

UHF 센서 위치 최적화로 부분방전 신호 검출 방법

UHF Sensor Location Optimization for Partial Discharge Signals Detection Method

최 문 규[†] · 차 한 주^{*}
(Mun-Gyu Choi · Hanju Cha)

Abstract - GIS partial discharge that occurred in the UHF band signal is effectively detected by the method to IEC60270 5pc the apparent minimum discharge can be detected over the GIS arrangement of the sensor interior and exterior of the UHF in accordance with the optimized position signal by considering the damping ratio is selected so that the signals can be obtained to be mounted. 362kV, 800kV GIS is installed on the internal and external sensors are UHF band signal attenuation is set by measuring the reference value, but the operation, 170kV case 362kV, 800kV on the basis of the measurement data and to be installed and operated. When 170kV per 1Bay by installing the built-in sensor 1 for detecting a partial discharge signal, But, GIS signal attenuation is large in the case of an internal partial discharge signal is not detected in some cases. Where the attenuation is great UHF signal of the sensor by increasing the quantity of partial discharge signals were acquired to allow relocation. The greater the spacing between the sensor and the sensor is applied simplifies the installation and reduces the cost in terms of maintenance of appropriate optimal position is calculated to detect the partial discharge signal is needed. Thus 170kV GIS signal power attenuation of a partial discharge by measuring the UHF sensor, and by relocating the proper position is calculated in accordance with the sensor signal decay rate and minimize the error of omission in detecting a partial discharge signal was optimized.

Key Words : UHF, Partial discharge, Network analyzer, Sensor

1. 서 론

GIS(Gas Insulated Switchgear)는 전력계통을 구성하는 설비의 한 부분으로써 전력공급에 중요한 설비로[1], 지속적인 GIS설비의 증가로 예방진단을 통한 고장의 사전 방지와 설비의 효율적 관리를 위하여 예방진단의 필요성이 점차 확대되고 증가하고 있는 추세이다. CIGRE(International Council on Large Electric Systems)는 UHF센서를 실제 GIS에 설치 할 때 부분방전신호를 취득할 수 있도록 IEC 60270법에 의한 최소 5 pc의 결보기 방전을 검출할 수 있도록 추천을 하고 있다. 또한, GIS 내부 어느곳에서도 5pc의 부분방전이 발생하면 방전신호를 검출할 수 있도록 UHF센서를 설치하여야 한다[2]. 기존, 362kV나 800kV GIS경우는 UHF센서의 설치기준에 준하여 운영하고 있으나, 현재 170kV 경우는 Bay당 1개의 내장센서 설치로 부분방전신호를 검출하고 있다. 본 논문에서는 170kV GIS의 부분별 부분방전 신호검출 장치의 감도를 측정하고, 최적의 센서 설치 위치를 결정하여 부분방전 신호의 맹점없이 검출할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 170kV GIS 경우 내부의 구조물에 따라 다양한 신호의 감쇠가 발생하고 있으며, GIS 제작사별로 차단부, 모선 등 동일 부위의 신호 감쇠율이 다르다. 이

러한 특성을 감안하여 제작사별 신호 감쇠율을 측정하고, GIS 내부의 부분방전발생 시 신호 취득을 할 수 있도록 신호감쇠 특성을 측정하고, 최적의 센서 설치 위치에 관한 검토가 필요하다.

본 논문에서는 170kV GIS에 설치하는 센서의 설치정확도를 향상시키기 위해 네트워크 분석기를 활용하여 GIS에 직접 1.0mW신호를 UHF 센서에 주입하여 GIB의 간격에 따라 UHF 부분방전 검출장치의 감도와 GIS내부에서 발생하는 신호의 감쇠를 0.5 ~ 1.5GHz대역까지 Power을 측정 하였다. 추출된 데이터를 이용하여 부분방전 감쇠율을 검토하고 최적의 검출능력을 고려하여 GIS에 UHF센서를 설치함으로써 부분방전신호 검출 정확도를 100[%]로 향상시킬 수 있었다. 또한, 네트워크 분석기를 통하여 검증함으로써 170kV GIS내부에서 발생하는 부분방전신호를 검출할 수 있도록 최적의 센서 설치 위치를 도출할 수가 있었다.

2. 본 론

2.1 GIS 내 UHF 신호의 감쇠특성 측정

그림 1과 같이 GIS에 UHF 센서 A, B, C를 장착한 후 센서 A를 통해 네트워크 분석기로부터 주파수가(sweeping)되는 UHF 신호를 GIS내부로 주입한다. 주입된 신호의 크기는 센서 B와 C사이의 구간 M을 거치면서 Pb에서 Pc로 감쇠된다. GIS내부의 UHF 전력에 대해 센서에서 검출되는 전력의 비를 k라 하고, 센서 B와 C의 k값이 같다면 센서 B와 C에서 측정된 UHF 신호전력은 kPb 및 kPc가 되며, kPb/kPc은

* Dept of Electrical Engineering, Chungnam National University, Korea

† Corresponding Author : Dept of Transmission Diagnosis Team, KEPCO

E-mail : cmg8624@kepco.co.kr

Received : February 7, 2014; Accepted : February 26, 2014

구간 M에서의 UHF신호 감쇠율 P_b/P_c 와 같다. 이때 UHF 신호 감쇠율(A)은 아래 식과 같다[3].

$$A(dB) = 10\log_{10}\left(\frac{kP_b}{kP_c}\right) = 10\log_{10}\left(\frac{P_b}{P_c}\right) \quad (1)$$

P_b : 감쇠율을 측정하고자 하는 GIS 구간(그림 1의 M)에 입사되는 UHF 신호의 크기 (W)

P_c : 감쇠율을 측정하고자 하는 GIS 구간을 통과한 UHF 신호의 크기 (W)

$$K: \frac{\text{UHF 센서에서 검출되는 전력}}{\text{GIS 내부에서의 UHF 전력}} \quad (2)$$

위에서 설명한 방법은 펄스발생기를 사용하는 방법과는 달리 GIS에 주입되는 UHF 신호의 크기와 주파수 특성, 측정 시 사용되는 동축선 및 센서의 특성에 대한 교정없이 각 GIS 구간별 고유한 UHF신호의 감쇠특성을 측정할 수 있는 이점이 있다.

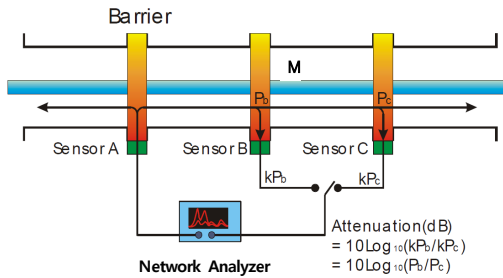


그림 1 Network Analyzer에 의한 GIS내 UHF 신호의 감쇠 측정법

Fig. 1 Network Analyzer UHF signal attenuation measurement method in GIS

UHF신호 측정 결과 그림 2와 같이 구간 M을 거친 신호가 0.6 ~ 1.5[GHz]대역에서 P_b (청색), P_c (적색)는 일정비율로 신호의 크기가 감소함을 알 수 있다[4].

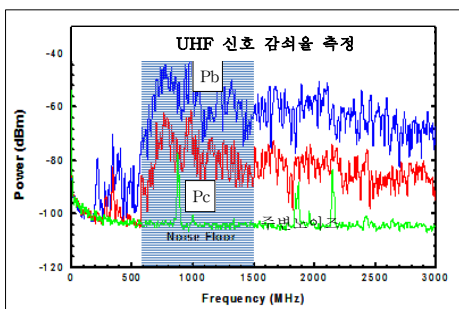


그림 2 UHF 신호 측정 결과

Fig. 2 Result of UHF signal measurement

CB에서의 UHF 신호의 감쇠율을 살펴보면 감쇠율이 특히 높은 주파수가 존재를 한다. 이는 특정 주파수 대역에서 GIS내부에 정상파가 나타날 수 있고, GIS의 반사 필터 역할을 하기 때문이다. 협대역으로 부분방전을 측정할 경

우 이들 주파수를 사용하지 않아야 정확한 부분방전 신호를 측정할 수 있다.

2.2 UHF 센서의 배치간격 결정

그림 3에서 임의의 구간 M에서 최소 5 pc 부분방전 신호 검출과 부분 방전위치까지 산출하기 위해서는 구간의 다른 끝에 설치한 센서 C에서 검출할 수 있어야 한다. 5pc 부분방전량에 대한 UHF 신호크기(P_{5pc})와 감쇠율(A)를 이용해 UHF 부분방전 검출장치가 CIGRE에서 추천하는 감도를 가지도록 UHF 센서의 배치를 결정할 수 있다. 이때 센서C에 검출되는 전력 P_{cigre} 는 식 2에서와 같이 P_{5pc} 와 측정구간 M에서의 감쇠율 A를 뺀 값이 된다. 이 값이 UHF 부분방전검출장치의 최소 검출가능 전력 P_{min} 이 되는 위치가 CIGRE의 권고안을 만족시키면서 센서의 개수를 최소화 할 수 있는 최적의 설치장소이다. 또한 이미 설치된 센서의 경우 센서의 P_{cigre} 를 계산한 다음 이 값이 P_{min} 보다 크거나 같음을 보임으로써 부분방전검출장치가 CIGRE의 권고안을 만족시킴을 확인할 수 있다[5].

$$\begin{aligned} 10\log_{10}P_{cigre} &= 10\log_{10}P_{5pc} - A \\ &= 10\log_{10}P_c \quad (P_b = P_{5pc}) \\ &\geq 10\log_{10}P_{min} \end{aligned} \quad (2)$$

P_{cigre} : P_{5pc} 의 방전신호가 GIS내 전파구간에서 감쇠된 후의 전력(W)

P_{min} : UHF 부분방전 검출장치의 최소 검출가능 전력(W)

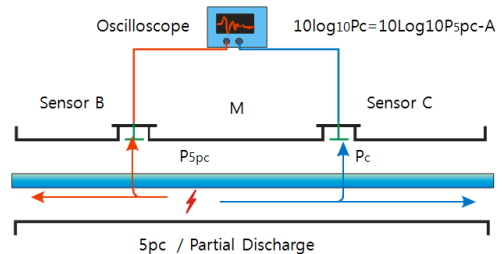


그림 3 UHF 센서의 배치간격 결정

Fig. 3 Determination of distance between two adjacent sensors

2.3 UHF 센서의 특성 및 부분방전 에너지 검출

그림 4과 같이 UHF센서의 취득신호를 스펙트럼 분석기로 부분방전신호의 스펙트럼을 측정하였다. 측정된 스펙트럼으로부터 센서들의 수신강도가 1.5 GHz 이상에서 매우 낮아 측정주파수 대역으로 1.5 GHz 이상은 적합하지 않았다. 또한 0.5 GHz 이하에서는 공기중 코로나 방전 및 방송파 등에 의해 발생된 전자파 중 TEM mode를 제외한 다른 mode의 전자파가 GIS 내부에서 진행할 수 없어 측정대역으로 적합하지 않았다. 따라서 측정주파수 대역을 0.5 GHz에서 1.5 GHz사이로 정하였다. 내장형 및 외장형 UHF 센서의 출력은 그림 4(a)와 같은 방법으로 측정하였으며, 센서의 return loss (RL)를 그림 4(a)와 같이 확인하였다

각 센서에 대한 P5pc를 측정하기 위해 먼저 3 GHz 대역 폭을 가진 오실로스코프로 부분방전신호를 측정하되 그림 5(a)와 같은 측정 주파수대역 내에서의 UHF 방전신호를 검출하였다.

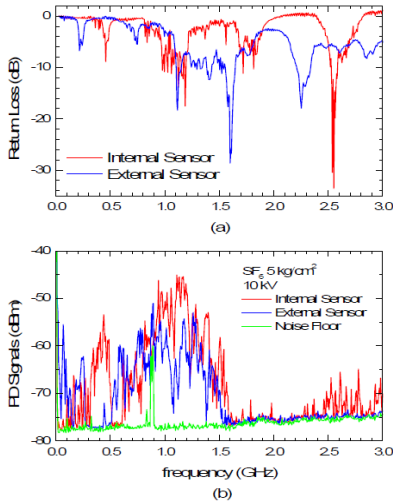


그림 4 센서의 반사손실과 스펙트럼 분석
 Fig. 4 The return loss of the sensor and the spectral analysis

이를 이용하여 측정된 부분방전신호의 에너지 E는 아래와 같이 계산할 수가 있다[6].

$$E(t) = \frac{V^2(t)}{R} \Delta t \quad (3)$$

- V : 측정주파수 대역에서 부분방전 신호 전압
- R : 오실로스코프의 특성 임피던스 (50Ω)
- Δt : 오실로스코프의 샘플링 간격

계산된 에너지를 그림 5(b)와 같이 0초(부분방전 시작점)에서부터 누적한 에너지 Et를 식 4와 같이 계산하여 그래프로 나타내면 약 100 ns 이상부터 거의 포화됨을 알 수 있다.

$$E_T(t) = \int_0^t E(x) dx \quad (4)$$

따라서 각 센서에 대한 P5pc는 포화된 누적에너지의 80%가 되는 시간(그림 5(b)의 A)으로 이때의 누적에너지(그림 5(b)의 B 또는 B')를 나누어 계산할 수 있다. 내장형 센서의 P5pc는 -20 dBm (9 μW) 이고 외장형 센서의 경우는 -29 dBm (1.3 μW)으로 측정값을 산출 할 수 있다.

2.4 170kV GIS 내 UHF 신호의 감쇠특성 측정

운전중인 170kV GIS에서 UHF 신호의 감쇠를 외장형 센서로 감쇠율을 측정하였다. GIS에서 네트워크 분석기 기능을 이용할 수 있는 스펙트럼 분석기의 네트워크 모드를 이

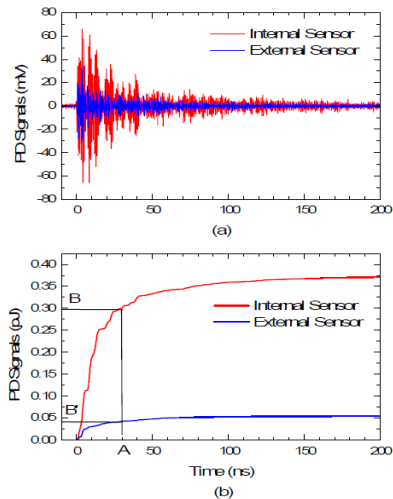


그림 5 센서로부터 측정된 부분방전 신호(a)와 누적 에너지 (b)
 Fig. 5 Partial discharge signals (a) and their integrated energy (b)

용해 스위핑 되는 신호(스위핑 범위 : 9kHz ~ 3GHz)를 스페이서에서 S11에 장착한 외장형 센서를 통해 GIS 내부에 주입한 후, 스페이서 S12, S13, S14에서 동일한 특성의 외장형 센서로 감쇠된 신호를 그림 6과 같이 측정하였다. 그림 7의 base line은 스위핑신호가 인가되지 않았을 때 측정된 잡음을 표시한 것이다. 스페이서 S12에서 S13에서 측정된 신호를 빼면 그림 9와 같이 주파수 영역에서 GIS내에서의 신호 감쇠율을 알 수 있다. 이때 S12 및 S13가 base line보다 큰 범위에서 측정된 감쇠율이 유효하다[7].

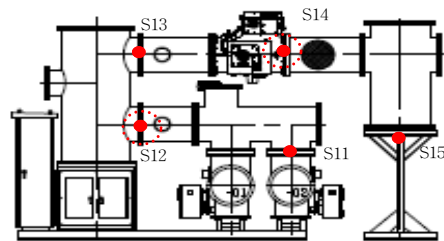


그림 6 170kV GIS UHF 신호 취득(지중T/L)
 Fig. 6 170kV GIS UHF signal acquisition (Underground T/L)

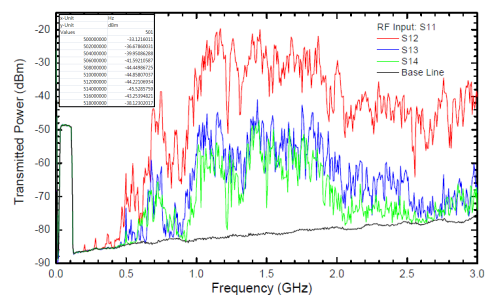


그림 7 170kV GIS내 UHF 신호 취득
 Fig. 7 UHF signal acquisition in 170kV GIS

노이즈유입의 최소화를 위하여 FSP7에서 9회 측정된 주파수 데이터를 감쇠율 결과 산출을 위하여 그림 7의 상단과 같이 엑셀시트에서 추출 기능을 활용하여 평균값을 계산하였다. 이는 연속한 점을 평균처리하면 주파수에 대한 심한 편차가 없기 때문이다. 평상 시 환경노이즈의 영향을 적게 받기 위하여 시간차를 두고 주파수를 측정 하였다[8].

170kV GIS에서 각 부위별 외장 UHF센서를 이용하여 측정된 감쇠율 데이터는 표 1과 같다.

표 1은 170kV GIS 내에서 감쇠율의 평균값을 적용한 UHF 센서 측정범위 0.5 ~ 1.5GHz 대역을 대상으로 계산된 GIS 부위별 감쇠율 측정값이다.

S11, S13, S14 값은 -60dBm이하로 GIS내부의 부분방전 신호 검출을 센서 1개로 가능하나, S15값은 -60dBm을 넘어 센서 1개(S12 부위)를 추가로 설치해야 GCB 하부에서 발생 하는 부분방전 신호검출이 가능하다.

표 1 감쇠율 측정 데이터

Table 1 Attenuation measurement data

GIS 구간	외장형 센서 P5pc (dBm)	감쇠율 A (dB)	신호 취득값 (dBm)	설치위치 (점선안)
S12-S13	-40	14.53	-54.53	S2
S12-S14		14.53+1.6	-56.13	S2
S12-S11		8.8	-48.8	S2
S12-S15		14.53+1.6+12.6	-68.73	S4
BUS		20(10m)	-60	10m간격

※ 센서 출력 : -40dBm / P5pc 기준
 ※ 신호 취득값 기준 : -60dBm / 검출장치

2.5 UHF센서 설치 비교

기존 170kV GIS에 설치된 UHF센서와 네트워크 분석기로 Bay별 신호감쇠율을 검출하여 센서위치를 검토한 결과 제 작사별 신호감쇠율이 다르며, 이를 적용한 센서의 적절한 배치 간격을 최대한 활용을 하게 되면 GIS내부에서 발생 하는 부분방전신호를 검출할 수 있을 것 이라고 본다.

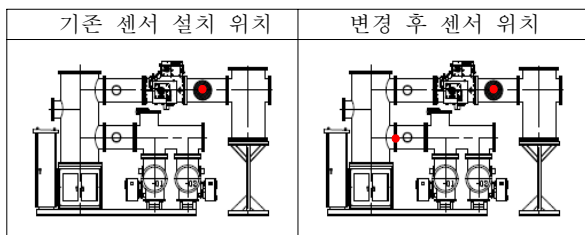


그림 8 170kV GIS의 UHF 센서 설치 위치
 Fig. 8 UHF sensor installation location of 170kV GIS

2.6 UHF센서의 배치 기준

측정한 각 센서의 P5pc과 GIS 기본구간별 감쇠율 A 및 식2를 이용하여 GIS 감시구간 내에서 최소 5 pc의 부분방전량을 측정할 수 있는 감도를 가지도록 센서의 배치간격을 결정 할 수 있다. 그림 8과 같이 구성된 GIS구간에서 스페이서에 외장형 센서가 배치되었다면 S11으로부터 각 구간

별 감쇠율은 표 1과 같다. UHF부분방전 검출장치의 최소 검출가능 전력 Pmin이 -60dBm인 검출장치를 사용한다면 스페이서 S14에서의 Pcgre가 -48.43dBm로 Pmin값을 만족 하는 외장형 센서를 부착하기 위한 최적지가 되며, Pmin가 -60dBm인 검출장치의 경우 스페이서 S15에 외장형 센서가 없는 경우는 부분방전 신호 검출이 불가능하므로 센서를 추가로 설치하는 것이 부분방전 신호를 검출 할 수 있는 방법이다. Pmin은 부분방전 검출장치의 제조사에 따라 다르며, 사용하는 신호 증폭기, 동축선, 기타 부속품에 의존한다.

표 2 UHF 센서 설치 기준안

Table 2 UHF Sensor installation standards

제작사	센서 설치 (Bay당)		UHF신호 검출 검토
	기존	변경	
A	1개	2개	신호 미검출 구간 존재 → GIS 전구간 UHF신호 검출 가능
B	1개	2개	

170kV GIS 내부에서 발생하는 UHF신호를 감쇠율을 고려하여 감출한 결과 기존 부분방전 신호 검출관련으로 미검출 부분이 발생 하였으나 제작사별 센서의 설치검토결과 신호취득을 100% 이상 취득 가능함으로서 부분방전 신호검출 정확도를 향상시킬 수 있었다.

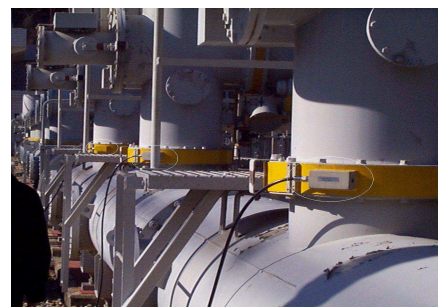


그림 9 170kV GIS UHF 센서 설치 모습
 Fig. 9 170kV GIS UHF sensor installation status

3. 결 론

본 논문에서 부분방전 발생 시 신호를 검출할 수 있는 센서의 최적 위치와 구성방안에 대하여 살펴보았다.

네트워크 분석기(FSP7)를 이용하여 GIS의 UHF 부분방전 신호를 검출할 수 있도록 최적의 위치선정에 대한 방법 제시와 함께 이를 기초로 센서의 배치 간격을 결정하였으며, 향후 GIS의 내장센서설치에도 응용이 가능하다[9]. 또한 0.5 ~ 1.5GHz까지의 주파수영역에서 GIS 내 부분방전신호의 감쇠율을 정확히 측정할 수 가 있었다. 작은 UHF신호가 발생 하였을 경우에도 신호의 감쇠율 측정이 가능하였으며, 한번의 펄스 신호인가로 여러 부분의 GIS구간 감쇠율을 동시에 측정할 수 가 있었다. 이를 활용하여 GIS에서 발생하는 부분방전 신호를 설치된 개소의 모든 센서에서 정상적으로 허용 감쇠율 60dB내에서 신호검출이 가능하였다.

기존의 800kV, 362kV GIS의 UHF신호측정 자료로 센서 위치를 선정하였으나, 급변 현장 시험을 통하여 170kV GIS 구간에 UHF대역의 부분방전 신호를 양호하게 검출할 수 있도록 최적의 센서위치를 선정할 수가 있었다.

부분방전 발생 신호측정 센서 특성은 GIS 구간별 감쇠율과 무관하므로, GIS에 장착하는 센서의 특성이 변해도 센서의 배치 간격을 효율적으로 설정 할 수가 있다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 한국전력공사의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계처실에 감사 드립니다.

References

- [1] "Power Office Total Information System", the Korea Electric Power Corporation, 2013.
- [2] Jin-yeol Yoon, Gi-jun Park, and Sun-geun Goo, "Partial Discharge Detection of GIS Technology Research (Final Report), 2002. 08.
- [3] Sun-geun Goo, Gi-jun Park, and Jin-yeol Yoon, "A Novel Sensitivity Verification Method for the UHF Partial Discharge Detection System in Gas Insulated Switchgear (GIS)", 2001. 8.
- [4] "Application of Combined PD Sensor for GIS PD Detection and Condition Monitoring", 2008. International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Beijing, China, April, 2008.
- [5] Jin-yeol Yoon, Gi-jun Park, and Sun-geun Goo, "GIS for failure prevention technology research UHF partial discharge signal analysis," 2004. 8.
- [6] Jin-yeol Yoon, Gi-jun Park, and Sun-geun Goo, "GIS UHF partial discharge signal for the prevention of failure analysis technology research", the Korea Electric Power Corporation, 2005. 3.
- [7] Jin-yeol Yoon, Gi-jun Park, and Sun-geun Goo, "GIS partial discharge diagnosis Fact Sheet", the Korea Electric Power Corporation, 2008. 8.
- [8] Sun-geun Goo et al. "Novel Calibration Method of UHF Partial Discharge Sensor for GIS", Proc. of ICEE 2002, Jeju, 2002.
- [9] "Transmission equipment diagnosis experts group", the Korea Electric Power Corporation, 2011.

저 자 소 개



차 한 주 (車翰周)

1988년 서울대 전기공학과 졸업. 1990년 포항공대 전자전기공학과 졸업(석사), 2004년 미국 Texas A&M University, College station(공박), 1990~2001년 LG 산전 연구소 책임연구원, 2009년 미국 United Technology Research Center 방문 교수, 2005년 ~ 현재 충남대학교 전기공학과 부교수.



최 문 규 (崔文圭)

1967년 2월 27일생. 2001년 금오공대 컴퓨터공학과 졸업. 2011년 충남대학교 전기공학과 졸업(석사), 2013년 ~ 동 대학원 박사 과정, 1987년 ~ 현재 한국전력공사 설비진단처 송변전팀 차장 재직 중.