

KINS/HR-465

최종보고서

# 울진원전 주제어실에서의 방사성 잡음 측정 및 분석

수행기관 : 산업기술시험원

2002. 3.

한국원자력안전기술원

# 제 출 문

한국원자력안전기술원장 귀하

본 보고서를 “울진원전 주제어실에서의 방사성 잡음 측정  
및 분석”에 대한 보고서로 제출합니다.

2002. 3.

## 작성자

산업기술시험원 품질인증본부 전자파팀

연구책임자 : 조 원 서

연구원 : 장 태 현

연구원 : 송 태 승

연구원 : 윤 상 욱

# 요 약 문

## 1. 제 목

울진원전 주제어실에서의 방사성 잡음 측정 및 분석

## 2. 연구목적 및 중요성

원자력발전소에서 디지털 계측제어설비의 오동작으로 인하여 발전소가 정지됨으로써 발생하는 경제적·사회적 손실을 생각할 때, 그 안전성에 대한 철저한 검증 및 객관성을 유지하는 일은 매우 중요하다. 원자력발전소의 안전관련 기기들은 안전성에 대한 검증을 위하여 그 기기들이 정상적으로 운전될 때의 환경뿐만 아니라 운전 중 예상되는 극한 상황 및 발전소의 설계 기준 사건으로 인하여 발생될 수 있는 환경 하에서도 정상적으로 동작가능함을 검증하여야 한다. 외부에서 발생된 전자파는 이러한 기기에 영향을 줄 수 있기 때문에 발전소 현장에서의 전자파레벨을 주기적으로 관찰하여 원자력 관련기기의 성능유지에 참고할 필요가 있다.

본 연구에서는 원자력발전소의 계측제어설비가 설치되어 있는 현장에서 공간으로 방사되는 전자파의 레벨을 측정하여 각 기기들의 동작시에 전자파 환경에 대한 적정성을 판단하고, 측정된 레벨을 평가·분석하여 제어설비의 복사 전자파에 대한 내성기준의 기초자료를 획득하는 것을 목적으로 한다.

## 3. 연구내용 및 범위

연구내용으로는 경북 울진 원자력발전소 3호기의 주 제어실(MCR ; Main Control Room)에서 전자파 장애에 민감할 것으로 예상되는 발전소 감시 시스템(PMS ; Plant Monitoring System), 노심 보호 연산기(CPC ; Core Protection Calculator), 발전소 보호 시스템(PPS ; Plant Protection System)들과, 전기설비실(EER ; Electrical Equipment Room)의 발전소 제어 시스템(PCS ; Plant Control System), 그리고 모터발전실(MGR ; Motor Generator Room)에 설치되어 있는 전

력 개폐 장치기(PMS ; Power Switch Assembly)에서 발생하는 방사성 전자파 잡음을 측정하고 분석한다. 측정은 발전소의 출력이 0 % 인 정지기간 열흘과, 출력이 100 % 인 정상동작기간 열흘동안 반복적으로 수행되며, EPRI TR-102323-R1 과 USNRC Guide 1.180 그리고 MIL-STD-462D 에서 규정한 방사잡음 측정 항목 및 범위를 참고로 하여 30 Hz ~ 100 kHz 의 자기장 방사잡음과 10 kHz ~ 7 GHz 의 전기장 방사잡음을 측정한다. 또한 측정된 방사잡음 결과를 통하여 최소자승법을 이용한 회귀분석으로 국내에 적용 가능한 방사잡음 한계치를 유도하고 미국 원자력 규제위원회 (USNRC ; Nuclear Regulatory Commission)와 미국 전력연구원(EPRI ; Electric Power Research Institute)에서 제시한 한계치와 비교한다.

#### 4. 연구결과 및 활용방안

- 가. 주제어실 및 전기설비실에 설치된 기기로부터 방사되는 전자파 측정.
- 나. 측정된 방사 전자파의 세기 및 주파수별 분석.
- 다. USNRC, EPRI, MIL-STD 의 한계치와 비교하여 분석.
- 라. 최소자승법을 이용한 회귀분석으로 방사잡음 한계치 유도.
- 마. 유도된 방사잡음 한계치를 이용하여 주제어실에 설치될 계측 및 제어기기에 대한 국내 한계치를 적용할 수 있으며, 방사내성의 한계치 설정에 응용 가능.
- 바. 원자력발전소 설치기기에 대한 전자파 장애(EMI) 및 전자파 내성(EMS)의 국내 기준에 활용.

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제 2 장 방사잡음의 측정을 위한 요건 .....	3
2.1 측정지점 요건 .....	3
2.2 발전소 및 관련설비의 동작 요건 .....	5
2.3 주변 환경 요건 .....	5
2.4 측정 기간 .....	5
제 3 장 측정범위 및 방법 .....	6
3.1 측정항목 및 범위 .....	6
3.2 품질보증 및 측정 불확도 .....	6
3.3 현장에서의 방사잡음 측정방법 .....	7
3.3.1 자기장 방사잡음 측정절차 (주파수 범위 : 30 Hz ~ 100 kHz) .....	7
3.3.2 전기장 방사잡음 측정절차 (주파수 범위 : 10 kHz ~ 7 GHz) .....	10
3.3.3 방사잡음 측정장면 .....	13
제 4 장 측정결과 및 검토 .....	16
4.1 방사잡음의 측정결과 분석 .....	16
4.2 방사잡음 한계치의 유도 .....	24
4.2.1 최소자승법의 적용 .....	24
4.2.2 유도된 한계치의 비교 .....	25
제 5 장 결 론 .....	31
참고문헌 .....	33
부록 .....	34

## 그림목차

그림 1. 발전소내의 전·자기장 방사잡음 측정지점 .....	4
그림 2. 30 Hz ~ 100 kHz의 자기장 방사잡음 측정 배치도 .....	9
그림 3. 자기장 센서의 보정계수 .....	9
그림 4. 10 kHz ~ 7 GHz의 전기장 방사잡음 측정 배치도 .....	12
그림 5. 각 주파수에 따른 전·자기장 측정 장면 .....	15
그림 6. 자기장 방사잡음(30 Hz ~ 100 kHz)의 최대 측정치 .....	19
그림 7. 전기장 방사잡음(10 kHz ~ 30 MHz)의 최대 측정치 .....	20
그림 8. 전기장 방사잡음(30 MHz ~ 300 MHz)의 최대 측정치 .....	21
그림 9. 전기장 방사잡음(300 MHz ~ 1 GHz)의 최대 측정치 .....	22
그림 10. 전기장 방사잡음(1 GHz ~ 7 GHz)의 최대 측정치 .....	23
그림 11. 자기장 방사잡음(30 Hz ~ 100 kHz)의 한계치 비교 .....	27
그림 12. 전기장 방사잡음(10 kHz ~ 30 MHz)의 한계치 비교 .....	28
그림 13. 전기장 방사잡음(30 MHz ~ 300 MHz)의 한계치 비교 .....	28
그림 14. 전기장 방사잡음(300 MHz ~ 1 GHz)의 한계치 비교 .....	29
그림 15. 전기장 방사잡음(1 GHz ~ 7 GHz)의 한계치 비교 .....	29

## 표 목 차

표 1. 측정주파수에 따른 대역폭과 측정시간 .....	7
표 2. 자기장 방사잡음 측정장비 .....	8
표 3. 전기장 방사잡음 측정장비 .....	11
표 4. 측정 결과 분석 .....	17
표 5. 유도된 결과와 EPRI 및 USNRC의 한계치와 비교 정리 .....	30

## 제 1 장 서 론

그동안 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 증가하고 있다. 하지만 이로 인한 문제점으로 원자력발전소 환경에서의 추가적인 잡음원의 형성과 이미 존재하고 있는 전기적인 잡음의 내성에 관한 관심이 높아지고 있다. 이 시스템들은 신뢰성과 기능의 향상을 위해 고속의 스위칭 소자를 사용하여 설계되어 있어, 동작과정에서 필연적으로 기존의 잡음형태와 다른 넓은 주파수 범위에서 높은 전자파를 방출시킨다. 한편 이러한 기기들은 상대적으로 고 집적화 및 저 전력화로 미세한 신호를 다루는 경우가 많아 잡음에 대한 내성이 떨어지고 있다. 또한 발전소 내에는 통신 및 방송 등 외부 전자파의 유입과 더불어 전력계통내의 선로 혹은 설비의 정상적인 또는 비정상적인 개폐작용에 의한 신호에 이르기까지 다양한 잡음이 존재하고 있어 각종 전자기기 및 제어시스템에 오동작이나 파손 등 여러 가지 전자파 장애 (EMI ; Electromagnetic Interference)를 유발시킬 수 있다. 이러한 장애는 원자력발전소뿐만 아니라 주거환경, 의료분야 등 산업전반에 걸쳐 발생될 수 있으며 국민생활과 안전에 큰 위협이 될 수 있기 때문에 그 대책이 필요하다[1-4]. 각 기기가 설치환경의 전자파 장애로부터 적절한 내성(immunity)을 갖고 허용가능한 정도의 전자파를 방사하도록 설계된다면 이러한 문제는 해결될 수 있다. 이것은 전자파 적합성 (EMC ; Electromagnetic Compatibility)시험을 통하여 검증될 수 있기 때문에 미국의 원자력 규제위원회 (USNRC ; Nuclear Regulatory Commission)와 전력연구원 (EPRI ; Electric Power Research Institute)에서는 원자력발전소에 설치되는 안전등급 기기들에 대한 전자파 적합성 기준을 규정하고 시험을 거치도록 요구하고 있다. 한편 현재 디지털 제어 시스템이 설치되어 있는 원자력발전소 내에서의 전자파 환경을 파악하는 것은 매우 중요하다. 각 시스템이 설치전에 전자파 영향에 관한 기기검증을 거쳤다 하더라도 각 설치조건 등의 변화로 인한 전자파

방출 레벨이 변할 수 있으며, 외부에서 유입된 전자파 등으로 인하여 실제 전자파 환경은 많이 바뀔 수 있기 때문이다. 따라서 설치된 현장에서의 전자파 레벨을 주기적으로 측정하여 각 제어 시스템의 안전한 동작 범위, 즉 전자파 내성 레벨을 파악하는 것이 원자력발전소의 안전한 운영을 위해 더욱 필요하다고 할 수 있다[5].

본 연구에서는 경북 울진 원자력발전소 3호기의 주 제어실(MCR ; Main Control Room)에서 전자파 장애에 민감할 것으로 예상되는 발전소 감시 시스템(PMS ; Plant Monitoring System), 노심 보호 연산기(CPC ; Core Protection Calculator), 발전소 보호 시스템(PPS ; Plant Protection System)들과, 전기설비실(EER ; Electrical Equipment Room)의 발전소 제어 시스템(PCS ; Plant Control System), 그리고 모터발전실(MGR ; Motor Generator Room)에 설치되어 있는 전력 개폐 장치기(PMS ; Power Switch Assembly)에서 발생하는 방사성 전자파 잡음을 측정하고 분석한다.

발전소의 출력과 관련설비의 동작조건에 따른 방사잡음의 특성을 함께 파악하기 위해 측정은 발전소의 출력이 0 % 인 정지기간 열흘과, 출력이 100 % 인 정상동작기간 열흘동안 반복적으로 수행되며, EPRI TR-102323-R1[6] 과 USNRC Guide 1.180[7] 그리고 MIL-STD-462D[8,9] 에서 규정한 방사잡음 측정 항목 및 범위를 참고로 하여 30 Hz ~ 100 kHz 의 자기장 방사잡음과 10 kHz ~ 7 GHz 의 전기장 방사잡음을 측정하였다. 측정된 600여개의 데이터를 분석하여 최대 전자파 잡음 레벨과 주파수특성을 구하였고, 최소자승법을 이용한 회귀분석으로 원자력발전소 제어시스템의 방사잡음의 한계치를 유도하여 EPRI 와 USNRC에서 제시한 한계치와 비교하였다.

## 제 2 장 방사잡음의 측정을 위한 요건

원자력발전소 현장에서 방사성 잡음을 측정하려면 먼저 전자파 방출이 많은 지점과 이미 존재하는 잡음에 민감할 것으로 예상되는 기기들, 그리고 발전소의 동작조건이 설정되어야 한다. 원자력발전소에서 사용되는 전기·전자 기기들 중에서 전자파 장애를 발생시키거나 영향을 받을 수 있는 기기는 주 제어실, 전기설비실 그리고 모터발전실에 위치하고 있기 때문에 방사잡음 측정은 대부분 이곳에 있는 주요 시스템의 근처에서 이루어진다.

발전소내에는 전원선을 통해 외부로부터 유입되는 전자파 잡음과 계측 및 제어기기의 동작 중에 필연적으로 발생하는 넓은 주파수 범위의 잡음이 동시에 존재하기 때문에 적절한 측정지점을 선정하여야 한다. 또한 방사잡음은 발전소의 운전 조건과 측정지점과 관련된 설비의 동작상태와 연관되어 그 크기 및 형태가 변할 수 있기 때문에 발전소의 출력이 0%인 기간과 100% 정상출력을 발생하는 기간을 모두 선택하여 측정하여야 한다. 한편 측정자와 대상설비 모두의 안전을 고려하여 사전에 안전수칙을 수립하고 측정에 임하여야 한다.

### 2.1 측정지점 요건

본 연구에서는 국내 원자력발전소 중에서 가장 최근에 건설된 울진 원자력발전소 3호기를 선택하여 주 제어실에서 전자파 장애에 민감할 것으로 예상되는 발전소 감시 시스템, 노심 보호 연산기, 발전소 보호 시스템들과, 전기설비실의 발전소 제어 시스템, 그리고 모터발전실에 설치되어 있는 전력 개폐장치기 부근을 측정지점으로 설정하였다. 이 설비들이 선정된 것은 이들이 발전소자를 사용하는 디지털 회로를 채택하고 있고, 인버터로부터 전원을 받기 때문에 주 제어실에서 가장 전자파 장애에 민감하고 방사성 잡음을 발생시킬 것으로 예상되었기 때문이다. 그림 1은 발전소의 주제어실, 전기설비실 및 모터발전실에서 전·자기장 방사잡음의 측정을 위한 안테나 설치지점 5곳을 나타낸다.

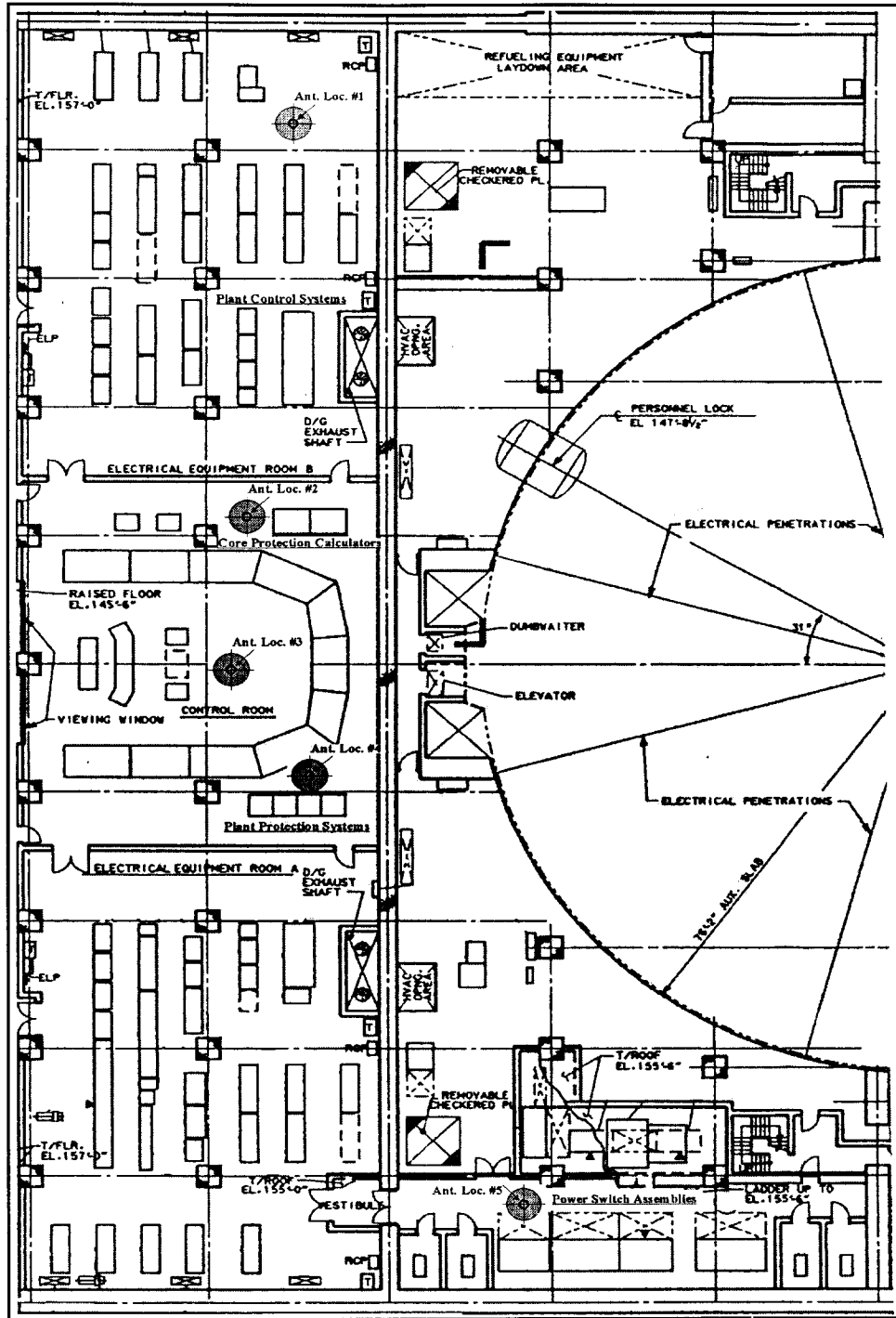


그림 1. 발전소내의 전·자기장 방사잡음 측정지점

## 2.2 발전소 및 관련설비의 동작 요건

발전소의 출력과 관련설비의 동작조건에 따른 방사성 잡음의 특성을 함께 파악하기 위해 측정은 1000 MW 급 발전소의 출력이 0 % 인 정지기간 열흘과, 출력이 100 % 인 정상동작기간 열흘동안 반복적으로 수행되었다. 발전소의 출력이 변화하는 동안에 측정 대상설비 및 관련기기의 동작은 임의로 조정하기 어렵기 때문에 이 설비들은 측정기간 동안에 모두 정상동작을 유지하였다.

## 2.3 주변 환경 요건

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

- (1) 온도 : 10 ~ 40 ℃
- (2) 습도 : 75 % 이하

## 2.4 측정 기간

측정은 1차 발전소 정지기간과, 2차 정상 출력기간동안 이루어 졌으며, 그 기간은 다음과 같다.

- (1) 발전소 출력정지기간 : 2001년 7월 23일 ~ 2001년 8월 1일(10일간)
- (2) 발전소 정상동작기간 : 2001년 9월 10일 ~ 2001년 9월 19일(10일간)

## 제 3 장 측정범위 및 방법

### 3.1 측정항목 및 범위

방사잡음의 측정항목 및 범위는 EPRI TR-102323-R1 과 USNRC Guide 1.180 그리고 MIL-STD-462D 에서 규정한 방사성 잡음 측정항목 및 범위를 참고로 하고, 현장에서 측정이 가능한 조건과 측정주파수 범위를 결정하였다.

- (1) 자기장 방사잡음 : 30 Hz ~ 100 kHz 의 자기장 측정
- (2) 전기장 방사잡음 : 10 kHz ~ 7 GHz 의 전기장 측정

### 3.2 품질보증 및 측정 불확도

방사잡음에 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 메뉴얼 QM001
- (2) 원자력 안전 메뉴얼 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

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

- (1) 30 Hz ~ 100 kHz :  $\pm 2.86$  dB
- (2) 10 kHz ~ 30 MHz :  $\pm 4.64$  dB
- (3) 30 MHz ~ 300 MHz :  $\pm 4.84$  dB(수평),  $\pm 5.08$  dB(수직)
- (4) 300 MHz ~ 1 GHz :  $\pm 4.82$  dB(수평),  $\pm 4.81$  dB(수직)
- (5) 1 GHz ~ 7 GHz :  $\pm 3.54$  dB(수평),  $\pm 3.54$  dB(수직)

### 3.3 현장에서의 방사잡음 측정방법

발전소 현장에서의 방사잡음 측정절차는 산업기술시험원 전자파 시험업무 절차서 P226[10]에 수립된 방법에 따라 수행되었고, 주파수 범위에 따른 측정 수신기의 대역폭 및 최소 측정시간은 MIL-STD-461D와 MIL-STD-462D에서 규정한 조건대로 표 1에서처럼 설정하였다.

표 1. 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 Hz ~ 250 kHz	1 kHz	0.015 sec	0.015 sec/kHz
250 Hz ~ 30 MHz	10 kHz	0.015 sec	1.5 sec/MHz
30 MHz ~ 1 MHz	100 kHz	0.015 sec	0.15 sec/MHz
1 GHz 초과	1 MHz	0.015 sec	15 sec/GHz

#### 3.3.1 자기장 방사잡음 측정절차 (주파수 범위 : 30 Hz ~ 100 kHz)

이 측정절차는 30 Hz에서 100 kHz까지의 주파수 범위에서 주제어실의 발전소 감시 시스템, 노심 보호 연산기, 발전소 보호 시스템과, 전기설비실의 발전소 제어 시스템, 그리고 모터발전실에 설치되어 있는 전력 개폐 장치기에서 발생하는 자기장 방사잡음 및 외부로부터 발생되어 전원 입력선을 통하여 들어오는 자기장 방사잡음의 측정에 대하여 적용한다.

##### (1) 측정장비

본 측정을 위해 사용된 측정장비의 구성은 표 2와 같다.

표 2. 자기장 방사잡음 측정장비

번호	장비명	모델명 및 제작사	기능 및 사양
1	EMI Test Receiver	ESI 7 Rohde & Schwarz	20 Hz ~ 7 GHz
2	Attenuator	8419B Hewlett Packard	10 dB DC ~ 18 GHz
3	Loop Sensor	HZ-10 Rohde & Schwarz	직경 13.3 cm, 36 turn 5 Hz ~ 10 MHz
4	Tri-port	EMCO	-
5	Controller	Sense 680 Samsung	-
6	Cable 및 Connector류	HP	DC ~ 18 GHz

(2) 측정준비

- 가. 측정하고자 하는 지점에서 측정장치의 배치는 그림 2와 같이 한다.
- 나. 계측 및 제어시스템으로부터 명시된 7 cm 또는 50 cm 거리에서 자기장 측정용 Loop 센서를 위치시킨다.
- 다. Loop 센서는 직경이 13.3 cm의 원형에 권선수 36 회인 루프코일 형태로 구성되고 정전기로부터 차폐되어야 한다.
- 라. 전자파측정수신기의 dBuV 측정치를 dBpT 로 표현하려면 그림 3 에서 보여주는 자기장 센서의 보정계수(Correction Factor)를 측정치에 더한다.

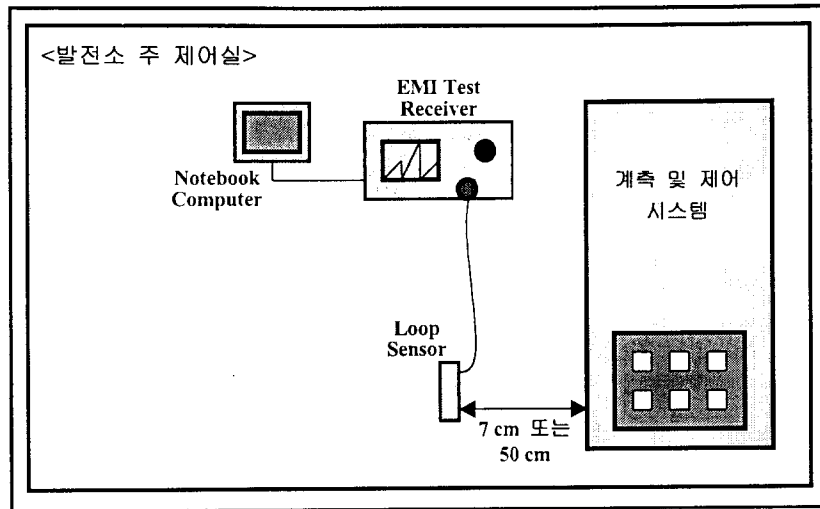


그림 2. 30 Hz ~ 100 kHz의 자기장 방사잡음 측정 배치도

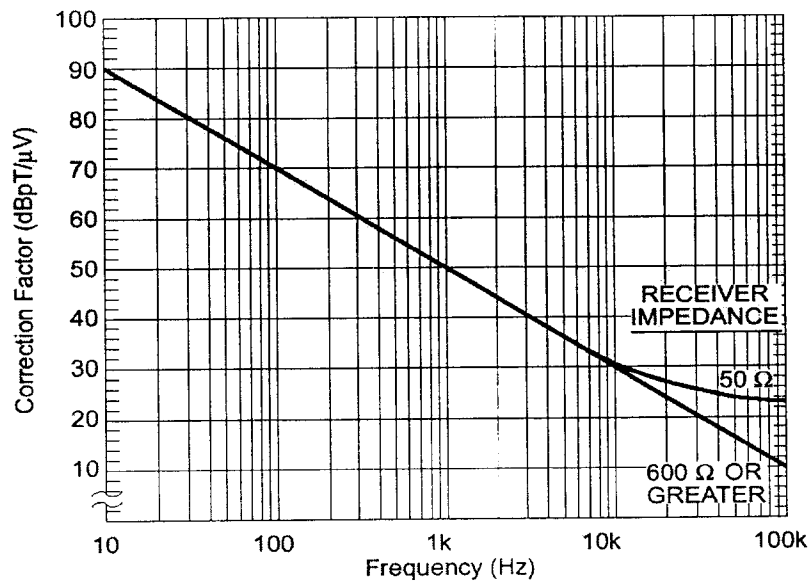


그림 3. 자기장 센서의 보정계수

### (3) 측정절차

가. 전자파측정수신기에 전원을 공급하고 안정된 동작을 위해 충분한 시간을 갖는다.

- 나. 전자파측정수신기와 자기장센서의 교정상태를 검증하고 측정치의 보정을 위해 자기장센서의 측정 보정계수를 측정수신기에 입력시킨다.
- 다. 자기장센서를 측정지점으로부터 7 cm 또는 50 cm 거리에 놓는다. 자기장센서 면은 시험품 면과 케이블 축에 평행인 방향이 되도록 한다.
- 라. 전자파측정수신기의 대역폭 및 최소 측정시간을 조절하고 최대방사가 일어나는 주파수를 찾기 위해 측정주파수대역 30 Hz 에서 100 kHz 에 걸쳐 스캔한다.
- 마. 최대방사가 일어나는 주파수들 중에서 하나를 선택하여 그 주파수에 전자파측정수신기를 튜닝한다.
- 바. 자기장센서를 측정지점 또는 케이블 축을 따라 (7 cm 의 간격은 유지하면서) 이동하면서 전자파측정수신기로부터 방사레벨을 관찰한다. (마)에 따라서 각 주파수에 대한 최대방사 지점을 확인한다.
- 사. 최대방사 지점으로부터 7 cm를 유지하고 자기장센서의 면 방향을 전자파측정수신기로부터 최대방사레벨이 나타내는 방향으로 향한다. 그때의 방사레벨을 기록한다.
- 아. 200 Hz 이하의 주파수대역에서 옥타브(octave) 당 적어도 2개 이상의 최대방사 주파수에 대해 그리고 200 Hz를 초과하는 주파수대역에서는 옥타브(octave) 당 적어도 3개 이상의 최대방사 주파수에 대해 (마)에서 (사)를 반복하여 수행한다.
- 자. 측정결과를 그래프형태로 하거나 각 측정주파수, 동작모드, 측정거리, 자기장 측정값, 그리고 자기장방사 허용레벨이 포함된 표로 작성한다.

### 3.3.2 전기장 방사잡음 측정절차 (주파수 범위 : 10 kHz ~ 7 GHz)

이 측정절차는 10 kHz에서 7 GHz까지의 주파수 범위에서 각 실에서 선정된 계측제어기기로 부터 발생하는 전자파 및 외부로부터 발생되어 발전소 내부로 유기되는 모든 방사성 잡음에 대하여 적용한다. Rod, Biconical, Log-periodic 그리고 Horn 안테나를 각 주파수 대역에 맞도록 선택하여 측정한다. 지정된 측정지점에서는 MIL-STD-462D 에 의해 Rod 안테나는 접지면에 그대로 놓고,

그 이외의 안테나는 높이와 방향을 변화시켜 가장 최대방사가 측정되는 경우를 찾아 반복적으로 데이터를 수집한다. 특히 안테나의 특성에 의해 10 kHz ~ 30 MHz 까지는 방사 전기장의 수직성분만을 측정하고, 30 MHz ~ 7 GHz 에 대해서는 수평 및 수직편파에 대해 모두 측정한다.

#### (1) 측정장비

본 측정에 사용되는 측정장비의 구성은 표 3 과 같다.

표 3. 전기장 방사잡음 측정장비

측 정 명	장 비 명	모델명 및 제작사	기능 및 사양
1	EMI Test Receiver	ESI 7 Rohde & Schwarz	20 Hz ~ 7 GHz
2	Attenuator	8419B Hewlett Packard	10 dB DC ~ 18 GHz
3	Rod Antenna	HFH2-Z6 Rohde & Schwarz	9 kHz ~ 30 MHz
4	Biconical Antenna	BBA9106 Schwarzbeck	30 MHz ~ 300 MHz
5	Log-Periodic Antenna	3146 EMCO	200 MHz ~ 1 GHz
6	Horn Antenna	3115 EMCO	1 GHz ~ 18 GHz
7	Tri-port	EMCO	-
8	Controller	Sense 680 Samsung	-
9	Cable 및 Connector류	HP	DC ~ 18 GHz

#### (2) 측정준비

가. 측정하고자 하는 지점에서 측정장치의 배치는 그림 4와 같이 한다.

나. Rod 안테나는 접지면에 그대로 놓고 그 이외의 안테나는 1.2 m 높이에

설치한 다음 계측제어기기의 경계면과 1 m 이상의 거리를 유지한다.

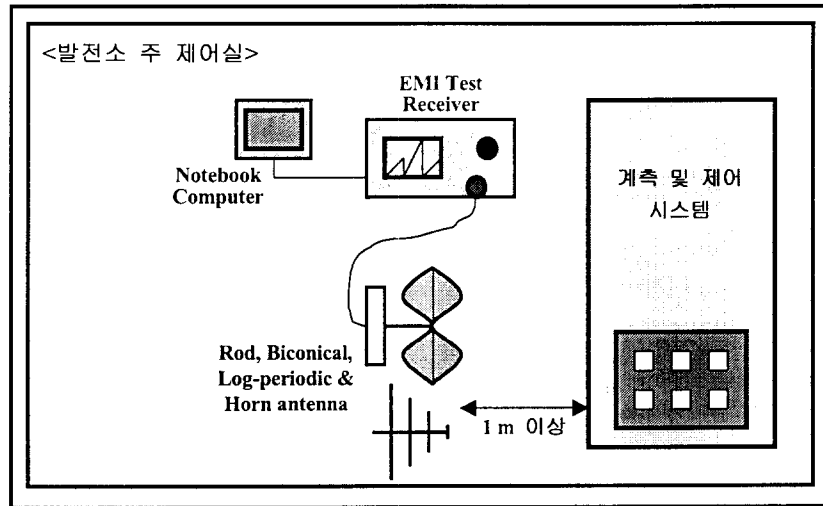


그림 4. 10 kHz ~ 7 GHz의 전기장 방사잡음 측정 배치도

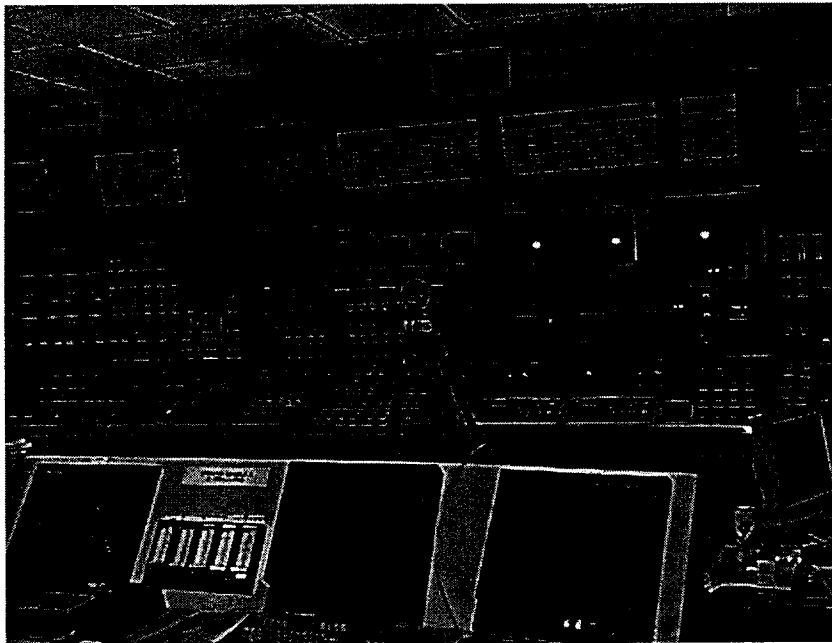
### (3) 측정절차

- 가. 전자파측정수신기에 전원을 공급하고 안정된 동작을 위해 충분한 시간을 갖는다.
- 나. 전자파측정수신기와 각 안테나의 교정상태를 검증하고 측정치의 보정을 위해 각 안테나의 측정보정계수(안테나인자) 및 케이블 손실을 측정수신기에 입력시킨다.
- 다. 주파수에 따른 측정수신기의 대역폭 및 최소 측정시간으로 수신기를 맞춘다.
- 라. 전자파측정수신기에 주파수대역을 Rod 안테나를 사용할 경우 10 kHz ~ 30 MHz, Biconical 안테나의 경우는 30 MHz ~ 300 MHz, Log-Periodic 안테나의 경우에는 300 MHz ~ 1 GHz 그리고 Horn 안테나의 경우는 1 GHz ~ 7 GHz로 설정하고 스캔한다.
- 마. 30 MHz 이상의 대역에서는 수평 및 수직편파 모두를 측정한다.
- 바. 측정지점에서 안테나는 높이와 방향을 변화시켜 가장 최대방사가 측정되는 경우를 찾아 (라), (마)를 반복하며 데이터를 수집한다.

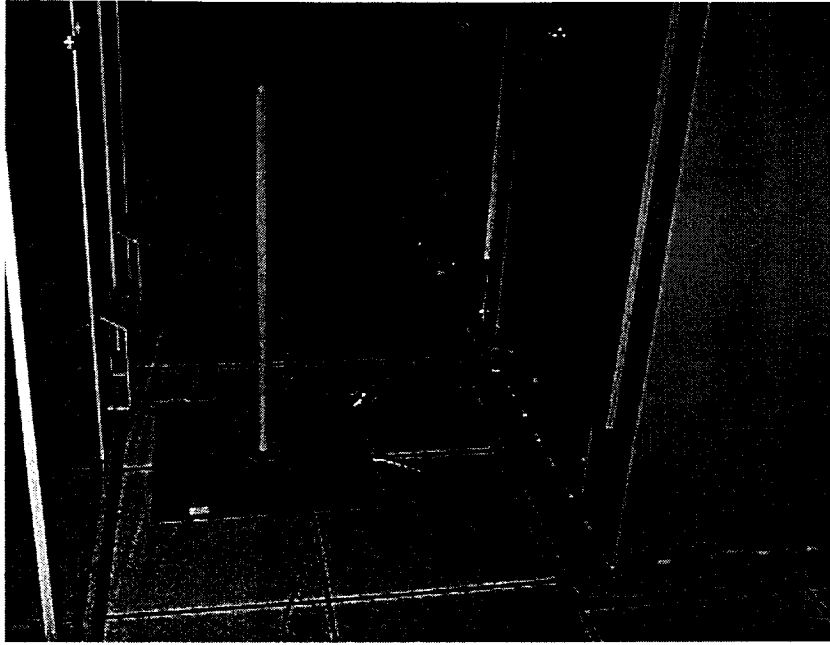
사. 측정결과는 주파수(X축)와 진폭(Y축)의 그래프형태로 연속적으로 나타내고, 플로터를 이용하여 출력한다. 각 그래프에는 적용 허용레벨이 표시 되어 있어야한다.

### 3.3.3 방사잡음 측정장면

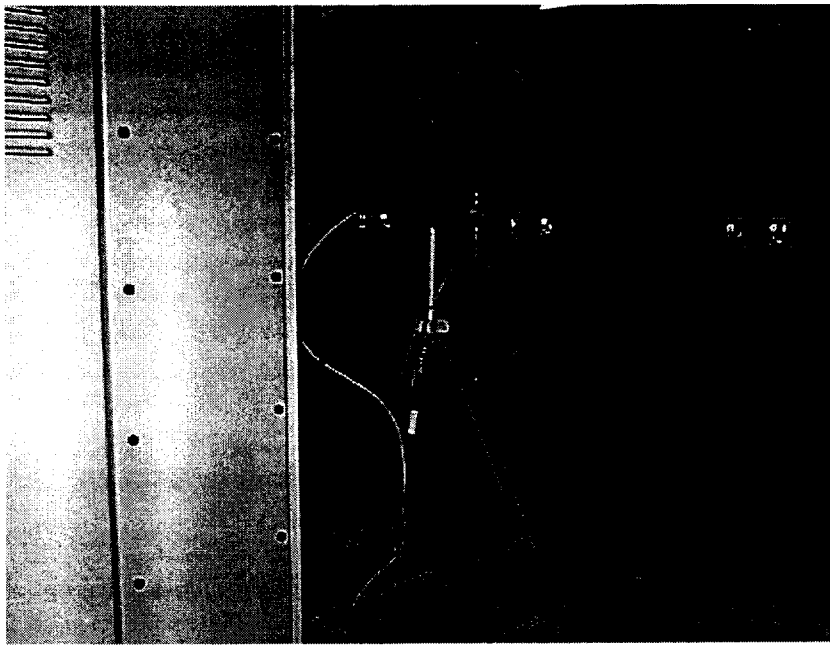
그림 5에 주제어실의 발전소 감시 시스템, 노심 보호 연산기, 발전소 보호 시스템과, 전기설비실의 발전소 제어 시스템, 그리고 모터발전실에 설치되어 있는 전력 개폐 장치기에서 주파수별로 각 센서 및 안테나에 의해 측정된 장면을 나타내었다.



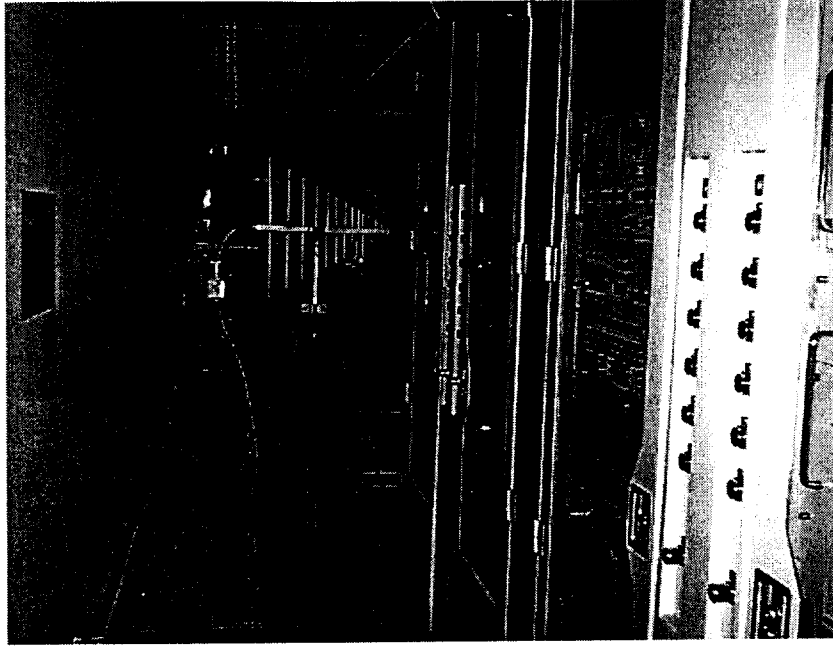
(a) 발전소감시시스템에서 Loop 센서를 이용한 자기장 측정장면



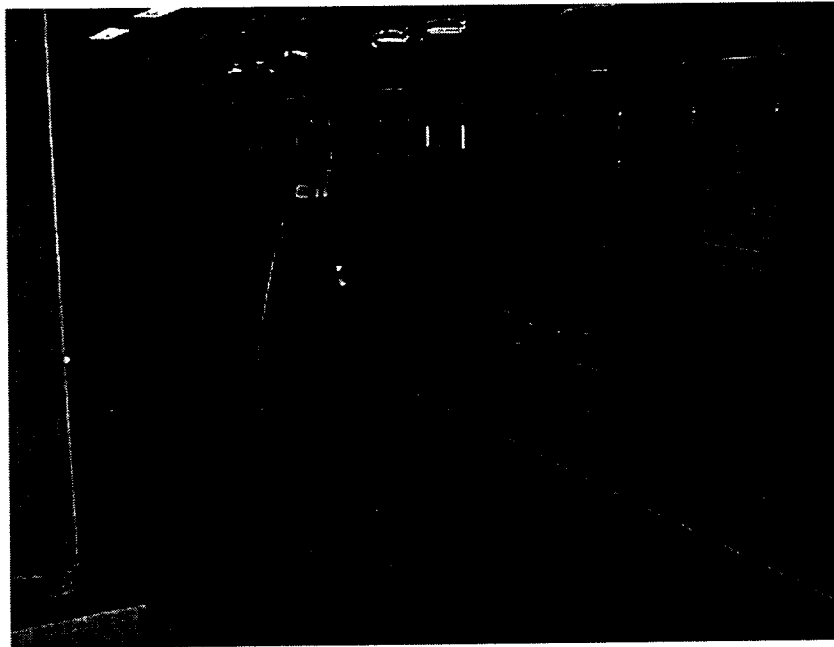
(b) 발전소제어시스템에서 Rod 안테나를 이용한 전기장 측정장면



(c) 노심보호연산기에서 Biconical 안테나를 이용한 전기장 측정장면



(d) 발전소보호시스템에서 Log-periodic 안테나를 이용한 전기장 측정장면



(e) 전력개폐장치에서 Horn 안테나를 이용한 전기장 측정장면

그림 5. 각 주파수에 따른 전·자기장 측정 장면

## 제 4 장 측정결과 및 검토

### 4.1 방사잡음의 측정결과 분석

발전소의 출력이 정지한 기간 열흘과 최대 발전출력을 내는 기간 열흘동안 취득한 전·자기장 방사잡음의 측정데이터는 약 600여개에 이른다. 그림 6 부터 10 은 서로 다른 안테나로 측정한 데이터를 분석하여 각 측정 주파수 범위에 따라 도출된 최대 방사잡음의 세기를 나타낸다. 이 값들은 USNRC와 EPRI 그리고 MIL-STD 에서 제시한 한계치와 비교되었다.

그림 6 은 Loop 센서를 이용하여 주제어실내의 여러지점에서 측정된 자기장 방사잡음의 최대값이다. 여기서는 특히 모터발전실의 모터발전제어반(MG Set Control Panel)에서 자기장 방사가 많이 측정되었다. 30 Hz~100 kHz 주파수 범위에서 측정된 방사잡음을 살펴보면, 측정지점으로부터 50 cm 거리에서 측정된 최대 잡음에 비해 7 cm 거리에서 10 dB 이상 더 높게 측정되었다. 하지만 50 cm 거리에서 측정된 방사치가 USNRC 에서 제공한 한계치를 12 dB 정도 넘어서고 있다. 저주파 복사잡음의 특색은 주로 60 Hz 전원주파수와 이것의 우수(even) 및 기수(odd) 고조파들로 이루어지고, 우수보다 기수 고조파의 세기가 더 높게 발생된다는 것을 알 수 있다.

그림 7은 Rod 안테나를 사용하여 10 kHz ~ 30 MHz 범위에서 측정한 복사잡음의 최대값을 나타낸다. 그림 7의 측정결과를 보면 잡음이 광대역에 걸쳐 나타나고 있으며, 대부분의 주파수 대역에서 각 한계치를 초과하고 있고, 700 kHz 부근에서 EPRI 와 USNRC 한계치를 각각 29 dB 와 43 dB 정도 초과하고 있다. 이것은 계측제어시스템(특히 노심보호연산기) 내부의 SMPS(Switching Mode Power Supply)에서 발생한 스위칭 동작주파수 및 그것의 고조파에 의한 영향으로 분석되며, 이러한 높은 잡음은 내·외부회로, 특히 마이크로 프로세서와 같은 회로의 클럭 동기 주파수에 영향을 미칠 수 있다.

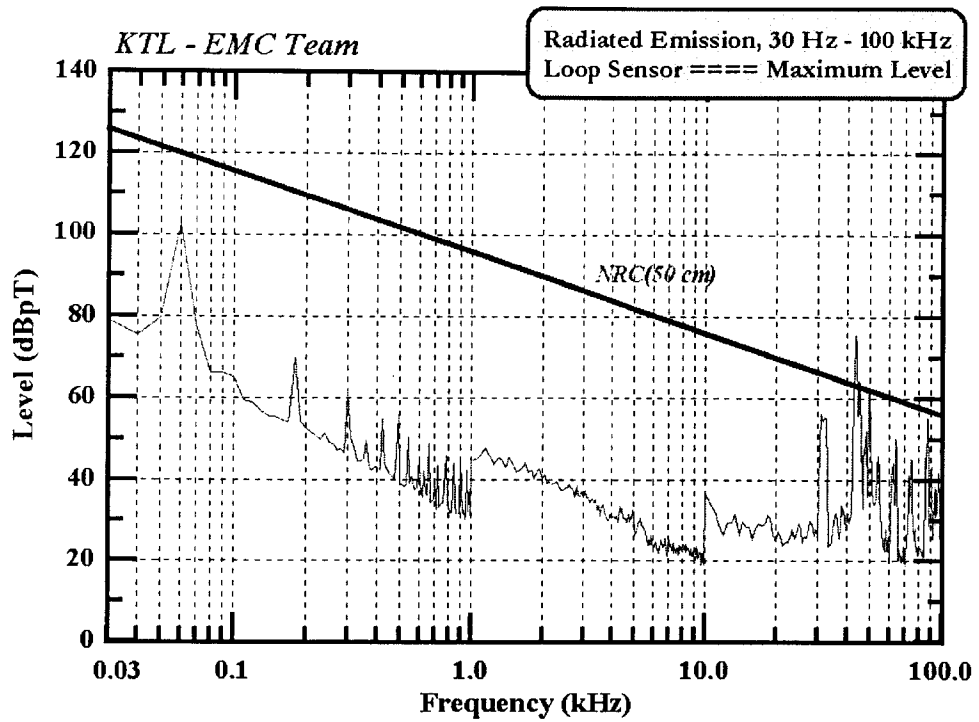
그림 8과 9는 Biconical 안테나와 Log-periodic 안테나를 사용하여 30 MHz ~ 1 GHz 범위에서 전기장 방사잡음을 측정한 결과들의 최대값이다. 그림 8의 측정결과를 보면 100 MHz 부근을 제외하고, 대부분 주파수범위에서 EPRI 의 한

계치를 만족하고 있으나 USNRC의 한계치에는 4 ~ 5 dB 정도 초과하고 있다. 그림 9의 결과는 대부분의 주파수에서 각 한계치에 모두 만족하고 있다. 이러한 협대역의 잡음은 전기설비실 및 주제어실에 많이 설치되어있는 공기추출식 연기감지기(Air Sampling Smoke Detector)의 디지털 회로에서 주로 발생되었으며, 제어설비의 내·외부적으로 영향을 미칠 수 있기 때문에 차폐장치 등을 이용하여 잡음의 세기를 낮추기 위한 대책이 요구된다.

그림 10의 높은 주파수(1 GHz 이상) 영역에서는 주제어실내의 금속파편감시 시스템(LPMS; Loosed Part Monitoring System)등의 여러 디지털 기기 또는 퍼스널 컴퓨터의 영향으로 불연속적인 잡음이 자주 측정되었다. 하지만 최대값의 레벨은 70 dB 미만이었다. EPRI 및 USNRC 규정에서는 1 GHz 까지만 측정하도록 되어있어 여기서는 MIL-STD-461D의 한계치와 비교하였다. 한편 발전소 출력의 변화에 따라 잡음의 세기는 큰 변화가 없었으며 잡음의 형태 또한 변화가 없는 것으로 분석되었다.

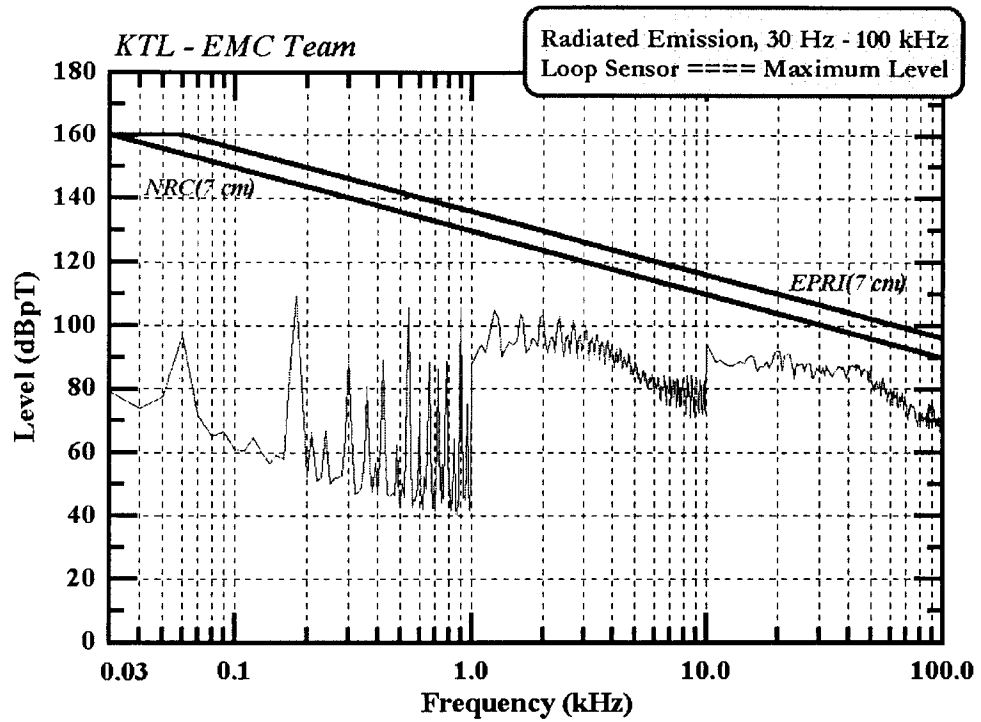
표 4. 측정 결과 분석

측정주파수	측정장	주 발생원	결과
30 Hz ~ 100 kHz	자기장	모터발전실	EPRI : 한계치 만족 USNRC : 12 dB 초과
10 kHz ~ 30 MHz	전기장	노심보호연산기	EPRI : 29 dB 초과 USNRC : 43 dB 초과
30 MHz ~ 300 MHz	전기장	발전소제어시스템	EPRI : 3 dB 초과 USNRC : 6 dB 초과
300 MHz ~ 1 GHz	전기장	발전소제어시스템	EPRI : 2 dB 초과 USNRC : 한계치 만족
1 GHz ~ 7 GHz	전기장	발전소감시시스템	MIL-STD : 20 dB 초과



Frequency (kHz)	Level (dBpT)	Limit(dBpT)		Margin(dBpT)	
		EPRI	USNRC	EPRI	USNRC
0.06	102.6	.	120.0	.	17.4
0.18	69.8	.	110.5	.	40.7
0.30	61.7	.	106.1	.	44.4
0.49	56.0	.	101.9	.	45.9
31.00	56.2	.	66.1	.	9.9
43.50	75.5	.	63.1	.	- 12.4
50.00	62.3	.	62.0	.	- 0.3
64.50	50.0	.	59.7	.	9.7
74.50	45.4	.	58.5	.	13.1
87.50	55.0	.	57.1	.	2.1

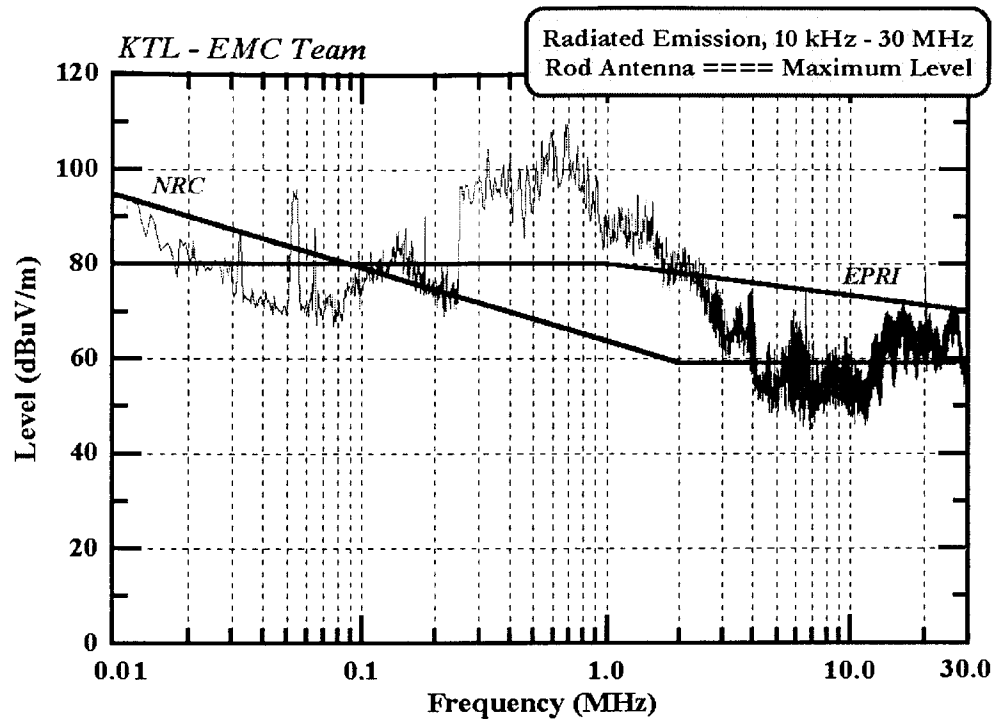
(a) 측정대상으로 50 cm 거리에서 측정



Frequency (kHz)	Level (dBpT)	Limit(dBpT)		Margin(dBpT)	
		EPRI	USNRC	EPRI	USNRC
0.06	96.7	160.0	154.0	63.3	57.3
0.18	109.1	150.5	144.5	41.4	35.4
0.54	105.6	141.0	135.0	35.4	29.4
0.90	105.8	136.8	130.3	31.0	24.5
1.25	104.7	133.9	127.7	29.2	23.0
1.60	103.8	131.7	125.6	27.9	21.8
1.95	102.7	130.0	123.8	27.3	21.1
10.00	94.5	116.0	109.7	21.5	15.2
20.50	92.0	109.7	103.6	17.7	11.6
43.50	87.7	103.3	97.2	15.6	9.5

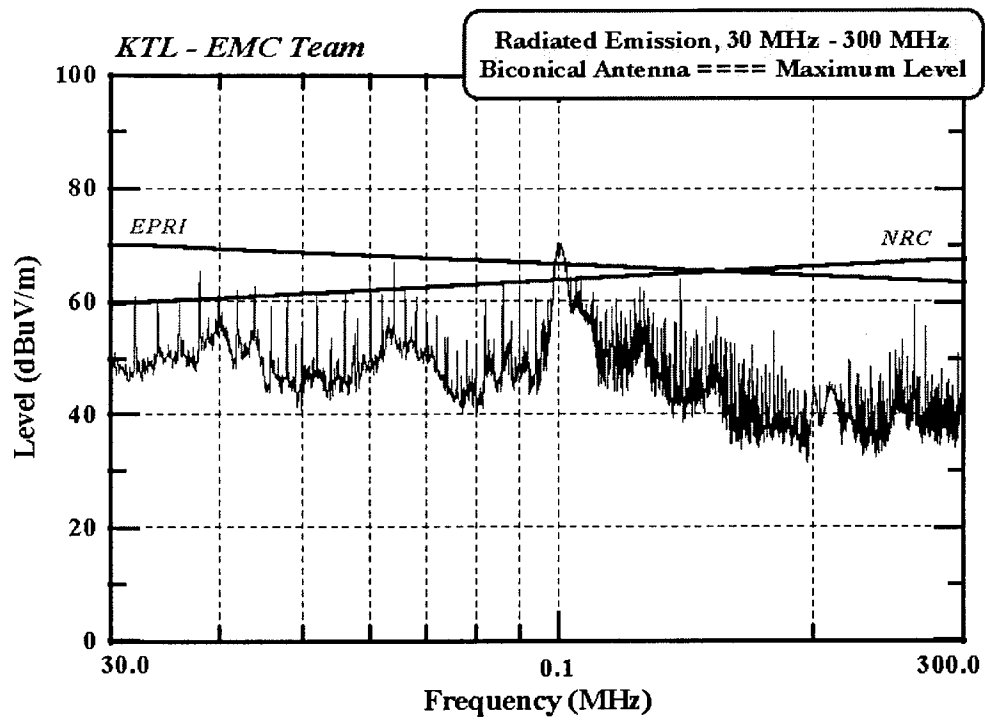
(b) 측정대상으로 7 cm 거리에서 측정

그림 6. 자기장 방사잡음(30 Hz ~ 100 kHz)의 최대 측정치



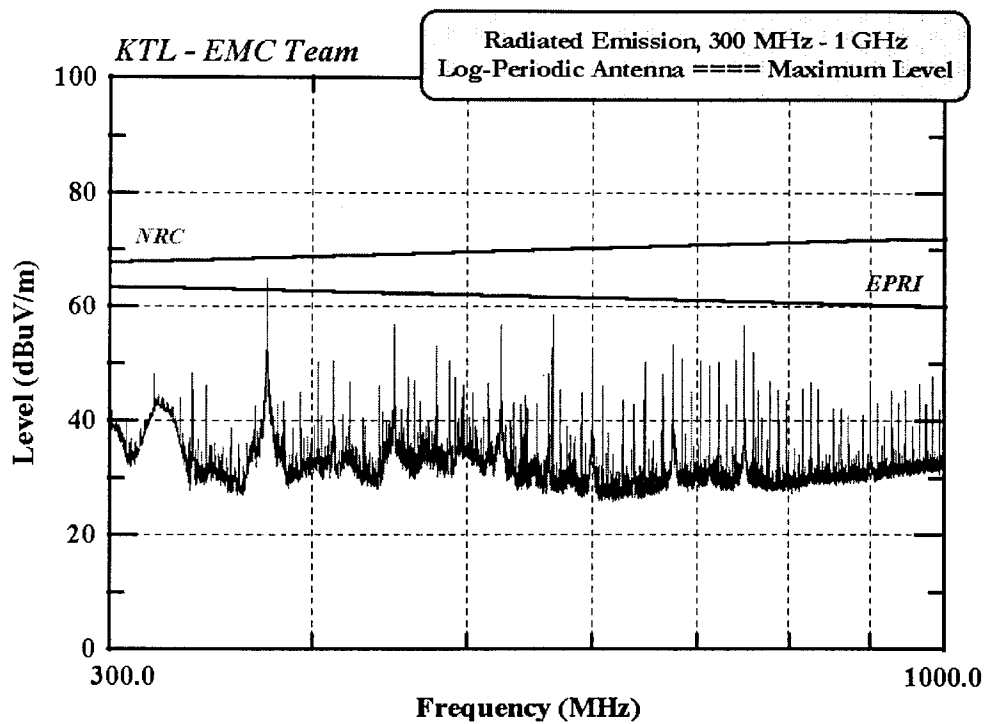
Frequency (MHz)	Level (dBuV/m)	Limit(dBuV/m)		Margin(dBuV/m)	
		EPRI	USNRC	EPRI	USNRC
0.01	93.7	80.0	94.1	- 13.7	0.4
0.03	87.1	80.0	87.1	- 7.1	0.0
0.05	96.0	80.0	83.4	- 16.0	- 12.6
0.06	87.7	80.0	82.3	- 7.7	- 5.4
0.32	104.4	80.0	71.3	- 24.4	- 33.1
0.69	109.3	80.0	66.2	- 29.3	- 43.1
1.33	94.6	79.4	61.5	- 15.2	- 33.1
3.93	74.6	76.1	59.0	1.5	- 15.6
16.12	72.6	71.9	59.0	- 0.6	- 13.6
25.17	69.5	70.6	59.0	1.1	- 10.5

그림 7. 전기장 방사잡음(10 kHz ~ 30 MHz)의 최대 측정치



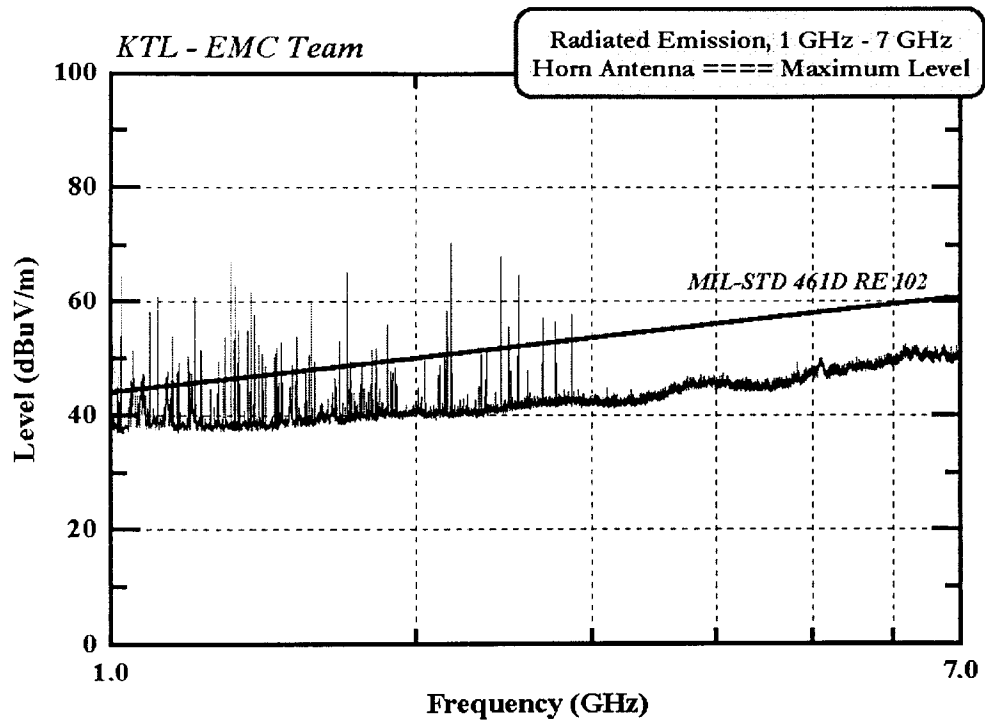
Frequency (MHz)	Level (dBuV/m)	Limit(dBuV/m)		Margin(dBuV/m)	
		EPRI	USNRC	EPRI	USNRC
38.00	65.5	69.6	60.3	4.1	- 5.2
44.00	62.7	69.2	60.9	6.5	- 1.8
60.00	63.3	68.2	62.0	4.9	- 1.3
64.00	66.9	68.0	62.2	1.1	-4.7
99.90	70.2	66.7	63.8	- 3.5	-6.4
126.60	61.8	65.9	64.7	4.1	2.9
140.00	63.8	65.7	65.0	1.9	1.2
180.00	54.6	64.9	65.9	10.3	11.3
262.50	59.3	63.8	67.3	4.5	8.0
270.30	55.6	63.7	67.4	8.1	11.8

그림 8. 전기장 방사잡음(30 MHz ~ 300 MHz)의 최대 측정치



Frequency (MHz)	Level (dBuV/m)	Limit(dBuV/m)		Margin(dBuV/m)	
		EPRI	USNRC	EPRI	USNRC
319.45	48.1	63.2	67.9	15.1	19.8
374.95	65.0	62.8	68.5	- 2.2	3.5
403.10	50.0	62.6	68.8	12.6	18.8
449.95	56.8	62.2	69.2	5.4	12.4
478.10	53.0	62.1	69.4	9.1	16.4
525.00	56.6	61.8	69.7	5.2	13.1
566.55	58.5	61.6	70.0	3.1	11.5
674.95	53.1	61.0	70.6	7.9	17.5
749.95	56.7	60.8	71.0	4.1	14.3
759.35	51.7	60.7	71.1	9.0	19.4

그림 9. 전기장 방사잡음(300 MHz ~ 1 GHz)의 최대 측정치



Frequency (GHz)	Level (dBuV/m)	Limit(dBuV/m)	Margin(dBuV/m)
		MIL-STD 461D	MIL-STD 461D
1.02	64.8	44.1	- 20.7
1.11	60.8	44.8	- 16.0
1.20	60.8	45.5	- 15.3
1.31	66.9	46.3	- 20.6
1.32	62.9	46.3	- 16.6
1.37	61.5	46.6	- 14.9
1.70	65.2	48.5	- 16.7
2.17	70.3	50.6	- 19.7
2.43	67.9	51.6	- 16.3
2.53	64.6	52.0	- 12.6

그림 10. 전기장 방사잡음(1 GHz ~ 7 GHz)의 최대 측정치

## 4.2 방사잡음 한계치의 유도

현재 원자력발전소에 설치되는 안전 및 안전관련 시스템에 대한 EMC 시험은 미국에서 원자력 설비에 대한 EMC 시험기준으로 사용되거나 권고되고 있는 USNRC REG. Guide 1.180이나 EPRI TR-102323-R1을 따르고 있다. 이 시험 규격은 미국의 대표적인 원자력발전소에서 측정한 데이터를 기반으로 제정되었기 때문에 국내에서도 현재 국내 원자력발전소를 대상으로 취득한 자료를 토대로 방사잡음의 한계치를 구하여 USNRC나 EPRI에서 제시한 한계치와 비교해 적용여부의 가능성을 고려해 볼 필요가 있다. 현재 취득한 데이터는 국내 원자력발전소 전체를 대상으로 취득한 자료가 아니기 때문에 전체 발전소에 적용하기에는 다소 무리가 있다 하더라도 가장 최근에 건설된 발전소를 모델로 선정하였기 때문에 이 측정데이터를 이용하는 것도 의미가 크다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 방사잡음 한계치를 최소자승법을 적용한 회귀분석을 통하여 유도하였다.

### 4.2.1 최소자승법의 적용

본 연구에서 사용한 회귀분석은 데이터에 가장 적합한 직선을 구하는 “최소자승법”을 사용하여 직선의 통계를 계산하고 선에 대한 배열을 구한다. 주파수  $w(kh)$ 에 대한 전도잡음 크기의 관계를 결정하는 최소자승법은 다음과 같다. 실제 획득된  $N$ 개의 데이터에서

$$Z^N = \{w(1), y(1), \dots, w(N), y(N)\} \quad (1)$$

취득된 잡음의 크기  $y(kh)$ 와 관계계수  $\theta$ 를 변화시키면서 계산된 추정 출력  $\hat{y}(kh|\theta)$ 와의 차의 제곱을 최소화시키는  $\theta$ 를 결정하는 알고리즘이 최소자승법이다[11].

$$\text{Least squares method : } \min_{\theta} V_N(\theta, Z^N) \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
\text{여기서, } V_N(\theta, Z^N) &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y(kh) - \hat{y}(kh|\theta))^2 \\
&= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y(kh) - \varphi^T(kh)\theta)^2
\end{aligned}$$

식 (2)를 최소로 하는  $\theta$ 는 다음 식으로 정의된다.

$$\hat{\theta}_N = \arg \min_{\theta} V_N(\theta, Z^N) \quad (3)$$

이때 “arg min”은  $V_N$ 을 최소화시키는  $\theta$ 처럼 최소화시키는 변수를 의미하고,

$\hat{\theta}_N$ 은  $V_N(\theta, Z^N)$ 의 미분을 영으로 하여 쉽게 구할 수 있다.

$$0 = \frac{d}{d\theta} V_N(\theta, Z^N) = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N \varphi(kh) (y(kh) - \varphi^T(kh)\theta) \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^N \varphi(kh) y(kh) = \sum_{k=1}^N \varphi(kh) \varphi^T(kh) \theta \quad (5)$$

$$\hat{\theta}_N = \left[ \sum_{k=1}^N \varphi(kh) \varphi^T(kh) \right]^{-1} \sum_{k=1}^N \varphi(kh) y(kh) \quad (6)$$

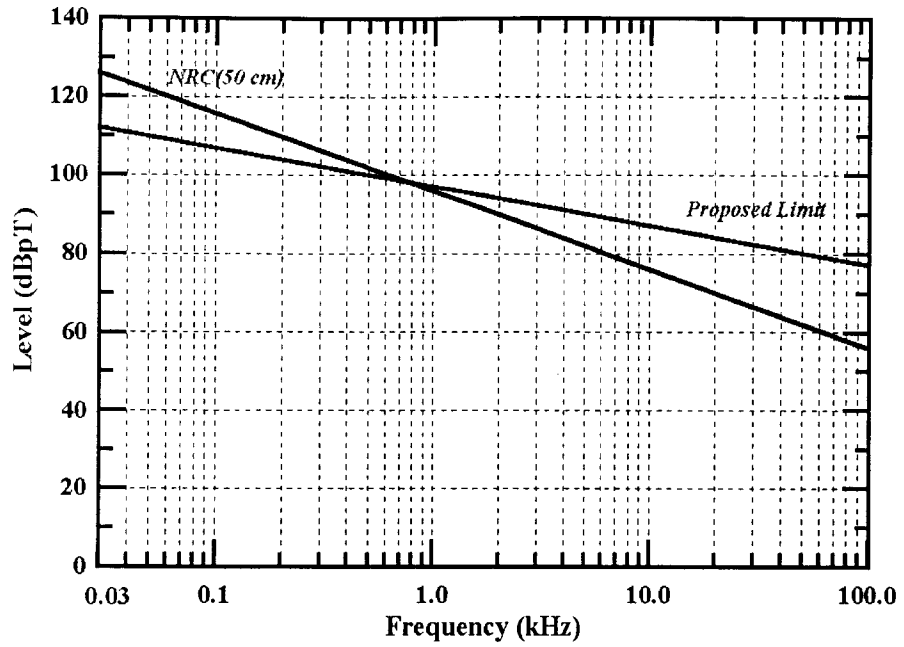
식(6)의 해는 일반적인 수치해석 프로그램을 이용하여 쉽게 계산 할 수 있다.

#### 4.2.2 유도된 한계치의 비교

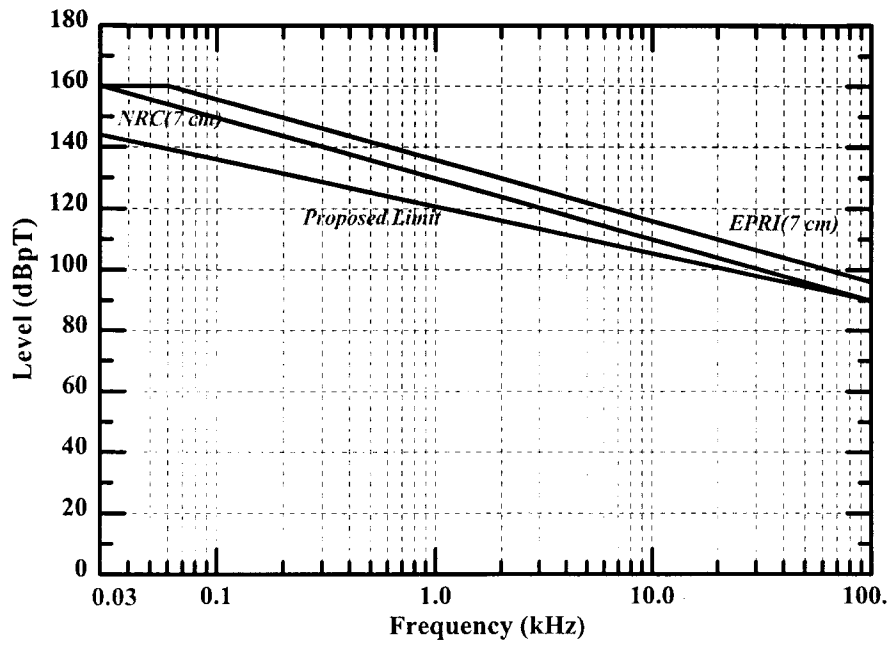
유도된 한계치는 국내의 설치환경을 고려한 것으로 USNRC와 EPRI에서 제시한 한계치와 비교해 볼 때 형성된 유형에 약간의 차이가 있음을 알 수 있다. 그림 11에 정리된 자기장 방사잡음의 한계치들을 비교를 보면 50 cm의 거리에서 측정한 경우, 본 연구에서 제시된 한계치와 USNRC의 한계치와는 유형이 비슷하나 EPRI의 한계치와는 다른 유형을 갖는다. 또한 본 연구에서 제시된 한계치가 가장 낮아 자기장 방사잡음은 미국 원자력발전소 보다 더 낮다는 것을 알 수 있다. 따라서 그림 11(b)를 볼 때, 전자파 장애 문제에서는

보다 엄격하게 제한하는 요소로서 작용되나 내성시험측면에서는 한층 완화된 레벨이 적용될 수 있음을 의미한다. 또한 그림 12에서 Rod 안테나로 측정된 30 MHz 이하의 전기장 방사잡음은 상당한 양의 최대값 측정결과로 인해 한계치는 USNRC나 EPRI에 비해 20 dB 이상 높게 결정되었다.

그림 13, 14에서는 전원선이나 신호선을 통해 전도되기보다는 공간을 통해 복사되는 양이 더 지배적인 30 MHz 이상의 전기장 방사잡음이 USNRC나 EPRI에서 제시한 한계값과 비슷함을 보여준다. 또한 그림 15의 경우 1 GHz 이상의 경우 USNRC나 EPRI의 한계치는 아직까지 정의되어 있지 않지만, 본 연구에서는 측정결과를 바탕으로 적용가능한 한계치를 제시하였다.



(a) 측정대상으로 50 cm 거리



(b) 측정대상으로 7 cm 거리

그림 11. 자기장 방사잡음(30 Hz ~ 100 kHz)의 한계치 비교

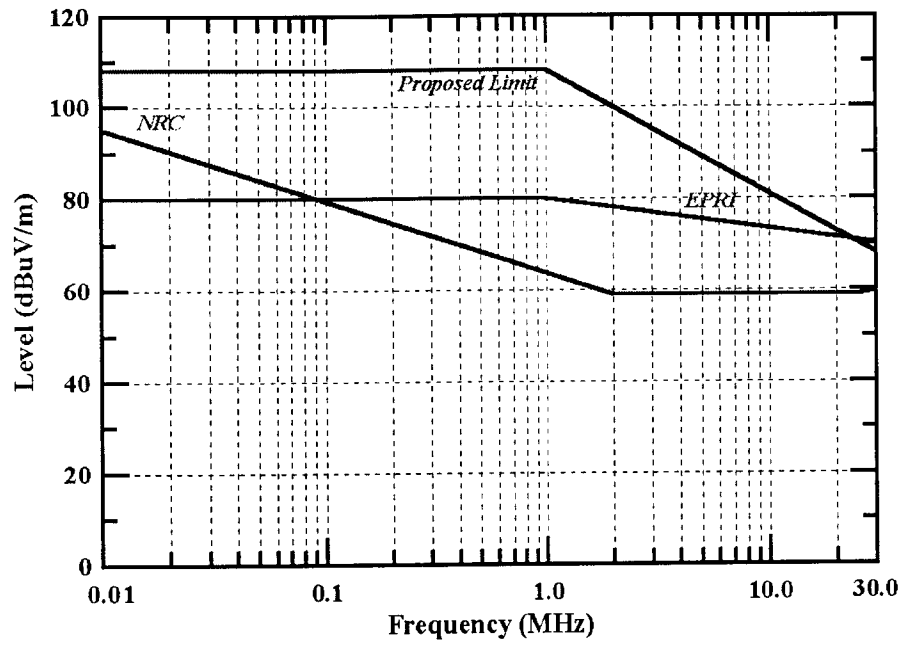


그림 12. 전기장 방사잡음(10 kHz ~ 30 MHz)의 한계치 비교

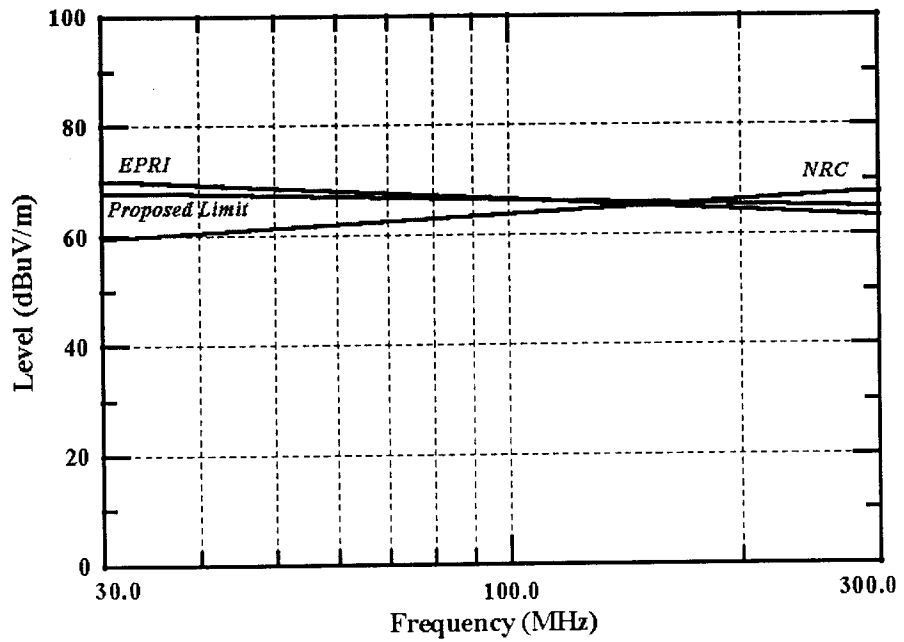


그림 13. 전기장 방사잡음(30 MHz ~ 300 MHz)의 한계치 비교

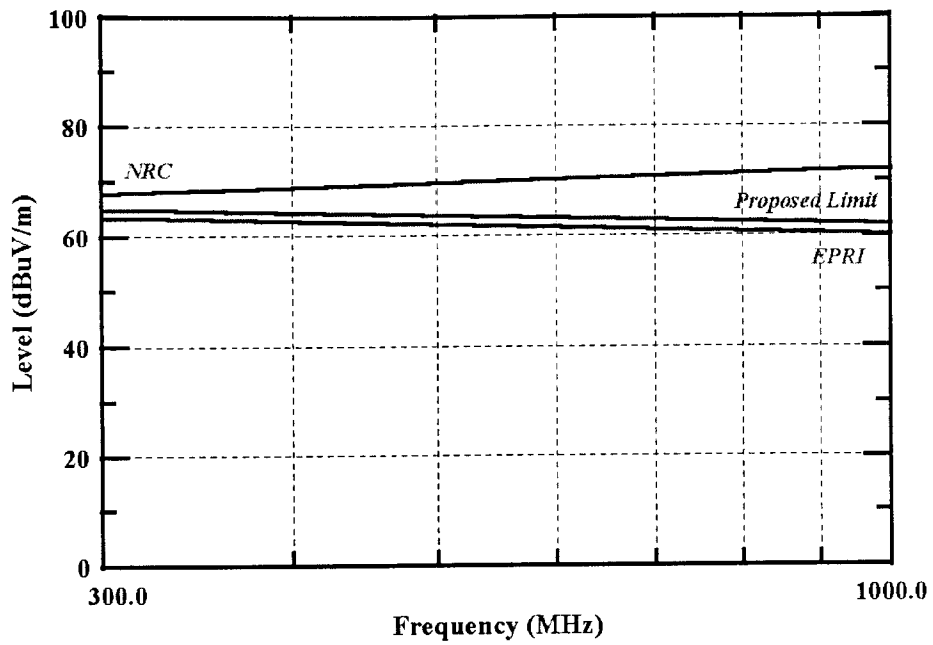


그림 14. 전기장 방사잡음(300 MHz ~ 1 GHz)의 한계치 비교

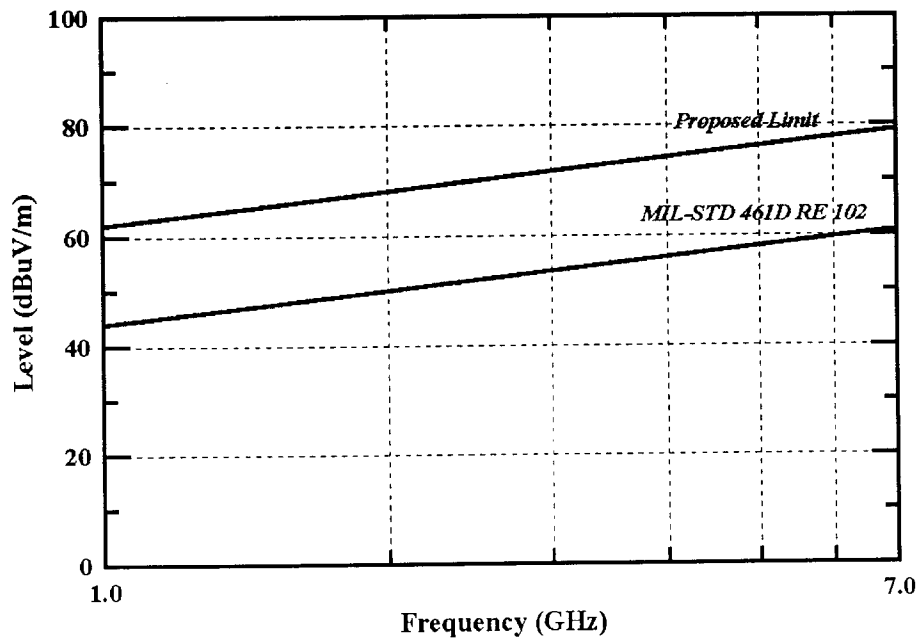


그림 15. 전기장 방사잡음(1 GHz ~ 7 GHz)의 한계치 비교

표 5. 유도된 결과와 EPRI 및 USNRC의 한계치와 비교 정리

(a) 자기장 방사잡음

	EPRI	USNRC	Proposed
Loop Sensor (50 cm 거리)	-	30 Hz ~ 100 kHz 126 dBpT ~ 56 dBpT	30 Hz ~ 100 kHz 112 dBpT ~ 77 dBpT
Loop Sensor (7 cm 거리)	30 Hz ~ 60 Hz 160 dBpT	30 Hz ~ 100 kHz 160 dBpT ~ 90 dBpT	30 Hz ~ 100 kHz 144 dBpT ~ 90 dBpT
	60 Hz ~ 100 kHz 60 dBpT ~ 96 dBpT		

(b) 전기장 방사잡음

	EPRI	USNRC	Proposed
Rod Ant.	10 kHz ~ 1 MHz 80 dBuV/m	10 kHz ~ 2 MHz 95 dBuV/m ~ 59 dBuV/m	10 kHz ~ 1 MHz 108 dBuV/m
		2 MHz ~ 25 MHz 59 dBuV/m	
	1 MHz ~ 30 MHz 80 dBuV/m ~ 70.1 dBuV/m	25 MHz ~ 30 MHz 59 dBuV/m ~ 59.6 dBuV/m	1 MHz ~ 30 MHz 108 dBuV/m ~ 68 dBuV/m
BC Ant.	30 MHz ~ 300 MHz 70.1 dBuV/m ~ 63.5 dBuV/m	30 MHz ~ 300 MHz 59.6 dBuV/m ~ 67.7 dBuV/m	30 MHz ~ 300 MHz 68 dBuV/m ~ 65 dBuV/m
LP Ant.	300 MHz ~ 1 GHz 63.5 dBuV/m ~ 60 dBuV/m	300 MHz ~ 1 GHz 67.7 dBuV/m ~ 72 dBuV/m	300 MHz ~ 1 GHz 65 dBuV/m ~ 62 dBuV/m
Horn Ant.	-	-	1 GHz ~ 7 GHz 62 dBuV/m ~ 79 dBuV/m

## 제 5 장 결 론

본 연구에서는 원자력발전소의 전자파 환경을 파악하고자 가장 최근에 건설된 울진 원자력발전소 3호기의 주 제어실 (MCR ; Main Control Room)에서 전자파 장애에 민감하거나, 전자파를 많이 발생시킬 것으로 예상되는 디지털 계측 및 제어 시스템들을 대상으로 1, 2차에 걸쳐 방사잡음을 측정하고 분석하였다. 측정은 주 제어실 및 전기설비실 내에서 기능별로 구분될 수 있는 5 곳을 선정하여 그곳에서 여러 주파수 범위에 맞는 안테나를 사용하여 측정을 수행하였다. 또한 발전소의 출력과 관련설비의 동작조건에 따른 방사성 잡음의 특성을 함께 파악하기 위해 측정은 1000 MW급 발전소의 출력이 0 % 인 정지기간 열흘과, 출력이 100 % 인 정상동작기간 열흘동안 반복적으로 수행되며, EPRI TR-102323-R1 과 USNRC Guide 1.180 그리고 MIL-STD-462D 에서 규정한 방사잡음 측정항목 및 범위를 참고로 하여 30 Hz ~ 100 kHz 의 자기장 방사잡음과 10 kHz ~ 7 GHz 의 전기장 방사잡음을 측정하였다.

측정된 600여개의 데이터를 분석하여 최대 전자파 잡음 레벨과 주파수특성을 구한 결과 많은 주파수 대역에서 USNRC 기준으로 43 dB이상, EPRI 기준으로 29 dB이상을 초과하는 높은 잡음도 검출되었다. 한편 발전소 출력과 잡음의 세기와 형태는 큰 관계가 없는 것으로 분석되었다.

현재 원자력 관련 EMC 시험규격은 미국의 대표적인 원자력발전소에서 측정한 데이터를 기반으로 제정되었기 때문에 국내에서도 현재 국내 원자력발전소를 대상으로 취득한 자료를 토대로 방사잡음의 한계치를 구하여 USNRC 나 EPRI에서 제시한 한계치와 비교해 국내에 적용여부의 가능성을 고려해 볼 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 최소자승법을 이용한 회귀분석으로 방사잡음의 한계치를 유도하여 EPRI와 USNRC에서 제시한 한계치와 비교하여 보았다. 비교 결과 자기장 방사잡음의 경우 USNRC와 비슷한 유형과 상대적으로 낮은 한계치로 평가되었으며, 30 MHz 이하의 전기장 방사인 경우는 기존의 한계치들보다 20 dB 이상 높게 결정되었다.

한편 디지털 계측 및 제어 시스템이 설치되어 있는 원자력발전소 내에서 각 시스템이 설치전에 전자파 영향에 관한 기기검증을 거쳤다 하더라도 설치

조건 등의 변화로 인한 전자파 방출 레벨이 변할 수 있으며, 외부에서 유입된 전자파 등으로 인하여 실제 전자파 환경은 많이 바뀔 수 있다. 따라서 설치된 현장에서의 전자파 레벨을 주기적으로 측정하여 각 제어 시스템의 안전한 동작 범위, 즉 전자파 내성 레벨을 파악하는 것이 원자력발전소의 안전한 운영을 위해 더욱 필요하다고 할 수 있다. 추후 연구과제로는 지금까지의 전도[12] 및 방사잡음의 측정결과를 바탕으로 원자력발전소에 설치될 계측 및 제어기기의 EMC 영향을 고려한 접지와 배선관계 등의 설치조건에 관하여 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] 산업기술시험원, 전자파 시험 업무 절차서, P226, 1999.
- [11] I. D. Landau, System Identification and Control Design, Prentice-hall, 1990.
- [12] 조원서, 구철수, "울진 원자력발전소 주 제어실에서의 전도성 잡음 측정 및 분석," 한국원자력학회 추계학술대회, 10, 2000.

## 부 록

부록에서는 시험을 수행한 5곳의 측정지점들의 사진과, 날짜별 측정결과를 수록하였다. 날짜별 측정결과는 발전소 정지기간과 정상출력기간으로 나뉘어 전·자기장 방사잡음의 최대값을 나타낸다. 획득된 결과를 비교해 볼 때 출력에 따라 큰 차이는 없었다.

## 부 록 목 차

A. 측정지점별 측정사진 .....	36
B. 날짜별 측정결과 (7월 27일, 노심보호연산기) .....	57
C. 날짜별 측정결과 (7월 28일, 발전소보호시스템) .....	66
D. 날짜별 측정결과 (7월 30일, 전력개폐장치기) .....	75
E. 날짜별 측정결과 (7월 31일, 발전소제어시스템) .....	84
F. 날짜별 측정결과 (9월 11일, 발전소제어시스템) .....	93
G. 날짜별 측정결과 (9월 12일, 노심보호연산기) .....	102
H. 날짜별 측정결과 (9월 13일, 발전소보호시스템) .....	111
I. 날짜별 측정결과 (9월 14일, 전력개폐장치기) .....	120
J. 날짜별 측정결과 (9월 18일, 발전소감시시스템) .....	129
K. 날짜별 측정결과 (9월 13일, 기타장치) .....	133

## A. 측정지점별 측정사진

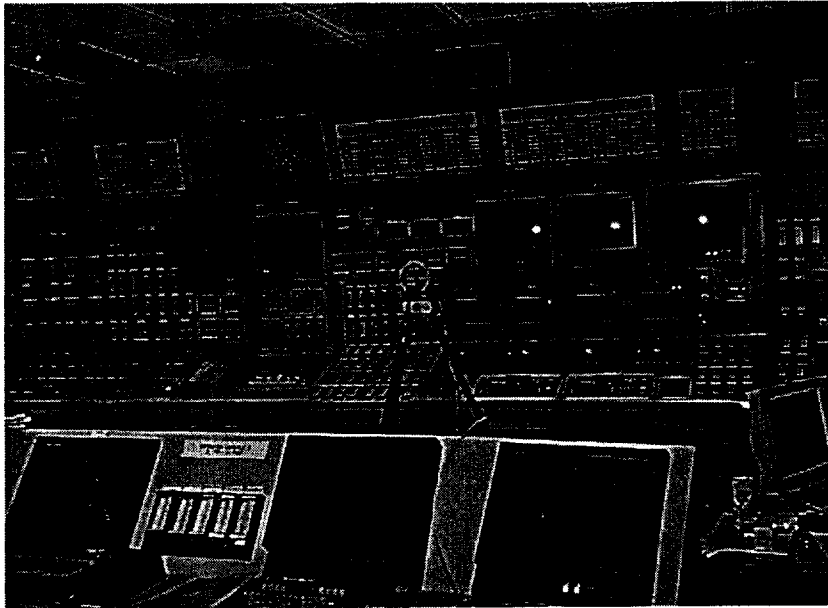


그림 A.1 발전소 감시 시스템에서 Loop 센서

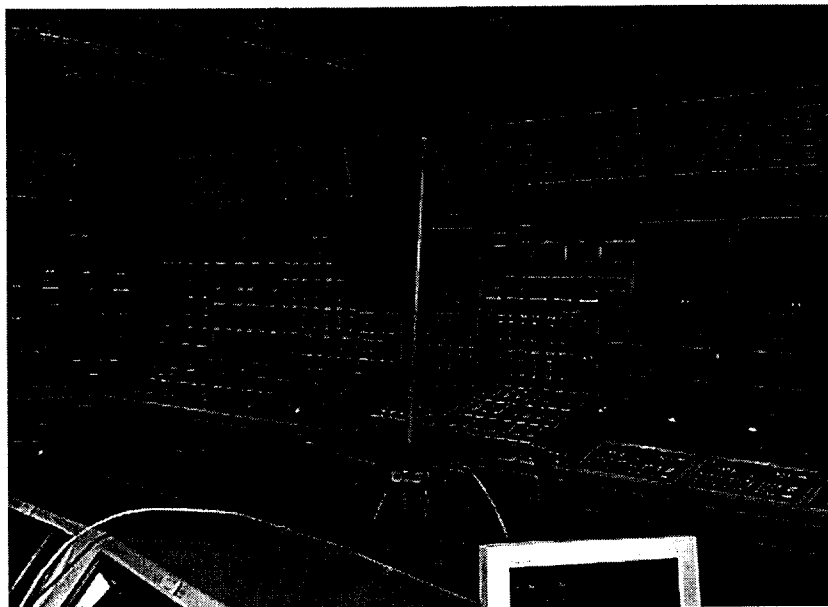


그림 A.2 발전소 감시 시스템에서 Rod 안테나

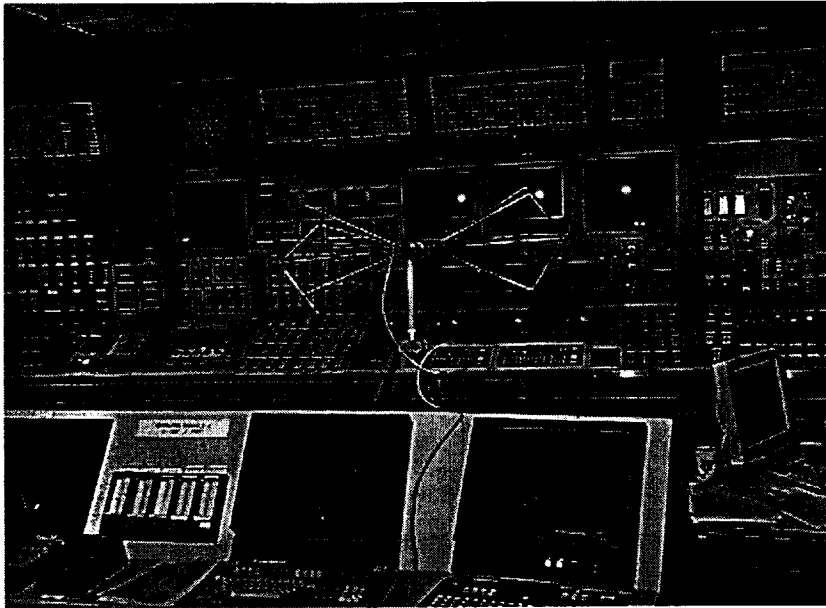


그림 A.3 발전소 감시 시스템에서 Biconical 안테나, 수평편파

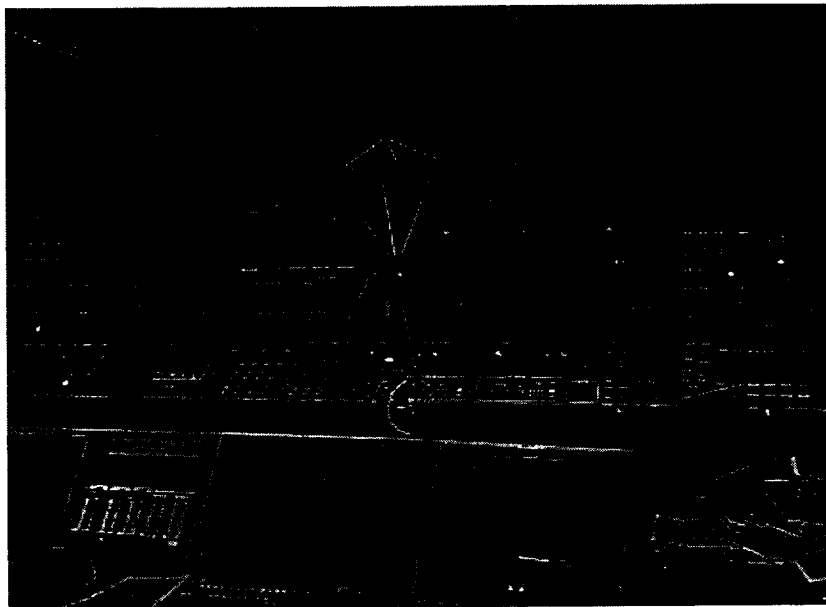


그림 A.4 발전소 감시 시스템에서 Biconical 안테나, 수직편파

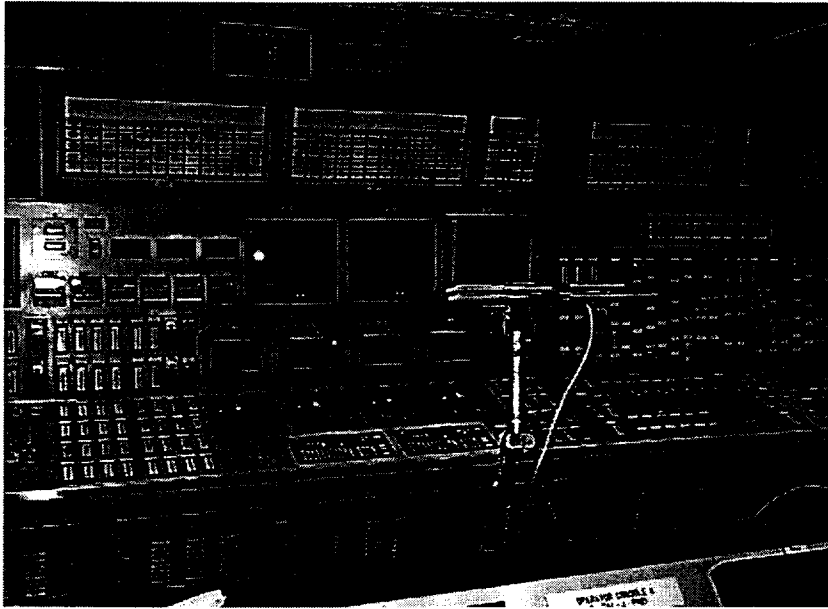


그림 A.5 발전소 감시 시스템에서 Log-periodic 안테나, 수평편파

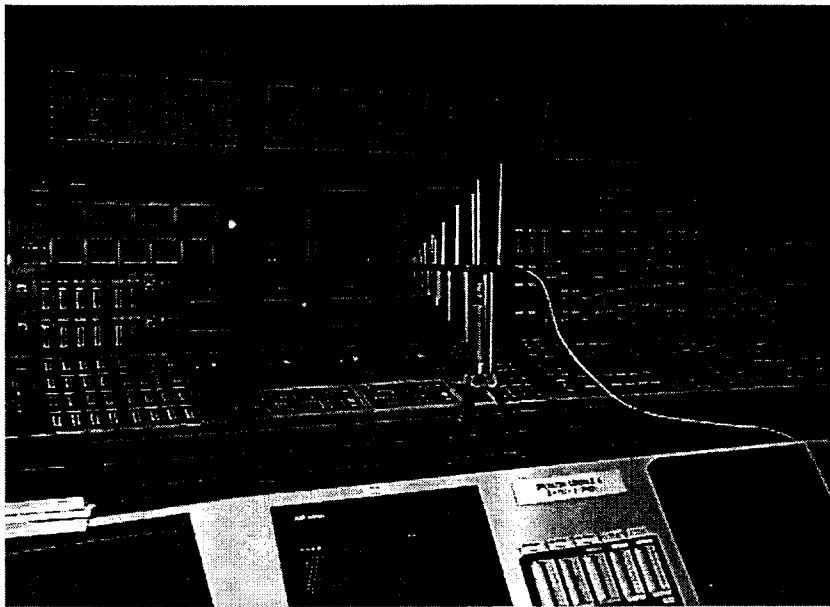


그림 A.6 발전소 감시 시스템에서 Log-periodic 안테나, 수직편파

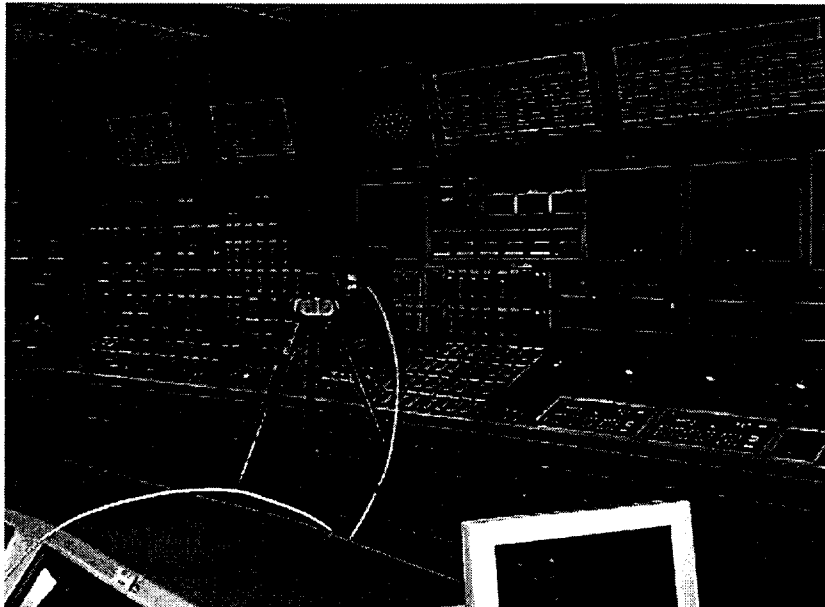


그림 A.7 발전소 감시 시스템에서 Horn 안테나, 수평편파

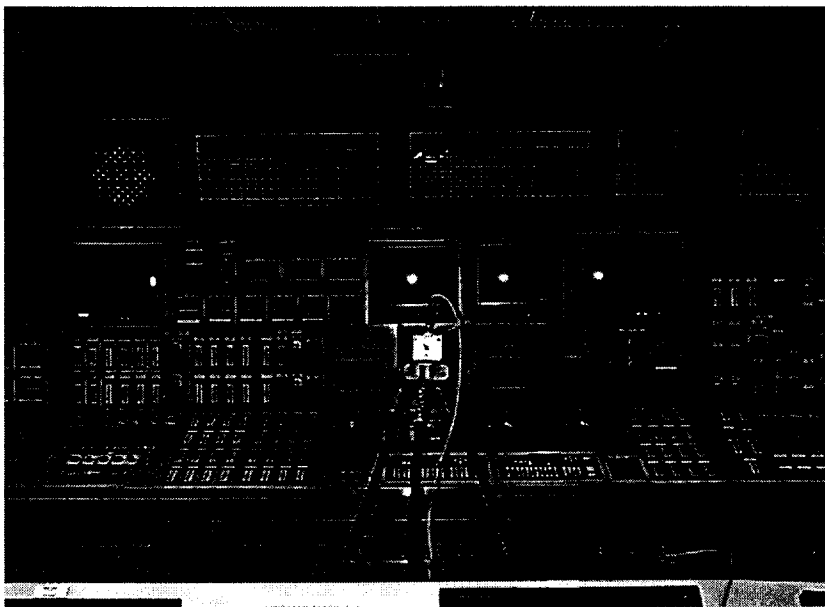


그림 A.8 발전소 감시 시스템에서 Horn 안테나, 수직편파

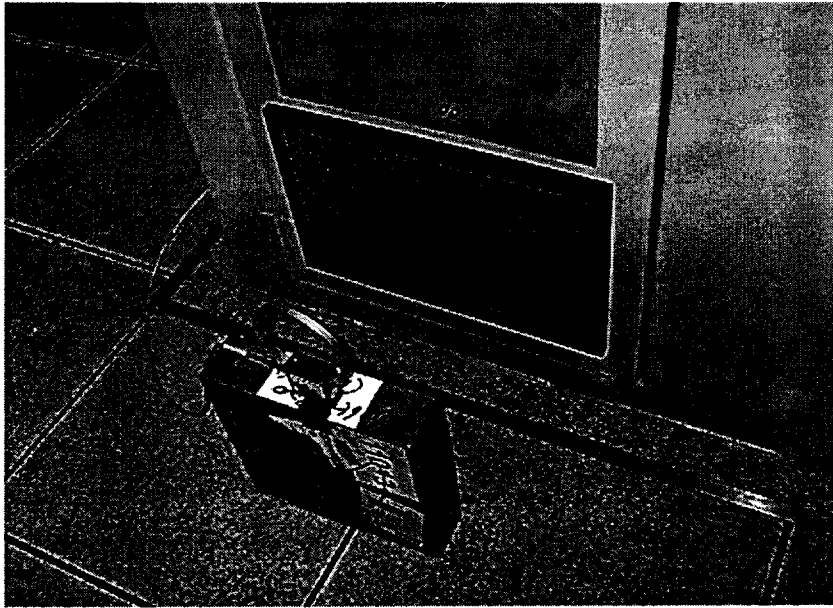


그림 A.9 노심 보호 연산기에서 Loop 센서

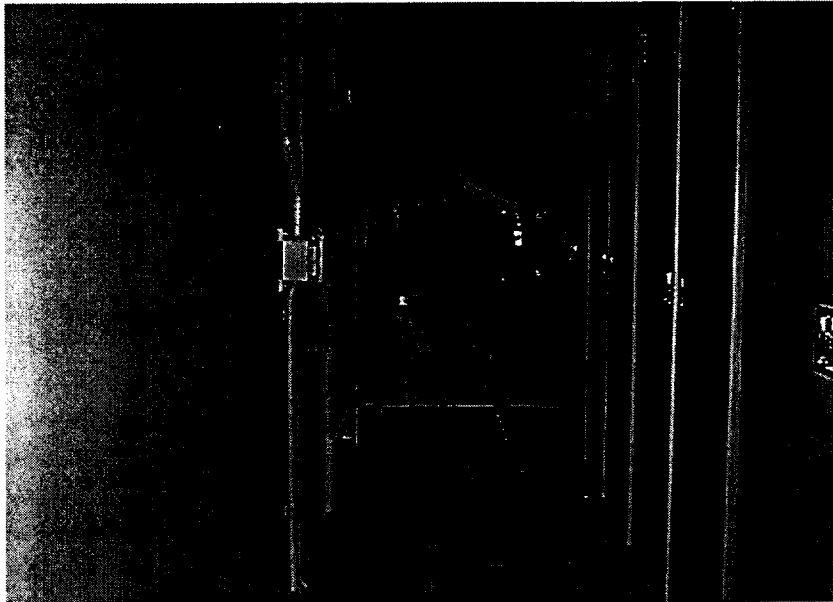


그림 A.10 노심 보호 연산기에서 Rod 안테나

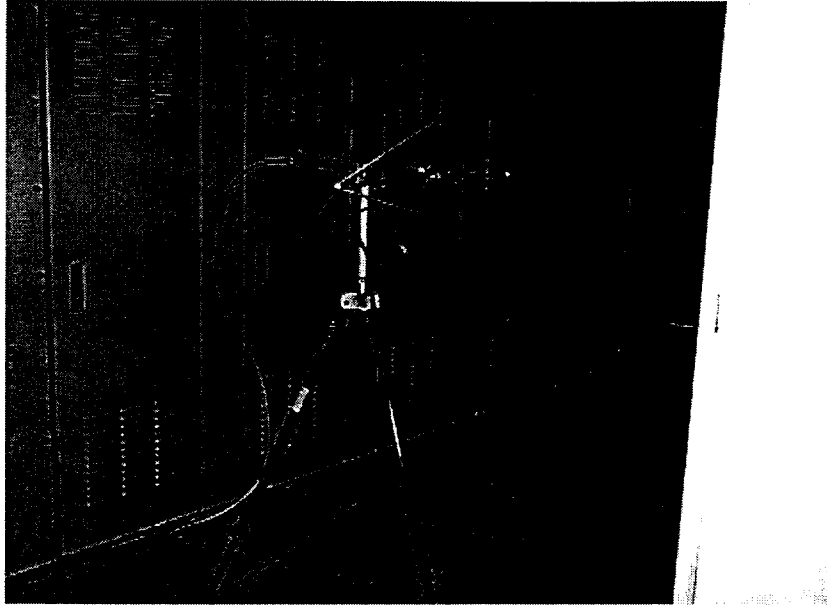


그림 A.11 노심 보호 연산기에서 Biconical 안테나, 수평편파

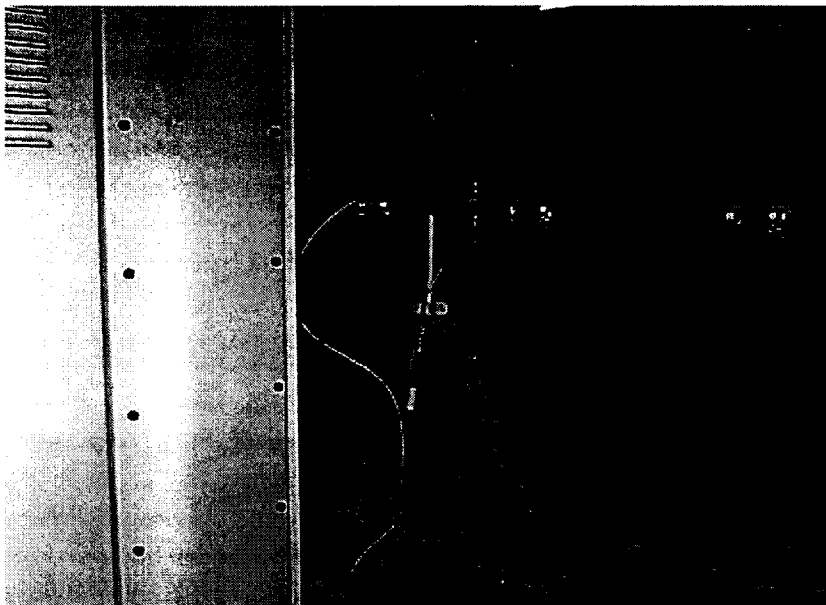


그림 A.12 노심 보호 연산기에서 Biconical 안테나, 수직편파

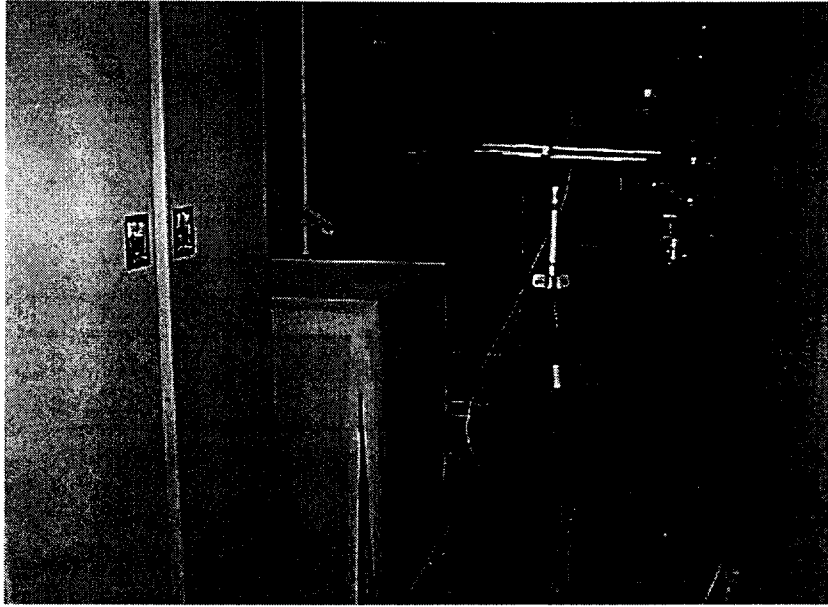


그림 A.13 노심 보호 연산기에서 Log-periodic 안테나, 수평편파

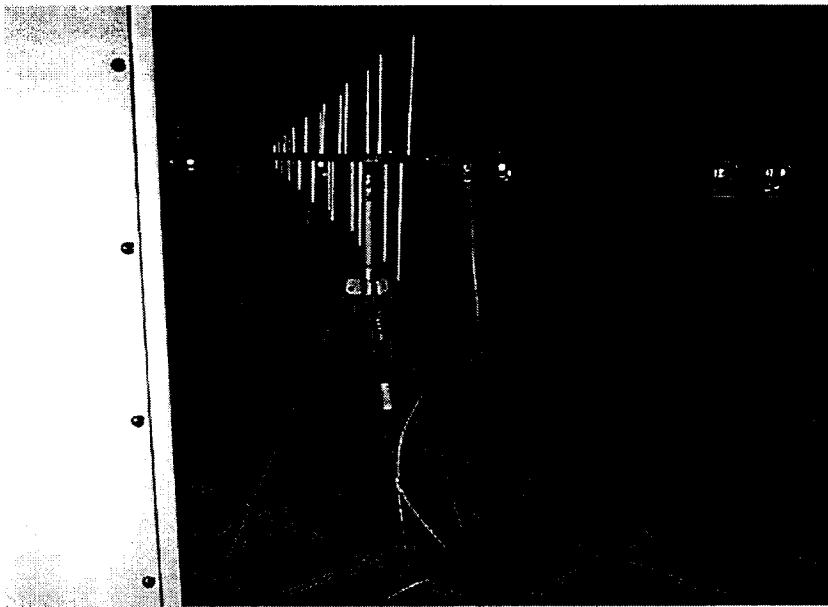


그림 A.14 노심 보호 연산기에서 Log-periodic 안테나, 수직편파

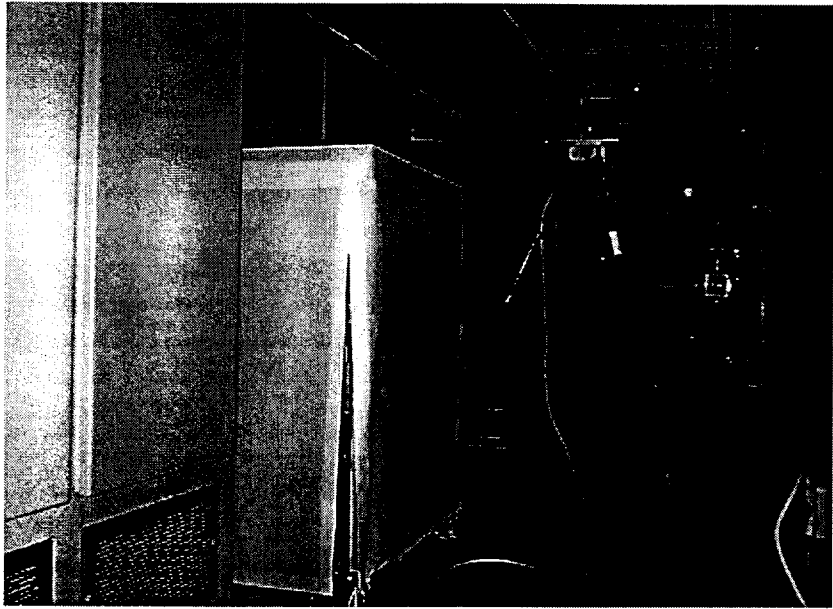


그림 A.15 노심 보호 연산기에서 Horn 안테나, 수평편파



그림 A.16 노심 보호 연산기에서 Horn 안테나, 수직편파

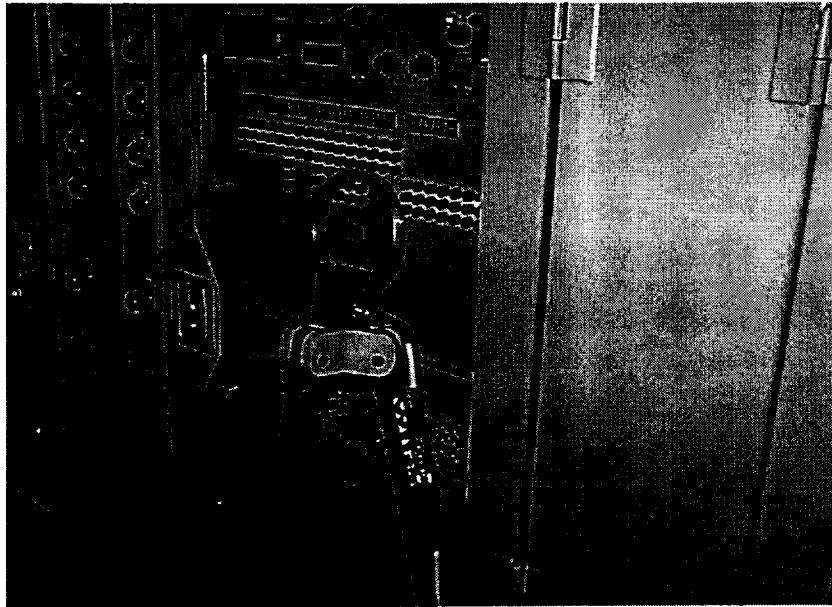


그림 A.17 발전소 보호 시스템에서 Loop 센서

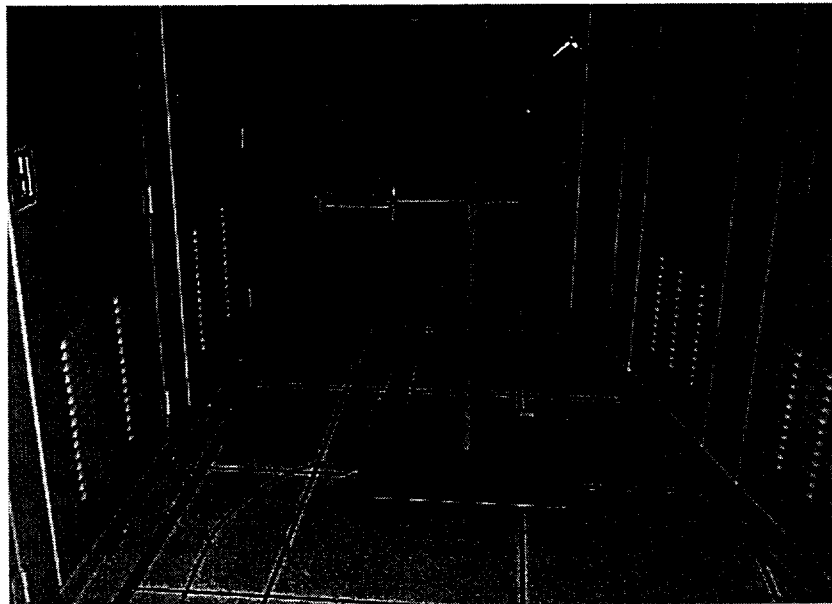


그림 A.18 발전소 보호 시스템에서 Rod 안테나

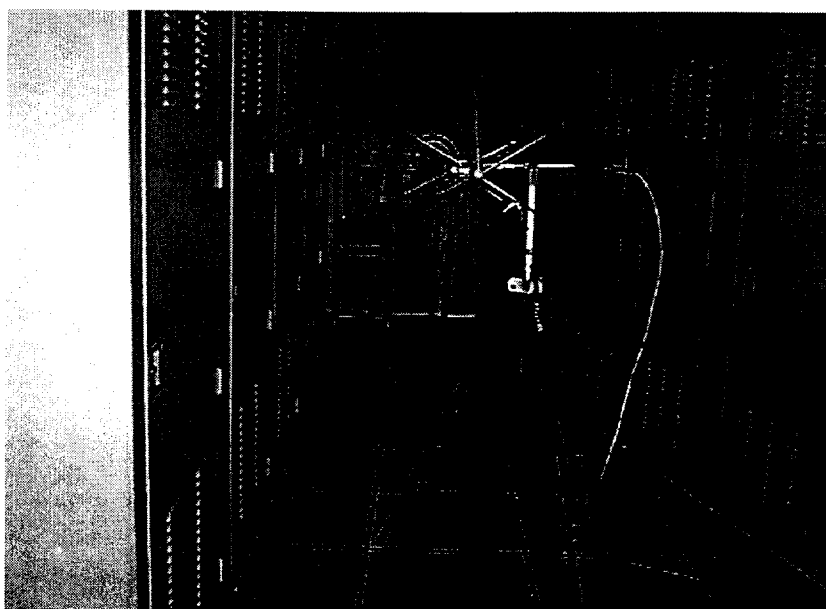


그림 A.19 발전소 보호 시스템에서 Biconical 안테나, 수평편파

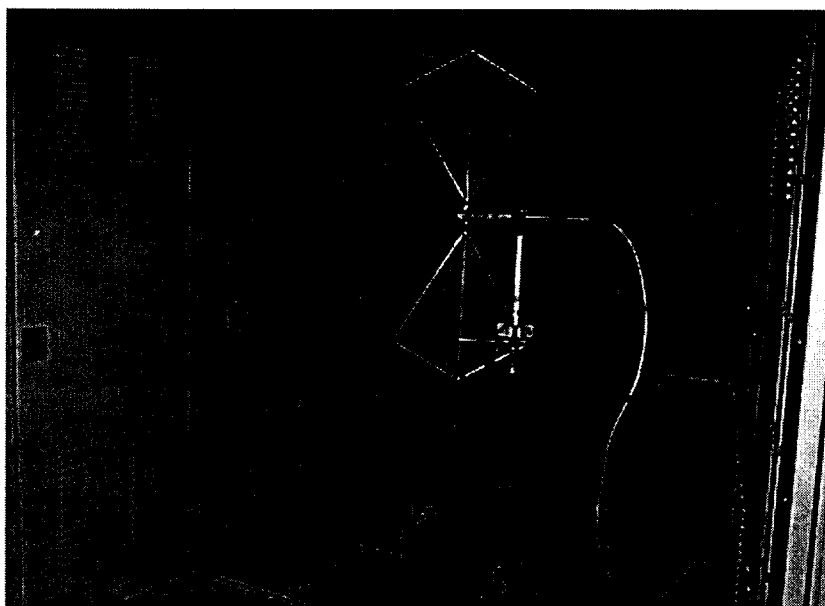


그림 A.20 발전소 보호 시스템에서 Biconical 안테나, 수직편파

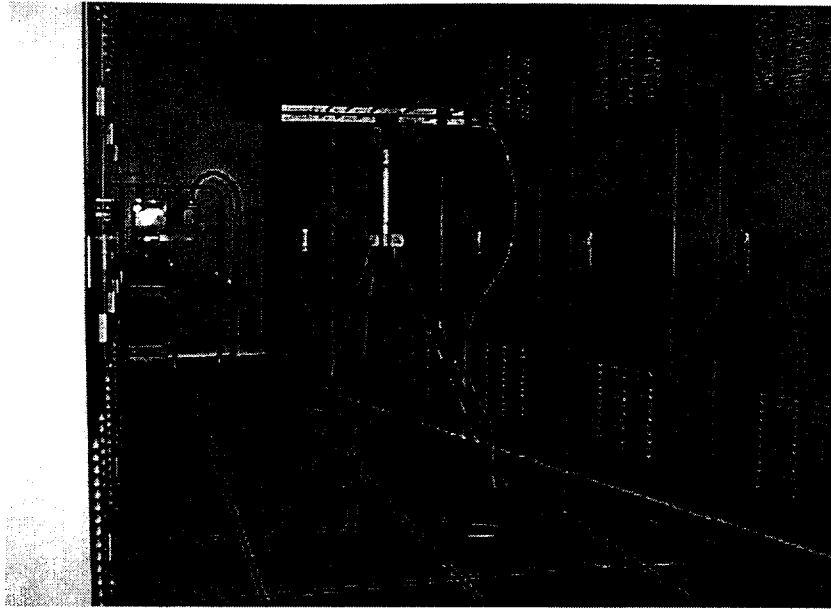


그림 A.21 발전소 보호 시스템에서 Log-periodic 안테나, 수평편파

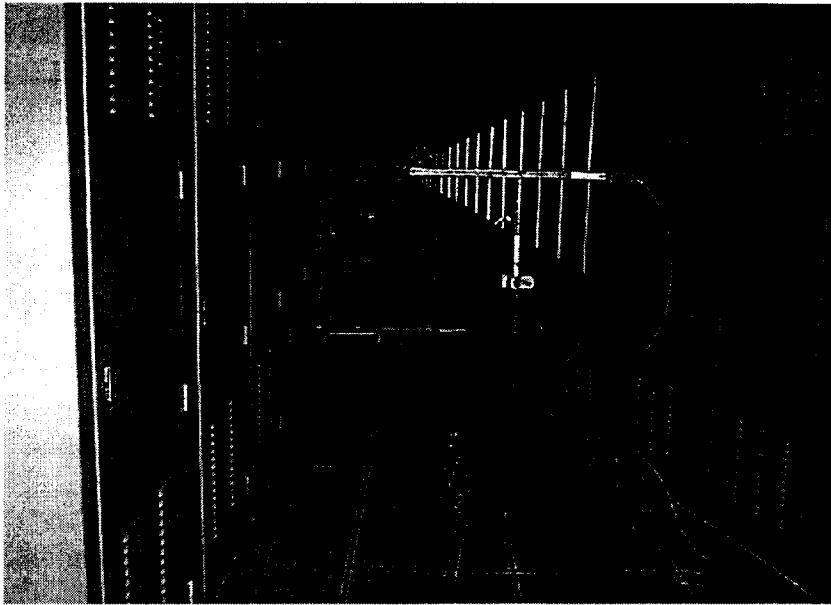


그림 A.22 발전소 보호 시스템에서 Log-periodic 안테나, 수직편파

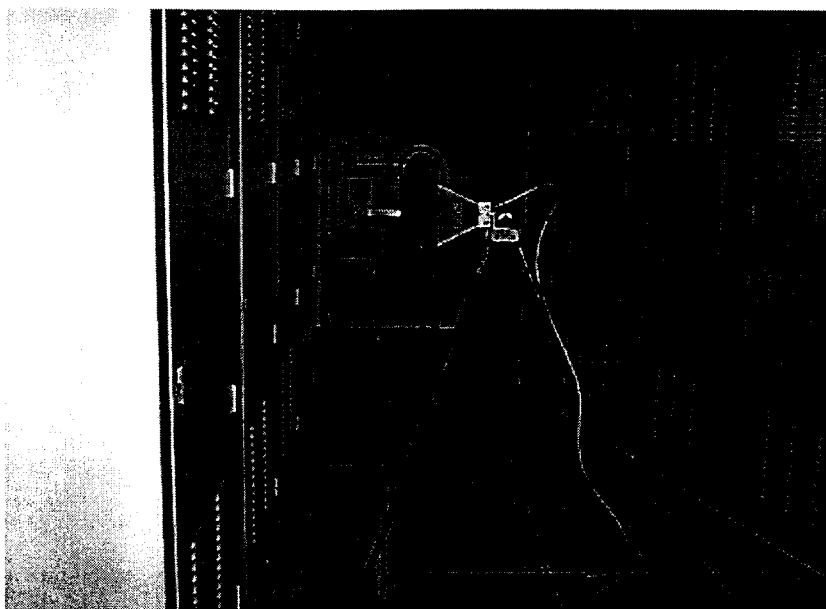


그림 A.23 발전소 보호 시스템에서 Horn 안테나, 수평편파



그림 A.24 발전소 보호 시스템에서 Horn 안테나, 수직편파

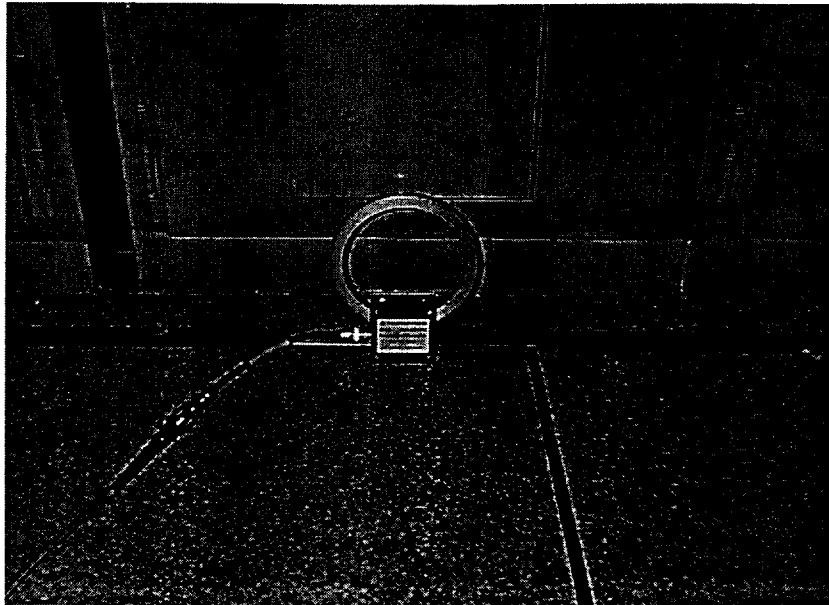


그림 A.25 발전소 제어 시스템에서 Loop 센서



그림 A.26 발전소 제어 시스템에서 Rod 안테나

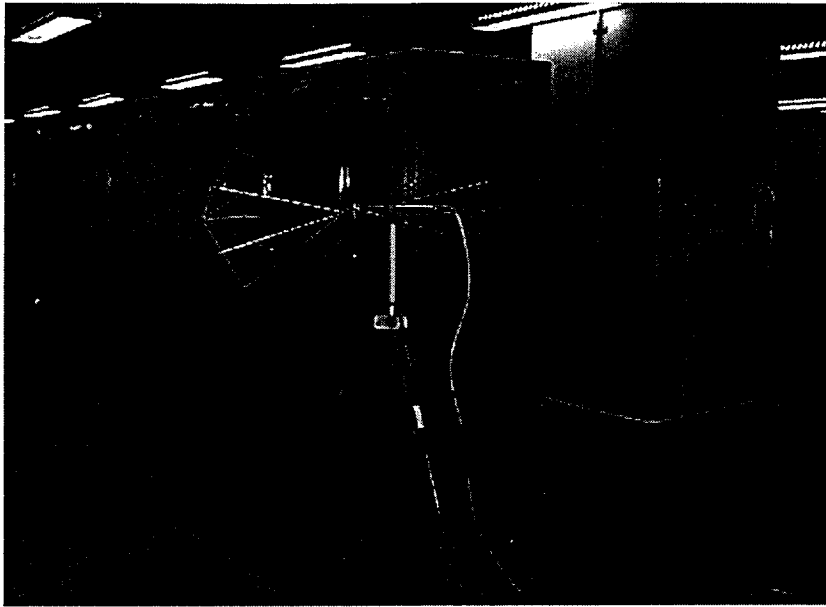


그림 A.27 발전소 제어 시스템에서 Biconical 안테나, 수평편파

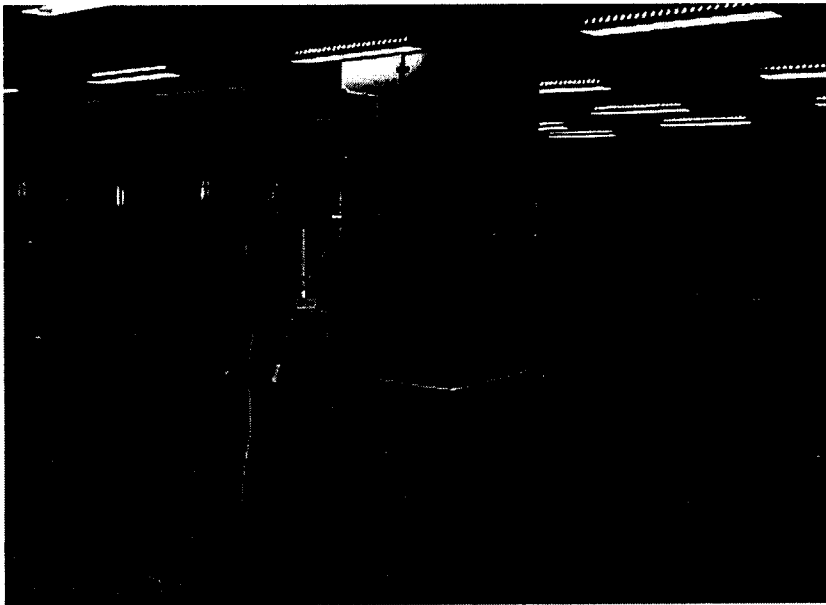


그림 A.28 발전소 제어 시스템에서 Biconical 안테나, 수직편파



그림 A.29 발전소 제어 시스템에서 Log-periodic 안테나, 수평편파

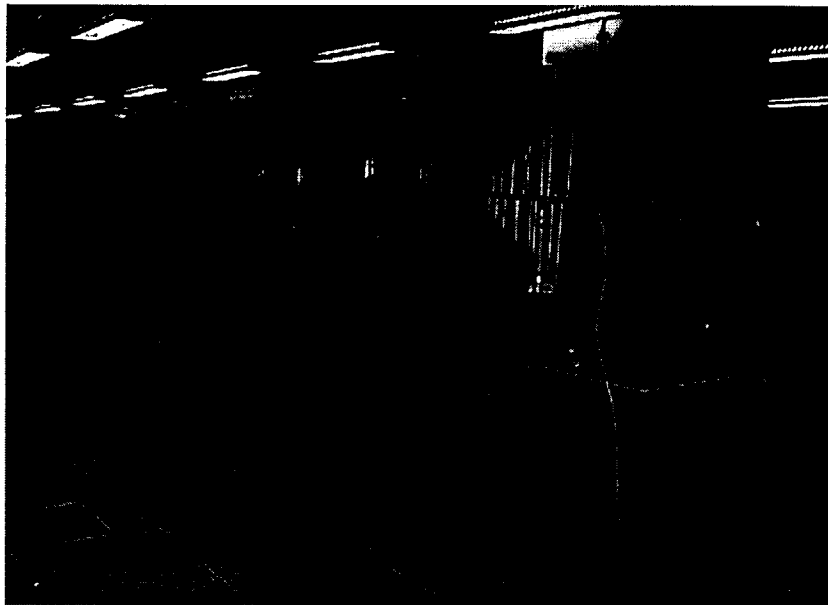


그림 A.30 발전소 제어 시스템에서 Log-periodic 안테나, 수직편파

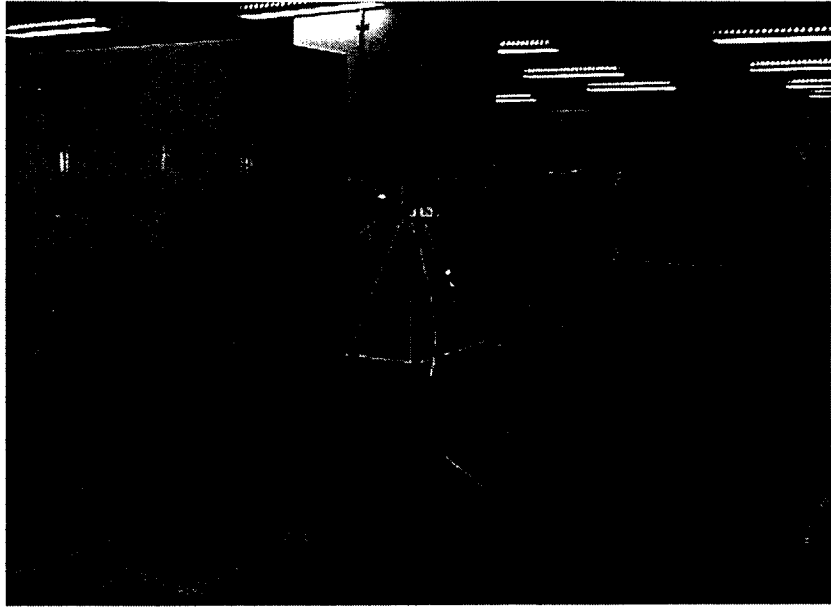


그림 A.31 발전소 제어 시스템에서 Horn 안테나, 수평편파

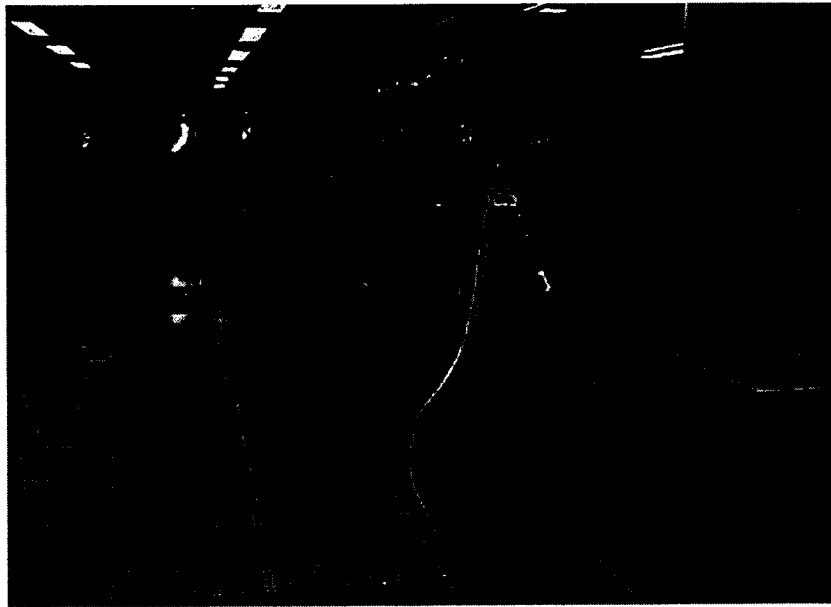


그림 A.32 발전소 제어 시스템에서 Horn 안테나, 수직편파

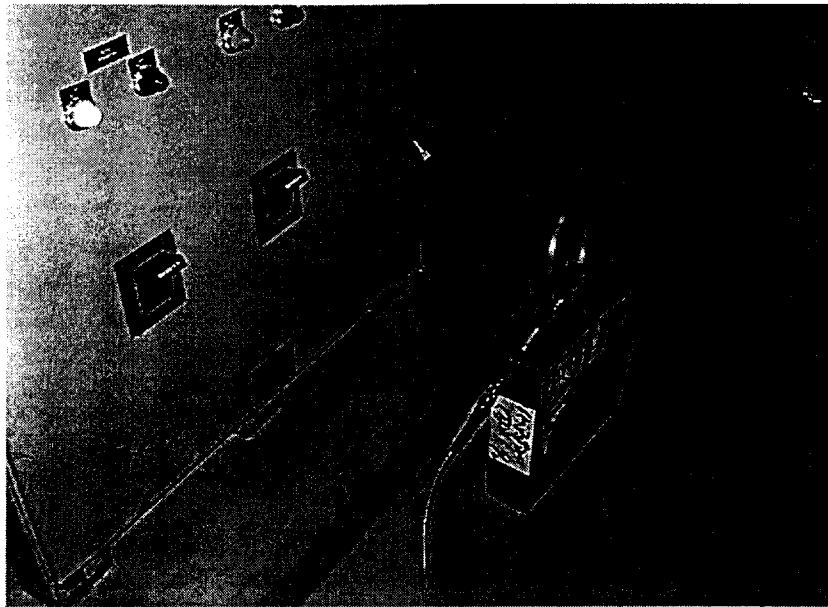


그림 A.33 전력 개폐 장치기에서 Loop 센서

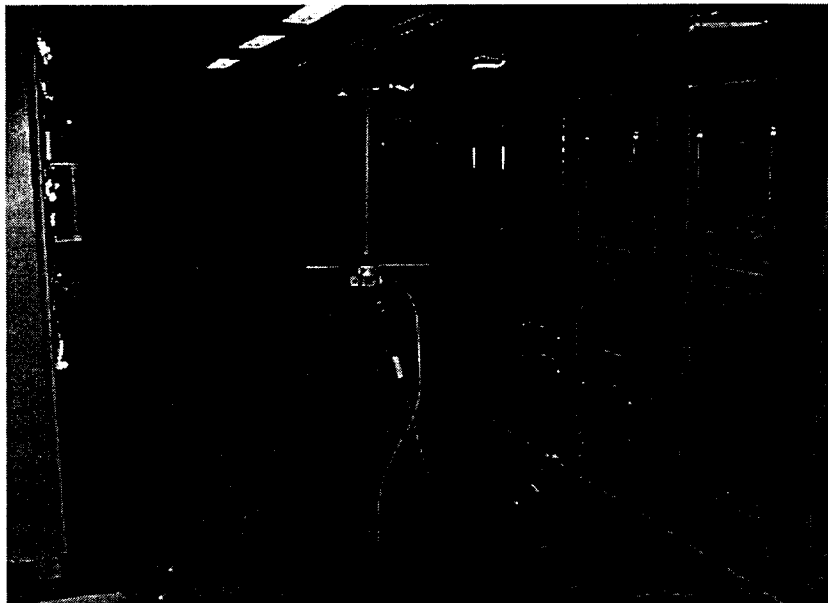


그림 A.34 전력 개폐 장치기에서 Rod 안테나

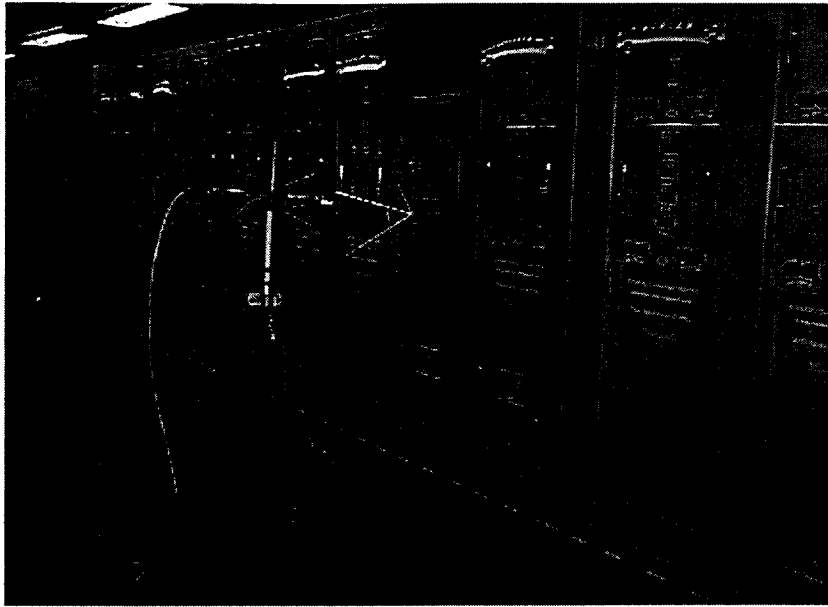


그림 A.35 전력 개폐 장치기에서 Biconical 안테나, 수평편파

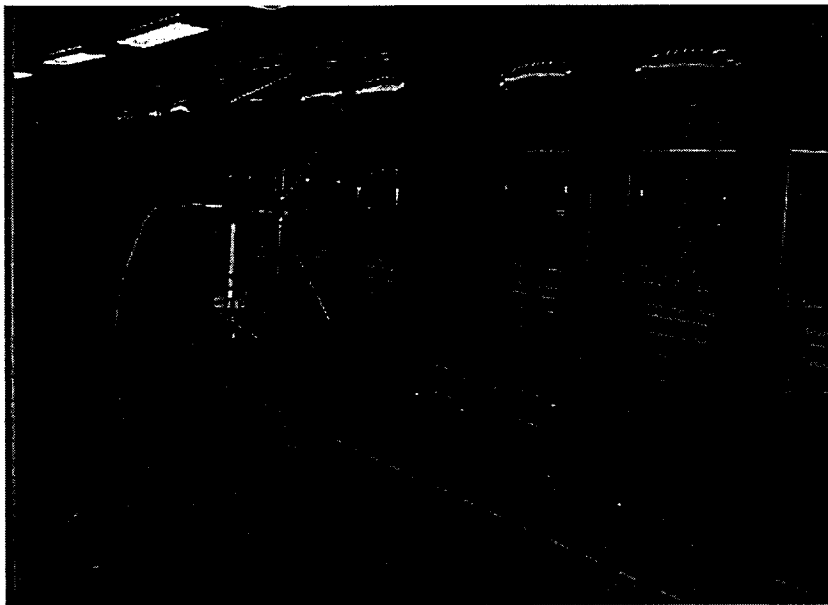


그림 A.36 전력 개폐 장치기에서 Biconical 안테나, 수직편파

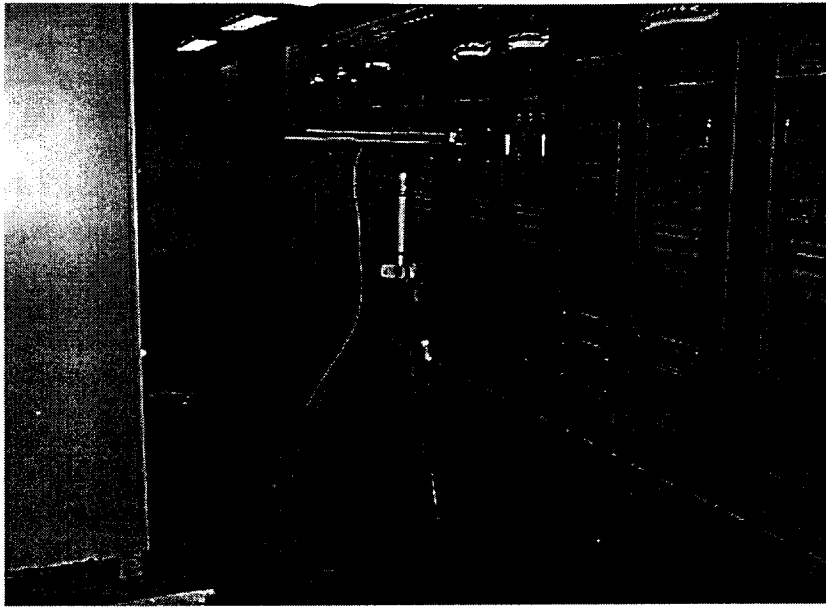


그림 A.37 전력 개폐 장치기에서 Log-periodic 안테나, 수평편파

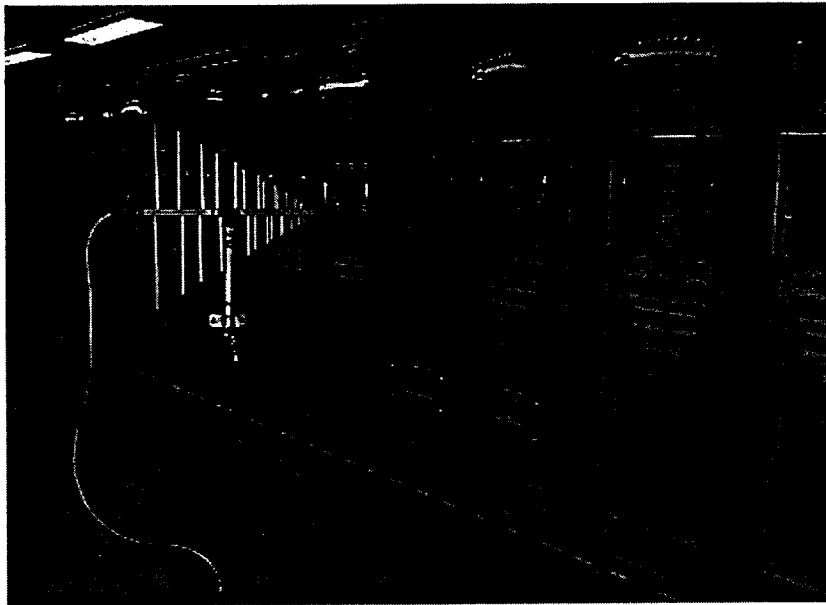


그림 A.38 전력 개폐 장치기에서 Log-periodic 안테나, 수직편파

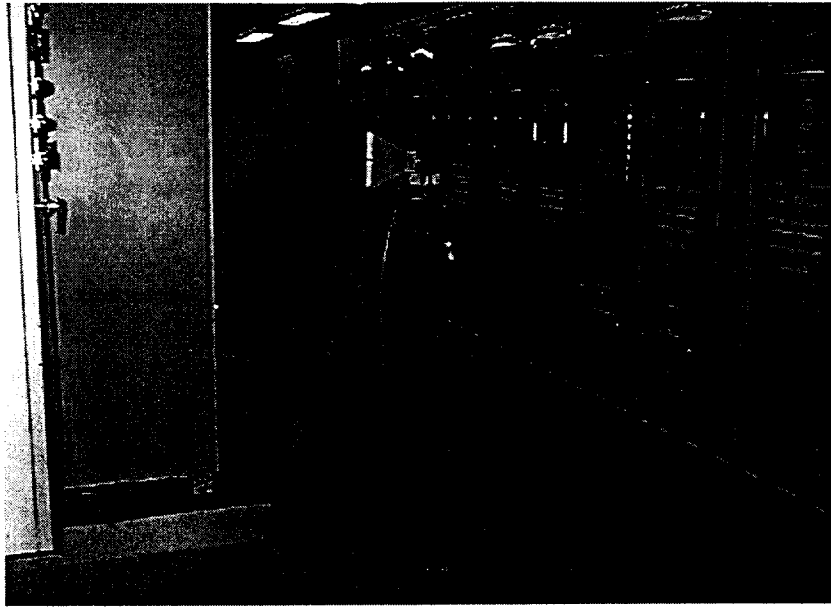


그림 A.39 전력 개폐 장치기에서 Horn 안테나, 수평편파

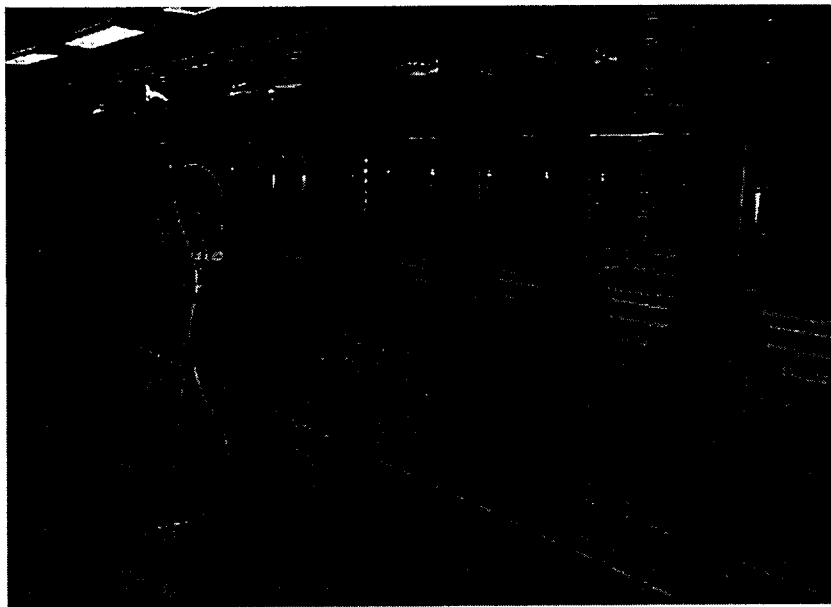


그림 A.40 전력 개폐 장치기에서 Horn 안테나, 수직편파

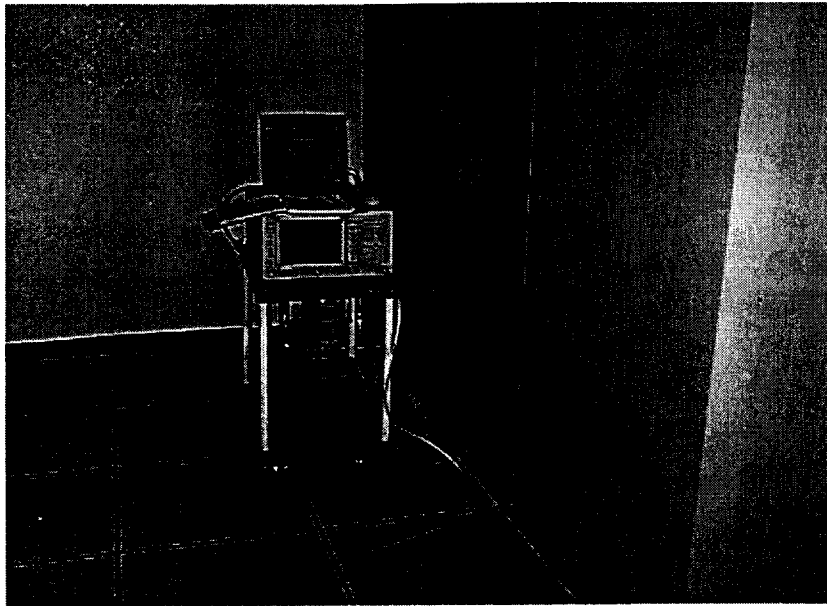


그림 A.41 측정 장비 사진

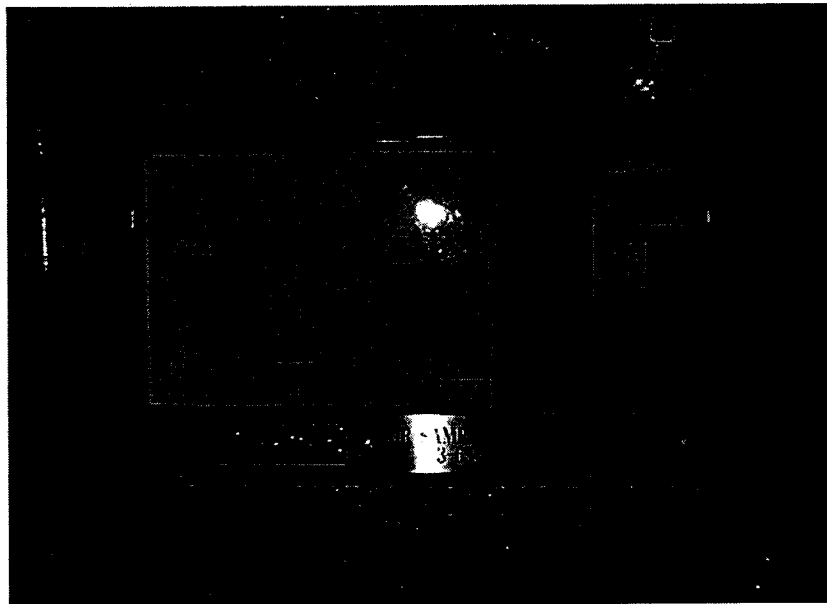
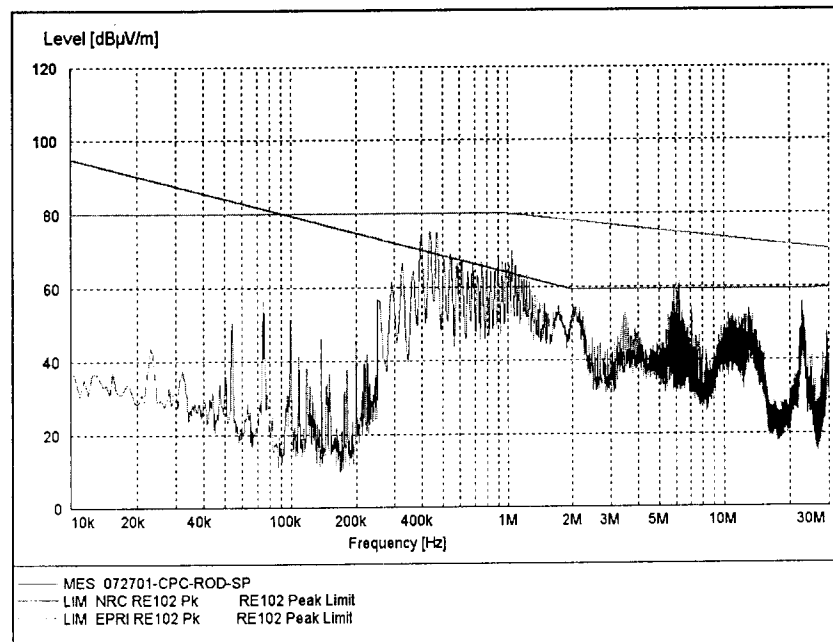
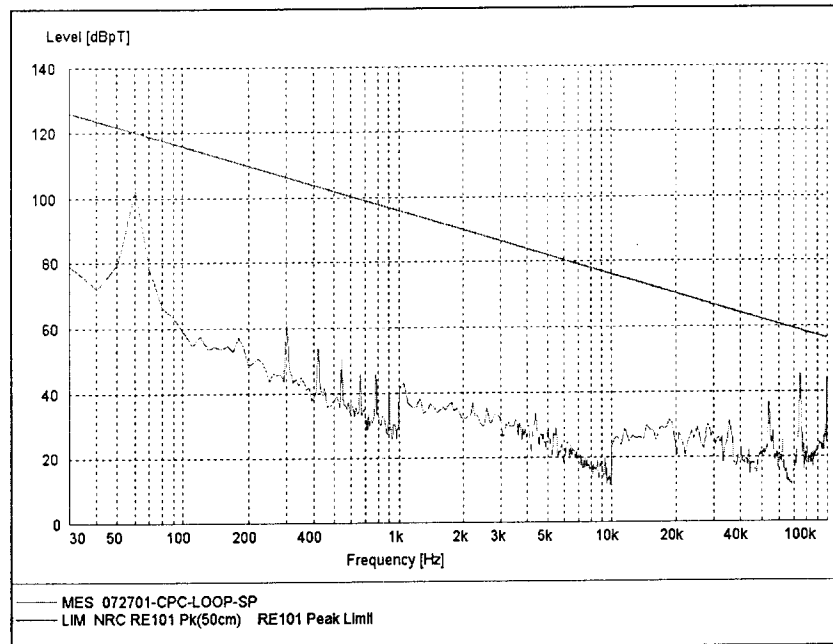
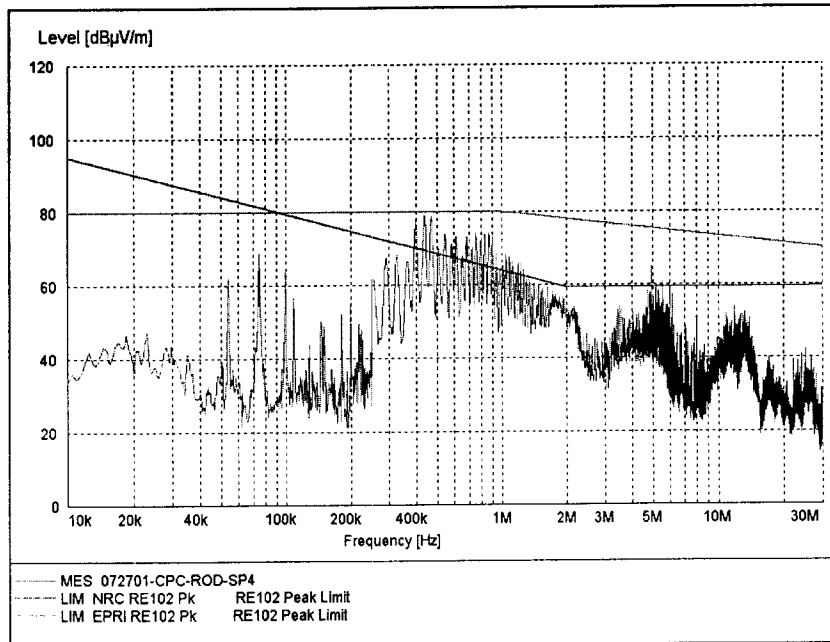
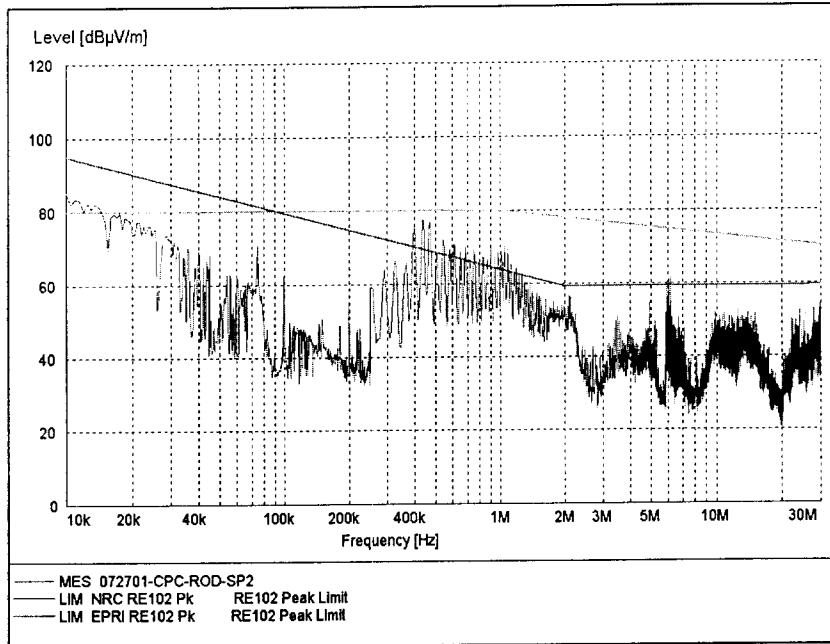
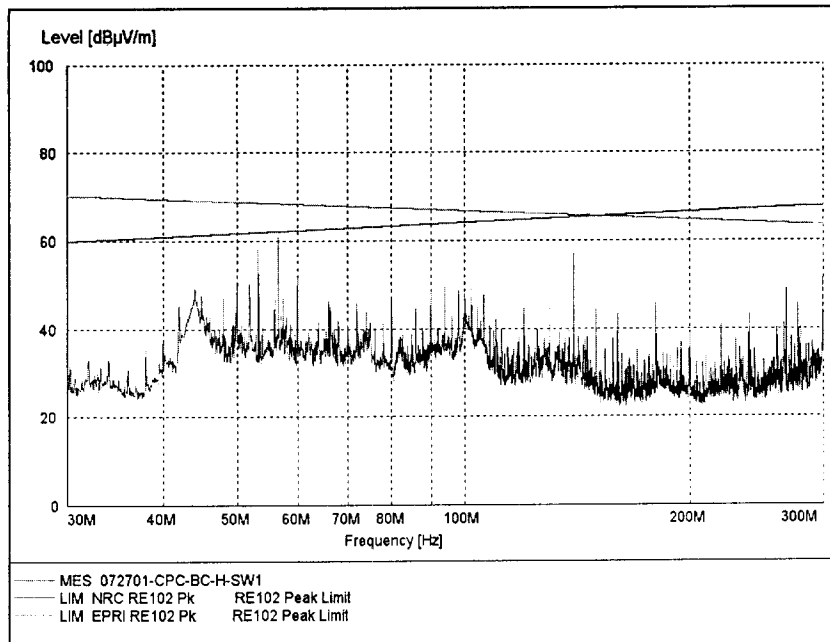
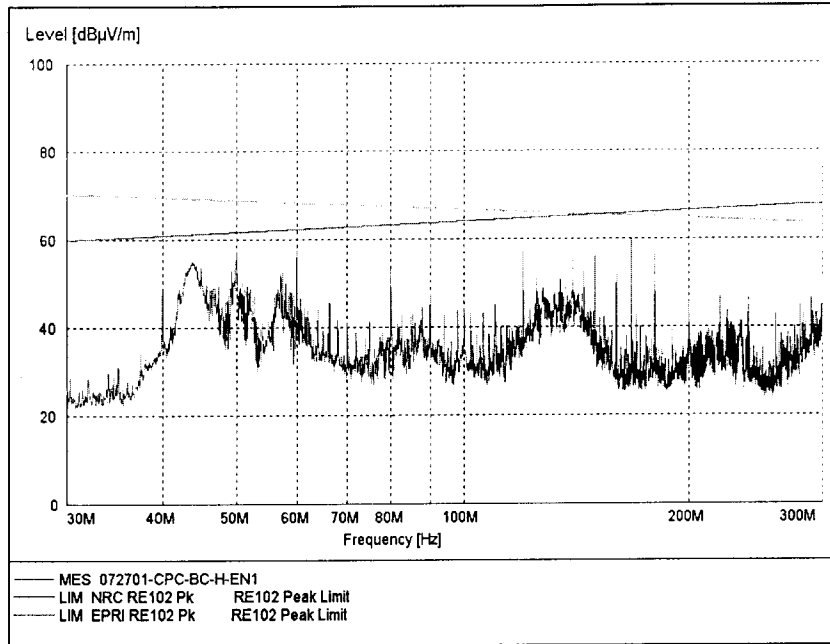


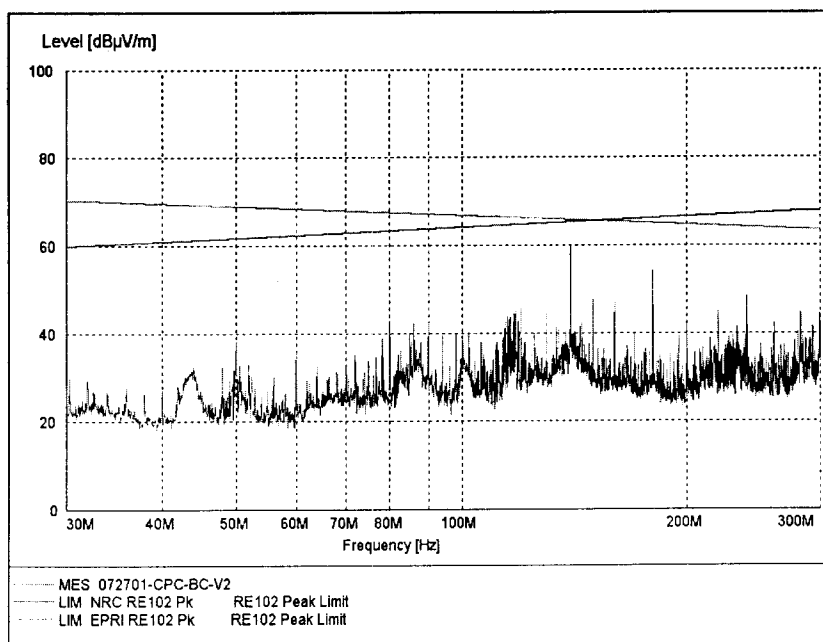
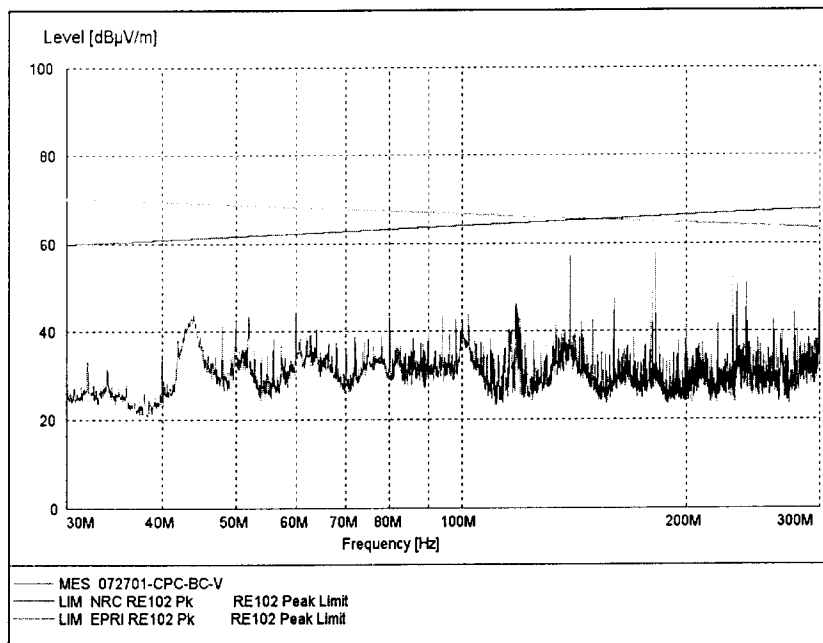
그림 A.42 공기추출식 연기감지기 사진

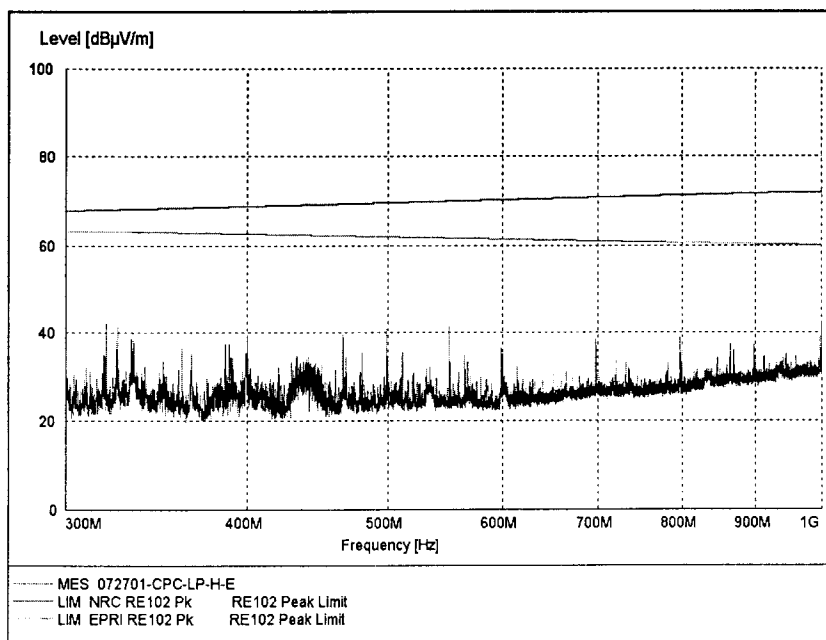
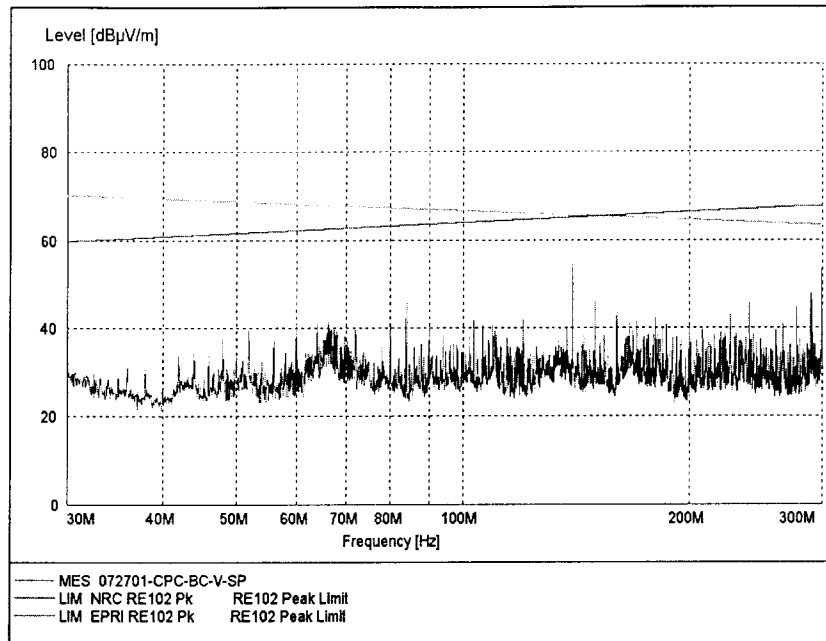
## B. 날짜별 측정결과 (7월 27일, 노심보호연산기)

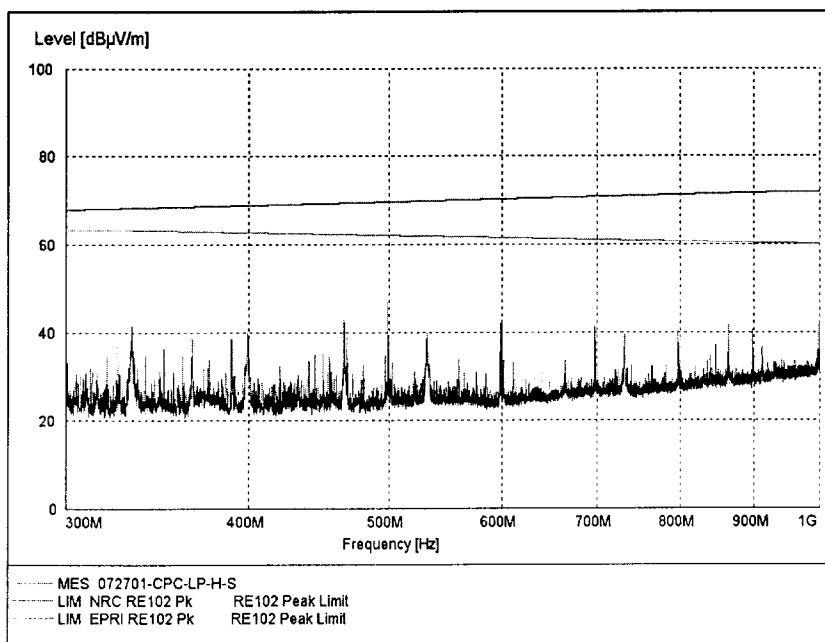
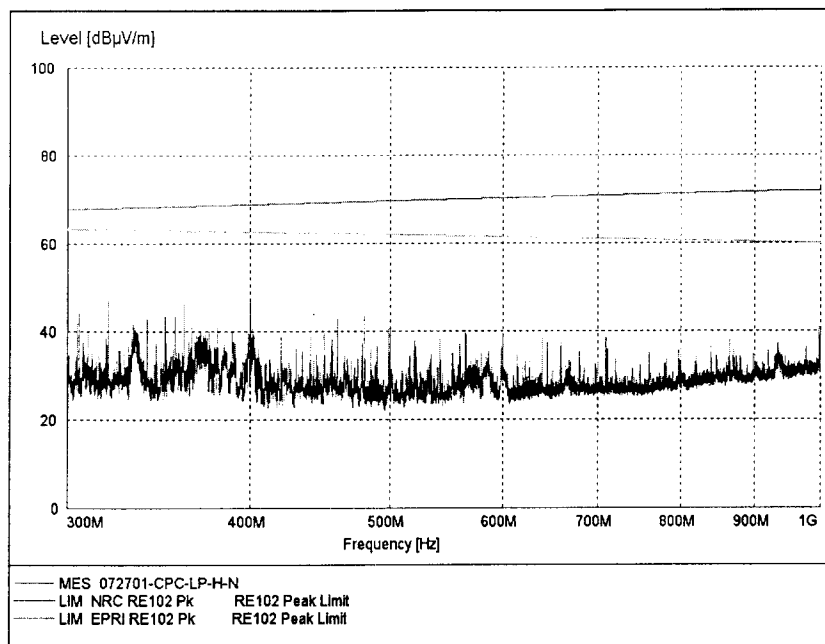


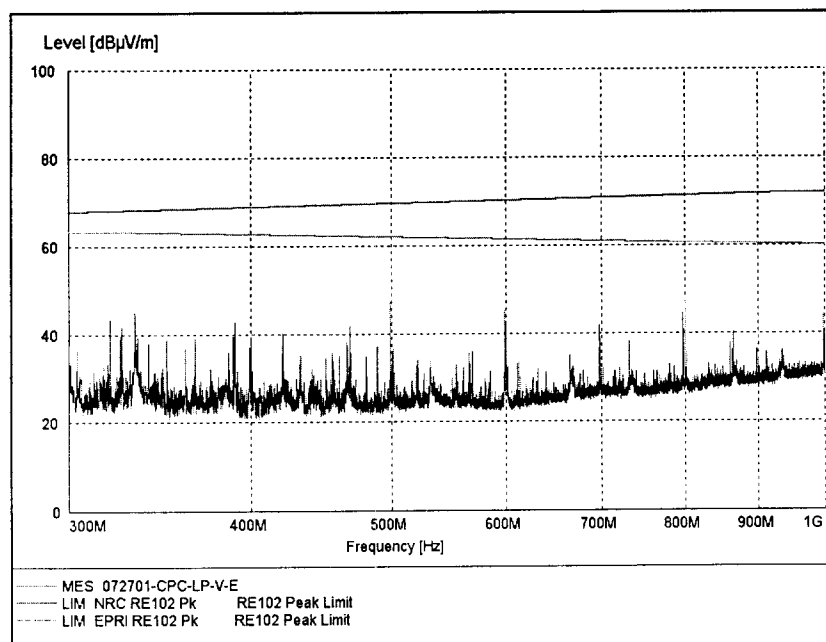
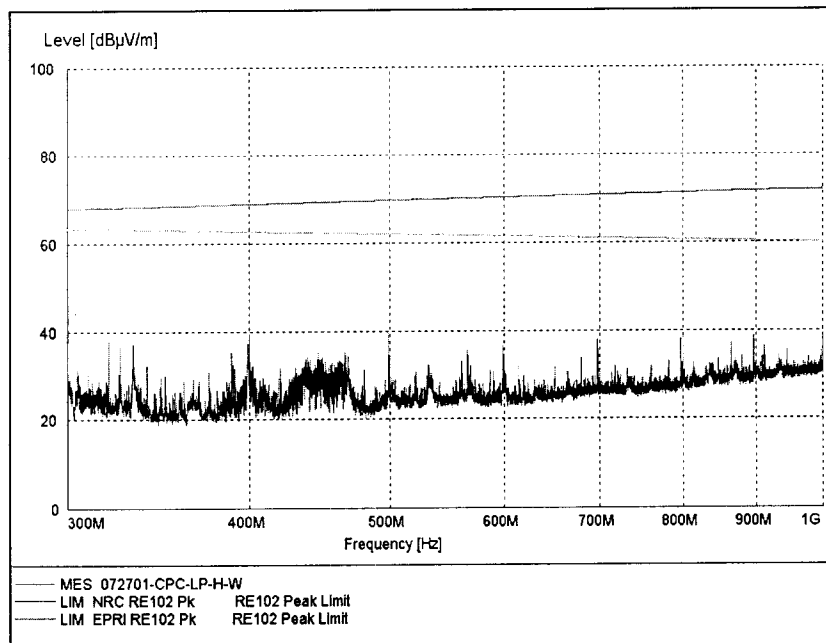


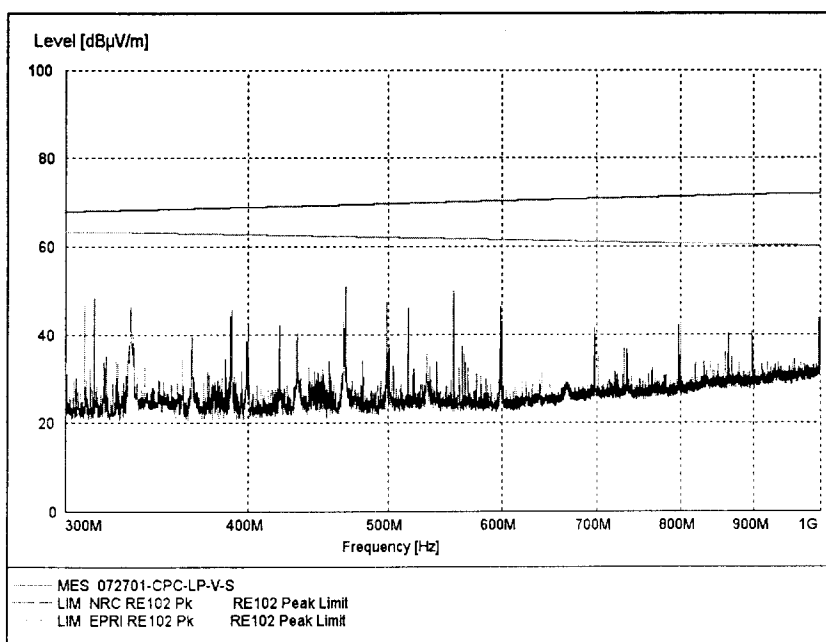
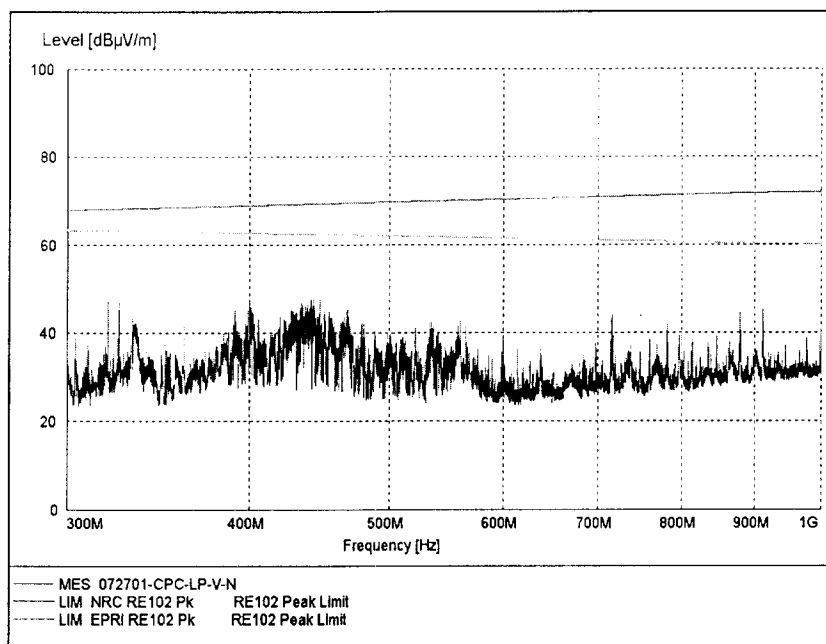


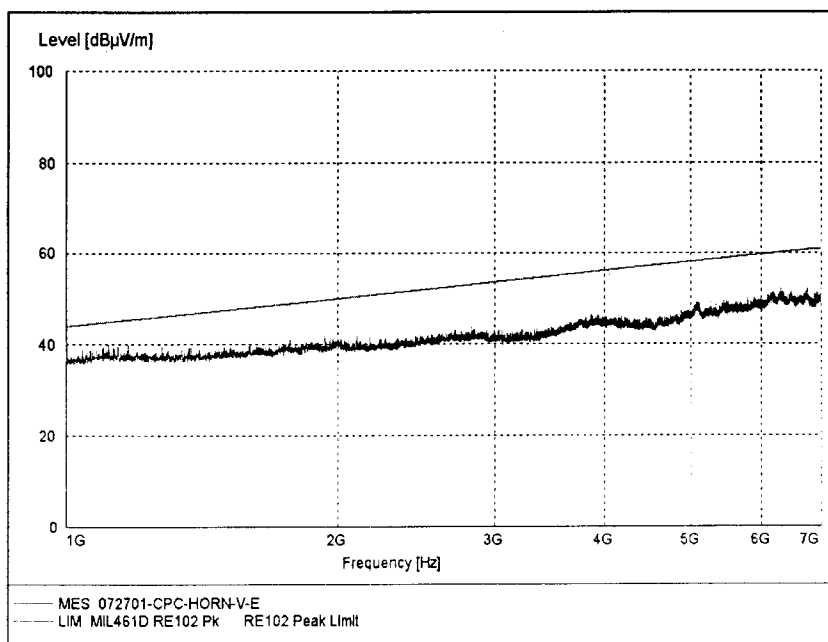
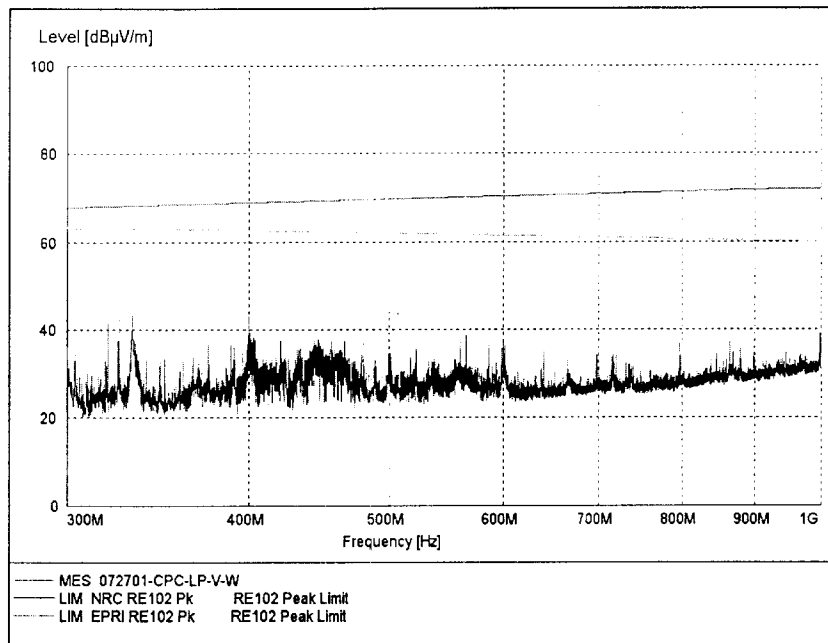




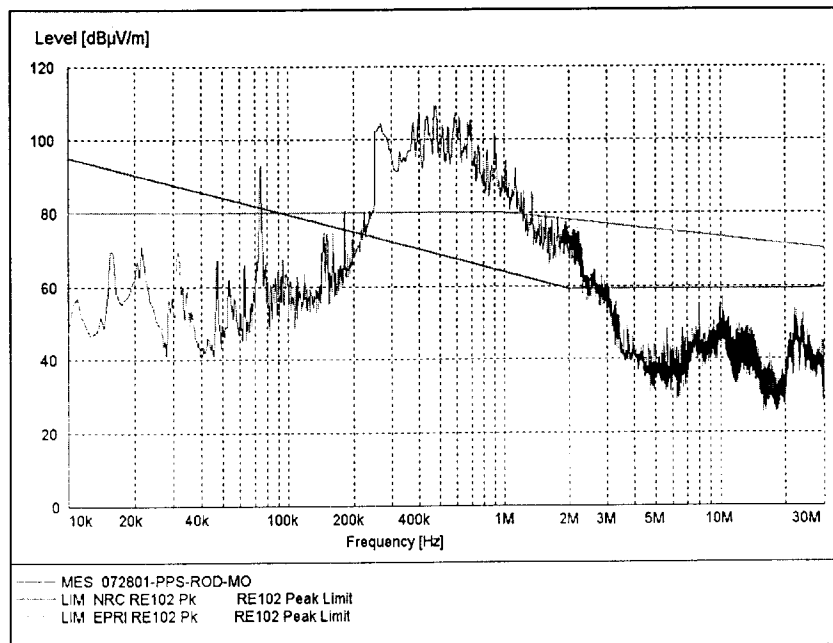
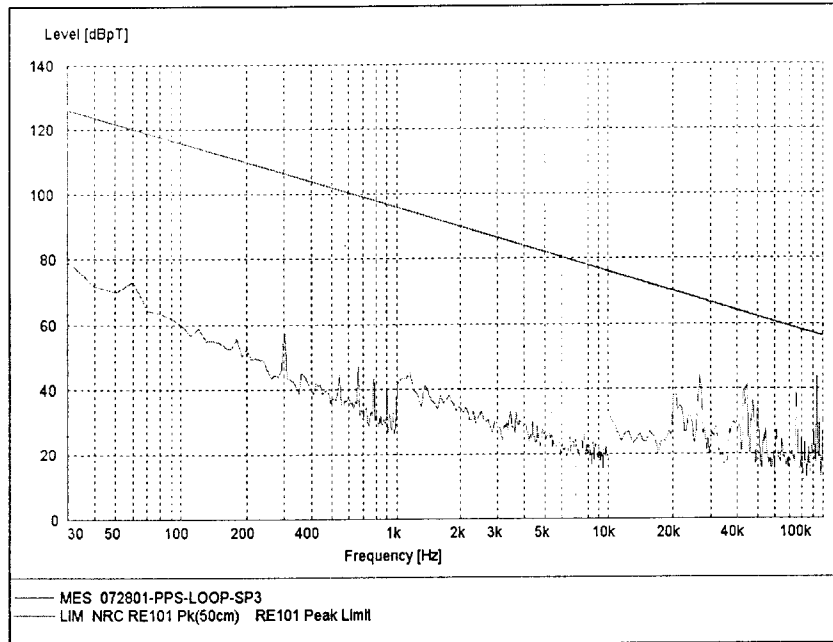


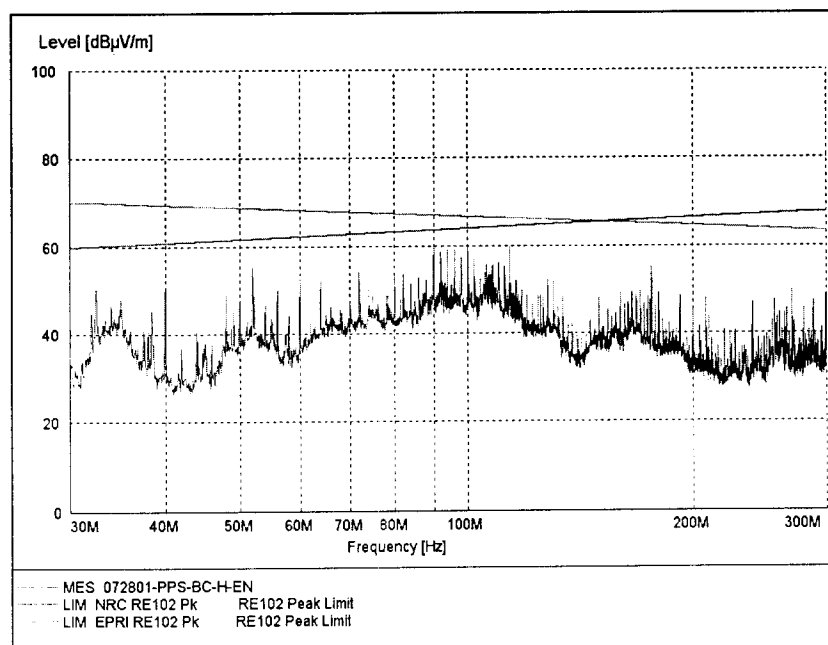
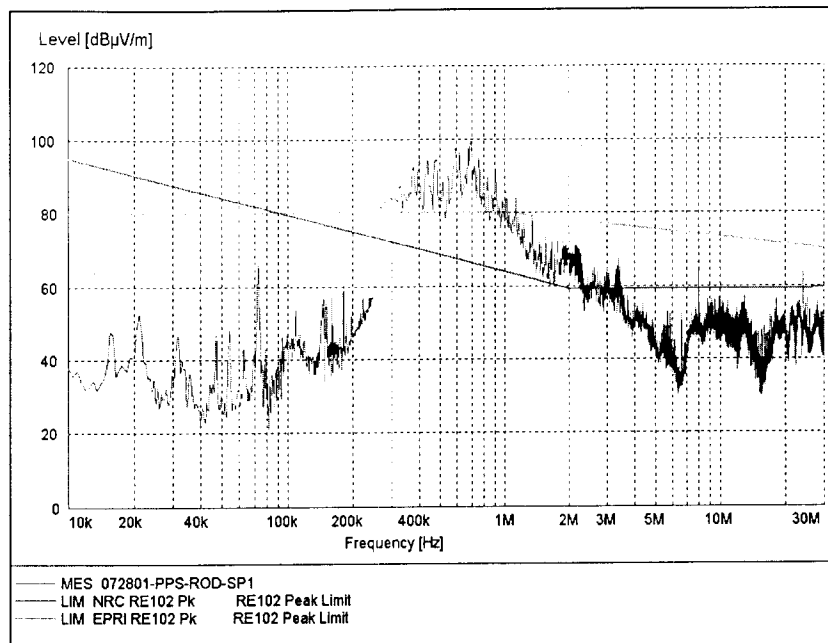


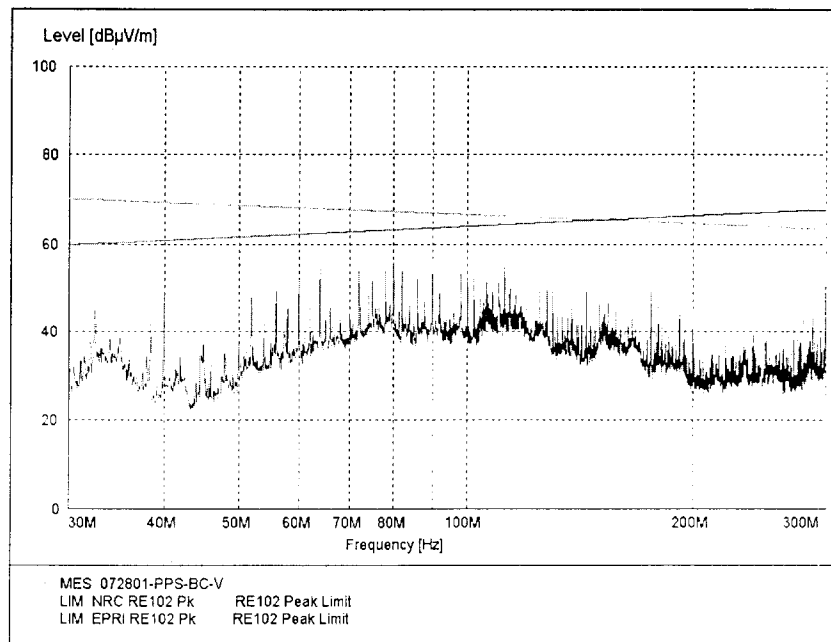
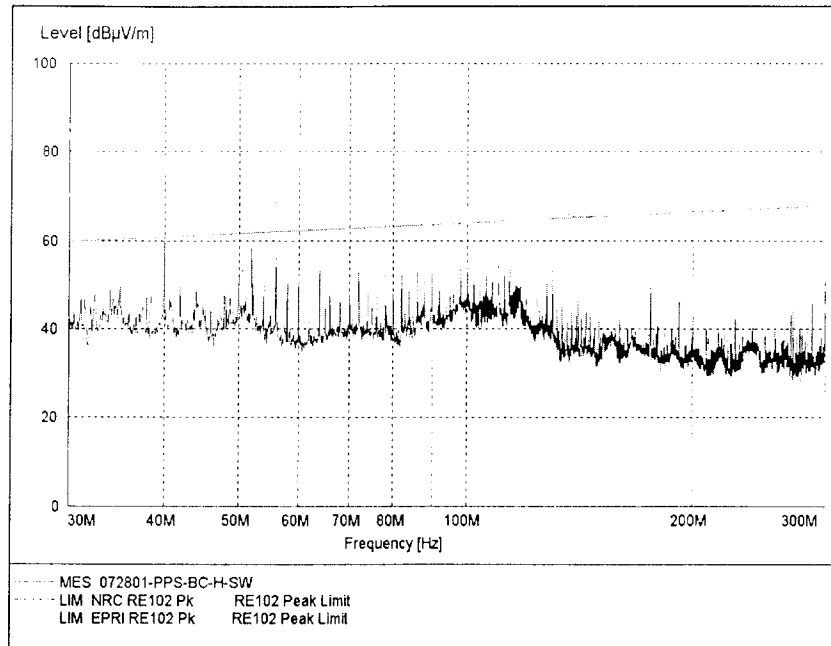


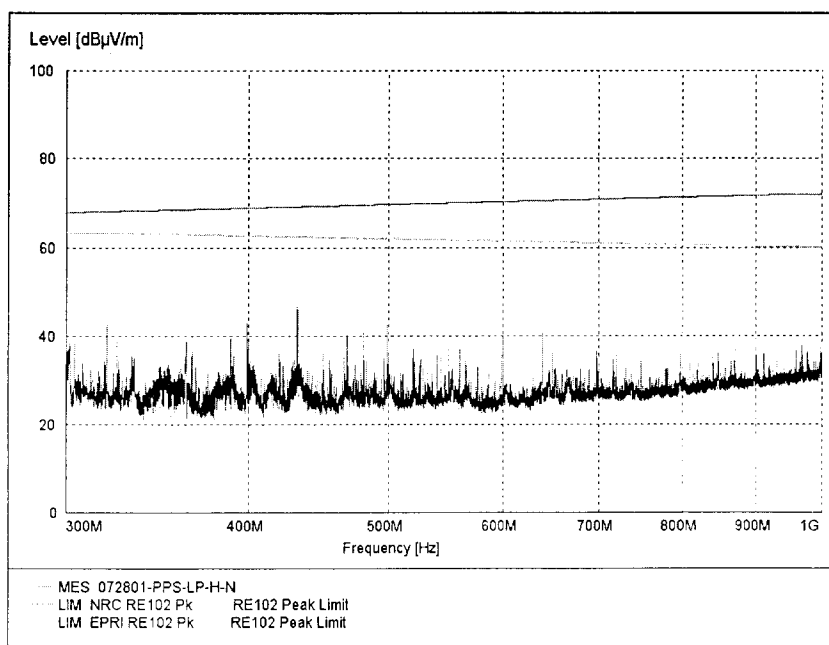
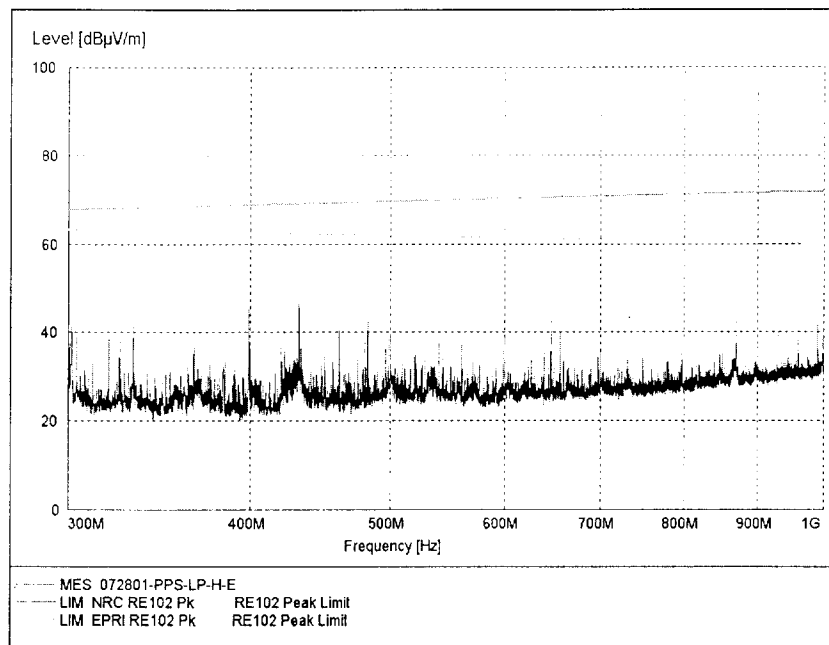


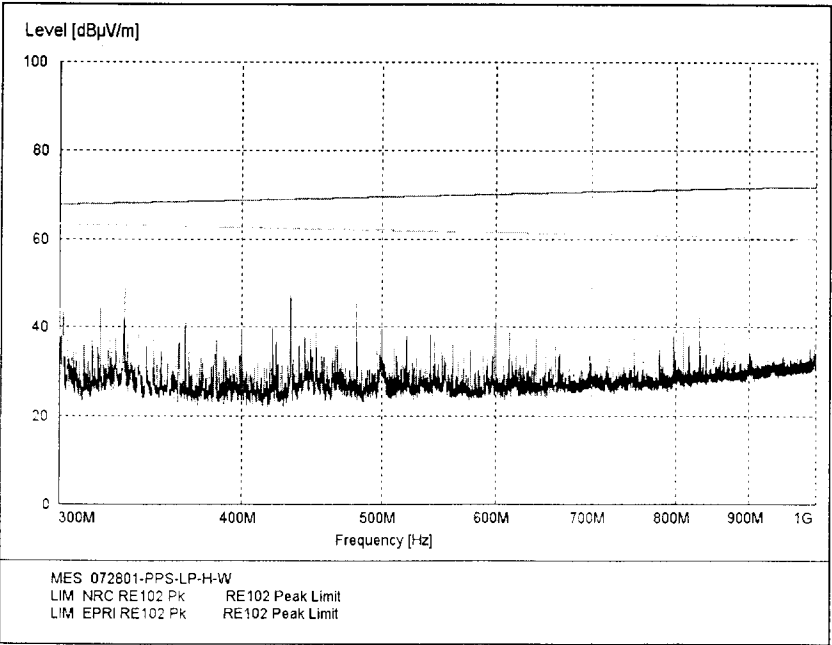
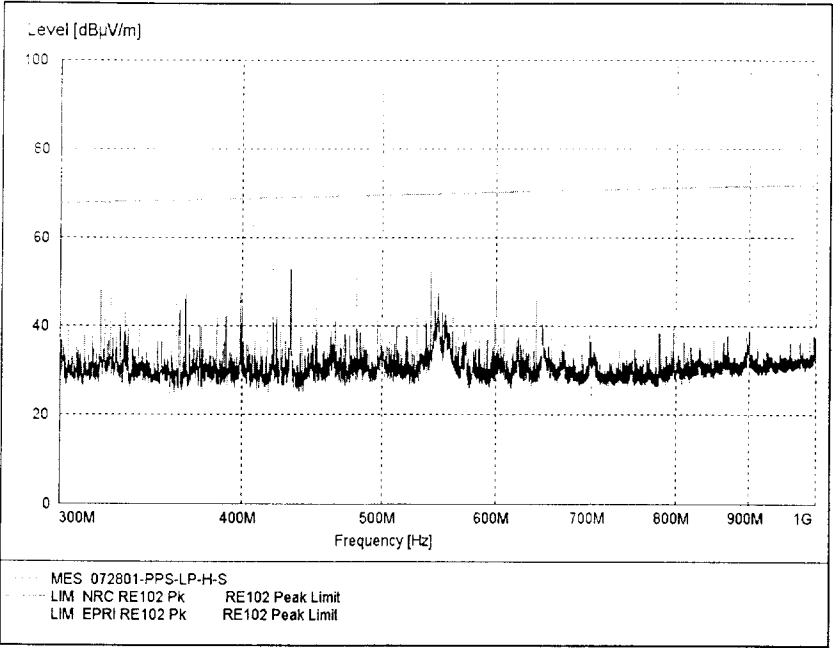
### C. 날짜별 측정결과 (7월 28일, 발전소보호시스템)

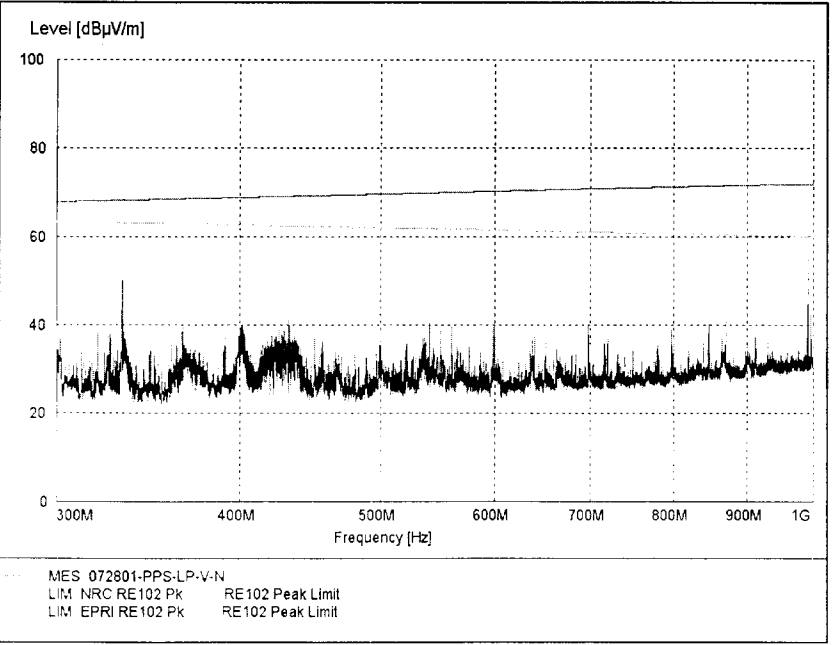
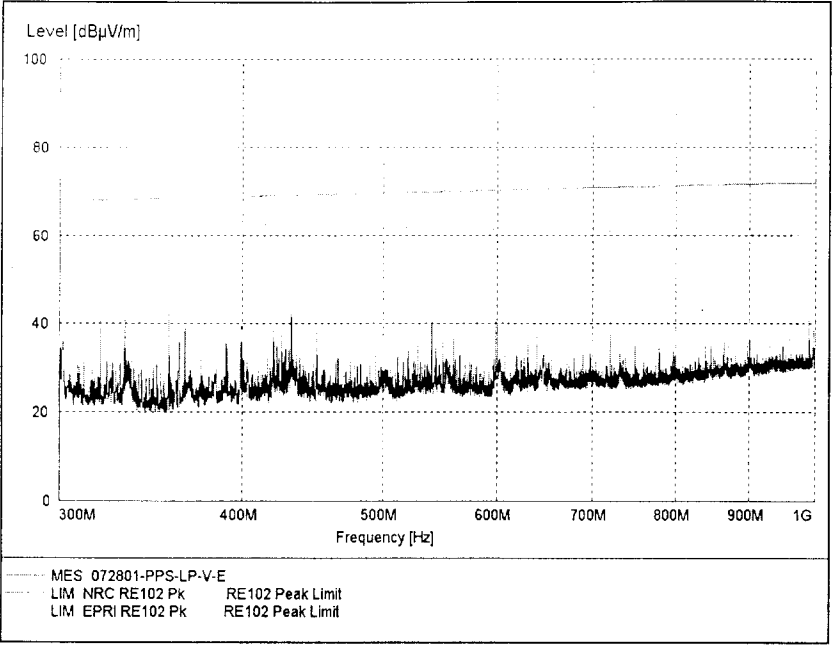


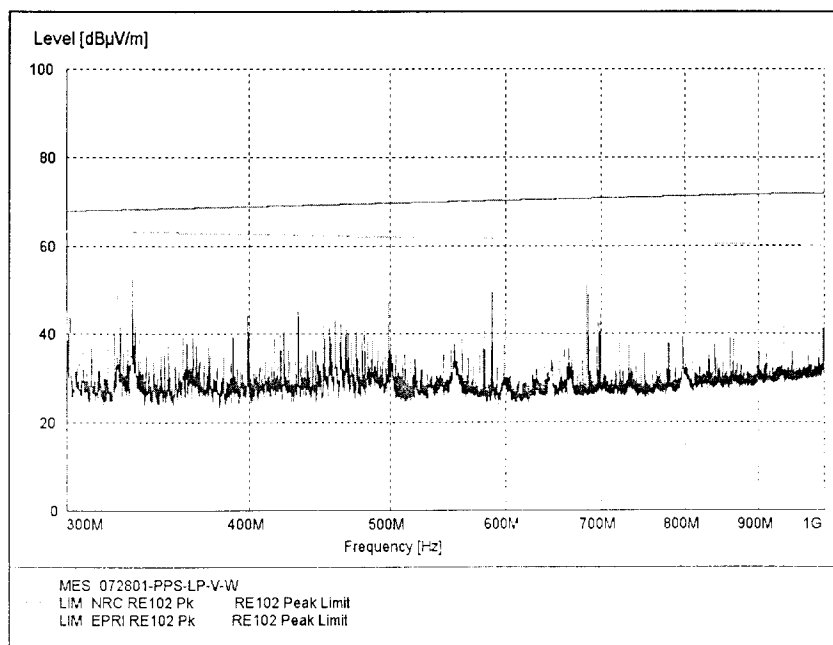
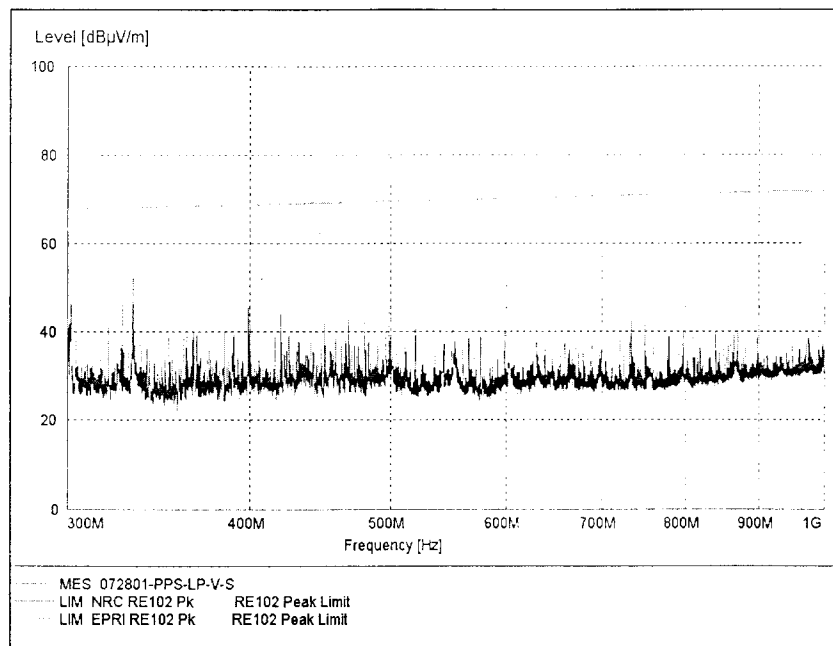


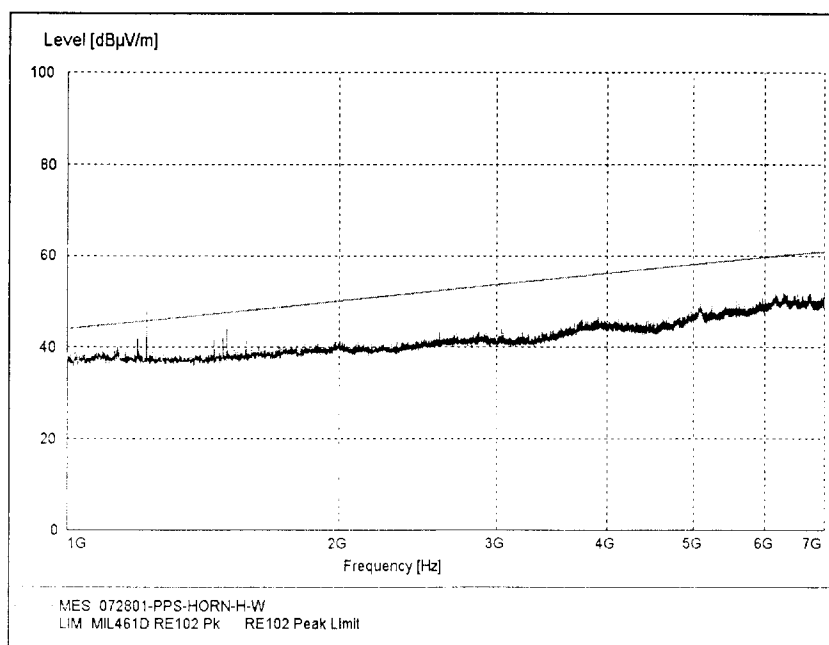
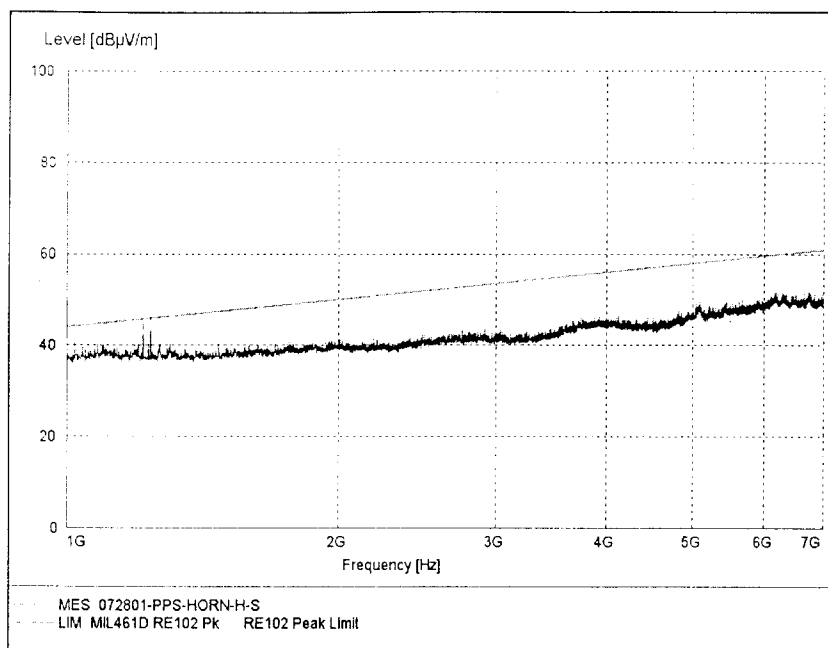


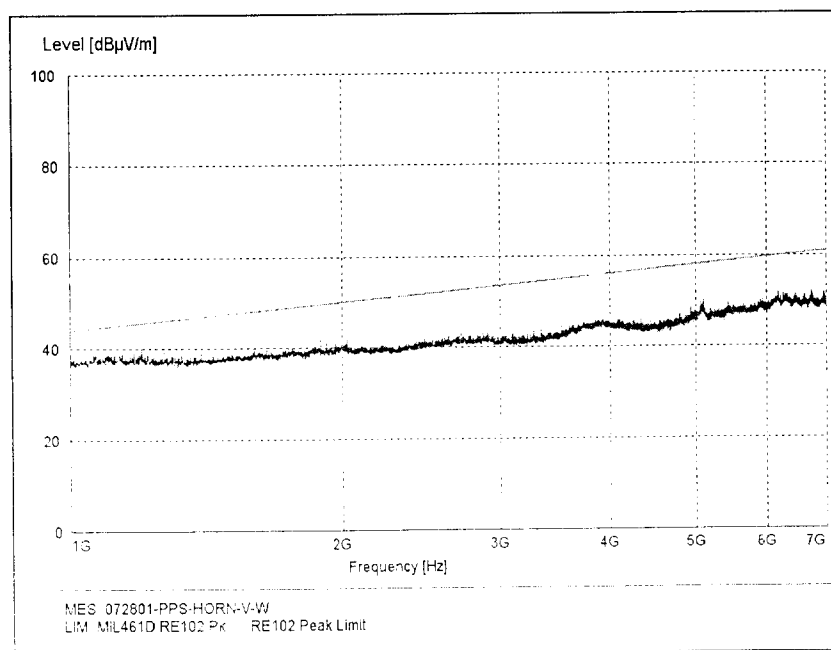
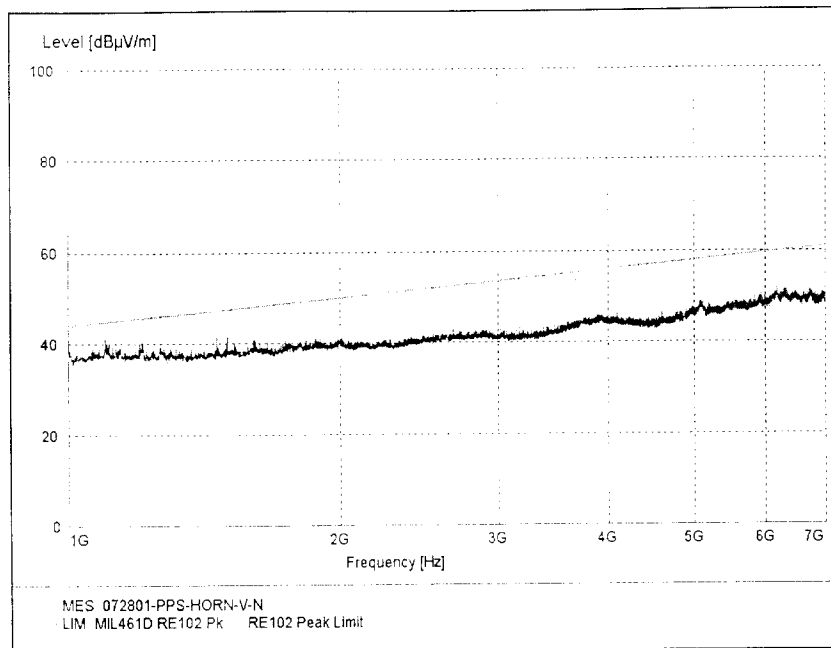




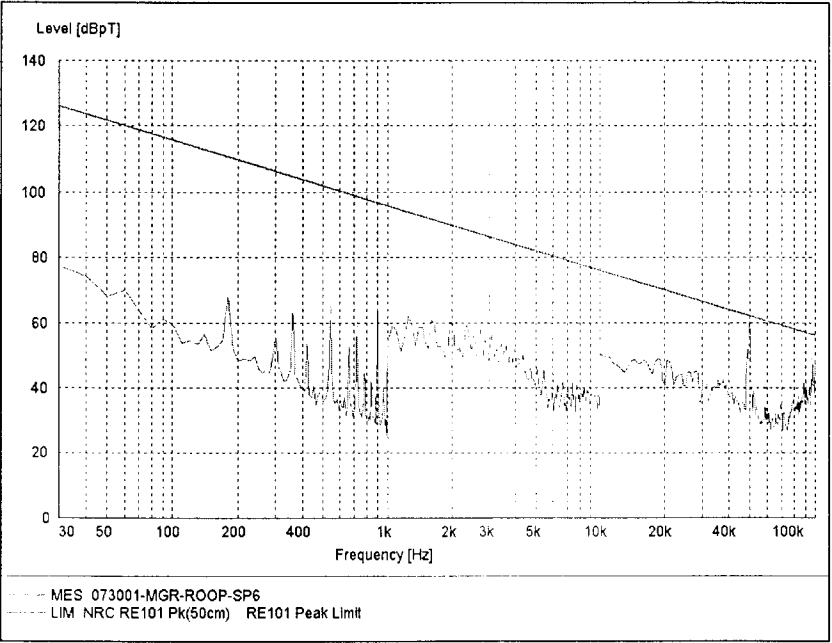
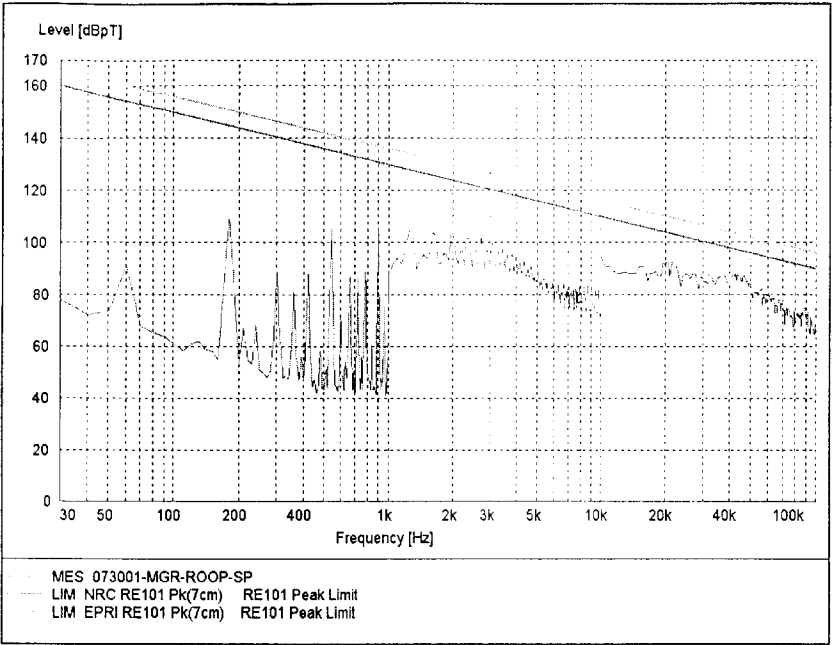


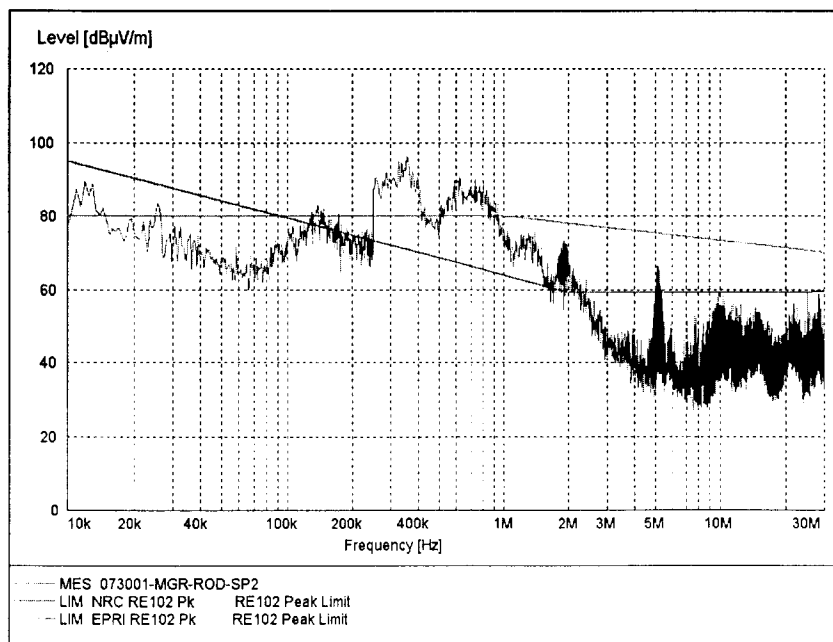
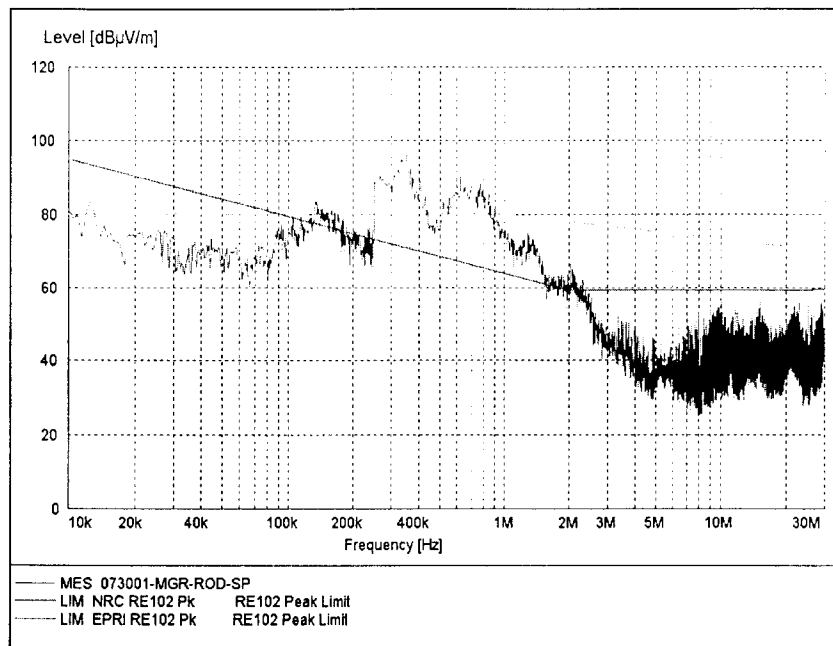


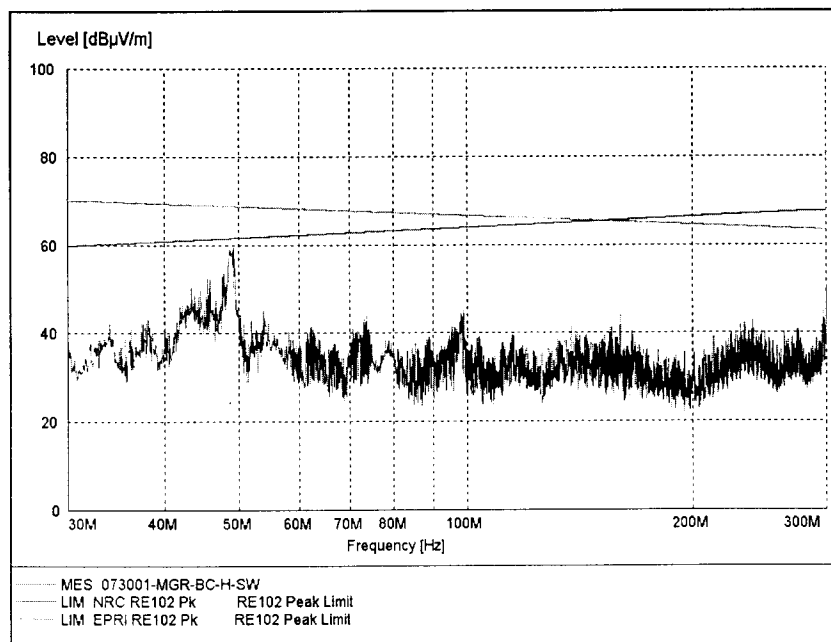
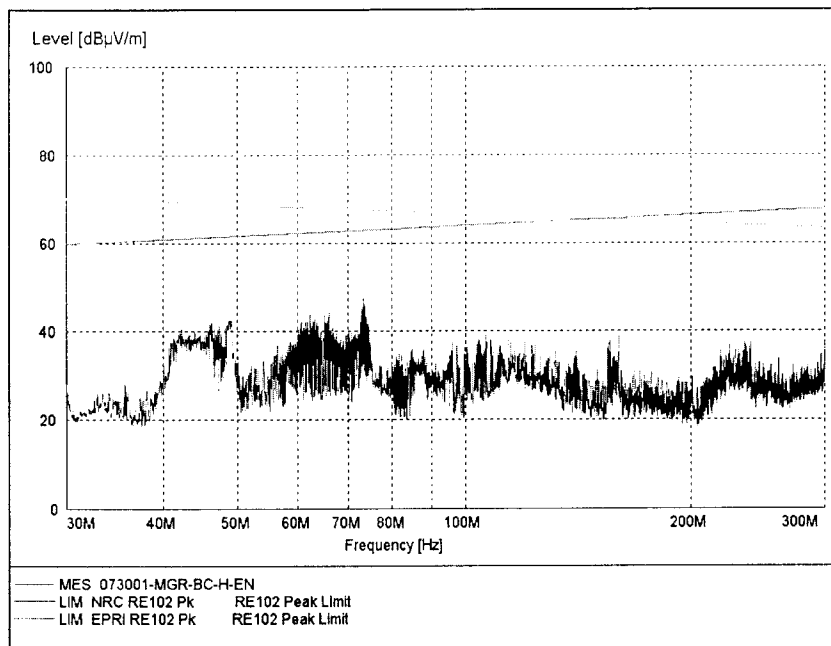


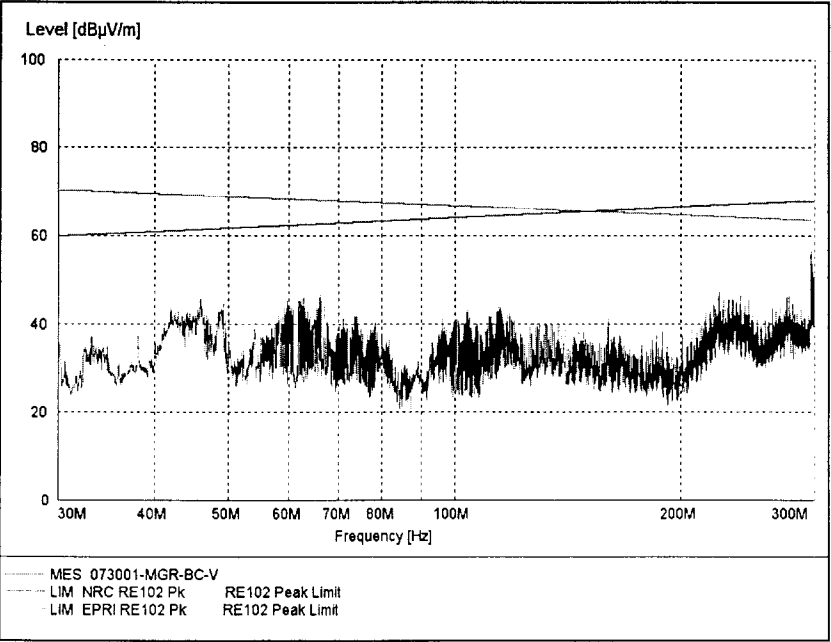
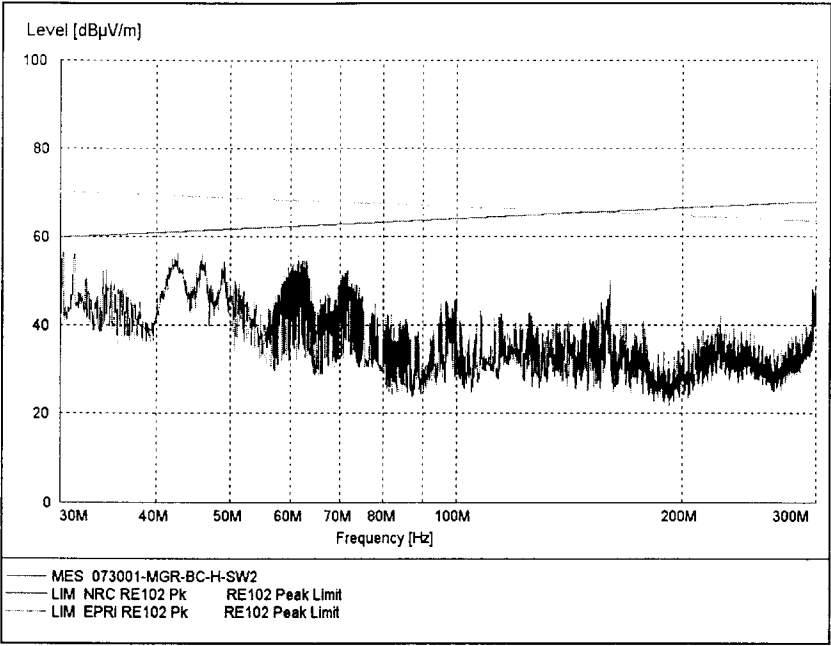


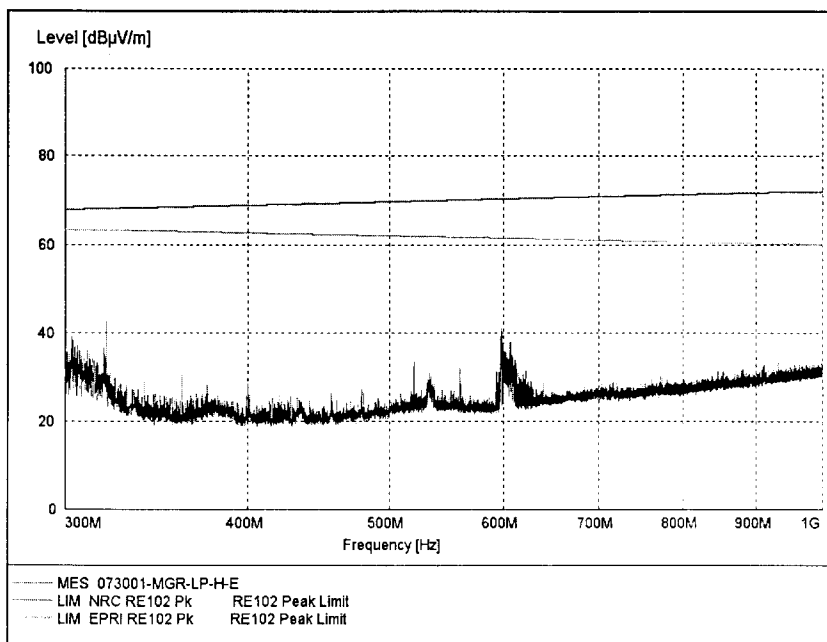
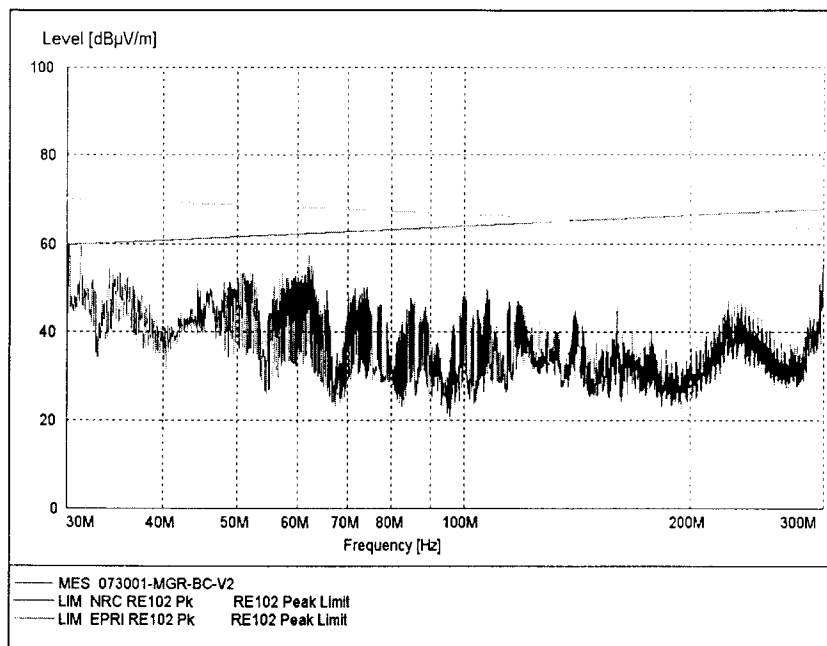
D. 날짜별 측정결과 (7월 30일, 전력개폐장치기)

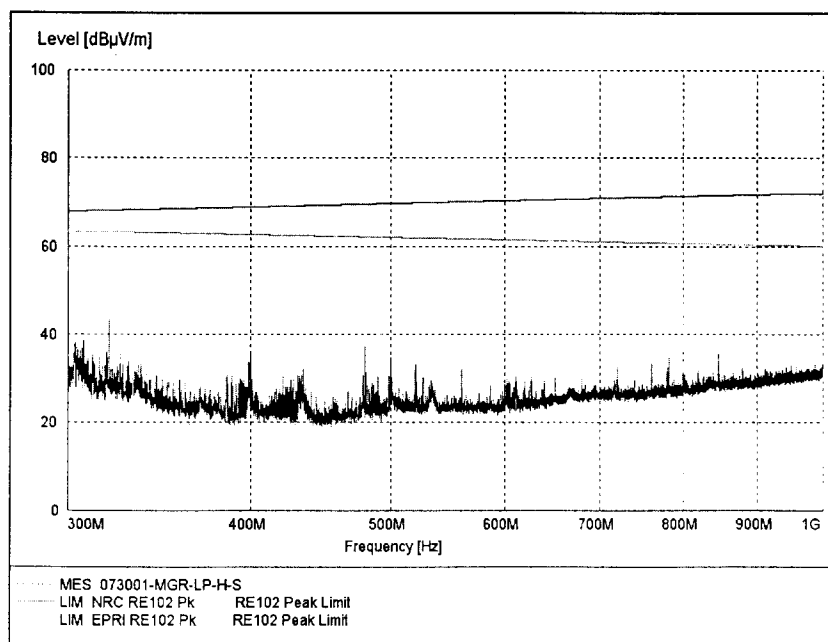
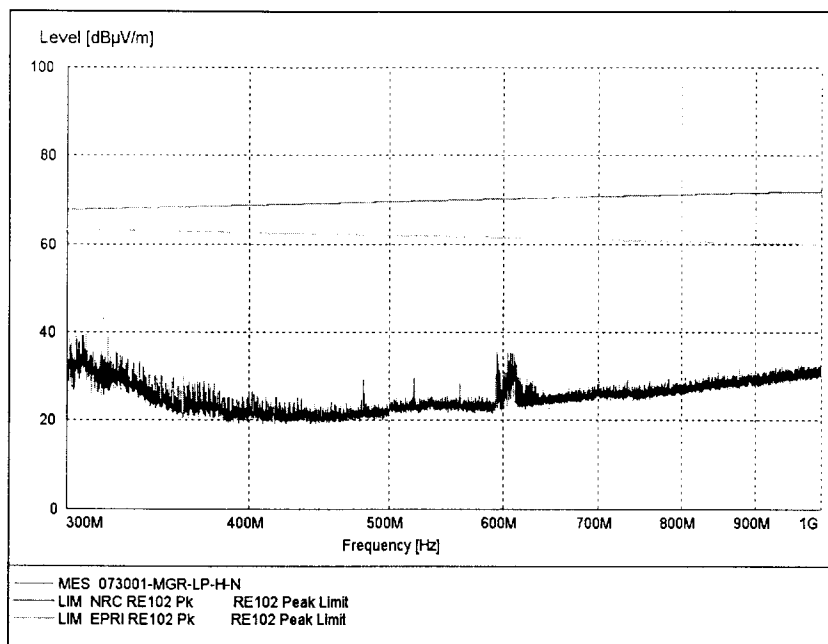


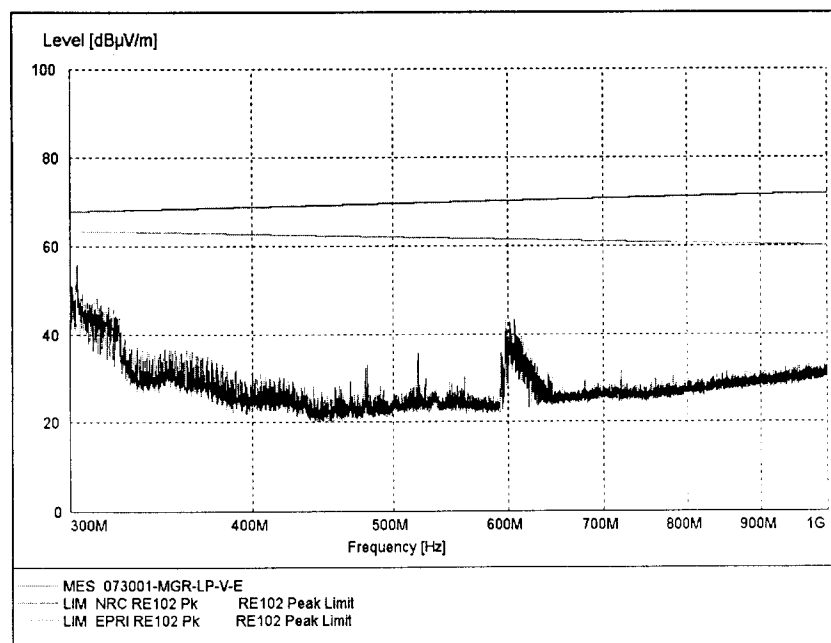
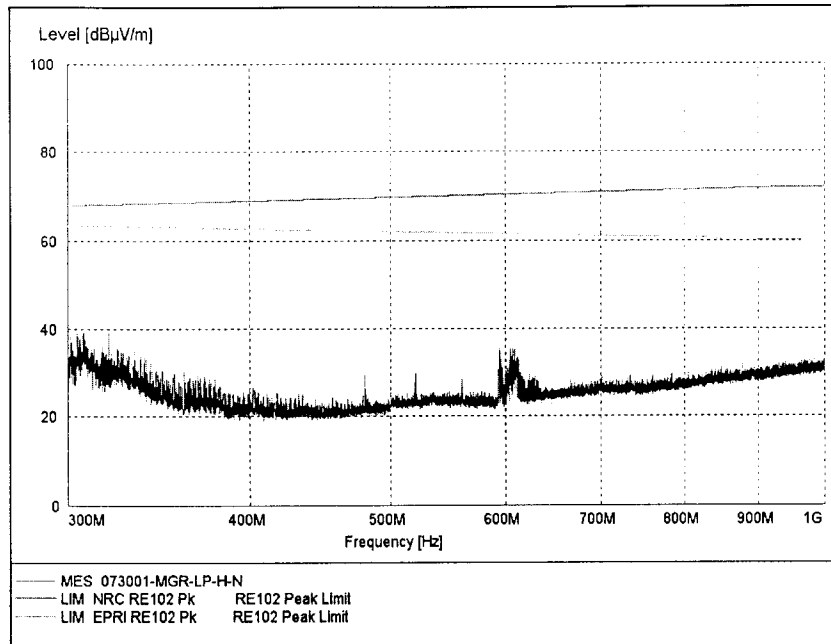


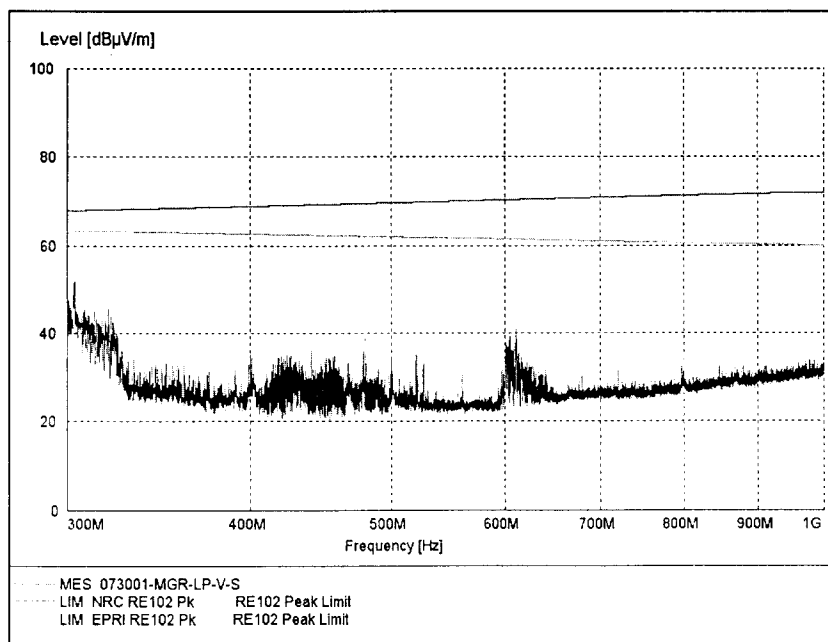
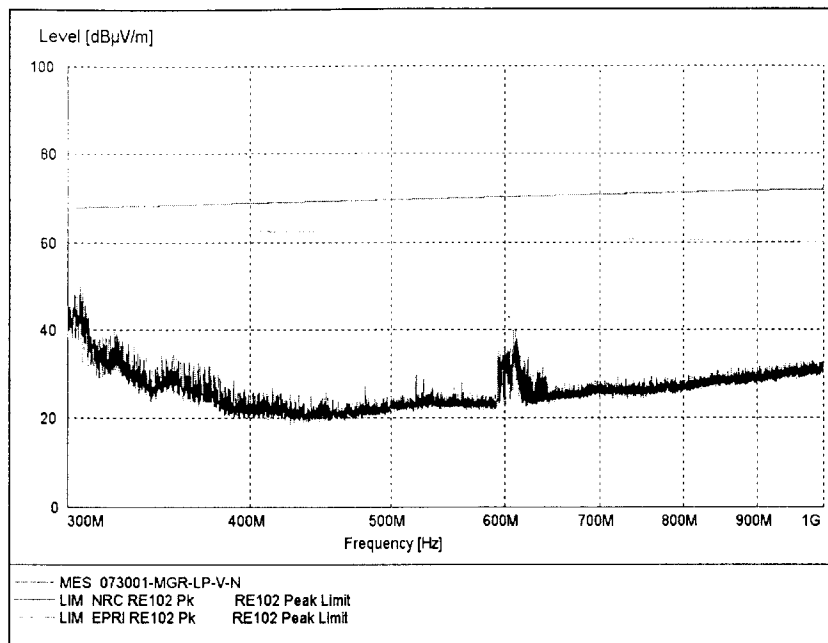


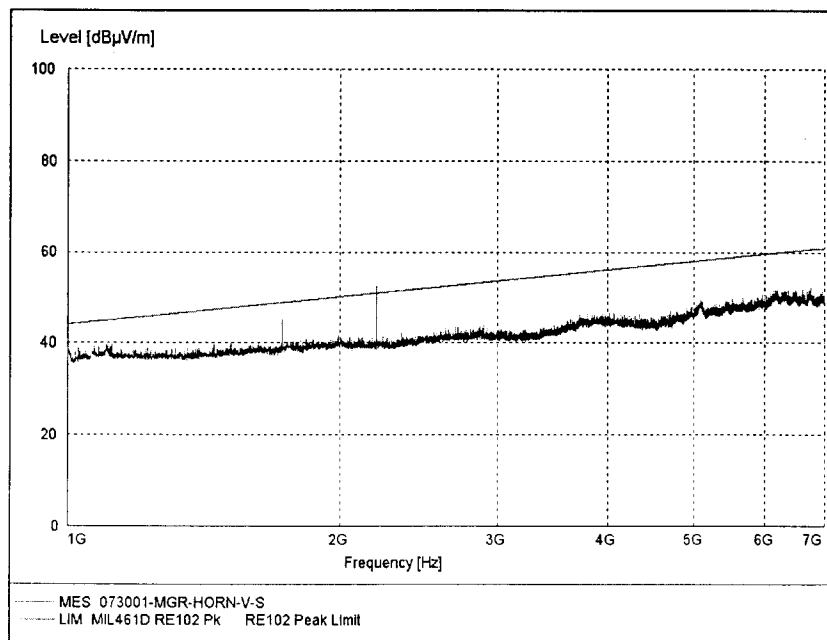
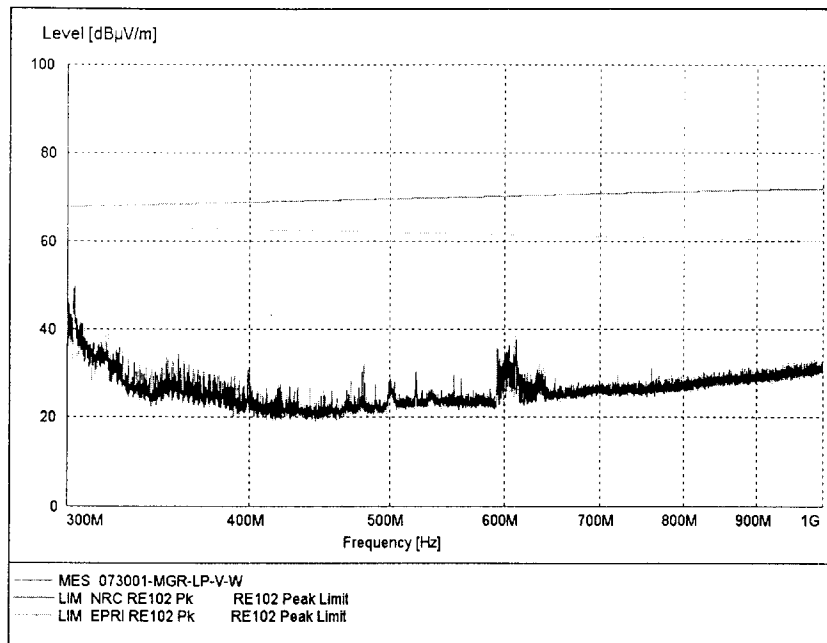




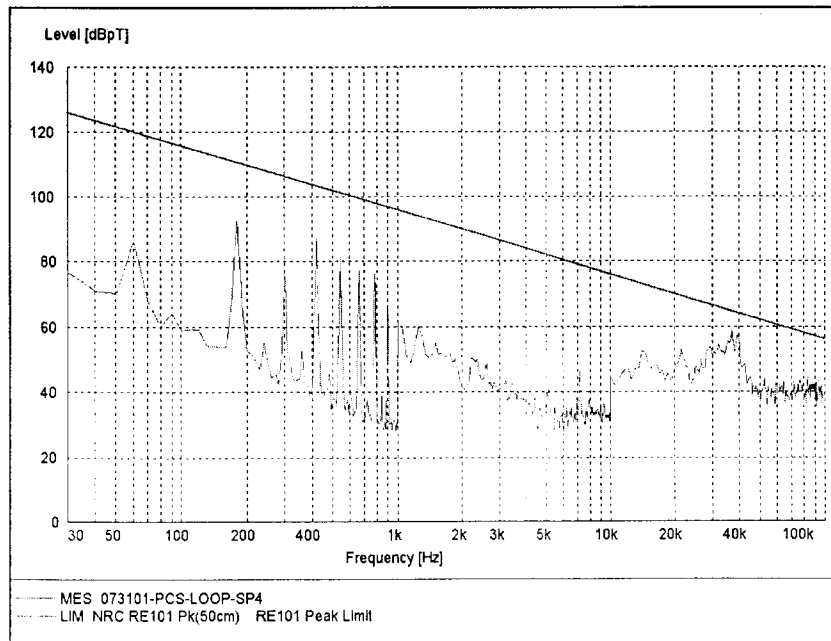
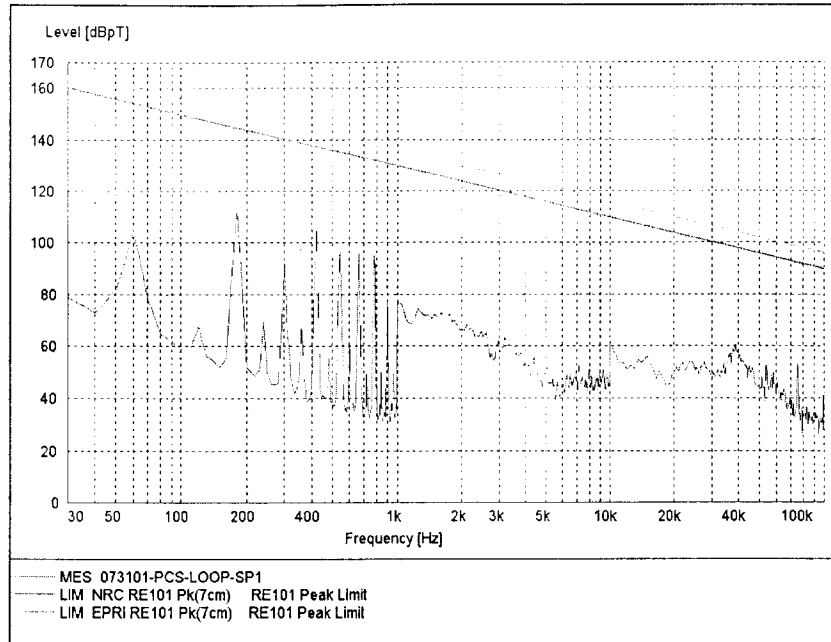


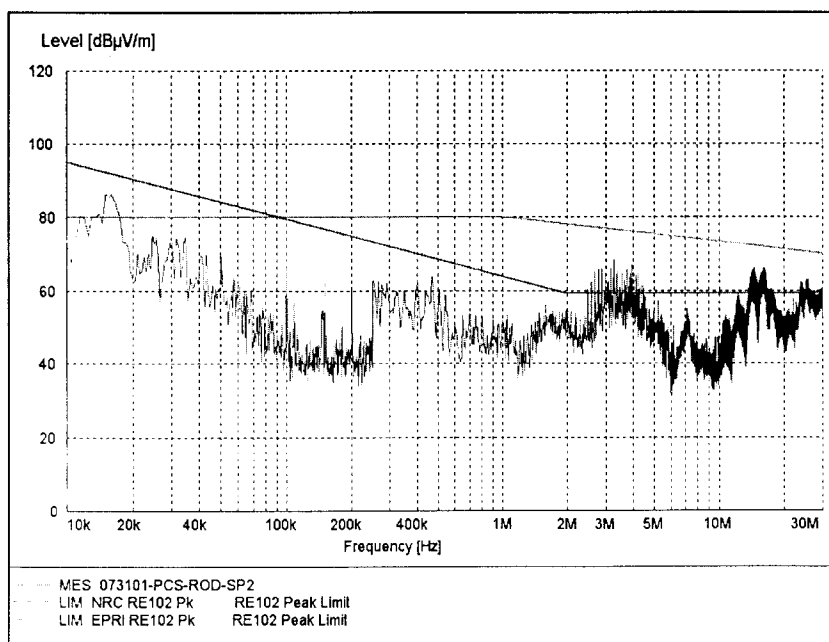
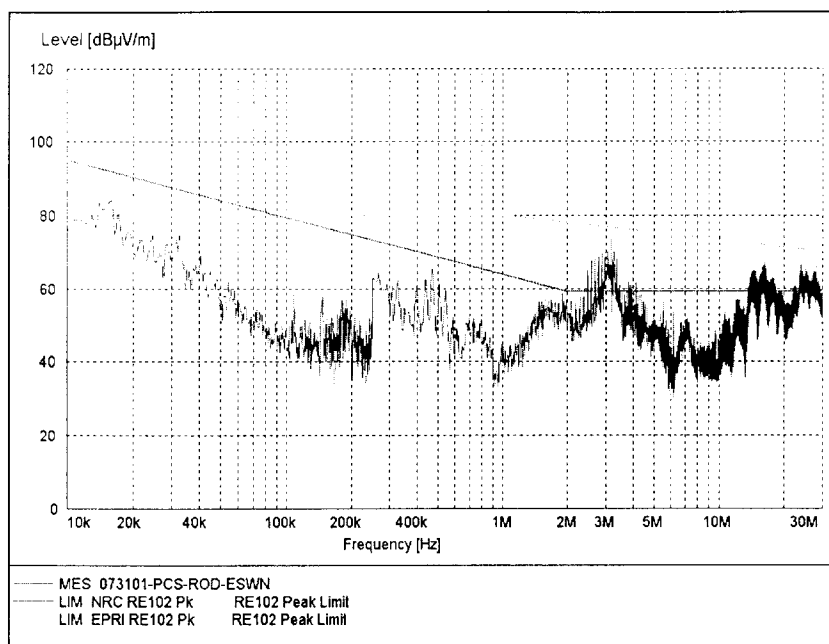


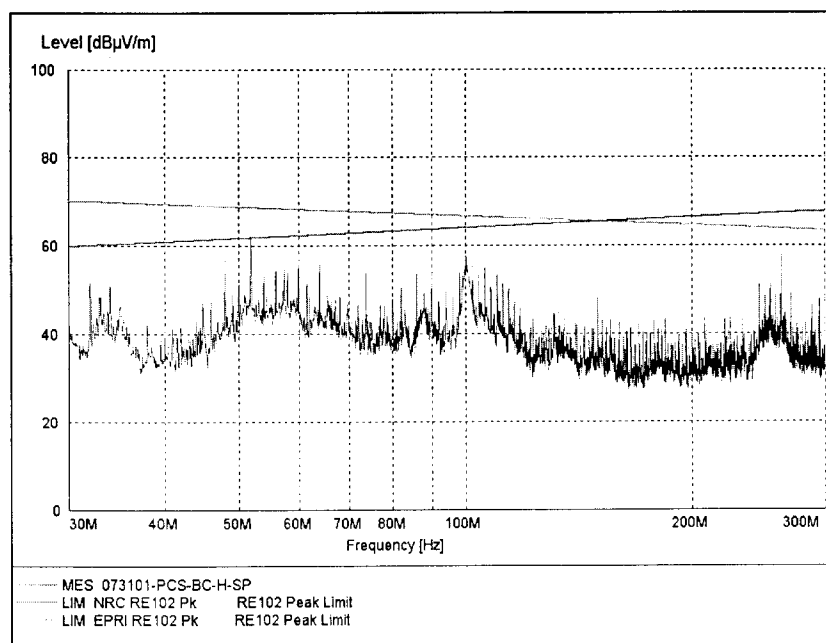
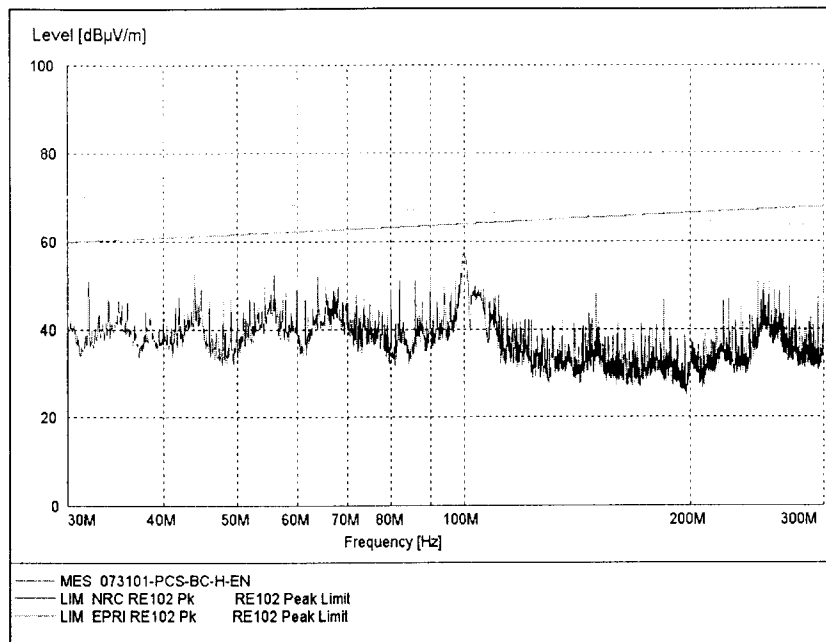


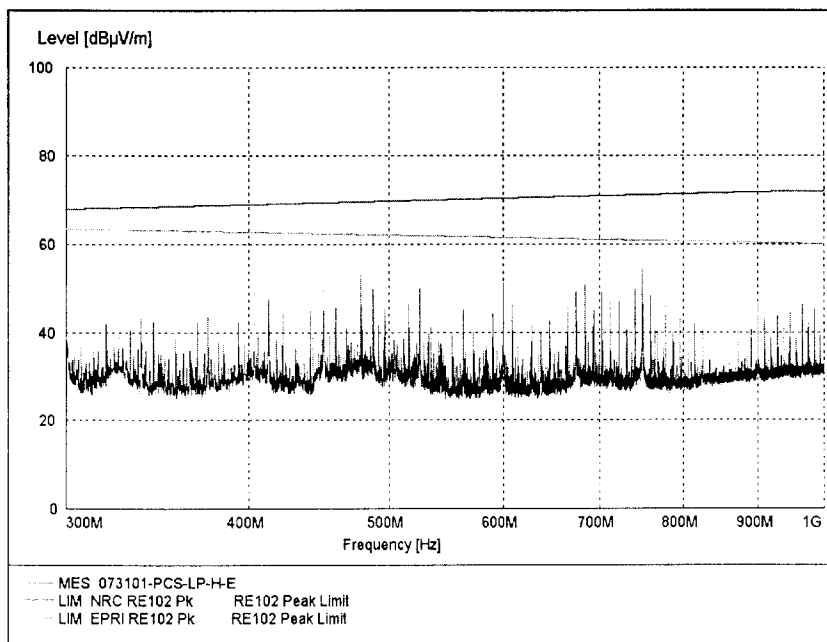
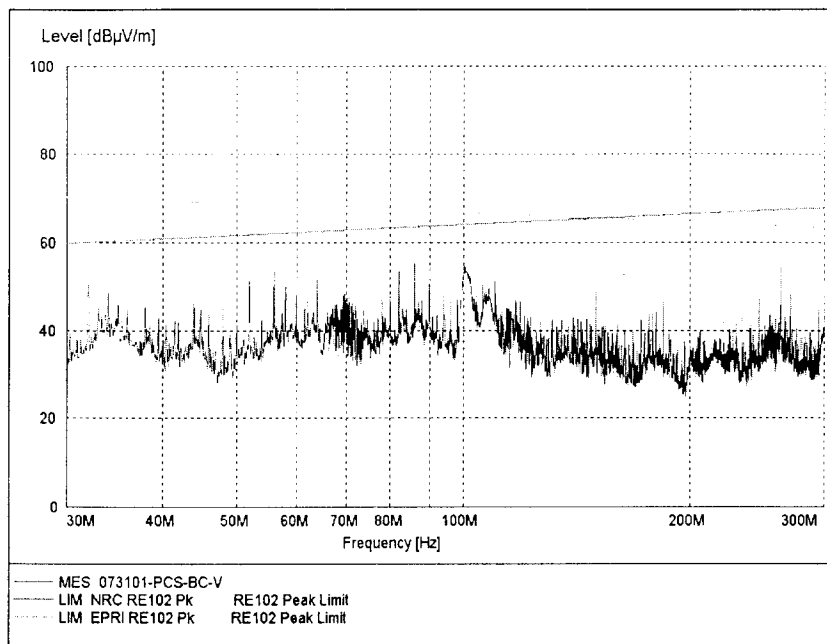


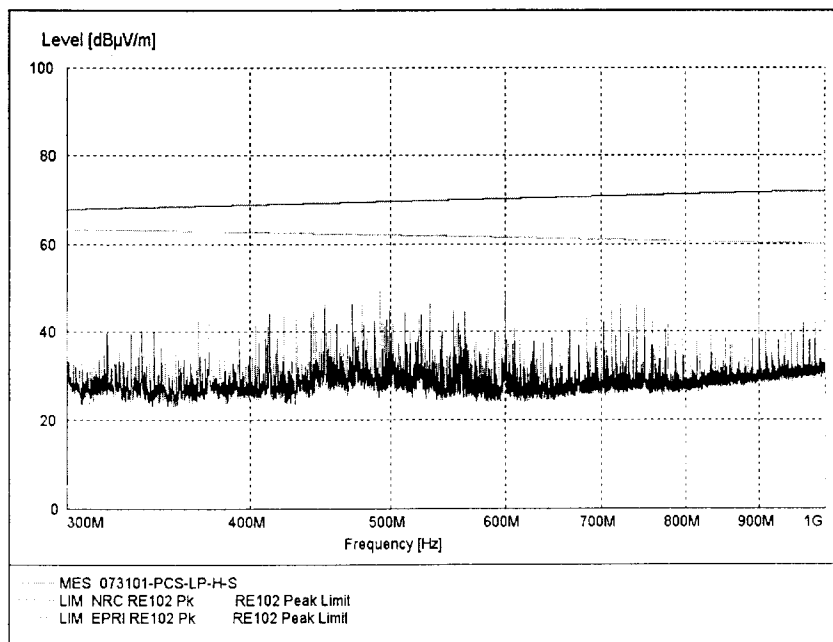
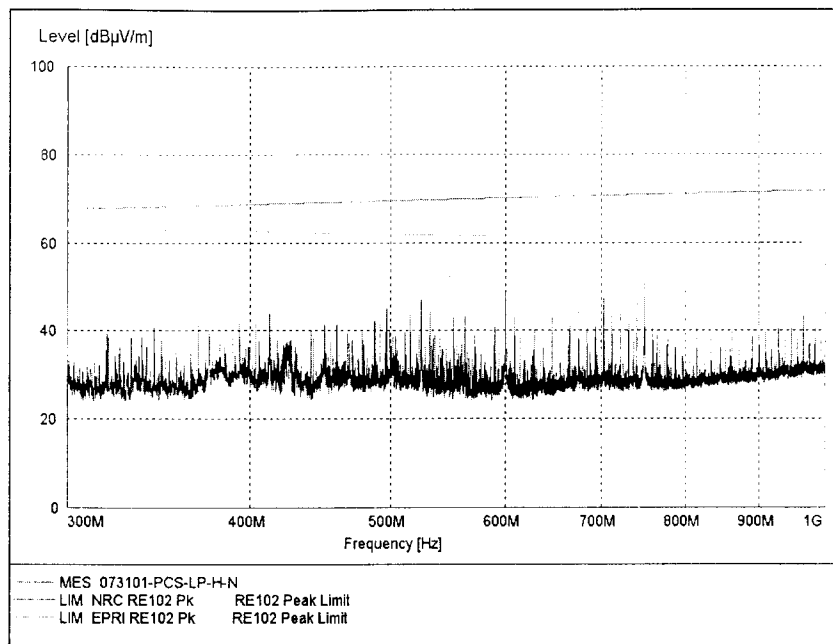
## E. 날짜별 측정결과 (7월 31일, 발전소제어시스템)

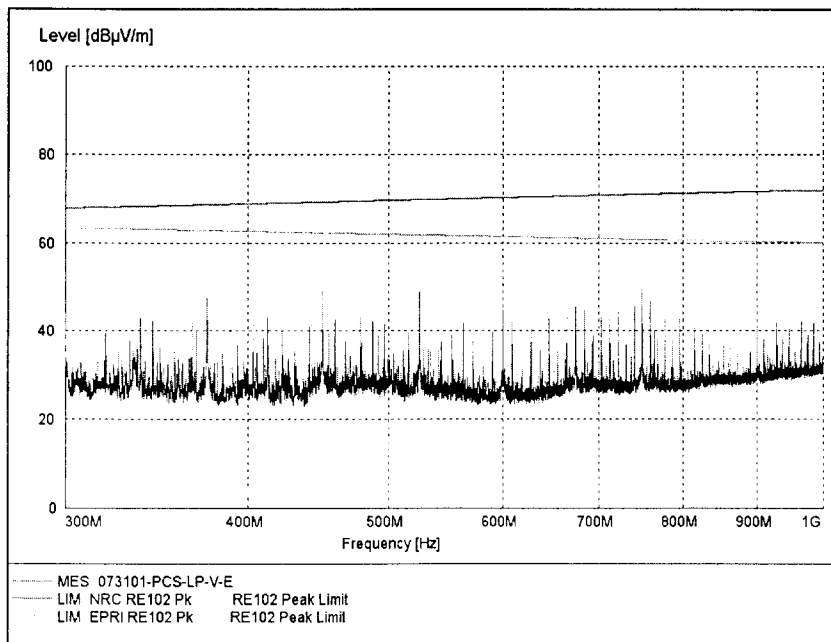
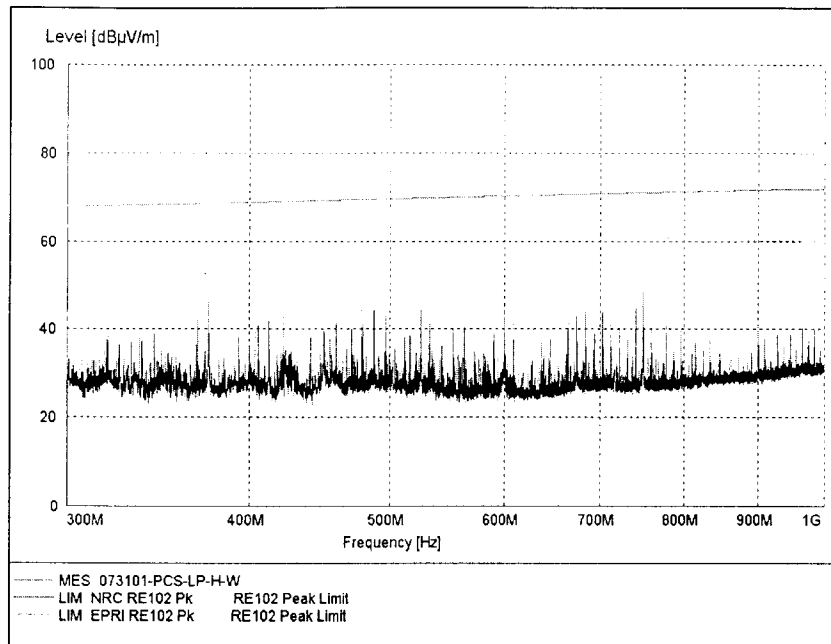


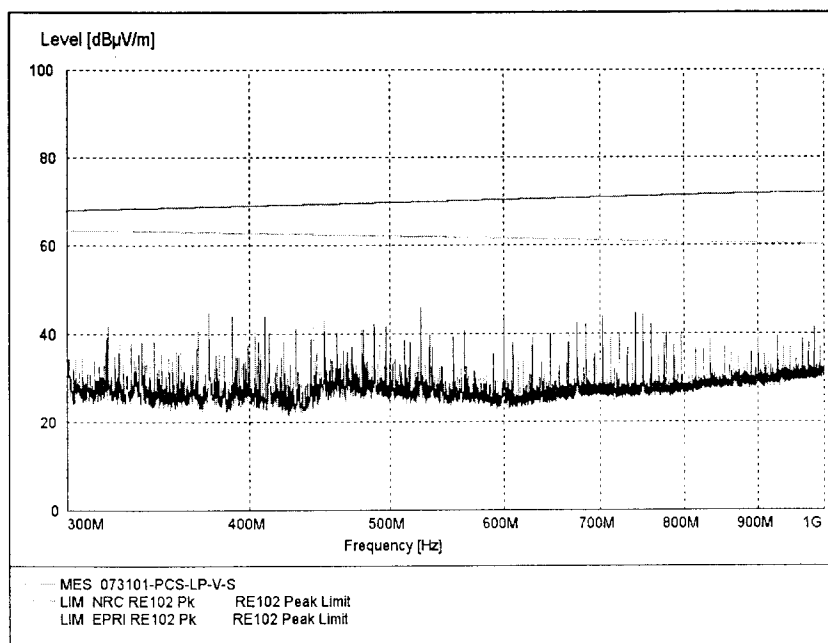
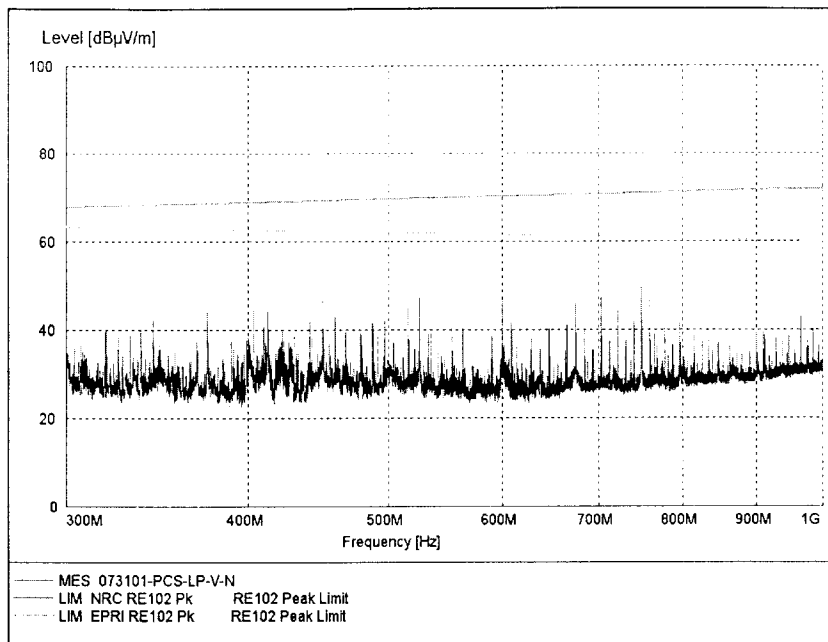


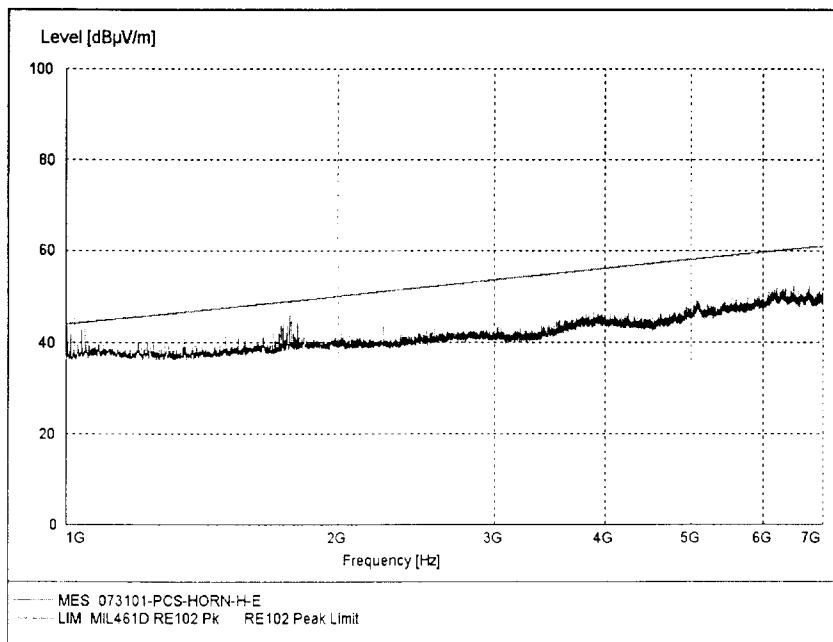
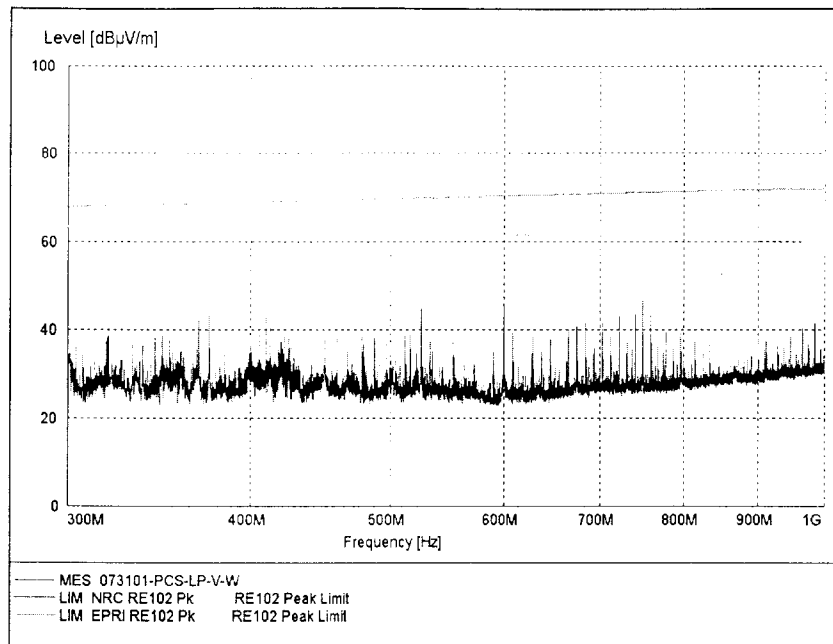


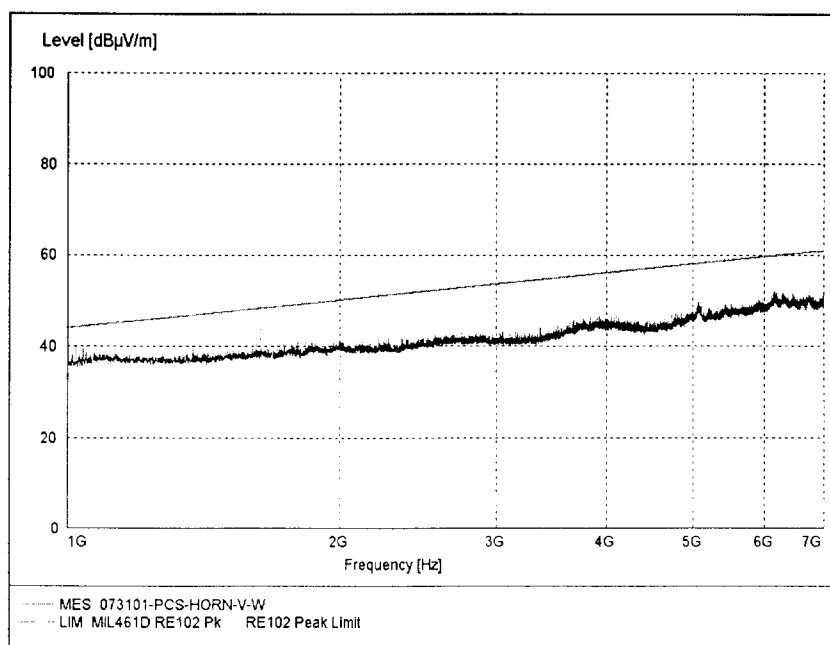
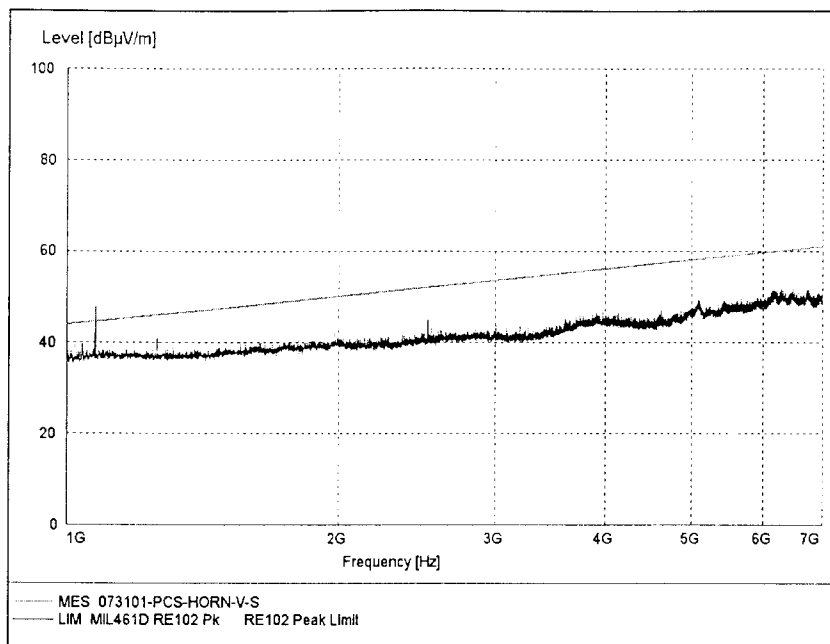




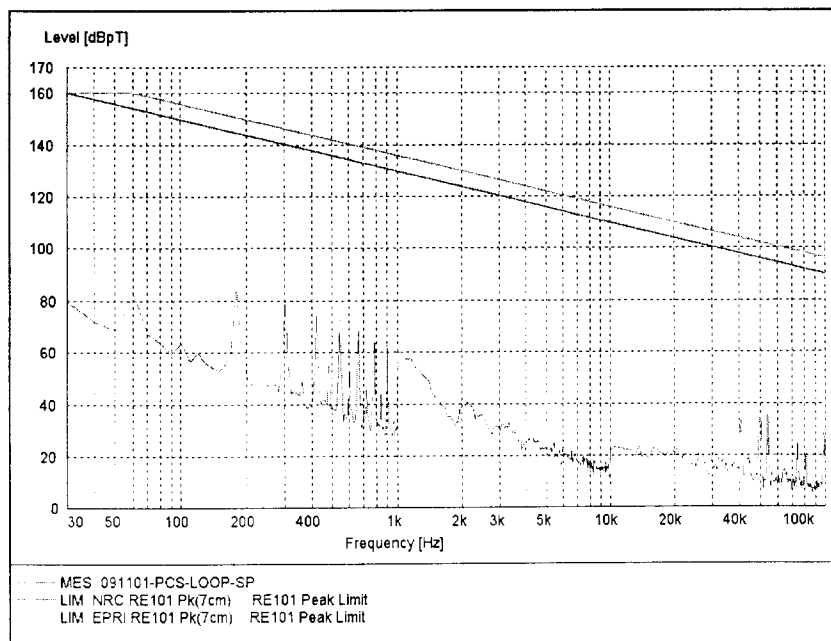
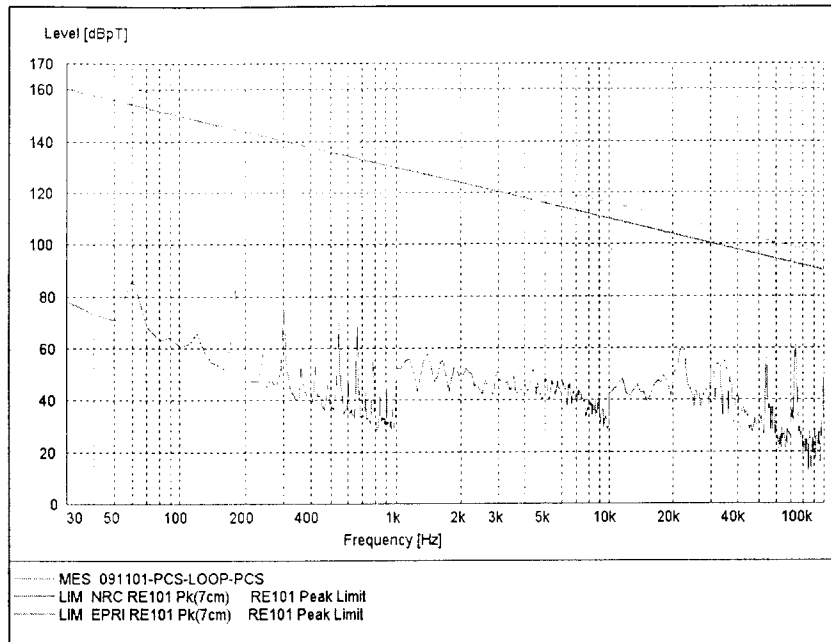


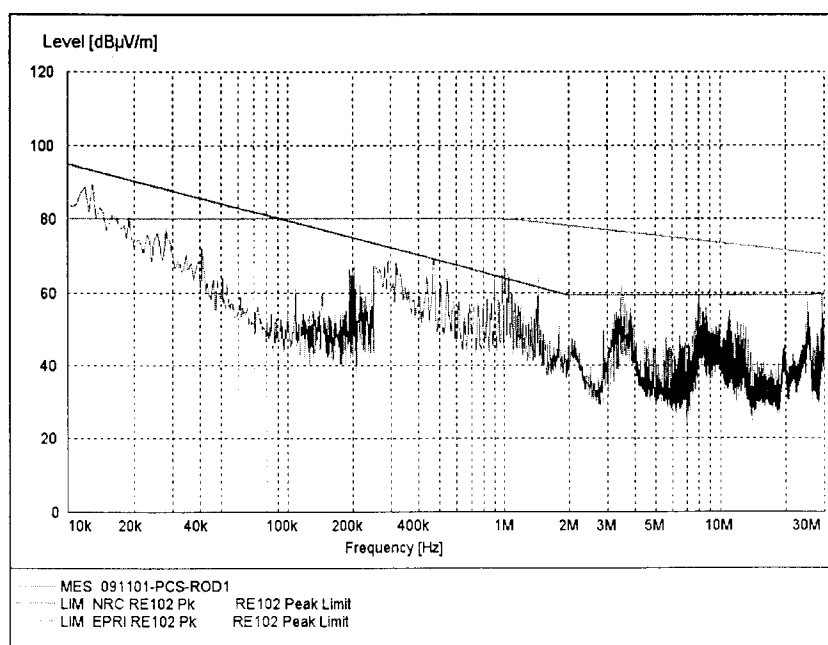
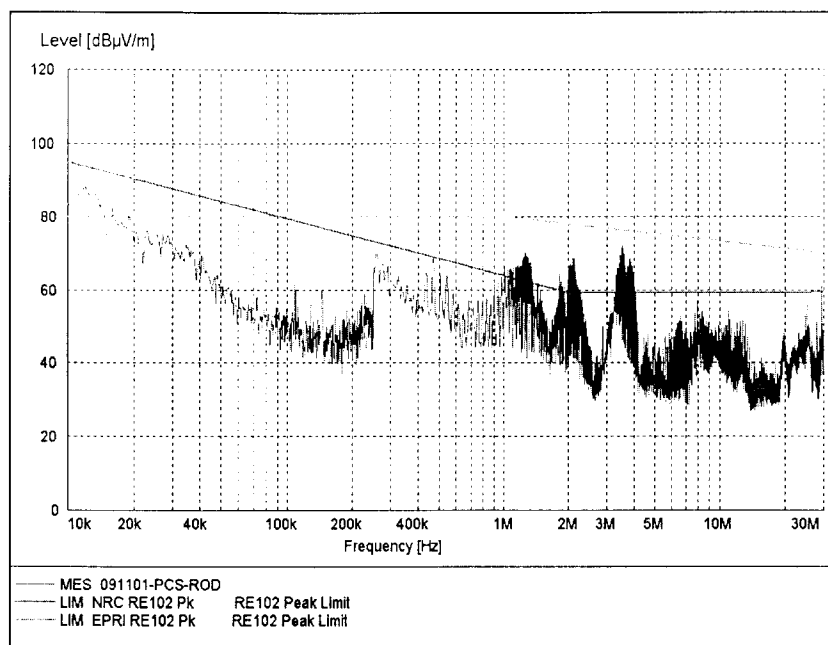


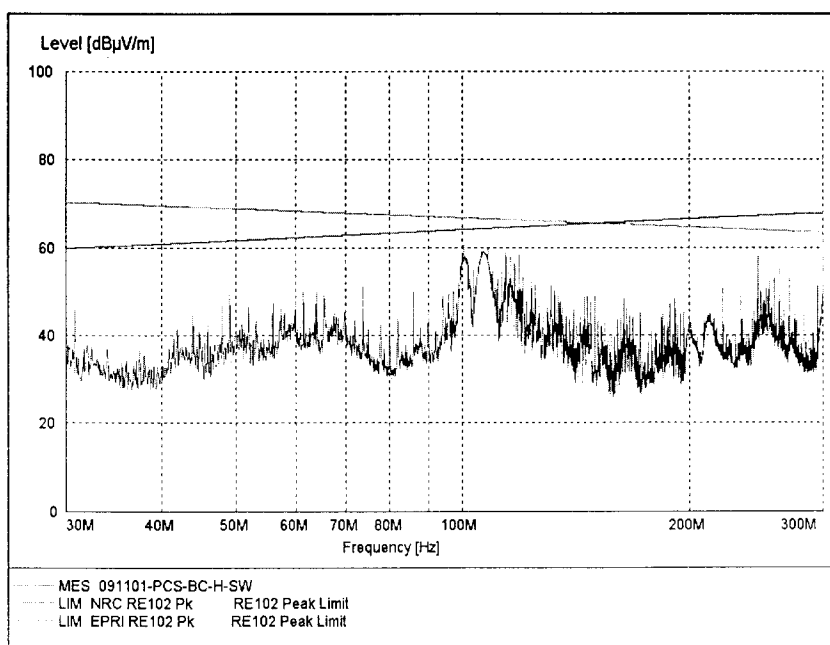
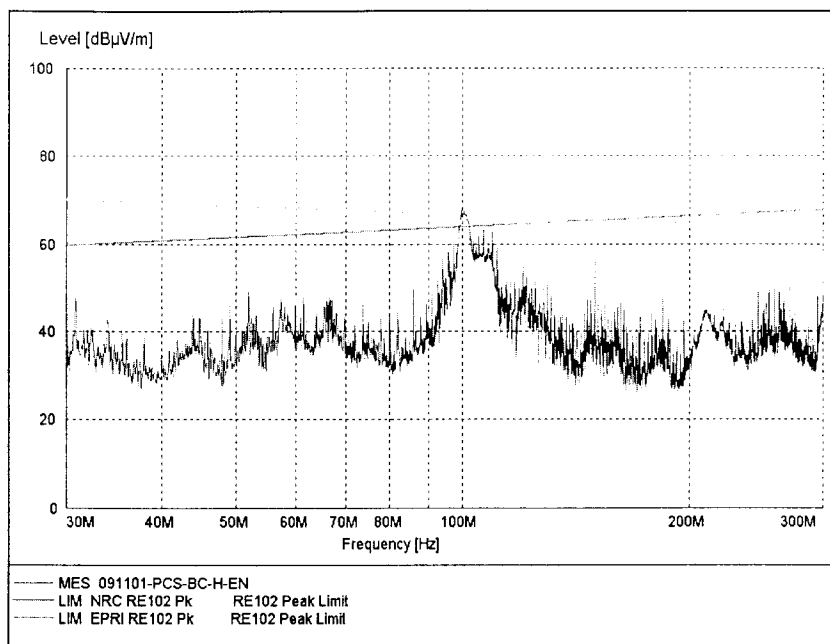


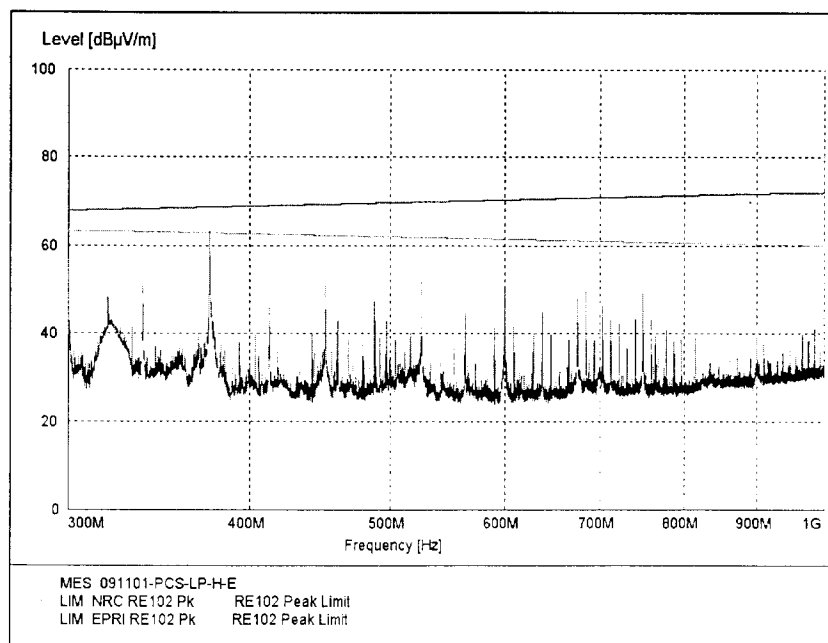
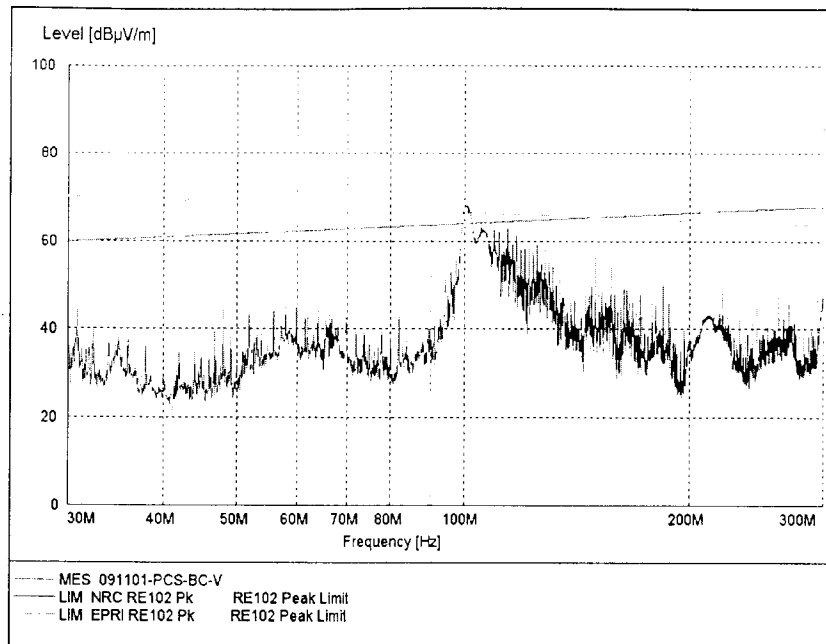


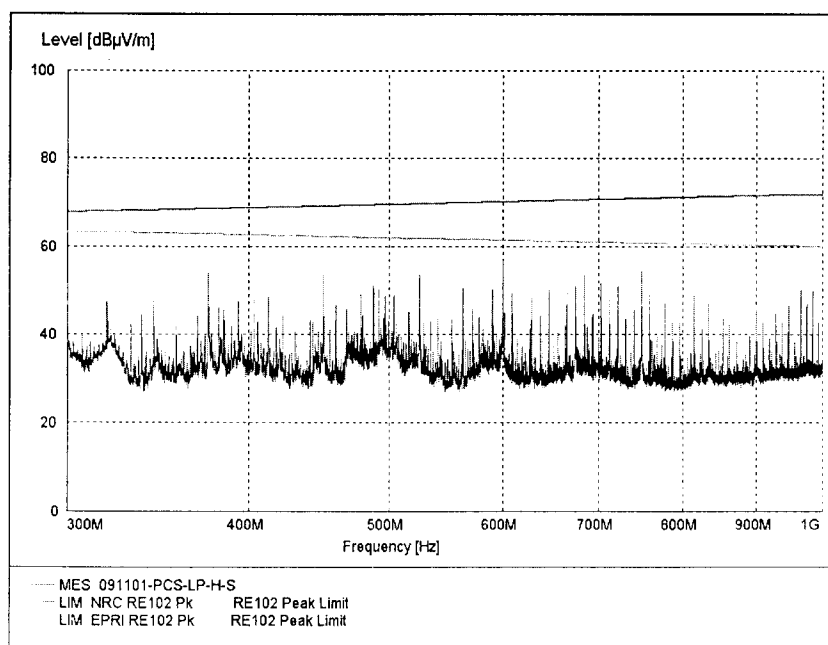
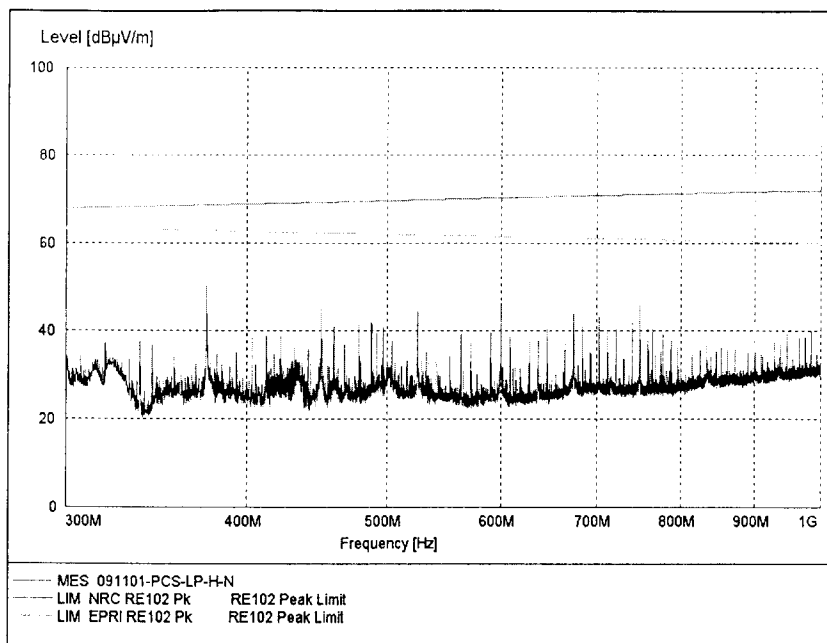
## F. 날짜별 측정결과 (9월 11일, 발전소제어시스템)

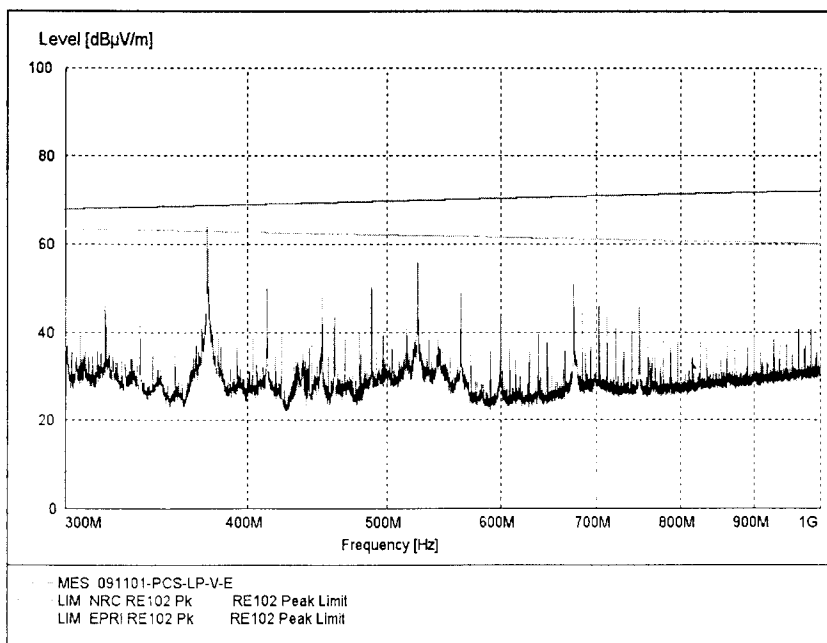
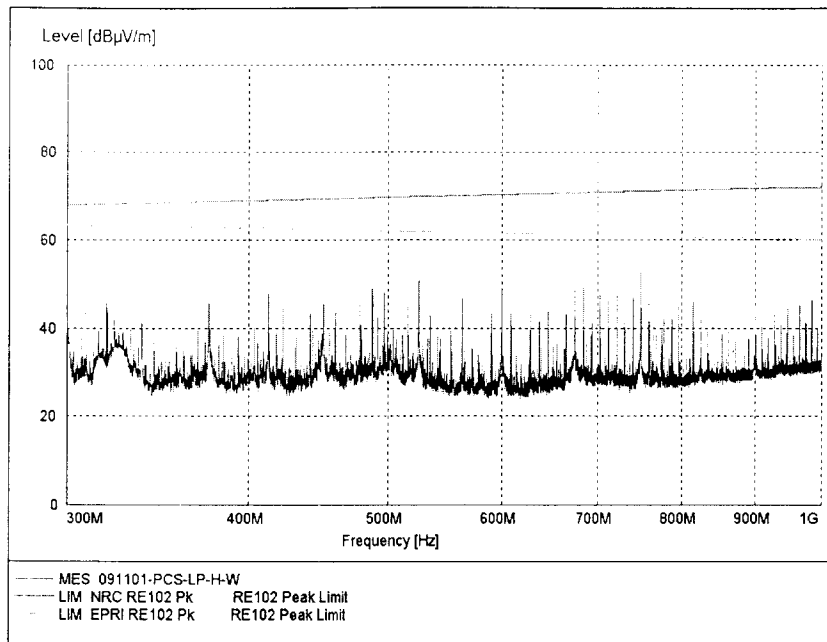


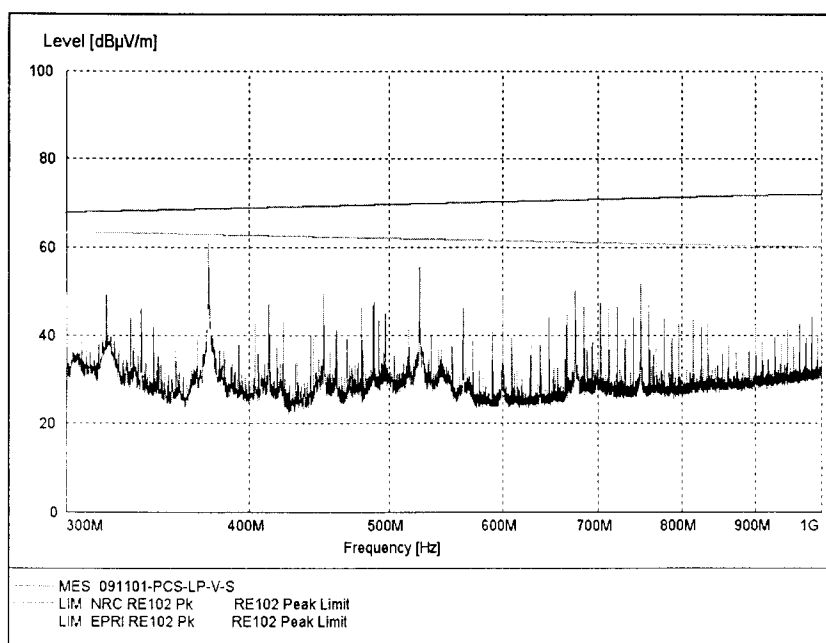
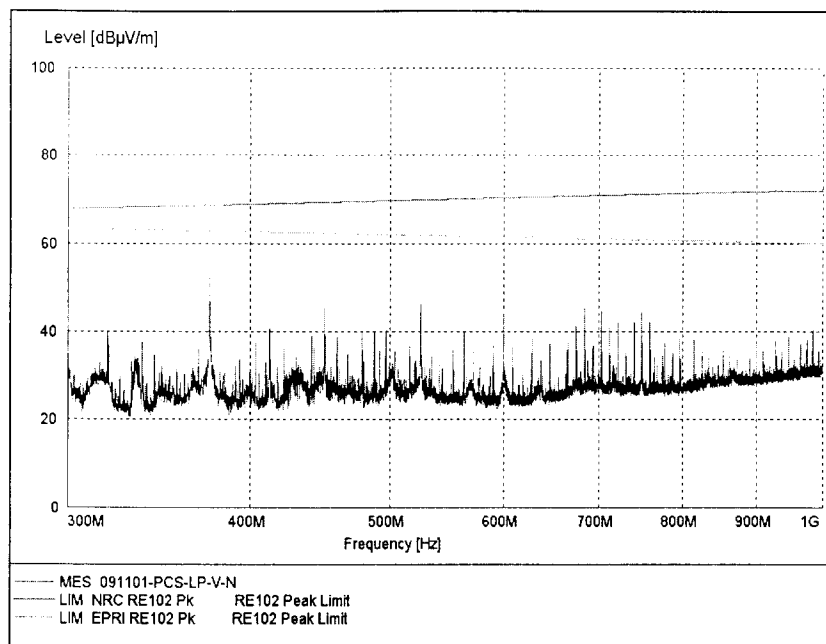


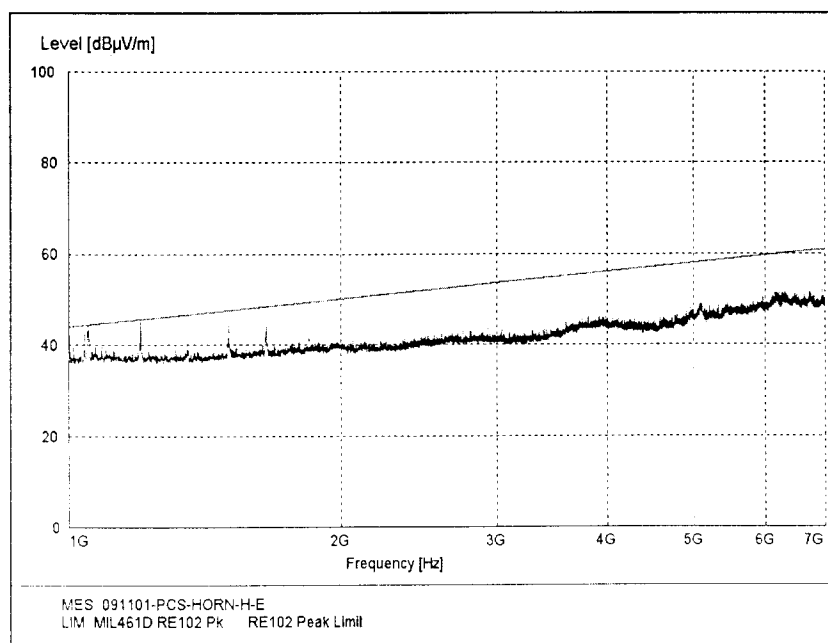
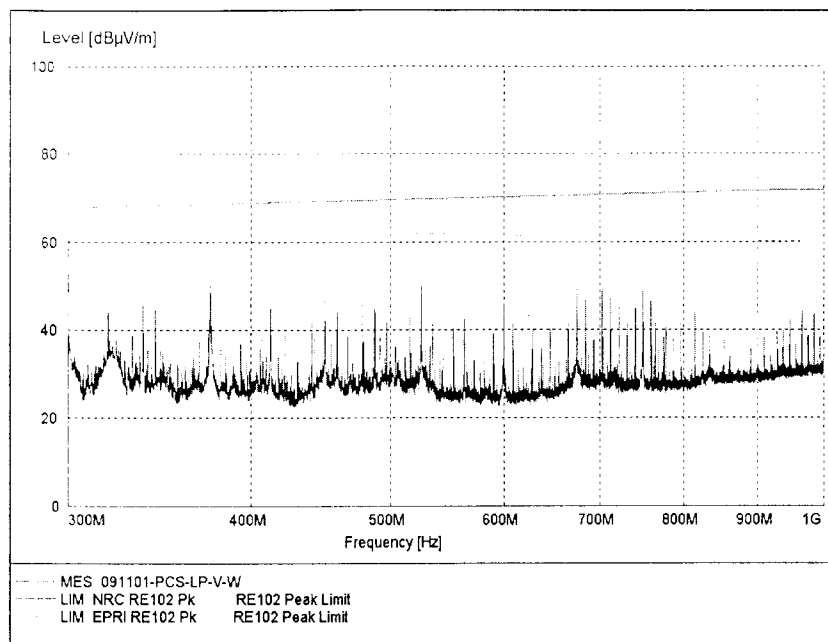


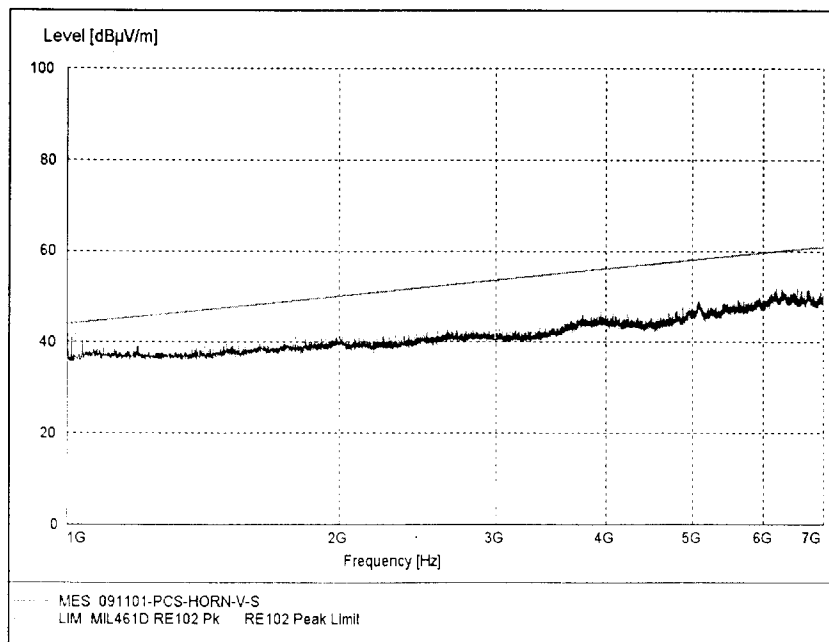
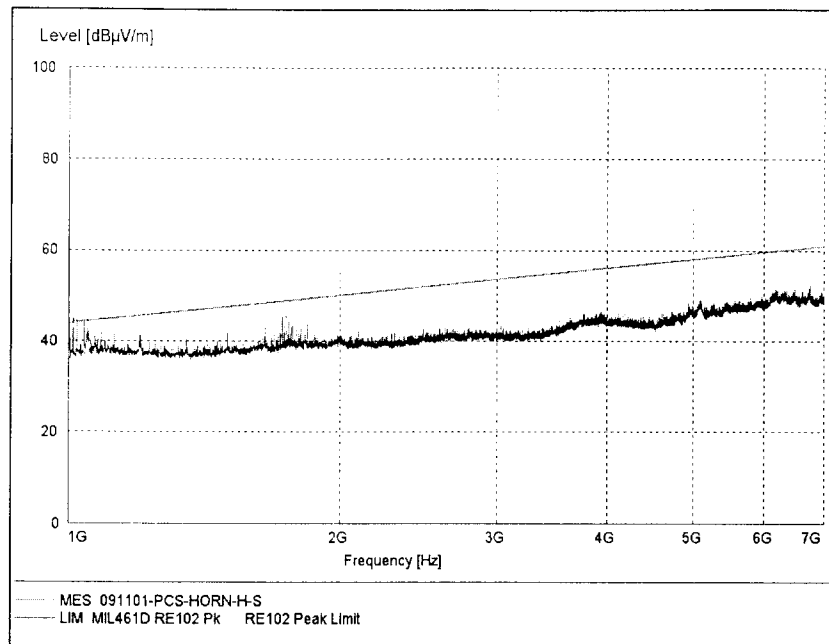




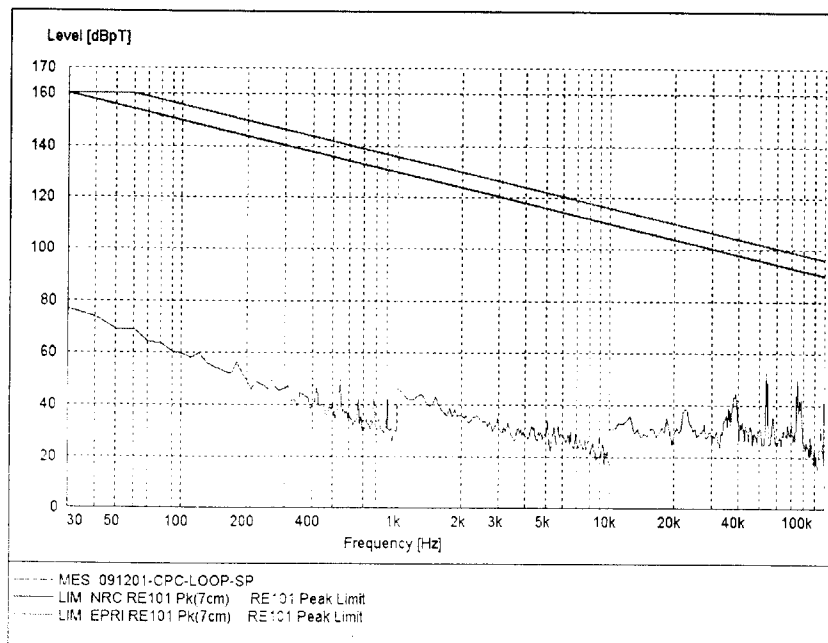
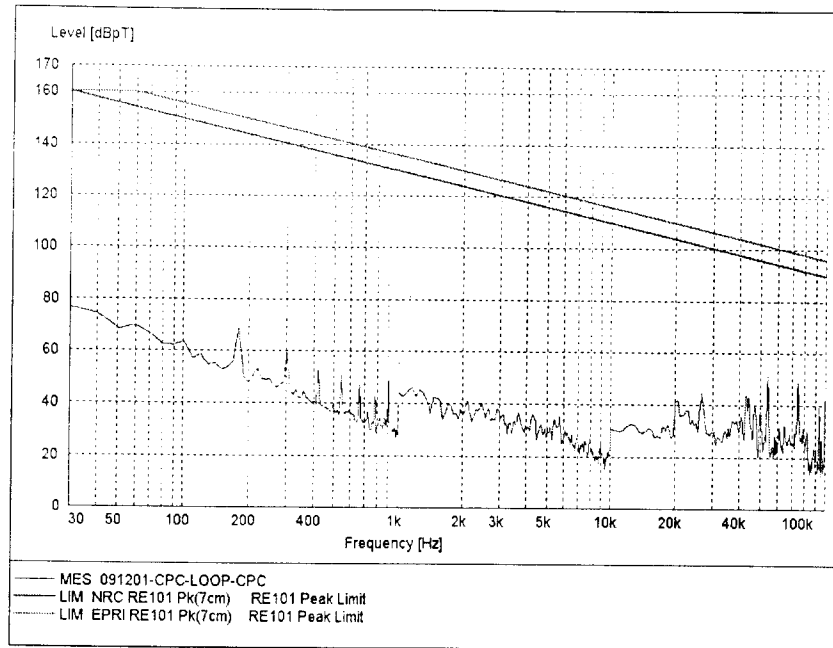


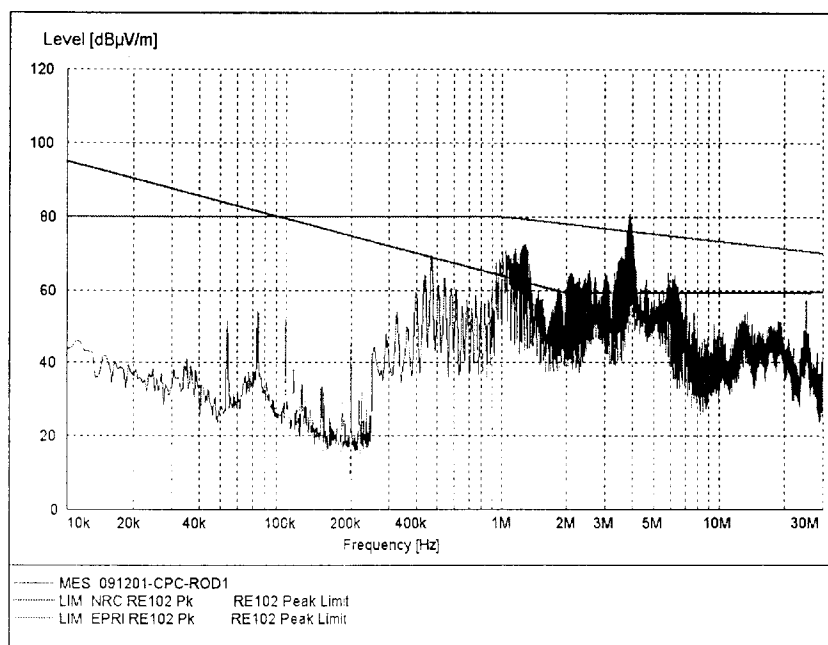
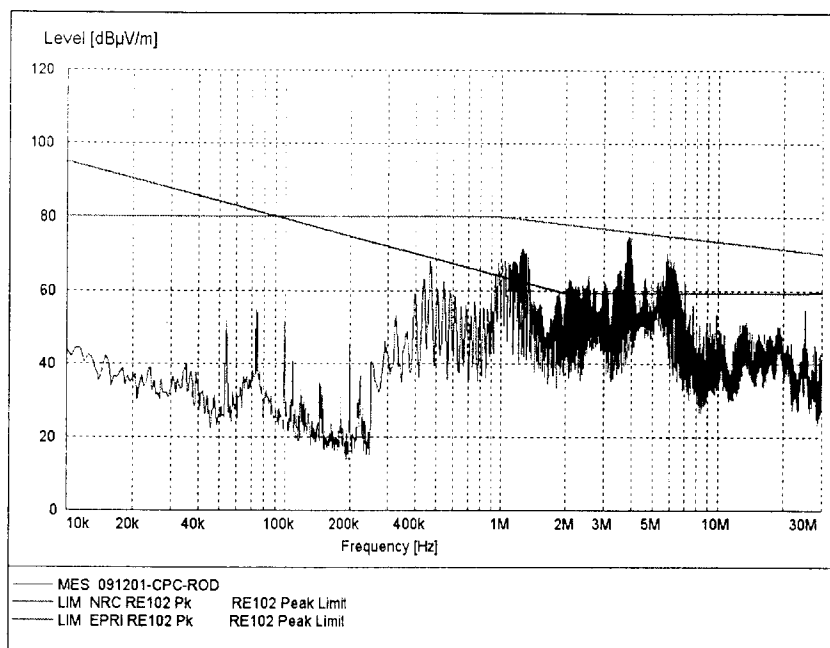


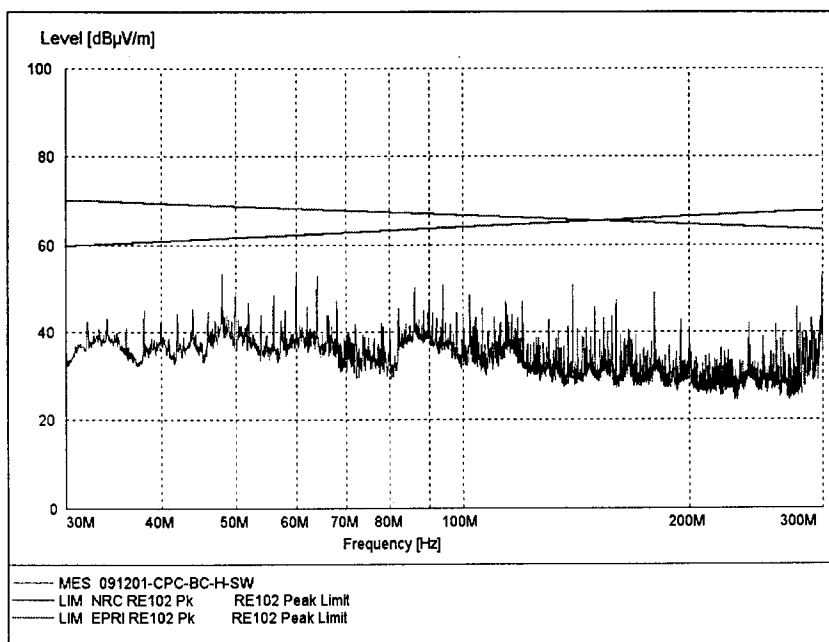
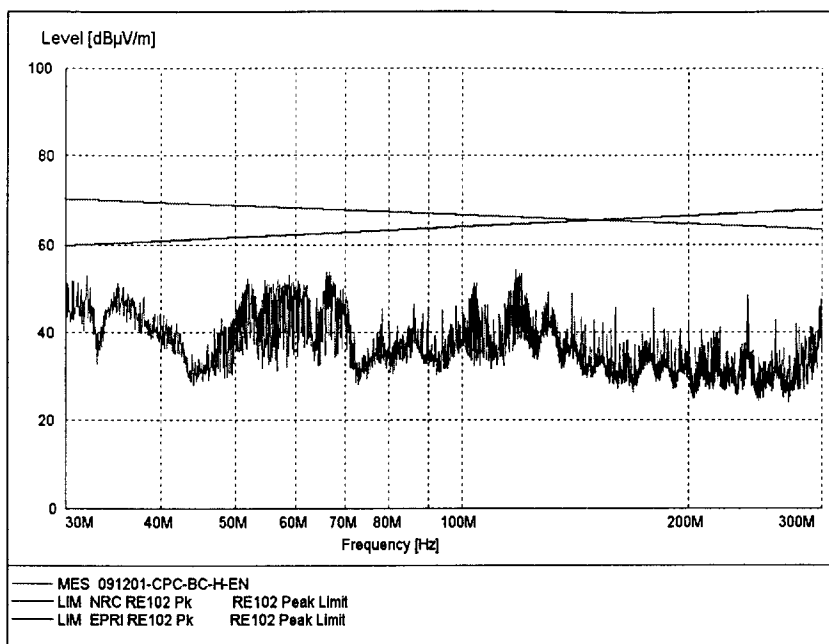


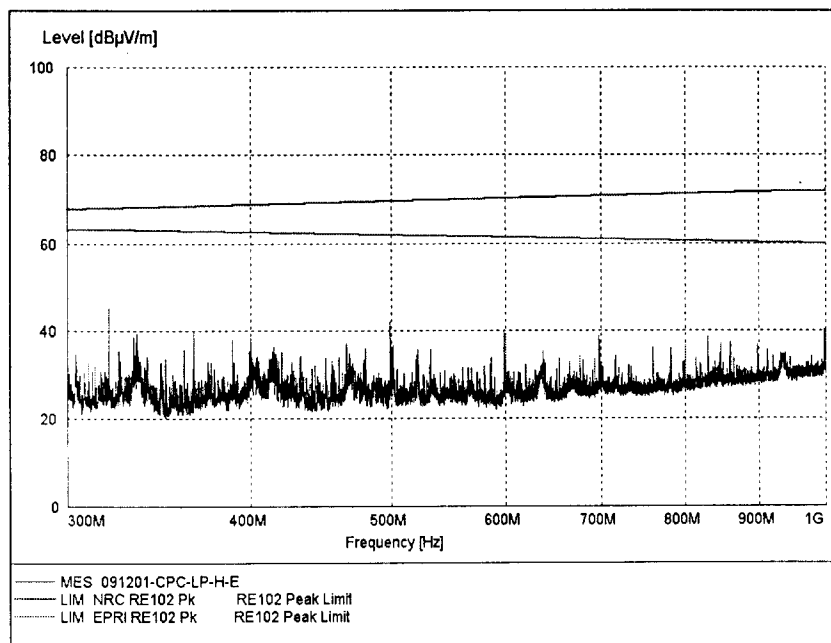
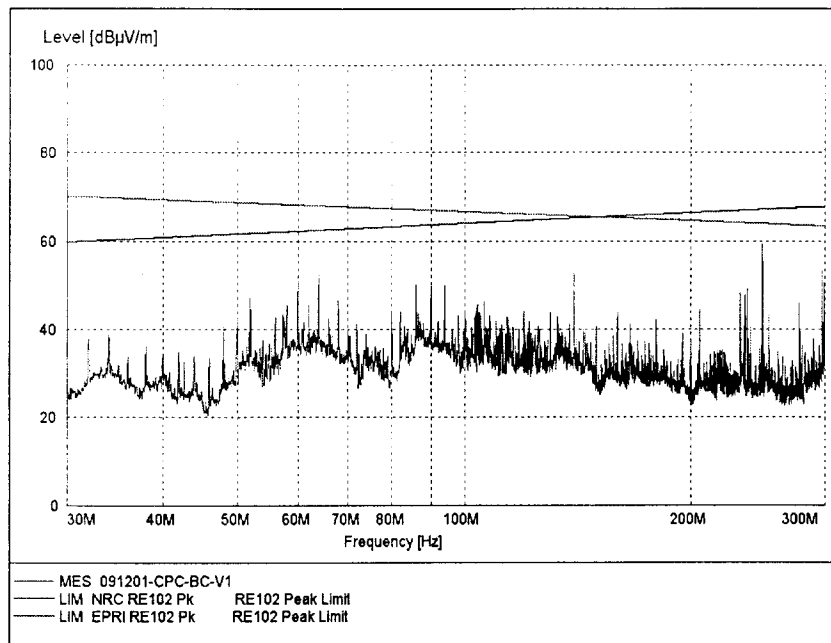


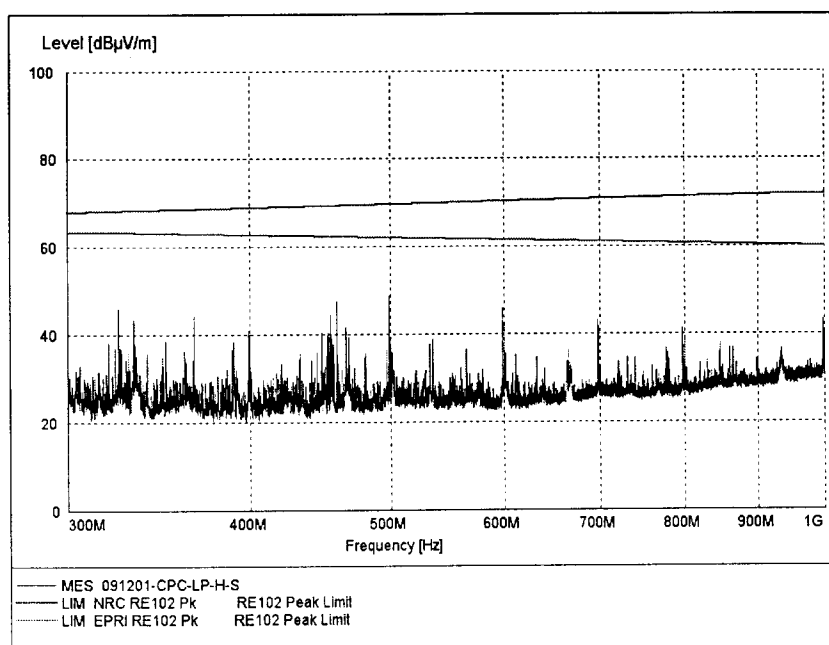
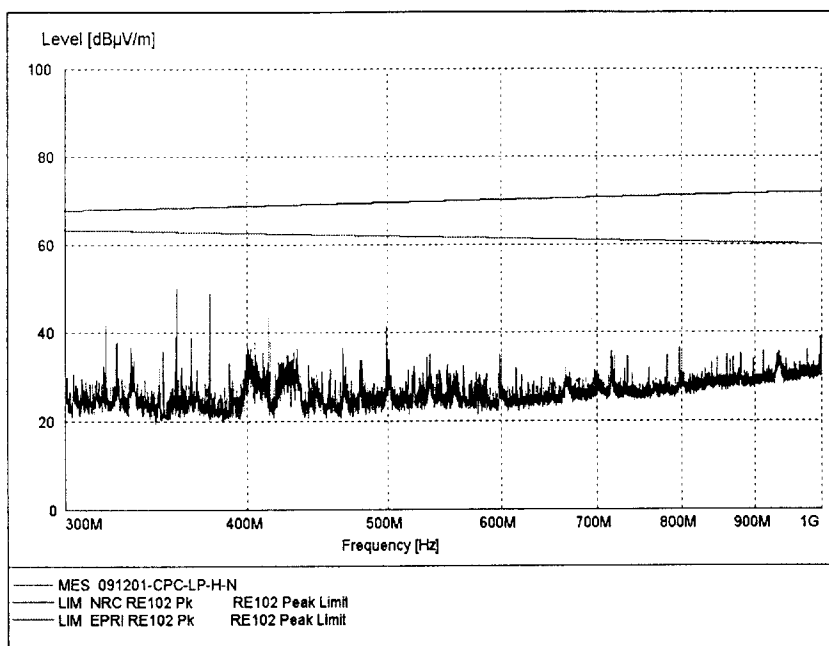
## G. 날짜별 측정결과 (9월 12일, 노심보호연산기)

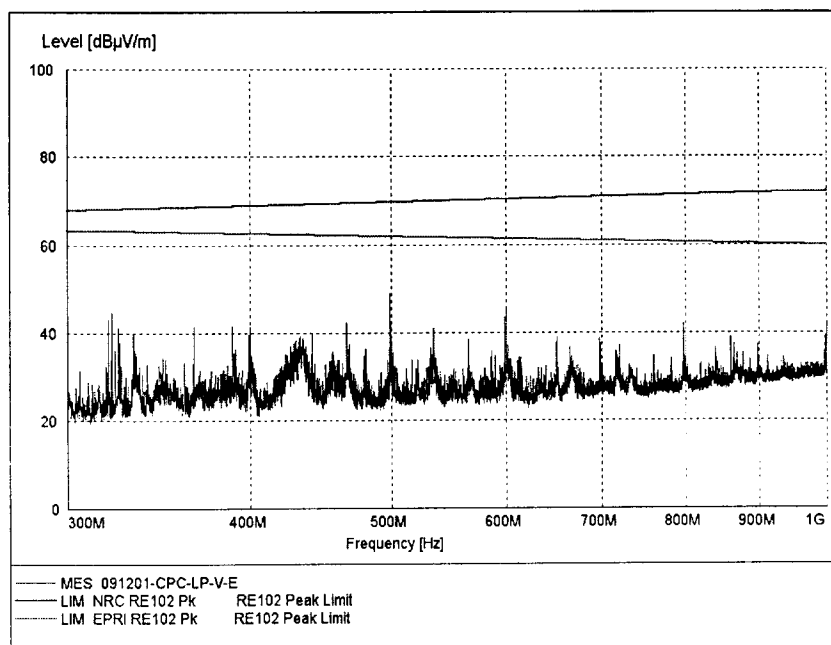
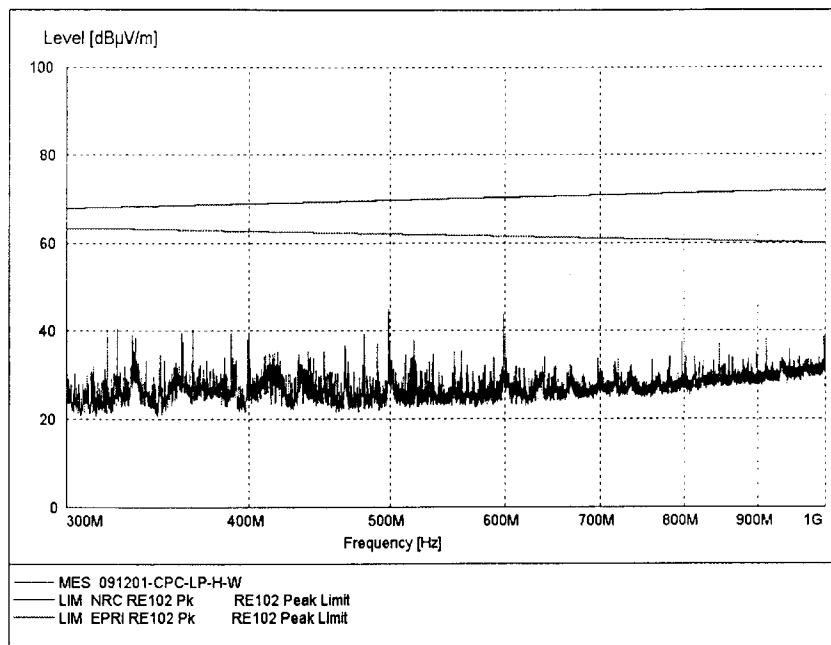


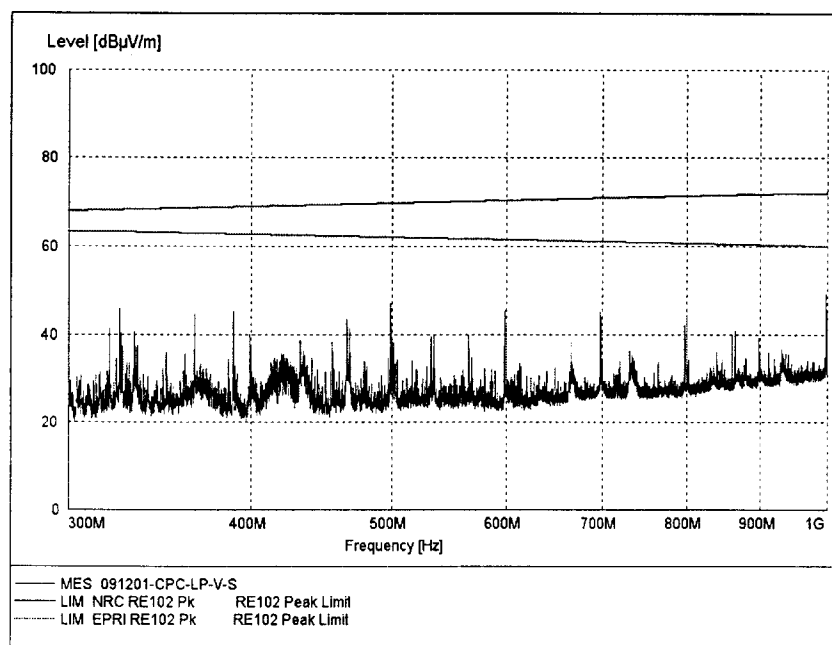
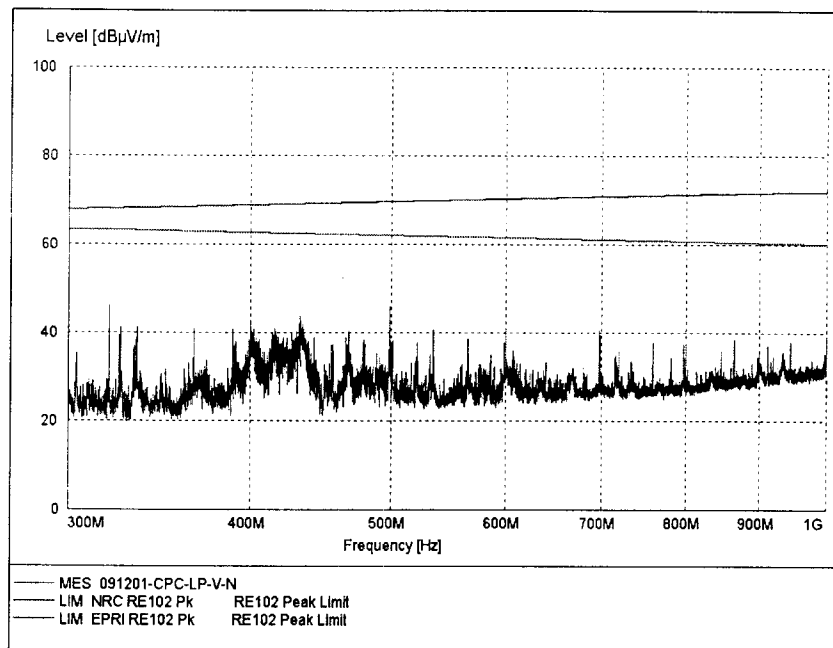


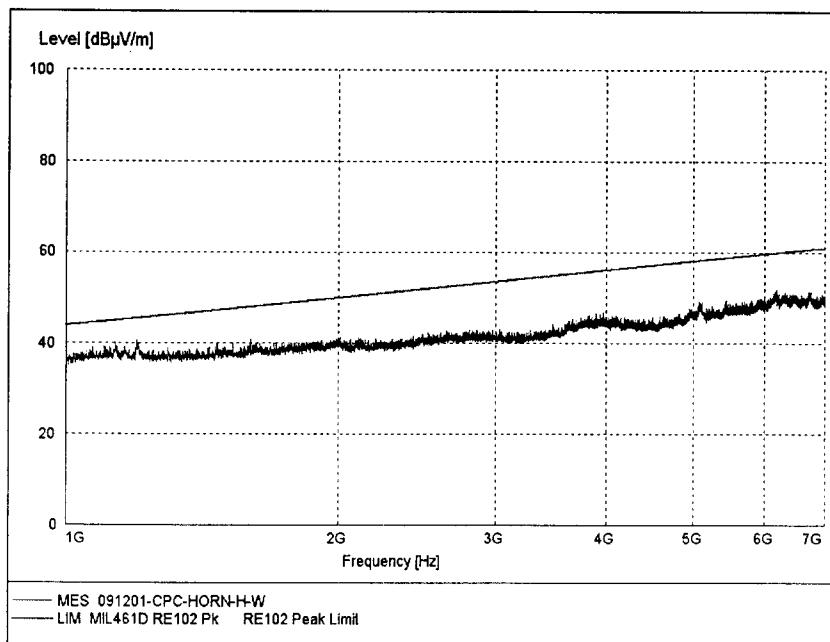
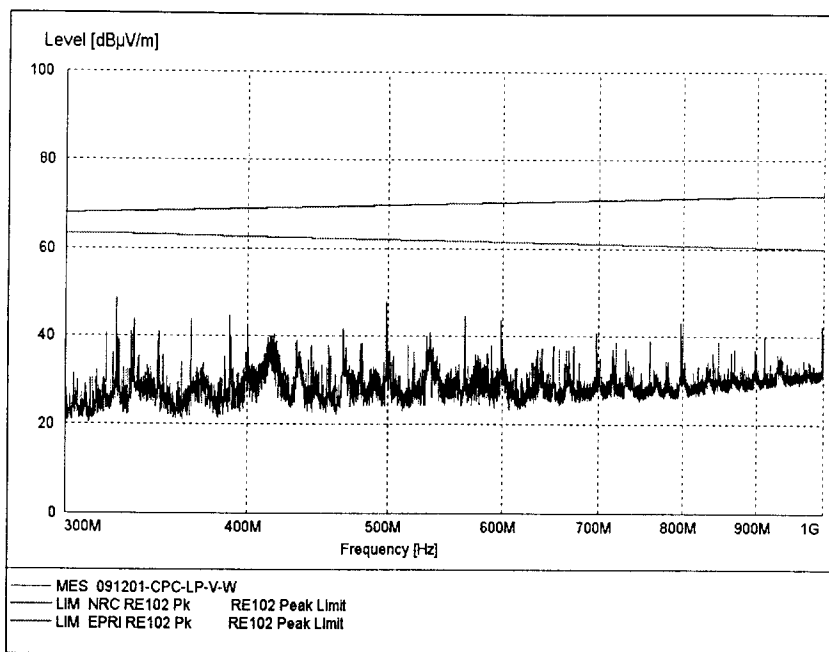


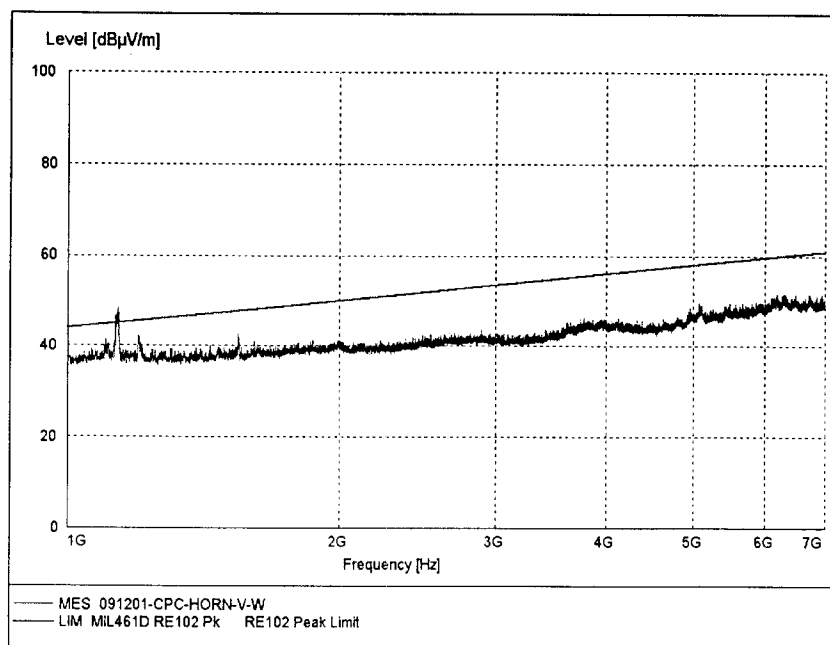
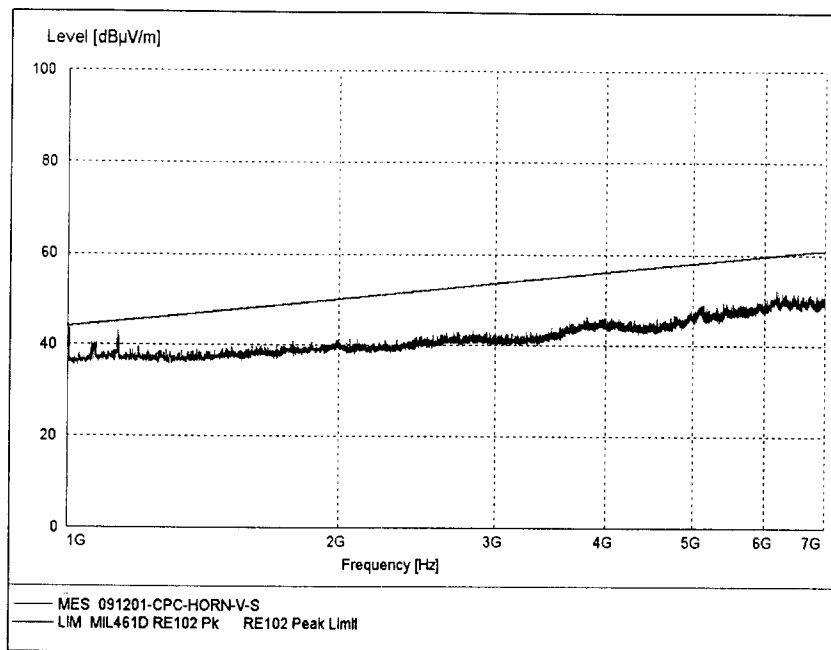




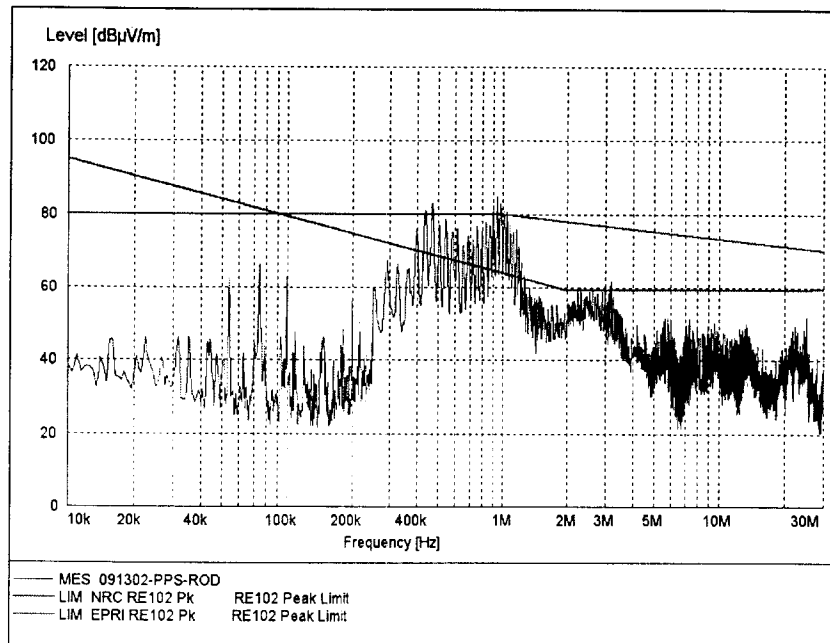
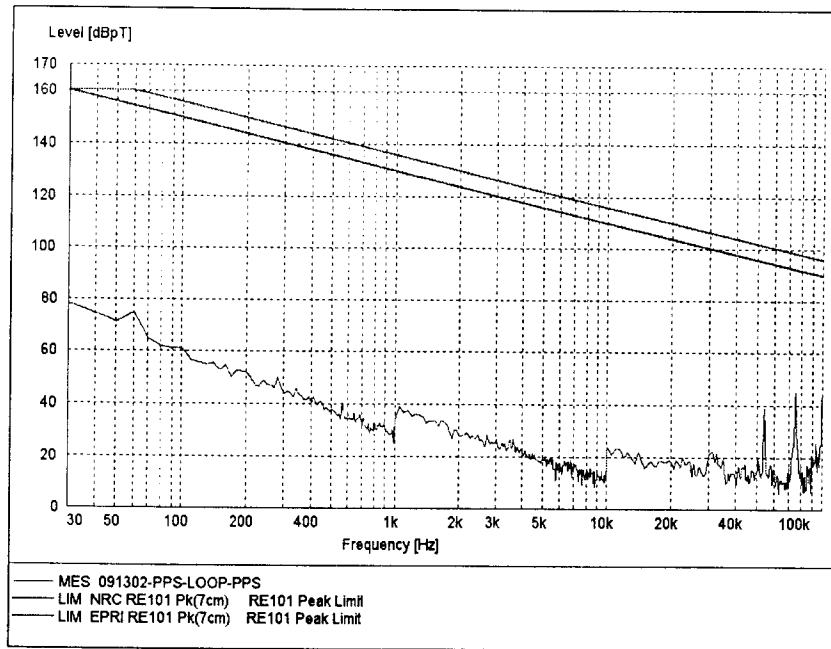


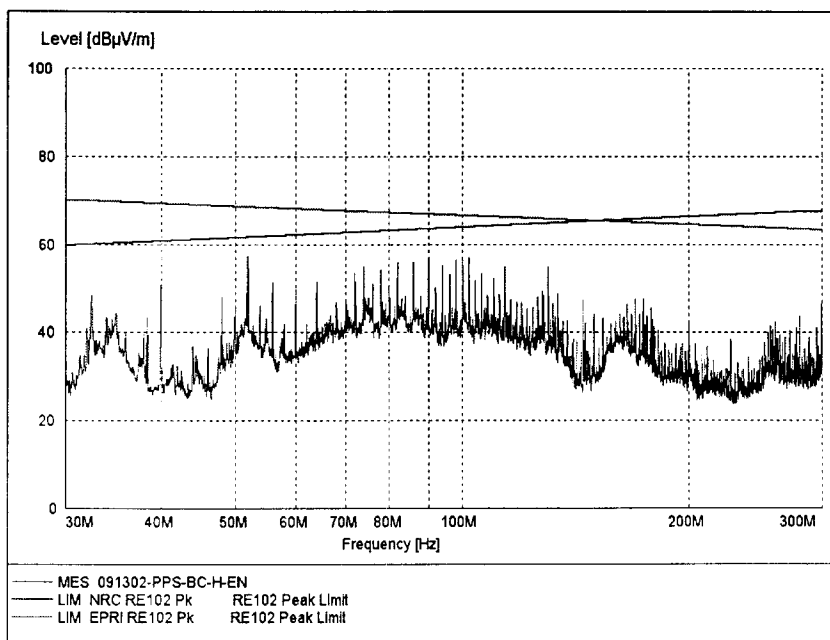
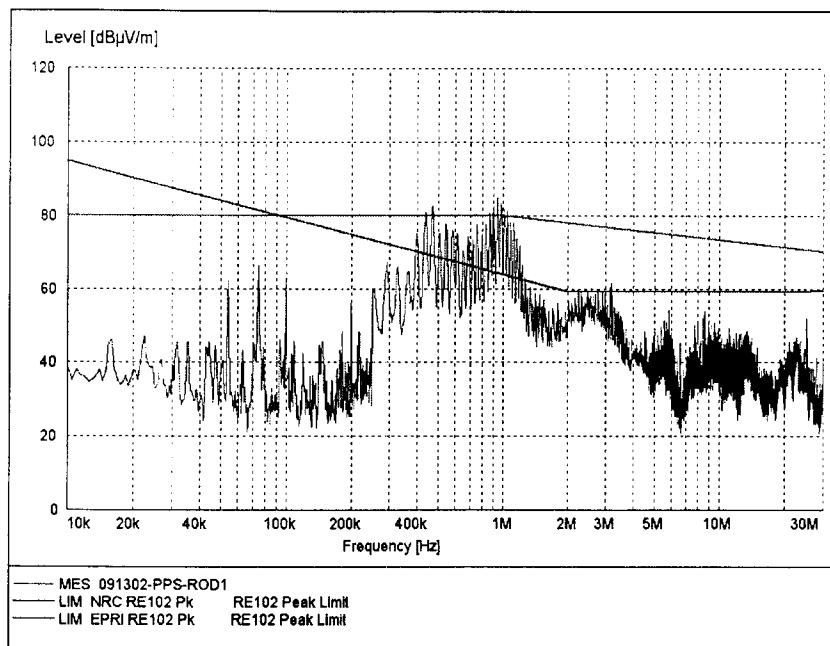


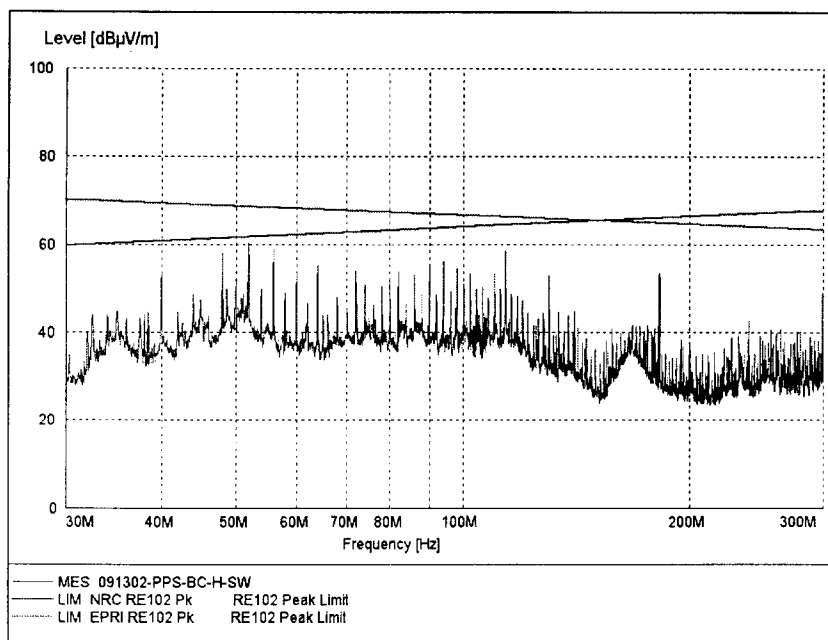
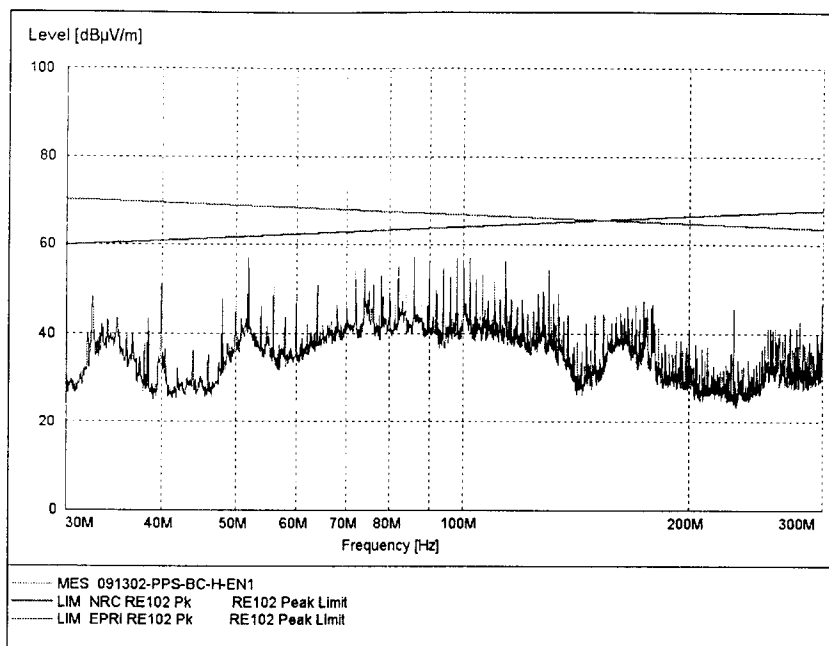


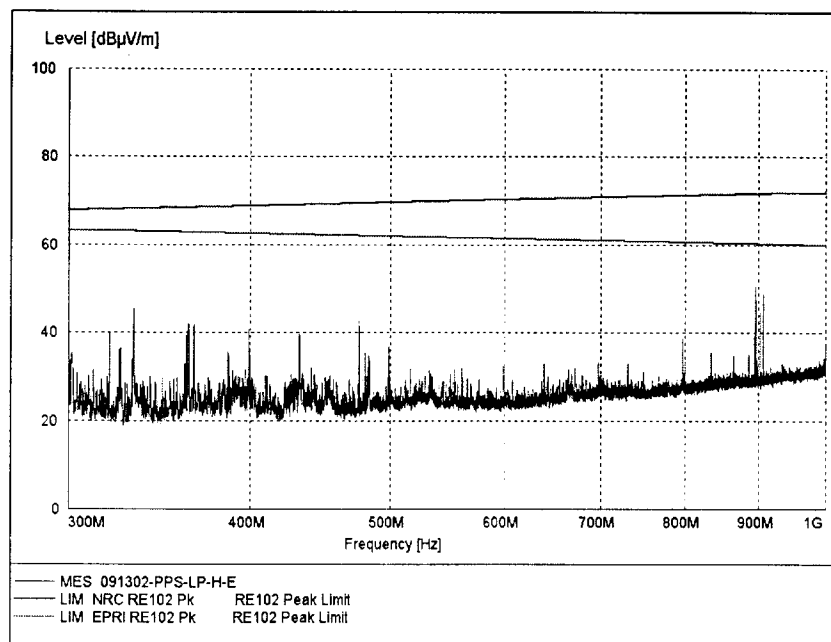
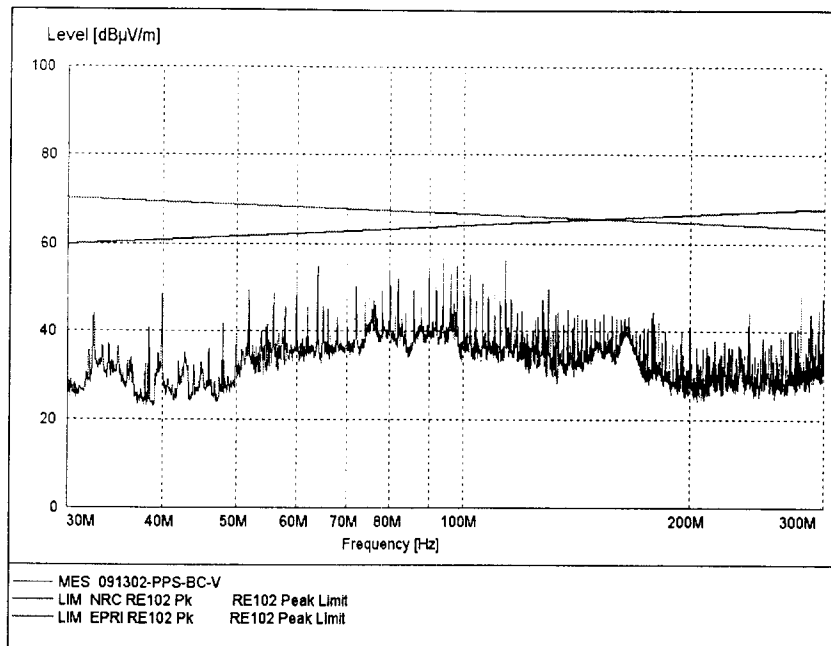


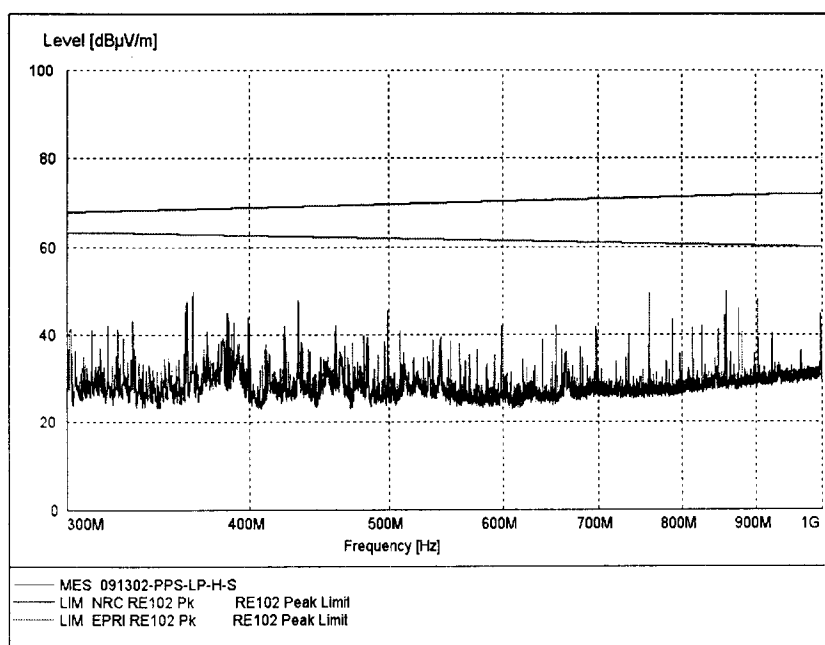
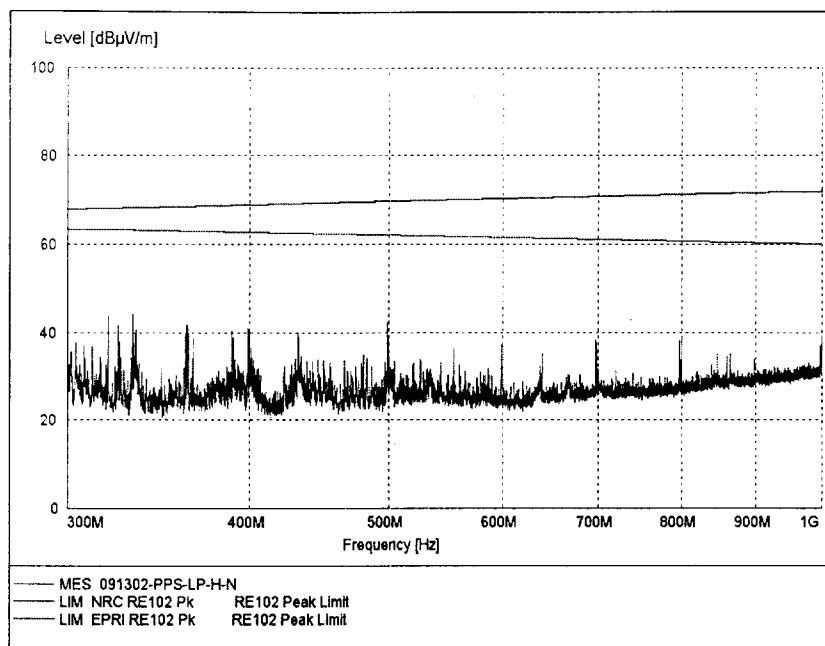
## H. 날짜별 측정결과 (9월 13일, 발전소보호시스템)

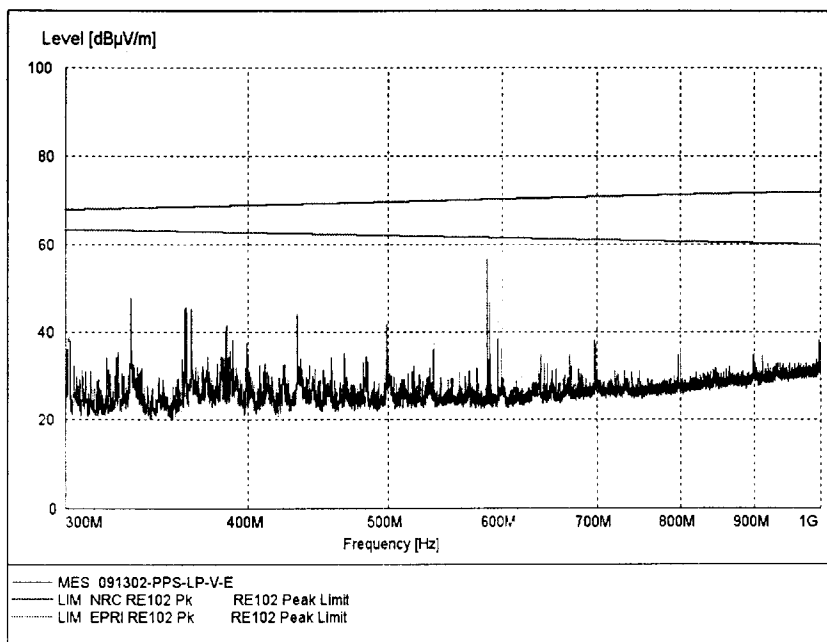
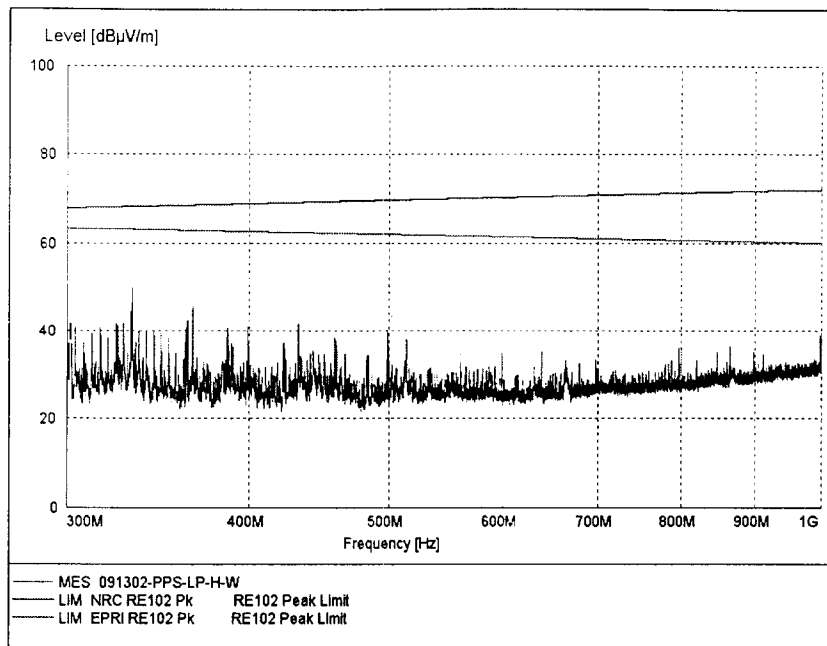


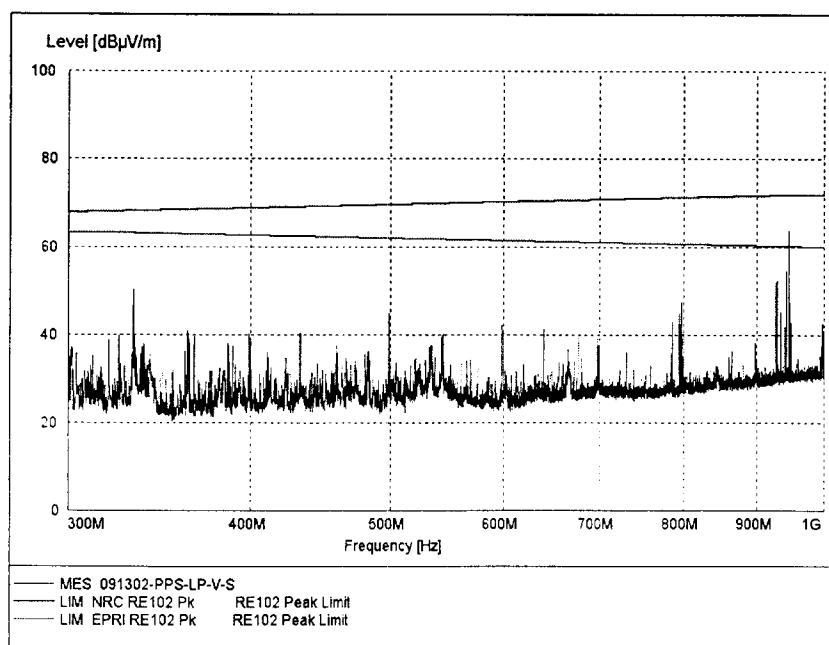
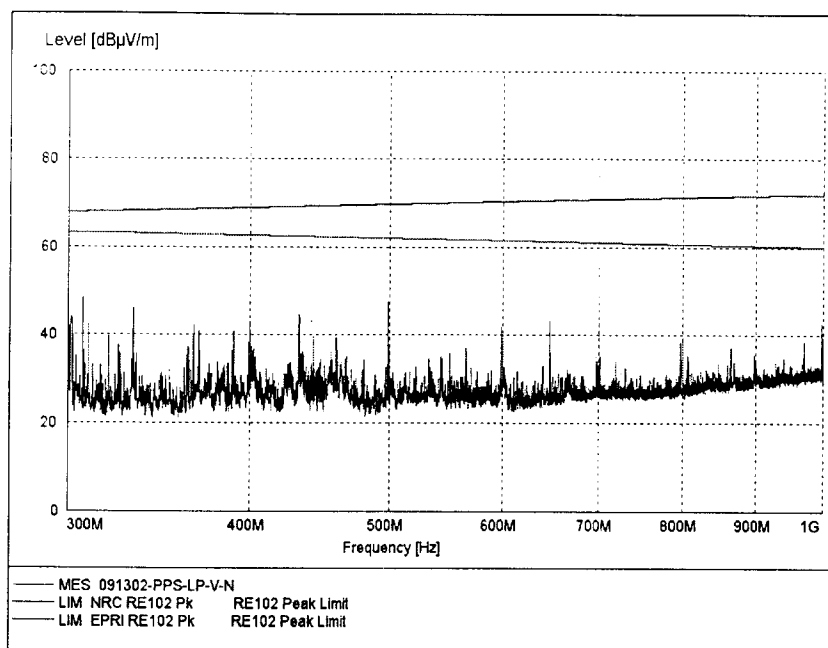


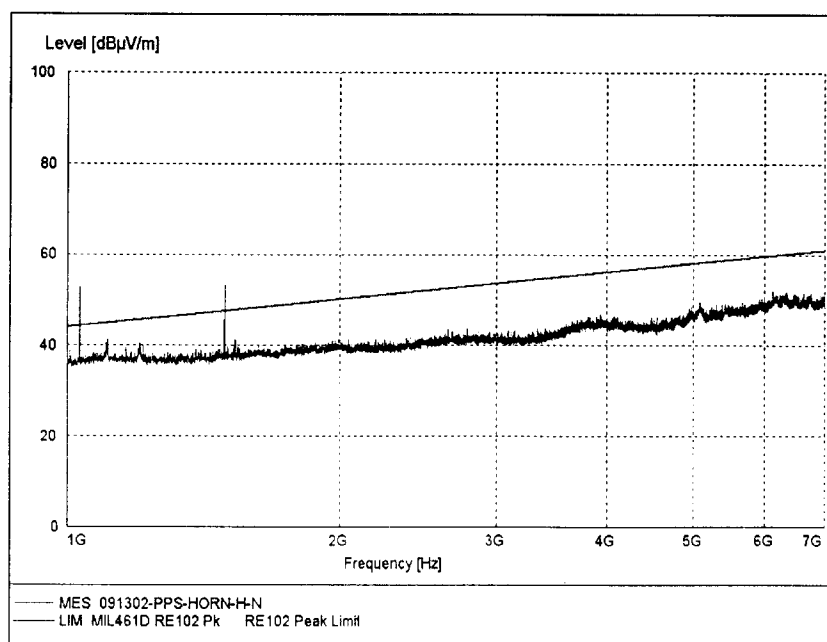
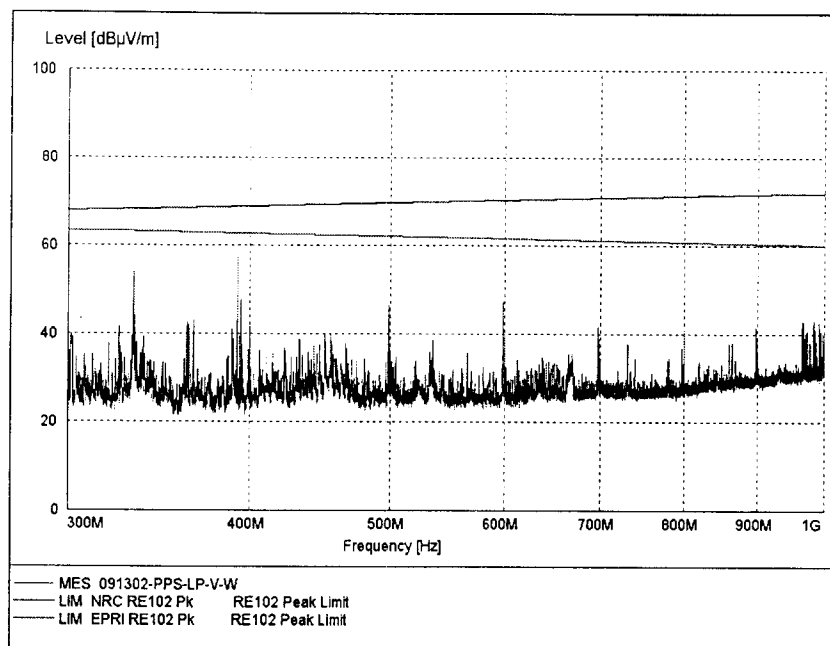


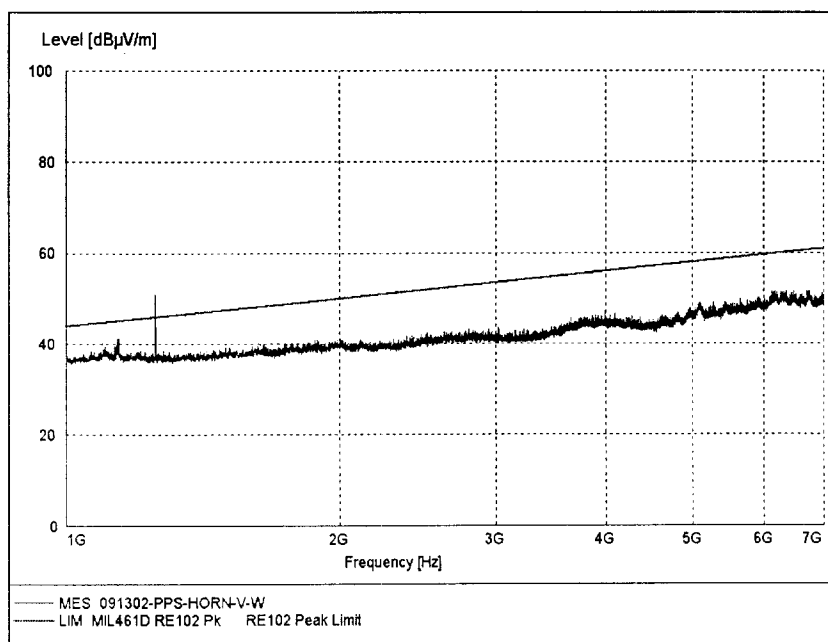
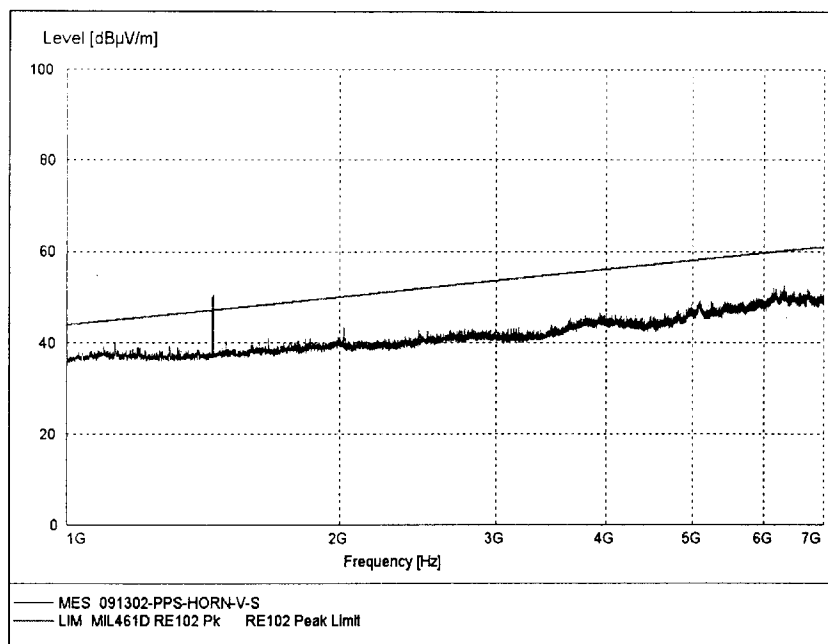




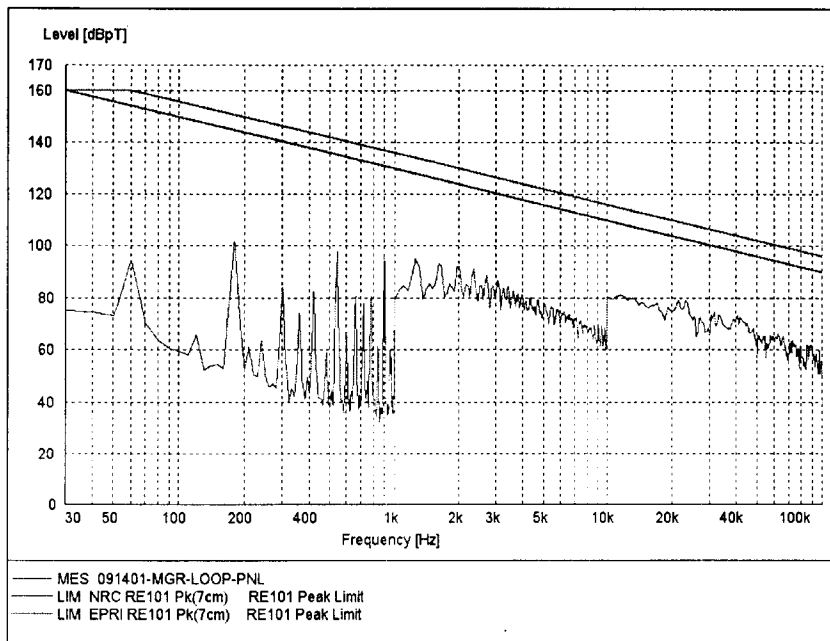
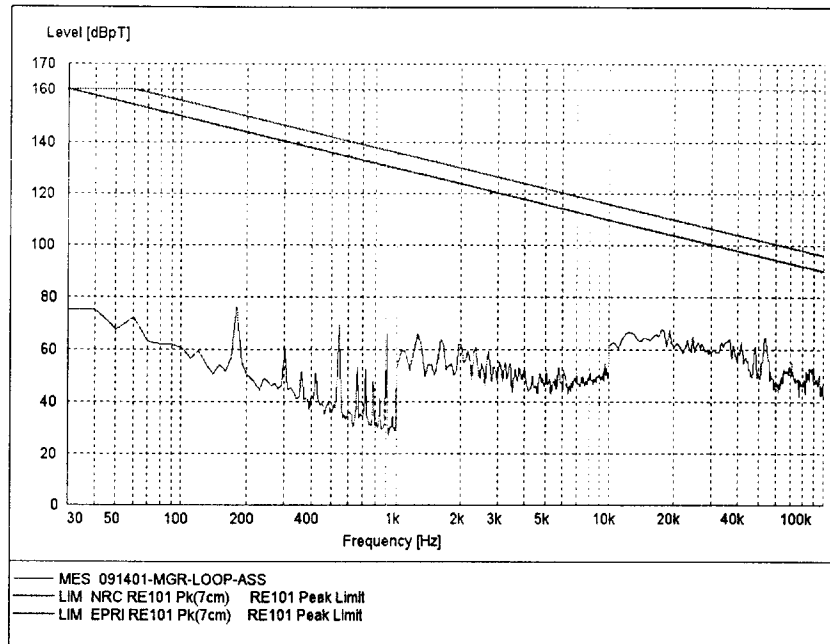


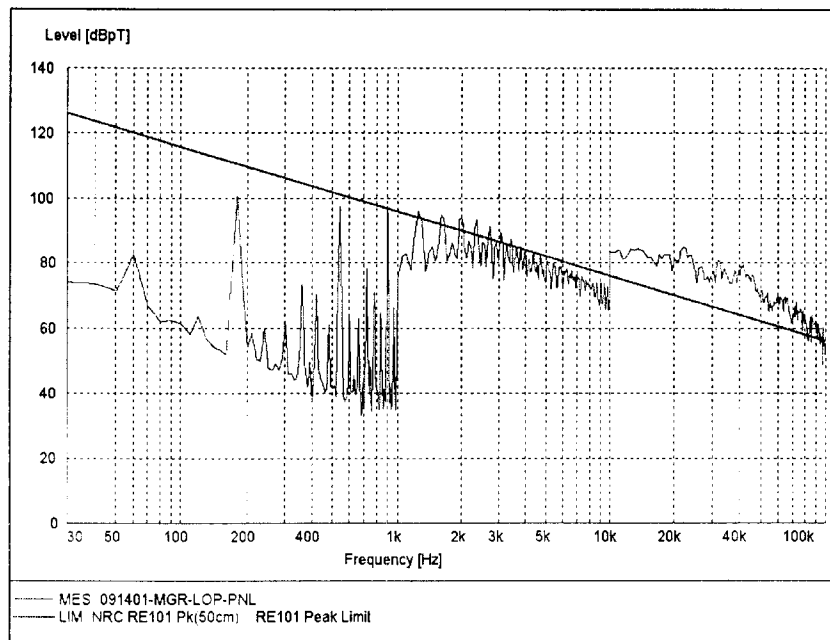
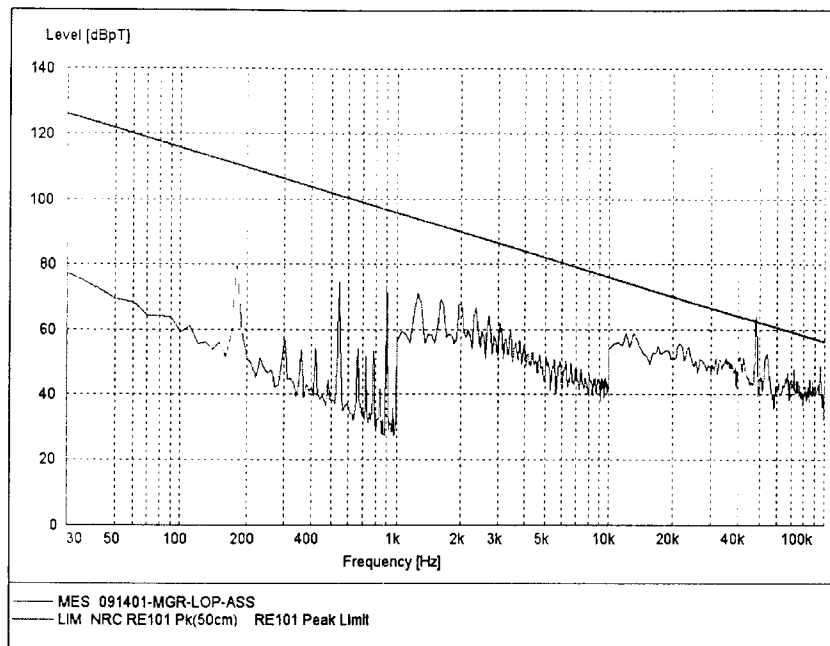


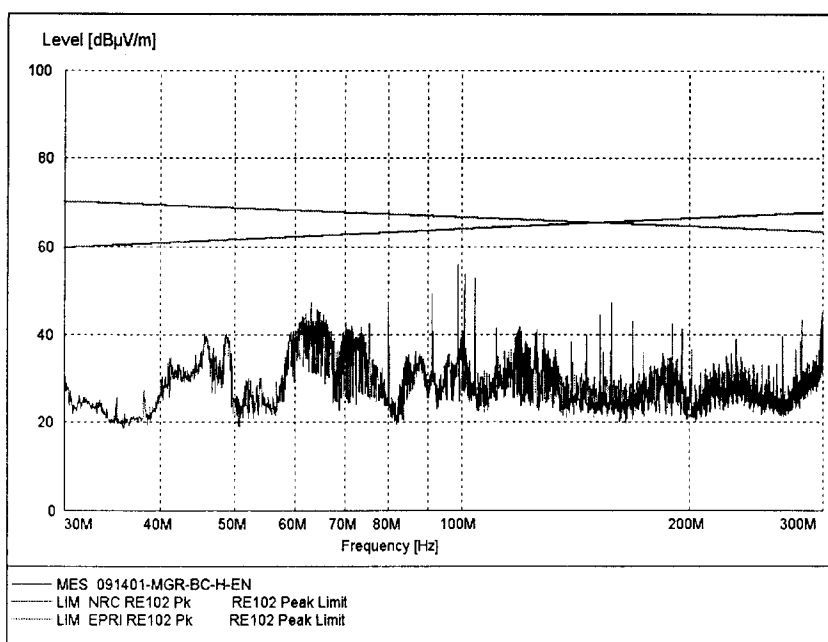
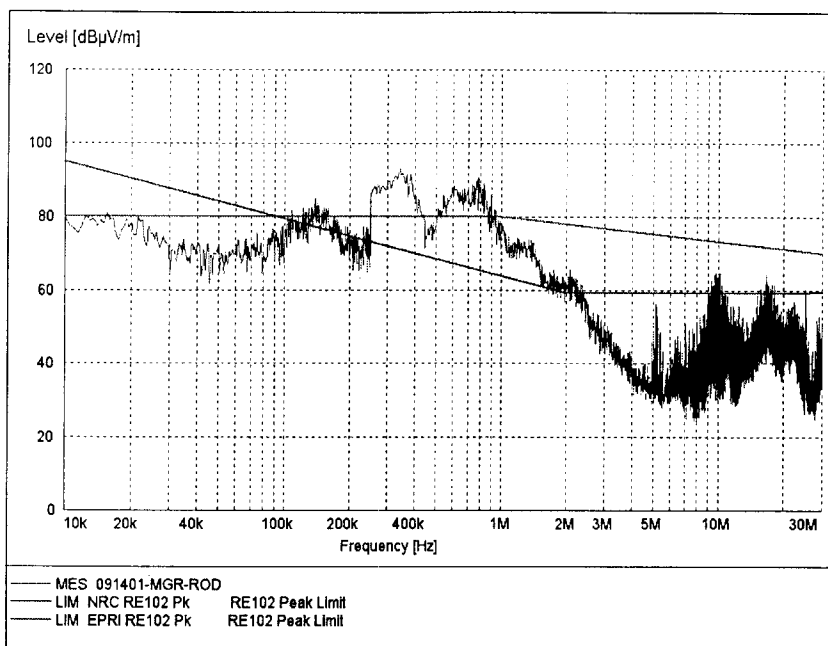


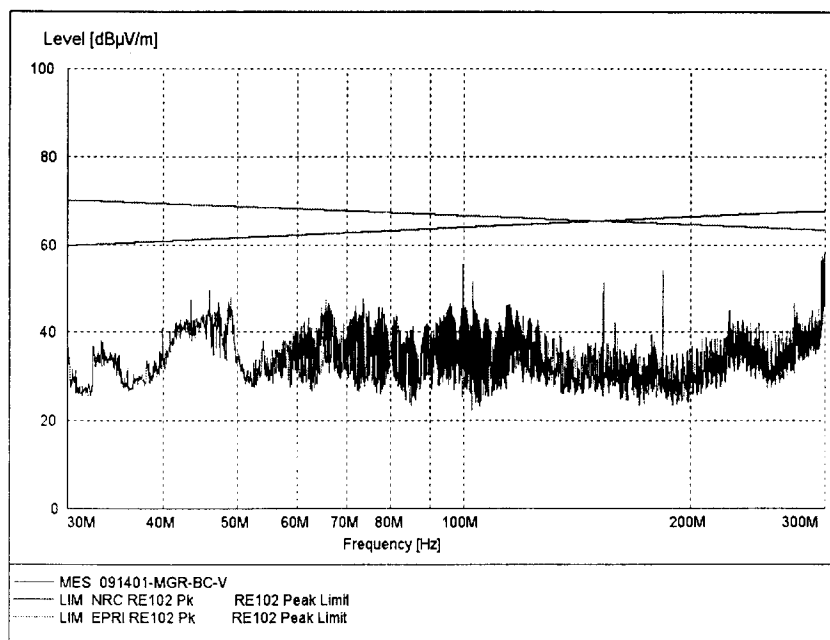
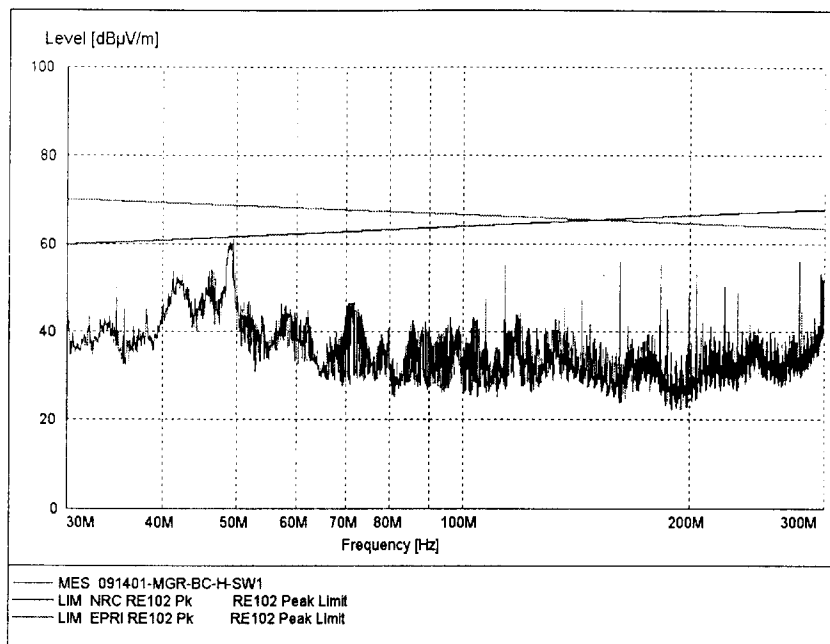


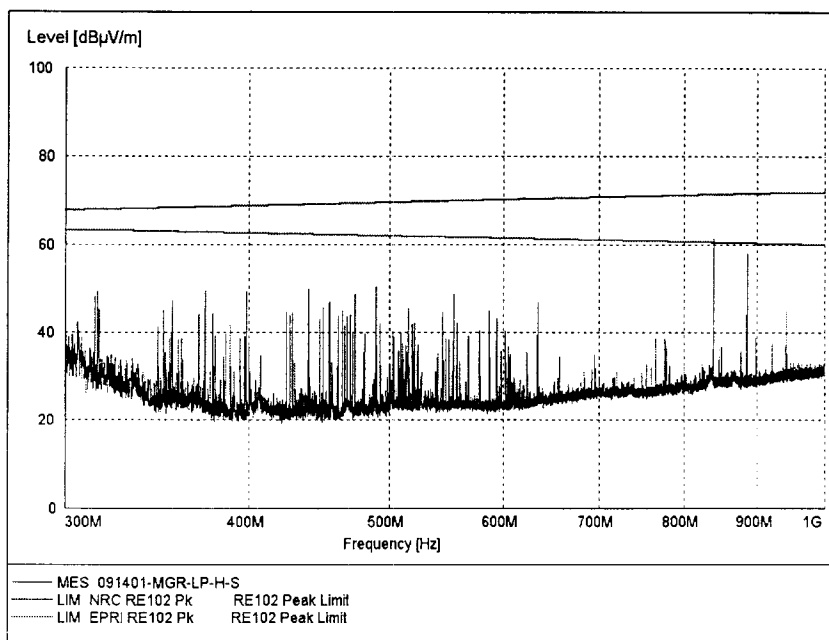
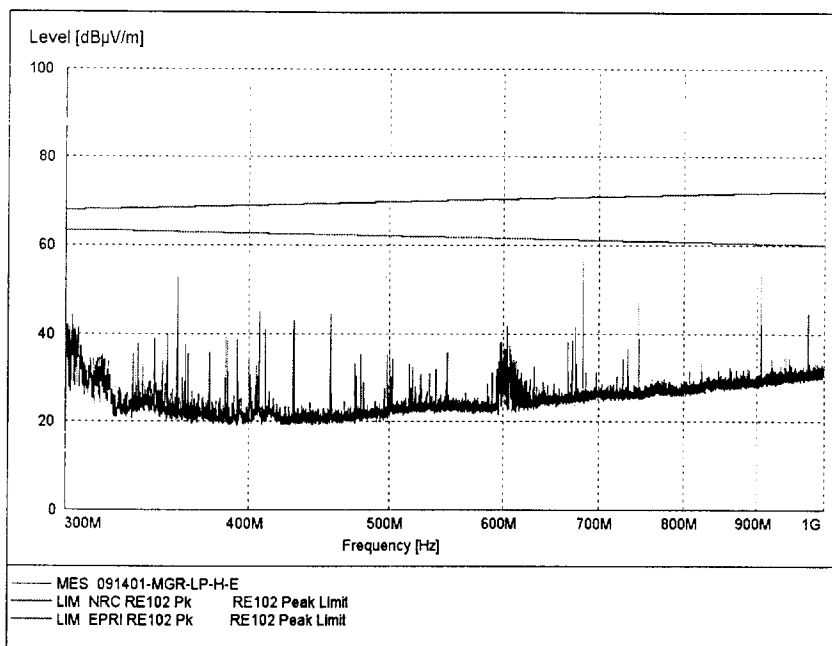
# I. 날짜별 측정결과 (9월 14일, 전력개폐장치기)

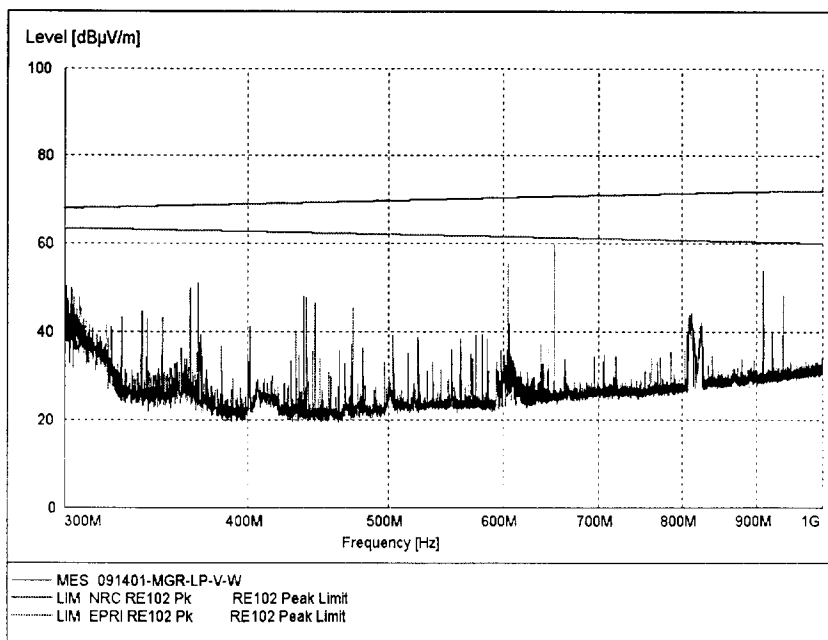
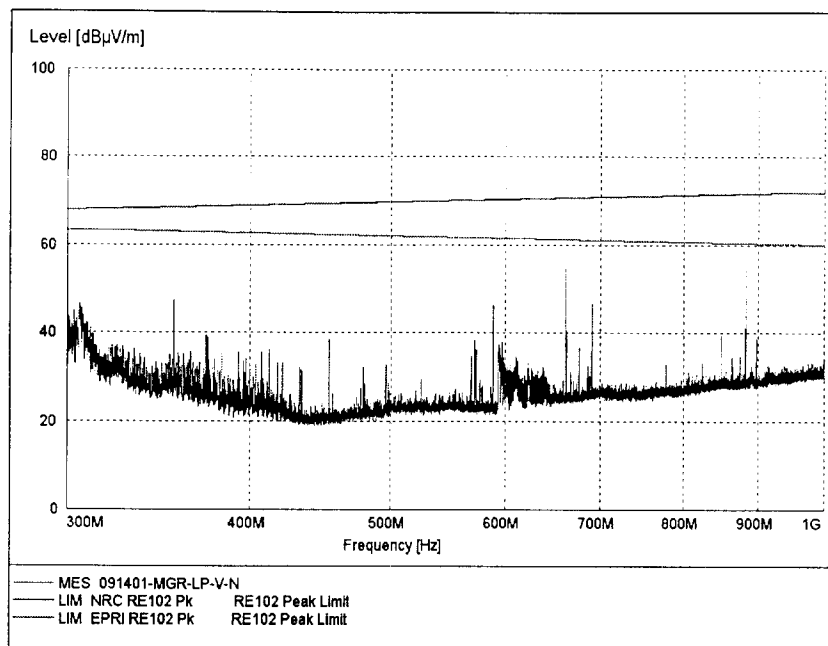


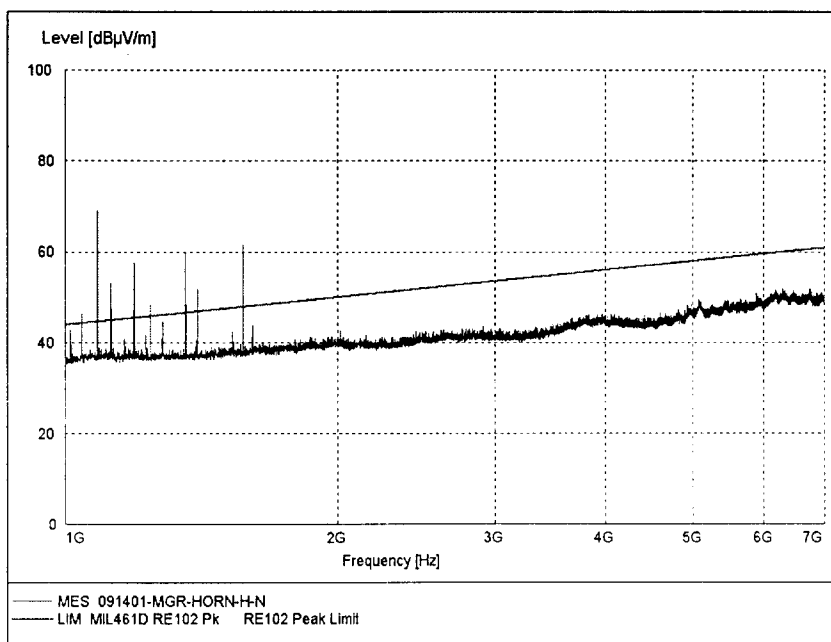
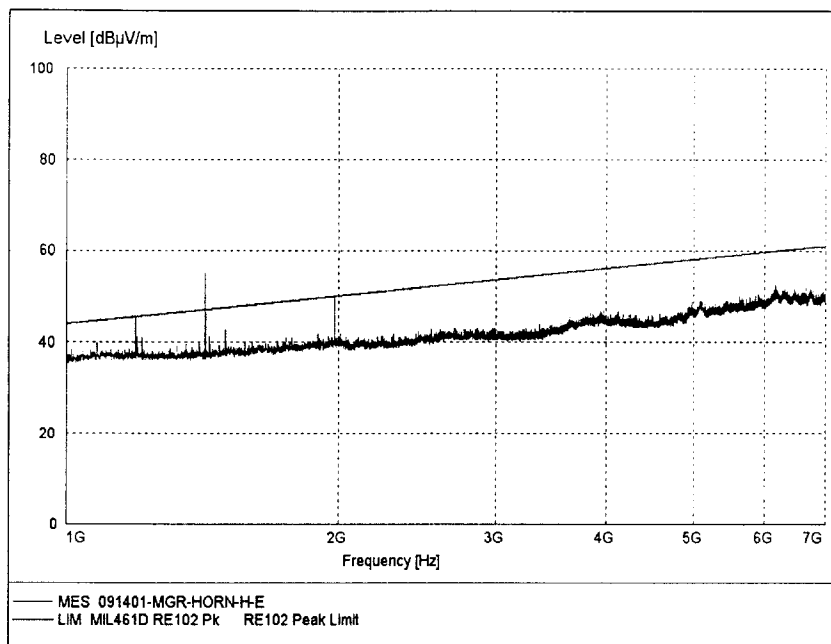


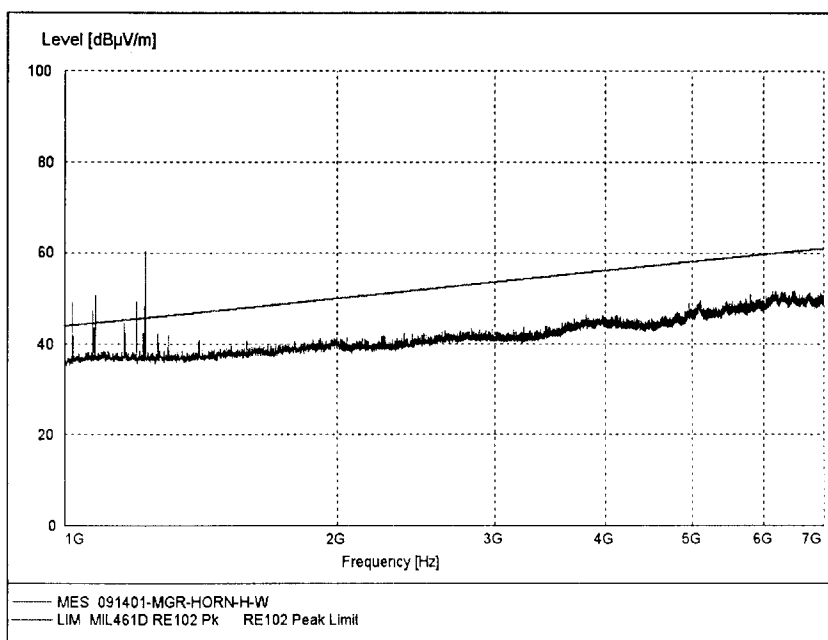
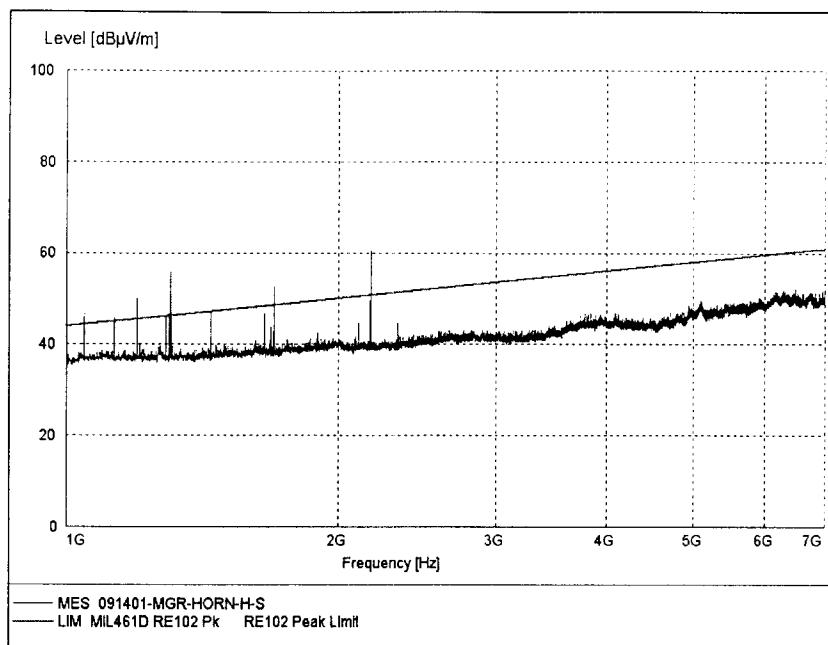


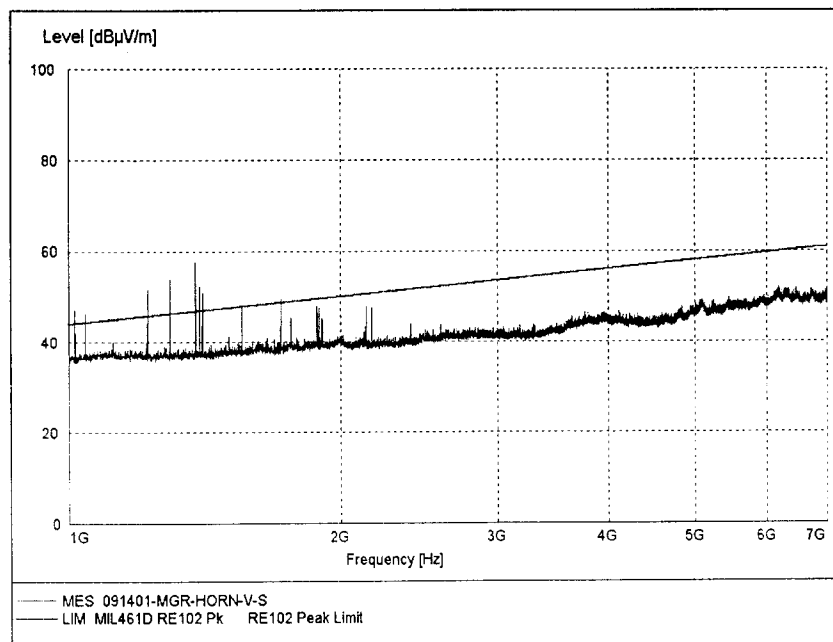
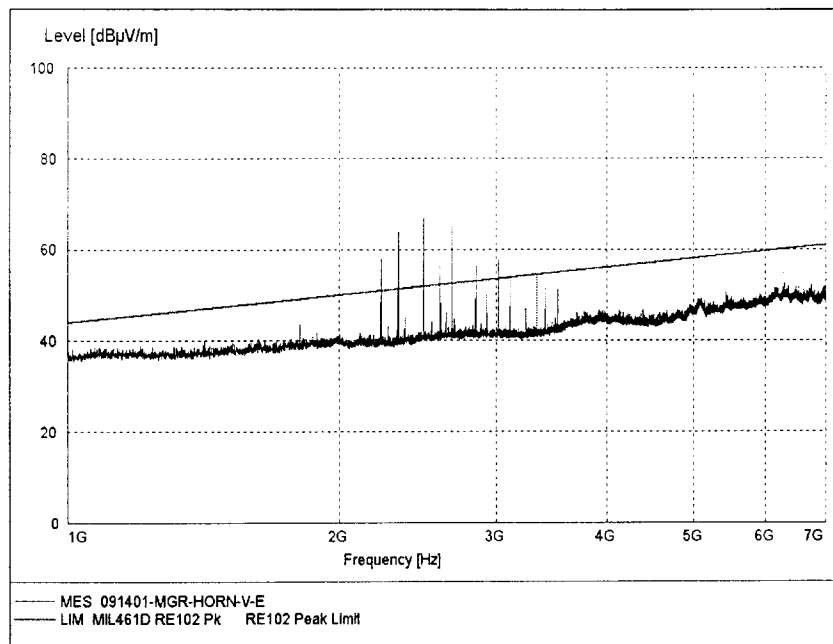




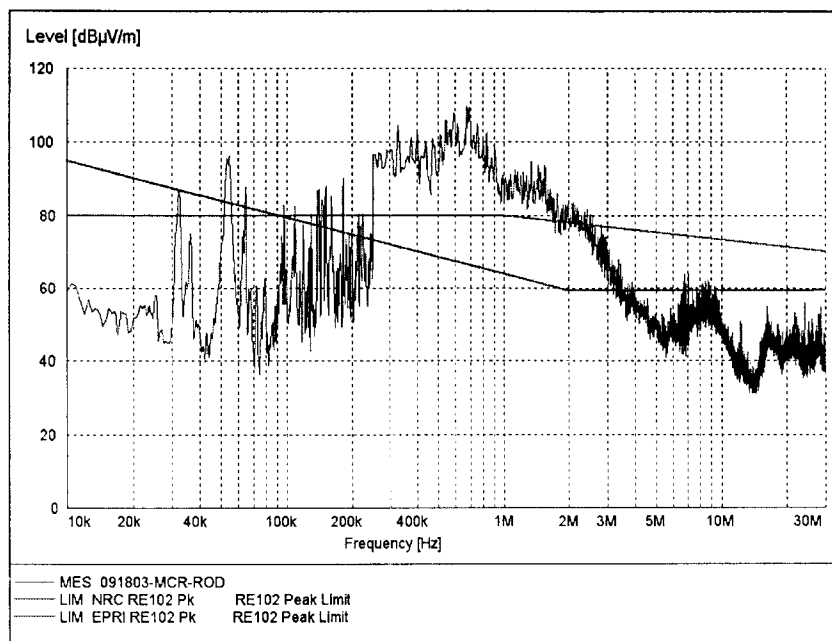
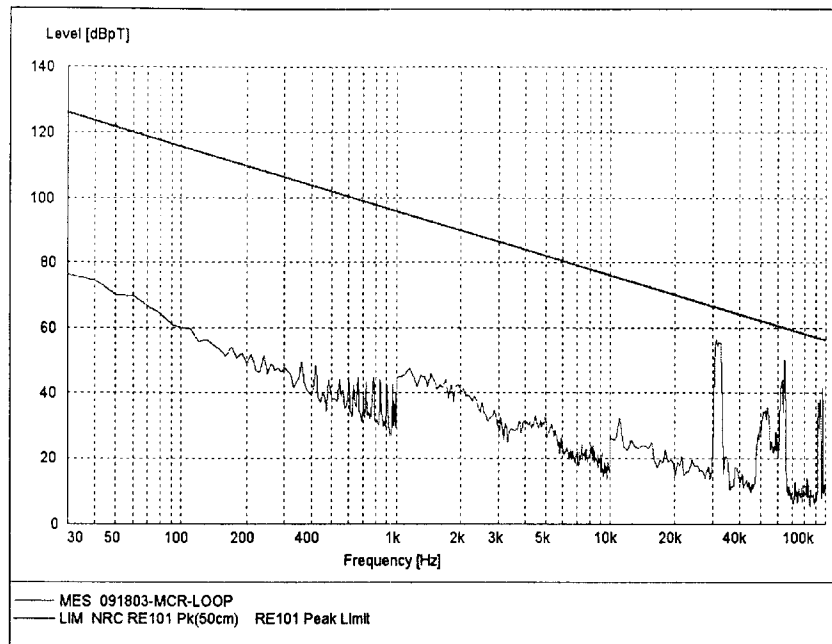


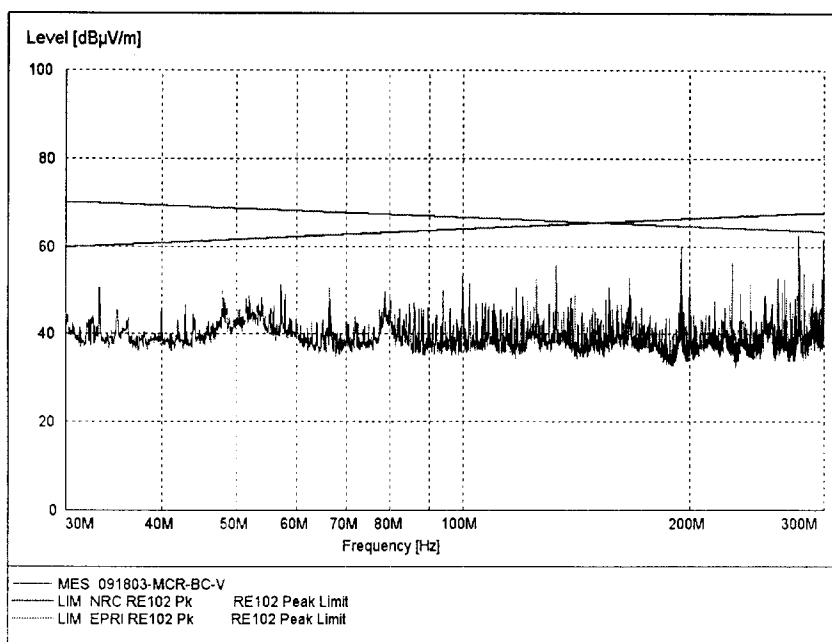
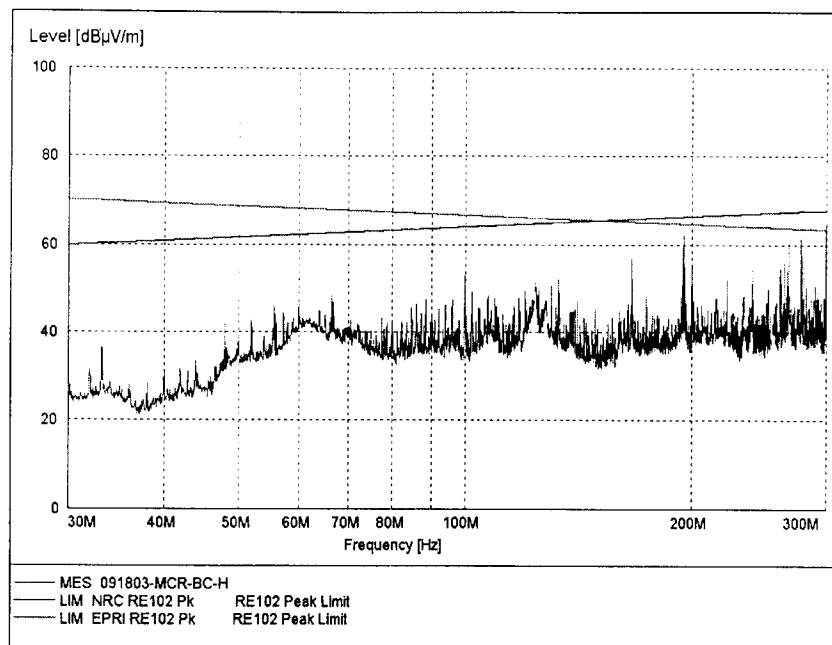


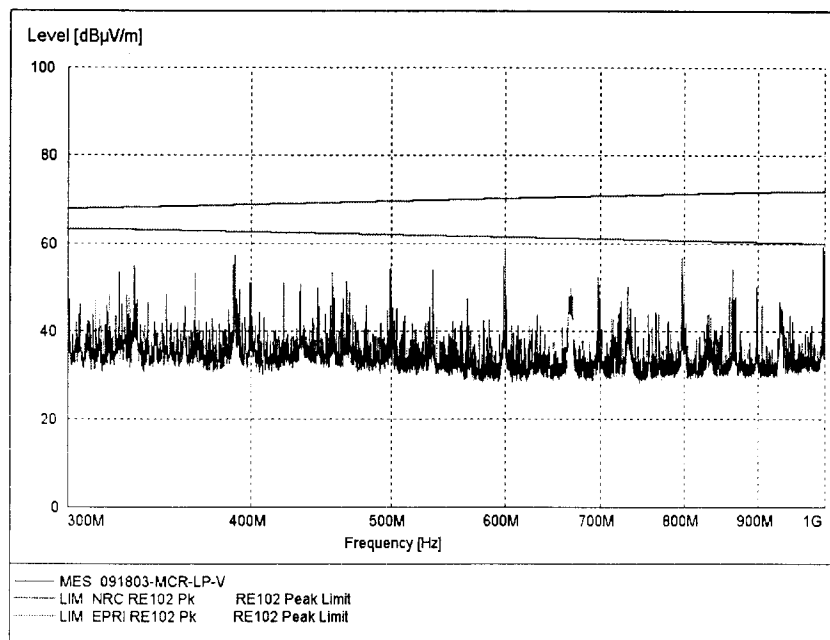
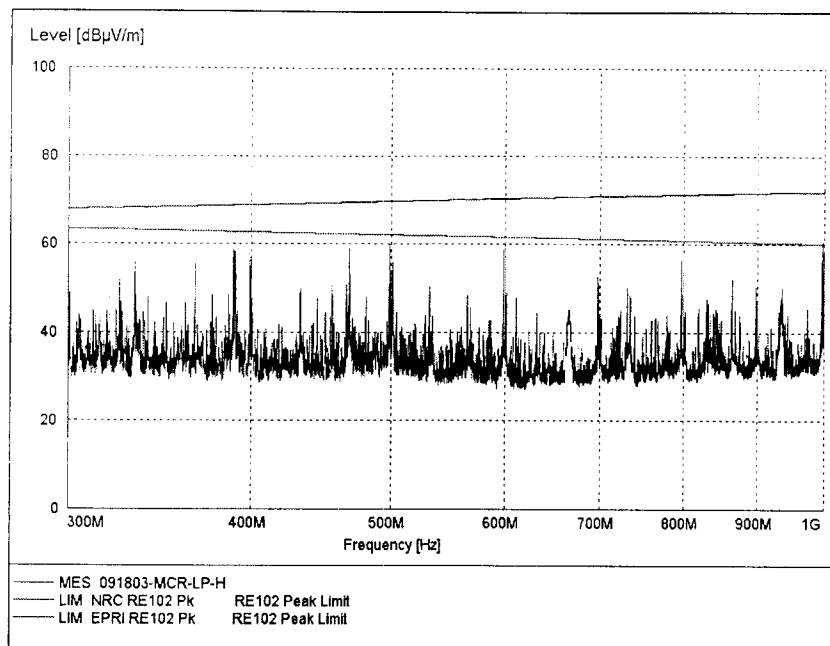


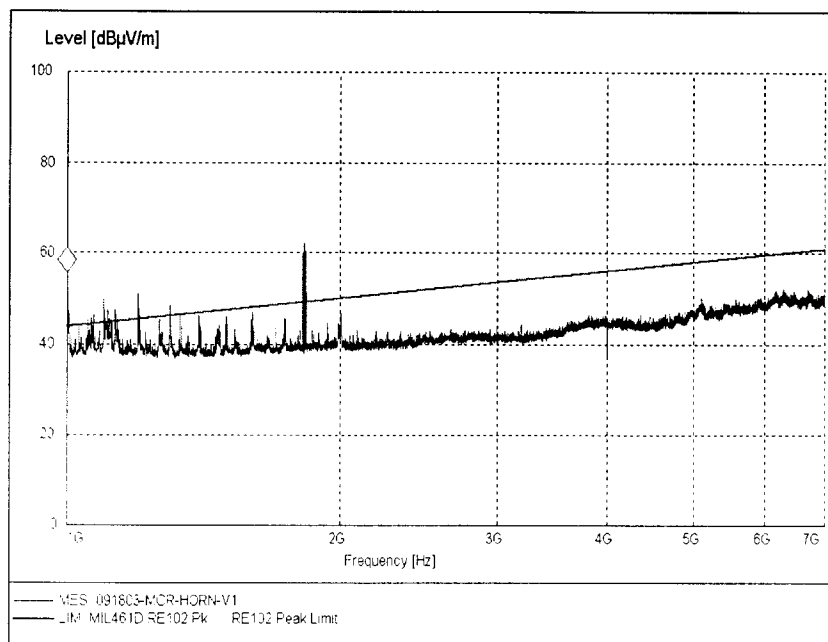
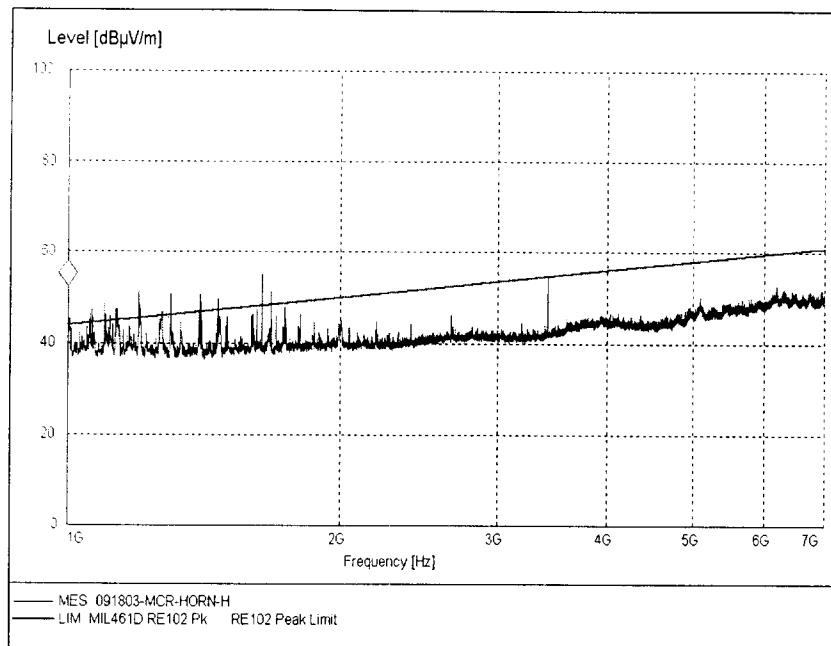


## J. 날짜별 측정결과 (9월 18일, 발전소감시시스템)









## K. 날짜별 측정결과 (9월 13일, 기타장치)

