

## 퓨즈가 필요없는 퓨즈리스 써지보호기(TVSS)

### 1. 서론

절대다수의 TVSS 제조사들은 수십년(약30년) 전에 개발된 전기설비 과전압 보호기술을 지금껏 이용하고 있다. 이들 제조사는 서지억제를 위한 일반적인 접근법으로 전자프린트회로기판용으로 대량생산되는 다수의 일반용 저등급 산화금속 배리스터에 의존한다. 지난 수십 년간 이렇다 할 만한 설계원리나 기술, 성능의 개선은 없이 고객들의 관심을 끌기 위해서 다소간 편리하기는 하나 반드시 필요하지는 않는 기능들을 추가한 것 말고는 TVSS 기술에 진정한 향상은 없었다. 반면에, 퓨즈리스 서지보호모듈은 TVSS 업계에서 설계와 원리 양면으로 초유의 괄목할 만한 진보를 이룩하였다. 2000년대 초에 시판되기 시작한 퓨즈리스 써지모듈은 기존 TVSS 시스템의 모든 단점을 극복하기 위해서 처음부터 다시 설계되었다. 이 모듈은 민감한 부하를 보호하는 최후의 보루이며 더구나 가장 열악한 사용조건에서도 언제나 변함없이 보호하는 신뢰할 만한 장치이다. 퓨즈리스 써지모듈은 보기에다 색다르지만 기능 또한 다르다. 퓨즈리스 써지모듈은 시판을 시작한 이래 세계적으로 이용되고 있으며 다른 TVSS가 하나같이 실패한 터전 위에서 우수한 실적을 일구어내어 굳건한 성공을 입증하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 현행 기술의 문제점

##### 2.1.1 설계 불량 및 설계상의 가설

보호소자들을 병렬로 결합하여 단일 소자만으로 얻을 수 있는 것보다 높은 정격을 얻으려 하는 것이 서지보호 업계의 일반적인 관행이다. 또 복합 소자들의 서지 성능은 개별 소자의 수만큼 배증한다는 것이 이 업계의 통념이기도 하다. 그러나 이는 전기적으로도 기계적으로도 맞지 않는 추정에 불과하다. 승용차 열 대를 용접하면 마력은 트럭과 같아질지 모르지만 그것이 트럭이 될 것이라 생각하는 사람은 아무도 없는 것과 같은 이치다. 전기적인 면을 생각해도, 소자들을 어울리게 맞출 수 있을지는 모르지만 그 소자의 전체 동작범위에 걸쳐 그렇게 되어야 하므로 엄두도 나지 않을 만큼 원가가 비싸질 것이다. 동일한 웨이퍼에 조립된 반도체소자들조차 반도체 재료의 격자 내에 존재할 수 있는 사소한 결함이나 불순물들 때문에 성능이 서로 달라진다. 기계적 설계에 결함이라도 있으면 사고발생 중에 어떤 한 소자만 이웃 소자들보다 항상 더 많은 에너지를 처리하게 될 수 있다. 일반적으로 전기적인 과도현상은 가장 짧고 전도성이 가장 큰 경로를 통과하며 모서리를 돌 때는 전류를 운반하는 도체에 힘을 가한다(로렌츠 법칙). 결과적으로, 낙뢰처럼 큰 과도전류가 발생할 경우 병렬연결소자들 모두가 아니고 한 소자에서 발산되는 에너지와 앞서 말한 힘으로 인해 TVSS 소자들이 폭발할 수도 있다. 아래 사진은 그러한 폭발의 결과를 보인 것이다.



사진 1: 폭발한 모듈

병렬로 연결된 소자들의 경로길이가 같아지게 설계한 TVSS 제품들도 여러 종류가 있다. 이들 제품은 과도적 사고(事故)에 대한 저항력이 향상되기는 하지만 소자들의 특성이 온도의 영향을 받으며, 이와 같은 설계로 된 모든 소자들은 에너지를 열로 분산시키는 능력이 결코 균일하지 않으므로 사고를 더 긴 시간 동안 겪어야 하는 경향이 있다.

### 2.1.2 부적합한 정격

위험이나 이의 정도를 정확히 식별하지 못하는 일이 조금이라도 있으면 TVSS가 잘못 적용되는 경우도 종종 있다. 적절하지 못하며 시험을 거치지 않아 결국은 “일시적인 유행”으로 보호기들을 구매하게 하는, 예를 들어 동작속도 따위와 관련한, 주장들이 많다. 신형 실리콘 다이오드 파괴기 보호에 낮은 정격의 속도형 퓨즈가 사용되는 경우가 그렇게 흔하다는 것은 정상이 아니다. 그런 퓨즈를 정당화하기 위해서 사용하는 논거는 과도현상이 너무 빨라서 퓨즈가 동작할 시간이 없다는 것이다. 퓨즈의 동작은 근본적으로 퓨즈링크를 용단시키기에 충분한  $I^2t$ , 즉, 에너지를 받아들이는 동작이라 할 수 있다. 표본적인 35A 속도형 퓨즈를 개방하는 데 100  $\mu$ s 네모파 충격전류 850 A만 있으면 된다는 것은 쉽게 알 수 있다. 10  $\mu$ s 네모파 충격전류의 경우 퓨즈 개방에 필요한 전류는 3000A이다.

8/20 $\mu$ s 너충격전류(lightning surge) 파형에 포함되는 에너지는 10 $\mu$ s 네모파에 포함되는 에너지와 아주 흡사하다. 그러므로 이 소자의 100kA 보호 능력에 대한 주장은 근거 없음이 명백하다. 그러나 이런 종류의 보호장치는 퓨즈 유지관리가 까다롭다는 점 밖에 다른 문제는 없으므로 이를 선호하는 고객들도 제법 많다. 대개 낙되는 실제로 측정되지는 않지만 퓨즈가 개방되기 때문에 큰 것으로 추정된다. 이렇게 낮은 수준에서 보호기에 퓨즈를 설치해야 하는 바로 그 점만으로도 제조사는 실패를 시인하는 셈이다.

### 2.1.3 시험의 부재 또는 부적합한 시험

TVSS 제조사들이 주장하는 바는 거의 시험을 거치지 않는다. 대부분 제조사들의 시험장비와 실험실 시설은 부족하다. 시험은 대개 10kA 8/20 $\mu$ s 부근에서 수행되며, 복합 kA 용량 50/100/200 범위 내 혹은 1 MA 이상의 경우조차 인용되는 결과는 고작해야 회색적인 해석이며 최악의 경우에는 어림짐작일 뿐이다. 어떤 제조사들은 외부 실험실 시험을 인용한다. 한 가지 주목할 만한 독립시험프로그램의 예(Wiley (2))

를 보았을 때 TVSS 단위장치들 가운데 단 하나만 반복적인 고수준의 서지가 가능하였음을 알 수 있었다. 시험한 다른 모든 단위장치들은 최초의 충격전류를 가하는 동안 퓨즈가 용단되었다. 잔존 TVSS에 사용한 기준은 육안으로 보아 손상이 없는 것이었다. 물론 실제의 성능과 기능을 입증하려 할 때는 이것으로는 거의 도움이 되지 않는다. 부적절한 시험이 수행되는 수도 종종 있으며 시험결과가 잘못 인용되기도 한다. 예를 들어, UL 1449에 따른 시험을 통과하였다고 하여 과도현상 억제를 위한 어떤 유용한 능력이 있다는 의미는 전혀 아니다. UL 1449시험결과는 제품을 시험한 방법대로 정확하게 설치할 경우 발화나 폭발의 위험이 최소화 될 수 있음을 나타낼 뿐이다. 그래프상에서 대부분 과도현상으로부터 멀리 떨어진 한 점 SVR 이외의 어떠한 성능매개변수도 지시하지 않는다. UL 1449에 대한 적합성은 TVSS 외함 안에서만 발화와 폭발이 일어나지 않음을 의미하지 않는다. 케이블 인입을 위해서 외함에 낸 구멍을 통해 외부로 불이나 연기가 빠져나가는 경우도 자주 있다. 표본적인 설비에서 어떤 부하에 알맞은 실제의 보호기능을 시험하지 못하여 시험자체가 아무 소용이 없게 되고 마는 일이 가장 흔하다. 케이블들을 단락시킨 상태에서 부하가 아니고 보호기에서 전압을 측정하여 각종 시험을 수행한다.

### 2.1.4 퓨즈 용단 Fusing

퓨즈 용단은 과전류(앞에서 설명)와 열(소자들의 발화에 기인)이라는 두 가지 형태를 취한다. 퓨즈 용단은 부적합한 정격을 의미하는 것은 확실하지만 몇 가지 이유로 보호기의 고장을 유발하기도 한다. 퓨즈가 개방되면 보호기가 완전히 무용지물이 되는 것은 두말할 나위도 없다. 온도퓨즈(thermal fuse)는 신뢰성 문제가 있으며 이의 수명은 대개 열사이클에 의해서 악화되지만 대략 5년 이상은 되는 것으로 알려져 있다. 왁스로 지지되는 저융점 금속의 커피포트 온도퓨즈에 사용하는 기술이 일부 TVSS 단위장치들에도 사용된다. 열사이클을 겪는 온도퓨즈에서 얻은 경험으로 보면 정상적인 동작상태를 유지하려면 정기적으로 교체해줄 필요가 있다. 온도퓨즈의 다른 예로는 스프링 장력으로 유지되는 저융점 납납이 있다. 이들 소자는 장기간 사용하면 납납에 균열이 생겨 별 이유 없이 소자가 개방된다는 문제가 있다. 동일한 기술을 이용하는 TVSS 단위장치들은 동일한 결과를, 즉 조기 동작을 겪는다. 장력을 받는 납납 접합부가 균열되어 “드라이” 접합부가 되는 것은 이미 알려져 있으므로 이것이 문제가 되는 것은 놀랄 일이 아니다. 원인은 연한 금속이 흐르면서 응력이 높은 부분으로 균열이 전파되기 때문이다. 재래식 퓨즈와 온도퓨즈도 기계적 충격으로부터 노화를 겪는다. 기계적 충격은 과도현상으로 TVSS가 동작 중일 때 생긴다. Martzloff (3)는 과도전류에 의해서 퓨즈가 점차적으로 약해진다는 것을 입증하였다. 다시 말해서, 보호기를 보호하거나 보호기로부터 고객을 보호하기 위한 소자(퓨즈)를 포함시키기 때문에 보호기의 신뢰성이 떨어진다.

### 2.1.5 수명말기 고장모드

직렬보호요소를 위한 수명말기 모드는 개방회로가 되어야 한다는 것이 전자업계의 일반적인 인식이다. 이는 물론 퓨즈를 두고 하는 말이다. 어떤 장비의 부품으로 유입되는 전류가 너무 높아지면 소자가 동작하여 소자로 들어가는 전류를 차단하여 그 소자의 기능을 정지시키는 것은 당연한 이치다. 원거리통신업계에서 사용하는 기체방전관(gas discharge tubes)에 대해서는 흔히 “고장안전 (safe failure)”이라고 하는 수명말기 요건이 반

드시 지정되어야 한다. 이 요건은 기체방전관이 특정 조건에서 단락되어 항상 장치를 보호하게 하며 보호기를 서비스 선로에서 제외하여 최종적인 고장을 경고할 것을 지정한다. 이는 그 기법을 “공급전원의 크로바링(crowbaring)”이라고 일컫는 전력업계에도 해당한다. 기존 TVSS 요소들의 고장모드는 개방회로를 지향하도록 설계되어왔다. 일반적으로 퓨즈는 불리한 조건에서 소자를 회로와 분리시키는 데 이용된다. 다시 말해서, 보호기가 크게 손상되는 것을 방지하기 위해서 과전압보호소자를 공급전원으로부터 분리시켜야만 할 상황이 있다는 것이다. 보호기가, 퓨즈를 개방하여 그럭저럭 자체를 보호하였다는 것만으로, TVSS로 보호되어야 할 부하가 보호되지 않고 문제(전원을 통해서 들어오는 고장)를 처리하도록 내버려두는 것은 이상하게 보인다. 달리 가능한 유일한 이유는 TVSS가 매우 취약하여 고장을 일으킬 가능성이 높으므로 분리 소자를 한 요건으로 이용한다는 것이다. 이 또한 부하가 보호받지 못하는 상태로 사용될 수 있음을 인정하는 셈이다.

더욱이, 퓨즈의 동작 자체가 퓨즈의 입력 측과 퓨즈가 보호하고 있는 SPD로부터 떨어진 곳의 과도전압 상승 원인이 된다는 것이 입증될 수도 있다.

공급전원을 크로바링(전압원을 단락시켜 하류측 회로를 과전압으로부터 보호)하는 소자는 이를 통해서 순환하는 전류는 높을 수 있지만 소자 양단의 전압은 매우 낮은 수준으로 떨어진다. 그래도 소자는 고장을 일으킬 수 있지만 그 경우는 고장이 나도 안전하다. 그런 소자는 높은 예상 전류를 크로바링하여 수백 암페어 단위의 선로 퓨즈를 안전하게 개방할 수 있어야 할 것이다. 또 그런 소자는 선로 공급전원의 불필요한 트림을 피하기 위해서 과전류 소자들의 신뢰성을 크게 개선해야 할 것이다. 이 소자의 신뢰성을 향상시키기 위해서 과도현상과 전압상승(swells)으로부터 에너지를 분산하는 소자의 능력은 앞에서 언급한 재래식 TVSS 소자들로 얻을 수 있는 것보다 훨씬 높아야 한다.

### 2.1.6 발화

전술한 바와 같이 배리스터의 수명말기 고장은 아크 발생이나 소손일 수 있다. UL 1449 규격의 개정판들은 TVSS 소자들의 비정상적인 고장모드를 찾기 위한 시험기능의 설치를 시도해왔다. 특히 배리스터 양단의 전압을 정상적인 사용수준의 2배로 설정하고 그 수준에서 7시간 동안 유지하는 시험기능을 설치하였다. 그 시험의 목적은 TVSS의 고장모드를 관측하여 이 지속적인 과전압 때문에 발화하거나 연기가 발생하지 않는지 확인하는 데 있었다. TVSS 업체는 이 시험을 실시하여 이 2배의 전압이 발생할 수 있는 실제상황을 찾아낸 후 향상된 중립적 계획안을 고안해내었다. 몇몇 제조사들은 더 높은 전압의 소자에 낮은 전압의 소자로 라벨을 붙여 (예를 들면, 240V 소자에 120V 라벨을 붙여) 개정된 UL 규격을 그럭저럭 통과하기도 하였다. 시험을 시행할 때 소자는 전류를 흘리지 않아서 에너지를 발산하지 않으므로 시험을 통과하게 되어 UL1449 제 2판의 요건들을 충족시킨다.

## 2.2 공학적 교정방법

위의 논의에 기초하여 아래와 같이 신뢰성 있는 서지 보호기의 요건을 요약한다.

- a) 보호기의 상태가 어떠한 부하는 파괴적인 과도현상/서지에 노출되어서는 결코 안 된다.
- b) 보호기는, 예를 들어 연기발생, 발화 또는 폭발 같은 안전 위험요소가 추가되지 않는 방법으로 동작해야 한다.
- c) 보호기의 신뢰성과 수명은 보호되는 장치/부하설비보다 우수해야 한다.
- d) 설치로 인해 지정된 기능을 수행해야 하는 보호기의 능력이 나쁜 영향을 받아서는 안 된다.
- e) 보호기는 모든 비정상적인 선로 상태를 처리하여 언제든지 보호기능을 발휘할 수 있어야 한다.

이들 요건은 아래 “바람직한” 보호기 특성으로 옮겨진다.

- i. 보호기에 가연성 소재(예를 들어, 반도체 포팅 소재)가 사용되어서는 안 된다.
- ii. 분해되지 않고 다량의 에너지를 유지하기 위해서 보호기는 물리적으로 튼튼해야 한다.
- iii. 보호기는 UL 1449 안전규격을 충족시키기 위해서 퓨즈를 추가해서는 안 된다.
- iv. 보호기는 안전한 수명말기 기능, 즉, 단락 기능이 있어야 한다.
- v. 보호기는 “켈빈” 결선법으로 설치할 수 있어야 한다. 그러나 필요할 경우는 “T” 구성으로도 설치될 수 있다.
- vi. 보호기는 수명이 길어야 하며 될 수 있으면 노출된 환경에서 15년 이상이 좋다.
- vii. 보호기는 지나치게 가열되지 않고 흡수된 과도/서지 에너지를 발산할 수 있어야 한다.
- viii. 보호기는 동적 내부저항과 인덕턴스가 최소이어야 한다.

아래 사진에 나타낸 ASCO 서지보호모듈은 위의 요건을 충족시키도록 설계된다.

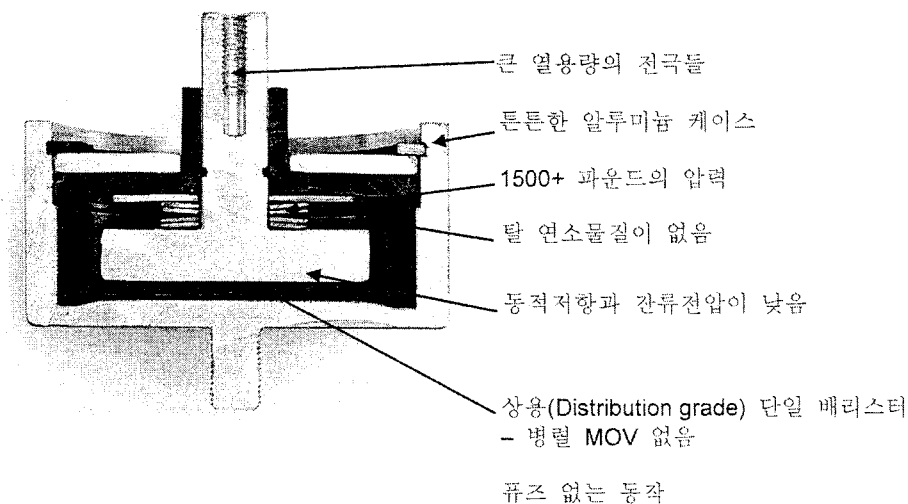
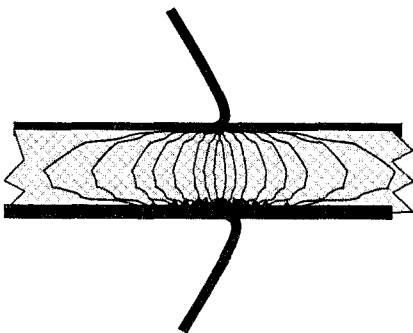


사진 2: 퓨즈리스 서지보호 모듈

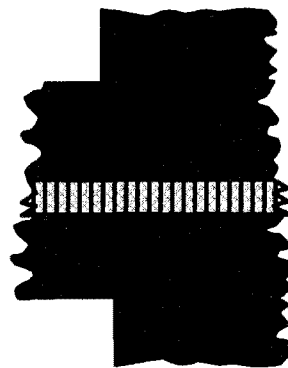
### 3. 결론

보호기는 완전 밀폐구조의 튼튼한 금속케이스에 들어있다. 보호기 내에는 가연성 물질이 사용되지 않는다. 배리스터 원판은 직경이 80mm (ASCO 520 series 모델)이거나 40mm (ASCO 510 series 모델)이며 열용량과 전도성이 높은 두 전극 사이에 위치한다. 원판은 견고하게 고정되지는 않지만 과도현상 중에 발생하는 압전기력과 로렌쯔힘을 이기기 위해서 높은 압력하에서 유지되며 열팽창을 여유가 주어진다. 배리스터 원판에서 발생하는 열은 전극과 소자의 케이스를 통해서 연결 모선/금속물로 효과적으로 발산한다. 사용 금속의 높은 열전도성 때문에 배리스터의 온도상승을 최소한으로 확실히 유지한다. 어떤 폴리우레탄수지 포트형 보호기들은 열분산 기능이 있는 것으로 주장되지만 거기에 사용되는 소재보다 충전되는 수지의 열전도성이 30배 이상 낮을 정도로 열분산이 극히 제한적이다. 이에 비해서, 퓨즈리스 TVSS는 재래식 TVSS 소자들에 비해서 배리스터 웨이퍼로부터 1,000배 이상의 열에너지를 제거하는 능력이 있다. 이 때문에 온도상승이 작게 되어 수명이 훨씬 연장된다. 전극의 히트싱크 작용도 무정형 MOV 재료 내의 사소한 결함에 기인하는 배리스터 표면의 열경사도(heat gradients)를 원만하게 하는 데 기여하므로 열폭주(thermal runaway)가 방지된다.

퓨즈리스 TVSS는 최소한의 인덕턴스가 되게 결선하는 동시에 배리스터 원판의 정전용량을 최대화할 수 있게 설계된다. ASCO의 설계는 동축대칭이 그 특징이다. 그 결과 임피던스가 최소인 소자가 되며 따라서 응답시간이 최소가 된다. 배리스터를 통하는 전류가 평면상에서 평행으로 (균일하게) 흘러 전류 '호강'이 발생하지 않을 것을 보장하는 데는 전극의 두께도 중요한 역할을 한다. 가는 인입선과 더욱 가는 전극들을 사용하는 재래식 배리스터의 경우 전류 경로가 결코 평행이 되지 않으므로 호강이 발생하여 소자의 서지 용량이 감소하며 과열부가 생겨서 서지 상태에서 결국은 고장에 이른다. 그림 2는 이런 관계를 예시한다.



재래식 배리스터 단면의 불균일한 전류



전류 경로가 평행한  
퓨즈리스TVSS 배리스터

그림 2: 재래식 배리스터와 퓨즈리스 TVSS 모듈방식의 전류분포 비교

전극 소재가 불충분할 때 배리스터 원판 안에 전류가 균일하게 분포되지 않으므로 전류 호강이 생긴다. 개별 전류 선들의 경로길이는 변화가 심해서 아래와 같은 세 가지 결과를 초래하게 된다는 것도 알 수 있다.

- i. 소자의 바깥쪽 가장자리를 향하는 경로의 저항이 더 높아 그쪽으로는 전류가 덜 흐른다.
- ii. 비교적 긴 경로들을 통해서 이동하는 전류의 이동시간이 더 길어진다.

그 결과 소자의 용량이 그 소재의 기대 용량에 미치지 못하며 배리스터의 전체부피가 모두 사용되지 않으므로 전류밀도가 증가하여 클램핑 전압이 높아지며 선택적 경로들이 형성되어 결국 고장에 이른다.

퓨즈리스 TVSS 소자는 모든 경로길이를 사실상 같게 하고 소재의 도전성을 충분히 높게 하여 배리스터 슬라이스 내의 전류흐름을 평행하게 하여 이를 극복한다. 그 결과 모든 주파수대에서 모든 배리스터 소재를 균일하게 이용하는 소자가 된다.

아래 표는 퓨즈리스 TVSS 써지 모듈 설계의 특징과 장점을 요약한 것이다.

퓨즈리스TVSS 특징	장점
튼튼한 금속케이스	발화, 발연 또는 폭발이 없음 - 배리스터의 열과 서지에너지를 효과적으로 처리하고 제거하여 배리스터의 사용수명을 연장하며 에너지 처리 능력이 높음
단일 배리스터 설계	다수의 작은 MOV들간의 동일한 전류배분에 의존하지 않음 - 재래식 설계의 단점을 제거
상용 배리스터	MOV의 대형화 - 고품질의 소재 - 동질성 웨이퍼 - 비교적 높은 에너지의 서지를 처리할 수 있음
대형 금속평판 전극	양호한 접촉을 보장 - 낮은 접촉저항 - 배리스터의 효과적인 냉각과 배리스터의 전체 표면적을 최대한 이용
스프링 압축형 배리스터	각종 힘에도 배리스터가 파괴되지 않음 - 양호한 접촉을 보장하며 전극 접속면의 저항이 낮으므로 클램핑 전압이 낮음 - 단락 (이중안전) 수명말기 모드 보장
퓨즈가 없음	낮은 클램핑 볼트 - 인라인 설치 가능 - 인라인으로 결선될 경우 인라인 상태에서 보호기능이 유지됨 - 유지관리가 불필요
원통형 대칭 설계	모듈의 인덕턴스 감소 - 통과전압의 감소 - 연결 리드선의 기계적 강도 증가 - 가능한 범위 내에서 가장 빠른 응답시간을 보장 - 서지 전류가 구석구석 두루 미치지 않으므로 로렌츠힘의 대부분을 피할 수 있음
큰 연결 리드선	200kA까지 전달할 수 있는 회로 안에 ASCO 퓨즈리스모듈을 설치할 수 있으며 단락 상태에서 동작하여 J, T, R, H, 또는 K 등급 퓨즈를 개방한다. 42kA 단락전류로 400A, Square D, LA 프레임 뒤에서 ASCO 모듈들을 시험하였다.
환경적 봉인	성능에 나쁜 영향을 미치지 않고 어떤 곳에선 설치 가능 - 배리스터는 가연성으로 연기가 발생할 수 있으며 발화의 연료로 작용할 수

	있는 중합체 소재로 포팅하지 않는다.
특허권 보유	전세계적인 보호대상
긴 수명	정상적인 환경에서 기대수명이 30년이다.
시험 성능	자체 및 저명한 외부 독립 시험소에서 측정하여 규격명세를 입증 - TVSS의 서지억제기보다 더 엄격한 보조서지억제기 규격명세에 적합하게 시험
UL 인정	OEM 통합용으로 TVSS 박스 바깥에 설치 가능
하자보증	만 15년간의 교체 보증으로 지원

재래식 보호기의 고장에 관한 근본적인 원인을 파악한 후 완전히 새로운 개념에 기초하여 신세대 TSW 장치 ASCO 퓨즈리스 TVSS를 개발해내었다. 지난 5년 동안 이 기술은 세계적으로 엄청나게 많은 애플리케이션에 활용되어 괄목할 만한 성공을 거두었다.

### 참고문헌

- 1) Standler Dr RB, Protection of Electronic Circuits from Over voltages ISBN 0-471-61121-2
- 2) Wiley P., November 1999 Power Quality.
- 3) Martzloff F.D., 1985, Matching Surge Protective Devices to Their Environment, IEEE Transactions