

초음파 탐지기의 효과적 활용을 위한 초음파 분석프로그램의 개발

전정채^{1*}, 임용배¹, 최명일¹, 유재근¹, 배석명¹
¹한국전기안전공사 전기안전연구원

Development of Ultrasonic Wave Analysis Program for Effective Use of Ultrasonic Detector

Jeong-Chay Jeon^{1*}, Young-Bae Lim¹, Myoung-il Choi¹, Jae-Geun-Yoo¹ and
Seok-Myeong Bae¹

¹Electrical Safety Research Institute KESCO

요 약 휴대용 초음파 탐지기(Ultrasonic Detector)는 전기설비에서 발생하는 부분방전, 코로나, 아킹, 트래킹 등과 같은 전기적 방전현상 탐지에 매우 유용하다. 그러나 초음파 탐지기는 측정음의 특성을 사용자가 듣고 판정함으로써 주관적 반응에 의해 그 결과가 좌우되거나 정확히 판정하기 곤란하게 된다. 따라서 초음파 음의 특성을 구별할 수 있는 새로운 분석적 방법이 요구된다. 본 연구에서는 초음파 탐지기에 의해 측정된 코로나, 아킹, 트래킹의 초음파 음을 시각화 할 수 있는 초음파 분석프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램에 의한 분석적 방법을 사용함으로써 초음파 음의 특성에 의존하던 기존의 방식보다 초음파 진단결과의 정확성을 높일 수 있게 된다.

Abstract Portable ultrasonic detectors are useful for detection of electrical discharge phenomena like as partial discharge, corona, arching and tracking occurring in an electric system. But the general portable ultrasonic detectors have drawbacks that the results are under the influence subjective reaction of users and it is difficult to determine the type of problem by listening to sound properties and estimate results. So a new analysis method distinguishing ultrasonic characteristics is required. This paper presented ultrasonic wave analysis program to visualize ultrasonic sound of corona, arching and tracking measured by ultrasonic detector. While depending on sound properties alone can be subjective, by incorporating analytical method using the developed program, users are able to increase the accuracy of their ultrasonic diagnosis results.

Key Words : Ultrasonic, Corona, Arching, Tracking, Program

1. 서론

변압기, 케이블, 애자 등의 전기설비 결함의 초기진단을 위한 방법 중의 하나로 초음파 진동음을 인간이 들을 수 있는 가청영역으로 변환하여 귀로 듣거나 Level을 표시하는 초음파 탐지기(Ultrasonic Detector)가 같이 사용되고 있다[1,2]. 초음파 탐지기는 장비가 비교적 간단하고 사용이 편리하여 현장에 적용하기 쉽고 다른 전기적인 측정방법과 상호간섭이 없어 코로나 발생 등의 탐지를 위해 사용되어왔다.

현장에서 사용되는 일반적인 초음파 탐지기는 탐지된 음을 듣거나 레벨메타의 지시 값을 보고 코로나(Corona),

아킹(Arching), 트래킹(Tracking) 등의 방전현상을 판별하게 된다. 그러나 초음파 탐지기 음원을 듣고 판정하는 것은 개개인의 주관적인 반응에 따라 좌우될 수 있어 사용이 편리한 반면 측정결과에 대한 해석, 분석이 용이하지 못하였다.

본 연구에서는 초음파 분석프로그램을 개발하였고 이를 이용하여 코로나, 아킹, 트래킹의 발생 유무를 소리와 파형을 보고 판정할 수 있도록 하였다. 개발된 초음파 분석프로그램은 초음파 탐지기와 PC(Personal Computer)와의 오디오 케이블을 이용한 연결에 의해 음원저장이 가능하고 저장된 음원과 실시간으로 시간-진폭(크기) 파형, 주파수-진폭(크기)파형의 분석이 가능하다. 또한 일련

*교신저자 : 전정채(kescoinc@naver.com)

의 측정정보의 입력과 파형 분석결과를 선택함으로써 초음파 음의 데시벨 크기 값 및 판정결과가 자동으로 생성되며 그에 따른 전기설비 초음파 진단결과 및 종합적인 의견까지 자동으로 MS-Word 파일로 보고서가 생성된다. 마지막으로 프로그램 내에 사용자 매뉴얼, 초음파 코로나 분석 기술자료, 보고서 작성방법 등의 도움말 기능을 PDF파일 형식으로 구현하여 현장 사용자의 편리성을 향상시켰다.

2. 본론

2.1 전기설비의 초음파

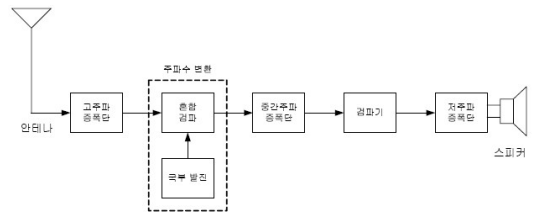
전기설비의 이상시 발생하는 방전현상으로는 코로나, 아킹 및 트래킹이 있고 이로 인해 초음파가 발생하게 된다. 코로나는 기중 중 방전현상으로 한 쪽이나 양 쪽의 전극이 뾰족한 모양일 때 극 부분의 전기장이 강해져 방전이 일어나는 현상으로 전극 주변의 발광부위를 코로나라 부르며 흐르는 전류는 매우 작아 보통 수 μA 정도이다. 극 사이의 일부에만 방전이 일어나고 있어서 아크 방전과 구분된다. 아킹은 두 전극 사이의 공기절연 파괴에 의하여 불꽃방전 현상이 발생하는 전기적 상태를 말하며 트래킹은 두 전극 사이에 금속 이외의 물질을 통해 전류가 흐를 수 있는 도전로가 형성되어 발생하는 방전현상으로 절연체 표면의 변질을 동반하게 된다.

이러한 방전현상에 있어 저압전기설비에서의 초음파는 주로 아킹, 트래킹에 의해 발생하게 된다. 1,000 V 이하에서 공기의 절연과파가 발생할 가능성이 없기 때문에 1,000 V 이하의 설비에서 코로나 발생은 거의 없게 된다. 1,000 V 이상의 전기설비에서는 아킹, 트래킹, 코로나, 부분방전에 의해 초음파 발생하게 된다.

2.2 초음파 탐지기

초음파 탐지기는 인간의 귀로는 들을 수 없는 초음파 대역의 음을 인간의 귀로 들 수 있는 주파수로 변환하여 인간이 들을 수 있는 음으로 변환시켜주는 장비이다. 초음파 탐지기는 일반적으로 헤테로다인(Heterodyne)원리에 의해 혼합주파수를 사용하여 측정주파수와 혼합주파수의 차에 의해 초음파 대역의 주파수를 그에 일치하는 가청주파수로 출력시키게 된다[2]. 이러한 헤테로다인 기술은 그림 1에서와 같이 입사된 전파와 별도로 마련한 발진기의 출력을 혼합하여 비트 주파수로 만들고, 그 비트 주파수를 검파기에 가하여 저주파 신호를 끌어내는 검파하는 방식이다.

파장이 짧아 방향성을 가지는 초음파의 성질과 공기의 비선형 성질, 그리고 두 신호가 비선형 믹서에 입력되면 두 개의 새로운 부가 신호들이 생긴다. 인간의 귀로 들을 수 있는 소리들은 그 파장이 길기 때문에 소리가 사방으로 퍼져나가는데 반해, 파장이 짧은 초음파는 레이저 광선처럼 단일 방향으로만 퍼져 나가도록 조종할 수 있다. 한편, 진폭이 충분히 큰 두 초음파 주파수가 공기와 접촉하면, 공기의 비선형 성질 때문에 원래의 두 주파수에 더해, 두 주파수를 합한 합주파수와 감한 차주파수가 생긴다. 예를 들어, 48kHz와 49kHz의 두 초음파 주파수를 사용한다면, 이들이 공기 중에서 혼합되어 97kHz와 1kHz의 새로운 주파수를 만들고, 이들 중 가청주파수 범위(20Hz~20kHz)에 드는 차주파수, 1kHz 음을 들을 수 있게 된다.



[그림 1] 초음파 탐지기 원리

이러한 초음파 탐지기는 그 구성이 간단하여 현장에서 사용하기가 용이하고 전기적인 신호에 대한 간섭이 없기 때문에 전기설비의 예방진단 분야에서 사용되어지고 있다. 일반적으로 초음파 탐지기는 20~100kHz 대역을 측정하여 사용한다. 이 중 전기설비 내부 부분방전에 발생하는 20~30kHz 대역의 초음파를 측정하고 코로나, 아크, 트래킹은 40kHz 대역에서 발생하는 초음파를 측정한다 [3-5].

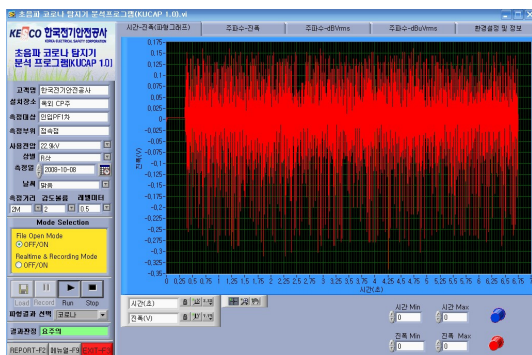
이러한 초음파 탐지기를 통해 애자, 부스(Busbars), 변압기(Transformers), 개폐기(Switchgears) 등의 이상시 발생하는 초음파 음을 탐지하게 된다.

초음파 탐지기를 이용한 전기설비의 이상 진단은 코로나, 트래킹, 아킹 등의 딱딱 튀는 소리를 듣고 가장 큰 소리로 들리는 방향을 탐지하여 탐지기의 방향을 설정하고 감도 다이얼을 적절하게 조절하여 주변의 소리를 줄이고 검사하게 되며 최대의 소리가 들리는 위치를 찾아 이때의 레벨을 기록표에 기록하게 된다. 즉, 초음파 탐지기의 감도를 조절하여 초음파 발생 음이 최대가 되는(전기설비의 이상이 발생하는) 위치를 탐지하기 위해 제작되었다. 그러나 초음파 탐지기에서 측정된 음을 듣고 판정하는 방법은 개개인의 주관적인 반응에 따라 달라지며 소리를 듣고 판별하기 매우 어려워지게 되는 문제점이 있다.

2.3 초음파 분석 프로그램의 개발

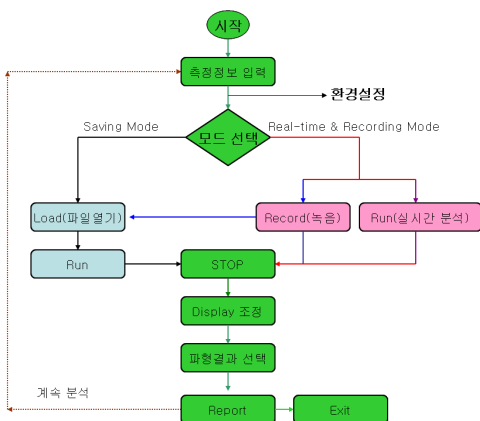
본 연구에서 초음파 분석프로그램을 개발하기 위한 툴로서 NI (National Instruments)사의 프로그램 툴인 LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 프로그램을 이용하였다. 프로그램을 적용하기 위한 초음파 탐지기는 일본 동영전기사의 (모델명 : SE-7) 제품이다[6].

그림 2는 본 연구에서 개발된 프로그램의 메인화면을 보여주고 있고 그림 2에서 보듯이 일반적인 프로그램과 같은 풀다운 메뉴는 생략하여 프로그램 사용자가 보다 편리하게 프로그램을 사용할 수 있도록 하였다.



[그림 2] 개발된 프로그램

그림 2의 메인화면 좌측 상단은 초음파 탐지기를 이용하여 초음파를 측정할 경우 측정관련 기본정보를 입력하기 위한 부분으로써 분석 완료 후 보고서 생성의 기본 자료가 된다.



[그림 3] 개발된 프로그램의 사용 순서

그림 3은 개발된 프로그램의 사용방법을 보여주고 있다. 측정정보 입력 후 모드 선택하여 저장된 파일을 분석

(Saving Mode)과 녹음을 하거나 실시간 분석(Realtime & Recording Mode)을 실행 모드 중 원하는 모드를 선택하여 분석을 실시하게 된다.

파형분석을 실행한 후 2.4절의 파형을 이용한 초음파 분석 방법을 참조하여 파형에 대해 사용자가 코로나 발생여부를 선택하게 되어 있으며 결과판정은 측정거리, 감도보름, 레벨미터 지시 값과 파형결과 선택을 참조하여 자동으로 “이상없음”, “주의”, “요주의” 등으로 판정된다. 마지막으로 “REPORT” 버튼은 그림 7과 같은 보고서 파일을 생성하게 되고 “매뉴얼” 버튼은 프로그램 사용자 매뉴얼을 PDF파일 형식으로 생성하게 되며 “EXIT”버튼은 프로그램을 종료시킨다. 보고서 생성 시 앞서 입력한 측정 값, 감도보름, 레벨미터 등의 측정환경 설정 값과 그에 따른 음의 크기(데시벨로 표현) 값, 파형결과 선택 등에 의한 진단결과 판정 값 그리고 종합의견 등이 보고서에 자동으로 생성된다. 마지막으로 환경설정 부분은 녹음을 위한 시간, 음원을 듣기 위한 스피커 출력을 선택기능 그리고 그래프의 배경 및 라인 색의 변경을 위해 사용자가 선택할 수 있도록 하였다.

2.4 프로그램을 이용한 결과 판정

2.4.1 소리를 이용한 판정

초음파 탐지기에서 측정된 음을 듣고 판정하는 방법은 개개인의 주관적인 반응에 따라 달라지며 소리를 듣고 판별하기 매우 어렵다. 또한 초음파 발생은 기계적 설비의 이상(베어링, 배관의 누설 등)에 의해 발생할 수 있음을 유의해야 한다. 그럼에도 불구하고 현장에서 초음파 탐지기를 이용하여 측정할 경우 소리를 들어 판별하고 있으므로 세부적인 현상들을 정리하면 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

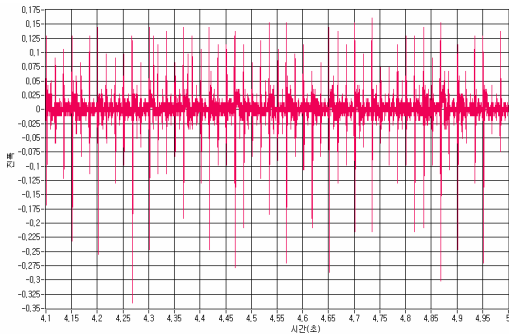
코로나는 지속적으로 웅웅하는 소리(buzzing sound)가 나고 아킹은 에너지의 급격한 시작 및 정지를 갖는 비정상적인 폭발음(erratic burst) 또는 파열음이 발생하며 트래킹의 경우에는 미세하게 평하는 소리 또는 노이즈를 동반한 웅웅하는 소리(buzzing sound)가 난다. 만일 1,000 V이하에서 초음파를 측정하여 웅웅하는 소리(buzzing sound)가 들릴 경우에는 트래킹으로 판별할 수 있다. 이는 코로나가 1,000 V 이하에서 발생할 가능성이 거의 없기 때문이다.

2.4.2 프로그램을 이용한 파형 분석 및 판정

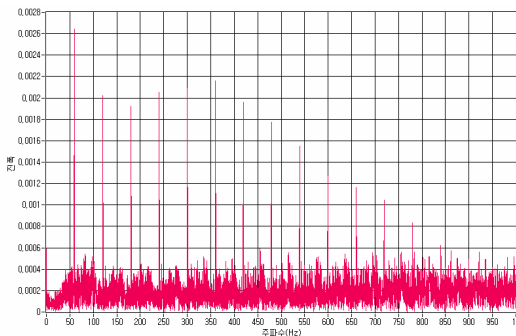
초음파 탐지기로 측정된 음원을 저장하여 파형을 분석하여 코로나, 아킹, 트래킹 발생 유/무를 판정할 경우에는 시간-진폭 그래프와 주파수-진폭 그래프(주파수-dB 그래

프 포함)에서 현상별 특징이 나타나게 되어 소리를 이용하는 방법과 병행하여 분석하게 되면 분석결과와 신뢰도를 향상시킬 수 있다.

전기설비 이상으로 코로나가 발생하게 되면 그림 4(a)와 같은 시간-진폭 그래프에서 평균대역보다 약간 큰 피크를 갖고 일정한 대역(크기)이 나타나며 그림 4(b)와 같은 주파수-진폭 그래프에서 60 Hz의 고조파 성분이 나타나고 코로나 발생이 심각할수록 60 Hz 고조파 성분은 점점 작아지는 경향을 보이게 된다.



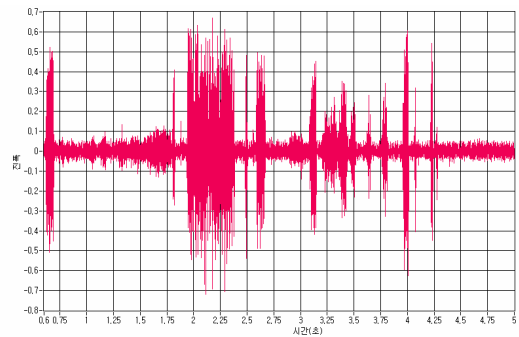
(a) 시간-진폭 그래프(코로나)



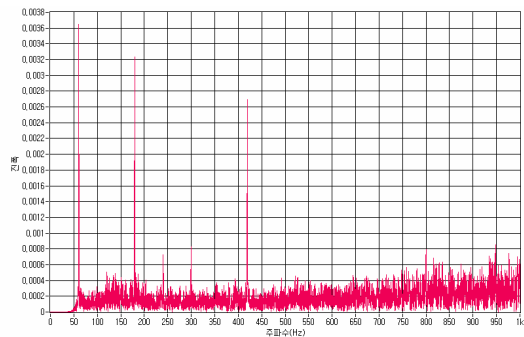
(b) 주파수-진폭 그래프(코로나)

[그림 4] 코로나 파형 그래프

전기설비에서 아킹 현상이 발생할 경우 그림 5(a)와 같은 시간-진폭 그래프에서는 평균대역보다 급격히 변하는 값을 다수 포함하게 되며 그림 5(b)와 같은 주파수-진폭 그래프에서는 매우 작은 60Hz의 고조파 성분이 나타내게 된다.



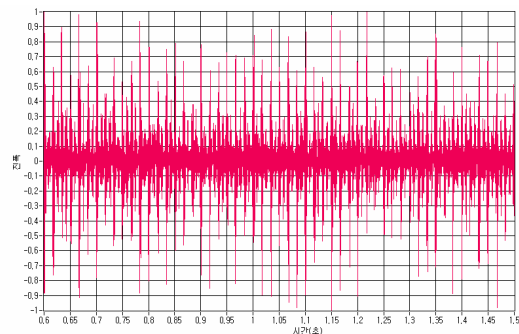
(a) 시간-진폭 그래프(아크)



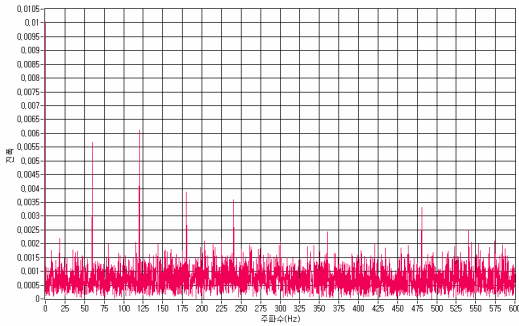
(b) 주파수-진폭 그래프(아크)

[그림 5] 아크 파형 그래프(아크)

트래킹 현상이 발생했을 때의 초음파 음을 분석해보면 그림 6(a)와 같은 시간-진폭 그래프에서 평균대역 위에서 방전된 큰 피크 값을 볼 수 있고 그림 6(b)와 같은 주파수-진폭 그래프에서 60Hz의 고조파 성분이 나타나지만 코로나와 같이 점점 작아지는 일정한 패턴이 없는 것이 특징이다.



(a) 시간-진폭 그래프(트래킹)

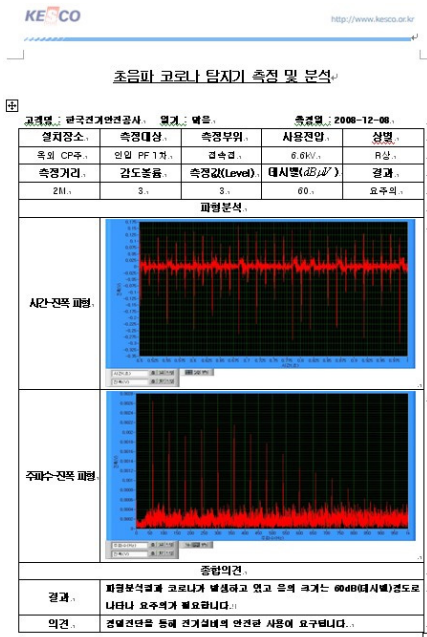


(b) 주파수-진폭 그래프(트래킹)

[그림 6] 트래킹 파형 그래프

2.4.3 보고서의 생성

프로그램에 의해 분석을 완료하고 보고서 생성 버튼을 클릭하게 되면 그림 7에서 같이 보고서 파일이 MS-Word 파일 형식으로 자동 생성된다. 프로그램을 이용하여 입력된 정보와 파형결과 선택 정보를 기반으로 데시벨이 자동으로 생성되며 그에 따른 결과 판정이 자동으로 보고서에 생성된다. 또한 그래프 파형 두 가지가 대표적으로 생성되며 결과 및 의견 부분도 자동으로 생성될 수 있도록 하였다. 따라서 사용자는 생성된 보고서 파일 아래쪽의 결과 및 의견란을 보고 별도의 의견이 있을 경우 수정 및 보완하여 파일로 저장하거나 인쇄를 할 수 있게 된다.



[그림 7] 보고서 생성

3. 결론

본 논문에서는 초음파 탐지기를 이용하여 음원을 저장한 후 음원에 대한 파형을 시각적으로 확인하여 초음파 발생 여부를 판별하고 그 결과에 대해 자동으로 보고서를 생성할 수 있도록 초음파 탐지기 측정 음파 분석프로그램을 개발하였다.

개발된 프로그램은 측정정보를 입력하고 파일을 선택하여 실행버튼을 눌러 음원에 대한 파형을 분석이 가능하도록 하였다. 또한 환경설정 및 정보 화면에서 프로그램 매뉴얼, 보고서 작성요령, 음원분석을 위한 기술자료 등을 PDF파일 형태로 볼 수 있도록 하여 현장에서 보다 쉽게 사용할 수 있도록 하였다.

초음파 코로나 탐지기 음파 분석프로그램을 통해 기존의 초음파 코로나 진단의 문제점을 해결하여 시각화가 가능하고 표준화된 기술과 보고서 생성을 통해 고객의 신뢰를 확보할 수 있을 것이고 나아가 장비 활용도가 향상될 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Walter Frederick, JR., "Substation Insulator Failure Prevention by Ultrasonic Corona Detection", IEEE Trans. Industry Application, Vol. IA-S, No. 1, pp. 82-834, January/February 1972.
- [2] 백화중, 지식근, "변압기 이상음의 초음파 분석에 관한 연구", 한국해양정보통신학회 2002 추계학술대회지 Vol. 6, No. 2, pp. 835-838
- [3] Mark Goodman, "Using Sound Imaging to Enhance Your Diagnosis", UE Systems, Inc.
- [4] J. M. PANG & SEAH PTE LTD, "Detecting Partial Discharge with Ultrasonic Measurement"
- [5] J. J. Almeida-perez, "Acoustic Emission Analyzer", Journal of Applied Research and Technology, Vol. 2, No. 3, pp. 261-268, December 2004.
- [6] 동영전기, 초음파 코로나 탐지기 SE-7 취급설명서

전 정 채(Jeong-Chay Jeon)

[정회원]



- 1997년 2월 : 원광대학교 전기공학과 (공학사)
- 1999년 2월 : 원광대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원

<관심분야>
전기안전, 전력품질, 전력IT

유 재 근(Jae-Geun Yoo)

[정회원]



- 1990년 2월 : 건국대학교 전기공학과 (공학사)
- 1992년 2월 : 건국대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 건국대학교 전기공학과 (공학박사)
- 1992년 1월 ~ 1996년 3월 : 대우전자 연구소 근무
- 1996년 3월 ~ 현재 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 책임연구원

<관심분야>
전력품질, DSP응용, 전력IT

임 용 배(Young-Bae Lim)

[정회원]



- 1994년 2월 : 원광대학교 전기공학과 (공학사)
- 1998년 8월 : 홍익대학교 전기계어공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 홍익대학교 전기정보계어공학과 (공학박사)
- 1994년 1월 ~ 1996년 2월 : 동양트랜스공업(주) 연구소 연구원
- 1996년 3월 ~ 현재 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원

<관심분야>
전기설비진단, 전력IT

배 석 명(Seok-Myeong Bae)

[정회원]



- 1982년 3월 : 창원기능대학 전기공학
- 1981년 3월 ~ 현재 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 수석연구원
- 2002년 1월 ~ 2004년 12월 : 산업자원부 기술표준위원

<관심분야>
전기안전, 전력IT

최 명 일(Myeong-Il Choi)

[정회원]



- 2002년 2월 : 창원대학교 전기공학과 (공학사)
- 2004년 2월 : 창원대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2006년 6월 ~ 현재 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 주임연구원

<관심분야>
전력품질, 전력계통사고해석