

소전력 제어시스템의 EMC 저감기술 및 특성

(Reduction Techniques of Electromagnetic Disturbance and Characteristics of measurement result for the small electric power control system)

김순기* · 안정열 · 이진우

(Soon-Gi Kim · Jang-Yul, Ahn · Chin-Woo Yi)

Abstract

EMC(Electromagnetic Compatibility) is the ability of an electronic device that operates properly in its intended electromagnetic environment and not be a source of pollution to that environment. The designer anticipates EMC problems at beginning of the process and finds remaining problems in early prototype stages, and tests the final prototypes for EMC as thoroughly as possible. This is a more cost-effective method. In this paper, it analyzes EMC problems that were appeared in actual measurement of electric power control device and presents reduction technique of these problems.

1. 서 론

오늘날 우리는 날로 심해지는 전자파 환경 속에서 살고 있다. 범람하는 첨단화된 고기능의 전자기기 상호간의 전자파 영향은 물론, 최근에는 자연환경과 인체에 유해한 전자파 공해까지 날로 수위를 더해가고 있다. 생활환경과 인체건강에 대한 관심이 높아지고 웰빙 시대를 살아가는 이때, 유해 전자파의 저감기술은 그 어느 때보다 중요하다.

2. 본 론

2.1. EMC 적용규격과 기술기준

본 논문에서는 소전력 제어시스템에 적용되는 EMC 규격과 기술기준은 다음과 같다. 일반적으로 산업 의료 과학 가전 조명 정보통신기기 등 특정 제품에 대해서는 제품규격 그리고 제품군에 해당하면 제품군 규격을 적용하고 그 외에는 Generic Standard를 적용하게 된다. 그리고 유럽의 CE, 미국의 FCC, 한국의 K와 KN, 국제규격인 CISPR 기타 여러 규격이 있으나, 본 논문에서는 이 제품에 대해 산업지역에서 사용하는 제품의 CE규격인 EN61000-6-4(EMI)와 EN61000-6-2(EMS)을 적용한다. 여기서 적용 할 산업지역의 EMI 규격인 EN 61000-6-4 의 기술기준은 다음과 같다.

2.1.1. 전도성 장애파의 허용레벨

준첨두치(Quasi-peak)로 0.15MHz~0.5MHz 범위

에서 79dB μ V 이하 0.5~30MHz 에서는 73dB μ V 이하 평균치로 0.15MHz~0.5MHz 범위에서는 66dB μ V 0.5~30MHz 에서는 56dB μ V 이하이다.

2.1.2. 방사성 장애파의 허용레벨

준첨두치로 30MHz~230MHz에서 40dB μ V/m 이고 230MHz~1GHz 에서는 47dB μ V/m 이하이다. 첨두치 검파기는 수신기 IF 출력신호의 최대치 준첨두치는 IF 대역폭, 총방전 시정수에 영향이 많고, 총방전 시정수에 대해서는 CIPR16에 규정되어 있으며, 평균치는 첨두치에 대한 평균치이다.

2.2. 측정 샘플의 제원

본 논문에 사용한 샘플의 제원은 다음과 같다.

- 형명: 히터전력 제어 시스템
- 부하 제어방식: Thyristor 에 의한 Zero-crossing 방식의 부하제어
- 제어용 전압전류 센싱: CT로 검출하여 ADC to MPU
- 주 제어기: 16 bit Microprocessor 제어
- 설정과 표시부: LCD display & Keypad
- 원격제어: RS232C 에 의한 Serial 통신(option)
- 입력전원: AC220-230V 60/50Hz
- 부하종류: 수조용 전기히터

시험대상 제품은 2KW 정도의 부하를 제어하는 히터를 선정하였으며, 부가 기능의 측정 이해를 위하여 동종의 타 제품의 측정 결과를 활용하였다.

2.3. EMC 측정용 샘플의 배치 및 측정

측정 주파수 범위는 150KHz~30MHz에서 실시하였다. 그림 1은 전도성 EMI 측정회로도이다.

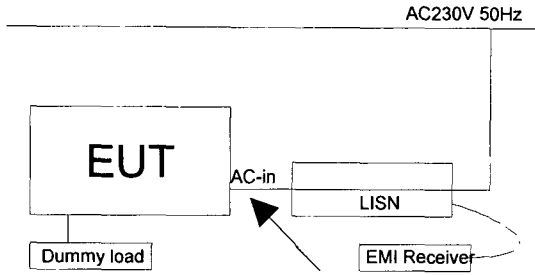
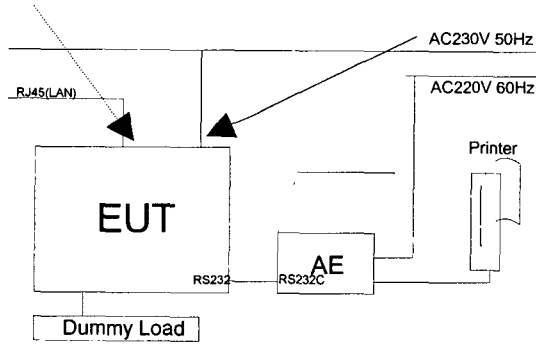


그림 1. 전도성 EMI 측정 회로도

최근에는 Ethernet에 의한 원격제어 내지는 PC로 제어 가능한 신제품 인증이 많이 의뢰 되며 회로결선은 그림 2와 같다.



EUT : Equipment under Test
 AE : Auxiliary Equipment
 LISN : Line Impedance Stabilization Network

그림 2. Ethernet에 의한 원격제어 및 PC제어 가능 측정 결선도

• 측정 포인트

실선은 전원선을 타고 나오는 노이즈양을 측정하였으며, 점선은 신호선 및 통신선을 타고 나오는 노이즈양을 측정하였다.

2.3.1 전도성 전자파 장애

다음 표 1에 전도성 전자파 장애 측정설비 제원을 나타내었다.

표 1. 측정설비 제원

사용장비	모델명	제조사	사용여부
EMI Test Receiver	ESIB-7	R & S	<input checked="" type="checkbox"/>
LISN	ESH3-Z5	R & S	<input checked="" type="checkbox"/>
ISN	ENY-41	R & S	<input checked="" type="checkbox"/>
Pulse Limiter	ESH3-Z2	R & S	<input checked="" type="checkbox"/>

시험장소: 전자파 차폐실

시험환경: 온도 21℃, 습도 31%, 기압 1021mb

시험방법:

- (1) 시험측정대상 기기 및 시스템을 취급설명서 상에 기술된 상태로 구성한다.
- (2) 측정할 기기가 특정설비와 함께 사용될 때에는 해당 설비를 함께 접속하며 어떤 시스템의 일부로 사용되는 부분품의 경우에는 그 시스템에 설치하여 정상동작 시킨다.
- (3) 각 접속단자(인터페이스 포트)마다 해당 주변기기를 접속하고 시험한다.
- (4) 측정할 기기에 접지단자가 있는 경우에는 접지하고 전원선 플러그를 통해 내부 접지된 기기는 사용전원을 통해 접지하고 시험한다.
- (5) 통상 테이블 위에 올려놓고 작동하는 측정기기는 접지면으로부터 0.8m 높이의 시험대 위에서 시험하고, 바닥에 설치하는 측정기기는 바닥 면에서 시험한다.
- (6) 측정할 기기는 동작모드, 전송속도 등이 다른 경우에는 각각 시험하여 가장 높은 측정값을 시험값으로 선택함.
- (7) 측정할 기기는 독립적인 회로망을 통해서 전원을 공급하고, 기타 주변기기는 별도의 회로망을 통해서 전원을 공급한다.
- (8) 접지된 도체벽면으로부터 0.4m, 다른 접지면으로부터 0.8m 이상 떨어져서 시험한다.
- (9) 유연성 전원선인 경우에는 회로망과 측정기기의 중앙 위치에서 30cm 내지 40cm의 8자 형태로 수평적으로 중첩하여 묶는다. 비유연성 전원선 또는 코일형 코드의 경우에는 실제상태로 시험한다.

[전도성 장애파의 적합 판정]

측정 데이터상의 결과값이 제한치 보다 3dB μ V 이하로 검출되면 적합한 것으로 판정(측정불확도 \pm 3dB 적용함)한다.

2.3.2 방사성 장애파 측정 방법 및 결과

측정주파수 범위는 30MHz~1000MHz에서 측정하였다. 그림 3은 방사성 전자파 측정 회로도이다.

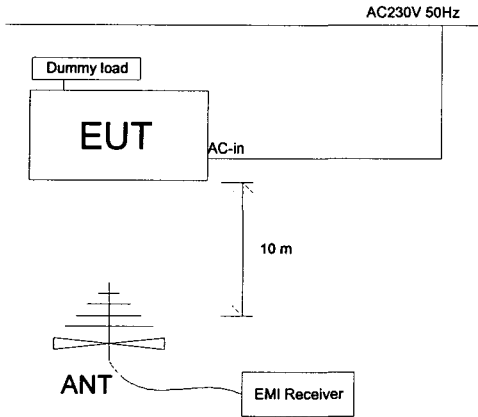


그림 3 . 방사성 전자파 장애 측정 회로도

* ANT: TRILOG antenna

* 예비측정 : 전자파 실드룸에서 실시하였으며, 검출 포인트의 주파수를 읽고 정규야외시험장에서 측정을 실시하였다.

EMI측정에서 공간을 통해 전파되는 고주파 노이즈 양을 측정한다.

표 2 . 방사성 전자파 장애 측정설비 제원

사용장비	모델명	제조사	사용여부
EMI Test Receiver	ESIB-7	R & S	<input checked="" type="checkbox"/>
Spectrum Analyzer	R3132	Advantest	<input checked="" type="checkbox"/>
TRILOG Antenna	VULB 9163	Schwarzbeck	<input checked="" type="checkbox"/>
Antenna Mast	MA240 0	HD-GmbH	<input checked="" type="checkbox"/>
Turn Table	DS4150 S	HD-GmbH	<input checked="" type="checkbox"/>

시험장소 : 10m 야외 시험장

(1) (1)~(6)번은 전도성 장애파 시험방법과 동일하고

(2) 측정기기는 통상 사용 상태에서 각 주변 기기 및 케이블 등을 최대 방사가 일어나도록

배치함.

(3) 측정기기를 360도 회전시키고, 안테나 높이를 1~4m 높이로 가변하며, 수평 및 수직편파 각각의 최대 방사점을 찾음.

(4) 안테나와 측정거리는 10m로 하고

(5) 유연성 전원선인 경우에는 회로망과 측정기기의 중앙 위치에서 접지판으로부터 40cm 떨어진 높이에 30cm 내지 40cm의 8자 형태로 수평적으로 중첩하여 묶는다. 비유연성 전원선 또는 코일형 코드의 경우에는 실제 상태로 시험하여 그 사실을 기록한다.

[측정치 산출법]

$$F1[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] = F2[\text{dB}\mu\text{V}] + F[\text{dB}/\text{m}]$$

* F1: 최종측정치, F2: 계기지시치, F: 보정계수

* 보정계수 = Antenna Factor + 케이블손실

[방사성 장애파의 적합 판정]

측정 데이터상의 결과값이 제한치 보다 5dB μ V/m이하로 검출되면 적합한 것으로 판정한다.

2.4 초기측정의 결과분석 및 대책검토

아래 그림 4는 전도성 장애파 측정 파형이다.

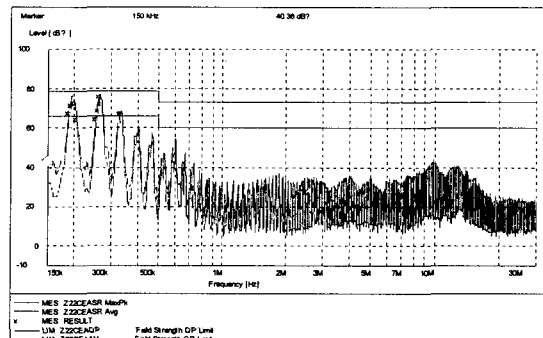


그림 4. 전도성 장애 측정 파형

이 결과 파형은 제품 초기의 측정 결과임 불합격이며, 곡선에서 보면 침두치 곡선은 준침두치 제한선에서 1dB 정도 낮은 상태로 주의 포인트이고 평균치 곡선은 이미 평균치 제한선을 10dB나 넘어간 상태로 차후 불확도를 고려 13dB 정도를 저감 시켜야만 하였고 대상 주파수는 190~210KHz 이었다.

일반적으로 미소전력 시스템에서는 제어기용 전원과 동시에 통과용 전원이 동시에 공급되거나 높은 부하 일수록 전원 필터 통과 전류 등의 문제로 분리가 된다. 최근에는 SMPS 방식의 전원공급기가

대부분 이므로 많이 나타나고 있는 현상이다. 여기서 다루는 제어기는 제어부의 전원이 독립되어 있어 Microprocessor 주제어부로 공급되는 전원 필터를 수정보완 하였다. 그림 5는 방사성 장애 파 예비측정결과를 나타내었다.

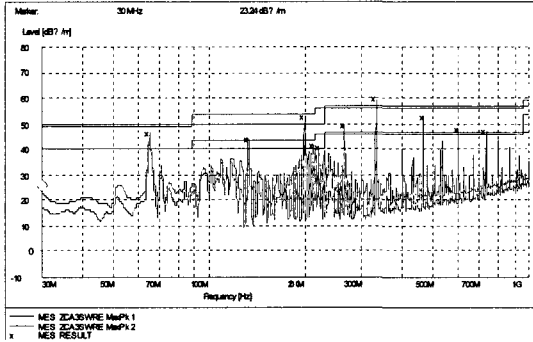


그림 5. 방사성 장애 측정 파형

그림 5의 측정결과를 보면 이미 제한치를 넘은 포인트가 2개 있고, 4개 정도가 요주의 포인트가 있음을 알 수 있었다.

측정 불확도 5dB을 고려 할 때, 6포인트가 주의 포인트 이므로 수정보완을 해야 할 필요가 있다. 대상 주파수는 120~600MHz 사이 임을 확인하였다.

여기서 다루는 시험샘플은 알미늄 히트싱크점 외장 엔클로저를 사용하는 방식으로 실드와 PCB상의 접지 처리 보완과 그래프 전체적으로 볼 때 일정한 주파수 간격을 유지하며 포인트가 나타나므로 이는 해당 주파수의 발진기와 고조파 루틴 등을 검토 하였다.

2.5. 장애파 저감을 위한 설계 수정 보완

2.5.1. 전도성 장애파 측정 및 대책

먼저 SMPS 전원공급기 측의 내부를 탈거하여 전원필터 측을 검토한 결과, 양쪽 L의 Inductance 값과 C의 값이 해당 포인트 주파수에 해당되지 않는 것으로 확인하였다. Ferrite core와 권선의 횟수로 볼 때 1mH 정도로 보고 LCR meter를 사용하여 측정한 결과 0.85mH로 나타났고 Xcap, Ycap의 용량도 103과 102로 대체적으로 높은 쪽으로 공진되어 있음을 알 수 있었다. 결국 낮은 주파수에 대해서는 무방비임을 알 수 있었다.

설계보완 작업으로 Xcap을 472로 교체하여 재측정을 한 결과 200KHz 부근의 초과 포인트는 기준

치 이내로 들어 왔지만, 반대로 높은 쪽에서 상당량의 노이즈가 검출되어서 이는 SMPS의 1차측 자러 발진부와는 관계없이 제어기로부터 전원측으로 출력되는 노이즈로 브리지 정류의 평활 전해 캐패시터를 병렬로 103 세라믹 Cap을 설치하여 그림 6과 같은 데이터 파형을 얻을 수 있었다.

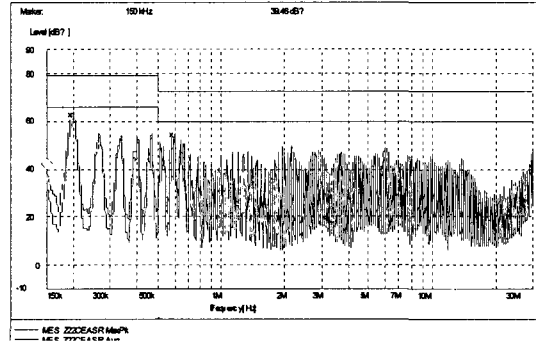


그림 6. 최종 전도 장애 측정 파형

이를 회로도로 나타내면 그림 7과 같다.

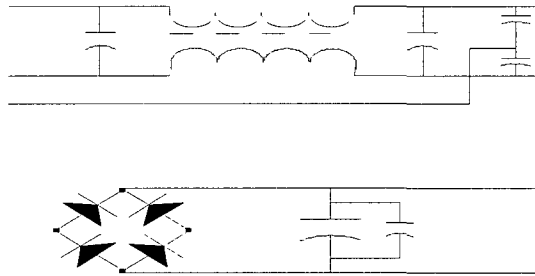


그림 7. 전도성 장애파 제거 회로도

그러나 최소한의 마진으로 여유가 없는 상태로 실제사용 환경 조건에 따라 약간씩 변화 할 수도 있고, 또한 근래에는 제품의 바이어에 따라서는 자사 상표의 신뢰성을 높이기 위하여 5dB의 마진 혹은 그 이상의 마진을 요구하고 있어 이 정도의 만족은 고려 해 봐야 한다. 여기서 윗부분의 필터를 한번 더 사용하는 것이 이상적이다. 그리고 1차 필터 2차 필터의 공진 주파수를 한쪽은 고 다른 한쪽은 저주파수에 공진하는 L, C로 구성하고 Coil의 Q를 완만하게 하여 150KHz~30MHz를 전체적으로 커버 할 수 있도록 L과 R을 염두에 두고 시정수를 선정해야 한다.

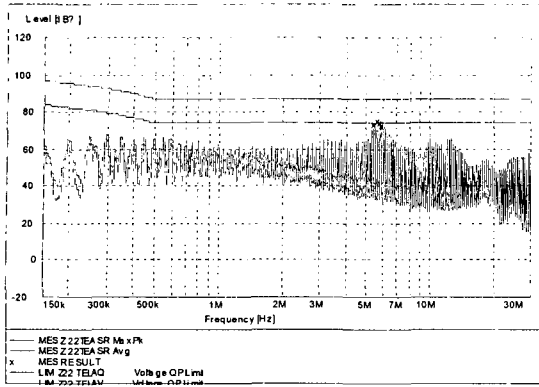


그림 8. 타사제품의 통신선 전도성 장애 파형

평가: 제한치를 넘는 포인트는 없다. 측정 파형 중 윗부분이 윗쪽 제한치(Qp)를 넘지 않는다.

2.5.2 방사성 장애파 측정 및 대책

방사성 장애파의 발생의 대표적인 요인은 PCB 상의 자속의 영향과 소스로부터 공급 구동되는 전류량이나 유기되는 전압 등으로 들 수 있다.

PCB 상에서의 자속상쇄 : 모든 전기회로는 신호를 발생시키는 소스, 부하측, 전류의 귀환경로로 구성된 폐회로를 이루고 있다. 이러한 자속은 이웃한 선로간의 신호를 결합시켜 누화현상을 일으킬 뿐 아니라 외부로 복사되는 장애파의 강도가 상승하는 원인이 된다. 자속을 감쇄 시키는 방법은 반대방향의 전류를 이웃에 흘려 자속을 서로 상쇄시키는 것이다.

- PCB 판의 다층화: 도전층을 전원면과 접지면으로 만들어 자속상쇄 효과를 얻는다.

- 선로에 Ferrite bead 적용: 해당 주파수의 장애신호를 흡수하여 열로 발산시키는 특성을 이용한 다.

- 유도, 용량, 저항성 소자의 공진 주파수 감소 대책: 부유용량과 감결합에 의한 특정주파수 공진현상으로 필요 이상의 주파수가 발생 되지 않도록 한다.

- Enclosure 의 실드상태를 확실히 한다 : 외관페인트 등으로 인하여 실드상태가 불안하여 이것이 공중선 역할을 하게 되므로 더 많은 불필요한 방사가 이루어진다.

본 논문에서 사용한 측정 기기의 실제 보완사항은 다음과 같다.

- * 외부와 연결되는 모든 선의 실드외피 그라운드 연결
- * 보드상의 귀환 접지회로 보강
- * 메인보드상의 터미널 연결 부위의 Ground 라인 연결

* 수정발전 모듈의 Vcc 저감을 위하여 저항 삽입하여 3.38V로 조정 및 수정발전기의 Ringing을 감소시키기 위한 댐핑저항과 비드 삽입.

* 사용하지 않는 패턴의 접지 처리

그림 9는 EMI 저감용 Ferrite Core 적용을 나타내었고, 그림 10은 최종 방사 장애 측정 파형을 나타내었다.

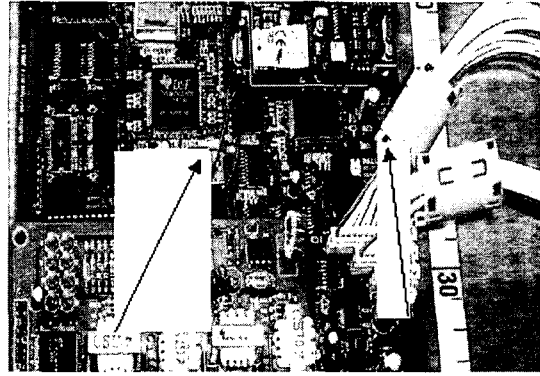


그림 9. EMI저감용 Ferrite Core 적용

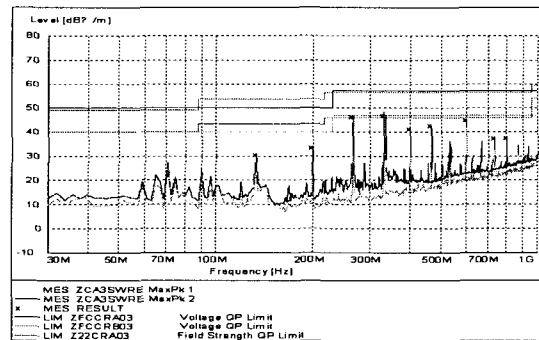


그림 10. 최종 방사 장애 측정 파형

3. 결론

본 논문에서 사용된 제품을 예비 측정하여 불합격으로 판정됨에 따라 응급적인 방법에 의해 저감 대책을 수립한 다음 수정 보완한 결과를 분석하였다. EMI 저감에 대한 접근법으로는 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 바람직하지는 않지만 응급접근법과 가장 효율적인 시스템접근법이 있다.

응급접근법이란 전체적인 EMC를 무시한 상태에서 설계, 제조한 후 장애파가 제한치를 초과 하였을 때 응급적으로 수정 보완 하는 방법으로 일반적

으로 진행상 추가 소요비용이 많이 들고 비효율적이다. 심한 경우에는 제품을 포기하는 사례까지 발생하는 경우도 있다. 반면 시스템 접근법은 개발 및 설계단계로부터 테스트, 생산단계에까지, 즉 초기단계로부터 EMC 문제점을 해결 하면서 진행하는 것으로 가장 효율적 이므로 적극 추천하는 접근방법이다.

전도성 장해파를 기준값 이하로 하기 위해 페라이트 코어(Ferrite core)와 권선의 횟수로 볼 때 1mH 정도로 보고 LCR meter를 사용하여 측정된 결과 0.85mH 이었으며, Xcap, Ycap의 용량도 103과 102로 대체적으로 높은 쪽으로 공진 되어 있음을 알 수 있었다. 결국 낮은 주파수에 대해서는 대책 강구가 필요하였으며, Xcap을 472로 교체하여 재측정을 한 결과 200KHz 부근의 초과 포인트는 기준치 이내로 들어 왔지만, 반대로 높은 쪽에서 상당량의 노이즈가 검출되었는데, 이는 SMPS의 1차측 자력 발전부와는 관계없이 제어기로부터 전원측으로 출력되는 노이즈로 브리지 정류의 평활전해 캐패시터를 병렬로 103 세라믹 Cap을 교체하여 양호한 데이터와 파형을 얻을 수 있었다.

방사성 방해파 저감 대책으로 외부와 연결되는 모든 선의 실드외피를 그라운드하고, 보드상의 귀환 접지회로 보장하였으며, 메인보드상의 터미널 연결 부위의 그라운드라인을 연결하고, 수정발전 모듈의 Vcc 저감을 위해 R을 추가하여 3.38V로 조정 및 수정발전기의 Ringing을 감소시키기 위한 댐핑저항과 비드를 삽입하여 저감시켰다.

본 논문에서는 몇 가지 EMI 대책을 실제 측정된 결과를 기초로 하여 나타냈지만, 실제 진행하다 보면 이론과는 많이 다르게 되어 그때그때 거의 다른 잡음원을 만나게 되며, 무수한 실패와 노력을 바탕으로 끊임없이 EMI 저감기술을 축적하여 설계 초기 단계부터 적용하는 것이 가장 바람직하다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] C.I.S.P.R.(Comite International Special Des Perturbations Radioelectriques), Publication 22., pp.1-20, 1986.
- [3] 김진성, 권준혁, 김양모, "모드 분리기법을 이용한 스위칭 컨버터의 전도잡음 분석 및 대책에 관한 연구", 대한전자공학회 논문집, 제35권 S편 제4호, pp.128-138, 1998. 4.
- [4] 박석하, 김양모, "전기·전자장비의 EMI/EMC", 조명전기설비학회지, Vol.13, No.4, pp.3-14, 1999.
- [5] 김세동, 정수용, "컴퓨터 및 정보통신기기의 전자파 방해(EMI) 대책기술", 조명전기설비학회지, Vol.13, No.4, pp.15-19, 1999.