

KINS/HR-513

최종보고서

원전 전자파 측정 및 EMC 환경조건 확보를 위한 방안 연구

수행기관 : 산업기술시험원

2003. 3.

한국원자력안전기술원

제 출 문

한국원자력안전기술원장 귀하

본 보고서를 “원전 전자파 측정 및 EMC 환경조건 확보를
위한 방안 연구”에 대한 보고서로 제출합니다.

2003. 3.

작성자

산업기술시험원 전기전자본부 전자파팀

연구책임자 : 조 원 서

선임연구원 : 장 태 현

연 구 원 : 송 태 승

연 구 원 : 윤 상 욱

요 약 문

1. 제목

원전 전자파 측정 및 EMC 환경조건 확보를 위한 방안 연구

2. 연구목적 및 중요성

원자력 발전소내의 제어실에는 전력용 배선 설비와 통신, 계측, 제어 등 신호 전송용 약전 설비가 근접해서 설치되는 경우가 많이 있다. 이 때 약전용 배선에 광섬유 케이블이 사용되는 경우를 제외하고, 전력용 배선이 약전용 배선에 유도 장애를 일으키는 경우가 있다. 특히 전력용 반도체 응용 기술의 진보에 따라 에너지 절약, 소형화, 유지보수, 제어성 등의 향상을 목적으로 사이리스터(실리콘 제어 정류기)나 파워 트랜지스터 등을 응용한 장치가 보급된 결과, 전력용 배선에 흐르는 고주파 전류의 과도현상이 약전용 배선에 영향을 미치게 된다. 따라서 발전소 현장에서 전원선을 통해 전도되는 전자파 레벨을 주기적으로 관찰하여 원자력 관련기기의 성능유지 및 신규 장비의 설치 시에 고려할 접지 및 배선관계 등에 참고할 필요가 있다.

본 연구에서는 고리 원자력발전소 3호기의 주제어실 및 전산실에 설치된 계측 및 제어설비의 전원선에서 발생하는 전도잡음을 반복적으로 측정하여 전자파 내성기준의 기초자료를 획득하고, 발생된 잡음의 유형을 분석하고 잡음에 대한 대책을 고찰하여 EMC 환경조건 확보를 위한 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다.

3. 연구내용 및 범위

연구내용으로는 고리 원자력발전소 3호기의 주제어실 (MCR ; Main Control Room)에 설치되어 있는 모든 계측 및 제어 설비에 대하여 연속성 전도잡음을 측정하고 분석한다. 측정은 발전소의 출력이 0%인 정지기간동안 수행되며, 측정주파수범위 및 측정신호는 30 Hz ~ 50 kHz의 전도성 잡음 전류와 10 kHz

~ 30 MHz 의 전도성 잡음 전압이다. 여기서 측정대상은 안전지역(Q area)에 설치된 모든 설비와 비안전지역(Non-Q area)에 설치된 설비의 일부분이 포함되며, 이들로부터 측정된 전도잡음의 결과는 설비로 인가되는 전원의 변환방식(인버터 또는 레귤레이팅 변압기)에 따라 비교·분석된다.

측정된 전도잡음의 결과를 바탕으로 발전소에서 발생할 수 있는 잡음의 원인을 설명하고, 현장에서 적용 가능한 잡음 방지대책을 제시한다. 이것은 EMC 환경조건 확보를 위한 방안으로 실제 디지털 계측 및 제어 설비가 발전소에 설치될 때 고려할 접지 및 배선관계 등에 적용 가능하리라 판단된다.

4. 연구결과 및 활용방안

- 가. 주제어실 및 전산실에 설치된 기기로부터 전도되는 전자파 측정.
- 나. 측정된 전도잡음의 세기 및 주파수별 분석.
- 다. 설비로 인가되는 전원의 변환방식에 따른 비교·분석.
- 라. 발전소에서 발생할 수 있는 잡음의 원인을 설명.
- 마. 발전소 현장에서 적용 가능한 잡음 방지대책 제시.
- 바. 설비가 발전소에 설치될 때 고려할 접지 및 배선관계 등에 적용 가능.
- 사. 추후에 실시될 방사잡음의 측정 결과와 함께 전자파 장해(EMI) 및 전자파 내성(EMS)의 국내 기준에 활용 가능.

목 차

제1장 서론	1
제2장 전도성 잡음의 측정을 위한 요건	3
2.1 측정지점 요건	3
2.2 발전소 및 관련설비의 동작 요건	9
2.3 주변 환경 요건	9
2.4 측정기간	9
제3장 측정범위 및 방법	10
3.1 측정항목 및 범위	10
3.2 품질보증 및 측정 불확도	10
3.3 현장에서의 전도성 잡음 측정방법	11
3.3.1 저주파 전도성 잡음 측정절차 (주파수 범위 : 30 Hz ~ 50 kHz)	11
3.3.2 고주파 전도성 잡음 측정절차 (주파수 범위 : 10 kHz ~ 30 MHz)	13
3.3.3 공통모드와 차동모드의 측정	15
제4장 측정결과 및 검토	18
제5장 EMC 환경조건 확보를 위한 고려사항	25
5.1 전형적인 잡음원과 특성	25
5.1.1 자연적인 잡음원	25
5.1.2 우연적인 잡음원	26
5.1.2.1 고 전압 스위칭	26
5.1.2.2 커패시터 뱅크 스위칭	27
5.1.2.3 전송선 스위칭	27
5.1.2.4 결합 커패시터 전압 변압기 (CCVT)	27
5.1.2.5 가스 충전형 개폐장치 (GIS)	28

5.1.2.6 접지 전압의 차이	28
5.1.2.7 전류 변압기 (CTs)	29
5.1.2.8 회전 기구	29
5.1.2.9 사이리스터	29
5.1.2.10 컴퓨터 시스템	30
5.1.2.11 직류 제어 회로	31
5.1.2.12 기계적인 진동	31
5.1.2.13 화학적인 오염	32
5.1.2.14 인간의 상호작용	32
5.1.2.15 케이블 공진	33
5.1.2.16 다른 우연적인 잡음원	34
5.1.3 의도적인 잡음원	34
5.2 잡음 결합 방법	34
5.2.1 전자기장의 특성	35
5.2.2 공통 임피던스 결합 (전도성)	35
5.2.3 용량성 결합 (전기적인)	36
5.2.4 유도성 결합 (자기적인)	37
5.2.5 방사성 결합 (전자기적인)	39
5.2.6 간섭 모드	39
5.2.6.1 공통 모드 간섭 (종축(縱軸)의 모드)	39
5.2.6.2 차동 모드 간섭 (노멀 모드, 횡축(橫軸)의 모드)	40
5.2.6.3 혼선(crosstalk)	41
5.3 전도잡음의 최소화를 위한 기법	41
5.3.1 소스에서의 억제	41
5.3.1.1 솔레노이드-릴레이 코일에서 발생하는 잡음의 억제	41
5.3.1.2 사이리스터 정류기, 모터 그리고 발전기의 억제	42

5.3.1.3 입력 신호 잡음의 억제	43
5.3.2 제어 케이블의 위치와 절연	43
5.3.2.1 케이블 라우팅	43
5.3.2.2 물리적인 분리	44
5.3.3 차폐	45
5.3.3.1 전자 장비 차폐	47
5.3.3.2 케이블 차폐	49
5.3.4 접지	51
5.3.5 필터	51
5.3.6 다른 잡음을 최소화시키는 기술	52
5.3.6.1 격리 변압기	52
5.3.6.2 중립 변압기	53
5.3.6.3 차동 증폭기	53
5.3.6.4 신호 대 잡음비의 증가	53
5.3.6.5 광섬유 케이블	54
5.3.6.6 서지 억제	54
5.3.7 결합 방식에 의해 구분되는 잡음 최소화 기술의 요약	54
5.3.7.1 공통 임피던스 결합	54
5.3.7.2 용량성의 결합	55
5.3.7.3 유도성의 결합	55
5.3.7.4 방사성의 결합	56
5.3.7.5 공통 모드 제거 기술	56
제6장 계측 및 제어 시스템 접지방법	58
6.1 접지의 원리	58
6.1.1 주요 목적	58
6.1.2 발전소의 접지 시스템	59

6.1.3 전기적 안전을 위한 접지	59
6.2 다른 여러 접지들	59
6.2.1 안전 접지들 (기계적, 프레임 또는 교류 접지)	60
6.2.2 접지 도선의 길이	60
6.2.3 발전소와 부발전소간의 상호 연결	61
6.2.4 CT, VT, 그리고 CCVT 접지	61
6.2.5 가스 충전형 개폐장치 (GIS)	61
6.2.6 도관과 케이블 트레이의 접지	62
6.3 신호 접지 시스템	63
6.3.1 단일 접지 시스템	63
6.3.1.1 가까이 위치해 있는 캐비닛	64
6.3.1.2 넓게 떨어져 있는 캐비닛	66
6.3.2 다중 접지 시스템	68
6.3.3 부유 저항 시스템	70
6.4 감도에 기초한 저주파 제어 회로의 접지	72
6.4.1 고감도 제어 회로의 접지	72
6.4.2 중간 감도 제어 회로에서의 접지	72
6.4.3 저감도 제어 회로에서의 접지	73
6.5 고주파 신호용 접지	74
제7장 신호선 차폐 접지시 필요사항	75
7.1 케이블 차폐의 요구사항	75
7.2 차폐 접지 적용의 분석	75
7.2.1 비차폐 회로의 단일접지	75
7.2.2 한쪽 끝이 접지된 차폐 회로	76
7.2.3 양단을 접지시킨 차폐 회로	78
7.3 중앙 분산 프레임(CDF)에서의 접지방법	80

7.3.1 중앙 분산 프레임 접지의 원칙	81
7.3.2 예비 컴퓨터 중앙 분산 프레임 접지	81
7.4 동축케이블	81
7.5 트위스트 페어 케이블	82
7.6 밸런스드 회로	83
7.7 다른 방법의 케이블 차폐	84
7.8 케이블 차폐 효과의 비교	85
7.9 케이블 차폐 접지 방법의 적용	85
7.9.1 단일 접지	85
7.9.2 다중 접지	85
7.9.3 부유 접지	86
7.10 제어 루프 접지의 일반적인 요구사항	86
7.10.1 국부 접지	87
7.10.2 부유 접지	88
7.11 분배 시스템에서 디지털 통신을 위한 부유 접지	88
제8장 접지 시스템의 검사	90
8.1 일반	90
8.2 접지 루프의 소스	90
8.3 접지 루프의 차단과 발견	90
8.4 접지 루프 시험	91
8.5 신호 접지 시스템의 강도	94
8.6 신호 접지 시스템의 유지	95
제9장 결론	96
참고문헌	98
부록	99

그림목차

그림 1. 발전소 주 제어실의 내부 도면	4
그림 2. Non-Q 지역에 설치된 발전소 계측 및 제어 설비들	8
그림 3. Q 지역에 설치된 발전소 계측 및 제어 설비들	8
그림 4. 30 Hz ~ 50 kHz의 전도성 잡음 측정 배치도	12
그림 5. 10 kHz ~ 30 MHz의 전도성 잡음 측정 배치도	14
그림 6. 저주파 전도잡음(30 Hz ~ 50 kHz)의 측정장면	16
그림 7. 고주파 전도잡음(10 kHz ~ 30 MHz)의 측정장면	17
그림 8. 저주파 전도잡음(30 Hz ~ 50 kHz)의 측정결과	21
그림 9. 고주파 전도잡음(10 kHz ~ 30 MHz)의 측정결과	23
그림 10. 라인 노칭의 파형	30
그림 11. 정전기 방전 잡음의 발생	33
그림 12. 공통 임피던스 결합(접지 루프)의 예	36
그림 13. 용량성 결합의 예	37
그림 14. 유도성 결합의 예	38
그림 15. 공통 및 차동 모드 간섭의 예	40
그림 16. 다이오드와 직렬 저항에 의한 억제	42
그림 17. 도선 분리에 대한 커패시턴스	45
그림 18. 중단 주파수(cutoff frequency) 이상의 도파관	49
그림 19. 단혀진 EMI 장벽의 블록도	50
그림 20. 단혀진 EMI 장벽의 구현	50
그림 21. 캐비닛에 흐르는 저주파 신호용 단일 접지 시스템(근거리)	65
그림 22. 캐비닛에 흐르는 저주파 신호용 단일 접지 시스템(원거리)	67
그림 23. 캐비닛의 저주파수용 단일 접지 시스템(원거리)	68

그림 24. 고주파 시스템용의 다중 접지 시스템	69
그림 25. 캐비닛에 사용되는 저주파 신호선용 다중 접지 시스템	70
그림 26. 부유 접지 시스템	71
그림 27. 일반적인 제어 신호 접지	73
그림 28. 차폐를 사용하지 않는 트위스트 페어	76
그림 29. 한쪽 끝이 접지된 차폐 회로	77
그림 30. 신호원단의 차폐선 접지	78
그림 31. 이상적인 양단 접지 차폐 회로	79
그림 32. 실제적인 양단 접지 차폐 회로	80
그림 33. 밸런스드 회로에서 공통 모드 억제	83
그림 34. 접지에 의해서 공통 모드 억제 효과가 약화된 모습	84
그림 35. 국부적으로 접지된 기기의 예	87
그림 36. 부유된 기기의 루프	88
그림 37. 차동 드라이버와 수신기의 접지	89
그림 38. 접지 루프를 검출하기 위한 시험	93

표 목 차

표 1. 전원 입력 방법에 따른 측정 대상의 명칭	5
표 2. 측정주파수에 따른 대역폭과 측정시간	11
표 3. 저주파 전도잡음 측정장비	12
표 4. 고주파 전도잡음 측정장비	13
표 5. 전원입력방법에 따른 전도잡음의 특성	24

제 1 장 서 론

그 동안 지속적으로 발전되어온 디지털 시스템의 기술은 산업계 전 분야에 걸쳐 다양하게 응용되고 있으며, 이로 인한 산업발달의 파급효과는 매우 큰 것으로 평가되어지고 있다. 원자력발전소 계측제어분야에 있어서도 발전소의 보호 및 안전설비로 보다 진보된 아날로그 시스템과 마이크로프로세서가 내장된 디지털 시스템의 사용이 증가되고, 전력변환장치는 선형(Linear) 방식에서 효율이 높은 비선형(Nonlinear) 방식으로 전환되고 있다. 하지만 이로 인한 문제점으로 원자력발전소 환경에서의 추가적인 잡음원의 형성과 이미 존재하고 있는 전기적인 잡음의 내성에 관한 관심이 높아지고 있다.

원자력 발전소내의 제어실에는 전력용 배선 설비와 통신, 계측, 제어 등 신호 전송용 약전 설비가 근접해서 설치되는 경우가 많이 있다. 이 때 약전용 배선에 광섬유 케이블이 사용되는 경우를 제외하고, 전력용 배선이 약전용 배선에 유도 장애를 일으키는 경우가 있다. 특히 전력용 반도체 응용 기술의 진보에 따라 에너지 절약, 소형화, 유지보수, 제어성 등의 향상을 목적으로 사이리스터(실리콘 제어 정류기)나 파워 트랜지스터 등을 응용한 장치가 보급된 결과, 전력용 배선에 흐르는 고주파 전류의 과도현상이 약전용 배선에 영향을 미치게 된다. 따라서 발전소 현장에서 전원선을 통해 전도되는 전자파 레벨을 주기적으로 관찰하여 원자력 관련기기의 성능유지 및 신규 장비의 설치 시에 고려할 접지 및 배선관계 등에 참고할 필요가 있다[1-5].

본 연구에서는 고리 원자력발전소 3호기의 주 제어실 및 전산실에 설치되어 있는 모든 계측 및 제어 설비에 대하여 연속성 전도잡음을 측정하고 분석한다. 측정은 발전소의 출력이 0 %인 정지기간동안 수행되며, 측정주파수범위 및 측정신호는 EPRI TR-102323-R1[6] 과 USNRC Guide 1.180[7] 그리고 MIL-STD-462D[8, 9] 에서 규정한 전도잡음 측정항목 및 범위를 참고로 하여 30 Hz ~ 50 kHz 의 전도성 잡음 전류와 10 kHz ~ 30 MHz 의 전도성 잡음 전압이다. 여기서 측정대상은 안전지역(Q area)에 설치된 모든 설비와 비안전지역(Non-Q area)에 설치된 설비의 일부분이 포함되며, 이들로부터 측정된 전도잡음의 결과는 설비로 인가되는 전원의 변환방식(인버터 또는 레귤레이팅 변압기)에 따

라 비교된다.

측정된 전도잡음의 결과를 바탕으로 발전소에서 발생할 수 있는 잡음의 원인을 설명하고, EMC 환경조건 확보를 위해 발전소 현장에서 적용 가능한 계측 및 제어장비의 접지방법에 관한 정보를 제시한다. 먼저 계측 및 제어장비의 접지를 설계하기 전에 이해를 위한 기초적인 이론과 발전소 계측 및 제어 시스템과 관련된 장비의 접지를 위한 지침을 제안하고, 신호접지 시스템의 설치에 위한 여러 가지 접근을 나타낸다. 마지막으로 계측 및 제어 케이블의 차폐 접지에 적용 가능한 실례를 나열하며, 계측 및 제어 접지 시스템의 검사방법을 보여준다[10, 11]. 적당한 차폐기술과 함께 제안된 접지방법을 사용하면 발전소내의 여러 가지 계측 및 제어장비로부터 보내어지는 약전신호의 왜곡을 현저히 감소할 수 있고 이로 인해 전자파 장애 및 내성에 관한 환경조건이 확보될 수 있다.

제 2 장 전도성 잡음의 측정을 위한 요건

원자력 발전소 현장에서 전도성 잡음을 측정하려면 먼저 측정하고자 하는 지점과 그 측정점과 연결되어 있는 기기들, 그리고 발전소의 동작조건이 설정되어야 한다. 원자력 발전소에서 사용되는 전기·전자기기들 중에서 전자파 장애를 발생시키거나 영향을 받을 수 있는 기기는 주 제어실에 위치하고 있기 때문에 측정범위는 대부분 주 제어실에 있는 주요 시스템의 전원단으로 국한하게 된다. 전원단에는 외부로부터 유입되는 전자파 잡음과 제어 및 연산 시스템의 동작 중에 필연적으로 발생하는 잡음이 동시에 존재하기 때문에 이에 적절한 기기의 전원단을 측정지점으로 선정하여 전도 잡음을 측정하여야 한다. 또한 전도잡음은 발전소의 운전 조건과 측정지점과 관련된 설비의 동작 상태와 연관되어 그 크기 및 형태가 변할 수 있기 때문에 발전소의 출력이 가변되는 시기를 선택하여 측정하여야 한다.

한편 전도잡음의 측정은 측정 프로브를 동작하고 있는 전원선에 직접 연결해야 하기 때문에 측정자와 대상설비 모두의 안전을 고려하여 사전에 안전수칙을 수립하고 측정에 임하여야 한다.

2.1 측정지점 요건

본 연구에서는 국내 원자력발전소 중에서 초기에 건설된 고리 원자력 발전소 3호기를 선택하여 주 제어실내의 안전(Q) 지역에 설치되어 있는 모든 제어설비와 비안전(Non-Q) 지역에 설치된 제어설비 일부의 전원단을 측정지점으로 설정하였다. 이 설비들이 선정된 것은 이들이 디지털 및 아날로그 회로를 채택하고 있고 인버터 또는 레귤레이팅 변압기로부터 전원을 받기 때문에 주 제어실에서 가장 전자파 장애에 민감하고 전도성 잡음을 발생시킬 것으로 예상되었기 때문이다. 그림 1은 이번 측정을 수행한 주 제어실의 내부 도면을 간략히 나타내고, 표 1에서 선정된 계측 및 제어 설비의 명칭 및 전원 입력 방법 그리고 설치된 위치와 단자를 나타내고 있다. 또한 그림 2와 3에는 Non-Q 지역과 Q 지역에 설치된 발전소 계측 및 제어 설비들을 나타낸다.

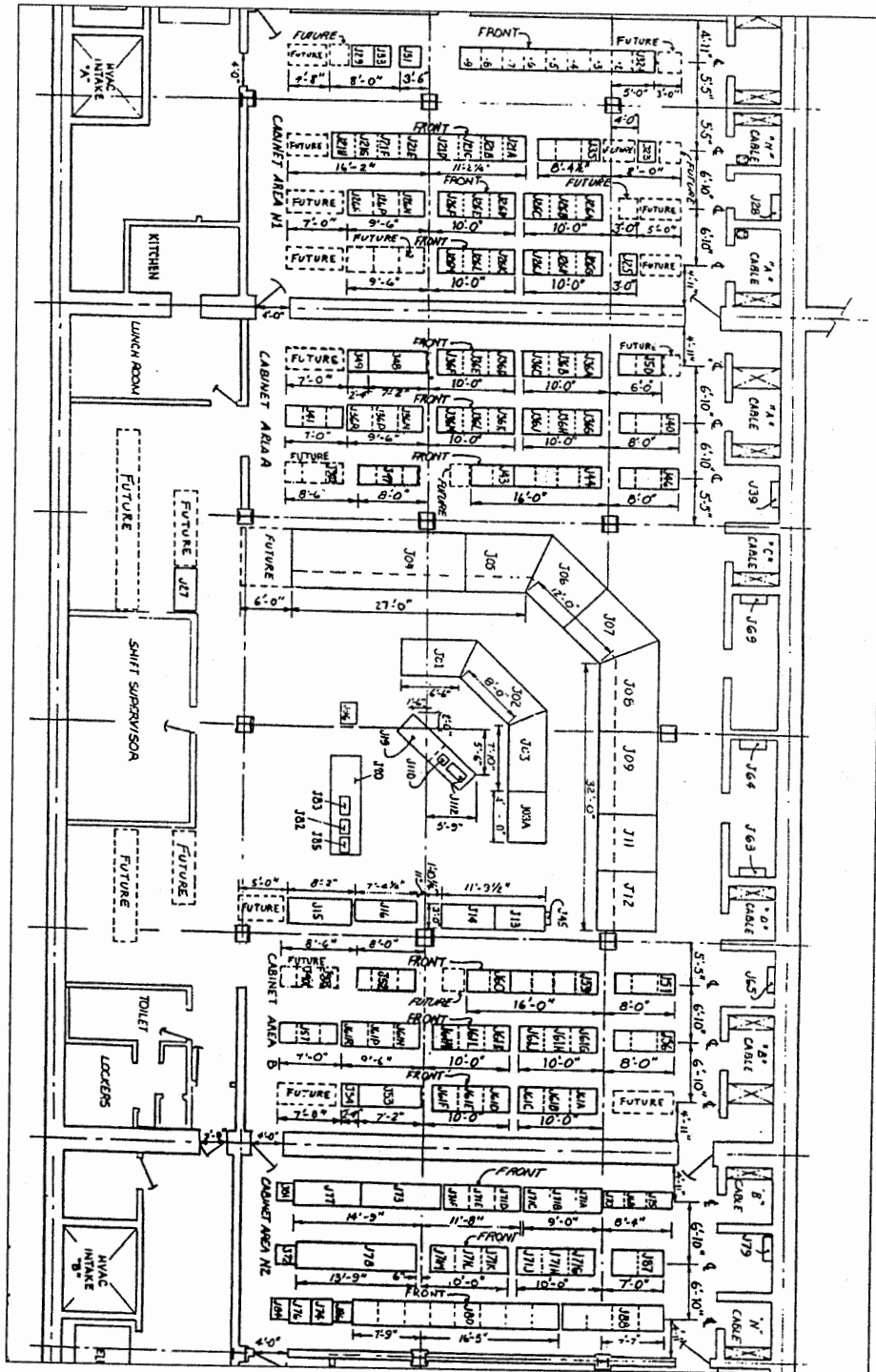


그림 1. 발전소 주 제어실의 내부 도면

표 1. 전원 입력 방법에 따른 측정 대상의 명칭

전원 입력 방법	전원명 및 위치	설비 명칭(케비넷 번호)	단자
N-5E-NQ-N001 (인버터)	N-5E-NQ-F001 (Non-Q 지역)	SSILS (JP026 A/C/D/F/G/J/K/M/N/R)	TB12
		W7300 Control GP1/3 (JP041, JP047)	PRI
		DMIMS (JP023)	TB01
		MFWP (JP070)	TB12
		Fisher (JP021)	PRI
N-5E-NQ-N002 (인버터)	N-5E-NQ-F002 (Non-Q 지역)	SSILS (JP071 A/C/D/F/G/J/K/M)	TB12
		W7300 Control GP 2/4 (JP052, JP057)	PRI
		MFWP (JP068)	TB12
		TBN Governor (JP073)	CB3
N-5E-NQ-X004 (레귤레이팅 변압기)	N-5E-NQ-F004 (Non-Q 지역)	SSILS (JP026 A/C/D/F/G/J/M/N/R/K)	TB56
		TBN/GEN Temp Protection (JP081)	PS1
		Fisher (JP021)	SEC
		S/G DCS (JP901, JP902)	PRI
N-5E-NQ-X005 (레귤레이팅 변압기)	N-5E-NQ-F005 (Non-Q 지역)	SSILS JP071 A/C/D/F/G/J/K/M	TB56
		W7300 Control GP 1,3/2,4 (JP041, JP047, JP052, JP057)	SEC
		TBN Governor (JP073)	CB4
		S/G DCS (JP901, JP902)	SEC
		TBN/GEN Temp Protection (JP081)	PS2
N-5E-NQ-N003 (인버터)	N-5E-NQ-F003 (Non-Q 지역)	소내전산기 (JP103, JP094, JP106)	PRI

전원 입력 방법	전원명 및 위치	설비 명칭(케비넷 번호)	단자
A-5E-PQ-N001 (인버터)	A-5E-PQ-F001 (Q 지역)	NIS CH A/A (JP016)	TB12
		SSPS Tr 'A', CH A (JP044)	TB12
		SSPS Tr 'B', CH A (JP059)	TB12
		W7300 Protection I (JP040)	PRI
A-5E-PQ-N002 (인버터)	A-5E-PQ-F002 (Q 지역)	SSILS (JP036 A/C/D/F/G/J/K/M/N/R)	TB12
		W7300 BOP 1E (JP048, JP058)	PRI
		DRMS (JP049)	TB67
A-5E-PQ-X003 (레귤레이팅 변압기)	A-5E-PQ-F003 (Q 지역)	SSILS (JP036 A/C/D/F/G/J/K/M/N/R)	TB56
		W7300 BOP 1E (JP048, JP058)	SEC
		W7300 Protection I (JP040)	SEC
B-5E-PQ-N001 (인버터)	B-5E-PQ-F001 (Q 지역)	NIS CH B/B (JP016)	TB56
		SSPS Tr 'A', CH B (JP044)	TB12
		SSPS Tr 'B', CH B (JP059)	TB12
		W7300 Protection II (JP056)	PRI
B-5E-PQ-N002 (인버터)	B-5E-PQ-F002 (Q 지역)	SSILS (JP061 A/C/D/F/G/J/K/M/N/R)	TB12
		W7300 BOP 1E (JP053, JP063)	PRI
B-5E-PQ-X003 (레귤레이팅 변압기)	B-5E-PQ-F003 (Q 지역)	SSILS (JP061 A/C/D/F/G/J/K/M/N/R)	TB56
		W7300 BOP 1E (JP053, JP063)	SEC
		W7300 Protection II (JP056)	SEC

전원 입력 방법	전원명 및 위치	설비 명칭(케비넷 번호)	단자
C-5E-PQ-N001 (인버터)	C-5E-PQ-F001 (Q 지역)	NIS CH C/C (JP016)	TB12
		SSPS Tr 'A', CH C (JP044)	TB12
		SSPS Tr 'B', CH C (JP059)	TB12
		W7300 Protection III (JP046)	PRI SEC
		W7300 BOP 1E (JP050)	PRI
D-5E-PQ-N001 (인버터)	D-5E-PQ-F001 (Q 지역)	NIS CH D/D (JP016)	TB12
		SSPS Tr 'A', CH D (JP044)	TB12
		SSPS Tr 'B', CH D (JP059)	TB12
		W7300 Protection IV (JP051)	SEC

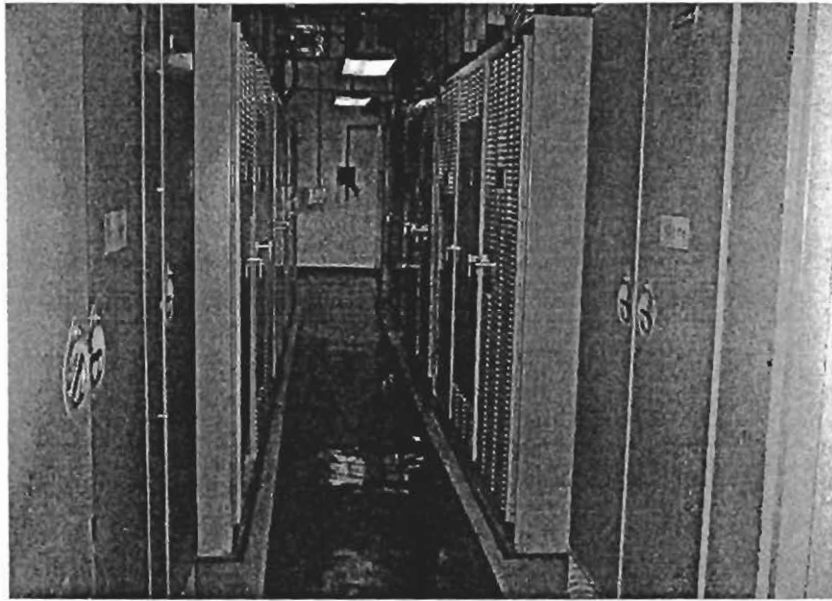


그림 2. Non-Q 지역에 설치된 발전소 계측 및 제어 설비들



그림 3. Q 지역에 설치된 발전소 계측 및 제어 설비들

2.2 발전소 및 관련설비의 동작 요건

전도잡음의 측정은 대상 계측 및 제어설비 및 관련기기의 전원 입·출력선으로부터 잡음을 직접 측정하므로, 정상적인 발전소의 운전에 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 측정은 고리 원자력발전소의 유지·보수기간인 출력이 0%인 정지기간 일주일동안 반복적으로 수행된다. 하지만 이 기간동안 측정 대상이 되는 안전지역(Q area)에 설치된 모든 설비와 비안전지역(Non-Q area)에 설치된 설비의 일부분은 모두 정상동작을 유지한다.

2.3 주변 환경 요건

측정환경에서의 온도 및 습도의 요건은 측정결과의 신뢰성에 영향을 미칠 수 있기 때문에 악 조건의 환경하에서 측정은 피하도록 한다.

(1) 온도 : 10 ~ 40 ℃

(2) 습도 : 75 % 이하

2.4 측정 기간

측정은 고리 원자력발전소의 유지·보수 기간인 출력정지기간에 이루어 졌으며, 그 기간은 다음과 같다.

(1) 발전소 출력정지기간 : 2002년 9월 23일 ~ 2002년 9월 28일 (6일간)

제 3 장 측정범위 및 방법

3.1 측정항목 및 범위

전도성 잡음의 측정항목 및 범위는 연속성 잡음 측정을 중심으로 EPRI TR-102323-R1 [6] 과 USNRC Guide 1.180 [7] 에서 규정한 전도성 잡음 측정항목 및 범위를 참고로 하고, 현장에서 측정이 가능한 조건과 측정주파수 범위를 결정하였다.

- (1) 저주파 전도성 잡음 : 30 Hz ~ 50 kHz, 전도성 잡음 전류 측정
- (2) 고주파 전도성 잡음 : 10 kHz ~ 30 MHz, 전도성 잡음 전압 측정

3.2 품질보증 및 측정 불확도

전도성 잡음에 관한 모든 측정은 국가공인기관 (KOLAS)으로서 IEC 17025에 일치하는 산업기술시험원 품질시스템이 적용되었고, 따라서 사용된 모든 장비의 교정 및 점검은 관련 절차에 따라 주기적으로 이루어졌다. 측정에 관련된 산업기술시험원의 품질문서는 다음과 같다.

- (1) 품질 매뉴얼 QM001
- (2) 원자력 안전 매뉴얼 QM004
- (3) 측정 및 시험기기 관리 절차서 P108
- (4) 전자파 시험업무 절차서 P226
- (5) 전자파 적합성 측정 불확도 평가 지침서 G226-03
- (6) 전자파 측정기기 점검 지침서 G226-04

전도성 잡음 측정 결과에 대한 측정 불확도는 95 % 의 신뢰수준에서 주파수 대역별로 그리고 측정 프로브에 따라 다음과 같이 계산되었다. 이 결과는 산업기술시험원의 불확도 평가 지침서에 따랐다.

- (1) 30 Hz ~ 50 kHz : ± 4.74 dB
- (2) 10 kHz ~ 150 kHz : ± 4.06 dB
- (3) 150 kHz ~ 30 MHz : ± 3.56 dB

3.3 현장에서의 전도성 잡음 측정방법

발전소 현장에서의 전도성 잡음 측정절차는 산업기술시험원 전자파 시험업무 절차서 P226 [12]에 따라 수립된 방법에 따라 수행되었고, 주파수 범위에 따른 측정수신기의 대역폭 및 최소 측정시간은 MIL-STD-461D[8] 와 MIL-STD-462D[9]에서 규정한 조건대로 표 2 에서처럼 설정하였다.

표 2. 측정주파수에 따른 대역폭과 측정시간

주파수 범위	6 dB 대역폭	체제시간	최소 측정시간
30 Hz ~ 1 kHz	10 Hz	0.15 sec	0.015 sec/Hz
1 kHz ~ 10 kHz	100 Hz	0.015 sec	0.15 sec/kHz
10 kHz ~ 250 kHz	1 kHz	0.015 sec	0.015 sec/kHz
250 kHz ~ 30 MHz	10 kHz	0.015 sec	1.5 sec/MHz

3.3.1 저주파 전도성 잡음 측정절차 (주파수 범위 : 30 Hz ~ 50 kHz)

이 측정절차는 30 Hz에서 50 kHz까지의 주파수 범위에서 주 제어실 내의 안전(Q) 지역에 설치되어 있는 모든 제어 설비와 비안전(Non-Q) 지역에 설치된 제어설비 일부의 전원 입력선을 통하여 전도되는 모든 저주파 전도성 잡음에 대하여 적용하며, 접지선 및 중성선을 포함한 외부로부터 공급받는 AC 전원선에서 측정한다.

(1) 측정장비

본 측정을 위해 사용된 측정장비의 구성은 표 3 과 같다.

표 3. 저주파 전도잡음 측정장비

번호	장비명	모델명 및 제작사	기능 및 사양
1	EMI Test Receiver	ESI7, Rohde Schwartz	20 Hz ~ 7 GHz
2	Current Probe	EZ-17, Rohde Schwartz	5 Hz ~ 2 MHz
3	AC/DC Current Meter	3184, HIOKI	200 A, 600 V
4	Notebook Computer	Sens 670, Samsung	장비 Control 및 Data 저장

(2) 측정준비

가. 측정하고자 하는 AC 전원선에 대한 측정장치의 배치는 그림 4와 같이 한다.

나. 가능하면 전류 프로브는 대상설비로부터 1m 이내에서 하나의 다발로 묶어서 체결한다.

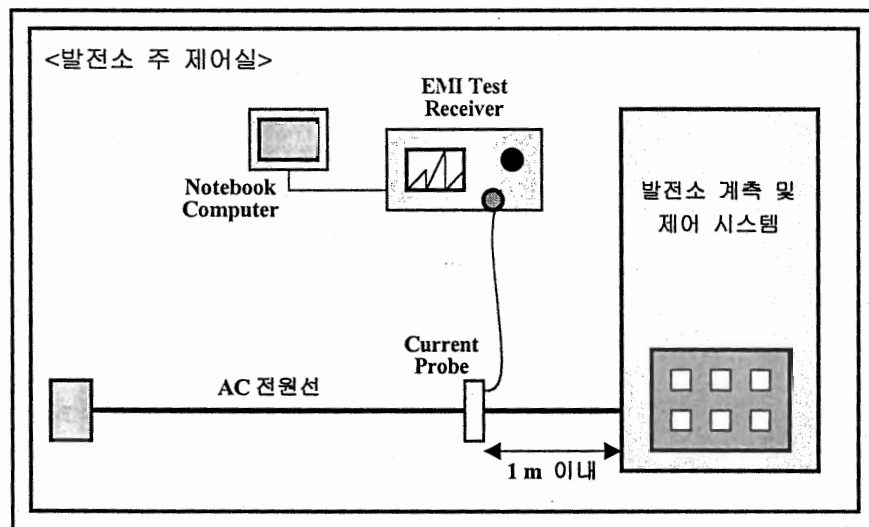


그림 4. 30 Hz ~ 50 kHz의 전도성 잡음 측정 배치도

(3) 측정절차

- 가. 측정수신기에 전원을 공급하고 안정된 동작을 위해 충분한 예열시간을 갖는다.
- 나. 측정수신기에 전류프로브의 보정계수를 입력시킨다.
- 다. 전원선에 체결된 전류프로브 및 장비에 연결된 케이블 등의 접속상태를 점검한다.
- 라. 표 2에 명시된 측정 수신기의 대역폭 및 최소 측정시간을 조정한다.
- 마. 측정수신기에 주파수대역을 30 Hz에서 50 kHz까지 설정하고 스캔한다.
- 바. 측정결과는 도표 또는 그래프로 출력한다.

3.3.2 고주파 전도성 잡음 측정절차 (주파수 범위 : 10 kHz ~ 30 MHz)

이 측정절차는 10 kHz에서 30 MHz까지의 주파수 범위에서 주 제어실 내의 안전(Q) 지역에 설치되어 있는 모든 제어 설비와 비안전(Non-Q) 지역에 설치된 제어설비 일부의 전원 입력선을 통하여 전도되는 모든 고주파 전도성 잡음에 대하여 적용하며, 접지선 및 중성선을 포함한 외부로부터 공급받는 AC 전원선에서 측정한다.

(1) 측정장비

본 측정에 사용되는 측정장비의 구성은 표 4 와 같다.

표 4. 고주파 전도잡음 측정장비

번호	장비명	모델명	기능 및 사양
1	EMI Test Receiver	ESI7 Rohde Schwartz	20 Hz ~ 7 GHz
2	Passive(voltage) Probe	ESH2-Z3 Rohde Schwartz	9 kHz ~ 30 MHz
3	AC/DC Current Meter	3184, HIOKI	200 A, 600 V
4	Notebook Computer	Sens 670 Samsung	장비 Control 및 Data 저장

(2) 측정준비

- 가. AC 전원선에 대한 측정장치의 배치는 그림 5와 같이 한다.
- 나. 가능하면 전압 프로브는 대상설비로부터 1 m 이내에서 접지선과 활성선 또는 접지선과 중성선에 연결한다.

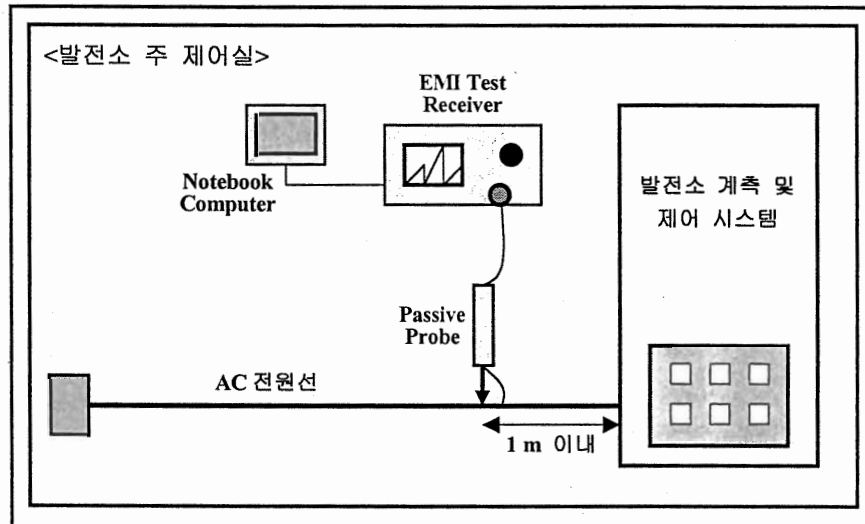


그림 5. 10 kHz ~ 30 MHz의 전도성 잡음 측정 배치도

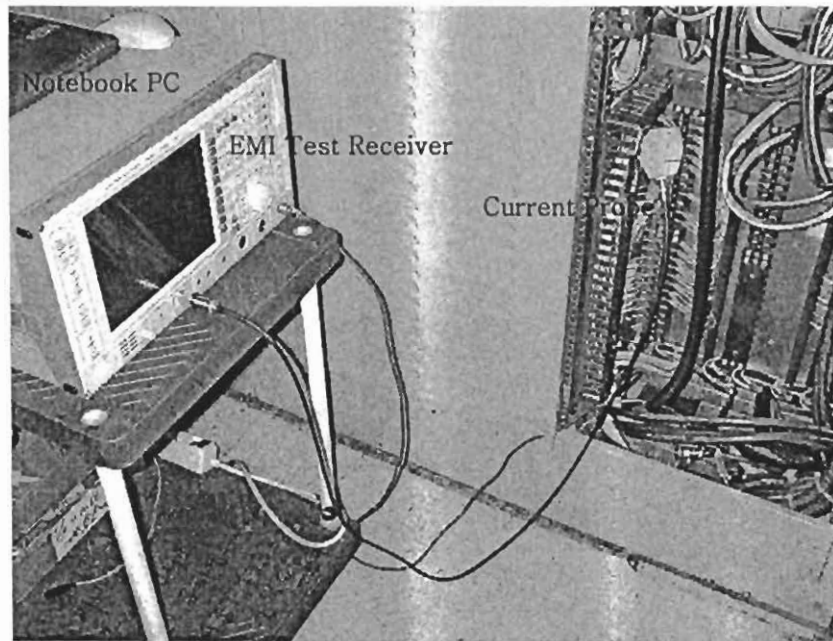
(5) 측정절차

- 가. 측정수신기에 전원을 공급하고 안정된 동작을 위해 충분한 예열시간을 갖는다.
- 나. Passive 프로브의 보정단자 및 케이블을 측정수신기에 연결한다.
- 다. 전원선에 연결된 Passive 프로브 및 장비에 연결 케이블 등의 접속상태를 점검한다.
- 라. 표 2에 명시된 측정 수신기의 대역폭 및 최소 측정시간을 조정한다.
- 마. 주파수대역을 10 kHz에서 30 MHz까지 설정하고 스캔한다.
- 바. 측정결과는 도표 또는 그래프로 출력한다.

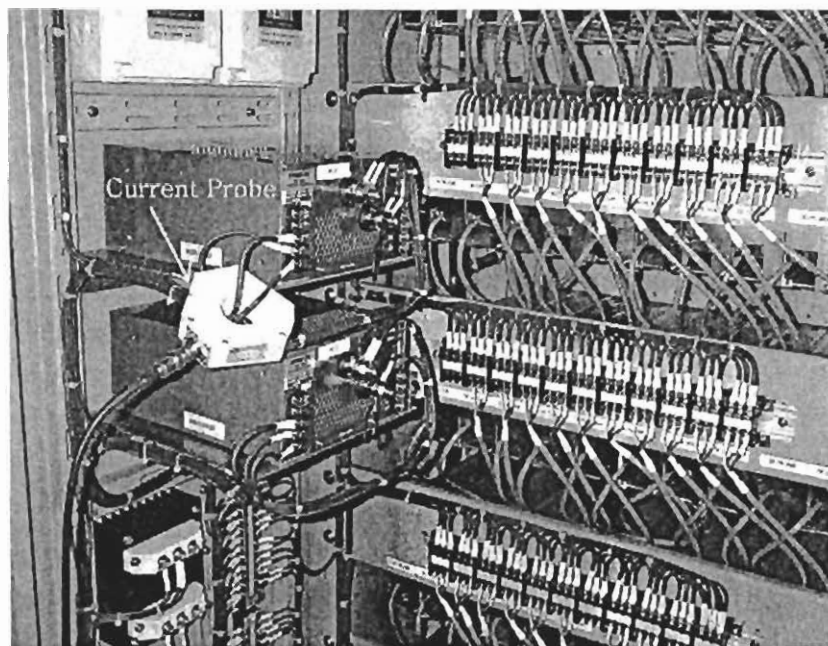
3.3.3 공통모드와 차동모드의 측정

30 Hz ~ 50 kHz의 저주파 전도잡음 측정시에 전류 프로브는 측정대상 전원선에서 하나의 다발로 묶어서 체결한다. 그런데 고리 원자력발전소 3호기 주 제어실 및 전산실에 설치된 대부분의 계측 및 제어 설비의 경우 접지선은 합체 접지의 전원 접지선이 없어 전류 프로브로 활성선(Live), 중성선(Neutral) 및 접지선을 한번에 체결하기 어렵다. 따라서 이러한 경우는 활성선과 접지간의 공통모드(Common mode) 잡음 측정은 제외하고, 활성선과 중성선간의 차동모드(Differential mode) 잡음만을 측정한다. 하지만 비안전지역에 설치된 TBN/GEN Temp Protection(JP081)의 경우에는 활성선, 중성선 및 접지선이 설비의 전원공급기(SMPS)에 연결되어 있어 차동모드 및 공통모드에 대한 잡음을 모두 측정한다.

다음으로 10 kHz ~ 30 MHz의 고주파 전도잡음의 측정에서 전압 프로브는 대상기기 전원선에서 각 선간에 직접 연결한다. 이번 측정대상의 모든 설비는 공통모드 및 차동모드의 잡음을 측정할 수 있으며, 이때 공통모드 전도 잡음 측정은 활성선 또는 중성선과 합체 접지간을 연결함으로써 측정할 수 있다. 또한 차동모드는 활성선과 중성선간을 연결하여 측정한다. 다음의 그림 6과 7은 발전소 주 제어실 및 전산실에서 저·고주파 전도잡음의 차동모드 및 공통모드 측정장면을 보여준다.

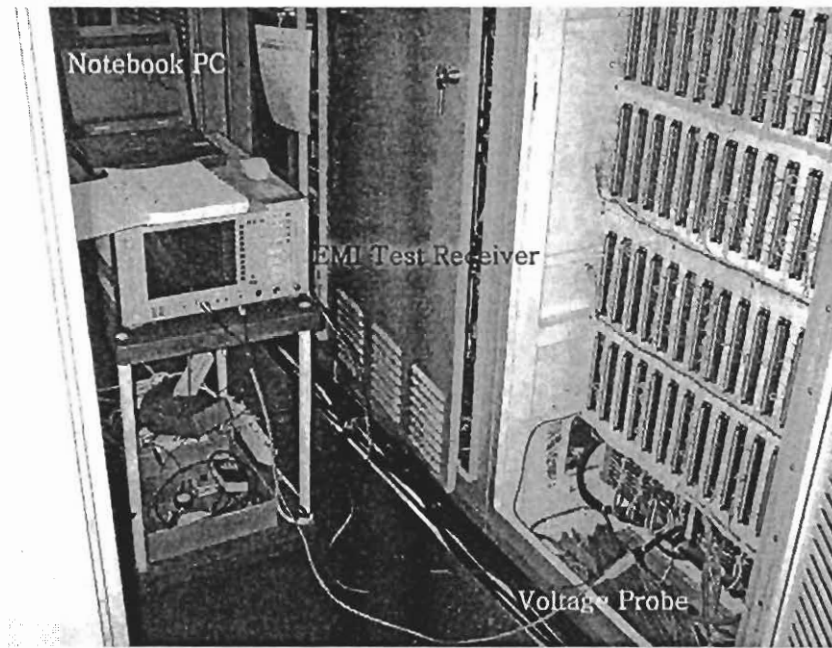


(a) 차동모드 측정

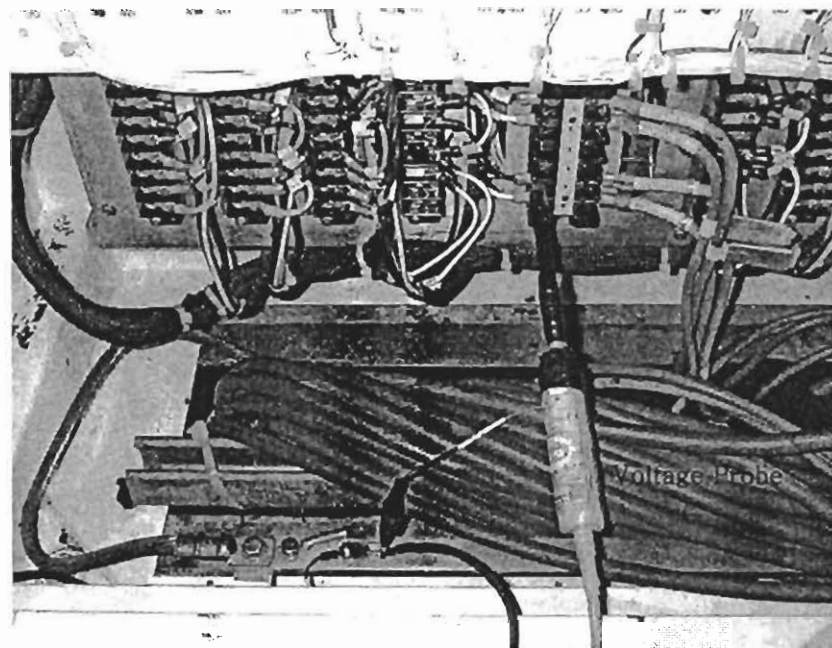


(b) 공통모드 측정

그림 6. 저주파 전도잡음(30 Hz ~ 50 kHz)의 측정장면



(a) 차동모드 측정



(b) 공통모드 측정

그림 7. 고주파 전도잡음(10 kHz ~ 30 MHz)의 측정장면

제 4 장 측정결과 및 검토

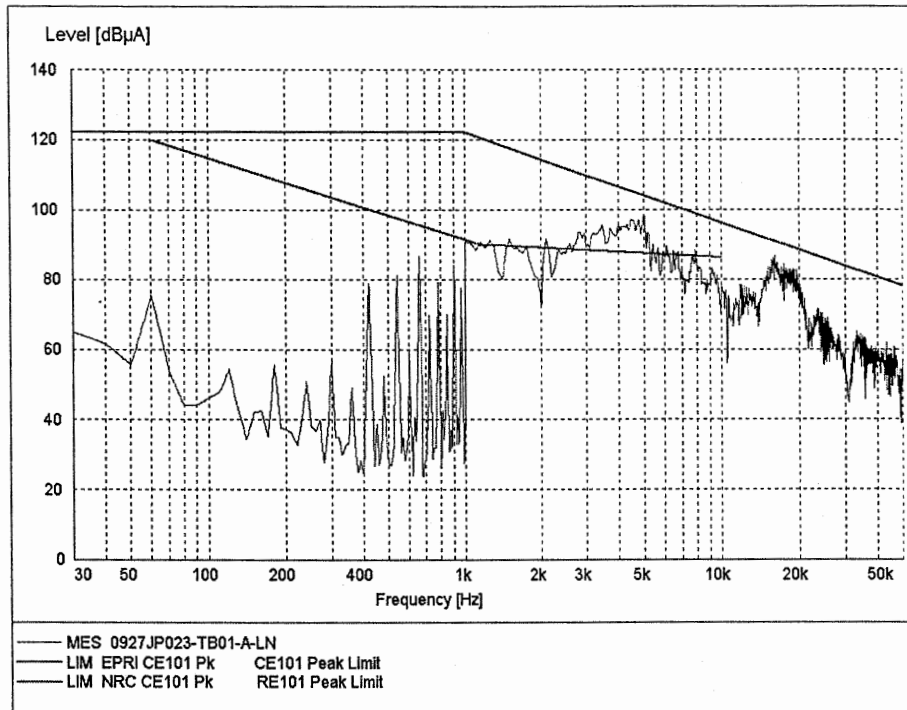
발전소의 정지기간동안 측정 대상이 되는 안전지역(Q area)에 설치된 모든 설비와 비안전지역(Non-Q area)에 설치된 설비의 일부분으로부터 취득한 연속성 저·고주파 전도잡음의 측정데이터는 약 520 여개에 이른다. 이들은 전원 입력방법에 따라 USNRC와 EPRI에서 제시한 한계치와 비교되어 부록B에 정리된다.

그림 8의 30 Hz~50 kHz 주파수 범위에서 측정된 저주파 연속성 전도잡음을 살펴보면, 차동모드에서 측정된 잡음에 비해 공통모드에서 더 높게 측정되었고 5 kHz 대역의 전원주파수의 방사치는 USNRC의 한계치를 초과하고 있다. 저주파 전도잡음의 특색은 주로 60 Hz 전원주파수와 이것의 우수(even) 및 기수(odd) 고조파들로 이루어지고 우수(even)보다 기수(odd) 고조파의 세기가 더 높게 발생된다는 것을 알 수 있다. 결국 저주파 전도잡음의 경우 차동모드의 4.95 kHz 부근에서 EPRI의 한계치를 10 dB 정도 초과한다.

그림 9에서 고주파 전도성 영역인 10 kHz ~ 30 MHz 범위의 연속성 전도잡음의 측정결과를 보면 대부분 광대역성 전도잡음 전압으로 EPRI 및 USNRC의 한계치를 초과한다. 특히 레귤레이팅 변압기를 사용하는 특정한 전원(A-5E-PQ-X003, B-5E-PQ-X003) 설비의 경우는 높은 수준의 협대역성 전도잡음 전압이 검출된다. 이것은 스위칭 모드 전원장치(SMPS; switching mode power supply)에서 발생한 스위칭 동작주파수 및 그것의 고조파에 의한 영향으로 분석되며, 협대역의 높은 잡음은 설비의 디지털 내·외부회로, 특히 마이크로프로세서와 같은 회로의 클럭 동기 주파수에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 안전(Q) 지역에 설치된 몇몇 전원공급기에 대해서는 교체의 필요성도 심각히 고려되어야 한다. 특히 600 kHz 부근에서 EPRI와 USNRC 한계치를 각각 30 dB와 40 dB 정도를 초과하고 있다.

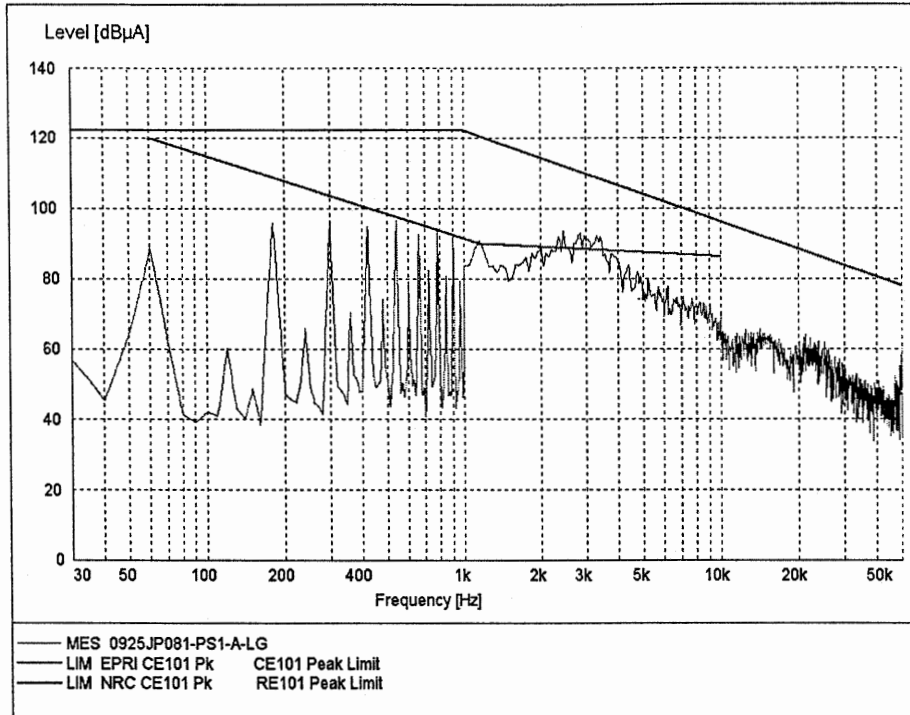
이러한 잡음이 설비 내부에서 발생한 것인지, 또는 외부에서 유입된 것인지는 구분하기 어려우나 계측 및 제어기기의 설치환경에서 볼 때 기기 내·외부적으로 영향을 미칠 수 있기 때문에 전원필터 등을 이용하여 잡음의 세기를 낮추기 위한 대책이 요구된다.

한편 전원입력방법에 따라 분류된 부록 B의 첨부 데이터에서 알 수 있듯이 같은 전원을 사용하는 계측 및 제어기기는 유사한 잡음 특성을 보여준다. 표 5는 전원입력방법에 따라 검출된 전도잡음의 수준을 세단계로 분류하여 보여 준다.



Frequency (kHz)	Current (dBμA)	Limit(dBuA)		Margin(dBuA)	
		EPRI	USNRC	EPRI	USNRC
0.06	75.6	122.0	120.0	46.4	44.4
0.42	78.8	122.0	100.2	43.2	21.4
0.54	81.3	122.0	97.7	40.7	16.4
0.66	86.6	122.0	95.6	35.4	9.0
0.78	79.0	122.0	93.9	43.0	14.9
0.90	84.0	122.0	92.5	38.0	8.5
1.00	90.7	122.0	91.4	31.3	0.7
3.95	95.3	106.5	87.7	11.2	- 7.6
4.95	97.7	104.0	87.3	6.3	- 10.4
16.05	86.8	90.8	.	4.0	.

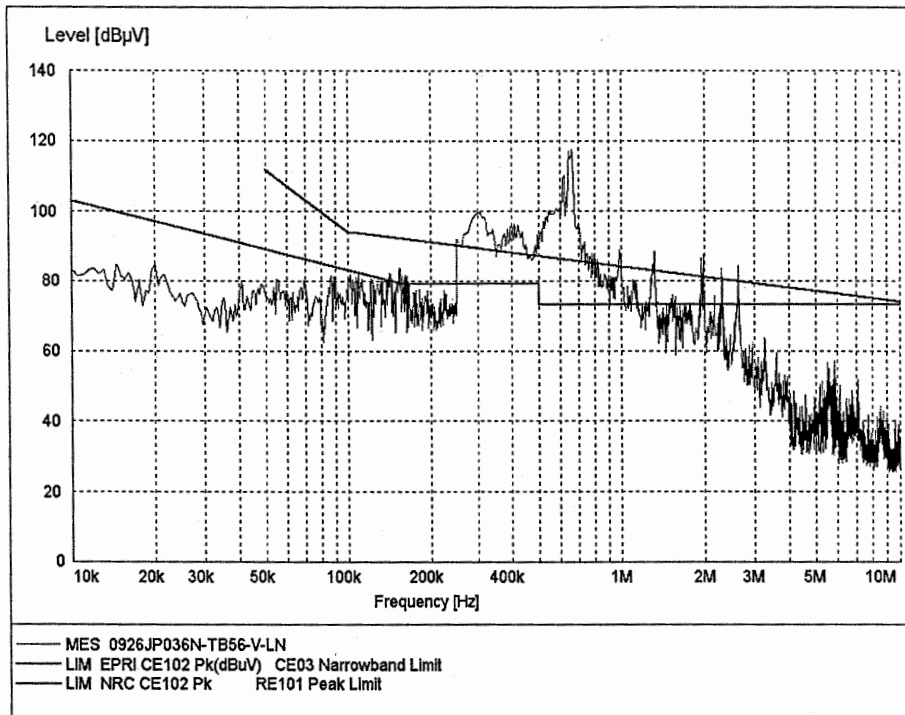
(a) 차동모드



Frequency (kHz)	Current (dBuA)	Limit(dBuA)		Margin(dBuA)	
		EPRI	USNRC	EPRI	USNRC
0.06	88.8	122.0	120.0	33.2	31.2
0.18	95.8	122.0	108.8	26.2	13.0
0.54	96.9	122.0	97.7	25.1	0.8
0.66	92.7	122.0	95.6	29.3	2.9
0.78	93.8	122.0	93.9	28.2	0.1
0.90	92.5	122.0	92.5	29.5	0.0
1.15	91.0	120.4	90.0	29.4	<u>- 1.0</u>
1.90	85.8	114.8	89.1	29.0	3.3
2.45	93.4	111.9	88.6	18.5	<u>- 4.8</u>
3.40	91.7	108.2	88.0	16.5	<u>- 3.7</u>

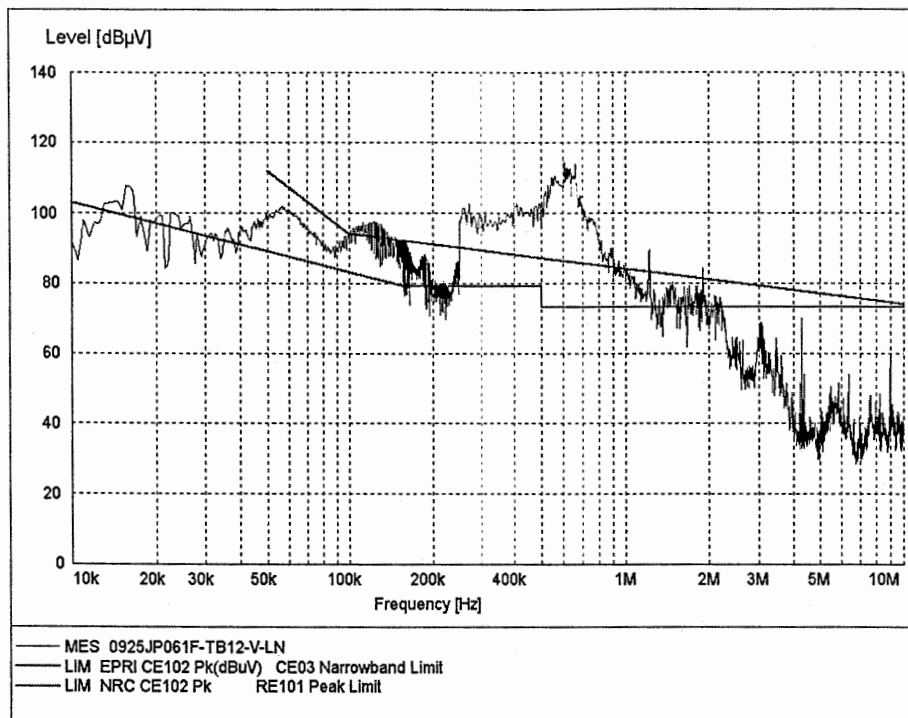
(b) 공통모드

그림 8. 저주파 전도잡음(30 Hz ~ 50 kHz)의 측정결과



Frequency (MHz)	Voltage (dBuV)	Limit(dBuV)		Margin(dBuV)	
		EPRI	USNRC	EPRI	USNRC
0.02	84.4	.	94.0	.	9.6
0.31	99.6	.	79.0	.	- 20.6
0.55	99.8	86.6	73.0	- 13.2	- 26.8
0.66	117.4	85.8	73.0	- 31.6	- 44.4
0.71	95.1	85.5	73.0	- 9.6	- 22.1
0.99	89.0	84.0	73.0	- 5.0	- 16.0
1.32	88.3	82.8	73.0	- 5.5	- 15.3
1.98	87.6	81.0	73.0	- 6.6	- 14.6
2.64	84.2	79.8	73.0	- 4.4	- 11.2
3.28	63.6	78.8	73.0	15.2	9.4

(a) 차동모드



Frequency (MHz)	Voltage (dBuV)	Limit(dBuV)		Margin(dBuV)	
		EPRI	USNRC	EPRI	USNRC
0.02	107.8	.	94.0	.	- 13.8
0.06	97.3	107.3	84.4	10.0	- 12.9
0.1	98.2	94.0	80.0	- 4.2	- 18.2
0.19	86.2	91.2	79.0	5.0	- 7.2
0.37	103.8	88.3	79.0	- 15.5	- 24.8
0.45	110.9	87.5	79.0	- 23.4	- 31.9
0.56	108.6	86.5	73.0	- 22.1	- 35.6
0.63	112.1	86.0	73.0	- 26.1	- 39.1
1.21	79.9	83.2	73.0	3.3	- 6.9
1.73	77.2	81.6	73.0	4.4	- 4.2

(b) 공통모드

그림 9. 고주파 전도잡음(10 kHz ~ 30 MHz)의 측정결과

표 5. 전원입력방법에 따른 전도잡음의 특성

전원입력방법	전원명 및 위치	잡음전류	잡음전압	비고
N-5E-NQ-N001 (인버터)	N-5E-NQ-F001 (Non-Q 지역)	○	△	광대역성 전도잡음 전압이 측정됨.
N-5E-NQ-N002 (인버터)	N-5E-NQ-F002 (Non-Q 지역)	○	△	광대역성 전도잡음 전압이 측정됨.
N-5E-NQ-X004 (레귤레이팅 변압기)	N-5E-NQ-F004 (Non-Q 지역)	○	△	협대역성 전도잡음 전압이 측정됨.
N-5E-NQ-X005 (레귤레이팅 변압기)	N-5E-NQ-F005 (Non-Q 지역)	○	△	광대역성 전도잡음 전압이 측정됨.
N-5E-NQ-N003 (인버터)	N-5E-NQ-F003 (Non-Q 지역)	○	○	-
A-5E-PQ-N001 (인버터)	A-5E-PQ-F001 (Q 지역)	○	○	-
A-5E-PQ-N002 (인버터)	A-5E-PQ-F002 (Q 지역)	○	△	광대역성 전도잡음 전압이 측정됨.
A-5E-PQ-X003 (레귤레이팅 변압기)	A-5E-PQ-F003 (Q 지역)	○	×	협대역성 전도잡음 전압이 많이 측정됨.
B-5E-PQ-N001 (인버터)	B-5E-PQ-F001 (Q 지역)	○	○	-
B-5E-PQ-N002 (인버터)	B-5E-PQ-F002 (Q 지역)	○	△	광대역성 전도잡음 전압이 측정됨.
B-5E-PQ-X003 (레귤레이팅 변압기)	B-5E-PQ-F003 (Q 지역)	○	×	협대역성 전도잡음 전압이 많이 측정됨.
C-5E-PQ-N001 (인버터)	C-5E-PQ-F001 (Q 지역)	○	○	-
D-5E-PQ-N001 (인버터)	D-5E-PQ-F001 (Q 지역)	○	○	-

[○: 만족할 수준, △: 한계치와 비슷한 수준, ×: 한계치를 초과하는 수준]

제 5 장 EMC 환경조건 확보를 위한 고려사항

5.1 전형적인 잡음원과 특성

잡음원은 다음의 몇 가지 범주로 분류할 수 있다:

- a) 자연적인 잡음원 - 인간의 활동과 독립적으로 발생한다.
- b) 우연적인 잡음원 - 인간의 활동에 기인한다. 그러나 의도적이지는 않다.
- c) 의도적인 잡음원 - 장비 또는 시스템에 관계없이 특정한 목적으로 발생하는 잠재적인 간섭 에너지의 방출이다.

5.1.1 자연적인 잡음원

자연적으로 발생할 수 있는 잡음원중에서 모든 제어 시스템에 영향을 줄 수 있는 가장 심각한 잡음 소스는 낙뢰(落雷)이다. 대부분의 전자 제어 시스템은 직접 가해진 낙뢰에 의해 손상될 것이며, 심지어 간접적인 낙뢰의 영향에 의해서 뇌 유도 서지가 전력선을 통해 전송되고, 전력 배전 접지 시스템에 의해 분배되는 것과 같은 간섭이 유발된다. 전형적인 낙뢰는 최고점에서 아래쪽으로 향하는 하향 방전(보통 음(陰)으로 대전되는)과 첫 번째로 복귀하는 양(陽)의 상향 방전으로 구성되며, 일반적으로 둘 또는 그 이상의 하향 방전 각각에 대해 복귀되는 상향 방전이 따른다. 평균적으로, 뒤이어 일어나는 방전은 첫 번째 방전 진폭의 약 40%를 차지한다. 연속적인 전류는 방전의 연속 사이에서 보통 나타난다. 전형적인 낙뢰 플래시에 20개 이상의 연속적인 방전이 존재한다. 전형적인 낙뢰 플래시의 특성은 다음과 같다:

전위	30 000 000 V
최대 전류	34 000 A
최대 di/dt	40 000 A/us
방전간 시간 간격	30 ms
연속 전류	140 A
연속 전류 기간	150 ms

낙뢰 플래시의 연속 전류 구성 요소의 분석은 뒤에 이어지는 직류 전원으로 보다는 초기에 전송되는 파동의 형태로 표시한다.

5.1.2 우연적인 잡음원

전도잡음의 가장 큰 우연적인 잡음원은 발전소에 인접해 있는 변전소이며, 이 절에서 언급하는 우연적인 잡음원의 일부는 변전소 환경에서 발생한다.

5.1.2.1 고 전압 스위칭

고 전압 스위칭이 전력 시스템에서 과도현상 중에 가장 빈번하게 나타날 수 있다. 전력선 버스의 일부분에 전압이 인가되거나 인가되지 않는 개폐(開閉) 스위칭은 접점 사이에서 교대로 감쇄되며 진동하는 과도현상을 수반한다. 발생하는 과도현상은 가까운 곳에 위치한 케이블에 정전기적으로 또는 전자기적으로 결합된 매우 가파른 파동이다. 전형적인 특성은 다음과 같다:

전압	평가 전압의 200 %
진동 주파수: 선 형태로 단락된 스위치 버스 형태로 단락된 스위치 저 전압 스위치	50 - 300 kHz 300 - 600 kHz 300 - 2000 kHz
각 소멸하는 진동의 간격	10 μ s - 16 ms
한 열의 간격	1 ms - 4 s
소멸 시간	2 - 4 주기
소스 임피던스	5 - 200 Ω

일반적으로 두 개의 평행이고 5 cm 정도로 분리된 다중 도체 케이블에서 하나의 케이블마다 과도현상 진폭의 50 % 이상은 근접한 케이블에 전달된다.

5.1.2.2 커패시터 뱅크 스위칭

커패시터 뱅크 스위칭은 전력 시스템에서 잡음의 가장 일반적인 잡음원은 아니지만 가장 심각한 과도 현상을 발생한다. 3상 커패시터 뱅크의 스위칭에 의해 발생하는 과도 현상은 다음 두 가지의 요소로 구성된다:

- a) 회로의 전체 파라미터는 위상 커패시터의 동등한 커패시턴스와 전력선 버스, 전류가 제한된 리액터, 그리고 접지 경로의 인덕턴스와 레지스턴스에 의해 결정되는 kHz 주파수 대역에 있다.
- b) 회로의 분배 파라미터는 MHz 주파수 대역에 있고, 선로에 따라 스위칭 되는 파동의 전파와 반사의 결과이다.

만일 근접한 다른 커패시터 뱅크가 같은 전원선에 접속되어 있으면, 개폐되는 커패시터 뱅크에 의해 임피던스가 낮아지며, 결국 과도 현상의 진폭과 주파수는 증가한다. 근처의 뱅크에 저장된 에너지는 과도 현상의 심각성에 한층 더 공헌한다.

5.1.2.3 전송선 스위칭

전송선 스위칭은 커패시터 뱅크 스위칭과 유사하나, 선로의 인덕턴스와 커패시턴스를 완전히 분배하는 차이가 있다. 선로에 충전된 전류의 진폭은 커패시터 뱅크 스위칭보다 실질적으로 작은 경향을 가진다.

5.1.2.4 결합 커패시터 전압 변압기 (CCVT)

결합 커패시터 전압 변압기(CCVT)의 커패시터는 전력 시스템 도체의 인덕턴스와 함께 MHz 대역의 주파수 범위를 갖는 공진 회로를 구성한다. 고전압의 버스에서 발생하며 진동하는 높은 주파수의 과도 현상이라도 제어 회로의 커패시터를 통하여 결합되는 높은 주파수의 전류를 발생시킬 수 있다. CCVT의 기반에 위치하는 변압기는 2차 권선과 코어 그리고 패러데이 차폐 사이에서 수백 pF의 분배된 커패시턴스를 포함한다. 이 커패시턴스는 루프로 닫혀있

는 회로 요소이며, 접지 도체와 신호 케이블 사이의 과도 자력선속(磁力線束)에 교대로 연결된다. 최고 10 kV 이상의 과도 전위는 신호 케이블에서 측정된다.

5.1.2.5 가스 충전형 개폐장치 (GIS)

가스 충전형 개폐장치의 조작 동안에 고 전압 그레디언트는 표면 효과에 의해 GIS 인클로저 내부에 한정되는 전달 파동을 유발시키는 접점 사이에서 발생한다. 그것은 GIS를 따라 전달되거나, 분리되고, 접합점에서 반사된다. 그러나 개회로(開回路) 차단기에 의해 한정되거나, 또는 스위치를 끊는다. 단지 인클로저의 불연속 또는 중단이 직면하게 되는 때는 잡음 전압에서 외부 인클로저 표면과 결과에 전위를 전달한다. 가장 보편적인 인클로저 불연속은 SF₆ 기체와 공기사이의 중단기, 절연된 테두리를 갖는 케이블 접점, 전류 개폐장치와 변압기 등이다. 그러나 SF₆ 기체와 공기사이의 중단기가 인클로저 불연속으로 가장 크게 작용하므로, 대부분의 GIS에서 잡음 전압이 가장 크게 발생한다. 그러나 유도성분 때문에 GIS 접지 연결로 고주파의 잡음 전압을 효과적으로 줄이기가 어렵다.

부식에서 측정되는 GIS를 위한 전형적인 값:	
전압	평가 전압의 40 - 70 %
진동 주파수	5 - 50 MHz
섬락(閃絡)에서의 기간	40 ns
단락 작용에서의 기간	펄스의 열에서 170 ms

5.1.2.6 접지 전압의 차이

넓은 지역으로 확장하는 접지 시스템의 격자는 시스템 내의 두 지점 사이에서 전압의 차이를 발생 할 충분한 임피던스가 있다. 접지 시스템을 통한 전력 시스템 과도현상의 도전성은 큰 접지 전위 차의 가장 보편적인 원인이다.

5.1.2.7 전류 변압기 (CTs)

교류에 의한 전류 변압기의 포화는 2차 권선에서 매우 높은 전압을 유발한다. 이 현상은 한 방향의 포화로부터 다른 방향의 포화로 각각 천이를 위해 되풀이된다. 2차 권선에서 나타나는 전압은 매 반주기마다 수 밀리초동안 지속되고, 양 극성이 교대로 발생하는 높은 진폭의 스파이크로 구성된다.

5.1.2.8 회전 기구

회전 기구는 높은 고주파 간섭의 많은 가능한 내부 소스를 포함한다. 여기에는 다음이 포함된다:

- a) 고정자 권선 절연체 내의 부분 방전(예를 들면, 코로나 방전).
- b) 코일 표면과 고정자 쇠 사이의 슬롯 방전.
- c) 브러시를 가진 여자기(勵磁機)로부터의 스파이크.
- d) 구리의 피로에 의해 부서진 도체 가닥과 결합한 호. 이 호는 연속적이지는 않지만, 정상상태 및 과도상태 자기력의 결과인 도체 표면의 움직임에 기인한다.
- e) 교류 기계의 브러쉬.

5.1.2.9 사이리스터

교류 전압의 스위칭으로 사이리스터(가끔 실리콘 제어 정류기라 불리는)가 사용될 때, 일반적으로 전압 상승 시간을 제어할 목적으로 전기 회로가 추가된다. 만일 전압 상승 시간이 제어되지 않으면, 사이리스터 자체의 동작에 의해 간섭을 받게된다. 사이리스터의 한 쌍이 3상 모터 제어를 위해 사용될 때, 라인 노칭(notching)이라 불리는 잡음이 발생한다(그림 10 참조). 하나의 전력선에서 다른쪽으로 전환이 발생할 때, 일반적으로 하나의 사이리스터가 동작을 멈추면 다른 한편은 동작한다. 하지만 유도성 부하 때문에, 양쪽 모두 전도되는 순간이 발생한다. 두 개의 라인을 가로지르는 결과로서 생기는 단락은

송전선에서 짧은 과도현상을 생성한다.

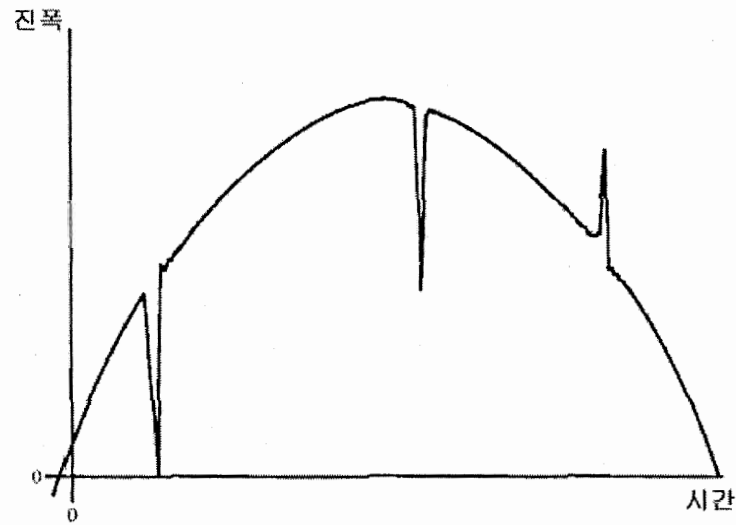


그림 10. 라인 노칭의 파형

5.1.2.10 컴퓨터 시스템

컴퓨터 내에서 마이크로 프로세서와 메모리 보드에 의해 생성되는 잡음은 주로 컴퓨터의 클럭 주파수(300 kHz - 10 MHz)에 의해 결정된다. 그러나 가장 높은 잡음 주파수는 클럭 펄스의 상승 및 하강 시간의 함수이다. 3 ns의 상승 시간을 가지는 디지털 신호는 100 MHz의 사인파와 대략 일치한다. 이 잡음이 컴퓨터 캐비닛 내에서 잘 차폐된다면, 이 시스템과 연결된 컴퓨터 서브시스템 및 주변 장치가 전체 컴퓨터 시스템에서 생성되는 잡음을 결정한다. 주요하게 잡음이 발생하는 주변 장치는 다음 특성을 가진다:

a) CRT 디스플레이.

잡음 소스는 일반적으로 10 - 20 MHz에서 20 - 50 V가 흐르는 비디오 전기 회로와, 10 - 20 MHz에서 3 A의 최대 진폭을 가지는 수평 요크(yoke) 구동 전기 회로이다.

b) 디스크 드라이브.

디스크 드라이브로 생성되는 잡음은 데이터 처리율(플로피 디스크의 구동에서는 400 kHz - 2 MHz와 하드디스크 장치를 위해서는 1 - 10 MHz)에 의존한다.

c) 스위칭 전력 공급원.

스위칭 전력 공급원으로 생성되는 잡음은 스위칭 주파수(전형적으로 10 - 100 kHz)와 스위칭 진폭에 의해 결정된다.

d) 프린터.

프린터에 의한 주요한 잡음 소스는 프린트 헤드 솔레노이드와 카트리지 위치 모터이다.

e) 케이블.

컴퓨터 시스템에서 가장 먼 거리까지 영향을 미치는 잡음은 연결 케이블이다. 생성되는 잡음은 신호의 크기, 각 케이블 내부 도선의 수 그리고 제공되는 차폐의 형태에 의존한다. 이 주제는 6절에서 다룬다.

5.1.2.11 직류 제어 회로

직류 제어 회로에서 과도 과전압의 내부 소스는 회로 내부 인덕턴스 성분 에 전압이 가해지는 것과 가해지지 않는 것이다. 이 유기된 전압은 $e = L di/dt$ 로서 정의되며, 공급 회로 임피던스에 직접 비례한다. 인덕턴스는 회로 또는 불연속의 유도회로 요소의 분배 인덕턴스로 구성된다. 3 kV를 초과하는 서지는 솔레노이드 또는 차단기 트립 코일과 같은 높은 유도성 장치의 전류를 차단 하므로써 발생된다. 대체로, 직류 제어 회로에서 유기된 60 Hz의 교류 전압은 내부 과도현상과 비교할 때 작은 진폭을 가진다.

5.1.2.12 기계적인 진동

기계적인 진동과 쇼크는 스위치의 개폐작용에 의해 나타나는 전기적인 접속과 관계없이 잡음과 아크 방전을 발생한다. 9 V 이하의 전압을 가지는 저전압 회로와 험겁게 접속되어 있는 터미널 블록 또한 아크 방전을 발생할 수

있다. 접지 무결성을 위해 필요한 전선관 연결이 자유롭게 진동할 때, 높은 주파수의 잡음을 방사하는 아크 방전을 생성한다.

5.1.2.13 화학적인 오염

대부분의 플랜트 대기는 전기 장비를 느슨하게 할 수 있는 기름, 냉각제, 탈지(脫脂) 용액 등의 부유(浮遊) 화학물을 포함한다. 비록 기체로 고정된 전기 접속이 오염의 이 방법에 대해 면역성이 있다고 해도, 접속에 따른 진동과 온도 변화는 발생한다. 진동에 의해 기체로 고정된 접속은 느슨해지고, 화학 물질이 침투하게 된다. 또한 많은 전기 접속이 다른 팽창 계수를 가지는 비슷하지 않은 물질로 이루어지면, 온도 변화는 느슨한 접속을 초래하고, 오염 물질이 침투하게 된다. 대기의 습기와 화학 용액은 전류가 발생하는 작용에 의해 불필요한 잡음이 생성된다. 접속 사이의 습기는 습전지를 생성하는 비슷하지 않은 금속과 잡음원이 될 수 있는 불필요한 전압의 결과를 만든다. 이러한 접촉에 의한 전류는 부식을 발생하고, 부정확한 접속과 잡음을 초래한다. 인간의 손은 또한 시스템 구성 요소의 결합 동안 화학적인 오염을 발생할 수 있다. 접속은 기계적인 결합과 봉인하기 전에 모든 오염성분을 제거하고 이루어져야 한다.

5.1.2.14 인간의 상호작용

낮은 습도 상태에서 사용자가 금속성의 제어 장비를 만졌을 때 발생하는 정전기(ESD)는 잠재적인 잡음 소스이다. 예를 들면, 만일 금속성 스위치 몸체가 PCB(printed circuit board; 인쇄 회로 기판) 위에 설치되어 있으나 전도성의 캐비닛으로부터 분리되어 있다면, 그림 11에서 보는 바와 같이, PCB와 접지 사이에 도선 커패시턴스를 통해 정전기 전류는 잡음을 발생시킨다. 전형적인 방전은 5000 V로 200 ns 동안 5 A의 전류 펄스로 이루어진다. 이 펄스에 포함되는 에너지가 단지 약 1.25 mJ 이라 하더라도, 이것은 컴퓨터의 논리 레벨을 방해하기 충분하다. 아크 방전은 제어회로를 방해하기 위한 정전기장을 발생

하지는 않는다. 하지만 많은 정전기 전하를 일으킬 수 있는 물체는 가까운 곳에 위치한 제어 회로 또는 케이블에 수 볼트의 전압 변화를 만들 수 있다.

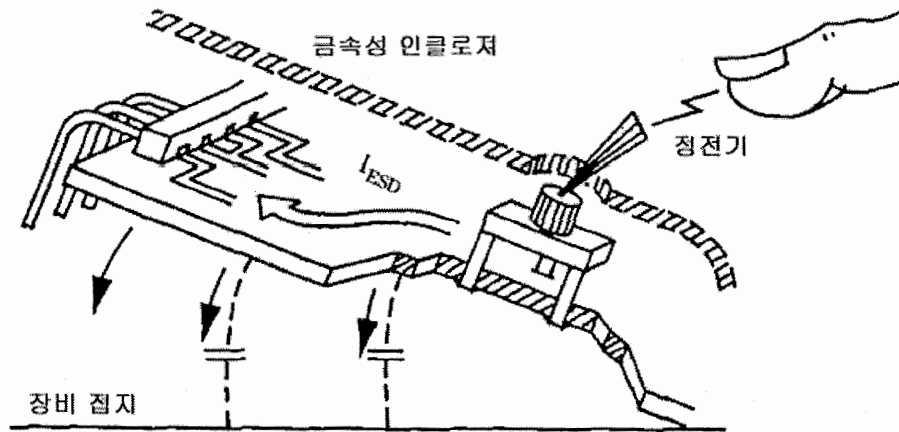


그림 11. 정전기 방전 잡음의 발생

5.1.2.15 케이블 공진

무선 주파수에서 공진을 피하는 것은 3-10 MHz 범위 이상에서 증가하는 디지털 회로의 클럭 주파수에 의해 중요성이 부각되고 있다. 공진은 도선에서 전기 신호의 전달 속도와 신호열의 반복율에 관계가 있다. 전기 방해는 진공에서 299 300 m/s로 전달되고, 도선에서는 약간 더 천천히 진행된다. 예를 들면, 전압 파형은 컴퓨터에서 10 MHz 클럭 신호의 한 사이클 동안 자유공간에서 30 m로 진행된다. 하지만 케이블에서는 단지 17 m로 진행된다. 만일 전압 파형이 케이블 종단점으로부터 반사되고 새로운 파형과 같은 위상에 있으면, 공진은 발생할 것이며 선형 진동은 대단히 확대될 것이다. 만약 회로의 한쪽 끝이 접지되면, 10 MHz에서의 첫번째 공진은 도선의 길이가 6.7 m이거나, 또는 파장이 0.25 일 때 발생한다. 이 주파수에서 6.7 m 길이의 케이블은 가상적으로 개방 회로(open circuit) 또는 최소한 매우 높은 임피던스인 것처럼 보인다. 이것은 그 끝 사이에 나타나고 있는 전압을 동일하게 할 수 없다. 만약 파장의 1/20 이상인 케이블이라면 그 끝 사이의 전압을 동일하게 할 수 있다.

이러한 경우 10 MHz에서 케이블 길이는 1.4 m이다. 높은 주파수에서 신호선은 대부분의 반사와 공진을 제거하기 위해 그들의 특징이 있는 서지 임피던스에서 자주 종료된다. 그러나 케이블 내의 단일 접지 도선은 넓은 주파수 범위의 고주파 성분에서 한쪽 끝과 다른 한쪽 끝 사이에서 가상적인 단락 회로(short circuit)를 더 이상 제공할 수 없다.

5.1.2.16 다른 우연적인 잡음원

다른 우연적인 잡음원은 또한 변압기와 모터 유입 전류, 부하 탭의 변화, 과전압에 의한 불꽃 간격의 섬락(閃絡), 철의 공진, 임펄스 시험, 저전압 차단기와 접촉기 그리고 고전압 전송선으로 부터의 코로나 방전 등에 의해 발생할 수 있다. 전송선 코로나로부터의 잡음은 도선을 따라 전달되는 것에 의해 발생지점으로부터 상당한 거리로 진행 할 수 있다. 이것에 의해 생성되는 잡음은 거리가 증가할수록 감쇄된다.

5.1.3 의도적인 잡음원

보안요원의 송수신기와 일반인이 사용하는 대역 내의 무선 통신기, 무선 주파수로 고정된 아크 용접기, 유도 가열기, 그리고 무선 주파수 건조기와 같은 많은 장치는 의도적으로 무선 주파수(RF) 에너지를 그들의 기능으로 사용한다. 이 장치는 다른 제어장비에 영향을 미칠 수 있으며, 일반적으로 고려되고 있지 않는 상당한 양의 무선 주파수 에너지를 발생한다.

5.2 잡음 결합 방법

잡음은 다음 네 가지 다른 방법 중 어느 한 가지에 의해 제어 회로와 결합되거나 또는 제어 회로로부터 전송 될 수 있다:

- a) 전도성 (직접적인 접촉)
- b) 용량성 (전기적인)

c) 유도성 (자기적인)

d) 방사성 (전자기적인)

용량성이고 유도성인 결합은 주로 근 거리장 결합에 의해 참조된다. 제어 회로 또는 케이블이 전자기 소스의 근 거리장에 있다는 것은 가장 높은 소스 주파수 파장($\lambda/2\pi$)의 0.167 보다 작은 거리에 소스가 있을 때이다. 방사되는 결합은 소스의 방사가 실제 전달 파형으로 보일 때 소스의 원 거리장에 위치한 회로에 의해 일어난다.

5.2.1 전자기장의 특성

전자기장은 서로에 대해 직각으로 진동하고 두 개의 필드로 구성된다: 전기 (E-필드)와 자기(H-필드). 전자기장 임피던스(Z_w)는 A/m으로 표현되는 H-필드 세기에 V/m으로 표현되는 E-필드 세기의 비율로서 정의된다. E-필드는 직선 도선 또는 다이폴과 같은 높은 임피던스를 가진 전압 구동 회로와 가장 쉽게 상호 작용하며 생성된다. 또한 H-필드는 루프 도선과 같은 낮은 임피던스를 가진 전류 구동 회로와 가장 쉽게 상호 작용하며 생성된다. 전기 또는 자기 모두는 전자기장 파형의 진행 방향과 수직이다. 또한 공기중에서 진행하는 평면파의 임피던스 값 Z 는 377 Ω 이다.

5.2.2 공통 임피던스 결합 (전도성)

그림 12와 같이, 두 개 또는 그 이상의 회로가 도선 또는 접점을 공유하면, 공통 임피던스 결합은 가능한 잡음원이다. 공통 임피던스의 주안점으로는 접지 목적(접지 루프 문제)을 위해 의도적일지도 모르거나, 회로 사이의 바람직하지 않은 누출 컨덕턴스 일지도 모른다. 한 회로의 전류에 의해 그 다음 잡음 전압이 또 다른 회로에 나타나게 될 수 있다. 간섭의 레벨은 공통 임피던스의 진폭에 의존한다.

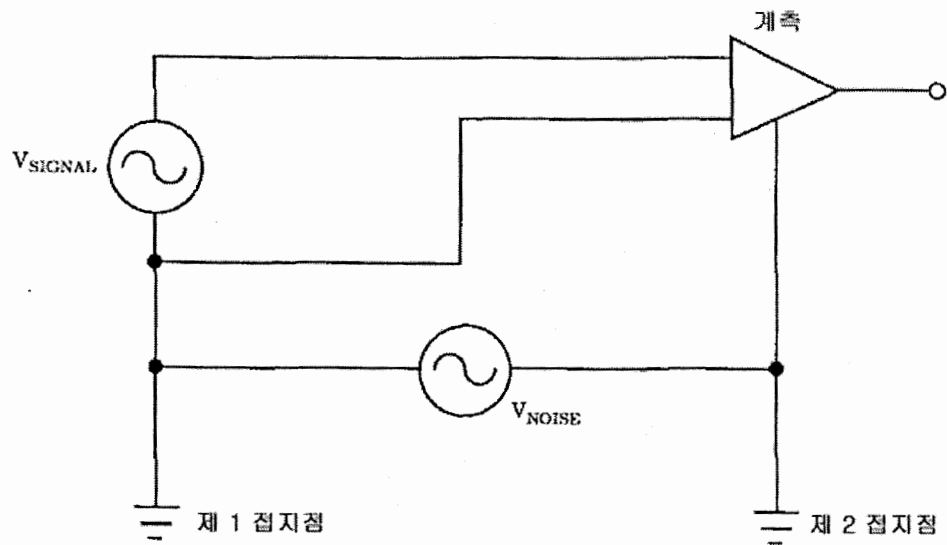


그림 12. 공통 임피던스 결합(접지 루프)의 예

5.2.3 용량성 결합 (전기적인)

그림 13과 같이, 전기 시스템의 모든 부분은 그것과 그 밖의 모든 부분 사이에 커패시턴스를 가지고 있다. 위치에 관계없이 어떤 전압의 변화라도 이 커패시턴스를 통해 전류가 흐르고, 다음 공식에 따라 잡음이 발생하는 경향이 있다:

$$I = C \, de/dt$$

여기서:

I 는 회로 커패시턴스를 통한 전류의 흐름이다.

C 는 두 회로 사이의 커패시턴스이다.

de/dt 는 첫번째 회로의 전압 변화율이다.

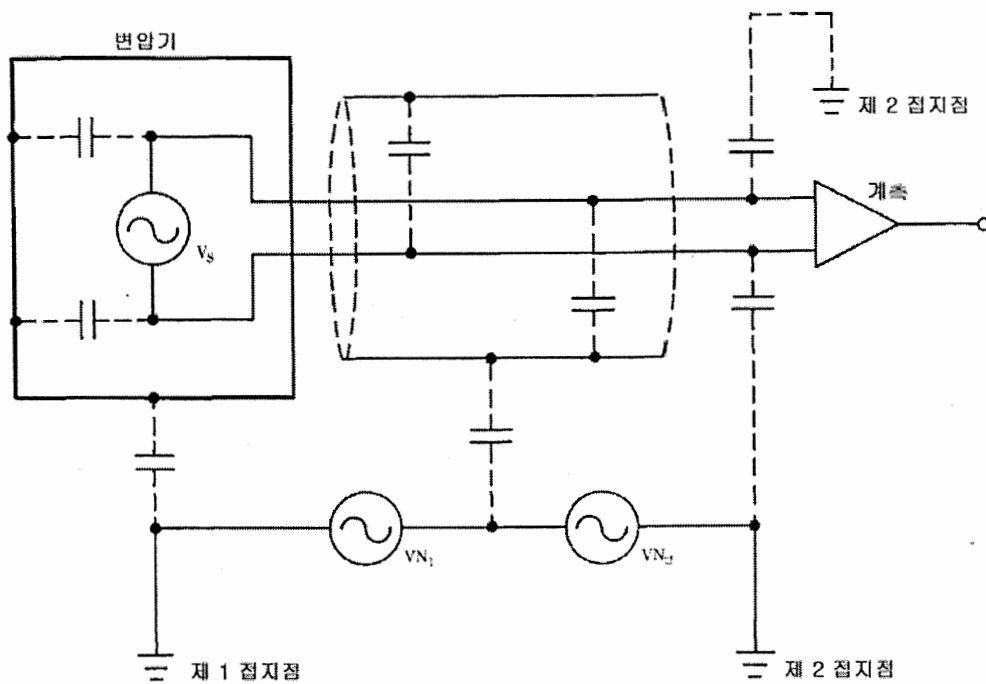


그림 13. 용량성 결합의 예

용량성 결합을 위해, 도선 사이의 거리가 증가하는 것에 따라 결합은 감소한다. 높은 임피던스 회로는 용량적으로 결합된 잡음에 더 감응적이기 쉽다.

5.2.4 유도성 결합 (자기적인)

어떤 시스템의 여러 회로는 폐루프로 존재한다. 이 루프는 루프에 의해 둘러싸인 지역에 직접 비례하는 상호 인덕턴스를 가진다(그림 14 참조). 루프 사이의 상호 작용은 본질적으로 간접 소스와 민감한 회로 사이의 변압기 작용이다. 심지어 전류가 주기적으로 또는 간헐적으로 중단될 때, 직류 회로가 변화하는 자장을 생성한다. 전류의 변화가 이 회로 중의 하나에서 일어날 때, 루프의 지역을 통한 전자기장의 변화는 발생된다. 이 자력선속(磁力線束)이 두 번째 회로를 빠져나갈 때 전압이 유기된다. 유기된 전압의 진폭은 방해하는 회로인 두 번째 회로와의 상호 인덕턴스에 직접 비례한다. 유기된 전압은 다

음 공식에 의해 결정된다:

$$E = M di/dt$$

여기서:

E 는 두 번째 회로에서 유기된 전압이다.

M 은 상호 인덕턴스(속(束)의 양)이다.

di/dt 는 첫 번째 회로의 전류 변화율이다.

자기 결합을 위한 상호 인덕턴스는 도선의 결합 길이에 직접 비례하고, 도선 사이의 거리에 반비례하는 함수이다. 낮은 임피던스 회로는 유도적으로 결합된 잡음에 더 감응적이다.

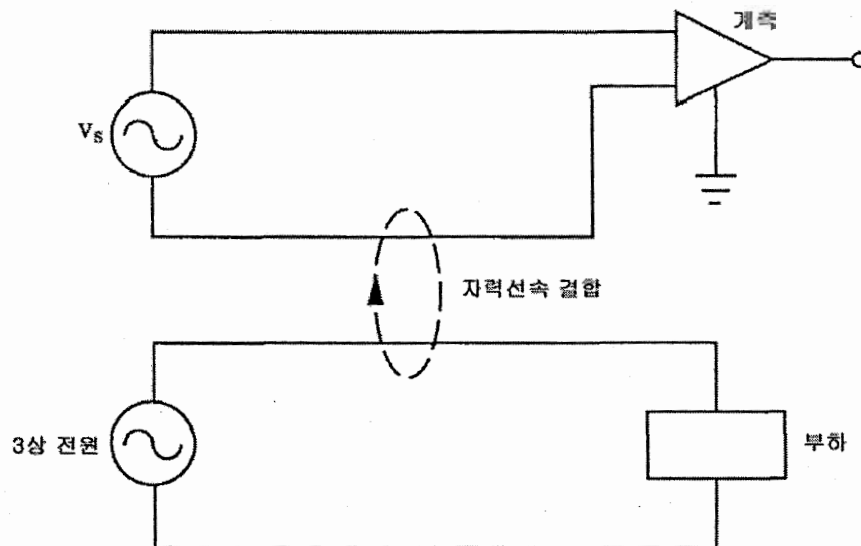


그림 14. 유도성 결합의 예

용량성이고 유도성인 결합은 소스 필드의 변화율 또는 시간 미분계수의 함수이다. 그러므로 간섭 결합 요인은 과도현상의 더 높은 주파수에 따라 증가한다.

5.2.5 방사성 결합 (전자기적인)

외부 소스에 의해 생성된 높은 주파수의 신호는 방사성 결합으로 제어 회로에 상당히 많은 양의 에너지를 전달한다. 비록 간섭 주파수가 제어 회로의 응답 주파수보다 높아도, 만일 간섭신호가 교류 전원 주파수 또는 그들의 고조파(高調波)에 의해 변조되고, 실리면서, 마지막으로 제어 회로에 의해 복조된다면 그들은 문제를 발생할 수 있다. 신호가 실리며, 복조되는 과정에서 교류 전원 주파수에 의사(擬似) 신호를 생성한다.

5.2.6 간섭 모드

이 절은 잡음이 의도된 신호를 방해하는 여러 가지 방법을 기술한다.

5.2.6.1 공통 모드 간섭 (종축(縱軸)의 모드)

공통 모드 간섭은 정규 신호 채널의 일부가 아닌 적어도 하나의 터미널을 가지는 소스로부터 신호 채널에 전달하게 된다. 만일 회로 네트워크로부터 분리되지 않으면 장비 새시는 항상 한 개의 터미널로 간주될 것이다. 공통 모드 전류는 접지 점 사이의 전위차 또는 도선 한 쌍의 전기적인 픽업에 의해 가장 일반적으로 발생한다. 공통 모드 간섭은 수신기에 대해 간접적으로 작용한다. 그러므로 신호의 오류는 공통 모드 간섭으로부터 차동 모드 간섭까지의 전환에 의해 발생된다. 또한 불안정한 회로에 적용되는 완전한 공통 모드 서지는 차동 모드 서지를 발생한다. 쌍으로 된 도선에서 각각의 도선에서 유기되는 공통 모드 잡음 전류는 대략 같은 진폭과 위상을 가진다. 선형 진폭 평형의 정도는 주파수와 함께 일반적으로 증가한다. 공통 모드 과도 현상이 차동 모드 과도 현상보다 더욱 절연을 파괴하기 쉽다.

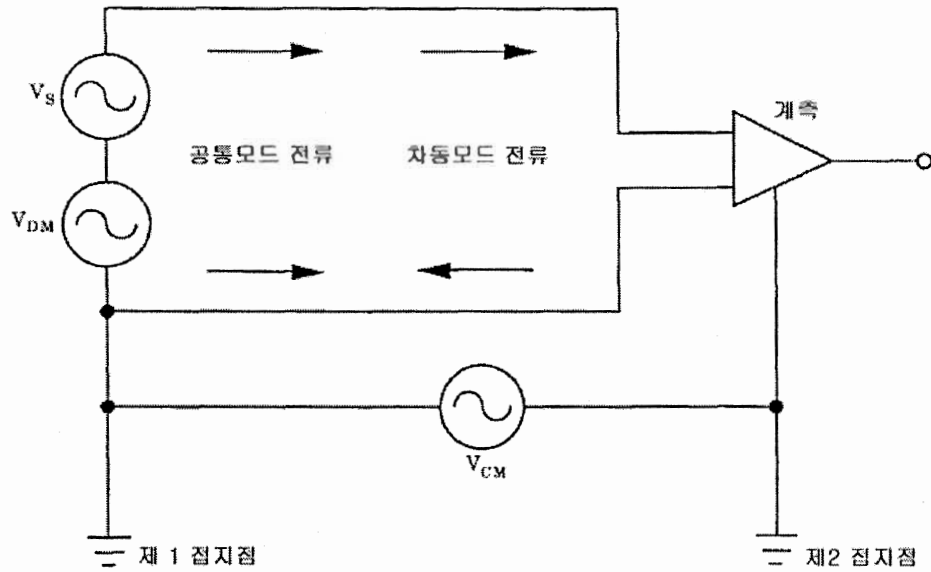


그림 15. 공통 및 차동 모드 간섭의 예

5.2.6.2 차동 모드 간섭 (노멀 모드, 횡축(橫軸)의 모드)

차동 모드 간섭은 정규 신호와 같은 경로를 통하여 신호 채널에 전달하게 된다. 신호 채널 자체를 제외하고 어떤 전류 경로도 전류의 간섭을 위해 존재하지 않는다(그림 15 참조). 간섭은 차동 모드 잡음에 공통 모드 전류의 전환에 의해 생성될 수 있다. 간섭의 전체 진폭은 시스템에 직접 결합되며, 차동 모드 간섭은 바람직한 신호와 구별되는 주파수 특성을 가지게 된다. 쌍으로 된 도선 시스템에서 각각 도선의 노멀 신호의 전류는 일반적으로 같은 진폭을 갖지만 위상은 반대이다. 따라서 차동 모드 간섭 전류 역시 진폭은 같고 위상은 정반대이다. 간섭의 차동 모드 형태는 주로 같은 전원에서 다른 사용자에게 의해 생산되는 과도 현상으로부터 시작된다. 차동 모드 과도 현상은 공통 모드 과도 현상에 비해 장비의 오작동을 더욱 쉽게 발생시킨다.

5.2.6.3 혼선(crosstalk)

한 쌍의 다중 케이블에서 교류 또는 진동하는 직류 신호를 송신할 때, 유도적이고 용량적인 결합의 조합 때문에 인근 한 쌍의 도선에서 이동되는 신호에 다른 신호가 추가되는 경향이 존재한다. 이것을 혼선이라 한다. 이 결합 방법의 양쪽 모두는 신호 주파수에 직접 비례한다. 신호 경로의 임피던스가 바뀌는 것에 따라, 용량적인 결합의 변화는 직접 비례하고, 반면에 유도적인 결합의 변화는 반비례한다. 그러므로 혼선의 총량에 영향을 미치는 회로 임피던스의 변화는 용량적이거나 유도적인 결합에 크게 작용한다. 만일 이 두 가지 양이 같으면 임피던스가 변할 때 혼선의 진폭에 실제로 어떤 변화도 주지 않는다.

5.3 전도잡음의 최소화를 위한 기법

5.3.1 소스에서의 억제

시스템에서 과도 현상을 줄이는 가장 효과적인 기술 중의 하나는 소스에서 그들의 진폭을 줄이는 것이다.

5.3.1.1 솔레노이드-릴레이 코일에서 발생하는 잡음의 억제

자기 코일과 평행하게 다이오드를 추가하는 것이 공급 전압을 초과하는 코일 전압을 방지하는 직류 회로에서 잡음을 억제하는 가장 단순한 방법이다. 그러나 다이오드는 다음과 같은 단점을 가지고 있다:

- a) 단락 지연
- b) 다이오드 파괴는 장치를 단락회로(short circuit)화 할 수 있다.
- c) 공급이 중단되었을 때 순방향의 과전류는 다이오드를 파괴할 수 있다.
- d) 역방향의 과전압(저지하지 못하는 부하로부터 스파이크에 의해 초래되는)

은 다이오드 파괴할 수 있다.

e) 추가 스위칭 전류에 의해서 "on" 되거나, 추가 누설 전류에 의해서 "off" 되는 가능성.

다이오드는 높은 역방향 과전압과 높은 순방향 과전류를 가지도록 적절히 선택되어야 한다. 만일 다이오드가 파괴되면 현저하게 단락 지연을 줄이고, 단락회로를 제거하기 위해 코일 저항값과 거의 동일한 직렬 저항의 추가가 요구된다. 이 기술은 그림 16에 설명된다.

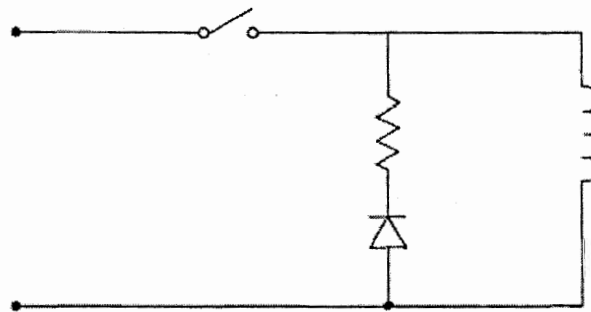


그림 16. 다이오드와 직렬 저항에 의한 억제

금속 산화물 배리스터를 이용한 이 기술의 변경은 사용될 수 있다. 그러나 여전히 높은 주파수의 약간의 펄스가 남아 있을 가능성이 있다. 만일 이것이 문제라면 RC 필터는 코일을 가로질러 설치될 수 있다. 만일 코일에서 리드선이 길면, 케이블 인덕턴스가 스파이크를 발생하는 초기 접점을 지나는 곳에 두 번째 필터를 위치시키는 것이 요구된다. 연속적인 다이오드는 잡음을 억제하고, 또한 접촉의 손상을 막기 위해 릴레이를 설치한다.

5.3.1.2 사이리스터 정류기, 모터 그리고 발전기의 억제

이러한 장치에 의해 발생하는 높은 주파수의 잡음을 감소시키기 위해 작은 커패시터가 사용된다. 커패시터는 무선 주파수 간섭의 방출을 막기 위해 가능한 한 간섭 소스 가까이에 위치하게 된다.

5.3.1.3 입력 신호 잡음의 억제

고유의 과도현상 내성을 제공하기 위해 전기 회로 보드에 적절한 필터 회로를 배열하는 것은 매우 일반적인 방법이다. (이것의 상세한 설명은 이 지침서의 범위를 벗어난다.) 만약 배열된 필터로도 불충분하다면 외부에 필터를 추가하는 것이 필요하다. 솔레노이드 회로를 위해서는 R-C 필터, 제너 다이오드, 그리고 배리스터가 사용될 수 있다. 그러나 리드선의 길이를 가능한 짧게 유지하는 것이 필요하다.

5.3.2 제어 케이블의 위치와 절연

5.3.2.1 케이블 라우팅

제어 케이블의 물리적인 배열은 서지 전압 레벨에 영향을 미치는 중요한 요인이다. 제어 회로에서 잡음 픽업을 최소화 하는 것의 기술은 다음과 같다:

- a) 제어 케이블에 방사상(放射狀)의 라우팅을 제공한다. 회로는 다른 케이블에서 돌아가는 도선과 한 개의 장비부터 다른 것까지 루프로 되어서는 안 된다. 모든 공급과 복귀 도선은 배열에 의해 생성될 수 있는 큰 전자기 속(束) 루프 때문에 일어나는 전자기 유도를 피하기 위해 공통 케이블에 있어야 한다. 이것은 전류 변압기(CT)의 양쪽 두 리드선이 같은 케이블에 있어야 하고, 양쪽 양과 음 극성의 직류 리드선이 같은 케이블에 있어야 하며, 그리고 전압 변압기(VT)의 두 번째 리드선의 삼상과 중립(neutral)이 같은 케이블에 있어야 하는 것을 의미한다. 만일 공급과 복귀 신호선이 분리되는 도선이라면, 서로의 루프를 최소화 하고, 유도적인 결합으로부터 간섭의 감응성을 줄이기 위해 같은 배전판으로 가능한 한 가깝게 놓이게 한다. 만일 가능하다면 두 도선의 완전한 꼬임(1 turn/m)이 유기된 잡음의 진폭을 한층 더 줄일 수 있다.
- b) 케이블의 결합길이를 최소화 하기 위해 존재할 수 있는 주요한 과도 전류가 흐르는 전원선에 제어 케이블이 직각이 되도록 한다. 이것이 가능하지 않

은 곳에서는 평행의 버스로부터 떨어트리는 거리를 최대로 한다.

- c) 제어 케이블의 길이를 최소로 하기 위해 중심 위치에 제어실을 설치한다.
- d) 전력과 제어 배선 사이에는 최대의 거리를 유지한다. 양쪽 모두는 전도성의 캐비닛 또는 기준 접지 평면 근처에 위치된다.
- e) 케이블을 라우팅할 때 불필요한 루프는 피한다.

5.3.2.2 물리적인 분리

다른 전압(그리고 때때로 다른 에너지 레벨)에서 동작하는 회로는 물리적으로 분리되어야 한다. 예를 들면, 낮은 에너지의 아날로그 신호는 더 높은 에너지의 제어 신호와 함께 같은 케이블에서 전송되어서는 안 된다. 유사하게 직류 배터리와 교류 제어 전력 회로는 같은 케이블로 놓여서는 안 되며, 어느 쪽 회로도 발전소 교류 서비스와 함께 같은 케이블에 있어서는 안 된다. 마찬가지로 이 격리된 케이블은 또한 기능에 따라 모아지게 되고, 적당한 거리에 의해 분리된다. 비슷하지 않은 회로가 어떤 거리의 케이블 트레이에서 서로와 평행하게 전송될 때, 접지된 금속성 장벽에 의해 두 회로를 분리할 필요가 있다.

그림 17은 도선 분리에 대한 커패시턴스를 설명한다. 차폐효과에 따른 계산된 커패시턴스를 위한 커브의 모서리는 150 - 250 mm의 거리를 유지라는 것을 의미한다. 주로 합리적인 설치에 따르면, 대부분의 설비는 케이블 트레이 사이에서 300 - 450 mm의 거리를 필요로 한다. 이러한 트레이 사이의 분리를 수행하면, 발전소에서 긴 케이블의 전송에 의한 잡음 간섭을 줄이는데 장점이 있다.

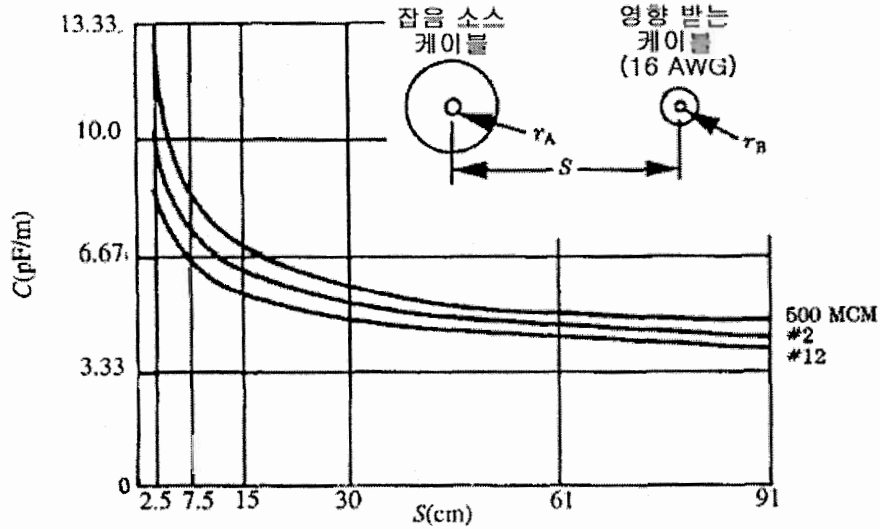


그림 17. 도선 분리에 대한 커패시턴스

5.3.3 차폐

차폐는 시스템, 회로 또는 구성 요소를 외부 자기, 전기 또는 전자기 필드 소스의 바람직하지 않은 효과로부터 보호하기 위해 사용된다. 차폐의 방법은 외부 소스가 낮은 또는 높은 주파수 필드에 따라 다르게 적용된다. 케이블을 위한 차폐는 금속성 도관, 구리 편조(編組), 구리 테이프 또는 알루미늄으로 처리된 마일라와 같은 형태가 된다. 구성 요소를 위한 차폐는 어떤 전도성의 인클로저라도 적용될 수 있다. 직류와 저주파의 전기장을 위한 정전기 차폐는 일정한 전압을 유지하는 전도성의 물질에 민감한 구성 요소를 동봉하는 것에 의해 쉽게 완성될 수 있다. 또한 여기서 차폐물질은 접지되어야 한다.

직류와 저주파의 자기장에 대하여 차폐되면, 외부 간섭의 자력선속은 차폐 물질에 의해 차폐된 공간으로부터 전환된다. 일반적으로 차폐 물질은 낮은 자기(磁氣) 저항을 가진다. 자기 저항은 차폐의 교차되는 지역과 투자율(透磁律)에 반비례 한다. 그러므로 자기 차폐는 높은 투자율과 넓은 교차 지역을 가져야 한다. 자기 물질의 투자율은 일정하지 않고 차폐 물질의 자속 밀도에 따라 변한다. 따라서 차폐 효과를 추정하기 위해 자속 밀도를 알아야 한다. 만일

자속 밀도가 자기 차폐가 포화될 정도로 높으면, 차폐는 매우 비효과적이다. 효과적인 자기장 차폐를 하는 것은 정전기 차폐를 하는 것보다 매우 어렵다.

고주파의 전자기장이 전도성 차폐에 부딪칠 때, 전자기 파동의 일부는 차폐 물질에 의해 반사된다. 파동의 반사되지 않는 부분은 차폐 물질을 통하여 전송된다. 전송되는 파동의 부분은 차폐 물질을 따라 전송되면서 감쇄 된다. 그러므로 최종적으로 차폐되어 있는 회로, 구성 요소 또는 시스템에 입사되는 필드는 외부의 전체 전자기장보다 작다. 차폐에 의해 전자기장이 얼마나 감쇄되는가를 차폐 효과(SE)라 한다. 차폐 효과를 나타내기 위한 표준 단위는 데시벨이다. 여기서 데시벨은 차폐의 전후에 비교되는 전자기장 세기의 비율에 밑이 10인 대수를 적용하고, 여기에 20을 곱해서 나타내게 된다. 이것은 다음과 같이 정의된다:

$$\text{E-Field, SE} = 20 \log E_1/E_2$$

$$\text{H-Field, SE} = 20 \log H_1/H_2$$

여기서 E_1 과 H_1 은 차폐되기 전의 값이고, E_2 와 H_2 는 차폐된 후의 값이다. 대부분의 차폐 적용에서 20 dB 이하에서 차폐 효과는 단지 최소의 차폐라고 간주되며, 20 - 80 dB는 일반적으로 차폐를 적용할만한 수준이고, 80 - 120 dB는 평균 이상의 차폐 효과이다. 또한 120 dB 이상의 차폐 효과는 현재까지 만족하기가 매우 어렵다.

SE (dB)	감쇄율	% 감쇄
20	10:1	90.0
40	10 ² :1	99.0
60	10 ³ :1	99.9
80	10 ⁴ :1	99.99
100	10 ⁵ :1	99.999
120	10 ⁶ :1	99.9999

차폐에 의한 필드 세기의 손실은 차폐 물질(투자율, 전도율과 두께), 간섭 주파수 및 EMI 소스로부터 차폐까지의 거리에 대한 함수이다. 50 - 60 Hz에서 약

간의 두께에도 자기성을 띠지 않는 물질은 전자기장에 대하여 많은 차폐를 제공하지 않는다.

5.3.3.1 전자 장비 차폐

회로의 기준 접지에 금속성 차폐를 연결하지 않은 도선은 정전기에 의해 상당한 영향을 받을 수 있다. 유기된 전압의 진폭은 잡음의 소스 도선과 신호의 회로 도선 사이 커패시턴스의 상대적인 값에 의존한다. 잡음에 의해 영향을 받는 회로가 높은 임피던스를 가질 때 E-필드 결합은 주파수가 증가함에 따라 커지고, 자기 결합이 우세해진다. 앞의 그림 17은 E-필드 결합의 모델을 설명하고, 분리 거리에 대해 보통 크기의 전력선과 16 AWG의 계측선 사이에서 계산된 커패시턴스/cm를 제공한다.

대부분의 전자 장치는 일반적으로 종래의 철제 캐비닛에 보관된다. 이 캐비닛이 어느 정도의 차폐를 제공한다면, 차폐 효과는 보통의 캐비닛 불연속(예컨대 이음매, 케이블의 관통지점과 구멍)에 대한 요구에 의해 절충된다. 일반적인 불연속은 캐비닛의 차폐 성능을 저하시키고, 캐비닛의 안쪽과 바깥쪽 사이의 전자기적 결합의 가능성을 제공한다. 결합의 효율은 간섭의 파장에 대해 구멍 또는 이음새의 크기에 달려있다. 인클로저에 의해 생긴 구멍은 어떤 주파수에서 매우 효율적인 결합 가능성을 제공할 수 있다. 또한 구멍의 크기가 증가함에 따라 결합율도 증가한다.

20으로 나누어진 파장(λ), 즉 ($\lambda/20$) 보다 큰 구멍은 감쇄 없이 전자기 에너지가 구멍을 자유롭게 통과할 수 있다. 그러므로 구멍은 $\lambda/20$ 보다 커서는 안된다. 대부분의 EMI 결합 문제가 자연에서 넓은 밴드를 가지므로 파장은 가장 높은 간섭 주파수의 것이 된다. 구멍이 캐비닛에 있다면 결합에 의한 영향을 줄이기 위해 적절한 보호 조치가 취해져야 한다. 보호 조치는 다음과 같다:

- a) 캐비닛에서 가장 긴 길이의 구멍을 $\lambda/20$ 보다 작게 유지한다. 이 크기보다 큰 구멍은 추가적인 보호 조치를 강구해야 할 것이다.
- b) 캐비닛에서 케이블 관통이 일어나는 지점에서의 차폐는 중단 주파수(cutoff

frequency)를 넘어 작동하고 있는 도파관을 사용하여 해결한다. 이것은 그림 18과 같이 전도성의 샤프트를 캐비닛의 내부에 접속하는 것을 의미한다. 도파관의 중단 주파수가 도파관 최대 폭에 두 배 되는 함수라면, 전도 샤프트의 길이는 케이블 관통의 길이보다 적어도 네 배 이상은 되어야 한다.

c) 플라스틱이거나 또는 비 전도성 물질의 캐비닛에 놓이게 되는 전자 시스템은 차폐를 제공하기 위해 전도성 물질로 처리되어야 한다. 가장 자주 사용되는 기술은 금속 입자를 포함하고 있는 특별한 전도성 페인트를 캐비닛의 내부에 칠하는 것이다.

d) 구멍이 계기판이나 디스플레이를 제공할 때, 특별히 제작된 차폐 창문은 캐비닛의 전도성 장벽을 유지하기 위해 사용되어야 한다. 이 창문은 광학상 투명한 전도성 층을 창문 자체에 적용하거나 또는 철사로 된 정밀한 메시(mesh)를 추가하는 것으로 만들 수 있다.

e) 캐비닛 이음매

1) 모든 표면이 전기적으로 전도성을 갖게 하기 위해 페인트, 산화 피막, 산화물, 수지(獸脂) 등은 모두 제거해야 한다.

2) 이음매의 두 표면이 겹쳐지도록 한다. 왜냐하면 이음매의 두 표면이 커패시터와 같으므로, 충분한 용량성의 결합이 이음매 부분에서 높은 주파수에 대해 전기적으로 단락 된 것과 같은 효과를 발생한다. 따라서 최소의 이음매 폭은 예상되는 표면 사이의 간격에 최대 다섯 배 이상이 되도록 한다.

3) 고정된 전기 접촉은 이음매의 길이에 따라 $\lambda/20$ 보다 더 큰 간격이 유지되어야 한다. 또한 이 접촉은 스크류를 고정하는 것, 접지 패드, 이음매를 가로지르는 접촉 끈 또는 전도성의 개스킷에 의해 이루어진다.

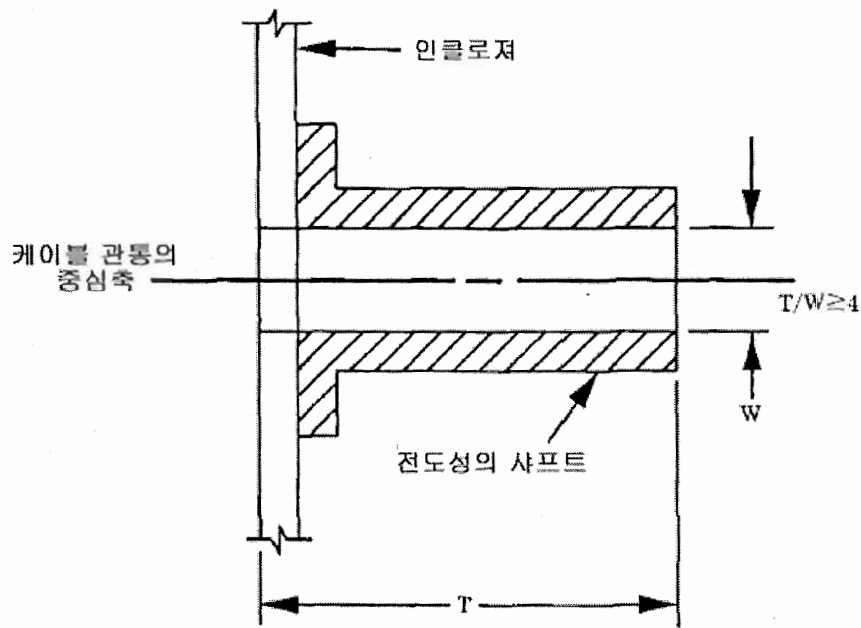


그림 18. 중단 주파수(cutoff frequency) 이상의 도파관

5.3.3.2 케이블 차폐

케이블에서 단위 길이 당 커패시턴스가 증가하므로, 대부분의 다중 도선 케이블은 전체를 하나로 차폐하거나 또는 각각을 개별적으로 차폐하는 방법이 사용된다. 예를 들면, 디지털 신호는 일반적으로 전체를 하나로 차폐하는 방법이 이용된다. 일반화된 케이블 차폐 방법이 6.4절에 포함된다. 만일 자력선 속이 신호 도선과 케이블 차폐에 연결되어 있다면, 이상적인 차폐 도선의 작용은 가장 잘 설명될 수 있다. 차폐 효과는 외부 자기장을 막기 위해 설치한 차폐에 흐르는 맴돌이 전류의 효과이다. 이러한 맴돌이 전류는 방해하고 있는 자기장과 반작용하는 자기장을 발생하고, 또한 차폐가 접지되는 유무에 관계없이 이 전류는 존재한다.

케이블 차폐는 제어 회로를 포함하고 있는 두 캐비닛에서 각각의 차폐를 접속하여 잡음 소스로부터의 격리를 의미한다(그림 19 참조). 차폐는 금속성 도판 또는 덕트, 구리 편조(編組), 구리 테이프 또는 알루미늄 마일라와 같은

형태로 처리된다. 케이블 차폐는 장벽 밖의 잡음 소스로부터 상호 연결된 회로를 보호하는 장벽의 일부이기 때문에, 차폐는 장벽의 개방된 곳을 없게 하기 위해 접속되는 캐비닛과의 연속성을 유지한다. 차폐가 접지 되는 것과 관계없이 광대역의 외부 간섭으로부터 내부 회로를 보호하기 위해 닫혀 진다(그림 20 참조). 일반적으로, 개별적으로 차폐된 도선 또는 도선의 한 쌍은 커패시턴스를 통하여 접지 루프가 형성되는 가능성을 줄이기 위해 최대 커패시턴스를 갖는 지점에서 접지 되어야 한다. 가장 높은 커패시턴스를 갖는 지점은 일반적으로 신호 소스이다.

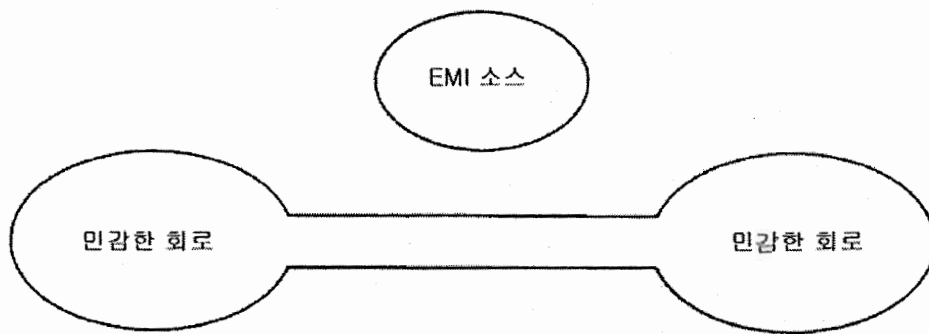


그림 19. 닫혀진 EMI 장벽의 블록도

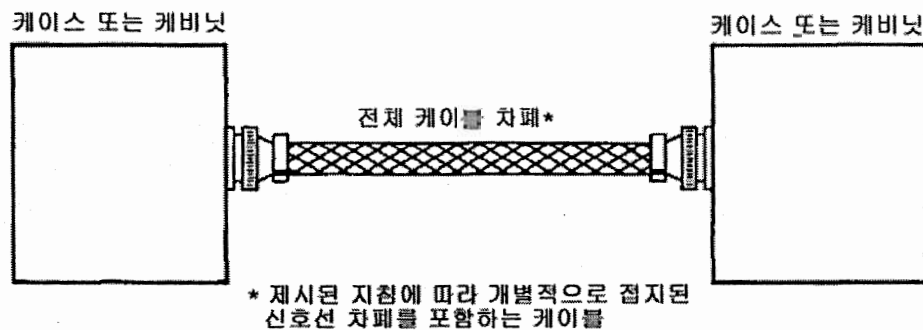


그림 20. 닫혀진 EMI 장벽의 구현

5.3.4 접지

접지 기술은 6절과 7절에서 자세히 설명한다. 그러나 다음 단락은 5.3.3절에서 추천하는 차폐와 관련된 부분을 설명한다. 이상적으로 접지된 교류 도선은 장비 캐비닛을 통과해서는 안 된다. 접지된 교류 도선이 캐비닛을 통과할 때, 이것에 의해 EMI가 발생할 수 있고 캐비닛의 차폐를 효과를 0 dB까지 줄일 수 있다. EMI 장벽의 중요한 특성은 접지의 여부에 관계없이 잡음에 대해 단혀있어야 한다는 것이다. 부적당한 접지 기술은 아마 그것이 제거되는 것보다 더욱 심각한 EMI 제어 문제를 초래할 것이다. 접지된 케이블 차폐가 EMI 장벽을 개방하는 경우가 주요한 예제이다. 5.3.3절에서 설명되는 차폐 기술은 외부에서 생성되는 간섭으로부터의 보호를 제공할 것이고, 내부에서 생성되는 간섭의 발산을 막는 것이다. 적당한 접지 기술은 내부 또는 외부 소스로부터의 잡음 발산을 제거하는 것을 도울 것이다.

5.3.5 필터

모든 리드선은 장비 캐비닛에 전도성 간섭을 발생시킬 가능성이 있다. 여기에는 전력선, 교류 접지선, 출력 리드선 그리고 제어 또는 논리선이 포함된다. 고주파의 잡음이 민감한 계측기에 영향을 미치고 있을 때, 고주파 신호의 특정 부분이 제어 회로 내에서 잡음으로 영향을 미칠 수 있다. 고주파 잡음 전류는 필터가 설치되고 적절히 접지된 계측기의 내부에는 영향을 주지 않는다. 일반적으로 필터는 단순한 커패시터와 페라이트 비드(beads)로부터 고성능의 대역통과 필터에 이르기까지 다양하다. 필터의 구성은 여과되는 잡음의 특성에 자연스럽게 의존한다. 다른 필터의 구성이 디지털과 아날로그 회로의 펄스 상승 시간과 파형 등의 신호 매개 변수에 영향을 미친다면, 적용된 필터의 긍정적인 효과는 고려되어야 한다. 필터는 또한 디지털 회로의 해로운 영향을 초래할 수 있다. 전원선 필터는 전도성 EMI 잡음을 제거하기 위해 공통 모드와 차동 모드의 복합 형태의 구조로 되어 있다. 전원선 필터는 다음의 사항을 고려해서 설치된다:

- a) 전원선에서 필터링 되지 않는 부분은 가능한 짧게 유지한다. 필터는 높은 주파수에서 입출력 기생 커패시턴스 결합으로부터 보호하는 캐비닛의 외벽에 최적으로 기능을 수행하도록 고정시킨다.
- b) 들어오는 필터링 되지 않은 리드선 가까이에 필터링 된 리드선을 위치시킴으로서 발생할 수 있는 두 전원선 사이의 재결합을 피한다.
- c) 전원선과 신호선 또는 논리선 사이의 결합을 피한다.

잡음 간섭의 주요한 소스는 장비 접지를 포함한다. 접지선이 많은 장비에 의해 공유되기 때문에 외부 소스에 의해 발생하는 어떤 불필요한 전류의 흐름이 제어 회로로 전도적으로 결합될 수 있다. 분리된 장비 접지 도선은 민감한 장비를 위해 사용되며, 이 도선은 적당한 RF 쇼크(choke)에 의해 간섭의 영향으로부터 완화 될 수 있다. 또한 페라이트 비드(beads)와 같은 흡수 장치는 고주파의 공통 모드 간섭에 의해 발생하는 외부 전자파의 영향을 줄이는데 사용될 수 있다. 들어오는 케이블의 최종 단자에 $0.1\mu F$ 의 바이패스 커패시터를 통해 각각의 제어선을 신호접지에 연결한다면, 제어회로에 영향을 미치는 높은 주파수의 과도현상을 방지할 수 있다. 이 방법에서 효과를 향상시키기 위해 바이패스 커패시터의 리드선은 가능한 한 짧게 한다. 만일 이 방법이 신호의 바람직하지 않은 시간 지연을 초래한다면 적용 여부를 고려해 보아야 한다. 간섭 주파수가 신호 주파수와 다를 때 필터가 효과적으로 적용될 수 있다.

5.3.6 다른 잡음을 최소화시키는 기술

다음은 다른 잡음을 최소화 할 수 있는 적용 가능한 기술이다.

5.3.6.1 격리 변압기

격리 변압기는 신호 회로의 균형을 맞추기 위해 사용될 수 있다. 도선 한 쌍의 양쪽 끝이 격리 변압기에 의해 연결될 때, 도선은 단말 기기의 저주파

접지 전위로부터 분리된다. 격리 변압기는 단지 교류 신호에만 적용 가능하다.

5.3.6.2 중립 변압기

중립 변압기는 저주파의 접지 전위차의 영향을 제거하기 위해 사용될 수 있다. 모든 들어오는 제어 케이블은 중립 변압기를 통과할 수 있고, 2차 권선에 의해 분리될 수 있다. 1차 권선은 2차 권선과 각각 같은 회전수를 가지고 있고, 발전소의 접지 전위 상승에 의해 전원이 공급된다; 한 쪽 끝은 발전소의 접지에 연결되고, 다른 쪽 끝은 발전소 고장 전류에 의해 영향을 받지 않을 정도의 충분한 거리에 있는 접지에 연결된다. 이와 같이 접지 상승과 같은 전압은 제어 회로에서 유기되며, 접지 상승 전위는 들어오는 케이블과 제어 회로 사이에서 발생하지 않는다. 교류와 직류 신호 모두에 사용될 수 있기 때문에 중립 변압기는 많은 장점을 가지고 있다.

5.3.6.3 차동 증폭기

차동 증폭기는 공통 모드 잡음을 효과적으로 줄이기 위해 사용된다. 비록 대부분의 집적 회로 차동 증폭기의 공통 모드 허용 오차가 단지 수 볼트일지라도, 수 천 볼트의 공통 모드 전압도 적절한 입력 감쇄 체계를 사용하여 허용될 수 있다.

5.3.6.4 신호 대 잡음비의 증가

하나의 주파수 영역에서 유기된 잡음을 감소시키는 것에 의해 다른 주파수 영역의 잡음이 증가 될 수 있으므로, 이 방법을 사용할 때는 적절한 고려가 있어야 한다. 주요한 유도적인 또는 용량적인 소스에 의해 유기된 잡음을 줄이는 회로 임피던스를 변화시키는 것은 신호 대 잡음비를 늘리는 것과 같은 손해를 초래할 수 있다.

5.3.6.5 광섬유 케이블

광섬유 케이블은 일반적인 전류가 흐르는 제어 케이블에 악영향을 미치는 간섭 소스에 대해 면역성이 있다. 하지만 광섬유로 연결되는 입·출력 회로는 EMI에 민감하다.

5.3.6.6 서지 억제

서지 방지장치, 다이오드, 수정자 필터, 커패시터 또는 미리 이온화된 불꽃 튜브가 적용될 수 있다. 그들의 접속은 장비 단자의 가까운 곳에 설치되어야 한다.

5.3.7 결합 방식에 의해 구분되는 잡음 최소화 기술의 요약

영향을 미치는 잡음의 형태에 따라 최적으로 실제 적용 가능한 잡음 최소화 기술을 사용할 필요가 있다. 따라서, 다음에 설명하는 것이 특정한 결합 방식에 따른 잡음을 최대한 줄이기 위한 기술이다.

5.3.7.1 공통 임피던스 결합

공통 임피던스 결합의 최소화 기술은 다음과 같다:

- a) 하나 이상의 회로의 일부로서 어떤 도선도 사용하지 않는 것에 의해 가능한 한 많은 공통 임피던스 점을 제거한다.
- b) 가능한 한 접지 연결은 짧게 한다. 높은 주파수의 잡음을 제거하기 위해서는 1m 길이의 도선으로 신호 기준 접지와 연결이 이루어진다. 하지만 낮은 주파수의 잡음을 제거하기 위해서는 100m의 길이로 단일 지구 접지와 연결이 이루어진다.
- c) 접지 도선의 저항과 임피던스를 줄인다. 하지만 높은 주파수의 회로에서

접지 도선이 회로의 일부일 때만 임피던스가 중요하다.

5.3.7.2 용량성의 결합

용량성 결합의 최소화 기술은 다음과 같다:

- a) 민감한 회로의 임피던스를 줄인다.
- b) 용량성으로 결합된 잡음 전류가 신호선을 통해 흐르지 않고 접지로 되돌리게 하기 위해 전도성의 차폐를 설치하고 접속한다. 용량성의 차폐는 적절하게 신호 회로를 둘러싸고 있어야 하고, 잡음 전류에 대체할 수 있는 바이패스 경로를 제공하기 위해 낮은 임피던스의 물질로 만들어져야 한다.
- c) 물리적으로 분리하거나 직각으로 교차하는 등의 결합을 최소로 하는 제어 회로를 설계한다.
- d) 1차 권선 및 2차 권선 사이에서 용량성의 차폐를 제공하고 있는 변압기를 사용한다.

5.3.7.3 유도성의 결합

유도성 결합의 최소화 기술은 다음과 같다:

- a) 민감한 회로의 임피던스를 늘린다.
- b) 낮은 자기(磁氣) 저항 물질로 이루어진 차폐에 의해 자기장을 전환시킨다.
- c) 높은 투자율 물질로 이루어진 차폐에 의해 자기장을 저지한다.
- d) 물리적인 분리, 직각으로의 교차, 방사상(放射狀)의 라우팅, 신호선 한 쌍의 꼬임 등과 같은 결합과 루프로 형성된 지역을 최소로 하는 제어 회로를 설계한다.
- e) 고주파의 간섭이 있는 지역에서는 세로방향의 차폐 케이블을 사용한다.
- f) 신호의 상승 시간을 증가시킨다.

5.3.7.4 방사성의 결합

방사성 결합의 최소화 기술은 다음과 같다:

- a) 손실이 있는 유전체(誘電體)나 자기장 차폐를 사용하여 자기장을 흡수시킨다.
- b) 금속성 차폐를 사용하여 방사되는 필드를 반사시킨다.
- c) 방사되는 필드의 세기가 거리의 제곱에 반비례하므로, 잡음을 발산하는 장비와 잡음에 민감한 장비를 가능한 한 먼 거리에 위치시킨다.
- d) 4.3.3.1절에서 설명한 기술에 의해 캐비닛의 입구를 설계한다.

5.3.7.5 공통 모드 제거 기술

공통 모드 잡음은 위의 네가지 결합 방법에 의해 생성될 수 있다. 공통 모드 잡음이 가끔 차동 모드 잡음으로 변화되므로, 공통 모드 잡음은 제어 회로 내에서 문제를 발생시키는 가장 빈번한 근원이다. 공통 모드 잡음을 최소화 할 수 있는 유용한 몇 가지의 기술은 다음과 같다:

- a) 균형 잡힌 변환기와 동일한 신호선을 사용하여 신호 회로를 대칭적으로 만든다.
- b) 공통 모드 결합 임피던스를 최대로 한다:
 - 1) 잡음을 발산하는 장비와 잡음에 민감한 장비의 물리적 분리를 증가시킨다.
 - 2) 간섭 소스에 직접적인 연결되는 갯수를 최소화 한다.
- c) 민감한 회로에 간섭이 영향을 미치는 것을 방지하기 위해 차폐 기술을 사용한다.
- d) 예를 들면, 공통 모드 제거 장치를 사용한다:
 - 1) 차동 증폭기
 - 2) 격리 변압기

3) 광 절연체

- e) 다중 접지 체계를 피하기 위해 단일 접지나 부유(浮遊) 접지 개념을 적용한다. 그러나 이것은 대규모적인 시스템에서 적용하기 어려울지도 모른다.

제 6 장 계측 및 제어 시스템 접지방법

6.1 접지의 원리

이 절에서는 접지의 일반적인 요구사항과 계측 및 제어 시스템 접지 특성이 전체 시스템에 어떤 영향을 주는가에 관하여 설명하고 있다.

6.1.1 주요 목적

발전소 접지 적용의 주요 목적은 다음과 같다:

- a) 시스템에 과도 고전압에 인가되었을 때 발전소간에 안정된 전압을 유지시킨다.
- b) 장비나 구조물에 낙뢰 서지에 의한 영향을 최소화한다.
- c) 고장 전류 회귀 선로의 임피던스를 낮춘다.
- d) 장비에 축적될 수 있는 정전하가 빠져나갈 수 있도록 선로의 임피던스를 낮춘다.
- e) 장치, 회로, 그리고 전체 시스템간에 상대적으로 낮은 임피던스의 공통 신호 기준점을 제공함으로써 계측 시스템의 간섭 잡음을 최소화한다.

접지 회로는 여러 기능들을 담당한다. 전기적 고장, 낙뢰 등에 의해서 야기되는 과도 전압의 이동이 장비에 간섭을 일으키는 것을 막고, 회로상에 과도현상 내성의 범위를 벗어나는 잡음의 침범을 억제하며, 접지가 잡음을 최소화하는 기능을 유지하기 위해 접지 네트워크를 설계하는 것이 필요하다. 그러므로 다음의 네 가지 개념을 이해하는 것이 필요하다. 첫째로 지상의 모든 지점(상대적으로 가깝다고 하더라도)의 전위는 같지 않으며 영전위도 아니다. 둘째로 접지 네트워크의 각 부분들은 유한한 저항과 임피던스를 가진다. 셋째로 각각의 회로는 과도현상에 대한 고유의 내성을 가지고 있다. 그러므로 환경적인 영향으로 인하여 각각 회로가 동작한계를 넘지 않도록 주의를 기울여야 한다.

넷째로 국부 과도현상이 접지전위의 레벨을 상승시켰을 때, 전류가 발생되도록 연결된 케이블 회로에 침범할 수도 있으며 영향을 받은 지역의 신호 도선이 접지된 케이블의 차폐로부터 용량적, 유도적으로 결합될 수도 있다. 이러한 도선은 과도현상 지역 밖에서 중단되거나 연결되어 있는 다른 장비에 고전압을 발생시킨다.

6.1.2 발전소의 접지 시스템

모든 발전소는 네 가지 접지 시스템으로 구분이 가능하다. 낙뢰용, 발전소 서비스 전원용, 장비용 접지시스템은 IEEE Std 665-1987에서 다루며, 계측 및 제어용 접지 시스템은 잡음 전압의 발생과 이동을 최소화하기 위한 설계를 말한다.

6.1.3 전기적 안전을 위한 접지

전기적 안전을 위한 설계 요구사항은 아래의 참고문헌을 이용하는 것이 적절하다:

- IEEE Std 665-1995
- IEEE Std 142-1991
- IEEE Std 518-1982
- IEEE Std 1100-1992
- ANSI C2-1997, NESC
- 장비가 설치되는 지역에 따른 세부 규격과 요구사항

6.2 다른 여러 접지들

이 절에서는 계측 및 제어 시스템 접지에 영향을 줄 수 있는 다른 여러 접지의 고려사항을 다룬다.

6.2.1 안전 접지들 (기계적, 프레임 또는 교류 접지)

여기에서는 장비는 계측 및 제어 장비의 외부 합체를 말한다. 자세하게 말하면 캐비닛, 프레임, 그리고 랙과 같은 전류의 흐름이 없는 외피를 말한다. 안전 접지의 목적은 사람을 보호하고 전기적 전원 고장을 방지하기 위한 접지간에 발생하는 유해한 전위차를 막기 위함이다. 안전 접지의 설계와 설치의 요구사항은 다음과 같다.

- a) 모든 합체에는 발전소와 접지 매트 사이에 연결되는 접지 케이블을 종단시키기 위한 교류 접지 버스 같은 특수한 조항이 있음을 인지하고 있어야 한다. 이 연결은 접지 도선 또는 배선관 뿐만 아니라 입력 전원 도선에도 적용되어야 한다.
- b) 안전 접지 케이블을 지정된 장비 접지 버스에 연결한다. 접지와 합체간에는 한 선으로만 연결시킨다. 이 연결은 접지된 도선 또는 배선관 뿐만 아니라 입력 전원 도선에도 적용되어야 한다.
- c) 안전 접지 케이블은 꼬여진 도선을 사용하여야 한다. 부식이 심각한 영향을 준다면 이 도선은 절연시켜 주어야 한다. 부식이 잘되는 환경에 놓여진다면 주기적으로 접지 연결선을 확인해준다.
- d) 도선을 꼬거나, 절연 등의 기타 국제적인 접지 형태를 취함으로써 패널 구조에서 기계적인 구조로 접지가 집중되지 않게 하기 위하여 합체 내의 모든 개별 새시들(특히 전기적으로 동작하는 슬라이딩 새시의 경우)은 연결해 주어야 한다.
- e) 근처에 위치하고, 기계적으로는 분리된 캐비닛의 개별 안전 접지점과 발전소 접지 매트에 연결된 단일 공통 접지점을 묶어준다.

6.2.2 접지 도선의 길이

MHz 대역의 신호 주파수에서 긴 접지 케이블의 임피던스가 높아져서 효과적인 저 임피던스 전류 신호 기준점을 제공해주지 못하게 된다. 예를 들어서

60 Hz의 주파수에서는 0.3 Ω 이하의 임피던스를 가지는 도선이 10 MHz에서는 40,000 Ω 의 임피던스를 가지게 된다.

6.2.3 발전소와 부발전소간의 상호 연결

일반적으로 접지 격자 도선과 크기가 같은 도선들은 상호 연결선 묶음의 내부 위쪽에 위치하여야 한다. 이 도선들은 발전소와 부발전소 접지 매트와 함께 묶여져야 한다. 이 도선들은 함께 묶어질 뿐만 아니라 매설된 접지봉과 인접한 점에 위치하여야 한다. 공장과 부발전소간의 전송회로 밑에 묻혀진 가상접지(counter poise) 도선은 분리된 매트 사이를 부가적으로 연결시켜줄 것이다. 이러한 도선은 케이블의 차폐보다 낮은 임피던스 선로를 제공하므로, 장비 케이블로부터 고장이나 접지 전류가 유입될 수도 있다. 또한 고장 상황에서 두 개의 매트간의 접지 전위 차이를 제한 시켜 줄 수 있다.

6.2.4 CT, VT, 그리고 CCVT 접지

이러한 장치들을 접지할 때 적절한 많은 방법들이 표준화되어져 있고 사용되고 있다. 일반적으로 합의된 사항은 이러한 장치들의 두 번째 중성단(neutral)은 장치 내에서도 아니라 릴레이실의 입구에서 접지 되어야 한다는 것이다.

6.2.5 가스 충전형 개폐장치 (GIS)

일반적으로 가스 충전형 개폐장치(GIS)는 높은 레벨의 전자파 간섭을 발생시키므로, 이것 근처에 설치된 제어 회로는 완전히 차폐되어야 한다. 내용은 아래에 잘 설명되어 있다:

- a) GIS 에 직접적으로 연결된 모든 장치들은 금속 외피로 완전히 차단시켜 주어야 하며 GIS 외피에 전기적으로 결합시켜주어야 한다.

- b) 모든 제어 케이블은 차폐되어야 한다. 가장 효과적인 케이블 차폐는 끊어지지 않고 연속적이며, 원통의 형태로 적용되거나 주름진 금속 차폐가 좋다. 이 차폐는 6절의 방법에 의하여 접지되어야 한다.
- c) 제어 케이블이 GIS 주변에 설치가 될 때에는 5.3.3.1절의 내용을 고려하여 설계되어야 하며 완전하게 차폐되어야 한다.
- d) 컴퓨터와 같은 전기적 과도현상에 대한 낮은 내성을 가진 장비가 GIS와 같은 건물에 설치가 될 때에는 이 장비가 설치되어있는 방이 완전하게 차폐가 되도록 고려해주어야 한다.

6.2.6 도관과 케이블 트레이의 접지

도관과 케이블 트레이 접지에 관한 자세한 사항은 IEEE Std 665-1995에 잘 설명되어 있다. 몇 가지 중요한 설치 고려사항은 아래에 나와 있다.

- a) 모든 도관은 전원회로를 감싸기 위해 사용되든 안되든 설비 접지 시스템에 연결되어야 한다.
- b) 도관, 연결단, 합체는 전기적으로 끊어짐에 없이 연결되어야 한다.
- c) 모든 파이프와 나사의 빗살홈은 연결되어 조여지기 전에 전도성 윤활제로 먼저 조치되어야 한다.
- d) 접지용 나사는 도료나 다른 비전도성 마무리제가 잘 제거되어야 한다.
- e) 연속적이지 않은 모든 연결단은 반드시 점퍼로 연결되어야 하며, 도선이 케이블 트레이에 잘 들어갈 수 있도록 적절한 크기를 유지하여야 한다.
- f) 모든 케이스의 덮개는 나사로 단단하게 조여 주어야 한다.
- g) 모든 도선 받침대와 걸이는 도선에 안전하게 연결되어야 한다.
- h) 모든 케이블 트레이 시스템은 전기적으로 연속적이어야 한다. 이것은 받침대나 걸이에도 포함된다.

6.3 신호 접지 시스템

신호 접지 시스템의 기본 목적은 부분적인 전자 하드웨어가 연결되어질 기준 접지판을 만들어 주는 것이다. 이를 위해서는 다음의 세 가지 접근 방법이 존재한다: 단일 접지, 다중 접지, 부유접지. 이 각각 시스템에 관한 설명은 6.31, 6.3.1.1, 6.3.1.2, 6.3.2, 그리고 6.3.3절에 잘 나와 있다.

6.3.1 단일 접지 시스템

단일 접지 시스템은 공통 모드 잡음을 일으키는 접지 전류가 흐르는 것을 막아주기 위하여 사용된다. 이 방법은 산업 환경에 사용되는 시스템에 일반적으로 많이 사용된다. 이것은 신호 회로와 발전소 접지를 한 점에서 연결함으로써 구현된다. 이 접지 방법은 매우 효율적이며 300 kHz 이하의 동작 주파수를 가지는 장비에 사용될 때 적절하다. (여러 종류의 소스가 100 kHz에서 10 MHz 사이에 존재한다. 장비 제조자는 각각의 세부 설치 사항을 참조해야 한다.) 이 시스템의 단점은 신호의 파장이 장비 외피의 크기나 접지 케이블의 길이에 접근하는 높은 주파수에서는 비효율적이다. 장비의 크기나 접지 케이블의 길이가 신호 파장의 0.15 배에 접근 할 때, 케이블은 더 이상 낮은 임피던스 접지의 역할을 하지 못한다. 단일 기준 접지는 전류를 정상 조건으로 흐르게 하는 신호 회귀 도선과는 구분되어야 한다.

신호 접지의 목적은 시스템내의 모든 제어 신호의 기준을 단일점으로 만들어 주는 것에 있다. 단일 접지 기준점은 제품의 합체로부터 하나의 도선만이 나와야 한다. 이 도선은 꼬여지고 절연된 것 이어야 하며, 장치들간의 전위차를 최소화 할 수 있는 크기에, 기계적인 길이를 만족해야 한다. 절연된 케이블은 의도되지 않은 접지 연결로부터 신호접지를 분리시킬 뿐만 아니라 장비 접지와 쉽게 구분될 수 있다. 분리된 신호 접지 시스템은 캐비닛 합체 내에서 사용된다. 각 캐비닛의 분리된 접지 시스템은 나중에 단일 기준점으로 함께 묶어 주어야 한다. 집중화된 계측 및 제어 시스템용 접지시스템을 설계할 때에는 아래의 사항을 고려한다:

- 컴퓨터와 복합시스템의 전원은 하나의 소스를 사용하여야 한다. (즉, 하나의 주 전원 변압기).
- 전원 분배 새시의 전원은 새시의 접지 역할을 하고 전원 소스의 기준점 역할을 하는 접지선과 함께 와야 한다.
- 전원은 전원 분배 새시로부터 시스템내의 모든 캐비닛에 개별 차단기나 퓨즈를 통해서 분배되어야 한다.
- 각 캐비닛은 장비의 접지와는 분리된 신호 접지를 가지고 있어야 한다.
- 각 캐비닛의 신호 접지 시스템은 접지 격자에 한 선으로만 연결된 단일 지점에 연결되어야 한다.
- 고주파 간섭(300 kHz 이상)이 예상된다면 기준 접지 판을 적용하여야 한다 (그림 24 참조).

단일 접지 설계시에는 다음 두가지 점을 염두해 두어야 한다: 장비접지와 신호접지. 최대한 잡음을 억제하기 위해서는 이러한 접지들이 발전소 접지와 함께 연결된 곳에서는 접지 매트와 완전하게 분리되어야 한다.

6.3.1.1 가까이 위치해 있는 캐비닛

그림 21은 가까이에 위치해 있는 계측 및 제어 캐비닛용 단일 접지 시스템을 나타낸다. 그림 21에 나와 있는 단일 접지의 종류는 이상적으로 저주파 신호, 특히 직류 제어 신호에 적합하다. 고주파 제어 시스템에는 상대적으로 덜 사용된다. 장비 공급자들은 신호 접지와 전기적 안전을 위한 접지를 장비 함체의 외부 또는 내부에 같이 묶어 두는 경우가 많이 있다. 장비를 접지 시스템에 통합할 때 이 공통 접지 연결단을 분리하는 것이 필요할 수도 있다. 구매 사양에 신호접지와 전기적 안전을 위한 접지가 분리되어야 함이 명시되어야 한다. 그림 21, 22, 23, 24, 25 그리고 26은 입력 전원 케이블에 제공되는 장비 접지 도선뿐만 아니라 각 캐비닛용 국부 전기 안전 접지를 나타낸다. 실제 적용시 이 부가적인 연결은 접지에 부가적인 낮은 임피던스 선로를 제공함으로써 제품으로부터 사람을 더 잘 보호할 수 있게 해준다. 게다가, 그림

21, 22 그리고 23에 나와 있는 버스 바들은 도식적으로 그 개념을 더욱 명확하게 해준다. 그것들은 분리되어 외부에 제공되는 것보다는 주 제어 캐비닛내에 위치하는 것이 일반적이다.

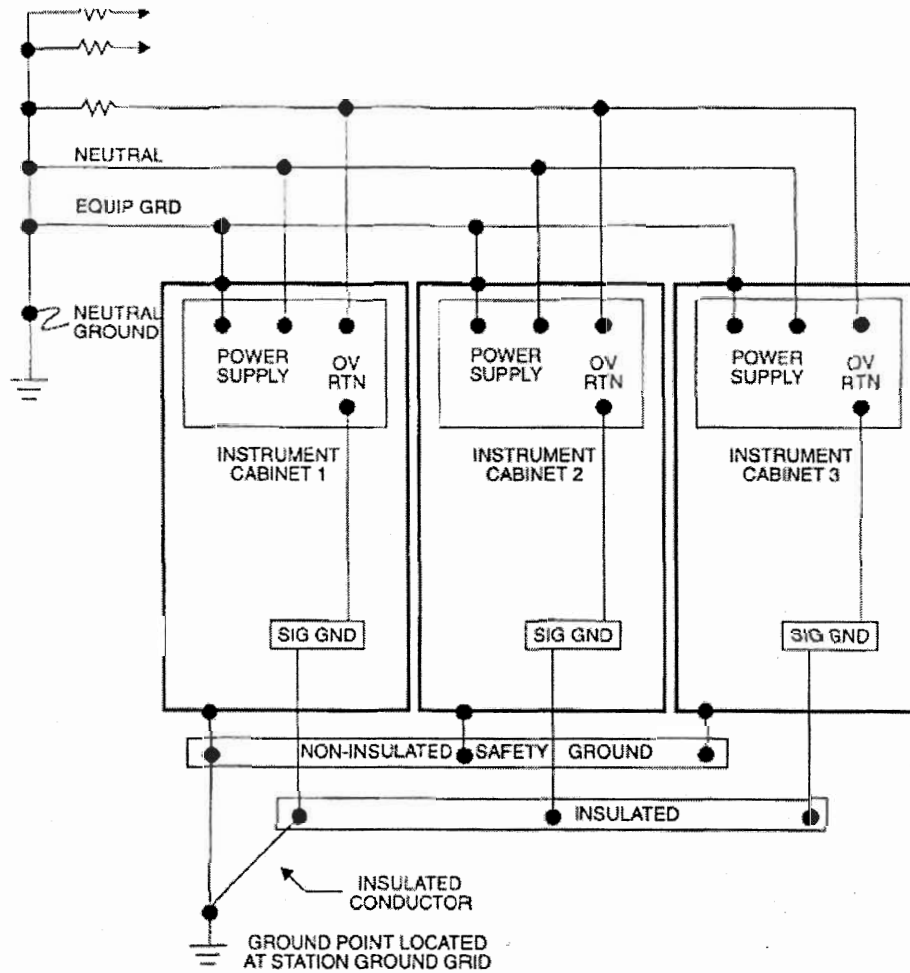


그림 21. 가까이 위치해 있는 캐비닛에 흐르는 저주파 신호용
단일 접지 시스템

6.3.1.2 넓게 떨어져 있는 캐비닛

분산 제어 시스템의 경우에는 장비가 발전소내에서 떨어져서 분산되어있으며, 이 경우에는 그림 21 처럼 단일 접지를 적용하는 것은 합리적이지 못하다. 개별 제어 발전소 캐비닛이 서로 멀리 떨어져 있을 때 계측 및 제어 시스템은 분산시스템을 고려해보는 것이 좋다. 신호 기준 도선의 임피던스가 캐비닛간의 접지전위의 원인이 되므로 이러한 시스템은 특별한 문제점을 가지게 된다. 그림 22는 이러한 조건하에서의 단일접지를 적용한 것을 보여준다. 캐비닛간의 통신 회로는 길고, 절연되어있는 신호 접지들의 임피던스로부터 발생할 수도 있는 공통 모드 잡음에 대한 적절한 보호 대책이 필요로 하다. 분산 계측 및 제어 시스템용으로 접지 시스템을 설계할 때는 아래의 사항들을 고려한다:

- a) 단일한 주 전원에서 분산 시스템으로 전원이 공급될 수 있도록 해주어야 한다.
- b) 각 개별 시스템은 6.3.1에 의거하여 접지가 되어야 한다.
- c) 전체적인 안전접지 대신에, 각 캐비닛의 장비들의 개별적으로 접지가 되는 것이 좋다.
- d) 고장 조건하에서 접지 전압을 초과하는 공통 모드 전압을 가지는 송신 또는 수신 회로가 포함된 시스템간의 신호들은 변압기 결합이나, 직류 결합을 사용하여야한다. 신호 접지를 위하여 하나 이상의 접지봉을 사용하는 것은 전기적 안전 측면에서 위험하므로 사용을 지양하는 것이 좋다.
- e) 한 시스템은 6.3.1절에 나와있는 것처럼 국부 발전소용 신호와 장비 접지가 모여질 수 있는 마스터 발전소로 사용되어야 하며, 나머지 시스템은 원격 노드처럼 처리되어야 한다. 원격 노드에서는 신호 접지는 국부 접지로부터 부유되고, 마스터 발전소를 신호 접지의 기준으로 삼아야 한다. 원격 노드는 마스터 발전소와 양쪽 지역간을 작은 직경의 신호 선과 큰 직경의 절연된 도선을 사용하여 소통한다(같은 도관내에서 다른 케이블을 사용).

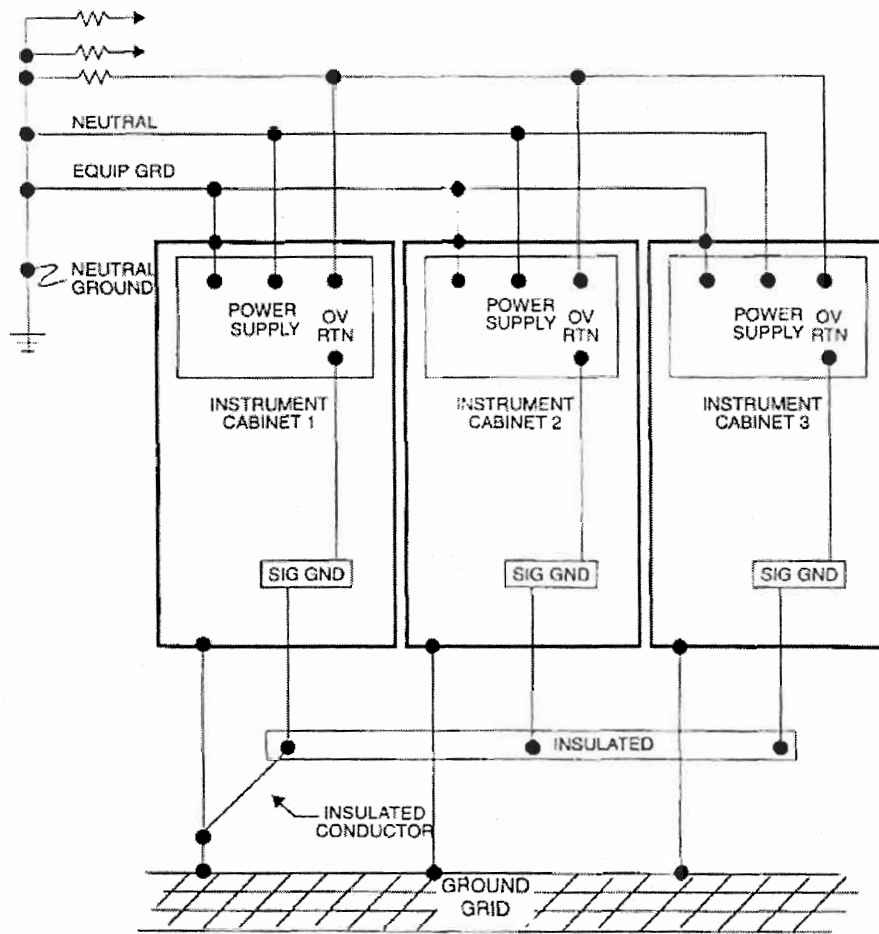


그림 22. 멀리 떨어져 있는 캐비닛에 흐르는 저주파 신호용 단일 접지 시스템

전기 안전적인 이유에서, 문이 열릴 때 신호접지와 국부 장비 접지가 함께 묶여질 수 있도록 문 스위치가 원격 캐비닛에 사용될 수도 있다(그림 23 참조). 이 조치는 멀리 떨어진 곳에서 보수 요원이 장비의 문제해결을 하는 동안에 전기적 안전을 제공해 준다. 그러므로, 멀리 떨어진 장소에서 유지 보수가 예정되는 있을 때 동시에 접지 격자에서 큰 전류의 영향으로 접지 불평형이 생겼다면 문이 열렸을 때 송·수신기 회로에 손상이 오는 것을 감안하더라도 인명에게 주는 피해는 최소화 할 수가 있다. 이러한 접근이 각 장비의 구조에 적합한지 아닌지는 각각의 장비 설치에 개별적인 분석이 필요하다.

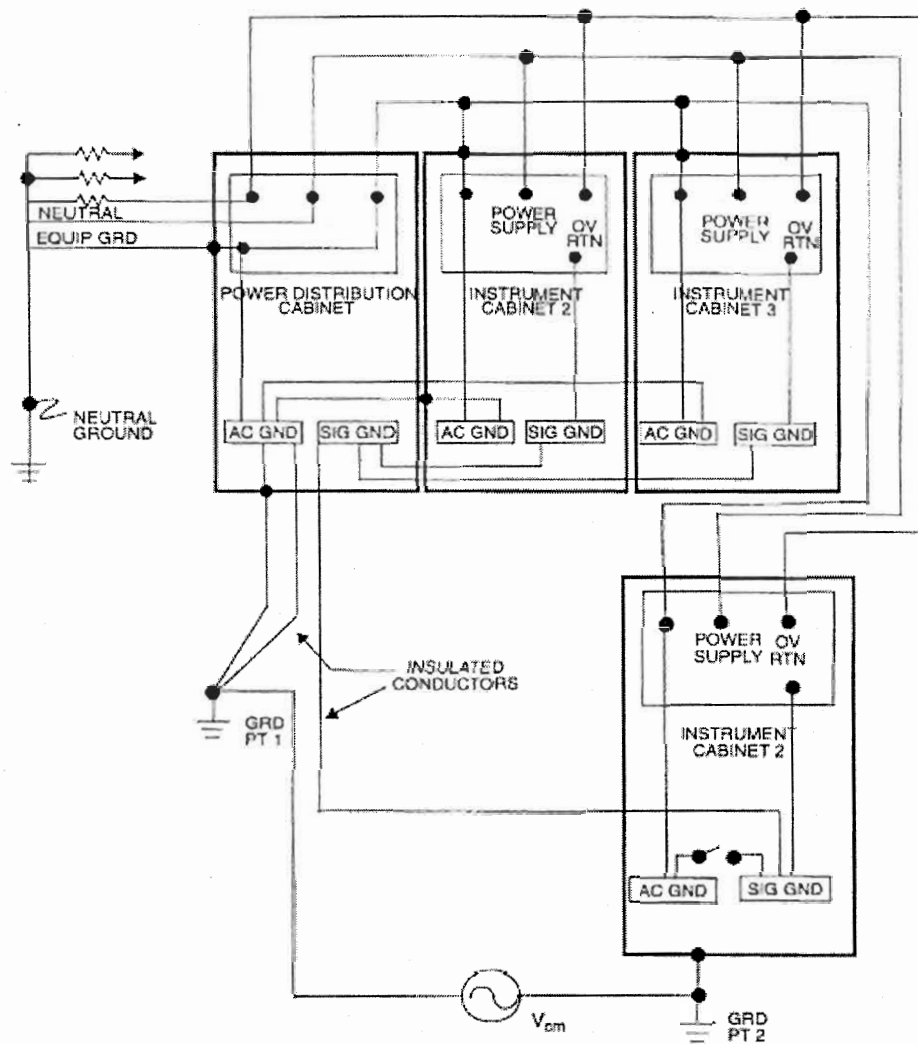


그림 23. 안전 문 스위치가 있는 멀리 떨어진 캐비닛의 저주파수용
단일 접지 시스템

6.3.2 다중 접지 시스템

긴 접지 케이블이 사용되거나, 접지할 장비가 300 kHz 이상에서 동작할 때 다중접지 시스템이 고려된다(그림 24 참조). 각각의 회로는 단일점으로 모든 접지 도선이 돌아가는 연결되는 것이 아니라 가장 가까운 점으로 접지가 된

다. 이 시스템의 장점은 회로 구성이 쉽고, 고주파에서의 접지 시스템상의 정재파 효과를 피할 수 있다. 그러나 이 시스템을 부식, 진동, 온도 변화 등으로부터 피해를 줄이기 위해서는 유지 보수를 잘 해주어야 한다. 또 다른 단점은 시스템 상에 다중 루프의 발생에 의하여 의도하지 않은 공통 모드 잡음의 원인이 될 수가 있다. 그림 25에 나와 있는 것과 같이 저주파 신호에서 다중 접지 시스템은 선택적이다. 이 구조는 신호 기준간에 접지 전압차가 존재하고, 공통 모드 잡음을 막기 위한 어느 정도의 보호가 필요로 하다.

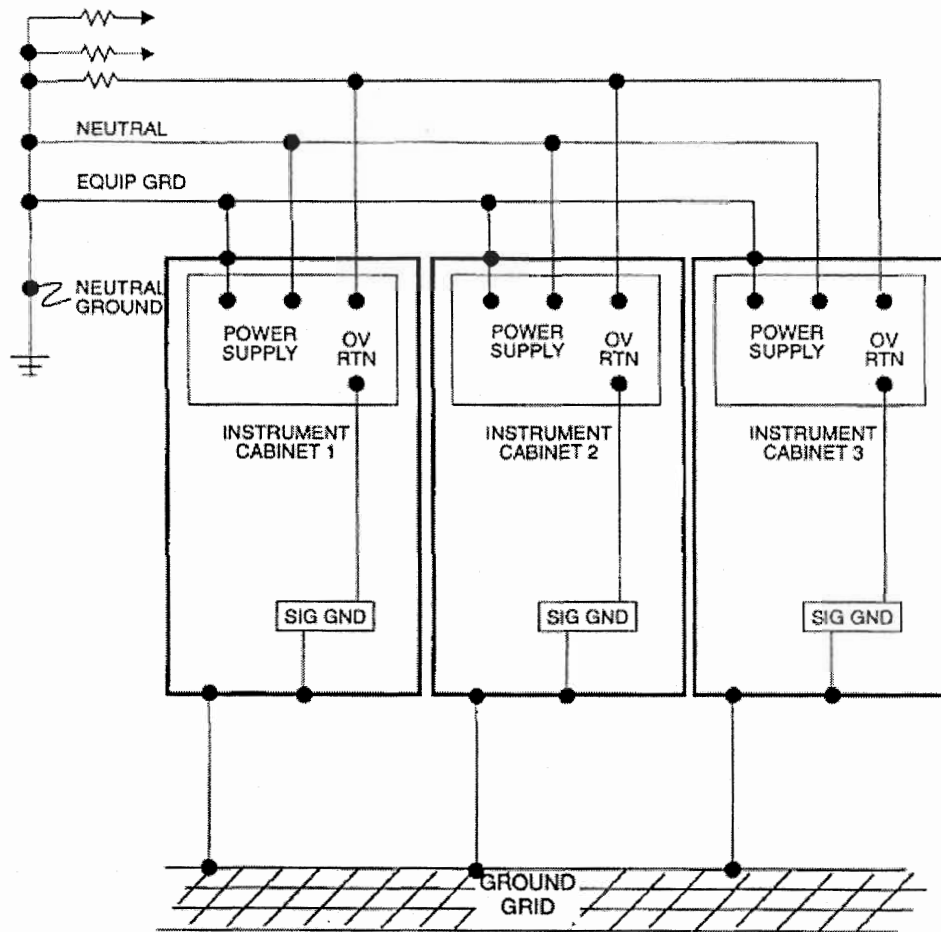


그림 24. 고주파 시스템용의 다중 접지 시스템

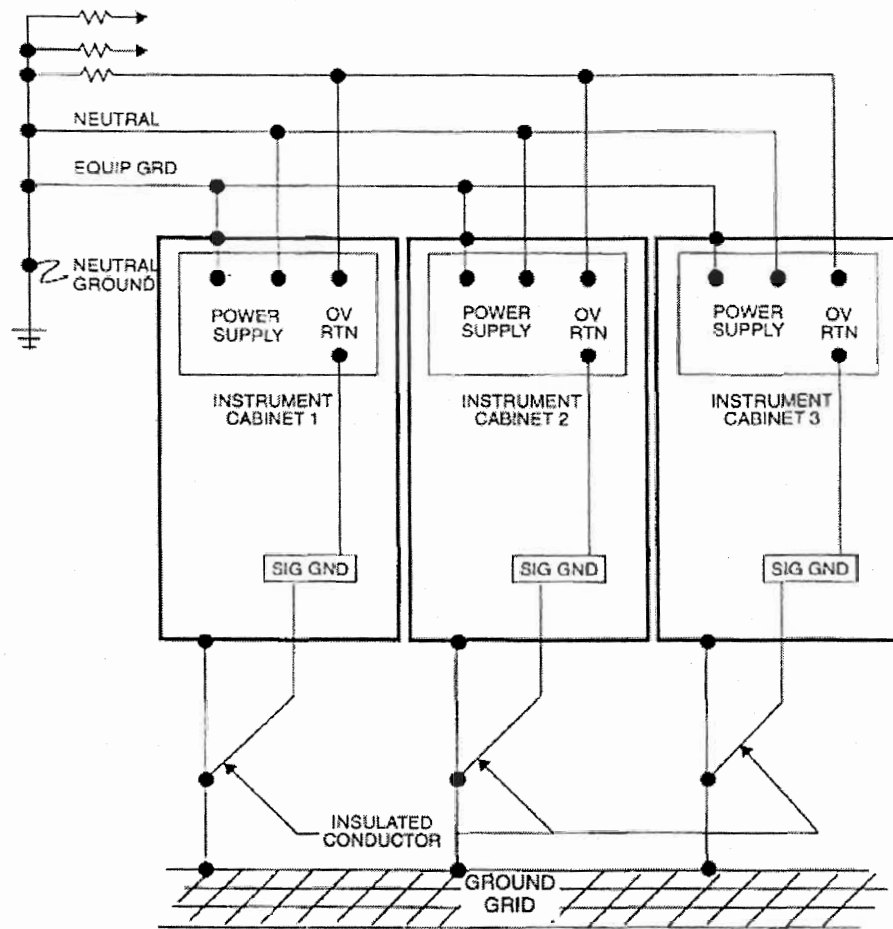


그림 25. 넓게 떨어져 있는 캐비닛에 사용되는 저주파 신호선용
다중 접지 시스템

6.3.3 부유 저항 시스템

부유 저항 시스템은 회로나 장비를 공통 접지 판이나 공통 모드 잡음 혹은 순환전류를 야기할 수 있는 공통 배선으로부터 전기적으로 분리시키는 용도로 사용된다. 이것은 신호 접지는 전기적으로 서로 연결시키고, 공통 접지 판과는 절연시킴으로써 구현할 수 있다(그림 26 참조). 이런 시스템에서 위험한 점은 정전하들이 쌓일 수가 있으며, 결국에는 제품의 파손으로 이어지거나,

잡음을 발생시키는 방전전류가 흐를 수도 있다. 이 시스템을 구현할 때에는 정전하가 충전되는 것을 방지하기 위하여 블리딩 저항을 사용하여 접지와 연결시켜주는 것이 좋다.

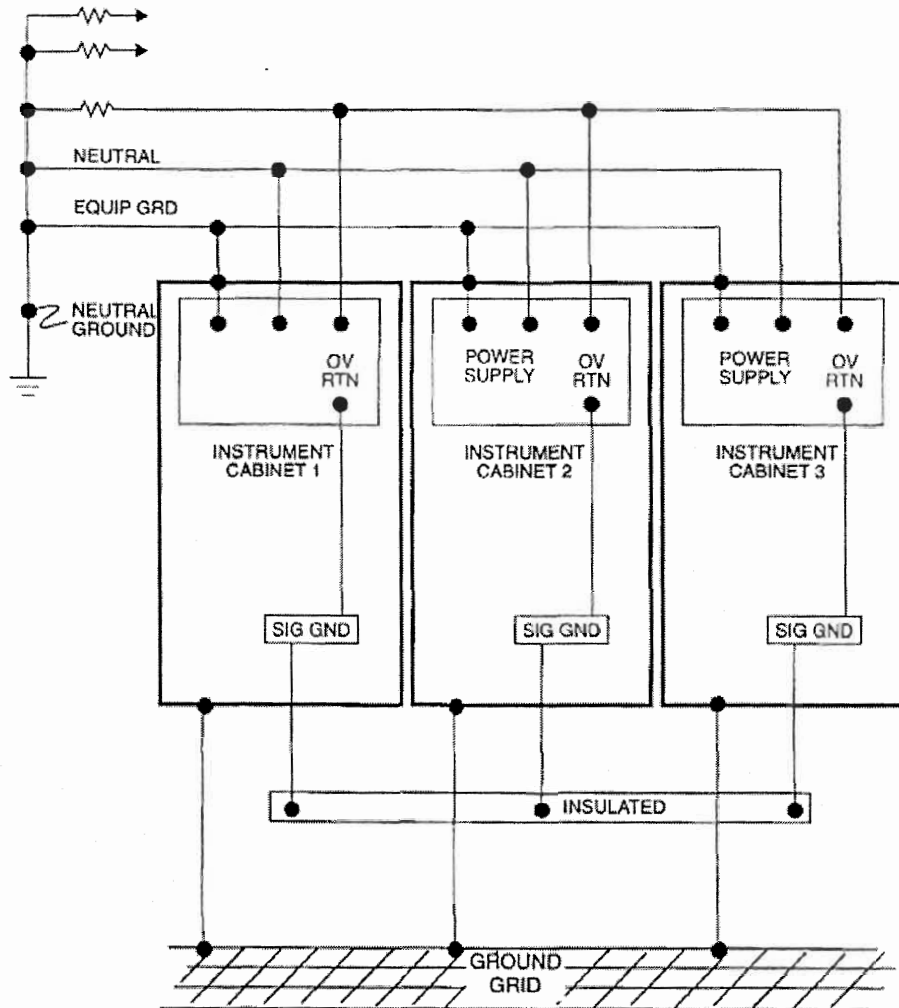


그림 26. 부유 접지 시스템

6.4 감도에 기초한 저주파 제어 회로의 접지

6.4.1 고감도 제어 회로의 접지

고감도 제어 회로는 저전압 레벨(5 mV와 1000 mV 사이의 아날로그 입력 전원, 열전쌍(熱電雙)이 가장 일반적)을 사용하는 회로를 말한다. 이러한 회로들은 공통 모드 전압, 누화, 전기장, 자기장 등의 잡음원에 매우 민감하다. 이러한 회로의 연결선은 개별적으로 꼬아주고 차폐를 해주어야 한다. 특성에 영향을 줄 수 있는 과도한 움직임이나 구부림으로부터 보호하기 위하여 실장 시에는 도관에 넣어주는 것도 좋은 방법이다. 그림 27은 회로가 어떻게 차폐되고 접지 되어야 하는지를 나타내주는 전형적인 그림이다. 각각의 차폐는 개별적으로 접지되어야 한다.

6.4.2 중간 감도 제어 회로에서의 접지

중간 감도 제어 회로는 중간 전압 레벨(아날로그 입력 전원이 1 V에서 10 V 사이)을 사용하는 회로를 말한다. 이러한 회로들도 마찬가지로 공통 모드 전압, 누화, 전기장, 자기장 등의 잡음원에 민감하다. 이러한 회로의 연결선은 개별적으로 꼬아주고 차폐를 해주어야 한다. 이러한 회로들은 도관 내에 설치될 필요는 없다. 그림 27은 이러한 회로들이 어떻게 차폐되어야 하는지를 전형적인 예이다. 이것은 이상적인 공학적 방법에만 의존한다면 장비전체에 수많은 접지를 해주어야만 하는 실제적인 어려움을 야기 시키는지를 보여준다. 차폐와 접지는 고감도 제어 회로에서의 방법과 일치한다.

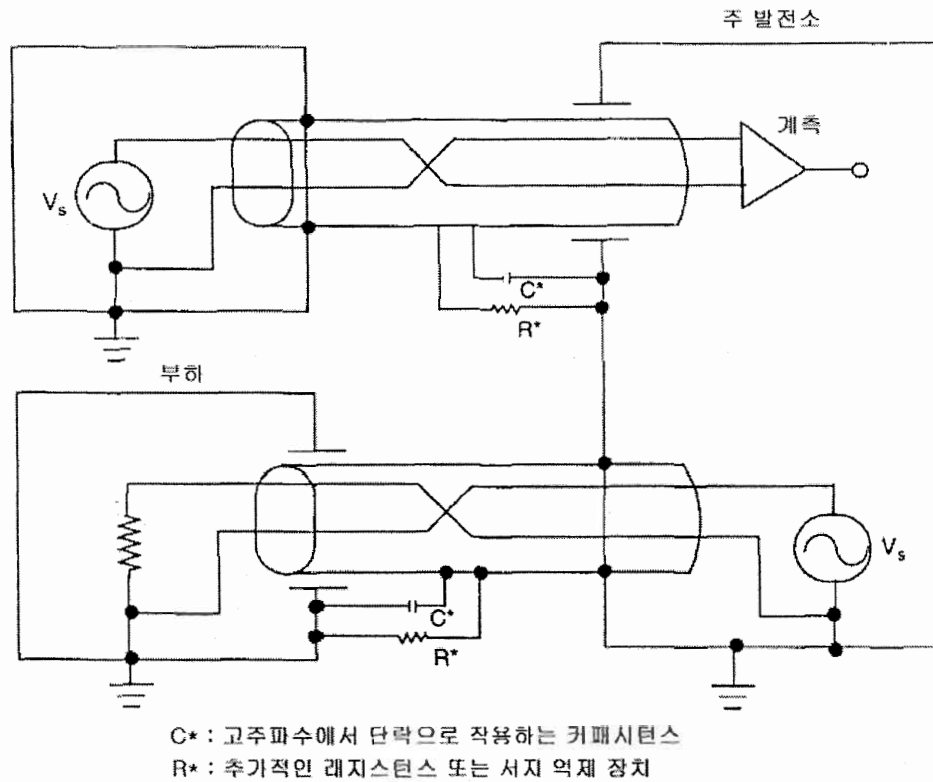


그림 27. 일반적인 제어 신호 접지

6.4.3 저감도 제어 회로에서의 접지

저감도 제어 회로는 다음과 같다.

- a) 아날로그 출력 전류(전류원) : $4\text{ mA} < I < 20\text{ mA}$
- b) 아날로그 출력 전압(전압원) : $0\text{ V} < V < 10\text{ V}$
- c) 디지털 출력 전압 : $5\text{ V}, 24\text{ V}, 28\text{ V}, 48\text{ V}$
- d) 디지털 출력 접촉 : (마른 접촉 또는 수은 접촉)
- e) 디지털 입력 전압 : $5\text{ V}, 24\text{ V}, 28\text{ V}, 48\text{ V}$
- f) 디지털 입력 접촉 : (마른 접촉 또는 수은 접촉)

이 회로는 공통 모드 전원, 누화, 전기장, 자기장 같은 잡음원에 덜 민감하다. 이러한 회로의 연결선은 개별적으로 꼬아주고 차폐를 해준다. 이것을 도관에 넣을 필요는 없다. 이 회로는 그림 27처럼 접지가 되어야 한다. 차폐와 접지 고감도 제어 회로에서 제시한 접지 방법과 일치한다.

6.5 고주파 신호용 접지

계측 및 제어 시스템용 고주파 신호는 보통 잡음에 민감하게 반응한다. 이러한 신호들은 동축케이블을 통하여 전달이 되는 영상신호(CRT 모니터의 영상신호)들이다. 이러한 케이블들은 각 끝단을 접지 시키거나 부유(floating) 시킬 수 있다. 저주파신호용 차폐케이블은 무선주파수 신호용으로는 사용할 수 없다. CRT 모니터와 떨어져 있고 디스플레이 발생기와 기준 접지를 따로 사용할 때에는 일반적으로 분리 변환기가 사용된다.

제 7 장 신호선 차폐 접지시 필요사항

7.1 케이블 차폐의 요구사항

일반적으로 케이블의 차폐선은 도선의 길이와 신호 파장의 비(L/λ)가 0.15 보다 클 때 차폐선의 양끝 단이 접지에 연결되어야 한다. 이것은 만약 차폐선의 한쪽만을 접지에 연결하였을 때 $L=\lambda/4$ 가 될 때 차폐선이 효율적인 안테나의 역할을 하기 때문이다. 케이블의 차폐선을 한쪽만 접지 시키는 것은 짧은 도선 길이에 낮은 주파수의 신호가 흐를 때 효과적이다. 공진 효과를 막기 위해서 양끝 단을 접지 시키는 대신 다중 접지가 필요할 수도 있다. 비록 다중 접지가 효과적일 수는 있으나 수분에 의한 손상을 입기가 쉽고 설치 시에 도선에 손상이 갈 가능성이 높다.

7.2 차폐 접지 적용의 분석

7.2.1 비차폐 회로의 단일접지

그림 28에서 신호 회로는 외부 도선으로부터의 자기장이나 용량성 결합에 의한 간섭을 받기 쉽고 접지 전위차 V_N 에 의하여 외부에 간섭을 줄 수도 있다. 접지와 신호선과의 전위차로부터 C_1 과 C_2 를 통한 용량성 결합은 방해 전류 I_N 을 야기 시킨다.

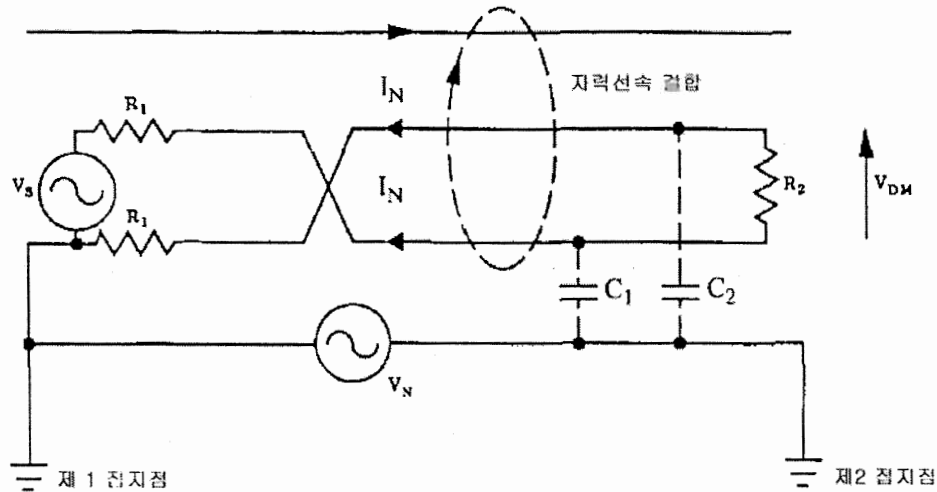


그림 28. 차폐를 사용하지 않는 트위스트 페어

신호원이 접지가 되었을 경우(불평형 회로), 트위스트 페어는 유기된 전류는 같지만 불평형 회로는 차동 모드 잡음을 야기 시키므로 저주파에서 용량성 결합에 대해서는 보호 효과가 없다. 회로가 접지에 연결되지 않을 경우에는 통제되지 않는 방해 레벨에 의하여 부유할 수도 있다. 종단이 접지에 큰 커패시턴스를 가지고 있을 때는 접지 되어야 한다. 보통 신호원이 여기에 해당된다. 회로는 외부 도선의 di/dt 에 의해 발생하는 자력선속으로 인하여 나타나는 공통 모드 전압에 영향을 받을 수 있다. 회로가 잘 균형이 잡혀있지 않다면 회로에서 공통 모드 방해 전류가 차동 모드 전압 V_{DM} 을 야기할 수 있다.

7.2.2 한쪽 끝이 접지된 차폐 회로

그림 29의 배치는 저주파에서 다른 도선으로부터 야기되는 용량성 간섭을 현저하게 줄여준다. 접지 전위는 차폐선에 더 직접적으로 유기되므로 방해 전류 I_N 은 공통 접지점으로 전도된다. 이 배치는 저주파에 효과적이다.

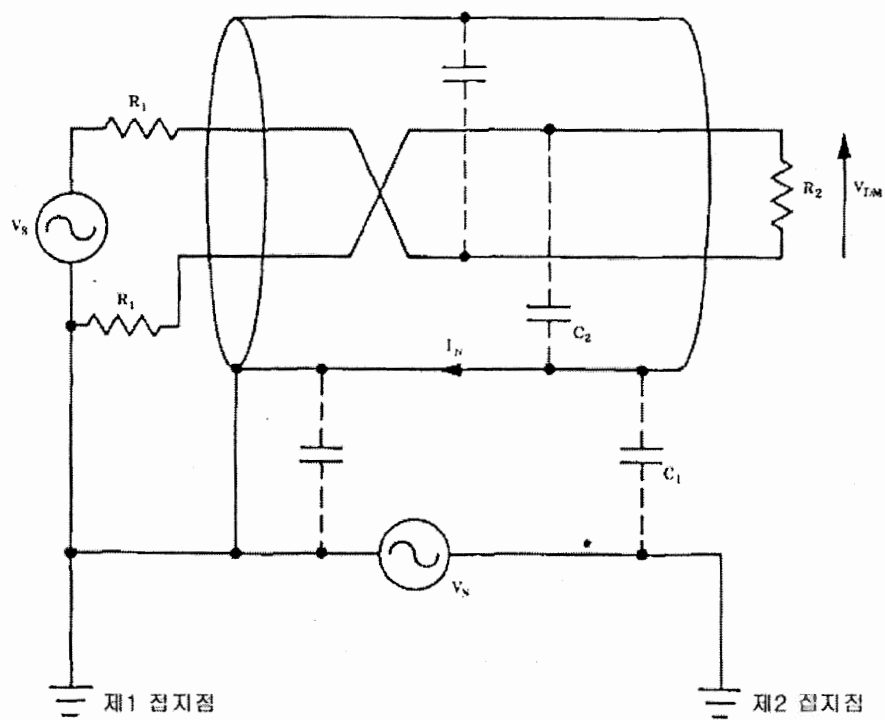


그림 29. 한쪽 끝이 접지된 차폐 회로

공통 모드 전압은 접지 전압 V_N 과 같다. 그러나 매우 높은 간섭 주파수에서는 접지 전위는 C_2 를 통해 신호선과 결합하는 차폐선과 견고하게 결합한다. 그림 30은 부하와 소스 둘 다를 접지 하는 예를 보여준다. 양자의 경우는 신호원 쪽만 접지를 하고 수신단은 부유를 시키는 것이다. 신호원 한쪽만 접지를 시키는 개념은 저주파에서 유기되는 잡음을 최소화하는 것으로 차폐선은 효과적으로 접지되어야 한다.

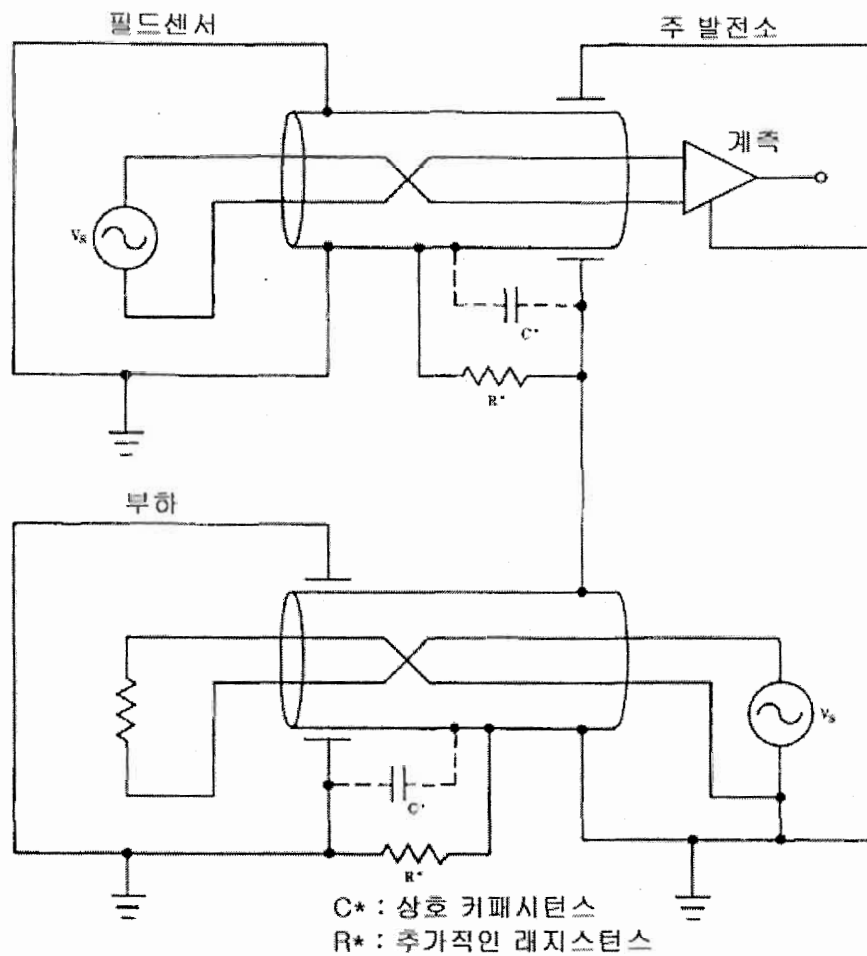


그림 30. 신호원단의 차폐선 접지

7.2.3 양단을 접지시킨 차폐 회로

그림 31은 이상적인 차폐 접지 배치이다. 이 배치에서 차폐 전류를 막기 위해서, 위치 1과 위치 2에서의 접지와와의 전압 차는 같아야 한다. 그림 32는 실제적인 차폐 접지 배치이다. 이 배치에서 위치 1과 위치 2간의 전압차가 공통 모드 전압(V_{CM})인데, 이것은 용량성 결합에 의하여 차폐선과 신호선간에 전류를 야기하므로 입력 회로는 신호전압(V_s)과 공통 모드 전압(V_{CM})에 동시에 진

행한다. 이 방법의 또 다른 단점은 번개나 시스템 결합에 의해서 야기되는 고주파 접지 전위차가 신호선으로 결합될 수도 있다. 차폐 전류는 차동 모드 잡음 전압이 자기장 결합에 의하여 도선 중심으로 야기할 수 있으므로, 이를 막기 위해서는 신호선 균형을 주의 깊게 잡아야 한다. 이것은 저주파 신호에서 발생하는 특이한 문제이며, 이런 이유에서 양단 접지를 조심하여 사용하여야 한다. 각 도선이 차폐가 되어있는 배선 다발로 이루어진 케이블에서 각 도선이 서로서로 절연되어 있는 경우에는 각각의 차폐선이 접지가 되어야 할 수도 있다. 커넥터를 통과하는 케이블 다발이 차폐된 트위스트 페어인 경우에는 차폐효과를 유지하기 위하여 구분 핀이 사용되어야 한다. 이중 삼중 차폐선의 경우에는 특히 높은 정전기 환경에서는 높은 입력, 출력 임피던스 회로가 필요할 수도 있다.

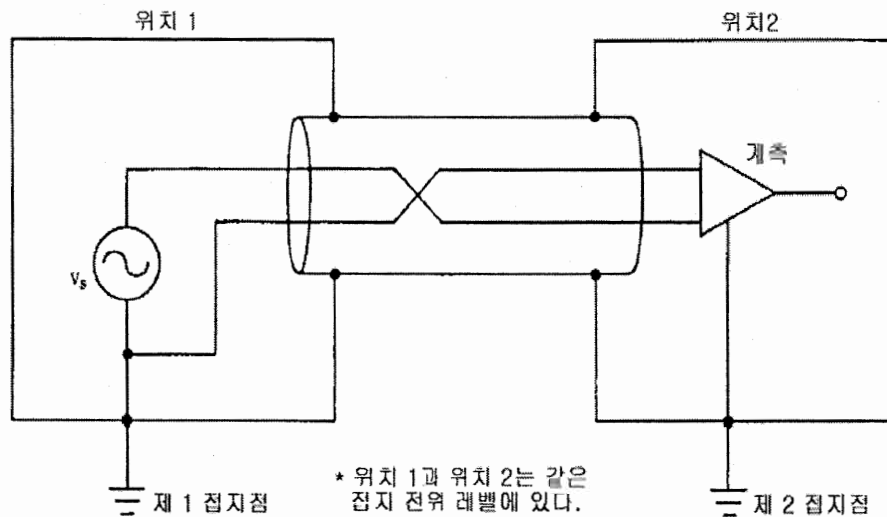


그림 31. 이상적인 양단 접지 차폐 회로

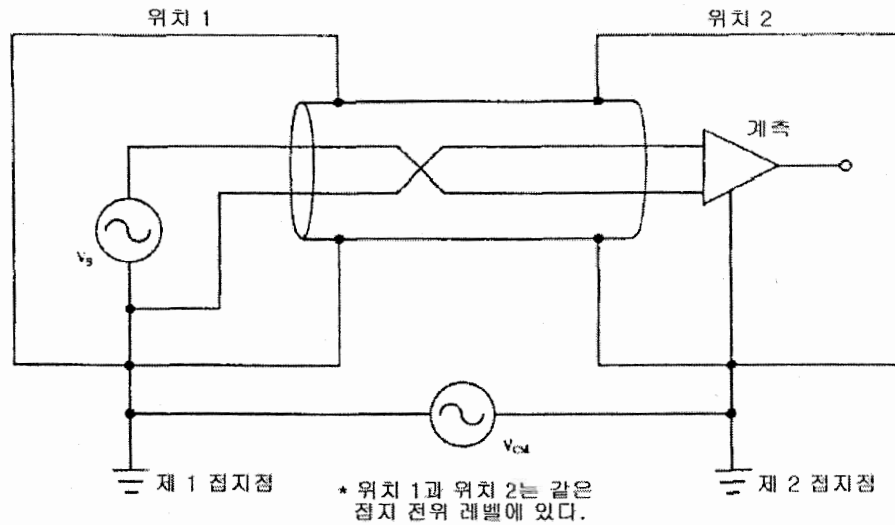


그림 32. 실제적인 양단 접지 차폐 회로

7.3 중앙 분산 프레임(CDF)에서의 접지방법

신호선으로 넘어가는 잡음을 최소화하기 위해서, 이상적인 접지방법은 신호원에서만 모든 케이블을 접지하는 것이다. 그러나 이러한 방법은 발전소에 넓은 분산 접지 시스템에 아래와 같은 단점이 발생할 수 있다.

- a) 다중 접지 루프가 발생할 수 있는 가능성과 같은 설계와 제작 단계에 있어서 차폐선 접지를 할 때 어려움이 증가된다.
- b) 접지 루프에서 따라 내려오는데 설치 시간이 상당히 증가한다.
- c) 넓게 분산된 절연 접지 시스템에서는 비용과 어려움이 증가한다.

중심 기준 접지를 수신 종단에 하는데 있어서 몇몇의 대안이 제시되었다. 발전소에서 잡음 발생을 최소화하기 위한 몇몇 방법들이 혼합되었고 이 시스템은 인정할만한 레벨까지 결합되는 양을 줄여주었다. 더 민감한 신호나 처리 시스템은 소스단의 차폐접지와 분리되어 다루어진다. 위의 일상적인 세 가지의 문제점 외에도 중앙 분산 프레임은 트렁크 케이블 시스템을 허용하는 이

상적이 시스템이다. 이러한 것들은 상당한 비용의 소요와 계획에 차질을 준다.

7.3.1 중앙 분산 프레임 접지의 원칙

하나의 절연 4/0 접지는 발전소 접지 매트에서 중앙 분산 프레임에 있는 절연된 구리 버스(25 mm × 6 mm)로 직접적으로 나온다(빌딩의 분산 접지 시스템이 아닌). 이 버스는 소스가 접지 되지 않은 민감한 신호선이나 컴퓨터에 연결되지 않은 모든 필드 신호의 신호 접지 시스템의 중심을 이룬다. 많은 수의 개별 선이 중앙 분산 프레임이 있다면, 이것은 발전소 접지에 연결되어 있는 버스로부터 방사(放射) 형태로 연결되어야 한다.

7.3.2 예비 컴퓨터 중앙 분산 프레임 접지

컴퓨터에 직접적으로 연결되는 모든 필드 신호선을 위한 분리는 되었지만 유사한 버스를 컴퓨터에 제공하는 것이 편리할 수도 있다. 이 버스는 주 중앙 분산 프레임 접지 버스로부터 절연된 4/0 케이블로 방사형태로 연결이 된다. 이 컴퓨터 중앙 분산 프레임은 최소 2 AWG의 절연선을 사용하여 각각의 컴퓨터 캐비닛 신호 접지 랙이 기준이 되도록 중심점 역할을 한다.

7.4 동축케이블

300 kHz 이상의 주파수를 사용하는 신호들은 동축케이블을 주로 사용하여 송신한다. 이런 종류의 케이블들은 외피(차폐선)가 회귀 경로 역할을 하며, 또한 부유 전압이 빠져나갈 수 있는 통로를 만들어 준다. 저주파에서는 회귀 전류가 차폐선을 통해서 지나가기보다는 주로 접지판을 통해서 지나간다. 그러므로 저주파에서는 차폐가 실제적으로는 자기장 차폐의 역할을 해주지는 못한다. 차폐가 실제적인 감쇄 효과를 주지 못하는 주파수 보다 낮은 특정한 주파수를 중단 주파수라고 하며 아래와 같이 정의된다.

$$f_c = R_s / (2 \pi L_s)$$

여기서,

R_s : 차폐 저항

L_s : 차폐의 자기 인덕턴스

표준 동축케이블의 중단 주파수는 0.5 - 10 kHz 이다. 중단 주파수이상으로 주파수가 점차적으로 증가함에 따라서 차폐의 감쇄 효과도 증가한다. 차폐 효과가 향상되는 이유는 접지판 보다는 차폐에 흐르는 회귀 전류에 의해 발생하는 루프 지역에서의 감소 때문이지 차폐 차체의 자기장 차폐 효과 때문은 아니다. 극단적으로 높은 주파수에서는 차폐의 외피와 내피가 겹쳐지지 않을 때 동축케이블이 2중 동축케이블의 특성을 나타낸다. 동축케이블의 차폐가 효과적이기 위해서는 차폐가 적절하게 중단되어야 한다. 고주파에서는 차폐선을 커넥터의 베이스에 납땜을 어떻게 하느냐에 따라서 차폐효과가 20 dB 정도 차이가 날 수 있다. 그러므로 접합부분에서 내부 도선을 완전히 감쌀 수 있도록 납땜을 잘 하여야 한다. 동축케이블을 설치할 때에는 가능한 곡률 반경을 크게 해주어야 한다. 케이블의 공칭 반경의 10배보다 곡률 반경이 작아서는 안 된다. 대부분의 동축 차폐는 내부 도선을 85% 정도 밖에 차폐하지 못한다는 것을 알아야 한다.

7.5 트위스트 페어 케이블

음성과 전원 시스템에서 접지 루프가 문제가 되는 주파수에서 균형이 잡힌 부하에 연결되는 트위스트 페어를 사용함으로써 공통 모드 억제비가 60 dB 까지는 낮출 수 있다. 선을 서로 꼬아줌으로써 두개의 수평 도선이 한 개의 루프 대신 연속되고 인접한 작은 루프들이 만들어진다. 두개의 도선에서 나오는 자기장은 인접한 루프의 자기장에 의해 발생하는 전류가 서로 반대방향으로 흐르게 됨으로써 서로 상쇄된다. 트위스트 페어 케이블은 결합된 잡음의 균형을 맞춤으로써 용량성 결합에 효과적이다. 공통 모드 잡음에서도 같은 결합 때문에 안전하다.

7.6 밸런스드 회로

공통 모드 억제가 효과적이기 위해서는 종단 임피던스와 페어의 밸런스가 맞아야 한다. 즉 회로가 접지가 되어야 한다면 가운데를 접지 시켜야 한다는 뜻이다.(그림 33 참조)

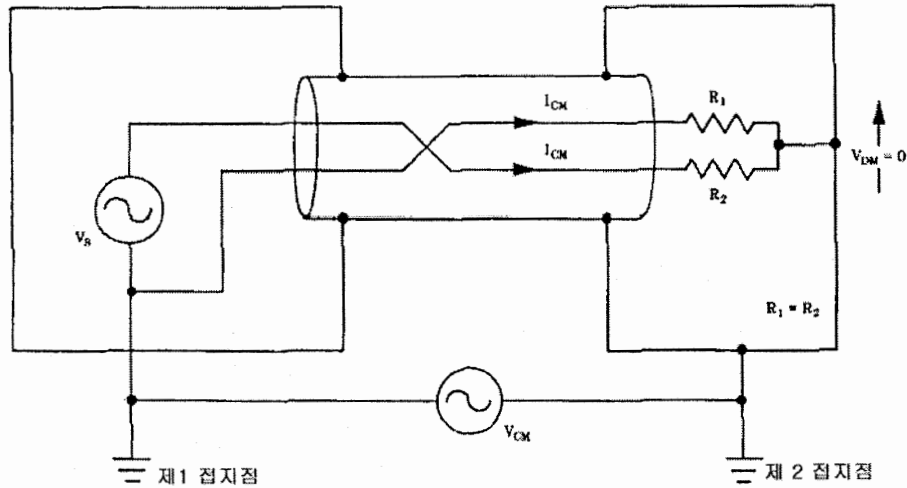


그림 33. 밸런스드 회로에서 공통 모드 억제

회로의 한쪽 끝만 접지가 되었더라도 유기된 공통 모드 전류의 절반은 부하를 통해서 흐를 것이기 때문에 공통 모드 억제비를 60 dB에서 6 dB 정도로 줄여야 한다(그림 34 참조). 회로가 한쪽 끝만 접지가 되어있어 불평형을 이룰 때는 트위스트 페어는 거의 효과가 없다.

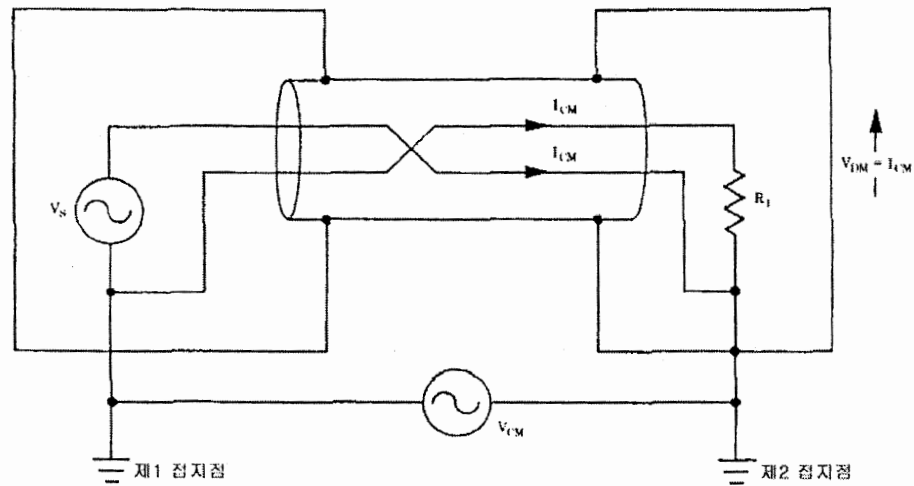


그림 34. 접지에 의해서 공통 모드 억제 효과가 약화된 모습

평형 접지의 적용이 적절하지 못할 경우, 트위스트 페어의 공통 모드 전류를 줄이기 위해서는 수신단의 차폐막을 부유 시키는 것이 좋다. 트위스트의 간격이 좁을수록 잡음의 감쇄 효과가 크다. 그러나 제조자 입장에서는 짧은 트위스트의 간격이 제조가격에 영향을 미치므로, 단위 미터 당 18turn 이 가장 적합하다. 고주파에서는 부유 커패시턴스와 인덕턴스의 불균형으로 인해 공통 모드 억제 효과를 떨어진다. 트위스트 페어는 고주파에서 효과가 떨어지고 차폐효과는 올라가므로 차폐와 트위스트 페어가 같이 적용되어야 한다.

7.7 다른 방법의 케이블 차폐

다른 케이블 방법들은 아래의 방법을 따라야 한다.

- 여분의 도선의 양단을 접지 시키는 방법은 고주파 결합의 양을 줄여주는 것으로 밝혀졌다. 그러나 다수의 제어 케이블들은 위와 같은 절차의 접지로부터의 60 Hz 방해 레벨을 증가 시켜 준다.
- 제어 케이블이 케이블 트랜치에 놓여질 경우 4/0 접지 격자 도선을 트랜치

내부 혹은 위를 통과시킴으로써 부가적인 저주파 차폐를 제공해 줄 수 있다.

c) 고전압(345 V 이상) 지역에서는 케이블을 타고 전달되는 고주파 과도현상이 결과적으로 제품 동작에 문제를 일으킬 수 있기 때문에 마당의 전등이나 120 V를 사용하는 발전소 같은 모든 전원 케이블을 차폐하는 것이 필요하다.

7.8 케이블 차폐 효과의 비교

여러 가지 케이블 시스템의 자기적 전기적 차폐 효과를 비교한 것이 IEEE Std 518-1982에 나와 있다.

7.9 케이블 차폐 접지 방법의 적용

컴퓨터와 정보통신기기가 복합적으로 사용될 경우에는 안전과 신뢰성 측면에서 접지가 필요로 하다. 전기적 안전 측면이 가장 중요하지만 컴퓨터와 복합 시스템의 경우에는 전기적 안전과 동작의 신뢰성의 측면 둘 다 중요시된다. 접지의 세 가지 기본 개념인 단일접지, 다중접지, 부유 접지 시스템은 6.3 절에 정의되어 있다. 각 개념은 장, 단점을 가지고 있으며 전형적인 발전소 신호 접지 시스템은 이 세 가지 개념을 복합적으로 사용한다.

7.9.1 단일 접지

이 개념은 발전소 접지 시스템이 상대적으로 저주파 잡음으로부터 장비를 보호한다는 것이다. 그러나 실제 제어 장치실 같은 높은 밀도의 전자 장비에 적용될 수 있는 경제적인 방법일 뿐이다.

7.9.2 다중 접지

이 개념은 상대적으로 높은 간섭으로부터 장비를 보호하기에 적합한 것이다. 이 시스템은 점차적으로 단일 접점 접지보다 단순해진다. 동축케이블이

사용되는 몇몇 시스템에서는 외부도 전선이 장비의 외피 근처에서 부유 될 필요가 없기 때문에 더 단순할 수도 있다. 그러나 이 시스템은 발전소의 저주파 잡음에 영향을 받을 수도 있다. 짧은 도선을 사용한 다중 접지가 300 kHz 이상의 주파수 신호에 대한 가장 신뢰할만하면서 간단한 방법이다. 차폐의 한쪽 끝을 접지에 직접 연결하는 대신에 고주파에서 임피던스가 낮아지는 커패시터를 사용함으로써 고주파에서 접지가 된 효과를 낼 수가 있다. 저주파에서는 커패시터에 무시할만한 전류가 흐르므로 저주파에서는 단일 접지의 특성과 같은 효과를 낼 수가 있다(그림 31 참조). 다중 접지 시스템은 고주파의 간섭이 예상되는 시스템에 사용되어야 한다. 실제로 응용할 수 있는 방법은 제품의 새시를 기준 신호로 사용하는 것이다. 새시는 제품의 케이스(그리고 제품의 접지)에 다수의 연결선을 사용하여 연결하여 준다(그림 24 참조).

7.9.3 부유 접지

진정한 개념의 부유 접지는 실제로 적용하는데는 어려우며 주로 부시스템에 사용된다. 부유 접지는 그 자체로 전기적인 위험을 내포하고 있으므로 주로 판매자는 접지된 외피에 제품을 포함하여 제공하고 있다.

7.10 제어 루프 접지의 일반적인 요구사항

직접적인 디지털 제어와 관련이 없는 제어 루프나 컴퓨터를 기초로 한 시스템은 전기적 안전, 잡음 최소화, 그리고 기준 전압을 확립하기 위하여 효율적인 접지가 필요로 한다. 제어 루프 접지는 국부 접지와 부유 접지의 두 개의 그룹으로 나눌 수가 있다. 케이블 차폐는 차폐와 회로 기준간의 커패시턴스가 최대가 되는 점에서 접지가 되어야 한다. 이것은 충전전류 흐름을 최소화함으로써 커패시턴스간에 접지 루프가 발생할 수 있는 가능성과 결과적으로 발생될 수 있는 공통 모드 잡음을 감소시켜준다. .

7.10.1 국부 접지

그림 35에 나와 있는 것처럼 접지선을 가지고 있는 기기들의 케이블 차폐는 기기의 접지에 최대한 가깝게 연결되어야 한다.

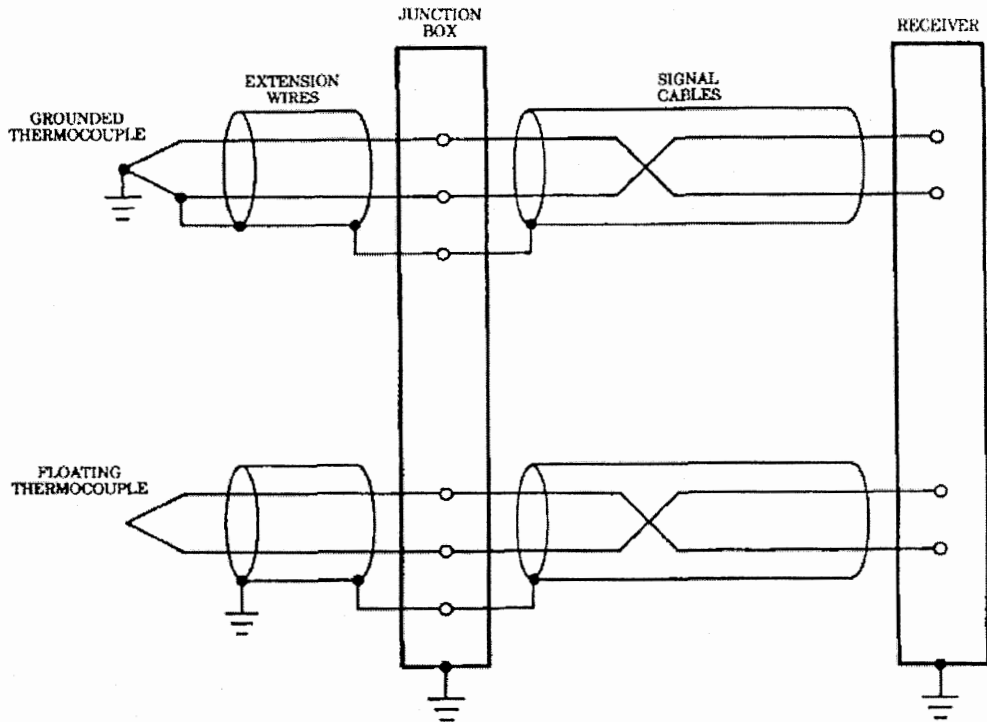


그림 35. 국부적으로 접지된 기기의 예

열전쌍(접지되었을 때와 부유되었을 때 둘 다), RTD들, 그리고 접지된 입력단을 가지고 있는 다른 기기들은 반드시 위와 같은 방법으로 접지되어야 한다. 센서 연결부로부터 수신기까지의 차폐의 연속성은 반드시 유지되어야 하며, 차폐는 일반적으로 신호원에 해당되는 커패시턴스가 최대가 되는 지점의 접지로부터 절연되어야 한다.

7.10.2 부유 접지

그림 36에 나와 있는 것처럼 접지가 되지 않은 신호원들의 케이블 차폐는 최대한 소스에 가깝게 연결되어야 한다. 트랜스미터, 절연 증폭기, 그리고 모든 접지 되지 않는 입력단의 케이블 차폐는 반드시 이러한 방법으로 접지 되어야 한다(7.2.2절 참조).

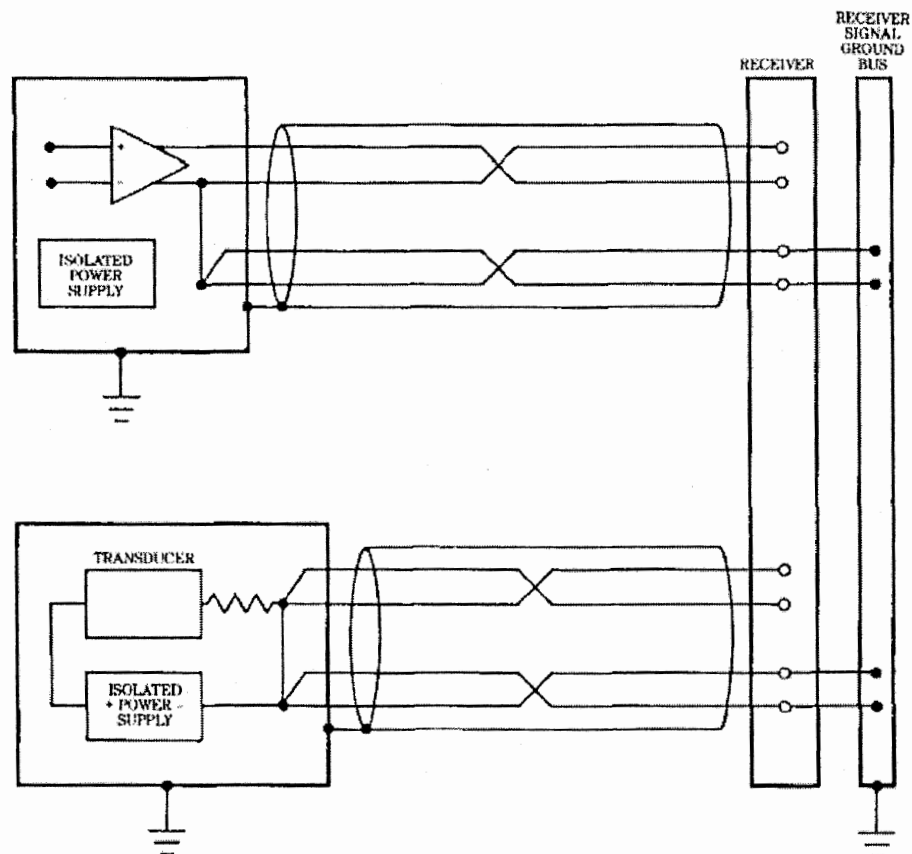


그림 36. 부유된 기기의 루프

7.11 분배 시스템에서 디지털 통신을 위한 부유 접지

차동 증폭기, 드라이버, 그리고 수신기는 두개의 접지 기준 전위에서 동작 하도록 설계된다. 그림 37에 이 개념이 잘 나와 있다.

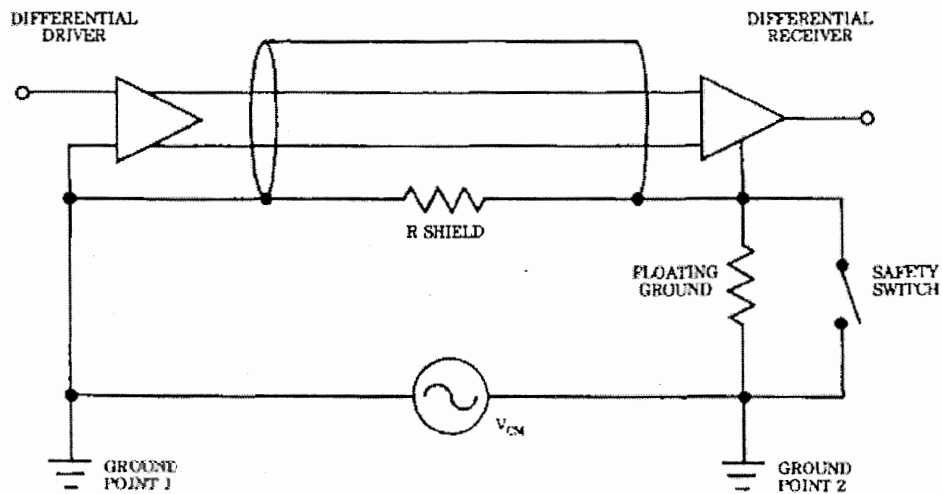


그림 37. 차동 드라이버와 수신기의 접지

아래의 사항은 반드시 고려되어야 한다.

- 차폐는 접지에 연결되는 차폐와 부유 커패시턴스 간에 형성되는 접지 루프를 막기 위해서 반드시 커패시턴스가 최고가 되는 지점에 접지 되어야 한다. 커패시턴스가 최고가 되는 지점은 일반적으로 신호원일 경우가 많다.
- 양단이 다른 기준 접지점에 접지 되었을 때에는 두개의 분리된 차폐막이 존재하게 되며 차동 트랜스미터와 수신 회로는 양 기준점 사이의 전압차를 견딜 수 있어야 한다. 그렇지 않을 경우에는 변압기는 결합장치의 역할 밖에 할 수 없게 된다.

제 8 장 접지 시스템의 검사

8.1 일반

이 절에서는 단일 접지 개념을 사용한 기기의 접지 시스템 상에서 접지 루프를 찾기 위한 방법을 설명하고 있다. 이 절에서는 복수 접지가 사용될 수 있는 고주파 시스템에서의 시험을 언급하고 있지는 않다.

8.2 접지 루프의 소스

접지 루프의 주 소스는 다음과 같다.

- a) 케이블 접지의 하나 이상의 점에서 잘못 연결되었을 때.
- b) 차폐선과 관련 신호선이 다른 위치에서 접지가 되었을 때. 접지 루프는 접지 점들과 신호선 사이에서 발생하여 차폐 커패시턴스를 만든다.
- c) 누설 선로는 잘못된 절연이나 습기 등에 의하여 발생된다. 습기에 의하여 발생된 누설선로는 일반적으로 회로나 터미널선, 혹은 커넥터에서 잘 일어난다.

8.3 접지 루프의 차단과 발견

접지 루프는 두개 이상의 연결선이 신호 케이블이나 케이블 차폐로부터 접지 발전소의 잘못된 지점에 연결되었을 때 발생한다. 접지 발전소의 다른 점들은 전압차를 발생시킬 수 있으며 결과적으로 접지 시스템에 전류의 흐름을 발생시킬 수 있다. 전류는 전원 시스템의 과도현상, 번개 등 5.1절에 나와 있는 소스에 의하여 발생할 수 있다. 발전소 접지 시스템의 이러한 전압 차에 의하여 접지 루프가 다중 접지점을 경유하여 신호선이나 차폐에 전류가 흐를 수 있는 통로를 제공할 수도 있다. 이런 전류의 흐름은 신호선에 공통 모드 잡음을 만들어 낼 수도 있으며 회로와 종단에 의하여 공통 모드 잡음이 노말

모드 잡음으로 변환되는 잡음 문제를 만들 수도 있다. 잡음 전류는 60 Hz나 60 Hz의 고조파가 가장 일반적이다. 특히 3차 고조파가 대표적이다. 초기의 설치에서 접지 루프를 피하기 위해서는 접지 루프가 존재하지 않는다는 것을 확인하기 위한 시험을 수행하여야 한다.

- a) 차폐와 신호선 등을 접지하기 전에 접지와 절연 여부를 저항 측정기나 확실하게 절연이 되었는지를 확인할 수 있는 교정된 다른 장비들을 이용하여 확인하여야 한다. 선이나 차폐와 발전소 접지간의 저항은 $1\text{M}\Omega$ 이상이 되어야 한다.
- b) 낮은 저항은 적절하지 못한 접지, 고장이 있는 배선, 습기 등이 존재함을 나타내주며, 이러한 고장들은 수정되어야 한다. 고장들이 수정된 후에야 비로소 회로, 차폐 등이 접지에 연결되어야 한다.
- c) 모든 장비와 기기에 접지가 끝난 후에는 8.4절에 나와 있는 것처럼 전반적인 신호 접지 시스템이 확인되어야 한다.

위의 시험방법은 케이블 차폐와 주변 신호 회로가 다른 위치에 접지 되었을 때를 제외하고는 접지 루프를 감지할 수가 있다. 차폐와 신호선 사이의 커패시턴스는 접지 전류가 접지점과 커패시턴스 사이에 흐르도록 만들어 준다. 이러한 식의 접지 루프를 피하기 위해서는 조심스러운 설계, 조립 그리고 설치 과정에서의 확인 작업이 가장 이상적인 방법이다.

8.4 접지 루프 시험

다중 직접 접지 혹은 저항 접지선에서 발전소 접지 격자로 연결된 접지 루프는 다음의 그림 38에 나와 있는 방법에 의하여 검출될 수가 있다. 8.2절에 설명된 것처럼 잘못된 차폐 접지에 의해서 발생된 접지 루프는 검출할 수는 없다. 낮은 저항의 캐비닛이나 장치가 발견되지 않는다면 메인 버스로부터 캐비닛으로 가는 신호 접지 케이블이 단락 되었을 가능성이 높다. 일단 저항 측정기로 시험이 끝났을 때에는 고 저항 접지 루프를 검출하기 위해서 50 V 소스

와 밀리 전류 측정기를 사용하여 위의 절차를 반복해 보아야 한다.

모든 접지 회로를 열 때에는 주의를 필요로 한다. 어떠한 조건하에서는 위험이 전압이 개방된 접지 회로를 통해서 발생할 수도 있다. 접지 케이블들은 시험을 통하여 전위를 확인하기 전에는 에너지를 가지고 있는 도선으로 간주되어야 한다. 접지 회로를 개방하는 것은 장비의 접지 시스템에 접지된 장치가 오동작을 하게 만들 수도 있다. 그러므로 접지회로를 개방하기 전에 시스템이 받을 수 있는 충격을 추산해보는 것이 좋다. 동작 시스템의 경우에는, 신호 회로에 결합된 잡음에 의해서 특정 시스템, 판넬, 회로의 그룹에 우연히 발생한 접지 루프가 문제 분석 과정에서 우연히 축적될 수도 있다. 이런 경우에는 의심이 가는 판넬이나 회로를 포함시키는 것만으로 시험을 단순화시킬 수 있다. 시스템이 처음 설치되었을 경우에는 추후 시험의 편의를 위해서 접지 시스템 사이의 여러 점에 제거 가능한 링크를 넣어두는 것이 좋다. 만약 판넬 접지가 전에 나와 있는 방법대로 분리가 되지 않고, 접지 루프 때문에 잡음이 여전히 문제가 된다면 같은 방법으로 잡음 레벨을 측정하는 방법이 사용되어야 한다. 이것은 다음의 절차를 포함할 수도 있다.

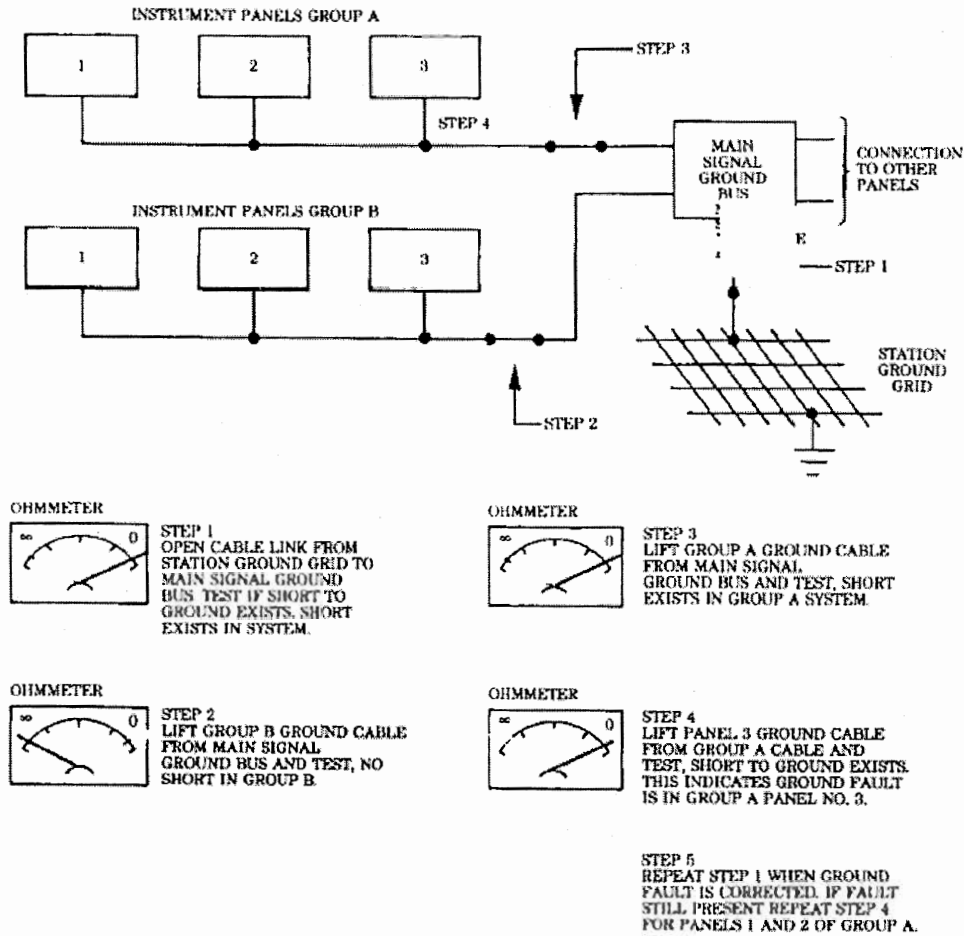


그림 38. 접지 루프를 검출하기 위한 시험

- 접지 발전소 시스템에 메인 신호 접지를 연결하여 장비 접지 케이블상의 잡음 전류 및 전압을 측정한다.
- 주 신호 접지 버스에 판넬을 연결하여 케이블상의 잡음 전류 및 전압을 측정한다.
- 다른 케이블보다 월등히 높은 잡음 전류 및 전압을 가진 케이블은 접지에서 단란 시킨다.
- 잘못된 접지 케이블에 판넬을 연결하여 각 케이블의 잡음 레벨을 확인한다. 높은 잡음 레벨을 가진 판넬 접지는 반드시 확인해 보아야 한다.
- 전체적인 판넬을 확인하고 우연하게 발생한 접지를 바로 잡는다.

이 방법은 여러 지점에서 주기적으로 잡음 레벨이 발견되는 경우 더욱 효과적이며, 앞으로의 시험에 참고하기 위해서 기록해 두어야 한다. 그러면 차후에 문제가 발생시 잡음 레벨을 이전에 기록해둔 값과 비교해 볼 수가 있다. 에너지가 차있는 도선과 접지 도선(예:차폐선)사이의 용량성 결합에 의하여 발생된 전류가 접지 시스템에 흐를 수 있는 것은 일반적인 사실이다. 장비 접지 시스템상에 전압과 전류가 발생되었다고 해서 반드시 문제가 여전히 남아 있다는 것을 의미하지는 않는다. 부가적으로, 잡음이 발견되지 않거나 회로상의 잘못된 동작이 없다고 해서 접지 루프나 잠재적인 문제가 없다는 것도 아니다. 과도현상이나 전원 시스템 접지 오류 등과 같은 간헐적인 잡음원에 의해 발생하는 문제들은 접지 루프가 과도현상이나 전원 접지 시스템 오류 같은 문제가 나타날 때마다 접지 루프 문제를 일으키므로 시험 중에는 그 위치를 찾지 못할 수도 있다. 그러므로 잡음 측정 시험은 접지 루프와 잠재적인 잡음 문제를 찾는 데 효율적이지 못할 수가 있다. 그러나 잡음 측정은 원인을 찾아내는 데는 유용하다. 주 잡음 성분의 주파수로 잡음원을 찾을 수 있을 것이다. 60 Hz의 잡음은 소스가 전원 접지 시스템이라는 것을 의미하고, 120 Hz, 180 Hz 잡음은 그 잡음원이 전원 공급 시스템임을 말해준다. 데이터 시스템의 고주파는 데이터 시스템 내에서 발생한다.

8.5 신호 접지 시스템의 강도

최초 설치 후에, 아래의 연속성 및 저항 측정이 이루어 져야 한다.

- a) 주 신호 접지 버스와 발전소 접지 시스템간의 저항을 측정한다.
- b) 캐비닛 신호 접지점과 주 장비 접지 버스간의 저항을 측정한다.
- c) 저항 값을 비교하여 값을 설계한다. 저항 값이 클 경우에는 연결선을 확인하여 발견되는 문제를 바로 잡는다. 만약 저항을 여전히 높다면, 필요시에는 더 큰 접지 케이블을 사용한다. 접지 도선을 가능한 짧게 유지하는 것은 항상 접지 회로 임피던스를 최소화하는데 효과적이고 잡음 전압 레벨을 제한한다.

8.6 신호 접지 시스템의 유지

볼트로 연결된 연결선과 주 신호 접지 버스 간에 주기적인 조사가 필요로 하다. 이 조사는 모든 연결선의 시각적인 조사도 포함된다. 도선이 제대로 연결되었는지, 부식은 없는지 등 또한 조사되어야 한다.

제 9 장 결 론

본 연구에서는 원자력발전소의 전자파 환경을 파악하고 EMC 환경조건 확보를 위한 방안을 연구하기 위해 가장 초기에 건설된 고리 원자력발전소 3호기의 주 제어실(MCR; Main Control Room)에서 전자파 장애에 민감하거나, 전자파를 많이 발생시킬 것으로 예상되는 계측 및 제어 시스템들을 대상으로 전도잡음을 측정하고 분석한다. 측정은 주 제어실내의 안전(Q) 지역에 설치된 모든 제어설비와 비안전(Non-Q) 지역에 설치된 일부 설비를 대상으로 이루어진다. 또한 측정은 대상기기의 전원 입·출력선으로부터 잡음을 직접 측정하는 것에 의해 정상적인 발전소의 운전에 영향을 미칠 수 있으므로 고리 원자력발전소의 유지·보수기간인 출력이 0%인 정지기간 일주일동안 반복적으로 수행된다. 단체 및 군사규격인 EPRI TR-102323-R1 과 USNRC Guide 1.180 그리고 MIL-STD-462D 에서 규정한 전도잡음 측정항목 및 범위를 참고로 하여 30 Hz ~ 50 kHz 의 전도성 잡음 전류와 10 kHz ~ 30 MHz 의 전도성 잡음 전압을 측정하고, 측정된 520여개의 데이터는 설비의 전원입력방식에 따라 분류되어 비교·분석된다.

분석된 데이터를 종합하면 동일한 전원을 사용하는 계측 및 제어설비들이 유사한 전도잡음 특성을 보이며, 전반적으로 전도성 잡음 전압이 EPRI 나 USNRC 의 한계치를 초과하고 있다. 특히 레귤레이팅 변압기를 사용하는 특정한 전원(A-5E-PQ-X003, B-5E-PQ-X003)을 사용하는 설비의 경우는 높은 수준의 협대역성 전도잡음 전압이 검출된다. 이것은 스위칭 모드 전원장치(SMPS; switching mode power supply)에서 발생된 스위칭 동작주파수 및 그것의 고조파에 의한 영향으로 분석되며, 다른 협대역의 높은 잡음은 CPC 내·외부회로, 특히 마이크로 프로세서와 같은 회로의 클럭 동기 주파수에 영향을 미칠 수 있다.

또한 본 연구에서는 측정된 전도잡음의 결과를 바탕으로 발전소에서 발생할 수 있는 잡음의 원인을 설명하고, EMC 환경조건 확보를 위해 발전소 현장에서 적용 가능한 계측 및 제어장비의 접지방법에 관한 방안을 제시한다. 적당한 차폐기술과 함께 제시된 접지방법을 사용한다면 발전소내의 여러 가지

계측 및 제어장비로부터 보내어지는 약전신호의 왜곡을 현저히 감소할 수 있고 이로 인해 전자파 장애 및 내성에 관한 환경조건이 확보될 수 있다.

추후 연구과제로는 고리 원자력발전소 주 제어실 내부에서 각 시스템으로부터 공간적으로 복사되거나 외부에서 유입되는 복사 전자파를 측정하고 분석하여 국내 원자력 발전소의 복사 전자파 환경특성을 파악하고, 복사 전자파에 대한 대책방안을 연구하는 것이다.

참고문헌

- [1] R. J. Hoff, "EMC measurements in hospitals," in Proc. IEEE Int. Sympo. on EMC, pp. 5BIIc 1-5, 1975.
- [2] H. Cichori and H. Trzaska, "Electromagnetic environment within apartment houses," in Proc. IEEE Int. Sympo. on EMC, pp. 47-52, 1987.
- [3] G. G. Champiot and J. B. Agostini, "Electromagnetic environment in a PWR power plant," in Proc. IEEE Int. Sympo. on EMC, pp. 377-387, 1982.
- [4] P. Rajagopalan and S. Karunakaran, "Electromagnetic ambient survey in industries for the design and installation of radio control and other sensitive electronic equipment," in Proc. IEEE Int. Sympo. on EMC, pp. 589-591, 1989.
- [5] USNRC NUREG/CR-6436, Survey of ambient electromagnetic and radio-frequency interference levels in nuclear power plants, 1996.
- [6] EPRI TR-102323-R1, Guidelines for electromagnetic interference testing in power plants, 1997.
- [7] USNRC REG. Guide 1.180, Guidelines for evaluating electromagnetic and radio-frequency interference in safety-related instrumentation and control systems, 2000.
- [8] MIL-Std-461D, Electromagnetic Emission and Susceptibility Requirements for the Control of Electromagnetic Interference, 1993.
- [9] MIL-Std-462D, Measurement of Electromagnetic Interference Characteristics, 1993.
- [10] IEEE Std 1050, IEEE Guide for Instrumentation and Control Equipment Ground Generating Stations, 1996.
- [11] IEC 61000-5-2, Electromagnetic compatibility - Installation and mitigation guidelines - Earthing and cabling, 1997.
- [12] 산업기술시험원, 전자파 시험 업무 절차서, P226, 1999.

부 록

부록에서는 시험을 수행한 안전(Q area) 및 비안전(Non-Q area) 지역에 설치된 계측 및 제어기기에 대한 측정사진과, 전원입력방식에 따른 측정결과를 수록하였다. 전원입력방식에 따른 측정결과를 살펴볼 때 같은 전원을 사용하는 기기는 유사한 잡음특성을 보임을 알 수 있다.

부 록 목 차

A. 전도잡음 측정사진	101
B. 전원입력방식에 따른 측정결과	111
1. 전원입력방법 : N-5E-NQ-N001(인버터)	111
2. 전원입력방법 : N-5E-NQ-N002(인버터)	141
3. 전원입력방법 : N-5E-NQ-X004(레귤레이팅 변압기)	165
4. 전원입력방법 : N-5E-NQ-X005(레귤레이팅 변압기)	194
5. 전원입력방법 : N-5E-NQ-N003(인버터)	227
6. 전원입력방법 : A-5E-PQ-N001(인버터)	233
7. 전원입력방법 : A-5E-PQ-N002(인버터)	241
8. 전원입력방법 : A-5E-PQ-X003(레귤레이팅 변압기)	267
9. 전원입력방법 : B-5E-PQ-N001(인버터)	293
10. 전원입력방법 : B-5E-PQ-N002(인버터)	301
11. 전원입력방법 : B-5E-PQ-X003(레귤레이팅 변압기)	325
12. 전원입력방법 : C-5E-PQ-N001(인버터)	351
13. 전원입력방법 : D-5E-PQ-N001(인버터)	363

A. 전도잡음 측정사진

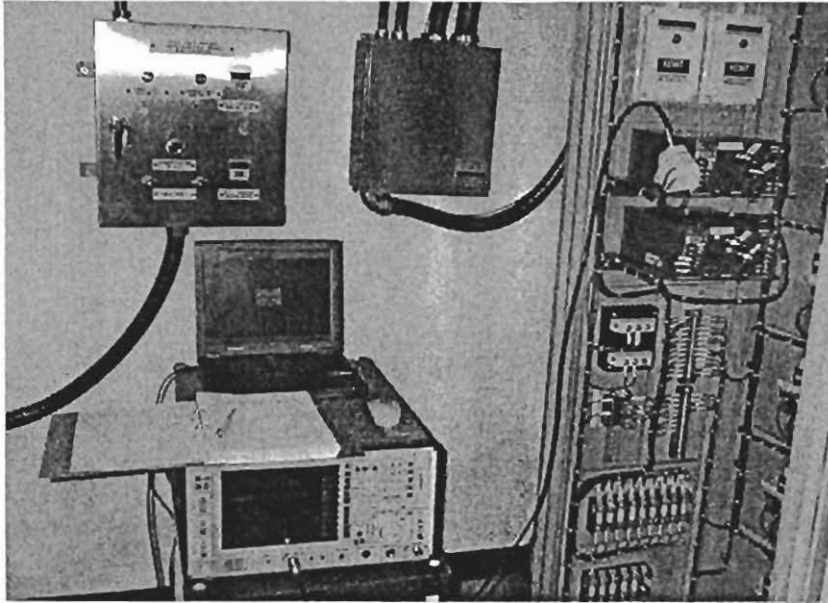


그림 A.1 저주파 전도잡음 측정(JP081)

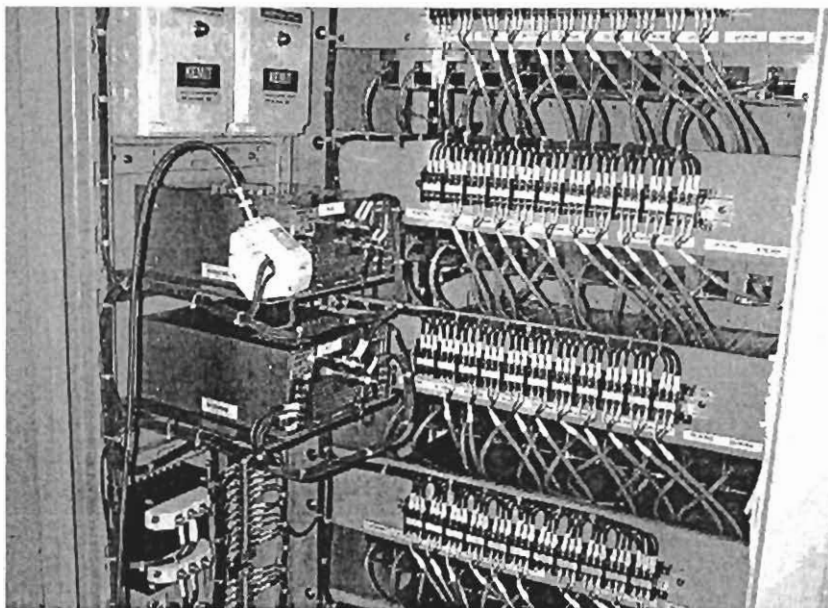


그림 A.2 저주파 전도잡음 측정(JP081)

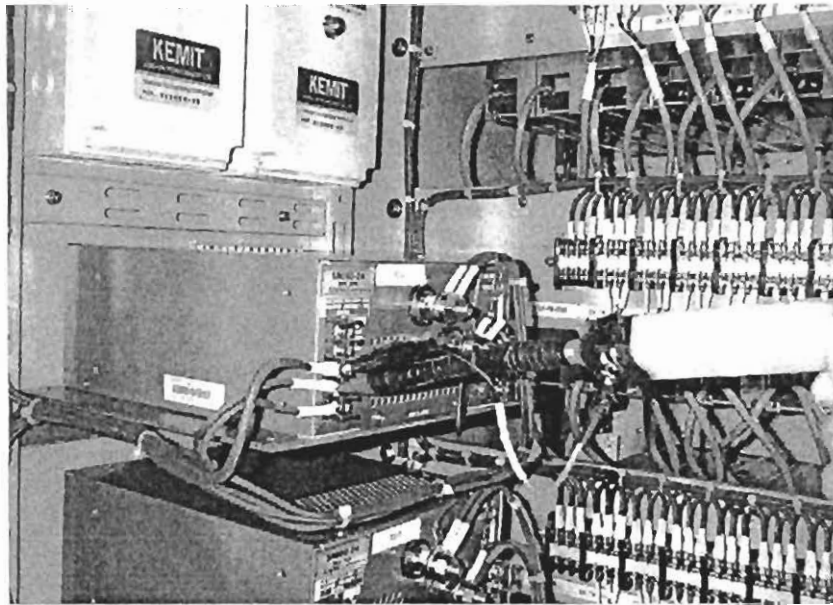


그림 A.3 고주파 전도잡음 측정(JP081) - 차동모드

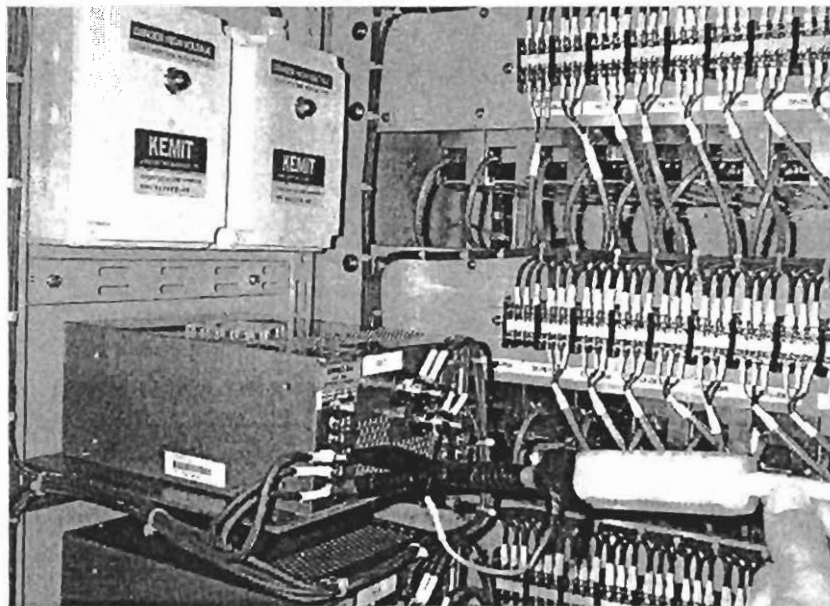


그림 A.4 고주파 전도잡음 측정(JP081) - 공통모드

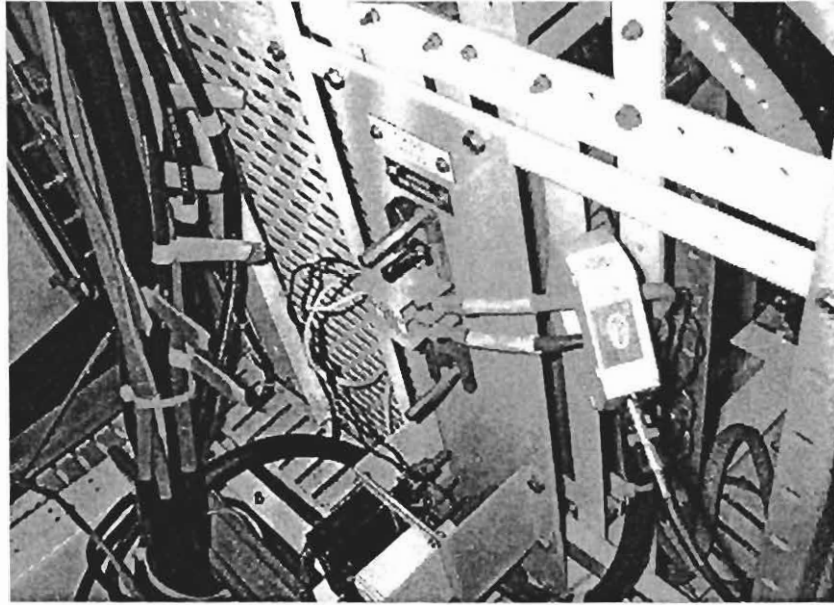


그림 A.5 저주파 전도잡음 측정(JP052)

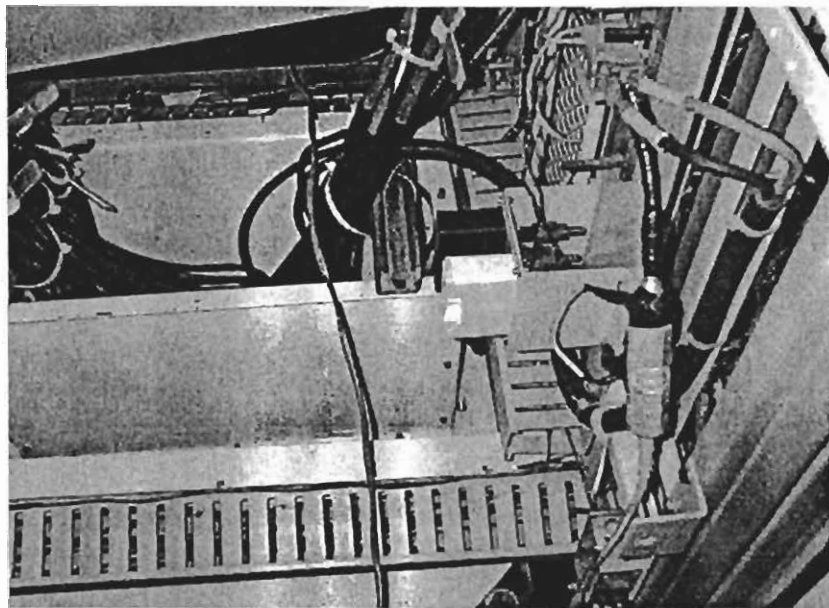


그림 A.6 고주파 전도잡음 측정(JP052)

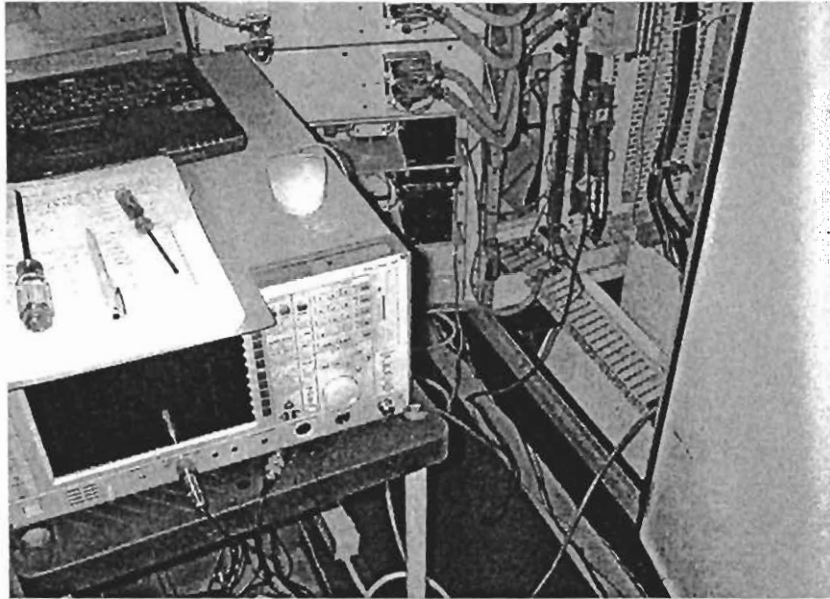


그림 A.7 전도잡음 측정을 위한 계측기

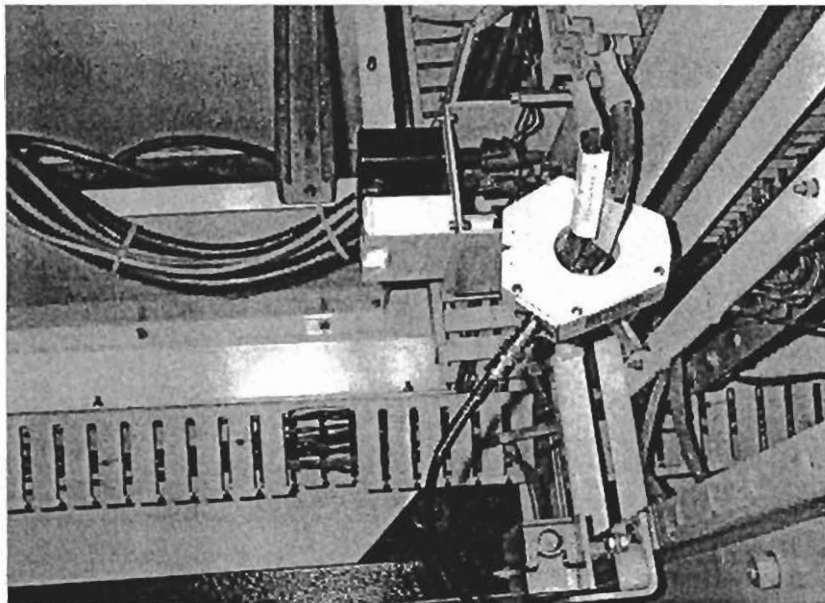


그림 A.8 저주파 전도잡음 측정(JP063)

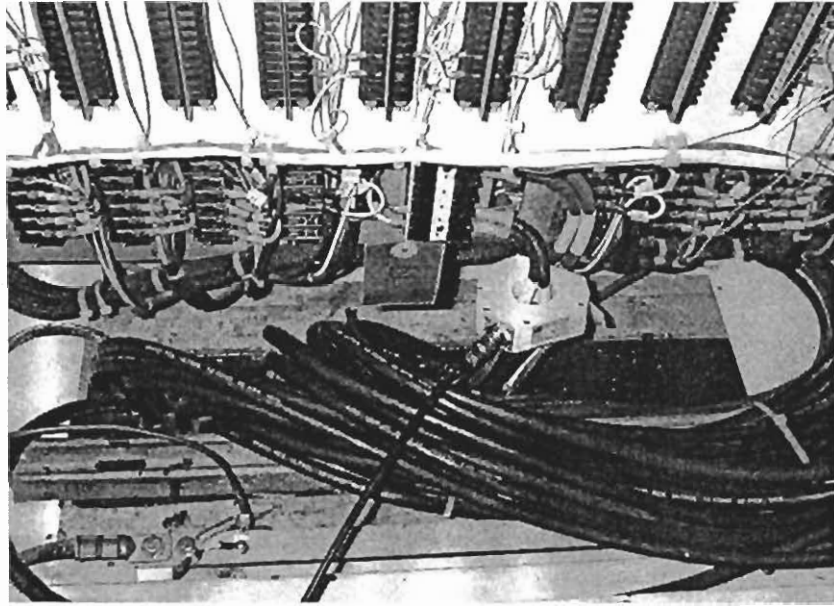


그림 A.9 저주파 전도잡음 측정(JP016A)

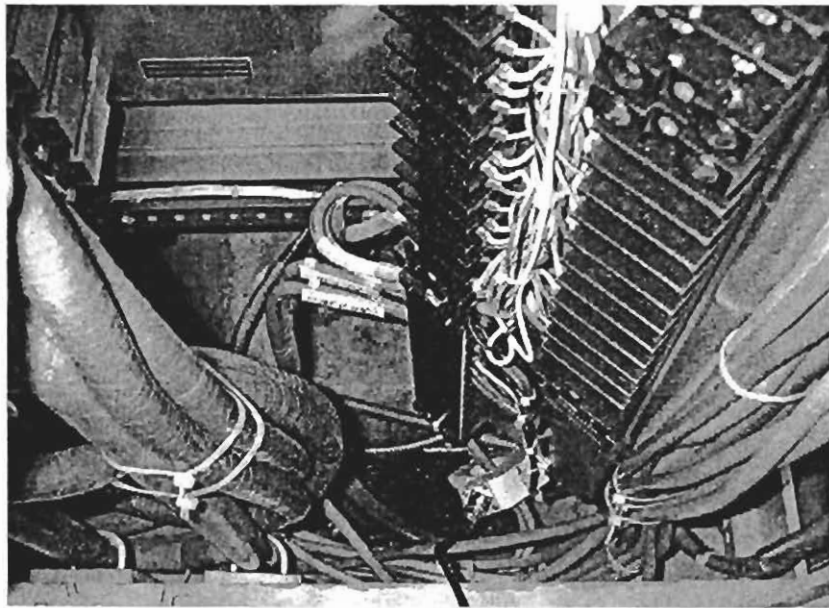


그림 A.10 저주파 전도잡음 측정(JP046)

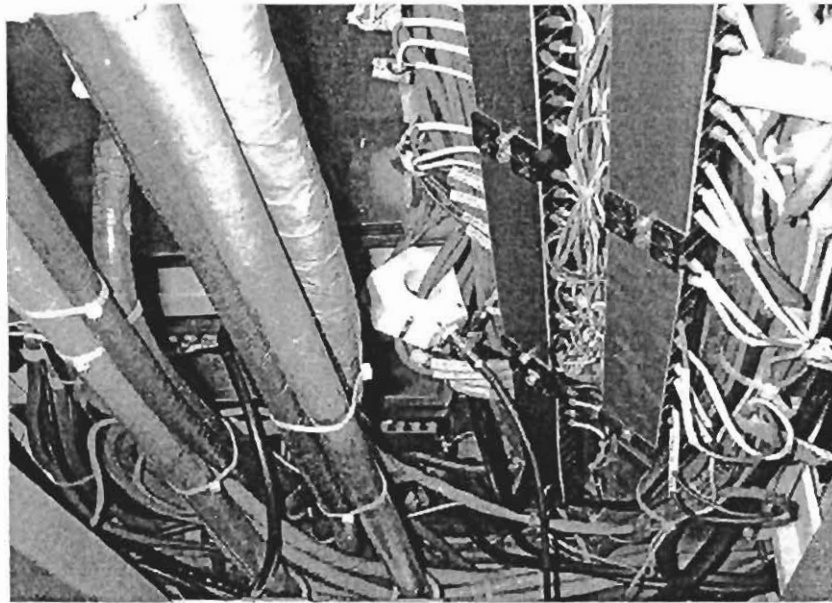


그림 A.11 저주파 전도잡음 측정(JP040)

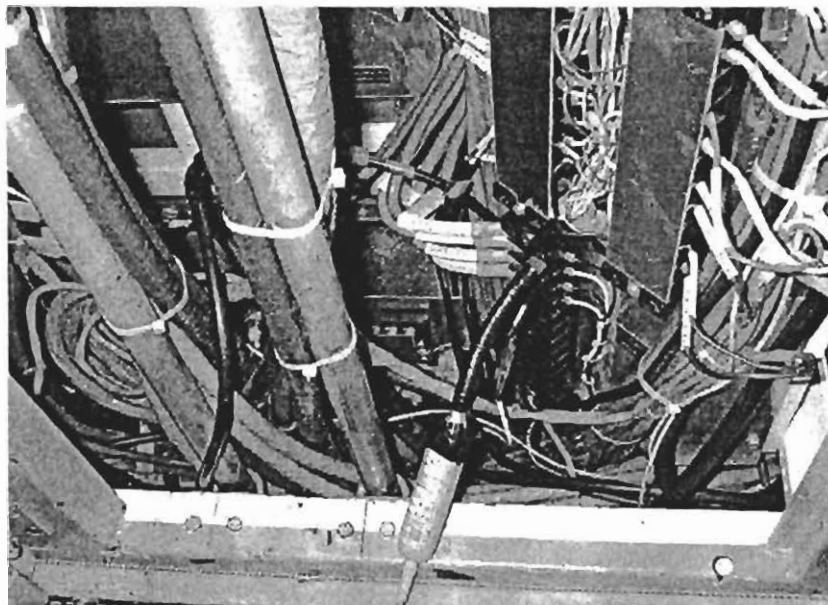


그림 A.12 고주파 전도잡음 측정(JP040)

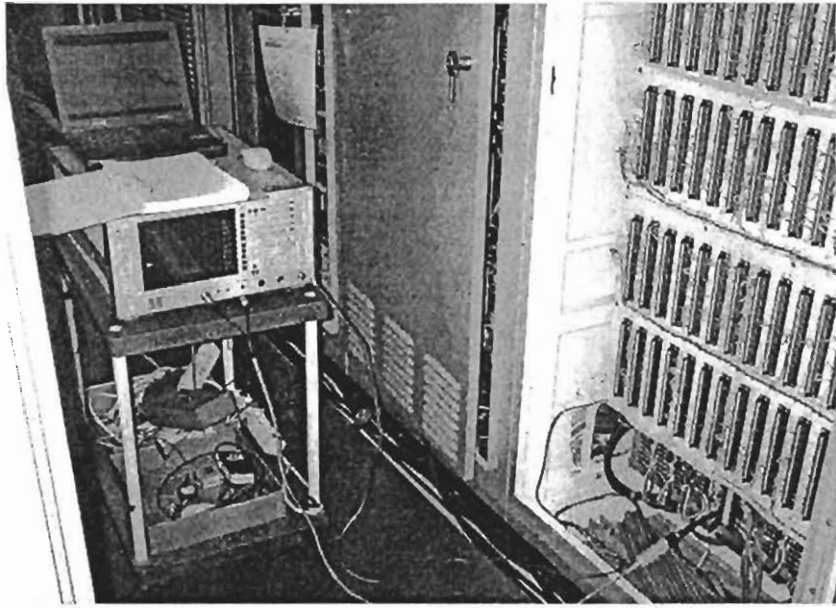


그림 A.13 고주파 전도잡음 측정(JP036K)

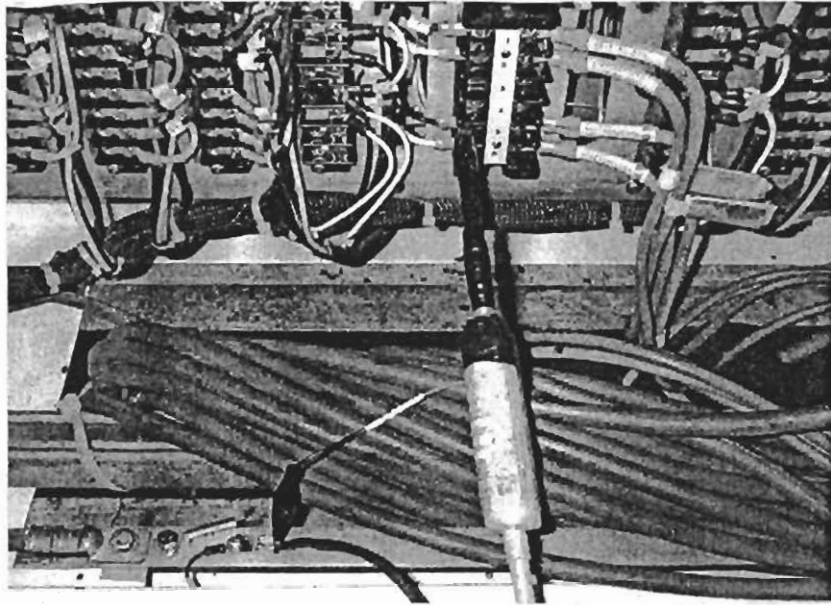


그림 A.14 고주파 전도잡음 측정(JP036K)

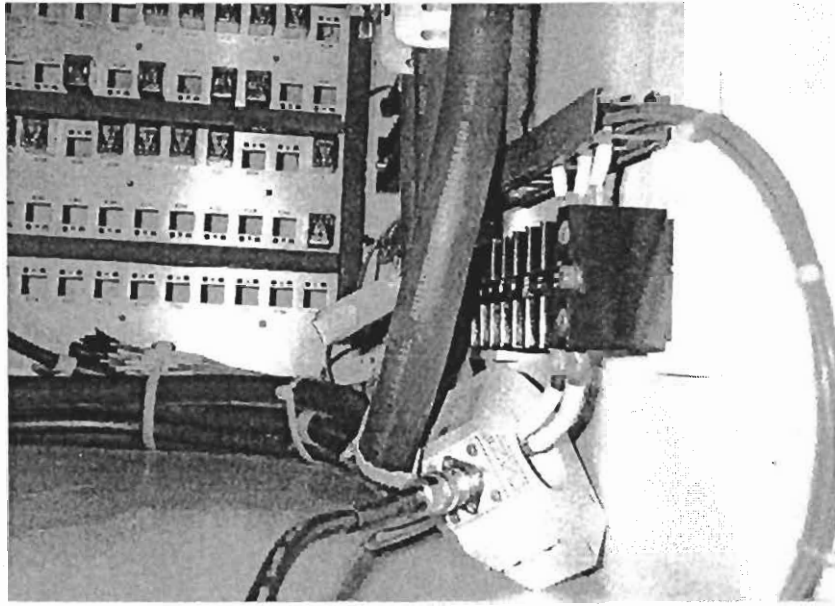


그림 A.15 저주파 전도잡음 측정(JP902)

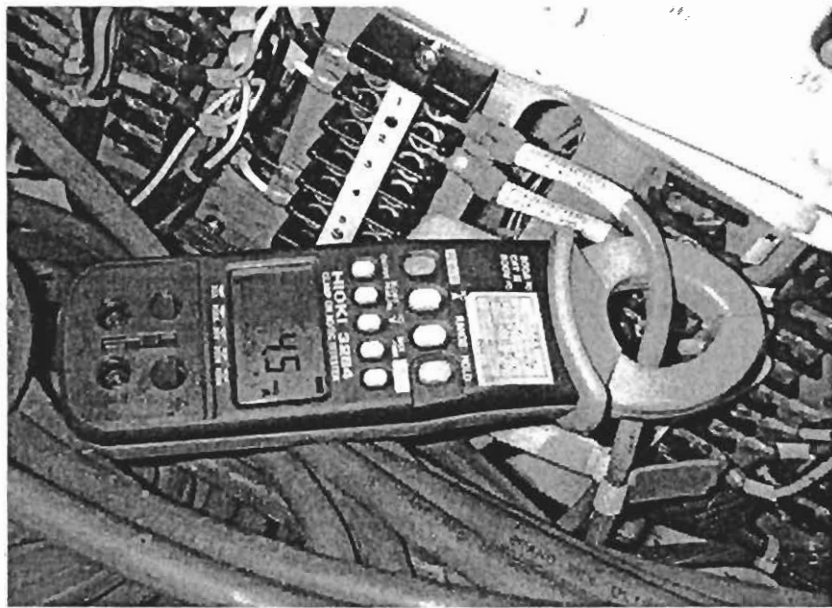


그림 A.16 측정대상에 흐르는 전류측정(전류메터사용)

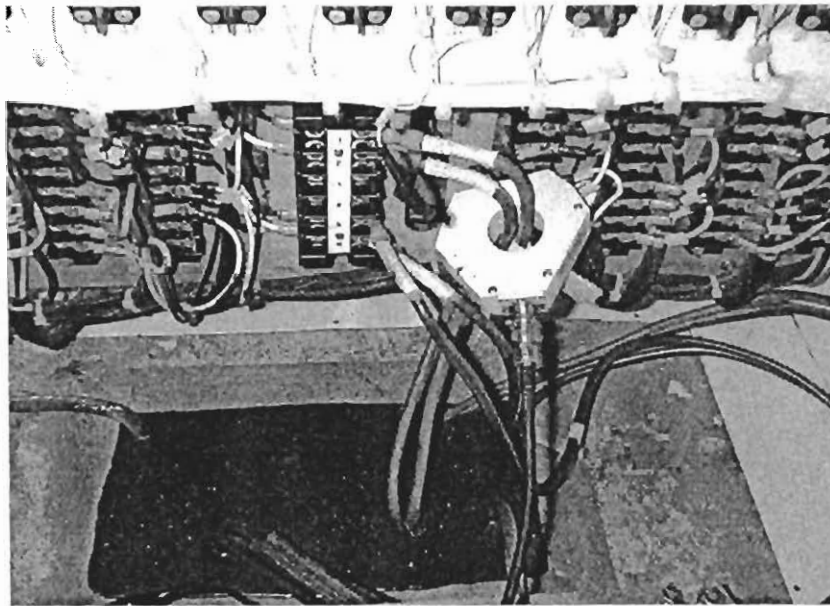


그림 A.17 저주파 전도잡음 측정(JP026C)

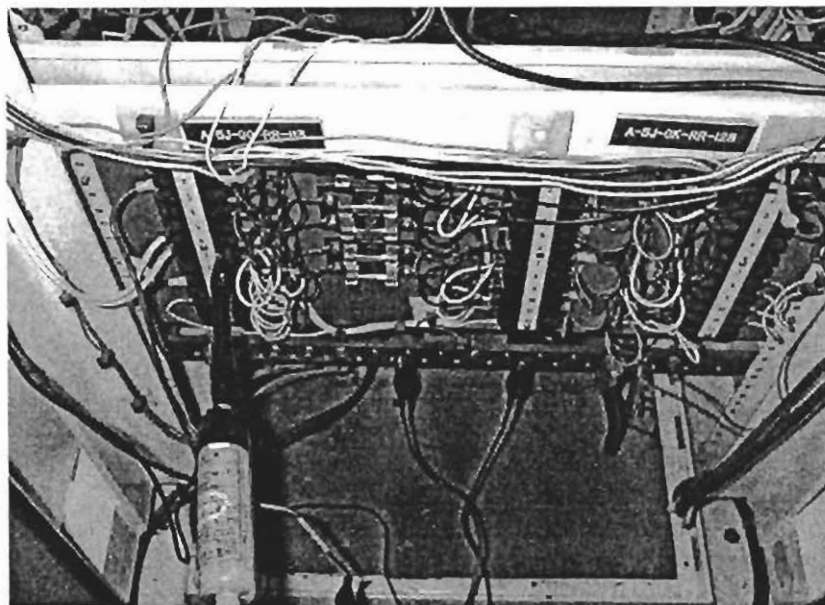


그림 A.18 고주파 전도잡음 측정(JP026C)

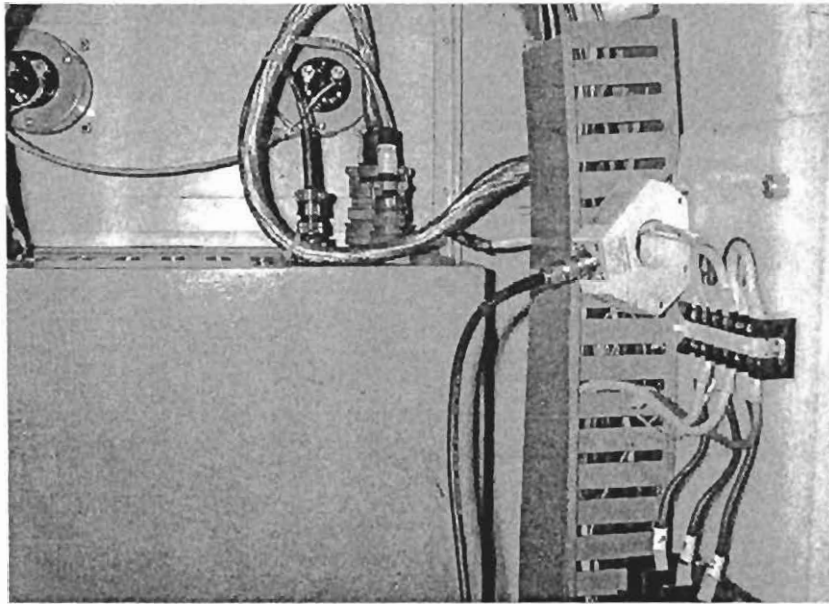


그림 A.19 저주파 전도잡음 측정(JP068)

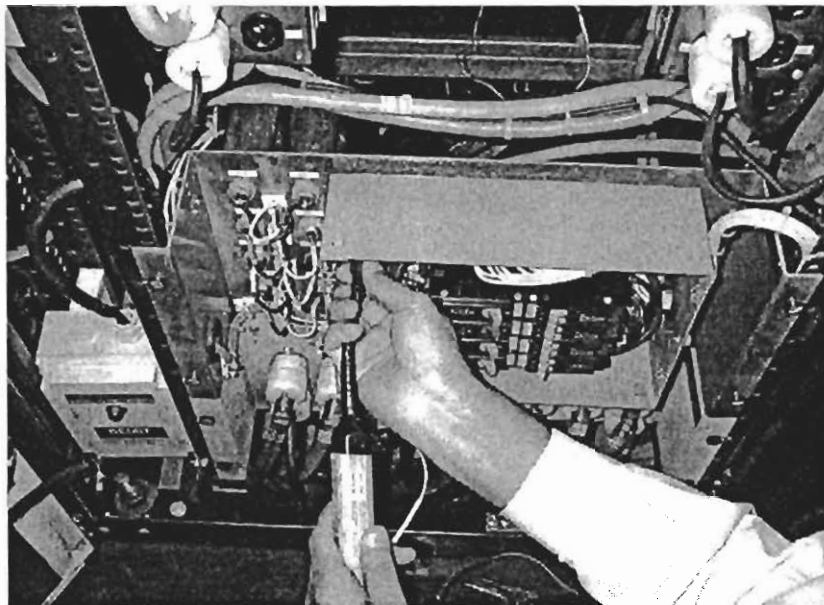


그림 A.20 고주파 전도잡음 측정(JP103 - 전산실)

B. 전원입력방식에 따른 측정결과

1. 전원입력방법 : N-5E-NQ-N001(인버터)

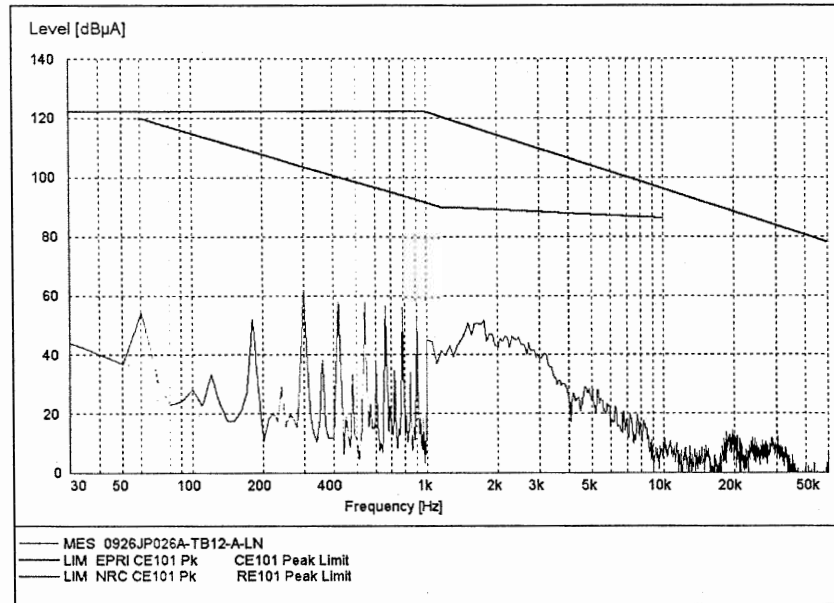


그림 B.1 JP026A(SSILS)-TB12-A-LN

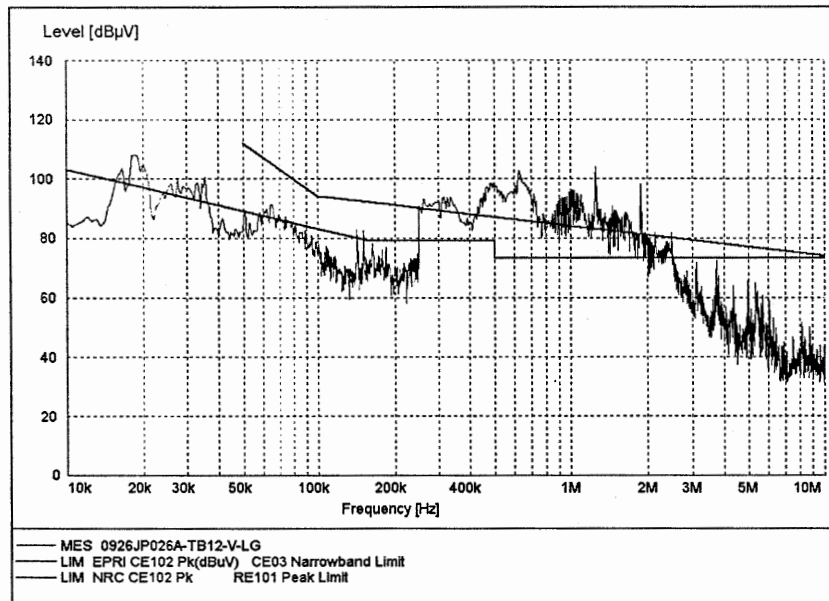


그림 B.2 JP026A(SSILS)-TB12-V-LG

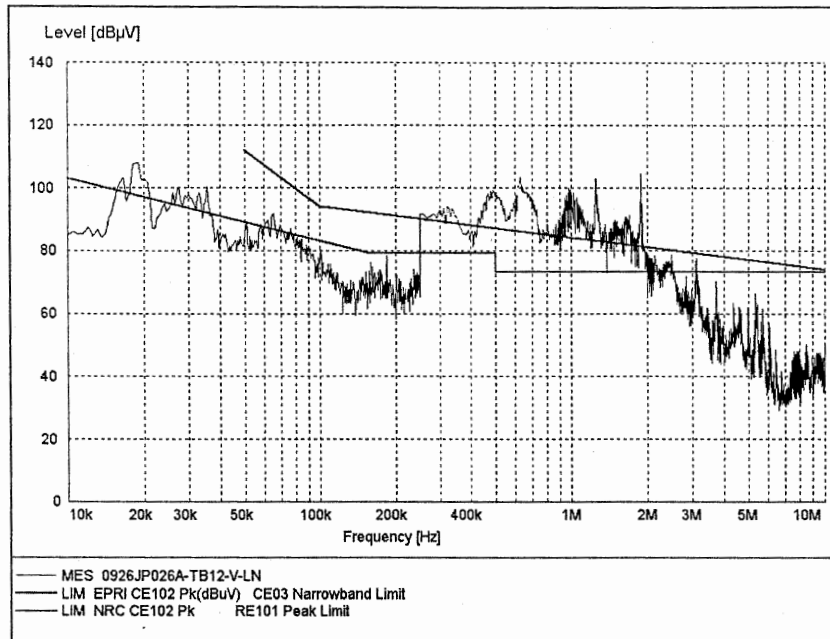


그림 B.3 JP026A(SSILS)-TB12-V-LN

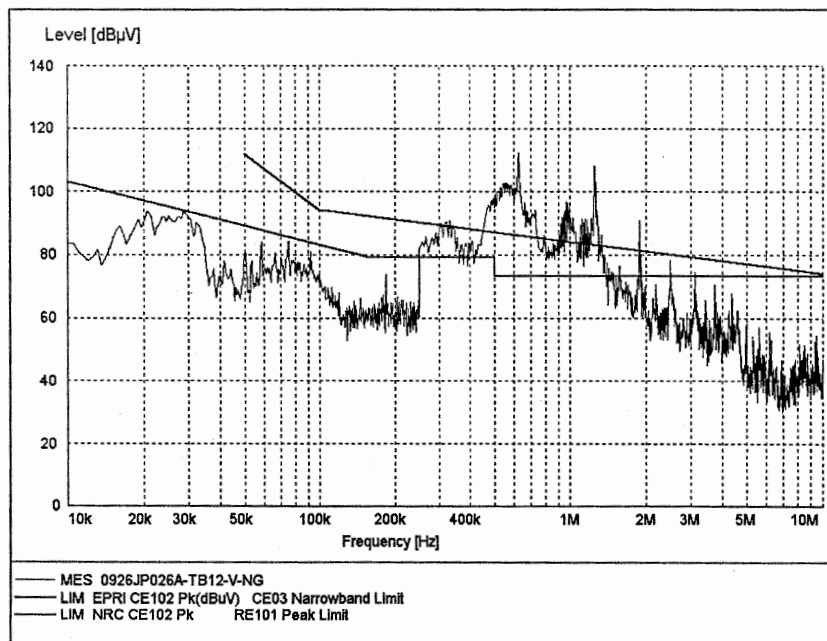


그림 B.4 JP026A(SSILS)-TB12-V-NG

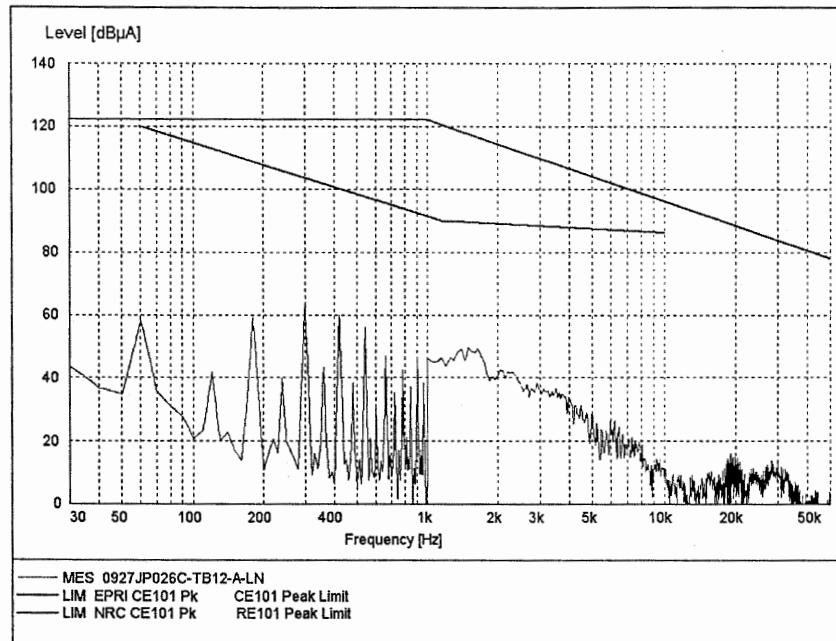


그림 B.5 JP026C(SSILS)-TB12-A-LN

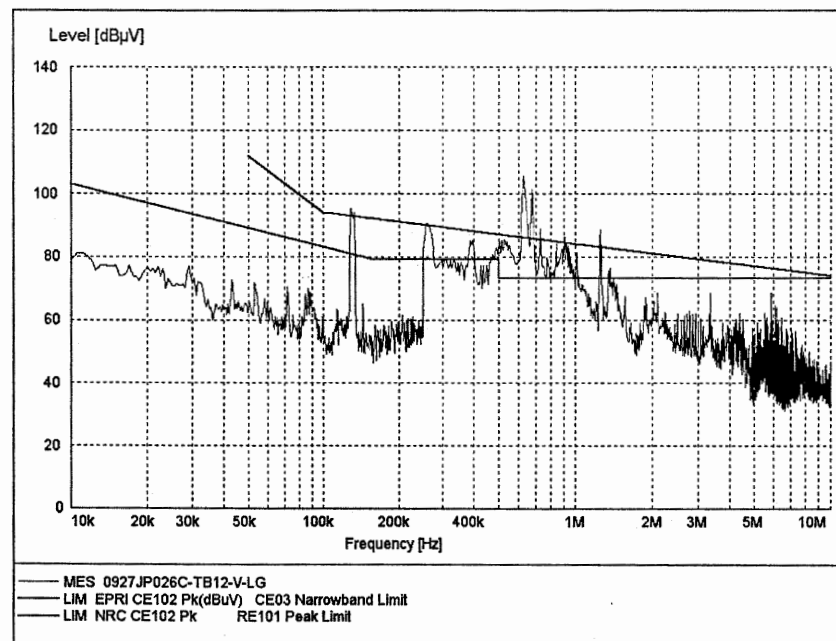


그림 B.6 JP026C(SSILS)-TB12-V-LG

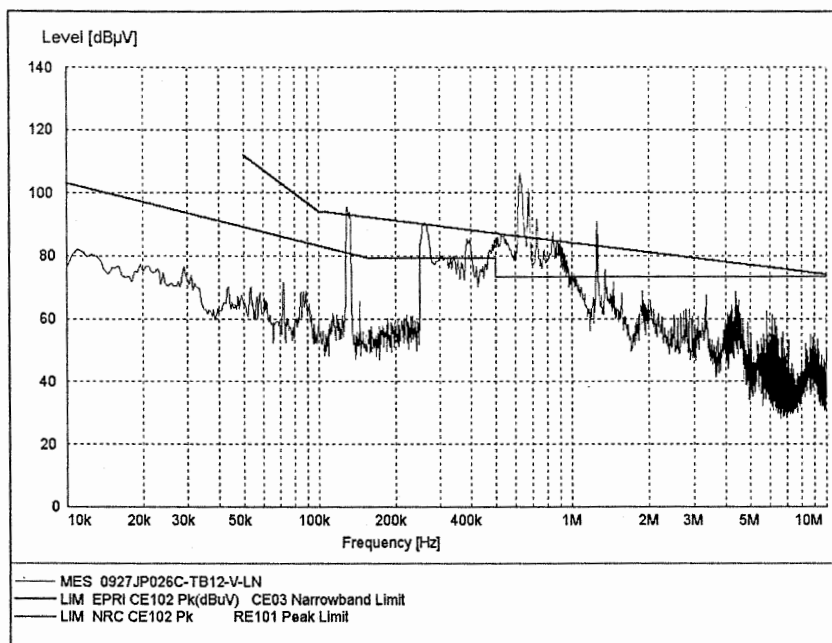


그림 B.7 JP026C(SSILS)-TB12-V-LN

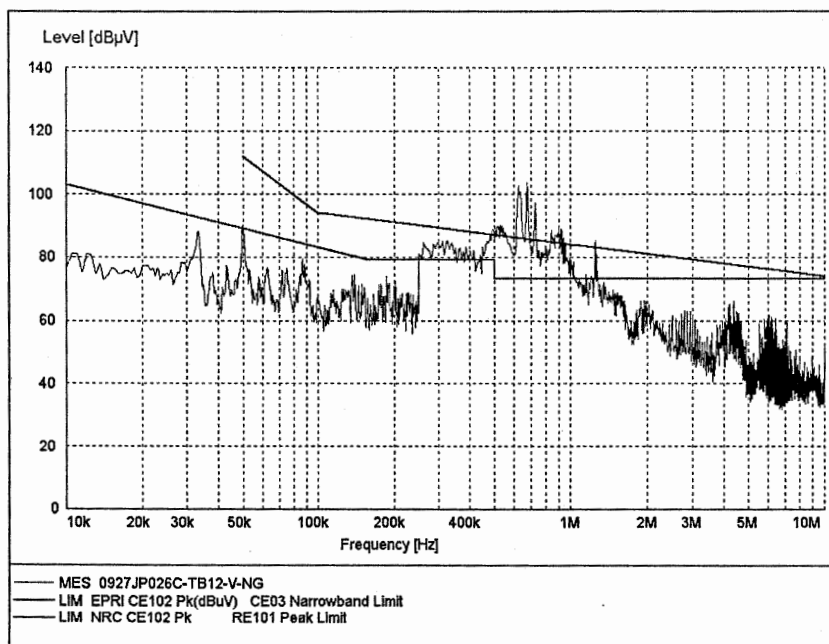


그림 B.8 JP026C(SSILS)-TB12-V-NG

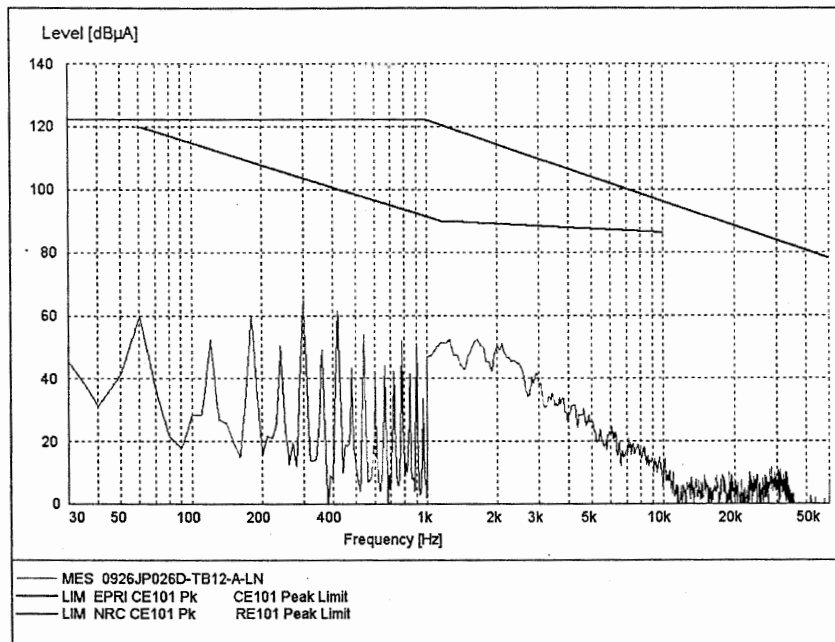


그림 B.9 JP026D(SSILS)-TB12-A-LN

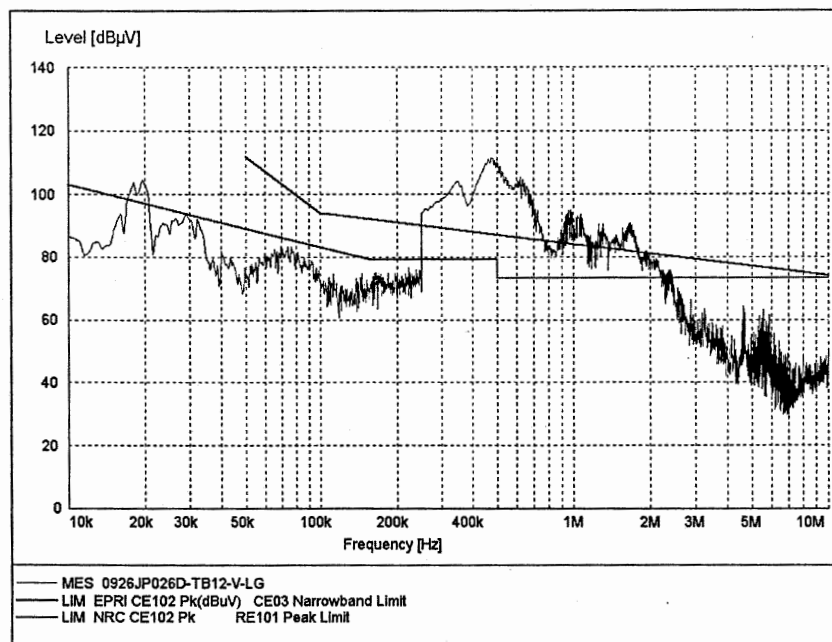


그림 B.10 JP026D(SSILS)-TB12-V-LG

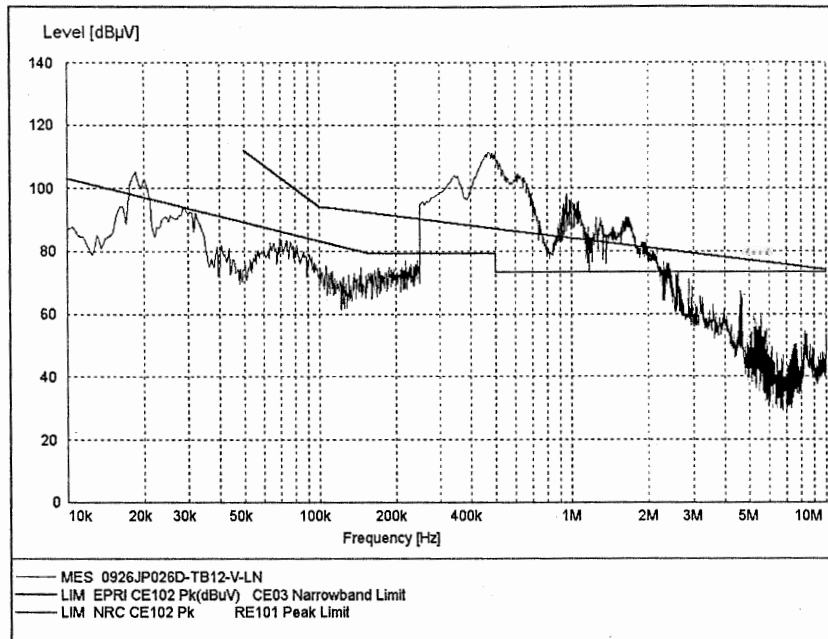


그림 B.11 JP026D(SSILS)-TB12-V-LN

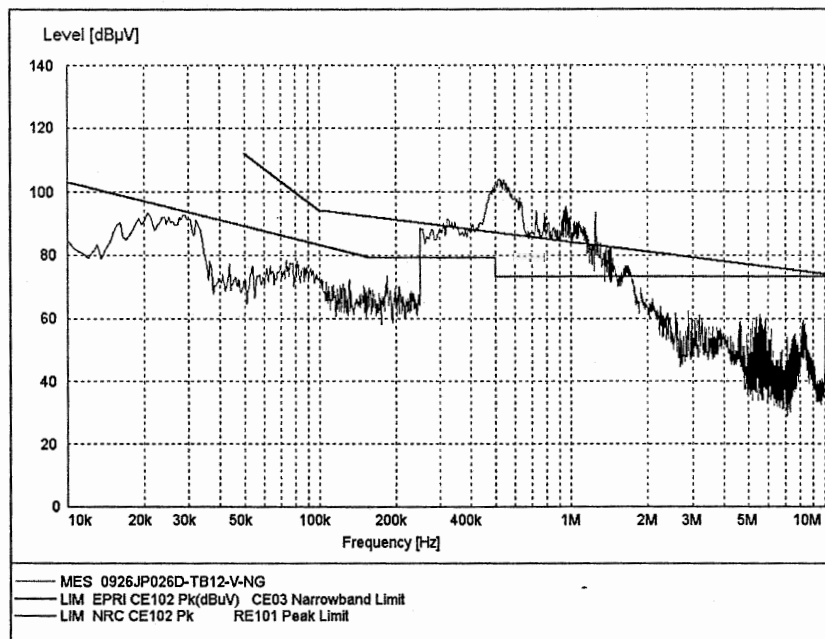


그림 B.12 JP026D(SSILS)-TB12-V-NG

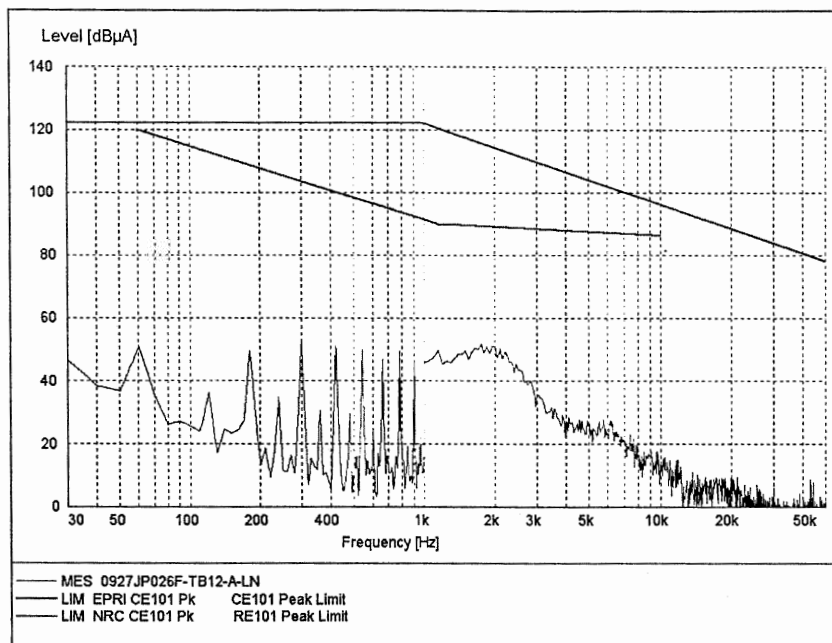


그림 B.13 JP026F(SSILS)-TB12-A-LN

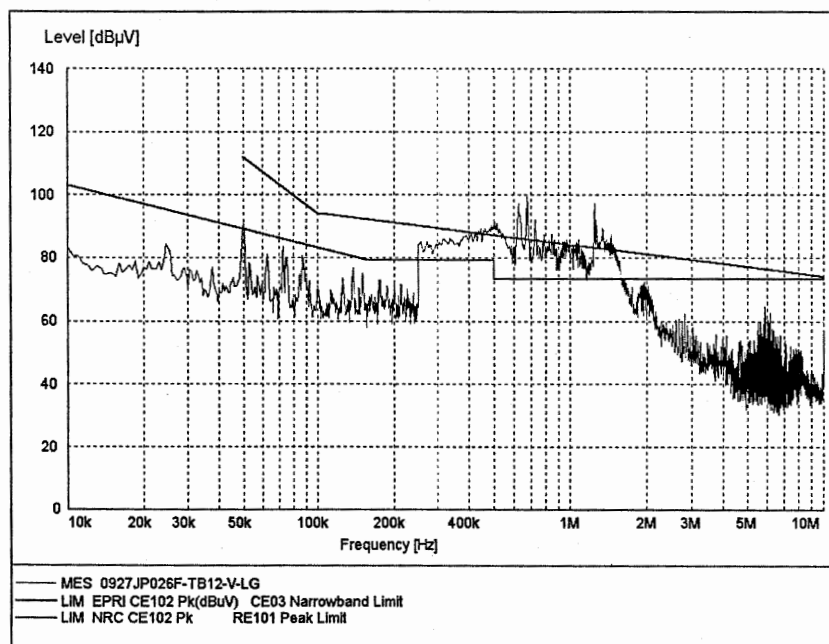


그림 B.14 JP026F(SSILS)-TB12-V-LG

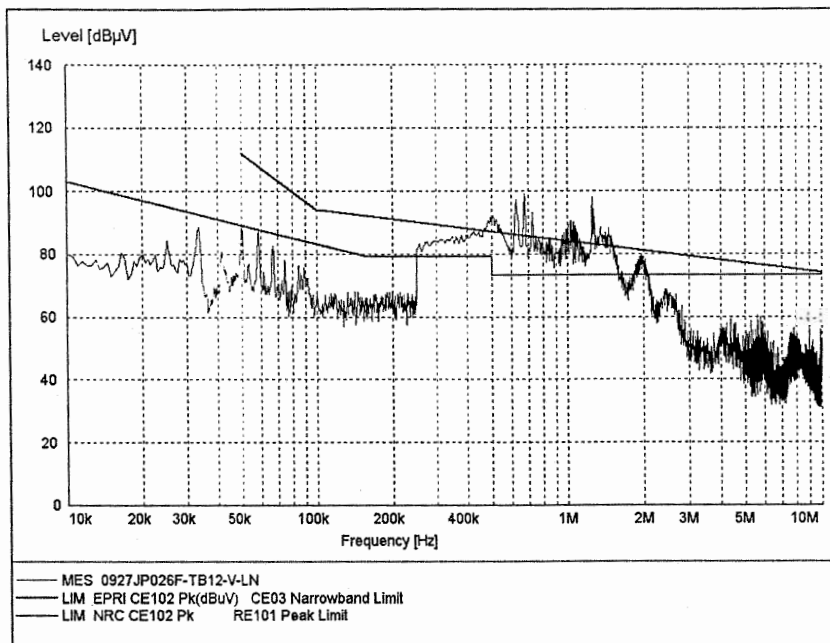


그림 B.15 JP026F(SSILS)-TB12-V-LN

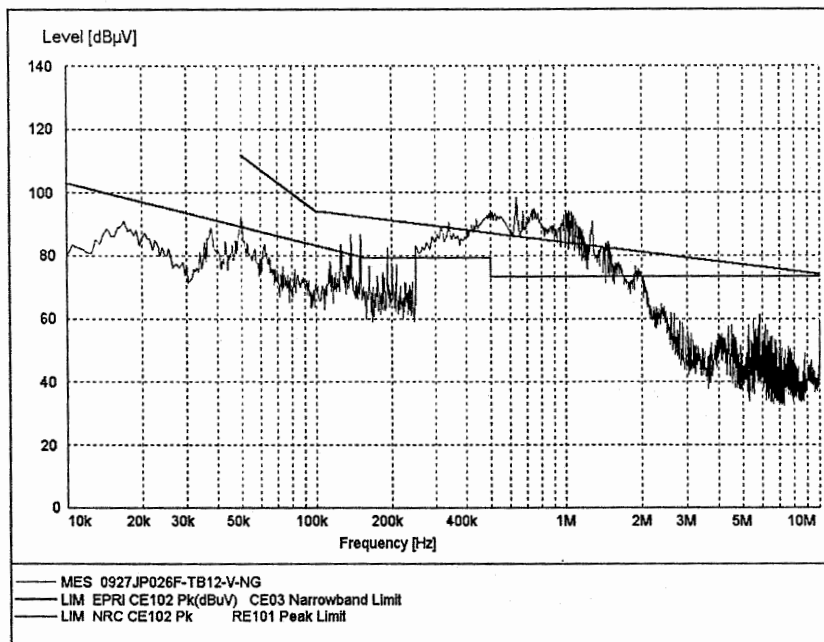


그림 B.16 JP026F(SSILS)-TB12-V-NG

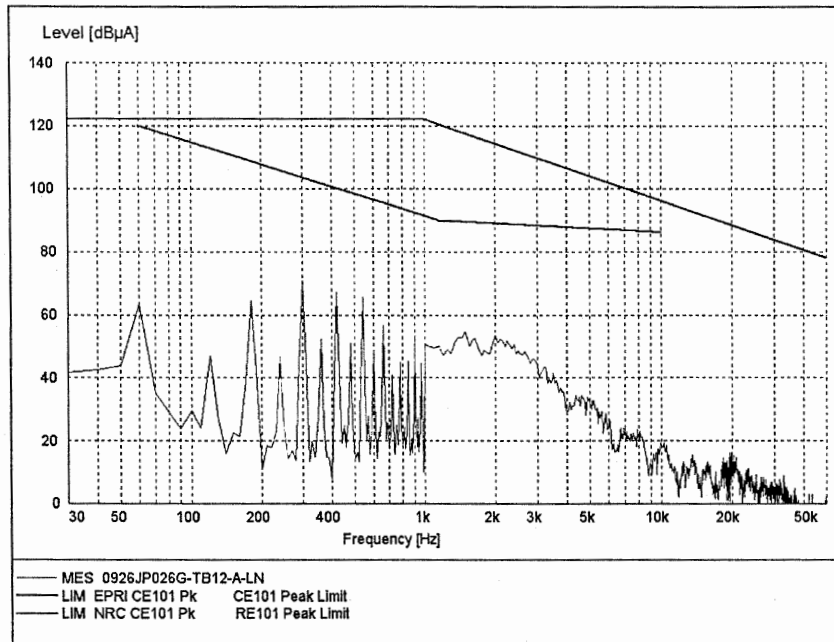


그림 B.17 JP026G(SSILS)-TB12-A-LN

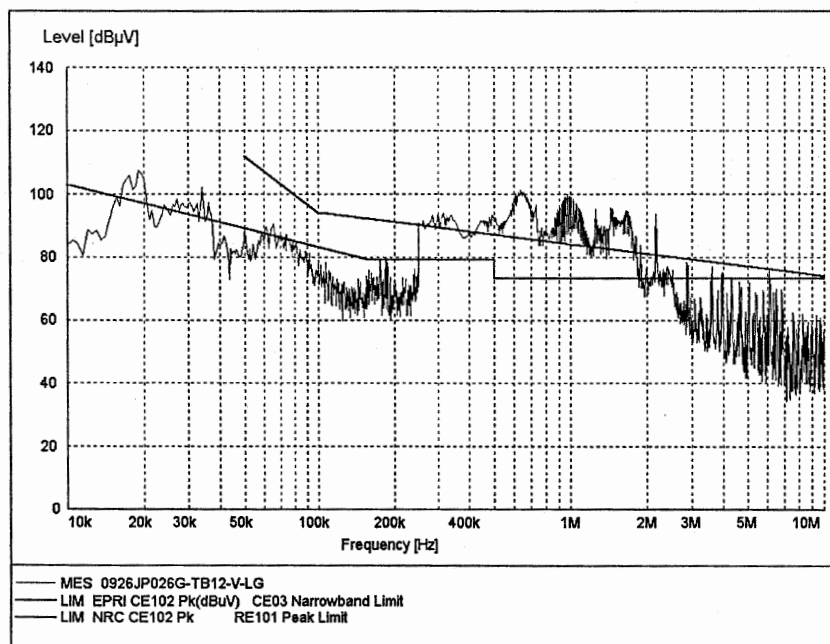


그림 B.18 JP026G(SSILS)-TB12-V-LG

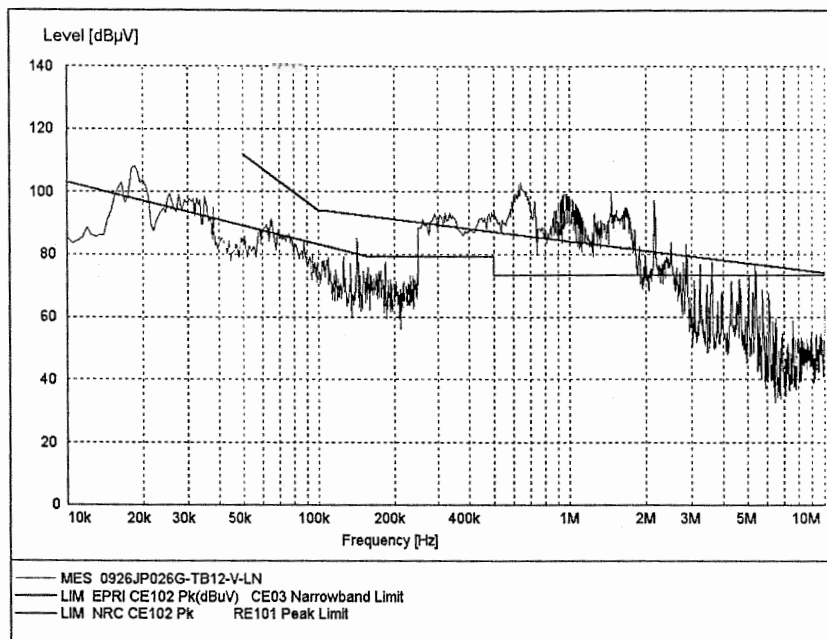


그림 B.19 JP026G(SSILS)-TB12-V-LN

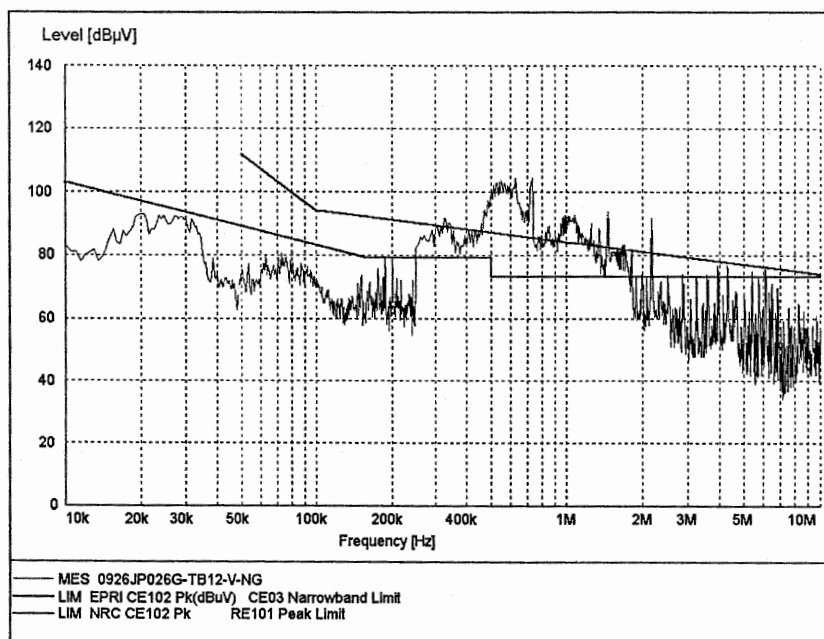


그림 B.20 JP026G(SSILS)-TB12-V-NG

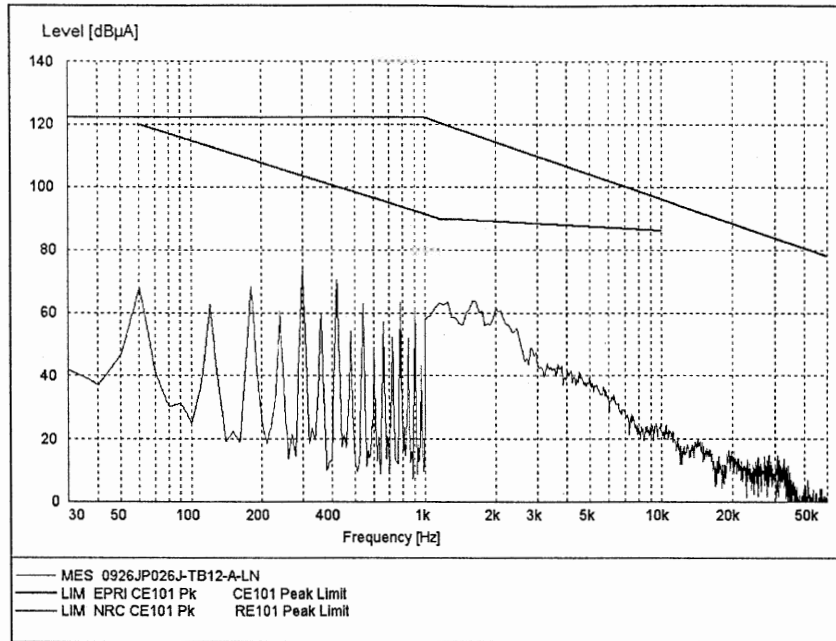


그림 B.21 JP026J(SSILS)-TB12-A-LN

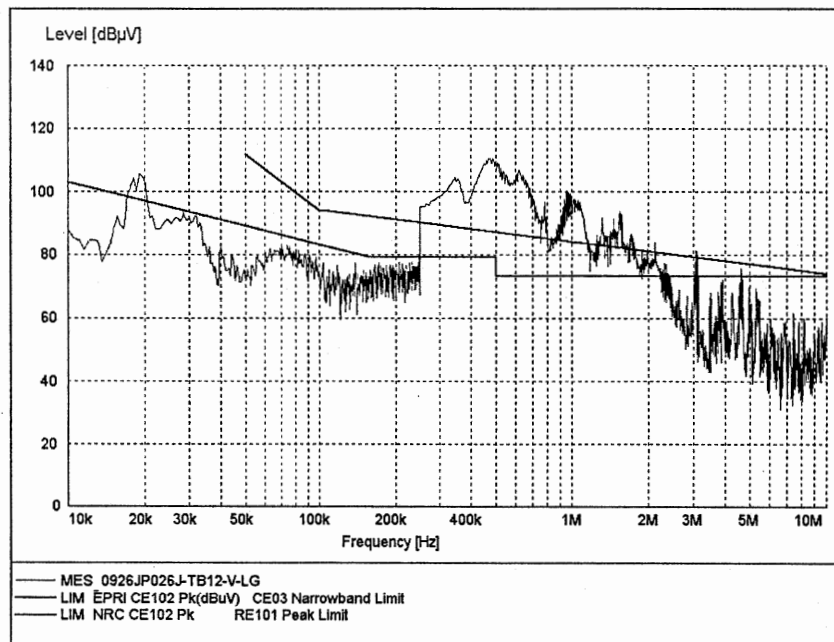


그림 B.22 JP026J(SSILS)-TB12-V-LG

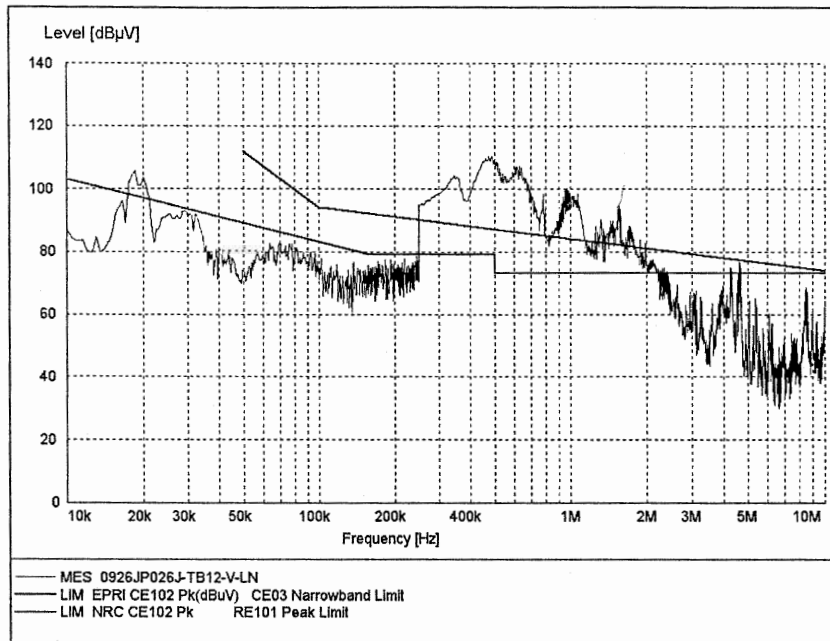


그림 B.23 JP026J(SSILS)-TB12-V-LN

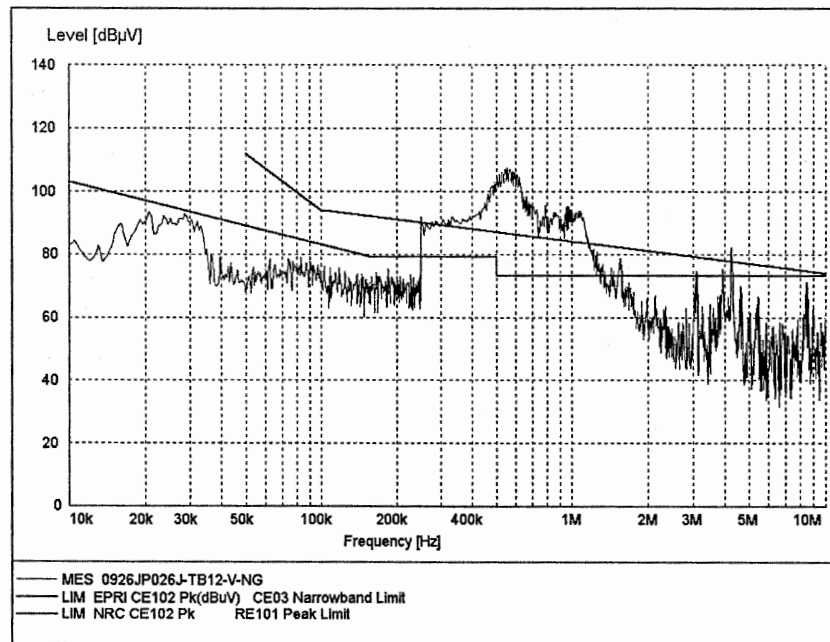


그림 B.24 JP026J(SSILS)-TB12-V-NG

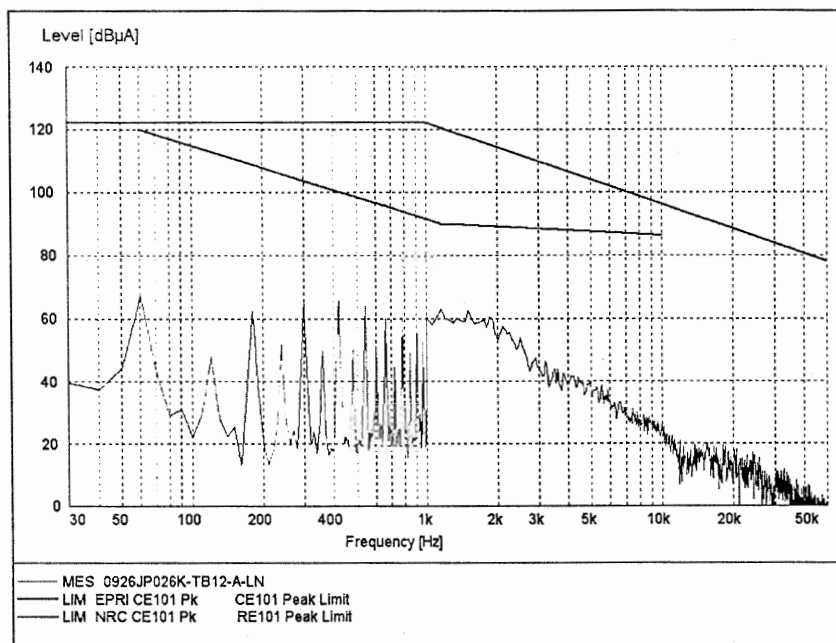


그림 B.25 JP026K(SSILS)-TB12-A-LN

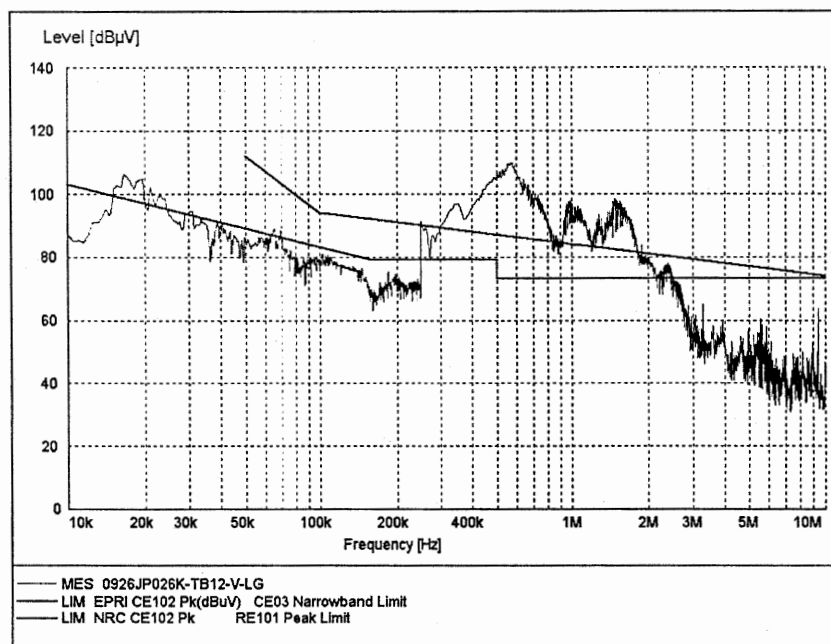


그림 B.26 JP026K(SSILS)-TB12-V-LG

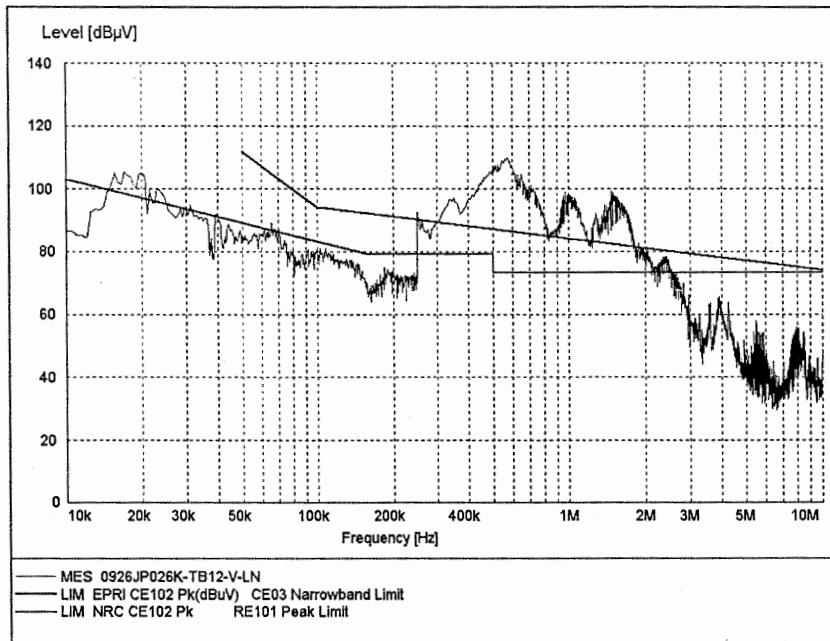


그림 B.27 JP026K(SSILS)-TB12-V-LN

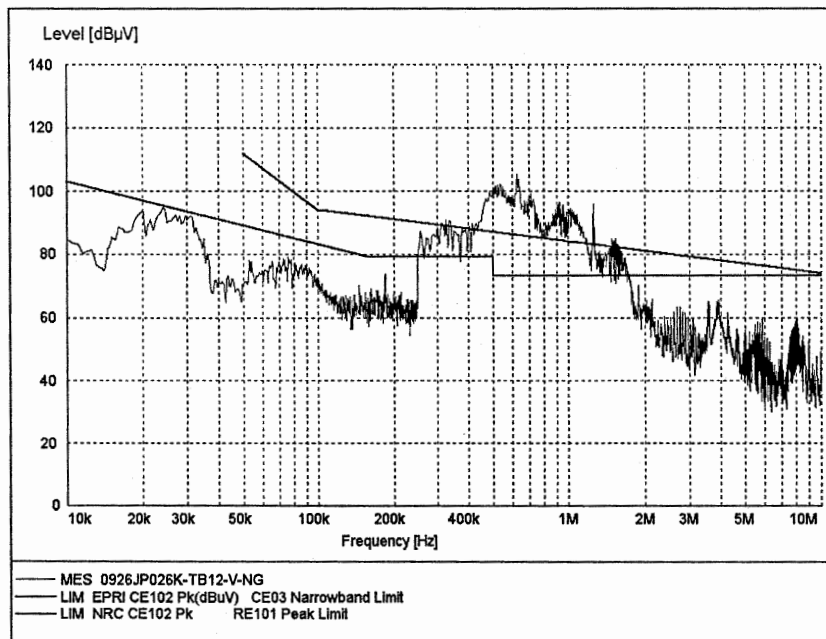


그림 B.28 JP026K(SSILS)-TB12-V-NG

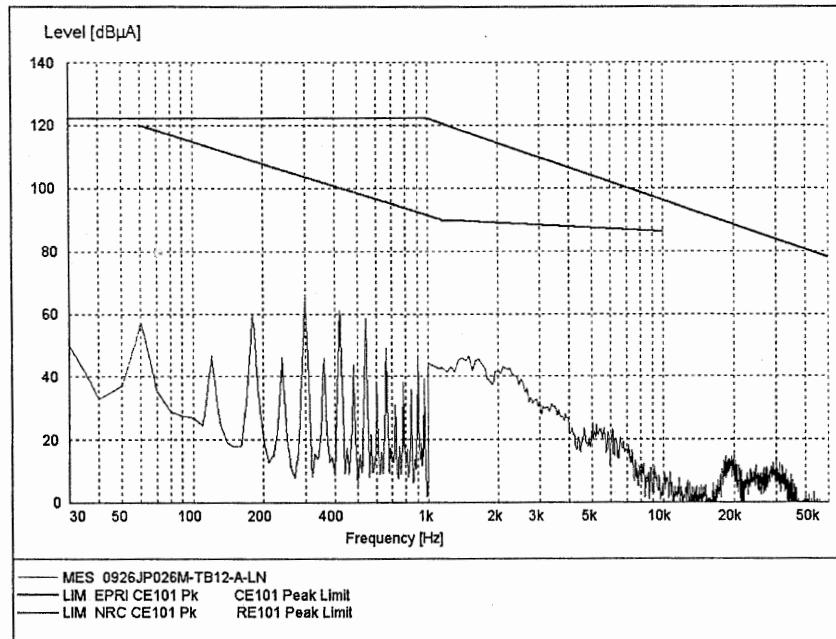


그림 B.29 JP026M(SSILS)-TB12-A-LN

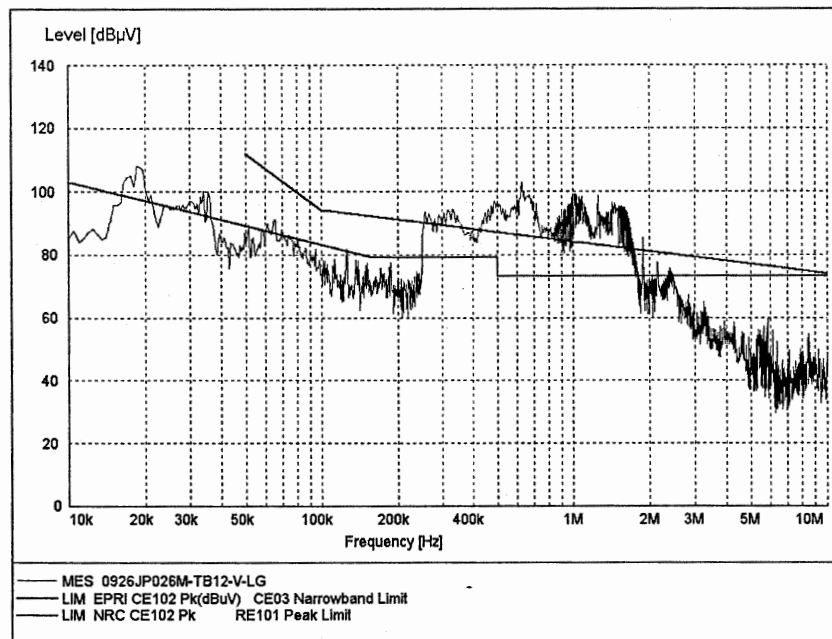


그림 B.30 JP026M(SSILS)-TB12-V-LG

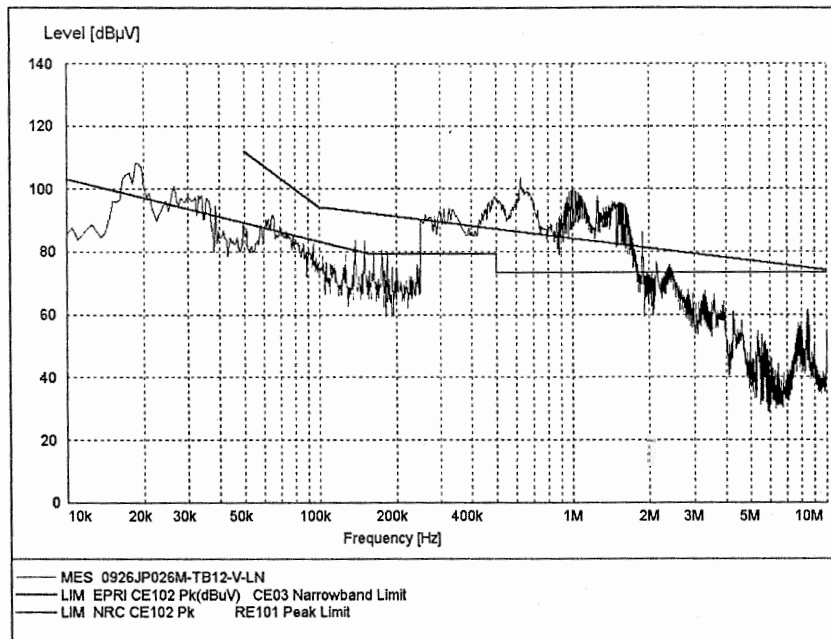


그림 B.31 JP026M(SSILS)-TB12-V-LN

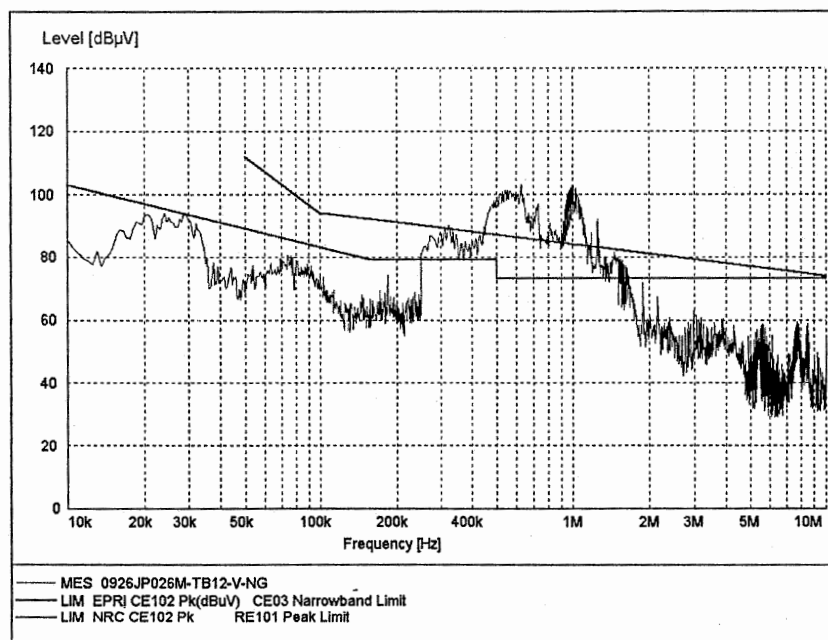


그림 B.32 JP026M(SSILS)-TB12-V-NG

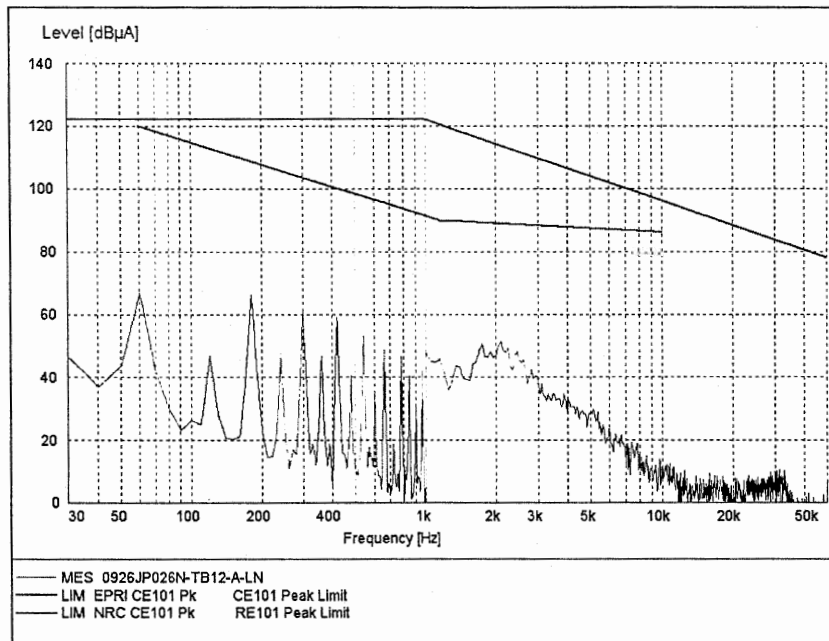


그림 B.33 JP026N(SSILS)-TB12-A-LN

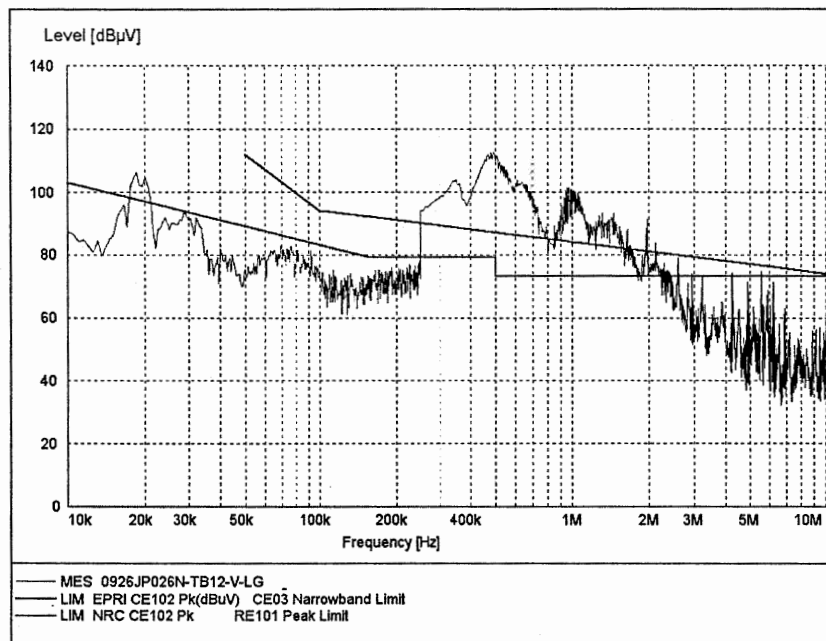


그림 B.34 JP026N(SSILS)-TB12-V-LG

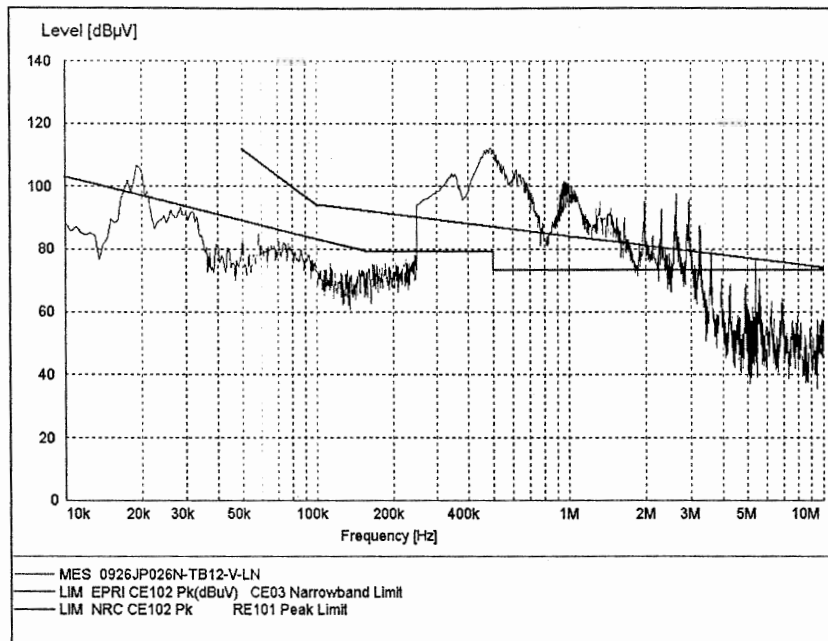


그림 B.35 JP026N(SSILS)-TB12-V-LN

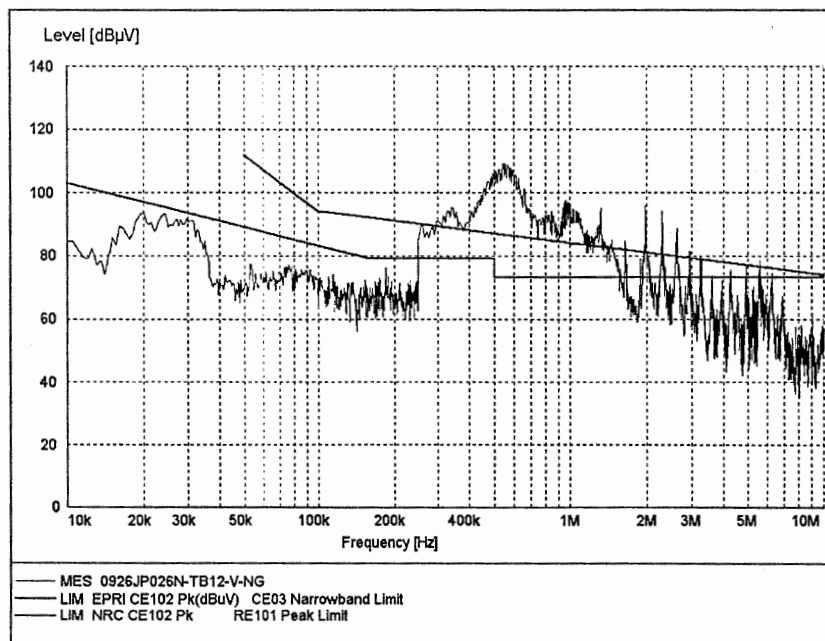


그림 B.36 JP026N(SSILS)-TB12-V-NG

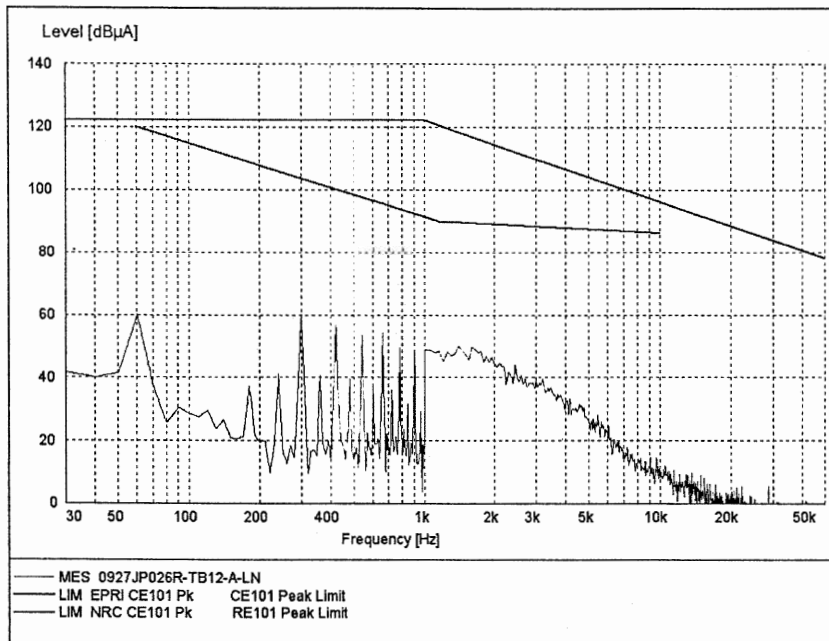


그림 B.37 JP026R(SSILS)-TB12-A-LN

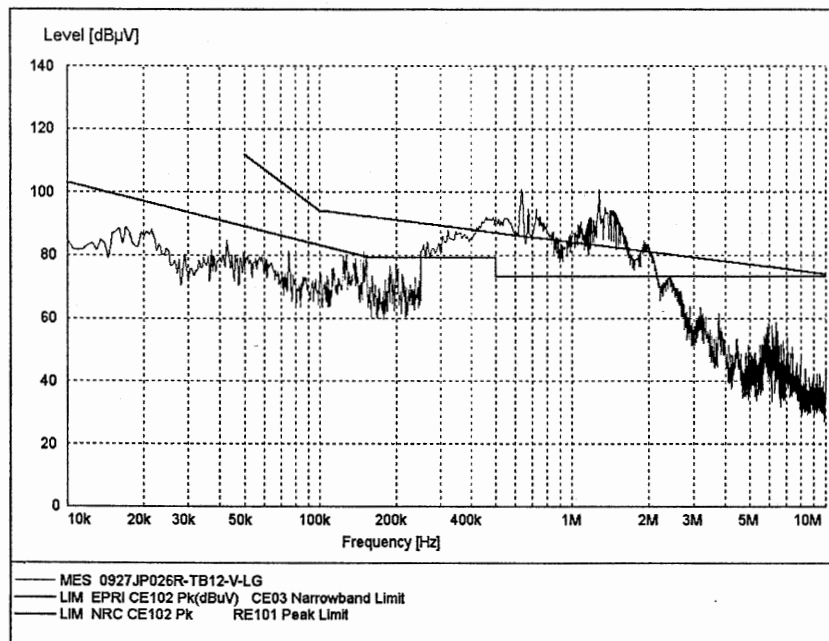


그림 B.38 JP026R(SSILS)-TB12-V-LG

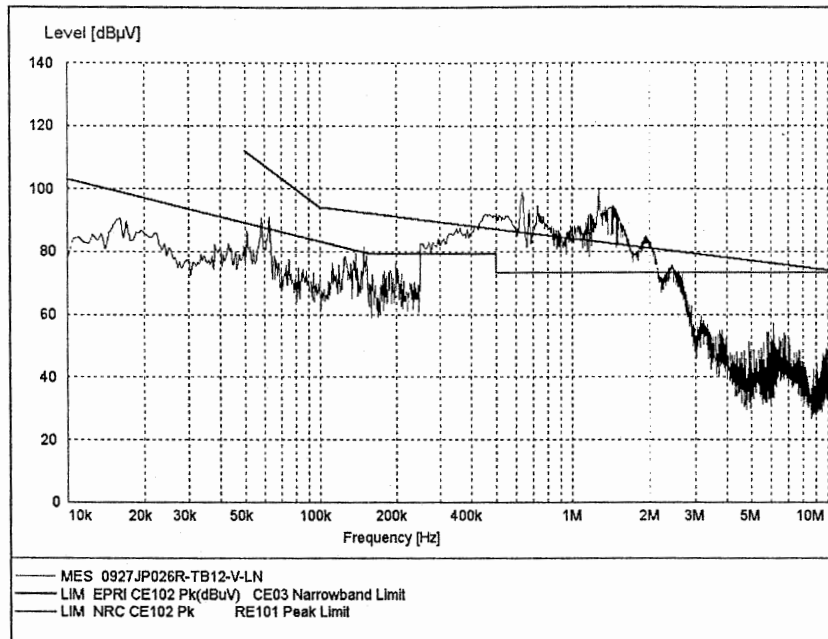


그림 B.39 JP026R(SSILS)-TB12-V-LN

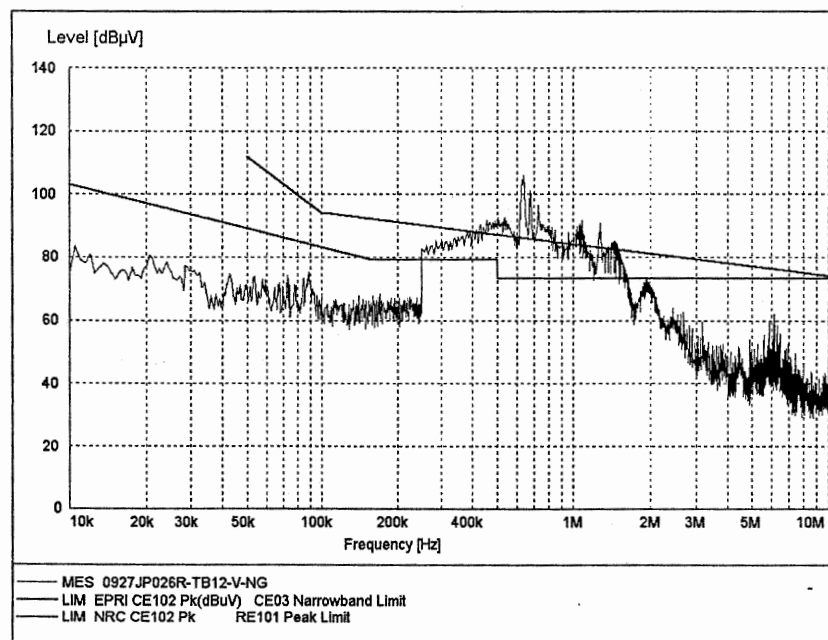


그림 B.40 JP026R(SSILS)-TB12-V-NG

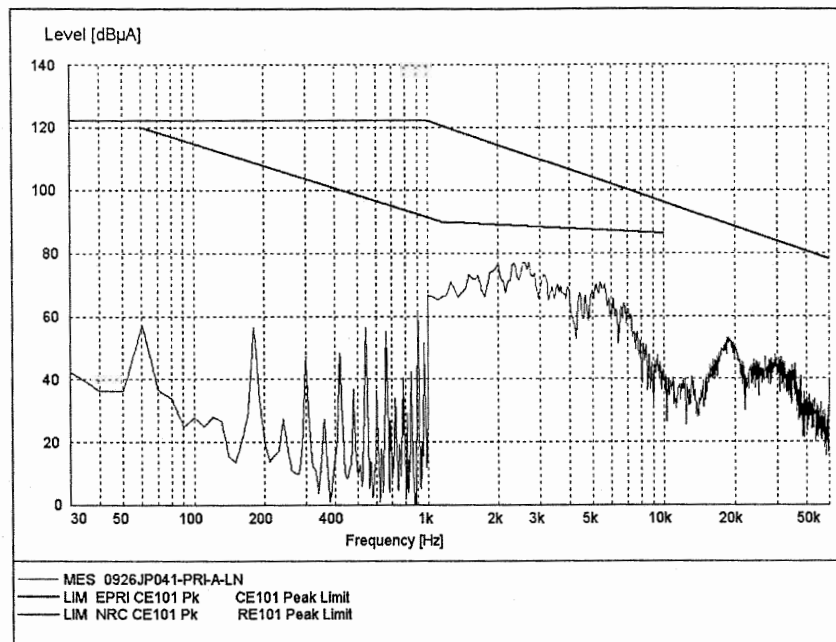


그림 B.41 JP041(W7300 Control GP1/3)-PRI-A-LN

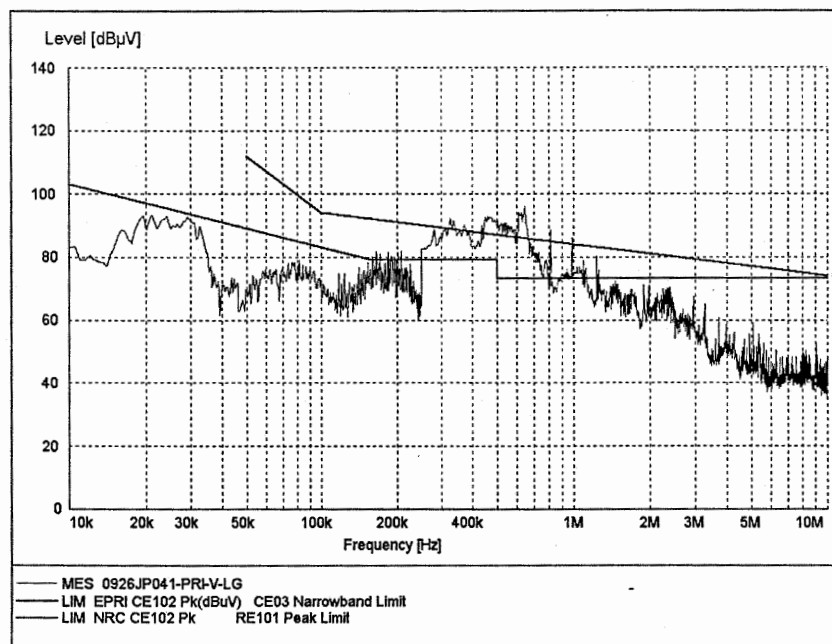


그림 B.42 JP041(W7300 Control GP1/3)-PRI-V-LG

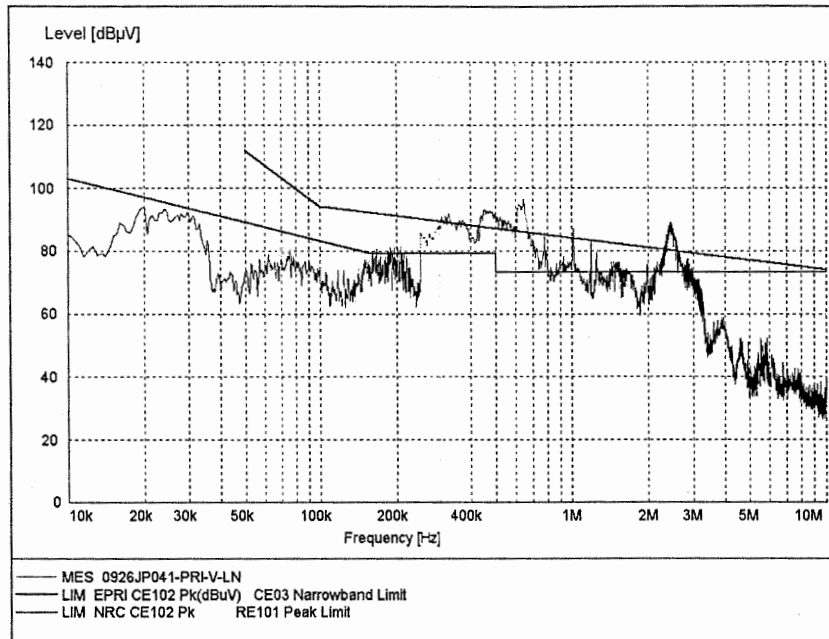


그림 B.43 JP041(W7300 Control GP1/3)-PRI-V-LN

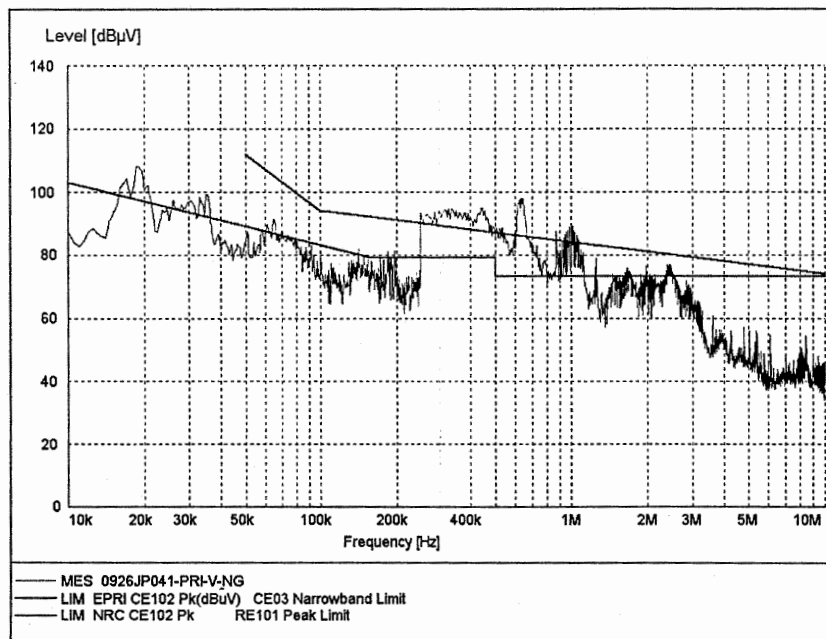


그림 B.44 JP041(W7300 Control GP1/3)-PRI-V-NG

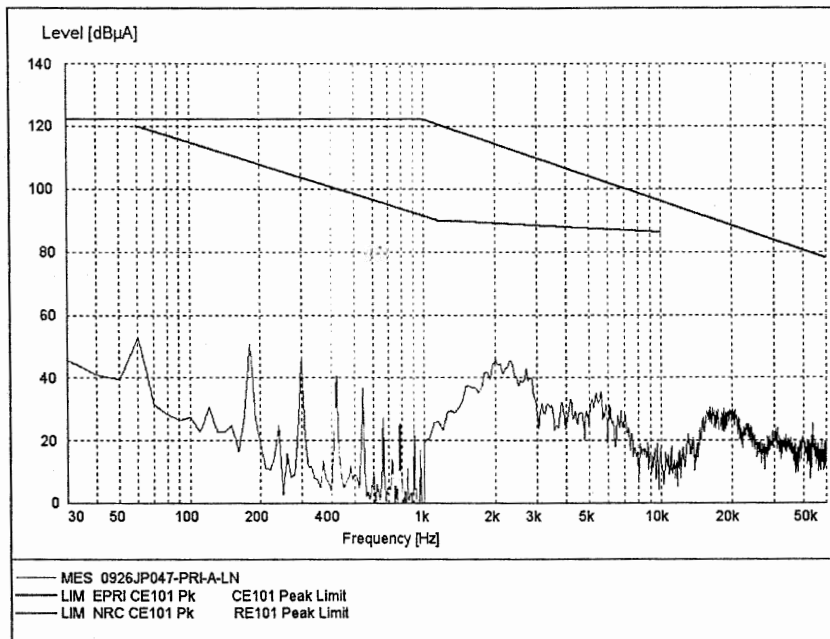


그림 B.45 JP047(W7300 Control GP1/3)-PRI-A-LN

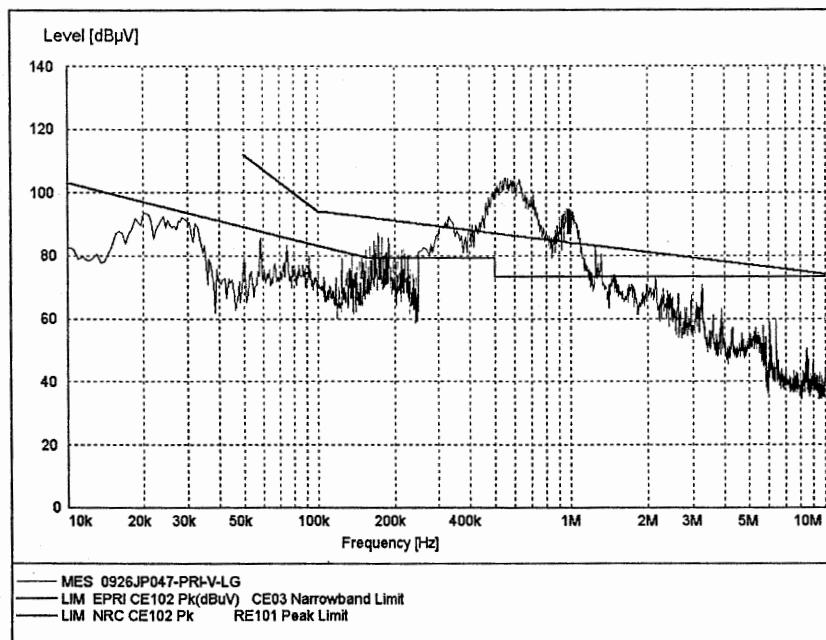


그림 B.46 JP047(W7300 Control GP1/3)-PRI-V-LG

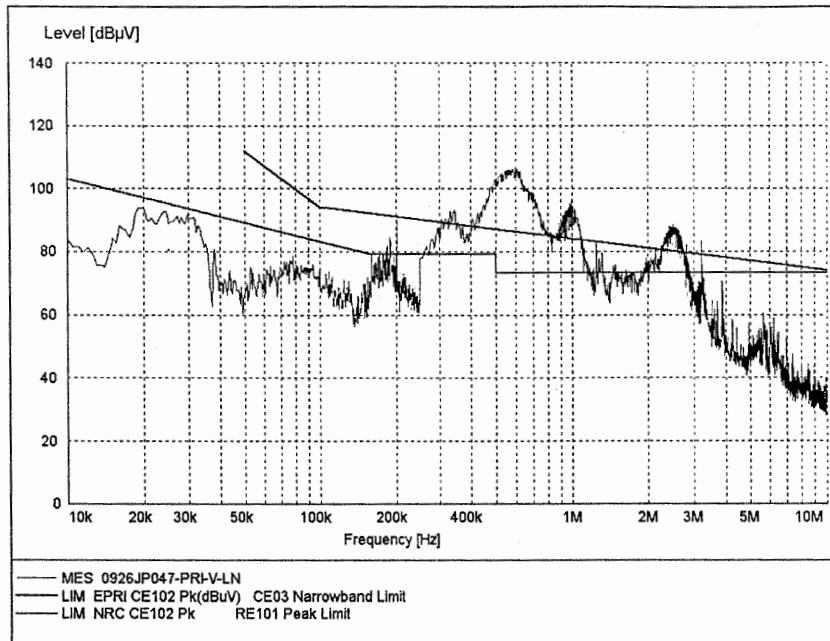


그림 B.47 JP047(W7300 Control GP1/3)-PRI-V-LN

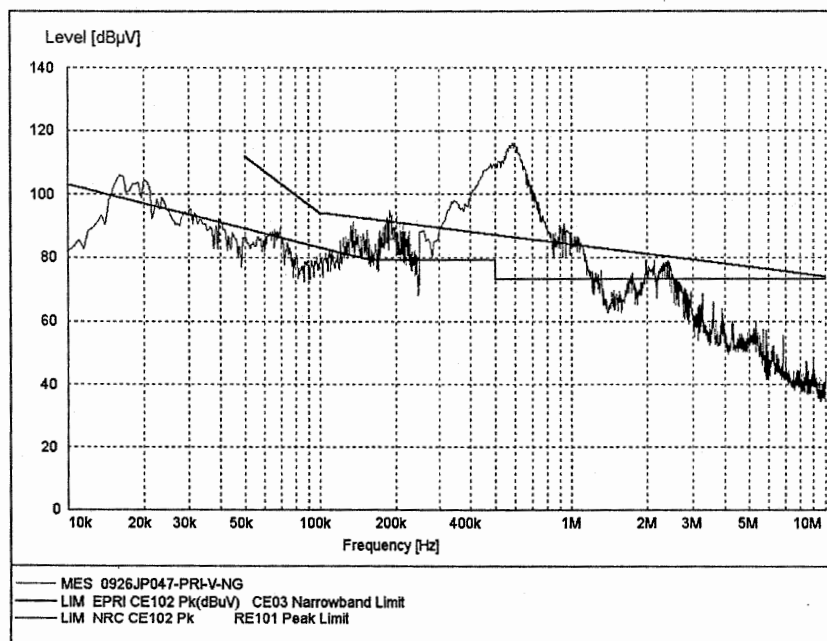


그림 B.48 JP047(W7300 Control GP1/3)-PRI-V-NG

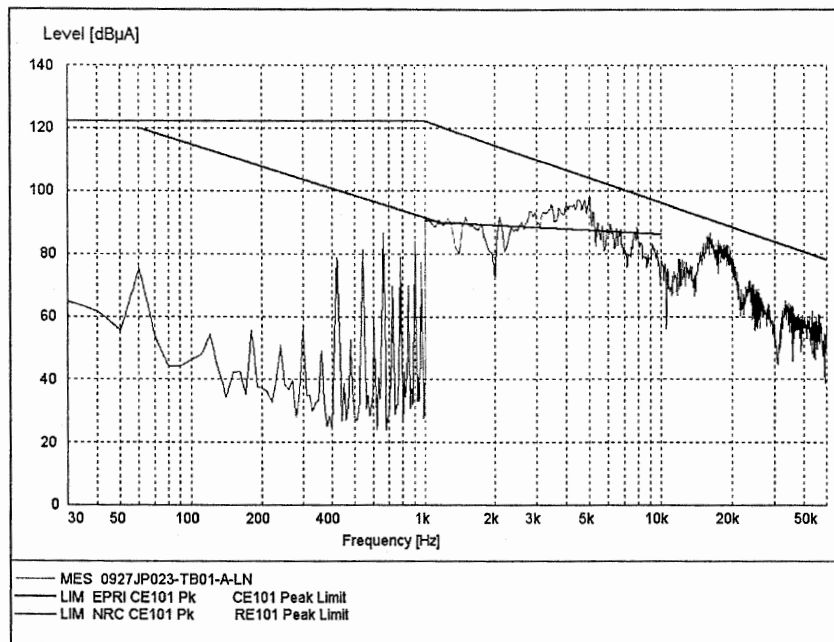


그림 B.49 JP023(DMIMS)-TB01-A-LN

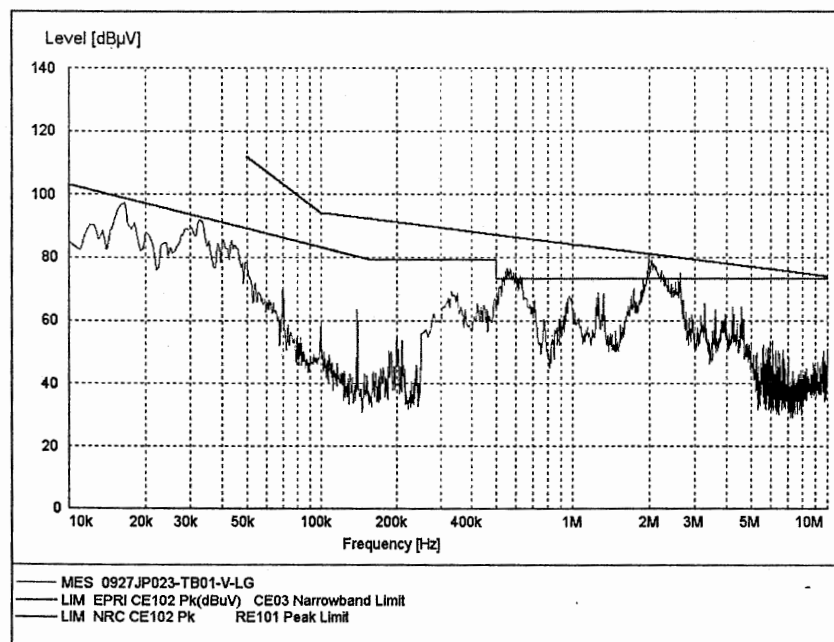


그림 B.50 JP023(DMIMS)-TB01-V-LG

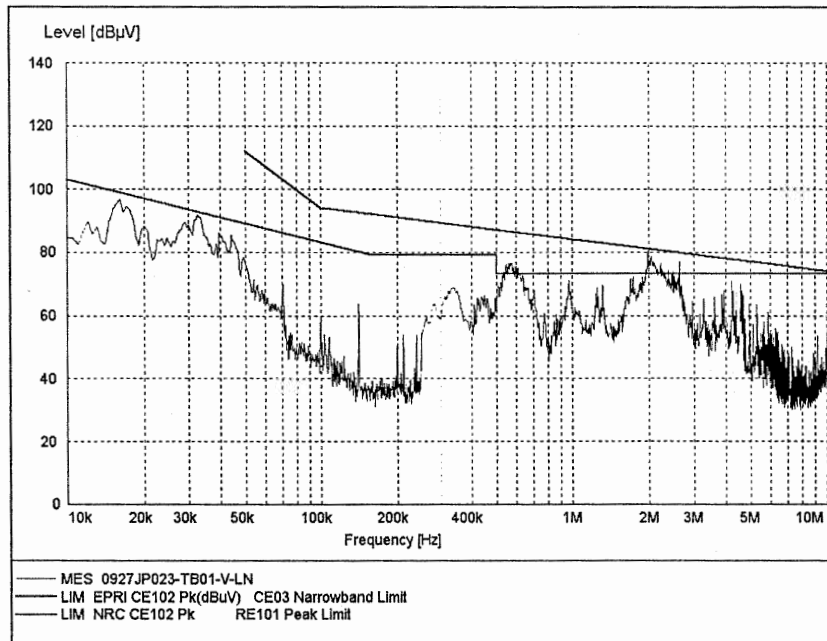


그림 B.51 JP023(DMIMS)-TB01-V-LN

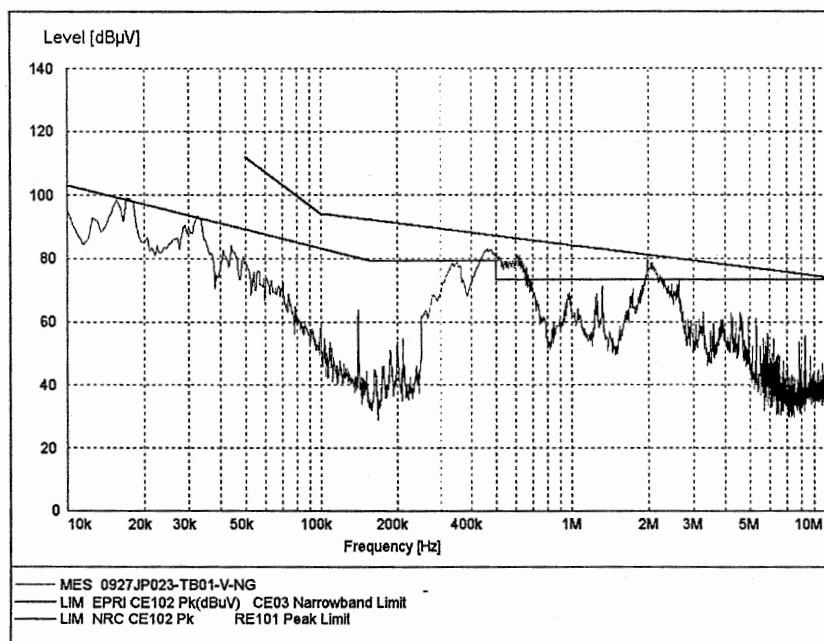


그림 B.52 JP023(DMIMS)-TB01-V-NG

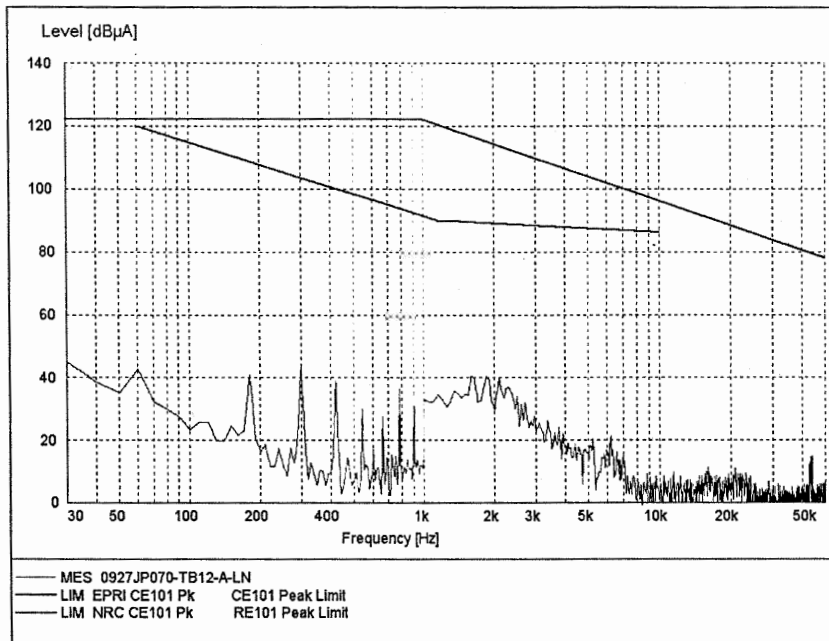


그림 B.53 JP070(MFWP)-TB12-A-LN

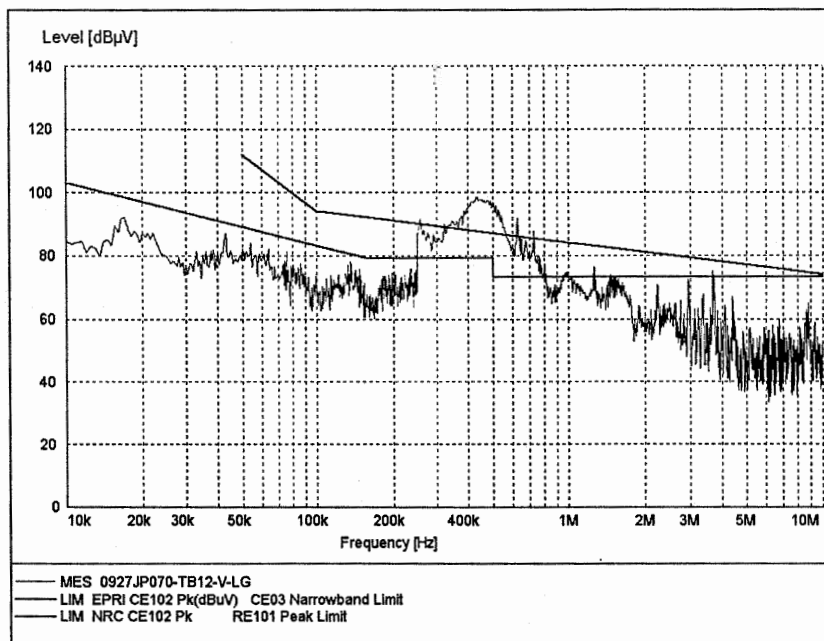


그림 B.54 JP070(MFWP)-TB12-V-LG

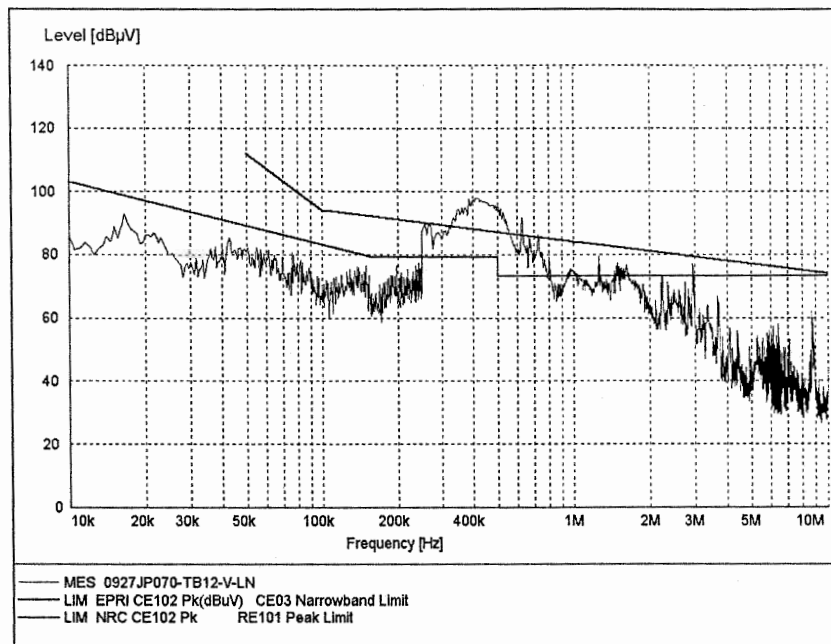


그림 B.55 JP070(MFWP)-TB12-V-LN

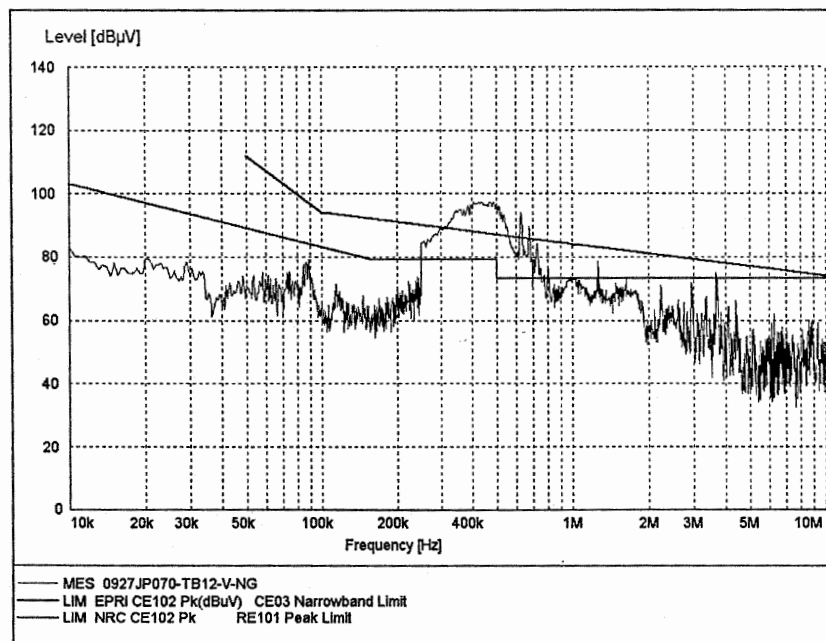


그림 B.56 JP070(MFWP)-TB12-V-NG

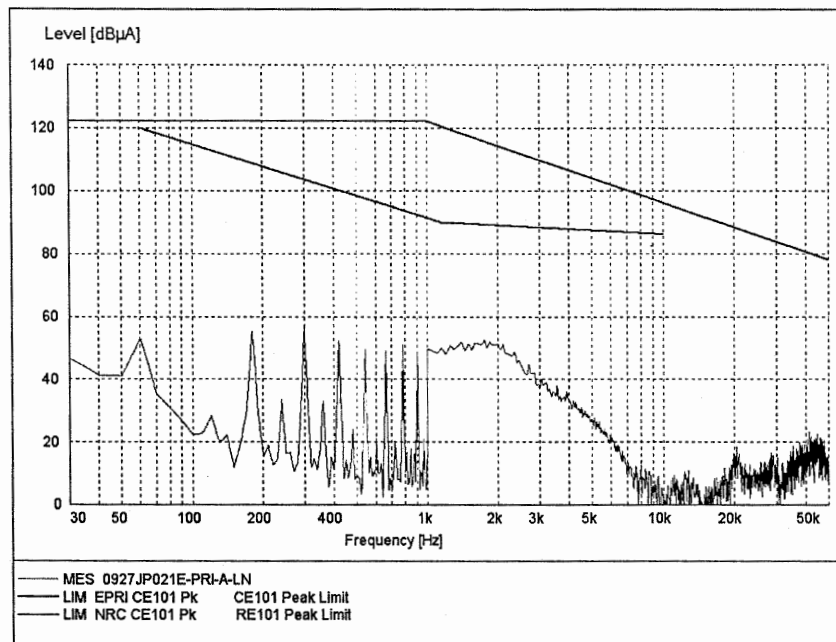


그림 B.57 JP021(Fisher)-PRI-A-LN

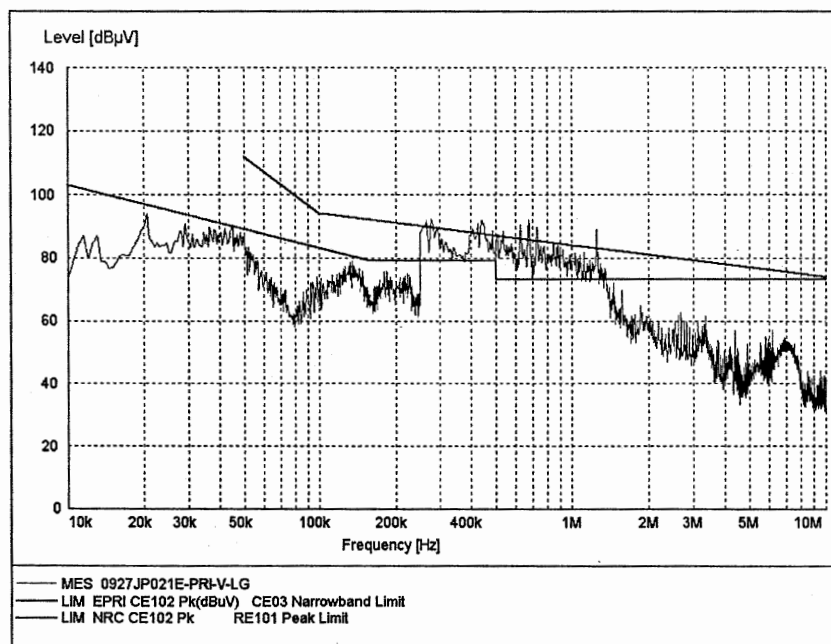


그림 B.58 JP021(Fisher)-PRI-V-LG

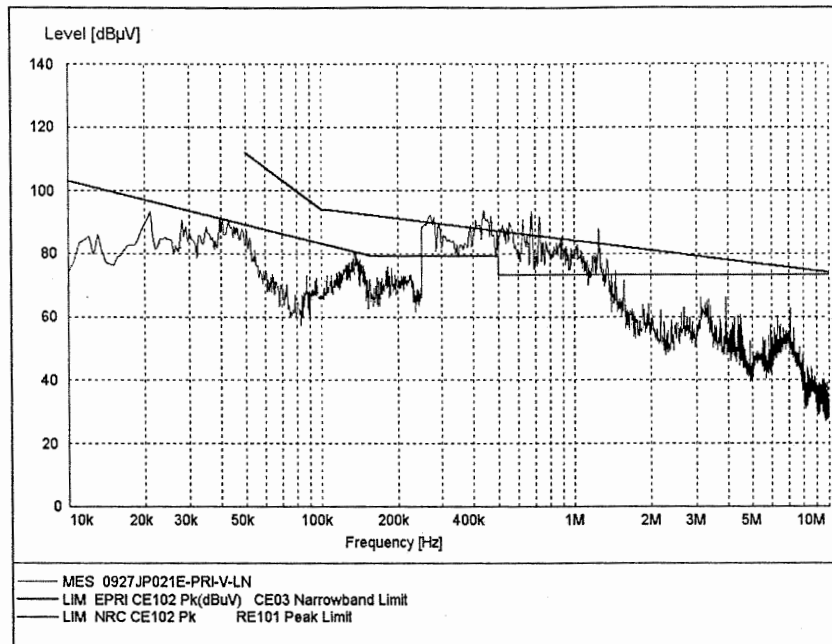


그림 B.59 JP021(Fisher)-PRI-V-LN

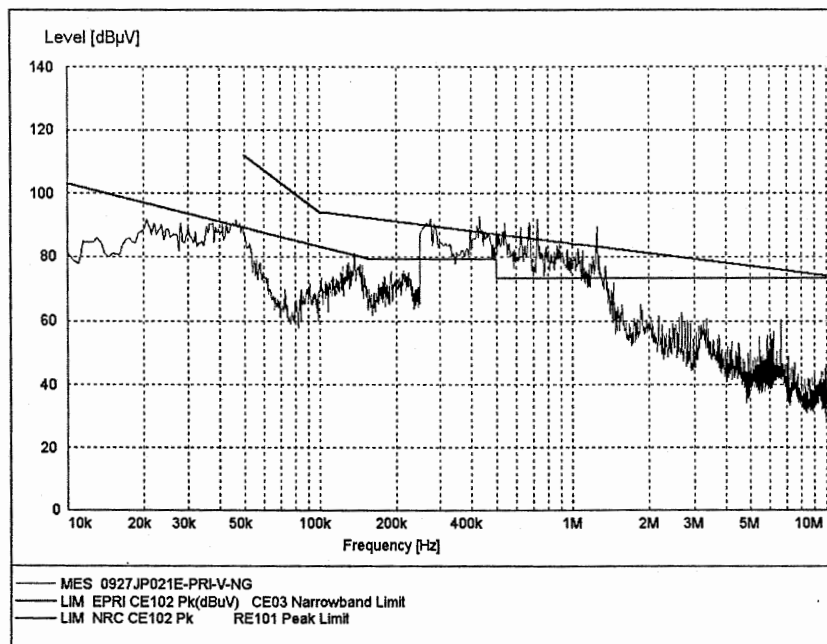


그림 B.60 JP021(Fisher)-PRI-V-NG

2. 전원입력방법 : N-5E-NQ-N002(인버터)

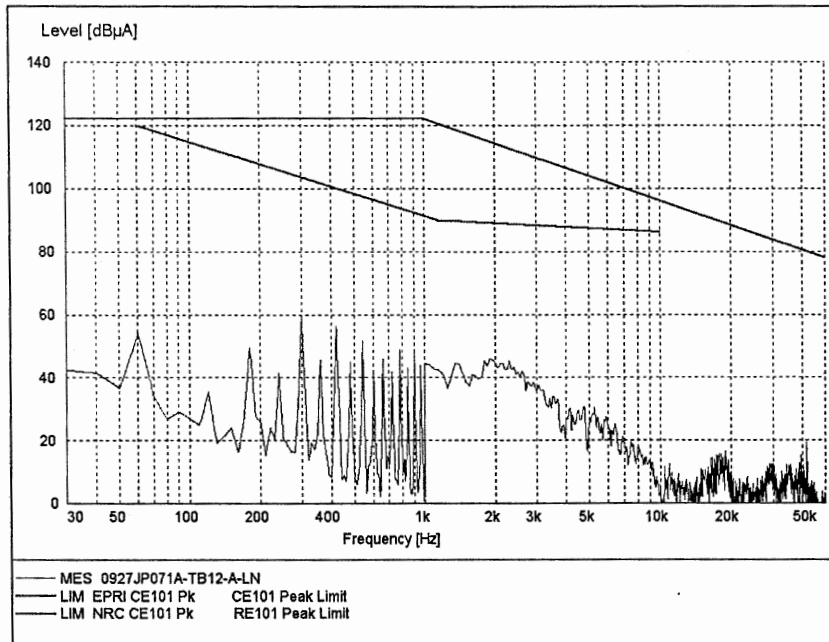


그림 B.61 JP071A(SSILS)-TB12-A-LN

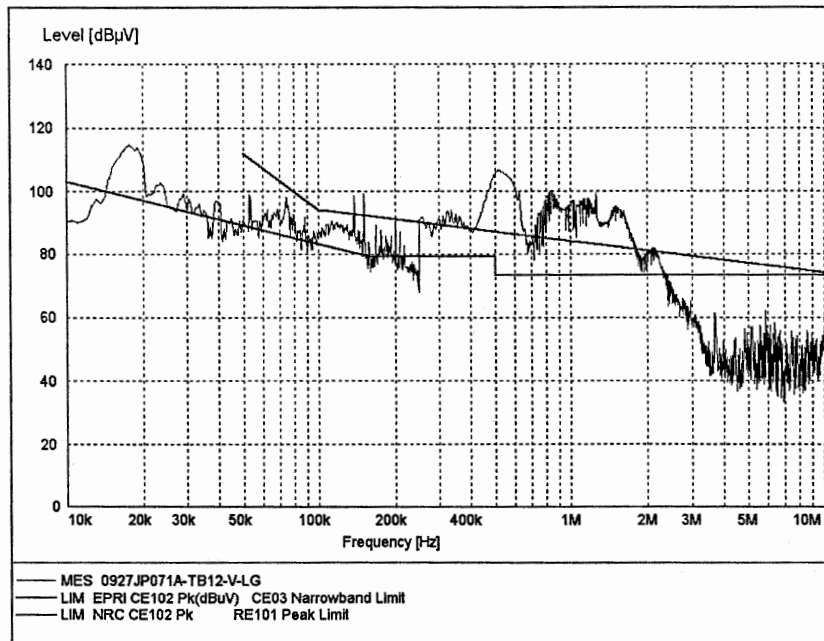


그림 B.62 JP071A(SSILS)-TB12-V-LG

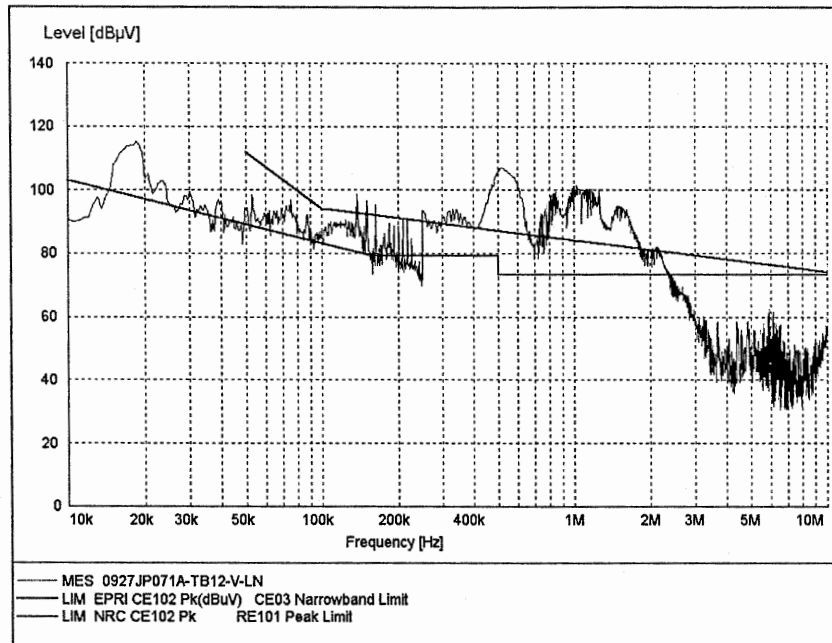


그림 B.63 JP071A(SSILS)-TB12-V-LN

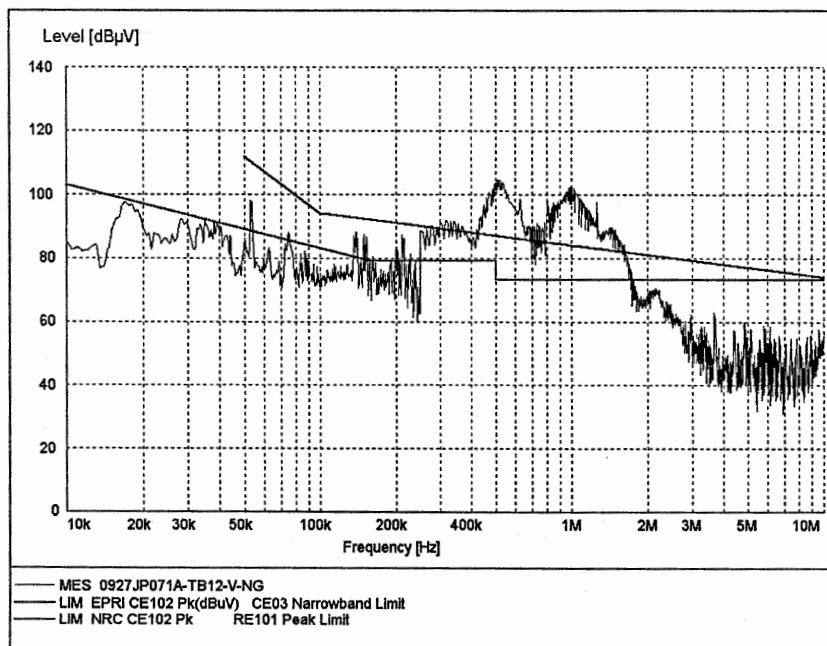


그림 B.64 JP071A(SSILS)-TB12-V-NG

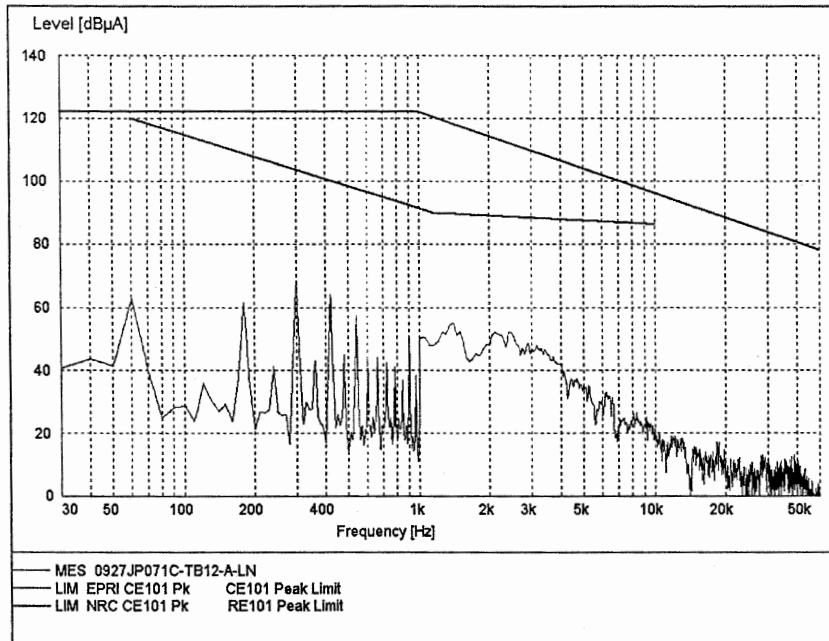


그림 B.65 JP071C(SSILS)-TB12-A-LN

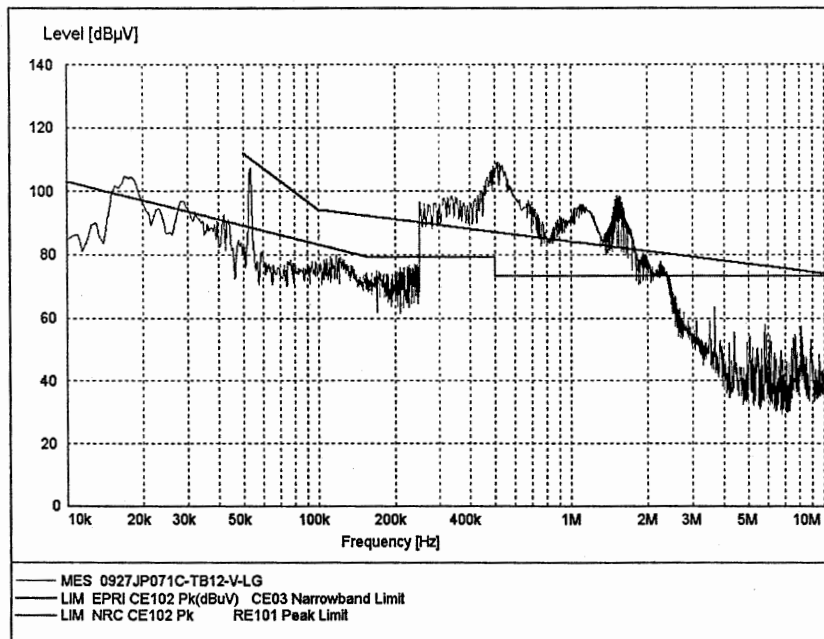


그림 B.66 JP071C(SSILS)-TB12-V-LG

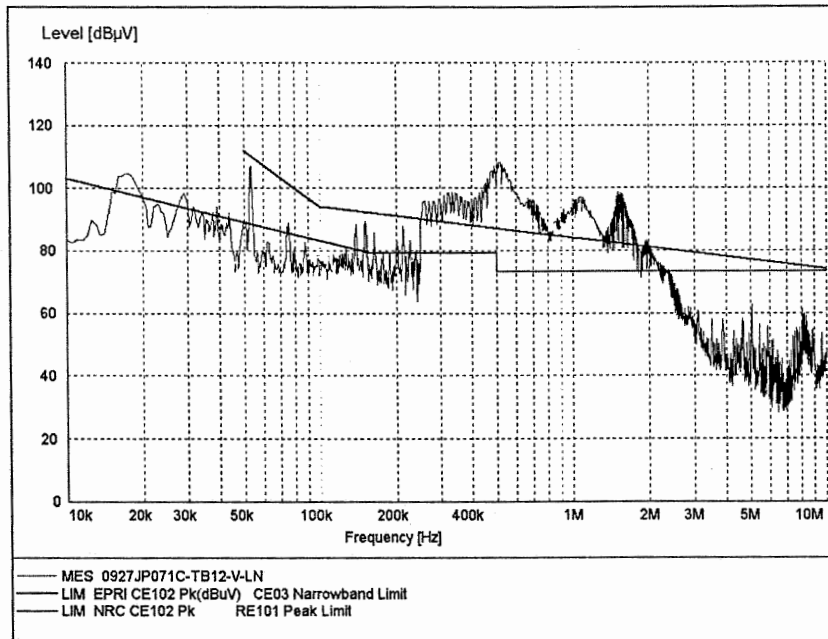


그림 B.67 JP071C(SSILS)-TB12-V-LN

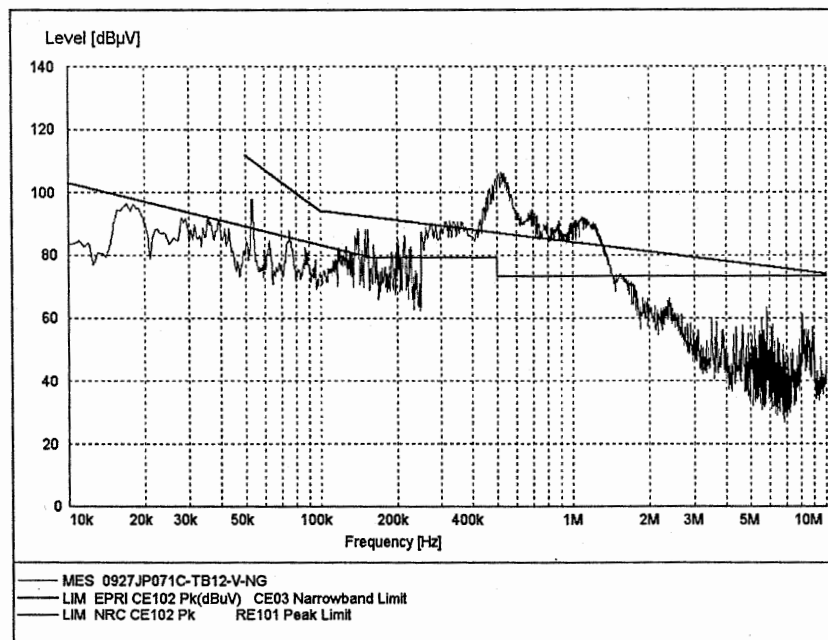


그림 B.68 JP071C(SSILS)-TB12-V-NG

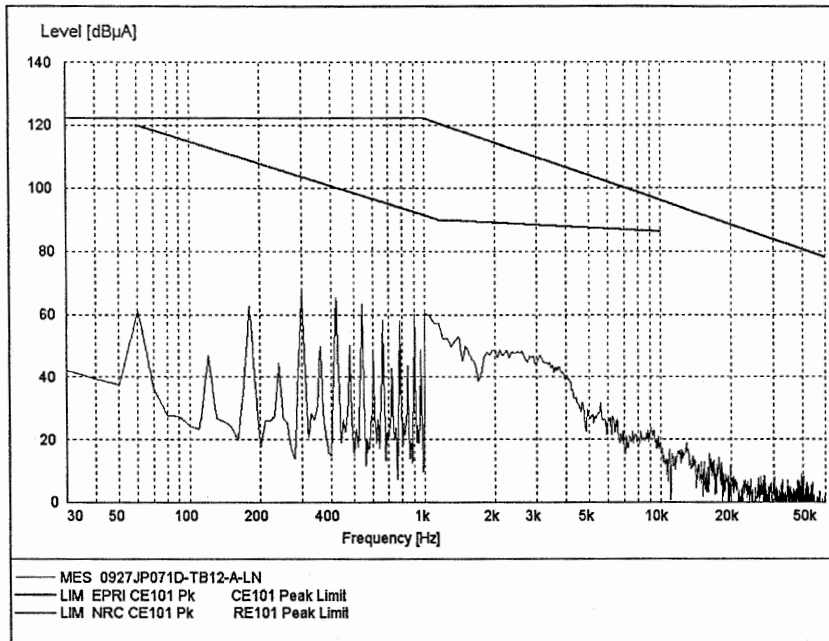


그림 B.69 JP071D(SSILS)-TB12-A-LN

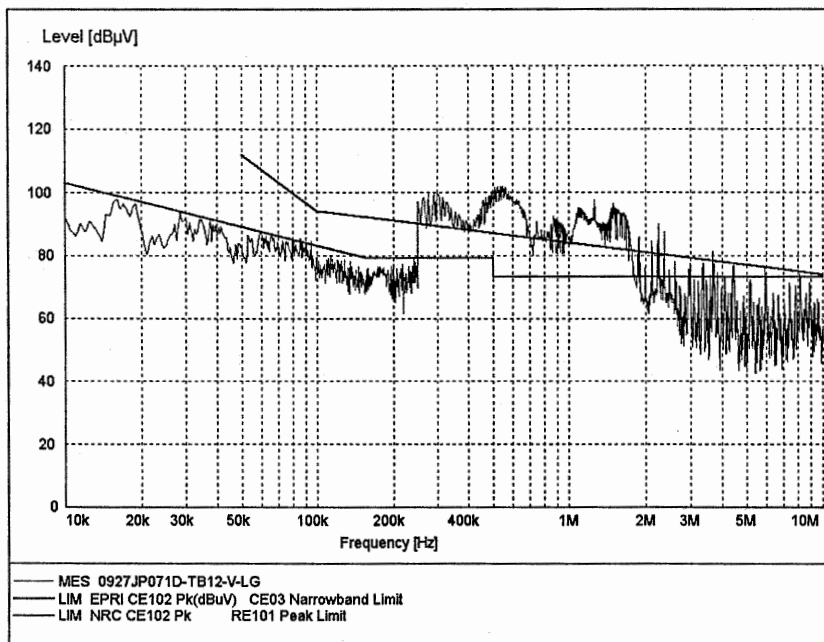


그림 B.70 JP071D(SSILS)-TB12-V-LG

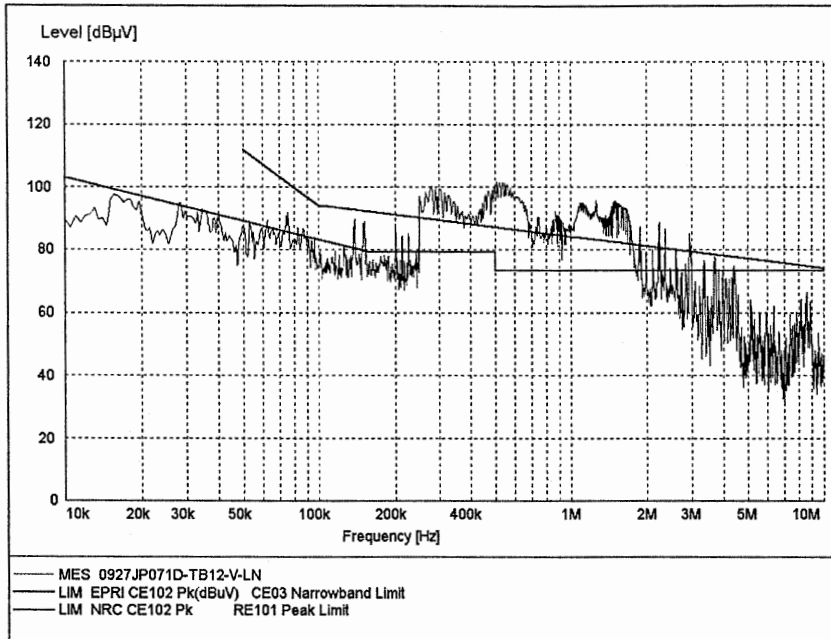


그림 B.71 JP071D(SSILS)-TB12-V-LN

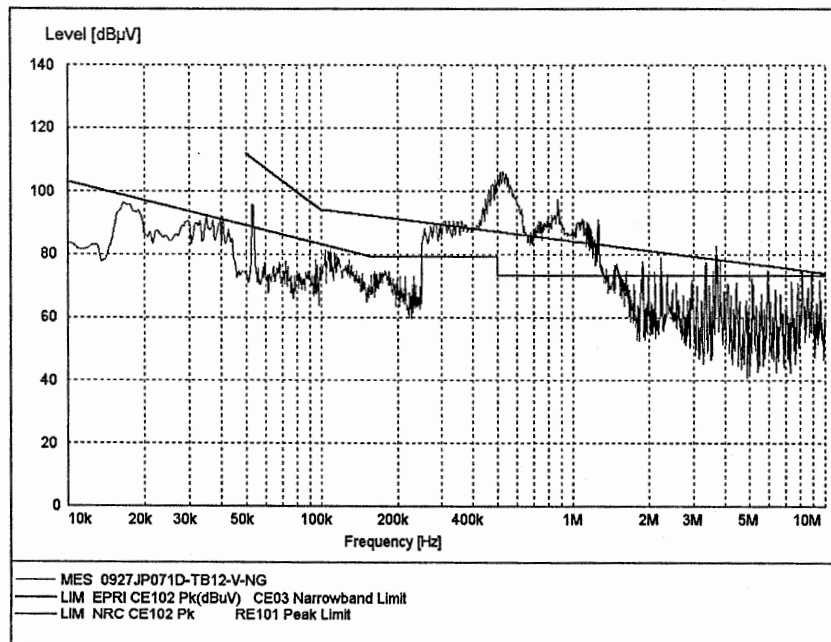


그림 B.72 JP071D(SSILS)-TB12-V-NG

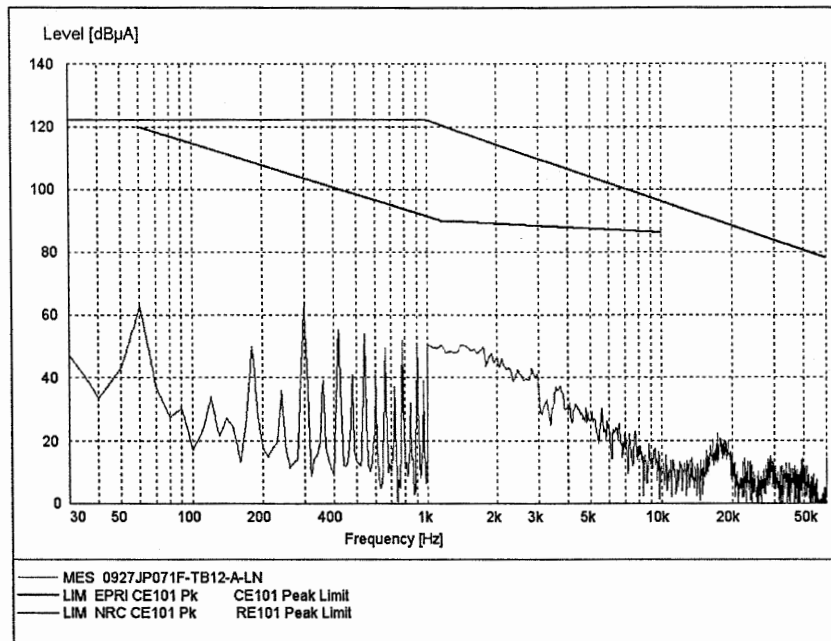


그림 B.73 JP071F(SSILS)-TB12-A-LN

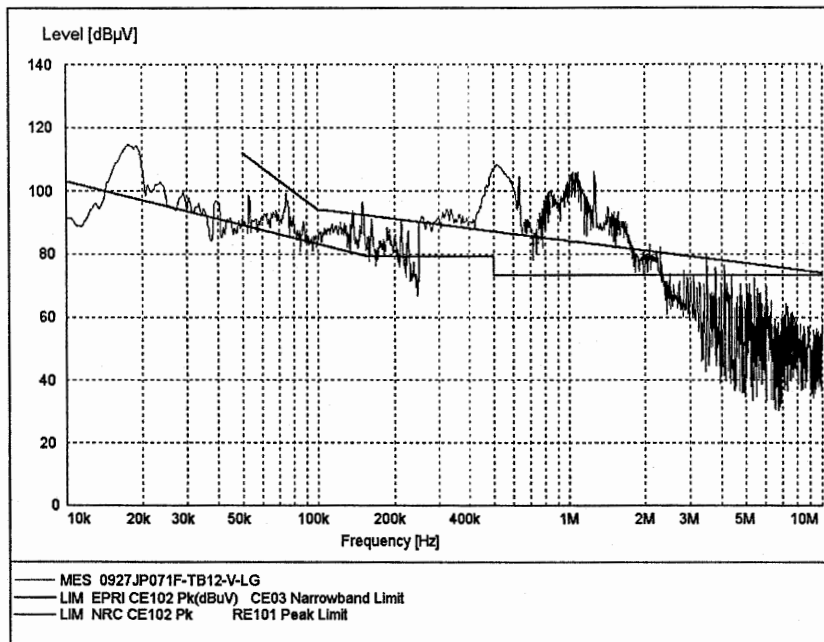


그림 B.74 JP071F(SSILS)-TB12-V-LG

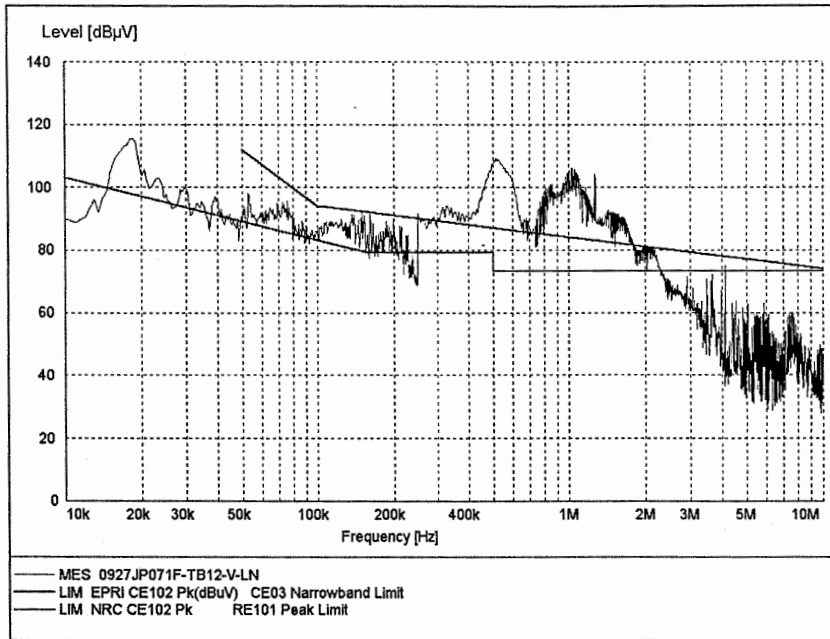


그림 B.75 JP071F(SSILS)-TB12-V-LN

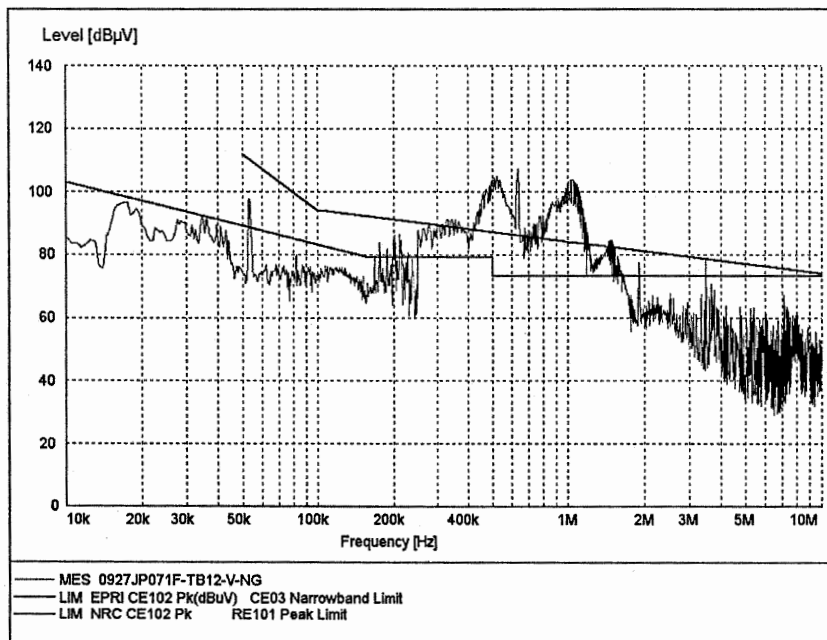


그림 B.76 JP071F(SSILS)-TB12-V-NG

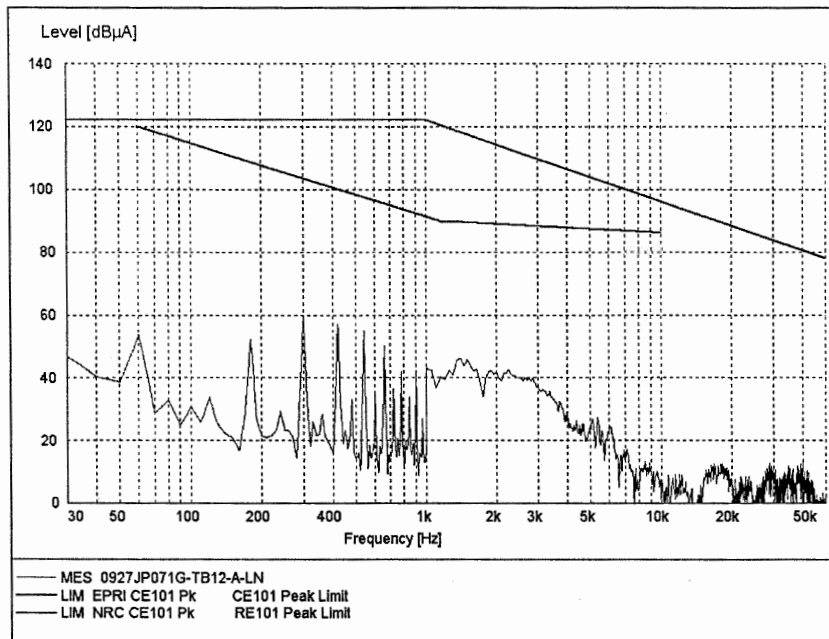


그림 B.77 JP071G(SSILS)-TB12-A-LN

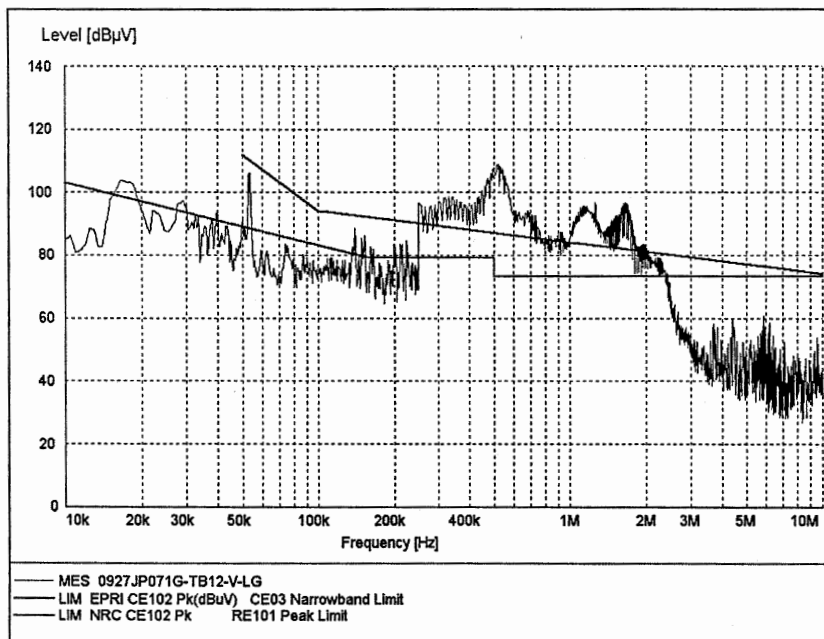


그림 B.78 JP071G(SSILS)-TB12-V-LG

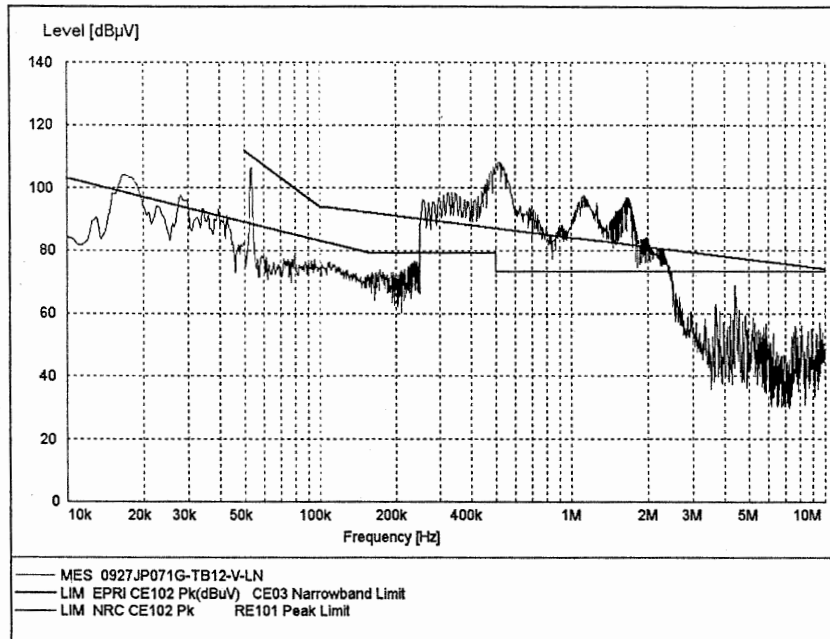


그림 B.79 JP071G(SSILS)-TB12-V-LN

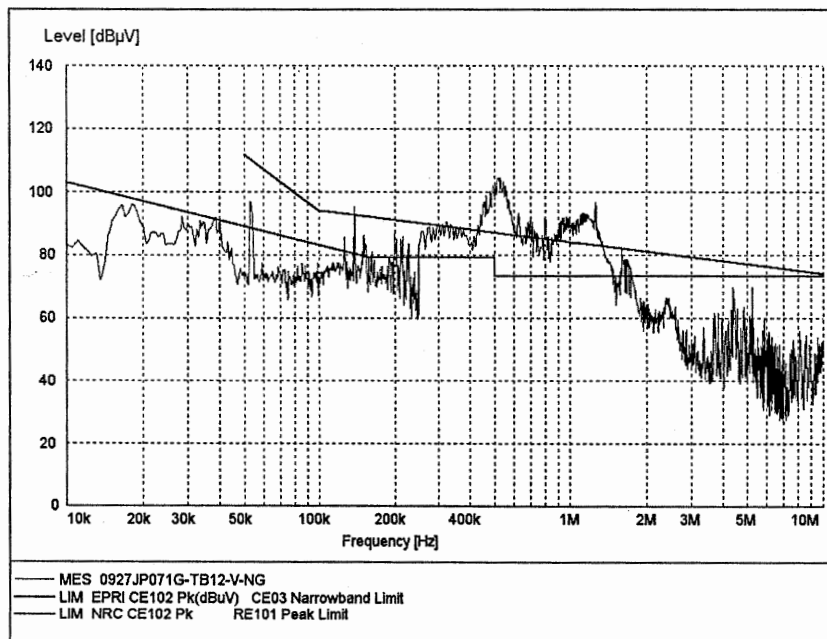


그림 B.80 JP071G(SSILS)-TB12-V-NG

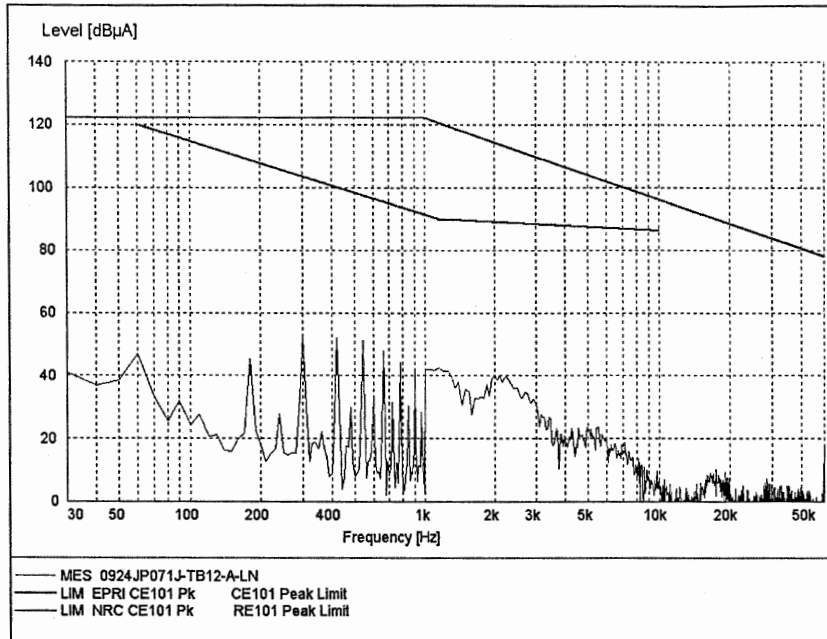


그림 B.81 JP071J(SSILS)-TB12-A-LN

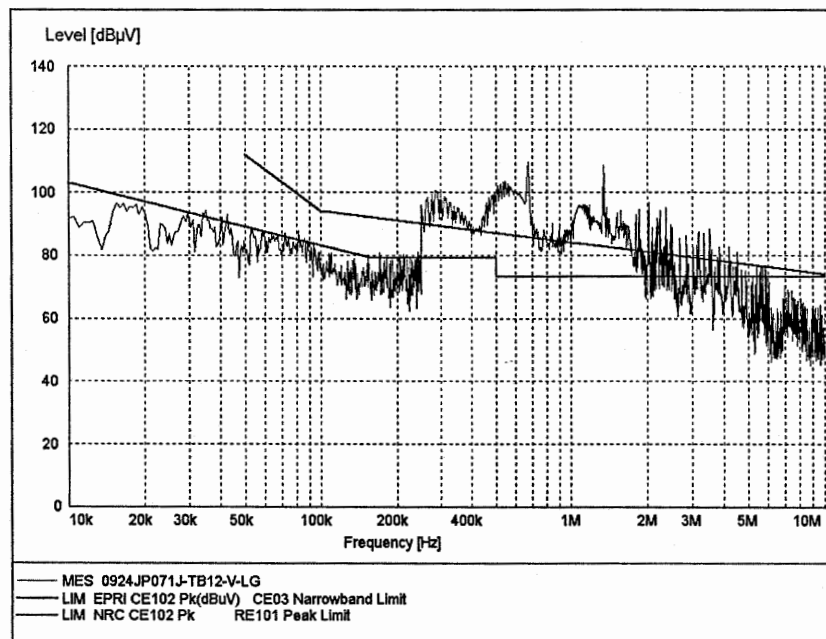


그림 B.82 JP071J(SSILS)-TB12-V-LG

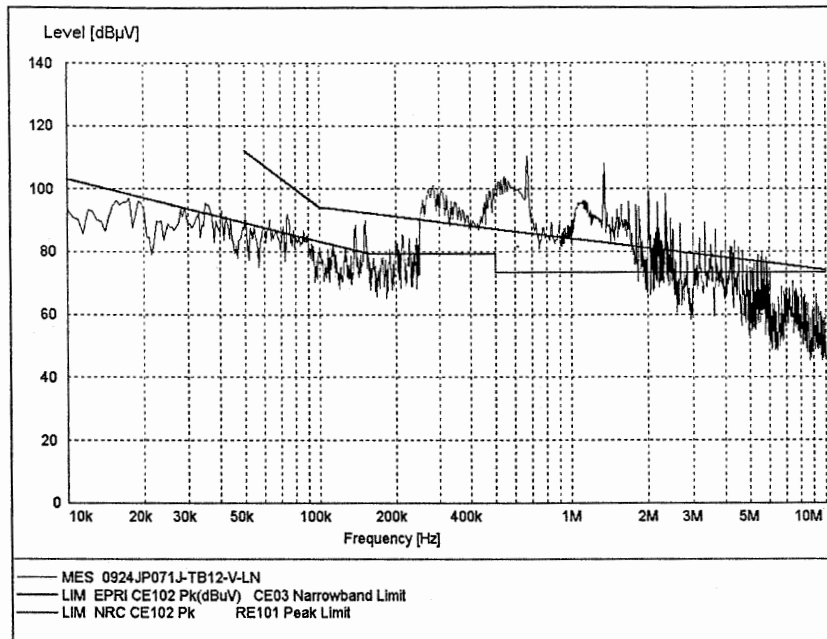


그림 B.83 JP071J(SSILS)-TB12-V-LN

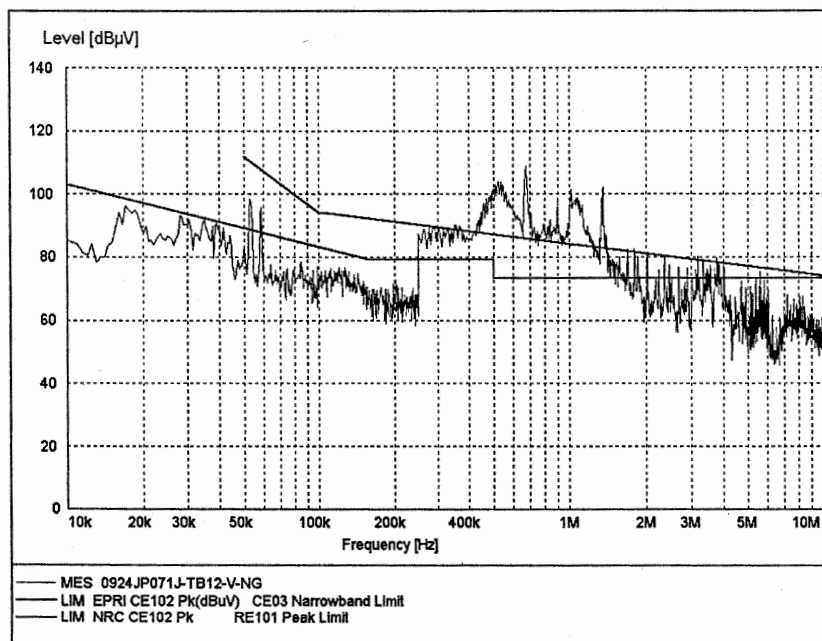


그림 B.84 JP071J(SSILS)-TB12-V-NG

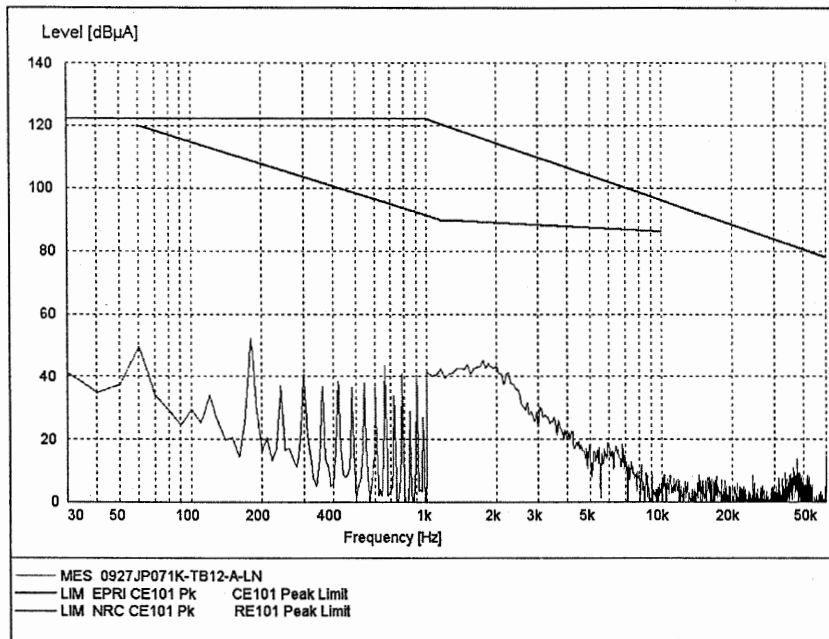


그림 B.85 JP071K(SSILS)-TB12-A-LN

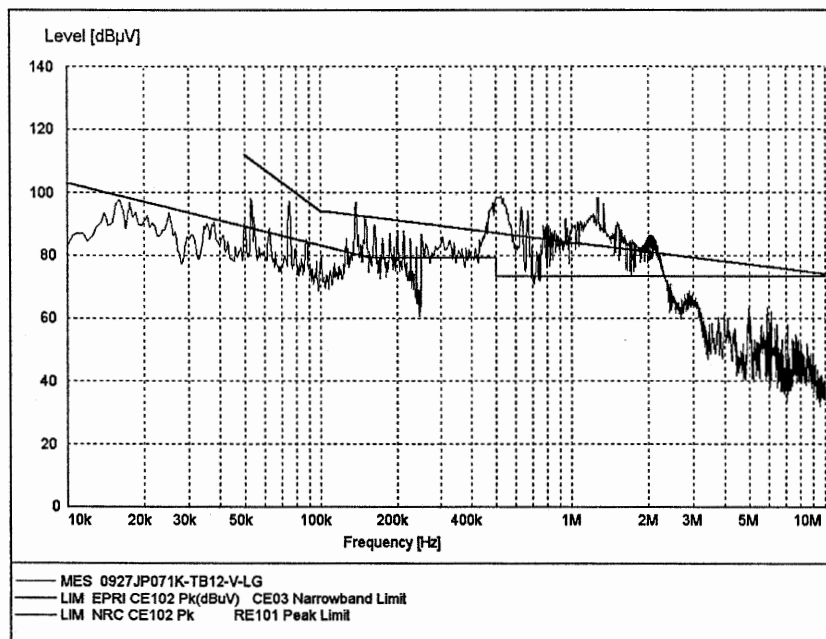


그림 B.86 JP071K(SSILS)-TB12-V-LG

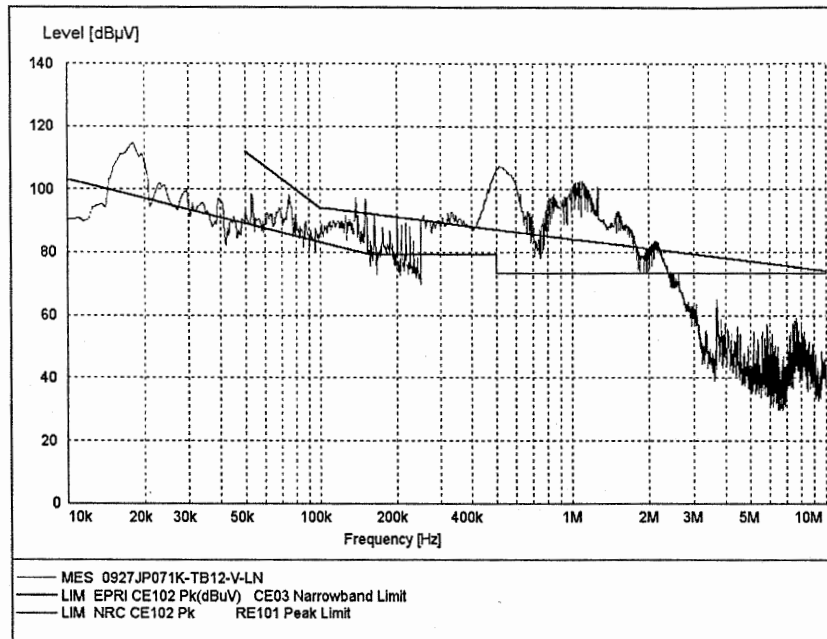


그림 B.87 JP071K(SSILS)-TB12-V-LN

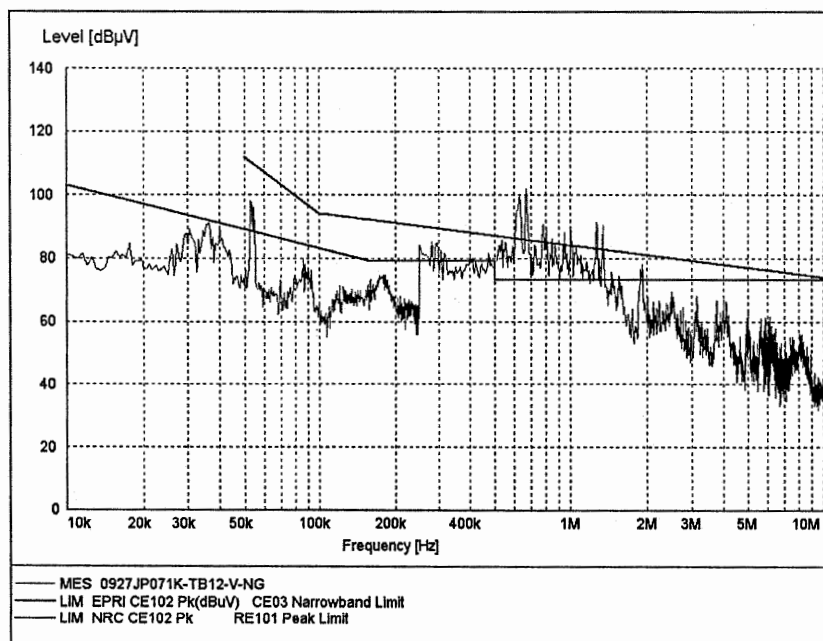


그림 B.88 JP071K(SSILS)-TB12-V-NG

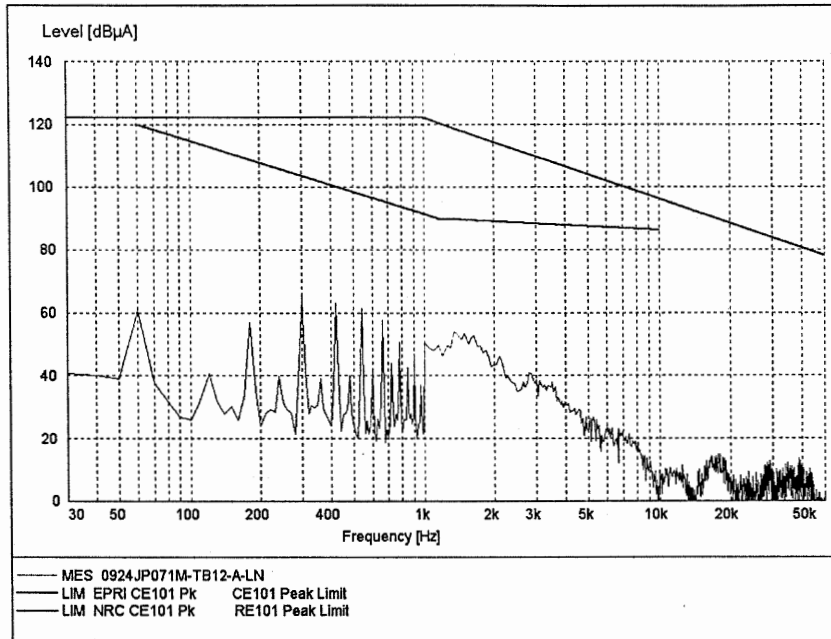


그림 B.89 JP071M(SSILS)-TB12-A-LN

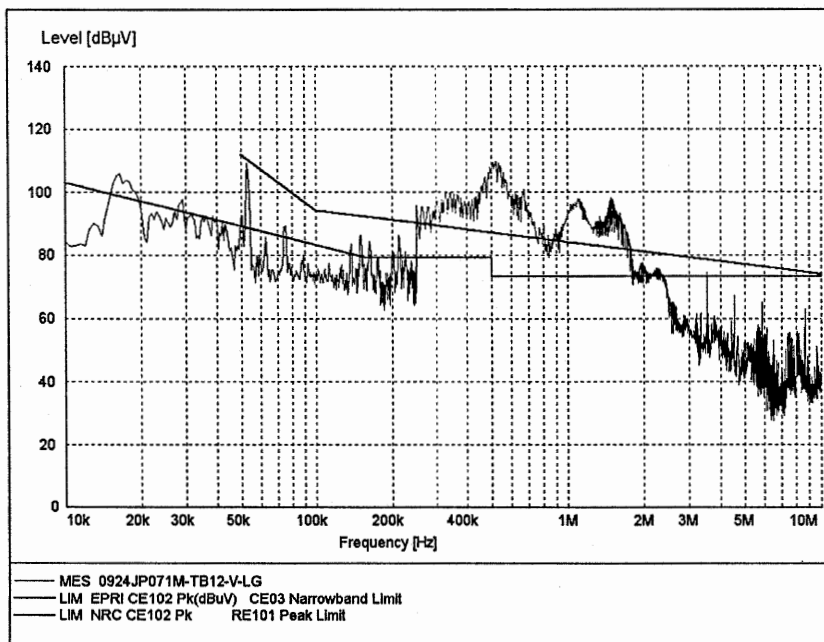


그림 B.90 JP071M(SSILS)-TB12-V-LG

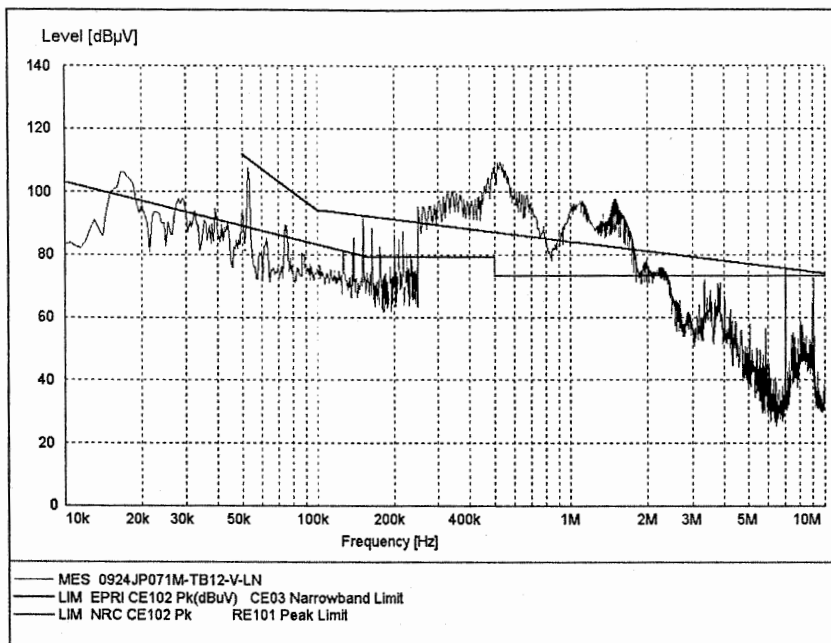


그림 B.91 JP071M(SSILS)-TB12-V-LN

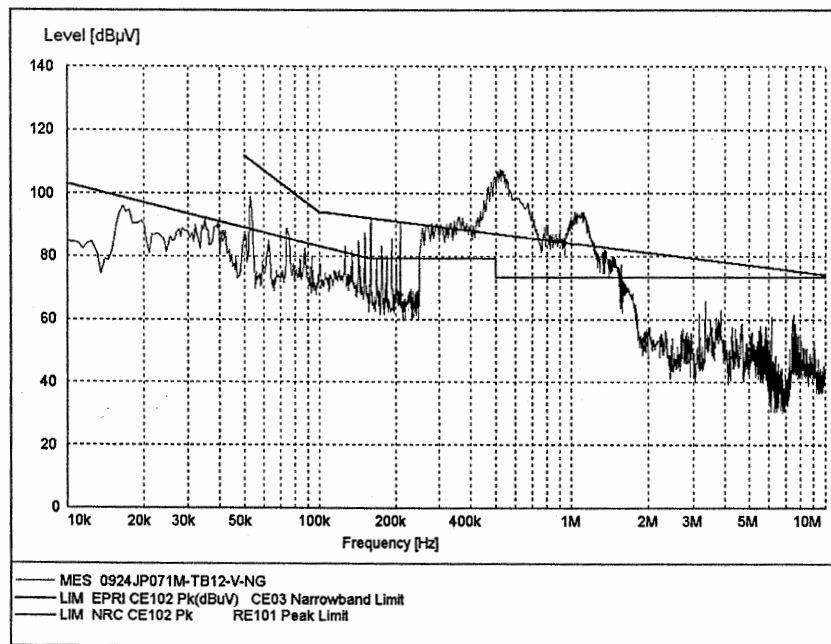


그림 B.92 JP071M(SSILS)-TB12-V-NG

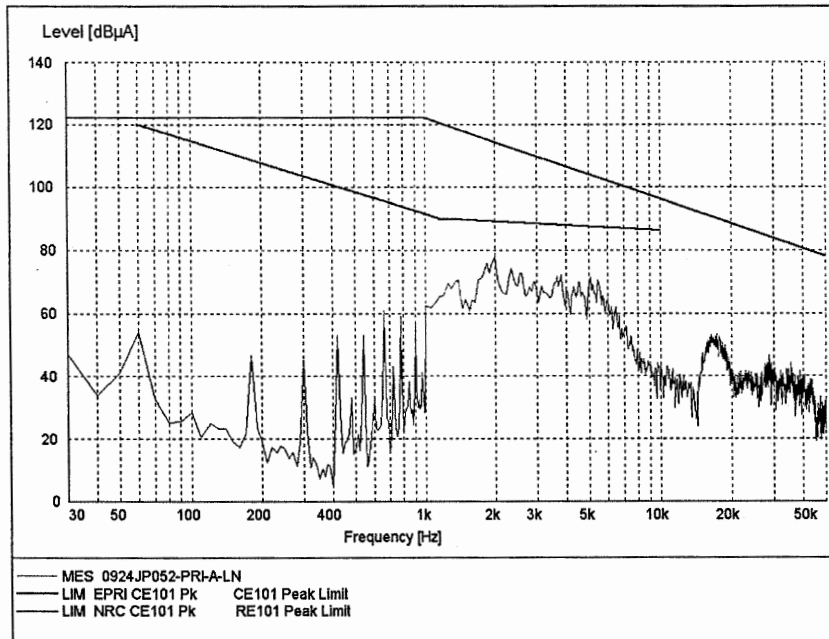


그림 B.93 JP052(W7300 Control GP 2/4)-PRI-A-LN

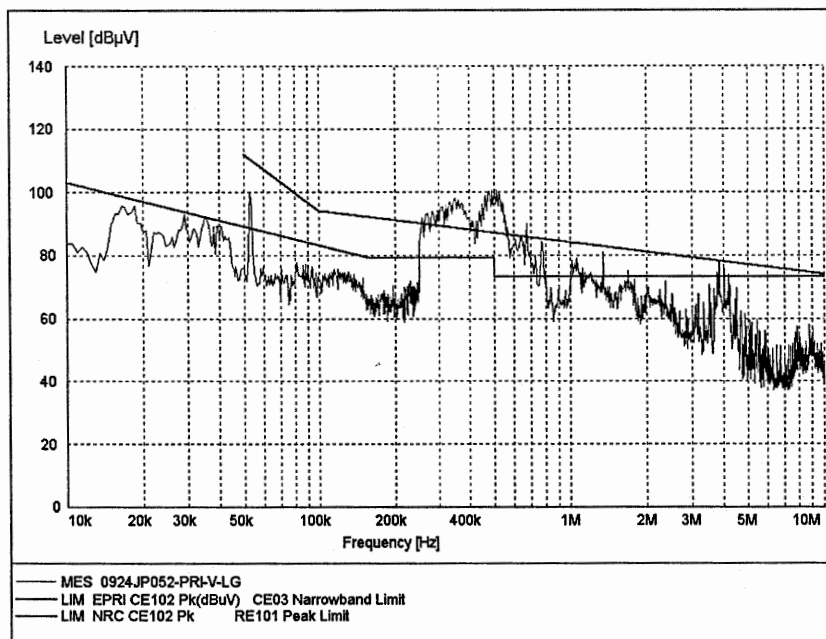


그림 B.94 JP052(W7300 Control GP 2/4)-PRI-V-LG

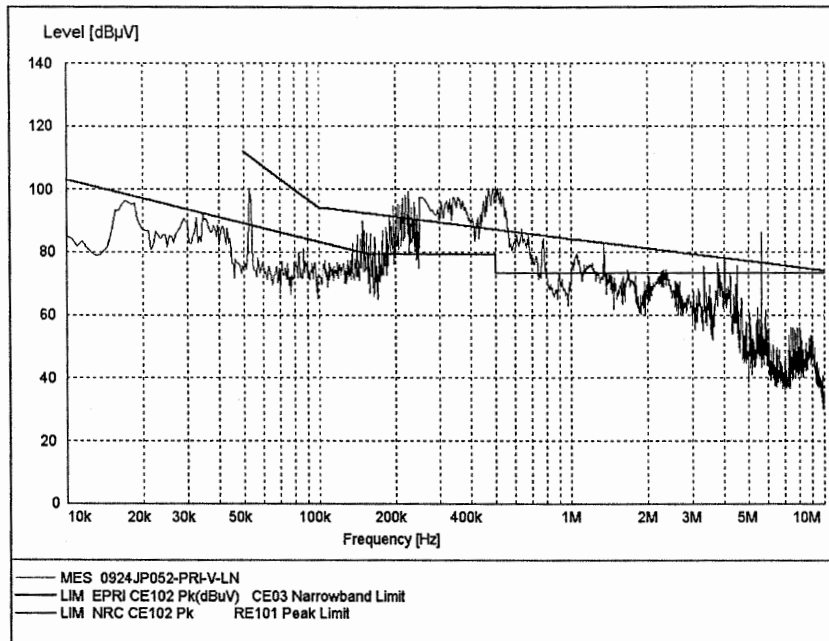


그림 B.95 JP052(W7300 Control GP 2/4)-PRI-V-LN

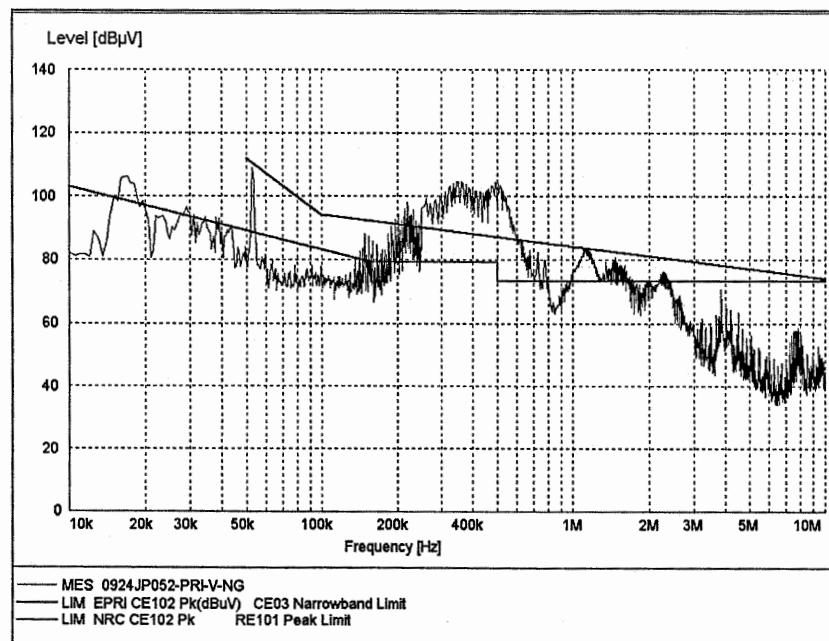


그림 B.96 JP052(W7300 Control GP 2/4)-PRI-V-NG

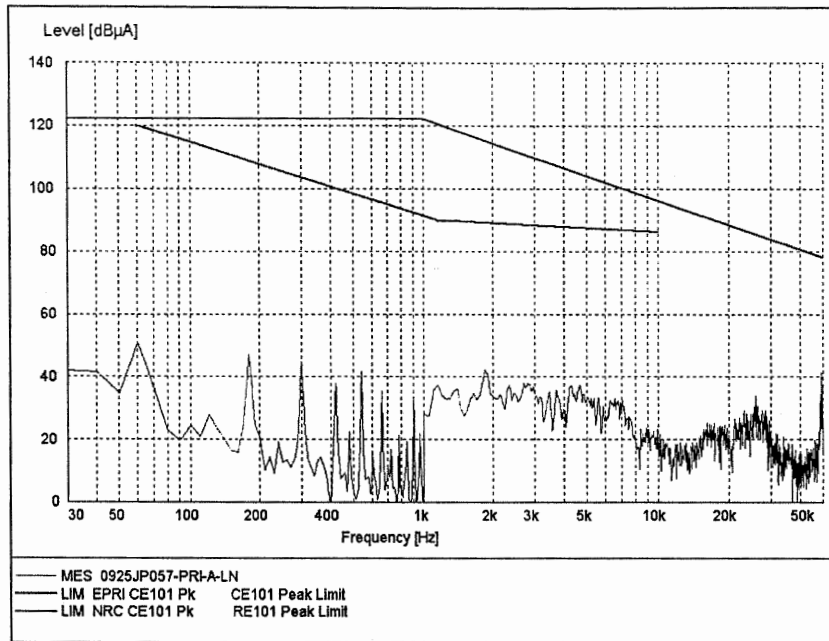


그림 B.97 JP057(W7300 Control GP 2/4)-PRI-A-LN

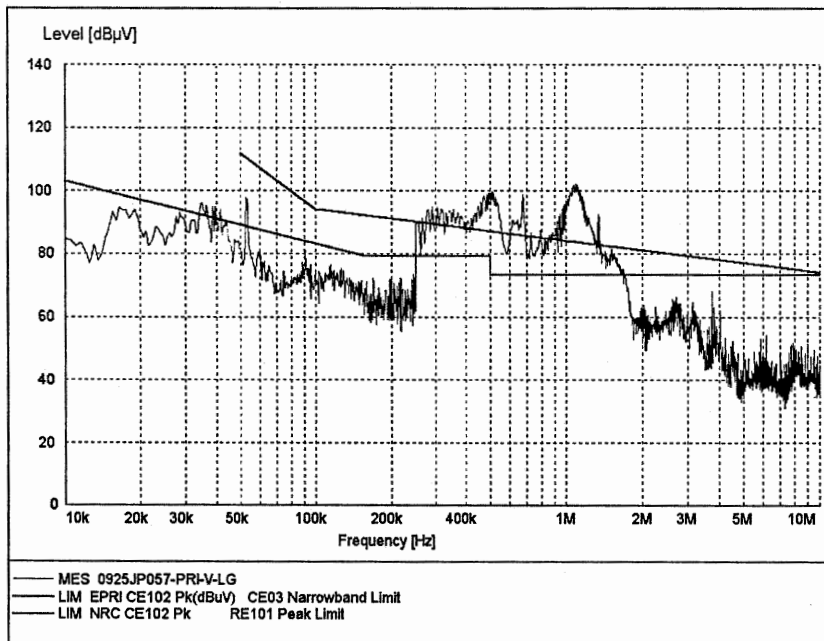


그림 B.98 JP057(W7300 Control GP 2/4)-PRI-V-LG

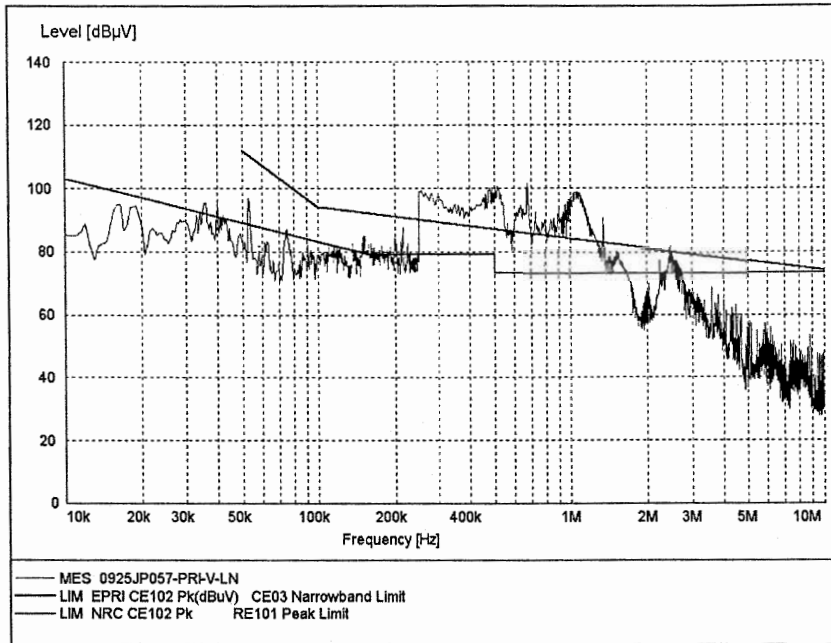


그림 B.99 JP057(W7300 Control GP 2/4)-PRI-V-LN

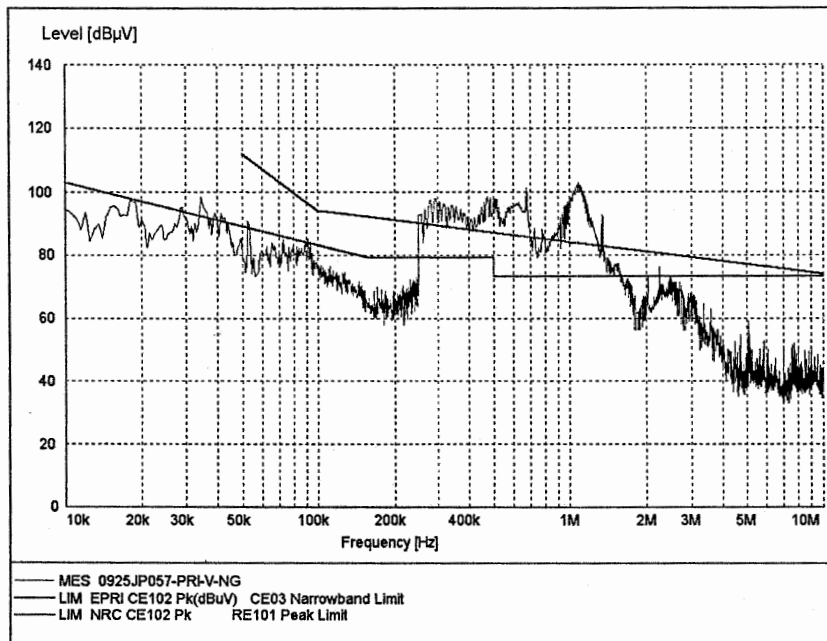


그림 B.100 JP057(W7300 Control GP 2/4)-PRI-V-NG

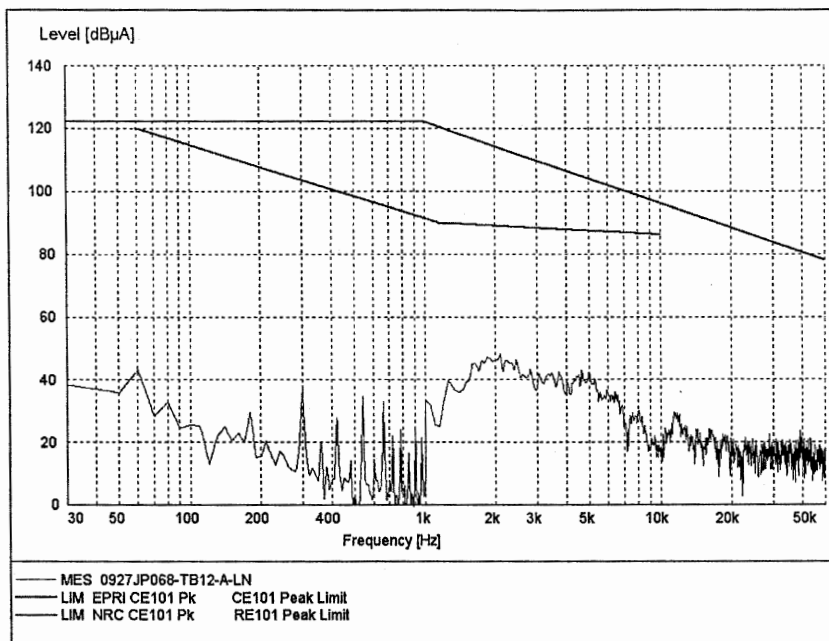


그림 B.101 JP068(MFWP)-TB12-A-LN

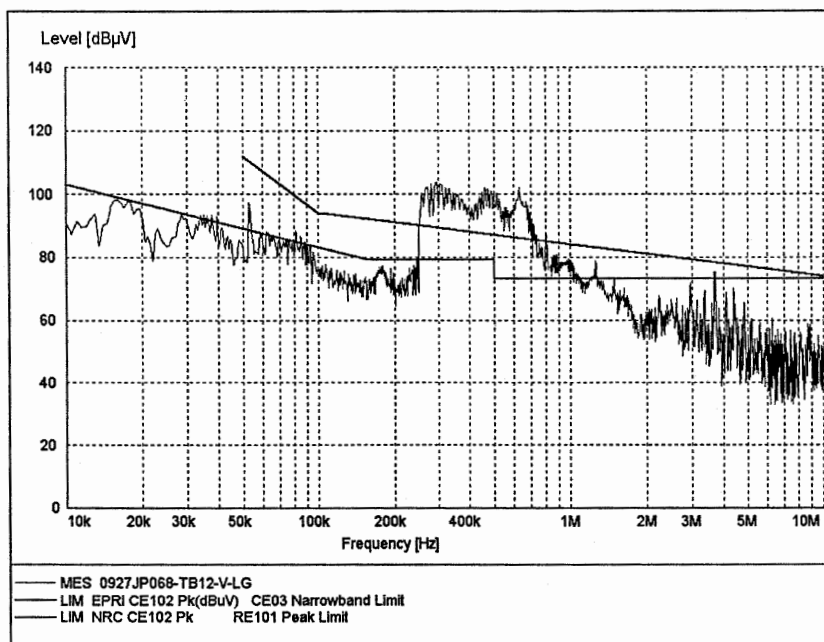


그림 B.102 JP068(MFWP)-TB12-V-LG

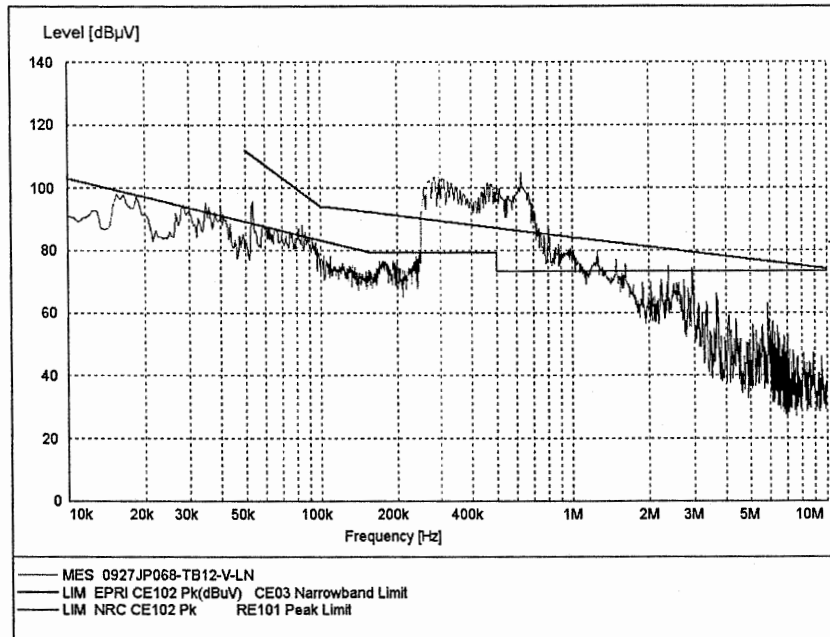


그림 B.103 JP068(MFWP)-TB12-V-LN

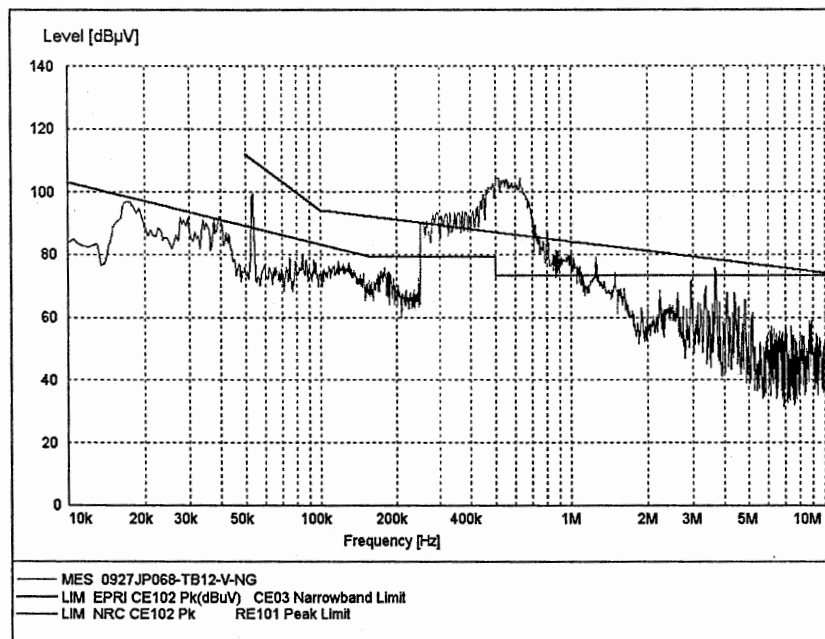


그림 B.104 JP068(MFWP)-TB12-V-NG

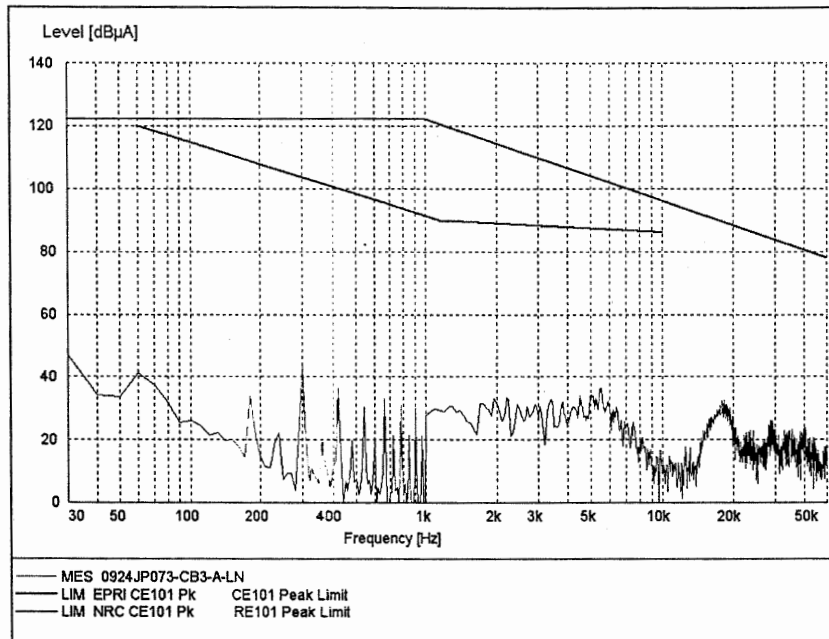


그림 B.105 JP073(TBN Governor)-CB3-A-LN

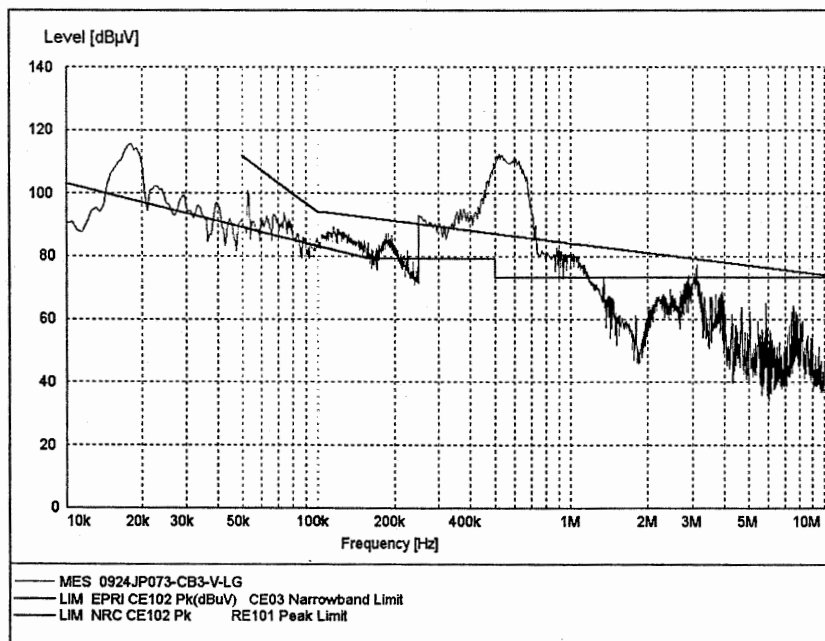


그림 B.106 JP073(TBN Governor)-CB3-V-LG

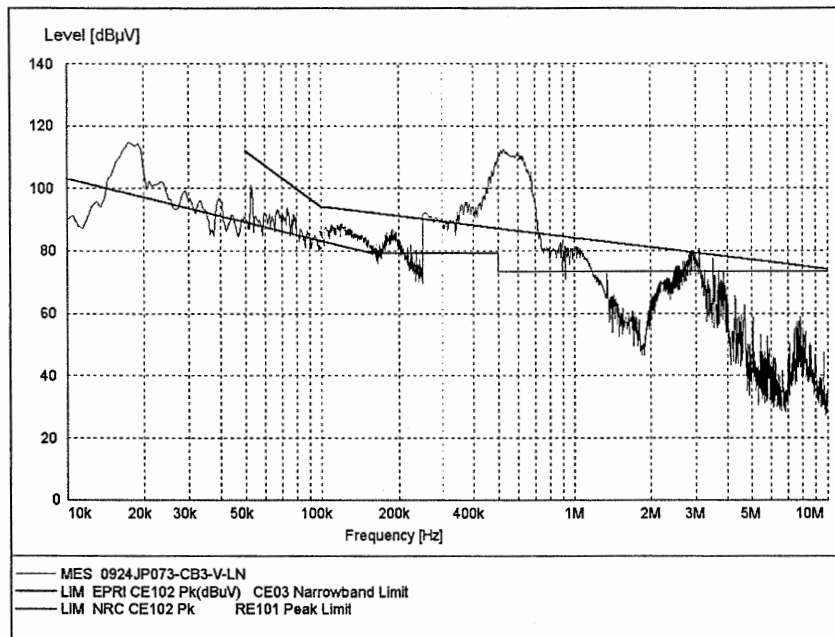


그림 B.107 JP073(TBN Governor)-CB3-V-LN

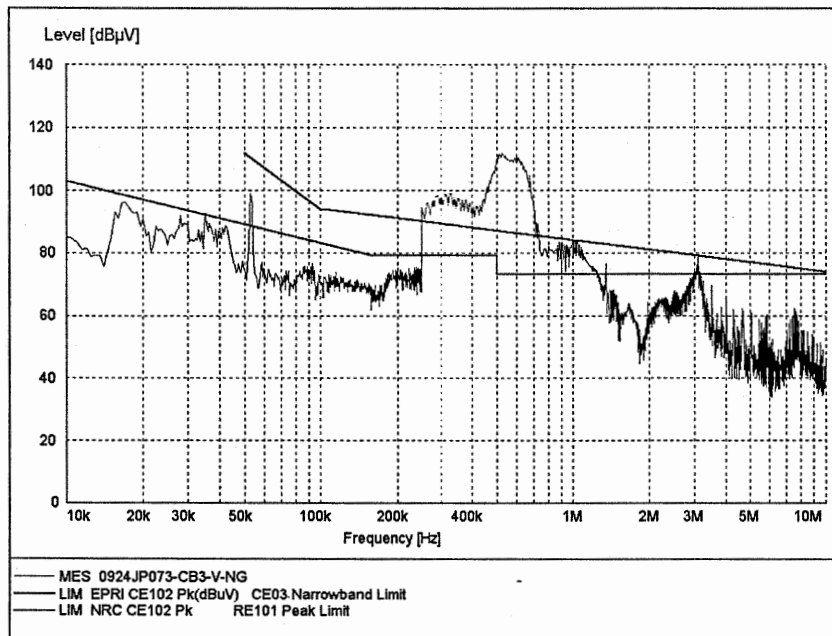


그림 B.108 JP073(TBN Governor)-CB3-V-NG

3. 전원입력방법 : N-5E-NQ-X004(레귤레이팅 변압기)

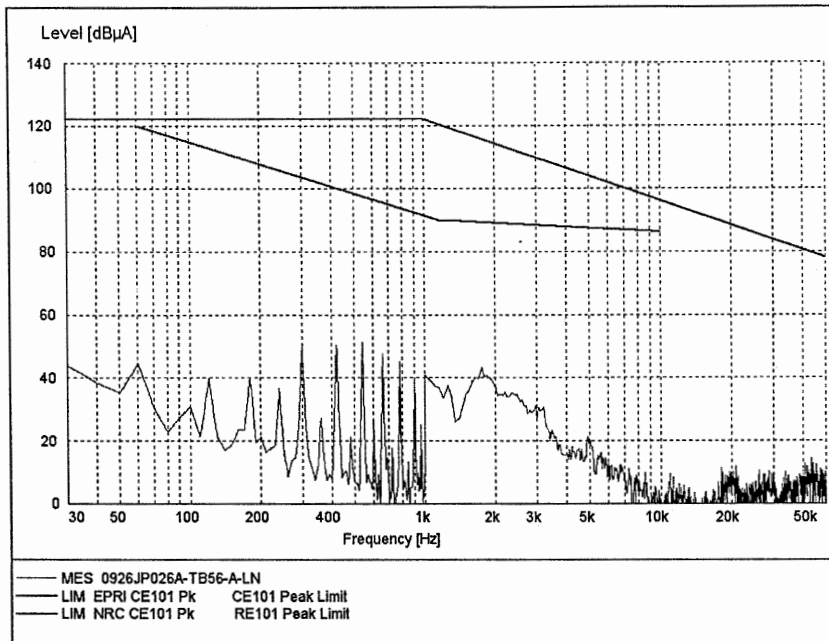


그림 B.109 JP026A(SSILS)-TB56-A-LN

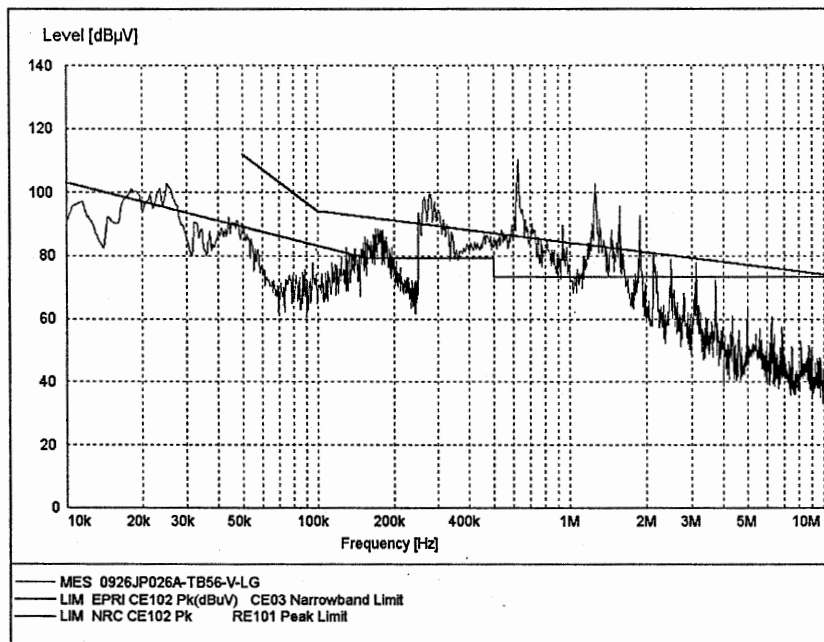


그림 B.110 JP026A(SSILS)-TB56-V-LG

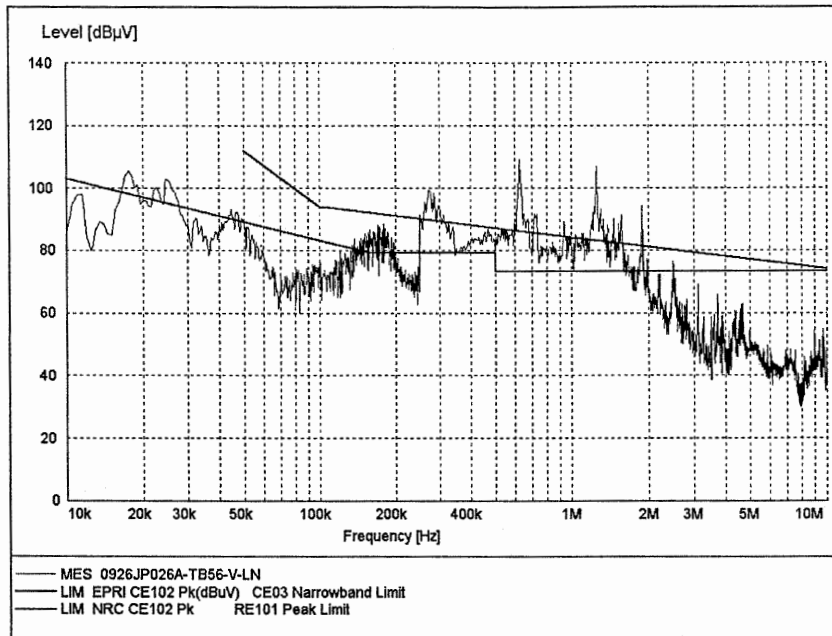


그림 B.111 JP026A(SSILS)-TB56-V-LN

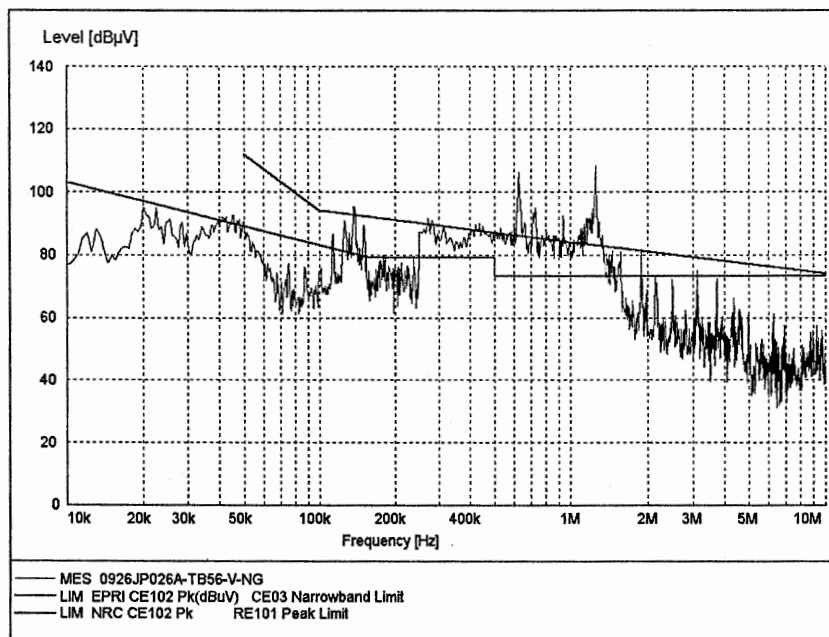


그림 B.112 JP026A(SSILS)-TB56-V-NG

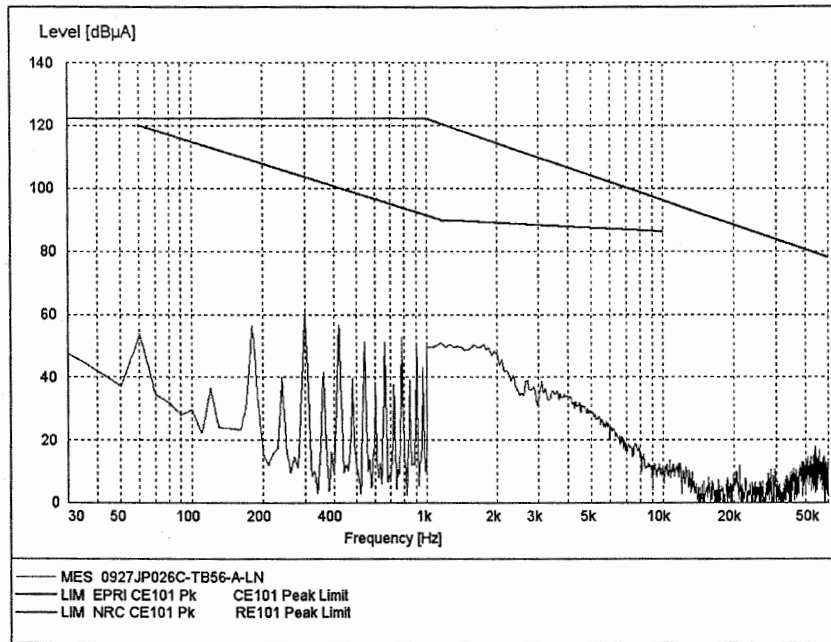


그림 B.113 JP026C(SSILS)-TB56-A-LN

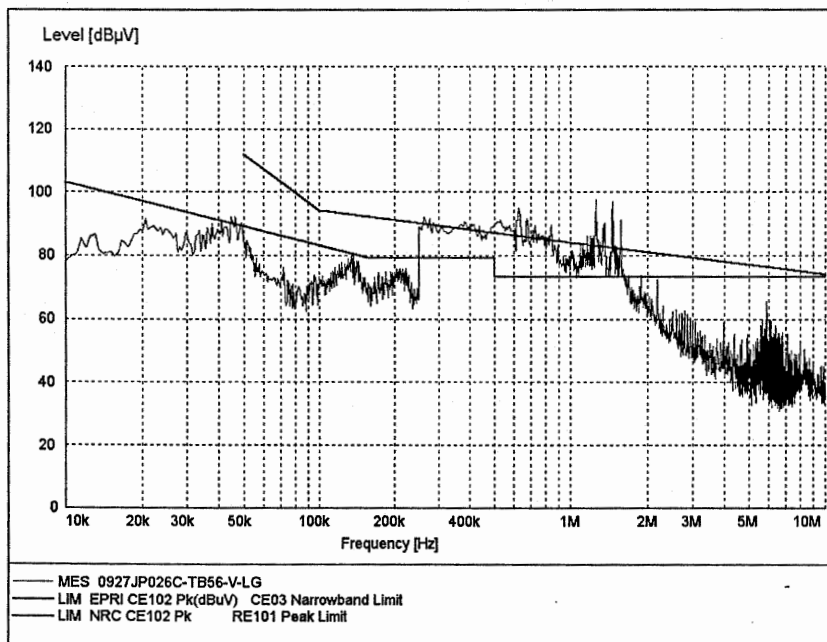


그림 B.114 JP026C(SSILS)-TB56-V-LG

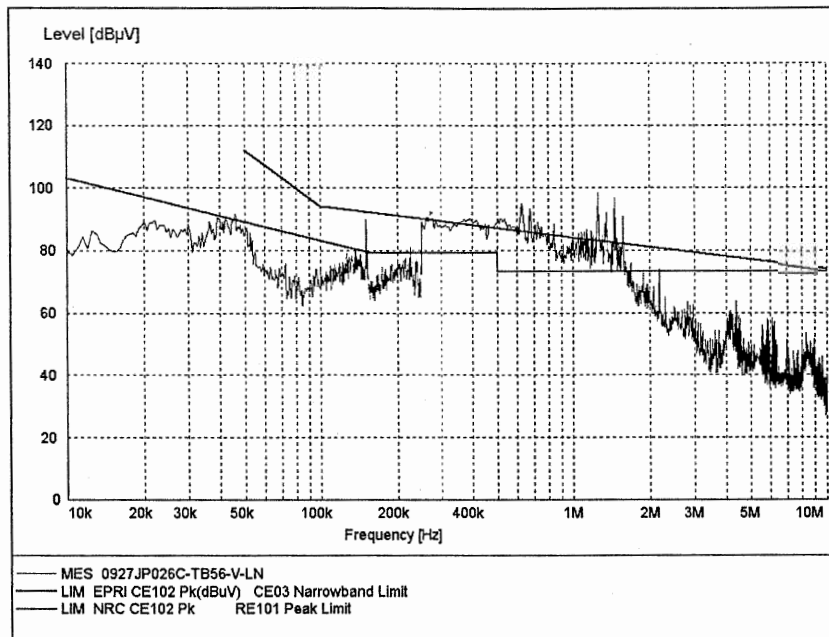


그림 B.115 JP026C(SSILS)-TB56-V-LN

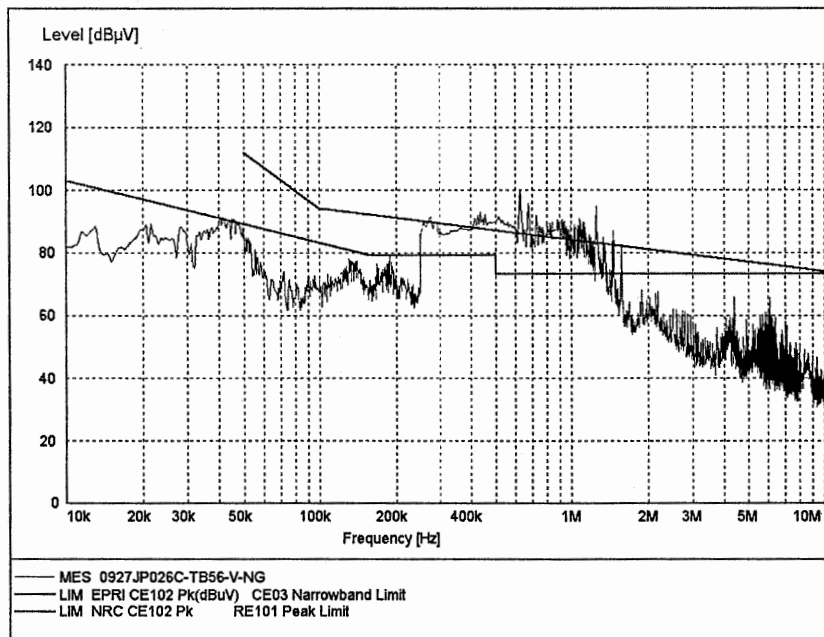


그림 B.116 JP026C(SSILS)-TB56-V-NG

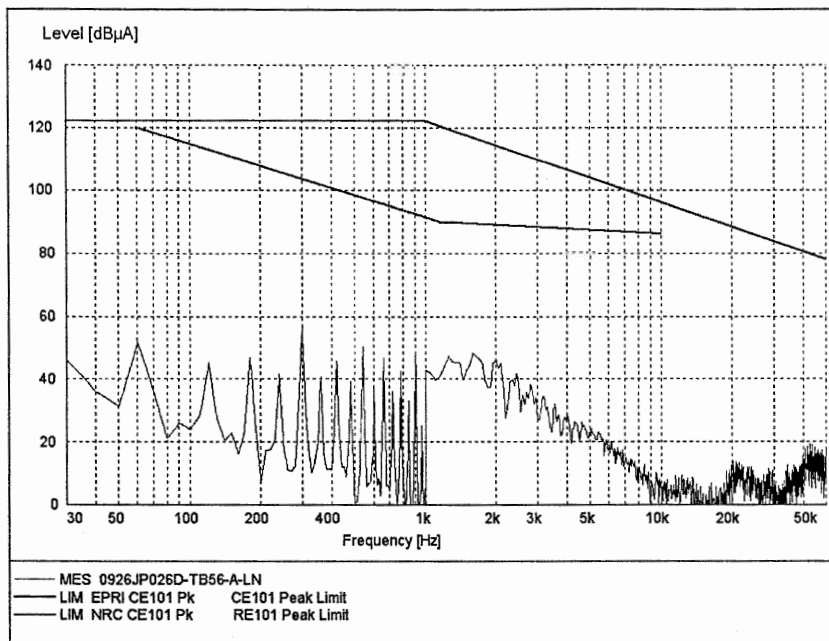


그림 B.117 JP026D(SSILS)-TB56-A-LN

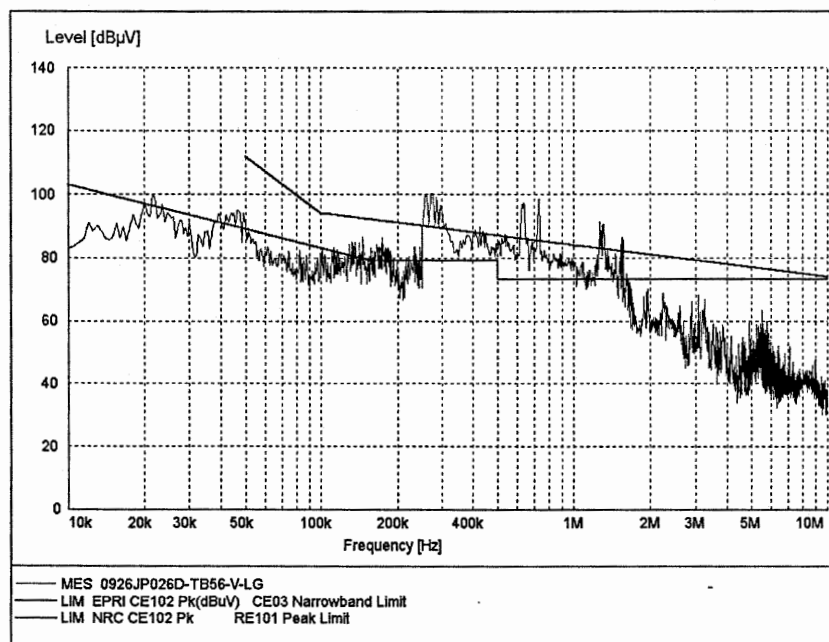


그림 B.118 JP026D(SSILS)-TB56-V-LG

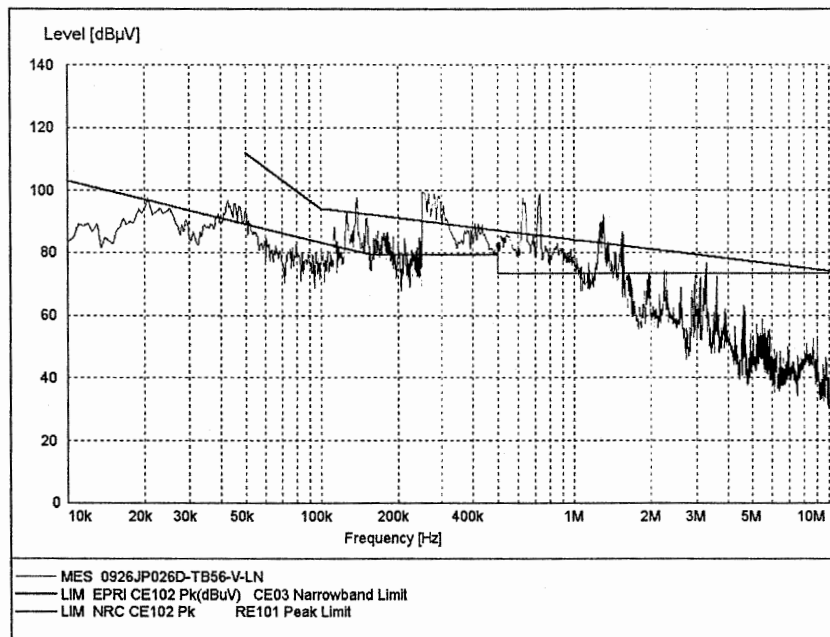


그림 B.119 JP026D(SSILS)-TB56-V-LN

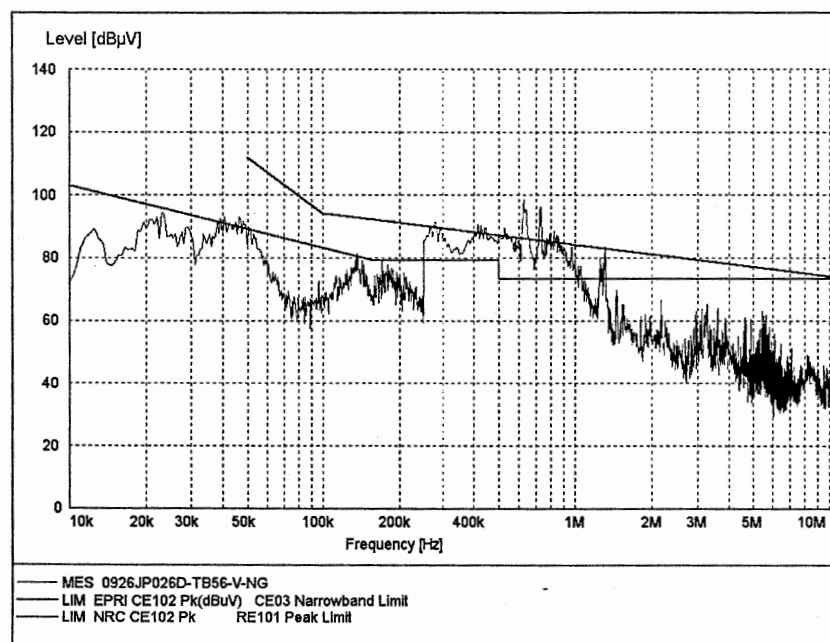


그림 B.120 JP026D(SSILS)-TB56-V-NG

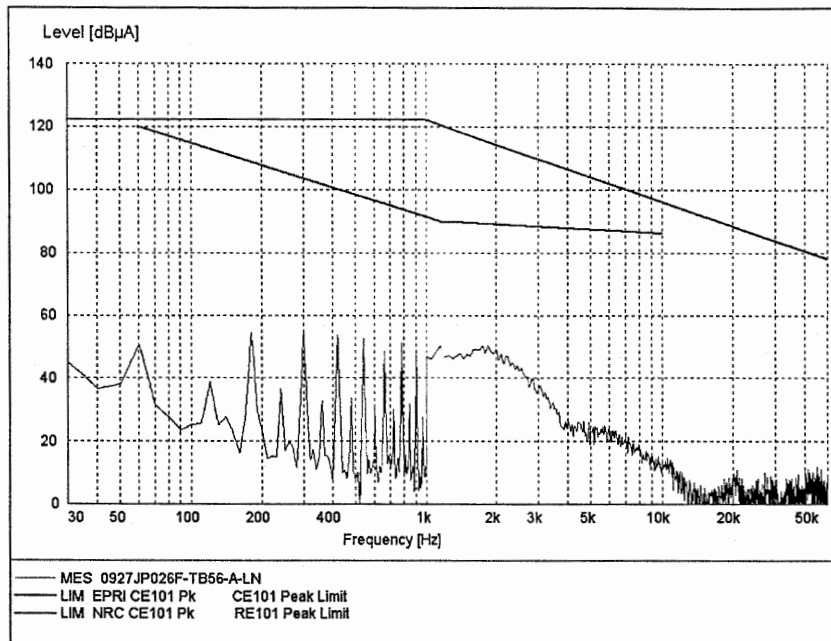


그림 B.121 JP026F(SSILS)-TB56-A-LN

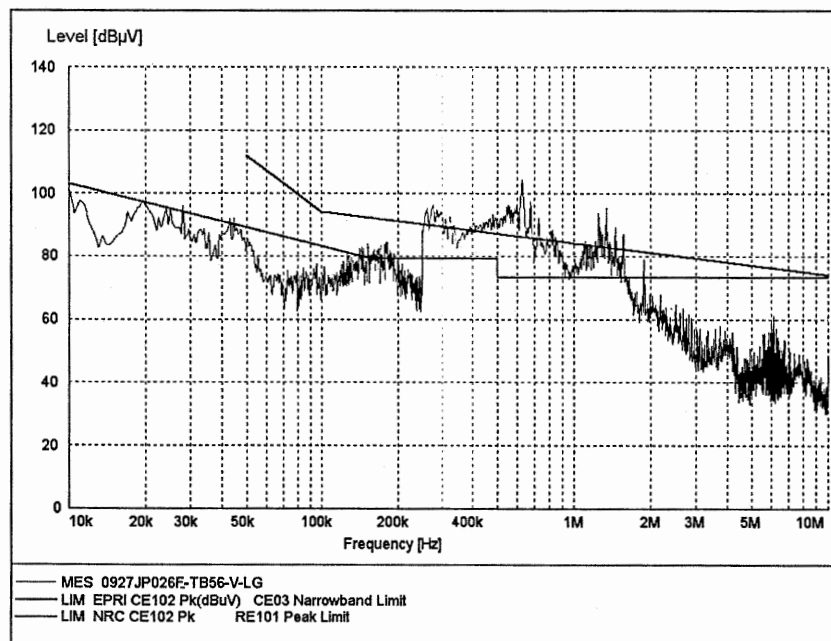


그림 B.122 JP026F(SSILS)-TB56-V-LG

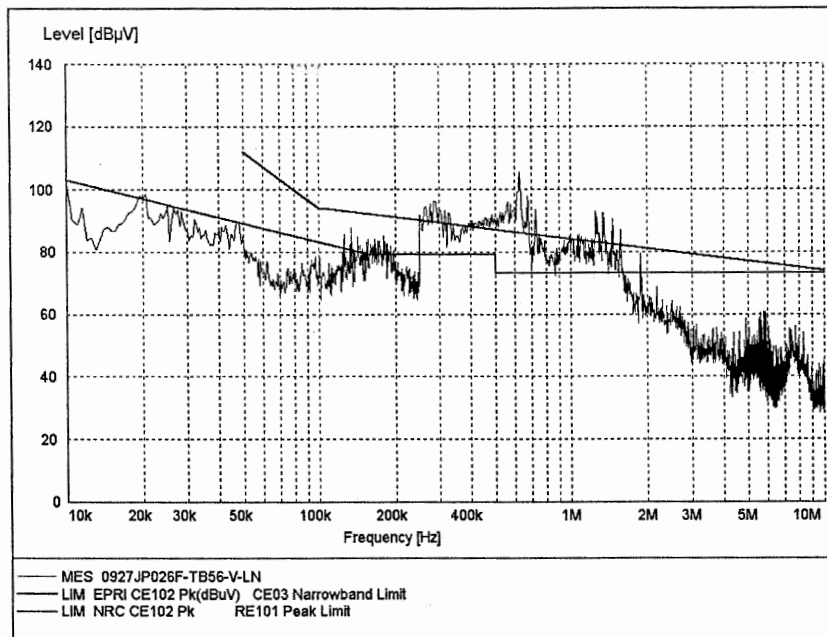


그림 B.123 JP026F(SSILS)-TB56-V-LN

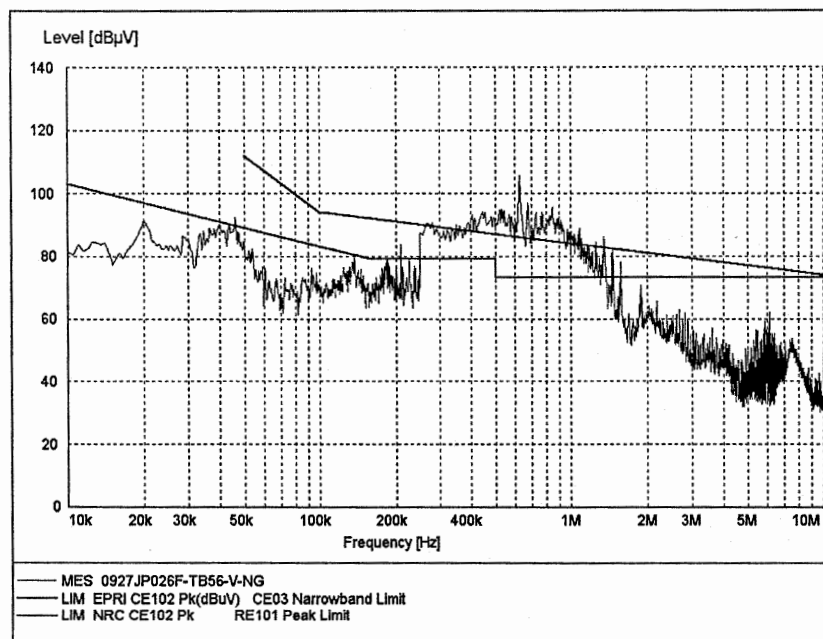


그림 B.124 JP026F(SSILS)-TB56-V-NG

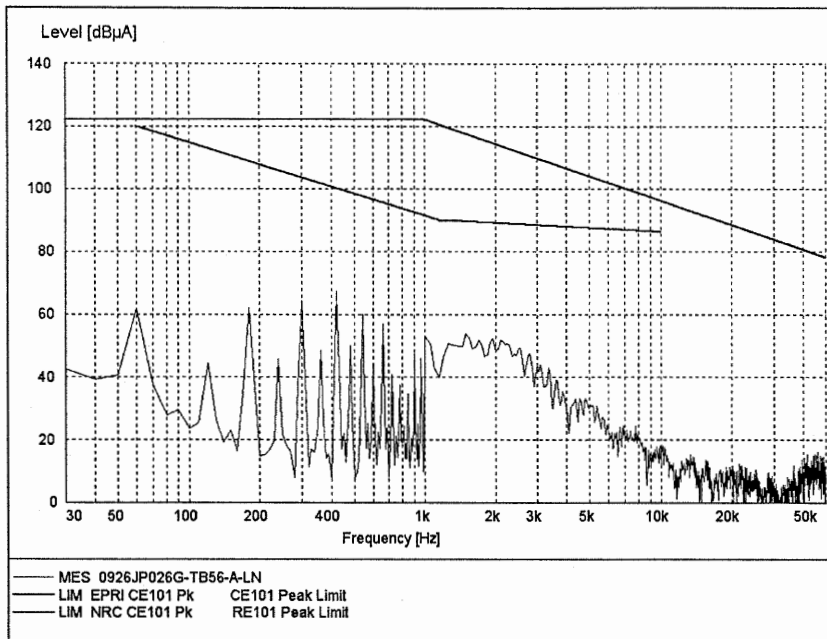


그림 B.125 JP026G(SSILS)-TB56-A-LN

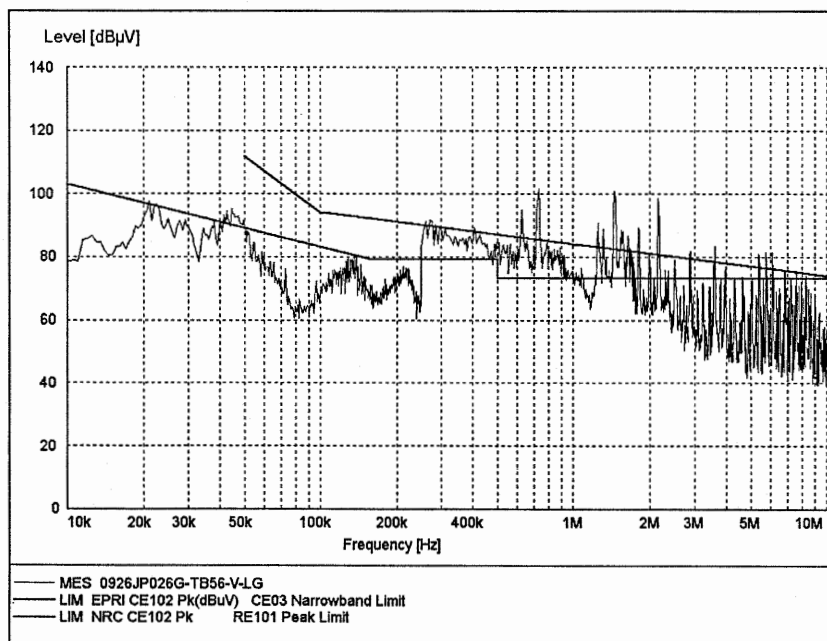


그림 B.126 JP026G(SSILS)-TB56-V-LG

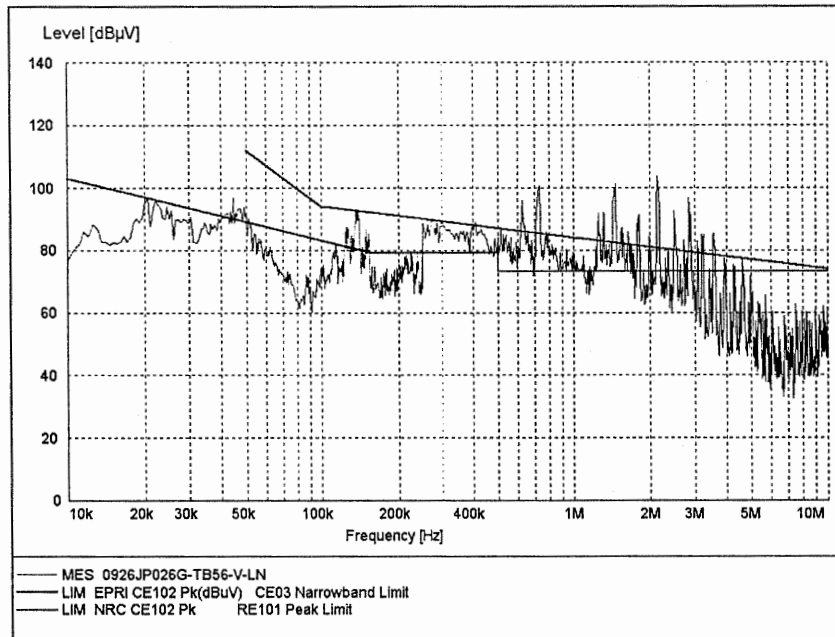


그림 B.127 JP026G(SSILS)-TB56-V-LN

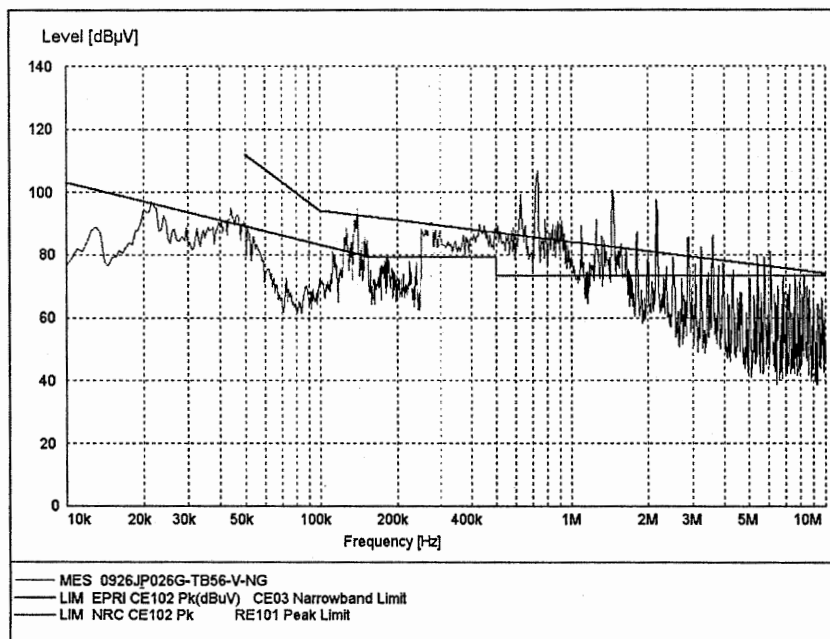


그림 B.128 JP026G(SSILS)-TB56-V-NG

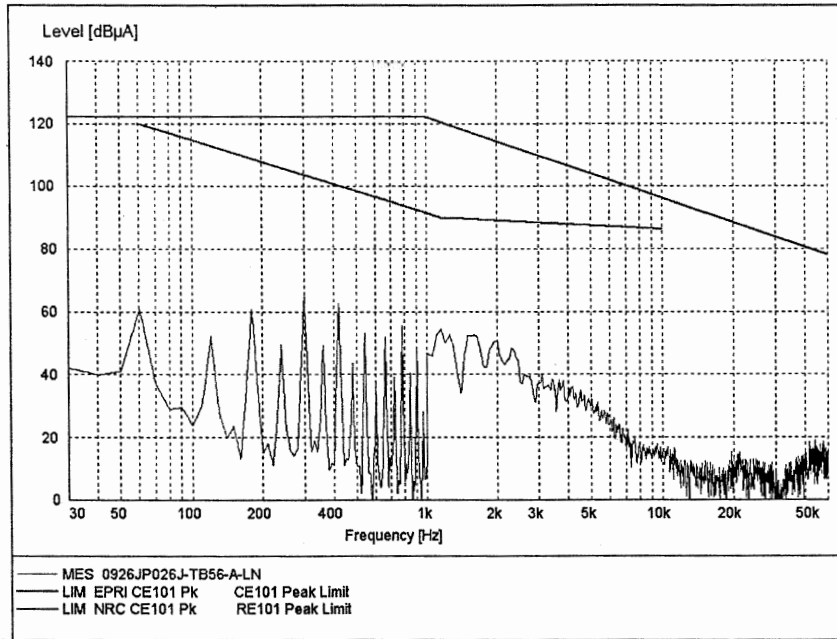


그림 B.129 JP026J(SSILS)-TB56-A-LN

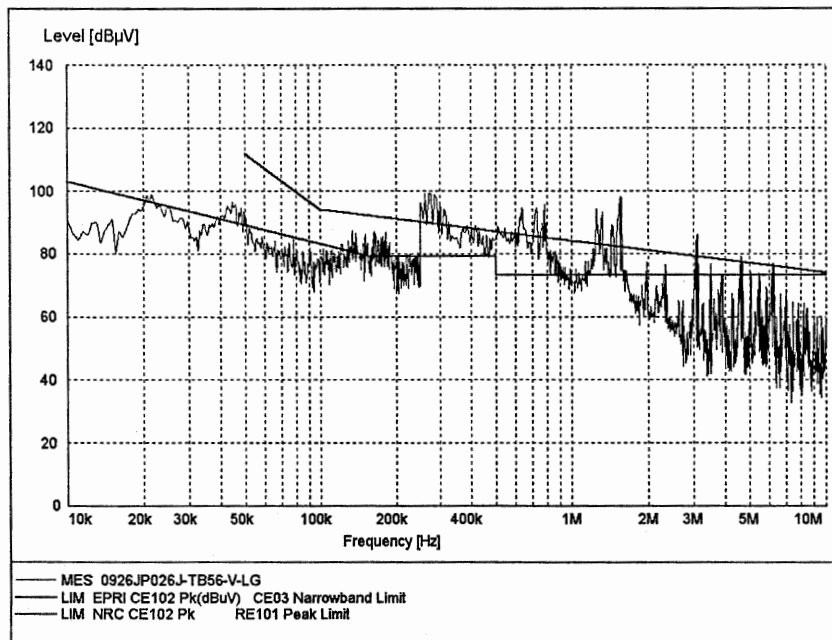


그림 B.130 JP026J(SSILS)-TB56-V-LG

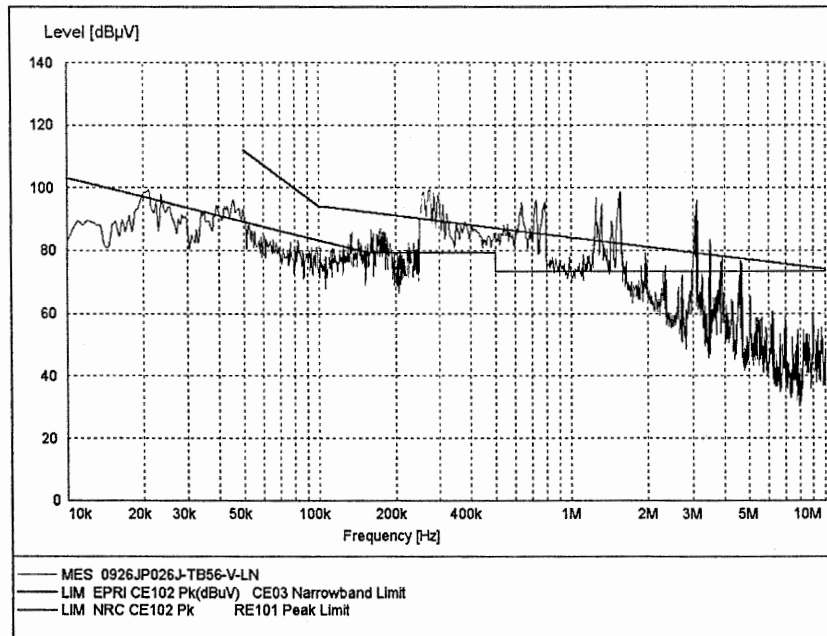


그림 B.131 JP026J(SSILS)-TB56-V-LN

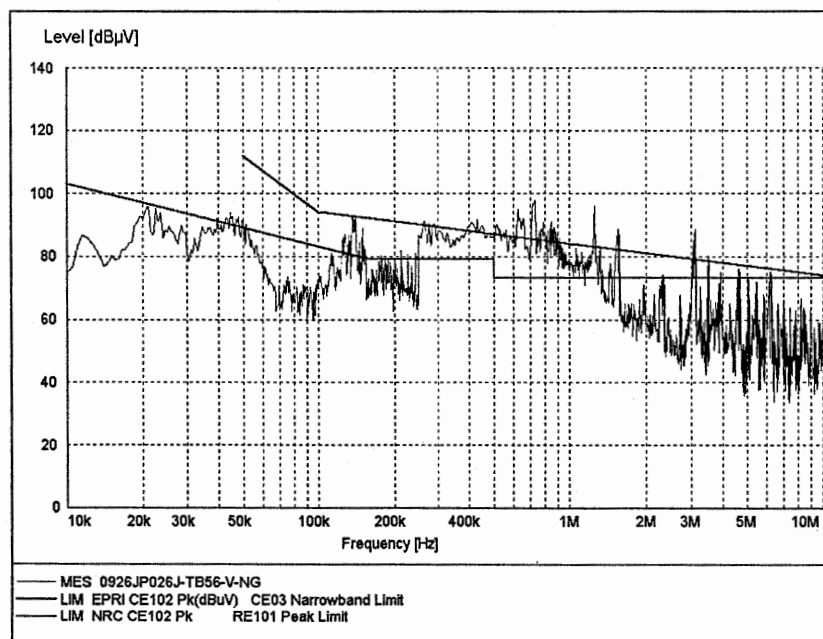


그림 B.132 JP026J(SSILS)-TB56-V-NG

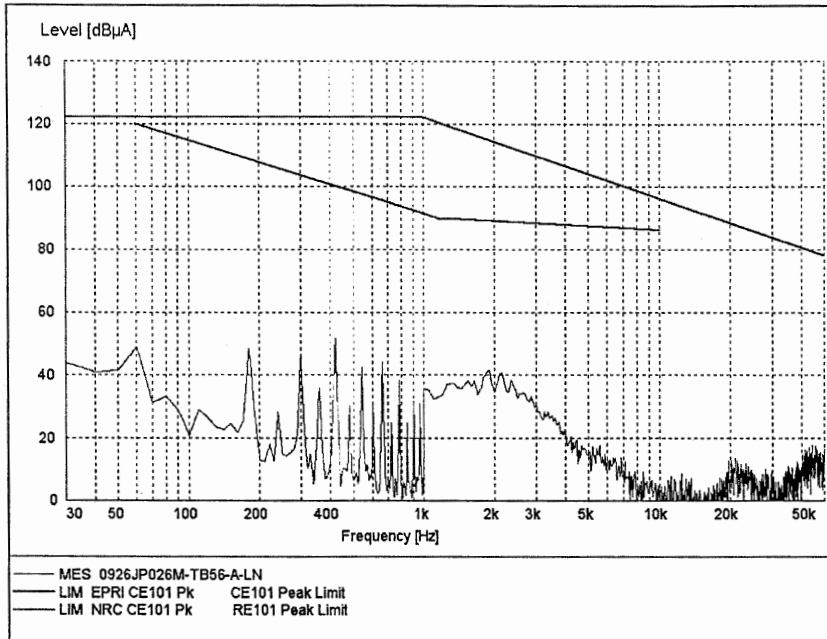


그림 B.133 JP026M(SSILS)-TB56-A-LN

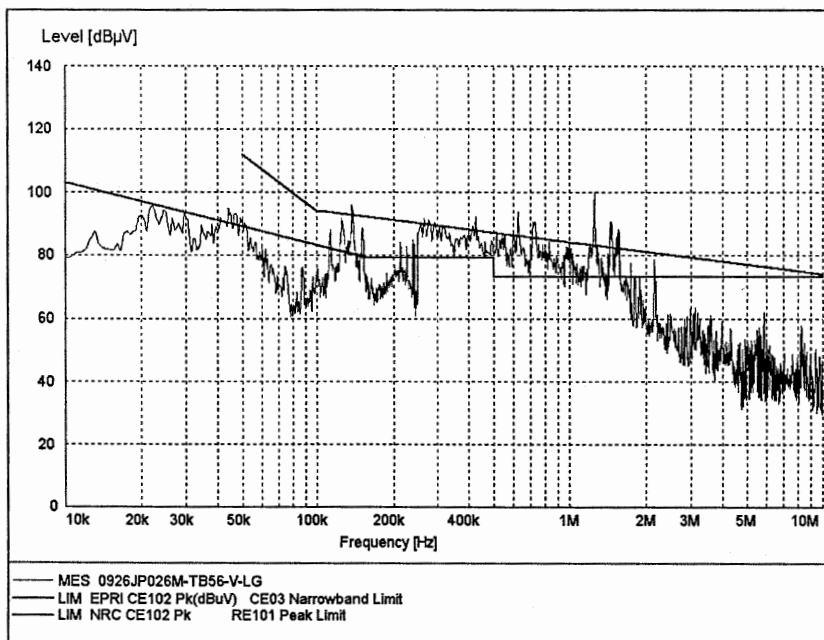


그림 B.134 JP026M(SSILS)-TB56-V-LG

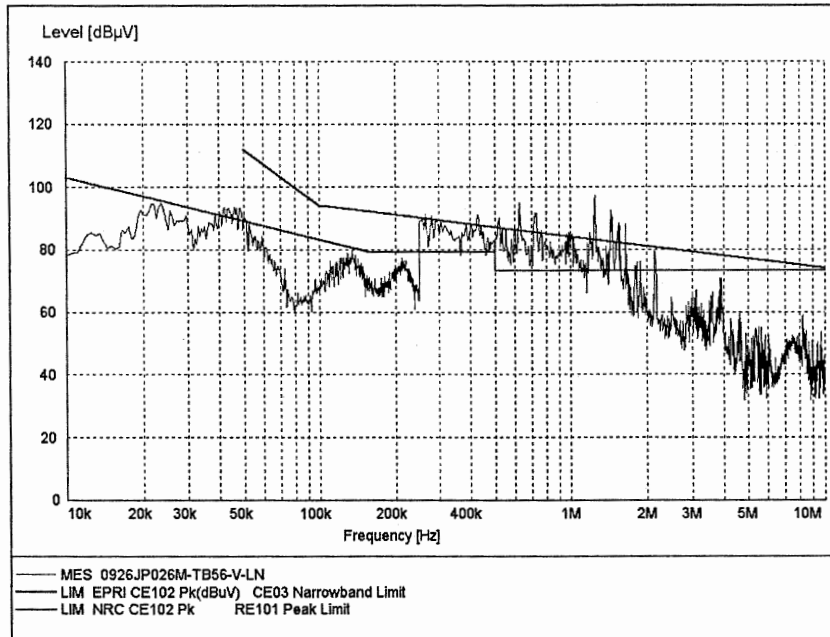


그림 B.135 JP026M(SSILS)-TB56-V-LN

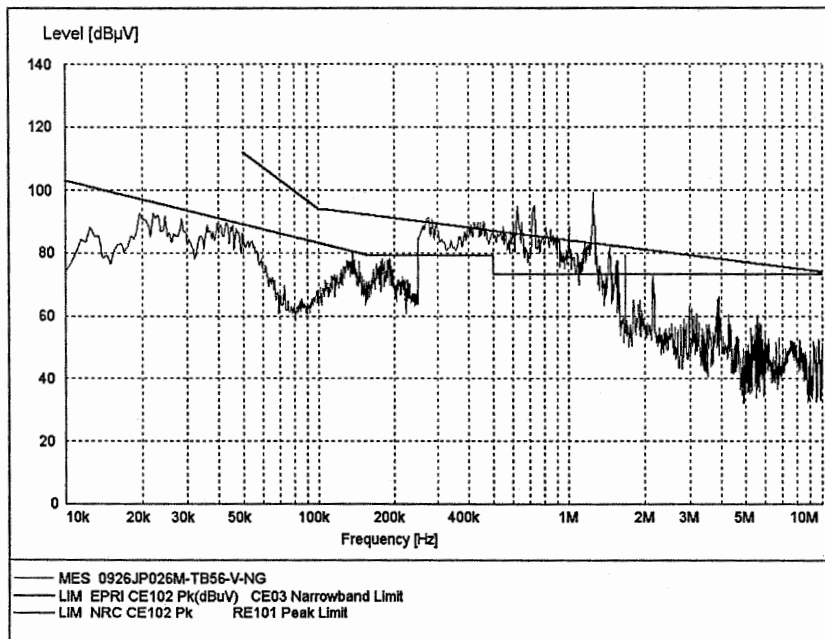


그림 B.136 JP026M(SSILS)-TB56-V-NG

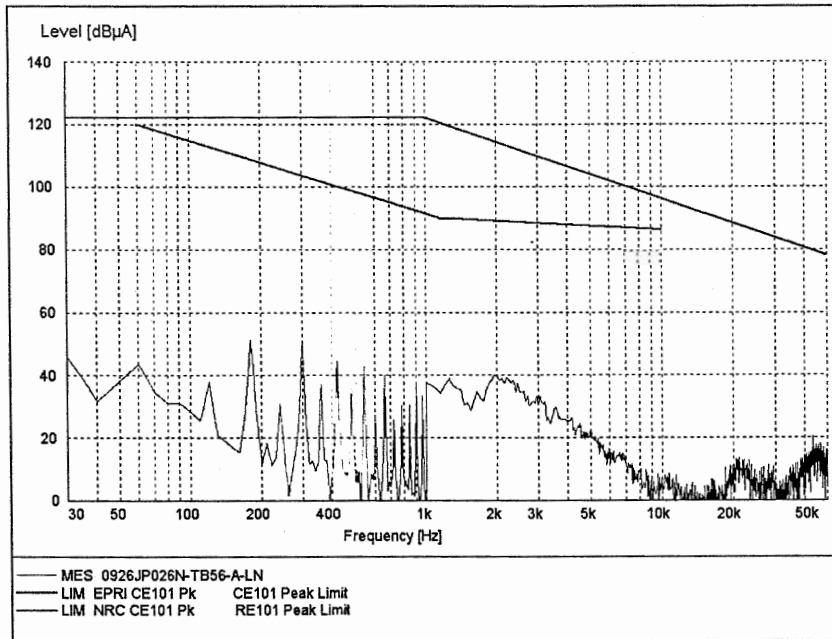


그림 B.137 JP026N(SSILS)-TB56-A-LN

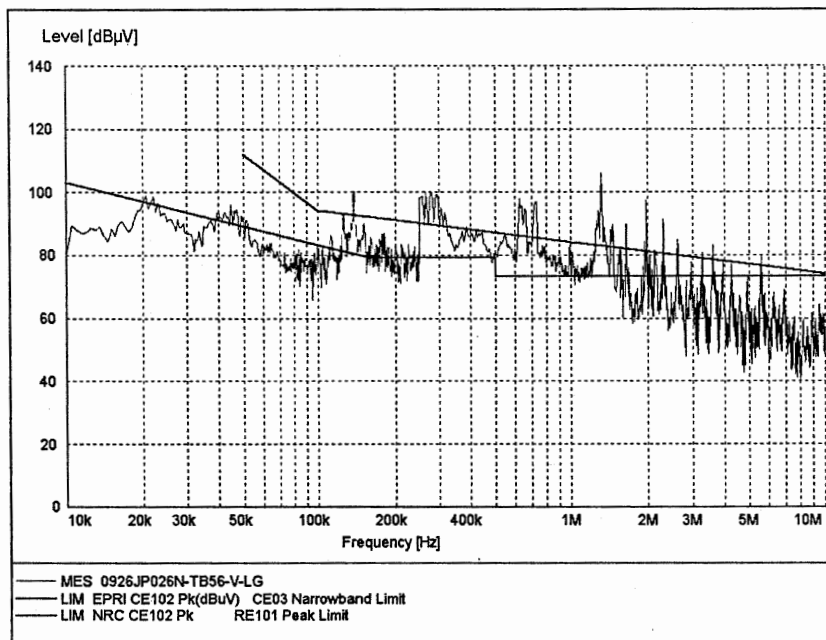


그림 B.138 JP026N(SSILS)-TB56-V-LG

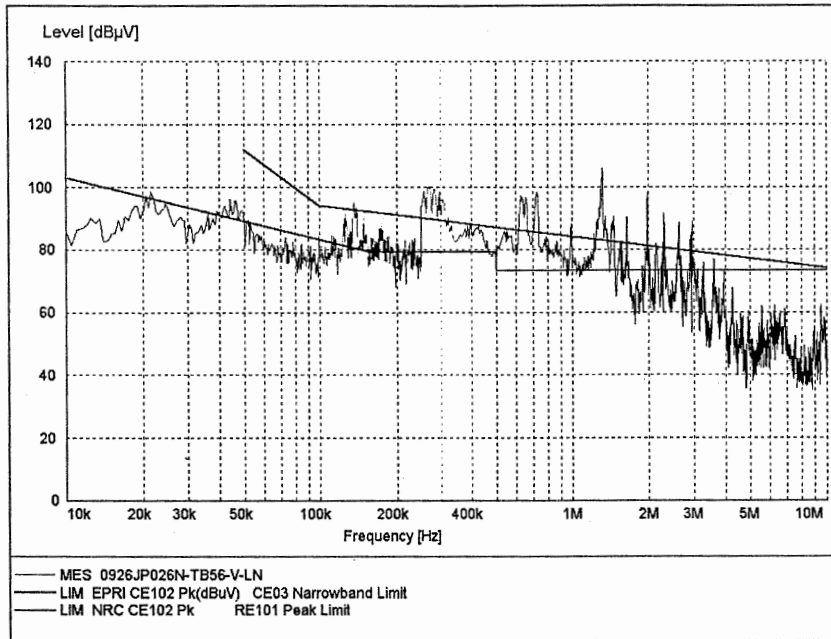


그림 B.139 JP026N(SSILS)-TB56-V-LN

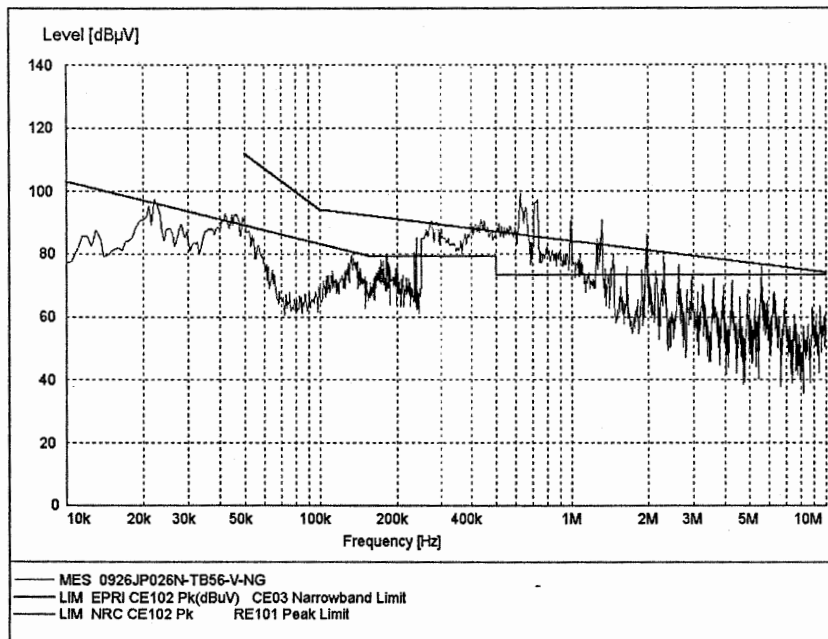


그림 B.140 JP026N(SSILS)-TB56-V-NG

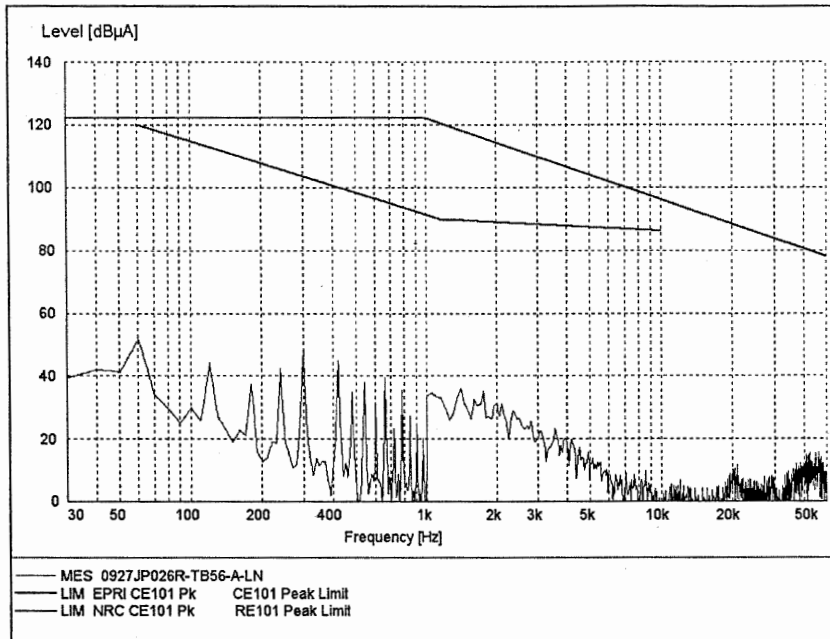


그림 B.141 JP026R(SSILS)-TB56-A-LN

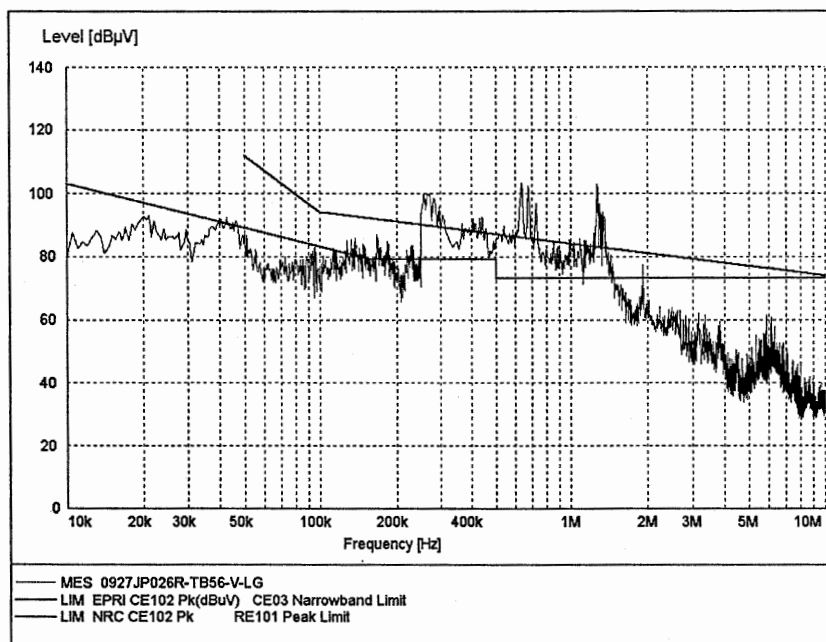


그림 B.142 JP026R(SSILS)-TB56-V-LG

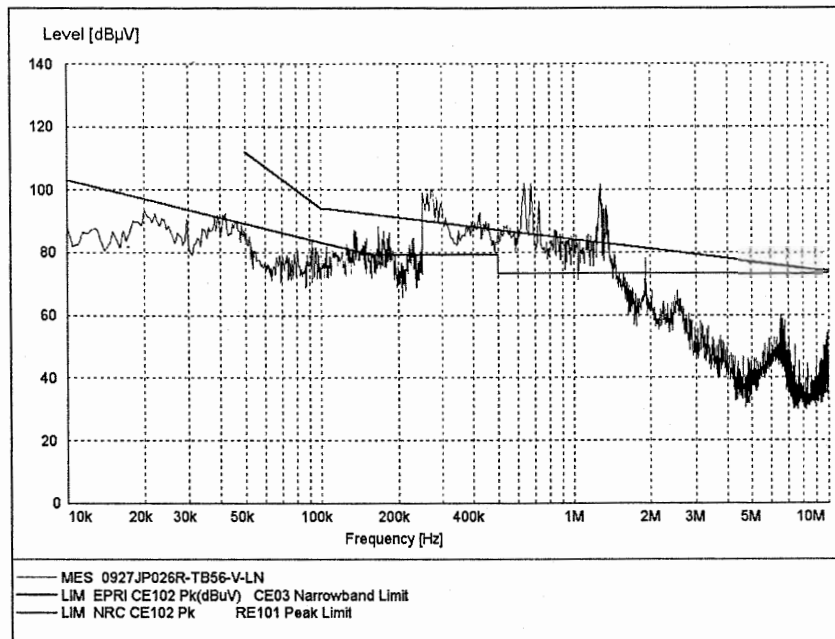


그림 B.143 JP026R(SSILS)-TB56-V-LN

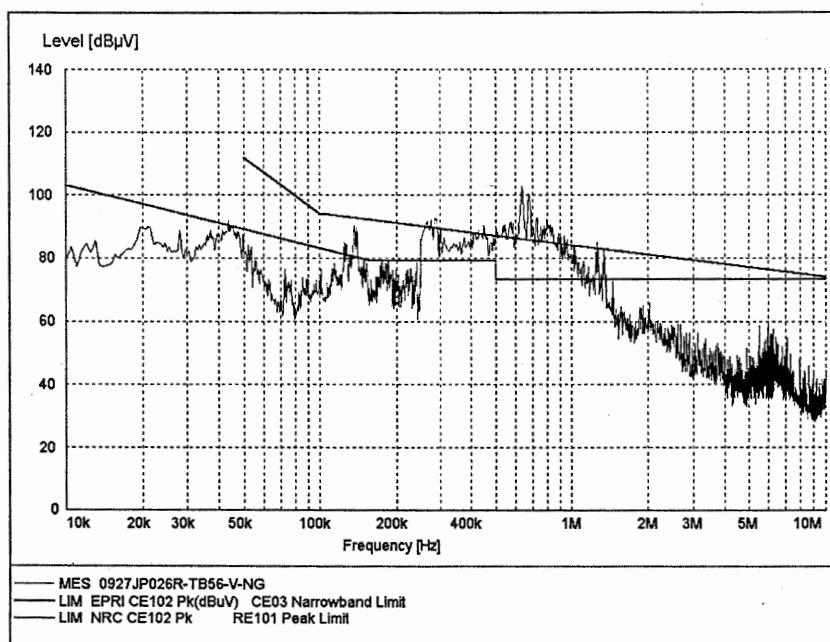


그림 B.144 JP026R(SSILS)-TB56-V-NG

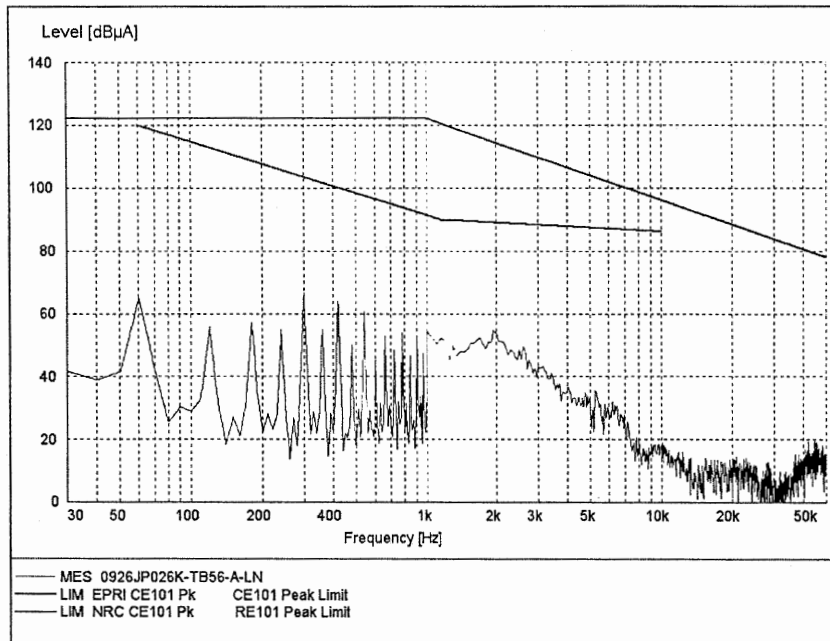


그림 B.145 JP026K(SSILS)-TB56-A-LN

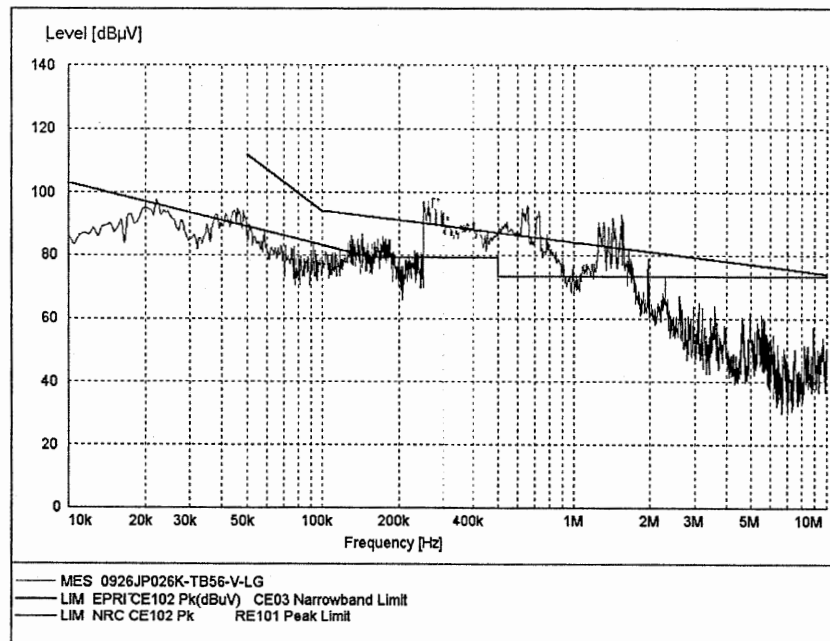


그림 B.146 JP026K(SSILS)-TB56-V-LG

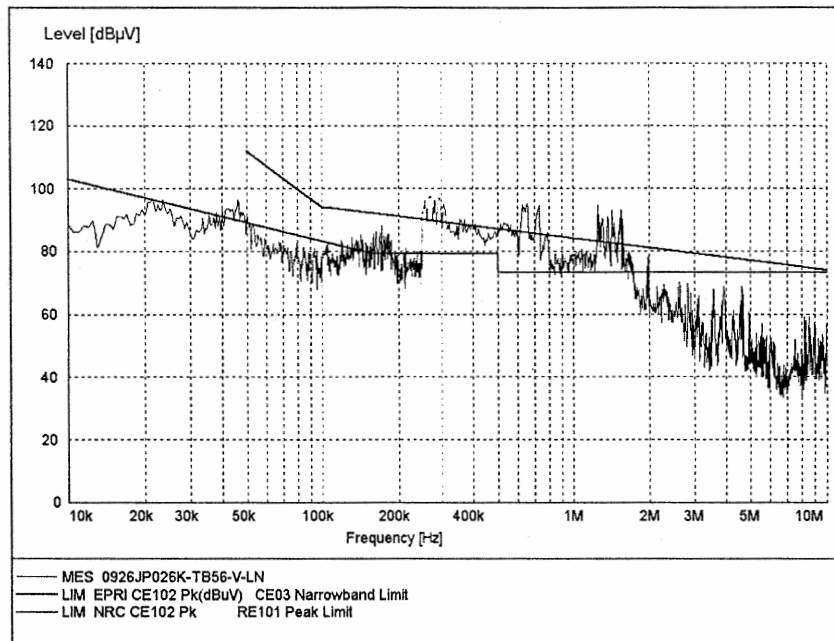


그림 B.147 JP026K(SSILS)-TB56-V-LN

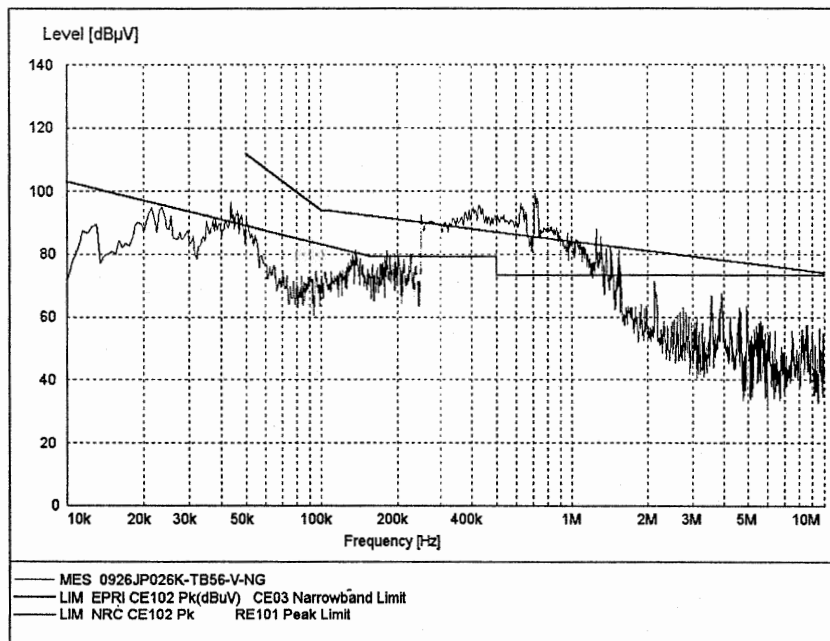


그림 B.148 JP026K(SSILS)-TB56-V-NG

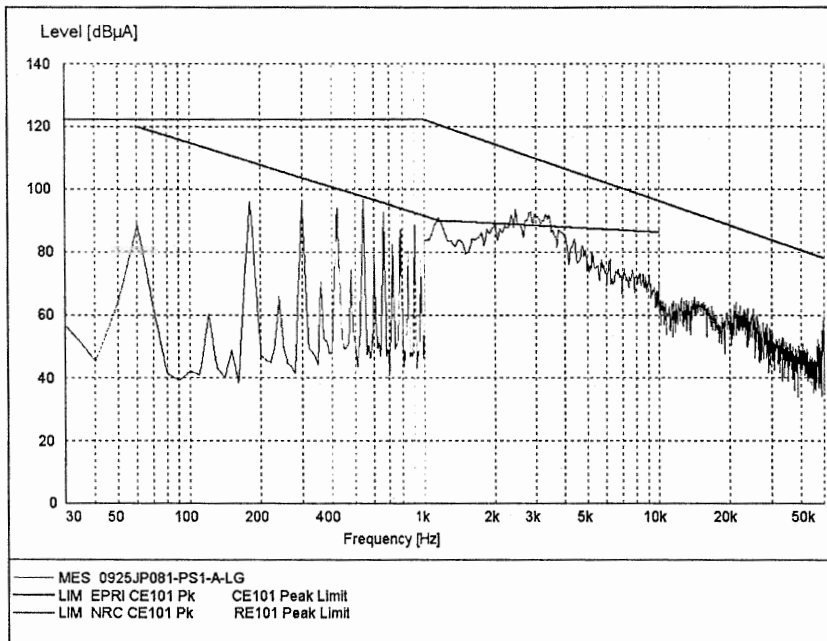


그림 B.149 JP081(TBN/GEN Temp Protection)-PS1-A-LG

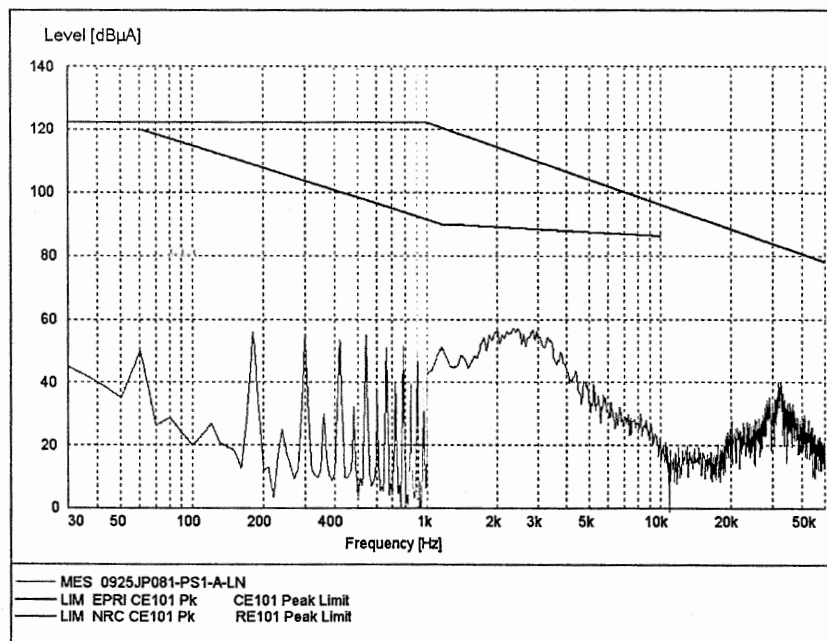


그림 B.150 JP081(TBN/GEN Temp Protection)-PS1-A-LN

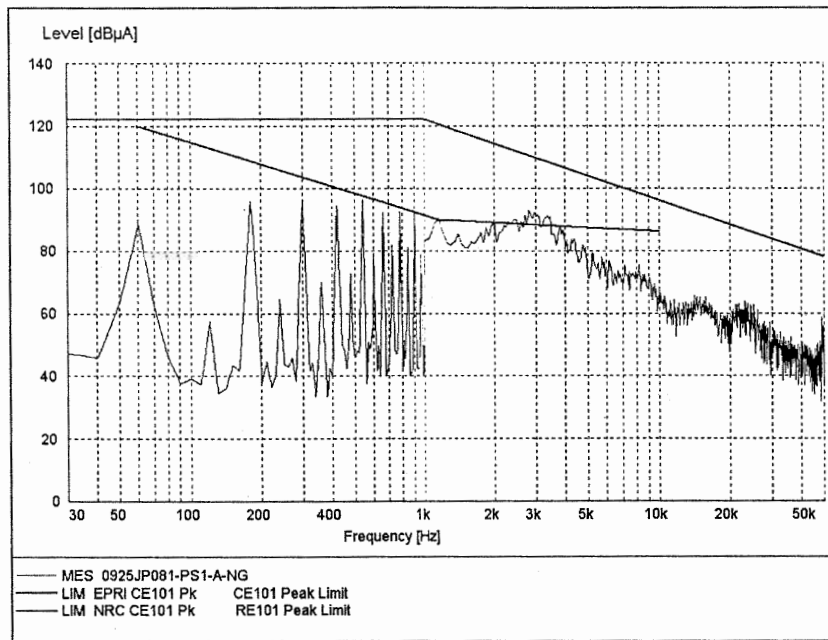


그림 B.151 JP081(TBN/GEN Temp Protection)-PS1-A-NG

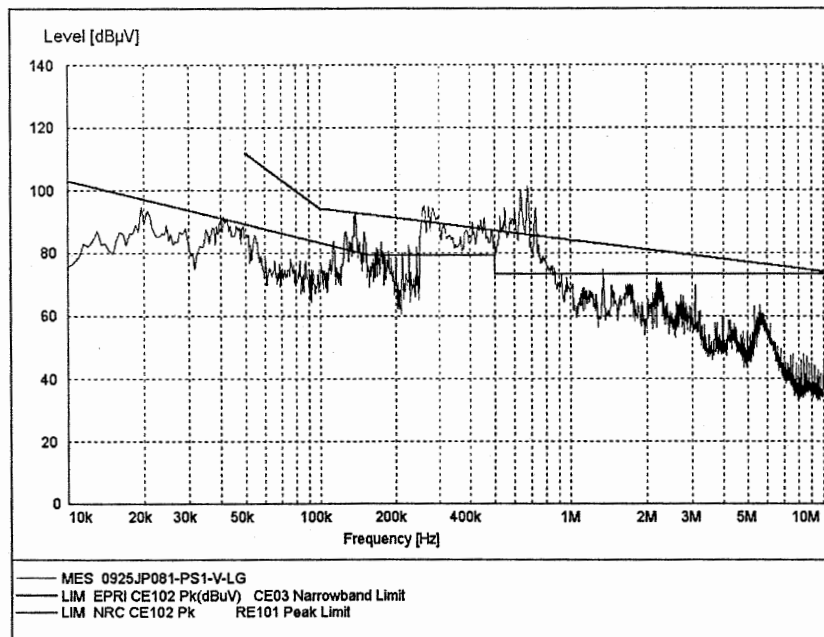


그림 B.152 JP081(TBN/GEN Temp Protection)-PS1-V-LG

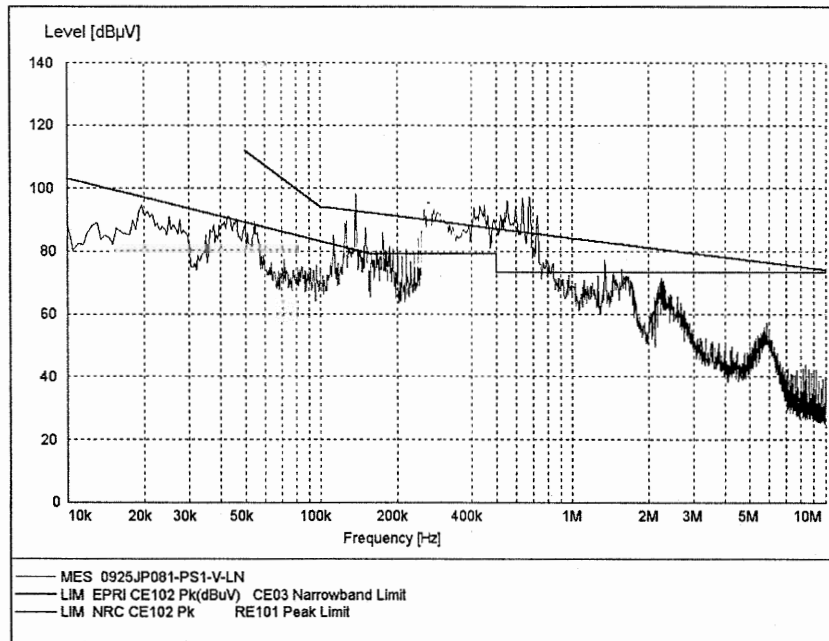


그림 B.153 JP081(TBN/GEN Temp Protection)-PS1-V-LN

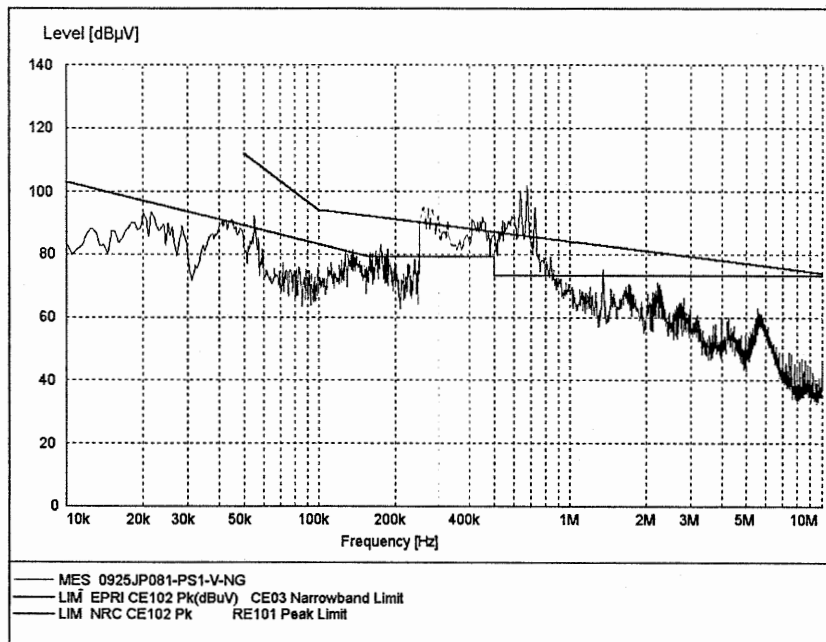


그림 B.154 JP081(TBN/GEN Temp Protection)-PS1-V-NG

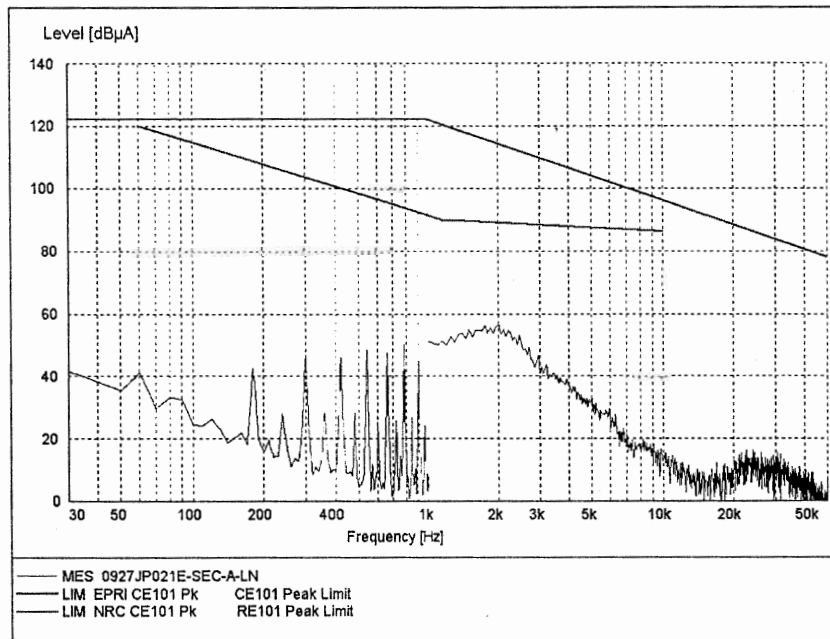


그림 B.155 JP021(Fisher)-SEC-A-LN

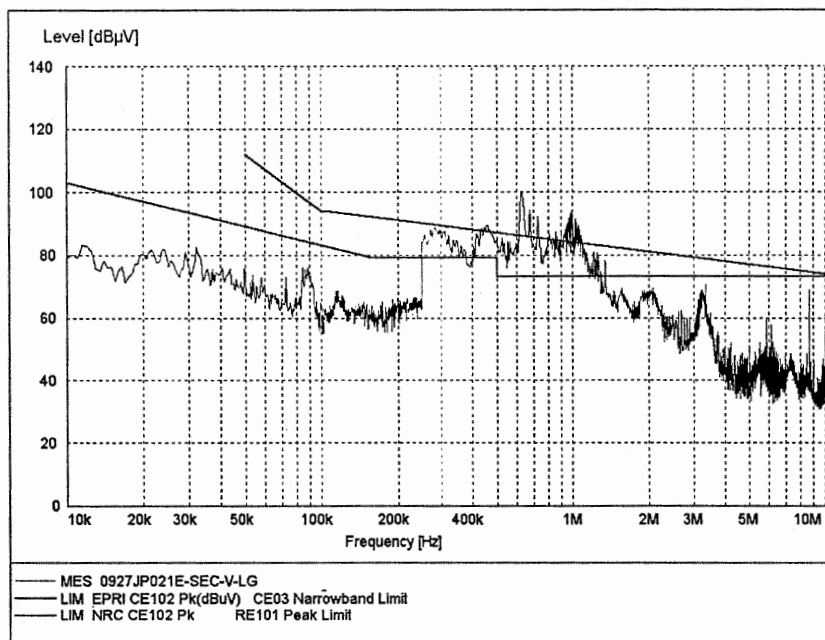


그림 B.156 JP021(Fisher)-SEC-V-LG

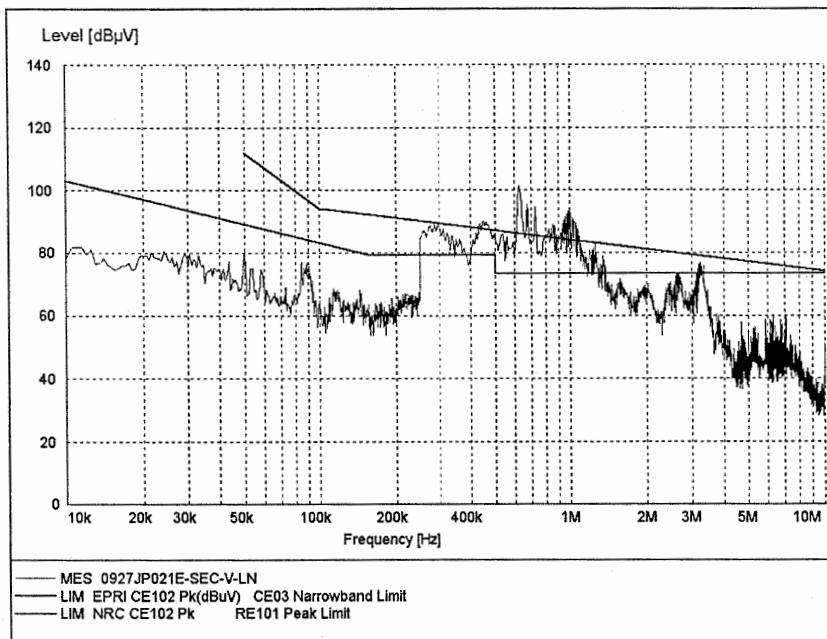


그림 B.157 JP021(Fisher)-SEC-V-LN

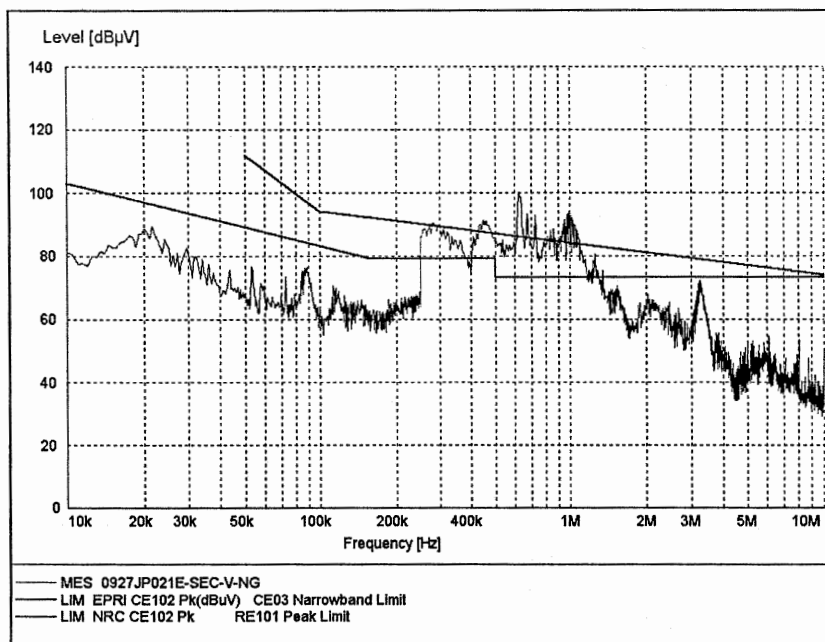


그림 B.158 JP021(Fisher)-SEC-V-NG

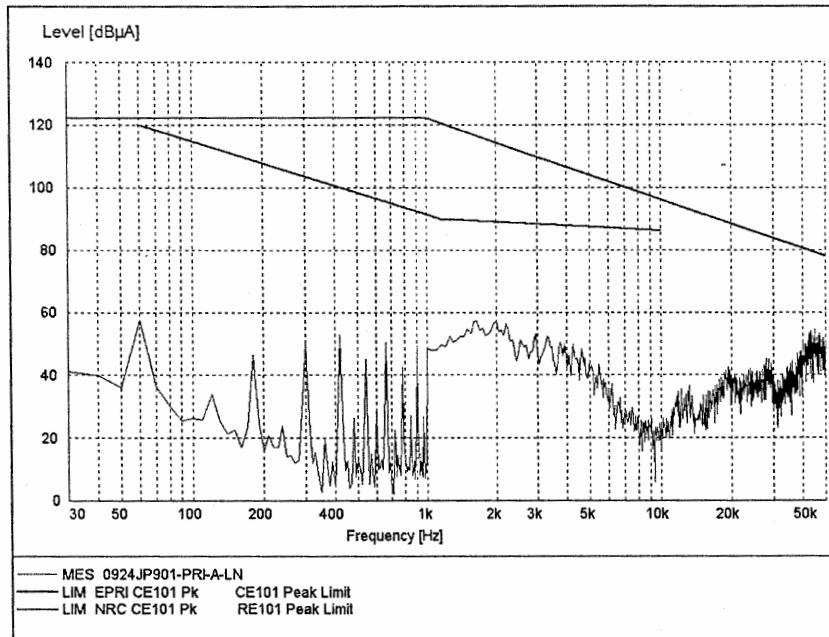


그림 B.159 JP901(S/G DCS)-PRI-A-LN

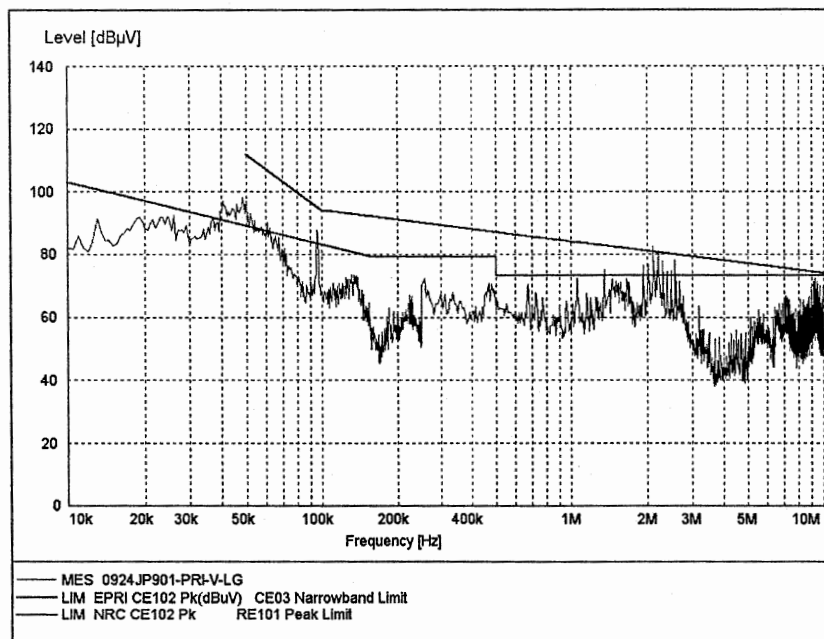


그림 B.160 JP901(S/G DCS)-PRI-V-LG

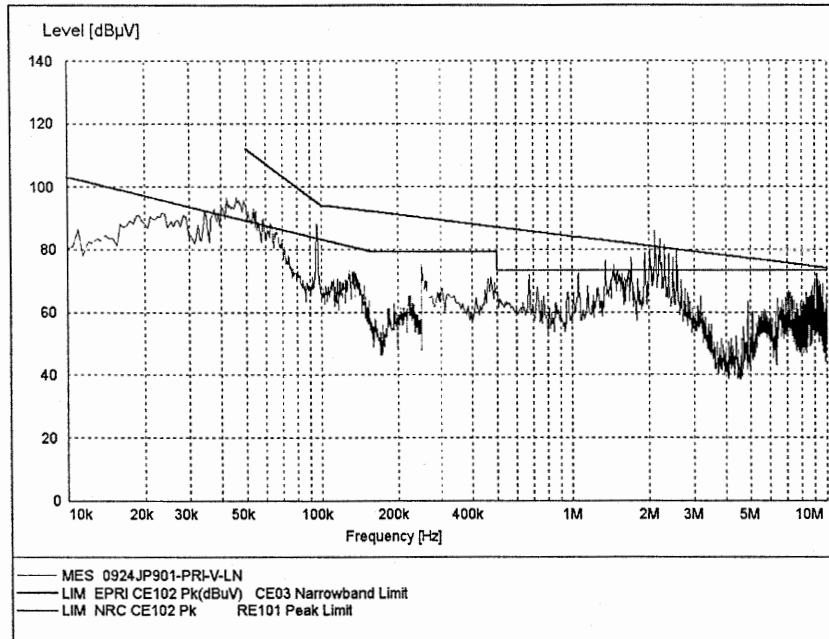


그림 B.161 JP901(S/G DCS)-PRI-V-LN

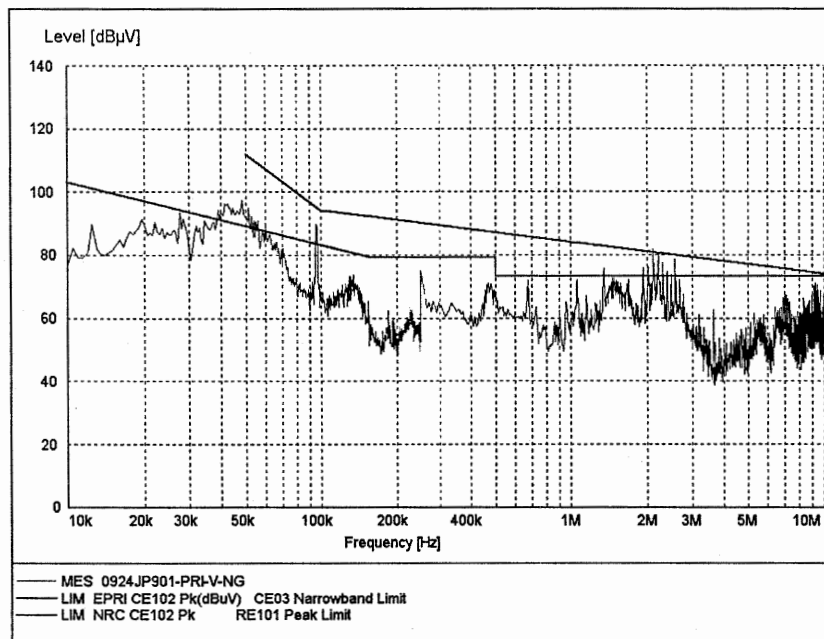


그림 B.162 JP901(S/G DCS)-PRI-V-NG

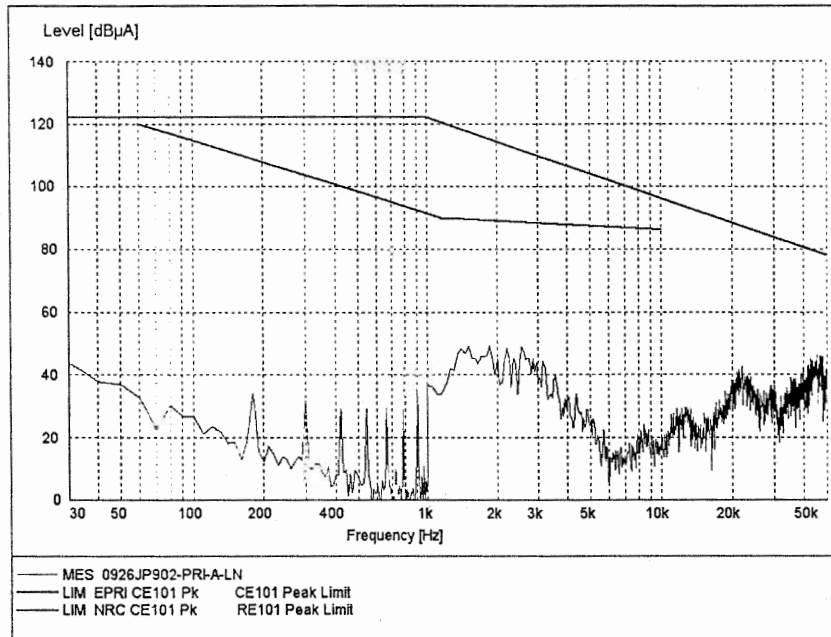


그림 B.163 JP902(S/G DCS)-PRI-A-LN

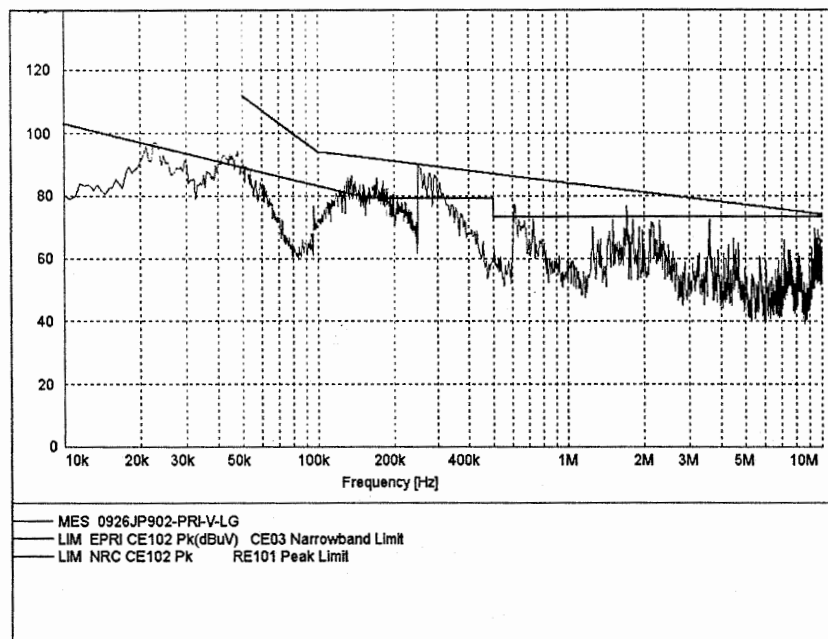


그림 B.164 JP902(S/G DCS)-PRI-V-LG

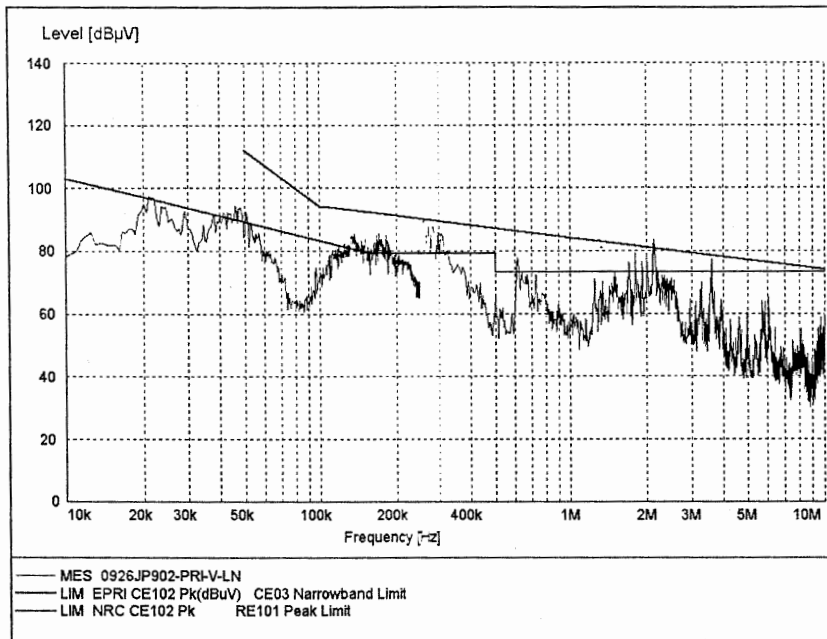


그림 B.165 JP902(S/G DCS)-PRI-V-LN

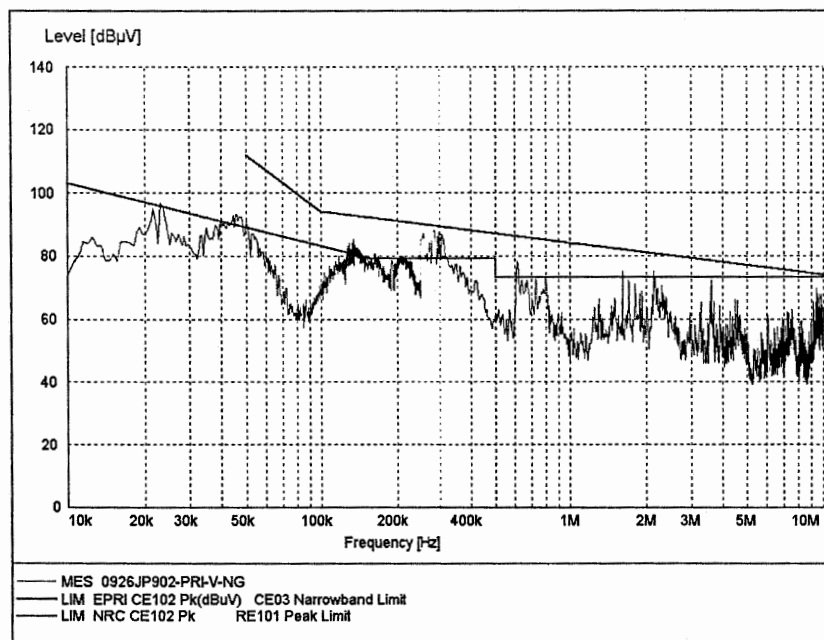


그림 B.166 JP902(S/G DCS)-PRI-V-NG

4. 전원입력방법 : N-5E-NQ-X005(레귤레이팅 변압기)

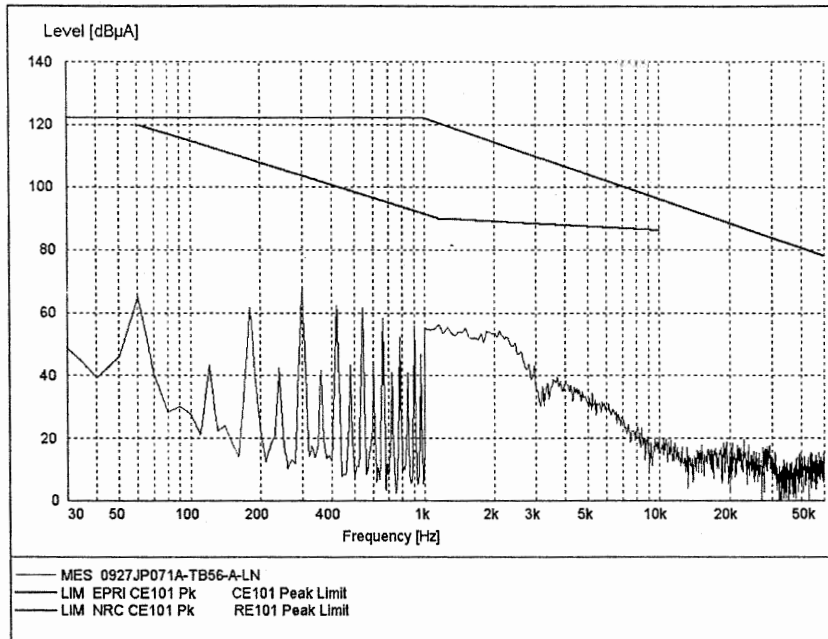


그림 B.167 JP071A(SSILS)-TB56-A-LN

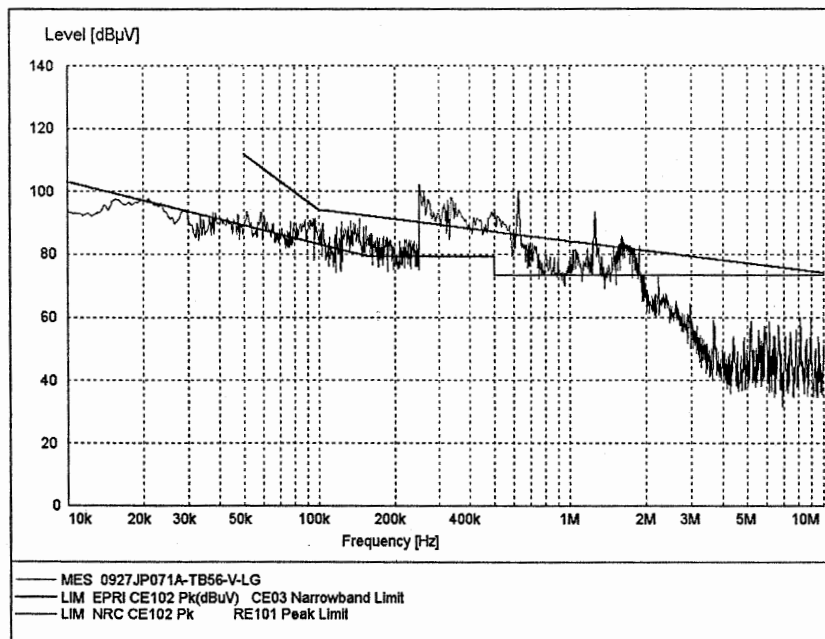


그림 B.168 JP071A(SSILS)-TB56-V-LG

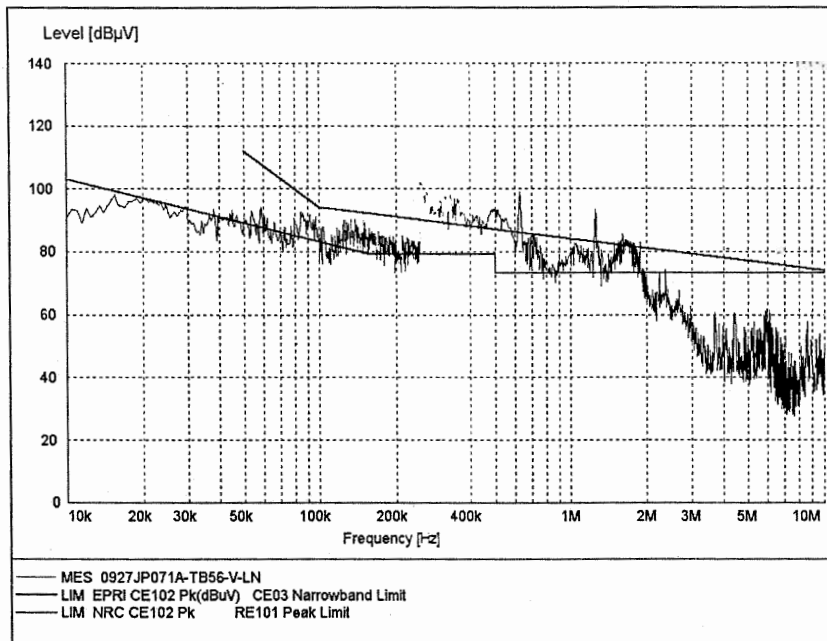


그림 B.169 JP071A(SSILS)-TB56-V-LN

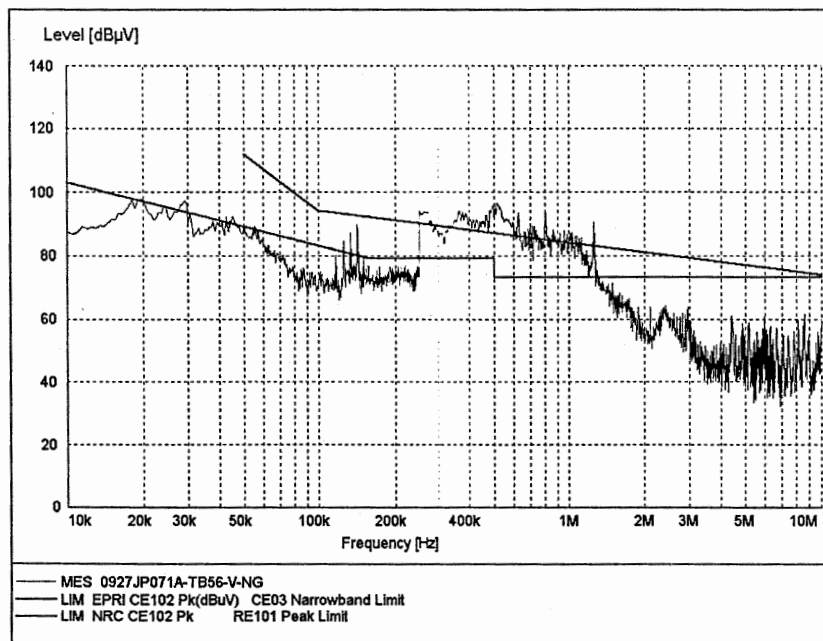


그림 B.170 JP071A(SSILS)-TB56-V-NG

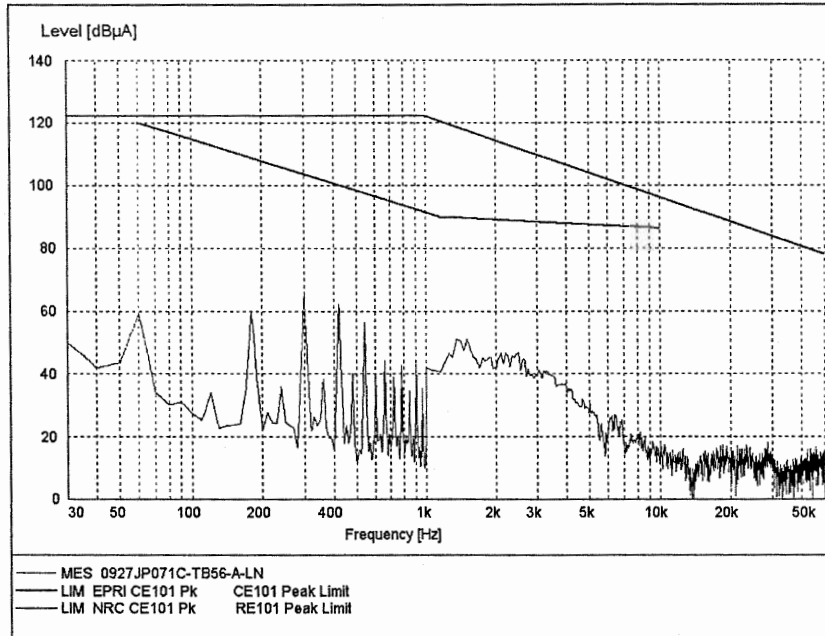


그림 B.171 JP071C(SSILS)-TB56-A-LN

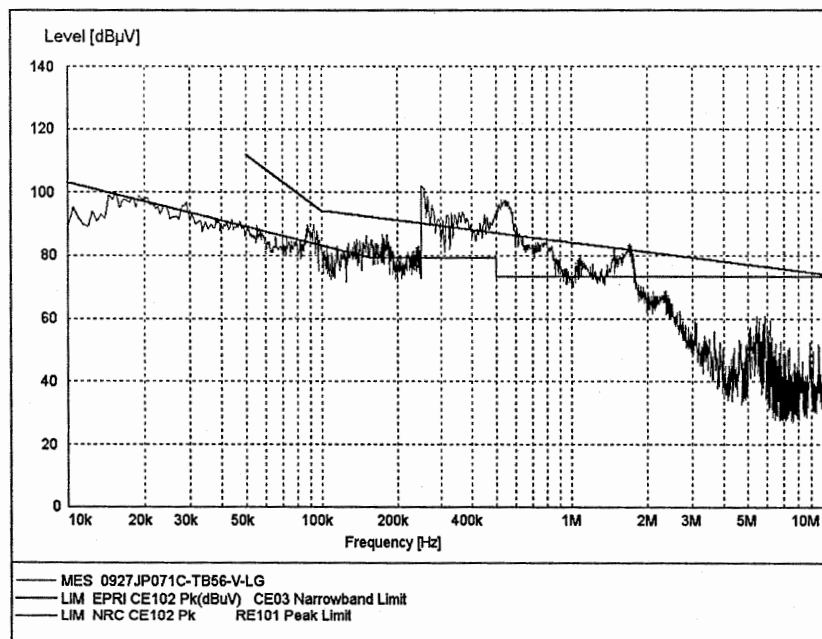


그림 B.172 JP071C(SSILS)-TB56-V-LG

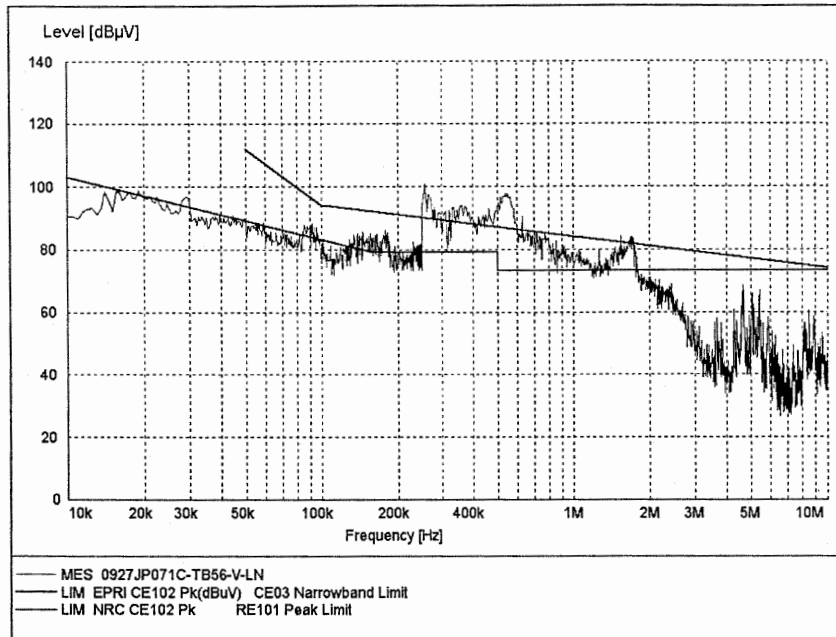


그림 B.173 JP071C(SSILS)-TB56-V-LN

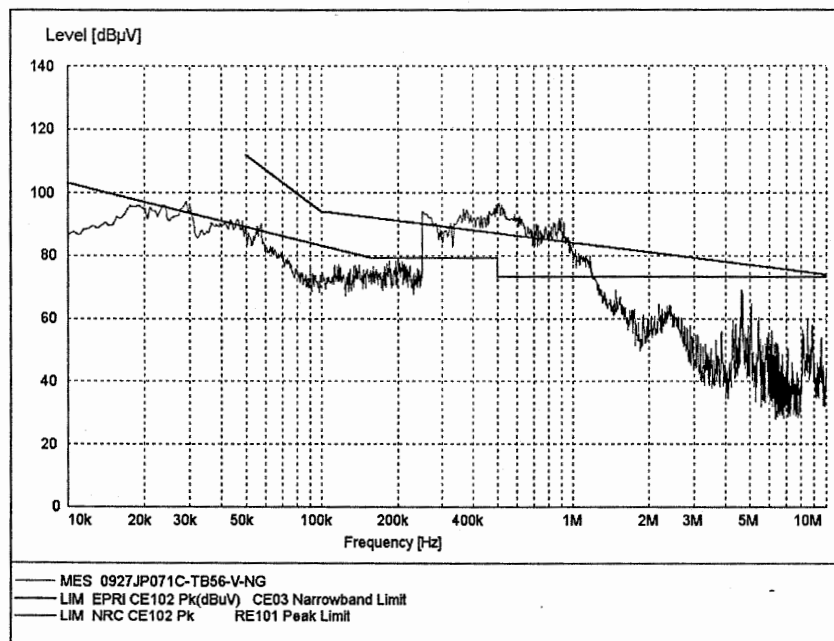


그림 B.174 JP071C(SSILS)-TB56-V-NG

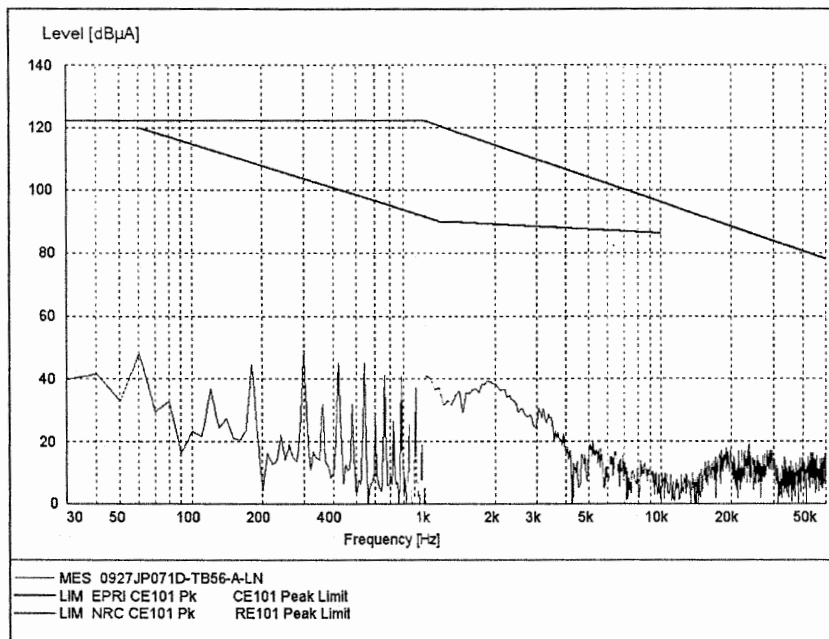


그림 B.175 JP071D(SSILS)-TB56-A-LN

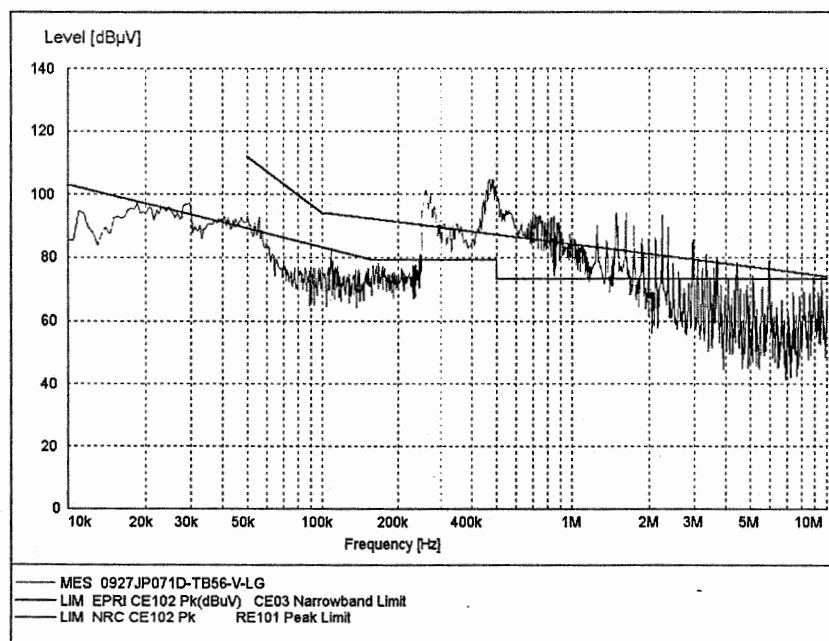


그림 B.176 JP071D(SSILS)-TB56-V-LG

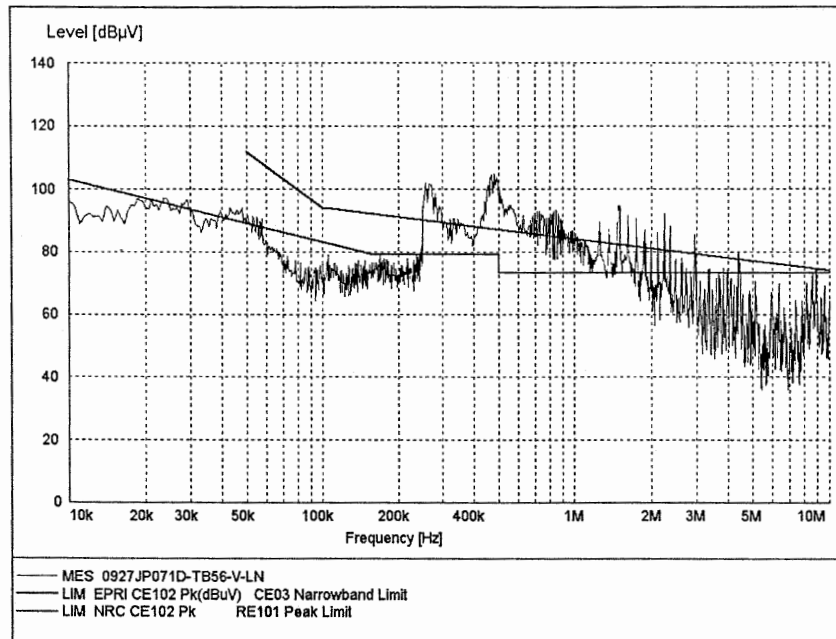


그림 B.177 JP071D(SSILS)-TB56-V-LN

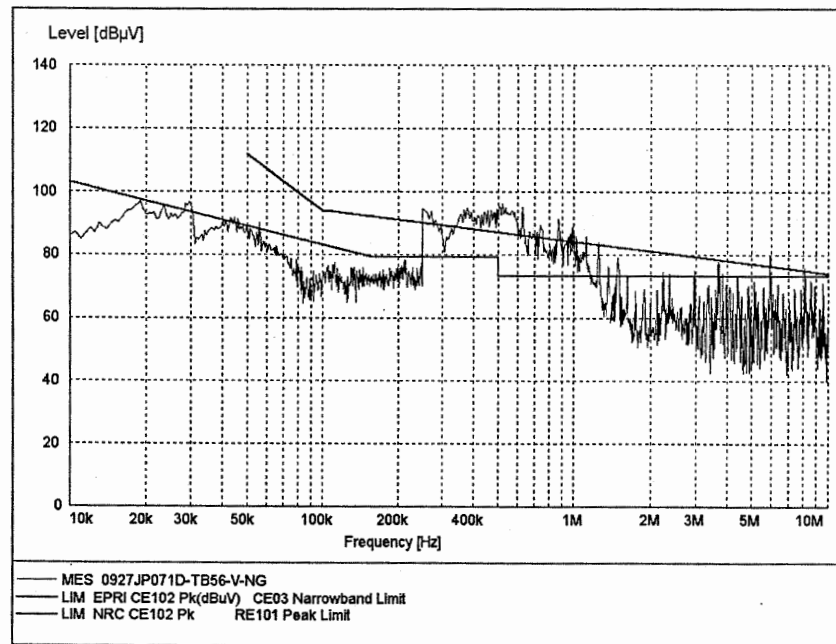


그림 B.178 JP071D(SSILS)-TB56-V-NG

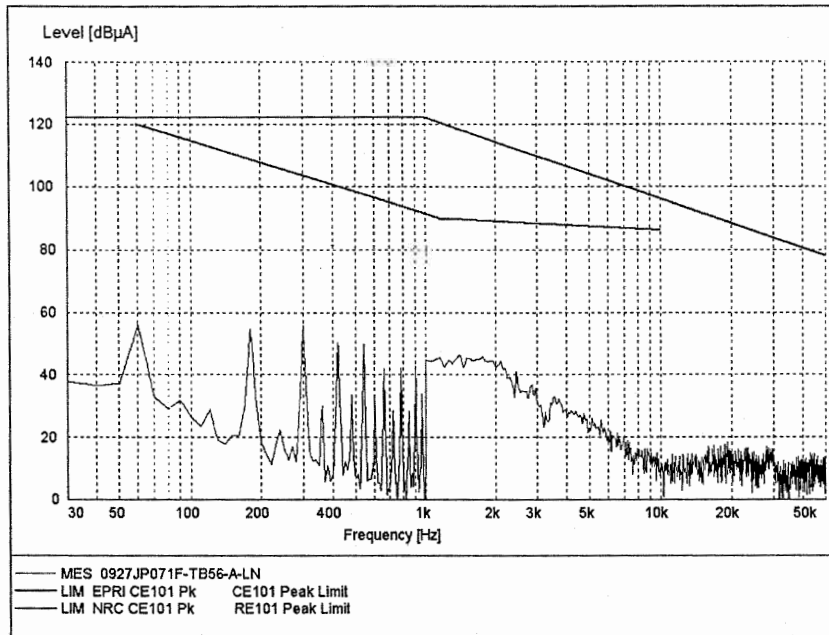


그림 B.179 JP071F(SSILS)-TB56-A-LN

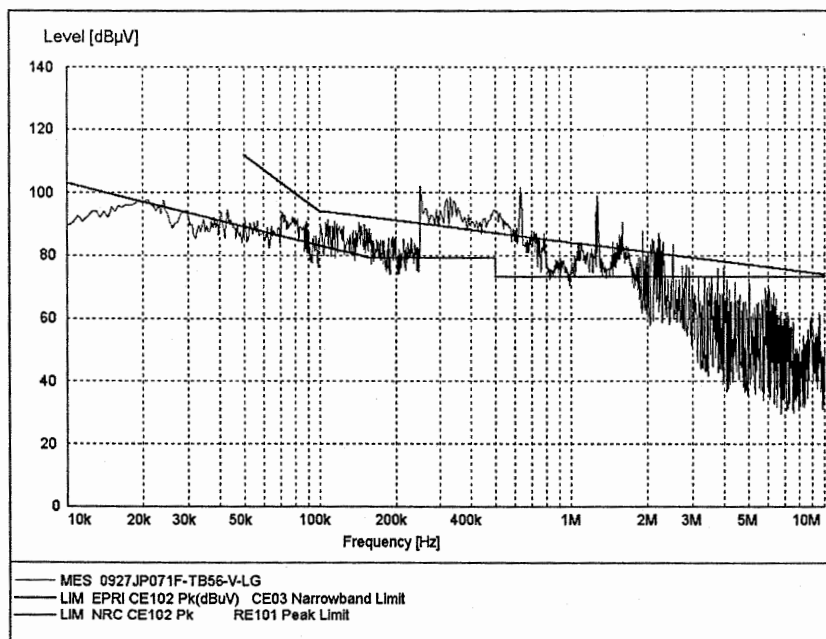


그림 B.180 JP071F(SSILS)-TB56-V-LG

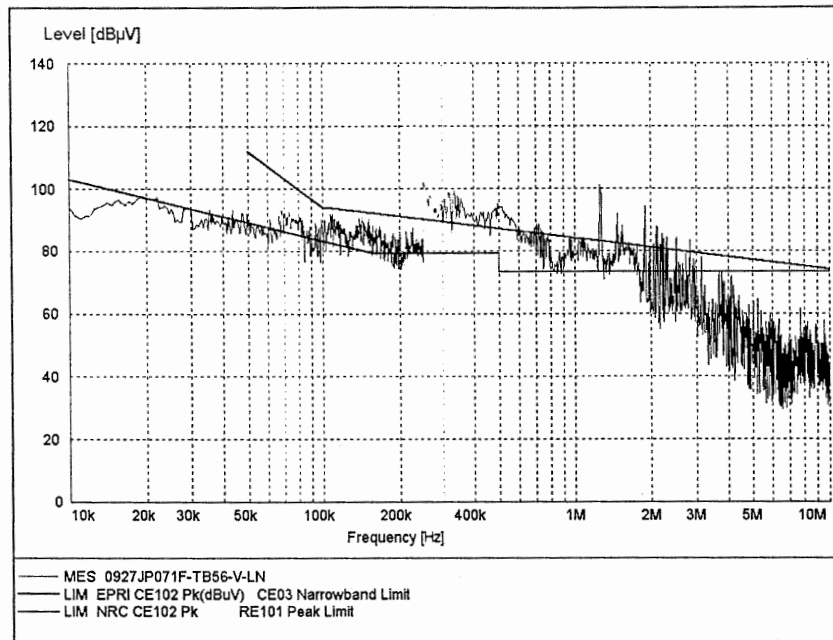


그림 B.181 JP071F(SSILS)-TB56-V-LN

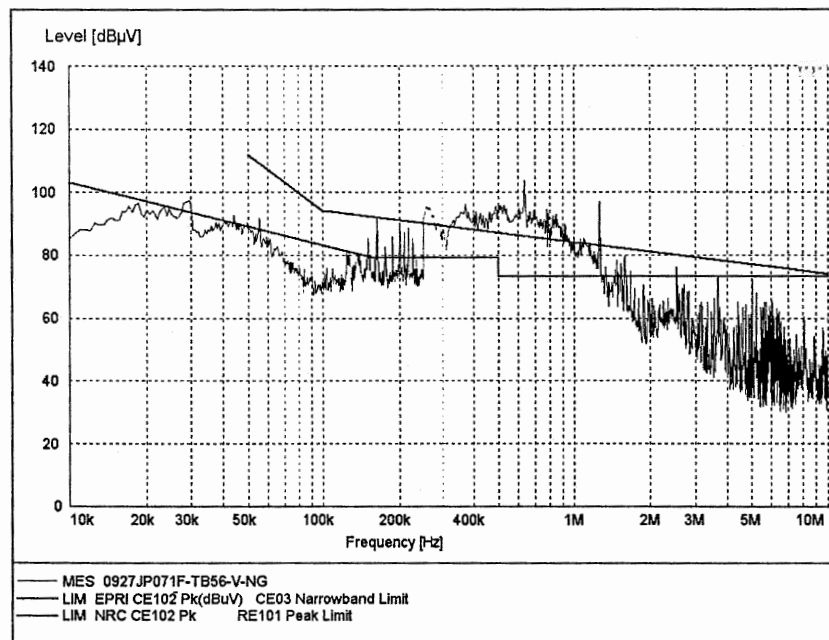


그림 B.182 JP071F(SSILS)-TB56-V-NG

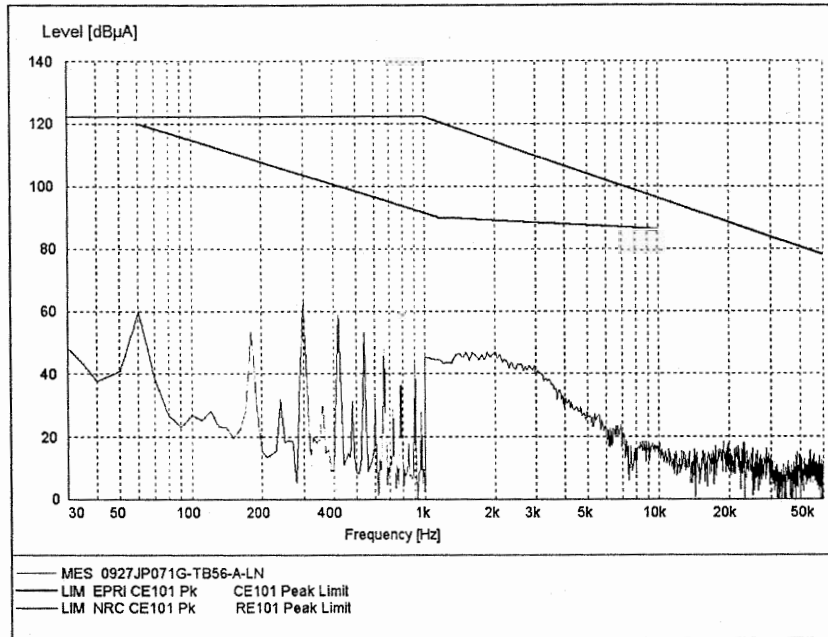


그림 B.183 JP071G(SSILS)-TB56-A-LN

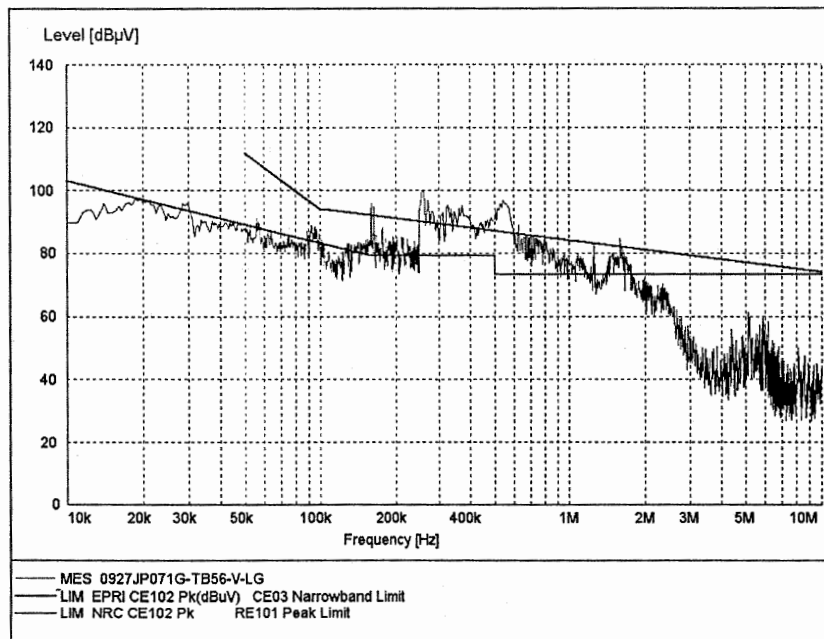


그림 B.184 JP071G(SSILS)-TB56-V-LG

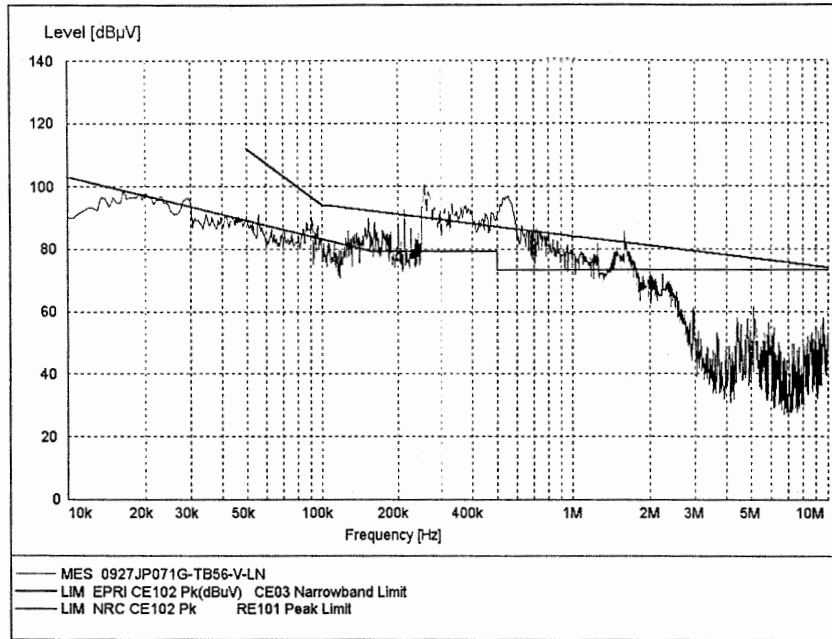


그림 B.185 JP071G(SSILS)-TB56-V-LN

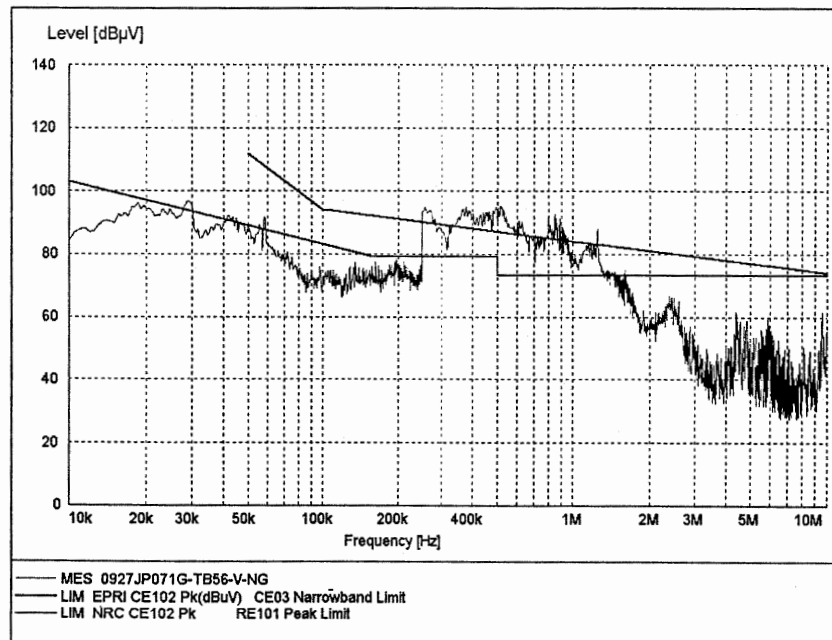


그림 B.186 JP071G(SSILS)-TB56-V-NG

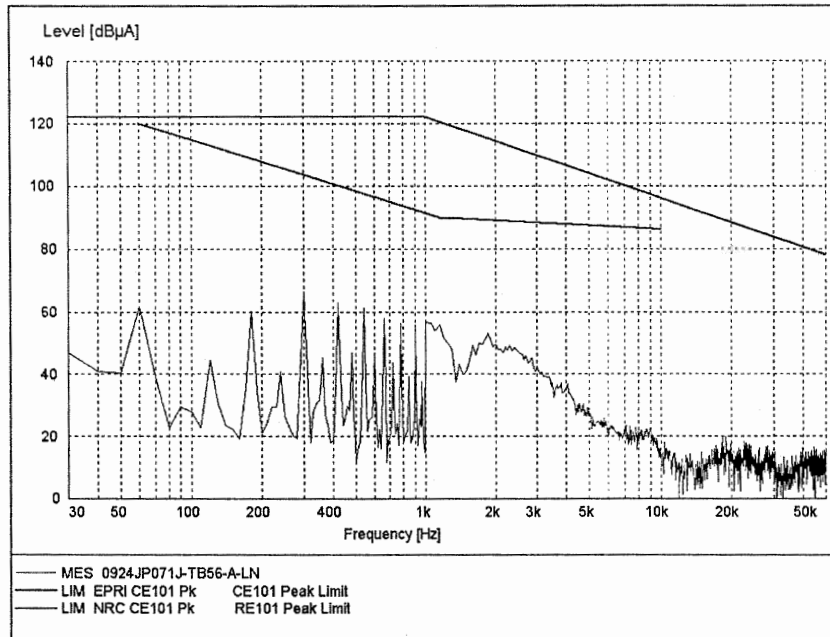


그림 B.187 JP071J(SSILS)-TB56-A-LN

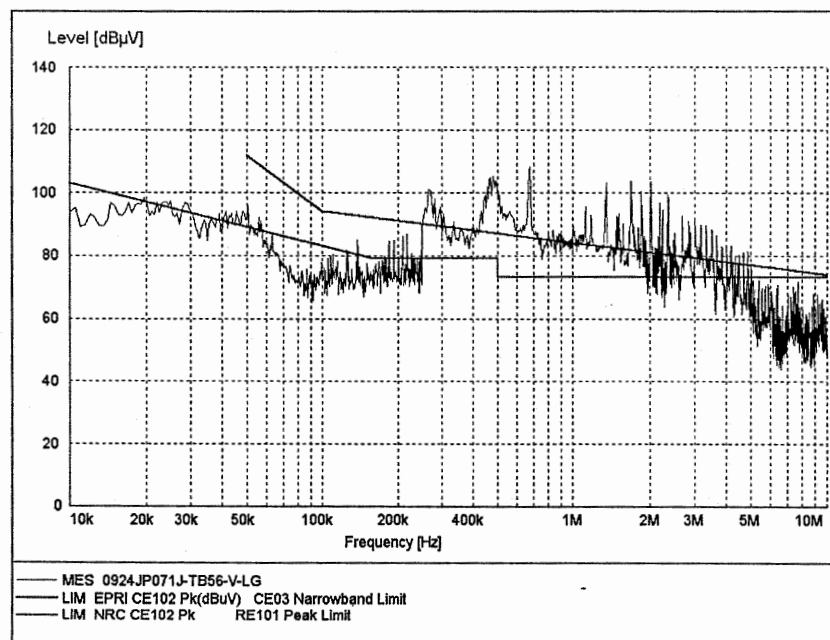


그림 B.188 JP071J(SSILS)-TB56-V-LG

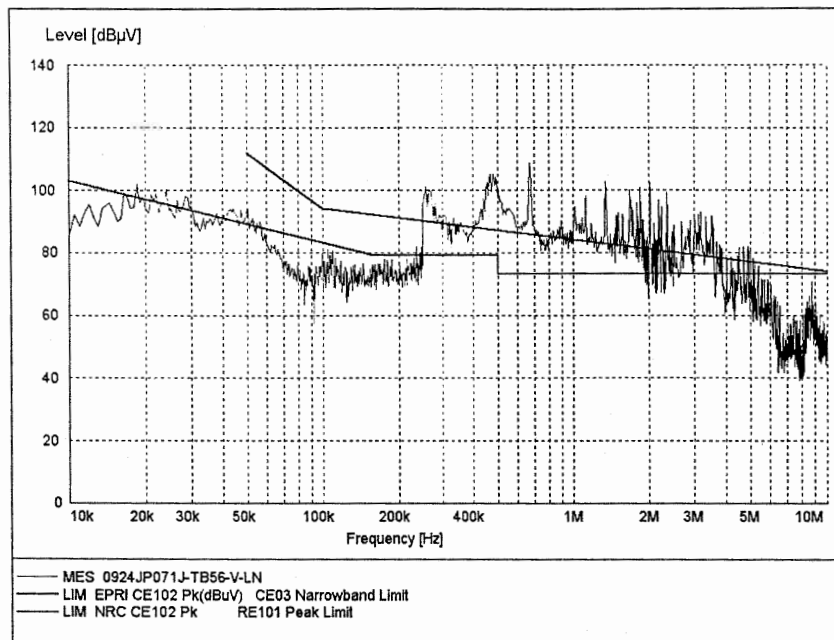


그림 B.189 JP071J(SSILS)-TB56-V-LN

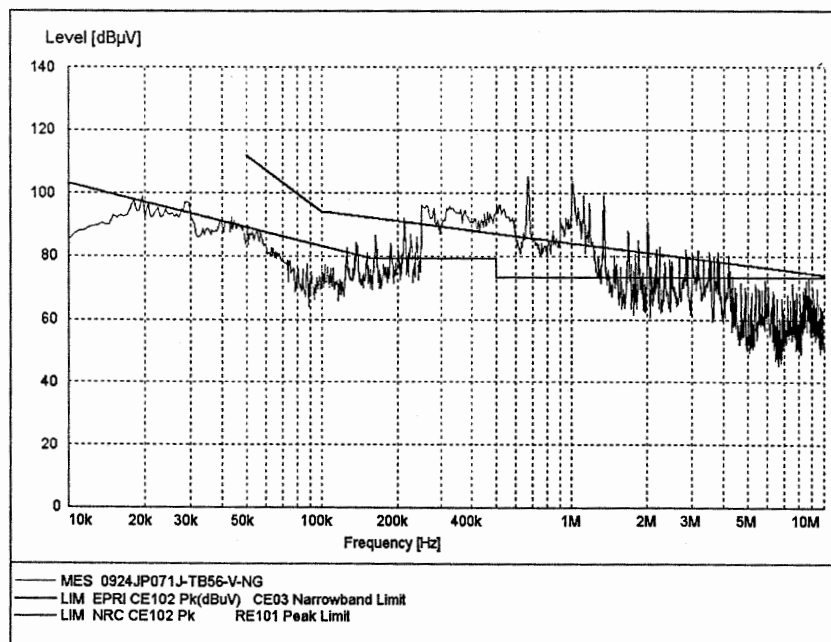


그림 B.190 JP071J(SSILS)-TB56-V-NG

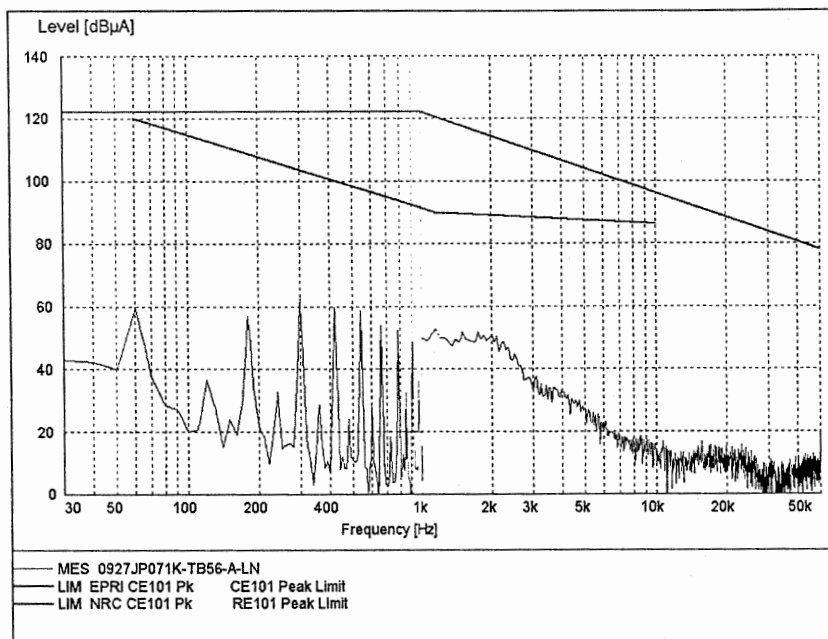


그림 B.191 JP071K(SSILS)-TB56-A-LN

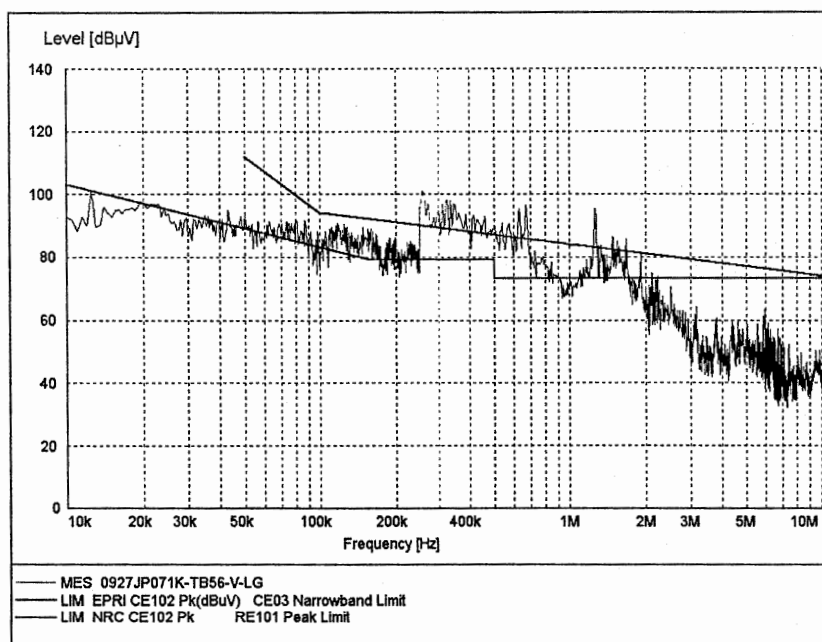


그림 B.192 JP071K(SSILS)-TB56-V-LG

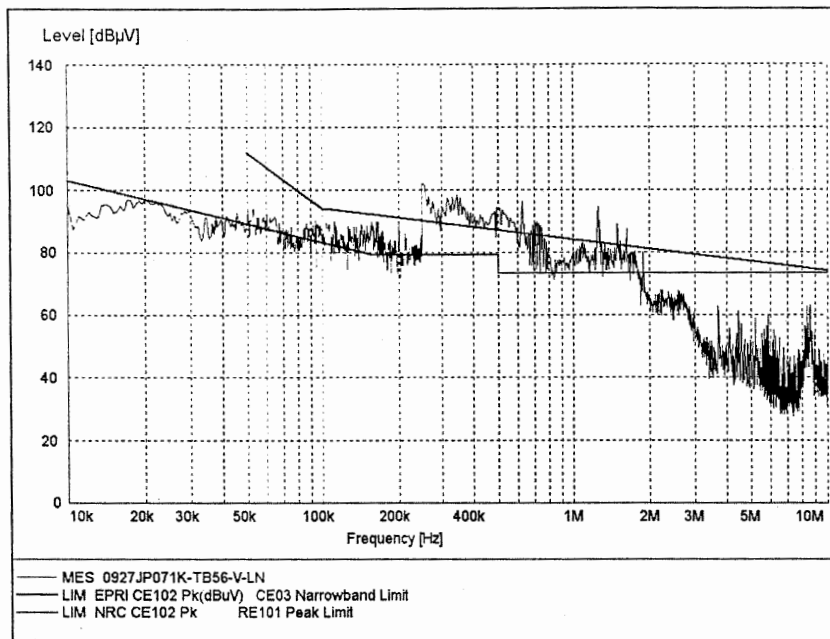


그림 B.193 JP071K(SSILS)-TB56-V-LN

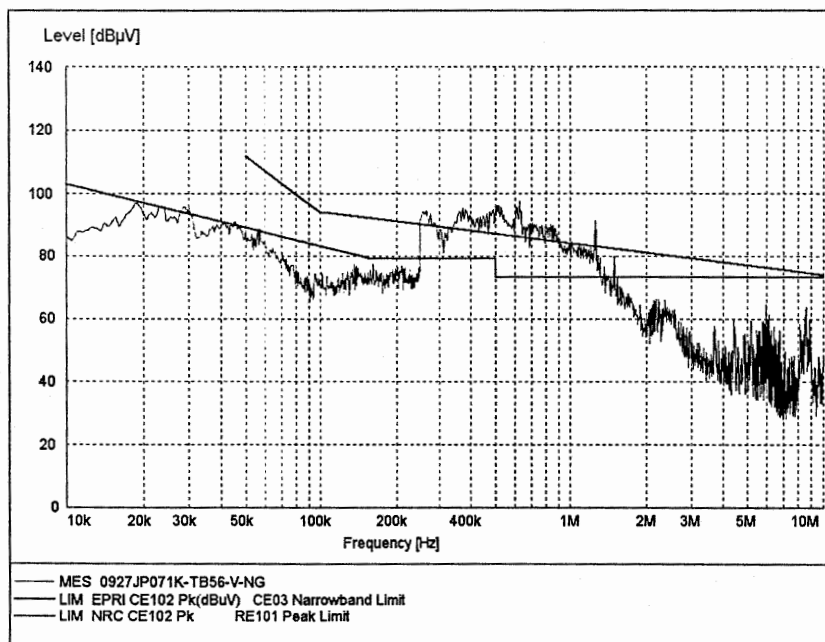


그림 B.194 JP071K(SSILS)-TB56-V-NG

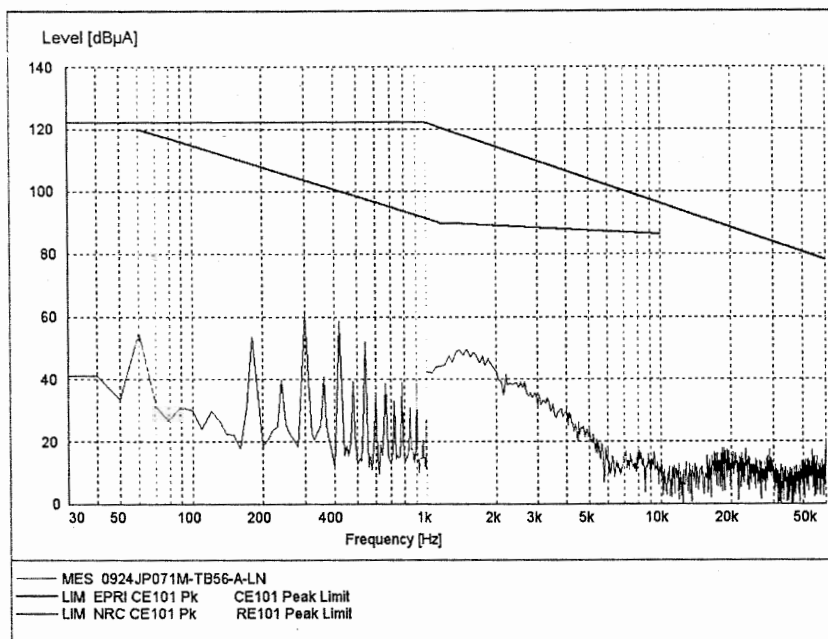


그림 B.195 JP071M(SSILS)-TB56-A-LN

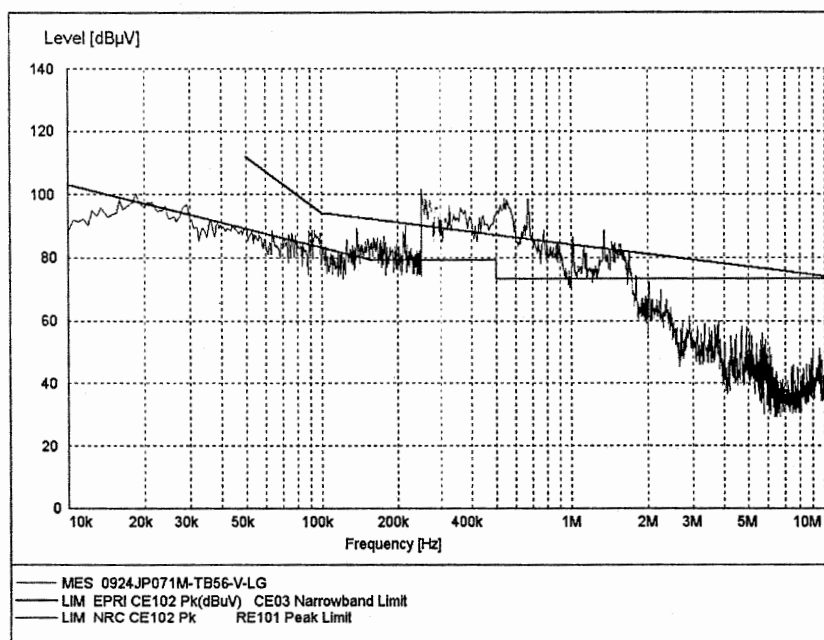


그림 B.196 JP071M(SSILS)-TB56-V-LG

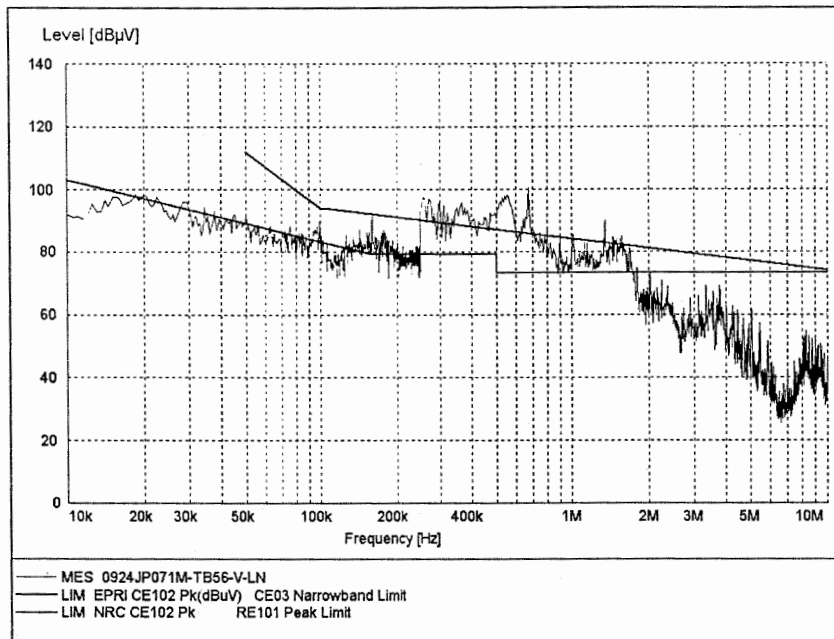


그림 B.197 JP071M(SSILS)-TB56-V-LN

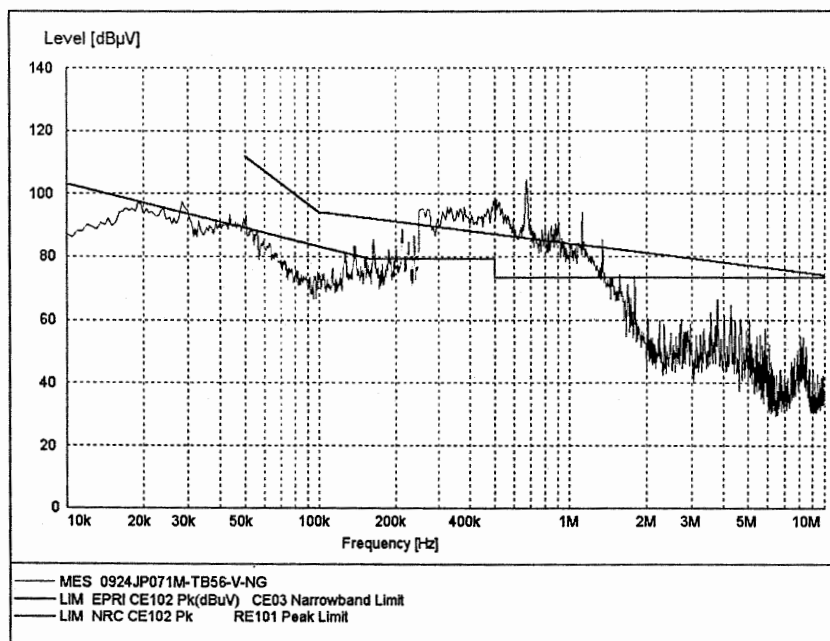


그림 B.198 JP071M(SSILS)-TB56-V-NG

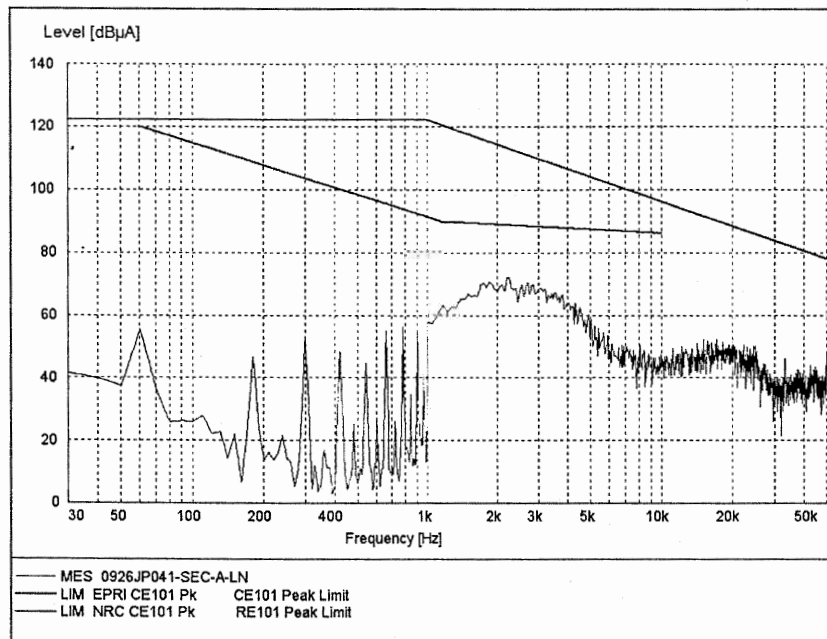


그림 B.199 JP041(W7300 Control GP 1,3/2,4)-SEC-A-LN

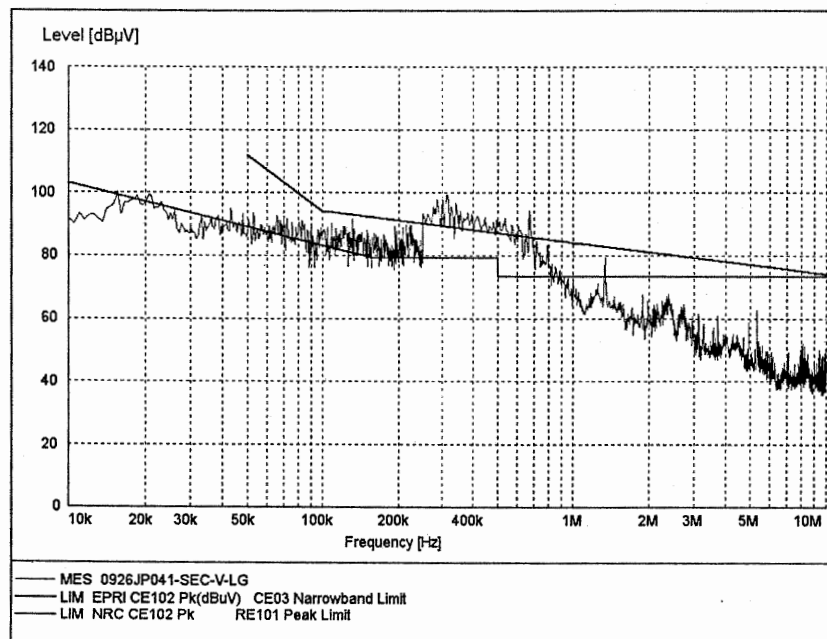


그림 B.200 JP041(W7300 Control GP 1,3/2,4)-SEC-V-LG

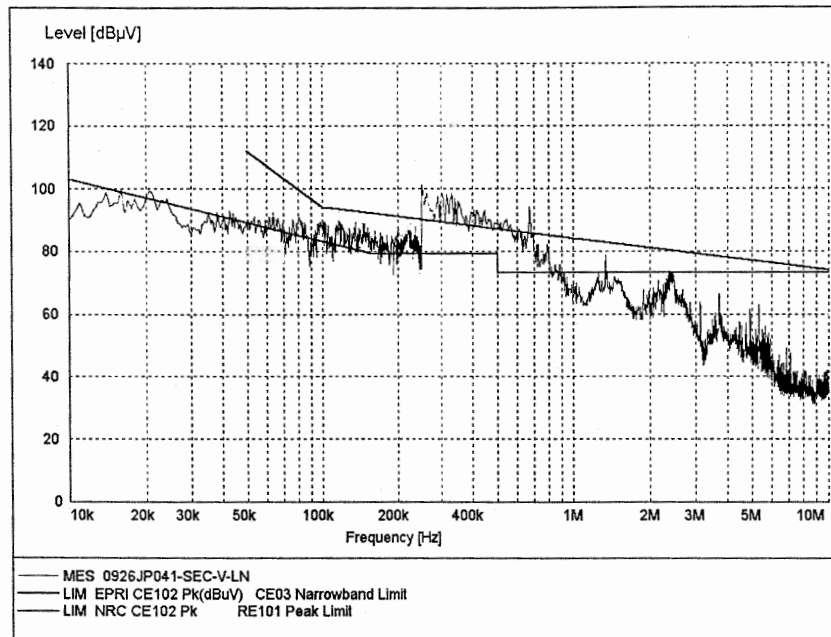


그림 B.201 JP041(W7300 Control GP 1,3/2,4)-SEC-V-LN

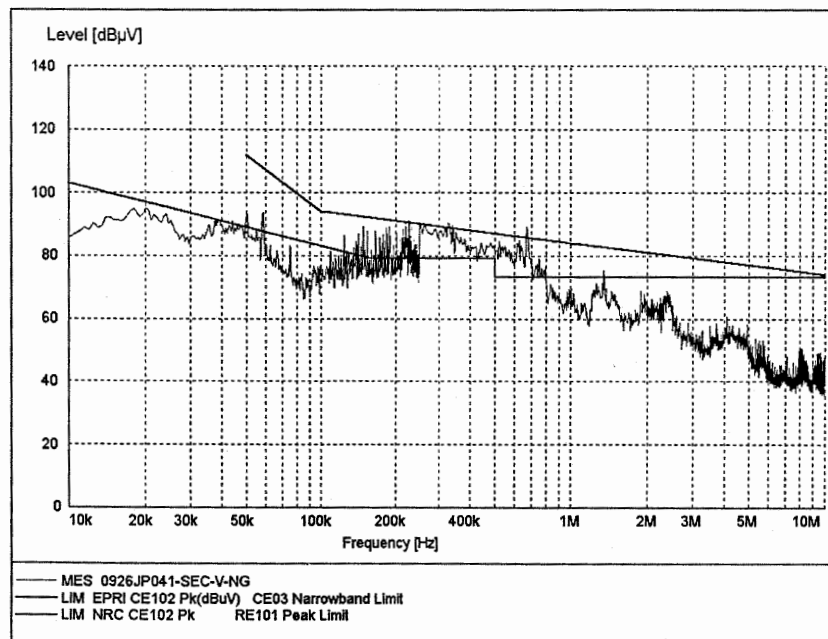


그림 B.202 JP041(W7300 Control GP 1,3/2,4)-SEC-V-NG

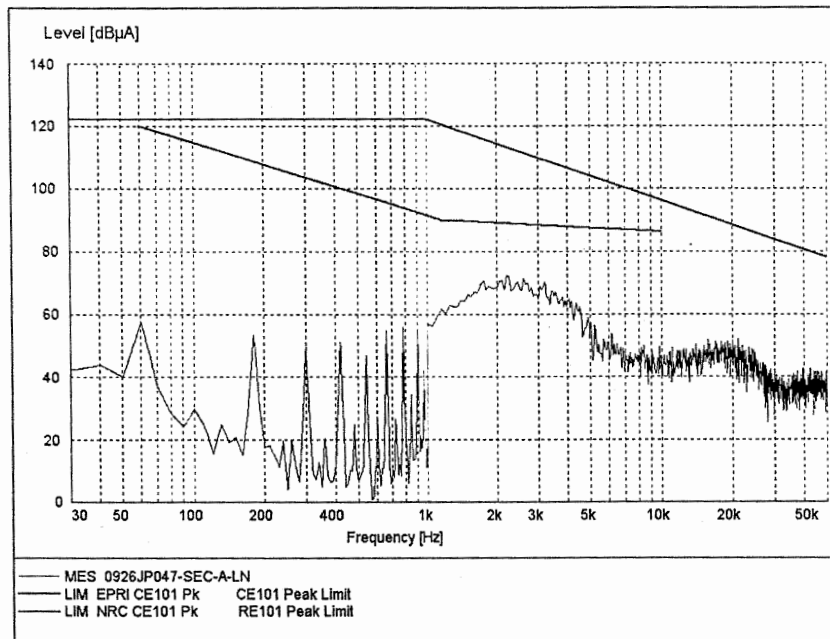


그림 B.203 JP047(W7300 Control GP 1,3/2,4)-SEC-A-LN

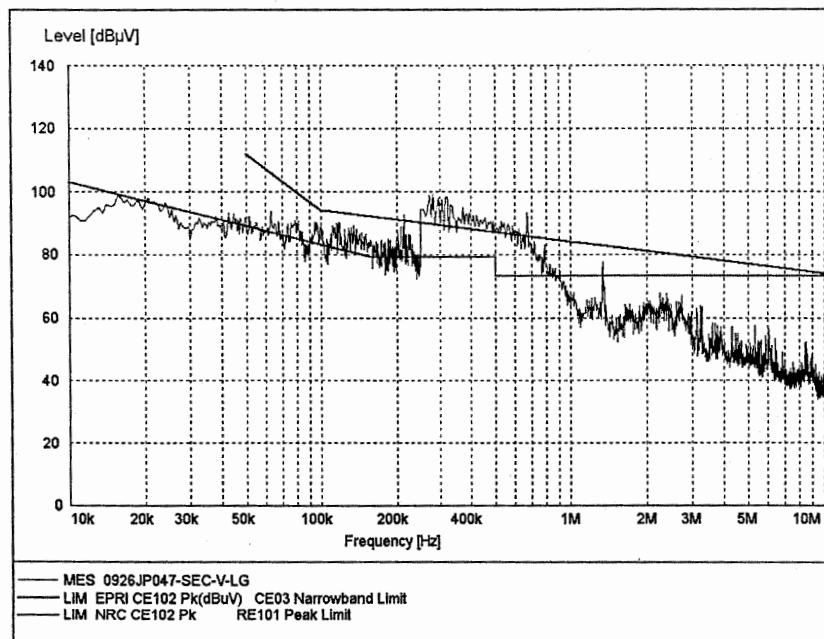


그림 B.204 JP047(W7300 Control GP 1,3/2,4)-SEC-V-LG

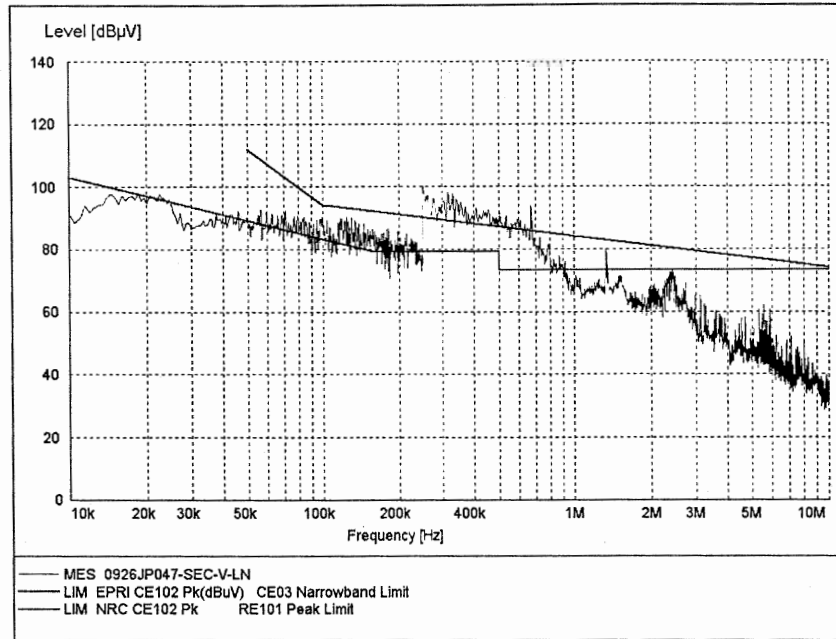


그림 B.205 JP047(W7300 Control GP 1,3/2,4)-SEC-V-LN

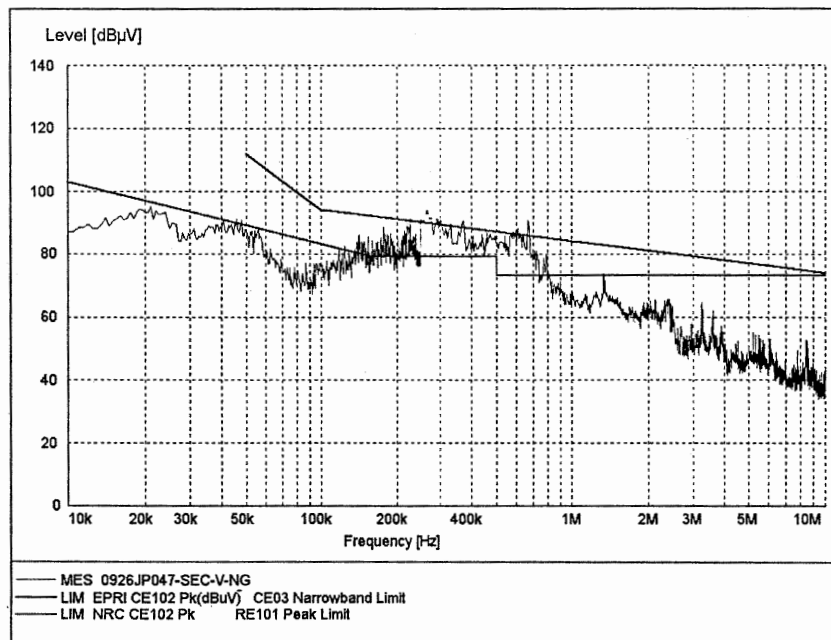


그림 B.206 JP047(W7300 Control GP 1,3/2,4)-SEC-V-NG

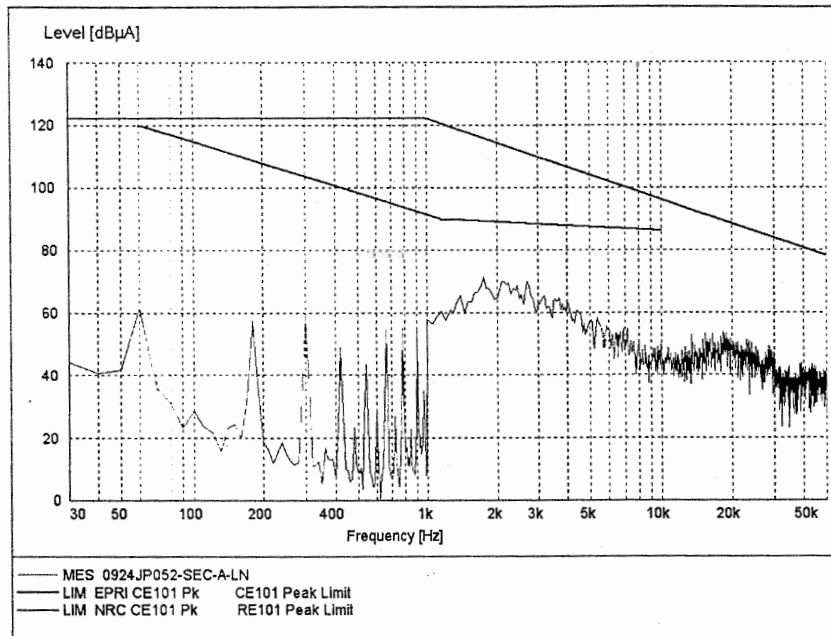


그림 B.207 JP052(W7300 Control GP 1,3/2,4)-SEC-A-LN

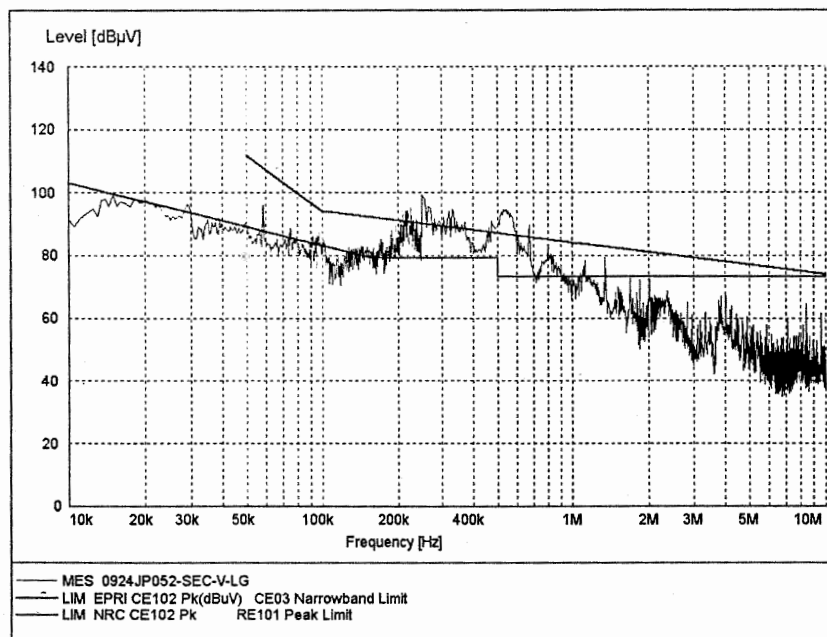


그림 B.208 JP052(W7300 Control GP 1,3/2,4)-SEC-V-LG

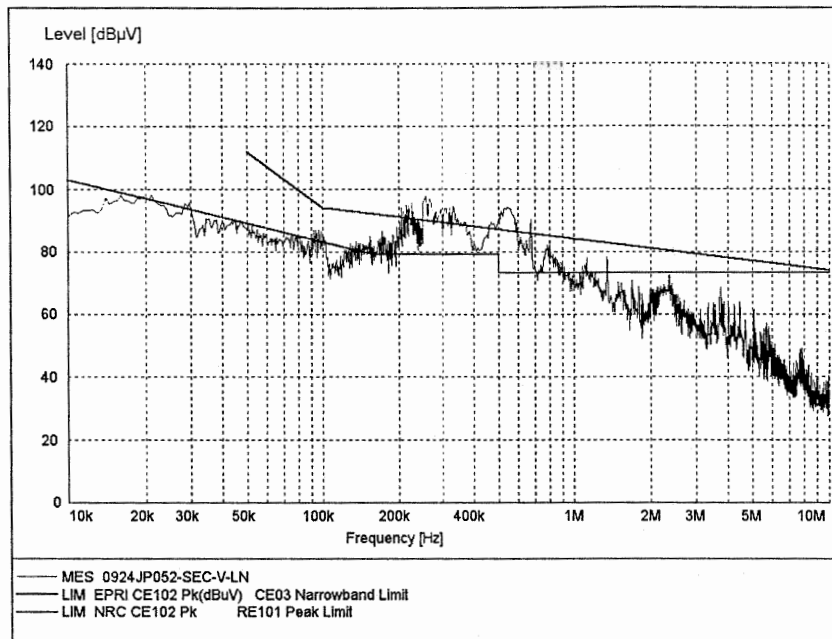


그림 B.209 JP052(W7300 Control GP 1,3/2,4)-SEC-V-LN

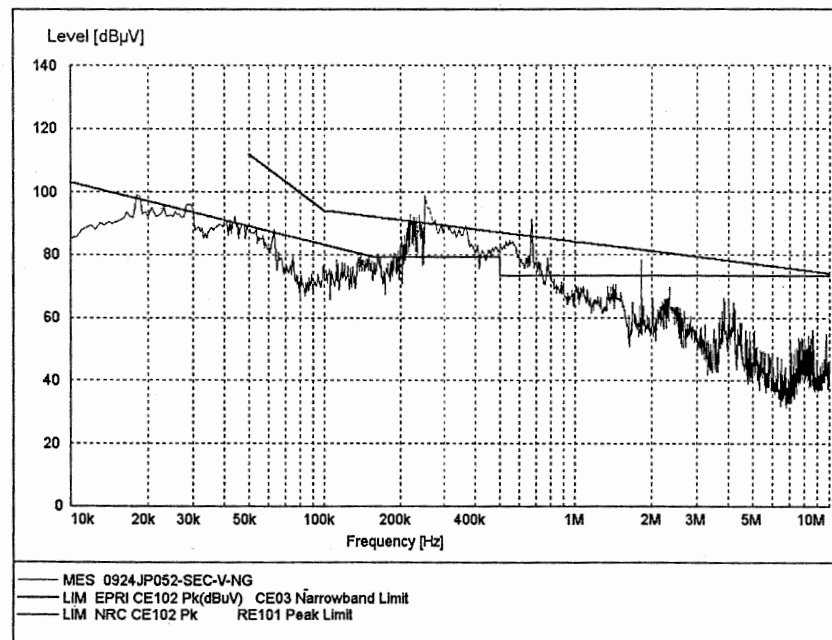


그림 B.210 JP052(W7300 Control GP 1,3/2,4)-SEC-V-NG

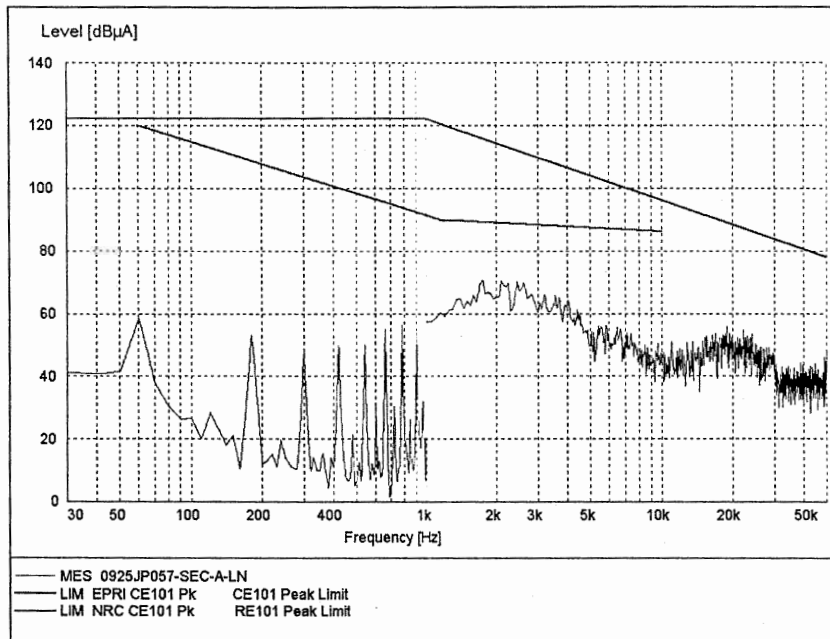


그림 B.211 JP057(W7300 Control GP 1,3/2,4)-SEC-A-LN

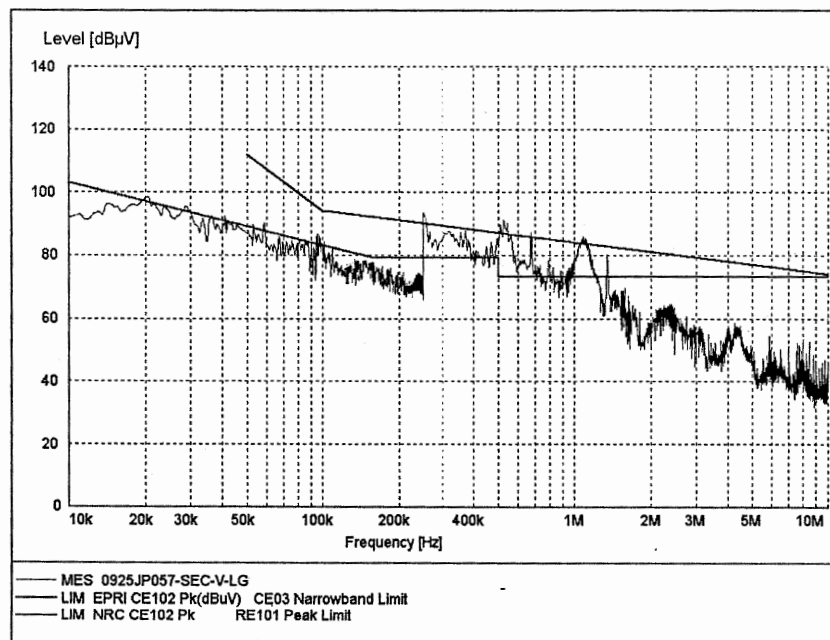


그림 B.212 JP057(W7300 Control GP 1,3/2,4)-SEC-V-LG

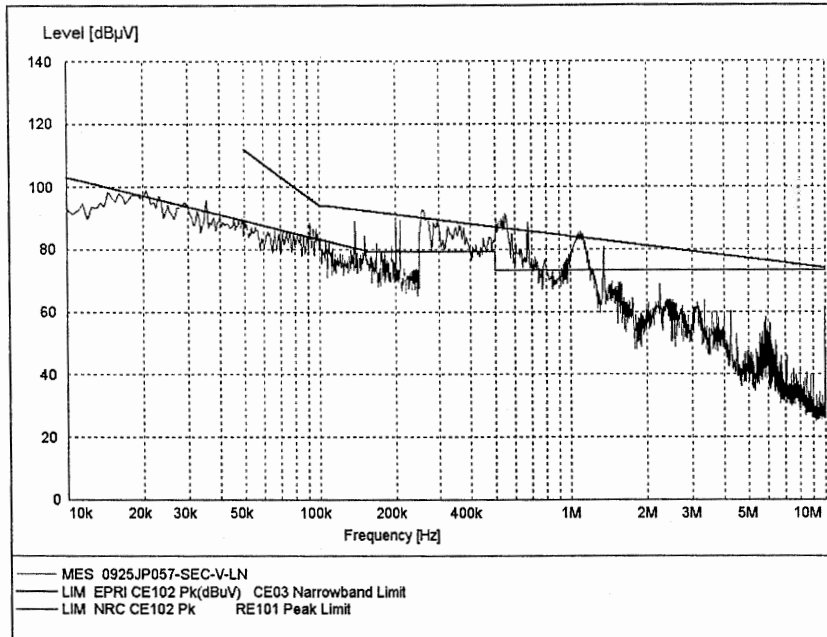


그림 B.213 JP057(W7300 Control GP 1,3/2,4)-SEC-V-LN

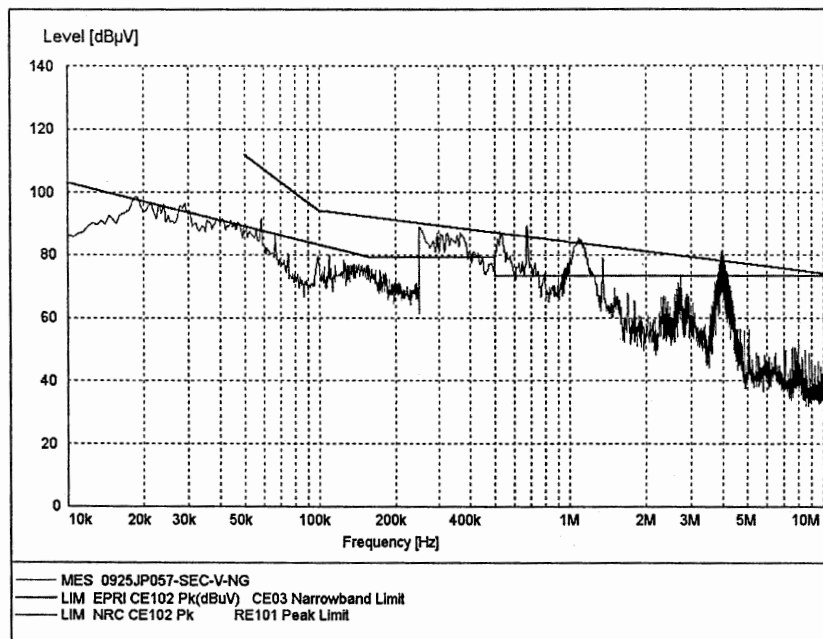


그림 B.214 JP057(W7300 Control GP 1,3/2,4)-SEC-V-NG

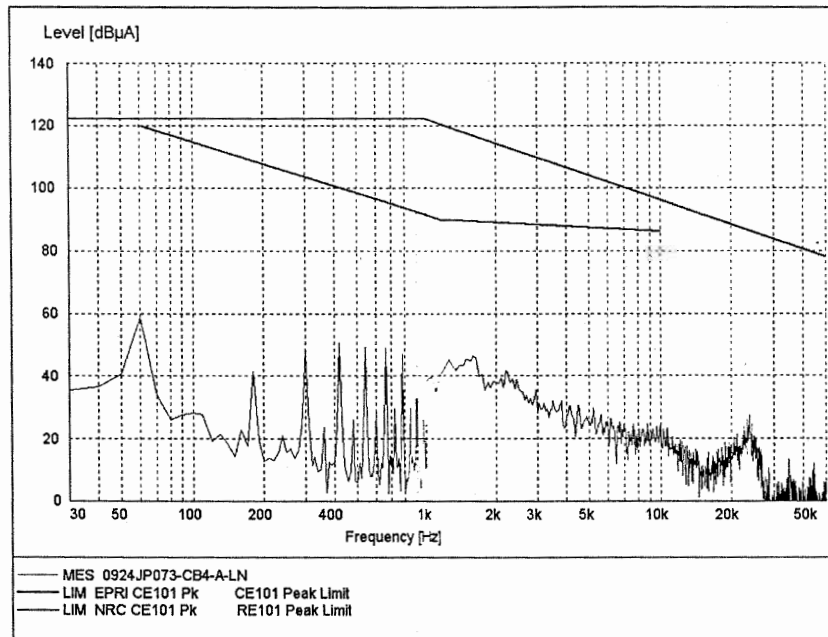


그림 B.215 JP073(TBN Governor)-CB4-A-LN

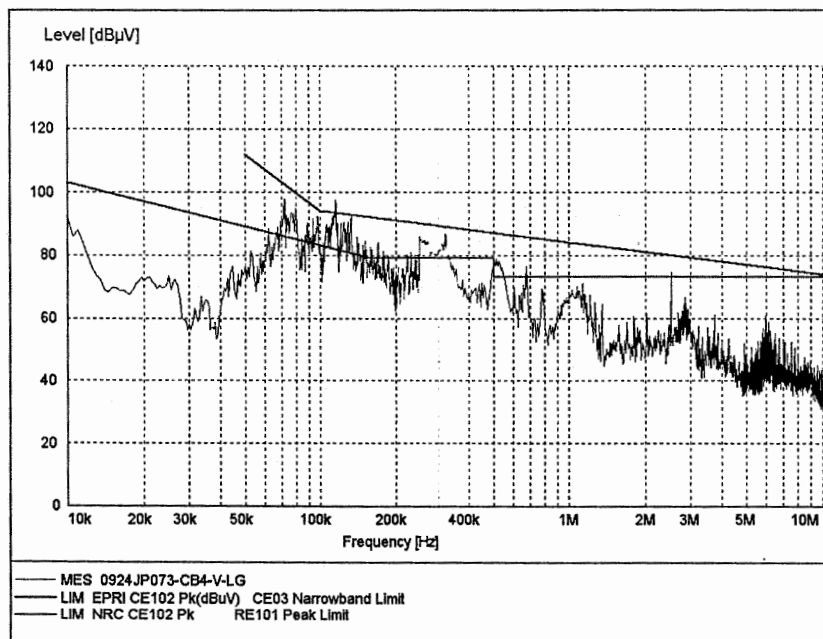


그림 B.216 JP073(TBN Governor)-CB4-V-LG

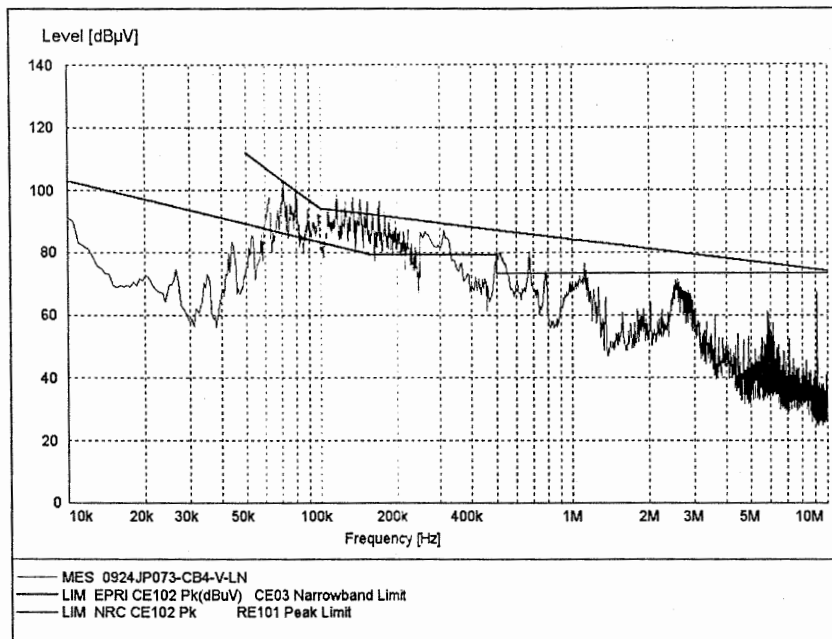


그림 B.217 JP073(TBN Governor)-CB4-V-LN

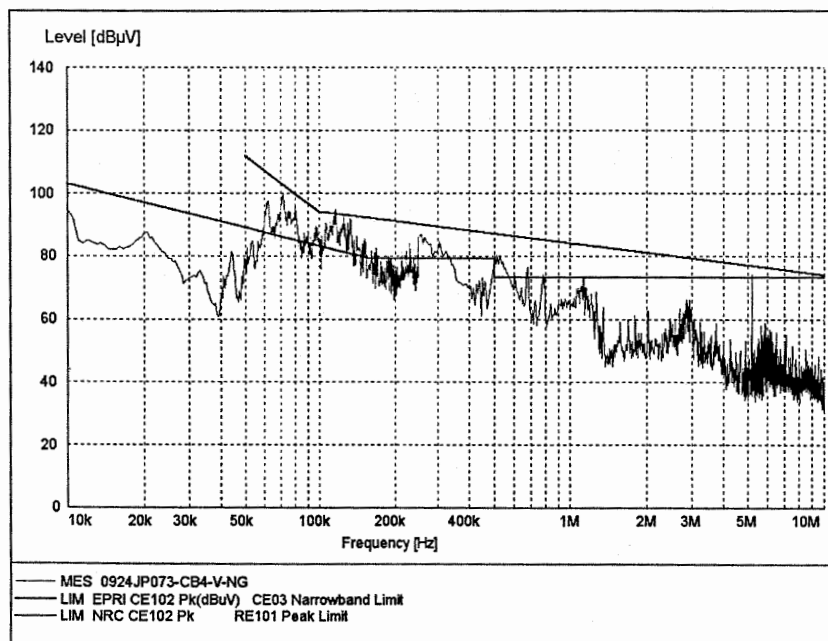


그림 B.218 JP073(TBN Governor)-CB4-V-NG

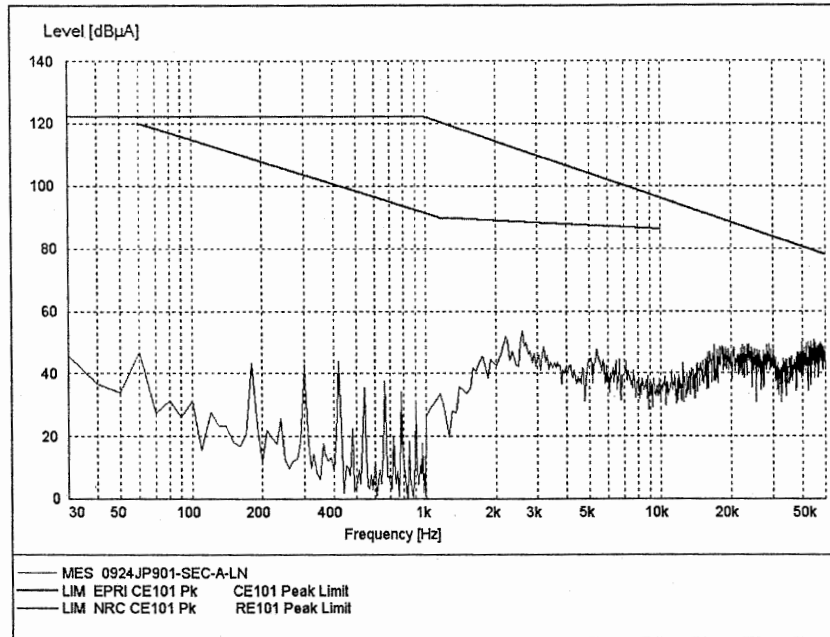


그림 B.219 JP901(S/G DCS)-SEC-A-LN

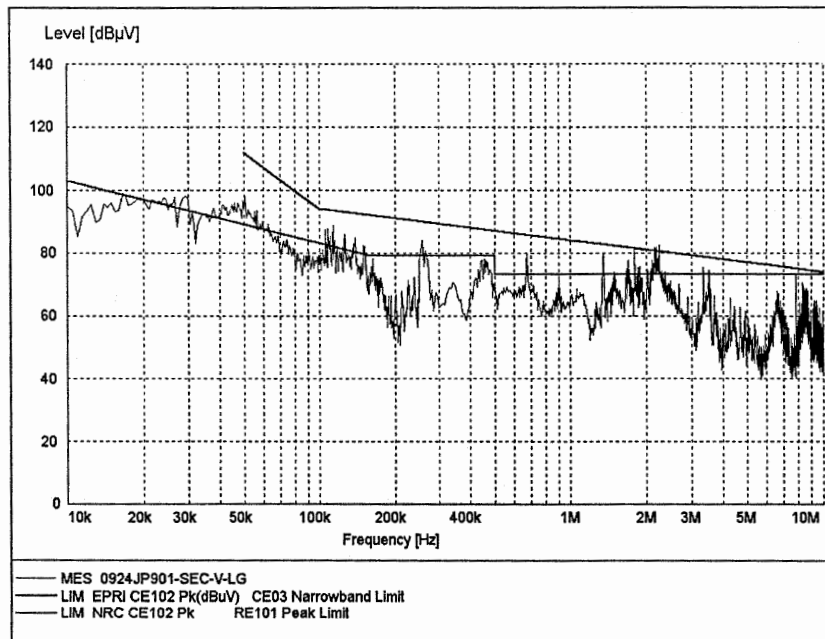


그림 B.220 JP901(S/G DCS)-SEC-V-LG

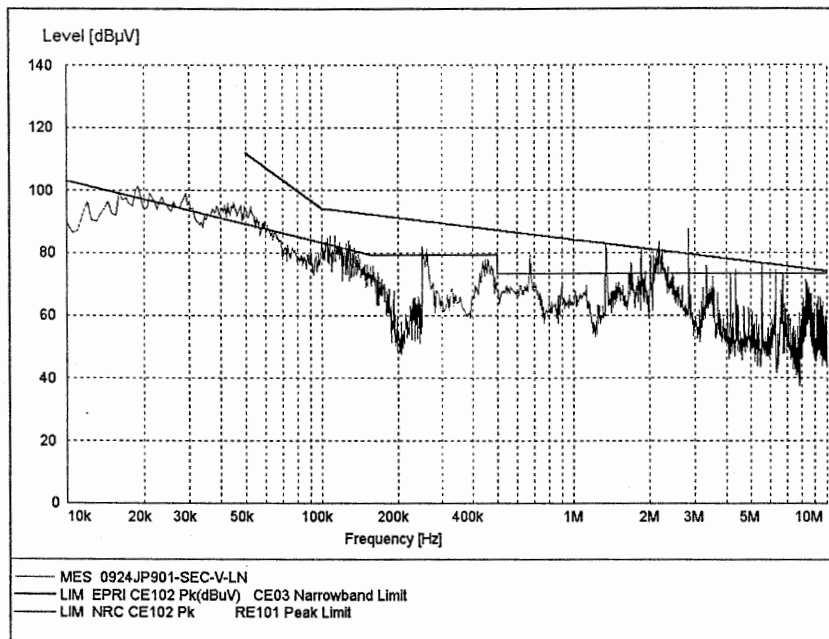


그림 B.221 JP901(S/G DCS)-SEC-V-LN

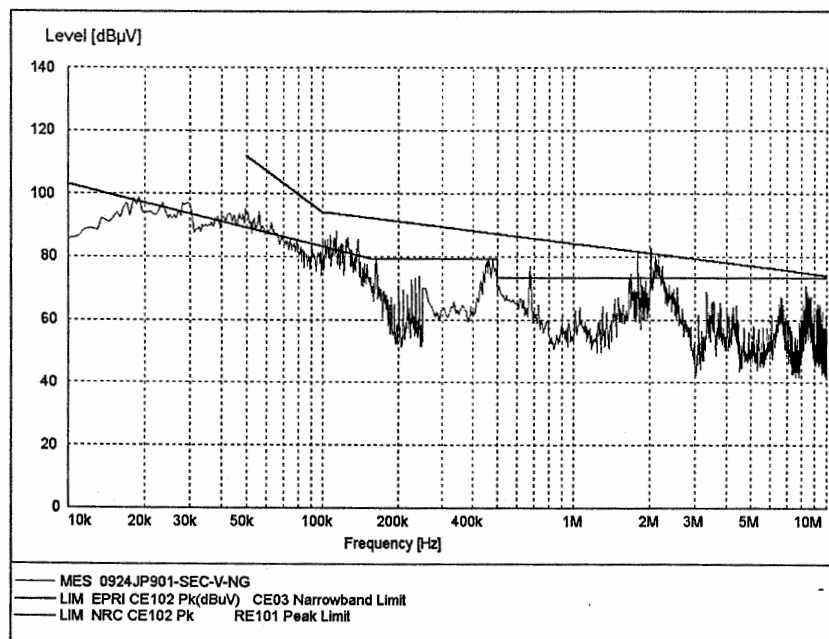


그림 B.222 JP901(S/G DCS)-SEC-V-NG

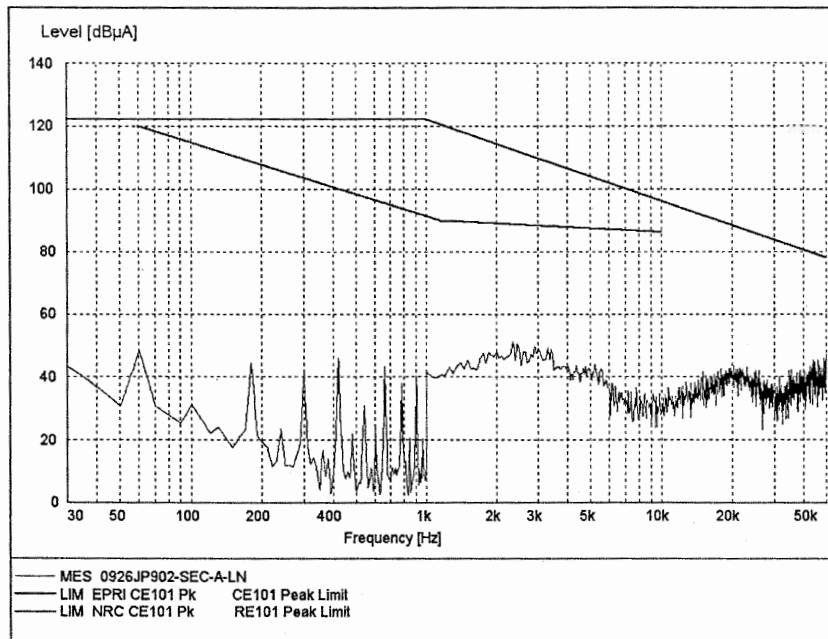


그림 B.223 JP902(S/G DCS)-SEC-A-LN

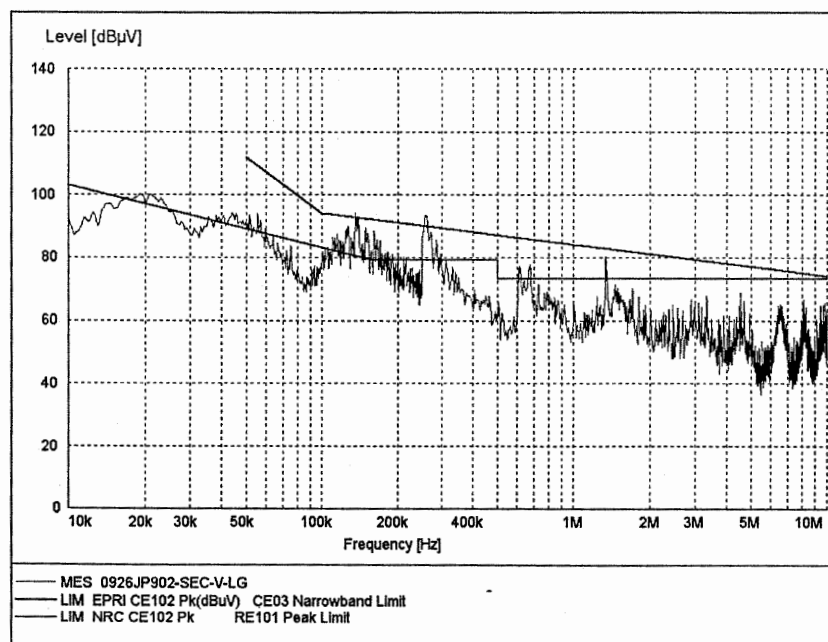


그림 B.224 JP902(S/G DCS)-SEC-V-LG

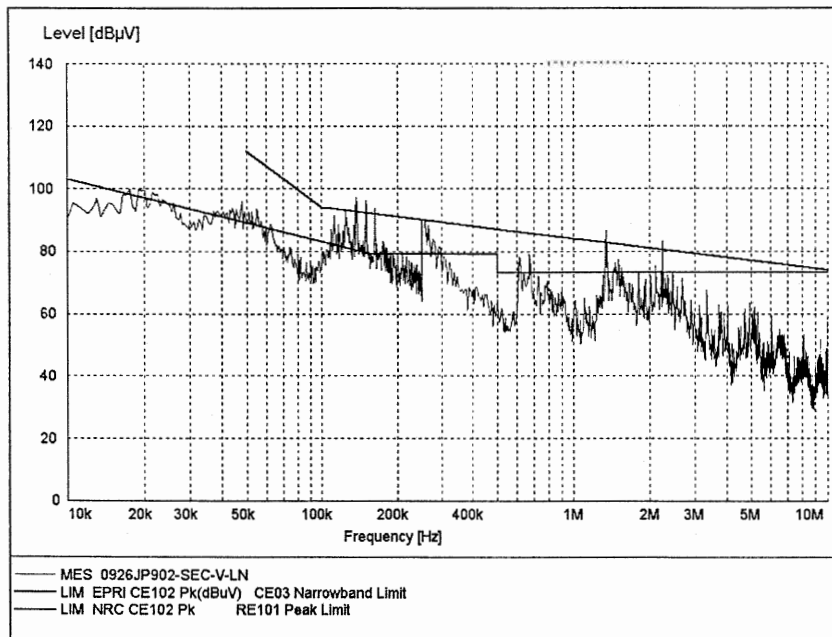


그림 B.225 JP902(S/G DCS)-SEC-V-LN

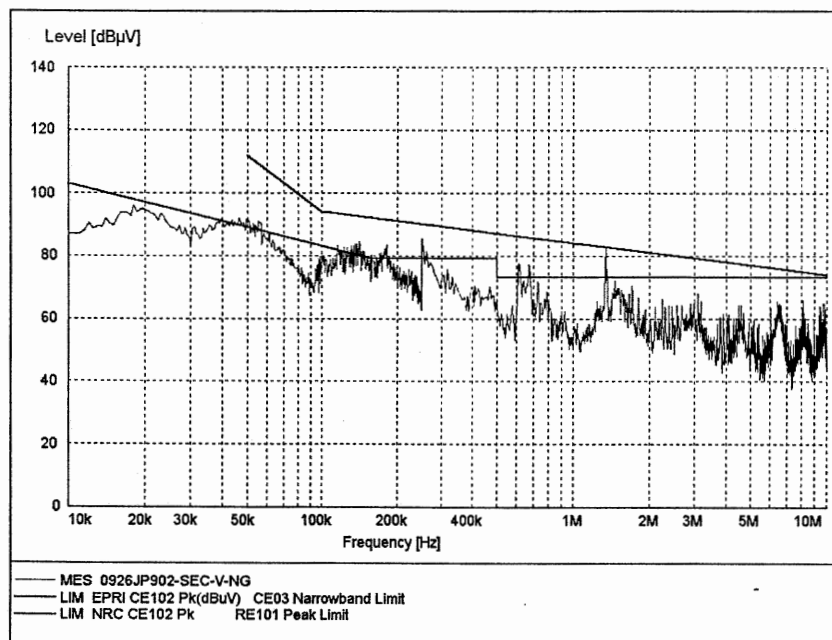


그림 B.226 JP902(S/G DCS)-SEC-V-NG

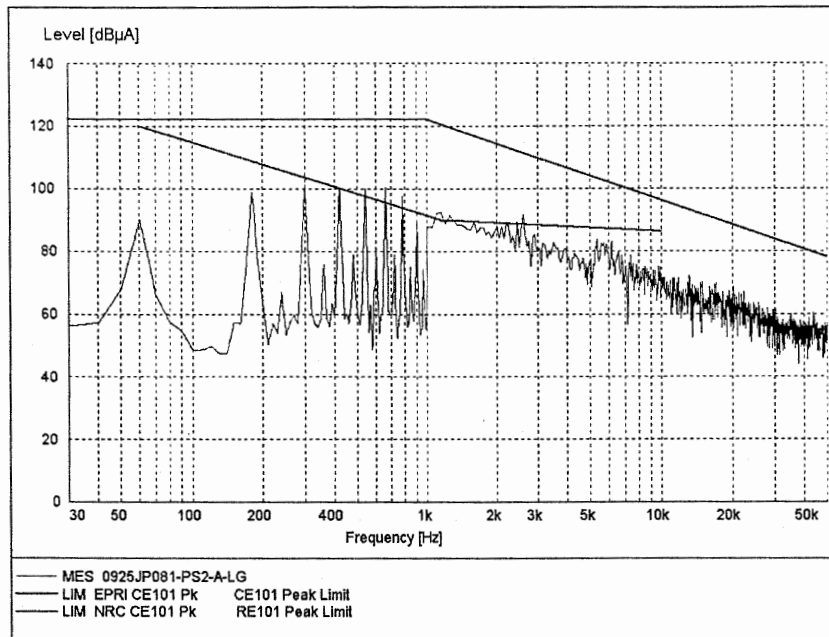


그림 B.227 JP081(TBN/GEN Temp Protection)-PS2-A-LG

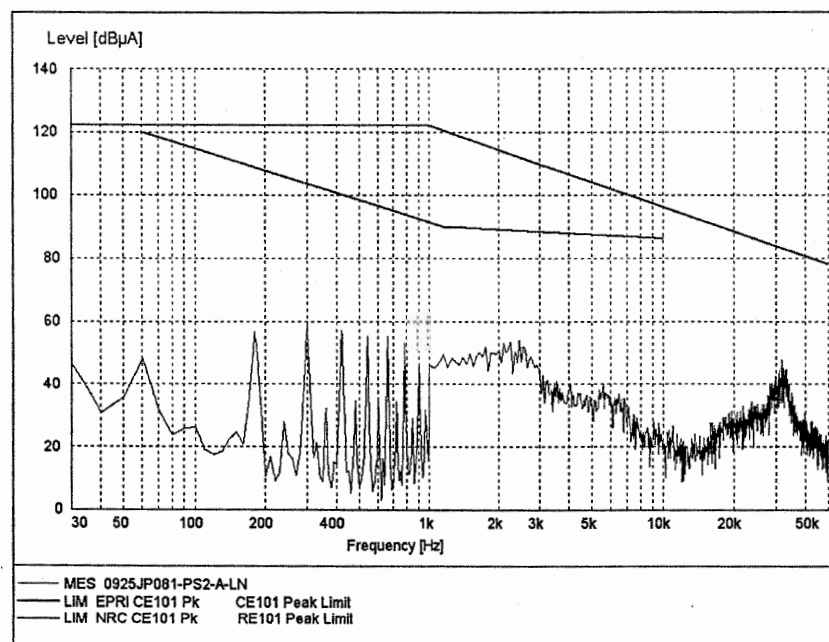


그림 B.228 JP081(TBN/GEN Temp Protection)-PS2-A-LN

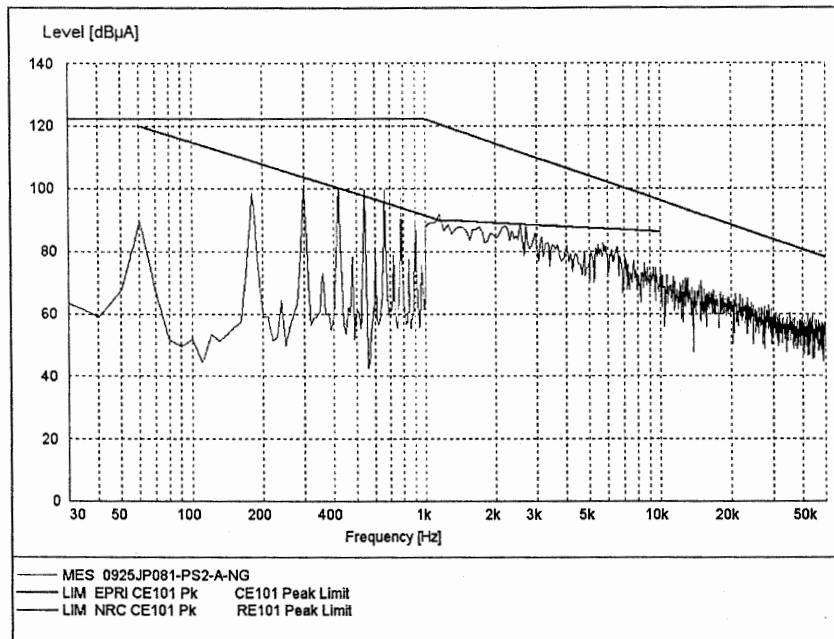


그림 B.229 JP081(TBN/GEN Temp Protection)-PS2-A-NG

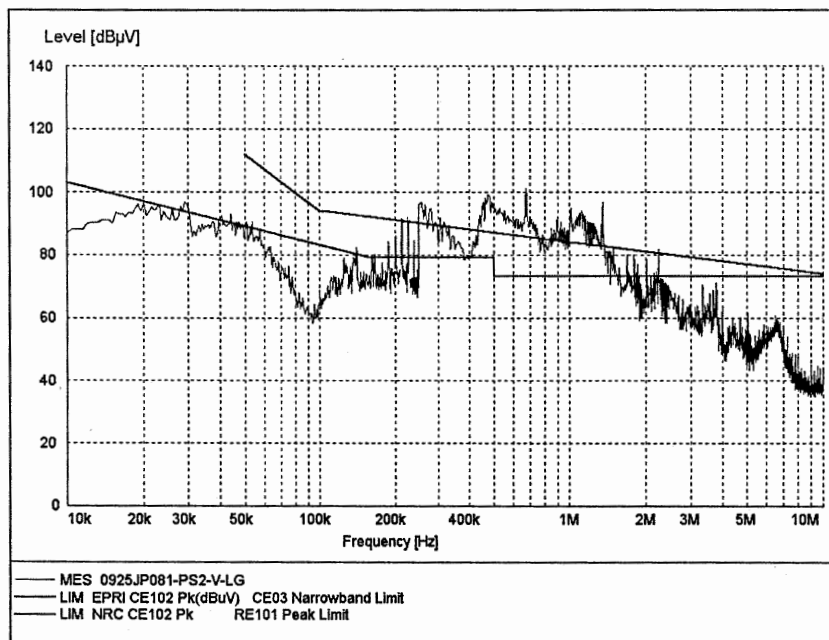


그림 B.230 JP081(TBN/GEN Temp Protection)-PS2-V-LG

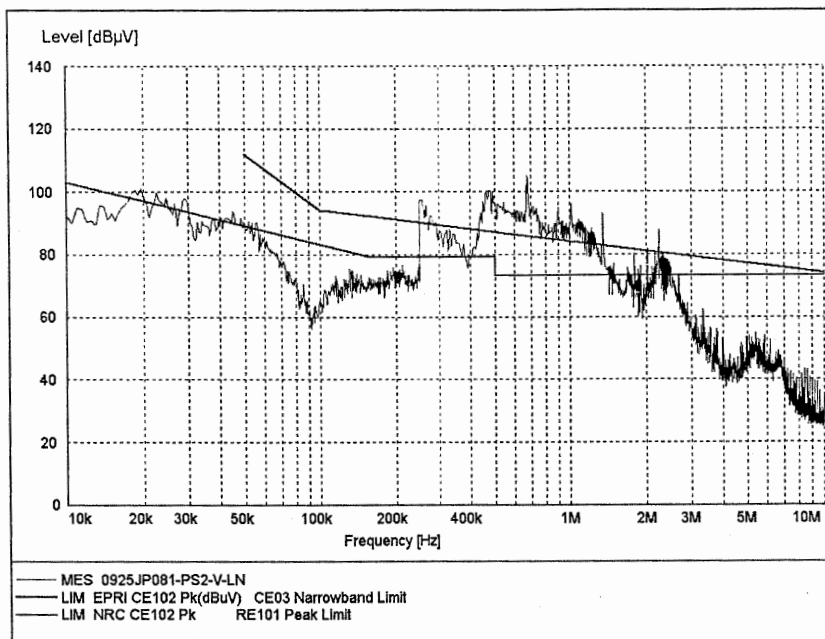


그림 B.231 JP081(TBN/GEN Temp Protection)-PS2-V-LN

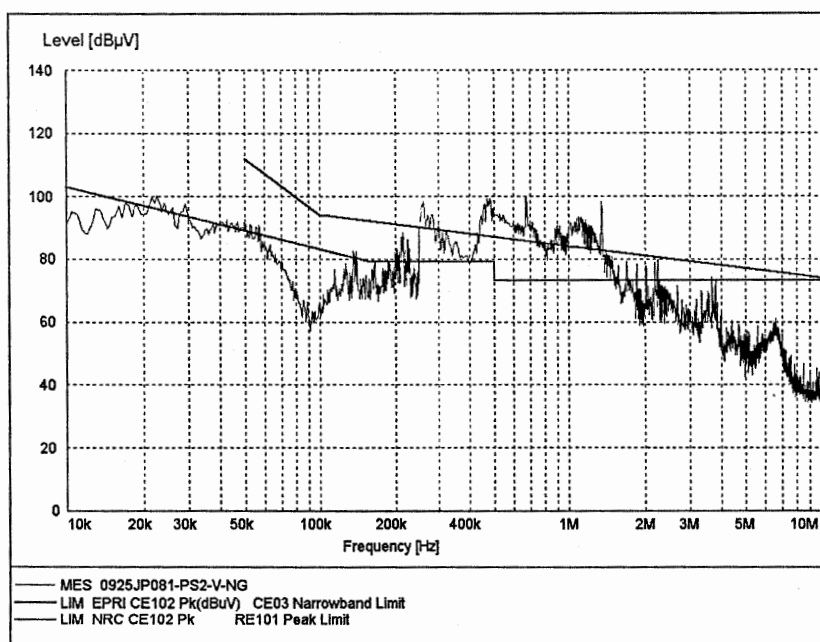


그림 B.232 JP081(TBN/GEN Temp Protection)-PS2-V-NG

5. 전원입력방법 : N-5E-NQ-N003(인버터)

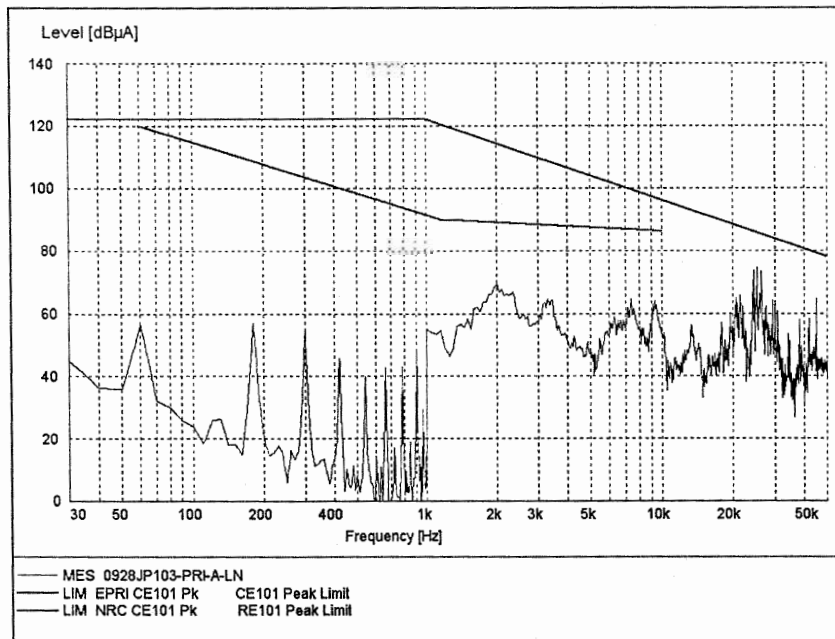


그림 B.233 JP103(소내전산기)-PRI-A-LN

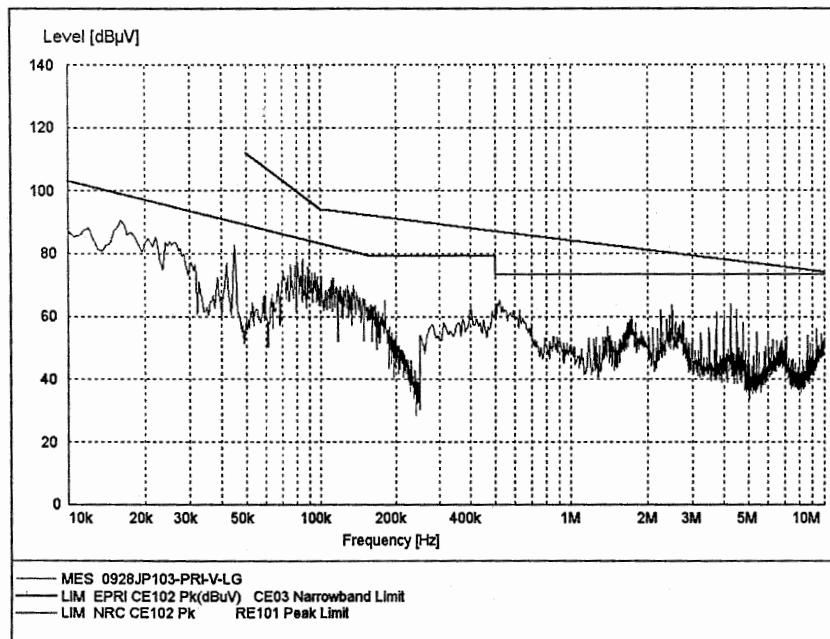


그림 B.234 JP103(소내전산기)-PRI-V-LG

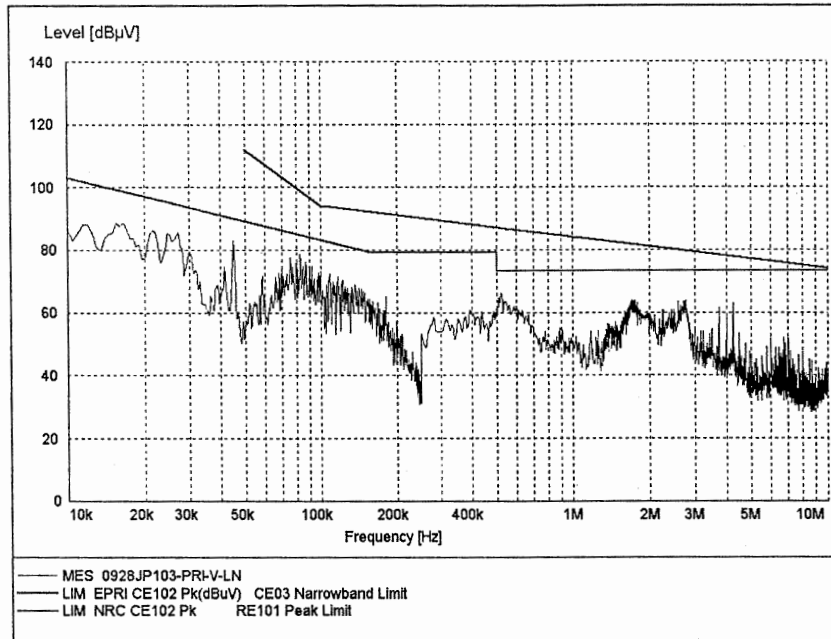


그림 B.235 JP103(소내전산기)-PRI-V-LN

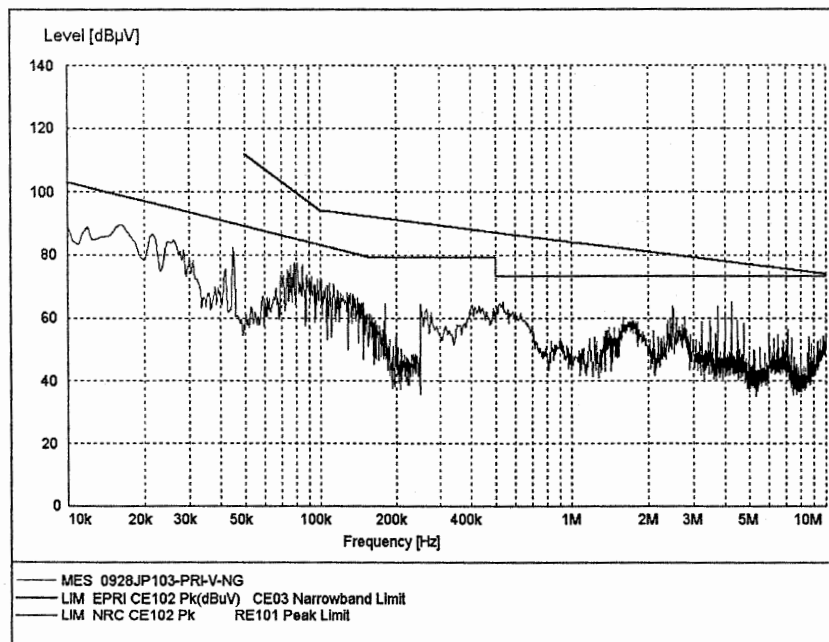


그림 B.236 JP103(소내전산기)-PRI-V-NG

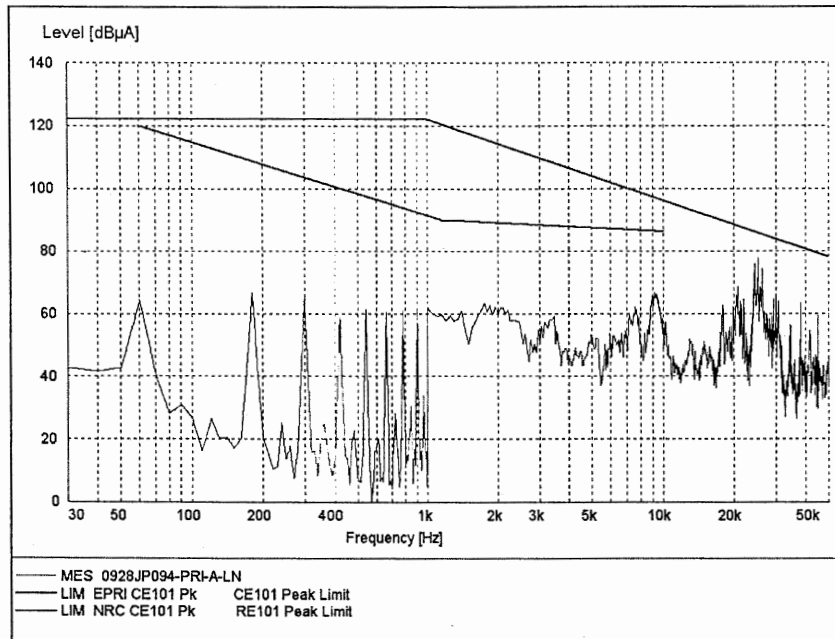


그림 B.237 JP094(소내전산기)-PRI-A-LN

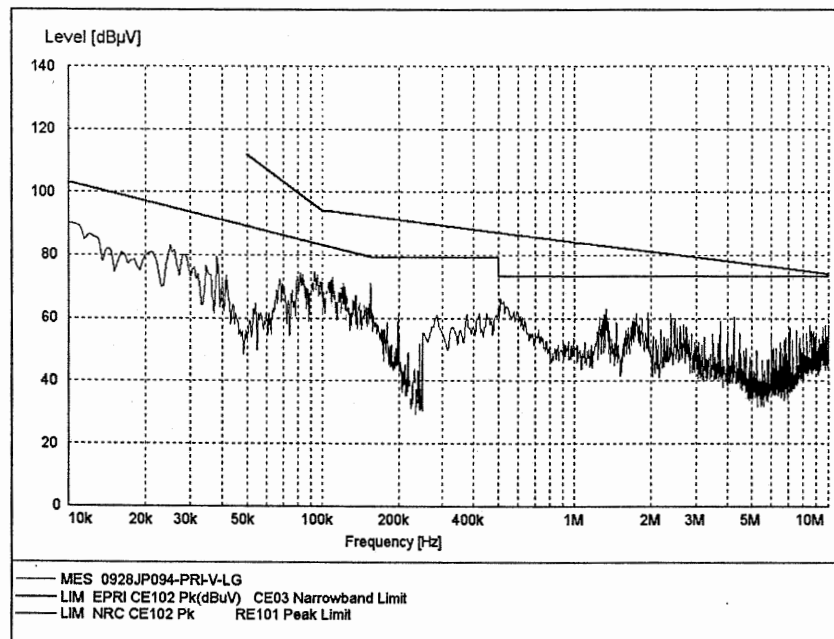


그림 B.238 JP094(소내전산기)-PRI-V-LG

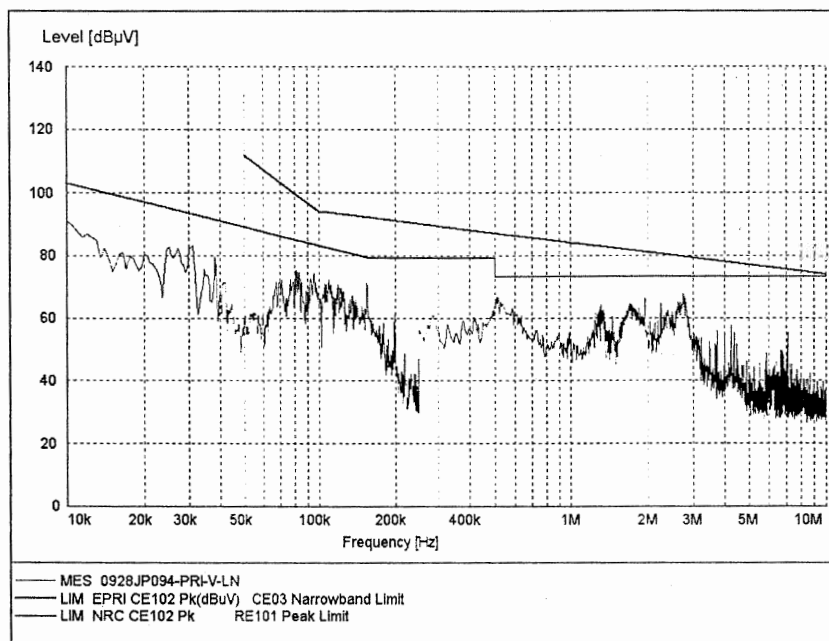


그림 B.239 JP094(소내전산기)-PRI-V-LN

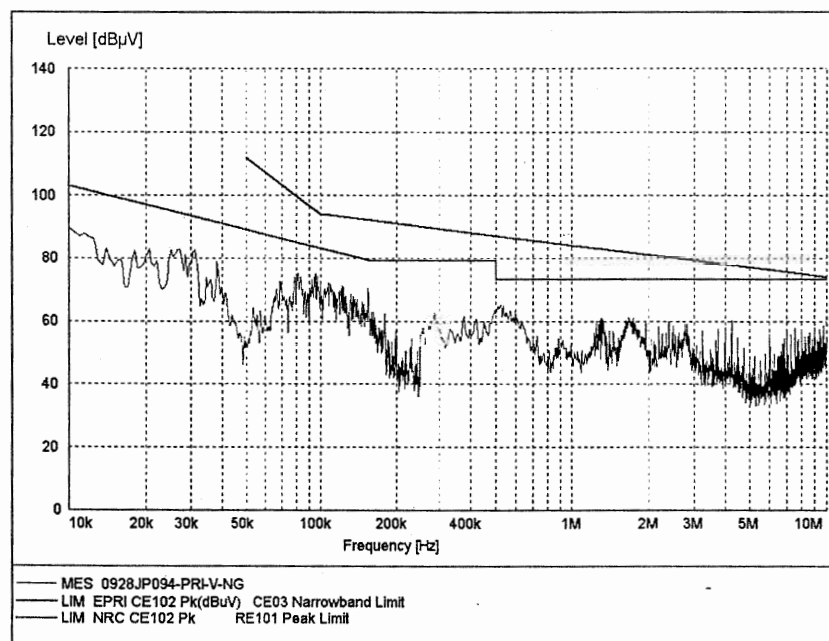


그림 B.240 JP094(소내전산기)-PRI-V-NG

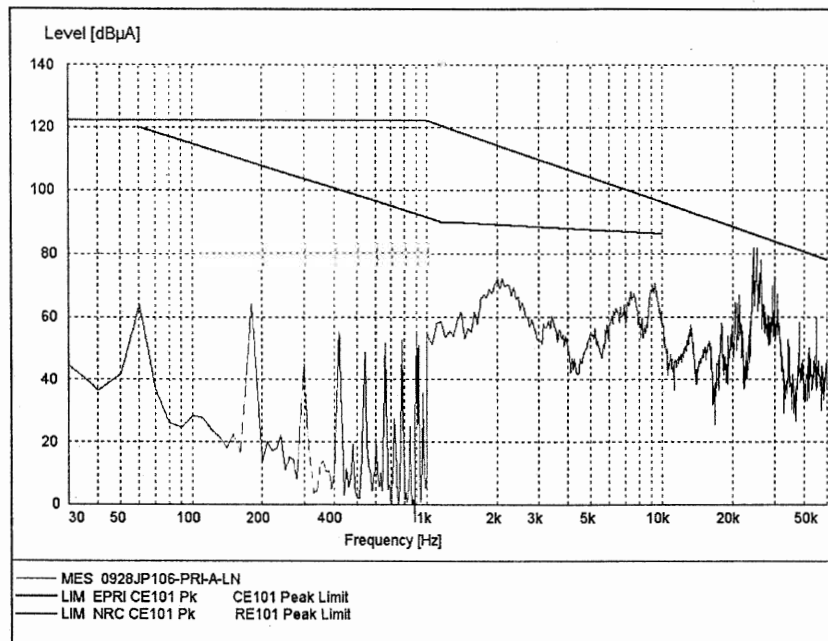


그림 B.241 JP106(소내전산기)-PRI-A-LN

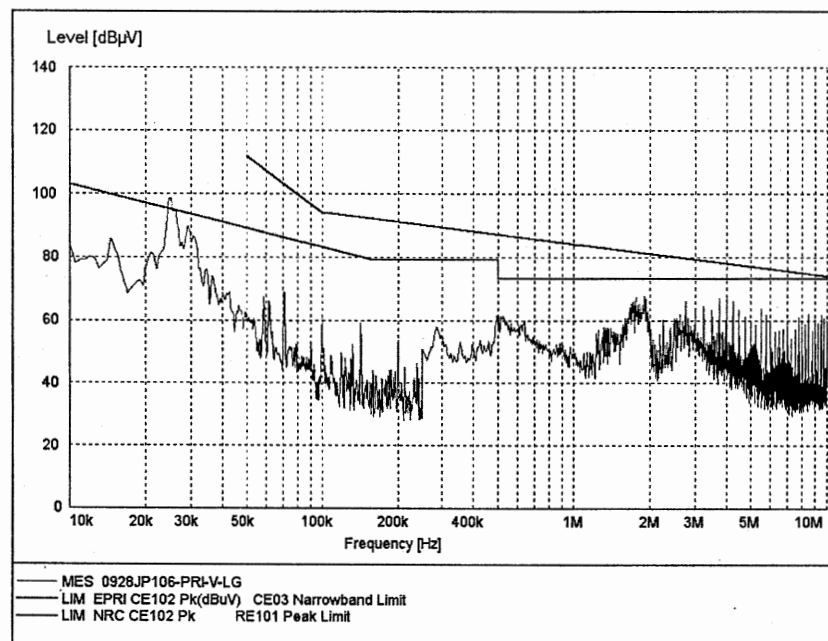


그림 B.242 JP106(소내전산기)-PRI-V-LG

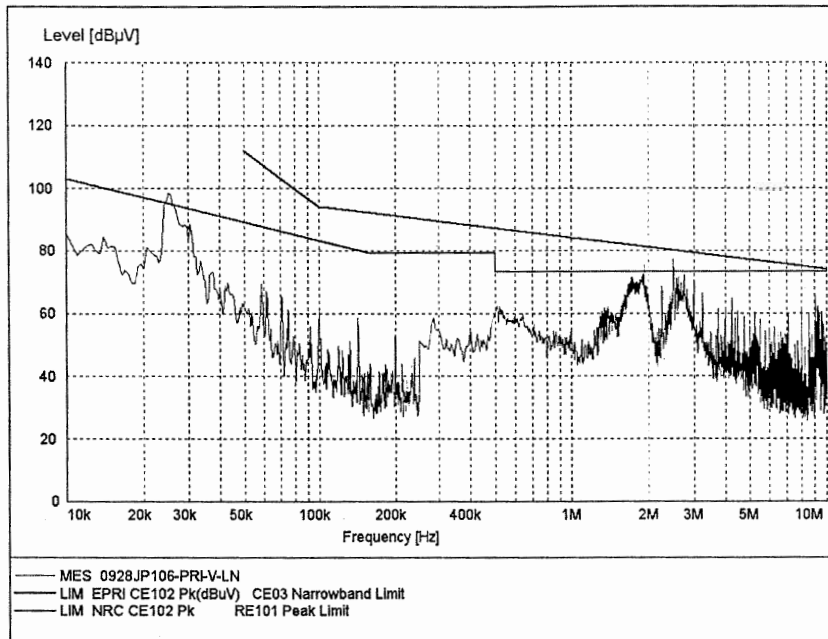


그림 B.243 JP106(소내전산기)-PRI-V-LN

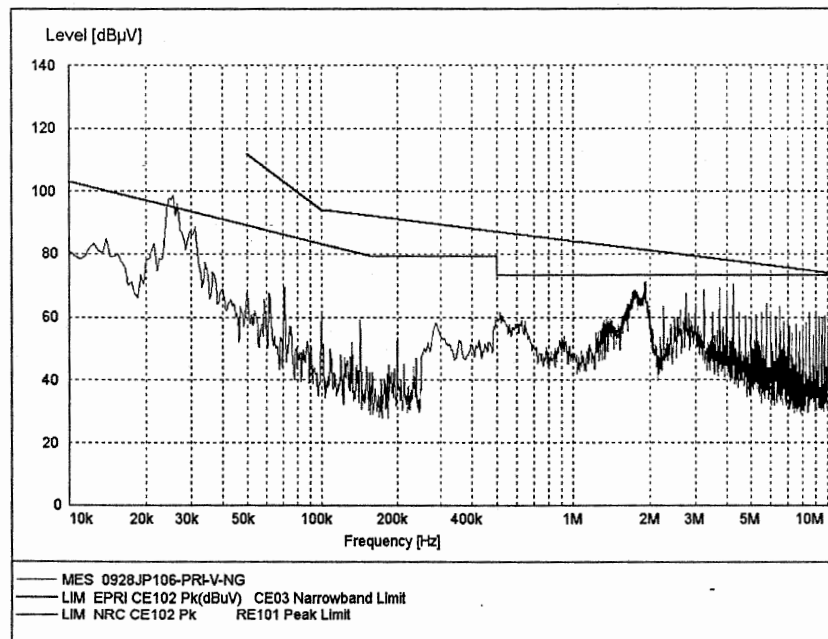


그림 B.244 JP106(소내전산기)-PRI-V-NG

6. 전원입력방법 : A-5E-PQ-N001(인버터)

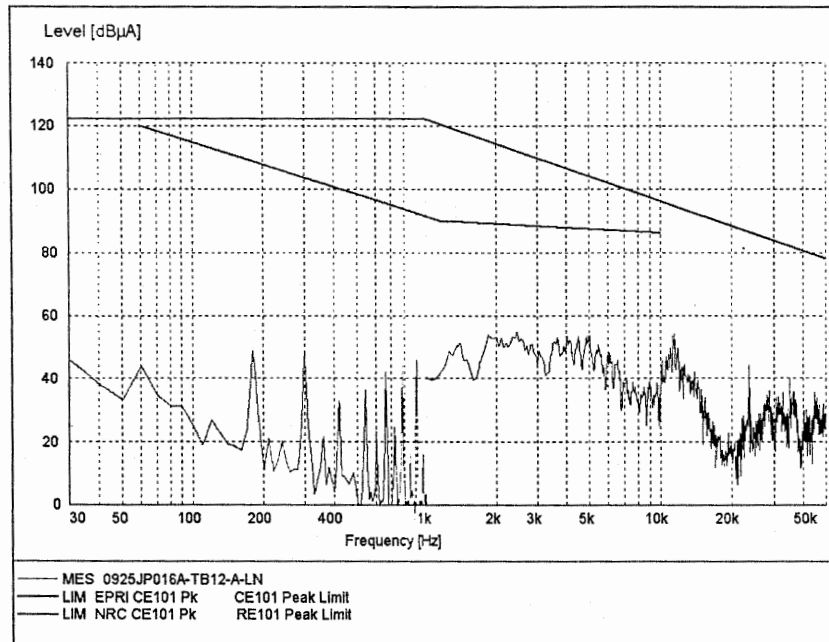


그림 B.245 JP016A(NIS CH A/A)-TB12-A-LN

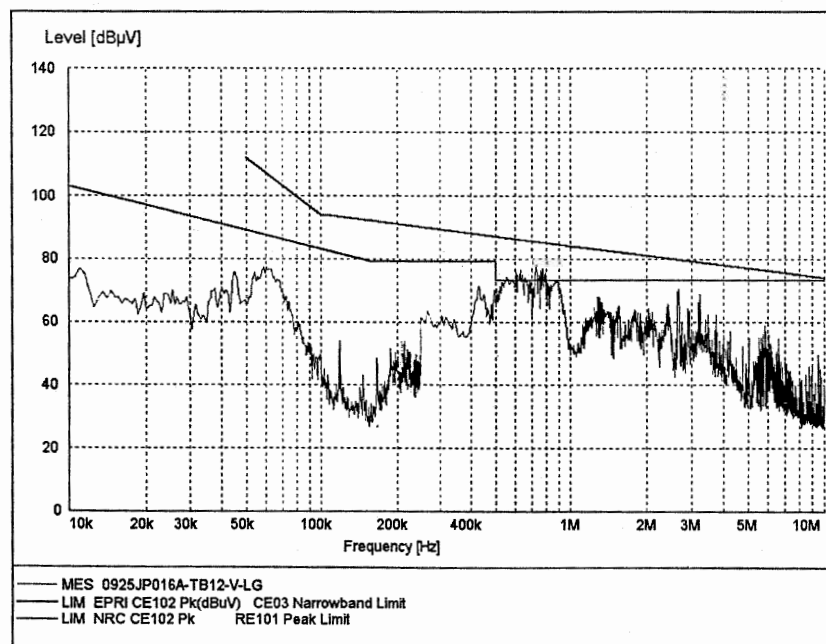


그림 B.246 JP016A(NIS CH A/A)-TB12-V-LG

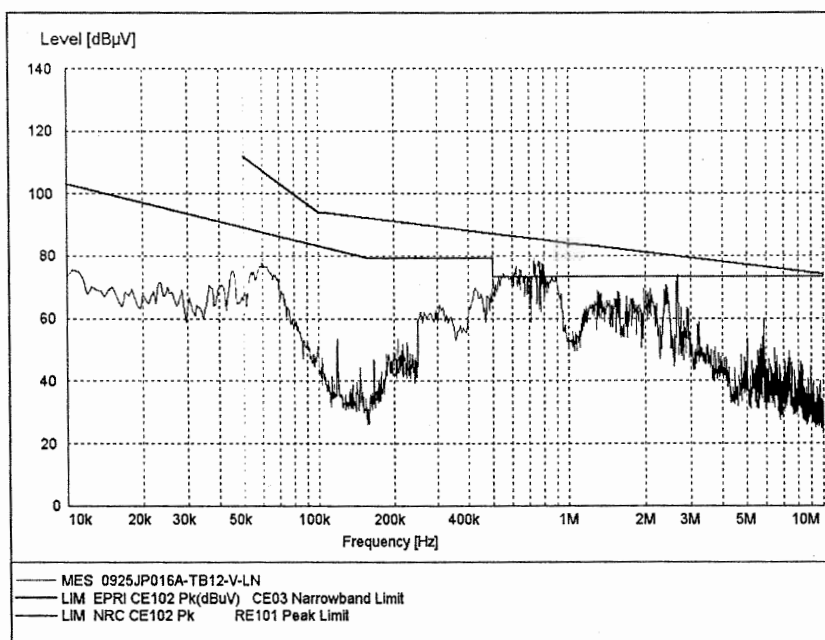


그림 B.247 JP016A(NIS CH A/A)-TB12-V-LN

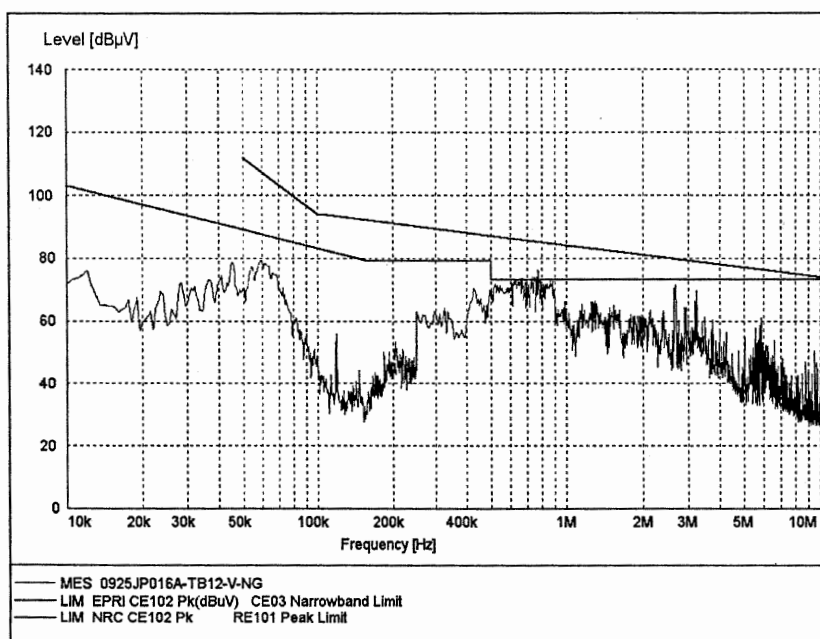


그림 B.248 JP016A(NIS CH A/A)-TB12-V-NG

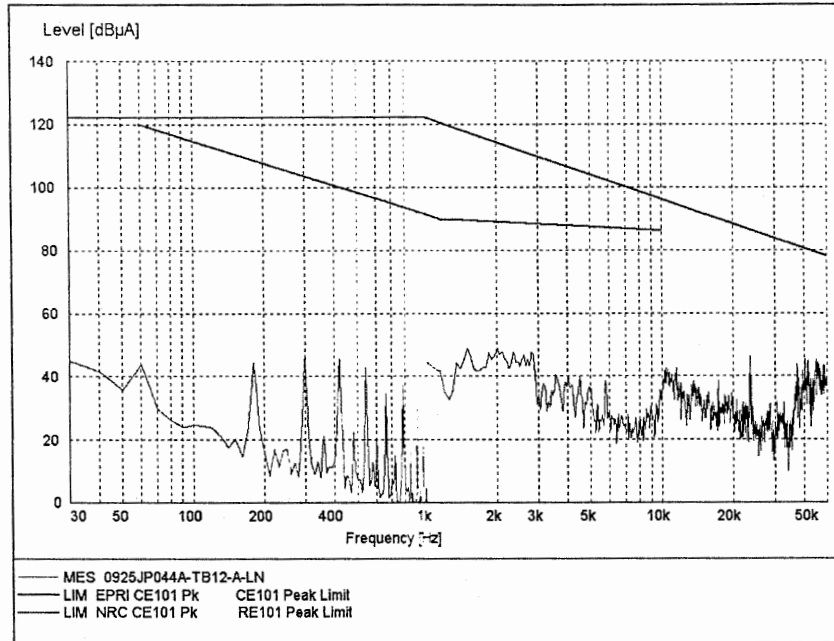


그림 B.249 JP044A(SSPS Tr 'A', CH A)-TB12-A-LN

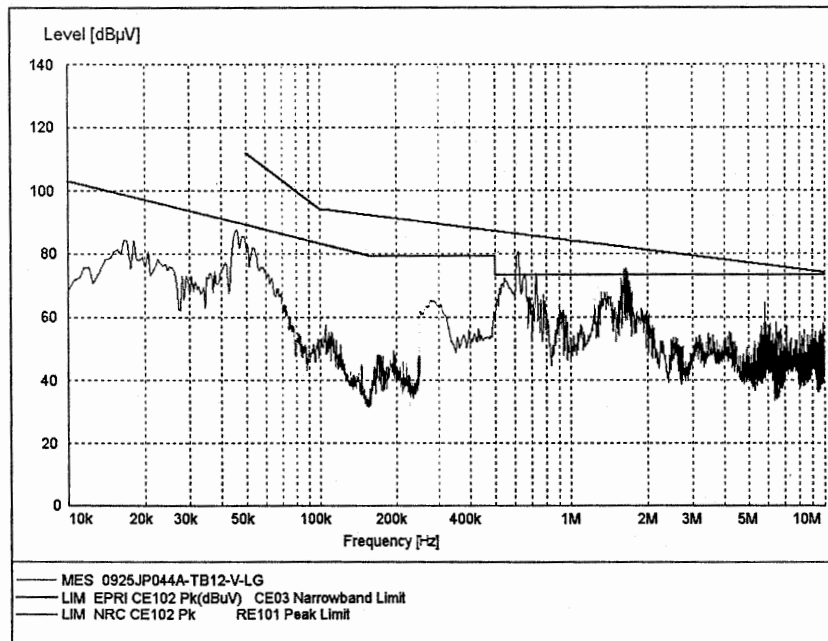


그림 B.250 JP044A(SSPS Tr 'A', CH A)-TB12-V-LG

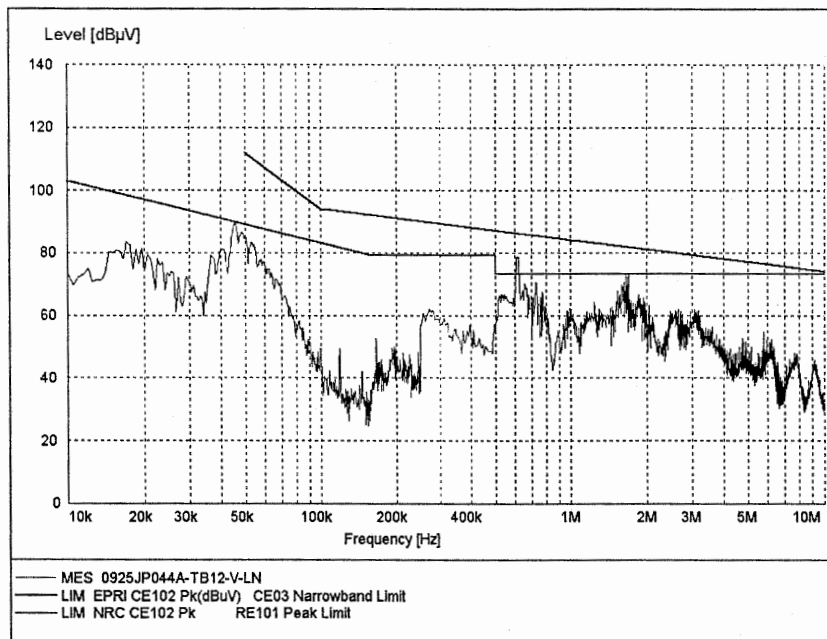


그림 B.251 JP044A(SSPS Tr 'A', CH A)-TB12-V-LN

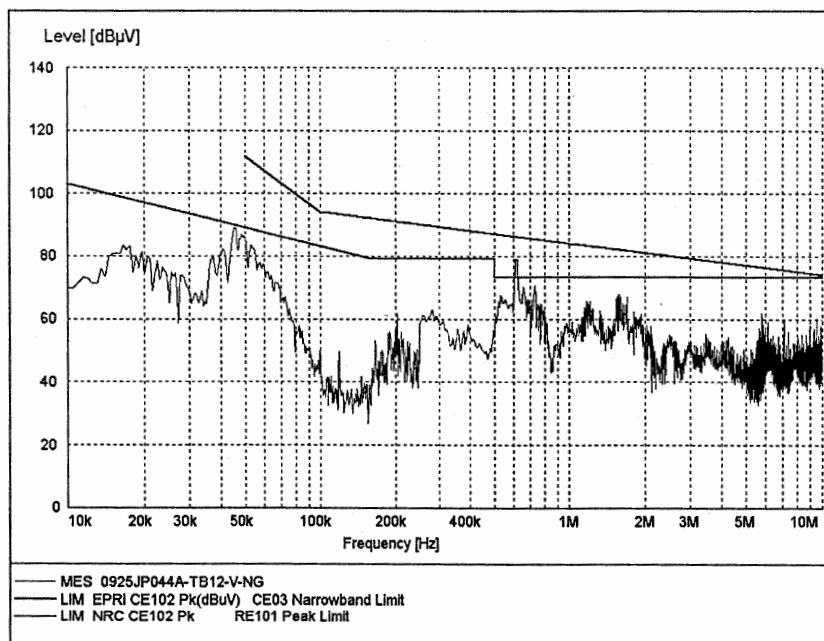


그림 B.252 JP044A(SSPS Tr 'A', CH A)-TB12-V-NG

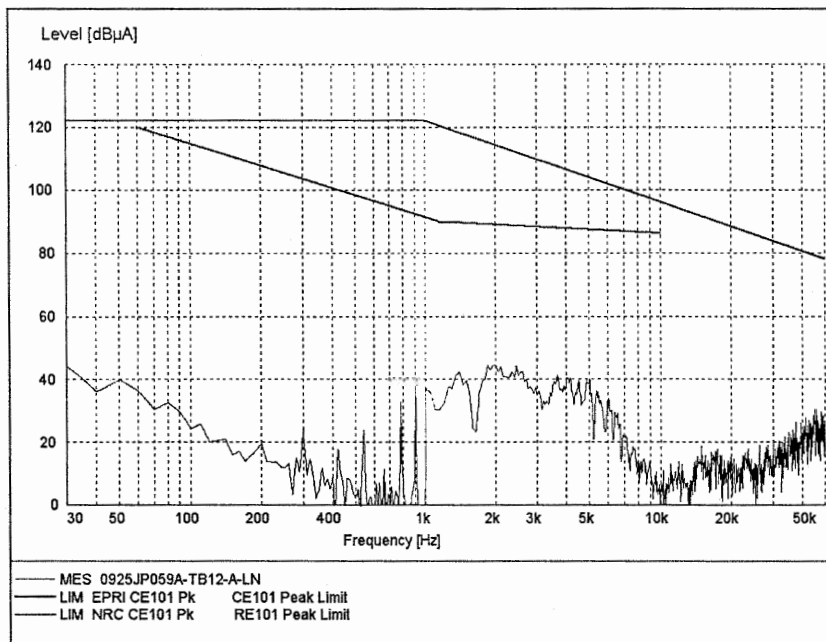


그림 B.253 JP059A(SSPS Tr 'A', CH A)-TB12-A-LN

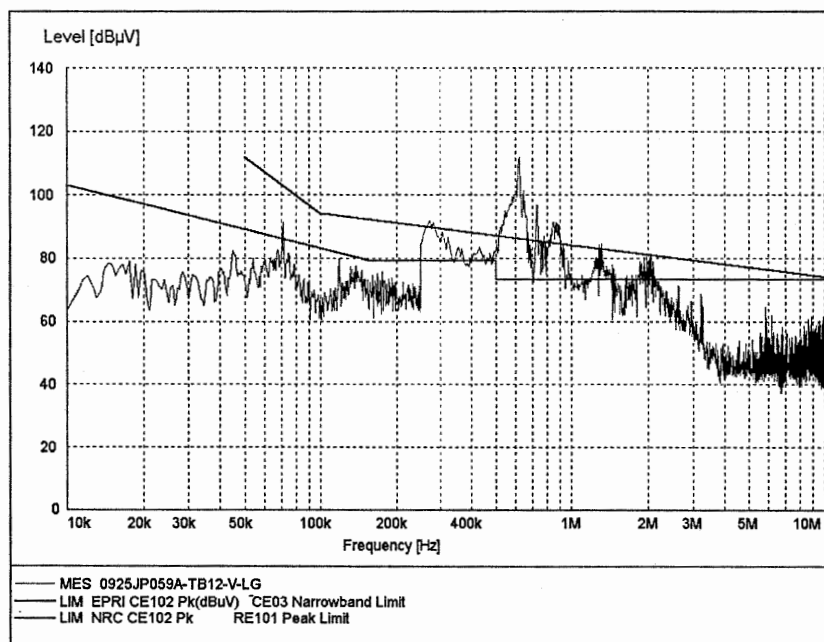


그림 B.254 JP059A(SSPS Tr 'A', CH A)-TB12-V-LG

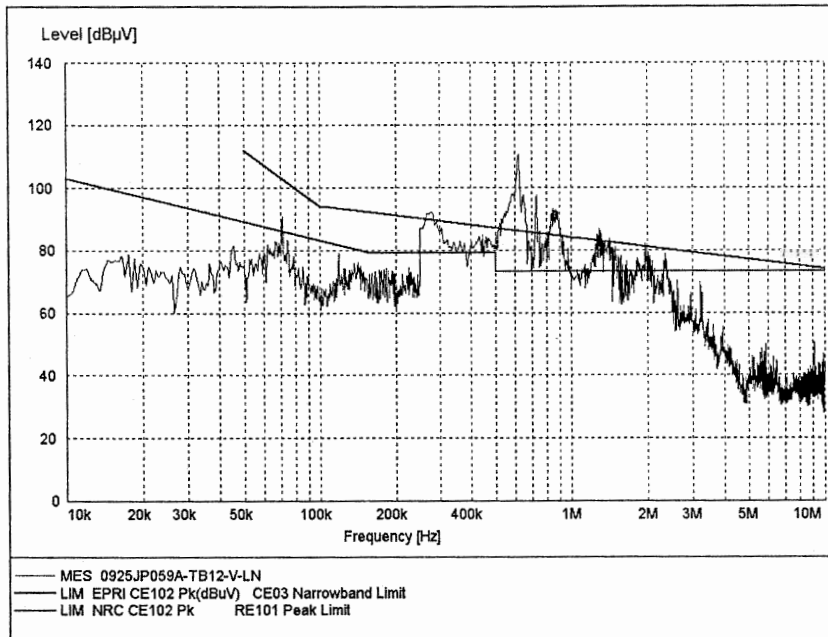


그림 B.255 JP059A(SSPS Tr 'A', CH A)-TB12-V-LN

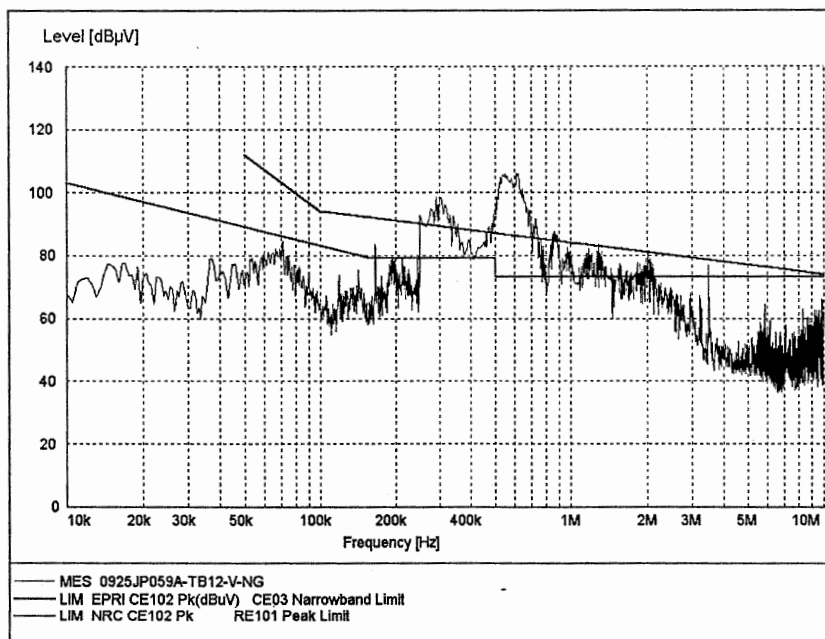


그림 B.256 JP059A(SSPS Tr 'A', CH A)-TB12-V-NG

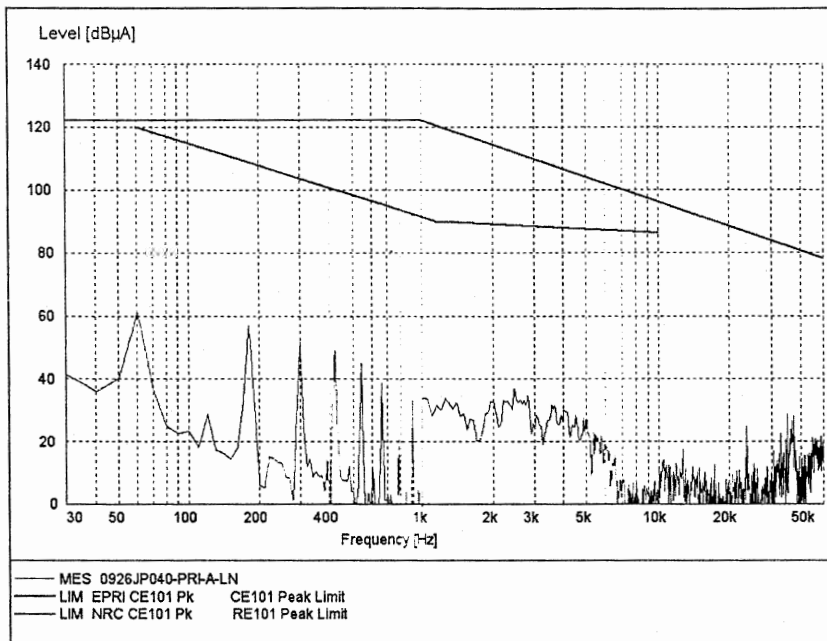


그림 B.257 JP040(W7300 Protection I)-PRI-A-LN

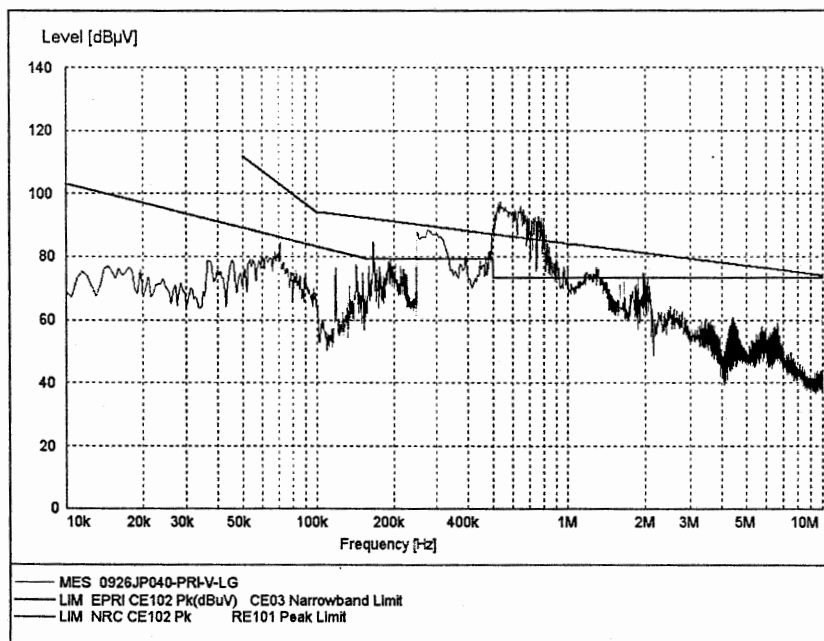


그림 B.258 JP040(W7300 Protection I)-PRI-V-LG

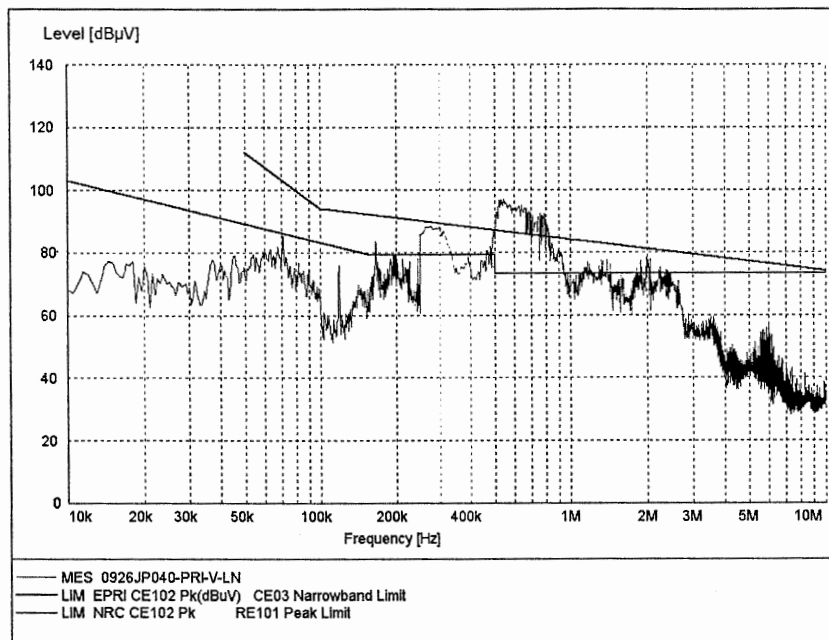


그림 B.259 JP040(W7300 Protection I)-PRI-V-LN

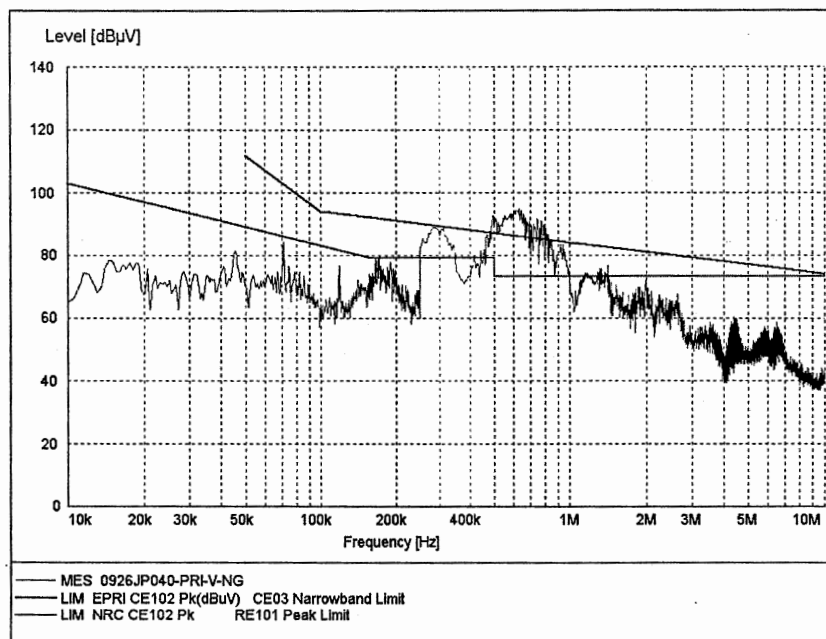


그림 B.260 JP040(W7300 Protection I)-PRI-V-NG

7. 전원 입력 방법 : A-5E-PQ-N002(인버터)

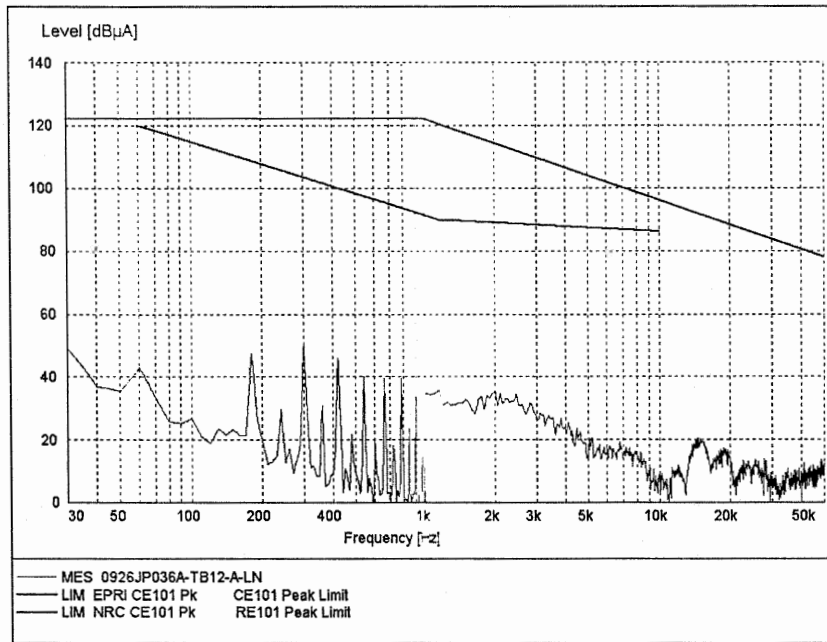


그림 B.261 JP036A(SSILS)-TB12-A-LN

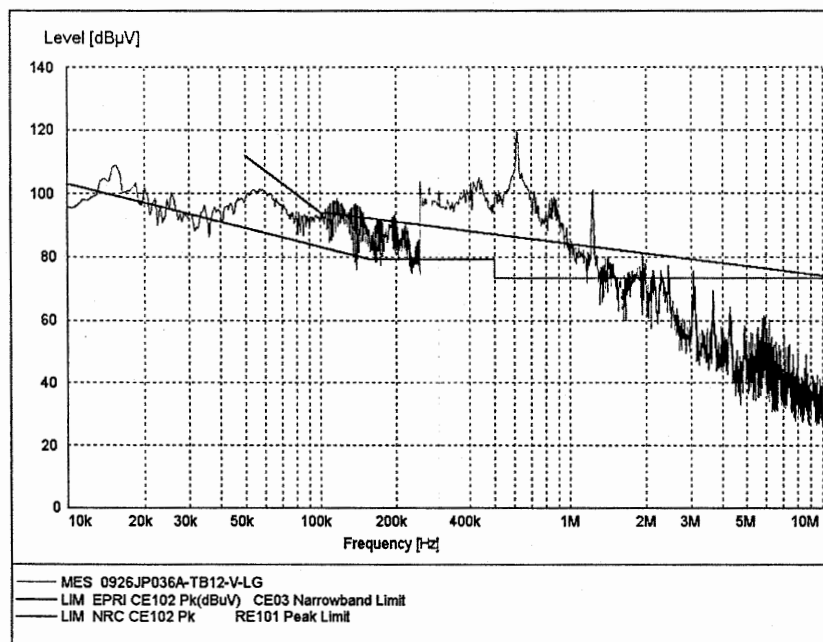


그림 B.262 JP036A(SSILS)-TB12-V-LG

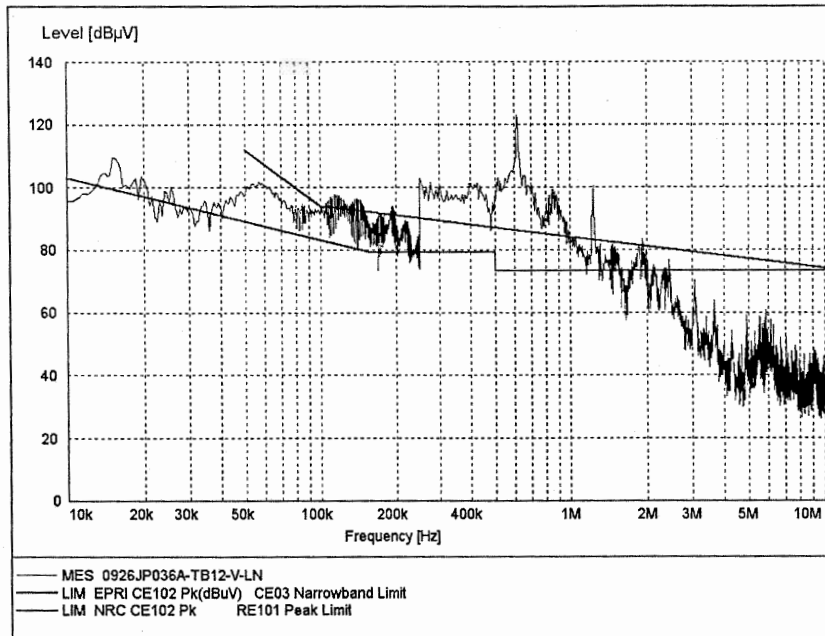


그림 B.263 JP036A(SSILS)-TB12-V-LN

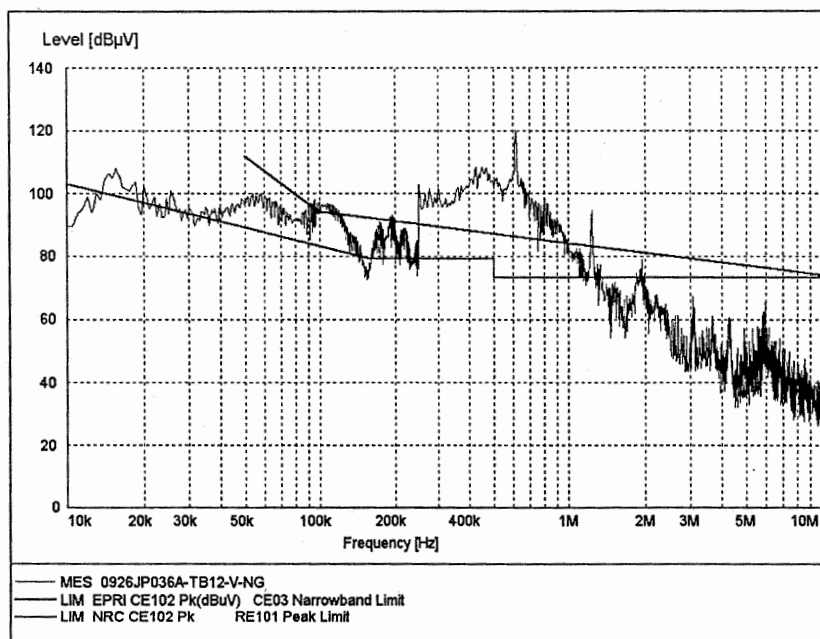


그림 B.264 JP036A(SSILS)-TB12-V-NG

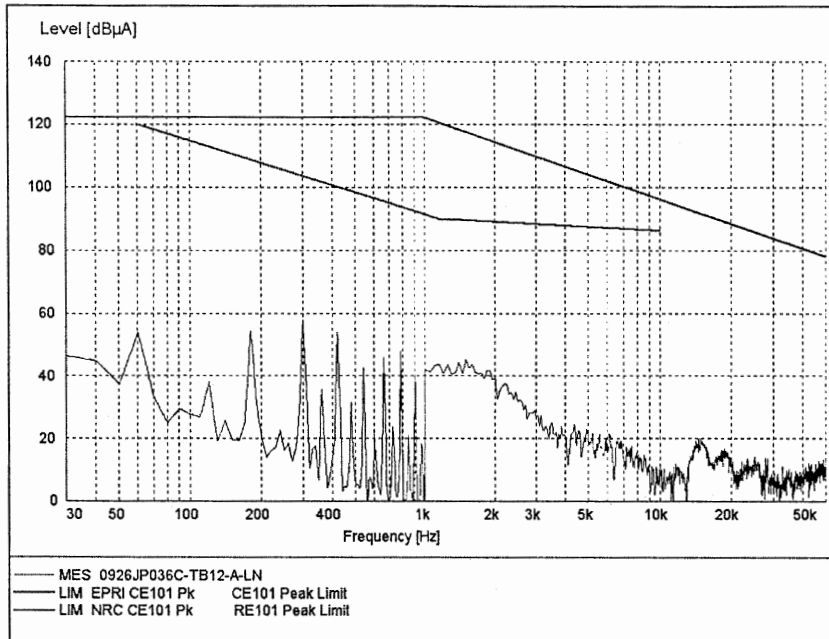


그림 B.265 JP036C(SSILS)-TB12-A-LN

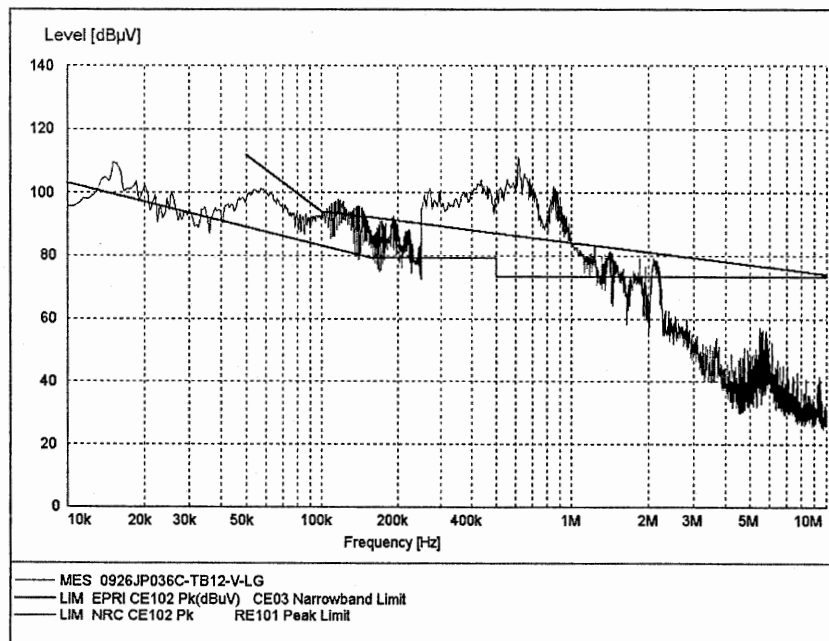


그림 B.266 JP036C(SSILS)-TB12-V-LG

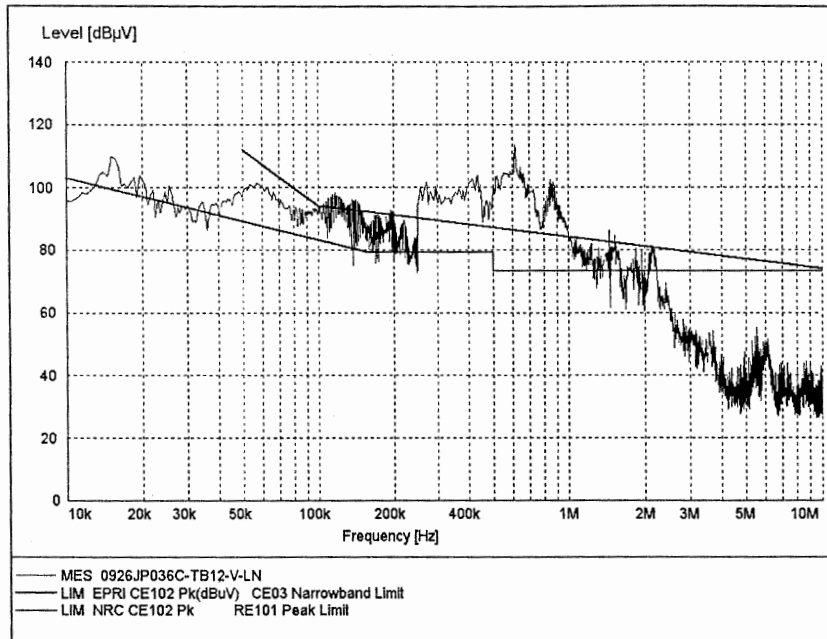


그림 B.267 JP036C(SSILS)-TB12-V-LN

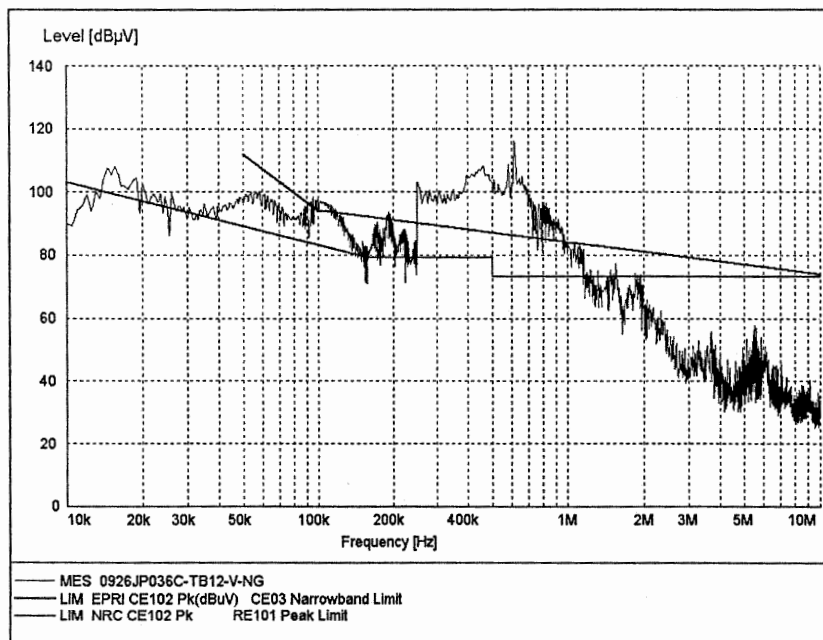


그림 B.268 JP036C(SSILS)-TB12-V-NG

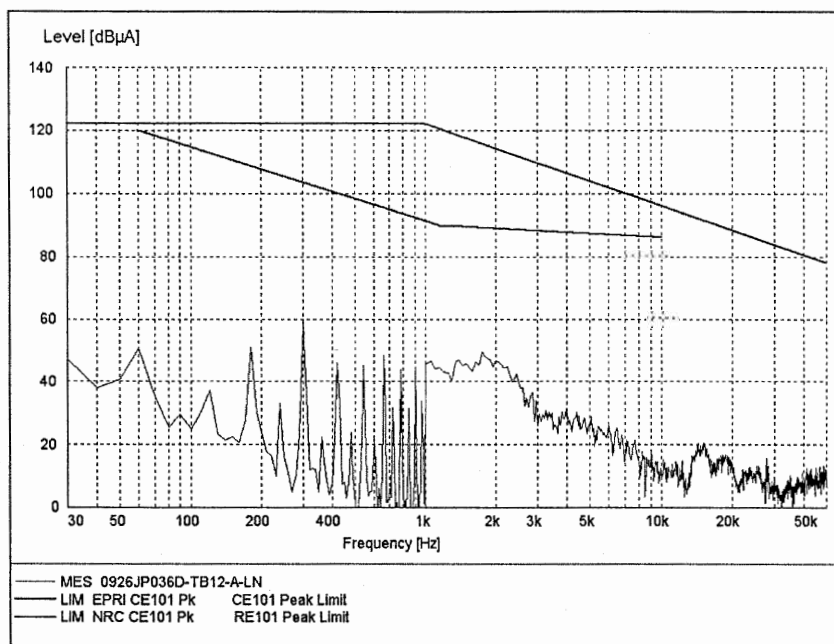


그림 B.269 JP036D(SSILS)-TB12-A-LN

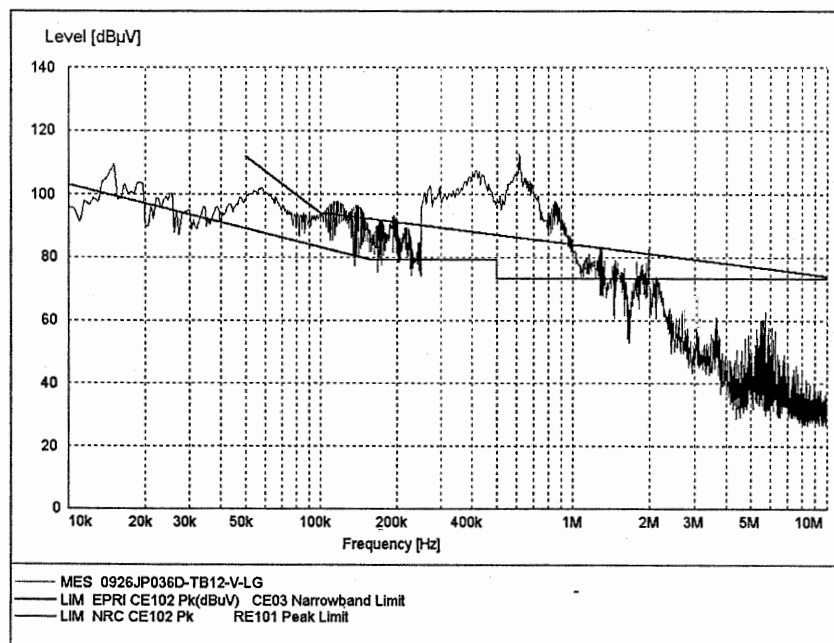


그림 B.270 JP036D(SSILS)-TB12-V-LG

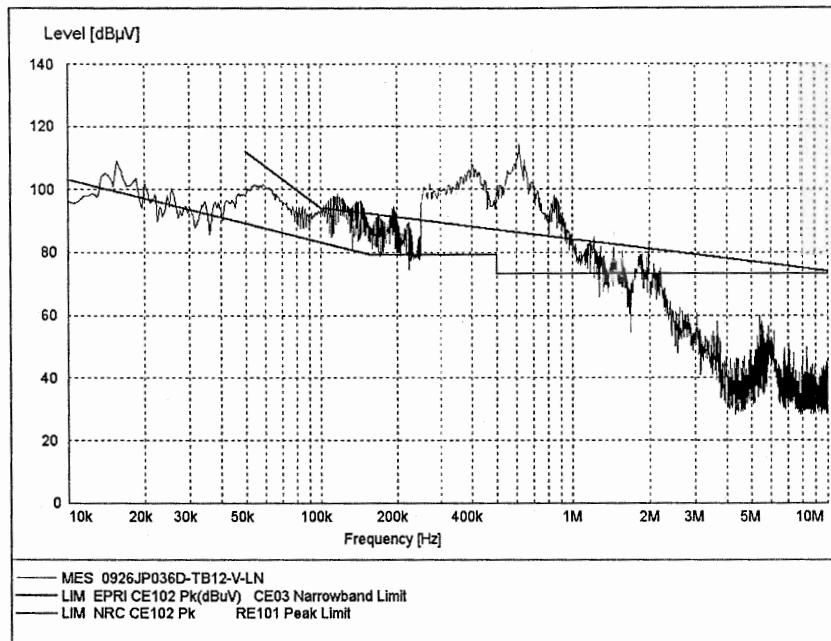


그림 B.271 JP036D(SSILS)-TB12-V-LN

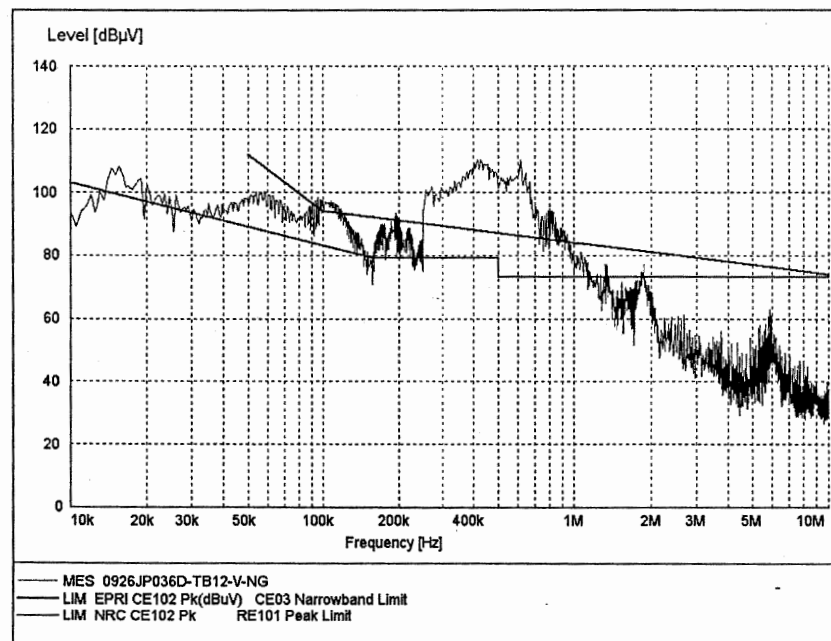


그림 B.272 JP036D(SSILS)-TB12-V-NG

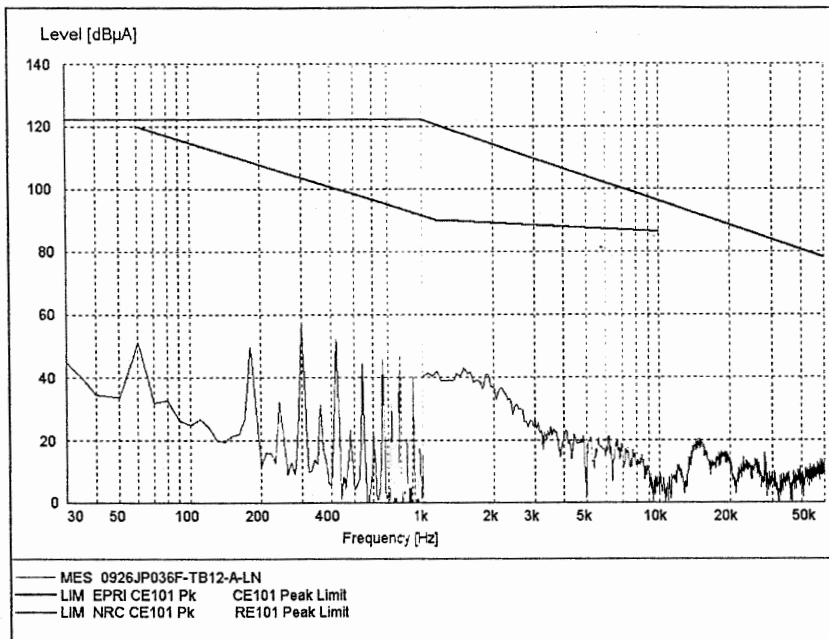


그림 B.273 JP036F(SSILS)-TB12-A-LN

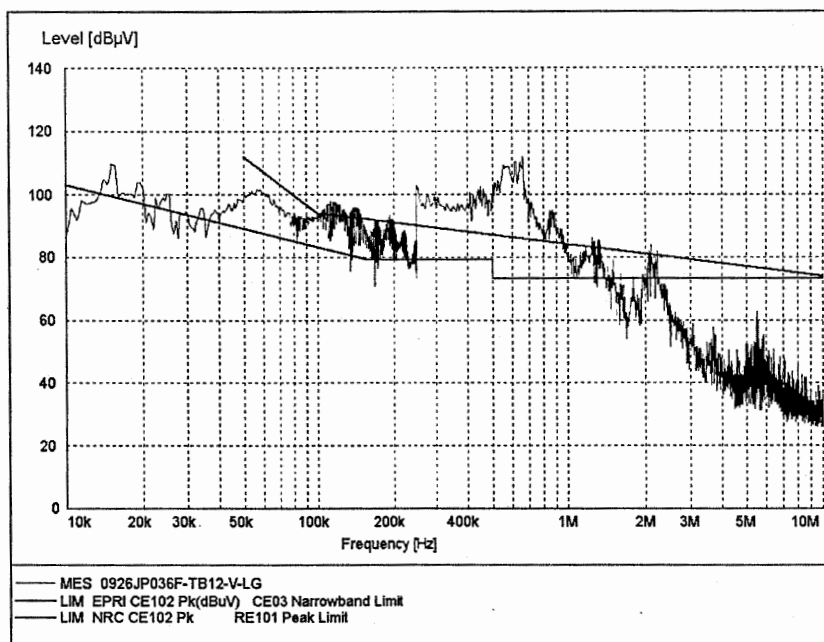


그림 B.274 JP036F(SSILS)-TB12-V-LG

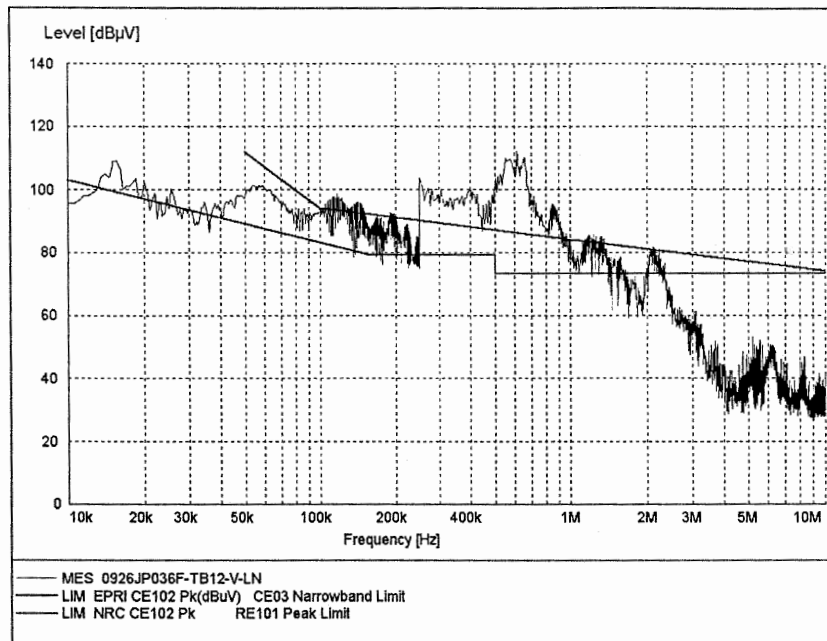


그림 B.275 JP036F(SSILS)-TB12-V-LN

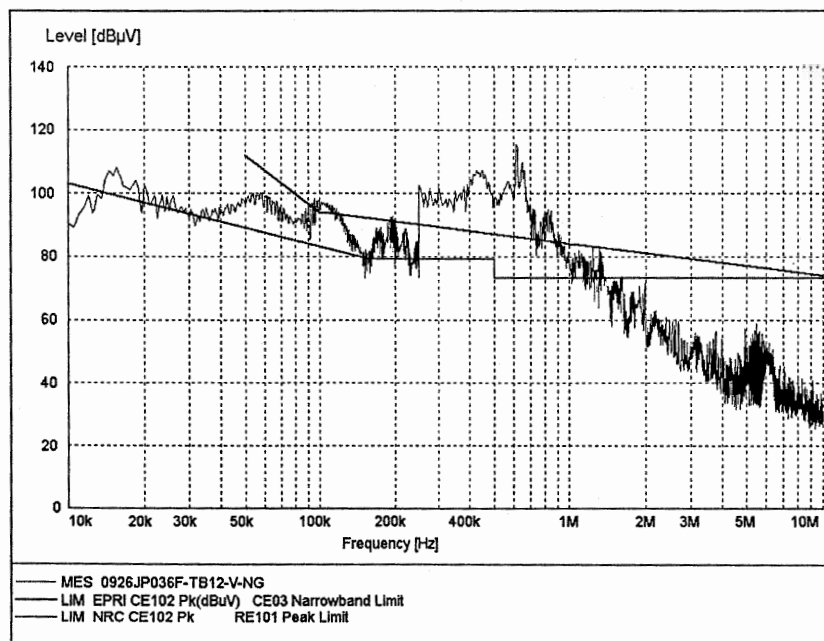


그림 B.276 JP036F(SSILS)-TB12-V-NG

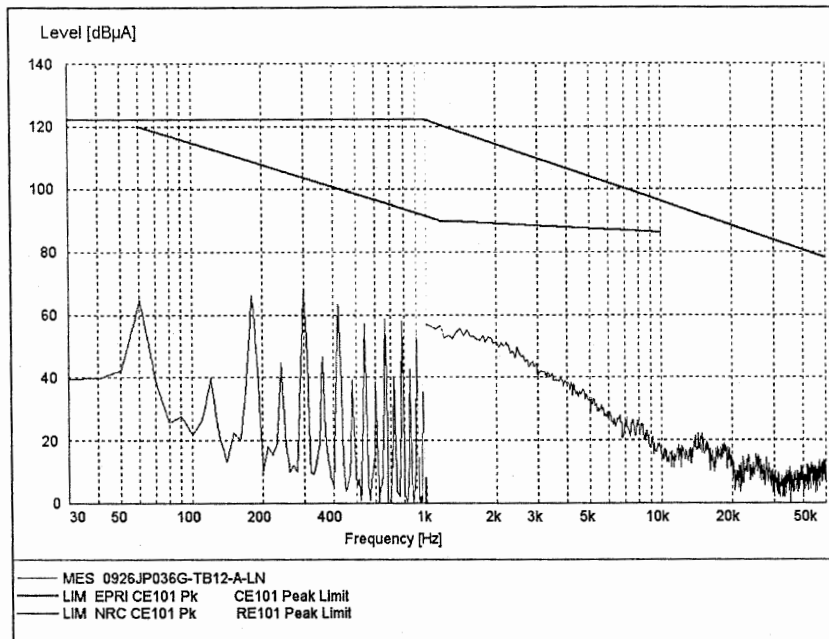


그림 B.277 JP036G(SSILS)-TB12-A-LN

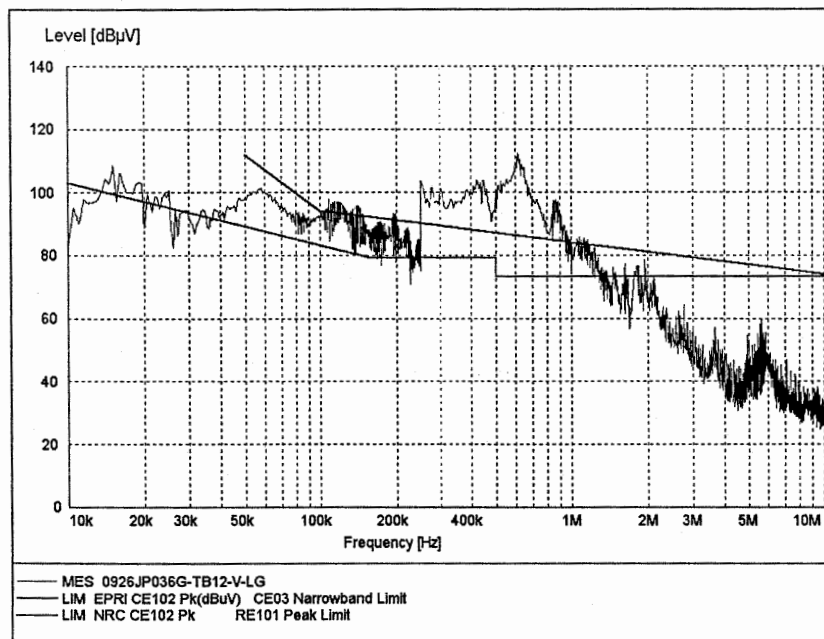


그림 B.278 JP036G(SSILS)-TB12-V-LG

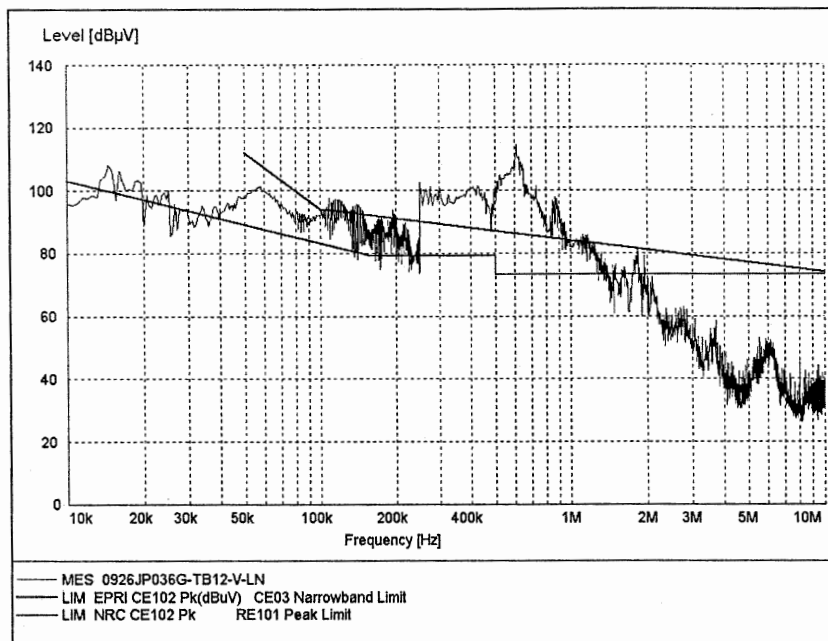


그림 B.279 JP036G(SSILS)-TB12-V-LN

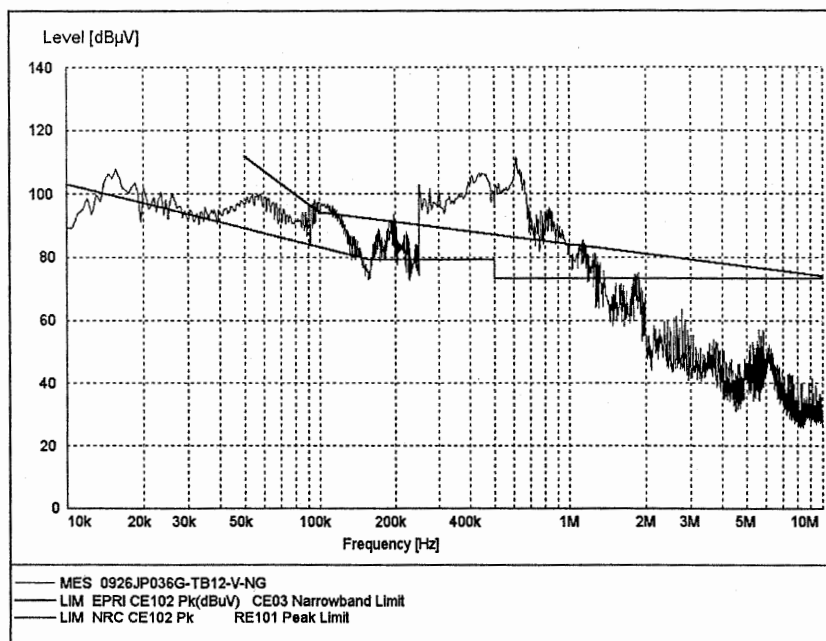


그림 B.280 JP036G(SSILS)-TB12-V-NG

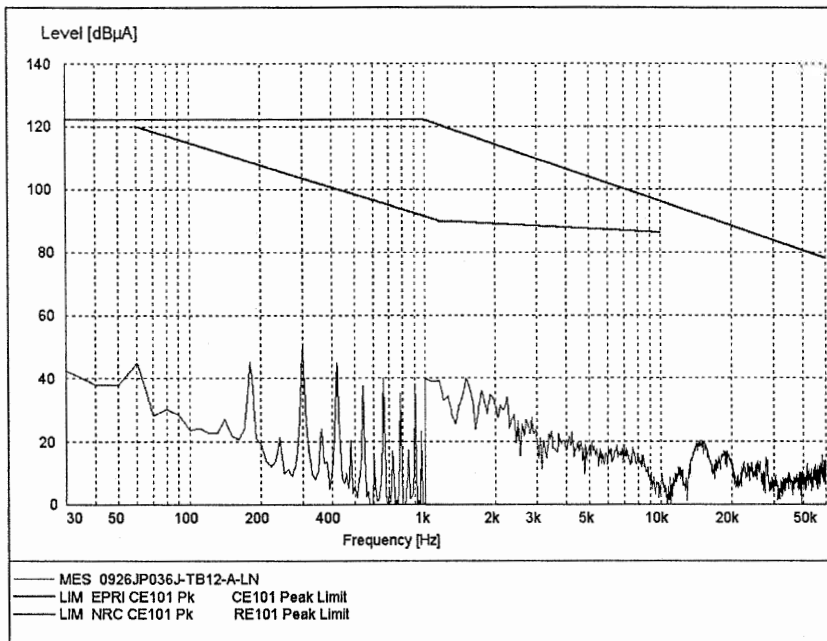


그림 B.281 JP036J(SSILS)-TB12-A-LN

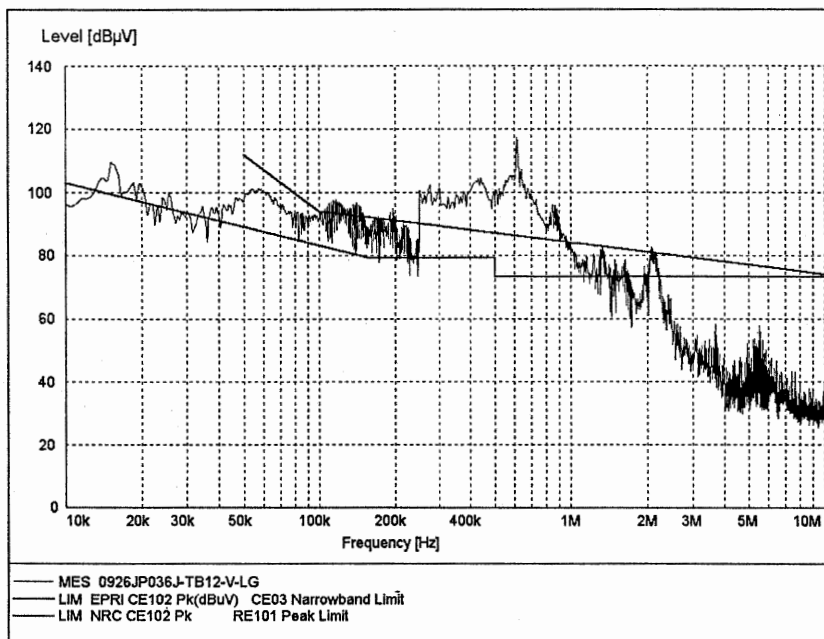


그림 B.282 JP036J(SSILS)-TB12-V-LG

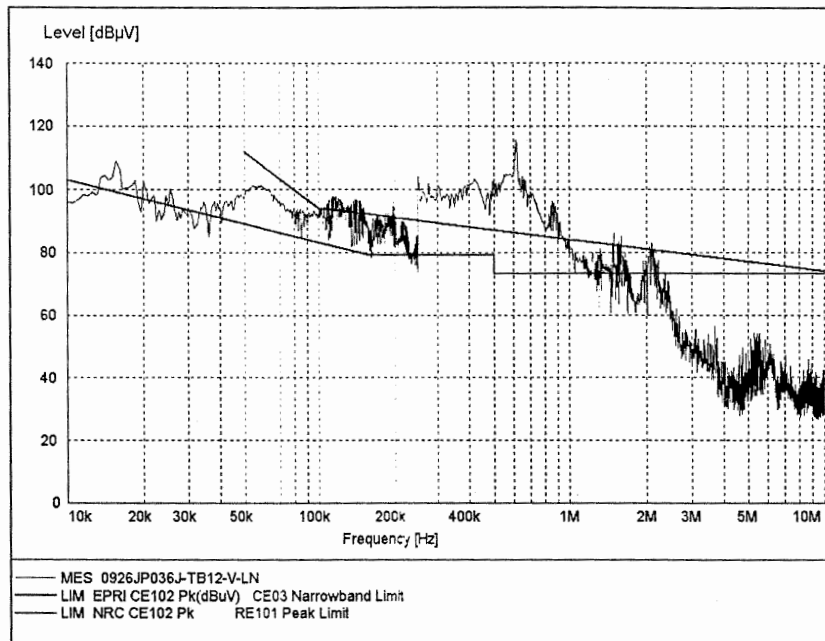


그림 B.283 JP036J(SSILS)-TB12-V-LN

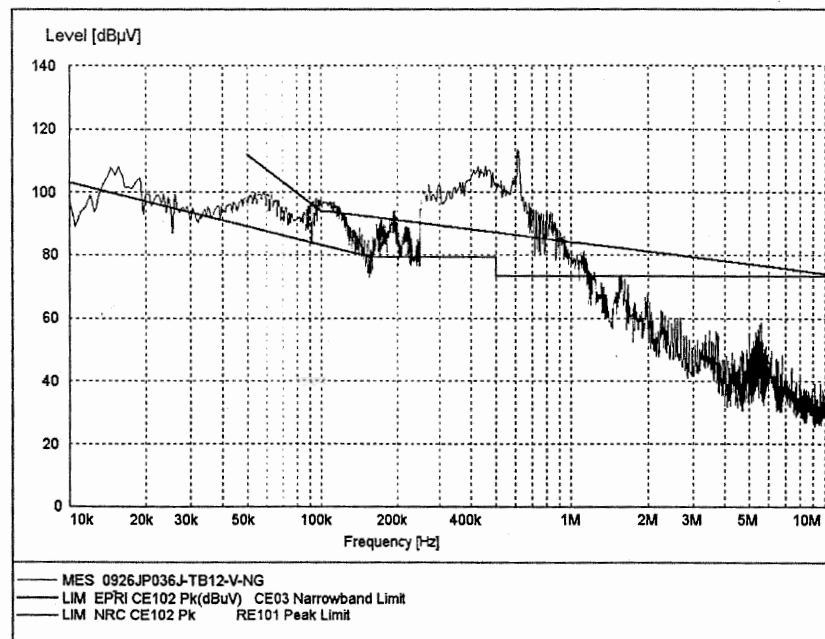


그림 B.284 JP036J(SSILS)-TB12-V-NG

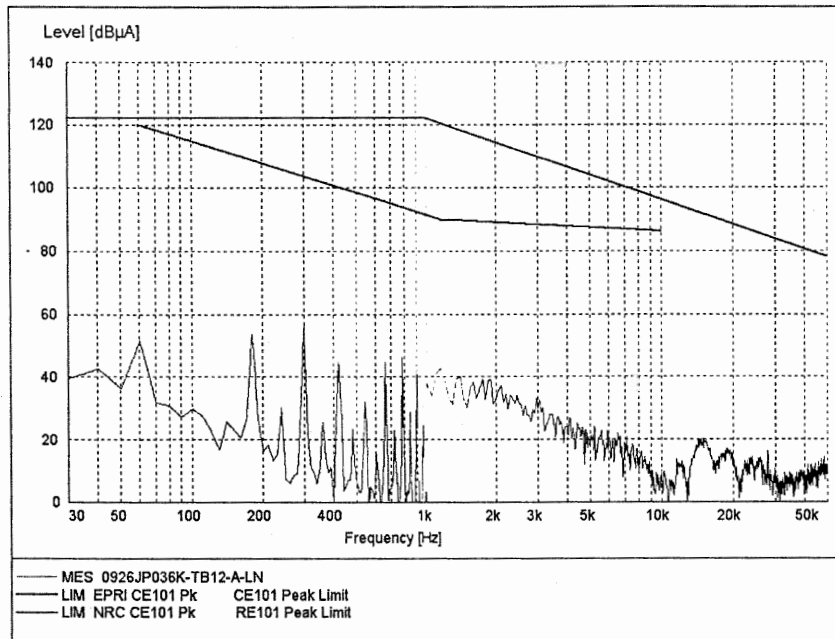


그림 B.285 JP036K(SSILS)-TB12-A-LN

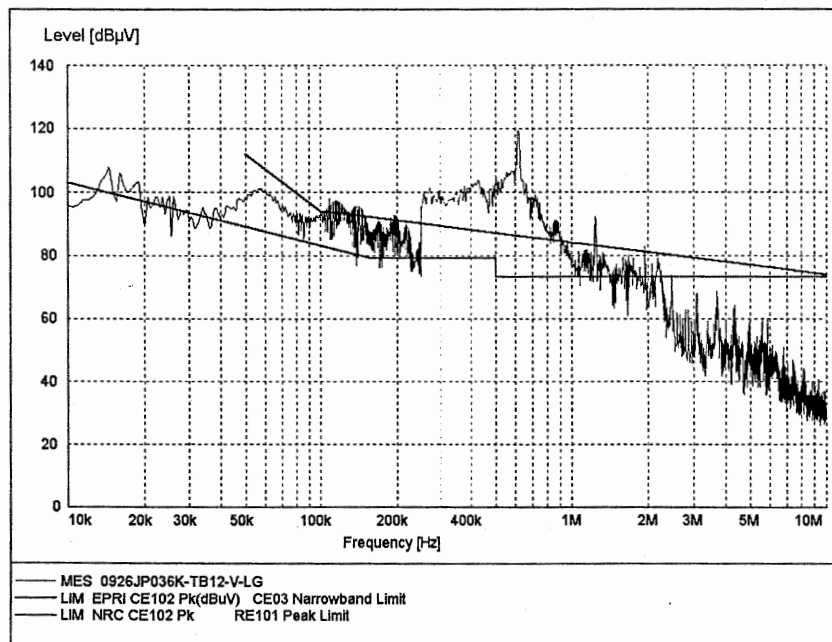


그림 B.286 JP036K(SSILS)-TB12-V-LG

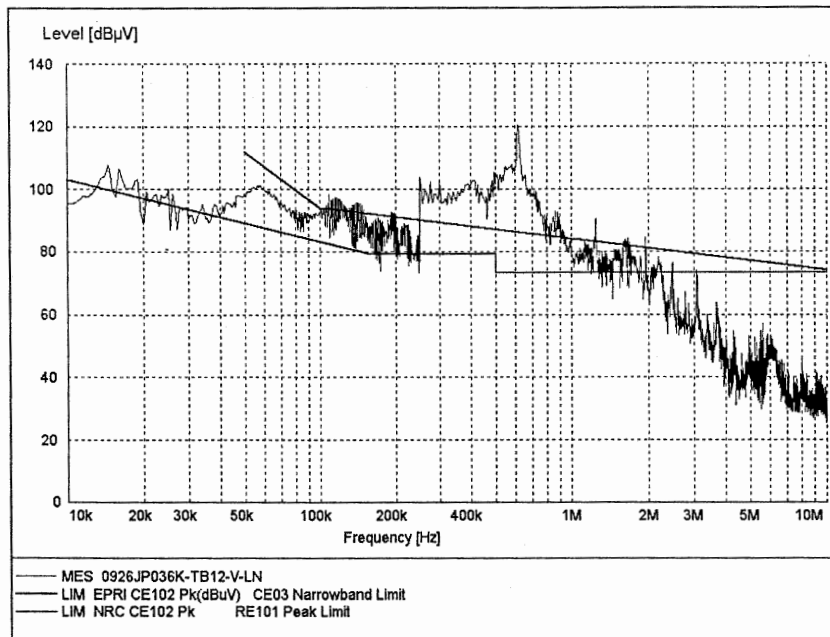


그림 B.287 JP036K(SSILS)-TB12-V-LN

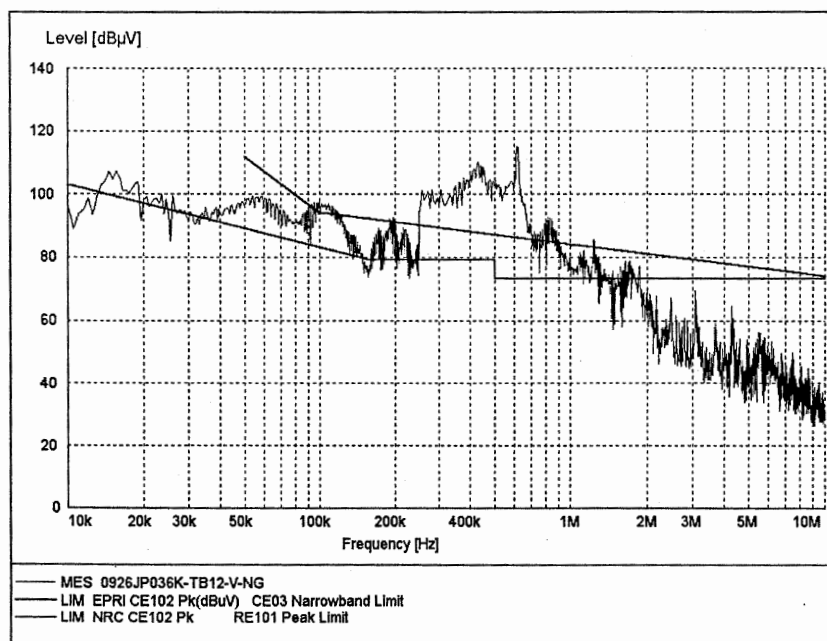


그림 B.288 JP036K(SSILS)-TB12-V-NG

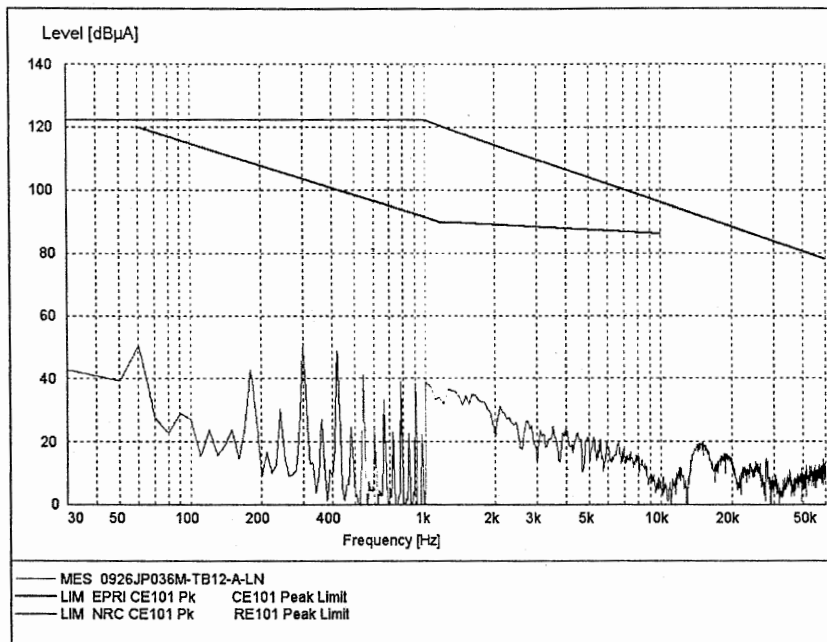


그림 B.289 JP036M(SSILS)-TB12-A-LN

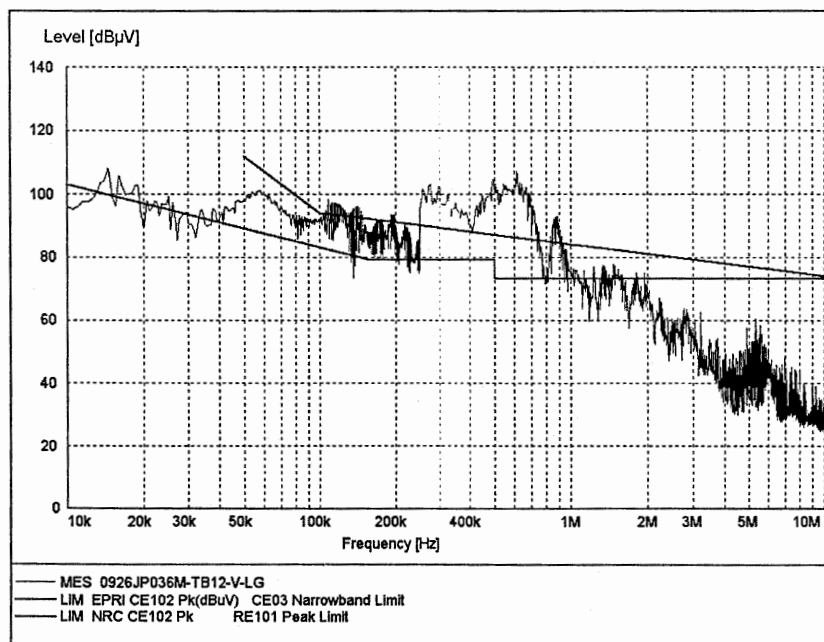


그림 B.290 JP036M(SSILS)-TB12-V-LG

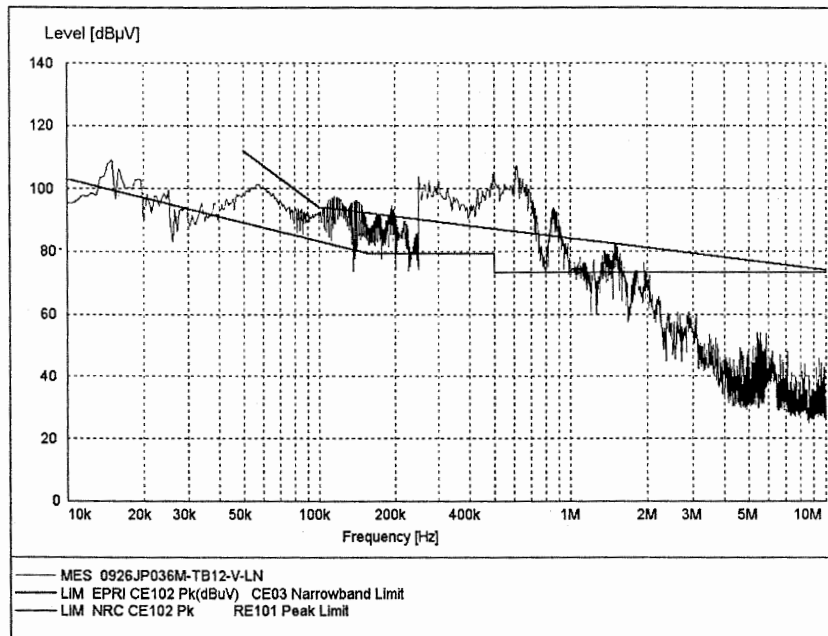


그림 B.291 JP036M(SSILS)-TB12-V-LN

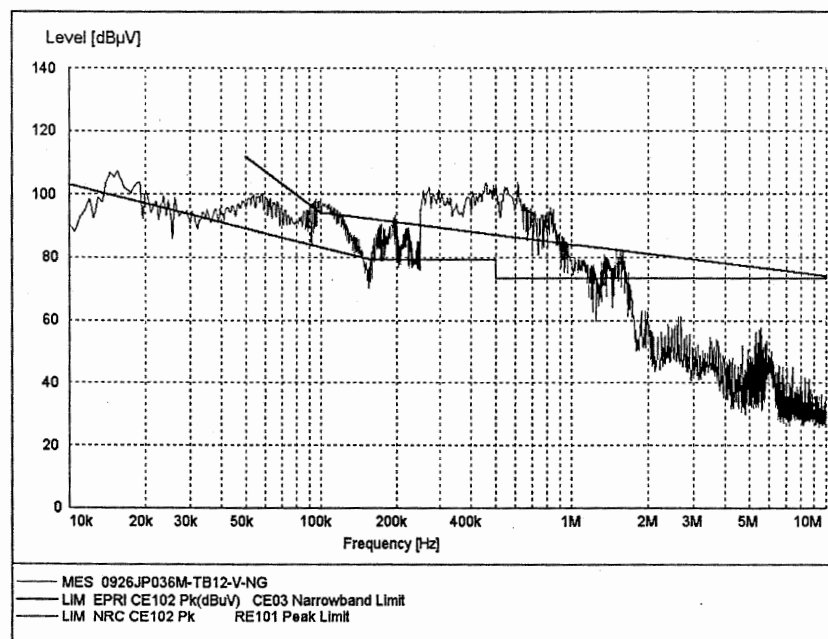


그림 B.292 JP036M(SSILS)-TB12-V-NG

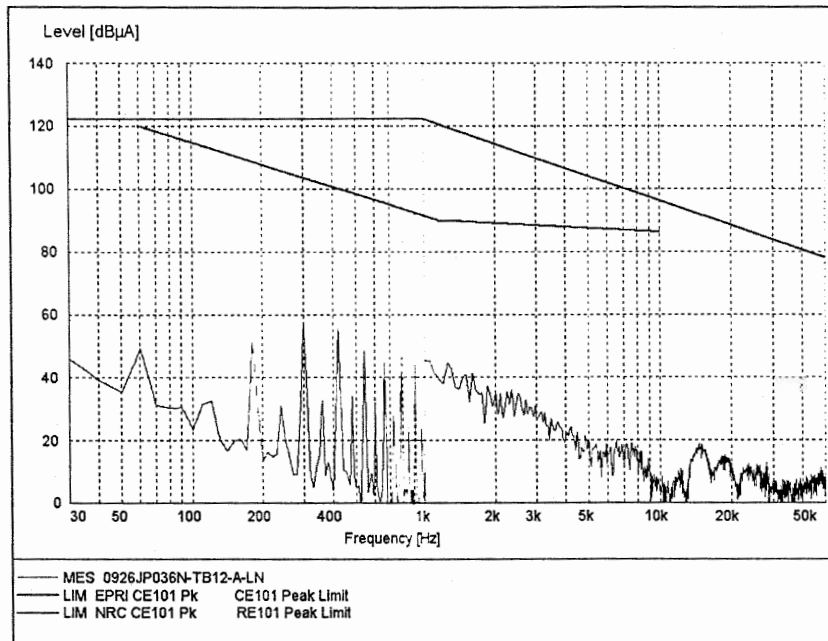


그림 B.293 JP036N(SSILS)-TB12-A-LN

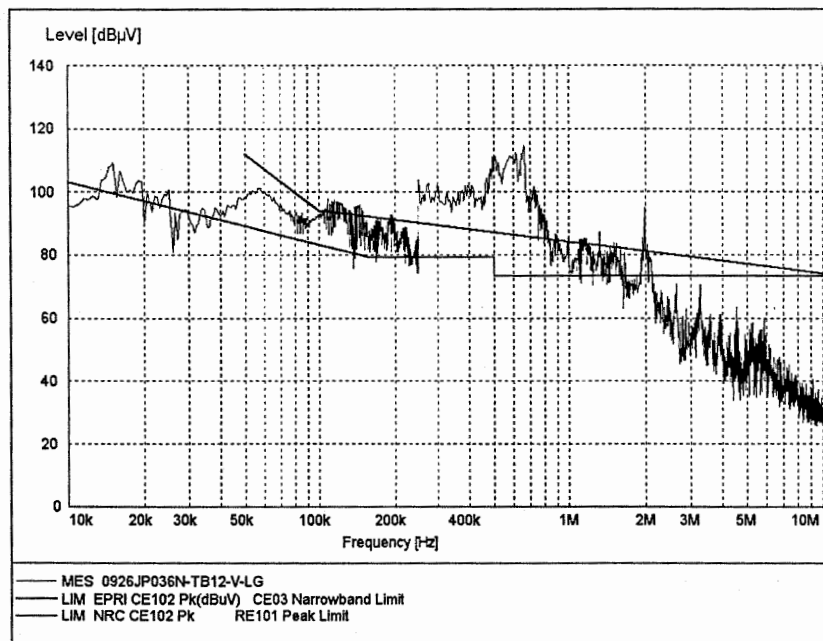


그림 B.294 JP036N(SSILS)-TB12-V-LG

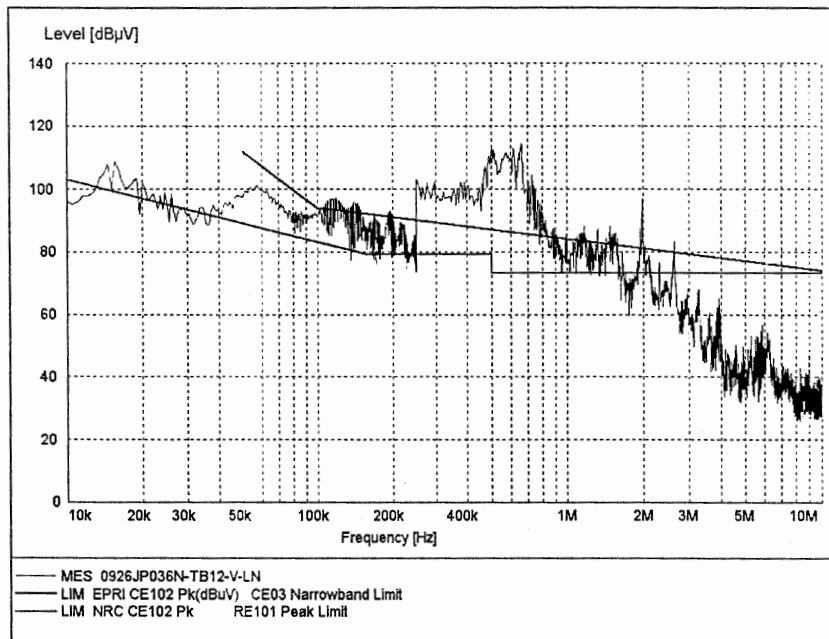


그림 B.295 JP036N(SSILS)-TB12-V-LN

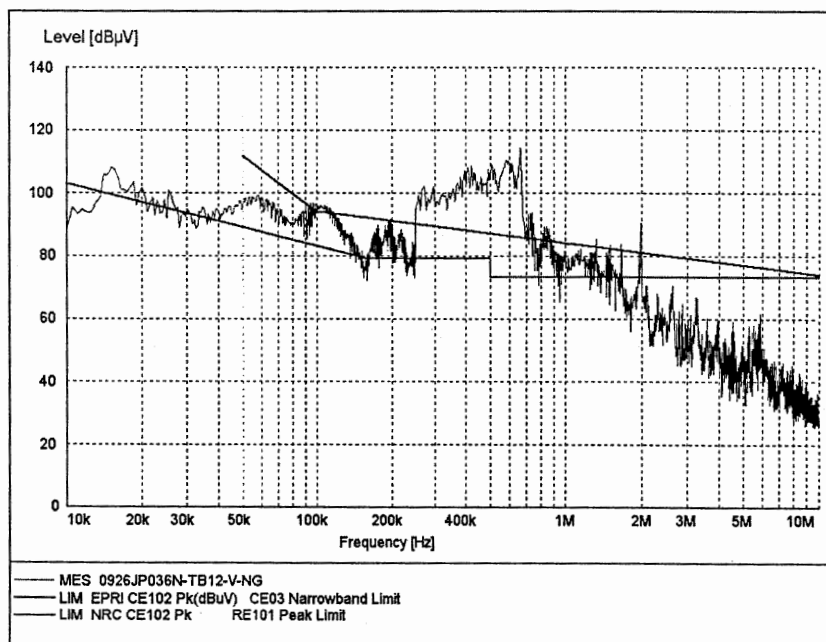


그림 B.296 JP036N(SSILS)-TB12-V-NG

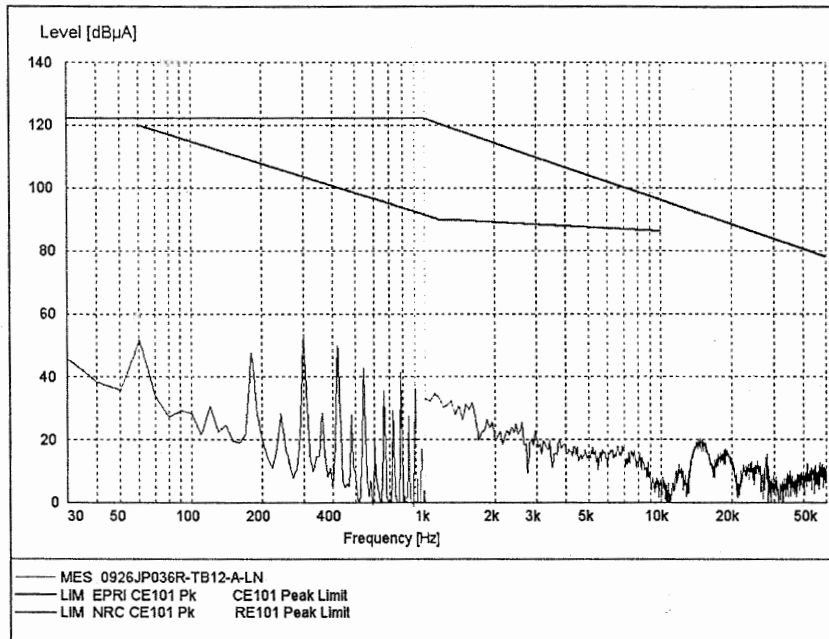


그림 B.297 JP036R(SSILS)-TB12-A-LN

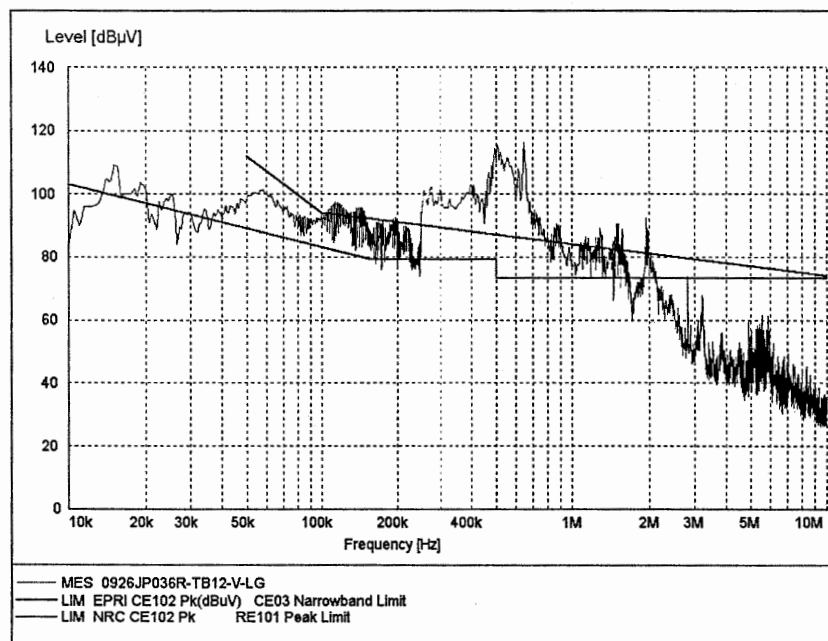


그림 B.298 JP036R(SSILS)-TB12-V-LG

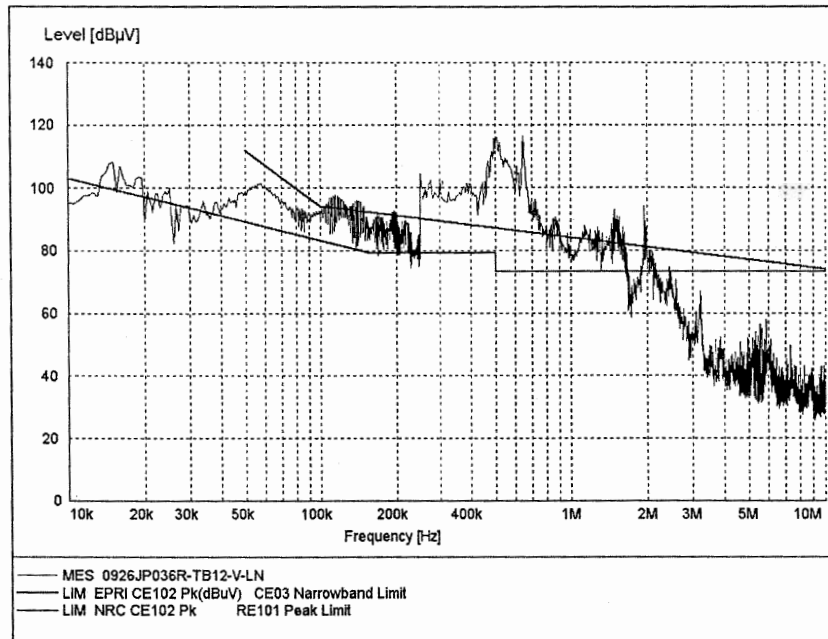


그림 B.299 JP036R(SSILS)-TB12-V-LN

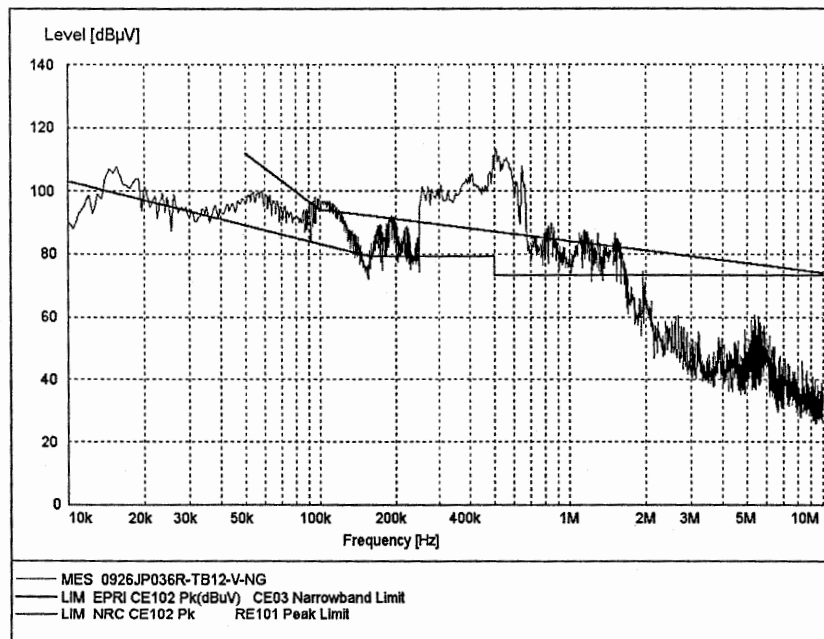


그림 B.300 JP036R(SSILS)-TB12-V-NG

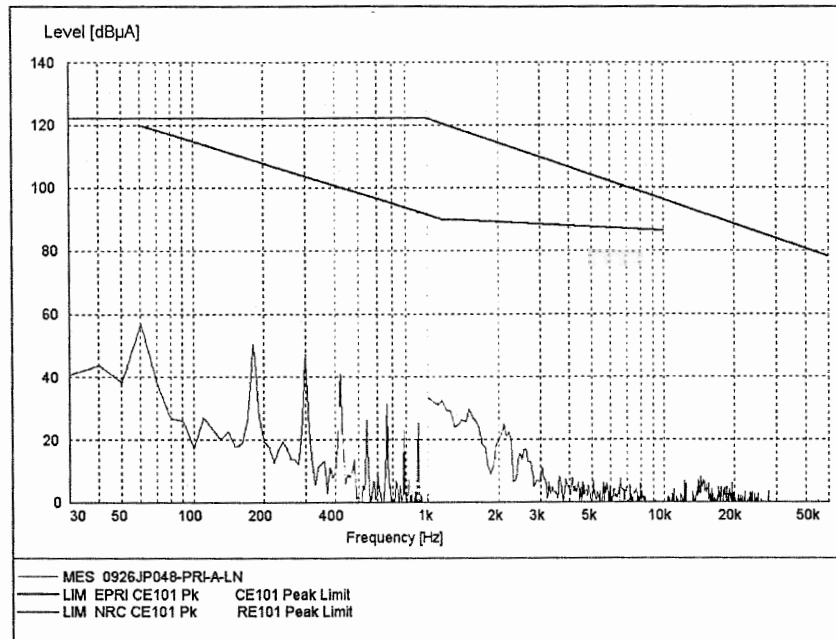


그림 B.301 JP048(W7300 BOP 1E)-PRI-A-LN

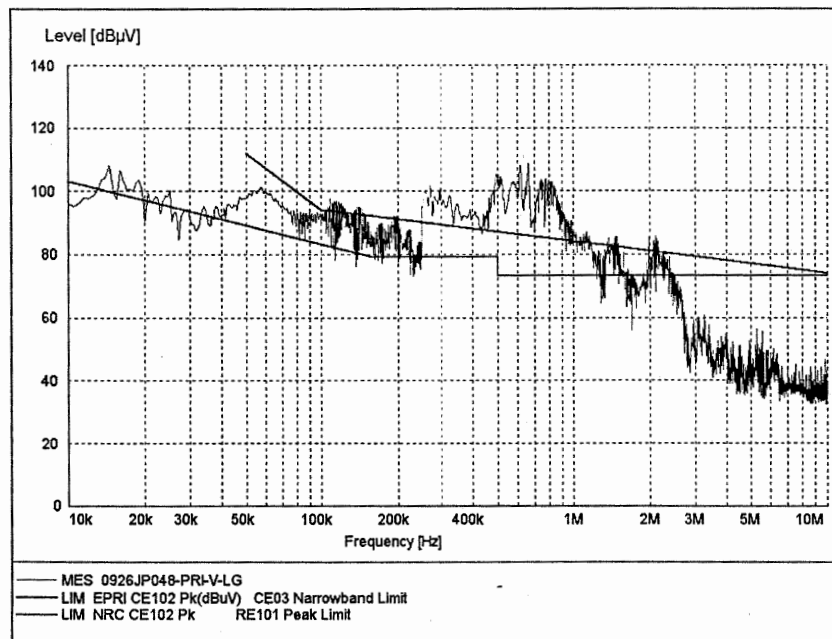


그림 B.302 JP048(W7300 BOP 1E)-PRI-V-LG

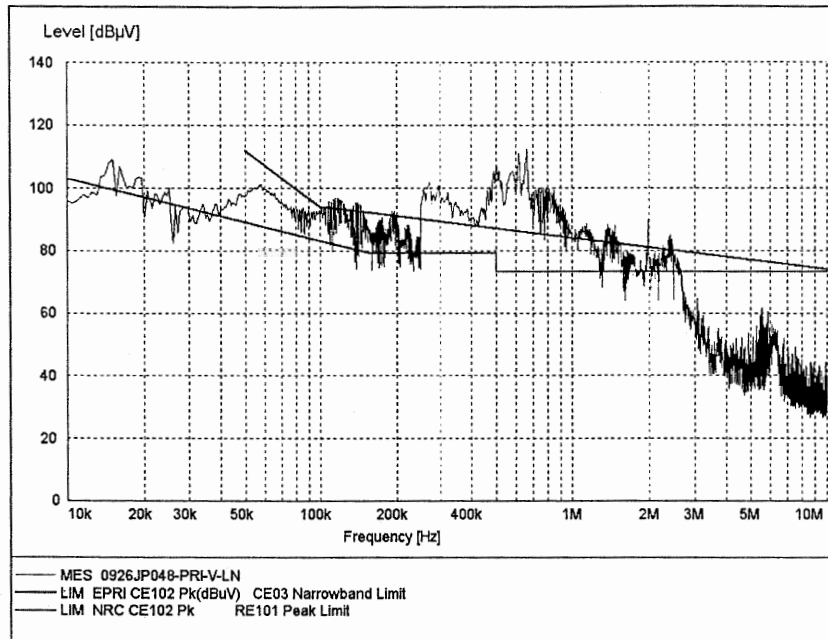


그림 B.303 JP048(W7300 BOP 1E)-PRI-V-LN

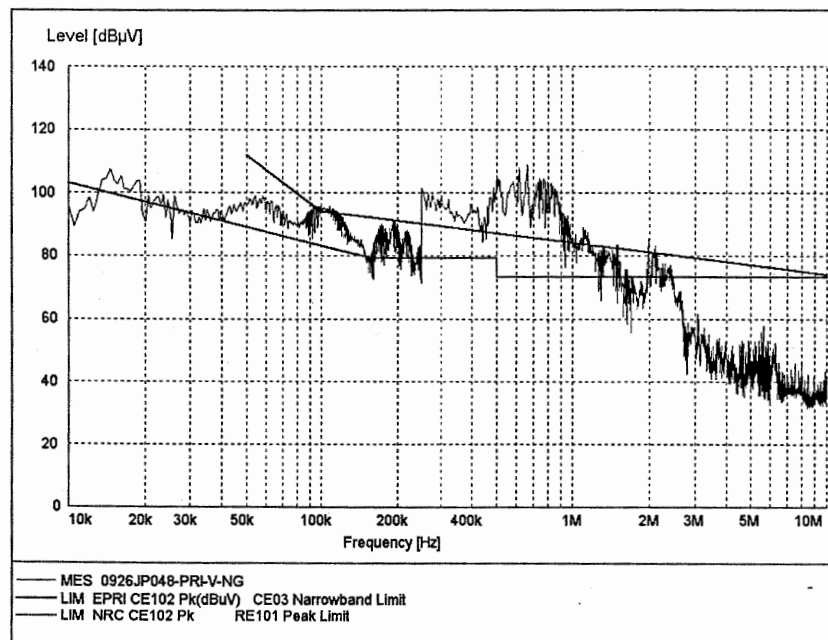


그림 B.304 JP048(W7300 BOP 1E)-PRI-V-NG

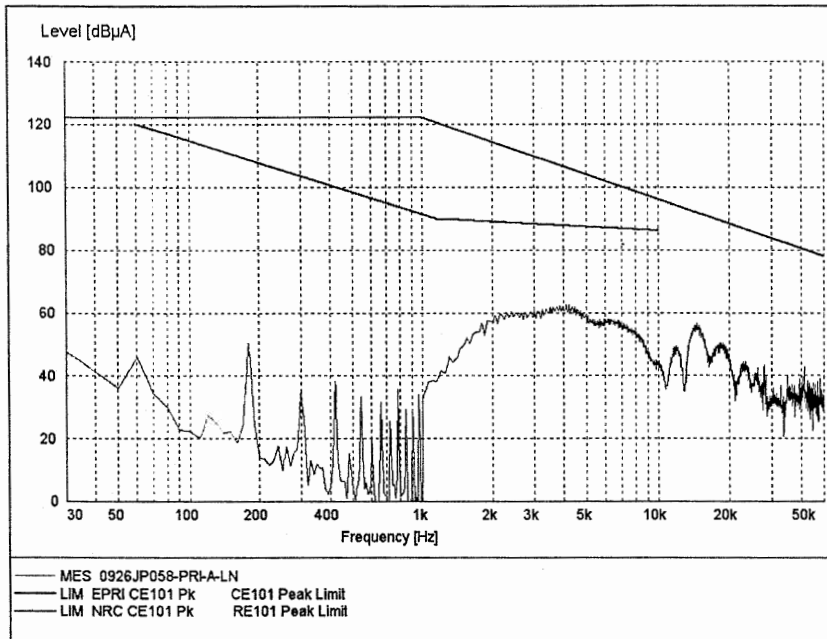


그림 B.305 JP058(W7300 BOP 1E)-PRI-A-LN

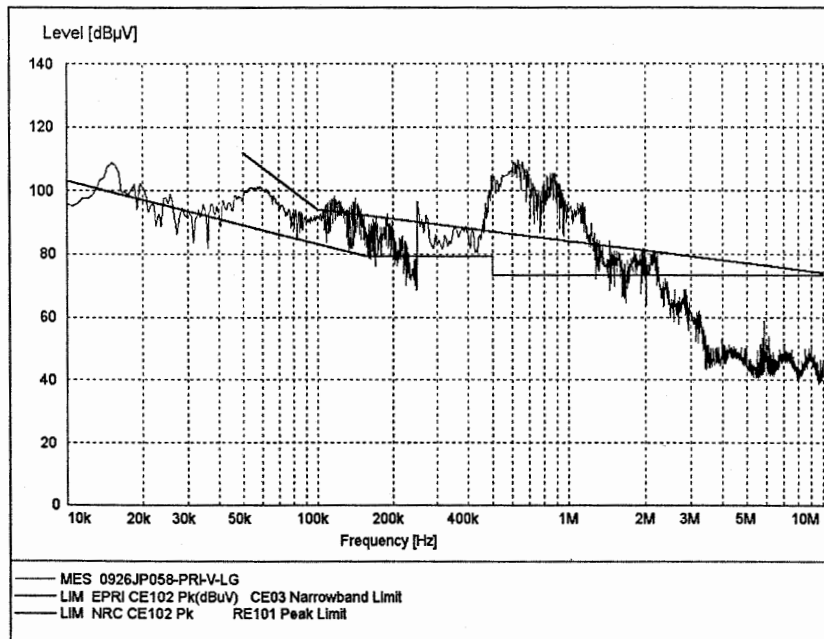


그림 B.306 JP058(W7300 BOP 1E)-PRI-V-LG

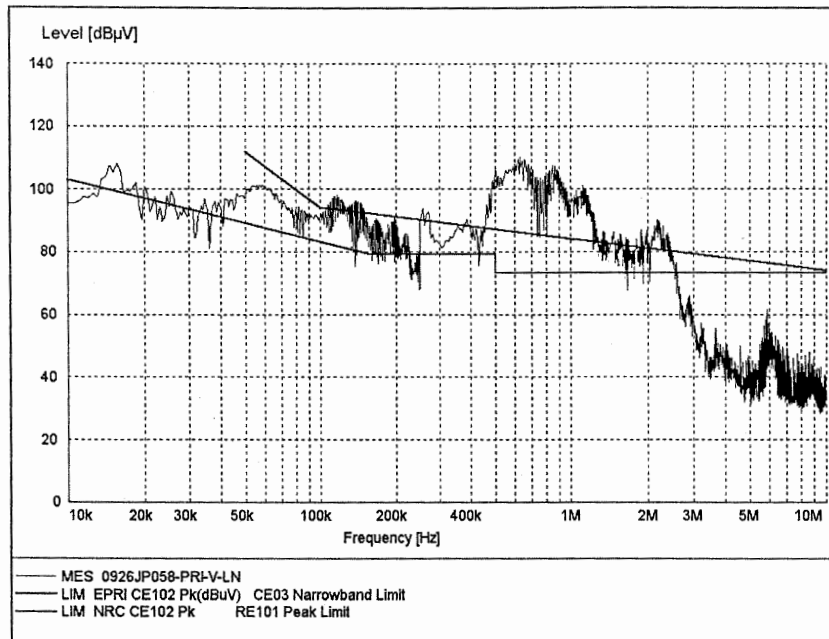


그림 B.307 JP058(W7300 BOP 1E)-PRI-V-LN

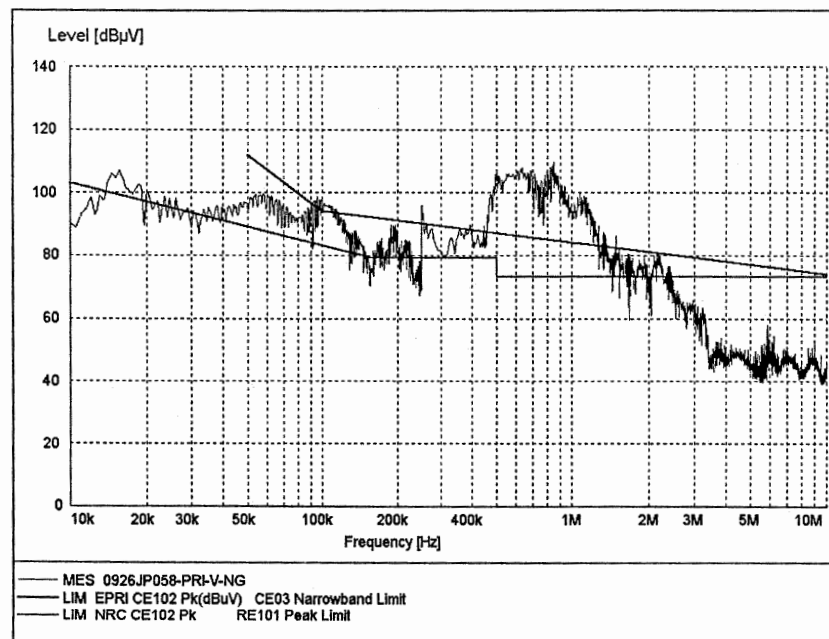


그림 B.308 JP058(W7300 BOP 1E)-PRI-V-NG

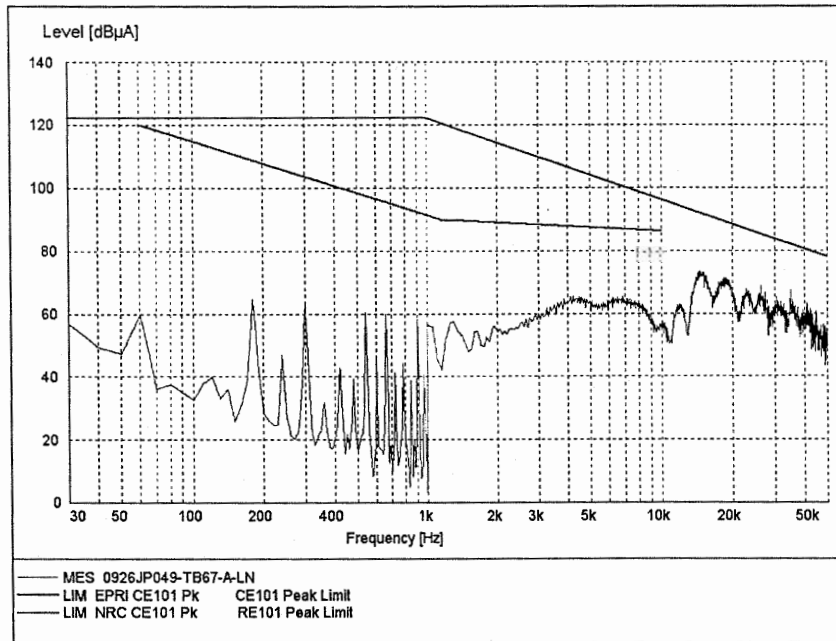


그림 B.309 JP049(DRMS)-TB67-A-LN

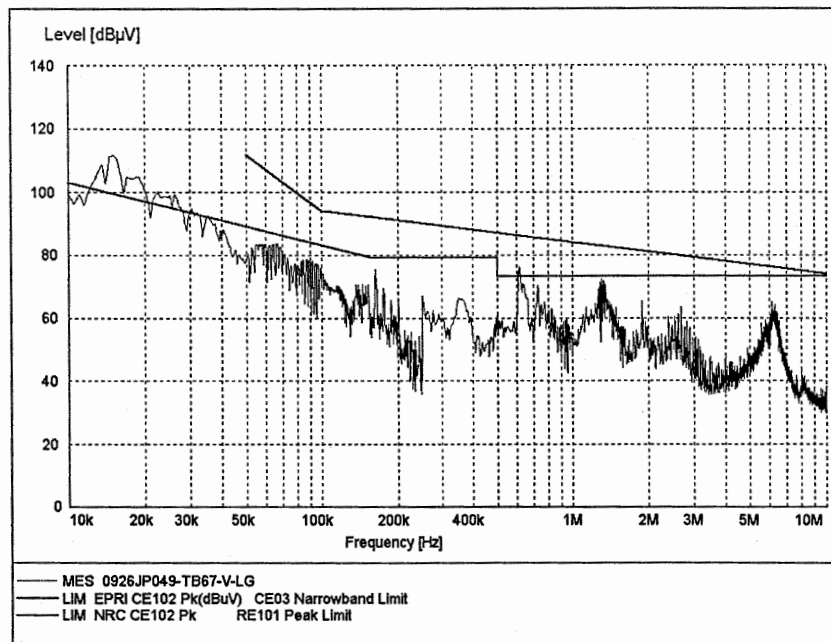


그림 B.310 JP049(DRMS)-TB67-V-LG

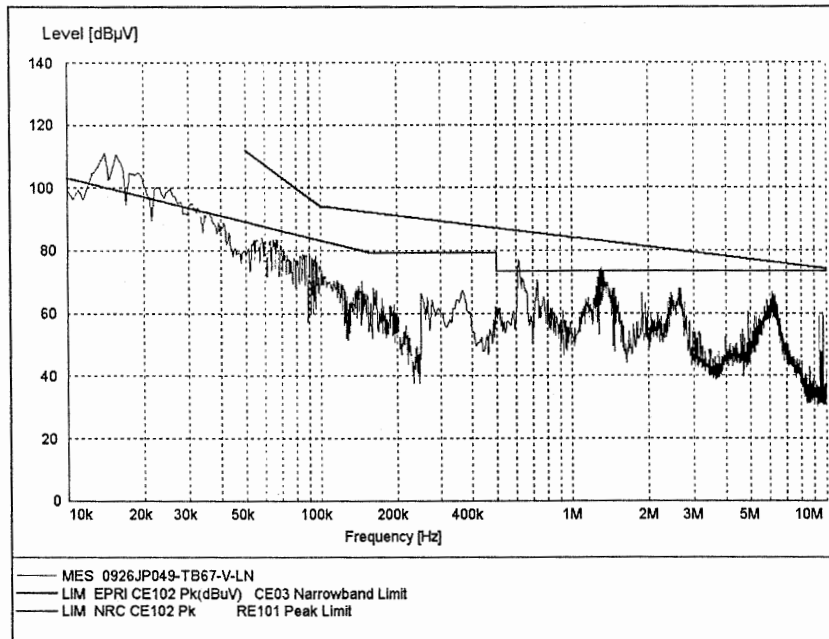


그림 B.311 JP049(DRMS)-TB67-V-LN

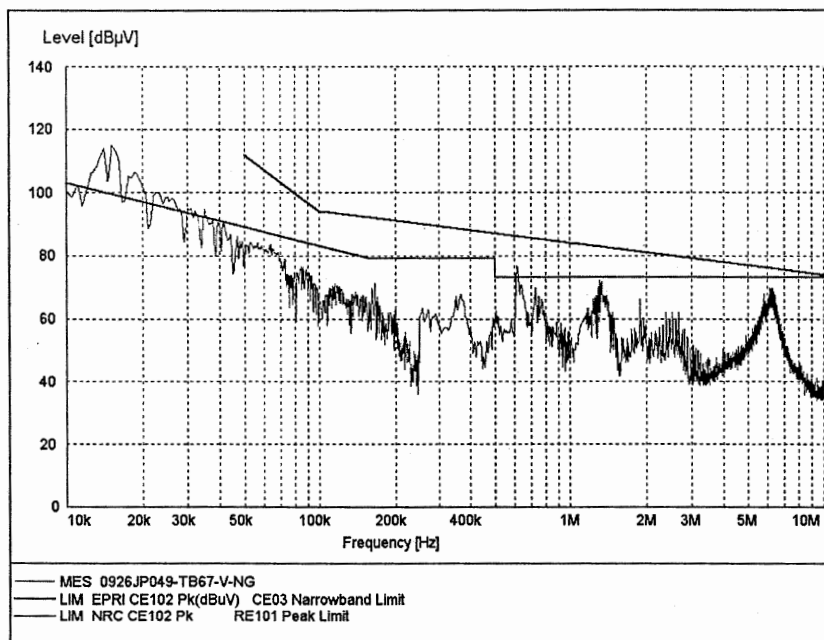


그림 B.312 JP049(DRMS)-TB67-V-NG

8. 전원 입력 방법 : A-5E-PQ-X003(레귤레이팅 변압기)

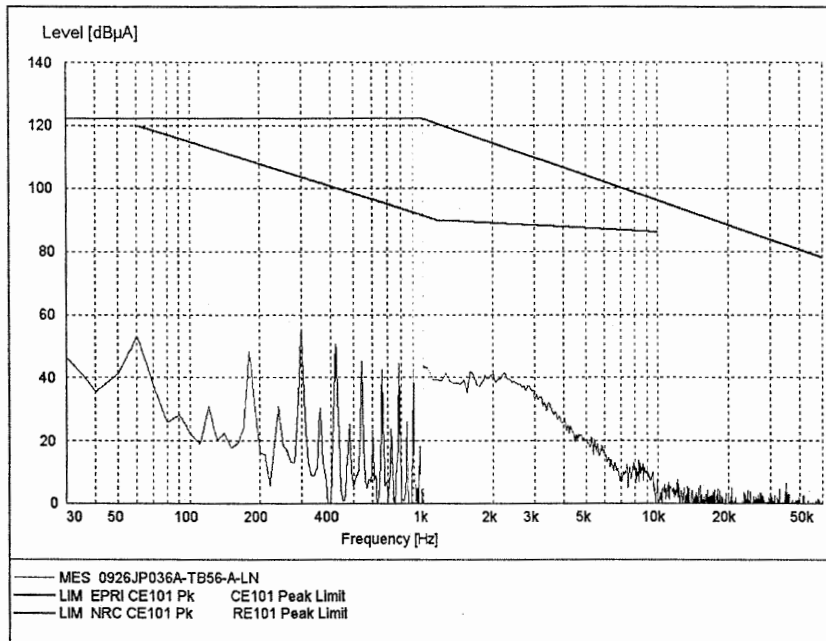


그림 B.313 JP036A(SSILS)-TB56-A-LN

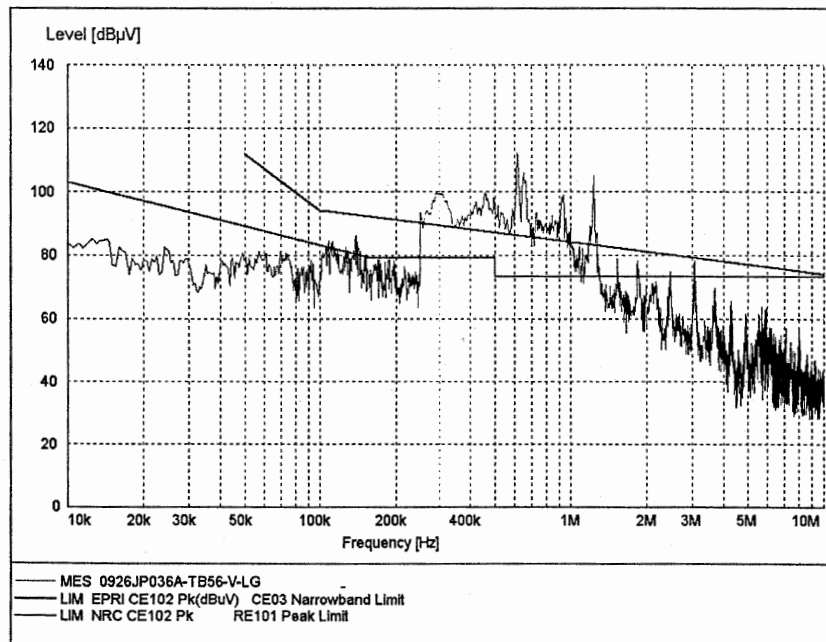


그림 B.314 JP036A(SSILS)-TB56-V-LG

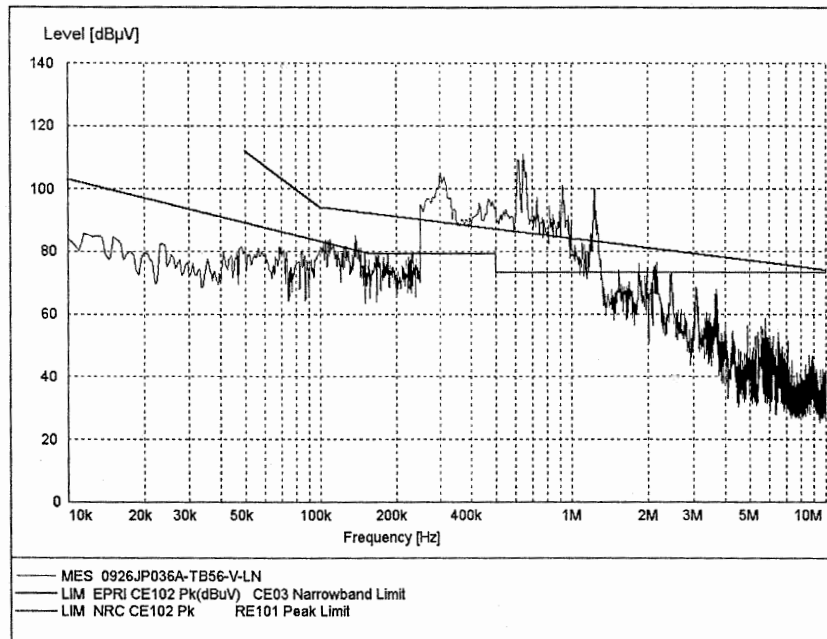


그림 B.315 JP036A(SSILS)-TB56-V-LN

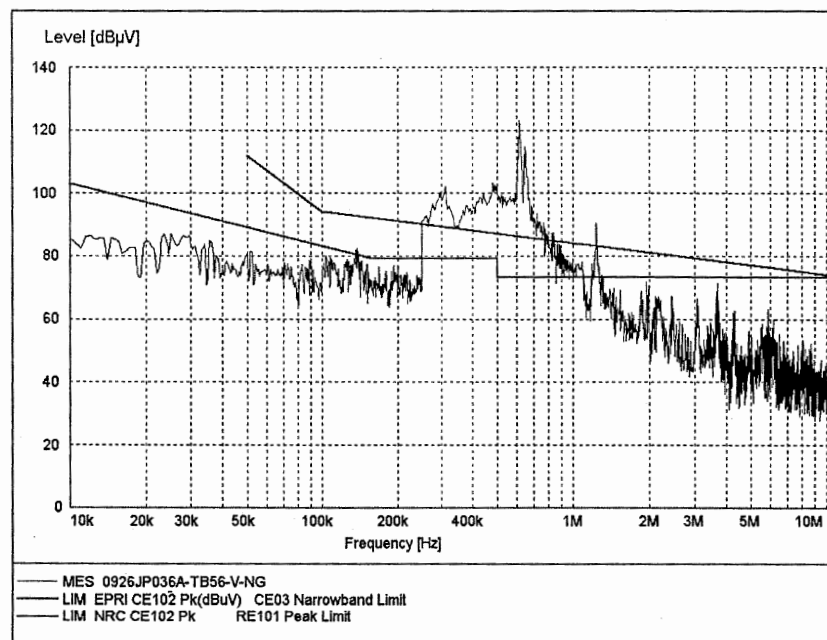


그림 B.316 JP036A(SSILS)-TB56-V-NG

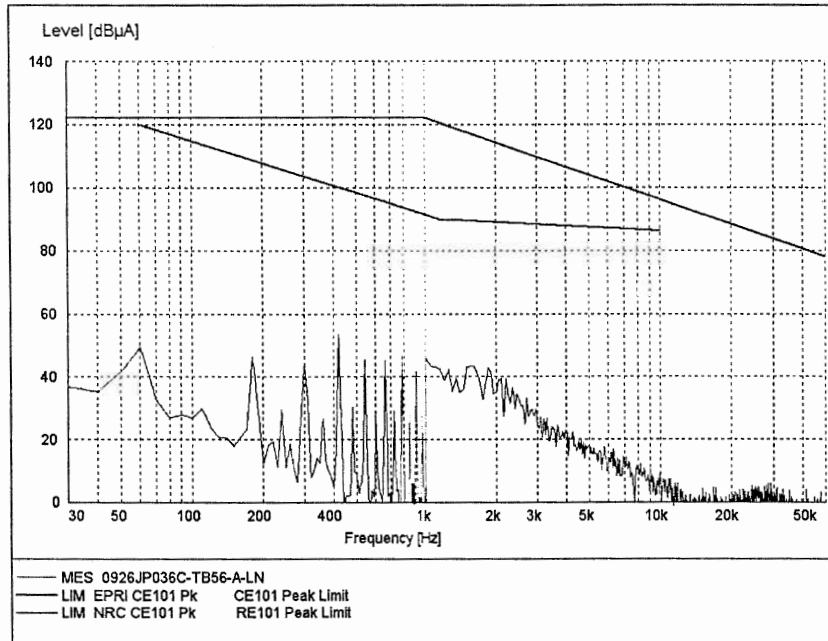


그림 B.317 JP036C(SSILS)-TB56-A-LN

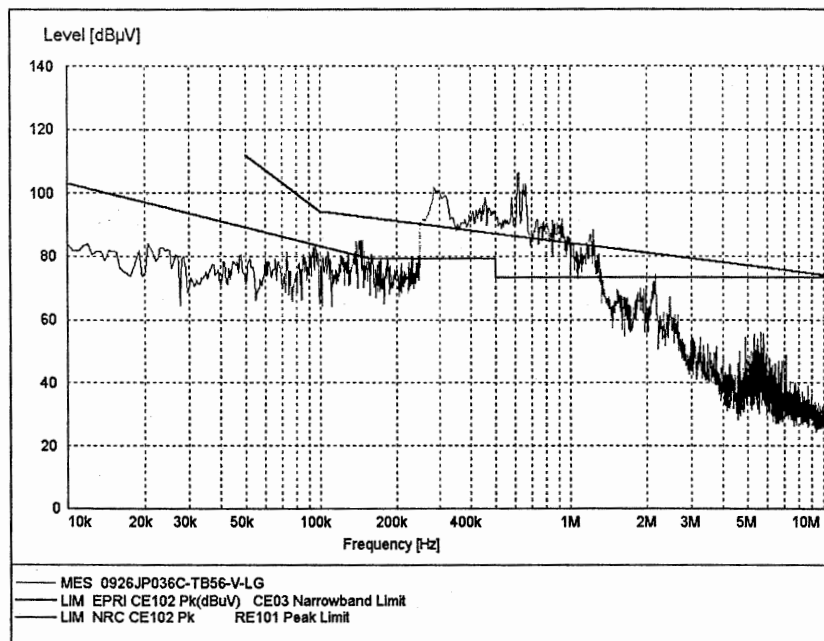


그림 B.318 JP036C(SSILS)-TB56-V-LG

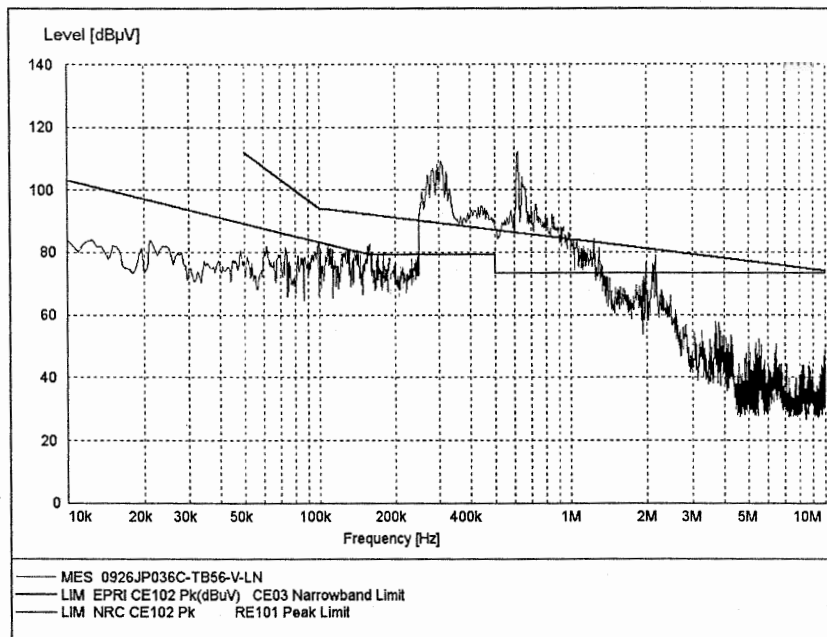


그림 B.319 JP036C(SSILS)-TB56-V-LN

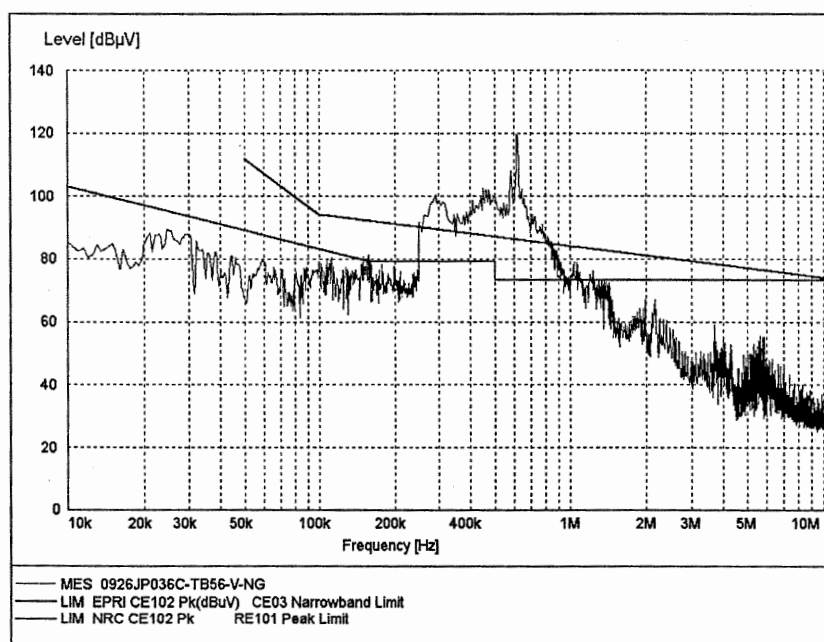


그림 B.320 JP036C(SSILS)-TB56-V-NG

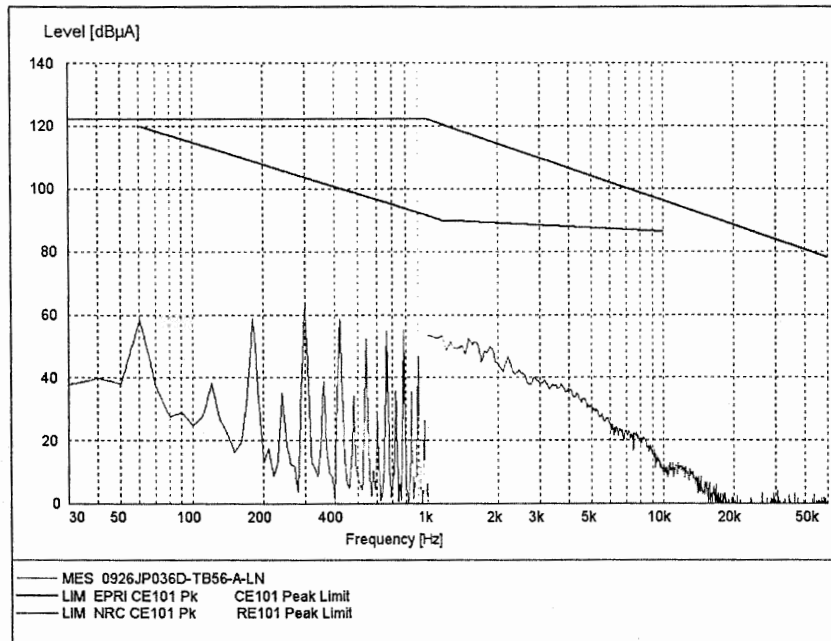


그림 B.321 JP036D(SSILS)-TB56-A-LN

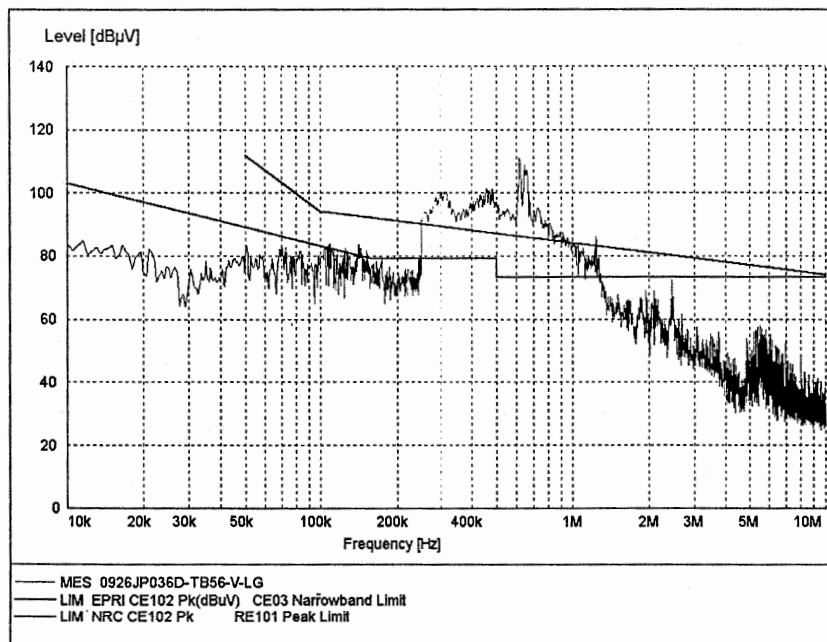


그림 B.322 JP036D(SSILS)-TB56-V-LG

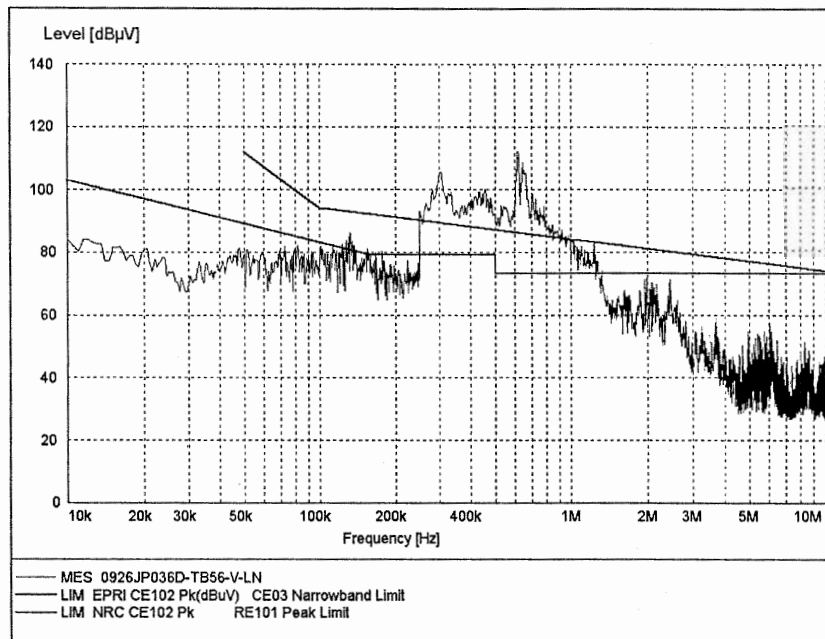


그림 B.323 JP036D(SSILS)-TB56-V-LN

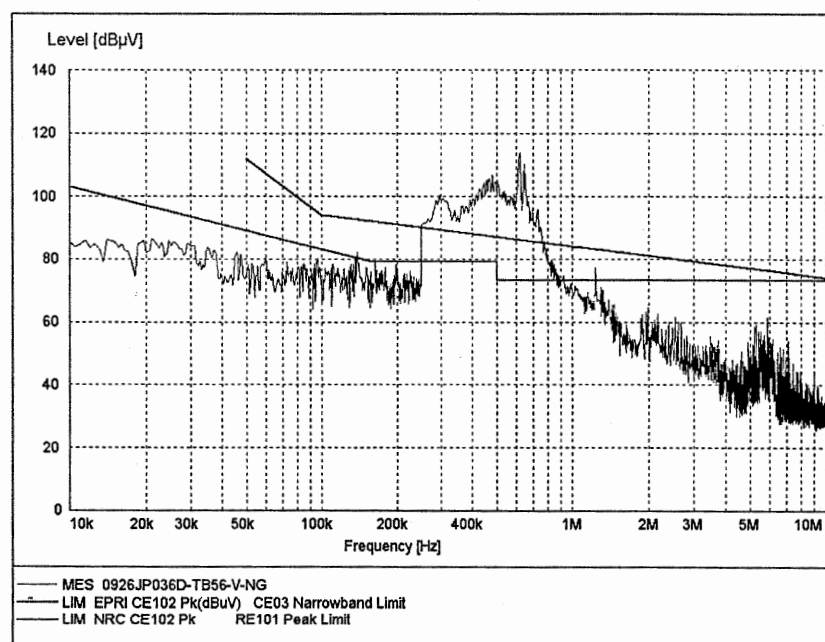


그림 B.324 JP036D(SSILS)-TB56-V-NG

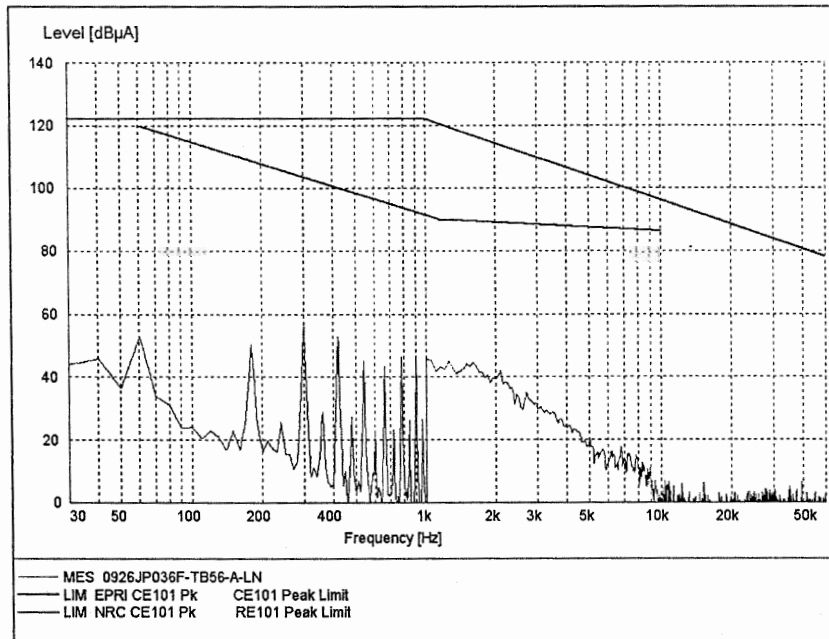


그림 B.325 JP036F(SSILS)-TB56-A-LN

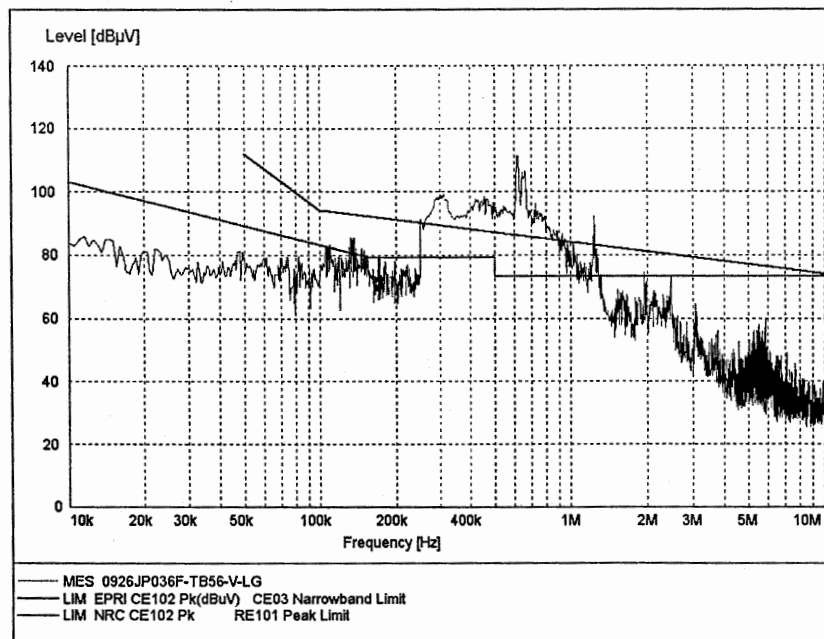


그림 B.326 JP036F(SSILS)-TB56-V-LG

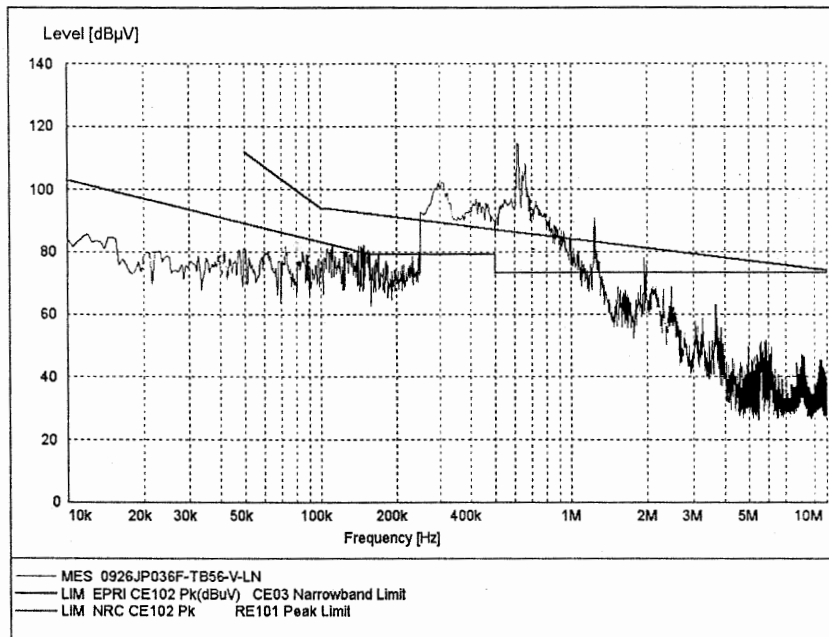


그림 B.327 JP036F(SSILS)-TB56-V-LN

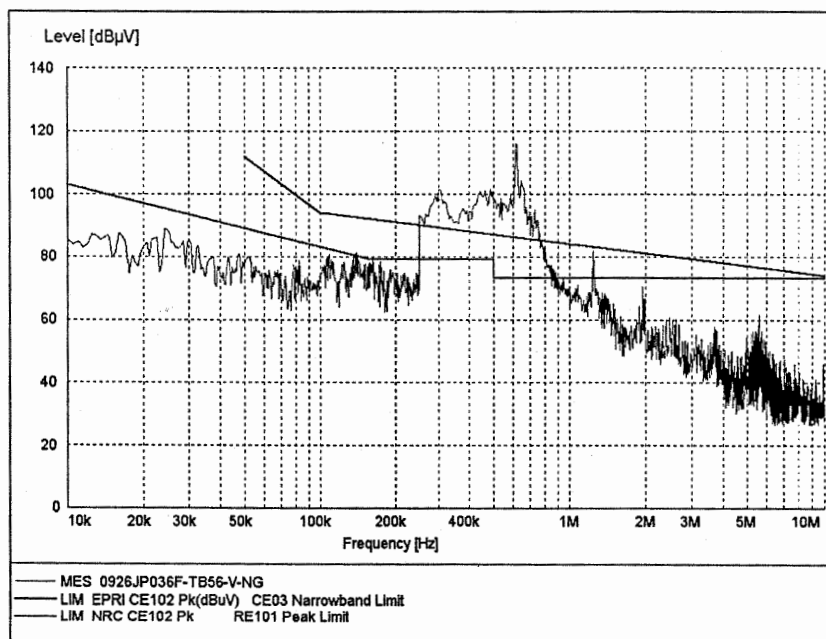


그림 B.328 JP036F(SSILS)-TB56-V-NG

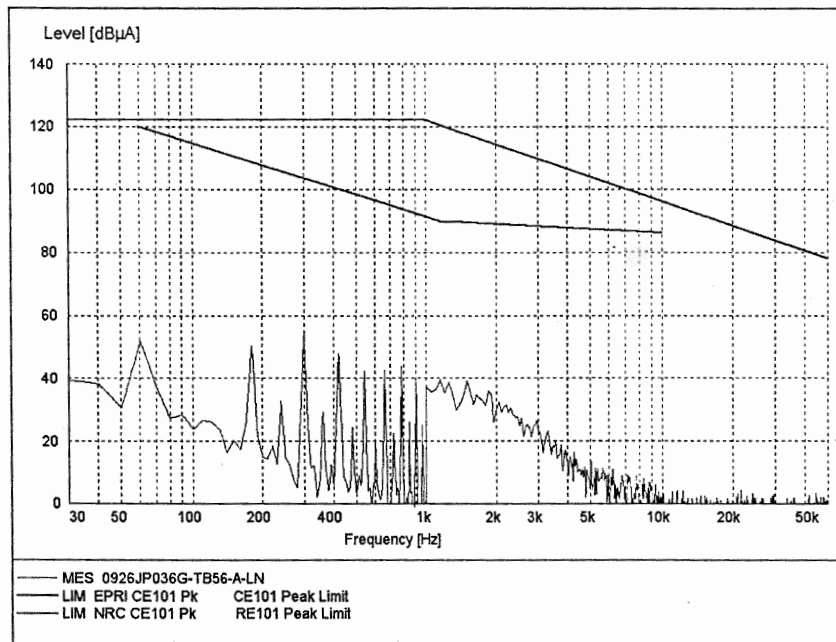


그림 B.329 JP036G(SSILS)-TB56-A-LN

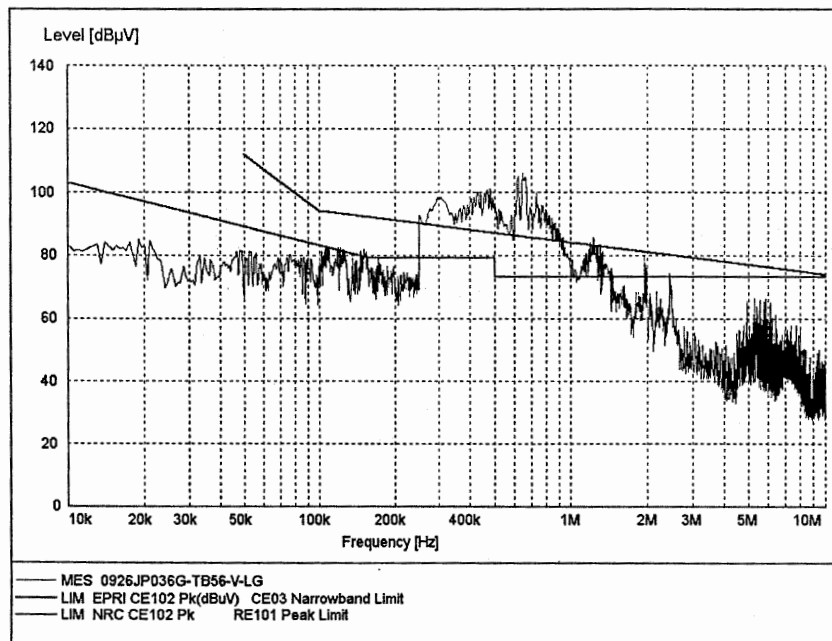


그림 B.330 JP036G(SSILS)-TB56-V-LG

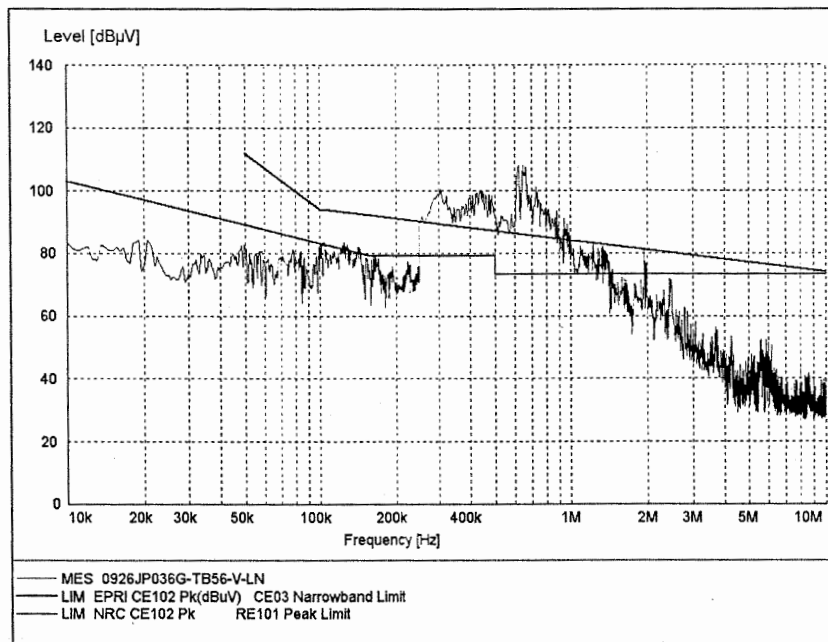


그림 B.331 JP036G(SSILS)-TB56-V-LN

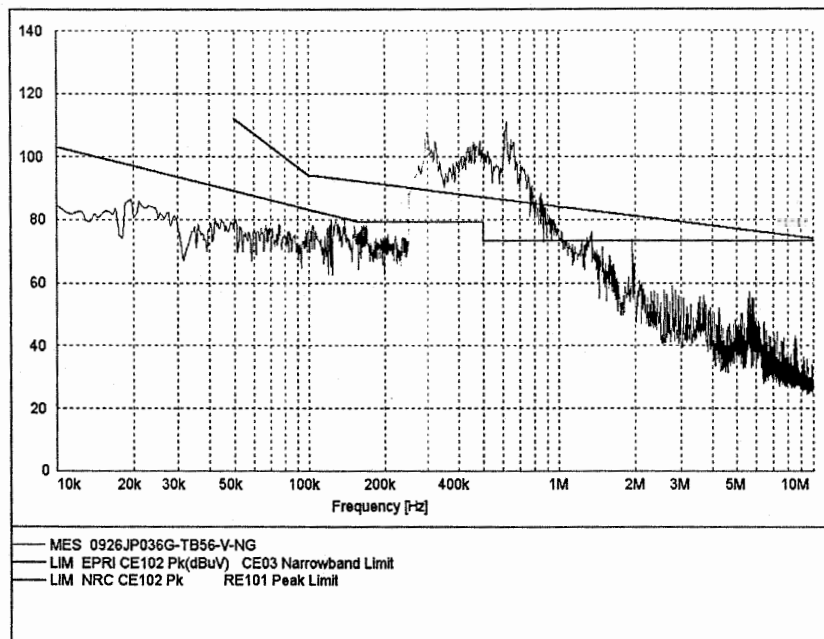


그림 B.332 JP036G(SSILS)-TB56-V-NG

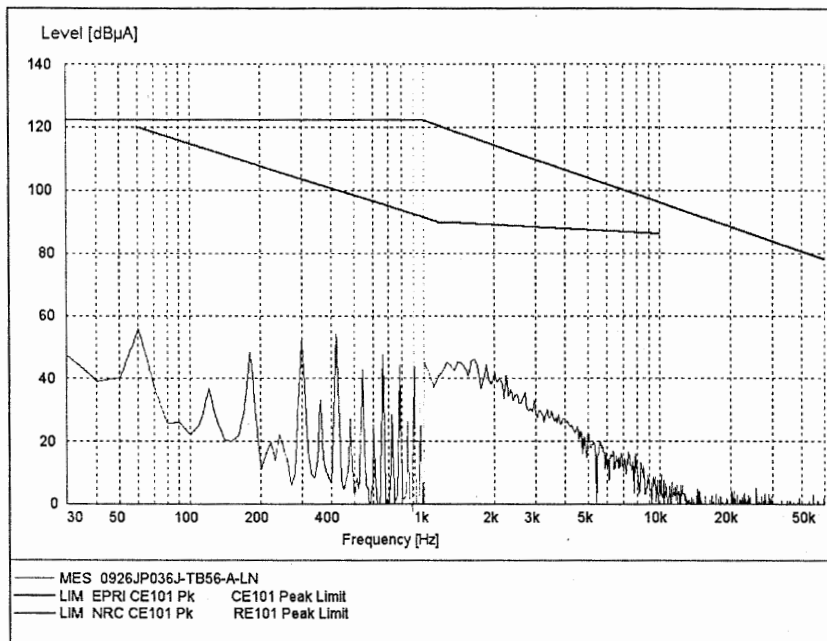


그림 B.333 JP036J(SSILS)-TB56-A-LN

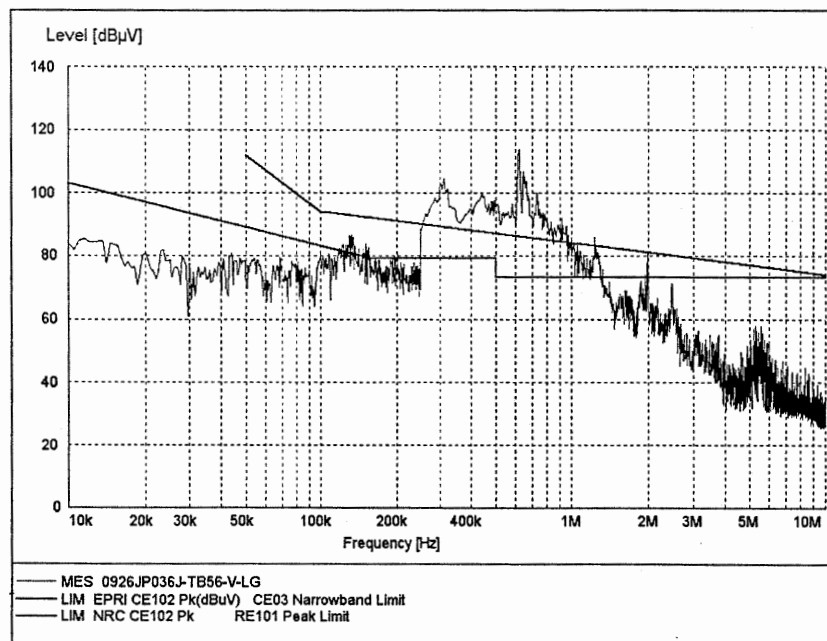


그림 B.334 JP036J(SSILS)-TB56-V-LG

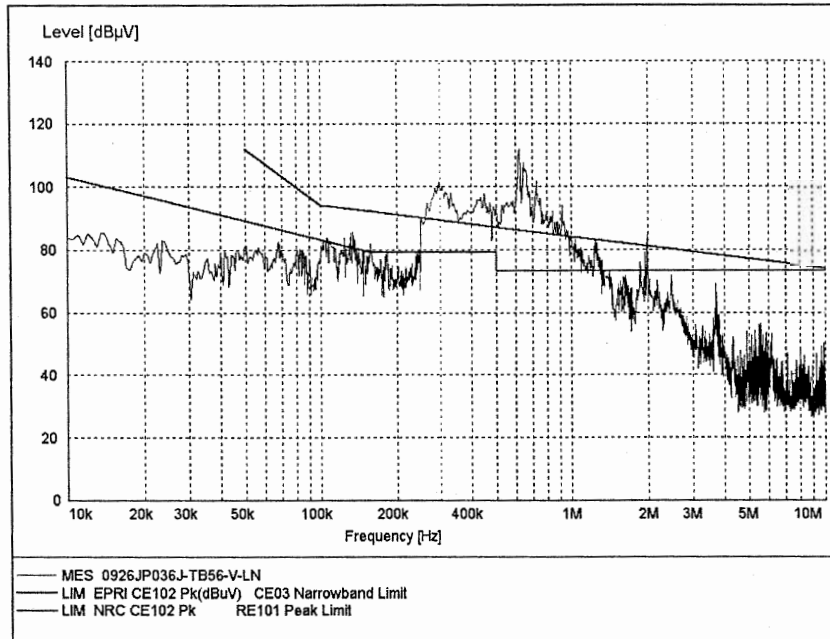


그림 B.335 JP036J(SSILS)-TB56-V-LN

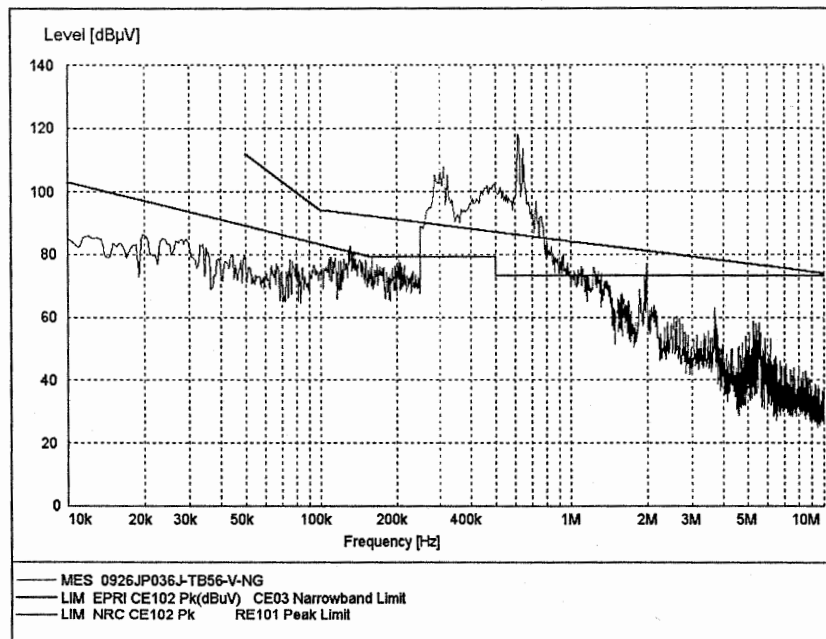


그림 B.336 JP036J(SSILS)-TB56-V-NG

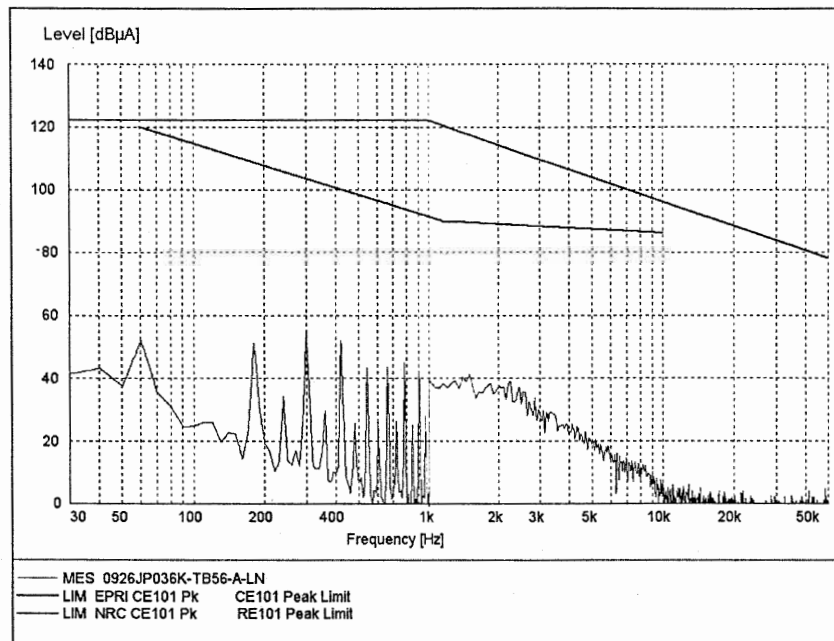


그림 B.337 JP036K(SSILS)-TB56-A-LN

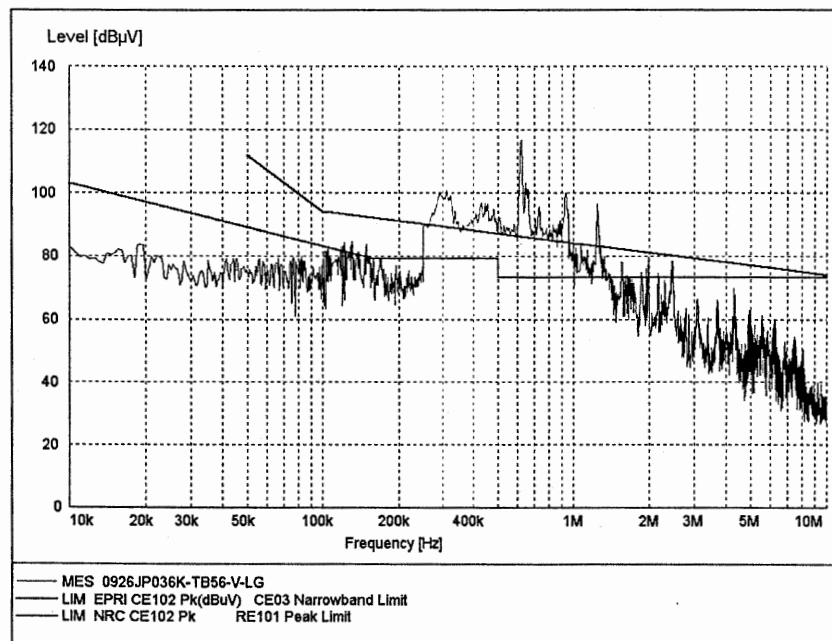


그림 B.338 JP036K(SSILS)-TB56-V-LG

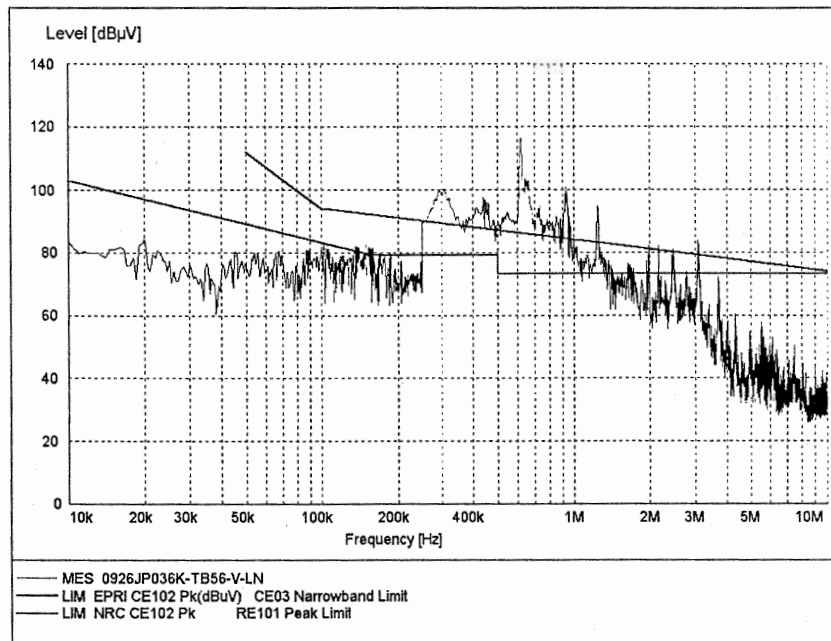


그림 B.339 JP036K(SSILS)-TB56-V-LN

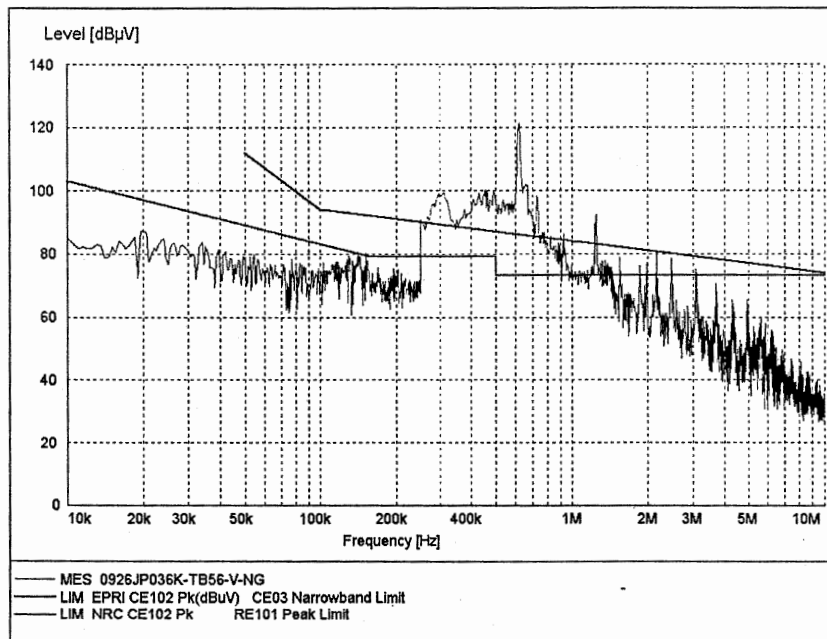


그림 B.340 JP036K(SSILS)-TB56-V-NG

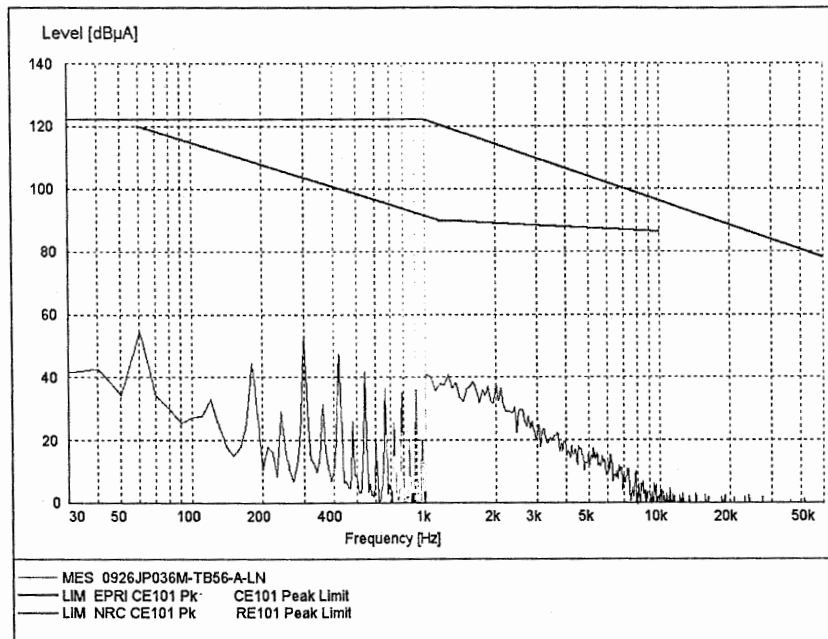


그림 B.341 JP036M(SSILS)-TB56-A-LN

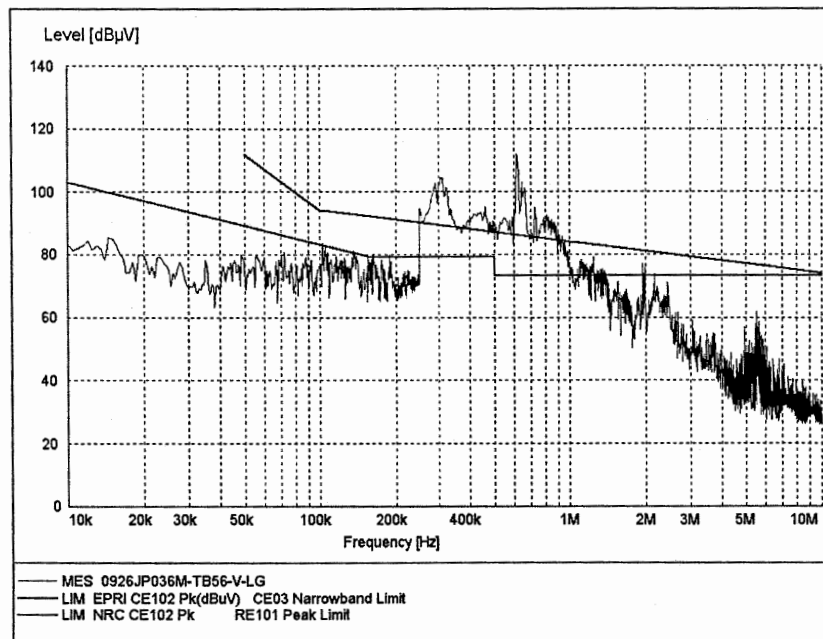


그림 B.342 JP036M(SSILS)-TB56-V-LG

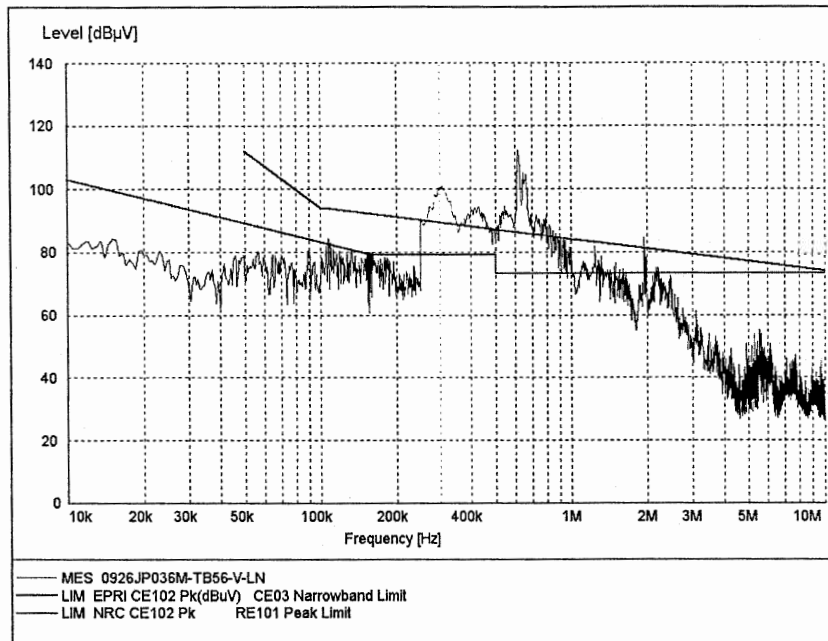


그림 B.343 JP036M(SSILS)-TB56-V-LN

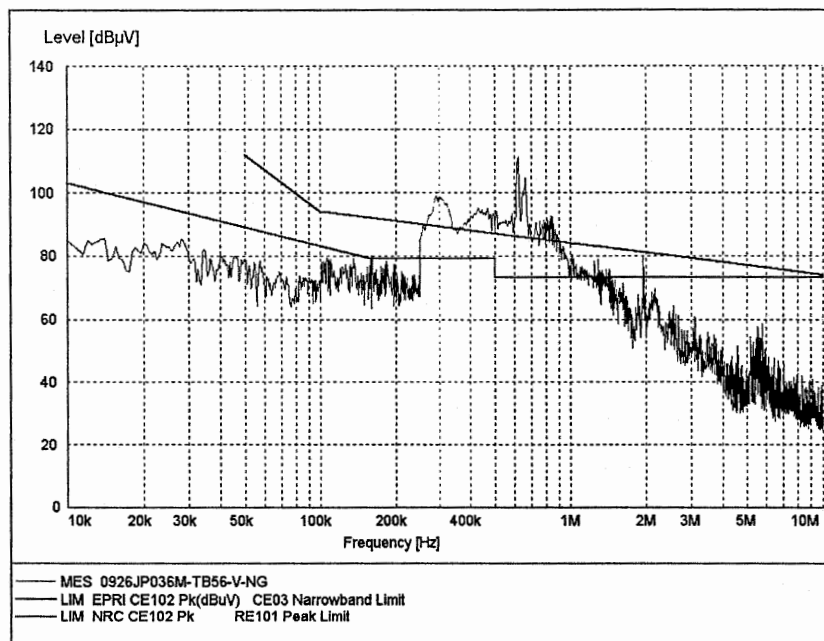


그림 B.344 JP036M(SSILS)-TB56-V-NG

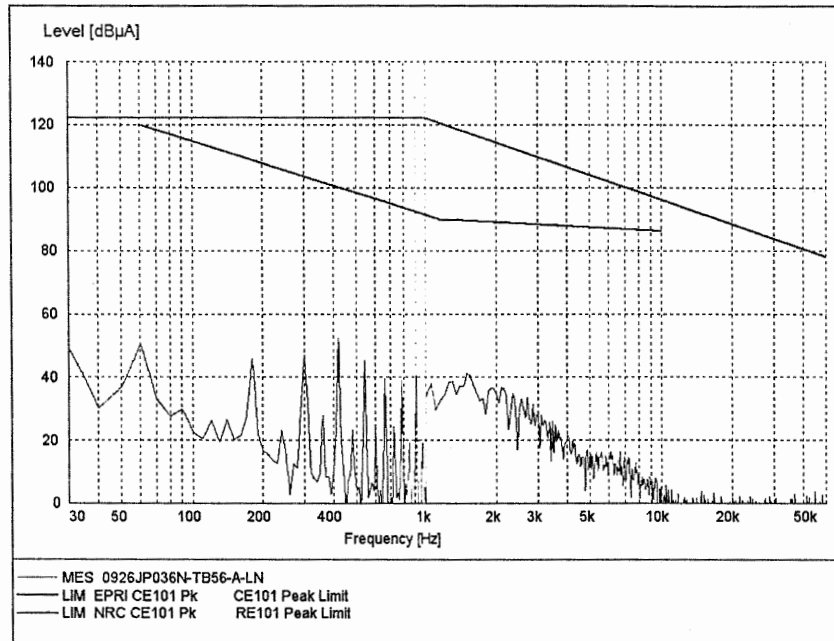


그림 B.345 JP036N(SSILS)-TB56-A-LN

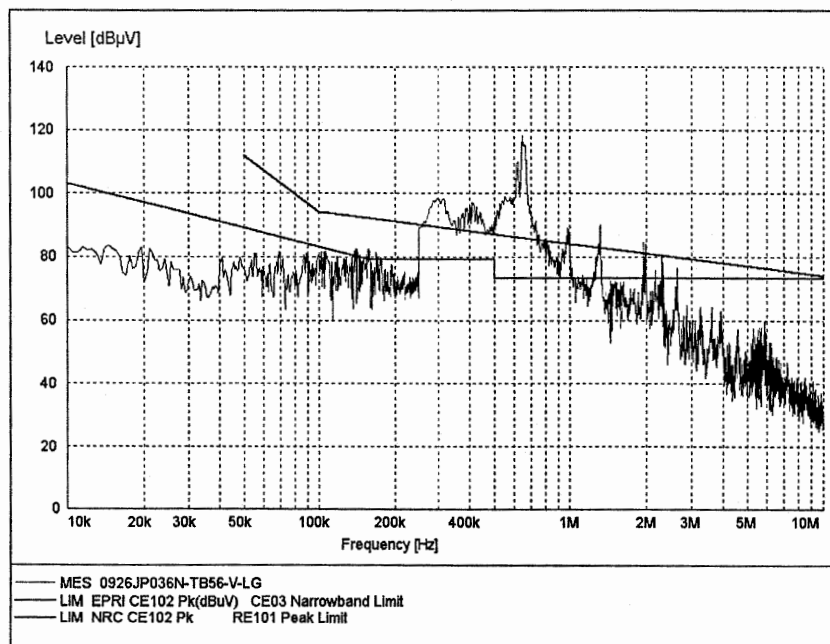


그림 B.346 JP036N(SSILS)-TB56-V-LG

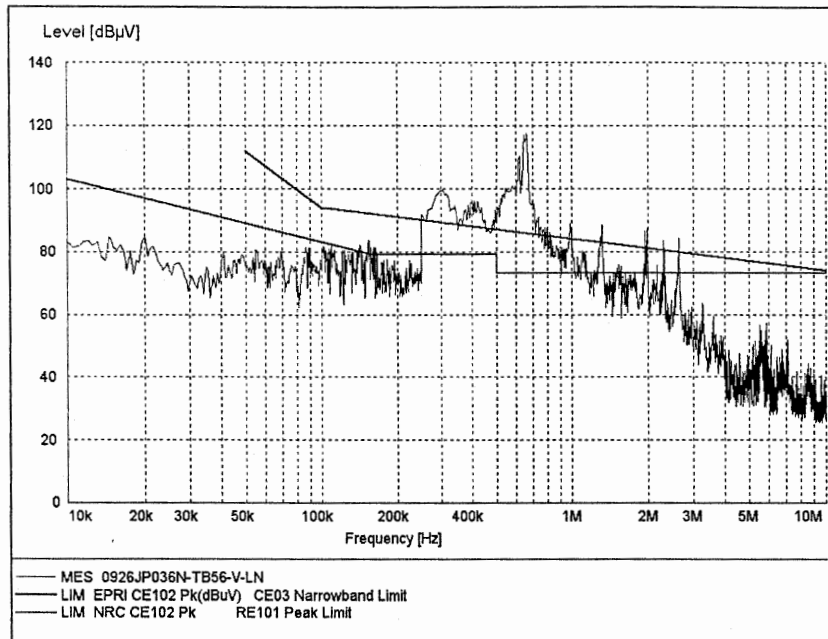


그림 B.347 JP036N(SSILS)-TB56-V-LN

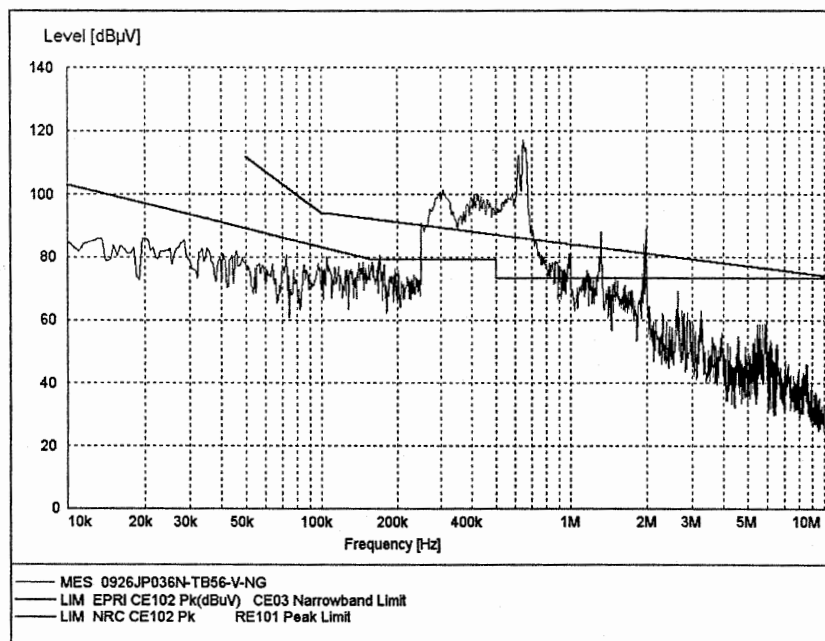


그림 B.348 JP036N(SSILS)-TB56-V-NG

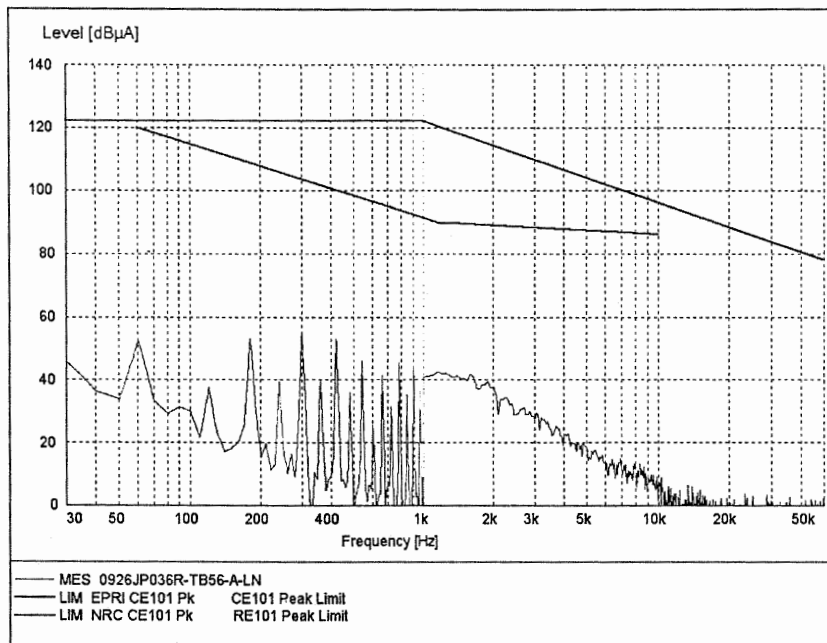


그림 B.349 JP036R(SSILS)-TB56-A-LN

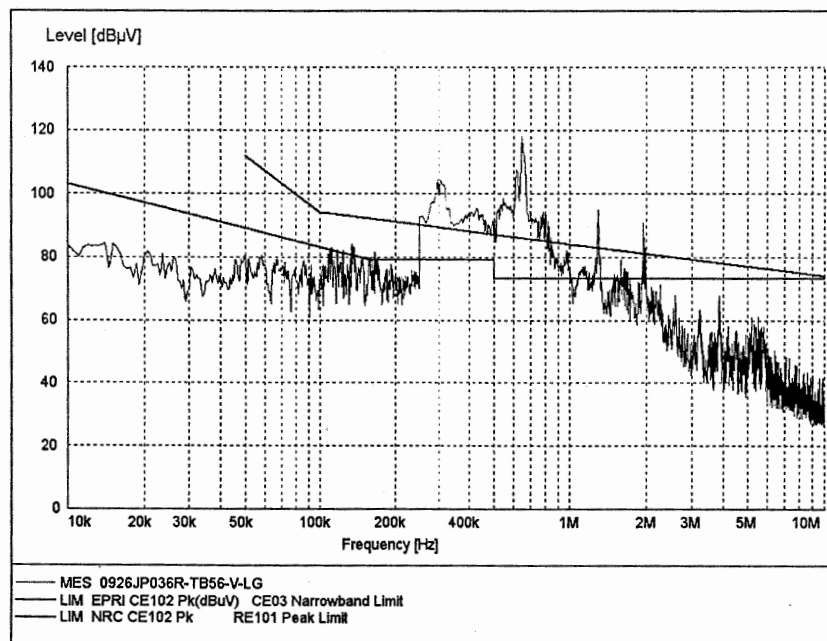


그림 B.350 JP036R(SSILS)-TB56-V-LG

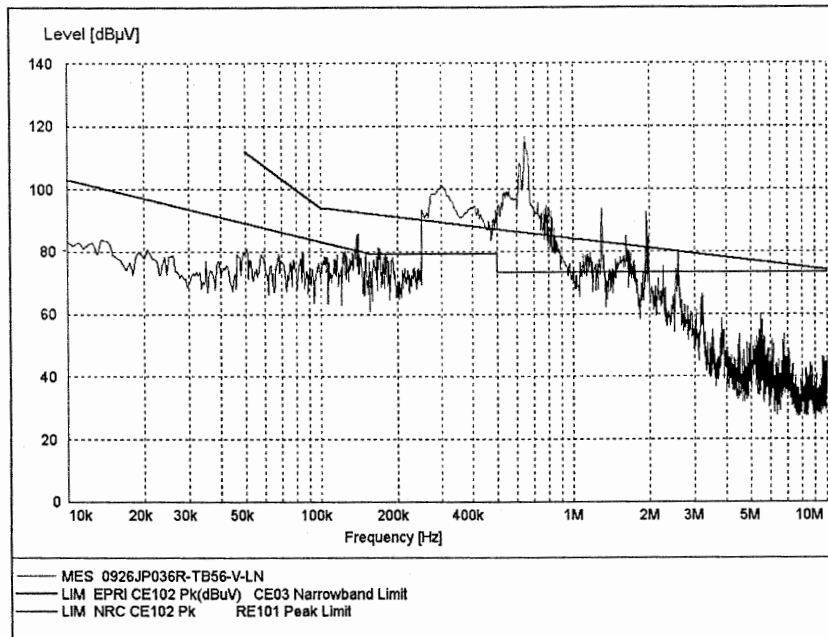


그림 B.351 JP036R(SSILS)-TB56-V-LN

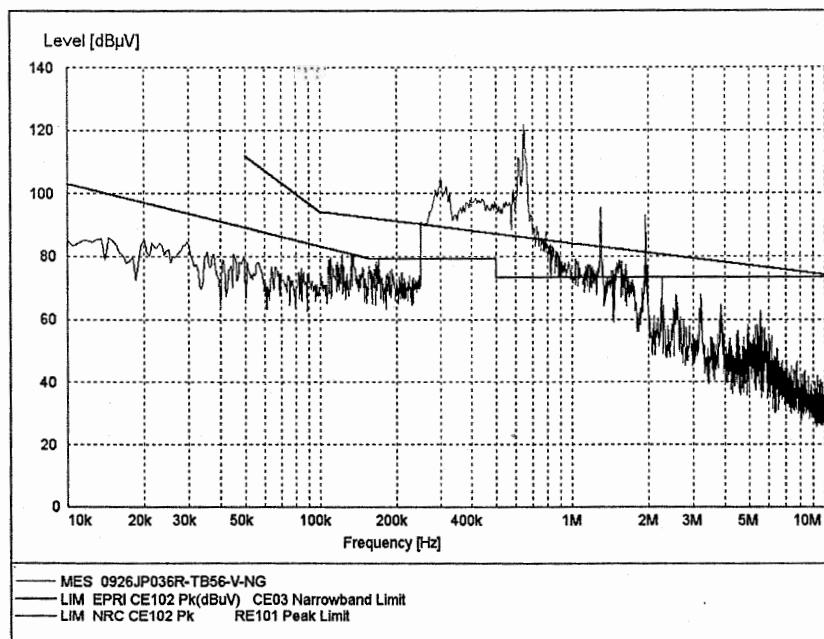


그림 B.352 JP036R(SSILS)-TB56-V-NG

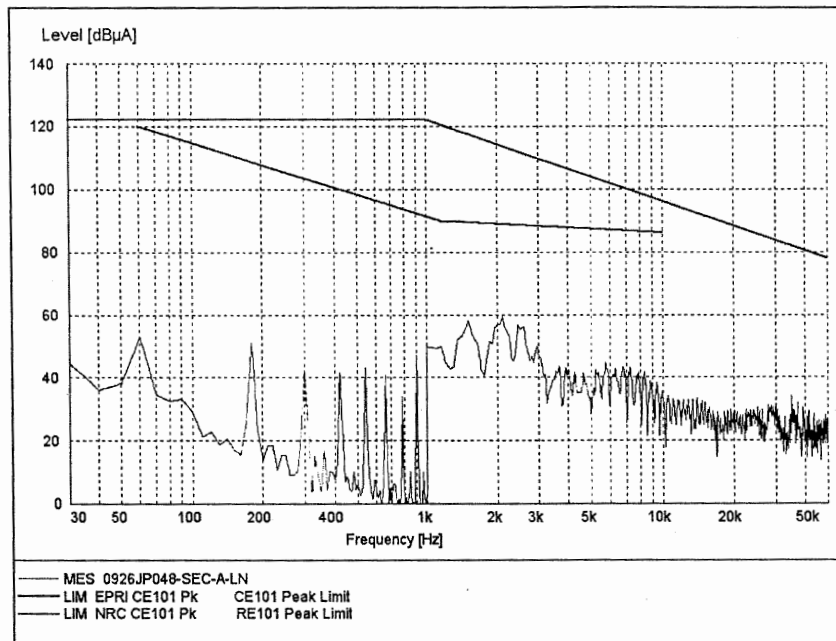


그림 B.353 JP048(W7300 BOP 1E)-SEC-A-LN

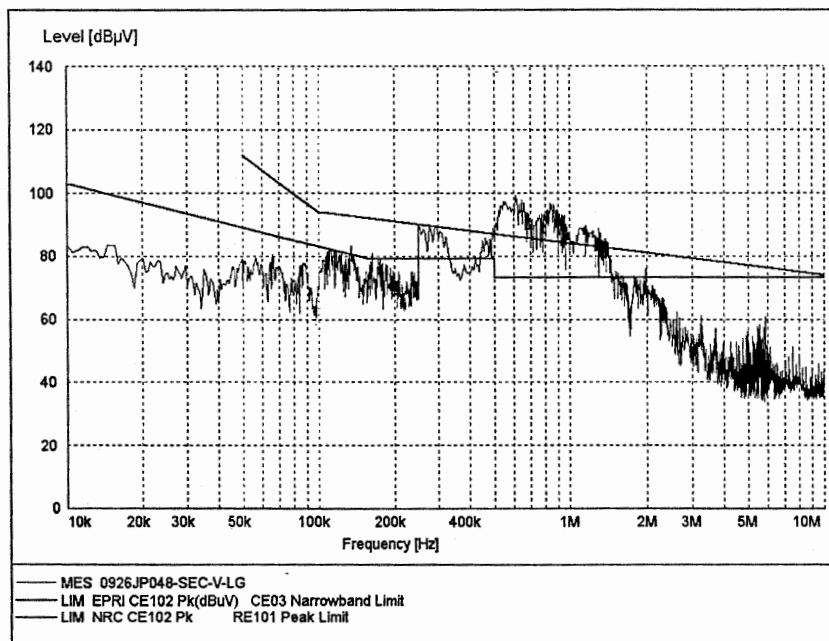


그림 B.354 JP048(W7300 BOP 1E)-SEC-V-LG

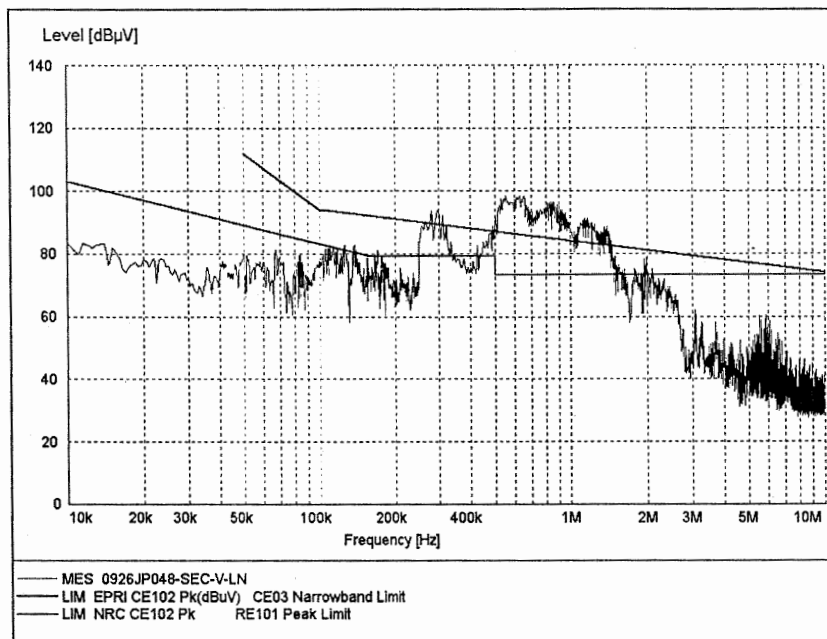


그림 B.355 JP048(W7300 BOP 1E)-SEC-V-LN

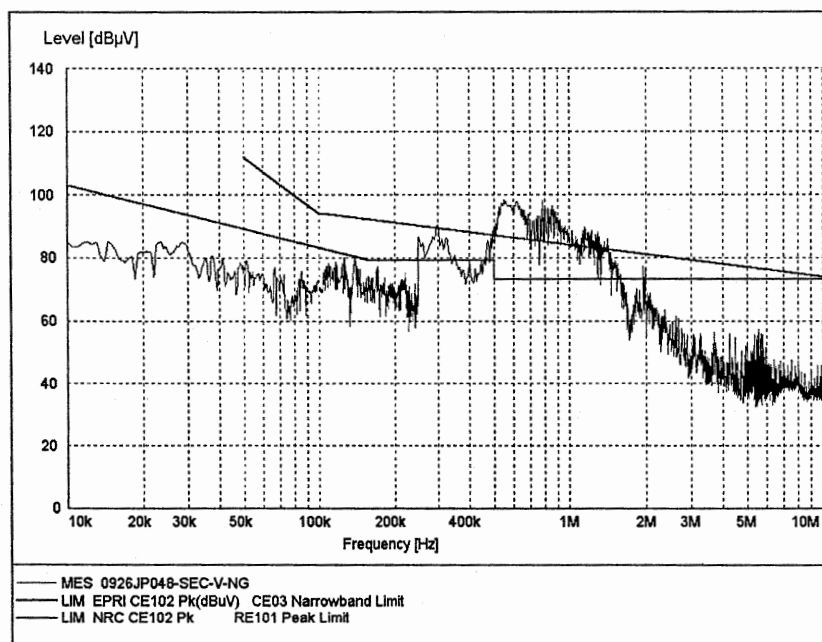


그림 B.356 JP048(W7300 BOP 1E)-SEC-V-NG

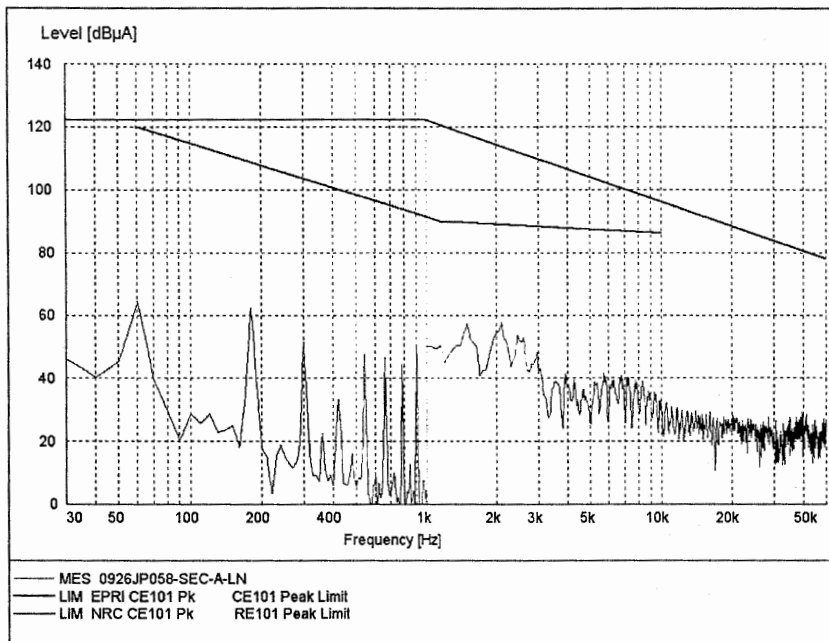


그림 B.357 JP058(W7300 BOP 1E)-SEC-A-LN

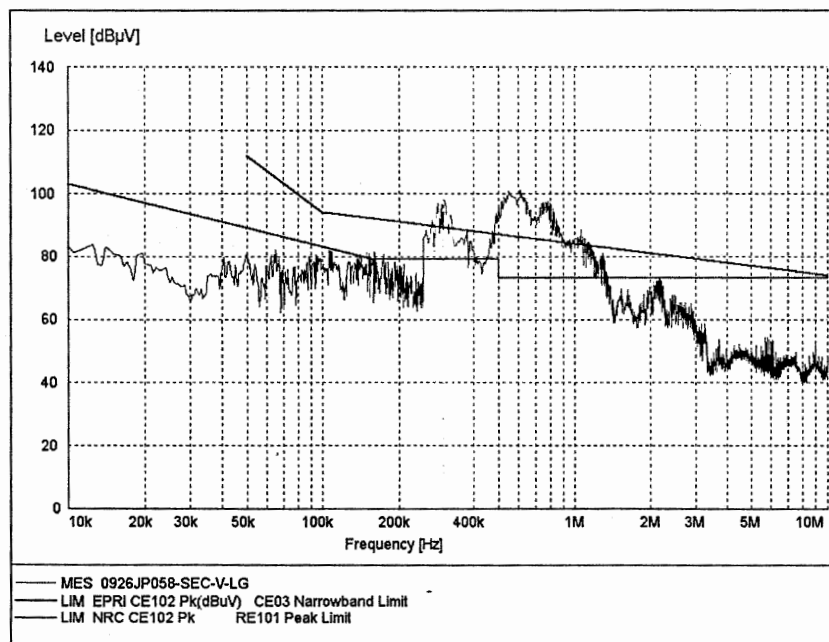


그림 B.358 JP058(W7300 BOP 1E)-SEC-V-LG

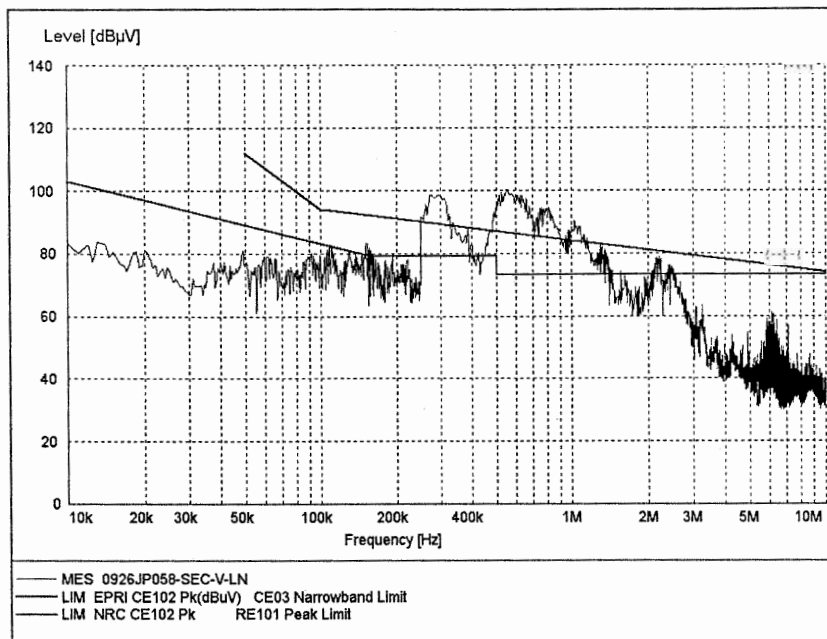


그림 B.359 JP058(W7300 BOP 1E)-SEC-V-LN

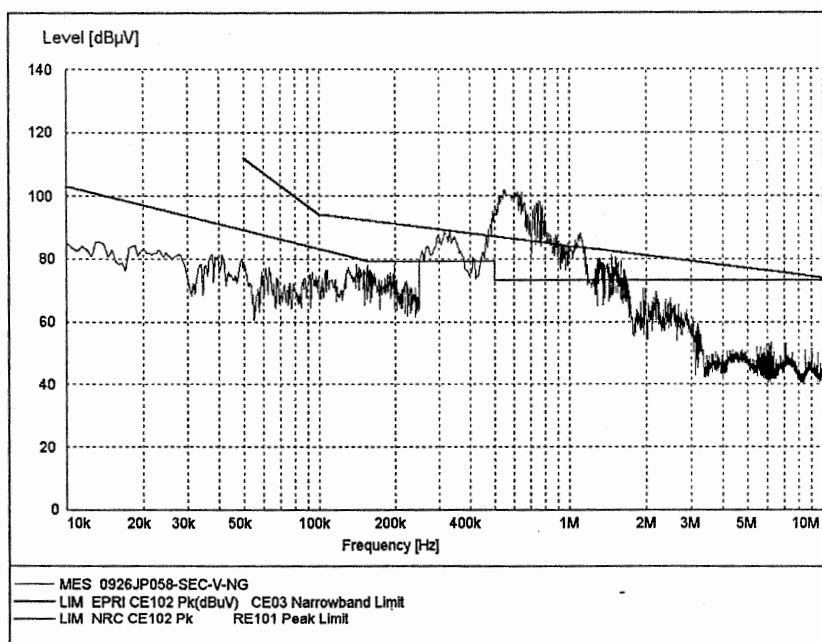


그림 B.360 JP058(W7300 BOP 1E)-SEC-V-NG

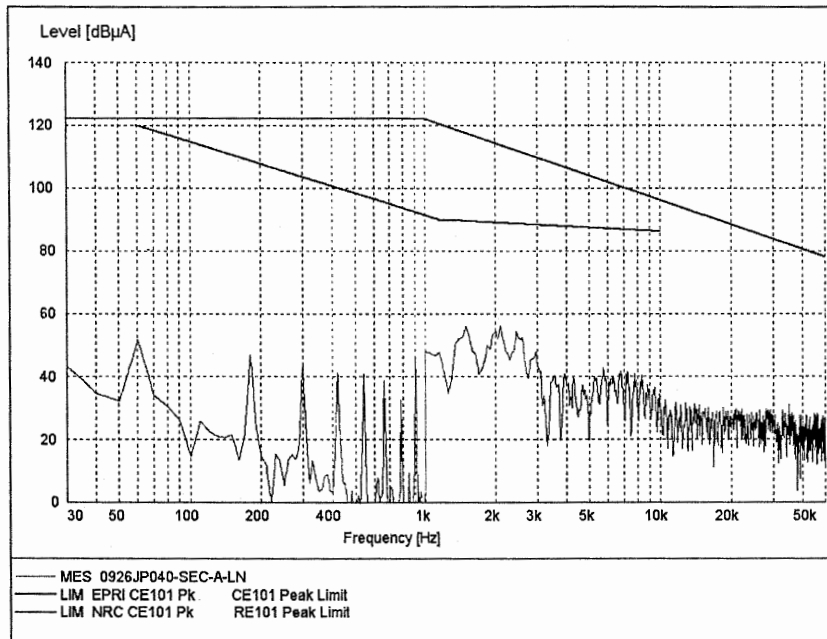


그림 B.361 JP040(W7300 Protection I)-SEC-A-LN

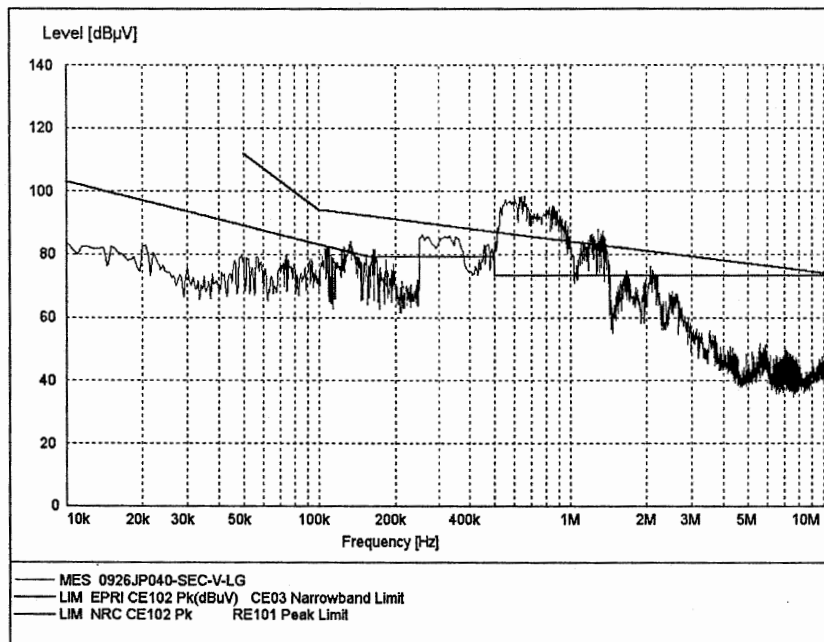


그림 B.362 JP040(W7300 Protection I)-SEC-V-LG

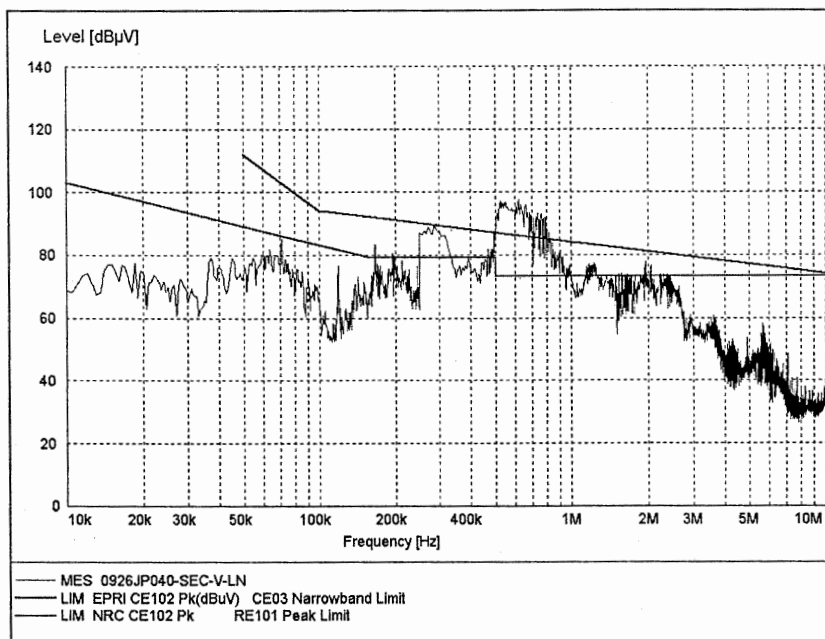


그림 B.363 JP040(W7300 Protection I)-SEC-V-LN

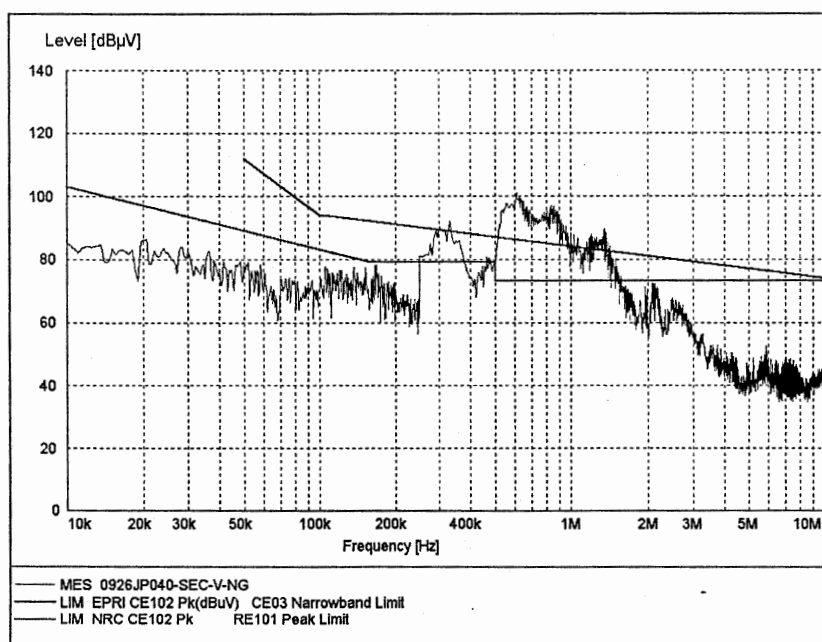


그림 B.364 JP040(W7300 Protection I)-SEC-V-NG

9. 전원입력방법 : B-5E-PQ-N001(인버터)

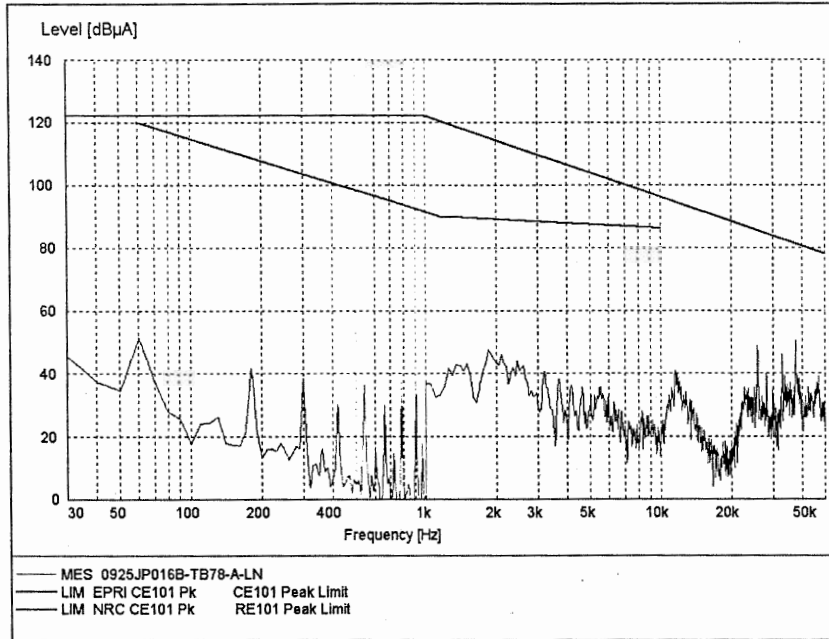


그림 B.365 JP016B(NIS CH B/B)-TB56-A-LN

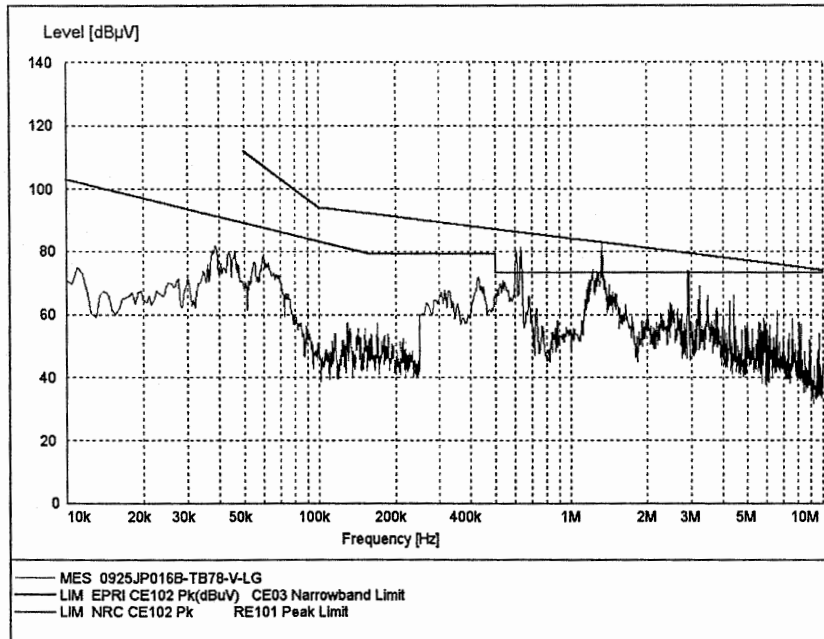


그림 B.366 JP016B(NIS CH B/B)-TB56-V-LG

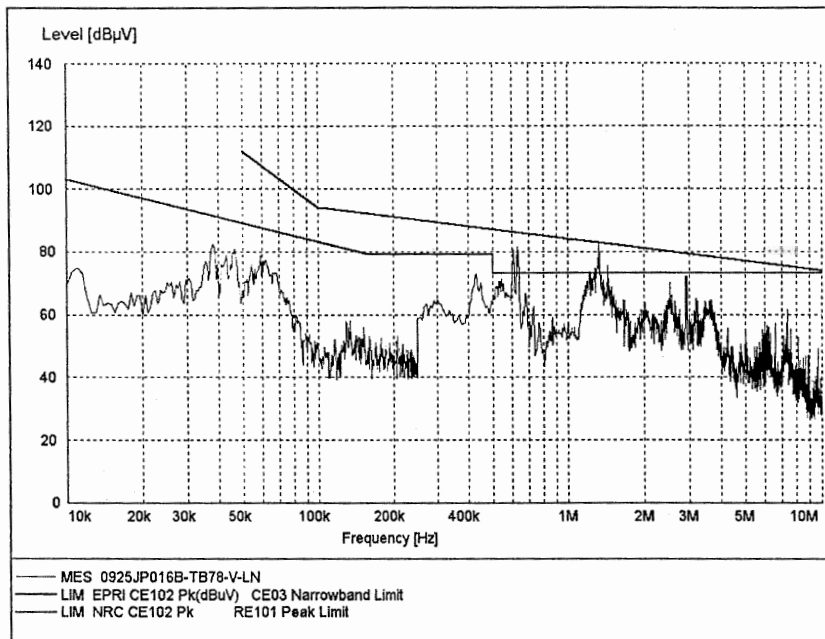


그림 B.367 JP016B(NIS CH B/B)-TB56-V-LN

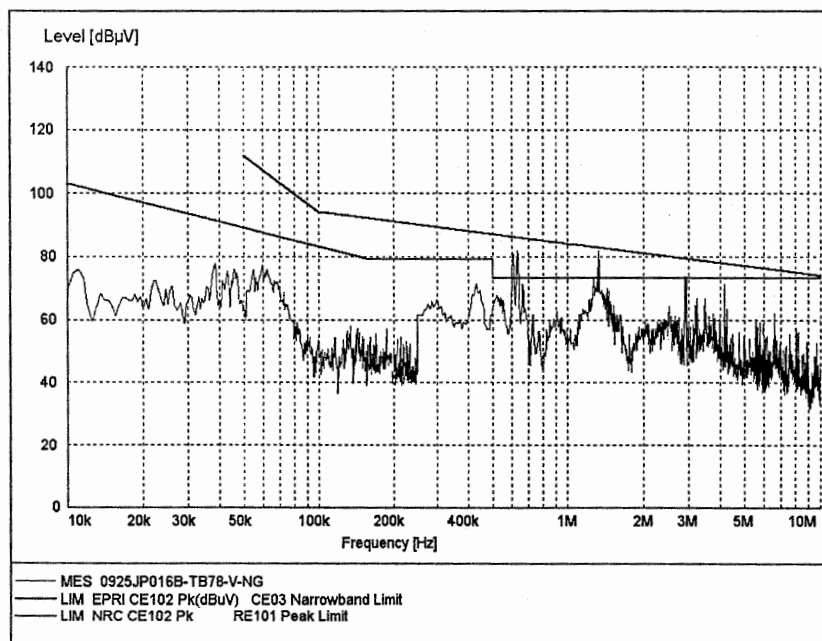


그림 B.368 JP016B(NIS CH B/B)-TB56-V-NG

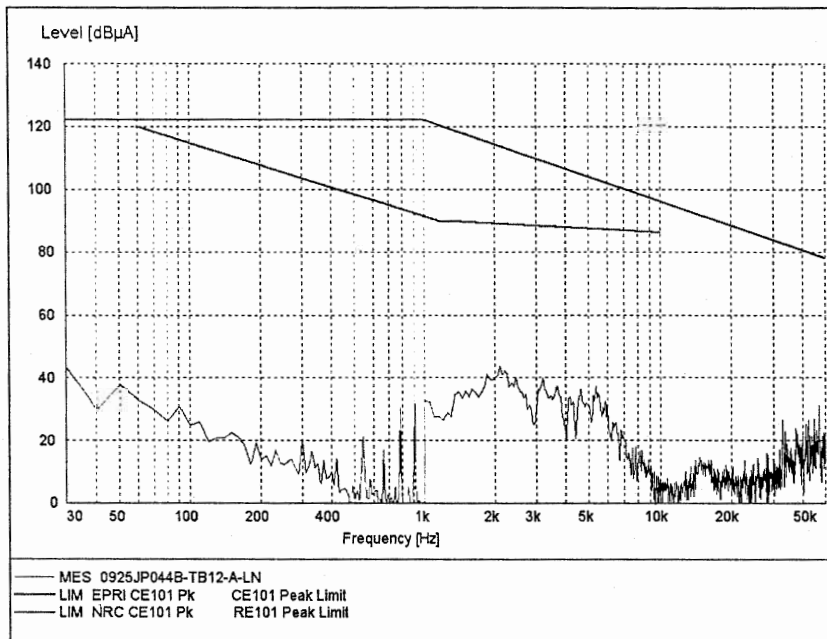


그림 B.369 JP044B(SSPS Tr 'A', CH B)-TB12-A-LN

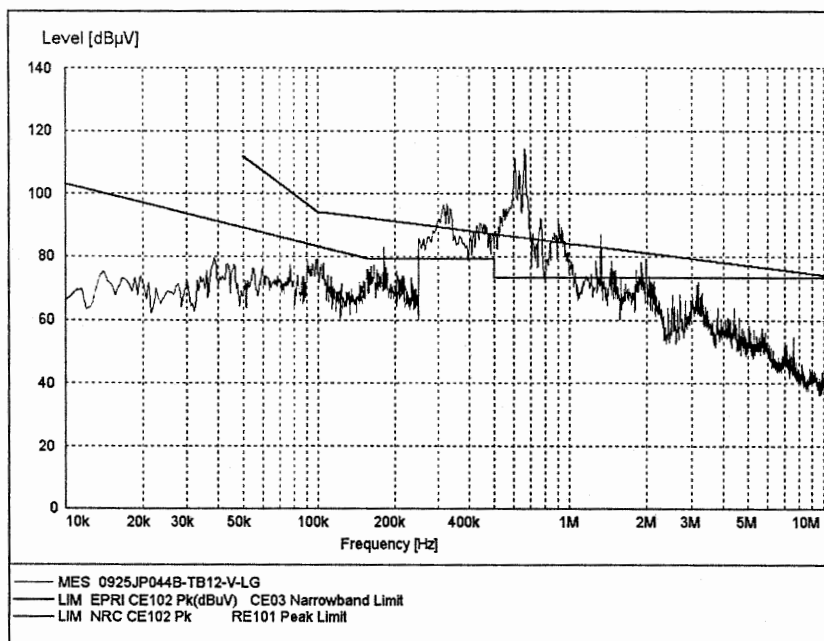


그림 B.370 JP044B(SSPS Tr 'A', CH B)-TB12-V-LG

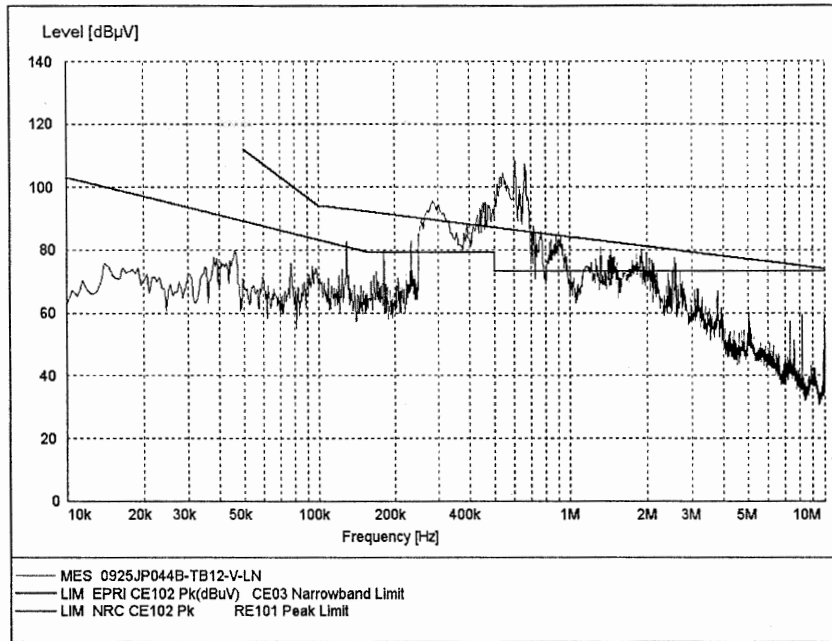


그림 B.371 JP044B(SSPS Tr 'A', CH B)-TB12-V-LN

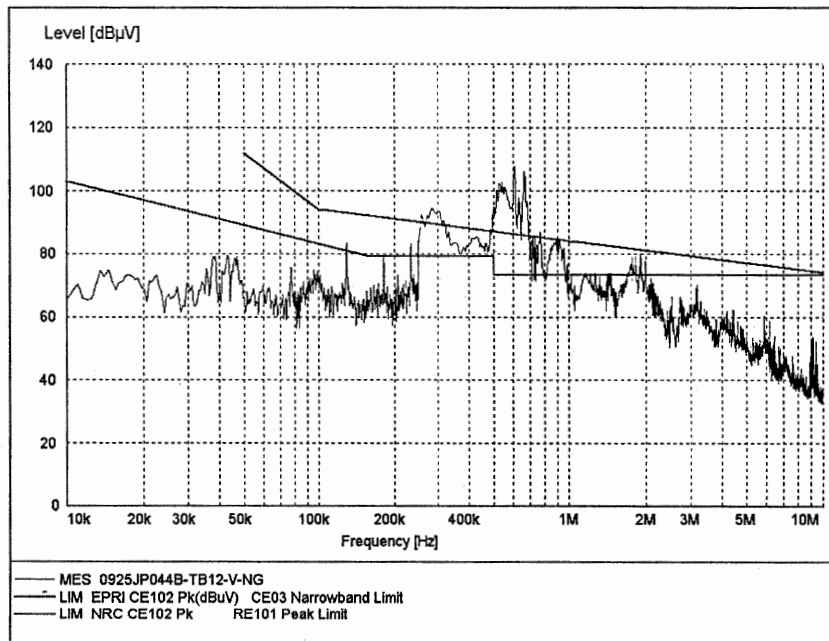


그림 B.372 JP044B(SSPS Tr 'A', CH B)-TB12-V-NG

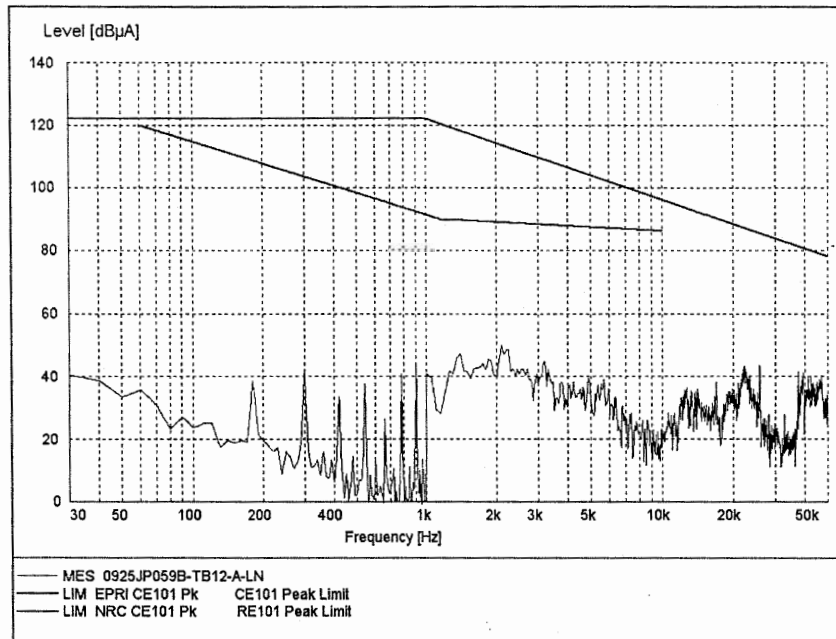


그림 B.373 JP059B(SSPS Tr 'B', CH B)-TB12-A-LN

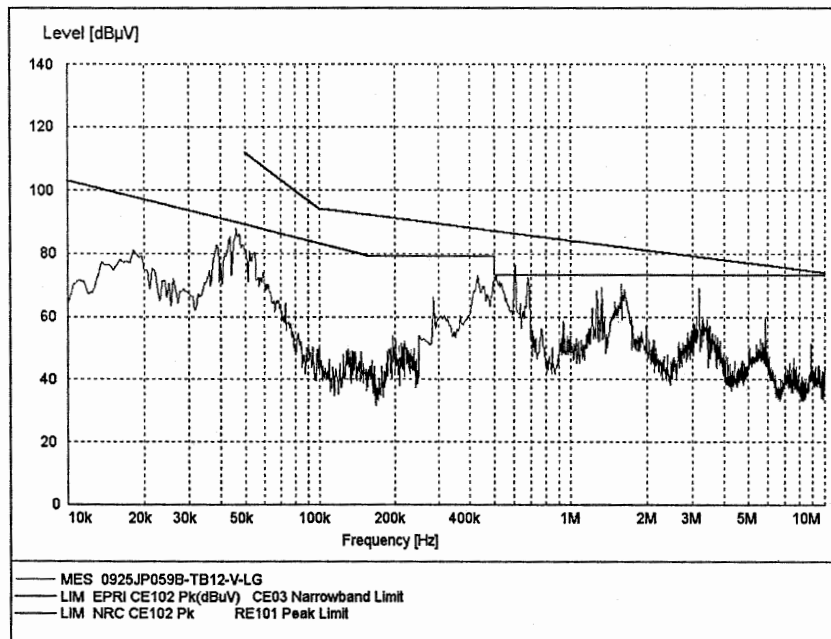


그림 B.374 JP059B(SSPS Tr 'B', CH B)-TB12-V-LG

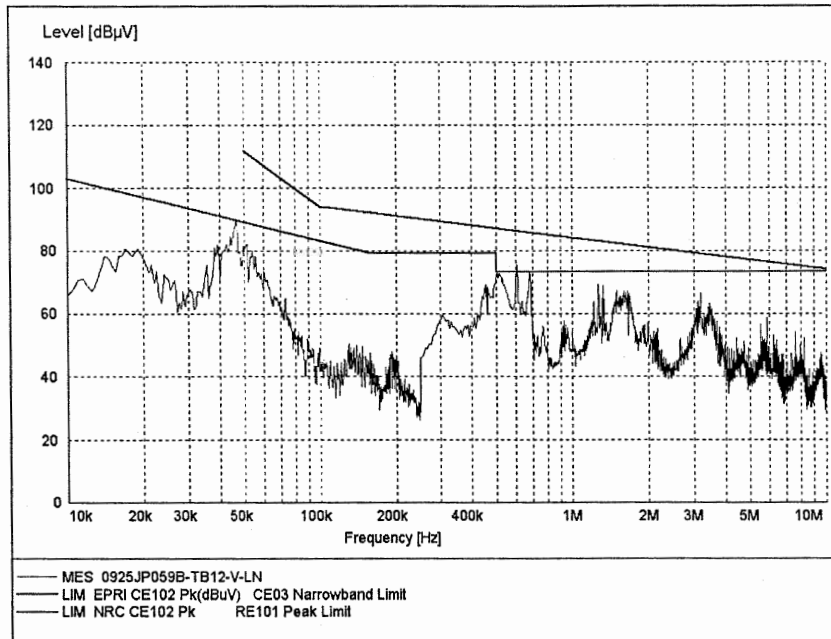


그림 B.375 JP059B(SSPS Tr 'B', CH B)-TB12-V-LN

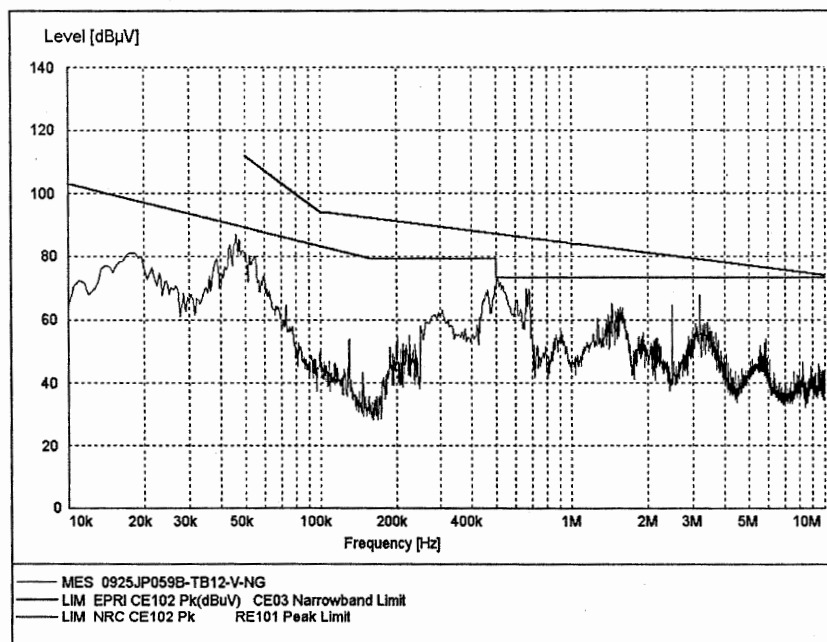


그림 B.376 JP059B(SSPS Tr 'B', CH B)-TB12-V-NG

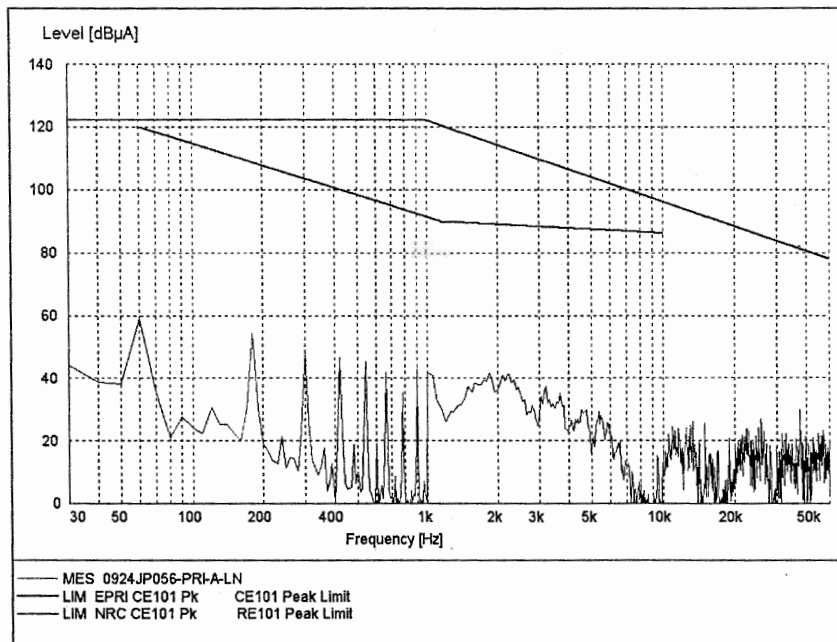


그림 B.377 JP056(W7300 Protection II)-PRI-A-LN

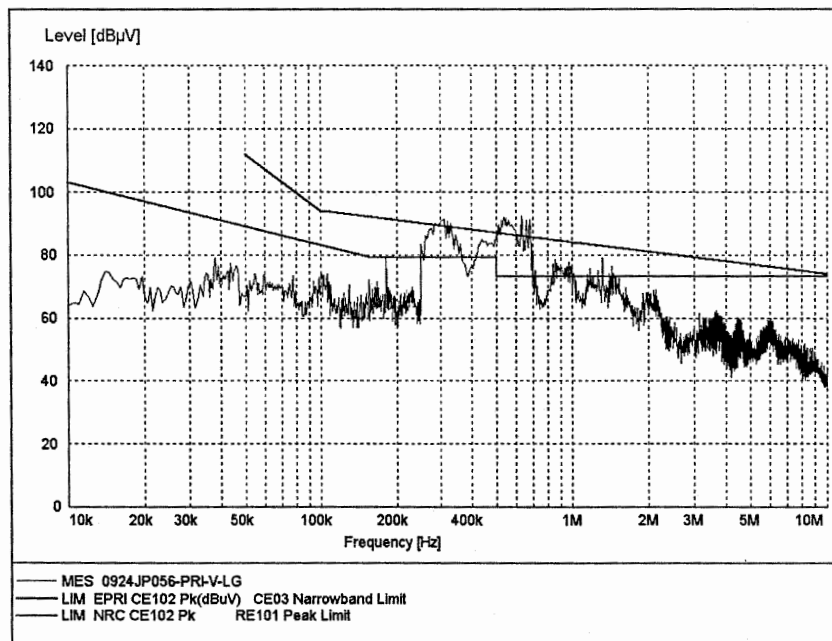


그림 B.378 JP056(W7300 Protection II)-PRI-V-LG

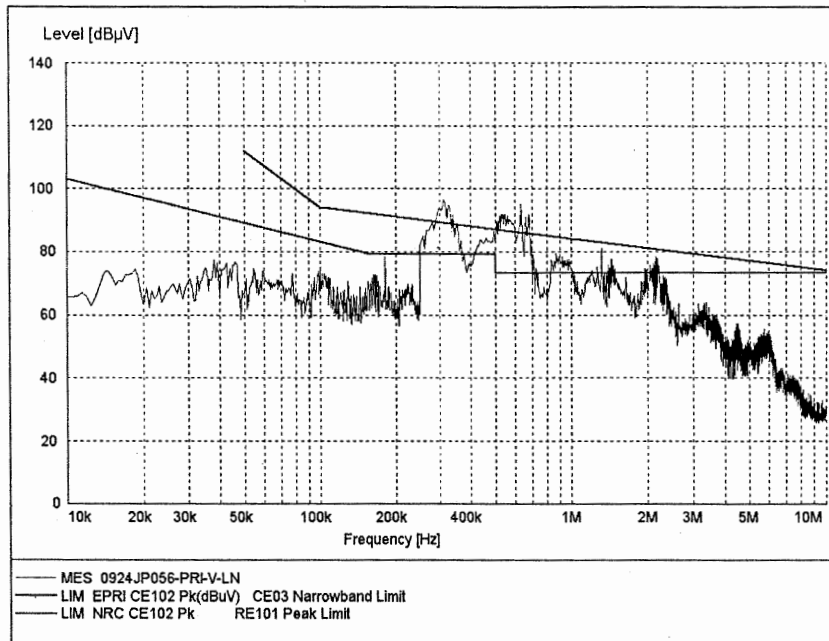


그림 B.379 JP056(W7300 Protection II)-PRI-V-LN

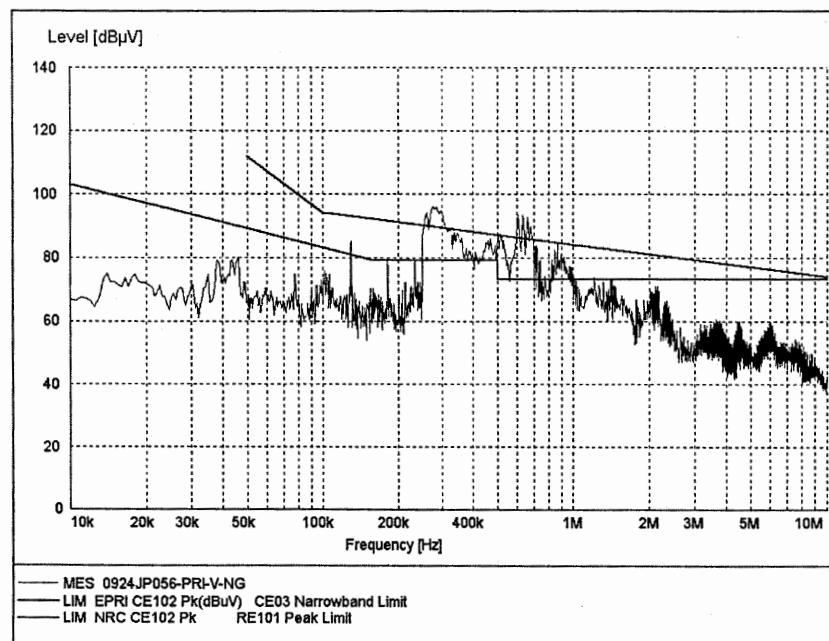


그림 B.380 JP056(W7300 Protection II)-PRI-V-NG

10. 전원입력방법 : B-5E-PQ-N002(인버터)

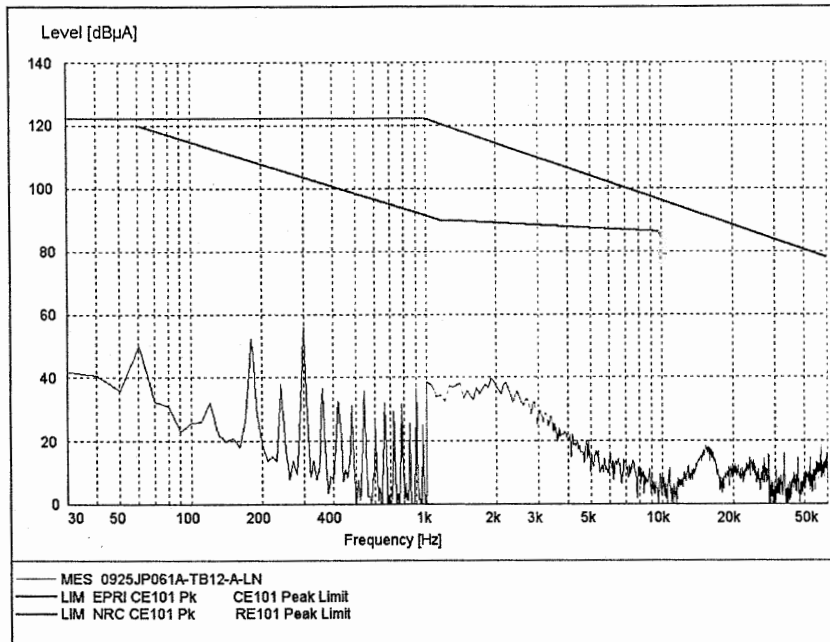


그림 B.381 JP061A(SSILS)-TB12-A-LN

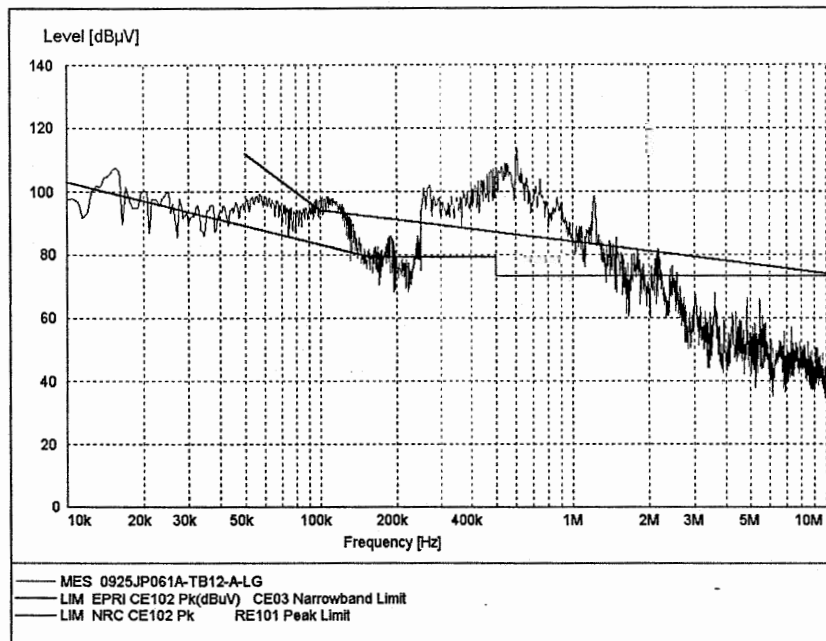


그림 B.382 JP061A(SSILS)-TB12-V-LG

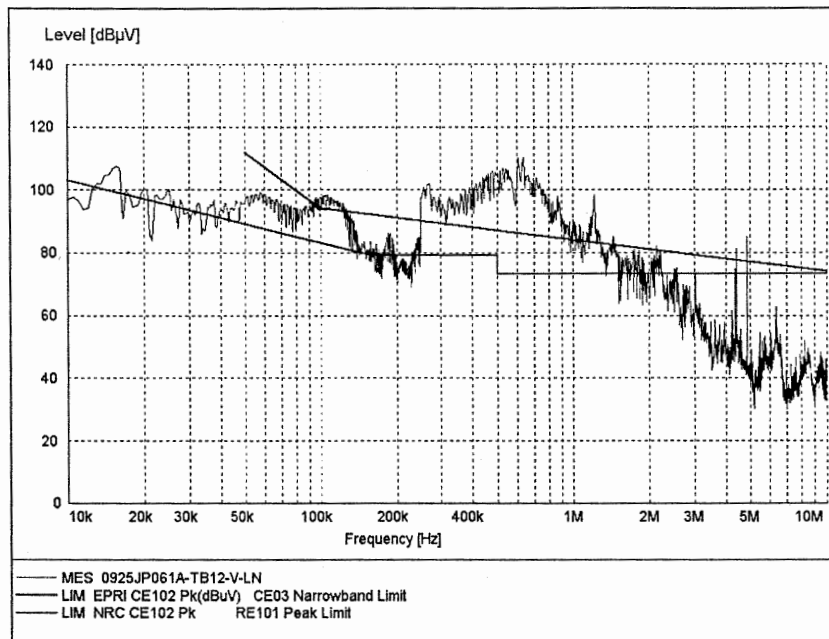


그림 B.383 JP061A(SSILS)-TB12-V-LN

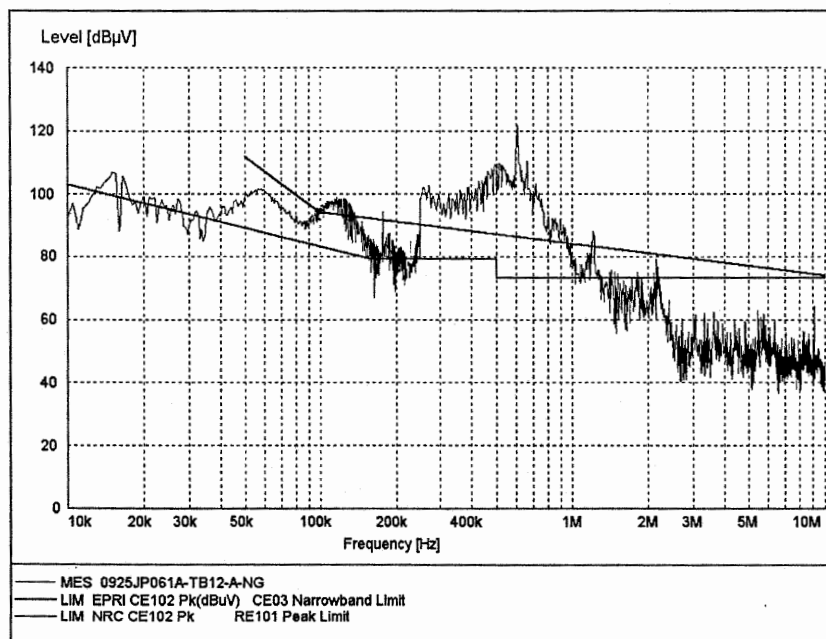


그림 B.384 JP061A(SSILS)-TB12-V-NG

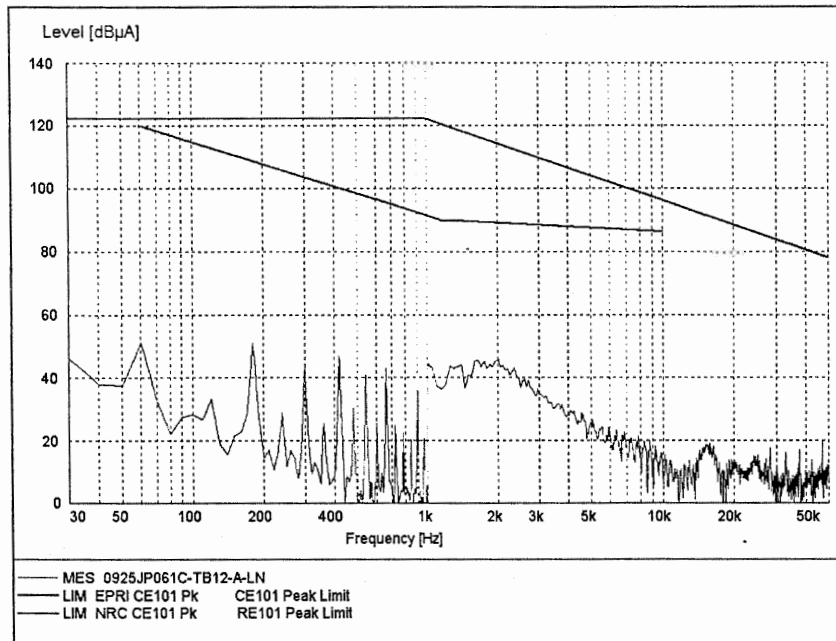


그림 B.385 JP061C(SSILS)-TB12-A-LN

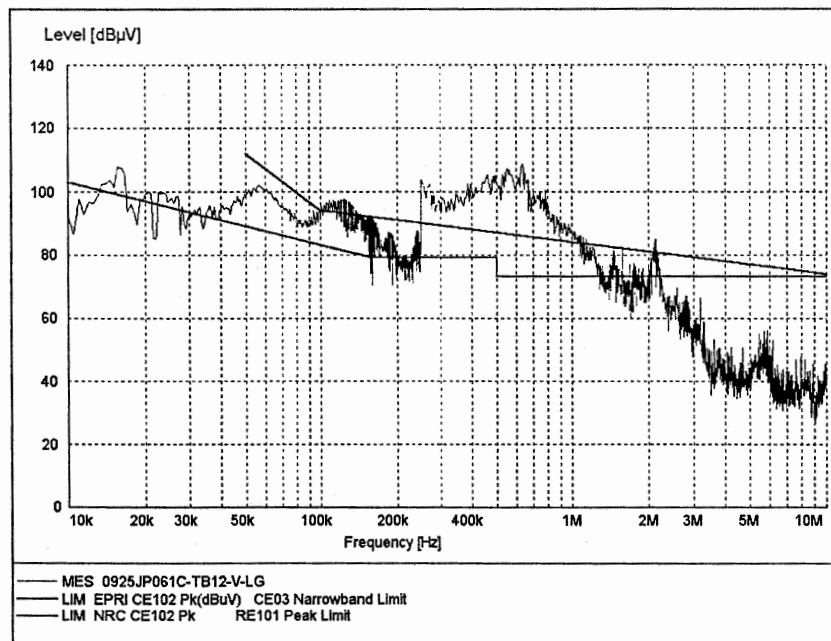


그림 B.386 JP061C(SSILS)-TB12-V-LG

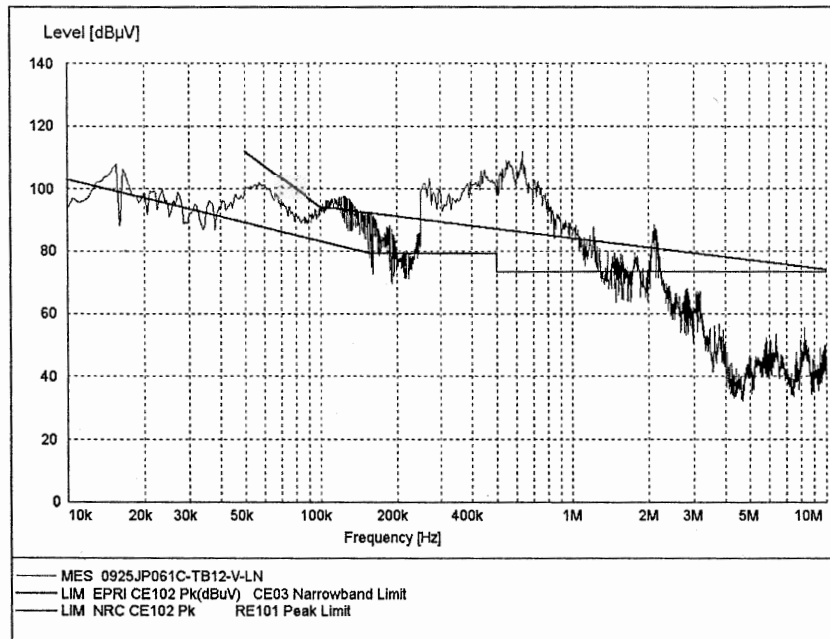


그림 B.387 JP061C(SSILS)-TB12-V-LN

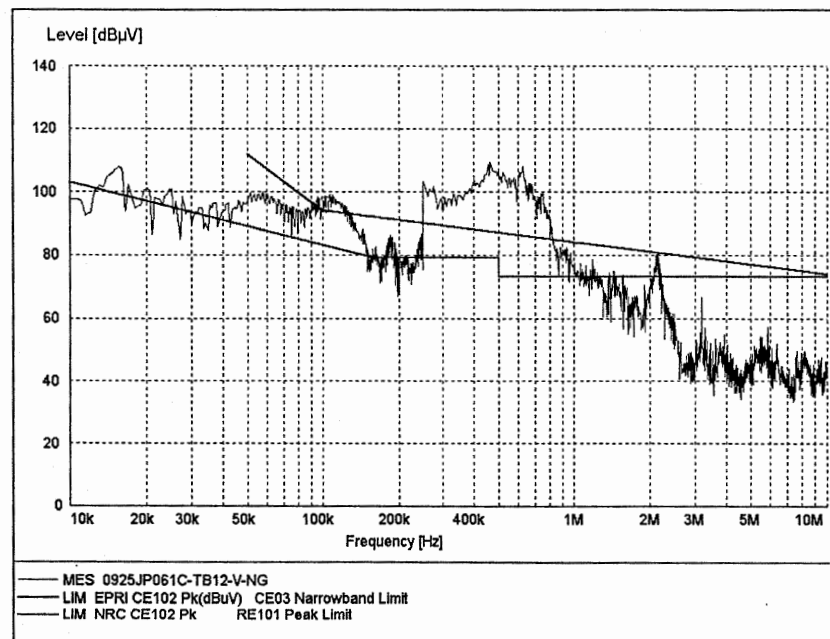


그림 B.388 JP061C(SSILS)-TB12-V-NG

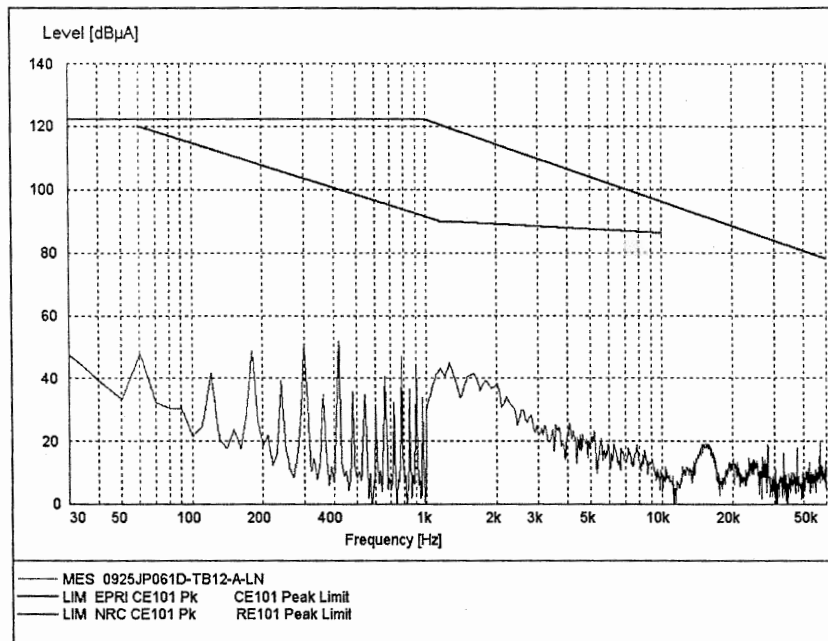


그림 B.389 JP061D(SSILS)-TB12-A-LN

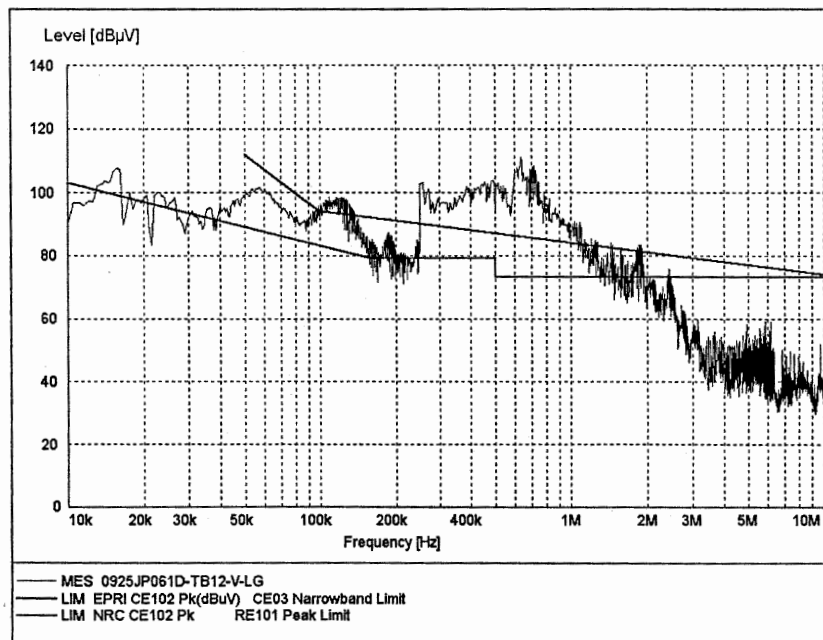


그림 B.390 JP061D(SSILS)-TB12-V-LG

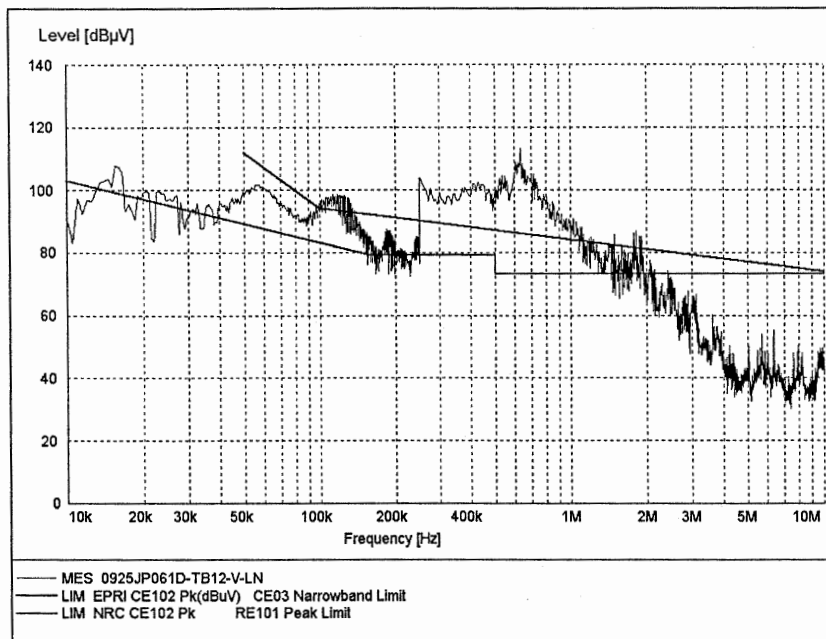


그림 B.391 JP061D(SSILS)-TB12-V-LN

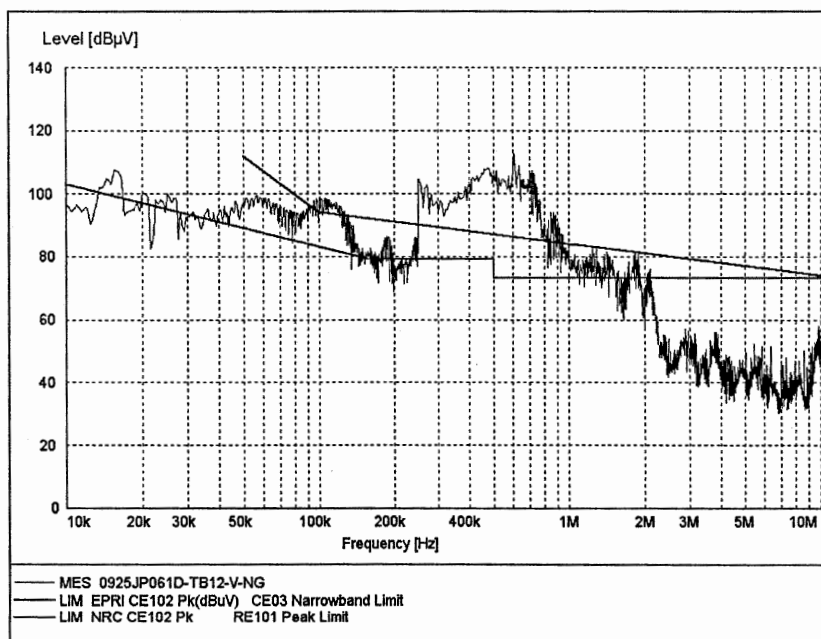


그림 B.392 JP061D(SSILS)-TB12-V-NG

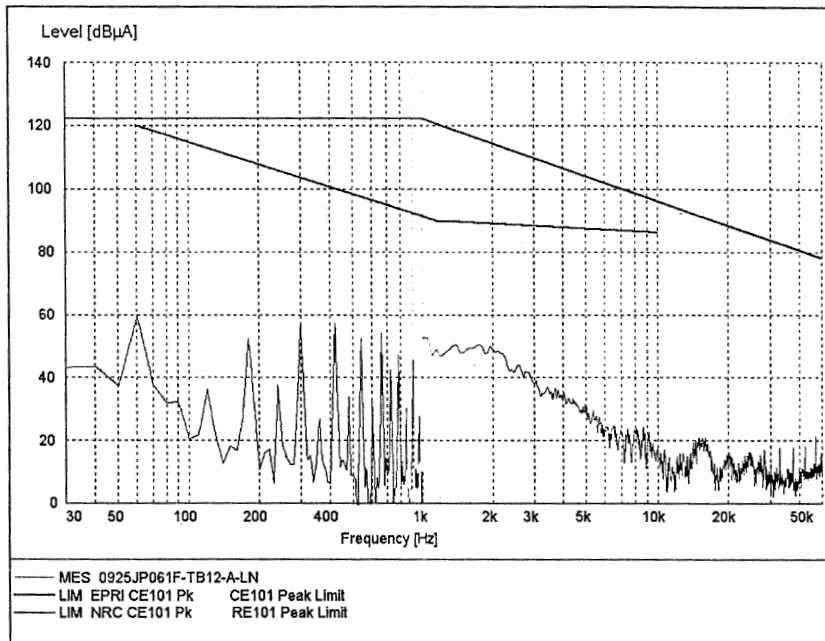


그림 B.393 JP061F(SSILS)-TB12-A-LN

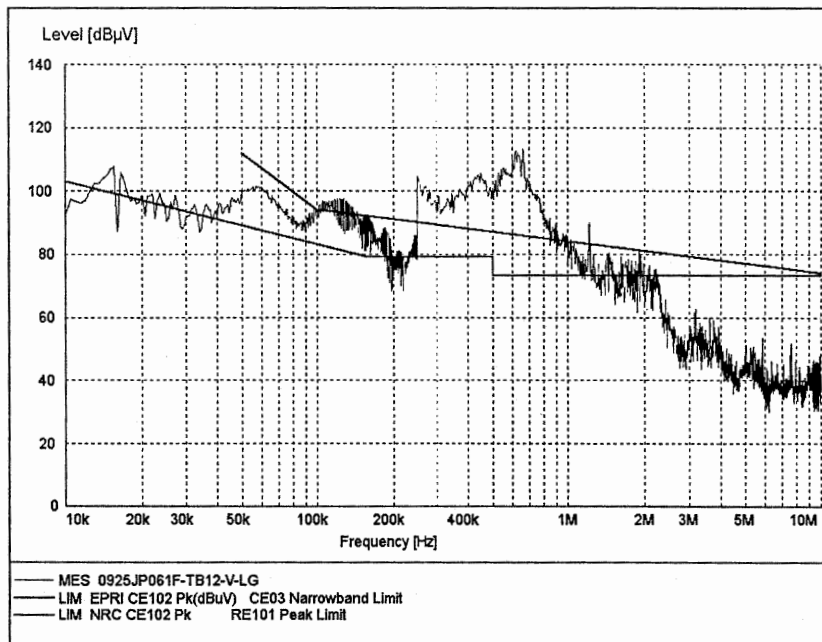


그림 B.394 JP061F(SSILS)-TB12-V-LG

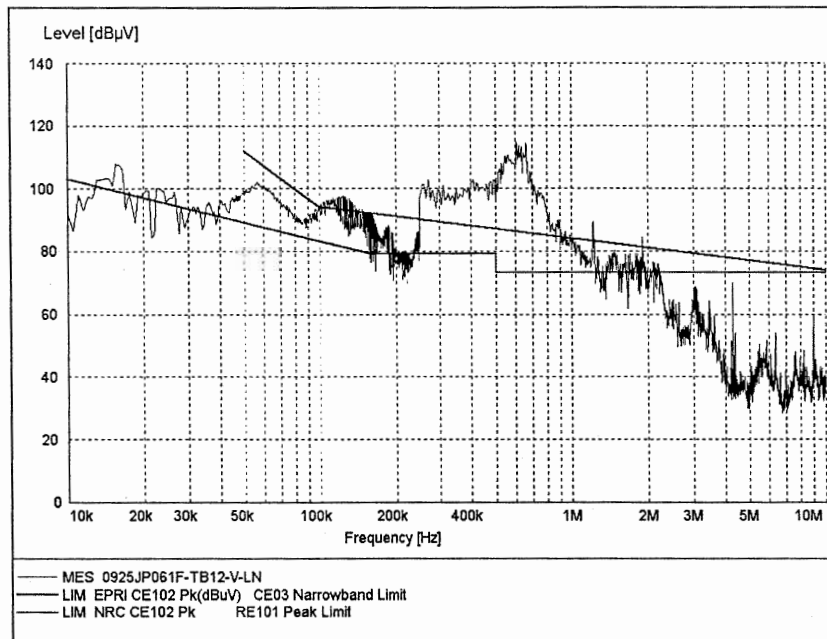


그림 B.395 JP061F(SSILS)-TB12-V-LN

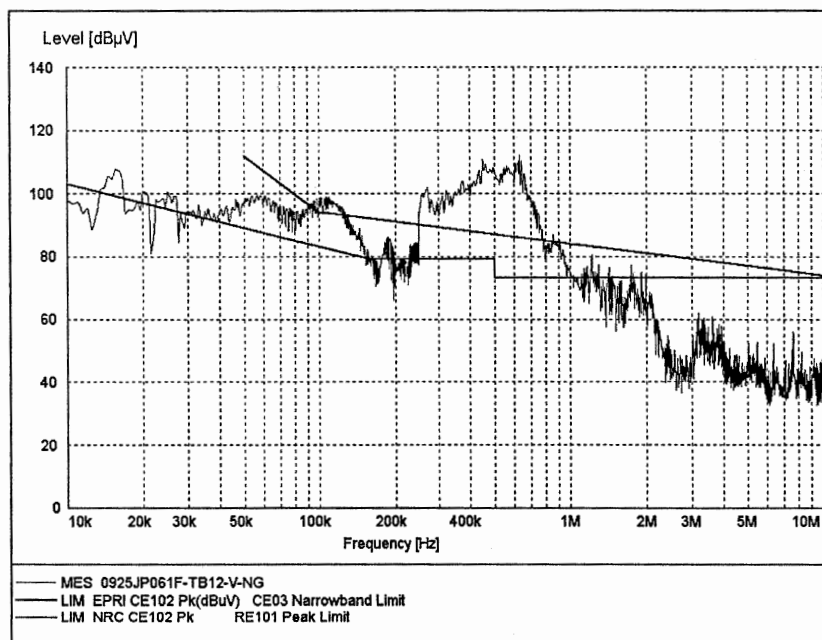


그림 B.396 JP061F(SSILS)-TB12-V-NG

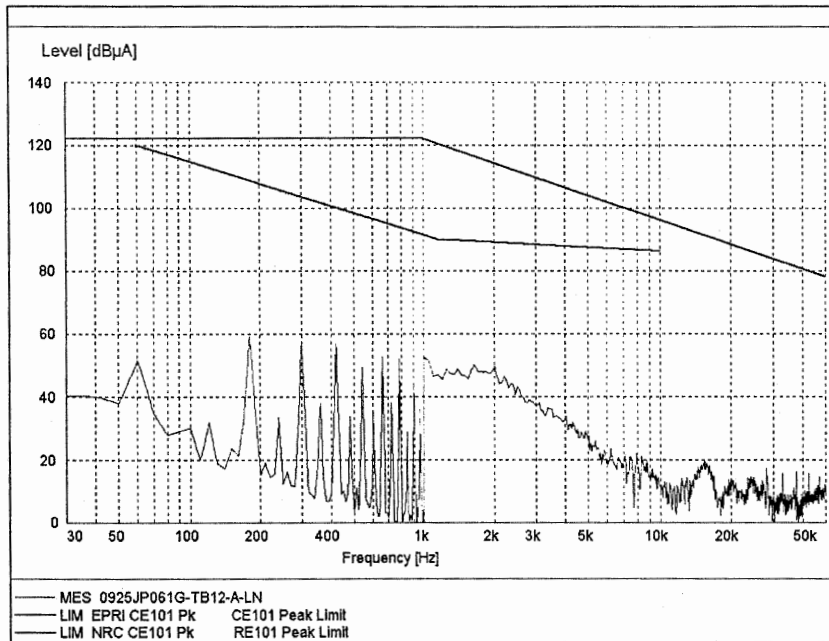


그림 B.397 JP061G(SSILS)-TB12-A-LN

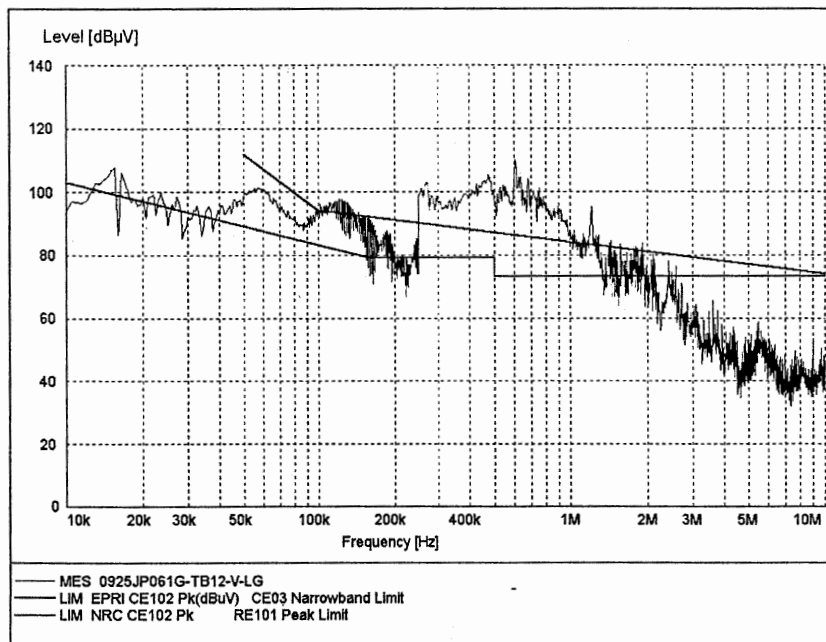


그림 B.398 JP061G(SSILS)-TB12-V-LG

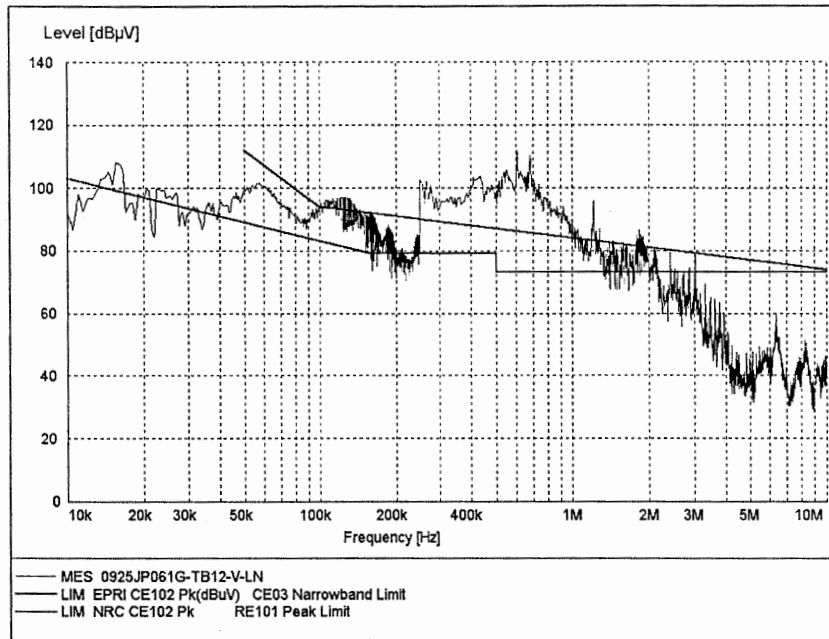


그림 B.399 JP061G(SSILS)-TB12-V-LN

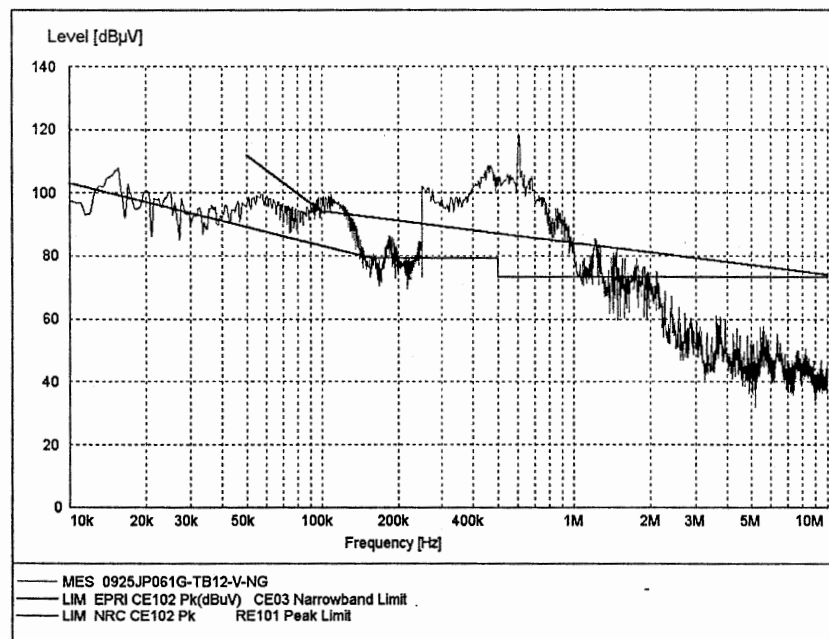


그림 B.400 JP061G(SSILS)-TB12-V-NG

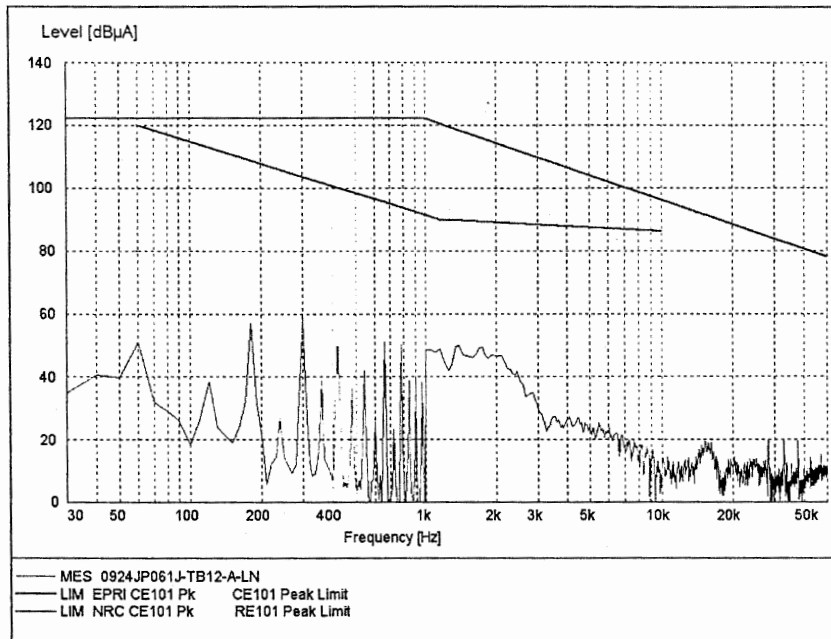


그림 B.401 JP061J(SSILS)-TB12-A-LN

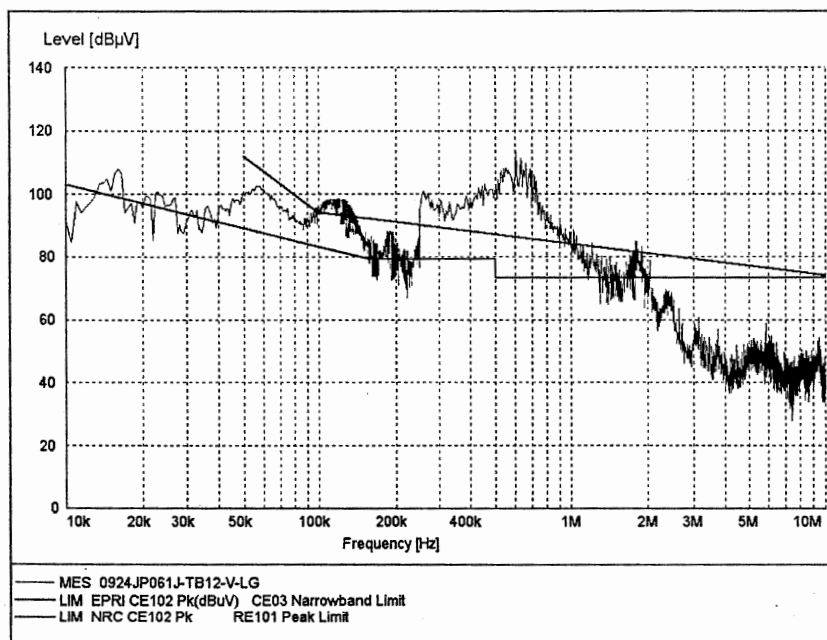


그림 B.402 JP061J(SSILS)-TB12-V-LG

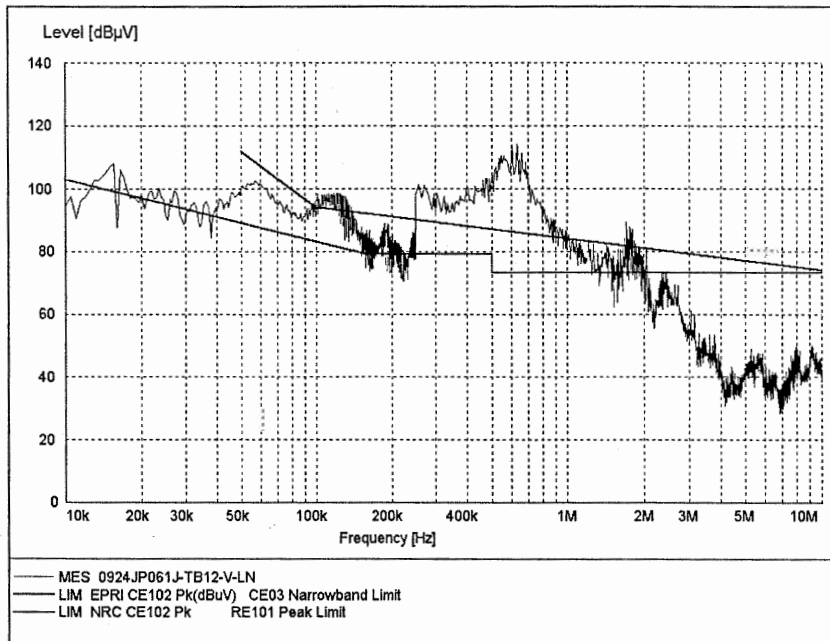


그림 B.403 JP061J(SSILS)-TB12-V-LN

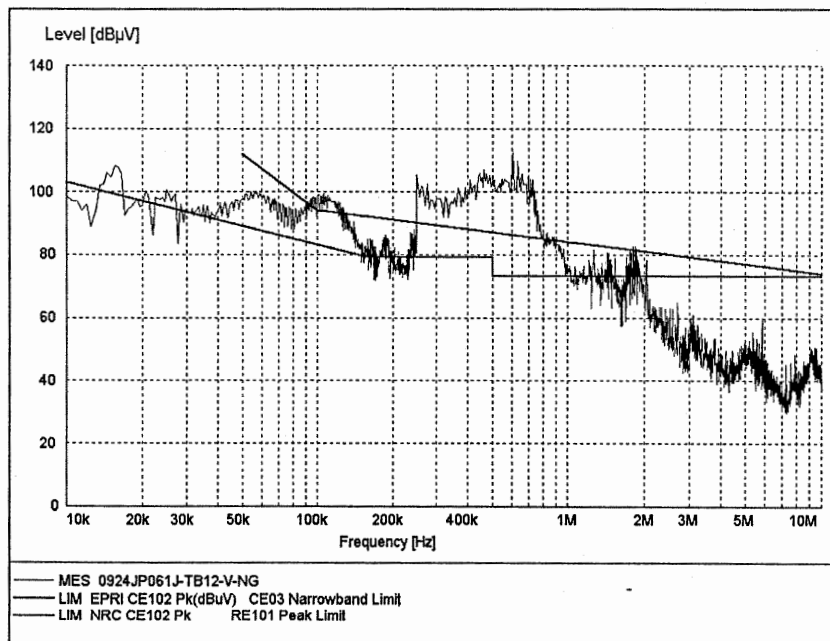


그림 B.404 JP061J(SSILS)-TB12-V-NG

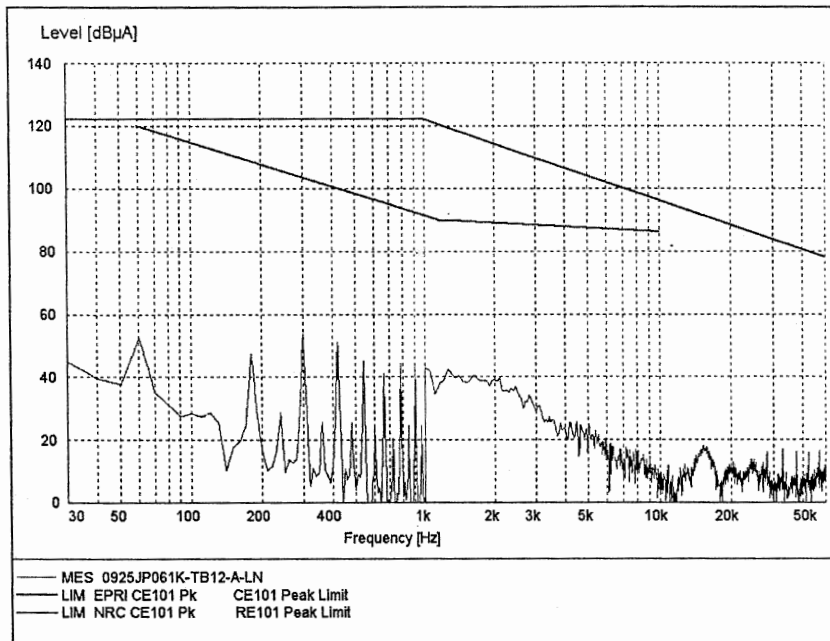


그림 B.405 JP061K(SSILS)-TB12-A-LN

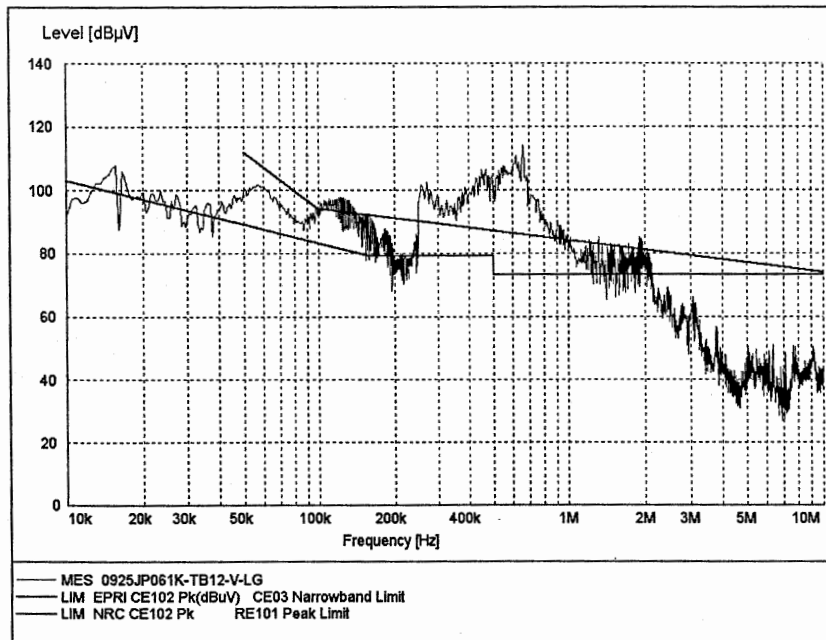


그림 B.406 JP061K(SSILS)-TB12-V-LG

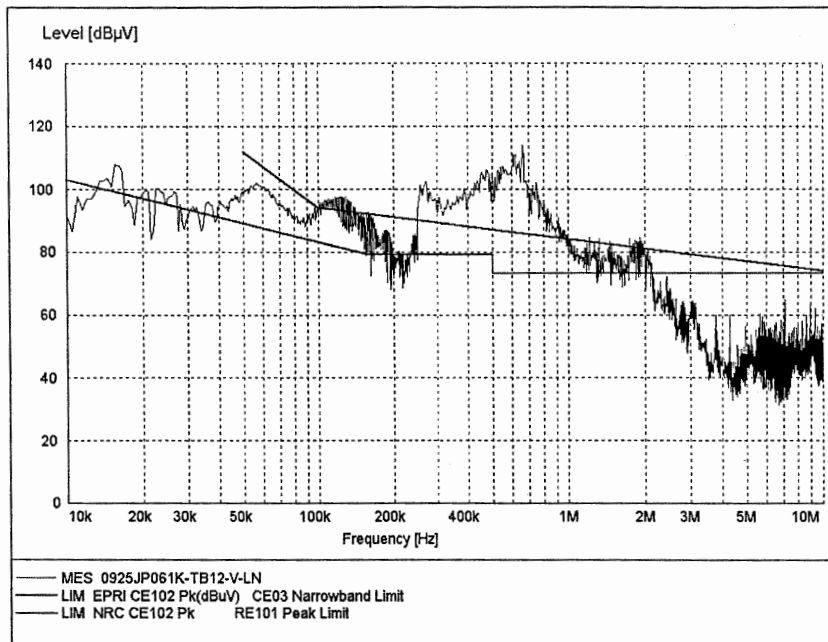


그림 B.407 JP061K(SSILS)-TB12-V-LN

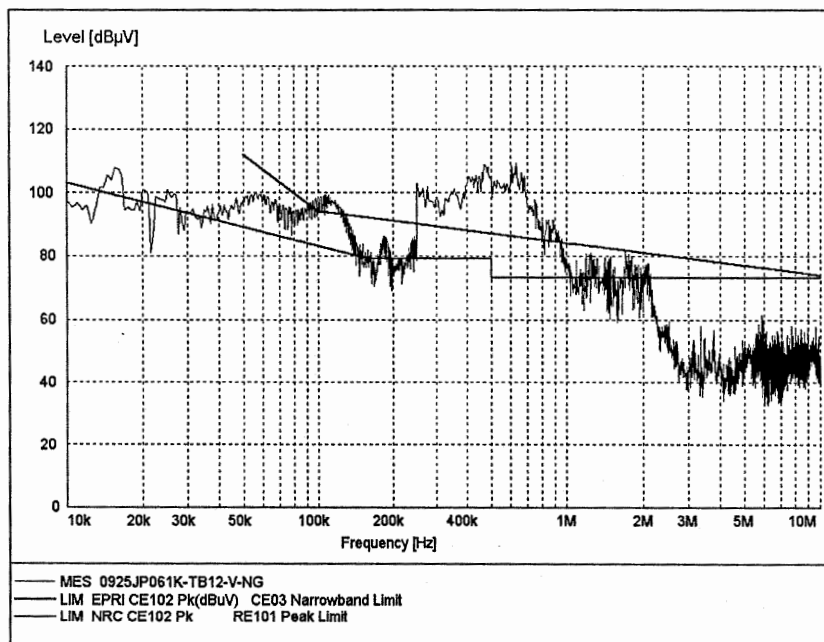


그림 B.408 JP061K(SSILS)-TB12-V-NG

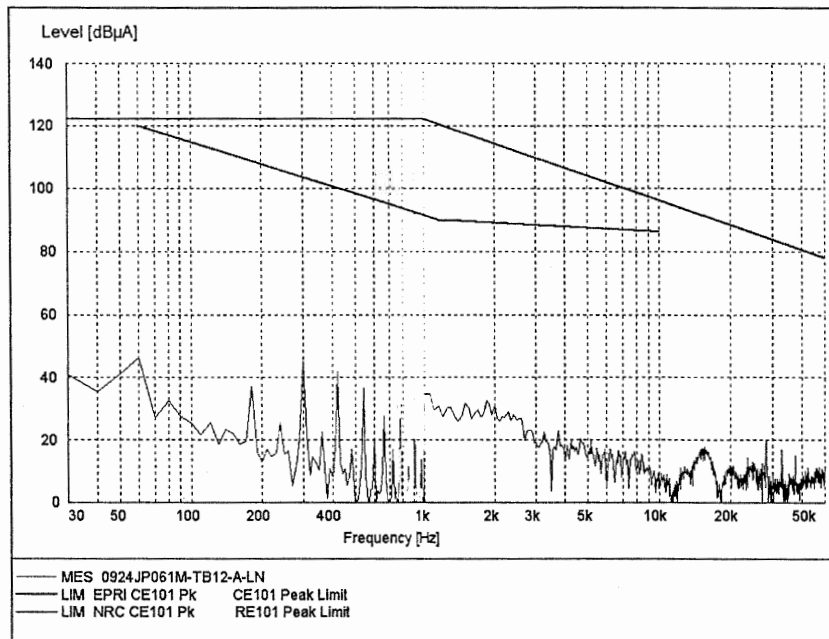


그림 B.409 JP061M(SSILS)-TB12-A-LN

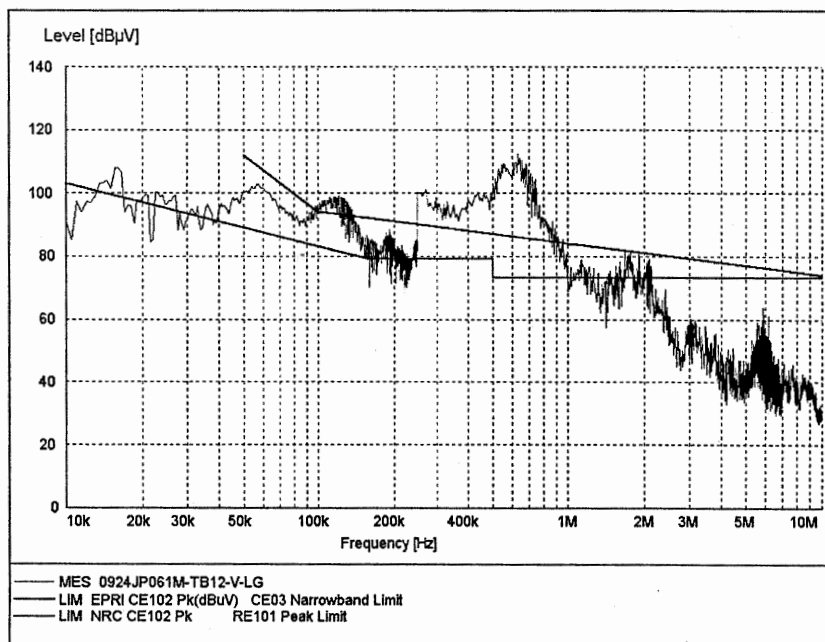


그림 B.410 JP061M(SSILS)-TB12-V-LG

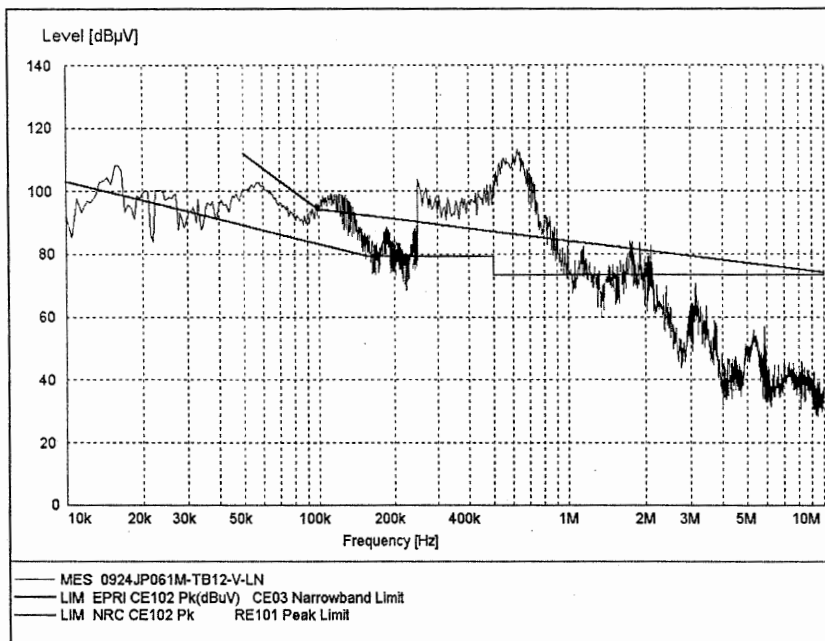


그림 B.411 JP061M(SSILS)-TB12-V-LN

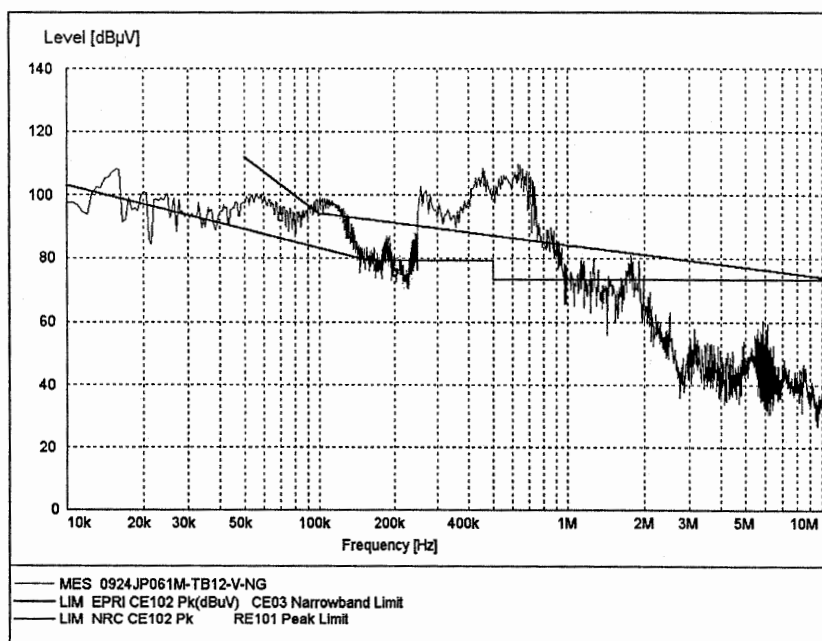


그림 B.412 JP061M(SSILS)-TB12-V-NG

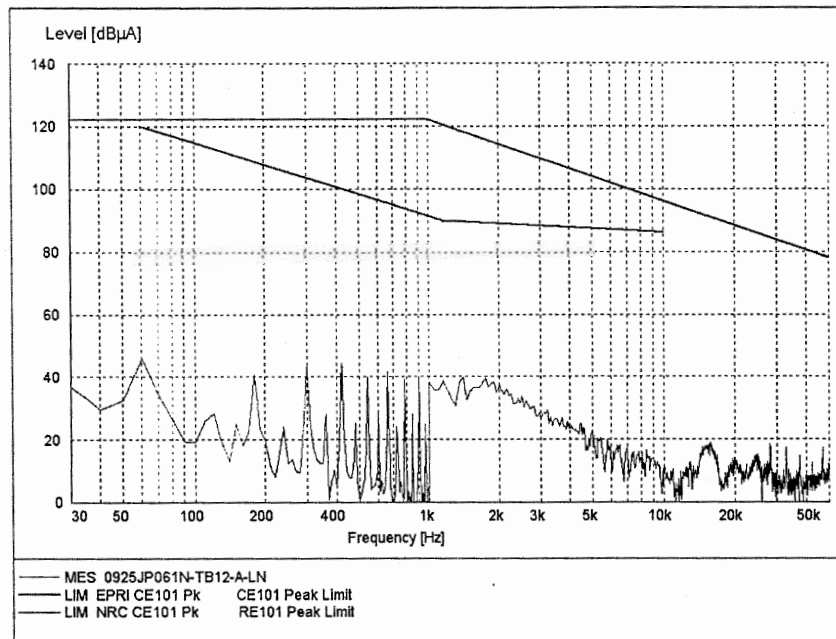


그림 B.413 JP061N(SSILS)-TB12-A-LN

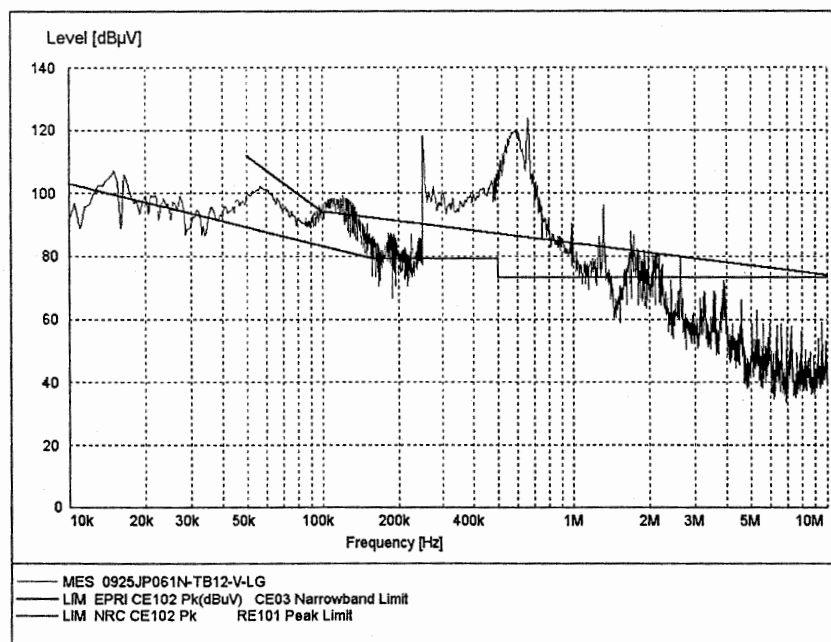


그림 B.414 JP061N(SSILS)-TB12-V-LG

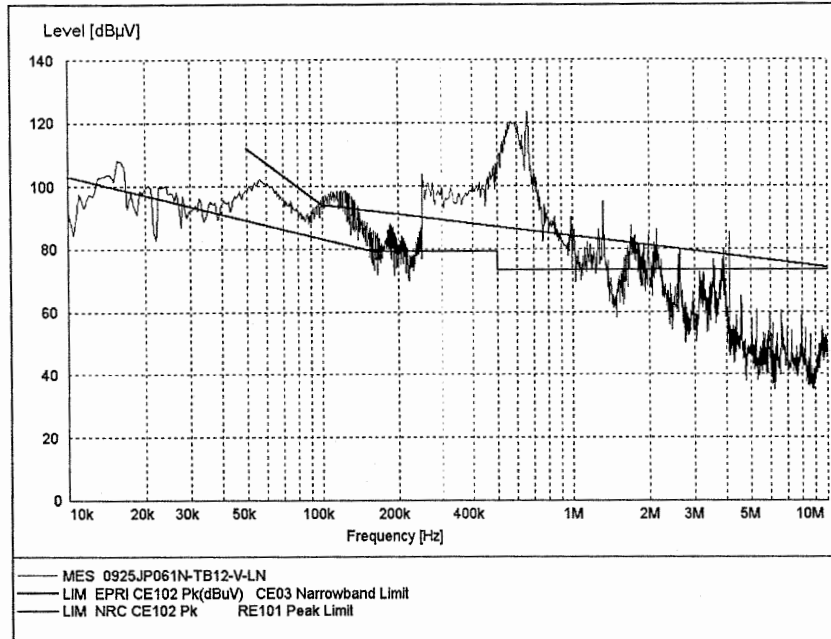


그림 B.415 JP061N(SSILS)-TB12-V-LN

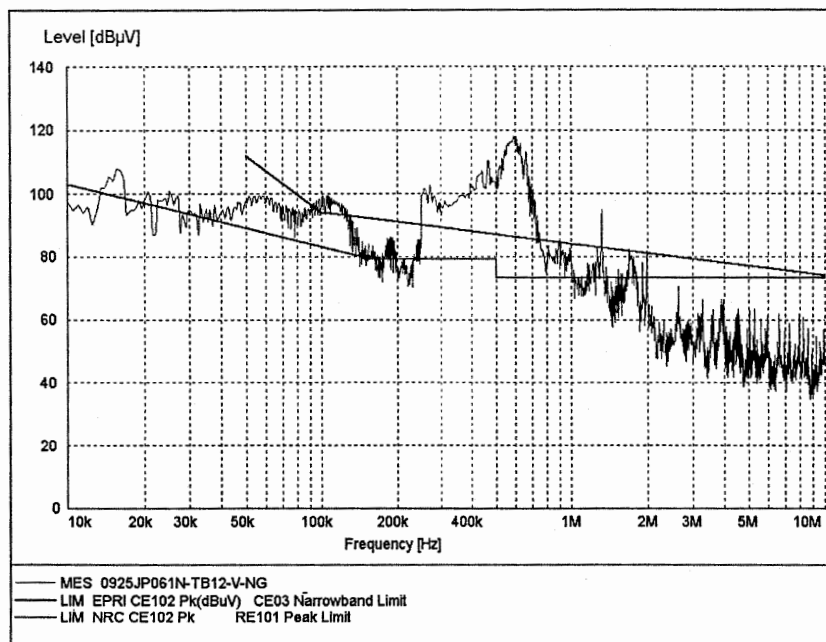


그림 B.416 JP061N(SSILS)-TB12-V-NG

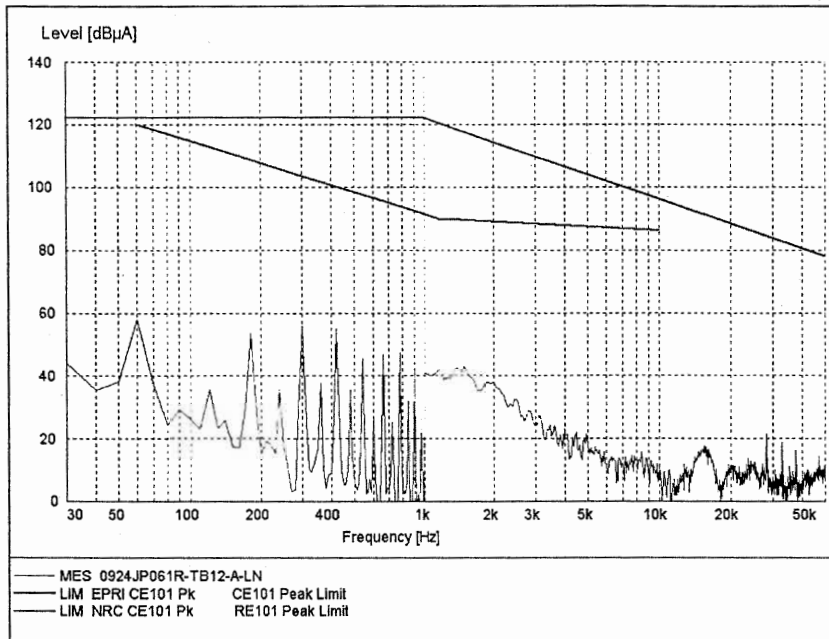


그림 B.417 JP061R(SSILS)-TB12-A-LN

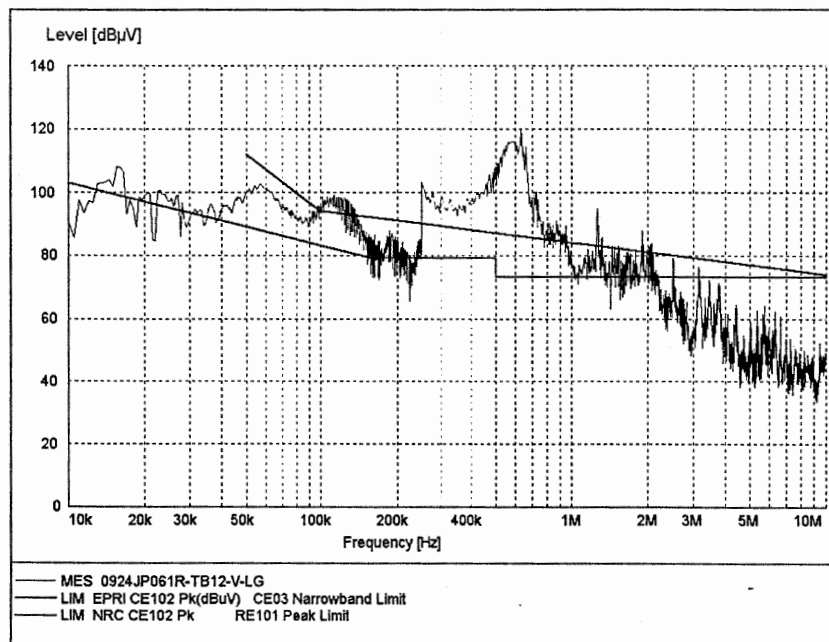


그림 B.418 JP061R(SSILS)-TB12-V-LG

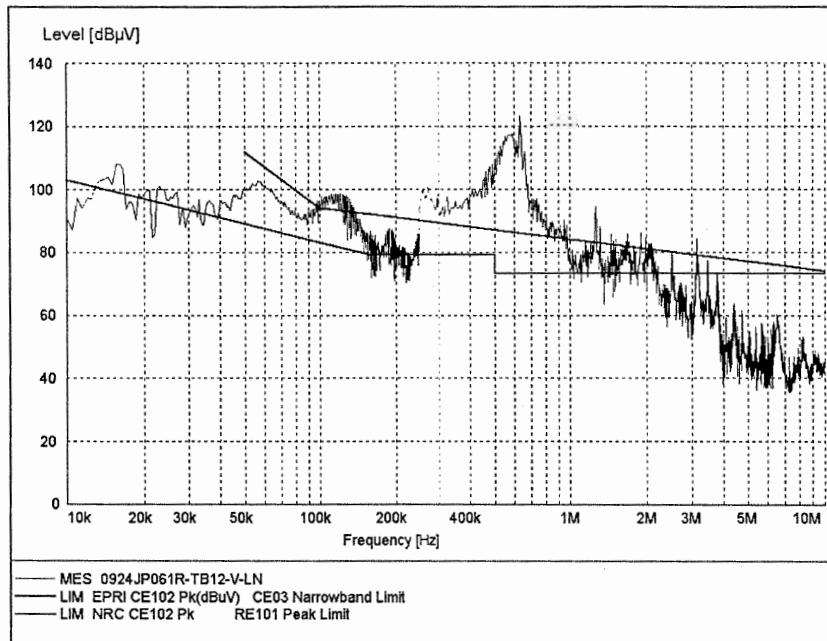


그림 B.419 JP061R(SSILS)-TB12-V-LN

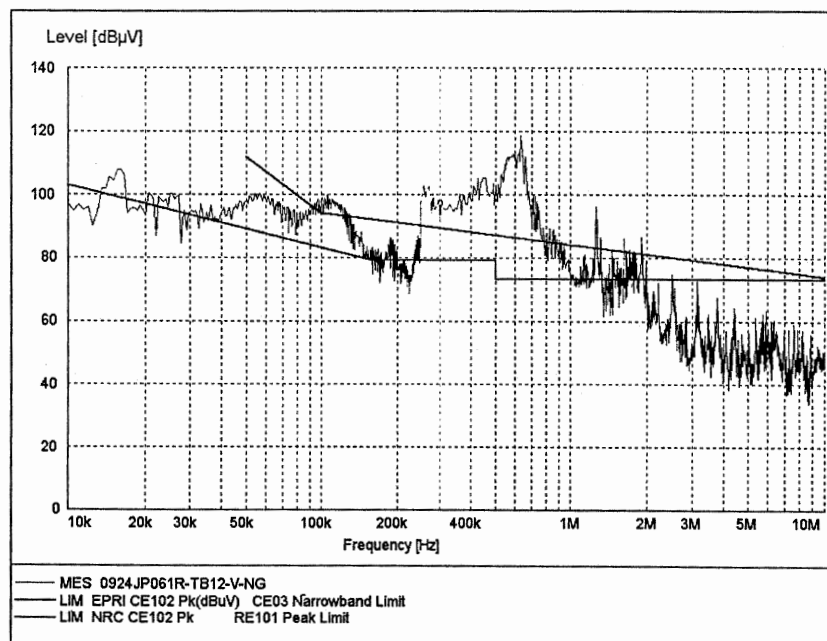


그림 B.420 JP061R(SSILS)-TB12-V-NG

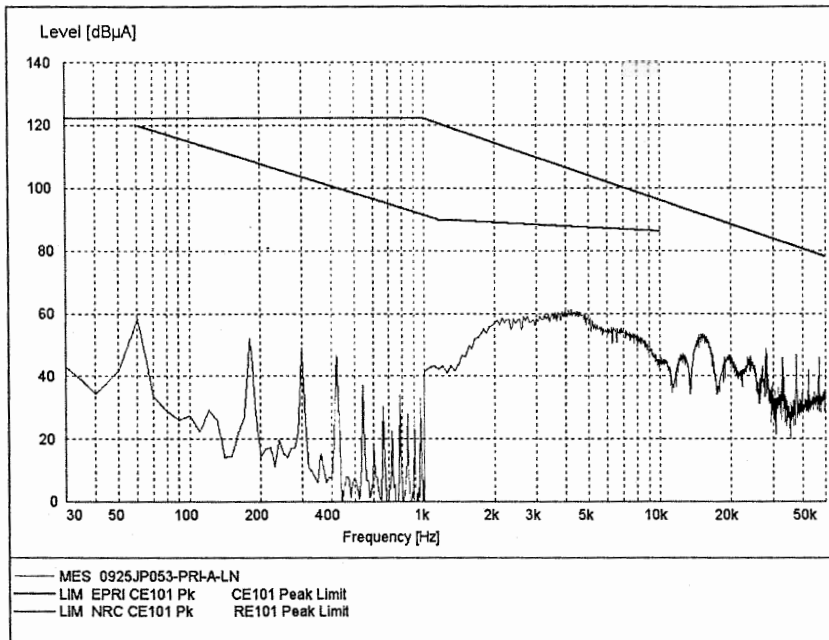


그림 B.421 JP053(W7300 BOP 1E)-PRI-A-LN

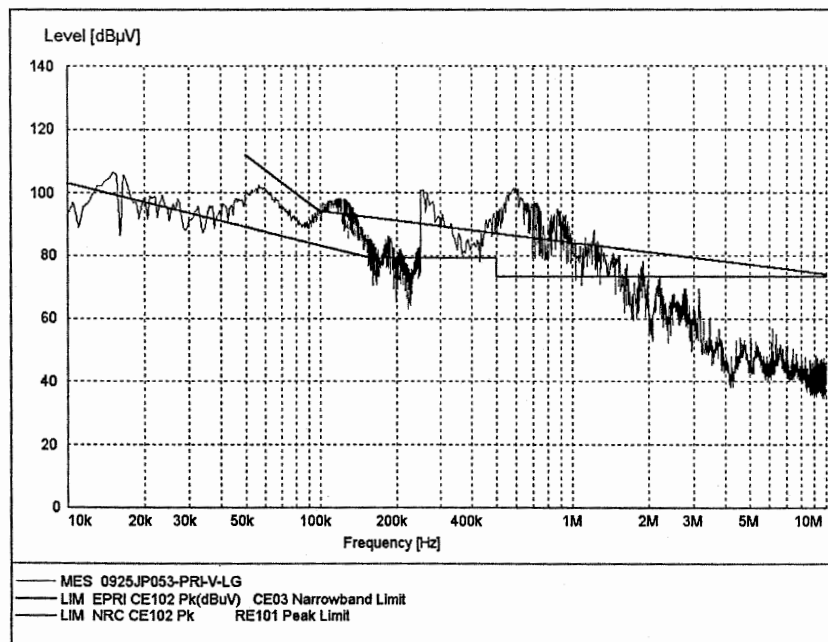


그림 B.422 JP053(W7300 BOP 1E)-PRI-V-LG

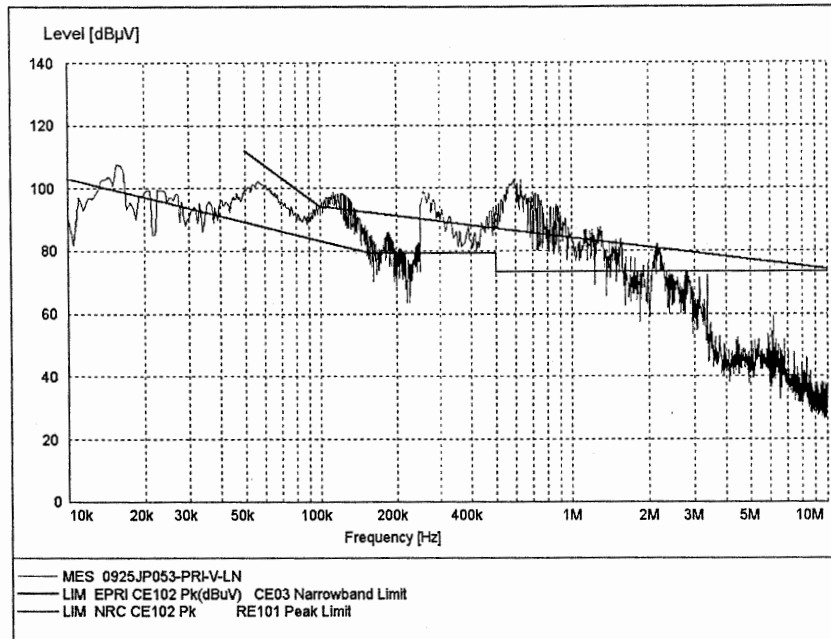


그림 B.423 JP053(W7300 BOP 1E)-PRI-V-LN

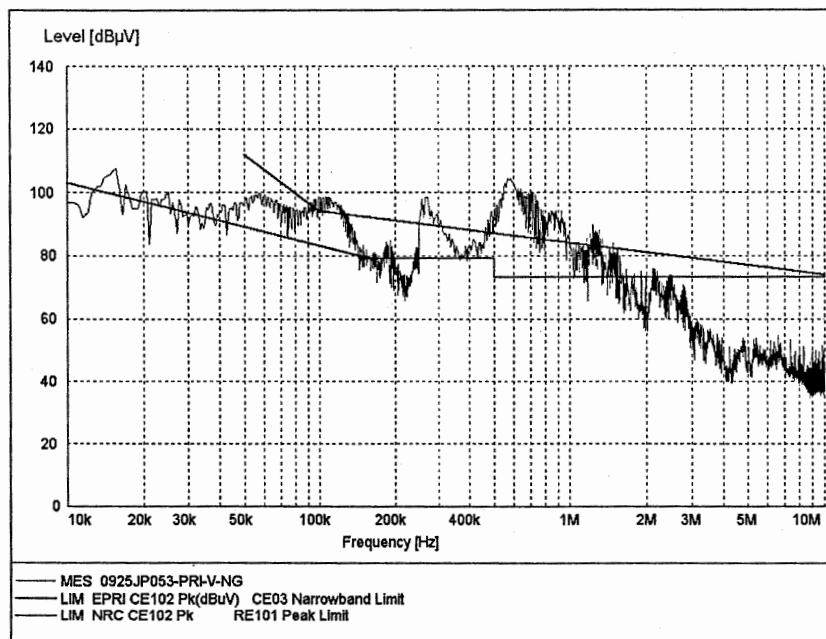


그림 B.424 JP053(W7300 BOP 1E)-PRI-V-NG

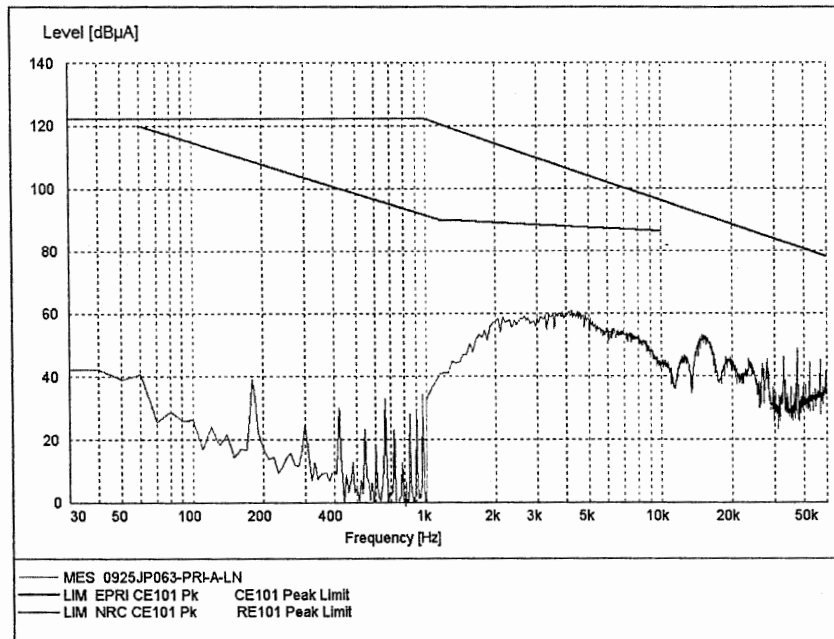


그림 B.425 JP063(W7300 BOP 1E)-PRI-A-LN

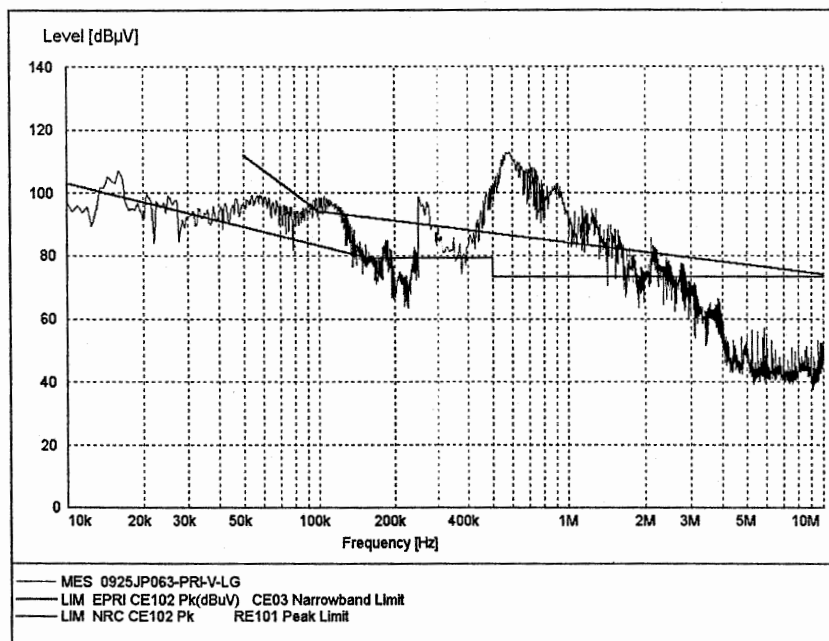


그림 B.426 JP063(W7300 BOP 1E)-PRI-V-LG

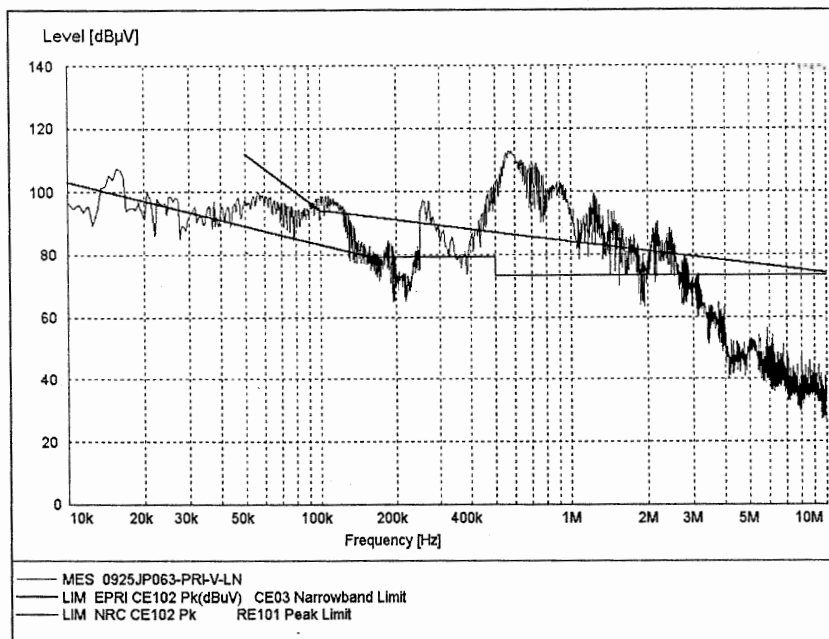


그림 B.427 JP063(W7300 BOP 1E)-PRI-V-LN

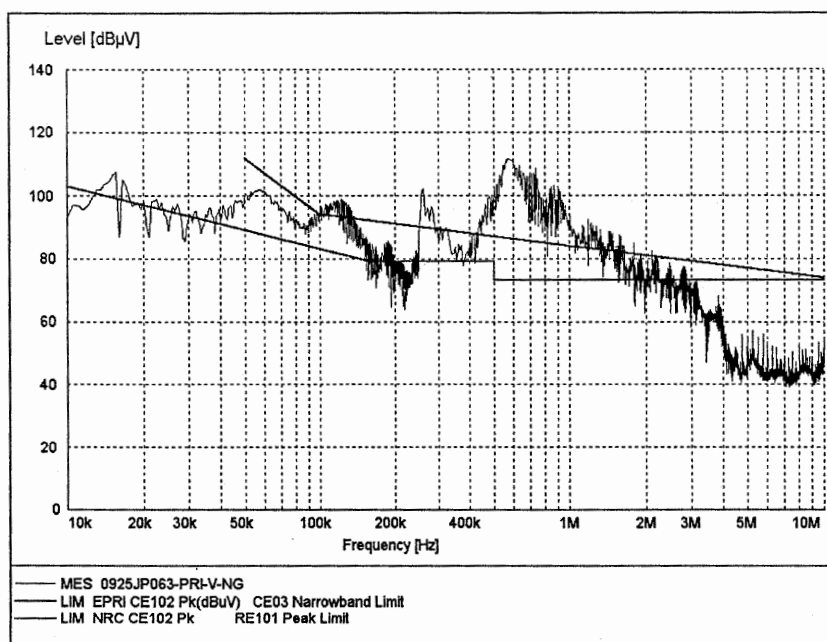


그림 B.428 JP063(W7300 BOP 1E)-PRI-V-NG

11. 전원입력방법 : B-5E-PQ-X003(레귤레이팅 변압기)

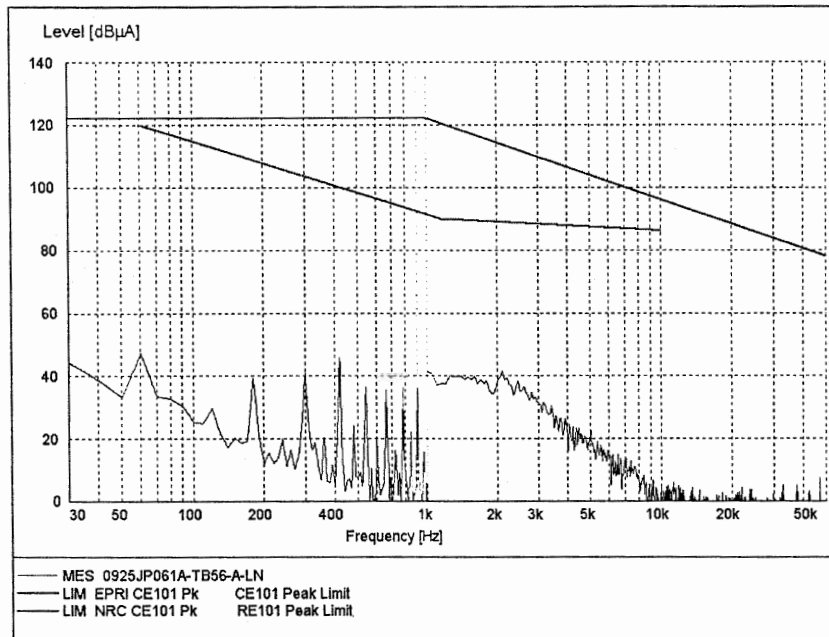


그림 B.429 JP061A(SSILS)-TB56-A-LN

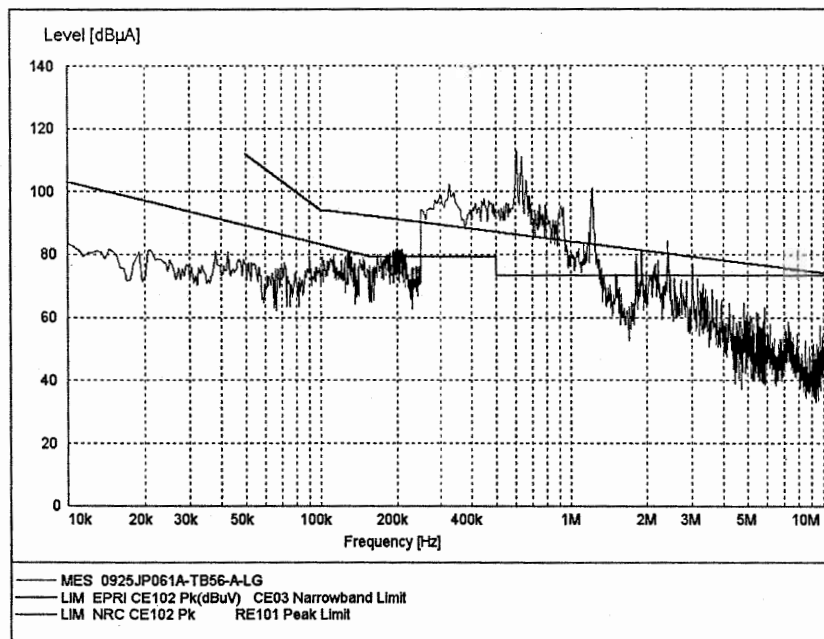


그림 B.430 JP061A(SSILS)-TB56-V-LG

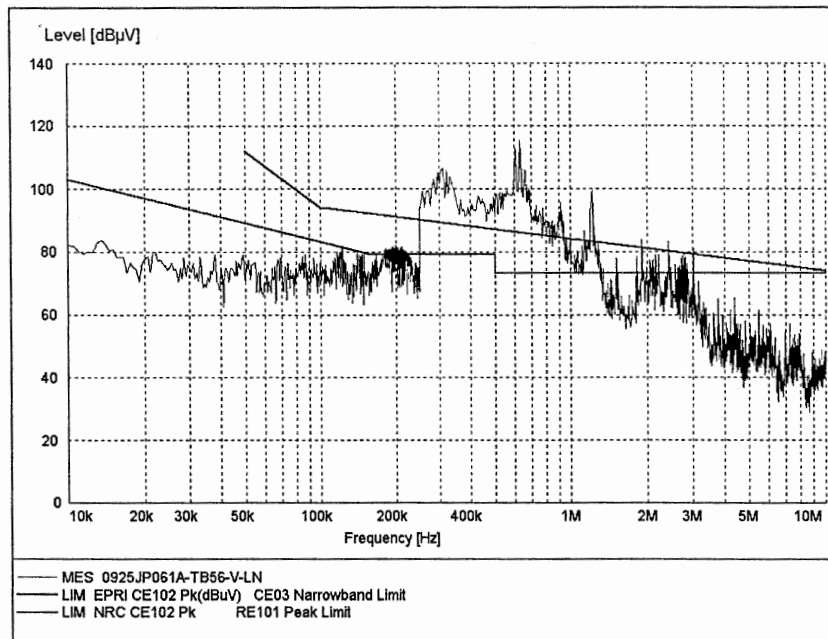


그림 B.431 JP061A(SSILS)-TB56-V-LN

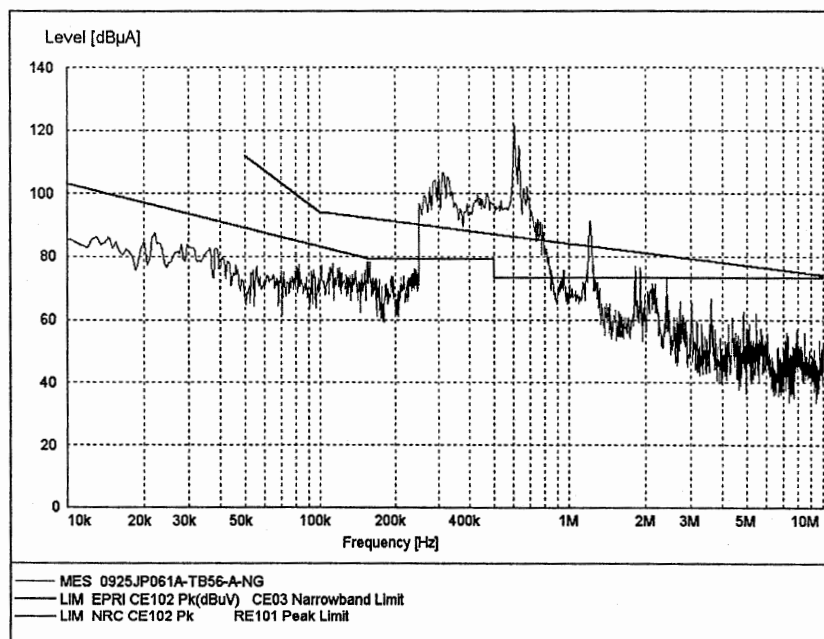


그림 B.432 JP061A(SSILS)-TB56-V-NG

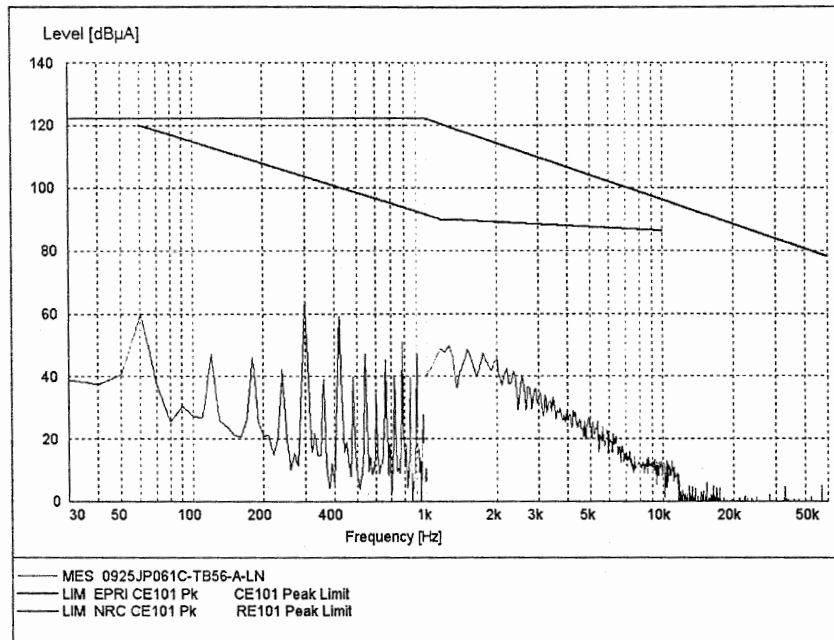


그림 B.433 JP061C(SSILS)-TB56-A-LN

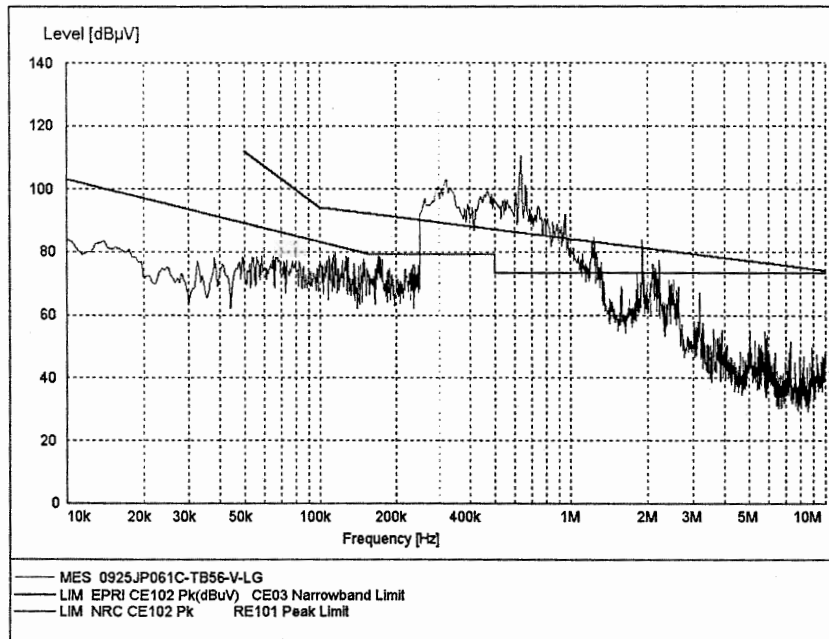


그림 B.434 JP061C(SSILS)-TB56-V-LG

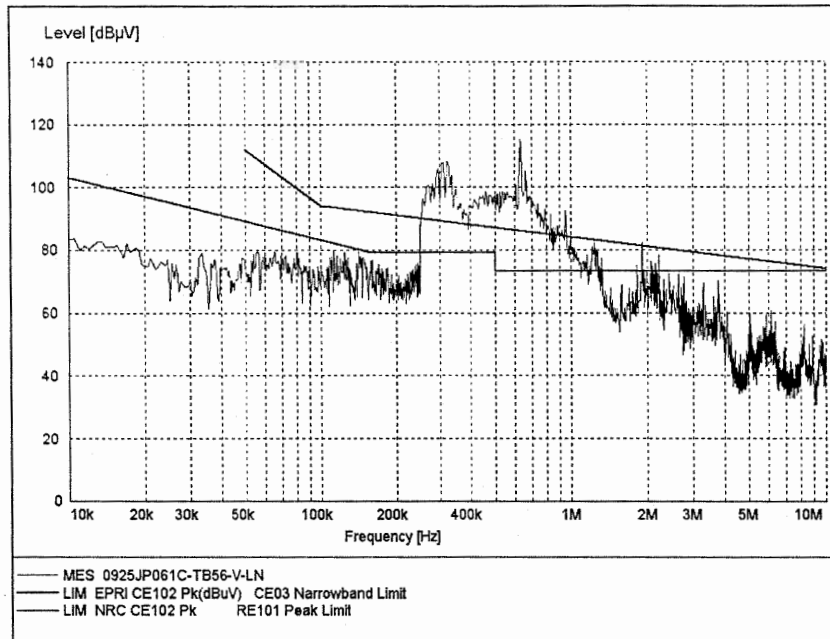


그림 B.435 JP061C(SSILS)-TB56-V-LN

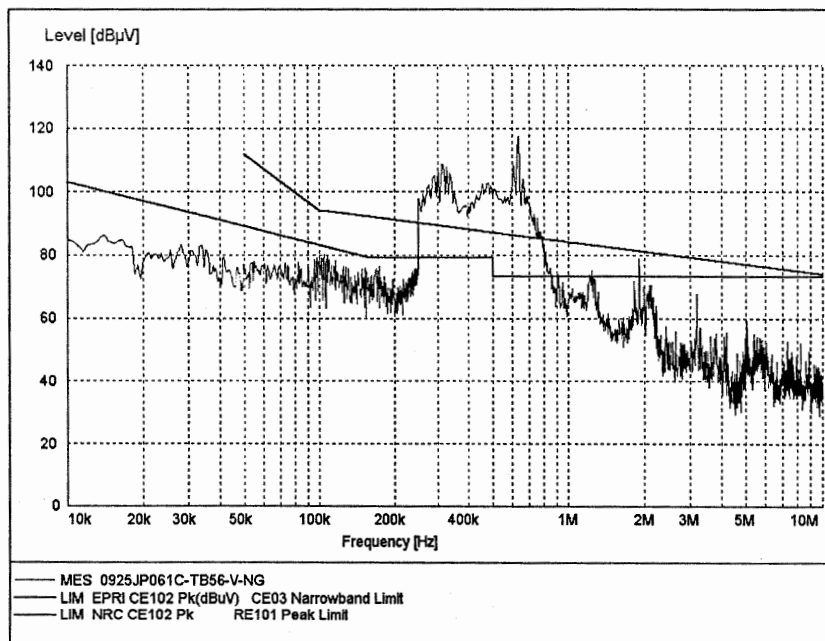


그림 B.436 JP061C(SSILS)-TB56-V-NG

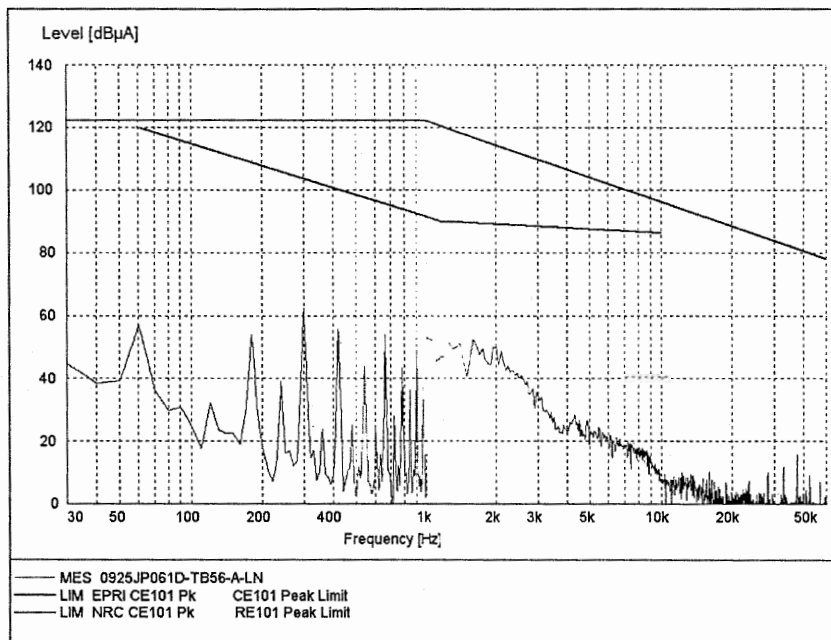


그림 B.437 JP061D(SSILS)-TB56-A-LN

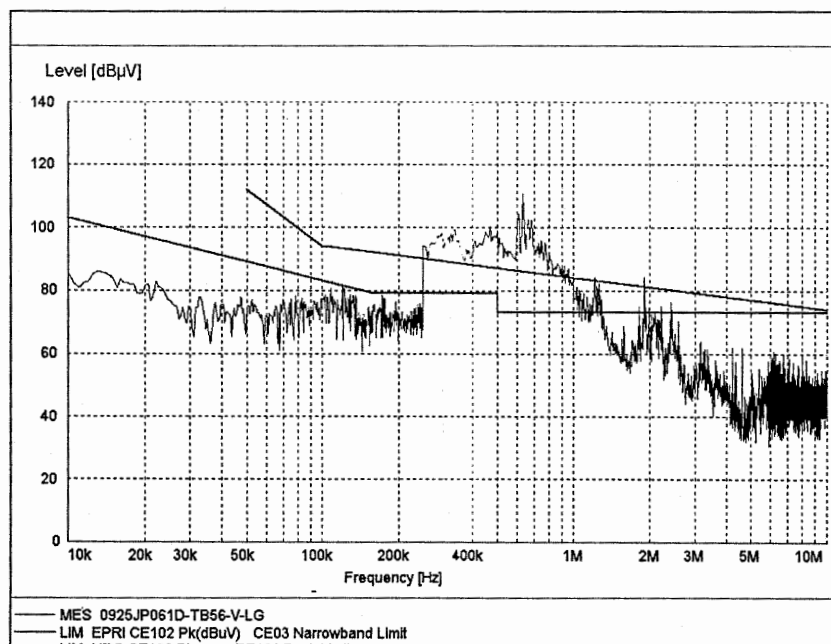


그림 B.438 JP061D(SSILS)-TB56-V-LG

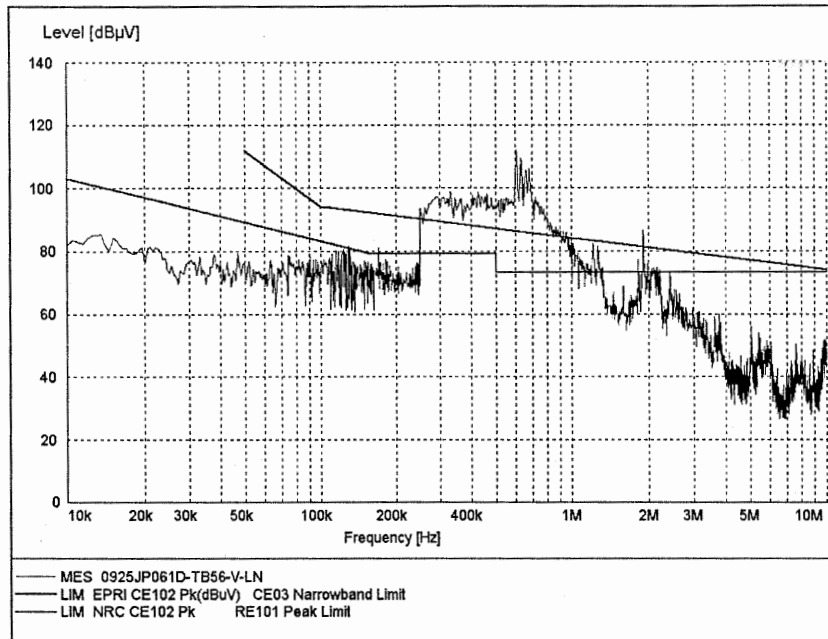


그림 B.439 JP061D(SSILS)-TB56-V-LN

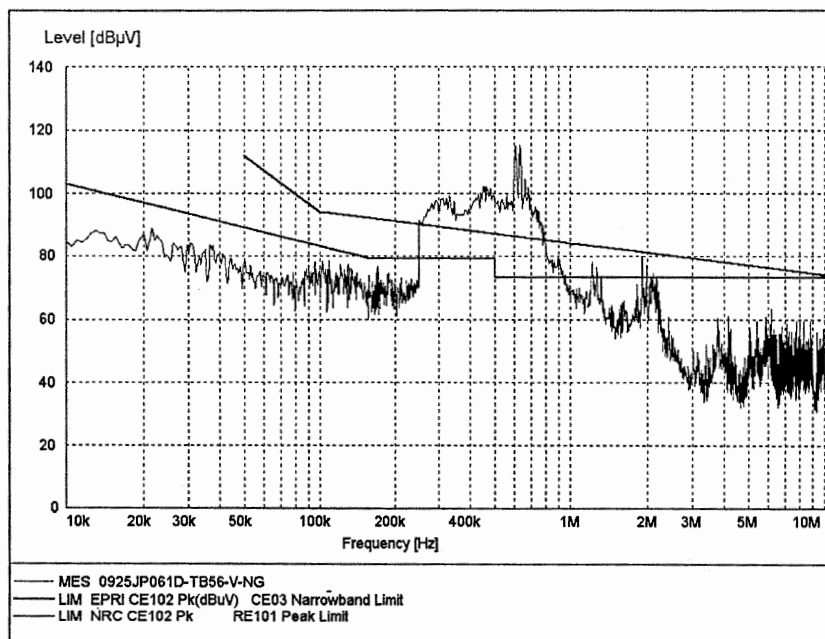


그림 B.440 JP061D(SSILS)-TB56-V-NG

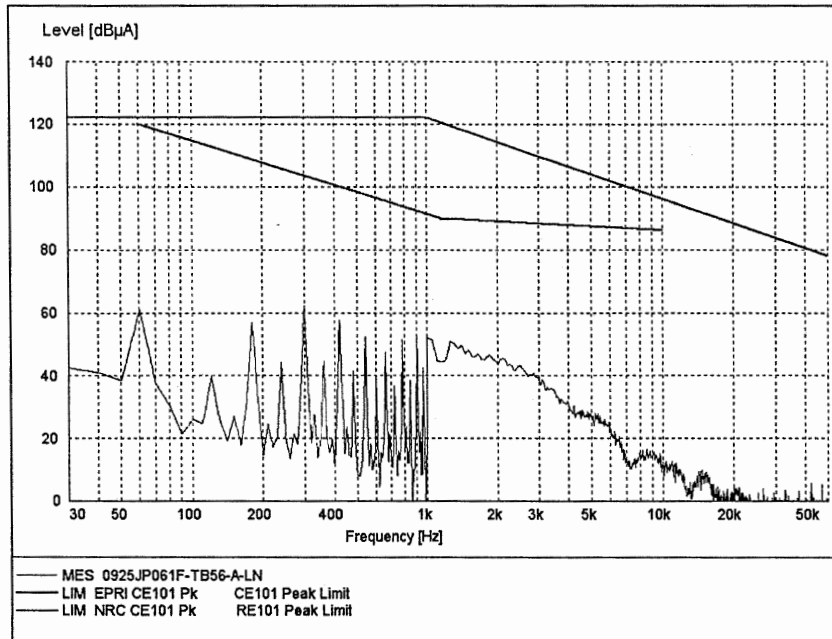


그림 B.441 JP061F(SSILS)-TB56-A-LN

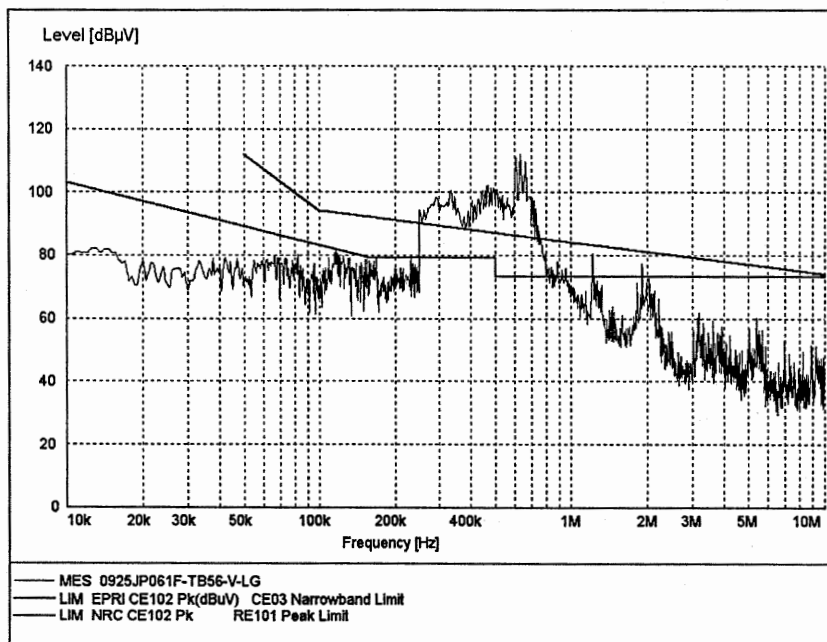


그림 B.442 JP061F(SSILS)-TB56-V-LG

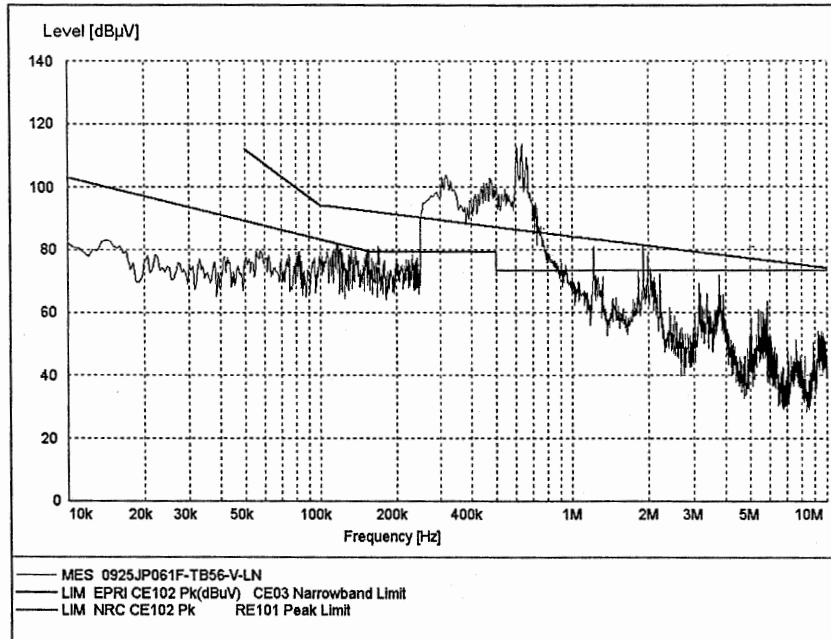


그림 B.443 JP061F(SSILS)-TB56-V-LN

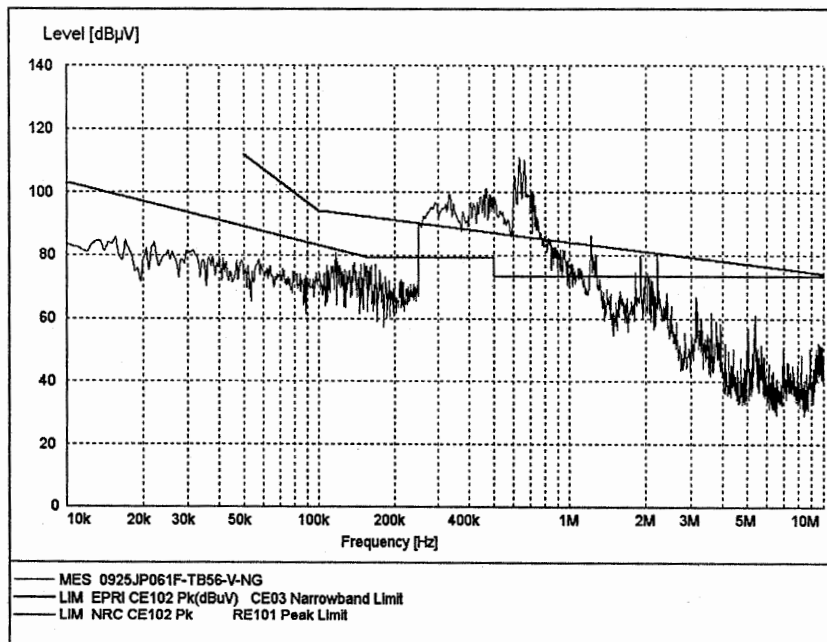


그림 B.444 JP061F(SSILS)-TB56-V-NG

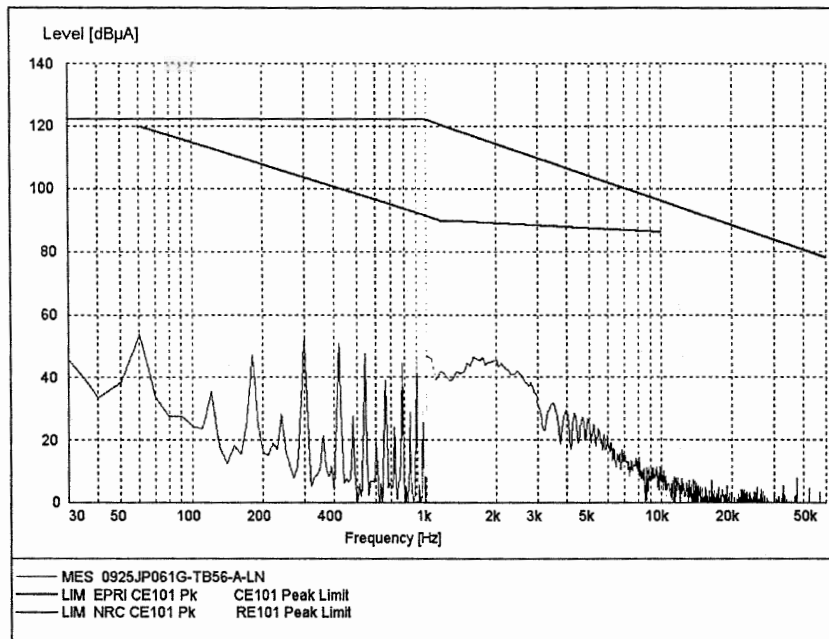


그림 B.445 JP061G(SSILS)-TB56-A-LN

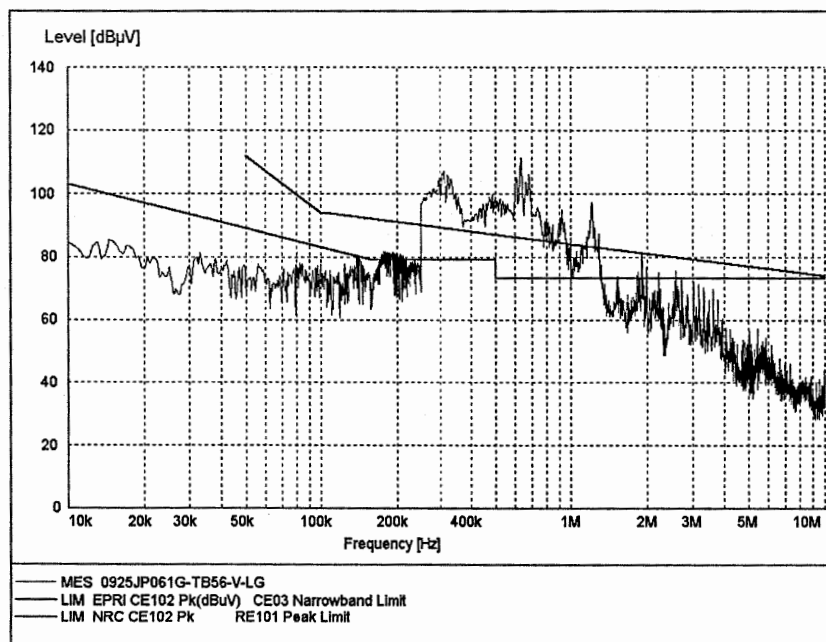


그림 B.446 JP061G(SSILS)-TB56-V-LG

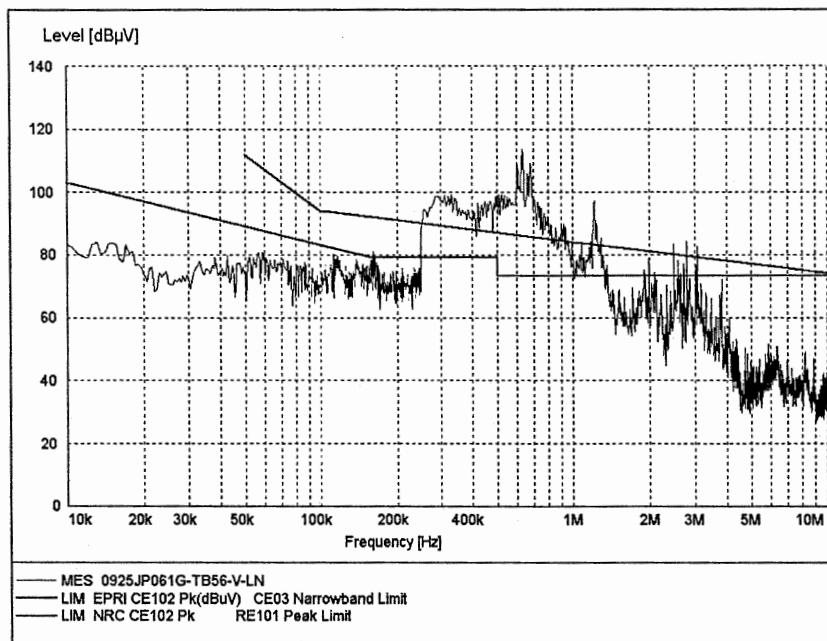


그림 B.447 JP061G(SSILS)-TB56-V-LN

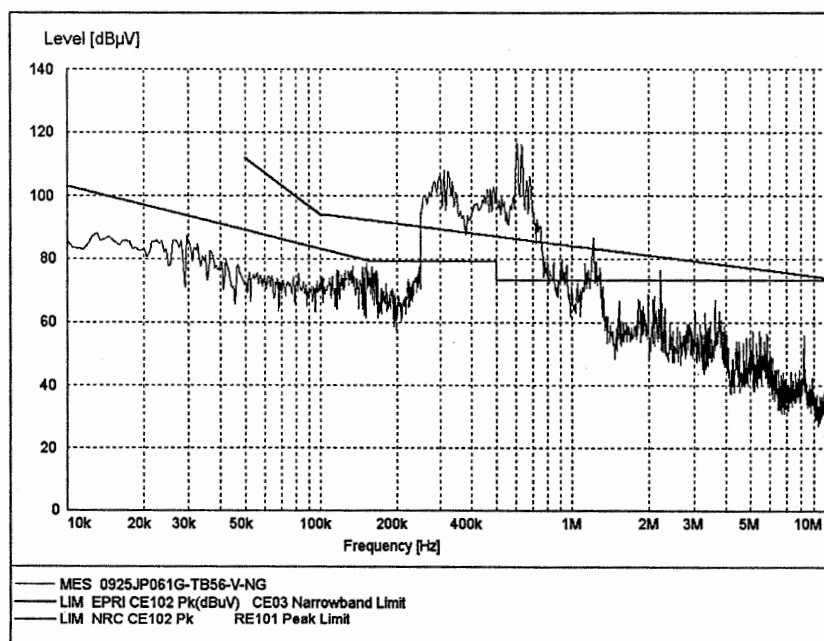


그림 B.448 JP061G(SSILS)-TB56-V-NG

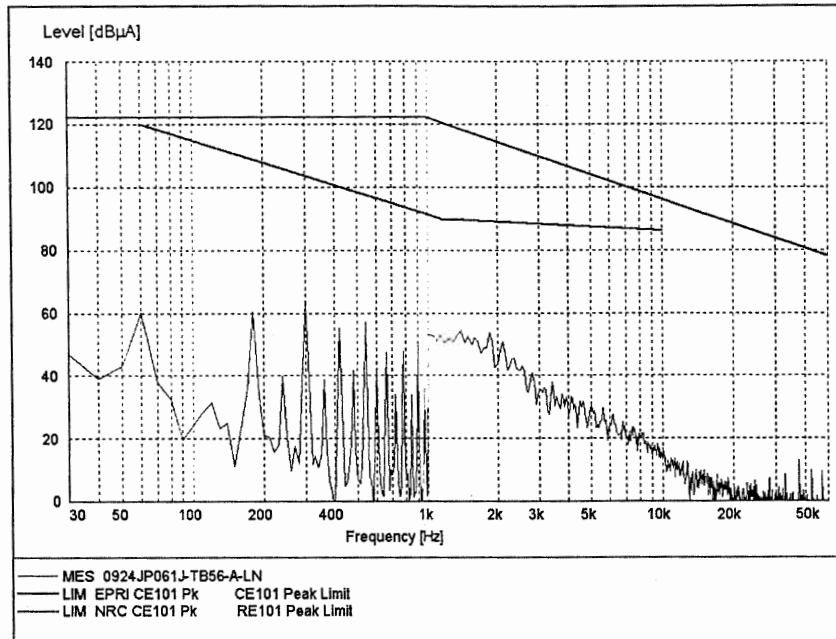


그림 B.449 JP061J(SSILS)-TB56-A-LN

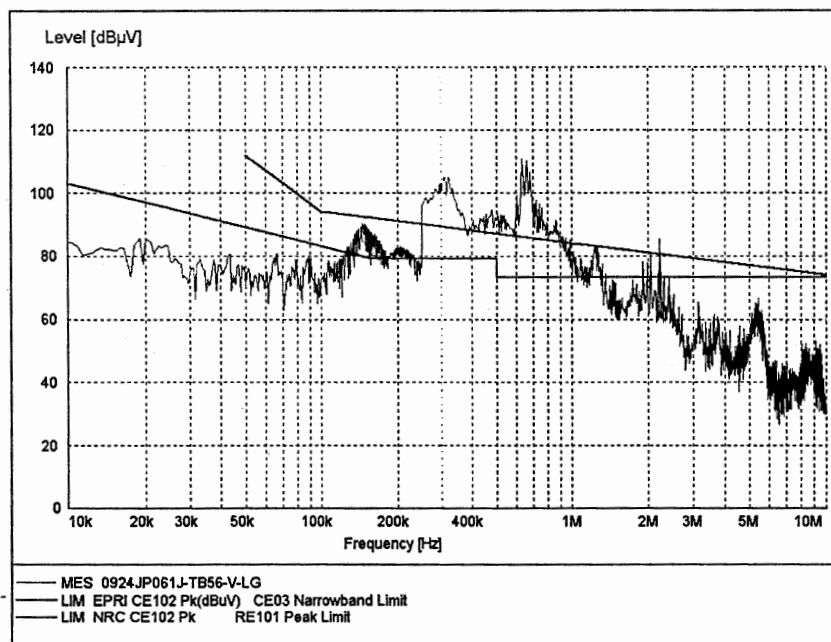


그림 B.450 JP061J(SSILS)-TB56-V-LG

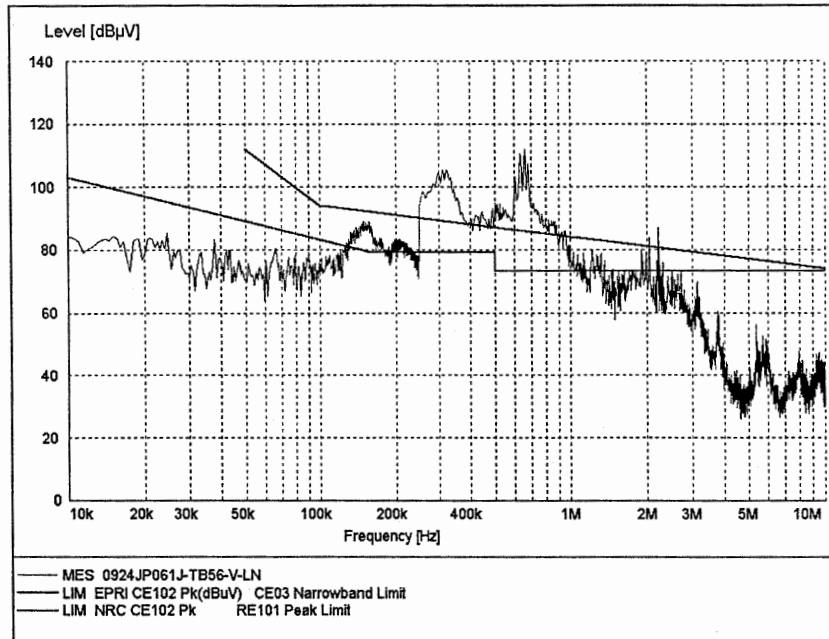


그림 B.451 JP061J(SSILS)-TB56-V-LN

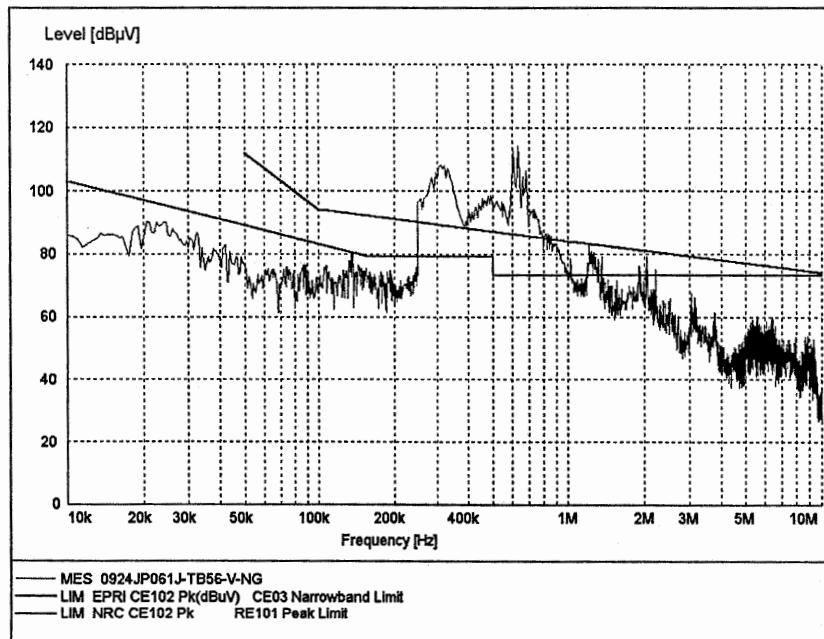


그림 B.452 JP061J(SSILS)-TB56-V-NG

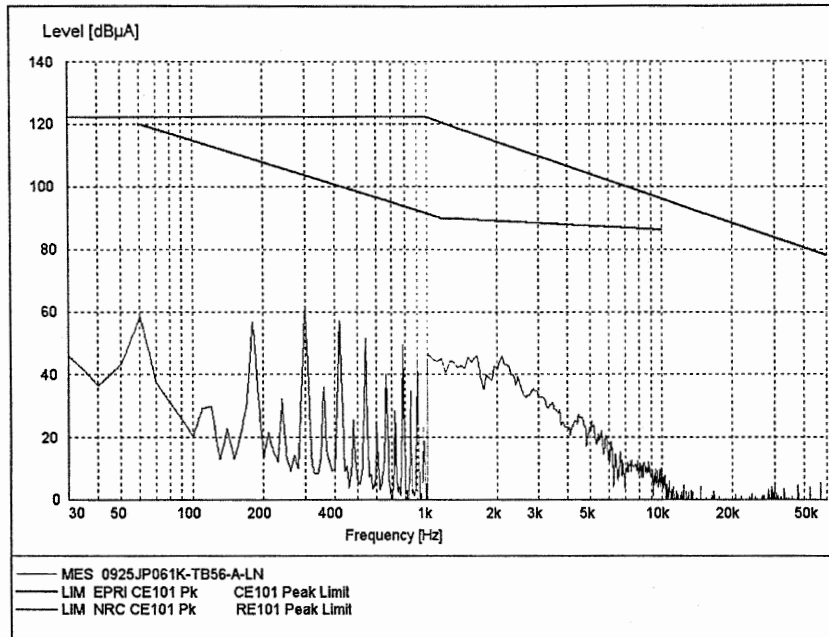


그림 B.453 JP061K(SSILS)-TB56-A-LN

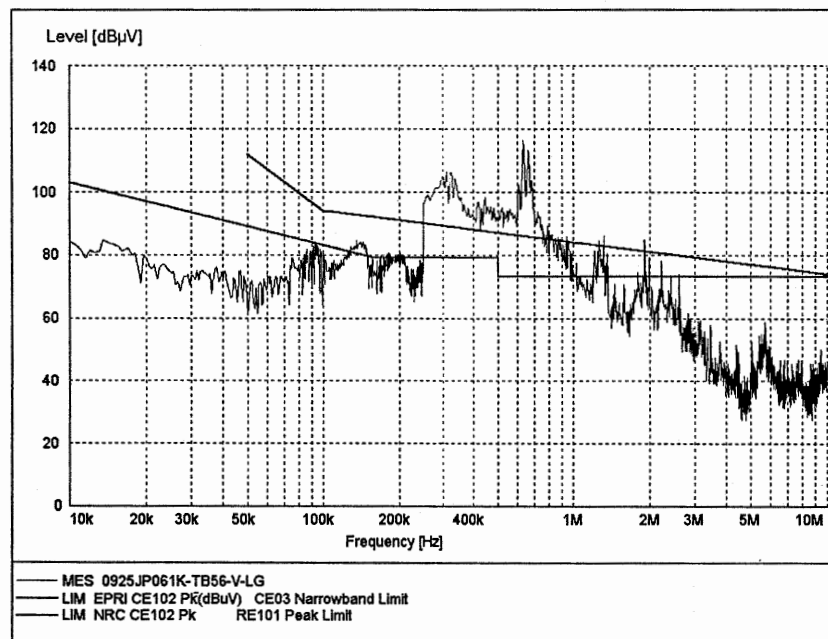


그림 B.454 JP061K(SSILS)-TB56-V-LG

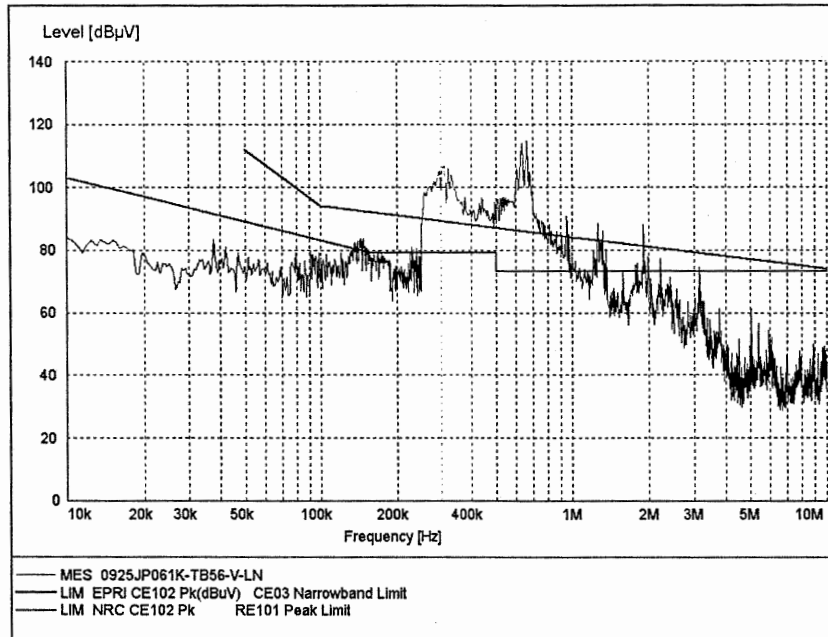


그림 B.455 JP061K(SSILS)-TB56-V-LN

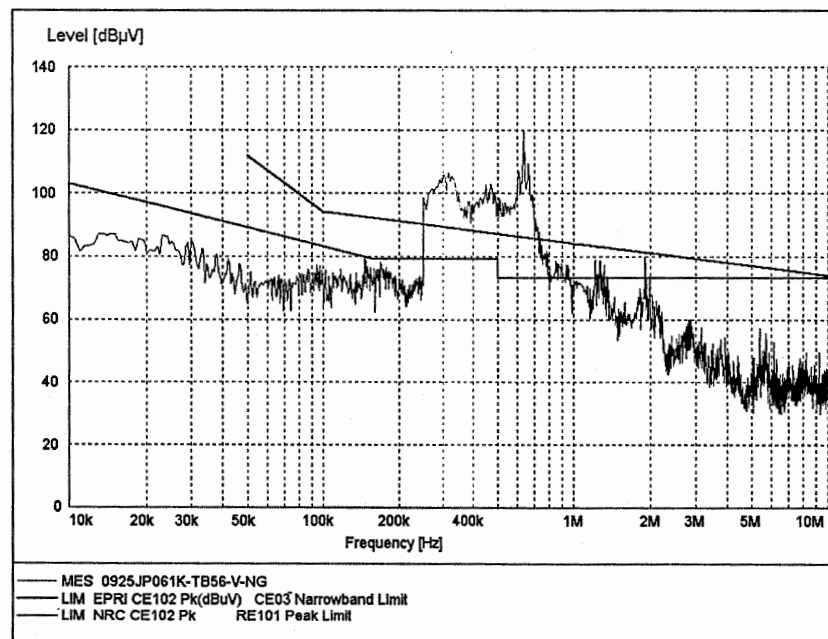


그림 B.456 JP061K(SSILS)-TB56-V-NG

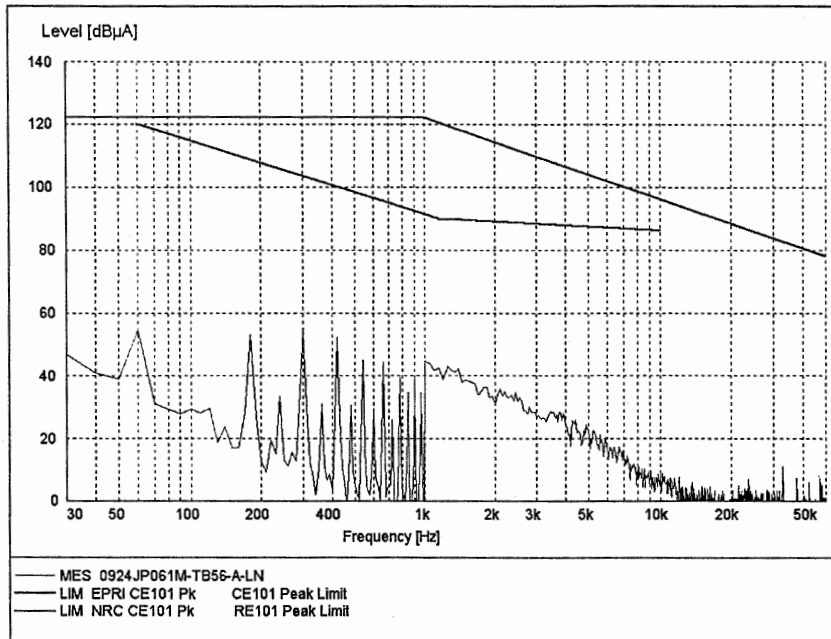


그림 B.457 JP061M(SSILS)-TB56-A-LN

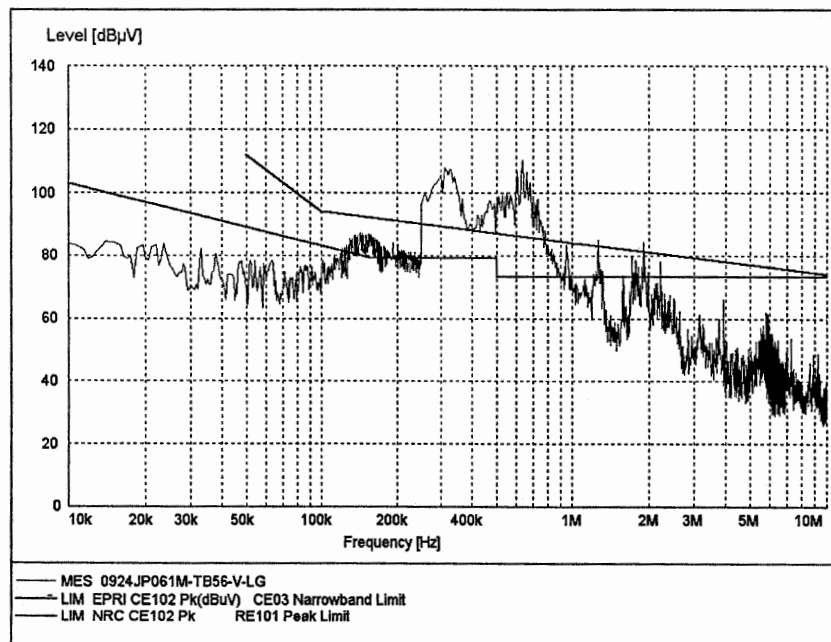


그림 B.458 JP061M(SSILS)-TB56-V-LG

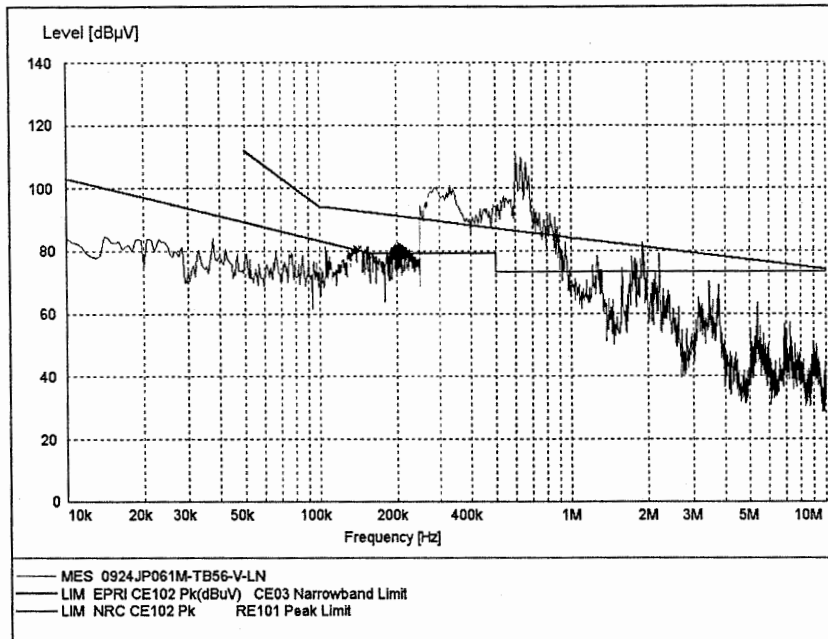


그림 B.459 JP061M(SSILS)-TB56-V-LN

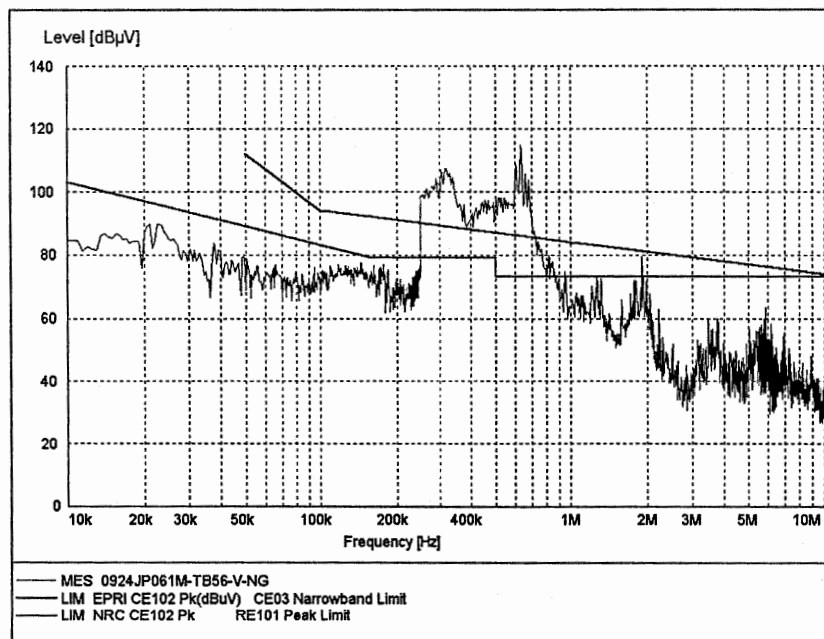


그림 B.460 JP061M(SSILS)-TB56-V-NG

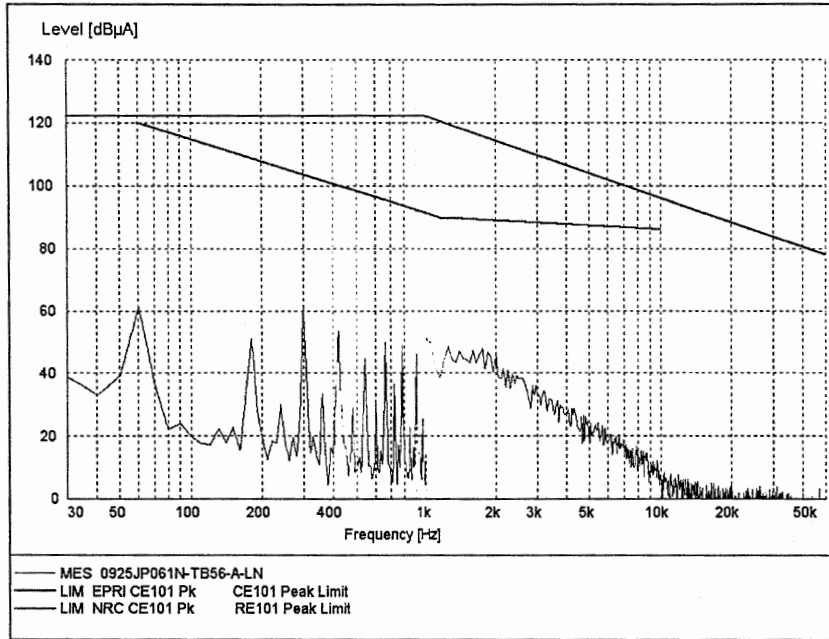


그림 B.461 JP061N(SSILS)-TB56-A-LN

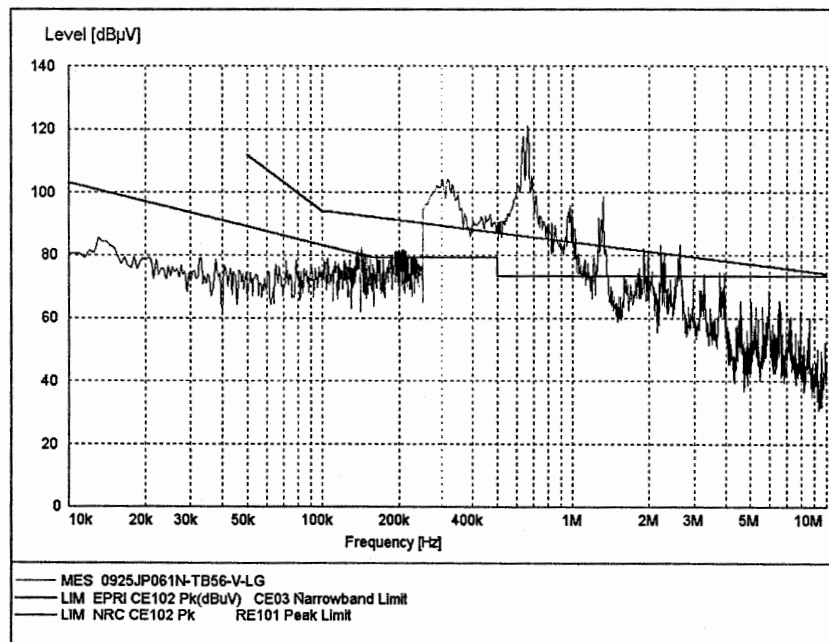


그림 B.462 JP061N(SSILS)-TB56-V-LG

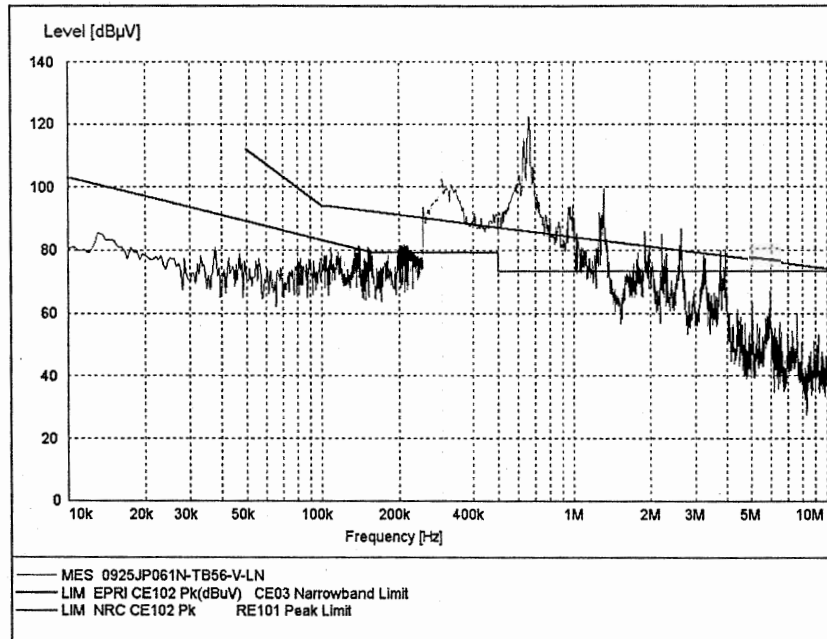


그림 B.463 JP061N(SSILS)-TB56-V-LN

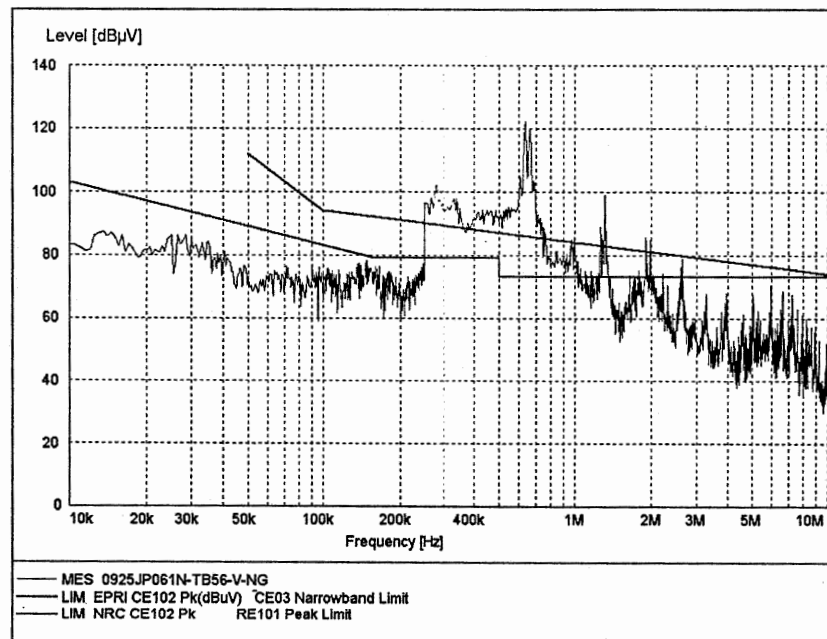


그림 B.464 JP061N(SSILS)-TB56-V-NG

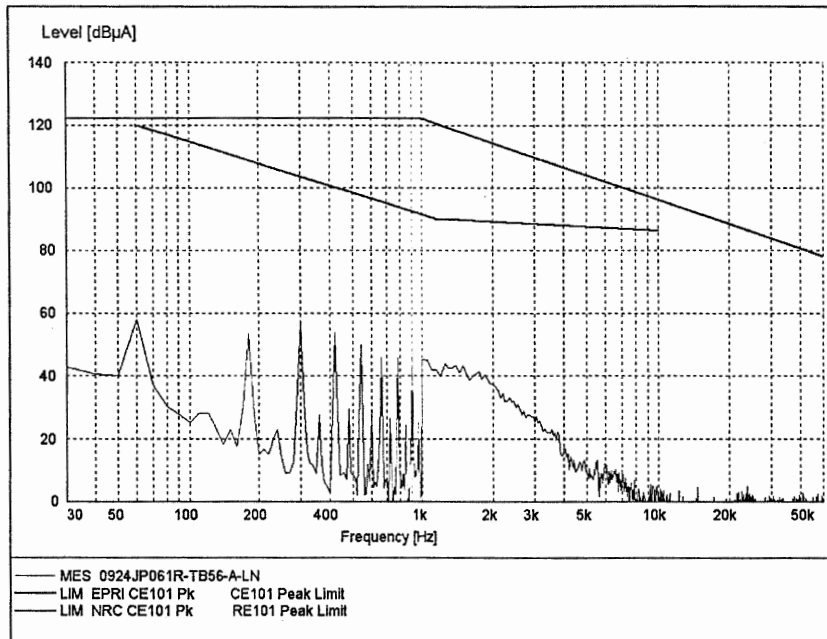


그림 B.465 JP061R(SSILS)-TB56-A-LN

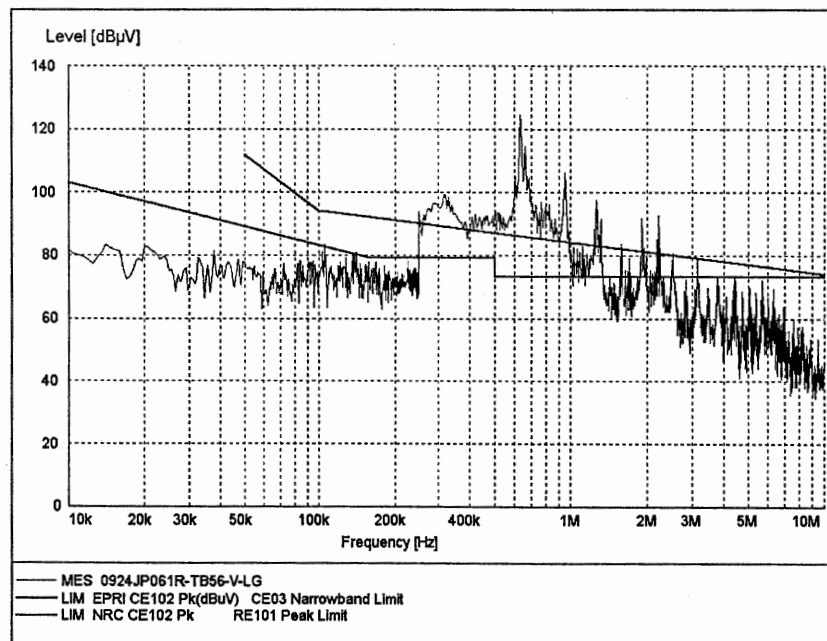


그림 B.466 JP061R(SSILS)-TB56-V-LG

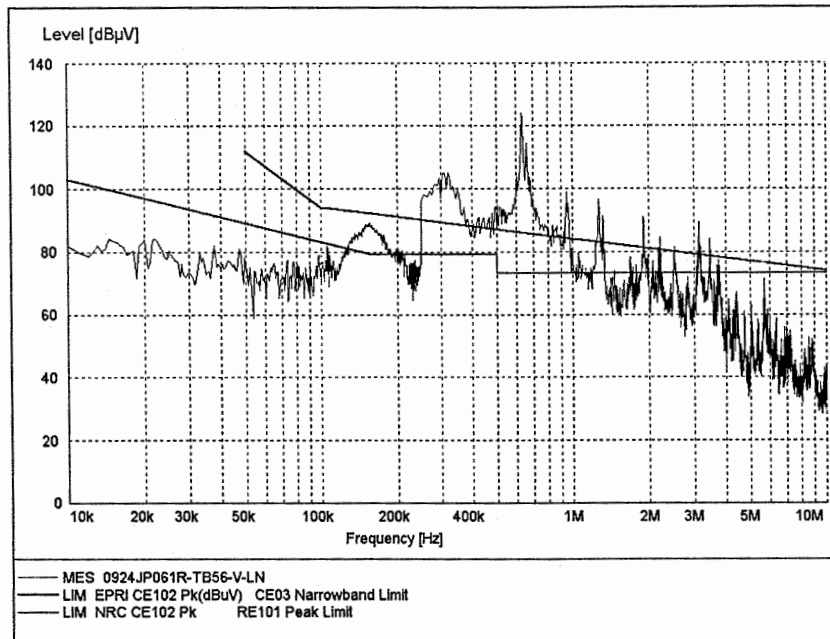


그림 B.467 JP061R(SSILS)-TB56-V-LN

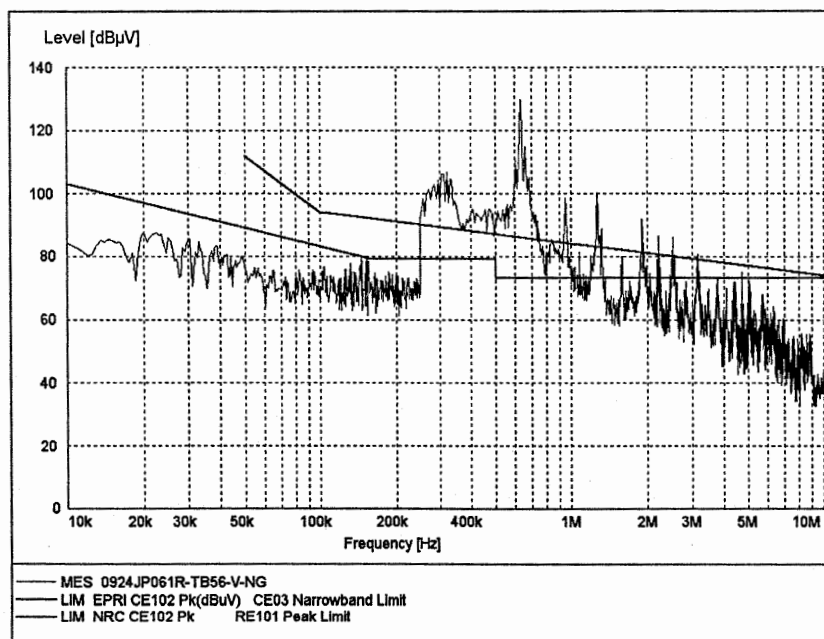


그림 B.468 JP061R(SSILS)-TB56-V-NG

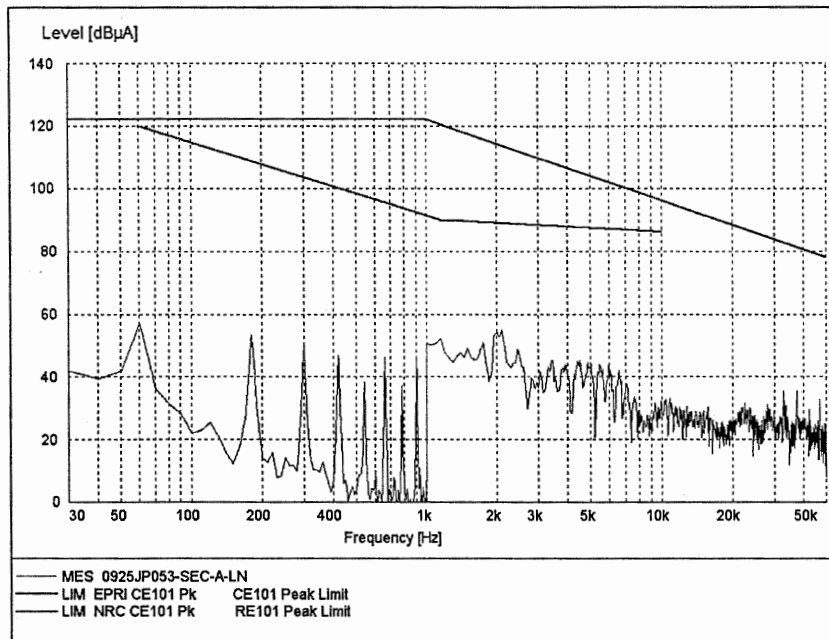


그림 B.469 JP053(W7300 BOP 1E)-SEC-A-LN

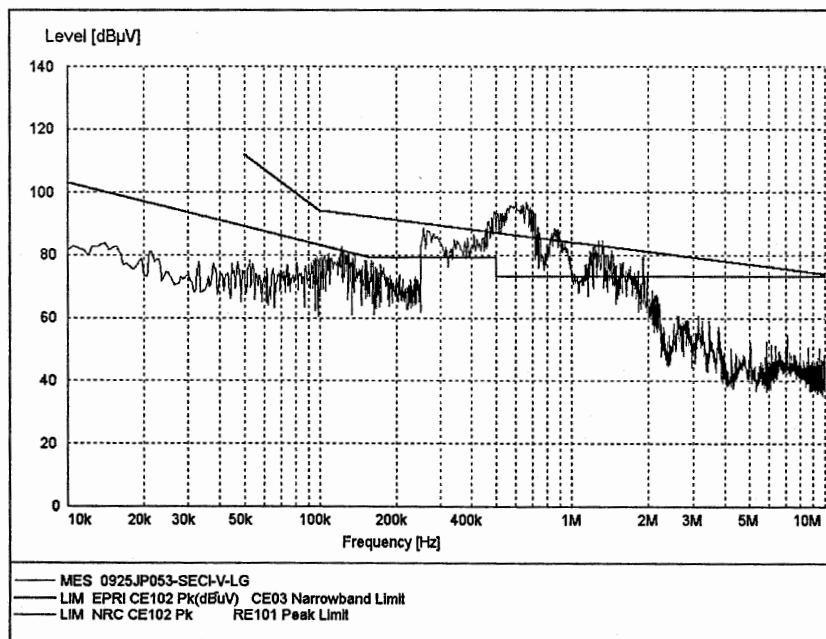


그림 B.470 JP053(W7300 BOP 1E)-SEC-V-LG

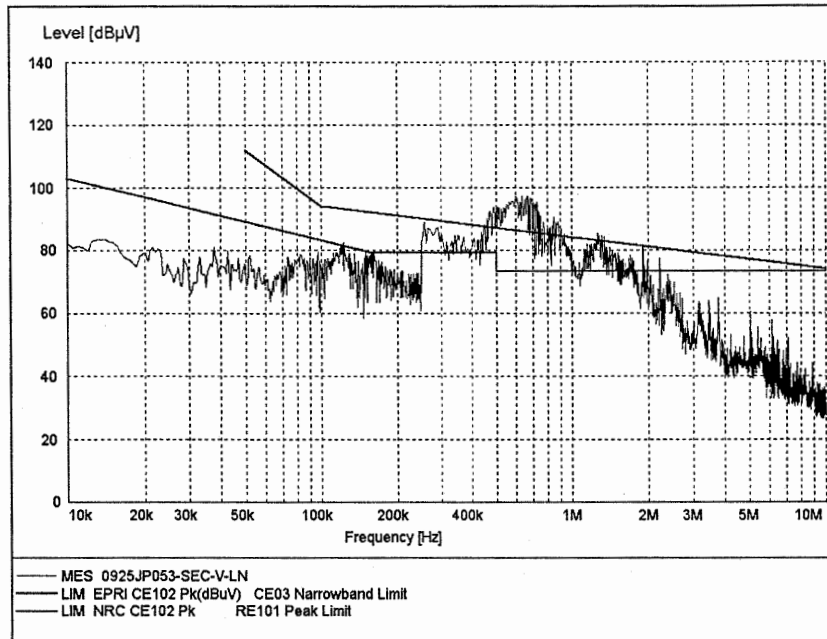


그림 B.471 JP053(W7300 BOP 1E)-SEC-V-LN

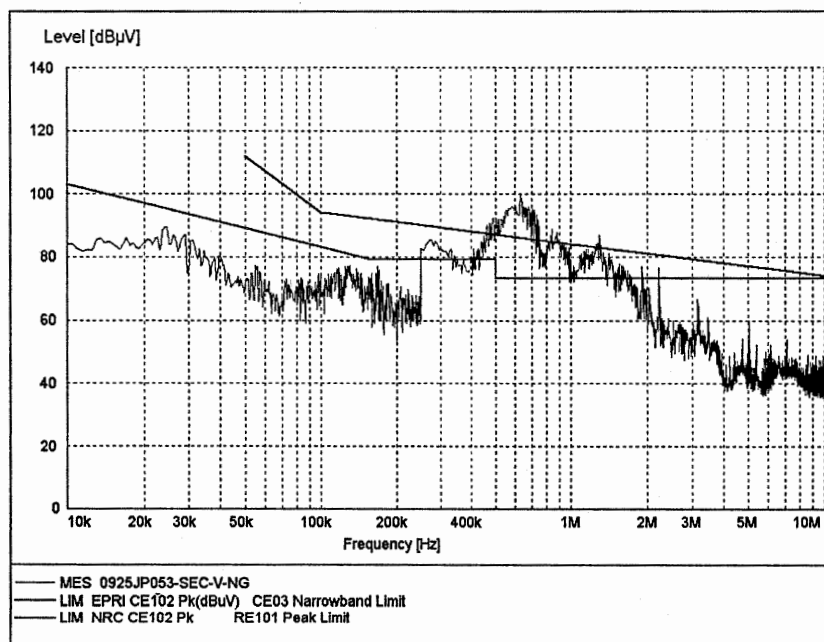


그림 B.472 JP053(W7300 BOP 1E)-SEC-V-NG

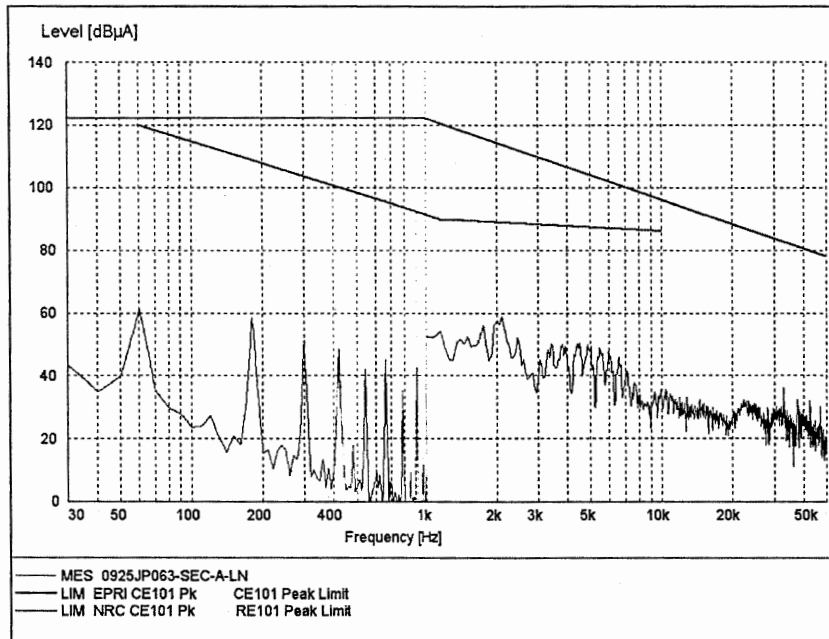


그림 B.473 JP063(W7300 BOP 1E)-SEC-A-LN

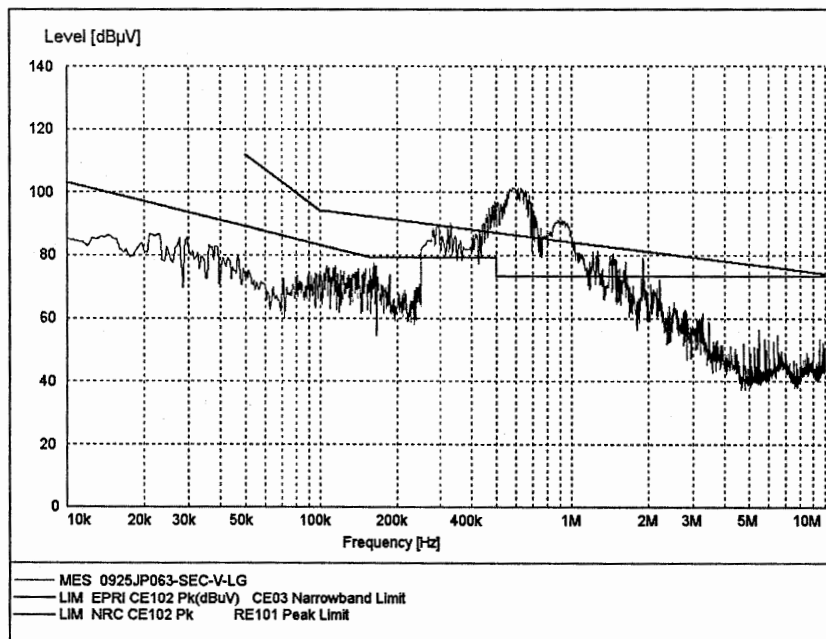


그림 B.474 JP063(W7300 BOP 1E)-SEC-V-LG

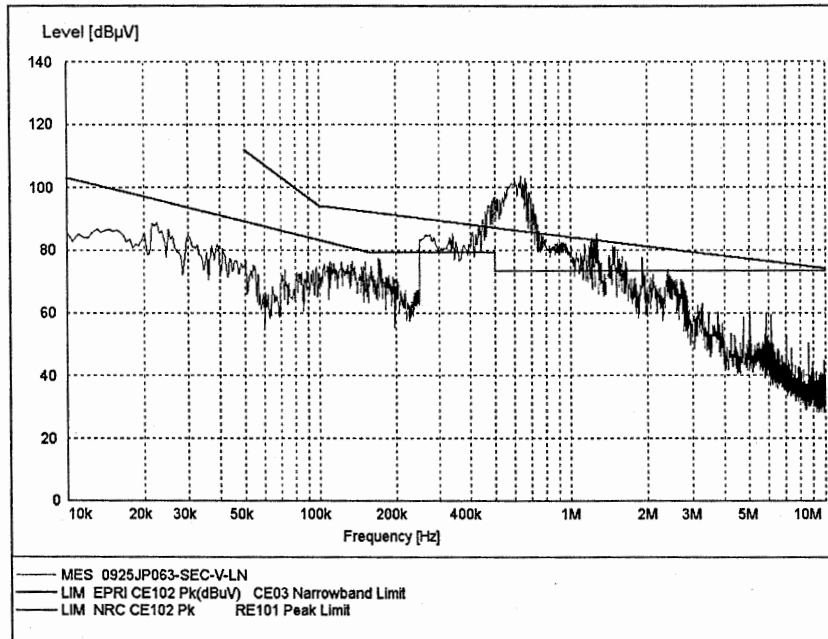


그림 B.475 JP063(W7300 BOP 1E)-SEC-V-LN

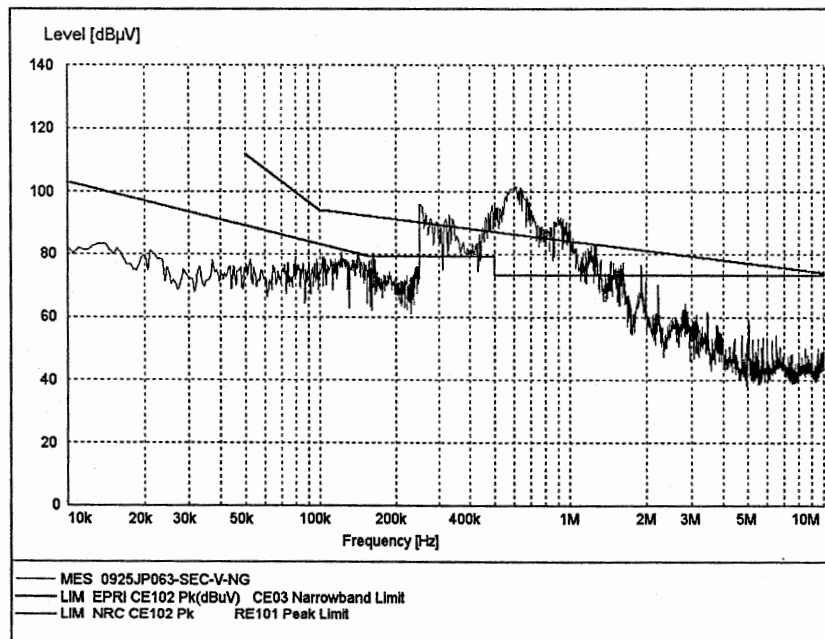


그림 B.476 JP063(W7300 BOP 1E)-SEC-V-NG

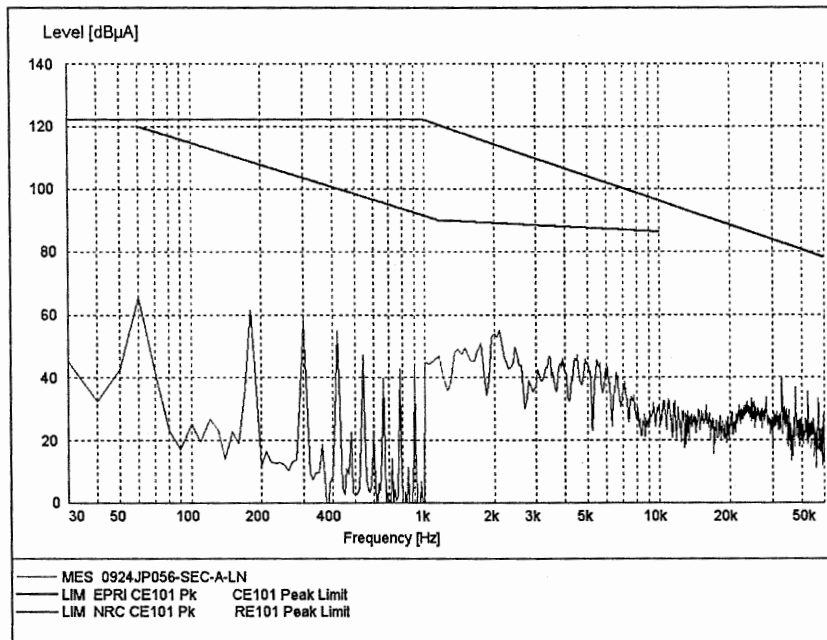


그림 B.477 JP056(W7300 Protection II)-SEC-A-LN

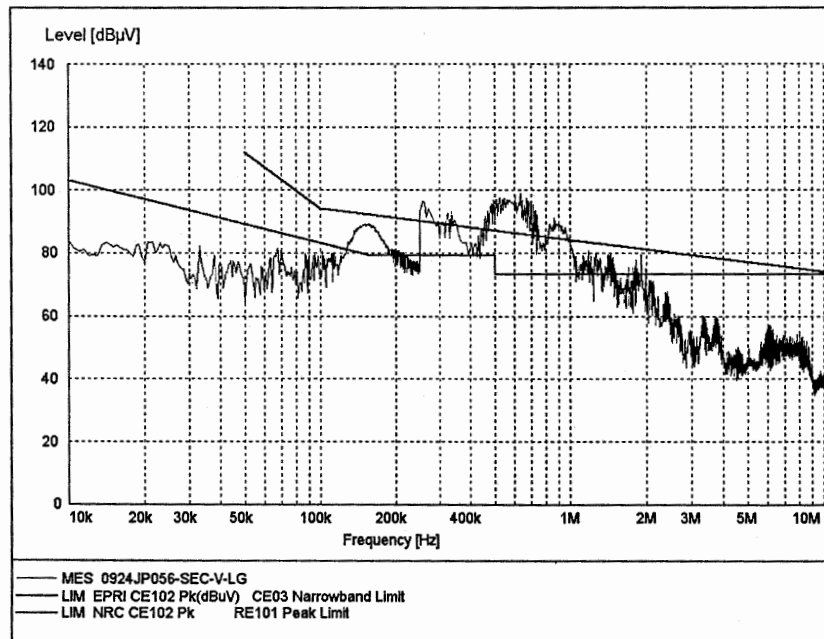


그림 B.478 JP056(W7300 Protection II)-SEC-V-LG

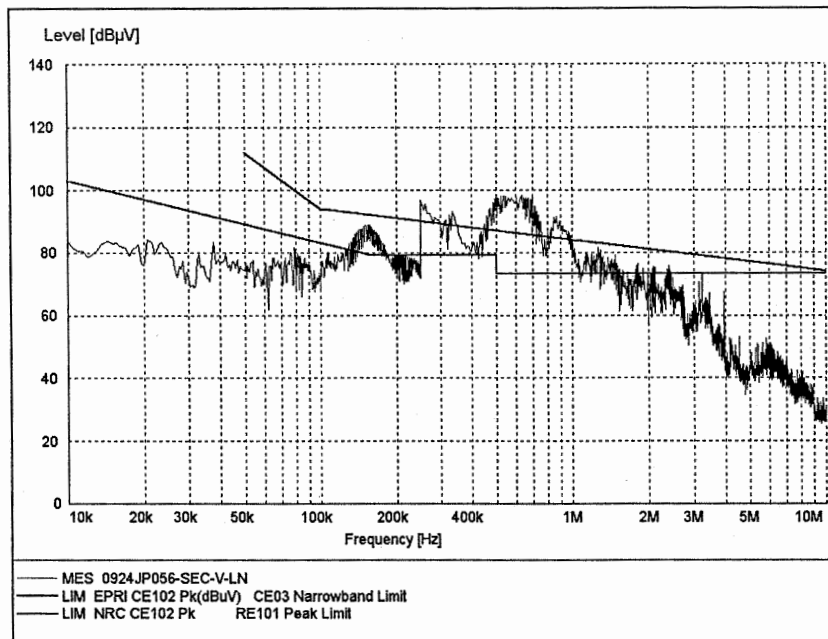


그림 B.479 JP056(W7300 Protection II)-SEC-V-LN

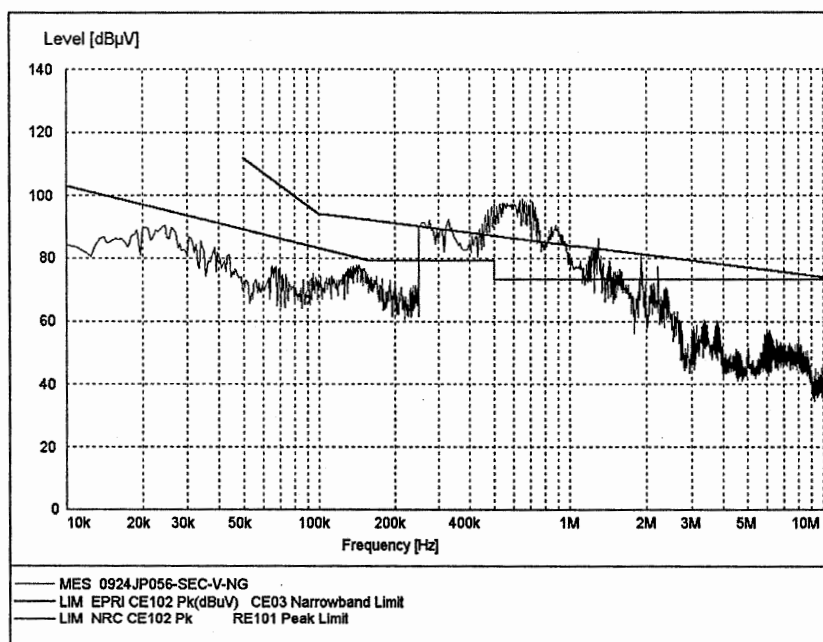


그림 B.480 JP056(W7300 Protection II)-SEC-V-NG

12. 전원 입력 방법 : C-5E-PQ-N001(인버터)

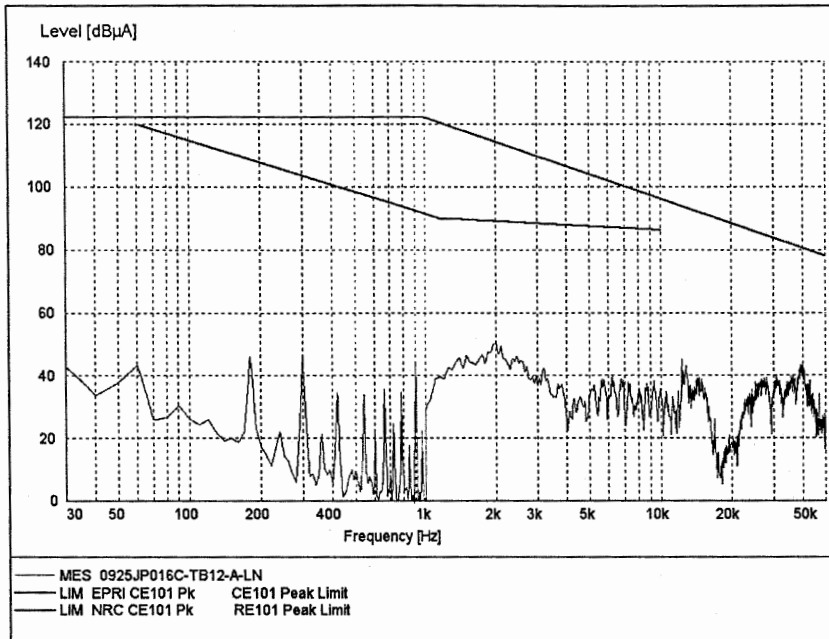


그림 B.481 JP016C(NIS CH C/C)-TB12-A-LN

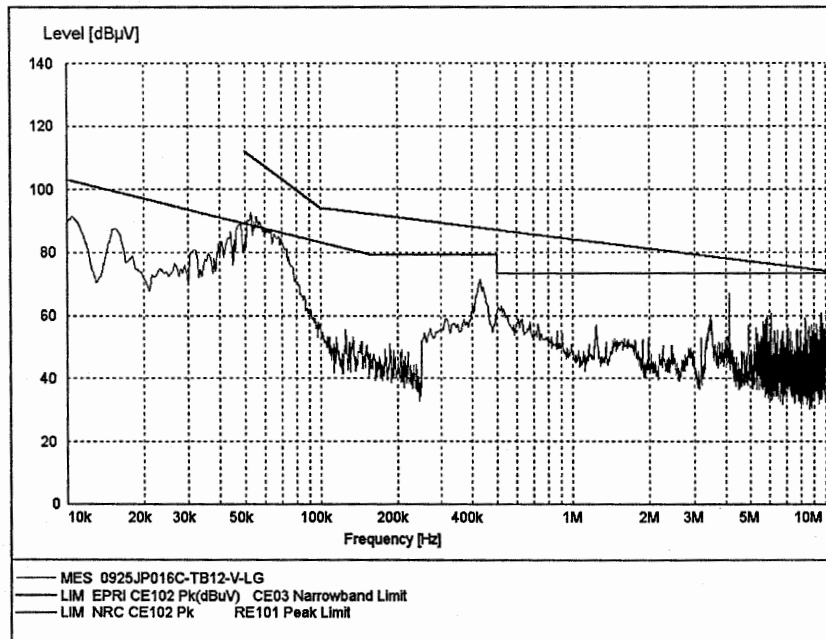


그림 B.482 JP016C(NIS CH C/C)-TB12-V-LG

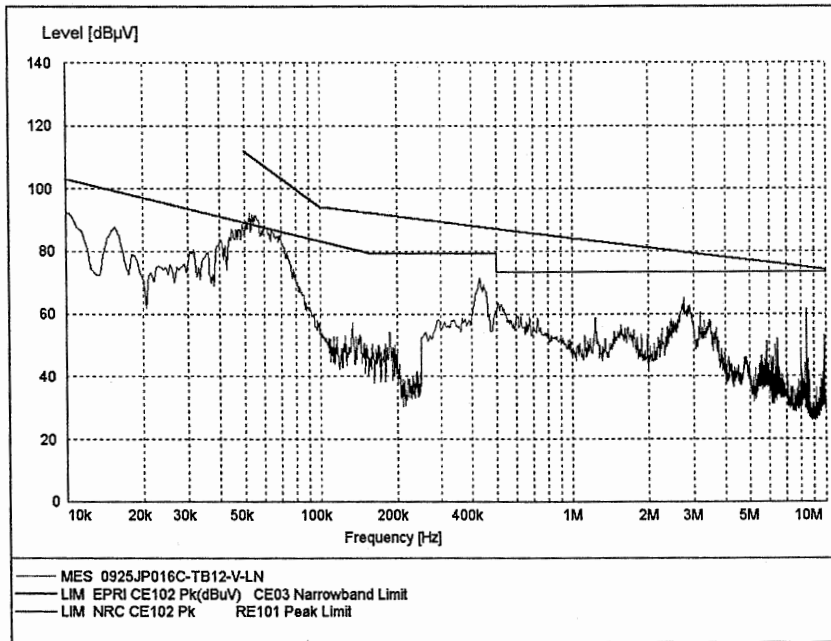


그림 B.483 JP016C(NIS CH C/C)-TB12-V-LN

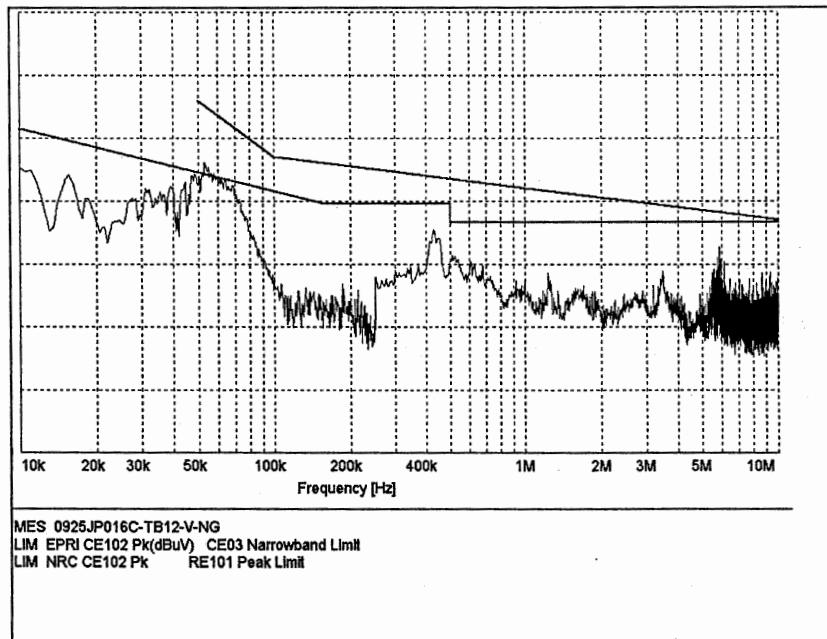


그림 B.484 JP016C(NIS CH C/C)-TB12-V-NG

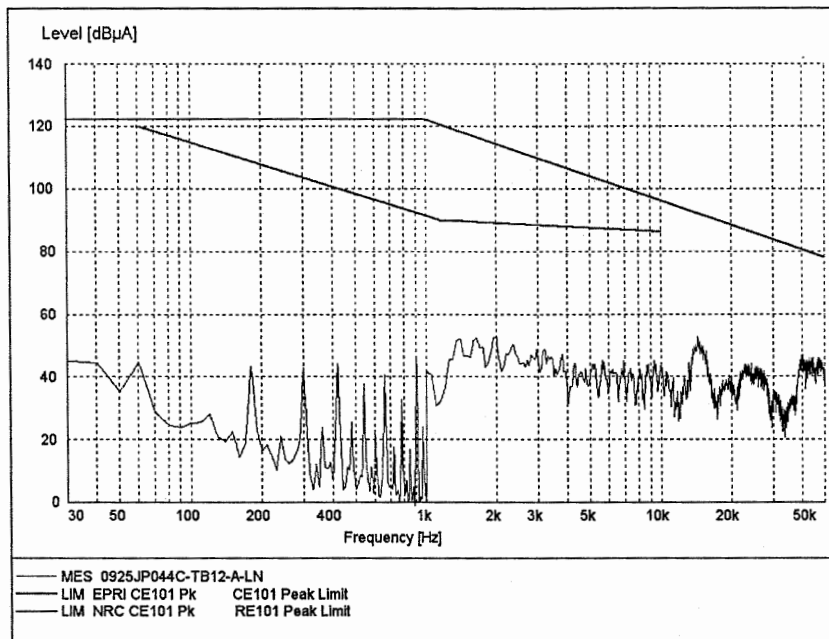


그림 B.485 JP044C(SSPS Tr 'A', CH C)-TB12-A-LN

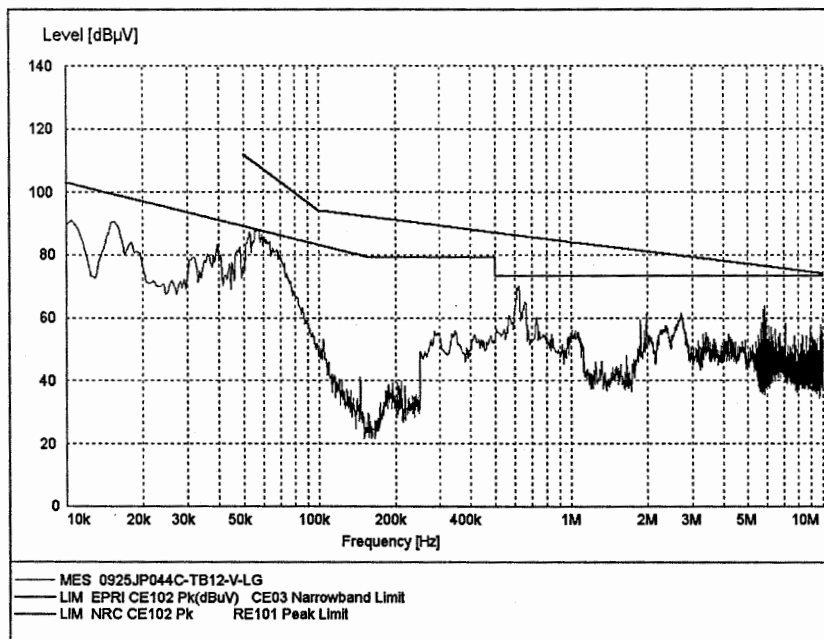


그림 B.486 JP044C(SSPS Tr 'A', CH C)-TB12-V-LG

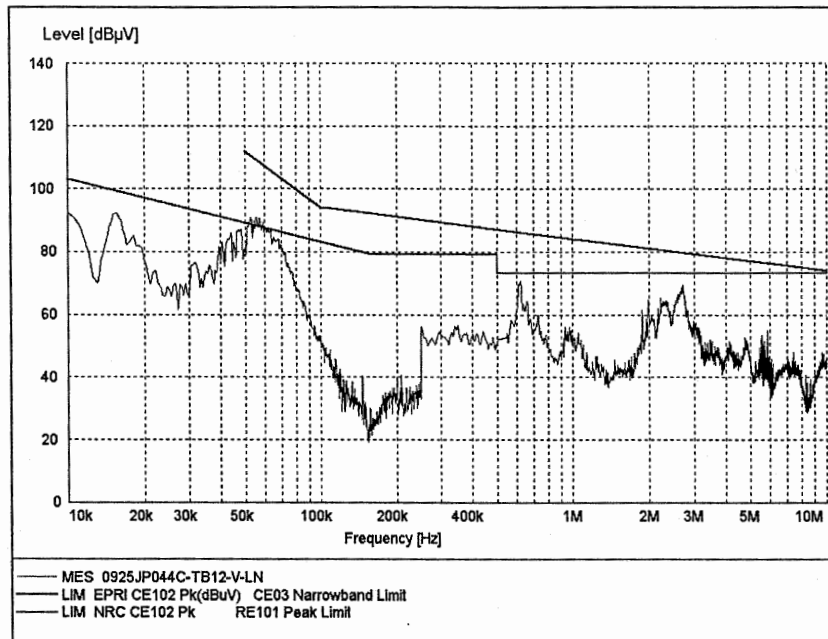


그림 B.487 JP044C(SSPS Tr 'A', CH C)-TB12-V-LN

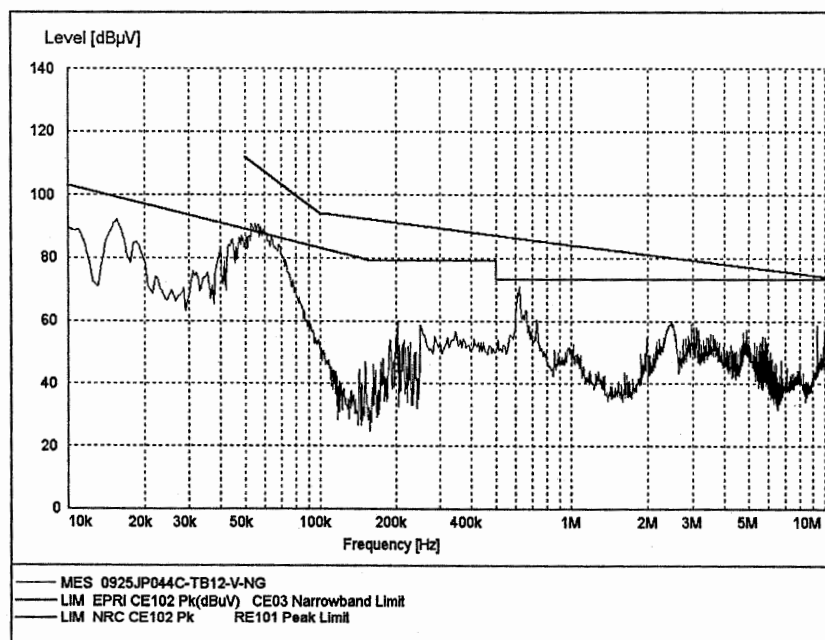


그림 B.488 JP044C(SSPS Tr 'A', CH C)-TB12-V-NG

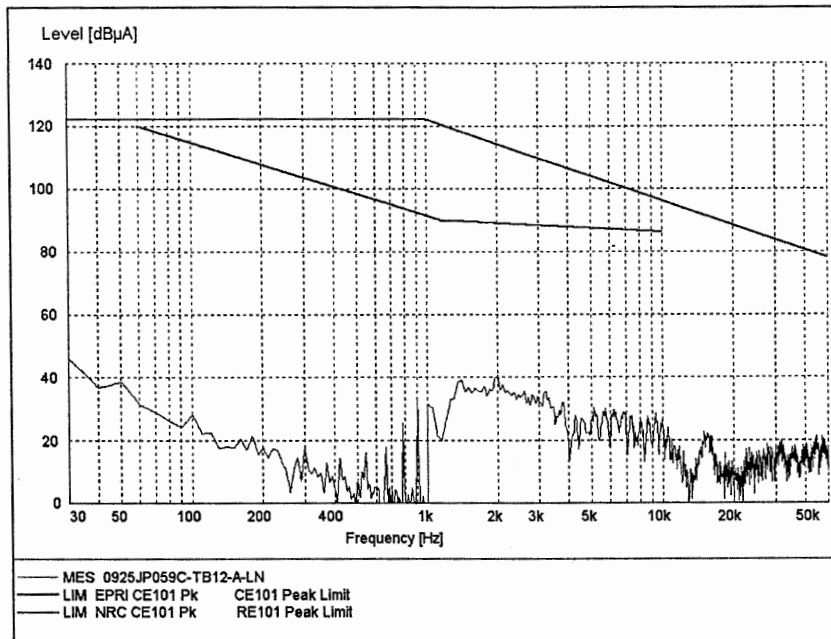


그림 B.489 JP059C(SSPS Tr 'B', CH C)-TB12-A-LN

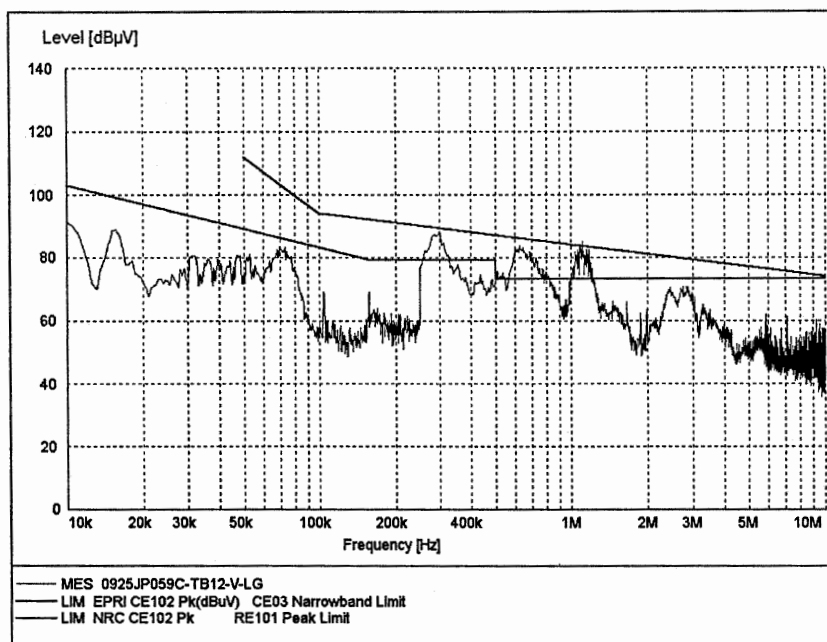


그림 B.490 JP059C(SSPS Tr 'B', CH C)-TB12-V-LG

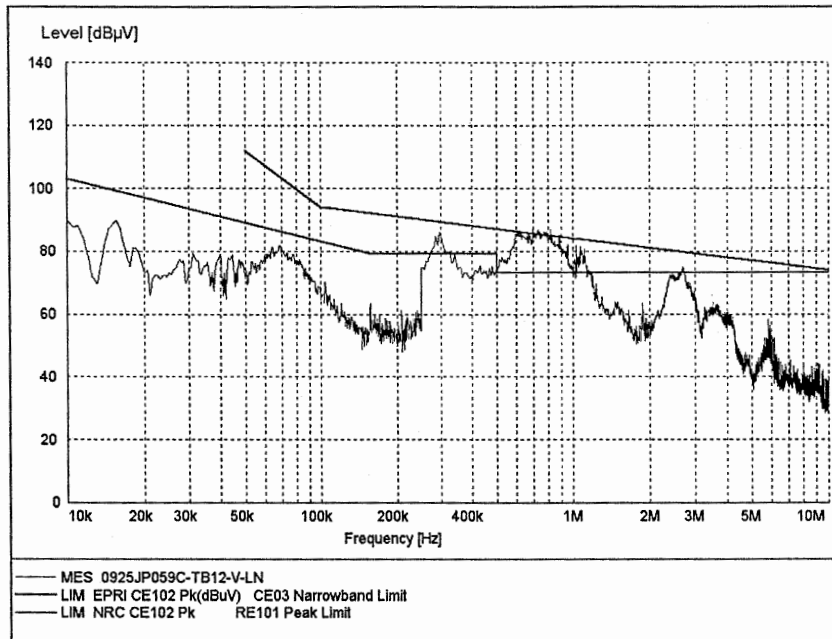


그림 B.491 JP059C(SSPS Tr 'B', CH C)-TB12-V-LN

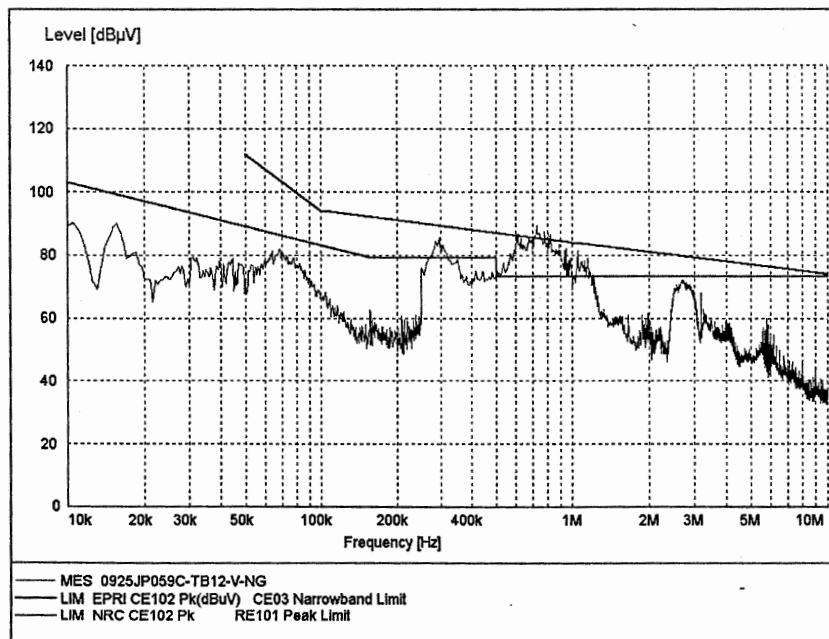


그림 B.492 JP059C(SSPS Tr 'B', CH C)-TB12-V-NG

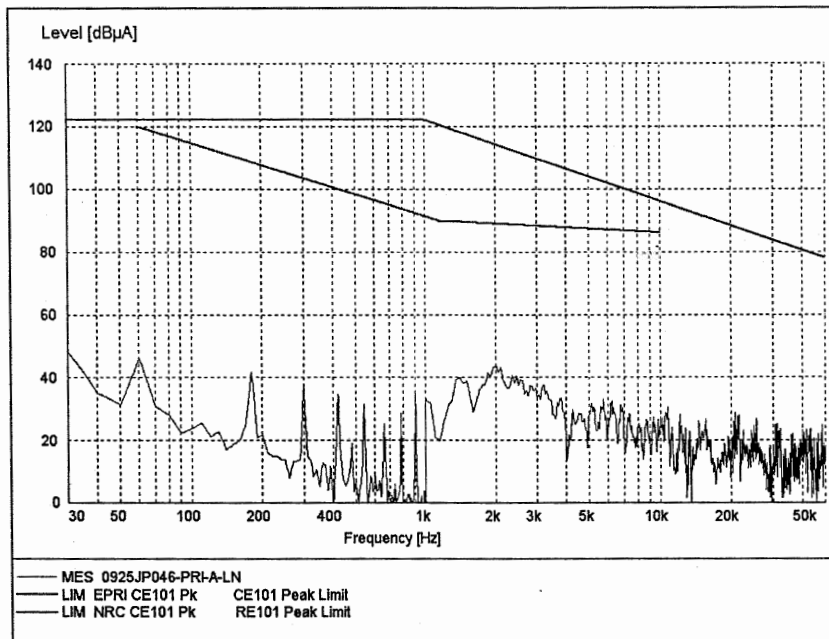


그림 B.493 JP046(W7300 Protection III)-PRI-A-LN

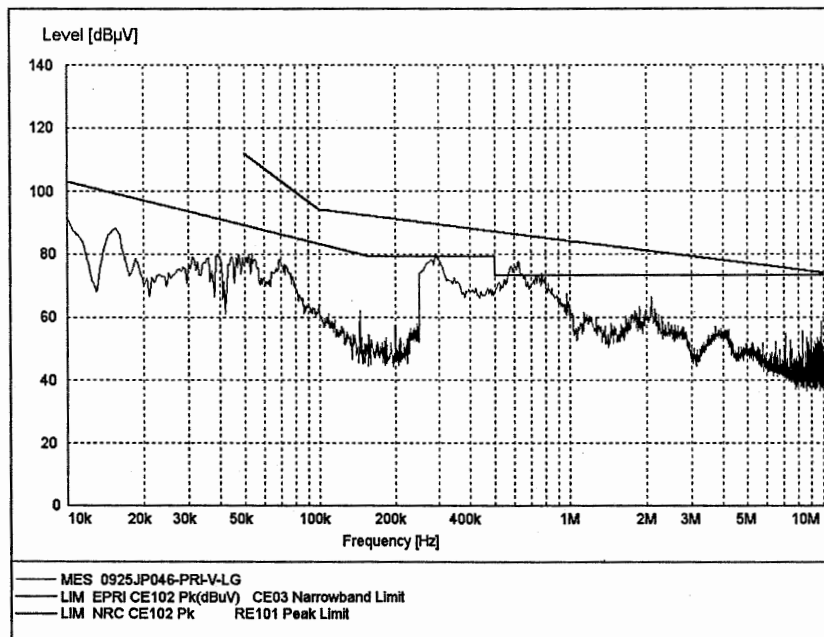


그림 B.494 JP046(W7300 Protection III)-PRI-V-LG

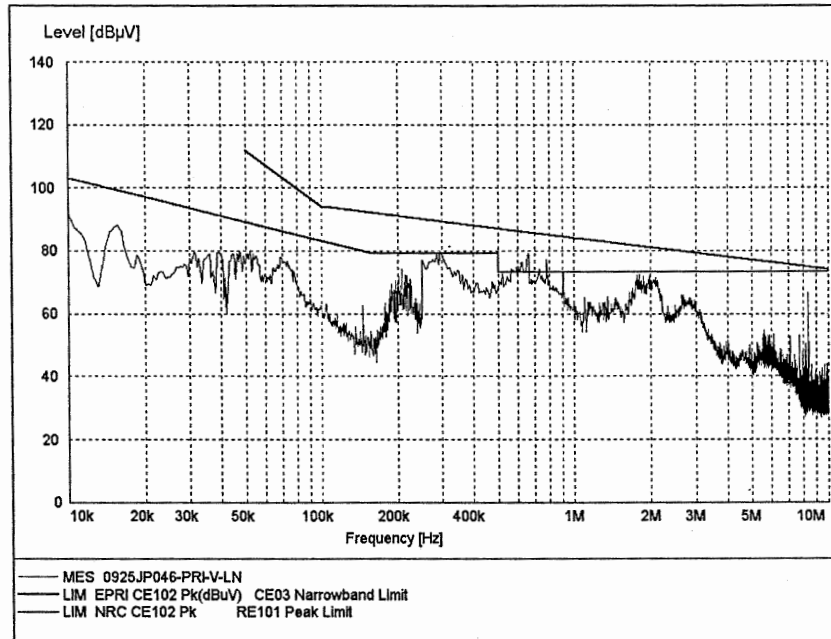


그림 B.495 JP046(W7300 Protection III)-PRI-V-LN

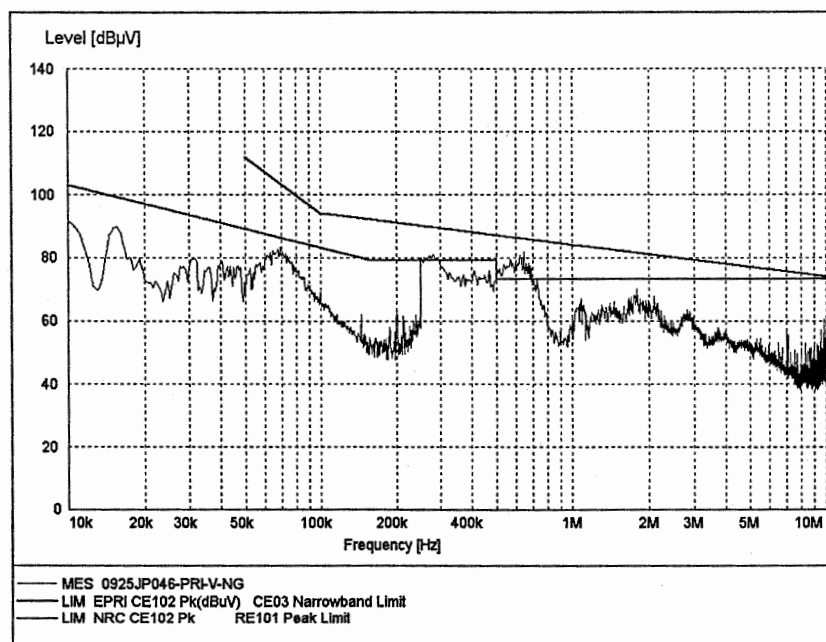


그림 B.496 JP046(W7300 Protection III)-PRI-V-NG

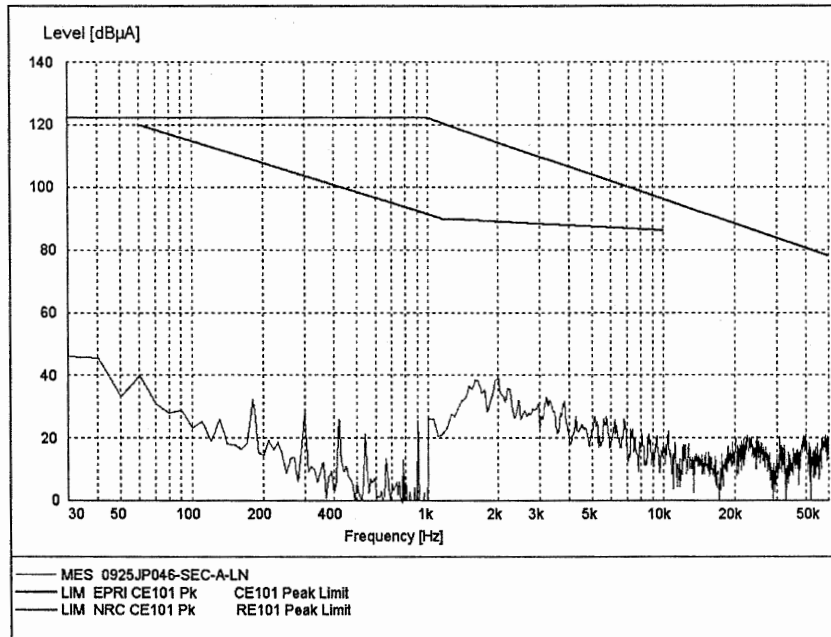


그림 B.497 JP046(W7300 Protection III)-SEC-A-LN

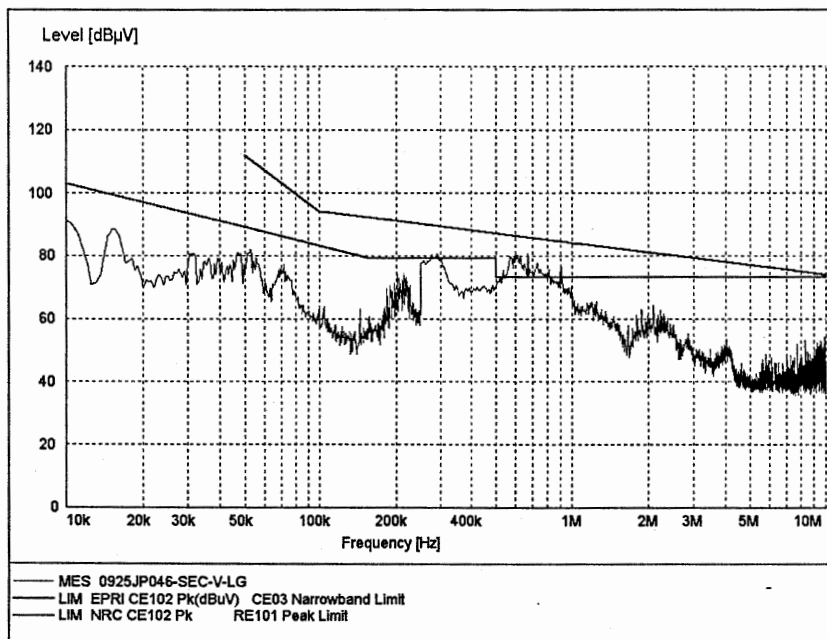


그림 B.498 JP046(W7300 Protection III)-SEC-V-LG

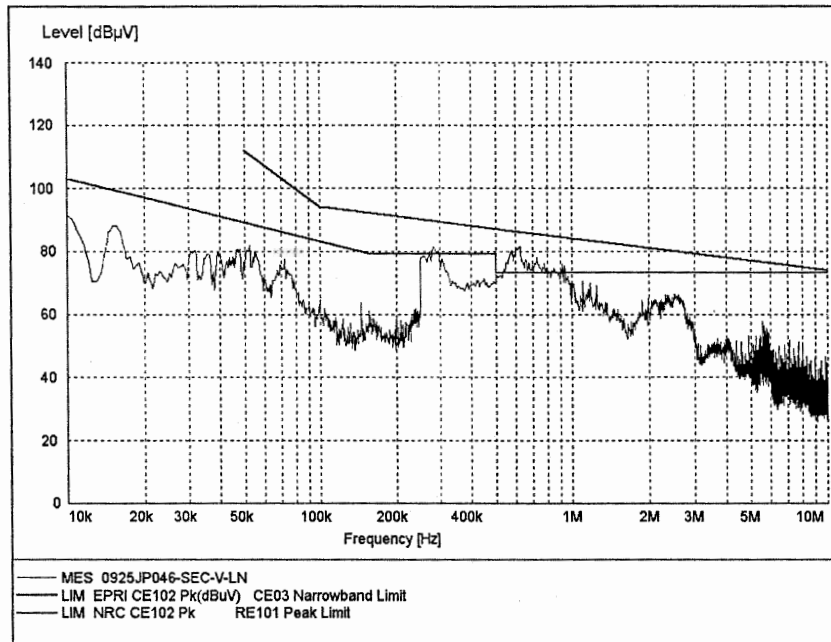


그림 B.499 JP046(W7300 Protection III)-SEC-V-LN

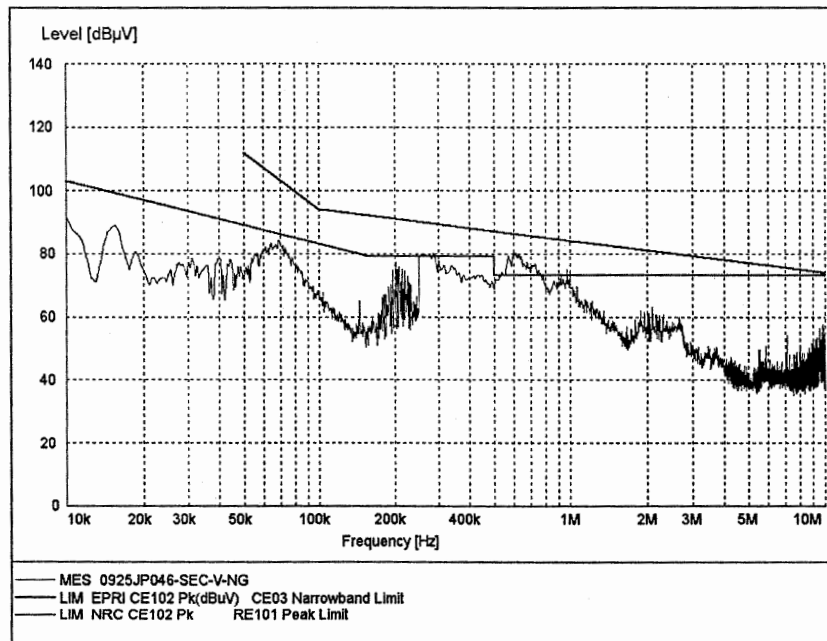


그림 B.500 JP046(W7300 Protection III)-SEC-V-NG

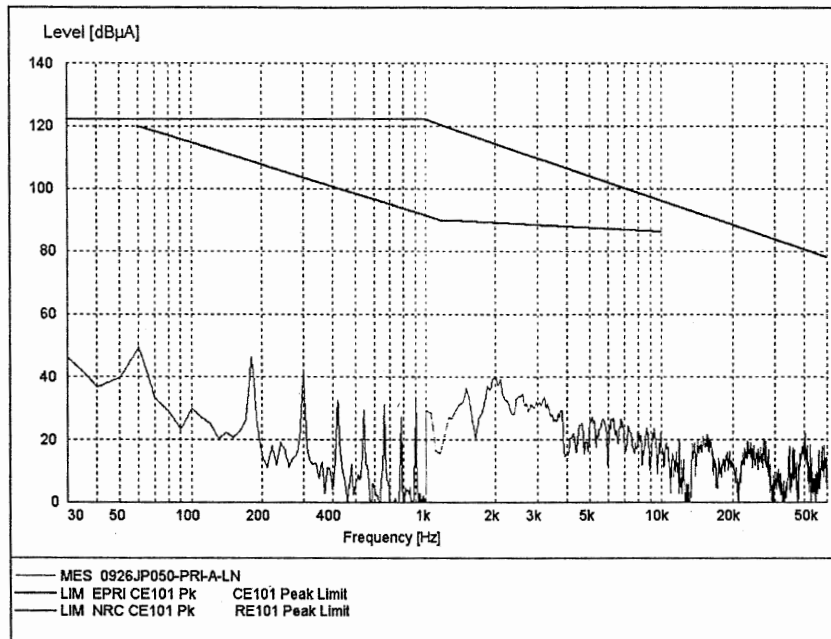


그림 B.501 JP050(W7300 BOP 1E)-PRI-A-LN

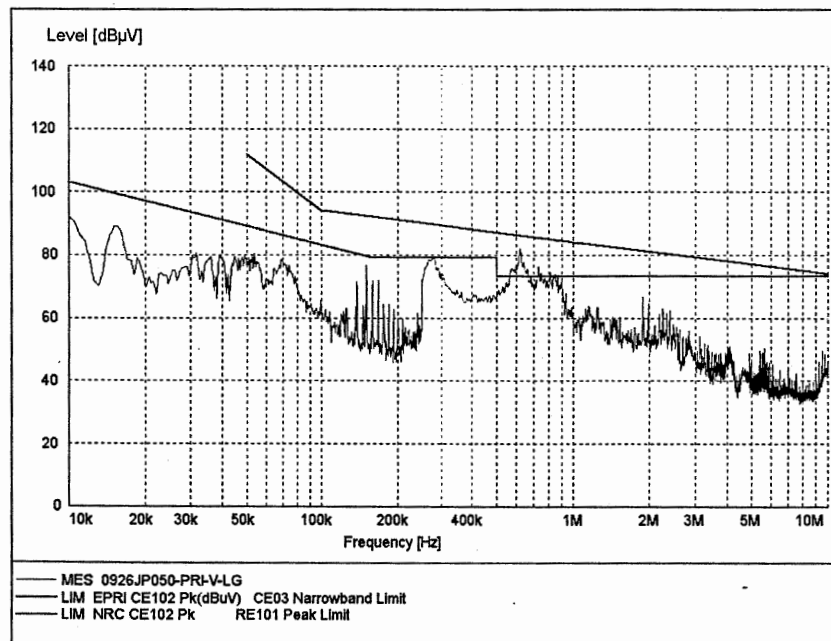


그림 B.502 JP050(W7300 BOP 1E)-PRI-V-LG

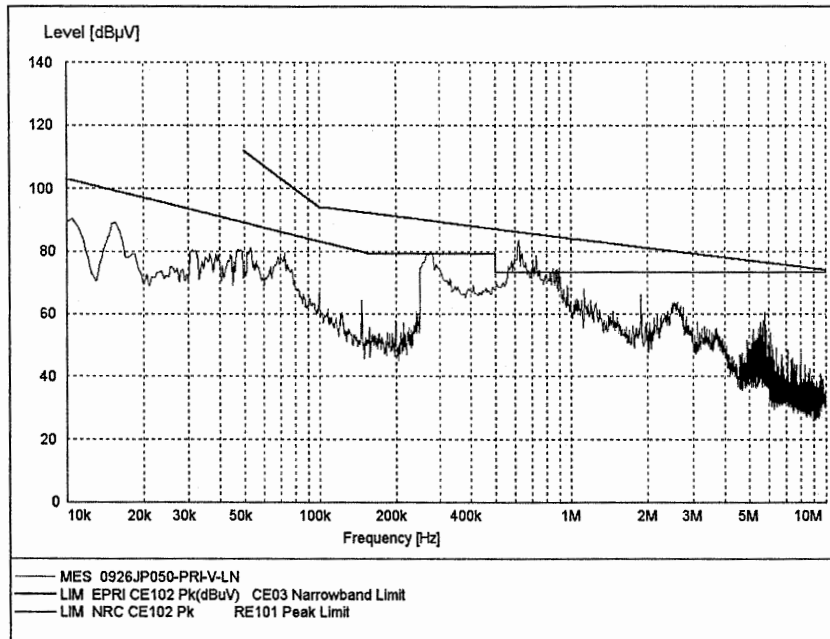


그림 B.503 JP050(W7300 BOP 1E)-PRI-V-LN

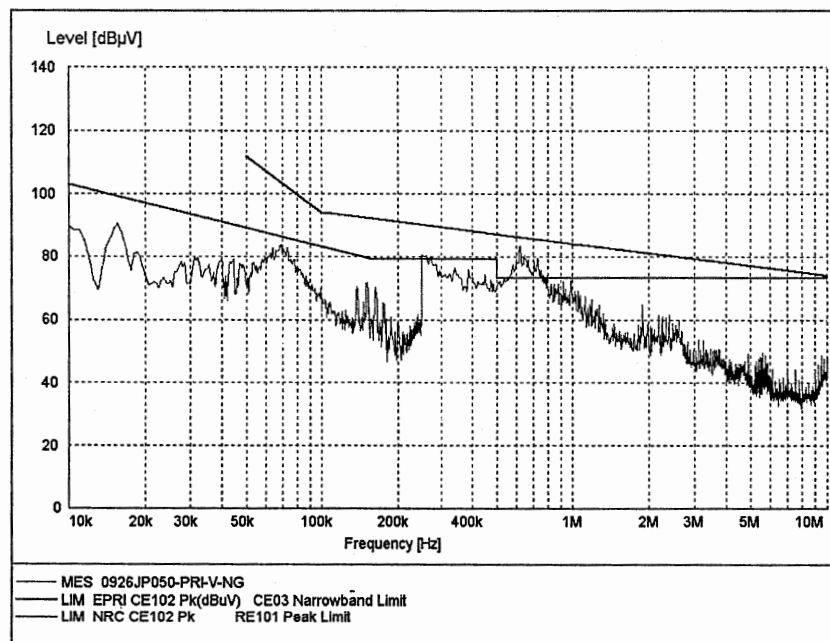


그림 B.504 JP050(W7300 BOP 1E)-PRI-V-NG

13. 전원입력방법 : D-5E-PQ-N001(인버터)

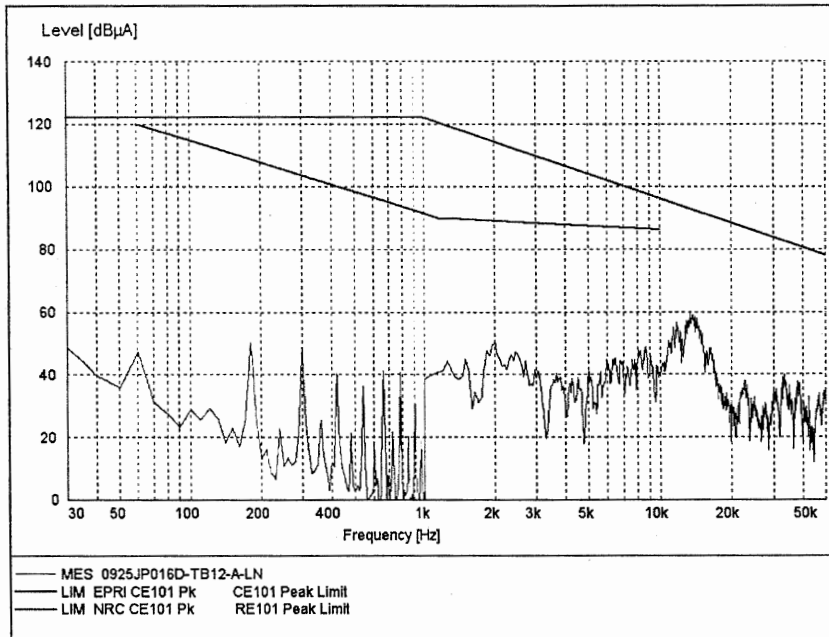


그림 B.505 JP016D(NIS CH D/D)-TB12-A-LN

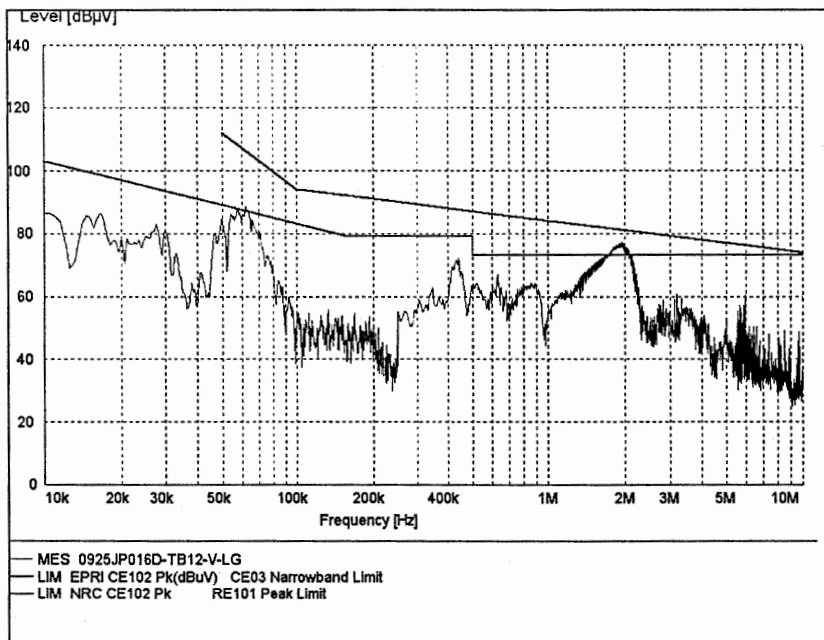


그림 B.506 JP016D(NIS CH D/D)-TB12-V-LG

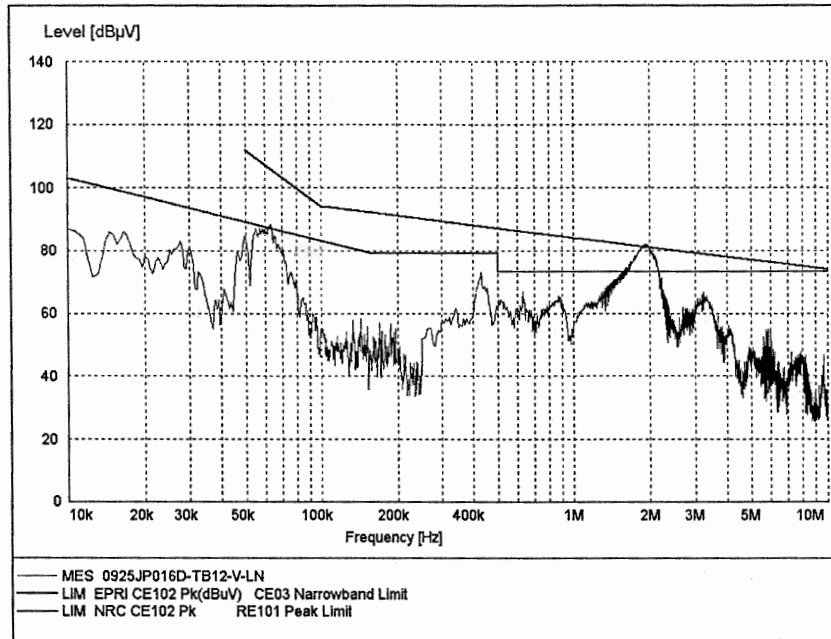


그림 B.507 JP016D(NIS CH D/D)-TB12-V-LN

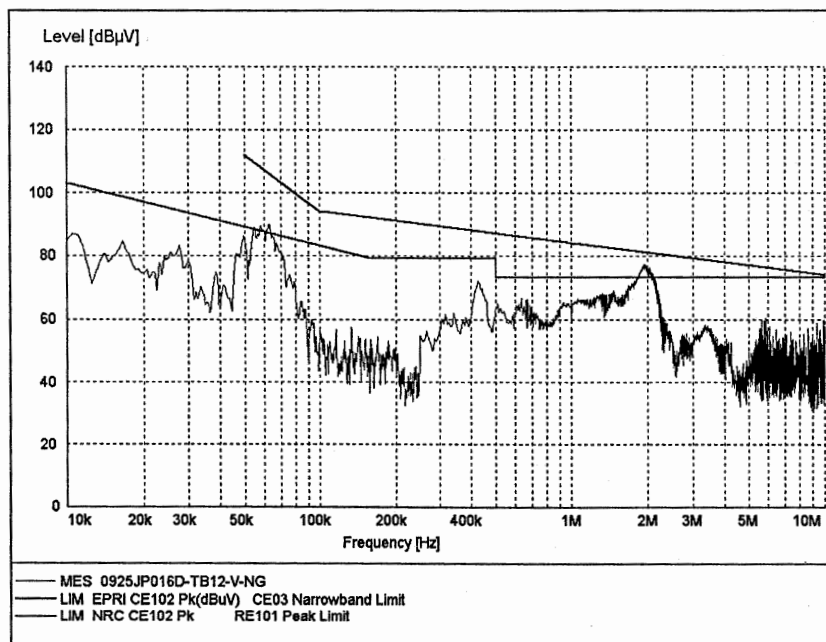


그림 B.508 JP016D(NIS CH D/D)-TB12-V-NG

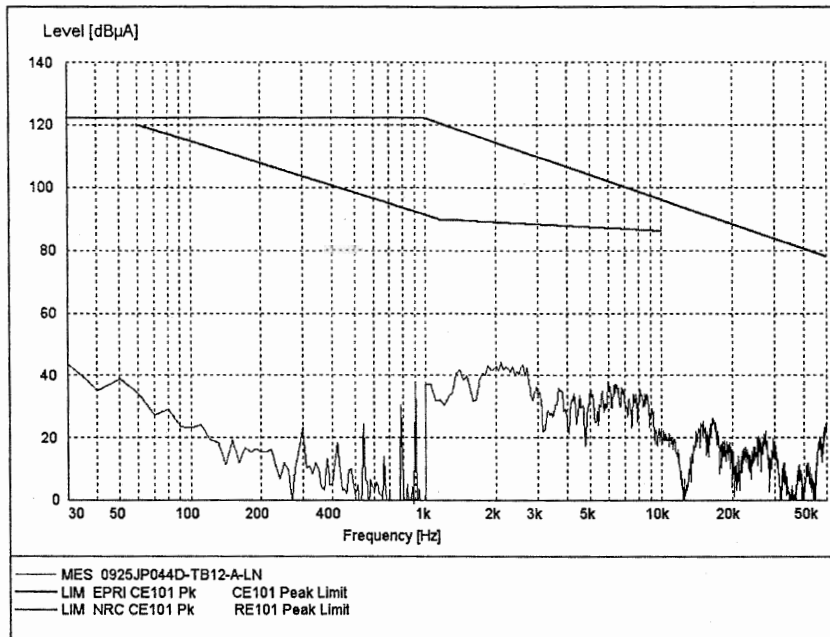


그림 B.509 JP044(SSPS Tr 'A', CH D)-TB12-A-LN

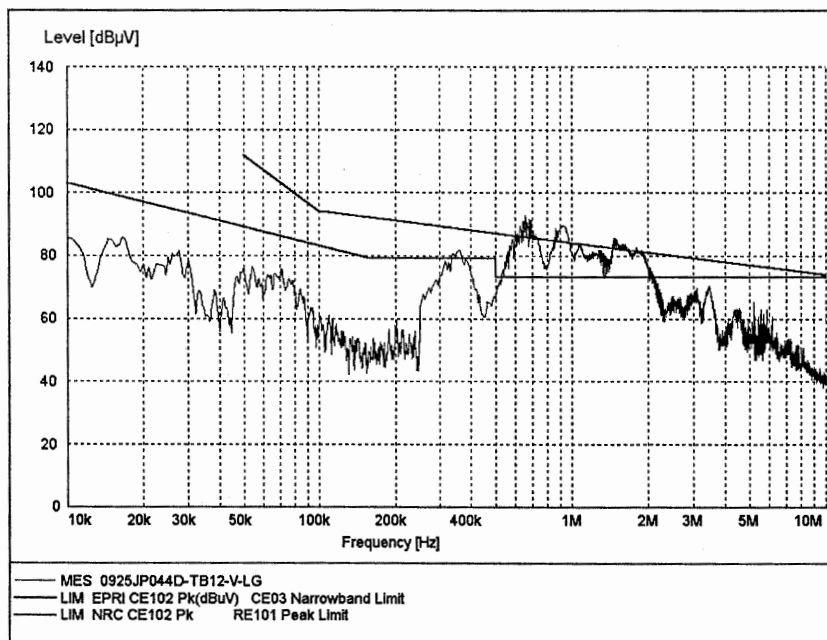


그림 B.510 JP044(SSPS Tr 'A', CH D)-TB12-V-LG

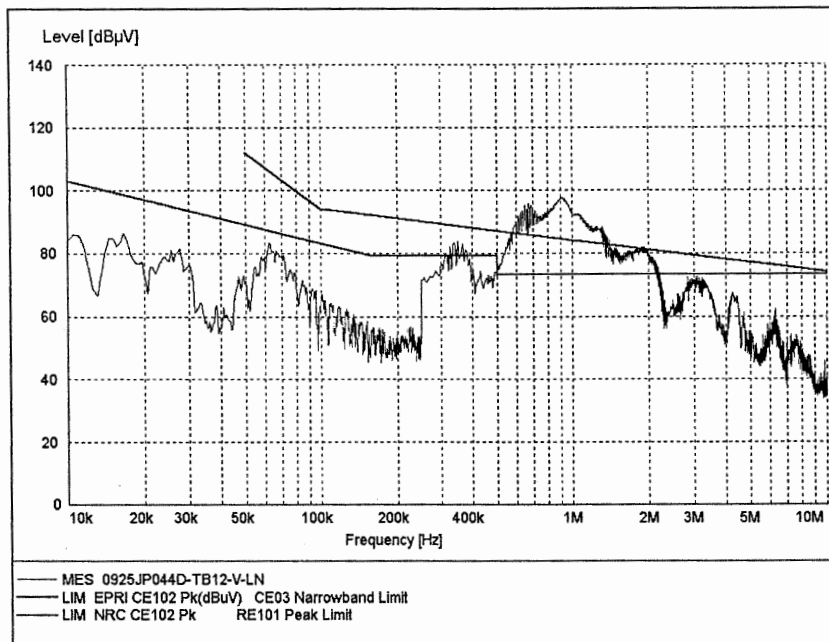


그림 B.511 JP044(SSPS Tr 'A', CH D)-TB12-V-LN

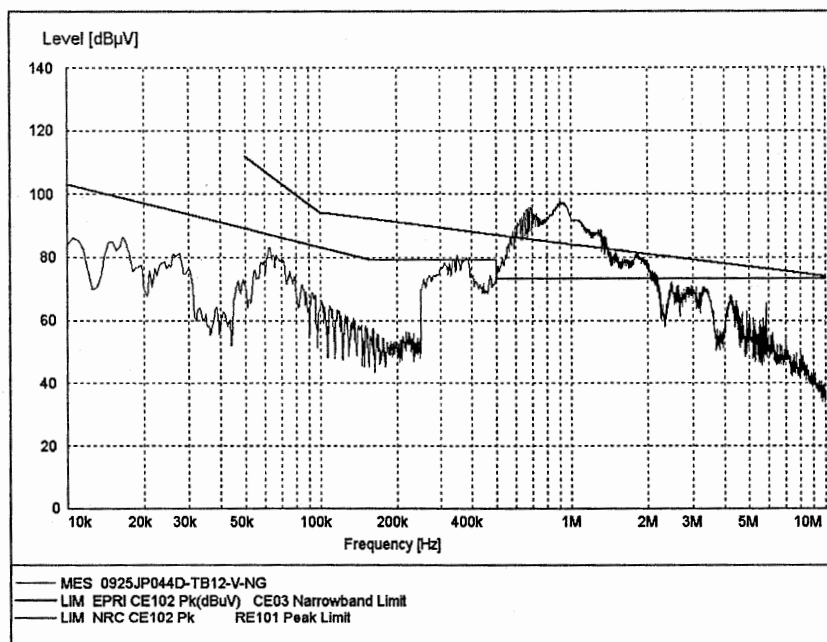


그림 B.512 JP044(SSPS Tr 'A', CH D)-TB12-V-NG

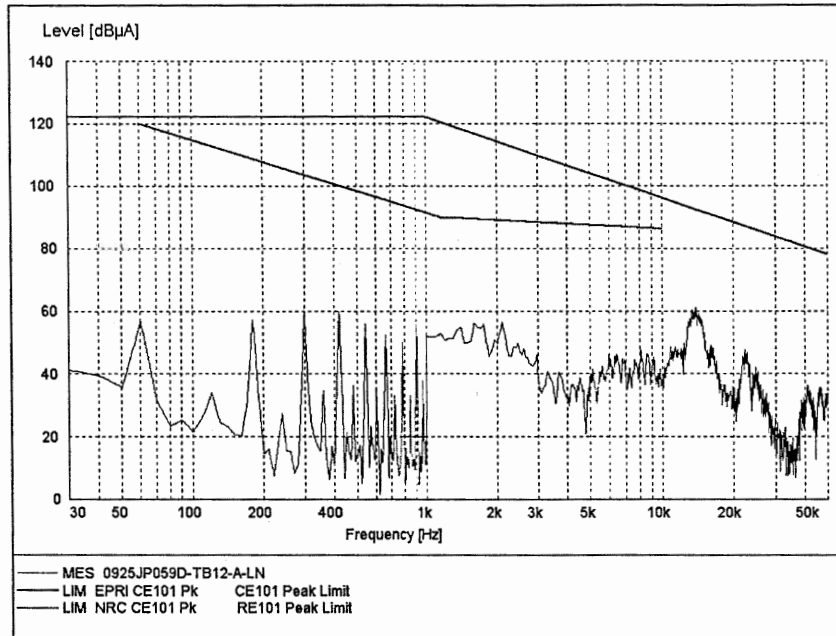


그림 B.513 JP059D(SSPS Tr 'B', CH D)-TB12-A-LN

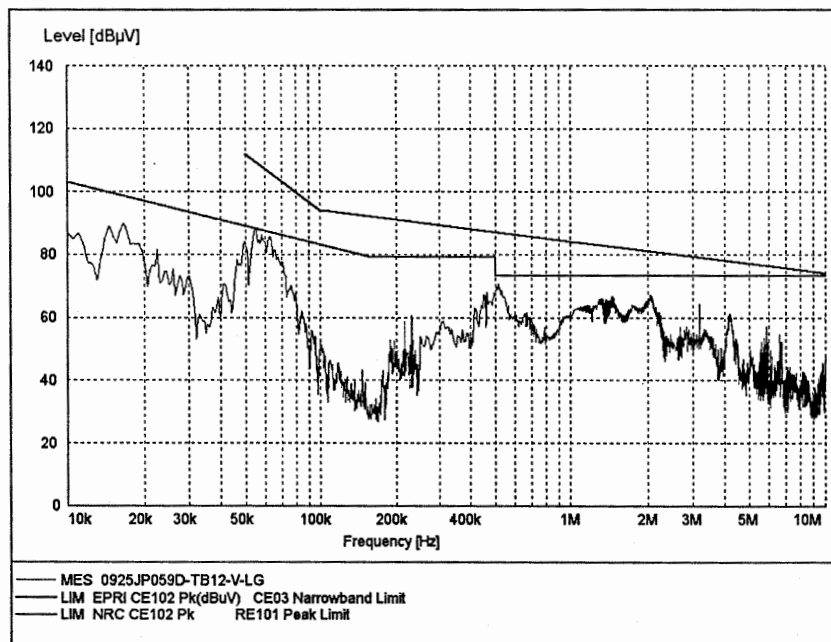


그림 B.514 JP059D(SSPS Tr 'B', CH D)-TB12-V-LG

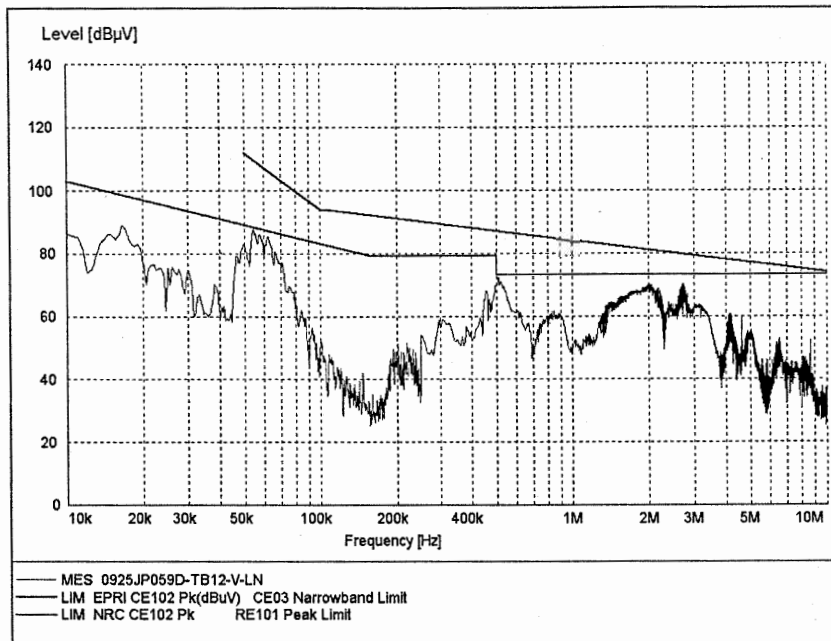


그림 B.515 JP059D(SSPS Tr 'B', CH D)-TB12-V-LN

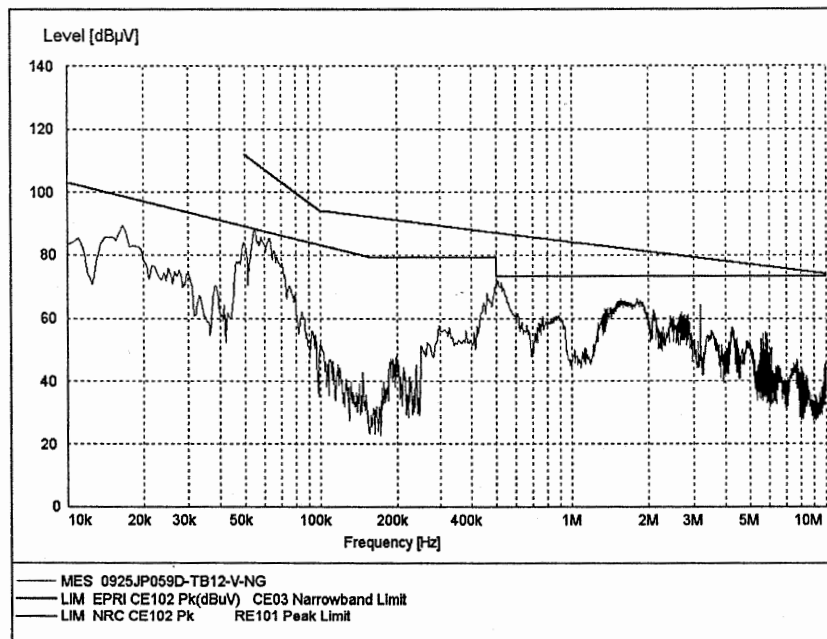


그림 B.516 JP059D(SSPS Tr 'B', CH D)-TB12-V-NG

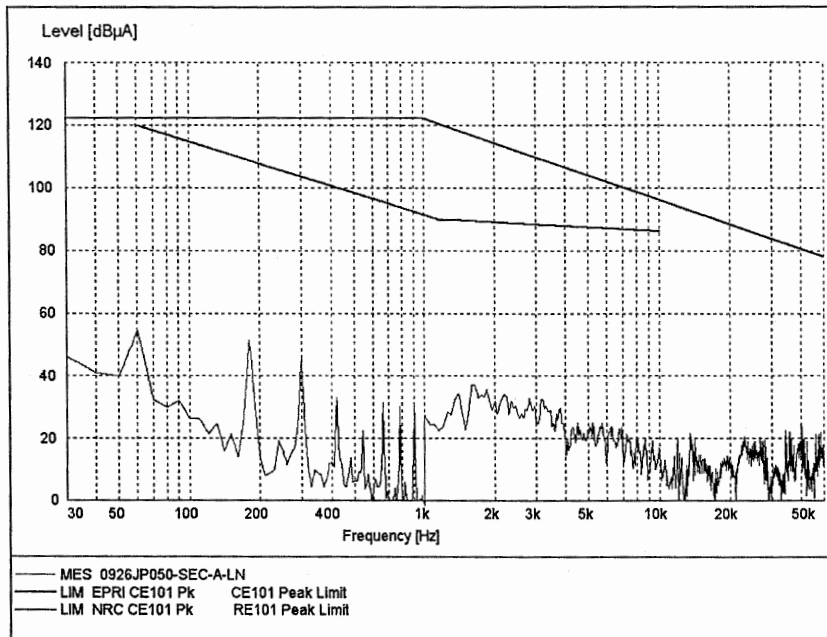


그림 B.517 JP050(W7300 BOP 1E)-SEC-A-LN

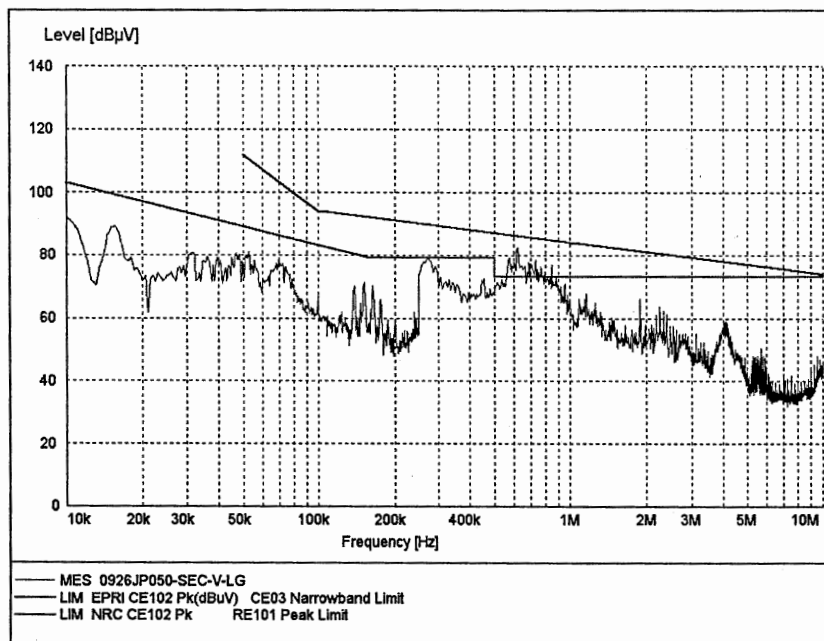


그림 B.518 JP050(W7300 BOP 1E)-SEC-V-LG

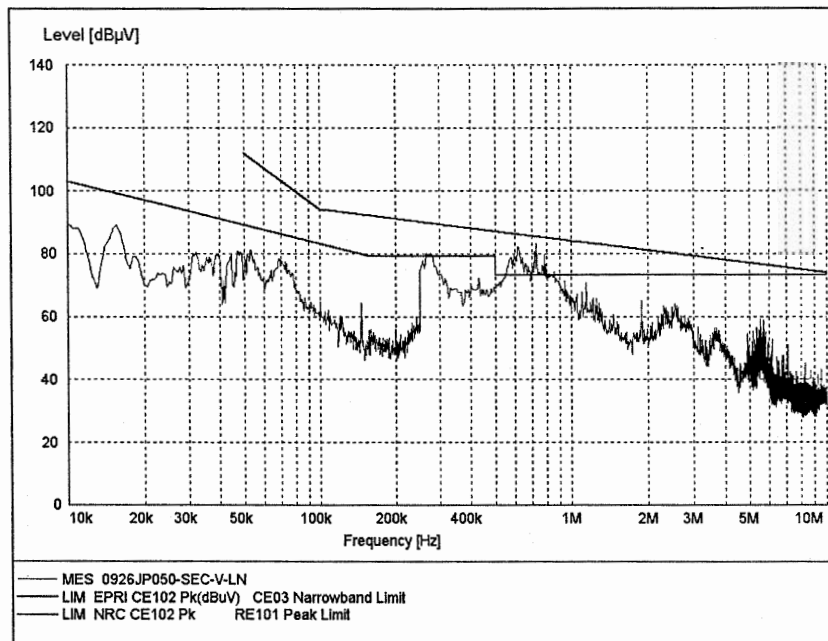


그림 B.519 JP050(W7300 BOP 1E)-SEC-V-LN

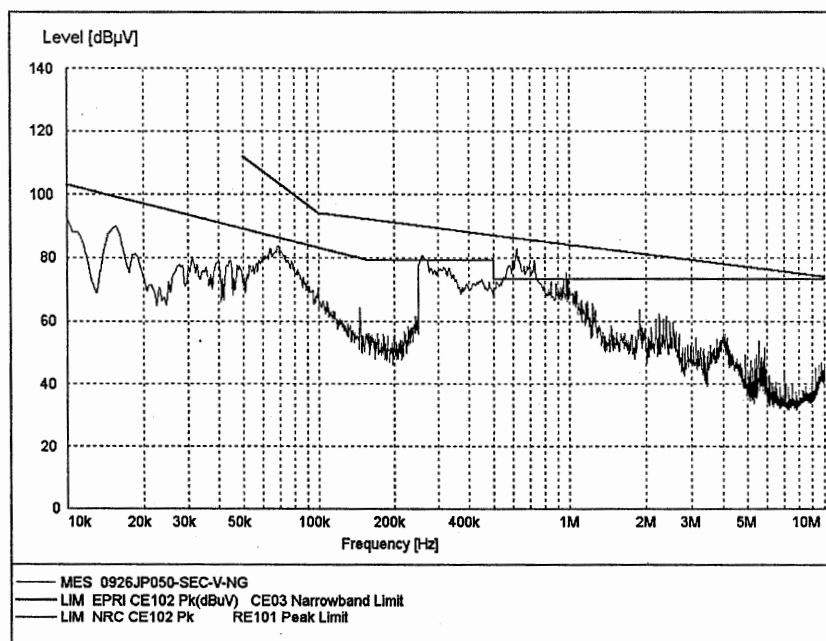


그림 B.520 JP050(W7300 BOP 1E)-SEC-V-NG