

선박 통신 안테나용 뇌방호장치의 설계 및 제작

한주섭⁺, 송재용⁺⁺, 김일권⁺⁺⁺, 길경석⁺⁺⁺⁺

Design and Fabrication of a Coaxial-type Transient Voltage Suppressor for Antenna Protection on Shipboard

Ju-Seop Han⁺, Jae-Yong Song⁺⁺, Il-Kwon Kim⁺⁺⁺, Gyung-Suk Kil⁺⁺⁺⁺

Abstract : This paper describes a new transient voltage suppressor(TVS) with a low insertion loss and a high cut-off frequency to protect antenna circuit from transient voltages. Conventional protection devices have some problems such as a low frequency bandwidth and a high insertion loss. In order to improve these limitations, a coaxial type TVS, which consists of a gas tube is developed.

The performance of the proposed transient voltage suppressor is tested by using a combination surge generator specified in IEC 61000-4-5 standard and by using a network analyzer of 40 MHz ~ 5 GHz bandwidth.

From the experimental results, it is confirmed that the proposed TVS has an enough protection performance in a low insertion loss and a high cut-off frequency.

Key words : Antenna circuit, Transient voltage suppressor, Protection device, IEC 61000-4-5

1. 서 론

유무선 통신기술의 발달로 모든 분야에 통신 기술의 응용이 급증하고 있으며, 특히 무선통신망을 이용한 정보전송은 산업사회뿐만 아니라 우리 생활에 밀접한 관계를 가지고 급변하고 있다. 광역화된 무선통신시스템에서 기지국과 안테나의 건설은 필수적이며, 대부분이 지상 건축물보다는 높은 지역에 위치하게 된다. 이러한 원인에서 기지국의 안테나는 외부 자연현상에서 발생하는 낙뢰(직격뢰나 유도뢰)로부터 노출되어 있어 서지전압 침입시 안테나 회로에 심각한 손상을 받을 수 있으므로 이에 대한 대책이 절실히 요구되고 있는 실정이다^{[1],[2]}.

서지전압에 대한 보호대책은 전원 또는 신호회로에

침입한 서지전압이 피보호기기가 접속된 계통의 전기적 특성에 따라 크기와 파형이 달라지며, 이에 대한 피해는 기기 자체의 내과전압 특성에 의존하므로 충분한 기초적 자료와 기술이 축적되어 있어야 한다^[3].

그러나 안테나 회로 보호용 뇌방호장치에 대한 연구는 거의 전무한 실정이며, 대단히 높은 주파수대역을 가지기 때문에 뇌방호장치의 설치에 의한 신호대역에서의 삽입손실 문제도 고려하여야 한다.

그러므로 이들 연구의 대상은 고주파 대역에서 삽입손실의 최소화와 더불어 직접적인 낙뢰사고에 대비한 충분한 에너지 내량을 가지는 비선형 소자에 의해 뇌방호장치를 구성하는 것이다. 여기에 첨가적으로 동축구조로 구성함으로써 뇌방호장치의 접속에 따르는 접속 저항의 증가 등의 문제점을 유발시키지 않아야 한다.

+ 한국해양대학교 전기전자공학부 Post-Doc. E-mail: jshan@bada.hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4893

++ 한국해양대학교 전기전자공학부 박사과정

+++ 한국해양대학교 전기전자공학부 박사과정

++++ 한국해양대학교 전기전자공학부 부교수

따라서 본 논문에서는 안테나 회로 보호를 위하여 고주파 전자기기의 서지전압에 대한 보호 장치로 입력 정전용량이 적은 비선형 소자를 선정함으로써 보호 장치로 인한 삽입손실과 주파수 대역의 한계에 대한 문제점을 해결하였으며, 서지전압을 고속으로 차단하여 피보호기기를 더욱 효과적으로 보호할 수 있는 동축구조의 뇌방호장치를 설계·제작하였다.

제작된 뇌방호장치는 국제규격(IEC 61000-4-5 : Surge Immunity Test)에 따라^[4], 조합형 서지 발생 장치(PSURGE 4010, Haefely)를 이용하여 동작 특성을 측정·분석하였다.

2. 뇌방호장치의 설계 및 제작

서지전압 차단을 위한 뇌방호장치는 회로에서 적은 입력 정전용량을 가짐으로서 정상상태에서의 삽입손실과 누설전류를 최소화하고, 서지전압에 대해 고속으로 동작하여 피보호기기로는 높은 이상전압과 잔류 에너지가 전달되지 않는 회로구성이 필요하다. 뇌방호장치에 사용되는 보호 소자로는 바리스터, 애벌란시 다이오드, 가스튜브-브 등의 비선형 소자가 널리 이용되고 있다. 바리스터와 애벌란시 다이오드는 수 ns ~ 수 십 ns 정도로 고속 응답 특성을 나타내지만, 자체 표류정전용량이 수 nF 정도로 대단히 큰 값을 가지기 때문에 안테나 회로에 적용할 경우 정상상태 신호에서 삽입손실을 유발시킨다^[5].

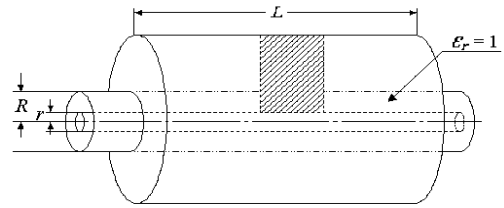
따라서 본 논문에서는 비선형 소자 중 표류정전용량의 값(1 ~ 2 pF 정도)이 가장 적은 가스튜브-브를 이용한 뇌방호장치를 구성하였다.

가스튜브-브의 동작 특성은 동작개시전압 이하에서는 완전 절연상태(10^{10} M Ω 이상)이고, 침입한 서지전압이 동작개시전압 이상이 되면 보호동작을 시작한다. 가스튜브-브는 크로우바(Crowbar)소자이며, 동작 특성 상 글로우 방전영역을 거쳐 아크 방전영역에서 보호 동작이 이루어지기 때문에 동작시간은 약 0.5 μ s 정도로 비교적 느리지만, 에너지 내량은 10 kA 정도로 대단히 크기 때문에 직격뢰와 같은 낙뢰에 의한 서지전압 침입에 대한 차단에는 매우 효과적이다. 특히, 안테나 설비의 경우에는 지상의 높은 위치에 설치되므로 낙뢰에 의한 서지전압의 발생빈도가 더 높기 때문

에 가스튜브-브를 이용한 뇌방호장치를 구성하였다.

안테나 회로 보호용 뇌방호장치는 안테나 선로에 설치되어야 하기 때문에 구조적 영향이 크게 나타난다. 따라서 뇌방호장치의 구조는 안테나의 케이블(주로 동축케이블 사용)에 접속 가능한 형태로 제작되어야 한다. 또한 안테나 선로의 임피던스와 뇌방호장치의 특성임피던스가 일치하여 투과, 반사 등의 영향으로 인한 신호 전송에 왜곡이 발생하지 않도록 설계되어야 한다.

본 연구에서는 이러한 점들을 고려하여 그림 1과 같이 뇌방호장치를 설계하였으며, 동축구조의 뇌방호장치의 특성 임피던스는 식(1)에 의해 계산할 수 있다^[6].



R : 외부도체의 반경, r : 내부도체의 반경

Fig. 1 Structure of the coaxial-type TVS

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \log_{10} \frac{R}{r} [\Omega] \quad (1)$$

외부도체의 반경(R)을 9.6 mm, 내부도체의 반경(r)을 4.2 mm로 하였으며, 내부는 공기중의 상태이므로 $\epsilon_r = 1$ 이 된다. 동축구조를 가지는 뇌방호장치의 특성 임피던스는 약 50 Ω 이 되므로 뇌방호장치의 삽입으로 인한 신호의 왜곡은 발생하지 않는다.

본 연구에서 제안한 안테나용 뇌방호장치의 회로도 와 사진을 각각 그림 2와 그림 3에 나타내었다.

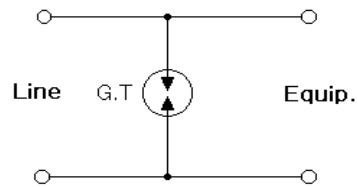


Fig. 2 TVS for antenna lines



Fig. 3 Photograph of the TVS

3. 평가 및 분석

제한한 안테나회로 보호용 뇌방호장치의 특성 평가를 위하여 정상상태 고주파 대역에서의 삽입손실에 대한 특성 평가와 외부 서지전압에 대한 보호 성능 평가를 수행하였다.

3.1. 주파수 특성 평가

안테나 회로에서 정상상태 신호의 주파수 대역은 장파 대역(30 kHz)에서부터 극초단파 대역(3 GHz)에서 주로 사용된다. 따라서 서지 차단장치 삽입으로 인하여 30 kHz ~ 3 GHz 주파수 대역에서는 감쇠가 발생하지 말아야 한다.

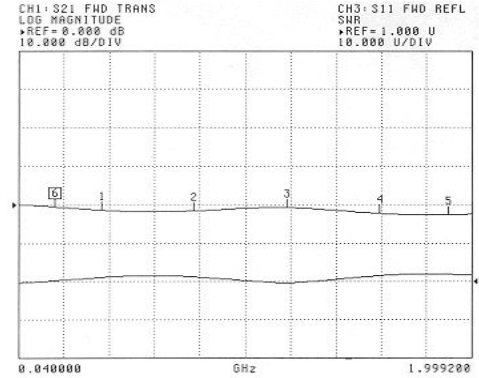
뇌방호장치의 주파수 특성을 평가하기 위하여 회로망 분석기(Network analyzer, Anritsu 37225A, 40 MHz ~ 5 GHz)를 사용하였으며, 그림 4에 주파수 대역에 따른 신호의 감쇠비와 정재파비의 특성을 나타내었다.

실험결과로부터 주파수에 따른 감쇠비는 약 3.8 GHz 까지는 거의 감쇠가 없는 일정한 특성을 나타내었으며, 약 4 GHz 이상에서 -5 dB 정도의 감쇠 특성을 나타내었다.

또한 파형의 왜곡정도를 나타내는 정재파비(SWR : Standing Wave Ratio)는 식(2)과 같이 표현할 수 있으며^[7], 그림 4의 결과에서도 알 수 있듯이 1.5 미만의 값을 가지므로 신호의 왜곡은 발생하지 않는다.

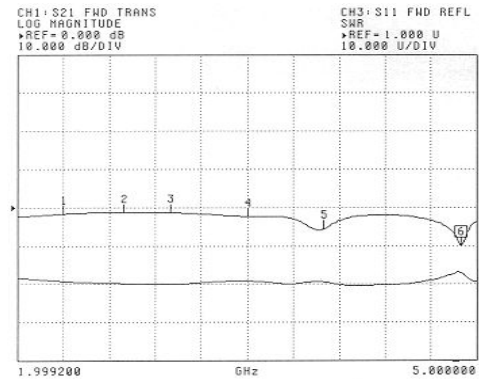
$$SWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2)$$

여기서 Γ : 반사계수



상 : 감쇠특성 하 : 정재파비

(a) Frequency characteristics II (40 MHz ~ 2 GHz)



상 : 감쇠특성 하 : 정재파비

(b) Frequency characteristics II (2 GHz ~ 5 GHz)

Fig. 4 Frequency characteristics of the TVS

3.2 서지전압에 대한 평가

서지전압에 대한 성능 평가는 IEC 61000-4-5에서 시험 파형으로 규정된 정(+), 부(-) 극성의 1.2/50 μ s 전압을 뇌방호장치의 선로측 연결단자 즉, 입력단에 입력하고, 출력단에서의 전압 파형을 관측하였다.

1.2/50 μ s, 2 kV의 서지전압을 입력단에 인가하고, 뇌방호장치의 출력단에서의 응답 파형을 그림 5에 나타내었다. 안테나에 서지전압이 침입하면 가스 튜브는 크로우바 동작으로 서지전압을 억제하여 뇌방호장치의 출력단에는 아크 전압(15 ~ 30 V)만이 나타나며, 이때 8/20 μ s, 930 A의 서지전류가 흐르게 된다. 서지전압이 소멸하면 본 뇌방호장치는 정상상

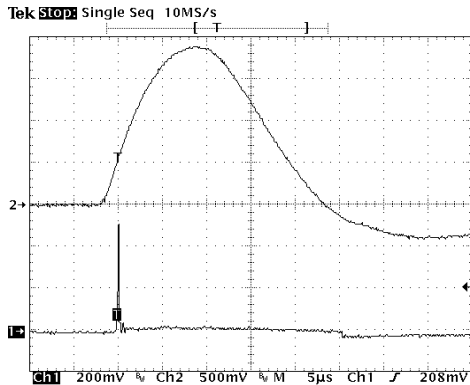
태로 회복되며 정상상태의 신호전압은 수 ~ 수 십 V 이하이다. 또한 안테나 회로에는 전원회로 적용시 문제가 되는 속류(follow current)에 대한 문제점은 발생하지 않는다.

였으며, 이론적 검토와 실험적 평가를 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

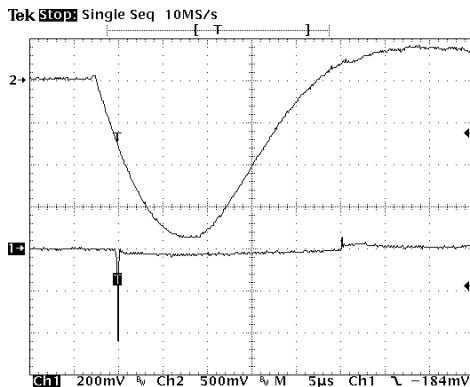
1. 뇌방호장치의 주파수 특성은 30 kHz ~ 3 GHz로 장파에서 극초단파 대역에서 사용되는 안테나회로에 적용이 가능한 구조이다.
2. 가스튜브-브를 이용한 뇌방호장치를 구성함으로써 정상상태에서의 삽입손실 문제를 해결하였다.
3. 뇌방호장치의 구조를 동축형으로 설계·제작함으로써 안테나 선로에 설치상의 문제와 임피던스 정합 문제를 해결할 수 있었다.
4. 외부로부터의 서지전압에 대하여 정(+), 부(-) 양극성에서 모두 우수한 보호 성능이 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] S. B. Smith and R. B. Standler, "The Effects of Surges on Electric Appliances", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, pp. 1275-1282, 1992.
- [2] N. Kuwabara, H. Koga and T. Motomitsu, "A New Lightning Surge Test Circuit for Telecommunications Equipment in Japan", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 30, No. 3, pp. 393-400, 1988.
- [3] K. C. Lai, W. J. Lee, W. V. Jaction, "Testing and Selecting Surge Suppressor for Low-Voltage AC Circuits", IEEE Trans. on Industrial Application, Vol. 26, No. 6, pp. 976-982, 1986.
- [4] IEC 61000-4-5, Surge immunity test, pp. 60-77, 1999.
- [5] R. B. Standler, Protection of Electronic Circuit from Overvoltage, Wiley, pp. 236-242, 1988.
- [6] 宅間, 柳父, 高電壓大電流工學, 日本電氣學會, pp. 131-136, 1988.
- [7] 최병하의 공저, 최신안테나공학, 도서출판 삼보, pp180-187, 1999.



상 : 방전전류 파형 [250 A/div]
 하 : 가스튜브-브 전압파형 [200 V/div]
 (a) Positive



상 : 방전전류 파형 [250 A/div]
 하 : 가스튜브-브 전압파형 [200 V/div]
 (b) Negative

Fig. 5 Response characteristics of the TVS against transient voltages

4. 결 론

본 연구에서는 외부로부터의 서지전압에 대한 안테나 회로를 보호할 목적으로 뇌방호장치를 설계·제작하