
집속형 가변 전자계 자극에 대한 경락반응특성

이균정* · 조동국* · 김수병* · 권선민* · 신태민* · 이경중* · 이용흠*

Response Properties of Meridians for focused variable electromagnetic stimulus

Gyoun-Jung Lee* · Dong-Guk Cho* · Soo-Byung Kim* · Sun-Min Kwon* · Tae-Min Shin* ·
Kyoung-Joung Lee* · Yong-Heum Lee*

이 논문은 지식경제부 차세대신기술개발사업의 연구비를 지원받았음

요 약

통증을 치료하기 위한 방법으로 약물요법, 신경차단법, 외과적 수술 등이 있으며, 대체물리요법으로 침구치료, 초음파, 전기 치료, 자기장 치료 등이 응용되고 있다. 이중 전기치료요법이 많이 이용되고 있으나, 피부나 피하조직의 임피던스에 큰 영향을 받으며, 주로 경피자극이 주된 방법으로 효과가 매우 확률론적이다. 본 연구에서는 집속형 자기장을 이용하여 경혈이나 치료점에 대한 국소 부위를 비침습적으로 자극 할 수 있는 새로운 시스템을 개발하였다. 수기자극과 유사한 자극을 유도할 수 있는 새로운 자기장 침 전극(자기장 자극의 효율성을 고려하여 새로운 형태)을 설계하였다. 개발된 시스템의 임상적 유효성 및 신뢰성을 평가하기 위하여 수기자극과 자기장 자극에 대한 경락전위변화를 측정하여 비교하였다. 실험 결과 자기장 자극 시 수기자극을 할 때 나타나는 충전·방전 형태의 전위변화와 유사한 경락전위변화가 측정되었으며, 자극방식, 세기, 빈도를 조절함에 따라 다양한 반응특성이 나타남을 확인하였다. 또한, 전자계장 자극에 의해 경락전위변화를 유도할 수 있어 이를 이용한 새로운 경혈자극 및 통증치료기로서의 가능성을 확인하였다.

ABSTRACT

It is a method to treat pain using medication, neurotomy, and surgery. And acupuncture, ultrasound, electric treatment, and magnetic treatment are applied as a alternative physiotherapy. Electronic therapy is useful but it can be affected by impedance of skin or subcutaneous tissue. So, percutaneous stimulation is leading therapy, that is very randomly. We developed the system which can stimulate parts of acupuncture point noninvasively using the focused magnetic field. And we designed the magnetic stimulation electrode which is considered efficiency of the magnetic stimulation. It can make similar stimulation with manual acupuncture. To confirm the availability and reliability we compared Meridian Electronic Potential(MEP) change between manual acupuncture and magnetic stimulation. From this result, we found out the MEP changes of manual acupuncture and magnetic stimulation were similar. And there were various response properties as changes of stimulation method, intensity, and frequency. Also, the MEP change can be induced by electromagnetic stimulation. We confirmed that it is possible to use electromagnetic stimulation as a acupoint stimulation or pain treatment instrument.

키워드

Pain, Acupuncture, Magnetic Stimulation, Acupoint Stimulation, Meridian Stimulus

I. 서 론

경혈과 경락은 인체의 생리기능, 병리변화 및 장부와의 상호관계를 대변하는 한의학 이론체계의 중요 구성부분이다. 이러한 경락·경혈은 인체외부 자극을 수용하고 인체내부 상태를 외부로 나타낸다. 따라서 경혈은 경락의 진단부위인 동시에 치료점이 되며, 경락을 통해 장부간의 상호작용의 결과가 나타나게 된다. 침구치료는 이러한 경혈, 경락을 자극함으로써 치료효과를 얻는 치료수단이다. 침구치료가 세계보건기구(WHO)에서 인정되면서 과학적 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 전기 생리학적 관점에서 “경혈·경락이 비경혈·비경락 보다 전기 저항이 낮으며, 전기 용량성이 크다[1],[2],[3],[4],[5],[6]”라는 의견에서 일치를 이루고 있다.

이와 같은 전기적 특성을 이용한 전기침 자극요법은 경혈 부위에 침전극이나 전도성 도자를 부착시킨 다음 저빈도, 저강도 및 펄스 형태의 전류를 사용, 미소 전기자극을 인가하여 줌으로써 통증을 치료하는 것을 목적으로 한다. 이러한 전기 치료 요법은 1965년 Melzack과 Wall의 통증 조절에 대한 관문조절설(The gate control theory)[7]로 발표되었다. 이 학설에 의거하여 경피성 전기신경자극요법(Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation, TENS)이 만들어졌으며, 이는 전기 자극을 통하여 통증지각을 감소시키는 자극요법이다 [8][9]. 전기침 자극 요법은 임상연구에 널리 사용되고 있으며 통증완화 효과에 대한 많은 연구결과들이 보고되고 있다.

그러나 전기적 자극에 대한 불쾌감이나 부작용으로 인하여 자기장 자극요법이 임상에 적용되었다. 정자기장(Static Magnetic Fields, SMFs) 자극은 주로 통증치료에 이용되며 통증 부위나 부종이 발생한 부위에 부착함으로써 질환을 개선하는 방법으로 많은 연구들에 의해 치료효과가 입증되고 있다. 이에 대한 연구들로는 생체 시스템에 미치는 영향[10], 통증 치료 효과[11] 등이 진행되고 있다. 통증 치료에는 어깨·목의 만성 통증[12], Post-polio 증후군[13], 요통[14], 말초성 신경장애[15], 만성 골반통증[16], 섬유근 통증[17], 만성두통[18], 류머티즘성 관절염[19], 월경불순[20], 피로회복[21] 등에 대한 연구들이 있다. 이러한 연구들은 통증의 종류, 자극 방법, 자극 시간, 치료기간, 자기장의 강

도 등에 따라 그 결과가 다양하나 40mT 이상의 자기장 세기로 자극하거나 45분동안 자기장으로 자극하였을 경우 통증 완화 현상을 관찰할 수 있음에 일치하고 있다[11].

SMFs 자극을 통한 통증 완화 연구들은 자기장 자극이 생체 시스템에 미치는 영향에 대하여 명확히 밝혀진 바가 없어 대부분 자극 결과의 현상을 통하여 자기장 자극의 효과를 입증하고 있다. 현재 자기장 자극이 생체 시스템에 미치는 기전에 대한 여러 가설 중에 유력시 되는 가설은 “신경 자극설”이다. 이는 자기장 자극이 생체 내 단백질로의 이온 이동을 가속화함으로써 막전위를 변화시켜 탈분극이 일어나며 주위 신경세포 및 말초신경에 영향을 주게 된다는 것이다[21]. 전기 생리학적으로 기의 불균형은 세포에서의 이온 흐름과 관련하여 설명되어진다. 생체 내에서 이온의 흐름은 혈액에서의 영향분을 이동시키는 역할을 하며 필요한 장소에 공급하는 역할을 한다. 이 중 소듐과 칼슘은 농도차에 의한 확산력과 Active Pump로 세포 내·외막의 농도를 일정하게 유지한다. 그러나 이러한 이온의 흐름에 이상이 발생하면 세포 기전의 변화로 인해 인체에 이상 현상이 발생하고 이때 필요이상의 전하가 응집되어 과충전 상태를 만들어 생체에너지 즉 기의 흐름을 방해하거나 정체시킴으로써 기의 불균형이 발생한다[22].

기의 불균형은 해당 경락선상의 경혈에 반응하게 되고 이상질환과 통증을 유발하게 된다. 이때 침을 이용한 경혈 자극은 경혈점에 응집된 전하를 방출시켜 세포의 이온농도에 영향을 주어 막전위가 평형상태에 이르도록 하며, 정상적인 이온의 흐름을 유도하는 역할을 한다[22]. 따라서 침구치료의 효과는 세포막에서 이온의 흐름과 밀접한 관계가 있으며 이러한 침구치료 작용 기전은 자기장 자극의 기전과 상당히 일치함을 보인다.

본 연구에서는 고정자계 방법이 아닌 집속형 가변자계를 이용하여 경혈을 자극할 경우, 경락전위변화에 미치는 영향을 확인하고자 한다. 비침습적으로 경혈부위에 자속을 집속시킬 수 있는 새로운 형태의 전극을 설계하였고, 최대 8채널 동시 자극이 가능한 구동 시스템을 구현하였으며 사용자의 편의를 위한 GUI(Graphical User Interface)를 Windows CE 5.0을 이용해 구성하였다. 또한 기초 임상결과를 근거로 국소 집속

형 자계자극이 경혈 자극에 대한 경락전위변화에 어떠한 반응특성을 유발시킬 수 있는지 확인하고, 경혈이나 치료점 자극을 통한 새로운 통증치료기기로써의 가능성을 확인하고자 한다.

II. 집속형 자기장 발생 시스템

2.1 EMAS Current Drive System

전자석 침 자극기(ElectroMagnet Acupuncture Stimulator, EMAS)에서 설정된 데이터를 이용하여 전자석을 제어하기 위해서는 전자석에 인가되는 전류의 세기와 방향을 제어해야 한다. 따라서 이와 같이 전류제어를 목적으로 그림 1과 같이 EMAS Current Drive System을 개발하였다.

EMAS Current Drive System은 EMAS WinCE System으로부터 받은 데이터의 처리 및 전자석에 인가되는 전류를 제어하기 위해 Atmega128을 사용하였으며, 전자석에 원하는 전류를 인가하기 위하여 4개의 Dual Bridge Driver를 사용하였다. Dual Bridge Driver에서 전자석에 인가되는 전류세기를 제어하기 위하여 PWM(Pulse Width Modulation)을 사용하였으며, 8채널에 안정적인 전류 공급을 위하여 최대 출력이 24V, 2.3A까지 출력 가능한 별도의 외부전원을 사용하였다.

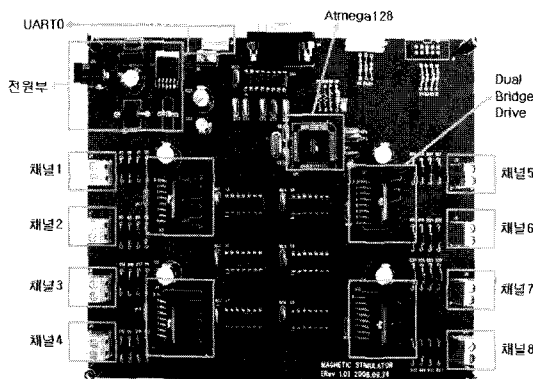


그림 1. EMAS 전류구동 시스템
Fig 1. EMAS Current Drive system

III. 연구방법

3.1 경혈 자극 및 경락 전위 측정

본 연구에서는 개발된 전자석과 자기장 자극 시스템을 이용하여 경혈에 자기장을 자극 시 경락에서의 전위변화를 측정하고 수기자극 시 나타나는 경락전위변화와 비교하였다. 이를 통해 자기장 자극이 침 치료의 보조적 역할을 할 수 있음을 확인하고 효과적으로 경혈을 자극할 수 있는 새로운 방법을 제시하고자 한다.

3.2 피실험자 선정

피실험자 선정은 10명의 20(27±1.83)대 남자를 대상으로 하였으며, 족양명위경은 주로 위장의 상태를 대변하고 있으므로 위장관련 질병이나 질환에 대한 병력이 없는 사람을 대상으로 하였다.

3.3 경락 전위 측정

경혈에 자기장 자극 시 경락에서의 전위를 측정하기 위하여 16bits 분해능을 가지는 A/D 변환기, 생체신호를 처리 분석할 수 있는 소프트웨어를 겸비한 고성능 생체증폭기인 ADInstruments 사의 PowerLab을 이용하였다. 신호 분석을 위해 ADInstruments사의 생체신호처리 전문 프로그램인 Chart v5를 사용하였다.

3.4 임상 실험 방법

경혈에 자기장 자극 시 경락에서의 전위변화를 측정하기 위하여 그림 2와 같이 구성하였다. 피실험자를 대상으로 경혈인 족삼리(ST36)에 자기장 자극을 하기 위하여 제작된 전자석을 부착하였다.

또한 자극방법, 자극 세기, 자극 주파수를 변경하면서 자극하였을 때의 경락전위변화 관찰을 위하여 족양명위경의 상거허(ST37)와 허거허(ST39)에 각각 (+)침전극, (-)침전극을 삽입하였다. 실험에 앞서 모든 피실험자는 경락전위가 안정전위로 유지할 때까지 절연된 침대에 누워 안정을 취하게 하였으며, 측정 중에는 피실험자의 움직임으로 인해 발생할 수 있는 잡음을 최소화하기 위하여 피실험자의 움직임이 없는 상태에서 실험을 진행하였다.

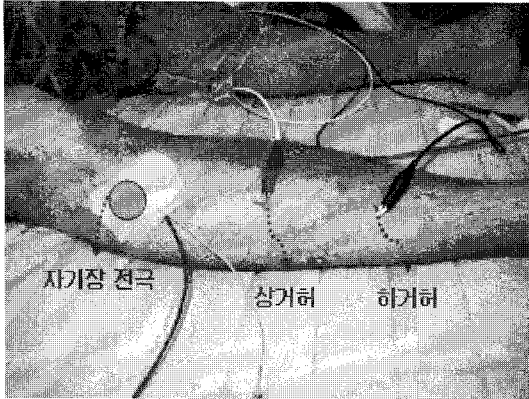


그림 2. 자기장 자극에 따른 경락 전위차 측정을 위한 혈 장면

Fig 2. Clinical experiment setting to measure Meridian Electric Potential(MEP) with stimulation electromagnetic

먼저 기존의 영구자석을 이용한 자기장 자극과 달리 자극 방법, 자극 주파수, 자극 세기를 선택 및 자극 할 수 있는 시스템과 전자석을 이용하여 자기장 자극 변화에 따른 경락전위변화를 관찰함으로써 시스템과 전자석의 유의성 및 성능을 검증하기 위해 피실험자를 대상으로 자극 방법, 자극 주파수, 자극 세기에 대한 경락에서의 전위변화를 관찰하였다. 자극 방법에는 5가지 방법으로 N극·S극 교번 자극, 펄스 N극과 펄스 S극 자극, 단일 N극과 단일 S극 자극으로 하였으며, 각각의 자극방법마다 자극 세기와 자극 주파수를 교번하면서 자극 하였다. 피실험자를 고려하여 자극세기는 2mT, 5mT, 7mT 3단계로 가변 하였으며, 자극 주파수는 0.5Hz, 1Hz 2단계로 가변하였다.

자기장 자극 변화에 따른 경락전위변화를 측정한 결과를 토대로 5명의 피실험자에게 주파수와 자극 세기를 고정하고 자극 방법에 따른 경락전위변화를 관찰 하였다. 이때 자기장 자극 시 발생하는 peak 전위와 고주파 성분의 신호를 제거하기 위하여 40Hz Low-pass Filter를 사용하였다. 자극 방법은 N극, S극 교번 자극, 펄스 N극과 펄스 S극 자극, 단일 N극과 단일 S극 자극으로 하였으며, 자극세기는 7mT, 자극주파수는 0.5Hz로 설정하였다.

모든 실험에서 경락 전위변화는 30초간 측정하였다. 자기장 자극 시 나타나는 신호만을 관찰하기 위하여 초기 10초 동안은 아무런 자극을 가하지 않고 안정전위를 유지하게 하였으며 이후 10초 동안 자기장 자극을 인가

하였고 마지막 10초 동안 자극을 하지 않은 상태에서 전위변화를 관찰하였다.

IV. 실험 결과

4.1 자기장 자극 변화에 대한 경락전위 분석

연구에서 자극세기, 자극주파수, 자극방법에 따른 경락전위변화를 관찰하기 위하여 피실험자를 대상으로 각 자극방법에 따라 자극세기, 자극주파수를 가변하면서 경락전위변화를 관찰하였다.

4.1.1 N극·S극 교번 자극 시 경락전위 분석

족삼리(ST36)에 전자석을 부착하고 N극·S극 교번 자극을 하면서 자극세기를 3단계로 가변시켰을 때의 경락전위변화를 측정하였다. 자극은 1초에 한번 씩 N극·S극을 교번하도록 하였으며, 안정전위 유지 후 10-20초 사이에 자기장 자극을 하였다. 그림 3은 자극세기 7mT, 주파수 0.5Hz일 때의 경락 전위 변화를 보여주고 있다.

안정화 기간 동안 전위의 변화가 없다가 자기장 자극을 가하는 순간 (-)방향으로 peak가 발생한 후 다시 안정전위로 회복되었다. 이후 극을 바꾸는 순간 (+)방향으로 peak가 발생하였고 다시 안정전위로 회복을 반복하였다. 즉 극을 바꾸는 순간에는 peak 전위가 발생하고 자극을 가하고 있는 동안에는 안정전위로 회복하는 전위변화가 관찰되었다.

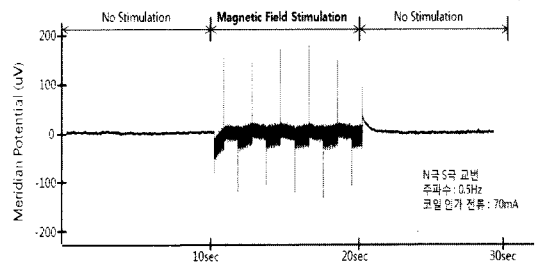


그림 3. N극·S극 교번 자극의 경락전위변화

Fig 3. Meridian Electroic Potential(MEP) change of N · S pole alternating stimulation

2mT 세기에서 발생하는 peak to peak 전위는 121.6 ± 40.3uV이며, 4mT 세기에서 발생하는 peak to peak 전

위는 $198.0 \pm 60.8 \mu\text{V}$ 이고 7mT 세기에서 발생하는 peak to peak 전위는 $276.0 \pm 84.2 \mu\text{V}$ 로 나타났다. 이 결과 자극세기를 증가시킬수록 peak 전위가 증가함을 알 수 있다.

4.1.2 펄스 S극 자극 시 경락전위 분석

경혈인 족삼리(S36)에 펄스 형태의 S극 자극을 하면서 자극세기를 3단계로 가변 시켰을 때의 경락전위변화를 관찰하였다. 자극은 규칙적으로 1초 동안 S극 자극을 하였으며, 자극하는 순간 (-)전위로 peak가 발생한 후 안정전위로 회복되었고, 자극을 멈추는 순간 역시 (-)전위로 peak가 발생한 후 (+)전위에서 안정전위로 회복되는 전위변화가 관찰되었다. 그림 4은 자극 세기 7mT, 주파수 0.5Hz 에서의 경락 전위 변화를 보여주고 있다. 펄스 형태의 S극 자극은 N극·S극 교번 자극과 달리 (+)전위로 peak가 발생 하지 않았으며, 자극 순간과 자극을 멈추는 순간 모두 (-)전위로 peak가 발생하였다.

2mT 세기에서 발생하는 peak to peak 전위는 $108.2 \pm 22.6 \mu\text{V}$ 이며, 4mT 세기에서 발생하는 peak to peak 전위는 $118.9 \pm 38.1 \mu\text{V}$ 이고 7mT 세기에서 발생하는 peak to peak 전위는 $153.1 \pm 40.6 \mu\text{V}$ 로 나타났다. 펄스 S극 자극에서도 자극세기를 증가시킬수록 자극을 멈추는 순간 발생하는 peak to peak 전위가 증가함을 관찰하였다.

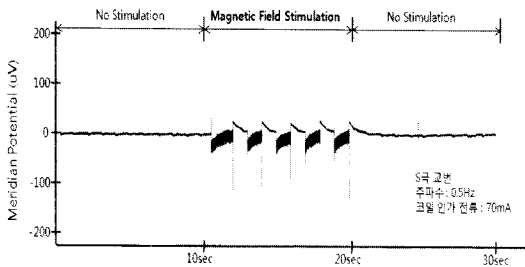


그림 4. 펄스 S극 자극에서의 경락전위변화
Fig 4. MEP change of S pole pulse stimulation

4.1.3 펄스 N극 자극 시 경락전위 분석

경혈인 족삼리(S36)에 펄스 형태의 N극을 자극 하면서 전류를 3단계까지 가변하여 경락전위변화를 측정하였다. 자극은 규칙적으로 1초 동안 N극 자극을 하였

으며 그림 5은 자극 세기 7mT, 주파수 0.5Hz일 때 측정 한 결과이다. 자극하는 순간 (-)전위로 peak가 발생하였고, 자극을 멈추는 순간에는 (+)전위로 peak가 발생하였다. peak 전위 발생 후 방전되는 형태의 전위변화가 침 자극 시 나타나는 충전·방전 형태의 전위변화와 가장 유사하게 나타났다. 따라서 펄스 형태의 N극 자극이 수기법 중 타침법과 전기적으로 유사한 자극임을 확인할 수 있었다.

2mT 세기에서 발생하는 peak to peak 전위는 $232.5 \pm 62.3 \mu\text{V}$ 이며, 4mT 세기에서 발생하는 peak to peak 전위는 $358.2 \pm 90.6 \mu\text{V}$ 이고 7mT 세기에서 발생하는 peak to peak 전위는 $455.0 \pm 100.5 \mu\text{V}$ 로 나타났다. 이 결과 펄스 형태의 N극 자극은 같은 세기로 자극하였을 때 다른 자극들 보다 peak 전위가 높게 발생하는 것을 관찰할 수 있었다.

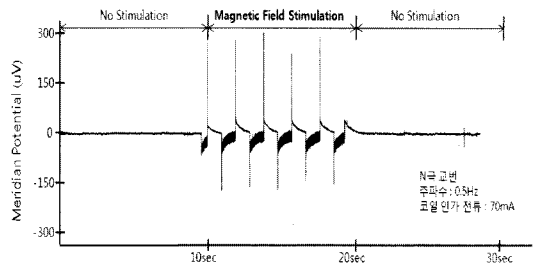


그림 5. 펄스 N극 자극에서의 경락전위변화
Fig 5. MEP change of N pole pulse stimulation

4.1.4 단일 S극 자극 시 자극세기에 대한 경락전위 분석

경혈인 족삼리(S36)에 단일 S극 자극을 하였을 경우 경락전위변화는 그림 6와 같이 측정되었다. 자극은 영구자석과 유사하게 지속적으로 S극으로만 자극하였다. 그 결과 자극 순간 (+) 전위의 peak가 발생하였으며 자극을 멈추는 순간 (-) 전위의 peak가 발생하였다. 그러나 이러한 peak 발생은 불규칙하게 발생하였으며, 자극세기가 증가함에도 peak의 전위 역시 불규칙하게 측정되었다.

자극하는 동안 다른 자극들과 달리 큰 변화가 없었으며, 고주파 성분의 신호만이 측정되었다.

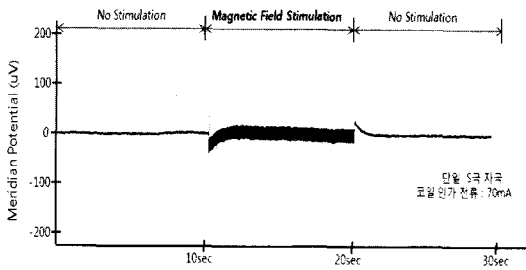


그림 6. 단일 S극 자극에서의 경락전위변화
Fig 6. MEP change of S pole stimulation

4.1.5 단일 N극 자극 시 자극세기에 대한 경락전위 분석

그림 7은 경혈인 족삼리(S36)에 단일 N극 자극을 하였을 경우 경락전위변화를 측정 한 결과이다. 자극은 영구자석과 유사하게 N극으로만 자극하였으며, 그 결과 자극 순간 (-)전위의 peak가 발생 하였으며, 자극을 멈추는 순간에는 (+)전위의 peak가 발생 하였다. 이러한 peak 발생은 단일 S극 자극 시 나타나는 peak 전위와 반대로 발생하였으며, 자극세기에 큰 반응을 보이지 않았다.

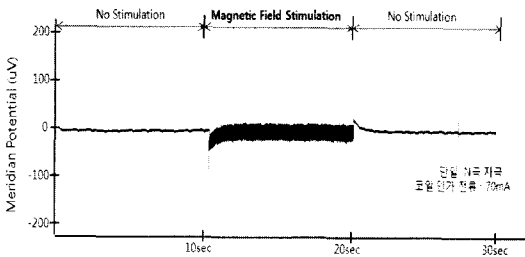


그림 7. 단일 N극 자극에서의 경락전위변화
Fig 7. MEP change of N pole stimulation

표 1은 자극방법 및 세기에 따라 경락에서 발생 한 peak to peak 전위를 측정 한 것이다. N극·S극 교번 자극 시 극이 바뀔 때 강하고 빠른 peak 전위가 발생하였으며, 펄스 형태의 N극과 S극 자극에서는 자극하는 순간과 자극을 멈추는 순간 빠르고 강한 peak 전위가 발생 하였다. 또한 단일 N극과 S극 자극에서는 빠르고 강한 peak 전위가 발생하지 않았다. peak 전위는 펄스 형태의 N극 자극에서 가장 크게 나타났으며 단일 형태의 N극·S극 자극에서 가장 낮게 측정되었다. 이러한 peak

전위의 발생은 자계의 변화로 인해 발생된 전위라 생각 된다. 즉, 전자석의 도선에서 흐르는 전류가 빠르게 변화함으로써 도선에서 변화되는 1차 자기장이 발생되고 이로 인해 인체 내에서 1차 자기장의 변화를 방해하려는 2차 자기장이 발생된다. 실험에서는 그로 인해 미약한 와전류(eddy current)가 발생하여 빠르고 강한 peak 전위가 발생했을 것으로 판단되며 피실험자마다 피부조직의 저항성분과 전기용량성 성분이 다르기 때문에 peak 전위가 불규칙하게 발생했을 것으로 판단된다. 이러한 peak 전위는 수기자극 중 침병을 잡고 놓는 행위를 반복하는 타침법으로 자극할 시 침병을 잡고 놓는 순간에 경락전위에서도 발생되며 불규칙적이고 매우 빠르게 나타난다. 이는 침병을 잡는 순간 침에 미약한 자기장이 유도가 되며 침병을 잡고 놓는 행위를 반복함으로써 자기장의 변화를 유도하게 되어 peak 전위가 발생되는 것으로 판단된다. 이를 통하여 수기자극 역시 전기 생리학적 관점에서 자기장 자극과 유사한 자극임을 확인할 수 있다.

표 1. 자극방법 및 자극세기에 따른 경락전위
Table 1. Meridian Electrical Potential (n=10)

자극방법	자극세기	평균 전위(uV)	표준 편차
N극·S극 교번	2mT	121.6	40.3
	5mT	198.0	60.8
	7mT	276.0	84.2
펄스 S극 자극	2mT	108.2	22.6
	5mT	118.9	38.1
	7mT	153.1	40.6
펄스 N극 자극	2mT	232.5	62.3
	5mT	358.2	90.6
	7mT	455.0	100.5
단일 S극 자극	2mT	26.1	3.5
	5mT	26.2	4.2
	7mT	21.0	4.2
단일 N극 자극	2mT	26.0	3.6
	5mT	20.3	4.5
	7mT	21.8	5.1

4.1.6 필터처리를 통한 경락전위변화 분석

peak to peak 전위는 매우 빠르게 나타나고 피실험자

마다 불규칙적으로 발생하여 인체에서의 영향을 예측하기 어렵다. 따라서 peak 전위를 제외한 경락전위변화를 관찰할 필요가 있을 것으로 판단되어 피실험자를 대상으로 40Hz Low-pass Filter를 취하여 자기장 변화로 인해 발생한 peak 전위와 자기장 자극 시 발생하는 고주파 성분을 제거하였으며, 자극주파수 0.5Hz, 자극세기 7mT로 고정하여 자극방법에 따른 경락전위변화를 측정하였다.

자극세기, 자극주파수, 자극방법에 따른 경락전위변화를 측정하였으며, 그 결과 자극세기가 증가할수록 peak 전위가 증가하였고 자극주파수에 해당하는 peak 전위가 발생함을 관찰하였다.

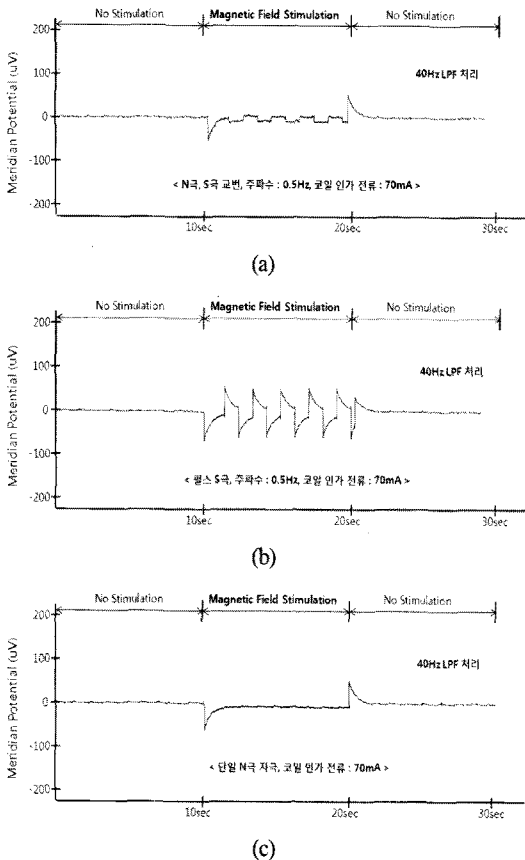


그림 8. 필터처리를 통한 경락전위변화 (a) N극·S극 교번 자극 (b) 펄스 S극 자극 (c) 펄스 N극 자극
Fig 8. MEP change by filtering (a) MEP by N, S pole alternating, (b) MEP by pulse of S pole, (c) MEP by pulse of N pole)

peak 전위의 발생은 자기장이 변하는 순간에 나타났으며 매우 짧은 시간에 발생하였다. 이러한 peak 전위는 인체 내에서 어떤 영향을 주는지는 예측하기 어려우나, 매우 짧은 시간에 발생한다는 것과 피실험자마다 매우 불규칙하게 발생한 것으로 자극방법에 따른 경락전위변화를 측정하였다.

그 결과 그림 8과 같이 피실험자에서 유사한 경락전위변화를 관찰할 수 있었다. 모든 자극방법에서 자극 순간 (-) 전위가 발생하였으며, 이후 안정전위를 회복하였고, 자극을 멈추는 순간(+) 전위가 발생 후 다시 안정전위로 회복하는 형태의 동일한 전위변화가 측정되었다. N극·S극 교번으로 자극하는 동안에 peak to peak 전위가 $18.7 \pm 7.5 \mu\text{V}$ 인 일정한 구형파 패턴이 측정되었으며, 펄스 형태의 S극을 자극하는 동안에는 peak to peak 전위가 $101.9 \pm 21.4 \mu\text{V}$ 인 충진·방전 형태의 신호가 측정되었다. 또한 펄스 형태의 N극을 자극하는 동안에는 peak to peak 전위가 $115.3 \pm 19.2 \mu\text{V}$ 인 충진·방전 형태의 신호가 측정되었으며, 단일 형태의 N극과 S극을 자극하였을 경우 동일하게 자극하는 동안에는 안정전위를 유지하였다.

그림 9와 같이 peak 전위를 제외한 자극방식에 따른 평균경락전위는 N 혹은 S극 펄스자극시 가장 큰 경락전위를 유발함을 확인하였다.

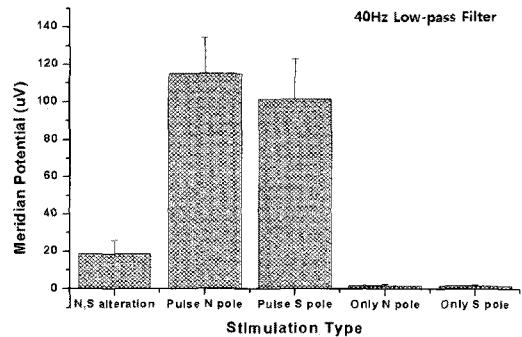


그림 9. peak 전위를 제외한 자극방법에 따른 평균 경락전위
Fig 9. MEP average of each stimulation without peak potential

V. 결과 고찰

5.1 침 자극 시 경락에서의 전위 변화

전기적 관점에서 수기 자극에 따른 경락의 전위변화를 측정하는 연구에 따르면 침 자극 시 그림 10과 같이 충전·방전 형태의 전위변화가 측정되었으며, 30명의 피실험자를 대상으로 측정한 결과 peak 간의 전위는 $181.4 \pm 59.7 \mu V$ 였다. 좌하지 족양명위경의 상거허(S37)와 하거허(S39)에 침전극을 삽입 후 족삼리(S36)를 자극하여 상거허와 하거허의 전위차를 측정함으로써 경락의 전위변화를 측정하였으며, 침 자극은 타침법을 사용하였다. 침 자극 시에는 일정한 주기로 침병을 잡았다 놓았으며, 그 결과 침병을 잡을 때 peak 전위가 발생하고 잡고 있는 동안에 안정전위로 회복되었다. 그리고 침병을 놓는 순간 다시 peak 전위가 발생하고 다시 안정전위로 회복되었다. 이러한 반응은 시술자의 에너지가 침을 통해 환자에게 전달되는 과정으로 설명하고 있다[23].

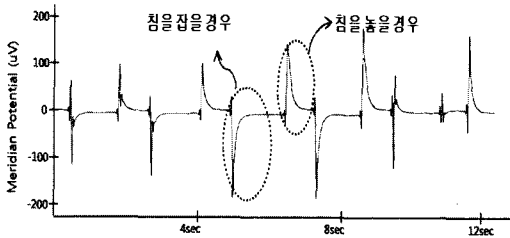


그림 10. 수기 자극 시 경락에서의 전위 변화
Fig 10. MEP change of manual acupuncture

5.2 정자기장 자극이 인체에 미치는 영향

정자기장 자극이 요통을 포함한 근골격계 질환의 치료, 연골의 성장, 통증 완화, 심리적 안정에 효과가 있다는 주장이 인정받으면서 많은 연구들이 진행되고 있지만 기전에 대해서는 명확히 밝혀지지 않았다. 다만 실험을 통하여 여러 가지 가설이 제시되고 있다.

Holcomb은 전자현미경을 이용하여 자석이 작용하게 되면 염색체가 방향을 바꾸는 현상을 관찰하였고 이러한 염색체의 위치변화를 통해 급성 혹은 만성 통증 없앨 수 있다고 제시하였다[24]. Yousef Haik는 적혈구가 산소와 결합했을 때 반자성을 띠고, 산소와 분리되었을 때에는 상자성을 띤다는 것을 배경으로

정자기장이 혈액 순환에 영향을 줄 수 있음을 제시하였다.

정자기장이 생체에 미치는 영향의 기전에 대한 연구들 중 대부분은 인지질의 반자성체 성질을 바탕으로 자기장 자극 시 인지질 분자의 방향이 바뀌게 되고 이온 통로의 변화가 발생하여 이온의 흐름에 영향을 준다는 것을 기본으로 설명하고 있다[10]. 또한 이온의 흐름에 영향을 받게 됨에 따라 막전위가 변화하며 탈분극이 발생하여 주위 신경세포 및 말초신경에 영향을 주게 된다.

이러한 가설을 뒷받침해주는 연구로는 주로 신경계통에 정자기장 자극을 주었을 때의 생체변화를 관찰한 연구들이다. Kholodov의 연구에서는 토끼에 20mT를 자극 하였을 때 뇌전도의 변화가 관찰되었으며[25], Klimovskaya의 연구에서는 쥐에 50-400mT 세기의 자기장을 자극하였을 때 체성감각 유발 전위의 변화가 관찰되었다[26]. 또한 Rosen 연구에서는 고양이에 120mT의 자기장 세기로 자극 하였을 때 시각유발전위의 변화가 관찰 되었다[27]. 또한 정자기장 자극이 이온 흐름에 영향을 준다는 가설을 패치클램프기록(patch-clamp recording)이라는 방법을 이용하여 직접적으로 증명한 연구들이 있다. 패치클램프기록은 세포에서 세포막 조각을 분리하여 조각에서의 이온의 흐름을 전류로 측정할 수 있는 방법을 말한다. Rosen은 정자기장 자극 시 이온 흐름의 변화를 관찰하기 위해 배양된 GH3 세포에서 Ca^{2+} 이온의 흐름을 패치클램프기록 방법으로 측정하였다. 이 연구를 통해 세포에 120mT의 정자기장을 자극한 결과 Ca^{2+} 이온의 흐름에 대한 전류의 진폭이 감소하는 것을 관찰할 수 있었다[28].

5.3 시변 자계 자극

시변 자계에 의한 자극은 1982년 Barker에 의해 비침습적으로 신경을 자극한 연구가 발표된 이후 신경계통 질환 진단 및 치료에 관한 많은 연구가 진행되고 있으며, 현재 자기신경자극 및 경두개자기자극(Transcranial Magnetic Stimulation, TMS)에 많이 이용되고 있다[29].

시변 자계에 의한 자극은 자기장에 의해 유도된 인체에서의 와전류(eddy current)에 의해서 신경, 뇌, 근육을 비침습적으로 자극할 수 있는 방법이다. 즉 그림 11과 같이 도선에 흐르는 전류를 변화시키면 도선에서 변화되는 1차 자기장이 발생되고 도체 내부에서는 자

기장의 변화를 방해하는 전류가 흐르게 된다. 이를 와전류(eddy current)라 하며, 전류 방향은 1차 자기장의 방향과 반대되는 2차 자기장이 발생하는 방향으로 흐르게 된다.

이러한 시변 자기장에 의한 자극은 기존의 전기 자극보다 통증의 강도가 작으며 전기침을 삽입하기 어려운 뇌 부분이나 척추부분의 신경도 자극할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 짧고 강한 자기장을 발생시키기 위하여 매우 강한 펄스형태의 전류가 필요하기 때문에 자극기 자체의 부피가 커진다는 단점이 있다. 또한 원하는 부위를 정확히 자극하기가 어렵다는 단점도 가지고 있다.

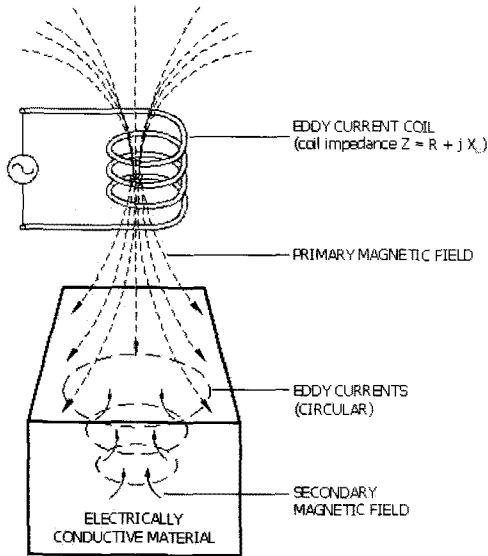


그림 11. 시변 자기장에 의한 와전류 발생
Fig 11. Eddy current by time varying magnetic field

5.4 고찰 및 토의

기존의 전통 한의학을 바탕으로 경혈·경락을 자극하여 치료를 하기 위한 방법으로는 침구치료, 전기 자극인 전기침 자극 요법, 영구자석을 이용한 자기요법 등이 있다. 전기침 자극 요법은 표면전극이나 침 전극을 이용하여 통증 부위나 경혈에 전기 자극을 함으로써 주로 통증치료에 사용된다. 이러한 인체에 전기 자극을 하는 방식은 치료 중 불쾌감과 통증을 유발할 수 있으며, 치료 후 신경 손상이나 이상감각을 유발할 수 있

다는 단점을 가지고 있다. 또한 인체에 전류를 흘려줌으로써 인체의 저항에 큰 영향을 받게 되며, 피부표면으로 전류가 흐를 가능성이 큼에 따라 심부에 있는 경혈을 정확히 자극할 수 없다는 단점이 있다. 영구자석을 이용한 자기요법은 부가적인 장치나 치료 후의 부작용이 없는 대신 자극세기, 자극방법, 자극빈도를 조절할 수 없는 단점이 있다.

본 논문에서는 한의학적 이론 및 침구치료의 원리에 부합하는 새로운 방식으로 경혈을 비침습적으로 자극할 수 있으며, 전기 생리학적으로 수기자극과 유사한 자극을 줄 수 있는 전자기장 경혈 자극 시스템을 개발하였다. 시스템을 이용하여 수기자극과 유사한 자극임을 확인하고자 경혈 자극 시 자극세기, 자극방법, 자극주파수를 변화시켰으며 이때 경락전위변화를 측정하였다.

그 결과 자기장 변화에 따라 다양한 경락전위변화가 측정되었으며, 펄스 N극 자극과 펄스 S극 자극에서 수기자극 시 나타나는 충전·방전 형태의 경락전위가 관찰되었다. 이는 경혈에 수기자극과 유사한 자극을 줄 수 있으며, 자극세기와 자극빈도를 조절함으로써 효과적으로 치료를 할 수 있음을 의미한다. 또한 기존의 전기침 자극요법과 달리 자기장을 사용함으로써 심부에 있는 경혈을 자극할 수 있고, 전자석을 압정형태로 제작하여 경혈을 집중적으로 자극할 수 있어 기존의 치료요법보다 더욱 효과적일 것으로 사료된다. 따라서 치료효과가 높은 수기자극과 전기적으로 유사한 자극을 줄 수 있는 새로운 방법을 제시하였으며, 침구치료의 보조적 역할에 대한 가능성을 확인하였다.

VI. 결 론

본 연구에서는 경혈 자극 및 통증 치료에 있어서 치료효과는 높으나 전문 한의사를 통하여 치료를 받아야 하는 침구 치료 또는 부가적인 장치 없이 치료가 가능하지만 자극세기 및 자극방법을 조절할 수 없는 영구자석을 이용한 치료법을 대신하여 공간적인 제약이 없고, 자극세기 및 자극방법, 자극주기를 조절하여 자극할 수 있는 새로운 방법을 제시하고자 하였다. 또한 경혈에 자기장 자극에 따른 경락전위변화를 측정하여 침구 치료에 있어서 보조적 역할의 가능성을 확인하고자 하였다.

국소부위인 경혈에 효과적으로 자기장 자극을 할 수 있도록 유한요소 해석 프로그램을 이용하여 전자석을 모델링 및 시뮬레이션을 하였으며 시뮬레이션 결과를 바탕으로 전자석을 제작하였다. 또한 8곳의 경혈을 동시에 원하는 자극세기, 자극방법, 자극주기를 선택하여 자극 할 수 있는 8채널 시스템을 제작하였고 사용자를 위하여 GUI(Graphical User Interface)를 제공하여 사용의 편리성을 제공하였다. GUI를 위하여 WinCE 5.0을 사용하였다.

제작된 전자석과 시스템을 이용하여 경혈에 자극방법, 자극세기, 자극주파수를 변화시켜 자극하였을 경우의 경락전위변화를 측정하였다. 그 결과 자극세기가 증가함에 따라 peak 전위가 증가하였고 자극주파수에 따라 자극 빈도가 다르게 나타남을 확인할 수 있었다. 또한 자극방법에 따라 경락전위변화가 다양하게 나타났으며, 펄스 형태의 N극 자극이 침 자극 시 경락에서 관찰 할 수 있는 충전·방전 형태의 전위변화와 유사하게 나타났다. 이 결과 펄스 형태의 N극 자극이 침 자극과 유사하며 개발한 경혈 자극 시스템이 침 치료에 있어서 보조적 역할의 가능성이 있다는 결론을 내릴 수 있었다. 또한 기존의 영구자석을 이용한 치료에 있어서 자극세기 및 자극방법, 자극빈도를 조절할 수 없다는 단점을 보완하였으며, 침습적으로 자극을 하는 침구치료에서 거부감과 통증을 느낄 수 있는 침 치료 대신 비침습적으로 경혈을 자극 할 수 있는 새로운 방법을 제시하였다.

그러나 경혈 및 경락에서의 전기적 특징이 침자극과 자기장 자극이 유사함에 따라 경혈에서의 자기장 자극이 침술 효과와 유사하다고 단정할 수 없다. 따라서 자기장 자극에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것으로 판단되며, 향후 연구 과제는 다음과 같다.

본 연구에서는 족양명위경의 경혈인 족삼리(ST36)만을 대상으로 실험을 하였다. 따라서 다양한 경혈, 경락을 대상으로 한 실험이 필요할 것으로 판단되며, 실제 환자를 대상으로 경혈 및 통증 부위에 자기장 자극을 통한 치료효과를 검증해야 할 것이다. 또한 영구자석을 이용한 통증치료 효과에 대한 연구들에서 자기장 세기에 따른 치료효과와 placebo 효과에 대한 다양한 연구결과들이 보고되고 있다. 따라서 전자석을 이용한 치료 시 자기장 세기에 따른 치료효과에 대한 연구가 진행 되어야 할 것이며, placebo 효과를 고려하여

자기장 자극 이외에 자극을 추가해야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 차세대신기술개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(10028424)

참고문헌

- [1] Y.H. Lee, "A study on the Changes of Meridians Potential Induced by the Manual art during Acupuncture Therapy," J. Korea Inst. Maritime Inf. Commun. Sci., Vol.10, No.9, pp.1627-1632, 2006.
- [2] B.H. Nam, and H.S. Choi, "Study on the Electric Potentials at Biophysical Meridian System," J. Sci. Meridian Acupoint, Vol.19, No.2, pp.1-22, 2002.
- [3] H.J. Sung, H.S. Choi, B.H. Nam, and H.G. Lee, "A Study on Meridian(2)," Korea J. Orient. Med., pp.1~133, 1999.
- [4] 류경주, "경락의 연구 I." 한국한의학연구원, pp.380-435, 1996.
- [5] 나창수, 장경선, 소철호. "EAV 와 양도락 측정점에 관한 연구." Meridian, pp.89-96, 1997.
- [6] Horst Leonhardt, "Fundamentals of Electroacupuncture According to Voll," Med. Literatische Verlagsgesellschaft mbH, Uelzen
- [7] Melzack R., and Wall P.D., "Pain mechanisms: a new theory," Sci., Vol.150, No.699, pp.971-979, 1965.
- [8] K.S. Kim, and Y.H. Song, "EAST(Electro Acupuncture Stimulation Therapy) in Dentistry," J. Korean Acad. Craniomandibular Disorders, Vol.7, No.1, pp.33-44, 1995.
- [9] J.C. Shim, and Y.J. Kim, "Clinical Study of Electrical Stimulation of the Peripheral Nerve," J. Korean Soc. Anesthesiologists, Vol.17, No.2, pp.126-135, 1984.
- [10] Arthur D., and Rosen, "Mechanism of action of

- moderate-intensity static magnetic fields on biological systems," *Cell Biochem. Biophys.*, Vol.39, No.2, pp.163-173, 2003.
- [11] Eccles N.K., "A Critical Review of Randomized Controlled Trials of Static Magnets for Pain Relief," *J. Altern. Complement. med.*, Vol.11, No.3, pp.495-509, 2005.
- [12] Hong Chang-Zern, Lin J.C., and Bender L.F. et al., "Magnetic necklace: Its therapeutic effectiveness on neck and shoulder pain," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Vol.63, No.10, pp.462-466, 1982.
- [13] Vallbona C., and Richards T., "Evolution of magnetic therapy from alternative to traditional medicine," *Complement Ther. Phys. Med. Rehabil.*, Vol.10, No.3, pp.729-754, 1999.
- [14] Kanai S., Okano H., Susuki R., and Hiroko A., "Therapeutic effectiveness of static magnetic fields for low back pain monitored with thermography and deep body thermometry," *J. Jpn. Soc. Pain Clin.*, Vol.5, pp.5-10, 1998.
- [15] Weintraub M.I., "Magnetic bio-stimulation in painful diabetic peripheral neuropathy: A novel intervention, a randomized, double-placebo crossover study," *Am. J. Pain Manage.*, Vol.9, pp.8-17, 1999.
- [16] Brown C.S., Parker N., Ling F., and Wan J., "Effect of magnets on chronic pelvic pain," *Obstet. Gynecol.*, Vol.95, S29, 2000.
- [17] Alfano A.P., Gill Taylor A., and Foresman P.A. et al., "Static magnetic fields for treatment of fibromyalgia: A randomized controlled trial," *J. Altern. Complement Med.*, Vol.7, No.1, pp.53-64, 2001.
- [18] K.S. Kim, and Y.J. Lee, "The effect of magnetic application for primary dysmenorrhea," *Kanhohak Tamgu*, Vol.3, No.1, pp.148-179, 1994.
- [19] Segal N.A., Toda Y., and Huston J. et al., "Two configurations of static magnetic fields for treating rheumatoid arthritis of the knee: A double-blind clinical trial," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Vol.82, No.10, pp.1453-1460, 2001.
- [20] Eccles N.K., "A randomized, double-blinded, placebo-controlled pilot study to investigate the effectiveness of a static magnet to relieve dysmenorrhea," *J. Altern. Complement Med.*, Vol.11, No.4, pp.681-687, 2005.
- [21] M.S. Moon, H.G. Lee, "The effect of magnetotherapeutic devices over stiffness and pain," *New Med. J.*, Vol.26, No.6, pp.125-133, 1983.
- [22] Y.H. Lee, "Development of Acupoint Discrimination and Meridian Diagnosis/Therapy System by Potential Analysis of Meridian," Ph. D. dissertation Wonkwang University, pp.1-119, 2003.
- [23] Y.H. Lee, "Analysis of Meridians Potential as Ground Condition for Objectification of Acupuncture Effect," *J. Korean Inst. Electri. Eng.*, Vol.56, No.2, pp.436-441, 2007.
- [24] Holcomb R., Parker R.A., and Harrison M.S., "Bipolar magnets for the treatment of chronic low back pain. A pilot study," *JAMA*, Vol.283, No.10, pp.1322-1325, 2000.
- [25] Kholodov Y.A., "Influence of magnetic fields on biological objects," NTIS Rep, JPRS 63038, Natl. Tech. Info. Serv., Springfield, VA, 1974.
- [26] Klimovskaya L.D., and Smirnova N.P., "Changes in brain evoked potentials under the influence of a permanent magnet field," *Bull. Exp. Biol. Med.*, Vol.82, pp.1125-1129, 1976.
- [27] Rosen A.D., and Lubowsky J., "Magnetic field influence on central nervous system function," *Exp. Neurol.* Vol.95, No.3, pp.679-687 1987.
- [28] Rosen A.D., "Inhibition of calcium channel activation in GH3 cells by static magnetic fields," *Biochim. Biophys. Acta.*, Vol.1282, No.1, pp.149-155, 1996.
- [29] Guizhi Xu, Yong Chen, Shuo Yang, Mingshi Wang, and Weili Yan, "The Optimal Design of Magnetic Coil in Transcranial Magnetic Stimulation," *Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, Vol.6, pp. 6221-6224, 2005.

저자 소개



이균정(Gyoung-Jung Lee)

2009. 06 : 연세대학교 의공학과
박사과정 수료

※관심분야: 임베디드시스템



조동국(Dong-Guk Cho)

2009. 02 : 연세대학교 의공학과
공학석사

※관심분야: 임베디드시스템



김수병(Soo-Byung Kim)

2009. 03 : 연세대학교 의공학과
석사과정

※관심분야: 한의공학, 경락연구



권선민(Sun-Min Kwwon)

2009. 03 : 연세대학교 의공학과
석사과정

※관심분야: 한의공학, 맥진연구



신태민(Tae-Min Shin)

2003 - 현재: 연세대학교 의공학과
교수

※관심분야: 의료용 컴퓨터,
임베디드시스템, 시스템 제어



이경중(Kyong-joung Lee)

1990 - 현재: 연세대학교 의공학과
교수

※관심분야: 생체계측, 생체모델링



이용흠(Yong-Heum Lee)

2008 - 현재 : 연세대학교 의공학과
조교수

※관심분야: 경락시스템 연구,
침술객관화, 맥진연구