

765kV 시험선로에서의 전자파 장애에 관한 연구

(A Study on the Electromagnetic Interference from
765kV Test Line)

김정부* · 이동일* · 신구용* · 양광호** · 안희성** · 구자윤***
J. B. Kim * · D. I. Lee* · K. Y. Shin* · K. H. Yang** · H. S. Ahn** · J. Y. Koo***

요 약

일반적으로 500kV 이상의 초고압 전력선에서 발생하는 전자파 장애는 전력선 부근에서 AM 라디오 방송대역과 저 초단파(VHF)대역의 TV 방송수신에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 논문에서는 전북 고창에 건설된 세계 최초의 765kV 수직배열 2회선 시험선로에서의 장기 실증시험 결과를 이용해 차기 송전 전압으로 결정된 765kV 송전선로의 후보도체방식 중의 하나인 Rail(480mm²) * 6B의 환경적응성을 검증하였다. 이 결과에 의하면 전자파장애 측면에서 Rail * 6B 도체방식은 765kV 송전선로 도체방식으로 적합한 것으로 분석되었다.

Abstract

In general, EMI(electromagnetic interference) from EHV(extra high voltage) power lines above 500kV cause interference to AM radio and low VHF television reception. This paper describes the results of long-term measurement on RI and TVI in 765kV, double circuit, low reactance arrangement, test line. The results of studies show that a bundle of 6 × 29.59mm(1.165 inches) diameter 480mm²(Rail) ACSR conductors is suitable for 765kV transmission lines to provide acceptable EMI at 15m from the beneath of outmost phase.

I. 서 론

고도 경제성장에 따른 전력수요의 급격한 증가와 국민복지 수준 향상으로 인한 전력설비용

지 구득난을 동시에 해결하고자 송전전압 격상(345KV → 765KV)이 1991년도에 결정되었다.

이러한 765KV급 송전선로는 경제적인 송전선로 건설이 중요한 설계목표였던 345kV 송전선

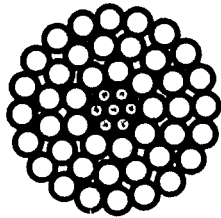
* 한국전력공사 전력연구원 (Korea Electric Power Research Institute)

** 한국전기연구소 (Korea Electrotechnology Research Institute)

*** 한양대학교 전자공학과 (Dept. of Electronic Engineering, Han Yang University)

로와는 달리 자연 친화적인 선로환경 유지를 중요한 설계목표로 삼고 있다. 따라서 한국전력 공사는 독자적인 기술로 이러한 설계목표를 만족시키기 위해 1980년대 중반부터 사전 연구의 일환으로 단상 모의시험설비(코로나 케이지)를 운용하였고, 그 결과를 이용하여 1993년부터 전북 고창에 765kV 송전선로 실규모 실증시험장을 운용하고 있다.[1]

본 논문에서는 고창 765kV 실증시험장에서 1993년 8월부터 1995년 3월까지 총 16개월 동안 수행되었던 Rail×6 Bundle 도체방식(그림 1)에 대한 선로환경장해 중 기계적 장해(풍소음, TV 허영장해, 경관장해)가 아닌 전기적 장해(코로나 소음, 힘음, 라디오장해, 텔레비전장해) 연구의 일부분인 전자파 장해 분야에 대해 기술하였다.



[그림 1] Rail 전선 단면도

II. 송전선로의 전자파 장해

송전선로에서 발생하는 전자파 장애의 원인은 코로나와 Gap 방전으로 대별된다. 고전압에서의 기체방전 중의 하나인 국부방전 코로나는 전선표면 흙, 조류 배설물, 먼지 등으로 인해 선로 도체 표면에 전계가 집중되어 공기의 절연 강도를 초과할 때 발생한다. 이러한 코로나는 청명 시보다는 악천후(강우, 이슬, 안개, 습설(wet snow) 등)시에 더 많이 발생하며, 인가전압 극성에 따라 정극성과 부극성으로 대별된다. 일반적으로 정극성 코로나가 부극성 코로나보다 송전선에서의 전자파 장애 발생에 더 큰 영

향을 미치는 것으로 알려져 있다[2]. Gap 방전은 철탑이나 금구류에 존재하는 미소 간극(Gap) 사이에서 발생하는 방전이다. 그리고 편의상 AM 방송대역, 아마추어 무선대역, 해상 이동 무선대역 등을 포함하는 30 MHz 이하에서의 전자파 장애를 라디오장해, TV 및 FM 등의 기타 방송대역, 이동통신, 항공무선대역 등을 포함하는 30MHz 이상에서의 전자파 장애를 텔레비전장해라고 구분한다[2]. 또한 특별한 경우(염진해)를 제외하고 송전선로의 전자파 장애는 Gap 방전보다도 코로나로 인한 영향이 우세하므로, 고창 765kV 시험선로에서는 선로 자체에서 발생하는 코로나로 인한 방사성 전자파 장애에 대해 연구를 수행 중이다.

III. 측정원리

일반적으로 송전선로에서의 라디오장해량은 선로 구조, 전기적 제조건(인가 전압, 상배열), 기상조건에 의해 큰 영향을 받는다. 특히 유한장(有限長) 시험선로에서는 잡음전류의 투과(透過)와 반사로 인한 정재파(定在波)가 존재하기 때문에 실제 송전선로와는 다른 주파수 분포 특성을 보인다[3]. 즉 주파수별로 일정하게 감쇄하는 실제(무한장) 선로와는 달리 유한장(시험) 선로에서는 일정한 주파수별로 극치(極值)들이 교대로 나타난다. 이러한 극치들을 양단 개방된 단일선로상의 분포잡음원에 의한 잡음전류 형태로 나타낼 수 있다. 즉 선로 경간 중앙에서의 잡음전류 최대치는

$$f = \frac{(2m+1)}{2} f_0 \quad (m=1,2,3,\dots)$$

$$f_0 = \frac{c}{l}$$

$$c: \text{광속} [m/s] \quad l: \text{시험선로길이} [m]$$

인 주파수에서 나타나고 그 값은

$$K\left(\frac{L}{2}\right)_{\max} = \frac{\sqrt{2}}{\alpha\sqrt{L}} J \quad (1)$$

과 같다. 또한 잡음전류 최소치는

$$f = nf_0 \quad (n=1,2,3,\dots)$$

인 주파수에서 나타나고 그 값은

$$K\left(\frac{L}{2}\right)_{\min} = \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{2}} J \quad (2)$$

와 같다. 여기서 J는 잡음전류, L은 선로 길이, α 는 선로 감쇄정수(減殺定數)이다.

이 잡음전류 최소치와 최대치를 이용해 무한장 선로의 잡음전류를 구하면 다음과 같다[4].

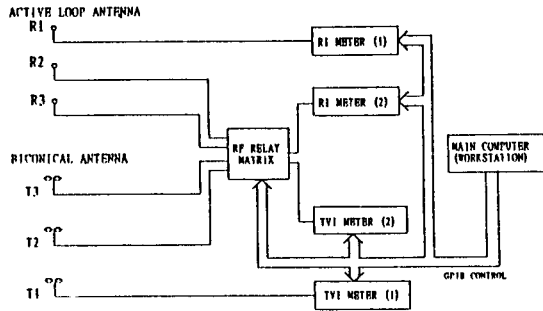
$$\begin{aligned} \left(K\left(\frac{L}{2}\right)_{\max} \times K\left(\frac{L}{2}\right)_{\min}\right)^{\frac{1}{2}} &= \left(\frac{\sqrt{2}}{\alpha\sqrt{L}} J \times \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{2}} J\right)^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{J}{\sqrt{\alpha}} = I_{\infty} \end{aligned}$$

따라서 유한장 선로에서의 극치들을 기하 평균하면 무한장 선로에서의 주파수 분포 특성을 구할 수 있다. 이러한 방법으로 시험선로에서의 측정치를 이용해 실제선로의 장애량을 예측하는 방법을 기하평균법[5]이라고 한다.

IV. 측정시스템

실증 시험선로에서 측정되는 전자파 장애량은 시험선로 형상(도체배치 형상, 도체 수, 도체 종류), 인가전압, 기상조건(강우, 온도, 습도 등)에 따른 변동이 심하므로 통계적인 처리가 필요하다. 이를 위해 자동운용을 원칙으로 장기간 연속측정에 적합한 내구성과 독립성, 정확성, 효율성을 구비하고 관련 국내의 규격을 만족하는 측정장비를 선정하여 [그림 2]와 같이 측정시스템을 구성하였다.

[그림 2]에서 라디오장애 측정기(RI Meter)



[그림 2] RI/TVI 측정시스템 구성도

는 측정주파수(475 kHz)에서의 장애량을 정확하게 측정하기 위해 Spectrum Analyzer가 아닌 전계강도계로 독일 Rohde & Schwarz사의 EMI Test Receiver (ESHS30)를 측정실에 설치하였으며, Active Loop Antenna(HFH2-Z2)를 IEEE Std. 430-1986, CISPR Publication 18-2(1st Ed., 1986)를 참고하여 시험선로 주경간(主經間; 300m) 중심의 최외상(最外相) 송전선로 직하(直下)로부터 수평으로 3m(R1), 18m(R2), 188m(R3) 되는 지점에 급전점까지의 높이가 2m 되도록 설치하였다. 텔레비전장애 측정기(TVI Meter)로 EMI Test Receiver (ESVS30)를 측정실에 설치하였으며, Biconical Antenna(HK116)를 상기 규격을 참고하여 시험선로 주경간 중심의 최외상(最外相) 송전선로 직하(直下)로부터 수평으로 40m(T1), 80m(T2), 188m(T3)되는 지점에 급전점까지의 높이가 3m 되도록 설치하였다. 이는 유한장 선로에 흐르는 잡음전류가 선로 종단에서 투과와 반사를 일으켜 발생하는 잡음전계 정재파가 선로 중앙에서 최대가 되므로 안테나를 700m 길이(주경간 300m×1, 보조경간 200m×2)의 시험선로 중앙경간 중심에 설치하였다. 각각의 측정기에서 측정된 측정치는 측정치 수록시스템(DAS; Data Acquisition System) 제어로 GPIB를 통해 Workstation으로 전송된다. 그리고 안테나와 측정기 간에 설치된 신호선을 외부 불요잡음으로부터 보호하기 위해 이중차폐된 저손실형 동축케이블

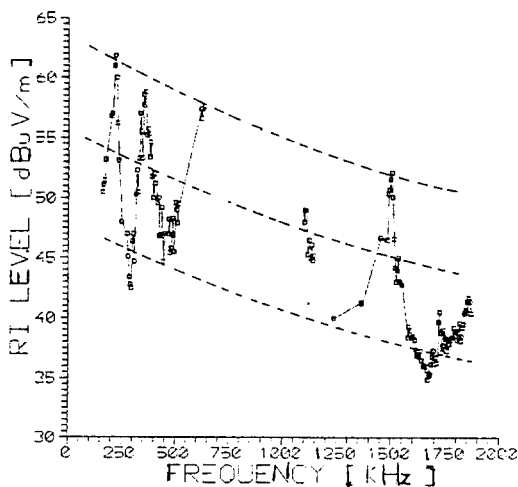
블(RG 213/U, H-100)을 사용하였고, 신호선과 전원선을 분리해 금속체로 된 케이블 덕트에 수납하였다. 또한 측정기 한대로 두 안테나를 담당할 수 있도록 RF Switching 장비(RF Relay Matrix)를 설치하였다. 이외에도 Surge Arrester를 신호선의 안테나측 종단과 측정기측 종단에 설치하여 Surge로부터 측정시스템을 보호하도록 하여 측정시스템 운용 신뢰도를 향상시켰다. 그리고 측정시스템 운용과 측정치 통계처리 Software를 독자적으로 개발하였다.

V. 측정결과

측정결과를 나타낼 때 통계수치인 L_x 치를 사용한다. 이는 전체 데이터 중에서 x%에 해당하는 데이터를 나타내는 통계용어이다.

5-1. 라디오 장애

전술한 바와 같이 시험선로에서는 측정치에 기하평균법으로부터 구한 환산계수를 더하여 무한장 선로에서의 라디오장애량을 예측한다. 이 환산계수는 [그림 3]과 같이 극대치와 극



[그림 3] 시험선로에서의 라디오장애 주파수분포도 예

소치가 번갈아 가며 나타나는 주파수 분포도에서 얻어진 무한장 선로의 주파수 특성곡선과 측정치 간의 차이로 결정된다. 수 차례에 걸친 단기간 측정을 통해 얻어진 환산계수는 $6 \text{ dB} \mu\text{V/m}$ 이다.

이 환산계수를 이용해 무한장 선로의 라디오 장애 발생량을 예측한 결과는 <표 1>과 같다.

<표 1>에서 R1과 R2간의 청명시 L_{50} 치는 $3.4 \text{ dB} \mu\text{V/m}$ 로 계산상의 거리감쇄량인 $2.9 \text{ dB} \mu\text{V/m}$

<표 1> 라디오장애 예측결과

항 목	R1 ($\text{dB} \mu\text{V/m}$)		R2 ($\text{dB} \mu\text{V/m}$)		R3 ($\text{dB} \mu\text{V/m}$)	
	L_5	L_{50}	L_5	L_{50}	L_5	L_{50}
청명시 (121.228)	58.4	49.4	55.1	46.0	33.4	27.4
강우시 (4.332)	77.7	73.0	74.6	70.0	34.9	28.7

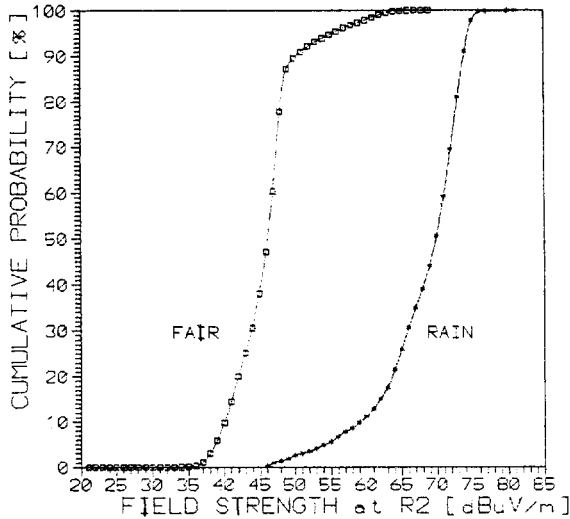
() : 처리 데이터 수

$\text{V/m} (= 20 \log_{10} (\frac{18.2m}{25.5m}))$ 와 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그리고 R2의 청명시 L_{50} 와 강우시 L_5 라디오장애 예측치간 차이가 $28.6 \text{ dB} \mu\text{V/m}$ 로, 미국의 BPA 실험결과인 $24 \text{ dB} \mu\text{V/m}$ 와 $4.6 \text{ dB} \mu\text{V/m}$ 차이를 보이고 있다[6]. 이는 주로 해상이동무선의 영향인 것으로 추정된다.

또한 국제규격과 권고치, 해외시험선로 운용 경험 등을 토대로 결정한 평가지점(최외상(最外相) 선로 직하(直下) + 15 m)에 가장 근접한 R2 지점에서의 청명시와 강우시 누적빈도분포 곡선은 [그림 4]와 같다.

[그림 4]에서 일부 낮은 측정치와 높은 측정치를 제외하고 대부분의 측정치가 균일하게 분포하고 있음을 알 수 있다. 여기서 X축에 근접한 낮은 측정치 대부분은 선로에서 장애가 발생하지 않아 측정된 배경잡음으로 판단된다.

그리고 강우시 측정치가 높은 것은 강우에 의해 도체에 생성된 수적(물방울)이 코로나 원이 되기 때문이다.



[그림 4] 누적빈도분포 곡선(R2 지점)

5-2. 텔레비전 장애

텔레비전 장애의 경우는 라디오 장애와는 달리 무한장 선로와 유한장 선로간 특성 차이가 없다. 따라서 시험선로에서의 측정치를 별도의 환산과정을 거치지 않고 무한장 선로의 예측치로 그대로 사용한다. 그 결과는 <표 2>와 같다.

<표 2> 텔레비전장애 예측결과

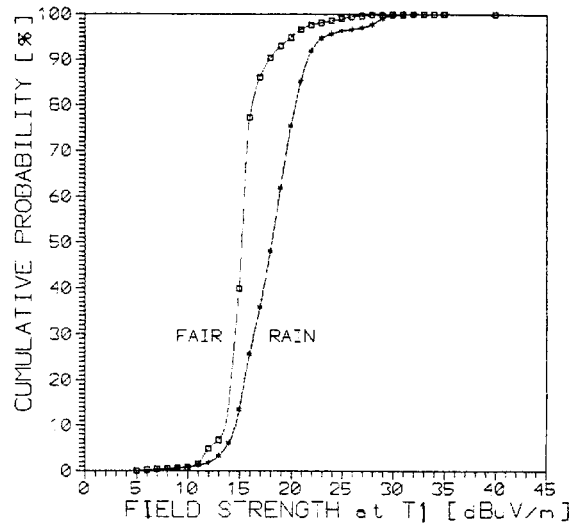
항 목	T1 [dB μ V/m]		T2 [dB μ V/m]		T3 [dB μ V/m]	
	L ₅	L ₅₀	L ₅	L ₅₀	L ₅	L ₅₀
건조시 (98,939)	20.0	15.3	23.2	14.6	19.3	13.7
강우시 (4,020)	23.2	18.1	21.1	16.8	18.6	14.9

() : 처리 데이터 수

<표 2>에서 T1과 T2간의 강우시 L₅₀ 치는 1.3 dB μ V/m로 계산상의 거리감쇄량인 5.5 dB μ V/m(= 20log₁₀ ($\frac{43.5m}{81.8m}$))와 큰 차이를 보이고 있다. 이로부터 텔레비전장애의 경우 라디오장애처럼 거리에 따라 일정하게 감쇄하지 않는다는 것을 알 수 있다.

그리고 국제규격과 권고치, 해외시험선로 운용 경험 등을 토대로 결정한 평가지점(최외상(最外相)선로 직하(直下) + 15 m)에 가장 근접한 T1 지점에서의 청명시와 강우시 누적빈도분포 곡선은 [그림 5]와 같다.

일반적으로 청명시에는 텔레비전 장애가 않는다고 알려져 있으나, [그림 5]에서는 청명시 측정치와 강우시 측정치간에 큰 차이가 없음을 보여주고 있다. 이는 청명시 측정치가 선로에서 발생하는 장애보다 주변 영향(불요 전자파, UPS 전도잡음 등)을 많이 받아 상대적으로 높게 측정되었기 때문인 것으로 추정된다.



[그림 5] 누적빈도분포 곡선(T1 지점)

VI. 765kV 송전선로의 전자파 장애 한전 설계기준

송전선로에서 발생하는 전자파 장애에 대한 허용목표치 설정시 가장 중요한 고려사항은 선로 주변지역에서 보장되어야 할 방송 수신 품질과 기술적 실현 가능성 및 경제적 선로설계 측면간의 합리적인 균형 유지이다. 그러므로 이러한 검토기준에 의해 작성된 해외 각국의 규제 법규, 설계기준 등과 국내 관련 법규를 참고

하여야 한다. 먼저 송전선로에서 발생하는 전자파 장애에 대한 허용 목표치를 규정하는 국내 법규로는 '전자파 장애 검정 규칙(체신부령 제 825호)'이라는 포괄적인 규칙만이 있을 뿐이다. 그리고 해외 각국에는 장기간의 연구와 검토를 거쳐 각국 실정에 맞도록 규제 법규, 설계목표치와 권고치 등의 여러 가지 형태로 허용목표치를 설정하여 활용하고 있다[7]. 따라서 한국전력공사에서는 국내 관련 법규, 해외 각국의 규제법규, 설계목표치와 권고치를 참고하여 <표 3>과 같이 765kV 송전선로에서의 전자파 장애 허용목표치를 제안하여 활용할 예정이다[8].

<표 3>에서 설계목표는 IEEE 라디오장애 소위원회에서 제시한 SNR(Signal to Noise Ratio) 기준을, 방송신호강도는 체신부 고시 제 1992 - 126호에 근거한 저잡음지역 방송구역 전계강도를 채택하였다.

VII. 평가 결과

765kV 시험선로에서 예측된 전자파 장애 발생량을 한국전력공사 설계목표치를 이용하여 평가하였다. 라디오장애의 경우 평가기준점인 최외상(最外相)선로 직하(直下) 외측(外側) 15m 지점에서의 발생량(청명시 L_{50} %치)은 계산상의 거리감쇄효과 (약 $+0.7\text{dB}\mu\text{V/m} = 20\log_{10}(\frac{23.4\text{m}}{25.5\text{m}})$)를 고려하면 $46.7\text{dB}\mu\text{V/m}$ 이다. 이는 SNR 24.3 $\text{dB}\mu\text{V/m}$ 로 평가되므로 한국전력공사 설계목표치를 만족한다. 그리고 텔레비전장애의 경우 평가기준점인 최외상(最外相)선로 직하(直下) 외측(外側)15m 지점에서의 발생량(강우시 L_{50} %치)은 계산상의 거리감쇄효과 (약 $+5.6\text{dB}\mu\text{V/m} = 20\log_{10}(\frac{22.7\text{m}}{43.5\text{m}})$)를고려하면 $23.7\text{dB}\mu\text{V/m}$ 이다. 이는 SNR 30.3 $\text{dB}\mu\text{V/m}$ 로 평가되므로 한국전력공사 설계목표치를 불만족한다. 그러나 일반적으로 가청소음 설계기준을 만족하는 송전선로는 전자파 장애 설계기준을 만족한다고 알려져

<표 3> 765kV 송전선로의 전자파 장애 허용 설계목표치

평가분야	적용지역	설계목표	적용조건
라디오 장애	주거, 준주거 및 기타 지역	SNR 24 dB 이상	<ul style="list-style-type: none"> • 청명시 L_{50}%치 • 최외상 직하 외측 15m, 지상 2m • 측정주파수: 0.475 MHz • 신호강도 : 저잡음지역 방송전계강도, 71 $\text{dB}\mu\text{V/m}$
텔레비전 장애	주거, 준주거 및 기타 지역	SNR 40 dB 이상	<ul style="list-style-type: none"> • 강우시 L_{50}%치 • 최외상 직하 외측 15m, 지상 3m • 측정주파수: 75 MHz • 신호강도 : 저잡음지역 방송전계강도, 54$\text{dB}\mu\text{V/m}$

주) 1. 주거 및 준 주거지역 : 환경정책기본법 소음기준 적용대상지역 중 '가' 지역 및 '나' 지역 기준 적용

2. 평가기준지점(15m) : 전기설비기술기준에 관한 규칙제 134조 및 국내의 적용사례 참고

있으며, 실제로 미국의 BPA에서는 송전선로 설계시 가청소음만을 고려하고 있다[9]. 또한 BPA 예측치가 9.3 $\text{dB}\mu\text{V/m}$ 로 설계목표치를 만족하는 것으로 계산되었다.

따라서 염진해, 전원의 전도잡음, 배경잡음과 불요전자파(주로 해상이동통신)에 대해 보다 정밀한 추가 조사와 분석작업을 통해 측정치의 신뢰도를 높일 필요가 있다.

VIII. 결 론

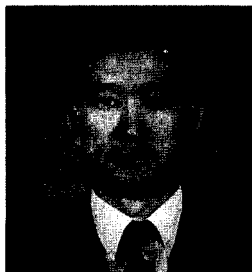
본 논문에서는 약 16개월동안 수행되었던 765KV 시험선로에서의 실증시험결과를 활용하여 Rail × 6 Bundle 도체방식에 대한 전자파 장애 환경영향 평가를 수행함으로써 국내 차기 초고압 765KV 송전선로의 환경 적응성과 타당성을 확인하였다. 이 결과를 토대로 국내 송전전압 격상과 초고압 송전망 건설계획의 원활한 추진 및 경제적 선로설계기술 표준화에 이바지 하길 기대한다. 본 논문에서 도출된 주요 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 송전선로의 전자파 장애 발생 특성과 발생이론 조사 및 예측기법에 대한 검토를 수행하였다.
- 2) 송전선로에서 발생하는 전자파 장애의 장기간 무인 자동화 측정기술 습득, 국제 규격과 해외 시험선로 운용 경험을 참고한 측정시스템 구축 및 운용 Software 개발을 수행하였다.
- 3) 국내 실정에 맞는 장기간 측정 데이터의 통계처리기법을 개발하였다.
- 4) 765kV 송전선로의 전자파 장애 설계기준을 제안하였다.
- 5) Rail×6 Bundle 도체방식이 전자파장애 측면에서 765KV 송전선로 도체방식으로 적합한 것으로 예측되었다. 단, 텔레비전 장애의 경우 측정치의 신뢰도를 높이기 위해 정밀한 추가 조사 및 검토가 필요한 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

- [1] 한국전력공사 기술연구원, 초고압 송전에 관한 II단계 연구(II), KRC-90 S-01, 1992. 12.
- [2] Bonneville Power Administration, A Practical Handbook for the Correction of Radio Interference from Overhead Power Lines and Facilities, May 18, 1980.
- [3] C.R. Bond, W.E. Pakala, R.E. Graham, "Experimental Comparisons of Radio Influence Fields From Short and Long Transmission Lines", AIEE Transactions, pt. III(Power Apparatus and Systems), pp175~185, April 1963.
- [4] 400kV試驗送電線特輯号-400kV試驗共同研究班の研究成果, 技術研究所所報 Vol.14, No.4, pp40, 電力中央研究所.
- [5] Transmission Line Reference Book, 345 kV and Above, 2nd. Ed., EPRI, pp191~192.
- [6] 한국전력공사 기술연구원, 차기 초고압 송전 연구를 위한 CORONA CAGE 설계, KRC-84S-J11, 1985. 4.
- [7] 한국전력공사 기술연구원, 초고압 송전에 관한 연구(V), KRC-84S- J11, 1989. 9.
- [8] 한국전력공사 기술연구원, 초고압 송전에 관한 II단계 연구(III), KRC 90S-J01, 1994. 12.
- [9] V.L. Chartier외 7인, "Electrical and Biological effects of transmission lines : a review", Prepared by the Biological Studies Task Force, U.S. Department of Energy, Bonneville Power Administration, Revised 1993.

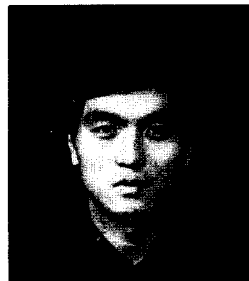
양 광 호



1957년 11월 16일 생
 1981년 : 충북대학교 공대 전기공학과 졸업.
 1986년 : 성균관대학교 공대 전기공학과(석사) 졸업.
 1986년 2월 ~ 현재 : 한국전기연구소 선임연구원.

[주 관심 분야] 송전선로환경장해(가청소음) 연구 업무담당.

안 희 성



1965년 2월 22일 생
 1988년 : 서울대학교 공대 전기공학과 졸업
 1988년 ~ 2월 현재 : 한국전기연구소 선임연구원.
 [주 관심 분야] 송전선로 환경장해(전자파장애) 연구 업무 담당.