

AE센서를 이용한 C-GIS의 부분방전 검출에 관한 연구

이 현동\*, 이 용희, 신 양섭, 서 정민  
LG 산전 전력연구소

A study on the PD detecting of C-GIS using AE sensor

H.Y Lee\* , Y.H Lee, Y.S Sin, J.M Seo  
LGIS ELECTROTECHNOLOGY R&D CENTER

**Abstract** - Recently, diagnostic techniques have been investigated to detect a partial discharge in high voltage electrical equipment. We have studied the characteristics of the acoustic partial discharge originating from the electrical defects in cubicle GIS(C-GIS). An acoustic emission(AE) sensor is used on the enclosure to detect partial discharge source because the sensor is sensitive to stress waves in its frequency range that may not be from a partial discharge source. AE signal is analyzed with phase-magnitude-frequency number( $\Phi$ -V-n) and pulse per second(PPS). Experience result has shown that the emitted acoustic signal has phase dependency and phase shift characteristic according to increase with applied voltage. These result will be helpful to the pattern recognition of the acoustic partial discharge in a C-GIS.

1. 서 론

산업 사회의 고도화와 사회의 정보통신화에도 불구하고 최근의 경기침체로 인하여 전력설비 투자가 억제되고, Maintenance에 대한 고객 Need와 설비비용의 저감, 순시작업의 효율화, 설치 후 25 ~ 30년 경과된 고경년기기로 대표되는 기존 기기의 관리 방법의 확립, 이미 정해진 시간 계획에 의거한 시간 개념의 유지보수인 TBM(Time Based Maintenance)에서 예방적 유지보수의 개념인 CBM(Condition Based Maintenance)에 의한 효율적인 관리 등에 의한 유지보수의 전환으로 초기 Cost 뿐만 아니라 운용 Cost저감이 요구되고 있는 실정이다.[1]

한편 전력설비의 compact화, 환경과의 조화, 운전 및 보수의 간편화, 계통운용의 신뢰성, 안전성 확보 등의 요청으로 절연내력이 우수한 SF6가스를 절연재료로 차단기, 단로기, 개폐용변성기, 접속도체 등을 금속용기에 수납한 큐비클 타입의 가스절연개폐장치(C-GIS)가 확대되고 있다.[2]

C-GIS의 장기간 운전에 따른 이상 전진을 고려하면, 통상적인 운전조작에 따라 발생하는 열화와 설치단계에서의 불완전이 시험검사에서 검출되지 않고 이상상태를 내재한 채 운전에 들어가 장기간의 운전조작에 의하여 나타나는 이상으로 구별되며, 전기적 열화, 기계적 열화, 열적 열화, 환경적 열화 등으로 본래의 기능을 상실하게 된다. C-GIS의 감시/진단 기술에는 차단기의 동작특성, 가스 누기, 온도특성, 피뢰기의 열화특성, 부분방전 등이 대표적인 감시항목으로 상시적인 감시에 대한 기술이 연구되고 있다.[3][4]

따라서, 본 연구에서는 C-GIS의 전기적 열화에 의한 절연상태를 파악하기 위하여 차단기실내에 도체돌기형인 HV protrusion과 외함 protrusion 유형을 모의하고,

발생되는 부분방전을 초음파 센서를 적용해 결합 유형별 특징에 대하여 알아보았다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 방법

그림 1은 AE센서를 이용한 C-GIS의 부분방전 검출을 위한 실험장치의 구성도를 나타낸 것이다. 시료인 C-GIS는 MAIN 정격전류 2000A, FEEDER 630A, 정격전압 24kV인 배전압이며, 부분방전의 모의는 C-GIS 차단부(0.4bar 충전)의 T상에 가공의 침전극을 이용(gap : 0.8cm)하여 HV protrusion, 외함 protrusion 두 결합을 모의하였다. 모의된 부분방전원에서 발생된 초음파는 외함의 중앙에 부착된 AE센서(PAC Co. R6I, 공진주파수: 60kHz)로 검출하였다. AE센서의 출력 신호는 신호처리장치를 경유하여 PC로 전송하였다. 신호처리장치는 출력된 AE 신호의 크기가 아주 작아 외부 노이즈와 구별하기 어렵기 때문에 증폭을 위한 증폭기(60dB)와 대역통과필터(50 ~ 300kHz)를 가지는 필터부 및 출력된 신호에 대한 샘플링주파수를 낮추고, 간단한 처리 및 인식을 위하여 Envelop회로, 디지털 신호로의 변환을 위한 A/D 컨버터로 구성되어 있다.

또한, 데이터 취득을 위한 샘플링 주파수는 1.25MHz로 설정하였으며, 데이터의 전송은 60주기를 한 샘플로 하였다. 전송된 데이터는 PC상에서 현장주변의 노이즈 상황을 고려하여 자유로이 조정하도록 하였으며, Peak detection 알고리즘을 적용하여 인가전압 한 주기당 AE센서의 출력값중 Peak만을 데이터로 저장되도록 하였다.

저장된 데이터는 초음파센서의 출력에 대한 방전전하량의 보정방법이 없기 때문에 기존의 PD의 결합식별 및 PD에 의한 열화도를 판별하기 위한 방법으로 사용되는 위상에 대한 방전전하량의 빈도수를 분포로 나타낸  $\Phi$ -q-n분포를 응용하여, AE센서 출력 전압값을 이용하여 위상에 대한 AE출력의 빈도수로  $\Phi$ -V-n분포를 나타내었다.

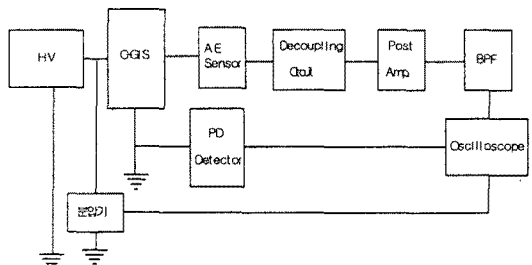
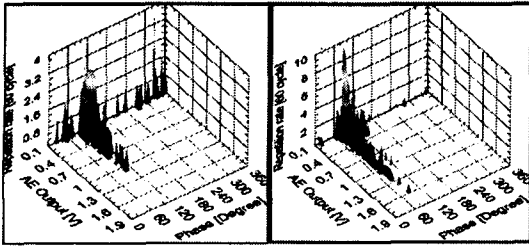
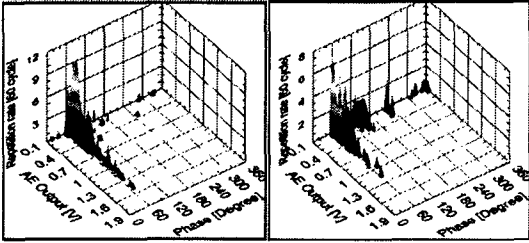


그림 1 실험장치 구성도

### 3. 결과 및 검토



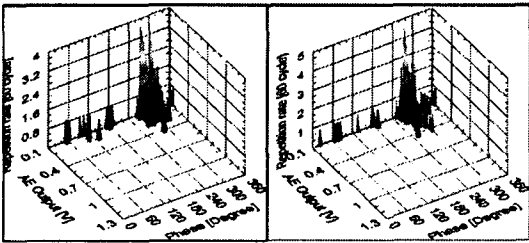
(a)인가전압: 14.6[kV] (b)인가전압:17.3[kV]



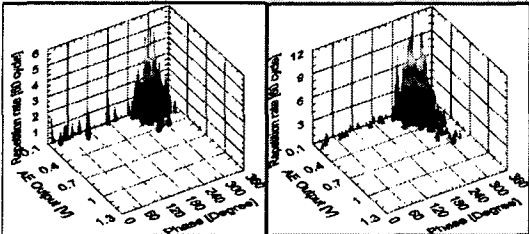
(c)인가전압: 20.1[kV] (d)인가전압: 24[kV]

그림 2. 인가전압에 의한  $\phi$ -V-n분포(HV Protrusion case)

각종 도체, 부재 조임 너트 및 볼트의 풀림 등의 잠재 요인을 가상하여 C-GIS의 차단부에 침전극을 부착하여 도체상 돌기에 의한 부분방전을 모의하였다. 그림 2는 인가전압을 10[kV]~30[kV]의 교류전압을 인가하여 전압 위상에 대한 초음파 센서의 출력전압과 60주기 동안의 펄스 반복율을 나타낸 것이다. 0.2 ~ 0.4[bar]의 저압력으로 채워져 있는 C-GIS의 방전에 따른 위상특성은 HV protrusion인 경우 인가전압의 부의 peak인 270°영역에서 방전을 개시함과 동시에 정의 peak인 90°영역에서 방전이 발생하였으며, 접지측인 외함에서의 원활한 전자공급으로 인하여 정의 펄스가 부의 펄스보다 커짐을 알 수 있었다. 인가전압의 증가에 따라 초음파 센서의 출력의 증가가 증가하지 않는 이유는 SF6 가스의 절연내력특성과 열전도율 특성 등으로 일정 전압 범위내에서의 방전전하량이 증가하지 않기 때문이다.



(a)인가전압: 14.6[kV] (b)인가전압: 17.3[kV]

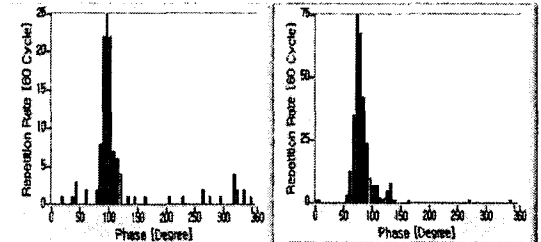


(c)인가전압: 20.1[kV] (d)인가전압: 24[kV]

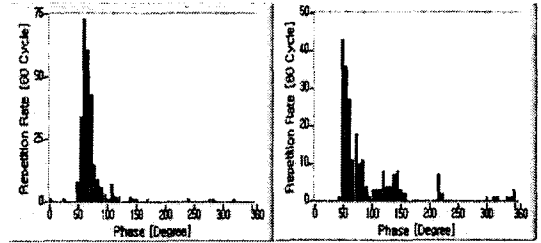
그림 3. 인가전압에 의한  $\phi$ -V-n분포(외함 Protrusion case)

그림 3은 그림 2와는 달리 C-GIS의 외함에 미소돌기가 발생하였을 경우의 모의로 차단기실 외함에 침전극을 부착하여 부분방전을 모의한 후 인가전압의 위상에 대한 초음파 센서의 출력전압과 60주기 동안의 펄스 반복율을 나타낸 것이다.

방전의 개시는 외함에 부착된 침전극의 극성이 플러스극인 인가전압의 정의 peak인 90°영역에서 일어났으며, 그 크기는 미약하여 외부의 노이즈와의 구별성이 어렵다. 단지 인가전압의 증가에 의해 부의 peak인 270°영역에서 원활한 검출이 이루어졌다. 그림 2의 HV protrusion과 비교하여 AE센서의 출력이 작음을 알 수 있다. 같은 방전궤이라도 상대적으로 AE센서까지의 행정이 길어지고, 전자의 공급면적이 작아지기 때문으로 사료된다.



(a)인가전압:14.6[kV] (b)인가전압:17.3[kV]



(c)인가전압:20.1[kV] (d)인가전압:24[kV]

그림 4. 인가전압에 의한  $\phi$ -n 분포(HV Protrusion case)

그림 4는 HV protrusion결합의 유형에 대한 인가전압 별 위상각에 따른 AE출력신호 펄스의 발생빈도수 분포를 나타낸 것이다.

방전 초기에는 인가전압의 정peak 90°부근에 그 빈도수가 집중분포되어 있다. AE출력신호의 발생범위는 인가전압의 증가에 따라 위상이 앞쪽으로 이동하고 분포의 범위가 50°~150°로 넓어진다.

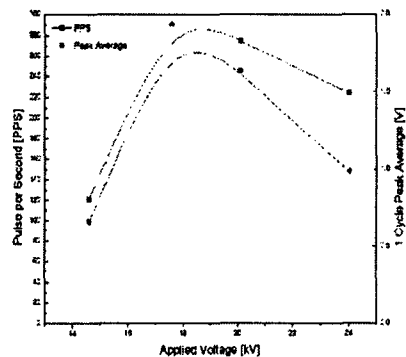


그림 5. PPS 와 Peak Average (HV protrusion 경우)

그림 5는 인가전압의 증가에 따른 1초 동안에 발생된

펄스 수인 PPS(Pulse Per Second)와 1 주기동안의 AE출력신호의 평균값을 나타낸 것이다. 인가전압의 증가에 따른 발생빈도와 1주기 AE 출력신호의 평균값은 일정 전압까지 증가한 후 감소하였다. 그러나 전압을 증가하여 breakdown현상 직전에는 빈도가 증가함을 확인하였다. 발생빈도와 AE출력신호 평균값의 증가와 감소는 부분방전의 방전전하량과 상관관계가 있는 것으로, 취득되는 AE 출력신호의 최대 크기와 최소크기의 분포 동향에 따른 것이다.

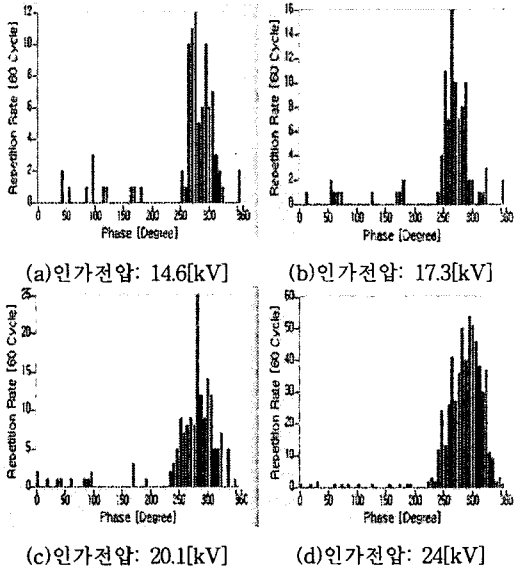
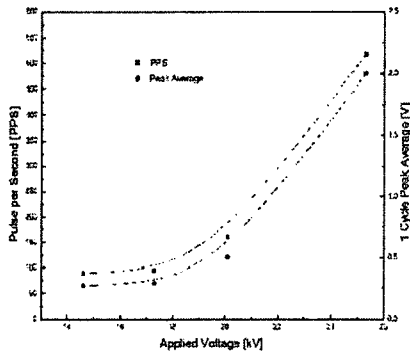


그림 6. 인가전압에 의한  $\phi$ -n 분포(외함 Protrusion case)

그림 6은 외함 protrusion결함의 유형에 대한 인가전압 별 위상각에 따른 AE출력신호 펄스의 발생빈도 분포를 나타낸 것이다.

방전 초기에는 인가전압의 부peak 270°부근에 그 빈도가 집중분포되어 있으나, 인가전압의 증가에 따라 AE 출력신호의 발생 위상이 뒤쪽으로 이동하고 분포가 240°~330°범위로 확대된다.



(a) 외함 Protrusion

그림 7. PPS 와 Peak Average

(외함 protrusion 경우)

그림 7은 인가전압의 증가에 따른 1초 동안에 발생된 펄스 수인 PPS(Pulse Per Second)와 1 주기동안의 AE출력신호의 평균값을 나타낸 것이다. PPS와 1주기 AE 출력신호의 평균값은 인가전압의 증가에 따라 증가

하였다. 외함 Protrusion의 경우는 HV protrusion인 경우와 달리 인가전압에 따른 부분방전 전하량의 변동에 기인한 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

C-GIS의 절연상태를 On-line상태로 효과적으로 진단하기 위하여 중심 주파수 60kHz인 초음파센서를 적용하고, 필터와 증폭부, Envelop회로를 가진 신호처리장치를 이용한 결합별 부분방전 검출을 행하였다.

그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1)C-GIS의 부분방전 검출에 적용한 AE센서의 적합성을 확인하였다. C-GIS의 HV protrusion 결함의 경우 인가전압의 정 위상영역에서 펄스발생수와 평균출력전압이 크게 나타났으며, 인가전압의 증가에 의한 발생범위는 90°에서 앞쪽으로 위상 이동이 현상이 나타나며, 그 위상 확대 범위는 50°~ 150°로 넓어짐을 알 수 있었다.

2)C-GIS의 외함 protrusion의 경우 인가전압의 부 위상영역에서 펄스발생수와 평균출력전압이 크게 나타났으며, 인가전압의 증가에 의한 270°부근에서 뒤쪽으로 위상 이동 현상이 나타나며, 위상 확대 범위는 240°~ 330°로 넓어짐을 알 수 있었다.

#### [참고 문헌]

- [1] 下村哲朗, “インテリジェント變電所システム”,Mitsubishi電機技報, Vol.75 No.8, pp 7- 12, 2001
- [2] 大韓電氣協會, “電氣設備の診斷技術”, 167 - 178, 1994
- [3] 土井 “次世代機器監視システム”, Mitsubishi電機技報, Vol.75 No.8, pp 37- 40, 2001
- [4] 최종용 “GIS(22.9kV)감시진단시스템개발” 산업기반기술사업보고서