

ELF에서의 전자파 영향과 저감대책

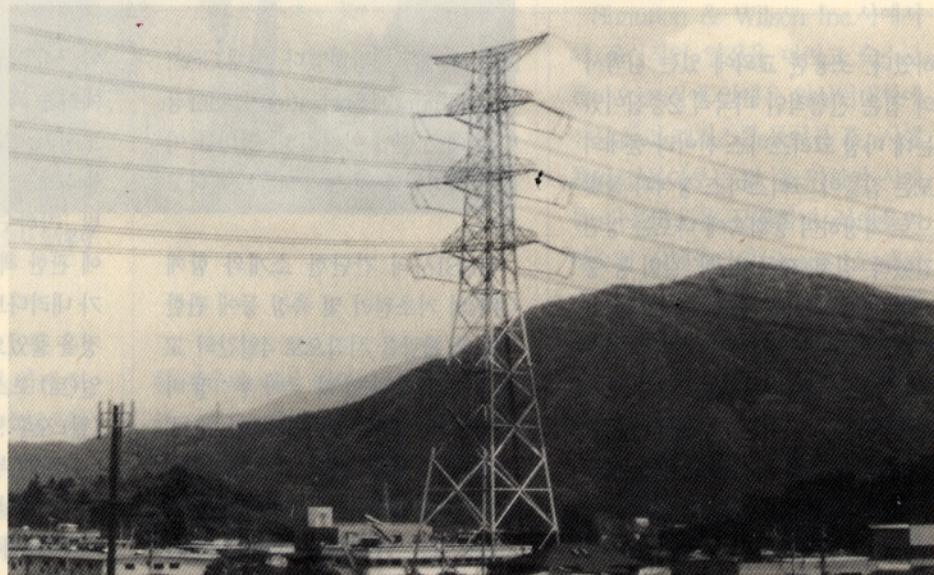
최재훈 / 연구개발부 대리

연재 순서

최근 관심의 초점이
되고 있는 전자파 문제와
관련하여,

- ① 전자파개요와
전자파의 영향
- ② ELF에서의 전자파
영향과 저감대책
- ③ 각종 전기 설비에서의
전자파의 영향 및
저감대책

의 순으로 연재합니다.



현

대인은 항상 어느 정도의 전자계에 노출되어 있다. 그중에서도 가전제품과 송변전 설비 및 배전선 등과 같은 고압 전력설비에서 발생하는 ELF (Extremely Low Frequency) 전자계는 우리의 생활과 매우 밀접한데, 일반적으로 고압 송전분야와 배전 분야가 여론의 초점이 되고 있다.

특히, 최근에는 전기에너지 전송에 송전효율을 높이기 위하여 송전 전압을 높이는 계획이 우리나라를 비롯하여 세계 여러나라에서 추진 중에 있다. 참고로 국내에서는 345kV 송전계통이 사용되고 있으며, 한전에서는 차기 전압을 765kV 송전계통으로 승압하여 송전

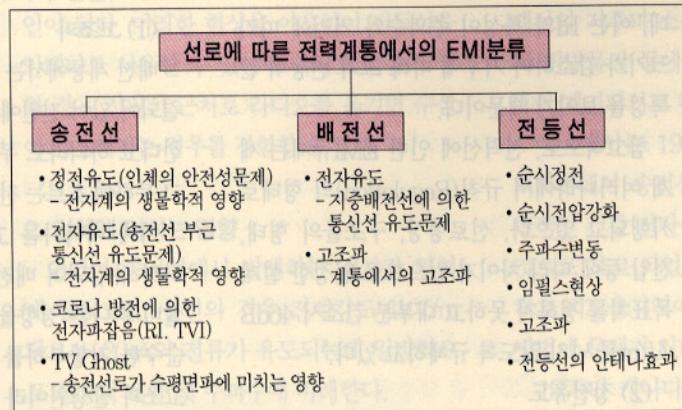
하려는 계획을 하고 있다.

이렇게 증가된 송전 전압으로 양질의 전기를 제공 할 수 있는 장점이 있으나, 초 고압화에 따른 높은 전계나 자계가 인체 또는 전기 기기 및 정보 통신기기 등에 미치는 영향은 세계적으로 초미의 관심사가 되고 있다.

이에 세계 각국에서는 국민 보건과 위생 차원에서 전계 및 자계의 노출기준에 대한 규제 또는 권고안(표 5 참조)을 마련해 두고 있다.

본고에서는 전력계통에서의 EMI(Electro-Magnetic Interface : 전자파 잡음) 현상과 ELF 전자계가 인체에 미치는 영향에 대해 논해 보고자 한다.

(표 1) 선로별 EMI의 분류



전력계통(ELF)에서 전자계가 미치는 영향

1. 각종 전기기기에 미치는 영향

전력계통을 이루고 있는 송전 및 배전 선로들에서 나타나는 각종 EMI 현상을 요약하면, (표 1)과 같다.

EMI의 일반적인 특징을 살펴보면 다음과 같다. EMI는 발생하는 형태에 따라 크게 자연잡음과 인공잡음으로 구분한다.

자연계에서 발생하는 자연잡음은 일반적으로 뇌운에서 발생하는 30MHz 이하의 공전잡음이, 30MHz 이상에서는 우주 잡음과 태양활동에 의한 잡음이 주를 이루고 있다.

또한, 인공잡음은 고의적인 잡음과 비 고의적인 잡음으로 분류된다. 고의적인 잡음은 AM, FM, TV, 기타 방송송신 등과 같이 고유의 목적을 수행하기 위해 방사되는 에너지가 다른 기기의 동작에 영향을 미치는 경우를 말한다. 비 고의적인 잡음은 컴퓨터 기기, 계전기, 모터, 전원선, 형광등에 의해 원래 의도하지 않았던 장해를 유발시키는 잡음을 말한다.

지금부터는 다양한 EMI 발생 원인 가운데 일반적으로 관심이 되고 있는 고압 송배전선로에서의 EMI를 살펴본다.

생하는 전극에 따라 정코로나 방전 또는 부코로나 방전으로 구분한다. 각각의 잡음 특성은 서로 다르지만 코로나가 발생하면 인근에 위치하고 있는 전기, 전자기기 및 설비에 전자파 장해를 유발하는데 일반적으로 30MHz의 주파수 대역을 중심으로 나타난다.

전력선에 의하여 발생하는 EMI는 편의상 30MHz 주파수 대역을 중심으로 해서 그 이하의 주파수 대역에서 발생하는 장해를 라디오 장해(Radio Interface : RI), 그 이상의 주파수 대역에서 발생하는 장해를 텔레비전 장해(Television Interface : TVI)로 분류한다.¹

이러한 분류에 의하면 500kV 송전 선로에서 나타나는 EMI 중 도체에서 발생하는 코로나는 Gap방전에 의한 TVI가 대부분이나, TVI는 적절한 보수작업을 통해 쉽게 제거될 수 있는 것으로 알려져 있다.²

송전전압이 높아지면 도체에서 발생하는 코로나에 의한 RI가 대부분을 차지하게 되는데, 이러한 RI는 Gap방전에 의해 발생되는 TVI를 제거하는 방법으로는 소멸되지 않고, 도체에서 발생하는 코로나의 양을 저감시키는 방법을 적용하여야 한다. RI의 일반적인 특성은 강우시 저주파 대역 중 AM방송 대역

1) 송전선에서의 EMI현상

(1) 코로나 방전에 의한 잡음

전력선 등의 도체 표면에서 전위경도가 일정치의 임계전압을 초과하는 경우 전력선 주위 공기의 부분 절연파괴에 의해 코로나(Corona)방전이 발생하는데, 코로나가 발

- Marvin O. Loftness, "A practical handbook for the correction of radio interference from overhead power lines and facilities", BPA, 1980. 5.
- "Review of technical consideration or limits to interference from power lines and stations", IEEE PAS, Vol PAS-99, No.1, Jan./Feb. 1980.

인간이 송전선에서
발생하는 전자장 영
역에 들어오면, 성인
의 경우 전계강도
 1kV/m 당 $14\sim20\mu$
A의 전류가 유도되
는데 일반적으로 신
장의 제곱 및 주파수
에 비례한다.

송전선으로부터의 전자유도 문제는 전력회사와 통신회사가
유도협정에 의거하여 처리하며 관련 법규가
있다.

3. "전력소 구내에서의 전자응용 설비에 미치는 EMI영향연구", 한국 전기연구소, 1990. 9.
4. 이기철, "전력계통에서의 ELF 현상", 한국 전기연구소
5. 김석주, "ELF 전자계의 인체 유해성", 한국 전기연구소

에 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있는데, 이는 RI의 특성이 주파수와 거리에 따라 크기가 감소하며 기후에 따라 크기 변동이 큰 특성을 보이기 때문이다.

참고적으로, 전력선에 인한 EMI규제는 세계 여러나라에서 규칙(Regulation)의 형태로 시행되고 있으나, 선로형상, 구조물의 형태, 전압 등에 따라 차이가 있으므로 일정한 설계 목표치를 정하지 못하고 대부분 건조사 46dB AV/m 를 넘지 않도록 규제하고 있다.³

(2) 정전유도

정전유도는 고전압에 의해서 다른 물체에 발생되는 전기적 유도를 의미한다. 일반적으로 정전유도가 문제되는 경우는 피 유도물체가 접지되어 흐르는 전류치가 문제되는 경우와 피유도물체가 절연되어 유도 전압이 문제가 되는 두가지로 나눌 수 있다.

고전압의 송전선에 의해 발생하는 전계 세기는 수kV/m에 이르고 있는데 송전선 근처에서의 전계의 세기를 좌우하는 요소들은 기본적으로 다음 5가지이다.

- 지표면으로부터의 송전선로 높이
- 송전선로의 기하학적 구조
- 송전탑 접지 금속물체의 근접
- 지표면으로부터의 측정점 높이
- 송전선로의 실제전압

고압 송전선 주변에서 건물에 미치는 전계의 영향을 살펴보면 건물 내부와 건물 외부의 전계의 세기는 10~100배 정도로 감소하는데 이것은 건물의 구조나 차폐역할을 하는 재질에 따라 더 크게 좌우된다.

(3) 전자유도

송전선으로 의하여 통신선에 문제를 일으키는 전자유도 문제는 전력회사와 통신회사가 유도협정에 의거하여 처리하며 관련 법규가 있다.

2) 배전선에서 나타나는 EMI현상

(1) 고조파

배전 계통에서는 다양한 부하들이 단말에 연결되어 있어 전원에서는 순수한 정현파를 공급한다고 하더라도 부하의 특성이 비선형성다면 그 부하에 흐르는 전류는 비정현파로 된다.

이때 나타나는 고조파 전류가 전원측으로 다시 유입되어 배전계통의 다른 부하나 전기 설비에 나쁜 영향을 주게 되는데, 일반적으로 순수한 저항부하를 제외한 거의 모든 부하가 고조파 발생원이라 볼 수 있지만, 실제적으로는 배전계통에 큰 영향을 주는 대상만을 고조파 발생원으로 취급하고 있다.

(2) 전원계 잡음(임펄스 잡음)

전원계 잡음이 전자기기에 침입하면 기기에 많은 영향을 미치는데 주로 전력선 자체에서 발생하는 잡음과 인접기기 혹은 수용기 부하 등에서 전원선에 침입하는 잡음으로 구분된다. 전력선 자체에서는 방전잡음, 순시정전과 전압강하, 계통 부하시 혹은 뇌에 의해서 잡음이 발생하며, 이들 중 임펄스(또는 서어지)잡음은 인접 기기에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 매우 중요한 요소가 된다.

임펄스 잡음의 원인으로는 순시정전, 전압강하, 방전서어지, 뇌서어지, 개폐서어지 등이며 이밖에도 대형 회전기나 모터, 히터, SCR제어기 등의 기동시 돌입전류나 위상제어 등에 의하여 주로 발생한다. 이러한 잡음은 기기의 오동작뿐 아니라 크기가 클 때에는 고주파 성분을 포함하고 있기 때문에 수명단축 혹은 파괴 손상을 유발하며 콘덴서와 같은 부하에 영향을 미치게 된다.

(3) 전등선의 안테나 효과

전등선 특히 가공 배전선은 수신 안테나와 동일한 효과를 갖는다. 이는 방사 전자계에 의해서 발생되는 방해기전력이 전원회로를 통해

기기에 유도되는 것으로 기기 동작의 방해 원인이 된다. 이러한 현상을 이용하여 전등선을 안테나로 사용할 수 있는데 라디오 잡음이 심한 경우 전원선 근처로 라디오를 옮기면 수신이 양호해지는 경우를 경험할 수 있다.⁴

2. 인체에 미치는 영향

인간이 송전선에서 발생하는 전자장 영역에 들어오면, 성인의 경우 전계강도 1kV/m 당 $14\sim20\mu\text{A}$ 의 전류가 유도되는데 일반적으로 신장의 제곱 및 주파수에 비례한다.

미국에서 약 100인을 대상으로 한 실험에 의하면, 약 5인정도가 서 있거나 손을 들고 서 있는 상태에서 각각 3kV/m , 1kV/m 의 전계를 감지하는 것으로 나타났다. 주위 전계가 $8\sim10\text{kV/m}$ 가 되면 머리털 부분에 자극을 받고, 약 20%의 사람이 전계를 감지하는데, 일부 사람이 이 전계에 괴로움을 느끼는 것으로 보고되었다.⁵

1) 직업종사자의 영향

1966년 소련에서 최초로 전계의 영향에 대한 발표가 있었는데, 국제적인 주목은 1972년부터 받게 되었다. 그 내용은 $400\sim500\text{kV}$ 급의 변전소 구내에서 작업하는 노동자 45명의 건강진단을 실시한 결과, 평균 전계강도 $7.8\sim10\text{kV/m}$, 인체유도전류 약 $120\mu\text{A}$ 에서 26명이 중추신경계의 기능 장애를 일으켰고, 12명이 심장혈관계에 이상이 생겼으며, 14명은 심전도 이상, 41명은 두통, 피로, 수면부족 및 소화계 이상을 호소하였다고 한다.

이런 연구결과는 생리학적 연구에서도 나타났으며, 비슷한 증상이 500kV 변전소 노동자 250명 중에서도 발생했기 때문에 1971년에 전계강도와 노출시간에 관한 노동위생법을 제정했다.

그러나 위의 연구결과에 대해서 요인분석이 불충분하다는 지적이 많이 있었는데, 주요 사항으로는 소련의 전기 종사자의 건강문제는 전계에 의한 직접 유도전류에 기인하는 것

이 아니고, 과도적인 미소방전, 변전소 설비에서의 저주파 소음, 오존 및 가솔린, 기계류의 회발물질 등에 의한 것이 아닌가 하는 의혹이 제기되기도 했다.

미국에서는 1973년 Johns Hopkins대학 의학부에서 송전선로 작업원을 대상으로 일반적인 건강 진단을 실시한 결과 이상이 없는 것으로 보고되었으나 해석이 정량적이지 못하고 비노출지역이 나타나 있지 않는 등 연구 방법에 문제가 있다는 지적이 있었다.

1979년 캐나다에서는 전계 노출량을 정량화하고 전기 관련 종사자 30명을 대상으로 뇌파, 심전도, 헤모글로빈, 소변, 혈구, 혈중 칼슘 및 염화물 등 22종류의 검사와 신경학 및 정신 의학적 평가를 실시하였다.

그 결과 노출지역과 비 노출지역간에 차이가 발견되지 않았다고 보고되었다. 이 연구에서는 매일의 전계 노출량의 추정치가 선로 작업원이 $6.9\text{kV/m} \cdot \text{h}$, 변전소작업원이 $12.7\text{kV/m} \cdot \text{h}$ 라고 밝히고 있는데 전계노출량을 <전계강도 × 시간>으로 최초로 표시하여 그 중요성을 인정받았다.

이밖에도 몇 건의 연구결과가 보고되고 있지만 1984년 WHO는 전계영향에 관한 보고가 전계 노출량, 전기 종사자의 근로시간, 기타 물리적·화학적 노출의 유무 등에 관한 세부사항이 결여되어 있어 일반적인 결론 유출이 곤란하다고 판정했으며, 최근에 이르기까지 관련 연구가 꾸준히 지속되고 있다.

2) 일반인에 대한 영향

성인이나 소아의 암과 자장파의 관계에 대하여 서술한 보고서가 현재까지 몇 건이 있지만 일반인이 전계노출에 의해서 건강에 영향을 받는다는 보고는 아직 없다. 다만, 임산부가 전기모포를 사용하면 유산하기 쉽다는 역학조사가 있다.

프랑스에서 송전선 인근 주민의 노출지역과 비 노출지역을 구분하여 200kV 및 400kV 송전선 25m 이내에 거주하고 있는 70명

의 남성과 65명의 여성, 132명의 어린이와 송전선에서 125m 이상 떨어져 있는 74명의 남성, 64명의 여성과 120명의 어린이에 대해 4년간 비교 검토한 결과 의료기록, 통원빈도, 투약에 대한 차이점이 발견되지 않았다.

(3) 암에 대한 영향

ELF전자계에 대한 노출이 인간에게 암과 같은 위험도를 증가시킬 수 있다는 가능성은 큰 관심과 논쟁을 불러 일으키고 있다. 비록 전자계에 대한 노출이 암 발생에 영향을 미친다는 생물학 근거가 제시된 바도 있지만, 반면에 암발생과 무관하다는 실험적 증거도 동시에 존재하고 있다.

1985년에 Smialowicz는 ELF전자계의 면역학적인 영향에 대한 고찰을 통하여 혈액 및 면역계통, 또는 세포수에 대해서 ELF전자계가 생리학적으로 영향을 미친다고 설명할 만한 아무런 근거가 없는 것으로 결론을 내렸고 ELF전자계에 의해 유발된 변화는 대부분 일시적이며 미약하다고 하였다.

ELF전자계 노출에 의한 암유발 가능성에 관한 연구는 1979년과 1982년에 Wertheimer와 Leeper가 발표한 논문으로 본격화되었다. 1979년에 발표한 첫번째 논문에서는

Denver지역에서의 전력 계통 형태와 소아 암 위험도 사이의 관계를 고찰하여 사례집단의 주택에서 비교집단의 주택보다 더 높은 자계 강도가 검출되었다고 보고하고 있다.

이러한 결과는 여러가지 형태의 소아암에 대해 일관성있게 나타났지만 사회적 계층 및 인구통계학적 요인을 고려하지 않았고 노출 기구에 대한 사전 지식이 없는 상태에서 노출 측정이 시행되었기 때문에 타당성 있는 자료로 평가받지 못했다. 또한 1982년 성인암에 대한 연구에서도 유사한 결론을 얻음으로써 이 분야에서 대표적인 연구로 평가받고 있다.

그러나 1980년 Fulton은 Rhode Island에서 백혈병에 걸린 어린이들을 노출집단으로 하여 Wertheimer와 Leeper가 사용한 연구방법을 이용하였지만 백혈병에 걸린 사례집단이 비교집단보다 더 많은 전자계에 노출되었다는 아무런 증거도 발견하지 못했다고 발표했다.

이와같이 ELF전자계의 일반 주민에 대한 노출 영향에 대한 연구는 아직까지 그 범위도 제한적이고 확실한 결론을 내리지 못하고 있으며, 전기직종에 근무하는 사람들에게서 약간 높은 백혈병 발생 및 사망에 관한 자료를 제시하고 있지만 이러한 연구 결과들이 전자계에 직접적인 노출에 의한 것이라고 보기에는 불투명하므로 다양한 혼란변수들에 대한 상세한 분류 및 규명이 선행되어야 할 것이다.⁵⁾

(표 2) 일반 주민의 전자계 노출이 암에 미치는 영향

연구자	연구년도	연구병명	노출설비	영향
Wertheimer(미국)	1979	소아암	송배전선	有
Fulton(미국)	1980	소아 백혈병	송전선	無
Tomenius(스웨덴)	1982	종양	송배전선	有
Wertheimer(미국)	1982	성인암	송배전선	有
Myers(영국)	1984	소아암	송배전선	無

(표 3) 전기관련 직장인의 전자계에 대한 노출이 암에 미치는 영향⁶⁾

연구자	연도	연구대상	결과	직종
Milham(미국)	1982	백혈병에 의한 사망	불명확하지만 가능성 있음.	전기관련 직종
Wright(미국)	1982	백혈병	급성골수성 백혈병이 전기공에 많음.	전기, 전자 기술자, 전기기사
Milham (미국)	1983	백혈병에 의한 사망	급성골수성 백혈병이 통신기사에 많음.	TV, 라디오수리공, 교환원
Mcdowell(영국)	1983	백혈병	전기조립공, 통신기사에 많음.	용접공, 조립물해체공
Pearce(뉴질랜드)	1985	백혈병	전기조립공, TV, 라디오 수리공.	영사기사, 교환원, 통신기사
Lin (미국)	1985	뇌종양	전기, 전자 기술자, 전기공에 많음.	
Calle(미국)	1985	백혈병	전기통신기사에 많음.	

ELF 전자계의 규제 동향

Employment
Facilities

송전선로의 증가 및 송전전압의 초고압화와 더불어 규제나 권고의 차원에서 가장 관심을 끌고 있는 분야는 ELF(Extremely Low Frequency) 전계 즉, 50/60Hz전계이여 인체 유해성에 대한 집중적인 연구가 규제 당국과 여러 과학 단체에서 있었으나 아직 명확하게 규명된 것은 없다. 하지만 일부에서는 인체에 위험을 초래할지도 모른다는 막연한 생각과

함께 지역 이기주의현상으로 송전설비 건설이 지연되거나, 중단된 예를 종종 여론을 통해서 접하게 된다.

우리나라에서는 1989년 12월 체신부령 전파 관리법에 전자파 장해 검정이라는 조항을 추가하고, 1990년 9월에 전자파 장해 검정 규칙과 전자파 장해 시험 방법 및 절차 등에 대한 세부 기술 기준을 고시하여 전자파에 대한 규제를 실시하고 있다.

(표 4) 송전선로 국가기술기준 및 한전 설계기준⁶⁾

전압별	경과지 구분	국가기술기준 (전기설비 기술기준)	설계기준 (전선 최소높이)
154kV	일반지역	6.12m	6.5m
	산악지역	5.12m	5.5m
345kV	일반지역	8.52m	14m
	산악지역	7.52m	10m
765kV	일반지역	13.32m	28m
	산악지역	12.32m	19m

(표 5) 세계 각국의 60Hz 전자계 권고안

구분	국명	규제 또는 권고내용	관련근거
전계	송전선하 최대전계강도	21개국	10kV/m 이하에서 는 유해성이 없다 CIGRE SC36 각 국 의 전계정황에 대한 질문회답(1985)
	EROW 전계강도 (장기노출우려)	미국	EROW에서 1kV/m 권고 Montana 천연자원 보호국
			EROW에서 1.6 kV/m권고 NewYork공익 위원 회
		소련	주거지역에서 1kV/m, 육내에서 0.5 kV/m로 규제 소련 위생규칙
		160개국	장기간 노출시 1- 10kV/m의 범위에 서 가능한한 낮게 유지하도록 권고 WHO환경건강기준 35 저 주파 전 계 (1984)
	자계	서독	4.4mT를 전기설비 설계기준으로 채용
	호주		변전소 작업원을 대 상으로 0.3mT를 설 계기준으로 채용

결 론

실험에 의하면 10kV/m의 전계강도에서 인체에 유기되는 전류는 수십mA정도이어서 단기간 노출시에는 별다른 문제가 없는 것으로 밝혀졌다.

기기에서 유기되는 유도전류는 기기에 따라 다르지만 자동차와 같이 큰 물체도 1kV/m당 최대 0.6mA정도의 크기로 유기되

므로 일반 전기, 전자기기
에 유도되는 전류는 지극히 적다고 할 수 있다.

또한 자계의 경우, 대형
변압기 주위나 고압 전력
선이 건물내로 지나가는
곳에서 자계강도가 약
1A/m(12.5mG) 이상 될
시에는 CRT화면이 진동
하는 등 영향을 나타내기
도 하지만, 가공 송전선에
서 어느정도 떨어진 곳에
서는 이보다 작기 때문에
별 영향이 없는 것으로 나
타났다. 오랜 시간 자계의
노출에 대한 영향평가는
현재까지 없는 상태로 이
분야에 대한 많은 연구가
지속되고 있다. **ss**

6. "Environmental Health Criteria 35", WHO, 1985.

7. "송전선로와 전자파", 한국전력공사, 1996.