

論文 2000-37TC-8-4

## 4분의 1 파장 단락 스텐브 방식 서지 어레스터의 잔여 전압 제거에 관한 연구

### (Study on the Elimination of Residual Voltage in Quarter Wave Short Stub Surge Arrestor)

金 演 泰 \* , 元 太 映 \*  
(Youn Tae Kim and Tae Young Won)

#### 요 약

고전압·전류 특성의 낙뢰는 안테나를 통해 지상에 설치된 이동 통신 기지국으로 도입될 수 있으며, 이를 방지하기 위한 장치가 서지 어레스터이다. 본 논문에서는 서지 어레스터의 개념, 종류, 동작 원리, 설계 및 제작 등을 검토하고, 이를 기반으로 현재 국내외에서 이용되고 있는 이동 통신 서비스인 셀룰라, GSM 및 PCS 등과 차세대 이동 통신 서비스인 IMT-2000의 기지국에 적용 가능한 서지 어레스터들을 설계하였다. 초기 설계된 서지 어레스터들은 고주파 3차원 구조 시뮬레이터 상에서 특성 예측을 위한 컴퓨터 모의 실험과 서지 어레스터의 전자기적 특성 개선을 위한 내부 구조 최적화 작업이 수행되었다. 서지 어레스터의 최종 설계도를 기반으로 실제 IMT-2000 기지국용 4분의 1 파장 단락 스텐브 방식의 서지 어레스터를 제작하였으며, 전자기적 전송 특성 측정과 낙뢰 전달 테스트를 수행하여 제작된 서지 어레스터의 성능을 측정하였다. 측정 결과, 전압 정재파 비는 1.05 이하, 삽입 손실은 -0.035 dB이하, 상호변조 특성은 -150 dBc 이하의 특성을 얻었으며, 잔여 전압 특성은 7~11 V 정도의 특성을 보였다.

#### Abstract

The lightning with high voltage and current can enter the basestations for mobile communication through their antenna. The device which can protect the basestation against the lightning, is surge arrester. In this paper, the concept, kind, operating mechanism, design and fabrication of surge arrester were studied. Based on the studied data, variable surge arrestors were designed for the current mobile communication service like a cellular, GSM and PCS and the next generation mobile communication like a IMT-2000. Computer simulation for the prediction of their characteristics and inner structure optimization for the improvement of their electrical characteristics were carried with high frequency 3D structure simulator. Quarter wave short stub surge arrestors for IMT-2000 were fabricated with their final design and then the measurement of electrical characteristics and the lightning test were executed. As a results of measurement, we obtained below 1.05 of VSWR, -0.035 dB of insertion loss, -150 dBc of intermodulation and 7~11 V of residual voltage.

\* 正會員, 仁荷大學校 工科大学 電子電氣컴퓨터 工學部  
半導體 工學 專攻

(Division of Electrical and Computer Engineering  
College of Engineering, Inha University)

※ 본 연구는 1999년도 인하대학교 교내 연구비의 지원으로 수행되었습니다.

接受日字: 1999年11月19日, 수정완료일: 2000年7月27日

#### I. 서 론

음 전하로 유기된 구름과 양 전하로 유기된 육지 사이의 전하 차이가 심화되는 경우, 결국에는 중간 공기 층의 이온화된 좁은 경로로 매우 높은 밀도의 전류가 흐르게 된다. 이때 공기 층을 따라 흐르는 매우 높은 밀도의 전류는 낙뢰 형태로 지상에 전달될 수 있는

데, 이러한 높은 에너지 성분의 낙뢰가 이동 통신 기지국의 안테나에 전달되어 기지국 내부 통신 시스템으로 도입되는 경우, 고가의 주요 내부 시스템들이 파괴되거나, 기지국으로서의 기능을 상실하게 된다. 따라서, 이를 방지하기 위하여 셀룰라, GSM, PCS 및 IMT-2000 등의 이동 통신 기지국에는 반드시 뇌서지 방호 장치를 구비하여야 한다.<sup>[1,2]</sup>

그런데, 뇌서지 방호 장치가 이동 통신 주파수 대역에서 효율적으로 사용되기 위해서는 세심한 기술적 설계가 필요하다. 즉, 이동 통신 주파수 대역에서 뇌서지 방호를 위해 사용될 서지 어레스터는 이로 인해 이동 통신 기지국 고유의 성능이 저하되거나, 부가적인 장치의 장착으로 시스템의 설계나 구조가 복잡해져서는 아니 되며, 안테나 또는 케이블 등에 설치가 간단하고 유지 보수가 용이하여야 한다. 또한, 이동 통신 기지국용 서지 어레스터는 우수한 잔여 전압 특성, 패스 밴드에서 낮은 전압 정재파 비 특성, 양호한 전압 홀드 오버 특성 등을 구비하여야 한다. 특히, 잔여 전압 특성은 서지 어레스터의 여러 가지 전자기적 특성 중에서 가장 중요한 특성으로 낙뢰 입사시 발생하는 잔여 전압을 낮추거나 제거하기 위한 다양한 연구들이 전세계 관련 산업체, 연구소 및 대학 등지에서 수행되고 있다.<sup>[3,4]</sup> 본 논문에서는 이동 통신 기지국 안테나를 통해 낙뢰가 서지 어레스터에 전달될 때 필연적으로 발생하는 잔여 전압 성분을 효과적으로 제거할 수 있는 새로운 서지 어레스터 구조를 설계하여 제작한 결과, 국제 상용 규격에서 요구하는 성능을 만족함을 확인하였다.

## II. 이동 통신 기지국용 서지 어레스터

이동 통신 기지국의 안테나로 전달되는 낙뢰 문제를 해결하기 위하여 이동 통신 기지국 설비 업체들은 낙뢰로부터 기지국 설비를 효과적으로 보호할 수 있는 뇌서지 방호 장치를 요구하였으며, 이에 따라 관련 업체 및 연구 기관에서 다양한 서지 어레스터가 개발되고 있다. 일반적으로 이동 통신 기지국에 응용되는 서지 어레스터로는 가스 방전 튜브 방식의 서지 어레스터(gas discharge tube surge arrester)와 4분의 1 파장 단락 스테브 방식의 서지 어레스터(quarter wave stub surge arrester)가 있다. 두 가지 방식의 서지 어레스터 모두 정보 신호는 통과시키고, 낙뢰 성

분은 지상으로 유기시키는 특성을 갖고 있다.

가스 방전 튜브 방식의 서지 어레스터는 커넥터의 내부 도체 전송선 중간에 비활성 기체 혼합물이 들어 있는 가스 튜브가 연결되어 있는 구조로 되어 있다. 가스 튜브는 정상 동작 시에는 수십 GΩ 정도의 높은 직류 저항과 1 pF 정도의 매우 작은 캐패시턴스를 갖는 병렬 캐패시터로 동작한다. 높은 에너지 성분을 포함하는 낙뢰가 안테나로 입사되면, 경로 상에 설치된 가스 방전 튜브 방식의 서지 어레스터 내의 비활성 가스가 순간적으로 이온화되어 수 mΩ 정도의 매우 낮은 임피던스 특성을 보이게 된다. 가스 튜브내의 비활성 가스가 낙뢰에 의해 이온화되는 것은 전기 회로적으로 가스 튜브가 단락되는 것으로 볼 수 있다. 즉, 직류 성분인 낙뢰를 가스 튜브 내로 통과시키고, 통과된 낙뢰 성분은 다시 튜브와 연결된 그라운드 케이블을 따라 지상으로 유도된다.

낙뢰를 맞은 가스 방전 튜브 방식의 뇌서지 방호 장치는 약 30초 정도 후에 다시 이용 가능한 정상 상태로 되돌아오는데, 이때 필요한 30초 정도의 회복 시간동안 낙뢰 전달로 인해 서지 어레스터에 발생한 열을 제거한다. 수십 kA 또는 kV의 낙뢰가 가스 방전 튜브 방식의 서지 어레스터에 전달되어도 단지 수십 V 이내의 전압 및 수 mA의 전류만을 통과시키는 특성을 갖는다. 또한, 가스 방전 튜브 방식의 서지 어레스터는 비교적 넓은 주파수 밴드에서 동작을 하며, 정상 동작시 내부 전송선으로 직류 전압도 통과시킬 수 있는 장점을 가진다. 그러나, 최대 2.5 GHz 정도의 사용 제한 주파수 범위가 존재하며, 정기적인 유지 보수 루틴이 필요하고, 서지 어레스터 장치를 통과되는 초기 전압이 있으므로 스파크 오버(spark over) 및 잔여 전압을 서지 어레스터 설치시 고려해야 된다.<sup>[5]</sup>

이에 비해 4분의 1 파장 단락 스테브 방식 서지 어레스터는 단락 스테브가 이용 주파수 대역의 중심 주파수에 해당하는 파장의 4분의 1 길이를 가질 때 단락 스테브의 임피던스 특성이 무한대가 되는 원리를 이용한 뇌서지 방호 장치로써, 좁은 주파수 대역에서 사용 가능하여 중심 주파수에 관계된 대역내의 에너지를 통과시키는 특성을 갖는다.<sup>[6]</sup> 파장의 4분의 1 길이의 스테브를 동축 커넥터의 내부 도체 중간에 병렬로 연결시키고, 상기 스테브의 끝 부분을 외부 도체와 연결시켜 전기적으로 단락시킨 후, 이를 이동 통신 기지국 안테나와 내부 시스템의 중간 경로 상에 장착할 경

우, 고주파 특성을 가진 정보 신호는 커넥터를 통과하는 동안 병렬로 연결된 4분의 1 파장 단락 스테르브의 임피던스가 무한대 특성을 보이기 때문에 병렬 단락 스테르브 방향으로 진행하지 않고 그대로 기지국 시스템 내부로 전달되지만, 직류에 가까운 낮은 주파수 성분을 가진 낙뢰는 병렬로 연결된 4분의 1 단락 스테르브로 바이패스되어 그라운드로 유도된다.

그림 1에는 4분의 1 파장 단락 스테르브 방식의 서지 어레스터의 내부 구조와 위에서 설명한 서지 전류의 흐름을 도시하였다. 4분의 1 파장 단락 스테르브 방식의 서지 어레스터의 경우, 통과 대역에서 정재파비가 낮고, 비교적 유지 보수가 용이하며, 낙뢰시 발생하는 대전류를 효과적으로 소멸시킬 수 있고, 이동 통신 기지국 안테나 및 케이블 등에 장착이 용이한 장점이 있다. 반면에 특정 주파수 대역에서만 사용 가능하여 이용 주파수 대역이 중심 주파수의 10 % 정도로 좁은 협대역 특성의 단점이 있다.

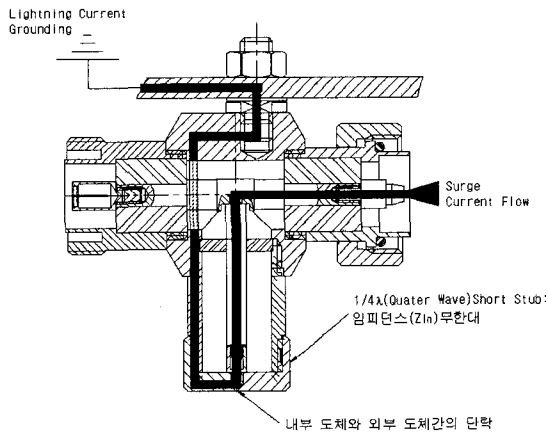


그림 1. 4분의 1 파장 스테르브 방식의 서지 어레스터의 내부 구조

Fig. 1. A schematics of quarter wave short stub surge arrester.

또한, 상기 서지 어레스터는 높은 전류 전압 성분의 낙뢰는 바이패스시킬 수 있지만, 낙뢰 전달시 발생하는 잔여 전압까지 완전히 제거하지는 못하므로 어느 정도의 전압이 안테나 케이블을 따라 기지국 내부 시스템으로 흐르게 된다. 이러한 잔여 전압의 크기는 수만 볼트의 원래 낙뢰 성분보다는 비교할 수 없을 정도로 작은 수십 볼트 미만이지만, 이러한 전압 성분으로 인하여 이동 통신 기지국 내부 민감한 회로 시스템이 충격을 받거나 열화될 수도 있는 문제점을 안고 있다.

따라서, 본 논문에서는 이와 같이 기지국에 장착된 서지 어레스터로 낙뢰가 전달될 때, 발생하여 시스템 내부로 입사되는 잔여 전압 성분을 효과적으로 감소시키거나 제거할 수 있는 서지 어레스터의 내부 구조, 형태 및 방법에 대해서 연구하였다.

### Ⅲ. 서지 어레스터의 설계 및 컴퓨터 모의 실험

이동 통신 기지국용 서지 어레스터를 설계, 제작한 후, 회로망 분석기, 스펙트럼 분석기 등의 각종 측정 장비들을 이용하여 실제 제작된 서지 어레스터의 전자기적 전송 특성을 측정함으로써 제작된 서지 어레스터의 성능을 판단할 수 있다. 또한, 제작하고자하는 서지 어레스터 내부 구조의 일부를 적절히 변경하여 서지 어레스터의 성능을 개선할 수도 있다. 그러나, 이미 설계된 서지 어레스터의 내부 구조를 임의로 변경하여 성능 개선을 이끌어내는 것은 쉽지 않을 뿐 아니라, 하나의 성능 향상을 시도하다가 다른 여러 가지 문제점들을 야기 시키는 결과를 가져올 수도 있다. 따라서, 설계된 서지 어레스터의 내부 구조에 대한 문제점을 제작 이전에 예측, 파악하고, 이에 대한 개선 방안을 효과적으로 서지 어레스터에 적용하기 위하여 변경된 구조에 대한 사전 검토 및 검증 단계가 필요하다.

본 논문에서는 4분의 1 파장 단락 스테르브 방식을 기반으로 이동 통신 기지국용 서지 어레스터를 설계하고, 설계된 서지 어레스터의 전자기적 전송 특성을 검증하기 위하여 상용 고주파 3차원 구조 해석 시뮬레이터를 이용하였다. 그림 2에 7/16 DIN형 동축 커넥터를 기반으로 초기 설계한 4분의 1 파장 단락 스테르브 방식 서지 어레스터의 설계도를 고주파 3차원 구조 시뮬레이터 상에서 구현하는 과정을 도시하였다.

그림 2의 설계도에 도시한 바와 같이, 신호의 입·출력 단이 되는 부분을 각각 7/16 DIN 암(female), 수(male) 동축 커넥터로 설계하였으며, 동축 커넥터의 내부 도체 경로 상에 특성 임피던스 70 Ω인 단락 스테르브가 병렬로 연결되도록 설계하였다. 4분의 1 파장 단락 스테르브 방식 서지 어레스터를 설계함에 있어서 단락 스테르브를 형성하는 수직 핀 부분의 특성 임피던스를 입·출력 단으로 이용되는 동축 커넥터의 특성 임피던스 동일한 50 Ω으로 설계하지 않고 70 Ω으로 설계한 주된 이유는 서지 어레스터의 밴드 폭이 단락

스티브의 임피던스 특성에 매우 의존적이어서, 동일한 전압 정재파 비 특성을 갖는 서지 어레스터를 설계하는 경우 50 Ω보다는 70 Ω의 밴드 폭이 더 넓은 특성을 보이기 때문이다.

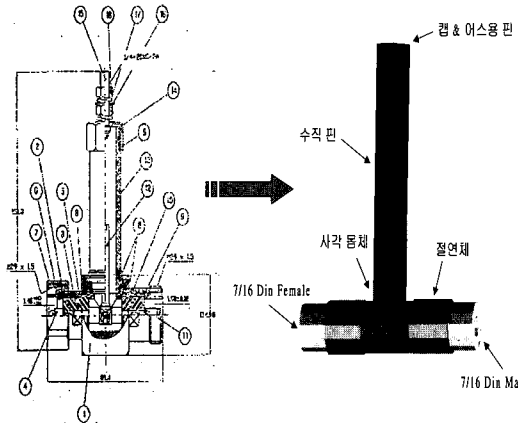


그림 2. 4분의 1 파장 단락 스티브 방식 서지 어레스터의 내부 설계도를 고주파 3차원 구조 시뮬레이터 상에서 단순화하여 구현한 모습

Fig. 2. An internal structure design of quarter wave stub surge arrester was simplified in the high frequency structure simulator.

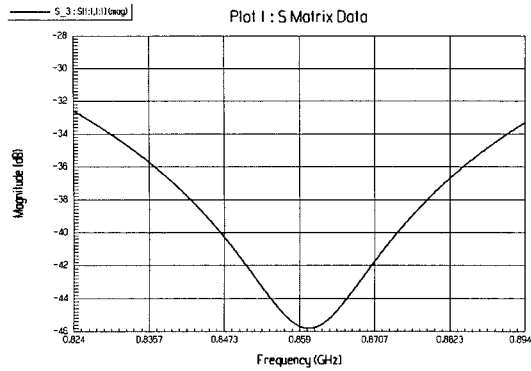
그러나, 단락 스티브의 특성 임피던스 값이 75 Ω 이상이면, 일반적으로 서지 어레스터의 전자기적 전송 특성이 좋은 결과를 얻기 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 안정된 밴드 폭 특성을 얻기 위하여 서지 어레스터의 수직 핀 부분의 특성 임피던스 값을 상기 범위 내의 값인 70 Ω에 형성되도록 설계하였다. 또한, 서지 어레스터 내부의 절연체는 테프론(teflon)으로 설정하였으며, 단락 스티브 내부는 공기(air)로 설정하였다. 서지 어레스터에 단락 스티브를 형성시켜주기 위해 스티브의 내부 도체인 수직 핀의 끝 부분에는 1 mm 두께의 도체 캡을 설정하여 전기적 단락이 형성되도록 하였다.

양호한 성능을 보이는 4분의 1 파장 단락 스티브 방식 서지 어레스터를 설계·제작하기 위해서는 정확한 수직 핀의 길이를 결정하는 것이 매우 중요하다. 수직 핀의 길이가 정확히 이동 통신 주파수 밴드의 중심 주파수에 설정되지 않을 경우, 병렬로 연결된 단락 스티브의 임피던스 특성이 무한대가 되는 포인트가 중심 주파수에 형성되지 못하고 어긋나게 된다. 결국, 이것은 안테나에서 시스템으로 입사되는 정보 신호의 손실로 이어질 수 있으며, 서지 어레스터의 전자기적 전

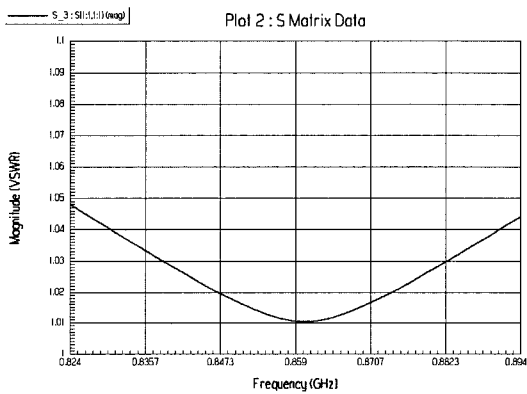
송 특성이 떨어지게 된다. 따라서, 초기 설계된 서지 어레스터가 이동 통신 신호의 중심 주파수에서 단락 스티브의 임피던스 특성이 무한대가 되도록 수직 핀의 설계 길이를 변경하고, 컴퓨터 모의 실험을 수행하여 수직 핀의 길이 변경에 따른 서지 어레스터의 전자기적 전송 특성 변화를 관찰하였으며, 이상의 과정을 통해 최적의 전자기적 전송 특성을 보이는 단락 스티브 내부 수직 핀의 최적 길이를 결정하였다.

현재, 국내 셀룰라 폰에서는 824~894 MHz의 송수신 주파수 대역을 이용하고 있다. 송수신 주파수 대역의 주파수 범위는 70 MHz이며, 주파수 대역의 중심은 859 MHz이므로, 중심 주파수로부터 구한 파장의 길이는 349.2 mm이고, 파장의 4분의 1은 87.3 mm이다. 상기 계산된 값들은 셀룰라 기지국용 서지 어레스터 설계의 초기 값을 결정하는 데 이용되었으며, 이를 기반으로 설계된 서지 어레스터를 컴퓨터로 이식하여 모의 실험을 수행하였다. 초기 설계한 서지 어레스터의 컴퓨터 모의 실험 수행 결과, 이동 통신 대역의 중심 주파수에 단락 스티브의 무한 임피던스 특성이 나타나지 않고, 20~30 MHz 정도 벗어난 주파수 부근에 형성되었다. 설계된 서지 어레스터의 무한 임피던스 특성이 중심 주파수에 정확히 형성되지 못함에 따라, 전압 정재파 비와 같은 전자기적 전송 특성이 기지국용 서지 어레스터로써 요구되는 조건을 만족시키지 못하는 결과를 보였다.

따라서, 무한 임피던스 특성이 셀룰라 주파수 대역의 중심 주파수에 정확히 형성되도록 초기 설계한 서지 어레스터의 내부 구조를 변경하면서 최적 특성을 보이는 구조를 결정하는 최적화 과정을 수행하였다. 최적화 수행 결과, 수직 핀의 길이가 88.0 mm일 때, 무한 임피던스 특성이 중심 주파수에서 정확히 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 그림 3에 800 MHz - 셀룰라 기지국용 서지 어레스터에 대한 컴퓨터 모의 실험 결과를 도시하였는데, 그림 3(a)에 서지 어레스터의 수직 핀 길이를 최적화한 후, 추출된  $S_{11}$  특성 곡선을 도시하였으며, 그림 3(b) 도에는 서지 어레스터의 전압 정재파 비 특성 곡선을 각각 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이, 셀룰라 대역의 중심 주파수인 859 MHz에서 서지 어레스터의 병렬 단락 스티브가 정확하게 무한 임피던스 특성이 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 전압 정재파 비의 경우 859 MHz를 중심으로 70 MHz의 송수신 주파수 대역 내에서 1.05 이하의 조건을 만족하는 것도 확인할 수 있었다.



(a)



(b)

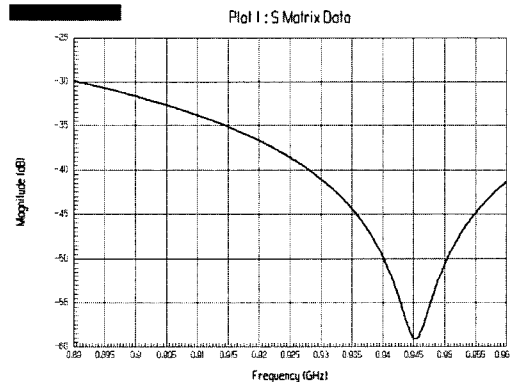
그림 3. 800 MHz - 셀룰라 기지국용 서지 어레스터에 대한 컴퓨터 모의 실험 결과 : (a) 서지 어레스터의 수직 핀 길이를 최적화한 후, 추출된 S<sub>11</sub> 특성 곡선, (b) 서지 어레스터의 수직 핀 길이를 최적화한 후, 추출된 전압 정재파 비 특성 곡선

Fig. 3. Simulation results of surge arrester for 800 MHz - cellular basestation : (a) extracted S<sub>11</sub> curve after the optimization of surge arrester's short stub, (b) VSWR curve after the optimization of surge arrester's short stub.

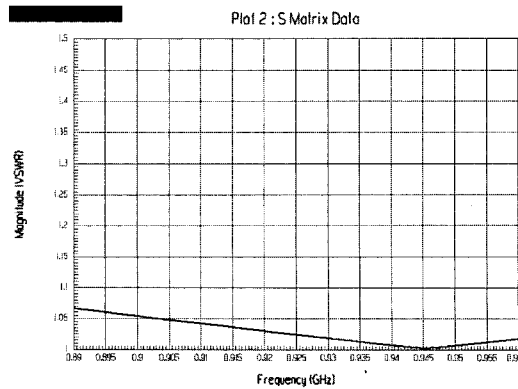
800 MHz 대역의 셀룰라 기지국용 서지 어레스터 이외에도 유럽에서 채택하고 있는 디지털 이동 전화 방식인 GSM(Group Special Mobile) 기지국용 서지 어레스터에 대해서도 이와 같은 컴퓨터 모의 실험을 수행하였다. GSM의 경우 기지국 송신 주파수가 935~960 MHz, 기지국 수신 주파수가 890~915 MHz로 송수신 주파수 간격은 45 MHz이다. GSM이 이용하는 송수신 주파수 대역은 890~960 MHz이므로, GSM 기지국에 적용될 서지 어레스터의 동작 주파수 대역 폭은 70 MHz이고, 주파수 대역의 중심 주파수는 925 MHz이다. 상기 주파수 특성으로부터 구한 파장의

길이는 324.3 mm이었으며, 파장의 4분의 1은 81.08 mm이었다. 셀룰라 기지국용 서지 어레스터와 마찬가지로 계산을 통해 얻은 81.08 mm 값을 GSM 기지국용 서지 어레스터의 설계의 초기치로 설정한 후, 컴퓨터로 모의 실험을 수행하여 단락 스텐브의 무한 임피던스 특성이 이동 통신 대역의 중심 주파수에서 형성되도록 최적화하였다.

컴퓨터 모의 실험 결과, 단락 스텐브 내부 수직 핀의 길이가 80.10 mm일 때, 무한 임피던스 특성이 중심 주파수에서 정확히 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 그림 4에 900 MHz - GSM 기지국용 서지 어레스터에 대한 컴퓨터 모의 실험 결과를 도시하였다. 그림 4(a)와 (b)에는 최적화 과정을 수행하기 전에 수치적인 계산만으로 서지 어레스터의 수직 핀 길이를 구해서 서지 어레스터에 적용한 후, 추출된 S<sub>11</sub> 특성과 전압 정재파 비 특성 곡선을 각각 도시하였는데, 무한 임피던스 특성이 GSM 대역의 중심 주파수에 정확히 형성되지 않고 945 MHz 부근에 형성되었으며, 전압 정재파 비 특성도 GSM용 기지국의 송수신



(a)



(b)

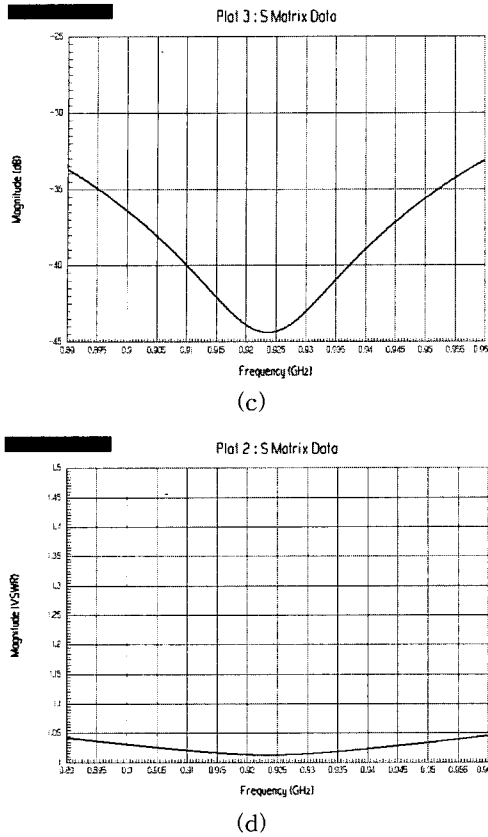


그림 4. 900 MHz - GSM 기지국용 서지 어레스터에 대한 컴퓨터 모의 실험 결과 : (a) 최적화 수행 전의  $S_{11}$  특성 곡선, (b) 최적화 수행 전의 전압 정재파 비 특성 곡선, (c) 최적화 수행 후의  $S_{11}$  특성 곡선, (d) 최적화 수행 후의 전압 정재파 비 특성 곡선

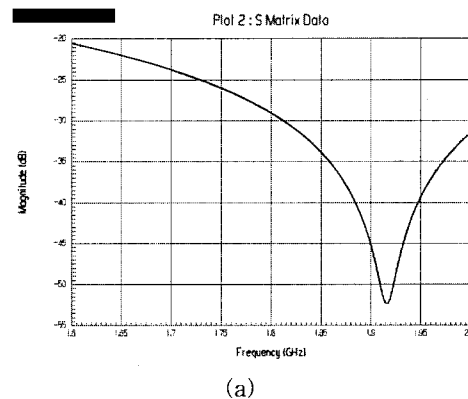
Fig. 4. Simulation results of surge arrester for 900 MHz-GSM basestation : (a)  $S_{11}$  curve before optimization, (b) VSWR curve before optimization, (c)  $S_{11}$  curve after optimization, (d) VSWR curve after optimization.

주파수 대역 내에서 1.065 이하의 특성을 보여 기지국에서의 요구 조건을 만족시키지 못하였다. 그림 4(c)와 (d)에는 최적화 과정 후, 추출된  $S_{11}$  특성 곡선과 전압 정재파 비 특성 곡선을 각각 도시하였는데, 중심 주파수인 925 MHz에서 정확하게 무한 임피던스 특성이 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 전압 정재파 비 특성도 주파수 대역 내에서 1.05 이하의 특성을 보여 GSM용 기지국에서 요구하는 조건을 만족하는 것도 확인할 수 있었다.

또한, 본 논문에서는 1.75~1.87 GHz 주파수 범위를 이동 통신 서비스의 송수신 주파수 대역으로 이용

하는 국내 PCS의 기지국에 응용 가능한 서지 어레스터와 1.885~2.2 GHz 주파수 범위를 송수신 주파수 대역으로 이용할 차세대 이동 통신 서비스인 IMT-2000의 기지국용 서지 어레스터에 대해서도 동일한 컴퓨터 모의 실험을 수행하였다. 실제로 이동 통신 기지국용 4분의 1 파장 단락 스테르브 방식 서지 어레스터는 중심 주파수의 약 10 % 정도 대역을 서지 어레스터의 동작 가능 주파수 범위로 허용하는데, IMT-2000에서 사용하는 1.885~2.2 GHz의 송수신 주파수 대역은 다른 이동 통신에 비해 비교적 넓으므로 IMT-2000 전체 주파수 대역에서 요구되는 전송 특성을 만족시키는 4분의 1 파장 단락 스테르브 방식의 서지 어레스터를 제작하는 것은 거의 불가능하다. 따라서, IMT-2000 기지국용 서지 어레스터의 경우, 송수신 주파수 대역과 수신 주파수 대역을 구분하여 각 주파수 대역에 해당하는 서지 어레스터를 설계하고 컴퓨터 모의 실험을 수행하였다.

PCS 기지국용 서지 어레스터는 1.75~1.87 GHz의 송수신 주파수 대역의 중심 주파수인 1.81 GHz를 기준으로 165.7 mm의 파장 길이와 41.43 mm의 4분의 1 파장 길이를 유도하였으며, 컴퓨터 모의 실험과 최적화 과정을 통해 단락 스테르브 내부 수직 핀의 길이가 43.70 mm일 때, 무한 임피던스 특성이 중심 주파수에서 정확히 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 그림 5에 1.8 GHz - PCS 기지국용 서지 어레스터에 대한 컴퓨터 모의 실험 결과를 도시하였는데, 그림 5(a)와 (b)에서 보는 바와 같이 최적화 전에 무한 임피던스 특성이 1.915 GHz 부근에 형성되어 전압 정재파 비 특성이 PCS 주파수 대역 내에서 1.10 이하의 특성을 보였던 것을 최적화 수행 결과, 120 MHz의 PCS 주파수 대역 내에서 1.05 이하의 특성을 보여 PCS 기지국에서 요구하는 조건을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.



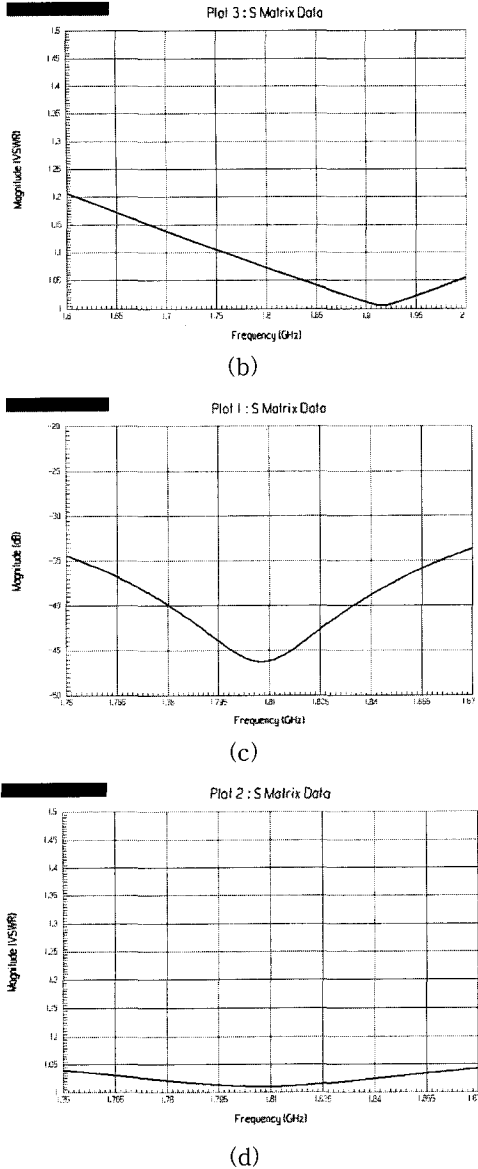


그림 5. 1.8 GHz - PCS 기지국용 서지 어레스터에 대한 컴퓨터 모의 실험 결과 : (a) 최적화 수행 전의  $S_{11}$  특성 곡선, (b) 최적화 수행 전의 전압 정재파 비 특성 곡선, (c) 최적화 수행 후의  $S_{11}$  특성 곡선, (d) 최적화 수행 후의 전압 정재파 비 특성 곡선

Fig. 5. Simulation results of surge arrester for 1.8GHz-PCS basestation : (a)  $S_{11}$  curve before optimization, (b) VSWR curve before optimization, (c)  $S_{11}$  curve after optimization, (d) VSWR curve after optimization.

또한, IMT-2000 기지국용 서지 어레스터도 송신을 위한 TX-band(1.885~2.025 GHz)와 수신을 위한

RX-band(2.11~2.2 GHz)의 중심 주파수인 1.955 GHz와 2.155 GHz으로부터 각각 4분의 1 파장 길이 38.34 mm와 34.78 mm를 계산하였으며, 이를 초기치로 컴퓨터 모의 실험을 수행하여 단락 스테브 내부 수직 편 길이를 최적화하였다.

#### IV. 제작된 이동 통신 기지국용 서지 어레스터의 특성

상기 절에서는 이동 통신 주파수 특성으로부터 계산된 값들을 설계 초기치로 이용하여 서지 어레스터를 설계하였고, 컴퓨터 상에서 서지 어레스터의 내부 구조를 최적화하여 서지 어레스터의 설계를 완성하는 과정을 도시하였다. 본 논문에서는 이와 같이 완성된 설계 내용을 이용하여 실제 서지 어레스터를 제작하여 컴퓨터로 수행된 최적화 설계 구조를 검증하고자 하였다. IMT-2000 기지국용 서지 어레스터의 경우, 송신 주파수 대역과 수신 주파수 대역을 구분하여 각 주파수 대역에 해당하는 서지 어레스터를 설계하고 컴퓨터 모의 실험을 수행하였으므로, 제작도 각각의 주파수 대역에 맞도록 송신 주파수 대역용과 수신 주파수 대역용으로 구분하여 제작하였다.

일반적으로 서지 어레스터는 안테나와 기지국 내부 시스템의 중간 케이블 경로 상에 동축 커넥터와 동일한 형태로 설치되므로 서지 어레스터는 커넥터로서 요구되는 각종 전자기적 전송 특성을 수용하여야 한다. 또한, 이와 같은 동축 커넥터로서의 전자기적 전송 특성 외에도 서지 어레스터로서의 성능을 나타내는 낙뢰 전달 테스트 특성이 있다. 낙뢰 전달 테스트는 낙뢰와 유사한 임의의 고 전압 및 전류 성분을 갖는 펄스를 서지 어레스터에 전달하고 이에 따라 서지 어레스터에 나타난 특성을 측정하는 것으로, 이때 낙뢰로 가상되어 이용하는 펄스의 상승 시간, 하강 시간, 최대 전류, 전압 피크 값 등의 특성이 서지 어레스터의 뇌서지 방호 성능을 판단하는 데 중요하다. 서지 어레스터를 테스트하기 위한 기준 펄스로 수~수십 kA 수준의 최대 전류 피크,  $8 \times 20 \mu s$ 의 웨이브 형태를 갖는 펄스가 많이 이용되고 있으며, 그림 6에는 이와 같은 서지 어레스터의 성능을 테스트하기 위한  $8 \times 20 \mu s$  테스트 펄스를 도시하였다. 여기서  $T_1$ 는 펄스의 상승 시간으로 8  $\mu s$ 의 값을 나타내며,  $T_2$ 는 펄스 최대 피크로부터 그 크기가 50 %로 감소하는 데 걸리는 시간으로 25  $\mu s$ 의 값을 나타낸다.<sup>[7,8]</sup>

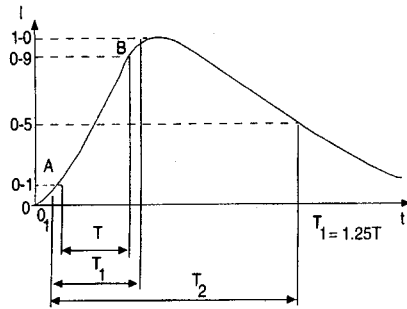
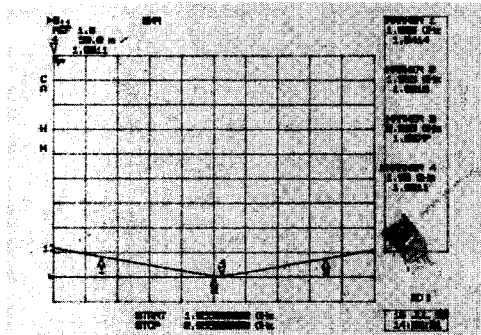
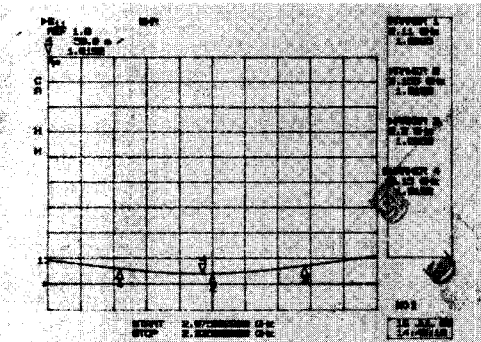


그림 6. 서지 어레스터의 낙뢰 특성을 측정하기 위한  $8 \times 20 \mu s$  펄스

Fig. 6.  $8 \times 20 \mu s$  pulse for lightning test of surge arrester.



(a)



(b)

그림 7. IMT-2000 기지국용 서지 어레스터의 전압 정재파 비 특성: (a) 송신 주파수 대역용 서지 어레스터, (b) 수신 주파수 대역용 서지 어레스터

Fig. 7. VSWR curve of surge arrester for IMT-2000 basestation: (a) TX-band surge arrester, (b) RX-band surge arrester.

본 논문에서는 상기 기준 펄스를 이용하여 제작된 IMT-2000 기지국용 서지 어레스터의 낙뢰 전달 테스트를 수행하였다. 서지 어레스터의 정밀하고도 정확한 측정을 위해 낙뢰 전달 테스트는 공신력 있는 시험 기관인 “한국표준연구원”에 의뢰하여 실시하였다.

그림 7에는 제작된 IMT-2000 기지국용 서지 어레스터로부터 측정된 전압 정재파 비 특성을 도시하였는데, 그림 7(a)에는 송신 주파수 대역용 서지 어레스터의 측정 결과를, 그림 7(b)에는 수신 주파수 대역용 서지 어레스터의 측정 결과를 나타내었다. 그림에서와 같이 각 주파수 대역의 중심 주파수에서 전압 재파비 값이 가장 낮은 특성을 보여 병렬 단락 스텐브의 임피던스 특성이 설계 의도대로 주파수 대역의 중심 주파수에서 정확하게 무한대의 특성을 갖도록 제작되었음을 확인할 수 있었다. 이는 서지 어레스터의 제작 전에 컴퓨터를 이용하여 수행한 단락 스텐브 내부 수직 핀의 최적화 과정이 비교적 정확하였다는 것과 제작된 서지 어레스터가 실제 IMT-2000 기지국에 정보 신호의 손실 없이 낙뢰의 진입을 제한하는 데 이용될 수 있다는 것을 보여주는 결과이다. 전압 정재파 비 특성 이외에 제작된 서지 어레스터로부터 측정된 삽입 손실, 반사 손실, 임피던스 정합 특성, 접촉 저항, 상호변조 특성, 중간 절연체의 저항 등의 각종 전기적 특성을 표 1에 나타내었다.

또한, 그림 8에는 제작된 IMT-2000 기지국용 서지 어레스터의 낙뢰 전달 테스트 측정 결과를 도시하였다. 낙뢰 전달 테스트를 위해 5 kV, 2.5 kA,  $8 \times 20 \mu s$  특성의 펄스가 이용되었으며, 그림 8(a)와 (b)에 각각

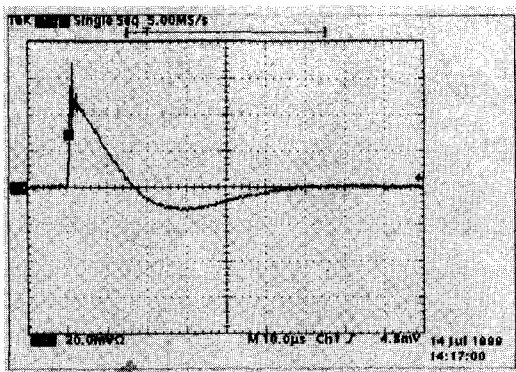
표 1. 제작된 IMT-2000 기지국용 서지 어레스터의 전기적 특성 측정 결과

Table 1. Electrical characteristics measurement results of the fabricated surge arrestors for IMT-2000 basestation.

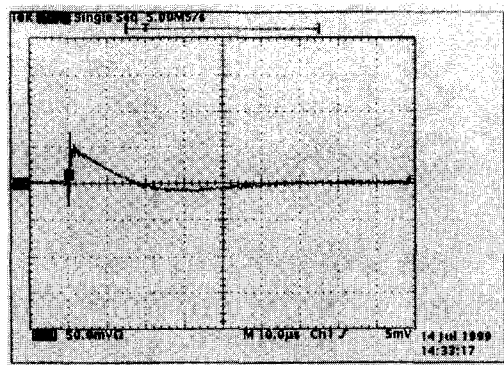
항 목		특 성	
		TX-Band	RX-Band
Contact Resistance	Inner Contact	$\leq 0.4 \text{ m}\Omega$	$\leq 0.4 \text{ m}\Omega$
	Outer Contact	$\leq 0.04 \text{ m}\Omega$	$\leq 0.05 \text{ m}\Omega$
Insulation Resistance		$\geq 50000 \text{ M}\Omega$	$\geq 50000 \text{ M}\Omega$
Dielectric Withstanding Voltage		2500 Vrms/1분간	2500 Vrms/1분간
VSWR		$\leq 1.042$	$\leq 1.036$
Impedance		50 $\Omega$	50 $\Omega$
Return Loss		$\leq -33.848 \text{ dB}$	$\leq -35.205 \text{ dB}$
Insertion Loss		$\leq -0.0311 \text{ dB}$	$\leq -0.0316 \text{ dB}$
Residual Voltage @5kV/2.5kA, 8/20 $\mu s$	Sweep Time (10 $\mu s$ )	$\leq 7 \text{ V}$	$\leq 7 \text{ V}$
	Sweep Time (0.5 $\mu s$ )	$\leq 11 \text{ V}$	$\leq 8 \text{ V}$
PIMD		$\leq -163.41 \text{ dBc}$	$\leq -158.17 \text{ dBc}$



송신 주파수 및 수신 주파수 대역용 서지 어레스터의 잔여 전압 측정 결과를 나타내었다. 일반적인 서지 어레스터의 국제 상용 규격은 고압 고전류 특성의 낙뢰 전달시 이동 통신 기지국 내부 시스템으로 전달될 수 있는 잔여 전압 레벨을 15 V 이하가 되도록 규정하고 있는데, 제작된 서지 어레스터의 잔여 전압 특성이 7~11 V 이하를 보여 국제 시장에서 요구하는 잔여 전압 특성 규격을 만족하는 것을 확인하였다.



(a)



(b)

그림 8. IMT-2000 기지국용 서지 어레스터의 낙뢰 전달 테스트 측정 결과 : (a) 송신 주파수 대역용 서지 어레스터, (b) 수신 주파수 대역용 서지 어레스터

Fig. 8. Lightning test results of surge arrester for IMT-2000 basestation : (a) TX-band surge arrester, (b) RX-band surge arrester.

### V. 잔여 전압을 제거 가능한 서지 어레스터

설계, 제작된 이동 통신 기지국용 서지 어레스터는 낙뢰 전달 테스트를 통해 높은 전류 성분의 낙뢰 성분을 방어할 수 있는 것으로 그 특성을 검증 받았지만,

10 V 정도의 잔여 전압의 발생은 피할 수 없는 것으로 확인되었으며, 이러한 잔여 전압은 실제로 기지국 시스템 내부로 전달되게 된다. 실험을 통해 측정된 잔여 전압의 크기는 수만 볼트의 원래 낙뢰 성분에 비하면 미미할 정도로 작은 전압 수준이었지만, 향후 통신 시스템의 성능 향상에 따라 점차 민감해지고 있는 RF/마이크로웨이브 회로에는 적지 않은 충격을 줄 수도 있다. 본 논문에서는 이동 통신 기지국의 안테나를 통해 낙뢰가 전달될 때, 피할 수 없는 잔여 전압 성분을 효과적으로 제거할 수 있는 서지 어레스터의 내부 구조에 대해 연구하였다.

4분의 1 과장 단락 스티브 방식의 서지 어레스터는 안테나로 연결되는 케이블과 기지국 시스템 내부로 연결되는 케이블을 이어주는 동축 커넥터의 내부 도체 경로 상에 도전 재질의 핀을 수직으로 연결시켰으며, 도체 핀의 끝 부분을 내부 도체를 보호하기 위하여 둘러싸여진 외부 도체와 연결시켜 전기 회로적으로 단락 시킴으로써, 낙뢰가 전달될 때 발생하는 대부분의 고밀도 전류를 그라운드로 바이패스 시키도록 하였다. 상기 동축 커넥터에서 기지국 시스템 내부로 연결되는 케이블과 만나는 동축 커넥터의 내부 도체 중간에 유전체를 삽입하여 내부 도체의 경로 상에 캐패시터가 형성되게 함으로써, 낙뢰 전달 후 발생하는 직류 특성의 잔여 전압 성분이 통과하지 못하도록 하였다.

내부 도체 경로 상에 삽입하는 유전체는 캐패시터에서 도체 사이의 중간 유전 물질과 같은 역할을 하며, 이와 같은 캐패시터는 높은 주파수 성분의 정보 신호는 통과시키고, 직류 성분인 발생 잔여 전압은 차단하는 역할을 한다. 그림 9에 이와 같이 서지 어레스터의 내부 도체 중간 경로 상에 유전 물질을 삽입한 구조에 대한 컴퓨터 모의 실험 과정을 도시하였다. 그림 9(a)에는 전체 서지 어레스터의 구조를 보여주고 있으며, 그림 9(b)에는 내부 도체의 경로가 삽입된 유전체에 의해 전기적으로 개방된 모습을 확대하여 보여 주고 있다. 그림 9(b)에서 서지 어레스터의 내부 도체 상에 도시한 A, B, C 영역은 각각 유전체를 삽입하여 캐패시터를 형성시킬 수 있는 곳을 나타내고 있다.

그림 10에는 서지 어레스터의 내부 도체 경로 상의 A, B, C 영역에 삽입한 유전체를 모두 유전율 2.2 정도인 테프론으로 설정하고, 컴퓨터 모의 실험을 수행한 결과를 도시하였다. 그림 상의 곡선들은 각각 서지 어레스터로부터 추출된 산란 파라미터들인데, 절연체를

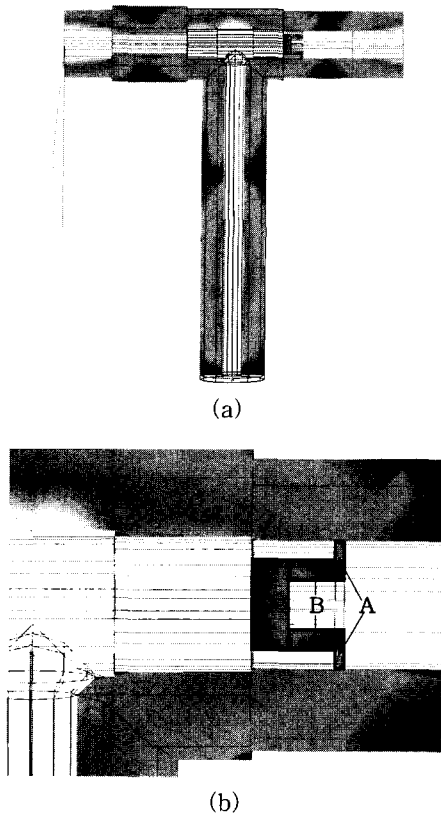


그림 9. 잔여 전압 제거를 위한 서지 어레스터의 컴퓨터 모의 실험 : (a) 내부 도체의 경로 상에 중간 절연체가 삽입된 서지 어레스터, (b) 내부 도체 경로가 절연체에 의해 전기적으로 개방된 상태

Fig. 9. Computer simulation of surge arrester for removal of residual voltage : (a) surge arrester which include dielectric material between the inner conductor, (b) inner conductor which was electrically opened by dielectric material.

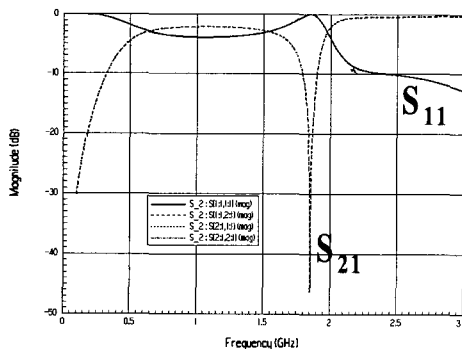
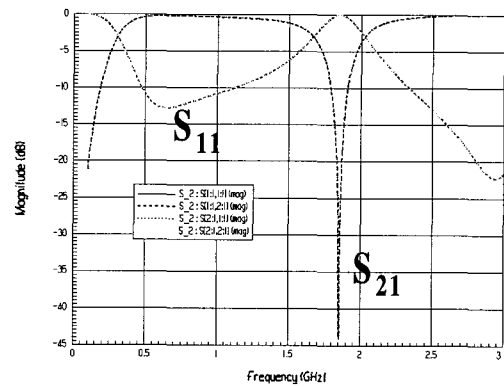


그림 10. 중간 유전체로 테프론( $\epsilon_r = 2.2$ )이 삽입된 서지 어레스터의 컴퓨터 모의 실험 수행 결과

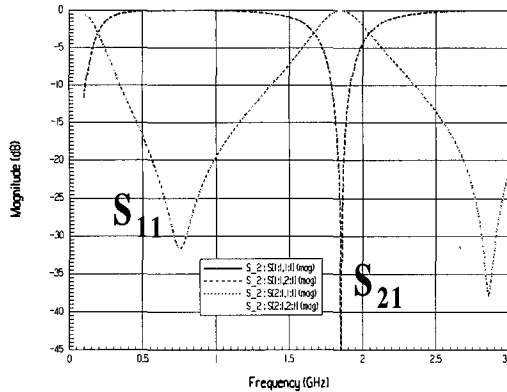
Fig. 10. Computer simulation of surge arrester which used teflon ( $\epsilon_r = 2.2$ ) as dielectric material.

삽입하지 않은 4분의 1 파장 단락 스텐브 방식 서지 어레스터를 컴퓨터 모의 실험하였을 때는 이동 통신 주파수 대역의 중심 주파수 부근에서 병렬 단락 스텐브가 무한 임피던스 특성을 보여  $S_{11}$  또는  $S_{22}$  파라미터의 크기가 중심 주파수에서 급격히 감소하여 최소 값 특성을 보였으나, 상기 테프론을 이용하여 내부 도체 경로 상에 캐패시터를 형성한 서지 어레스터에서는 3 GHz까지의 범위까지  $S_{11}$  또는  $S_{22}$  파라미터의 크기가 급격히 감소하여 최소 값 특성을 보이는 구간이 나타나지 않았다. 또한, 1.8~2 GHz 부근에서는 삽입된 테프론으로 인해 전반사가 발생하여 삽입 손실 특성이 크게 증가하는 구간이 발생하였는데, 이러한 결과는 내부 도체의 경로 상에 삽입한 테프론의 유전율이 매우 낮아 직류 성분의 잔여 전압은 제거 가능하지만, 고주파 정보 신호를 손실없이 전송할 수 있는 캐패시턴스 특성을 갖는 캐패시터를 구성하는 데 적합하지 못했기 때문인 것으로 판단된다.

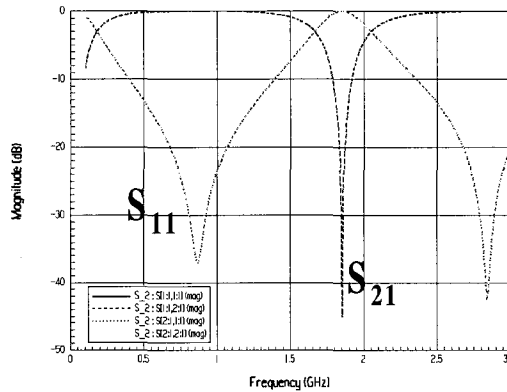
따라서, 그림 9(b)의 서지 어레스터의 내부에서 내부 도체의 경로 상에 삽입된 중간 유전체중 B 영역에 해당하는 유전체의 유전율 값을 변경시키면서 서지 어레스터의 산란 파라미터 특성 변화를 관찰하여 적합한 캐패시턴스 특성을 보이는 캐패시터를 구성하고자 하였다. 서지 어레스터의 내부 도체 경로 상에 삽입한 유전체의 유전율 변화에 따라 내부 도체의 캐패시턴스 특성이 변화하였으며, 이에 따른 산란 파라미터 특성도 크게 변화하였다. 삽입 유전체의 유전율에 따른 산란 파라미터의 변화 과정을 그림 11에 도시하였는데, 그림에서 보는 바와 같이, 중간 유전체의 유전율이 증가함에 따라  $S_{11}$  파라미터가 이동 통신 주파수 대역 내에서 급격히 감소하는 특성이 나타났다.



(a)



(b)



(c)

그림 11. 중간 유전체의 유전율 변화에 따른 서지 어레스터의 산란 파라미터 변화 : (a)  $\epsilon_r = 12$ , (b)  $\epsilon_r = 50$ , (c)  $\epsilon_r = 100$

Fig. 11. Change of S parameter as a function of permittivity of inner dielectric material in surge arrester : (a)  $\epsilon_r = 12$ , (b)  $\epsilon_r = 50$ , (c)  $\epsilon_r = 100$ .

또한, 중간 유전체의 유전율이 100 이상에서는 내부 도체 경로 상에 유전체를 삽입하지 않은 일반 서지 어레스터의 전자기적 전송 특성과 거의 동일한 특성을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 상기 서지 어레스터에서 내부 도체의 중간 경로 상에 삽입하는 유전체로  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaTiO}_3$ ,  $\text{SrTiO}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{TiO}_3$ ,  $\text{CaTiO}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ ,  $\text{SrTiO}_3\text{-CaTiO}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ ,  $\text{CaTiO}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ ,  $\text{BaTiO}_3\text{-SrTiO}_3\text{-La}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  등과 같은 100 이상의 유전 상수 특성을 보이는 물질로 캐패시터를 형성할 경우, 고주파 정보 신호의 손실 없이 직류 성분의 잔여 전압 성분을 완전히 제거시킬 수 있을 것으로 판단하였다.

### VI. 결론

본 논문에서는 이동 통신 기지국 안테나를 통해 높은 에너지의 낙뢰가 도입되어 고가의 기지국 내부 회로 시스템이 파괴되는 것을 방어하는 장치인 서지 어레스터에 대해 연구하였다. 서지 어레스터의 개념, 종류, 동작 원리, 설계 및 제작 방법 등을 검토하고, 이를 기반으로 현재 국내외에서 이용되고 있는 이동 통신 서비스인 셀룰라, GSM 및 PCS 등과 차세대 이동 통신 서비스인 IMT-2000의 기지국 시스템에 적용 가능한 서지 어레스터들을 설계하였다. 설계된 서지 어레스터들은 고주파 3차원 구조 시뮬레이터 상에서 컴퓨터 모의 실험되어 그 특성을 예측하였으며, 국제 규격에 미치지 못한 서지 어레스터의 전자기적 특성을 개선하기 위하여 컴퓨터 최적화 과정을 수행하였다. 최적화 과정을 통해 결정된 서지 어레스터의 최종 설계도를 기반으로 실제 IMT-2000 기지국용 서지 어레스터를 제작하였으며, 전자기적 전송 특성 측정과 낙뢰 전달 테스트를 수행하여 제작된 서지 어레스터의 특성을 추출하였다.

전자기적 전송 특성 측정 결과, 전압 정재파 비는 1.05 이하, 삽입손실은  $-0.035 \text{ dB}$  이하, 상호변조 특성은  $-150 \text{ dBc}$  이하의 특성을 얻었으며, 낙뢰 전달 테스트 결과, 잔여 전압 특성이 국제 시장 규격에서 요구하는  $15 \text{ V}$  이하보다 낮은  $7 \sim 11 \text{ V}$  정도의 특성을 보이는 것을 확인하였다. 또한, 본 논문에서는 서지 어레스터에 낙뢰가 도입되었을 때 필연적으로 발생하는 잔여 전압을 완전히 제거할 수 있는 서지 어레스터의 새로운 구조를 제안하였다. 제안된 구조는 서지 어레스터의 내부 도체에 높은 유전율 특성의 유전 물질을 삽입하여 내부 도체 경로 상에 캐패시터를 만들어 줌으로써 직류 성분의 잔여 전압을 완전히 제거하는 기능을 수행하게 하였다.

### 참고 문헌

[1] Guthrie, A. K., "Learning to live with lightning," Communications, May 1977.  
 [2] Uman, Martin A., "Natural Lightning," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 30, 1994.  
 [3] Freeman Roger L., Reference Manual for

- Telecommunications Engineering, Second Edition, New York : John and Wiley & Sons, 1994.
- [4] Andrew Corporation, "Lightning Protection," pp.1~5, Southern African Wireless Communications, 1997.
- [5] Andrew Corporation, "Quarter Wave Stub and Gas Discharge Tube Surge Arrestors- Consideration and Selection," pp.1~6, Special Publication, 1998.
- [6] M/A Com, Inc., "Lightning and EMP Protection Devices," pp.1~4, Reference Manual, 1996.
- [7] Surge Protective Devices Committee, "IEEE Recommended Practice on Surge Voltages in Low Voltage AC Power Circuits," IEEE Power Engineering Society, 1991.
- [8] Surge Protective Devices Committee, "IEEE Standard Test Methods for Surge Protectors Used in Low Voltage Data, Communications, and Signaling Circuits," IEEE Power Engineering Society, 1994.

---

 저 자 소 개
 

---

## 金 演 泰(學生會員)

1970년 4월 16일생. 1994년 인하대학교 전자공학과(공학사). 1996년 인하대학교 전자재료공학과(공학석사). 1996년~현재 인하대학교 전자재료공학과 박사과정. 주관심 분야는 반도체 소자 및 공정, RF 소자, HBT 및 MMIC 설계 등임. 제35권 D편 제5호 참조

## 元 太 映(正會員)

1959년 2월 21일생. 1981년 서울대학교 전자공학과(공학사). 1983년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사). 1989년 미국 University of Illinois at Urbana-Champaign 전자공학과(공학박사). 1989년~1990년 미국 State University of New York 조교수. 1990~1991년 삼성전자(주) 수석 연구원. 1991년~현재 인하대학교 공과대학 전자전기컴퓨터공학부 부교수. 주관심 분야는 반도체 소자 및 공정 등임. 제35권 D편 제5호 참조