

자유기고문

EMP 방호대책과 소요 기술

이 원 길
(주)피플웍스

I. 서 론

고출력 전자기파(EMP; Electromagnetic Pulse)는 현대사회의 다양한 종류의 정보통신 장비와 이들 장비를 통해 상호 연동 운용되고 있는 체계를 손상시킬 수 있다. 이들 장비 및 체계의 손상은 사회 전반에 걸쳐 극심한 혼란을 야기시킬 수 있으며, 국가 안전시스템 전반으로 과급되어 막대한 피해를 끼칠 수 있다. 미국, 영국, 독일, 일본 등 선진국들은 EMP 방호대책에 관련된 기술 기준을 마련하고, 다양한 가이드라인과 실무 매뉴얼을 작성하여 대비하고 있다. 우리나라에서도 근래에 선진국의 EMP탄 개발^[1]과 북한의 핵개발에 따른 EMP 위협을 심각하게 인식하고 EMP 방호시설 구축에 많은 힘을 쏟고 있으나, 관련 기술의 미흡과 방호장치의 국산화 미비, 일부 시공업체의 무리한 설계 등에 따라 EMP 방호시설 구축에 과도한 비용이 소요되는 등 어려움을 겪고 있다.

최근 언론 보도에 의하면 현재 우리군의 주요시설 중 EMP 방호시설이 필요한 곳이 220여 곳이나 되지만, 현재 7곳만 방호능력을 보유했거나 건설 중인 것으로 알려지고 있다.^[2] 본 논문은 향후 국내에서 추진될 EMP 방호사업을 보다 체계적이고 경제적으로 관리하는 데 조금이라도 도움이 되기를 바라는 마음에서 선진국에서 운용하고 있는 EMP 방호대책에 관련된 기술을 소개하고자 한다.

1-1 EMP 방호대책의 필요성

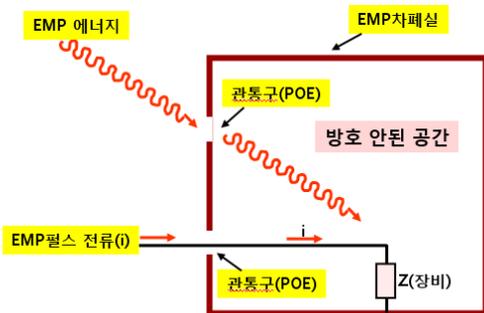
최근 전기·전자산업과 정보통신 기술의 발달에 따라 디지털 회로들이 소형화·집적화 되고, 동작 클럭 속도가 빨라지고 있으며, 전자 장비들이 고감도의 특성을 보유하고 있기 때문에 고출력 전자기파의 환경에 놓이게 되면 전자부품이 손상되거나 장비의 성능 및 기능에 장애가 발생하게 된다. 미국은 1962년 7월 9일 하와이 군도 상공에서 실시한 핵실험 결과에 따라 고고도 핵폭발에 따른 고출력 전자기파(HEMP; High-Altitude Electromagnetic Pulse) 방출의 현상과 이 고출력 전자기파에 의한 전자 장비들의 피해 상황을 알게 되었다. 이로부터 EMP 방호대책의 필요성을 깨닫고, 그 동안 효과적인 방호대책과 기술을 연구해 왔으며, 이 기술을 군사시설의 EMP 방호사업에 활용하고 있다. 그 대표적인 적용 사례로 미군 C⁴I체계(Command, Control, Communication, Computer and Information)의 EMP 방호시설 건설에 MIL-STD-188-125^[3]을 사용하고 있다. 본 논문에서는 이 MIL-STD-188-125에서 언급된 내용을 중심으로 EMP 방호 설계기술과 적용사례를 제시하고자 한다.

II. EMP 방호시설 설계기술

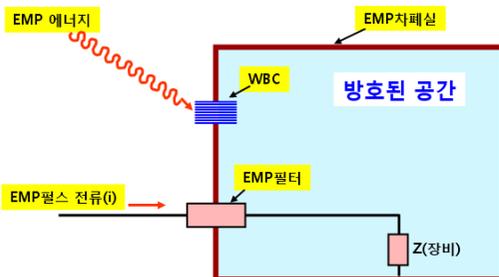
민감한 전자 장비를 고출력 전자기파로부터 보호하기 위해서는 고출력 전자기파를 막을 수 있는 차폐실을 만들고, 그 내부에 전자 장비를 설치하면 EMP 방호가 가능하다. 하지만 차폐실 내부의 전자 장비와 차폐실 외부 환경과 연결해야 하는 전원선,

안테나선 등과 차폐실의 통풍관, 배수관 등이 있어야 하기 때문에 이 연결선과 관들을 통해 [그림 1]과 같이 EMP 에너지가 유입된다. 이를 차단하기 위해 [그림 2]와 같이 전원선, 신호선 등에 EMP 필터를 사용하고, 통풍관, 배수관 등은 도파관 차단주파수 원리를 이용한 WBC(Waveguide-Below-Cutoff) 기술을 적용해야 한다.

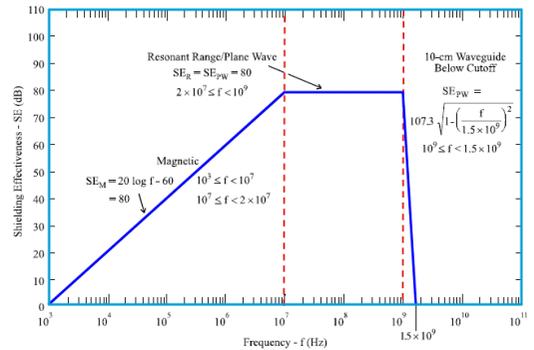
EMP 에너지 차단을 위해 MIL-STD-188-125에서 제시하는 핵심적인 방호대상은 차폐실과 차폐실 내로 연결되는 각종 POE(Points-of-Entry)들이다. 이 POE에는 차폐실의 출입문, 에어컨용 통풍관, 가스관, 수도배관 등과 전원선, 신호선, 안테나선 등 각종 도체선들이 있다. 이제부터 EMP 방호시설 건설에 필요한 차폐실과 각종 POE의 설계기술에 대해 설명하고자 한다.



[그림 1] 방호 안 된 공간



[그림 2] 방호된 공간



[그림 3] 차폐 요구 성능

2-1 EMP 차폐실 설계기술

EMP 차폐실은 고출력 전자기파로부터 전자 장비를 보호할 수 있는 밀폐된 도체의 격실로 구성되며, MIL-STD-188-125에서 요구하는 차폐 성능은 [그림 3]과 같다. 이 요구 성능을 만족시키는 EMP 차폐실 설계/제작에 필요한 기법을 제시한다.

2-1-1 EMP차폐판 선정

- 차폐판 두께는 통상 1.5~6.5 mm 두께의 철판을 사용한다. 얇은 철판의 가격은 저렴하나 용접이나 브레이징 작업에는 두꺼운 철판이 용이하고, 기계적으로 적당한 강도와 견고함을 유지할 수 있다. 또한 차폐판의 면적을 가능한 크게 설계하면 용접이나 브레이징 작업을 줄일 수 있다.

- 차폐판은 주로 철판이나 구리판을 사용하며, 차폐판에서 부식되어서는 안 되는 부위가 있다면 스테인레스강을 사용한다.

- 차폐판의 재질은 차폐판에 부착될 POE의 재질과 Galvanic corrosion이 발생되지 않도록 선정해야 한다.

2-1-2 차폐판 연결방법

- 차폐실을 제작하기 위해 차폐판을 연결시키는

방법에는 리벳팅 등을 사용하는 방법과 용접으로 결합시키는 방법이 있다. 일반적으로 용접 방법이 보다 신뢰성이 높고, 정비 유지 면에서 정비 비용이 저렴하기 때문에 이 방법을 제안한다.

- 용접기술이 차폐실의 차폐 성능과 밀접한 관계가 있으므로 S9074-AQ-GIB-010/248^[4]의 요구사항을 만족하는 고도의 숙련된 용접기술자와 제시된 용접절차에 따라 작업해야 하며, 용접 시 열에 의한 차폐판의 변형 등을 주의하여야 한다.

2-1-3 차폐실 제작

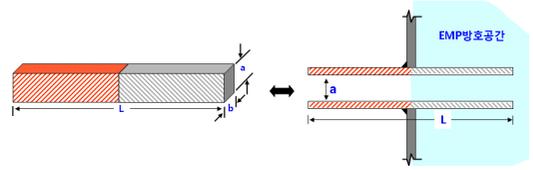
- 차폐판의 면적이 클수록 용접 길이를 줄일 수 있으므로 가능한 큰 차폐판을 선정한다.
- 용접이나 브레이징이 용이한 재질을 선정하고, 차폐실 조립 형태를 설계한다.
- 용접의 품질을 높이기 위해 공장에서 작업 가능한 차폐판 연결을 먼저 수행한 뒤 현장에서 용접을 통한 조립을 실시한다.
- 열에 의한 차폐판의 팽창/수축에 대한 대책을 설계 시 작성하고, 자동 용접이나 브레이징이 가능한지를 검토한 후 가능하면 이를 이용한다.

2-2 EMP 차폐실 출입문 설계기술

EMP 차폐실에는 사람의 출입이나 물건을 나르기 위해 출입문이 필요하며, 이 출입문을 통해 차폐실 외부의 EMP 에너지가 차폐실내로 침투할 수 있다. 이를 방호하기 위해 출입문이 닫혔을 때는 차폐판과 동일한 차폐 성능을 유지해야 하며, 출입문이 열렸을 때 이 성능을 유지해야 한다. 문이 열렸을 때 이 차폐 성능을 유지하기 위해서 WBC(Waveguide-Below-Cutoff) 원리를 사용한다.

2-2-1 WBC(Waveguide-Below-Cutoff) 원리

도파관 이론에 의거 도파관을 통과할 수 있는 주파수는 도파관의 내부 크기에 의해 결정되며, 도파



[그림 4] Waveguide-Below-Cutoff

관 내부 크기에 의해 정해지는 최저 차단주파수 (f_c) 보다 낮은 주파수는 도파관 통과 시 감쇠현상이 발생한다. 도파관의 최저 차단주파수를 구해 보면 다음과 같다.

[그림 4]와 같이 공기로 채워진 사각형 도파관 내부의 크기가 $a \geq b$ 일 때 최저 차단주파수(f_c)는

$$f_c = \frac{c}{2a} = \frac{3 \times 10^8}{2a} \text{ Hz} \quad (1)$$

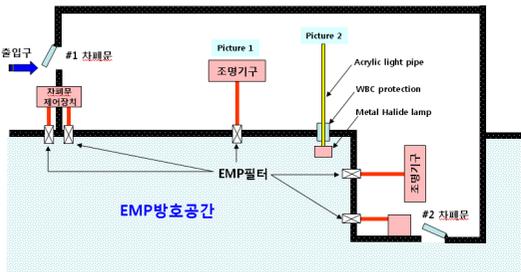
여기서 c 는 빛의 속도이며, a 값의 단위는 m이다.

f_c 보다 낮은 주파수에 대한 감쇠량^[5]은 아래 식과 같다.

$$A = 27.3 \frac{L}{a} \sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_c}\right)^2} \text{ dB} \quad (2)$$

2-2-2 출입용 차폐문 설계

MIL-STD-188-125에서 요구하는 출입문의 높이는 2.44 m이고, 차폐 성능은 10 MHz~1 GHz에서 80 dB을 유지해야 한다. 이 요구사항을 만족하는 차폐문의 도파관의 길이는 도파관의 대각선 길이의 5배를 원하므로 출입문 높이에 대한 도파관 길이는 5배 이상이 되어야 하며, 최저 차단주파수 f_c 는 상기 공식에 의하면 61 MHz이고, 80 dB의 감쇠효과를 내려면 EMP 인입주파수가 49.8 MHz이하일 때 가능하다. 따라서 49.8 MHz 이상의 주파수일 때는 WBC에 의해서만 80 dB의 감쇠를 달성할 수 없기 때문에 차



[그림 5] 출입문 내부 배치도

폐문을 이용한 차폐가 필요하다. 차폐문에 의한 차폐는 인원 출입 또는 장비 반출입 시에도 항상 차폐가 되어 있어야 하므로 [그림 5]에서와 같이 두 개의 차폐문(#1, #2)이 필요하며, 두 개의 차폐문 중에 하나는 항상 닫혀 있도록 설계되어야 한다.

또한 출입통로와 평행하게 전기선, 파이프 또는 도선이 지나가면 WBC 특성을 유지할 수 없으므로 이들은 상기 그림과 같이 출입통로와 직각방향으로 설치하여야 하고, 모든 전기선은 금속배관 속에 설치되어야 한다.

출입통로에 설치될 조명기구 설치에는 아래와 같이 두 가지 방법이 있다.

- 방법 1: 전원선은 EMP 필터를 거쳐 조명기구에 연결([그림 5]의 Picture 1 참조)
- 방법 2: EMP 필터를 사용하지 않고 차폐벽을 통해 비도체인 acrylic tube용 파이프 의거해 빛을 보내는 방법이 있다. 이때 조명 파이프는 WBC 방호장치를 통해 차폐벽을 통과한다. ([그림 5]의 Picture 2 참조)

◆ 출입용 차폐문 설계 시 고려사항

- 극심한 온도, 습도, 먼지, 염분 등으로부터 차폐문을 보호할 수 있는 대책 강구
- 차폐문을 쉽게 열고 닫을 수 있도록 차폐문 또는 차폐문 근처에 압축공기 배출구 설치

- 차폐문을 열고 닫을 때 경보가 울리게 하고, 주 운용실에서도 모니터링할 수 있게 하여 출입상황을 항상 파악할 수 있게 설계

- 정상상태에서는 두 개의 차폐문이 동시에 열리고 닫히지 않도록 하고, 비상상태 하에서는 두 개의 차폐문이 동시에 열리고 닫힐 수 있게 설계

- 차폐문의 전기장치가 고장이 날 경우 수동으로 문을 열 수 있도록 설계.

- 아래의 항목을 포함한 차폐문 품질보증 요구 사항 수립

- 수행할 시험항목
- 시험 수행시기 및 방법
- 합격/불합격의 기준
- 시험계획서 및 시험결과보고서에 기술될 자료 내용

- 차폐문 정비/유지를 위해 수리부속품, 시험 및 정비 절차서를 차폐문 공급자가 차폐문 납품 시 제공하도록 명시.

2-3 Mechanical POE 설계기술

EMP 차폐실에서 사용하는 가스, 유류, 물, 냉난방용 공기 등은 파이프나 통풍관에 의해 전달된다. 이 파이프나 통풍관이 차폐벽을 관통하는 점을 Mechanical POE라 하며, 이들 파이프나 통풍관을 통해 침투하는 EMP 에너지를 차단하기 위해 WBC의 방호원리를 활용한 WBC 장치를 사용한다. 이 WBC 장치는 일반적으로 금속성 파이프이며, 파이프의 내경(D)은 10 cm 이내이고, 길이는 내경의 5배 이상이어야 한다. 또한 파이프가 아니고 사각형의 금속성 관일 때는 긴 변의 길이가 10 cm 이내이고, 길이는 대각선의 5배 이상이어야 한다. 파이프와 관은 차폐벽을 관통하는 지점에서 완전히 관 둘레를 따라 차폐판과 용접되어야 하며, 비도체의 관은 EMP 방호가 안되므로 차폐벽을 통과할 수 없다.

MIL-STD-188-125의 차폐 요구 성능에 의거, 원통

형 파이프의 차단주파수 f_c 는 1.5 GHz 이상이어야 하며, 감쇠량은 아래 식에 의해 구한다.

$$A = 30 \frac{L}{D} \sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_c}\right)^2} \text{ dB} \quad (3)$$

만약 원통형 파이프나 관에 흐르는 유체가 공기가 아니고, 비유전율 상수가 ϵ_r 일 때의 차단주파수 f_c 와 비유전율 상수와의 관계는 아래와 같다. (c 는 빛의 속도)

$$f_c = \frac{0.59c}{D\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

2-3-1 파이프 POE

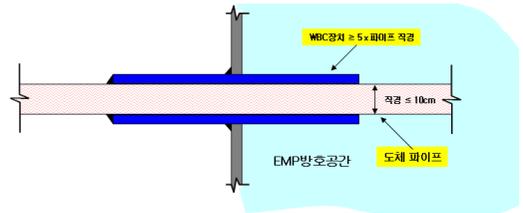
파이프 POE는 주로 청수, 보일러의 연료유, 압축 공기 공급선 등에 사용되며, EMP 방호는 WBC 장치를 사용하기 때문에 파이프의 재질은 도체라야 한다. 만약 도체가 아니면 차폐벽을 통과하는 부분은 도체로 바꾸어야 한다.

◆ 파이프 POE 설계 시 고려사항

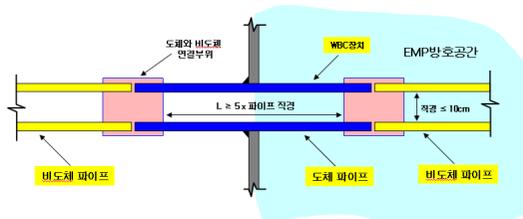
- 사용할 장비에 맞는 파이프POE의 설계
- WBC 장치가 도체일 경우, [그림 6]과 같이 도체 파이프의 내구경 최대치가 10 cm 이내이고, 길이는 내구경의 5배 이상으로 설계한다.

<표 1> 비유전율 상수

액체종류	ϵ_r	액체종류	ϵ_r
Benzene	2.3	Refrigerant 12	2.1
Ethanol	24.0	Transformer oil	2.2
Ethylene glycol	37.0	Water	78.0
Octane	1.9		



[그림 6] WBC 장치가 도체일 경우



[그림 7] WBC 장치가 비도체일 경우

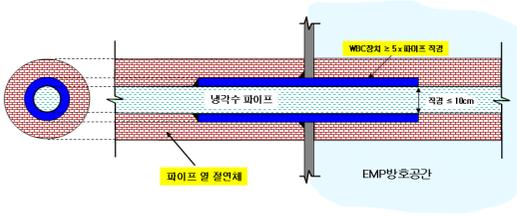
- WBC 장치가 비도체 파이프일 경우는 [그림 7]과 같이 차폐벽 통과부분은 도체로 바꾸어야 한다.
 - 차폐벽에 설치되는 파이프 POE의 사용 개수를 가능한 줄이고, POE 설치 위치를 가장 적합한 곳에 선정해야 한다.

2-3-1-1 냉각수용 파이프 POE

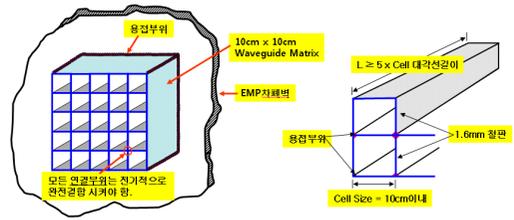
냉각수용 파이프는 주위와의 온도차이로 인해 파이프 주위에 습기가 응결되어 쉽게 부식될 수 있으므로 파이프 주위를 [그림 8]과 같이 열 절연체로 감싸야 한다.

2-3-1-2 동(銅) 파이프 POE

동 파이프를 사용하는 장비가 있다면 동 파이프가 차폐벽을 통과할 때 철의 재질인 WBC 장치와 연결되어야 한다. 이 경우 철과 동(銅)사이에서 Galvanic corrosion이 발생하므로 철과 동(銅) 파이프 사이에 유전체 파이프를 삽입하거나 동, 황동, 철의 순서로 연결하여 Galvanic corrosion을 줄일 수 있도록 해야



[그림 8] 냉각수 파이프용 WBC 장치



[그림 10] 도파관 매트릭스 구성도

한다. 이들의 연결방법은 앞에 제시한 비도체 파이프의 연결도([그림 7])와 유사하다.

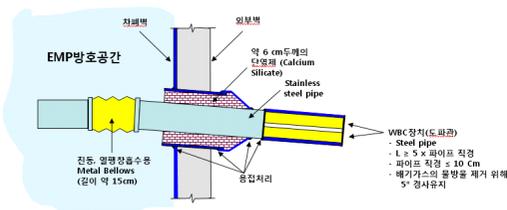
2-3-1-3 배기가스관 POE

발전기나 보일러의 배기가스관이 차폐벽을 통과할 때는 발전기의 진동과 열로 인한 관 팽창과 진동을 방지하기 위해 [그림 9]와 같이 metal bellows를 사용하고, 배기가스관 내에서 응결되는 물을 제거하기 위해 관을 아래로 약 5° 정도 기울게 설계한다.

2-3-2 냉난방 및 환기장치용 POE

냉난방 및 환기장치용 POE는 크기가 통상 10 cm를 초과하므로 WBC 원리를 적용하기 위해 10 cm 이하의 작은 어레이를 구성하도록 설계한다. 작은 어레이를 구성하는 방법에는 10 cm 이하의 작은 관을 용접하여 도파관 매트릭스로 POE 장치를 만드는 법과 허니컴을 사용하는 방법이 있다.

2-3-2-1 도파관 매트릭스



[그림 9] 배기가스관의 WBC 장치

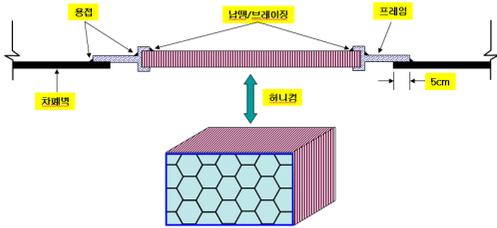
도파관 매트릭스는 [그림 10]과 같이 한 변이 10 cm 이하의 금속판을 이용하여 정사각형 매트릭스를 구성하는 방법으로 금속판이 서로 만나는 곳은 용접하여 매트릭스를 제작한다. 또 다른 방식은 한 변이 10 cm 이하의 사각형의 파이프를 용접하여 매트릭스로 사용하며, 파이프와 파이프 사이는 용접을 한다.

2-3-2-2 허니컴

상용 구매가 가능한 허니컴 어레이는 cell 직경이 3.2~6.4 mm이며, 직경이 작기 때문에 WBC 어레이의 길이는 5 cm 부근이다. 허니컴은 상용 구매로 쉽게 구입할 수 있어 작업이 용이하나, 아래와 같은 단점을 가지고 있기 때문에 주위 여건으로 인해 불가피할 경우에만 사용해야 한다.

- 1) 허니컴의 cell 크기가 작기 때문에 먼지가 쉽게 막혀 자주 청소가 요구되며, 단위면적당 흘러가는 유속을 유지하기 위해서는 보내는 압력을 더 높게 해야 한다(별도 언급이 없으면 공기속도가 305 m/min일 때 압력 강하가 3.4 g/cm²를 넘지 않아야 한다).
- 2) 허니컴은 외부 사고로 인한 충격 등으로 손상을 받기 쉬우며, 용접할 때 매우 조심해야 한다.
- 3) 허니컴이 다른 금속과 접촉 시 Galvanic corrosion이 발생할 수 있으며, 또한 허니컴에 문제가 생기면 수리가 어렵기 때문에 전체를 교체해야 한다.

허니컴의 크기는 공기 흐름과 허니컴 삽입으로



[그림 11] 허니컴 설치 개념도

인한 압력 강하의 정도에 따라 결정하며, 설치방법은 [그림 11]의 설치개념도를 참조하기 바란다.

2-4 Electrical POE 설계기술

Electrical POE는 외부의 전원선, 안테나선, 신호선 등이 EMP 차폐벽을 통해서 차폐실 내의 장비와 연결되는 POE로서 설계 시 POE 개수를 줄이도록 최대한 노력해야 한다. POE의 개수를 줄이면 POE 방호장치인 EMP 필터를 줄일 수 있고, 정비/유지비용도 줄일 수 있다. POE 개수를 줄이기 위해 외부의 전원선을 모터와 발전기로 대체하는 방안과 전화선, 신호선, 제어선의 도선 대신에 광섬유선을 사용하는 방안을 검토해야 한다.

Electrical POE에 설치되는 EMP 방호장치는 MIL-STD-188-125에서 제시된 규격을 만족시키는 EMP 필터(ESA+필터)를 사용한다.

2-4-1 EMP 필터(ESA+필터)

2-4-1-1 ESA(Electronic Surge Arresters)

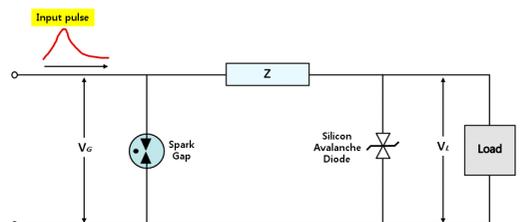
EMP 필터에 사용되는 ESA의 역할은 전자 장비에 가해지는 고출력 전자기파인 EMP로부터 장비를 보호하기 위해 사용된다. 보호방법에는 EMP를 접지시키는 short-circuit 장치(crowbar)와 펄스를 일정 한도 이내로 제한하는 voltage-clamping 장치(clamp)가 있는데, 만약 한쪽의 장치만으로도 EMP 방호성능을

충족시키기 어려울 때는 두 장치의 소자를 서로 조합하여 사용한다. [그림 12]는 두 장치의 소자를 조합하여 사용하는 방법을 제시하고 있으며, 이들의 동작원리는 다음과 같다.

EMP가 전원선을 타고 회로에 도달하면 펄스의 최초 상승기간에는 spark gap(crowbar)의 반응시간 지연관계로 spark gap을 통해 전류가 흐르지 않고, 임피던스 Z를 통해 전류가 흐른다. 이 전류는 diode (clamp)와 load의 병렬회로에 흐르고, Load에서 발생된 전압(V_L)이 diode의 clamping voltage까지 증가되면 diode가 도통되어 V_L 의 값이 diode의 clamping voltage를 유지한다.

Spark gap 양단에 걸리는 전압(V_G)는 임피던스(Z)에 걸리는 전압에 diode의 clamping voltage의 합과 같다. EMP의 전류파형에 해당되는 주파수로 인해 임피던스(Z)가 높아진다면 V_G 값이 높아져서 spark gap이 도통(fire)하게 되고, 펄스 전류는 spark gap을 통해 접지로 흐르게 되면서 diode의 도통은 중단된다.

예를 들면 diode의 clamping voltage를 500 V, spark gap의 sparkover voltage가 2,000 V이면, 임피던스(Z) 양단에 걸리는 전압은 1,500 V가 되어야 한다. 이 1,500 V는 펄스 전류의 상승률과 크기에 관계가 있으며, Ldi/dt 에 의거 발생된다. 따라서 적합한 ESA 선정 및 방호성능 시험을 위해 펄스 전류의 상승률과 크기가 반드시 정의되어야 한다. MIL-STD-188-125의 Appendix B에 시험에 적용할 펄스 파형 자료가 제시되어 있다.



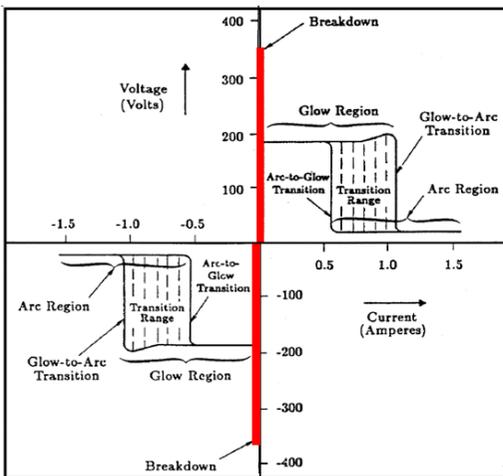
[그림 12] ESA 회로도

2-4-1-1-1 Short-circuit 장치(Crowbar)

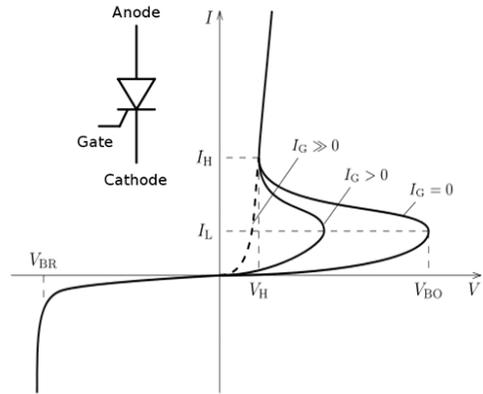
이 장치는 밀봉된 tube내에 불활성 기체를 넣고, 두 개의 전극 사이에 가해지는 전압을 점점 증가시켜 breakdown 전압에 이르면 gas tube의 임피던스는 [그림 13]과 같이 high 임피던스에서 low 임피던스로 급격히 변한다. 즉, 통상 두 전극 사이에 high 임피던스가 걸리다가 breakdown 전압 이상의 EMP가 입력되면 두 전극 사이에 아크가 발생되면서 임피던스가 낮아져서 펄스 전류를 접지로 흘려가게 한다.

Gas tube와 유사한 특성을 가진 반도체 장치인 Thyristor는 제어단자(G)가 EMP를 감지하여 음극(K)에 전류를 흘리면 양극(A)과 음극(K) 사이를 도통(導通)시킬 수 있는 3단자의 반도체 소자이다. 도통을 정지("off")시키기 위해서는, 양극과 음극 간의 전류를 일정치 이하로 낮출 필요가 있으며, 특히 대전력을 제어할 경우에는 전류 0에서 도통이 정지("off")되기 때문에 transient 차단 특성이 뛰어나다([그림 14] 참조).

Crowbar장치인 gas tube나 diode에서 도통이 일어나면 gas tube는 아크가 지속적으로 발생되며, diode에서는 junction에서 도통 현상이 지속된다. 이런 현



[그림 13] Gas tube의 V-I 특성



[그림 14] Thyristor의 V-I 특성

상을 중단시키기 위해서는 외부회로로 전류를 제어 하든가 강제로 중단시켜야 한다. 그러나 저전력 신호회로에서는 EMP가 지나간 후 전류 흐름을 지속시킬 에너지가 매우 적기 때문에 원상회복은 자연적으로 일어난다.

• Crowbar 선정기준

아크 전압 혹은 반도체의 경우 "on" state 전압은 일반적으로 낮기 때문에 주요 선정기준이 되지 않지만 펄스 전류를 흘릴 수 있는 능력과 sparkover 전압 특성은 주요 선정기준이 된다. 또한 EMP가 지나가고 난 뒤에 원래상태("off"상태)로 되돌아가는 특성과 방호된 장비에 미치는 영향 등도 선정 시 고려해야 된다.

• Crowbar의 장단점

장점은 "off"상태일 때는 전극 간의 낮은 커패시턴스로 인해 높은 임피던스 상태를 유지할 수 있고, "on"상태일 때는 높은 전류가 흐를 수 있다. 단점은 상태가 바뀔 때 높은 di/dt , dv/dt 현상이 발생되고, 반응시간이 느려서 펄스의 leading edge는 Crowbar가 "on"상태 되기 전에 지나갈 수 있다. 그리고 Crowbar를 운용하는 시간이 경과됨에 따라 firing voltage가 달라질 수 있다.

2-4-1-1-2 Voltage-clamping 장치(Clamp)

이 장치에는 기술 적용방법에 따라 두 가지 형태의 clamp가 있는데, 실리콘 다이오드기법(제너 다이오드)과 Metal oxide varistor 기법(MOV)이 있다.

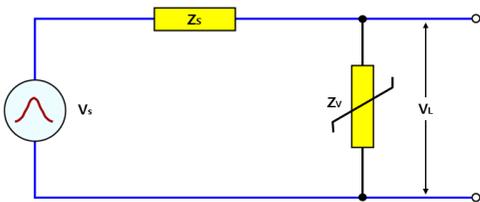
제너 다이오드는 정류기에 많이 사용되고 있는데, EMP 방호용으로 사용되는 다이오드는 정류기에 사용하는 제너 다이오드와 달리 junction 직경이 매우 크게 제작되어 transient에 의해 발생하는 열을 원활히 처리할 수 있게 만들어졌다.

MOV는 정교한 소결(sintering) 과정을 통해 만들어지며, 산화아연의 알맹이로 구성되어 있다. 전기적 특성은 가변 저항의 성질을 가지며 도통은 산화아연 알맹이 사이의 경계면에서 일어난다. 또한 shunt capacitance가 높은 편이며, 비선형적인 conduction mechanism의 특성을 가진다.

Clamp 장치에서 클램핑 동작은 [그림 15]를 기준으로 임피던스간의 관계식을 보면,

$$\frac{V_L}{V_s} = \frac{Z_V}{Z_V + Z_s} \tag{5}$$

Source 임피던스(Z_s)와 Clamp 장치의 가변 임피던스(Z_V)의 조합으로 결정된다. 즉, Z_s 가 매우 낮다면 전압비는 거의 1에 가깝게 되나, 흐르는 전류는 항상 부하 임피던스와 clamp 장치의 임피던스 비율로 나누어진다.



[그림 15] MOV 회로 구성도

- Clamp 선정 기준

Clamp의 주요 선정 기준은 V-I 특성에서 표시되는 clamping 기능과 에너지 소모율이다. 기타 자세한 기술적인 사항은 clamp 제작사로부터 자료를 받아 검토해야 한다. 특히 선정 시 고려해야 할 주요 사항은 아래와 같다.

- 통상적인 전원선의 사용 전압을 기준으로 선정해야 한다. 저전압을 사용할 경우 신뢰성에 치명적일 수 있다.
- Transient에 대한 source 임피던스, 파형, transient의 반복 빈도수 등을 고려한 clamp의 전류처리 능력을 고려하여 선정한다.
- 고전력, 저전력, 신호회로에 연결된 clamp 장치의 배선길이가 최소화된 것을 선정해야 한다.
- Clamp의 장단점

제너 다이오드는 낮은 clamping 전압과 거의 일정한 V-I 특성을 유지하는 장점이 있어 저 전력 전자회로에 많이 사용된다. 이 다이오드는 junction이 얇기 때문에 커패시턴스 값이 매우 적어 저전력, 저주파수 장비에 많이 사용되나 EMP 방호에는 부적합하다.

MOV의 장점은 큰 에너지(kilo-joules 수준)의 수용 능력에 있으며, 도통에 따른 시간 지연이나 gas tube에서 발생된 갑작스런 전류 변화도 거의 없다. 다만 전류 변화에 따른 lead inductance나 회로소자 사이의 mutual coupling에 의한 "overshoot"은 EMP 경우 발생할 수 있으므로 주의해야 한다. MOV의 단점은 상대적으로 높은 커패시턴스를 가지므로 높은 주파수 장비에는 부적합하며, 반복되는 transient에 의해 V-I 특성이 변화된다. 따라서 노후화에 따른 교체가 필요하다.

2-4-1-1-3 ESA 제작기준

ESA 제작기준은 방호성능 면에서 매우 중요한 요소로 다음과 같다.

- (1) EMP의 transient 전류에서 ESA 연결선의 인덕턴스가 정상 동작 여부에 매우 중요한 요소로

작용하기 때문에 연결선의 길이를 최소화해야 한다. 1 cm의 ESA 연결선 인덕턴스는 약 10 nH 이고, 이것은 ESA의 임피던스를 높이게 된다.

- (2) Crowbar type의 ESA는 빠른 turn-on 동작으로 인해 고주파 성분이 발생하게 되므로 필터 앞단에 ESA를 설치해야 한다. 이 경우 ESA는 과전압으로부터 필터를 보호하고, 필터는 ESA에서 발생된 고주파성분을 제거할 수 있다.
- (3) ESA 설치 시 정비점검 및 시험을 위해 쉽게 접근할 수 있도록 필요한 공간을 마련해야 한다.

24-1-2 필터

필터의 기능은 원하는 주파수 대역의 신호나 전류는 부하로 통과시키고, 원하지 않는 주파수 대역은 접지시키거나 source로 돌려보낸다. 따라서 EMP나 낙뢰 등의 transients 에너지는 필터를 사용함으로써 많이 줄일 수 있다. 필터는 차폐벽을 통과하는 POE에 설치되며, 전원선, 제어선/신호선, 데이터선 등에 사용될 수 있으며, 침투되는 transients의 고주파수 대역의 신호를 억제하고, 원하는 신호나 전력 주파수는 큰 손실 없이 통과시킨다.

필터의 삽입 손실은 MIL-STD-220^[6]에 의거 입력 임피던스와 출력 임피던스를 각각 50 Ω으로 설정하여 측정하나, 실제 상황에서는 이들 임피던스가 서로 다를 수 있고, 이에 따라 필터 특성이 달라질 수 있으므로 필터설계자는 이 점을 고려하여 필터 특성을 제시해야 한다.

필터 설계자는 입/출력 임피던스와 필터 형태에 대해 충분히 검토해야 한다. 즉, 입력측 또는 출력측의 임피던스 불일치는 필터 특성에 매우 민감하기 때문에 이를 보완할 수 있는 필터 형태를 선정해야 한다. T-section 필터는 입력측의 인덕턴스 소자로 인하여 아크 발생 우려가 있고, Butterworth와 같은 multi-section 필터는 약간의 임피던스 조정이 가능하므로 바람직하다.

24-1-3 EMP 필터(필터+ESA)시험 항목

24-1-3-1 시험요구사항

EMP 필터는 MIL-STD-188-125에 제시된 transient 억제/감쇠 요구사항을 만족해야 되며, EMP 필터를 POE에 설치 시 EMP 차폐 성능이 저하되어서는 안 된다. 본 항목에서 제시되는 성능 요구사항은 수요자로부터 별도의 요구사항이 없을 시 적용될 수 있는 성능으로 필터 규격작성 시 참고할 수 있는 기술 자료이다.

또한 EMP 필터는 필터와 ESA로 구성되며, EMP 필터 납품업체는 아래 업무를 수행해야 한다.

- 필터와 ESA를 요구 성능에 맞게 제작한 후 공장도 시험을 실시한다.
- 필터와 ESA를 조립하고, 품질검사 및 수락시험을 실시한다.
- 제작사 자료, 도면, 품질확인서, 시험계획 및 결과보고서, 운용 및 정비절차서 등을 제공한다.

(1) 필터 시험항목

- ① EMP 필터는 필터와 ESA로 구성되며, EMP 필터에서 필터 고장 시 필터만 교체할 수 있도록 제작되어야 한다.
- ② 필터의 삽입 손실은 14 kHz~1 GHz에서 80 dB 이상 되어야 한다. (MIL-STD-220C 의거 측정)
- ③ Passband에서 삽입 손실/리플은 최대 ±3 dB 이하여야 한다. (MIL-STD-220C 의거 측정)
- ④ 필터 단자와 접지 간의 절연저항은 1 MΩ 이상이어야 한다. (MIL-STD-220C 의거 측정)
- ⑤ 필터는 정상운용 전압의 2.8배로 1분간 운용해도 견딜 수 있어야 한다. (MIL-STD-220C 의거 측정)
- ⑥ 필터는 정상운용 전류의 140 %에서 15분간, 200 %에서 1분간, 500 %에서 1초간 운용할 수 있어야 한다. (시험 절차는 지면 관계로 생략)

- ⑦ 두 개 이상의 필터가 병렬로 연결되어 운용될 때 부하에 흐르는 전류가 모두 동일해야 한다. (시험 절차는 지면 관계로 생략)
- ⑧ 필터를 회로에 삽입했을 때 필터로 인한 선간 전압의 왜곡이 2.5 % 이내라야 한다. (시험 절차는 지면 관계로 생략)
- ⑨ 필터가 운용온도(-25~+ 65 °C)에서, 최대 부하 전류 및 전압에서 지속적으로 운용 시 125 °C 까지 성능 저하 없이 정상 동작해야 한다. (시험 절차는 지면 관계로 생략)
- ⑩ 필터가 최대 부하 전류와 운용전압 하에서 온도 상승은 25 °C를 초과하지 않아야 된다. (시험 절차는 지면 관계로 생략)
- ⑪ 필터의 수명은 최소한 15년 이상 되도록 설계되어야 한다.

(2) ESA 시험항목

- ① EMP 필터는 필터와 ESA로 구성되며, EMP 필터에서 ESA고장 시 ESA만 교체할 수 있도록 제작되어야 한다.
- ② 1 mA DC 전류를 가하면서 Varistor 전압을 측정하고, spark gap의 DC breakdown 전압을 측정하여 요구사항과 비교한다. (측정절차는 지면관계로 생략)
- ③ ESA의 impulse sparkover 전압이 transient의 전압 상승 속도가 1,000 V/ns 일 때 transient의 양극성 전압에 대해 4,000 V 이내라야 한다. (시험 절차는 지면 관계로 생략)
- ④ ESA의 clamping 전압은 10 kA에서 900 V 이내라야 한다. (시험 절차는 지면 관계로 생략)
- ⑤ ESA는 운용주파수에서 반주기 내에 도통을 중단하고, 원상 복귀되어야 한다. (시험 절차는 지면 관계로 생략)
- ⑥ ESA는 peak 전류 수준에서 $8 \times 20 \mu\text{s}$ 의 single pulse에서도 정상 동작되어야 한다. (여기서 $8 \times$

$20 \mu\text{s}$ 는 peak 전류치의 10~90 % 상승시간이 $8 \mu\text{s}$ 이고, peak 전류치의 36.8 %까지 떨어지는 시간이 $20 \mu\text{s}$ 를 의미한다.)

전원선의 peak 전류는 70 kA보다 높은 수준에서 시험하여야 하며, area lighting이나 HVAC 장비에 대해서는 50 kA보다 높아야 하며, 제어회로(경보기, 표시등, 문 제어기, HVAC 제어기), 전자기 회로 등에는 10 kA보다 높게 시험해야 한다. (시험 절차는 지면 관계로 생략)

- ⑦ ESA는 peak전류가 4 kA이고, 파형이 $50 \text{ ns} \times 500 \text{ ns}$ 인 펄스를 2,000개 이상 받을 때 까지 운용 가능해야 한다. (시험 절차는 지면 관계로 생략)

(3) EMP 필터(ESA+필터) 시험항목

- ① EMP 필터(ESA와 필터의 조립)의 삽입 손실은 필터 규격에 제시된 성능을 만족해야 한다. (시험 절차는 지면 관계로 생략)
- ② EMP 필터(ESA와 필터의 조립)의 필터 단자와 접지 간의 절연 저항은 필터 규격에 제시된 성능을 만족해야 한다. (시험 절차는 지면 관계로 생략)
- ③ EMP 필터(ESA와 필터의 조립)에서 ESA 단자를 분리한 뒤, EMP 필터는 정상운용 전압의 2 배로 1분간 운용해도 성능 감소나 손상 없이 견딜 수 있어야 한다. (시험 절차는 지면 관계로 생략)
- ④ EMP 필터(ESA와 필터의 조립)는 필터 외부온도가 $-25 \sim +65 \text{ }^\circ\text{C}$ 일 때, 정격 전압과 최대 부하 전류로 지속적으로 운용될 수 있어야 한다. (시험 절차는 지면 관계로 생략)
- ⑤ EMP 필터(ESA와 필터의 조립)는 최대 부하 전류와 정격 전압 하에서 가장 뜨거운 소자의 온도상승이 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 를 초과하지 않아야 된다. (시험 절차는 지면 관계로 생략)

- ⑥ EMP 필터(ESA와 필터의 조립)는 MIL-STD-188-125에서 요구한 transient억제 요구사항을 만족해야 한다. (시험 절차는 지면 관계로 생략)
- ⑦ EMP 필터(ESA와 필터의 조립)를 차폐판의 POE에 설치하였을 때 MIL-STD-188-125에서 요구한 차폐 성능의 요구사항을 만족해야 한다. (시험 절차는 지면 관계로 생략)

(4) EMP 필터 조립점검/시험

① 필터의 점검/시험

- 필터는 조립과정에서 생산 공장의 품질 통제 절차를 따라야 한다. 즉, 승인된 도면, 규격 및 시험절차에 따라 높은 품질의 부품과 일 솜씨로 필터를 제작해야 하며, 모든 필터에 대해 필터성능 요구사항을 시험하여 성능을 확인해야 한다.
- 필터 성능시험 시 정부 요원이 입회하여 공장 시험 결과를 확인/서명하며, 계약담당자는 시험 14일 전에 정부 요원에 시험준비 상태를 통보해야 한다.
- 제작업체는 필터에 대한 성능 확인 시험이 성공적으로 수행됐음을 표시하는 시험자료와 성능보증서를 필터 종목 별로 한 건씩 제공해야 한다.

② ESA의 점검/시험

- ESA 조립과정에서 생산공장의 품질 통제 절차를 따라야 한다. 즉, 승인된 도면, 규격 및 시험절차에 따라 고품질의 부품과 일 솜씨로 ESA를 제작해야 하며, 모든 ESA에 대해 ESA 성능 요구사항을 시험하여 성능을 확인해야 한다.
- 제작업체는 ESA에 대한 성능 확인 시험이 성공적으로 수행됐음을 표시하는 시험자료와 성능보증서를 ESA종목 별로 한 건씩 제공해야 한다.

③ EMP 필터(ESA+필터)의 점검/시험

- EMP 필터 성능 시험 시 정부 요원이 입회하여 공장시험 결과를 확인/서명하며, 계약담당자는 시험 14일 전에 정부요원에 시험준비 상태를 통보해야 한다.
- 제작업체는 EMP 필터에 대한 성능 확인 시험이 성공적으로 수행됐음을 표시하는 시험자료와 성능보증서를 EMP 필터 종목 별로 한 건씩 제공해야 한다.

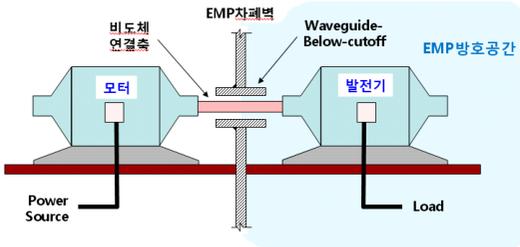
2-4-2 전원선의 격리 장치

EMP 에너지가 유기된 외부 전원선을 EMP 차폐실로부터 격리시키기 위해 사용되는 격리 장치에는 변압기, 모터-발전기, 회로차단기, 퓨즈 등이 사용되고 있다. 여기서 제시하는 전원선 격리 장치는 MIL-STD-188-125의 long pulses에 대한 영향을 차단하는데 주목적을 두고 사용된다. 여러 격리 장치 중 모터-발전기에 의한 격리 장치만 지면 관계상 제시한다. 모터-발전기는 [그림 16]과 같이 외부로부터 인입되는 전원선의 EMP 필터를 대신하여 사용된다.

즉, 모터 부분은 외부로부터 들어오는 전원선이며, 이 전원을 이용하여 모터를 가동하면, 모터축이 차폐실 내부의 발전기축에 연결된다. 모터와 발전기를 연결하는 회전축은 비도체로 제작되고, 이것은 WBC 장치를 통해 모터와 발전기를 연결한다. 따라서 외부 전원선은 전기적 연결 대신에 기계적 연결을 통해 차폐실 내부 전원선에 연결된다.

2-4-2-1 모터-발전기 장치

모터-발전기의 장점은 모터-발전기에 플라이 휠을 사용하면 회전 관성을 이용할 수 있게 되어 순간적인 전원 중단이나 transient가 발생해도 이를 억제할 수 있어 안정적인 전원 공급이 가능하다. 또한 불필요한 전원선의 reactive load를 줄일 수 있고, 전기적인 POE 방호장치보다 성능 저하나 고장에 대한 발



[그림 16] 모터-발전기의 구성도

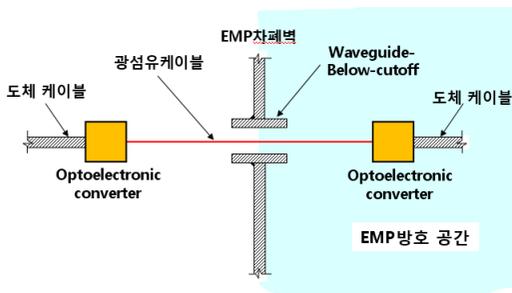
견 및 수정 조치 등이 용이하다.

EMP 필터에 비해 모터-발전기의 단점은 물리적 부피가 크고 최초 투자비용이 크며, 전기적 효율성이 약간 떨어져 운용비가 높을 수 있다. 또한 베어링 마모 등으로 인해 유지비가 높을 수 있다.

이들 요소를 고려하면 모터-발전기는 단지 EMP 방호목적 하나보다 다른 조건, 즉 전원의 안정성이나 다른 목적을 겸하여 사용하기를 제안한다.

24-3 광섬유 케이블 격리 장치

MIL-STD-188-125에서는 모든 전화선 및 데이터선은 EMP 차폐실 외부에서 광섬유 신호로 변환하여 광섬유 케이블로 차폐실에 진입하도록 요구하고 있다. 이 광섬유 신호는 차폐실 내부에서 다시 전기적 신호로 변환해야 한다([그림 17] 참조).



[그림 17] 광섬유 케이블 격리 장치

Optoelectronic converters의 역할은 외부 도체 케이블로부터 전기적 신호를 받아서 광신호로 바꾸어 광

섬유 케이블에 실어주는 것이다. 또한 여러 개의 전기신호들을 다중처리하여 한 개의 광신호로 변환시킨다. 이 변환에는 LED나 레이저 다이오드를 이용한다.

LED는 보통 레이저 다이오드보다 제한된 거리나 제한된 data rate 신호에 사용된다. 즉, LED의 사용거리는 2~3 m에서 2~3 km 정도이고, data rate는 5~200 Mbit/s이다. 따라서 LED는 음성/데이터 신호를 광신호로 변환하는 데 적합하다.

244 POE방호기술 적용

244-1 전원선 방호기술

EMP 방호시설에 인입되는 전원선은 EMP 에너지에 노출되어 있어 전원선에 강한 transient가 유도되어 있으므로 이를 억제, 감쇠, 차단시킬 POE 방호장치가 필요하다. 여기에는 전원선용 EMP 필터를 사용하며, 필터 선정 시 전력효율, 하모닉 주파수 왜곡 등을 고려해야 한다. EMP 필터는 직렬 인덕터와 분로 콘덴서를 사용하여 저지대역에서 높은 삽입 손실을 나타내며, 인덕터와 콘덴서를 사용하는 필터의 자기공진 기본주파수는 3~10 kHz가 된다. 전원선의 전류가 적을 때는 필터의 인덕터를 크게, 콘덴서를 적게 설계하고, 큰 전류가 흐를 때는 반대로 설계한다.

전원선 필터에 사용되는 콘덴서는 수십 암페어의 누설 전류를 흘릴 수 있으며, 누설 전류는 전력효율을 악화시킨다. 따라서 전기설계자는 콘덴서의 누설 전류 한계치를 지정해서 필요시 전력효율을 개선하도록 해야 한다.

전원선 필터는 잘못 선정된 인덕터, 콘덴서, MOV의 영향으로 전원주파수의 하모닉 주파수를 발생시킨다. 이런 문제점을 해결하기 위해 필터 규격에 하모닉 주파수 왜곡의 한계치를 설정하고, 품질검사를 하도록 하고 있다. 또한 여러 개의 필터를 연속적으로 연결하여 사용하면 왜곡현상이 더 악화될 수 있기 때

문에 TEMPEST, EMI용 필터를 EMP 필터에 통합 설계할 것을 권장한다. 그리고 EMP 필터의 ESA는 낙뢰 방지에도 사용될 수 있도록 선정/설계되어야 한다.

2-4-4-2 전화선/데이터선 방호기술

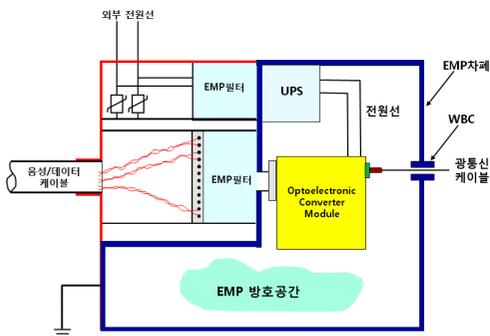
2-4-4-2-1 표준화된 전화선/데이터선

표준화된 전화선/데이터선은 EMP 차폐실 외부에서 광통신으로 교체되어 광통신 케이블로 차폐실 내부에 들어오게 한다. 이렇게 하면 많은 POE 방호장치 대신에 하나의 광통신 케이블과 WBC 장치로 대체할 수 있다.

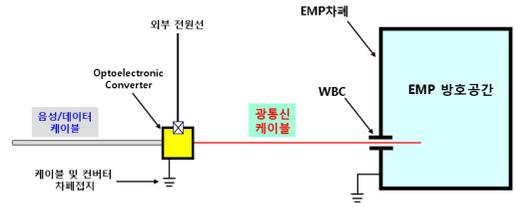
광통신을 위해 음성/데이터의 전기적 신호를 광신호로 변환하는 Optoelectronic Converter가 필요하고, 이를 위한 전원 공급 장치가 필요하다. 만약 음성/데이터가 주요 임무장비에 공급된다면 이 전원 공급 장치는 특별 방호공간 내에 [그림 18]과 같이 설계되어야 하고, 그렇지 않으면 [그림 19]와 같이 EMP 방호 없이 일반 전원으로 Optoelectronic Converter를 운용할 수 있도록 설계한다.

2-4-4-2-2 표준화 안 된 전화선/데이터선

표준화가 안 된 전화선/데이터선은 광통신 케이블로 대체할 수 없기 때문에 EMP 필터를 사용해야 한다. 가능하면 표준화 안 된 전화선/데이터선을 최소



[그림 18] Optoelectronic Converter 전원



[그림 19] Optoelectronic Converter 전원

화 시키도록 노력해야 하며, 설계목표는 20개(10쌍) POE 이내로 한다.

전화기(음성주파수 대역은 3~4 kHz)와 낮은 data rate의 데이터선용 EMP 필터는 Gas tube와 필터를 사용할 수 있다. Gas tube는 전극 간의 용량이 매우 적기 때문에 신호회로에 크게 영향을 주지 않는다. 따라서 HEMP의 short pulse와 intermediate pulse까지 방호할 수 있으나, long pulse는 불가하다. 만약 data rate가 높은 경우 필터링이 어려워지므로 특수 설계가 필요하다. 이 경우 필터는 data signal에 영향을 주지 않기 위해서 common-mode rejection 회로와 limiter 회로를 추가한다. (회로에 대한 세부 내용은 지면 관계상 생략)

2-4-4-3 제어선/신호선 방호기술

제어선과 신호선은 기본적으로 지정한 위치 유지를 위한 기능 즉, 저장연료 현위치와 재공급을 받아야 할 위치를 측정하여 재공급 위치에서 경보신호 발생, 열교환 성능 마라미터, 외부 기상 등에 대한 자료 신호 및 저 전력의 슬레노이드 동작 제어회로 등에 사용된다.

MIL-STD-188-125에서는 가능하면 제어선과 신호선의 POE는 최대한 줄일 것을 요구하며, 만약 사용해야 할 경우는 충분히 transient를 억제할 수 있도록 설계해야 한다. 즉, 90 V 이상에서 동작하는 회로의 경우는 transient의 잔여 전류가 1 A 이내로 억제하고, 90 V 이하의 회로에서는 transient의 최대 잔여 전

류가 0.1 A 이하라야 한다.

제어 및 신호회로는 대부분 저전력 좁은 대역의 아날로그 회로이다. 특히 이들 회로는 길게 계속되는 intermediate 및 late-time 펄스에 노출되지 않기 때문에 gas tube나 MOV를 사용하기에 적합하다.

2-4-4-4 안테나선 방호기술

안테나선은 외부의 안테나와 차폐실 내부의 수신기 또는 송신기와 연결되는 선으로 EMP를 막기 위하여 EMP 필터를 안테나선의 POE에 설치한다.

MIL-STD-188-125에서는 안테나선의 방호는 short pulse에 대해서만 하도록 제시되어 있다. 이는 다른 펄스(intermediate & long pulses)는 안테나선에 적용되지 않는다고 가정했다.

안테나선이 EMP차폐판을 통과하는 지점에서 안테나선의 차폐 도체는 차폐판에 분당하고, 내부의 core wire는 EMP 필터로 방호한다.

2-4-4-1 HF, MF 및 저주파수 안테나선

수신기 안테나에 대한 방호장치가 [그림 20]에 제시되어 있다. 안테나 단자에 나타나는 transient 전압을 제한하기 위해 Balun의 양쪽에 gas tube가 있으며, gas tube가 도통하게 되면 Coaxial 커넥터의 전압은 매우 낮게 감소된다. Gas tube가 도통하기 전에 나타나는 EMP의 short pulse spike는 Balun과 수신기 사이

에 있는 EMP 필터의 대역 통과 필터나 저주파 통과 필터에 의해 억제된다.

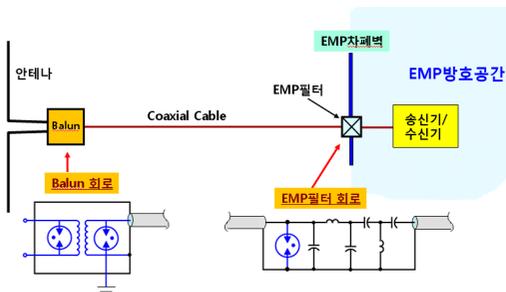
송신기 안테나 및 케이블에 사용되는 EMP 필터는 수신기 안테나에 사용된 것보다 성능이 보강된 EMP 필터를 사용해야 하며, ESA의 도통전압은 송신전압보다 2배 이상 높아야 한다. 예를 들면 송신기가 100 W의 송신출력을 내기 위해서 50 Ω의 송전선로에 흐르는 peak 전압과 전류는 각각 100 V, 2 A이다. 이 경우 ESA의 도통전압은 몇 백 볼트 이상이어야 한다. 따라서 고풍력 송신안테나 케이블에서 MIL-STD-188-125의 잔류 전류 1 A 이하 요구사항을 만족시키기가 어려울 때가 있다. 이때는 송신기와 송전선로를 위해 특별 방호공간을 설치할 필요가 있다. 또한 송신기의 변조방식에 따라 ESA의 특성값을 선정해야 한다.

2-4-4-2 VHF 안테나선

VHF 대역은 30~200 MHz이며, HEMP 스펙트럼에서는 주파수 증가에 따라 에너지 밀도가 감소되는 구간이다. 이 구간에서 HEMP에 의해 발생하는 단락 회로 전류는 30 MHz에서 약 900 A이고, 50 Ω 케이블에 발생하는 transient 전압은 45 kV이다.

VHF 안테나선은 HF 이하의 낮은 주파수 안테나선에 비해 리드 인덕턴스(lead inductance)와 부유 용량 처리에 보다 세심한 주의를 기울여야 한다. 왜냐하면 30 MHz에서 10 pF의 용량성 리액턴스가 500 Ω (50 Ω 케이블의 10배)인 반면, 200 MHz에서는 1.6 pF가 500 Ω이 되므로 매우 적은 커패시턴스를 가진 gas tube도 VHF에서는 ESA로 사용할 수 있다. 또한 30 MHz에서 26 nH의 리드 인덕턴스가 5 Ω (50 Ω 케이블의 1/10배)인 반면, 200 MHz에서는 4 nH가 5 Ω이 된다. (참고로 2.5 cm (1 inch)의 와이어는 약 26 nH 임)

안테나 터미널과 케이블 커넥터에 45 kV transient 전압을 방호하기 위해서는 낮은 커패시턴스와 리드선이 없는 ESA를 안테나 터미널에 설치해야 한다.



[그림 20] HF이하 주파수의 안테나선 방호장치

여기에는 저손실의 coaxial의 ESA가 적합하며, ESA의 도통전압은 최소 송신 안테나선의 사용 전압보다 두 배 이상 되어야 한다.

또한 사용주파수 대역 밖의 HEMP 유도전류를 억제하기 위해 대역 통과 필터를 사용한다. [그림 21]은 TV수상기용 안테나를 표시한다.

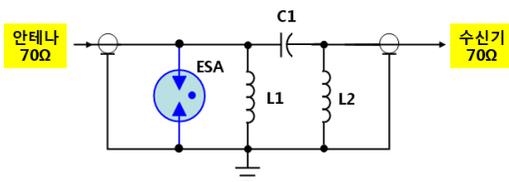
2.4.4.4.3 UHF 안테나선

UHF 주파수 이상에서 HEMP의 강도는 200 MHz 일 때가 가장 높으며, 최고 전류치가 250 A이다. 이 전류가 50 Ω의 안테나 케이블에서 발생하는 peak 전압은 12.5 kV이며, 이 전압은 안테나 터미널과 커넥터를 손상시킬 수 있다. UHF 안테나선을 방호하는 방법은 ESA를 사용하여 line voltage를 낮추고, 필터를 사용하여 통과 대역 밖의 HEMP영향을 억제시킨다. UHF에서 coaxial의 ESA는 통과 대역에서 감쇠량이 적기 때문에 사용하기 적합하며, 필터는 transmission line 부분과 L, C를 결합하여 구성하는 것이 L, C만으로 구성되는 것보다 바람직하다.

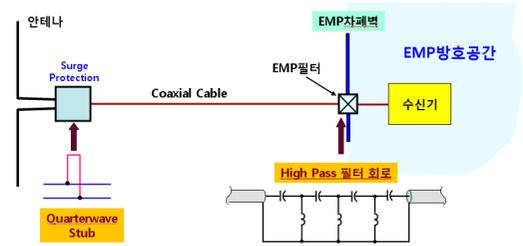
[그림 22]는 TV수상기용 안테나선에 ESA와 대역 통과필터의 EMP 회로를 보여주고 있다.

2.4.4.5 POE 구역 설계

EMP 차폐벽에 설치되는 POE 지점은 다른 차폐부분보다 좀 더 두껍게 제작하고, 차폐판 이음매, 구멍, 갈라진 틈이 없도록 해야 한다. 이는 기계적 강도를 높이고, 많은 외부 전류가 흐르는 이 구역에 추가 차폐를 위한 조치이기도 하다. 또한 차폐실 POE를 통



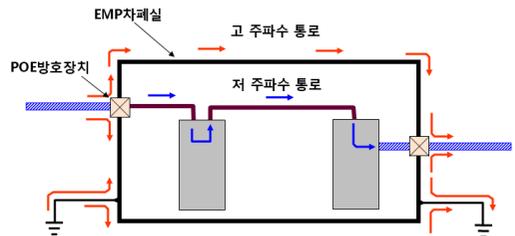
[그림 21] VHF TV수상기 EMP 방호장치



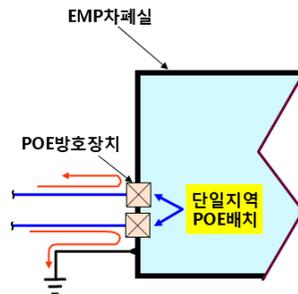
[그림 22] UHF 안테나선 방호장치

해 외부로부터 들어오는 전류는 동일한 POE 구역에서 외부로 나가도록 해야 한다. 만약 외부로부터 들어오는 POE와 외부로 나가는 POE 구역이 동일 구역이 아닐 경우 차폐벽 표면을 따라 전류가 흐르면서 문제를 야기할 수도 있기 때문에 MIL-STD-188-125에서는 두 구역을 10 m이상 이격하지 않도록 요구하고 있다([그림 23], [그림 24] 참조).

[그림 25]는 파이프, 도파관, Coaxial cable 등이 통과하는 POE 구역의 설계 샘플을 보여준다.



[그림 23] POE간 이격 설치(나쁜 배치)



[그림 24] 단일지역의 POE 배치(좋은 배치)

≡ 필자소개 ≡

이 원 길



1975년 8월: 한국과학기술원(KAIST)
전기 및 전자공학과 (공학석사)

1985년 2월: 한국과학기술원(KAIST)
전기 및 전자공학과 (공학박사)

1975년 9월~2006년 1월: 국방과학연
구소 책임연구원

2007년 3월~2010년 2월: 금오공과대

학교 초빙교수

2010년 3월~현재: (주)피플웍스 기술고문(테크노 닥터)

[주 관심분야] 레이더시스템, EMI/EMC, EMP 방호기술