

전력설비의 전기환경장애와 대책기술 개발(상)

이동일, 정길조, 김정부
한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실

1. 머리말

생활수준의 향상과 더불어 전력사용이 증가함에 따라 생활주변에 전력설비가 늘어나고 있으며, 국민들의 환경에 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 필수적이라 하겠다. 전기 환경하면 너무나 포괄적이기 때문에 여기서는 최근 우리 전력계의 가장 큰 관심사항인 송전전압 격상을 중심으로 하여 전기환경장애 항목과 이에 대한 대책기술에 대해 기술하고자 한다.

우리 나라의 최고 송전전압을 345kV에서 765kV로 격상하는 사업이 시작되면서 전기환경에 대한 적극적인 검토가 시작되었으며 500kV 이상에서 나타나는 현상으로 우려되는 코로나에 의한 전기환경장애가 주목받고 있다. 송전도체에서는 강우시 도체표면 전계강도가 주변공기의 코로나 임계전계치 이상이 됨에 따라 도체 주변공간의 공기절연이 국부적으로 파괴되는 코로나현상

이 일어난다. 이때 빛, 가청소음, 라디오장애, TV장애, 도체진동 그리고 오존 등이 발생하게 되며 이때 발생하는 에너지는 공급되는 전력의 손실로서 코로나손이 된다. 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 확산되어 환경단체와 정부차원에서 전자계 노출 제한치나 권고치 제정이 논의되고 있는 실정이다.

765kV 송전선의 도체 선정에서는 단순한 전류용량뿐만 아니라 코로나에 의한 電氣環境障害를 만족하는 도체의 선정, 송전선의 최적 相配置, 적절한 地上高를 유지토록 하여야 하며, 이러한 환경장애요소들의 정확한 해석과 대책강구가 부족하게 되면 송전선로 건설후 선로 인근 주민의 불평을 야기시키게 되므로 이에 대한 대책으로 도체의 表面電界強度를 낮추기 위하여 굵은 도체나 複導體 방식의 채택, 2회선 송전선의 역상배열, 인가지역 송전선로의 높은 지상고 유지 등을 검토한다. 이러한 검토는 송전선로가 건설되는 지역의 기압, 강우

강도, 풍속 등의 기후조건과 채용하는 전압방식, 송전 첩탑 구성 등을 고려하여 외국의 유사한 경우를 참고하여 이론적인 예측은 가능하지만, 우리 나라 765kV와 같이 다른 나라에서 사용한 예가 없는 765kV 垂直配列 2회선 송전방식에서는 이론적인 검토만으로는 한계가 있다고 하겠다. 그러므로 한전에서는 단순히 외국의 자료를 인용하여 설계하지 않고, 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 765kV 선로의 전기환경설계를 하였다.

따라서 本稿에서는 우리 나라 전력설비 중 765kV 송전선로의 전기환경설계과정을 중심으로 전력설비의 전기환경에 대하여 다른 국가의 설계지침이나 규격 또는 우리 나라 법규 및 다른 제반조건들과 비교 검토하고, 대책에 대하여 간단히 서술하였다.

2. 송전선로 설계와 환경장해

초고압 대형송전선로로 인한 환경문제는 크게 코로나 방전 및 유도에 의한 電氣的 환경장해와 첩탑 구조물의 대형화에 따른 機械的 환경장해로 표 1과 같이 구분할 수 있다.

〈표 1〉 송전선로 환경장해 분류

분류	발생원	장해 종류	대상	장해 현상
전기적 장 해	전 압	코로나 소음 전자파 잡음	인간, 동물 TV 수상기 라디오 수신기	Random/Hum음 장해 화상 장해 청취 장해 광화학 Oxidant 농도 변화
		오 존 정전유도 코로나 손	인간, 동식물 인간, 동식물	전압, 전류에 의한 감지 전력손실
	전 류	전자유도 이온류 대전	인간, 동식물 인간, 동식물	전류에 의한 영향 직류송전선에 의한 대전
기계적 장 해	설 비	TV전파장해	TV 수상기	방송수신품질 저감
		풍소음 경관장해	인간 인간	탁월음 장해 시각 장해

표1의 장해항목 중 전기적 장해가 주 검토항목이며 지역조건과 기후에 따라서는 기계적 장해 항목도 중요한 검토항목이 될 수 있겠다. 전기적 항목 중 오존은 지금까지의 연구결과로는 영향이 미미한 것으로 나타났다. 가장 중요한 항목은 전기적 장해 중 코로나소음으로서 이것은 765kV 송전선로의 도체 선정에서 가장 고려하는 항목으로 電磁波 장해와 더불어 주 검토항목으로 취급되었다.

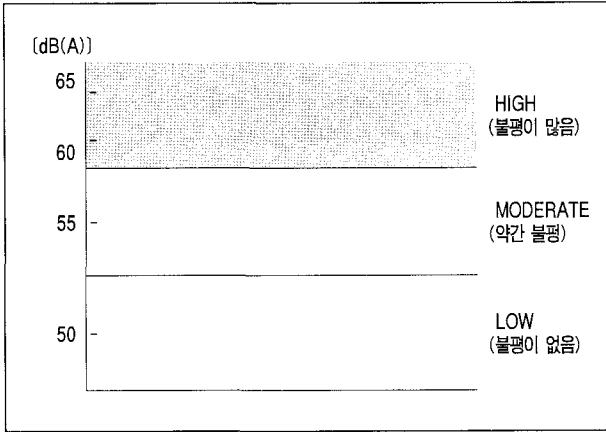
3. 송전선로 전기환경장해 검토 항목

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

가. 가청소음(Audible Noise)

騒音은 요즈음 환경관점에서 주요 항목으로 점점 부각되고 있는 추세이다. 보통 송전시스템에서 발생하는 소음은 일반적인 자동차, 항공기의 소음과 비교하여 그다지 문제가 되지 않지만, 765kV와 같은 초고압 송전선로에서는 송전도체에서 발생하는 코로나나 깎방전에 의한 소음이 관심의 대상이 되고 있다. 이중 주관심대상인 코로나 소음은 맑은 날씨에서는 도체표면 전계강도가 코로나 임계전계강도 이하이므로 별 문제가 되지 않으나 비가 오는 경우는 임계 전계강도 이상으로 커져

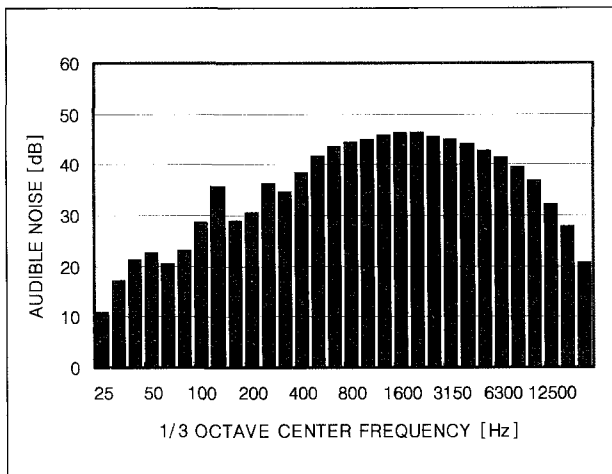
◆ 기술개발



〈그림 1〉 코로나소음과 사회적 불평도

도체표면의 코로나에 의한 가청소음이 발생하게 된다.

이 코로나소음의 주파수특성은 그림 2의 한전 고창 765kV 시험선로의 실측치에서도 알 수 있는 바와 같이 인간의 가청 주파수영역인 20Hz~20kHz에서 광범위하게 발생되므로 Random Noise라고도 불리우며, 특히 상용주파수의 배수가 되는 120Hz의 소음이 유난히 크고 저주파인 관계로 遮音이나 距離減殺效果가 적고 단일주파수 특성을 갖고 있어 Hum Noise로 분리하여



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

검토하기도 한다. 그림 1의 송전선로의 코로나소음에 대한 사회적 불평도에서 나타난 것과 같이 53dB(A) 이하에서는 거의 코로나소음에 대한 불평이 없음을 알 수 있다. 그러나 소음에서 느끼는 불평도는 발생빈도와 시간, 주변의 소음레벨 등에 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⁾

Leq는,

Leq = 10 log 10[1/(t₂ - t₁) ∫_{t₁}^{t₂} $\frac{P^2(t)}{P_{ref}^2}$ dt]^{1/2} 로 정해지며 이 식에서, P(t) : A 보정 음압이고,

Pref : 기준음압으로 2×10⁻⁵ N/m²

t₂ - t₁ : 계산시간이다.

Ldn은 야간의 소음에 민감한 것을 고려한 것으로 Ldn = Leq - 10dB(A)이다.

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

〈표 2〉 미국 EPA 騒音 基準⁽²⁾

영향	허용 기준	적용 지역
옥 외	L _{dn} ≤ 55dB(A)	주택지, 陵地, 사람들의 활동시간이 다양한 지역, 기본적으로 정숙해야 하는 지역
	L _{eq} (24) ≤ 55dB(A)	운동장에서 교정같이 제한된 시간을 보내는 지역
실 내	L _{dn} ≤ 45dB(A)	주택지의 실내
	L _{eq} (24) ≤ 45dB(A)	사람들이 활동하는 지역

〈표 3〉 미국 각주의 주거지역 騒音規制 (dB(A))⁽²⁾

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

〈표 4〉 일본 環境 騒音基準(dB(A))⁽²⁾

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

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

BPA전력회사는 $L_{50} = (53 \pm 2)$ dB(A), PASNY는 $L_{50} = 53$ dB(A)로, 일본 전력회사는 $L_{50} = 50$ dB(A), 이태리 ENEL $L_{50} = 52 \sim 53$ dB(A)로 한국은 일본과 같이 국토가 좁은 관계로 $L_{50} = 50$ dB(A)로 정하였다.

한전 765kV 1차 사업용 송전도체 방식으로 선정된 480mm^2 (Cardinal)×6도체/相 도체배열을 고장 765kV 실증시험장에 가선하여 장기간 시험하고 계산한 결과인 표 7을 보면 우리 나라 소음기준을 만족함을 알 수 있다.

나. 라디오 장해(Radio Interference)

라디오 雜音이란 전력설비에서 바람직하지 못한 전자파로 인해 라디오 방송주파수 대역에서 발생하는 잡음

〈표 5〉 한국의 環境 騒音基準 [dB(A)]⁽³⁾

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

으로 주로 AM 방송주파수 대역인 535~1605kHz가 문제가 된다. 라디오 장해는 송전선로와 수신기간의 거리, 수신안테나 방향, 송전선구조, 기후조건 등에 따라 결정된다. IEEE 소위원회에서 제안한 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 SNR(Signal to Noise Ratio)로 라디오 장해 방송수신품질을 평가하는데 SNR=24dB 이상이면 방송수신품질면에서 아주 양호함을 알 수 있어 한전 765kV도 이 기준에 따랐다. SNR의 산정은 표 8과 같은 우리 나라 방송구역 전계강도 중 라디오 표준방송을 하는 방송국의 저잡음지역을 신호강도(Signal: 71 dB μ V/m)로 하여 송전선에서 발생한 라디오 장해파와의 차이로 구한다.

〈표 6〉 각국의 코로나 소음기준

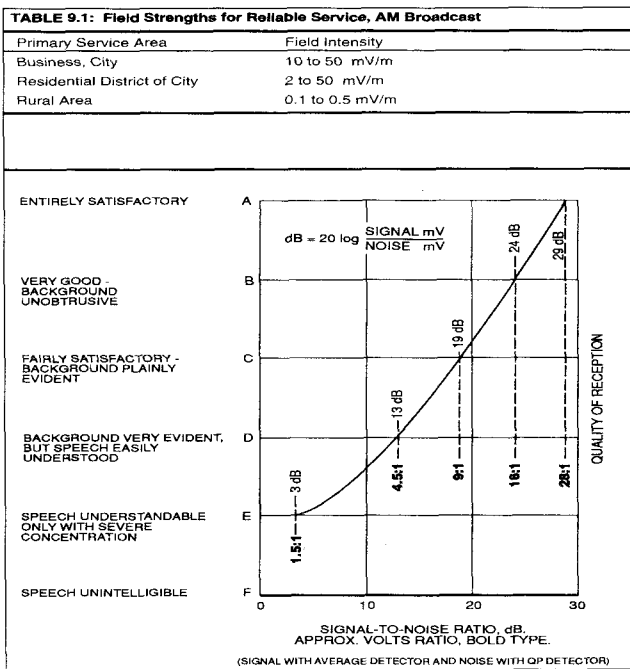
나라	기관	코로나소음 목표치 dB(A)	코로나소음으로 인한 불평	대책
미국	BPA	ROW 경계에서 $L_{50} = (53 \pm 2)$	초기의 500kV 송전선(63.5mm ϕ 단도체)에서 발생	63.5mm ϕ 단도체를 3×30.5mm ϕ 로 변경(주택 지역)
	PASNY	ROW부근주택침실 : 35 dB(A) 이하 선로중심으로부터 125ft지점 : $L_{50} = 53$	345kV 선로에서는 전혀 없었으나 765kV 송전선에서 36건 발생	침실소음 35dB(A) 초과 금지. 주민들의 요구에 따라서는 매수 또는 이전에 응함.
이탈리아	ENEL	$L_5 = 58 \sim 59$ $L_{50} = 52 \sim 53$	400kV 송전선에서는 없음	불평이 발생하면 설득하거나 ROW를 매수할 것을 고려중
영국	CEGB	없음	400kV 2도체 송전선의 경우시 발생	2도체를 4도체로 변경해서 저감
일본	TEPCO	$L_{50} = 50$	500kV 이상 송전선에서 발생	저공소음 보강 등 대책 강구
한국	KEPCO	$L_{50} = 50$	345kV 송전선에서는 없음	765kV 대비 대책강구

◆ 기술개발

〈표 7〉 한전 765kV의 코로나소음 측정치와 계산치⁽⁵⁾ [dB(A)]

구분	선로전압 (Gradient)	630kV (12.2kV/cm)			765kV (14.8kV/cm)			783kV (15.2kV/cm)			800kV (15.5kV/cm)		
		RL5	RL50	FL50	RL5	RL50	FL50	RL5	RL50	FL50	RL5	RL50	FL50
측정치	KEPCO	51.2	43.2	41.8	52.7	48.1	42.0	53.2	49.7	44.5	53.6	51.2	46.8
	데이터수	37		2709	2363		50632	158		2385	125		2233
	등가/기준 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



〈그림 3〉 라디오 장애 방송수신품질 평가기준⁽⁶⁾

다. 텔레비전 장애(TV Interference)

텔레비전 잡음이란 라디오 잡음과 마찬가지로 전력선

〈표 8〉 765kV 시험선로 라디오장애 측정결과

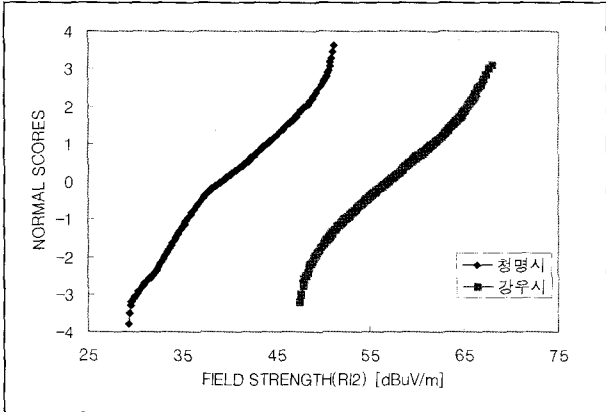
기상	RI 1 (dB μV/m)		RI 2 (dB μV/m)		RI 3 (dB μV/m)		RI 4 (dB μV/m)	
	L5	L50	L5	L50	L5	L50	L5	L50
청명	54.9	47.6	51.9	44.3	48.9	41.4	47.5	40.1
강우	73.3	66.4	69.4	62.1	65.2	57.7	61.6	54.5

• 측정 안테나 RI 1 위치 : 환경장해 평가위치 3m 대응지점
• 측정 안테나 RI 2 위치 : 환경장해 평가위치 14m 대응지점

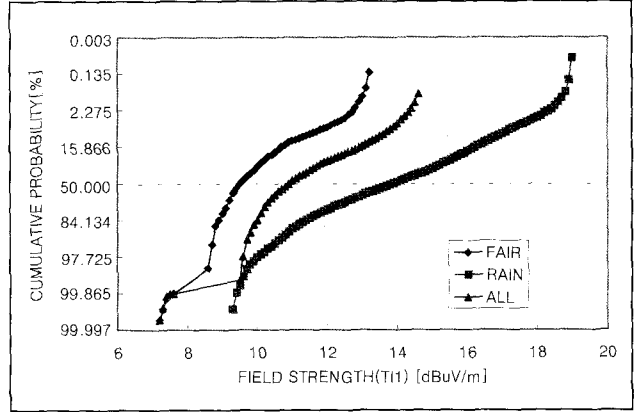
비에서 바람직하지 못한 전자파로 인해 텔레비전 방송주파수대역에서 발생하는 잡음으로 UHF와 VHF 주파수 대역인 MHz대역이 문제가 된다.

또한 텔레비전 장애도 송전선로와 수신기간의 거리, 수신안테나 방향, 송전선구조, 기후조건 등에 따라 결정된다. 텔레비전 장애 방송수신품질 평가도 라디오 장애의 경우와 같은 방식이며 SNR = 40dB 이상이면 방송수신품질면에서 수신에 방해가 되지 않음을 EPRI에서 제안한 그림 6의 자료로부터도 알 수 있어 한전 765kV 텔레비전 장애기준도 이 기준에 따랐다.

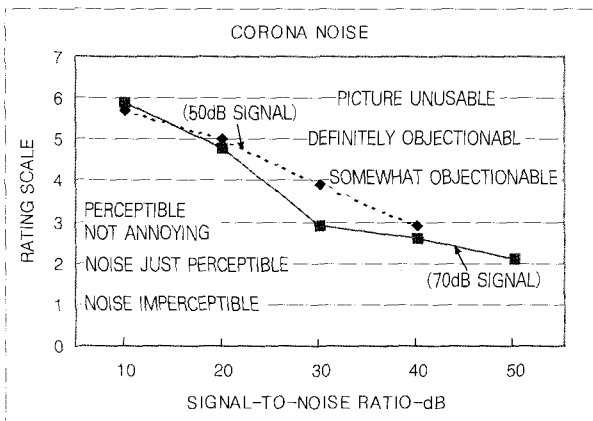
SNR의 산정은 표 9과 같은 우리 나라 방송구역 전계강도 중 텔레비전 방송 및 텔레비전 문자방송을 하는



〈그림 4〉 라디오 장해 통계분포특성
(Cumulative Probability OF RI)



〈그림 5〉 텔레비전 장해 통계분포특성⁽⁶⁾



〈그림 6〉 텔레비전 장해 방송수신품질 평가기준

방송국의 VHF대역의 저잡음지역을 신호강도(Signal : 54dB μ V/m)로 하여 송전선에서 발생한 텔레비전 잡음과의 차이로 구한다.

〈표 9〉 잡음 등급별 방송구역 전계강도기준⁽⁵⁾

방송국	방송구역전계강도 (mV/m) (dB μ V/m)			비고
	고잡음 지역	중잡음 지역	저잡음 지역	
표준방송을 하는 방송국	7.0(77)	5.0(74)	3.5(71)	초단파 및 텔레비전 방송을 하는 방송국의 전계강도(텔레비전 방송의 경우 동기 신호파형의 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)	
	UHF	31.6(70)		

〈표 10〉 765kV 시험선로 TV 장해 측정결과

기상	TI 1(dB μ V/m)		TI 2(dB μ V/m)		TI 3(dB μ V/m)	
	L ₅	L ₅₀	L ₅	L ₅₀	L ₅	L ₅₀
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

☒ 〈다음호에 계속〉

〈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 전계영향연구(1), 한전전력연구원 보고서 1997.
- (5) 초고압 송전에 관한 II단계연구III, 한전전력연구원 보고서 1994.
- (6) Electric Power Lines, BPA, June, 1995.