가스절연 송전선로 부분방전 진단을 위한 내장형 센서 개발

김영홍*, 남석현*, 김충식*, 김지홍**
LS전선*, 칼버스 인스트루먼츠**

Development of internal sensor to detect partial discharge in gas insulated transmission line

Young-Hong Kim*, Seok-Hyun Nam*, Choong-Sik Kim*, Ji-Hong Kim**
LS Cable*, Calvus Instruments**

Abstract - 인구의 증가로 인한 전력수요의 증가는 가공 및 지중 송전설비의 대용량화로 이어져왔다. 그러나 최근 도시 경관과 전자파로 인한 건강 등에 대한 관심이 급증하면서 주거지 주변 송전선로 설치에 대한 민원이 증가하고 있다. 이에 대한 대안으로 대용량 전력송전이 가능하고 가공 및 지중송전의 단점을 보완한 가스절연 송전선로(Gas Insulated Transmission Line, GIL)가 개발되었다. 선진국에서는 가스 절연으로 우수한 절연성능과 안정성을 가지며, 기존 교통용 터널 또는 지하 전력구에 설치함으로써 주변 경관을 해치지 않고, 낮은 전계 형성 등의 장점을 가진 가스절연송전선로의 연구와 개발에 많은 노력 기울이고 있다[1~5].

본 논문에서는 전력기기들의 결함진단에 많이 사용되는 부분방전 측정을 가스절연 송전선로에 적용할 수 있는 최적의 측정용 센서를 개발하여 유사한 구조를 가지는 75kV GIS Mock-up과 Free moving particle 모의 방전 셀을 이용하여 발생시킨 부분방전 신호를 측정하여, 광대역 특성을 보이는 대수주기 패치 안테나와의 성능을 비교하였다.

1. 서 론

산업화와 인구의 증가는 소비되는 전력의 수요 증가를 불러왔다. 특히 도시의 규모 확장과 같이 일정 지역에서의 소모되는 전력량은 기존의 전력설비의 확충만으로 충당하기 어려울 정도로 빠르게 늘어나고 있다. 이는 전력기기의 초고압, 대용량화로 이어지고 있다. 그러나 환경과 건강 등에 대한 관심이 높아지고 있는 최근에는 주거지 주변 송전선로 설치에 대한 민원이 증가하고 있다.

지중송전선로의 경우 이러한 문제들로부터 비교적 자유로우나 송전능력의 한계라는 문제로 인해 가공송전선로를 대체하기에는 부족한 실정이다. 선진국들에서 미래 송전 기술의 하나로 연구 개발하고 있는 가스절연 송전선로는 환경에 대한 문제와 송전용량의 문제를 모두 해결할 수 있는 장점을 가지고 있다[2].

본 논문에서는 지중송전 및 GIS와 같은 기존 전력기기들에서 운전 신뢰성 향상을 위해 사용하고 있는 부분방전 진단을 가스절연 송전선로에 적용하기 위한 연구의 일환으로 부분방전 측정 센서를 설계 제작하였다[1~3]. 센서는 감시창이 있는 가스절연 송전선로의 경우 일반적으로 SF_6와 N_2의 혼합가스를 이용하기에 5~7기압의 높은 압력을 사용하므로, 감시창 설치 시 가스 누설의 가능성이 매우 높고, 구조적으로 7~11m의 긴 관 형태로 인해 중간에 감시창을 설치하기 어려우며, 감시창 설치 시에는 제조 원가의 3~5%의 비용이 추가되는 문제를 해결하기 위해 감시창이 없는 구조에 설치 가능하도록 크기와 모양, 주파수 특성에 대한 제약이 적은 PCB 기판을 이용한 방법을 적용하여 설계되었다.

성능평가를 위해 제작된 센서를 75kV GIS mock-up의 내부에 장착하여 Free moving particle 모의 방전 셀에서 발생된 3~5pC의 부분방전을 측정하였다. 성능 비교를 위해 광대역 특성을 가지고 있는 대수주기 안테나를 감시창에 장착하여 동시에 측정하도록 하였으며 각 센서의 주파수 특성을 확인하기 위해 스펙트럼 분석기와 부분방전 펄스 측정을 위해 오실로스코프를 사용하였다.

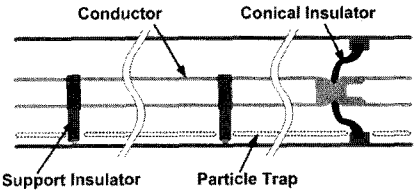
2. 본 론

2.1 가스절연 송전선로에서의 부분방전 측정

가스절연 송전선로는 가스절연 스위치기어(Gas Insulated Switchgear, GIS)와 유사한 구조로 이루어져 있으며, 내부 도체와 외함 그리고 그 사이를 절연시키는 SF_6 또는 SF_6/N_2 혼합가스의 세 부분으로 구성된다. 본 논문에서는 가스절연 송전선로의 부분방전 측정을 위해 GIS에서 많이 사용되고 있으며, 가스절연 송전선로에 대한 선행연구에서 많이 적용된 UHF 센서를 해당 전력기기에 맞도록 설계, 제작하였다[6].

2.1.1 가스절연 송전선로의 구조

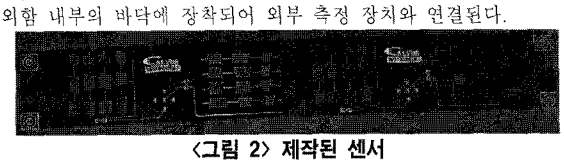
가스절연 송전선로는 <그림 1>과 같이 금속으로 된 동축 형태의 구조를 가지며 일반적으로 5~7기압의 높은 압력의 SF_6 또는 SF_6/N_2 혼합가스로 절연된다. 또한 GIS와 달리 온도에 따라 내부 도체의 수축, 팽창에 맞춰 이동하며 도체를 지지하는 구조물과 이로 인해 발생하는 금속 파티클 등으로 절연파괴가 발생하지 않도록 하는 파티클 트랩이 있다[1, 2].



<그림 1> 가스절연 송전선로의 구조

2.1.2 부분방전 측정 센서의 구조 및 특성

센서는 <그림 2>와 같이 서로 다른 주파수에 대한 높은 응답특성을 보이는 패턴들을 연결하여 여러 대역에서 높은 주파수 응답 특성을 가지도록 설계되었다. 패치 안테나 형태로 제작된 센서는 가스절연 송전선로 외함 내부의 바닥에 장착되어 외부 측정 장치와 연결된다.



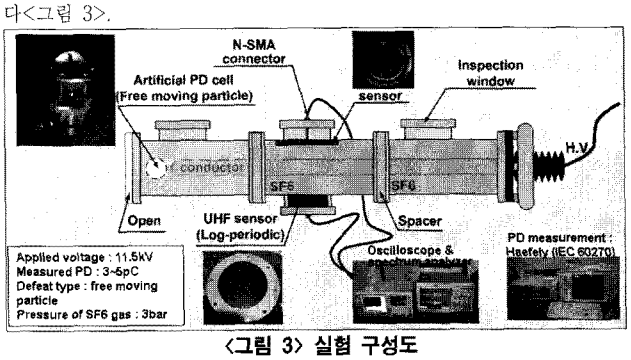
<그림 2> 제작된 센서

2.2 부분방전 측정실험

제작된 센서의 성능 평가를 위해 광대역 특성을 가지는 대수주기 안테나를 이용한 측정 감도 및 주파수 특성을 비교하였다. 이를 위해 가스절연 송전선로와 유사한 구조를 가지는 75kV GIS mock-up에 2종의 센서를 장착하였고, 모의 방전 셀을 이용해 부분방전 신호를 발생시켰다. 발생된 신호의 크기는 IEC 60270에 명시된 방법을 따르는 Haefely 장비를 이용하여 측정하였다[6].

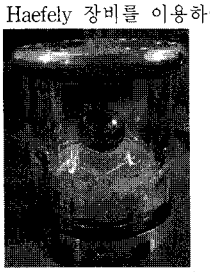
2.2.1 실험 구성

실험을 위해 제작된 센서와 대수주기 안테나는 GIS-mock up의 내부 도체를 중심으로 같은 거리에 위치한 감시창 부분에 장착되었다. 3~5pC 크기의 부분방전 신호가 발생하도록 제작된 모의 방전 셀은 발생된 부분방전 신호가 GIS의 내부를 전파하여 스페이서를 통과한 후 각 센서에 도달하도록 mock-up의 내부 도체 끝단에 설치되었다. 두 센서는 같은 길이와 특성을 가지는 동축케이블을 이용하여 측정 장비에 연결되었다<그림 3>.

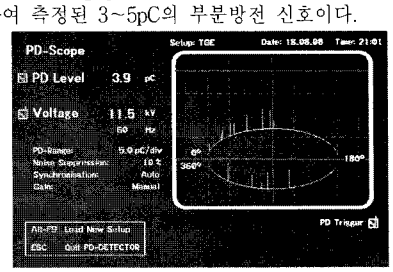


<그림 3> 실험 구성도

<그림 4>는 제작된 Free moving particle 모의 결함이며, <그림 5>는 Haefely 장비를 이용하여 측정된 3~5pC의 부분방전 신호이다.



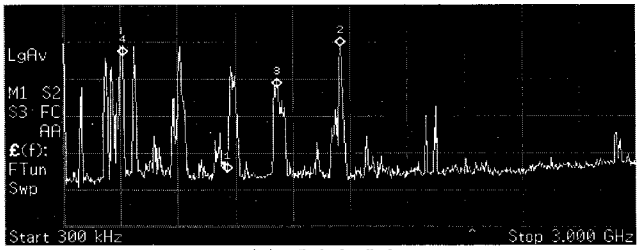
<그림 4> 모의 방전 셀



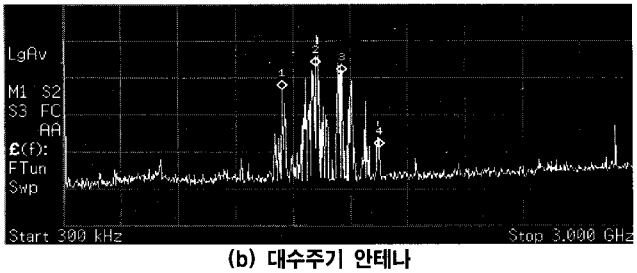
<그림 5> Haefely에서 측정된 부분방전

2.2.2 센서의 주파수 특성

모의 방전 셀을 이용해 발생된 3~5pC 크기의 부분방전신호를 2종의 센서를 이용하여 측정하였고, 센서들에서 검출된 신호에 대한 주파수특성을 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정하였다. 제작된 센서는 <그림 6>의 (a)와 같이 570MHz, 840MHz, 1110MHz, 1300MHz, 1600MHz의 다섯 부분에서 높은 신호특성을 보였다. 반면 광대역 특성을 보이도록 제작된 대수주기 안테나에서는 1400MHz를 중심으로 약 500MHz의 범위에서 부분방전 신호들이 측정되었다(<그림 6>의 (b)).



(a) 제작된 센서

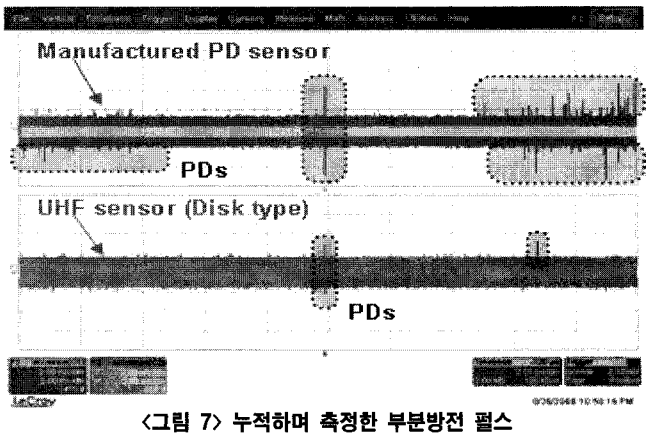


(b) 대수주기 안테나

<그림 6> 센서의 주파수 특성

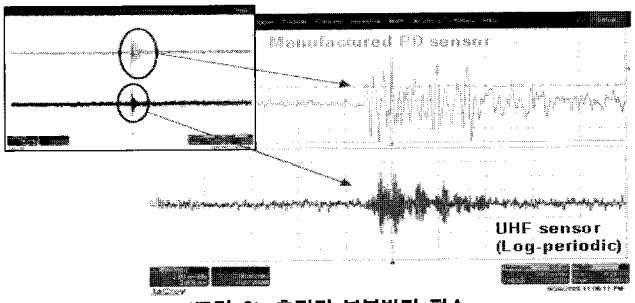
2.2.3 부분방전 펄스 측정

각 센서를 이용하여 측정되는 부분방전 펄스의 크기와 빈도를 비교하기 위하여 <그림 7>과 같이 누적시키면서 측정하였다. 300MHz~1.5GHz의 범위에서 부분방전 신호에 대한 응답특성이 높은 GIL용 센서의 경우 많은 신호들이 측정되었으나 1.4GHz의 부분에서 높은 신호 특성을 보였던 대수주기 안테나는 거의 측정하지 못하였다.



<그림 7> 누적하며 측정한 부분방전 펄스

동시에 측정된 펄스 비교 시 주파수 스펙트럼에서 측정된 결과와 동일하게 대수주기 안테나에서 측정된 신호가 더 작고 높은 주파수 특성을 보였다<그림 8>.



<그림 8> 측정된 부분방전 펄스

3. 결 론

가스절연 송전선로의 부분방전 측정을 위해 적합한 형태와 특성을 가지도록 센서를 설계, 제작하여 가스절연 송전선로와 유사한 구조를 가지는 75kV GIS mock-up에 장착하여 모의 방전 셀을 이용한 부분방전 측정 실험을 하였고, 스펙트럼 분석기를 이용하여 주파수 응답특성을, 오실로스코프를 이용하여 부분방전 펄스를 측정하였다. 센서의 성능을 비교하기 위해 광대역 특성을 보이는 대수주기 패치 안테나를 사용하였다. 비록 본 연구에서 실제의 가스절연 송전선로를 이용한 측정이 이루어지지 않았으나, 이를 바탕으로 다음의 세 가지 결론을 내릴 수 있었다.

1. GIL용 센서는 모의 부분방전 신호에 대한 주파수 스펙트럼 측정결과 300~1600MHz의 특정 주파수 범위에서 높은 주파수 응답 특성을 보였다.
2. 제작된 센서의 설계방법을 이용하여 더 넓은 측정범위를 가진 센서를 설계할 수 있다.
3. 제작된 센서를 적용하려는 가스절연 송전선뿐만 아니라 GIS와 같은 다른 전력기기에서 적용 가능하다.

향후 상용센서와의 성능 비교를 통한 객관적인 비교를 통한 성능 개선과 감시창이 없는 구조의 가스절연 송전선로에 대한 부분방전 측정 실험을 통해 실 선로에 적용 가능한 센서를 제작할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] Roberto Benato, Enrico Maria Carlini, Claudio Di Mario, Lorenzo Fellin, Antonio Paolucci, and Roberto Turri, "Gas Insulated Transmission Lines in Railway Galleries", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 20, NO. 2, P704~709, April 2005

[2] Drink Kunze, Erich Binder, Jurgen Truk, Stephan Pohler, Joachim Alter, "Gas-Insulated Transmission Lines - Underground Power Trasmission Achieving a Maximum of Operational Safety and Reliabillty", JICABLE 2007

[3] Hitoshi Okubo, Toshihiro Hoshino, Toshihiro Takahashi, "Insulation Design and On=site testing method for a long distance, Gas Insulated Transmission Line(GIL)", IEEE, Vol.14, No.6. 1998

[4] M. Finkel, W.Boeck, E. Kynast, "Verification of the Operation Reliablility by Suitable Test Procedures for GIL", Conference Record of the 2002 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston, USA, p430~434, Aprial 7-10, 2002

[5] Detlev W.Gross, Markus Slooer, "Commissioning and On-line Testing of GIS and GIL", Conference Record of the 2004 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Indianapolis in USA, p265~268, 19-22 September 2004

[6] CIGRE Working Gropu D1.02, "Sensors and Sensing used for Non-conventional PD Detection", CIGRE 2006