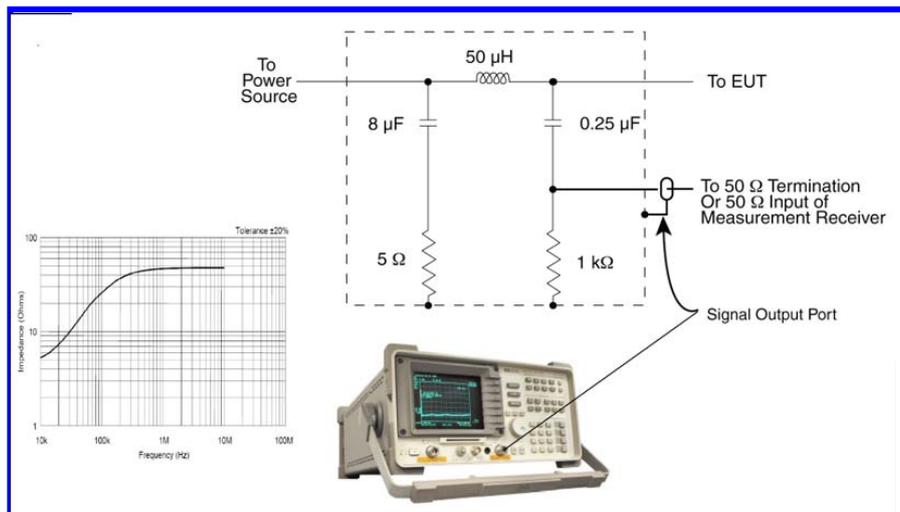


## 전자파(EMC) 군용규격(MIL STD 461x)과 상용규격(CISPR, IEC)간 비교 및 대처 가능성에 대한 연구

### 연구목적

본 연구는 전자파 관련 군용규격의 역사적 변천을 살펴보고, 상용규격과의 시험 목적 및 성격에 대해 비교 검토하여, 모든 군용기기에 MIL STD 461x 적용에 따른 제반 문제점, 효율성, 경제성, 현실성에 대해 비교하여 상용으로 생산된 제품의 군사용 목적으로 사용 가능성을 검토하는데 있다.



주의 : 본 문서는 주)한국기술연구소가 저작권을 가지고 있으므로, KTI 허락 없는 무단 전제는 금한다.

Top of world class EMC engineering since 1987

**Korea Technology Institute Co. LTD**

[www.emc.re.kr](http://www.emc.re.kr) [ktimin@chol.com](mailto:ktimin@chol.com) 82-31-763-6709

MIL STD 461E test & designed by KTI since 1987. [www.emc.re.kr](http://www.emc.re.kr)

Summaries of MIL STD 461E

MIL STD 461E Series	General descriptions
CE101	Conducted Emissions, Power Leads, 30 Hz to 10 kHz
CE102	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 150 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 200 MHz
CS115	Conducted Susceptibility, Bulk Cable Injection, Impulse Excitation
CS116	Conducted Susceptibility, Damped Sinusoidal Transients to the 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, 2 MHz to 40 GHz
RS105	Radiated Susceptibility, Transient Electromagnetic Field

Requirement Applicability

Equipment and Subsystems Installed Requirement Applicability In, On, or Launched From the Following Platforms or Installations.	Requirement Applicability																
	CE 101	CE 102	CE 106	CS 101	CS 103	CS 104	CS 105	CS 109	CS 114	CS 115	CS 116	RE 101	RE 102	RE 103	RS 101	RS 103	RS 105
군함정 (Surface Ships)		A	L	A	S	S	S		A	L	A	A	A	L	A	A	L
잠수함 (Submarines)	A	A	L	A	S	S	S	L	A	L	A	A	A	L	A	A	L
Aircraft, Army, Including Flight Line	A	A	L	A	S	S	S		A	A	A	A	A	L	A	A	L
Aircraft, Navy	L	A	L	A	S	S	S		A	A	A	L	A	L	L	A	L
Aircraft, Air Force		A	L	A	S	S	S		A	A	A		A	L		A	
Space Systems, Including Launch Vehicles		A	L	A	S	S	S		A	A	A		A	L		A	
지상, 육군용		A	L	A	S	S	S		A	A	A		A	L	L	A	
지상, 해군용		A	L	A	S	S	S		A	A	A		A	L	A	A	L
지상, 공군용		A	L	A	S	S	S		A	A	A		A	L		A	

여기서, A는 적용가능 (Applicable) 의미이고, L는 본 규격서의 개별 조항에 명기되어 있는 경우에 적용되며, S는 조달 문서상에 반드시 규정되어 있는 경우에 적용한다.

# 목 차

## 용어 및 약어정의

1. EMC 시험목적과 상용규격간 비교
  - 1.1 EMC의 방향성
  - 1.2 MIL STD 461의 탄생과 MIL STD 461D까지의 개정
  - 1.3 MIL STD 461D → MIL STD 461E 변경
  - 1.4 MIL STD 461E → MIL STD 461F 변경
2. 군용규격과 상용규격의 특성 비교
  - 2.1 MIL STD 461E의 요약
  - 2.2 MILSTD 461의 Tree
  - 2.3 주요 상용규격 EMC규격의 요약
    - 2.3.1 주요 상용 방사 EMI 관련 규격
    - 2.3.2 IEC 61000-4 시리즈 상용 전자파 내성(EMS) 규격 요약
3. 상용규격과 MIL STD 461의 EMC 규격의 비교
  - 3.1 방사 노이즈 비교
    - 3.1.1 저주파 방사 시험 비교
    - 3.1.2 높은 주파수에서 방사 노이즈 비교
  - 3.2 전자파 내성(EMS) 규격의 군용과 상용의 비교
    - 3.2.1 전도내성 시험의 비교
    - 3.2.2 높은 주파수 대역의 전도내성 시험규격의 군용규격과 상용규격의 비교
    - 3.2.3 전도적으로 시험되는 임펄스 내성시험의 상용과 군용의 비교
    - 3.2.4 전도적으로 시험되는 감쇠진동 서지 시험항목의 비교
    - 3.2.5 군용규격과 상용규격의 방사내성 시험규격 비교
      - RS101, RS 103 과 IEC 61000-4-8,9,10. IEC 61000-4-3의 비교
    - 3.2.5.1 낮은 주파수에서 방사내성 시험규격의 비교 (RS101 vs IEC 61000-4-8,9,10)
    - 3.2.5.2 높은 주파수 대역에서 방사내성 시험규격 RS 103과 IEC 61000-4-3의 비교
  - 3.2.6 SWC 시험의 비교
4. 군용규격 MIL STD 461E와 상용규격 IEC/CISSPR 비교 요약
  - 4.1 군용규격의 상용규격 대치 가능성
  - 4.2 군용 제품중 상용 전자파 시험으로 평가한 제품의 사용환경에 대한 고려
5. MIL STD 461 규격의 세계 각국 적용사례 및 보안성
  - 5.1 우리나라의 경우
  - 5.2 중국의 군용 EMC 규격
6. 결론

## 용어 및 약어 정의

AC : Alternating Current  
AI : Analog Input  
AM : Amplitude Modulation  
ANSI : American National Standards Institute  
CE : Conducted Emissions  
CDN : Coupling/Decoupling Network  
CS: Conducted Susceptibility  
CENELEC: Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique  
(European Committee for Electrotechnical Standardization)  
CISPR: Comite International Special des Perturbations Radioelectriques  
(Special Committee on Radio Interference)  
CM : Common Mode, Voltage between line to ground  
CRT: Cathode Ray Tube  
CT : Current Transformer  
CW : continuous Wave, un-modulated signal  
DC : Direct Current  
DI : Digital Input  
DIESC : Defense/Industry E3 Standards Committee  
DOD : Department of Defense  
DTRA :Defense Threat Reduction Agency  
E: Electric Field Strength (V/m)  
EIRP: Effective Isotropic Radiated Power  
EFT: Electric Fast Transient  
EFT/B electrically fast transient/burst  
ELF: Extra Low Frequency  
EMC: Electro Magnetic Compatibility  
EMI: Electro Magnetic Interference  
EMS: Electro Magnetic Susceptibility  
ESD : Electro Static Discharge  
EUT : Equipment Under Test  
FG : Frame Ground  
FM : Frequency Modulation  
GPS: Global Positioning System  
H: Magnetic Field Strength (A/m)  
IC : Integrated Circuits  
IEC: International Electrotechnical Commission  
IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers

*Total EMC engineering since 1987*

ISM: Industrial, Scientific, Medical Equipments

ITE: Information Technology Equipment

LISN : line impedance stabilization network

LF: Low Frequency

NASA :National Aeronautics and Space Administration

MCCB: Molded Case Circuit Breaker

MF: Magnetic Field

NEMA : National Electronics Manufacturers Association

NM : Normal Mode, Voltage for line to line

NRC U.S. : Nuclear Regulatory Commission

NPP : Nuclear Power Plant

OJEC: Official Journal of the European Community

ORNL : Oak Ridge National Laboratory

PCB : Printed Circuit Board

PM : Pulse Modulation

PWM: Pulse Width Modulation

QP : Quasi-Peak

RE: Radiated Emission

RES : Office of Nuclear Regulatory Research

RF :Radio Frequency

RFI: Radio Frequency Interference

RS: Radiated Susceptibility

SAE : Society of Automotive Engineers

SMPS : Switching Mode Power Supply

SWC : Surge Withstand Capability

TEMPEST : Transient Electro Magnetic Pulse Emanation Standard or Telecommunication Electronics

Materials Protected from Emanation Spurious Transmission. One of codename for EMC.

UPS: Uninterruptible Power Supply

VDU: Visual Display Unit

VVVF : Variable Voltage Variable Frequency

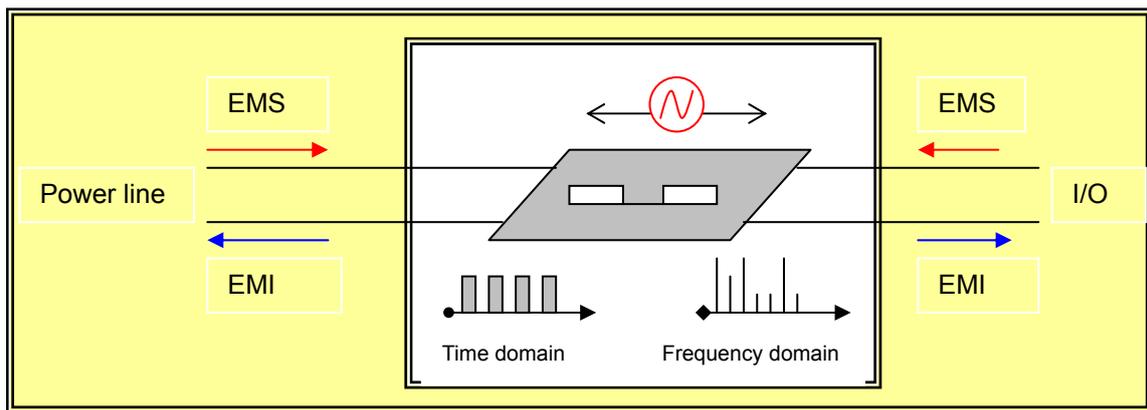
## 1. EMC 시험목적과 상용규격간 비교

### 1.1 EMC의 방향성

전자파 양립성(EMC)란 용어는 EMI+EMS를 합친 보다 광의적인 의미로 사용된다. EMI(RE,CE)란 어떤 전자기기로 만들어져 방사되는 전자파 즉, 기기로부터 밖으로 나가는 방향의 불필요한 전자파 세력을 말하는데, 여기에는 주파수가 낮은 대역은 자유공간보다 임피던스가 낮은 전원선이나 I/O선을 통해 전도적으로 방사되는 전도성 노이즈(CE)와 주파수가 높아 공간적으로 방사되는 RE가 있다.

EMI의 규제목적은 공중통신용 주파수를 보호하고, 외부 전자파로부터 취약한 프로세서 제어기기의 오동작을 방지하는데 있다. EMS는 EMI와 반대로 자연환경 조건 혹은 주변기기로부터 유입되는 전자파에 견디는 능력을 여러가지 방법으로 평가하여 프로세서 제어기기의 오동작을 방지하는데 있다.

따라서 EMS의 여러 인가 신호는 EMI와 달리 인가신호가 외부에서 기기 내부로 향하는 다음과 같은 방향성을 가지고 있다.



EMC의 방향성

### 1.2 MIL STD 461의 탄생과 MIL STD 461D까지의 개정과정

EMC 시험의 필요성은 로직회로의 저전압화, 제어기기의 디지털화에 따른 자동화 기기 오동작 방지와 공중통신의 보호목적에 따라 규제의 필요성이 요구되었다.

EMC 관련 기술은 미육군과 해군이 주축이 된 군용규격으로 출발하였다. MIL 규격의 경우 1945년 JAN-225로 처음 소개되었으며, AN-I-27이라는 규격으로 군용기기의 전기설비에 처음 적용하게 되었다. 이후 다양하고 독창적인 군용 전자파 관련 규격이 개발되고 적용되게 되었다.

적용 할 군용기기들이 다양화 됨에 따라 DoD( Department of Defense)내 작업반에서 관련 규격의 개선작업을 착수 된다. 이들 작업반에서는 1965에 EMI관련 용어정의, 측정 제한값, 측정방법, 기기별 규격적용 분야를 구체화 시켜 MIL STD 460 시리즈의 규격이 출현하게 되었다. EMC관련 규격은 MIL E 6051(Electromagnetic Compatibility requirement, system)이 1960년 6월17일에 제안되었고, 여기에 MIL STD 461,462 그리고 MIL STD 463이 있다, MIL 460은 초기에 단품에 적용하는 규격이었고 MIL-E-6051D는 주요 무기에 적용하는 규격으로 구매계약에서 요구되는 규격으로 출발하게 된다.

### Total EMC engineering since 1987

이후 단품이 아닌 시스템 혹은 서브 시스템 레벨 및 낙뢰방지에 적용하는 전자파 관련 규격이 MIL STD 460시리즈이다. MIL E 6051는 전자파 환경관리, 낙뢰방지, 정전기, 분당, 접지체계에 대한 내용을 포함하고 있으면 1968년 7월5일에 항공기 분야 접지 체계분야를 제외시키는 내용으로 1차 수정안이 제안되게 된다. MIL STD 461의 규격 명칭은 “ Electro magnetic interference characteristics, Requirement for equipments”으로 군용장비에 적용하는 전자파 간섭특성을 정의하였다. 이 규격은 1967년에 발행되었는데 이때 동반규격으로 MIL STD 462, 463이 소개되게 된다.

이후 1986년 MIL-STD 461A,B,C가 1987년 말까지 함께 군용제품 구매규격으로 적용되게 된다. MIL-STD 461A는 전자파 간섭 관리계획, 시험계획, 성적서 작성 형태에 대한 내용을 포함한 규격으로 기존의 MIL I 6181D, MIL E55301, MIL I 16910C, MIL STD 826A, MIL I 26600 등 통합하는 규격으로 출현된다. MIL-STD 461A에는 구체적으로 다음 내용을 포함하고 있었는데 군용규격의 골격을 이룬 규격이다. 이 규격의 제한값은 “Notice 1,2,3,4,5,6과 NASA addendum”에 기술되었다.

- Conducted emission tests(CE)
- Radiated emission tests(RE)
- Conducted susceptibility tests(CS)
- Radiated susceptibility tests(RS)

MIL-STD 461B는 명칭이 “ Electromagnetic emission and susceptibility requirement for the control of electromagnetic interference”으로 1980.4.1 소개되었으며 기존 MIL-STD 461A 규격의 각 장 번호를 재구성하고 EUT 사용환경과 전기적 특성차이에 따라 적용하는 규격내용을 구체화 시킨 내용이다.

이 규격은 총 10개의 Part로 구성되었으며 CS 09(60Hz to 100kHz)를 추가 하였다.

이때 동반규격으로 MIL-STD 462B를 제정하여 측정절차에 대한 내용을 포함하게 된다.

1986.8.4일에 MIL-STD 461C가 탄생하게 되는데 MIL-STD 461B와 기본 골격은 같고 새로운 측정절차에 대한 요구가 추가된다. 이때 추가된 새로운 측정절차는 CS10, CS11 그리고 RS05이며 내용상으로는 핵폭발시 발생하는 전자파에 대한 내성평가 항목 즉, NEMP에 대한 내성시험 항목이 추가된 것이다. MIL-STD 461의 동반규격인 MIL-STD 462는 전자파 간섭의 특징과 측정에 대한 내용을 포함하고 있으며 총 5개의 Notice로 구성되어 있다. 동반규격 MIL-STD 463은 전자파 측정관련 시스템 구성상의 정의, 약어, 단위계 그리고 주파수 할당에 대한 내용을 포함하고 있으며 1966.9에 제정되었고 1977.6.1 에 개정 되었다.

MIL-STD 461D는 1992년경에 검토하기 시작되어 1993년경에 골격이 소개되었는데, 변경된 내용은 측정환경과 조건들이 MIL-STD 461C과 많이 달라지게 된다.

MIL-STD 461D에서 주목해야 할 것은 1993년경에는 이미 CISPR, ANSI와 유럽제국의 VDE, EN 규정들이 많이 소개되어 상용분야 EMC기술이 급격하게 발전하게 되자, 군용규격을 대표하던 MIL-STD 461 규격이 큰 변화를 맞게 된다. 다시 말해 군용규격이 상용규격의 장점을 채택하기 시작한 것이다.

달라진 주요내용은 다음과 같다.

- 1) 실드룸에 전파 흡수체 부착
- 2) Bulk cable injection 시험을 규정

Total EMC engineering since 1987

- 3) 전도 방사 노이즈(CE) 주파수 대역을 10MHz로 제한
  - 4) 일부 설명 문귀를 MIL-STD 461D, 462D 추가
  - 5) 수신기의 전자파 내성시험을 정의
  - 6) 기존의 MIL-STD 463을 폐기
  - 7) 기존 MIL측정에 사용하던 10uF 커패시터를 LISN을 이용한 방법으로 대체
  - 8) 측정 대역폭과 측정시간의 규정 변경
  - 9) 내성 시험시 각 주파수별 Scan rate를 변경
  - 10) 각 시험 번호부여 방식 3자리수로 변경. 예: CE01→CE101, CS01→CS101
- MIL-STD 461C와 MIL-STD 461D의 변경된 부분을 요약하면 다음 표1과 같다.

표1. MIL-STD-461C → MIL-STD-461D로 변경사항 요약

"OLD" MIL-STD-461C		MIL-STD-461D	
Test Method		Comments	
<b>Conducted Emission</b>			
CE01	Power and Interconnecting Leads, Low Frequency (up to 15kHz)	CE101	30 Hz to 10 kHz, 120 to 76 dBμA, Submarine 95 to 76 dBμA
CE03	Power and Interconnecting Leads, 0.015 to 50 MHz	CE102	10 kHz to 10MHz, 94 dBμV to 60 dBμV, use 50 ohm μH LISN
CE06 CE07	Antenna Terminals, 10 kHz to 26 GHz Power Leads, Spikes, Time Domain	CE106	10 kHz to 40 GHz, -80 dB, RCVR : 34dBμV, 삭제
<b>Conducted Susceptibility</b>			
CS01	Power Leads, 30 Hz to 50 kHz	CS101	30 Hz to 50 kHz, 2 or 7 V, 80 watts across 0.5 ohm
CS02	Power and Interconnecting Control Leads, 0.05 to 400 MHz	CS114	10 kHz to 400MHz, various levels, 40 to 110 dBμA, Bulk Cable
CS03	Inter modulation, 15 kHz to 10 GHz	CS103	Requirements later from procurement spec.
CS04	Rejection of undesired signals, 30 Hz to 20 GHz	CS104	Requirements later from procurement spec.
CS05	Cross-modulation, 30 Hz to 20 GHz	CS105	Requirements later from procurement spec.
CS06	Spikes, Power Leads	CS115	T <sub>R</sub> = 2 ns, T <sub>D</sub> = 30 ns, PRF : 30 Hz, 5 A
CS07	Squelch Circuits	-	삭제
CS09	Structure Current, 60 Hz to 100 kHz	CS109	60 Hz to 100 kHz
CS10	Damped sinusoidal Transients, Pins and Terminals	-	삭제
CS11	Damped sinusoidal Transients, Cable 10 kHz to 100 MHz	CS116	10 kHz to 100 MHz, 0.1 A to 5A
<b>Radiated Emissions</b>			
RE01	Magnetic Field, 0.03 to 50 kHz	RE101	30 Hz to 100 kHz, 180 to 110 dBpT at 7 cm or 146 to 76 dBpT at 50 cm
RE02	Electric Field, 14 kHz to 10 GHz	RE102	10 kHz to 18 GHz, 62 to 24 dBμV/m at 2 to 100MHz, increasing to 69 dBμV/m at 18 GHz
RE03	Spurious and Harmonics, Radiated Technique	RE103	10 kHz to 40 GHz, -80 dB
<b>Radiated Susceptibility</b>			
RS01	Magnetic Field, 0.03 to 50 kHz	RS101	30 Hz to 100 kHz, 175 to 90 dBpT
RS02	Magnetic and Electric Fields, Spikes and Power	-	삭제
RS03	Electric Field, 14 kHz to 40 GHz	RS103	10 kHz to 40 GHz, 5 to 200 V/m, 1,000 Hz Square Wave Modulation
RS05	Electromagnetic Pulse Field Transient	RS105	5,000 V/m, Small Equipment in TEM CELL
<b>CE and RE for Ground Equipment</b>			
UM03	Radiated Emissions and Susceptibility, Tactical and Special Purpose Vehicles and Engine-Driven	-	삭제
UM04	Conducted Emissions and Radiated Emissions and Susceptibility, Engine Generators and Associated Components UPS and MEP Equipment	-	삭제
UM05	Conducted and Radiated Emissions, Commercial Electrical and Electromechanical Equipment	-	삭제

### 1.3 MIL STD 461D → MIL STD 461E 변경

1999.8.20일에 MIL STD 461E가 기존 (MIL 461D + MIL 462D)를 통합하여 하나로 발표된다. 규격변경의 목적은 전자.전기 기기간 EMC 관리특성을 분명하게 하기 위해 기기간 인터페이스 관계를 명확히 하고 측정의 재현성을 제고 시키기 위해 변경되게 되었다. 규격적용의 목적이 단품 상태에 대한 평가에서 케이블링을 포함한 시스템 레벨에 적용하게 된 것이 특징이다. 해당 규격 제정은 육군, 공군, 해군, DOC관계자와 산업계관리자가 개정에 참여하였으며 이 규격의 변경은 시험의 기능향상을 개선하는데 주 목적이 있었고, 상용규격인 IEC 시험방법을 참조한 것이 특징이다. 주요 변경 및 추가 내용은 다음과 같다.

- 1) 측정시료의 H/W 뿐만 아니라 S/W 모두 시험대상에 포함시킴
- 2) MIL-STD-461E의 Table II에 emission 측정을 위한 측정장비의 특성 정의.  
3번째와 4번째 주파수 변이점에서 MIL-STD-462D에서는 150kHz까지 되어 있는 것을 MIL-STD-461E에서는 250kHz로 변경
- 3) Section 4.3.10.4.1 and Table III of MIL-STD 461E에서 내성 시험시 각각 시험주파수의 dwell time을 MIL-STD-461D에서 1초로 되어 있는 것을 MIL-STD-461E에서는 3초로 변경.  
주파수 주사비율(scan rates)과 간격의 크기를 30Hz-1GHz로 증가시킴.
- 4) Table V of MIL-STD-461E의 적용분야를 변경. CE 101을 선박에는 적용하지 않도록 변경.  
규격적용분야에서 CS115가 모든 육상장비에 적용할 수 있도록 하고 CS116역시 STD-461E에서는 적용 할 수 있도록 하였다. RS101의 경우도 해군용 육상설비에 적용 할 수 있도록 하였다.
- 5) 측정장비의 주파수와 시험결과 확인방법을 변경
- 6) CS101의 시험주파수를 50kHz에서 150kHz까지 확장. MIL-STD-461D 에서는 주파수에 관계없이 최대 80 Watts로 되어 있던 것을 주파수에 따라 최대전력을 규정.
- 7) MIL-STD-461E CS109시험은 단상용기기의 경우 시험의 편익을 위해 증폭기 출력단에 결합용 트랜스를 사용 하도록 하고, 주입전류를 전류 프루브를 이용하여 관측하도록 변경되었다.  
MIL-STD-462D에서 단상의 측정장비의 전자파 간섭을 피하기 위해, 전원단에 절연트랜스를 사용하도록 하고 직렬저항 양단에서 전류측정을 하도록 되어 있는데 MIL-STD-461E에서는 이에 대해 측정점을 구체적으로 명시하고 있다.
- 8) CS114의 시험주파수를 200MHz로 함
- 9) CS116의 측정절차를 변경. MIL-STD-462D에서 루프 회로 임피던스 측정에 대한 요구를 MIL-STD-461E 에서는 삭제하고, 어떻게 Q값을 측정하였는지 설명하도록 하고 있다.
- 10) RE101 규정의 50cm 규정을 삭제. 해군용 장비에 적용하는 제한값(Limit)을 변경하였고 측정방향을 EUT의 전면과 후면 커넥터 연결부위에서만 측정하도록 규정을 변경하였으며, EUT의 모든 케이블을 연결하고 측정하도록 규정하고 있다.
- 11) RS101시험 방법에서 Helmholtz coil을 이용한 방법의 병용 추가
- 12) RS103 시험시 200MHz 이상 대역에서 a mode-tuned reverberation chamber 병용을 추가

### Total EMC engineering since 1987

- 13) RS103 시험중 전계센서의 위치가 바닥 접지면으로부터 최저 30cm이상일 것으로 개정
- 14) 일부 측정장비 구성방법에서 설치위치 변경.
- 15) CS114, RE102과 RS101 시험에서 제한값(Limit) 변경. MIL-STD-462D에서 루프회로 임피던스를 측정하도록 되어 있는 것을 삭제하였다.
- 16) 제한값 적용에 있어 다른 대안의 측정법으로 EUT에 신호를 주입할 때, 만일 기존 제한값보다 6dB 높게 교정한 전력을 주입하는 경우 시험주파수에 관계없이 일정한 값으로 시험 할 수 있게 하였다. 다시 말해 MIL-STD-461E에서는 주입 프루브의 최대 삽입손실이 포함되도록 하고 있다.

## 1.4 MIL STD 461E → MIL STD 461F 변경

2008년 6월 현재 MIL STD 461F가 확정 발표되지는 않았으나, 잠정적으로 발표된 내용을 보면 기존 MIL-STD-461E를 근간으로 하여 비교적 큰 차이가 없으나, 특히 달라진 것은 시험목적에 적합하도록 시험규격의 품질을 개선한 것이 특징이다. 주요 변경 내용을 요약하면 다음과 같다.

### 1) 모듈 교체가 가능한 장비의 시험방법

MIL-STD-461F 규격에는 Paragraph 4.2.7에 모듈교체가 가능한 장비에 대해 다루고 있다. 본 항목의 변경은 어떤 장비가 모듈단위로 교체되는 경우 새로운 모듈이 EMC적으로 충분하게 성능을 만족시켜야 된다는 내용

### 2) 차폐 케이블의 사용을 금지

Section 4.3.8.6의 EUT 케이블의 구성과 배열에 대해 좀더 구체적으로 표현하고 있다. 실제 설치되는 환경이 차폐구조가 아닌 경우 차폐 케이블을 사용하여 MIL STD 측정을 하지 못하도록 금지하고 있다. 다시말해 Breaker가 설치된 분전반에서 부하가 연결되는 곳까지 차폐되지 않은 사용조건이라면 MIL 측정시 차폐 케이블 사용하지 못하도록 하고 있다. 다만 배전반에서 발전기까지 배전선로의 비차폐는 고려하지 않는다. 차폐 케이블을 사용 할 수 있는 경우는 EUT설치 요구서상에 분명하게 명시되어 있는 경우는 가능하다.

Paragraph 4.3.10.2에 컴퓨터 제어 Receiver로 되어 있는 것을 MIL-STD-461F에서는 컴퓨터 제어장치로 용어를 수정하였으며 S/W의 품질관리 방법에 대해서도 구체적 설명하도록 요구하고 있는데, 최소한 S/W 제조자, 모델, 수정번호 등의 자료를 제출하도록 요구하고 있다. 뿐만 아니라 S/W 수정사항이 발생되면 어떻게 취급할 것인지에 대해서도 문서에 기술하도록 되어 있다.

### 3) 방사 노이즈 주사시간의 변경

Appendix for Table II 에 있는 방사 노이즈 주사시간을 변경하여 측정시간을 줄일 수 있게 하였는데 특히 측정기의 max. Hold. 기능을 이용하여 여러 번 주사하여 최대값을 찾도록 하여 순시 과전압성 잡음 측정에 융통성을 부여하였다.

표 2. Sweep times per scan using new technique

Frequency Range Hz	Bandwidth Hz	Band sweep time (sec)	Band sweep time per Table II (sec)	# fast sweeps required
30 -1000	10	20	30	1.5
1 k -10 k	100	1.8	2.7	1.5
10 k -150 k	1000	0.28	4.2	15
0.15 -30 M	10 k	0.6	90	150
30 M -1 G	100 k	0.194	290	1500
above 1 G	1 M	2 ms/GHz	30 s/ GHz	15,000

표 3. Comparison of -461E & F susceptibility sweep times

Frequency Range	-461E step size	-461F step size	Relative sweep time F vs. E
30 Hz -1 MHz	5%	5%	Same
1 -30 MHz	1%	1%	Same
30 MHz -1 GHz	0.5%	0.5%	Same
1 - 8 GHz	0.1%	0.25%	40% (250% faster)
above 8 GHz	0.05%	0.25%	20% (500% faster)

#### 4) 내성시험 주사간격 변경

Table III 에 1GHz 이상에서 주파수 간격을 증가시켜 RS 103 시험시 측정시간을 빠르게 하였다. 주파수 간격은 D 에서 E 로, E 에서 F 로 수정되면 차례로 감소하게 되었다.

#### 5) CE 101 의 변경

이 규격은 현재 일반합정에만 적용하도록 되어 있는데 CE 101, CE102 를 통합하도록 검토되고 있다. 검토의 목적은 5uH LISN 이 400Hz 전원의 경우 LISN 에서 전압강하가 적기 때문에 5uH LISN 에 대한 임피던스 특성이 150kHz 이하에서는 규정되지 않았다. 현재 2 규격간의 시작주파수를 150kHz 로 할 것인지 지금과 같이 10kHz 로 할 것인지를 검토하고 있다.

#### 6) CS 106, Spike 서지의 추가

MIL-STD-461F 에서는 해군 선박용 장비에 한해 CS106 을 적용하도록 하고 있는데, 이 규격은 MIL-STD-461A/B/C CS06 과 거의 같다. 단지 차이점은 ac 전원선에 동기시켜 스파크를 인가하는 것이 다르다. 인가되는 스파크 파형은 5uS 폭의 500V 진폭을 갖는다. 이 장비를 과거에 구입하였지만 한동안 사용되지 않다 다시 사용 될 지도 모른다. 그러나 Solar Electronics Model 8282-1 를 가지고 있는 시험소가 유의 할 것은 이 장비가 MIL-STD-461F Figure CS106-1 의 새로운 규격을 기술적으로 충분히 만족시킬 수 있을지는 모르는 일이다.

#### 7) CS 109 의 변경

현재 이 규정은 일반 군함에 적용되는 규격으로 100kHz 또는 그 이하에서 동작되는 장비에 적용된다.

8) CS114의 변경

해군함정과 잠수함에 대해 새로운 전력계통에 의해 발생하는 동상잡음에 대한 내성시험을 할 수 있도록 저주파 대역에 대한 내성시험 주파수 범위를 변경할 것으로 사료된다. 이들 저주파 인가 신호 레벨은 4kHz- 1MHz 까지 77 dBuA 를 인가하도록 확장될 것으로 보인다. 이와 같이 저주파 대역 내성시험 주파수를 확장하는 것은 새로운 선박에 사용되는 dc 전원 체계의 해군함정이 만들어지고 있기 때문이다. 수 kV 의 dc 전압이 발전기로부터 발전하게 되면 dc to dc 변환기를 사용하게 되므로 많은 저주파 세력의 동상잡음이 발생될 것으로 예측되기 때문이다.

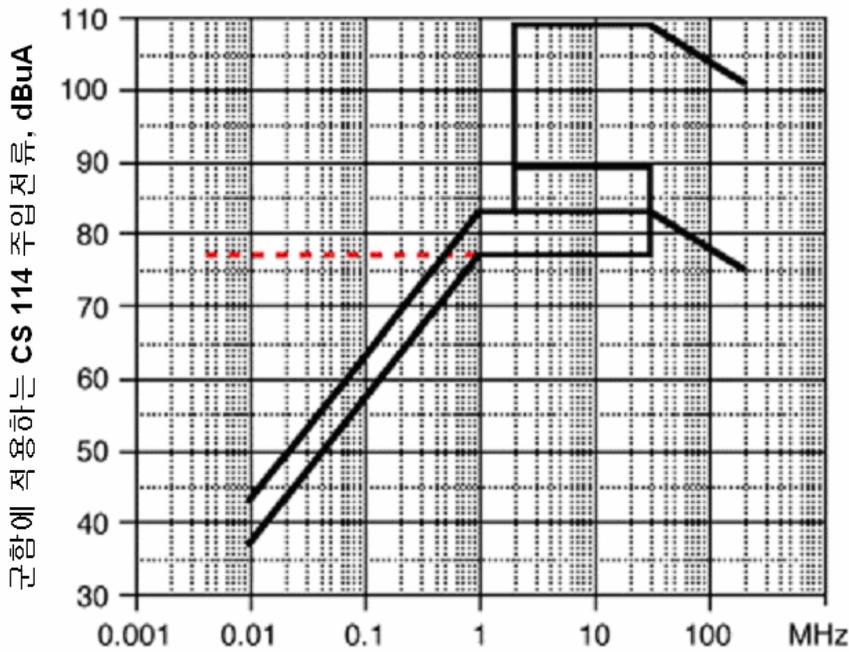


그림 1. dc 사용 군함에 적용되는 CS114 limits 의 주파수 확장(저주파 내성)

여기서 주의해야 할 것은 새로운 규정은 전원선에만 적용되며, 신호선에는 적용하지 않는다. 그림 1 에 CS114 의 10kHz-4kHz 대역의 주입신호 에너지에 대해 기술되어있다.

9) CS115 주파수 변경

CS115 는 구매조건에 명시되어 있는 경우 잠수함과 일반 함정에만 적용되며, CS106 의 추가와 함께 대응되어 변경될 것이다. 여기서 잠수함에 적용하는 이유는 해당 주파수 대역의 불요전자파가 음파탐지기에 미치는 영향이 없는지 확인하기 위해 시험된다.

10) CS116 의 주입량을 1 개로 통일

CS116 limits 가 2 개가 있었는데 1 개로 통합된다. 2 개중에서 좀더 엄격한 10 Amps 에서 최대가 되는 것으로 통일하게 된 것이다. 이 규정은 현재 잠수함에 사용되는 장치에만 적용하도록 되어 있는데 압력보호를 위한 피복이 있는 케이블에 적용한다.

### 11) RE101 의 변경

만약 임의 장비가 7cm 거리에서 제한값이 넘는다면 새로운 규정은 방사레벨이 규정된 제한값 이내가 될 때까지 측정거리를 증가시켜 그 거리와 방사레벨을 기록하도록 규정하고 있다. 역사적 관점에서 주요 다른 변경사항은 1967 년부터 RE01/RE101 loop probe 설계가 지금까지 남아있는데 Solar electronics 에서 2007 년에 AWG 30 권선을 감이수 36 으로 Model 7334-1 의 사용을 제안한 것이다. AT-205/URM-6 loop 와 현재 Solar electronics 7334-1 probe 가 다음 그림에 도시되어 있다.



그림 2. 1967 년 제안된 Stoddart AT-205/URM-6 balanced loop and Stoddart 90114-3

\* Solar co.에서 제안한 제품은 기존 제품과 기본적으로 같으나 Coaxial output(Museum of EMC Antiquities)이 BNC 로 다른 모습이다.



그림 3. Solar Electronics 가 AT-205/URM-6 대응으로 제안한 Model 7334-1 루프

### 12) RE 102의 변경

이 규정은 많은 변경이 있다. 30MHz 이하에서 Rod 안테나를 사용하는데, 1970.5.1 MIL-STD-462 Notice 2로 발표된 이후 접지판의 접지처리 문제 때문에 10MHz이상에서 측정 불확도가 높아져 MIL-STD-461F에서는1968에 발표된 MIL-STD-462에 따라 Floating 시키도록 하고 있다.

추가로 장비설치도가 도시된 그림 RE 102-6이 변경되었는데 Rod 안테나 설치 위치를 안테나 중심점이 챔버의 바닥으로부터 120cm 높이에서 측정하도록 하고 있다. 또한 Rod 안테나로부터 재방사를 없애기

### Total EMC engineering since 1987

위해 챔버 바닥에 직접연결하고 접지시키도록 하고 있다. Rod 안테나 출력 케이블과 바닥사이에 페라이트 비드를 삽입하도록 하고 있는데 이는 20MHz에서 20-30 ohm의 특성을 갖는 것을 사용하도록 하고 있다. 참고로 권장되는 페라이트 비드는 Ferrishield사의 B1642이다.

챔버의 바닥에 흡수체 설치에 대한 내용도 포함되어 있는데 이는 해당규격을 참조바람.

해군 ASW 항공기류에는 10kHz-18GHz, 다른 해군 항공기에는 RE 102의 2MHz-18GHz 주파수 대역에서 측정한다.

#### 13) RE103의 변경

이 규정은 하모닉이 RE102 제한값을 초과하지 않는다면 기존 규격과 같다.

#### 14) RS101의 변경

잠수함에 적용하는 RS101는 100kHz의 주파수 또는 더 낮은 기기에 적용하고, 이 대역신호를 인가하여 신호선에 대한 전자파 민감도를 평가한다.

#### 15) RS103의 변경

전계센서가 기본과 이외에 하모닉에 의해 영향을 받는 것에 대한 논의가 있었다.

광대역 전계센서 사용시 기본과보다 높은 하모닉에 의해 영향을 받는 문제가 있었는데, 이 문제는 80MHz 이하에서 바이코니컬 안테나 사용시 문제가 되며, 다중 광대역 TWT 증폭기를 사용하는 경우에 흔하게 발생된다. 바이코니컬 안테나 끝과 끝이 137cm인 안테나에 3kW전력을 공급해도 약 70MHz 이하에서는 200V/m의 전계를 만들어 내지 못한다. 사실 이런 바이코니컬 안테나에서는 대략 30kW의 전력을 인가해야 200V/m를 1m에서 만들어 낼 수 있는데 30kW의 전력은 현실성이 없다.

MIL-STD-461의 RS 103 측정에서는 사용 안테나에 대한 규정이 없지만, 측정설비의 선택방법을 떠나 30-80MHz 대역에서는 바이코니컬 안테나 소자를 크게하여 방사내성 신호전계 발생방법에 대해 부가적으로 설명하고 있다. 어쨌든 바이코니컬 안테나의 Tip과 Tip간의 거리를 137cm이상으로 하여야 80MHz 이하에서 전계발생이 보다 효율적이다. 이 말은 증폭기가 충분히 안테나에 발생된 에너지를 공급 할 수 없다는 의미가 되고, 가능한 증폭기의 하모닉 성분을 낮추어야 전계센서가 정확하게 전계를 표시할 수 있다는 것이다. 그러나 바이코니컬 안테나의 Tip과 Tip간의 거리를 크게 하면 수평에는 문제가 없으나 수직에서는 이 길이 때문에 문제가 될 수 있다. 이 같은 2가지 문제점을 해결하기 위해 **평행판 안테나를 80MHz이하에서 사용 할 것을** 권고한다. 해군 항공분야에 적용하는 RS 103 시험주파 주파수 범위는 100MHz - 18GHz이다. 이 주파수 범위는 앞서 언급한 바와 같이 낮은 주파수대역에서 바이코니컬 안테나 시용하여 200V/m의 전계를 만들어 충분한 전계로 시험하지 못하는데 그냥 넘어가는 인가신호의 순수성, 다중 광대역 TWT증폭기의 하모닉 발생 등 문제에 대해 걱정 하고 있는데 이 문제는 **평행판 안테나를** 사용하거나, TWT의 경우 필요하다면 필터를 설치하여 해결 할 수 있을 것으로 본다. MIL STD 461A에서 E까지 개정 내용을 표4에 요약하였다.

표 4. MIL STD 461 변경 내용 요약 ktimin 0806

MIL - STD - 461A			MIL - STD - 461B/C			MIL - STD - 461D			MIL - STD - 461E		
TEST	DESCRIPTION	FREQ	TEST	DESCRIPTION	FREQ	TEST	DESCRIPTION	FREQ	TEST	DESCRIPTION	FREQ
CE01	Power Leads	30 Hz-20 kHz	CE01	Power / Signal Leads	30 Hz-15 kHz	CE101	Power Leads	30 Hz-10 kHz	CE101	Power Leads	30 Hz-10 kHz
CE02	Control / Signal Leads	30 Hz-20 kHz	CE02	N/A							
CE03	Power Leads	20 kHz-50 MHz	CE03	Power/Signal Leads	15 kHz-50 MHz	CE102	Power Leads	10 kHz-10 MHz	CE102	Power Leads	10 kHz-10 MHz
CE04	Control / Signal Leads	20 kHz-50 MHz	CE04	N/A							
CE05	Inverse Filter Method	30 Hz-50 MHz	CE05	N/A							
CE06	Antenna Terminal	10 kHz-10 GHz	CE06	Antenna Terminal	10 kHz-26 GHz	CE106	Antenna Terminal	10 kHz-40GHz	CE106	Antenna Terminal	10 kHz-40GHz
CE07	N/A		CE07	Power Leads	Spikes / Time Domain						
CS01	Power Leads	20 Hz-50 kHz	CS01	Power Leads	30 Hz-50 kHz	CS101	Power Leads	30 Hz-50 kHz	CS101	Power Leads	30 Hz-150 kHz
CS02	Power Leads	50 kHz-400 MHz	CS02	Power Leads	50 kHz-400 MHz						
CS03	Intermodulation	15 kHz-10 GHz	CS03	Intermodulation	15 kHz-10 GHz	CS103	Antenna Port-Intermod.	15 kHz-10 GHz	CS103	Antenna Port-Intermod	15 kHz-10 GHz
CS04	Undesired Sig. Rejection	15 kHz-10 GHz	CS04	Undesired Sig. Rejection	30 kHz-20 GHz	CS104	Antenna Port-Rej. of Undesired Sig.	30 Hz -20 GHz	CS104	Antenna Port-Rej. of Undesired Sig.	30 Hz -20 GHz
CS05	Cross Modulation	15 kHz - 10 GHz	CS05	Cross Modulation	30 kHz - 20 GHz	CS105	Antenna Port-Cross Mod.	30 Hz-20 GHz	CS105	Antenna Port-Cross Mod.	30 Hz-20 GHz
CS06	Spikes, Power Leads		CS06	Spikes, Power Leads							
CS07	Squelch Ckts		CS07	Squelch Ckts							
CS08	Undesired Sig. Rejection	30 Hz-10 GHz	CS08	N/A							
CS09	N/A		CS09	Structure Common Mode Current	60 Hz-100 kHz						
CS10	N/A		CS10	Damped Sinusoidal Transients (terminals)	10 kHz-100 MHz						
RE01	Magnetic Field	30 Hz-50 kHz	RE01	Magnetic Field	30 Hz-50 kHz	RE101	Magnetic Field	30 Hz-100 kHz	RE101	Magnetic Field	30 Hz-100 kHz
RE02	Electric Field	14 kHz-10 GHz	RE02	Electric Field	14 kHz-10 GHz	RE102	Electric Field	10 kHz-18 GHz	RE102	Electric Field	10 kHz-18 GHz
RE03	Spurious & Harmonic	10 kHz-40 GHz	RE03	Spurious & Harmonic	10 kHz-40 GHz	RE103	Antenna Spurious & Harmonics	10 kHz-40 GHz	RE103	Antenna Spurious & Harmonics	10 kHz-40 GHz
RE04	Magnetic Field	20 Hz-15 kHz	RE04	N/A							

*Total EMC engineering since 1987*

RE05	Vehicle & Eng. Equipment	150 kHz-1 GHz	RE05	N/A							
RE06	Overhead Powerlines	14 kHz-1 GHz	RE06	N/A							
RS01	Magnetic Field	30 Hz-30 kHz	RS01	Magnetic Field, Equipment and Cables	30 Hz-50 kHz	RS101	Magnetic Field, Equipment and Cables	30 Hz-100 kHz	RS101	Magnetic Field, Equipment and Cables	30 Hz-100 kHz
RS02	Magnetic Induction	Powerline & Spike	RS02	Magnetic Induction, Equipment and Cables	Powerline & Spike						
RS03	Electric Field	14 kHz-10 GHz	RS03	Electric Field, Equipment and Cables	14 kHz-40 GHz	RS103	Electric Field, Equipment and Cables	10 kHz-40 GHz	RS103	Electric Field, Equipment and Cables	2 MHz-40 GHz
RS04	Parallel Line Fields	14 kHz-30 MHz	RS04	N/A							
RS05	N/A		RS05	Electromag Pulse Field	Transients	RS105	Transient Electromag Field	Transients	RS105	Transient Electromag Field	Transients
						CS109	Structure Current	60 Hz-100 kHz	CS109	Structure Current	60 Hz-100 kHz
						CS114	Bulk Cable Injection	10 kHz-400 MHz	CS114	Bulk Cable Injection	10 kHz-200 MHz
						CS115	Bulk Cable Injection	Impulse	CS115	Bulk Cable Injection	Impulse
						CS116	Sine Transients - Cables, and Power Leads	10 kHz-100 MHz	CS116	Sine Transients - Cables, and Power Leads	10 kHz-100 MHz

## 2. 군용규격과 상용규격의 특성 비교

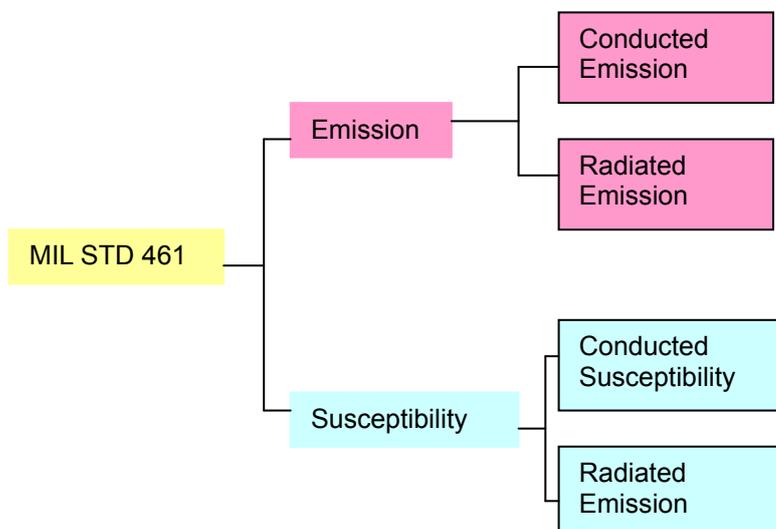
### 2.1 MIL STD 4E의 요약

앞서 MIL STD 461에 대해서 변경내역과 특징에 대해 상술했으므로 이를 요약하면 다음 표5와 같다.

표5. MIL STD 461E요약

MIL STD 461E Series	General descriptions
CE101	Conducted Emissions, Power Leads, 30 Hz to 10 kHz
CE102	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 150 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 200 MHz
CS115	Conducted Susceptibility, Bulk Cable Injection, Impulse Excitation
CS116	Conducted Susceptibility, Damped Sinusoidal Transients to the 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, 2 MHz to 40 GHz
RS105	Radiated Susceptibility, Transient Electromagnetic Field

### 2.2 MILSTD 461의 Tree



## 2.3 주요 상용규격 EMC규격의 요약

### 2.3.1 주요 상용 방사 EMI 관련 규격

상용 전자파 방사노이즈 측정과 관련된 국제규격, 회사별, 제품별 규격은 매우 다양하고 종류가 많은데 시험주파수, 시험방법과 절차, 제한값이 각각 달라 이에 대해 상세하게 검토하는 것은 한계가 있다.

상용규격의 경우 이미 잘 알려진 내용이기 때문에 CISPR를 중심으로 간단하게 살펴보면 다음 표6과 같이 요약된다. 국제적으로 약속된 규격은 절대적인 것이 아니고 계속 변경되고 있다.

규격이란 국가간의 약속이며 시대적 흐름에 맞게 살아있다.

표6. CISPR 상용규격 요약

CISPR 1	0.15 ~ 30MHz 주파수범위의 CISPR 무선 장애측정장치의 규격
CISPR 2	25 ~ 300MHz 주파수범위의 CISPR 무선 장애측정장치의 규격
CISPR 3	10 ~ 150KHz 주파수범위의 CISPR 무선 장애측정장치의 규격
CISPR 4	300 ~ 1000MHz 주파수범위의 CISPR 측정기규격
CISPR 5	준첨두치 이외의 검파기를 갖는 무선 장애측정장치
CISPR 6	음성주파 잡음전압계의 규격
CISPR 7	CISPR 권고
CISPR 8	CISPR 보고서 및 질의 응답집
CISPR 9	CISPR 각국 규격에 기초한 무선장애 및 누설전류의 한계값
CISPR 10	CISPR의 조직, 규칙 및 순서
CISPR 11	공업용,과학용 및 의료용(ISM) 무선주파기기의 무선방해특성의 한도치 및 측정법
CISPR 12	자동차,모터보트 및 불꽃점화엔진 구동장치로부터의 무선장애의 한도치 및 측정 방법
CISPR 13	음성, 텔레비전 방송수신기와 관련장비의 전파방해특성 허용기준 및 측정방법
CISPR 14-1	전기 전동공구와 가정용 전열기기류 및 전기 기기류에 대한 전파방해특성 허용기준과 측정방법
CISPR 14-2	가정용기기, 전기기기류 및 유사기기류에 관한 EMC 요구조건
CISPR 15	전기조명장치와 유사장치의 전파방해특성 허용기준 및 측정방법
CISPR 16-1	무선방해 측정기기 및 측정법에 관한사항 (무선방해파 및 내성 측정기). 표 7 참조
CISPR 16-2	무선방해 측정기기 및 측정법에 관한사항 (무선방해파 및 내성 측정방법) 표 7 참조
CISPR 17	수동적 무선방해파필터 및 억압소자의 억압특성의 측정법
CISPR 18-1	가공송전선 및 고전압장치의 무선방해파 특성 (제 1 장:현상의 기술)
CISPR 18-2	가공송전선 및 고전압장치의 무선방해파 특성 (제 2 장:한도치를 결정하기 위한 측정법 및 수속 등)
CISPR 18-3	가공송전선 및 고전압장치의 무선방해파 특성 (제 3 장 무선잡음의 발생을 최소화하기위한 실시요령)
CISPR 19	1GHz 를 초과하는 주파수의 전자레인지로부터의 방사측정을위한 치환법의 사용안내
CISPR 20	음성, 텔레비전 방송수신기 및 관련장치 내성특성 허용한계와 측정방법
CISPR 21	펄스성 잡음하에서의 자동차무선에 대한 방해
CISPR 22	정보기술장치(ITE)의 무선방해 특성의 한도치와 측정법
CISPR 23	ISM 기기의 전자파 제한치
CISPR 24	정보기기의 내성 측정방법
CISPR 25	자동차탑재 수신기 보호를위한 무선방해 특성의 한계값 및 측정법

### 전원 주파수의 저차수 하모닉 및 플리커 관련 규격

IEC 61000-3-2 : 상용전원 주파수에 대한 하모닉 전류 Emission의 한계값(16A이하/상에 적용)

IEC 61000-3-3 : 상용전원의 Flicker에 대한 한계값

IEC 61000-3-4 : 16A이상 전류를 사용하는 전원공급장치의 하모닉 전류 제한값

표7. CISPR 16 시리즈의 변경내용

변경전	변경후	주요 변경사항
CISPR 16-2 무선간섭과 내성측정장치	CISPR 16-1-1	측정설비
	CISPR 16-1-2	전도적인 간섭측정을 위한 부속장비
	CISPR 16-1-3	간섭 전력 측정을 위한 부속장비
	CISPR 16-1-4	방사적인 간섭측정을 위한 부속장비
	CISPR 16-1-5	30MHz- 1GHz 대역에 사용되는 안테나 교정방법
CISPR 16-2 간섭과 내성 측정방법	CISPR 16-2-1	전도 간섭측정
	CISPR 16-2-2	간섭 전력측정
	CISPR 16-2-3	방사 간섭측정
	CISPR 16-2-4	내성측정
CISPR 16-3 보고서와 권 고	CISPR 16-3	CISPR 기술보고서
	CISPR 16-4-1	표준 EMC 측정에서 불확도
	CISPR 16-4-2	계측기 불확도 측정
	CISPR 16-4-3	양산설비에서 제품의 EMC 합부 결정을 위한 통계적 고려요소
	CISPR 16-4-4	불만요소의 통계처리와 제한값 계산을 위한 모델링
CISPR 16-4 EMC측정 불확도		CISPR -16-4에 포함

### 2.3.2 IEC 61000- 4 시리즈 상용 전자파 내성(EMS) 규격 요약

군용 규격에는 CS, RS으로 전자파 내성시험을 규정하고 있고, 상용규격에서 전자파 내성시험에 대표적인 규격이 IEC 61000-4시리즈가 있고 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

표7.1 상용 전자파 내성 규격 (IEC 61000-4 시리즈) 요약

- 61000-4-1 내성시험의 개괄적인 설명
- 61000-4-2 정전기(ESD) 내성 시험
- 61000-4-3 방사 내성 시험
- 61000-4-4 전기적 빠른 과도신호 내성 시험
- 61000-4-5 서지내성 시험
- 61000-4-6 전도 내성시험
- 61000-4-7 전원공급계통에서 하모닉과 인터하모닉 측정과 장비에 대한 일반적인 지침서
- 61000-4-8 상용 전원 주파수 자계내성 시험
- 61000-4-9 펄스 자계 내성 시험
- 61000-4-10 감쇠 진동자계 내성 시험
- 61000-4-11 전압의 순간, 순시정전( Dip & interrupt), 전압의 변동에 대한 내성시험
- 61000-4-12 진동과 내성 시험
- 61000-4-13 하모닉과 Inter harmonics 대한 내성 시험
- 61000-4-16 주파수 범위 (0 Hz ~ 150 kHz)에서 동상모드 방해 주파수에 대한 전도 내성시험

\* 기타 IEC 61000- X 시리즈는 제품별 상세 내성 규격으로 부록에 실는다.

### 3. 상용규격과 MIL STD 461의 EMC 규격의 비교

#### 3.1 방사 노이즈 비교

##### 3.1.1 저주파 방사 시험 비교

낮은 주파수 방사시험을 위한 주파수범위는 군용의 경우 CE101, RE101이 있고 상용의 경우 IEC 61000-4-2와 4-3이 있다. 이들 비교는 다음 표8로 요약된다.

표8. 군용 저주파 방사시험의 종류와 특징

규격	주 파 수	제한값	차 이
MIL STD 461E, CE 101 전류 자계강도(dBuA/m)	dc :30Hz-10kHz ac :60Hz-10kHz	그림 4	주파수, 제한값
MIL STD 461E, RE 101. 자계강도(dBpT/m) 함정,잠수함,항공기에 적용. 육상기기에는 적용하지 않함.	30Hz-100kHz	그림 5	주파수, 제한값
IEC 61000-2-2 and 4	120Hz-2.4kHz (40차 고조파)	표9,10,11	

상용시험의 경우 EUT 전원주파수의 2차 하모닉에서 시작하여 전원 주파수의 40차 고조파까지 측정하도록 되어있고, 군용의 경우 상용 주파수의 1/2차 하모닉으로부터 측정주파수가 시작된다. 이 시험의 목적은 전원 분전반에서 상용전원의 고조파 증가로 중성선이 과열되는 것을 막고, 프로세서 제어기기의 4-20mA로 많이 사용되는 Analog I/O의 오동작을 막기 위해 시험된다. 군용의 경우 주로 음파센서 장치, 자계편차 검파(MAD: Magnetic anomaly detection)에 방해전파 영향을 미치는 한계값 검출에 목적이 있다.

상용규격과 MIL 규격을 직접적으로 비교하기에는 다소 무리가 있으나 2가지 규격에 있어 큰 차이는 주파수로 2.4kHz-10kHz의 적용주파수 차이 있다.

만약 NPP가 전력품질을 잘 관리를 하려면, 전원의 왜곡 즉, 기기에 공급하는 사용전원의 고조파 함유량을 IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-4을 통해 전원품질 관리 차원의 한가지 방법이 될 수 있겠으나, CE101을 대신하여 평가하는 것을 추천하지 않고 있다.

상용 IEC 61000-3-2는 A,B,C,D 기기별로 하모닉 발생량을 제한하는데, 전원주파수의 하모닉 발생은 주로 VVVF, CVCF, SMPS, UPS, SCR 위상제어기, 모터 속도제어기 등 전력변환기에서 많이 발생한다.

발생량 제한값은 각 기기별로 전력량과 고조파 차수에 따라 표 9,10,11과 같이 하모닉 전류량을 제한하도록 하고 있다. 반면에 군용규격 CE101, RE101는 dBuA, dBpT 등 dB값으로 제한하고 있는 것이 다르나 자계단위의 변환과 dB변환식을 적용<sup>2</sup>하면 쉽게 이들 관계를 정의 할 수 있다.

CE 101는 ac. dc기기 모두에 적용하며 RE 101의 측정은 전치 증폭기가 내장된 Active loop 안테나를 이용하여 측정한다. 상용규격과 군용규격의 같은 점은 표8에서 보는 바와 같이 측정 주파수 범위가 거의 같고 시험목적이 같다. 반면에 이들 규격간에 차이점은 표현단위와 측정방법에서 다르다.

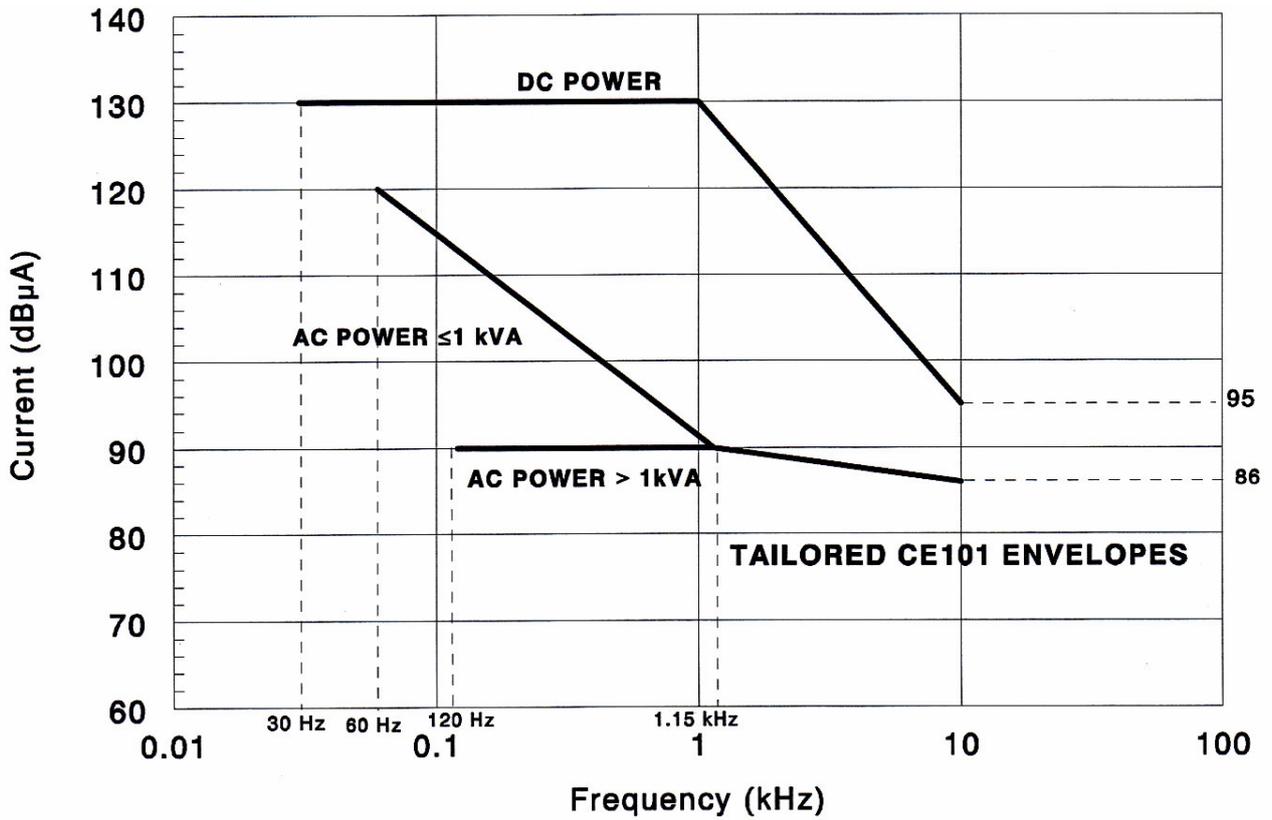


그림4. CE 101 인가신호 레벨 및 주파수

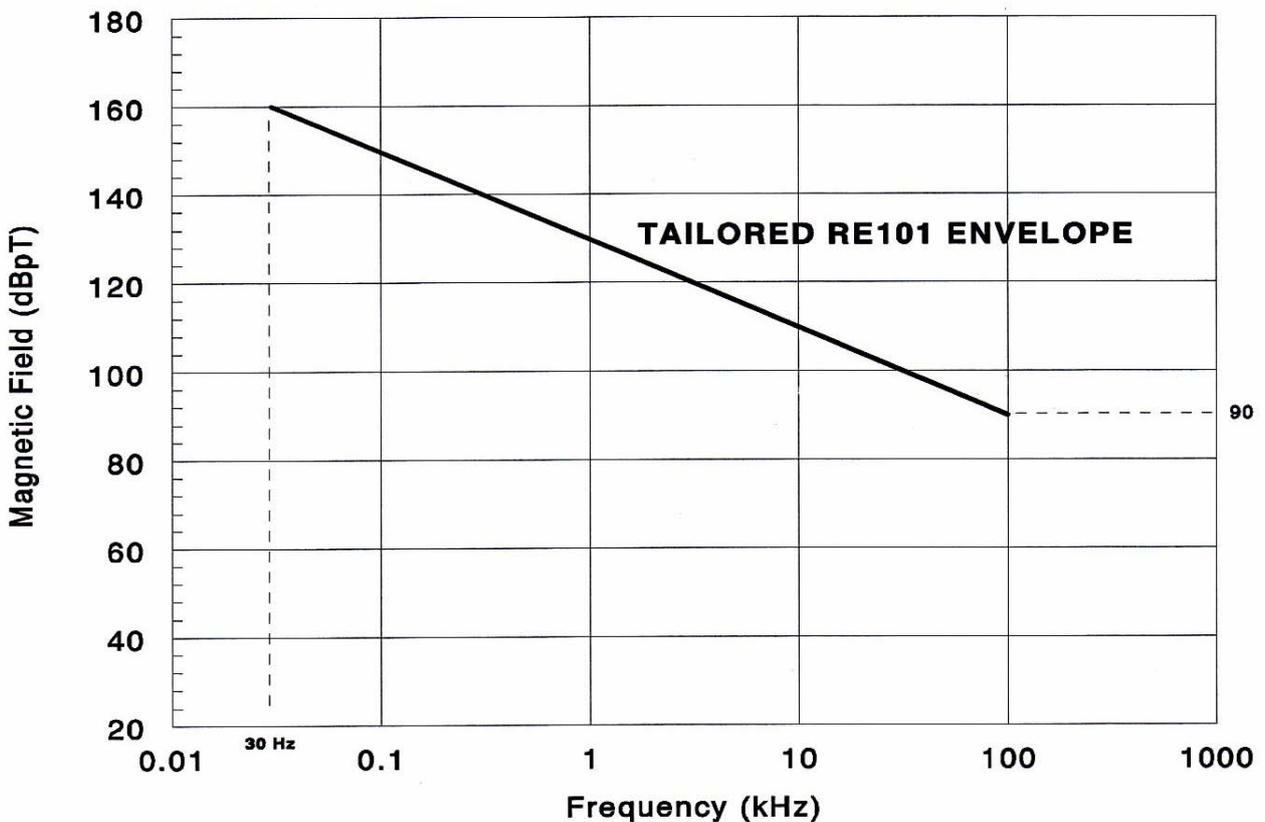


그림5. RE 101 제한값과 측정주파수

표9. IEC 61000-3-2, Class A기기/16A 이하 기기류의 하모닉 제한값

하모닉 차수, n	최대허용 전류, 기본파 전류의 %
홀수 고조파	
3	2,30
5	1,14
7	0,77
9	0,40
11	0,33
13	0,21
$15 \leq n \leq 39$	$0,15 \frac{15}{n}$
짝수 고조파	
2	1,08
4	0,43
6	0,30
$8 \leq n \leq 40$	$0,23 \frac{8}{n}$

표10. IEC 61000-3-2, Class C 기기의 하모닉 제한값

하모닉 차수, n	최대허용전류, 기본파 전류의 %
2	2
3	$30 \cdot \lambda^*$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (odd harmonics only)	3
* $\lambda$ is the circuit power factor	

표11. IEC 61000-3-2, Class D기기의 하모닉 제한값

하모닉 차수, n	W당 최대 하모닉 전류 허용값, mA/W	최대 허용 하모닉 전류값, A
3	3.4	2.30
5	1.9	1.14
7	1.0	0.77
9	0.5	0.40
11	0.35	0.33
$13 \leq n \leq 39$ (홀수차수 만)	$3.85/n$	별표 참조

### 3.1.2 높은 주파수에서 방사 노이즈 비교

MIL-STD-461E CE102 와 RE102의 군용 규격과 상용규격 CISPR 11의 시험방법을 채택한 FCC Part 15, IEC 61000-6-4를 비교하였다.

CE 102는 주파수 범위가 10kHz-10MHz이고 그 시험의 목적은 전원선을 통해 방사되는 전자파를 규제하여 임의 기기가 전원선을 통해 유입되어 방해를 받는 것을 방지하기 위해 실시된다.

RE 102 시험은 CE 102와 대응하여 공간적으로 방사되는 전자파를 측정하는 것으로 측정주파수는 10kHz-18GHz이다.

CE 102시험의 낮은 주파수는 전원의 하모닉에 의한 왜곡량을 평가하고, 높은 주파수 대역은 스위칭 잡음 등 전도적으로 전파되는 잡음량을 평가한다.

상용 규격은 FCC part 15는 450kHz- 1GHz 대역의 전자파 전도와 방사 노이즈를 측정하도록 되어 있는데, 이들 2가지 규격을 비교하는 표 12는 전도 전자파 측정법의 비교, 표 13은 공간 전자파 측정법을 비교해 나타내 주고 있다.

표12. 높은 주파수에서 전도방사 시험방법 비교

Parameter	CE102	CISPR 11
적용	ac power leads dc power leads	ac power leads dc power leads
주파수 범위	10 kHz to 2 MHz	150 kHz to 30 MHz
측정방법	LISN(구조 다름)	LISN
유사성	Measures voltage Identical detector bandwidth Power line resonance limitation	Measures voltage Identical detector bandwidth Power line resonance limitation
차이점	Uses peak detector EUT sits on ground plane Set up in normal configuration	Uses quasi-peak and average detectors EUT placed 80 cm above ground plane

표13. 높은 주파수에서 공간 방사 노이즈 비교

Parameter	RE102	CISPR 11
적용	Equipment enclosures 2 MHz to 18 GHz	Equipment enclosures 30 MHz to 1 GHz
주파수 범위	2 MHz to 18 GHz	30 MHz to 1 GHz
측정방법	안테나를 이용 공간적 측정	안테나를 이용한 공간적 측정
유사성	Measures electric fields	Measures electric fields
차이점	Rod antenna used from 2 MHz to 30 MHz Dipole antennas used from 30 MHz to 200 MHz Horn antenna used from 200 MHz to 18 GHz 측정거리 : 1 m Measurements made in shielded enclosure or partial absorber layout	Biconical & log periodic antenna from 30 MHz to 1GHz  측정거리 : at 3 m and 10 m 또는 이상 Measurements made at open area test site

**Total EMC engineering since 1987**

상용규격과 군용규격을 비교하여 군용규격을 상용규격으로 대치하고자 연구한 NPP 보고서\*1에 따르면 10kHz-450kHz까지 전원 품질을 충분하게 관리 할 수 있다면, 높은 주파수 대역에서 상용 측정결과를 군용에 적용해도 가능하다고 결론을 내고 있다. 다만 제한값은 사용환경에 따라 달라질 수 있다.

IEC 61000-6-4, 산업환경에서의 방사규격에서 전도방사 측정 주파수는 150 kHz 에서 30 MHz이고 복사 방사 주파수는 30 MHz 에서 1 GHz이다. 이 역시 CISPR 11를 근간으로 실시되는 시험이므로 FCC 요구와 크게 차이는 없다. 다만 군 규격서에는 측정거리가 1m로 되어 있어 낮은 주파수에서는 근접계에서 측정이 되고, 상용규격의 경우 3m-30m... 등으로 원방계에서 측정하도록 되어있다.

측정거리 문제는 만일 군용규격과 같이 1m에서 전자파를 측정한다면 대량 수 십 MHz 미만의 자체측정에는 큰 문제가 없을 것이나, 근접계의 전파 특성상 전계, 자계의 변화가 급격하게 변하므로 측정의 재현성이 떨어질 수 있다. 그림6에 높은 주파수 대역에서 상용규격과 군용규격의 측정 주파수 범위를 비교하고 있다.

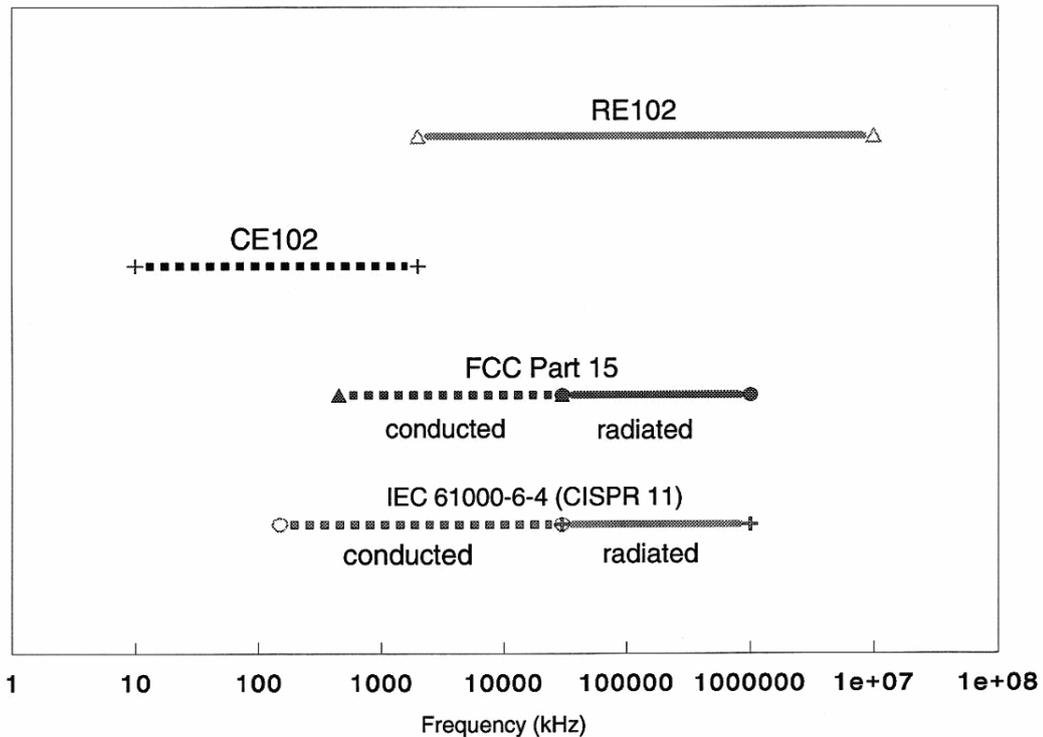


그림6. EMI 고주파 대역 측정에서 MIL STD 461과 상용규격의 주파수 비교

군용규격과 상용규격의 신호검출 방법에서 군용규격은 침두치를 상용규격은 준침두치를 검파방식으로 채택하여 제한값에 적용하는데, 신호검출 방법은 상용과 군용의 비교에서 큰 문제는 되지 않는다.

물론 주파수에 따라 저주파에서는 차이가 있지만 주파수가 높아지면 큰 차이가 나지 않는다.

일반적으로 EMC 관련 연구자들이 이 문제를 염려하는데 이 문제는 큰 문제가 되지 않는다.

사용자가 전원계통의 품질을 관리 할 수 있다면 IEC 61000-6-4의 시험결과도 군용규격 측정결과로 받아들여도 문제가 되지 않을 것이다. 다만, 상용규격의 시험결과를 군용 설비에 적용하기 위해서는 해당 기기가 설치되는 현장의 전원계통상 전원품질이 잘 관리되어야 한다는 것을 전제하며, 이 것은 결국 전원선에 고조파 하모닉이 많이 포함되지 않도록 관리 할 수 있어야 한다는 것을 의미한다.

그림7.에 CE 102와 IEC 61000-6-4의 제한값과 측정 주파수 범위를 표시해 주고 있고, 그림8에는 RE102 측정주파수와 제한값을 도시하고 있다..

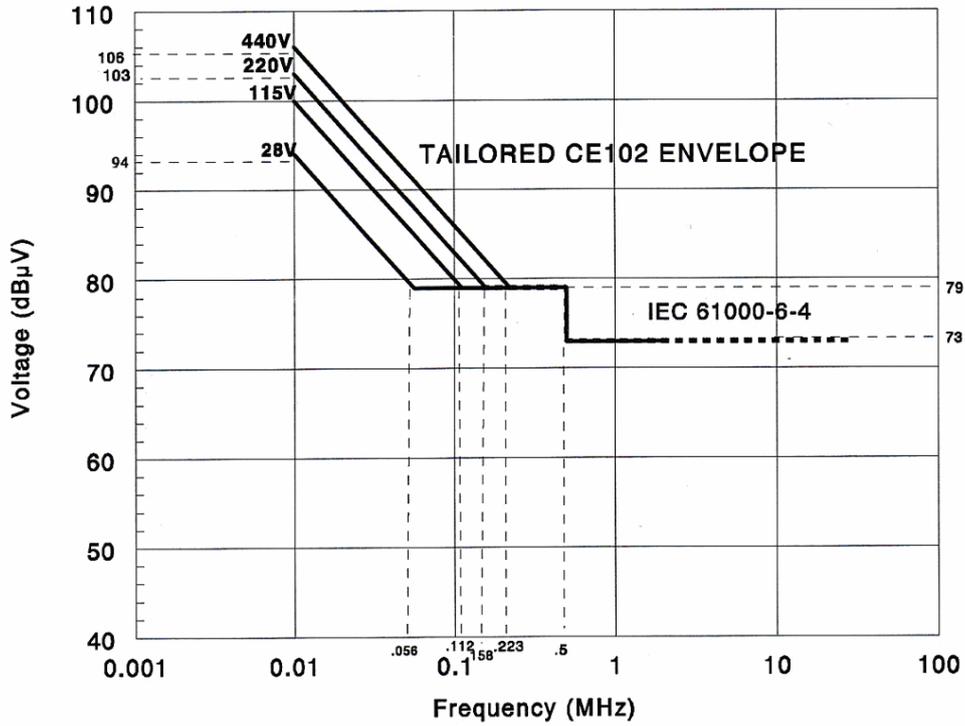


그림7. CE 102 제한값과 IEC 61000-6-4의 제한값 비교

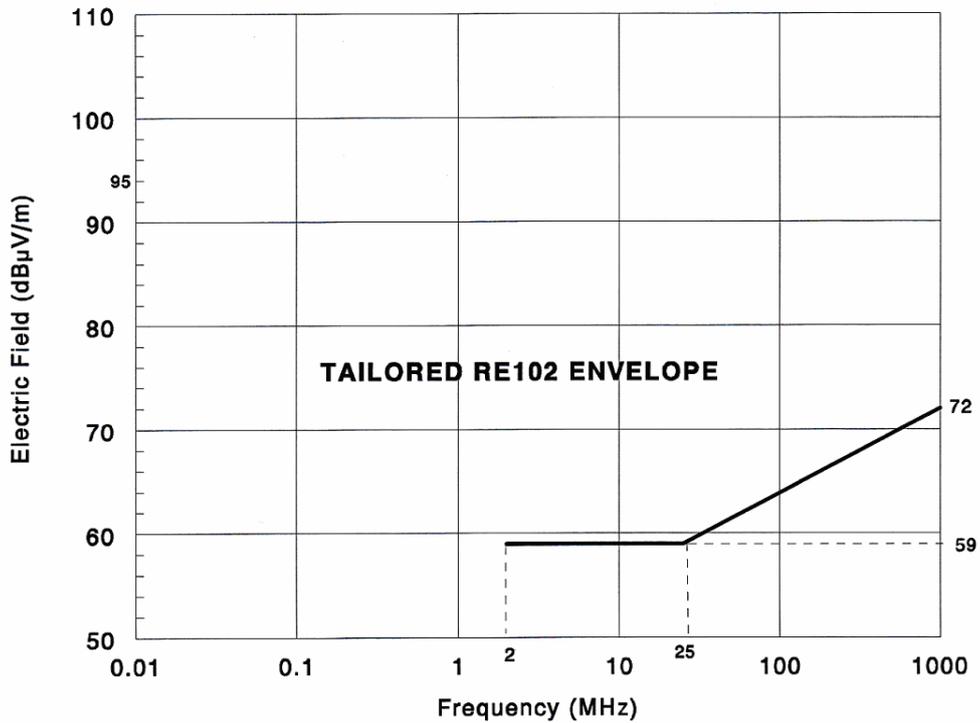


그림8. RE 102 방사 노이즈 제한값

표 14. IEC 61000-6-4 conducted emissions limits (CISPR 11 Class A)

Frequency range	Level (dB $\mu$ V)
150 kHz to 500 kHz	79 quasi-peak 66 average
500 kHz to 5 MHz	73 quasi-peak 60 average
5 MHz to 30 MHz	73 quasi-peak 60 average

표 15.. IEC 61000-6-4 radiated emissions limits (CISPR 11 Class A)

Frequency range	Level (dB $\mu$ V/m)
30 MHz to 230 MHz	30 quasi-peak, measured at 30 m
230 MHz to 1 GHz	37 quasi-peak, measured at 30 m

MIL-STD-461E는 군용 사용환경에 맞게 상용규격과 달리 1GHz 이상까지 측정하도록 되어 있는데 측정 주파수의 상한값은 상용에서도 FCC의 경우 기본과 클럭의 5차 고조파까지 측정하도록 되어있다.

만일 2GHz 대역까지 사용하는 상용제품의 경우 10GHz까지 방사 노이즈를 측정하도록 하고 있기 때문에 상한 주파수 선택은 설치와 사용환경에 맞게 GHz 대역까지 확대하여 측정할 필요가 있다..

표 14에 상용에 적용하는 전도 노이즈 제한값과 표15에 상용에 적용하는 방사 노이즈 제한값을 주파수 대역에 따라 나타내 주고 있고, 검파방식에 대해서도 기술되어 있다.

### 3.2 전자파 내성(EMS) 규격의 군용과 상용의 비교

#### 3.2.1 전도내성 시험의 비교

저주파 대역에서 전도 내성시험의 군용규격은 CS101가 있는데, 이에 대응하는 상용규격은 IEC 61000-4-13,16 규정이 있다. 비교적 높은 주파수 대역에서는 군용의 경우 CS 114가 있고 상용규격에는 IEC 61000-4-16과 IEC 61000-4-6이 있다. 전도 내성시험을 실시하는 목적은 실제 현장에서 각종 전력변환기, 위상변환 소자에 의해 상용 주파수의 고조파가 많이 발생되고 이들 고조파는 주파수가 낮아 Analog 입출단자(특히 4-20mA)에 치명적인 영향을 미치게 된다. 이들 시험규격은 주로 전도적 전자파에 견디는 능력을 평가하기 위해 본 규격의 시험이 실시된다. 특히 이 시험은 산업용 제어설비의 입출단자, 군용기기의 아날로그 입출단자, 오디오 입출단자(음향탐지기)에 큰 영향을 주게 되므로 본 규격에 따라 시험을 실시하도록 하고 있다. 먼저 2가지 규격의 주파수 범위를 비교하면 그림9와 같다.

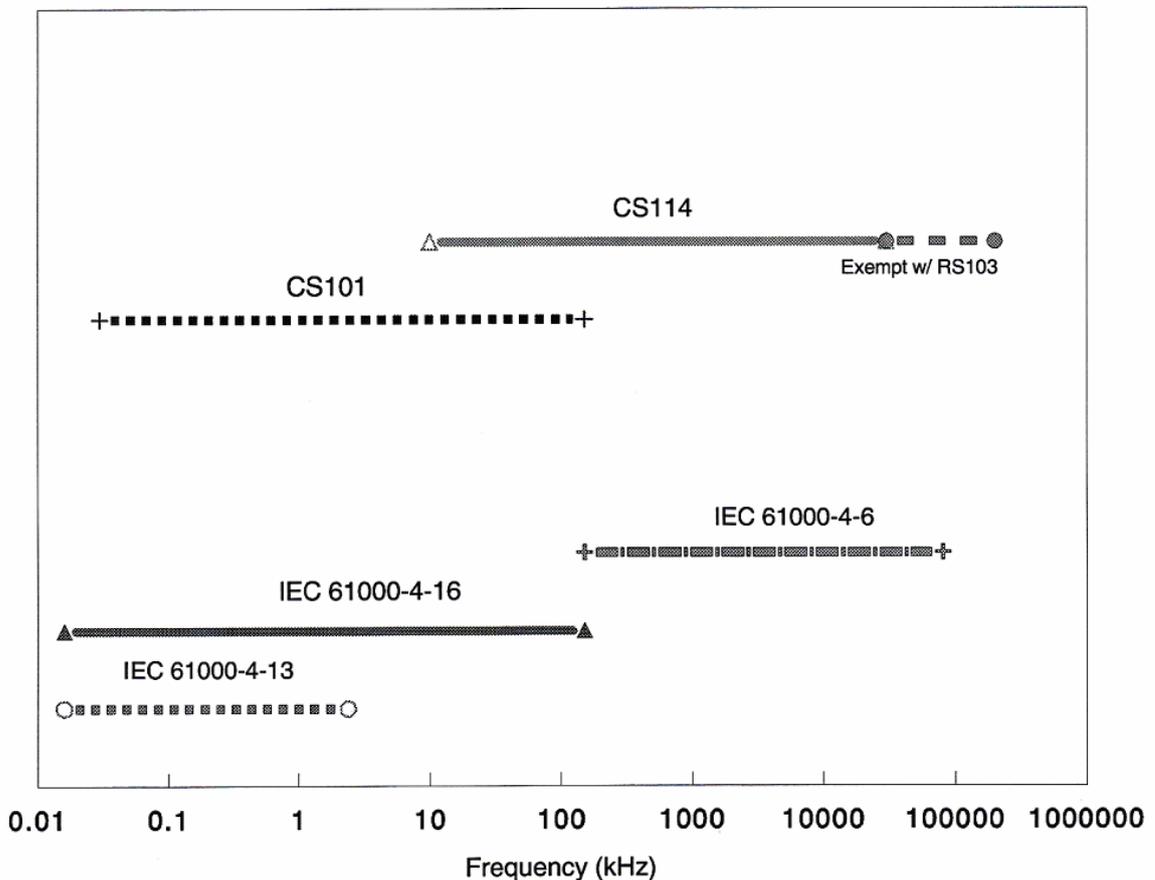


그림9. 군용과 상용 전도내성 시험규격의 주파수 비교

저주파 전도내성 주파수 범위는 CS 101의 경우 30Hz-150kHz이고, IEC 61000-4-13은 상용전원 주파수의 40차까지 즉, 60Hz의 경우 120Hz- 2.4kHz까지 이고 Inter-harmonics는 16Hz-40차 고조파까지 시험된다. 여기서 하나 짚고 넘어가야 할 것으로 60Hz의 사용전원을 사용하는 경우 60Hz의 1/2, 1/3 고조파가 실제현장에서 많이 발생되는 것이다. 특히 철도와 같이 배선의 길이가 긴 경우 기본파 보다 낮은 고조파 발생이 흔히 관측된다. 본 시험은 직류전원장치에는 적용하지 않는다.

IEC 61000-4-13는 장비가 작동하는 환경에 따라 표16과 같이 Class.1, 2, 3 3가지로 나눈다.

표16. IEC 6100-4-13, Class 구분

Class	설 명
1	Devices expected to operate with protected supplies, such as uninterruptible power supplies, filters, or surge capacitors
2	Devices connected to public networks or operating in a light industrial environment
3	Devices operating in a heavy industrial environment, i.e., an environment where a major part of the load is fed through converters, where welding machines are present, where large motors may be turned on and off frequently, or where loads vary rapidly

표17. 저주파 전도내성 시험규격의 비교

Parameter	CS101	IEC 61000-4-13	IEC 61000-4-16
적 용	ac and dc power leads	Low-voltage ac power mains	ac and dc power leads dc to 150 kHz
시험주파수	30 Hz to 150 kHz	16 Hz to 2.4 kHz	dc to 150 kHz
측정방법의 유사점	Measures differential mode voltage	Measures differential mode voltage	Measures common mode voltage
차이점	Uses coupling Transformer Employs facility line power and LISN to block line noise	Uses coupling/decoupling network Uses dedicated power generator	Uses coupling/decoupling network Uses dedicated power generator

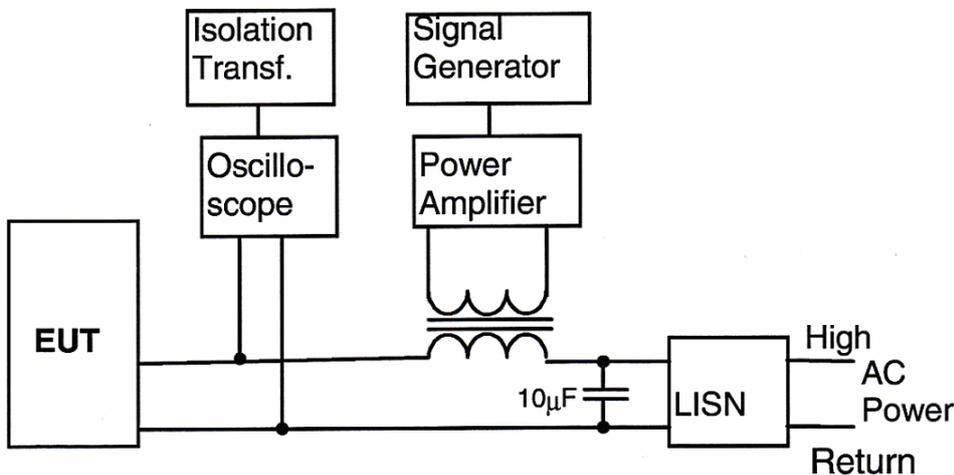


그림10. CS 101 신호 주입 방법

CS 101의 경우 주파수가 비교적 낮으므로 전원선의 한가닥을 자르고 그림10과 같이 1:1 트랜스를 사용하여 신호발생기로부터 신호를 만들어 증폭시킨 후 트랜스를 통해 신호를 주입하는 구조이다.

IEC 61000-4-13과 16는 정밀한 고풍력 신호발생기를 이용하여 회로 임피던스를 고려하여 EUT에 신호를 주입하는 방법이며, 3상 장비의 경우에도 동시에 신호를 주입한다.

반면에 IEC 61000-4-13은 단지 Class 2, Class 3 장비에 대해 시험레벨이 주어졌으며 Class 1 장비에 대해서는 적용하지 않는다. 산업용 환경에서 사용되는 Class 2 장비에 적용되는 에너지값이 CS 101과

### *Total EMC engineering since 1987*

비슷하다. 이 시험은 표18과 같이 3고조파, 3고조파가 아닌 홀수 고조파, 짝수 고조파, Inter harmonics로 나누어 시험하도록 되어 있다. 인가되는 에너지는 기본파 즉, 공급전원의 전압에 대해 %로 인가하도록 규정하고 있으며 개별 하모닉은 공급전압의 0-14%까지, 복합하모닉은 공급전압의 0-10%를 각 고조파별로 규정된 비율에 따라 시험하도록 하고 있다. Class는 4가지로 나누는데 Class 1은 기술연구용, 자동화 장비 및 기타 컴퓨터 기기가 여기에 포함되고, Class 2는 일반 산업용환경에 사용되는 기기, Class 3는 산업용으로 전력변환기를 사용하는 환경, 용접기, 대형모터를 사용하는 환경이거나 부하조건이 급격이 변하는 산업환경 조건에서 사용되는 기기에 적용한다. Class X는 아직 정해지지 않았으나 각 제품별 위원회에서 결정하도록 하고 있다. IEC 61000-4-13의 시험방법과 절차를 자세히 살펴보면 장비 제조업체가 규격제정에 참가하여 자기 장비를 팔려는 의도가 다분하다. 그 이유는 하모닉의 종류를 다양하게 구분하고 시험방법과 절차를 필요이상으로 복잡하게 만든 것이 대표적인 이유이다. IEC 61000-4-13, 16과 유사 규격으로는 선박용 기기에 적용하는 IEC 60945 S10.3.2가 있는데 인가 전압은 전원전압의 10% 그리고 주파수가 높아감에 따라 전원전압의 10%이하로 전압으로 점차 낮추어가면서 전원선에 인가하여 시험하도록 되어 있다. 시험주파수는 상용전원 주파수에서부터 10kHz까지 시험하도록 되어있고 결합방식은 MIL STD CS 101과 같다. IEC 61000-4-16은 dc, ac 모두에 적용하며 시험주파수는 15Hz-150kHz이다. 적용 레벨의 경우 level 3 산업용환경과 유사하다. IEC 61000-4-16의 시작주파수 15Hz도 적용에 문제가 있는데, 50Hz계통이면 25Hz가, 60Hz계통이면 30Hz가 되어야 한다. 왜냐하면 송전선이 긴 경우 각 상용전원 주파수의 1/2 또는 1/3 하모닉이 발생되는 것이지 일본 송배전 회로에서 15Hz는 발생되지 않는다.

표 18. IEC 61000-4-13의 110V ac 계통 설비의 인가전압

Harmonic no. (n)	Class 2 (% of supply voltage)	Class 2 (voltage level)
2	3	3.5
3	8	9.2
4	1.5	1.7
5	8	9.2
6	n.a.	—
7	6.5	7.5
8	n.a.	—
9	2.5	2.9
10	n.a.	—
11	5	5.8
12	n.a.	—
13	4.5	5.2
15	n.a.	—
17	3	3.5
19	2	2.3
21	n.a.	—
23	2	2.3
25	2	2.3
27	n.a.	—
29	1.5	1.7
31	1.5	1.7
33	n.a.	—
35	1.5	1.7
37	1.5	1.7
39	n.a.	—

표 19. IEC 61000-4-16의 연속간섭신호 주입전압(dc,ac)

Level	Open circuit voltage V (rms)
1	1
2	3
3	10
4	30
x <sup>a</sup>	Special

Level X는 미정 레벨로 앞으로 제품별 규격에 따라 적용

표 20. IEC 61000-4-16, 단기 간섭시험 전압  
(dc, 상용전원을 사용하는 기기에 적용)

Level	Open circuit voltage (V <sub>rms</sub> )
1	10
2	30
3	100
4	300
x <sup>a</sup>	Special

Level X는 미정레벨로 앞으로 제품별 규격에 따라 적용

표 21. IEC 61000-4-16, 전도적 간섭에 대한 주파수별 시험전압, 15Hz-150kHz

Level	15-150Hz	150Hz-1.5kHz	1.5kHz-15kHz	15kHz-150kHz
1	1-0.1	0.1	0.1-1	1
2	3-0.3	0.3	0.3-3	3
3	10-1	1	1-10	10
4	30-3	3	3-30	30
x <sup>a</sup>	Special	Special	Special	Special

Level X는 미정레벨로 앞으로 제품별 규격에 따라 적용

표 22. IEC 61000-4-16의 사용환경에 따른 전도적 간섭 시험전압

간섭	레벨 선택	시험전압, $V_{rms}$
dc와 전원 주파수, 연속간섭	Level 3-일반 산업환경	10
dc와 전원 주파수, 단기간섭	Level 3-일반 산업환경	100
전도적 간섭, 15Hz-150kHz	Level 3-일반 산업환경	10-1 : (15-150Hz) 1 - : (150Hz-1.5kHz) 1-10 : (1.5-15kHz) 10 : (15-150kHz)

지금까지 전원 주파수의 하모닉 성분을 포함한 저주파 대역의 고조파 전도내성과 관련된 군용 규격과 상용규격을 비교하였다. 상용규격은 IEC 61000-4-13,16 그리고 선박용 시험규격인 IEC 60945가 있으며, 이에 대응되는 군용규격은 MIL STD 461 CS101이다.

표19에서 표22까지는 IEC 61000-4-16관련 시험규격을 요약한 표로서, IEC 61000-4-16의 표19와 표20은 연속적으로 신호를 인가하는 시험과 짧은 시간동안 신호를 인가하는 시험이 있는데, 연속시험의 경우 주입전압이 사용전원전압의 대략 10%정도이나, 짧은 시간동안 주입하는 시험의 전압은 Level 3이상의 경우 공급전압과 거의 같은 높은 전압이다. 이 경우 ac기기는 큰 문제가 없으나 dc기기는 충분한 대책이 요구된다. 표21은 주파수별 시험전압을 나타내 주고 있고 표22는 사용환경에 따른 인가전압에 대해 정의하고 있다. 현재 IEC 61000-4-13, 16의 규격적용이 철도설비 등 일부 장비만 적용되고 있으나 앞으로 산업용 설비의 제어장치 및 변전실 등 전력 관련설비에는 반드시 본 시험을 해야 할 것이다.

CS 101시험은 LISN와 결합용 트랜스를 사용하여 차동 모드로 신호를 주입하는 반면, IEC 61000-4-13은 시험방법과 절차가 복잡하고 임피던스를 자동으로 조절하는 기능이 있는 정밀한 신호발생기 및 증폭기를 사용하도록 하도 있다.

MIL CS 101은 각 상별로 신호를 주입하여 시험하도록 되어 있는 반면, IEC 규격은 3상의 경우 한꺼번에 신호를 주입하여 시험하도록 되어있는 것이 다르다.

MIL CS 101를 대신하여 상용규격 IEC 61000-4-13,16으로 시험된 기기를 군용규격을 적용하는 산업용 기기에 대응하여 시험해도 문제없을 것으로 사료된다.

### 3.2.2 높은 주파수 대역에서 전도내성 시험규격의 군용규격과 상용규격의 비교

본 절에서는 CS114 와 IEC 61000-4-16 and -4-6를 비교한다. 높은 주파수 대역의 전도내성 시험목적은 잡음 발생원으로부터 발생된 전자파 간섭신호로부터 기기가 견디는 능력을 평가하기 위해 시험된다.

이 대역에서 발생된 전도성 잡음은 주로 스위칭 전원에서 많이 발생되는데 일반적으로 전원필터로 잘 제거되는 주파수 대역이다. IEC 61000-4-16 시험의 근본목적은 전원선 전류와 접지계통에서 귀환과 누설 전류로부터 동상모드의 잡음이 유도되기 쉽기 때문에 이에 대한 내성을 평가하기 위해서이다.

IEC 61000-4-6의 주파수 범위는 150 kHz 에서 80 MHz 이고, CS114의 주파수 범위는 10kHz-200MHz 이다. 이들 규격을 단순 비교해 보면 상용규격에서는 임의 전기.전자기기가 동작하여 만들어진 전자파가 자유공간의 임피던스보다 낮아져 평행 2선 방식의 전원선을 통해 전도적으로 전달 될 수 있는 주파수 대역을 80MHz로 보았고 군용규격은 200MHz까지 본 것이다.

Parameter	CS114	IEC 61000-4-6
Application	Power leads Signal leads	Power leads Signal leads
Frequency coverage	10 kHz to 200 MHz	150 kHz to 80 MHz
Methodology:		
Similarities	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Current induced into 100-Ω impedance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Current induced into 100-Ω impedance</li> </ul>
Differences	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uses inductive injection probe</li> <li>- Monitors current</li> <li>- Utilizes square wave modulation</li> <li>- Cable length required to be similar to actual installation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Injection through coupling and decoupling network</li> <li>- Injection through capacitive coupling clamp</li> <li>- Injection through current clamp</li> <li>- No current monitoring</li> <li>- Utilizes sinusoidal amplitude modulation</li> <li>- Specifies short cables</li> </ul>
Operating envelopes	별표참조	Level 3—140 dBμV—power lead Level 2—130 dBμV—signal lead

상용규격과 군용규격의 상한 주파수 선택방법에 있어 평행 2선의 경우 임피던스적으로 볼 때 80MHz가 군용 상한 주파수 200MHz보다 더 이론에 적합하다. 시험 시작 주파수에 있어 군용과 상용의 차이는 군용이 낮은 주파수에서부터 시험하는 것으로 되어 있으나 상용의 경우 앞서 설명한 IEC 61000-4-13,16에서 시험되므로 큰 차이는 없다. 이들 2가지 측정규격의 측정방법에 대해 살펴보면 IEC 61000-4-6은 신호주입용 결합기를 3가지를 사용하고 있다. 첫번째는 CDN이고 두번째는 CDN의 변형으로 차폐 케이블에 대해 직접결합방법을 사용하고, 세번째는 BCI로 Injection clamp를 사용하는 것이다. CM적으로 접지에 대해 150 Ohm으로 임피던스를 설정하고 시험하며 주입신호는 80% AM변조 신호를 인가한다.

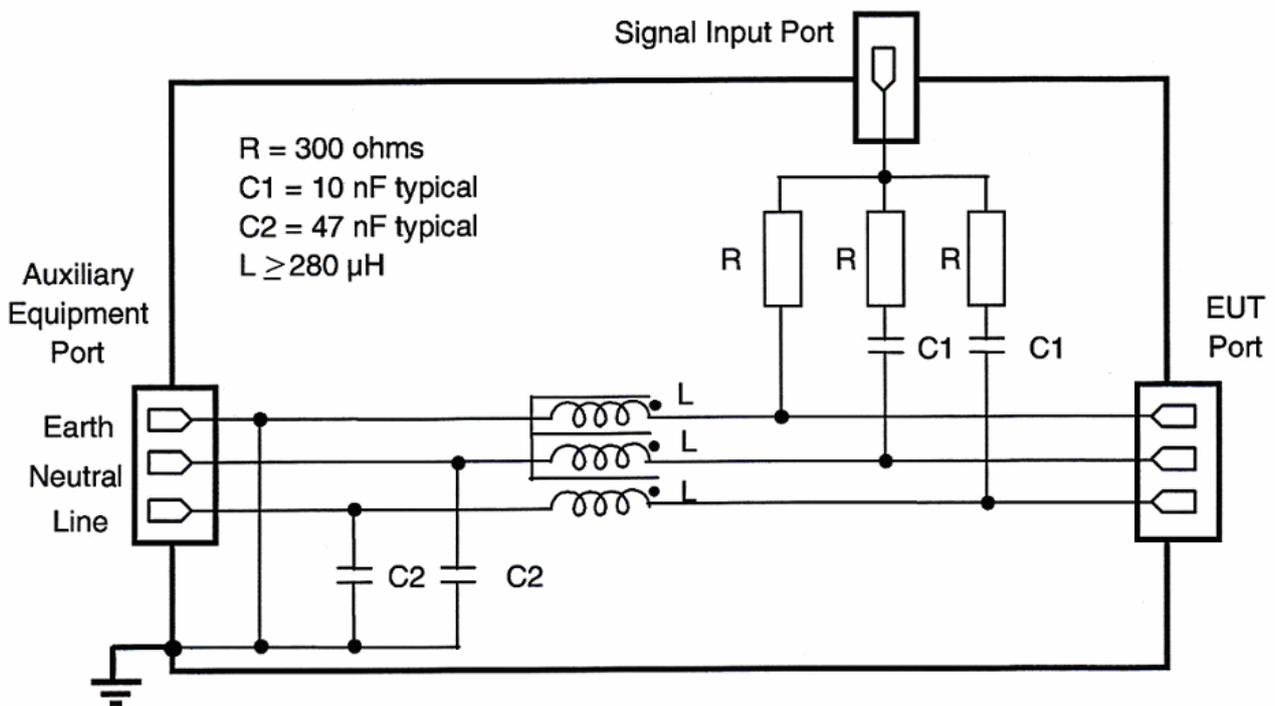
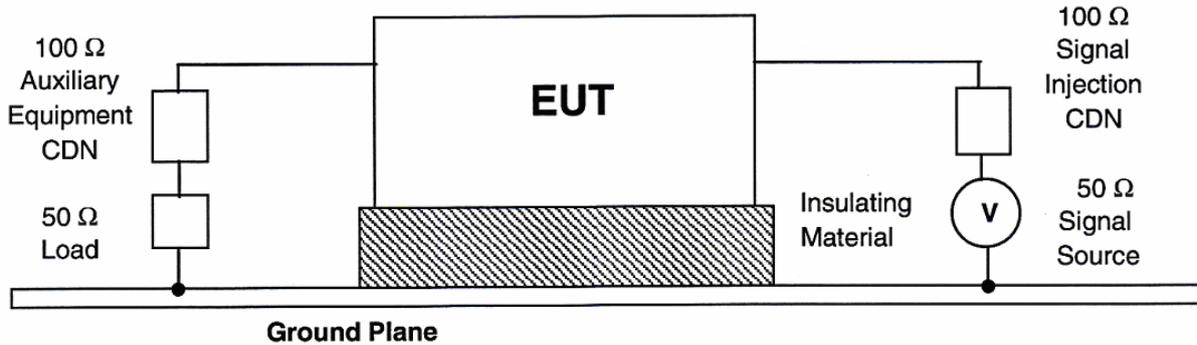


그림12. IEC 61000-4-6 coupling and decoupling network.

**Total EMC engineering since 1987**

반면에 CS114는 유도성 주입 프루브를 통해 신호를 주입하도록 되어 있으며, 주입신호는 구형파 1kHz로 변조하여 주입하고 주입된 전류는 모니터링을 하도록 되어 있다.

CS114시험과 상용 시험방법의 차이는 군용제품의 경우 접지체계가 대부분 함체 케환 방식이고, 상용의 경우 동상형태의 신호주입방법이다. 구형파로 변조하는 CS114가 보다 넓은 대역의 고조파를 함께 주입하여 시험하므로 가혹성면에서 군용규격이 높다.



**그림13. IEC 61000-4-6 signal injection setup.**

상용규격과 군용규격 주입신호의 변조 특성에 있어 구형파 변조를 하는 군용이 상용보다 이론적으로 적합한 방법이다. 왜냐하면 시험을 하는데 있어 주파수를 1Hz 단위로 증가시키는 것이 아니고 규정된 간격에 따라 시험되므로 Step 사이 시험하지 않는 주파수에 대해서도 전도내성이 정확하게 평가될 수 없다. AM보다 펄스변조 방식이 보다 넓은 스펙트럼을 만들어 전도내성을 평가 할 수 있기 때문이다.

앞으로 사용규격 IEC 61000-4-6의 변조방식이 AM 1kHz변조에서 펄스변조방식으로 변경될 확률이 높다. 주입신호의 에너지량을 비교해 보면 상용규격 IEC 61000-4-6은 시험레벨에 따라 다음 표24와 같다.

**표 24. IEC 61000-4-6 주입신호 레벨**

시험레벨	주입레벨(dBuV)	비 고
1	120	전자파환경이 양호한 곳. 라디오/TV방송국이 1km 이상인 곳
2	130	중간 정도의 전자파 환경. 휴대용 1W무전기가 1m이내에서 사용되는 환경
3	140	중간 정도의 전자파 환경. 휴대용 2W무전기가 1m이내에서 사용되는 환경. 방송국이 매우 가까운 곳으로 ISM 장비가 산업용 환경에서 사용되는 경우
4	Special	미확정으로 전자파에 매우 민감한 기기가 설치되는 장소

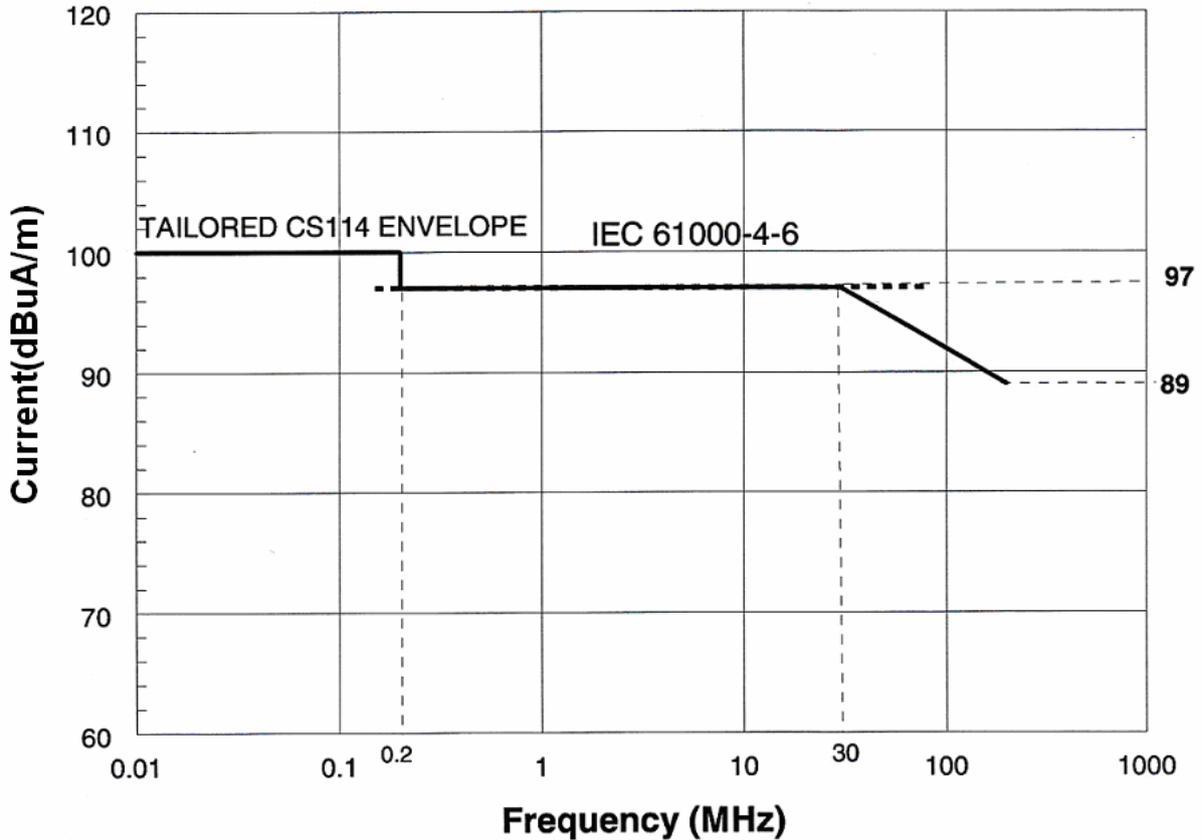


그림14. 높은 주파수 대역의 전도내성 주입신호의 크기 비교

그림14는 군용규격 CS114와 사용규격 EIC 61000-4-6의 주입신호 레벨 및 주파수를 비교하여 나타내 주고 있다.

비교적 높은 주파수 대역의 전도내성 시험규격의 상용과 군용규격 비교를 정리하면 주파수 대역이 상용의 경우 150kHz- 80MHz이고, 군용 CS114의 경우 10kHz- 200MHz이다. 주입레벨은 비슷하나 주입신호의 변조방식이 상용의 경우 AM, 군용이 구형파 펄스변조 방식이고, 결합방식은 군용제품의 접지방식이 상용과 달라 주입모드가 차이가 있다.

이들을 종합적으로 검토해 보면 상용규격을 군용규격 CS114을 대신하여 시험할 수 있는 시험항목이다.

### 3.2.3 전도적으로 시험되는 임펄스 내성시험의 상용과 군용의 비교

본 절에서는 IEC 61000-4-4, EFT와 군용규격 CS115를 비교한다. 본 시험의 목적은 릴레이, 전원차단기 등에서 발생하는 개폐성 반복잡음에 대한 내성을 평가하기 위해 시험된다.

2가지 시험규격을 필자의 경험적으로 비교하면 모두다 중요하다. 2가지 규격의 차이는 주입에너지의 크기와 주입신호의 주파수 대역이 다르다. IEC 61000-4-4, EFT가 개폐성 반복서지에 대한 시험으로 에너지는 작으나 전압이 높고 주파수 대역이 3GHz 대역까지 매우 넓은 특징을 갖는다. 반면에 CS115는 임펄스의 상승시간이 2nS이하로 상용에서 전력주변기기에 적용하는 Noise lab.의 임펄스 시험기기와 매우 유사하다. 상용과 군용의 차이는 단위 펄스의 에너지량은 군용규격이 상용규격에 비해 높고, 단위 시간 동안 누적 시킨 주파수 대역은 상용규격이 넓은 특성을 갖는다.

표 25. 전도적으로 시험되는 Switching Transient 관련 CS115, IEC 61000-4-4의 비교

비교항목	CS 115	IEC 61000-4-4
적용분야	전원선과 신호선	전원선과 신호선
파형정의	≤ 2ns 상승시간 ≥30ns 펄스폭 30Hz 펄스 반복비	5ns/50ns 단위펄스 15ms동안 인가, 300ms 휴지 2.5kHz-1MHz 펄스 반복비
측정방법	계전기의 개폐성 서지에 대한 내성평가 -유도성 신호결합(Current) -전원선의 중성선/전원 귀환선 제거 후 전원단에 인가하여 시험 -EUT를 접지판에 연결 -Bulk cable test(전원선과 신호선) -상용에 비해 단위 펄스 에너지가 크다	계전기의 개폐성 서지에 대한 내성평가 -용량성 신호결합(Voltage) -EUT함체에 안전용 접지(FG) 연결 -EUT를 전원 안전 접지선을 통해 연결 -개별 전원선에 인가(전원선과 신호선) -Bulk signal leads(CM적으로 신호인가) -군용에 비해 단위 펄스 에너지는 작다.
적용레벨	전원선 : 5A 신호선 : 2A	전원선 : 2kV(~5.6A), Level 3. 표26 참조 신호선 : 1kV(~2.8A), Level 3

상용규격인 IEC 61000-4-4, EFT는 전원선과 신호선에 따라 다음 같이 4개의 인가레벨이 정해져 있다.

표26. IEC 61000-4-4, EFT 신호의 인가 레벨

시험레벨	전원선		신호선	
	인가전압(kV)	임펄스 반복비(kHz)	인가전압(kV)	임펄스 반복비(kHz)
1	0.5	5	0.25	5
2	1	5	0.5	5
3	2	5	1	5
4	4	2.5	2	5

2가지 규격의 신호 주입방법에 대해 비교해 보면 IEC 61000-4-4, EFT는 용량적으로 신호를 주입하고 CS115의 경우 유도성 주입 프푸브를 이용하여 신호를 주입하는 것이 다르다. 필자의 견해로는 해당 신호의 주파수 반복비가 대체적으로 높고 인가신호의 스펙트럼이 GHz 대역까지 매우 넓기 때문에 상용에서 사용하는 용량적 결합방법이 이론적으로 이상적이다. CS115시험 역시 군용제품의 특성상 dc-를 FG에 연결하는 구조이므로 CM적으로 신호를 주입하는데 문제가 될 수 있다. 주입량을 비교하면 상용규격의 레벨3에 해당되는 에너지가 CS115의 5A에 해당되는 에너지이다.

경험적에 비추어 볼 때 CS 115와 IEC 61000-4-4시험은 다음 그림 15와 그림 16에서 알 수 있듯이 다소 성격이 다른 시험으로 중요한 설비의 경우 2가지 시험 모두를 시험하도록 권한다.

특히 전원 계통제어에 사용하는 대용량 MCCB, 능동형 Breaker, 디지털 보호 계전기, 원전설비 등은 반드시 IEC61000-4-4, level 4와 Impulse 시험기(예: INS 4040) 또는 CS115시험을 4kV이상 가장 높은 레

벨에서 시험하여 이상이 없어야 현장에서 오동작을 일으키지 않는다\*3.

CS 115와 IEC 61000-4-4시험은 프로세서가 내장된 제어기기의 오동작 평가에 있어 가장 실용적이고 중요한 시험이므로 반드시 시험하여야 한다.

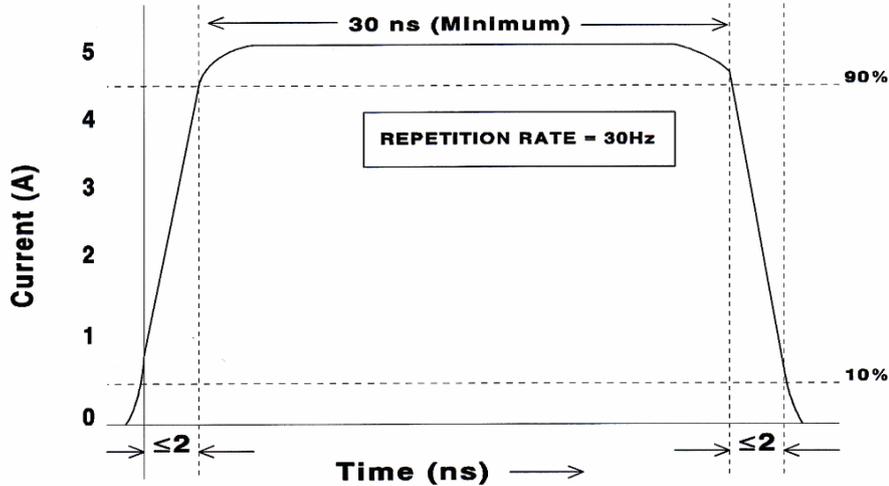


그림 15. CS 115 인가 신호 파형

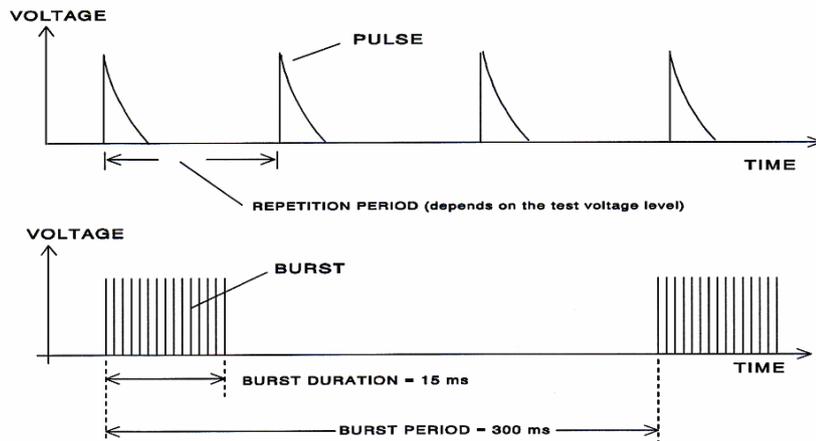


그림 16. IEC 61000-4-4, EFT 신호파형의 구성

### 3.2.4 전도적으로 시험되는 감쇠진동 서지 시험항목의 비교

본 절에서는 CS116과 IEC 61000-4-12를 비교한다. 이 시험의 목적은 낙뢰에 대한 내성을 평가하기 위해 시험된다. 일반적으로 IEC 61000-4-5가 있지만, 실제 낙뢰가 유입되면 접지선의 저항과 인덕턴스 성분에 의해 단극형 임펄스가 아닌 감쇠 진동형 서지가 기기에 유입되기 때문에 본 시험을 하는 것이다.

IEC 61000-4-5가 단발성(Positive or Negative) 임펄스 시험인 반면, IEC 61000-4-12는 감쇄진동 서지로 실제현장의 낙뢰유입 파형과 매우 유사하여 낙뢰에 대한 평가에는 IEC 61000-4-12가 IEC 61000-4-5에 비해 실용적이다. CS116의 경우 10kHz-100kHz의 주파수 범위에서(예; 0.01, 0.1, 1, 10, 30, 100MHz) 실시 되고, IEC 61000-4-12는 단지 100kHz, 1MHz에서 시험된다.

**Total EMC engineering since 1987**

CS116시험에는 전류주입 프루브를 신호 인가를 위해 사용되며 신호발생기는 100 ohm에서 교정된다.

실제 신호 주입에 있어 EUT마다 임피던스가 다르므로 교정된 상태에서 또는 규정된 신호레벨로 조정하고 인가한다. 전원의 경우 LISN을 통해 EUT에 전원을 인가하여 급전선이 일정한 임피던스를 유지하도록 한다. IEC 61000-4-12의 시험레벨은 다음 표27와 같다.

표 27. IEC 61000-4-12의 시험레벨

Level	CM 인가전압(kV)
1	0.5
2	1
3	2
4	-
X	X

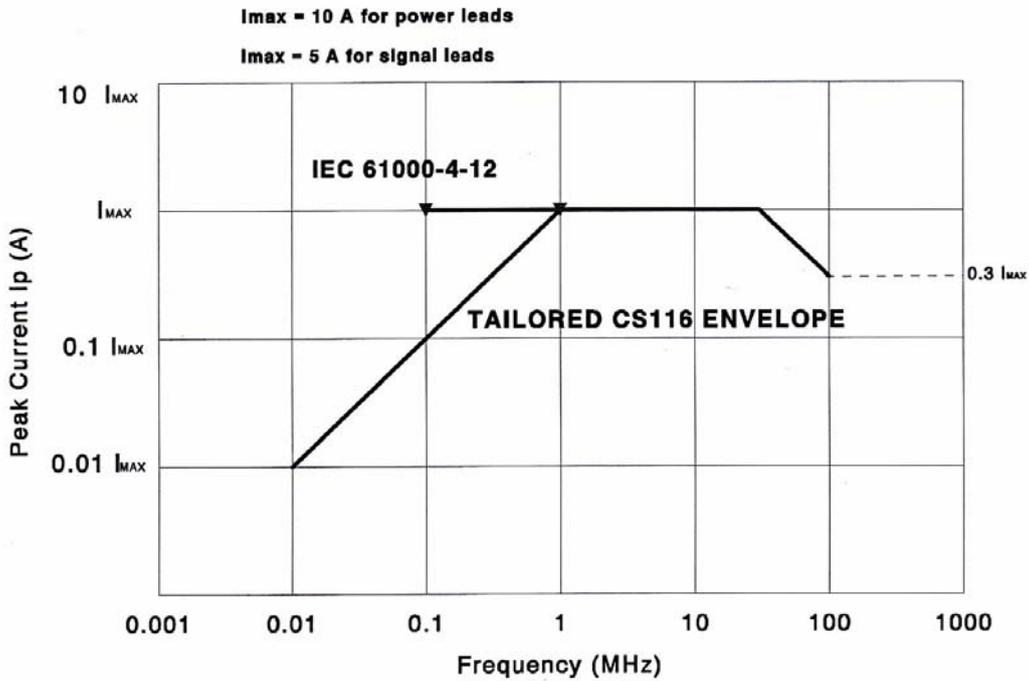


그림 17. 감쇠진동 전도내성 시험규격의 주입전류, CS 116과 IEC 61000-4-12 비교

감쇠진동 서지에 대한 상용과 군용의 차이점을 정리하면 CS 116에서는 직렬로 전류 프루브를 이용하여 신호를 주입하고 100 ohm의 교정기구를 이용하여 교정하는데, IEC 61000-4-12는 CDN를 이용하여 병렬로 신호를 시료에 주입하고 회로를 단락 시킨 상태에서 전류를 교정하는 방식을 채택하고 있다..

인가신호의 주파수를 비교하면 군용 규격인 CS 116의 대역이 넓으며, 상용규격과 군용규격을 비교하면 표 28과 같다. 결론적으로 이들을 비교해보면 감쇠진동 서지에 대한 내성시험 규정은 상용과 군용의 큰 차이가 없으므로 군용 CS 116을 대신하여 IEC 61000-4-12으로 평가해도 무리가 없을 것으로 본다.

표 28. 감쇠진동 서지 CS 116, IEC 61000-4-12의 비교

비교항목	CS 116	IEC 61000-4-12
적용	전원선과 신호선	전원선과 신호선
파형특성	진동주파수 : 10kHz-100kHz Damping factor : 15+/- 5	상승시간 : 75ns 400Hz 반복비, Burst duration: 2ns 이상
측정방법의 차이		
같은 점	-내부저항 200 ohm의 신호발생기	-내부저항 200 ohm의 신호발생기
다른 점	-전류 프루브를 이용한 직렬주입 -동상 모드로 신호주입	- CDN를 이용한 병렬주입 - 동상과 차동 모드로 신호주입
인가신호 레벨	그림17참조	-Level 3 : 2kV( 10A)- 전원선 -Level 2 : 1kV(5A) -신호선

낙뢰대책을 위한 서지시험의 경우 대책부품을 취부하면 대부분 시험 할 것도 없이 합격된다. 다만 감쇠진동 서지의 경우 정류단의 전해 콘덴서 용량을 높여주어야 기기의 순간시간이 짧아진다.

서지시험을 하게 되면 어떤 경우든 기기가 잠시 동안 죽었다 살아나게 되어있는데, 이것은 과전압 보호소자가 동작하여 전원양단에 순간단락이 일어나 발생된다. 따라서 기기를 설계 할 때는 이에 대한 대책으로 S/W적인 보완처리가 필요하다. 또한 중요한 것은 어떤 기기가 시험실내에서 서지시험을 하여 합격했다고 해도 현장에 설치되어 실제낙뢰를 맞게 되면 낙뢰의 대전류를 견디지 못해 과전압 보호소자가 타버려 단락, 단선, 절연불량 등의 현상을 일으키고 이후 낙뢰가 유입되면 전혀 동작을 하지 못하는 경우가 많다. 따라서 앞서 설명한 시험방법의 종류보다 중요한 것이 최적의 과전압 대책회로 설계이다.

서지는 대책부품의 특성상 시험전압이 높다고 시험에 불합격될 확률이 높은 것이 아니며, 오히려 과전압 보호소자가 동작하지 않는 범위(Beak down)내에서 가장 높은 전압에 의해 오동작을 일으킬 확률이 높고 반복성 서지에 대해서 매우 약한 특성을 갖는다.

과전압 대책설계에 대해서는 참고문헌 3를 참조하기 바란다.

### 3.2.5 군용규격과 상용규격의 방사내성 시험규격 비교

#### RS101, RS 103 과 IEC 61000-4-8,9,10, IEC 61000-4-3의 비교

군용과 상용 2개의 규격간에 방사내성 시험항목을 비교하면 다음 표29와 같다. 낮은 주파수 대역에서는 군용 방사내성 규격인 MIL STDT 461E RS 101과 상용규격 IEC 61000-4-8, IEC 61000-4-9, IEC 61000-4-10을 비교한다. 높은 주파수에서는 MIL STDT 461E RS 103과 IEC 61000-4-3을 비교한다.

방사내성 시험의 목적은 전자기기의 동작시 발생하는 불요전자파가 다른 무선통신기기에 미치는 영향이 있는지 또는 외부에서 공간적으로 전자파가 제어기기 기기에 도래될 때 기기 오동작이 발생되지 않는지를 확인하기 위해 실시된다.

먼저 이들 방사내성 시험규격의 주파수 범위를 비교하면 다음 그림 18과 같다.

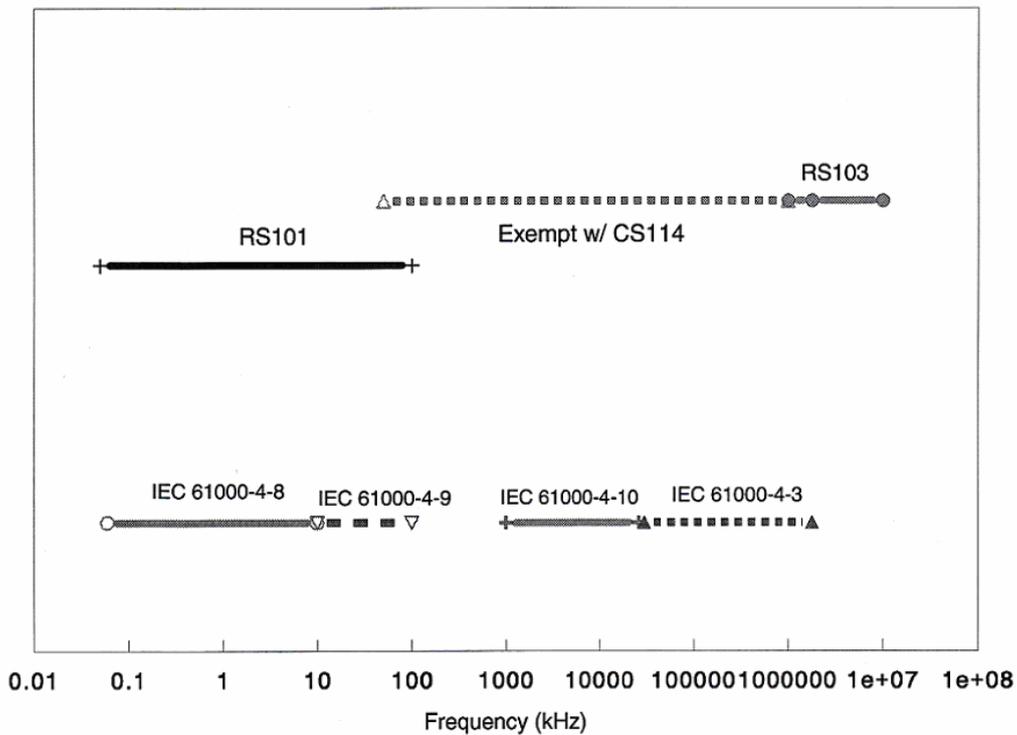


그림18. 방사내성 군용규격과 상용규격의 시험 주파수 비교

#### 3.2.5.1 낮은 주파수에서 방사내성 시험규격의 비교 (RS101 vs IEC 61000-4-8,9,10)

이 시험규정은 자계의 영향을 받지 않는 제품에 대해서는 시험할 필요가 없다.

예를들어 CRT 모니터는 대상이고, TFT모니터는 대상이 되지 않을 수 있다. 물론 표시장치(VDU)라는 항목으로 구매 규격서에 자계내성을 하도록 되어 있는 경우는 제외한다. 강한 자계를 만들어 내는 환경은 대용량 모타 전원선 및 모터, 반도체 공장과 같이 대전류를 사용하는 전원선 주변, 방사선 측정장비 등의 주변에 설치되는 장치류는 반드시 본 시험을 하는 것이 바람직하다.

본 시험의 목적은 자계에 민감하게 작용하는 전기,전자제품에 적용하는 규격으로 자계내성을 평가하기 위해 시험된다. 이들 2가지 규격을 비교하면 다음 표29, 그림19와 같다.

표29. 낮은 주파수 대역에서 자계내성 시험규격의 비교

비교항목	RS 101	IEC 61000-4-8,9,10
적용 대상	EUT의 외부함체	EUT의 외부함체
주파수 범위	30Hz-100kHz	50/60Hz, 60Hz-50kHz, 100kHz, 1MHz
측정방법		
같은 점	- 자계에 노출 시험	- 자계에 노출 시험
차이 점	- 작은 인덕터를 이용한 국부 노출 여러 위치에서 시험	- 대형 인덕서 내에서 장비 전체를 시험
적용 한계값	그림 19참조	그림 19참조

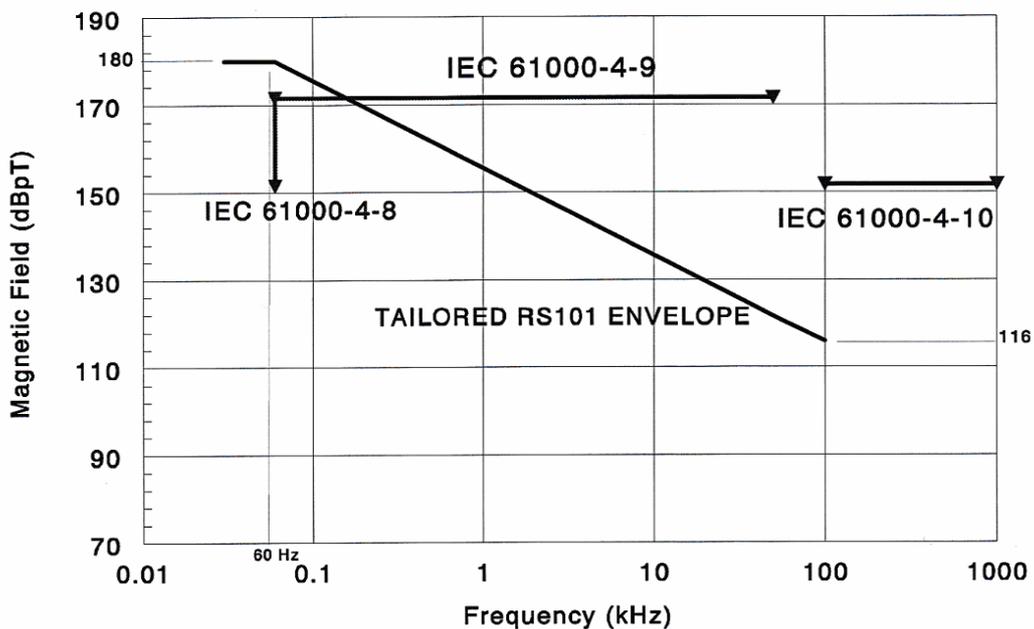


그림19. 자계내성 시험규격 RS 101과 IEC 61000-4-8,9,10의 비교

RS 101시험 주파수는 30Hz-100kHz이고 IEC 61000-4-8은 50Hz/60Hz이며, IEC 61000-4-9는 50Hz/60Hz 주파수이지만 펄스형 자계내성시험이다. IEC 61000-4-10은 100kHz와 1MHz에서 실시하는 감쇠진동 자계내성 시험이다. 이들 각각의 시험방법을 살펴보면 모두 시험의 목적이 같은데 외부로부터 자계가 인가되어도 기기가 정상동작을 하는지 자계내성을 평가하는 시험이다. 측정방법에 있어 상용규격은 모두 EUT전체에 대해 큰 자기장 코일에서 시험하도록 되어 있으나 군용규격은 국부적으로 여러 곳에 자계를 만들어 5cm에서 인가하도록 되어 있다. 이들 규격에서 인가하는 에너지를 비교해 보면 IEC 61000-4-8의 경우 NPP환경은 Class 4에 해당되는데 연속자계 인가시험 30A/m, 단기 시험레벨 300A/m이다.

IEC 61000-4-9의 경우 Class 4, 300A/m이고 IEC 61000-4-10 역시 Class 4로 30A/m가 NPP환경에 적용할 수 있는 레벨이다. IEC 61000-4 시리즈 자계내성 인가 단위는 A/m로 군용 RS101로 적용하기 위해서는 단위를 바꾸어 주어야 한다. 단위변화는 참고문헌 3참조.

군용규격 CS 101과 상용규격 IEC 61000-4-8,9,10의 주파수 및 인가 에너지에 대한 비교는 표30을 참조하기 바란다.

표 30. IEC 61000-4-8,9,10 자계 연속 인가 시험시 시험레벨

시험방법	시험 Class 선택 및 레벨	시험레벨
IEC 61000-4-8	-일반 산업환경에 적용하는 연속 펄스자계, Class 4 -일반 산업환경에 적용하는 단기 펄스 자계: Class 4	30A/m(152 dBpT) 300A/m(172dBpT)
IEC 61000-4-9	Class 4 : 일반 산업환경	300A/m(172dBpT)
IEC 61000-4-10	Class 4 : 일반 산업환경	30A/m(152 dBpT)

저주파 대역의 자계내성 시험에 대한 상용규격과 군용규격 CS101의 비교에 있어 상용규격은 모든 경우의 수(상용주파수 자계, 임펄스 자계, 감쇠진동 자계 등)에 대한 자계내성을 시험하도록 하고 있다.

따라서 상용규격으로 MIL STD CS101을 적용레벨만 맞추어 시험한다면 충분히 만족 시킬 수 있다고 본다. 다만 군용 저주파 자계내성 시험에 있어 음파 탐지용 센서 평가에는 적용에 주의가 요구된다.

또한 기기가 대형인 경우 군용규격 CS 101에서는 5cm거리에서 부분적으로 자계내성을 하도록 되어 있는데, 상용규격의 자계유도 코일의 크기가 충분하지 않은 경우 부분적인 자계조사 방법으로 대처 할 수 있을 것이다.

### 3.2.5.2 높은 주파수 대역에서 방사내성 시험규격 RS 103과 IEC 61000-4-3의 비교

높은 주파수 대역에서 방사내성 시험을 실시하는 목적은 기기나 장비가 외부로부터 조사되는 공간적인 방사 전자파로부터 오동작을 일으키지 않는지, 성능저하가 있는지를 확인하기 위해 시험된다.

전자파의 인가는 제품전체 혹은 부분품에 대해 실시되며 여기에는 사용되는 케이블이 포함된다.

방사내성시험에 있어 무선기기의 고유공진 주파수에 대해서는 별도의 규정이 없는 한 시험하지 않는다.

여기서는 군용 규격 MIL STD 461E RS 103과 상용규격 IEC 61000-4-3을 비교하겠다.

MIL STD 461E RS 103의 시험주파수는 대상기기의 용도와 구매규격에 따라 달라질 수 있으나, 10kHz-10GHz까지 시험하도록 되어있다. 그렇지만 만일 CS 114시험을 한 장비에 대해서는 10kHz-30MHz는 제외될 수 있다. IEC 61000-4-3 상용규격의 주파수는 26MHz-1GHz 대역까지 시험하도록 되어있으나, 전자저울과 같은 특수 기기를 제외하고 일반적으로 80MHz-1GHz까지 시험된다. 현재 상용방사내성 시험규격 변화의 추세를 보면 상한 주파수를 3GHz까지 혹은 그 이상의 주파수에 대해서도 상용 방사내성 시험이 실시될 것이다. 방사내성 시험규격 상용 IEC 61000-4-3과 군용 규격 RS 103을 비교하면 다음과 같은 표31로 요약된다. 군용규격과 상용규격의 차이점은 군 규격의 경우 차폐실에서 시험하거나, 차폐실에 부분적으로 흡수체를 부착하여 시험하도록 하고 있는데 반해 상용규격은 바닥 반사면에 흡수체를 설치한 무반사실 조건에 시험하도록 하고 있다. 인가된 전계를 확인하는 방법으로 군용제품은 1m에서 연속적으로 전계를 확인하는 방법을 사용하는 반면, 상용규격은 3m에서 모든 시험주파수에 대해 균등전계를 확인하여 시료를 설치하고 시험하도록 하고 있다. 다른 규격은 몰라도 높은 주파수 대역의 방사내성 시험방법과 시험절차는 이론적으로 변조방식을 제외하고 상용조건이 군용조건을 앞선 것으로 사료된다. 인가신호의 경우 군용은 펄스 변조방식을 채택하고, 상용은 1kHz 정현파 80% AM신호로 시험하는데 50% duty cycle 펄스변조 방식의 군용규격이 좀더 넓은 스펙트럼 분포를 갖으므로 시험을 하지 않는 Step내 주파수에 대한 내성평가가 간접적으로 이루어지게 되어 상용보다 이상적인 방법이다.

표 31. 방사내성 시험규격 군용 규격 RS 103과 상용 IEC 61000-4-3의 비교

비교항목	RS 103	IEC 61000-4-3
적용	EUT의 함체	EUT의 함체
주파수 범위	10kHz-10GHz	26MHz- 1GHz/ 3GHz
측정방법		
유사성	-함체에 전계조사	-함체에 전계조사
차이점	-차폐 또는 부분 흡수체 부착 챔버 -측정거리 :1m -전계 프로브로 전계감시 -EUT함체 접지 - Circularly polarized field 불허 -구형파 변조 -주파수에 따라 sweep rate 가변	-무반사실 -측정거리 :3m -EUT없이 균등장 측정으로 시험장 평가 -EUT 접지로부터 분리 및 안전을 위한 단순접지 - circularly polarized field 허용 - 1kHz 정현파 AM변조 - 전주파수 대역에 걸쳐 고정 sweep rate 적용
인가 에너지	10V/m	3-10V/m

군용과 상용 방사내성 시험규격의 주파수 범위, 시험장 조건, 변조 방식에 대해서는 표31에 잘 정리되어 있고. 표32에는 상용규격 IEC 61000-4-3에서 규정하고 있는 각 시험 레벨에 따른 적용환경에 대해 설명되어 있다.

인가전계에 대해 살펴보면 상용규격은 시험레벨에 따라 일정한 전계로 시험하게 되어있으나 군용규격은 주파수 대역에 따라 인가 전계가 다르다.

결론적으로 높은 주파수 대역의 방사내성 시험의 군용 MIL STD 461E, RS 103과 상용규격 IEC 61000-4-3를 비교해 보면 다소 차이는 있으나 상용규격을 군용규격으로 대치하여 시험해도 무방할 것으로 사료된다. 다만 상용규격을 군용규격을 대신하고자 할 때는 낮은 주파수에서 시험이 이루어지지 않기 때문에 MIL STD 461E, CS 114 시험을 합격한 기기 또는 IEC 61000-4-13,16에 합격한 기기에 대해서만 적용하는 것이 이상적이고, 변조방식도 펄스변조 방식을 채택하는 것이 이상적인 시험방법으로 추천한다.

표 32. IEC 61000-4-3, 방사내성 시험규정의 적용분야와 시험레벨

Class	인가 전계(V/m)	적 용
1	1	낮은 레벨의 방사 노이즈가 있는 환경, 방송국 1km이상
2	3	1W이하 휴대 무전기 사용지역, 일반적으로 상업지역
3	10	2W이상 휴대 무전기를 1m이하에서 사용하지 않는 지역으로 방송국이 인접해 있거나 ISM장비가 근접해서 설치된 지역으로 일반 산업환경
x	-	특수 지역

또한 군용규격을 상용규격으로 시험 할 때는 주변에 1GHz이상 무선기기를 사용하거나 통신에 사용되는 경우 10GHz/18GHz까지 높은 주파수까지 방사내성 시험을 실시할 것을 권고한다.

### 3.2.6 SWC 시험의 비교

SWC 규정은 IEEE Std C61.41-1991(1995년 재확인)에 있고, 저전압 ac 전원회로의 서지에 대한 규정은 IEEE Std C62.45-1992에 권고되어 있다. 중공업 설비로 위험도가 가장 높은 핵발전소 전기설비에 적용하는 저전압 ac기기에 대한 서지 시험규격은 앞서 설명한 감쇠진동 서지 또는 IEC 61000-4-5시험 외에 다음 표33과 같은 규격이 있다.

군용규격이 아닌 SWC 시험항목을 다른 상용규격과 비교하는 목적은 NPP가 군용 규격 외에 IEEE Std C62.45-1992를 적용하고 있기 때문이다.

표 33. IEEE C61.41-1991, 전원서지 파형정의

비교항목	Ring wave	Combination wave		EFT
파형	Open circuit voltage	Open circuit voltage	Short circuit voltage	15ms 인가, 300ms 휴지
상승시간	0.5us	1.2us	8us	5ns
지속시간	100kHz ringing	50us	20us	50ns

IEEE C62.41-1991과 대응되는 IEC 61000-4 시리즈 시험항목은 다음 표34와 같다. 시험파형은 같고 시험절차도가 매우 유사하다. 따라서 상호 호환적인 시험으로 간주 할 수 있으며 직접 대치하여 시험하는 것을 권고한다. 다만 시험레벨은 사용하고자 하는 환경에 맞게 시험레벨을 선택하면 된다.

본 절에서 군용규격이 아닌 SWC에 대해 설명하는 것은 IEEE C61.41-1991의 전원선 서지 규정이 미국 원자력 설비에서 군용규격과 함께 시험을 요구하는 항목이기 때문에 간략하게 설명한다.

표 34. SWC 시험방법의 비교

IEEE C62.	IEC
Ring wave	61000-4-12
Combination wave	61000-4-5
EFT	61000-4-4

## 4. 군용규격 MIL STD 461E와 상용규격 IEC/CISSPR 비교 요약

### 4.1 군용규격의 상용규격 대치 가능성

지금까지 상용규격 IEC와 군용규격 MIL STD 461E간에 시험목적, 시험주파수, 시험레벨, 시험절차, 시험장비 구성 등에 대해 하나씩 비교하여 군용규격을 대신하여 상용규격을 적용 할 수 있는지를 검토하였다. 군용 규격과 상용규격간의 대응관계와 대치 가능성을 다음 표35로 요약한다.

표 35 .MIL STD 461E과 IEC 61000 시리즈의 대응관계 및 상용시험으로 대치 가능성

MIL STD 461E 군용규격	IEC 61000시리즈 상용규격	대치 가능성
CE 101 통합예정,461F	None	잠수함 음파 탐지기, 4-20mA analog I/O, Audio배선 등이 가까운 거리에 설치되는 경우 중요 시험으로 MIL규격을 적용해야 함
CE 102,461F	IEC 61000-6-4	주파수 선택, 제한값 선택에 유의하면 대치가능
CS 101	IEC 61000-4-13, 16	대치가능
CS 114	IEC 61000-4-6. 16	주파수 선택, 레벨선택에 유의하면 대치가능
CS 115	IEC 61000-4-4	대형 분배전반, 대형 개폐기가 있는 환경에서 1회/10년 오동작 발생을 허용하지 않는 설비는 상용과 MIL 규격 함께 적용
CS 116	IEC 61000-4-12	대치가능
RE 101	None	잠수함 음파 탐지기, 4-20mA analog I/O, Audio배선 등이 가까운 거리에 설치되는 경우 중요 시험으로 MIL규격을 적용해야 함
RE 102	IEC 61000-6-4	방사 제한값과 주파수 범위를 적절하게 선택하면 대치가능
RS 101	IEC 61000-4-8,9,10	문제없음. 군용규격보다 상용규격이 정밀함. 기기의 크기 제한
RS 103	IEC 61000-4-3	주파수만 적절하게 선택하면 시험레벨, 방법에 있어 상용규격으로 대응해도 문제없음. 단, 변조방식은 AM보다 펄스변조 방식이 Frequencies step간의 방사내성을 간접적으로 평가

현재 MIL STD 461F에서 CE 101과 CE102를 통합하려고 하고 있다. 다만 이 2가지 전도방사 노이즈의 시험목적이 주로 잠수함에서는 음파탐지기, 산업용기기에서 많이 사용하는 4-20mA 아날로그 입출선, 방송국과 같이 Audio 품질이 중요한 곳에서 미치는 영향평가에 있으므로 군용규격을 산업용 규격으로 대치하는데 유의할 필요가 있다. 목적과 사용환경이 적합하면 상용규격으로 대치가 가능하다.

MIL STD 461E, CS 115의 경우 시험과형이 상용규격 IEC 61000-4-4,EFT의 부족한 점을 보완시켜주는 특성을 갖고 있으며, 반대로 상용규격 IEC 61000-4-4,EFT가 MIL STD 461E, CS 115의 부족한 점을 보완시켜 주는 특성을 갖고 있기 때문에 원자력 발전소, 화학,정유,반도체 등 대형 프렌트 설비용 분배전반, 대형 개폐기가 있는 환경에서 1회/10년 오동작 발생을 허용하지 않는 설비는 상용과 MIL 규격 함께 적용하여 시험할 것을 권한다. MIL STD 461E, CS 115를 대신하여 Noise lab.의 Impulse tester를 이용하여

### Total EMC engineering since 1987

4kV까지 시험해도 완벽하게 정상동작을 확보 할 수 있다. 이 시험에서 유의해야 할 것으로 개폐기 혹은 차단기(MCCB)는 부도체 난연재료를 사용하여 제품이 제작되는데, 실제 사용환경을 충분히 고려하여 CM 형태로 신호를 주입하여 반드시 시험 할 것을 권장한다.

## 4.2 군용 제품중 상용 전자파 시험으로 평가한 제품의 사용 환경에 대한 고려

이 문제는 미국을 포함하여 많은 국가들이 비교 검토와 연구를 많이 한 부분이다. 미국의 NPP가 원전 설비구매분야에서 적극적인 연구를 하였고, 산업용 기기로 재산피해, 인체 위해성이 높은 설비에서는 상용규격 대신 MIL STD규격을 채택하여 제품을 구매해 오다 상용규격으로 대치 할 수 있는지를 집중적으로 검토하고 이에 대한 보고서를 내놓고 있다.

군에서 사용하는 제품을 모두 MIL STD에 합격된 제품을 구입하게 되면 다음과 같은 문제점이 있다.

- 약 5-10배 정도 원가상승

- 개발기간이 늦어져 프로세서 성능을 따라가지 못하는 피해

예: 민간인은 3GHz dual core 프로세서를 사용하는데 군인은 Pentium III를 사용하거나, 하드용량을 민간인은 300G를 사용하는데 군 부대에서는 100G를 사용하게 된다.

- 프로세서의 성능개선 기간이 1-2년 단위로 짧아지는데, 1-2년이면 군용제품의 개발, 상용화 기간보다 짧아지는 문제발생. 예; 군용제품을 개발하고 나니 상용에서 보면 중고제품

- 현대전에 사용되는 모든 무기체계는 컴퓨터로 제어되며 컴퓨터 성능에 의해 무기성능이 결정

- 군 교육용 컴퓨터나 군부대 사무실에서 사용하는 컴퓨터나 전원장치도 MIL STD에 합격된 제품을 사용해야 하는가?

위와 같은 문제들은 군에 근무하는 분이나 개발담당자 모두 동감하는 내용이나, 군의 특성상 정보보안과 기기의 오동작 발생 유무가 생명이므로 어쩔 수 없이 군에서 사용하는 모든 제품을 MIL STD 합격된 제품을 사용하고 있다.

앞서 검토된 군용규격과 상용규격 비교에서 알 수 있듯이 일부 시험항목을 제외하고는 시험방법과 절차는 군 규격과 상용규격의 차이가 많이 나지 않는다.

EMC규격만 한정 한다면, 군에서 사용하는 다음 용도의 제품은 반드시 MIL STD를 합격한 제품이 아닌 상용규격에 합격한 장비를 구매하여 사용해도 문제가 없을 것으로 판단된다.

- 군 교육에 사용하는 컴퓨터 및 주변기기

- 군 내부 사무실 환경에서 사용하는 컴퓨터 및 주변기기

- 시험적으로 개발되는 무기류로 성능개선에 목적이 있는 기기

- 연구개발 목적이나 성능개선을 위한 초도 제품

여기서 반드시 전제해야 할 것은 위와 같은 기기를 군내에서 사용하고자 하는 경우 TEMPEST개념에서 전원과 통신선이 완벽하게 필터링 된 환경이 구축된 경우 가능하며, 대상기기는 군내부에 EMC 전문가 회의를 거쳐 결정하는 것이 바람직하다.

뿐만 아니라 군에서 장비 개발초기 EMC규격을 지정해 주는데, 개발자가 EMC분야 전문성이 낮아 시험규격, 시험방법, 시험주파수 등에서 옛날 규격을 적용하거나 불필요하게 많은 시험항목을 요구하는 등 문제가 있으므로 군내부 EMC 전문가 회의를 만들어 이들의 검토와 결정에 따라 군용규격 적용에 효율성과 융통성을 높인다면, 많은 예산을 절감하고 개발기간을 단축시킬 수 있을 것으로 본다.

## 5. MIL STD 461 규격의 세계 각국 적용사례 및 보안성

세계 대부분의 국가에서는 미국의 MIL STD 461시리즈를 자국의 국방용 기기에 적용하고 있다.

MIL STD 461는 군용기기뿐만 아니라 중요한 산업용, 원자력 관련 설비, 인공위성에 사용되는 전기. 전자기기, 인체 위험도가 높은 기기에 대해 적용하고 있다.

여기서 한가지 짚고 넘어가야 할 중요한 사항으로;

- 미국에서 제정되고 수시로 개정되는 MIL STD 461 시리즈로 시험하여 합격한 기기는 전기.전자기기의 오동작 방지와 기기간섭을 완벽하게 방지해 줄 수 있는가?
- 기기로부터 방사되는 전자파를 위성 또는 항공기에서 수신해 낼 수 있는가 ?
- 그런 목적의 군용규격이라면 보안에 유지 않고 모든 나라에 개방하는 것이 상식적인가?
- 아니면 미국내 또 다른 보안 유지된 EMC규격이 있지 않은가?

등에 대해 깊게 생각해 보고 대응할 필요가 있다. 군에서는 보안이 생명인데 보안이란 남에게 알려지면 그때부터 보안사항이 아니다. 지금까지 살펴 보았듯이 MIL-STD 461 규격은 일반인들이 생각하는 것같이 완벽한 규격도 아니며, 가혹도(EMS)가 상용보다 높은 것도 아니고, 시험방법과 절차가 상용에 비해 우수한 것이 결코 아니다. 다만 EMC분야 최초로 전체적인 틀을 갖춘 EMC규격의 하나로, EMI 방사레벨이 상용보다 대략 20dB정도 낮은 시험규격일 뿐이다.

### 5.1 우리나라의 경우

우리나라가 군용장비에 EMC 문제점이 크게 대두 된 것은 1990년대 이라크가 쿠웨이트를 무단 점령하여 미국과 전쟁을 하면서 시작된다. 당시에 국내의 모 자동차 회사가 이라크에 군용 트럭을 대량 수출하였다.

쿠웨이트는 사막지대로 이라크군이 점령하여 모래를 파고 진지를 구축하였다. 당시 미국과 전쟁을 하는데 있어 제공권이 미국에 있어 이라크는 낮에는 미군의 폭격이 있으므로 주로 저녁에 트럭을 통해 사막진지의 병사에게 보급물자를 운송하고 있었다.

미국에서는 인공위성 혹은 항공기에서 저녁에 전파를 수신하여 방향을 탐지하게 되었는데, 멀쩡한 사막에 일렬로 전자파가 계속 수신되는 것을 확인 분석해 보니 차량에서 발생하는 전자파 스펙트럼임을 알게 되어 보급이 저녁에 이루어진다는 사실을 인지하게 되고 야간에 이라크의 보급차량(한국에서 수출한 군용트럭)에 대해 폭격을 감행하게 된다.

당시 TV를 보면 미군에 항복한 이라크군들이 지하진지에서 나오자 마자 미군들로부터 빵과 먹을 것을 얻어 먹는 화면을 볼 수 있었는데, 이라크가 쿠웨이트 전투에서 허무하게 무너진 것은 보급이 끊겨 미국과 대항 할 수 없었던 것이다.

묘하게도 이라크 군이 보급에 사용되었던 군용트럭이 국내 자동차 회사제품으로 알려지면 군용제품의 EMC의 중요성이 크게 대두되었다.

이후 우리나라에서도 군용장비의 EMC 규정을 철저히 적용하게 되어 지금에 이르게 된 것이다. 현재 군용 전기.전자기기에 적용하는 MIL STD는 EMC 전문가들로부터 자문을 구해 적용하는 것이 아니고

### Total EMC engineering since 1987

해당제품 개발담당자가 임의로 MIL STD 461을 적용하다 보니, 어떤 제품은 MIL STD 461C를 적용하고 어떤 제품은 MILS STD 461E를 적용하며, 시험항목과 주파수도 제품에 따라 융통성이 없이 시험되고 있다. 다시 말해 앞서 설명한 바와 같이 MIL STD 461이 계속 변화 하여왔는데 우리나라에서는 자기가 알고 있는 과거의 규격을 적용하거나, 각 제품의 특성에 맞게 시험항목을 결정하고 시험레벨과 시험 주파수를 선택하여 적용하지 못하여 시간과 예산을 낭비하고 있는 것이 한국의 현실이다.

한국에는 MIL STD 461 D,E는 있어도 한국에서 자체 검토 작성되어 적용하는 군용규격은 없다.

## 5.2 중국의 군용 EMC 규격

군용무기의 자체개발 활동이 가장 왕성한 나라가 미국, 중국, 러시아, 일본이다. 중국은 현재 MIL STD 461E를 근간으로 다음 표20과 같은 자국의 규격 GJB 151A,B를 만들어 군용에 적용하고 있다.

중국은 다른 나라에 비해 첨단 군용장비의 자체개발에 있어 국력을 집중하고 있어 군용 규격에 대한 관심이 대단히 높다.

미국의 현용 규격인 MIL STD 461E와 중국 군규격 GJB 151A을 비교하면 아래 표20과 같다.

중국의 경우 미국의 MIL STD 461C중에서 자기들이 필요하다고 생각되는 몇 가지 규격을 포함하고 시험 주파수도 자국에 맞게 변화 시킨 것이 우리나라와 다른 점이다.

표20에서 보는 바와 같이 CE 107, CS 106, RS 105의 적용이 대표적이다. CE 101, CS 101, CS 104, CS 105, CS 109, CS 114, RE 101의 주파수 범위가 현용 MIL STD 461E와 다른데, 중국의 경우 50Hz 사용전원을 사용하므로 낮은 주파수를 50Hz의 1/2 고조파부터 시험하도록 하고 있다.

그러나 중국 역시 MIL STD 461을 근간으로 적용하고 보다 나은 상용 측정방법을 채택하지 못한 융통성이 없는 것으로 보아 군용 EMC 규격에 대한 시험목적, 방법, 절차, 주파수, 인가 신호레벨에 대한 연구는 미흡한 것으로 생각된다. 그러나 군용규격 자체가 없는 한국보다는 나은 편이다.

중국 정도 경제 규모라면 EMC 군용규격에 대한 집중적인 연구를 할 수 있을 것인데 미흡한 것 같다.

앞서 설명했듯이 상용규격이 어떤 시험항목에서는 군용규격 보다 우수한 것이 많이 있다.

그렇기 때문에 미군 규격의 변화 추세를 살펴보면 상용규격의 시험방법과 절차를 부분적으로 채택하는 경향 강해지고 있다.

## 6. 결론

지금까지 MIL STD 461의 제정, 개정 과정을 살펴보고 MIL STD 461E/F와 상용규격 IEC/CISPR간 시험목적, 시험방법, 시험주파수, 제한값, 주입 에너지량 등에 대해 하나씩 비교해 보았다.

거의 대부분의 시험항목에서 군 규격과 상용규격은 일치한다. 다만 군용제품에는 없는데 상용에 있는 IEC 61000-4-2, ESD 시험은 군용기기는 dc-와 FG가 일체화 시킨 접지체계이므로 없는 것으로 판단되나, 휴대용 기기에 대한 정전기 시험이 없는 것은 다소 이해가 아니 된다. 나머지 시험항목은 대부분 MIL STD 461에 대치되는 상용 시험규정이 있다. 시험방법과 절차의 경우 현재 오히려 군용규격이 상용규격을 부분적으로 채택하는 경향이 높다. EMI 시험의 경우 방사 제한값이 상용에 대해 약 20dB정도 낮은 것을 제외하고 거의 같으며, EMS의 경우 인가 에너지량이 중요한데 RS, CS에서 상용이

### Total EMC engineering since 1987

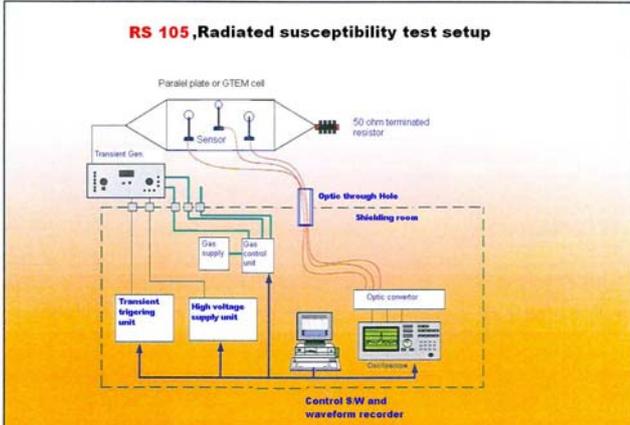
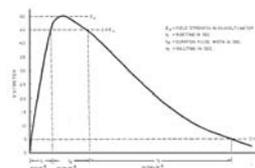
더 높은 것이 많다.

EMC 및 RF 시험방법과 절차와 관련된 국제 규격제정에 있어 과거에는 미국이 선도를 했는데 최근에는 완전히 유럽 EU가 장악하고 선도하고 있다. 그 이유는 미국의 경우 관련분야 참여자가 한정되어있고 제약이 많은 것에 비해, 유럽국가에는 관련분야 인적자원이 풍부하고 자유로운 제안과 토론이 이루어 지기 때문으로 판단된다. 우리나라의 경우 나라의 경제 규모에 비해 비교적 EMC 분야 기술인력이 많이 양성되어있다. 문제점으로 정부기관이나 학자간의 폐쇄성은 여전하나 학회를 통한 자유로운 토론과 관련연구가 이루어지고 있다.

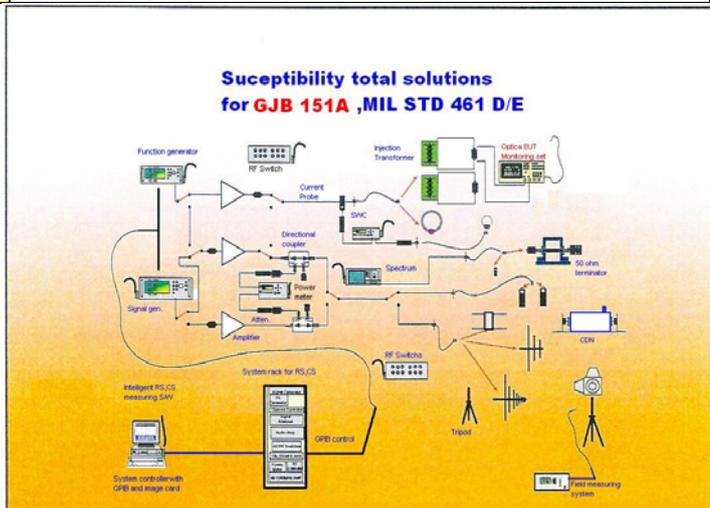
MIL STD 461x를 대신해 상용규격으로 시험하는데 검토되어야 할 사항을 정리하면 다음과 같다.

- 군용제품 개발시 제품의 용도, 사용환경에 맞게 시험규정, 시험레벨, 주파수를 결정해 주는 군내 민간인을 포함한 EMC 전문위원회 설치가 필요
- 4.2에서 제안된 제품에 대해 우선 상용규격으로 시험하고 구매하는 것을 적극 검토 할 것.  
단, 이때 군내 민간인을 포함한 EMC전문 위원회 심의를 거칠 것
- 군내 개발된 EMC 전문 규격 연구팀이 있어 MIL STD 규격을 전문적으로 실험하고 연구하는 집단을 통해 MIL STD의 타당성을 계속적으로 검토 개선하여 한국 자체의 군용 EMC 규격을 제정하도록 할 것

이상의 제안을 충분하게 만족 시키는 경우, 군용 특정 기기에 대해서 MIL STD 대신 상용규격을 적용하는 것은 예산절감, 개발기간 단축 등 긍정적이고 만족스런 결과를 얻을 수 있으리라 판단된다.

项 目	GJB 151A/B 主要 内容	MIL STD 461E
1	<b>CE101</b> 25Hz~10kHz 电源线传导发射, Power leads	30Hz-10kHz
2	<b>CE102</b> 10kHz~10MHz 电源线传导发射, Power leads	
3	<b>CE106</b> 10kHz~40GHz 天线端子传导发射, Antenna terminal	
4	<b>CE107</b> 电源线尖峰信号(时域)传导发射. <b>Switching spikes</b>	MIL STD 461C
5	<b>CS101</b> 25Hz~50kHz 电源线传导敏感度, Power leads	30Hz-50kHz
6	<b>CS103</b> 15kHz~10GHz 天线端子互调传导敏感度 Inter-modulation on antenna port	
7	<b>CS104</b> 25Hz~20GHz 天线端子无用信号抑制传导敏感度. Rejection of undesired signal	30Hz-20GHz
8	<b>CS105</b> 25Hz~20GHz 天线端子交调传导敏感度, Cross modulation on antenna port	30Hz-20GHz
9	<b>CS106</b> 电源线尖峰信号传导敏感度, <b>Spike injection</b>	MIL STD 461C
10	<b>CS109</b> 50Hz~100kHz 壳体电流传导敏感度, Structure current	60Hz-100kHz
11	<b>CS114</b> 10kHz~400MHz 电缆束注入传导敏感度, BCI	10kHz-200MHz
12	<b>CS115</b> 电缆束注入脉冲激励传导敏感度, BCI/Impulse	
13	<b>CS116</b> 10kHz~100MHz 电缆和电源线阻尼正弦瞬变传导敏感度, Damped sinusoidal transient	
14	<b>RE101</b> 25Hz~100kHz 磁场辐射发射, Magnetic field emission	30Hz-100kHz
15	<b>RE102</b> 10kHz~18GHz 电场辐射发射, Electric field emission	
16	<b>RE103</b> 10kHz~40GHz 天线谐波和乱真输出辐射发射 Antenna spurious and harmonics output	
17	<b>RS101</b> 25Hz~100kHz 磁场辐射敏感度, Magnetic field	30Hz-100kHz
18	<b>RS103</b> 10kHz~40GHz 电场辐射敏感度, Electric field	
19	<b>RS105</b> 	 <p>Tr ≤ 10ns Td ≥ 75ns(90%持續) Ev = 50kV</p>

瞬变电磁场辐射敏感度, Transient Electric field



참고문헌

1. NUREG/CR-6782 ORNL/TM-2001/140, Comparison of U.S. “Military and International Electromagnetic Compatibility Guidance Final Report” Oak Ridge National Laboratory , U.S. Nuclear Regulatory Commission , Office of Nuclear Regulatory Research , Washington, DC 20555-0001
2. Regulatory Guide 1.180, Guidelines for Evaluating Electromagnetic and Radio-Frequency Interference in Safety-Related Instrumentation and Control Systems, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Jan. 2000.
3. 민경찬. “ 전자파 환경공학” 4판 2008.4 한국기술연구소
4. P. D. Ewing and K. Korsah “Technical Basis for Evaluating Electromagnetic and Radio-Frequency Interference in Safety-Related I&C Systems” NUREG/CR-5941, Oak Ridge National Laboratory, April 1994.
5. S. W. Kerchel, M. R. Moore, and E. D. Blakeman, Survey of Ambient Electromagnetic and Radio-Frequency Interference Levels in Nuclear Power Plants, NUREG/CR-6436, Oak Ridge National Laboratory, Nov. 1996.
6. P. D. Ewing and R. T. Wood, Recommended Electromagnetic Operating Envelopes for Safety-Related I&C Systems in Nuclear Power Plants, NUREG/CR-6431, Oak Ridge National Laboratory, Jan. 2000.
7. P. D. Ewing, R. T. Wood, K. Korsah, et al., Electromagnetic Compatibility for Conducted Susceptibility Along Interconnecting Signal Lines, NUREG/CR-5609, Oak Ridge National Laboratory, Nov. 2001.
8. MIL-STD-461D, Electromagnetic Emission and Susceptibility Requirement for the Control of Electromagnetic Interference, U.S. Department of Defense, Jan. 11, 1993.
9. MIL-STD-462D, Measurement of Electromagnetic Interference Characteristics, U.S. Department of Defense, Jan. 11, 1993.
10. IEEE Std C62.41-1991 (Reaff 1995), IEEE Recommended Practice on Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits, Institute of Electrical and Electronics Engineers.
11. IEEE Std C62.45-1992, IEEE Guide on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage AC Power Circuits, Institute of Electrical and Electronics Engineers.
12. MIL-STD-461E, Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment, U.S. Department of Defense, Aug. 20, 1999.
13. IEC 61000-6-4, Electromagnetic Compatibility (EMC)—Emission Standard for Industrial Environments, Part 6: Generic Standards, Section 4: Emission Standard for Industrial Environments, International Electrotechnical Commission, Technical Committee No. 65, 1997.
14. CISPR 11, Industrial, Scientific, and Medical (ISM) Radio-Frequency Equipment—Electromagnetic Disturbance Characteristics—Limits and Methods of Measurement, International Special Committee on Radio Interference, 1997.
15. CISPR 14-1, Requirements for Household Appliances, Electric Tools and Similar Apparatus, International Special Committee on Radio Interference, 1993.
16. CISPR 15, Limits and Methods of Measurement of Radio Disturbance Characteristics of Electrical Lighting and Similar Equipment, International Special Committee on Radio Interference, 1992.
17. CISPR 22, Information Technology Equipment—Radio Disturbance Characteristics—Limits and Methods of Measurement, International Special Committee on Radio Interference, 1985.
18. IEC 61000-4-1, Electromagnetic Compatibility—Testing and Measurement Techniques, Section 1: Overview of Immunity Tests, European Committee for Electrotechnical Standardization, 1992.
19. IEC 61000-4-2, Electromagnetic Compatibility—Testing and Measurement Techniques, Section 2: Electrostatic Discharge Immunity Test, European Committee for Electrotechnical Standardization, 1995.

*Total EMC engineering since 1987*

20. IEC 61000-4-3, Electromagnetic Compatibility—Testing and Measurement Techniques, Section 3: Radiated, Radio-Frequency, Electromagnetic Field Immunity Test, European Committee for Electrotechnical Standardization, 1995.
21. IEC 61000-4-4, Electromagnetic Compatibility—Testing and Measurement Techniques, Section 4: Electrical Fast Transient/Burst Immunity Test, European Committee for Electrotechnical Standardization, 1995.
22. IEC 61000-4-5, Electromagnetic Compatibility—Testing and Measurement Techniques, Section 5: Surge Immunity Test, European Committee for Electrotechnical Standardization, 1995.
23. IEC 61000-4-6, Electromagnetic Compatibility—Testing and Measurement Techniques, Section 6: Immunity to Conducted Disturbances, Induced by Radio-Frequency Fields, European Committee for Electrotechnical Standardization, 1996.
24. IEC 61000-4-7, Electromagnetic Compatibility—Testing and Measurement Techniques, Section 7: General Guide on Harmonics and Interharmonics Measurements and Instrumentation, for Power Supply Systems and Equipment Connected Thereto, European Committee for Electrotechnical Standardization, 1991.
25. IEC 61000-4-8, Electromagnetic Compatibility—Testing and Measurement Techniques, Section 8: Power Frequency Magnetic Field Immunity Test, European Committee for Electrotechnical Standardization, 1993.
26. IEC 61000-4-9, Electromagnetic Compatibility—Testing and Measurement Techniques, Section 9: Pulse Magnetic Field Immunity Test, European Committee for Electrotechnical Standardization, 1993.
27. IEC 61000-4-10, Electromagnetic Compatibility—Testing and Measurement Techniques, Section 10: Damped Oscillatory Magnetic Field Immunity Test, European Committee for Electrotechnical Standardization, 1993.
28. IEC 61000-4-11, Electromagnetic Compatibility—Testing and Measurement Techniques, Section 11: Voltage Dips, Short Interruptions, and Voltage Variations Immunity Test, European Committee for Electrotechnical Standardization, 1994.
29. IEC 61000-4-12, Electromagnetic Compatibility—Testing and Measurement Techniques, Section 12: Oscillatory Waves Immunity Tests, European Committee for Electrotechnical Standardization, 1996.
30. IEC 61000-4-13, Electromagnetic Compatibility—Testing and Measurement Techniques, Section 13: Immunity to Harmonics and Interharmonics, European Committee for Electrotechnical Standardization, 1998.
31. IEC 61000-4-16, Electromagnetic Compatibility—Testing and Measurement Techniques, Section 16: Test for Immunity to Conducted, Common Mode Disturbances in the Frequency Range 0 Hz to 150 kHz, European Committee for Electrotechnical Standardization,
32. EMCS Project Number 0178, Engineering Practice Study: Results of Detailed Comparisons of Individual EMC Requirements and Test Procedures Delineated in Major National and International Commercial Standards with Military Standard MIL-STD-461E, U.S. Department of Defense, April 6, 2000.
33. IEC 61000-3-2, Limits for Harmonic Current Emissions, International Electrotechnical Commission, Technical Committee No. 65, 1998.
34. IEC 61000-3-4, Limitation of Emission of Harmonic Currents in Low-voltage Power Supply Systems for Equipment with Rated Current Greater than 16 A, Technical Committee No. 65, 1998.
35. EMCTLA Technical guidance note 47