

전자기장의 인체영향 및 관리방안

The Human Effects and Management of Electromagnetic Fields

신 동 천, 황 만 식

연세대학교 의과대학 예방의학교실 및 환경공해연구소

Dong-Chun Shin, Man-Sik Hwang

Dept. of Preventive Medicine and Institutes for Environmental Research,
College of Medicine, Yonsei University

서론

송·배전선과 같은 고압선로나 변전소 등의 전력시설, 그리고 가정에서 사용하는 각종 전기제품으로부터 발생하는 교류의 전자기장이 인간의 건강에 위해한 영향을 줄 것이라는 점에 대한 논의가 시작된 것은 불과 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.

전기를 생산하거나 공급 또는 소비하는 모든 과정에서는 필연적으로 전기장과 자기장이 발생된다. 이런 이유로 하루 중 오랜 시간을 전기기구 및 설비를 접해야 하는 업종의 근로자들뿐만이 아니라 대부분의 일반인까지도 크던 작던간에 전자기장에 노출되고 있는 실정이다. 전자기장은 극저주파, 저주파, 그리고 고주파로 나뉘어 지는데, 저주파와 고주파의 경우는 인체내에서 생리·화학적 영향을 일으킬 정도로 충분한 에너지를 포함하고 있음이 밝혀져 있다. 그러나 극저주파 전자기장의 경우는 인체에 비교적 안전한 것으로 널리 알려져 왔으나 1979년에 Wertheimer와 Leeper에 의하여 송전선이 지나는 지역 근처에서 거주하는 어린이 암 발생과 전자기장의 연관성이 제기된 후 극저주파 전자기장에 장기적으로 노출되었을 때의 건강영향에 대한 많은 연구가 이루어져왔다. 그 후 1987년 Savitz 등이 Wertheimer 등의 연구와 비슷한 결과를 보고하였으며 이 때 전기장보다는 자기장에 의한 위험성을 강조하여 제기하였다. 이러한 일련의 연구들이 이후 유럽국가 중에서 스웨덴을 필두로 덴마크와 핀란드에서 대규모의 역학조사 형태로 수행되었다. 특히 스웨덴에서 있었던 역학조사에서는 대략 2~3 mG 이상의 노출로 소아 백혈병이나 성인의 백혈병이 증가되었던 것으로 나타났다. 이를 계기로 2~3 mG를 기준으로 어린이시설의 이전과 송전선의 철거 필요성이 제기되었고 이에 대한 규제안이 마련되기도 하였다.

전자장이 인체에 미치는 영향에 대한 고려는 우선 교류 전자장에 폭로될 경우 정도가 약하지만 인

체나 실험 동물체에 유도전류를 발생한다는 연구결과에서 비롯된다. 그러나 실험실에서 이루어진 연구 결과를 보면 일반적으로 60Hz 전자장에 의해 유도된 전류의 경우 오히려 뇌나 심장활동에서 발생하는 것과 같은 신체내 전류에 비해 세기가 약한 것으로 나타났으며, 이러한 이유로 인하여 극저주파 전자장의 인체영향 가능성에 대해 회의적인 시각을 갖는 것도 사실이다. 그러나 인체의 다양성과 복잡성을 고려할 때 비록 바탕수준 이하의 외부자극(전자장을 포함하여)에도 민감하게 반응하는 경우나 이러한 인구집단이 존재할 가능성을 배제할 수는 없다. 이를 뒷받침하듯, 지금까지 수행되었던 여러 연구결과를 보면 전자장에 인체가 폭로되었을 때 건강장애가 유발될 수 있다는 심증을 갖게 한다. 이 연구들에서는 전자장 폭로로 인하여 유발될 수 있는 건강장애로서 생식기능이상이나 면역체계의 변화와 행동장애 등의 건강장애와 심지어 여러 형태의 암 발생을 제시하고 있다. 그러나 저농도로 장기간 환경 중의 전자장에 폭로된 경우와 위해한 건강장애 발생간의 타당하고 신뢰성 있는 발생기전에 대하여 역학연구를 비롯하여 실험실에서의 인체나 동물 및 세포 실험에서도 아직 확정적인 결과를 제시하지 못하고 있는 실정이다.

앞서 제시한 여러 연구에서의 일치되지 않는 결과는 전자파 노출로 인한 건강장애 가능성에 대한 불충분한 확신을 갖게 하여 국가적인 차원에서의 전자파 규제는 드물게 행해지고 있다. 그러나 최근에 이르러 송전선과 가전제품에서 나오는 극저주파 전자파에 대한 논의가 국내에서도 점차 관심을 끌고 있다. 이와 같은 점은 미국이나 유럽에서도 비슷한 경향으로 나타나서 최근 일반 주민의 환경과 관련된 건강문제에서 많은 관심을 받는 것이 이와 같은 전자파 문제이다. 불행하게도 이 시점에서 증폭되는 국민의 우려와 관심에 비례하여 전자파 노출에 대한 뚜렷한 노출저감 방안이나 규제치 제시가 이루어지지 못하고 계속하여 논란의 여지가 되는 것은 전자파가 인체 건강에 유해한 영향을 준다는 확실한 증거가 아직 밝혀지지 않고 있기 때문이다. 국가적으로 인체영향의 가능성을 언급한 나라는 지금으로서는 스웨덴뿐이지만 미국을 비롯한 여러 나라에서는 '위험 가능성에 대한 신중한 회피'라는 주장이 대두되고 국가는 적극적이고 선도적으로 국민건강을 보호하여야 한다는 측면에서 전자장 인체노출에 대한 규제 및 권고치를 마련하고 이에 대한 저감방안을 제시하여야 한다는 주장이 최근 힘을 얻고 있는 실정이다.

우리 주위의 많은 환경문제가 공통적으로 갖는 특성에는 우선 위해한 환경으로 인하여 직·간접적인 건강피해를 받을 수 있는 인구집단의 크기가 매우 크다는 것이다. 연령층을 고려할 때 어린아이부터 노인까지의 폭넓은 인구집단은 우리 주위의 환경문제에 선택적으로 대처할 수 없다. 또 일반 주민의 다양성, 즉 환경문제에 민감한 집단, 노약자, 임산부 등 매우 다양한 형태의 사람들이 환경문제에 비선택적으로 노출된다. 이외에도 전자파 노출과 관련하여 최근의 첨단 산업의 발전 속도와 방향을 감안할 때, 전자파 노출량은 앞으로 더욱 증가할 것이다. 가정이나 직장 또는 일반 환경 중에서 생활의 편의를 위해 고안·설계된 각종 전자제품 및 설비로부터 인간은 쉼없이 하루 24시간의 대부분을 전자파에 노출된 상태로 생활할 가능성이 점점 많아질 것이다. 이와 동시에 현재의 사회적 인식의 수준이나 경제적 여건을 감안하고 공학기술의 비용·효과를 충분히 고려하여 이에 대한 기준치를 설정하여야 할 필요가 대두된다. 전자파 노출 가능성이 향후 계속 증가 추세에 있고 인체 건강영향에 대한 연구가 진행 중이며, 기술적 수준의 향상으로 단위 제품이나 설비로부터의 전자파 발생량이 저감될 수 있다는 것을 가정한다면 지금이라도 규제치를 설정하여 미연에 발생할지도 모를 질병 발생을 예방하고 앞으로의 기술개발에 방향성을 제시한다는 점에서 규제치 설정의 타당성을 들 수 있다. 따라서 본 연구는 극저주파 전

자장의 인체영향을 살펴보고 국내 환경 중 전자장의 발생현황을 평가하였으며 외국의 사례로 인체보건 권고기준치 설정의 배경과 운영 실태를 파악하는 것과 관리방안을 제시하는 것을 주 연구목적으로 하였다. 국내 발생현황의 조사기간은 1997년 3월 10일부터 동년 9월 10일까지 6개월간에 걸쳐 수행되었다.

1. 전자기장의 인체영향

전자파의 건강영향을 평가하는데는 다음과 같이 세 가지 부분으로 나누어 볼 수 있는데, 첫째는 *in vitro* 실험을 통한 세포수준에서의 연구, 두 번째 경우는 동물실험이나 사람을 대상으로 한 임상실험이 있으며, 마지막으로 기존에 수행되었던 역학연구 결과로서 전자파 노출로 인한 인체 건강영향에 대하여 정리해 볼 수 있다.

전자기장 노출로 인한 건강영향평가에는 그 동안 수행되었던 많은 역학 연구 결과를 이용하는 것이 일반적이다. 그러나 기본적으로 거의 모든 역학연구에서 문제점으로 지적되고 있는 것이 전자기장 노출평가에 있어서의 불확실성과 평가방법의 일관성 부족이다. 따라서 이와 같은 문제점이 보완되어 통제된 환경에서 전자기장 노출의 영향평가를 할 수 있도록 하기 위하여 동물실험이나 세포실험 등이 제안되고 있다. 동물실험에 비하여 세포실험(*in vitro* studies)은 영양분이 도포된 배양기에 단일 세포나 조직세포를 배양시키면서 실행하는 연구이다. 따라서 동물실험에 비하여 보다 통제된 환경조성이 가능하며 그로 인하여 건강장애를 유발하는 기전에 대한 이론을 밝히는 데 용이한 연구설계인 것이다. 그러나 세포실험이 갖는 가장 주요한 제한점은 역시 결과의 외삽필요성에 있다. 세포실험 결과를 생명체 또는 인간을 포함한 동물개체에 적용하기 위하여서는 결과의 외삽과정이 필수적이며 이 때 고려해야 하는 불확실성이 세포실험 결과의 이용을 제한하고 있다.

제일 먼저 제안되는 영향으로는 이온류나 단백질류의 세포막 통과에 영향을 미치는 것이다. 세포의 성장이나 생리활동에 있어서 칼슘이온(Ca^{+2})의 역할이 매우 크며 60 Hz 전자파에 노출되었을 때 칼슘이온의 방출량이 비선형적 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

전리방사선에 폭로된 경우 유전인자의 합성이나 복사에 있어서 염색체 이상이 관측되기도 하였다. 그러나 저주파 전자파의 경우는 DNA의 구조를 변형시킬 정도로 충분한 에너지를 갖지 못한 것으로 알려져 있다. 전자파 영향에 대한 연구로서 내분비 호르몬과 연관된 연구결과를 보면 아직 결정적으로 이렇다 할 만한 수준의 연구가 수행되어 있지 못하다. 그 이외에도 신경계 및 면역반응 등에 있어서 몇몇 연구가 진행되었으나 관심을 끌 만한 결과는 제시하지 못하고 있다.

암발생 기전은 흔히 여러 단계를 거치는 것으로 알려졌다. 우선 '초기자(initiators)'라고 불리는 요인이 정상 세포에 유전적인 변이를 일으켜서 암세포로 만들게 되며 '촉진자(promoters)'라는 다른 요인이 초기 암세포의 분열을 촉진시킴으로써 암으로 진행시키고 동시에 정상적인 면역체계 통제기능을 벗어나게 된다. 하지만 지금까지의 동물실험 결과는 전자기장의 암발생에 대한 기전이 초기자의 역할은 아닐 것이며 오히려 촉진자일 가능성에 대한 연구가 집중적으로 수행되고 있으나 이에 대한 연구결과 역시 일관성을 보이고 있지 않은 실정이다. 전자파노출에 대한 동물 및 임상실험의 결과는 전자파 자극에 대하여 실험동물의 발육이상, 불규칙한 심장박동, 눈의 자극, 뇌파 변화 등에 영향을 미치는 것으로 보고되었다. 전자파노출로 인한 영향 중에서 시각체계에 미치는 영향으로 섬광현상(phosphene)과 같은 경형을 예로 들 수 있는데 이는 빛 이외의 자극에 의해 생기는 비정상적인 시각 현상으로 하얀빛이 깜

박거리며 나타나는 시각적 장애이다. 이 현상은 눈을 감고 있을 때에도 각막조직의 자극에 의해 나타나는 현상이다. 위의 예 이외에도 쥐나 돼지와 같은 실험동물에서 기존 행동양식에 변화가 관찰되었으며 생식이나 발육에도 영향을 받는 것으로 보고되었다.

동물 및 임상실험에서 나타나는 결과 중에 최근 관심을 끌고 있는 것이 전자기장에 폭로될 경우 멜라토닌이라는 호르몬의 분비가 억제된다는 것이다. 일반적으로 생체내에서의 멜라토닌 분비의 리듬은 자연 상태에서 신체리듬을 조절하는 중요한 기능을 하는 것으로 밝혀졌다. 따라서 이러한 멜라토닌 분비의 영향으로 우울증이나 작업능률의 저하를 비롯하여 면역기능이나 신체의 암억제 기능을 포함하는 기본적인 생물학적 기능저하 등을 초래할 수 있다.

발암성에 대한 역학연구는 주로 거주환경과 관련하여 송전선로와 같은 고압선로를 발생원으로 고려한 연구와 직장근로자를 대상으로 한 연구로 크게 구분할 수 있다. 특히 송전선로와 관련한 연구는 성인을 대상으로 한 것과 아동들에 대한 역학연구로 나눌 수 있다. 현재는 암발생 이외의 비발암성 건강장애에 대한 관심과 연구가 증가되고 있는 실정이며 특히 생식과 발육에 대한 건강장애에 대한 연구 결과가 보고되고 있다.

과거의 역학 연구가 갖는 결정적인 제한점은 전자기장 노출평가의 불확실성에서 기인한다. 대부분의 직장근로자에 대한 역학연구에서 사용된 노출평가 방법은 근로자의 직종에 따라 전자기장 노출량을 분류하여 표시하였다. 그러나 최근 연구는 보다 정확하고 정밀한 평가를 강조하고 있어서 근로자의 직종만이 아니라 체계적으로 직접 측정을 한 것과 세밀하게 과거 노출에 대한 정보를 수집하여 이러한 모든 자료를 조합하여 인체노출량을 추정하도록 설계되어 있다.

지금까지의 역학연구는 주로 거주지역 특성과 연관된 전자파노출과 아동에 있어서의 암 발생에 그 초점을 맞추어 진행되어 왔으며, 주로 관심의 대상이 되는 암은 백혈병, 뇌암이다. 예로 미국과 스웨덴에서의 연구결과를 보면 백혈병의 경우 1.5에서 3배 가량의 발암위험성이 증가하였던 것으로 나타났다(Wertheimer & Leeper, 1979; Savitz et al., 1988; London et al., 1991; and Feychting & Ahlbo 1993). 뇌암의 경우도 여러 논문에서 유의한 상관성이 있음을 보이고 있다(Wertheimer & Leeper 1979; Savitz et al., 1988; Tomenius, 1986). 그러나 Fulton 등(1980)의 연구에서는 이와 같은 증거 보이지 않고 있으며 특정적으로 백혈병(Tomenius, 1986)이나 뇌암(Feychting & Ahlbom, 1993)에 대하여 연구 초점이 맞추어진 경우도 유의한 상관성을 밝히지 못하고 있다. 이러한 연구들이 갖는 문제점으로 대조군 선정시 생기는 '선택편견'을 들 수 있다.

전자파 노출로 인한 성인의 암 발생에 대한 연구는 아동의 경우와 달리 큰 관심을 받지 못하였다. 그러나 성인의 경우는 집에서 거주하는 시간이 작업장 근무 시간에 비하여 길지 않기 때문에 주로 산업 역학적 연구주제로 다루어지고 있다. 몇몇 수행된 연구결과에서도 성인 백혈병 발생과 거주지 특성으로 노출분류를 한 경우 유의한 결과를 보이지 않고 있다(Severson et al., 1988; Coleman et al 1989; McDowall, 1986). 대부분의 연구 들은 아동을 대상으로 한 연구와 비슷하지만 주로 '음의 결과'를 보이고 있다.

1982년 Milham은 New England Journal of Medicine에 기고한 글에서 전기적 근로자(electr workers)의 경우 백혈병으로 인한 사망비율이 다른 직업군에 비해 높았던 것을 지적하고 직업적 전자파 폭로로 인한 백혈병 발생의 증가를 암시하였다. 그 이후 여러 건의 역학연구가 수행되었으나 일관된 결

과를 보이고 있지 않다. Savitz(1987)의 연구에서 산업장 근로자의 전자파 노출과 관련한 백혈병 발생의 상대위험도를 직업군별로 표시한 결과에서 직업력과 관련하여 백혈병 이외에 뇌암이나 중추신경계암 발생이 보고되고 있으며 이에 대하여 Lin(1985)과 Thomas(1987)의 연구결과가 있다. 그 중에서 Lin(1985)의 연구결과는 통계적으로 유의하였으며 용량-반응 관계도 관찰되었다.

그러나 직업군에 따른 폭로량의 추정이 대부분 근로자나 환자 본인의 신고에 의한 것이며 또한 직업년수나 과거 폭로가능성에 대한 타당한 평가도 부족한 형편이다. 또 다른 연구의 제한점은 직장근로자를 대상으로 하였을 때 전자파 이외의 근로조건과 관련한 유기용제나 중금속과 같은 다른 발암요인에 의한 영향이 고려되지 않았다는 것이다.

위에서 언급하였던 바와 같이 전자파노출과 암발생에 대한 연구는 미국 덴버시에서 수행되었던 아동대상의 암 연구로부터 시작되었다. 이후 여러 가지 면에서 보다 개선된 많은 연구가 진행되었지만 지금까지의 연구 결과들은 일관성 없이 서로 상반된 결론을 보여주고 있다. 일반적으로 역학연구가 실험실이나 동물실험과 비교하여 갖는 장점의 하나는 연구대상이 사람을 대상으로 한다는 것이다. 따라서 세포수준의 현상을 동물에게 더 나아가 사람에게까지 외삽하여야 하는 과정이 생략될 수 있다. 그런 반면에 전자파연구와 관련한 대부분의 연구는 후향적 연구방법이며 혼란변수에 대한 적절한 통제가 이루어지지 않았기 때문에 결과의 타당도가 떨어진다. 또한 암발생의 희귀성으로 인하여 적절한 수준의 표본수를 확보하지 못하는 것과 관련하여 통계적 검정력, 즉 결과해석의 신뢰도에 문제가 있다. 과학적인 인과성의 확인은 보다 정밀하고 전향적인 연구가 수행되어야 할 것이지만 공중보건의 측면에서는 다중의 건강예방의 측면에서 깊은 관심을 기울여야 할 부분이라고 할 수 있다.

이외의 인체영향에 대한 연구로서, 스웨덴에서 수행되었던 한 역학연구는 VDT를 사용한 근로자의 경우 피부질환 증상이 높은 것으로 보고하였으며, 이외에도 epinephrine이나 thyroxine, prolactin과 같은 호르몬의 혈액내 수준이 증가하며 testosterone은 오히려 감소하였다고 보고하였다. 또 다른 연구에서는 전자기장에 노출되었을 때 심장 박동이 현저히 늦어지거나, 외부 자극에 대한 반응도에 교란이 오는 등의 심리적 영향이 보고되고 있다. 태아에 대한 전자파의 영향은 임신부의 컴퓨터 모니터와 관련하여 많은 연구가 있었다. 하루에 20시간이상을 모니터 앞에서 근무한 임신부의 경우 그렇지 않은 여성에 비하여 유산할 확률이 약 80%가량 더 높았다는 연구도 있었다(Goldharber 등, 1988). 이들의 연구에서 20시간 이내의 근무경험이 있는 임신부의 경우는 대조군에 비하여 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 Goldharber 등(1988)의 연구 이외의 다른 연구에서는 위와 같은 유의한 차이점을 보고하지 않았다. 특히 최근의 연구로서 2,000명 이상의 전화교환수를 대상으로 비교적 정밀하게 진행하였던 영국에서의 연구결과에서는 모니터 앞에서 근무하는 교환원과 그렇지 않은 교환원의 경우 유산율에 있어서 차이가 없음을 보여주고 있다(Schnorr et al., 1991). 따라서 Goldhaber 등(1988)의 연구에서 관찰된 결과가 전자파 노출에 의한 것보다는 근무자세나 근로 조건과 연관된 스트레스, 기타 확인되지 않은 요인에 의한 것일 가능성을 배제할 수 없다.

2. 국내외 전자장의 발생현황과 인체노출 시나리오

최근 들어 각종 전기기구 및 설비에서 발생하는 극저주파 전자파가 인체 및 환경에 미치는 영향을 평가하기 위한 시도가 여러 분야에서 이루어지고 있으며, 동시에 신뢰도 높은 연구방법론의 개발이 필요하게 되었다. 전자파 노출에 따른 위해성평가에서 가장 문제시되는 부분은 타당하고 신뢰성 있는 인체노출 자료의 확보라 할 수 있다. 또한 각종 전자 및 전기 기기의 개발로 인하여 국내에서도 이에 대한 관리와 대책 수립이 필요한 실정이다.

따라서 발생현황 평가에서는 크게 두 가지 연구목적 을 가지고 진행하였으며, 첫 번째 목적으로는 우선 국내에서의 극저주파 전자기장의 발생원과 발생량에 대한 현황파악과 일반인 및 직종에 따른 근로자들의 노출현황을 조사하여 평가하도록 하는 것이며, 두 번째로는 측정된 노출자료를 기준으로 국내·외의 관리제도를 비교·적용하여 합리적이고 타당한 인체보호 권고기준치 설정에 필요한 데이터 베이스를 제공하는 것을 목적으로 하였다. 또한 전자장의 발생현황과 실제 인체노출량과의 차이를 보완하기 위한 방법으로 일상적 일일 생활패턴에 대한 정보를 결합시켜 시나리오(고노출, 저노출)별로 개인노출량을 평가하여 보았다.

국내 전자기장의 발생 수준은 주로 발생량을 측정하는 것으로 이루어졌으며, 이는 크게 발생원의 형태와 장소에 따라 구분되어 측정되었다.

발생원의 형태에 따라 변전소와 송전선로 등에서 100 m까지, 각종 가정용 전기기구(전자면도기, 전기담요, 전기 iron, 냉장고, 전구, 형광등, 크기별 TV, 전기청소기, 에어컨 등)와 사무용 전기기구는 10, 20, 30cm의 거리에서 측정하였다. 장소별로는 일반 도시가정내, 사무실내, 서울 및 수도권내 지하철 각 호선별 구간측정, 병원내에서의 부서별, 변전소내, 공장내에서 작업공정별로 측정하였다.

전자장의 현황파악을 위해 제시된 자료의 장소별, 오염원별, 직업별 측정 데이터에 대한 세부적인 수치와 측정위치에 대한 평면도는 1997년 연세대 환경공해연구소의 보고서인 '전자파 인체권고기준 설정을 위한 조사연구'를 참조하면 될 것이며, 측정된 자료를 요약해 보면 다음과 같다.

표 1. 장소별 국내 전자기장 수준

단위: 전기장 (V/m); 자기장 (mG)

| 장 소 | 평균 전자기장의 세기 | | | |
|---------------------|---|------|--------------------|------|
| | 전기기구가 있는 경우 (N=24) | | 전기기구가 없는 경우 (N=26) | |
| 사무실 | 전기장 | 자기장 | 전기장 | 자기장 |
| | 33.1 | 0.51 | 3.69 | 0.34 |
| | 전기장 (1m 거리) | | 자기장 (1m 거리) | |
| 전기실 위층 (N=9) | 2.00 | | 3.45 | |
| | | | 바닥자기장 | |
| 변전소 위층 (N=35) | 31.51 | | 16.88 | |
| | | | 바닥자기장 | |
| 일반 가정 (N=107) | 전기장 | | 자기장 | |
| | 11.55 | | 0.52 | |
| 국철 및 지하철 전동차 내부 자기장 | 국철 (9.84); 1호선 (2.65); 2호선 (4.69); 3호선 (2.37); 4호선 (4.80); 5호선 (2.20); 7호선 (1.71); 8호선 (9.67) | | | |

제시된 자료외에 고압선로에서 측정된 자료를 보면, 선로의 높이와 흐르는 전류 및 전압에 따라 차이가 있지만 154 kV 2C, 850A, 지상고 20m일 경우 전계기준을 15V/m, 자계기준을 2mG로 한다면 적어도 고압선에서 60m이상 떨어져야 할 것이며 345kV, 4C, 600A, 지상고 20m일 경우도 60m 정도 떨어지면 될 것이다. 흐르는 전류에 따라 자계 형성에 영향을 주므로 높은 전류가 흐르면 고압선에서의 거리를 더 멀리 하여야 한다. 그러므로 흐르는 전류에 따라 차이는 있겠지만 154kV나 345kV의 고압선은 100m 이상만 떨어지면 가정의 실내에서 생성되는 정도의 전자파 수준으로 떨어질 것이다.

전기제품 중 백열 스탠드에서는 자계의 경우 거의 발생하지 않았으며 전계의 경우는 30cm이상 떨어지면 약 20V/m 정도로 떨어진다. 3파장 스탠드의 경우 백열 스탠드에 비해 높은 전계가 측정되었다. 30cm 거리에서도 약 3배 정도가 더 측정되었으며 특히 스탠드의 몸체 부분에서는 높은 자계가 측정되었다. 선풍기에서는 자계는 약했지만 기종에 따라 전계가 많이 발생하는 것이 있었다. 구형보다는 신형에서 더 약한 전계가 측정되었다. 라디오와 카세트만 있는 경우 10cm의 거리에서도 전계와 자계 모두 약하게 측정되었지만 CD Player가 있는 경우 전계가 특히 높게 측정되었다. 적어도 50cm 정도 떨어져서 청취하는 것이 좋을 듯하다. 냉장고의 경우는 뒷면에 전력부분이 위치하고 냉장고 자체의 부피가 있기 때문에 앞면에서는 전계와 자계가 약하게 측정되었다. 대부분 냉장고는 벽면에 붙여 두므로 전계는 큰 영향을 주지 않겠지만 자계는 모두 투과하므로 벽과 냉장고 사이에 어느 정도의 공간을 주는 것이 좋을 것이다.

전기담요의 경우 사용위치가 직접 몸에 닿는 위치이므로 사람이 전계나 자계의 영향을 특히 많이 받게 된다. 일반 담요에서는 전계와 자계 모두 많은 양이 측정되었는데 다른 전기제품에서 발생하는 전계, 자계와 비교해 볼 때 아주 많은 양이란 것을 쉽게 알 수 있다. 전기담요D의 경우는 자계를 차단하는 특수처리가 된 것으로 최대 0.62mG로 일반 전기담요에 비해 약 30배 정도 적게 자계가 발생하는 것을 볼 수 있다.

사무실에서 사용하는 복사기의 경우는 전계가 특히 많이 발생을 한다. 30cm 떨어진 거리에서도 복사중에 약 90V/m 정도까지 발생한다. 특히 복사종일 때 남자의 경우 생식기 근처가 복사기의 본체와 아주 가깝게 된다. 보통 10~20cm 이내가 되므로 약 130V/m 정도이다. 그러므로 사람이 서게 되는 방향의 복사기 본체면에는 전계에 대한 차폐가 필요하다.

컴퓨터 모니터의 경우 다른 전기제품들도 그렇지만 전원이 접지가 되어 있느냐 아니냐에 따라 전자파가 발생하는 양에 있어서 큰 차이를 보여준다. 14인치 모니터의 경우 접지가 된 환경에서 측정되었던 것으로 같은 환경의 17인치 전계에서보다 많은 양이 측정되어진다. 17인치 모니터의 전계 측정에서 보여지는 것처럼 접지를 안한 전원에서는 접지를 한 전원의 전계의 25배 이상이 측정되었다. 그러므로 전기제품의 접지와 가정 및 사무실에서 전원접지를 올바르게 설치함으로써 많은 양의 전자파를 줄일 수 있다.

에어컨의 경우는 최근에 가정 및 사무실에서 사용이 증가하여 대부분의 제품들이 최근에 만들어진 제품이라 자계의 발생량이 많지 않았다. 그리고 어느 정도의 거리가 떨어진 상태에서 사용하므로 큰 문제가 없으리라 생각한다. 측정치를 살펴보면 40 cm이상의 거리에서 0.89 mG이므로 자계의 강도가 약함을 알 수 있고 1 m 이상의 거리에서는 0.5 mG 이하로 떨어질 것이다.

직업별 측정에서는 전기실에서 근무하는 사람의 경우, 전계는 아주 낮은 반면 자계는 5.35 ~

47.30 mG가 측정되었다. 실제 앉아서 근무하는 책상에서는 7.40 mG가 측정되었다. 다른 장소에서 보다 자계가 높다는 것을 알 수 있다.

수술실의 경우는 전계와 자계 모두 특별히 높지 않았고 다른 사무실의 환경과 비슷했다. 특별한 전기 장치를 사용하지 않는 청각 검사실의 경우 자계는 아주 낮았다.

공장의 연구실은 평균 0.78 mG의 자계가 측정되었는데 일반적인 다른 사무실과 특별한 차이가 없었다. 전자부품을 조립하는 공장에서도 평균 0.97 mG로 아주 낮은 자계가 측정되었으며 플라스틱을 압축 성형하는 공장에서도 한 곳을 제외한 지역에서 모두 1 mG이하로 낮은 자계가 발생하였다. 실제 사람이 앉아서 작업하는 위치는 모두 1 mG 이하로 나타났다.

제철소에서의 측정은 전기로에서 4 m 정도에서 떨어져 작업하는 인부들 뒤에서 1 m 떨어진 거리에서 150~614 mG의 자계가 측정되어 일반인들은 접하기 힘든 많은 양의 자계가 측정되었다. 전류의 양에 따라 자계가 증가한다는 것을 알 수 있다.

외국자료에서 전계를 측정하는 것은 찾을 수가 없었으며 자계를 측정하는 것은 찾을 수 있었다. 역시 보고서(연세대 환경공해연구소, 1997)에서 "EMF In Your Environment(EPA, 1992)"를 인용한 것과 음 표 2는 가정에서 측정하는 자기장의 발생량을 보여준다. 본 연구에서 측정하는 결과와 외국 자료를 비교하는데 있어서 측정방법(거리, 위치) 및 측정시의 환경 등에 따라 약간의 차이가 있을 수 있다.

표 2. 미국의 EPRI가 측정한 992 가정에서의 자계의 세기(1993)

| 가정내의 자계 | 0.6mG | 1.1mG | 2.1mG | 2.9mG | 6.6mG |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 위쪽수치의 자계를 넘는 가정의 % | 50 | 25 | 15 | 5 | 1 |

국내에서 측정된 자료와 외국자료를 보면 직접적인 비교에는 어려움이 있으나 대체적으로 외국수준과 비교하여 높지 않은 것으로 나타났다. 이는 제한된 인용자료로 인하여 자기장에 대한 수준만을 비교한 것이지만 전기장의 수준과 자기장의 수준이 서로 밀접한 상관관계를 보이는 것을 고려한다면 전기장의 수준도 외국과 비슷하거나 높지 않을 것으로 추정할 수 있다.

국내 전기제품의 경우는 전기 담요를 제외하고 10mG를 넘는 제품이 없었는데 외국제품은 대다수의 것들이 10mG를 넘는 많은 양의 자계가 발생하였다. 1992년에 만들어진 전기제품보다는 현재에 만들어진 전기제품들이 더 발전된 기술로 만들어졌기 때문에 자계의 양이 많이 감소한 것으로 사료된다. 고압선로에서 발생하는 전자파의 경우는 물론 외국 고압선로와 국내 고압선로가 지상고에서 서로 차이가 있지만 굳이 비교를 해 본다면 전계는 외국 고압선로보다 적게 발생하였으며 자계의 경우는 전력 소비량의 변화에 의해 변동이 심하므로 우리가 있기는 하지만 위의 결과로만 비교한다면 거의 비슷한 수준으로 볼 수 있다.

미국의 Baltimore와 Washington D.C를 운행하는 통근 열차의 좌석위치에서 25Hz의 자계가 최대 500mG까지 측정되었다. 하지만 국내 지하철은 직류 600V를 사용하므로 자계는 최대 10mG 내외로 측정되었으며 평균적으로 4mG 정도이며 교류를 사용하는 국철의 경우 많은 양의 전계와 자계가 측정되었다. 그래도 평균 10mG정도로 미국의 경우에 비해서는 작은 양이다.

전형적인 미국 가정에서의 자계의 세기(전기제품으로부터 멀리 떨어진 곳)는 대개 0.5~4mG이고 평균치는 0.9mG이다. 국내의 경우는 가정에서 107개의 장소에서 평균 0.52mG로 대체적으로 미국의 경우보다는 낮게 측정되었다. 이 경우도 전기제품으로부터 어느 정도 거리가 떨어진 경우이다.

환경오염물질이나 유해환경에 대한 인체노출 평가방법에는 크게 직접평가와 간접평가의 두 가지로 구분된다. 직접평가방법은 신체 부위에 측정도구를 설치하여 여러 환경경로로부터 노출되는 오염물의 개인노출량을 측정하는 것과 혈액이나 소변을 비롯한 생체시료를 이용하여 생체지표 분석을 통하여 개인노출량을 평가하는 등의 방법을 들 수 있다. 이러한 직접적 평가 방법은 연구 결과의 타당도를 높일 수 있는 장점을 지니고 있다. 그러나 연구의 신뢰도를 높이기 위하여 적절한 표본수를 구하는데 이러한 방법은 현실적으로 어려움이 있으며 동시에 정밀도를 유지하기 위한 분석 방법이 매우 어렵고 측정과 관련된 비용부담이 매우 크다는 단점이 있다. 따라서 환경관련 연구에서의 인체노출 평가는 주로 간접적인 방법이 이용되고 있다. 대표적인 것이 대기오염도 자동측정소 자료를 이용하는 것을 들 수 있는데, 이는 지역별로 측정된 대기오염도를 지역거주자 모두에게 적용하여 개인노출량으로 추정하는 것이다. 이런 방법은 '정보편견'의 가능성이 매우 크기 때문에 이를 보완하기 위하여 주변 환경을 여러 부분으로 나누어 환경농도를 측정한 뒤에 개인의 일상적 일일 패턴에 대한 정보를 결합시켜서 개인노출량을 추정하는 방법이 제시되었다. 이와 같은 방법으로 비교적 타당도가 높은 평가를 할 수 있으며 동시에 높은 신뢰성을 유지할 수 있다는 장점이 있어서 최근의 환경연구는 이와 같은 방법을 많이 적용하고 있다. 본 연구에서도 이와 같은 보완적 간접평가 방법을 적용하여 시나리오 별로 개인 노출량을 추정하여 보았다(연세대 환경공해연구소, 1997).

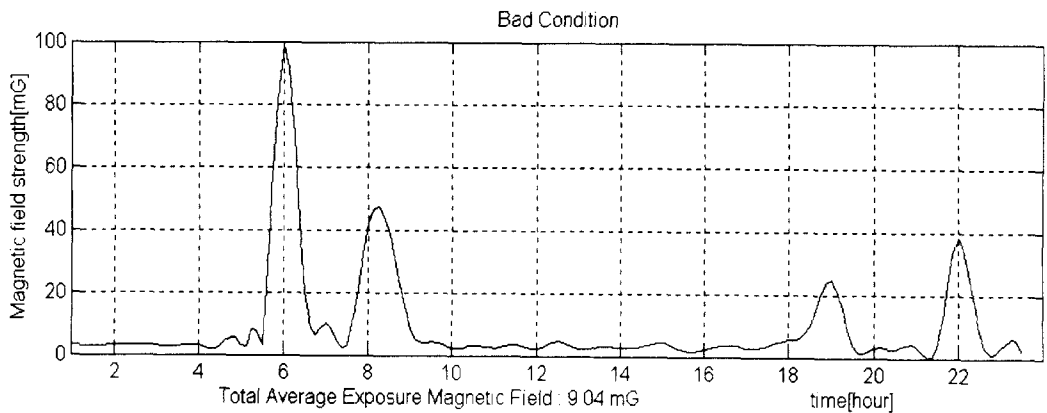


그림 2. 고노출 시나리오에 의한 자기장 노출량

그림 1에서 알 수 있듯이 일반인의 경우 직업특성과 생활패턴에 따라 많게는 하루 평균 약 10mG 까지 노출되는 것을 추정할 수 있다. 저노출 시나리오에 의한 경우 하루 평균 약 1.6mG 정도의 자기장에 노출되는 것으로 추정되었다. 따라서 국내 일반인의 자기장 폭로 수준은 대략 10mG를 넘지 않을 것으로 추정할 수 있다. 이러한 수준은 국제방사보호협회에서 권고하는 수준과 비교할 때 100배 가량 낮은 수준이다. 그러나 전자파 폭로로 인한 인체 건강 영향, 특히 발암영향에 대한 확정적 증거가 고려되

지 않은 상태에서 권고된 기준치와 비교하여 국내 일반인이 전자파 폭로에 안심할만한 수준이다라고 하는 것에는 무리가 있다. 소각로 등에서 배출되는 다이옥신의 예에서 볼 수 있듯이 발암성에 대한 증거가 제시되면서 기존의 기준치가 1,000배로 강화된 것을 고려할 때 현재의 권고안이 수정될 수 있는 것이다. 또한 기존의 전자파 관련 역학연구에서 적용하는 노출분류법(고노출은 2~3mG 이상 폭로되는 가옥)을 적용한다면 하루 평균 10mG가량의 노출량은 안심할 정도로 낮은 수준이 아닐 수도 있다. 따라서 국가는 이러한 불확실성을 고려하여 가능한 한도 내에서 불필요한 노출을 줄이려는 방안과 홍보를 실시하는 것이 필요하다 할 수 있겠다.

3. 외국의 권고기준치 설정과 관리방안

과거에는 자연적으로 발생하는 전자장에 더 많은 관심을 두었는데, 최근에는 사람이 만들어낸 전자제품, 전기에너지, 전기 송수신기 등에 의해 인위적으로 발생하는 극저주파 특히, 주파수 대역이 50내지 60Hz인 전자파가 많은 관심의 대상이 되고 있다.

모든 유기체 내부에서 발생하는 전자장과 전류는 신경근육의 활성화, 생 분비, 세포막 기능, 조직의 성장 발육, 수복 등과 같은 생리조절에 중요한 역할을 한다. 따라서 인공적으로 발생하는 전자장이 생물에 영향을 미치는가에 대해 의문을 제기하는 것은 놀랄만한 일이 아니다. 과학의 발전과 아울러 전기 에너지의 급격한 수요로 말미암아 전자장에 노출되는 정도나 빈도가 늘고있고 따라서 어느 정도 수준의 전자장이 인체에 안전한가에 대한 판단을 요구하는 단계에까지 이르게 되었다.

이에 대한 일반인의 관심이 고조되는 가운데 많은 나라의 입법기관, 고문단도 극저주파 전자기장에 의해 유발될 수 있는 건강장애영향에 대한 평가를 요구하고 있으나 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.

국제 방사선 보호 협회(International Radiation Protection Association)의 경우 하루 24시간 평균으로 일반인은 1000mG를, 근로자의 경우는 5000mG로 제시하고 있는데 이 값은 신체내에서 자연적으로 발생하는 전하밀도 수준을 근거로 한 것이다(표 3). 미국의 Florida와 New York주의 경우도 over-head power line 근처의 자기장 수준을 right-of-way의 가장자리에서 150-200mG로 허용기준 정했는데, '이 수준이상에서 인체 건강에 위해한 영향이 나타날 수 있다'거나 혹은 '이 수준 이내가 건강장애 발생에 안전한 수준이다'라는 것은 아니고 제시된 허용기준이 단지 현재 측정된 발생량을 고려한 수준이라는 사실에 기초한 것이다. 따라서 현재 스웨덴 정부를 포함한 전문가들의 결론은 지금까지의 지식수준이 2mG의 낮은 값을 노출기준으로 정하기 위한 근거를 제시하지 못한다는 것이다.

미국의 LA시에서는 아동에 대한 전자기장 노출 저감법(Children's Electromagnetics Field Reduction Act)을 정하여 규제하고 있으며 동일한 주의 Irvine과 Fremont지역에서는 자체 규정을 만들어 전자기장 노출을 줄이려는 노력을 하고 있다. 미국 LA시의 경우, 1993년에 Children's Electromagnetic Field Risk Reduction Act 에서는 50-133 kV 송전선이 지나가는 경우는 100feet 내, 220-230 kV 송전선의 경우는 150 feet이내, 500-550 kV 송전선은 350 feet이내에 학교와 어린이 탁아시설을 짓지 못하도록 하고 있다. 이에 따라 현재 600 여개의 학교가 이 규정에 맞추어 지어지고

있다. California의 Irvine지역에서는 극저주파 자기장 수준이 4mG를 넘는 지역에서는 주택을 짓지 못하도록 하는 규정을 만들었으며 Fremont지역에서는 부동산 소유자가 사려고 하는 매입자에게 그 토지와 송전선과의 거리를 밝히도록 요구하고 있다.

스웨덴 정부도 발전소가 있는 근처에 주택과 학교를 새로이 짓지 않도록 권고하고 있으며 아울러 가정과 학교 그리고 작업장에서 자기장 폭로수준을 제한하고 있다. 이렇듯 각 나라마다 전자장의 노출 기준을 조금씩 다르게 정하고 있는데, 차이가 심한 경우는 10,000mG 이상이나 나는 경우도 있다. 이러한 차이가 발생하는 이유는 첫째 각 나라마다 노출기준을 정하기 위해서 근거로 한 물리적, 생물학적 영향을 다른 자료들이 다르기 때문이며, 그 다음으로는 이러한 자료들을 해석하는데 있어서 각기 다른 관점을 가지고 있기 때문이다. 세 번째는 이러한 기준에 의해 수행되는 연구들이 조금씩 다른 연구 목적을 가지고 있기 때문이다. 그 외에도 위험의 수준과 더 엄격한 규제를 해야한다고 주장하는 보수적인 입장들 사이에서 어느 정도의 합의를 이룬 수준이 각 나라마다 다르기 때문이다. 아울러 이러한 노출기준 제정에 따른 국가 전체와 사회, 정치적 연관성을 갖는 주변지역에 미치는 영향들의 차이 때문에 각 나라의 노출 제한값이 다르게 나타나고 있는 것이다.

표 3. 외국이나 국제기구의 권고안 비교

| 국가 특성 | 국제방사선보호협회 (IRPA) | 세계보건기구 (WHO) | 영국 ¹ | 미국 ² |
|------------|-------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 전기장 (kV/m) | 5† 10‡ | 10¶ | 10* | 25* |
| 자기장 (mG) | 1,000† 10,000‡ | - | 1,333† | 1,000# |

¹영국 국가 방사보호위원회; ²미국 산업위생학회 (ACGIH)

†하루종일 노출시 하루 평균 권고안; ‡하루 3시간 이내 노출시; ¶간헐적 노출시; #최고허용치

외국의 경우 송전선과 가정의 전기제품에서 나오는 극저주파 전자기장에 관한 논의가 시작한 것은 최근의 일이며 규제값이 있더라도 대부분은 전기장에 관한 것이다. 자기장에 대한 규제값을 제안하는 경우에도 근거로 하는 것이 '열적효과'에 바탕을 두고 있으며 현재 문제가 되는 발암효과 같은 '비열적효과'를 포함하여 고려된 국가차원의 규제값은 거의 전무한 실정이다. 전기장의 경우도 송전선 바로 아래나 발생원에서의 감전과 같은 직접적인 전기적 충격에 의한 장애를 근거로 규제치가 설정되었다.

전자파의 영향은 우리가 전자제품을 사용하거나 근접함으로써 생기는 직접적인 영향과 심장 박동기 등을 착용에 따른 인공장기의 간섭작용 등이 일어나 인체장기에 영향을 주는 간접적인 영향으로 구분할 수가 있다.

생물학적으로 전자장이 인체에 미치는 영향에 대해 명확히 알기 위해서는 더 많은 자료가 필요하며 지금까지의 연구결과로는 현재 수준의 일일 노출이 일반인에게 어떤 영향을 미칠 수 있는가에 대한 증거를 제시하지 못하는 단계이다. 아직도 여러 나라에서는 보호기준설정을 요구하는 단체와 기술적 발전을 옹호하는 집단간의 논쟁이 계속되고 있으나 시대적인 요구에 맞추어 현재의 가능한 지식수준에서 객관적인 판단을 통하여 노출 허용기준치를 정해야 할 것이다. 원칙적으로는 인체에 실제로 흡수되는 전자파에너지를 규제하는 것이 바람직하지만 각 개인의 특이성, 노출측정의 어려움, 생물학적인 이론의 뒷

받침의 부족으로 인하여 실제로 노출되는 수준만을 규제하는 것이 지금 실정에는 더 현실적이다.

이러한 노출허용 기준을 설정할 때 고려해야 할 사항을 생각해 보면 우선 현재 나타나고 있는 전자장의 수준에 대한 근본적인 판단이 이루어져야 한다. 사무실, 가정, 작업장에서 어느 정도 수준의 전자장이 나오고 있는지에 대해 일반적인 측정값과 이를 대표할 수 있는 평균값 등으로 표시되어 각 특징에 대해 비교할 수 있어야 한다. 그와 동시에 전자장의 수준을 측정하기 위한 표준 측정장비와 표준화된 측정절차가 존재하여 측정값을 확연하게 알 수 있고 비전문가도 쉽게 이해하여 그와 관련된 개념에 어려움 없이 접근할 수 있어야 한다. 그리고 무엇보다도 중요한 것은 과학적인 타당성의 확보이다. 주파수, 변조형태, 발생원과의 거리 등의 노출변수에 따르는 영향들에 대한 인체의 용량-반응의 관계가 밝혀지는 것이 그중 하나라고 할 수 있다. 이러한 연구결과를 뒷받침하기 위해서는 실험이 선행되어야 하나 사람을 대상으로 하는 실험은 윤리적인 문제 등의 이유로 제한점을 가지고 있다. 따라서 동물실험을 실시하여 이 자료를 사람에 대한 자료로 활용하게 되는데 이 과정에도 많은 불확실성이 존재하는 등의 문제점이 있기 때문에 안전계수를 도입하여 적용하고 있다.

기술적인 문제와 아울러 경제성도 신중히 고려되어야 할 것이다. 노출 허용기준을 강화함에 따라 소요되는 부가적 비용을 추산하여 의사결정에 반영해야 한다. 그러나 이러한 결정이 전자업계 등의 산업에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 현재의 우리 나라 기술수준에 맞는 결정을 내려야 한다. 예를 들면 표준화된 전자장 노출허용기준으로 암의 발생률을 줄일 수 있다면 암과 같은 질병 한 건을 예방함으로써 줄어드는 비용과 기준에 준하는 설비를 갖추는데 드는 비용을 비교해봄으로써 비용-편익 또는 비용-효과 등의 분석이 각 나라 실효에 맞는 노출한계를 설정하기 위해서 필수적으로 이루어져야 한다. 현재는 컬러 액정TV가 개발되고 있는데 더 나은 화질뿐만 아니라 전자장도 기존의 컬러 TV보다 적게 나오는 것으로 알려져 있다. 전자파 차단섬유, 전자파 차단 보안경, 컴퓨터 본체의 옆면, 뒷면을 감싸주어 전자파를 차폐하는 컴퓨터 밴드, 전자가 내부에 스프레이식 도료를 뿌려 전자장의 발생을 예방하는 기술 등이 개발되고 있다.

또한 주민, 학자, 공무원 등의 포괄적이면서도 민주적인 참여가 있어야 한다. 그리고 대다수의 일반인이 전자장의 위험을 공감하고 노출제한의 필요성을 느끼고 있는지 미리 파악이 되어 하며 가정, 지역사회를 안전하게 하고자하는 국민의 욕구를 만족시켜야 할 것이다.

우리 나라의 경우도 현재 송전선 근처에 어느 정도의 주택, 학교 등의 건물이 분포하고 있는지를 거리별, 송전선 전압별로 구분하여 실질적인 현황조사가 먼저 이뤄져야 한다. 실태를 먼저 파악한 후 그 규모와 실정에 맞게 합의를 거쳐 예산을 책정하고 투입해야 한다. 또한 정부측에서도 송전선이 지나가는 구역을 매입하여 일반인의 전자기장 노출을 예방한다든가, 전자기장 차폐를 위해 일련의 설치나 조치를 취한 가전제품에 대해서는 세제 혜택을 주는 것과 같은 제도적 지원이 뒤따라야 할 것이다. 이와 함께 정부는 국민들이 지불할 수 있는 적절한 비용수준에서 노출허용기준을 정해야 할 것이다.

4. 전자기장 노출과 위해성평가

어떤 위험요인이나 위해 요인을 과학적이고 합리적으로 평가하기 위한 방법론이 위해성 평가(risk assessment)인데, 특히 사람이 환경적인 위험(environment hazards)에 노출되었을 때 일어날 만한 영향을 정성 또는 정량적으로 측정하는 과정을 건강 위해성 평가(health risk assessment)라고 할 수 있다. 이러한 위해성 평가의 과정은 위험성확인(hazard identification), 노출평가(exposure assessment) 용량-반응 평가(dose-response assessment) 및 위해도 결정(risk characterization)의 4단계로 이루어져 있다. 우선 첫 번째 단계인 위험성 확인과정은 위해성 평가를 하기 위한 초기의 정성단계로서 관심을 가지고 있는 오염요인 등(독성화학물질, 전자장 등)이 인체에 어떠한 유해한 영향을 끼치는지 알기 위해 이용이 가능한 모든 자료를 수집(동물독성자료, 역학자료 등)하거나 또는 이를 위한 실험을 진행한다. 전자장 연구에서도 위험성을 확인하기 위하여 여러 실험이나 역학연구들을 토대로 기초적인 조사를 해야한다. 지금까지 연구된 결과들을 참고로 살펴보면 전자기장의 경우 아직은 많은 부분이 확정적인 결론을 도출하기에는 부족한 것을 알 수 있다.

노출평가(exposure assessment)의 단계로서 사람이 환경매체에 노출이 되었을 때 노출의 정도와 빈도를 결정하고 추정하는 단계로서 환경중 농도나 생물학적인 감시자료(biological monitoring)을 토대로 추정한다. 전자장과 암발생과의 관련성을 보기 위해서는 현재의 노출수준이 아닌 병이 발생하기 이전의 노출수준을 알아야하나 실제로 측정이 어렵기 때문에 일반적으로 다음과 같은 가정을 둔다. 노출 정도가 시간이 흐름에 따라 상대적으로 같은 수준일 것이며 따라서 개인의 노출수준도 크게 변하지 않을 것이다-즉 현재 고농도로 노출되는 개인은 과거에도 고농도로 노출되었을 것이다-라는 가정하에 과거 전자장 노출에 대해 직업의 종류, 송전선과의 거리를 surrogate로 추정한다. 전자장의 노출평가 과정에는 크게 두 가지 문제점이 있다. 전자장과 생물학적으로 관련이 있는 parameter를 아직 모른다는 것과 과거의 전자장 노출을 평가하기가 어렵다는 것이다. 즉 어떤 특정 주기, 강도의 전자장이 영향을 끼치는 것인지 아니면 간헐적으로 노출이 되는 것이 인체에 영향을 미치는 것인지에 대한 결정적인 특성을 모르기 때문에 연구에 제한을 받게 된다는 것이다. 그러나 만약 노출과 생물학적으로 연관성이 있는 parameter를 안다면 현재의 측정된 위험보다 높게 나타날 수도 있으며 또는 반대로 노출의 위험이 전혀 없다고 결론지어질지도 모른다.

다음으로 용량-반응(dose-response) 평가의 경우는 역학연구, 독성학적 연구를 이용해서 평가할 수 있으나 역학연구는 노출수준이 정량적이지 않고 end-points로 나타나는 질병의 영향이 희귀하고 여러 요인에 의해 발생하여 환경적 요인을 알기가 어렵기 때문에 한계를 가지고 있다. 따라서 용량, 환경 조건을 통제할 수 있는 독성학적 연구를 이용한다. 대부분의 경우는 동물실험을 통해 계획된 연구설계에 따라 일정량씩 용량을 증가시키면서 나타나는 영향을 관찰하여 용량-반응의 상관관계를 본 다음 이러한 자료를 인체에 외삽하는 방법 등을 이용하여 추정한다. 그러나 전자장의 연구에서는 전자장의 세기를 변화시켜가면서 실험한 연구는 아직까지 없으며 노출시킨 그룹과 노출되지 않은 그룹간의 영향을 본 연구들은 대부분이다. 아직까지는 용량-반응의 모델을 적용할 수 있는 단계는 아니다. 따라서 앞으로 진행될 연구들은 dose(전자장의 세기)의 개념을 고려하여 전자장의 세기를 증가시키면서 나타나는 건강 장애 영향을 관찰하여야 할 것이다. 물론 세포, 동물실험을 하는 경우 통제가 가능한 다른 조건들은 최대한 통제된 후에 실험을 수행하여야함은 물론이다.

결어

우리 주변에는 인간의 삶에 직·간접으로 영향을 미치는 환경적 요인이 많이 있다. 제한된 연구 노력과 과학기술의 수준 그리고 정부 예산으로 인하여 이들 중에서 우선 순위를 정하여 관심의 폭과 정도를 정하여야 할 필요가 있으며 이는 모두 우리의 몫이라 할 수 있다. 특히 독성학, 역학, 의학, 보건학과 공학 등 다양한 학문을 전공으로 하는 연구진의 신뢰성 있는 연구수행과 이를 모아 국내 기술수준과 국민의식 수준 등을 고려하여 적절한 규제의 틀을 만드는 작업을 위한 행정부의 끊임없는 노력이 필요하며 이러한 연구와 협의의 과정 그리고 결론을 이해하려는 일반 국민의 참여는 환경문제를 풀어 가는 데 있어서 필요·충분 조건이 된다.

이와 같은 공통의 인식에서 전자기장의 인체영향에 관한 과학적인 이론을 검토함과 동시에 국내외 권고기준과 설정과정을 살펴보았으며 국내 현 상황을 파악하고자 하였다. 또한 전자장의 위해를 평가하기 위한 방법론인 위해성평가의 적용을 소개하였다. 따라서 우리 나라에서의 전자기장 관련연구의 방향은 위해성평가의 방법론을 기반으로 하여 우선 두 가지 점에서 진행되어야 할 것으로 사료된다. 첫째는 신뢰성 있는 노출평가 방법의 정립이다. 이는 전향적 코호트 연구를 수행하는 것으로 연구대상인의 전자기장 노출 수준을 보다 정밀하게 측정할 수 있는 장점이 있다. 물론 이 경우 건강영향 평가를 하는데 있어서 관심 있는 질병의 유형에 따라 연구수행에 어려움이 있는 경우도 있다. 그리고 노출평가의 확립과 더불어 국내 연구에서 필요한 부분은 노출 현황파악으로서 송·배전선이 통과하는 근처의 가옥의 숫자와 주민의 인구통계학적 자료 확보, 지하철이나 제철소와 같이 전자기장 폭로 수준이 높을 것으로 예상되는 근로자 대상의 노출평가가 이루어져야 하겠다. 두 번째로는 동물실험이나 독성실험의 방법을 이용하여 생물학적 영향 기전을 밝힐 수 있는 연구가 수행되어야 하며 멜라토닌 이외의 생체지표를 찾아 보다 민감한 지표로서 이용할 수 있는지가 검토되어야 할 것이다.

참고문헌

- 김덕원, 전자파공해, 수문사, 1996
- 환경부. 연세대 환경공해연구소, 전자파 인체권고기준 설정을 위한 조사연구, 1997.
- Kaune, W.T; Forsythe, W.C. Current densities induced in swine and rat models power-frequency electric fields. *Bioelectromagnetics* 9:1-24;1988
- Hauf, R. Effects of 50Hz alternating fields on man. *Electrotechn. Z. B.* 26:318-320;1974 (German)
- Hauf, R.; Wiesinger, J. Biological effects of technical electric and electromagnetic VLF fields. *J. Biometeorol.* 17:2113-215;1973
- Rupilius, J.P. Investigations on the effects on man of an electrical and magnetic 50Hz alternating field. Freiburg, Germany: Albert Ludwig University; 1976 (in German). Dissertation
- Sander, R.; Brinkman, J.; Kuhne, B. Laboratory studies on animals and human beings exposed to 50Hz electric and magnetic fields. *Proceedings of the International Conference on High-Voltage Electric Systems*; 1-9 September 1982; Paris : CIGRE, (paper 36-01); 1982
- United Nations Environment Program/ World Health Organization/ International Radiation Protec

- Association. Environmental Health Criteria 35. Extremely low frequency (ELF) fields. Geneva: World Health Organization, 1984
- Institute of Electrical and Electronics Engineers; Working Group on Electrostatic and Electromagnetic Effects. Electric and magnetic field coupling from high voltage AC power transmission lines – classification of short-term effects on people. IEEE Trans. Power Appl Syst. 97:2243–2252;1978
- Zaffanella, L.E.; Deno, D.W. Electrostatic and electromagnetic effects of ultra-high-voltage transmission lines. Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute; Final report, EPRI EL-8 1978
- Tenforde, T.S.; Kaune, W.T. Interaction of extremely low frequency electric and magnetic fields with humans. Health Phys. 53:589–606;1987
- United Nations Environment Program/ World Health Organization/ International Radiation Protection Association. Environmental health criteria 69. Magnetic fields. Geneva: World Health Organization; 1987
- Gauger, J.R. Household appliance magnetic fields survey. Arlington, VA: Naval Electronic Systems Command; IIT Research Institute report EO 6549-43; 1984
- Coleman MP, Bell CMJ, Taylor HL, et al. Leukemia and residence near electricity transmission equipment: A case-control study. Br J Cancer 1989;60:793–8
- Feychting M and Ahlbom A. Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines. Am J Epidemiol 1993;138:467–81
- Fulton JP, Cobb S, Preble L, et al. Electrical wiring configurations and childhood leukemia in Rhode Island. Am J Epidemiol 1980;111:292–6
- Goldhaber MK, Polen MR, Hiatt RA. The risk of miscarriage and birth defects among women who use video display terminals during pregnancy. Am J Ind Med 1988;13:696–706
- Hill AB. The environment and disease: Association or Causation? Proc Royal Soc Med 1965;58:295–300.
- Lerchl A, Nonaka KO, Reiter RJ. Pineal gland "Magnetosensitivity" to static magnetic fields is a consequence of induced electric currents (Eddy currents). J Pineal Research 1991;10:109–1
- Lin RS, Dischinger PC, Conde J, et al. Occupational exposure to electromagnetic fields and occurrence of brain tumors: An analysis of possible associations. JOM 1985;27:413–5.
- Lioff AR. The ion cyclotron resonance: A physical basis for the ELF interaction with biological systems. In: Wilson B, Stevens R, Anderson L (Eds.) Extremely low frequency electromagnetic fields: The Question of cancer. Battelle, Richland, 1990
- London SD, Thomas DC, Bowman JD, et al. Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia. Am. J. Epidemiol. 1991;134:923–37
- McDowall ME. Mortality of persons resident in the vicinity of electricity transmission facilities. Br J Cancer 1986;53:271–9
- Milham S. Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. New Eng J Med 1982;307:249
- Savitz DA and Calle EE. Leukemia and occupational exposure to electromagnetic fields: Review of epidemiological surveys. JOM 1987;29:47–51.

- Savitz DA, Wachter HA, Barnes F, et al. Case-control study of childhood cancer and exposure to 60-Hz magnetic fields. *Am J Epidemiol* 1988;128:21-38.
- Savitz DA, John EM, Kleckner RC. Magnetic field exposure from electric appliances and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 1990;131:763-73.
- Schnorr TM, Grajewski BA, Hornung RW, et al. Video display terminals and the risk of spontaneous abortion. *N Engl J Med* 1991;324:727-33.
- Severson RK, Stevens RG, Kaune WT, et al. Acute nonlymphocytic leukemia and residential exposure to power frequency magnetic fields. *Am J Epidemiol* 1988;128:10-20
- Thomas TL, Stolley PD, Stemhagen A, et al. Brain tumor mortality risk among men with electrical and electronics jobs: A case-control study. *J Nat Cancer Inst* 1987;79:233-6
- Tomenius L. 50-Hz Electromagnetic environments and the incidence of childhood tumor in Stockholm County. *Bioelectromagnetics* 1986;7:191-207
- U.S. Congress, Office of Technology Assessment, Biological Effects of Power Frequency Electrical & Magnetic Fields-Background Paper, OTA-BP-E-53 (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, May 1989)
- Wertheimer N and Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol* 1979;109:273-84.
- Wertheimer N and Leeper E. Adult cancer related to electrical wires near the home. *Int J Epidemiol* 1982;11:345-55.
- Wertheimer N and Leeper E. Possible effects of electric blankets and heated waterbeds on fetal development. *Bioelectromagnetics* 1986;7:13-22.