

전기 · 전자장비의 EMI/EMC

박 석 하 <충남대학교 전기공학과>

김 양 모 <충남대학교 전기공학과 교수>

1. 서론

현대문명이 발전하면서 생활수준이 향상됨에 따라 '현대병'이라 불리는 각종 장애가 새롭게 나타나 현대인을 괴롭히고 있지만, 사실 이러한 장애는 새롭게 부각된 것이라기 보다는 과거에도 존재하였으나 사회적으로 크게 대두되지 않았던 경우가 대부분으로 그 중에서도 전자파장애 문제가 그 대표적인 예이다. 전자파장애가 처음 대두된 것은 1930년대부터이며 라디오 방송과 무선통신이 증가되면서 라디오 주파수 대역에서 그 문제가 인식되었으며, 전기·전자장비의 활용이 확대되면서 전자파장애에 대한 관심이 고조되기 시작하였다. 처음에는 「무선 주파수 장애(RFI : Radio Frequency Interference)」라 불리었으나, 2차 대전 이후부터는 넓은 의미의 전자파장애, 60년대부터는 전자파 민감성(EMS : Electro-Magnetic Susceptibility), 이후 전자파 양립성(EMC : Electro-Magnetic Compatibility)이란 용어가 사용되어 왔는데 현대의 전자파장애의 체계는 그림 1과 같다[1, 2].

정보통신, 컴퓨터 및 전기·전자분야에서 장비가 고기능화, 고밀도화, 고속화되어감에 따라 전자파장애 현상은 더욱 복잡한 양상으로 발생되고 있으며, 통신 시스템 사이에서의 잡음의 혼재 및 두절 심지

어 오동작에 이르기까지 그 피해가 나날이 증가하고 있다. 이와 같은 이유로 전자파장애 및 그 대응 방안에 대한 연구가 절실하게 요구되고 있으며 정보통신, 컴퓨터 및 전기·전자분야에서는 제품 설계·개발시 반드시 고려하여야 할 핵심요소가 되었다.

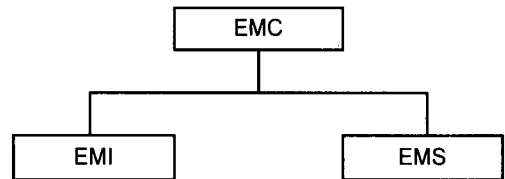


그림 1. 전자파장애 체계

이러한 전자파장애 문제는 개발하고자 하는 제품 자체의 기능 및 성능을 만족시키기 위해서 개발에 덧붙여 까다로울 뿐만 아니라 추가적인 노력이 요구되기 때문에 기술후진국에서는 문제의 해결능력 부족과 원가상승 문제 때문에 그 심각성을 애써 회피하려는 경향이 있어 왔다. 기술선진국에서는 제품의 개발 역사가 길고 오랜 경험과 축적된 기술을 바탕으로 제품설계부터 전자파장애에 대한 대응 방안을 고려하고 있다. 그러나 개발초기부터 이를 고려하지 않는 경우 최종단계에서 전자파장애에 대한 시험을 수행하여야 하기 때문에 문제가 발생할 때마다 전자파장애 문제를

해결할 수 있는 적용기술의 제한을 받음으로써 개발기간과 비용이 오히려 증가되는 경향이 많다.

현재, 선진 각국에서는 전자파장해 문제를 해결하기 위하여 국제규격인 CISPR (Comite International Special Des Perturbations Radioelectriques), 미국의 FCC(Federal Communications Commission), 독일의 VDE(Verband Deutschen Electrotechniker), 일본의 VCCI (Voluntary Control Council for Interference by Data Processing Equipment & Electronic Office Machine), 유럽의 EN(European Norm) 등과 같은 규격을 제정하여 적용하고 있으며, 군수 분야에서는 별도로 정해진 군사규격을 적용하고 있다. 전자파장해에 대한 선진국의 규제 강화는 국제간 무역장벽으로도 활용되고 있으며, 정보통신사회가 점점 확산되고 있는 시점에서 볼 때 전자파장해에 대한 관심이 더욱 커지고 그 문제점을 새롭게 인식하고 그 대책에 대한 연구가 필수적이다[3].

지금까지의 전자파장해 대책은 세심한 계획이나 설계없이 그 때 그 때의 환경에 따라 시행착오적인 실험 방법을 이용하여 왔다. 더구나 이러한 일시적인 대처방안은 때때로 규제 요구사항을 정확하게 충족시킬 수 없을 뿐만 아니라 컨버터 전체의 재설계도 요구하게 되어 제품개발을 어쩔 수 없이 지연시킬 수 있다. 최근 전원장치에 대하여 전자파장해를 이론적으로 해석하고 설계 초기부터 전자파장해 설계를 수행하기 위한 많은 시도가 보고되고 있다. 그러나 이것들은 특수 조건에 맞는 설계이거나 간략화된 스위칭 컨버터에 국한되어 있어 일반적인 전력용 컨버터에 적용하는 것은 아직은 시기상조이다[4].

본 보고에서는 첫째, 전자파장해의 개요에 대하여 논하고, 전도성 잡음의 전달을 두 가지 모드로 분리하여 설명하고 잡음의 결합형태를 기술한다. 둘째, 전자파장해에 대한 세계 각국의 규제규격 및 현황에 대하여 기술한다. 셋째, 실제 전도성 잡음시험시 요구되는 피시험체의 잡음전압 측정단의 일정 임피던스화를 실현하기 위하여 입력전원측과 피시험체 사

이에 설치하는 LISN(Line Impedance Stabilization Network)에 대하여 설명하고 이를 설계한다. 넷째, 전도성 잡음을 저감시키는 대책에 대하여 대표적인 두 가지 예를 들어 논하고자 한다.

2. 전자파장해의 개요

일반적으로 전기·전자 장비의 전자파장해의 발생 원인은 두 가지 요인으로 대별된다. 그 하나는 번개 등의 자연현상에서 유래하는 것과 저항의 열에 의한 잡음이나 반도체 소자로부터 발생하는 진성 잡음 등이 있는데 이를 자연계잡음(Natural noise)이라 한다. 다른 하나는 방전현상을 이용하는 고압기에서 발생하는 잡음이나 전압/전류를 급격하게 전환하는 모터, 스위치 등에 의해 발생하는 잡음인데 이를 인공잡음(Artificial noise)이라 한다[5].

특히 디지털 회로를 비롯한 스위칭 프로세스를 사용하는 전기·전자 장비가 증가함에 따라 이에 따른 인공잡음의 증가가 더욱 더 현저하다. 이 인공잡음은 발생원인이 인위적이기 때문에 근본적으로 억제책을 강구하는 것이 가능하다[6]. 따라서 이를 위해 먼저 잡음의 발생과 그 구조를 분석할 필요가 있다.

2.1 전기·전자 장비의 전자파장해

전자파장해가 발생하는 과정을 분석하면 그 구성 요소는 그림 2와 같이 크게 3가지로 구분되는데, 이 중 한 요소만을 제거하여도 전자파장해는 발생하지 않는 특징을 지니고 있다.

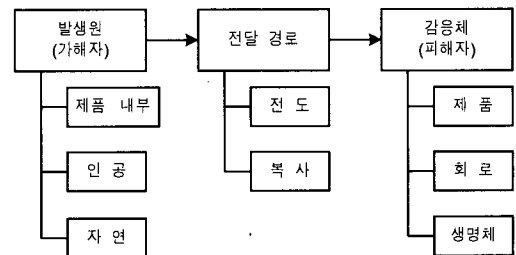


그림 2. EMI의 전달요소

앞서 설명한 인공잡음은 휴대폰, 무전기, 방송 송신기, 레이더 등의 의도적으로 발생시킨 신호가 전자파장애 발생원이 되는 의도적인 잡음과, 자동차 플러그 방전시 잡음, 공장설비, 옥외광고, 완구 및 각종 통신기기에서 발생하는 불요전자파 등 부수적으로 발생하는 비의도적인 잡음으로 구분할 수 있다. 일반적으로 인공잡음은 전주파수 영역에서 존재할 수 있으나 전기·전자 장비의 고밀도화, 소형화 발전추세에 맞춰 고주파 영역에서 크게 영향을 미치고 있다. 그러나 인공잡음은 발생원을 인위적으로 감소시킬 수 있는 방안이 있으나, 자연계 잡음의 경우는 발생원을 감소시킬 수 있는 방안이 거의 없는 실정이다. 따라서 자연계잡음의 경우는 그 영향을 회피하는 방안을 사용할 수 밖에 없다[5].

장비 내에서 발생하는 잡음은 수동소자 및 능동소자에서 발생하는 잡음과 회로간 결합에 의한 잡음 등으로 구분될 수 있다[6]. 수동소자에서 발생하는 잡음은 도체 내 전자의 불규칙적인 운동에 의한 열잡음과 이종 금속간의 접촉에서 발생하는 잡음 등이 있으며, 능동소자는 그 자체의 동작간 잡음이 발생된다. 인공계 잡음의 영향을 감소시킬 수 있는 적극적인 방안으로는 차폐, 접지, 필터 등의 방안이 있으며 이러한 방안의 적용이 어려울 경우나 부족한 경우 주파수, 시간, 공간, 위치 관리 등을 통하여 그 영향을 감소시킬 수도 있다.

전기·전자 장비에서 발생하는 전자파장해를 각 부분별로 분류하면 그림 3과 같이 회로, 케이블, PCB 기판 그리고 접지 등으로 분류된다. 다른 여러 부분에서도 전자파장해는 발생하고 있지만, 특히 본 보고에서는 회로에서 발생할 수 있는 전자파장해에 대한 대책을 중점 설명한다.

표 1은 그림 3의 전자파장해에 대한 대표적인 대책으로 제품내에서 발생하는 전자파장해를 감소시키는 방안을 포괄적으로 제시하고 있다. 표 1의 설명은 거의 모든 전자기 현상을 포함하고 있기 때문에 모든 방법을 적용하는 것은 어려우나 개념형성 및 설

계 초기부터 이러한 전자파장해 발생 및 대응 방안에 대한 개념을 갖고 제품 개발에 임한다면 시행착오를 최소화하면서 전자파장해의 문제점을 해결할 수 있을 것으로 생각된다.

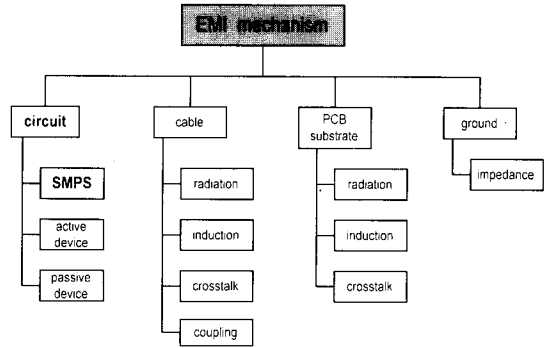


그림 3. EMI 메커니즘

표 1. EMI의 억제 방법

구분		대책
회로/소자	전자회로	다중 PCB 기판, 부품 배치
	릴레이	필터, 클램프, 스너버
	순환장치	아크 방지
필터링	파워	필터, 비드, 변압기 절연
	신호	저역, 고역, 대역 필터
차폐	하우징	샤시, 금속, 두께
	패킹	개스킷
와이어링	케이블링	분류, 형태, 접지
	접속	실드, 필터 형태
접지	구조	샤시, 캐비닛, 회로/케이블
	접합	형태, 표면, 길이, 부식

2.2 스위칭 전원장치의 전자파장해 발생 및 대책

일반적으로 전기·전자 장비 내부에서 전도성 잡음 문제가 가장 현저히 나타나는 부분이 전원장치이

며, 이 전원장치는 주공급 전원을 장비 내부의 디지털 회로 등의 전기·전자 장비를 동작시키기 위하여 필요한 크기의 전원으로 바꾸어주기 위한 장치로 거의 모든 전기·전자 장비에 사용되고 있다. 특히 스위칭 전원장치는 효율이 매우 높으며 제어가 용이하며 스위칭주파수를 높임으로 회로가 차지하는 부피와 중량을 작게 할 수 있는 장점으로 인하여 각종 전기·전자 장비의 전원장치로 급격히 보급되었다.

그러나 스위칭 전원장치는 이와 같은 많은 장점이 있는 반면에 전력변환을 위한 다이오드, 트랜지스터, FET 등의 반도체 소자의 스위칭 동작시 스위칭주파수 및 그 고조파를 포함한 많은 양의 잡음이 발생한다. 실제 전기·전자 장비에 대한 전자과장해에 대한 시험평가시 전도성 잡음의 시험규격 불만족 원인의 대부분은 이러한 스위칭 방식의 전원장치에서 발생하는 잡음의 영향인 것으로 입증되었다.

그림 4는 스위칭 전원장치에서 발생하는 잡음의 특성에 대하여 나타내고 있다. 스위칭 전원장치에서는 스위치의 스위칭시에 급격하게 전압/전류가 증가하는데 이것을 서지(surge)라 한다. 스위칭 전원장치는 그 자체로부터 스위칭 등에 의한 서지성 잡음을 발생하기도 하고 동시에 주변의 기기로부터 잡음의 침입을 받는 양면성을 가지고 있다. 이 서지가 스위칭 소자의 스트레스로 작용하고 스위칭 소자를 파괴하거나 성능을 열화시키는 원인이 된다.

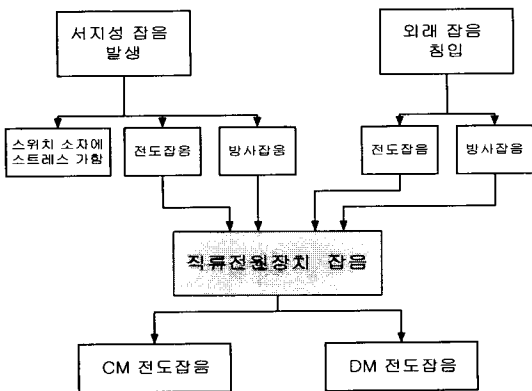


그림 4. 스위칭 전원장치의 잡음 특성

서지나 잡음의 발생에 직접 관여하는 원인은 급격한 전압/전류의 변화와 각 소자나 배선에 기생하고 있는 인덕턴스 성분이고, 그 이외에 기생 용량이 개재하여 고주파로 진동한다. 또한 반도체의 스위칭 소자에 서지성 전압/전류로 인한 스트레스가 더욱 가해지고, 전반적인 회로 내의 출력측 및 입력측에 전도성 잡음이 전달된다. 아울러 전자과장해 잡음의 문제점을 극복하기 위해 그림 5에 제시된 바와 같이 여러 가지 대책들이 연구·개발 및 상용화되어 사용되고 있다. 즉, 스너버 회로의 사용, 적절한 접지와 소자 배치 등의 실장기술, 소프트 스위칭, 전자과의 차폐, 잡음 발생원의 억제, 전송 경로의 차단, 전도 잡음 필터링 그리고 각종 변조 제어 등의 능동 잡음억제 방법 등 그 외로도 많은 대책이 있다[5, 6].

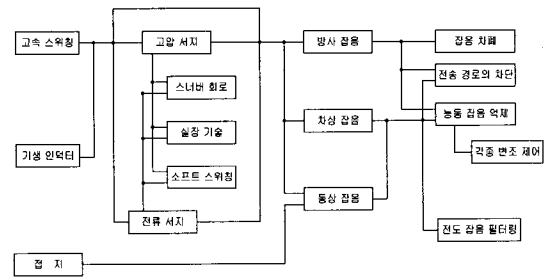


그림 5. 스위칭 전원장치의 서지 및 잡음 발생원료 그 대책기술

2.3 전도성 잡음 모드

전기·전자 장비에서 발생하는 전도성 잡음은 동상(CM : Common-Mode) 전도성 잡음과 차상(DM : Differential-Mode) 전도성 잡음으로 구분될 수 있으며, 각 모드의 전도성 잡음은 발생원료와 전달경로 그리고 특성이 서로 다르기 때문에 효율적이고 정확하게 전자과 잡음을 해석하고 그 대책을 세우기 위해서는 각 전도성 잡음 모드로 분리하여 분석 및 예측한 후에 각각의 대응 방안이 이루어져야 효율적이다.

그림 6은 동상과 차상 전도성 잡음에 대한 일반적인 개념도이다. 동상 잡음은 위상차없이 접지에 대하

여 각 상의 전위로 나타나며, 잡음 전류 I_{CM} 은 그림 6(a)와 같이 hot line과 접지, return line과 접지를 통해 각각 전도된다. 차상 잡음은 hot line과 return line에 같은 크기의 전위로 나타나지만 서로 180도의 위상차를 가지며, 잡음 전류 I_{DM} 은 그림 6(b)와 같이 hot line과 return line을 통해 전도된다.

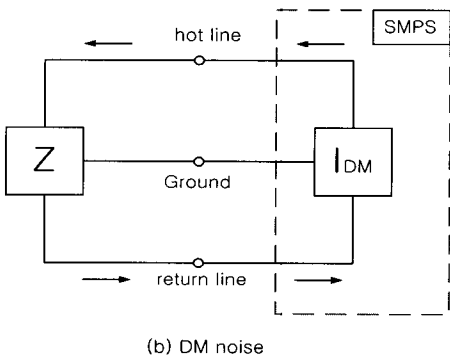
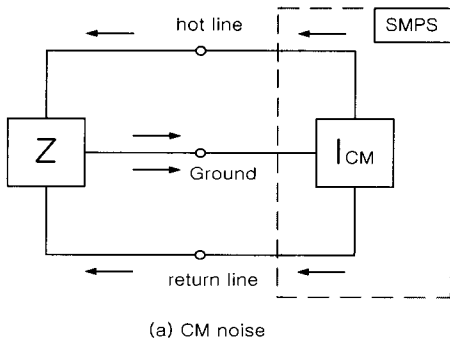


그림 6. 동상/차상 전도성 잡음의 형태

3. 잡음의 전달 및 결합형태

앞에서 전압/전류의 변화가 급격할수록 큰 잡음원이 된다고 제시하였는데 그럴 만한 이유가 있다. 이러한 종류의 잡음은 어딘가로 전해져서 비로소 잡음이 된다. 즉, 어느 스위치가 큰 서지를 냈다고 하더라도 그것 자체는 그 스위치에 있어 잡음이 아니다. 그런데 그것이 어딘가에 전해져서 다른 회로의 동작을 방해하면 방해를 받는 측에서 보면 비로소 잡음을

이 된다.

발생된 잡음이 장비 내부에서 이웃하는 회로나 도체에 어떻게 영향을 미치는가에 따라 다음 네 가지 모드의 결합형태로 구분된다[7].

- 1) 정전 결합(Static coupling)
- 2) 전자유도 결합(Electromagnetic induction coupling)
- 3) 복사성 결합(Radiated coupling)
- 4) 공통 임피던스 결합(Common impedance coupling)

이들 중 공통 임피던스 결합은 전도에 의한 결합(conducted noise)이며 나머지 세 가지는 복사에 의한 결합(radiated noise)이다. 이들 결합이 장비내부에서 어떻게 영향을 미치는지를 이해하는 것이 잡음의 영향을 제거하기 위한 최우선 과제가 된다.

3.1 정전 결합

정전 결합은 그림 7과 같이 잡음을 발생하는 측의 회로 A와 피해를 받는 측의 회로 B가 커패시터로 결합되어 있는 상태를 뜻한다. A, B 간의 결합의 정도는 B와 접지 사이의 임피던스 Z_L 을 그림 7과 같이 R_L 과 C_L 의 조합으로 나타내면 발생하는 잡음전압은 식 (1)과 같다. 정전 결합을 적게 하려면 선간 간격을 크게 하거나 정전차폐를 실시하여야 한다.

$$V_N = 2\pi f R_L C_S V_S \quad (1)$$

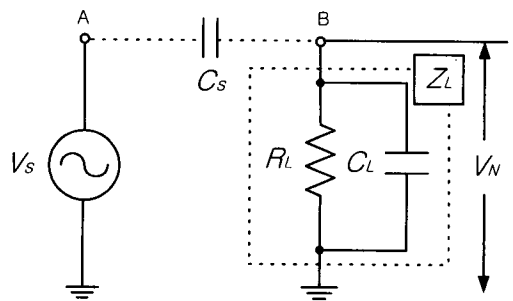


그림 7. 정전 결합

3.2 전자유도 결합

전자유도 결합은 그림 8과 같이 자속으로 결합하여 M이라는 상호유도계수를 가지고 있는 상태를 의미한다.

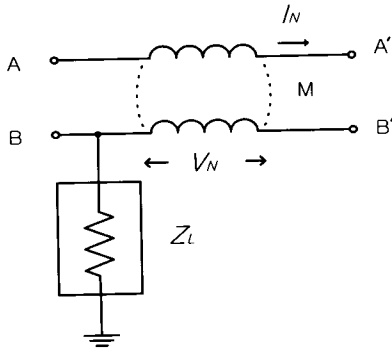


그림 8. 전자유도 결합

전자유도에 의한 전파는 A를 흐르는 전류에 의해 그 주위에 자속을 발생하고, 그 자속에 의해 B에 기전력 V_N 을 발생한다. 즉, 두 전극 간의 결합도는 상호유도계수 M이 된다. 이에 대한 대책으로는 자기 실드를 하거나 선을 꼬거나 혹은 가급적 선을 짧게 배선하는 것이 필요하다.

3.3 복사성 결합

복사성 결합은 잡음원으로부터 전자파, 즉 전파가 복사가 되고 그것이 다른 회로에서 수신되어 거기서 방해가 되는 전압이 유기되는 경우를 의미한다. 복사성 결합은 그림 9와 같이 차상모드와 동상모드로 구분된다. 차상모드는 폐회로내에 전류가 흘러 폐회로 전체가 안테나 역할을 함으로써 발생하는 장애이며, 동상모드는 회로의 케이블에 전압이 인가되어 케이블이 모노 폴(Mono Pole) 안테나 역할을 함으로써 발생하는 장애이다.

차상모드의 잡음은 PCB 기판의 페루프 패턴에서 나타날 수 있다. 복사되는 전계의 영향을 감소시키기 위해서는 페루프 면적을 줄이는 설계가 요구된다. 또

한 구형파가 흐르는 경우 구형파의 상승시간이 짧을수록 고조파 성분의 크기가 증가하기 때문에 상호간섭이 증가하게 되는데, 이 간섭량을 나타내면 식 (2)와 같다.

$$|E| = (2.63 \times 10^{-14}) A \times I \times f^2 \div d \quad (2)$$

여기서 E : 전계의 세기,

A : 페루프 면적,

I : 페루프 전류,

f : 페루프 전류의 주파수,

d : 페루프에서 측정점까지의 거리

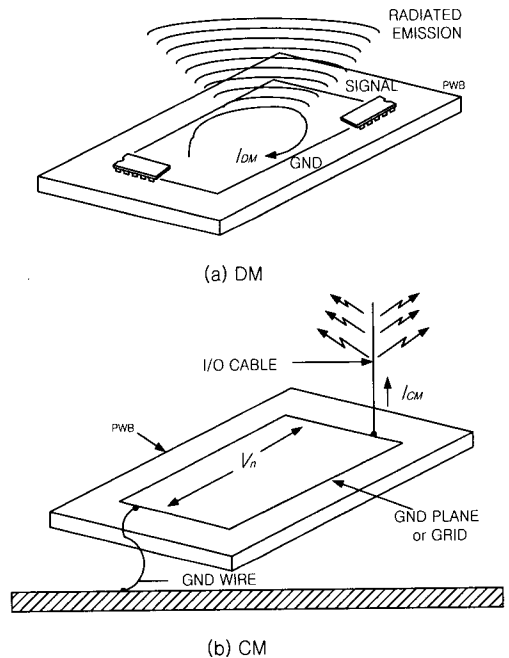


그림 9. 복사성 결합

3.4 공통 임피던스 결합

공통 임피던스 결합은 그림 10과 같이 접지 전압이 0[V]가 되지 않고 어떤 전위를 갖게 되는 상태를 의미한다. 이러한 현상은 접지 임피던스가 매우 높을

때, 접지에 많은 전류가 흐를 때, 또는 여러 회로가 직·병렬로 연결되어 있을 때 발생된다.

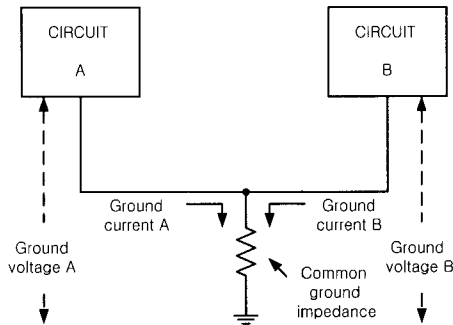


그림 10. 공통 임피던스 결합에 의한 전도 잡음 발생 예

접지전압을 0[V]로 하기 위해서는 일점 접지(Single ground), 다점 접지(Multipoint ground), 혼합 접지(Hybrid ground) 등의 방법을 사용하며 회로의 복잡도, 주파수 등을 고려하여 적절한 접지방식을 택한다.

4. 각국의 EMI/EMC 시험항목 및 규제현황

현대 사회는 다양하고 고집적·고감도의 전기·전자 장비의 사용이 증가하면서 각종 전기·전자 신호, 전파 및 불필요 잡음 등이 급증하고 있는 추세에 있으며 전자과장해에 의한 피해 사례가 날로 증가하고 있다. 이에 따라 세계 각국에서는 CISPR, FCC, VDE, VCCI, 그리고 EN 등의 규정을 제정하여 전자과장해에 대한 규제를 강화시키고 있다.

국제 규격인 CISPR는 IEC(국제 전기기술위원회) 산하의 무선장해 특별위원회 규제규격으로 전자과장해를 방지하는 대책 및 허용치 등을 권고하고 국제 무역을 촉진하는 목적을 지녔다. 미국의 FCC는 전자과장해를 유발시킬 수 있는 모든 기기에 대해 강제로 적용시키고 있으며, 사전 승인을 받아야 수입 및 판매가 가능하다. 독일의 VDE는 거의 모든 기기에

대해 인증 받아야 되는 강제 규격으로 세계에서 가장 엄격한 규격이다. 일본의 VCCI에서는 정보처리장치가 비강제 권고 규격이며, 전기용품은 강제 규격이다. EC의 EN은 EC 전체에 공통적으로 적용하고 있다. 기타 규격으로는 미국의 군용 규격인 MIL-STE-461, 462, 463 등이 있다. 국내 규격은 현재 FCC에서 CISPR 규격으로 전환되고 있는 시점에 있다.

4.1 EMI/EMC 시험항목

세계 각국의 전자과장해에 대한 규제에서 공통적으로 가장 많이 시행되고 있는 시험항목은 그림 11과 같이 크게 4가지(CE, CS, RE, RS) 시험으로 분류된다.

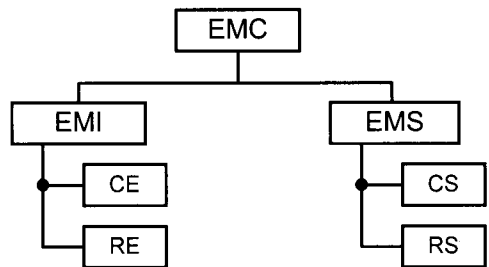


그림 11. EMI/EMS 시험 분류

- 1) 전도성 방사 (CE : Conducted Emissions) 시험 ; 전원선 또는 안테나를 통하여 외부로 방출되는 전도성 잡음을 측정하는 시험
- 2) 전도성 방사 민감도 (CS : Conducted Susceptibility) 시험; 전원선, 케이블 및 안테나를 통하여 전도성 잡음이 인가될 때 피시험체가 정상 동작되는 지를 확인하는 시험
- 3) 복사성 방사 (RE : Radiated Emissions) 시험 ; 피시험체로부터 방사되는 전계, 자계의 강도를 측정하는 시험
- 4) 복사성 방사 민감도 (RS : Radiated Susceptibility) 시험; 피시험체로 전계, 자계가 인가될

때 피시험체가 정상 동작되는 지를 확인하는 시험

이러한 시험항목은 주파수 대역을 세분화하여 시험이 이루어지고 있는데, 세계 각국에서 민수용과 군사용 규격에서 규제하고 있는 주파수 영역을 제시하면 그림 12와 같다[1, 2].

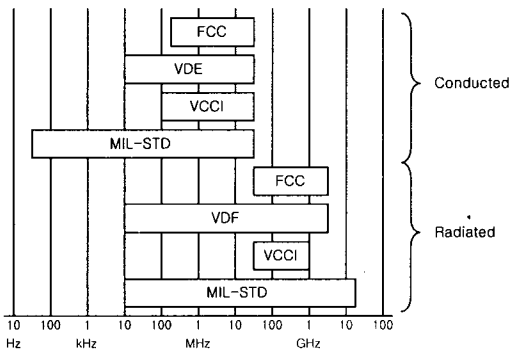


그림 12. 전자파장해에 대한 각 규제별 시험 주파수 영역

4.2 미국의 전자파장해 규정

미국의 무선주파장해에 대해서는 미국 의회 통신 관계위원회인 FCC에서 규제하고, FCC 시험소는 형식승인시험도 겸하고 있다. FCC에서는 전기·전자 기기를 Class-A와 Class-B의 두 종류로 나누어 규제하고 있다. Class-A 기기는 일반산업용과 일반사무용으로 사용되는 제품으로, 예를 들면 전자식 금전출납기, 대형복사기, 대형 컴퓨터 등이 이에 속한다. 한편 Class-B 기기는 주거 환경에서 사용되는 일반 상용기기로 상용, 산업용 그리고 사무용으로도 사용 가능한 제품이다[1, 2].

그림 13은 FCC의 Class-A와 Class-B의 전도성 방사 제한치를 제시하고 있는데, Class-B 제한치가 Class-A 제한치보다 더 낮음을 알 수 있다. 이것은 산업환경에서 사용되는 기기에 의한 장애보다는 주거환경에서 사용되는 기기가 인체에 보다 더 근접해

있기 때문에 그 장애가 더욱 심할 수 있다는 가정하에 결정되었다.

그림 13에서 제시된 전도성 방사의 주파수 범위는 450[kHz]로부터 30[MHz] 내에서 규제되고 있다. 전도성 방사 시험은 피시험체와 전원선 사이에 LISN(Line Impedance Stabilization Network)을 넣고 시험하게 되는데, LISN에 대한 설명은 다음 장에서 논하기로 한다.

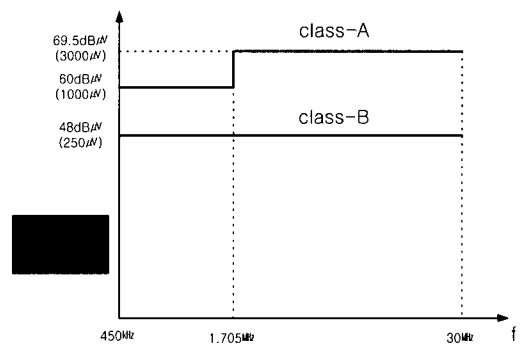


그림 13. FCC의 전도성 방사 제한치

4.3 EC를 중심으로 한 CISPR의 전자파장해 규정

세계 각국의 전기·전자 장비에 대한 EMI 규정은 나라마다 다르다. 그러나 모든 나라에서 가장 많이 적용하고 있는 공통요구사항이 있다. 처음 EC에서 제정하여 세계 여러 나라에서 공통적으로 인정을 받게 되어 지금은 세계의 기준이 되고 있는 CISPR가 그것이며 CISPR는 '요구사항 Publication 22'를 채용하고 있다. CISPR 22가 세계의 기준이 되어가고는 있지만, 많은 나라들이 CISPR 22를 적용하는데 있어서 자국의 상황에 따라 수정·보완하는 시점에 있으며, 각국의 규정은 대부분 CISPR 규정을 참고로 하였기 때문에 CISPR 22의 범주를 크게 벗어나지 않고 있다.

전도성 방사에 대한 CISPR 22와 FCC 제한치를 Class-A와 Class-B에 대하여 각각 그림 14와 그림

15에 비교하였다. CISPR 22와 FCC의 전도성 방사 제한치의 뚜렷한 차이는 적용 주파수대역의 범위에 있다고 할 수 있는데, CISPR 22의 저주파 영역의 제한치는 FCC가 450[kHz]인 것에 비해 150[kHz]까지 확장되어 있고, 고주파 영역의 제한치는 동일한 주파수로 30[MHz]이다. 이러한 저주파 영역의 확장은 전력 반도체 소자의 스위칭시 발생하는 방사까지도 고려한 주파수대역이라 할 수 있다.

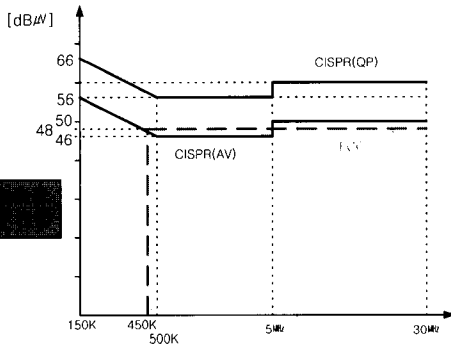


그림 14. Class-B에 대한 CISPR 22와 FCC의 전도성 방사 제한치

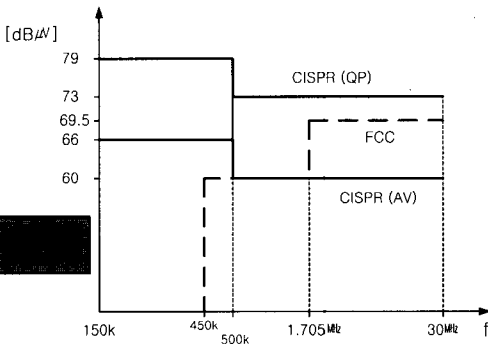


그림 15. Class-A에 대한 CISPR 22와 FCC의 전도성 방사 제한치

5. 전도성 잡음의 시험장치의 구성과 LISN의 설치

전기·전자 장비에 대한 전도성 잡음의 제한치는

제품별, 국가별로 규제규격이 서로 다르나 그 기본적인 평가방법에는 별다른 차이가 없다. 측정하는 성분은 라인과 접지간에 발생하는 잡음전압을 측정하여 데시벨 [$dB\mu V$]로 표시하는 것이 일반적이다. 실제로 전기·전자 장비가 사용되는 환경에서 측정하는 것이 바람직하나 현실적으로 측정이 불가능한 경우가 대부분이다. 따라서 실험실에서 정량화하기 위해서는 입력 전원선에서 바라본 피시험체(예를 들면, 스위칭 전원장치)의 임피던스를 규격화할 필요가 있다. 전도성 잡음의 측정은 바로 이 임피던스단의 전압을 측정한다. 최근 대부분의 규격에서 50[Ω]으로 임피던스를 통일시켜 정량화하는 것이 일반화되고 있다.

실제 측정에서는 입력 전원선에서 전력을 공급받으면서 측정하기 때문에 입력전원 측으로부터 측정에 포함되어서는 안 되는 잡음이 침입하게 되면 올바른 측정이 될 수 없다. 따라서 입력전원 측으로부터 침입하는 잡음은 제거하고 스위칭 전원장치로부터 발생하는 잡음만을 계측할 수 있어야 한다. 즉, 스위칭 전원장치로부터 발생하는 잡음이 측정되는 부분에는 항상 일정 임피던스 Z_{in} 을 유지하여야 하기 때문에, 입력전원측과 스위칭 전원장치 사이에 LISN(Line Impedance Stabilization Network)을 설치한다.

그림 16은 전도성 잡음을 측정하기 위한 LISN 내부회로도이다. 그림 16에서 EUT (Equipment Under Test)는 피시험체로 본 보고에서는 스위칭 전원장치가 된다. LISN은 hot line과 return line 측에 각각 설치하여야 하기 때문에 두 개가 설치되고, LISN을 통하여 스펙트럼 분석기로 전도성 잡음을 계측하도록 한다. LISN은 다음의 두 가지 기능을 가지고 있다.

첫째, LISN은 입력전원 측으로부터 침입하는 잡음이 스위칭 전원장치의 전력변환이나 계측기의 측정상에 영향을 미치지 않도록 잡음경로를 차단시킬 수 있어야 한다. 인덕터 L_1 , L_2 값은 50 [μH]이며 임피던스가 150[kHz]에서 47.12[Ω], 30[MHz]에서는

9424.78[Ω]이 된다. 이것은 입력전원으로부터의 잡음이 유입하는 것을 방지하기 위하여 잡음에 대해서는 높은 임피던스가 되고, 입력전원은 저주파이므로 LISN을 통하여 손실없이 스위칭 전원장치로 전원을 계속 공급하도록 하기 위해서이다. 커패시터 C_1, C_2 값은 1[μF]으로 임피던스가 150[kHz]에서 1.061[Ω], 30[MHz]에서는 0.0053[Ω]이 된다. 이것은 입력전원을 통하여 침입한 고주파 잡음을 필터링하기 위해서 낮은 임피던스로 동작하도록 하기 위해서이다.

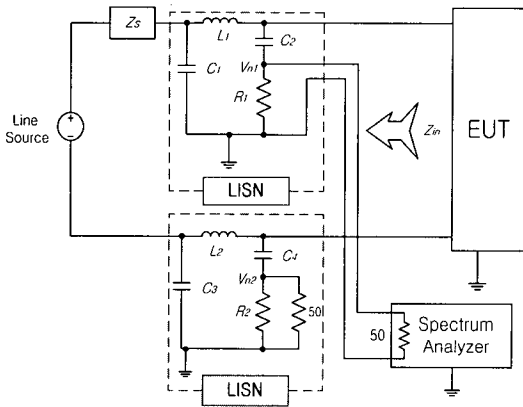


그림 16. LISN 내부회로도

둘째, LISN은 스위칭 전원장치에서 본 입력 임피던스를 항상 일정하게 유지시켜 계측기에서 RF 포트를 항상 일정 50[Ω] 저항으로 종단시키고 계측기로 스위칭 전원장치에서 발생하는 잡음만을 계측하기 위한 회로이다. 또한 한 곳에서 수행한 시험을 다른 장소에서도 동일한 조건으로 연속 시험이 가능하여야 하는데, 시험 장소에 따라서는 입력전원을 바라본 임피던스 값이 달라질 수 있다. 따라서 어떠한 장소에서도 측정된 전도성 잡음을 정확하게 계측하기 위하여 스위칭 전원장치로부터 입력전원 측을 바라본 임피던스가 150[kHz]로부터 30[MHz] 내(CISPR 22 규정)에서 일정하도록 하여야 한다. 또한 LISN은 장

소에 관계없이 주파수에 대해서 각 상과 접지선 사이에 일정한 임피던스를 갖도록 한다. 커패시터 C_2, C_4 와 50[Ω]의 저항이 이 작업을 수행한다. 커패시터 C_2, C_4 는 시험회로에 과부하된 어떠한 직류전류도 흐르지 못하게 하고, 저항 R_1 과 R_2 (=1[kΩ])는 50[Ω] 저항이 없을 때 C_2, C_4 의 방전대상이 된다. C_2, C_4 값은 0.1[μF]으로 그 임피던스 범위는 150[kHz]에서 10.61[Ω], 30[MHz]에서는 0.053[Ω]이 된다. 인덕터 L_1, L_2 와 커패시터 C_1, C_3 는 측정하는 동안에 입력전원으로부터 오는 잡음을 여과하지만, DC 혹은 60[Hz]의 전원은 손실없이 통과시킨다. 60[Hz]에서 L_1, L_2 와 C_1, C_3 의 임피던스는 각각 0.019[Ω] 및 2,653[Ω]이기 때문에 LISN을 잘 통과한다.

그림 16에서 V_{n1} 값을 측정할 때 hot line의 50[Ω] 저항은 스펙트럼 분석기의 50[Ω] 입력저항이 되고, 반면에 return line의 50[Ω] 저항은 LISN의 50[Ω] 부하가 된다. 또한 V_{n2} 값을 측정할 때는 return line의 50[Ω] 저항은 스펙트럼 분석기의 50[Ω] 입력저항이 되고, 반면에 hot line에 있는 50[Ω] 저항은 LISN의 50[Ω] 저항이 된다.

측정전압 V_{n1} 과 V_{n2} 는 hot line과 return line에 흐르는 잡음전류 i_{n1} 과 i_{n2} 에 직접적으로 관계된다. 이들은 다음 관계식으로 표시된다.

$$i_{n1} = \frac{V_{n1}}{50} \quad (3)$$

$$i_{n2} = \frac{V_{n2}}{50} \quad (4)$$

여기에서, V_{n1} : hot line 잡음, V_{n2} : return line 잡음

LISN을 통하여 hot line에서 측정된 잡음 V_{n1} 과 return line에서 측정된 잡음 V_{n2} 사이에는 다음과 같은 관계를 가지고 있다.

1) 동상모드 전도잡음

$$: V_{CMnoise} = \frac{V_{n1} + V_{n2}}{2} \quad (5)$$

2) 차상모드 전도잡음

$$: V_{DMnoise} = \frac{V_{n1} - V_{n2}}{2} \quad (6)$$

즉, 식 (5), (6)을 통하여 동상 전도성 잡음과 차상 전도성 잡음을 각각 계측할 수 있다.

그림 17은 전도성 잡음 시험장치의 구성도이다. LISN에 그림 17과 같이 스펙트럼 분석기를 연결하고 전도성 잡음을 계측한 후 바로 PC를 통해 시험데이터를 구할 수 있다.

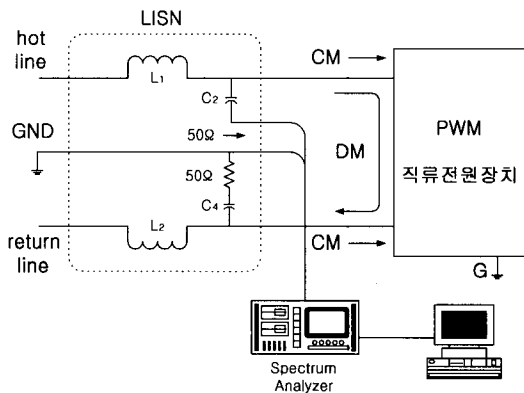


그림 17. 전도성 잡음 시험장치의 구성도

6. 전도성 잡음 저감 대책

일반적으로 전기·전자 장비의 잡음 대책은 제 2장에서 언급했던 것과 같이 매우 다양하다. 그 중에서 전도성 잡음 저감대책 중 가장 대표적인 예를 들면 다음과 같다.

6.1 적절한 접지와 소자 배치 등의 실장기술

실제 설계 여건상 스위칭 전원장치의 잡음 대책으로 모든 사항을 고려한다는 것은 매우 어렵다. 본 보고에서는 전원장치 중 많이 상용화되어 사용하고 있는 리셋권선 파워드 컨버터를 설계할 때 사용될 수 있는 실장대책 예를 몇 가지 들면 다음과 같다.

- 1) 정류기 상단에 RC 회로를 사용하거나 변압기 리드선에 Ferrite Bead를 사용함으로써 고주파 발전 억제
- 2) FRD(Fast Recovery Diode)를 선정함으로써 역회복 스파이크 억제
- 3) 스위치 및 다이오드에 방열판을 설치함으로써 열잡음 억제
- 4) 1차, 2차에 기생용량이 적은 보빈(bobbin) 변압기 선택
- 5) 각종 배선은 짧게 한다.
- 6) 배선은 가급적 끈다.
- 7) 주 스위치에 스너버 설치

6.2 EMI 필터를 이용한 전자파장해 저감대책

전 절에서 언급한 실장기술은 가장 기본적인 대책으로 현실적으로는 발생 잡음을 측정하여 이에 알맞는 EMI 필터를 설계하여 장착하는 것이 일반적이고 쉽게 실현할 수 있는 방법이다. 그림 18은 적절한 EMI 필터를 설계하기 위한 방법을 나타내는 블록도이다. 또한 실제 사용할 수 있는 여러 가지 필터도 동시에 제시하였다. 그림 18에 제시된 바와 같이 측정, 진단, 대책이 적절히 조화될 때 비로소 가장 효율적인 잡음 대책이 된다.

적절한 입력라인 필터를 설계하기 위해서는 라인 필터가 접속되는 입·출력 임피던스를 계산하여야 하는데, 입·출력 임피던스는 주파수에 따라 크게 변화하는 복소 임피던스이므로 측정이 매우 어렵다. 따라서 입력전원 측의 임피던스를 파악하는 것이 결국 잡음 감쇠효과가 큰 라인필터를 선정하는 중요한 핵심과제이다.

참고 문헌

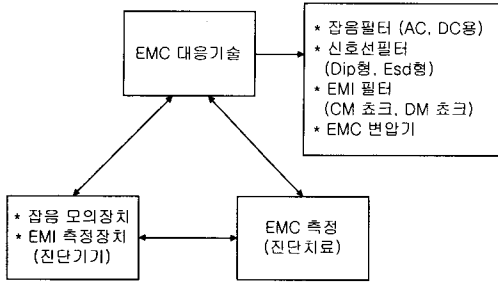


그림 18. 효과적인 전자파 잡음 대책

일반적으로 전자과장해를 억제하기 위해 상용전원에 많이 사용되는 EMI 필터는 전형적으로 기생요소에 의한 고주파대역에서 잡음감쇠 능력을 저하시킬 수 있고, 전원회로부터 발생하는 고주파 전자파 잡음을 여과하는데 별 효과를 주지 못한다. 최근 미국과 유럽 등의 선진국을 중심으로 전원장치에 보다 엄격한 전자과장해 규제를 적용하고 있으므로, 상용대상의 전원장치는 확실한 EMC 규제를 만족하지 못하면 시장에 내 놓을 수 없다[4].

7. 맺는 말

본 보고에서는 전기·전자 장비의 활용이 확대되면서 더욱 더 관심이 고조되고 있는 전자과장해의 원인과 그 대책에 대하여 논하였다. 전기·전자분야의 장비가 고도화, 고기능화하면 할수록 전자과장해는 더욱 복잡한 양상으로 나타나게 되며 이에 대한 대책 수립에 만전을 기하여야 한다. 우리는 이러한 폐해가 어느 정도까지 우리 일상생활에 직·간접적으로 영향을 미치고 있는 지 정확하게 파악되어 있지 않은 시점에서 보다 정밀하고 정확한 전자과장해의 원인을 분석하고 이에 대한 대책을 세워야 할 것이다. 이러한 여러 문제는 선진국에서 무역장벽으로 활용하고 있고 이를 극복하기 위해서는 전기·전자분야 장비의 EMI/EMC 대책은 필수적이라 할 수 있다.

- [1] C.I.S.P.R.(Comite International Special Des Perturbations Radioelectriques), Publication 22., pp. 1-20, 1986.
- [2] MIL-STD-461D, "Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Emissions and Susceptibility", DOD, pp. 1-7, January, 1993.
- [3] G. Antonini, S. Cristina, and A. Orlandi, "EMC Characterization of SMPS Devices : Circuit and Radiated Emission Model", IEEE Trans. on EMC, Vol. 38, No. 3, pp. 300-309, Aug. 1996.
- [4] Michael Tao Zhang, "Electrical, Thermal, and EMI Designs of High-Density, Low-Profile Power Supplies", Dissertation of Doc. in MPEC, pp. 146-147, 1997.
- [5] 동안전자부실연구소, "스위칭파워씨플라이의 노이즈 제거 기술 개발에 관한 연구", 상공부, pp.5-8, 1990.
- [6] 김진성, 권준혁, 김양모, "모드 분리기법을 이용한 스위칭 컨버터의 전도잡음 분석 및 대책에 관한 연구", 대한전자공학회 논문집, 제 35권 S편 제 4호, pp. 128-138, 1998. 4.
- [7] 박석하, 김양모, "TRPWM 제어를 통한 전도성 EMI 잡음의 억제와 고조파 스펙트럼의 향상", 대한전자공학회 논문지, 제 36권 S편, 제 3호, pp. 386-393, 1999. 3.

◆ 著者紹介 ◆



박 석 하(朴錫夏)

1967년 12월 15일생. 1993년 충남대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 석사 졸업. 1999년 8월 충남대학교 전기공학과 박사 졸업. 주관심 분야는 Power Electronics 등.



김 양 모(金良模)

1950년 3월 29일생. 1973년 서울대학교 공대 공업교육(전자)학과 졸업. 1975년 동 대학원 공업교육(전자)과 석사 졸업. 1986년 일본 동경대 전자공학과 박사 졸업. 1979년 - 현재 충남대학교 전기공학과 교수. 1990년 미국 버지니아텍 방문교수. 주관심분야는 Railway Systems, Power Electronics 등.