

# 765kV 송전선로용 특수 다중도체 방식의 코로나 잡음특성 및 전계분포 해석

論 文

50A-12-2

## Analysis on Electric Field Distributions and Corona Characteristics of Special Conductor Bundles for 765kV Transmission Line

閔錫源\* · 金容俊\*\* · 申玖容\*\*\* · 李東一<sup>§</sup> · 朱玠魯<sup>§§</sup> · 梁光鎬<sup>§§§</sup>

(Suk-Won Min · Yong-Jun Kim · Koo-Yong Shin · Dong-Il Lee · Mun-No Ju · Kwang-Ho Yang)

**Abstract** - To solve aeolian noise, we have tried several special conductor bundles equipped with spiral rod and one kind of low aeolian noise conductor with a special shape. Charge simulation method was applied to analyze electric field distributions of them in transmission line and corona cage for investigating the corona characteristics. This paper describes the electric field distributions and the performances of audible noise and radio interference from the special bundles in 765 kV transmission line by using corona characteristics obtained from corona cage simulation.

**Key Words** : Aeolian Noise, Charge Simulation Method, Audible Noise, Radio Noise, Spiral Rod, Corona Cage

### 1. 서 론

현재 우리나라는 전력수요의 증가와 인구의 대도시 집중화 현상으로 인해 신뢰도 높은 대용량 장거리 전력 수송 설비를 점차 확충해야 하는 실정으로서, 현재 765kV 송전선로가 건설 중에 있다. 그러나 765kV 송전선로의 'Cardinal×6B'도체 방식은 일부 지역에서 풍소음을 발생시켜, 송전선로 인접 지역 주민들의 민원을 일으키는 원인이 되고 있다.

풍소음이란 송전선을 다중 도체화 할 경우 바람에 의해 송전선에서 발생하는 기계적인 소음을 말하며, 이의 대책으로써 특수 형상의 LN(Low Noise) 저풍소음 전선과 직경 6mm의 spiral rod를 본선의 표면에 pitch 주기에 맞춰 설치하는 방식 등 크게 두 가지 방법이 검토되고 있다.

한편 spiral rod는 송전선 소도체에 비해 직경이 매우 작기 때문에 전계 집중의 원인이 되고, 이 부분에 전계가 높아져서 코로나 방전이 쉽게 발생하게 되므로 풍소음을 줄이는 동시에 전기적인 코로나 장해를 저감하는 연구가 필요하다.

따라서 본 논문에서는 일반 다중 도체방식과 spiral rod(SR) 설치 형태에 따라 구분되는 SR 밀착 2조, SR 대각 밀착 4조 풍소음 저감 방식과 풍소음 저감을 위해 특수 설계한 LN-610mm<sup>2</sup> 전선 등의 전계분포와 코로나 잡음특성을 검토하였으며, 또한 spiral rod 설치 시 증가하는 전계를 줄이기

위해 각 상의 원주상 최하단 두 소도체 사이에 첨선을 추가하는 전계저감용 다중도체의 경우도 고려하였다.

각각의 특수 다중도체 방식을 765kV 2회선 송전선로에 적용한 경우와 코로나 현상을 모의실험 할 수 있는 코로나 케이지(Corona Cage)에 적용한 경우의 소도체 표면전계의 세기를 계산하기 위해서는 2차원장 전하중첩법을 이용하였다[1].

또한 특수 다중도체 방식의 코로나 특성에 관한 단상 모의 실험을 1999년 3월부터 2000년 10월까지 코로나 케이지를 이용하여 실시하였다. 각 도체방식의 다상 송전선로에서의 코로나 잡음량을 예측하기 위하여 단상 데이터를 무한장 송전선로로 환산할 수 있는 환산프로그램을 적용하였다.

### 2. 특수 다중도체 방식의 전계분포

표 1은 765kV 송전선로 및 Corona Cage에 각각의 특수 다중도체 방식을 적용하였을 경우, 각상의 각 소도체 또는 spiral rod 표면에 나타나는 최대 전계 평균값이다.

SR 밀착2조 풍소음 저감방식은 그림 1의 (a)와 같이 반지름 3mm인 spiral rod 2개가 붙어서 일정한 pitch를 갖고 소도체(반지름 1.52cm)에 감겨 있는 형상을 나타내며, SR 대각 밀착4조 방식은 그림 1의 (b)와 같이 붙어 있는 2개의 spiral rod가 대각 방향에서 소도체에 감겨 있는 형상을 갖는다. 각 spiral rod의 위치는 전계의 세기가 가장 가혹한 경우를 고려하기 위해 다중도체의 중심점으로부터 소도체의 중심을 잇는 방사방향에 위치시켰다.

LN 610mm<sup>2</sup>×6 전선은 저풍소음 전선이라 하며, 표 1의 SR 대각밀착4조와 형상이 유사함을 알 수 있다. 그림 2는 2차원장 전하중첩법에서 LN 610mm<sup>2</sup>×6 전선을 모의하기 위한 형상 및 2차원 무한장 가상전하의 위치를 보여주고 있다.

'SR 대각밀착4조×6+첨선' 방식은 'SR 대각밀착4조×6' 방식에 전계 저감용 전선인 첨선이 추가된 다중도체를 나타

\* 正會員 : 順天鄉大 情報技術工學部 教授 · 工博

\*\* 準會員 : 順天鄉大 情報技術工學部 碩士科程

\*\*\* 正會員 : 韓國電力公社 電力研究院 先任研究員

§ 正會員 : 韓國電力公社 電力研究院 責任研究員 · 工博

§§ 正會員 : 韓國電氣研究院 電力研究團 研究員

§§§ 正會員 : 韓國電氣研究院 責任研究員 · 工博

接受日字 : 2001年 5月 8日

最終完了 : 2001年 10月 16日

내며, '480mm<sup>2</sup>×4+810mm<sup>2</sup>×2' 2종의 소도체를 사용한 특수 다중도체 방식은 하단의 두 소도체를 810mm<sup>2</sup>의 소도체를 사용하여 다중도체의 최대 전계 평균치를 줄이고자 한 것이다.

표 1. 765kV 송전선로와 Corona Cage내 특수 다중 도체 방식의 최대 전계 평균치

Table 1. Special conductor bundle gradients in 765kV transmission line and corona cage

특수 Bundle 종류	Bundle Gradient [kV/cm]			소도체 단면 형상
	코로나 케이지 시험전압 별 Gradient	765kV 현수형 상용선로		
		각상	3상 평균치	
Cardinal×6B	250kV 13.95 268kV 14.96 286kV 15.96	A:14.02 B:13.93 C:13.96	13.97	
SR밀착2조 ×6B	250kV 21.80 268kV 23.37 286kV 24.94	A:24.67 B:24.51 C:24.57	24.58	
SR대각밀착4조 ×6B	250kV 21.40 268kV 22.94 286kV 24.48	A:22.76 B:22.61 C:22.66	22.68	
LN 610mm <sup>2</sup> ×6B	233kV 18.62 250kV 19.98 268kV 20.90 286kV 22.31 304kV 24.30	A:20.35 B:20.21 C:20.25	20.27	
SR대각밀착4조 ×6B + 첨선	250kV 20.07 268kV 21.51 286kV 22.95	A:21.05 B:20.96 C:21.04	21.02	
480mm <sup>2</sup> ×4 + 810mm <sup>2</sup> ×2	252kV 13.21 271kV 14.21 290kV 15.21 309kV 16.20	A:13.33 B:13.25 C:13.30	13.29	

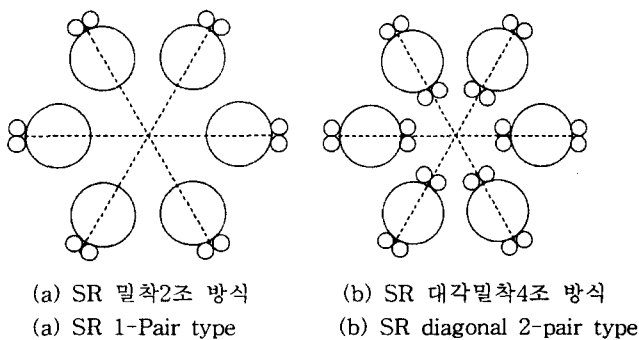


그림 1. Spiral rod 취부형 특수 다중도체의 구조  
Fig. 1. Configuration of special conductor bundle with spiral rod

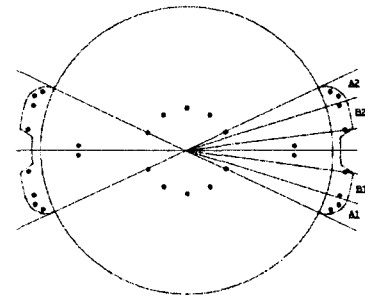


그림 2. LN 610mm<sup>2</sup> × 6B 방식의 가상전하 배치도  
Fig. 2. The arrangement of the simulation charge in a subconductor of LN 610mm<sup>2</sup> × 6B

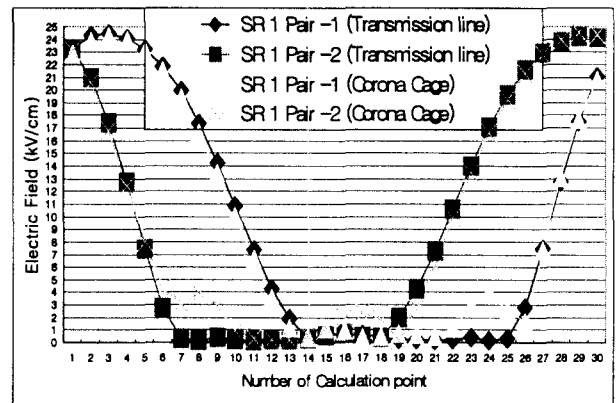


그림 3. 765kV 송전선로 및 Corona Cage내 SR 밀착2조 방식의 전계분포도  
Fig. 3. Electric field distribution of SR 1-pair in 765kV transmission and corona cage

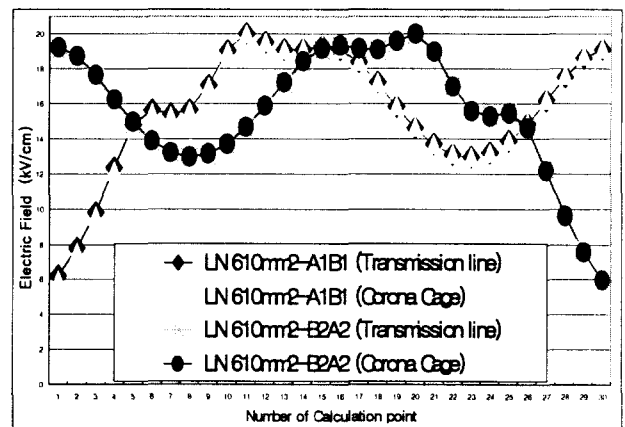


그림 4. 765kV 송전선로 및 Corona Cage내 LN 610mm<sup>2</sup> 방식의 전계분포도  
Fig. 4. Electric field distribution of LN 610mm<sup>2</sup> in 765kV transmission and corona cage

그림 3은 765kV 송전선로 및 Corona Cage에 SR 밀착2조 방식을 가선했을 경우 spiral rod 2개의 표면 전계 분포를 나타낸 것이며, 그림 4는 그림 2의 LN 610mm<sup>2</sup> 전선 방식의 A1~A4 부분의 전계분포를 나타낸 것이다. 이상 2개의 그림에서 알 수 있듯이 각각의 특수 다중도체 방식은 765kV 송전선로와 Corona Cage에서 비슷한 전계 분포를 나타내고 있다. 이는 Corona Cage로 765kV 송전선로의 코로나 발생특성 모의시험을 높은 신뢰도를 갖고 수행할 수 있음을 의미한다.

**3. 특수 다중도체방식의 코로나 잡음 특성**

표 2와 표 3은 코로나 케이지에서 얻은 단상 모의 시험치를 765kV 상용선로 모델로 환산하여 선로 중심에서 29.5m 되는 지점에서 코로나 소음과 라디오 잡음 발생량을 예측한 결과이다. 이상의 예측결과치를 활용하여 각 특수 다중도체 방식들의 환경장해 발생량 비교 및 환경설계목표치 만족 여부 등을 확인할 수 있었다. 코로나 소음 및 잡음의 계측시스템, 실험법 그리고 무한장 선로로의 단상 데이터 환산방법은 참고문헌 4, 5에 상세히 기술되어 있다[2,3,4,5].

**3.1 코로나 소음**

**3.1.1 청명시 코로나 소음**

표 2에서 2중 복도체 방식과 LN 610mm<sup>2</sup> 전선 방식이 가장 낮은 37~38 dBA 수준을 보였으며, 다른 방식에 있어서도 전반적으로 40dBA 수준을 나타냈다. 이와 같이 청명시 코로나 소음은 시험시 주위소음 수준인 약 41dBA 이하로서 환경문제시 되지 않을 것으로 판단되며, 최대 평균 전계강도와 코로나 소음의 상관관계는 잘 나타나지 않았다.

**3.1.2 강우시 코로나 소음**

일반적으로 spiral rod 취부 조수가 증가하면 도체 전위경도는 미세하게 감소한다. 그러나 강우시에는 코로나 발생의 지배적인 주원인인 水滴(water droplet)이 특수 전선의 종류에 관계없이 전선 하부에 충분히 생성되므로, 취부 방식간의 미세한 최대 전계 평균치 차이만큼 코로나 소음 발생량 차이가 명확하게 나타나지 않은 것으로 추정된다. 전체적으로 47~52dBA 범위에서 분포되어 있다.

강우시 코로나 소음이 가장 낮은 것은 SR 대각밀착4조 방식으로 일반 다중도체 방식보다 최대 전계 평균치가 60% 높음에도 불구하고 약 47.3dBA이고, SR 밀착2조방식의 51.6dBA를 제외하고 대부분의 방식들이 설계 목표치 50dBA를 만족하고 있다.

**3.1.3 경우시 코로나 소음**

경우시에는 전선에 많은 수적들이 붙어있지 않고 낙하하며, 전선 표면이 젖은 상태로 되는 것이 특징적이다. 따라서 강우시와는 달리 수적에 의한 영향이 뚜렷히 나타나지 않고, 최대 평균 전계강도가 낮은 만큼 적은 량의 코로나 소음이 발생하는 경향을 보이며, 모든 방식들이 설계 목표치 50dBA를 만족하였다. SR 대각밀착4조 방식은 첩선을 추가하여 최대 평균 전계강도를 7.3% 저감할 수 있고, 이로 인하여 경우

시 코로나 소음이 약 1dBA 저감됨을 알 수 있었다. 또한 LN 저소음 전선의 최대 평균 전계강도는 SR 대각밀착4조에 비해 불과 2.4kV/cm 낮기 때문에 유사한 특성이 나타났으며, 현재까지의 시험 결과에 의하면 코로나 소음 면에서 SR 대각밀착4조 방식이 SR 밀착2조 방식 및 SR 1조 방식에 비하여 월등히 우수한 환경특성을 갖는다는 결론을 내릴 수 있다.

**표 2. 765kV 특수 다중 도체방식 송전선로의 코로나 소음**  
**Table 2. Audible noise from special conductor bundles in 765kV transmission line model**

No.	특수 다중도체방식	기상조건		
		청명 (dBA)	강우 (dBA)	경우 (dBA)
1	Cardinal×6B	40.6	50.3	42.9
2	SR밀착2조×6B	39.5	51.6	48.3
3	SR대각밀착4조×6B	39.4	47.3	43.4
4	LN610mm <sup>2</sup> ×6B	38.0	49.0	44.1
5	SR대각밀착4조×6B + 첩선	39.6	49.0	42.3
6	480mm <sup>2</sup> ×4 + 810mm <sup>2</sup> ×2	37.2	49.5	42.5

**3.2 라디오 잡음**

라디오 잡음 측정 기준주파수는 475 kHz이나, 측정에 방해가 되는 불요잡음과 방송신호가 간헐적으로 인입되는 경우에는 ANSI/IEEE Std 430(1986)에 의거한 0.5±0.1 MHz 범위 내의 불요잡음 영향이 작은 주파수에서 가변적으로 측정을 수행했다[3].

도체방식 별 라디오 잡음의 크기는 그림 5와 같이 765kV 송전선로의 최대 전계 평균치의 상대적인 크기와 일치하는 결과를 얻었다. 즉, 각 도체방식의 최대 전계 평균치중에 크기가 가장 작은 2중 복도체 방식의 라디오 잡음 발생량이 가장 작게 나타났으며, 최대 전계 평균치가 가장 큰 SR 밀착 2조의 잡음 발생량이 가장 크게 나타났다.

송전선로의 라디오 전파 수신장해 기준으로써는 청명시 신호 대 잡음의 비(SNR)가 24 dB 이상이면 장애가 없는 양호한 수신품질이라고 평가하고 있다. 또한 국내 방송신호의 전계강도는 구 체신부 고시 제1992-126의 잡음등급별 방송구역 전계강도를 근거로 라디오 장애 평가기준의 신호강도는 71 dBμV/m로 하고 있다[6].

이에 따르면, SR 밀착2조 방식의 라디오 잡음 발생량은 SNR이 6.8dB인 64.2 dBμV/m로서 송전선로 주변에서 라디오 수신장해로 인한 민원을 유발할 가능성이 매우 높은 수준이다. SR 대각밀착4조 방식 및 이의 첩선방식 실험결과도 SNR 24dB 이하로서 기준치를 만족하지 못한다. 그러나 FCC,

IEEE 기준에 의하면 라디오 수신 가능한 최소한의 품질은 SNR 13 dB(D등급)로서 라디오 잡음은 58 dB $\mu$ V/m까지 허용된다. 따라서 SR 대각밀착4조 방식의 SNR 18.1dB은 양호하지는 못한 수준이나 청취가 가능한 D등급에 해당되고, 첩선 방식의 경우도 SNR이 22.1dB이므로 청취가 양호한 C등급에 해당된다. 따라서 실질적인 라디오 수신장애 문제는 발생되지 않을 것이라는 평가가 가능하다. 대각밀착4조 방식의 경우 청명시 SR 밀착2조와 비교하면 11dB정도 라디오 잡음량이 낮아졌고, 첩선 가선으로 청명시 약 4 dB 잡음량이 추가로 낮아졌다. 일반 다중도체 방식, 2중 복도체 방식 및 LN 610mm<sup>2</sup> 방식의 경우는 모두 SNR 24dB 이상을 만족하여 송전선로 주변에서의 라디오 수신장애는 발생되지 않을 것으로 예측된다. 따라서 현재까지의 특수 다중도체 방식 실험결과에 의하면 청명시 라디오 잡음 면에서 SNR 24dB를 만족하는 LN 610mm<sup>2</sup> 방식이 가장 우수한 것으로 요약할 수 있다.

강우시 라디오 잡음은 청명시와 같이 최대 전계 평균치의 크기 순으로 뚜렷한 차이는 나타나지 않으나, 첩선 방식의 경우가 라디오 잡음 발생량이 가장 작게 발생한 것 이외에는 거의 유사한 수준을 보였다. 현재까지의 실험결과에 의하면, 강우시 SR 대각밀착 4조+첩선 방식의 발생량이 다른 도체 방식보다 작게 나타난 원인을 명확하게 규명할 수는 없지만, 첩선의 취부가 각 소도체 하부 물방울에서의 코로나 방전에 큰 영향을 미친 것으로 추정된다.

표 3. 765kV 특수 다중 도체방식 송전선로의 라디오 잡음

Table 3. Radio noise from special conductor bundles in 765kV transmission line model

No	특수 다중도체 방식 종류	청명 (dB $\mu$ V/m)	강우 (dB $\mu$ V/m)	경우 (dB $\mu$ V/m)
		SNR (dB)		
1	Cardinal $\times$ 6B	44.9	67.6	61.3
		26.1		
2	SR밀착2조 $\times$ 6B	64.2	75.6	76.4
		6.8		
3	SR대각밀착4조 $\times$ 6B	52.9	69.5	68.0
		18.1		
4	LN 610mm <sup>2</sup> $\times$ 6B	46.0	71.3	67.9
		25.0		
5	대각밀착4조 $\times$ 6B + 첩선	48.9	62.2	57.3
		22.1		
6	480mm <sup>2</sup> $\times$ 4 + 810mm <sup>2</sup> $\times$ 2	44.8	67.6	61.8
		26.2		

4. 결 론

본 논문에서는 765kV 송전선로 주변에서 발생할 수 있는 풍소음 장해를 저감하기 위해 설치되는 특수 다중도체방식들

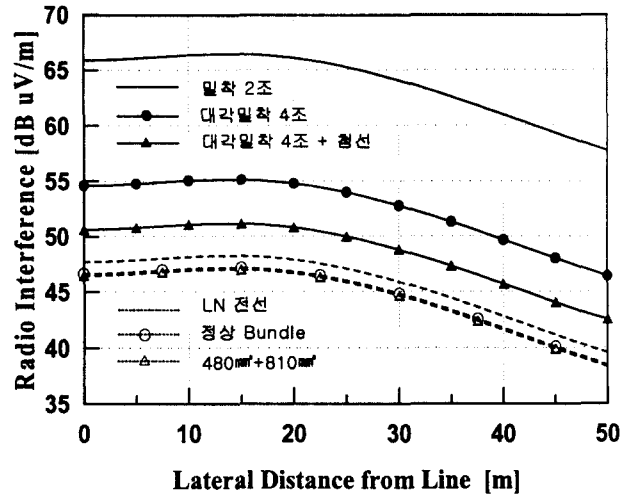


그림 5. 765kV 특수 다중 도체방식 송전선로의 청명시 라디오 잡음의 거리감쇠효과

Fig. 5. Lateral profile of radio noise from special conductor bundles in 765kV transmission line model

의 코로나 잡음 특성을 검토하기 위해 2차원 전하 중첩법을 이용하여, 765kV 2회선 송전선로와 코로나 현상을 모의 실험하기 위한 코로나 케이지 내부의 소도체 표면 전계강도를 검토하였다. 또한 코로나 잡음 특성을 실험적으로 조사하여 다음의 결과를 알았으며, 특히 Spiral Rod 대각밀착4조 $\times$ 6B 방식과 LN 610mm<sup>2</sup> $\times$ 6B 방식은 풍소음 대책전선으로 적합함을 확인하였다.

- ① 경우시 코로나 소음 특성 면에서는 480mm<sup>2</sup> $\times$ 4 + 810mm<sup>2</sup> $\times$ 2 방식과 Spiral Rod 대각밀착4조 $\times$ 6B 방식이 가장 우수하며, SR 밀착2조 방식을 제외하고는 공히 코로나 소음 설계목표치 50 dBA를 만족했다.
- ② 청명시 라디오 잡음 면에서는 SNR 24dB를 만족하는 LN 610mm<sup>2</sup> 방식과 480mm<sup>2</sup> $\times$ 4 + 810mm<sup>2</sup> $\times$ 2 방식의 특성이 가장 우수한 것으로 나타났다.
- ③ 최대 평균 전계치와 Noise와의 상관관계는 코로나 소음 경우는 경우시에, 라디오 잡음의 경우는 청명시에 잘 나타났다.
- ④ SR 대각밀착4조 방식의 첩선에 의한 전선표면전계 및 Noise 저감효과를 확인했다.
- ⑤ 풍소음 대책전선으로 실용화되는 Spiral Rod 대각밀착4조 $\times$ 6B 방식과 LN 610mm<sup>2</sup> $\times$ 6B 방식의 코로나 소음 특성은 설계목표치를 만족하는 수준으로써 우수하며, 라디오 잡음 특성은 목표치를 불만족하나 실제적인 수신장애가 없는 수준의 수신품질을 보였다. 따라서, 상기 2개 도체방식의 실용화로 인한 전기적인 환경영향의 문제는 발생되지 않을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] T. Kouno, T. Takuma, Numerical calculation methods of electric fields, Corona Pub. Co., Tokyo, 1980.  
 [2] IEEE, "IEEE Standard for the Measurement of Audible

Noise from Overhead Transmission Lines”, IEEE Std. 656-1992, 1992. 9.

[3] IEEE, “IEEE Standard Procedures for the Measurement of Radio Noise from Overhead Power line”, IEEE Standard 430-1986, 1986.

[4] 민석원, 양광호 외, “차기 초고압 송전선로의 도체방식 선정을 위한 환경설계 연구”, ‘89 대한전기학회 추계

종합학술대회 논문집, pp.197-200, 1989. 11. 25

[5] 민석원, 양광호 외, “Audible Noise Level in Future 765kV Double Circuit Transmission Line of Korea Electric Power Corporation”, ‘88 대한전기학회 춘계학술연구발표논문집, pp.15-26, 1988. 5.

[6] “방송구역 전계강도의 기준, 작성요령 및 표시방법”, 정보통신부 고시 제1998-49호, 1998. 3. 9

저 자 소 개



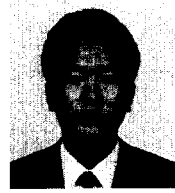
**민 석 원 (閔錫源)**  
 1958년 1월 3일 생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1984년~1991년 한전 기술연구원 계통연구실 근무. 1996년~1997년 일본 교토대 방문교수. 현재 순천향대 정보기술공학부 부교수  
 Tel : 0418-530-1338  
 Email : swonmin@sch.ac.kr



**이 등 일 (李東一)**  
 1958년 5월 15일 생. 1996년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1978년 한국전력공사 입사. 현재 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실 송변전기술그룹 책임연구원. KIEE 종신회원. CIGRE 정회원.  
 Tel : 042-865-5881  
 Email : dilee@kepri.re.kr



**김 용 준 (金容俊)**  
 1973년 4월 29일 생. 1998년 2월 순천향대 전기공학과 졸업. 2001년 2월 순천향대 정보기술공학부 전기공학전공 졸업(석사). 현재 한국전기안전공사 근무  
 Tel : 0418-530-1333  
 Email : kyj1973@enterprise.sch.ac.kr



**주 문 노 (朱玠魯)**  
 1968년 7월 7일 생. 1994년 인하대 환경공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~현재 한국전기연구원 전력연구단 전기환경·송전연구그룹 연구원.  
 Tel : 055-280-1324  
 Email : mnju@keri.re.kr



**신 구 용 (申玖容)**  
 1967년 7월 8일 생. 1993년 경남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 한국전력공사 입사. 현재 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실 송변전기술그룹 선임연구원.  
 Tel : 042-865-5885  
 H.P : 017-269-2775  
 Email : kyshin@kepri.re.kr



**양 광 호 (梁光鎬)**  
 1957년 11월 16일 생. 1981년 충북대 전기공학과 졸업. 1986년 성균관대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1986년~현재 한국전기연구원 전력연구단 전기환경·송전연구그룹 책임연구원, Technical Leader (전력설비 환경친화 설계기술 분야). 1999년도 대한전기학회 및 2000년도 한국과학기술단체총연합회 우수논문상 수상. KIEE, IEEE 정회원.  
 Tel : 055-280-1322  
 Email : khyang@keri.re.kr