

# EMC 설계 • 대책보고서

(서보증폭기)



한 국 전 파 진 흥 협 회  
E M C 기 술 지 원 센 터



## 1. 제품 일반 사항 및 기술적 사양

### 1.1 장비의 전기적 특성

#### 1.1.1 전원 사양

서보증폭기 (2 축)은 28 Vdc 전원을 사용하며, 정격 소요전류는 70 A 이고, 최대 소요전류는 150 A 이다. 서보증폭기(2 축)의 보드별 사용전원 및 소요전류는 아래 표와 같다.

표 1. 사용 전원 및 전류

장치	사용 전원	소요 전류(A)	최대소요전류(A)	비고
CPU 보드	5 V/±15 V/28 V	1	2	연속
GATE 보드	5 V/+15 V/28 V	1	2	연속
전력회로부	28 V	68	146	순시

#### 1.1.2 주요 사용주파수

서보증폭기(2 축)의 주요 주파수는 아래와 같다.

표 2. EUT 구성품별 주요주파수

구성품	수량	주요주파수	비고
CPU 보드	5	50 MHz	CPU CLOCK 전원부 컨버터 리졸버여기신호
		1 MHz	
		500 kHz	
		300 kHz	
		5 kHz	
GATE 보드	1	500 kHz	전원부 컨버터

## 2. 전자파 시험규격

### 2.1 . 시험규격 : MIL-STD-461E Army, 20 August 1999

Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment

### 2.2 시험 항목 및 EMI 특성요구조건

표 3. 시험항목

항 목		내 용
전도방사(CE)	CE102	10 kHz ~ 10 MHz, Power Leads
전도내성(CS)	CS101	30 Hz ~150 kHz, Power Leads
	CS114	10 kHz ~ 200 MHz, Bulk Cable Injection
	CS115	Impulse Excitation, Bulk Cable Injection
	CS116	10 kHz ~ 100 MHz, Cables and Power Leads, Damped Sinusoidal Transients
복사방사(RE)	RE102	2 MHz ~ 18 GHz, Electric Field
복사내성(RS)	RS103	30 MHz ~ 18 GHz, Electric Field

※ 전도방사 : CE(Conducted Emission)      전도내성 : CS(Conducted Susceptibility)

※ 복사방사 : RE(Radiated Emission)      복사내성 : RS(Radiated Susceptibility)

### 2.3. 항목별 시험방법

#### 2.3.1 전도방사, CE102

##### 가. 개요

- 시험대상 도선(Lead) :
  - LISN 으로부터 공급받는 모든 전원선(AC, DC)
  - RTN(Return) 선 포함
- 시험주파수 범위 : 10 kHz ~ 10 MHz

– 측정단자 : LISN 의 RF 신호 측정(Signal Output Port)단자(그림 2 참조)

나. 시험한계치

- EUT 는 28Vdc 를 입력 전압으로 공급받으므로 그림 1 의 CE102 시험한계치에서 28V 에 해당하는 한계치를 적용

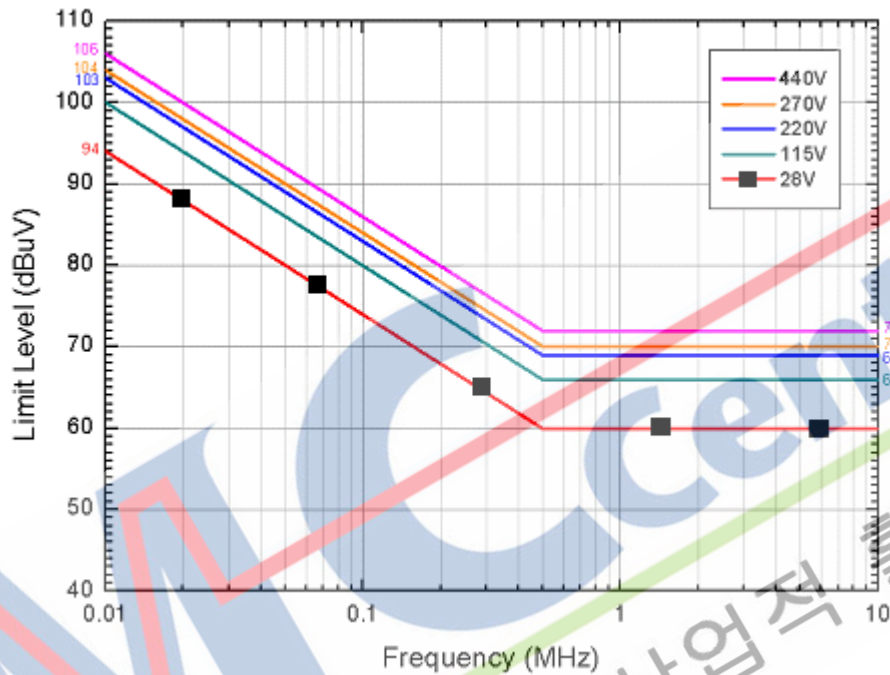


그림 1. CE102 시험한계치(28V)

다. 소요 시험장비 및 배치

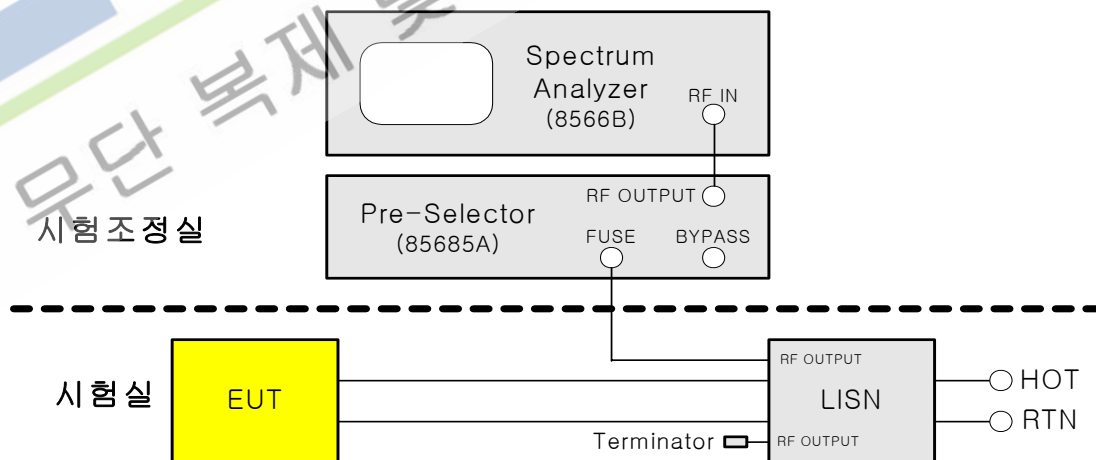


그림 2. CE102 시험장비 배치

## 라. 시험절차

- 1) 그림 12 와 같이 EUT 와 시험장비를 배치
- 2) 시험장비를 ON 하고 안정화 상태를 유지
- 3) EUT 를 ON 하고 안정화 상태 유지 : EUT 를 방사시험 운용모드로 설정
- 4) 각 시험대상 도선에 대해 10 kHz ~ 10 MHz까지 도선으로 전도되는 방사량을 주파수분석기(Spectrum Analyzer)로 측정하여 시험한계치(그림 1 참조)와 비교

### 2.3.2. 전도내성, CS101

#### 가. 개요

- 시험대상 도선 : ALS-EMI-W3
  - LISN 으로부터 공급받는 모든 전원선(AC, DC)
  - RTN(Return) 선 제외
- 시험주파수 범위 : 30 Hz ~ 150 kHz

#### 나. 시험한계치

- EUT 는 28 Vdc 를 입력 전압으로 공급받으므로 그림 3 의 CS101 시험한계치에서 28V 에 해당하는 한계치를 적용

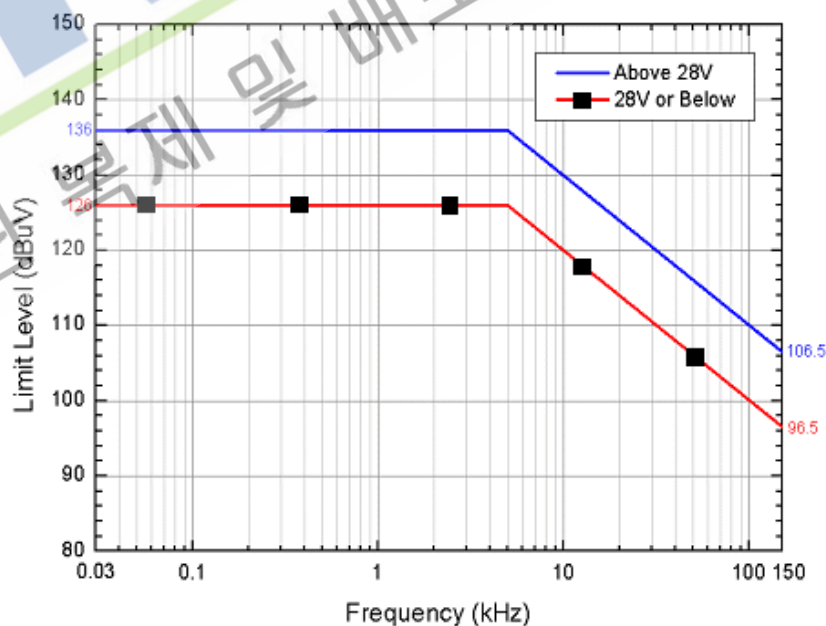


그림 3. CS101 시험한계치(28V)



다. 소요 시험장비 및 배치

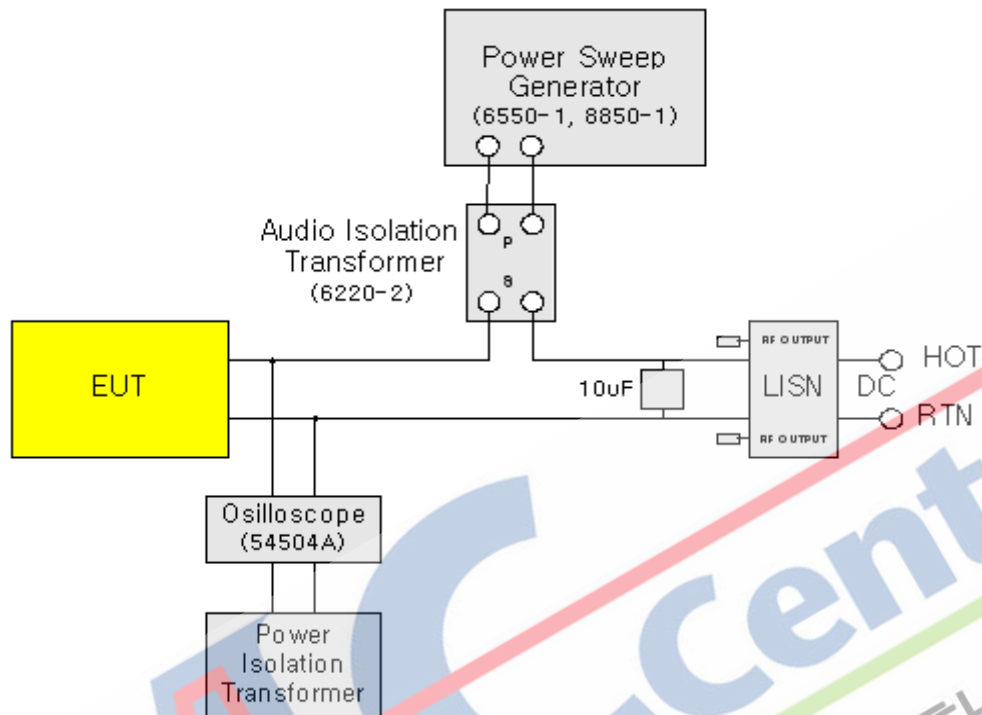


그림 4. CS101 시험장비 배치

라. 시험절차

- 1) 그림 4 과 같이 EUT 와 시험장비를 배치
- 2) EUT 를 ON 하고 안정화 상태를 유지 : EUT 를 내성시험 운용모드로 설정
- 3) 시험장비를 ON 하고 안정화 상태를 유지
- 4) 신호발생기(Power Sweep Generator)를 30 Hz로 설정 :출력은 최소로 유지
- 5) 그림 5 의 시험한계치에 상응하는 전압이 오실로스코프 (Oscilloscope)에 관측되도록 신호발생기의 출력을 증가
- 6) EUT 의 성능 확인
  - 감응이 관측되면 신호발생기의 출력을 감소시키면서 내성한계치를 결정
- 7) 신호발생기의 설정 값과 전원선에 인가된 전압을 기록
- 8) 신호발생기의 출력을 최소로 조정
- 9) 다음 시험주파수에서 150 kHz까지 4) ~ 8)를 반복 수행
- 10) 모든 시험대상 도선에 대해 1) ~ 9)을 반복 수행
- 11) CS101 최종 시험결과를 시험결과 기록지에 기록

### 2.3.3. 전도내성, CS114

#### 가. 개요

- 시험대상 도선

- 전원선 : HOT(High) 선과 RTN 선을 포함

- 신호/제어선 :

- .Bundle 형태로 시험

- .Safety Critical 용 케이블 : 여러 개의 케이블을 동시(Multi-Cable Injection)에 측정 가능

- 시험주파수 범위 : 10 kHz ~ 200 MHz

#### 나. 시험한계치

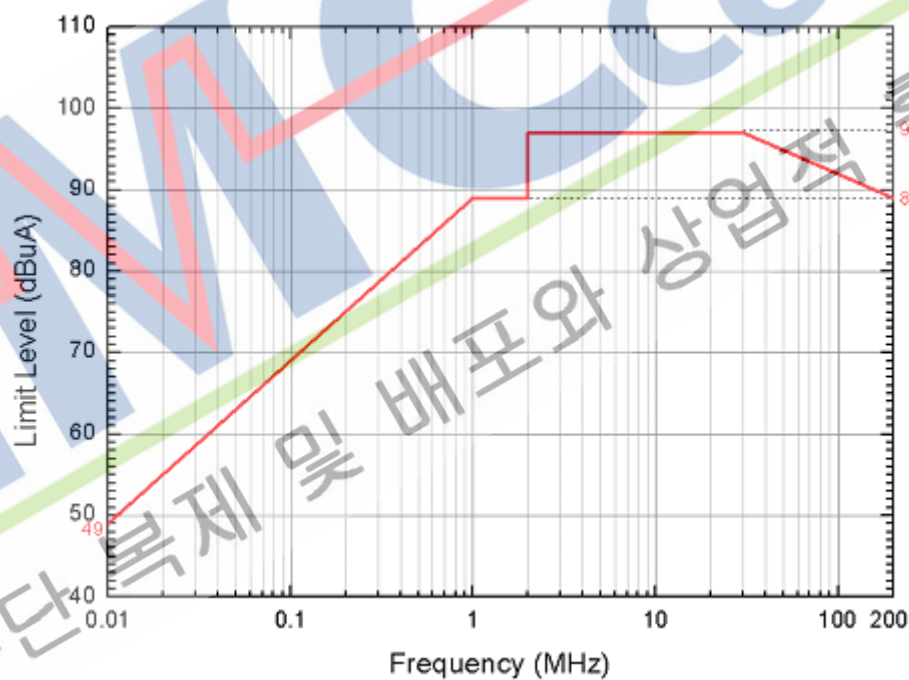


그림 5. CS114 시험한계치(Army, Ground)

다. 소요 시험장비 및 배치

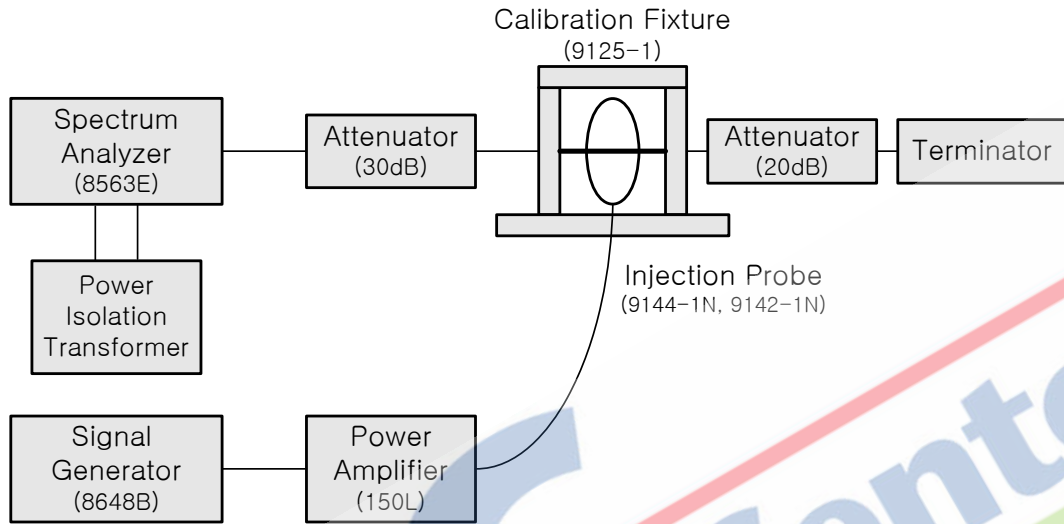


그림 6. CS114 시험장비 배치(교정)

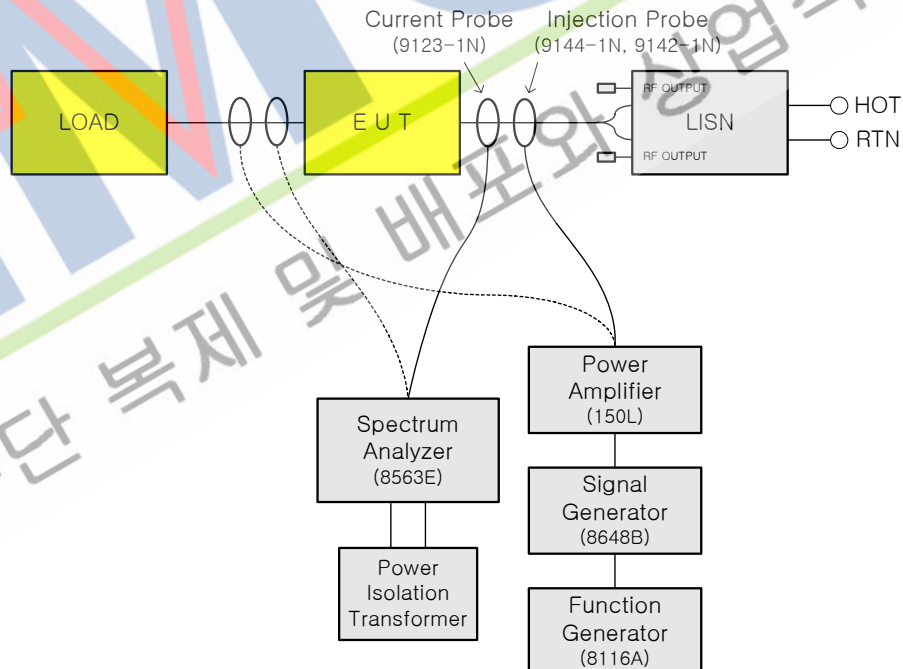


그림 7. CS114 시험장비 배치(시험)



## 라. 시험절차

### 1) 교정

- 가) 그림 6 과 같이 시험장비를 배치
- 나) 시험장비를 ON 하고 안정화 상태를 유지
- 다) 신호발생기(Signal Generator)의 출력을 10 kHz 무변조로 설정 : 출력은 최소로 유지
- 라) 그림 5 의 시험한계치가 주파수분석기에 관측되도록 신호발생기의 출력을 증가
- 마) 신호발생기의 출력과 주파수분석기에 측정된 값을 기록
- 바) 신호발생기의 출력을 최소로 조정
- 사) 다음 시험주파수에서 200 MHz까지 다) ~ 바)를 반복 수행

### 2) 시험

- 가) 시험대상 도선에 그림 7 과 같이 EUT 와 시험장비를 배치
  - 전류프로브는 피시험 케이블(CUT, Cable Under Test)의 커넥터로부터 5cm 이격시켜 설치
    - 커넥터와 백셸(Backshell)의 전체 길이가 5cm 를 초과하는 경우, 전류프로브를 커넥터 백셸에 가깝게 설치
  - 전류인가프로브는 전류프로브로부터 5cm 이격시켜 설치
- 나) EUT 를 ON 하고 안정화 상태를 유지 : EUT 를 내성시험 운용모드로 설정
- 다) 시험장비를 ON 하고 안정화 상태를 유지
- 라) 함수발생기(Function Generator)를 이용하여 신호발생기(Signal Generator)를 펄스 변조(PM)된 10 kHz로 설정
  - 변조주파수 : 1 kHz
  - Duty Factor : 50%(구형파)
  - 출력은 최소로 유지
- 마) 신호발생기를 교정단계 라)에서 설정된 값으로 조정하여 전류인가프로브에 인가
- 바) EUT 의 성능 확인
  - 감응이 관측되면 신호발생기의 출력을 감소시키면서 내성한계치를 결정
- 사) CUT 에 유기된 전류를 오실로스코프로 측정하여 기록

- 아) 신호발생기의 출력을 최소로 조정
- 자) 다음 시험주파수에서 200 MHz까지 라) ~ 아)를 반복 수행
- 차) 모든 시험대상 도선에 대해 가) ~ 자)를 반복 수행
- 타) CS114 최종 시험결과는 시험결과 기록지에 기록

#### 2.3.4. 전도내성, CS115

##### 가. 개요

- 시험대상 도선
  - 전원선: HOT(High) 선과 RTN 선을 포함
  - 신호/제어선 : Bundle 형태로 시험
- 시험주파수 범위 : 임펄스(Impulse)

##### 나. 시험신호 및 시험한계치

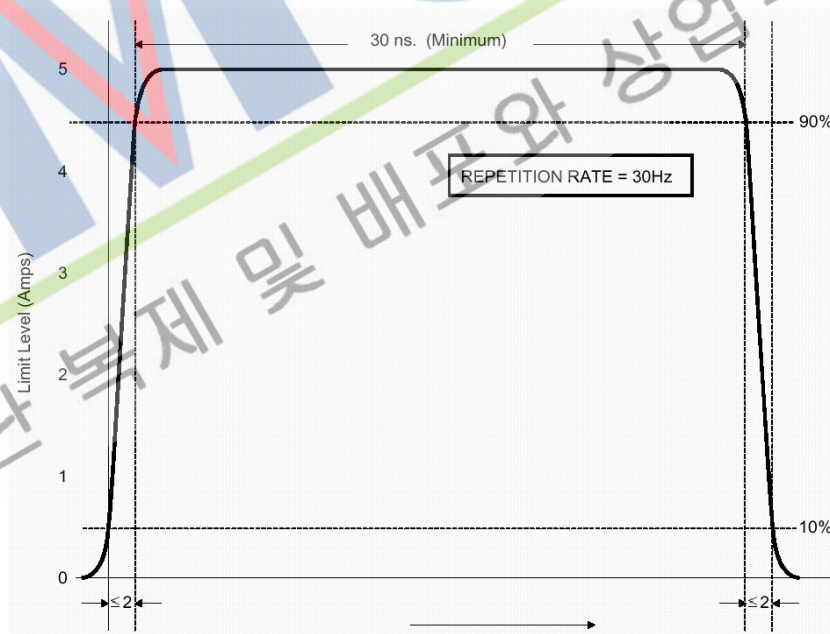


그림 8. CS115 시험신호

다. 소요 시험장비 및 배치

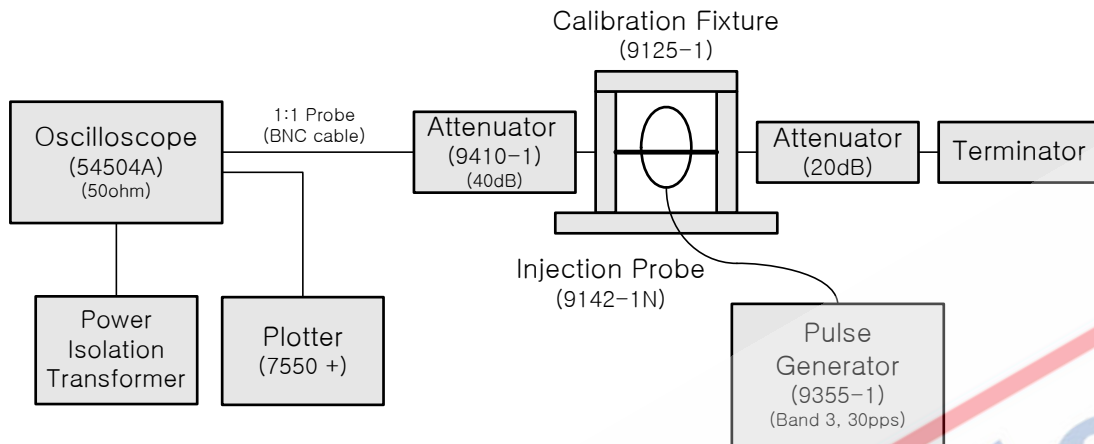


그림 9. CS115 시험장비 배치(교정)

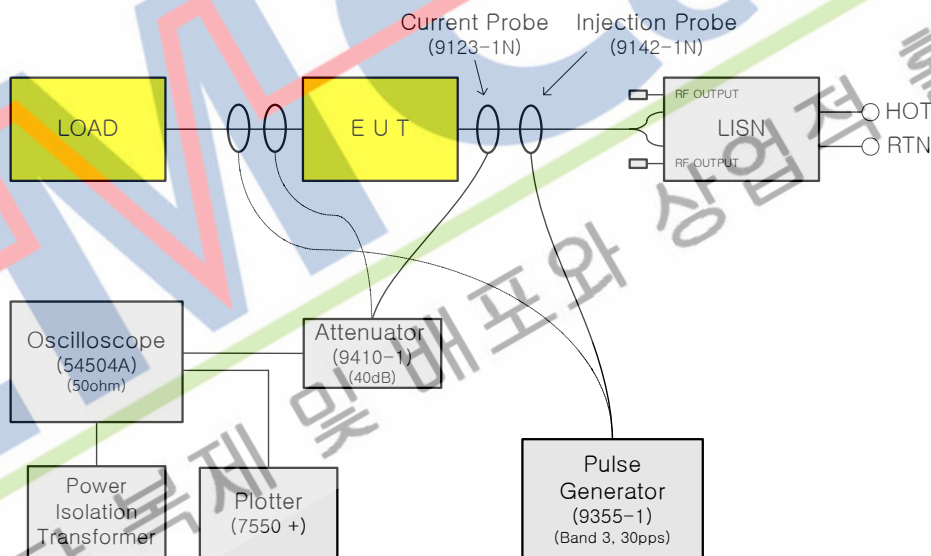


그림 10. CS115 시험장비 배치(시험)

라. 시험절차

1) 교정

가) 그림 9 와 같이 시험장비를 배치

나) 시험장비를 ON 하고 안정화 상태를 유지

다) 펄스발생기(Pulse Generator)의 출력 신호(상승시간, 하강시간, 펄스 폭)를 조정

◦ 출력은 최소로 유지

- 라) 그림 8 과 같은 CS115 시험신호의 시험한계치가 오실로스코프에 관측되도록 펄스발생기의 출력을 증가
- 마) 인가된 신호의 파형(상승시간, 하강시간, 펄스 폭, 반복율) 특성을 확인
- 바) 펄스발생기의 설정 값을 기록
- 사) 펄스발생기의 출력을 최소로 조정

## 2) 시험

가) 시험대상 도선에 그림 10 과 같이 EUT 및 시험장비를 배치

◦ 전류프로브는 CUT 의 커넥터로부터 5 cm 이격시켜 설치

- 커넥터와 백셀의 전체 길이가 5 cm 를 초과하는 경우, 전류프로브를 커넥터 백셀에 가깝게 설치

◦ 전류인가프로브는 전류프로브로부터 5 cm 이격시켜 설치

나) EUT 를 ON 하고 안정화 상태를 유지 : EUT 를 내성시험 운용모드로 설정

다) 시험장비를 ON 한 후 안정화 상태를 유지하고 펄스 발생기의 출력은 최소로 조정한다.

라) 펄스발생기를 교정단계 라)에서 설정된 값으로 조정하여 전류인가프로브에 인가

◦ 인가시간 : 1 분

마) EUT 의 성능 확인

◦ 감응이 관측되면 신호발생기의 출력을 감소시키면서 내성한계치를 결정

바) CUT 에 유기된 전류를 오실로스코프로 측정하여 피크치를 기록

사) 펄스발생기의 출력을 최소로 조정

아) 모든 시험대상 도선에 대해 가) ~ 사)를 반복 수행

자) CS115 최종 시험결과는 시험결과 기록지에 기록

### 2.3.5. 전도내성, CS116

#### 가. 개요

- 시험대상 도선
  - 전원선 : HOT(High) 선과 RTN 선을 포함
  - 신호/제어선 : Bundle 형태로 시험
- 시험주파수 범위 : 10 kHz ~ 100 MHz

#### 나. 시험신호

- 최소 시험주파수
  - 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz, 10 MHz, 30 MHz, 100 MHz

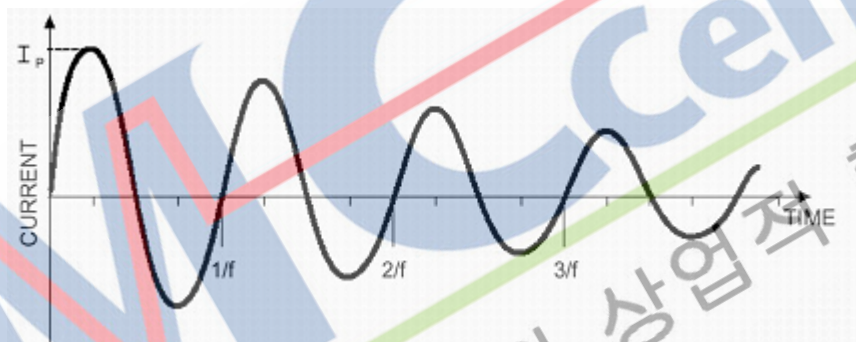


그림 11. CS116 시험신호

#### 다. 시험한계치

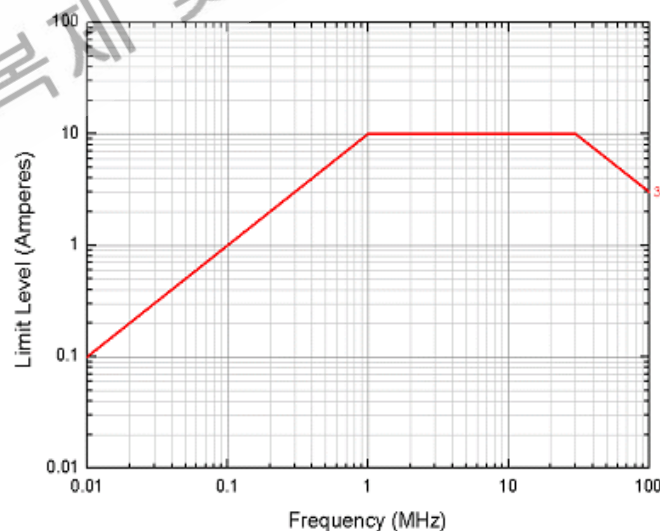


그림 12. CS116 시험한계치(Army, Ground)



라. 소요 시험장비 및 배치

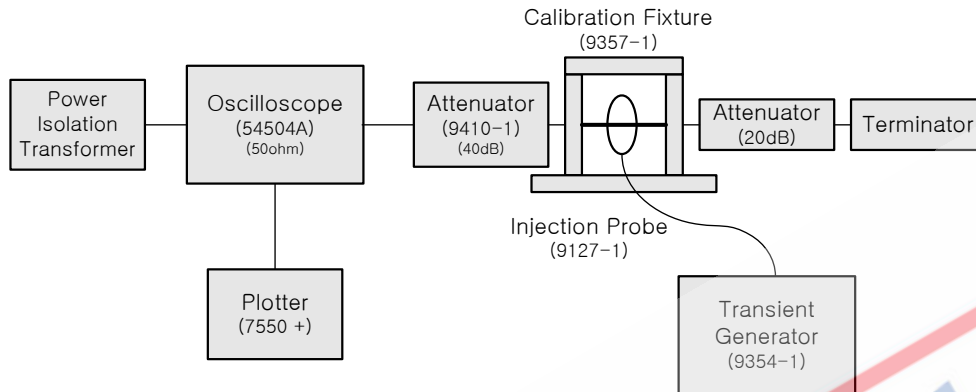


그림 13. CS116 시험장비 배치(교정)

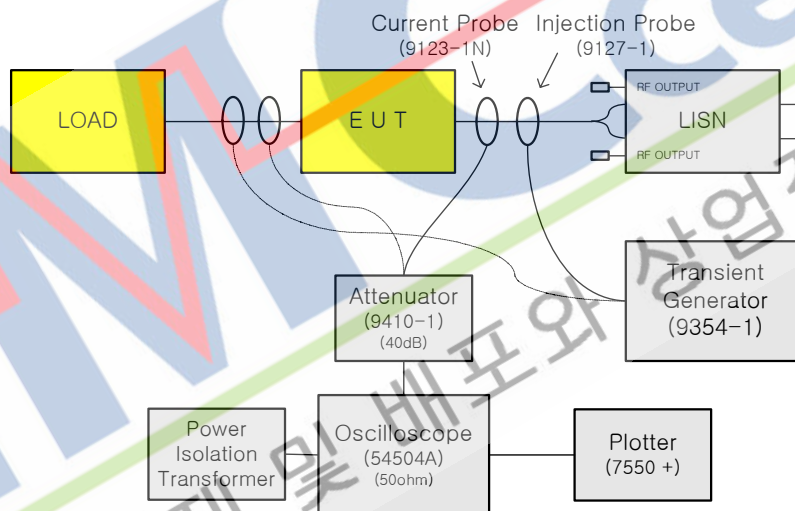


그림 14. CS116 시험장비 배치(시험)

마. 시험절차

## 1) 교정

가) 그림 13 과 같이 시험장비를 배치

나) 시험장비를 ON 하고 안정화 상태를 유지

다) 펄스발생기(Pulse Generator)의 출력을 10 kHz로 설정 : 출력은 최소로 유지

라) 그림 12 의 시험한계치가 오실로스코프에 관측되도록 펄스발생기의 출력을 증가

마) 측정된 펄스 파형을 확인하고 펄스발생기의 설정 값을 기록



바) 펄스발생기의 출력을 최소로 조정

사) 다음 시험주파수에서 100 MHz까지 다) ~ 바)를 반복 수행

## 2) 시험

가) 시험대상 도선에 그림 14 과 같이 EUT 와 시험장비를 배치

- 전류프로브는 CUT 의 커넥터로부터 5 cm 이격시켜 설치

- 커넥터와 백셀의 전체 길이가 5 cm를 초과하는 경우, 전류프로브를 커넥터 백셀에 가깝게 설치

- 전류인가프로브는 전류프로브로부터 5 cm 이격시켜 설치

나) EUT 를 ON 하고 안정화 상태를 유지 : EUT 를 내성시험 운용모드로 설정

다) 시험장비를 ON 하고 안정화 상태를 유지 : 출력은 최소로 유지

라) 펄스발생기의 출력 시험주파수를 10 kHz로 설정 : 출력은 최소로 유지

마) 펄스발생기를 교정단계 바)에서 설정된 값으로 조정하여 전류프로브에 인가

- 펄스 반복율 : 0.5 pps ~ 1 pps

- 인가시간 : 5 분

바) EUT 의 성능 확인

- 감응이 관측되면 신호발생기의 출력을 감소시키면서 내성한계치를 결정

사) EUT 에 유기된 전류를 오실로스코프로 측정하여 피크치를 기록

아) 펄스발생기의 출력을 최소로 조정

자) 다음 시험주파수에서 100 MHz까지 라) ~ 아)를 반복 수행

차) 모든 시험대상 도선에 대해 가) ~ 자)를 반복 수행

타) CS116 최종 시험결과는 시험결과 기록지에 기록

### 2.3.6. 복사방사, RE102

#### 가. 개요

##### ◦ 시험 범위

- 장비 엔클로저, 모든 상호연결 케이블 및 EUT 에 영구적으로 탑재된 안테나 (Standby Mode)에서 방사되는 전계강도 측정

##### ◦ 시험주파수 범위 : 2 MHz ~ 18 GHz

#### 나. 시험한계치

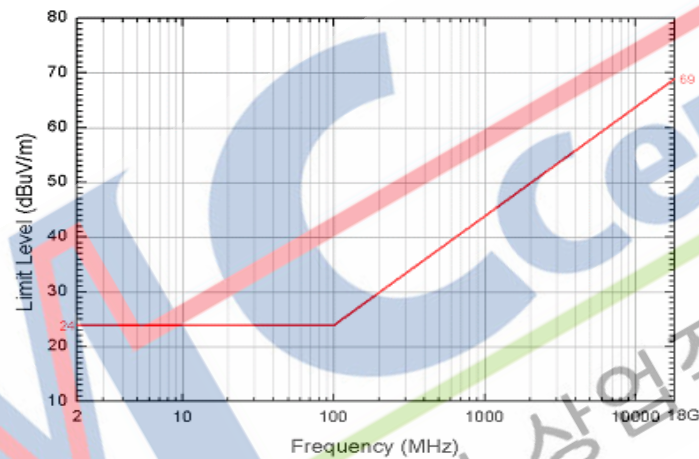


그림 15. RE102 시험한계치(Army, Ground)

#### 다. 소요 시험장비 및 배치

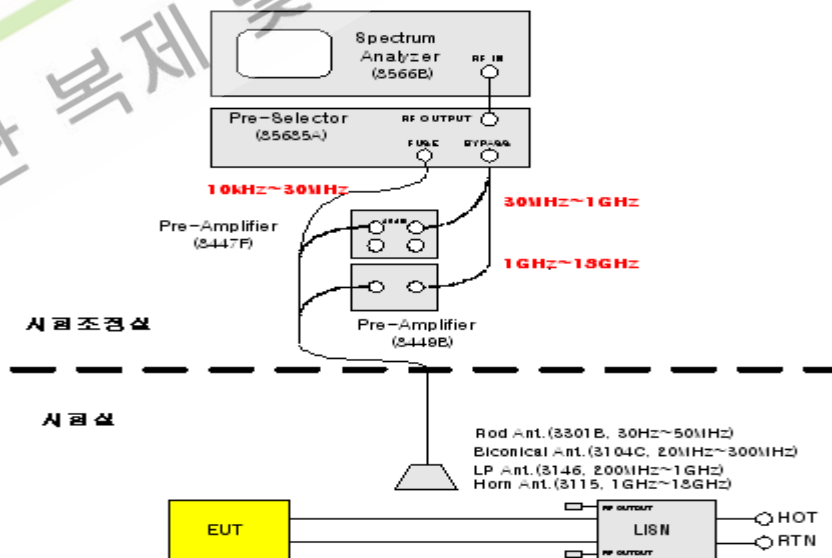


그림 16. RE102 시험장비 배치



라. 시험절차

1) 그림 16 과 같이 EUT 와 시험장비를 배치

2) 수신안테나의 위치

- 시험범위(Test Setup Boundary) 결정

- 시험거리 및 수신안테나의 높이를 조정

  - 시험거리 : 1m

  - 수신안테나 높이(시험실 바닥 기준)

    - . 41" Rod Antenna : 80cm~90cm

    - . Biconical Antenna : 120cm

    - . LP Antenna : 120cm

    - . Horn : 120cm

  - 수신안테나는 벽면으로부터 1m 및 천장으로부터 0.5m 이상 이격

- 수신안테나의 설치위치 결정

  - 주파수 범위 : 200 MHz 이하

    - . 시험범위가 3m 이내 : 중앙에 설치

    - . 시험범위가 3m 이상 : 그림 26 과 같이 분할

  - 주파수 범위 : 200 MHz~1 GHz

    - . EUT 와 케이블의 처음 35cm 가 수신안테나의 3dB 비임 폭 내에 포함되도록 위치 수를 결정

  - 주파수 범위 : 1 GHz 이상

    - . EUT 와 케이블의 처음 7 cm 가 수신안테나의 3dB 비임 폭 내에 포함되도록 위치 수를 결정

3) 시험장비를 ON 하고 안정화 상태를 유지

4) EUT 를 ON 하고 안정화 상태를 유지

- EUT 를 방사시험 운용모드로 설정

5) 주파수분석기(Spectrum Analyzer)로 EUT 와 접속 케이블에서 복사되는 방사량을 측정하여 시험한계치(그림 15 참조)와 비교

- 30 MHz 이상에서는 수직 및 수평 편파(Polarization)를 측정

### 2.3.7. 복사내성, RS103

가. 개요

- 시험주파수 범위 : 30 MHz~18 GHz

나. 시험한계치

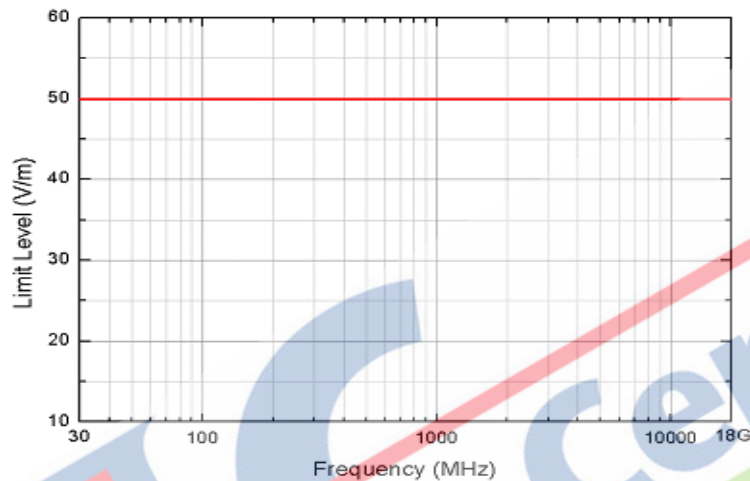


그림 17. RS103 시험한계치(Army, Ground)

다. 소요 시험장비 및 배치

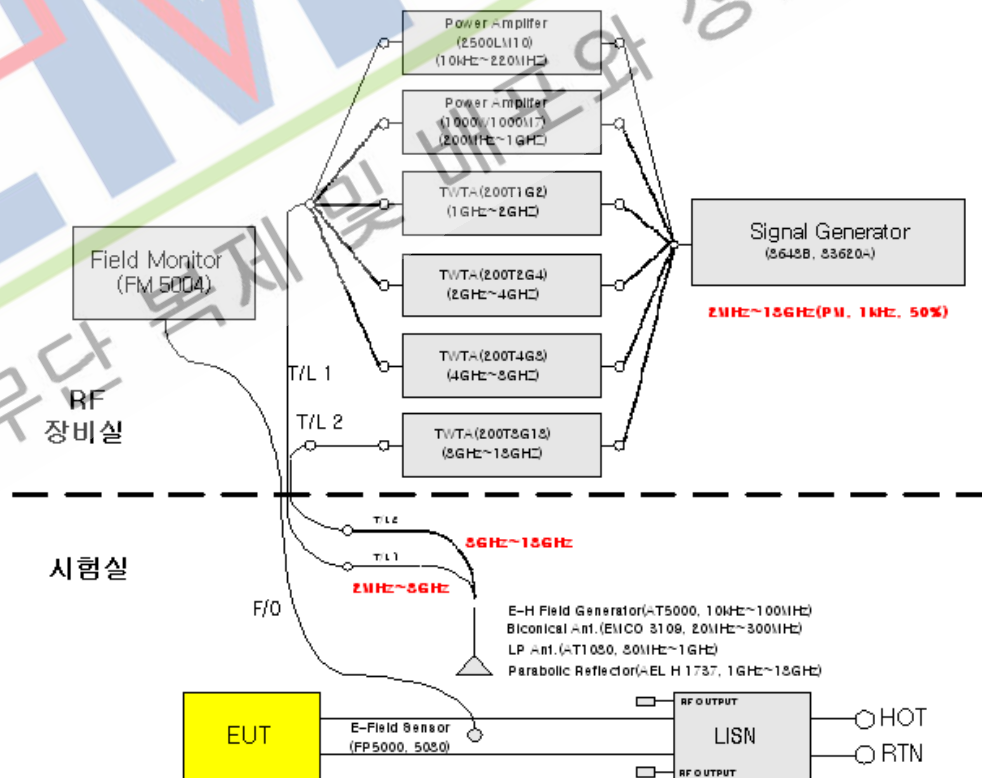


그림 18. RS103 시험장비 배치



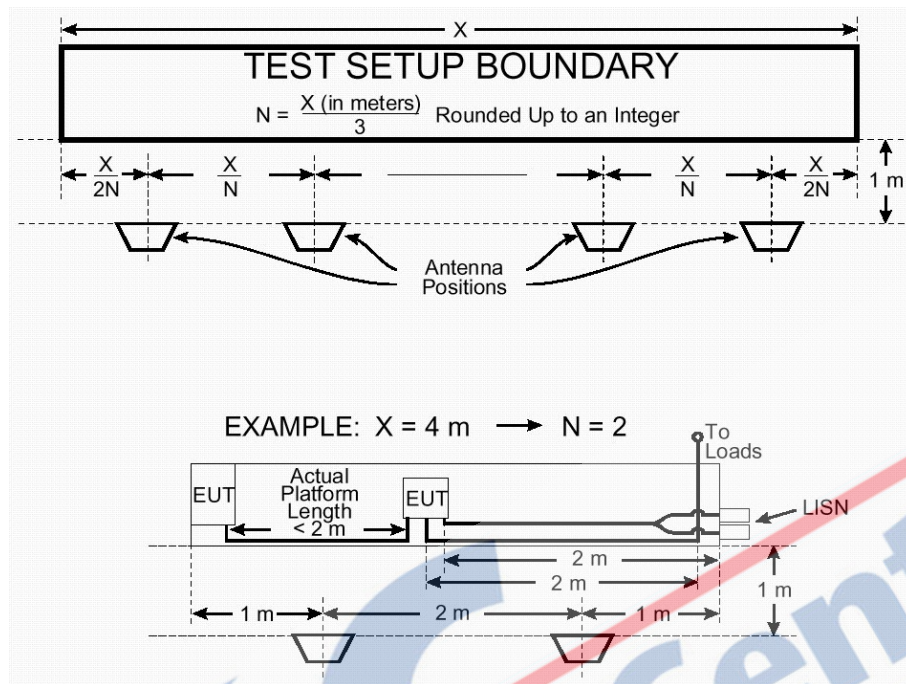


그림 19. RE102 & RS103 수신안테나의 설치위치 결정

## 라. 시험절차

1) 그림 18 과 같이 EUT 와 시험장비를 배치

2) 송신안테나의 시험거리 및 설치위치 결정

- 시험범위 결정

- 시험거리 : 1m

- 송신안테나의 설치위치 결정

- 주파수 범위 : 200MHz 이하

- .시험범위가 3m 이내 : 중앙에 설치

- .시험범위가 3m 이상 : 그림 21 과 같이 분할

- 주파수 범위 : 200 MHz~1 GHz

- .EUT 와 케이블의 처음 35 cm가 수신안테나의 3 dB 비임 폭 내에 포함되도록 위치 수를 결정

- 주파수 범위 : 1 GHz 이상

- .EUT 와 케이블의 처음 7 cm가 수신안테나의 3 dB 비임 폭 내에 포함되도록 위치 수를 결정

3) 시험장비를 ON 하고 안정화 상태를 유지



- 출력은 최소로 유지
- 4) EUT 를 ON 하고 안정화 상태를 유지
  - EUT 를 내성시험 운용모드로 설정
- 5) 신호발생기(Signal Generator)를 펄스 변조(PM)된 2 Mhz로 설정
  - 변조 주파수 : 1 kHz
  - Duty Factor : 50%(구형파)
  - 출력 : OFF
- 6) 그림 17 의 시험한계치가 전계측정센서에 관측되도록 신호발생기의 출력을 증가
  - 30 Mhz 이상에서는 수직 및 수평 편파를 시험
- 7) EUT 의 성능 확인
  - 감응이 관측되면 신호발생기의 출력을 감소시키면서 내성한계치를 결정
- 8) 전계측정센서에 관측된 전계의 세기를 기록
- 9) 시험발생기의 출력을 최소로 조정
- 10) 다음 시험주파수에서 18 GHz까지 5)~9)를 반복 수행
- 11) RS103 최종 시험결과는 시험결과 기록지에 기록

### 3. EMC 개선 진행방향

- 군용규격 특성상 내성 규격보다는 방사노이즈 규제치가 엄격하여 방사노이즈 위주로 대책을 실시하여 규격 만족 후 내성 시험 실시
- EUT 설계 단계에서 필터 장착위치 선정 및 필터 장착위치 결정
- 장비 제작 후 CE TEST를 통한 필터 설계
- CE TEST 검증 완료 후 RE TEST를 실시하여 현상파악 및 개선안 도출, 적용
- 내성규격(CS101, CS114, CS115, CS116, RS103) 시험 실시

## 4. EMC 개선 진행 내용

### 4.1. EMC 개선 결과 분석

#### 가. CE 102 전도 방사

EMI FILTER 장착 전/후의 비교를 통해 적정 EMI FILTER 정수값 확정 및 장착조건 검증 (제어신호 미인가 상태)

#### 1) 개선 전, 후 시험결과

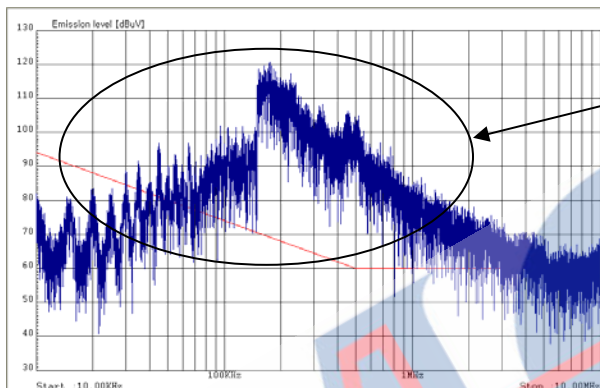


그림20. 개선 전 시험결과

모터 동작을 위한 PWM 주파수 및 하모닉 성분의 주파수가 전원선을 통해 유기되어 노이즈로 발생됨.

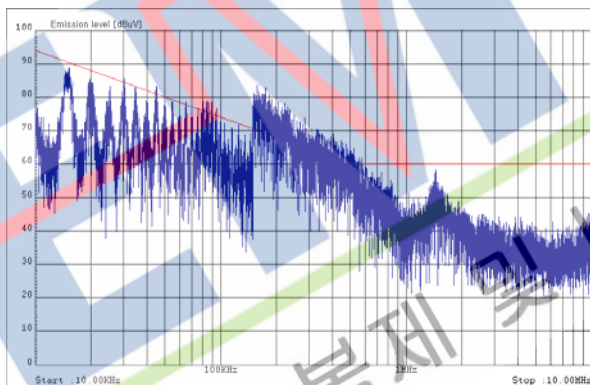


그림21. 필터 1 장착 후 시험결과

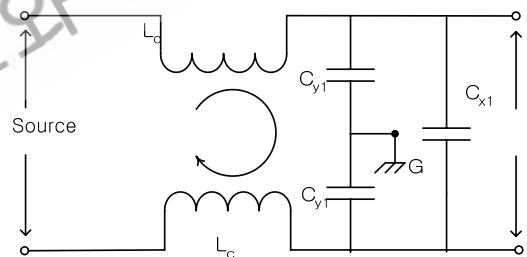


그림22. 필터 1 회로도

필터 1 장착 후 최대 40dB의 노이즈 감소 효과가 있었으나 60 kHz 이하 대역에서 규제치 대비 약 10 dB 초과하는 노이즈 성분이 검출되어 분석결과 Common mode와 Normal mode 노이즈 성분이 혼재되어 있으나 Normal mode 노이즈 성분이 규격 초과의 주요인으로 판단되었으나, 필터 크기 제한으로 Normal mode 성분을 제거할 수 있는 Inductor는 적용이 불가능하여 그림 24와 같이 입력 측에 Capacitance 성분을 추가하여 Normal mode 노이즈 성분을 제거하고자 하였다. 시험결과는 그림 23과 같이 일부 대역은 개선 효과가 있었다. 그림 25는 필터 2의 회로에서 입출력의 시정수를 변경하여 개선한 시험 결과이다.

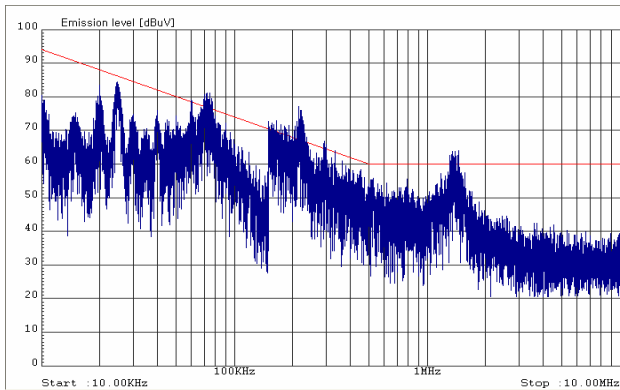


그림 23. 필터 2 장착 후 시험결과

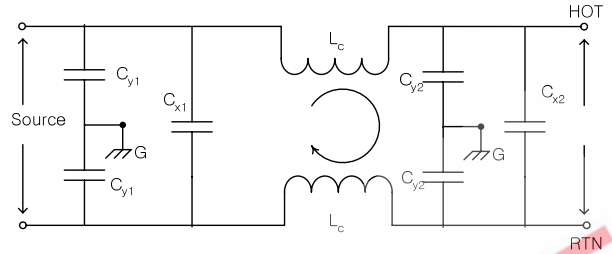


그림 24. 필터 2 회로도

$L_c : 100\mu\text{H}$ ,  $C_{y1} : 0.1\mu\text{F}$ ,  $C_{y2} : 0.1\mu\text{F}$ ,  $C_{x1} : 2\mu\text{F}$ ,  $C_{x2} : 2\mu\text{F}$

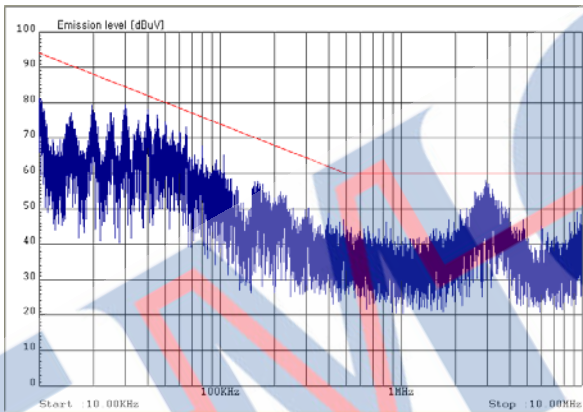


그림 25. 필터3 장착 후 시험결과

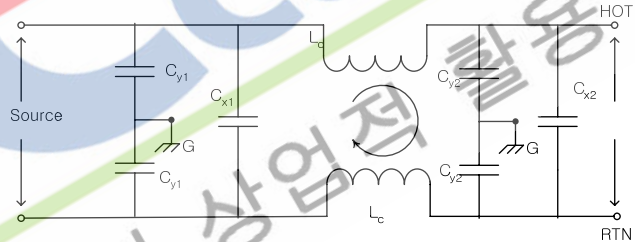


그림 26. 필터3 장착 후 시험결과

$L_c : 100\mu\text{H}$ ,  $C_{y1} : 0.1\mu\text{F}$ ,  $C_{y2} : 0.47\mu\text{F}$ ,  $C_{x1} : 22\mu\text{F}$ ,  $C_{x2} : 2\mu\text{F}$

## 2) EMI FILTER 장착 사진



필터 장착 위치

그림 27. 필터 장착사진



## 나. RE 102 복사 방사

기 제작된 EMI FILTER를 장착한 상태에서 RE102 측정하여 EMI FILTER를 검증하고 내부의 NOISE가 배선 및 타 경로로 유입되는 지 여부를 확인하여 최종 구조 및 회로설계에 반영토록 비교 시험 실시

### 1) 개선 전 시험결과

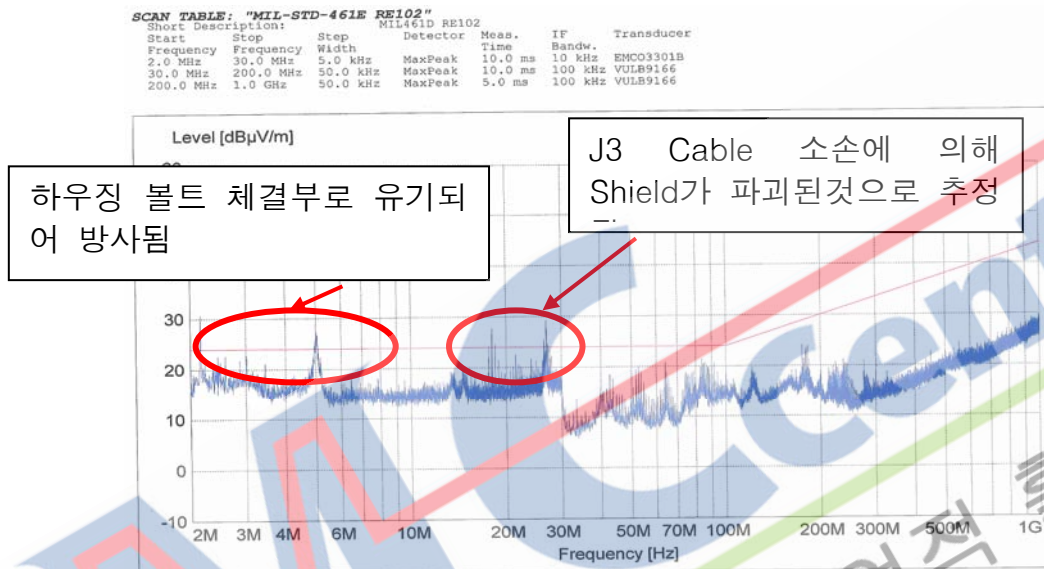


그림 28. 개선 전 시험결과

### 2) 개선 후 시험결과 - 케이블 수정 후

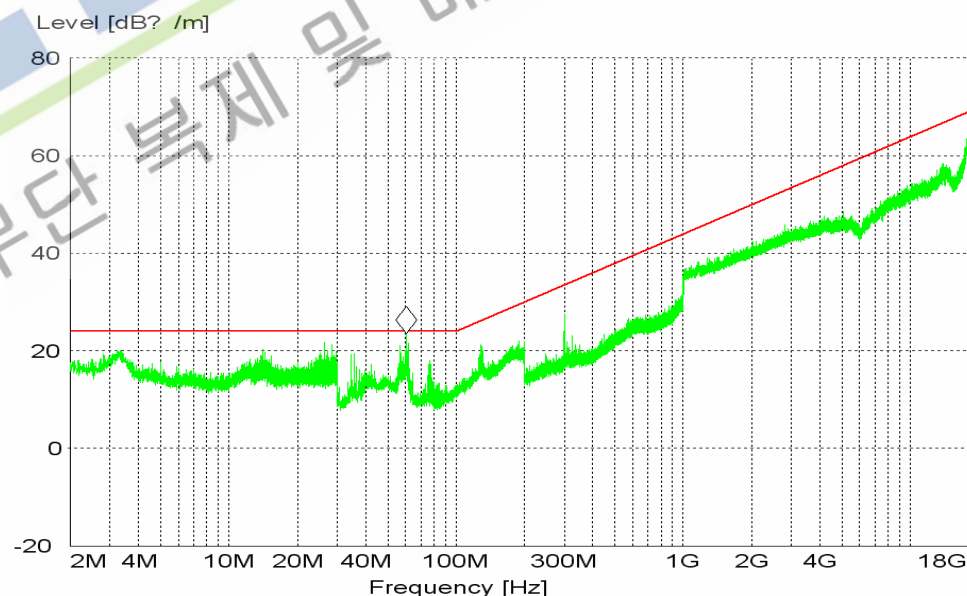


그림 29. 개선 후 시험결과



## 4.2 시험장면 사진



그림 30. 전도방사(CE) 시험장면



그림 31. 복사방사(RE) 시험장면



## 5. 설계·대책 Design Rule

- EMC 규격을 만족시키기 위한 개선활동을 실시함에 있어 장비가 본래 가지고 있는 기본적인 성능 저하 배제
- 작업성 고려한 EMI 대책 설계
- 환경조건 만족

## 6. 종합적인 기술지원 내용 분석

- Conducted emission 만족을 위한 전자파 억제 필터 설계
- Radiated emission 만족을 위한 접지 및 shield 보완

## 7. 향후 제품설계에 반영되어야 할 방향

- 양산 전 장비 구조 및 부품사양 변경 시 EMI영향 고려 후 적용