

生體와 磁氣

金 鐘 曉, 李 忠 雄

서울대학교 工大 電子工學科

I. 서 론

지구상의 모든 생물은 太古때부터 地磁界속에서 태어나 성장하였다가 죽어간다(그림1). 그러나 자기가 생체에 미치는 영향에 관해서 사람이 인식하게 된 것은 지구의 나이에 비해 그리 오래지 않다. 기원전 2세기 경에 희랍 의사는 자석을 설사약으로 사용하였다고 하며 기원 5세기 경에 희랍 의사가 자석을 갖고 사지의 關節病과 경련을 치료하였다 하며 또 중국에서는 기원 2세기 경에 쓰여진 의서 神農本草經에는 四肢關節痛과 難聽 등에 대한 자석치료법이 적혀있기도 하다.^[1] 그러나 생체와 자기에 관한 체계적인 연구는 비교적 근래에 와서 시작되었다. 1882년에 D' Astre는 자석에 의한 생리학적 영향에 관한 논문을 발표한 바 있으며,^[2] 1886년에는 Quinan이 의학에 있어서 자석의 이용에 대한 역사적 고찰에 관한

글을 발표하였다.^[3] 그러나 본격적으로 생체와 자기에 관한 연구가 시작된 것은 20세기 들어서부터이며, 특히 1960년도 이후부터였다.

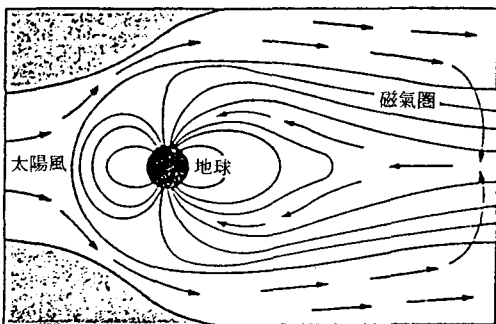
Tenforde^[4]가 조사한 바에 의하면 20세기 들어서 자기와 생체에 관한 연구논문은 1800여편이 발표되었는데(1978년까지)그중 약 80%가 1960년 이후의 것이라고 한다.

1961년, 1963년, 1966년에 Barnothy에 의해 International Biomagnetic Symposium이 개최되면서부터 이 분야에 관한 관심과 연구가 고조되어 이 분야는 生體磁氣學(biomagnetics) 또는 磁氣生物學(magneto-biology)이라고 불리우는 새로운 학문분야로 인정받게 되었다.^[5]

생체와 자기에 관한 연구는 두가지로 대별되는데 그 첫째는 생체자계의 계측분야이고 둘째는 생체에 대한 외부자기의 영향에 관한 분야이다. 특히 후자의 경우는 고압 송전선과 MRI등에 의해 발생하는 強磁場에 의한 신체의 유해여부가 이슈가 되어 상당한 연구가 이루어졌다. 이 분야는 다시 외부자장의 종류에 따라 靜磁場, 極低周波磁場(ELF), 高周波磁場에 대한 신체의 영향으로 세분된다.

II. 生體磁界의 計測

각종 생체활동의 이면에는 이에 관련된 生體電氣의 흐름이 있다. 심전도나 뇌파등은 이러한 생체전기 현상에 관련된 전압을 체표면에 전극을 접촉하여 측정된 것으로서 의학적인 정보추출에 유용하게 쓰이고 있다. 이에 반하여 生體磁界란 생체내에서 흐르는 전류에 의해 형성되는 자기를 말하며 그 크기는 미약하지만 심전도나 뇌파등과 달리 체외에서 무절



지구자기는 태양풍에 의해 운반되는 荷電粒子를 막아 주는 역할을 한다.

그림 1. 太陽風과 地球 磁氣圈과의 관계를 보여주는 그림

측으로 측정이 가능하며 생체활동에 관한 여러가지 유용한 정보를 얻어낼 수 있어 각국에서 이에 관한 연구가 진행되고 있다.

그림 2에 몇가지 생체자계들의 강도들을 나타내었다.

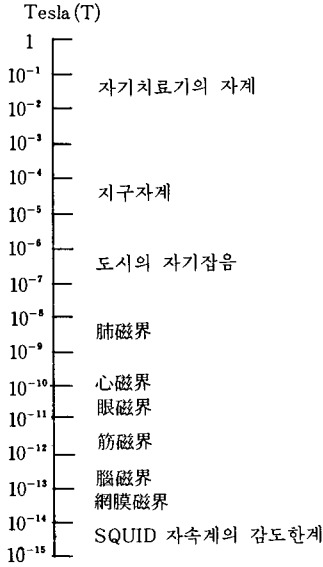


그림 2. 몇가지 생체자계들의 강도

이와같은 생체자계는 그 크기가 아주 미약하여 생체자계중 가장 강한 肺磁界의 경우에도 지구자기의 1만분의 1 정도밖에 되지 않아 이에 대한 측정은 관련된 측정기술이 발달된 근래에 와서야 이루어졌다. 세계에서 최초로 생체자계가 측정된 것은 1963년 Baul & McFee에 의해서 였는데 그들은 200만회 감은 코일 2개로써 心磁界를 측정하는데 성공했다. 그 후 1967년에 MIT의 D. Cohen은 자기 차폐된 방에서 心磁界및 腦磁界를 측정하였고, 1969년에는 SQUID (superconducting quantum interference device) 자속계를 도입, 본격적인 생체자계 계측시대를 열었다.

SQUID 磁束計는 초전도시의 Josephson 효과를 이용한 것으로서 數 f Tesla (10^{-15} T) 미만까지 측정가능한 초고감도 자속계이며 뇌에서 나오는 자계보다도 훨씬 작은 자계까지 측정가능하다.^[6] 사실 생체자계의 계측이 실용화되고 진단에도 이용할 수 있을 정도로 발전된 것은 SQUID 자속계의 개발 덕택이다.

생체자계를 발생원별로 대별하면 内引性 생체자계와 外來性 생체자계와 있는데 前者는 생체내의 흥분성 활동전류에 의한 것으로서 心磁界, 腦磁界, 眼磁界, 筋磁界등이 이에 속하고, 後者는 외부에서 공기 또는 음식을 통하여 체내에 유입되어 축적된 자성물질이 지구자계나 기타 외부로부터의 자계에 의해 자석화되어 체외로 자계를 발생하는 경우인데 肺磁界와 肝磁界가 있다.

1. 心磁界의 계측

심장의 拍動運動을 유발하는 활동전류에 의해 腦廓面에 발생하는 자계를 말하며 이를 측정할 것을 心磁圖(MCG magnetocardiogram)이라 하는데 장비가 고가인데 반해 ECG에 비해 새로운 정보가 얻어지지 않는 관계로 현재 임상적으로 이용되지 않고 있다.

그러나 최근의 보고에 의하면 종래 ECG로는 측정이 곤란하여 삽입식(catheter)전극에 의한 측정에 의존했던 HisPurkinje 전도계의 이상부위를 고감도의 MCG법을 이용함으로써 무침습으로 계측가능하다고 하는 등^[7] 종래의 심전도 방법으로는 측정곤란한 경우에 대해 MCG의 유효성이 나타남에 따라 앞으로의 진전이 기대된다.

2. 腦磁界의 계측

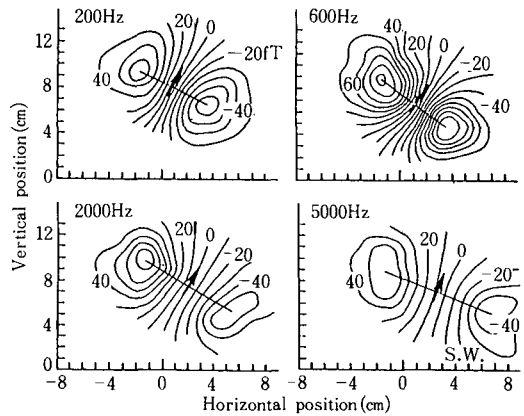
각종 뇌활동에 수반되는 뇌 신경세포의 흥분전류에 의해 두피상에 미약한 자계가 나타나는 것을 말하며, 이를 측정할 것을 腦磁圖(MEG magnetoencephalogram)라고 한다. 두피상에 나타나는 전위를 측정하는 뇌파에 비해 무접촉 무침습 계측이 가능하고 뇌파는 유전율이 낮은 두개골의 영향을 받고 나타나는데 비해 腦磁圖는 두개골의 영향을 받지 않으므로 뇌파로 얻어지지 않는 정보의 검출이 가능하며, 자계 신호가 벡터양이므로 뇌 내부의 전기적 활동원의 추정에 유용한 정보를 제공하는 등 잇점이 있어 최근 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

임상적으로는 간질병, 뇌졸중, 피질기능 장애 등의 진단이 이용하는 것이 시험되고 있으며 神經·精神藥理的 연구와 神經心理學的 연구에도 이용되고 있다.^[8]

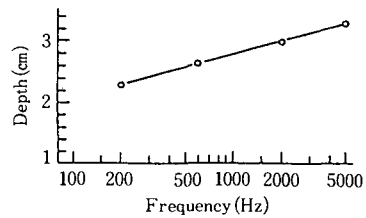
특히 신경심리학 연구분야로서 시각 자극에 대한 유발자장의 측정, 해석에 관한 연구가 활발한데 청각 자극에 의한 뇌 유발자계를 AEF(auditory evoked field), 시각자극에 의한 것을 VEF(visual evoked

field), 觸覺이나 痛覺에 의한 것을 SEF(somato-sensory evoked field)라 부르고 있다. 뇌파에 비해서 腦磁圖는 유발자계의 발생원의 위치를 세밀히 알 수 있기 때문에 앞으로 이 분야에 많은 성과가 기대되고 있다.

AEF를 이용한 연구결과의 일례를 소개한다. 그림 3은 聽覺領皮質이 주파수에 따라 다른 체계의 처리 구조(tonotopic organization)를 갖는 것을 보이는 Romani등의 실험 결과인데,¹⁰⁾ 同圖(a)에서 4개의 다른 주파수의 音刺戟에 대한 유발자계의 측정치를 등고선으로 표시하고 있다. 등고선 상에서 陽의 부호의 봉우리가 자계의 발출점이고 陰의 부호의 봉우리가 자계의 유입점이며, 화살표시는 쌍극자 전류의 방향과 위치를 나타낸다. 이때 양 부호의 등고선의 봉우리간의 각도와 後頭部의 導電度에 대한 球 모델로부터 쌍극자의 깊이를 계산할 수 있는데, 音刺戟 주파수가 증가함에 따라 쌍극자의 위치가 깊어지는 것을 알 수 있으며 그 관계가 이 그림(b)에 나타나 있다.



(a)



(b)

- (a) 陽의 부호의 봉우리가 자계의 발출점이고 陰의 부호의 봉우리가 유입점이며, 화살표시는 쌍극자 전류의 방향과 위치를 나타낸다. 좌표의 원점은 耳管(ear canal)이며 수평 및 수직축은 각각의 방향으로의 검출기 위치를 나타내는데 두 봉우리간의 중간점이 대략 主聽覺領皮質에 해당한다.
- (b) 전류쌍극자의 두피로부터의 깊이를 주파수에 대한 로그 눈금에 맞추어 나타낸 것인데, 주파수의 로그에 대해 직선적으로 변화하고 있음을 볼 수 있다.

그림 3. 네가지 다른 음자극에 의해 頭皮상에 형성된 유발자계의 등고선

3. 肺磁界의 계측

肺磁界는 폐에 축적된 산화철등의 粉塵이 地磁界 등 외부자계의 영향으로 자화되어 흉곽면에 형성하는 자계를 말하며 이를 측정된 것을 肺磁圖(MPG magnetopneumogram)라고 한다. 폐에 축적된 粉塵은 X-선으로 검출이 곤란하며 粉塵이 심하게 축적되면 塵肺가 되는데 塵肺는 치료법이 없으므로 예방이 최선이다. 그런데 이와같이 폐에 축적된 粉塵량을 肺磁圖법을 이용하면 조기 검출이 가능하다. 肺磁圖의 계측은 粉塵이 갖는 자계특성을 이용하는 것으로서, 폐내에 축적된 粉塵에 외부에서 50mT 정도의 자계를 약 10초간 가하여 粉塵을 자화한 다음 외부자계를 제거한 후 잔류자계로서 폐내 粉塵에서 발생하는 자계를 흉곽면에서 측정함으로써 축적된 粉塵량을 추정한다.¹¹⁾

그외에 肺磁圖를 이용하여 폐의 기능이나 폐에 유입된 粉塵의 배출특성 등을 조사하는 연구도 진행중이다.¹¹⁾

4. 기타 생체자계의 계측분야

이외의 생체자계의 계측분야로 肺臟내 철분의 축적으로 생기는 질병의 진단에 肝磁界를 이용하는 것이 연구되고 있다. 이 방법을 이용하면 종래 침을 찔러 조직을 떼어내는 生檢法을 이용하던 불편을 없애

고 무침습으로 간장의 철분함유 여부를 알 수 있다.¹¹⁾ 그리고 안구운동을 측정하기 위해 안구의 주변에 전극을 붙여서 측정하던 EOG(electro-oculogram) 대신 안면에 발생하는 자계를 무접촉 무침습으로 측정할 수 있는 MOG(magneto-oculogram), 섬광자극에 의해 망막에서 유발되는 자계를 측정하는 MRG(magneto-retinogram), 또 골격근에서 발생하는 자계를 측정하는 MMG(magneto-myogram)등의 분야가 있다.

Ⅲ. 靜磁場에 의한 생체의 영향

靜磁場이 생체에 미치는 영향에 대해서는 비교적 많은 연구가 진행되었으나 아직 그 정확한 메카니즘은 밝혀져 있지 않다. 이 분야에 관한 연구는 세포레벨에 대한 연구와 동, 식물 및 사람에 대한 연구로 구분된다.

1. 세포레벨에 대한 영향

세포레벨에 대한 자기의 영향을 조사하는 데는 동물의胚가 많이 이용되는데 이는 이 시기에 대단히 빠른 발육속도로 인해 생체상의 변화를 단기간 내에 알아볼 수 있기 때문이다. 胚조직의 성장에 관한 연구로서 靜磁場을 개구리(1T), 병아리(3mT), 비둘기(0.5mT)의胚에 가하여 그 발육상태를 조사한 결과 靜磁場에 노출된胚는 대체로 발육이 지연, 비정상적인 성장을 보이는 것으로 보고되고 있다.^{[12], [13], [14]}

신진대사와 관련된 연구로는 Guinea pig의 세포(0.7T, 21일간 노출)에서 DNA, RNA의 감소가 보고되었고,^[15] 0.4-0.7T에 노출된 쥐의 항체 단백질의 생산이 감소하였으며,^[16] 0.008-0.7T에 노출된 쥐의 胚조직에서는 산소 소모량 20-30% 감소되는 등^[17]의 결과로 미루어 세포의 신진대사 기능도 靜磁場에 영향을 받는 것으로 알려졌다.

한편 세포막의 특성과 관련해서 사람의 혈액의 투과성과 응집성이 증가(0.0023-1.8T) 하고^[18], 개구리의 피부세포가 탈분극을 일으키며 (0.6T)^[19], 쥐의 뇌에서는 나트륨(Na)과 포타슘(K)이 증가(0.7-1.4T, 수일간 노출)하는 것이 보고 되었다.^[20]

유전인자나 번식에 관련된 것으로서 0.03-0.4T에 노출된 초파리에서 기형적 출산이 있었으나 유전인자의 변형은 없는 것으로 보고되었고,^[21] 0.25-0.42T에 노출된 쥐의 경우 여위고 평균수명이 짧아지는^[22] 등의 영향이 관찰되었다.

2. 동, 식물에 대한 영향

동물에 대한 靜磁場의 영향이 대부분 그 성장을 억제하는 경향인 것과는 달리 보리등의 식물은 0.12-0.7T 정도의 자장에서 성장이 촉진되는 것으로 나타났다는데^{[23], [24]} 이는 자장에 의한 엽록체의 가속운동이 식물의 겔(gel)의 전기적 저항을 감소시킨 때문으로 이해되고 있다.

꿀벌과 비둘기, 그리고 철새등이 비행시 방향을 결정하는 것은 지구자기와 관련이 있는 것으로 알려져 있다.^{[25], [26]} 비둘기의 목에 자석을 부착시키고 구

름긴 날찌에 달려보냈을 때 올바르게 집을 찾아가지 못했으며^[27] 비둘기의 목과 머리에 코일을 걸고 전지를 달아 자계를 가한 상태에서 비행시킨 결과 역시 정확한 방향을 찾지 못했으며 전지의 극성을 바꾸어 재차 비행을 시켰을 때 어떤 비둘기들은 반대방향으로 날아가기도 하였다.^[28]

진흙달팽이와 편형충류는 0.1mT 정도의 약한 靜磁場의 극성을 분간할 수 있는 것으로 알려져 있고^[29], 바다에 사는 어류중 상어나 가오리등은 0-8Hz 주파수 0.01 μ V/m 정도의 미약한 전계의 구배를 감지하여 헤엄치는 방향결정에 사용하는 것으로 알려져 있는데^[30] 이는 코에 있는 특수 감각기에서 전자유도를 통하여 감지하는 것으로 생각되고 있다. 또 바다 섬계의 알이 14T에서 발육하지 못했으며^[31] 0.3-0.4T에 노출된 과일파리의 알에서 기형의 빈도가 높았다는 보고도 있다.^[32]

포유류에 대한 영향으로는 0.02-0.1T의 靜磁場에 수분간 노출된 토끼에게서 EEG의 변화가 관찰되었고 빛이나 소리 자극에 반응하지 못하는 현상이 있었다.^[33]

쥐를 이용한 실험결과로는 0.1T에 노출된 쥐는 더 활발하고 많이 먹었으나 자계의 밖에 있으려는 경향을 보였고,^[34] 0.2-0.9T에 40일간 노출된 쥐에게서 부신피질(adrenal cortex)에 질병이 생겼으며^[35], 0.4T에 노출시 상처치료의 지연과^[36] 백혈구 수의 감소를 나타내었고^[37], 0.59T에 노출된 경우 어린쥐는 체중의 증가가 억제되었고 나이든 쥐들은 체중의 감소가 일어났다.^[38] 반면 10일간 매일 30분씩 1T에 노출된 쥐들은 뼈의 무게가 15-19% 증가함으로써^[39] 靜磁場은 뼈를 성장시키는 효과가 있는 것으로 보인다.

다음 사람에게 가장 가까운 원숭이에 대한 연구결과가 있는데 2T의 자장에 2시간 노출시켰을 때 심장박동수가 줄어들었으며 부정맥이 증가하고 ECG의 변화를 보였으며^[40] 4.6-9.7T의 강자장에 노출시켰을 때 훈련된 작업에 대한 반응의 둔화를 나타내었다는 보고가 있다.^[32]

3. 사람에 대한 영향

靜磁場의 사람에 대한 영향에 대해서는 실험의 특성상 연구결과가 그다지 많지 않다. 보고된 첫 실험은 1892년에 0.1-0.2T에 노출된 소년에게서 특별한 느낌없었다는 것인데^[41] 노출시간에 대해서는 언급이 없다. 그러나 1.5-2T에 노출된 경우 금니등 치아에 금속물질 입힌 사람들은 이상한 맛을 느낀다

는 것과 치아의 고통을 느끼는 현상이 보고되었으며^[42] 10T의 강자계에 손을 넣었을 경우 손이 아주 시리고 뼈에 통증, 손에 개미가 기어가는 듯한 느낌을 받는다고 한다.^[42]

최근 유행하고 있는 자석목걸이 등을 이용한 치료에 관한 연구결과도 다수 보고되어 있다. 일본의 中川 등은 자기 목걸이를 근육경직증에 적용한 결과 166례중 83.2-98.8%가 유효성을 느꼈다고 하였고,^[43] 高橋도 근육경직증에 대한 실험결과 68%의 유효성을 확인하였다고 보고 하였다.^[44] 木村은 어깨근육경직증에 대해 자기 band의 임상효과를 검토하였는데, 자기 band사용群과 모조품 사용群에서 각각 40.7%와 6.3%의 피검자가 경직의 완화를 인정함으로써 자기 band의 유효성이 인정된다고 하였다.^[45]

한국에서도 문 명상등이 여러가지 자기치료기들에 대한 임상실험을 실시한 바 있는데 자기파스, 자기요, 자기목걸이, 그리고 자기구두등의 사용 대상자에게서 각각 64.75%, 63.0%, 57.1%, 47.6%의 주관적 통증완화 효과를 확인하였다.^[46]

그러나 Hong은 목과 어깨에 만성적인 통증을 가진 피검자에 대한 자기목걸이의 적용결과 자기목걸이 및 모조품 사용群에게서 각각 52% 및 44%의 주관적 개선효과의 응답을 얻음으로써 유의할 만한 치료효과를 확인할 수 없었다고 하였다. 또한 그는 통증이 없던 피검자에게서 척골신경의 근위부 전도시간(proximal conduction time)이 감소된 것을 발견, 이를 바탕으로 자석에 의한 신경 세포의 세포막의 변화가 일어나고 이에따른 신경전도성의 변화로 인해 통증의 신경전도도가 차단되어 통증의 완화가 일어났을 것이라는 해석을 제시하였다.^[47]

그리고 자석을 이용한 치료의 분야중에는 한의학의 침구치료 분야에 침구 대신 자석을 이용한 방법도 개발되어 있다. 이 경우 전래의 경락체계에 따른 증상별 해당 경혈부위에 적정강도의 자석을 붙여 둠으로써 치료하는데 침구치료와 같은 통증이 없으며 적용증상이 다양하고 효과도 현저한 장점이 있다. 그러나 극히 허약한 상태의 환자와 백혈구 수가 적은 사람에게는 자석치료를 삼가는 것이 좋다고 한다.^[11]

그밖에 특이한 실험결과로는 水脈感知師(dowser)에게서 일어나는 반사현상도 수맥점 부근의 水流에 의한 磁場 勾配(수 mG/m)에 의한 것이라는 연구결과가 있다. 비슷한 정도의 자장 勾配를 갖도록 설계된 코일부근에서 수맥감지사는 정확하게 자장의 유무감지해 내었다. 이와같이 작은 크기의 자장에 의해 인

체에서 어떻게 그렇게 큰 반사현상이 일어나는가 하는 의문에 대해서 이 현상이 핵자기 공명현상과 관련된 것이라는 설명이 있다. 즉 두 팔에 가해지는 자계가 다룰때 원소들의 핵의 세차운동 주파수의 차이가 생기는데 이 차이가 1Hz 정도에 이룰때 어떤 경로를 통하여 근육의 긴장력이 이 비트 주파수에 영향을 받게 됨으로써 이와같은 반사운동이 일어나는 것으로 해석할 수 있다는 것이다.^[48]

4. 靜磁場의 생체에 대한 작용 기전

앞서 살펴본 바와 같이 靜磁場이 생체에 미치는 영향은 무척 다양하다. 이와같은 영향을 일관되게 설명해 줄 수 있는 구체적이고 세부적인 作用 메카니즘에 대해서는 아직 확립된 이론이 없다. 그러나 몇가지 생체와 자장사이에 기본적인 상호작용은 알려져 있는데 그들은 다음과 같다.^[49]

먼저 생체내 물질에 대해 자기에너지가 미치는 영향으로서 외부로부터 가해지는 靜磁場이 원자나 분자내의 에너지 분포를 교란시킴으로써 공간, 방향에 대해 비대칭의 전자흐름을 유발시킬 수 있다.

다음으로 자장에 의한 생체내 입자들이나 구조물들간의 자기기력력을 고려할 수 있는데, 체액과 다른 투자율을 갖는 입자는 외부자기의 구배에 의해 이동될 것이며 자기적특성이 비대칭인 입자는 균일 자장내에서 회전하려는 힘을 받게 됨으로써 분자나 세포내 구조물들의 정상적 활동을 방해할 수 있다.

그리고 자기에 의한 유도 기전력도 생체내에 발생하는데 이는 특히 혈액순환과 빠른 속도로 움직이는 이온성 입자의 운동에 의해 발생되는데 혈관 단면에 유도 기전력이 생겨 혈액내 입자들의 이온화에 영향을 주거나 또는 주변 세포에 영향을 줄 것이다.

최근들어 좀더 구체적인 작용기전으로 제시되고 있는 것이 자장에 의한 세포막 특성의 변화에 관한 것이다. 세포막은 2 겹의 磷脂質(phospholipids)의 분자로 되어있고 여기에 감지기능을 가진 복잡한 구조물이 자리잡고 있어(그림 4) 주변의 여러가지 분자들의 출입을 통제하기도 하고, 또 어떤 구조물은 능동적 이온 펌프로 작용하는데, 세포막을 이루는 인지질이 자장에 잘 반응하는 액성 결정체(liquid crystal)의 성질을 가진 것으로 추측되고 있어, 외부자장에 의해 그 구조가 변형되어 감지기능을 하는 분자의 작용이 변화함으로써 세포의 여러가지 기능에 변화를 주는 것으로 추측되고 있다.^[50]

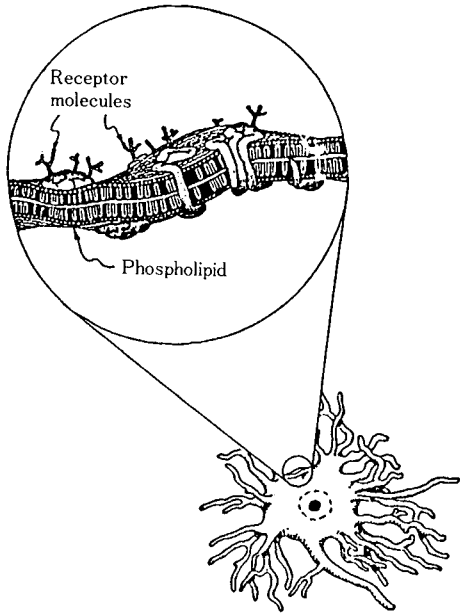


그림 4. 신경세포와 그 세포막에 대한 확대도

IV. 극저주파(ELF) 자계에 의한 영향

극저주파 자계가 생체에 미치는 영향에 대해서는 전원용 고압송전선에서의 유도기전력에 의한 신체의 유해여부가 문제가 되어 비교적 많은 연구가 이루어졌고 그외 더 낮은 주파수에 의한 뇌파와 행동의 변화에 대해서도 상당한 연구가 있다.

1. 생체에 대한 자기유도

생체가 時變자계에 노출되었을때 생체에 내부에는 자기유도의 법칙에 따라 식(1)과 같은 전계가 가해지고 생체조직의 도전율이 σ 라 하면 식(2)와 같은 유도전류가 흐르게 된다. 이에 따라 부위별로 열이 발생하는데 밀도 ρ 인 부위에 대한 SAR(specific absorption ratio)는 식(3)과 같이 된다.^[51]

$$E = \frac{r}{2} \cdot \frac{dB}{dt} \quad (\text{V/m}) \quad (1)$$

$$J = E \cdot \sigma \quad (2)$$

$$SAR = \frac{E^2}{\rho} \cdot \sigma \quad (\text{W} \cdot \text{kg}) \quad (3)$$

극저주파 자계에 의한 생체의 영향중에는 위와같

은 자기 유도 작용으로 해석될 수 있는 것들이 있다.

2. 자장섬광 (magneto-phosphenesis)

머리주변에 낮은 주파수의 교변자장을 가하면 시야에 섬광이 비취는 것 같은 현상이 생기는데 이를 자장섬광이라 한다. 이는 (2)식과 같은 교변자장에 의한 유도전류가 시각계 신경전류 수 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 의 크기에 달할 때 신경전류에 교란을 일으킴으로써 생기는 현상이다.^[52] 자장섬광이 일어나는 주파수와 자계강도의 범위를 그림 5에 보였다.

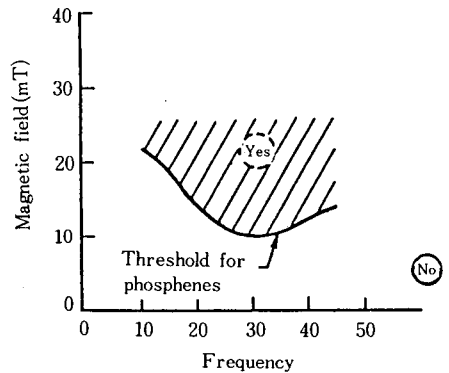


그림 5. 자장섬광이 일어나는 주파수와 자계강도의 한계

3. 근육자극

근섬유 역시 유도전류에 의해 자극되며 이때 근육 수축이 일어난다. 짧은 펄스형의 자장일 수록 유도전류는 더욱 커지는데 만일 이 값이 심근세동 (heart fibrillation)을 일으킬 정도로 커지면 대단히 위험하다. 심근세동이 일어나는 임계점은 대략 500T/S 정도로 추산된다.^[53]

4. 뼈의 치료

골절등의 상처에 입은 뼈의 치료에 있어서 30-60 Hz, 0.2-3mT의 펄스형 자계를 가했을 때 그 치료가 상당히 촉진된다는 것이 알려져 있다.^[54] 이는 뼈 내부의 유도전류에 의한 것으로 해석되고 있는데 정확한 메카니즘은 아직 잘 알려져 있지 않다.

5. 두뇌작용에의 영향

극저주파 전자계는 두뇌의 작용에 영향을 미치는

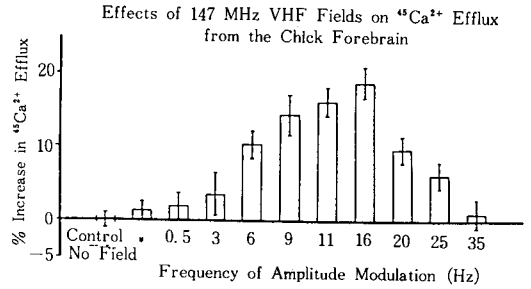
것으로 알려져 있다. 독일의 Wever 박사는 미약한 지구의 자계 공진주파수 7.4, 14.8, 20.3, 26.4, 32.5Hz의 전자계가 주파수 10Hz 부근에서 최대전력을 갖는 사람의 뇌파와 상호작용을 함으로써 신체의 자연 타이머로서 작용하리라는 가정하에 몇가지 실험을 실시했는데, 지구의 전자계가 인체에 미치는 영향에 대한 실험에서 지구자계로부터 차폐된 그룹은 본래 24시간으로 유지되어 있던 신체의 온도 및 활동주기가 평균 26.6시간으로 늦어졌으며 인체 내부의 여러가지 생체리듬들이 서로 동기가 어긋나게 반응하는 것을 발견했다. 또한 2.5 V/m, 10Hz의 전자계를 외부에서 가했을 때 매일의 활동주기가 다시 24.8시간으로 변화하는 것이 관찰되었다.^[55]

이와 관련된 흥미있는 보고는 극저주파로 AM변조된 고주파자계에 의해서도 EEG나 행동의 변화가 일어난다는 것이다. 이 실험은 UCLA의 Bawin 박사에 의해 이루어 졌는데 AM변조된 147MHz, 1mW/cm² 출력의 고주파 전자계에 의해 고양이의 조건 유발뇌파가 강화 된다는 것이 확인되었다. 이와 관련된 실험에서 Bawin 박사는 또한 극저주파로 AM변조된 고주파자계에 의해 병아리의 뇌에서 뇌활동과 관련된 칼슘분 유출을 관찰하였는데 그 유출량은 가해지는 전자계에 대해 주파수와 진폭의 차를 갖고 있어 주파수에 관하여서는 16Hz 부근으로 변조시킨 경우 가장 반응이 컸고 진폭에 대해서는 0.1과 1.0 mW/cm² 사이에서 가장 잘 반응한다는 것이 나타났다.^[56] 그림 6은 이와같은 실험결과를 보여주는 것이다.

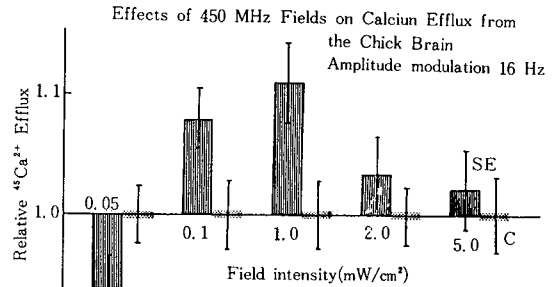
이 정도의 전력레벨은 뇌의 어떤 신경세포와도 유도전류가 직접 흥분효과를 일으킬 수 있는 레벨이 아니므로 이와같은 일련의 현상들은 두뇌가 아주 미약한 전자계에 반응하는 능력이 있음을 보이는 것으로서 뇌에는 전자계의 증폭 검파장치가 있다고 추측되는데, 이와같은 견해는 두뇌의 신경세포막들이 회로망을 이룰 때 EEG 주파수에 대한 비선형 공진기(터널 다이오드)를 형성, 극저주파로 변조된 고주파 전자계를 증폭, 정류하는 기능을 가질 수 있다고 하는 이론이 제시됨으로써 더욱 뒷받침 되고 있다.^[57]

6. 60Hz의 영향

송전선이나 변전소 부근등 강한 전자계내에 거주하는 인체가 받는 영향을 조사하기 위하여 동물실험에 의한 간접적인 연구가 이루어진 바 있다. 쥐를 이용한 실험에서 15KV/m의 전자계에 노출된 쥐는 성장이 지연되었으며, 5KV/m하에서는 뼈의 치료가 지



(a)



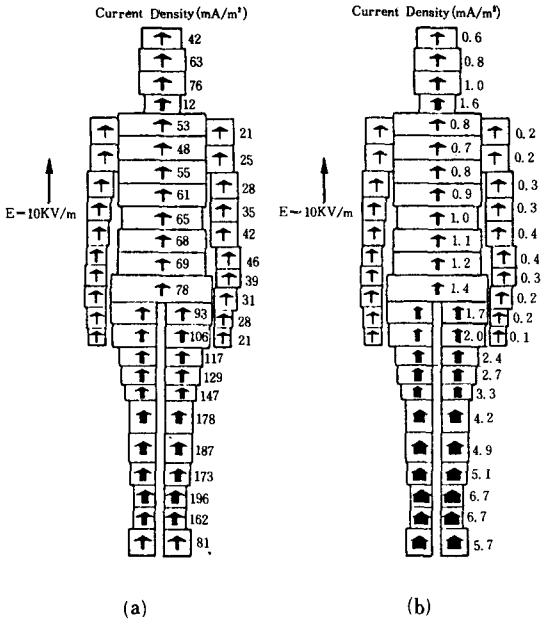
(b)

- (a) 16Hz에서 가장 큰 반응을 나타내는 것을 볼 수 있으며 반응이 큰 주파수들이 병아리의 뇌파의 주파수이다,
- (b) 가해진 전자계의 강도에 따라 반응이 달라지는 것을 보여주는 그림인데 여기서 병아리의 뇌는 0.1-1.0 mW/cm²의 강도에서 유난히 잘 반응하는 진폭의 차를 갖고 있는 것을 알 수 있다.

그림 6. 여러가지 극저주파 주파수로 AM 변조된 1mW/cm² 147MHz 고주파 자계에 의해 병아리의 前腦에서의 칼슘성분의 유출량의 변화를 나타내는 그림

연되었고 3.5KV/m에서는 갓태어난 쥐들의 사망율이 증가했다고 한다.^[57] 이와같은 동물실험에 기초한 계산으로 인체의 각 부위에서의 유도전류를 계산할 수 있는데 그 결과를 그림 7에 보였다.^[58] 이러한 계산에 의거하여 실제의 경우 60Hz 전자계에 의한 유도전류는 신체에 무해하다는 주장이 발표되었고 이 주장은 널리 받아들여지기도 하였다.

그러나 최근의 疫學조사 결과는 60Hz 강 전자계에 거주하는 인구중에서는 이와 비슷한 환경에 살고 있는 소위 통제집단에 비해 백혈병과 암의 발병율이



(a)는 자유공간에 위치한 경우, (b)는 지면위에 서 있는 경우이며, 그림에서의 계산값은 신체 각 부위를 블록 모델로 하여 계산한 것이다.

그림 7. 사람의 신체 각 부위에 60Hz 전자계에 의해 유도되는 전류밀도의 분포를 나타낸 그림

높으며 특히 어린이의 암으로 인한 사망율이 높다는 보고가 있다.^[50] 또한 이와 관련된 몇가지 동물실험과 인체실험 결과가 보고되고 있는데 1.7-65KV/m의 전자계에 노출된 쥐에게서는 매일의 리듬감각에 적용하는 멜라토닌의 분비가 억제되었으며 이와 관련된 몇가지 홀몬의 리듬이 깨어지는 것이 관찰되었다.^[50] 이와같은 리듬의 비동기화는 반응의 둔화와 우울증을 수반한다고 알려져 있다. 또한 주기적으로 on-off 되는 전기담요를 6-10주간 사용한 사람에게서는 상당량의 멜라토닌이 저하된 것이 관찰되었다.^[50]

또한 몇가지 실험에서 60Hz는 세포의 성장에 관련된 ODC라는 효소의 활동에 영향을 주며 DNA 합성율과 어떤 단백질 생산에 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한 성장과 스트레스 반응에 관련된 홀몬의 작용에도 영향을 주며 어떤 면역체계 특히 암을 공격하는 T 임파구를 약화시키는 영향을 주는 것으로 보고되었다.^[50]

이와같은 60Hz의 인체에 대한 해악에 관한 연구

는 아직 잘 받아들여지지 않고 있는데 이는 그 증거가 충분치 못하고 송전선을 지하에 매설하는데 드는 비용이 엄청나기 때문이다. 그러나 인체에 영향을 미치는 60Hz 전자계의 공급원으로는 전자오븐이나 헤어드라이어, 진공청소기 기타 모터 사용제품도 상당량 작용하고 있다.

V. 고주파 자계의 영향

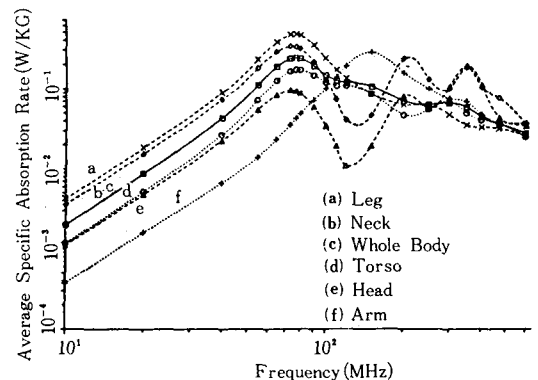
1. Maxwell 방정식과 생체

전자계의 물리적인 특성을 나타내는 Maxwell의 방정식은 전자계 내의 생체와의 상호작용을 기술하는데도 역시 적용된다. 비유전율 ϵ' , 비투자율 μ' 인 생체매질에 있어서 전자파의 진행방향의 전력밀도 S는 식(4), 해당부위의 흡수된 전력을 나타내는 SAR (specific absorption ratio)는 식(5)와 같이 나타내어진다.^[51] 여기서 E_0 는 전자계의 최대치이다.

$$S = E \times H = \frac{E^2}{z} = \frac{1}{377} \cdot \frac{E^2}{\sqrt{\mu' / \epsilon'}} \quad (W/m^2) \quad (4)$$

$$SAR = \frac{E_0^2}{2\rho} \cdot \sigma \quad (W \cdot kg) \quad (5)$$

이와같은 식들을 이용하여 인체의 각 부위에서의 SAR을 계산하는 것이 가능하는데 그 결과를 그림 8에 보였다.^[59] 이 그림에서 보는 바와같이 인체는 각 부위별로 전자계의 흡수율이 가장 높아지는 주파수



주파수에 대해 공진특성을 보이고 있으며, 부위별로 에너지 흡수율이 달라 다리가 가장 크고 팔이 가장 작은 것을 알 수 있다.

그림 8. 고주파 전자계내에 있는 사람의 신체 각부위에 대한 SAR

가 있는데 이는 인체의 각 부위가 안테나로 작용할 때의 공진주파수에 해당하며 175cm 키의 보통 신체에 대한 전신 공진주파수는 68.6Mz가 되고 다리부분이 평균치의 다섯배 정도로 가장 흡수율이 높은 것을 알 수 있다.

2. 고주파 자계에 의한 생체로의 열효과

고주파 자계에 의해 신체에 흡수된 에너지는 체온을 증가시키고 체내에서는 이에 따른 열 발산작용이 활발해지는데 만일 이와같은 작용에 의해서 체온의 상승을 막지 못한다면 여러 생리적인 부작용이 뒤따르게 된다. 동물실험에 의하면 전 신체의 SAR이 20 W/kg 이상이 되면 출산한 자손에서 기형이 발생하는데 이 정도의 조사량은 수도 정도의 체온의 상승을 유발할 정도이며 오래 계속될 경우 치명적일 수도 있다.^[60] 그러므로 방충용 안테나 또는 고주파 가공설비등의 주변에 임신부가 거주하는 것은 삼가는 것이 좋을 것이다.

사람에 대한 영향으로는 최대 0.5-1.0W/Kg, 평균 0.1mW/Kg의 SAR을 유발하는 펄스형 고주파 자계에 노출된 경우 귀에서 소리가 들리는 현상이 관찰되었고^[61], 역학 조사결과 장기간 고주파 자계에 노출된 그룹에서 두통, 신경질, 현기증, 식욕감퇴, 졸음, 우울증, 갑상선 확장, 손떨림등의 증상을 보였다고 한다.^{[62], [63]} 또한 수 GHz대, 100-300mW/cm²의 고주파 전자계는 백내장을 일으킨다는 것이 동물 실험과 임상보고 레에서 밝혀졌다.^[64]

한편 고주파 전자계에 의한 생체로의 발열효과는 암치료·통증완화등을 위한 심부가열요법에 이용되기도 한다.^[65]

3. 기타 고주파 자계에 의한 생체의 영향

쥐를 이용한 실험에서 1.3과 2.1mW/Kg이라는 비교적 낮은 SAR에서 심박수가 영향을 받는 것이 보고되었는데 이는 고주파 전자계와 자율신경계 사이의 상호작용이라는 설명이 제시되었다.^[66] 또한 토끼를 이용한 실험에서 100-200V/m 정도의 고주파 전자계에 오래 노출된 후에 EEG의 변화가 일어났다는 보고도 있다.^[67]

최근에는 컴퓨터 화면단말기(visual display terminal, VDT)의 대량 보급에 따라 직업상 장시간 VDT 앞에서 일하는 사람이 늘어나면서 VDT에 의한 신체의 유해여부가 주목을 끌고 있다. VDT에서는 가시광선 뿐만 아니라 신체에 유해한 자외선, X-선, 고주파 자장등이 방출되는 것으로 알려졌는데 쥐를 이용한 실험에서 VDT에 노출된 경우 혈중 노어피네프린(norepinephrine)과 에피네프린(epinephrine)의 농도가 모두 증가하였는데 이로부터 VDT앞에 노출되었을시 스트레스와 피로를 더 받는다는 것을 추측할 수 있다.^[68] 캐나다에서 실시된 疫學조사 결과에서는 VDT 앞에서 일하는 임신된 근로여성중 이상분만의 비율이 8.3%로서 통제집단의 5.7%보다 높은 것으로 알려졌다. 이에 대해서는 앞으로 더 세밀한 연구가 진행될 것이 기대된다.

그리고 자동차의 운전석에도 정전기 방전과 점화 코일의 방전등에 의해 대단히 넓은 주파수 범위에 걸쳐 수십 V/m의 전자계가 검출되었으며, 이러한 전자계가 운전자의 졸음 두통 현기증등의 카-스트레스와 관련있다는 보고도 있었다.^[69] 이에 대해서도 더욱 많은 연구가 요청된다.

VI. 결 론

지구상의 모든 생물은 태어나면 지구에서 발생하는 자계에 노출된 환경 가운데서 살아가고 있으며, 또한 생체내의 세포들은 외부자기와 더불어 각종 생체활동에 관련되어 발생하는 생체자기와 어느 정도 상호영향을 주고 받으면서 활동한다. 동, 식물과 인간이 외부의 자기와 반응하는 자계의 범위는 지구자기보다도 낮은 弱磁界로부터 수 Tesla 정도의 強磁界에 이르기까지 무척 넓으며 그 반응 또한 세포레벨의 대사작용에서부터 생물체의 일상적 생활패턴이나 각종 생리적 기능에 이르기까지 다양하다.

인간의 뇌파가 지구자기와의 상호작용을 통해 자연적 생체시계를 신체에 제공하며 일상적 생활리듬에 관계된 여러가지 생체리듬이 이 생체시계에 동기되어 있다는 사실은 지구자기가 인간의 생활에 없어서는 안되는 필수요소라는 점을 잘 말해주는 한 예라 하겠다.

문제는 인간이 점차로 자연의 자기로부터 차단되고 그대신 인공의 전자계에 노출되는 생활환경에 살고 있다는 것이다. 송전선, 가전제품, 컴퓨터 단말기, NMR 등 인간이 통제되지 않은 인공의 전자계에 노출되는 요인은 점차 늘어나고 있다. 게다가 자석 목걸이, 자기 침대등 자석치료가 유행하면서 많은 사람들이 의도적으로 강한 자기에 노출되고 있는 현실에 있어서 이와같은 인공자기의 환경가운데서 인체가 받는 영향을 조사하고 규명해 나가는 작업은 필요하고도 시급한 일이다.

앞서 열거한 많은 연구 보고들은 대부분 症例별 연구 결과들이고 신체에 대한 자기의作用 메카니즘에 관한 연구는 아직 미흡한 실정인바 어떤 자계환경에 대해서나 일관되게 그 영향을 분석하고 예측할 수 있는 단계에는 아직 이르지 못한 것이 사실이다.

그러나 이제까지 진행된 연구결과를 토대로 다음과 같은 기본적인 사항은 도출할 수 있다. 첫째, 대부분의 인공적인 전자계는 인체가 적응되어 살아온 자연의 전자계와 그 성질이 다르며 따라서 인체의 자연적인 기능에 부조화 부적합하게 반응한다. 이러한 영향은 특히 생물의 발생초기에 대단히 큰 영향을 미치기 때문에 임신부의 경우에는 어떠한 인공적인 자계에도 노출되는 것을 삼가는 것이 좋다.

둘째, 치료를 목적으로 하는 경우라 할지라도 적정 강도, 적정 부위, 적정 기간동안 통제된 노출일 경우에 그 효력을 발생하며 그 노출이 지나칠 경우에는 부작용이 발생할 우려가 있다. 그러므로 자기 치료는 일반적인 의료행위와 마찬가지로 교육, 훈련된 치료사의 처방에 준해서 이루어 지는 것이 합당하며 적어도 대중에게 이에 대한 인식의 기회가 주어 져야 한다.

셋째, 인공적인 자계의 방사원들에 대해서 보다 엄격한 규제가 요청되며, 작업상으로나 또는 거주상 강력한 전자계의 방사원 부근에서 많은 시간을 보내야 하는 경우에 대해서는 적절한 방재대책이 마련되어야 한다. 모터를 사용하는 가전제품등 전자기 방사제품에 대해서는 행정관청에서의 검사와 규제는 물론이고 메이커에서 자체적인 차폐대책을 강구해야 할 것이다. 구미 각국에서는 이미 자체적으로 제품에 이와같은 대책을 적용하는 메이커들이 늘고 있는데, 그렇게 함으로써 기업 이미지의 제고 뿐 아니라 향후의 규제조치 발생시 이에 대한 보상, 교환에 따르는 경제적 손실을 줄일 수도 있는 것이다.

앞으로 생체에 대한 자기의 작용기전에 대해 좀더 세부적으로 밝혀내야 하는 것이 이 분야에서 주요 연구과제로 남아 있는데, 생체의 복잡성과 그 작용경로의 다양성등을 고려할 때 이 문제가 가까운 시일 내에 밝혀지기는 어려울 것으로 보이며 따라서 우선 인체가 자주 노출되는 전자계의 방사원에 대해서부터 동물실험과 역학조사등을 통해서 경험적인 자료를 축적 분석함으로써 방사 자계의 안전기준치 설정과 자기치료에 대한 임상 지침을 마련해가야 할 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

- [1] 李炳國, 金南燮, “磁氣治療器,” 癸丑文化社, 서울, 1983.
- [2] D' Astre, “Physiological effect of the magnet state,” *Compt. Rend. Soc. Biol. (Paris)*, vol. 34, pp. 278-279, 1882.
- [3] Quinan, J.R. , “The use of the magnet in medicine: A historical study,” *Marvland Med. J.*, vol. 14, pp. 460-465, 1886.
- [4] T.S. Tenforde(ed), *Magnetic Fields Effects on Biological Systems*, Plenum Press, New York, 1978.
- [5] 涙美和彦, 大道久, “生體と磁場,” *醫用電子と生體工學*, vol. 20, no. 2, pp. 42-64, 1982.
- [6] 小谷 誠, 内川義則, 合原一幸, “生體磁氣とその計測法,” *BME*, vol. 2, no. 10, pp. 651-659, 1988.
- [7] Farrel D et al. “Magnetic study of the his-Purkinje conduction system in man,” *IEEE Trans. Biomed. Engng.*, vol. BME-27, pp. 345-350, 1980.
- [8] 丹羽眞一, 四元秀毅, “腦磁圖の實用化,” *BME*, vol. 2, no. 10, pp. 667-675, 1988.
- [9] Romani GL, Williamson SJ, Kaufman L, “Tonotopic organization of the human auditory cortex,” *Science*, vol. 216, pp. 1339-1340, 1982.
- [10] 内川義則, 小谷 誠, “生體電磁場分布計測,” *醫用電子と生體工學*, vol. 24, no. 6, pp. 3-40, 1986.
- [11] 根本 幾, “肺磁界と細胞磁氣計測の醫學への生物學應用,” *BME*, vol. 2, no. 10, pp. 660-666, 1988.
- [12] Neurath PW, “High gradient magnetic fields inhibit embryonic development of frogs,” *Nature*, vol. 219, p. 1358, 1968.
- [13] Veneziano PP, “The effect of low intensity magnetostatic fields on the growth and orientation of the early embryo of gallus domesticus,” *Dissertation abstracts*, vol. 2, p. 4319, 1965.
- [14] Kimball GC, “Growth of yeast in magnetic field,” *J. Bacteriol.*, vol. 35, p. 103, 1938.
- [15] Bertil RR Persson (ed), *Potential Health Hazards and Safety Aspects of Clinical NMR Examinations*, Radiation Physics Department, Sweden, p. 32, 1984.
- [16] Gross L, “Lifespan increase of tumor-bearing


- mice through pretreatment," In: Barnothy MF(ed), *Biological Effects of Magnetic Fields*, vol. 1, p. 132, Plenum Press, New York, 1964.
- [17] Farrel D et al., "Magnetic study of the His-Purkinje conduction system in man," *IEEE Trans. Biomed. Engng.*, vol. BME-27, pp. 345-350, 1980.
- [18] Presman AS, *Electromagnetic Fields and Life*, Plenum Press, New York, 1970.
- [19] Gualtierotti T, "Decrease of sodium pump activity in frog skin on steady magnetic field(abstract)," *Physiologist*, vol. 7, p. 150, 1964.
- [20] Haneman GD, "Changes in sodium and potassium content of urine from mice subjected to intense magnetic fields," In: Barnothy MF(ed), *Biological Effects of Magnetic Fields*, vol. 2, Plenum Press, New York, 1969.
- [21] Mulay IL, Mulay LN, "Effects on drosophila meiongaster and S-37 tumor cells: Postulates for magnetic fields interactions," In: Barnothy MF(ed), *Biological Effects of Magnetic Fields*, vol. 1, p. 146, Plenum Press, New York, 1964.
- [22] Barnothy M, "Biological effects of magnetic fields on small mammals," *Biomed. Sci. Instrum.*, vol. 1, p. 127.
- [23] Savontin PV, "Magnephysiological effects in plants," *Tr Most Doma Uchenikh*, vol. 1, p. 111, 1937.
- [24] Mericle RP et al., "Plant growth responses," In : Barnothy MF(ed), *Biological Effects of Magnetic Fields*, vol. 1, p. 183, Plenum Press, New York, 1964.
- [25] Lindauer M & Martin H, "The earth's magnetic field effects on the orientation of honey bees in the gravity field," *Z. Vergl. Physiol.*, vol. 60, p. 219, 1968.
- [26] Moor FR, "Geomagnetic disturbances and the orientation of nocturnally migration birds," *Science*, vol. 196, p. 682, 1977.
- [27] Keeton WT, "Magnets interfere with pigeon homing," *Prac. Natil. Acad. Sci. USA*, vol. 68, p. 102, 1971.
- [28] Walcott C, Green RP, "Orientation of homing pigeons altered by a change in the direction of an applied magnetic fields," *Science*, vol. 176, p. 337, 1975.
- [29] Brown Jr FA, "Effects and after-effects on planarians of recersals of the horizontal magnetic vector," *Nature*, vol. 209, p. 533, 1966.
- [30] A.J. Kalmijn, "Electric and magnetic sensory world of sharks, skates and rays," In E.S. Hogson & R.W. Mathewson (ed), *Sensory Biology of Sharks, Skates and Rays*, Office of Naval Research, Arlington, Virginia, p. 507, 1973.
- [31] Beicher DE, "Survival of animals in magnetic fields of 140,000 Oe," In: Barnothy MF(ed), *Biological Effects of Magnetic Fields*, vol. 1, p. 201, Plenum Press, New York, 1964.
- [32] Bertii RR Persson (ed), *Potential Health Hazards and Safety Aspects of Clinical NMR examinations*, Radiation Physics Department, Sweden, p 35, 1984.
- [33] Kolodov JuA et al., "Investigation of the recations of mamalian brain to static magnetic fields," In; Barnothy MF(ed), *Biological Effects of Magnetic Fields*, vol. 2, p. 215, Plenum Press, New York, 1969.
- [34] Russel DR, Herdrick HG, "Preference of mice to sonsume food and water in an environment of high magnetic field," In: Barnothy MF(ed), *Biological Effects of Magnetic Fields*, vol. 2, p. 233, Plenum Press, New York, 1969.
- [35] Barnothy MF, Sumegi I, "Effects of the magnetic fields on internal organs and endocrine system of mice," In: Barnothy MF(ed), *Biological Effects of Magnetic Fields*, vol. 2, p. 263, Plenum Press, New York, 1969.
- [36] Bertil RR Persson (ed), *Potential Health Hazards and Safety Aspects of Clinical NMR Examinations*, Radiation Physics Department, Sweden, p. 35, 1984.
- [37] Barnothy JM et al., "Influence of a magnetic field upon the leukocytes of the mouse," *Nature*, vol. 177, p. 577, 1956.
- [38] Barnothy JM, "Development of young mice," In: Barnothy MF(ed), *Biological Effects of Magnetic Fields*, vol. 1, p. 93, Plenum Press, New York, 1964.
- [39] Papatheofanis FJ et al., "Intense static magnetic field induced bone growth in

- vivo," *J. Bioelectr.*, vol. 3, pp. 223-233.
- [40] Beicher DE, "Vectorcardiogram and aortic blood flow of Squirrel monkeys in a strong superconductive magnet," In: Barnothy (ed), *Biological Effects of Magnetic Fields*, vol. 2, pp. 241-259, Plenum Press, New York, 1969.
- [41] Peterson F, Kennelly, "Some physiological experiments with magnets at the Edison Laboratory," *NY Med. J.*, vol. 56, p. 729, 1892.
- [42] Ketchen EE et al., "The biological effects of magnetic fields on man," *Am. Ind. Hyg. Assoc.*, vol. 39, pp. 1-11, 1978.
- [43] 中川恭一, "磁氣ネックレスの治療効果," 磁氣と生體シンポジウム, 中川恭一編, 第一集, p.157, 1973.
- [44] 高橋 昇, フェライトを使用した磁氣ネックレスの治療効果, *ibid.*, p.222.
- [45] 木村 登, 他, いわゆる肩こりにするバンドの治療効果, *ibid.*, p. 222.
- [46] 문명상, 이현구, "근육경직 및 통증에 대한 자기치료기의 치료효과," 最新醫學, 제 26권, pp. 807-815, 1983.
- [47] Hong CZ, "Magnetic necklace: Its therapeutic effectiveness on neck and shoulder pain," *Archives of physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 63, p. 462, Oct. 1982.
- [48] Rocard Y, "Actions of a very weak magnetic gradient: The reflex of the dowser," In: Barnothy MF(ed), *Biological Effects of Magnetic Fields*, vol. 1, p. 279, Plenum Press, New York, 1964.
- [49] Peter W. Neurath, "Simple theoretical models for magnetic interations with biological units," In: Barnothy MF(ed), *Biological Effects of Magnetic Fields*, vol. 1, p. 25, Plenum Press, New York, 1964.
- [50] Karen F, "Electromagnetic fields: The jury's still out. Part1: Biological effects," *IEEE Spectrum*, pp. 23-26, Aug. 1990.
- [51] Bertil RR Persson (ed), *Potential Health Hazards and Safety Aspects of Clinical NMR Examinations*, Radiation Physics Department, Sweden, p. 41, 1984.
- [52] Lovsund P et al., "Magnetophosphenes. A quantitative analysis of thresholds," *Med. biol. Engrn. Comput.*, vol. 18, pp. 326-334, 1980.
- [53] Roy OZ, "Technical note: Summary of caridac fibrillation thresholds for 60 Hz currents and voltage applied directly to the heart," *Med. Biol. Engrn. Comput.*, vol. 18, pp. 657-659, 1980.
- [54] Bassett CAL et al., "Treatment of ununited Tibial diaphyseal fractures with pulsing electromagnetic fields," *Bond and Joint Surg.*, vol. 63-A, pp. 511-523, 1981.
- [55] Wever R, "The circadian multi-oscillatory system of man," *Int. J. Biometeorol.*, vol. 17, pp. 227-232, 1973.
- [56] Bawin SM & Adey WR, "Sensitivity of calcium bindings in cerebral tissue to weak environmental electric fields oscillating at low frequency," *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, vol. 73, p. 1999, 1976.
- [57] Eric J. Lerner, "RF radiation: Biological effects," *IEEE spectrum*, pp.51-59(Remarks), Dec. 1980.
- [58] Ronald JS, "Numerical determination of induced currents in humans and baboons exposed to 60 Hz electric fields," *IEEE Trans. Electomag. Compat.*, vol. EMC-23, p. 388, 1981.
- [59] Carl HD, "Electromagnetic Dosimetry for models of humans and animals: A review of theoretical and numerical techniques," *Proc. IEEE*, vol. 68, p.38, 1980.
- [60] O'Connor ME, "Mammalian teratogenesis and radiofrequency fields," *Proc. IEEE*, vol. 68, pp. 56-60, 1980.
- [61] Lin JC, "The microwave auditory phenomena," *Proc. IEEE*, vol. 68, pp. 67-73, 1980.
- [62] Silverman C, "Neurvous and behavioral effects of microwave radiation in humans," *Amer. J. Epidemiol.*, vol. 97, pp. 219-224, 1973.
- [63] Charlotte S, "Epidemiologic studies of microwave effects," *Proc. IEEE*, vol. 68, pp. 78-84, 1980.
- [64] Cleary SF, "Microwave caractogenesis," *Proc. IEEE*, vol. 68, pp. 49-55, 1980.
- [65] Short JG, Urner PF, "Physical hyperthermia and cancer therapy," *Proc. IEEE*, vol. 68, pp. 133-142, 1980.
- [66] Olsen RG et al., "Microwave-induced chron-

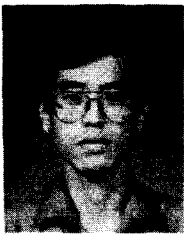
otropic effects in the isolated rat heart," *Ann Biomed. Engng.*, vol. 5, pp. 395-409, 1977.

[67] Takashima S et al., "Effects of modulated RF energy on the EEG of mammalian brain: Effects of acute and chronic irradiations," *Radiat. Environm, Biophys.*, vol. 16, pp. 15-27, 1979.

[68] 이근덕, 남정현, 김창진, "Visual Display Terminal에서 방출되는 전자파가 白鼠의 血中 Norepinephrine과 Epinephrine의 농도에 미치는 영향," *最新醫學*, 제32권 제12호, pp. 113-119, 1989.

[69] 末永一男, 他, "運轉者の神經系(反應時間)に及ぼす電磁波の影響," *靜電氣學會誌*, vol. 11, no. 6, pp. 462-464, 1987. 

筆者紹介



金 鐘 曉
 1959年 9月 2日生
 1982年 2月 서울대학교 전자공학과 (학사)
 1986年 2月 서울대학교 대학원 전자공학과(석사)
 1986年 3月~현재 서울대학교 대학원 전자공학과 박사과정

1990년 현재 서울대학교 병원 의공학과 연구원
 주관심분야: 의학영상처리 및 신경회로망 등



李 忠 雄
 1935年 5月 3日生
 1958年 서울대학교 전자공학과 졸업
 1960年 서울대학교 대학원 졸업
 1972年 일본동경대학 전자공학과 박사학위 취득

1964년~현재 서울대학교 전자공학과 교수
 1988년 1월~1988년 12월 대한의용생체공학회 회장
 1989년 1월~1989년 12월 대한전자공학회 회장
 1989년 1월~현재 IEEE Fellow
 주관심분야: 통신방식, HDTV, 초고주파, 의용공학 등