

SF6 가스중의 공진주파수에 따른 신호특성

이용희, 이현동, 박정남, 신양섭, 박장수*, 서정민
LG산전 전력연구소 전력기기연구팀, 보호제어연구팀*

Characteristic as a Resonance Frequency of SF6 Gas

Y. H. Lee, H. D. Lee, J. N. Park, Y. S. Shin, J. S. Park, J. M. Seo
Electrotechnology R & D Center, LGIS

Abstract - In this paper, chamber(Circuit breaker compartment of C-GIS) made of stainless steel with 4 mm width is used. Artificial defect was made on enclosure or HV conductor of chamber and SF6 gas was injected into it according to pressure. In this experiment, Acoustic emission sensors of different types was used to compare sensitivity to detect acoustic signal occurred by Partial discharge(PD) of according to types and resonance frequency in SF6 gas atmosphere. Sensors used in tests was R6I, R15I and 2/4/6 Pre-Amplifier connected with R6IU without pre. amp. In case of R6IU, gain was adjusted with 40 dB like other sensors and operated by differential mode. Post amplifier(post. amp) and band pass filter(BPF) was developed. Gain of post. amp. is 60 dB and BPF has band width of 50~300 kHz. Also, envelope circuit developed reduces frequency of AE sensor.

As a result, in SF6 atmosphere, R6IU and R6I had resonance frequency of 60 kHz was better than R15I. Also, R6IU was better than R6I because of type property of pre. amp. had differential mode.

1. 서 론

전력기에서 발생하는 부분방전은 전력기 운영 상태에 따른 절연열화 정보를 가장 잘 나타낼 뿐 아니라, 그로인한 열화는 일반적으로 거의 운전 중 사고로 연결되기 때문에 부분방전 측정을 통한 전력기의 열화진단은 진단의 정확성과 아울러 기기 운영의 신뢰성 측면 및 기기의 보수나 교체시기판정에 매우 중요하다고 볼 수 있다.^[1,2,3,4,5]

그러나, 현장에서 전력기에서 발생하는 부분방전을 검출하는 데에는 상당한 어려움이 따르며, 전기적인 측정법으로서는 전열 자체 노이즈로 인해 측정된 신호가 부분방전인지 아닌지를 구분하기 어려우며, 음향 신호 측정법은 주위 환경의 상태에 따라서 영향을 받게 된다. 하지만 옥내에 장치가 존재하게 된다면 외부 노이즈는 감소하게 될 것이다.^[3,5]

본 논문에서는 결합에 의한 PD의 발생을 AE Sensor의 공진 주파수와 형식에 따라 검출 신호의 특성을 검토해 보았다.

2. 본 론

AE센서의 검출 신호가 결합에서 발생한 PD신호에 의해서 검출된 신호인지를 비교 검토하기 위하여 전기적 측정방법으로서 PD Detector(IEC270)를 함께 사용하였다. 이들 측정신호들은 Oscilloscope상에서 출력, 비교 되었다. 또한, PRPDA(Phase Resolved Partial Discharge Analysis)를 AE Sensor의 출력신호에 대하여 응용하였다. 이 결과를 3차원으로 Plot하여 나타내었으며, 이는 펄스의 크기, 발생빈도와 펄스가 발생한 위상에 대한 정보를 가진다. 또한 이러한 데이터를 기본으로 하여 pulse per second(PPS), 1 cycle peak average voltage [Peak Average], Root Square[RS]를 도출하였다. PPS는 1초 동안에 발생된 펄스의 개수를 의미하며, Peak Average는 1초 동안의 발생된 펄스의 크기를 1주기로 평균한 값을 의미한다. RS는 위상에 따른 발생빈도와 Peak Average의 곱의 자승에 제곱근을 취함으로써 펄스의 개수와 Peak Average의 값에 상호 연관되는 값이 도출되도록 하였다. 발생빈도가 적을 경우에 Peak Average값이 클 경우 RS의 값에 영향을 크게 미치지 못한다. RS에 관한 식은 다음과 같다.

$$RS = \sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} (N_{fi} \times V_{avg,i})^2} \tag{1}$$

2.1 실험 방법

본 실험에 사용된 AE Sensor는 Pac사의 R15I, R6I와 R6IU에 2/4/6 Pre-Amplifier를 사용하여 실험하였다. R15I와 R6I는 공진주파수가 150 kHz와 60 kHz이며 Pre amp가 40 dB로서 센서 자체에 내장이 되어 있다. R6IU는 공진 주파수가 60 kHz이며 Pre-Amp가 내장되어 있지 않아서 2/4/6 Pre-Amplifier를 사용한다. 이를 C-GIS의 차단부에 설치하였으며, SF6 가스를 1.2 Bar(G), 1.4 Bar(G)으로 충전하여 실험하였다.

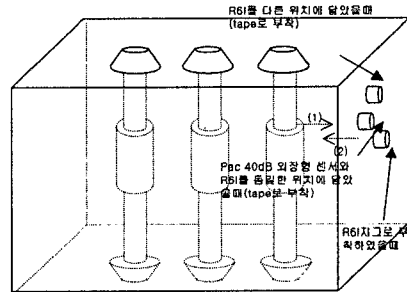


Fig. 1 Installed location of AE Sensor vs. defect location

그림 1은 본 실험에 설치된 센서의 위치를 나타내었다. AE 센서는 챔버 외부에서 Tape로 고정하여 실험하였다. 사용된 Chamber는 실제 C-GIS의 차단부를 이용하였다. 실험 방법은 그림과 같이 침 대 평판구조로서 (1)protrusion on HV conductor (2) protrusion on enclosure로 실험하였다.

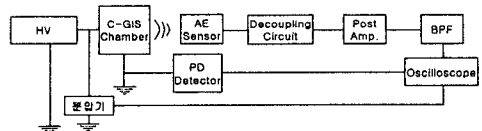


Fig. 2. Experiment Set up Block Diagram

측정 장비로는 PD detector(Robinson, Model803), Tektronix 3034 Oscilloscope(Bandwidth 300 MHz)를 이용하였고, 전원은 PD free Transformer(60 kV)를 사용하여 변압기에 의하여 발생하는 PD를 최소화 하였다. 또한 AE Sensor출력파형의 위상을 분압기를 이용하여 위상을 match시켰다. AE Sensor의 신호는 그 자체로는 매우 미약하여 Post Amp.을 이용하여 Gain을 60 dB로 증폭하였고, 50 kHz~300 kHz의 Band Pass Filter를 설계하여 적용하였다. 이 실험동안 각각의 센서들에 대하여 공통으로 사용되었다.

2.2 실험 결과

2.2.1 SF6 gas 1.2 Bar(G)

이 실험은 R6IU와 2/4/6 Pre-Amplifier를 이용하여 측정된 σ -V-n분포를 나타내었다. 결합은 그림 1에서 볼때 (2)의 위치, 즉, 외함에 들기가 있을 경우를 모의하였다. 결합은 동선으로 이루어져 있으며, 전계를 강화하기 위하여 끝부분을 날카롭게 만들었다. SF6의 압력을 1.2 Bar(G)로 하였다.

(1) R6IU+2/4/6 Pre-Amplifier

그림 3은 R6IU에 40dB의 pre-amp를 사용하였을 경우의 θ -V-n분포를 나타낸다. 이 경우는 외함에 돌기를 모의하였으며, 방전 초기에는 양의 반주에서 PD가 발생하다가 인가 전압이 증가함에 따라서 음의 반주에서 방전이 활발히 발생한다. AE센서는 결합의 위치에 따라서 시간 지연이 많이 발생하므로 위상을 이용한 PRPDA를 이용한 전통적인 pattern분석이 어렵다고 여겨진다. 하지만, 결합과 센서의 위치가 멀리 떨어지지 않는 compact한 구조일 경우에는 어느 정도의 시간 지연이 발생하여도 전통적인 pattern분석이 유효할 것이라 여겨진다. 이 논문에서는 θ -V-n분포를 도시하여 부분방전의 pattern을 가시적인 그래프로서 도시하였으며, 방전의 진전 양상에 따른 특성 값을 도출하고자 하였다.

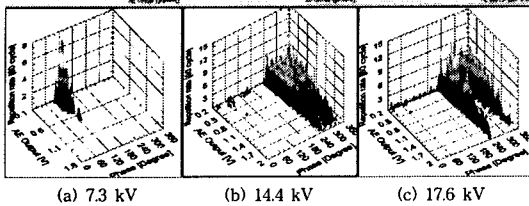


Fig. 3. θ -V-n distribution measured by R6IU with protrusion on enclosure under 1.2 bar(G) of SF₆ gas

그림 4는 인가전압에 따른 PPS, Peak Average, RS의 값을 도시하였다. 인가전압이 증가함에 따라서 대체적으로 펄스의 개수와 평균 전압이 증가하지만 14.6kV이상에서의 증가 양상은 둔화되는 듯 하다. SF₆ gas 중에서는 인가전압의 증가가 부분방전량의 크기 증가에 대하여 강한 의존성을 나타내지는 않는다.

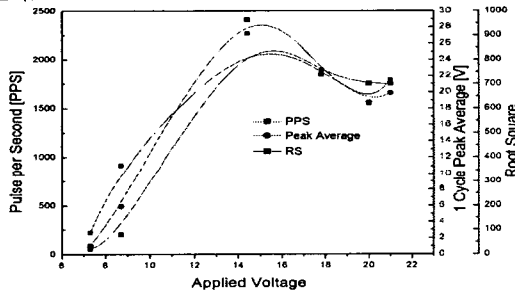


Fig 4 Parameter values by R6IU as a function of applied voltage under 1.2 bar(G) of SF₆ gas voltage under 1.2 bar(G) of SF₆ gas

(2) R6I와 R15I

R6I는 40dB의 Pre. amp가 센서 내부에 설치되어 있는 센서로서 공진주파수는 R6IU와 같은 60kHz이었다. 하지만, R6IU로 측정된 결과보다 훨씬 작은 신호가 검출되었으며, 이는 센서의 pre. amp의 성능에 따른 문제라는 것을 알게 되었다. R6IU는 differential mode로 증폭되기 때문에 pre. amp의 성능에 기인한 것으로 결론지을 수 있다. R15I는 SF₆중에 부분방전의 신호를 검출하지 못하였다. SF₆ gas 중에서의 150 kHz대역의 신호의 감쇠가 심하다는 것으로 결론지을 수 있다.

2.2.2 SF₆ gas 1.3 Bar(G)

이 실험에서는 결합은 그림 1에서 볼때 (2)의 위치, 즉, 외함에 돌기가 있을 경우를 모의하였다

(1) R6I

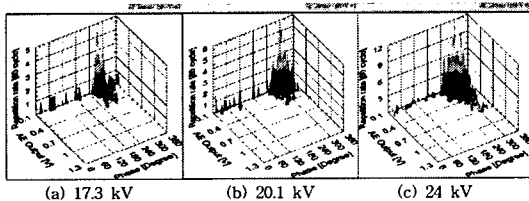


Fig. 5. θ -V-n distribution measured by R6I with protrusion on enclosure under 1.3 bar(G) of SF₆ gas

그림 5는 SF₆ gas가 1.3 bar(G)가 주입되었을 때의 θ -V-n 분포를 나타내며 AE센서에 의한 부분 방전의 검출은 16 kV에서 발생되었다. 이는 전기적인 부분방전량이 약 50 pC의 신호로 발생될 때, AE센서가 PD신호를 검출한다고 볼 수 있다. 그림 5도 전압의 증가에 따라서 부분방전량이 정량적으로 증가하지 않으며, flashover에 이르기까지도 이 형태를 유지한다.

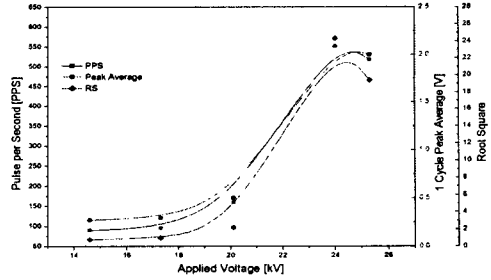


Fig. 6. Parameter values by R6I as a function of applied voltage under 1.3 bar(G) of SF₆ gas

그림 6도 그림 4와 유사한 결과를 얻었다. 24 kV에서 최대 발생빈도와 peak average를 갖으며, 그 이상 전압을 인가하였을 경우에는 24 kV를 인가할 때보다 더 양이 적어진다.

(2) R6IU+2/4/6 Pre-Amplifier

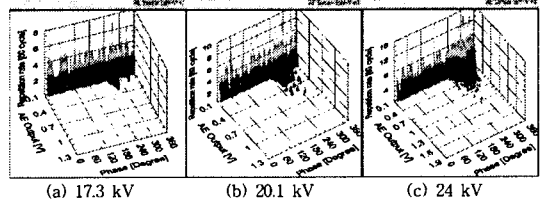


Fig. 7. θ -V-n distribution measured by R6IU with protrusion on enclosure under 1.3 bar(G) of SF₆ gas

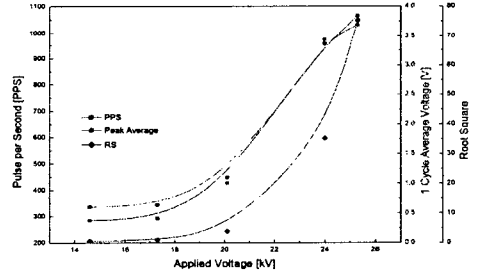


Fig. 8. Parameter values by R6IU as a function of applied voltage under 1.3 bar(G) of SF₆ gas

그림 7은 R6IU로 PD신호를 측정된 결과이며, 이 경우에는 R6I로 측정된 경우보다 출력이 크게 나타난다. 실험 동안에 센서는 동일한 위치에 동일한 압력으로 취부되었으므로, PD 신호의 크기는 센서 자체의 특성이라 보여진다.

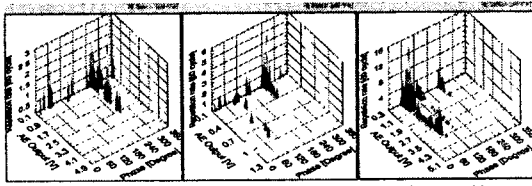
그림 8은 3개의 parameter가 선행적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 그림 7에서 보는 바와 같이 전압이 증가하면서 방전량이 증가한 것을 의미하며 그림 4와 6과 같이 방전량이 증가하다가 감소하는 경향은 보이지 않았다.

2.2.2 SF₆ gas 1.4 Bar(G)

이 실험에서는 결합은 그림 1에서 볼때 (1)의 위치, 즉, HV conductor에 돌기가 있을 경우를 모의하였다.

(1) R6I

그림 9는 인가 전압의 증가에 따른 θ -V-n 분포를 나타낸다. 이 경우에는 음의 반주에서 작은 펄스가 발생이 되며, IEC270 법에 의한 부분방전 계측기에서는 30 pC정도의 펄스가 발생되었다. 부분방전 계측기와 가시적인 비교가 이루어져야 정확한 비교가 이루어 지지만, 실험시에 PD 계측기에서는 외부 노이즈가 많이 유입되어 단지 참조 데이터로서 비교되었다.



(a) 10.5 kV (b) 13.2 kV (d) 17.6 kV

Fig. 9. θ -V-n distribution measured by R6I with protrusion on HV conductor under 1.4 bar(G) of SF₆ gas

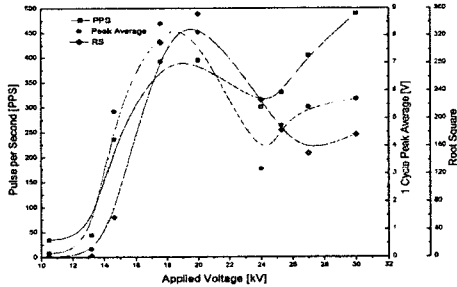
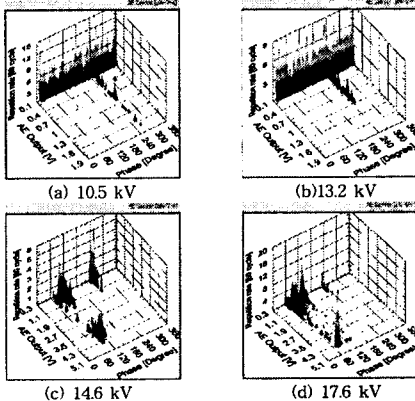


Fig. 10. Parameter values by R6I as a function of applied voltage under 1.4 bar(G) of SF₆ gas

그림 (b)의 경우에는 양의 주기에서 펄스가 발생하는 단계로서 발생빈도수는 적지만 상당히 큰 크기의 방전량이라는 것을 알 수 있다. 이후 전압이 증가함에 따라서 음의 방전량은 측정 scale이 커지게 되어 측정되지 않게 되었다.

그림 10에서는 인가전압의 증가에 따라서 3가지 parameter들이 증가와 감소를 반복함을 보여준다. 이번 실험에서 공통적으로 어떤 전압에서 최대의 방전량을 발생시키다가 전압이 증가함에 따라 다시 방전량이 감소되고 다시 증가하는 경향을 볼 수 있었다. 이는 방전이 발생되고 위상에 대하여 방전펄스들이 퍼지게 되는데 인가전압의 peak부분에서는 부분방전이 감소되어지는 것을 볼 수 있었다(그림 3 (c), 그림 11 (d)). 이 영향으로서 방전량이 갑자기 감소되는 것이라 여겨진다.

(2) R6IU+2/4/6 Pre-Amplifier



(c) 14.6 kV (d) 17.6 kV

Fig. 11. θ -V-n distribution measured by R6IU with protrusion on HV conductor under 1.4 bar(G) of SF₆ gas

그림 11은 (a)와 (b)의 경우 background noise가 포함되어 있는 상태이다. (c)와 (d)는 background noise가 제거가 된 상태이다. 그림에서 보듯이 그림 11의 R6I와 비교할 때 동일한 인가전압에서의 출력이 R6IU가 더 부분방전을 측정하는데 더 민감하다고 말할 수 있다. 그림 9 (a)에서의 최대 크기가 그림 11 (a)의 경우보다 크게 측정되었지만, 발생빈도수를 고려할 때, background노이즈를 고려하여도 발생빈도수가 높음을 알 수 있다. 그림 (b)와 (c)를 비교할 때에는 그림 11의 분포가 더 큼을 알 수 있다.

그림 12에서도 마찬가지로 양의 반주기의 Peak 부분에서 부분방전이 발생하지 않을 때 즉 24 kV일 때 갑자기 방전량이 감소하다 다시 증가하는 경향을 보여주고 있다.

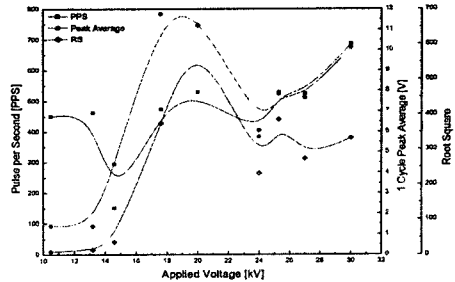


Fig. 12. Parameter values by R6IU as a function of applied voltage under 1.4 bar(G) of SF₆ gas

PPS에 대한 그래프를 보면 그림 11의 (a)와 (b)에서 보는 바와 같이 background noise가 존재하기 때문에 초기에 발생 빈도수는 450에 이르렀지만 이러한 노이즈가 1 cycle peak average에 미치는 영향은 미미함을 알 수 있으며 RS의 값은 이를 더욱 잘 나타내고 있다. 따라서 이러한 parameter를 이용하여 부분방전의 유무와 상태를 파악하는 것이 가능할 것으로 여겨진다.

(3) R15I

SF₆ gas로 밀봉되어있는 챔버에서는 공진주파수가 150 kHz인 센서로서는 어떠한 신호도 측정할 수 없었다. SF₆ gas에 의한 감쇠가 많이 일어나기 때문이다. 기중 상태에서 R15나 R6I로 측정할 경우에는 두 센서 모두 비슷한 출력을 갖는다.

3. 결 론

이 논문에서는 SF₆ gas의 압력에 따라 밀봉되어진 챔버에서 각각 공진주파수와 pre. amp.가 다른 센서를 이용하여 센서에서 출력되어지는 출력의 크기를 비교 분석하였으며, PPS, Peak Average, RS 등 3개의 parameter를 이용하여 인가전압의 증가에 대한 값의 변화에 대하여 연구되었다. 결과는 다음과 같다.

- 1) SF₆ gas로 충전된 챔버에서 각각의 센서의 출력을 비교해 본 결과 R6IU > R6I > R15I 로 순위를 정할 수 있다. 즉, SF₆ gas가 충전된 챔버의 부분방전을 측정하기 위하여는 60 kHz 대역의 센서를 사용하는 것이 효과적이다.
- 2) pulse per second(PPS)는 background noise가 불규칙적으로 발생이 될 경우 이에 대한 대책이 마련되어 있지 않음으로 해서 pps가 증가하는 경우가 있는데, 이런 경우 peak average의 증가 경향을 검토하게 되면 background noise에 대한 기여가 작음을 알 수 있다. 이러한 서로 보완적인 측면이 있는 parameter에 대하여 RS parameter를 도입함으로써 작은 신호가 많이 발생할 경우에도 값에 큰 영향을 받지 않도록 parameter를 고안하였다. 하지만 신호에 따른 상대적인 값이기 때문에 어느 정도의 값에서 어느 정도의 열화가 진행되는지에 대한 판정은 어렵다.

[참 고 문 헌]

- [1] 구경철, 이상우, 이동인, 이광식, 김민식, 김이국, 신용철, "운전중인 물드형 전력변압기의 음향방출신호에 대한 주파수 스펙트럼 특성", 한국조명, 전기설비학회 학술대회 논문집, 2000,11,1
- [2] Md. Enamul; Haque, Ahmad Bin Darus, M.M.Yacob, Feroz Ahmed, "Diagnosis of GIS Based on Acoustic Sensing Technique", APSCOM-97 conf. pp. 556-558
- [3] H. D. Schlemper, K. Feser, H. Blaum, P. Kirchesch, "Sensitivity of acoustic PD detection in GIS Laboratory experiments and on-site experience", IEEE EI. conf 1996, June 16
- [4] S. Meijer, E. Gulski, J. J. Smit, "Pattern Analysis of Partial discharges in SF₆ GIS", IEEE trans. on EI, Vol.5 No. 6, December 1998, pp.830-842.
- [5] L.E. Lundgaard, M. Runde, B. Skyberg, "Acoustic Diagnosis of Gas Insulated Substations : A Theoretical and Experimental Basis", IEEE, PD, Vol.5, No.4, November 1990.