

# 변전소 소음예측 프로그램 개발

## Development of Program for Substation Noise Prediction

具 教 善<sup>†</sup> · 權 東 震<sup>\*</sup> · 禹 貞 旭<sup>\*\*</sup> · 郭 周 植<sup>\*\*\*</sup> · 姜 鍊 旭<sup>\*\*\*</sup>

(Kyo-Sun Koo · Dong-Jin Kweon · Jung-Wook Woo · Joo-Sik Kwak · Yeon-Woog Kang)

**Abstract** - Energized power transformers in substations make unwelcome noises which propagate to nearby residential areas. As the excessive noise level become a target of public grievance than ever, utilities are seeking solutions to it. This paper introduce a power transformer noise prediction program which can give utilities effective solutions. Once a noise source is given, the program calculates the propagated noise level at certain points. The estimated result is rendered as noise contour map. To validate the accuracy of the program, the predicted noises are compared to measured one in real substations and proven to be acceptable within a margin of 5 percent.

**Key Words** : Power Transformer, Noise, Prediction, Solution, Program

### 1. 서 론

전력수요의 증가 및 도심지역의 확대로 기존 변전소의 설비증설 또는 주거지역내 변전소 신설이 필수적이다. 그러나 최근 생활환경 보전요구의 증대로 변전소 주 소음원인 변압기로 인한 소음민원이 발생되고 지속적으로 민원이 증가될 것으로 예상되어, 이에 대한 대책 마련이 시급하다. 특히 도심 변전소의 건설과 운용은 장기적인 측면에서 안정적인 전력공급에 필수적이나, 변압기 소음과 관련된 민원이 발생할 경우 변전소가 혐오 또는 위해시설로 인식되고, 이에 따른 변전소 건설지연과 이전요구는 전력공급에 중대한 차질을 가져올 것으로 예상된다.[1,2]

이러한 변전소의 소음문제에 대하여 일본의 경우, 1968년 소음규제법 시행으로 변압기의 소음 저감에 관해 관심을 가지기 시작하였으며, 저소음 변압기를 개발하여 도심지부터 설치하여 왔다. 현재 일본의 저소음 변압기의 점유율은 전체 운전 중인 변압기의 약 20~30[%]를 차지한다. 또한 미국, 캐나다에서도 1980년대 중반부터 저소음 변압기에 관련된 기술을 꾸준히 개발하여 왔으며, 유럽지역에서도 주거 지역은 저소음형 변압기를 설치함으로써 소음문제를 해결하고 있다.[3,4]

우리나라의 경우 1990년 제정된 소음·진동규제법을 통해서 소음을 구체적으로 규제하기 시작하였으며, 한전에서도

변압기 소음에 대해 문제점을 인식하고, 2003년에 “저소음 변압기 개발을 위한 기초 조사연구”를 수행하였으며, 현재는 154kV 60dB급 저소음 변압기를 개발 중이다[1].

본 논문에서는 소음문제에 대해 체계적이고 효율적인 대책수립을 위하여 변압기 소음예측 프로그램을 개발하였다. 이를 통하여 변전소 신설시 체계적으로 소음대책을 제시할 수 있을 것으로 기대되며, 기설 변전소의 소음민원에 대해서 효과적인 대책마련에 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 2. 본 론

#### 2.1 소음예측 프로그램의 기능

지금까지 국내의 소음·진동 해석 기술은 일반적으로 건축현장의 공사소음이나 도로, 철도, 비행장 등의 교통시설에서 발생하는 소음을 중심으로 발전해 왔다. 그러나 변압기 소음과 같은 특수기기의 소음원에 대해서는 소음예측의 시도가 전무한 실정이다. 본 논문에서는 변전소 소음문제를 효율적이고 체계적으로 해결하기 위하여 변압기 소음예측 프로그램을 개발하였다. 소음예측 프로그램은 변압기로부터의 거리에 따른 감쇠, 변전소의 크기, 변압기의 수량, 건물에서의 흡음, 회절, 반사 등을 고려하도록 개발하였다. 그림 1은 소음예측에 영향을 미치는 여러가지 요소를 고려하여 소음을 예측하는 과정을 나타낸 것이다.

소음예측 과정을 크게 구분하면 소음원의 모델링, 지형·구조물 등의 모델링, 소음의 수치적 계산, 소음예측 결과의 분석 등으로 나눌 수 있다. 소음원의 모델링은 소음전파의 가장 기본이 되는 소음원의 크기, 방향성, 위치, 수량 등을 수치적으로 입력하는 과정이고, 지형·구조물 등의 모델링은 소음감쇠에 영향을 미치는 흡음률, 투과손실 등의 특성을 입력하는 과정이다. 소음의 수치적 계산은 소음전파 및 감쇠

† 교신저자, 正 會 員 : 韓 電 電 力 研 究 員 研 究 員  
E-mail : kskoo@kepri.re.kr

\* 正 會 員 : 韓 電 電 力 研 究 員 責 任 研 究 員 · 工 博

\*\* 正 會 員 : 韓 電 電 力 研 究 員 先 任 研 究 員 · 工 博

\*\*\* 正 會 員 : 韓 電 電 力 研 究 員 先 任 研 究 員

接受日字 : 2007年 5月 15日

最終完了 : 2007年 7月 25日

를 앞에서 언급한 여러가지 복합적인 요소들을 고려하여 수학적으로 계산하는 과정을 말한다. 소음예측 결과의 분석은 음압레벨의 등고선 표시, 임의의 지점에서 주 소음원 판별, 소음원간의 영향 비교 등의 분석이다.

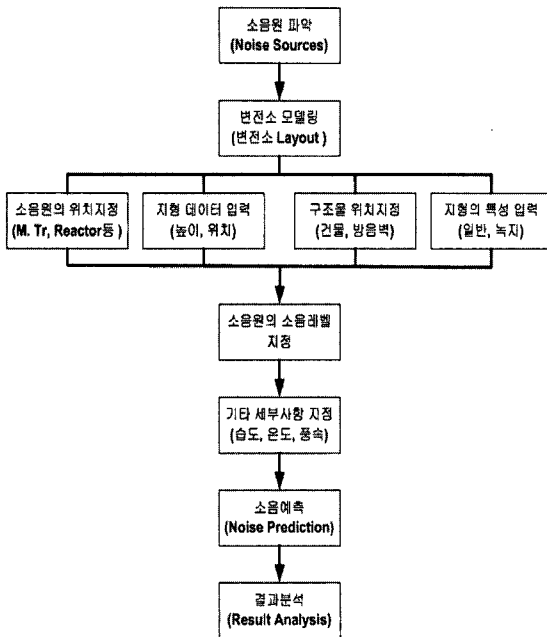


그림 1 소음예측 과정

Fig. 1 Process of noise prediction

표 1. 변압기 소음예측 프로그램의 구성

Table 1. Composition of the noise prediction program for power transformer

메뉴	세부메뉴	기능
File	(New/Open) Project	생성 및 열기
	Save / Save as	저장 및 다른 이름으로 저장
	Import / Export	Bmp, Dxf 출력형태의 변환
	Print	인쇄
	Exit	나가기
Database	Noise source	소음원의 정의
	Material property	구조물 흡음률, 투과손실의 정의
	Directivity index	소음원의 방향성 지정
Project	Geometry modeling	지형의 모델링
	Domain decoration	프로젝트의 외형적 장식
Result	Outdoor noise map	소음예측 결과표시
	Ranking sources	선택지점의 주요 소음원 판별
	Compare scenarios	소음원간의 영향비교

표 1은 변압기 소음예측 프로그램의 주요 구성을 나타낸 것으로 메인 메뉴에서 File, Database, Project, Result 등의 탭과 그 하부에 세부메뉴로 구성된다.

File 메뉴는 소음을 예측하기 위해 파일을 생성·저장하고 결과물을 출력하는 기능을 제공한다. Database는 Noise source, Material property, Directivity index 등의 세부메뉴

를 제공하며, 소음에 영향을 미치는 요소들의 세부적인 사항을 정의하는 메뉴이다. 이 중 Noise source는 소음원의 특성인 소음레벨, 주파수성분, 소음원의 위치, 개수, 크기 등을 지정할 수 있다. Material property는 소음감쇠에 영향을 주는 구조물의 특성을 재질에 따라 흡음률, 투과손실 등을 데이터화하여 편리하게 소음을 예측할 수 있도록 하며, Directivity index는 소음원의 소음이 방사되는 방향에 따른 소음레벨의 크기를 방향별로 지정할 수 있어 소음을 정확히 예측할 수 있게 한다. Project는 Geometry modeling, Domain decoration으로 구성된다. Geometry modeling은 지형의 높낮이, Mesh를 지정할 수 있다. Domain decoration은 지형구조나 소음예측 결과 등의 이해를 돕기 위해 선, 도형 등을 표시할 수 있다. 그러나 소음예측에는 영향을 미치지 않는다. Result는 Outdoor noise map, Ranking sources, Compare scenarios으로 구성된다. Outdoor noise map은 임의로 지정한 평면에서의 소음레벨 등고선 표시가 가능하다. Ranking sources는 임의의 지점에서 가장 큰 영향을 미치는 소음원 및 각각의 소음원에 대한 영향을 알 수 있다. Compare scenarios는 두가지 소음예측 결과를 비교하여 그 결과의 차를 그림으로 표시할 수 있다.

2-2 소음예측 결과 및 프로그램의 신뢰성 평가

개발한 소음예측 프로그램의 신뢰성을 확인하기 위하여 실제 소음민원이 예상되는 154kV 변전소를 선정하여 소음을 예측을 하고, 실제 소음과 비교하였다. 이 변전소는 인접한 왕복 2차선 도로너머 25층 규모의 아파트가 건설 중이며, 변압기 주변에는 방음벽 등이 없어 아파트 완공에 따른 주민 입주 시 소음민원의 발생이 예상된다.

2.2.1 소음예측 모델링

소음예측의 첫 단계인 소음원 모델링을 위해 변압기의 소음레벨을 측정하였다. 표 2는 주 소음원인 변압기의 소음특성을 나타낸 것이다.

표 2. 변압기 소음의 특성

Table 2. Characteristics of transformer noise

소음원	소음레벨[dB]									
	overall		주파수 대역별 Linear $L_{eq}$							
	A-weight	Linear	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
# 1 M. Tr	70.5	76.5	56.0	69.8	69.6	70.1	66.4	46.2	35.0	25.9
# 2 M. Tr	71.3	79.3	51.1	76.6	70.6	72.3	62.5	46.7	36.0	25.9
# 3 M. Tr	73.1	78.8	49.6	70.5	71.1	76.1	60.9	46.0	31.9	22.6

표 2는 변압기 소음측정 결과를 평균값으로 나타낸 것으로 63Hz, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz, 8kHz 주파수 대역에서의 음압레벨이다.

표에서와 같이 변압기 소음은 500Hz 미만의 저주파수 소

음이 주를 이루고 있다. #1, #2, #3 변압기에서의 전체적인 A-Weight 음압레벨은 70.5, 71.8, 73.1[dB]로 나타났고, 이를 기본으로 소음원을 모델링하였다.

변압기에 의한 소음의 예측은 지형의 형태·특성·구조물의 형태·재질 그리고, 도로, 공사장, 기타 소음원 등의 소음 예측에 영향을 줄 수 있는 모든 요소를 모델링하여야 한다. 그림 2는 이와 같은 여러가지 복합적인 요소를 고려하여 변전소를 모델링한 것이다.

그림 2의 중앙에 표시된 3개의 점은 소음원인 변압기이고, 변전소 주변은 녹지이다. 변전소 뒤편에는 가파른 산을, 앞쪽에는 변압기에서 약 60m 떨어진 위치에 25층 높이의 아파트를 모델링하였다. 또한 변압기의 소음만을 평가하기 위하여 아파트와 변전소 사이의 도로소음은 배제하였다.

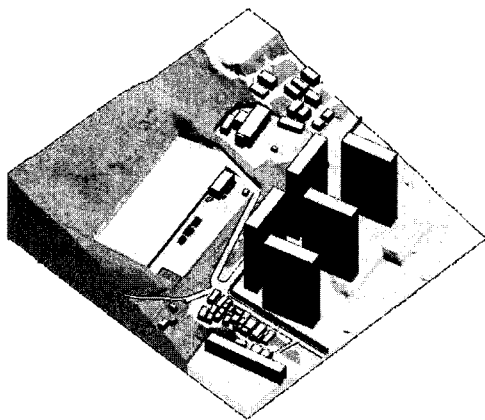


그림 2 변전소, 주변지형 및 구조물 모델링  
Fig. 2 Modelling of substation, surrounding topography and construction

2-2-2 소음예측값과 측정값의 비교

그림 3은 지면으로부터 1.5m 높이의 소음예측 결과를 나타낸 것이다. 중앙의 변압기를 중심으로 거리가 증가함에 따라 소음이 감소되는 것을 소음예측 맵을 통해 볼 수 있다.

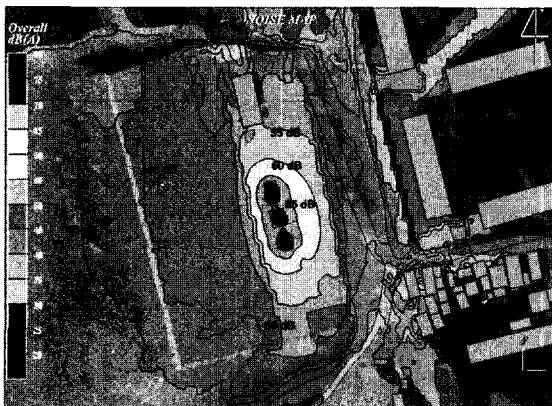
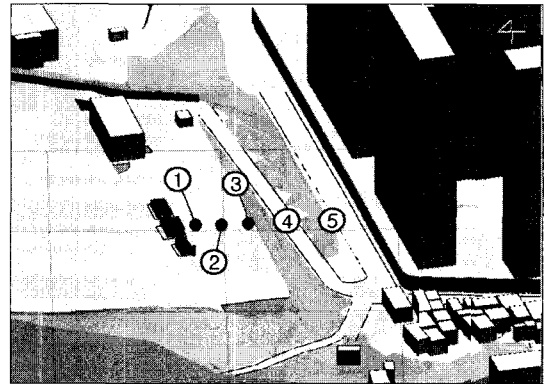


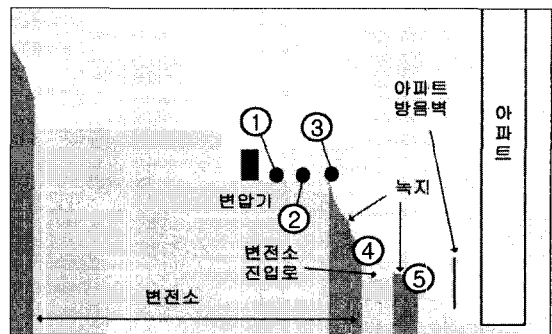
그림 3 소음예측 결과  
Fig. 3 Result of noise prediction

이와 같은 소음예측 결과의 신뢰성을 확인하기 위하여 실제로 변압기에서 거리에 따라 소음을 측정하고 소음예측 프로그램에 의한 소음예측값과 비교하였다.

그림 4는 ①~⑤까지 소음측정점으로 실제 소음을 측정된 위치를 나타낸 것으로, (a)는 수평면으로 소음측정 위치를 나타낸 것이고, (b)는 지형적 특성을 알아보기 위해 수직면을 나타낸 것이다.



(a) 수평면



(b) 수직면

그림 4 소음측정 위치

Fig. 4 Points of noise measurement

①,②,③은 변전소 내부에서 변압기를 기준으로 거리가 증가함에 따라 소음을 측정된 위치이고, ④는 변전소 경계 바깥쪽 진입로에서 측정된 위치이며, ⑤는 아파트에 인접한 도로에서 측정된 위치이다. 그림 5는 변압기에서 거리가 증가함에 따라 소음예측값과 측정값의 변화를 나타낸 것이고, 표 3은 소음예측값과 측정값의 오차를 나타냈다.

그림 5에서 보는 바와 같이 변압기에서 멀어질수록 소음이 감소되는 것을 볼 수가 있으며, ④, ⑤가 ①, ②, ③에 비해 소음이 급격히 줄어드는 이유는 변전소 경계부분에서 급격히 낮아지는 지형의 영향으로 변압기 소음이 급격히 감소되고 있으며, 또한 이 지역에 잡초, 담쟁이 넝쿨 등의 식물이 자생하고 있어, 소음 저감요인으로 작용하고 있는 것으로 판단된다. ①~⑤까지 예측값과 측정값을 비교해 본 결과, 편차는 0.4~2.3[dB]로 약 5.0[%]이내로 신뢰성이 있는 것으로 나타났다.

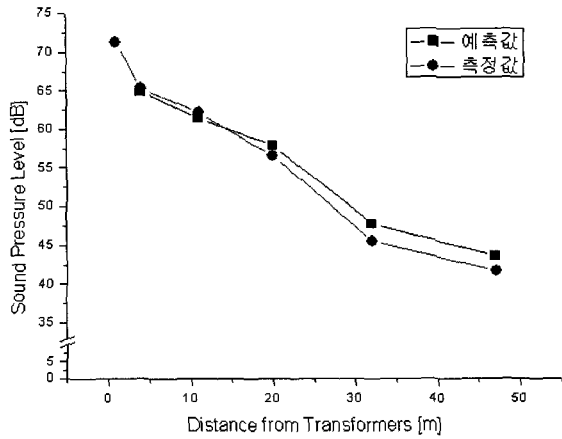


그림 5 거리에 따른 소음예측값과 측정값 비교  
 Fig. 5 Comparison of noise prediction value and noise measurement value by distance change

소음레벨이 낮아지는 것을 볼 수 있다.

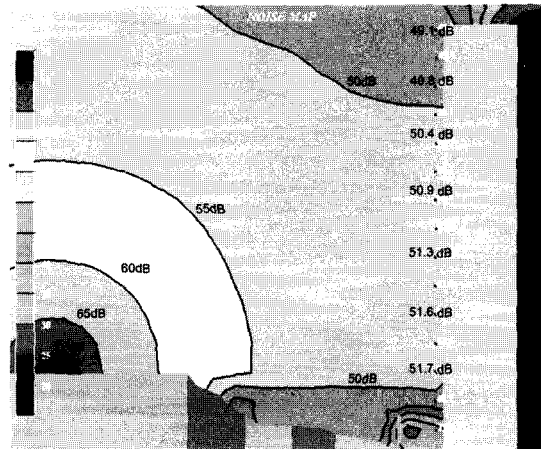


그림 6 소음예측 결과  
 Fig. 6 Result of noise prediction

표 3. 소음 측정값에 대한 소음예측값의 오차  
 Table 3. Error of noise prediction value about noise measurement value

위치 [No.]	예측값 [dB]	측정값 [dB]	오차 [dB]	오차율 [%]	비고
1	65.0	65.4	0.4	0.6	변전소 내부
2	61.5	62.2	0.7	1.1	
3	57.9	56.6	1.3	2.3	
4	47.8	45.5	2.3	5.0	변전소 진입로
5	43.6	41.7	1.9	4.5	도로

아파트의 전체적인 소음레벨은 32.6~51.7[dB]로 나타났으며, 이 결과는 주거지역 새벽시간의 소음기준치인 45[dB]를 약 7[dB] 초과하여 소음대책이 필요하다. 현재 한전에서 변압기 소음대책으로 방음벽을 설치하여 소음을 저감하는 방법을 사용하고 있으며, 이때 사용되는 방음벽은 일반형, 공명형, 반밀폐형, 밀폐형으로 구분할 수 있다. 일반 방음벽은 가장 간단한 방음장치로 소음저감 효과는 최소 5[dB] 이상이며, 공명형 방음벽은 일반형 방음벽의 단점을 극복하기 위해, 일반형 방음벽 상부에 특정 주파수만을 차단하는 구조의 공명형 방음장치를 추가한 것으로, 약 8[dB] 이상의 소음저감 효과를 얻을 수 있다. 반밀폐형 방음장치는 작업자의 접근성을 용이하게 하거나 공기순환을 순조롭게 하기 위하여 변압기의 3면을 둘러싼 구조로 되어 있으며, 약 10[dB]의 소음저감 효과를 얻을 수 있다. 밀폐형 방음장치는 변압기를 밀폐시키는 장치로 약 15[dB]의 소음감쇠 효과를 얻을 수 있다. 밀폐형 방음장치는 변압기에서 발생된 소음이 변압기와 방음벽 사이에서 증폭되는 현상이 있으므로, 이러한 현상을 방지하기 위하여 방음벽 내부에는 흡음재 및 공명형 소음기를 설치한다. 따라서 7[dB]의 소음을 저감하기 위해서는 일반형 방음벽 또는 공명형 방음벽의 설치로 소음을 감쇠시키면 쉽게 소음문제가 해결될 것으로 예상된다. 따라서 이와 같은 변압기 소음문제에 대해서 변압기 소음예측 프로그램을 이용하면 효과적인 소음문제의 해결책을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

2-3 소음예측 결과를 통한 해결책 제시

소음을 예측하고 그에 따른 해결책을 제시하기 위해서는 변전소 소음레벨을 수평면 및 수직면 예측을 통하여 입체적으로 파악하고 그 해결책을 제시할 필요가 있다.

앞서 언급한 그림 3은 지표면으로부터 1.5m 높이인 수평면의 소음예측의 결과를 나타낸 것으로, 소음원인 변압기를 중심으로 거리가 증가함에 따라 소음이 감쇠되는 것을 볼 수 있다. 또한 소음민원 발생이 우려되는 아파트에서의 소음레벨은 27.6~28.6[dB]로 소음기준치에 만족하는 것으로 지표면으로부터 1.5m 높이에서는 소음에 대한 문제점이 발생되지 않을 것으로 분석되었다.

그림 6은 변전소와 주변민가를 수직면으로 소음을 예측하고 그 결과를 나타냈다. 그림 3과 마찬가지로 변압기에서 동심원 모양으로 거리가 멀어질수록 소음이 감소하는 것을 볼 수 있으며, 수평적인 소음예측과는 달리 변압기의 소음이 아무런 차음이나 흡음 없이 그대로 아파트측에 전달되고 있는 것으로 나타났다. 이 때문에 변압기와 거리상으로 가장 가까운 아파트 중간층 부분에서 51.7[dB]로 가장 큰 소음이 나타났으며, 고층으로 올라갈수록 변압기와의 거리가 멀어져

3. 결 론

본 논문에서는 변압기 소음 민원에 대한 해결책을 모색하기 위하여 변압기 소음예측 프로그램을 개발하였다. 또한 소음예측값과 측정값을 비교한 결과, 오차는 0.4~2.3[dB]로 나타났으며, 오차율은 약 5.0[%] 이내로 신뢰성이 확보되었다. 또한, 소음민원이 예상되는 변전소에서의 소음예측 결과, 아파트에서 32.6~51.7[dB]로 약 7[dB]가 소음기준치를 초과하는 것으로 나타났으며, 소음예측 프로그램을 이용하여 방

음역을 통한 소음문제 해결책을 제시하였다.

### 참 고 문 헌

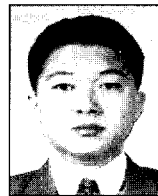
- [1] 전력연구원, "저소음 변압기 개발을 위한 기초 조사연구", 최종보고서, 2004
- [2] F. A. Jenkins, "Transformer Noise Complaints, Causes and Cures", IEEE Region III Meeting, Atlanta, Ga, April 13, 1966
- [3] C. G. Gordon, "A Method for Predicting the audible Noise Emission from large Outdoors Power Transformer", IEEE/ASME/ASCE Joint Power Generation Conference, Paper No. F78 818-73
- [4] C.T. Nguyen, "A program for calculating audible noise levels around power substations" Computer Applications in Power, IEEE Volume 3, Issue 2, April 1990

## 저 자 소 개



### 구 교 선 (具 敎 善)

1974년 9월 27일생. 2001년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사) 2005년~현재 한전 전력연구원 전력계통연구소 연구원  
 Tel : 042) 865-5869  
 E-mail : kskoo@kepri.re.kr



### 곽 주 식 (郭 周 植)

1972년 01월 10일생. 1994년 충북대학교 공대 전기공학과 졸업, 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~현재 한전 전력연구원 선임연구원  
 Tel : 042) 865-5868  
 E-mail : kwakjs@kepri.re.kr



### 권 동 진 (權 東 震)

1963년 1월 20일생. 1986년 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 1992년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995년~현재 한전전력연구원 전력계통연구소 책임연구원, 본 학회 편수위원.  
 Tel : 042) 865-5862  
 E-mail : djkwon@kepri.re.kr



### 강 연 옥 (姜 鍊 旭)

1966년 10월 5일생. 1988년 충남대학교 전기공학과 졸업. 1990년 충남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년~현재 한전전력연구원 전력계통연구소 선임연구원  
 Tel : 042) 865-5863  
 E-mail : ywkang@kepri.re.kr



### 우 정 옥 (禹 貞 旭)

1968년 9월 19일생. 1992년 경북대학교 전기공학과 졸업. 1994년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1994년~현재 한전전력연구원 전력계통연구소 선임연구원  
 Tel : 042) 865-5802  
 E-mail : jwwoo@kepri.re.kr