

## 고온온열치료장치를 사용한 종양치료의 기본 원리 (Rationale of cancer treatment with hyperthermia)

영남대학교 의료원 방사선종양학과 교수 김 명 세

고온온열치료는 radiofrequency, ultrasound, microwave, 원적외선 등을 이용하여 신체의 부분 혹은 전신을 40℃ 이상으로 가열하여 암을 치료하는 방법이다.

우리 나라에 도입된 15기의 기계중 현재까지 사용되고 있는 것은 대부분이 radiofrequency를 사용하는 기계이며 현재 고신의대, 동아의대, 부산메리놀병원, 여의도성모병원, 영남의대, 전주예수병원 등에서 환자치료에 사용하고 있다.

고온온열치료(Hyperthermia)는 직접 암세포를 죽이는 작용, 방사선치료나 항암제치료와 병행하여 그 효과를 증강시키는 작용으로 크게 나눌 수 있다. 직접 암세포를 죽이기 위하여는 43℃ 이상의 고온을 사용하여야 하나 인체에서는 42.5℃이상으로 가온하기가 쉽지 않아 40℃~42℃ 정도의 온도에서 가능한 방사선치료나 항암제 치료효과를 증진시키는 작용을 임상에서 주로 사용하고 있다. 특히 방사선치료와 병합 사용시 그 효과가 뛰어나 간암, 난소암, 대장직장암, 식도암, 위암, 자궁암, 전립선암, 췌장암, 폐암, 등, 거의 모든 암에서 부작용을 증가시키지 않으면서 그 효율을 1.1~6.1배나 증가시킨다고 보고되고 있어 지난 10여 년 간 제자리걸음을 하고 있는 암의 치료에 희망을 주고 있다. 방사선치료와 병합시 효과를 증대시키는 기전은 1) 세포의 핵 합성기(S-phase)는 방사선치료에는 매우 저항력이 강하여 잘 죽지 않으나 고온온열치료에는 매우 예민하여 방사선의 효과를 보강시키는 역할을 한다. 2) pH가 낮은 세포는 고온온열치료에 예민함으로 암세포는 정상조직에 비해 산소가 부족하여 혐기성대사(anaerobic metabolism)를 많이 함으로 그 부산물인 유산(lactic acid)이 많이 생성됨으로 정상조직보다 pH가 낮아 암조직이 정상조직에 비해 고온온열치료에 더 잘 듣는 원인이 된다. 3)영양이 부족한 상태의 세포는 고온온열치료에 예민함으로 정상조직에 비해 항상 영양이 부족한 상태에 있는 암조직이 고온온열치료에 훨씬 예민하다. 4)암조직은 혈관상태가 정상조직에 비해 좋지 않음으로 정상조직보다 쉽게 가온이 되며, 일단 가온된 온도는 잘 식지 않음으로 정상조직에 비해 훨씬 효율적이다. 5) 고온온열치료는 40℃~43.5℃정도에서 암조직의 혈관을 파괴

하여 고온온열치료의 효율을 높이거나 정상조직에서는 46℃ 이상에서만 이 작용이 일어남으로 정상인체에서 43℃ 이상의 가온은 쉽지 않음으로 이 효율은 암조직에서 주로 일어날 수 있다. 6) 고온온열치료는 방사선치료 후에 생기는 손상의 재생을 억제함으로 방사선의 치료효과를 높인다. 7) 38.5℃ ~ 41.5℃의 낮은 온도에서 암조직의 산소상태를 호전시켜 방사선치료효과를 증대시키는 역할을 한다.

원자력이 전쟁의 무기로 사용될 때는 막대한 파괴력을 가지지만 의료용(방사선치료), 공업용(비파괴검사), 선박(핵추진 잠수함), 발전, 위조식별 등 다양하게 인류에 이용되는 것과 비교하면 RF 파를 이용한 고온온열치료는 현대의학에서 에이즈와 함께 가장 어려운 문제인 암의 치료에서 좋은 효과를 내는 치료법으로, RF 파에 대한 유해성에 대해서는 아직 입증되고 있지 않는 상태임을 생각할 때 크게 우려할 일은 아니라고 생각된다. (연락처: Fax:053-624-3599 전화; 053-620-3370) 김 명 세

## 각종 휴대전화기가 의료기기에 미치는 영향 및 대책

김덕원 연세대학교 의과대학 의용공학교실

### *Abstract*

최근 반도체, 컴퓨터 등의 비약적인 기술발전과 더불어 정보화 시대에 접어들면서 수많은 유·무선 통신 정보기기 등의 급속한 보급으로 전자파 환경은 더욱 악화되고 있다. 뿐만 아니라 정교한 의료장비의 급속한 발전으로 인해 환자의 진단과 치료를 점차 전자 의료기기에 의존하게 되고, 무선화, 자동화, 고속화, 소형화, 저전력화, 디지털화 되어짐에 따라 외부 전자파 환경에 따른 간섭위험에 쉽게 노출되게 되었다. 미국을 비롯한 선진국에서는 1990년대 초반부터 EMI(Electromagnetic Interference)에 의한 의료기기의 오동작에 대한 보고가 많아지기 시작하여 이에 대한 연구와 대책에 대한 권고 기준안을 마련하고 있으며, 불필요한 전자파에 의한 피해를 막기 위한 여러 가지 대책과 규제를 제정하고 있는 실정이다.

휴대전화기 등의 EMI로 인한 의료기기의 오동작에 대한 사례는 그 영향이 간헐적이고 실험상 재현성이 작기 때문에 통계적으로 영향의 정도를 파악하기 어렵다. 이러한 보고에서는 각각의 사고를 모두 확인하기 어려우나 의료

기기에 대하여 EMI가 잠재적으로 영향을 줄 수 있다는 것을 확인할 수 있었고, 결과적으로는 EMI로 인한 의료기기 오동작에 대한 경각심을 고취시킬 수 있으며, 의료기기와 EMI 환경에 대한 연구와 정책이 필요하다는 뒷받침을 하였다.

의료기기의 오동작은 그 영향이 환자에게 있어서 부적절한 치료뿐만 아니라 사망에까지 이르게 하는 치명적인 위험성이 있기 때문에 원인이 될 만한 사항에 대해서는 세심한 배려가 요구된다. 이에 본 논문에서는 국내에서 상용중인 디지털 휴대전화(CDMA), 아날로그 휴대전화, PCS, 병원 시설관리 및 응급차량 등에 쓰이는 무전기(이하 디지털형, 아날로그형, PCS, 무전기)를 선정, 국내 병원에서 사용중인 의료기기에 대한 오동작 사례를 수집하였다. 그 결과, 앞의 4가지 휴대전화를 장애발생원으로 하여 16종류 38기종에 대한 의료기기의 오동작 여부를 실험하고 장애를 일으키는 최대 이격거리를 측정하였다. 그 결과 146MHz대 무전기의 영향을 받은 것은 86.8%, 아날로그형에 의한 영향은 32.4%, 디지털형에 의한 영향은 8.1%, PCS에 의한 영향은 2.7% 순으로 나타났다.

외국의 자료나 보고를 통하여 이미 국내의 일부 병원에서도 병원 내에서의 휴대전화기 등의 사용을 금지하고 있으나 의료종사자들의 경각심 부족과 일반인들의 이해부족으로 현실성 있게 통제되고 있지 않는 실정이다. 이러한 결과를 바탕으로 휴대전화기 등이 의료기기의 오동작의 원인이 될 수 있음을 홍보함으로써, 그 동안 전자파로 인한 피해로 인식하지 못했던 사례들을 앞으로는 사전에 방지할 수 있도록 휴대전화기 사용자와 의료종사자 및 환자들에게 문제의식과 경각심을 고취시켜야 할 것이다.

또한 의료기기의 전자적 간섭은 복잡한 문제이기 때문에 하나의 해결책을 제시할 수는 없다. 그러므로 휴대전화기의 사용에 있어서 의료기기의 전자적 양립성을 확보하기 위하여 정부 관계부처, 의료종사자, 의료시설, 의료기기 제조업 및 사업자, 통신 관련업계, 연구자 및 소비자 등 다양한 이해 관계가 관련된 조직들의 공동의 노력으로 이루어 져야 할 것이다.

제목 : 한국전자파학회의 <전자기장 노출에 대한 인체안전 기준> 작성의  
배경 및 향후 추진 일정

김 윤 명 (金允溟, Gimm, You'n-M'young) 단국대학교 제2공학부

## 초 록

전자기장의 인체 유해성에 대한 논란으로 인하여, 電力線網이나 이동통신 중계망 등, 국가의 중추적 基幹網 사업의 건설이 지장을 받고 있다. 그리고 가전제품이나 휴대폰 등에서 생성되는 전자기장에 대한 일반인들의 우려는 상당한 수준에 이르게 되었다. 이에 對한 이론적이고 합리적인 대책을 수립하기 위하여, 한국전자파학회는 1996년, <電磁場과 生體關係 研究會>를 조직하였다.

그간 연구회는, 3年동안 연구를 한 결과, 생활 주변 및 高전자기장 지역의 전자장 환경을 파악하였으며, 여러 국가 또는 국제 안전기준들을 검토한 후, 한국 실정에 적합한 노출 안전 기준을 작성하게 되었다.

본 발표에서는, 연구회가 어떠한 과정을 거쳐 ICNIRP 기준을 채택하였으며, 안전기준 작성 및 공표 작업과 관련된 과거, 현재 및 향후의 일들을 소개한다.

## 전자장의 인체영향 및 관리방안

신동천, 황만식 From:dshin5@yumc.yonsei.ac.kr

연세대학교 의과대학 예방의학교실 및 환경공해연구소

### 요약문

송·배전선과 같은 고압선로나 변전소 등의 전력시설, 그리고 가정에서 사용하는 각 종 전기제품으로부터 발생하는 교류의 전자기장이 인간의 건강에 위대한 영향을 줄 것이라는 점에 대한 논의가 시작된 것은 20여년 전부터이다. 그러나 불행히도 지금까지 축적된 연구결과를 살펴볼 때 전자장 노출로 인한 인체건강장애, 특히 암유발과 연관된 확정적인 기전은 밝혀지지 않았다. 그럼에도 불구하고 여전히 관심의 대상이 되어왔으며 미국, 일본, 유럽 등 외국에서는 전기장에 대한 권고기준치를 정하여 운영하고 있으며 그 근거로는 위해하다는 확정적 증거가 부족하지만 동시에 전자기장이 인체에 무해하다는 확증도 없다는 점을 들고 있다.

본 연구소에서 측정된 자료를 보면 국내의 전자기장 발생 수준은 직접적인 비교에는 어려움이 있으나 대체적으로 외국수준과 비교하여 높지 않은 것으로 나타난다. 이는 제한된 인용자료로 인하여 자기장에 대한 수준만을

비교한 것이지만 전기장의 수준과 자기장의 수준이 서로 밀접한 상관관계를 보이는 것을 고려하면 전기장의 수준도 외국과 비슷하거나 높지 않을 것으로 추정할 수 있다. 또한 혈중 멜라토닌 분석에 참여한 연구자를 대상으로 전자기장 발생원과 위해성 인식에 대한 설문을 실시한 결과를 보면, 이들에게 있어서의 주요한 전자기장 발생원은 컴퓨터를 지적하고 있으며 여러 다른 환경성 위해요인 중에서 전자기장 노출을 비교적 낮은 위해요인으로 인식하고 있었다.

외국 연구사례들을 살펴보면 아직은 전자장의 노출과 인체영향에 대한 명확한 증거를 찾을 수 없을 뿐더러 설정된 권고기준치 역시 기술적으로 가능한 수준이거나 이들 값 자체가 안전한 역치값이라는 것을 의미하는 것은 아니며 또한 이들 기준에 대한 설정근거를 명확히 제시하지는 못하고 있다.

그리고 모든 환경오염 물질과 마찬가지로 전자기장의 경우도 예외 없이, 규제를 엄하게 만든다면 인체에 미치는 영향은 그것이 좋은 것이든 혹은 위해한 것이든 상관없이 줄어든 것이다. 문제는 그 경우의 비용 부담을 어떻게 하는가이다. 강력한 규제에 대한 파급되는 효과는 국내 전기제품을 생산하는 업체는 막대한 기술부담비와 생산비를 지불하게 되어 단기적으로는 경쟁력 하락을 초래하며, 결국 이러한 투자는 소비자의 부담으로 나타날 것이다. 따라서 일반적으로 인체 권고기준치를 설정하는데 있어 고려하여야 할 사항들을 살펴보았으며, 이러한 점에서 인체권고기준치를 제안해 보았으며, 이러한 기준치는 향후 연구 결과와 산업기술력의 발전 속도에 따라 유동적으로 변화할 수 있으며 점차적으로 강화되어야 할 것이다.

국제 기구에서 권고하는 기준치의 배경에는 나라마다 또는 지방 자치단체마다 적용하는 근거에 일관성이 없다. 국제방사보호협회를 비롯한 주요 국가에서 권고안 제시시 근거로 드는 것이 주로 열적효과나 전기적 쇼크 등과 같은 비발암성 영향을 이유로 들고 있다.

본 연구에서 외국이나 국제기구에서 제시하는 권고안에 비하여 보다 강화된 권고치를 제시하는 근거로는 우선 국내 전자기장 발생량의 수준이 본 조사연구에서 측정하였던 결과를 볼 때 선진외국이나 국제기구에서 제시하는 권고안에 비해 낮은 수준에 있으며 '현명한 회피'라는 개념을 고려할 때도 본 조사연구에서 제안되는 권고 수준이 사회·경제적 파장을 최소화할 수 있기 때문이다.

향후 전자파 관련 연구방향은 연구 분야에서 고려하여야 할 사항과 권고안 수정이나 관련 정책 수립을 위한 부분으로 나누어 제시할 수 있다. 우선 연구 수행과 관련하여 본 연구 수행 후 전자기장 관련 연구의 방향은 크

게 다음가 같이 두 가지 점에서 진행되어야 할 것으로 사료된다.

첫째는 신뢰성 있는 노출평가 방법의 정립이다. 이는 전향적 코호트 연구를 수행하는 것으로 연구 대상인의 전자기장 노출 수준을 보다 정밀하게 측정할 수 있는 장점이 있다. 물론 이 경우 건강영향 평가를 하는데 있어서 관심 있는 질병의 유형에 따라 연구 수행에 어려움이 있는 경우도 있다.

노출 평가의 방법을 확립하는 것과 더불어 국내 연구에서 필요한 부분은 노출현황 파악으로서 송·배전선이 지나는 곳에 가깝게 위치한 가옥의 숫자와 주민의 인구통계학적 자료 확보, 지하철이나 제철소와 같이 전자기장 폭로수준이 높을 것으로 예상되는 근로자 대상의 노출평가가 이루어져야 하겠다. 이러한 현황파악은 향후 개정될 규제치의 적용으로 소요될 비용을 산출하는데 중요한 자료로 이용될 수 있을 것이다.

둘째는 동물실험이나 독성실험의 방법을 이용하여 생물학적 영향의 기전을 밝힐 수 있는 연구가 수행되어야 하며, 멜라토닌 이외의 생체지표를 찾아 보다 민감한 지표로서 이용할 수 있는지가 검토되어야 할 것이다.

위에서 제기한 향후 연구 방향 이외에도 권고안 수정과 같은 정책수립을 위한 사항을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 전자파와 관련한 대국민 홍보 책자를 발간한다. 책자의 내용은 전자파의 정의와 특성을 소개하고 일반인의 주위 환경에서 노출되는 전자파에 대한 저감방안을 이해하기 쉽도록 작성한다.

둘째, 국내 노출 현황을 파악한다. 특히 고압선로를 중심으로 주변 거주 가옥의 숫자와 인구 밀도 등을 파악하며 초등학교를 비롯한 학교 주변의 송전탑 및 고압 송전선 유무 등의 현황 파악이 수행되어야 하고 또한 노출량이 측정되어야 한다.

셋째, 국내 산업 및 경제에 파급될 효과를 고려하여 고압선로의 제한구역 제기 또는 권고안 제시 때 발생할 수 있는 추가 비용 부담 등에 대한 추정이 이루어져야 한다.

넷째, 본 연구에서 대상으로 한 저주파 전자기장에 대한 관심 이외에도 마이크로파나 라디오파 등과 같은 여러 주파수대역의 전자기장에 대한 연구와 권고안 마련에 대해서도 깊은 관심이 있어야 한다.

다섯째, 마지막으로 미국의 공공시설위원회(Public Utility Commission)와 같은 위원회를 구성하여 운영함으로써 전자파 관련한 모든 대국민 문제들이 위원회를 통하여 해결하고 합리적인 대책마련의 결론을 도출할 수 있도록 제안한다. 이를 위하여 참여 구성원의 다양성과 전문화가 필요시 된다.

### 1. 발표제목: 휴대폰 전파 SAR 자동 측정장치 구현

2. 발표자: 포항공과대학교 전자전기공학과 박위상 교수

3. 요약: 휴대폰에서 발생하는 전파가 인체에 흡수되는 정도를 인체 두부 모형에 뇌 유사물질로 채워진 Phantom 에 Miniature Electric Field 프로우브를 주입하여 인체 두부의 위치에 따른 SAR 값을 측정하는 장치를 구현한다. 이에 대한 측정 시스템은 3차원 포지셔너 시스템, 프로우브, 전압계 및 이들을 제어하기 위한 PC 로 구성된다. 측정의 정밀도를 높이기 위해서 먼저 모형 Phantom 에서 측정하고 이를 모형 Phantom 을 FDTD 코드로 구한 값과의 차이를 보정한후, 이를 실제 SAR 값을 측정하는데 비례치로서 이용하여 측정의 정확도를 향상시켰다.

### 전력설비 주변의 전자계 분포 해석

초록 : 일반적으로 전계나 자계 중에서 전기철도의 경우 주로 자계가 유도장해의 주범이 된다. 예를 들면, 전철 주위에서 통신설비에의 전압유기, Video Display Terminal에의 영향, 주변기기에서의 고전압 발생으로 인한 인체에의 위험 등은 바로 이 자계에 의한 영향이라고 할 수 있다.

전자계 중에서도 특히 자계는 차폐가 어렵고 그 비용도 많이 들기 때문에 자계의 분포를 미리 알고 설계에 임하는 것이 필요하다. 그에 따라 여러가지 운전 조건하에서 열차 및 궤도 주변에서의 자계를 계산하고자 한다.

여기에서는 우선 단일 매질의 경우의 3차원 자계해석 방법으로 Biot Savart's law에 기반을 둔 적분식을 대수식으로 변환한 해석식(Analytic Equation)을 사용하여 고속전철 주변에서의 자계 해석을 하였다. 그러나 이 방법으로는 객차가 궤도 위에서 달릴 경우에 객차 내에서의 전자계 환경평가는 기술적으로 매우 어렵게 된다. 그 이유는 객차 및 대기의 2매질이 해석 모델속에 포함되기 때문이다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 유한요소법(FEM)을 사용하여 객차의 두께 및 차체 재질을 변수로 두고 객차 내에서의 자계 해석을 행하였다. 위 두 경우 모두 대지 귀환회로를 계산 과정에 포함하여 실제에 가까운 모델링을 하였다.

### 발표자 연락처

경남 창원시 성주동 28-1, 한국전기연구소 전기환경연구팀

전기환경연구팀장 명 성 호

FAX) 055-280-1329 TEL) 055-280-1320

E-Mail) shmyung@keri.re.kr

거주지역 및 직업성 전자파 노출과 백혈병에 관한 메타분석

Residential & Occupational Electric and Magnetic Fields and Leukemia  
: Meta-Analysis

김 윤신 · 조 용성 한양대학교 의과대학 계량의학교실

본 논문은 거주지역 자기장 노출과 소아 백혈병간의 관계 및 직업성 전자파 노출과 백혈병 발생에 관한 관계를 규명한 역학 연구들을 메타분석을 이용하여 평가하고자 하였다. 대상 연구 논문은 연구 디자인 및 노출 형태가 유사하고 정량적인 연구결과를 나타낸 논문을 선정한 결과, 거주지역 역학 연구의 경우 11편, 직업성 역학 연구의 경우는 26편의 논문이 선정되었다. 이용된 전자파 노출형태로는 거주지역의 경우 wire codes, distances, spot measurements, 그리고 24-hrs measurements를 이용하였으며, 직업성의 경우에는 직업형태 및 직업분류 codes를 이용하였다. 각 역학 연구들간의 이질성(heterogeneity)에 대한 원인을 평가하기 위해 연구들의 특성을 기록하여 Q-test를 수행하였다. 또한 각 연구결과들의 효과크기(effect size)를 병합하기 위한 방법으로 모수효과모형(fixed effects model)과 랜덤효과모형(radom effects model)의 통계적인 모델을 이용하였다. 대부분의 연구들에 대한 종합적인 병합형태인 Combined ORs은 상승된 결과를 보였으나, 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. 특히 거주지역 역학연구의 경우 wire codes와 distances에 의해 평가된 비교적 일관성과 동질성 및 양성적인 결과를 나타낸 반면, 직접적인 자기장 노출 측정에 대해서는 음성적인 결과를 나타내었다. 또한 직업성 역학연구를 병합한 결과 작업장에서의 잠재적인 자기장 노출 평가와 관련되어 백혈병의 위해도는 작지만 유의하게 상승된 결과를 나타내었다.

극저주파 자기장의 안전성에 관한 연구

Study on Safety Consideration of ELF Magnetic Fields Emanating from



## Power Transmission Line for Electric Railways

임 용 배 Yong-Bae Lim

전기안전시험연구원 Electrical Safety Laboration Research Institute

### Abstract

This paper shows that the configuration of power transmission lines currently in place is suitable on the basis of calculated magnetic field strengths. The magnetic fields were computed for typical current distributions on power transmission lines for electric railways, which are characterized by severe load fluctuations and phase distortions. The results of the numerical analysis are compared with the ELF guidelines of magnetic fields from several case studies. The final conclusion reached is that effects of the magnetic fields near power transmission lines for electric railways are not significant enough to cause a biological safety concern.

## 한국인 인체 두부(頭部) 모델을 이용한 SAR(Specific Absorption Rate)계산

홍수원, 김기회, 오학태 (전파연구소)

SAR계산을 위해서는 휴대폰뿐만 아니라 인체 모델링이 필수적인데 인체두부를 단순화시켜 구나 육면체 형로그래밍한 균질모델을 사용하거나 상용화된 3mm 해상도의 비균질모델인 흑인 데이터를 이용하여 계산한다. '97년 국민표준체위조사보고서를 근거로 표준 성인을 선발하여 MRI영상으로부터 최고 1mm 해상도의 한국인 성인 인체두부 모델링을 완성하였으며 이를 이용하여 휴대단말기와 인체두부의 거리 및 각도 등을 변화시키면서 사용자의 다양한 상황을 연출하여 그 경향을 살펴보았다.

제목 : 전자파의 노출속에서 성장 및 노화된 생쥐와 그의 2세대에서 나타난  
해부학적 및 병리학적 특징

한림대학교 의과학연구소 김 윤원 교수

1세대에서는 대양한 양성종양과 간의 과사가 관찰되었으며, 2세대에서는 임신 중 사망 및 선천이상 뿐만 아니라 성장 후 림파종 등 악성종양이 발견되었다.