

GIS PD 검출용 UWB UHF 커플러의 테이퍼형 발룬

최재구, 이상화, 김광화  
한국전기연구원

Tapered Balun of a UWB UHF coupler for GIS PD detection

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

**Abstract** - The UWB UHF coupler for GIS PD detection needs a balun(balance to unbalance transformer) to show its inherent UWB characteristics. In order to reduce the size of the balun and to make it practical in the conventional GIS, a novel tapered coaxial balun with a dielectric was proposed for the UWB UHF coupler. The performance of the proposed balun was verified through a series of simulations, measurement and experiments. As results, both the conventional balun and the proposed balun of which length is one third of that of the conventional one showed good S11 characteristics, whereas the efficiency of the proposed balun increased as much as about 30% in comparison with the conventional one.

1. 서 론

부분방전이 동반하는 다양한 현상들, 즉 광, 음파, 기계적 진동, 전자파, 화학반응 등을 이용하는 많은 부분방전 검출법이 제안되어 왔다[1-4]. UHF법은 이 현상들 중에서 부분방전의 전자파를 검출하는 방법으로서, 높은 감도와 잡음에 강한 특성을 가지고 있다[5,6]. 수 GHz까지의 초광대역특성을 가지는 GIS부분방전을 검출하기 위한 부분방전 측정시스템에서 UHF커플러는 매우 중요한 요소이다. 기존의 협대역 UHF 커플러와 비교하여 초광대역(UWB) UHF커플러를 사용함으로써 GIS운전 중, 부분방전을 일으키는 결함의 유무뿐만 아니라 결함의 종류와 위치에 대한 더 많은 정보를 얻을 수 있다. 초광대역 UHF커플러가 초광대역 특성을 유지하기 위해서는 커플러 자체뿐만 아니라 발룬(balun)이 꼭 필요하다[8].

본 논문에서는 기존의 테이퍼형 발룬의 크기를 줄여 실용적으로 만들기 위해 중심도체와 외부 테이퍼형 도체 사이에 유전체가 삽입된 테이퍼형 발룬이 제안되었다. 제안된 발룬의 S11특성과 전계분포특성이 모의해석과 측정을 통해 검토되었으며, 기존의 테이퍼형 발룬과 비교하여 성능검증실험이 수행되었다.

2. 발룬 이론

테이퍼형 발룬의 임피던스는 그림 1(a)에 나타난 것처럼 식 (1)과 같다[9].

$$Z(z) = Z_0 e^{az}, \quad 0 < z < L, \quad (1)$$

반사계수,  $\Gamma$ 는 식 (2)와 같다.

$$\Gamma = \frac{\ln Z_L / Z_0}{2} e^{-j\beta L} \frac{\sin \beta L}{\beta L} \quad (2)$$

식 (2)의 반사계수의 크기는 그림 1(b)와 같으며,  $|\Gamma|$ 에서 피크값은 테이퍼의 길이가 증가함에 따라 감소한다. 저주파에서 임피던스 정합을 위해서 테이퍼부의 길이는  $\lambda/2(\beta L > \pi)$  보다 길어야 한다.

그림 2의 제안된 발룬은 발룬의 길이를 줄이기 위해 중심도체와 외부 테이퍼형 도체 사이에 유전체( $\epsilon_r = 9.5$ )가 삽입되어, 기존의 테이퍼형 발룬과 비교하여 1/3로 길이가 감소되었다.

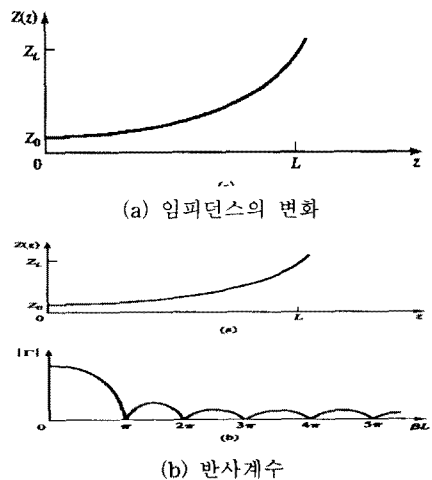


그림 1 테이퍼형 발룬의 특성

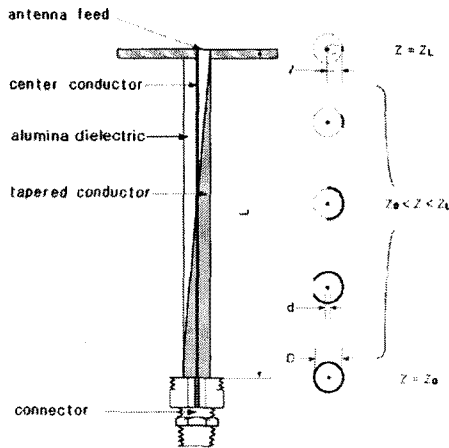
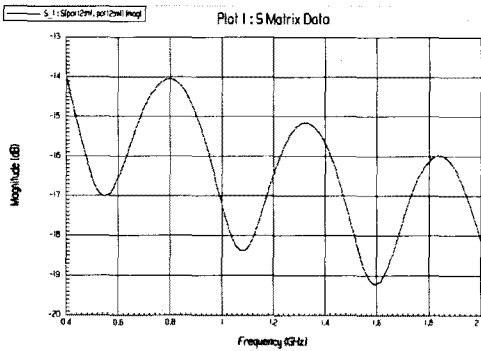
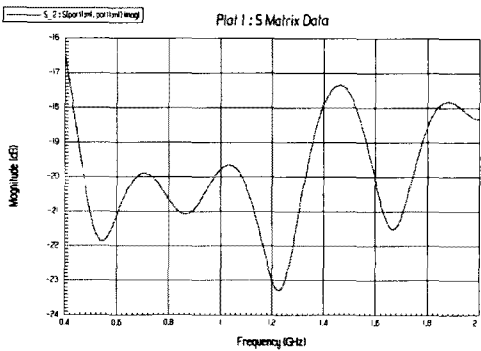


그림 2 제안된 테이퍼형 발룬



(a) 제안된 발룬의 S11 특성  
(ver.(-13 ~ -20) : 1 dB/div, hor.(0.4 ~ 2) : 0.2 GHz/div)



(b) 기존 발룬의 S11 특성  
(ver.(-16 ~ -24) : 1 dB/div, hor.(0.4 ~ 2) : 0.2 GHz/div)

그림 3 발룬의 S11 특성

### 3. 모의해석 결과

그림 3 (a)와 (b)는 제안된 발룬과 기존 발룬의 S11 특성을 각각 나타내고 있다. 본 연구에서 발룬의 대역인 500MHz에서 2GHz까지의 주파수 대역에서 두 종류의 발룬 모두 14dB이하의 우수한 S11특성이 검증되었다.

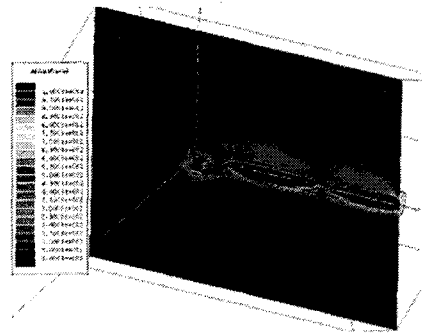
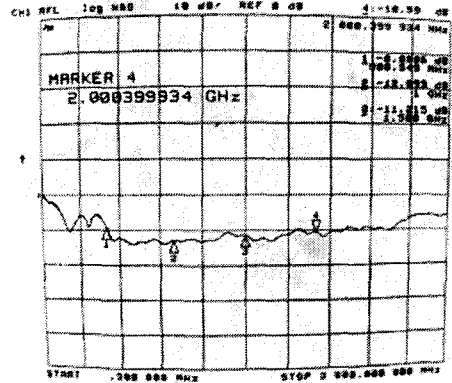
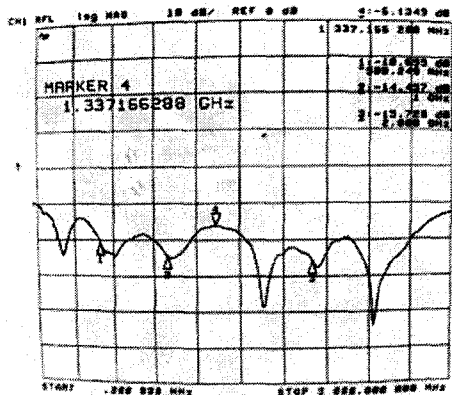


그림 4 제안된 발룬의 전계분포(y-z 면)



(a) 제안된 발룬이 취부된 커플러의 S11 특성  
(ver. : 10 dB/div, hori.(0 ~ 3) : 0.3 GHz/div)



(b) 기존 발룬이 취부된 커플러의 S11 특성  
(ver. : 10 dB/div, hor.(0 ~ 3) : 0.3 GHz/div)

그림 5 발룬이 취부된 커플러의 S11 특성

그러나 기존 발룬에 대한 모의해석 결과가 좀더 낮은 S11 특성을 나타내고 있다.

그림 4는 제안된 발룬의 전계분포(y-z면)를 나타내고 있다. 그림에서 안테나 피드와 동축 콘넥터는 원점(0, 0, 0)과 y축상(0, 95, 0)에 각각 위치하고 있다. 동축 콘넥터 부분에서의 전계분포는 대칭인 반면, 안테나 피드부분에서의 전계분포는 비대칭인 것을 알 수 있다. 본 모의해석에서의 동작주파수는 1.0 GHz였으며, 관내파장은  $\sqrt{\epsilon_r}$ 에 반비례하기 때문에 9.5cm로 나타나고 있다.

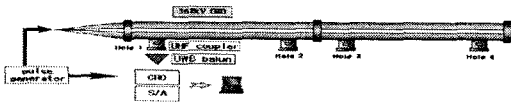
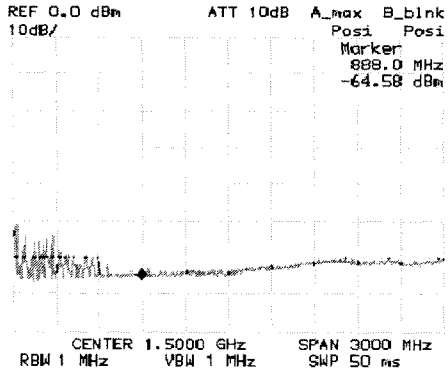
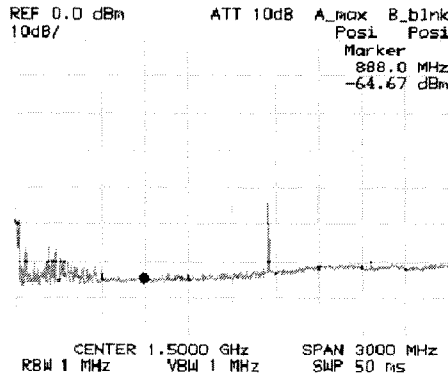


그림 6 발룬의 성능검증실험 장치도



(a) 제안된 발룬이 취부된 커플러  
(ver. : 10 dB/div, hori.(0 ~ 3) : 0.3 GHz/div)



(b) 기존 발룬이 취부된 커플러  
(ver. : 10 dB/div, hori.(0 ~ 3) : 0.3 GHz/div)

그림 7 주파수영역에서의 성능검증실험 결과  
(input charge : 200 pC)

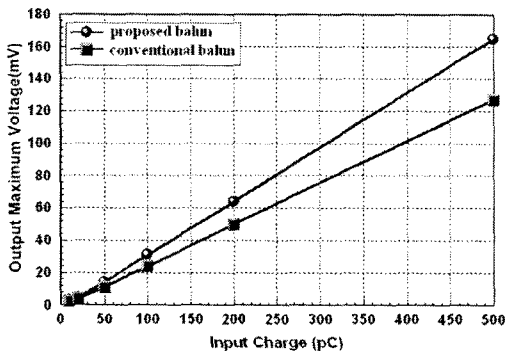


그림 8 시간영역에서의 성능검증실험 결과

#### 4. 실험 결과

제안된 발룬과 기존 발룬은 동일한 사양을 가지는 대수주지커플러에 취부된 채로 네트워크 분석기(HP, 8753D, 30 kHz ~ 3 GHz)를 이용하여 S11특성이 측정되었다. 각 발룬이 취부된 커플러의 S11측정결과와 그림 5와 같다. 제안된 발룬이 취부된 UHF커플러의 S11특성은 측정대역에서 10dB아래에서 평탄한 특성을 나타내고 있는 반면, 기존 발룬이 취부된 커플러에서는 800MHz와 1.3GHz부근에서 나쁜 특성을 나타내고 있다.

기존 발룬에 대한 제안된 발룬의 성능검증실험이 그림 6과 같이 362kV GIB에서 수행되었다. 그림에서 펄스발생기에서 발생된 0.5ns상승시간의 펄스는 매칭용 원추형 bus를 통하여 GIB로 투입되며, 전파된 펄스는 관측창에 설치된 UHF 커플러에 의해 검출되어 오실로스코프 (LeCroy, wavePro 960, 2 GHz / 16 GS/s, 16 Mpts)와 스펙트럼 분석기(Advantest, R3131A, 9kHz-3GHz)로 분석되었다.

그림 7(a) 및 (b)는 펄스의 입력전하량이 200pC일 때 주파수영역에 대한 두 발룬을 취부한 커플러의 성능검증실험의 결과를 나타내고 있다. 검출된 스펙트럼은 약 700MHz까지 분포하고 있으며, 이것은 입력된 펄스의 상승시간이 0.5ns이기 때문인 것으로 사료된다. 그림 7로부터 제안된 발룬을 취부한 커플러의 응답특성이 기존 발룬을 취부한 커플러의 그것보다 더 우수한 것을 알 수 있다.

그림 8은 펄스의 입력전하량에 대한 시간에서의 두 발룬을 취부한 커플러의 성능검증실험의 결과를 나타내고 있다. 그림에서 y축의 최대출력값은 입력펄스에 대한 검출된 펄스전압의 피크값을 나타낸다. 제안된 발룬을 취부한 커플러로부터의 출력이 기존 발룬을 취부한 커플러로부터의 출력보다 각 입력전하량에 대하여 전체적으로 약 30% 큰 것이 확인되었다.

#### 5. 결 과

GIS PD 검출용 UWB UHF 커플러의 테이퍼형 발룬에 대한 모의해석 및 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 제안된 발룬과 기존 발룬 모두 우수한 S11 특성을 나타내었다.
- (2) 유전체 효과로써 줄어든 관내파장은 전계분포를 고찰해 봄으로써 확인할 수 있었다.
- (3) 제안된 발룬을 취부한 커플러가 보다 평탄한 S11특성을 나타내었다.
- (4) 주파수영역과 시간영역에서 제안된 발룬을 취부한 커플러가 더 우수한 펄스응답특성을 나타내었다.

#### References

- [1] 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
- [2] L. E. Lundgaard, M. Runde and B. Skyberg, "Acoustic Diagnosis of Gas Insulated Substations: A Theoretical and Experimental Basis", IEEE/PES

- 1990 Winter Meeting, pp. 1-8, February 1990.
- [3] Katsuaki Senba and Hiroshi Ishikawa, "Prediction and Preservation Techniques for GIS", MEIDEN REVIEW Series No. 101 1994 No. 2, pp. 47-51, 1994.
- [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.
- [6] T. Kimura, T. Harunami, N. Konma, K. Takata, K. Saitou, "GIS Insulation Monitoring System Using External Antenna", CIGRE 130-05, Symposium Berlin 1993.
- [7] Baumgathner, R. (1992). Partial Discharge-Part 2: PD in GIS-Measurements and Practical Considerations. In: IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 8, No. 1, pp. 16-26.
- [8] Balanis, C.A. (1982). ANTENNA THEORY, pp. 545-550, John Wiley & Sons, Inc.
- [9] David M. Pozar (1998). Microwave Engineering, pp. 288-29, John Wiley & Sons, Inc.