

원격감시 기능을 갖는 고감도 부분방전센서

최규남*

Highly Sensitive Partial Discharge Sensor with Remote Monitoring Capabilities

Kyoo-Nam Choi*

요 약

광학적 잡음과 전기적 잡음을 복합적으로 제거할 수 있는 하이브리드 필터를 채용하고 펄스형태의 아크 광 신호를 적분하여 수신되는 아크에너지의 크기로 감지할 수 있는 원격감시 기능을 갖는 고감도 부분방전 센서를 구현하였다. 하이브리드 필터는 부분방전 센서가 설치되는 배전반 내 환경에서 내부 형광등과 백열등 조명에 대하여 영향을 받지 않음을 보여주었다. 종래에는 아크광의 불규칙한 파형특성으로 인하여 침투치가 감지되어 아크광의 크기에 비례한 선택적 감지가 어려웠으나, 센서에 적용된 적분연산 기능은 각기 다른 아크광의 에너지 레벨에 대하여도 선택적으로 감지가 가능함을 실험적으로 보여주었다. 센서는 2m 이격된 원격지에서 100A 저압 MCCB의 정상 개폐 시 발생하는 섬광에 해당하는 광 에너지에 대해서도 감지가 가능함을 보여주어 원격감시 기능을 갖는 고감도 부분방전센서에 적용 가능함을 보여주었다.

ABSTRACT

Remote monitoring partial discharge sensor, equipping with hybrid filter combining optical and electrical noise reduction capabilities and with signal integrating function to calculate total arc energy, was investigated. Hybrid filter showed insensitivity to fluorescent and incandescent lamps under simulated distribution panel condition. Signal integrating function showed selective detection capability corresponding to different arc energy levels, while convention arc sensor had difficulty to discriminate arc energy level due to bursty arc waveform and peak level detection characteristics. The sensor showed possibility for application to remote monitoring partial discharge sensor, since it detected arc energy level corresponding to normal open and close discharge in low voltage 100A MCCB at 2m distance.

키워드

Distribution Panel Discharge Sensor, Opto-electronic Discharge Sensor, Variable Monitoring Area Sensor
배전반 방전 센서, 광전자 방전 센서, 감지 범위 조절 방전 센서

1. 서 론

고전압 기기는 고장 시 기기고장에 그치지 않고 공장 전체의 작업중단으로 이어져 파급되는 영향이 크므로 이를 사전에 탐지할 수 있는 모니터링 시스템을 필요로 하고, 안전상 근접하기 어려우므로 비접촉식 감지

방식[1-4]를 사용하여 안정성 및 신호감도 측면에서 구분되는 기술을 연구할 필요가 있었다. 고전압 수배전반에서 아크검출 방법을 이용한 고전압 부분방전 모니터링 시스템을 기존의 과전류계전기와 연동하여 고속 작동시켜 사고 시 피해범위를 줄이는 방법이 사용된 바 있었다[5-6]. 이와 같은 근거리 광량변화 감지방식은

* 교신저자(corresponding author) : 인천대학교 정보통신공학과(knchoi@incheon.ac.kr)

접수일자 : 2015. 01. 05

심사(수정)일자 : 2015. 03. 13

게재 확정일자 : 2015. 03. 23

주변광 변화의 영향을 받으므로 오동작 가능성이 있어 원거리 감지에 적용이 어려운 단점이 있었다. 아크방전을 검출하는 전자과 감지 방식은 아크방전 시 발생하는 주변 전자과를 감지하여 검출하는 방법[7-10]이 시도 되었으나 신호강도가 약하여 부분방전 신호를 효과적으로 수신하는데 어려움이 있었다. 세라믹 센서 감지 방식은 몰드변압기의 고압 측에 부분방전 측정용 고압 세라믹 센서[11-13]를 설치하여 측정하는 방법이 시도된 바 있으나 고전압 선로에 직접 접촉하여야 하는 관계로 안정성에 문제가 있었다. 그 외 방사전자과 감지 방식은 첫 번째 전자과 감지방식과 유사한 방법이나 폐쇄배전반 및 가스절연 개폐장치에서 발생하는 방사전자과를 비교분석하여 부분방전을 검출[14]하는 방식으로 역시 약한 신호입력으로 주변 잡음에 약한 단점이 있었다. 방전 시 발생하는 음파를 이용한 음파감지 방식도 [15-16] 역시 주변의 소음 및 스위치 개폐 시 오동작 되는 문제점이 있었다.

본 연구의 광학적 방식에 의한 원거리 비접촉 감지 방식은 광학계를 사용하여 감시부위만을 감지하므로 무선방식과 같이 혼신이나 약 신호에 의한 감도저하가 없고 고전압 선로에 직접 접촉하지 않기 때문에 고전압 접촉 사고의 위험이 없으므로 안정성과 신호 대비 잡음비의 관점에서 최선의 접근방법 이라고 할 것이다. 광학방식을 이용한 부분방전 감지 방법에 대하여 다른 연구가 시도된 바 있으나 고감도 감지 특성, 주변 잡음의 영향 및 불규칙한 특성을 갖는 아크의 크기를 분별하는 방법에 대한 시도는 없었다. 따라서 본 논문에서는 고감도 특성, 잡음배제 능력, 아크 크기 분별 능력을 실험적으로 연구하였다.

II. 부분방전 센서

광전변환 방식 부분방전 센서는 미약한 광량의 변화를 감지하여야 하고 방전 시 발생하는 아크에너지의 총량에 비례하여 관별할 수 있는 변별력을 가져야 한다. 또한 부분방전 신호 자체가 미약하므로 외부 잡음의 영향을 받기 쉬워 주변 잡음의 영향을 최소화하는 것이 필요하다.

2.1. 적분연산 기법 아크에너지 감지

아크 방전 시 발생하는 광파는 시간에 따라 불규칙

한 파형을 나타내며[17] 이를 그대로 광전변환하면 그림 1과 같이 아크사고의 크기에 비례하지 않는 무작위한 감지 특성을 나타내게 된다. 이는 수광 소자를 통하여 감지된 아크광은 발생한 아크에너지 $E_s(t)$ 의 크기에 관계없이 아크의 첨두치 $\max(V_o(t))$ 가 감지 신호 출력 설정치 v_{th} 에 도달하면 감지신호를 출력하기 때문이다. 여기서 $i_{ph}(t)$ 는 저항 R 에 흐르는 광전변환 전류를, A 는 거리 및 변환효율 등에 의해 결정되는 감쇄계수를 각각 나타낸다.

$$V_o(t) = i_{ph}(t)R = AE_s(t)R \tag{1}$$

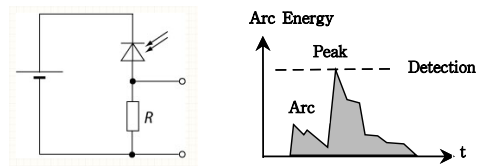


그림 1. 첨두치 아크레벨 감지방식
Fig. 1 Peak arc level detection scheme

이러한 아크의 첨두치에 비례하지 않고 전체 아크 에너지에 비례하는 출력을 얻기 위해서는 광전 변환된 전기에너지를 적분연산 할 필요가 있다. 아래 그림 2와 같이 회로의 시정수 τ 가 아크 광 펄스의 순간 주기 Δt 보다 크다면, 입력된 광전변환 전류는 콘덴서 C 에 인가되는 전압 $V_c(t)$ 을 아크지속시간 t_0 동안 적분된 값으로 얻어진다. 이는 입력된 아크에너지에 비례하며 식 (2)와 같이 에너지 $E_c(t)$ 으로 나타내진다. 따라서 이를 첨두치가 아닌 아크에너지 량에 비례하는 감지에 이용할 수 있게 된다.

$$E_c(J) = C \int_0^{t_0} V_c^2(t) dt \tag{2}$$

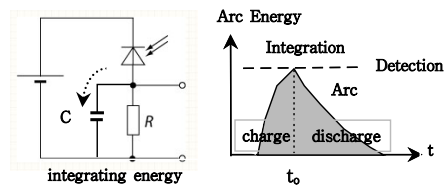


그림 2. 적분연산 아크레벨 감지방식
Fig. 2 Integrated arc level detection scheme

이러한 적분연산 기법을 적용하면 그림 3과 같은 점접동작시의 펄스 형태의 잡음에도 종래의 방식에서는 오동작 되지만 적분연산 방식에서는 침두치가 아닌 적분된 에너지 량에 대해서 판단하므로 오동작을 방지할 수 있게 된다. 또한 이와 같은 경계치 값을 갖는 아크에 대해서도 감지범위를 설정할 수 있으므로 예방정비가 가능해 진다.

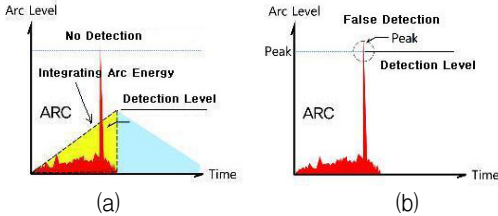


그림 3. 비정상적 펄스잡음에 대한 감지출력 ; (a) 적분연산 방식, (b) 침두치 감지 방식

Fig. 3 Detection output for abnormal pulse noise ; (a) integrated detection scheme, (b) Peak detection scheme

위와 반대의 경우로 그림 4와 같이 사고 아크가 침두치 없이 오래 지속되는 경우에 종래의 방식에서는 사고에너지가 크므로 차단하여야 하지만 침두치가 낮아 오동작 된다. 그러나 적분연산 방식에서는 지속시간이 길더라도 적분된 에너지 량에 대해서 판단하므로 오동작을 방지할 수 있게 된다.

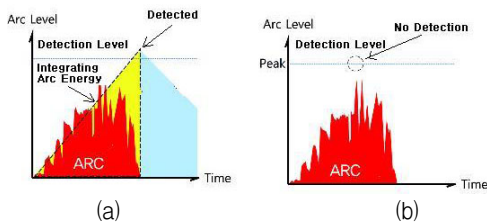


그림 4. 지속시간이 긴 사고아크에 대한 감지출력 ; (a) 적분연산 방식, (b) 침두치 감지 방식

Fig. 4 Detection output for arc fault having long sustained time ; (a) Integrated detection scheme, (b) peak detection scheme

2.2. 하이브리드 잡음 제거 필터

전기적 신호 수신방식의 부분방전 센서는 부분방전 시 발생하는 미약한 전기적 신호를 수신하기 위하여

증폭단의 이득을 높이면 주변의 전자파잡음이 유입되어 정상적인 감지를 할 수 없게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 아크 방전 시 발생하는 아크 광을 수신하는 광전자 방식의 부분방전 센서를 사용하면 전자파 잡음의 영향은 완전히 제거할 수 있지만, 역시 주변의 조명기구에서 발생하는 초음파에 해당하는 주파수 영역과 상용전원 주파수 영역의 광과 잡음의 영향은 여전히 상존하게 된다. 아크 방전 시 발생하는 광은 태양광과 유사하게 항상 자외선, 가시광선, 적외선 영역에 걸쳐서 넓은 파장 대역의 광파를 송출하며 자외선 영역은 변동성이 크나 적외선 영역은 안정된 스펙트럼을 갖는다[18-19]. 이러한 넓은 파장대역을 모두 수신할 수 있는 광전변환 소자는 없으므로 어느 일부분 파장 대역을 선택하여 수신하여야 한다. 아크 광을 파장대역폭 $|H_{IR}(\lambda)|$ 을 갖는 적외선 필터를 사용하여 샘플링하면 주변의 자외선 및 가시광의 영향을 최소화 하면서 아크에너지에 비례하는 안정된 광 신호를 추출할 수 있게 된다. 아크 방전 시 발생하는 전자파 신호도 저주파에서 마이크로파 대역에 걸쳐 고르게 분포하는 넓은 주파수 대역의 전자파를 방사한다[20]. 따라서 조명기구에서 발생하는 초음파에 해당하는 주파수 영역에 포함된 잡음 신호를 제거하기 위하여 통과대역폭 $|H_{LPF}(f)|$ 을 갖는 저역통과 필터를 사용하고 60Hz 상용주파수 대역을 제거하기 위하여 통과대역폭 $|H_{NF}(f)|$ 을 갖는 대역저지필터를 이중으로 사용하여 전기적 잡음 신호를 제거할 수 있게 된다. 따라서 이러한 파장 대역과 주파수 대역에 걸쳐 포함된 잡음을 효과적으로 제거하기 위해서는 파장대역과 주파수대역에 걸쳐 다원적으로 잡음을 제거할 수 있는 하이브리드 잡음제거 필터가 요구된다. 최종적으로 수신되는 신호의 전력밀도(Power Spectral Density) S_o 는 입력되는 신호의 전력밀도 $S_{IN}(\lambda, f)$ 에 대하여 통과대역폭 $|H_{hybrid}(\lambda, f)|$ 을 갖는 하이브리드 필터를 적용하여 아래 식 (3), (4) 같이 나타낼 수 있다.

$$S_o(\lambda, f) = |H_{hybrid}(\lambda, f)|^2 S_{IN}(\lambda, f) \quad (3)$$

$$|H_{hybrid}(\lambda, f)|^2 = |H_{IR}(\lambda)|^2 |H_{LPF}(f)|^2 (1 - |H_{NF}(f)|^2) \quad (4)$$

III. 실험방법

적분연산 감지기능과 하이브리드 잡음제거 필터를 적용한 부분방전 아크센서의 감지 특성을 연구하기 위하여 다음과 같은 실험 방법을 사용하였다.

3.1. 광원

플래시 발광은 아크방전광과 같이 수천 volt 이상의 고전압 하에서 발생하는 비정형적이고 극히 빠른 시간 내에 지속되며 색온도가 표준 태양광과 매우 유사한 특성을 가지고 있으므로 스트로브 플래시를 실험용 광원으로 사용하였다. 광원의 발광에너지는 아래 그림 5와 같이 플래시에 에너지를 공급하는 콘덴서에 저장된 전기에너지로 산정하였다. 용량 C_{Flash} (F) 을 갖는 콘덴서에 전압 V_{Flash} 가 인가되면 콘덴서는 다음 식 (5) 같이 에너지를 충전하며 플래시를 방전시키면 콘덴서에 저장된 전기에너지가 플래시 방전관에서 광 에너지로 변환되게 된다.

$$E_{Flash} (J) = \frac{1}{2} C_{Flash} V_{Flash}^2 \quad (5)$$

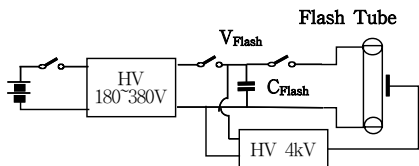


그림 5. 스트로브 플래시의 개념도
Fig. 5 Concept of strobe flash

스트로브 플래시는 1,320 μ F 용량의 콘덴서에 가변으로 180~380V의 직류전압을 인가하여 발광에너지를 조절할 수 있도록 하였다. 그림 6에 시작된 스트로브 플래시의 외형을 나타내었다.



그림 6. 스트로브 플래시의 외형도
Fig. 6 External view of strobe flash

스트로브 플래시의 시험용 발광에너지는 아래 표 1 과 같이 4단계로 조절할 수 있도록 하였다. 고감도로 설정한 1단계 에너지 레벨은 100A 저압 MCCB가 정상 개폐 작동 시 발생하는 아크 광을 감지하는 것을 기준으로 하였고, 저감도#2로 설정한 4단계 에너지 레벨은 600A 용량의 저압 MCCB가 사고 시 발생하는 아크 광을 감지할 수 있도록 설정하였다.

표 1. 스트로브 플래시의 발광 에너지 레벨
Table 1. Energy level of strobe flash

Energy	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
E_{Flash} (J)	25J	59J	76J	95J
V_{Flash} (V)	195V	300V	340V	380V
Ratio	100%	42%	33%	26%

3.2. 수신기

수신 부는 그림 7과 같이 적외선 필터로 파장대역에서의 광 잡음을 제거하고, 전기신호필터부에서 주파수대역에서의 전기적 잡음을 제거하였다. 입력되는 불규칙한 펄스형태의 광 신호를 합산하기 위하여 적분 연산 부를 두고 입력되는 아크에너지를 선별적으로 감지하기 위하여 그림 8에 나타난 것과 같이 회로선택기를 사용하여 표 2에 나타난 직렬저항의 값을 변화시켜 4단계 감도조정을 설정할 수 있도록 하였다.

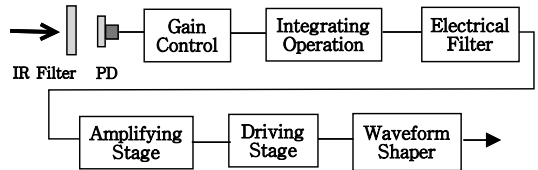


그림 7. 센서 수신기 블록도
Fig. 7 Block diagram of sensor receiver

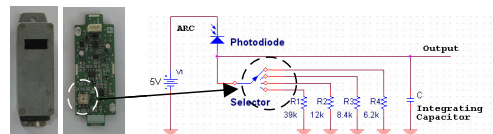


그림 8. 센서 수신기 아크레벨 선택 개념도
Fig. 8 Arc level selection concept of sensor receiver

표 2. 수신기의 발광 에너지들에 대한 감도조정
Table 2. Receiver gain adjustment corresponding to flash energy level

Sensitivity	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
$E_{flash}(J)$	25J	59J	76J	95J
Series Res.	39k Ω	12k Ω	8.4k Ω	6.2k Ω
Sensitivity	High	Normal	Low #1	Low #2

3.3. 적분연산 감지 기능

아크방전광을 수신하면 일반적인 광전변환기에서는 불규칙한 펄스의 침투치만을 감지하게 되므로 아크사고의 규모에 따른 선택적 감지를 할 수 없게 된다. 아크사고의 크기는 발생하는 아크 광에 포함된 총 에너지의 양으로 판단하는 것이 가장 이상적인 방법이므로 이러한 불규칙한 형태의 파형을 적분하여 아크 광에 포함된 에너지를 기준으로 검출하는 것이 필요하다. 그러나 아크방전은 수천 volt의 고전압을 수반하고 비정형적이며 극히 빠른 시간에 일어나므로 직접적인 방법을 적용하기 어려우므로, 다음의 두 가지 방법으로 사고아크 검출기의 적분연산 기능이 정상적으로 작동된다는 것을 실험적으로 검증하는 방법을 시도하였다. 즉, 아크에너지가 적분연산이 되었다면 방전에 사용된 에너지가 아크검출기의 수광 소자에 직렬로 연결된 저항에 비례하여 전압으로 나타나 출력되는지를 검증한다. 즉 첫 번째 특정 아크에너지 레벨에 대응하도록 임계값이 설정된 아크검출기가 반복되는 아크섬광에도 항상 일정한 반응을 나타내는지 여부와, 두 번째로 아크에너지 레벨이 변화될 때 선택적으로 아크에너지 레벨을 구분하여 검출할 수 있는지 여부로 하였다. 그림 9에 4단계 입력 아크에너지에 대응하는 수신기의 임계값 설정 개념도를 나타내었다.

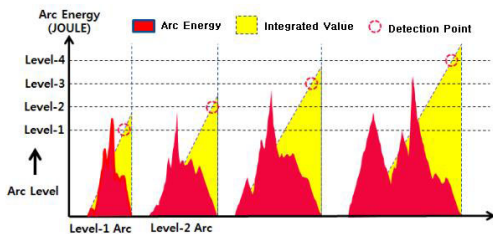


그림 9. 센서 수신기 임계값 설정
Fig. 9 Threshold value setting of sensor receiver

3.4. 하이브리드 필터의 잡음제거 기능

아크센서 수신기는 그림 10과 같이 복합적으로 광학적인 적외선 필터와 전기적인 전기신호 필터를 하이브리드 방식으로 적용하였다. 주변의 조명기구에서 발생하는 초음파에 해당하는 주파수 영역과 60Hz 상용전원 주파수 영역의 광과 잡음의 영향을 검증하기 위하여 45kHz로 구동되는 36W 형광등과 60Hz로 구동되는 60W 백열등을 센서에 근접시켜 오동작 여부를 확인하는 방법을 사용하였다. 이때 잡음 원과 센서와는 20cm 거리를 이격시켜 검증하였다.

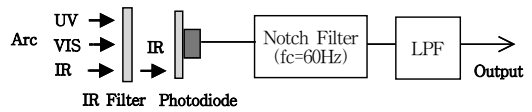


그림 10. 하이브리드 필터 개념도
Fig. 10 Concept for hybrid filter

IV. 실험결과

4.1. 적분연산 특성

4단계 아크에너지 레벨에 대응하도록 임계값이 설정된 아크검출기가 반복되는 아크섬광에도 동일하게 반응하는지를 측정하였다. 광원과 아크검출기간 거리는 2m로 하고 10회 반복 측정하였고, 실측 시 아래 표 3과 같이 모두 균일하게 감지됨을 보여주었다. 1단계 감도의 감지 임계 치는 2m+20cm 거리까지 감지할 수 있도록 설정하였고, 2단계에서 4단계 감도까지는 2m+10cm 거리까지 감지할 수 있도록 설정하였다. 이는 실측 시 3단계 감도와 인접 단계 감도들과는 약 10cm의 거리 해상도에 해당하였다.

표 3. 발광에너지 4단계 감지 실험
Table 3. Detection experiment for 4 energy levels

Sensitivity	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Arc Energy	25J	59J	76J	95J
Detection	Yes	Yes	Yes	Yes

다음은 아크에너지 레벨이 변화될 때 선택적으로 구분하여 검출할 수 있는지를 아래 표 4와 같이 측정

하였다. 각 단계별 감도 설정은 4개의 에너지 레벨을 최소 17J의 해상도로 선택적으로 판별할 수 있음을 보여주었다.

표 4. 발광에너지 단계별 선택적 감지
Table 4. Selective detection for 4 energy levels

Arc Energy	25J	59J	76J	95J
Level 1 Sens.	Yes	Yes	Yes	Yes
Level 2 Sens.	No	Yes	Yes	Yes
Level 3 Sens.	No	No	Yes	Yes
Level 4 Sens.	No	No	No	Yes

4.2. 하이브리드 필터의 잡음제거 특성

고주파 구동 형광등과 상용전원 구동 백열등을 사용한 내 간섭 실험에서, 형광등에 대해서는 센서에 접촉하여도 반응하지 않았고 백열전구의 경우에는 2cm 이상 거리에서 반응하지 않음을 보여주어 배전반 내 설치된 주변광의 영향을 받지 않음을 알 수 있었다. 이는 기존의 광학방식을 이용한 부분방전 감지 방법은 감도를 높이면 주변광 잡음의 영향을 받아 오동작되어 암실 환경에서만 실험이 가능하였으나, 본 연구에서 제안하는 방법은 주변광 잡음의 영향을 최소화하였으므로 감도를 높여도 암실 환경이 아닌 일반 실험실이나 고압 수배전반 내에서도 실험이 가능하였다.

V. 결론

광학적 잡음과 전기적 잡음을 복합적으로 제거할 수 있는 하이브리드 필터를 채용하고 펄스형태의 아크 광 신호를 적분하여 수신되는 아크에너지의 량으로 감지할 수 있는 원격감시 기능을 갖는 고감도 부분방전 센서를 구현하였다. 2m 이격된 거리에서 100A 저압 MCCB에서 정상 개폐 시 발생하는 아크 신호를 수신할 수 있는 가능성과 최소 17J 간격을 갖는 발광에너지 단계에 대해서도 선택적으로 감지할 수 있음을 실험적으로 보여주었다. 4단계로 설정된 센서의 감지감도에 대응하여 4단계로 구분된 발광에너지에 대한 선택적 감지로, 아크신호의 침투치가 아닌 적분연산 방식으로 광원의 에너지에 비례한 감지가 가능함을 증명하였다. 공간적으로는 아크광과 센서 간

이격거리를 10cm 해상도로 구분할 수 있음을 보여주었다. 부분방전센서가 설치되는 배전반 내 환경과 유사한 고주파 점등 형광등과 상용전원 구동 백열등에 대해서도, 형광등의 경우 접촉 시에도 영향을 받지 않으며 백열등에 대해서는 2cm 거리까지 주변광의 영향을 받지 않음을 보여주었다. 연구결과는 고압 수배전반에서 부분방전 광 신호를 단계별로 구분하여 감지할 수 있으므로 사고 가능성을 미리 예측하는 분야에 활용이 가능할 것으로 생각되며, 향후 본 연구결과를 활용하여 고압수배전반 사고예측시스템을 구현하고자 한다.

감사의 글

(주)우경일렉텍의 연구 수행 시 도움에 감사드리며, 본 연구는 2014년도 인천대학교 자체연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참고 문헌

- [1] K. Sack and C. Su, "A non-contact directional sensor for partial discharge measurements," *Conf. Record of 2010 IEEE Int'l Symp. on Electrical Insulation (ISEI)*, San Diego, USA, June 2010, pp. 1-4.
- [2] K. Choi, "Line Edge Detection Sensor using Visual Spectral Wavelength," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 2, 2012, pp. 303-308.
- [3] T. Kim, Y. Rhee, and S. Kim, "Implementation of a Microwave Doppler Sensor," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 4, no. 2, 2009, pp. 75-81.
- [4] K. Choi, "Vehicle Collision Avoidance Sensor with Interference Immunity to Own Transmitted Sign," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 2, 2013, pp. 433-438.
- [5] J. Kay, J. Arvola, and L. Kumpulainen, "Protecting at the speed of light: Combining arc

- flash sensing and arc-resistant technologies," *Conf. Record of 2010 IEEE Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference (PPIC)*, San Antonio, USA, June 2010, pp. 1-7.
- [6] M. Zeller and G. Scheer, "Add trip security to arc-flash detection for safety and reliability," *IEEE 2009 Power Systems Conf. (PSC '09)*, Clemson, USA, March 2009, pp. 1-8.
- [7] Z. Zhang, D. Xiao, and Y. Li, "Rogowski air coil sensor technique for on-line partial discharge measurement of power cables," *IET Science, Measurement & Technology*, vol. 3, no. 3, 2009, pp. 187-196.
- [8] G. Robles, J. Martinez-Tarifa, M. Rojas-Moreno and J. Sanz-Feito, "Inductive Sensor for Measuring High Frequency Partial Discharges Within Electrical Insulation," *IEEE Trans. Instrumentation and Measurement*, vol. 58, no. 11, 2009, pp. 3907-3913.
- [9] L. Guomin and Z. Daming, "Study on performance of HFCT and UHF sensors in partial discharge detection," *Conf. Proc. 2010 IPEC*, Singapore, October 2010, pp. 630-635.
- [10] J. Martinez-Tarifa, M. Rojas, G. Robles, B. MacPherson, P. Moore, and I. Portugues, "Partial discharges and noise separation in high frequency signals using inductive sensors," *IEE Int. Conf. Instrumentation and Measurement Tech. Conf. (I2MTC)*, Graz, Austria, May 2012, pp. 1607-1611.
- [11] C. Lee, S. Nam, S. Lee, D. Kim, and M. Choi, "High frequency partial discharge measurement by capacitive sensor for underground power cable system," *Proc. IEEE Int. Conf. Power System Technology*, Perth, Australia, December 2000, vol. 3, pp. 1517-1520.
- [12] W. Gang, D. Yusheng, and T. Ju, "The Design of a Sensor for Monitoring Partial Discharge within a Joint of Power Cable," *Asia-Pacific Power and Energy Eng. Conf. (APPEEC)*, Shanghai, China, March 2012, pp. 1-5.
- [13] D. Kang, D. Hwang, T. Nam, and Y. Kim, "Novel Sensor for Locating Partial Discharges in High-Voltage Rotating Machines," *IEEE Trans. Energy Conversion*, vol. 22, no. 3, 2007, pp. 576-583.
- [14] B. Sarkar, C. Koley, N. Roy, and P. Kumbhakar, "Low cost RF sensor for partial discharge detection of high voltage apparatus," *IEEE 1st Int. Conf. Condition Assessment Techniques in Electrical Systems (CATCON)*, Kolkata, India, December 2013, pp. 259-264.
- [15] M. Chen, C. Cheng, and J. Chen, "Sensitivity in partial discharge detection," *IEEE Electrical Insulation Conf. (EIC)*, Annapolis, USA, June 2011, pp. 162-165.
- [16] L. Min, Z. Hong, and Z. Jian, "Fiber Fabry-Perot Sensors Based Acoustic Detection of Partial Discharges in Power Transformers," *IEEE 8th Int. Conf. Properties and applications of Dielectric Materials*, Bali, Indonesia, June 2006, pp. 254-257.
- [17] J. Park and T. Yang, "Harmonic Analysis of Leakage Current Waveforms and Surface Discharge for EPDM Polymer Insulator," *J. of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, vol. 17, no. 9, 2004, pp. 1013-1021.
- [18] V. Chernyak, V. Naumov and V. Yukhimenko, "Spectroscopic of atmospheric pressure air jet plasma in transverses arc discharge," *12th Int. Cong. on Plasma Physics*, Nice, France, October 2004, pp. 25-29.
- [19] T. Boczar and D. Zmarzły, "Optical Spectral Diagnostics of Electrical Discharges in Oil," *IEEE Int. Conf. on Dielectric Liquids (ICDL 2005)*, Coimbra, Portugal, June 2005, pp. 99-101.
- [20] G. Kil, K. Jung, D. Park, S. Kim, and J. Han, "Frequency Spectrum Analysis of Series Arc and Corona Discharges," *J. of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, vol. 23, no. 7, 2010, pp. 554-559.

저자 소개



최규남(Kyoo-Nam Choi)

1976년 서울대학교 졸업(공학사)

1989년 Texas A&M Univ. 전자공
학과 졸업(공학석사)

1992년 Texas A&M Univ. 전자공

1992년~1994년 LG전자기술원 연구실장

1994년~2010년 인천전문대학 정보통신과 교수

2000년~2002년 미국 CEMDAS연구소 연구원

2010년~현재 인천대학교 정보통신공학과 교수

※ 관심분야 : 센서시스템, 광통신시스템