

主 題

# 통신용 전원의 EMI/EMC

충남대학교 김진성, 김양모

## 차 례

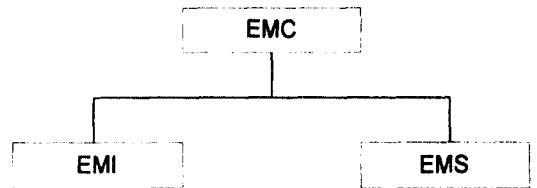
- I. 서론
- II. 전자파 간섭 발생 및 대책
- III. EMI/EMC 시험 항목
- IV. 전원장치의 EMI/EMC 필터의 최적화
- V. 맺는 말

## 1. 서론

현대문명이 발전하면서 생활수준이 향상됨에 따라 현대병이라 불리는 각종 질병이 새롭게 나타나 현대인을 괴롭히고 있지만 사실 그러한 질병은 과거에도 존재하였으나 그 빈도가 많지 않았기 때문에 사회적으로 큰 문제가 되지 않았을 뿐이다. 전자파 간섭 문제 또한 그러하다 할 수 있다. 전자파 간섭이 처음 대두된 것은 약 1930년대 부터이며 라디오 방송과 무선통신의 사용이 증가되면서 라디오 주파수 대역에서 그 존재를 인식하였으나 사회적인 문제가 되지는 못했다. 그러나 전기, 전자장비의 활용이 확대되면서 전자파 간섭에 대한 관심이 증가되기 시작하였다. 초반에는 「라디오 주파수 간섭(RFI : Radio Frequency Interference)」이라 불렀으며 2차 대전 이후 부터는 넓은 의미의 전자파 간섭(EMI : Electro Magnetic Interference), 60년대 부터는 전자파 민감성(EMS : Electro Magnetic Susceptibility), 긍정적인 뜻을 내포한 전자파 양립성(EMC : Electro Magnetic Compatibility) 용어가

사용되어 왔고 이의 체계는 그림 1과 같다.

(그림 1) 잡음 체계



정보통신, 컴퓨터 및 전자분야에서 장비가 고기능화, 고밀도화, 고속화, 저전력화 및 경량화 됨에 따라 전자파 간섭현상은 더욱 복잡한 양상으로 발생되었으며, 통신간 잡음의 혼재 및 두절 심지어 오동작에 이르기 까지 그 피해가 나날히 증가되고 있어 전자파 간섭 및 대응 방안에 대한 연구가 필요하게 되었으며 정보통신, 컴퓨터 및 전자분야에서는 제품 설계, 개발시 반드시 고려하여야 할 요소가 되었다. 이러한 전자파 문제는 개발하고자 하

는 제품 본연의 기능 및 성능을 만족시키기 위한 개발능력외로 추가 노력이 필요하기 때문에 기술 후발국에서는 문제해결 능력의 부족과 원가상승 문제로 인하여 그 심각성을 애써 회피하려는 경향이 있기도 하였다. 선진국은 제품의 개발 역사가 길고 오랜 경험과 축적된 기술을 바탕으로 설계 및 개발 초반부터 전자파 간섭량의 감소와 대응책을 고려하고 있으나, 국내의 경우 일반적으로 최종단계에서 전자파 간섭에 대한 시험을 수행하기 때문에 문제가 발생할 경우 전자파 간섭문제를 극복할 수 있는 적용기술의 선택에서 제한을 받으므로써 개발시간과 비용이 증가되는 경우가 많다. 현재, 선진 각국에서는 전자파 간섭 문제를 해결하기 위하여 국제규격 CISPR, 미국 FCC, 독일 VDE, 일본 VCCI, 캐나다 DOC, 유럽 EC 등과 같은 규격을 제정하여 적용하고 있으며, 군수 분야에서는 별도의 군사규격을 적용하고 있다. 특히 군사분야에서는 적군의 의도적인 방해전파 및 전자전을 고려하여 기존 규격의 강화 및 별도의 규격을 만들고 있다. 이러한 선진국의 규격 강화는 국제간 무역장벽으로도 활용되고 있다. 따라서 정보화 사회에 들어서고 있는 현 시점에서 볼 때 전자파 간섭에 대한 문제점 인식을 새롭게 하고 그 대응책에 대한 연구를 체계적으로 정립하는 노력이 필요하다.

본 보고에서는 전자파 간섭의 발생 원인과 그 대책에 대한 내용과 전자파 간섭에 대한 시험평가 항목 및 기준에 대하여 전반적으로 기술하고 전원장치에 사용되는 필터의 최적화 방안에 대하여 기술하고자 한다.

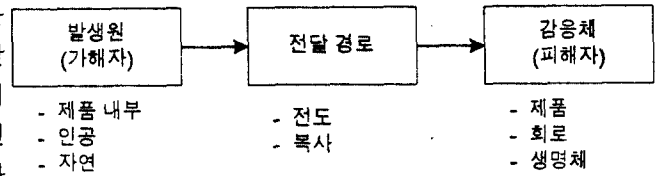
## 2. 전자파 간섭 발생 및 대책

전자파 간섭을 발생하는 원인은 매우 복잡 다양하여 전기회로 이론, 전자기학 이론, 통신이론, 안테나 이론, 전송선에 대한 이론, RF 이론 및 자성 재료 이론 등의 포괄적인 지식이 필요하며 또한 제품의 성능, 운용조건 및 환경 등이 고려되어야 한

다. 따라서 그 원인을 해석하고 그 대응책을 수립하기는 쉽지만은 않다.

전자파 간섭을 발생하는 구성요소는 그림 2와 같이 크게 3가지로 이루어지는데, 이 중 한가지만을 제거하여도 전자파 간섭은 발생되지 않는다.

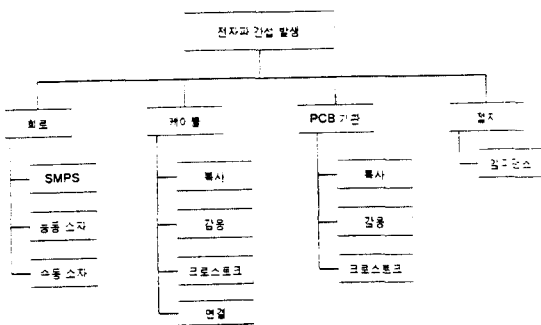
(그림 2) 전자파 간섭의 구성 요소



전자파 간섭의 발생원은 제품의 외부에서 발생하는 잡음과 내부에서 발생하는 잡음이 있다. 외부에서 발생하는 잡음은 인공잡음과 자연계 잡음으로 분류되며 인공잡음은 무전기, 방송 송신기, 레이더 등 의도적으로 발생시킨 신호가 간섭 발생원이 되는 의도적인 잡음과 자동차 플러그 방전시 잡음, 공장설비, 옥외 광고, 완구 및 각종 통신기기에서 발생하는 불요파 등 부수적으로 발생하는 비의도적인 잡음으로 구분할 수 있다. 일반적으로 인공잡음은 전주파수 영역에서 존재할 수 있으나 고밀도화 소형화 발전추세에 따라 고주파 영역에서 크게 영향을 미치고 있다. 자연계 잡음은 전리층 및 우주로부터 발생하는 우주 잡음, 낙뢰 등에 의한 대기잡음, 열잡음 등이 있다. 인공잡음은 발생원을 인위적으로 감소시킬 수 있는 방안이 있으나 자연계 잡음의 경우는 발생원을 감소시킬 수 있는 방안이 거의 없는 실정이다. 따라서 자연계 잡음의 경우는 그 영향을 회피하는 방안을 사용할 수 밖에 없다. 제품내에서 발생하는 잡음은 수동소자 및 능동소자에서 발생하는 잡음과 회로간 결합에 의한 잡음 등으로 구분될 수 있다. 수동소자에서 발생하는 잡음은 도체내 전자의 불규칙적인 운동에 의한 열잡음과 이종 금속간의 접촉에서 발생하는 잡음 등이 있으며, 능동소자에서는 그 자체의 동작간 잡음이 발생된다. 인공계 잡음의 영향을 감소시킬 수 있

는 적극적인 방안으로는 차폐, 접지, 필터 등의 방안이 있으며 이러한 방안의 적용이 어려울 경우나 부족한 경우 주파수, 시간, 공간, 위치 관리에 의하여 영향을 감소시킬 수 있다. 전기, 전자 장비에서 발생하는 전자파 간섭은 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 표 1은 제품내에서 발생하는 전자파 간섭을 감소시킬 방법을 포괄적으로 나타낸 것으로 거의 모든 전자기 현상을 포함하고 있기 때문에 모든 방법을 적용하는 것은 어려우나 개념형성 및 설계 초기부터 이러한 간섭 발생 및 대응 방안 에 대한 개념을 갖고 제품 개발에 임한다면 시행착오를 최소화 하면서 전자파 간섭의 문제점을 해결할 수 있을 것으로 생각된다.

(그림 3) 전자파 간섭 발생



(표 1) 전자파 간섭 억제 방법

구분	대 해
회로/소자	전자회로   다중 PCB 기판, 부품 배치
	필레이   필터, 클램프, 스너버
	순환장치   아크 방지
필터링	파워   필터, 비드, 트랜스포머 절연
	신호   지역, 고역, 밴드 필터
차폐	하우징   사시, 금속, 두께
	패킹   거스켓
와이어링	케이블링   분류, 형태, 접지
	잡속   실드, 필터 형태
접지	구조   사시, 캐비닛, 회로/케이블
	접합   형태, 표면, 길이, 부식

발생된 잡음이 장비 내부에서 이웃하는 회로나 도체에 영향을 미치는 결합형태는 크게 4가지로 구분된다.

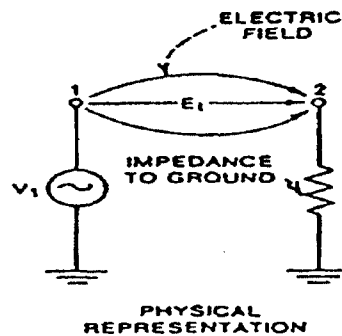
- 용량성 결합(Mutual Capacitance Coupling)
- 유도성 결합(Mutual Inductance Coupling)
- 복사성 결합(Radiated Coupling)
- 공통 임피던스 결합(Common Impedance Coupling)

이들 중 공통 임피던스 결합은 전도적인 결합이며 나머지 3가지는 공간적인 결합이다. 이들 결합이 장비내부에서 어떠한 영향을 미치는지를 이해하는 것이 간섭 영향을 제거하기 위해서는 매우 중요하다.

(i) 용량성 결합

용량성 결합은 전위차와 기생 커패시턴스에 의해 간섭이 발생하는 것으로 그림 4와 같다. 용량성 결합을 적게 하려면 선간 간격을 크게 하거나 정전 차폐를 설치한다.

(그림 4) 용량성 결합



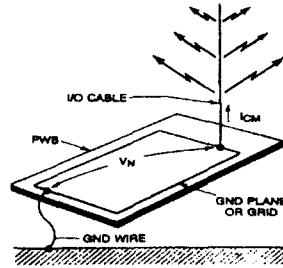
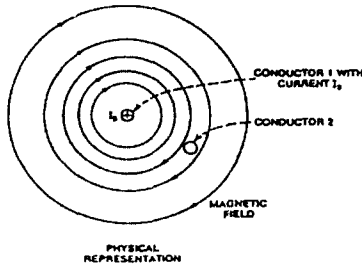
(ii) 유도성 결합

유도성 결합은 전류 흐름에 의한 자계의 변화로 인하여 간섭이 발생하는 것으로 그림 5와 같다.

(iii) 복사성 결합

복사성 결합은 그림 6과 같이 차상모드(Differential Mode)와 동상모드(Common Mode)로 구분된다. 차상모드는 폐회로내에 전류가 흘러 폐회로 전

(그림 5) 유도성 결합



(b) 동상모드

체가 안테나 역할을 함으로써 발생되는 간섭이며, 동상모드는 회로의 케이블에 전압이 인가되어 케이블이 모노 폴(Mono Pole) 안테나 역할을 함으로써 발생되는 간섭이다. 차상모드의 간섭은 PCB 기판의 페루프 패턴에서 나타날 수 있으며 복사된 전계량은 다음 식과 같다. 복사되는 전계량의 영향을 감소시키기 위해서는 페루프 면적을 줄이는 설계가 필요로 됨을 알 수 있다. 또한 구형파가 흐를 경우 파형의 상승시간이 짧을수록 고조파 성분의 크기가 증가되기 때문에 간섭량이 증가된다.

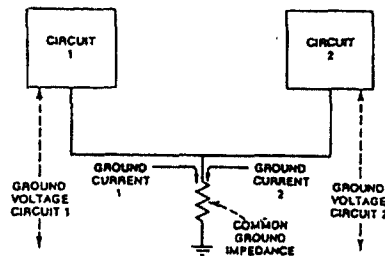
(iv) 공통 임피던스 결합

공통 임피던스 결합은 그림 7과 같이 접지가 전압이 0[V]가 되지 않고 어떤 전위를 갖게 되는 결합이다. 이러한 현상은 접지 임피던스가 매우 높을 때나 접지에 많은 전류가 흐를 때 또는 여러 회로가 직병렬로 연결될 때 발생된다. 접지저항을 0[V]로 하기 위해서는 일점접지(Single Ground), 다점접지(Multipoint Ground), 혼합접지(Hybrid Ground) 등의 방법이 있으며 회로의 복잡도, 주파수 등을 고려하여 적절한 접지방식을 택하여야 한다.

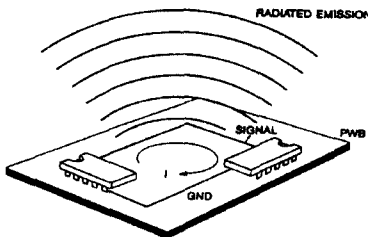
$$|E| = (2.63 \times 10^{-14}) A \times I \times f^2 \div d$$

- 여기서 E : 전계의 세기,
- A : 페루프 면적[m<sup>2</sup>],
- I : 페루프 전류[A],
- f : 페루프 전류의 주파수,
- d : 페루프에서 측정점까지의 거리[m]

(그림 7) 공통 임피던스 결합시 전도잡음 발생 사례



(그림 6) 복사성 결합 잡음



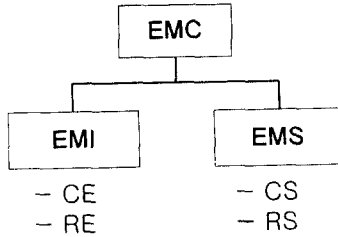
(a) 차상모드

### 3. EMI/EMC 시험항목

시험항목은 그림 8과 같이 크게 4가지로 분류된다.

- 여기서 CE, CS, RE, RS 시험은 다음과 같다
- 전도방사 잡음(CE:Conducted Emissions) 시험

(그림 8) EMI/EMS 시험 분류



전원선 또는 안테나를 통하여 외부로 방출되는 전도성 잡음을 측정하는 시험

- 전도잡음 민감성(CS:Conducted Susceptibility) 시험

전원선, 케이블 및 안테나를 통하여 전도성 잡음이 인가될 때 시험품이 정상동작되는지를 확인하는 시험

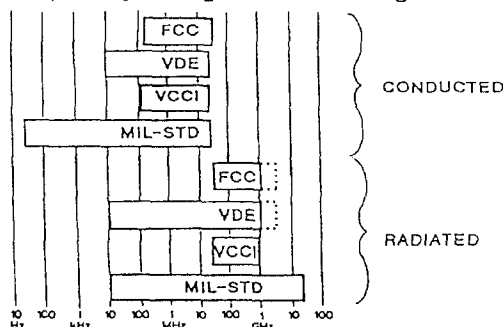
- 전자계 복사 방사(RE:Radiated Emissions) 시험  
시험품으로부터 방출되는 전계장, 자계장의 강도를 측정하는 시험

- 전자계 복사 방사 민감도(RS:Radiated Susceptibility) 시험  
시험품으로 전계장, 자계장이 인가될 때 시험품이 정상동작되는지를 확인하는 시험

이러한 시험항목은 같은 시험항목이라도 주파수 대역을 세분화하여 시험이 이루어진다. 세계각국에서 사용되는 규격과 군사규격에서 규제하고 있는 주파수 영역은 그림 9와 같다.

그림 9. 전자파 간섭에 대한 각 규격별 주파수 대역

Frequency Range of EMC Regulations



주파수 대역이 가장 넓은 군사규격의 시험항목은 표2와 같다.

표 2. 군사규격(MIL-STD-461D)의 전자파 시험항목

Requirement	Description
CE101	Conducted Emissions, Power Leads, 30 Hz to 10 kHz
CE102	Conducted Emissions, Power Leads, 10 kHz to 10 MHz
CE106	Conducted Emissions, Antenna Terminal, 10 kHz to 40 GHz
CS101	Conducted Susceptibility, Power Leads, 30 Hz to 50 kHz
CS103	Conducted Susceptibility, Antenna Port, Intermodulation, 15 kHz to 10 GHz
CS104	Conducted Susceptibility, Antenna Port, Rejection of Undesired Signals, 30 Hz to 20 GHz
CS105	Conducted Susceptibility, Antenna Port, Cross-Modulation, 30 Hz to 20 GHz
CS109	Conducted Susceptibility, Structure Current, 60 Hz to 100 kHz
CS114	Conducted Susceptibility, Bulk Cable Injection, 10 kHz to 400 MHz
CS115	Conducted Susceptibility, Bulk Cable Injection, Impulse Excitation
CS116	Conducted Susceptibility, Damped Sinusoidal Transients, Cables and Power Leads, 10 kHz to 100 MHz
RE101	Radiated Emissions, Magnetic Field, 30 Hz to 100 kHz
RE102	Radiated Emissions, Electric Field, 10 kHz to 18 GHz
RE103	Radiated Emissions, Antenna Spurious and Harmonic Outputs, 10 kHz to 40 GHz
RS101	Radiated Susceptibility, Magnetic Field, 30 Hz to 100 kHz
RS103	Radiated Susceptibility, Electric Field, 10 kHz to 40 GHz
RS105	Radiated Susceptibility, Transient Electromagnetic Field

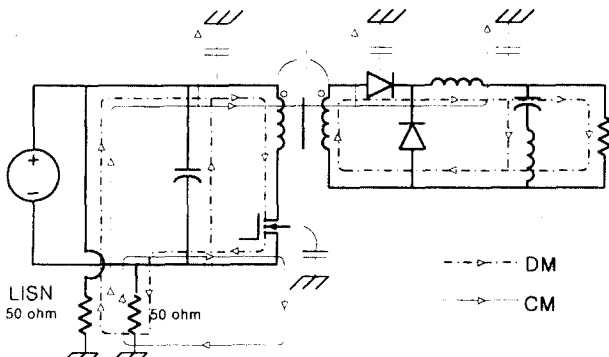
#### 4. 전원장치의 EMI/EMC 필터의 최적화

통신용 전원의 경우 배터리 또는 교류-직류 컨버터를 이용하여 안정화된 직류전원을 공급할 수 있어야 한다. 일반적으로 통신장비의 경우 중량과 부피를 최소화한 고밀도 전원장치가 필요하게 된다. 이러한 요구사항을 충족시키기 위하여 전원장치로 스위칭 컨버터(SMPS : Switched Mode Power Supply)를 사용하고 있다. 스위칭 컨버터는 고밀도화를 위하여 고주파 스위칭으로 동작하므로써 급격한 전압, 전류의 변화와 회로상에 존재하는 기생 성분으로 인하여 고주파수로 진동하는 전자파 잡음이 발생되는데, 이 전자파 잡음은 타장비에 전자파 간섭을 초래한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 잡음발생 억제, 잡음의 전달경로 차단 및 감쇠를 위한 방안이 필요한데, 이를 위하여 소프트 스

위칭(Soft Switching), 스너버 회로(Snubber Circuit) 사용, 전자파 차폐, 전원선을 통하여 방사되는 전도 잡음(Conducted Noise)의 필터링, 적절한 접지 및 부품 배치 등의 기법 등이 적용되고 있다. 특히 전도잡음의 경우 외부로 방출되는 전도잡음을 감소시키기 위해서는 최대한 잡음원(Noise Source)을 억제하고 전달경로를 차단함과 동시에 발생하는 잡음을 적절하게 저감시키기 위한 필터(Filter)의 사용은 필수적이다. 이때 사용되는 필터는 인덕터와 커패시터로 구성되기 때문에 자칫 제품의 크기와 중량을 증가시킬 수 있기 때문에 최적의 필터를 설계할 필요가 있다.

스위칭 전원장치는 주로 전도잡음(Conducted Noise)를 발생시키는 주범으로써 간주되고 있다. 따라서 스위칭 컨버터의 전도잡음 발생원과 전달경로를 분석할 필요가 있다. 전도잡음은 잡음 특성에 따라 차상(Differential Mode 또는 Normal Mode)과 동상(Common Mode)으로 구분된다. 또한, 차상 및 동상 전도잡음은 각각 잡음 발생원과 전달경로가 다르기 때문에 전도잡음에 따라 발생원의 억제책, 차단 방법 및 필터 설계 등이 달라져야 한다. 전도잡음의 발생 및 전달경로는 그림 10과 같다. 실선은 동상, 점선은 차상의 전도잡음을 나타내며 각 성분은 서로 상이한 전달경로를 갖고 있다.

그림 10. 전도잡음의 발생 및 전달경로



차상전도잡음은 스위칭 전류의 급격한 변화 또는 맥동전류에 의한 인덕턴스의 영향과 다이오드

의 턴-오프(Turn-off)시 P-N접합 커패시턴스에 의한 충전전하에 의해 발생된다. 1차측에서 발생한 차상전도잡음은 핫선(Hot Line)→트랜스포머 1차 권선→스위치→리턴선(Return Line)→LISN(Line Impedance Stabilization Network) 저항(100Ω)/커패시터→핫선을 통한 폐회로를 형성하면서 순환되며, 2차측에서는 트랜스포머 2차권선→다이오드→인덕터→커패시터/부하를 통하여 순환되면서 1차측에 전도잡음을 유기한다. 차상전도잡음은 핫선과 리턴선을 폐회로로 하여 순환된다. 차상전도잡음은 누설 및 기생 인덕턴스에 의해 발생되므로, 이를 감소시키기 위해서는 컨버터 구성품 및 선로의 기생, 누설 인덕턴스를 감소시켜야 한다. 동상전도잡음은 급격한 전압변동과 스위칭간에 발생하는 링잉(Ringing) 현상에 의해 발생되며 스위치/다이오드의 방열판 및 선로와 접지 사이의 기생 커패시턴스, 트랜스포머의 기생 커패시턴스가 동상전도잡음의 전달경로가 된다. 동상전도잡음은 차상전도잡음과 달리 컨버터를 구성하는 구성품의 배치 및 형상에 크게 영향을 받는다. 핫선과 리턴선에서의 동상전도잡음은 위상이 동상으로서 컨버터 회로와 접지 사이로 순환된다. 동상전도잡음의 전달경로인 기생 커패시턴스는 약 10~3,000[pF]로서 스위칭 주파수가 증가함에 따라 그 영향이 증대된다. 이러한 동상전도잡음을 감소시키기 위해서는 기생 커패시턴스를 감소시키면서 방열판과 접지간의 적절한 차폐와 접지 처리, 링잉 감소, 트랜스포머의 차폐 등이 필요하다.

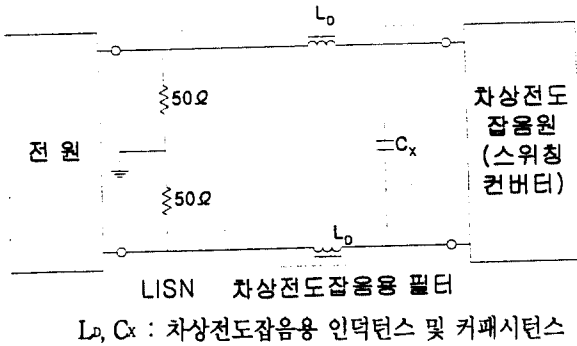
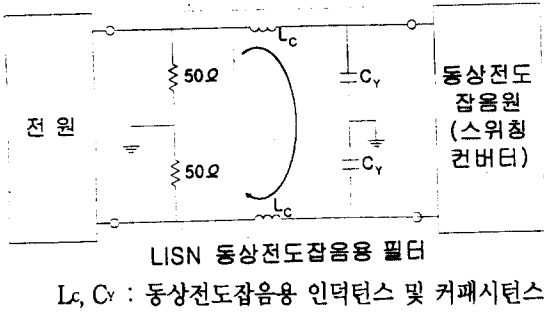
발생되는 동상 및 차상 전도잡음의 발생을 최대한 억제하여도 전원선을 통하여 방출되는 전도잡음은 필터를 이용하여 감쇠시켜야 한다. 전도잡음과 마찬가지로 필터 또한 동상 및 차상 전도잡음에 따라 그 형태가 그림 11과 같이 달라져야 한다.

따라서 방출되는 전도잡음 성분을 차상과 동상으로 분리하여야 최적의 필터 설계가 가능하다. 전도잡음 성분을 분리하는 장치로는 그림 12와 같은

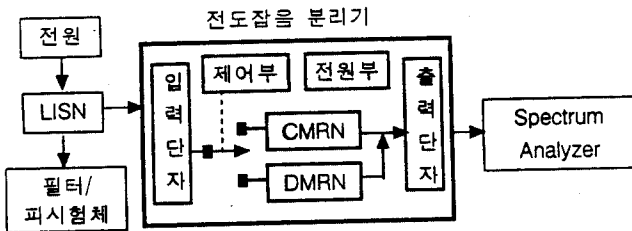
전도잡음 분리가 이용될 수 있다.

### 5. 맺는 말

(그림 11). 동상 및 차상전도잡음용 필터 회로



(그림 12) 전도잡음 분리의 구성 및 장비 배치도



전도잡음 분리는 DMRN(Differential Mode Rejection Network)과 CMRN(Common Mode Rejection Network)으로 구성되어 있으며 DMRN은 동상전도잡음을 CMRN은 정상전도잡음을 분리한다. 분리된 동상 및 정상 전도잡음 각각에 대한 필터를 설계한다면 시행착오를 최소화 하면서 최적화된 필터가 가능하게 된다.

본 보고에서는 전자파 간섭의 원인과 그 대책에 대하여 살펴 보았다. 정보통신 및 전자분야의 장비가 고도화, 고기능화하면 할수록 전자파 간섭은 더욱 복잡한 양상으로 나타나게 되며 이에 대한 대책 수립에 만전을 기하여야 한다. 우리는 이러한 폐해가 어느 정도까지 우리 일상생활에 미치고 있는지 정확히 파악되어 있지 않은 시점에서 보다 정밀하고 정확한 전자파 간섭을 파악해 볼 필요가 있다. 이런 여러 문제는 선진국에서 무역장벽으로 활용되고 있고 이를 극복하기 위해서는 정보통신 장비의 EMI/EMC 대책은 필수적이라 할 수 있다.

#### [참고문헌]

- [1] C.I.S.P.R.(Comite International Special Des Perturbations Radioelectriques)
- [2] MIL-STD-461D, "Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Emissions and Susceptibility", DOD, 1993
- [3] Donald White, "Electromagnetic Interference Compatibility Handbook", 2nd edition, 1980
- [4] Henry W. Ott, "Noise Reduction Techniques in Electronic Circuit", 2nd edition, John Wiley & Sons, 1989
- [5] 한국전자통신연구소, "전자파 장애 측정 및 방지대책 연구", 1993. 12.
- [6] 한국전자통신연구소, "전자파 장애 측정 및 방지대책 연구", 1994. 12.
- [7] T. Guo, D.Y. Chen, and F.C. Lee, "Separation of the Common-Mode and the Differential-Mode Conducted EMI Noise", IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 11, no. 3, pp. 480-488, May 1996.



김진성

- 1962년 2월 9일생
- 1984년 동국대학교 전기공학과 졸업
- 1989년 동 대학원 전기공학 석사 졸업
- 1997년 2월 충남대학교 전기공학과 박사과정 수료
- 주관심 분야는 Power Electronics, Pulsed Power 등



김양모

- 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 버지니아테크 방문교수
- 주관심 분야는 Railway Systems, Power Electronics 등임