경혈에서는 대다수 일치한 것으로 확인되었다. 고주파 대역에서는 세포막을 투과하여 국소적 부위의 총체수분량 즉 이온량에 비례한 양이 측정된 바, 이는 경혈의 상태를 대변하고 경혈의 작용과 밀접한 관계를 시사한다. 또한 한의학적 경맥 관점에서 정상인의 좌/우 동일 경혈의 상태의 상관성이 높아야 한다는 기존의 연구결과가 보고된 바, 좌/우 동일 경혈에서 저주파 대역에서의 세포의 이온양과 고주파 대

역에서의 세포 내·외 이온양이 반영된 측정값의 상관성을 판별하여 한의학적 진단 방법으로 사용 가능성을 확인하였다. 한의학 진단 치료의 핵심인 경락·경혈의 주파수 특성을 반영할 수 있는 시스템 개발을 하였으며, 새로운 진단방법으로의 유용성을 평가하였다. 추후 연구 계획으로는 본 시스템을 이용하여 한의학적 병증 진단을 위한 다양한 임상과, 침/뜸, 부항 및 일반 물리치료 요법들에 관한 치료효과 객관화를 위한 지표 설정을 위한 실험을 진행하여 새로운 한의학 진단법을 제시하고자 한다.

### 감사의 글

본 연구는 2010년도 과학재단 일반연구자 지원(신진연구)에 의해 수행된 기초연구 사업임

### 참고문헌

1. Zhu ZX, Xu RM, Yue SY, Hao JK, Xie JG. The low impedance nature of meridian lines before and after amputation. *British Journal of Acupuncture*. 1988 ; 11(1) : 25-7.
2. Luciani RJ, Direct observation and photography of electroconductive points on human skin. *American Journal of Acupuncture*. 1978 ; 6 : 311-7.
3. Nakatani Y. Skin electric resistance and Ryodoraku. *J Autonomic Nerve*. 1956 ; 6 : 52.
4. Pack YB. The principle of Ryodoraku and Clinical Utilization. *The third medicine*. 1996 ; 1(2) : 83-94.
5. Ionescu-Tirgoviste C, Constantin D, Bratu I. Electrical Skin Resistance In the Diagnosis of Neuroses. *American Journal of Acupuncture*. 1974 ; 2 : 247-52.
6. Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuk WW, Lykken GI. Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *The American journal of clinical nutrition*. 1985 ; 41(4) : 810-7.
7. Segal KR, Gutin B, Presta E, Wang J, Van Itallie TB. Estimation of human body composition by electrical impedance methods: a comparative study. *Journal of applied physiology*. 1985 ; 58(5) : 1565-71.
8. Deurenberg P, Weststrate JA, Hautvast JG. Changes in fat-free mass during weight loss measured by bioelectrical impedance and by densitometry. *The American journal of clinical nutrition*. 1989 ; 49(1) : 33-6.
9. Gray DS, Bray GA, Gemayel N, Kaplan K. Effect of obesity on bioelectrical impedance. *The American journal of clinical nutrition*. 1989 ; 50(2) : 255-60.
10. Kanai H, Haeno M, Sakamoto K. Electrical measurement of fluid distribution in legs and arms. *Medical progress through technology*. 1987 ; 12 : 159-70.
11. De Lorenzo A, Sasso GF, Andreoli A, Sorge R, Candeloro N, Cairella M. Improved prediction formula for total body water assessment in obese women. *International journal of obesity and related metabolic disorders*. 1995 ; 9 : 535-8.
12. Eu YK, Ko SB, Jeong DM. A Study on Improvement of a Acupoint Discrimination System by SPAC Stimulating Parameters. *工業技術開發研究誌*. 1998 ; 18 : 75-83.
13. Shin MH, Eu YK, Jeong DM, Kim SK. A Study on the Recognition of Dominant Direction of Meridian Using of Acupoint Discriminator (DM96A-1). *The Institute of Electronics Engineers of Korea*. 1997 ; 20 : 741-4.
14. 전국한의과대학·한의학전문대학원 경락경혈학

교재편찬위원회. 大學經絡經穴學實習. 1판. (도)  
중려나무. 2010 : 24-6, 192-205, 262-75.

15. Yan X, Zhang X, Liu C, Dang R, Huang Y,

He W, Ding G. Do acupuncture points exist?  
Physics in medicine and biology. 2009 ; 54(9)  
: N143-50.