

345 kV GIS 다빈도 조작 CB에서 추출한 파티클의 부분방전 실험

*이지철, *이동준, *어수영, *심종태, **김용원, **이재근, **김주성, ***구자운
 *(주)태광이엔시, **한전 남서울전력관리처, ***한양대학교

PD test of particles collected in 345 kV GIS

*J. C. Lee, *D. Z. Lee, *S. Y. Eo, *J. T. Sim, **Y. W. Kim, **J. G. Lee, **J. S. Kim, ***J. Y. Koo
 *Taegwang E&C, **Kepco, ***Han Yang Univ.

Abstract - 345 kV GIS 다빈도 조작 CB 내부에 접점이 마모되어 많은 파티클이 발생한다. 이러한 파티클이 GIS 내부에 존재할 때 어떠한 영향을 미치는지 이론적으로 근거를 제시하고, 이를 실험적으로 검증하였다. 현장에서 수거한 파티클을 설치 운영중인 PDMS 장비와 HAEFELY 장비를 이용하여 실험용 GIS에 삽입후 발생하는 현상들을 동시에 비교 분석하고자 한다.

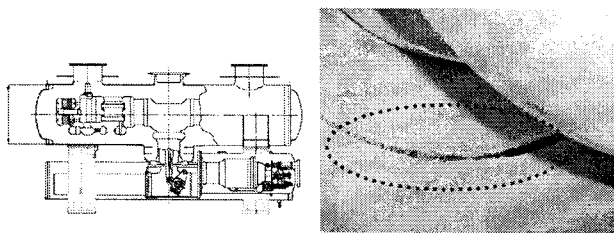
1. 서 론

전력계통에 운전 중인 SF₆ GIS(Gas Insulated Switchgear)는 신뢰성이 높으나 사고 시에 그 사회적인 파급효과가 광범위한 것으로 보고 되고 있다. 따라서 운전중인 GIS 내부의 여러 형태의 결합에서 발생하는 부분방전을 검출하여 기기의 절연상태를 판단하는 On-line Monitoring 장치들이 설치, 운전되고 있다. GIS 내부의 이물질이 절연에 이상을 주기 위해서는 이물질이 부유하는 위험조건을 충족하여야 한다. 하지만 CB 조작에 의하여 접점에서 발생하는 이물질을 수거하여 분석한 결과 대부분의 이물질은 부유조건을 충족하지 않을 것으로 사료된다. 본 논문에서는 실제 운전 중인 다빈도 조작 CB 내부의 이물질이 부유하기 위한 이론적 근거를 제시하고, 실험을 통하여 검증하였다.

2. 본 론

2.1 다빈도 조작 CB 파티클

그림 1(a)는 현장에서 실제 운전 중인 CB 도면의 일부분이다. CB의 동작 횟수는 2년에 1천회 정도이고, 2002년 가압을 시작하였다. 그림 (b)는 CB 내부에서 실제 발견된 파티클이다. 파티클은 금속 성분으로 CB 접점이 마모 되어 탱크 바닥으로 떨어진 것으로 사료된다.



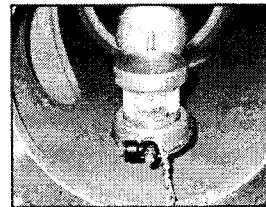
(a) 현장에서 운전중인 362 kV CB (b) CB 내부의 파티클
<그림1> CB 내부의 파티클 흔적

2.2 모의 실험장치

본 실험은 345kV GIS 모의 실험이고, 인가전압은 23kV 이상이다. SF₆ 압력은 3 bar이고, 도체와의 거리는 45mm이다. Background Noise Level은 2pC 이하이다[1]. 또한 실험 비교분석을 위해서 그림 2 (a) 와 같이 현장에서 파티클을 수거하여 그림 (b)와 같이 실험 장치를 구성하였고, 그림(c)와 같이 10pC 파티클 cell을 이용하여 비교분석 하였다. 그리고 그림(d)와 같이 HAEFELY SYSTEM 과 PDMS 장비를 비교 분석하였다. 그림(e)는 전체 측정 시스템 구성도이다.



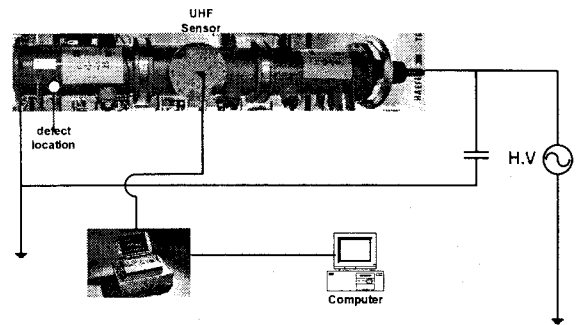
(a) 현장에서 수거한 파티클 (b) 파티클 모의 실험



(c) 10 pC 발생 장치



(d) HAEFELY SYSTEM

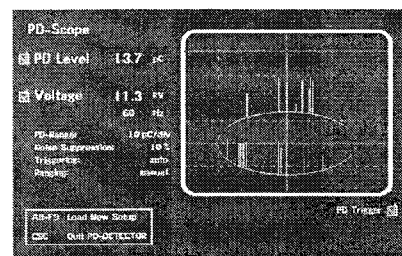


(e) 전체 측정 시스템 구성도

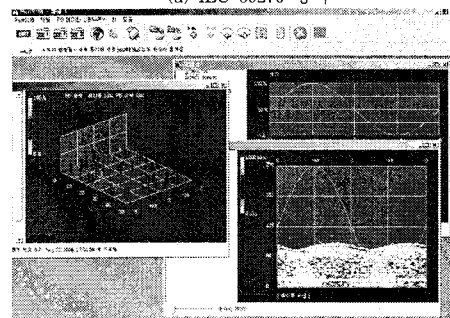
<그림 2> 실험 장치 구성도

2.3 실험결과

가) CIGRE 규정에 의거하여 약 10 pC 발생시[2,3]



(a) IEC 60270 방식

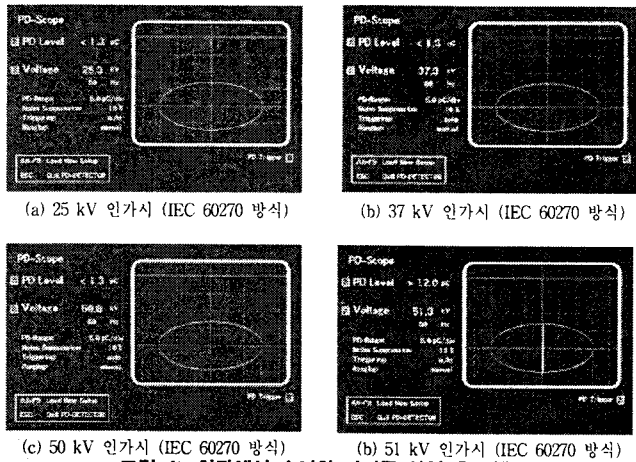


(b) PDMS 분석프로그램

<그림3> 10 pC 발생 장치에 의한 비교분석

그림3 (a) 와 같이 CIGRE 규정에 의거하여 약 10 pC 발생시 IEC 60270 및 PDMS 분석 프로그램 모두에서 검출이 가능하였다. 따라서 PDMS 장비의 성능에는 전혀 문제가 없는 것으로 사료된다.

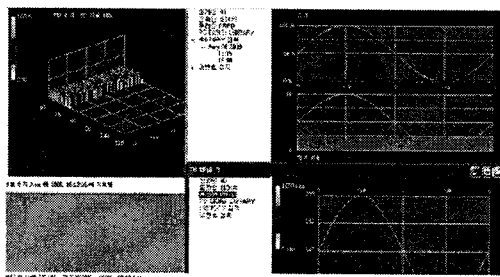
나) 현장에서 수거한 파티클 삽입 후 실험



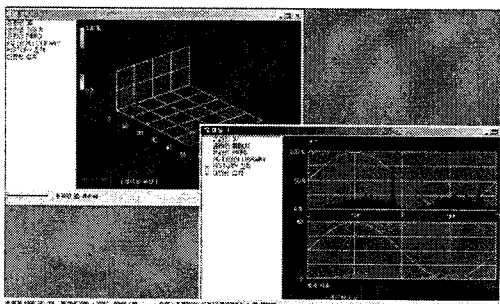
(a) 25 kV 인가시 (IEC 60270 방식) (b) 37 kV 인가시 (IEC 60270 방식)
(c) 50 kV 인가시 (IEC 60270 방식) (d) 51 kV 인가시 (IEC 60270 방식)

<그림 4> 현장에서 수거한 파티클 삽입 후 실험 결과

현장에서 수거한 파티클을 GIS 내부에 삽입한 후 전압을 인가 했을 때 일어나는 현상들을 IEC 60270 방식과 PDMS 장비를 이용하여 비교 분석하였다. 그 결과 그림 4 (a) 와 같이 현장에서 수거한 파티클을 삽입한 후 25 kV 인가시 파티클의 거동은 발견할 수 없었다. 37 kV, 50 kV 인가시 마찬가지로 파티클의 아무런 거동도 발견할 수 없었다. 그러나 51 kV 인가시 Breakdown이 발생하였다. 50 kV 이하 인가시 그림 5 (a) 와 같이 PDMS 분석프로그램에서 특별한 이벤트는 검출되지 않았다. 그림 5 (b) 와 같이 51kV 인가시 Breakdown 발생시 일시적으로 펄스의 크기가 증가했던 것을 PRPDA 화면을 통해서 확인할 수가 있다.



(a) PDMS 분석 프로그램 (50 kV 이하 인가시)



(b) PDMS 분석 프로그램 (51 kV 인가시 Breakdown 발생)

<그림 5> 현장에서 수거한 파티클 삽입 후 실험 결과

3. 실험결과 요약 및 분석

70 kV GIS 실험용 GIS 챔버에 현장에서 수거한 파티클 및 10 pC 발생장치를 삽입후 전압을 인가하여 IEC 60270 방식과 PDMS 장비로 동시에 검출하여 얻은 실험 결과의 요약은 다음과 같다.

- 첫째, 현장에서 수거한 파티클 삽입 후 23.22 kV 인가시
 - IEC 60270 방식에 의한 측정 : PD 발생 안함
 - PDMS 에 의한 측정 : PD 발생 안함
- 둘째, 현장에서 수거한 파티클 삽입 후 51 kV 인가시
 - IEC 60270 방식에 의한 측정 : breakdown 발생
 - PDMS 에 의한 측정 : breakdown 발생
- 셋째, CIGRE 규정에 의한 10 pC 발생시
 - IEC 60270 방식에 의한 측정 : PD 발생
 - PDMS 에 의한 측정 : PD 발생

이러한 결과가 나온 이유는 파티클의 거동과 GIS내 부분방전 영향[2-3]에 중요한 변수는 SF₆ 가스 압력[4-6], 파티클과 도체와의 거리, 운동 방향

식[7] 등으로 사료된다. 금속 이물에 작용하는 힘이 정전력, 중력, 점성력을 가정하면 반경방향의 운동에 대해서 다음과 같은 운동방정식이 성립하게 된다.

$$m \frac{d^2z}{dt^2} = F_e [e(t), Q_p] - mg - \mu S \frac{d}{dr} \left(\frac{dz}{dt} \right)$$

- m : 금속이물의 질량[kg], F_e : 정전력 [N]
- Q_p : 이물의 대전전하[C], μ : 점성계수(1.01 × 10⁻⁴[Pas]로 가정)
- S : 이물의 단면적[m²], t : 시간[s]
- e(t) : 인가전압(= V_msinωt), g : 중력가속도(9.8[m/s²])
- r : 이물의 반경방향 좌표, z : GIS 표면에서 중심 도체로 향하는 방향

이 식에서 *M_L이 0 보다 적은 경우는 파티클이 아무런 변화를 보이지 않고, *M_L이 1보다 클 경우 breakdown이 일어나게 된다. 즉 파티클이 기립, 부상의 거동 현상을 보이기 위해서는 0 < *M_L < 1 의 조건을 충족시켜야 가능할 것으로 사료된다. (*M_L : PD 발생 가능 무계)

그리고, 국내의 문헌 조사 결과 SF₆ 가스 압력에 약 40%의 절연내력 차이가 있는 것으로 나타났다[4-6]. 또한, 파티클과 도체와의 거리에 따라서 절연내력의 차이는 많은 영향이 있을 것으로 사료되어 한전에서 도움을 받아 수치적으로 전체를 계산하였다. 그 결과 전압 345 kV 일 때 전극거리는 400 mm 인 것으로 나타났고, 345 kV/400 mm 전체 계산결과 0.86 kV/mm (6 bar) 로 나타났다. SF₆ 가스 압력이 약 40%의 절연내력을 향상시키는 앞선 문헌에 의거하여 계산하면 0.86 kV/mm * 0.6 = 0.516 kV/mm 이다. 이를 바탕으로 실험용 모의 GIS 에 환산을 해보면 도체와의 거리가 45 mm, 압력이 3 bar 일 때 인가전압으로 환산하면 45 mm * 0.516 kV/mm = 23.22 kV 라는 계산이 나온다. 따라서 본 실험에서 PD가 발생 안한 것으로 사료된다.

4. 결 론

현장의 345 kV GIS 내 파티클을 모의한 실험에서 50 kV 까지 부분방전이 발생하지 않았으며, 51 kV 인가시 breakdown 발생하였다. 이때 실험조건은 현장의 전류, 부하, 운전조건 등을 정확히 모의한 것은 아니며, 전계비례에 의한 모의실험이다. (도체와의 거리 45 mm, 압력 3 bar, 인가전압 23.22 kV 이상)

이상의 결과로부터 345 kV GIS 다빈도 조작 CB에서 추출된 파티클은 약 2배 이상의 전계에서 부분방전이 발생할 것이라는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 전력산업연구 개발사업(R-2005-1-402-01) 전력용 텔레메트릭스 선로측 센서 및 네트워크장치 기반 구축 과제에 의해 수행된 연구 결과의 일부로 이에 감사드립니다.

[참고 문헌]

[1] 이지철, 구자운, 장용무, 최재욱, 연만승, "GIS 감시진단용 다양한 센서를 적용한 PD 검출 및 패턴분석 결과 비교연구", 대한전기학회 논문지 Vol. 54C, No. 5, MAY 2005
 [2] TF 15/33.03.05 of Working Group 15.03, "Partial Discharge Detection System For GIS : Sensitivity Verification For the UHF Method and the Acoustic Method", ELECTRA No. 183 April 1999
 [3] WG 33/23.12, "Insulation Co-ordination of GIS : Return of Experience, On site tests and Diagnostic Techniques", ELECTRA No. 176 Feb. 1998
 [4] T. Kat0 N. Hayakawa M. Hikita H. Okubo, "Partial Discharge Behavior and Breakdown Prediction in SF₆ Gas", Proceedings of the 4th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials July 3-8, 1994
 [5] Sayed A. Ward, "INFLUENCE OF CONDUCTING PARTICLES ON THE BREAKDOWN VOLTAGES OF SF₆-N₂ MIXTURE", High Voltage Engineering Symposium, 22-27 August 1999 Conference Publication No. 467/O IEE
 [6] L.De Maria, E.Colombo, W.Koltunowicz, "COMPARISON AMONG PD DETECTION METHODS FOR GIS ON -SITE TESTING", Hiyn Volrbye Engineering Sympos .Im, 22-21 ALyLsl 1999 Conference Pbol'caliori ho. 467. c EE. 1999
 [7] 윤진열, 박기준, 구선근, "GIS내 자유 도전성파티클 결함에 대한 위험도 평가 방안", 대한전기학회 논문지 Vol. 51C, No. 4, April. 2002