새로운 초고압 송전선로 친환경설계프로그램 TLCALC

論 文
55A-4-3

A New Environmentally Friendly Design Program TLCALC for High Voltage AC Transmission Lines

梁 光 鎬* · 朱 玧 魯† · 明 聖 鎬* · 吉 曠 碩** · 黃 琪 鉉*** · 李 東 一§
(Kwangho Yang · Munno Ju · Sungho Myung · Gyungsuk Kil · Gihyun Hwang · Dongil Lee)

Abstract - HVAC transmission lines must be designed to satisfy environmental regulations. Therefore it is necessary to pre-evaluate environmental problems for transmission line designer using prediction program. In this study, environmental design software, TLCALC(Transmission Line CALCulation) for transmission lines was developed as a comprehensive window program. It has 6 modules that are audible noise, radio noise, television noise, magnetic field, electric field and conductor surface gradient. TLCALC solved a few problems in use of the existing foreign tools and took several advantages as follows; ① It is a common tool that solves calculating limitations of foreign formulas, ② It has wide application ranges and enhances accuracy of prediction. ③ It can be applied to almost transmission line configurations in Korea. ④ Experienced designers can get the results of calculation within about 15 minutes. Because the use of TLCALC is easy and practical, this program will be usefully applied to the environmental friendly design and construction of transmission lines. In the future, it is expected that public complaints and social environmental cost will be reduced by the use of TLCALC.

Key Words : Transmission Line, Environmentally Friendly Design, Regulations, Audible Noise, Radio Noise, Television Noise, Magnetic Field, Electric Field and Conductor Surface Gradient

1. 개발의 배경 및 목적

본 초고압 송전선로 전기환경친화 설계프로그램(TLCALC)은 국내 최초로 개발된 것으로써, 765kV 송전기술개발 Project 연구 결과물의 하나이다.[1] 본 프로그램을 이용하여 송전선로 설계자는 기설 선로의 환경영향평가는 물론 계획선로의 설계 단계에서 선로 경과지에서의 전기적인 환경영향 및 장해의 정도를 예측, 평가하고 그 결과를 설계에 반영하는데 활용이 가능하다.

지금까지는 사용상 여러 제약조건들을 갖고 있으며, 우리 실정에도 맞지 않는 외국의 계산프로그램들을 사용해 왔기 때문에, 국내 자체 기술로 개발된 적용범위가 넓고 정확한 예측이 가능한 범용의 계산 tool이 요구되어 왔다.[2,3,4]

해외의 기존 프로그램보다도 예측의 정확도를 향상시킨 TLCALC는 사용이 쉽고 실용적이기 때문에 송전선로에 의한 환경영향의 정도를 예측하고, noise의 field 분포특성을 파악하여 저감대책기술을 적용함으로써 환경친화형 송전선로의 설계, 건설 및 운용에 유용하게 활용될 것이며, 환경민원을 원천적으로 예방할 수 있어 사회환경비용의 절감효과가 기대된다.

† 교신저자, 正會員 : 韓國電氣硏究院 電力硏究團 先任硏究員
E-mail : mnju@keri.re.kr
* 正 會 員 : 韓國電氣硏究院 電力硏究團 責任硏究員 · 工博
** 正 會 員 : 韓國海洋大學校 電氣電子工學部 敎授 · 工博
*** 正 會 員 : 東西大學校 地域技術革新센터 專任敎授 · 工博
§ 正 會 員 : 電力硏究院 電力系統硏究所 責任硏究員 · 工博
接受日字 : 2006年 1月 16日
最終完了 : 2006年 3月 27日

2. 프로그램의 용도와 특징

2.1 프로그램의 용도

TLCALC의 용도는 아래와 같이 요약할 수 있다.

① 선로설계 실무자용의 신설 계획 송전선로의 전기환경 대책설계, ② 기설 송전선로의 환경영향 사후관리, ③ 선로환경장해 예측, 평가에 의한 환경민원, 사회비용 발생 최소화, ④ 환경관련법을 만족하는 초고압 송전설비의 건설과 운용의 효율성 제고

2.2 프로그램의 특징

TLCALC는 외국의 기존 예측계산식 또는 계산프로그램들의 단점들을 대폭 개선하여 여러 가지 장점과 특징들을 갖고 있다. 프로그램의 주요 특징은 다음과 같다.

① 외국식들의 사용상 제약조건들을 해소한 범용의 계산 tool이다.

② 선로전압, 소도체 수와 직경 면에서 보다 넓은 적용범위를 갖으며, 예측의 정확도를 향상시켰다. 선로전압 면에서 코로나 소음 모듈의 경우 미국 BPA식은 1,500kV까지이나 제안식은 1,690kV까지 적용이 가능하다.

③ 수직 2회선 및 4회선 해석용이지만, 1회선(삼각 및 수평배열)에의 적용도 가능하다.

④ 계산 module은 그림 1과 같이 코로나 소음, 라디오 및 텔

레비전 장해, 전자계 강도 및 도체표면전위경도(bundle gradient) 등 총 6개로 구성되어 있다.

⑤ 코로나 소음과 라디오 잡음 계산식은 국내에서 자체 개발한 것을 적용했다.[5,6,7] 1998년 개발한 코로나 소음 계산식은 국내 최초이며, 세계 7번째이고, 1999년도에 개발한 라디오 잡음 계산식은 국내 최초이며, 세계에서 10번째로 개발된 것이다. 각 개발식의 예측오차는 참고문헌 [6,7]에서 미국, 캐나다, 프랑스, 이탈리아, 일본 등의 국외 계산식과 비교하였으며, 코로나 소음 경우 제안식의 오차는 0.13~0.91dBA이고, 국외식은 1.73(Ontario Hydro, 캐나다)~8.82(AEP, 미국)dBA로서 약 10배 이상 우수하다. 라디오 잡음 제안식의 오차는 0.74~1.23dB이고, 국외식은 2.29~3.39(BPA, 미국)dB로서 약 3배 우수한 것으로 나타났다.

⑥ 숙련된 실무자의 경우 약 15분 이내에 계산결과의 획득이 가능하다.

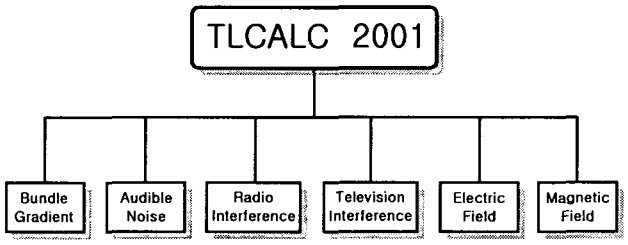

그림 1. TLCALC의 계산 Module 구성도

Fig. 1 Composition of calculation modules in TLCALC

3. 코로나 소음 및 잡음 예측계산식

TLCALC 개발에 사용된 코로나 소음 및 라디오 잡음장해 예측계산식은 자체 개발한 것을 적용했으며, 텔레비전 잡음장해 예측계산식은 전 세계적으로 사용되고 있는 미국 BPA (Bonneville Power Administration)식을 채용했다.[8,9]

3.1 코로나 소음 계산식

3.1.1 강우시 L5%치 계산식

General Formulation
$K_1 \cdot \log G + K_2 \cdot \log N + K_3 \cdot \log d + K_4 \cdot \log K_5 + K_6$

Ph.= 1,3,6	N	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6
L_5 (1)	<3	179.23	0	58.71	−55.02	2 DG + 206 G	−3.81
	≥3	174.07	59.06	57.73	−57.89	2 DG + 97 GN + 206 G + DN	$0.9\frac{GN}{D}$ + 3.7

3.1.2 강우시 L50%치 계산식

$$SLT_{L50} = 122.68 \cdot \log G + k_1 \cdot \log N + 58.68 \cdot \log d - 10.53 \cdot \log D + k_2 \quad (2)$$

Ph.	N	k_1	k_2
1, 3, 6	< 3	0	−122.73
	≥ 3	24.99	−133.89

단, 예측계산의 적용범위는,

- 적용 선로 : 교류 3상 2회선 및 4회선 수직배열 (국내의 모든 가공 송전선로 해당)
- 계산치 척도 : 降雨시의 $L_{5\%}$, $L_{50\%}$ Level
- D : 기준 상으로부터 계산점까지의 방사거리(radial distance), m
- G : 각 상의 최대평균도체표면전위경도(Average Maximum Bundle Gradient), kV/cm
- 유효적용범위 : 선로전압 $235 \le kV_{L\text{-}L} \le 1690$ kV
  도체 수 $1 \le N \le 16$
  소도체 직경 $2.35 \le d \le 5.59$ cm

3.2 라디오 잡음 계산식

3.2.1 청명시 L50%치 계산식

$$RI = -105.81 + 117.41 \log(g_a) + 40.38 \log d + 1.54 \log n - 10.22 \log D - 27.10 \log f \quad (3)$$

단, RI : 모델선로의 라디오 장해량, dBμV/m

g_a : 3상 평균 최대도체표면전위경도, kV/cm

d : 소도체 직경, cm

n : 소도체 수

D : 도체에서 안테나까지의 방사거리, m

f : 주파수, Mhz

3.2.2 강우시 L50%치 계산식

$$RI = -81.98 + 119.56 \log(g_a) + 43.57 \log d + 3.97 \log n - 19.05 \log D - 25.07 \log f \quad (4)$$

단, 예측계산의 적용범위는,

- 적용 선로 : 교류 3상 2회선 및 4회선 수직배열 (국내의 모든 가공 송전선로 해당)
- 계산치 척도 : 청명시 $L_{50\%}$ 및 降雨시 $L_{50\%}$
- 유효적용범위 :
  $230 \le$ 선로전압, $kV_{L\text{-}L} \le 1200$ kV
  $1 \le$ 소도체 수, $n \le 8$
  $2.24 \le$ 소도체 직경, $d \le 6.35$ cm (청명시)
  $2.72 \le$ 소도체 직경, $d \le 6.35$ cm (강우시)
  $0.475 \le$ 주파수, $f \le 1.0$ Mhz

3.3 텔레비전 잡음 계산식

식 (5)는 BPA의 강우시 L50% 텔레비전 잡음 계산식이며, 각 상별로 계산된 결과 중에 최대치를 최종 계산치로 취한다.

$$TVI = 10 + 120 \log\left(\frac{G}{16.3}\right) + 40 \log\left(\frac{d}{30.4}\right) + 20 \log\left(\frac{75}{f}\right) + \frac{q}{300} + F \quad (5)$$

단, G : 각 상의 표면전위경도, kV/cm

d : 소도체 직경, cm

f : 주파수, MHz

q : 해발고 보정계수 (적용범위 $q < 3000$ m)

F : 아래의 조건에 따른다.

① (계산점 방사거리 AND 61) $\leq A$이면,

$$F = 20\log(\frac{61}{\text{계산점 방사거리}})$$

② (계산점 방사거리 $\geq A$) AND (61 $\leq A$)이면,

$$F = 20\log(\frac{61}{A}) + 40\log(\frac{A}{\text{계산점 방사거리}})$$

③ (계산점 방사거리 $\leq A$) AND (61 $\geq A$)이면,

$$F = 20\log(\frac{A}{\text{계산점 방사거리}}) + 40\log(\frac{61}{A})$$

④ (계산점 방사거리 AND 61) $\geq A$이면,

$$F = 40\log(\frac{61}{\text{계산점 방사거리}})$$

$$A[m] = \frac{12\times TVI \text{ 측정안테나높이}\times\text{선로의높이}}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{3\times10^8}{f\times10^6} \text{ [m]}$$

4. TLCALC 주요 기능과 구성

4.1 프로그램의 계산기능

TLCALC가 갖고 있는 주된 계산 기능은 다음과 같다.

① 입력파일작성 : 선로 사양과 계산 제반 조건들을 사용자가 메뉴방식으로 입력, 저장 및 관리

② 계산치의 종류 : 임의지점과 높이에서의 Noise 발생량 및 field profile

③ 선로사양 : 2회선 및 4회선의 수직배열(국내의 모든 송전선로 계산 가능)

④ 계산결과 출력 : 수치 출력과 그래프 출력 선택 기능

⑤ 도체표면 전위경도 계산 module

⑥ 환경장해 계산 : 라디오 잡음 등 5개 항목을 기상별, 선로와의 거리별로 계산

4.2 프로그램 구성

TLCALC는 그림 2와 같이 데이터 입력부, 연산부, 출력부 및 기타 보조창들로 구성되며, 이와 같은 내용은 프로그램의 도움말에 있다.

프로그램의 실제 운용 화면으로서, 그림 3은 초기화면이며, 주 메뉴 창인 그림 4에는 입력자료 작성, 예측계산 수행, 계산결과 파일관리 및 도움말 등이 있다. 그림 5는 입력창으로써, 초보자도 2회선 및 4회선 입력 데이터 작성, 관리가 용이하며, 우측 한회선의 좌표만 입력하면 된다. 사용자가 입력실수를 한 경우에는 변수별 유효적용범위를 지정해 놓았기 때문에 error message가 나타난다. 전선지상고는 평균지상고를 입력한다. 그러나 전계 계산 시에는 최대전압에 최저지상고가 자동으로 적용되고, 그 외의 경우는 공칭전압에 평균지상고가 적용된다. 소도체 수(N)에 관해서 코로나 소음의 경우는 예측의 정확도를 높이기 위해 N < 3 또는 N ≥ 3인 여부를 판단하여 각각 상이한 계산식이 적용된다.

그림 6은 계산조건 입력 및 주 연산부로써 계산하고자 하는 장해항목을 선택하고 각종 계산조건들을 지정한다. 계산조건은 계산점 높이, 계산주파수, 해발고 및 상하부 선로의 부하전류 등이다. 계산결과의 출력은 그림 7과 같은 lateral numeric data 외에도 선로 주변의 field 분포를 보여 주는 lateral graphic display 기능도 있다.

그래프 출력은 메뉴에서 '데이터관리(D)'의 'Graph 출력(G)'을 선택하여 얻을 수 있고, 해당 장해항목의 거리감쇠특성(lateral profile)을 도식적으로 표현한다. 표현방법은 1회선 profile만을 나타내는 '일반출력'이 있고, 그림 8과 같은 대칭 2회선 profile의 '대칭출력' 등 2가지가 있다. 또한 이 그림파일의 인쇄와 저장(BMP)이 가능하며, 그림 8에서 그래프의 일부분 확대를 위해 Zooming 영역을 설정하면 관심 있는 부분의 확대와 상세 조사가 가능하다.

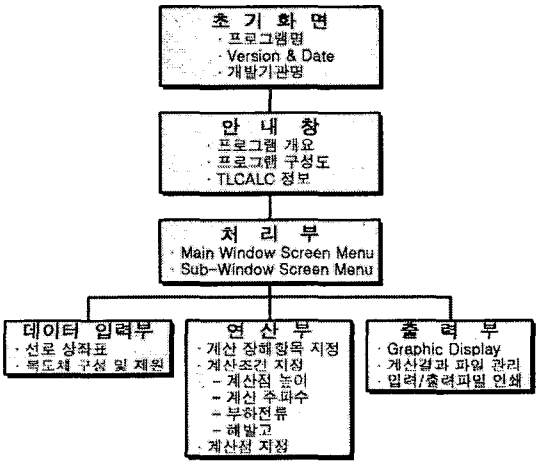

그림 2. TLCALC 전기환경설계프로그램의 구성도
Fig. 2 Configuration of TLCALC

5. 기술이전 및 실용화 방안

개발 프로그램은 2001년도에 약 60명의 전력회사 송전설계 실무자들을 대상으로 기술이전이 실시되었으며, 사용자 등록 및 관리프로그램도 함께 개발되었고, 정보통신부 컴퓨터 프로그램(No. 2001-01-12-7479)으로 등록되었다.

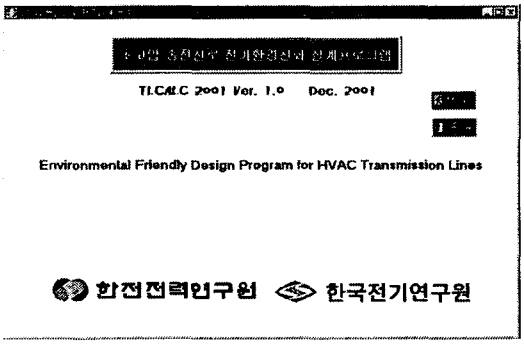

그림 3. TLCALC 초기화면
Fig. 3 The initial screen of TLCALC

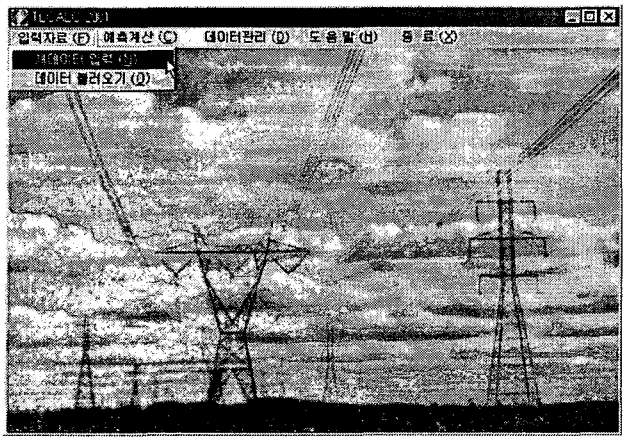

그림 4. TLCALC의 주 메뉴 화면

Fig. 4 Main menu window of TLCALC

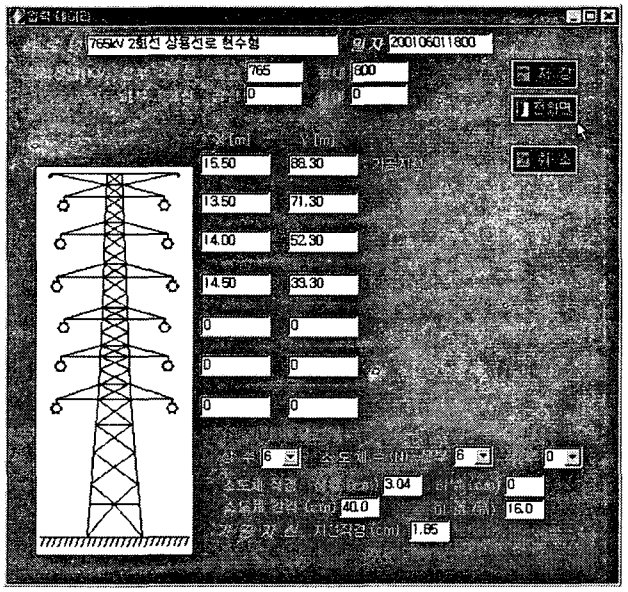

그림 5. 불러오거나 작성이 완료된 상태의 입력데이터 화면 예시 (2회선)

Fig. 5 Example of 2-circuit data input window

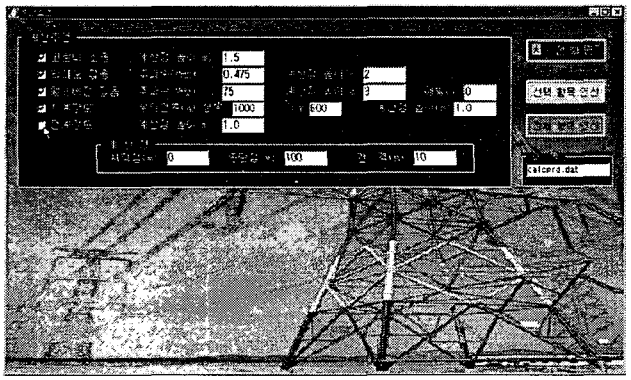

그림 6. TLCALC의 계산조건 입력 및 주연산부 화면

Fig. 6 Window for calculation conditions and the main operation

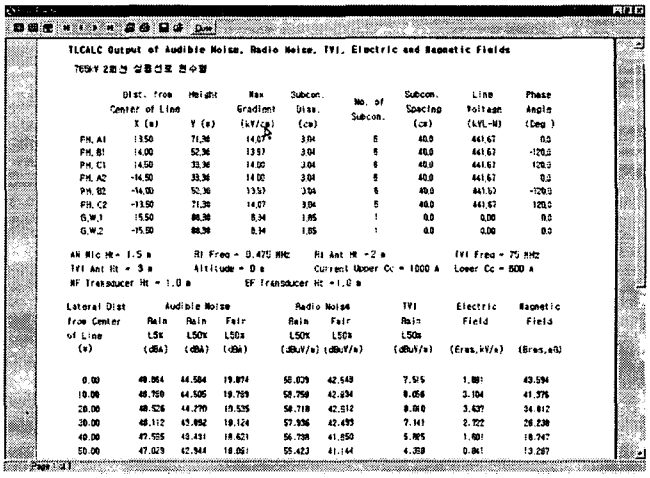

그림 7. 출력데이터 파일의 화면표시 (Numeric Display)

Fig. 7 Lateral numeric output data display

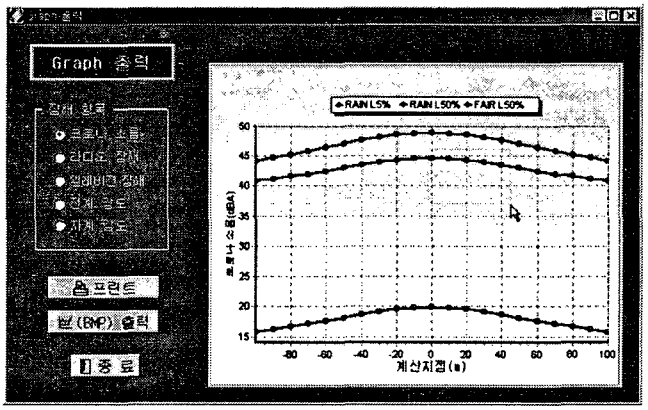

그림 8. '대칭출력' 메뉴에 의한 계산결과의 그래프 출력

Fig. 8 Example of graphic output data display

6. 결 론

본 논문에서 소개한 초고압 송전선로 전기환경친화 설계프로그램 TLCALC는 국민의 쾌적한 생활환경 요구, 정부의 강력한 환경규제, 전력회사의 환경친화 전력설비의 건설과 운용의 의무화 등의 사회적인 배경에 따라서 향후 송전설계 실무자(line designer)들에 의한 활발한 활용이 기대된다. TLCALC 개발의 의미와 기대효과를 요약하면 다음과 같다.

(1) TLCALC는 국내 최초로 개발된 초고압 송전선로 전기환경친화 설계프로그램이다.

(2) 외국의 유사한 계산프로그램에 비하여 사용상 여러 제약조건들을 해소했으며, 적용범위가 넓고 예측의 정확도가 향상되었다.

(3) 기설선로의 환경영향평가와 신설 계획선로의 환경친화설계에 실무적인 활용이 기대되며, 사용이 쉽고 실용적이다.

(4) 송전선로에 의한 환경장해 예측뿐만 아니라, field 분포특성 파악으로 적절한 저감대책 수립에도 활용이 가능하다.

(5) 송전설비로 인한 환경민원의 원천적인 예방과 이로 인한 사회환경비용의 절감효과가 기대된다.

(6) 현재는 프로그램 홍보와 사용자에 대한 기술지원을 위하여 사용자 등록관리시스템을 운용 중이다.

참 고 문 헌

[1] Korea Electric Power Research Institute (KEPRI), "The Third Stage Study on EHV Transmission System", The Draft of Final Report, Dec. 2001

[2] IEEE Committee Report, "A comparison of methods for calculating audible noise of high voltage transmission lines", *IEEE Trans. on PAS*, Vol. PAS-101, No. 10, Oct. 1982, pp. 4090-4099.

[3] V. L. Chartier, R. D. Stearns, "Formulas for predicting audible noise From overhead high voltage AC and DC lines", *IEEE Transactions on PAS*, Vol. PAS-100, No. 1, Jan. 1981, pp. 121-129.

[4] IEEE Radio Noise Subcommittee Report,"Comparison Of Radio Noise Prediction Methods with CIGRE/IEEE Survey Results", *IEEE Trans. on PAS*, Vol. PAS-92, No. 3, pp 1029-1042, May/June 1973.

[5] K. H. Yang, D. I. Lee, J. H. Park et al., "New Formulas for Predicting Audible Noise from Overhead HVAC Lines Using Evolutionary Computations", *IEEE Tran. on Power Delivery*, Vol. 15, No. 4, pp. 1243-1251, Oct. 2000

[6] 양광호, 황기현, 박준호, 박종근, "유전프로그래밍에 의한 초고압 송전선로 환경설계용 코로나 소음 예측계산식 개발", 제50권 제5호, pp.234-240, 2001.5.

[7] 양광호, 주문노, 명성호, 신구용, 이동일, "최소자승법에 의한 초고압 가공 송전선로의 라디오 잡음장해 예측계산식 개발", 제49권 제1호, pp.37-42, 2000.1.

[8] CIGRE WG 36.01, Interferences Produced by Corona Effect of Electric Systems - Description of Phenomena and Practical Guide for Calculation, CIGRE, pp 45-49, 1974.

[9] CIGRE WG 36.01, Addendum to CIGRE Document No. 20 (1974), Interferences Produced By Corona Effect Of Electric Systems, CIGRE, pp 43-60, 1996. 12.

저 자 소 개

양 광 호(梁 光 鎬)

1957년 11월 16일생. 1999년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1986년~현재 한국전기연구원 전력연구단 전기환경송전연구그룹 책임연구원, 전력설비환경설계기술팀장. KIEE, IEEE 정회원.

Tel : 055-280-1322

E-mail : khyang@keri.re.kr

주 문 노(朱 玧 魯)

1968년 7월 7일생. 1996년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 한국해양대학교 박사수료. 1996년~현재 한국전기연구원 전력연구단 전기환경송전연구그룹 선임연구원.

Tel : 055-280-1324

E-mail : mnju@keri.re.kr

명 성 호(明 聖 鎬)

1958년 3월 20일생. 1981년 서울대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1984년~현재 한국전기연구원 전력연구단 전기환경송전연구그룹장

E-mail : shmyung@keri.re.kr

길 경 석(吉 暻 碩)

1962년 6월 30일생. 1984년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2003년3월~2004년2월 영국 카디프 대학 방문교수. 1996~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 부교수

Tel : 051-403-1127

E-mail : kilgs@hhu.ac.kr

황 기 현(黃 琪 鉉)

1968년 3월 1일생. 2000년 부산대대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 동서대학교 유비쿼터스 컴퓨터그래픽스응용 지역기술혁신센터 전임교수

Tel : 051-320-1938

E-mail : hwanggh@gdsu.dongseo.ac.kr

이 동 일(李 東 一)

1958년 5월 15일생. 1996년 한양대대학원 전기공학과 졸업(공박). 1978년 한국전력공사 입사. 현재 전력연구원 송전연구그룹장, 책임연구원. KIEE 종신회원. CIGRE 정회원.

E-mail : dilee@kepri.re.kr