

# ELF 전자계의 인체 유해성

김 석 주\*

(\*한국전기연구소 전기환경연구실 선임연구원)

## 1. 서 론

현대인의 일상생활은 항상 어느 정도의 전자계에 노출되어 있다고 해도 과언이 아니다. 그 중에서도 특히 우리가 사용하는 거의 모든 가전제품과 주변의 송변전 설비 및 송전선등 고압 전력설비에서 발생하는 ELF(Extremely Low Frequency) 전자계는 우리의 생활과 떼어 수 없는 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 인체의 영향 유무에 관해서 일반국민 및 관련 직업종사자들의 지대한 관심과 더불어 상당한 논란의 대상이 되어왔다. 더욱이 우리나라를 비롯한 여러나라들이 경제적인 전력수송을 위하여 송전전압을 초고압화하는 계획을 추진중이기 때문에 만약 ELF 전자계가 인체에 유해하다고 밝혀지면 기존의 송전 방식과 가전제품의 설계를 둘러싸고 커다란 사회문제로 비화될 가능성마저 안고 있다고 할 수 있다. 이미 일부 국가에서는 과학적으로 명확하게 근거가 제시된 결론이 없는 상태에서도 ELF 전자계의 인체 유해성 문제를 들어 송전선의 건설이 중단되거나 지연되고 있는 등 주변 주민과 전력회사간에 심한 마찰을 빚고 있는 실정이다.

이분야의 최초의 연구는 1960년대 소련 및 동유럽 등에서 전기관련 직업 종사자를 대상으로 시작되었고 이후 미국등 여러나라에서 본격적으로 인체의 영향에 관해서 생리학적, 병리학적 연구 결과를 발표하면서 WHO를 비롯한 각국의 ELF 전자계의 인체 보호 지침에 관한 규제 또는 권고안이 생기게 되었

다. 또한 연구결과도 세포레벨의 생화학적 반응에서부터 시작하여 동물실험 및 암, 백혈병, 유산, 생식 등 병리학적 영향 그리고 심리적 영향에 이르기까지 매우 다양하며 아직도 많은 연구비를 투자하여 명확한 결론을 얻으려고 하고 있다.

본고에서는 ELF 전자계의 인체 유해성에 관해서 지금까지 발표된 외국의 연구 사례를 중심으로 요약 정리하여 앞으로 국내에서의 연구 활성화에 일익을 담당하고자 한다.

## 2. 인공 ELF 전자계(Man-made ELF electromagnetic fields)

발전소에서 만들어진 전기에너지는 가공 전력선이나 지중 케이블등의 송전선로를 따라 변전소를 거쳐 최종적으로 에너지 소비자에게 전달된다. 이러한 과정에서 ELF 인공전계의 가장 주된 발생원으로는 고압 가공 선로와 변전소가 있으며 소비자 측에서는 가전기기 및 산업용 전기기기등이 있다. 현재 고압 송전선로는 750 KV 또는 765 KV 까지가 대표적이지만(우리나라의 경우 345 KV) 소련의 경우 1100 KV 까지 운용하고 있으며 여러나라가 1000 KV-1200 KV 또는 1500 KV의 송전선로를 건설중이거나 계획중에 있다.

가공 송전선로에서 발생된 전계의 크기는 농작물 또는 지면의 요철등에 의한 대지의 불규칙한 영향을

피하기 위하여 보통 대지에서 1-2m 높이에서 측정된 전계로 나타내며 이때의 전계는 선로의 전압과 선로의 기하학적 배치, 선로로부터의 거리 등에 따라 달라지며 송전선하의 전계강도에 영향을 미치는 요인을 들면 다음과 같다.

- i) 지표면에 대한 송전선로의 높이
- ii) 송전선로의 기하학적 배치
- iii) 송전철탑에 접지된 금속 구조물의 접근 정도
- iv) 나무나 울타리 등과 같이 높은 물체의 접근 정도
- v) 송전선로의 중심으로 부터 횡방향 거리
- vi) 지표면에 대한 측정지점의 높이
- vii) 송전선로의 전압

실제로 지표면에서 측정된 전계는 부근의 농작물, 나무, 건물, 울타리 등과 같은 물체의 차폐 작용으로 인해 감소되는데 이때 물체위에 분포되어 있는 전계는 증가되고 물체 주위의 전계는 감소되는 형태로 전계가 교란되어 나타난다. 물론 이 경우 전계가 감소되는 정도와 영향을 받는 범위는 물체의 높이와 모양에 따라 달라진다. 또한 주변의 건물내부에서 측정된 전계의 세기는 건물의 구조나 차폐 역할을 하는 재질에 따라 달라지지만 외부 전계와 비교하여 볼때 보통 10-100배 정도 감소된다.

다음으로 인공 자계에 대해서 살펴 보면 인공 자계의 발생원도 전계의 경우와 마찬가지로 할 수 있다. 다른 점은 전계 강도는 송전선의 전압과 관계가 있지만 자계 강도는 송전선에 흐르는 전류에 따라 변하기 때문에 하루동안에도 상당히 변화할 수

표 1. 국내 송전선하의 전계 및 자계 강도

| 전 압(KV)                  | 최대 전계 (KV/m)     | 최대 자계 (Gauss)     |
|--------------------------|------------------|-------------------|
| 154<br>(창원 T/L #50-51)   | 0.57<br>(8m 지점)  | 0.019<br>(2 m 지점) |
| 345<br>(부마 T/L #99-100)  | 0.95<br>(11m 지점) | 0.005<br>(12m 지점) |
| 345<br>(부마 T/L #110-120) | 4.2<br>(8 m 지점)  | 0.024<br>(6m 지점)  |

있으며 대지는 비자성체이기 때문에 자계는 대지의 영향을 거의 받지 않는다는 것이다. 따라서 ELF 자계는 수직 및 수평 성분을 동시에 가지게 되고 대부분

표 2. 가전기기에서 발생하는 전계 강도 측정치 (미국)

| 발생원   | 전계강도(30cm 지점, V/m) |
|-------|--------------------|
| 전기쿠커  | 4                  |
| 토스터   | 40                 |
| 전기담요  | 250                |
| 전기다리미 | 60                 |
| 헤어드라이 | 40                 |
| 증발기   | 40                 |
| 냉장고   | 60                 |
| 텔레비전  | 30                 |
| 전축    | 90                 |
| 커피포트  | 30                 |
| 진공청소기 | 16                 |
| 믹서    | 50                 |
| 백열전구  | 2                  |

표 3. 가전기기에서 발생하는 자계 강도 측정치 (미국)

| 발생원   | 자계강도(30cm 지점, mG) |
|-------|-------------------|
| 전자레인지 | 3~50              |
| 접시세척기 | 7~14              |
| 냉장고   | 0.1~3             |
| 세탁기   | 2~20              |
| 헤어드라이 | 0.7~3             |
| 토스터   | 0.6~8             |
| 전기다리미 | 1~4               |
| 믹서    | 6~150             |
| 진공청소기 | 20~200            |
| 건조기   | 1~100             |
| 전기면도기 | 1~100             |
| 텔레비전  | 0.3~20            |
| 형광등   | 20~40             |
| 탁상용전등 | 5~20              |
| 전기톱   | 10~300            |
| 전기드릴  | 25~40             |

분의 물체와 건물에 대해서도 차폐되지 않으며 지중 케이블에서 발생한 자계도 대지에 의해서 차폐되지 않는다. 일반적으로 가공 송전선로의 경우 지표면에서의 최대 자속밀도는 0.1mT/KA(1G/KA) 정도로 알려져 있다. 다음 표 1은 국내 송전선의 전자계강도 실측치를 나타내고 있다.

반면에 가정용 전기기기에서 발생하는 전자계 강도는 미국에서 측정한 자료에 의하면 표 2, 3과 같다.

### 3. ELF 전계의 인체 영향

인간이 송전선하의 전계에 노출되면 성인의 경우 전계강도 1KV/m 당 14-20  $\mu$ A의 전류가 유도되고 유도된 전류는 신장의 제곱에 비례한다고 알려져 있다. 따라서 10 KV/m의 전계에 단기간 노출된다고 하더라도 유도되는 전류는 수십  $\mu$ A에 불과하기 때문에 생리적인 위험은 없다고 되어 있다. 하지만 이와 같은 전계에 장시간 노출되는 경우에 인체의 신경 및 조직계통에 미치는 영향을 일반적인 전계문제로 다루고 있으며 이는 다음과 같은 가정에 근거한다.

- i) 신경계의 기능은 전기화학적 변화(이온의 이동등)로 지배되므로 전계는 신경계와 관계가 있을지도 모른다.
- ii) 전계에 의하여 스트레스 응답 및 심장 혈관기능 변화, 혈관 화학변화등 일반적인 생리학적 변화가 있을지도 모른다.

#### 3.1 직업 종사자의 영향

1966년 소련에서 전계 영향에 대해서 발표되었는데, 국제적인 주목은 1972년부터 받게 되었다. 그 내용은 400-500 KV 급의 변전소 구내에서 작업하는 노동자 45명의 건강진단을 실시한 결과 평균 전계강도 7.8-10 KV/m, 인체유도전류 약 120  $\mu$ A에서 26명이 중추신경계의 기능장애를 일으켰고 12명이 심장혈관계에 이상이 생겼으며 14명에게는 심전도 이상, 41명은 두통, 피로, 수면 부족 및 소화계 이상을 호소하였다고 되어있다. 이런 연구 결과는 생리학적 연구에서도 나타났고 같은 증상이 500 KV 변전소 노동자 250명 중에서도 나타났기 때문에

1971년에 전계강도와 노출시간에 관한 노동 위생법이 제정되었다.

그러나 이 연구결과에 대해서 요인 분석이 불충분하다는 지적이 많이 있었다. 즉, 소련의 전기종사자의 건강 문제는 전계에 의한 직접유도전류에 기인하는 것이 아니고 과도적인 미소방진, 변전소 설비에서의 저주파 소음, 오존 및 개소린, 기계유의 휘발 물질 등에 의한 것이 아닌가 하는 의혹이 제기되었다.

한편 미국에서는 1973년 Johns Hopkins 대학의학부에서 송전선로 작업원을 대상으로 일반적인 건강 진단을 실시하였다. 그 결과에 의하면 영향이 없다고 되어 있으나 해석이 정량적이지 못하고 비노출 지역이 설정되어 있지 않는등 연구방법에 문제가 있다는 지적이 있었다. 1979년에 발표된 캐나다의 연구에서는 전계 노출량을 정량화하고 전기관련 종사자 30명을 대상으로 뇌파, 심전도, 헤모글로빈, 오줌, 혈구, 혈중 칼슘 및 염화물 등 합계 22종류의 검사와 신경학 및 정신의학적 평가를 실시하였다. 그 결과 노출지역과 비노출 지역간에 차이가 발견되지 않았다고 보고하였다. 이 연구에서는 매일의 전계 노출량의 추정치가 선로 작업원이 6.9KV/m·h, 변전소 작업원이 12.7KV/m·h라고 밝히고 있으며 전계 영향에 관한 역학적 연구로는 최초로(전계강도 X시간)으로 전계 노출량을 표시하여 그 중요성을 인정받았다. 이 밖에도 몇건의 연구결과가 보고되어 있지만 1984년 WHO에서는 전계 영향에 관한 보고가 전계 노출량, 전기종사자의 근로 시간, 기타 물리적 화학적 노출의 유무등에 관한 세부 사항이 결여되어 있어 일반적인 결론 유출이 곤란하다고 밝히고 있다. 또 WHO 보고서는 스웨덴의 변전소 종사자의 일부에서 염색체 파손이 발견되었고 변전소 종사자의 2세 들중 일부에 선천성 기형아가 있었다고 소개하고 있다. 이후 ELF 전계와 염색체 이상에 대한 면밀한 연구가 진행되고 있다.

#### 3.2 일반인에 대한 영향

성인이나 소아의 암과 자장과의 관계에 대하여 서술한 것은 현재까지 몇 건이 있지만 일반인이 전계 노출에 의해서 건강에 영향을 받는다는 보고는 없다. 다만, 임신부가 전기 모포를 사용하면 유산하기

쉽다는 역학조사가 있다.

프랑스에서 송전선 인근의 주민에 대해서 노출 지역과 비노출 지역을 구분하여 조사한 바에 따르면 200 KV 및 400 KV 송전선에서 25m 이내에 거주하는 70명의 남성과 65명의 여성, 132명의 어린이와 그 송전선에서 125m 이상 떨어져 있는 74명의 남성, 64명의 여성과 120명의 어린이에 대해서 4년간 비교검토한 결과 의료 기록, 통원빈도, 투약에 대한 차이점은 발견되지 않았다고 되어 있다.

### 3.3 지원자에 의한 인체 실험

실내에서 인체의 전계 노출 실험은 주로 독일에서 실시되었다. 그 결과 20KV/m 까지의 전계 조건하에서는(자계는 거의 완전하게 차폐된 상태) 응답시간이 약간 저하되고 백혈구가 약간 증가하는 경향을 보이고 있지만 이러한 변화는 생리학적으로 정상 범위에 있었고 상당한 고전계에서도 다른 많은 검사항목이 정상치를 나타내고 있는 등 전계영향은 미소하다고 되어 있다.

이러한 실험은 전계의 단기간 영향에 관한 것으로 영향이 거의 없다고 되어 있으나 장기간 영향에 대한 판단 근거로는 미흡하며 더 많은 연구가 필요하다고 사료된다.

## 4. 암에 대한 영향

ELF 전자계에 대한 노출이 인간에게 암의 위험도를 증가시킬 수 있다는 가능성은 인간의 건강에 미치는 다른 어떤 영향보다도 더 큰 관심과 논쟁을 불러 일으키고 있다. 비록 전자계에 대한 노출이 암

발생에 영향을 미친다는 생물학적 근거가 제시된 적도 있지만 반면에 그러한 노출이 암 발생과 무관하다는 실험적 증거도 역시 존재한다.

1985년에 Smialowicz는 ELF 전자계의 면역학적인 영향에 대한 고찰을 통하여 혈액 및 면역 계통, 또는 세포소에 대해서 ELF 전자계가 생리학적으로 어떤 영향을 미친다고 설명할만한 아무런 근거가 없다고 결론을 내렸다. 또한 ELF 전자계에 의해서 유발된 변화는 대부분 일시적이며 미약하다고 하였다. 즉, 유사한 노출 조건 및 실험적 변수가 사용되었을 때조차도 어떤 일관성 있는 결과가 없다는 사실은 ELF 전자계가 미치는 영향이 매우 미약하다는 사실을 나타내고 있다는 것이다.

ELF 전자계에 대한 노출이 일반 주민의 암에 미치는 영향에 관한 연구는 1979년과 1982년에 Wertheimer와 Leeper가 발표한 논문으로 본격화되었다. 그들은 1979년에 발표된 첫번째 논문에서 Denver 지역에서의 전력계통형태와 소아 암(childhood cancer) 위험도 사이의 관계를 고찰하여 사례 집단의 주택에서 비교집단의 주택보다 더 높은 자계 강도가 검출되었다고 보고하고 있다. 이러한 결과는 여러가지 형태의 소아 암에 대해 일관성있게 나타났지만 사회적 계층 및 인구 통계학적 요인을 고려하지는 않았고 노출 측정도 노출가구에 대한 사전 지식이 없는 상태에서 시행되었기 때문에 타당성 있는 자료로 평가하기는 어렵다. 또한 그들은 1982년에 성인암(adult cancer)에 대한 연구에서도 유사한 결론을 얻음으로써 이 분야연구에서 대표적인 연구로 평가받고 있다.

그러나 1980년 Fulton은 Rhode Island에서 백혈병에 걸린 어린이들을 노출 집단으로 하여 Werth-

표 4. 일반 주민의 전자계 노출이 암에 미치는 영향

| 연구자            | 연구년도 | 연구 병명  | 노출설비 | 영향 |
|----------------|------|--------|------|----|
| Wertheimer(미국) | 1979 | 소아암    | 송배전선 | 유  |
| Fulton(미국)     | 1980 | 소아 백혈병 | 송전선  | 무  |
| Tomenius(스웨덴)  | 1982 | 종양     | 송배전선 | 유  |
| Wertheimer(미국) | 1982 | 성인암    | 송배전선 | 유  |
| Myers(영국)      | 1984 | 소아암    | 송배전선 | 무  |

표 5. 직장인의 전자계에 대한 노출이 암에 미치는 영향(전기관련이외의 직종)

| 연구자              | 연도   | 연구대상        | 결과                 | 직종      |
|------------------|------|-------------|--------------------|---------|
| Wiklurd<br>(스웨덴) | 1981 | 백혈병         | 영향 없음              | 전화 교환수  |
| Swerdlow<br>(영국) | 1983 | 성인의 눈암      | 전기-전자관계 노동자에 많음    | 15세 이상  |
| Vagero<br>(스웨덴)  | 1983 | 암           | 발생이 높다             | 전자공업노동자 |
| Milham<br>(미국)   | 1985 | 백혈병에 의한 사망율 | 골수성 백혈병에 의한 사망이 많음 | 아마추어무선사 |
| Gilman<br>(미국)   | 1985 | 백혈병         | 백혈병에 의한 사망이 많음     | 백인 탄광부  |
| Spitz<br>(미국)    | 1985 | 신경아 세포증     | 부친이 전자관련 근무자에 많다   | 유아      |

표 6. 직장인의 전자계에 대한 노출이 암에 미치는 영향(전기관련 직종)

| 연구자              | 연도   | 연구대상        | 결과                       | 직종                |
|------------------|------|-------------|--------------------------|-------------------|
| Milham<br>(미국)   | 1982 | 백혈병에 의한 사망율 | 불명확하지만 가능성이 있다.          | 전기관련직종            |
| Wright<br>(미국)   | 1982 | 백혈병         | 급성 골수성 백혈병이 전기공에 많다      | 전기-전자 기술자, 전기기사   |
| Milham<br>(미국)   | 1983 | 백혈병에 의한 사망율 | 급성 골수성 백혈병이 통신기사에 많음     | TV-라디오 수리공, 오퍼레이터 |
| McDowell<br>(영국) | 1983 | 백혈병         | 전기 조립공, 통신기사에 많음         | 용접공, 조립물체공        |
| Pearce<br>(뉴질랜드) | 1985 | 백혈병         | 전자기기 조립공, TV-라디오 수리공에 많음 | 영사기사, 교환원, 통신기사   |
| Lin<br>(미국)      | 1985 | 뇌종양         | 전기-전자 기술자, 전기공에 많음       |                   |
| Calle<br>(미국)    | 1985 | 백혈병         | 전기-통신기사에 많음              |                   |

## 5. 생식에 대한 영향

eimer 와 Leeper 가 사용한 연구방법을 이용하였지만 백혈병에 걸린 사례 집단이 비교집단보다 더 높은 전자계에 노출되었다는 아무런 증거도 발견하지 못했다고 발표하였다.

이와같이 ELF 전자계의 일반 주민에 대한 노출 영향 연구는 아직까지 그 범위로 제한적이고 확실한 결론을 내리지 못하고 있다. 또한 이들 연구결과에서는 노출상태 측정, 전력계통의 형태, 1회의 자계 측정, 전력 설비물의 근접등과 같은 측정 파라미터들의 불완전성으로 인해 타당성 및 신뢰성이 떨어지고 있다.

다음 표 4는 일반 주민의 전자계 노출이 암에 미치는 영향에 대하여 연구한 사례들을 정리한 것이다.

한편, 직업인의 전자계 노출과 암의 영향에 대한 연구도 비교적 활발하게 진행되어 왔으며 이에 대한 연구 결과를 요약한 것이 표 5와 표 6이다.

이들 연구에서는 전자계에 비교적 높게 노출되었으리라 추측되는 전기 직종에 근무하는 사람들에게서 약간 높은 백혈병 발생 및 사망에 관한 자료를 제시하였다. 그러나 이러한 연구 결과들이 전자계에 대한 직접적인 노출에 의한 것이라고는 보기 어렵다. 왜냐하면 직업명 자체가 전자계에 대한 노출의 효율적인 자료가 될 수 없으며 사례 연구에도 여러 가지 제약이 따르기 때문이다. 따라서 이 분야의 연구에 있어서 다양한 혼란변수들에 대한 상세한 분류 및 규명이 선행되어야 할 것이다.

ELF 전자계가 인간의 생식작용에 미치는 영향에 대한 연구도 암의 경우와 마찬가지로 비교적 활발하게 진행되고 있다. 1979년에 발표된 Knave 의 연구에서는 전력회사에서 근무하는 사람들을 사례집단으로 하여 불임과 자녀의 성비율에 대해 연구하였으나 별다른 영향은 발견되지 않았다. 1983년 Nordstrom 은 전자계에 대한 노출정도에 따라 사례집단을 분류하여 자의적 낙태, 분만시 태아 사망, 그리고 기형아 및 정상아 출산에 대한 연구 결과를 발표하였다. 또한 1984년에 Wertheimer 와 Leeper 는 유산 및 임신기간이 연장된 사람들을 노출집단으로 하여 이들이 전기 담요와 가열 물침대를 사용하였는지 여부에 대해 조사하였다. 그들은 전기 기구를 사용한 노출 집단에서 비교적 많은 유산과 임신기간등이 연장됨을 발견하였다.

1985년에는 Spitz 와 Johnson 이 Texas 주를 대상으로 신경계통의 암으로 사망한 어린이들과 아버지의 직업에 대해 연구하여 잠재적으로 전자계에 노출된 직종에 근무하는 사람들의 자녀에게서 사망율이 약간 높았다고 발표하였다. 그후 이들을 대상으로 암성분이 정자를 통하여 태아에게 유전될 수 있다는 가능성을 기초로 연구하였으나 전자계에 대한 노출이 돌연변이를 유발할 수 있다는 아무런 근거도 제시하지 못했다.

다음 표 7은 전자계 노출이 생식에 미치는 영향에

표 7. 전자계 노출이 생식에 미치는 영향

| 연구자                | 연도   | 연구결과  | 사례집단   |
|--------------------|------|---|--|
| Knave<br>(스웨덴)     | 1979 | 출생아수, 남녀 성비율에 영향이 있다고 생각되지 않음                                       | 400 KV 변전소 작업원   |
| Nordstrom<br>(스웨덴) | 1983 | 남편이 고전압하에서 근무한 경우 임신이 곤란한 경우가 있었으며 변전소 직원들중 선천성 기형아를 출산한 경우가 있음     | 400 KV 변전소 및 송전선 작업원, 380 KV, 220 V 배전선 작업원, 최고 130 KV 작업원 |
| Buiatti<br>(이태리)   | 1984 | 무선기 공업, 서서 근무하는 사무직, 활판 인쇄공업의 사무직, 직물공업 종사원에 발생한 경향이 있지만 유의할 정도는 아님 | 플로렌스 대학병원에 입원한 불임 부부                                       |
| Wertheimer<br>(미국) | 1984 | 유산이 많음  | 전기모포를 사용한 부부   |

관한 연구 사례들을 나타낸 것이다.

## 6. ELF 전자계의 규제 동향

전력기술의 발전과 보급이 확대되고 이에 따르는 전력설비의 증가로 인하여 일반 대중 및 관련 직업 종사자들이 자계 및 전계에 단기간 혹은 장기간 노출될 가능성이 매우 커지고 있다. 따라서 세계 각국에서는 전자계의 인체 유해성 문제가 많이 거론되고 국민 보건 위생 차원에서 노출 기준에 대한 규제 (regulation) 혹은 권고(guideline)를 마련하고 있다. 하지만 아직까지 전자계 노출과 인체 유해성 또는 병리학적 영향에 관해서 각국의 실험 결과가 서로 다르고 또한 자료 부족으로 인하여 명확한 결론이 없는 상태이고 설령 규제 또는 권고안을 마련하고 있는 나라조차도 관련 근거를 제시하지 못하고 있는 경우도 많이 있다.

현재 일반 국민에게 영향을 줄만한 전자계는 주로 고압 송전선 및 그에 따르는 설비에서 발생하는 것이고, AC 자계에 대한 유해성 문제는 아직까지 크게 문제가 되지 않고 있지만 AC 전계의 경우는 많은 논란이 있었으며 대부분의 규제 또는 권고안도 AC 전계에 관한 것이다.

### 6.1 ELF 전계

#### 1) 국제적인 권고안

1984년 WHO/IRPA(International Radiation Protection Association) 공동으로 세계 각국의 보건 당국과 규제 당국에 대해 일반 국민 혹은 관련 직업 종사자가 ELF 전자계에 노출되었을 때의 영향에 관한 정보를 제공하고 위험도를 종합 평가하기 위한 기준을 제공하기 위하여 ELF 전자계의 환경 기준에 관한 회의가 Geneva에서 개최되어 10개항의 결론을

표 8. IRPA/INIRC 권고안

| 구 분     | 전 계 강 도 | 제 한 시 간 |
|---------|---------|---------|
| 직업관련종사자 | 10 KV/m | 8시간/일   |
|         | 20 KV/m | 2시간/일   |
| 일 반 국 민 | 10 KV/m | 수신간/일   |
|         | 2 KV/m  | 24시간/일  |

발표하였다. 이에 따르면 10 KV/m 이하의 전계강도에서는 개인차는 있지만 출입을 제한할 필요는 없고 1-10 KV/m의 전계에 장기간 노출되어도 안전과 위험에 관해서 명확하게 규명할 근거는 없다고 하였으나, EHV 및 UHV 관련 종사자는 적당한 방호 장비를 갖추는 것이 바람직하다고 하였다.

또한 1986년 IRPA/INIRC에서는 1-300 Hz의 ELF 전자계에 노출된 인체나 동물의 영향에 관해서 조사한 결과 50/60 Hz 전계에 대해서 표 8과 같은 권고안을 제시하였다.

#### 2) 미 국

미국에서는 일반 대중과 여론의 압력으로 청문회 개최 및 연구가 활발하게 이루어지고 있지만 인체 유해성 부분과 권고안의 수치를 가지고 많은 논란이

표 9. 미국 송전선의 전계 권고안

| state        | MAX E-Field(KV/m) |          | 비 고   |
|--------------|-------------------|----------|-------|
|              | In Row            | Edge ROW |       |
| Minnesota    | 8                 | -        | 결 의 안 |
| Montana      | -                 | 1        | 결 의 안 |
| New Jersey   | -                 | 3        | 결 의 안 |
| New York     | -                 | 1*       | 잠정결의안 |
|              | 7                 | -        | 공공도로  |
|              | 11                | -        | 사유도로  |
| North Dakota | 9                 | -        | 결 의 안 |
| Oregon       | 9                 | -        | 주 법 률 |

\* 평지에서 1 KV/m 기준으로는 1.6 KV/m

표 10. 400 KV 혹은 그 이상의 송전선 작업원의 전계 노출 제한치(소련)

| 전계강도(KV/m) | 일일제한시간(min/day) |
|------------|-----------------|
| 5          | -               |
| 10         | 180             |
| 15         | 90              |
| 20         | 10              |
| 25         | 5               |

표 11. 일반 국민에 대한 노출 제한치(소련)

| 전계강도(KV/m) | 제한사항  |
|------------|-------|
| 20         | 출입금지  |
| 15         | 비거주지역 |
| 10         | 일반도로  |
| 5          | 거주지역  |
| 1          | 밀집지역  |
| 0.5        | 옥내    |

있었으며 대부분의 주는 미국 전기 안전법(National Electrical Safety Code)에서 규정한 인체 유기 전류 제한치 5mA(실효치)를 바탕으로 권고안을 마련하였다.

3) 일본

일본에서는 전기 설비에 관한 법률인 Ordinance (Udo, 1983)에서 송전설비에 관한 전계 규정을 하고 있으며 지상 1m 높이의 전계강도가 3KV/m를 초과하지 못하도록 하고 있다. 그러나 이것은 농작물 재배 지역이나 삼림등 비거주 지역에서는 적용되지 않는다.

3KV/m에 대한 기술적 근거는 일본 IERE Council(1976)에 의해 이 정도의 전계의 세기에서 우산등과 같은 금속물체에 인체가 접촉하면 유도전류를 감지할 수 있다는 근거에 의해 마련되었다.

4) 소련

소련에서는 1960년대부터 이 부분에 대한 많은 연구가 이루어져 왔으며 다음과 같은 안전기준을 제정하였다.

6.2 ELF 자계

아직까지 세계적으로 교류자계에 대한 규제치는 없으며 교류자계에 대한 현재까지의 기술로 보아 가까운 장래에 특별한 진전이 없으리라 예상되기 때문에 규제치나 권고치를 만들 필요가 없다고 Alpen (1979)은 주장하고 있다. 이를테면 765 KV 송전선의 지표에서 0.1 mT 정도로 가정 주방 기기에서 발생하는 자계보다 적다.

참고로 서독과 호주에서는 변전소나 송전선 작업

표 12. 자계에 대한 직업 노출 권고안

| 나라 | 제한치    | 비고          |
|----|--------|-------------|
| 서독 | 4.4 mT | 전기 설비 설계 기준 |
| 호주 | 0.3 mT | 변전소 작업원 기준  |

자들을 위해서 다음과 같은 권고안을 가지고 있다.

7. 결론

이상에서 현재까지의 해외 연구 동향에 대해서 개괄적으로 살펴 보았다. 앞서도 나타난 바와 같이 ELF 전계 및 자계의 인체 유해성 문제는 서로 상반된 결과가 도출된 경우가 많기 때문에 아직 이렇다할 결론을 내리기가 어려운 상태이다. 그것은 첫째 인체영향을 나타내는 메카니즘이 상당히 복잡하고 둘째 전자계 노출과 그 영향과의 관계가 노출량과 같은 한개만의 변수에 의해서 결정되는 것이 아니고 여러가지의 매개 변수에 의해서 좌우되기 때문이라고 할 수 있다.

혹자는 ELF 전자계가 인체에 유해하다고 할지라도 우리가 처해있는 일상 생활에서의 다른 위험보다는 적을 것이라고 주장하지만 전자계는 도처에 존재하므로 미소한 영향이라 하더라도 국민보건차원에서는 심각할 수도 있다.

따라서 이 분야의 연구는 WHO를 비롯해서 모든 나라가 더 많은 연구를 해야 한다고 하고 있다.

참고 문헌

- [1] "전자계의 생물학적 영향 연구", 연구보고서, 한국전기연구소, 1988.
- [2] "Environmental Health Criteria 35", WHO, 1984.
- [3] "Health effects of electric and magnetic fields", International utility symposium, 1986.
- [4] 박희로, 김정부, "고전압 계통에서 전자계의 인체에 미치는 영향", 대한전기협회, 1981.
- [5] N. W. Wertheimer, E. Leeper, "Electrical wiring configurations childhood cancer.", Am. J. Epidemiology, Vol. 109, pp. 273-284, 1979.
- [6] N. W. Wertheimer, E. Leeper, "Adult cancer related to electrical wires near the home.", Int. J.



---

Epidemiology, Vol. 11, pp. 345-355, 1985.

- [ 7 ] T. E. Aldrich, C. E. Easterly, "Handbook of epidemiological methods with special emphasis on extremely low-frequency electromagnetic fields.", Oak Ridge National Lab., ORNL-6237, 1985.
- [ 8 ] R. G. Olsen, "The magnetic field environment of electric power lines.", IEEE Trans., Vol. PAS-102, 1983.



**김석주(金碩柱)**

1961년 12월 8일생. 1984년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전기연구소 전기환경연구실 선임연구원.

구원.