

GIS 부분방전 측정용 UWB UHF 커플러에 관한 연구

최재구, 김익수, 김광화
한국전기연구원

A study on the development of a UWB UHF coupler for GIS PD detection

J.G.Choi, I.S.Kim, K.H.Kim
KERI

Abstract - Partial Discharge(PD) pulses propagate in gas insulated substation(GIS) with rise time shorter than one nanosecond. Therefore, Ultra high frequency(UHF) couplers which have ultra wide band(UWB) characteristics from hundreds of MHz to several GHz are desirable for the detection of the PD pulses in GIS. In this paper, the authors proposed a log-periodic antenna for GIS PD detection. Various parameters of the coupler such as frequency bandwidth, coupler gain, radiation pattern, coupler geometry were considered through the simulations and the experiments together.

턴, 커플러 형상 등의 다양한 파라미터가 모의해석 및 실험을 통하여 검토되었다.

2. 안테나 이론

초광대역 안테나에 대한 해석적 접근은 먼저, 구좌표계 (r, θ, ϕ) 에서 가장 설명이 잘 될 수 있는 구조의 안테나가 원점에 무한히 접근해 가는 두 단자를 갖고 있으며, 각각은 $\theta=0, \pi$ 축과 대칭으로 놓여 있다고 가정함으로써 시작된다. 안테나는 완전도체로서 무한균일 등방성 매질로 둘러싸여 있고, 안테나 도체면이나 가장자리는 다음 식과 같이 곡선으로 잘 표현될 수 있다고 가정한다.

1. 서 론

$$r = F(\theta, \phi) \tag{1}$$

우리 사회는 고도로 산업화되어 있으므로 전력공급에서 높은 신뢰성을 요구하고 있다. GIS는 SF6 가스로 절연하여 설비의 설치면적을 줄이고 기기의 신뢰성을 높였다. 그러나 GIS는 밀폐형이므로 육안점검이 불가능하고 고장발생시 복구에 장시간 및 고비용이 필요하다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 GIS의 내부상태를 진단할 수 있는 기술 개발을 필요로 하고 있다. GIS는 내부도체, SF6 가스 그리고 개폐장치로 구성되어 있으므로, 중요 진단기술은 절연상태진단, 통전상태진단이 된다. 절연상태의 진단은 부분방전 측정을 중심으로 여러 가지 진단기술이 개발되고 있으며, 상당한 기술발전을 이룩하고 있다.

여기서, r 는 도체면이나 가장자리의 거리이다. 안테나가 원래의 주파수보다 K 배 낮은 주파수로 축소된다면, 같은 전기적 크기를 유지하기 위해서는 안테나의 물리적 크기는 K 배 크게 만들어야 한다. 따라서 새로운 도체면은 다음과 같이 표현된다.

$$r' = KF(\theta, \phi) \tag{2}$$

안테나의 면 $r = F(\theta, \phi)$ 의 일반해는 다음과 같다[4].

$$r = F(\theta, \phi) = e^{a\theta} f(\theta) \tag{3}$$

전력기기의 절연이 열화될 때, 부분방전은 최종적인 실패에 앞서는 전조현상으로 나타난다. 이와 같은 부분방전을 검출하기 위해 빛, 음파, 진동 그리고 전자파 등의 부분방전이 수반하는 현상을 이용한 다양한 검출기법이 연구되어 왔다[1].

여기서, $a = \frac{1}{K} \cdot \frac{dK}{dC}$. $f(\theta)$ 는 완전 임의의 함수이다. 따라서 어떤 안테나가 주파수에 독립적인 특징을 갖기 위해서는 그 도체면이 (3)식으로서 나타내어져야 한다. 이것은 함수 $f(\theta)$ 나 그 도함수를 규정함으로써 가능하다. 그 도체면이 (3)식으로 나타내어지는 대수주기안테나의 구성을 다음에 소개한다. 그림 1의 구조에서 톱날이 동일한 주기로 이루어졌다면 대수주기의 크기비는

가스절연상태에서 부분방전 펄스의 전자파를 검출하는 UHF법은 가장 유용한 방법 중의 하나로 알려져 있다. UHF 커플러는 UHF법을 이용한 진단시스템에서 가장 중요한 요소로서, 1ns 이하의 빠른 상승시간을 가지는 펄스를 검출할 수 있어야 한다. 그러므로, UHF 커플러는 수백 MHz에서 수 GHz까지의 대역폭을 가지는 초광대역 특성을 가져야 한다[2,3].

$$\tau = Rn/Rn+1 \tag{4}$$

본 논문에서는, GIS 부분방전 측정용 초광대역 커플러로서, 대수주기 안테나가 제안되었다. 대역폭, 이득, 방사패

와 같이 된다. 또한 슬롯의 폭은

$$X = mv/Rn+1 \quad (5)$$

와 같다. (4)식의 크기 비 τ 는 동작의 주기를 나타내는데, 예를 들면 $f1$ 과 $f2$ 두 주파수가 1주기만큼 떨어져 있다면 τ 는 주파수와 다음과 같은 관계가 있다.

$$\tau = f1/f2, f2 > f1 \quad (6)$$

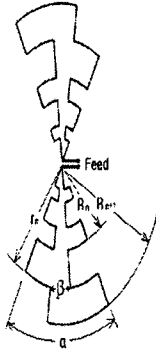
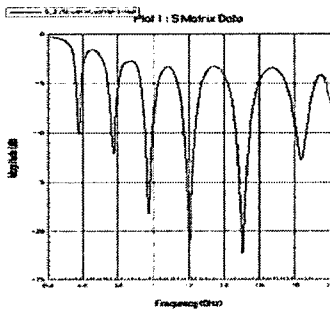


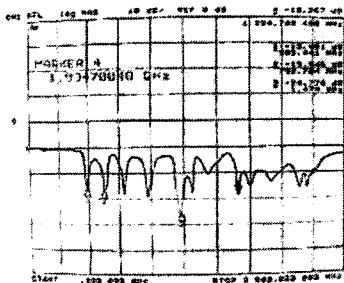
그림 1. 평면형 대수주기 안테나

3. 모의해석 결과

제안된 UHF 커플러의 검출특성실험에 앞서 반사손실특성, 전계분포, 방사패턴 등이 검토되었다. 모의해석에는 Ansoft사의 HFSS(high frequency structure simulator) ver. 8.5가 사용되었다.



(a) 모의해석 S11



(b) 측정 S11

그림 2. UHF 커플러의 반사손실특성

커플러의 반사손실특성이 그림 2에 주어지고 있다. 그림 2에서, (a)와 (b)는 S11의 모의해석값과 측정값을 각각 나타내고 있다. 그림에서 반사손실곡선은 제안된 커플러의 대역폭인 500MHz에서 2,000MHz까지의 대역에서 대수주기적인 특성을 보이고 있다. 모의해석치와 측정치는 케이블 및 콘넥터의 연결상태, 주변의 근접효과 등 모의해석과 측정 사이에서 발생하는 사소한 부분을 제외하고는 잘 일치하고 있다.

그림 3은 UHF 커플러의 면상에서의 전계분포를 나타내고 있다. 이 경우, 동작주파수는 1GHz이다. 그림에서 가장 강한 전계분포를 나타내는 부분은 1GHz의 전기적 길이와 일치하고 있다. 그리고, 커플러의 가장자리의 일부에서 발생하는 강한 전계분포를 고려할 때, GIS 관측창에 커플러를 취부함에 있어 설치각도에 따라 검출특성이 영향을 받을 수 있다고 사료된다. 또한 가장자리의 이 강한 전계성분은 전체적으로 커플러의 검출특성에 나쁜 영향을 미치므로 여기에 대한 대책이 마련되어야 한다고 사료된다.

UHF 커플러의 3차원 방사패턴이 그림 4에 주어져 있다. 3dB angular width는 약 80°이며, 주엽의 크기는 8.0dBi이며, 주엽의 방향은 0.0°이다.

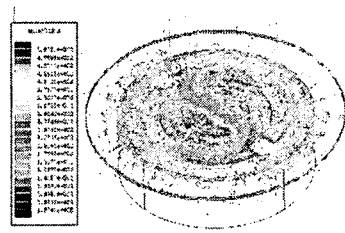


그림 3. UHF 커플러의 전계분포(1GHz인 경우)

ADPTotal (dB) at 1000 MHz

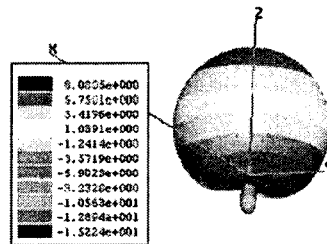


그림 4. UHF 커플러의 3차원 방사패턴(1,000MHz 경우)

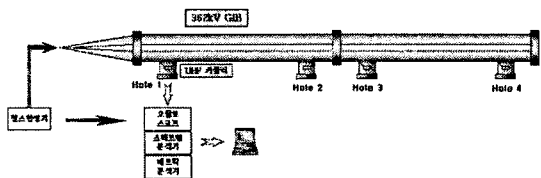


그림 5. GIS PD 검출용 커플러의 검출특성실험장치도

4. 검출특성 실험결과

제안된 커플러의 검출특성을 조사하기 위한 실험은 362kV GIB를 이용해 그림 5와 같이 수행되었다. 그림에서 펄스발생기는 500ps의 상승시간을 가지는 펄스를 GIB로 방출한다. 네 개의 관측창에 취부된 커플러에 의해 검출된 신호는 오실로스코프(LeCroy, wavePro 960, 2GHz/16GS/s, 16Mpts), 스펙트럼 분석기(Advantest, R3131A, 9kHz 3HGz) 그리고 네트워크 분석기(HP, 8753D, 30kHz 3GHz)를 이용해 해석된다.

검출된 펄스의 최대값은 펄스발생기로부터 관측창까지의 거리에 따라 감소하는 특성을 나타내었는데, 펄스발생기의 입력전하량에 따른 감쇠특성이 그림 6에 나타나있다. 검출신호의 최대값은 스페이서가 존재하는 2번과 3번 관측창사이에서 큰 감쇠를 보이고 있다. 이는 GIB의 다른 관측창사이의 가스공간보다 거리가 상대적으로 짧음에도 불구하고 스페이서가 개재함으로써 큰 감쇠특성을 나타내고 있다. 그림 7은 그림 5의 특성실험을 통해 펄스발생기의 전하량이 100pC인 경우 1번 관측창에서 검출된 신호의 한 예를 나타내고 있다.

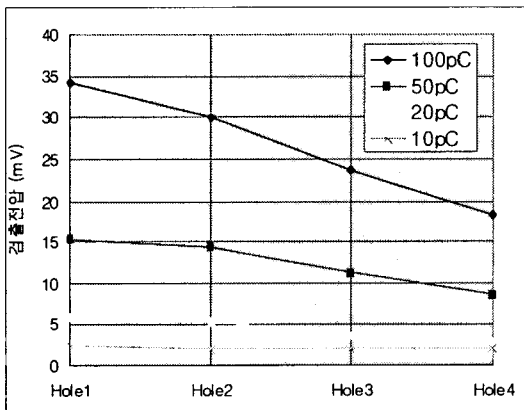


그림 6. 전과거리에 따른 커플러의 검출특성

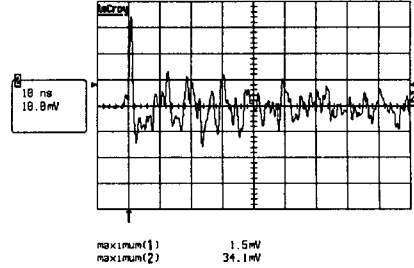


그림 7. 검출신호의 파형(100pC 입력, 위치 1번 관측창)

5. 결 론

본 논문에서는, GIS 부분방전 측정용 초광대역 커플러로서, 대수주기 안테나가 제안되었다. 대역폭, 이득, 방사패턴, 커플러 형상 등의 다양한 파라미터가 모의해석 및 실험을 통하여 검토되었다.

펄스파의 전과 특성실험에서 측정위치가 멀어짐에 따라 감쇠현상이 두드러지게 나타났으며, 특히 스페이서가 신호의 감쇠에 큰 영향을 미침을 확인하였다.

[참고 문헌]

- [1] Baumgather, R. (1992). Partial Discharge-Part X:PD in GIS-Measurements and Practical Considerations. In: IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 8, No. 1, pp. 16-26.
- [2] Judd, M. D. (1995). Partial Discharge Diagnostics for Gas Insulated Substations. In: IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 2, No. 5, pp. 893-905.
- [3] Pearson, J. S., Hampton, B. F. and Sellars, A. G. (1991). A Continuous UHF Monitoring for Gas-insulated Substations. In: IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 26, No. 3, pp. 469-478.
- [4] Balanis, C.A. (1982). ANTENNA THEORY, pp. 542 - 553. John Wiley & Sons, Inc. New York.