

# 광학렌즈 AR 코팅에 따른 폴리머애자에서의 방전 자외선 강도 비교

(Comparison of Discharge UV Intensity Due to AR Coating of Optic Lens on Polymer Insulator)

김영석\* · 송길목 · 방선배 · 김중민 · 최명일

(Young-Seok Kim · Kil-Mok Shong · Sun-Bae Bang · Chong-Min Kim · Myeong-Il Choi)

## Abstract

In this study, the ultraviolet (UV) intensity of polymer insulator was measured using the Anti-Reflective (AR) coating lens on the occurrence of corona discharge. The UV intensity was compared before and after the AR coating. Under the 200~260[nm] of UV lens, the reflection rate before AR coating was 7.5~5.5[%] with 85~89[%] of transmission rate. After AR coating, however, the reflection rate decreased to 1.3~1.22[%] with improved transmission (97.4~97.6[%]). Then, the UV intensity by distance was measured in the polymer insulator. According to the measurement, the UV intensity increased 6.5 times at 37.5[%] of  $V_m/V_{bd}$  with 5[m] of distance. As distance increased, the growth rate declined. As high voltage increased, in addition, AR coating was less effective due to the count error caused by the UV sensor pulse signal overlap. Therefore, it appears that it would be more effective to detect corona discharge with 5[m] or less of distance at diagnosis of power facilities by AR coating and UV sensor sensitivity.

Key Words : AR coating, UV intensity, Corona discharge, Polymer insulator, Breakdown

## 1. 서 론

실리콘 고무 등의 고분자가 주재료인 폴리머 애자는 전기절연의 목적으로 고전압 지지물에 많이 사용되고 있으며, 경량화와 수명향상 및 비용절감의 효과가 있을 것으로 기대된다. 폴리머 애자가 주로 사용되는 옥외 노출된 고전압 설비는 환경오염과 자외선 등의 영

향으로 인해 열화 되며, 육안확인 및 자외선 카메라, 적외선 열화상 카메라를 통해 설비의 이상여부를 확인하고 있다. 이 중에서 자외선 코로나 카메라는 자외선의 파장범위를 가시광선 영역과 구별하여 측정할 수 있기 때문에 전력설비의 진단에 크게 활용될 수 있다[1-4].

일반적으로 태양의 자외선 파장범위는 100~400[nm]이며, 크게 UV-A(320~400[nm]), UV-B(280~320[nm]), UV-C(100~280[nm])으로 구분한다. 대기 중 성층권의 오존층에서는 UV-A 대역은 통과되고 UV-B 대역의 일부는 성층권의 오존층에서 흡수되지

\* 주저자 : 전기안전연구원 진단기술연구팀 선임연구원  
Tel : 031-580-3064, Fax : 031-580-3111  
E-mail : athens9@kesco.or.kr  
접수일자 : 2012년 1월 17일  
1차심사 : 2012년 1월 26일, 2차심사 : 2012년 3월 2일  
심사완료 : 2012년 3월 14일

않으며, UV-C 대역은 완전히 흡수된다. 소위, UV 솔라블라인드(Solar Blind)의 파장대역인 240~280[nm]는 오존층에서 완전히 흡수되어 지구상에는 존재하지 않게 된다. 따라서 자외선 카메라는 솔라블라인드 대역의 파장만을 통과시키는 필터를 사용하여 만들게 된다. 또한 전형적인 공기 중에서 코로나 방전 시 발생하는 자외선의 파장 범위는 약 230~405[nm]으로 알려져 있기 때문에 자외선 카메라를 이용하여 코로나 방전 현상을 검출할 수 있다[5]. 하지만 자외선 카메라에 사용되는 광증배관 자체가 수천만 원대라 가격이 비싸다는 단점이 있다.

한편 코로나 방전을 검출할 수 있는 다른 방법으로 단일 UV 센서를 사용할 수 있다. UV 센서는 내부 방전전극의 광전효과와 가스증폭 기술을 이용하여 자외선을 감지하는 센서로서, 광증배관 보다 가격(\$US 100)이 저렴하지만, 거리가 멀어지면 감도가 떨어지는 단점이 있기 때문에 코로나 방전 시 발생하는 자외선을 집광하기 위해 광학렌즈를 사용해야 한다[6-7]. 광학렌즈는 코로나 방전에서 발생하는 자외선을 집광하는 역할을 하게 되며, 렌즈의 재질 및 특성에 따라 투과율 증가에 따른 감도(Sensitivity)를 향상시킬 수 있다.

따라서 본 논문에서는 코로나 방전 시 발생하는 자외선을 집광하기 위해 광학렌즈를 사용하였으며, 렌즈의 코팅을 통해 투과율을 개선하였다. 또한 개선된 렌즈를 통해 폴리머에서 발생하는 자외선 발생량을 UV 센서를 이용하여 측정하여 비교하였다.

## 2. 광학렌즈 AR 코팅

그림 1은 본 실험에 사용된 UV급 Fused Silica 렌즈를 나타낸다. 본 렌즈에 UV 투과율 개선을 위해 AR 코팅을 설계하였으며, 코팅 설계 프로그램은 Essential Macleod(ThinFilm technology사(미국))를 사용하였다. AR 코팅의 설계파장범위는 185~260[nm]로서 UV 센서의 검출범위로 설정하고 유전체 박막(MgF2, Al2O3)을 자외선 투과율 개선에 효과적이고 자외선 흡수 증가에 따른 비용을 감소시키기 위해 최적으로 6층으로 설계하였다.



그림 1. UV 광학렌즈  
Fig. 1. UV Optic lens

표 1. AR 코팅 설계 파라미터  
Table 1. AR coating design parameter

Layer	material	Refractive Index	Extinction Coefficient	Physical Thickness[nm]
Medium	Air	1.0000	0.0000000	
1	MgF2	1.3870	0.0005000	38.114870
2	Al2O3	1.6870	0.0000000	32.405240
3	MgF2	1.3870	0.0005000	24.842050
4	Al2O3	1.6870	0.0000000	4.127261
5	MgF2	1.3870	0.0005000	40.889520
6	Al2O3	1.6870	0.0000000	62.467060
Substrate	FSL	1.5041	0.0000000	
Incident Angle			0.00	
Reference Wavelength			225.0	

그림 2는 UV 렌즈의 코팅 전후의 투과율 성능평가 결과를 나타낸다. 그림에서 x축은 자외선 파장대역을 나타내며, y축은 반사율을 나타낸다. 여기서 반사율이 낮으면 투과율은 상대적으로 높아지게 된다. 본 실험에 사용되는 UV 센서의 자외선 파장범위가 185~260[nm] 이므로, 200~260[nm] 파장대역의 AR 코팅 전후 반사율을 비교하였다. 그림에서 UV 렌즈의 200~260[nm] 파장 대역에서 AR 코팅 전 반사율은 7.5~5.5[%]로서 투과율이 85~89[%]정도였지만, AR 코팅 후 반사율은 1.3~1.22[%]로 줄어들어 투과율이 97.4~97.6[%]로 약 12[%]가 향상되었다. 또한 파장대역이 260[nm]를 초과할 경우에는 코팅 범위를 벗어나기 때문에 반사율이 증가하는 것을 알 수 있다. 즉 광학렌즈의 AR 코팅을 통해 코로나 방전 시 발생하는 자외선이 렌즈에 많이 투과되기 때문에 UV 센서에서 검출할 수 있는 감도(Sensitivity)가 향상되는 것을 알 수 있다.

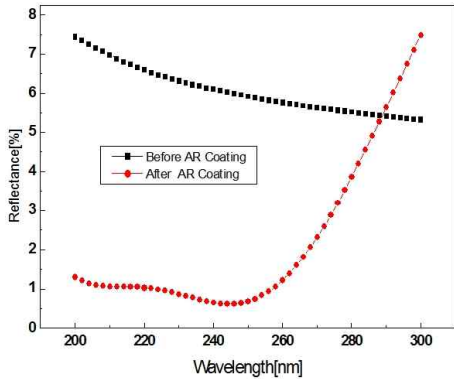


그림 2. UV 렌즈 코팅에 따른 반사율 성능평가  
Fig. 2. Test result of AR reflectance caused by lens coating

### 3. 실험방법

그림 3은 광학렌즈 코팅을 통한 코로나 방전 검출 시스템의 개략도를 나타내며, 표 2는 시스템의 사양을 나타낸다. 자외선 측정 시스템은 크게 광학, UV 센서 및 검출, 레코더로 구성된다. 광학부의 구성은 광학렌즈의 초점거리를 200[mm], 렌즈의 직경을 100[mm], 화각(FOV)을 10[°]로 초기조건을 선정한 후 중심파장 225[nm]에 대해서 자외선 집광 비구면 렌즈의 최적화를 실시하였다. 자외선이 집광되는 부분에 UV 센서가 위치하도록 하였다. UV 센서는 185~260[nm]의 파장 대역을 가지는 센서를 이용하며, 센서내부의 애노드와 캐소드 전극사이에 전압을 인가하여 미소방전에서 발생하는 전류를 전압신호로 바꾸어 자외선을 검출하게 된다. 여기는 직류전압은 500[V], 600[V]로 변경하여 자외선의 검출 감도를 비교하였다. 레코더부에서는 출력되는 UV 펄스 신호파형을 측정하고, DAQ 시스템에서 5[V]의 문턱전압을 초과하는 펄스 신호 개수를 계산하였다.

고전압 인가 실험은 KS C IEC 60060-1(2006)[8]에 의해 정의된 고전압 발생장치를 이용하여 전력 설비를 평가하는 방법을 활용하였다. 코로나 방전에 따른 측정값은 10회 이상 축적된 자료를 평균으로 하였다. 고전압발생장치(Hipotronics, 0~200[kV])를 이용하여 기중 절연과피가 될 때까지 10[kV]씩 전압을 상승시키며 그 때 발생하는 자외선을 검출하였다. 폴리머에

자와 측정시스템간의 거리는 5[m], 7[m], 10[m]에서 측정하였다. 이때 실험실 온도는 5[°C], 습도는 65[%]를 유지하였다.

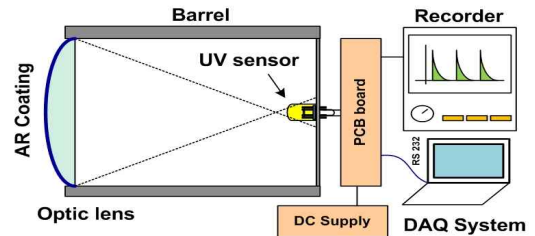


그림 3. 광학렌즈를 이용한 자외선 감지 시스템  
Fig. 3. Optical Lens-based UV Detection System

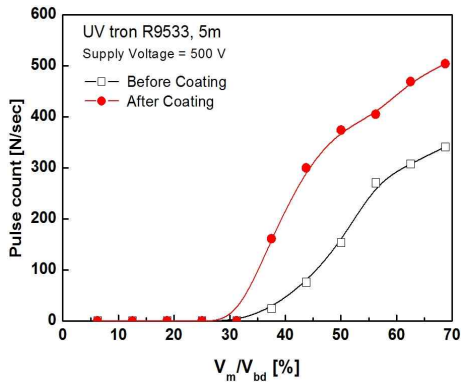
표 2. 자외선 측정 시스템의 사양  
Table 2. Parameter of UV detection system

렌즈초점거리	200[mm]	중심파장	225[nm]
렌즈직경	100[mm]	UV 센서 파장	185~260[nm]
화각(FOV)	10	공급전압	500[V], 600[V]

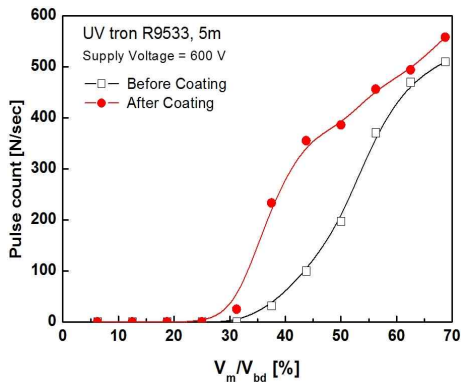
### 4. 자외선 검출량 실험결과

그림 4는 폴리머에자와 측정시스템의 거리가 5[m]에서 렌즈 코팅 전후의 자외선 강도 특성을 나타낸 것이다. 그림에서  $V_m$ 은 인가 고전압을 나타내며,  $V_{bd}$ 는 폴리머에자의 절연과피 전압을 나타낸다.

그림 (a), (b)에서 UV 센서에 공급되는 전압에 따라 모두 렌즈 코팅을 통해 방전 시에 발생하는 자외선의 강도가 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 즉 코로나 방전이 시작되는 37.5[%] 부근에서 렌즈 코팅 전에는 값이 25/sec이었지만, 코팅 후의 자외선 강도 값은 161/sec로 약 6.5배 크게 증가되는 것을 알 수 있다. 하지만, 폴리머에자에 인가되는 고전압이 증가할수록 자외선 강도는 비례적으로 증가하지 않고 증가폭이 감소하여 약 68.75[%]에서는 코팅전의 값이 341/sec, 코팅 후의 값이 504/sec로서 약 1.4배 증가하였다. 또한 UV 센서에 공급되는 전압이 600[V]의 경우에도 500[V]와 유사한 경향을 나타내지만, 고전압이 증가할수록 자외선 강도는 코팅 전, 후의 값이 크게 차이 나지 않는 특성을 나타냈다.



(a) Supply Voltage = 500[V]



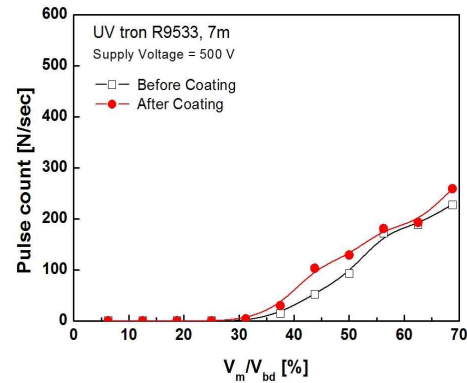
(b) Supply Voltage = 600[V]

그림 4. 거리 5[m]에서 렌즈 코팅 전후의 자외선 강도 비교

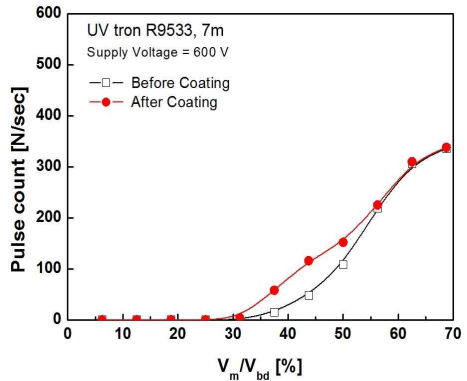
Fig. 4. Comparison of the UV intensity before and after coating at a distance of 5[m]

그림 5는 7[m]에서 렌즈 코팅 전후의 자외선 강도 특성을 나타낸다. 그림 4와 동일하게 UV 센서에 공급되는 전압에 따라 모두 렌즈 코팅을 통해 방전 시에 발생하는 자외선의 강도가 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 4와 다르게 코로나 방전이 시작되는 약 37.5~43.75[%] 부근에서 급격하게 자외선 강도가 증가하지 않았으며, UV 센서에 공급되는 전압이 500[V]의 경우, 렌즈 코팅 전의 값은 약 15/sec였으며, 코팅 후의 값은 약 30/sec로서 증가폭은 약 2배 정도 증가한 것을 알 수 있다. 그림 4와 동일하게 폴리머소재에 인가되는 고전압이 증가할수록 자외선 강도는 67.5[%] 부근에서 약 1.1배 증가하였으며, UV 센서에 공급되는 전압이 600[V]의 경우에도 500[V]와 유사한

경향을 나타내어 62.5~68.75[%] 부근에서는 거의 같은 값을 나타내었다.



(a) Supply Voltage = 500[V]

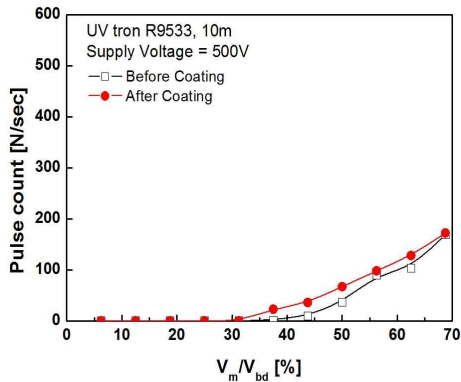


(b) Supply Voltage = 600[V]

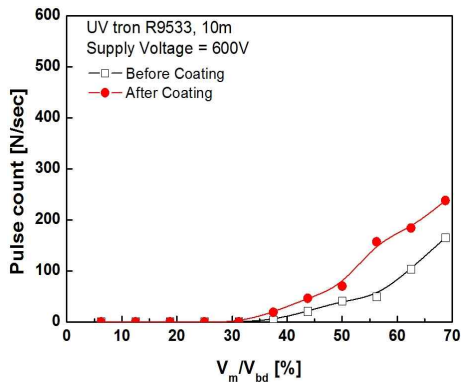
그림 5. 거리 7[m]에서 렌즈 코팅 전후의 자외선 강도 비교

Fig. 5. Comparison of the UV intensity before and after coating at a distance of 7[m]

그림 6은 10[m]에서 렌즈 코팅 전후의 자외선 강도 특성을 나타낸다. 그림 6에서는 그림 4와 5의 특성과 달리, 자외선의 검출 강도가 현저하게 줄어드는 경향을 나타냈다. 코로나 방전이 시작되는 부근에서 급격하게 자외선 강도가 증가하지 않았지만, UV 센서에 공급되는 전압이 500[V]의 경우, 렌즈 코팅 전후의 자외선 증가량은 약 3.5배 정도 증가한 것을 알 수 있으며, 67.5[%]에서는 약 1.1배 증가하였지만, UV 센서에 공급하는 전압이 600[V]인 경우에는 약 1.3배 증가하는 경향도 나타났다.



(a) Supply Voltage = 500[V]



(b) Supply Voltage = 600[V]

그림 6. 거리 10[m]에서 렌즈 코팅 전후의 자외선 강도 비교

Fig. 6. Comparison of the UV intensity before and after coating at a distance of 10[m]

측정시스템과 폴리머애자 사이의 측정거리가 가까워지면, 광학렌즈의 AR 코팅에 의해 검출되는 자외선의 강도가 크게 증가되는 것을 알 수 있으며, 거리가 멀어질수록 입사되는 자외선의 강도가 약해지는 것을 알 수 있다. 예를 들어 센서 구동전압을 500[V]에서 5[m]와 10[m]의 거리별 특성을 살펴보면, 즉 측정거리가 5[m]에서 10[m]로 2배 멀어지게 되면 자외선 강도는 4배(75%)로 감소하게 된다. 하지만 본 실험에서는 절연파괴전압의 약 37.5%에서는 약 86% 정도 감소한 후, 56.25% 부근에서 약 75% 감소가 되었으며, 68.75%에서는 약 56%정도 감소하는 것을 알 수 있었다. 비록 자외선 등의 빛은 거리의 자승에 반비례하는 특성을 나타내지만, 코로나 방전으로 인해

발생한 자외선이 주변으로 입사, 반사등에 의해 이론적인 값과 차이가 나는 것으로 판단된다.

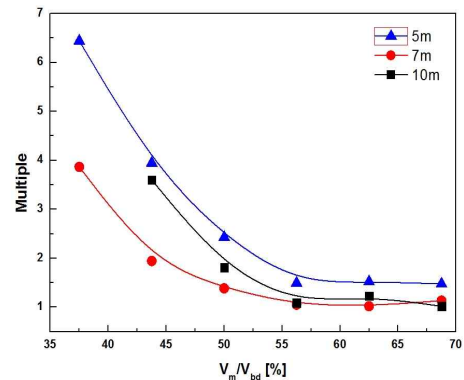


그림 7. 고전압 증가에 따른 자외선의 강도 변화  
Fig. 7. The Variation of UV intensity according to increasing high voltage

그림 7은 코팅 후의 측정거리에 따른 자외선의 강도 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 광학렌즈의 코팅에 의해 절연파괴전압의 약 37.5%에 해당되는 부근에서는 측정거리별 자외선의 강도 변화가 크게 나타나지만, 고전압 크기가 증가하는 즉, 절연파괴 전압에 가까워질수록 자외선의 강도변화는 크게 나타나지 않았다. 이는 자외선 측정시스템에서 5[V] 이상의 펄스값을 카운트하여 강도를 표시하게 되지만, 고전압 크기가 증가할수록 코로나 방전 발생시의 자외선의 펄스 신호가 서로 겹쳐지게 되어 방전 카운트 계산의 오류로 판단된다. 비록 절연파괴전압에 가까워질수록 방전카운트의 증가는 포화되는 특성을 나타내지만, 절연파괴 전압에 가까울수록 코로나 방전에 따른 자외선 강도가 크게 증가하기 때문에 설비 이상의 진단에 활용하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 AR 코팅된 광학렌즈를 통해 폴리머 애자에서 발생하는 자외선 강도를 측정하여 비교하였다. 200~260[nm] 파장대역의 AR 코팅에 의해 투과율은 85~89%정도에서 97.4~97.6%로 약 12%가 향상되어 UV 센서에서 검출되는 신호의 감도를 향상



시키는데 효과가 있는 것으로 나타났다. 측정거리에 따라 코로나 방전에 따른 자외선 강도는 절연과피전압의 37.5[%] 부근에서 급격하게 증가되는 현상을 나타내지만, 절연과피전압에 가까울수록 증가폭은 감소하는 것으로 나타났다. 또한 거리가 멀어질수록 방전 카운트 수는 거리 자승에 반비례하는 빛(자외선)의 고유한 특성에 따라 감소하였다. 광학렌즈의 AR 코팅을 통해 UV 센서의 감도는 향상되는 것을 알 수 있었지만, 거리가 멀어질수록 AR 코팅에 대한 영향은 크게 나타나지 않았다. UV 센서를 활용하여 전력설비에 활용할 경우에는 측정거리 5[m]이내에서 코로나 방전을 감지하는데 효과적인 것으로 판단됩니다.

본 연구는 2011년도 지식경제부 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구결과입니다. (2011T100100098)

### References

- [1] Kil-Mok Shong, Young-Seok Kim, Sun-Gu Kim, "Images Detection and Diagnosis of Corona Discharge on Porcelain Insulators at 22.9(kV) D/L", IEEE SDEMPED2007 Proc. pp.462-466, 2007.
- [2] ZANG Chunyan et al, "Research on Mechanism and Ultraviolet Imaging of Corona Discharge of Electric Device Faults, IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp.690-693, 2008.
- [3] 정순원, 구경완, "전력설비의 신뢰성 향상을 위한 불량에 자검출기법의 비교", 대한전기학회, Vol. 57P, No. 4, pp. 417-423, 2008.
- [4] 이명준, 황병실, 김원식, "자외선을 이용한 광학장비 개발의 현황", Korea Association of Defense Industry Studies, Vol. 15, No. 1, pp.225-245, 2008.
- [5] M. Lindner, S. Elstein, P. Lindner and J.M Topaz, "Daylight Corona Discharge Imager", High Voltage Engineering Symposium, pp. 349-352, 1999.
- [6] Alexander R. Pauchard et al, "A Method For Spark Rejection in Ultraviolet Flame Detectors", IEEE Trans on Industrial Electronics, pp. 168-174, 2000.
- [7] Y. K. Su, S.J.Chang, C.H.Chen, J.F.Chen, G.C.Chi, J.K.Sheu, W.C.Lai, and J.M.Tsai, "GaN Metal - Semiconductor - Metal Ultraviolet Sensors With Various Contact Electrodes", IEEE SENSORS JOURNAL, VOL.2, NO.4, pp.366-371, 2002
- [8] KSC IEC 60060-1(High voltage test techniques-Part 1 : General definitions and test requirement), 2006.

### ◆ 저자소개 ◆



**김영석(金榮錫)**

1974년 4월 27일생. 1996년 2월 경상대학교 전기공학과 졸업. 1999년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001~2002년 야마구치대학 전기전자공학과 객원연구원. 2003년~현재 전기안전연구원 진단기술연구팀 선임연구원.

Tel : (031)580-3064

Fax : (031)580-3111

E-mail : athens9@kesco.or.kr



**송길목(宋佳穆)**

1967년 3월 31일생. 1994년 2월 숭실대 전기공학과 졸업. 2003년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년~현재 전기안전연구원 진단기술연구팀 책임연구원.

Tel : (031)580-3061

Fax : (031)580-3111

E-mail : natasder@kesco.or.kr



**방선배(方善培)**

1968년 5월 18일생. 1994년 2월 명지대 공대 전기공학과 졸업. 2002년 강원대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 강원대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997년~현재 전기안전연구원 진단기술연구팀 선임연구원.

Tel : (031)580-3062

Fax : (031)580-3111

E-mail : bsb1586@kesco.or.kr



**김종민(金鐘旻)**

1972년 7월 18일생. 1998년 2월 전북대 공대 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 전기안전연구원 진단기술연구팀 주임연구원.

Tel : (031)580-3063

Fax : (031)580-3111

E-mail : cmkim@kesco.or.kr



**최명일(崔明日)**

1975년 5월 30일생. 2002년 2월 창원대학교 전기공학과 졸업. 2004년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 8월 광운대학교 정보통신대학원 졸업(석사) 2003년~현재 전기안전연구원 진단기술연구팀 주임연구원.

Tel : (031)580-3065

Fax : (031)580-3111

E-mail : ken2003@kesco.or.kr