

# 超高壓 電力設備의 電氣環境障害와 對策技術 開發

이동일\*, 김정부\*  
(\*전력연구원 전력계통운영실)

## 1. 서론

국가 경제발전과 국민 생활수준의 향상으로 電力使用의 증가에 따라 생활 주변에 전력설비가 늘어나고 있으며, 국민들의 環境에 대한 의식수준의 향상으로 電氣環境에 대한 관심도 점점 증가되고 있다. 따라서 전력설비의 설계에 있어서 전기환경에 대한 검토 없이는 전력설비의 운용에 어려움이 예상되므로 전기환경에 대한 정확한 고려는 필수적이다. 전기환경하면 너무나 포괄적이기 때문에 최근 우리 전력계의 가장 큰 관심사항인 송진전압 격상을 중심으로 전기환경장애 항목과 이에 대한 대책기술 중심으로 기술하고자 한다. 우리나라의 최고 송진전압을 345 kV에서 765 kV로 격상하는 사업이 시작되면서 전기환경에 대한 적극적인 검토가 시작되었으며 500 kV이상에서 현상으로 우려되는 코로나에 의한 전기환경장애가 주목받고 있다. 이것은 송전도체에서 강우시 도체표면 전계강도가 주변공기의 코로나 臨界電界値이상이 됨에 따른 도체 주변공간의 空氣絶緣이 局部的으로 파괴되는 코로나현상으로 인하여 빛, 가청소음, 라디오장애, TV장애, 도체진동 그리고 오존 등이 발생하고 이와 같은 발생원의 에너지는 공급되는 전력의 손실로서 코로나 손이 되는 것이며, 또한 높은 전압에 의한 靜電誘導와 큰 부하전류에 의한 電磁誘導 문제는 특히 電磁界(Electro Magnetic Fields) 노출에 따른 인체의 유해여부 문제로 마스크에 자주 거론되면서 電磁波 인체 유해 관점으로 확산되면서 환경단체와 정부차원에서 전자계 노출 제한치나 권고치 制定이 논의되고 있는 실정이다. 765 kV 송전선의 도체선정에서는 단순한 電流容量뿐만 아니라 코로나에 의한 電氣環境障害를 만족하는 도체의 選定, 송전선의 최적 相配置, 적절한 地上高를 유지토록 하여야 하며, 이러한 환경장애요소들의 정확한 해석과 대책강구가 부족할 시는 送電線路 建設後 線路 인근 주변의 不平을 惹起시키므로 이에 대한 대책으로 도체의 表面電界強度를 낮추기 위하여 굵은 도체나 複導體 方式의 채택, 2회선 송전선의

역상배열, 인가지역 송전선로의 높은 지상고 유지 등을 대책으로 검토한다. 이러한 검토는 송전선로가 건설되는 지역의 기압, 강우강도, 풍속 등의 기후조건과 채용하는 전압방식, 송진철탑 구성 등을 고려하여 외국의 유사한 경우를 참고하여 이론적인 예측도 가능하지만, 우리나라 765 kV와 같이 다른 나라에서 사용한 예가 없는 765 kV 垂直配列 2기線 송진방식에서는 이론적 방법만으로 검토하는 것이 한계가 있어 단순히 외국의 자료를 인용하여 설계치 않고, 한전에서는 單相 模擬 試驗線路인 코로나 케이지(Corona Cage)와 實規模 實證試驗線路를 건설하여 장기간의 실증시험을 통한 연구결과를 토대로 현재 건설되고 있는 765 kV 선로의 전기환경설계를 하였다.

따라서 本 稿에서는 우리 나라 전력설비중 가장 높은 전압의 송전선로인 765 kV 송전선로의 전기환경설계과정을 중심으로 전력설비의 전기환경에 대하여 다른 국가의 설계 지침이나 규격 또는 우리나라 법규 및 다른 제반조건들과 비교 검토하고, 전기환경 대책에 대하여 간단히 서술하였다.

## 2. 超高壓 送電線路 設計와 環境障害

초고압 대형송전선로로 인한 환경문제는 크게 코로나 방전 및 유도에 의한 電氣的 環境장애와 철탑 구조물의 대형화에 따른 風騒音 과 TV Ghost등의 機械的 環境장애로 표 1과 같이 구분할 수 있다.

표 1의 장애항목중 전기적 장애가 주 검토항목이며 지역 조건과 기후에 따라 기계적 장애 항목도 중요한 검토항목이 될 수 있다. 전기적장애중 오존은 지금까지의 연구결과로는 영향이 미미한 것으로 조사되었다. 가장 중요한 항목으로는 전기적장애중 코로나소음이며 이것은 765 kV 송전선로의 도체선정에 가장 고려하는 항목으로 電磁波 장애와 더불어 주 檢討項目으로 취급되었다.

최근 교육부에서 권장하는 '광역화'는 모집단위에서 공학교육의 전문적인 특수성을 전혀 감안하지 않는, 이른바 'melting/fusion' 상태의 화학 결합을 요구하고 있다. 그래서 '정보통신공학부', '전자정보학부' 등으로 하는 단일교과과정내에서 전기공학은 몇 개의 선택과목만으로 대체하게 되는데, 그렇게 되면 오랜동안 발전해 온 '전기공학'의 광범위한 학문적인 내용의 수용이 불가능하게 된다. 또한 60년대부터 뿌리 내린 '전기기사 및 기술사제도'에서 전기기술자들에게 요구되는 최소한의 전공내용도 교육 될 수가 없다. 광범위한 학문내용을 단지 몇 과목으로 축약하게 되면 이론의 연계성이 결여되어 난해한 교과목이 될수 밖에 없고, 그러면 유행에 편승하는 학생들이 기피할 것이 뻔하므로 '좁은 의미의 전기공학'인 전력에너지 분야는 없어지게 된다. 그렇게 되면 국가산업의 근본이 되는 전력산업에 필요한 전기기술자 양성에도 부응하지 못하여 교육의 최종 수요자인 국가와 사회의 요구를 따를수가 없게 된다.

따라서 모집단위의 광역화에 대하여 냉철하게 생각해볼 필요가 있다. 예를 들면 화학공학, 토목공학, 기계공학, 의학, 생물학등을 서로 단일화 하거나 통합하지는 않는다. 이는 각 분야가 존재해야 할 필요성이 분명하기 때문이다. 그렇다면 전기, 전자, 정보통신, 컴퓨터등은 현대사회에서 각각 독자적인 역할이 없고, 각각으로 존재해야 하는 이유가 없다는 것인지? 최근 산업기술 전반의 급속한 발달로 더욱 필요하고 존재이유가 확실해져 가고 있다. 필자가 속한 대학의 예 만 하더라도 전기공학과의 취업율이 전자, 컴퓨터, 정보등에 비하여 매년 높은 것을 보면, 최종수요자인 국가와 산업사회에 그 필요성이 입증되고도 남는다. 더구나 향후 예상되는 '남북경제협력'은 교통, 전력, 통신의 기반산업으로부터 시작된다고 볼 때 같은 기간산업인데도 '통신'에 비해 '전력'분야의 인력부족은 더욱 더 심각할 것이다. 게다가 대학에서 전기공학 분야가 무너지면서 전문대학, 공업고등학교까지도 전기과가 위축되어 커다란 시련을 겪고 있는 중이다.

전공과목과 졸업생의 진로와 역할이 각각 다르고, 인력수요가 크다면 오히려 통합보다는 각 분야를 특성화시켜 적극적으로 육성해야 만 한다. 더구나 다양화되고 무한한 경쟁의 시대가 될수록 대학은 교양인보다는 더욱 특별한 전공인을 양성해야 만 한다. 게다가 여러 전공인끼리 협력하는 '팀웍' 정신으로 시스템을 다루어가는 특별한 전공교육까지도 이루어져야 한다. 혼자 틀어박혀 주로 컴퓨터만으로 교양 정도의 '수박겉핥기'식 전공교육만을 받은 '우리의 제자'에게, 어떻게 깊고 심화되어 가는 고도의 기술을 담당하게 할 것인가? 미래의 기술사회는 매우 다양하고 복잡적이며 난해하기 때문에 '단일분야'로는 여러가지 기술들을 모두 다룰 수 없다. 전기, 전자, 정보, 컴퓨터는 물론 기계, 재료공학등 다양한 분야가 시스템을 구성하는 핵심요소로서, 모두 필요하다. 여러 분야의 전문인이 모여 팀웍으로 협력하며 공동해결해 가는 이른바 'System Integration' 개념이라야 한다. 그러자면 교양정도의 전공교육을 받은 '모래알 같은 의식을 갖는 1인' 만으로는 안된다.

이러한 상황에서 정보통신부는 정보화 촉진기금 600억원을 2001년부터 2년간 정보통신관련 학과를 신설하거나 증원하는 정규 교육기관에 지원하기로 하는등 정보통신분야의 인력양성에 팔을 걷어 부치고 적극 나서고 있다(디지털 타임즈 2000년 7월 5일). 즉 대학원 20개교에 200억원, 대학교 30개교에 210억원, 전문대학 25개교에 125억원, 특성화 중학교 16개교에 65억원을 2년간 지원한다. 더 나아가 해외유학자금까지도 2000년 70명(15억원)에서 점차 확대, 신설학과 졸업생이 배출되는 2005년에는 250명(50억원)을 지원하기로 하는등의 계획을 세우고 교육부와 협의하여 대학 총·학장 간담회를 개최한 후 각 대학으로부터 사업수행계획서를 받아 지원금을 지원한다고 한다.

이미 정보통신부에서는 1990년대 초반부터 정보화촉진기금등으로 오로지 전파공학과, 정보통신공학과등의 분야의 우수인력양성 만을 화끈(?)하게 밀어주고 있다. 이와는 대조적으로 4대 기간산업의 한 축을 이루는 '전력에너지분야'의 주무부처인 산업자원부는 상대적으로 인력양성에 관한 한 정책적 뒷받침이 아직까지 전혀 없다. 그동안 우수인력을 너무 쉽게 공급받아 그 심각성은 물론 필요성마저도 인식이 안된 까닭인지, 보살펴야 할 분야가 너무 많아서인지, 스스로 살라고 한다(전기신문 2000년 8월14일). 그러나 확실한 정책지원이 보장되는 정보통신분야로 모든 것이 편중되는 것이 아닌가?

필자가 만난 교육부 담당자는 "수요부처에서 요청하면 교육부는 무조건 들어줄 수 밖에 없다"고 강조한다. 이보다 더 확실한 '인력양성의 지원방안'은 없다는 것이다.

따라서 정보통신분야에 비하여 상대적으로 전기공학의 실망은 없다. 수요는 많아도 비인기인 시대상황에다, 수요부처의 정책적인 뒷받침까지도 없는 '기간산업으로서의 전기공학'의 홀로서기는 상대적으로 정말 힘겨울 뿐이다. 그러나 교육의 최종 수요자인 국가와 산업사회의 수요에도 불구하고 고사지경에 처한 전기공학을 이대로 놓아 둘 수는 없지 않은가? 이제 전기인들은 모두 합심하여 전력산업의 수요부처에 '정보통신부의 정보화촉진기금'보다 우위의 이른바 '전력기술진흥기금' 등의 지원 정책을 수립하도록 촉구하는등 자구책을 세우도록 노력해야 한다. 더 나아가 '전기공학이 늙어 수명을 다한 학문이 아니라, 이제까지 오랜세월을 지속적으로 발전해오며 파생학문들을 잉태하고 탄생시켜 왔듯이, 未來指向의이며 無限한 연구개척분야를 갖는 목직학 학문'임을 전기인 스스로 확신하고 노력해야 만 한다.

**'이제는 전기인들의 강한 자존심을 바탕으로, 중지와 힘을 모아 미래를 준비해야 할 때다.'** /

표 1. 송전선로 환경장애 분류

분류	발생원	장애 종류	대상	장애 현상
전기적 장애	전 압	코로나소음 전자파잡음  오존 정전유도 코로나 손	인간, 동물 TV 수상기 라디오 수신기 인간, 동식물 인간, 동식물	Random/Hum음 장애 화상 장애 청취 장애 광화학 Oxidant 농도 변화 전압, 전류에 의한 감지 전력손실
	전 류	전자유도 이온류대전	인간, 동식물 인간, 동식물	전류에 의한 영향 직류송전선에 의한 대전
기계적 장애	설 비	TV전파장애 풍소음 경관장애	TV 수상기 인간 인간	방송수신품질 저감 탁월음 장애 시각 장애
기타장애	설 비	난반사 낙설 또는 낙우	인간 농작물	전선과 철탑에 의한 난반사 전선에 쌓인 눈과 빗방울의 탈락에 의한 선하 농작물 피해

### 3. 送電線路 電氣環境障害 檢討項目

우리나라 765 kV 1차 송전선로의 환경장애 검토에서는 송전선 설계의 가장 기본이 되는 最適導體 選定을 위하여서는 可聽 騒音과 電磁波 雜音을 검토하였으며, 송전선로의 지상고 결정을 위하여 地表面電界強度 즉, 靜電誘導項日을 그리고 국부적인 환경장애 문제로 예견되는 기계적 환경장애 항목인 TV 電波障害와 風騒音의 대책을 위한 검토연구가 계속되고 있다. 따라서 이러한 한전 765 kV 1차 송전선로의 각각의 환경장애 항목이 송전선 설계에 어떻게 적용되었고, 국내의 환경장애 기준은 물론 외국의 기준과 비교 검토하여 보았다.

#### 3.1 可聽騒音(Audible Noise)

騒音은 요즘 환경관점에서 주요로 점점 부각되고 있으며, 보통 送電시스템에서 발생하는 소음은 일반적인 자동차, 항공기의 소음에 비해 문제가 되지 않고 있으나, 765 kV와 같은 초고압 송전선로에서는 송전도체에서 발생하는 코로나나 잭방전에 의한 소음이 관심의 대상이 되고 있다. 이중 주관심대상인 코로나 소음은 맑은 날씨에서는 도체표면 전계강도가 코로나 임계전계강도 이하로 되어 별 문제가 되지 않으나 비가 오는 경우는 임계 전계강도 이상으로 되어 도체표면의 코로나에 의한 가청소음이 발생된다.

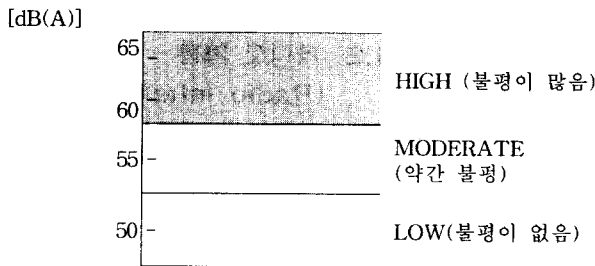


그림 1. 코로나소음과 사회적 불평도

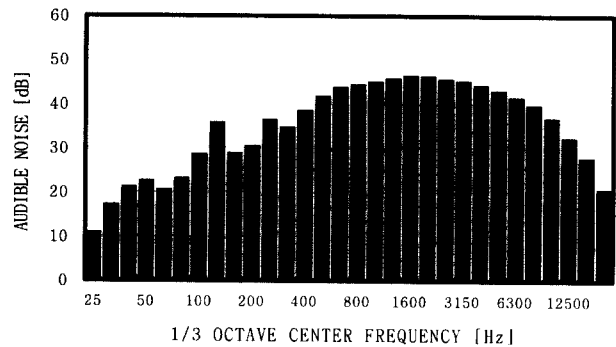


그림 2. 코로나 소음의 Frequency Spectrum (한전 고창 765 kV 시험선로에서의 강우시)

이 코로나소음의 주파수특성은 그림 2의 한전 고창 765 kV 시험선로의 실측치에서도 알 수 있는바와 같이 20 [Hz] ~ 20 kHz의 인간의 가청 주파수영역에서 광범위하게 발생되므로 Random Noise라고도 불리우며, 특히 상용주파수의 배수가 되는 120 [Hz]의 소음이 유난히 크고 저주파인 관계로 遮音이나 距離減殺效果가 적고 단일주파수 특성을 갖고 있어 Hum Noise로 분리하여 검토하기도 한다. 그림 1의 송전선로의 코로나소음에 대한 사회적 불평도에서 나타난 것과 같이 53 dB(A)이하에서는 거의 코로나소음에 대한 불평이 없음을 알 수 있다. 그러나 소음에서 느끼는 불평도는 발생빈도와 시간, 주변의 소음레벨등에 따라 달라지므로 미국의 EPA(Environmental Protection Agency)는 Ldn (Equivalent Day-night Sound Level)와 Leq (Equivalent Sound Level)를 이용하여 소음치를 규정하고 있다. [1]

여기서,

$$Leq = 10 \log_{10} [1/(t_2 - t_1) \int_{t_1}^{t_2} \frac{P^2(t)}{P_{ref}^2} dt]^{1/2}$$

이식에서, P(t) : A 보정 음압이고,

Pref : 기준음압으로 2 X 10<sup>-5</sup> N/m<sup>2</sup>

t<sup>2</sup> - t<sup>1</sup> : 계산시간



L<sub>dn</sub>은 야간의 소음에 민감한 것을 고려한 것으로

L<sub>dn</sub> = L<sub>eq</sub> - 10 dB(A) 이다.

미국 EPA의 소음기준은 표 2와 같고, 미국 각주와 일본의 소음기준은 표 3과 표 4와 같다.

표 2. 미국 EPA 騒音基準<sup>[2]</sup>

영향	허용 기준	적용 지역
옥외	L <sub>dn</sub> ≤ 55 dB(A)	주택지, 능지, 사람들의 활동시간이 다양한 지역, 기본적으로 정숙해야 하는 지역
	L <sub>eq</sub> (24) ≤ 55 dB(A)	운동장에서 교정같이 제한된 시간을 보내는 지역
실내	L <sub>dn</sub> ≤ 45 dB(A)	주택지의 실내
	L <sub>eq</sub> (24) ≤ 45 dB(A)	사람들이 활동하는 지역

표 3. 미국 각주의 住居地域 騒音規制 [dB(A)]<sup>[2]</sup>

주	주거지의 최대 허용 소음		비고
	주간	야간	
Colorado	55	50	
Oregon	60	55	사유지(私有地)
New Jersey	65	50	Octave band level
Illinois	55	45	Class A 소음권 (주택지)
	55	45	Class B (상업지역)
	61	51	Class C (공업지역)

표 4. 일본 環境 騒音基準 [dB(A)]<sup>[2]</sup>

지역	시간 구분		
	주간	조식	야간
정숙을 요하는 지역	45 이하	40이하	35이하
주거용 지역	50	45	40
상공업 지역	60	55	50

상기 표의 각국의 환경소음기준을 참고하여 표 6과 같이 각국에서는 코로나소음 기준으로 활용하고 있다.

BPA전력회사는 L<sub>50</sub> = (53 ± 2) dB(A), PASNY는 L<sub>50</sub> = 53 dB(A)로, 일본 전력회사는 L<sub>50</sub> = 50 dB(A), 이태리 ENEL L<sub>50</sub> = 52-53 dB(A)로 한국은 일본과 같이 국토가 좁은관계로 L<sub>50</sub> = 50 dB(A)로 정하였다.

표 5. 한국의 環境 騒音基準 [dB(A)]<sup>[3]</sup>

지역구분	적용대상지역	기준	
		06:00 낮 ~ 22:00	22:00 밤 ~ 00:00
일반지역	녹지지역, 학교&병원 50m 이내 등 도시계획법상 주거지역 등 도시계획법상 상업&준공업지역 도시계획법상 공업지역	50	40
		55	45
		65	55
		70	65
도로변지역	녹지지역, 학교&병원 50m 이내 등 도시계획법상 주거지역 등 도시계획법상 상업&준공업지역 도시계획법상 공업지역	65	55
		65	55
		70	60
		75	70

표 6. 각국의 코로나 소음기준

나라	기관	코로나소음 측정치 dB(A)	코로나소음으로 인한 불평	대책
미국	BPA	ROW 경계에서 L <sub>50</sub> =(53±2)	초기의 500 kV 송전선(63.5 mm φ 단도체)에서 발생	63.5 mm φ 단도체를 3 x 30.5 mm φ 로 변경 (주택 지역)
	PASNY	ROW부근주택침실: 35 dB(A) 이하 선로중심으로부터 125ft지점 L <sub>50</sub> =53	345 kV 선로에서는 전혀 없었으나 765 kV 송전선에서 36건 발생	침실소음이 35 dB(A)를 초과금지. 주민들의 요구에 따라서는 매주 또는 이전에 응함.
이탈리아	ENEL	L <sub>50</sub> =58~59 L <sub>50</sub> =52~53	400 kV 송전선에서는 없음	불평이 발생하면 설득하거나 ROW를 매수할 것을 고려중
영국	CEGB	없음	400 kV 2도체 송전선의 경우시 발생	2도체를 4도체로 변경해서 저감
일본	TEPCO	L <sub>50</sub> =50	500 kV 이상 송전선에서 발생	저음소음 보강능 대책 강구
한국	KEPCO	L <sub>50</sub> =50	345 kV 송전선에서는 없음	765 kV 대비 대책강구

한전 765 kV 1차사업용 송전도체 방식으로 선정된 480 mm(Cardinal) X 6 도체/相 도체배열을 고창 765 kV 실증시험장에 가선하여 장기간 시험하고 계산한 결과인 표 7을 보면 우리나라 소음기준을 만족함을 알 수 있다.

표 7. 한전 765 kV의 코로나소음 측정치와 계산치<sup>[5]</sup> (dB(A))

선로전압 (Gradient)	630 kV (12.2 kV/cm)			765 kV (14.8 kV/cm)			783 kV (15.2 kV/cm)			800 kV (15.5 kV/cm)			
	RL5	RL50	FL50	RL5	RL50	FL50	RL5	RL50	FL50	RL5	RL50	FL50	
구분	KEPCO	51.2	43.2	41.8	32.7	48.1	42.0	53.2	49.7	44.5	53.6	51.2	46.8
측정치	메이터수	37	2709	2363	50632	158	2385	125	2233				
	동가기준 강우강도	6.1	1.2	-	9.8	1.1	-	13.3	1.0	-	3.5	1.2	-
	측정기간	'96.9.30~11.1			'95.10.9~'96.10.31			'96.9.12~10.6			'96.9.6~'97.2.25		
계산치	BPA	41.6	38.1	13.0	51.7	48.2	23.2	53.0	49.5	24.4	54.1	50.6	

- 주) 1. RL5, RL50: 강우시(Rain) L5%치 및 L50%치
- 2. FL50 : 청명시(Fair) L50%치
- 3. Gradient : Average Maximum Bundle Gradient, kV/cm

### 3.2. 라디오 障害 (Radio Interference)

라디오 雜音이란 전력설비에서 바람직 못한 전자파로 인해 라디오 방송주파수 대역에서 발생하는 잡음으로 주로 AM 방송주파수 대역인 535 - 1605 kHz가 문제가 된다. 라디오장애는 송전선로와 수신기간의 거리, 수신안테나

TABLE 9.1: Field Strengths for Reliable Service, AM Broadcast

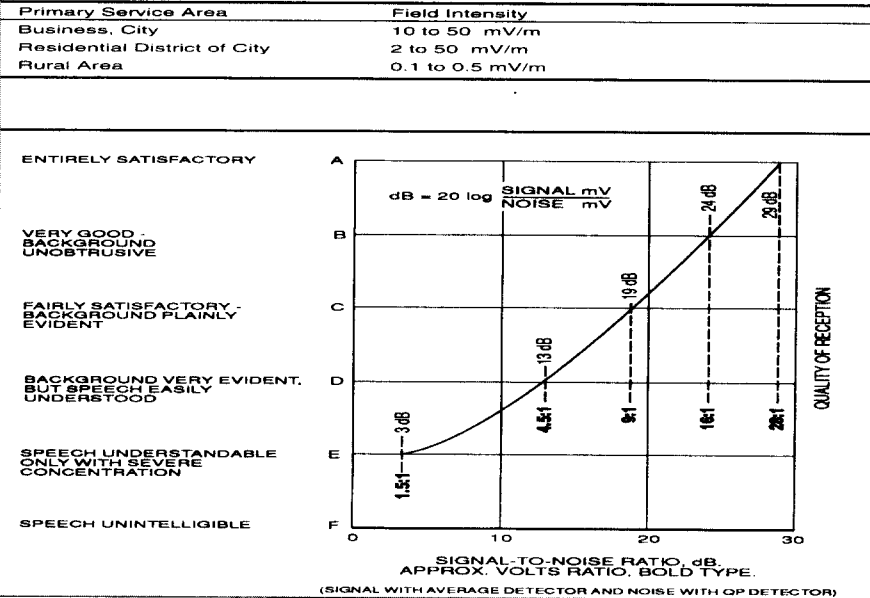


그림 3. 라디오장해 방송수신품질 평가기준<sup>(6)</sup>

방향, 송전선구조, 기후조건등에 따라 결정되어진다. IEEE 소위원회에서 제안한 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 SNR(Signal to Noise Ratio)로 라디오장해 방송수신품질을 평가하는데 SNR= 24 dB이상이면 방송수신 품질면에서 아주 양호함을 알 수 있어 한전 765 kV도 이 기준에 따랐다. SNR의 산정은 표 7과 같은 우리나라 방송구역 전계강도중 라디오 표준방송을 하는 방송국의 저잡음지역을 신호강도 (Signal: 71 dB  $\mu$ V/m)로 하여 송전선에서 발생한 라디오 장해파와의 차이로 구한다.

표 8. 765 kV 시험선로 라디오장해 측정결과

기상	RI1 [dB $\mu$ V/m]		RI2 [dB $\mu$ V/m]		RI3 [dB $\mu$ V/m]		RI4 [dB $\mu$ V/m]	
	L <sub>5</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>50</sub>
청명	54.9	47.6	51.9	44.3	48.9	41.4	47.5	40.1
강우	73.3	66.4	69.4	62.1	65.2	57.7	61.6	54.5

- \* 측정 안테나 RI1 위치 : 환경장해 평가위치 3m 대응지점
- \* 측정 안테나 RI2 위치 : 환경장해 평가위치 14m 대응지점

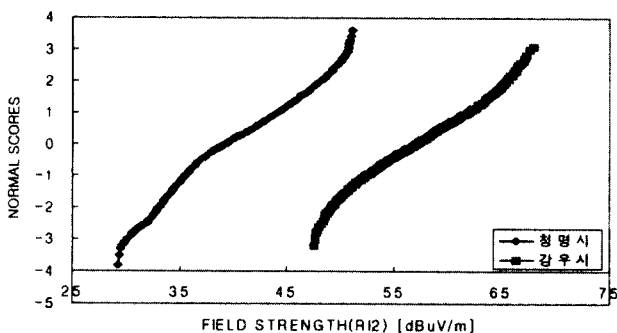


그림 4. 라디오장해 통계분포특성(Cumulative Probability of RI)

### 3.2 텔레비전 障害 (TV Interference)

텔레비전 잡음이란 라디오 잡음과 마찬가지로 전력설비에서 바람직하지 못한 전자파로 인해 텔레비전 방송주파수대역에서 발생하는 잡음으로 UHF와 VHF주파수 대역인 MHz 대역이 문제가 된다. 또한 텔레비전 장해도 송전선로와 수신기간의 거리, 수신안테나 방향, 송전선구조, 기후 조건등에 따라 결정되어진다. 텔레비전 장해도 방송수신품질을 평가하는데도 라디오장해경우와 같은 방식이며 SNR= 40 dB이상이면 방송수신 품질면에서 수신에 방해가되지 않음을 EPRI에서 제안한 그림 6의 자료로 부터도 알 수 있어 한전 765 [kV] 텔레비전장해기준도 이 기준에 따랐다.

표 9. 잡음 등급별 방송구역 전계강도기준<sup>(5)</sup>

방송국	방송구역전계강도 (mV/m) (dB $\mu$ V/m)			비고
	고잡음 지역	중잡음 지역	저잡음 지역	
표준방송을 하는 방송국	7.0 (77)	5.0 (74)	3.5 (71)	초단파 및 텔레비전방송을 하는 방송국의 전계강도(텔레비전방송의 경우 동기신호파형의 첨두치에 의한다)의 측정은 지상 4미터 높이를 기준으로 한다.
초단파 및 초단파 다중방송을 하는 방송국	31.6 (70)	1.0 (60)	0.25 (48)	
텔레비전 방송 및 문자방송을 하는 방송국	VHF	5.0 (74)	2.5 (68) (54)	
	UHF	31.6(70)		

표 10. 765 [kV] 시험선로 TV장해 측정결과

기상	T11 (dB $\mu$ V/m)		T12 (dB $\mu$ V/m)		T13 (dB $\mu$ V/m)	
	L <sub>5</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>50</sub>	L <sub>5</sub>	L <sub>50</sub>
청명	12.3	9.6	12.2	9.7	10.6	8.2
강우	17.7	14.0	18.2	14.3	17.6	13.6

SNR의 산정은 표 7과 같은 우리나라 방송구역 전계강도중 텔레비전방송 및 텔레비전 문자방송을 하는 방송국의 VHF대역의 저잡음지역을 신호강도(Signal: 54 dB  $\mu$ V/m)로 하여 송전선에서 발생한 텔레비전잡음과의 차이로 구한다.

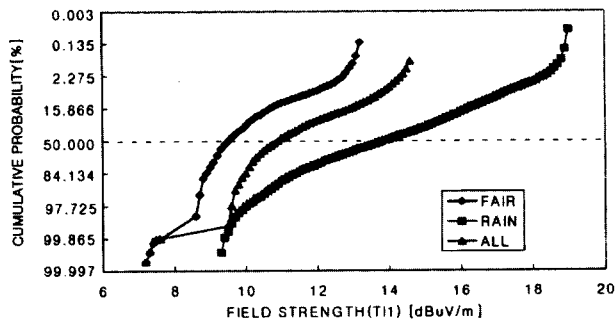


그림 5. 텔레비전장해 통계분포특성<sup>(6)</sup>

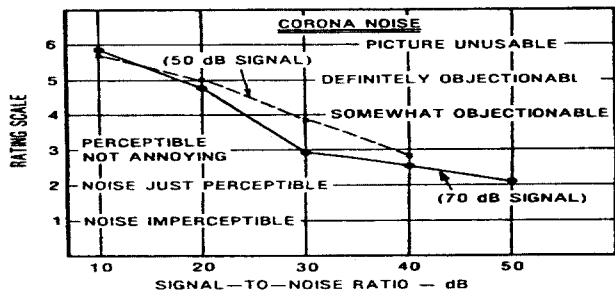


그림 6. 텔레비전장해 방송수신품질 평가기준

### 3.4 靜電誘導(Electric Induction)

정전유도는 고전압의 물체가 다른 물체에 발생시키는 전기적 유도를 의미하며, 이것은 피유도물체가 接地되어 유도전류가 흘러 문제되는 경우와 피유도물체가 절연이 되어 유도전압이 문제가 되는 경우로 나눌 수 있는데 송전선로 지상고 결정의 기준이 되는 지표면전계 강도면에서는 후자가 지배적이다.

고압 송전선하의 지표면근처에서의 전계세기는 송전전압, 송전선로의 기하학적 모양, 송전철탑 접지체의 근접 그리고 지표면으로부터의 측정점 높이이며, 지표면전계강도는 송전선하의 지표로부터 1 m 높이에서 측정치를 표준으로 하고 있으며, 표 8과 9의 각국 및 기관의 지표면전계강도 기준을 근거하여 한전 765 [kV] 송전선로 경우도 인가지역에서는 최저지상고 28 m 이상으로 3.5 kV/m 이하의 지표면전계강도를 산악지등 사람의 출입이 빈번치 않은 지역에서는 최저지상고 19 m 이상으로 유지하여 7.0 kV/m 이하의 지표면전계강도를 유지토록 하였다.

표 11. 세계보건기구(WHO)산하의 IRPA/ICNIRP 권고안(1997)

주파수 대역	전계(kV/m)		비 고
	일반인	직업인	
0 ~ 1 Hz	-	-	
1 ~ 8 Hz	10	20	f in Hz
8 ~ 25 Hz	10	20	"
25 ~ 820 Hz	250/f	500/f	"

\* 우리나라 상용주파 60 Hz 경우  
일반인 : 250/50 = 4.16 kV/m, 직업인 : 500/60 = 8.32 kV/m

표 12. 각국의 지표면 전계강도 제한기준<sup>(4)</sup>

국명(기관명)	전계(kV/m)	조건	비 고	
일본(MITI)	3	보행자, 차량 통행이 빈번한 지역, 선하	전기설비 기술기준	
	5	상기 이외 지역		
남아공(ESCOM)	10		765 kV	
브라질(CEPEL)	10		750 kV, 1회선 수평배열	
폴란드	10	경간 중심	750 kV, 1회선 수평배열	
서독	20.7		상용주파	
한국	3.5	사람 출입이 빈번한 곳, 선하	설계기준 전기설비기술기준 2회선시 역상 배열	
	7	산악지 등 기타지역		
호주	10	선하	1976년	
	2	ROW 경계		
New South Wales	10	선하		
	2	ROW 경계		
구소련(USSR)	15-20	일반지역	비인가지역	
	10	도로횡단		
	1-5	인가지역		
미국	(BPA)	5	ROW 경계	정책(Policy)
	New York	11.8	ROW 경계내	200 mG(max. load)
		11	ROW 경계내	고속도로 횡단 최대치
		1.6	ROW 경계	200 mG(max. load)
	Minnesota	8	ROW 경계내	주환경보전위원회 제한치
	Montana	7	ROW 경계내	
		1	ROW 경계 주거지역	제한치(1983년)
	New Jersey	3	ROW 경계	설계지침(1981년)
	Florida	8	ROW 경계내	69 - 230 kV
		2	ROW 경계	500 kV
Oregon	9	ROW 경계so		

### 3.5 電磁誘導(Magnetic Induction)

송전선과 같은 직선도체에 전류가 흐르면 도체주위에 동심원 모양의 圓形磁界가 존재하며 磁力線의 방향은 암페어의 오른나사법칙에 따라 도체주위에 송전선의 전류흐름 방향의 뒤편에서 볼 때 오른나사의 회전방향으로 발생하며, 교류전력선의 交番磁界에 의하여 전력선부근의 설비에 유도를 일으키는 것을 전자유도라한다.

표 13. 세계보건기구(WHO) 산하의 IRPA/ICNIRP 권고안(1997)

주파수 대역	전계(kV/m)		자계(mG)		비 고
	일반인	직업인	일반인	직업인	
0 ~ 1 Hz	-	-	400,000	2,000,000	
1 ~ 8 Hz	10	20	400,000/f <sup>2</sup>	2,000,000/f <sup>2</sup>	f in Hz
8 ~ 25 Hz	10	20	50,000/f	250,000/f	"
25 ~ 820 Hz	250/f	500/f	50,000/f	250,000/f	"

\* 우리나라 상용주파 60 Hz 경우  
일반인 : 50,000/60 = 833 mG, 직업인 : 250,000/60 = 4,167 mG

표 14. 미국 뉴욕주와 플로리다주의 송전자계 규제치<sup>14)</sup> (mG)

주명	지상권 끝에서 자계 규제치 (mG)	상태	비고
Florida	250	표준치	500 kV 송전선로 특정 ROW의 자계크기
	200	표준치	500 kV 송전선로 중심에서 부터 21 m 지점의 자계 크기
	150	"	230 kV 송전선로 중심에서 부터 19 m 지점의 자계 크기
New York	200	규제치	500 kV 송전선로 중심에서 부터 21 m 지점의 자계 크기

표 15. 각국의 상용주파 전원의 자계 제한기준<sup>14)</sup> (mG)

국가별	직업자	일반대중	상태	비고
호주	as IRPA	as IRPA	권고안	WHO 환경보건기준 (1969) IRPA(1996)치 준용 (한전 기준)
독일	50,000	50,000	표준치	
영국 (NRPB)	20,000	20,000	권고안	
미국 (ACGIH)	10,000		권고안	
구소련	75,000 ~18,000			
일본		50,000	권고안	
한국		1,000	한전설계기준	

주) NRPB : National Radiological Protection Board(국가 무성 보호 위원회)  
 IRPA : International Radiation Protection Association(국제방사선 보호협회)  
 ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists  
 (미국 정부산업위생학자 학회)  
 ICNIRP : International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection  
 (국제 비전리 방사선보호위원회)

### 3.6 電磁界 生體影響

지금까지 전력설비에서 발생하는 전자계로 인하여 주변의 생체계에 영향을 주는지에 관하여는 수많은 연구가 행하여져 왔다. 그러나 아직까지 정확히 영향이 있다고 입증하여 규명된 것은 없는 상황이며, 외국의 연구사례에서도 보면 일부연구에서 영향이 있다고 하였으나, 반복시험에서는 같은 현상이 나타나지 않은 예가 많아 입증되지 않고 있고, 대부분의 생체연구에서 영향이 없는 것으로 보고되고 있다. 국내에서 일부대학에서 소규모로 쥐에게 전자계를 노출시켜 생체영향이 있는 것으로 보고하였으나, 노출장치가 이 분야에서 인정하는 조건을 갖춘 장치(Clean Room)가 아니어서 연구결과를 국제적으로 인정받지 못한 상태이나 국내 매스컴에 보도되어 국민들을 오도 한 적이 있다. 따라서 한전 전력연구원에서 이러한 신뢰성이 부족한 연구결과가 검증없이 언론에 보도 되므로써 국민들이 오해를 갖고 송전선로 건설에 부정적인 시각을 갖고 있으므로, 국민들에게 정확한 전자계 생체영향 연구결과를 알리기 위하여 세계적으로 권위있는 미국전력연구소(EPRI)와 국제공동연구로 미국 BPA 전력회사 500 kV 송전선로하에 우리나라의 송전선로 평균전자계강도(전계:0.75 kV/m, 자계:19.4 mG) 수치보

다 높은 평균전계강도 3.85 kV/m, 평균자계강도 39.19 mG 조건에서 양 45마리를 3개군(전자계노출군, 자계노출군, 비노출군)으로 나누어 매달 피를 뽑아 비교한 결과 항암작용을 하는 것으로 알려진 IL1과 면역작용을 하는 것으로 알려진 IL2, 그리고 그밖에 면역기능을 가진 혈액중 세포에서도 변화가 없는 것으로 확인하였다.

이번 연구가 국내에서 처음으로 신뢰성 있는 전자계 생체연구의 시작이 되었으며, 이러한 연구결과를 국민들에게 제공하여 국민들이 전자계 영향에 대하여 올바른 판단의 홍보자료로 제공하고자 하며, 전력연구원에서는 쥐를 이용한 후속연구를 준비중에 있다. 또한 WHO 산하 전자계 분야 연구와 기준설정 주도하고 있는 국제비전리 방사선보호위원회(ICNIRP) 주최로 2000년 5월에 일본에서 개최된 제 4차워크샵에서는 전자계 생체영향연구분야는 국제적으로 실험실이 이 분야 실험을 수행할 수 있을 정도로 인증을 받지 못한 곳에서 실험한 연구

결과는 인정치 않기로 결정한바있어 지금까지 연구의 신뢰성이 검증없이 발표되던 전자계 생체분야연구에 체계가 잡힐 것으로 기대된다.



그림 7. 미국 500 kV 송전선로 직하의 사육양의 전자계 시험장면

## 4. 電氣環境障害 對策技術

앞 절에서 전기환경대책에 대하여 간접적으로 많이 언급



이 되었으므로 아래와 같이 몇 가지 항목만 요약하였다.

### 4.1 코로나 障害對策

코로나를 원인으로 발생하는 가청소음, 전자파 잡음(라디오 및 텔레비전 장애)에 대한 대책으로는 송전선로의 경우 도체 굵기의 최적화이다. 즉 코로나 방전 개시전압에 이르지 않는 정도의 도체지름이 큰 것을 선택하거나 상당 소도체수를 여러 가닥으로 하는 多重導體 方式을 채택하는 것이다. 이러한 방법은 도체등가반경의 증가로 도체표면 전계강도의 저하를 가져와 코로나 발생을 낮출 수 있다. 또한 굵구류나 기타 전계가 집중되는 국부적인 요소에는 쉴드링을 설치하여 전계의 완화로 코로나나 갱방전을 줄일 수 있다. 그리고 송전선의 경우 새 전선일 경우 제작시 전선에 부착되는 신선유나 ACSR전선 내부의 강심에 투여되는 그리스가 표면으로 나와 강우시 도체표면의 물방울을 확산시켜 코로나 발생을 증가시키는 경우도 있으므로 코로나가 우려되는 초고압전선에서는 ACSR-AW전선을 사용하거나 도체표면의 인공 열화(Aging)을 시켜 코로나를 저감시키기도 한다.

### 4.2 電磁界 低減對策

#### 4.2.1 차폐선에 의한 저감책

정전유도는 전압에 의한 전계에 기인되므로 전압이 인가된 도체계를 一定電位(일반적으로 영전위)의 導體로 완전 포위하면 内部와 外部의 電界를 완전히 차단할 수 있는데 이를 靜電遮蔽(Electro-Static Shielding)라 한다. 정전차폐를 행함에 있어 완전밀폐의 도체 대신 철망을 사용하기도 하고 경우에 따라서는 한 줄이나 몇 줄의 망으로 정전차폐 효과를 증진시키므로 송전철탑상의 가공지선 혹은 建物の 피뢰침 등에 많이 사용된다. 또한 接地를 하지 않고 一定電位로 유지하여도 外部 電界의 영향을 막을 수 있는데, 진공관의 차폐격자가 그 한 예이다. 그러나 전자유도 즉 전류에 의한 자계에 경우는 아직 일부 복합재료 차폐재에 의한 국부적인 차폐가 가능한 실정이다.

#### 4.2.2 송전선로 相導體 最適配置에 의한 低減策

새로운 비용의 추가없이 송전도체의 상도체 최적배열에 의한 전자계 저감을 취할 수 있다. 외국의 국토가 넓은 나라에서 송전철탑 높이 저감차원에서 많이 채용하고 있는 3상 수평배열 1회선 경우에는 전계, 자계 모두  $\Delta$ 배열이 최적이고, 우리 나라와 같이 국토가 좁은 나라에서 많이 채용하고 있는 수직배열 2회선 송전선로에서는 逆相配列(Low Reactance Arrangement)이 전계, 자계 모두 최저 검토되어 현재 우리나라에서 채용하고 있는 역상배열이 최적배열임을 확인하였다. 그러나 4회선 등이 되면 다른 조건이 전자계 저감에서 역상배열보다 상위치의 이동으로 최적으로 구성할 수 있으나, 系統保護나 設備運轉面에서 역상배열이 최선이라 할 수 있다. 또한 공기절연거리와 Galloping 및

Sleet Jump 문제가 허락하는 범위에서 수직배열 송전선로에서 相間 간격배치는 최대한 상간거리를 가까이 할수록 전자계를 줄일 수 있다. 이것은 가까이 할수록 3相 間의 電壓 또는 電流의 벡터합이 0으로 收斂하기 때문에 電磁界 크기는 감소하나, 반대로 素導體 表面電界強度는 증가되어 코로나 발생은 도리어 상승되므로 500 kV 이상선로에서는 코로나 발생과 전자계 저감 문제를 同時에 檢討하여야 한다.

상기 외에 전자계 저감법으로 최근에 검토되고 있는 방법으로는 기존 선로 근처에 별도의 Loop 회로를 설치하여 전계나 자계를 벡터적으로 상쇄시키는 能動 및 受動차폐 (Active or Passive shielding) 방법이 있으며, 기존 3相의 개념에서 탈피하여 相을 분리시키는 Split Phase 방법등이 제안되고 있으나, 아직 경제성이 없는 것으로 나타나고 있다.

또한 전자유도 현상으로 인하여 전력선부근의 통신기기나 전자설비에 誘導障害를 일으키거나, 최근 민원사항으로 자주 거론되고 있는 大電流가 흐르는 전력설비 부근에 자계노출에 의한 인접한 사람에 대한 인체유해 영향유무가 관심의 대상이 되고 있으나, 아직까지 담배와 같이 유해하다고 확실히 입증된 것이 없는 실정이다. 따라서 한전에서는 96년에 설계기준으로 송전선로에서 방출되는 자계세기를 표 11에서와 같이 세계보건기구(WHO) 산하 IRPA 기준인 1000 mG이하를 설계기준으로 정하여 전력설비를 설계시 지상고를 높이거나, 역상배열등의 방법으로 설계기준을 만족하는 환경친화적 전력설비를 건설하고 있다.

상기 외에 공통적으로 단순하게 송전철탑 지상고를 높여서 지상의 인가로부터 이격 시키거나, 풍소음 경우 저풍소음 특수전선을 사용하는 등의 방법이 있다.

## 5. 結 論

생활수준의 향상과 더불어 電氣環境에 대한 관심이 증가되고 있지만, 국내에는 이에 기본이 될만한 종합적인 전력설비에 대한 전기환경 기준이 미흡한 실정이다. 따라서 本稿에서는 지금까지의 국내의 기준 및 법규 그리고 전력설비의 운전경험은 물론 송전전압의 격상을 위해 연구시험중인 초고압 시험선로의 실증시험결과를 이용하여 도출된 전기환경 자료를 토대로 우리 나라 電力設備 電氣環境 設計基準을 提案하였다.(뒷 페이지 표 참조)

본 기준안은 특히 우리 나라와 같이 좁은 국토를 갖고 있는 현실에서 필요조건을 성격과 갖고있으면서 점점 반대민원이 증가되고 있는 전기환경에 대하여 송전설비를 중심으로 변전소 및 생활주변 가까이의 배전설비를 포함한 전력설비에 공통적으로 적용할 수 있는 기준으로 제안하였다. 그러나 전력설비의 종류와 상황에 따른 세부적인 검토와 연구는 설비의 특성에 맞게 앞에서 언급한 각종 요소를 종합 검토하여 적용하여야 할 것이며, 점점 증가되고 있는 전



표 16. 電力設備의 電氣環境 設計基準<sup>b)</sup>

평가 분야	적용지역구분	설계허용목표	적용조건
코로나 소음	주거 지역	50dBA 이하	-강우시 L <sub>50%</sub> 치 -선하용지 보상경계 및 지상 1.5m
	준 주거지역	55dBA 이하	
	기타지역	60dBA 이하	
라디오장애	전지역	SNR 24dB 이상 (F.I./Q.P.)	-청명시 L <sub>50%</sub> 치 -선하용지 보상경계 및 지상 2m -측정주파수: 0.5 ± 0.1 MHz -신호강도: 저잡음지역 방송 전계강도, 71dB $\mu$ V/m
텔레비전 장애	전지역	SNR 40dB 이상 (F.I./Q.P.)	-강우시 L <sub>50%</sub> 치 -선하용지 보상경계 및 지상 3m -측정주파수: 73.5 ± 1.5MHz -신호강도: 저잡음지역 방송 전계강도, 54dB $\mu$ V/m
자계 강도	전지역	1000 mG	-송전선하, 지상 1m -전력설비 부근, "
전계 강도	사람의 출입이 빈번한 지역	3.5kV/m 이하	-최대치 -송전선하, 지상 1m -전력설비 부근, "
	기타 지역	7.0kV/m 이하	

기환경에 관한 국내의 환경규제를 고려시 지속적인 관심과 전기환경장애 저감연구개발로 전기를 사용하는 국민들이 안심하고 사용할수 있는 친화적 환경을 조성하여야 겠다.

## 저 자 소개

### 참고문헌

- [1] V.L.Chartier : Formulas for Predicting Audible Noise from Overhead High Voltage AC and DC Lines : IEEE/PES Jan. 1980.
- [2] Transmission Line Reference Book, EPRI, .P. 274-301. 1982
- [3] 초고압 송전에 관한 연구V, 한전전력연구원 보고서 1989.
- [4] 송전선로 전자계영향연구(1), 한전전력연구원 보고서 1997
- [5] 초고압 송전에 관한 II 단계연구III, 한전전력연구원 보고서 1994.
- [6] Electric Power Lines, BPA, June, 1995.



### 이동일(李東一)

1958년 3월 15일생. 1996년 한양대 전기공학과 졸업(공학). 1978년 한국전력공사 입사. IEEE Member, CIGRE SC22 WG14 Member. 현재 전력연구원 전력계통연구실 책임연구원. 주연구분야: 초고압송전 및 전기환경.



### 김정부(金正夫)

1943년 11월 14일생. 1990년 서울대 전기공학과 졸업(공학). 1971년 한국전력공사 입사. IEEE Senior Member, CIGRE SC22 Member. 현재 전력연구원 전력계통연구실장. 주연구분야: 송전선 절연협조 및 전기환경.