

UHF 이중대역법을 이용한 GIS PD 분석

이상화, 최재구, 김광화
전력설비진단연구그룹, 한국전기연구원

GIS PD Analysis Using UHF Dual-Band Method

Sang-Hwa Yi*, Jae-Gu Choi* and Kwang-Hwa Kim*
*Power Facility Diagnosis Research Group, KERI

Abstract - It is widely known that the ultra high frequency (UHF) method that detects the electromagnetic wave of the PD pulses in the gas insulated space is one of the most competitive methods for its high sensitivity. From the above point of view, this paper describes the characteristics of GIS PD signals measured with ultra wide band (UWB) GIS PD detecting system in which PD signals are detected into the dual UHF band. The UWB PD detection system consists of the UWB UHF coupler, the UWB low noise amplifier (LNA) and the oscilloscope. The dual bands for PD signals are 0.5-2GHz(full band) and 1-2GHz(high band). As results, it was found that the partial discharges of each defect have their own characteristic pattern and the ratio of High band to Full band increases with gas pressure.

1. 서 론

GIS(Gas Insulated Switchgear)는 그것의 우수한 차단 성능, 절연성능, 내환경성, 대폭적인 소형화 등의 면에서 이점을 가지고 널리 보급되어 있다. GIS에 급후 요구되는 과제에는 더 한층 축소화, 신뢰성 향상, 예방보전 기술의 고도화 등이 있다. 이러한 요구에 부응하기 위해서 GIS의 운전상태에서의 외부진단기술이 필요불가결하게 되었다.

GIS 등의 전력기기가 어떤 원인으로 절연성능이 저하하면 아크섬락사고가 이르기 전에 전조현상으로서 부분방전이 발생한다. 일반적으로 절연진단은 이 부분방전의 유무에 의해 이상판정을 행하고, 부분방전은 광, 음파, 기계적 진동 그리고 전기적 진동 등의 여러 가지의 물리현상을 수반하기 때문에 많은 부분방전검출방법이 제안되고 있다[1, 2].

가스절연공간에 있어서 부분방전은 급준한 펄스성의 현상으로 나타나는 것은 잘 알려져 있으며[3], GIS 감시용으로 이 대역의 신호를 검출하기 위하여 각종 UHF 측정 시스템이 개발·실용화되고 있다[4, 5].

주파수대역이 수 GHz까지 이르는 빠른 상승시간을 가지는 GIS 부분방전신호의 제특성은 결함의 종류, 크기, 위치 등을 파악하는데 중요한 정보를 제공하기 때문에, 초광대역(UWB) 커플러와 UWB 저잡음증폭기(LNA) 등으로 구성되는 초광대역 UHF 부분방전 검출시스템이 GIS 부분방전을 검출함에 있어서 보다 바람직하다고 할 수 있다. 그러나 UWB UHF PD 검출시스템을 구축하기 위해서는 UWB 커플러, 정합회로 그리고 UWB LNA의 설계 및 제작기술과 난해한 신호처리기술 등이 선행되어야 하기 때문에 국내외적으로 이 분야에 대한 연구가 미진하였다.

그러므로, 본 논문에서는 GIS 부분방전의 제특성을 검출하기 위해 이중대역법을 이용한 초광대역 UHF 부분방전 검출시스템을 제안하고, 이중대역법에 의한 부분방

전의 분석결과를 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험장치 및 방법

제안된 UWB UHF PD 검출시스템은 UWB UHF coupler, UWB LNA 그리고 오실로스코프로 구성된다. 그림 1은, 주파수대역이 0.5 GHz - 2.0 GHz이며 대수주기형상인 UWB UHF 커플러를 보여주고 있으며, 이 커플러에는 정합용으로서 동축 테이퍼발룬이 취부되어 있다. 그림 2는 Full band (0.5-2GHz)와 High band (1-2GHz)의 이중대역출력을 갖는 UWB LNA(이득 : 55dB, NF : 2.5dB)의 모식도이다.

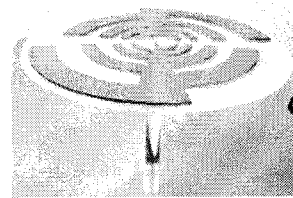


Fig. 1 Developed UWB UHF coupler

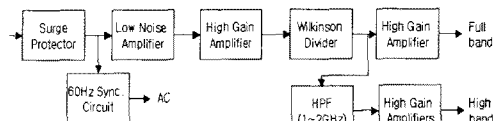


Fig. 2 - Schematic diagram of UWB LNA

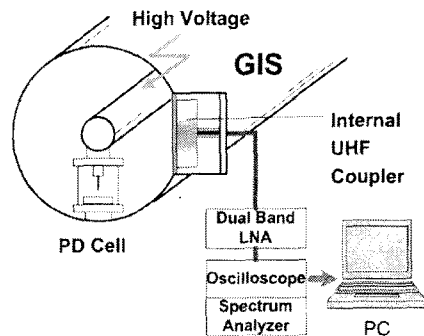


Fig. 3 Experimental setup for GIS PD detection

제안된 UWB UHF PD 검출시스템을 이용한 부분방전 검출실험은 그림 3과 같이 362 kV mock-up gas-insulated bus (GIB, 120/500 mmφ)에서 수행되었으

며, 부분방전은 버스의 중심도체와 외함사이에 설치된 고정침, 절연물상 고정침 그리고 가동볼의 3가지 모의부분방전 cell로부터 발생되었다. 부분방전 검출실험은 1bar, 2 bar 그리고 3bar의 세 종류의 가스압력 조건하에서 상용주파수 50주기에 걸쳐서 수행되었다. GIB의 관측창에 취부된 UWB UHF 커플러에 의해 검출된 부분방전신호는 UWB LNA에 의해 증폭되고 오실로스코프(LeCroy, wavePro 960, 2 GHz / 16 GS/s, 16 Mpts)에 의해 분석 및 저장된다.

본 논문에서는 종래부터 사용되어온 부분방전 해석인자인 부분방전량(Q)과 발생회수(n)와는 별도로 Full band에 대한 High band의 출력비(이후 'HF 출력비'라고 기술함)를 제안하고, 그 출력비로써 부분방전신호의 검출특성을 분석하였다. HF 출력비는 다음과 같이 구해진다.

1. 측정된 파형에서 측정 조건별 노이즈레벨을 고려하여 피크를 검출한다.
2. 형성된 피크 데이터에서, 한주기(360도)를 4000개로 나눈 window하나당 부분방전량의 평균 $Q(V)$ 와 부분방전 횟수 N 값을 조건별로 중첩하여 구한 후, DataBase와 한다.
3. DB에서 읽은 중첩된 평균 Q 값을, 같은 window상의 Full, High 대역별로 나누어 비를 구한다.(이때, 두 대역 중 어느 하나의 window라도 Q 값이 존재하지 않는다면 0으로 처리한다)

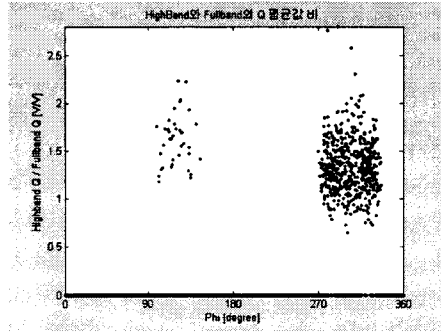
2.2 실험결과

그림 4는 인가전압이 24kV일 때, 각 가스압력조건에 따른 고정침의 부분방전특성으로서 HF출력비의 위상특성을 보여준다. 고정침 부분방전은 먼저 부주기의 피크에서 개시하며, 전압을 상승함에 따라 정주기와 부주기의 피크부분에서 집중적으로 발생하고, 동일 전압에서 압력이 증가함으로써 부분방전펄스의 발생개수가 감소하고, 정주기보다 부주기에 부분방전이 활발히 발생하는 등 가스중 침코로나의 전형적인 특성을 보여주고 있다.

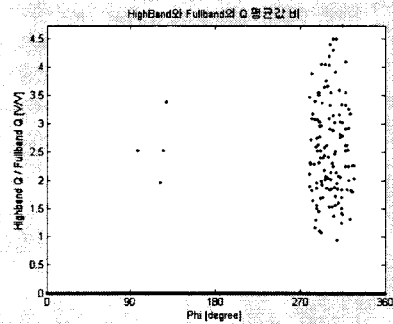
그림 5는 인가전압이 각각 9kV, 13kV, 17kV로 증가할 때, 각 가스압력조건에 따른 절연물표면 고정침의 부분방전특성으로서 HF출력비의 위상특성을 보여준다. 절연물표면 고정침의 부분방전은 고정침의 경우보다 정주기와 부주기의 피크 앞부분에서 발생하고, 펄스의 분포가 큰 분산값을 나타내고 있으며, 정주기와 부주기에서 비슷한 펄스개수를 보임으로써 극성효과가 많이 감소한 양상을 보이고 있다. 절연물표면 고정침의 경우는 가스중 고정침과는 달리, 공간전하가 절연물표면에 축적되어 침부근의 전계를 국부적으로 강화하여, 부분방전개시전압을 낮추게 된다. 발생위상의 전진과 극성효과 감소의 원인도 이 공간전하효과로써 설명된다.

그림 6은 인가전압이 8kV일 때, 각 가스압력조건에 따른 가동볼의 부분방전특성으로서 HF출력비의 위상특성을 보여준다. 가동볼의 부분방전은 전위상에 고르게 발생하고 있으며, 극성효과도 전혀 보이지 않고 있다.

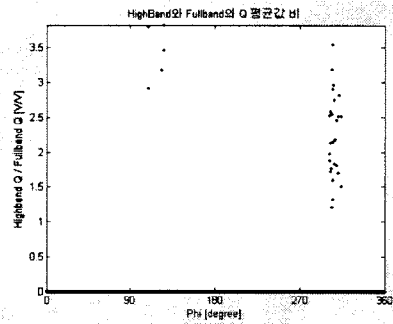
그 원인으로서, 가동볼의 부분방전은 정전력에 의해 지배되어 가동볼이 구르게 될 때, 가동볼과 하부전극간의 미소갭에서 발생하므로, 전 위상에 걸쳐 부분방전이 나타나게 된다. 단, 1bar의 경우, 전압피크치를 중심으로 부분방전이 발생함을 관찰할 수 있는데, 이는 압력이 낮을 경우 가동볼의 거동이 전압에 의존함을 알 수 있다.



(a) 1bar, 24kV 인가시

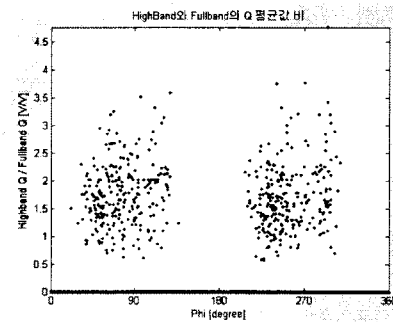


(b) 2bar, 24kV 인가시

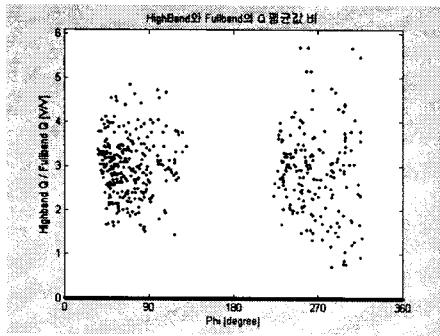


(c) 3bar, 24kV 인가시

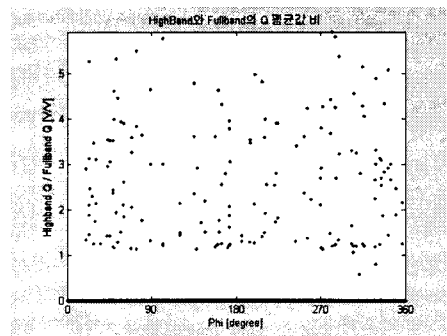
그림 4. 고정침의 부분방전특성



(a) 1bar, 9kV

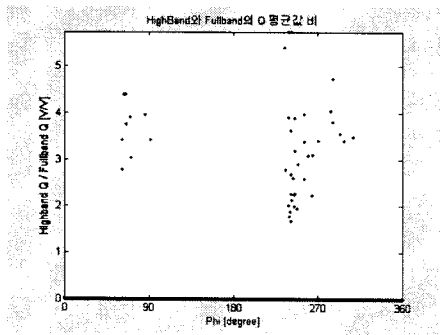


(b) 2bar, 13kV



(c) 3bar, 8kV

그림 6. 가동볼의 부분방전특성



(c) 3bar, 17kV

그림 5. 절연물표면 고정침의 부분방전특성

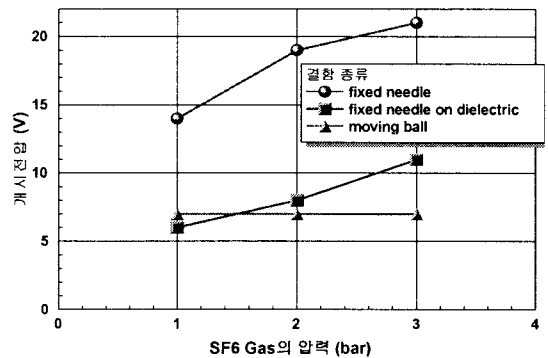
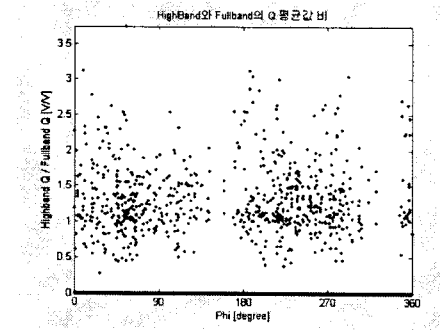
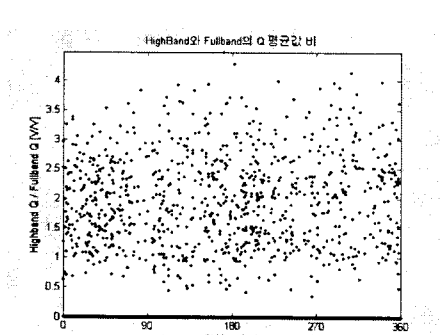


그림 7. 결함별 개시전압



(a) 1bar, 8kV



(b) 2bar, 8kV

그림 7은 압력에 따른 결함별 개시전압을 보여준다. 고정침과 절연물표면 고정침의 경우는 압력이 증가함에 따라 개시전압도 증가하는 것을 보이며, 이 때 절연물표면 고정침이 가스중 고정침보다 낮은 개시전압을 보이고 있다. 이는 절연물표면에 축적된 공간전하에 의해 부분방전 개시전압이 낮아진 결과라고 사료된다. 또한 가동볼의 경우는 개시전압의 압력에 대한 의존성이 거의 없음을 알 수 있다. 이는 가동볼을 움직이는 정전력은 전압에 의존하고 압력에는 의존하지 않음을 설명한다.

표 1. 각 결함의 평균 HF출력비의 가스압력특성

	결함종류	1bar	2bar	3bar
정주기	고정침	1.61	2.59	3.43
	절연침	1.76	2.97	3.67
	가동볼	1.29	1.93	2.57
부주기	고정침	1.34	2.54	2.23
	절연침	1.69	2.84	3.15
	가동볼	1.32	2.00	2.70

표 1은 각 결함의 평균 HF출력비의 가스압력특성을 보여준다. 이를 그래프로 그리면 그림 8과 같다. 전체적으로 압력이 증가함에 따라 HF 출력비가 증가함을 확인할 수 있다. 이것은 가스압력이 증가함으로써 고주파성분이 증가함을 보여준다.

3. 결 론

초광대역 UHF 부분방전 검출시스템을 제안하고, 이중대역법에 의한 부분방전의 검출실험을 고정침결합, 절연물표면 고정침결합 그리고 가동볼결합에 대하여 1bar, 2bar 그리고 3bar에서 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

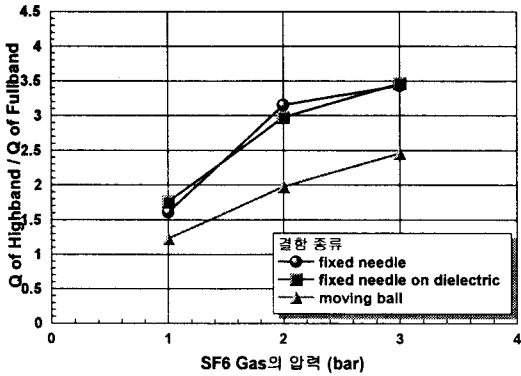
1) 인가전압에 대한 발생위상특성을 조사하여 각 결합에 따라 특정한 패턴을 가지는 것을 확인하였다. 고정침결합은 전압피크에서, 절연물표면 고정침결합은 피크앞에서, 그리고 가동볼결합은 위상에 관계없이 부분방전이 발생하였다. 이와 같은 결과로부터 Full band에 대한 High band의 출력비(HF 출력비)의 부분방전 해석인자로서의 유효성을 확인하였다.

2) 압력이 증가함에 따라 부분방전의 고주파성분의 증가로 인하여 HF 출력비가 증가함을 확인하였다.

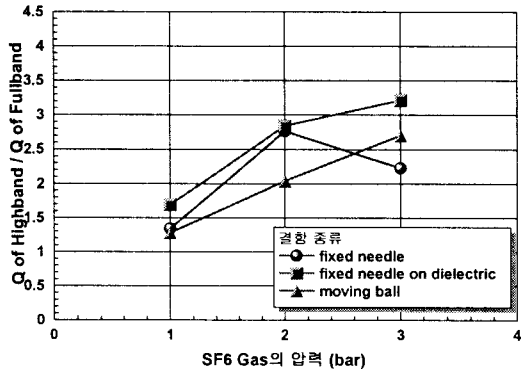
3) 압력에 따른 각 결합의 개시전압특성을 조사하여 고정침과 절연물표면 고정침결합은 압력에 비례하고, 가동볼결합은 압력에 무관함을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] L. E. Lundgaard, "Acoustic Diagnosis of Gas Insulated Substations; A Theoretical and Experimental Basis", IEEE/PES 1990 Winter Meeting, pp. 1-8, February 1990.
- [2] Katsuaki Senba and Hiroshi Ishikawa, "Prediction and Preservation Techniques for GIS", MEIDEN REVIEW Series No. 101 1994 No. 2, pp. 47-51, 1994.
- [3] D. F. Binns, A. H. Mufti and N. H. Malik, "Optical Discharge Detection in SF6-insulated Systems", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 25, No. 2, pp. 405-414, April 1990.
- [4] M. D. Judd et al., "Partial Discharge Diagnostics for Gas Insulated Substations", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 2, No. 5, pp. 893-905, October 1995.
- [5] J. S. Pearson, B. F. Hampton and A. G. Sellars, "A Continuous UHF Monitoring for Gas-insulated Substations", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 26, No. 3, pp. 469-478, June 1991.



(a)정주기



(b)부주기

그림 8. HF출력비의 압력특성