

고압선로 전자파의 효율적 관리방안 연구

2002. 11

전 인 수



한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

서 언

과학 기술의 눈부신 발전과 성장위주의 국가산업정책에 의하여 전기사용량이 급속히 증가하고, 전기에너지를 사용하는 범위가 더욱 넓어지고 있으며, 또한 전기전자기기 등의 사용으로 인하여 일상생활속에서도 전자파에 노출될 기회가 점점 증가하고 있습니다.

특히 1970년대부터 에너지 사용증가로 인한 환경오염물질 중 하나로 인식되어지고 있는 전자파가 인체에 영향을 미칠 수 있다는 위험성때문에 극저주파 전자기장에 만성적인 노출에 의한 인체 위해성에 대한 연구가 많은 나라에서 진행되어 왔습니다. 1990년대 후반에 이르러서야 우리나라에서도 건강 위해성에 관심을 두기 시작하였습니다.

최근 고압선로에서 발생하는 전자파에 의한 인체 위해성에 대한 논쟁이 더욱 심화되기 시작하였으며, 고압선로 인근 거주지의 지가 하락 등을 이유로 많은 민원이 발생되고 있습니다. 지금까지 극저주파 전자기장 노출과 암발생에 대한 상관관계가 과학적으로 명확히 규명되지 않았음에도 불구하고 많은 국가에서는 이에 대한 대책을 마련하고 있으며, 우리나라도 극저주파 자기장에 노출됨으로써 야기되는 건강위험성에 대한 대응방안이 필요할 것입니다.

본 연구에서는 고압선로에서 발생하는 극저주파 전자기장에 만성적으로 노출되어 있는 일반인과 전자파노출 관련산업체에서 근무하는 직업인의 누적적 노출에 의한 암발생과의 상관관계 분석과 전자파 노출치에 대한 표준 및 가이드라인에 대한 각 국가별 관리방안에 대하여 분석하였습니다.

본 연구의 결과로 고압선로에서 발생하는 전자파의 만성적인 노출로 환경에 민감한 정온시설인 유아원, 초등학교, 병원 등에 미치는 건강위해성에 대한 효율적인 방안이 마련되었습니다. 따라서 본 연구가 향후 고압선로의 극저주파 전자기장에 만성적으로 노출되어 있는 일반인 및 직업인에 대한 잠재적인 위험성을

사전에 예견하여 예방적 조치를 적용할 수 있는 관리정책을 입안하는데 유용하게 이용되었으면 합니다.

끝으로 본 연구를 맡아 수행해 주신 본 원의 전인수 박사께 사의를 표합니다. 또한 바쁘신 중에도 불구하고 심사를 맡아주신 연세대학교 의과대의 김덕원 교수, 충남대학교의 백정기 교수, 환경부 김재기 서기관, 그리고 본원의 정희성 박사, 김광임 박사, 박영민 박사께도 감사를 드립니다. 아울러 본 연구의 내용은 본 연구원의 공식견해가 아닌 연구자 개인의 견해임을 밝혀둡니다.

2002년 11월

韓國環境政策·評價研究院

院長 尹 瑞 成

국 문 요 약

최근 전기·전자산업의 비약적인 발전으로 인해 전기·전자기기 등의 이용이 급속히 증가하여 전자파의 인체 위해성 여부에 대한 국제적인 논란이 수 십년 가까이 지속되면서 전자기장이 생체에 미치는 영향에 대한 논쟁이 점점 가열되고 있다. 특히 고압선로에서 발생하는 전자파에 대한 전자기장 인체규제치가 국제적으로 통일되어 있지 않고, 국가와 지역별로 많은 차이를 보이고 있음에도 불구하고, 세계 각 국의 여론은 고압 송전선로망이 인체에 유해하다는데에 대체적으로 공감하고 있다. 최근에 전자파의 인체 위해성에 대한 논쟁이 심화되기 시작하여 고압선로에서 방출되는 전자파로 인해 발생될 수 있는 인체손상에 대한 두려움과 소유재산가치 하락때문에 많은 민원이 제기되고 있다.

극저주파 자기장의 만성적인 노출에 의한 인체 위해성 문제를 두고 찬반의 논란이 야기되고 있는 것은 전자기장 노출과 암발생에 대한 상관관계가 명확히 규명이 되지 않았기 때문이다. 그러나 최근에는 0.3-0.4μT 이상의 자기장에 주기적이고 지속적으로 노출될 경우 소아백혈병 등과 같은 암질병이 발생할 수 있다는 연구논문들이 발표되고 있다. 이는 전자기장 노출과 암질병 발생과의 연관성을 통계학적으로 입증할 수 있다고 하겠다.

고압선로에서 발생하는 극저주파 전자기장에 만성적으로 노출되어 있는 일반인과 전자파노출 관련산업체에서 근무하는 직업인의 누적적 노출에 대하여 독일, 스위스 등 일부 국가들은 전자파 노출에 대한 표준 및 가이드라인을 엄격히 정하기 시작하였고, 특히 미국의 몇몇 주에서는 이러한 고압송배전시설들을 주거지역으로부터 최대한 멀게 또는 설치자체를 포기하는 정책을 입안하고 있는 경향이다. 우리나라에서는 이러한 건강위험성에 대한 대책이 아직 마련되어 있지 않은 상태이다. 따라서 국내에서도 이에 대비한 중장기 계획수립 및 구체적인

방안을 마련하여야 하고, 보다 체계적인 연구시스템을 구축하는 등 지속적인 대응이 필요하다.

고압선로에서 발생하는 극저주파 자기장의 노출이 유아원, 초등학교, 병원, 밀집 거주지 등에 미치는 건강위해성에 대한 효율적인 전자파관리 방안은 다음과 같이 크게 3가지로 제시되고 있다.

첫째, 신설될 고압선로 인근의 유아원, 초등학교 등의 환경민감지역에서는 전자기장 방출기준을 엄격히 설정하고, 현재 유아원 및 초등학교 인근을 통과하는 고압선로에 대해서는 기술적인 측면과 경제적으로 수용 가능성을 고려한 단계별 전자파 방출치를 제한 적용하는 방안이 있다. 둘째로는 인체권고치에 따른 고압선로 주변의 지형을 고려한 최소한의 이격거리 설정이 필요하며, 신설될 초등학교는 고압선로 및 철탑과의 최소한의 이격거리를 강력히 권고토록 하는 방안이다. 특히 유아원 및 초등학교 건물 등의 신설시에 인체권고치를 0.2 μ T로 정하여 그 기준치를 초과하지 않도록 최소한의 이격거리를 설정하는 방안이다. 끝으로 인구밀집지역을 통과하는 고압선로로 인한 민원이 극심한 경우에는 현명한 회피의 저감정책방안으로 고압선의 전류세기를 연차별 감소, 차폐 가능한 지중화계획, 고압선로 및 철탑에 대한 제한구역 설정 등을 관련 전력회사와 주민들간의 협의를 유도하여 해결하는 방안이 제시되어진다.

우리나라에서도 이제 고압선로 등의 전자기장에 만성적으로 노출되어 있는 일반인 및 직업인에 대하여 비록 과학적인 불확실성이 존재하고 있는 상황이지만 과학적인 연구결과만을 기다리지 말고, 잠재적인 위험성을 사전에 예견하여 차후 심각한 위험성에 대한 조치를 미리 적용하는 예방적 관리정책을 부분적이거나 도입하는 것이 절실히 필요하다.

차 례

서 언	1
요 약	3
 제1장 서 론	 10
1. 연구의 배경 및 목적	10
2. 연구방법 및 범위	12
 제2장 전자파의 건강 위해성 분석	 13
1. 전자파의 개념 및 위해성	13
가. 전자파의 특성	13
나. 전자파 측정방법	15
다. 극저주파 노출에 대한 건강 위해성	17
라. 위해성 분석	20
1) 암발생에 대한 동물실험	20
2) 소아암에 대한 역학적 연구	22
2. 고압선로에서의 위해성 분석	25
 제3장 전자파 위해성 관리의 국제 동향	 32
1. 각 국의 전자파 관리제도 분석	34
가. 국제 비전리 복사 방호위원회	34
나. 미국	35
1) 각 주의 전자파 기준 및 지침	35
2) 미국 국립방사선방호학회	36
3) 미국 국립환경보건연구소	38

4) 미국 산업위생자학회	39
다. 독일	39
라. 스웨덴	41
마. 기타 각 국	43
2. 국내의 전자파 인체보호기준	46
제4장 전자파 관리실태 및 대응사례	48
1. 고압선로에서의 전자파 관리실태	48
가. 국내의 민원실태	49
나. 전자파 측정사례	50
1) 고압선로직하 건물에서의 측정	51
2) 고압선로 인근에서의 측정	53
3) 고압선 인근 초등학교에서의 측정	56
4) 국외에서의 자기장 측정	59
2. 전자파 대응사례	61
가. 의왕 내손지구 택지개발사업	61
나. 대전 노은2지구 택지개발사업	63
다. 보령 명천지구 택지개발사업	64
제5장 효율적인 전자파 위해성 관리방안	66
1. 전자파에 대한 노출 감소방안	67
2. 인체 권고치 설정의 필요성	70
3. 전자파 인체보호기준 강화	71
4. 전자파 위해성 관리정책 대안	72
제6장 결론	74
참고문헌	76

<부록1> 암 이외 기타 질병에 대한 위해성 분석사례	85
<부록2> 고압선로에 대한 국외 민원실태	92
<부록3> 우리나라의 전자파 인체보호기준	97
<부록4> 전자기장과 생체관련 국내외 연구동향	102
<부록5> 전자파 인체 영향연구 기본계획	109
Abstract	114

표 차 례

<표 2-1> 전자파의 종류	15
<표 2-2> 자기장 노출에 의한 상대적 위험도	24
<표 2-3> 고압선로와 소아암에 관한 상대적 위험도 분석	26
<표 2-4> 소아암에 관한 리스크 통합분석	29
<표 2-5> 상대적 위험도 분석결과	30
<표 2-6> 상대적 위험도 분석결과	31
<표 3-1> 국제 비전리 복사 방호위원회 지침(1990년)	34
<표 3-2> 국제 비전리 복사 방호위원회 권고치(1997년)	35
<표 3-3> 미국 각주의 고압선로에 대한 전자기장 기준	37
<표 3-4> 미국 산업위생자학회의 전자기장 노출한계 지침	39
<표 3-5> 독일의 전기장 및 자기장의 유효치	41
<표 3-6> 스웨덴의 TOC'99 규제치	42
<표 3-7> 스위스의 전기장 및 자기장의 최대 유효치	43
<표 3-8> 누적적 노출에 대한 표준 및 가이드라인	45
<표 3-9> 일반인에 대한 전자파 강도기준	47
<표 3-10> 직업인에 대한 전자파 강도기준	47
<표 4-1> 성동전력소 인근에서의 전자기장 측정	51
<표 4-2> 의정부전력소 부근에서의 전자기장 측정	52
<표 4-3> 의정부전력소 전철T/L 인근에서의 전자기장 측정	52
<표 4-4> 신인천 345kV/T/L 인근에서의 전자기장 측정	53
<표 4-5> 고압선로 직하지점에서의 자기장 측정치	54
<표 4-6> 345kV 고압선로 지점별 자기장 측정치	55
<표 4-7> 학교인근을 지나가는 경우의 자기장 측정치	57
<표 4-8> 학교부지를 통과하는 경우의 자기장 측정치	58

<표 4-9> 자기장과 고압선로 이격거리와의 상관관계	60
<표 4-10> 고압선로 현황	62
<표 4-11> 자기장측정 결과	62
<표 4-12> 자기장측정 결과	64
<표 4-13> 전류의 세기와 자기장강도와의 관계	64
<표 4-14> 자기장측정결과	65
<표 5-1> 이격거리에 따른 전자기장 발생량	68
<표 5-2> 고압선로 배치구성에 따른 전자기장 발생량 비교	69

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적

전자파의 인체 위해성은 최근 전기·전자산업의 비약적인 발전으로 인해 전기·전자기기 등의 이용이 급속히 증가하여 국민들의 인체 위험성 여부에 대한 관심이 높아지면서 사회적인 문제로 대두되기 시작하였다. 전자파의 인체 위해 여부에 대한 국제적인 논란이 20여년 가까이 지속되면서 동물실험 연구, 역학 연구 등을 통하여 전자기장이 생체에 미치는 영향과 그에 병행한 분석을 통하여 전자파의 인체유해 여부, 노출량 기준 설정 및 법제화를 통한 강제 규제 등에 대한 논쟁이 점점 가열되고 있다. 또한 현재 무선기술의 급속한 발전과 이동통신 시스템의 다양한 서비스 등장으로 인해 휴대용 이동통신 단말기를 비롯한 무선 통신장비의 급속한 보급으로 과도한 전자파 발생이 인체에 유해할 수 있다는 개연성이 날로 증가하고 있다.

이에 따라 인체 건강 위해 문제와 관련하여 전자파 노출을 법적으로 제한하려는 움직임이 활발히 진행되고 있으며, 국제기구에 의한 인체보호기준 제정이 이루어지고 있고, 각국이 이 국제 기준보다 더 엄격한 기준을 자국의 기준으로 적용하려고 하고 있다. 특히 미국에서는 이동통신 단말기의 전자파 국부 흡수율에 대한 강제기준을 적용하여 생산되는 제품 및 설비, 수입되는 이동통신 기기에 대한 제재를 가하고 있다. 우리나라 정보통신부에서도 2000. 12. 15. 이동통신 단말기의 전자파 인체흡수율의 측정 및 기준과 전자파 인체보호기준¹⁾ 등을 마련하였

1) 국제 비전리 복사 방호위원회(ICNIRP)에서 제안한 기준으로 60Hz의 전자파에 노출시 일반인

2 고압선로 전자파의 효율적 관리방안 연구 제1장

다. 또한 고압선로에서 발생하는 극저주파 전자기장 노출과 전자파노출관련 산업체에서 근무하는 직업인의 누적노출에 대하여 일부 선진국들은 전자파노출에 대한 표준 및 가이드라인을 엄격하게 정하기 시작하고 있다.

최근에 우리나라에서도 고압선로에서 방출되는 전자파에 의한 인근주민의 생명권 침해와 생태계 파괴를 쟁점으로 한 주민민원이 1995년부터 1999년 6월까지 약 1,120건에 이르고 있으며, 향후 이들 시설의 증설로 인하여 주민민원 등의 지역분쟁이 폭증하는 추세이다. 따라서 국내에서도 일반국민의 건강에 영향을 줄 수 있는 전자파의 위해성에 대한 중장기계획을 수립하여야 하고, 보다 체계적인 연구시스템을 구축하여 지속적으로 대응해 나갈 필요가 있다.

스웨덴, 미국, 독일, 영국, 캐나다 등은 고압선로에서 발생하는 전자파에 만성적으로 노출되는 것과 소아백혈병의 발생가능성에 대한 다양한 역학적 연구결과를 발표하였고, 또한 백혈병 발생비율과 자기장노출 강도와의 상관관계를 밝혀 주었다. 우리나라에서도 고압선로에서 발생하는 전자파가 유아원, 초등학교, 병원, 밀집 거주지 등에 미치는 전자파에 대한 영향예측기법 및 저감대책에 대한 연구가 시급하다.

본 연구에서는 154kV 및 345kV 고압선로에서 발생하는 극저주파 전자기장의 노출로 인해 야기되는 건강 위해성에 대한 국내·외의 연구내용 분석과 국제적인 법제화 동향 등을 파악하고, 전자파에 대한 선진 각국의 관리정책, 또한 국내에서의 전자파에 대한 관리현황 및 민원실태를 분석하여, 고압선로에서 발생하는 전자파 위해성에 대한 인근 주민들과의 논쟁을 최소화하고, 전자파에 의한 국민 건강 위해성을 효율적으로 저감하기 위한 전자파 위해성 관리방안을 연구하고자 한다.

에 대한 전자파 자기장 강도기준이 83.3 μ T으로, 이 수치는 최근의 역학 조사에서 자기장이 0.2 μ T 이상의 60 Hz 전자파에 노출시에 암 발생률을 높인다고 밝혀진 수치보다 매우 높게 설정된 것이다. 이 인체보호기준은 고압선로에서 발생하는 전자파 노출기준과는 무관한 수치이기 때문에, 특히 고압선로 건설시에 전자파로 인해 발생하는 인체 위해성에 대한 집단 민원이 발생되고 있다. 따라서 전자파 인체보호기준 제3조 제3항에 60Hz 주파수대역의 전기설비(송전선로)는 이를 적용하지 아니한다로 2001.10.10. 개정고시하였다.

2. 연구방법 및 범위

고압선로에서 발생하는 전자파에 대한 위해성 분석 및 관리방안을 마련하기 위한 본 연구의 주요내용은 다음과 같다.

첫째, 전자파에 대한 건강 위해성을 분석한다. 전자파의 개념, 특성, 측정방법, 전자파의 노출로 인한 인체 건강상의 위해성에 대한 연구논문을 조사하고, 자기장과 암발생과의 상관관계에 대한 연구를 분석하며, 특히 고압선로에서 발생하는 자기장과 소아백혈병 발생과의 상관관계를 역학적인 통계자료를 고찰하여, 전자파에 대한 위해성 분석을 하고자 한다.

둘째, 전자파 위해성 관리에 대한 국제적 동향과 관련 국제기구 및 주요 국가별 전자파 노출한계치 및 관리제도와 우리나라의 전자파 인체보호기준 등을 면밀히 분석한다.

셋째, 전자파로 인한 민원실태, 측정사례 및 전자파 대응현황 등 국내의 전자파 관리현황을 살펴보고, 이에 대한 문제점을 도출하여 효율적인 전자파 위해성 관리방안을 구체적으로 제시한다.

마지막으로 고압선로에서 발생하는 전자파에 만성적으로 노출되는 것과 소아백혈병 발생과의 상관관계를 분석하여, 전자파로 인하여 발생하는 민원에 대한 정책적인 해결방안을 도출하고자 한다. 또한 암 이외의 다른 건강상의 위해성, 고압선로에 대한 국외 민원실태, 우리나라의 전자파 인체보호기준, 전자기장과 생체관련 국내외 연구동향 및 정보통신부의 전자파 인체영향연구 기본계획에 대하여서는 부록에 별도로 정리한다.

제2장 전자파의 건강 위해성 분석

1. 전자파의 개념 및 위해성

가. 전자파의 특성

전자파(Electric Magnetic Wave)란 전기가 흐르면서 진동이 일어날 때 그 주위에 전기장과 자기장이 동시에 발생하며, 이것이 주기적으로 바뀌면서 생기는 파동이다. 전자파는 전기장과 자기장으로 구분된다. 전기장과 자기장은 성질이 다르지만 서로 결합되어 있으며, 전기가 흐를때 발생하므로 전기를 사용하는 모든 기기에는 전자파가 발생하게 된다. 전자파는 파장과 진폭, 파형에 따라 여러가지 성질을 갖게 되는데, 파동사이의 간격의 크기에 따라, 장파, 중파, 단파, 초단파, 마이크로파 등으로 구분되며, 단위시간당 진동수를 나타내는 것이 주파수이며, 빛의 속도와 같이 30만km/sec로 진행한다. 전기장은 정전하의 주위에, 자기장은 자계 극의 주위에 생기는 것으로, 전하가 운동하여 전기장이 시간적으로 변동하는 곳에서는 자기장이 생기고, 양쪽이 동시에 나타나는 경우가 많으므로 이를 전자기장이라고 한다. 특히 회로에 주기적인 진동 전류가 흐르면 주위의 공간에 같은 주기로 변동하는 자기장이 나타나고, 이 진동 자기장은 전기장을 유발하는 원인이 되어 전기장과 자기장이 하나의 파동으로서 공간에 전파하게 된다. 이것이 전자기파이다.

전기장 및 자기장은 각각 전하 및 전류에 의해 공기 중에 형성되는 일종의 힘으로 크기와 방향을 갖는 벡터(Vector)이다. 어떤 지점에서의 전기장 및 자기장

의 세기를 측정할 때에는 X축, Y축, Z축 방향에서 각각의 세기를 측정한 벡터 합이다.

전류와 자기장의 상호작용은 전기현상과 자기현상의 밀접한 관계를 나타내는 것으로 전동기나 발전기 등에 널리 이용된다. 자기장의 특징은 자기장 내의 각각의 점이 잠재적으로 지니고 있는 자기력의 세기이다. 전계와 자계는 모두 전하에 의해 만들어지며, 전계는 전하가 각각 다른 극의 전하에 힘을 미치면서 형성되며, 전하가 같은 극끼리는 서로 밀어내고 다른 극끼리는 끌어 당기기 때문에 전계는 전압이 높을수록 세어진다. 자계는 움직이는 전하가 다른 움직이는 전하에 가하는 힘을 말하며, 동일한 방향으로 움직이는 전하군을 전류라고 하며, 움직이는 전하가 많을수록 더 큰 전류가 형성되며, 강한 자계를 생성시킨다. 전계 세기의 단위는 meter당 volt(v/m), 미터당 kilo-volt (kv/m)이며, 자계의 세기를 나타내는 단위로는 Gauss와 Tesla이고, 보통 mG 또는 μT 를 사용하며, $1\mu\text{T}$ 는 10mG와 같다. 또한 자계의 세기로 mA/m의 단위도 사용되며, 1mG는 80mA/m이다.

전자파는 주파수에 따라 일반적으로 전원 주파수 60 Hz의 극저주파(Extremely Low Frequency:ELF, 0~1kHz), 초저주파(Very Low Frequency:VLF, 1~500kHz), 라디오파(Radio Frequency:RF, 500kHz~300MHz), 마이크로파(Micro Wave:MW, 300 MHz~300GHz)로 분류된다<표 2-1>.

전기장은 전압의 세기에, 자기장은 전류의 크기에 비례한다. 전기장은 모든 전도성 물체에 의해 쉽게 차단되지만, 자기장은 차단이 매우 어려워서 자성이 강한 일부 특수 소재에 의해서만 차단되는 특성이 있다. 또한 전압의 세기에 따른 전기장(V/m)은 거리의 제곱에 반비례하여 급격히 감소하며, 전류의 크기에 따른 자기장 (mG 또는 μT)은 거리에 반비례하여 서서히 감소한다.

전계는 도체에 의해 쉽게 차폐시킬 수가 있다. 그 이유는 전계선(Electric field line)들이 다른 전하와 부딪히면 멈추기 때문이다. 건물의 지붕이나 벽면, 바닥 등을 땅에 접지시키거나, 접지된 알루미늄과 같은 차폐물질을 사용하면 전계는

6 고압선로 전자파의 효율적 관리방안 연구 제2장

차폐된다. 그러나 자계는 대부분의 물질에 의해 차폐되지 않기 때문에 투과성이 높은 특수소재를 사용하여야 한다. 이것은 자계선(Magnetic field line)이 전류가 흐르는 도체 주위에 연속적인 루프(Loop)를 형성하여, 대부분의 물체(나무, 공기, 사람 등)를 통과하고, 특히 철과 같은 물체를 아주 쉽게 통과하기 때문이다.

<표 2-1> 전자파의 종류

전자파 종류	주파수	적용 기기
극저주파	ELF(Extremely Low Frequency) 0~1kHz	전자제품, 사무용 OA, 고압송전선로
저주파	VLF(Very Low Frequency) 1~500kHz	
통신 주파	RF(Radio Frequency) 500kHz~300MHz	라디오파, TV 방송
마이크로파	MW(Micro Wave) 300MHz~300GHz	휴대폰, 레이더기지

나. 전자파 측정방법

전기장 및 자기장은 각각 전하 및 전류에 의해 공기 중에 형성되는 일종의 힘으로 크기와 방향을 갖는 벡터(Vector)이므로, 어떤 지점에서의 전기장 및 자기장의 세기를 측정할 때에는 X축, Y축, Z축 방향에서 각각의 세기를 측정하여 벡터 합을 구한다. 센서가 하나인 단방향 측정기의 경우는 X, Y, Z축에서 각각 측정하여 벡터 합을 계산하여야 하나, 센서가 세개인 측정기의 경우는 자체 내에서 벡터 합을 계산하여 표시하므로 어떤 지점에서도 한 번만 측정하면 된다. 단방향 측정기의 경우 X, Y, Z축 방향으로 세번을 측정해야 하는 단점이 있으나 어느 방향에서 많은 전자기장이 발생하는 지를 알 수 있는 장점이 있다. 측정기의 선

택시 고려할 사양은 측정 범위, 주파수 범위, 센서의 수(1극성, 3극성) 및 측정치 계산 방법 등이다. 또한 자체 전원에 의한 간섭을 적게 하기 위해 직류 전원을 사용하는 측정기를 사용하는 것이 좋다. 측정 범위는 전기장, 자기장, 마이크로파 등의 최소 측정치부터 최대 측정치까지 나타내게 한다. 단위는 V/m , mG , mW/cm^2 이다. 측정기가 측정할 수 있는 전자파의 주파수 범위는 최소부터 최대 측정 가능 주파수로 표시한다. 전기장과 자기장을 측정기 하나로 측정할 수 있는 경우 각각의 주파수 응답이 다를 수가 있다. 극성은 측정기의 측정 방향성을 말하는 것으로, 단극성인 경우 센서가 하나이므로 X, Y, Z축으로 각각 측정하여 벡터 합을 계산하여야 하나 삼극성인 경우에는 센서가 세개로 측정기내에서 벡터 합을 계산하여 표시한다. 전자파 파형이 비정현파(non-sinusoidal)일 경우 측정기내에서 전자파의 세기를 계산하는 방법이 여러 가지가 있는데 참 실효치로 구하는 것이 바람직하다.

전기장의 측정시 많은 주의가 필요하다. 왜냐하면 사람도 일종의 도체로서 주위의 공기 중에서 보다 전기가 잘 흐르고 더 높은 전기장이 형성되게 되므로 실제보다는 높은 값이 측정되기 때문이다. 따라서 전기장을 측정할 때는 보통 2~3m 정도 떨어져서 측정을 하여야 하며, 간섭이 적은 광섬유를 사용하는 remote control을 이용하는 것이 아주 효과적이다. 또한 측정기 받침대는 금속성이 아닌 절연체를 사용하여야 한다. 야외에서 측정시 주위의 식물들의 유무에 따라 그 측정값이 틀려진다. 이 이유로는 식물들이 나뭇잎에 수분을 포함하고 있으므로 일종의 도체 역할을 하여 전기장 측정시 측정기 위에 나뭇잎들이 많이 있게 되면 실제 측정값보다 적은 양의 전기장이 측정될 것이다. 따라서 정확한 측정을 위해서는 전기장 측정시 주위에 나무들이 없는 곳이 좋다. 그러나 자기장은 대부분의 물체를 투과하기 때문에 다른 주위의 환경에 특별한 영향을 받지 않는다. 간혹, 다른 전기제품에서 발생하는 자기장과 간섭이 있을 수도 있다. 일반적인 측정 높이는 사람의 허리 정도 위치에 해당되며, 땅바닥에서 1m 정도의 높이에서 X, Y, Z축의 방향에서 측정한다.

다. 극저주파 노출에 대한 건강 위해성

저주파장의 영역은 100kHz까지의 주파수이며, 전기적·자기적인 교류장도 포함이 된다. 저주파장은 근본적으로 전기적인 에너지공급을 통하여 발생하게 된다. 이에 적합한 전기장의 주파수는 50Hz/60Hz 이다. 전기장에 의해 전류가 흐를 때에 전기적 에너지가 소비되어 자기장이 발생하게 된다. 따라서 전류가 흐르는 전력선에 대하여 직·간접적인 차폐나 기하학적인 배치방법에 의해 자연 생태계에 영향을 미치는 전자기장의 세기를 감소시킬 수가 있다.

극저주파 자기장 노출에 대한 반응은 역학적·생리학적인 상관관계로만 추론될 수 있다. 어떤 서로 다른 반응이나 건강상 장애를 일으킬 수 있는 지속적인 활동메카니즘이 있는지에 대해서는 과학적인 논란이 되고 있다. 질병에 노출될 위험성에 대한 이해를 높이기 위하여서는 역학적 연구²⁾가 특별한 의미를 지니게 된다. 즉, 노출에 대한 위험인자와 질병 발생 사이의 상관관계가 역학적 연구에 의해 통계학적으로 어떻게 분석되어지는 지를 보여줄 수가 있다. 그러나 결정적인 상관관계는 결코 역학적인 데이터만을 통해서 증명될 수는 없다. 왜냐하면 실험실의 실험결과가 적절하지 못할 경우에는 역학적인 데이터에 의한 상관관계가 반감되기 때문이다. 역학적 연구에 대한 실험 결과치는 통상적으로 일어날 수 있는 건강위해성 평가에 대한 하나의 직접적인 의미를 가진다.

생체실험(in vivo)인 가축실험과 자원자 연구(volunteer study)³⁾에서 생체에

2) 역학적 연구는 질병의 원인과 인체에 대한 영향을 직접적으로 규명하는 연구방법이 아니고, 근본적으로 관찰에 근거를 두면서 통계학적인 관련성을 이끌어내는 간접적인 비교 연구방법이다. 이는 직업, 생활환경, 생활방식 등에 노출된 사람들의 자료에 기초를 두고 있으며, 연구의 최종결과에 포함되는 사례수(cases)와 대조군(control)을 선택하여 상대적 위험도(odds ratio)을 통계학적인 방법으로 고찰하는 연구이다.

3) 자원자 연구는 위험도 평가에 있어서 그 결과를 최종적으로 적용이 가능하며, 전체 내분비 시스템을 포괄해서 광범위한 평가를 할 수가 있고, 보다 넓은 범위의 메커니즘을 포함한 적용결과를 얻을 수 있다. 또한 다른 연구에서 얻어진 결과와 비교가 가능한 장점이 있다. 미국 NIH(National Institutes of Health)는 1954년부터 Clinical Research Volunteer Program을 운영하여 매년 3,500명의 건강한 지원자들에 의해 NIH에서 수행하는 의학연구에 참여하고 있다.

어떠한 반응을 감지할 수 있는지에 대하여 보여줄 수가 있다. 또한 세포실험(in vitro)⁴⁾연구에서는 작용메카니즘을 추적하는데 중점을 두고 있다. 따라서 생체 및 세포실험을 통하여 역학적 연구에서 발견되어지는 결과를 해석하거나 입증하는데 매우 중요하다.

in vitro연구에 대한 건강위해성 평가와 in vivo연구에서 얻어지는 결과치는 항상 같지는 않다. 그렇기 때문에 역학적 연구와 in vivo연구에 대한 새로운 논문이 지속적으로 발표되고 있다.

전자계에 의한 생체작용은 열작용, 자극작용 및 기타 작용으로 구분할 수가 있다. 이러한 생체작용 중에서 열작용 및 자극작용에 대해서는 많은 연구가 축적이 되어 있으며, 전계강도와 상관계가 정량적으로 분석되어 있다. 100 kHz를 경계영역으로 하여 자극작용은 저주파영역으로, 열작용은 고주파영역으로 나누어진다. 전자계의 생체작용은 조직내부의 전계강도와 밀접한 관계가 있지만, 조직내부의 전계강도를 직접적으로 측정할 수가 없기 때문에, 여러 방법으로 인체 내부에 흐르는 전계현상을 추론하고 있다. 현재 생체작용 중 열작용을 일으키는 마이크로파 등의 전자파의 경우에는 과학적으로 이미 유해성이 검증되었으며, 각 국에서는 인체보호를 위한 최대 노출한계를 규정하고 있다.

최근 고압송전선·각종 고출력 전기기기 등 강력한 전자계원의 등장으로 구미에서는 전자계, 특히 상용주파수 전자파의 전계 및 자계가 생체에 미치는 영향에 대한 많은 연구를 수행하여 왔다. 50/60Hz인 극저주파나 초고주파에 인체가 장기간 노출될 경우에 전자파에 대한 유·무해성이 논란이 되고 있다.

현재까지 실험실 연구를 통하여 이러한 극저주파 자기장이 인체건강에 유해하다는 결론을 명확히 내리지 못하고 있으나, 자기장이 어떻게 생물학적 과정을 통해 인체에 영향을 주고 있는지는 간접적으로나마 규명이 되고 있다. 그 대표적인

4) 세포실험은 생체의 조직 일부 또는 세포를 분리시켜, 노출에 의해 어떻게 반응하는가를 조사하는 실험이다. 이 세포실험은 외부 환경요인을 최대한 억제한 상태에서 수행하여야 하는 실험관 실험이다. 세포실험의 결과가 전체 개체에 어떻게 연관되는지를 분석하기는 매우 어렵지만, 노출에 의해 개체에 어떠한 메카니즘이 작용하는지를 밝혀주는데 커다란 도움이 된다.

예로 인체가 극저주파에 장기간 노출이 되면 인체내에 유도전류가 생성되고, 또한 세포막 내외에 존재하는 나트륨, 칼륨, 마그네슘이온 등 각종 이온의 방출로 전류가 비선형적 파형을 보여주기 때문에 인체에 불균형을 초래하여 호르몬 분비의 변화 및 면역세포에 영향을 주는 것으로 알려져 있다.

국제 비전리 복사 방호위원회(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)와 방사선보호위원회(Strahlenschutzkommission)는 1998년부터 전자기장에 의한 건강위해성⁵⁾에 대한 문제점을 면밀하게 분석하였고, 특히 건강위해성을 입증할 수 있는 생물학적인 반응에 대한 평가에 중점을 두었다. 이러한 평가를 참작하여 전자기장에 의한 인체위해성을 사전에 예방하려는 점이 위원회의 중대한 목표이다. 또한 무시할 만큼 작은 온도상승에 따른 자기장 노출 반응에 대하여서도 1998년이래 발표되었던 학술논문을 심도있게 분석하고 있다.

최근에 극저주파 자기장에서의 만성적인 노출과 소아백혈병 발생 위험성에 대한 연관성이 집중적인 논란의 대상이 되기 때문에 많은 연구가 시작되었고, 그 연구 결과는 다음과 같이 두 가지 측면으로 분석될 수가 있다. 주거가구가 0.3-0.4μT 이상의 자기장에 주기적·지속적으로 노출될 경우 소아백혈병 발생율이 높다는 사실이 역학적연구의 결과로 입증하고 있으나, 보다 높은 자기장 노출에 있는 가구에서도 그와 같은 백혈병 발생 위험이 야기되는지에 대한 연관성이 명확하지 않았고, 또한 그러한 자기장 노출이 직접적인 소아백혈병 발병원인이라고도 밝혀지지는 않았다. 그 이유로는 자기장의 노출과 비노출, 노출강도에 의한 건강위험인자 발생에 대하여 심도있게 연구되지 않았기 때문이다. 자기장노출과 소아백혈병 발병에 대한 연관성이 현재의 결과로는 학문적인 의혹으로서 간주되기 때문에, 이러한 상관관계에 대한 연구의 화급성이 특히 강조되고 있다.

암 이외의 건강피해에 대하여 과거부터 많은 연구가 이루어져 왔지만, 역시 대부분의 데이터가 매우 부정확하였고, 또한 자기장노출에 대한 명확한 결론을 이

5) 독일 방사선보호위원회(Strahlenschutzkommission). 2001. 9. 「Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevoelkerung vor elektro-magnetischen Felder」를 일부 번역 인용하였으며, 상세한 전체 내용은 상기논문을 참조

끌어내지는 못하고 있다. 일부 중앙신경계의 병인 치매발생에 대한 연구결과에서는 단지 과학적인 의혹사실로 여겨지고 있으며, 멜라토닌의 영향에 대한 연구에서도 매우 서로 다른 연구결과치를 보여주고 있기 때문에 현재까지로는 자기장 노출이 멜라토닌 변화에 결정적인 역할을 한다고 분석할 수가 없다. 그러나 이러한 사실이 하나의 가설로 받아 들여질 수가 있기 때문에 적절한 연구를 통하여 명확히 밝혀져야 한다.

라. 위해성 분석

1) 암발생에 대한 동물실험

극저주파 자기장 노출과 암발생과의 상관관계에 대한 동물실험에는 3가지 실험방법이 있다. 자연발생적인 암형성, 암세포 이식에 의한 암질병의 변화와 방사선과 유사한 발암성 물질에 유도된 암종양의 성장에 대한 실험이다. 자기장 노출에 대한 자연발생적인 암형성 연구는 암발생 초기를 포함한 모든 형태의 암전이에 대한 영향을 보여줄 수가 있다. 물론 동물실험에서 제한된 실험대상 개체수와 자연발생적인 종양비율이 아주 적기 때문에 통계학적으로 신뢰도가 낮은 단점을 가지고 있다. 그러나 비록 제한적이지만 암발생 가능성을 평가할 수 있기 때문에 연구논문으로서는 충분한 값어치가 있다.

1999년 Boorman et al.은 $2\mu\text{T}$ - $1000\mu\text{T}$ 의 자기장을 여러 그룹의 쥐에 노출시킨 실험결과, 종양 발생비율의 변화가 거의 없었다. 그러나 서로 다른 여러 그룹의 수컷쥐를 $2\mu\text{T}$ 와 $200\mu\text{T}$ 의 자기장에 지속적으로 노출시켰을 경우, 어떤 특정한 종양발생의 비율이 약간 상승됨을 관찰하였고, $1000\mu\text{T}$ 의 자기장에 1시간 간격으로 단혈적 노출에서는 백혈병과 같은 종양발생 비율의 변화가 거의 없었다. 이 실험에서 종양 발생비율의 상승과 백혈병, 유방암, 뇌종양의 발생과의 상관관계가 명확히 밝혀지지 않았다.

1998년 Kumlin et al.의 논문에서는 가축모델을 적용한 실험으로 UV선에 의해

유도된 쥐의 피부암이 극저주파 자기장에 어떻게 반응하는가를 관찰하였다. 100 μ T의 자기장에 10년 6개월동안 지속적으로 노출된 쥐와 1.3 - 130 μ T 사이의 자기장 변화에 노출된 쥐가 피부궤양의 급속한 성장을 보였다. 이 실험에서 저자는 극저주파 자기장 노출에 의한 암종양의 성장에 대한 가설을 입증하는 결과를 보여 주었다.

Loescher의 초기 실험에서는 화학적으로 유도된 유방암이 50Hz, 100 μ T의 자기장에 대하여 민감한 반응을 보여 주었다. 이 실험결과는 암질병에 대한 뜻밖의 결과이기 때문에 많은 연구자들에게 지대한 관심을 끌게 되었으며, Boorman et. al. (1999, 2000년)의 실험에서도 역시 이러한 결과가 입증되었다. 그러나 백혈병 세포를 이식한 쥐를 100 μ T, 1000 μ T 자기장에 노출시킨 연구결과에서는 지속적인 자기장노출이 암질병에 영향을 미칠 수 있는 지에 대한 상관관계가 명확히 밝혀지지는 못하였다.

1997년 김윤명 외의 논문⁶⁾에서 생쥐의 배아 및 태아에 극저주파 전자기장의 영향에 대한 노출실험을 하였다. 일반인에 적용되는 ICNIRP의 가이드라인에 의거 전기장을 5, 10kV/m, 자기장을 100, 1000 μ T으로 100일간의 노출실험기간 동안 임신한 생쥐에 전자기장 노출시킨 실험결과는 표준대조군(control group)⁷⁾에 비해 배아 및 태아에 2.52 - 2.86배의 상대적 위험율(Relative Risk)⁸⁾을 보였다. 그러나 통계적인 신뢰성을 확보하기에는 대상실험쥐의 샘플수가 부족하였다.

동물실험에서의 결과가 인간에게 그대로 적용될 수는 없다. 왜냐하면 유전적으로 혈통이 약간 다른 쥐에 적용된 암의 성장모델에서도 서로 다른 결과치를 보여주기 때문이다. 또한 전반적으로 설치류 동물에서의 실험치가 인간에게도

6) 김윤명의. 1997. "생쥐의 배아 및 태아에 대한 극저주파 전자장의 영향". 「Telecommunications Review」 7(6).

7) 대조군은 어떤 요인의 결과를 통계적으로 관찰할 때 비교대상이 되는 기준이다. 예를 들면, 흡연이 폐암에 미치는 영향을 연구한다면 다수의 건강한 사람이 대조군(control)이 되며, 어떤 요인의 영향을 받았으리라 짐작되는 대상으로서 폐암환자가 사례(case)가 된다.

8) 상대적 위험율은 노출대상 위험성의 비노출대상 위험성에 대한 비율이다. 상대적 위험율이 1이면 노출과 질병과의 상관관계가 전혀 없다는 의미이며, 2이면 노출될 경우가 노출되지 않는 경우에 비해 2배의 위험성이 있다는 뜻이다.

적합한 지에 대한 과학적인 가설을 뒷받침하지 못하고 있기 때문이다.

여러 가지의 가축모델에 의해 관찰된 암질병들이 극저주파 자기장에 민감하게 반응함이 입증되었다. 그러나 서로 다른 가축모델에서 얻어지는 암발생에 대한 결과치를 직접적으로 비교할 수가 없기 때문에 암질병의 진행과정 및 암발생에 대한 극저주파 자기장의 영향과의 상관관계는 지속적인 연구를 통하여 명확하게 밝혀져야 한다.

2) 소아암에 대한 역학적 연구

부계의 직업에 의한 자기장 노출과 직계 자녀의 암발생 사이에 대한 상관관계는 이미 오래 전부터 연구가 이루어져 왔지만, 그 상관관계는 단지 중앙신경조직암에 관한 것이었다. 이러한 논문들은 의문에 봉착할 만한 실험방법 상의 한계를 보여 주었으며, 또한 다른 위험인자들이 존재할 가능성에 대한 불충분한 고려, 실험수의 빈약함과 노출의 불명확성 등 많은 의문점을 가지고 있었다. 어떤 논문에서는 직업적으로 노출된 부계의 어린이에게 도리어 중앙신경조직암에 걸릴 위험성이 낮아짐도 관찰되었다.

Wertheimer와 Leeper는 1979년 처음으로 고압선로 인근에서 발생하는 극저주파 자기장과 소아백혈병과의 상관관계에 대한 결과를 추론할 수 있는 역학적 연구논문을 발표하였다. 그 이후로 극저주파 자기장에 장기간 지속적인 노출이 암질병을 촉진하는 지에 대한 의문을 풀기 위하여 많은 역학적 연구와 *in vivo* 실험이 다각적으로 진행되고 있다.

1998년이후 주거지에서의 자기장노출과 관련된 소아암 및 백혈병의 발생에 대하여 다양한 역학적 연구결과가 발표되었고, 영국, 캐나다, 특히 2001년 독일의 Schuez et al.의 논문에서 이러한 상관관계를 구체적으로 언급하였다. 여러 논문들의 결과에서도 백혈병 발병비율과 자기장노출 강도와의 상관관계를 밝혀주었으며, 통계학적으로도 입증되었다.

Schuez et al.는 1992년과 1993년 사이에 15세이하로 악성백혈병을 가진 514명

과 대조군(control)으로 1,301명의 어린이를 대상으로한 실험에서 0.2 μ T 이상 24시간 주간노출에서의 상대적인 백혈병 발생위험도가 1.55 (95%신뢰도 0.65-3.67)이지만, 야간에서는 상대적인 백혈병 발생위험도가 3.21 (95%신뢰도 1.33-7.80)로 상승함을 밝혔다. 이것은 자기장의 노출과 백혈병과의 상관관계가 특별한 의미를 가질 수가 있다는 사실을 보여주는 것이다. 독일에서는 전체 소아백혈병의 약 1.5% 정도가 극저주파 자기장의 노출과 상관관계가 있다고 추론하고 있다.

2000년 Ahlbom et al.는 고압선로 인근 주거지의 어린이를 대상으로 자기장 노출에 의한 상대적인 위험도의 측정치와 산출치를 9개의 논문을 통하여 분석하였다. 0.4 μ T 이하 24/48시간 노출에서는 상대적인 백혈병 발생위험도가 그다지 높지 않았으나, 백혈병을 가진 44명과 대조군(control)으로 62명의 어린이를 대상으로 0.4 μ T 이상 24/48시간 노출에서는 상대적인 백혈병 발생위험도가 2.00 (95%신뢰도 1.27-3.13)으로 상승함을 보여 주었다<표 2-2>. 따라서 이 데이터는 Schuez et al.(2001년)의 연구결과를 역시 입증하게 되었다.

2000년 Feychting et al.의 논문에서는 0.3 μ T 이상의 높은 자기장 노출범주에서 직업을 가졌던 부모를 가진 1981년과 1982년 사이에 태어난 14세 어린이 235,635명을 대상으로 조사한 결과 상대적 발생위험도가 2.00(95% 신뢰도 1.10-3.50)으로, 소아백혈병 발생의 위험성은 자기장 노출과 밀접한 관계가 있음을 발견하였다.

2000년 Greenland et al.의 논문에서도 고압선로에서 발생하는 극저주파 자기장과 소아백혈병 발생과의 상관관계에 대한 12개의 논문을 분석한 결과, 0.3 μ T 이상의 자기장 노출에서는 평균 상대적 발생위험도가 1.70(95%신뢰도 1.20-2.30)으로 통계학적인 상관관계가 있음을 역시 보여주고 있다.

현재의 역학적 연구의 근본적인 문제점은 소아백혈병 발생에는 여러 가지의 현상들이 있으며, 또한 발생되는 원인이 동일하지 않다는 것이다. 그 이유는 자기장 노출과 비노출에 의한 상대적 위험도에 대하여 심도있게 연구되지 않았기 때문이다. 또한 소아백혈병 발생에 대한 연구에서 발견된 상관관계에 대하여 결

정적인 작용메카니즘이 아직 밝혀지지 않았으며, 동물실험에서도 결정적으로 입증되지 않고 있다. 그럼에도 불구하고 현재의 역학적연구 결과는 고압선로에서 발생하는 극저주파 자기장에 의해 건강상의 피해를 입을 수 있다는 커다란 가능성이 있다는 것이다. 따라서 결정적인 상관관계를 입증하기 위한 지속적인 연구가 아주 시급하다.

<표 2-2> 자기장 노출에 의한 상대적 위험도

구 분		0.4 μ T 이하	0.4 μ T 이상
측정치	Canada	1.39(0.78-2.48)	1.55(0.65-3.68)
	Germany	1.67(0.48-5.83)	2.00(0.26-15.17)
	New Zealand	0.67(0.20-2.20)	-
	UK	0.98(0.50-1.93)	1.00(0.30-3.37)
	USA	1.01(0.65-1.57)	3.44(1.24-9.54)
계산치	Denmark	2.68(0.24-30.45)	-
	Finland	4.11(0.48-35.1)	6.21(0.68-56.9)
	Norway	1.06(0.21-5.22)	-
	Sweden	0.57(0.07-4.65)	3.74(1.23-11.37)
측정평균치		1.15(0.85-1.54)	1.87(1.10-3.18)
계산평균치		0.79(0.27-2.28)	2.13(0.93-4.88)
전체평균치		1.11(0.84-1.47)	2.00(1.27-3.13)

주: 괄호안의 수치는 95% 신뢰도 값임.

자료: Ahlbom et al. 2000. 『A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia』. British Journal of Cancer (83/5)

2. 고압선로에서의 위해성 분석

지금까지 고압선로에서의 자기장 노출과 소아백혈병 발생과의 상관관계를 발표한 역학적인 연구보고서가 많이 발간되었으며, 고압선로에서 발생하는 0.3 μ T 이상의 자기장에 노출할 경우 소아백혈병 발병율이 높다는 사실이 통계학적인 자료에 의해 밝혀졌다. <표 2-3>는 고압선로와 소아암에 관한 상대적 위험도를 조사연구한 데이터를 요약정리한 것이다.

고압선로와 소아암에 관한 역학적 연구는 1979년 Wertheimer와 Leeper에 의해 덴버에서 1950-1973년 사이 암으로 사망한 19세이하 344명을 대상으로 수행되었다. 소아백혈병에 대한 상대적 위험도 OR⁹⁾이 3.0이고, 중앙신경계종양의 OR이 2.4, 모든 암이 2.28의 결과를 얻었다. 이 연구에서 고압선로로부터 40m 이내에 거주한 어린이들이 다른 어린이들에 비해 소아백혈병으로 사망한 숫자가 2-3배 정도로 높았으며, 고압선로에서 발생하는 극저주파 자기장에 의한 것으로 추론하였다. 1988년 덴버와 1991년 LA의 연구에서도 고압선로와 소아암 사이에 상관관계가 있다는 사실을 발견하였다. LA 연구에서는 단지 소아백혈병과 고압선로의 자기장과의 상관관계를 밝혔고, 덴버에서의 연구에서는 모든 암과의 상관관계를 밝혔다.

Savitz(1988년)는 미국 덴버지구에서 고압선로로 인한 소아암의 케이스(case) · 대조군(control)연구를 콜로라도대학과 콜로라도 중앙암통계조사에 의해 수행하였다. 콜로라도, 덴버 등 5개지역에 거주하고, 1976 -1983년 사이에 14세이하 암을 가진 어린이 356명을 케이스로 하고, 103명이 소아백혈병이며, 나머지는 뇌종양 등 다른 종류의 암이다. 전화에 의해 대조군(control) 278명중 222명을 랜덤 샘플링하고, 노출방법은 지중화, 극저전류, 저전류, 높은 전류, 매우 높은 전류상태의 5단계로 하였으며, 자기장 강도는 0-0.65, 0.65-1, 1-2.5, 2mG(0.2 μ T) 이상의

9) OR(odds ratio)은 상대적 위험도이라고 하며, OR이 1이면 노출과 질병과의 상관관계가 없다는 의미이다. 또한 OR의 값이 클수록 극저주파 자기장 노출과 질병발생과의 상관관계가 높다는 뜻이다.

4등급으로 하였다. 연구결과는 저전류 상태에서의 실내 자기장 강도가 0.2 μ T 이상, 0.2 μ T 미만으로 나누어 분석한 결과, 0.2 μ T이상의 자기장 노출에서 모든 암의 경우는 상대적 위험도인 OR이 1.53 (95%신뢰도 1.04-2.26)이었고, 뇌종양의 경우에는 상대적 위험도 OR이 2.04(95%신뢰도 1.11-3.76)으로 증가하였다.

<표 2-3> 고압선로와 소아암에 관한 상대적위험도 분석

연구자	상대적위험도(OR: 95% 신뢰도)	조사장소 및 기간
Wertheimer 등(1979)	3.0, 2.28(모든 암),	Denver, 1950-73
Savitz 등(1988)	1.53(모든 암), 2.04(뇌종양)	Denver, 1976-83
Feychting 등(1993)	2.7(0.2 μ T이상), 3.8(0.38 μ T이상)	Sweden, 1960-85
Olsen 등(1993)	2.0(0.3 μ T이상), 5.6(0.4 μ T이상)	덴마크, 1968-86
Verkasalo 등(1993)	2.0(0.2 μ T이상)	핀란드, 1970-89
Li CY 등(1997)	1.4(0.2 μ T이상)	대만, 1987-92
Michaelis 등(1998)	2.3(0.2 μ T이상), 3.2(야간)	독일, 1992-96
Dockerty 등(1998)	3.3(0.2 μ T이상)	뉴질랜드
Feychting 등(2000)	2.0(0.3 μ T이상)	Sweden, 1981-82
Schuez 등(2001)	3.2(0.2 μ T이상)	독일, 1992-93

1993년 스웨덴의 연구에서는 고압선로 부근에 거주하는 어린이들에게 소아백혈병 발병율이 높다는 사실이 확인되었다. 1993년 덴마크 연구에서도 1988년 덴

버 연구에서와 마찬가지로 자기장 노출과 연관된 어린이들에게 모든 암의 발병율이 높다는 사실을 밝혔다.

1993년 Feychting과 Ahlbom은 고압선로에서 발생하는 자기장에 대한 노출이 소아백혈병 발생률을 증가시킨다는 사실을 입증하기 위한 사례연구를 발표하였다. 1960-1985년의 기간동안 스웨덴의 220-400kV의 고압선로로부터 300m 이내에 거주하는 16세이하의 어린이 약 12만명을 대상으로 하였다. 총대조군(control)은 랜덤샘플링하여 558건이며, 소아백혈병 발생이 39건, 신경성종양의 발생이 33건이었다. 노출평가는 가정내 24시간 자기장 측정외에 고압선로의 과거 운영일지를 근거하여 암 진단 당시의 자기장 강도를 추정, 계산하였다. 소아백혈병에 대한 자기장 노출치가 $0.2\mu\text{T}$ 이상일때 상대적 위험도인 OR이 2.7(95%신뢰도 1.0-6.3)이며, 자기장 노출치가 $0.38\mu\text{T}$ 이상일때 상대적 위험도인 OR이 3.8(95%신뢰도 1.4-9.3)로 증가하였다. 고압선로로부터 50m이내 거주하는 어린이에서도 소아 백혈병발생의 상대적 위험도 OR이 2.9(95%신뢰도 1.0-7.3)으로 증가하였다.

1993년 Olsen et al.은 고압선로에서 발생하는 자기장에 대한 노출과 소아백혈병 발생률 증가와의 상관관계를 밝히기 위한 사례연구를 발표하였다. 1968-1986년 사이에 50-400kV의 고압선로 인근에 거주하는 덴마크의 15세 이하의 어린이들로 백혈병 833명, 임파선종양 250명, 중추신경계종양 624명으로 총 1,707명을 대상으로 하였고, 총대조군(control)은 랜덤샘플링하여 4,788건이었다. 소아백혈병에 대한 자기장 노출치가 $0.3\mu\text{T}$ 이상일때 상대적 위험도인 OR이 2.0(95%신뢰도 0.4-9.9)이었으며, 자기장 노출치가 $0.4\mu\text{T}$ 이상일때 상대적 위험도인 OR이 5.6으로 증가하였다.

Verkasalo et al.(1993년)은 핀란드에서 1970-89년 사이에 110-400kV의 고압선로로부터 500m 이내에 거주하는 19세이하 남자 68,000명과 여자 66,500을 대상으로 자기장 노출과 암발생률 증가와의 상관관계를 밝혔다. 암에 대한 자기장 노출치가 $0.3\mu\text{T}$ 이상일때 상대적 위험도인 OR이 2.0(95%신뢰도 0.23-17.7)이었다.

1995년 Feychting et al.은 스웨덴과 덴마크에서 수행된 자기장과 소아암과의

상관관계에 대한 역학조사의 결과를 통합분석하였다. 고압전력시설에서 방출되는 자기장에 노출시에 소아암 발병률이 증가한다는 가설을 실험하기 위하여 두 가지의 사례 통계실험에서 나온 원본자료들을 통합분석하였다. 스웨덴의 연구에서는 고압선로부터 300m 이내에 거주하고 있는 어린이들을 대상으로 하였으며, 덴마크의 연구는 덴마크 전체인구를 대상으로 하였다. 이 연구조사에서는 국가 암통계자료를 분석하여 연구대상을 백혈병, 임파선종양이나 중추신경계종양으로 분류하였다. 백혈병은 872건, 임파선종양은 269건, 중추신경계종양은 657건이며, 총 5,356명의 대조군(control)을 대상으로 하였다. 자기장 노출치가 $0.2\mu\text{T}$ 이상일 때 소아백혈병 발병의 상대적 위험도 OR이 2.0(95%신뢰도 1.0-4.1)이며, 자기장 노출치가 $0.5\mu\text{T}$ 이상일때 상대적 위험도인 OR이 5.1(95%신뢰도 2.1-12.6)로 증가하였다<표 2-4>.

1997년 Li et al.은 주거지에서 60Hz 자기장 노출과 성인암에 관한 연구를 하였다. 생일, 성, 분석일자를 참고로 하였으며, 대만 북부지역의 성인백혈병, 뇌종양, 유방암 발생위험도와 60Hz의 자기장 노출과의 관계를 평가하는 연구를 진행하였다. 대상 피험자들은 새로이 진단을 받아 1987-1992년 동안 암기록 자료에 등록된 암환자들이었고, 통제 피험자들은 과거에 자기장과 연관된 지역이 아닌 곳에 거주하던 암환자들이었다. 분석시점에 피험자들이 주거한 지역의 자기장은 고압선로부터 방출된 것으로 평가하였다. 백혈병 870건과 뇌종양 577건, 유방암 1,980건을 분석한 결과, $0.2\mu\text{T}$ 와 $0.1\mu\text{T}$ 의 자기장에 노출된 피험자들에 대한 백혈병의 상대적 위험도가 1.4(95%신뢰도 1.4-2.9)로 평가되었고, 뇌종양과 유방암에 대해서는 상대적 위험도가 1에 근접하였다.

1998년 뉴질랜드의 연구에서 소아백혈병 121 케이스와 적절한 대조군(control)을 분석한 결과, $0.2\mu\text{T}$ 이상의 자기장 노출에 의한 상대적 위험도가 3.3(95%신뢰도 0.5-24)으로 매우 높았다.

<표 2-4> 소아암에 관한 리스크 통합분석

암종류	노출치(μ T)	케이스	콘트롤	위험도OR	OR (95%신뢰도)
백혈병	0.09이하	856	5243	1	-
	01-0.19	5	38	2.0	0.7-5.3
	0.2이상	10	61	2.0	1.0-4.1
	0.1-0.49	7	80	1.2	0.5-2.7
	0.5이상	8	19	5.1	2.1-12.6
임파선 종양	0.09이하	263	5243	1	-
	01-0.19	1	38	0.7	0.1-5.6
	0.2이상	5	61	2.1	0.8-5.5
	0.1-0.49	4	80	1.3	0.4-3.7
	0.5이상	2	19	3.3	0.7-15
중추신경계 종양	0.09이하	650	5243	1	-
	01-0.19	3	38	1.1	0.3-3.6
	0.2이상	4	61	0.8	0.3-2.4
	0.1-0.49	4	80	0.6	0.2-1.8
	0.5이상	3	19	2.3	0.6-8.0

자료: Feychting et al. 1995. 『Magnetic fields and childhood cancer- a pooled analysis of two Scandinavian studies』. European Journal of Cancer 31(12).

Michaelis et al.(1998년)은 독일 베를린과 북서부에서 1992-96년 사이에 176 케이스와 414 대조군(control)으로 자기장 노출과 소아백혈병 발생률 증가와의 상

관관계를 밝혔다. 자기장 노출치가 0.2 μ T 이상일때 상대적 위험도인 OR이 2.3(95%신뢰도 0.8-6.7)이었다. 또한 야간에 자기장 노출과 소아백혈병과의 상관관계를 조사한 결과 상대적 위험도가 3.21(95%신뢰도 1.33-7.80)로 뚜렷하게 증가됨을 입증하였다.

Feychting et al.(2000년)의 논문에서는 0.3 μ T 이상의 높은 자기장 노출범주에 있는 직업을 가졌던 부모를 가진, 1981년과 1982년 사이에 태어난 14세 어린이 235,635명을 대상으로 조사한 결과, 상대적 위험도가 2.0 (95%신뢰도 1.1-3.5)으로 높은 소아백혈병 증가의 위험성에 있다고 하였다.

Ahlbom et al.(2000년)는 고압선로 인근 주거지에 있는 어린이를 대상으로 자기장 노출에 의한 상대적인 위험도의 측정치와 산출치를 9개의 논문을 통하여 분석하였다. 0.4 μ T 이내 24/48시간 노출에서는 상대적인 백혈병 발생위험도가 그다지 높지 않았으나, 백혈병을 가진 44명과 62명의 대조군(control) 어린이를 대상으로 0.4 μ T 이상 24/48시간 노출에서는 상대적으로 백혈병 발생위험도가 2.00(95%신뢰도 1.27-3.13)으로 상승하였다 <표 2-5>.

<표 2-5> 상대적 위험도 분석 결과

구 분	0.1-0.2 μ T	0.2-0.4 μ T	0.4 μ T이상
측정치 (95% 신뢰도)	1.05 (0.86-1.28)	1.15 (0.85-1.54)	1.87 (1.10-3.18)
계산치 (95% 신뢰도)	1.58 (0.77-3.25)	0.79 (0.27-2.28)	2.13 (0.93-4.88)
합산치 (95% 신뢰도)	1.08 (0.89-1.31)	1.11 (0.84-1.47)	2.00 (1.27-3.13)

자료: Ahlbom et al. 2000. 『A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia』. British Journal of Cancer (83/5).

Greenland et al.(2000년)의 논문에서는 고압선로에서 발생하는 자기장과 소아

백혈병과의 상관관계에 대한 12개의 논문을 분석한 결과, 0.3 μ T 이상의 노출에서는 상대적 위험도가 평균 1.68(95%신뢰도 1.2-2.3)로 산출되었다. 이는 통계학적으로 자기장과 소아백혈병이 명백한 상관관계가 있음을 입증하는 것이다<표 2-6>.

<표 2-6> 상대적위험도 분석 결과

구 분	0.1-0.2 μ T	0.2-0.3 μ T	0.3 μ T이상
백혈병 케이스 (case)	318	94	99
건강한 대조군(control)	529	141	130
상대적 위험도 (95% 신뢰도)	1.01 (0.84-1.21)	1.06 (0.78-1.44)	1.68 (1.23-2.31)

자료: Greenland et al. 2000. 『A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia』 . Epidemiology(11/6).

2001년 Schuez et al.는 1992년과 1993년 사이에 악성백혈병을 가진 15세이하 514명과 대조군(control)으로 1,301명의 어린이를 대상으로 한 연구에서 0.2 μ T 이상 24시간 주간 노출에서의 상대적 위험도가 1.55 (95%신뢰도 0.65-3.67)이지만, 야간에서는 상대적 위험도가 3.21 (95%신뢰도 1.33-7.80)로 상승함을 밝혀 자기장 노출과 소아백혈병 발병율에 대한 상관관계를 밝혀주었다. 독일에서는 전체 소아백혈병의 약 1.5% 정도가 극저주파 자기장의 노출과 상관관계가 있다고 추론하고 있다. 또한 여러 논문들의 결과에서도 백혈병 발병비율과 자기장노출 강도와의 상관관계를 밝혀주었으며, 통계학적으로도 입증이 되었다.

제3장 전자파 위해성관리의 국제동향

현재 세계 각국에서는 전자파의 안전기준을 마련하고 있으나 각 나라마다 기준치가 다르다. 안전보호지침으로는 여러 국가에서 전자파를 열적 장해라고 명확히 규정할 수 있는 현상을 해석하여 그의 한계치를 안전기준으로 하고 있다. 한편으로는 미국의 일부 주, 독일, 스웨덴 등에서는 전자파를 열적 장해뿐만 아니라 극저주파에 의하여 발생하는 생물학적 영향인 비열적 작용의 가능성을 고려한 기준을 설정하고 있다.

미국 국립방사선방호학회(National Council on Radiation and Protection and Measurements)는 1995년 고압선로에 장기간 노출될 경우 소아백혈병에 걸릴 위험이 커지므로 전자기장에 대한 인체보호기준을 설정할 것을 세계 각 국에 권고하였다. 또한 미국의 California, Brentwood, Tennessee 및 Irvine지역에서 극저주파 자기장 수준을 0.4μT로 한계치를 두는 규정을 만들었고, California 교육청은 고압선로로부터 최소한의 이격거리를 요구하고 있다.

스웨덴 정부는 1994년 60Hz 전자파에 노출되는데 주의를 기울여야 할 충분한 이유가 있다고 하였으며 발전소 및 변전소 인근에 새로운 학교나 주택 신축의 억제와 가정, 학교 및 작업장에서도 높은 자기장의 발생을 최대한 억제해야 한다고 권고하고 있다.

독일에서는 1997년 1월1일에 전자기장에 대한 규정을 세계 최초로 제정하였다. 이 규정은 특정방송설비, 고압선로, 지하케이블, 전철선로, 변전소와 같은 시설들이 건설되어 가동시에 전자기장의 영향권내에 있는 부속건물이나 주거지에 장기간 체류할 때에 전기장과 자기장의 세기에 대한 한계치를 초과하지 않도록

해야 함을 명시하고 있다.

2000년 2월 1일부터 스위스는 EU의 일반인에 대한 인체보호기준 권고안을 기준으로 전자기장에 대해 매우 엄격한 인체보호기준을 채택하였다. 특히 민감한 정온시설지역은 시설한계치가 1μT 이하이어야 하며, 2000년 2월이전에 세워진 고압선이 시설한계치를 초과하는 경우에는 자기장을 최대한 줄일 수 있는 방법을 수립하도록 하였다.

최근에는 이탈리아를 비롯하여 유럽 여러 국가에서는 특히 고압선로에서 발생하는 전자파에 대하여 더욱 더 엄격한 노출 기준치를 제정하려는 움직임을 보이고 있다.

우리나라도 2000년 10월 15일에 정보통신부에서 전자기장 노출에 대하여 전자파 인체보호기준을 설정하였다. 그러나 암을 포함한 인체 건강에 대한 위해성을 방지하기 위한 노출기준치가 아니기 때문에 고압선로, 변전소 및 발전소 인근 주민들에 의해, 이러한 인체보호기준 적용에 대한 논란이 지속되고 있다. 따라서 고압송전선로, 변전소 등에 대하여 별도의 노출권고치를 제정하는 방안이 필요하다.

1. 각 국의 전자파 관리제도 분석

가. 국제 비전리 복사 방호위원회(IRPA/ICNIRP)

IRPA(The International Radiation Protection Association)에서는 1990년 50/60Hz EMF 노출에 대한 지침(guidelines)을 제시한 바 있으며<표 3-1>, 위원회에서는 1997년 극저주파, 라디오파에 대해 전체 주파수별로 권고치를 세분화하여 새롭게 제정하였으며, 60 Hz 극저주파 노출에 대한 권고치도 채택하였다<표 3-2>. 이 위원회에서 정한 전기장 및 자기장의 권고치는 신경 자극 등을 일으킬 수 있다는 과학적 근거에 의한 것으로서 직업 및 주거 환경에서 측정될 수 있는 전형적인 측정치보다는 매우 높게 설정되어 있다. 최근에 많은 역학적 연구에서 밝혀진 60 Hz 극저주파 자기장이 0.2 μ T 이상에 장기간 노출시에 소아백혈병 등의 암발생률을 높인다는 사실과는 전혀 무관한 권고치이다.

<표 3-1> 국제 비전리 복사 방호위원회 지침(1990년)

구분(50/60Hz)		전기장 (kV/m)	자속밀도(μ T)
직업인 (Occupational)	근무시 노출	10	500
	단기간 노출	30	5,000
	팔다리 노출	-	25,000
일반인 (General public)	최대 24시간 노출	5	100
	하루에 2-3시간 노출	10	1,000

자료: The Use of Electric Power. 1996. 『Questions and Answers EMF in the Workplace Electric and Magnetic Fields』.

<표 3-2> 국제 비전리 복사 방호위원회¹⁰⁾ 권고치(1997년)

f in KHz

주파수 (Hz)	전기장 (kV/m)		자속밀도 (μT)		자기장(A/m)	
	일반인	직업인	일반인	직업인	일반인	직업인
0-1	-	-	40,000	200,000	32,000	163,000
1-8	10	20	$40,000/f^2$	$200,000/f^2$	$32,000/f^2$	$163,000/f^2$
8-25	10	20	$5,000/f$	$25,000/f$	$4,000/f$	$20,000/f$
0.025-0.82	$250/f$	$500/f$	$5/f$	$25/f$	$4/f$	$20/f$

자료: ICNIRP. 1998. 『Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields』.

나. 미국

1) 각 주의 전자파 기준 및 지침

미국의 경우에는 60Hz 전자파에 대한 연방정부의 건강 안전기준은 없으나, 향후 고압선로 및 철탑 건설시에 어느 정도의 전자기장 한계치를 초과하지 않도록

10) 국제 비전리 복사 방호위원회 ICNIRP는 비전리 방사선으로부터의 인체보호를 추진하기 위하여 1992년에 설립된 국제위원회이며, 비전리 방사선으로부터의 인체보호분야에 관련된 많은 국제 기구와 밀접하게 협력하여 활동하고 있다. 설립 기본취지는 비전리 방사선에 대한 현재의 지식수준을 판단하고 일반인과 직업인에 대한 보호를 목적으로 과학적인 근거를 둔 노출한계치 설정과 보호 방안을 조언하는데 있다. 또한 과학적인 자료에 근거로 한 가이드라인 설정과 자기장 노출에 대한 건강영향평가를 하며, 생체학적 메커니즘과 밀접하게 연관된 기본적인 한계치를 설정하는 전략을 취하고 있다.

하기 위하여 6개 주(플로리다주, 미네소타주, 몬타나주, 뉴저지주, 뉴욕주, 오레곤주)에서는 고압선로에 대한 전기장 기준(Electric Field Standards)을, 그리고 이중 3개 주(플로리다주, 미네소타주, 뉴욕주)에서는 고압선에 관한 자기장 기준(Magnetic Field Standards)이 설정되어 있다<표 3-3>. 여기서 위의 3개 주에 설정된 자기장 기준은 현재의 고압선로에 최대한의 전력부하가 걸렸을 때 발생하는 자기장의 최대값을 기초로 설정된 것이다. 이 기준 설정의 목적은 추후에 가설될 고압선로가 규정된 최대 자기장을 초과하지 못하도록 하기 위한 것이다. Irvine, California, Brentwood 및 Tennessee 지역에서는 극저주파 자기장 수준을 0.4 μ T로 한계치를 두는 규정을 만들었고, San Diego, Costa Mesa에서는 1990년도에 신설될 건축물에 대하여 자기장 한계치를 0.2 - 0.4 μ T로 규정하였다.

California 교육청은 고압선 및 철탑과 신설학교 사이에 다음과 같은 최소한의 이격거리를 요구하였다. 그 가이드라인을 살펴보면, 50-133kV 고압선이 지나가는 경우에는 100 feet 이상 이격거리가 필요하며, 220-230 kV 고압선의 경우는 150 feet, 500-550kV 고압선의 경우에는 350 feet의 이격거리를 요구하고 있다.¹¹⁾

2) 미국 국립방사선 방호학회(NCRP)

NCRP(National Council on Radiation and Protection and Measurements)¹²⁾는 1995년 6월 방사선 방호기준치를 정하는 보고서를 작성하였으며, 향후 10년동안 학교 및 주택지 인근에 자기장 노출을 단계별로 감소시켜, 자기장이 0.2 μ T를 넘지 않도록 하여, 전자파 노출 가이드라인이 0.2 μ T로 설정되도록 권고하였다.

특히 신규 보육원, 초등학교 등의 환경민감시설은 자기장이 0.2 μ T를 넘는 장소에 신축되어져서는 안 되며, 새로운 주택은 고압선로 아래에 신축할 수 없고,

11) A project of California Department of Health Services and the Public Health Institute California Electric and Magnetic Fields Program.

12) 미국의 국가 방사선 방호위원회에 소속된 11명의 전문 과학자들이 9년간의 연구 끝에 작성한 보고서로 전자파가 인체의 수면 사이클을 조절하고 심장병, 파킨슨씨병, 알츠하이머 환자에게 나타나는 것과 같은 퇴행성 변화를 막아주는 중요한 호르몬인 멜라토닌 분비를 방해할 수 있다고 하였고, 어린이들은 이러한 전자파에 노출될 경우 소아백혈병에 걸릴 위험이 커진다고 하였다.

고압선로 인근일 경우에는 자기장이 $0.2\mu\text{T}$ 이하이어야 하며, 새로운 송배전선은 현재 있는 주택으로부터 자기장의 세기가 $0.2\mu\text{T}$ 이상이 되는 장소에 설치해서는 안 되고, 또한 새로운 사무실과 주변환경은 자기장이 $0.2\mu\text{T}$ 이하가 되도록 설계되어야 한다고 하였다.¹³⁾

<표 3-3> 미국 각주의 고압선로에 대한 전자기장 기준

구 분	전기장(Electric Field)		자기장(Magnetic Field) (최대부하시)
	철탑아래 (On R.O.W).	철탑주변 (Edge R.O.W.)	철탑주변(Edge R.O.W).
플로리다주	8kV/m*	2kV/m	150 mG*
	10kV/m**		200 mG**
미네소타주	8kV/m		250 mG***
뉴욕주	11.8kV/m	1.6kV/m	200 mG
	11kV/m ²		
	7kV/m ¹		
몬타나주	7kV/m ¹	1kV/m	
뉴저지주		3kV/m	
오레곤주	9kV/m		

주: *69-230 kV 선로, ** 230-500 kV 선로

*** 500 kV 선로(lines on certain existing R.O.W.¹⁴⁾)

13) Michael Karus. 2000.03. "Neu Grenz- und Vorsorgewert und sie bewegen sich doch". Elektromog-Report.와 충북대학교 정보통신공학과 전파연구실의 고압 송전선의 유해 전자장에 대한 자료참조.

14) R.O.W.(right of way)는 송전선을 건설, 조작 및 유지하기 위해 전기설비의 설치가 요구되는

¹고속도로상의 최대치, ²개인도로상의 최대치

자료: National Institute of Environmental Health Sciences and U.S. Department of Energy. 1995. 『Questions and Answers About EMF』.

3) 미국 국립환경보건연구소(NIEHS)

미국의 NIEHS(National Institute of Environmental Health Science)와 에너지부 DOE(Department of Energy)는 1994년부터 1998년까지 5년 동안 6,500만불을 투입하여 EMF-RAPID(Electromagnetic Force Research and Public Information Dissemination)의 프로그램을 수행하였다. 이 연구에서는 극저주파 전자파 노출로 인한 인체건강영향을 평가하고, 전자파에 의한 인체 유무해성에 대한 과학적인 증거를 제시하며, 노출로 인한 생물학적 또는 인체건강에 관한 기존의 연구논문을 고찰하여 평가하고 최종적인 연구결과를 다음과 같이 종합·분석하였다.

극저주파는 인체에 암을 유발시킬 가능성이 있고¹⁵⁾, 극저주파에 노출된 어린이는 백혈병 발병율이 높아질 제한적인 증거가 있으며, 직업적으로 극저주파에 노출된 근로자는 만성 임파성 백혈병 발병율이 높아진다는 제한적인 증거가 있다고 하였고, 가정용 전원에서 발생하는 60Hz의 극저주파 전자파에 단기간 노출되어도 심장박동의 변화, 불면증, 멜라토닌의 감소를 초래할 수가 있다고 하였다.

지역에 대한 영구적인 점용권을 의미한다.

15) 국제암연구위원회(International Agency for Research on Cancer : IARC)의 발암 등급기준을 적용결과, 고압선 자기장은 잠재적으로 인체에 암을 일으킬 수 있는 매개체로 분류되며, 잠재적 인체 발암효과가 있다는 2B등급은 해당 매개체가 인체에 발암성이라는 제한된 증거가 발견됐으나, 동물실험에서는 발암성에 대한 충분한 증거가 부족한 경우를 의미한다. IARC의 암 유발성에 대한 등급을 분류하면 다음과 같다.

- 1등급: 인체에 암을 유발시키는 발암물질임이 과학적으로 규명된 인자(벤젠, 알코올, 다이옥신 등)
- 2A등급: 인체에 암을 유발시킨다는 발암가능성이 인정되는 인자(Probably carcinogenic to humans: 자외선, 방부제 등)
- 2B등급: 발암가능성이 있다고 추정되는 인자(Possibly carcinogenic to humans, limited evidence in humans: 커피, 고사리 등)
- 3등급: Not classifiable as to carcinogenicity to humans
- 4등급: Probably not carcinogenic to humans

또한 고압선 자기장을 잠재적인 발암성이라고 분류한 후 대국민 정보공개와 교육, 전력업체의 자발적 자기장 노출 저감 권장 등을 제시하였다.¹⁶⁾

4) 미국 산업위생자학회(ACGIH)

ACGIH(The American Conference of Governmental Industrial Hygienists)는 1996년 작업자에 대한 전자기장의 노출 한계치에 대한 지침을 규정하였다 <표 3-4>.

<표 3-4> 미국 산업위생자학회의 전자파 노출한계 지침

구 분	전기장(kV/m)	자기장(μT)
직업적 노출한계치	25 * (0-100Hz)	1,000
심장박동기를 가진 작업자	1이하	100

주: *전기장 15kV/m 이상일 경우는 차폐방안(의복, 장갑, 절연복)을 강구하여야 함
 자료: : ACGIH. 1999. 『Guidelines for EMF Exposure』 .

다. 독일

독일정부에서는 최초로 전자기장에 대한 규정이 1997년 1월1일에 발효되었으며, 환경부장관인 Dr. Angela Merkel은 “비전리방사선(nichtionisierenden Strahlen)으로부터 인체보호를 위한 전자기장에 대한 규정이 최초로 마련되었고, 통신기기, 발전소, 고압선로, 철도로부터 유래되는 전자장에 대한 법적인 근거를 명백히 밝혀줄 수가 있으며, 또한 이 영역에 대한 유무해성의 논쟁을 일단락 지

16) Portier and Wolfe. 1998. "Assessment of the Health Effects of Exposure to Power-line Frequency Electric and Magnetic Fields". 「NIEHS」의 Working Group Report와 김덕원. “선진국의 전자파공해 실태 및 정책” 자료 참조.

었으며, 관련주민의 건강보호와 법적인 안전을 보증하게 되었다.”고 발표¹⁷⁾하였다.

이 규정은 법적인 구속력이 있으며, 인체건강 위해에 대한 보호 조치를 명확하게 할 수가 있고, 사회간접자본 영역에서도 인허가 절차의 단순화와 투자에 대한 안전성을 더욱 촉진하게 된다. 동 규정은 특정방송설비, 고압선로, 지하케이블, 전철선로, 변전소와 같은 특별히 중요한 시설들에만 적용하게 되어 있다. 이런 시설들이 건설되어, 가동시에 전자기장의 영향권내에 있는 부속건물이나 주거지에 장기간 체류할 때에 전기장과 자기장의 세기에 대한 한계치를 초과하지 않도록 해야 함을 특히 명시하고 있다. 따라서 주거지, 병원, 학교, 유치원과 유사한 정원시설의 인근에 있는 발전소 및 전력공급시설을 타지역으로 이전하도록 지속적인 요구를 할 수 있게 되었다. 또한 이 규정은 국제 비전리복사 방호위원회(ICNIRP), 국제방사선보호연맹(IRPA)과 독일방사선보호위원회(SSK)의 한계치 추천에 근거를 두고 있으며, 전자기장의 위해성에 대하여 국제적으로 인정하게 되었다.

1kV 이상의 전압과 50Hz의 극저주파를 가진 지하케이블과 공중 송전선, 16 2/3Hz와 50Hz의 전철선로 및 1kV 이상의 전압과 50Hz의 극저주파를 가진 변전소는 아래 <표 3-5>와 같은 한계치를 초과해서는 안 된다.

전자기장에 대한 규제에 의하면 아동이나 유아는 50-60 Hz의 100 μ T의 자기장 또는 5 kV/m이상의 전기장에 절대로 노출되면 안 되도록 되어 있다. 기존의 설비들은 3년 이내에 이러한 기준에 적합하도록 보장되어야 한다. 학교, 주거지역, 병원, 유아원 및 놀이터 부근의 최대 자기장을 100-200 μ T, 최대 전기장을 5-10 kV/m로 제한함으로써, 평균 자기장 노출치를 10 μ T 이하로 유지하기 위한 것이다.

1998년에 노트라인베스트팔렌주 지방환경부는 에너지에 관련된 시설 인근의

17) Strahlenschutzkommission. 1996.12. Bundeskabinett verabschiedete Verordnung ueber elektromagnetische Felder의 자료에서 발췌.

신축건물에서는 자기장이 10 μ T를 초과하지 않도록 기준을 강화하였다. 또한 스위스와 이탈리아의 새로운 자기장 한계치 적용에 대한 과학적인 근거를 확보한 후, 2002년 말쭈 전자파 규제법을 또 다시 강화할 움직임을 보이고 있다.

2000년 뮌헨 환경연구소에서는 고압선로로부터 최소한의 이격거리를 강력히 추천하였다. 110kV 고압선이 지나가는 경우에는 50-100 m의 이격거리가 필요하며, 220kV 고압선 경우는 80-120m, 380kV 고압선 경우에는 110-160m, 전철선로에서는 최소한 50m의 이격거리가 필요하다는 연구논문을 발표하였다. 최근에 하노바대학교 동물 의사인 Loescher 교수는 동물실험에서 생쥐에 자기장 노출실험을 한 결과 자기장 0.2 μ T 이상에서 암이 급속히 증식됨을 확인하였다.¹⁸⁾

<표 3-5> 독일의 전기장 및 자기장의 한계치

주파수(Hz)	전기장(KV/m)	자기장(μ T)
50	5	100
16 2/3	10	300

자료: Bundes-Immissionschutzgesetz. 1996. 12. 『Verordnung ueber elektromagnetische Felder- 26. BImSchV. Anhang 2』 .

라. 스웨덴

스웨덴의 연구 및 역학조사에 의하여 자기장의 경우 극저주파(ELF : Extremery Low Frequency : 0~1kHz) 영역에 인체가 장시간 노출시에 백혈병 및 암 발생률이 높아진다는 사실이 밝혀졌다. 이것을 바탕으로 인체안전기준을 0.2 μ T로 설정하였고, 기존 TCO¹⁹⁾규정을 재개정하여 가장 엄격한 전자파 규제

18) umweltinstitut Muenchen e.V. 2002.04."Niederfrequente Felder (Netzstrom)".

19) 스웨덴 전문직조합 TCO(The Swedish Confederation Of Profession Employees)는 다양한 직업의 전문직 종사자들로 구성되어 있으며, 산하에 19개 세부 조직이 있다.

기준인 TCO'99를 발표하였다. 스웨덴 전문직조합 TCO는 UN의 환경개발에 관한 선언인 Agenda21에 의거 근로자들이 보다 나은 환경속에서 근무할 수 있도록 지원하고 있으며, 국제적으로 인증받고 있는 강력한 전자파 규제안을 제정하였다. 유럽연합에서는 TCO 인증을 표준으로 삼고 있을 뿐만 아니라, 유럽으로부터 수입되는 모든 개인용 컴퓨터 및 휴대용 컴퓨터 등에 이르기까지 전자파로부터 사용자를 보호하려는 강력한 규제사항이 포함되어 있는 이 규격에 합격하여야만 한다. TCO 기준은 TCO'91, TCO'92, TCO'95, TCO'99 로 구분되며, 개정된 TCO'99는 가장 엄격한 규정으로 세계적으로 인정받고 있다. 개정된 TCO'99 기준은 다음 <표 3-6>와 같다.

또한 스웨덴 전력회사는 1990년이래 에너지관련 시설과 새로운 건축물 신축시에 최소한의 이격거리를 설정하였으며, 밀집지역에서는 30-50m의 이격거리를 유지토록 하고, 도시지역에서는 70m의 이격거리를 설정하였다. 초등학교와 유치원의 시설을 건축시에는 자기장이 0.2-0.3 μ T를 초과하지 않도록 권고치를 설정하였고, 또한 인근의 고압선로 및 송전철탑을 철거와 시설이전 등이 이루어지도록 하였다.²⁰⁾

<표 3-6> 스웨덴의 TCO'99 규제치

구분	교류전기장	교류자기장
밴드- I (5Hz~2kHz)	10V/m이하 (화면에서 30cm거리)	0.2 μ T 이하 (주위에서 50cm, 화면에서 30cm거리)
밴드- II (2kHz~300kHz)	1V/m이하 (주위에서 50cm, 화면에서 30cm거리)	0.025 μ T 이하 (주위에서 50cm거리)

20) Swedish Magnetic field limits Put on Indefinite Hold. 1995. "Keine Verabschiedung neuer Grenzwerte in Schweden". Microwave News 15(1).

마. 기타 각 국

2000년 2월1일부터 스위스는 EU의 일반인에 대한 인체보호기준 권고안을 기준으로 전력선, 이동전화기지국 및 방송국에서 방출되는 전자기장에 대해 매우 엄격한 인체보호기준을 채택하였다. 특히 고압전력선에서 발생되는 전자기장에 대해서는 ICNIPR 기준치의 1/100 수준으로 제한하였다. 50Hz의 220-380kV의 고압선 및 전력시설에서는 최대 자계 유효치는 100 μ T 이하, 16 2/3Hz의 전기철도 등은 300 μ T 이하로 제한하였다<표 3-7>. 그러나 환경에 민감한 정온시설지역인 유치원, 초등학교, 병동, 침실 등은 시설한계치가 1 μ T 이하이어야 하며, 2000년 2월이전의 고압선이 시설한계치를 초과하는 경우에는 자기장을 최대한 줄일 수 있는 방안을 수립하도록 하였다.

<표 3-7> 스위스의 전기장 및 자기장의 최대 유효치

주파수(Hz)	전계(KV/m)	자계(μ T)
50	5	100
16 2/3	10	300

자료: Schweiz--Immissionschutzgesetz. 2000.02. 『Verordnung ueber den Schutz vor NISV aus BUWAL Schweiz, Anhang 2』 .

이탈리아는 1999년말 직업인과 일반인에 대한 자기장노출을 방지하기 위한 노출한계치를 채택하려고 하였으나 제정되지는 못하였다. 스위스의 시설한계치와 유사한 강력한 권고치로 누적적인 자기장노출을 피하기 위한 권고치이며, 노출한계치는 ICNIPR을 기준으로 하였다. 4시간이상 일상적으로 거주지에 머물고 있는 경우에는 연평균하여 자기장이 0.5 μ T를 초과하지 않아야 하며, 그 외의 경우

는 2 μ T 이상을 초과하면 안 된다. 또한 새로운 고압선로나 고압선로에 인접한 신축건물은 연평균 0.2 μ T를 초과하지 못하도록 하였다. 특히 학교, 유치원과 어린이 놀이터와 같이 환경에 민감한 정온시설의 경우에는 노출한계치를 아주 엄격하게 적용한다는 내용이다.²¹⁾

다음은 국제단체 및 각 나라에서 정한 일반인과 직업인의 누적적 노출에 대한 표준 및 가이드라인을 <표 3-8>에 요약 정리하였다.

21) Michael Karus. 2000.03. "Neu Grenz- und Vorsorgewert und sie bewegen sich doch". Elektromog-Report.

<표 3-8> 누적적 노출에 대한 표준 및 가이드라인

구 분	전기장 (kV/m)		자속밀도 (μT)	
	일반인	직업인	일반인	직업인
ICNIRP (1998, 60Hz)	4.16	8.33	83.3	416.6
USA, ACGIH (1998, 60Hz)	-	25	-	1,000
CENELEC (1995, 60Hz)	8.333	25	533	1,333
NRPB (1993, 60Hz)	10	10	1,333	1,333
Australia, NH&MRC (1989, 50Hz)	5.0	10.0	100	500
Germany (1989, 50Hz)	20.6	20.6	5,000	50,00
USSR(1975, 50Hz)	-	5.0	-	1,760
USSR(1985, 50Hz)	-	-	-	
Poland(1980, 50Hz)	-	15.0	-	-

주: CENELEC: 유럽 전기표준 위원회

NRPB: 국제 방사선 보호위원회

NH&MRC: 국제 건강의료 연구협의회

자료: Federal-Provincial Territorial Radiation Protection Committee Canada.

1998. 『Health effects and exposure guidelines related to extremely low frequency 50/60Hz electric and magnetic fields』 .

2. 국내의 전자파 인체보호기준

2000년 12월 15일 정보통신부산하 한국무선국관리사업단에서 전자기장 노출에 대한 전자파 인체보호기준과 전자파흡수율 측정기준 등을 마련하여 전자파 인체보호기준을 설정하였다. 국내 전자파 인체보호기준은 1999년 한국전자과학회가 제안한 국제 비전리복사 방호위원회의 지침을 근거로 하고 있다.

우리나라의 전자기장 노출에 대한 인체보호기준은 직업인과 일반인에 대한 두 종류로 나뉘어져 있으며, 일반인 기준은 직업인 기준보다 더 엄격하게 설정되어 있다. 그 이유는 직업인의 경우에는 자신이 일하고 있는 작업장에서 발생하는 전자기장에 대한 노출상황을 인지하고 사전에 보호대책을 세울 수 있는 반면에, 일반인의 경우에는 전자기장에 무방비 상태로 장기간 노출될 가능성이 매우 높기 때문이다.

이 기준은 신경 자극 등을 일으킬 수 있다는 과학적 근거에 의한 것으로서 직업 및 주거 환경에서 측정될 수 있는 전형적인 측정치보다는 매우 높게 설정되어 있다. 우리나라의 경우 60Hz의 전자파에 노출시 일반인에 대한 전자파 강도기준은 전기장이 4.16kV/m, 자기장이 83.3 μ T이며, 직업인에 대하여서는 전기장이 8.33kV/m, 자기장이 416.7 μ T이다. 최근의 역학적 연구조사에서 밝혀진 자기장이 0.2 μ T이상의 60 Hz 전자파에 노출시에 암 발생률을 높인다는 수치보다 매우 높게 설정되어 있기 때문에, 이 인체보호기준은 고압선로에서 발생하는 극저주파 전자기장에 대한 노출기준과는 전혀 무관한 수치이다. <표 3-9>과 <표 3-10>은 일반인과 직업인의 누적적 노출에 대한 강도기준을 요약 정리한 것이다.

<표 3-9> 일반인에 대한 전자파 강도기준

주파수 범위	전기장강도 (V/m)	자기장강도 (A/m)	자속밀도 (μ T)
1Hz 이하	-	3.2×10^4	4×10^4
1Hz 이상 ~ 8Hz 미만	10,000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$
8Hz 이상 ~ 25Hz 미만	10,000	$4,000 / f$	$5,000 / f$
0.025kHz 이상 ~ 0.8kHz 미만	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$

- 주: 1. 주파수(f)의 단위는 주파수 범위란에 표시된 단위와 같다.
 2. 전기장강도, 자기장강도 및 자속밀도는 실효치로 한다. 자속밀도는 자기장강도에 자유공간의 투자율($4\pi \times 10^{-7}$)을 곱한 것이다.

<표 3-10> 직업인에 대한 전자파 강도기준

주파수 범위	전기장강도 (V/m)	자기장강도 (A/m)	자속밀도 (μ T)
1Hz 이하	-	1.63×10^5	2×10^5
1Hz 이상 ~ 8Hz 미만	20,000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$
8Hz 이상 ~ 25Hz 미만	20,000	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^4 / f$
0.025kHz 이상 ~ 0.82kHz 미만	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$

- 주: 1. 주파수(f)의 단위는 주파수범위란에 표시된 단위와 같다.
 2. 전기장강도, 자기장강도 및 자속밀도는 실효치로 한다. 자속밀도는 자기장강도에 자유공간의 투자율($4\pi \times 10^{-7}$)을 곱한 것이다.

제4장 전자파 관리실태 및 대응사례

1. 고압선로에서의 전자파 관리실태

국제기구 및 선진국에서는 전자파로부터 인체보호를 위한 권고기준을 설정하여 전자파에 노출되는 것을 피하도록 권장하고 있다. 현재 미국, 영국, 스위스, 스웨덴, 독일, 캐나다, 러시아, 체코, 폴란드 등의 여러 국가가 전자파에 대한 안전기준을 마련하고 있으나, 각 나라마다 서로 다른 기준치를 적용하고 있다. 인체보호에 대한 지침에서 미국을 비롯하여 여러 나라들은 전자파노출을 열적 장해라고 명확히 규정할 수 있는 현상을 해석하여 그의 한계치를 안전기준으로 하고 있다. 한편 스위스, 독일, 스웨덴, 이탈리아 등은 열적 장해뿐만 아니라 극저주파에 의하여 발생하는 생물학적 영향인 비열적 작용의 가능성을 고려한 기준을 설정하고 있다. 극저주파(0-300 GHz)에 관한 기준은 ICNIRP, 스위스, 스웨덴, 독일, 미국의 일부 주에 이미 마련되어 있다.

우리나라에서도 전자파 노출에 의한 건강유해에 대하여 우려의 목소리가 높아지고 있어 전자파에 대한 적절한 관리대책이 필요하기 때문에 환경부에서도 일반국민에게 건강상의 영향을 줄 수 있는 전자파의 위해성에 대한 국제동향과 국내의 현실에 부합되는 권고기준을 설정하고자 하는 기초 조사·연구를 하였다. 환경부에서는 이러한 포괄적인 조사결과를 토대로 효율적인 전자파 관리기반을 마련하는 방안을 검토하였지만, 관계부처의 의견과 각계의 여론이 수렴이 되지 않았다. 2000년 12월 15일 정보통신부에서 전자파 인체보호기준을 설정하였으나 이 기준이 너무 높게 설정되어 있기 때문에 일반인의 경우에는 전자기장에 무방비 상태로 오랫동안 노출될 가능성이 있다. 따라서 이 기준은 전자기장의 생체영

향에 관한 새로운 연구결과에 따라 지속적으로 개정되어야 하고, 고압선로 등으로부터 발생하는 전자파가 아동 및 환자에게 특히 유해한 것으로 알려져 있으므로 유아원, 초등학교 등의 환경민감시설인 정온시설에 대하여 좀 더 엄격한 기준 설정이 필요하다.

가. 국내의 민원실태

고압선로 및 송변전시설로 인한 분쟁은 오래전부터 있어왔지만 90년대 중반까지는 별다른 사회적 관심의 대상이 되지 못하였다. 고압선로에서 발생하는 전자파가 인체에 유해하기 때문에 고압선로의 건설방법이 재고되어야 한다는 주장이 본격화된 계기는 과천의 고압선로 분쟁사건이다. 과천주민들은 재산권 분쟁을 중심으로 하는 외국의 분쟁사례들과 달리 고압선로 건설로 인한 생명권 침해와 생태계 파괴를 쟁점으로 내세웠다. 고압선로 시설규모가 점점 대규모화됨에 따라 주민민원 등의 지역분쟁이 전국적으로 폭증하는 추세에 있으며, 1995년부터 1999년 6월까지 고압선로 관련 민원만도 1,120건에 이르고 있다. 1996년부터 1998년 사이에 성남시 분당, 양주군 북한산 국립공원, 과천 문원동, 가평군, 인천시 계양구, 강원도 동해·춘천, 전남 광양, 충북 예산·영동, 마산시 가포, 경남 산천 등 많은 지역에서 민원이 발생하였다. 한국전력은 기존 154kv, 345kv의 송전선로망의 증설과 765kv 초고압선로망의 신설을 통하여 2015년까지 전국에 고압선로를 현재보다 1.9배 더 증설할 것이며 변전소는 2.4배 더 증설할 계획이기 때문에 고압선로 및 송변전시설로 인하여 심각한 지역분쟁이 끊이지 않을 것으로 예상된다.²²⁾

최근의 민원발생²³⁾의 예로서, 고압 송전탑과 고압선로 주변에 위치하고 있는 경기도 파주시 파주교하 벽산아파트 입주민들이 고압 송전탑 이전을 촉구하고

22) 전재경. 1996. 『전자파의 법적 규제(송전선로 분쟁을 중심으로)』.

23) 한국아파트신문. 2002.6.19. 『파주교하 벽산아파트 송전탑 이전 촉구』

나섰다. 2001년 5월에 입주한 1,200세대 주민들중 306, 307동에 거주하는 주민들은 345kV 고압 송전탑이 단지로부터 불과 15m 밖에 떨어져 있지 않아 전자파에 대한 심한 공포감을 토로하고 있다. 이 아파트 주민들은 아직까지는 고압 송전탑으로 인한 뚜렷한 피해가 발생되지 않았지만, 전자파 인체위해 가능성이 높은 점과 특히 비가 오거나 바람이 불 때 붕괴 및 감전사고 등으로 매우 불안해 하고 있다. 벽산아파트 고압 송전탑 이전추진위원회는 “벽산건설이 고압송전탑 시설에 대한 사전 홍보 없이 아파트를 분양한데다 이달 말까지 고압 송전탑 이전 약속을 하고도 아직까지 이전부지를 마련하지 않는 등 아무런 움직임도 보이지 않고 있다”고 강하게 반발하고 있으며, 벽산건설측이 약속한 시일까지 송전탑을 이전하지 않을 경우 손해배상 청구소송을 제기하는 등 강경하게 대응할 예정이다.

나. 전자파 측정사례

현재 국내에서 운용중인 전기 공급 선로로는 크게 가공 송배전선로와 지중 송배전선로로 구분되며, 345kV, 154kV, 66kV 및 22.9kV의 고압송전선과 지중선으로 이루어져 있다. 이런 고압전력선에서 전자기장이 방출되며, 전·자기장이 동시에 발생한다. 가공 고압선로에서 발생된 전기장의 크기는 농작물 또는 지면의 요철 등에 의한 대지의 불규칙한 영향을 받기 때문에 보통 대지로부터 1-2m 높이에서 측정되며, 이때의 전기장은 선로의 전압과 선로의 기하학적 배치, 선로로부터의 거리, 지표면에 대한 고압선로의 높이, 송전철탑에 접지된 금속 구조물의 접근정도, 나무나 울타리등과 같이 높은 물체의 접근정도 등에 따라 달라지며 송전선하의 전기장 강도에 영향을 미친다. 실제로 지표면에서 측정된 전기장은 부근의 농작물, 나무, 건물, 울타리 등과 같은 물체의 차폐작용으로 인해 감소됨에 따라 전기장이 교란되어 나타난다. 또한 주변의 건물내부에서 측정된 전기장의 세기는 건물의 구조나 차폐역할을 하는 재질에 따라 달라지지만 외부 전기장과 비교하면 일반적으로 보통 10-100배 정도 감소된다.

자기장의 발생원도 전기장의 경우와 마찬가지로, 다른 점은 전기장 강도는 고압송전선의 전압과 관계가 있지만 자기장 강도는 고압송전선에 흐르는 전류에 따라 변하기 때문에 하루동안에도 많이 변화할 수가 있다. 극저주파 전자기장의 자기장은 수직 및 수평 성분을 동시에 가지게 되고 대부분의 물체와 건물에 대해서도 차폐되지는 않는다.

고압선로에서 발생하는 전자기장으로부터의 인체보호대책 수립 및 효율적인 전자파 관리방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용하기 위하여 다음과 같이 전자기장의 조사 결과치를 정리하였다.

1) 고압선로직하 건물에서의 측정²⁴⁾

덕소 T/L에서 화양 T/L로 가는 154kV 고압선로인 성동전력소 부근 아래의 5층 건물에서 측정시의 전류는 280A이었다. 옥상에서 고압선로까지의 거리는 5-6m로 아주 가까워 자기장은 6.04 μ T, 전기장은 2398V/m로 측정되었다. 5층과 4층에서의 자기장은 건물의 차폐에 상관없이 거리에 따라 2.91 μ T에서 2.24 μ T로 감소됨을 알 수가 있다<표 4-1>.

<표 4-1> 성동전력소 인근에서의 전자기장 측정

측정위치	전기장(V/m)	자기장(μ T)
옥상 선로직하	2398	6.04
5층 복도	2.54	2.91
4층 복도	2.54	2.24

154kV 상계-의도 T/L의 의정부 전력소 인근 아파트와 아파트 사이를 고압선로가 지나가는 곳으로 측정시의 전류는 325A였으며, 지상에서 고압선까지의 거

24) 김덕원. 2000. "실내 생활환경 자기장 측정 결과 및 분석". <전자기장의 생체영향에 관한 워크숍>. 에서 전자기장 측정자료 부분을 발췌.

리는 약 30m이었고, 아파트와의 거리는 약 15m정도였다. 10층, 11층에서 자기장은 0.98-1.08 μ T 정도 였으며, 전기장은 건물에 의해 차폐가 되어 10층, 11층에서 3.4-3.7V/m였다. 고압선로직하 지점에서의 자기장은 0.53 μ T이였으며, 관리사무소는 고압선로로부터 25m의 이격거리로 인하여 0.29 μ T로 측정되었다<표 4-2>.

<표 4-2> 의정부전력소 인근에서의 전자기장 측정

측정위치	전기장(V/m)	자기장(μ T)	비고
10 층	3.7	0.98	측면 15 m
11 층	3.4	1.08	측면 15 m
선로직하	733.8	0.53	지상고 30 m
관리사무소	2.5	0.29	선로직하 25m 우측

의정부 전력소 전철 T/L 부근 건물에 전철 구동을 위한 154kV 고압선로의 전력선으로 측정시에 70A의 전류였다. 5층 아파트에서의 자기장이 0.15 μ T였으며, 전류의 세기가 약해서 자기장이 0.15-0.1 μ T정도로 아주 낮게 측정되었다<표 4-3>.

<표 4-3> 의정부전력소 전철 T/L 인근에서의 전자기장 측정

측정위치	전기장(V/m)	자기장(μ T)	비고
5 층	2.4	0.15	옥상에서 10 m
3 층	2.4	0.12	
1 층	2.5	0.1	
선로직하	16.0	0.13	지상고 25 m

신인천 345kV T/L의 신인천 전력소 인근 건물에서의 전자기장 측정시에

44 고압선로 전자파의 효율적 관리방안 연구 제4장

300A의 전류가 흘렀으며, 옥상에서 고압선까지의 거리는 약 15m이었고, 고압선로직하 지점에서의 전기장은 1444.1V/m, 자기장은 1.25 μ T였으며, 건물내부에서는 자기장은 0.74 μ T로 측정되었다. 1층 옥외 지상에서는 건물에 일부가 차폐되어 전기장이 10.4V/m로 측정되었으며, 자기장은 0.58 μ T로 측정되었다<표 4-4>.

<표 4-4> 신인천 345kV T/L 인근에서의 전자기장 측정

측정위치	전기장(V/m)	자기장(μ T)	비고
옥상선로직하	1,444.1	1.25	옥상에서 15 m
4 층	4.1	1	
2 층	2.4	0.74	
1 층 (옥외지상)	10.4	0.58	지상고 30m, 앞에 건물이 있음
선로직하	215.7	0.61	지상고 35m

2) 고압선로 인근에서의 측정²⁵⁾

345kV 및 154kV 고압송전선과 345kV, 154kV, 22.9kV 지중선을 대상으로 조사가 이루어졌다. 자기장은 하루중 최고 최저치를 나타내는 시간과 영향인자 등을 고려하기 위하여 방출되는 자기장을 5초 간격으로 24시간 연속 측정하였다. 전자장 방출수준 측정방법은 선로 아래에서의 전자장 방출수준을 측정해야 하므로 고압송전선의 경우는 선로 최저고도 직하지점과 송전탑 직하지점, 또한 고압송전선로에 의한 전자장 영향권 및 향후 제한구역 설정의 기초자료로 활용하기 위하여 직하지점에서 측방향으로 25m 떨어진 지점에 수행했으며, 측정시 측정기

25) 김종민외. 1998. “송배전선에서의 전자장 방출현황 조사연구”. 「국립환경연구원」의 내용중 일부를 요약정리함.

의 고도는 비전도체 삼각대를 이용하여 지상 1m에 위치하도록 하였다. 송전선 최저고도 직하지점에서 24시간 측정된 자기장 결과치를 보면 154kV 고압송전선의 경우 0.05-6.22 μ T, 345kV 고압송전선은 0.21-7.29 μ T의 수치로 많은 차이를 나타낸다. 이는 측정 당시 고압선로에 흐르는 전류량과 측정지점의 고도에 따라 영향을 받기 때문이다. 측정 대상지점의 전류량은 고압선로에 따라 125-2,663A, 선로의 고도는 10.5-45m로 고압선로 주변의 서로 다른 선로 높이와 대상지역의 전력사용량에 따라 크게 영향을 받고 있음을 알 수가 있다. <표 4-5>는 고압선로 최저고도 직하지점에 측정된 자기장 측정치와 전류량 및 고압선로 높이와의 상관관계를 나타내고 있다.

<표 4-5> 고압선로 직하지점에서의 자기장 측정치

고압선로	지역	자기장측정치(μ T)		전류(A)	고도(m)
		최대	최소		
154kV	서울	1.63	0.21	217	16
	부산	1.17	0.16	212	15
	대구	0.59	0.05	125	15.5
	대전	3.37	1.75	710	16.5
	광주	1.09	0.62	239	14
	인천	0.61	0.11	349	17
	울산	6.22	5.12	1,737	11.5
345kV	서울	1.51	0.21	1,167	28
	부산	1.39	0.41	1,032	34
	대구	7.29	5.17	1,779	17.5
	대전	1.63	1.00	2,663	45
	광주	1.69	1.45	1,728	34
	인천	1.30	0.65	616	26
	울산	5.70	4.32	1,450	10.5

345kV 고압송전선을 대상으로 실측한 자기장 값과 고압선로까지의 거리 및 전류값을 대상으로 거리별 감쇠정도를 분석한 결과 고압선로와의 거리가 가까울 수록 자기장의 값이 급격히 증가하는 현상을 보여 주었다. 또한 측정된 전류량의 변동과 자기장의 값과의 상관관계를 분석한 결과 자기장과 전류량은 정비례 관계에 있다는 것이 실험적으로 입증되었다. <표 4-6>은 고압선로 직하지점과 직하지점으로 부터 25m 떨어진 지점에서의 자기장 측정값을 비교하였다.

<표 4-6> 345kV 고압선로의 지점별 자기장 측정치

지역	측정지점	자기장측정치(μ T)		전류(A)	고도(m)
		최대	최소		
서울	직하지점	1.51	0.21	1,167	28
	25m	0.89	0.17		
부산	직하지점	1.39	0.41	1,032	34
	25m	0.88	0.29		
대구	직하지점	7.29	5.17	1,779	17.5
	25m	2.13	1.43		
대전	직하지점	1.63	1.00	2,663	45
	25m	1.30	0.86		
광주	직하지점	1.69	1.45	1,728	34
	25m	0.84	0.74		
인천	직하지점	1.30	0.65	616	26
	25m	0.94	0.50		
울산	직하지점	5.70	4.32	1,450	10.5
	25m	1.52	1.14		

3) 고압선 인근 초등학교에서의 측정²⁶⁾

고압선에서 발생하는 자기장에 특히 취약한 어린이들이 장시간 생활하는 초등학교를 대상으로 전력선에서 방출되는 자기장 수준을 조사분석하고, 그 영향권을 파악하였다. 각 초등학교내 자기장 측정은 인근 고압송전선로 직하지점과 고압선로에 가장 인접한 학교부지 경계지점 그리고 학교 운동장 단상 앞의 3개지점에서 측정주기를 5초간격으로 1시간 동안 동시에 측정하였으며, 선로 직하지점에서 부지경계선까지의 거리, 직하지점에서 운동장 단상까지의 거리 및 선로 높이를 측정하였고, 측정당시의 전류값을 조사하였다. 고압선로가 학교 인근을 지나가거나 학교부지를 통과하는 초등학교는 전국적으로 총 29개교로 조사되었으며, 이중 154kV 송전선은 25개교, 66kV 송전선은 3개교, 그리고 345kV 송전선은 1개교였다. 조사대상 학교중 고압선이 학교 인근을 지나가는 학교는 19개교였으며 고압선이 운동장이나 학교 건물위로 통과하는 경우는 10개교였다.

고압선이 학교 인근을 지나가는 초등학교 중에서 고압선로 직하지점은 각 학교별로 0.18-7.17 μ T 정도의 자기장에 노출되었으며, 학교부지 경계선까지의 자기장 노출치는 0.03-2.97 μ T 정도의 범위를 보였다. 학교운동장인 단상에서 측정된 자기장 노출치는 0.02-0.62 μ T 정도의 낮은 수치이나, 8개 학교가 고압선로 쪽으로 교실건물이 위치하고 있어 학교 학생들에게 노출되는 자기장 수준은 더 높을 것으로 추정되었다. <표 4-7>은 고압선로가 학교인근을 지나가는 경우의 전자장 노출치를 나타낸다.

고압선이 학교부지를 통과하는 초등학교의 경우 고압선 직하지점에서의 자기장 수준은 0.02-3.45 μ T 이고, 운동장 단상에서는 0.01-1.06 μ T 범위를 나타내고 있었다. 이들 학교에서의 직접적인 자기장 노출은 고압선이 학교 인근을 지나가는 경우 보다 상대적으로 높은 자기장 노출치를 보여 주었다. <표 4-8>은 고압선로가 학교부지를 통과하는 경우의 전자장 노출치를 나타낸다.

26) 김종민외. 2000. “전기설비에서 발생하는 전자장 수준 및 영향권에 관한 연구”. 「국립환경연구원」의 내용중 일부를 요약정리함.

<표 4-7> 학교인근을 지나가는 경우의 자기장 측정치

지역 (고압선로)	측정지점	자기장측정치(μ T)		이격 거리(m)	높이 (m)	전류 (A)
		최대	최소			
경상영역 초등A(345kV)	직하지점	5.39	4.97	-	18	1,729
	경계부	0.25	0.23	78		
	운동장단상	0.04	0.03	140		
수도권영역 초등B(154kV)	직하지점	7.17	6.36	-	24	136
	경계부	2.97	2.11	17		
	운동장단상	0.62	0.42	86		
수도권영역 초등C(154kV)	직하지점	2.51	0.85	-	50	160
	경계부	0.88	0.57	14		
	운동장단상	0.17	0.12	64		
경상영역 초등B(154kV)	직하지점	0.80	0.71	-	22.5	333
	경계부	0.23	0.20	22		
	운동장단상	0.03	0.03	82		
경상영역 초등C(154kV)	직하지점	0.67	0.53	-	24	600
	경계부	0.30	0.25	14		
	운동장단상	0.03	0.02	70		
경상영역 초등D(154kV)	직하지점	0.27	0.18	-	25.5	333
	경계부	0.03	0.02	91		
	운동장단상	0.03	0.03	48		

<표 4-8> 학교부지를 통과하는 경우의 자기장 측정치

지역 (고압선로)	측정지점	자기장측정치(μ T)		이격 거리(m)	높이 (m)	전류 (A)
		최대	최소			
충청영역 초등A(154kV)	직하지점	3.45	3.25	-	11	890
	운동장단상	0.13	0.12	71.1		
경상영역 초등E(154kV)	직하지점	0.25	0.16	-	33.5	490
	운동장단상	0.13	0.10	41		
경상영역 초등F(154kV)	직하지점	0.21	0.15	-	27	440
	운동장단상	0.08	0.05	32.4		
수도권영역 초등D(154kV)	직하지점	1.73	1.69	-	32	-
	운동장단상	1.06	0.97	30.8		
수도권영역 초등E(154kV)	직하지점	0.86	0.7	-	28.5	-
	운동장단상	0.28	0.22	56		
수도권영역 초등F(154kV)	직하지점	0.63	0.45	-	16	-
	운동장단상	0.04	0.03	70.2		
수도권영역 초등G(154kV)	직하지점	0.15	0.14	-	30	-
	운동장단상	0.02	0.01	73.9		

4) 국외에서의 자기장 측정

고압선로의 높이와 흐르는 전류와 전압에 따라 전자기장의 세기가 변화한다. 고압선로의 전압이 증가할수록 직하지점에서 자기장의 세기는 증가한다. 전압이 33kV 일때 직하지점에서의 자기장은 $7\mu\text{T}$ 이며, 132 kV 일때 $11\mu\text{T}$ 이고, 275kV 에서는 $40\mu\text{T}$ 으로 전압의 증가에 따라 자기장의 세기가 증가함을 알 수가 있다.²⁷⁾

독일 노트라인베스팔렌주에서의 380kV 고압선로 직하지점 1m 높이에서 이격 거리에 따라 측정한 자기장 분포치²⁸⁾를 살펴보면, 직하지점에서는 $5.1\mu\text{T}$ 이고, 고압선로로부터 10m 이격거리에서는 $4.8\mu\text{T}$, 20m에서는 $2.5\mu\text{T}$, 30m에서는 $1.2\mu\text{T}$, 50m에서는 $0.4\mu\text{T}$ 으로 직하지점으로부터 이격거리가 멀수록 자기장이 급격히 감소된다. 따라서 미국, 독일 스웨덴 등의 일부 국가에서는 유치원, 초등학교 등의 환경민감시설 인근을 통과하는 고압선로에 대한 자기장 한계치를 설정하고, 고압선로로부터 최소한의 이격거리를 강력히 요구하고 있다.

<표 4-9>는 각각의 전압에 따른 자기장과 고압선로 이격거리와의 상관관계를 나타내고 있으며, 전압이 높을수록 자기장 발생치가 높고, 또한 이격거리에 비례하여 자기장이 감소됨을 추론할 수가 있다. 고압선로에서의 극저주파 자기장 한계치를 $0.2\mu\text{T}$ 이하로 설정할 경우에는 최소한의 이격거리는 다음과 같다. 전압이 115kV이고 이격거리가 100ft(30.48m)인 경우에는 자기장이 $0.24\mu\text{T}$ 이며, 230kV, 이격거리가 200ft(60.96m)인 경우에는 $0.184\mu\text{T}$, 660kV, 이격거리가 300ft(91.4m)인 경우 $0.19\mu\text{T}$, 1000kV, 이격거리가 400ft (121.9m)인 경우 $0.124\mu\text{T}$ 이다.

27) NRPB and National Grid Company가 발간한 Electric and magnetic fields의 자료를 인용함.

28) Landesumweltamt NRW. 2001. "Elektromagnetische Felder". 341-342.

<표 4-9> 자기장과 고압선로 이격거리와의 상관관계

자기장단위: mG

KV/거리	철탑 아래	50ft (15.24m)	100ft (30.48m)	200ft (60.96m)	300ft (91.4m)	400ft (121.9m)	500ft (152m)
115	30	7	2	0.4	0.2	0.1	0.05
230	58	20	7	1.8	0.8	0.4	0.2
500	87	29	13	3.2	1.4	0.7	0.35
660	115	38	17	4.2	1.9	0.9	0.5
1000	150	50	22	5.4	2.4	1.2	0.6

자료: National Research Council. 1997. 『Magnetic fields as a function of distance from power lines, based on USEPA』 .

2. 전자파 대응사례

우리나라 환경부에서도 1995년 전자파 인체권고기준 설정을 위한 연구과제를 수행하여 전자파의 위해성에 대한 연구결과²⁹⁾를 발표하였다. 그 연구결과를 바탕으로 새로운 고압선로 건설과 고압선로에 인접한 향후 인구밀집지역이 될 택지개발에 대한 환경영향평가서에 인체권고치로 자기장이 0.2 μ T 이상 초과하지 않도록 하고 있다. 전자파 노출과 관련된 환경영향평가 협의사례는 아래와 같다.³⁰⁾

가. 의왕 내손지구 택지개발사업

의왕 내손지구 택지개발사업 지구내를 통과하고 있는 고압선로는 154kV의 동안양선과 과천선으로 현황은 <표 4-10>과 같다.

고압선로 경과지 인근에 위치할 공공공지, 공용의 청사, 근린생활시설, 주유소로부터 이격거리별 자기장을 실측정하였다. 측정지점은 고압선로 중심 선하지로 부터 각 시설물용지별로 이격거리를 선정하였으며, 측정시기는 하계절 전력수요가 많은 시간대를 기준으로 2일간 (2001년 6월 8일, 11일) 실시하였고, 자체측정기로는 휴대용 PSMA 02를 사용하여 자기장 강도를 측정하였다. 측정결과는 지점별, 이격거리별로 4회 측정하였으며, 평균치는 <표 4-11>와 같다.

29) 극저주파 전자기장에 대한 단계별 인체권고기준치 및 적용방안을 제시하였으나 환경부에서는 권고치로도 제정하지 않았다. 그 내용을 요약하면 다음과 같다. 제1단계의 권고대상 및 노출한계로는 일반인의 경우 하루종일 노출시 평균 3 μ T를 초과하지 못하며, 신설 송배전선의 경우 선로 바로 밑 지표상 1m에서 측정하여 3 μ T를 넘지 않는다. 제2단계로는 일반인의 경우는 1 μ T, 신설되는 송배전선에 대하여 제한구역을 50m 수준에서 설정한다. 제3단계는 권고안을 규제안으로 공고하며, 주민보호를 위한 노출규제 방안을 마련한다.

30) 의왕내손지구 택지개발사업 환경영향평가 협의내용변경계획서(보완, 의왕시, 2001.6), 대전노은2지구 택지개발사업 환경영향평가서(재보완, 한국토지공사, 2000.12), 보령명천지구 택지개발사업 환경영향평가서(재보완, 충청남도, 1998.6)의 전자파관련 부분을 요약정리함.

<표 4-10> 고압선로 현황

구 분	고압선로
송전탑 높이	30m(2호), 24m(3호)
정격전압	154kV
전 류	210A(허용전류: 835 A)
선로 지상고	28m: 주유소, 근린시설, 공용의 청사 17m: 공공공지

<표 4-11> 자기장 측정결과

(단위: mG)

구 분	이격거리					
	0m	10m	20m	30m	40m	50m
주유소 인근	3.2	2.8	1.9	1.1	0.5	0.2
근린생활시설 인근	2.9	2.6	2.0	0.8	0.3	0.1
공용의 청사 인근	3.0	2.8	1.7	0.9	0.3	0.2
공공공지	11.1	7.4	3.8	1.9	0.7	0.4

측정된 결과를 분석해 보면 공공공지 지점이 이격거리에 따라 타지점보다 자계치가 높은 원인은 고압선로의 높이가 17m로 타지점(약 28m)보다 약 10m가 낮기 때문이다. 주유소는 고압선로 중심 선하지로부터 20m 이격지점에서 1.9 mG이며, 40m이상 이격시에는 자기장 측정치가 0.5mG로 전류가 일시 변동이 있다

라도 자계치가 2mG이하로 유지될 수가 있다. 근린생활시설은 40m 이격되어 있으므로 현재 지점에서의 자기장 측정치가 0.3mG이며, 공공의 청사는 55m정도 이격되어 있어 자기장 측정치는 0.2mG이었다. 그러나 공공용지는 고압선로가 지나가기 때문에 자계의 영향이 예상되므로 고압선로 중심선하지로부터 30m 이상 이격이 되어야만 자계치가 2mG이하로 감소될 수가 있다. 따라서 이에 대한 저감대책으로 고압선로로부터 이격거리 30m 지점까지 경관녹지로 이용하는 토지이용계획을 일부 수정 변경하였다.

나. 대전 노은 2지구 택지개발사업

본 사업지구 좌측으로 통과하는 고압선로는 154kV 덕서 T/L로 사업지구와 인접한 철탑기수는 4기이며, 철탑높이는 25-29m이며, 전류는 52A이다. 고압선로가 통과하는 지역에 대하여 3개의 조사지점을 선정하여 고압선로 선하지로부터 이격거리별(10, 20, 30, 40, 50m)로, 휴대용인 PSMA02 자계측정기로 자기장 강도를 측정하였다. 거리별로 3회를 측정한 평균치는 <표 4-12>와 같다.

고압선로에서 사업지구내 공동주택 예정부지까지 사업지구내 3개지점에 대한 35-50m 이격된 지점에서의 현황조사결과, 측정된 평균 자기장의 강도는 0.3-0.6mG로 조사되었다. 특히 30-50m 이격지점에서의 자기장 강도의 변화가 거의 없었다. 그 이유로는 전류의 값이 의왕내손 택지개발지구의 경우(210A)보다 훨씬 약한 52A로 현 사업지구에서는 이격거리에 따른 자기장 강도의 변화가 미약하기 때문인 것으로 예측되었다. 전류값에 따른 자기장 강도의 변화는 <표 4-13>과 같다. 사업지구 좌측에 위치하고 있는 고압선로로부터 택지개발 완료후 공동주택 입주민에게 미치는 자기장의 강도가 평균 0.5mG로 예측되었지만, 전류값의 변동에 따라 자기장강도가 변하기 때문에 자계에 의한 영향을 최소화하기 위해서는 자계에 대한 직접적인 노출 및 고압선로의 조망에 의한 입주민의 영향을 최소화하기 위하여 최소 이격거리를 35m이상으로 계획한 토지이용계획을 수립

하였다.

<표 4-12> 자기장 측정결과

(단위: mG)

구 분	이격거리(m)				
	10	20	30	40	50
철탑 NO.45와 46 사이	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
철탑 NO. 46 인근	0.5	0.4	0.5	0.3	0.4
철탑 NO. 47 아래	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4

<표 4-13> 전류의 세기와 자기장 강도와의 관계

구 분	전류(A)	최대자계의 크기 (mG)	선로높이 (m)	비고
154kV 과천T/L	820	18.95	27.2	측정위치는 선하지
154kV 곡성T/L	245	5.5	19.0	“
154kV 덕서T/L	52	0.4	22.6	“
154kV 남창T/L	25	0.3	30.3	“

자료: 정길조, 한국전력공사 전력연구원, 1999.5. 『송전선로 전자계 영향 연구』, pp24-28.

다. 보령 명천지구 택지개발사업

본 사업지구내에 위치한 고압선로는 154kV로 사업지구내 철탑기수는 1기이

며, 첩탑높이는 18m이며, 전류는 850A이다. 고압선로가 통과하는 지역에 대하여 3개의 조사지점을 선정하여 고압선로 선하지로부터 이격거리별 (0, 10, 20, 30, 40, 50m)로, HI-3604(미국) 전자장 측정기로 자기장 강도를 측정하였다. 이격거리 별 자기장 측정치는 <표 4-14>과 같다.

<표 4-14> 자기장 측정결과

(단위: mG)

구 분	이격거리(m)					
	0	10	20	30	40	50
지점1(공동주택A 지점으로 부터 이격거리 40m)	4.79	2.18	0.68	0.47	0.40	0.37
지점2(부지경계로부터 이격거리 100m)	7.06	6.10	4.13	2.42	1.66	1.40
지점3(공동주택B 지점으로 부터 이격거리 140m)	6.64	4.14	1.51	0.64	0.47	0.44

고압선로로부터 서측에 위치한 공동주택B 예정부지는 약 40m 이격되어 있으며, 자기장 측정결과 0.4mG정도이고, 남서측에 위치한 공동주택 B는 약 140m 이격되어 있으므로 자기장의 영향이 없다. 단지 고압선로에 인접한 지역에 주차장, 야적장, 물류창고 등을 계획하고 있으며, 최대 자기장 강도는 7.06mG로 나타났으나, 직접적인 자기장의 영향은 미약할 것으로 예측되었다.

제5장 효율적인 전자파 위해성 관리방안

각종 전자제품 및 이동통신 단말기의 증가, 직장에서의 VDT보급, 고압선로 및 발전설비의 신설 등으로 인하여 발생하는 전자파에 의한 인체 위해성 여부가 사회적으로 큰 논쟁의 대상이 되고 있다. 전자파에 대한 건강상의 우려와 관심에 비례하여 전자파 노출에 대한 뚜렷한 노출저감방안이나 전자파가 인체 건강에 유해한 영향을 준다는 과학적인 매카니즘이 밝혀지지 않고 있기 때문에 명확한 규제치를 제시하지 못하고 있다. 그럼에도 불구하고 스웨덴, 스위스, 독일 등 일부국가에서는 예방적인 접근의 차원에서 인체영향을 언급하여, 특히 환경민감시설에 대한 엄격한 노출한계치를 제정하였고, 이탈리아는 더욱 강력한 규제치를 제정하려고 하고 있다. 미국의 일부 주에서는 위험 가능성에 대한 현명한 회피³¹⁾라는 논리로 국가적인 차원에서 국민 건강을 보호한다는 목적으로 전자기장의 인체노출에 대한 권고치를 마련하고 있다.

1979년 Wertheimer와 Leeper에 의해 고압선로에서 발생하는 자기장과 인근 지역에 거주하는 어린이에게 발생하는 소아백혈병과의 상관관계가 발표된 이후, 극저주파 전자기장에 장기간 노출되었을 때의 인체건강 위해성에 대한 많은 역학적연구가 이루어져 왔다. 특히 스웨덴의 역학적 연구조사에서 0.2-0.3 μ T이상의 만성적인 자기장노출로 어린이에게 소아백혈병의 발생이 증가되었던 것으로 나타났고, 1998년이후 주거지에서의 자기장 노출과 관련된 소아백혈병의 발생에

31) 1989년 카네기멜론대학의 Morgan, Florig에 의해 개발된 60Hz전자파의 불확실한 유해성에 대한 위험성 관리정책이다. 과학적으로 전자파가 유해하다고 규명될 때까지 적당한 비용과 최소한의 불편함을 감수하는 조건에서 노출을 감소할 수 있는 조치를 취하기를 권장하는 정책으로 임의의 낮은 수치로 노출 제한치를 설정하여 비용에 관계없이 달성하기를 요구하는 것이 아니라, 적절한 경비로 전자기장에 대한 노출경감대책을 채택하는 것을 의미한다.

대한 다양한 역학적 연구결과가 발표되었으며, 특히 2001년 독일 Schuez의 연구 논문 결과는 소아백혈병의 발병율이 자기장노출 강도와 상관관계가 있다는 사실을 밝혀주었다. 이를 계기로 일부 선진국 및 국제기구에서는 전자파로부터 인체 보호를 위한 권고기준을 설정하여 전자파에 장기간 노출되는 것을 가급적 피하도록 하고 있다. 현재로는 극저주파 자기장의 인체 유해성에 대하여 과학적으로 명확한 결론을 유추하지 못하여, 국가차원의 강제기준을 제정하기에는 여러가지 문제점이 야기될 수 있기 때문에, 세계보건기구나 세계 각국에서 발표되는 인체 영향에 대한 과학적인 사실에 근거를 둔 기준을 권고치로 채택할 것을 권장하고 있다.

여러국가에서 극저주파 자기장 노출에 대한 인체 위험성을 밝히기 위하여 통계학적인 관련성을 추론하는 역학적 연구, 생체에 대한 반응 정도를 실험하는 가축실험과 위험도를 평가하는 자원자연구(volunteer study)³²⁾, 작용메카니즘을 추적하는 세포실험을 장기계획에 의거 지속적인 연구를 하고 있다.

이 장에서는 지금까지 극저주파 자기장노출로 인한 인체 위해성과의 연관성에 관한 최근의 연구논문과 고압선로에서 발생하는 자기장 노출에 의한 소아 백혈병과의 상관관계, 또한 선진국의 전자파 관리 및 규제 내용을 분석하여, 전자파에 최대한 노출되지 않는 방안과 우리나라 인체보호기준 적용시에 발생하는 문제점을 분석하고, 고압선로와 관련된 주민과의 논쟁을 해소시킬 수 있는 방안 및 추후에 전자파에 의한 국민 건강위해를 저감하기 위한 효율적인 정책방안을 제시하고자 한다.

1. 전자파에 대한 노출감소 방안

전기장이 통과하는 곳에 나무들과 같은 물체가 있거나 벽이나 지붕이 있다면

32) Graham et al. 1997. "Human melatonin during continuous magnetic field exposure". Bioelectromag 18: 166-171.은 자원자에게 만성적인 자기장노출에 의한 멜라토닌 변화를 연구한 자원자 연구논문임.

대부분의 전기장은 그 물체의 전하와 충돌하여 더 이상 나아가지 못한다. 보통의 건물은 외부 전기장의 약 90%를 차단한다. 그외에 영향을 주는 전계는 지붕이나 벽면을 접지된 알루미늄 같은 차폐물질을 사용한다면 충분히 차폐가 가능하다. 그러나 자계는 대부분의 물질에 의해 차폐되지 않기 때문에 건물로 들어오는 자계를 차폐하기가 매우 어렵다. 그것은 자계선이 흐르는 도체 주위에 연속적인 루프를 형성하기 때문이다. 자계선은 나무, 공기, 사람 등 대부분의 물체를 통과하며, 특히 철과 같은 물체는 아주 쉽게 통과한다.

고압선로 주변에서도 전기장은 주변의 물체들에 쉽게 흡수되어 그 세기가 상당히 감소한다. 자기장은 전기장과 달리 차폐가 잘되지 않고 대부분의 물질을 통과한다. 그러나 자기장은 거리가 멀어지면 급격히 약화된다. 고압선로 주변에서도 50-60m 이상 떨어지면 고압선로의 높이와 흐르는 전류에 따라 차이가 있지만, 자기장의 세기가 급격히 감소하여 실내에서 생성되는 정도의 자기장 수준이 될 수가 있다. <표 5-1>은 30m와 60m의 이격거리에서 발생된 전자계의 발생량을 측정 조사한 평균치이다.

<표 5-1> 이격거리에 따른 전자기장 발생량

구 분	자기장(mG)		전기장(kV/m)	
	30m지점	60m지점	30m지점	60m지점
115kV	1.7	0.4	0.07	0.01
230kV	7.1	1.8	0.3	0.05
500kV	12.6	3.2	1.0	0.3

자료: David H. 1996. 『Power Line Fields and Public Health』 . Amer. J. Physics 64.

자기장을 미리 차폐하기 위해서는 전자파의 발생원 근처에서 능동 및 수동차폐 기법을 통하여 저감하거나 자기장 발생원을 특수합금으로 밀폐시키는 차폐재료 적용방법이 있다. 수동차폐기법은 능동차폐와 동일한 개념으로 자계의 발생

원 근처에 loop 전선을 설치하여 강제로 전류를 흘려, 공간적인 자계 벡터를 상쇄시켜 저감하는 기법이다. 상쇄효과는 능동차폐에 비해 떨어진다. 능동차폐기법은 선진국에서는 이미 실증시험을 하였고, 최근 미국에서는 실제 고압선로에 적용한 사례도 있다. 특수 합금으로 밀폐하는 차폐재료 적용방법은 금속과 뮤메탈의 합금인 자기장의 투과가 용이한 페로마그네틱 물질과 알루미늄 및 구리로 합금된 전달율이 높은 물질로 자기장을 차폐할 수 있는 양층의 구조를 가지게 하는 방법이다. 그러나 이 방법은 3배의 높은 비용이 많이 드는 단점이 있다.

고압선로의 구성방법은 기존의 수평배치, 델타상배치, 지중화배치로 구분할 수가 있다. 델타상배치는 기존의 수평배치보다 선하지에서 자계를 45%정도 감소할 수가 있다. 이는 인근 전선에서 생성되는 자계가 서로 상쇄하는 방식을 이용한 것이며, 그 위치와 전선의 수에 따라 상쇄되는 자기장의 차이가 발생한다. 수평배치는 3개의 전선을 사용하지만, 델타상배치는 2개의 전선으로 보다 더 많은 자계의 상쇄효과를 가지게 된다. 지중화배치의 경우 전계는 감소하나 자계는 감소되지 않지만, 자계가 서로 상쇄되게 디자인하면 자계를 어느 정도 줄일 수가 있다. 더 효과적인 방법으로는 액체로 채워진 스틸파이프를 사용하여 1.52m 깊이로 지중화하면, 자계가 급격히 감소하나 거리당 들어가는 비용이 기존의 수평배치보다 7-8배 많이 소요가 된다. <표 5-2>는 세가지 종류의 배치구성을 비교하였다.

<표 5-2> 고압선로 배치구성에 따른 전자기장 발생량 비교

구 분	자기장(mG)		전기장(kV/m)		비 고
	아래	60m이격	아래	60m이격	
수평배치	59.6	1.6	2.6	0.04	230kV, 300A, 125MW
델타상 배치	28.9	0.5	1.6	0.03	230kV, 300A, 125MW
지중화	4.9	0.01	0	0	액체로 채워진 스틸파이프

자료: 신동천외. 환경부. 1997. 『전자파 인체권고기준 설정을 위한 조사연구』.

2. 인체 권고치 설정의 필요성

현재까지 전자전기제품에서 발생하는 극저주파 전자기장에 관한 규제는 일반적으로 열적 효과에 바탕을 둔 전기장에 관한 것이었다. 고압선로에서의 경우는 선로 직하지점에서나 발생원에서의 감전과 같은 직접적인 전기적 충격에 대한 근거를 바탕으로 규제치가 설정되었다. 그러나 발암효과이며, 비열적 효과인 자기장에 대한 규제는 단지 일부 국가에 국한되어 있다. 그 이유로는 극저주파의 건강 위험성평가에 대한 연구가 많은 불확실성을 포함하고 있으며, 역학적 연구에서도 자기장노출과 인간질병의 발병과의 관련성 여부에 대한 다수의 동물실험을 포함한 과학적인 메커니즘을 아직 밝혀주지 못하였고, 많은 역학적 연구 자체도 부적절한 노출량 평가를 포함한 여러 문제점을 지니고 있기 때문이다. 그러나 많은 국가에서는 과학적인 불확실성에도 불구하고 건강 위험성관리를 위한 예방적인 접근방법을 채택하여, 일반인의 높은 우려를 최대한 감소할 수 있도록 저감 정책을 채택하려고 하고 있다. 또한 WHO에서도 위험성평가에 대하여 예방적인 원칙의 엄격한 적용과 건강 위해성에 대하여 보다 긍정적이며, 사전에 적극적인 접근 방법을 고려하도록 권유를 하고 있다.

국가차원의 강제기준을 제정하기에는 여러 가지 문제점이 야기될 수가 있다. 세계보건기구나 세계 각국에서 발표되는 인체영향에 대한 과학적인 사실에 바탕을 둔 기준을 국가기준으로 채택을 하는 것이 바람직하며, 강제기준과 달리 일반인의 자기장 노출을 최대한 감소시키는 방안의 강구가 필요하다. 따라서 인체권고치를 설정하기 위해서는 노출기준치에 대한 과학적 타당성과 신뢰성을 확보하여야 하고, 사회적 혼란과 경제적인 손실을 최소화할 수 있는 합리성과 현실성이 마련되어야 하며, 노출적용범위를 일반인과 직업인으로 구분, 발생원별 차별적용, 단계별 노출한계를 별도로 정하여야 할 것이다.³³⁾

33) 환경부에서는 극저주파 전자기장에 대하여 제1단계의 권고대상 및 노출한계로 신설 송배전선의 경우 선로 바로밑 지표상 1m에서 측정하여 3 μ T를 넘지 않는다. 제2단계로는 신설되는 송배전선에 대하여 제한구역을 50m 수준에서 설정한다. 제3단계는 권고안을 규제안으로 공고한다는 주

3. 전자파 인체보호기준 강화

우리나라의 전자기장 노출에 대한 인체보호기준은 국제 비전리복사 방호위원회(ICNIRP)에서 제안한 노출기준안을 근거로 하고 있다. 신경자극 등을 일으킬 수 있다는 과학적 근거에 의한 권고치로서 일반적으로 직업 및 주거 환경에서 측정될 수 있는 전형적인 측정치보다는 매우 높게 설정되어 있다. 그 이유는 50/60Hz 유도전류로 인한 신경과 근육조직의 쇼크와 같은 영향을 방지하기 위한 것이며, 암을 포함한 인체 건강에 대한 위해성을 방지하기 위한 기준치가 아니기 때문이다. 이 기준치에 의하면 전기전자제품에서 발생하는 60Hz의 전자파에 노출시 일반인에 대한 전자파 강도기준은 전기장이 4.16kV/m, 자기장이 83.3 μ T으로, 최근의 역학 조사에서 밝혀진 자기장이 0.2 μ T이상의 60 Hz 전자파가 암 발생율을 높인다는 사실과는 전혀 무관한 수치이기 때문에 고압선로, 변전소 및 발전소 인근 주민들에 의해, 이러한 인체보호기준치 적용에 대한 논란이 지속되고 있다.

고압선로의 최저고도 직하지점에서 자기장 측정치를 보면 154kV 고압선의 경우 0.05-6.22 μ T, 345kV 고압선은 0.21-7.29 μ T이다. 이 경우에 최저고도 직하지점에서 발생하는 최대 자기장이 6.22-7.29 μ T로, 우리나라 자기장 강도기준치인 83.3 μ T에 훨씬 미치지 못하는 값이다. 이러한 자기장 강도기준을 적용할 경우에는 일반인이 고압선로에 아무리 노출되어도 전혀 법적인 문제가 되지 않는다는 사실이다. 따라서 현재 고압선로 건설시에 이러한 노출기준치를 적용함으로써 전력회사와 인근 주민들과의 분쟁이 끊이지 않고 있다³⁴⁾. 현재 이 기준치의 적용 대상범위를 적절하게 재선정하여 한계치로 유지하고, 고압송전선로, 변전소 등에 대하여 별도의 권고치를 제정하는 것이 주민들과의 분쟁을 다소나마 해결할

민보호를 위한 전자파 노출규제 방안에 대한 연구를 하였으나, 법적으로 제도화하지 못하였다. 장차 노출한계치 및 제한구역 설정시에는 국제적 동향에 맞추어 더욱 더 엄격히 적용할 필요가 있다.
34) 전자파 인체보호기준 제3조 제3항에 60Hz 주파수대역의 전기설비(송전선로)는 이를 적용하지 아니한다로 2001.10.10. 개정고시하였다.

수 있는 하나의 방안이다.

권고치의 적용대상을 신설 고압송전선로, 변전소 등으로 제한하고, 자기장이 이 권고치를 초과하는 현재의 기존설비에 대하여서는 단계별로 개선하는 대책을 수립하여 자기장을 최대한 줄일 수 있도록 유도하여 국가적인 손실을 최소화하여야 한다. 특히 유아원 및 초등학교 등의 환경민감시설 인근지역에 설치될 계획인 고압선로에 대하여서는 보다 엄격한 기준치 및 최소한의 이격거리³⁵⁾의 설정이 반드시 필요하다.

4. 전자파 위해성관리 정책대안

고압선로에서 발생하는 극저주파 전자기장에 만성적으로 노출되어 있는 일반인과 전자파노출 관련산업체에서 근무하는 직업인의 누적적 노출에 대하여 독일, 스위스 등 일부 국가들은 전자파 노출에 대한 표준 및 가이드라인을 엄격히 정하기 시작하였다. 미국의 몇몇 주에서는 이러한 고압송배전시설들을 주거지역으로부터 최대한 멀게 또는 설치자체를 포기하는 정책을 입안하고 있는 경향이 있다. 그러나 우리나라에서는 이러한 건강위험성에 대한 대책이 아직 마련되어 있지 않은 상태이다. 따라서 우리나라에서도 고압선로에서의 전자기장노출과 소아 백혈병과의 상관관계에 대한 역학적 조사와 생체 및 세포실험을 통한 지속적인 연구 등을 병행하는 방안이 절실히 필요하며, 다음과 같은 정책대안을 제시하고자 한다.

첫째, 전자기장에 만성적으로 노출되어 있는 일반인에 대하여서는 예방적 원

35) 미국 California 교육청은 소아암발생에 대한 자계의 한계치를 $3\mu T$ 를 기준으로 하고 있기 때문에 50-133kV 고압선이 지나가는 경우에는 100 feet 이상 이격거리가 필요하며, 220-230 kV 고압선의 경우에는 150 feet, 500-550kV 고압선은 350 feet의 이격거리를 주의 법으로 요구를 하고 있다. 2000년 독일 뮌헨 환경연구소에서는 110kV 고압선이 지나가는 경우에 50-100 m의 이격거리가 필요하며, 220kV 고압선의 경우에는 80-120m, 380kV 고압선은 110-160m, 전철선로에서는 최소한 50m의 이격거리가 필요함을 강력히 추천하였고, 추후 관련 연방정부에 따라 자체 한계치로 제정할 움직임을 보이고 있다.

칙의 정책을 부분적으로나마 도입하는 것이 필요하다. 신설될 고압선로 인근의 유아원, 초등학교 등의 환경민감지역에서는 전자기장 방출기준을 엄격히 설정하고, 현재 유치원 및 초등학교 인근을 통과하는 고압선로에 대하여서는 기술적인 측면과 경제적으로 요구되는 수용 가능성을 고려한 단계별 전자기장 방출치를 적용하는 방안이다. 즉 현재 초등학교 인근을 통과하는 고압선로의 경우는 전류의 세기에 따라 자계값이 변화할 수 있으므로 자기장이 0.2 μ T를 초과하지 않는 범위 내로 전류의 세기를 기술적으로 통제하는 방안과 고압선로 직하지점이 학교내에 있을 경우 어린이들에게 노출시간을 최소화할 수 있는 건물배치(직하지 점에는 창고, 문서보관실 등)를 하거나 경제적인 측면을 고려한 단계별 고압선로 및 철탑의 이전계획 등이 필요하다고 하겠다.

둘째, 인체권고치에 따른 고압선로 주변의 지형을 고려한 최소한의 이격거리 설정이 필요하다. 우선 신설될 학교는 고압선 및 철탑과의 최소한의 이격거리를 두도록 강력히 권고토록 하는 방안이다. 특히 유치원 및 초등학교 건물 등 정온 시설의 신설시에 인체권고치를 0.2 μ T로 정하여, 그 기준치를 초과하지 않도록 최소한의 이격거리를 설정하는 방안이다.

셋째, 신규 고압선로 건설시나 고압선로 및 철탑이 존치하는 택지개발시에 환경성검토 또는 환경영향평가제도 내 전과장해항목에서 전자기장에 대한 규제지침을 별도로 정하여 환경부와 협의하는 방안이다.

넷째, 인구밀집지역으로 통과하는 고압선로로 인하여 민원이 극심한 경우에는 현명한 회피의 저감정책의 일환으로 연차별로 고압선의 전류세기를 감소하는 방안을 수립하거나 차폐가능한 지중화계획 또는 고압선로 및 철탑에 대한 제한규역을 설정하는 방안 등을 전력회사와 주민간의 협의를 유도할 수 있는 협의체를 구성하여 해결하도록 하는 방안이다.

이와같은 여러 가지 정책방안은 지역적 여건에 따라 다르게 적용될 수가 있으며, 특히 고압선로 신설시 인근 정온시설에 전자파의 피해가 가지 않도록 전자기장 노출기준치를 엄격히 적용할 필요성이 있다.

제6장 결 론

고압선로의 극저주파 전자기장 발생원으로 부터 생성된 전자파에 장기적으로 노출될 경우 발생될 수 있는 잠재적인 건강 위험성평가에 대한 평가가 아직까지도 확실하게 입증되어 있지 않음에도 불구하고 미국의 대부분의 주에서는 건강 위험성의 저감정책의 일환으로 현명한 회피(Prudent avoidance)를 채택하였다. 그러나 이러한 정책의 논리가 오히려 주민들과 전력회사간에 많은 논쟁을 일으키게 하였다. 하지만 예방적 원칙(Precautionary principle)은 과학적인 불확실성이 높은 상황에서도 과학적인 연구결과만을 기다리지 않고, 잠재적인 위험성을 예견하여 차후 심각한 위험성에 대한 조치를 미리 적용하는 관리정책이다. 2000년에 스위스는 민감한 정온시설지역에 대하여 엄격한 예방적 원칙을 적용하였으며, 이탈리아를 비롯한 여러 유럽연합국가들도 이러한 정책을 채택하려는 움직임을 보이고 있다.

우리나라도 고압선로에서 발생하는 극저주파 자기장의 노출로 유아원, 초등학교, 병원, 밀집 거주지 등에 미치는 건강위해성을 사전에 대비하기 위한 전자파 관리방안이 다음과 같이 3가지로 제시되어 진다.

첫째, 신설될 고압선로 인근의 유아원, 초등학교 등의 환경민감지역에서는 전자기장 방출기준을 엄격히 설정하고, 현재 유아원 및 초등학교 인근을 통과하는 고압선로에 대해서는 기술적인 측면과 경제적으로 수용 가능성을 고려한 단계별 전자파 방출치를 제한 적용하는 방안이 있다.

둘째로는 인체권고치에 따른 고압선로 주변의 지형을 고려한 최소한의 이격거리 설정이 필요하며, 신설될 초등학교는 고압선로 및 철탑과의 최소한의 이격거

리를 강력히 권고토록 하는 방안이다. 특히 유아원 및 초등학교 건물 등의 신설 시에 인체권고치를 0.2 μ T로 정하여 그 기준치를 초과하지 않도록 최소한의 이격거리를 설정하는 방안이다.

끝으로 인구밀집지역을 통과하는 고압선로로 인한 민원이 극심한 경우에는 현명한 회피의 저감정책방안으로 고압선의 전류세기를 연차별 감소, 차폐 가능한 지중화계획, 고압선로 및 철탑에 대한 제한구역 설정 등을 관련 전력회사와 주민들간의 협의를 유도하여 해결하는 방안이 제시되어 진다.

이와같은 여러 가지 전자파 관리방안들은 지역적 여건에 따라 서로 다르게 적용될 수가 있으며, 기존 건물 및 주거지에 대한 전자파 규제보다는 고압선로 신설시에 인근 정온시설에 대한 전자파의 피해가 가지 않도록 전자기장 노출기준치를 엄격히 적용할 필요성이 있다.

우리나라에서는 극저주파 자기장노출에 대한 연구가 아주 미약하므로 다른 선진국처럼 극저주파 자기장 노출에 대한 인체 위험성을 밝히기 위하여 통계학적인 관련성을 추론하는 역학적 연구, 생체에 대한 반응 및 위험도 평가를 위한 가축실험과 자원자연구(volunteer study), 작용메카니즘을 추적하는 세포실험 등의 다각적인 연구가 지속적으로 이루어져야 한다. 또한 고압선로의 제한구역을 설정하거나 권고치를 제정 또는 권고치에서 규제치로 전환시에 발생하는 소요비용 부담 등에 대한 경제성 평가도 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

- 김남. 1999. "한국전자과학회의 전자기장 노출에 대한 인체보호 기준분석". 「제3회 전자장의 생체영향에 관한 워크숍」. 한국전자과학회, p17-31.
- 김남. 2001. "전자기장 인체보호 기준에 대한 국제동향". 「전파」. 98(1-2).
- 김덕원. 1996. 『전자파 공해』. 수문사.
- 김덕원. 1997. "전자파 유해론과 소송 케이스". 「제1회 전자장의 생체영향에 관한 워크숍」. 한국전자과학회, p186-197.
- 김덕원. 1999. "선진국의 전자파 공해 실태 및 정책". 「유해 전자파 공해문제와 대책에 대한 정책토론회」. p13-49.
- 김덕원. 2000. "실내생활환경의 자기장 측정 결과 및 분석". 「전자기장의 생체영향에 관한 워크숍」. 한국전자과학회, p219-226.
- 김덕원. 2000. 12. "전자파의 인체영향에 대한 역학조사". 「전파기술세미나」.
- 김종민, 홍승철, 이창희, 박준철, 김용찬, 이준주. 1998. "송배전선에서의 전자장 방출현황 조사연구". 「국립환경연구원」 20: 109-122.
- 김종민, 정일록, 강대엽, 유승화, 유영숙, 박준철, 최용호, 이용준. 2000. "전기설비에서 발생하는 전자장 수준 및 영향권에 관한 연구". 「국립환경연구원」 22: 203-218.
- 김윤명, 권용일, 이승배, 김진희, 김병섭, 김운원. 1997. "생쥐의 배아 및 태아에

- 대한 극저주파 전자장의 영향”. 「Telecommunications Review」. 7(6): 814-825.
- 김윤명. 2000. "전자기장의 인체노출에 대한 국제동향". 「EMI/EMC 기술 워크숍 및 전시회」. p25-33.
- 김윤신, 조용성. 1998. "전자파의 직업성 노출평가 및 멜라토닌 분비량에 관한 연구". 「한국산업위생학회지」 8(2): 264-271.
- 김윤신, 조용성. 2001. "국내외 전자파 인체영향에 관한 연구동향". 「제5회 전자기장의 생체영향에 관한 워크숍」. 한국전자과학회. p121-159.
- 백정기, 김덕원. 2000. 『전자파의 인체영향에 대한 역학조사 및 법제화방안 연구』. 전파기술연구소.
- 백정기. 1997. "인체보호 기준에 대한 각국의 동향". 「제1회 전자장의 생체영향에 관한 워크숍」. 한국전자과학회, p198-210.
- 백정기. 2001. "국제적 기준조화 및 예방적 접근 방법". 「제5회 전자기장의 생체영향에 관한 워크숍」. 한국전자과학회, p49-59.
- 신동천. 1997. "전자파 노출로 인한 인체건강 영향평가". 「제1회 전자장의 생체영향에 관한 워크숍」. 한국전자과학회, p29-36.
- 신동천, 김덕원, 이종태. 1997. "전자파 인체권고기준 설정을 위한 조사연구". 환경부.
- 의왕시. 2001.6. "의왕내손지구택지개발사업 환경영향평가 협의내용변경계획서 (보완)".
- 전자과학회. 2000. "전자장의 생체관련 연구동향". 전자장과 생체관계연구회.
- 전재경. 1996. "전자파의 법적규제(송전선로의 분쟁을 중심으로)". 한국법제연구

원.

정길조. 1999.5. “송전선로 전자계 영향연구(I)”. 한국전력연구원.

정보통신부. 2000.3. “전자파 인체영향연구 기본계획”.

충청남도. 1998.6. “보령명천지구 택지개발사업 환경영향평가서(재보완)”.

한국아파트신문. 2002.6.19. “파주교하 벽산아파트 송전탑이전 촉구”.

한국토지공사. 2000.12. “대전노은2지구택지개발사업 환경영향평가서(재보완)”.

Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J. 2000. “A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia”. British Journal of Cancer 83(5): 692-698.

A project of California Department of Health Services and the Public Health Institute California. 2000. Electric and Magnetic Fields Program.
Available : <http://www.dhs.ca.gov/ps/doodc/ehib/emf/>

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 1994. ACGIH Occupational Threshold Limit Values for 60-Hz EMF.
Available : <http://infoventures.com/private/federal/q&a/qa-gact2.html>

Boorman GA, Gauger JR, Johnson TR, Tomlinson MJ, Findlay JC. 1999. "Chronic toxicity oncogenicity evaluation of 60Hz magnetic fields in F344/N rats". Toxicologic Pathology 27(3): 267-278.

Boorman GA, Gauger JR, Travlos GS, McCormick DL. 1999. "Effect of 26 week magnetic field exposures in a DMBA initiation/promotion mammary gland model in Sprague-Dawley rats". Carcinogenesis 20(5): 899-904.

- Boorman GA, Gauger JR, Johnson TR, Tomlinson MJ, McCormick DL. 2000. "Magnetic fields and mammary cancer in rodents: A critical review and evaluation of published literature". *Radiation Research* 153(5): 617-626.
- Bundes-Immissionschutzgesetz. 1996.12. Verordnung ueber elektromagnetische Felder- 26. BImSchV. Anhang 2.
- Comite Europeen de Normalization Electrotechnique. 1995. European Committee for Electrotechnical Standardization 50/60 Hz. Available: <http://www.healthservices.gov.bc.ca/rpteb/nir/power.html>
- David H. 1996. "Power Line Fields and Public Health". *Amer. J. Physics* 64: 974-981.
- Deapen D, Henderson B. 1986. "A case-control study of amyotrophic lateral sclerosis". *Am J Epidemiol* 123: 790-799.
- Federal-Provincial Territorial Radiation Protection Committee Canada. 1998. Health effects and exposure guidelines related to extremely low frequency 50/60Hz electric and magnetic fields. p12.
- Feychting M, Ahlbom A. 1993. "Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines". *Am J Epidemiol* 138: 467-481.
- Feychting M, Floderus B, Ahlbom A. 2000. "Parental occupational exposure to magnetic fields and childhood cancer(Schweden)". *Cancer Causes Control* 11: 151-156.
- Feychting M, Olsen JH, Ahlbom A. 1997. "Occupational exposure to magnetic field exposure and leukemia and central nervous system tumors." *Epidemiology* 8: 384-389.

- Feychting M, Schulgen G, Olsen JH, Ahlbom A. 1995. "Magnetic fields and childhood cancer- a pooled analysis of two Scandinavian studies". European Journal of Cancer 31(12): 2035-9.
- Graham C, Cook MR, Riffle DW. 1997. "Human melatonin during continuous magnetic field exposure". Bioelectromag 18: 166-171.
- Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. 2000. "A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia". Epidemiology 11(6): 624-634.
- Gunnarsson et al. 1992. "A case-control study of moto neurone disease: its relation to heritability and occupational exposures, particularly to solvents". Br J Ind Med 49: 791-798.
- Health Canada's summary of scientific information on the possibility of health hazards from exposure to electric and magnetic fields. 1998. Health Effects and Exposure Guidelines Related to Extremely Low Frequency (ELF) 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields. p15.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. 1998. Guidelines for EMF Exposure.

Available :<http://www.icnirp.de/documents>
- Karus M. 2002. Neu Grenz- und Vorsorgewert und sie bewegen sich doch. Elektrosmog-Report. Available : <http://www.nova-institut.de>
- Kaune WT, Davis S, Stevens RG. 2000. "Are Children Living Near High-Voltage Power Lines at Increased Risk of Acute Lymphoblastic Leukemia?". Am. J. Epidemiol 151: 212-215.

Landesumweltamt NRW. 2001. "Elektromagnetische Felder". 341-342.

Li Cy, Theriault G, Lin RS. 1997. "Residential exposure to 60-Hertz magnetic fields and adult cancers in Taiwan". Epidemiology 8: 25-30.

Lou Vitale. 1995. Guide To Solving AC Power EMF Problems In Commercial Buildings. VitaTech Engineering, New York Interagency Engineering Council. Available : <http://www.vitatech.net/pub6.html>

McBride ML, Gallagher RP, Theriault G, Armstrong BG, Tamaro S, Spinelli JJ. 1999. "Power-Frequency Electric and Magnetic Fields and Risk of Childhood Leukemia in Canada" by Cancer Control Research Programme". Am J Epidemiol 149: 831-842.

Michaelis J, Schuz H, Meiner R, Zemmann E et al. 1998. "Combined risk estimates for two German population-based case-control studies on residential magnetic fields and childhood acute leukemia". Epidemiology 9: 92-94.

Moulder JE. 2002. Power Lines and Cancer FAQs. Medical College of Wisconsin. Available :<http://www.mcw.edu/gcrc/cop/>

National Academy of Sciences. 1996. Committee on the Possible Effects of Electromagnetic Fields on Biologic Systems. Board of Radiation Effects Research. Available : <http://www.nap.edu/>

National Council on Radiation Protection and Measurements. 1986. Biological Effects and Exposure Criteria for Radiofrequency Electromagnetic Fields. NCRP Report No.86.

National Institute for Occupational Safety and Health National Institute

- Environmental Health Sciences U.S. Department of Energy. Available :
<http://www.niehs.nih.gov/>
- National Institute of Environmental Health Sciences and U.S. Department of
Energy. 1995. Questions and Answers About EMF. Available :
<http://www.niehs.nih.gov/>
- National Radiological Protection Board and National Grid Company. 2001.
Electric and magnetic fields.
- National Research Council. 1997. Magnetic fields as a function of distance from
power lines, based on USEPA. Available : <http://www.cga.state.ct.us/>
- National Research Council. 1997. Possible Health Effects of Exposure to
Residential Electric and Magnetic Field.

Available : <http://www.powerlinelinefacts.com>
- NH&MRC National Health & Medical Research Council, Australia. 1989.
interim guidelines.

Available : <http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards>
- NIEHS. 1995. Questions and Answers About EMF Electric and Magnetic Fields
Associated with the Use of Electrical Power. p13-47.
- Olsen JH, Nielsen A, Schulgen G. 1993. "Residence near high voltage facilities
and risk of cancer in children". BMJ (Clinical Research Ed.) 307: 891-895.
- Portier CJ and Wolfe MS. 1998. " Assessment of the Health Effects of Exposure
to Power-line Frequency Electric and Magnetic Fields". Working Group
Report, NIEHS. 75-77, 253-255.

- Savitz DA, Liao D, Sastre A, Klecjuner RC and Kavet R. 1998. "Magnetic field exposure and neurodegenerative disease mortality among electric utility workers". *Epidemiology* 9(4): 398-404.
- Savitz DA, Wachtel H, Barnes FA, John EM, Tvrdik JG. 1998. "Case-control study of childhood cancer and exposure to 60-Hz magnetic fields". *American Journal of Epidemiology* 128(1): 21-38.
- Schuez J, Grrigat JP, Brinkmann K and Michaelis J. 2001. "Residential magnetic fields as a risk factor for childhood acute leukemia: results from a German population-based case-control study". *International Journal of Cancer* 91(5): 728-735.
- Schweiz--Immissionschutzgesetz. 2000.02. Verordnung ueber den Schutz vor NISV aus BUWAL Schweiz, Anhang 2.
- Strahlenschutzkommission. 2001. 9. Grenzwerte und Vorsorgemassnahmen zum Schutz der Bevoelkerung vor elektro-magnetischen Felder. Germany. Available : <http://www.sk.de>
- Strahlenschutzkommission. 1996.12. Bundeskabinett verabschiedete Verordnung ueber elektromagnetische Felder. Germany. Available : <http://www.bmu.de/presse/>
- Swedish Magnetic field limits Put on Indefinite Hold. 1995. "Keine Verabschiedung neuer Grenzwerte in Schweden". *Microwave News* 15(1).
- The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). 1998. "Guidelines for Limiting Exposure to Time Varying Electric,

- Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)". Health Phys 74: 494-522.
- The Use of Electric Power. 1996. Questions and Answers EMF in the Workplace Electric and Magnetic Field. NIEHS Web site.
- Umweltinstitut Muenchen e.V. 2002. 4. 「Niederfrequente Felder (Netzstrom)」. Germany. Available : <http://www.umweltinstitut.org>
- Vallejo D, Sanz P et al. 2001. "A hematological study in mice for evaluation of leukemogenesis by extremely low frequency magnetic fields". Electro Magnetobio 20: 281-298.
- Verkasalo PK, Pukkala E, Hongisto MY, Valjus JE, Jaervinen PJ, Heikkila KV, Koskenvuo M. 1993. "Risk of cancer in Finnish children living close to power lines" BMJ (Clinical Research Ed.) 307: 895-899.
- Wertheimer N and Leeper E. 1979. "Electrical wiring configurations and childhood cancer". Am J Epidemiol 109: 273-284.
- Wood AW, Armstrong SM, Sait ML, Devine L, Martin MJ. 1998. "Changes in human plasma melatonin profiles in response to 50 Hz magnetic field exposure". Journal of Pineal Research 25(2): 116-127.

<부록1> 암 이외의 다른 건강상의 위해성 분석사례

1. 직업에 의한 노출영향

직업에 의한 노출사례연구³⁶⁾는 한정된 방법 때문에 연구결과가 극히 제한적이다. 직업에 따른 노출사례조사는 조사대상자의 신고에 의하거나, 조사시점에 이르러서 노출조사 대상직업을 선정하거나, 취업년수 등 직업에 직간접적으로 연관이 되어 있는 인자에 대하여 충분한 고려를 하지 않았기 때문에 노출사례연구조사의 결과에 영향을 줄 가능성이 매우 크다.

1982년 Milham이 전기기기를 취급하는 직업군에서 백혈병 유발율이 높다는 사실을 처음으로 발표하였으며, 워싱턴주의 사망 진단서를 기초하여 전자파에 많이 노출된 10개의 직업군을 대상으로 하였다.

Vagero와 Olin(1983년)은 스웨덴에서 암 등록을 한 7,000명의 남녀 노동자를 대상으로 전자 산업에서의 암 발병율을 조사하였다. 모든 암 발병율에 있어서 남자는 상대적 위험도가 1.15, 여자는 1.08로 증가하였으며, 또한 후두암에서는 2배의 위험성이 있었다.

Vagero(1985년)는 스웨덴 전자산업의 노동자 집단을 조사하였다. 1958-78년 사이의 모든 암발병율이 국민 전체 암 발병율과 일치하였으며, 악성흑색종에서는 2.5배의 위험성을 보였다.

Lin(1985년)은 미국 매릴랜드에서 1969-82년 사이 중추 신경계 종양에 의한 사망자 951명과, 연령과 사망일을 분석하여 비암 사망자로 구성된 대조군(control)

36) 김덕원. 1999. "선진국의 전자파 공해실태 및 정책". 「유해 전자파 공해문제와 대책에 대한 정책토론회」 이라는 정책토론회에서 발표한 전기기술자의 암유발률에 대한 사례연구내용임.

을 이용한 케이스·컨트롤 연구를 실시하였다. 그 결과 전기노동자에게는 2배의 뇌종양발생 위험성이 있었고, 전자기장 노출 예측치와 암발생 위험성과는 정비례 관계에 있다는 사실을 밝혔다.

Spitz와 Johnson(1985년)은 소아의 신경 아세포종과 부친의 직업과의 연관성을 조사하였다. 조사대상은 1964-78년 사이 텍사스에서 연령 15세 이하로 신경아세포종에 의해 사망한 157명의 어린이였다. 텍사스의 모든 출생자로부터 출생년도 분포를 분석하여 대조군(control)으로 314명을 추출해 비교하였으며, 자기장 노출에 관련된 직업을 일괄해 분석한 결과, 그와 같은 직업의 부친을 가진 소아의 신경 아세포종의 상대적 위험도가 2.1이 되었다. 그 후 1990년에 발표된 연구논문에 의하면 전력 소모량이 큰 알루미늄 정제공장에서 근무하는 근로자들의 백혈병 및 임파암의 유발률이 높았다고 하였다.

1992년 Bowman은 여러 직업을 가진 전기기술자들의 전자파노출에 대하여 조사한 결과, LA와 시애틀의 전기 기술자들의 노출량이 비 전기기술자들에 비해 5-6배 이상 높다는 사실을 발표하였다. 1994년 London과 Bowman은 자기장 노출량이 증가함에 따라 LA 전기 기술자들의 백혈병 발병율이 증가한다는 사실도 밝혔다.

1994년 캐나다와 프랑스 전기기술자들에 대한 자기장 노출연구에서 Theriault는 22만명의 전기기술자 중 4,151명의 암환자를 대상으로 조사한 결과, 누적 자기장 노출량이 $3.1\mu T$ 이상인 기술자에게 급성 골수백혈병 발병율이 3배 이상 현저하게 높다는 사실을 확인하였으며, 또한 단시간에 매우 강한 자기장에 노출될 경우 폐암 발병율이 증가한다는 사실을 밝혔다.

1997년 Feychting et al.³⁷⁾은 작업장에서의 자기장 노출로 인한 백혈병 발병의 상대적 위험도를 평가하였다. 인구조사를 통하여 작업장에 대한 통계정보를 구하고, 자기장 측정치를 근거로 하여 작업자들의 직업 자기장 노출을 분석하였다.

37) Feychting et al. 1997. "Occupational exposure to magnetic field exposure and leukemia and central nervous system tumors". 「Epidemiology」 8: 384-389.

작업장에서의 노출이 0.2 μ T 일 경우, 급성백혈병의 상대적 위험도는 거의 2배로 증가하였고, 만성 골수염의 상대적 위험도는 1.3배, 만성 임파선 백혈병의 상대적 위험도는 1.7배로 증가하여 급성 및 만성 골수백혈병에 걸릴 확률이 높아졌다. 작업장에서 노출된 피험자들의 백혈병 발생에 대한 상대적 위험도가 일반 거주지에서의 노출에 비해 2배로 증가하였다. 이러한 결과는 작업장에서의 자기장 노출과 백혈병 발생에 대한 상관관계를 밝혀주었다.

현재까지 약 50여 연구논문에 의하면 전자파 고노출 직업군의 암 발병율이 통계학적으로 높았다고 하였다. 한편 약 30여 연구논문에서는 전기기술자의 암발병율이 높지 않았다고 발표하였다. 그럼에도 불구하고 대부분 직업군에 대한 초기 연구에서는 전기와 관련된 직업군의 전자파 노출량을 측정하여 전자파노출과 암과의 상관관계를 밝히고 있다.

2. 멜라토닌 영향

멜라토닌 영향연구에서는 이미 전자기장의 영향에 의하여 멜라토닌형성의 감소가 암전이를 촉진한다는 가설과 감소된 멜라토닌 부산물이 인간의 정신적인 안위에 대하여 부정적인 영향을 준다는 가설이 있다. 호르몬 일종인 멜라토닌은 송과선³⁸⁾에서 형성 분비된다. 그 소멸은 낮과 밤의 리듬에 의해서 일어난다. 낮에는 혈액에 멜라토닌 농도가 약해지고 밤에는 높아진다. 따라서 혈액순환과정에서의 형성과 소멸은 빛과 연관이 있다. 멜라토닌 농도변화의 외적인 변수들은 매우 다양하며, 나이, 성별, 흡연 등의 생활습관과 같은 인자들도 될 수가 있다. 멜라토닌은 생리학적인 과정에서 내부적 민감치로서 해석될 수가 있으며, 다양

38) 송과선(Pineal gland)은 사람 뇌의 한가운데 위치한 솔방울처럼 생긴 조그만 선이며, 인체의 자연적인 리듬을 통제하여 제어하는 역할을 한다. 24시간 주기와 면역 기능을 하며, 다른 호르몬 등에 영향을 미치는 멜라토닌이라는 호르몬을 분비한다. 우리의 눈을 통해 빛이 들어가면 신경 다발을 통해 송과선으로 전달된다. 빛에 노출되면 멜라토닌 분비가 중단되는 반면, 어둠 속에서는 송과선에서 멜라토닌이 만들어진다. 이 호르몬은 1958년에 발견되었다

한 환경에 따라 여러 반응이 일어난다. 암질병 발생과의 상관관계에서는 세포분열시에 멜라토닌에 대한 억제반응이 관찰되었다. 1990년 이전의 연구논문에서는 전자기장노출이 인간의 멜라토닌 함량변화에 큰 영향을 줄 수 있다는 사실이 밝혀지지 않았고, 저주파 전자기장과 암 또는 심적인 평온함에 대한 상관성도 역시 밝혀주지 못했다. 또한 설치류동물의 실험 결과에서도 이러한 상관관계를 보여 주지는 못하였다.

1시간 이내의 자기장노출에 의한 멜라토닌 영향에 대한 Yellon(1994, 1996년)과 Truong(1998년)의 실험 결과를 포함한 6개의 연구에서는 명확한 결과를 얻지 못하였다. 1-24시간 동안의 자기장 노출에 대한 실험연구 3개중 Selmaoui와 Touitou(1995년)의 연구논문에서 6마리의 9주된 수컷 쥐를 1, 10, 100 μ T의 50Hz 자기장에 12시간 노출한 결과, 단지 100 μ T의 자기장에 노출시 야간의 혈중 멜라토닌농도와 N-acetyl-transferase 활동성이 감소되었지만, 타 연구실험에서는 이러한 유의성을 발견하지 못하였다. 24시간 이상의 자기장노출 실험연구 9개 논문 중 6개의 연구에서는 멜라토닌 농도의 감소를 보여 주었다. Kato(1993, 1994년)의 논문에서는 6주동안 자기장 노출실험시 0.02, 1, 5, 250 μ T 자기장 강도에서 혈중 멜라토닌 농도가 약간 감소하였고, Loscher(1994년)의 연구논문에서는 6주된 35마리 암컷 흰쥐를 0.3-1 μ T의 자기장에 91일 동안 노출시 야간에 멜라토닌 농도가 감소하였다. Selmaoui와 Touitou (1995년)는 6마리의 9주된 수컷 쥐를 1, 10, 100 μ T의 50Hz 자기장에 18시간씩 30일 동안 노출한 결과, 10과 100 μ T의 자기장에서 야간의 혈중 멜라토닌 농도와 N-acetyl-transferase 활동성이 감소하였다. 24시간이상의 전자기장 노출연구 4개의 논문중 Rogers(1995년)에서는 2마리의 어른 비비원숭이를 50 μ T와 6kV/m, 100 μ T와 30kV/m의 자기장과 전기장에 30일 동안 노출한 결과, 야간 혈중 멜라토닌 농도가 감소하였으나 다른 연구에서는 멜라토닌 농도 변화가 없었다.

Picazo et al.(1998년), Wilson et al.(1999년)의 실험논문에서 쥐에 15 μ T의 만성적인 노출과 3대째의 노출 반응실험과 시베리아산 왜소한 산쥐에 100 μ T의 국

부적인 반응에서 멜라토닌 농도가 감소함에 따라, 멜라토닌과 전자기장 노출사이와의 상관관계가 있다는 사실을 명백히 보여주었다.

1991년 Reiter는 멜라토닌의 분비작용이 어두운 시간동안에는 높은 순환치를 보였고, 낮에는 아주 낮고 감지하지 못할 정도의 순환치를 나타내었다.

1996년 Graham이 자원자를 대상으로 조사한 결과 밤동안에는 혈청내에 멜라토닌 분비의 억제 또는 감소를 보여주었다³⁹⁾.

Wood et al.(1998년)의 논문에서 18-49세의 여성 44명을 대상으로 실험한 결과 19-21시 사이에 20 μ T의 원형극성의 자기장과의 노출에 의해서 12.3%의 멜라토닌 피크의 감소가 일어났고, 실험대상자의 약 20%가 멜라토닌 농도의 증가가 지연됨을 관찰하였다.

1987년 처음으로 Stevens는 멜라토닌 감소가 유방암 증가의 위험성을 일으킬 수 있다고 하였다. 또한 1994년 Floderus et al.의 역학적연구에서는 멜라토닌 감소가 유방암 발병의 증가에 대한 위험성을 발표하였다.

2000년 Juutilainen et al.의 논문에서는 39명의 여자재봉틀사와 21명의 사무실 근무자를 비교하였다. 여자재봉틀사는 4일간 자기장에 노출되어 있으며, 사무실 근무자는 평균 0.15 μ T의 자기장에 노출되어 있는데, 이들의 멜라토닌 변화를 3주간 연속하여 비교측정한 결과, 여자재봉틀사의 멜라토닌이 감소됨을 알 수 있었다.

1998년 김윤신외의 연구논문⁴⁰⁾은 약 6주간에 걸쳐 변전소 근로자와 병원내에서 전자기기를 다루는 임상병리사를 대상으로 한 연구조사에서 작업환경 중 자기장 노출평가의 직접적인 판단기준이 될 수 있는 작업중 노출량을 살폈다. 작업중 전자기장 노출량은 병원내 임상병리사가 0.33 μ T, 변전소 근로자가 0.26 μ T로 나타나 스웨덴의 작업환경 권고치인 0.25 μ T보다 높았으나, 반면에 비직업군

39) 김덕원. 2000. 12. "전자파의 인체영향에 대한 역학조사". 「전파기술세미나」.에서 멜라토닌에 대한 논문을 인용함.

40) 김윤신, 조용성. 1998. "전자파의 직업성 노출평가 및 멜라토닌 분비량에 관한 연구". 「한국산업위생학회지」 8(2): 264-271.

인 학생과 가정주부는 각각 0.06 μ T와 0.08 μ T로 매우 낮았다. 그러나 연구대상자들에 대한 요검사를 통한 멜라토닌 분비량을 조사한 결과 직업군과 비직업군의 멜라토닌 분비량의 차이가 거의 없었다.

Wood et al(1998년)은 성인남자 30명을 대상으로 50Hz 자기장에 의한 혈중 멜라토닌 영향에 대한 연구에서 20 μ T의 자기장에 노출되면 멜라토닌 분비 집중시간이 지연된다는 사실을 보여주었다.

현재의 논문결과로는 동물실험에서 매우 불일치한 현상이 나타나고 있고, 인간에 대한 건강피해 영향에 대하여 심도있는 적절한 실험을 통하여 의혹이 풀어져야 할 것이다.

3. 중앙신경계의 질병⁴¹⁾

알츠하이머, 파킨슨, 복합경화증과 같은 신경퇴화성 질병에 관한 새로운 역학적 연구논문에서 저주파 전자기장과 직업에 연관된 노출과의 상관관계를 조사하였으나, 이에 대한 연관성을 명확하게 밝혀주지 못하였고, 아직까지도 동물실험이나 세포 및 생체실험에서도 밝혀지지 않고 있어, 단지 의혹으로 남아 있다.

1998년 Savitz et al.는 1950년과 1986년 사이 6개월 이상 미국 전기유틸리티회사에 근무한 기술자를 대상으로 신경성계 질병인 알츠하이머의 발생에 대한 연구를 한 결과, 5년 이상 20년이하인 경우는 발생율이 2.0 (95%신뢰도, 변동율 0.7-6.0)이며, 20년이상인 경우는 3.1 (95%신뢰도, 변동율 1.0-9.8)로 상관관계가 높다는 사실을 밝혔다. 그러나 Deapen et al.과 Gunnarsson et al.의 논문에서는 신경성계 질병인 치매(amyotropher Lateralsklerose)가 전기에 관련된 직업에서 자기장노출과 더불어 다른 관련 인자인 전기충격이 상호 연관관계가 있다는 사실을 발견하였기 때문에 좀더 지속적인 연구가 필요하다.

41) 독일방사선 보호위원회. 2001. 9. 「Grenzwerte und Vorsorgemassnahmen zum Schutz der Bevoelkerung vor elektro-magnetischen Felder」의 일부내용을 번역 인용하였음.

10 μ T 자기장에 주기적인 노출에 의해 연관된 심장박동 변화에 대한 Sait et al.(1999년)의 연구결과에 의하여 저주파 자기장에 장기간 노출이 심장경색 같은 특이한 심장질환의 위험을 높인다는 가설이 세워졌다. 자기장 노출이 심장의 자율적인 조정능력을 감소시키지만, 동맥경화증과 같은 심장질환을 발생시키지는 않는다.

Savitz et. al.(1999년)의 역학적연구 논문에서는 심장경색이나 심장리듬 혼란으로 야기되는 죽음과 강한 자기장 노출의 일자리에서 근무하는 기간과의 연관 관계를 발견하였다. 1998년 연구에 의하면 심근경색의 상대적 위험성은 자기장 노출량에 따라 통계학적으로 유의하게 증가하였으며, 5, 10, 20년전부터 노출될 경우에는 더 유의하게 증가하였다. 그러나 최근 논문에는 5년 동안 자기장 노출을 많이 받은 그룹이 오히려 유의성이 감소되기도 하였다.

현재의 저주파 자기장에 대한 ICNIRP의 법적인 유효치는 신경과민조직에서의 자극활동에 대하여 초점을 맞추고 있다. 왜냐하면 2000 μ T이상에서 나타날 수 있는 자장섬광현상 등은 건강상에 결정적인 역할을 하지 않기 때문이다. 2000년 Reilly, Draft의 논문에서도 자장섬광현상에서 나타났던 ICNIRP의 법적 유효치가 중앙신경조직에 영향을 줄 수 있다는 가능성에 대한 새로운 개념이 제안되었지만, 지속적인 실험을 통하여 자장섬광현상이 중앙신경조직에 대하여 영향을 주어 인체건강 위해성에 대한 증거가 명백하게 밝혀져야만 한다.

Preece et al.(1998년)과 Crasson et al.(1999년)의 실험논문 결과에서는 50-60Hz의 전기장과 600 μ T, 100 μ T의 자기장 노출이 심적인 기능에 영향을 줄 수 있다는 사실을 암시하고 있다.

Lai et al.(1998년), Sienkiewicz et al.(1998년)의 논문에서는 생쥐에 1000 μ T(60Hz)와 750 μ T(50Hz), 7.7-75 μ T(50Hz)의 저주파 자기장에 노출시 공간적인 습득에 대한 변화가 생긴다는 사실이 관찰되어지기도 하였다.

<부록2> 고압선로에 대한 국외민원실태

국제적으로 고압 송전선로망에서 발생하는 전자파에 대한 인체규제치가 통일되어 있지 않고, 국가와 지역별로 많은 차이를 보이고 있음에도 불구하고 세계 각국의 여론은 고압 송전선로망에서 발생하는 전자파가 인체에 유해하다는데 대체적으로 공감하고 있다. 1980년 이후 전자파 논쟁이 심화되기 시작하여 고압선로에서 방출되는 전자파에 의한 인체손상에 대한 두려움과 소유재산에 대한 가치상실의 이유로 소송을 제기하는 경우가 많았고, 법원도 암 공포증후군으로 인한 재산소유자들의 손해배상 청구권을 인정하는 경향을 보이고 있다. 따라서 이러한 고압송배전시설들을 최대한 주거지역에서 멀게 또는 설치자체를 포기하는 등의 현명한 회피원칙에 입각한 정책을 입안하고 있다. 미국의 인체손상에 관한 소송사례⁴²⁾를 아래와 같이 정리하였다.

현재 미국에서 전자파 관련 소송 대부분은 신설 발전소 및 변전소 설비의 설치에 관련된 것으로서 주정부의 공익사업위원회(Public Utility Commission, PUC)에서 처리한다. 전자파관련 재산 소송은 전력회사가 허가된 공사를 위해 토지매입을 하고자 할때 종종 발생되어 왔다. 지주들은 이러한 소송을 제기하여 토지에 대한 보상을 더 받기 위해 전자파를 거론하여 왔다. 토지 매입이 되지 않는 근처의 토지를 갖고 있는 지주들은 철탑이나 고압선로 설치로 인한 지가하락을 보상받기 위해 소송을 제기하여 왔다. 한편 신체에 관한 소송에서는 대부분 전자파에 의해 각종 암에 걸렸다고 제기하였으며, 여타 질병의 요인이 전자파라고 주장하기도 하였다. 이러한 대부분의 소송은 전력회사가 전자파의 유해성에 대한 경고를 하지 않았다는 것과 그러한 유해성을 감소시켜야 할 책임을 다하지 않았다는

42) 김덕원. 1999. 『선전국의 전자파 공해실태 및 정책』의 내용중 소송케이스를 요약정리.

이유를 근거로 하고 있다. 최근 미국의 경우 원고측은 일반적으로 재산상의 피해 또는 재산가치의 감소와 더불어 인체상의 손상에 대한 배상을 요구하고 있다. 최근 법정에서는 다소 모호한 개념인 현명한 회피에 대하여 다소 구체적인 정의를 내리고 있는 추세이다.

위스컨신주의 공중서비스 위원회는 전력회사가 가능한 한 최고의 기술을 동원하여 신설될 고압선로에서 방출되는 전자파를 최대한 감소할 것을 요구하였다. 한편 캘리포니아 공익사업위원회는 전력회사들에게 저렴한 방법을 동원하여 고압선로에서 방출되는 자기장을 감소시킬 것을 명하였으며, 고압선로 설치비용의 최대 4%까지 투자하라고 구체적으로 명시하였다.

1973년 뉴욕주 주민들은 캐나다로부터 뉴욕주로 유입되는 765kV 고압선로의 가설을 반대하였지만, 전력회사가 고압선로가 인체에 미치는 영향에 대한 연구 기금으로 40억원을 내는 조건으로 가설된 적이 있었다. 또한 텍사스에서는 학교 인근으로 통과할 고압선로를 법원명령으로 우회하여 가설한 경우도 있었다.

전자기장에 의한 백혈병을 주장하는 원고가 전력회사에 대하여 소송을 제기하였다. 피고측은 원고에게 50만달러의 화해금을 지급하고, 다른 원고에 대하여서는 장래에 발생될 의료검사비를 부담하기로 하고 화해하였다. 학교인근을 지나가는 고압선로에서 방출되는 전자파가 학교로 불법 침입하였음을 주장하는 사안에 대하여서도 손해배상금을 지급하라는 판결이 내려졌다.

1990년 전까지는 인체손상에 대한 주장은 산발적으로 전력회사에 제기되었으나, 소송으로 이어지지는 않았고 최근에 와서 많은 소송이 이루어지고 있다. 이러한 인체손상 소송을 효과적으로 대처하기 위해 원고측과 변호사들의 연합단체인 EMRCET(Electromagnetic Radiation Case Evaluation Team)이 결성되었다. 이 단체는 전력회사에 대해 전자파에 의한 인체손상에 대한 보상을 제기하기 위하여 피해자들을 전국적으로 규합하고 있다. 이 단체의 주요임무는 전자파 연구에 관한 데이터베이스 개발 및 전문가 조언확보를 통해 전자파소송 원고들을 도와주는 것이다.

다음은 인체손상 소송에 관한 재판결과를 요약한 것이다.

① Zuidema 대 San Diego Gas & Electric Co. (SDG & E): 이 재판은 최초로 60Hz 전자파 관련 인체손상 소송건이었다. 원고는 Wilm's Tumor라고 알려져 있는 희귀성 아동 신장암 환자였다. 원고측은 SDG & E 가 원고가 거주하고 있는 집부근의 고압선로에서 발생하는 전자파로 인한 건강상의 위해에 대해 경고하지 않았으며, 만일 경고를 했더라면 이사를 하여 신장암에 걸리지 않았을 것이라고 주장했다. 내시간 동안의 숙고 끝에 모든 사항에 대해 피고측의 승소로 판결 내렸다.

② Jordan 대 Georgia Power Company: 조단의 소송은 60Hz 전자파에 의한 신체손상에 관한 두번째 케이스이었다. 원고측은 그녀의 non-Hodgkins 임파종이 집근처에 있는 고압선로에서 방출되는 전자파에 의해 생겼다고 주장하였다. 이 소송에서 원고측은 다음과 같은 피고측의 과실을 들었다: 전자파의 건강위험가능성의 경고 불이행, 전자파 감소를 위한 적절한 조치의 불이행, 전자파와 암과의 상관관계조사 불이행이다. 그러나 배심원들은 최종적으로 피고측의 승소결정을 내렸다. 1995년 11월 30일 조지아 고등법원은 피고측의 승소를 뒤집는 판결을 내리면서, 그 이유로는 피고측이 증인으로 내세운 전문가들의 구체적인 이름을 밝히지 않았으며, 어떠한 방법으로 임파종과 전자파가 상호 관련이 없다는 결론에 도달했는지가 명시되어 있지 않았다는 사실을 들었다. 법원은 재심할 것을 판결하였다. 그러나 고등법원은 전자파가 건강에 유해한가에 대한 과학적인 증거가 불충분하다고 판시하면서 전자파에 의한 무단 침입, 방해 및 재산 손실에 대한 보상청구는 인정되지 않는다고 하였다. Georgia Power Co. 는 대법원에 상고를 하였으며, 대법원은 1996년 6월 재판을하기로 받아들였다.

③ Altoonian 대 Atlantic Electric: 원고인 Altoonian씨는 지중 및 공중선로에서 발생하는 전자파에 노출됨으로써 만성 골수성 백혈병에 걸렸다고 주장하였다. 또한 Atlantic Electric 사가 원고의 지역권 바깥을 무단침범하여 원고의 토지 밑에 고압선을 설치하였다고 주장하였다. 이 소송의 배심원들은 원고의 백혈병

은 전자파에 기인한 게 아니라고 판결하였으며, 또한 피고측이 의도적으로 정신적 스트레스를 가한 것도 아니라고 판결하였다. 그러나 배심원들은 전력회사가 부주의하게 원고측 토지를 무단 침입하여 지중전력선을 가설함으로써 원고에게 정신적 스트레스를 가하였으므로 피해 보상을 판결하였다.

④ Glazer 대 Florida Power & Light (FP & L): 이 케이스는 피고측이 재판에 이르지 않고 성공적으로 결말지은 전자파의 인체 손상에 관한 첫번째 소송이었다. 이 소송에서 Glazer 부부는 집 근처의 고압선로에서 방출되는 전자파로 인해 희귀한 백혈병에 걸렸으며, 특히 전력회사가 전자파의 위험성을 알았으나 경제적 손실을 피하기 위해 그러한 사실을 은폐하였다고 주장하였다. 또한 소장에서는 고압선로의 전자파는 무단침입과 방해로 일으켰을 뿐만 아니라 폭력에 해당된다고 주장했다.

다음은 전자파에 의한 인체손상에 대해 현재 진행중인 재판을 요약한 것이다.

① Marano 대 Consolidated Edison Co.: 이 케이스는 CBS본사의 Marano씨 사무실 아래에 있는 변압기에서 방출되는 전자파에 의해 유방암과 난소암에 걸렸다고 소송을 제기한 것이다. 이 소장에서 원고측은 변압기가 부적절하고 안전하지 않게 제작되었으며, 전력회사측이 변압기에서 발생하는 자계를 차단하여야 함에도 불구하고, 이에 대한 조치를 취하는데 등한히 하였다고 주장하였다. 더 나아가서 전력회사측이 변압기에서 발생하는 전자파의 위험성에 대하여 경고하지 않았으며, 적절한 기준 및 규제에 따르지 않았고, 또한 전자파의 위해성에 대해 의식적으로 무시하였다고 주장하였다.

② Johsz 대 Southern California Edison: 이 케이스는 세 명의 근로자가 사무실 밑에 있는 변압기와 전기설비에서 발생하는 전자파에 의해 암에 걸렸다고 소송을 제기한 것이다. 소송이유로서 엄격한 책무, 과실, 구타, 사기성 은폐 및 배우자권의 상실 등을 들었다. 1995년 12월, 캘리포니아 오렌지 카운티 대법원은 원고측의 전자파 전문가 두 명의 증언이 불충분하다며 피고측 승소의 판결을 내렸다. 이 판결에서 원고측 전문가의 증언은 납득할 수 있으나, 전자파가 원고측에

암을 일으켰다는 충분한 증거가 될 수 없다고 하였다. 항소는 아직 제기되지 않고 있다.

③ James Brewer 케이스: Brewer씨는 Kasier 알루미늄 회사에서 일하는 동안 60Hz와 직류 전자파에 노출되어 non-Hodgkins 임파종에 걸렸다고 소송을 제기하였으며, 법원은 1996년 4월 원고측 주장을 청취하였다.

④ Bicki 대 Houston Industries: Bicki는 고압선로 부근의 주택에 살거나 학교에 다녔던 아동들과 그 부모 11명이 전자파에 의해 각종 암에 걸렸다고 소송을 제기하였다. 소장에서 원고측은 피고측이 "의도적으로 전자파와 소아암과의 관련성이 있다는 연구결과를 없는 것처럼 하여 국민들이 전자파의 위험성을 알지 못하도록 여론을 조작하였고, 또한 허위사실을 유포하여 정부가 전자파에 대한 규제를 하지 못하도록 방해하였다"고 주장하였다. 원고측은 소송이유로서 과실, 폭행 및 구타, 무단침입, 방해, 엄격한 책무, 사기성 은폐, 텍사스 소비자 보호법 위반, 재산 가치의 절하 및 음모를 들었다. 그러나 뜻밖에 Bicki는 이 소송을 취하하였다.

<부록3> 우리나라의 전자파 인체보호기준

정보통신부고시 제2001-88호

전파법 제47조의2제1항의 규정에 의하여 전자파인체보호기준(정보통신부고시 제2000-91호, 2000.12.15.)을 다음과 같이 개정 고시합니다. 2001. 10. 10. 정보통신부장관

제1조(목적) 이 고시는 전파법 제47조의2제1항의 규정에 의하여 전자파인체보호기준(이하 “인체보호기준”이라 한다)에 관하여 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

제2조(정의) 이 기준에서 사용하는 용어의 정의는 다음 각호와 같다.

1. “전자기장”이라 함은 전기장과 자기장의 총칭을 말한다.
2. “전기장”이라 함은 전하(電荷)에 의해 변화된 그 주위의 공간상태를 말한다.
3. “자기장”이라 함은 자석상호간, 전류상호간, 또는 자석과 전류사이에 힘이 작용하는 공간상태를 말한다.
4. “전기장강도”라 함은 전기장 내의 한 점에 있는 단위 양전하에 작용하는 힘을 말한다.
5. “자속밀도”라 함은 운동하는 전하의 운동속도에 비례하는 힘을 유발하는 벡터량을 말한다.
6. “자기장강도”라 함은 선형적이고 등방성을 갖는 매질내의 자속밀도를 주어진 주파수에 대한 매질의 투자율로 나눈 것을 말한다.
7. “전력밀도”라 함은 전자파의 진행방향에 수직인 단위면적을 통과하는 전력을 말한다.

8. “전자파흡수율(SAR, W/kg)”이라 함은 생체조직에 흡수되는 단위질량 당 에너지 율을 말한다.

9. “실효치(rms)”라 함은 정현파 신호의 크기 제곱의 시간에 따른 평균값의 평방근을 말한다.

10. “일반인”이라 함은 전자기장에 노출되고 있는 사실을 모르거나 조치를 취할 수 없는 자를 말하며 의료목적으로 노출 받는 자는 제외한다.

11. “직업인”이라 함은 직무상 작업수행 과정에서 자신이 전자기장에 노출되고 있음을 알고 있고 이의 잠재적인 위험성을 알고 주의하도록 훈련받은 자를 말한다.

12. “전신노출”이라 함은 인체의 전부가 전자기장에 노출되는 것을 말한다.

13. “국부노출”이라 함은 인체의 일부가 전자기장에 노출되는 것을 말한다.

제3조(전신노출에 대한 전자파강도기준) ①일반인에 대한 전신노출은 별표1에 규정된 전기장강도와 자기장강도 또는 자속밀도와 전력밀도 값을 초과하지 않아야 한다.

②직업인에 대한 전신노출은 별표2에 규정된 전기장강도와 자기장강도 또는 자속밀도와 전력밀도 값을 초과하지 않아야 한다.

③제1항 및 제2항의 규정에 불구하고 60Hz 주파수대역의 전기설비(송전선로)는 이를 적용하지 아니한다.

제4조(국부노출에 대한 전자파흡수율기준) 국부노출로 인한 전자파흡수율(SAR)의 최대값은 별표3에 규정된 값을 초과하지 않아야 한다.

부 칙

(시행일) 이 고시는 고시한 날부터 시행한다.

[별표 1] 일반인에 대한 전자파 강도기준(제3조제1항 관련)

주파수 범위	전기장강도 (V/m)	자기장강도 (A/m)	자속밀도 (μ T)	전력밀도 (W/m ²)
1Hz 이하	-	3.2×10^4	4×10^4	
1Hz 이상 ~ 8Hz 미만	10,000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	
8Hz 이상 ~ 25Hz 미만	10,000	$4,000 / f$	$5,000 / f$	
0.025kHz 이상 ~ 0.8kHz 미만	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	
0.8kHz 이상 ~ 3kHz 미만	$250 / f$	5	6.25	
3kHz 이상 ~ 150kHz 미만	87	5	6.25	
0.15MHz 이상 ~ 1MHz 미만	87	$0.73 / f$	$0.92 / f$	
1MHz 이상 ~ 10MHz 미만	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	$0.92 / f$	
10MHz 이상 ~ 400MHz 미만	28	0.073	0.092	2
400MHz 이상 ~ 2,000MHz 미만	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2GHz 이상 ~ 300GHz 미만	61	0.16	0.20	10

비고: 1. 주파수(f)의 단위는 주파수 범위란에 표시된 단위와 같다.

2. 전기장강도, 자기장강도 및 자속밀도는 실효치로 한다.

자속밀도는 자기장강도에 자유공간의 투자율($4\pi \times 10^{-7}$)을 곱한 것이며 전력밀도는 주어진 주파수에서 전기장강도에 자기장강도를 곱한 것이다.

3. 100kHz 이하의 주파수대역에서 측정값은 시간평균을 취하지 않은 최대값으로 한다.

4. 100kHz 이상 10GHz 미만의 주파수 대역에서 측정 평균시간은 6분으로 한다.

5. 10GHz 이상의 주파수대역에서 측정 평균시간은 $68 / f^{1.05}$ 분으로 한다. 단, f의 단위는 GHz 이다.

6. 동일 장소 또는 그 주변에 복수의 무선국이 전자파를 복사하는 경우 또는 하나의 무선국이 다중주파수의 전자파를 복사하는 경우 전기장강도 및 자기장강도에 관하여는 위 표의 각 주파수에서 복사되는 값의 기준값에 대한 비율의 합 또는 전력밀도에 관하여는 위 표의 각 주파수에서 복사되는 값의 기준값에 대한 비율의 합이 각각 1을 초과하지 않아야 한다.

7. 60Hz 주파수대역의 전기설비(송전선로)는 이를 적용하지 아니한다.

[별표 2] 직업인에 대한 전자파 강도기준(제3조제2항 관련)

주파수 범위	전기장강도 (V/m)	자기장강도 (A/m)	자속밀도 (μT)	전력밀도 (W/m^2)
1Hz 이하	-	1.63×10^5	2×10^5	
1Hz 이상 ~ 8Hz 미만	20,000	$1.63 \times 10^5 / f$	$2 \times 10^5 / f^2$	
8Hz 이상 ~ 25Hz 미만	20,000	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^4 / f$	
0.025kHz 이상 ~ 0.82kHz 미만	500/f	20/f	25/f	
0.82kHz 이상 ~ 65kHz 미만	610	24.4	30.7	
0.065MHz 이상 ~ 1MHz 미만	610	1.6/f	2.0/f	
1MHz 이상 ~ 10MHz 미만	610/f	1.6/f	2.0/f	
10MHz 이상 ~ 400MHz 미만	61	0.16	0.2	10
400MHz 이상 ~ 2,000MHz 미만	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	$f/40$
2GHz 이상 ~ 300GHz 미만	137	0.36	0.45	50

- 비고: 1. 주파수(f)의 단위는 주파수범위란에 표시된 단위와 같다.
2. 전기장강도, 자기장강도 및 자속밀도는 실효치로 한다.
자속밀도는 자기장강도에 자유공간의 투자율($4\pi \times 10^{-7}$)을 곱한 것이며 전력밀도는 주어진 주파수에서 전기장강도에 자기장강도를 곱한 것이다.
3. 100kHz 이하의 주파수대역에서 측정값은 시간평균을 취하지 않은 최대값으로 한다.
4. 100kHz 이상 10GHz 미만의 주파수 대역에서 측정 평균시간은 6분으로 한다.
5. 10GHz 이상의 주파수대역에서 측정 평균시간은 $68/f^{1.05}$ 분으로 한다. 단, f의 단위는 GHz 이다.
6. 동일 장소 또는 그 주변에 복수의 무선국이 전자파를 복사하는 경우 또는 하나의 무선국이 다중주파수의 전자파를 복사하는 경우 전기장강도 및 자기장강도에 관하여는 위 표의 각 주파수에서 복사되는 값의 기준값에 대한 비율의 합 또는 전력밀도에 관하여는 위 표의 각 주파수에서 복사되는 값의 기준값에 대한 비율의 합이 각각 1을 초과하지 않아야 한다.
7. 60Hz 주파수대역의 전기설비(송전선로)는 이를 적용하지 아니한다.

92 고압선로 전자파의 효율적 관리방안 연구

[별표 3] 국부노출에 대한 전자파 흡수율(SAR)기준(제4조 관련)

주파수 범위	전자파흡수율(W/kg)
100kHz ~ 10GHz	1.6

비고 : 1. 위 표의 값은 임의의 인체 조직 1그램에 대하여 평균한 전자파흡수율의 최대값에 해당한다.

<부록4> 전자기장과 생체관련 국내외 연구동향⁴³⁾

1. WHO의 국제 공동연구(WHO EMF Project)

국제 EMF 프로젝트는 전자기장 노출에 대한 국제적인 지침을 개발하기 위하여 1996년부터 2005년까지 10년에 걸쳐 정적 및 시간변화에 따른 0-300GHz의 전자기장 노출에 대한 건강 및 환경 영향을 연구하는 과제를 수행하고 있다. 현재 연구과제는 ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)을 포함한 8개 국제기구 IARC(International Agency for Research on Cancer), ILO(International Labor Office), ITU(International Telecommunication Union), EC(European Commission), IEC(International Electrotechnical Commission), UNEP(United Nations Environment Programme), NATO(North Atlantic Treaty Organization)를 비롯하여 40여개국, 7개의 WHO 협력센터로부터 협조를 얻고 있으며, 연간 총 예산은 약 60만불이다. 이 프로젝트의 목적은 다음과 같다.

- ① EMF 노출에 의한 건강영향의 가능성에 관한 국제적으로 일치된 결과를 제공한다.
- ② 과학적인 문헌을 평가하고 건강영향에 대한 보고서를 발간한다.
- ③ 보다 나은 건강위험성평가를 위한 연구분야를 도출한다.
- ④ 수준 높은 연구 프로그램을 조성한다.
- ⑤ 연구결과를 WHO의 Environmental Health Criteria monograph에 반영

43) 전자과학회. 2000.12. 『전자장의 생체관련 연구동향』. 전자장과 생체관계연구회에서 발취

하여 EMF노출에 대한 공식적인 건강위험도를 평가한다.

- ⑥ EMF노출에 대한 국제적으로 수용할 수 있는 표준서 개발을 용이하게 한다.
- ⑦ EMF 위험인지도, 보도, 관리의 monograph를 포함한 EMF protection program의 관리에 대한 정보를 국가 및 다른 관련당국에게 제공한다.
- ⑧ 국가 및 다른 관련당국에게 EMF 건강과 환경영향, 그리고 필요한 어떤 방호대책에 대하여 조언한다.

극저주파(ELF)에 대한 건강위험도 평가는 2003년도에, 라디오파(RF)는 2004년에 IARC가 WHO의 Environmental Health Criteria 형태로 발표할 예정이다. 극저주파(ELF) 대역에 대해서는 몇몇 역학조사가 고압선로 근처에 거주하는 어린이의 백혈병 발병률의 증가를 제시하였으나, 이러한 결과가 전자기장에 의한 것인지 다른 환경적 요인에 의한 것인지는 아직 밝혀지지 않고 있으며, 유방암 및 기타 다른 암, 치매 등과 같은 신경성퇴화성 질병 등과 관련 있다고 아직 밝혀지지 않고 있다.

2. ICNIRP의 연구 동향

ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: 국제 비전리복사 방호위원회)에서는 1998년 4월 출간된 “Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields(up to 300 GHz)”^{*)}에서 0 Hz 이상 300 GHz 이하의 광범위한 대역폭에 대해 시변 전계, 시변 자계 및 전자파 노출에 대한 인체 보호기준을 제시하였다. 이 기준은 한국 전자과학회가 1999년 5월 국내 처음으로 발표한 “전자기장 노출에 대한 인체 보호기준”의 근간이 되고 있다. 이보다 앞서 1994년에는 정자기장(static magnetic field)에 대한 노출지침을 발표하였고, 1996년에는 휴대폰과 기지국과 관련한 건강영향에 대해 보고한 바 있다. ELF에 대한 건강위험에 관한 문서는 2001년까지, RF 전자기장에 대한 문서는 2003년에 출간할 예정이다.

3. 북미지역의 연구동향

미국은 50년 전부터 RF(라디오파)전자기장에 대한 연구를 시작하여 왔으며, 최근에 전자기장 노출이 암의 진행 과정에 미치는 영향, 중추 및 말초 신경에 미치는 영향 등의 실험연구를 통해 전자기장 노출에 의한 생물학적 영향에 대한 연구가 활기를 띠고 있다. 과거의 실험실 연구에서는 주로 열적 효과인 체온 상승에 의한 연구가 주가 되었지만, 최근에는 뇌종양과 관련한 전자기장의 비열적 작용에 대한 논란이 일고 있다. 그러나 아직 전자기장 노출에 의한 비열적 효과는 직접적인 증거를 제시할 단계에 이르지 못하는 못하였고, 주로 역학조사에 의한 연구가 이루어지고 있다. 북미에서는 RF 뿐 아니라 고압선로 주변지역의 ELF 전자기장에 대해서도 매우 높은 관심을 보이고 있다.

전력선 주파수에 대한 생물학적 의혹을 과학적으로 규명할 필요성이 제기되면서 미국 에너지부(DOE)는 1992년 미국의회 에너지정책법에 근거하여 RAPID (Electric and Magnetic Fields Research and Public Information Dissemination) 프로그램을 계획하여, 1994년부터 1998년까지 5년간 6,500만 달러를 투입하면서 전기의 생산, 공급, 사용때 발생하는 60Hz 전자기장이 생체에 미치는 영향을 평가하고 일반대중에게 연구결과를 홍보한다는 목적하에 연구를 수행하였다. 프로그램의 내용은 건강영향연구, 공학적연구, 위험도평가, 정보제공 등이다. 에너지부(DOE)는 전체 사업을 관장하고 노출평가와 전자기장 제어와 같은 기술적인 연구를 주관하며, 미국 국립환경보건연구소(NIEHS)는 전달체계, 규제안, 경감대책의 위험평가와 건강에 관한 노출, 역학조사 등의 연구를 주관하면서 에너지부와 함께 일반대중에게 연구결과를 전달할 의무를 가지고 있다. 연방부처별 위원회에서는 연구방향을 설정하고 부처별 협의에 의한 권고안 확정, 연구결과와 감독과 평가 및 의회보고서 작성 등을 수행하였다. 국가 전자기장 자문위원회는 사회단체, 노동조합, 학술단체, 산업체들로 구성되어 계획전반에 대한 자문을 담당하였다. 연구결과 미국 국립환경보건연구소의 최종보고서에서는 ELF 전자파 노

출이 실제로 건강에 유해할 개연성은 현재로 낮다고 보며, 약한 역학적 관련성과 그러한 관계에 대한 연구결과의 부족은 노출이 어느정도 해를 끼친다는 단지 제한적인 과학적인 증거만을 제공할 뿐이라고 결론을 지었다. 소아백혈병, 성인의 유방암 및 기타 암, 치매 등이 노출과 관련이 있다는 연구결과들이 여전히 확증되지 않고 있다.

캐나다에서도 전력회사인 Hydro-Quebec이 1986년 6월 전자기장의 생물학적 영향에 관한 연구계획을 수립하여 전력회사에 종사한 근로자에 대한 근무 환경, 근무 연수, 개인의 병력, 생활 패턴, 건강기록부 등의 방대한 데이터베이스를 구축하여 연구를 지속적으로 수행하고 있다.

4. 유럽 연구동향

유럽에서도 RF 대역의 전자기장과 생체의 상호작용에 대한 연구가 계속되고 있으며, 중심이 되는 대역은 이동통신 주파수이다. 유럽에서는 지난 1992년 전자기장의 생의학적 영향에 대한 프로그램인 COST 244를 채택하여 현재 유럽의 21개국이 연구에 참여하고 있으며 135개의 연구소에서 160개의 다양한 연구과제를 수행하고 있다.

영국 정부가 휴대폰의 과다 사용이 건강에 악영향을 미칠 수 있다는 경고문을 모든 휴대폰에 끼워서 판매하도록 했다. 보건부는 간단한 인쇄물 형태가 될 것으로 보이는 이 경고문을 성탄절 쇼핑시즌에 맞춰 휴대폰 판매점에 배포하도록 조치했다고 밝혔다. 경고문은 휴대폰을 장기간 사용하는데 따른 건강 위험성을 소비자들이 인식하도록 유도하고, 특히 어린이들에 대한 잠재적 건강위험에 초점을 맞출 것으로 알려졌다. 이와 같은 조치는 휴대폰에서 나오는 전자파가 두뇌에 영향을 줄 수도 있다는 우려 때문에 나온 것으로 2000년 5월에 발표된 영국 정부 공식 조사상으로는 휴대폰이 건강을 해친다는 증거는 발견하지 못했으나 해롭지 않다는 것도 증명하지는 못했다.

5. 일본 연구동향

일본의 우정성 통신국에서 전자파 인체영향에 관한 정책을 담당하고 있다. 전자기장의 인체영향에 대한 연구는 1997년 Committee of the Study on Human Exposure to EMF를 조직하고 본격적으로 진행되었다. 1998년 3월 우정성 연구그룹이 “기존의 Radio-Radiation Protection Guide-lines를 정부 강제기준으로서 권고한다”는 보고서를 제출하여 98년 10월 1일 개정된 규칙을 선포하고, 1999년 10월 1일부터 시행하고 있다. 우정성은 휴대전화로부터 나오는 전자파와 뇌종양과의 인과관계가 일각에서 지적됨에 따라 이를 규명하기 위해 2년간 도쿄와 오사카지역에서 본격적인 역학조사를 실시하기로 결정했다. 우정성 산하 생체전자환경연구 추진위원회에 국립암센터와 뇌외과의 전문가, 전자파에 정통한 연구자, 통신사업자로 구성되는 분과위원회를 두고 뇌종양환자와 건강한 사람으로 나눠 휴대전화 사용실태와 발병 증상 등을 면담 조사할 방침이다. 이와 함께 우정성은 세계보건기구(WTO)와 국제암연구기관(IARC), 프랑스와 독일, 스웨덴, 미국 등 13개국이 참가하는 국제조사에도 참여할 방침이다.

저주파 전자기장의 생체영향에 대한 보고서는 대부분은 과학적 관점에서 보면 신뢰성이 낮고, 재현성이 부족한 것이지만 전기장의 생체영향중 명확한 것으로는 신체자극작용을 들 수가 있다. 고압선의 안전기준에도, 3Kv/m이하의 전기장이란 거의 자극을 느끼지 않는다는 근거로 일본의 고압선로 아래의 전기장이 고압선로 용지(right of way)근처에서 3Kv/m이하가 되도록 의무화하고 있다.

6. 우리나라 연구동향

최근 세계보건기구(WHO)에서는, 암에 대한 상관관계를 유추하기 위한 동물 노출시험, 전자기장 노출에 대한 역학조사, 면역과 신경내분비에 대한 영향 조사 등의 연구를 통하여 국제적으로 통일된 기준을 만들기 위해서 전자기장의 생체

영향 연구에 관한 범세계적인 프로젝트를 주도하여 여러 나라가 여기에 참여하고 있으며, 우리나라도 1998년부터 이 프로젝트에 동참하고 있다.

우리나라에서도 1990년대 초부터 전자기장에 의한 인체유해 가능성이 제기되었고, 국내외의 여러 소송 및 실험결과들이 매스컴에 의해 보도됨에 따라 한국전자과학회에서는 전자기장의 인체 영향에 대한 문제점들을 실증적이고 학문적으로 접근하기 위하여, 1996년<전자기장과 생체 관계 연구회>를 결성하여 다음과 같은 일을 하고 있다.

- ① 전자기장의 생체 영향에 관한 학술적 연구
- ② 전자기장 안전에 관한 국내외 규격의 동향 파악 및 연구 조사
- ③ 전자기장에 의한 인체 유해에 관한 안전대책 연구 및 홍보
- ④ 전자파의 의료공학적 응용에 관한 연구

국제 비전리 복사 방호위원회(ICNIRP)의 기준을 토대로 1999년 5월에 전자기장 노출에 대한 인체보호기준을 마련하였다. 이 기준은 직업인과 일반인에 대한 두종류로 나뉘어져 있으며, 일반인 기준은 직업인 기준보다 더 엄격하게 되어 있다. 그 이유는 직업인의 경우, 자신이 일하고 있는 작업장의 전자기장 노출상황을 인지하고 보호대책을 세울 수 있는 반면, 대부분의 일반인은 전자기장에 무방비 상태로 오랫동안 노출될 가능성이 있기 때문이다. 그러나 이 기준은 전자기장의 생체영향에 관한 새로운 연구결과에 따라 지속적으로 개정될 것이다.

2000년 3월 정보통신부에서는 전자파 인체영향 연구기본계획을 수립하여 정부와 통신사업자의 출연으로 5년간 100억원의 연구비를 역학조사와 동물실험, 노출조사량 측정, 국외 연구결과 검토 및 국제협력 강화 등에 우선 지원하도록 하였다.

국내의 전자기장 생체영향 관련 생물학적 연구현황은 다음과 같다. 동물실험으로는 송전선로 전자계 영향연구(김정부, 1997.5. 전력연구원), 전자파노출이 멜라토닌 분비량에 미치는 영향에 관한 조사연구(김윤신, 1997. 한양의대), 전자파의 노출속에서 성장 및 노화된 마우스와 그의 2세대에서 나타난 해부학적 및 병

리학적 특징(김운원, 1997. 한림의대)이며, 역학적 연구로는 전자계의 국내 역학적 설문조사(박상희, 1988.5. 연세대)이다.

<부록5> 전자파 인체영향연구 기본계획⁴⁴⁾

1. 수립배경

가. 전자파와 인체영향

전자파는 우리의 일상생활에서 없어서는 안될 요소이나 최근 전자기기 이용이 급증함에 따라 인체에 대한 영향이 사회적인 문제로 대두되고 있으며, 전자파의 인체유해 여부 논쟁은 '80년대 초부터 시작되었으며 현재까지 계속되고 있고, 열적효과는 일부 규명이 되었으나, 비열적 효과는 아직 규명이 안되고 있다.

나. 전자파 인체영향연구의 필요성

미국, 일본, EU 등 선진외국과 세계보건기구(WHO)등에서는 전자파에 대한 인체영향연구를 지속적으로 수행중에 있으며, 전자파의 인체유해여부에 대한 민원이 증가하고 있어 인체영향에 대한 심층적인 연구와 인체보호기준 등의 마련이 필요하다.

다. 법·제도적 대책강구 필요성

전자파 인체보호기준, 전자파흡수율(SAR)측정기준 등을 제정하여 과도한 전

44) 정보통신부, 2000.3. 『전자파 인체영향연구 기본계획』에서 발취

자파로부터 인체보호대책 마련이 필요함하다.

- 인체보호기준을 초과하는 방송국 등 대출력 송신소에 대하여서는 일반인의 출입을 제한하는 안전대책 마련
- 이동통신단말기에 대해서는 수입, 판매를 제한하는 대책마련이 필요

2. 국내·외 동향

가. 외국동향

미국은 '96년 미연방통신위원회(FCC)에서 인체보호기준을 법제화하고 관련연구를 수행하고 있으며, 인체보호기준 초과지역은 민간인 출입통제 의무화 및 전자파흡수율을 초과하는 휴대용 통신기기의 시장출하 금지와 '94년부터 '98년까지 6,500만달러(약7,800억원)를 투자, 인체영향연구를 수행하였다.

일본은 우정성에서 전자파인체보호기준을 전파법에 법제화하여 1999. 10. 1일부터 시행하고 있으며, 인체보호기준 초과지역은 민간인 출입제한시설 설치 의무화와 '98년부터 2000년까지 539만달러(약65억원)를 투자, 휴대폰에서 나오는 전자파가 생체에 미치는 연구 프로그램을 마련하여 연구중에 있다.

EU는 '96년부터 영국, 스위스 등 18개국 관련 전문가들로 연구프로그램을 마련, '98년부터 2002년까지 5.4 BEURO(6,500억원)을 투자하여 연구중에 있다.

세계보건기구(WHO)는 '96년부터 미국, 영국 등 45개국 국가와 국제전기통신연합(ITU)등 8개 국제기구가 함께 참여하여 전자파 연구를 공동수행중이며, 발암성 연구는 2003년, 비발암성 연구는 2004년까지 완료하여 2005년에 기준제정 및 각 국에 권고하고 있다.

나. 국내동향

'96년부터 한국전자과학회내에 의학·공학 전문가들로 「전자장과생체관계연구회」를 발족시켜 연구 수행하고 있으며, 국내 최초로 민간차원의 인체보호기준을 마련하였다.('99. 5. 27)

전자파 인체영향과 관련하여 송전탑, 이동전화기지국 주변 주민들로부터 민원이 많이 발생하고 있다.

- '95년~'99년까지 약90건의 민원발생(송전탑 34건, 기지국56건)

- 민원내용은 두통, 통증호소, 자연생태계의 파괴 및 지가보상 등

국회내에 국회, 정부, 학계, 연구소 및 환경·노동단체 전문가 41명으로 「전자파유해문제대책위원회」(위원장: 정호선 의원)를 구성운영('99. 5. 18 ~ '99. 10. 20)하였으며, 인체보호기준, 인체영향연구 등에 대하여 충분한 의견수렴을 하였고, 본격적인 연구와 법제화 필요성을 인정하였으며, 전자파 인체보호기준 제정 근거가 의원 입법 발의(정호선 의원 외 19명)되어 전파법에 마련되었다.(2000. 1. 21, 공포)

3. 전자파 인체영향연구를 위한 기본방침

가. 전자파 인체영향연구

한국전자통신연구원(ETRI), 한국전자과학회 및 서울대 의대 교수 등 전자파관련 전문가들로 중·장기적인 연구 수행하며, 한국전자과학회내의 「전자장과생체관계연구회」에 의학분야 위원 보강과 연구과제 평가는 정통부, 전파연구소, 이동전화 5사 등으로 구성한다.

1) 연구분야

-역학·자원자 연구

- 송신소 및 송전선 주변 주민들을 대상으로 한 역학연구
- 휴대폰 이용자들에 대한 자원자(volunteer)연구
- 생체영향연구
- 동물실험을 통하여 전자파가 암세포, 뇌종양 발생 등에 미치는 영향 연구

2) 연구비

-향후 5년간(2000~2004) 100억원 소요

(단위 : 억원)

구 분	2000	2001	2002	2003	2004	계
정부출연금	8	17	20	20	20	85
민간출연금	3	3	3	3	3	15
총 계	11	20	23	23	23	100

주: 1) 정부출연금은 연도별 연구과제 내역에 따라 추후 조정가능

2) 민간출연금은 이동전화사업자(5개사)가 부담토록 함

· SK텔레콤 : 1억원/년

· 신세기통신, 한국통신프리텔, LG텔레콤, 한솔엠닷컴 : 각5천만원/년

나. 전자파인체보호기준 등의 제정

1) 전자파인체보호기준, 전자파강도측정기준, 전자파흡수율측정기준 및 측정 대상기기·방법 등을 정부기준으로 제정한다.

-전자파인체보호기준

-전자파강도측정기준

-전자파흡수율(SAR)측정기준

-전자파흡수율측정 대상기기

2) 전자파가 인체에 미치는 영향과 유의사항을 국민들에게 홍보함으로써 막연

한 불안감을 해소한다.

다. 전자파흡수율(SAR) 정밀측정기술, 저감 안테나 기술개발

휴대폰 사용시 인체 두부에 흡수되는 전자파의 양을 보다 더 정밀하게 측정하기 위한 기술개발과 인체에 미치는 전자파의 양을 저감할 수 있는 이동통신단말기 안테나를 개발한다.

라. 국제협력 활동 강화

- 세계보건기구(WHO)가 주관하는 국제공동연구프로젝트
- 한·일·EU공동연구 발표회
- 국제비전리복사방호위원회(ICNIRP) 등 관련회의에 학회의 전문가와 공동 참여

Abstract

Management strategies for Electromagnetic Fields in Electric Power lines

Recent years have seen an unprecedented increase in the number and diversity of sources of electromagnetic fields. Technologies have brought into concerns about possible health risks from exposure to electromagnetic fields associated with their use. Such concerns have been raised about the safety of electric power lines.

The primary purpose of this study is to review the laboratory and epidemiologic studies about the relationship between power lines and cancer rates, and to propose exposure guidelines for power-frequency fields.

During the last 2 decades, a number of epidemiological studies have explored the association between childhood leukaemia and residential exposure to power-frequency electromagnetic fields. Several studies have suggested that there is a small excess leukaemia risk with magnetic field exposure above 0.2 μ T. The association was strongest for children under the age of 5 years. The U.S. National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS) reviewed studies that observed an association between chronic lymphoblastic leukaemia and occupational exposure, and rated exposure to power-frequency magnetic fields as "possibly carcinogenic to humans".

A number of governmental and international organizations have

developed exposure guidelines. Recently, the most rigid regulation with exposure levels for the elementary school and hospital has been enacted by Switzerland.

Although there is no convincing supportive laboratory evidence, and the absence of a plausible biological mechanism of disease causation limits the evidence derived from epidemiological studies, because of health concerns by public, governments are increasingly called on to adopt precautionary approaches to regulating electromagnetic field exposures.

Several policies which can be inferred from the results of this study are as follows:

- Establish safety distance and guidelines on electric power lines for childhood
- Restrict school building near electric power lines, and power line planning near schools and hospitals
- Reduce magnetic fields by regulating current time
- Hold a meeting between a resident and an electric power company under prudent avoidance policy
- In order to implement precautionary approaches, electromagnetic fields should not exceed the exposure limits of $0.2\mu\text{T}$ in the elementary schools, hospitals and residential environments.

The Korean government would need to establish the above policies for electromagnetic fields and continually to be concerned about possible health risks from exposure to electromagnetic fields.

집필자 약력

전인수

연세대학교 공학사(1981)

독일 아헨공과대학교 환경공학박사(1993)

한국환경정책·평가연구원 연구위원

(현, E-mail:isjeon@kei.re.kr)

著書 및 論文

「환경분야 부패방지대책」 (1999)

「신제 환경영향평가론」, 향문사 (2000)

「항만공사시 부유토사의 거동 및 오탁방지막효과에 관한 연구(I)」 (1999)

「항만공사시 부유토사의 거동 및 오탁방지막효과에 관한 연구(II)」 (2000)

연구진

연구책임자 전인수

산·학·연·정 연구자문위원

김덕원 (연세대 의과대 교수)

백정기 (충남대 전파공학과 교수)

김재기 (환경부 생활공해과 서기관)

© 2002 한국환경정책·평가연구원

발행인 윤서성

발행처 한국환경정책·평가연구원

서울시 은평구 불광동 613-2

우편번호 122-706

전화 380-7777 팩스 380-7722

<http://www.kei.re.kr>

인쇄 2002년 11월

발행 2002년 11월

출판등록 제17-254호

ISBN 89-8464-033-6
