

제 출 문

본 보고서를 「EMS 측정 설비 표준 교정 절차 및
기준에 관한 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003. 12. 29

연구책임자 : 박 병권 (대림대학)

연 구 원 : 이 한영 (대림대학)

한 희철 (대림대학)

요 약 문

1. 과제명 : EMS 측정 설비 표준 교정 방법 및 기준에
관한 연구

2. 연구 기간 : 2003년 2월 1일 ~ 2003년 12월 31일

3. 연구책임자 : 박 병 권

4. 계획 대 진도

가. 월별 추진내용

세부연구내용	연구자	월별 추진일정												비 고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
o 논문 및 관련자료 조사· 분석	박병권													
o EMS 6개 항목의 시험장비 및 장치의 교정기술 확립	이한영 한희철													
-불확도 및 BMC	박병권 한희철													
-표준 교정방법 작성 및 유효성검증	박병권 이한영													
o EMS 측정장비와 장치의 교정 및 측 정 신뢰도 제고 방 안 연구	박병권 이한영													
-측정량 비교분석 및 평가	박병권													
o 최종보고서 작성	박병권													
분기별 수행진도 (%)		20			30			30			25		100	

..... : 당초계획 ————— : 추진실적

나. 세부 과제별 추진사항

- 1) 논문 및 관련 자료 조사· 분석 (100 %)
- 2) EMS 6개 항목의 시험 장비 및 장치의 교정 기술 확립
 - 불확도 및 BMC 산출 (100 %)
 - 표준 교정방법 작성 (100 %)
 - 유효성 검증 (100 %)
- 3) EMS 측정 장비와 장치의 교정 및 측정 신뢰도 제고 방안 연구
 - 국내의 유관기관과 측정량 결과 비교분석 및 평가(100 %)
 - 최종보고서 작성(100 %)

5. 연구 결과

- 1) 측정량의 불확도 산출법 고찰
- 2) 국내 시행중인 EMS 7개 분야 중 다음의 6개 분야 측정 설비에 대한 교정방법 및 측정 불확도 산출
 - 정전기 신호 발생기의 교정방법 확립
 - 침투 전류 측정 및 불확도 산출
 - 30 ns와 60 ns 지점의 전류측정 및 불확도 산출
 - 상승시간 (t_r)의 측정 및 불확도 산출
 - 전기적 빠른 과도현상 신호 발생기의 교정방법 확립
 - 침투 전압과 임펄스 상승시간의 측정 및 불확도 산출
 - 임펄스와 버스트 지속시간의 측정 및 불확도 산출
 - 임펄스 반복율과 버스트 주기의 측정 및 불확도 산출
 - 조합형과 CCITT 서지 발생기의 교정방법 확립
 - 개방회로 출력전압의 특성 측정 및 불확도 산출
 - 단락회로 출력전류의 특성 측정 및 불확도 산출

- 전도 내성 시험장치인 CDN 교정 방법 확립
 - 결합/감결합 회로망의 임피던스 측정 및 불확도 산출
 - 결합/감결합 회로망의 삽입 손실 측정 및 불확도 산출
 - 전원 주파수 자체 내성시험 장치인 유도 코일의 코일 인자 교정방법 확립
 - 유도코일의 코일인자의 측정법 및 불확도 산출
 - 전압강하 및 순시정전 내성 시험발생기의 교정방법 확립
 - 출력 변동 전압의 측정 및 불확도 산출
 - 전압 변동주기의 측정 및 불확도 산출
- 3) 내성 측정 장비 및 시설의 교정방법 법제화 방안 고찰

6. 기대효과

- 1) 전자파 내성 측정용 시험 장비 및 장치의 교정 기술 확보로
대외 교정지원을 통한 민원 해결
- 2) 국제 표준에 부합되는 교정방법의 확립으로 MRA등에 대비
할 기반 조성
- 3) 전자파 내성 측정용 시험 장비 및 장치의 표준 교정 방법에
대한 법제화 추진 기본 자료로 활용

7. 기자재 사용 내역

시설·장비명	규격	수량	용 도	보유현황	확보방안	비 고
VANA	HP 8753D	1	반사계수측정	O	-	
Oscilloscope	TDS 694C	1	신호특성측정	X	임대	
Oscilloscope	TDS 684B	1	신호특성측정	X	임대	

시설·장비명	규격	수량	용도	보유현황	확보방안	비 고
Oscilloscope	TDS 724D	1	신호특성측정	X	임대	
정전기발생기	PESD 1600	1	ESD 신호원	X	임대	
EFT/Burst 발생기	PEFT.1 (PHV 4.2)	1	EFT/Burst 신호원	X	임대	
서지발생기	PSURG 6.1 (PHV 30.2 (PHV 25.1)	1	서지 시험원	X	임대	
전원 주파수 자계 시험원	MAG 100.1	1	자계 시험원	X	임대	
전압변동 및 순시정전 시험 발생기	PLINE 1610/ PLS 1630	1 1	전압변동 및 순시정전 시 험원	X	임대	
CDN	각종	9	결합/감결합	X	임대	
감쇠기	20 dB	1	신호감쇠	X	임대	
감쇠기	54 dB	1	신호감쇠	X	임대	
전류-감응 변 환기	MD 102	1	방전 전압을 50:1로 변환	X	임대	
전류 프로브	Model 3525	1	V/I를 100:1 로 변환	X	임대	
자기장측정기	PSMA 04	1	자기장 측정	X	임대	

8. 기타사항

“ 특별한 사항 없음”

SUMMARY

I. Title

A study on the standard calibration procedures and methods of the EMS measurement facilities.

II. Objectives and Importances

1. Objectives

- ㄱ. To determine the standardized calibration procedures and methods of the EMS measurement facilities based on the national, and international standards such as IEC, CISPR etc.
- ㄴ. To prepare a basis to assist the industries and the national authorized EMC test laboratories through the calibration service for their EMS test facilities.
- ㄷ. To meet the ISO 17025 quality system and to prepare the global MRA

2. Importances

- ㄱ. In order to harmonize with international EMC standard, the development of a standardized calibration method of the EMS measurement facilities, which is satisfied with the requirement of international standard, is required.
- ㄴ. In order to cope with the international mutual recognition agreement, the uncertainty evaluation according with ISO quality assurance system is required

III. Contents and Scope

The calibration method of a EMS test facilities and the evaluation method of a calibration uncertainty are established for the following EMS test regulations.

1. Electrostatic discharge immunity test (KN6100-4-2)
2. Electrical fast transient/burst immunity test (KN6100-4-4)
3. Surge immunity test (KN6100-4-5)
4. Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields (KN6100-4-6)
5. Power frequency magnetic field immunity test (KN6100-4-8)
6. Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests (KN6100-4-11)

IV. Results

1. Development of the calibration method for the electrostatic discharge immunity test facilities
 - 가. Review on the characteristics and the performance of ESD generator.
 - 나. Set-up of the calibration system of ESD generator
 - 다. Modeling of the equation to obtain the peak current from

ESD generator out voltage.

- 라. Measurement of peak current, rise time, current at 30 ns, and current at 60 ns according to the IEC61000-4-2
- 마. Uncertainty analysis of the calibration system of ESD generator

2. Development of the calibration method for the electrical fast transient/burst immunity test facilities

- 가. Review on the characteristics and the performance of EFT/Burst generator
- 나. Set-up of the calibration system of EFT/Burst generator
- 다. Modeling of the equation for the measurement of the peak voltage
- 라. Measurement of peak voltage, repetition rate, rise times, impulse duration of the impulses, and of duration and period of the bursts according to the IEC61000-4-4
- 마. Uncertainty analysis of the calibration system of EFT/Burst generator

3. Development of the calibration method for the surge immunity test facilities

- 가. Review on the characteristics and the performance of Surge generator
- 나. Set-up of the calibration system of surge generator
- 다. Modeling of the equation for the measurement of the open circuit and short circuit current
- 라. Measurement of the characteristics of Surge generators according to the IEC61000-4-5
 - (1) Combination wave generator

- (가) Open circuit voltage, front time, and time to half-value
- (나) Short circuit current, front time,
- (2) CCITT generator
 - (가) Open circuit voltage, front time, and time to half-value
- 마. Uncertainty analysis of the calibration system of Surge generator

4. Development of the calibration method for the immunity to conducted disturbances test facilities

- 가. Review on the characteristics and the performance of CDN (coupling/decoupling network)
- 나. Set-up of the calibration system of CDN
- 다. Modeling of the equation to obtain the impedance from the measurement of the reflection coefficient
- 라. Measurement of the common mode impedance, and the insertion loss of CDN according to the IEC61000-4-6
- 마. Uncertainty analysis for the measurement of the common mode impedance, and the insertion loss of CDN

5. Development of the calibration method for the power frequency magnetic field immunity test facilities

- 가. Review on the test levels of the power frequency magnetic field immunity test
- 나. Set-up of the calibration system of coil factor
- 다. Modeling of the equation for the measurement of the coil factor of the induction coil
- 라. Measurement of coil factor according to the IEC61000-4-8
- 마. Uncertainty analysis of the calibration system of coil factor

6. Development of the calibration method for the voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests facilities
 - 가. Review on the characteristics and the performance of generator.
 - 나. Set-up of the calibration system of ESD generator
 - 다. Modeling of the equation for the measurement of the generator out voltage.
 - 라. Measurement of out voltage and duration at test levels of 0 %, 40 % and 70 % of 220 V according to the IEC61000-4-11
 - 마. Uncertainty analysis of the calibration system of generator

목 차

표 목 차	13
그 립 목 차	18
제 1 장 서 론	21
제 2 장 측정 불확도 표현	22
제 1 절 측정학 및 불확도 관련 용어	22
제 2 절 측정 모델의 설정	26
제 3 절 A형 불확도 평가	28
제 4 절 B형 불확도 평가	30
제 5 절 그림을 이용한 표준 불확도 평가	31
제 6 절 합성 표준 불확도	35
제 7 절 확장 불확도	38
제 8 절 18 GHz에서 전력 센서 교정	41
제 3 장 정전기 방전 내성 시험설비 교정	49
제 1 절 용어의 정의	49
제 2 절 정전기 내성시험	51
제 3 절 정전기 발생기의 교정	54
제 4 장 전기적 빠른 과도현상 내성시험	81
제 1 절 용어의 정의	81
제 2 절 전기적 빠른 과도현상/버스트 내성시험	83
제 3 절 전기적 빠른 과도현상/버스트 발생기의 교정	87

제 5 장 서지 내성시험 설비 교정	105
제 1 절 용어의 정의	105
제 2 절 서지 내성시험	107
제 3 절 서지 발생기의 교정	113
제 6 장 전자파 전도 내성시험 설비 교정	138
제 1 절 용어의 정의	138
제 2 절 전자파 전도 내성시험	140
제 3 절 결합 및 감결합 회로망(CDN)의 교정	147
제 7 장 전원 주파수 자계 내성시험 설비 교정	160
제 1 절 용어의 정의	160
제 2 절 전원 주파수 자계 내성시험	161
제 3 절 전원 주파수 자계 내성시험 발생기의 특성	162
제 4 절 유도 코일과 코일 인자의 측정	163
제 8 장 전압강하/순시정전 내성시험 설비 교정	171
제 1 절 용어의 정의	171
제 2 절 전압 강하 및 순시 정전 내성시험	172
제 3 절 전압 강하 및 순시 정전 시험 발생기 교정	174
제 9 장 결 론	188
참 고 문 헌	189

표 목 차

표 2-1 측정 불확도 총괄표	37
표 2-2 유효자유도 ν_{eff} 에 대한 포함인자 k값	39
표 2-3 불확도 총괄표	47
표 3-1 정전기 방전 시험 레벨	51
표 3-2 정전기 발생기 및 방전 특성	53
표 3-3 방전 전류 파형 변수	55
표 3-4 인가전압 2 kV에서 측정한 침두 전류의 평균과 A형 불확도	65
표 3-5 양의 인가전압에 대하여 측정한 평균과 A형 불확도	66
표 3-6 음의 인가전압에 대하여 측정한 평균과 A형 불확도	66
표 3-7 전류-감응 변환기의 변환값 불확도에 의한 방전전류 측정 불확도	77
표 3-8 감쇠기의 감쇠량 측정 불확도에 의한 방전전류 측정 불확도	77
표 3-9 정전기 방전 출력 침두 전류 측정의 불확도 총괄표	79
표 3-10 양전압 인가시 정전기 방전 발생기의 교정 결과	79
표 3-11 음전압 인가시 정전기 방전 발생기의 교정 결과	80
표 4-1 급속 과도 현상에 대한 시험 레벨	83
표 4-2 전기적 빠른 과도현상 발생기의 특성	85
표 4-3 펄스의 상승 시간 및 지속시간 교정 (그림 4-3 참조)	87
표 4-4 출력 전압의 침두값과 임펄스의 반복율	87
표 4-5 버스트 신호의 지속 시간과 주기	87
표 4-6 EFT/Burst 발생기의 침두 전압 측정 (1 kV)	90
표 4-7 양의 전압을 인가할 때 측정한 평균 및 A형 불확도	90
표 4-8 음의 전압을 인가할 때 측정한 평균 및 A형 불확도	91

표 4-9 오실로 스코프의 전압 측정 불확도에 의한 침두전압 측정 불확도	100
표 4-10 감쇠기의 감쇠량 측정 불확도에 의한 침두전압 측정 불확도	100
표 4-11 EFT/Burst 발생기의 출력 변동에 의한 침두전압 측정 불확도	101
표 4-12 오실로 스코프의 시간간격 측정 불확도에 의한 임펄스 신호의 상승 시간과 지속시간 측정 불확도에 기여도	102
표 4-13 불확도 총괄표 (1 kV의 침두 전압 측정)	103
표 4-14 양의 전압을 인가할 때 측정한 평균 및 확장 불확도	103
표 4-15 음의 전압을 인가할 때 측정한 평균 및 확장 불확도	104
표 5-1 서지 시험 레벨	108
표 5-2 조합 파형 발생기의 출력 특성	109
표 5-3 조합형 서지 발생기의 파형 파라미터	111
표 5-4 CCITT에 의한 서지 발생기의 파형 파라미터	113
표 5-5 서지 발생기의 양의 출력 전압 측정 결과 (1 kV)	116
표 5-6 조합형 서지 발생기의 양의 출력 전압 평균값과 A형 불확도	117
표 5-7 조합형 서지 발생기의 음의 출력 전압 평균값과 A형 불확도	117
표 5-8 CCITT 서지 발생기의 양의 출력 전압 평균값과 A형 불확도	117
표 5-9 CCITT 서지 발생기의 음의 출력 전압 평균값과 A형 불확도	118
표 5-10 오실로 스코프의 전압 측정 불확도에 의한 침두전압 측정 불확도	121
표 5-11 고전압 프로브의 변환 불확도에 의한 출력 침두전압의	

B형 불확도	121
표 5-12 서지 발생기의 출력 전압 변동에 의한 출력 침두전압의 B형불확도	122
표 5-13 오실로 스코프의 시간간격 측정 불확도에 의한 조합형 서지 발생기의 전시간과 절반치 시간 측정 불확도에 기여도	122
표 5-14 오실로 스코프의 시간간격 측정 불확도에 의한 CCITT 서지 발생기의 전시간과 절반치 시간 측정 불확도에 기여도	123
표 5-15 조합형 서지 발생기의 양의 서지전압 측정의 불확도 총괄표 (1 kV)	124
표 5-16 조합형 서지 발생기의 양의 출력 전압 교정 결과	124
표 5-17 조합형 서지 발생기의 음의 출력 전압 교정결과	125
표 5-18 CCITT 서지 발생기의 양의 출력 전압 교정 결과	125
표 5-19 CCITT 서지 발생기의 음의 출력 전압 교정결과	126
표 5-20 서지 발생기의 양의 출력 전류 측정 결과 (500 A)	130
표 5-21 조합형 서지 발생기의 양의 전류 파형변수에 대한 평균값과 A형 불확도	131
표 5-22 조합형 서지 발생기의 음의 전류 파형변수에 대한 평균값과 A형 불확도	131
표 5-23 오실로 스코프의 전압 측정 불확도에 의한 침두전류 측정 불확도	132
표 5-24 감쇠량 불확도에 의한 출력 침두 전류 측정의 B형 불확도	133
표 5-25 전류 프로브의 불확도에 의한 출력 침두 전류 측정의 B형 불확도	134

표 5-26 서지 발생기의 출력 변동에 의한 출력 침두전압의 B형 불확도	134
표 5-27 오실로 스코프의 시간간격 측정 불확도에 의한 조합형 서지 발생기의 전시간과 절반치 시간 측정 불확도에 기여도	135
표 5-28 조합형 서지 발생기의 양의 서지전류 측정 불확도 총괄표 (0.5 kA)	135
표 5-29 조합형 서지 발생기의 양의 출력 전류 교정 결과	137
표 5-30 조합형 서지 발생기의 음의 출력 전류 교정결과	137
표 6-1 전자파 전도 내성 시험 레벨	140
표 6-2 전자파 전도 내성 시험 발생기의 특성	141
표 6-3 결합 및 감결합 장치의 매개변수	144
표 6-4 삽입 손실 측정 결과	153
표 6-5 불확도 요인 총괄표	155
표 6-6 FCC-801-S9, FCC-801-S15 및 FCC-801-S25의 교정 결과	157
표 6-7 FCC-801-M1-16A, FCC-801-M2-16A 및 FCC-801-M3 -16A의 교정결과	158
표 6-8 FCC-801-M5-50A, FCC-801-T8 및 FCC-801-AF8의 교정결과	159
표 7-1 전원 주파수 자계 내성 시험	161
표 7-2 전원 주파수 자계 시험 발생기의 주요 특성	162
표 7-3 코인 인자 측정 결과 (1 A/m)	166
표 7-4 코일 인자 측정 평균 및 A형 불확도	166
표 7-5 자기장 측정 불확도에 의한 코일인자 측정 불확도	167
표 7-6 전류 변환 프로브의 불확도에 의한 코일인자 측정 불확도	168

표 7-7 오실로 스코프의 불확도에 의한 코일인자 측정 불확도	168
표 7-8 자기 발생기 신호원의 출력 변동에 의한 코일인자 측정 불확도	169
표 7-9 유도 코일의 코일 인자 측정 불확도 총괄표 (1 A/m)	170
표 7-10 유도 코일의 코일인자 측정결과	170
표 8-1 전압 강하와 순간 정전에 대한 시험레벨과 지속시간	173
표 8-2 짧은 시간동안 공급되는 전압 변동 시간	173
표 8-3 전압강하 및 순시정전 발생기의 출력전압 측정 (70 % 시험레벨)	177
표 8-4 시험 발생기 출력의 5주기 전압 변동에 대한 평균과 A형 불확도	179
표 8-5 시험 발생기 출력의 25주기 전압 변동에 대한 평균과 A형 불확도	180
표 8-6 전압강하 및 순시정전 발생기의 출력전압 측정 (100 % 시험레벨)	182
표 8-7 전압강하 및 순간정전 시험 발생기의 출력전압 측정의 불확도 총괄표	184
표 8-8 5주기 70 % 시험레벨 측정의 불확도 총괄표	184
표 8-9 5주기 40 % 시험레벨 측정의 불확도 총괄표	184
표 8-10 5주기 0 % 시험레벨 측정의 불확도 총괄표	185
표 8-11 25주기 70 % 시험레벨 측정의 불확도 총괄표	185
표 8-12 25주기 40 % 시험레벨 측정의 불확도 총괄표	185
표 8-13 25주기 0 % 시험레벨 측정의 불확도 총괄표	186
표 8-14 전압강하 및 순시정전 시험 발생기 출력전압 교정 결과 (220 Vrms)	187
표 8-15 전압강하 및 순시정전 시험 발생기 주기 교정 결과 (220 Vrms)	187

그 립 목 차

그림 2-1 반복 관측한 입력량을 이용한 표준 불확도	33
그림 2-2 선형적 분포로부터 얻은 입력량의 표준 불확도	34
그림 2-3 방향성 결합기를 이용한 전력 감지기 교정 시스템	42
그림 2-4 써미스터 마운트 교정 시스템의 블록도	46
그림 3-1 정전기 발생기의 구조	52
그림 3-2 기중방전 팁의 구조	52
그림 3-3 정전기 발생기 출력의 방전전류 파형	54
그림 3-4 정전기 발생기의 성능 검사를 위한 장비 배치	55
그림 3-5 전류-감응 변환기의 조립도	61
그림 3-6 정전기 발생기 출력전류 교정 시스템	62
그림 3-7 2 kV의 양전압을 인가할 때 ESD 전류 파형	67
그림 3-8 4 kV의 양전압을 인가할 때 ESD 전류 파형	68
그림 3-9 6 kV의 양전압을 인가할 때 ESD 전류 파형	69
그림 3-10 8 kV의 양전압을 인가할 때 ESD 전류 파형	70
그림 3-11 2 kV의 음전압을 인가할 때 ESD 전류 파형	71
그림 3-12 4 kV의 음전압을 인가할 때 ESD 전류 파형	72
그림 3-13 6 kV의 음전압을 인가할 때 ESD 전류 파형	73
그림 3-14 8 kV의 음전압을 인가할 때 ESD 전류 파형	74
그림 4-1 전기적 빠른 과도현상 발생기의 블록도	84
그림 4-2 전기적 빠른 과도현상/버스트의 신호 파형	86
그림 4-3 50 Ω 부하에 대한 단일 펄스파형	86
그림 4-4 EFT/Burst 발생기 교정 시스템	88

그림 4-5 양의 250 V Burst 출력(HV 출력)	92
그림 4-6 음의 250 V Burst 출력(HV 출력)	93
그림 4-7 양의 500 V Burst 출력(HV 출력)	94
그림 4-8 음의 500 V Burst 출력(HV 출력)	95
그림 4-9 양의 1 kV V Burst 출력(HV 출력)	96
그림 4-10 음의 1 kV Burst 출력(HV 출력)	97
그림 4-11 양의 2 kV Burst 출력(HV 출력)	98
그림 4-12 음의 2 kV Burst 출력(HV 출력)	99
그림 5-1 조합 파형 서지 발생기의 구조	109
그림 5-2 개방회로 전압 파형(1.2/50 μ s)	110
그림 5-3 단락회로 전류 파형(1.2/50 μ s)	110
그림 5-4 CCITT에 의한 서지 발생기의 구조	112
그림 5-5 CCITT에 따른 개방회로 전압 파형 (10/700 μ s)	112
그림 5-6 서지 발생기 교정 시스템	114
그림 5-7 조합형 서지 발생기의 양의 출력 침두 전압 특성	119
그림 5-8 조합형 서지 발생기의 음의 출력 침두 전압 특성	119
그림 5-9 CCITT에 따른 서지 발생기의 양의 출력 침두 전압 특성	120
그림 5-10 CCITT에 따른 서지 발생기의 음의 출력 침두 전압 특성	120
그림 5-11 서지 발생기의 출력 전류 교정 시스템	126
그림 5-12 조합형 서지 발생기의 양의 500 A 단락회로 전류 특성	129
그림 5-13 조합형 서지 발생기의 음의 500 A 단락회로 전류 특성	130
그림 6-1 전자과 전도 내성 시험 발생기의 구조	141
그림 6-2 결합소자 출력에서 측정된 파형 모습 (레벨1)	141

그림 6-3 결합과 감결합의 원리	143
그림 6-4 클램프 주입법에 의한 결합과 감결합의 원리	144
그림 6-5 EM 클램프의 구조	146
그림 6-6 EM 클램프의 결합 인자	146
그림 6-7 결합/감결합 회로망의 임피던스를 측정하기 위한 장비 배치	147
그림 6-8 결합/감결합 회로망의 공통모드 임피던스의 측정 원리	148
그림 6-9 150 Ω 을 50 Ω 으로 변환하는 회로 및 어댑터 설치	151
그림 6-10 150 Ω 을 50 Ω 으로 변환하는 어댑터 회로의 삽입 손실을 측정하는 원리	152
그림 7-1 전원 주파수 자기장 시험 발생기의 구조	162
그림 7-2 유도코일의 코일인자 측정 장치	163
그림 8-1 전압 강하와 순간 정전 파형	173
그림 8-2 전압 변동 파형	174
그림 8-3 전압 강하 및 순시 정전 발생기 교정 시스템	175
그림 8-4 5 주기 동안 70 % 시험레벨 측정 결과	178
그림 8-5 5 주기 동안 40 % 시험레벨 측정 결과	178
그림 8-6 5 주기 동안 0 % 시험레벨(순시 정전) 측정 결과	179
그림 8-7 25 주기 동안 70 % 시험레벨 측정 결과	180
그림 8-8 25 주기 동안 40 % 시험레벨 측정 결과	181
그림 8-9 25 주기 동안 0 % 시험레벨(순시정전) 측정 결과	181

제 1 장 서 론

전기·전자 관련 제품들의 이용이 날로 급증하고 있을 뿐만 아니라 집적화 기술의 발달로 성능은 좋아지면서 박막화 및 경량화 되어 가는 현상이 뚜렷하게 나타나고 있으며, 이에 따라 유해 전파환경에 노출된 관련 장비들이 영향을 받을 가능성이 높아지게 되었다. 또한 근래에 이동 통신 등 무선을 이용한 통신 기술이 급격히 발달하고 그 이용이 급속히 확산되면서 전파환경은 더욱 열악해지고 있는 실정이다.

이러한 전파환경의 심각한 오염 문제를 일찍부터 인식한 선진국들은 IEC (International Elcetric-technical Commission : 국제 전기 기술 위원회) 및 CISPR(Special Committee on Radio Frequency Interference : 국제 무선장해 특별 위원회)등의 국제기구 활동을 통하여 전자파 장해 및 내성과 관련된 시험 방법의 표준화 작업을 수행하고 있다. 1980년대 초부터 전자파 간섭에 의한 장해 현상에 대한 규제를 강력하게 시행하고 있으며 근래에는 전자파 내성에 대한 규제를 강화해 가고있는 실정이다.

국내의 경우 정보통신기기 인증 규칙 제 6 조 3항에 의하여 전자파장해방지 시험(장해방지시험)에 대한 규제는 전파연구소 고시 제2000-182호로 시행하고 있으며, 전자파보호시험방법(내성시험)에 대한 규제는 전파연구소 고시 제 2000-183호로 시행하고 있다.

본 연구는 현재 전파법에 의하여 규제를 하고 있는 정전기 방전 내성시험, 전자파 방사 내성 시험, 전기적 빠른 내성 시험, 서지 내성 시험, 전자파 전도 내성 시험, 전원 주파수 내성 시험 및 전압강하/순시정전 내성 시험 등 내성시험 7개 항목 중 전자파 방사 내성 시험을 제외한 6개 항목의 시험에 이용되는 시험 장비 및 장치의 교정방법을 개발하는 것이다.

본 연구를 통하여 국제 표준 규격과 부합되는 전자파 내성 측정 장비 및 장치의 교정 기술을 개발함으로써 국제적으로 활발하게 논의 되고 있는 MRA (Mutual Recognition Arrangement, 상호인정협정) 등 국제적인 변화에 대처할 수 있는 기술적인 기반을 확보할 수 있고, 국내의 국가 지정 시험 기관들의 전자파 내성 측정 장비 및 장치들에 대한 교정 지원이 가능하게 되어 민원을 해결할 수 있는 계기를 마련할 수 있으리라고 본다.

제 2 장 측정 불확도 표현

제 1 절 측정학 및 불확도 관련 용어

1. 측정 가능한 양 (measurable quantity)

정성적으로 구별되고, 정량적으로 결정될 수 있는 어떤 현상, 물체, 물질의 속성을 나타낸다.

2. 양의 값 (value of quantity)

측정의 단위에 어떤 수를 곱하여 일반적으로 표현된 특정량의 크기이다.

3. 양의 참값 (true value of quantity)

주어진 특정량에 대한 정의와 일치하는 값으로 완전한 측정에 의해서만 얻어지는 값이다.

4. 측정 (measurement)

양의 값을 결정하기 위한 일련의 작업을 의미한다.

5. 측정량 (measurand)

측정의 대상이 되는 특정한 양이다.

6. 측정방법 (measurement)

측정에 사용된 논리적인 일련의 작업이다.

7. 측정 절차 (measurement procedure)

주어진 방법에 따라 특정측정에 사용된 명확히 기술된 작업을 말한다.

8. 측정결과 (result of measurement)

측정에 의하여 얻어진 측정량의 추정값이다.

9. 측정 정확도 (accuracy of measurement)

측정결과와 측정량의 참값이 일치하는 정도를 의미한다.

10. 모집단 (population)

관심의 대상이 되는 집단 전체를 나타낸다.

11. 모수, 파라미터 (parameter)

확률변수의 확률분포를 표현하는데 사용하는 양으로서 모집단의 특성을 나타낸다. 모수는 주어진 모집단의 고유한 상수로서 모평균(또는 기댓값)과 모분산 등이 있다.

12. 확률변수(random variable)

특정 집합으로부터 어느 값이나 취할 수 있는 변수로서 확률분포와 연관된다.

13. 확률분포(probability distribution)

확률변수가 어떤 주어진 값을 가질 확률 또는 주어진 값의 집합에 속할 확률을 나타내는 함수이다.

14. 추정 (estimation)

모집단으로부터 취한 표본에서 관측값을 이용하여 그 모집단의 통계적 모형으로 선택된 분포의 모수에 수치값을 부여하는 작업을 말한다.

15. 산술평균(arithmetic mean)

관측값의 합을 관측값의 개수로 나눈 것이다.

16. 표본분산, 실험분산 (sample variance, experimental variance)

같은 측정량에 대한 n 회 측정에서 관측 결과의 분산 특성을 나타내는 양으로 관측값과 산술평균값과의 차이로 다음과 같이 정의된다.

$$s^2(\bar{x}) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

17. 표본표준편차, 실험표준편차(sample standard deviation, experimental standard deviation)

실험분산의 양의 제곱근을 나타낸다.

18. 상관, 상관관계(correlation)

두 개 이상의 확률변수의 분포에서 확률변수들 사이의 관련성이다.

19. 상관계수(correlation coefficient)

두 확률변수가 상대적으로 상호 연관되어 있는 정도로서, 분산의 곱의 양의 제곱근과 공분산의 비율과 같다.

20. 공분산(covariance)

두 확률변수가 상호 연관되어 있는 정도로서, 각각의 확률변수와 그것의 기대치와의 차를 곱한 것들의 평균과 같다.

21. 측정 불확도(uncertainty of measurement)

측정결과에 관련하여, 측정량을 합리적으로 추정한 값의 분산 특성을 나타내는 파라미터이다.

22. A형 불확도 평가 (Type A evaluation of uncertainty)

일련의 관측 값을 통계적으로 분석하여 불확도를 구하는 방법을 말한다.

23. B형 불확도 평가 (Type B evaluation of uncertainty)

일련의 관측값의 통계적인 분석이 아닌 다른 방법으로 불확도를 구하는 방법이다.

24. 합성 표준 불확도 (combined standard uncertainty)

측정 결과가 여러 개의 다른 입력량으로부터 구해질 때 이 측정 결과의 표준 불확도를 합성 표준 불확도라 한다. 합성 표준 불확도는 각 입력량의 변화가 측정 결과에 미치는 영향에 따라 가중된 분산과 공분산의 합의 양의 제곱근과 같다.

25. 확장 불확도(expanded uncertainty)

측정량의 합리적인 추정값이 이루는 분포의 대부분을 포함할 것으로 기대되는 측정 결과 주위의 어떤 구간을 정의하는 양이다.

26. 포함인자(coverage factor)

확장 불확도를 구하기 위하여 합성 표준 불확도에 곱하는 수치인자이다.

27. 최고측정능력(best measurement capability)

규정된 실험실 조건에서 기 확립된 교정 또는 교정 유형에 대하여 교정기관이 달성할 수 있는 최소의 측정 불확도이다.

제 2 절 측정 모델의 설정

1. 측정량의 함수표현

측정결과를 나타낼 때에는 측정값과 그 값과 관련 있는 측정 불확도를 포함하고 있을 때에만 완전해 진다. 측정 불확도는 모든 영향량에 대한 통계처리를 통하여 구할 수 있지만 실제적으로는 측정의 수학적 모델과 불확도 전과법칙을 이용하여 구한다. 수학적 모델은 요구되는 정확도 수준에 맞추어야 한다.

측정결과에 영향을 미치는 불확도 요인은 다양하고 복잡하지만 일반적으로 고려해야만 하는 전형적인 불확도 요인들을 살펴보면 다음과 같다.

- 가. 측정에 필요한 조건에 대한 불완전한 정의(예 : 실내 온도에서 측정)
- 나. 측정에 필요한 조건은 명확하게 정의되어 있으나 실험조건을 완전히 갖추지 못한 경우
- 다. 충분히 재현될 수 없는 표본추출로 측정된 표본이 정의된 측정량으로 재현될 수 없는 것
- 라. 측정과정에 미치는 환경 조건의 영향에 대한 지식 부족 및 환경 조건을 완전하게 측정하지 못한 경우
- 마. 아날로그 기기에서의 개인적인 판독 차이
- 바. 기기의 분해능과 검출 한계 또는 척도의 눈금 오차

- 사. 측정표준과 기준물질의 부여된 값
- 아. 측정장비를 교정 받은 후 특성이나 성능의 변화
- 자. 데이터 평가에 이용되는 상수들과 다른 조변수의 값
- 차. 측정 방법과 측정 과정에서 사용되는 근사값과 여러 가지 가정
- 차. 외관상 이상적인 조건에서 반복 관찰 값의 변동

교정을 하기 위하여 측정을 수행하는 대부분의 경우, 측정량 Y 는 직접 측정되는 값고 모델함수 f 를 통하여 n 개의 입력량 $X_i(i=1,2,3,\dots,n)$ 에 의하여 결정된다.

$$Y=f(X_1,X_2,\dots\dots\dots X_n) \quad (2-1)$$

모델함수 f 는 입력량 X_i 의 값으로부터 출력량 Y 값이 어떻게 얻어지는지를 기술하는 측정절차와 평가방법을 나타낸다. 대부분의 경우에 이것은 분석적으로 표현되지만, 하나의 함수로써 나타낼 수 없는 복잡한 체계적인 결과에 대한 교정 작업과 교정 요인을 포함하는 표현의 집합이 될 수도 있다. 또한 모델함수 f 는 실험을 통해서나 수치 해석적인 방법으로 정해지거나, 앞의 2가지 경우의 조합으로 결정된다.

입력량 X_i 는 표현되는 값에 따라 다음의 2가지 부류로 나뉘어 지고, 그에 따라 불확도는 다음과 같이 결정된다.

- 가. 추정값 및 불확도가 현재의 측정에서 직접 결정되는 양으로 한번의 관측이나 반복된 관측이나 경험에 의한 판단에 의해 얻어질 수 있다. 이러한 값들은 주위온도나 대기압 이나 대기습도와 같이 영향을 주는 양뿐만 아니라 기기 지시값의 보정항 등을 생각 할 수 있다. (A형 표준 불확도)
- 나. 추정값 및 불확도가 외부로부터 도입되는 양으로 교정된 측정표준, 인증 표준물질(CRM), 기준자료 또는 핸드북 등 과 같이 외부 정보로 부터 얻어지는 측정 불확도의 양. (B형 표준 불확도)

2. 측정량의 추정값

n 개의 입력 $X_i(i=1,2,3,\dots,n)$ 의 입력 추정값 x_i 로 측정량 Y 의 추정값은 y 는 식 (2-2)와 같이 나타내 진다.

$$y=f(x_1,x_2,\dots,x_n) \quad (2-2)$$

3. y 와 x_i 의 추정 표준 편차

측정량의 추정값 y 의 추정 표준 편차는 합성 표준 불확도라 부르고 $u_c(y)$ 로 나타내며, 각 입력량의 추정값 x_i 의 추정 표준 편차인 표준 불확도 $u(x_i)$ 로 부터 구해진다.

4. 입력량의 확률 분포와 표준 불확도

각 입력량의 추정값 x_i 와 이에 대한 표준 불확도 $u(x_i)$ 는 입력량 X_i 가 가질 수 있는 값들의 분포로부터 얻어진다.

입력 추정값과 연관된 측정 불확도는 ‘A형’이나 ‘B형’과 같은 평가방법에 따라 평가된다.

A형 표준 불확도는 연속적인 측정을 통해 얻은 통계적인 분석으로 불확도를 평가하는 방법으로 빈도분포에 근거를 두고 있다. 반면에 B형 표준 불확도는 연속적인 측정의 통계적인 분석값 과는 다른 수단에 의해 결정된 불확도를 평가하는 방법으로 선형적인 분포에 근거를 두고있다.

제 3 절 A형 불확도 평가

1. 입력량의 추정값

동일한 측정조건에서 한 개의 입력량에 대하여 몇 개의 독립된 관측을

수행하는 경우에 A형 표준 불확도를 적용할 수 있으며 측정과정에서 충분한 분해능이 있다면 얻어진 값의 분산이나 산포를 얻을 수 있다.

동일한 측정 조건에서 n 개의 반복 측정값 q_k 가 얻어졌다면, 이 값들의 산술평균 \overline{q} 는 식 (2-3)과 같이 구해진다.

$$\overline{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (2-3)$$

따라서, n 개의 독립된 반복 측정값 $X_{i,k}$ 로부터 추정되는 입력량 X_i 에 대하여 식 (2-3)으로부터 얻어지는 산술평균 $\overline{X_i}$ 가 식 (2-2)의 입력 추정값 x_i 로 사용되어 측정결과 y 를 결정한다. 즉, $x_i = \overline{X_i}$ 이다.

2. 실험 표준편차

n 개의 독립된 반복 측정 값 q_k 는 측정에 영향을 주는 양들의 우연효과에 의하여 각기 다른 값을 가지게 된다. 관측값의 실험분산은 q 의 확률분포의 분산 σ^2 을 추정하는 것으로서 식 (2-4)로 주어진다.

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - \overline{q})^2 \quad (2-4)$$

식 (2-4)로 나타낸 추정 분산값의 양의 제곱근인 $s(q_k)$ 는 실험 표준편차로 q_k 의 변동도를 나타내며, 이는 산술평균 \overline{q} 로부터 산포된 정도를 나타낸다.

3. 입력량의 A형 표준 불확도

산술평균 \overline{q} 의 분산의 최적 추정값은 평균의 실험분산이며, 식 (2-5)와 같이 주어진다.

$$s^2(\overline{q}) = \frac{s^2(q)}{n} \quad (2-5)$$

식 (2-4)로 나타낸 평균의 실험분산의 양의 제곱근을 평균의 실험 표준편차라고 부르며, \overline{q} 에 대한 불확도 척도로 사용한다.

그러므로 n 개의 독립된 반복 관측값 $X_{i,k}$ 로부터 결정된 입력량 X_i 에 대하여, $x_i = \overline{X_i}$ 의 표준 불확도 $u(x_i)$ 는 식 (2-4)와 식 (2-5)로부터 식 (2-6)과 같이 구해진다.

$$u(x_i) = s(\overline{X_i}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_{i,k} - \overline{X_i})^2} \quad (2-6)$$

식 (2-6)를 A형 표준 불확도라 한다.

4. A형 불확도의 자유도

표준 불확도 $u(x_i)$ 의 자유도 ν_i 는 $x_i = \overline{X_i}$ 와 $u(x_i) = s(\overline{X_i})$ 가 n 개의 독립된 관측으로부터 계산되는 단순한 경우에는 n-1이며, A형 불확도를 평가하여 보고할 때 명시해야만 한다.

5. 상관관계가 있는 우연 변동의 추정

어떤 입력량들을 관측할 때 우연변동을 일으키는 양들이 서로 상관관계가 있으면 평균이나 평균의 실험 표준편차의 추정이 부적절할 수가 있다. 이런 경우의 관측은 상관관계가 있는 우연 변동을 다룰 수 있는 통계법으로 분석되어야 한다.

제 4 절 B형 불확도 평가

1. B형 표준 불확도

반복 관측의 통계적인 분석이 아닌 다른 방법에 의해 입력량 X_i 의 추정값 x_i 와 관련된 불확도의 평가이다. 표준 불확도 $u(x_i)$ 는 X_i 의 변동성에 관하여 얻을 수 있는 모든 정보에 근거한 과학적인 판단에 의해 평가된다. 이러한 범주에 속하는 값들은 아래와 같은 것으로부터 얻어진다.

- 과거 측정 데이터
- 관련 물질이나 장비의 거동 및 특성에 대한 경험이나 일반지식
- 제작사의 규격
- 교정성적서 및 기타 인증서에 주어진 데이터
- 핸드북에서 인용한 참고 자료의 불확도

이와 같은 방법으로 평가된 $u^2(x_i)$ 와 $u(x_i)$ 를 각각 B형 분산과 B형 불확도라 한다.

2. B형 평가의 신뢰성

측정 B형 표준 불확도와 관련된 유용한 정보를 잘 사용하기 위해서는 경험과 일반 지식에 기반을 둔 통찰력이 필요하다. 이것은 실습을 통하여 습득된다. 제대로 된 기반 하에서 얻어진 B형 표준 불확도는 특별히 A형 평가가 비교적 통계적으로 적은 횟수만의 독립적인 관측에 기반을 둔 측정상황에서, 표준 불확도의 A형 평가처럼 신뢰할 수 있다.

제 5 절 그림을 이용한 표준 불확도 평가

1. 그림을 이용한 A형 표준 불확도 이해

그림 2-1은 반복된 관측으로부터 구한 측정값의 미지의 분포로부터 입력량 X_i 의 추정값과 그 불확도의 평가를 나타내고 있다.

그림 2-1 (a)에서 입력량 X_i 는 전압 V 이고, 그 미지의 분포는 기댓값 $\mu_V = 100\text{ V}$, 표준편차 $\sigma = 1.5\text{ V}$ 인 정규 분포를 나타낸다.

그림 2-1 (b)는 그림 2-1 (a)의 분포로부터 무작위로 추출하였다고 가정한

전압 V 를 $n=20$ 회 반복 관측한 V_k 값을 막대 그래프로 나타낸 것이다.

식 (2-3)을 이용하여 계산한 관측값의 산술평균, 즉 평균값 $\bar{V} = 100.14$ V이다. 이는 이용할 수 있는 데이터에 근거한 기댓값 μ_V 의 최적 추정값이라 가정한다. 식 (2-4)를 이용하여 계산한 실험 표준 편차 $s(V_k) = 1.49$ V이다. 식 (2-5)를 이용하여 계산한 평균값의 실험 표준 편차, 즉 평균값 \bar{V} 의 표준 불확도 $u(\bar{V}) = s(\bar{V}) = s(t_k)/\sqrt{20} = 0.33$ V이다.

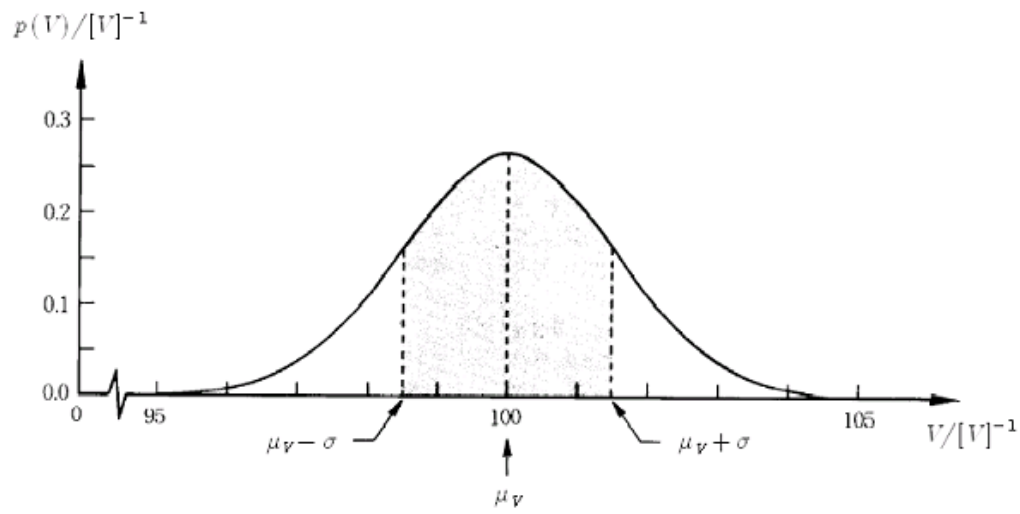
2. 그림을 이용한 B형 표준 불확도 이해

그림 2-2는 수집 가능한 모든 정보로부터 X_i 의 가능한 값의 선형적 분포, 혹은 X_i 의 확률 분포로부터 입력량 X_i 의 추정값과 불확도 평가를 나타내고 있다. 여기서 입력량 X_i 는 전압 V 이다.

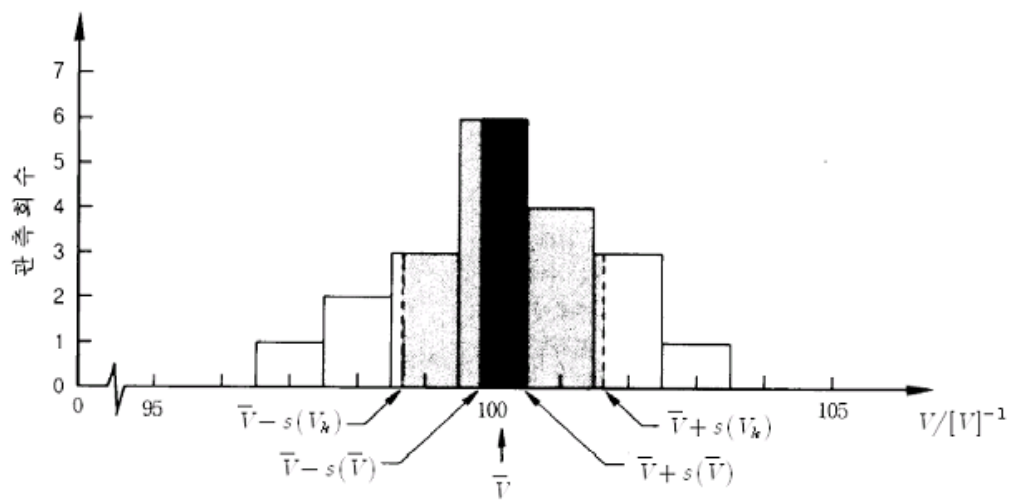
그림 2-2 (a)는 입력량 V 에 대하여 이용할 수 있는 정보는 거의 없고, 단지 하한값 $a_- = 96$ V이고, 상한값 $a_+ = 104$ V이며 반너비 $a = (a_+ - a_-)/2 = 4$ V인 대칭 직사각형 분포로 기술된다.

직사각형 분포의 경우 입력량 X_i 의 값이 a_- 와 a_+ 에 있을 확률은 1이고, 이 구간 밖에 있을 확률은 0이다. 따라서 V 의 최적 추정값은 그의 기댓값인 $\mu_V = (a_+ + a_-)/2 = 100$ V이며, 추정값의 표준 불확도는 $u(\mu_V) = a/\sqrt{3} = 2.3$ V이다.

그림 2-2 (b)는 입력량 V 에 대하여 이용할 수 있는 정보는 거의 없고, 단지 하한값 $a_- = 96$ V이고, 상한값 $a_+ = 104$ V이며 반너비 $a = (a_+ - a_-)/2 = 4$ V인 대칭 삼각형 분포로 기술된다. V 의 기댓값은 $\mu_V = (a_+ + a_-)/2 = 100$ V이며, 이 추정값의 표준 불확도는 $u(\mu_V) = a/\sqrt{6} = 1.6$ V이다.



(a)

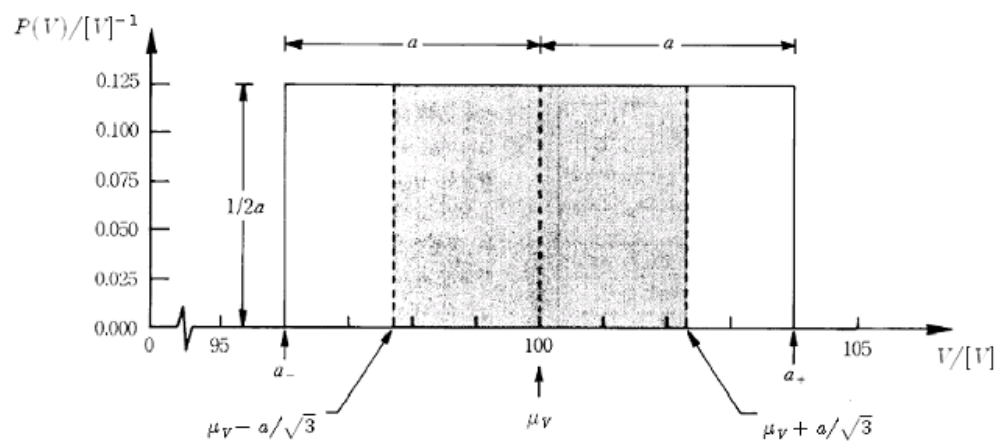


(b)

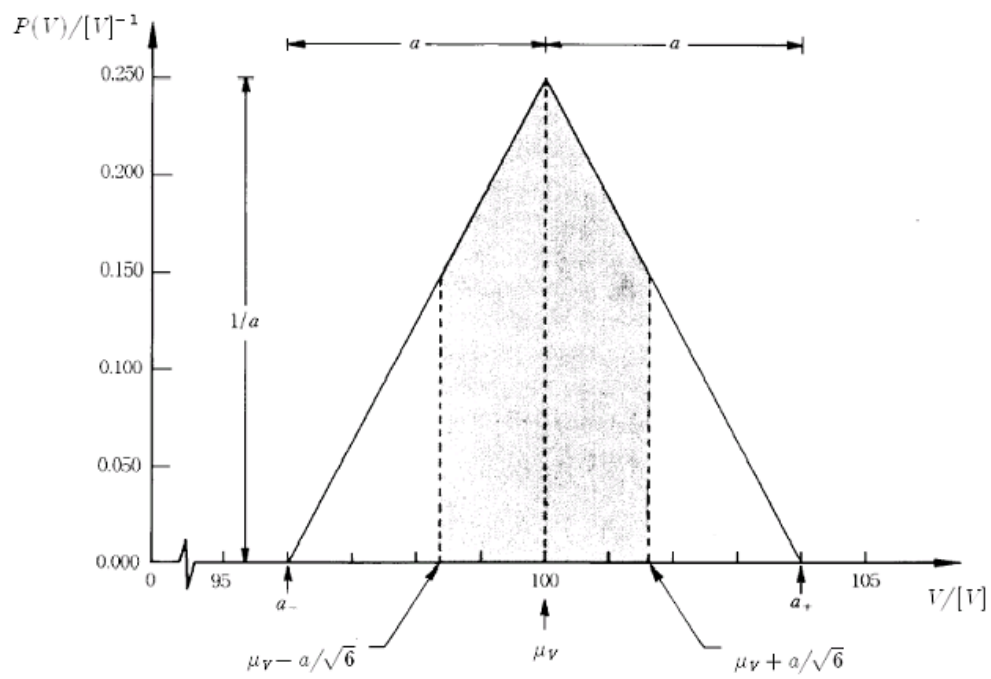
그림 2-1 반복 관측한 입력량을 이용한 표준 불확도

(a) 20회 반복 측정된 전압의 분포 곡선

(b) 20회 반복 측정된 전압의 막대 그래프



(a)



(b)

그림 2-2 선형적 분포로부터 얻은 입력량의 표준 불확도

(a) 대칭 직사각형 분포

(b) 대칭 삼각형 분포

제 6 절 합성 표준 불확도

1. 상관 관계가 없는 입력량의 합성 표준 불확도

n 개의 입력량 X_i ($i = 1, 2, \dots, n$)들이 서로 상관 관계가 없는 경우, 즉 서로 독립적으로 구해질 때 합성 표준 불확도 $u_c(y)$ 는 합성분산인 $u_c^2(y)$ 의 양의 제곱근으로 식 (2-7)로 부터 구해진다.

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n u_i^2(y) \quad (2-7)$$

식 (2-7)에서 $u_i(y)$ ($i=1, 2, \dots, n$)는 입력 추정값 x_i 와 관련된 표준 불확도로서 추정값 y 의 표준 불확도에 미치는 기여도를 나타내는 값으로 식 (2-8)과 같다.

$$u_i(y) = |c_i| u(x_i) \quad (2-8)$$

식 (2-8)에서 $u(x_i)$ 는 입력량의 추정값 x_i 의 표준 불확도로서 A형 불확도 평가와 B형 불확도 평가로부터 구해진다. c_i 는 입력 추정값 x_i 의 감도계수를 나타낸다. 감도계수는 입력 추정값 x_i 서 평가된 값인 X_i 와 비교한 모델함수 f 의 편미분 값으로 식 (2-9)와 같다.

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (2-9)$$

2. 상관 관계가 있는 입력량의 합성 표준 불확도

만약 두 개의 입력량 X_i 와 X_j 가 어느 정도 상관관계가 있다고 알려진

다면 즉, 서로 종속되어 있다면, 두 추정값 x_i 와 x_j 에 관련된 공분산은 불확도에 대한 추가적인 기여 항으로 간주되어야 한다.

$$u(x_i, x_j) = u(x_i)u(x_j)r(x_i, x_j) \quad (i \neq j) \quad (2-10)$$

식 (2-10)에서 상관관계의 정도는 상관계수 $r(x_i, x_j)$ 에 의해 특성화된다. (여기서 $i \neq k$ 이고, $|r| \leq 1$)

P 와 Q 라는 두 개의 양에 대해 동시에 반복 측정한 n 개의 독립쌍 측정값에 대해서, 산술평균 \bar{p} 와 \bar{q} 에 관련된 공분산은 식 (2-11)과 같이 주어지며, 식 (2-11)에서 r 을 치환해서 계산된다.

$$s(\bar{p}, \bar{q}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^n (p_j - \bar{p})(q_j - \bar{q}) \quad (2-11)$$

영향량들에 대한 상관관계 정도는 경험에 기초해야 한다. 상관관계가 있다면 식 (2-7)은 다식 들과 같이 대체되어야 한다.

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n c_i^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_i c_j u(x_i, x_j) \quad (2-12)$$

혹은

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n u_i^2(y) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n u_i(y) u_j(y) r(x_i, x_j) \quad (2-13)$$

여기서 c_i 와 c_j 는 식 (3-9)에서 정의된 감도계수이며, $u_i(y)$ 는 식(2-8)에서 주어진 입력량 x_i 의 표준 불확도로 부터 발생하는 추정값 y 의 표준 불확도에 대한 기여성분이다. 식(2-12)이나 식 (2-13)에서 두 번째 합계항은 음수가 될 수도 있다는 것을 명심해야 한다.

3. 측정 불확도 분석

정확하게 하기 위해 측정 불확도 총괄표를 작성하여 불확도 분석에 필요한 적절한 데이터들을 제시하는 것이 좋다. 각 표준 불확도와 불확도를 평가하는 방법들을 포함해야만 하며, 총 관측횟수 n 이 언급되어야 한다. 이 목록에서 모든 양은 물리적인 기호 X_i 나 짧은 인식기호로 언급되어야 한다. 각 목록에서 최적의 추정값 x_i , 측정 표준 불확도 $u(x_i)$, 감도계수 c_i 와 별개의 불확도 기여도 $u_i(y)$ 가 명시되어야 한다. 각각의 양들의 차원도 또한 표에서 주어진 수치 값들과 함께 명시되어야 한다.

표 2-1은 측정 불확도 총괄표에 대한 예로 서로 상관관계가 없는 입력량들의 경우에 적용될 수 있다. 표의 오른쪽 하단에 주어진 측정결과 $u_c(y)$ 와 연관된 표준 불확도는 바깥의 오른쪽 열에 있는 모든 불확도 기여값의 제곱의 합의 양의 제곱근과 같다. 목록의 “-” 부분은 채우지 않는다.

표 2-1 측정 불확도 총괄표

양 (X_i)	추정값 (x_i)	표준불확도 $u(x_i)$	확률분포	감도계수 c_i	불확도 기여분 $u_i(y)$
X_1	x_1	$u(x_1)$		c_1	$u_1(y)$
X_2	x_2	$u(x_2)$		c_2	$u_2(y)$
:	:	:		:	:
X_N	x_N	$u(x_N)$		c_N	$u_N(y)$
Y	y	-	-	-	$u_c(y)$

제 7 절 확장 불확도

1. 확장 불확도

측정 결과에 대한 불확도 표현은 합성 표준 불확도 $u_c(y)$ 를 사용할 수 있다. 그러나 상업이나 산업 분야의 어느 특정한 경우, 규제에 적용할 경우 및 보건과 안전에 관련된 경우에는 측정량의 합리적인 추정값이 이루는 분포의 대부분을 포함하는 것으로 기대되는 측정결과 주위의 어떤 구간을 정의해 줄 수 있는 불확도의 척도가 종종 필요하다. 이러한 구간에 대한 요구조건을 충족시키는 불확도의 추가적인 척도를 확장 불확도라 하며, 확장 불확도는 추정값의 합성 표준 불확도 $u_c(y)$ 와 포함인자 (coverage factor) k 의 곱으로 식 (2-14)와 나타낸다.

$$U = k u_c(y) \quad (2-14)$$

식 (2-14)로 부터 측정 결과는 $Y = y \pm U$ 로 나타낸다. 여기서 측정량 Y 에 대한 최적의 추정값은 y 이고, Y 값이 이루는 분포의 대부분이 $y - u$ 에서 $y + u$ 까지의 구간에 포함된 것으로 기대 된다는 것이다.

포함인자 k 는 $y - u$ 에서 $y + u$ 까지의 구간이 요구하는 신뢰 수준에 따라 선택한다. 일반적으로 k 는 2에서 3사이의 값을 가지지만 경우에 따라서는 이 범위를 벗어날 수 있다.

정규분포(가우스 분포)가 추정값에 적용되고 출력 추정값과 연관된 표준 불확도가 충분한 신뢰도를 가지고 있다면, 포함인자는 $k=2$ 로 사용된다. 이 경우 확장 불확도는 약 95 %의 포함 확률에 대응하며, 대부분의 교정 작업에 적용된다.

2. 유효 자유도

포함인자 k 값을 구하기 위해서는 추정값 y 의 합성 표준 불확도 $u_c(y)$ 의

유효 자유도를 추정하여야 한다. 이 유효 자유도는 $u_c(y)$ 가 측정 결과에 수반된 표준편차를 얼마나 잘 추정하고 있는지를 나타내는 것이다. 정규분포의 표준편차를 추정할 때, 추정에 기초로 되는 표본의 크기에 좌우되는 이 추정값의 자유도는 그 신뢰성에 관한 하나의 척도로서 ‘합성 표준 불확도의 불확도 척도’라고 할 수 있다. 추정값의 유효자유도 ν_{eff} 이며, 이는 개별 불확도 기여분 $u_i(y)$ 의 유효 자유도의 적합한 합성으로 어렵짐작하게 된다.

유효 자유도는 다음과 같은 절차를 통하여 구할 수 있다.

식 (2-15)로 주어진 Welch-Satterthwaite 공식으로부터 추정값 y 에 수반된 합성 표준 불확도 $u_c(y)$ 의 유효자유도 ν_{eff} 를 추정한다.

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} \quad (2-15)$$

식 (2-15)에서 ν_i 는 표준 불확도 기여분 $u_i(y)$ 의 유효자유도 이다.

앞에서 논의한 A형 평가로부터 구한 표준 불확도 $u(x_i)$ 의 자유도는 $\nu_i = n - 1$ 로 주어진다. B 형 평가로부터 얻어진 표준 불확도의 자유도를 구하는 것은 보다 문제가 된다. 예를 들어, 입력량 X_i 의 범위가 하한 a_- 및 상한 a_+ 이면서 B형 평가로 얻어진 표준 불확도 $u(x_i)$ 의 자유도는 $\nu_i \rightarrow \infty$ 로 따른다 하여 구할 수 있을 것이다.

표 2-2에 주어진 값을 이용하여 포함인자 k 값을 구한다. 이 표는, 95.45

표 2-2 유효자유도 ν_{eff} 에 대한 포함인자 k 값

ν_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k	13.97	4.53	3.31	2.87	2.65	2.52	2.43	2.37	2.28	2.13	2.05	2.00

%의 포함확률로 구한, t -분포에 근거하고 있다. 대부분이 경우 ν_{eff} 가 정수가 아니며, 이 경우 ν_{eff} 가 바로 아래의 정수로 되도록 소수점 이하를 버린다.

3. 확장 불확도 보고

측정결과를 보고할 때 불확도의 척도가 확장 불확도 $U = ku_c(y)$ 인 경우에는 다음을 내용을 포함하여야 한다.

가. 측정량 Y 가 어떻게 정의되었는가를 완전하게 기술한다.

나. 측정 결과를 $Y = y \pm U$ 로 나타내고, y 와 U 의 단위를 표시 한다.

다. 필요한 경우에는 상대확장 불확도 $U/|y|$ ($|y| \neq 0$)를 포함 시킨다.

라. 확장 불확도 U 를 얻기 위하여 사용한 포함인자 k 값을 제시한다. (또는 사용자의 편의를 위하여 k 및 $u_c(y)$ 를 둘다 표시한다.)

마. 구간 $y \pm U$ 와 관련된 적합한 신뢰 구간과 그 값의 결정 방법을 제공한다.

측정결과와 그 불확도를 얻은 방법을 기술하는 상세 보고서에는 다음 사항이 포함되어야 한다.

가. 각 입력량 추정치 x_i 와 표준 불확도 $u(x_i)$ 의 값과 구한 방법을 기록한다.

나. 상관 관계가 있는 모든 입력량의 추정 공분산 또는 추정 상관계수와 이들을 구하는 방법을 기술한다.

다. 각 입력량 추정값의 표준 불확도에 대한 자유도와 산출 방법을 기록한다.

라. 수학적 관계식 $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 과 필요한 경우 감도 계수 $\partial f / \partial x_i$ 를 기록한다. 실험적으로 계수들이 결정되는 경우에는 반드시 이를 기록해야 한다.

제 8 절 18 GHz에서 전력 센서 교정

1. 전력센서 교정 개요

전자파 분야의 전력 측정용 감지기의 교정에 많이 사용하는 직접 비교법을 이용하여 피 교정 전력 감지기의 교정 방법에 대하여 살펴보려고 한다. 직접 비교법은 전력을 비교하기 위하여 방향성 결합기가 일반적으로 이용되며, 교정인자를 상위 표준 기관에서 측정하여 알고있는 2개의 표준 전력 감지기가 이용된다. 기본적인 원리는 2개의 표준 전력 감지기가 측정하는 전력과 피측정 전력 감지기가 측정하는 전력을 비교하여 피 측정 전력 감지기의 교정인자를 구하는 것이다.

2. 측정 원리

그림 2-3에서 피 교정 전력 감지기의 교정 인자는 식 (2-16)과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} K_D &= K_S \frac{I_{MS}}{I_S} \frac{I_D}{I_{MD}} \frac{|1 - \Gamma_2 \Gamma_S|^2}{|1 - \Gamma_2 \Gamma_D|^2} \\ &= K_S \frac{R_S}{R_D} \frac{M_S}{M_D} \end{aligned} \quad (2-16)$$

식 (2-16)에서

$$R_D = \frac{I_D}{I_{MD}}$$

$$R_S = \frac{I_{MS}}{I_S}$$

$$M_S = |1 - \Gamma_S \Gamma_2|^2$$

$$M_D = |1 - \Gamma_D \Gamma_2|^2$$

K_D : 피교정 써미스터 마운트의 교정인자,

K_S : 표준 써미스터 마운트의 교정인자,

I_D : 포트-2에 피교정 써미스터 마운트가 연결될 때의 DC 대체전력,

I_S : 포트-2에 표준 써미스터 마운트 연결될 때 DC 대체전력,

I_{MD} : 포트-2에 피교정 써미스터 마운트가 연결될 때 감시포트인 포트-3에서 측정된 DC 대체전력,

I_{MS} : 포트-2에 표준 써미스터 마운트가 연결될 때 감시포트인 포트-3에서 측정된 DC 대체전력,

Γ_2 : 측정포트의 유효 반사계수

Γ_S : 표준 써미스터 마운트의 반사계수

Γ_D : 피교정 써미스터 마운트의 반사계수

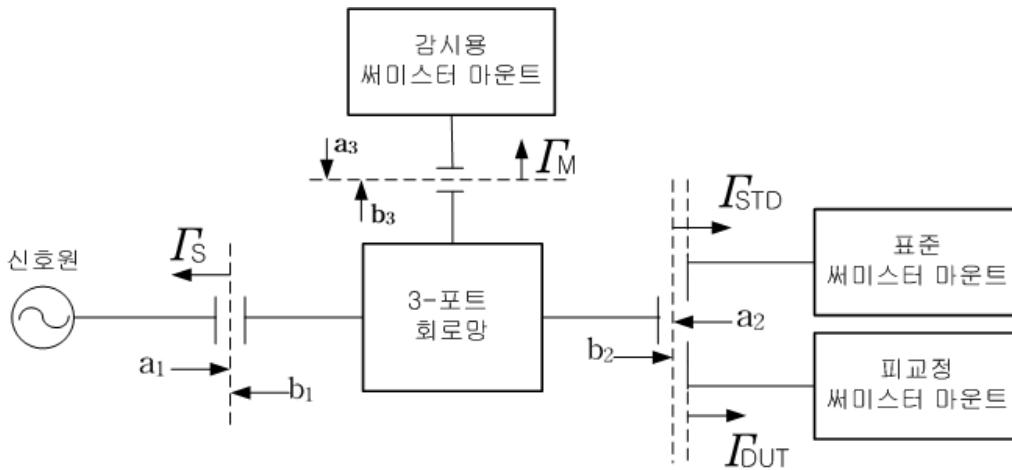


그림 2-3 방향성 결합기를 이용한 전력 감지기 교정 시스템

$$\Gamma_2 = S_{22} - S_{21}S_{32}/S_{31} : \text{신호원 유효 반사계수}$$

를 각각 나타낸다.

식 (2-16)으로 피측정 써미스터 마운트의 교정 인자를 구할 때 합성 표준 불확도는 각 측정량의 표준 불확도로 부터 식 (2-17)과 같이 구해진다.

$$u_c(K_D) = \sqrt{\left(\frac{\partial K_D}{\partial K_S}\right)^2 u_c^2(K_S) + \left(\frac{\partial K_D}{\partial R_D}\right)^2 u_c^2(R_D) + \left(\frac{\partial K_D}{\partial R_S}\right)^2 u_c^2(R_S)} \\ + \sqrt{\left(\frac{\partial K_D}{\partial M_D}\right)^2 u_c^2(M_D) + \left(\frac{\partial K_D}{\partial M_S}\right)^2 u_c^2(M_S)} \quad (2-17)$$

식 (2-17)에서 감도계수는 식 (2-18)과 같다.

$$\frac{\partial K_D}{\partial K_S} = \frac{K_D}{K_S}, \quad \frac{\partial K_D}{\partial R_D} = -\frac{K_D}{R_D}, \quad \frac{\partial K_D}{\partial R_S} = \frac{K_D}{R_S}, \\ \frac{\partial K_D}{\partial M_D} = -\frac{K_D}{M_D}, \quad \frac{\partial K_D}{\partial M_S} = \frac{K_D}{M_S} \quad (2-18)$$

식 (2-17)에서 각 불확도 요인들을 분석하여 보면 다음과 같다.

가. $u_c(K_S)$: 표준 써미스터 마운트의 교정인자 표준 불확도

전자와 전력의 표준 소급을 위해서 상위표준 기관에서 표준 써미스터 마운트의 교정인자를 구할 때의 불확도이다.

나. 전력비 측정 표준 불확도

써미스터 마운트를 이용하여 전자와 전력을 정밀하게 측정하기 위해서는 써미스터 마운트에 연결된 전력계 내부의 브릿지 회로에서 직접 전력을 측정하여야 한다. 써미스터 마운트를 감지기로 전자와 전력을 측정하는 전력계의 경우 내부 브릿지 회로의 평형 조건에서 외부에서 써미스터 마운트에 가해지는 전력을 측정할 수 있도록 전력계 외부에 V_{COMP} 와 V_{RF} 단자가 마련되어 있다.

전자와 전력을 써미스터 마운트에 가한 뒤 V_{COMP} 출력과 V_{RF} 출력 전압을 측정하여 써미스터 마운트에 가한 전력의 DC 대체 전력을 구하는 식은 식 (2-19)와 같이 나타내진다.

$$P_{RF} = \frac{1}{4R} [(V_{COMP} + V_{RF})(V_{COMP} - V_{RF})] \quad (2-19)$$

식 (2-19)에서 R은 써미스터 마운트의 저항으로 동축형 써미스터 마운트는 200 Ω이고 도파관형 써미스터 마운트는 100 Ω이다.

써미스터 마운트를 교정하기 위해서는 전력을 6번 반복 측정을 하여야 한다. 따라서 식 (2-19)를 이용하여 전력을 측정할 때에는 반복 측정에 의한 A형 불확도와 전력계와 전압 측정용 DVM의 특성에 의하여 주어지는 B형 불확도를 고려하여야 한다.

$u_c(R_S)$: 표준 써미스터 마운트를 방향성 결합기의 포트-2에 연결하고 측정한 전자파 전력과 포트-3에 연결된 감시용 전력계로 측정한 전자파 전력의 전력비를 구할 때의 불확도 이다.

$u_c(R_D)$: 피 측정 써미스터 마운트를 방향성결합기의 포트-2에 연결하고 측정한 전자파 전력과 포트-3에 연결된 감시용 전력계로 측정한 전자파 전력의 전력비를 구할 때의 불확도이다.

이 전력비 측정 불확도에는 반복 측정에 의한 A 형 불확도와 측정 시스템의 B형 불확도가 포함된다. 식 (2-19)를 이용하여 전력을 측정하여 전력비를 구하는 오차는 0.03 % 정도이다.

다. 부정합 표준 불확도

식 (2-16)에서 시스템의 부정합 인자는 식 (2-20)과 같이 나타낼 수 있다.

$$M = M_D M_S = \frac{|1 - \Gamma_2 \Gamma_S|^2}{|1 - \Gamma_2 \Gamma_D|^2} \quad (2-20)$$

식 (2-20)에서 방향성 결합기의 등가 신호원 반사계수인 Γ_2 에 대하여 살펴보자. 방향성 결합기의 등가 신호원 반사계수 Γ_2 는 신호원에 의하여 영향을 받지 않고 단지 방향성 결합기의 S 파라미터로만 나타내짐을 알 수 있다. 이의 정확한 측정이 간단하지 않고, 부정합 불확도에 기여하는 정도가 크기 때문에 전자파 전력 측정에서 많은 관심의 대상이 되는 측정량이다.

근사적인 측정 방법으로 벡터 회로망 분석기를 이용하여 방향성 결합기의 S_{22} 만을 측정하는 방법이 있다. 이 경우에는 방향성 결합기의 모든 포트들이 정합된 부하를 연결한 경우에 측정한 값이다. 그러나 식 (8)의 오른쪽 항 중 두 번째 항에는 방향성 결합기의 방향성인 S_{32}/S_{31} 과 주 선로의 손실인 S_{21} 을 포함하고 있기 때문에 오차를

포함하고있다. 만약 방향성 결합기의 방향성이 크다면 이 항들의 영향을 무시할 수 있다.

측정이 이루어지는 방향성 결합기의 포트-2에서 측정한 S_{22} 로 Γ_2 로 대신할 때 여기에 포함된 오차들은 1) 방향성 결합기의 유한한 방향성에 의한 오차, 2) 방향성 결합기의 포트-1에 불완전한 부하 효과에 의한 오차 및 3) 포트-3에서의 불완전한 부하 효과에 의한 오차 등을 생각할 수 있다. 예를 들어 방향성 결합기의 방향성이 30 dB라면 1)에의한 오차가 약 0.03이 된다. 만약 이 방향성 결합기의 포트-2에 10 dB 감쇠기를 연결한다면 오차가 0.003로 줄어들어 거의 무시할 수 있게 된다. 또한 방향성 결합기의 결합도가 10 dB인 경우 신호원의 반사계수를 0.01로 가정할 때 2)에 의한 오차는 0.01이지만, 이 경우에도 방향성 결합기의 포트-2에 10 dB 감쇠기를 단다면 오차가 0.001로 줄어 들게된다. 3)에 의한 영향은 방향성 결합기의 구조에 의하여 무시 가능하다.

따라서 측정 시스템을 나타내는 그림 2에서 방향성 결합기의 결합도가 10 dB이고 방향성이 30 dB 이 되도록 선택하면 0.003의 오차 범위에서 S_{22} 로 Γ_2 를 대신 할수 있다.

또한 M_D 와 M_S 의 측정시 각 반사계수를 크기만 측정하는 경우 위상 측정을 하지 않음으로서 오차가 발생하게되는데 이 때의 오차는 각 반사계수의 분포가 U자형 확률분포 함수와 같이 분포함으로 다음과 같이 계산된다.

$u_c(M_D) = \sqrt{2} |\Gamma_2| |\Gamma_D|$: 피 측정 써미스터 마운트로 전력 측정시의 부정합에 의한 표준 불확도이다.

$u_c(M_S) = \sqrt{2} |\Gamma_2| |\Gamma_S|$: 표준 써미스터 마운트로 전력 측정시의 부정합에 의한 표준 불확도이다.

실제 부정합에 의한 불확도 산출시에는 반사계수 측정에 이용한 회로망 분석기의 불확도를 고려하여야 한다.

3. 교정 인자의 측정 및 불확도 산출

그림 2-3을 그림 2-4와 같이 수정하여 측정 시스템을 구성하였다. 전력 비교 및 감시용으로 사용하는 방향성 결합기는 방향성이 30 dB 이상이고 결합도가 약 10 dB 이며, 방향성 결합기의 포트-2와 측정면 사이에 정밀급의 10 dB 감쇠기

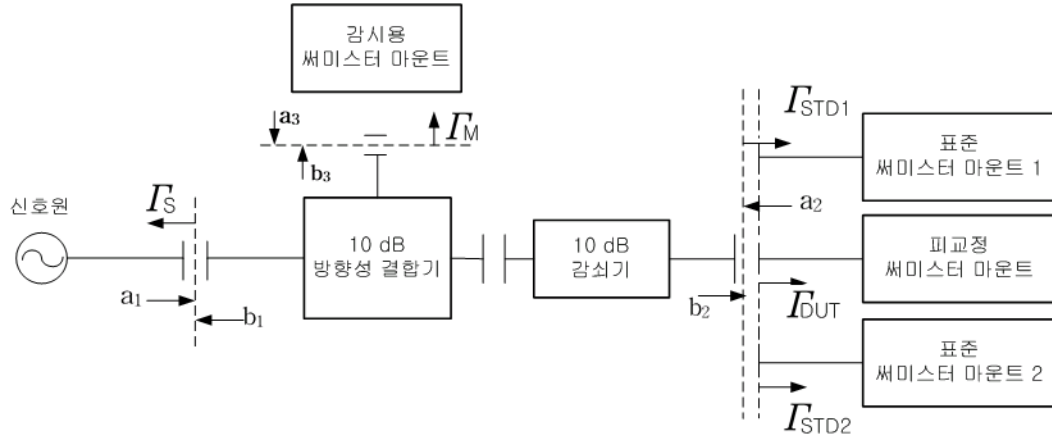


그림2-4 써미스터 마운트 교정 시스템의 블록도

를 부착하여 방향성 결합기의 등가 신호원 반사계수의 영향에 의한 불확도를 줄이도록 하였다.

표준 써미스터 마운트 2개 (교정인자 K_{S1} 과 K_{S2}) 로 식 (2-16)을 이용하여 구한 피측정 써미스터 마운트의 교정 인자를 K_{D1} , K_{D2} 라하고, 이 때 각 경우의 합성 표준 불확도를 $u_c(K_{D1})$, $u_c(K_{D1})$ 라고 하면 피교정 써미스터 마운트의 교정 인자와 합성 표준 불확도는 각각 식 (2-21)과 식 (2-22)와 같이 구해진다.

$$K_D = \frac{1}{2} (K_{D1} + K_{D2}) \quad (2-21)$$

$$u_c(K_D) = \sqrt{\frac{u_c^2(K_{D1}) + u_c^2(K_{D2})}{2}} \quad (2-22)$$

측정 포트에 약 10 mW의 전력을 가하고 2개의 표준 써미스터 마운트를 이용하여 6번 반복 측정하여 그 평균값으로부터 피측정 써미스터 마운트의 교정 인자를 구하였으며, 식 (2-21)과 식 (2-22)를 이용하여 계산한 피교정 써미스터 마운트의 교정 인자와 불확도를 구할 수 있다.

식 (2-21)로 나타낸 피 교정 전력 감지기의 교정 인자를 18 GHz에서 구할 때 포함된 불확도를 표 2-3에 불확도 총괄표로 나타내었다.

표 2-3에서

$u_c(K_{S1}), u_c(K_{S2})$: 표준 써미스터 마운트의 합성 표준 불확도 이고,
 $u_c(R_{S1}), u_c(R_{S2}), u_c(R_D)$: 표준 써미스터 마운트 들과 피교정 써미스터 마운트를 이용한 전력비 측정시 6회 반복 측정에 의한 표준 불확도 ,

표 2-3 불확도 총괄표

양 (X_i)	추정값 (x_i)	표준불확도 $u(x_i)$	확률분포	감도계수 c_i	불확도 기여분 $u_i(y)$
K_{D1}	96.55	—	—	—	—
K_{D2}	96.49	—	—	—	—
표준 써미스터 마운트의 교정인자					
표준기 1: $u_c(K_{S1})$	0	0.01	정 규	0.983	0.0098
표준기 2: $u_c(K_{S2})$	0	0.01	정 규	0.977	0.0098
전력비 측정					
표준기 1: $u_c(R_{S1})$	0	0.0004	정 규	9.636	0.0039
표준기 2: $u_c(R_{S2})$	0	0.0003	정 규	9.669	0.0029
피교정기: $u_c(R_D)$	0	0.0001	정 규	-10.00	0.0010
측정 시스템 : $u_c(MES)$	0	0.0003	직 각	1	0.0003
부정합 불확도					
피교정기: $u_c(M_D)$	0	0.0051	U	-0.972	0.0050
표준기1: $u_c(M_{S1})$	0	0.0044	U	0.969	0.0043
표준기2: $u_c(M_{S2})$	0	0.0062	U	0.991	0.0061
회로망분석기의 반사계수: $u_c(N)$	0	0.0083	U	1	0.0083
Y	96.52	—	—	—	$u_c(k_{D1})=0.01$ 7 $u_c(k_{D2})=0.01$ 6

$u_c(MES)$: 전력비 측정시스템의 표준 불확도,

$u_c(M_D)$, $u_c(M_{S1})$, $u_c(M_{S2})$: 피교정 써미스터 마운트 및 표준 써미
스터 마운트들이 측정면에 연결될 때의 표준 불확도,

$u_c(N)$: 회로망 분석기를 이용한 반사계수 측정의 합성 표준 불확도

를 각각 나타낸다.

표 2-3에 나타낸 각 불확도 요인으로부터 합성 표준 불확도를 나타내는 식인 식 (2-17)를 식 (2-23)과 같이 수정하였다.

$$u_c(K_D) = \sqrt{\left(\frac{\partial K_D}{\partial K_S}\right)^2 u_c^2(K_S) + \left(\frac{\partial K_D}{\partial R_D}\right)^2 (u_c^2(R_D) + u_c^2(MES)) + \left(\frac{\partial K_{D1}}{\partial M_D}\right)^2 (u_c^2(M_D) + u_c^2(N)) + \left(\frac{\partial K_{D1}}{\partial M_{S1}}\right)^2 (u_c^2(M_{S1}) + u_c^2(N))} \quad (2-23)$$

식 (2-23)을 이용하여 합성 표준 불확도를 구하면 식 (2-24)와 같이 구해진다.

$$u_c(K_D) = \frac{\sqrt{0.017^2 + 0.016^2}}{\sqrt{2}} = 0.0170 \quad (2-24)$$

식 (2-21)을 이용하여 피 교정 전력 감지기의 교정 인자를 구하고, 신뢰수준은 95.45 %로 하면, 이에 대한 포함 인자는 $k=2$ 이다. 따라서 식 (2-22)를 이용하여 18 GHz에서 교정인자 측정 확장 불확도를 구하면 다음과 같다.

$$K_D = \frac{96.55 + 96.49}{2} = 96.52$$

$$U = k \times u_c(K_D) = 2 \times 0.017 = 3.4 \%$$

유효 자유도는 식 (2-15)에 의하여 $\nu_{eff} = 81.49$ 이다.

제 3 장 정전기 방전 내성 시험설비 교정

제 1 절 용어의 정의

1. 성능의 저하 (degradation of performance)

기기, 장비 혹은 시스템의 동작 성능이 의도된 성능에서 벗어난 상태를 말한다.

2. 전자기 양립성 (EMC, electromagnetic compatibility)

어떤 전자파 환경 내에서 다른 어떤 것에도 전파방해를 일으키지 않고 만족스럽게 동작하는 장비나 시스템의 능력을 나타낸다.

3. 에너지 축적 캐패시터 (energy storage capacitor)

시험 전압값으로 충전된 인체의 용량을 나타내는 정전기방전 발생기의 캐패시터, 집중 성분이나 분포 캐패시터로 나타내어 질 수 있다.

4. 정전기 방전(ESD, electrostatic discharge)

직접 접촉이나 근접한 다른 정전위 물체 사이에서 발생하는 전하의 전이이다.

5. 수검기기(EUT, equipment under test)

피 시험 기기를 말한다.

6. 기준접지면(GRP, Ground Reference Plane)

공통기준으로 사용되는 전위를 가지는 평평한 도체면을 말한다.

7. 결합면 (coupling plane)

수검시기에 근접한 물체에 정전 방전을 모의 적용하는 방전에 대한 금속판이나 면을 말한다. (HCP : 수평 결합면 ; VCP : 수직 결합면)

8. 유지시간 (holding time)

방전에 앞서 시험전 전압 감소 시간 간격으로 10 %를 초과하지 않는다.

9. 장애에 대한 내성 (immunity to a disturbance)

정전 장애가 존재시 기능의 저하 없이 동작하는 장치, 기기, 시스템의 능력을 말한다.

10. 접촉 방전법 (contact discharge method)

시험발생기의 전극을 수검기기에 접촉한 상태에서 방전시키는 시험법이다.

11. 기중 방전법 (air discharge method)

정전기 방전 발생기의 충전된 전극을 수검기기에 근접시킨 상태에서 수검기기에 스파크에 의해 방전이 이루어지는 시험법이다.

12. 직접 적용 (direct application)

수검기기에 대한 직접적인 방전 적용을 뜻한다.

13. 간접 적용 (indirect application)

수검기기에 인접한 결합면에 대한 방전 및 수검기기에 이웃한 물체에 대한 인체 방전의 모의 적용을 뜻한다.

제 2 절 정전기 내성시험

1. 시험의 목적

정전기 방전 내성 시험은 낮은 상대 습도, 저 전도성의(인공섬유) 카페트의 사용, 비닐 옷의 사용과 같은 주변환경과 설치 조건에 의해서 정전기 방전에 영향을 받을 수 있는 전기, 전자 장비의 내성 성능을 평가하는 것이다.

2. 시험 레벨

정전기 방전 시험에 대한 시험 전압 레벨은 표 3-1와 같으며, 이 보다 낮은 레벨에서도 만족해야 한다. 시험방법은 접촉방전과 기중방전이 있으며, 기중방전은 접촉방전이 적용될 수 없는 곳에서 사용한다.

표 3-1 정전기 방전 시험 레벨

접촉방전		기중방전	
수준	시험전압 (kV)	수준	시험전압 (kV)
1	2	1	2
2	4	2	4
3	6	3	8
4	8	4	15
X ¹⁾	예외	X ¹⁾	예외
1) X는 개방레벨로 시험레벨은 기기의 규정에 따라 특별히 규정되어야 한다. 만약 규정된 것보다 전압이 높을 때에는 특수한 시험장비가 필요하다.			

3. 정전기 발생기의 특성

가. 정전기 발생기의 구조

정전기 발생기는 그림 3-1과 같으며 다음과 같은 주요 부분으로 나누어져 있다.

- 충전용 저항 : R_c
- 에너지 저장 캐패시터 : C_c
- 분포 캐패시터 : C_d
- 방전저항 : R_d
- 전압 지시기
- 방전 스위치
- 방전 전극의 상호 교환 팁 : 그림 3-2 참조
- 방전 회귀선
- 전력 공급기

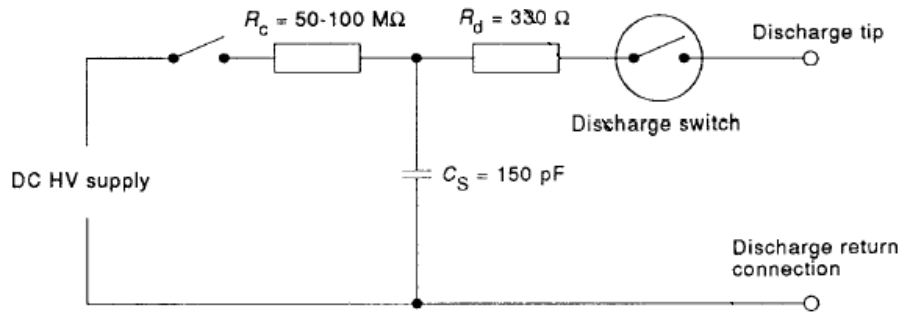


그림 3-1 정전기 발생기의구조

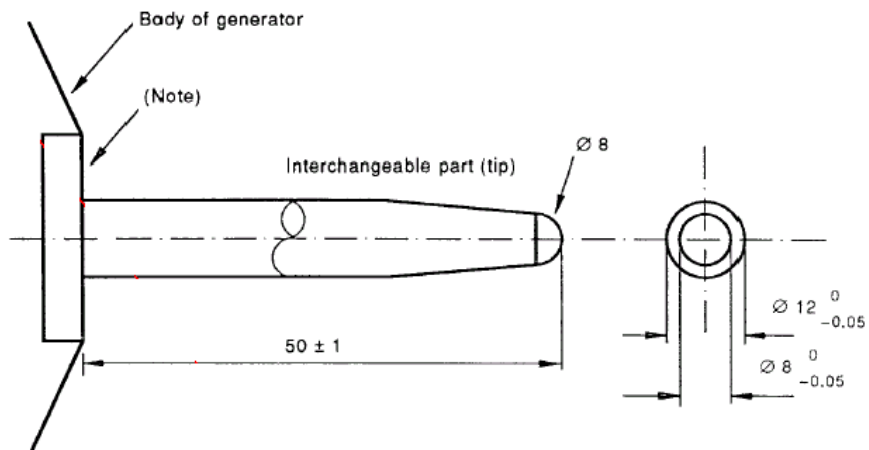


그림 3-2 기중방전 팁의 구조

나. 정전기 방전 발생기의 방전 특성

정전기 방전 시험에 이용되는 그림 3-1의 정전기 방전 발생기의 특성을 살펴보면 표 3-2와 같다.

표 3-2 정전기 발생기 및 방전 특성

정전기 방전기 및 방전특성	규 정
에너지 저장 캐패시터 (Cs+Cd)	150 pF \pm 10 %
방전저항 (Rd)	330 Ω \pm 10 %
충전저항 (Rc)	50 M Ω ~ 100 M Ω
출력 전압	접촉방전 : 8 kV, 기중방전 : 15 kV
출력 전압 지시기의 허용 범위	표 3-1 시험레벨 지시값의 \pm 5 %
출력 전압의 극성	양과 음(스위치로 조정 가능)
유지시간	최소한 5초
방전의 동작 범위	일회 방전 (연속방전 사이의 간격은 적어도 1 초)
방전전류 파형	다.항 참조
방전 회귀선	2 m 길이가 원칙이나 3 m 초과 불가, 충분히 절연

다. 방전 전류 파형

정전기 발생기의 전류파형을 그림 3-3에 나타내었다. 가로축은 시간축이고 세로축은 표 3-1의 각 시험 전압레벨에서 흐르는 방전 전류의 최대값으로 정규화 시켜서 나타낸 것이다.

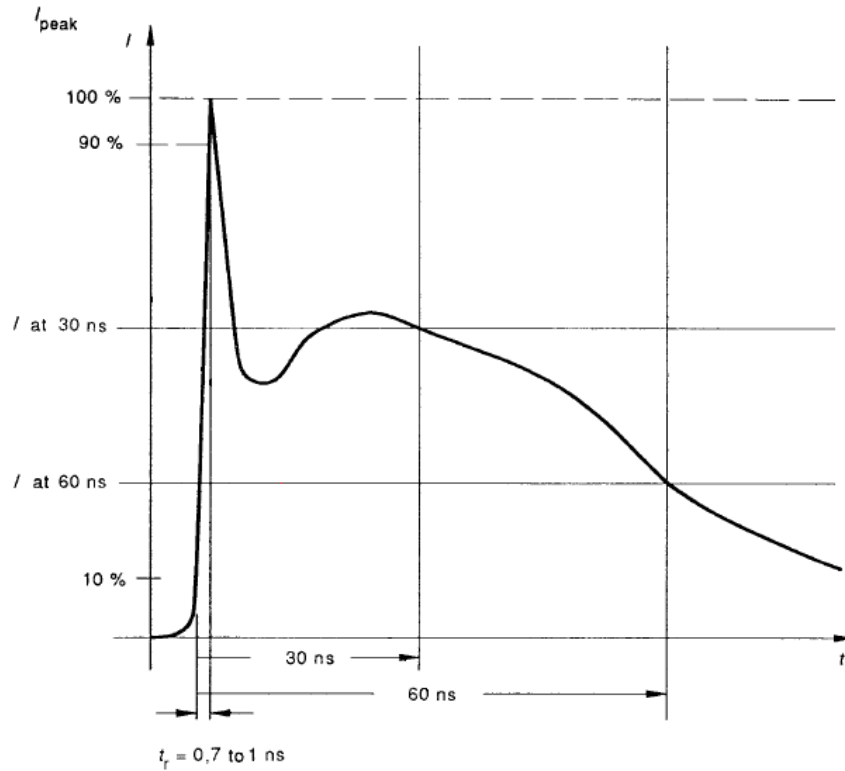


그림 3-3 정전기 발생기 출력의 방전전류 파형

제 3 절 정전기 발생기의 교정

1. 교정할 파형 변수

정전기 발생기는 승인된 품질보증 시스템에 따라 정의된 시간 주기에서 교정되어야 한다.

정전기 발생기의 특성을 검증하기 위한 전류 파형의 변수를 표 3-3에 나타내었다. 검증 절차 중 정전기 발생기의 출력 전류 파형은 그림 3-3의 특성을 만족시켜야 한다.

정전기 발생기의 출력 전류 파형의 특성 검증은 초기 침투 전류의 크기와 상승시간을 충분히 측정할 수 있도록 최소 대역폭이 1000 MHz이상 되는 측정장비를 사용하여야 한다.

표 3-3 방전 전류 파형 변수

레벨	시험 전압 kV	첨두 전류 $A \pm 10 \%$	상승시간 Tr ns	30 ns에서 전류 $A \pm 30 \%$	60 ns에서 전류 $A \pm 30 \%$
1	2	7.5	0.7에서 1	4	2
2	4	15		8	4
3	6	22.5		12	6
4	8	30		16	8

2. 성능 검증을 위한 장비 배치

정전기 방전 발생기의 성능 검증을 위한 시험 장비의 배치를 그림 3-4에 나타내었다.

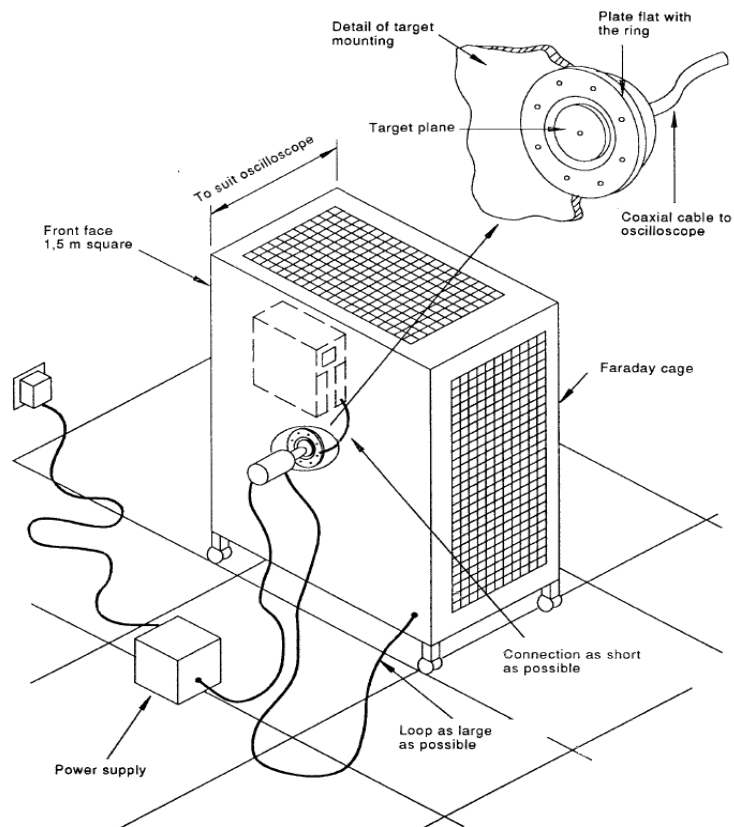


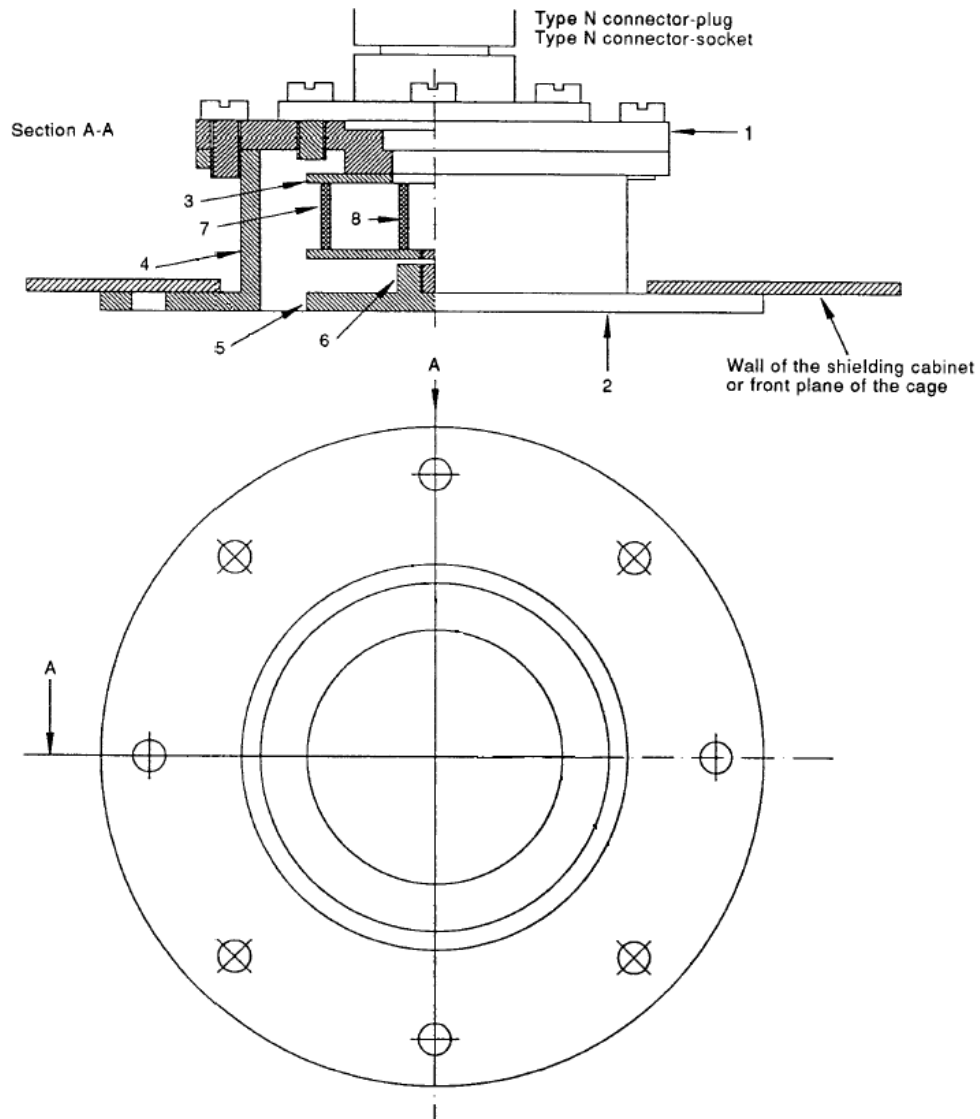
그림 3-4 정전기 발생기의 성능 검사를 위한 장비 배치

그림 3-4에서 전류-감응 변환기의 경우 규정에 따라 제작하여야 하며, 패러데이 상자의 크기나 모양은 변경 가능하나 전류-감응 변환기와 정전기 발생기의 접지단의 거리는 1 m로 지켜져야 한다.

3. 전류-감응 변환기의 구조

전류-감응 변환기의 세부적인 구조를 그림 3-5 (a) ~ 그림 3-5 (g)에 나타내었다. 이 전류-감응 변환기의 조립품을 만들 때는 다음 절차를 따라야 한다.

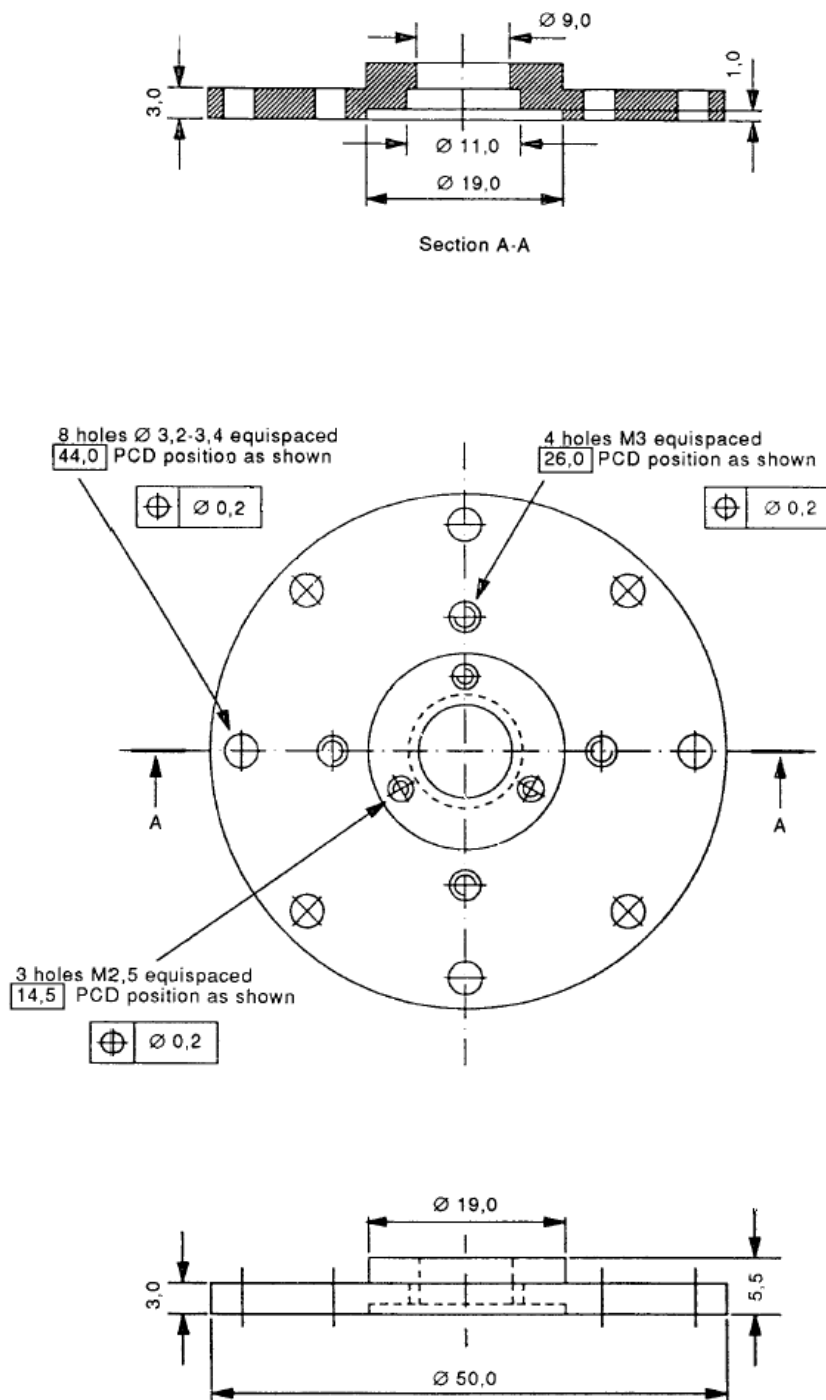
- 가. 부하 저항 “7” ($51\ \Omega$, 5 %, 0.25 W) 25개를 출력 측 디스크 “3” 과 납땜하고 결합된 단자를 반듯하게 다듬는다.
- 나. 오각형 배치의 정합 저항 “8” ($240\ \Omega$, 5 %, 0.25 W) 5개를 N형의 동축 구조인 출력 연결기와 납땜한다.
- 다. 부하 저항이 완비된 출력 측 디스크 “3”을 조립해서 6.5 mm길이의 M2.5 Pan Hd 나사 4개를 쓴 출력 연결기 이음매로 만든다.
- 라. 정합 저항이 완비된 출력 연결기와 “7”을 조립해서 M3 나사 4개를 쓴 출력 연결기 이음매 “1”을 만든다.
- 마. 나사가 죄여져서 결합된 전극 “6”을 지지하는 나사를 기진 입력 디스크 “4”를 부하 정합 그룹과 정합저항 그룹 양쪽 모두에서 납땜하고 결합된 단자를 다듬는다.
- 바. 전극 “6”을 위한 나사 지지대에 평판 전극 디스크 “5”를 나사로 쥔 다음 6.5 mm길이의 M3 Pan Hd 나사 8개를 사용하여 “2”를 고정하는 토대를 조립한다.



IEC 009/95

Item	Qty	Screws	QTY
1	1	M3 PAN HD SC × 6,5 mm LG	12
2	1		
3	1		
4	1	M2,5 PAN HD SC × 5,0 mm LG	3
5	1		
6	1		
7	25	Resistor 51 Ω	
8	5	Resistor 240 Ω	

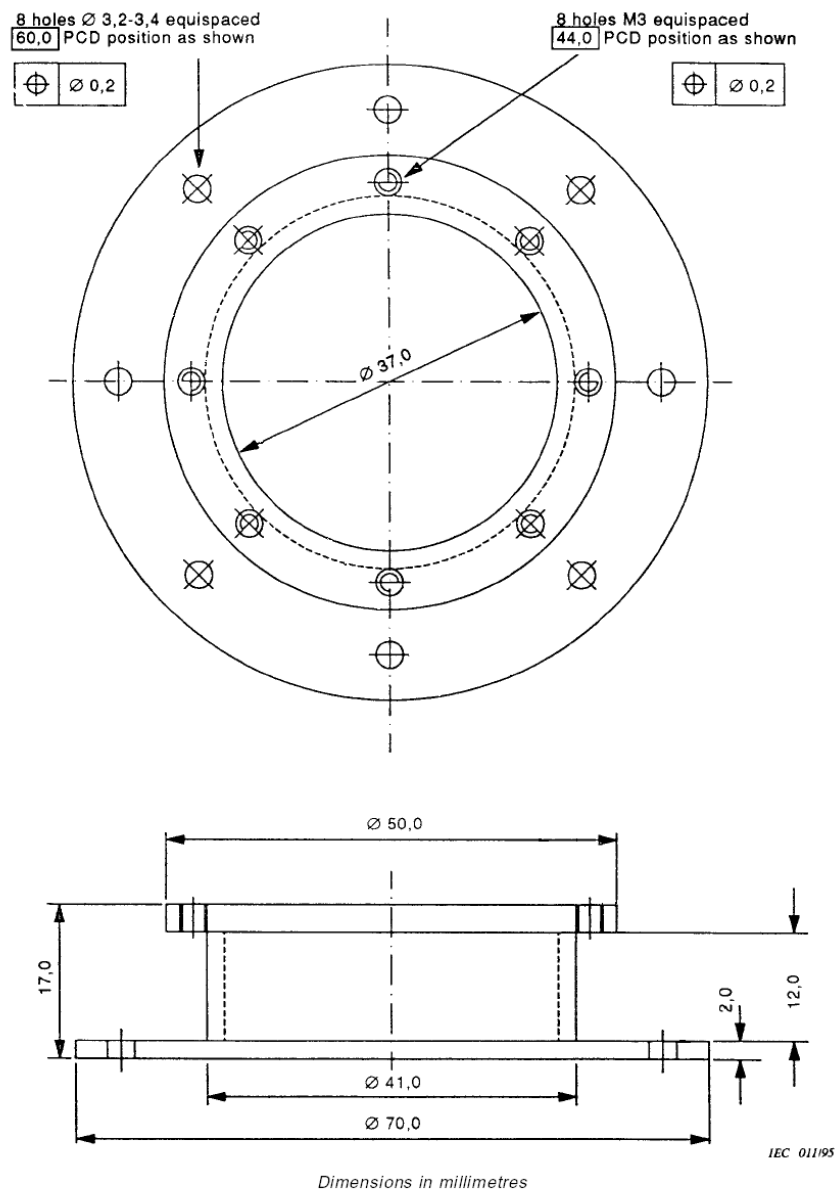
그림 3-5의 (a)



IEC 010/95

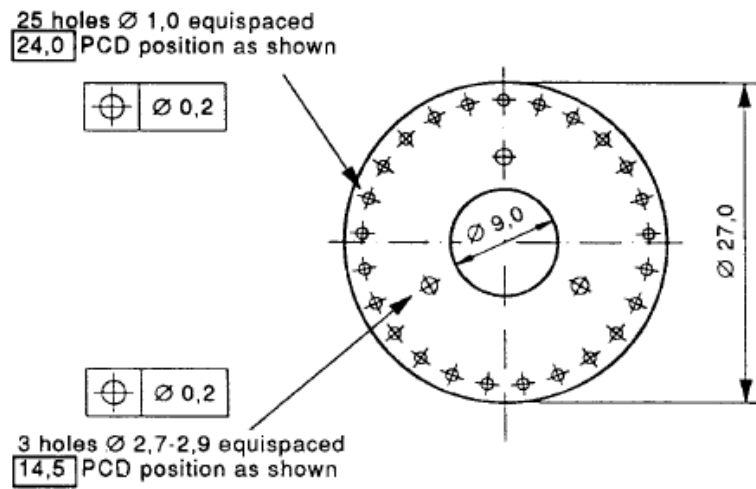
Dimensions in millimetres

그림 3-5의 (b)



Material and finish: silver-plated copper or silver-plated brass

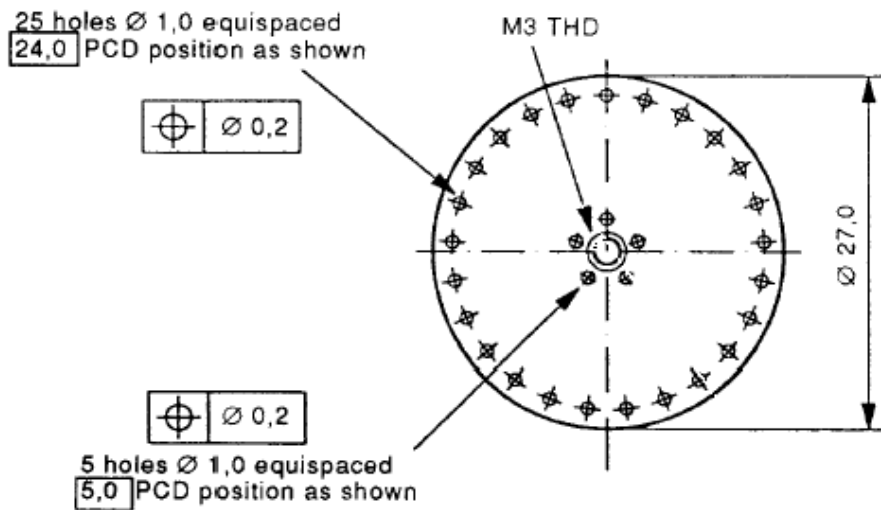
그림 3-5의 (c)



IEC 012/95

Dimensions in millimetres

그림 3-5(d)



IEC 013/95

Dimensions in millimetres

그림 3-5의 (e)

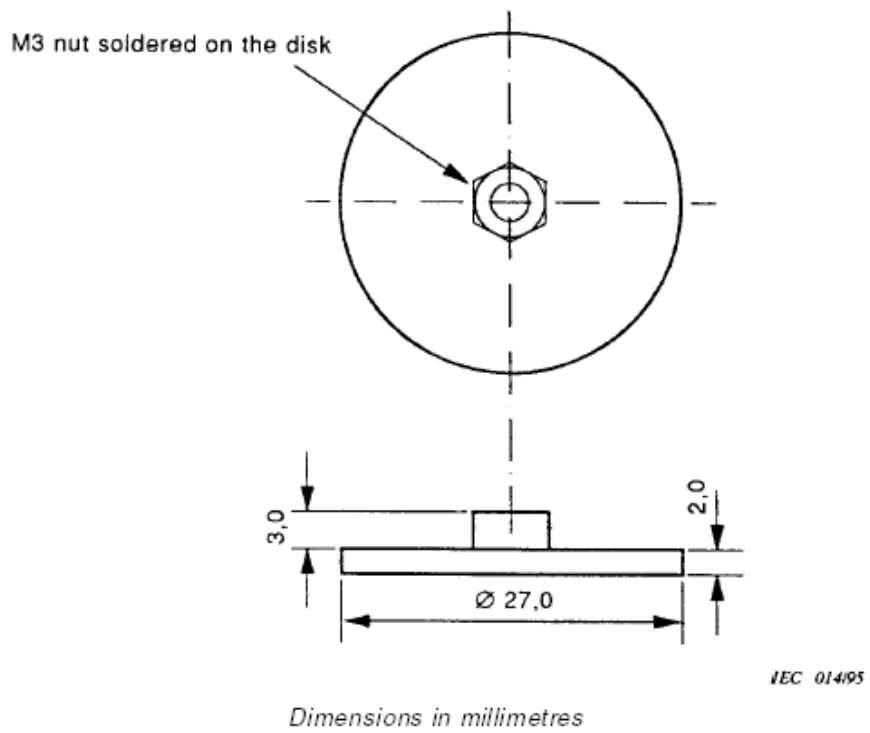


그림 3-5의 (f)

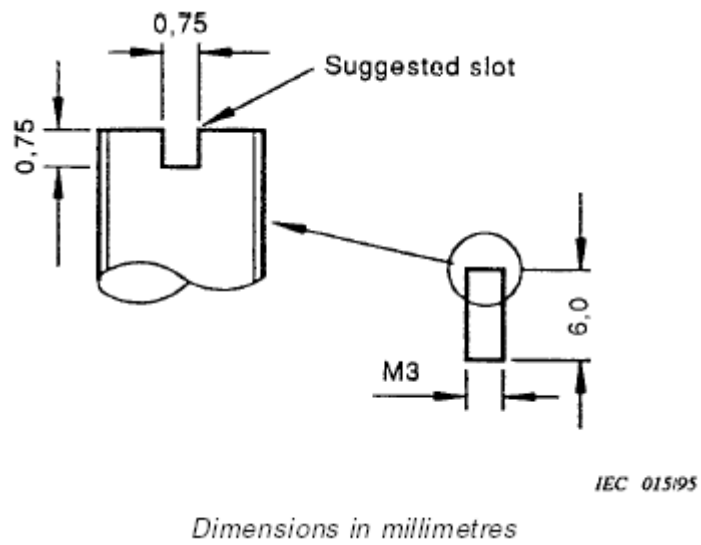


그림 3-5의 (g)

그림 3-5 전류-감응 변환기의 조립도

4. 정전기 방전기의 출력 전류 교정 방법

가. 교정 시스템

정전기 발생기의 출력 파형을 나타내는 그림 3-3에서 교정 대상이 되는 측정량은 전류 첨두값 I_p , 30 ns에서 전류값 I_{30ns} , 60 ns에서 전류값 I_{60ns} 및 상승 시간 t_r 이다. 그림 3-6는 그림 3-3의 전류 파형을 측정하여 표 3-3에 나타난 정전기 방전 전류의 특성을 나타내는 각 값을 측정하기 위한 교정 시스템으로 KN61000-4-2에서 정한 규격 조건을 만족시킨다.

그림 3-6에서 ESD 발생기는 Haefely PESD 1600으로 기중 방전시 0.2 kV ~ 16.5 kV, 접촉 방전 시에는 0.2 kV ~ 9 kV 까지 낼 수 있다. 전류-감응 변환기는 변환 인자가 50인 Schaffner사의 MD 102로 그림 3-5 (a) ~ 그림 3-5 (g)와 같이 만든 제품이다. 금속판의 크기는 가로가 1.5 m 이고 세로가 1.5 m 인 접지면을 확장시킨 것으로 차폐실에 접지되어 있다. 전류 파형의 원활한 측정을 위해서 전류-감응 변환기의 출력에 20 dB 감쇠기를 연결하였으며, 이 감쇠기 Weinschel 82-20-NN이다. 오실로스코프는 3 GHz 대역폭을 지니고 입력 임피던스가 50 Ω인 Tektronix사의 digital sampling 오실로스코프로 TDS 694C이다.

감쇠기와 오실로스코프의 연결은 특성 임피던스가 50 Ω인 동축 케이블을 이용하였다.

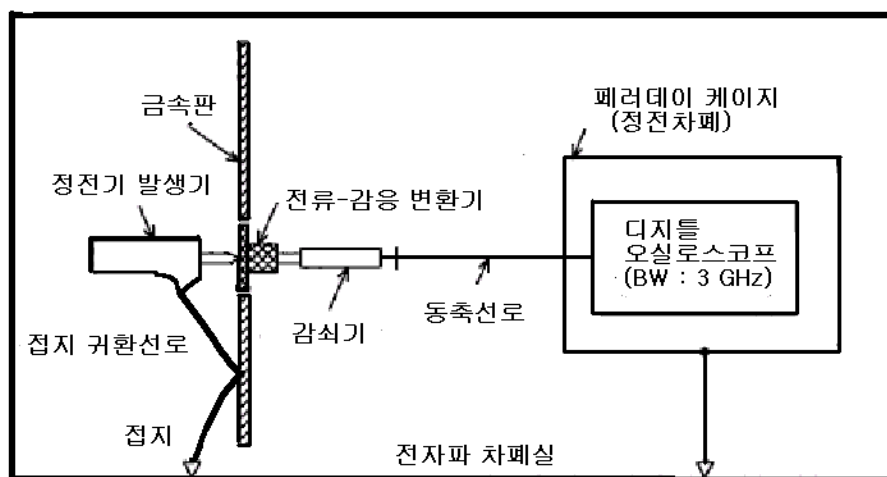


그림 3-6 정전기 발생기 출력전류 교정 시스템

교정시 KN 61000-4-2에서 규정한 실험실의 온도는 15 ℃ ~ 35 ℃이고 상대 습도는 30 % ~ 60 %를 유지하여야한다.

나. 전류 측정 식 모델링

정전기 방전기의 출력 전류는 표 3-3과 같이 정전기 방전기의 지시 전압에 따라 정해지게 된다. 그림 3-6에서 전류-감응 변환기는 임피던스가 50 Ω으로 이 임피던스에 의하여 표 3-3에서 규정한 전류가 오실로 스코프에서 전압으로 읽히게 된다. 그러나 오실로 스코프에서 측정하는 전압은 전류-감응 변환기의 전류 변환 인자와 감쇠의 감쇠량에 의하여 감쇠된 전압이다. 따라서 오실로 스코프가 측정하는 전압은 식 (3-1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_r = \frac{I_p Z_0}{C} \quad (3-1)$$

식 (3-1)에서

- V_r : 오실로스코프의 읽은값
- I_p : 정전기 방전기의 출력 전류
- $Z_0 = 50 \Omega$
- $C = C_T C_A$: 전류 변환 인자
- C_T : 전류-감응 변환기의 변환인자
- C_A : 감쇠기의 전류 변환인자

이다.

식 (3-1)을 정전기 방전기의 출력 전류로 나타내면 식 (3-2)와 같이 구해진다.

$$I_p = \frac{C V_r}{Z_0} \quad (3-2)$$

식 (3-2)으로 나타낸 정전기 발생기의 출력 방전전류 진폭 측정의 합성표

준 불확도는 식 (3-3)과 같이 구해진다.

$$u_c(I) = [S_{V_r}^2 u_{V_r}^2 + S_{C_T}^2 u_{C_T}^2 + S_{C_A}^2 u_{C_A}^2 + u_D^2 + u_m^2 + u_r^2 + u_C^2]^{1/2} \quad (3-3)$$

식 (3-3)에서 S_{V_r} , S_{C_T} 와 S_{C_A} 는 감도계수로

$$- S_{V_r} = \frac{\partial I}{\partial V_r} = \frac{C_T C_A}{Z_0} \quad (3-4 \text{ a})$$

$$- S_{C_T} = \frac{\partial I}{\partial C_T} = \frac{C_A V_r}{Z_0}, \quad (3-4 \text{ b})$$

$$- S_{C_A} = \frac{\partial I}{\partial C_A} = \frac{C_T V_r}{Z_0} \quad (3-4 \text{ c})$$

이다.

식 (3-3)에서 나머지 항들은 각 측정량의 불확도로

- $u_{V_r}, u_{C_T}, u_{C_A}$: 오실로스코프의 전압 읽은 값, 전류 변환 장치의 변환 인자 및 고정 감쇠기의 감쇠량 측정시의 불확도
- u_D : ESD 발생기에서의 전압 표시와 Tip에서의 전압차에 기인하는 불확도
- u_m : 전류-감응 변환기에 연결된 동축선 출력과 오실로스코프 입력에서의 부정합 불확도
- u_r : 오실로스코프를 이용한 반복 측정의 불확도 (평균의 표준 편차)
- u_C : 케이블과 연결기의 반복측정 불확도

이다.

5. 측정 결과 및 불확도 산출

가. 측정 결과 및 A형 불확도

정전기 발생기를 교정하기 위하여 그림 3-6과 같은 시스템을 구성하였으며, 정전기 발생기로부터 표 3-3에 주어진 양과 음의 ESD 시험전압에 대하여 출력 전류파형 변수들을 10회 반복 측정 하였다. 각 인가 전압에 대하여 측정 결과를 그림 3-7 ~ 그림 3-14에 나타내었다. 그림 3-7 ~ 그림 3-10은 양의 인가 전압을 2 kV, 4 kV, 6 kV 및 8 kV로 조정한 각 경우에 대하여 상승시간과 침투전류, 30 ns 및 60 ns에서 전류를 구하기 위한 측정 파형을 나타내고, 그림 3-11 ~ 그림 3-14는 음의 인가 전압을 2 kV, 4 kV, 6 kV 및 8 kV로 조정한 각 경우에 대하여 상승시간과 침투전류, 30 ns 및 60 ns에서 전류를 구하기 위한 측정 파형을 나타낸다.

표 3-4는 그림 3-6의 측정 시스템에서 정전기 발생기로부터 2 kV를 인가하고 측정한 그림 3-7의 (a)의 값에서 식 (3-2)를 이용하여 침투전류 값을 계산하고, 이를 10회 반복하여 측정한 침투전류 값의 평균 및 A형 불확도를 나타낸다.

표 3-5~표 3-6은 그림 3-7~그림 3-14로 측정된 양과 음의 각 인가 전압에 대하여 구한 각 전류의 평균과 상승시간 및 A형 불확도를 나타낸다.

표 3-4 인가전압 2 kV에서 측정한 침투 전류의 평균과 A형 불확도

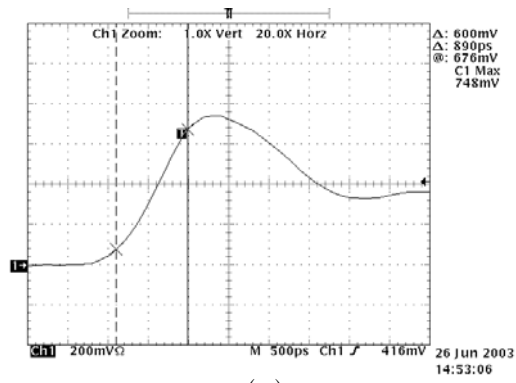
n	I_p	n	I_p
1	7.48	6	7.56
2	7.35	7	7.53
3	7.36	8	7.57
4	7.54	9	7.49
5	7.35	10	7.59
평균	—	—	7.48
실험표준편차	—	—	0.09
A형 불확도	—	—	0.03

표 3-5 양의 인가전압에 대하여 측정한 평균과 A형 불확도

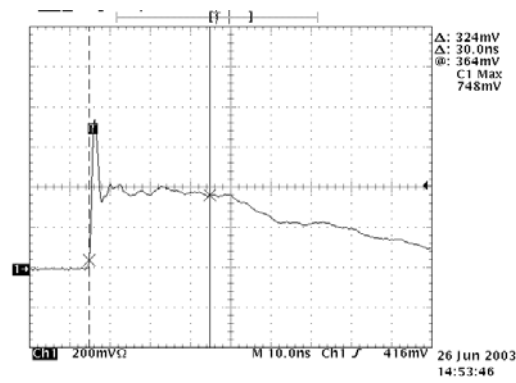
인가전압 [kV]	측정값	첨두전류	상승시간	30 ns에서 전류	60 ns에서 전류
		I_p [A]	T_r [ns]	I_{30ns} [A]	I_{60ns} [A]
2	평균	7.48	0.92	3.81	2.19
	A형 불확도	0.03	0.04	0.06	0.05
4	평균	14.90	0.91	7.32	4.18
	A형 불확도	0.05	0.05	0.05	0.05
6	평균	21.55	0.89	11.88	6.21
	A형 불확도	0.04	0.04	0.05	0.06
8	평균	28.92	0.90	15.69	8.24
	A형 불확도	0.03	0.05	0.04	0.06

표 3-6 음의 인가전압에 대하여 측정한 평균과 A형 불확도

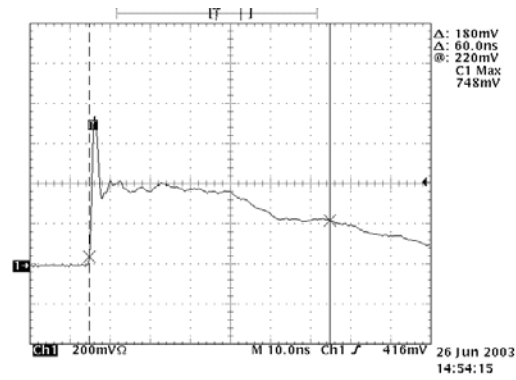
인가 전압 [kV]	측정값	첨두전류	상승 시간	30 ns에서 전류	60 ns에서 전류
		I_p [A]	T_r [ns]	I_{30ns} [A]	I_{60ns} [A]
2	평균	7.55	0.91	3.91	2.30
	A형 불확도	0.04	0.04	0.06	0.06
4	평균	14.95	0.89	7.78	4.21
	A형 불확도	0.03	0.04	0.05	0.04
6	평균	21.93	0.94	11.81	6.28
	A형 불확도	0.05	0.03	0.06	0.05
8	평균	28.78	0.89	15.38	8.31
	A형 불확도	0.04	0.05	0.07	0.06



(a)



(b)



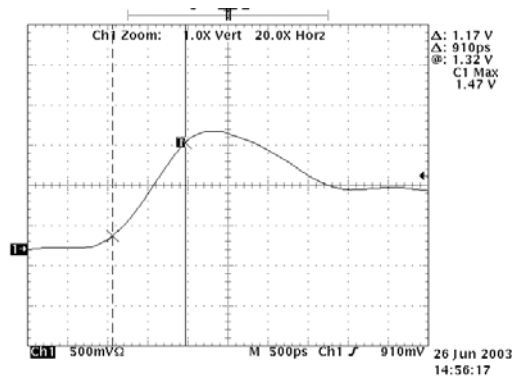
(c)

그림 3-7 2 kV의 양전압을 인가할 때 ESD 전류 파형

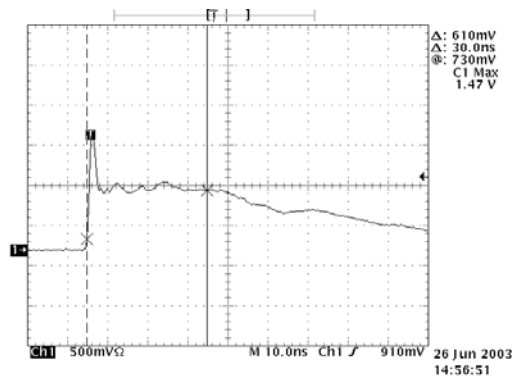
(a) 전류 침투값과 상승시간 측정

(b) 30 ns 지점의 전류 측정

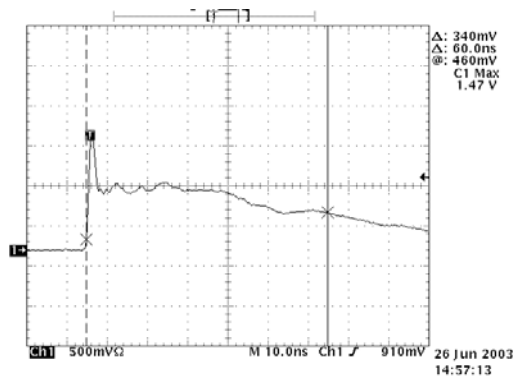
(c) 60 ns 지점의 전류 측정



(a)



(b)



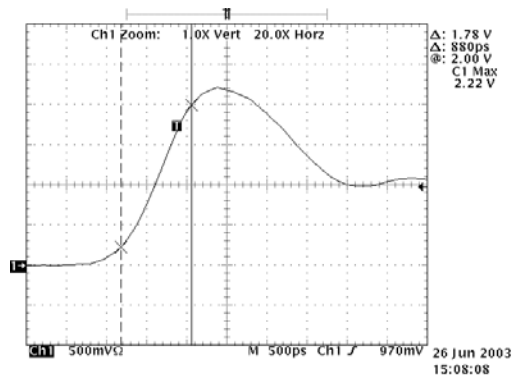
(c)

그림 3-8 4 kV의 양전압을 인가할 때 ESD 전류 파형

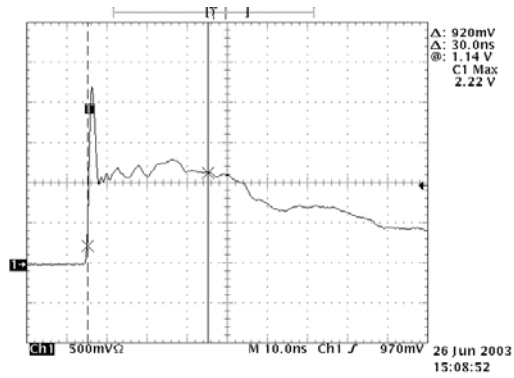
(a) 전류 침투값과 상승시간 측정

(b) 30 ns 지점의 전류 측정

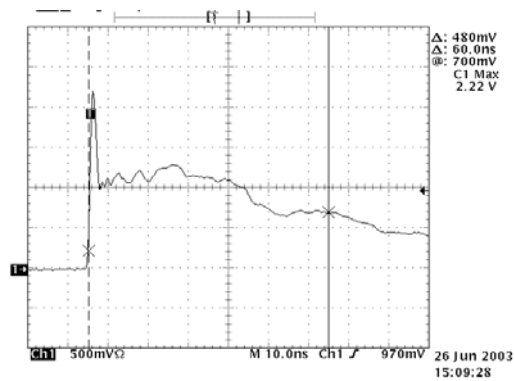
(c) 60 ns 지점의 전류 측정



(a)



(b)



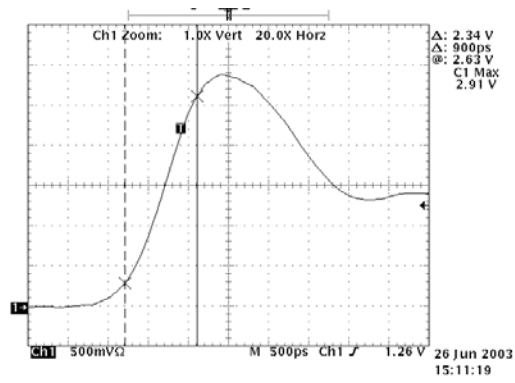
(c)

그림 3-9 6 kV의 양전압을 인가할 때 ESD 전류 파형

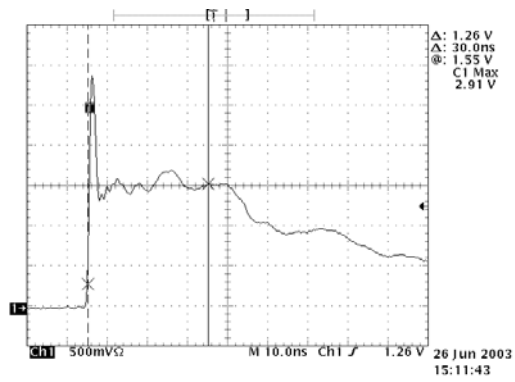
(a) 전류 침투값과 상승시간 측정

(b) 30 ns 지점의 전류 측정

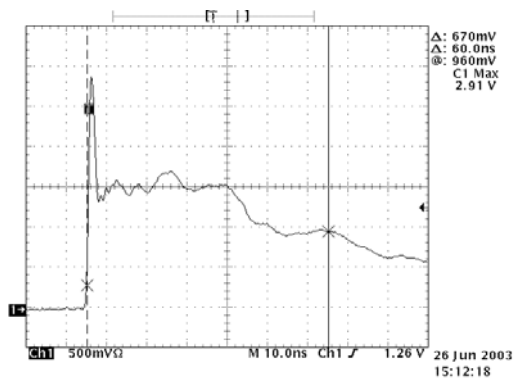
(c) 60 ns 지점의 전류 측정



(a)



(b)



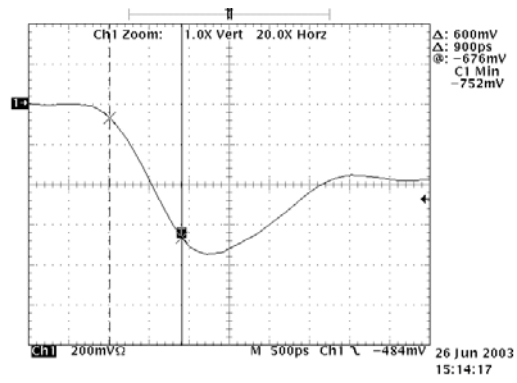
(c)

그림 3-10 8 kV의 양전압을 인가할 때 ESD 전류 파형

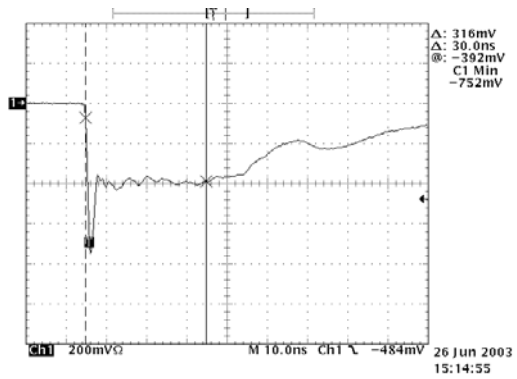
(a) 전류 침투값과 상승시간 측정

(b) 30 ns 지점의 전류 측정

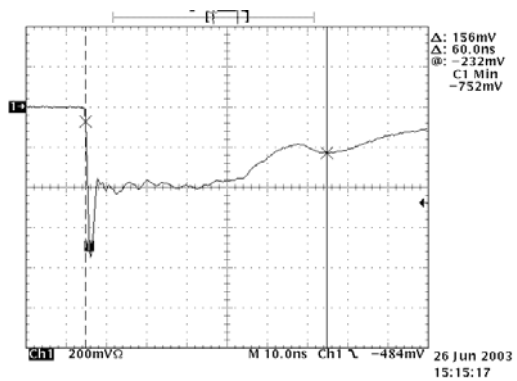
(c) 60 ns 지점의 전류 측정



(a)



(b)



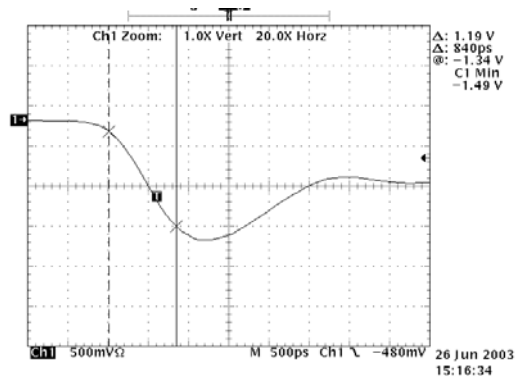
(c)

그림 3-11 2 kV의 음전압을 인가할 때 ESD 전류 파형

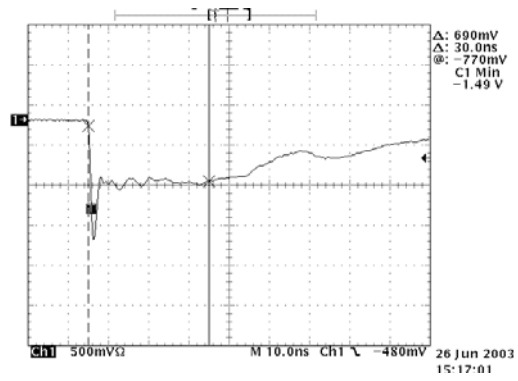
(a) 전류 침투값과 상승시간 측정

(b) 30 ns 지점의 전류 측정

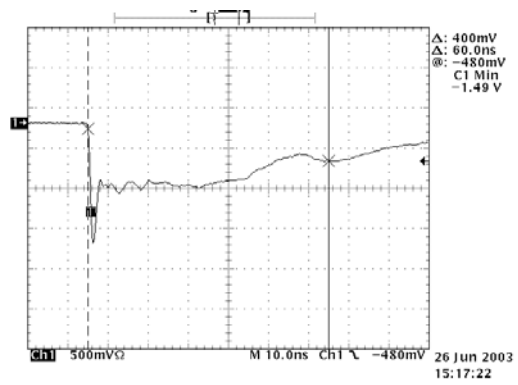
(c) 60 ns 지점의 전류 측정



(a)



(b)



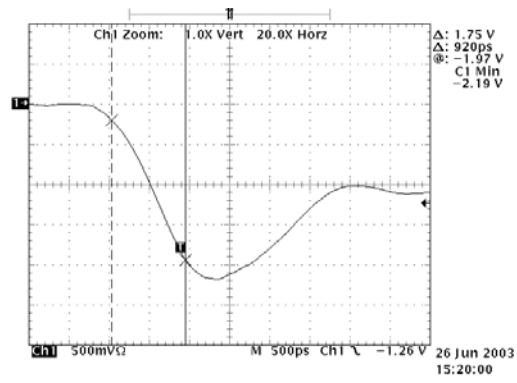
(c)

그림 3-12 4 kV의 음전압을 인가할 때 ESD 전류 파형

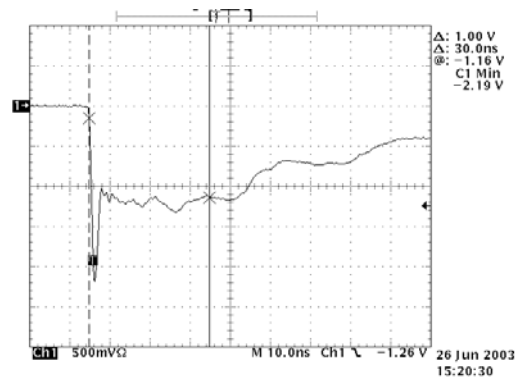
(a) 전류 침투값과 상승시간 측정

(b) 30 ns 지점의 전류 측정

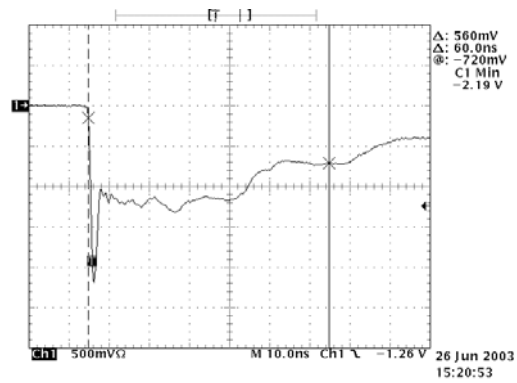
(c) 60 ns 지점의 전류 측정



(a)



(b)



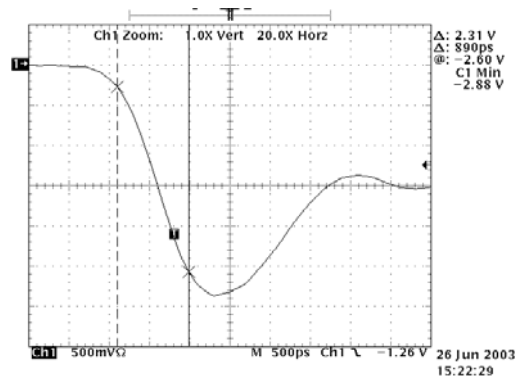
(c)

그림 3-13 6 kV의 음전압을 인가할 때 ESD 전류 파형

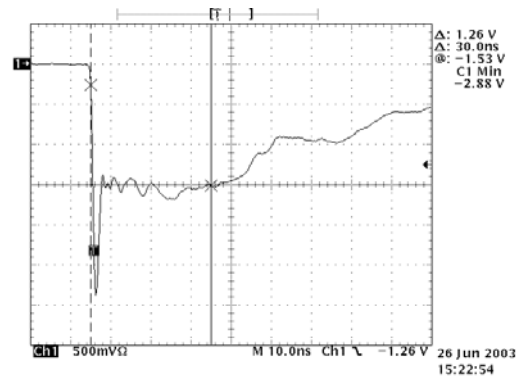
(a) 전류 침투값과 상승시간 측정

(b) 30 ns 지점의 전류 측정

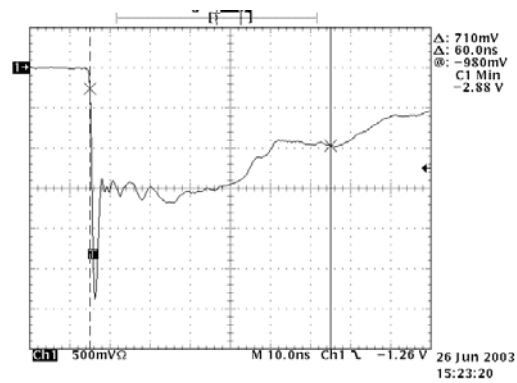
(c) 60 ns 지점의 전류 측정



(a)



(b)



(c)

그림 3-14 8 kV의 음전압을 인가할 때 ESD 전류 파형

(a) 전류 침투값과 상승시간 측정

(b) 30 ns 지점의 전류 측정

(c) 60 ns 지점의 전류 측정

나. B형 불확도 산출

식 (3-2)를 이용하여 ESD 발생기의 전류 측정시에 포함된 B형 불확도에 대하여 고찰하여 보자 한다.

오실로 스코프에 읽히는 전압은 전류 변환 인자 $C = C_T C_A = 50 \times 10 = 500$ 이므로 2 kV를 인가할 때는 약 0.75 V이다. 이 전압을 오실로 스코프를 이용하여 200 mV/Div에서 측정하면 TDS 694C의 수직방향 오차가 1 %로 인한 측정오차는 $200 \text{ mV/Div} \times 8 \text{ Div} \times 1 \% = \pm 0.016 \text{ V}$ 이다. 따라서 대칭 직각 분포의 확률 분포로 생각하면 표준 불확도는 $u_{V_r} = 0.016/\sqrt{3} = 0.009$ 이다. 이 경우 식 (3-4 a)로부터 구한 감도계수가 10이므로 2 kV의 침두 전압을 인가할 때 오실로 스코프로 전압 측정 불확도에 의한 방전전류 불확도에 기여하는 정도는 $0.009 \times 10 = 0.09$ 이다. 4 kV ~ 8 kV의 인가전압의 경우에는 500 mV/Div에서 측정하였으며 측정 오차는 $500 \text{ mV/Div} \times 8 \text{ Div} \times 1 \% = \pm 0.04 \text{ V}$ 이다. 따라서 대칭 직각 분포의 확률 분포로 생각하면 표준 불확도는 $u_{V_r} = 0.04/\sqrt{3} = 0.023$ 이다. 이 경우 식 (3-4 a)로부터 구한 감도계수가 10이므로 4 kV~8 kV의 침두 전압을 인가할 때 오실로 스코프의 전압 측정 B형 불확도에 의한 방전전류 측정 불확도에 기여하는 정도는 $0.023 \times 10 = 0.23$ 이다.

식 (3-2)에서 전류-감응 변환기 MD 102의 변환인자의 특성을 회로망 분석기를 이용하여 측정한 결과, C_T 는 50이고 오차는 3.5×10^{-2} 이다. 대칭 직사각형 분포로 보면 표준 불확도는 $u_{C_T} = 0.035/\sqrt{3} = 0.0202$ 이다. 식 (3-4 b)로 감도를 측정하여 전류-감응기의 변환값 불확도에 의한 방전 전류 측정 불확도에 기여하는 정도를 산출하면 표 3-7과 같이 구해진다.

C_A 는 회로망 분석기를 이용하여 측정하였으며 그 값은 19.98 dB이고 불확도는 0.14 dB로 1.62 %에 해당한다. 대칭 직사각형 분포로 보면 표준 불확도는 $u_{C_A} = 0.0162/2 = .0081$ 이다. 이 값과 식 (3-4 c)로 감도를 계산하여 감쇠량 교정 불확도가 방전 전류 측정 불확도에 기여하는 정도를 산출하면 표 3-8과 같이 구해진다.

ESD 발생기에서의 전압 표시의 정확도는 $\pm 3 \%$ 이다. 따라서 ESD 발생기에서의 전압 표시와 Tip에서의 전압차에 기인하는 표준 불확도는 대칭 직각 분

표 3-7 전류-감응 변환기의 변환값 불확도에 의한 방전전류 측정 불확도

측정값 항목	2 kV			4 kV		
	I_p	I_{30ns}	I_{60ns}	I_p	I_{30ns}	I_{60ns}
명목전압[V]	0.75	0.4	0.2	1.5	0.8	0.4
S_{C_T}	0.15	0.08	0.04	0.3	0.16	0.08
u_{C_T}	0.0185					
불확도 기여도	3.03 $\times 10^{-3}$	1.62 $\times 10^{-3}$	0.81 $\times 10^{-3}$	6.07 $\times 10^{-3}$	3.23 $\times 10^{-3}$	1.62 $\times 10^{-3}$

표 3-7 계속

측정값 항목	6 kV			8 kV		
	I_p	I_{30ns}	I_{60ns}	I_p	I_{30ns}	I_{60ns}
명목전압[V]	2.25	1.24	0.6	3.0	1.6	0.8
S_{C_T}	0.45	0.24	0.12	0.6	0.32	0.16
u_{C_T}	0.0185					
불확도 기여도	9.11 $\times 10^{-3}$	4.85 $\times 10^{-3}$	2.43 $\times 10^{-3}$	12.4 $\times 10^{-3}$	6.07 $\times 10^{-3}$	3.04 $\times 10^{-3}$

포의 확률 분포의 경우 $u_D = 0.03/\sqrt{3} = 0.0173$ 이다. 이 값과 표 3-3의 각 전류 값을 곱하면 각 전류 값에서 ESD 발생기의 전압 표시 정확도에 기인하는 방전 전류의 표준 불확도가 구해진다. 예로 2 kV의 첨두 전압을 인가할 때 방전전류는 7.5 A이다. 이 경우 불확도 기여도는 $7.5 \times 0.0173 = 0.130$ 이다.

HP 8753D 회로망 분석기를 이용한 감쇠기 출력단에서 측정한 반사계수의 크기가 0.065이고 오실로 스코프의 입력 반사계수의 크기가 0.2이다. U자 분포의 확률분포로 생각하여 표준 불확도를 구하면 $u_m = 0.2 \times 0.065/\sqrt{2} = 0.009$ 이다. 예로 2 kV의 첨두 전압을 인가할 때 방전전류는 7.5 A이다. 이 경우 불

표 3-8 감쇠기의 감쇠량 측정 불확도에 의한 방전전류 측정 불확도

측정값 항목	2 kV			4 kV		
	I_p	I_{30ns}	I_{60ns}	I_p	I_{30ns}	I_{60ns}
명목전압[V]	0.75	0.4	0.2	1.5	0.8	0.4
S_{C_T}	0.75	0.4	0.2	1.5	0.8	0.4
u_{C_T}	0.0081					
불확도 기여도	6.08 $\times 10^{-3}$	3.24 $\times 10^{-3}$	1.62 $\times 10^{-3}$	12.16 $\times 10^{-3}$	6.48 $\times 10^{-3}$	3.24 $\times 10^{-3}$

표 3-8 계속

측정값 항목	2 kV			4 kV		
	I_p	I_{30ns}	I_{60ns}	I_p	I_{30ns}	I_{60ns}
명목 전압[V]	0.75	0.4	0.2	1.5	0.8	0.4
S_{C_T}	0.7	0.4	0.2	1.5	0.8	0.4
u_{C_T}	0.0081					
불확도 기여도	18.24 $\times 10^{-3}$	9.72 $\times 10^{-3}$	4.86 $\times 10^{-3}$	24.32 $\times 10^{-3}$	1.96 $\times 10^{-3}$	6.48 $\times 10^{-3}$

확도 기여도는 $7.5 \times 0.009 = 0.0675$ 이다. 따라서 이 값과 표 3-3의 각 전류 값을 곱하면 부정합에 의한 불확도 기여도를 산출할 수 있다.

감쇠기와 오실로스코프를 연결하는 연결선의 반복 측정의 오차는 0.025 dB로 0.29 %에 해당한다. 대칭 직각 분포의 확률 분포로 생각하여 표준 불확도를 구하면 $u_c = 0.0029/\sqrt{3} = 0.0017$ 이다. 예로 2 kV의 침두 전압을 인가할 때 방전전류는 7.5 A이다. 이 경우 불확도 기여도는 $7.5 \times 0.0017 = 0.013$ 이다. 따라서 이 값과 표 3-3의 각 전류값을 곱하면 연결선의 반복 측정 오차에 의한 불확도 기여도를 산출할 수 있다.

오실로 스코프를 이용하여 시간 간격을 측정하기 위하여 오실로 스코프 화

면의 양 끝단의 전압을 읽을 때 포함된 불확도를 생각하여 보자. 인가전압이 2 kV일 때 오실로스코프에 읽히는 전압은 약 0.75 V이다. 이 경우 전압 측정의 불확도는 앞서와 같이 $u_{V_r}=0.009$ V이고, 인가 전압이 4 kV ~ 8 kV인 경우에는 $u_{V_r}=0.023$ V이다.

감도계수는 오실로 스코프로 0.75 V의 크기를 갖는 ESD 파형을 측정하는 경우 수직축은 200 mV/Div이고 수평축은 500 ps/Div로 조정하였기 때문에 $\frac{\partial t}{\partial V} = \frac{500ps}{200mV} = 2.5ns/V$ 이고, 다른 인가 전압에 대해서는 500 mV/Div이기 때문에 1 ns/V가 된다. 양 끝단에서 읽는 경우를 생각하면 2 kV의 전압을 인가할 때는 $u_i = \sqrt{2} \times 0.009 \times 2.5ns/V = 0.032ns$ 이고, 4 kV ~ 8 kV의 인가 전압에 대해서는 $u_i = \sqrt{2} \times 0.023 \times 2.5ns/V = 0.081ns$ 로 계산된다.

다. 불확도 표현 및 교정 결과

ESD 발생기의 교정을 위하여 측정하는 방전 전류 파형 변수들은 침두 전류 값, 30 ns와 60 ns에서의 전류 값 및 전류 상승 시간이다. 위의 가 항과 나 항에서 살펴본 결과를 이용하여 2 kV 인가시 전류 침두값 측정에 포함된 합성 표준 불확도를 식 (3-3)을 이용하여 구하기 위한 불확도 총괄표를 표 3-9 나타내었다. 유효 자유도는 식 (2-15)에 의하여 10,185로 계산된다.

이와 같은 방법으로 인가 전압이 4 kV, 6 kV 및 8 kV 인 경우 합성 표준 불확도를 구 할 수 있다.

ESD 발생기의 전류 파형의 상승시간 측정의 합성 표준 불확도는 식 (3-5)와 같이 반복 측정에 의한 A형 불확도 U_r 과 측정 시스템의 불확도 U_i 로 나타낼 수 있다. 식 (3-5)에서 U_r 은 표 3-4와 표 3-5에 나타내었고, 측정 장비인 오실로 스코프의 B형 불확도 U_i 는 나절로부터 2 kV 인가전압에 대해서는 0.032 ns 이고, 4 kV ~ 8 kV의 인가전압에 대해서는 0.081 ns이다.

$$u_c(t_r) = [u_r^2 + u_i^2]^{1/2} \quad (3-5)$$

위의 결과를 이용하여 ESD 발생기의 교정 결과를 표 3-10과 표 3-11에 각각 양과 음의 인가 전압에 대하여 나타내었다.

표 3-10과 표 3-11에서 불확도는 확장 불확도로 신뢰 구간을 95 %로 하면 이에 대한 포함 인자는 k=2를 적용한 것이다.

표 3-9 정전기 방전 출력 침두 전류 측정의 불확도 총괄표
(출력 전압 2 kV)

양 (X_i)	추정값 (x_i)	표준 불확도 $u(x_i)$	확률분포	감도계수 (C_i)	불확도 기여도 $u_i(y)$
X_1	7.48	—	—	—	—
u_{V_r}	0	0.009	직 각	10	0.09
u_{C_T}	0	0.0185	직 각	0.15	0.003
u_{C_A}	0	0.0081	직 각	0.75	0.006
u_D	0	0.130	직 각	1	0.13
u_m	0	0.0675	U	1	0.0675
u_C	0	0.013	직 각	1	0.013
u_r	0	0.03	정 규	1	0.03
I_p	7.48	—	—	—	$u_c(y)=0.174$

표 3-10 양전압 인가시 정전기 방전 발생기의 교정 결과

ESD 전압		2 kV	4 kV	6 kV	8 kV
I_p [A]	측정값	7.48	14.90	21.55	28.92
	불확도	0.35	0.75	0.99	1.25
I_{30ns} [A]	측정값	3.81	7.32	11.88	15.69
	불확도	0.23	0.57	0.67	0.78
I_{60ns} [A]	측정값	2.19	4.18	6.21	8.24
	불확도	0.22	0.50	0.53	0.57
T_r [ns]	측정값	0.92	0.91	0.89	0.90
	불확도	0.10	0.19	0.18	0.19

표 3-11 음전압 인가시 정전기 방전 발생기의 교정 결과

ESD 전압		2 kV	4 kV	6 kV	8 kV
I_b [A]	측정값	7.55	14.95	21.93	28.78
	불확도	0.35	0.74	0.99	1.25
I_{30ns} [A]	측정값	3.91	7.78	11.81	15.38
	불확도	0.23	0.57	0.67	0.78
I_{60ns} [A]	측정값	2.30	4.21	6.28	8.31
	불확도	0.23	0.49	0.53	0.57
T_r [ns]	측정값	0.91	0.89	0.94	0.98
	불확도	0.10	0.18	0.17	0.19

제 4 장 전기적 빠른 과도현상 내성시험 설비교정

제 1 절 용어의 정의

1. 수검기기(EUT)

시험중인 장비이다.

2. 단자 (port)

외부 전자기 환경과 수검기기의 특별한 접촉영역을 말한다.

3. EFT/B

전기적 빠른 과도 /버스트 현상을 말한다.

4. 결합 (coupling)

한 회로에서 다른 회로로 에너지를 전달하는 현상이다.

5. 결합 회로망 (coupling network)

한 회로에서 다른 회로로의 에너지 전달을 목적으로 하는 전기회로이다.

6. 감결합 회로망 (decoupling network)

수검기기에 적용된 EFT 전압이 시험 대상이 아닌 다른 장치, 장비 또는 시스템에 영향을 끼치지 않게 하는 전기회로이다.

7. 결합 클램프 (coupling clamp)

정의된 규격을 지니면서 어떠한 전기적 접촉 없이 시험중인 회로에 방해신호의 공통모드 결합의 특성을 결합시키는 장치이다.

8. 접지 기준면 (ground reference plane)

일반 기준면으로 사용되는 전위를 갖는 평평한 도체 표면이다.

9. 전자파 적합성 (EMC, electromagnetic compatibility)

주어진 전자파 환경에서 다른 장치에 견딜 수 없는 전자파 방해를 유발하지 않으면서 만족하게 기능을 발휘하는 장비나 시스템의 능력을 뜻한다.

10. 내성 (immunity)

전자파 방해에 있는 상태에서 성능저하 없이 작동하는 장치, 장비 또는 시스템의 능력을 뜻한다.

11. 성능저하 (degradation of performance)

장비나 장치 또는 시스템이 의도된 성능으로부터 벗어나는 현상이다.

12. 과도현상 (transient)

관심 있는 시간척도에 비하여 짧은 시간간격 동안 두 개의 연속적 정상 상태 사이의 변화들과 관계가 있거나, 변화들의 현상 또는 변화하는 양이다.

13. 상승시간 (rise time)

펄스의 순시값이 첨두값의 10 %에서 90 % 까지 도달하는 시간간격이다.

14. 버스트 (burst)

제한된 개수의 각 펄스들의 연속 또는 제한된 지속시간을 갖는 진동이다.

제 2 절 전기적 빠른 과도현상/버스트 내성시험

1. 시험의 목적

유도 부하의 방해, 릴레이 접점 등에 의하여 발생하는 반복적 급속 과도 현상이 전기 전자 장비의 전원 공급단자, 신호 단자 및 제어 단자에 가해질 때 전기, 전자 장비의 내성 성능을 평가하는 것이다.

2. 시험 레벨

전원 공급기, 보호접지(PE), 장비의 신호 단자, 제어단자 등에 가해지는 전기적 급속 과도 현상에 대한 시험 레벨을 표 4-1에 나타내었다. 이 시험레벨에서 개방회로 출력 전압은 EFT/B 발생기에서 표시한 것이다.

표 4-1 급속 과도 현상에 대한 시험 레벨

개방회로 출력 시험전압 ($\pm 10\%$)와 임펄스 반복율($\pm 20\%$)				
레벨	전원 공급기, 보호접지		입출력 신호, 데이터, 제어단자	
	첨두 전압값, kV	반복율, kHz	첨두 전압값, kV	반복율, kHz
1	0.5	5	0.25	5
2	1	5	0.5	5
3	2	5	1	5
4	4	2.5	2	5
X ¹⁾	특별	특별	특별	특별
1) 전용장비규격에 레벨이 명시 되어야 한다.				

3. 전기적 빠른 과도현상/버스트 발생기의 특성

가. 전기적 빠른 과도현상/버스트 발생기의 구조

전기적 빠른 과도현상/버스트 발생기는 그림 4-1과 같으며 다음과 같은 주요 부분으로 나누어져있다.

- 고전압원 : U
- 충전저항 : R_c
- 에너지 저장 커패시터 : C_c
- 스파크 간극
- 임펄스 지속시간을 결정하는 저항 : R_s
- 임피던스 정합 저항 : R_m
- 직류저지 커패시터 : C_d

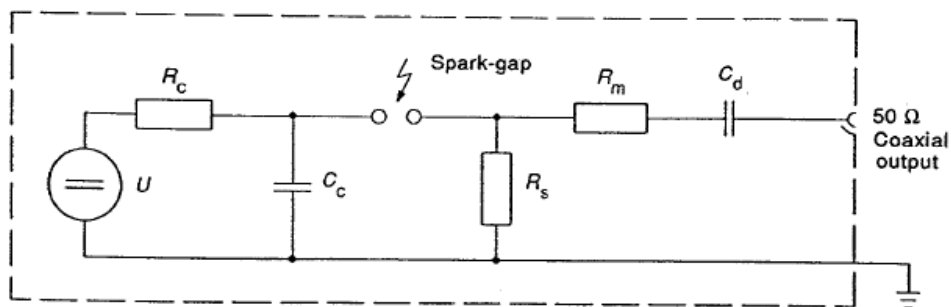


그림 4-1 전기적 빠른 과도현상 발생기의 블록도

나. 전기적 빠른 과도현상 발생기 특성

전기적 빠른 과도현상 시험에 이용되는 그림 4-1의 전기적 빠른 과도현상 발생기의 특성을 살펴보면 표 4-2와 같다.

다. 전기적 빠른 과도현상/버스트 발생기 출력

전기적 빠른 과도현상/버스트 발생기의 출력 파형에 대한 모습을 그림 4-2에 나타내었고, 50 Ω 부하에 대한 단일 펄스 전압을 그림 4-3에 나타내었다.

그림 4-2로부터 전기적 빠른 과도현상/버스트 발생기의 펄스의 형태 및 주기와 버스트 신호의 주기와 버스트 지연 특성을 알 수 있다. 그림 4-3의 파형은 가로축이 시간축이고 세로축은 표 4-1의 각 시험 전압레벨 최대값으로 정규화 시켜서 나타낸 것이다.

표 4-2 전기적 빠른 과도현상 발생기의 특성

과도현상 발생기의 특성		규 정
개방 회로	출력 전압(에너지 저장 캐패시터의 단자 전압)	0.25 kV - 10 %에서 4 kV +10 %
50 Ω 부하 조건	최대에너지	50 Ω 부하로 2 kV에서 4 mJ/pulse
	극성	양극/음극
	출력 연결기	동축
	동적 신호원 임피던스 ¹⁾	1 MHz~100 MHz에서 50 Ω±20 %
	직류저지캐패시터	10 nF
	임펄스 반복 주파수	표 4-1 참조
	한 펄스의 상승 시간	5 ns ± 30 % (그림 4-3 참조)
	임펄스 지속시간 (50 % 값)	50 ns ± 30 % (그림 4-3 참조)
	50 Ω 부하로의 출력파형	그림 4-3 참조
	전원 공급기와의 관계	비동기
	버스트 지속시간	15 ms ± 20 % (그림 4-2 참조)
	버스트 주기	300 ms ± 20 % (그림 4-2 참조)
1) 신호원 임피던스는 개방회로나 50 Ω 부하 조건에서 (비율 2:1) 임펄스 출력 첨두값을 측정함으로서 검증가능하다.		

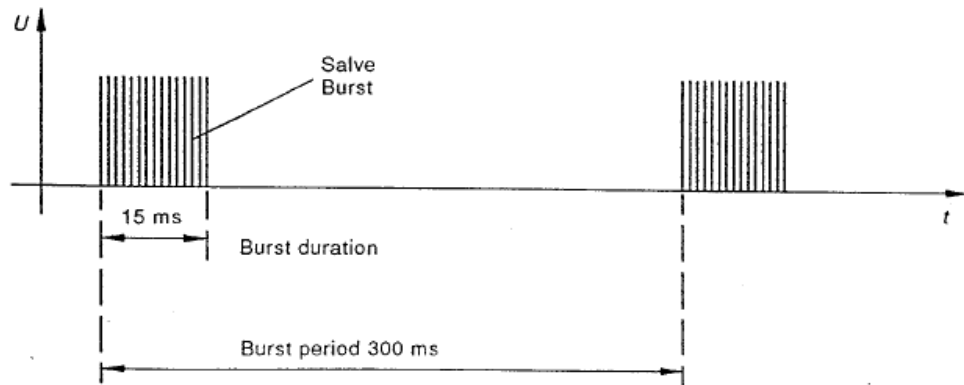
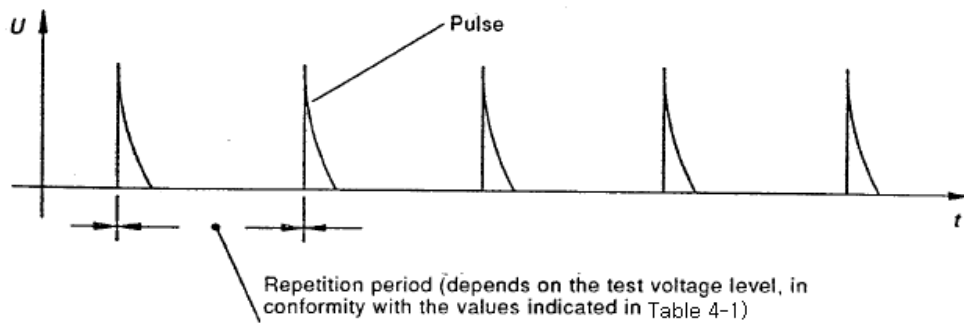


그림 4-2 전기적 빠른 과도현상/버스트의 신호 파형

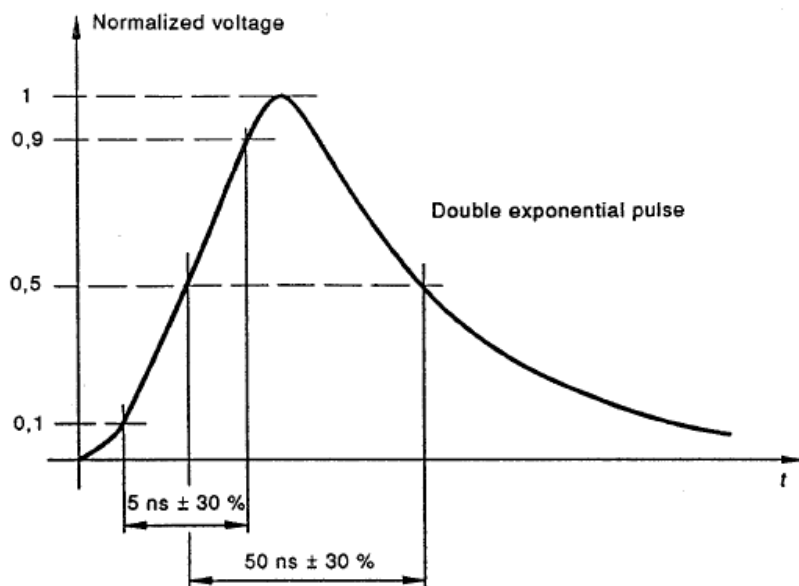


그림 4-3 50 Ω 부하에 대한 단일 펄스파형

제 3 절 전기적 빠른 과도현상/버스트 발생기의 교정

1. 교정할 내용

전기적 빠른 과도현상/버스트 발생기는 승인된 품질보증 시스템에 따라 정의된 시간 주기에서 교정되어야 한다.

50 Ω으로 종단된 전기적 빠른 과도현상/버스트 발생기의 교정 항목은 표 4-3과 4-4에 각각 나타내었다. 특성 검증은 최소 대역폭이 400 MHz이상 되는 오실로 스코프를 사용하여야 하며, 한 버스트내의 상승시간, 임펄스 지속시간, 임펄스의 첨두값, 임펄스 반복율, 버스트 지속시간 및 버스트 주기를 교정하여야 한다. 이를 표 4-3~표 4-5에 나타내었다.

표 4-3 펄스의 상승 시간 및 지속시간 교정 (그림 4-3 참조)

교정항목	규 격
임펄스의 상승 시간	5 ns ± 30 %
임펄스의 지속시간(50 % 값)	50 ns ± 30 %

표 4-4 출력 전압의 첨두값과 임펄스의 반복율

50 Ω 종단 출력 시험전압 (±10 %)과 임펄스 반복율(±20 %)	
첨두 전압값, kV	반복율, kHz
0.125	5
0.25	5
0.5	5
1.0	5
2.0	2.5

표 4-5 버스트 신호의 지속 시간과 주기

교정항목	규 격
버스트 지속시간	15 ms ± 20 %
버스트 주기	300 ms ± 20 %

2. EFT/Burst 발생기 교정 방법

가. 교정 시스템

표 4-3과 표 4-4에 주어진 EFT/Burst 발생기 교정항목을 측정하기 위하여 그림 4-4와 같은 교정 시스템을 구성하였다.

그림 4-4에서 EFT/Burst 발생기는 Haefely사의 PEFT.1과 4 kV용 plug-in 인 PHV4.2이고, 감쇠기는 Haefely 사의 No. 093577.1/083712-49와 No. 093596.1/083581-007로 각각 54 dB 감쇠량을 지닌다. 오실로스코프는 digital sampling oscilloscope로 Tektronix사의 TDS 694C이다.

나. 첨두 전압 측정식 모델링

그림 4-3과 같은 파형을 측정하여 표 4-4에 주어진 EFT/Burst 발생기의 출력 최대 전압을 측정하기 위하여 식 (4-1)과 같이 모델링 하였다.

$$V_p = C_A V_r \quad (4-1)$$

식 (4-1)에서

V_r : 오실로스코프의 읽은값

C_A : 감쇠기에 의한 변환인자(감쇠량이 54 dB : 명목값 501)

이다.

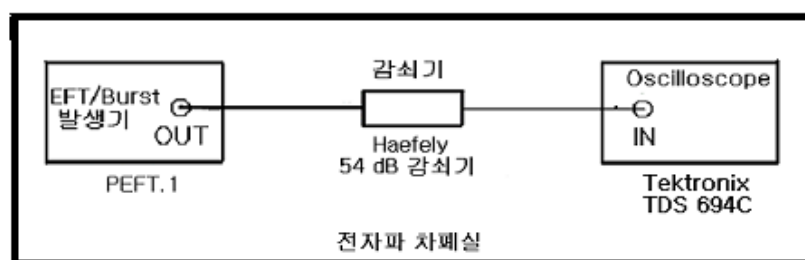


그림 4-4 EFT/Burst 발생기 교정 시스템

식 (4-1)로부터 EFT/Burst 발생기의 최대전압 측정의 합성표준 불확도는 식 (4-2)와 같이 구해진다.

$$u_c(V_p) = [S_{V_r}^2 u_{V_r}^2 + S_{C_A}^2 u_{C_A}^2 + u_D^2 + u_r^2]^{1/2} \quad (4-2)$$

식 (4-2)에서 S_{V_r} 과 S_{C_A} 는 감도계수로

$$S_{V_r} = \frac{\partial V_p}{\partial V_r} = C_A = \frac{V_p}{V_r} \quad (4-3 \text{ a})$$

$$S_{C_A} = \frac{\partial V_p}{\partial C} = V_r = \frac{V_p}{C_A} \quad (4-3 \text{ b})$$

이다.

식 (4-2)에서 나머지 항들은 각 측정량의 표준 불확도로

- u_{V_r}, u_{C_A} : 오실로 스코프의 전압 읽은 값 및 고정 감쇠기의 감쇠량 측정시의 불확도,
- u_D : EFT 발생기에서의 전압표시와 실제 측정되는 전압차에 기인하는 불확도
- u_r : 반복 측정의 불확도(표준 편차)

이다.

3. 측정 결과 및 불확도 산출

가. 측정 결과 및 A형 불확도

EFT/Burst 발생기를 교정하기 위하여 그림 4-4에 나타난 측정 시스템을 구성하였으며, 이 시스템으로 표 4-4에 주어진 각 침두 전압 값의 양과 음에 대하여 파형을 10회 반복 측정하였다. EFT/Butst 발생기로부터 50 Ω의 부하에

가해지는 침투 전압은 식 (4-1)를 이용하여 계산하였다. 식 (4-1)에서 C는 감쇠기의 변환 인자로 명목값이 501(54 dB)이다. 표 4-6은 EFT/Burst 발생기의 출력 침투 전압을 1 kV로 했을 때 측정한 평균값과 A형 불확도이다. 측정 결과를 나타내는 그림 4-5 ~그림 4-12로부터 표 4-3 ~표 4-5의 교정항목에 대하여 평균값과 A형 불확도를 구하면 표 4-7~표 4-8과같다.

표 4-6 EFT/Burst 발생기의 침투 전압 측정 (1 kV)

n	I _p	n	I _p
1	984	6	978
2	983	7	969
3	969	8	975
4	984	9	976
5	977	10	978
평균	-	-	977.3
실험표준편차	-	-	5.45
A형 불확도	-	-	1.72

표 4-7 양의 전압을 인가할 때 측정한 평균 및 A형 불확도

명목값 [V]	측정값	침투전압	임펄스 특성		버스트 특성	
		V _r [V]	상승시간 [ns]	지속시간 [ns]	지속시간 [ms]	주기 [ms]
250	평균	244.3	4.80	44.5	15.0	334
	A형 불확도	0.44	0.24	2.23	0.66	12.8
500	평균	488.4	4.61	48.0	15.0	334
	A형 불확도	0.89	0.22	2.52	0.61	13.04
1000	평균	977.3	4.45	48.2	14.90	334
	A형 불확도	1.72	0.27	2.63	0.58	12.4
2000	평균	1894.4	4.38	50.8	14.92	334
	A형 불확도	3.41	0.25	2.43	0.57	12.2

표 4-8 음의 전압을 인가할 때 측정한 평균 및 A형 불확도

명목값 [V]	측정값	첨두전압	임펄스 특성		버스트 특성	
		V _r [V]	상승시간 [ns]	지속시간 [ns]	지속시간 [ms]	주기 [ms]
250	평 균	247.3	4.28	43.0	15.1	332
	A형 불확도	0.42	0.23	2.01	0.60	13.2
500	평 균	497.4	4.26	43.8	15.0	332
	A형 불확도	0.92	0.21	2.18	0.62	12.1
1000	평 균	997.2	4.87	44.7	14.9	334
	A형 불확도	1.79	0.25	2.09	0.58	14.2
2000	평 균	1924.1	4.75	51.2	15.0	334
	A형 불확도	3.66	0.28	2.11	0.57	12.8

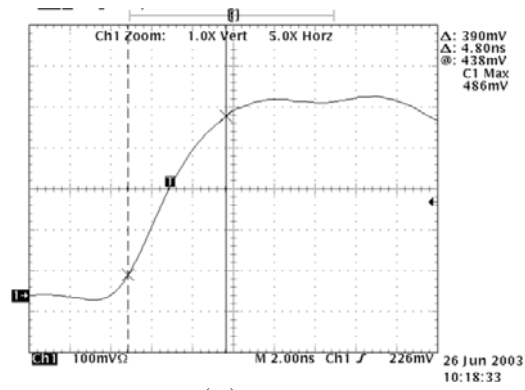
나. B형 불확도 산출

식 (4-2)를 이용하여 EFT/Burst 발생기의 첨두 전압을 측정할 때 포함된 B형 불확도를 고찰하여 보자.

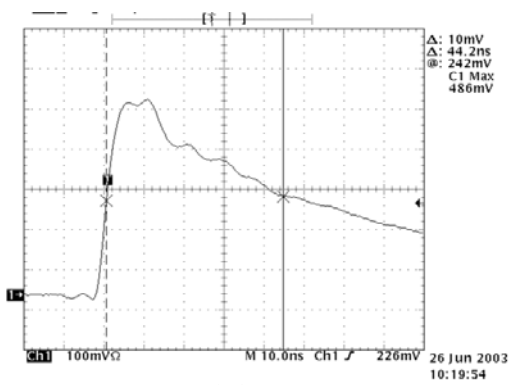
특성 임피던스 50 Ω인 시스템에서 EFT/Burst 발생기의 성능을 나타내는 표 4-4의 경우 1 kV를 측정하는 방법과 이 측정값에 포함된 B형 불확도에 대하여 생각해보자.

EFT/Burst 출력에 54 dB 감쇠기를 연결하고 EFT/Burst 출력을 입력 임피던스가 50 Ω인 오실로 스코프로 측정되는 전압은 그림 4-9와 그림 4-10과 같이 약 1.996 V이다. 측정에 사용한 오실로 스코프의 수직 정확도는 ±1 %이기 때문에 오실로 스코프를 500 mV/Div에서 측정하면 측정 오차는 500 mV/Div × 8 Div × 1 % = ±0.04이다. 따라서 대칭 직각 분포의 확률 분포로 생각하면 전압 측정의 B형 표준 불확도는 $u_{V_r} = 0.04/\sqrt{3} = 0.023$ 이다. 또한 감도계수는 식 (4-3 a)에서 $S_{V_r} = C = 501$ 이다. 따라서 1 kV에서 오실로 스코프로 EFT/Burst 발생기의 출력 첨두전압을 측정할 때 불확도 기여도는 $0.023 \times 501 = 11.523$ 이다.

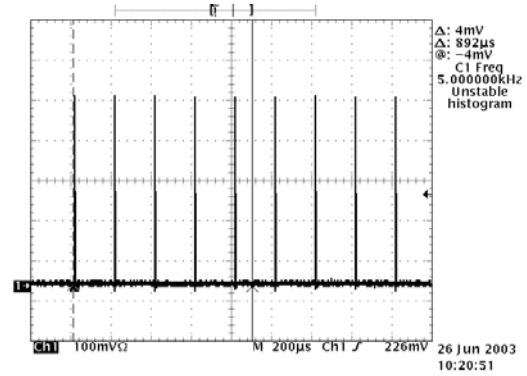
EFT/Burst 발생기 출력 전압이 250 V에서는 100 mV/Div, 500 V에서는 200 mV/Div, 1000V에서는 500 mV/Div이고 2000 V에서는 1 V/Div이다. 따라



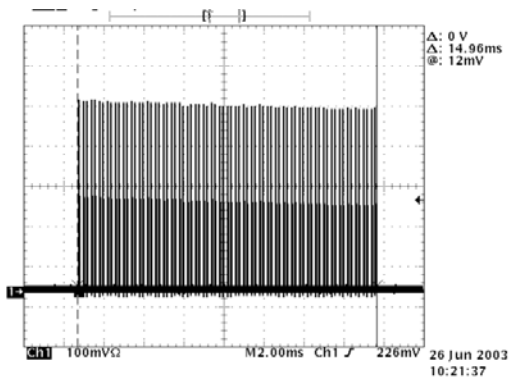
(a)



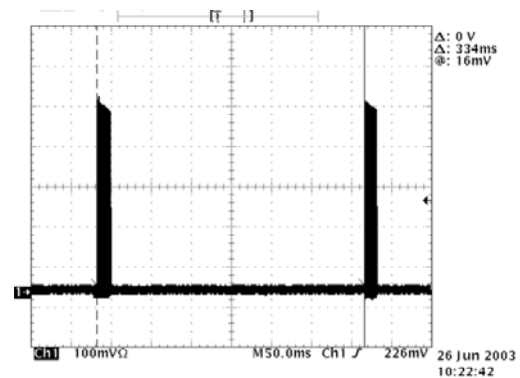
(b)



(c)



(d)



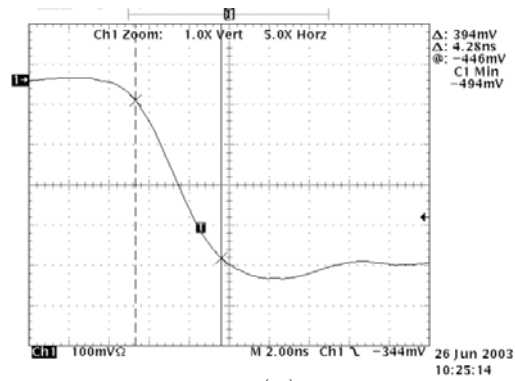
(e)

그림 4-5 양의 250 V Burst 출력(HV 출력)

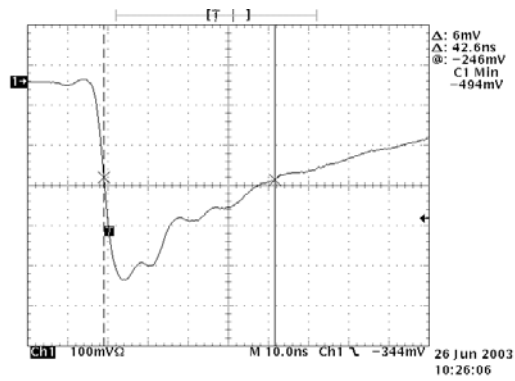
(a) 침두 전압값과 임펄스 상승시간 측정

(b) 임펄스 지속시간 측정 (c) 임펄스 반복율

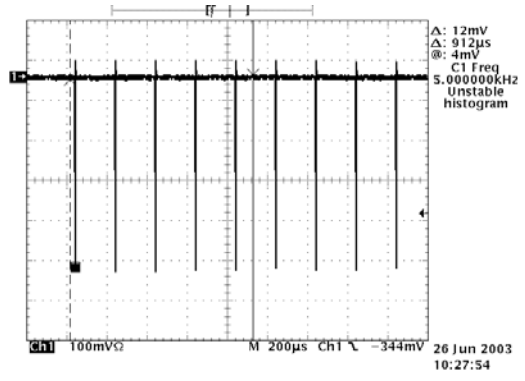
(d) 버스트 지속시간 측정 (e) 버스트 주기 측정



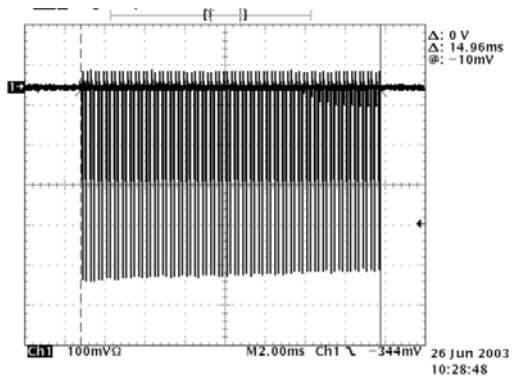
(a)



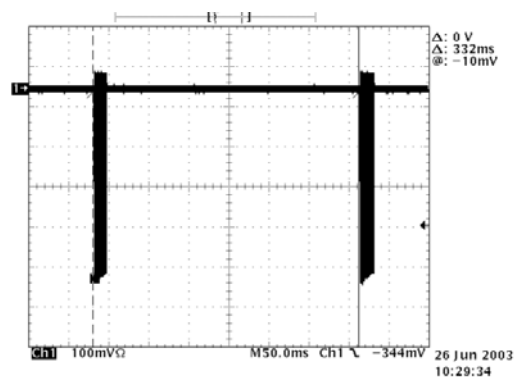
(b)



(c)



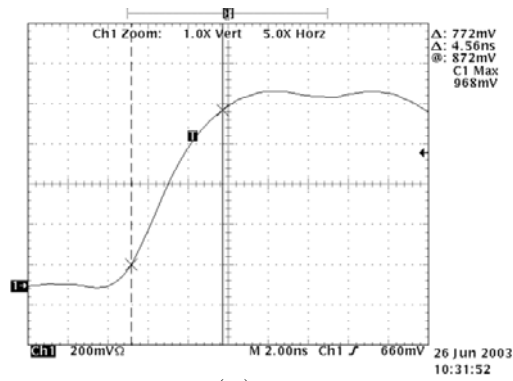
(d)



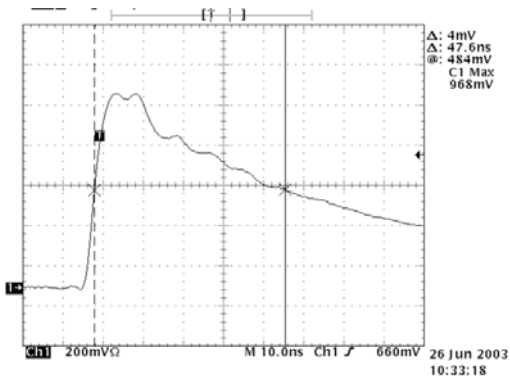
(e)

그림 4-6 음의 250 V Burst 출력(HV 출력)

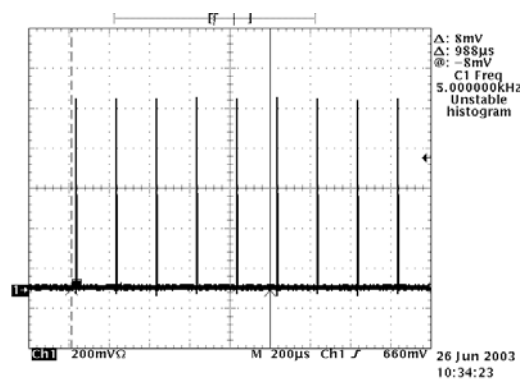
- (a) 첨두 전압값과 임펄스 상승시간 측정
- (b) 임펄스 지속시간 측정 (c) 임펄스 반복율
- (d) 버스트 지속시간 측정 (e) 버스트 주기 측정



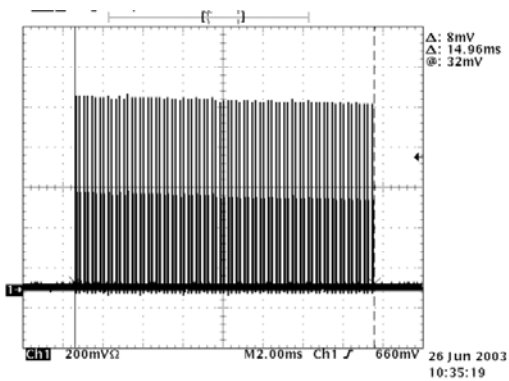
(a)



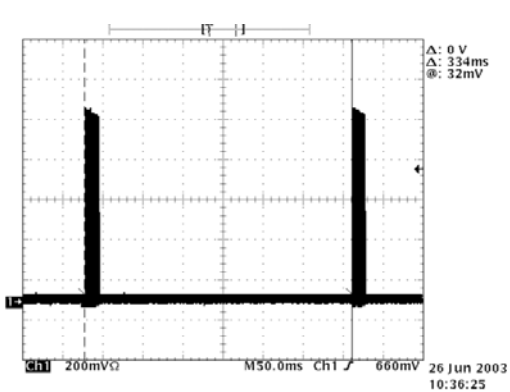
(b)



(c)



(d)



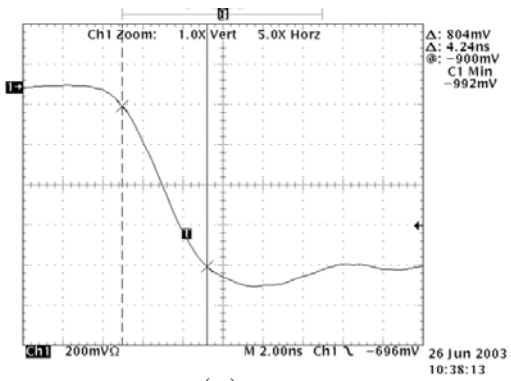
(e)

그림 4-7 양의 500 V Burst 출력(HV 출력)

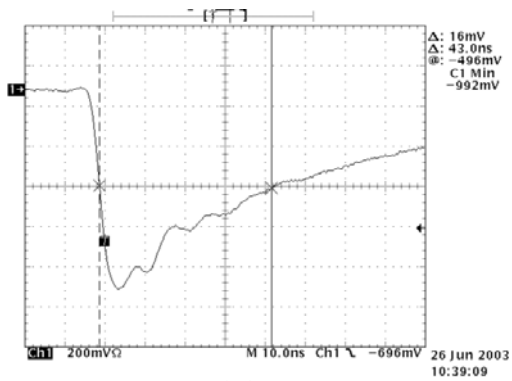
(a) 첨두 전압값과 임펄스 상승시간 측정

(b) 임펄스 지속시간 측정 (c) 임펄스 반복율

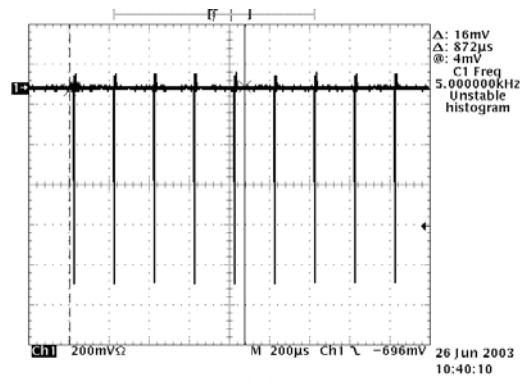
(d) 버스트 지속시간 측정 (e) 버스트 주기 측정



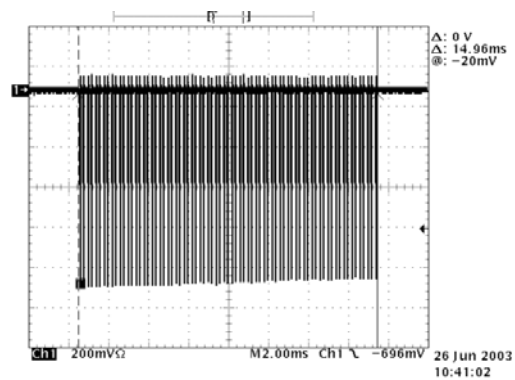
(a)



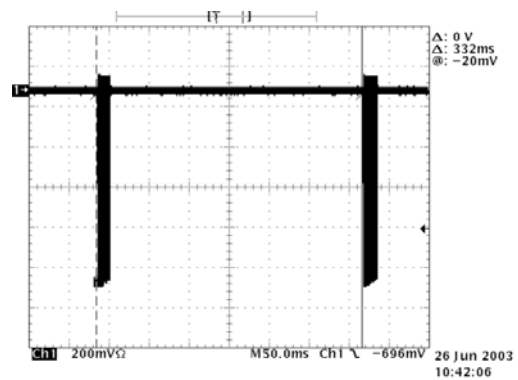
(b)



(c)



(d)



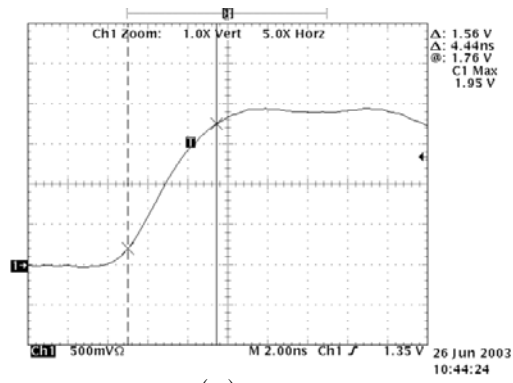
(e)

그림 4-8 음의 500 V Burst 출력(HV 출력)

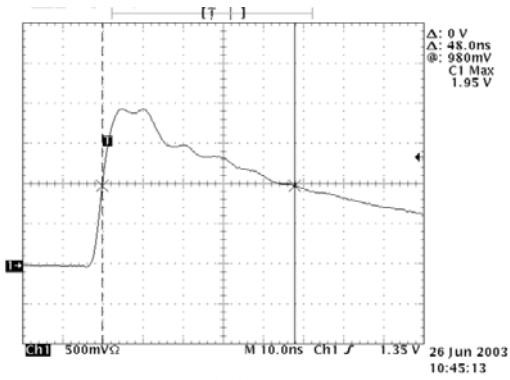
(a) 첨두 전압값과 임펄스 상승시간 측정

(b) 임펄스 지속시간 측정 (c) 임펄스 반복율

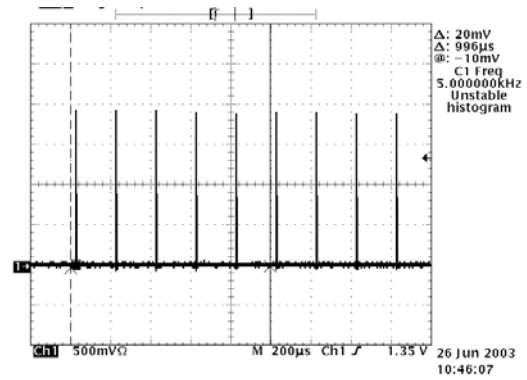
(d) 버스트 지속시간 측정 (e) 버스트 주기 측정



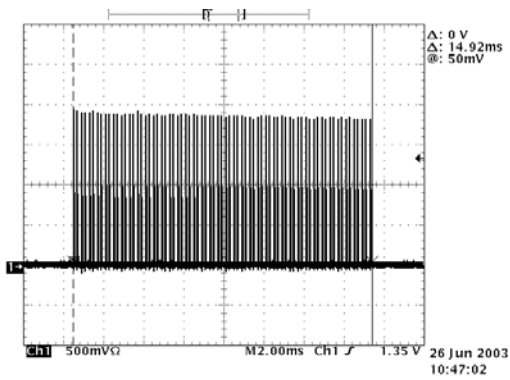
(a)



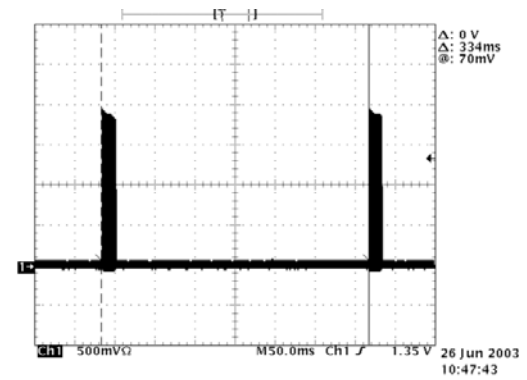
(b)



(c)



(d)



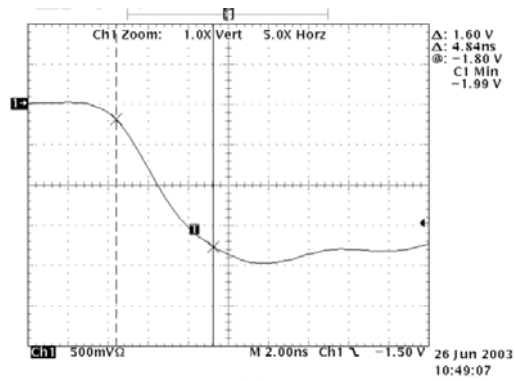
(e)

그림 4-9 양의 1 kV V Burst 출력(HV 출력)

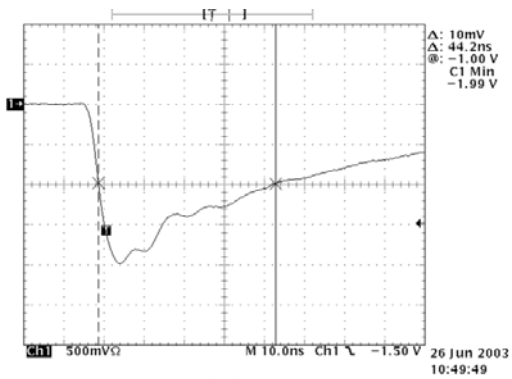
(a) 첨두 전압값과 임펄스 상승시간 측정

(b) 임펄스 지속시간 측정 (c) 임펄스 반복율

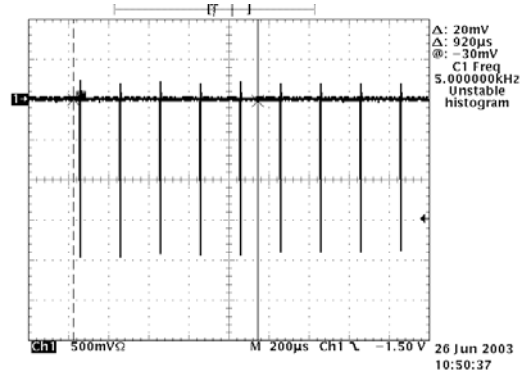
(d) 버스트 지속시간 측정 (e) 버스트 주기 측정



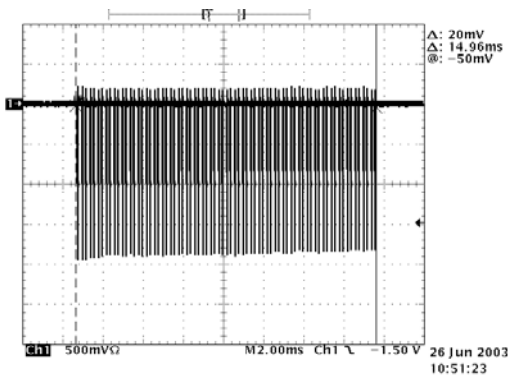
(a)



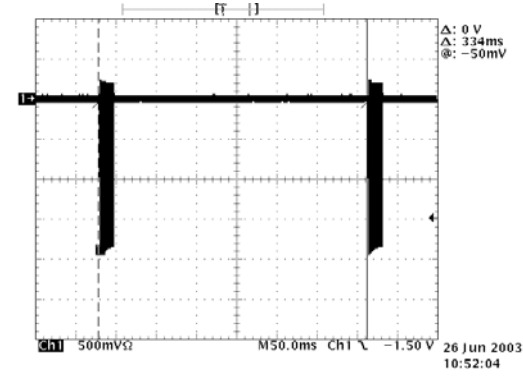
(b)



(c)



(d)



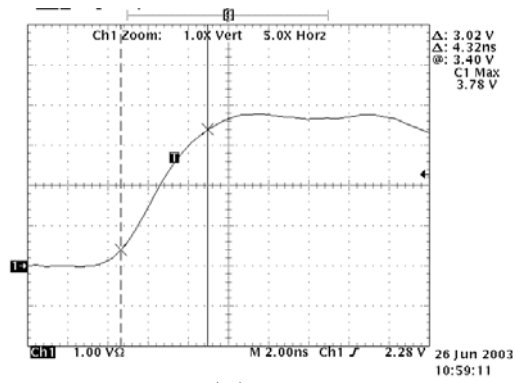
(e)

그림 4-10 음의 1 kV Burst 출력(HV 출력)

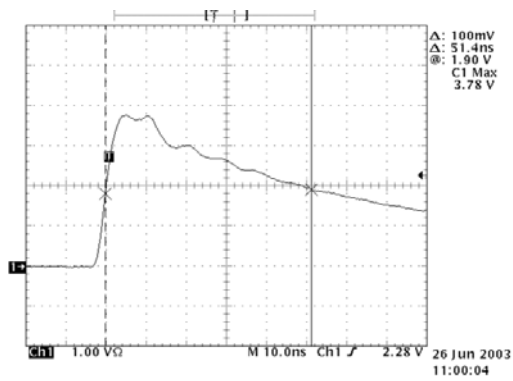
(a) 첨두 전압값과 임펄스 상승시간 측정

(b) 임펄스 지속시간 측정 (c) 임펄스 반복율

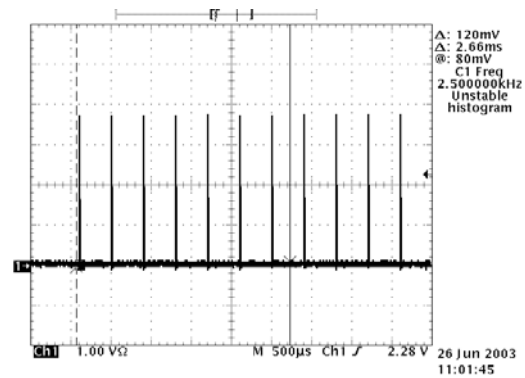
(d) 버스트 지속시간 측정 (e) 버스트 주기 측정



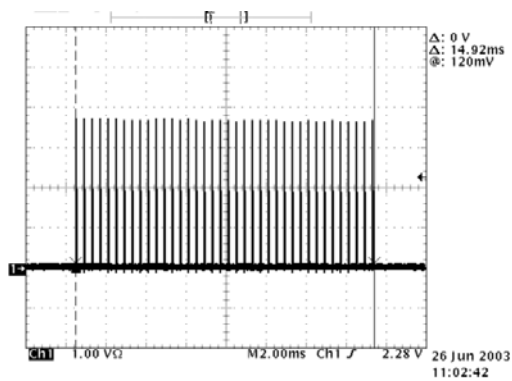
(a)



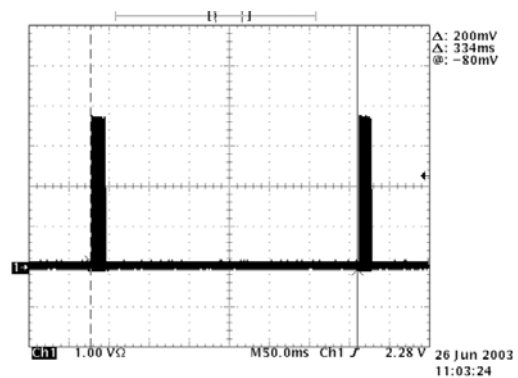
(b)



(c)



(d)



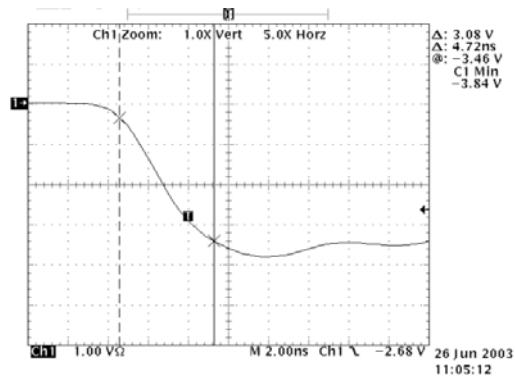
(e)

그림 4-11 양의 2 kV Burst 출력(HV 출력)

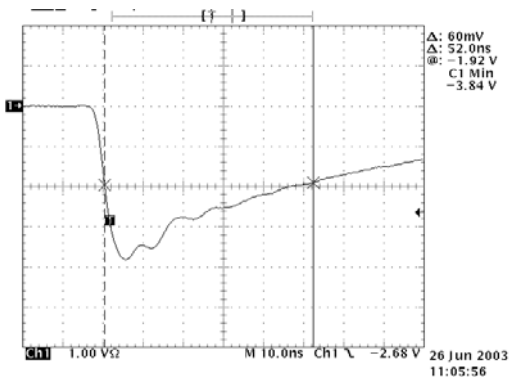
(a) 첨두 전압값과 임펄스 상승시간 측정

(b) 임펄스 지속시간 측정 (c) 임펄스 반복율

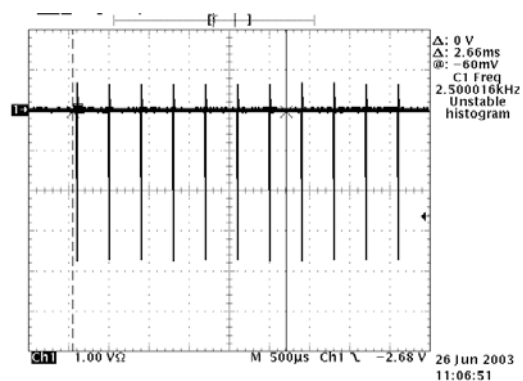
(d) 버스트 지속시간 측정 (e) 버스트 주기 측정



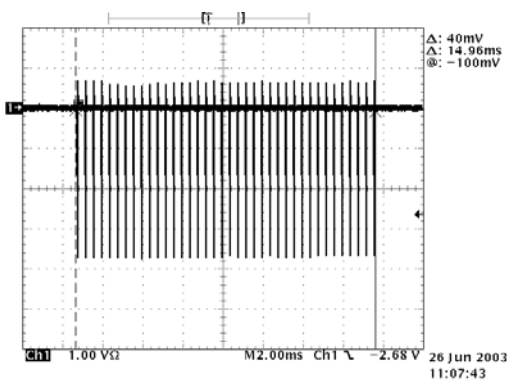
(a)



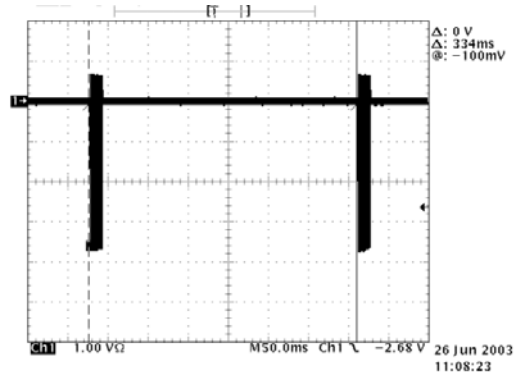
(b)



(c)



(d)



(e)

그림 4-12 음의 2 kV Burst 출력(HV 출력)

(a) 첨두 전압값과 임펄스 상승시간 측정

(b) 임펄스 지속시간 측정 (c) 임펄스 반복율

(d) 버스트 지속시간 측정 (e) 버스트 주기 측정

서 같은 방법으로 다른 전압에서 불확도 기여도를 구할 수 있다.

이와 같은 방법으로 표 4-4의 다른 침두 전압 측정값 들에 대하여오실로 스코프를 이용하여 침두 전압을 측정할 때 포함된 B형 불확도에 의한 불확도 기여도를 계산하면 표 4-9와 같다.

식 (4-1)에서 C는 EFT/Burst 발생기의 출력에 연결한 감쇠기를 나타낸다. 회로망 분석기를 이용한 54 dB 감쇠기의 감쇠량 측정 불확도는 0.14 dB로 이는 1.62 %의 측정 오차에 해당한다. 정규분포의 확률분포로 보면 표준 불확도 $u_{C_A} = 0.0162/\sqrt{3} = 0.0081$ 이 된다. 또한 감도계수는 명목값 1 kV의 경우 $S_{C_A} = V_r = 1.996$ 이다. 따라서 감쇠량 측정 불확도가 EFT/Burst 발생기의 침두전압 측정 불확도에 기여하는 정도는 $0.0081 \times 1.996 = 0.016$ 이다. 이

표 4-9 오실로 스코프의 전압 측정 불확도에 의한 침두전압 측정 불확도

측정값 항목	250 V	500 V	1000 V	2000 V
명목값 [V]	0.499	0.998	1.996	3.992
S_{V_r}	501			
U_{V_r}	0.006	0.012	0.023	0.046
불확도 기여도	3.01	6.01	11.52	23.14

표 4-10 감쇠기의 감쇠량 측정 불확도에 의한 침두전압 측정 불확도

측정값 항목	250 V	500 V	1000 V	2000 V
명목값 [V]	0.499	0.998	1.996	3.992
S_{S_A}	0.499	0.998	1.996	3.992
U_{C_A}	0.0081			
불확도 기여도	0.004	0.008	0.016	0.032

와 같은 방법으로 표 4-4의 각 침두 전압 값에 대하여 감쇠량 측정 불확도가 전압 측정 불확도에 기여하는 정도를 산출하면 표 4-10과 같다. 표 4-10에서 감도계수는 식 (4-3 b)를 이용하여 계산하였다.

EFT/Burst 발생기의 출력 변화에 기인하는 B형 불확도에 대하여 고찰하여 보자. EFT/Burst 출력전압 변화가 5 %로 대칭 직사각형 형태의 확률분포로 보면 표준 불확도는 $u_D = 0.05/\sqrt{3} = 0.029$ V 이다. 따라서 EFT/Burst 발생기의 출력 전압 변동에 기인하는 불확도 기여도는 EFT/Burst 발생기의 출력 전압이 1 kV인 경우 $1000 \times 0.029 = 29$ 이다. 표 4-4의 다른 측정값에 대하여 EFT/Burst 발생기의 출력 전압 변동에 기인하는 불확도 기여도를 산출하면 표 4-11과 같다.

임펄스 신호의 상승시간과 지속시간을 측정할 때 오실로 스코프 화면의 양 끝단의 전압을 읽을 때 포함된 불확도를 측정 결과를 나타내는 그림 4-4 ~ 그림 4-12로부터 구해보자. 앞서서와 같은 방법으로 오실로 스코프로 전압 크기를 읽는데 포함된 불확도인 u_{V_r} 를 계산하면 표 4-12와 같이 구해진다. 이 때의 감도계수는 $\partial t/\partial V$ 로 그림 4-4 ~ 그림 4-12로부터 구하여 표 4-11에 나타내었다. 오실로 스코프로 양 끝단에서 읽는 경우를 고려하면 1 kV의 출력전압의 상승시간에 대한 불확 기여도는 $u_i = \sqrt{2} \times 0.023 \times 4 = 0.13$ 이 된다 이와 같은 방법으로 다른 전압에서 불확도 기여도를 구하여 표 4-12에 나타내었다.

표 4-11 EFT/Burst 발생기의 출력 변동에 의한 침두전압 측정 불확도

측정값 항목	250 V	500 V	1000 V	2000 V
명목값 [V]	0.499	0.998	1.996	3.992
S_D	250	500	1000	2000
U_D	0.029			
불확도 기여도	7.25	14.5	29	58

표 4-12 오실로 스코프의 시간간격 측정 불확도에 의한 임펄스 신호의 상승 시간과 지속시간 측정 불확도에 기여도

인가전압 불확도	250 V		500 V		1000 V		2000 V	
	상승 시간	지속 시간	상승 시간	지속 시간	상승 시간	지속 시간	상승 시간	지속 시간
U_{V_r} [V]	0.006		0.012		0.023		0.046	
$\partial t/\partial V$ [ns/V]	20	100	10	50	4	20	2	10
U_i [ns]	0.17	0.85	0.17	0.85	0.13	0.65	0.13	0.65

임펄스 반복율과 버스트의 지속시간 및 주기 측정에 포함된 B형 불확도는 오실로 스코프의 시간 간격 측정의 장비 오차는 TDS694C의 경우 15 ps로 대칭 직각 분포의 확률 분포로 생각하면 표준 불확도는 $u_i = 15/\sqrt{3} = 8.66$ ps가 된다.

다. 불확도 표현 및 교정 결과

EFT/Burst 발생기의 교정을 위하여 측정하는 양은 출력 침두전압, 임펄스의 상승 및 지속시간, 버스트의 지속 시간과 주기 등이다. 위의 가항과 나항에서 살펴본 결과를 이용하여 1 kV 인가 시 침두 전압 측정에 포함된 합성 표준 불확도를 식 (4-2)를 이용하여 구하기 위한 불확도 총괄표를 표 4-13 나타내었다. 이 경우 유효 자유도는 식 (2-15)에 의하여 981,036 이다. 이와 같은 방법으로 인가 전압이 250 V, 500 V 및 2000 V 일 때에도 합성 표준 불확도를 구할 수 있다.

EFT/Burst 발생기의 임펄스 상승 시간과 지속 시간은 그림 4-4 ~ 그림 4-12의 파형을 10회 반복 측정하여 구한 A형 불확도인 u_r 을 표 4-7과 표 4-8에 나타내었고, 측정 시스템의 불확도인 u_i 는 표 4-12에 나타내었다. 표 4-7과 표 4-8의 u_r 과 u_i 를 식 (4-4)에 대입하면 임펄스 상승 시간과 지속 시간에 대한 합성 표준 불확도를 구할 수 있다.

$$u_c(t_r) = [u_r^2 + u_i^2]^{1/2} \quad (4-4)$$

표 4-13 불확도 총괄표 (1 kV의 침두 전압 측정)

양 (X_i)	추정값 (x_i)	표준 불확도 $u(x_i)$	확률분포	감도계수 (C_i)	불확도 기여도 $u_i(y)$
X_1	997	—	—	—	—
u_{V_r}	0	0.023	직 각	501	11.523
u_{C_A}	0	0.0081	직 각	1.996	0.016
u_D	0	0.029	직 각	1000	29
u_R	0	1.720	정 규	1	1.72
V_p	997	—	—	—	$u_c(y)=31.25$

위의 결과를 이용하여 EFT/Burst 발생기의 교정 결과를 표 4-14과 표 4-15에 각각 양과 음의 인가 전압에 대하여 나타내었다.

표 4-14 양의 전압을 인가할 때 측정한 평균 및 확장 불확도

명목값 [V]	측정값	침두전압	임펄스 특성		버스트 특성	
		V_r [V]	상승시간 [ns]	지속시간 [ns]	지속시간 [ms]	주기 [ms]
250	평 균	247.3	4.28	43.0	15.1	332
	확장 불확도	15.72	0.59	4.77	0.66	12.8
500	평 균	497.4	4.26	43.8	15.0	332
	확장 불확도	31.44	0.56	5.32	0.61	13.04
1000	평 균	997.2	4.87	44.7	14.9	334
	확장 불확도	62.50	0.60	5.42	0.58	12.4
2000	평 균	1924.1	4.75	51.2	15.0	334
	확장 불확도	125.1	0.56	5.03	0.57	12.2

표 4-15 음의 전압을 인가할 때 측정한 평균 및 확장 불확도

명목값 [V]	측정값	침두전압	임펄스 특성		버스트 특성	
		V_r [V]	상승시간 [ns]	지속시간 [ns]	지속시간 [ms]	주기 [ms]
250	평 균	247.3	4.28	43.0	15.1	332
	확장 불확도	15.72	0.57	4.36	0.60	13.2
500	평 균	497.4	4.26	43.8	15.0	332
	확장 불확도	31.44	0.54	4.68	0.62	12.1
1000	평 균	997.3	4.87	44.7	14.9	334
	확장 불확도	62.52	0.56	4.38	0.58	14.2
2000	평 균	1924.2	4.75	51.2	15.0	334
	확장 불확도	125.1	0.62	4.42	0.57	12.8

또한 버스트 지속 시간 및 버스트 주기 측정은 측정 장비인 오실로 스코프의 B형 불확도 u_i 는 8.66 ps이다. 따라서 표 4-7과 표 4-8의 데이터와 이를 식 (4-4)에 대입하여 임펄스 반복율, 버스트 지속 시간 및 버스트 주기에 대한 합성 표준 불확도를 구한 후 표 4-14와 표 4-15에 나타내었다.

임펄스 반복율은 A형 불확도와 B형 불확도가 영향을 미치지 못할 정도로 작은 값을 지니며 5 kHz으로 측정 되었다.

표 4-14와 표 4-15에서 불확도는 확장 불확도로 신뢰 구간을 95 %로 하면 이에 대한 포함 인자는 $k=2$ 를 적용한 것이다.

제 5 장 서지 내성시험 설비 교정

제 1 절 용어의 정의

1. 평형선로 (balanced line)

차동 모드에서 공통 모드로의 전환 손실이 20 dB 이하인 대칭적으로 구동되는 한 쌍의 도체 선이다.

2. 결합 회로망 (coupling network)

한 회로에서 다른 회로로 에너지를 전달하기 위한 전기 회로이다.

3. 감결합 회로망 (decoupling network)

수검기기에 가해진 서지가 수검기기 이외의 다른 소자나 장치 등에 미치는 영향을 막아주는 전기회로이다.

4. 지속시간 (duration)

명시된 파형 또는 특징이 존재하거나 계속되는 간격의 절대치이다.

5. 수검기기 (EUT, equipment of test)

시험되는 장비이다.

6. 전반시간 (front time)

서지 전압 : 서지 전압의 전반 시간 T_1 은 임펄스가 피크치의 30 %일 때와 90 %일 때의 시간 가격인 T 의 1.67 배로 정의되는 가상 파라미터이다

전류 서지: 서지 전류의 전 시간 T_1 은 임펄스가 피크지 10 %일 때와 90 %일 때의 시간 간격인 T 의 1.25 배로 정의되는 가상 파라미터

7. 내성 (immunity)

전자기 방해가 있는 곳에서 장치, 장비 또는 시스템이 원래 기능대로 동작하는 능력이다.

8. 전기설치 (electrical installation)

특정 목적을 수행하고 통합된 특성을 갖는 관련된 전기 장비의 조합을 의미한다.

9. 상호 접속선로 는 다음으로 구성되어 있다. (interconnection lines consist of)

- I/O 선로(입력/출력 선로)
- 통신 선로
- 평형 선로

10. 일차 보호 (primary protection)

강력한 에너지의 대부분을 의도하는 인터 웨이스를 벗어나서 전파되지 않도록 하는 수단이다.

11. 상승 시간 (rise time)

펄스의 순시치가 먼저 명시된 하한치 도달한 후 명시된 상한치까지 도달하는 사이의 시간 간격을 말한다. (별다른 명시치가 없으면, 하한치와 상한치는 펄스 크기의 10 %와 90 %로 고정된다.)

12. 이차 보호 (secondary protection)

일차 보호로부터 흘러나온 에너지를 억제하는 수단이다. 그것은 특정 장치로 할 수도 있고 수검기기 고유의 특성으로 이루어질 수도 있다.

13. 서지 (surge)

선로나 회로를 따라 전파하는 전류, 전압, 또는 전력의 과도 파형으로써 늦은 감소에 뒤 따라 빠른 상승으로 특성화된다

14. 시스템 (system)

명시된 기능을 수행을 위해 주어진 목적을 얻기 위한 독립된 소자로 구성된 세트이다. (시스템은 환경과 분리되어 있고, 외부 시스템과 고려되는 시스템 사이의 연결을 자르는 가공의 표면에 의해 다른 외부 시스템과 분리되어 있다고 생각한다. 이 연결을 통해서, 시스템은 환경에 의해 영향을 받고, 외부 시스템이 의해 작용되거나 환경 또는 외부 시스템에 스스로 작용한다.)

15. 중간치의 시간 T_2 (time to half-value T_2)

서지의 중간치 시간 T_2 는 가상 원점 O과 전압 전류가 첨두치의 절반으로 감소하는 순간의 시간 간격으로 정의되는 가상 파라미터이다.

16. 과도 현상 (transient)

한 정상 상태에서 다른 정상 상태로 이동할 때 매우 짧은 시간 중에 변화하는 물리적 현상이나 물리량을 나타낸다.

제 2 절 서지 내성시험


1. 시험의 목적

스위칭과 낙뢰의 과도 현상에 의한 과 전압 때문에 발생하는 단 방향성 서지에 대한 전기, 전자 장비의 내성 성능을 평가하는 것이다.

2. 시험 레벨

서지 내성 시험에 대한 시험 전압 레벨은 표 5-1과 같으며, 이 보다 낮은 레벨에서도 만족해야 한다.

표 5-1 서지 시험 레벨

수 준	개방회로 시험전압 $\pm 10\%$, kV
1	0.5
2	1.0
3	2.0
4 	4.0
X ¹⁾	특별
1) 미결정 준위로 생산품 규격에 명시될 수 있다.	

3. 조합 파형 서지 발생기의 특성

가. 조합 파형 발생기의 구조

조합 파형 발생기는 그림 5-1과 같으며 다음과 같은 주요 부분으로 나누어져 있다.

- 고전압 소스 : U
- 충전용 저항 : Rc
- 에너지 저장 커패시터 : Cc
- 펄스 지속시간 형성 저항 : Rs
- 임피던스 정합 저항 : Rm
- 상승시간 형성 인덕터 : Lr

조합파형 서지 발생기는 1.2/50 μs 의 개방회로 전압 파형과 8/20 μs 단락 회로 전류 파형을 발생시킨다.

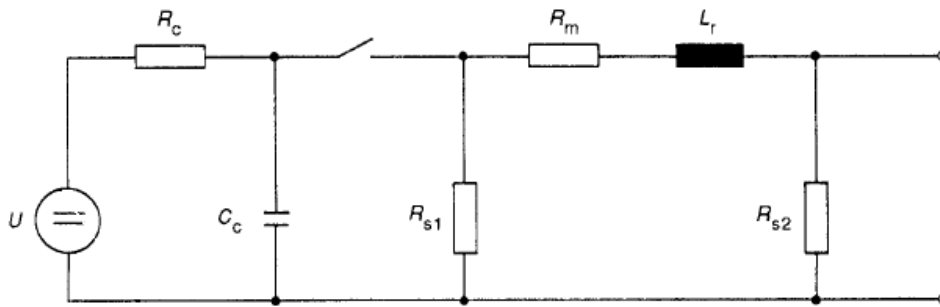


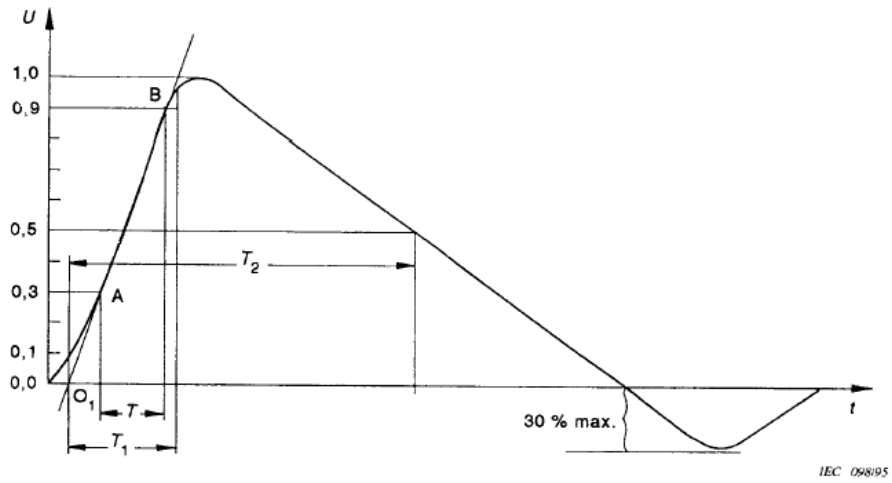
그림 5-1 조합 파형 서지 발생기의 구조

나. 조합 파형 서지 발생기의 출력

그림 5-1의 조합 파형 서지 발생기의 개방회로 전압 파형은 그림 5-2와 같고, 출력 레벨은 표 5-1과 같이 0.5 kV ~ 4.0 kV 이다. 단락 회로 전류 파형은 그림 5-3과 같고 레벨은 표 5-2와 같이 시험 전압 레벨에 따라 0.25 kA ~ 2.0 kA 이다.

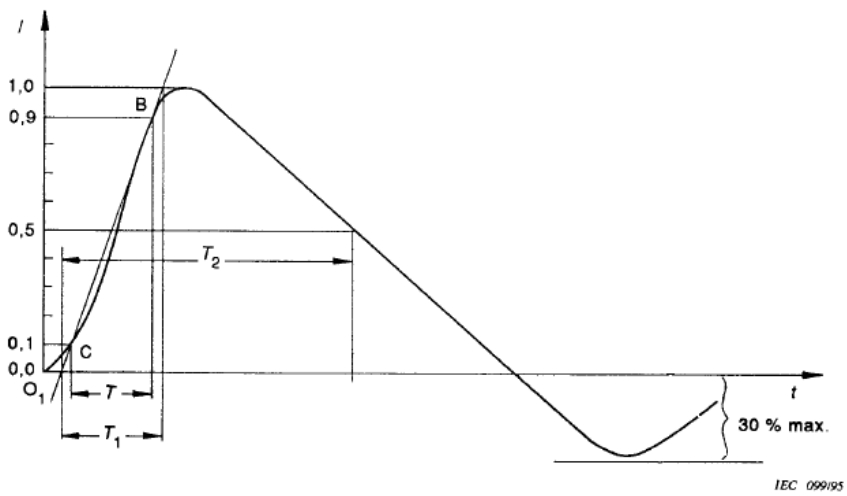
표 5-2 조합 파형 발생기의 출력 특성

준 위	개방회로 출력전압 $\pm 10 \%$	단락회로 출력전류 $\pm 10 \%$
1	0.5 kV	0.25 kA
2	1.0 kV	0.50 kA
3	2.0 kV	1.0 kA
4	4.0 kV	2.0 kA
X	특 별	특 별
주 : X는 미결정준위, 이 준위는 생산품 규격에 명시될 수 있다.		



Front time: $T_1 = 1,67 \times T = 1,2 \mu s \pm 30 \%$
 Time to half-value: $T_2 = 50 \mu s \pm 20 \%$

그림 5-2 개방회로 전압 파형(1.2/50 μs)



Front time: $T_1 = 1,25 \times T = 8 \mu s \pm 20 \%$
 Time to half-value: $T_2 = 20 \mu s \pm 20 \%$

그림 5-3 단락회로 전류 파형(1.2/50 μs)

조합형 서지 발생기의 출력 전압과 출력 전류 파형을 나타내는 그림 5-2와 그림 5-3에서 파형 파라미터는 표 5-3과 같다.

표 5-3 조합형 서지 발생기의 파형 파라미터

정 의	IEC 60-1에 따른 규정		IEC 469-1에 따른 규정	
	전시간 μs	절반치 시간 μs	상승시간 (10 % ~ 90 %) μs	지속시간 (50 % ~ 50 %) μs
개방회로전압	1.2(± 30 %)	50(± 20 %)	1	50
단락회로전류	8(± 20 %)	20(± 20 %)	6.4	16

4. CCITT에 의한 서지 발생기의 특성

가. CCITT 서지 파형 발생기의 구조

CCITT에 의한 서지 발생기는 그림 5-4와 같으며 다음과 같은 주요 부분으로 나누어져있다.

- 고전압 소스 : U
- 충전용 저항 : R_c
- 에너지 저장 커패시터 : C_c (20 μF)
- 펄스 지속시간 형성 저항 : R_s (50 Ω)
- 임피던스 정합 저항 : R_m ($R_{m1}=15 \Omega$, $R_{m2}=25 \Omega$)
- 상승시간 형성 커패시터 : C_s (0.2 μF)
- 외부 정합 저항을 사용할 때 폐쇄 스위치 : S1

CCITT에 의한 서지 발생기는 전시간이 10 μs 이고 절반치 시간이 700 μs 인 10/700 μs 의 개방회로 전압 파형을 발생시킨다.

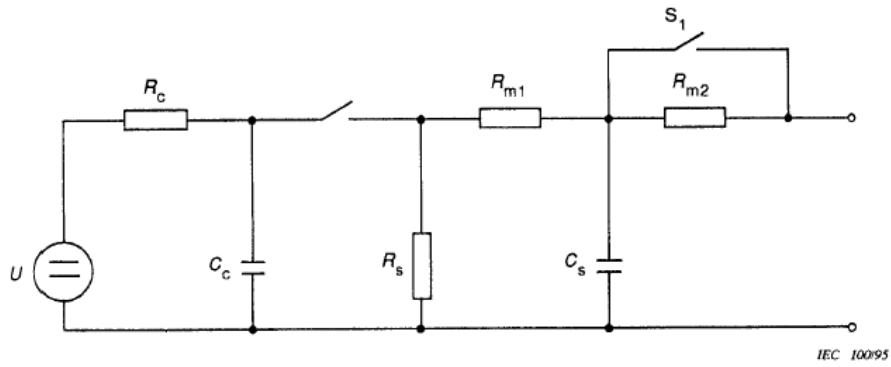
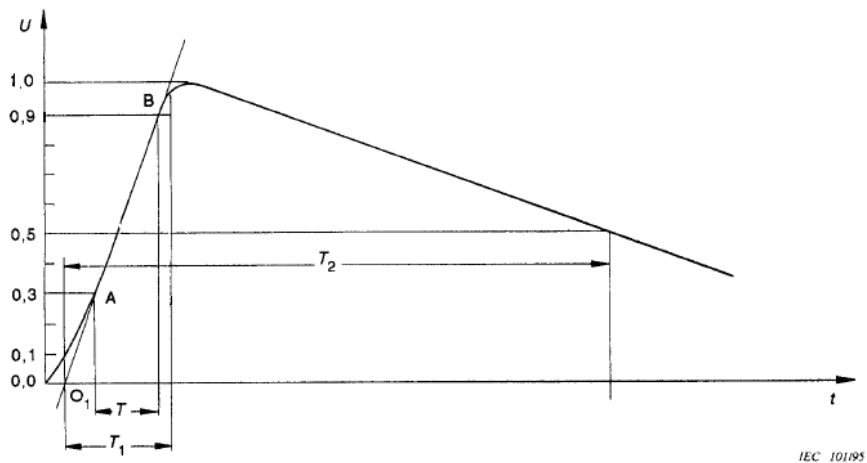


그림 5-4 CCITT에 의한 서지 발생기의 구조

나. CCITT에 의한 서지 발생기의 출력

그림 5-4의 CCITT에 의한 서지 발생기 개방회로 전압 파형은 그림 5-5와 같고 출력 레벨은 0.5 kV ~ 4.0 kV 이다.

CCITT에 의한 서지 발생기의 출력 전압 파형을 나타내는 그림 5-5에서 파형 파라미터는 표 5-4와 같다.



Front time: $T_1 = 1,67 \times T = 10 \mu s \pm 30 \%$
 Time to half-value: $T_2 = 700 \mu s \pm 20 \%$

그림 5-5 CCITT에 따른 개방회로 전압 파형 (10/700 μs)

표 5-4 CCITT에 의한 서지 발생기의 파형 파라미터

정 의	CCITT, 블루북 Vol. IX에 따른 규정		IEC 469-1에 따른 규정	
	전시간(μs)	절반치 시간(μs)	상승시간(μs) (10 % ~ 90 %)	지속시간(μs) (50 % ~ 50 %)
개방회로전압	10(± 30 %)	700(± 20 %)	6.5	700
단락회로전류	-	-	4	300

제 3 절 서지 발생기의 교정

1. 교정할 내용

서지 발생기는 승인된 품질보증 시스템에 따라 정의된 시간 주기에서 교정되어야 한다.

조합형 서지 발생기의 경우 표 5-2의 개방회로 출력 전압과 단락회로 출력 전류 및 표 5-3의 파형 파라미터이고, CCITT에 의한 서지 발생기는 표 5-4의 파형 파라미터이다.

2. 서지 발생기의 출력 전압 특성 교정 방법

가. 교정 시스템

조합파형 서지 발생기와 CCITT 서지 발생기의 교정 항목을 나타내는 표 5-2, 표 5-3 및 표 5-4의 내용 중 침두전압, 전시간 및 절반치 시간을 교정하기 위하여 그림 5-6과 같은 교정시스템을 구성하였다.

그림 5-6에서 서지발생기는 Haefely사의 PSURGE 6.1과 Plug-in Unit인 PHV 30.2(1.2/50 μs : 8/20 μs) 와 PHV 25.1 (1.2/50 μs : 10/700)이다. 고전압 프로브는 200:1의 감쇠율을 지니는 KeyTek사의 PK1001D이며, 오실로 스코프는 digital sampling oscilloscope로 Tektronix사의 TDS 684B를 사용하였다.

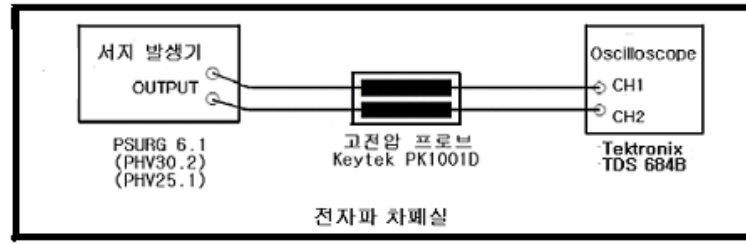


그림 5-6 서지 발생기 교정 시스템

나. 개방회로 출력 전압 측정

그림 5-2와 그림 5-5의형 서지 발생기의 출력 침두 전압을 측정하기 위하여 식 (5-1)과 같이 모델링 하였다.

$$V_p = CV_r \quad (5-1)$$

식 (5-1)에서

V_r : 오실로스코프의 읽은값

C : 고전압 프로브에 의한 변환인자 (명목값 200)

이다.

식 (5-1)로부터 서지 발생기의 침두전압 측정의 합성표준 불확도는 식 (5-2)와 같이 구해진다.

$$u_c(V_p) = [S_{V_r}^2 u_{V_r}^2 + S_C^2 u_C^2 + u_D^2 + u_r^2]^{1/2} \quad (5-2)$$

식 (5-2)에서 S_{V_r} 과 S_C 는 감도계수로

$$S_{V_r} = \frac{\partial V_p}{\partial V_r} = C = \frac{V_p}{V_r} \quad (5-3 \text{ a})$$

$$S_C = \frac{\partial V_p}{\partial C} = V_r = \frac{V_p}{C} \quad (5-3 \text{ b})$$

이다.

식 (5-2)에서 나머지 항들은 각 측정량의 표준 불확도로

u_{V_r}, u_C : 오실로 스코프의 전압 읽은 값 및 고전압 전압 프로브 변환 인자에 기인하는 불확도

u_D : 서지발생기에서의 전압표시와 실제 측정되는 전압차에 기인하는 불확도

u_r : 반복 측정의 불확도(표준 편차)

가 된다.

다. 측정결과 및 불확도 산출

(1) 측정 결과 및 A형 불확도

서지 발생기를 교정하기 위하여 그림 5-6의 교정 시스템을 구성하였으며, 이 시스템으로 표 5-2 ~ 표 5-4에 주어진 서지 발생기의 출력 전압, 전시간 및 절반치 시간을 10회 측정 하였다. 측정 시스템으로부터 측정한 전압으로부터 서지 발생기의 출력 전압은 식 (5-1)을 이용하여 계산하였다. 식 (5-1)에서 C는 고전압 감쇠 프로브의 감쇠량으로 인한 변환 인자로 200이다.

서지 발생기의 Plug-in PHV 30.2(1.2/50 μ s : 8/20 μ s)을 교정하기 위하여 그림 5-6 교정 시스템으로 출력 파형을 측정하였다. 표 5-2에 나타낸 개방회로 출력 전압 중 1 kV 일 때의 출력 전압 측정 결과와 이 파형으로부터 표 5-3의 조합형 서지 발생기의 전시간과 절반치 시간의 측정 결과를 그림 5-7과 그림 5-8에 양과 음의 인가전압에 대하여 각각 나타내었다.

또한 서지 발생기의 Plug-in인PHV 25.1 (1.2/50 μ s : 10/700)을 교정하기 위하여 그림 5-6 교정 시스템으로 출력 전압 파형을 측정하였다. 표 5-2에 나타낸 개방회로 출력 전압 중 1 kV 일 때의 침두 전압 측정 결과와 이 파형으로부터 표 5-4의 CCITT에 따른 서지 발생기 출력의 전시간과 절반치 시간의 측정 결과를 양과 음의 인가 전압에 대하여 그림 5-9와 그림 5-10에 각각 나타내었다.

그림 5-7 ~ 그림 5-10에 나타나있듯이 개방회로 출력 전압이 1 kV인 경우 고전압 프로브의 감쇠율이 200 : 1이기 때문에 오실로 스코프에서 읽히는 전압

은 약 5 V이다. 조합형 서지 발생기의 양의 출력 전압 특성을 나타내는 그림 5-7로 부터 식 (5-1)을 이용하여 출력 전압을 구하고 10회 반복 측정의 평균값과 A형 불확도를 구하면 표 5-5와 같다.

그림 5-7 ~ 그림 5-8의 측정값들로부터 조합형 서지 발생기의 개방회로 출력 전압과 전시간 및 절반치 시간의 A형 불확도를 구하여 양과 음의 출력에 대하여 표 5-6과 표 5-7에 각각 나타내었다.

그림 5-7 ~ 그림 5-8의 측정값들로부터 CCITT에 의한 서지 발생기의 개방회로 출력 전압과 전시간 및 절반치 시간의 A형 불확도를 구하여 양과 음의 출력에 대하여 표 5-8과 표 5-9에 각각 나타내었다.

(2) B형 불확도 산출

식 (5-2)를 이용하여 표 5-2에 명시된 서지 발생기의 출력 전압과 표 5-3에 명시된 조합형 서지 발생기의 파형 파라미터 및 표 5-4에 나타낸 CCITT 서지 발생기의 파형 파라미터를 측정할 때 포함된 B형 불확도를 고찰하여 보자.

서지 발생기의 교정 항목 중 첨두전압을 나타내는 성능을 나타내는 표 5-2에서 서지 발생기의 첨두 전압 1 kV를 측정하는 방법과 이 측정값에 포함된 B형 불확도에 대하여 생각하여보자.

표 5-5 서지 발생기의 양의 출력 전압 측정 결과 (1 kV)

n	V _p	n	V _p
1	1000	6	1015
2	1018	7	991
3	992	8	995
4	999	9	1012
5	1013	10	997
평균	—	—	1003.2
실험표준편차	—	—	9.62
A형 불확도	—	—	3.04

표 5-6 조합형 서지 발생기의 양의 출력 전압 평균값과 A형 불확도

명목값 [V]	측정값					
	개방회로 출력 전압 [V]		전시간 [μ s]		절반치 시간 [μ s]	
	평균	A형 불확도	평균	A형 불확도	평균	A형 불확도
500	491	3.26	1.38	0.07	52.23	2.67
1000	1003	3.04	1.28	0.08	51.83	2.81
2000	2010	3.32	1.32	0.06	51.41	2.55
4000	3948	3.21	1.31	0.05	52.16	2.67

표 5-7 조합형 서지 발생기의 음의 출력 전압 평균값과 A형 불확도

명목값 [V]	측정값					
	개방회로 출력 전압 [V]		전시간 [μ s]		절반치 시간 [μ s]	
	평균	A형 불확도	평균	A형 불확도	평균	A형 불확도
500	508	3.46	1.41	0.09	53.33	2.77
1000	1021	3.34	1.48	0.07	53.63	2.82
2000	2038	3.21	1.42	0.06	53.41	2.79
4000	4092	3.32	1.44	0.08	53.86	2.81

표 5-8 CCITT 서지 발생기의 양의 출력 전압 평균값과 A형 불확도

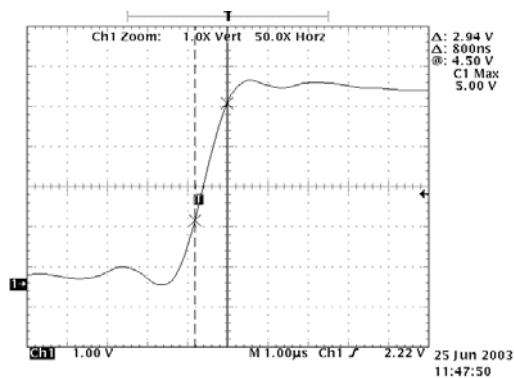
명목값 [V]	측정값					
	개방회로 출력 전압 [V]		전시간 [μ s]		절반치 시간 [μ s]	
	평균	A형 불확도	평균	A형 불확도	평균	A형 불확도
500	527	3.54	7.88	0.08	725.25	5.21
1000	1048	3.81	7.95	0.08	727.32	5.85
2000	2090	3.62	7.98	0.07	730.24	5.45
4000	4201	3.83	7.82	0.08	728.45	5.67

표 5-9 CCITT 서지 발생기의 음의 출력 전압 평균값과 A형 불확도

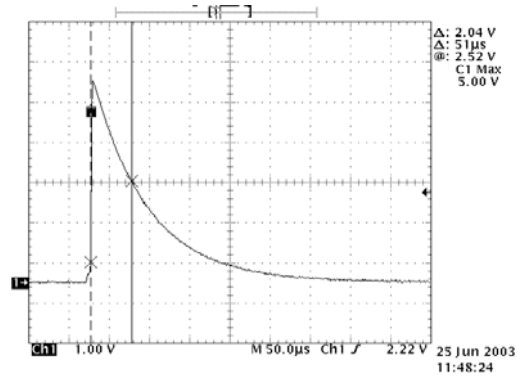
명목값 [V]	측정값					
	개방회로 출력 전압 [V]		전시간 [μs]		절반치 시간 [μs]	
	평균	A형 불확도	평균	A형 불확도	평균	A형 불확도
500	531	3.58	8.88	0.05	753.25	5.89
1000	1068	3.88	8.82	0.07	751.32	6.15
2000	2128	3.62	8.98	0.08	750.24	6.09
4000	4252	3.89	8.82	0.05	754.45	5.92

서지 발생기의 출력에 고전압 감쇠 프로브를 연결하고 서지 발생기의 출력을 1 kV로 할 때 오실로 스코프로 측정한 전압은 고전압 감쇠 프로브의 감쇠량이 200이기 때문에 약 5 V이다. 측정에 사용한 오실로 스코프의 수직 정확도는 $\pm 1.5\%$ 이기 때문에 5 V를 측정하기 위해서 오실로 스코프를 1 V/Div에서 측정하면 측정 오차는 $1 \text{ V/Div} \times 8 \text{ Div} \times 1.5\% = \pm 0.12$ 이다. 따라서 대칭 직각 분포의 확률 분포로 생각하면 전압 측정의 B형 표준 불확도는 $u_{V_r} = 0.12/\sqrt{3} = 0.069$ 이다. 또한 감도계수는 식 (5-3 a)에서 $S_{V_r} = C = 200$ 이다. 따라서 1 kV에서 오실로 스코프로 서지발생기의 출력 침두 전압을 측정할 때 불확도 기여도는 $0.069 \times 200 = 13.8$ 이다. 오실로 스코프의 수직 감도는 서지 발생기 출력 전압이 500 V에서는 0.5 V/Div, 1000 V에서는 1 V/Div이고, 2000 V에서는 2 V/Div이며 4000 V에서는 5 V/Div 이다. 이와 같은 방법으로 표 5-2의 다른 서지 침두 전압에 대하여 오실로 스코프의 전압 측정 불확도에 기인하는 B형 불확도를 계산하면 표 5-10과같이 구해진다.

서지 발생기 출력에 연결한 고전압 프로브인 KeyTek 사의 PK1001D의 감쇠량 변환인자는 200이고 3 %의 정확도를 지닌다. 포함인자 $k=2$ 인 정규 분포로 생각하면 표준 불확도 $u_C = (200 \times 0.03)/2 = 3 \text{ V}$ 가 된다. 또한 1 kV를 측정하는 경우 식 (5-3 b)로 부터 감도계수 $S_C = V_r = 5$ 가되어 불확도 기여도는 15이다. 이와같이 표 5-2의 각 출력 침두 전압에 대하여 고전압 프로브의 변환인자의 불확도에 의한 B 형 불확도를 산출하면 표 5-11과 같다.



(a)

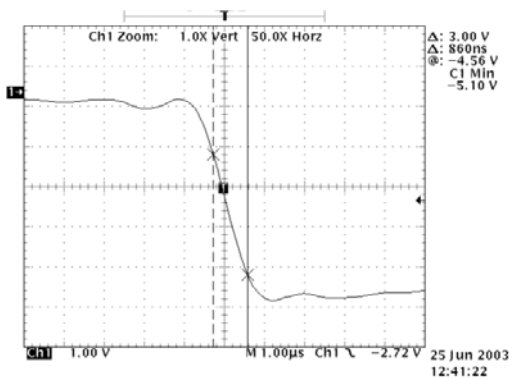


(b)

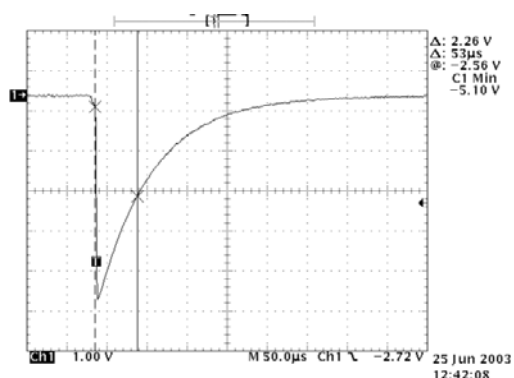
그림 5-7 조합형 서지 발생기의 양의 출력 침두 전압 특성

(a) 침두 전압 및 전시간 측정

(b) 절반치 시간 측정



(a)

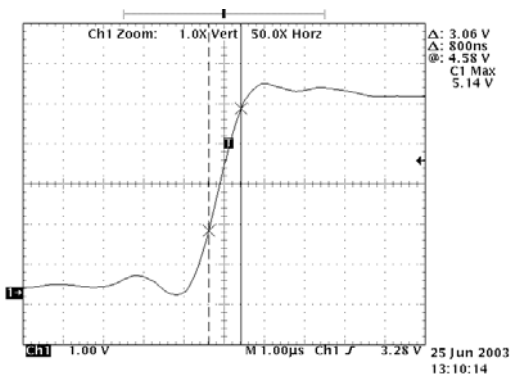


(b)

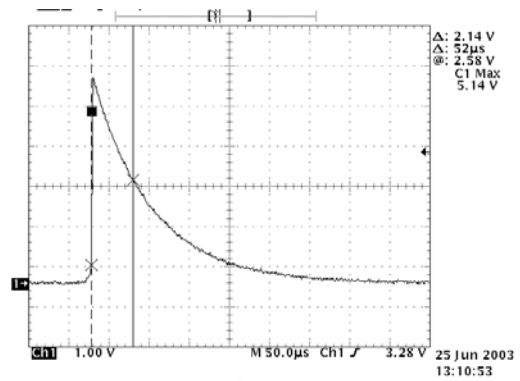
그림 5-8 조합형 서지 발생기의 음의 출력 침두 전압 특성

(a) 침두 전압 및 전시간 측정

(b) 절반치 시간 측정



(a)

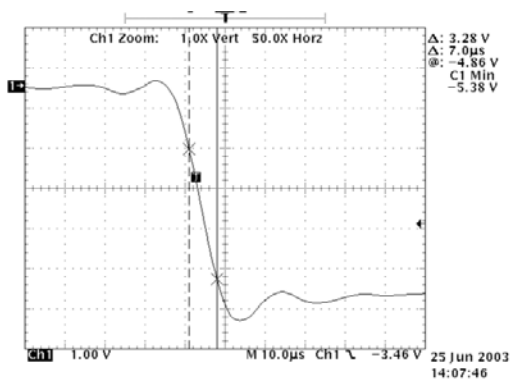


(b)

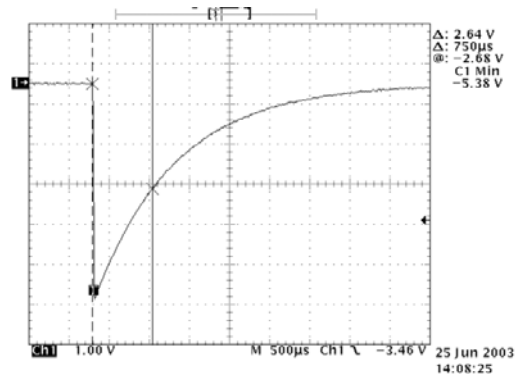
그림 5-9 CCITT에 따른 서지 발생기의 양의 출력 침두 전압 특성

(a) 침두 전압 및 전시간 측정

(b) 절반치 시간 측정



(a)



(b)

그림 5-10 CCITT에 따른 서지 발생기의 음의 출력 침두 전압 특성

(a) 침두 전압 및 전시간 측정

(b) 절반치 시간 측정

표 5-10 오실로 스코프의 전압 측정 불확도에 의한 침두전압 측정 불확도

측정값 항목	500 V	1000 V	2000 V	4000 V
명목값 [V]	2.5	5	10	20
S_{V_r}	200			
U_{V_r}	0.0345	0.069	0.138	0.345
불확도 기여도	6.9	13.8	27.6	69

표 5-11 고전압 프로브의 변환 불확도에 의한 출력 침두전압의 B형 불확도

측정값 항목	500 V	1000 V	2000 V	4000 V
명목값 [V]	2.5	5	10	20
S_C	2.5	5	10	20
u_C	3			
불확도 기여도	7.5	15	30	60

Haefely사의 PSURGE 6.1과 Plug-in Unit인 PHV 30.2(1.2/50 μ s : 8/20 μ s)와 PHV 25.1 (1.2/50 μ s : 10/700) 출력 전압 값의 변화가 최대 10 %이다. 규격의 80 %에서 동작한다고 가정하고 대칭 직각 분포의 확률 분포로 생각하면 서지 발생기의 출력 변동에 의한 서지 발생기 출력 침두 전압 측정의 B형 표준 불확도는 $u_{V_r}=0.08/\sqrt{3}=0.046$ 이다. 또한 감도계수는 실제 측정되는 값이다. 따라서 1 kV에서 오실로 스코프로 서지발생기의 출력 침두 전압을 측정할 때 서지 발생기 출력 변동에 의한 불확도 기여도는 $u_D=1000\times 0.046=46$ V이다. 표 5-2의 다른 침두 전압에 대하여 불확도 기여도를 산출하면 표 5-12와 같이 구해진다.

서지 발생기 출력 전압의 전시간과 절반치 시간을 측정할 때 오실로 스코프 화면의 양 끝단의 전압을 읽을 때 포함된 불확도를 측정 결과로부터 구해보자.

표 5-12 서지 발생기의 출력 전압 변동에 의한 출력 침투전압의
B형 불확도

측정값 항목	500 V	1000 V	2000 V	4000 V
명목값 [V]	2.5	5	10	20
S_D	500	1000	2000	4000
u_D	0.046			
불확도 기여도	23	46	92	184

그림 5-7 ~ 그림 5-10은 서지 출력 전압이 1 kV일 때 오실로 스코프로 측정한 값으로 그림 5-7과 그림 5-8은 조합형 서지 발생기의 양과 음의 출력을 각각 나타내고, 그림 5-9와 그림 5-10은 CCITT 서지 발생기의 양과 음의 출력을 각각 나타낸다. 앞에서와 같은 방법으로 오실로 스코프로 전압 크기를 읽는데 포함된 불확도인 u_{V_r} 은 표 5-10에서 구하였고, 감도계수는 $\partial t/\partial V$ 로 그림 5-7 ~ 그림 5-10으로부터 구하여 표 5-13에 나타내었다. 오실로 스코프로 양 끝단에서 읽는 경우를 고려하여 불확도 기여도인 u_i 를 u_{V_r} 과 $\partial t/\partial V$ 로부터 구하여 표 5-13과 표 5-14에 조합형 서지 발생기와 CCITT 서지 발생기에 대하여 각각 나타내었다.

표 5-13 오실로 스코프의 시간간격 측정 불확도에 의한 조합형 서지 발생기의 전시간과 절반치 시간 측정 불확도에 기여도

서지전압 불확도	500 V		1000 V		2000 V		4000 V	
	전시간	절반치 시간	전시간	절반치 시간	전시간	절반치 시간	전시간	절반치 시간
U_{V_r} [V]	0.0345		0.069		0.138		0.345	
$\partial t/\partial V[\mu s/V]$	2	100	1	50	0.5	25	0.2	10
$U_i [\mu s]$	0.10	4.88	0.10	4.88	0.10	4.88	0.10	4.88

표 5-14 오실로 스코프의 시간간격 측정 불확도에 의한 CCITT 서지 발생기의 전시간과 절반치 시간 측정 불확도에 기여도

서지전압 불확도	500 V		1000 V		2000 V		4000 V	
	전시간	절반치 시간	전시간	절반치 시간	전시간	절반치 시간	전시간	절반치 시간
U_r [V]	0.0345		0.069		0.138		0.345	
$\partial t/\partial V[\mu s/V]$	20	1000	10	500	5	250	2	100
U_i [μs]	0.95	48.8	0.98	48.8	0.98	48.8	0.98	48.8

(3) 불확도 표현 및 교정 결과

조합파형 서지 발생기와 CCITT 서지 발생기의 출력 전압 특성을 교정하기 위하여 양과 음의 출력 파형을 측정하여 출력 전압의 첨두값, 전시간 및 절반치 시간을 측정 하였다.

측정 결과로부터 조합파형 서지 발생기의 출력 전압 첨두값이 1 kV인 경우 합성 표준 불확도를 산출하면 표 5-15과 같이 구해진다. 표 5-15의 결과에서 유효 자유도는 식 (2-15)에 의하여 606,489이다. 이와 같은 방법으로 다른 양과 음의 서지 전압에 대해서도 합성 표준 불확도를 구할 수 있다. 조합파형 서지 발생기의 교정 결과를 표 5-16과 표 5-17에 양과 음의 서지전압에 대하여 나타내었고, CCITT 서지 발생기의 교정 결과를 표 5-18과 표 5-19에 양과 음의 서지전압에 대하여 나타내었다.

서지 발생기의 전시간과 절반치 시간은 그림 5-7 ~ 그림 5-10의 파형을 측정하여 표 5-8과 표 5-9에서 구한 A형 불확도 u_r 과 표 5-13과 표 5-14에서 구한 B형 불확도 u_i 로 부터 식 (5-4)를 이용하여 합성 표준 불확도를 구할 수

$$u_c(t_r) = [u_r^2 + u_i^2]^{1/2} \quad (5-4)$$

표 5-15 조합형 서지 발생기의 양의 서지전압 측정의 불확도 총괄표 (1 kV)

양 (X_i)	추정값 (x_i)	표준 불확도 $u(x_i)$	확률분포	감도계수 (C_i)	불확도 기여도 $u_i(y)$
X_1	1003	-	-	-	-
u_{V_r}	0	0.035	직 각	200	7
u_C	0	3	직 각	5	15
u_D	0	0.046	직 각	1000	46
u_r	0	3.04	정 규	1	3.04
V_p	1003	-	-	-	$u_c(y)=48.98$

있다. 서지 발생기의 전시간과 절반치 시간 교정 결과를 표 5-16 ~ 표 5-19에 나타내었다.

표 5-16 ~ 표 5-19의 불확도는 확장 불확도로 95 %의 정규 분포로 보아 포함인자 $k=2$ 를 적용한 것이다.

표 5-16 조합형 서지 발생기의 양의 출력 전압 교정 결과

명목값 [V]	측 정 값					
	개방회로 출력 전압 [V]		전시간 [μ s]		절반치 시간 [μ s]	
	평균	확장 불확도	평균	확장 불확도	평균	확장 불확도
500	491	50.73	1.38	0.24	52.23	11.13
1000	1003	100.81	1.28	0.26	51.83	11.26
2000	2010	201.36	1.32	0.23	51.41	11.01
4000	3948	410.98	1.31	0.22	52.16	11.13

표 5-17 조합형 서지 발생기의 음의 출력 전압 교정결과

명목값 [V]	측 정 값					
	개방회로 출력 전압 [V]		전시간 [μs]		절반치 시간 [μs]	
	평균	확장 불확도	평균	확장 불확도	평균	확장 불확도
500	508	50.78	1.41	0.27	53.33	11.22
1000	1021	100.85	1.48	0.24	53.63	11.27
2000	2038	201.36	1.42	0.23	53.41	11.24
4000	4092	411.99	1.44	0.26	53.86	11.26

표 5-18 CCITT 서지 발생기의 양의 출력 전압 교정 결과

명목값 [V]	측 정 값					
	개방회로 출력 전압 [V]		전시간 [μs]		절반치 시간 [μs]	
	평균	확장 불확도	평균	확장 불확도	평균	확장 불확도
500	527	50.81	7.88	1.91	725.25	14.24
1000	1048	100.91	7.95	1.91	727.32	15.20
2000	2090	201.38	7.98	1.91	730.24	14.59
4000	4201	411.01	7.82	1.91	728.45	14.92

표 5-19 CCITT 서지 발생기의 음의 출력 전압 교정결과

명목값 [V]	측 정 값					
	개방회로 출력 전압 [V]		전시간 [μ s]		절반치 시간 [μ s]	
	평균	확장 불확도	평균	확장 불확도	평균	확장 불확도
500	531	50.82	8.88	1.90	753.25	15.26
1000	1068	100.93	8.82	1.91	751.32	15.66
2000	2128	201.38	8.98	1.91	750.24	15.57
4000	4252	411.01	8.82	1.90	754.45	15.31

3. 서지 발생기의 출력 전류 특성 교정 방법

가. 교정 시스템

표 5-2와 표 5-3에 주어진 서지 발생기 침투전류, 전시간 및 절반치 시간을 교정하기 위하여 그림 5-11과 같은 교정시스템을 구성하였다.

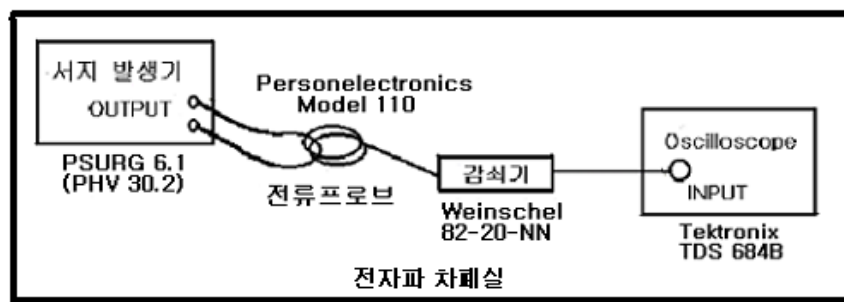


그림 5-11 서지 발생기의 출력 전류 교정 시스템

그림 5-11에서 서지 발생기는 Haefely사의 PSURGE 6.1과 Plug-in Unit인 PHV 30.2(1.2/50 μ s : 8/20 μ s) 이다. 광대역 전류 프로브는 Personelectronics사의 Model 110으로 전류를 10:1로 감쇠시켜서 전압으로 변환한다. 감쇠기의 감쇠량은 20 dB로 Weinschel 82-20-NN이다. 오실로 스코프는 1 GHz 대역폭을 지니는 digital sampling oscilloscope로 Tektronix사의 TDS 684B 이다.

서지 발생기의 출력 저항 2 Ω 이므로 출력을 단락 시키고 1 kV의 전압을 가하면 0.5 kA의 전류가 단락 회로에 흐른다. 전류 프로브가 이 전류를 10:1로 줄여서 전압으로 변환하고, 전류 프로브에 연결된 20 dB의 감쇠기를 통해서 오실로스코프에 연결된다. 전류 프로브의 변환 인자가 10이고 20 dB 감쇠기의 변환 인자가 10이므로 총 변환 인자는 100이 되어 오실로 스코프가 읽는 전압은 약 5 V 가 된다.

나. 단락 회로 최대 전류 측정

그림 5-3의 파형을 측정하여 표 5-2에 주어진 조합형 서지 발생기의 출력 최대 전류를 측정하기 위하여 식 (5-5)과 같이 모델링 하였다.

$$I_p = C_A Y_T V_r \quad (5-5)$$

식 (5-5)에서

C_A : 감쇠기의 감쇠율 (명목값 10)

Y_T : 전류 프로브의 전달 어드미턴스 (명목값 10)

V_r : 오실로스코프의 읽은값

이다.

식 (5-4)로 부터 서지 발생기의 최대전류 측정의 합성표준 불확도는 식 (5-5)와 같이 구해진다.

$$u_c(I_p) = [S_{V_r}^2 u_{V_r}^2 + S_{C_A}^2 u_{C_A}^2 + S_{Y_T}^2 u_{Y_T}^2 + u_D^2 + u_r^2]^{1/2} \quad (5-6)$$

식 (5-6)에서 S_{V_r} 과 S_{C_A} 는 감도계수로

$$S_{V_r} = \frac{\partial I_p}{\partial V_r} = C_A Y_T = \frac{I_p}{V_r} \quad (5-7 \text{ a})$$

$$S_{C_A} = \frac{\partial I_p}{\partial C_A} = Y_T V_r = \frac{I_p}{C_A} \quad (5-7 \text{ b})$$

$$S_{Y_T} = \frac{\partial I_p}{\partial Y_T} = C_A V_r = \frac{I_p}{Y_T} \quad (5-7 \text{ c})$$

이다.

식 (5-6)에서 나머지 항들은 각 측정량의 표준 불확도로

$u_{V_r}, u_{C_A}, u_{Y_T}$: 오실로스코프의 전압 읽은 값, 감쇠기의 감
쇠율 측정 및 전류 프로브의 전달 어드미턴스 측정 불확도,

u_D : 서지 발생기에서의 전압표시와 실제 측정되는 전압차에
기인하는 불확도,

u_r : 반복 측정의 불확도(표준 편차)

를 각각 나타낸다.

다. 측정결과 및 불확도 산출

(1) 측정 결과 및 A형 불확도

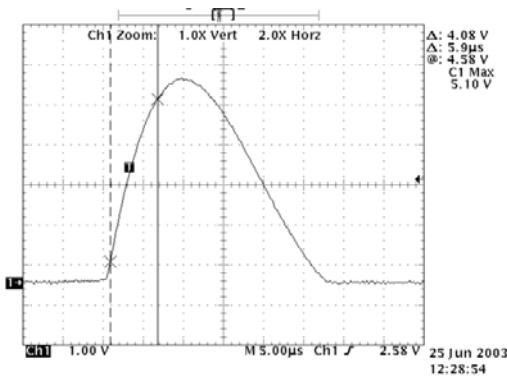
서지 발생기를 교정하기 위하여 그림 5-11의 교정 시스템을 구성하였으며,

이 시스템으로 표 5-2와 표 5-3에 주어진 단락회로 서지 전류와 관련된 각 교정 항목을 10회 측정 하였다. 이 측정 시스템으로부터 측정 한 전압 값으로부터 서지 발생기의 단락회로 출력 전류는 식 (5-5)을 이용하여 계산하였다.

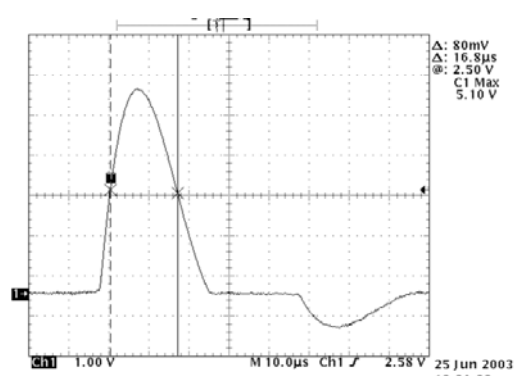
서지 발생기의 Plug-in PHV 30.2(1.2/50 μ s : 8/20 μ s)를 교정하기 위하여 그림 5-11의 교정 시스템으로 출력 파형을 측정하였다. 표 5-2에 나타낸 단락회로 출력 전류 중 500 A 일 때의 침두 전류 측정 결과와 이 파형으로부터 표 5-3의 조합형 서지 발생기의 전시간과 절반치 시간의 측정 결과를 음과 양의 인가 전류에 대하여 그림 5-12와 그림 5-13에 각각 나타내었다.

그림 5-12와 그림 5-13에 나타나있듯이 단락회로 출력 전류가 500 A인 경우 측정 시스템의 변환 인자가 100이기 때문에 오실로 스코프에서 읽히는 전압은 약 5 V이다. 조합형 서지 발생기의 양의 500 A 출력 전류 특성을 나타내는 그림 5-12의 결과로 식 (5-5)를 이용하여 출력 침두전류를 구하고 이를 10회 반복 측정하여 평균값과 A형 불확도를 구하면 표 5-20과 같다.

그림 5-12와 그림 5-13의 측정값들로부터 조합형 서지 발생기의 단락회로 출력 전류와 전시간 및 절반치 시간의 A형 불확도를 구하여 양과 음의 출력에 대하여 표 5-21과 표 5-22에 각각 나타내었다.



(a)

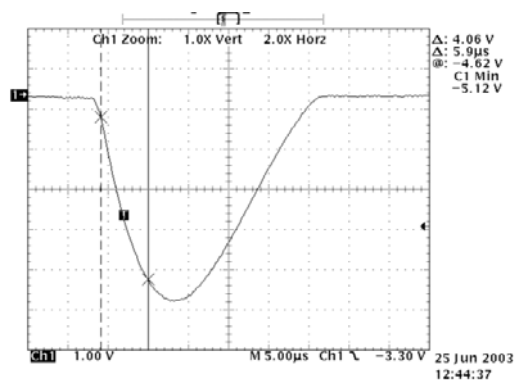


(b)

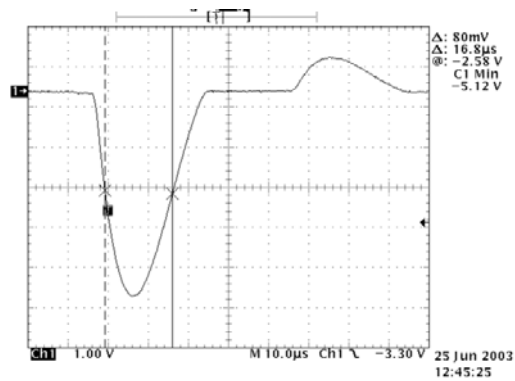
그림 5-12 조합형 서지 발생기의 양의 500 A 단락회로 전류 특성

(a) 침두 전류 및 전시간 측정

(b) 절반치 시간 측정



(a)



(b)

그림 5-13 조합형 서지 발생기의 음의 500 A 단락회로 전류 특성

(a) 첨두 전류 및 전시간 측정

(b) 절반치 시간 측정

표 5-20 서지 발생기의 양의 출력 전류 측정 결과 (500 A)

n	I_p	n	I_p
1	510	6	515
2	502	7	503
3	518	8	514
4	504	9	501
5	516	10	510
평균	—	—	509.3
실험표준편차	—	—	6.074
A형 불확도	—	—	1.92

표 5-21 조합형 서지 발생기의 양의 전류 파형변수에 대한 평균값과 A형 불확도

명목값 [A]	측정값					
	개방회로 출력 전압 [A]		전시간 [μ s]		절반치 시간 [μ s]	
	평균	A형 불확도	평균	A형 불확도	평균	A형 불확도
250	255	1.98	7.41	0.07	18.24	0.16
500	509	1.92	7.39	0.08	18.26	0.17
1000	1028	2.03	7.38	0.05	18.25	0.19
2000	2057	2.12	7.42	0.05	18.26	0.18

표 5-22 조합형 서지 발생기의 음의 전류 파형변수에 대한 평균값과 A형 불확도

명목값 [A]	측정값					
	개방회로 출력 전압 [A]		전시간 [μ s]		절반치 시간 [μ s]	
	평균	A형 불확도	평균	A형 불확도	평균	A형 불확도
250	257	2.01	7.40	0.08	18.27	0.18
500	515	1.97	7.38	0.09	18.24	0.17
1000	1030	2.08	7.37	0.05	18.22	0.16
2000	1061	2.06	7.49	0.07	18.26	0.15

(2) B형 불확도 산출

식 (5-5)를 이용하여 표 5-2에 명시된 서지 발생기의 출력 전류와 표 5-3에 명시된 조합형 서지 발생기의 파형변수를 측정할 때 포함된 B형 불확도를 고찰하여 보자.

서지 발생기의 교정 항목 중 침두 전류의 성능을 나타내는 표 5-2에서 500 A의 침두전류를 측정하는 방법과 이 측정값에 포함된 B형 불확도에 대하여 생각하여보자.

서지 발생기의 출력에 전류 프로브와 감쇠기를 연결하고 오실로 스코프로 측정한 전압은 전류 프로브의 변환율이 10이고, 감쇠기의 감쇠량이 20 dB(10)이기 때문에 500 A의 단락 회로 전류가 흐를 때 약 5 V이다. 측정에 사용한 오실로 스코프의 수직 정확도는 $\pm 1.5\%$ 이기 때문에 5 V를 측정하기 위해서 오실로 스코프를 1 V/Div에서 측정하면 측정 오차는 $1 \text{ V/Div} \times 8 \text{ Div} \times 1.5\% = \pm 0.12$ 이다. 이 경우 대칭 직각 분포의 확률 분포로 생각하면 전압 측정의 B형 표준 불확도는 $u_{V_r} = 0.12/\sqrt{3} = 0.069$ 이다. 또한 감도계수는 식 (5-7 a)에서 $S_{V_r} = C_A Y_T = 100$ 이다. 따라서 500 A에서 오실로 스코프로 서지발생기의 출력 침두 전류를 측정할 때 불확도 기여도는 $0.069 \times 100 = 6.9$ 이다.

오실로 스코프의 수직감도는 서지 발생기 출력 전류 250 A에서는 0.5 V/Div, 500 A에서는 1 V/Div이고, 1000 A에서는 2 V/Div이며 2000 A에서는 5 V/Div이다. 이와 같은 방법으로 표 5-2의 다른 단락회로 서지 출력 전류에 대하여 오실로 스코프의 전압 측정 불확도에 기인하는 B형 불확도를 계산하면 표 5-23과 같이 구해진다.

감쇠기의 명목상 감쇠량은 20 dB로 회로망 분석기를 이용한 교정 불확도는 $\pm 0.14 \text{ dB}$ 이고 이는 1.62 %에 해당한다. 정규 분포를 가정하여 감쇠기의 감쇠량 값 불확도에 의한 서지 발생기의 단락회로 전류 측정의 표준 불확도를 구하면,

표 5-23 오실로 스코프의 전압 측정 불확도에 의한 침두전류 측정 불확도

측정값 항목	250 A	500 A	1000 A	2000 A
명목값 [V]	2.5	5	10	20
S_{V_r}	100			
U_{V_r}	0.0345	0.069	0.138	0.345
불확도 기여도	3.45	6.9	13.8	34.5

$u_{C_A} = (10 \times 0.0221)/2 = 0.081$ 이다. 500 A를 측정하는 경우 감도계수는 식 (5-7 b)에 의하여 $S_{C_A} = Y_T V_r = 50$ 이다. 따라서 500 A의 단락회로 전류를 측정할 때 감쇠기의 감쇠량 불확도에 의한 불확도 기여도는 $0.081 \times 50 = 4.05$ 이다.

표 5-2의 서지 발생기의 각 단락회로 출력 침두 전류에 대하여 감쇠량의 불확도에 의한 B형 불확도를 산출하면 표 5-24와 같다.

전류 프로브의 전달 임피던스 불확도에 의한 서지 발생기의 단락 회로 전류 측정 B형 불확도에 대하여 살펴보자. 500 A의 단락회로 서지 전류 측정의 불확도는 전류 프로브의 전달 임피던스 정확도가 0.5 %이다. 정규 분포를 가정하여 표준 불확도를 구하면 $u_{Y_T} = 10 \times 0.005/2 = 0.025$ 이고, 감도계수는 식 (5-7 c)로 부터 $S_{Y_T} = C_A V_r = 50$ 으로 구해진다. 따라서 500 A의 단락회로 전류를 측정할 때 전류 프로브의 전달 임피던스 불확도에 의한 불확도 기여도는 $0.025 \times 50 = 1.25$ 이다. 이와 같은 방법으로 표 5-2의 서지 발생기의 각 단락회로 출력 침두 전류를 측정할 때 전류 프로브의 전달 임피던스 불확도에 의한 B형 불확도를 산출하면 표 5-25와 같다.

Haefely사의 PSURGE 6.1과 Plug-in Unit인 PHV 30.2(1.2/50 μ s : 8/20 μ s) 서지 발생기의 출력 전압 값의 변화가 최대 10 %이다. 규격의 80 %에서 동작한다고 가정하고 대칭 직각 분포의 확률 분포로 생각하면 서지 발생기의 출력

표 5-24 감쇠량 불확도에 의한 출력 침두 전류 측정의 B형 불확도

측정값 항목	250 A	500 A	1000 A	2000 A
명목값 [V]	2.5	5	10	20
S_{C_A}	25	50	100	200
U_{C_A}	0.081			
불확도 기여도	2.025	4.05	8.1	16.2

표 5-25 전류 프로브의 불확도에 의한 출력 침두 전류 측정의 B형 불확도

측정값 항목	250 A	500 A	1000 A	2000 A
명목값 [V]	2.5	5	10	20
S_{Y_T}	25	50	100	200
U_{Y_T}	0.025			
불확도 기여도	0.625	1.25	2.5	5

변동에 의한 서지 발생기 출력 침두 전류 측정의 B형 표준 불확도는 $u_{V_r} = 0.08/\sqrt{3} = 0.046$ 이다. 또한 감도계수는 실제 측정되는 값이다. 따라서 오실로스코프로 서지 발생기의 출력 침두 전류 500 A를 측정할 때 불확도 기여도는 $u_D = 500 \times 0.046 = 23$ V이다. 이와 같은 방법으로 표 5-2의 다른 침두 전압에 대하여 불확도 기여도를 산출하면 표 5-26과 같이 구해진다.

서지 발생기 단락회로 출력전류의 전시간과 절반치 시간을 측정할 때 오실로스코프 화면의 양 끝단의 전압을 읽을 때 포함된 불확도를 측정 결과로부터 구해보자. 그림 5-12 ~ 그림 5-13은 서지 출력 전류가 500 A일 때 오실로스코프로 측정한 값으로 조합형 서지 발생기의 양과 음의 출력을 각각 나타낸다.

표 5-26 서지 발생기의 출력 변동에 의한 출력 침두전압의 B형 불확도

측정값 항목	250 A	500 A	1000 A	2000 A
명목값 [V]	2.5	5	10	20
S_D	250	500	1000	2000
u_D	0.046			
불확도 기여도	12.5	23	46	92

오실로 스코프로 전압 크기를 읽는데 포함된 불확도인 u_{V_r} 은 표 5-23에서 구하였고, 감도계수는 $\partial t/\partial V$ 로 그림 5-12와 그림 5-13으로부터 구하여 표 5-27에 나타내었다. 오실로 스코프로 양 끝단에서 읽는 경우를 고려하여 불확도 기여도인 u_i 를 u_{V_r} 과 $\partial t/\partial V$ 로부터 구하여 표 5-27에 대하여 나타내었다. 서지 발생기의 단락회로 출력전류가 500 A인 경우 오실로 스코프의 시간간격 측정 불확도가 전시간 측정 불확도에 기여하는 정도는 $0.0345 \times 10 \times \sqrt{2} = 0.45$ 와 같이 구해진다.

표 5-27 오실로 스코프의 시간간격 측정 불확도에 의한 조합형 서지 발생기의 전시간과 절반치 시간 측정 불확도에 기여도

서지전류 불확도	250 A		500 A		1000 A		2000 A	
	전시간	절반치 시간	전시간	절반치 시간	전시간	절반치 시간	전시간	절반치 시간
U_{V_r} [V]	0.0345		0.069		0.138		0.345	
$\partial t/\partial V$ [μs/V]	10	20	5	10	2.5	5	1	2
U_i [μs]	0.45	0.98	0.49	0.98	0.49	0.98	0.49	0.98

(3) 불확도 표현 및 교정 결과

조합파형 서지 발생기의 출력 전류 특성을 교정하기 위하여 양과 음의 출력파형을 측정하여 출력 전류의 첨두값, 전시간 및 절반치 시간을 측정 하였다.

측정 결과로부터 조합파형 서지 발생기의 출력 전류 첨두값이 500 A인 경우 합성 표준 불확도를 산출하면 표 5-28과 같이 구해진다. 표 5-27에서 구한 전류 첨두값 500 A를 교정하는 유효 자유도는 식 (2-15)에 의하여 구하면 237,063이다.

표 5-28 조합형 서지 발생기의 양의 서지전류 측정 불확도 총괄표 (0.5 kA)

양 (X _i)	추정값 (x _i)	표준 불확도 u(x _i)	확률분포	감도계수 (C _i)	불확도 기여도 u _i (y)
X ₁	509	—	—	—	—
u_{V_r}	0	0.069	직 각	100	6.9
u_{C_A}	0	0.081	직 각	50	4.05
u_{Y_T}	0	0.025	정 규	50	1.25
u_D	0	0.046	직 각	500	23
u_r	0	1.92	정 규	1	1.92
I_p	1003	—	—	—	$u_c(y)=24.46$

서지 발생기의 전시간과 절반치 시간에 대한 합성 표준 불확도는 식 (5-8)과 같이 반복 측정에 의한 A형 불확도 u_r 과 측정 시스템의 불확도 u_i 로 나타낼 수 있다. 식 (5-8)에서 u_r 은 표 5-21과 표 5-22에 나타내었고, 측정 장비인 오실로 스코프의 B형 불확도 U_i 는 표 5-27에 나타나있다.

$$u_c(t_r) = [u_r^2 + u_i^2]^{1/2} \quad (5-8)$$

이와 같은 방법으로 표 5-2의 침두전류에 대한 평균과 합성 표준 불확도를 산출하고, 표 5-3의 조합 파형 발생기의 단락회로 출력 전류에 대한 전시간과 절반치 시간에 대한 평균과 합성 표준 불확도를 산출하여 교정결과를 양과 음의 전류에 대하여 표 5-29과 표 5-30에 각각 나타내었다. 표 5-29과 표 5-30의 불확도는 확장 불확도로 95 %의 정규 분포로 보아 포함인자 k=2를 적용한 것이다.

표 5-29 조합형 서지 발생기의 양의 출력 전류 교정 결과

명목값 [A]	측정값					
	개방회로 출력 전압 [A]		전시간 [μs]		절반치 시간 [μs]	
	평균	확장 불확도	평균	확장 불확도	평균	확장 불확도
250	255	25.66	7.41	0.91	18.24	1.99
500	509	48.92	7.39	0.99	18.26	1.99
1000	1028	97.62	7.38	0.99	18.25	2.00
2000	2057	187.27	7.44	0.99	18.26	2.01

표 5-30 조합형 서지 발생기의 음의 출력 전류 교정결과

명목값 [A]	측정값					
	개방회로 출력 전압 [A]		전시간 [μs]		절반치 시간 [μs]	
	평균	확장 불확도	평균	확장 불확도	평균	확장 불확도
250	257	25.67	7.40	0.91	18.27	1.99
500	515	48.93	7.38	1.00	18.24	1.99
1000	1030	97.62	7.37	0.99	18.22	1.99
2000	2061	187.27	7.38	0.99	18.26	1.98

제 6 장 전자파 전도 내성시험 설비 교정

제 1 절 용어의 정의

1. 의사손 (artificial hand)

손으로 드는 전기 기구와 접지 사이에 보통의 작업조건에서 사람 신체의 임피던스를 시뮬레이션 해주는 전기 회로망이다.

2. 보조 장치(AE, auxiliary equipment)

수검기기에게 정상적 동작에 필요한 신호를 공급하는데 필요한 장치와 수검 장비의 성능을 확인하는 장치이다.

3. 클램프 주입 (clamp injection)

클램프 주입은 케이블상에 clamp-on 전류를 주입하는 장치이다.

- 전류 클램프: 2차 쪽 권선(winding) 주입이 이루어지는 케이블로 구성된 변압기
- 전자기 클램프(EM-clamp): 조합된 용량성 및 유도성 결합을 가진 주입장치

4. 동상모드 임피던스 (common-mode impedance)

한 포트에서 동상모드 전압과 동상모드 전류의 비율을 나타낸다.

주-동상모드 임피던스는 단자사이 또는 그 단자의 차폐면과 기준면(점) 사이에 단위 동상모드 전압을 적용함으로써 결정되어진다. 그 결과로서 생기는 동상 모드 전류는 그때 이중단 또는 차폐면을 통해 흐르는 모든 전류의 벡터합으로 시험된다.)

5. 결합인자 (coupling factor)

결합(그리고 감결합) 장치의 수검기기 포트에서 측정된 개방회로 전압을 시험 발생기 출력단의 개방 회로 전압으로 나눈 비이다.

6. 결합 회로망 (coupling network)

임피던스가 정의된 한 회로에서 다른 회로로 에너지를 전달하는 전기회로이다.

주- 결합 그리고 감결합 장치는 한 박스(결합 그리고 감결합 회로망(CDN))로 통합될 수 있고, 또는 각각 분리된 회로망(대개 클램프 주입)을 수 있다.

7. 감결합 회로망 (decoupling network)

수검기기에 인가되는 시험 신호가 피시험 상태가 아닌 다른 기구, 장치 또는 시스템에 영향을 주지 못하도록 하는 전기회로이다.

8. 수검기기 (EUT, equipment under test)

시험되는 장비이다.

9. 시험 발생기 (test generator)

필요한 신호를 발생할 수 있는 발생기이다. RF 발생기, 변조 원, 감쇠기, 광대역 전력 증폭기 그리고 필터)

10. 기전력(e.m.f, electromotive force)

능동소자의 표현에서 이상적인 전압원의 단자에서의 전압이다.

11. 시험결과 (Umr, measurement result)

측정 장비가 읽는 전압값이다.

12. 전압 정재파 비(VSWR, voltage standing wave ratio))

선로 상에서 최대 전압과 최소 전압 크기의 비이다.

제 2 절 전자파 전도 내성시험

1. 시험의 목적

9 kHz ~ 80 MHz의 주파수 범위에서 전자기 복사에 의하여 유도된 방해 신호에 의한 전기, 전자 장비의 내성 성능을 평가하는 것이다.

2. 시험 레벨

전자파 전도 내성 시험을 위한 변조시키지 않은 방해 신호의 개방회로 시험레벨은 표 6-1과 같다. 표 6-1의 각 전압은 정현파 신호의 실효값을 나타내고, 결합 감결합 장치의 수검기기 단자에서 측정 된다. 실제 전자파 전도 내성 시험에는 1 kHz 정현파로 80 % 진폭 변조된 신호를 이용한다.

표 6-1 전자파 전도 내성 시험 레벨

주파수 범위 : 150 kHz ~ 80 MHz		
준 위	전압레벨 (e.m.f)	
	Uo [dBμW]	Uo [V]
1	120	1
2	130	3
3	140	10
X ¹⁾	예 외	
1) 개방레벨		

3. 전자파 전도 시험 설비의 특성

가. 전자파 전도 시험 발생기의 특성

전자파 전도 시험 발생기는 원하는 위치에서 규정된 방해 신호레벨을 각각의 결합 장치의 입력 단자에 공급할 수 있어야 한다. 전도 시험 발생기 블록도를 그림 6-1에 나타내었고, 각 블록의 기호는 다음과 같다.

전자파 전도 시험 발생기의 각종 특성을 표 6-2에 나타내었다.

- RF 발생기 : G1
- 가변 감쇠기 : T1
- RF 스위치 : S1
- 광대역 전력 증폭기 : PA
- 저역 통과 필터 or/and 고역 통과 필터 : LPF/HPF
- 고정 감쇠기 : T2

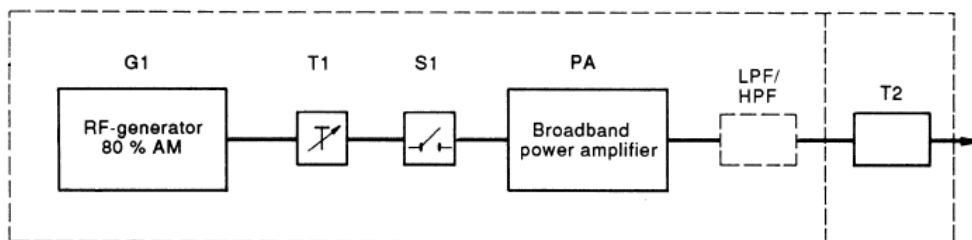


그림 6-1 전자파 전도 내성 시험 발생기의 구조

표 6-2 전자파 전도 내성 시험 발생기의 특성

주파수 범위	150 kHz ~ 80 MHz
출력 임피던스	50 Ω , VSWR \leq 1.2
고조파와 왜곡	반송파 레벨의 15 dB 이하
진폭 변조	변조방법 : 내부 또는 외부 정현파 변조 주파수 : 1 kHz \pm 10 % 변조도 : 80 % \pm 5 %
출력 레벨	시험 레벨을 충분히 만족 시킬 것

그림 6-2는 표 6-1의 시험 레벨 1에서 결합 소자의 출력에서 발생하는 전형적인 시험 파형을 나타낸다.

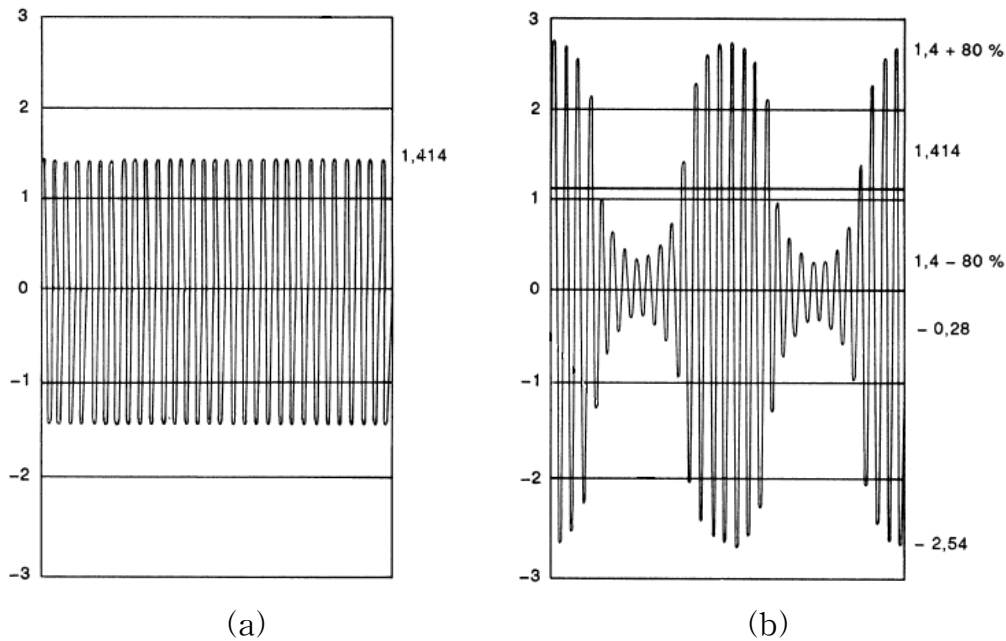


그림 6-2 결합소자 출력에서 측정된 파형 모습(레벨 1)

(a) 변조되지 않은 RF 신호 ($u_{pp} = 2.82 \text{ V}$, $u_{rms} = 1 \text{ V}$)

(b) 80 % 진폭 변조된 RF 신호 ($u_{pp} = 5.09 \text{ V}$, $u_{rms} = 1.12 \text{ V}$)

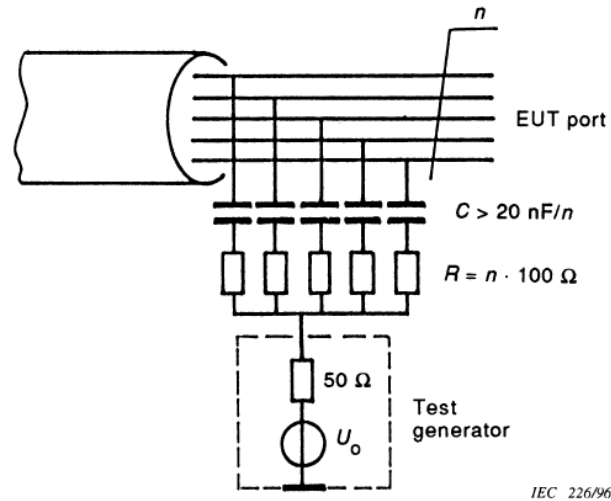
나. 결합 및 감결합 장치(CDN)의 특성

결합 및 감결합 회로망은 수검기기에 접속되어있는 여러 가지 케이블에 분포 신호의 적절한 결합에 사용한다. 전자파 내성 시험에 이용되는 결합 감결합 회로망은 150 kHz ~ 80 MHz의 주파수 범위에서 다음 사항을 제공해야만 한다.

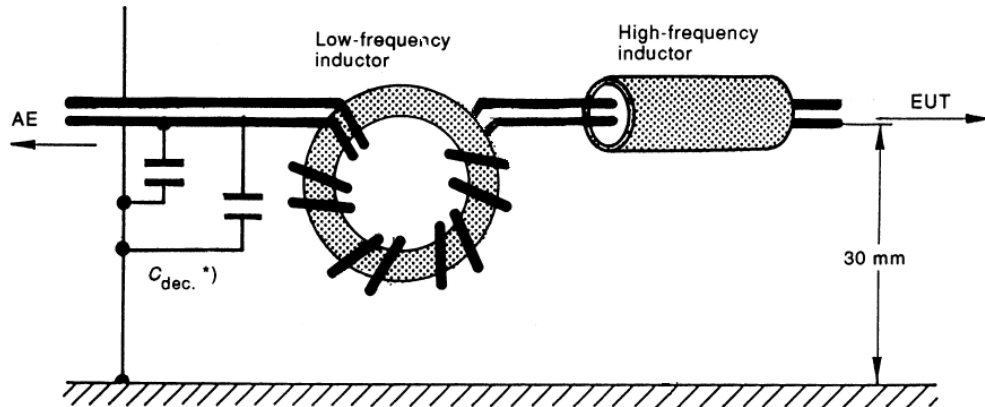
- 수검 기기에 간섭 신호를 결합
- 보조장비의 공통 임피던스와는 무관하게 수검기기가 연결되는 단자에서 결합/감결합 회로망 방향으로 바라본 안정한 임피던스
- 장애 신호로부터 보조 장비가 간섭받는 것을 막기 위하여 보조 장비에 간섭 신호를 감결합

- 회망 신호의 명확성

그림 6-3은 결합 및 감결합 장치의 결합과 감결합 특성을 나타내고 있다. 그림 6-3 (a)는 시험 발생기의 출력이 수검 기기 포트에 방해신호가 결합되는 모습을 나타낸 것이고, 그림 6-3 (b)는 시험 발생기의 출력이 보조장비가 연결



(a)



(b)

그림 6-3 결합과 감결합의 원리

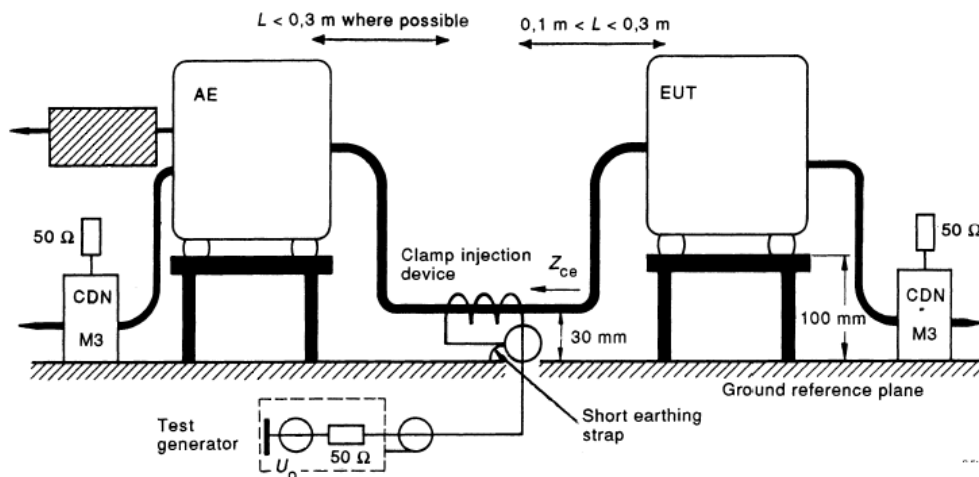
(a) 비차폐 공급 케이블에 대한 결합의 원리

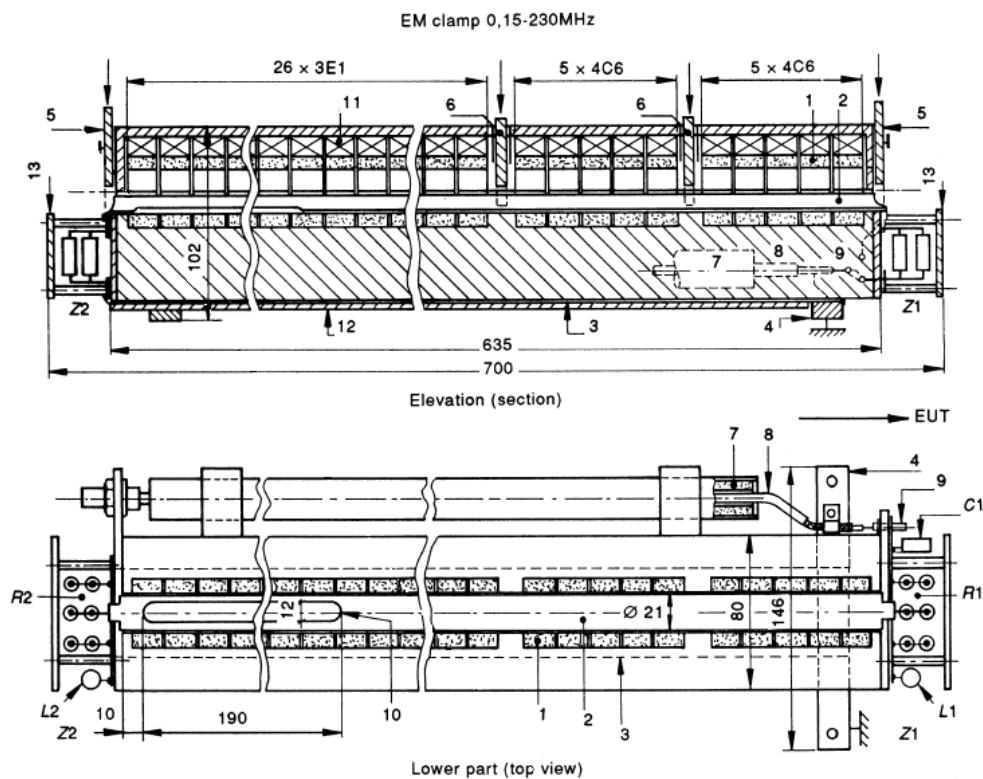
(b) 감결합의 원리

되는 포트로 감결합 되는 모습을 나타낸다. 수검기기 단자에서 공통 모드 임피던스 $|Z_{ce}|$ 는 시험 발생기의 내부 임피던스와 여기 선로와 직렬 연결된 저항 R에 의하여 만들어진다. 보조장비 포트로의 감결합은 그림 6-2 (b)와 같이 적절한 인덕터 ($\omega L \gg 150 \Omega$)를 사용하여 감결합 소자인 감결합 커패시터가 $|Z_{ce}|$ 에 영향을 미치지 못하도록 한다.

표 6-3 결합 및 감결합 장치의 매개변수

다. 전류 클램프와 EM 클램프의 특성

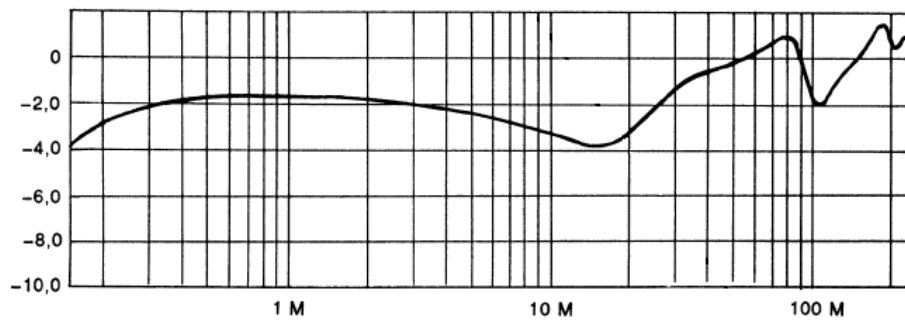




Parts list:

- 1 Ferrite ring cores $\varnothing 36 \times \varnothing 23 \times 15$ mm
10 rings, type 4C65, NiZn, $\mu = 100$
26 rings, type 3C11, MnZn, $\mu = 4\,300$
 - 2 Semi-cylinder of copper foil glued to the groove
 - 3 Lower conductor plate
 - 4 Earth bar
 - 5/6 Devices for pressing the cable under test into the groove
Parts from insulating material with pressure springs (not shown)
 - 7 Ferrite tube, 4C65
 - 8 Coaxial cable, $50\ \Omega$, with BNC connector
 - 9 Switch for the disconnection of Z1
 - 10 Slot for part No. 2
 - 11 Elastic fixing of ferrite (upper semi-ring)
 - 12 Lower insulating plate
 - 13 Protection plate for Z1, Z2
- EUT: Equipment under test
Z1: Series impedance: C_1 : 20-100 pF, L_1 : 0,15 μ H, R_1 : 50 Ω / 12 W
Z2: Series impedance: L_2 : 0,8 μ H, R_2 : 50 Ω / 12 W

그림 6-5 EM 클램프의 구조



Typical characteristics of a commercially available construction of the EM-clamp:

- Operating frequency range: 0,15 MHz to 230 MHz
- Frequency response of the coupling factor of the EM-clamp.
- Max. e.m.f. rating according to table 1:
0,15 MHz to 100 MHz; 140 V max. 15 V min.
100 MHz to 230 MHz; 140 V max. 5 V min.
- Directivity and decoupling EUT/AE ≥ 10 dB beyond 10 MHz

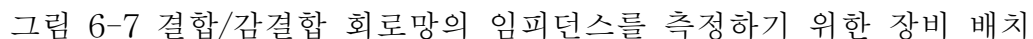
그림 6-6 EM 클램프의 결합 인자

1. 교정할 내용

결합 및 감결합 회로망의 교정 항목은 표 6-2에 주어진 공통 모드 임피던스 특성을 수검 기기 단자에서 측정하는 것과, 150 Ω대 50 Ω 어댑터의 삽입 손실을 측정하는 것이다.

가. 교정 시스템

그림 6-7에서 기준 접지면(Ground reference plane)은 결합 감결합 회로망과 다른 소자들의 배치 상태보다 0.2 m 커야 한다. BNC 연결기를 갖는 임피던스 기준면(Impedance reference plane)은 0.1 m × 0.1 m의 크기를 가져야 한다. 두면은 구리, 놋쇠 또는 알루미늄으로 제작되어야 하며 양호한 RF 접촉 특



성을 지녀야 한다. 수검기 단자(EUT port)와 임피던스 기준 연결부(Reference point) 사이의 거리는 30 mm 보다 작은 짧은 연결 상태를 유지해야 한다.

결합/감결합 회로망의 임피던스 특성 측정 방법은 그림 6-8에 나타낸 것과 같이 입력 단자는 50 Ω으로 종단시키고, EUT 포트에서의 공통 모드 임피던스를 보조 장비 단자를 단락과 개방된 상태에서 측정하는 것이다. 이 측정값이 표 6-2의 규격을 만족 시켜야 한다. 임피던스 측정 장비는 교정된 벡터 회로망 분석기이다.

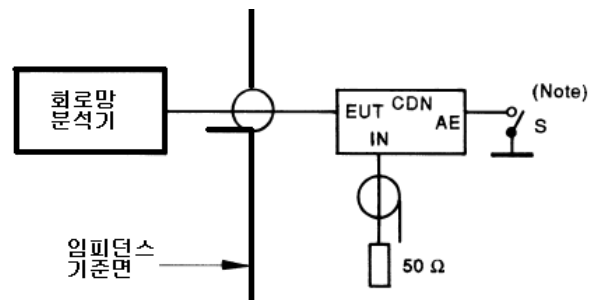


그림 6-8 결합/감결합 회로망의 공통 모드 임피던스의 측정 원리

나. 결합/감결합 시스템의 반사계수 측정

그림 6-8의 측정원리를 이용하여 회로망 분석기로 측정한 반사계수의 크기와 위상을 측정하여 불확도를 산출하고, 이 값을 이용하여 공통모드 임피던스 값과 불확도를 산출하고자 한다.

반사계수 Γ 는 식 (6-1)과 같이 반사계수의 크기와 위상으로 나타낼 수 있다.

$$\Gamma = |\Gamma|e^{-j\phi} \quad (6-1)$$

벡터 회로망 분석기를 이용하여 식 (6-1)로 나타낸 Γ 의 크기와 위상 측정의 합성 표준 불확도는 식 (6-2)와 같이 구해진다.

$$u_c = \sqrt{(u_1)^2 + (u_2)^2} \quad (6-2)$$

식 (6-2)는 Γ 크기 $|\Gamma|$ 의 측정 불확도 $u_c(|\Gamma|)$ 와 위상 ϕ 의 측정 불확도 $u_c(\phi)$ 의 표현에 적용된다. 식 (6-2)에서 불확도 성분인 u_1 과 u_2 는 각각 S_{11} 의 크기와 위상 측정시의 A형과 B형 불확도를 나타낸다.

표 6-2에서 공통 모드 임피던스가 150 ± 60 인 경우 반사계수로 환산하면 $0.375 \sim 0.615$ 에 해당한다. HP8753C 벡터 회로망 분석기를 이용하여 반사계수 0.615 를 측정할 때 반사계수의 크기 및 위상 측정의 오차는 각각 0.02 와 3.5° 이다. 따라서 직각 대칭 구조의 확률 분포를 가정하면, 반사 계수의 크기와 위상 측정의 B형 불확도는 각각 $0.02/\sqrt{3}=0.012$, $3.5^\circ/\sqrt{3}=2.021^\circ$ 이 된다. 또한 반복 측정에 의한 반사계수 크기 및 위상 측정의 A형 불확도는 0.004 와 0.093° 이다.

따라서 Γ 의 크기 및 위상 측정의 합성 표준 불확도는 다음과 같이 구해진다.

$$u_c(|\Gamma|) = \sqrt{0.004^2 + 0.012^2} = 0.012$$

$$u_c(\phi) = \sqrt{0.093^2 + 2.021^2} = 2.023$$

위의 결과를 이용하여 신뢰수준 95.5 %에 대한 포함인자인 $k=2$ 를 적용하여 S_{11} 크기 측정의 확장 불확도를 구하면 $U(|\Gamma|) = 2 \times 0.012 = 0.024$ 이, S_{11} 위상 측정의 확장 불확도를 구하면 $U(\phi) = 2 \times 2.023^\circ = 4.046^\circ$ 가 된다.

다. 결합/감결합 회로망의 공통 모드 임피던스 측정

결합/감결합 회로망의 공통모드 임피던스는 회로망 분석기로 측정한 Γ 파는 식 (6-3)의 관계가 성립한다.

$$\begin{aligned} Z_{ce} &= Z_0 \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \\ &= Z_0 \frac{1-|\Gamma|^2}{1-2|\Gamma|\cos\theta+|\Gamma|^2} + jZ_0 \frac{2|\Gamma|\sin\theta}{1-2|\Gamma|\cos\theta+|\Gamma|^2} \\ &= Z_{cer} + jZ_{cei} \end{aligned}$$

(6-3)

식 (6-3)에서

$$Z_{cer} = Z_0 \frac{1 - |\Gamma|^2}{1 - 2|\Gamma| \cos \Theta + |\Gamma|^2} \quad (6-4 \text{ a})$$

$$Z_{cei} = Z_0 \frac{2|\Gamma| \sin \Theta}{1 - 2|\Gamma| \cos \Theta + |\Gamma|^2} \quad (6-4 \text{ b})$$

이다.

공통 모드 임피던스의 실수부인 식 (6-4 a)의 표준 불확도는 (6-5)와 같이 구해지고, 감도계수는 식 (6-6 a)와 식 (6-6 b)와 같이 구해진다.

$$u_c(Z_{cer}) = \sqrt{\left(\frac{\partial Z_{cer}}{\partial |\Gamma|}\right)^2 u_c^2 |\Gamma| + \left(\frac{\partial Z_{cer}}{\partial \Theta}\right)^2 u_c^2 \Theta} \quad (6-5)$$

$$\frac{\partial Z_{cer}}{\partial |\Gamma|} = 2Z_0 \frac{\cos \Theta (1 + |\Gamma|^2) - 2|\Gamma|}{(1 - 2|\Gamma| \cos \Theta + |\Gamma|^2)^2} \quad (6-6 \text{ a})$$

$$\frac{\partial Z_{cer}}{\partial \Theta} = 2Z_0 \frac{|\Gamma| \sin \Theta (1 - |\Gamma|^2)}{(1 - 2|\Gamma| \cos \Theta + |\Gamma|^2)^2} \quad (6-6 \text{ b})$$

이다.

공통 모드 임피던스의 허수부인 식 (6-4 b) 표준 불확도는 (6-7)과 같이 구해지고, 감도계수는 식 (6-8 a)와 식 (6-8 b)와 같이 구해진다.

$$u_c(Z_{cei}) = \sqrt{\left(\frac{\partial Z_{cei}}{\partial |\Gamma|}\right)^2 u_c^2 |\Gamma| + \left(\frac{\partial Z_{cei}}{\partial \Theta}\right)^2 u_c^2 \Theta} \quad (6-7)$$

$$\frac{\partial Z_{cei}}{\partial |\Gamma|} = 2Z_0 \frac{\sin \Theta (1 - |\Gamma|^2)}{(1 - 2|\Gamma| \cos \Theta + |\Gamma|^2)^2} \quad (6-8)$$

a)

$$\frac{\partial Z_{cei}}{\partial \Theta} = 2Z_0 \frac{|\Gamma| \cos \Theta (1 + |\Gamma|^2) - 2|\Gamma|^2}{(1 - 2|\Gamma| \cos \Theta + |\Gamma|^2)^2} \quad (6-8)$$

b)

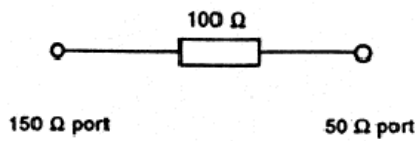
이상적인 결합/감결합 회로망의 경우 공통 모드 임피던스는 $150 + j0.0 \, \Omega$ 이다. 이 경우 반사계수의 크기는 0.5이고 반사계수의 위상은 0이다. 공통 모드 임피던스 측정의 불확도를 구하기 위하여 위상이 0 이므로 식 (6-5) 식 (6-6 a)를 이용하면 임피던스 측정의 합성 표준 불확도 $u_c = 400 \times 0.012 = 4.8$ 이다. 따라서 확장 불확도는 신뢰수준 95.5 %에 대한 포함인자인 $k=2$ 를 적용하면 $U = 2 \times 4.8 = 9.6 \, \Omega$ 으로 구해진다.

3. 결합 및 감결합 회로망의 삽입손실 측정

가. 측정 방법 및 측정 시스템

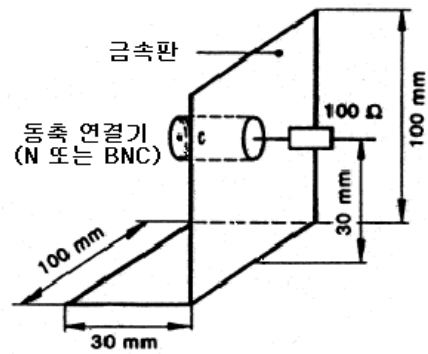
150 Ω 대 50 Ω 어댑터의 삽입 손실을 측정하기 위해서는 그림 6-9 (a)와 그림 6-9 (b)와 같이 2개의 어댑터가 필요하다.

150 Ω 을 50 Ω 으로 변환하는 어댑터 회로의 삽입 손실 측정시 어댑터들은 접지 기준면상에 놓이며, 접지면의 크기는 모든 방향에서 어댑터 구조물 보다 0.2 m 커야 한다.



주 : 저 인덕턴스 저항 ($P \geq 2.5 \text{ W}$)

(a)



(b)

그림 6-9 150 Ω을 50 Ω 으로 변환하는 회로 및 어댑터 설치

(a) 150 Ω을 50 Ω 으로 변환하는 어댑터 회로

(b) 150 Ω을 50 Ω 으로 변환하는 어댑터 설치 모습

삽입 손실의 측정은 그림 6-10의 방법을 따라서 수행한다. 그림 6-10에서 2개의 10 dB 감쇠기는 임피던스 정합용 버퍼 감쇠기 이다. 측정 방법은 스위치를 2의 위치로 전환하고 수신기가 읽은 전자파 전력과 스위치를 2의 위치로 전환하고 수신기가 읽은 전자파 전력의 차가 150 Ω을 50 Ω 으로 변환하는 어댑터 회로의 삽입손실이다. 이상적인 조건에서의 삽입 손실은 약 9.54 dB이며 KN 610004-6에서는 $9.5 \text{ dB} \pm 0.5 \text{ dB}$ 를 요구하고있다.

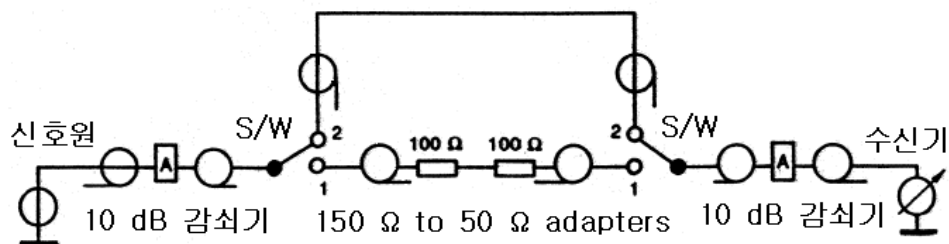


그림 6-10 150 Ω을 50 Ω으로 변환하는 어댑터 회로의 삽입 손실을 측정하는 원리

나. 150 Ω대 50 Ω 어댑터의 삽입 손실 측정

그림 6-10의 측정 시스템을 회로망 분석기를 이용하면 10 dB 감쇠량 측정의 경우 0.19 dB의 확장 불확도에서 측정 가능하다.

표 6-4는 회로망 분석기를 이용한 S_{21} 과 S_{12} 를 10번 측정한 결과를 나타낸다.

따라서 삽입손실 A [dB]와 A형 불확도 u_A 는 S_{21} 에 해당하는 데이터를 이용하기로 한다.

$$A = 9.5744 \text{ dB}$$

$$u_A(|S_{21}|) = 0.000978 \text{ dB}$$

회로망 분석기를 이용하여 9.5744 dB의 감쇠량을 측정할 때 포함된 B형 불확도를 구하여 보자. 이 때 회로망 분석기의 측정 주파수는 50 MHz이고, IFBW가 10 Hz이며, 전력 레벨은 -10 dBm이다.

표 6-4 삽입 손실 측정 결과

		S21	S12		S21	S12
1		9.568	9.585	6	9.575	9.589
2		9.570	9.587	7	9.579	9.592
3		9.574	9.589	8	9.575	9.590
4		9.573	9.587	9	9.580	9.595
5		9.575	9.589	10	9.575	9.591
평균	dB	-	-	-	9.574 4	9.589 4
	Linear	-	-	-	0.332 109	0.331 535
실험표준편차,dB		-	-	-	0.003 093	0.002 836
A형 불확도, dB		-	-	-	0.000 978	0.000 897

회로망 분석기를 이용하여 S_{21} 의 크기 측정시 오차를 산출은 식 (6-9 a) ~ 식 (6-9 c)를 이용한다.

$$E_{tm}(\text{linear}) = V_t + S_{21} \times T_{td}(\text{maginitude}) \quad (6-9 \text{ a})$$

$$E_{tm}(\log) = 20 \log(1 \pm E_{tm}/S_{21}) \quad (6-9 \text{ b})$$

$$u_B(|S_{21}|) = E_{tm}/\sqrt{3} \quad (6-9 \text{ c})$$

식 (6-9 a) ~ 식 (6-9 c)에서

$$V_t = S_t + \sqrt{Y_t^2 + Z_t^2} \quad (6-10 \text{ a})$$

$$S_t = C + T_t \times S_{21} + (M_s + S_{r1}) \times S_{11} \times S_{21} \\ + (M_1 + S_{r2}) \times S_{21} \times S_{22} + A_m \times S_{21} \quad (6-10 \text{ b})$$

$$Y_t = T_{t1} \times S_{21} + R_{r1} \times S_{11} \times S_{21} \quad (6-10 \text{ c})$$

$$Z_t = T_{t2} \times S_{21} + R_{r2} \times S_{22} \times S_{21} \quad (6-10 \text{ d})$$

이다.

S_{11} 과 S_{22} 가 0.67로 같은 경우 표 6-4의 불확도 총괄표의 데이터와 식 (6-10 a) ~ 식 (6-10 d)를 이용하여 회로망 분석기로 감쇠량을 측정할 때 구할 때 포함된 B형 불확도를 구하면 된다.

식 (6-10 a) ~ 식 (6-10 d)에 표 6-4의 불확도 총괄표의 데이터를 대입하여 정리하면 다음 값을 얻는다.

$$S_t = 0.009 \ 778 \ 9$$

$$Y_t = 0.000 \ 310 \ 6$$

$$Z_t = 0.000 \ 310 \ 6$$

$$V_t = 0.010 \ 218 \ 2$$

이 결과를 식 (6-9 a) ~ 식 (6-9 c)에 대입하면 다음과 같이 B형 불확도를 구할 수 있다.

표 6-5 불확도 요인 총괄표

기호	오차 항	Residual (Accuracy Enhancement, Full Two-port Calibration)	
		dB	Linear
D	Directivity	-44	0.0063
M _s	Source Match	-35	0.0178
M _l	Load Match	-42	0.008
T _r	Reflection Tracking	0.06	0.007
T _t	Transmission Tracking	0.05	0.006
C	Crosstalk	-100	0.00001
R _{r1}	Port 1 Reflection Connector Repeatability	-65	0.00056
T _{t1}	Port 1 Transmission Connector Repeatability	-65	0.00056
R _{r2}	Port 1 Reflection Connector Repeatability	-65	0.00056
T _{t2}	Port 1 Transmission Connector Repeatability	-65	0.00056
N _l	Low-Level Noise	-100 dBm	
N _h	High-Level Noise	0.004	0.00046
A _m	Mag. Dynamic Accuracy Error	0.05	0.00577
A _p	Phase Dynamic Accuracy Error	0.331, degrees	
S _{t1}	Port 1 Cable Transmission Phase Stability	$0.05 \times f[\text{GHz}]$, degrees	
S _{r1}	Port 1 Cable Reflection Stability	-70	0.00032
S _{t2}	Port 2 Cable Transmission Phase Stability	$0.05 \times f[\text{GHz}]$, degrees	
S _{r2}	Port 2 Cable Reflection Stability	-70	0.00032
T _{td}	Transmission Tracking Drift	Magnitude : $0.0015 \times \Delta^\circ\text{C}$, linear Phase : $\{0.1 + 0.15 \times f[\text{GHz}]\} \times \Delta^\circ\text{C}$, degrees	
T _{rd}	Reflection Tracking Drift	Magnitude : $0.0015 \times \Delta^\circ\text{C}$, linear Phase : $\{0.1 + 0.15 \times f[\text{GHz}]\} \times \Delta^\circ\text{C}$, degrees	

$$E_{tm}(\text{linear}) = 0.010\ 716\ 4$$

$$E_{+tm}(\log) = 20\log(1 + E_{tm}/S_{21}) = 0.276\ \text{dB}$$

$$E_{-tm}(\log) = 20\log(1 - E_{tm}/S_{21}) = -0.285\ \text{dB}$$

$$\delta E_{tm} = \frac{|E_{+tm}| + |E_{-tm}|}{2} = 0.280\ 5$$

$$u_B(|S_{21}|) = \frac{\delta E_{tm}}{2\sqrt{2}} = 0.081$$

따라서 확장 불확도는 신뢰수준 95.5 %에 대한 포함인자인 $k=2$ 를 적용하면 다음과 같이 구해진다.

$$u_c(|S_{21}|) = \sqrt{u_B(|S_{21}|)^2 + u_B(|S_{21}|)^2} = 0.081$$

$$U = k \times u_c(|S_{21}|) = 0.162$$

4. 결합 및 감결합 회로망의 삽입손실 측정 결과

전자파 전도 내성 시험에는 많은 종류의 결합 및 감결합 회로망이 이용되고 있으며 종류도 매우 다양하다. 신호용, 정보통신용 등 용도 및 선의 가닥수에 따라 여러 가지 종류가 다양하게 이용되고 있다.

표 6-6 ~ 표 6-8은 전자파 전도 내성 시험에 이용되는 여러 종류의 결합 및 감결합 회로망의 150 Ω 대 50 Ω 연결기의 임피던스와 삽입 손실을 벡터 회로망 분석기로 측정하여 나타내었다.

표 6-6 ~ 표 6-8에서 임피던스 측정 결과의 불확도는 6.4 %이고 삽입 손실 측정의 불확도는 3.8 %이다.

표 6-6 FCC-801-S9, FCC-801-S15 및 FCC-801-S25의 교정결과

모델명	FCC-801-S9		FCC-801-S15		FCC-801-S25	
측정량 측정 주파수[MHz]	Zce[Ω]	A[dB]	Zce[Ω]	A[dB]	Zce[Ω]	A[dB]
0.15	75.0	10.65	72.8	10.08	74.6	10.56
5	150.7	9.72	151.9	9.76	148.0	9.86
15	148.0	9.54	147.2	9.62	151.6	9.65
25	148.0	9.23	147.0	9.33	145.3	9.40
35	146.6	9.33	144.6	9.44	139.5	9.57
45	144.9	9.38	141.2	9.53	134.3	9.70
55	142.9	9.40	137.1	9.56	130.6	9.79
65	140.9	9.65	134.4	9.83	128.5	10.10
75	138.2	9.99	131.5	10.17	127.8	10.44
85	135.2	9.97	158.2	10.15	128.3	10.35
95	131.4	9.70	125.9	9.85	128.5	9.92
105	127.3	9.63	123.7	9.98	131.0	9.85
115	124.3	9.81	122.7	10.17	135.7	9.82
125	125.9	10.22	123.7	10.67	139.9	10.17
135	135.6	10.65	127.4	10.83	141.3	10.46
145	149.6	10.60	135.5	10.60	140.8	10.61
155	157.2	10.35	140.3	10.36	139.0	10.62
165	154.9	10.14	147.6	10.18	138.6	10.47
175	148.1	10.22	147.0	10.17	139.5	10.25
185	141.7	10.34	143.2	10.30	122.2	10.17
195	139.7	10.82	138.5	10.75	148.2	10.42
205	144.0	11.10	136.8	11.16	152.4	10.92
215	154.4	11.15	140.4	11.40	150.5	11.28
225	161.5	10.92	145.3	11.25	149.3	11.19

표 6-7 FCC-801-M1-16A, FCC-801-M2-16A 및 FCC-801-M3-16A의 교정결과

모델명	FCC-801-M1-16A		FCC-801-M2-16A		FCC-801-M3-16A	
측정량 측정 주파수 [MHz]	Zce[Ω]	A[dB]	Zce[Ω]	A[dB]	Zce[Ω]	A[dB]
0.15	16.5	19.80	45.4	13.13	71.4	11.61
5	149.5	9.61	155.6	9.82	146.3	9.57
15	149.3	9.53	150.3	9.75	145.7	9.33
25	144.2	9.23	152.3	9.45	144.9	9.14
35	143.5	9.32	151.9	9.59	142.9	9.32
45	143.0	9.36	150.6	9.69	141.7	9.47
55	142.6	9.33	148.5	9.81	136.5	9.57
65	141.4	9.52	145.7	10.16	132.7	9.92
75	140.6	9.83	142.3	10.37	128.6	10.35
85	139.2	9.75	138.4	10.12	125.0	10.43
95	137.2	9.27	133.8	9.80	122.9	10.16
105	134.9	9.03	129.2	9.90	126.2	10.06
115	132.7	9.25	125.7	10.35	131.5	10.04
125	129.4	9.81	122.6	10.93	129.7	10.56
135	127.0	10.32	120.7	11.30	133.6	10.82
145	124.7	10.56	120.2	11.35	136.8	10.75
155	124.2	10.60	124.3	11.12	134.9	10.69
165	122.9	10.54	133.2	10.68	128.7	10.66
175	118.8	10.33	138.2	10.25	126.5	10.57
185	121.6	10.03	143.7	10.12	126.8	10.49
195	128.8	9.95	144.9	10.38	129.9	10.75
205	137.2	10.17	146.2	10.82	128.2	10.99
215	146.5	10.41	143.2	11.05	133.3	10.10
225	152.3	10.06	139.4	11.00	132.3	10.99

표 6-8 FCC-801-M5-50A, FCC-801-T8 및 FCC-801-AF8의 교정결과

모델명	FCC-801-M5-50A		FCC-801-T8		FCC-801-AF8	
측정량 측정 주파수[MHz]	Zce[Ω]	A[dB]	Zce[Ω]	A[dB]	Zce[Ω]	A[dB]
0.15	226.7	10.54	172.1	10.20	171.7	10.06
5	146.2	10.10	145.9	9.66	147.3	9.65
15	153.5	10.12	149.2	9.53	149.6	9.50
25	143.9	10.47	146.3	9.31	147.0	9.27
35	141.9	10.92	140.2	9.53	142.6	9.14
45	142.8	11.05	143.9	9.66	137.9	9.51
55	143.9	11.06	128.8	9.73	133.6	9.58
65	144.7	11.24	122.6	9.99	130.3	9.87
75	142.5	11.60	121.1	10.37	128.2	10.20
85	139.4	11.35	117.9	10.25	126.6	10.15
95	137.3	10.83	116.9	9.75	125.6	9.76
105	135.6	10.88	115.7	9.55	122.7	9.53
115	133.5	11.02	115.9	9.50	123.5	9.69
125	130.6	11.43	117.2	9.82	125.9	10.03
135	129.4	11.64	119.2	10.03	129.9	10.26
145	130.4	11.58	120.9	9.90	135.0	10.20
155	129.5	11.47	122.6	9.67	140.1	9.97
165	129.9	11.22	122.9	9.54	142.4	9.73
175	127.8	11.92	123.8	9.24	142.9	9.52
185	129.2	11.54	127.0	9.08	144.3	9.43
195	130.7	11.41	135.5	9.36	148.2	9.63
205	129.5	11.47	118.6	9.80	154.0	10.25
215	126.3	11.59	120.0	9.66	160.9	10.17
225	124.2	11.54	123.8	9.27	167.7	9.96

제 7 장 전원 주파수 자계 내성시험 설비 교정

제 1 절 용어의 정의

1. 수검기기 (EUT, equipment under test)

시험되는 장비이다.

2. 유도 코일 (induction coil)

전류가 흐르는 특정 모양과 크기를 갖는 도선 루프로 그 루프면과 포함된 체적 내에 특정 상수 값의 자기장을 발생시킨다.

3. 유도 코일 인자 (induction coil factor)

특정 크기의 유도 코일에 의해 발생한 자기장의 세기와 전류의 비; 횡드는 수검기기 없이 코일이 이루는 평면의 중심에서 측정된 값이다.

4. 잠금법 (immersion method)

유도 코일의 중심에 위치한 수검기기에 자기장의 적용시키는 방법이다.

5. 접근법 (proximity method)

특별히 민감한 지역을 감지하기 위해 작은 유도 코일을 수검기기 주변을 따라 움직이면서 자기장을 적용시키는 방법이다.

4.6 기준접지면(GRP, ground reference plane)

자기장 발생기와 부속장비가 공통점으로 사용되는 평평한 전도성 표면이다.

7. 감결합 회로, 후위 여파기 (decoupling network, back filter)

자기장 시험대상이 아닌 다른 장비와의 상호작용을 방지하는 전기회로이다.

제 2 절 전원 주파수 자계 내성시험

1. 시험의 목적

본 시험의 목적은 전원 주파수의 자기장에 노출되는 가정용, 상업용 및 공업용 전기, 전자 장비의 내성 성능을 평가하는 것이다.

2. 시험 레벨

전원 주파수 자계 내성 시험의 레벨은 전자기 환경, 방해원의 관련 장비와의 근접성 및 적합성 마진 등을 고려하여 6 단계로 구분한다.

표 7-1은 전원 주파수 자계 시험 레벨로 연속 자기장과 짧은 지속시간 (1 s ~ 3 s) 동안의 자기장에 대한 시험 레벨을 나타낸다.

자기장의 세기는 A/m의 단위를 사용하며, 1 A/m는 1.26 μ T에 해당한다.

표 7-1 전원 주파수 자계 내성 시험

레벨	연속 자기장의 세기 A/m	짧은 지속 시간을 갖는 자기장의 세기, A/m
1	1	NA ²⁾
2	2	NA ²⁾
3	3	NA ²⁾
4	4	300
5	5	1 000
X ¹⁾	예외	예외
1) 미결정 레벨로 제품 규격에서 주어 짐, 2) 적용하지 않음		

제 3 절 전원 주파수 자계 내성시험 발생기의 특성

전원 주파수 자계 시험 발생기는 자계 내성 시험 장비인 유도 코일내에 규정된 자계를 발생시킬 수 있도록 충분한 전류를 공급할 수 있어야 한다. 따라서 자계 시험 발생기의 전력 능력은 코일 임피던스를 고려하여 범위가 정해져야만 한다. 코일의 인덕턴스는 1 m 표준 코일의 경우 2.5 μH 에서 구형 유도 코일의 경우 수 μH (약 6 μH) 의 범위이다.

전원 주파수 자계 시험 발생기의 구조는 그림 7-1과 같이 주전원 분배 회로망에 연결된 전압 조정기, 전류 변환기 및 단시간 지속시킬 수 있도록 하는 조절 회로가 있다.

전원 주파수 자계 시험용 발생기의 주요 출력 특성은 표 7-2의 출력 전류값과 총 왜곡인자로 이를 만족시키는 신호원을 이용해야한다.

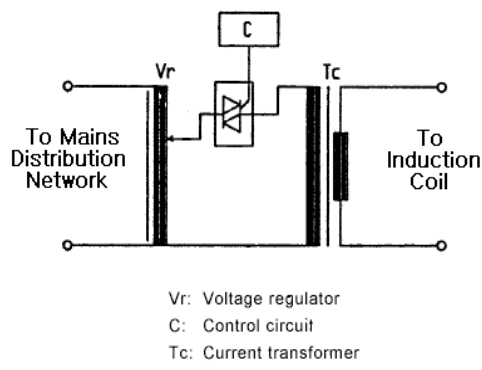


그림 7-1 전원 주파수 자기장 시험 발생기의 구조

표 7-2 전원 주파수 자계 시험 발생기의 주요 특성

출력 전류 범위		출력 전류 총 왜곡 인자
연속모드	단시간 지속모드 (1 s ~ 3 s)	
1 A ~ 100 A	300 A ~ 1000 A	8 % 이하
전류 프로브와 $\pm 2\%$ 의 측정설비로 확인		

제 4 절 유도 코일과 코일 인자의 측정

1. 교정 내용

전원 주파수 자계 내성 측정용 유도 코일은 승인된 품질 보증 시스템에 따라 정의된 시간 주기에서 교정되어야 한다.

전원 주파수 자계 내성 시험 규격인 표 7-1의 기준 자계를 발생시키기 위하여 필요한 유도 코일에 흐르는 전류를 측정하여 주어진 자기장과 측정한 전류의 비를 구하므로써 유도코일의 코일 인자를 구할 수 있다.

2. 유도 코일의 코일 인자 특성 측정 방법

가. 교정 시스템

전원 주파수 자계 내성 측정용 유도 코일을 그림 7-2와 같이 절연 지지대를 사용하여 실험실 벽과 자성체로부터 최소 1 m의 거리를 두고 위치시키고 전원 주파수 자계 시험 발생기를 연결한다. 이 때 유도 코일에서 발생하는 자계의 측정은 교정된 자계 감지기를 사용한다. 이 자기장 감지기는 전원 주파수 자계 내성 측정용 유도 코일의 중앙에 위치시키고 방향을 조절하여 최대값을 지시하도록 한다. 유도 코일에 흐르는 전류를 조절하여 자계 감지기의 지시값이 표 7-1의 시험 레벨에 의하여 지정된 자기장의 세기가 되도록 하고 자계와 전류의 비인 H/I 로 전원 주파수 자계 내성 측정용 유도 코일의 코일 인자를 구한다.

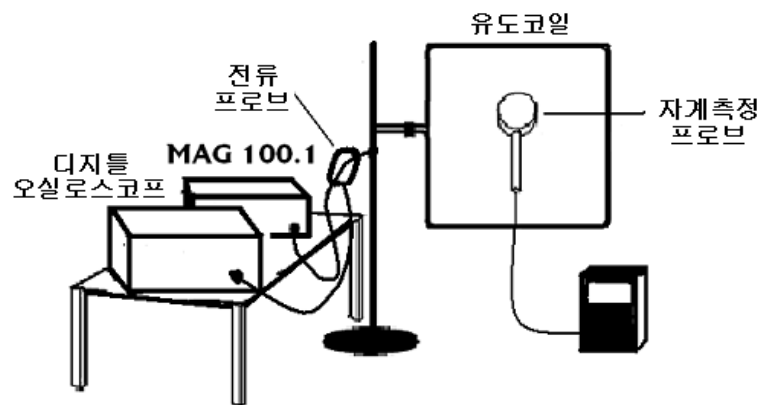


그림 7-2 유도코일의 코일인자 측정 장치

그림 7-2에서 자기장 시험 장비는 Haefely 사의 MAG 100.1 신호원과 유도 코일 구성 되어 있다. 코일에 흐르는 전류를 Pearson Electronics 사의 전류 프로브인 Model 3525와 Tektronix 사의 디지털 오실로 스코프인 TDS 694 C 를 이용하여 측정하고, 유도코일에서 발생하는 자기장은 Pulse 사의 PSMA 04를 이용하여 측정한다. Pearson Electronics 사의 전류 프로브인 Model 3525은 0.1 V/A의 전달 임피던스 특성을 지닌다.

나. 코일 인자 측정 식 모델링

그림 7-2의 실험 설비를 이용하여 전원 주파수 자체 내성 측정용 유도 코일의 코일 인자를 측정하기 위해서 식 (7-1)과 같이 모델링 하였다.

$$C_F = \frac{H_C}{I_C} = \frac{H_C}{Y_T V_r} \quad (7-1)$$

식 (5-1)에서

H_C : 전원 주파수 자체 시험 레벨

I_C : 유도코일에 흐르는 전류

Y_T : 전류 프로브의 전달 어드미턴스 (명목값 10)

V_r : 오실로 스코프의 읽은 값

이다.

식 (7-1)로 부터 코일인자 측정의 합성표준 불확도는 식 (7-2)와 같이 구해진다.

$$u_c(C_F) = [S_{H_C}^2 u_{H_C}^2 + S_{Y_T}^2 u_{Y_T}^2 + S_{V_r}^2 u_{V_r}^2 + u_D^2 + u_r^2]^{1/2} \quad (7-2)$$

식 (7-2)에서 S_{H_C} , S_{Y_T} 과 S_{V_r} 은 감도계수로

$$S_{H_C} = \frac{\partial C_F}{\partial H_C} = \frac{1}{Y_T V_r} = \frac{C_F}{H_C} \quad (7-3 \text{ a})$$

$$S_{Y_T} = \frac{\partial C_F}{\partial Y_T} = -\frac{H_C}{Y_T^2 V_r} = -\frac{C_F}{Y_T} \quad (7-3 \text{ b})$$

$$S_{V_r} = \frac{\partial C_F}{\partial V_r} = -\frac{H_C}{Y_T V_r^2} = -\frac{C_F}{V_r} \quad (7-3 \text{ c})$$

이다.

식 (7-2)에서 나머지 항들은 각 측정량의 표준 불확도로

u_{H_C} : 자계 측정 불확도

u_{Y_T} : 전류 프로브의 전달특성 측정 불확도

u_{V_r} : 오실로 스코프로 전압을 읽을 때 포함된 불확도

u_D : 전원 주파수 시험의 전압표시와 실제 측정되는 전압차에
기인하는 불확도

u_r : 반복 측정의 불확도(표준 편차)

가 된다.

다. 측정결과 및 불확도 산출

(1) 측정 결과 및 A형 불확도

전원 주파수 자기장 내성 측정용 유도 코일의 코일 계수를 측정하기 위하여

그림 7-2의 측정 시스템을 구성하고 표 7-1에 있는 자계 내성규격 각 레벨에서 코일에 흐르는 전류와 자계를 10회 반복 측정하여 식 7-1로부터 유도 코일의 코일 인자를 구하였다. 이로부터 표 7-1의 전원 주파수 자계 내성 시험 자기장 기준 중 하나인 1 A/m를 만족하는 코일 인자의 평균과 A형 불확도를 구하면 표 7-3과 같이 구해진다. 이와 같은 방법으로 표 7-1의 자기장 내성 규격의 다른 값에 대하여 평균과 A형 불확도를 구하여 정리하면 표 7-4와 같다.

표 7-3 코일 인자 측정 결과 (1 A/m)

n	C _F	n	C _F
1	0.830	6	0.836
2	0.836	7	0.833
3	0.831	8	0.835
4	0.838	9	0.831
5	0.832	10	0.830
평균	—	—	0.8332
실험표준편차	—	—	0.0029
A형 불확도	—	—	0.0009

표 7-4 코일 인자 측정 평균 및 A형 불확도

기준 자기장 코일인자	1 A/m	2 A/m	3 A/m	4 A/m	5 A/m
평균값	0.8332	0.8334	0.8331	0.8334	0.8333
A형 불확도	0.0009	0.0009	0.0010	0.0009	0.0010

(2) B형 불확도 산출

자계 측정기인 PSMA의 정확도가 3 %이다. 따라서 대칭 직각 확률 분포로 생각하면 $0.03/\sqrt{3}=0.0173$ 이 된다. 표 7-1에서 기준 자기장이 1 A/m인 경우 자계측정의 B형 불확도는 $u_{H_c}=1 \times 0.0173 = 0.0173$ 이 되고, 감도계수는 식 (7-3 a)에 의하여 $S_{H_c}=0.8332/1=0.8332$ 가 되어 코일 인자 측정 불확도에 자기장 측정 출확도에 의한 기여도는 $0.0173 \times 0.8332 = 0.0144$ 가 된다. 이와 같은 방법으로 표 7-1의 각 기준 자계에 대한 불확도 기여도를 산출하면 표 7-5와 같다.

코일에 흐르는 전류를 측정하기 위한 전류 프로브의 전류-전압 변환 정확도가 1 %이다. 따라서 대칭 직각 확률 분포로 생각하면 $0.01/\sqrt{3}=0.0058$ 이 된다. 따라서 표 7-1에서 기준 자기장이 1 A/m인 경우 전류 프로브의 전류-전압 변환에 기인하는 코일 인자 측정의 B형 불확도는 $u_{Y_r}=1 \times 0.0058 = 0.0058$ 이 되고, 감도계수는 식 (7-3 b)에 의하여 $S_{Y_r}=0.833/10=0.0833$ 이 되어 코일 인자 측정 불확도에 자기장 측정 출확도에 의한 기여도는 $0.0058 \times 0.0833=0.0005$ 가 된다. 이와 같은 방법으로 표 7-1의 각 기준 자계에 대하여 불확도 기여도를 산출하면 표 7-6과 같다.

측정에 사용한 오실로 스코프의 수직 정확도는 $\pm 1 \%$ 이기 때문에 기준 자계 1 A/m인 경우 약 120 mV 측정하게 된다. 따라서 오실로 스코프를 20 mV/Div 에서 측정하면 측정 오차는 $20 \text{ mV/Div} \times 8 \text{ Div} \times 1 \% = \pm 0.0016$ 이다. 따라서

표 7-5 자기장 측정 불확도에 의한 코일인자 측정 불확도

기준 자기장 측정값	1 A/m	2 A/m	3 A/m	4 A/m	5 A/m
S_{H_c}	0.8332	0.4167	0.2777	0.2084	0.1667
B형 불확도	0.0173	0.0346	0.0519	0.0692	0.0865
불확도 기여도	0.0144	0.0144	0.0144	0.0144	0.0144

표 7-6 전류 변환 프로브의 불확도에 의한 코일인자 측정 불확도

기준 자기장 측정값	1 A/m	2 A/m	3 A/m	4 A/m	5 A/m
S_{Y_T}	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833
B형 불확도	0.00577	0.0115	0.0173	0.0231	0.0289
불확도 기여도	0.0005	0.0010	0.0014	0.0019	0.0024

대칭 직각 분포의 확률 분포로 생각하면 오실로 스코프를 이용한 전압 측정의 B형 표준 불확도는 $u_{V_r} = 0.0016/\sqrt{3} = 0.0009$ 이다. 감도계수는 식 (7-3 c)에서 $S_{V_r} = 6.9433$ 이다. 따라서 기준 자계가 1 A/m일 때 오실로 스코프로 전류 감지기 출력 전압 측정에 의한 코일 계수 측정의 불확도 기여도는 $6.9433 \times 0.0009 = 0.0062$ 이다. 오실로 스코프의 수직감도는 표 7-1의 기준 자계가 2 A/m ~ 5 A/m 인 경우에는 100 mV/Div로 하였기 때문에 측정 오차는 0.012이다. 따라서 대칭 직각 분포의 확률 분포로 생각하면 오실로 스코프를 이용한 전압 측정의 B형 표준 불확도는 $u_{V_r} = 0.008/\sqrt{3} = 0.0046$ 이다. 표 7-1의 다른 기준 자계에 대하여 오실로 스코프의 전압 측정 불확도에 기인하는 B형 불확도를 계산하면 표 7-7과같이 구해진다.

표 7-7 오실로 스코프의 불확도에 의한 코일인자 측정 불확도

기준 자기장 측정값	1 A/m	2 A/m	3 A/m	4 A/m	5 A/m
S_{V_r}	6.9433	3.4725	2.3142	1.7363	1.3888
B형 불확도	0.0009	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046
불확도 기여도	0.0062	0.0160	0.0106	0.0080	0.0064

전원 주파수 자계 내성 측정에 이용되는 신호원 출력의 최대 변동이 최대가
 벼의 5 %로 80 %에서 동작한다고 하고 대칭 직사각형의 확률 분포를 가정하
 면 신호원의 변동에 의한 B형 불확도는 $u_D = 0.05 \times 0.8/\sqrt{3} = 0.0231$ 이다.
 감도계수는 실제 측정되는 코일인자 값이 되어 표 7-1의 기준 자기장 1 A/m에
 서 코일 인자가 0.8332이므로 신호원 출력 변동에 의한 코일인자 측정 불확도
 에 기여도하는 정도는 $0.8332 \times 0.0231 = 0.0192$ V이다. 표 7-1의 다른 기준
 자계에 대하여 불확도 기여도를 산출하면 표 7-8과 같이 구해진다.

표 7-8 자기 발생기 신호원의 출력 변동에 의한 코일인자 측정 불확도

기준 자기장 측정값	1 A/m	2 A/m	3 A/m	4 A/m	5 A/m
S_D	0.8332	0.8334	0.8331	0.8334	0.8333
B형 불확도	0.0231	0.0231	0.0231	0.0231	0.0231
불확도 기여도	0.0097	0.0193	0.0192	0.0193	0.0192

(3) 불확도 표현 및 교정 결과

전원 주파수 자계 내성 측정용 유도코일의 코일 인자를 교정하기 위하여 코
 일에 흐르는 전류와 코일에서 발생하는 자계를 표 7-1의 기준 값이 되도록 하
 여 측정하였다.

측정결과를 나타내는 표 7-4 ~ 표 7-8로부터 유도코일로부터 발생하는 자
 계의 세기가 1 A/m 인 경우 코일인자 측정의 합성 표준 불확도를 산출하면 표
 7-9과 같이 0.020이므로 확장 불확도는 95 %의 정규 확률 분포로 보면
 $2 \times 0.020 = 0.040$ 이 된다. 이 경우 유효 자유도는 식 (2-15)로 부터 2,194,787
 이 된다.

이와 같은 방법으로 표 7-1의 다른 기준 자계에 대하여 합성 표준 불확도를
 산출하고 확장 불확도 나타내면 표 7-10과 같이 구해진다.

표 7-10에서 불확도는 확장 불확도로 95 %의 정규 분포로 보아 포함인자 k=2를 적용한 것이다.

표 7-9 유도 코일의 코일 인자 측정 불확도 총괄표 (1 A/m)

양 (X_i)	추정값 (x_i)	표준 불확도 $u(x_i)$	확률분포	감도계수 (C_i)	불확도 기여도 $u_i(y)$
X_1	0.833	—	—	—	—
u_{H_c}	0	0.0173	직 각	0.8332	0.0144
u_{Y_T}	0	0.0833	직 각	0.00577	0.0005
u_{V_r}	0	0.0009	직 각	6.9433	0.0062
u_D	0	0.0231	직 각	0.8332	0.0097
u_r	0	0.0009	정 규	1	0.0009
I_p	1003	—	—	—	$u_c(y)=0.018$

표 7-10 유도 코일의 코일인자 측정결과

기준 자기장 측정값	1 A/m	2 A/m	3 A/m	4 A/m	5 A/m
평 균 [H/I]	0.833	0.833	0.833	0.833	0.833
확장 불확도	0.036	0.058	0.052	0.048	0.050

제 8 장 전압강하/순시정전 내성시험 설비 교정

제 1 절 용어의 정의

1. EMC 기본규격(ACEC, basic EMC standard)

EMC 측정시 모든 제품 및 시스템에 관련되고 적용할 수 있는 일반적이고 기초적인 규칙을 명시한 규격이며 제품 위원회의 참고문헌으로 제공된다.

2. (방해에 대한) 내성 (immunity to a disturbance)

전자기 방해에도 성능저하 없이 작동하는 장치, 장비 및 시스템의 성능이다.

3. 전압강하 (voltage dip)

(이 규격의 목적을 위해 사용된 정의). 전원 시스템에서의 급작스런 전압의 감소를 말하며 반주기로부터 수초에 이르는 짧은 시간 이후에 전압 회복이 따른다.

4. 순간정전 (short interruption)

일반적으로 1분을 넘지 않는 시간동안의 공급 전압의 소멸, 순간 정전은 100%의 전압 강하로 생각할 수 있다.

5. 전압변동 (voltage variation)

정격 전압보다 높거나 낮은 레벨까지의 공급전압의 완만한 변화, 변화의 지속시간은 주기와 관련하여 짧거나 길 수 있다.

6. 기능불량 (malfunction)

의도된 동작을 수행하지 않거나 의도되지 않은 동작을 수행하는 것이다.

제 2 절 전압 강하 및 순시 정전 내성시험

1. 시험의 목적

전압 강하, 순간 정전 및 전압 변동에 의하여 상당 16 A를 넘지 않는 저전압 전원 공급 회로망에 연결된 전기, 전자 장비의 내성 성능을 평가하는 것이다.

2. 시험 레벨

가. 전압 강하와 순간 정전 시험

전기, 전자제품의 경우 정격 전압에서 동작하는 것이 일반적이거나 동작중에 전압 변동이 급작스럽게 발생 할 수 있다. 이러한 현상은 주 전원의 위상 각 중 어느 곳에서도 발생할 수 있다.

전압 강하와 순간 정전의 시험레벨은 정격전압의 %로 0 %, 40 %와 70 %의 전압 강하와 이에 상응하는 100 %, 60 % 및 30 %의 순간 정전 등이다. 전압 강하와 순간 정전의 시험레벨이 표 8-1에 주어졌고, 한 예로 10 주기 동안 70 %의 전압 강하 모습을 그림 8-1에 나타내었다. 시험레벨과 지속 시간은 제품의 규격에 주어져야 한다. 표 8-1에서 0 %의 시험레벨은 전체 공급 전압의 전체 정전에 해당하고, 0 % ~ 20 %의 시험레벨은 전체적인 정전으로 생각할 수 있다.

표 8-1에 주어진 짧은 지속시간, 특히 반주기 동안의 시험은 피 시험장비가 의도된 성능으로 동작하는지를 확인하기 위하여 꼭 시험해야 한다.

나. 전압 변동 시험 (선택 사항)

전압 변동 시험은 정격 전압과 변한 전압 사이의 정의된 전이로 생각할 수 있으며, 전압 변화는 짧은 주기 동안 발생하고 부하의 변화나 국지적인 전원

표 8-1 전압 강하와 순간 정전에 대한 시험레벨과 지속시간

시험레벨 % U _T	전압 강하와 순간 정전 % U _T	지속시간 (주기 단위로)
0	100	0.5 ¹⁾ 1 5 10 25 X ²⁾
40	60	
70	30	
1) 0.5 주기의 시험은 양과 음의 극성으로 행하여 진다. 2) 미 결정 지속시간으로 제품의 규격에 주어질 수 있다.		

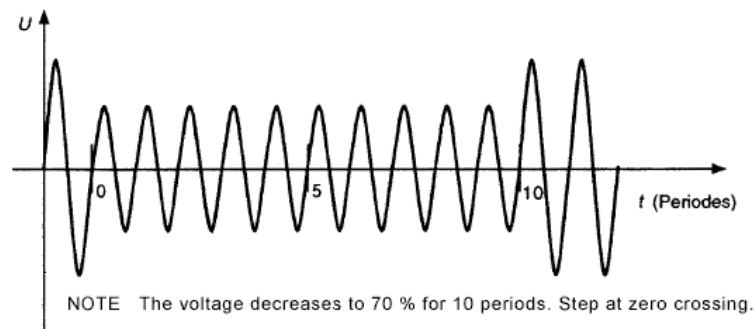


그림 8-1 전압 강하와 순간 정전 파형

시험 회로망의 변화에 기인한다.

그림 8-2는 시간의 함수로 전압 변동 모습을 나타내고, 표 8-2는 전압 변화의 지속 시간과 강하된 전압의 유지 시간에 대한 시험 레벨을 나타낸다.,

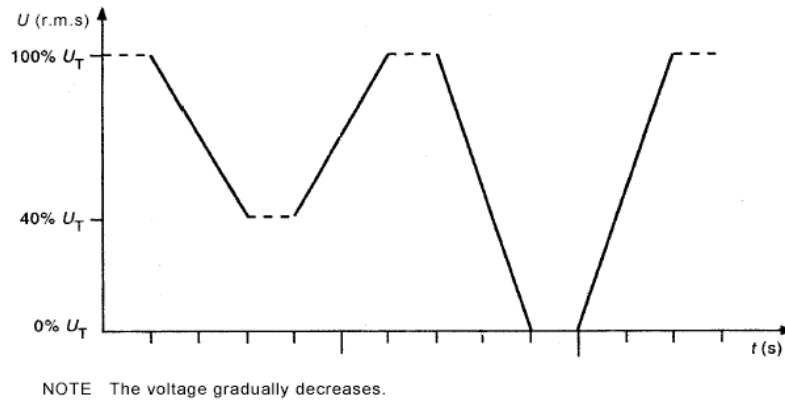


그림 8-2 전압 변동 파형

표 8-2 짧은 시간동안 공급되는 전압 변동 시간

전압 시험 레벨	감소하고 있는 전압에 대한 레벨	감소된 전압에서의 레벨	증가하고 있는 전압에 대한 레벨
40 % U_T	2 s \pm 20 %	1 s \pm 20 %	2 s \pm 20 %
0 % U_T	2 s \pm 20 %	1 s \pm 20 %	2 s \pm 20 %
	X	X	X
X : 미정의 지속시간으로 제품 규격에 주어진다.			

제 3 절 전압 강하 및 순시 정전 시험 발생기 교정

1. 교정할 내용

전압 강하 및 순시 정전 시험 발생기는 인증된 품질 보증 시스템에 따라 주기마다 재교정 되어야 한다.

전압 강하 및 순시 정전 발생기 교정은 표 8-1에서 5주기 동안과 25 주기 동안에서의 전압 변동 및 순시 정전과 전압 변동 주기이다.

2. 전압 강하 및 순시 정전 시험 발생기의 교정 방법

가. 교정 시스템

표 8-3의 전압강하 및 순시 정전 시험 발생기 교정항목을 측정하기 위하여 그림 8-3과 같은 교정 시스템을 구성하였다.

그림 8-3에서 전압 강하 및 순시 정전 시험 발생기는 Haefely 사의 Line interference test system인 PLINE 1610과 Three Phase switching unit인 PLS 1630의 조합으로 이루어져있고 고전압 프로브는 100:1로 감쇠시키는 Tektronix사의 모델 P5100이다. 오실로 스코프는 digital sampling oscilloscope로 Tektronix사의 TDS 724D이다.

나. 시험 발생기 전압특성 측정식 모델링

전압 강하 및 순시 정전 시험 발생기를 교정하기 위해서 그림 8-3과 같이 측정 시스템을 구성하였다. 이 측정 시스템에서 오실로 스코프에 읽히는 전압은 시험 발생기의 출력 전압을 고전력 프로브에서 1/100로 감쇠시킨 것이다. 오실로 스코프의 읽은 값으로부터 시험 발생기의 출력 전압을 구하기 위하여 식 (8-1)과 같이 측정 식을 모델링 하였다.

$$V_o = C V_r \quad (8-1)$$

식 (4-1)에서

V_r : 오실로스코프의 읽은값

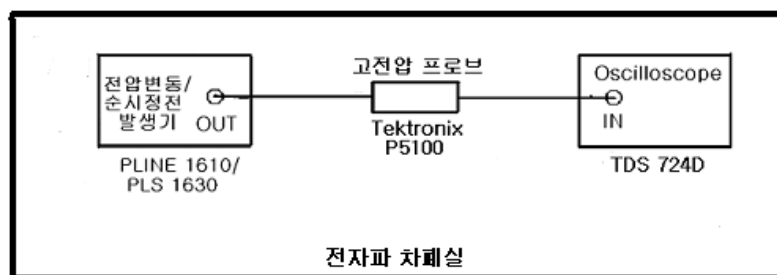


그림 8-3 전압 강하 및 순시 정전 발생기 교정 시스템

C : 고전압 프로브의 변환인자(명목값 100)

이다.

식 (8-1)로부터 전압변동 순시정전 시험 발생기의 출력 특성 측정의 합성 표준 불확도는 식 (8-2)와 같이 구해진다.

$$u_c(V_o) = [S_{V_r}^2 u_{V_r}^2 + S_C^2 u_C^2 + u_D^2 + u_r^2]^{1/2} \quad (8-2)$$

식 (4-2)에서 S_{V_r} 과 S_C 는 감도계수로

$$S_{V_r} = \frac{\partial V_o}{\partial V_r} = C = \frac{V_o}{V_r} \quad (8-3 \text{ a})$$

$$S_{C_A} = \frac{\partial V_o}{\partial C} = V_r = \frac{V_o}{C} \quad (8-3 \text{ b})$$

이다.

식 (8-2)에서 나머지 항들은 각 측정량의 표준 불확도로

- u_{V_r}, u_C : 오실로 스코프의 전압 읽은 값 및 고정 감쇠기의 감쇠량 측정시의 불확도,
- u_D : 시험 발생기에서의 전압표시와 실제 측정되는 전압차에 기인하는 불확도
- u_r : 반복 측정의 불확도(표준 편차)

이다.

3. 측정 결과 및 불확도 산출

가. 측정 결과 및 A형 불확도

전압 강하 및 순시 정전 시험 발생기의 특성을 교정하기 위하여 그림 8-3의 측정 시스템으로 시험 발생기의 출력이 $220\text{ V}_{\text{rms}}$ 인 경우 표 8-1에 주어진 각각 특성을 10회 반복 측정하였다. 오실로 스코프에서 읽히는 전압은 발생기의 출력에 고전압 프로브(변환인자 100)를 연결하였기 때문에 실제 출력 값의 1/100이다. 따라서 발생기로부터의 출력 전압은 전압은 식 (8-1)를 이용하여 계산하였다.

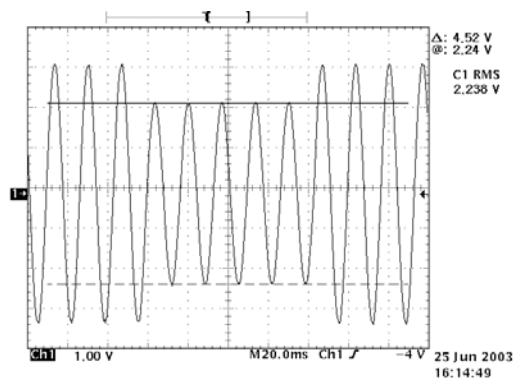
(1) 5 주기의 전압 강하 및 순시 정전 측정

5주기의 전압 강하 및 순시 정전 특성 측정 결과를 그림 8-4 ~ 그림 8-6에 표 8-1의 전압 강하 및 순시 정전 시험레벨에 따라 각각 나타내었다.

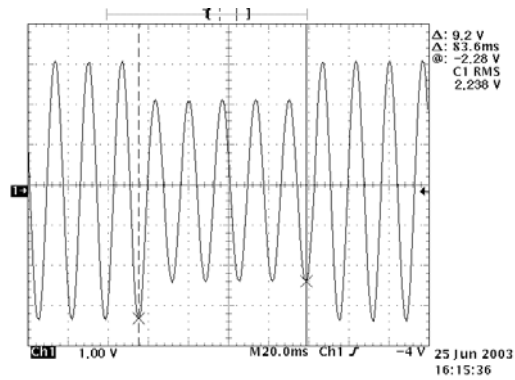
표 8-3은 시험 발생기의 출력을 $220\text{ V}_{\text{rms}}$ 로 했을 때 5 주기 동안 70 %의 시험 레벨을 나타낸 그림 8-4 (a)와 같은 파형을 10회 측정하여 구한 출력 전압의 평균값과 A형 불확도이다.

표 8-3 전압강하 및 순시정전 발생기의 출력전압 측정 (70 % 시험레벨)

n	V_o	n	V_o
1	159.8	6	155.7
2	154.8	7	152.4
3	152.5	8	156.7
4	155.2	9	155.2
5	158.0	10	153.4
평균	—	—	155.37
실험표준편차	—	—	2.351
A형 불확도	—	—	0.743



(a)

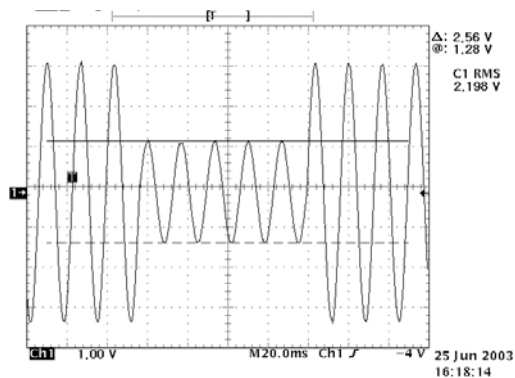


(b)

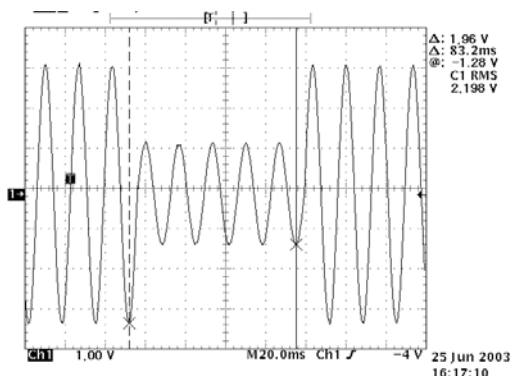
그림 8-4 5 주기 동안 70 % 시험레벨 측정 결과

(a) 전압 강하와 순간 정전 전압 측정

(b) 전압 강하와 순간 정전 전압 지속시간 측정



(a)

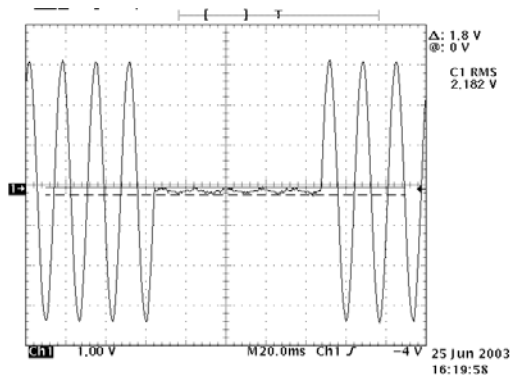


(b)

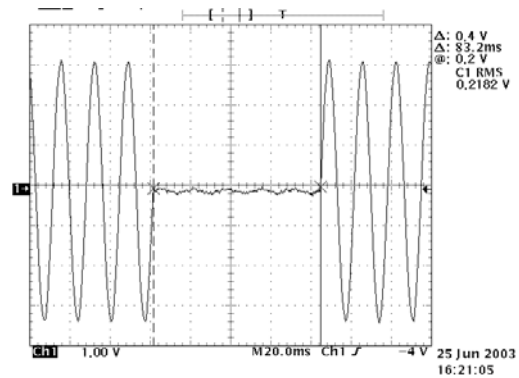
그림 8-5 5 주기 동안 40 % 시험레벨 측정 결과

(a) 전압 강하와 순간 정전 전압 측정

(b) 전압 강하와 순간 정전 전압 지속시간 측정



(a)



(b)

그림 8-6 5 주기 동안 0 % 시험레벨(순시 정전) 측정 결과

(a) 전압 강하와 순간 정전 전압 측정

(b) 전압 강하와 순간 정전 전압 지속시간 측정

표 8-3의 측정값은 실효값으로 그림 8-4의 (a)의 peak to peak 전압 값으로부터 산출하였다. 이와 같은 방법으로 측정 결과를 나타내는 그림 8-4 ~ 그림 8-6으로부터 각 시험레벨에 대한 평균값과 A형 불확도를 산출하면 표 8-4와 같이 구해진다. 표 8-4에서 5주기 평균값과 A형 불확도는 각 그림의 (b)로부터 산출한 것이다.

표 8-4 시험 발생기 출력의 5주기 전압 변동에 대한 평균과 A형 불확도

측정값	시험레벨					
	70 %		40 %		0 %(순시정전)	
	출력전압 [V]	5 주기 [ms]	출력전압 [V]	5 주기 [ms]	출력전압 [V]	5 주기 [ms]
평 균	155.37	83.22	87.23	83.21	6.32	83.24
A형 불확도	0.743	1.04	0.733	0.96	0.584	0.92

(2) 25주기의 전압 강하 및 순시 정전 측정

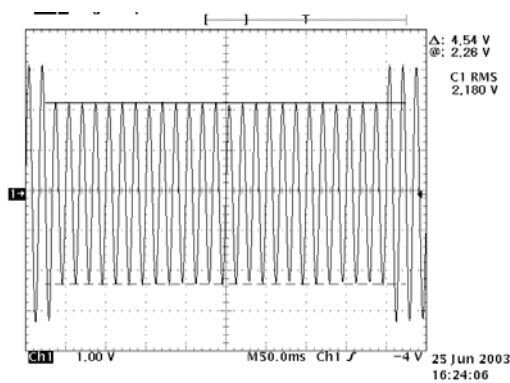
25주기의 전압 강하 및 순시 정전 특성 측정 결과를 그림 8-7 ~ 그림 8-9에 표 8-1의 전압 강하 및 순시 정전 시험레벨에 따라 각각 나타내었다.

표 8-5는 시험 발생기의 출력을 220 V_{rms}로 했을 때 25 주기 동안 70 %, 40 %와 0 %(순시정전)의 시험 발생기 시험레벨을 나타낸 그림 8-7 ~ 그림 8-9과 같은 파형을 10회 측정하여 각 전압 강하된 전압과 25주기에 대한 평균 값과 A형 불확도를 산출한 결과 이다.

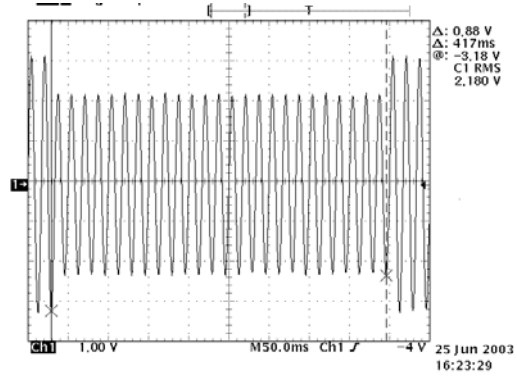
표 8-5의 전압 변동값은 실효값으로 각 그림의 (a)로 부터 peak to peak 전압 값으로부터 산출하였고, 25 주기는 각 그림의 (b)로부터 산출한 것이다.

표 8-5 시험 발생기 출력의 25주기 전압 변동에 대한 평균과 A형 불확도

측정값	시험레벨					
	70 %		40 %		0 %(순시정전)	
	출력전압 [V]	25 주기 [ms]	출력전압 [V]	25 주기 [ms]	출력전압 [V]	25 주기 [ms]
평 균	156.05	415.00	87.90	415.87	7.011	416.12
A형 불확도	0.725	0.96	0.738	1.04	0.527	1.22



(a)

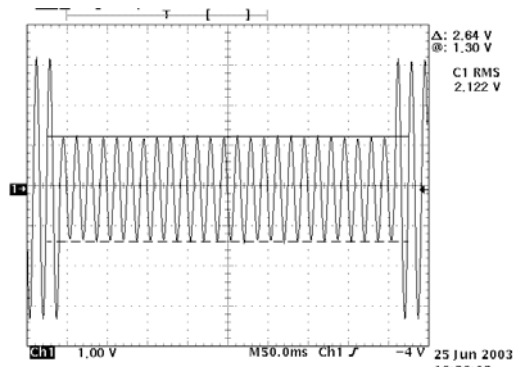


(b)

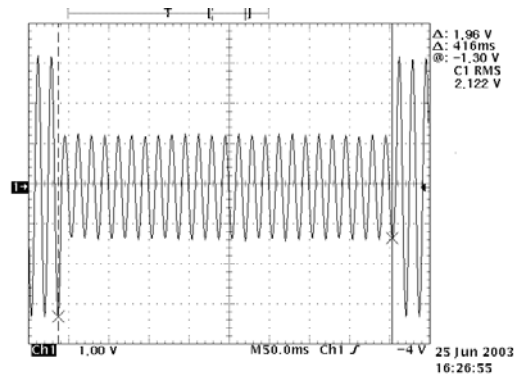
그림 8-7 25 주기 동안 70 % 시험레벨 측정 결과

(a) 전압 강하와 순간 정전 전압 측정

(b) 전압 강하와 순간 정전 전압 지속시간 측정



(a)

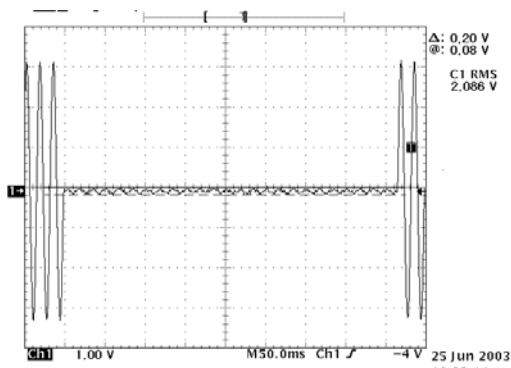


(b)

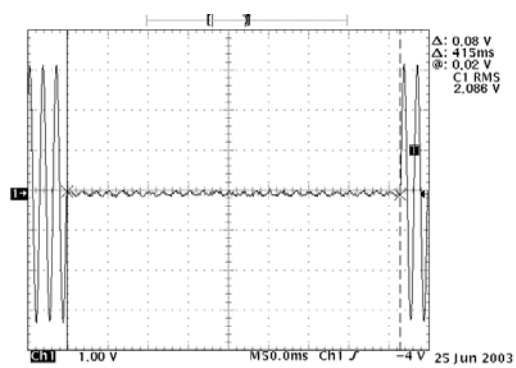
그림 8-8 25 주기 동안 40 % 시험레벨 측정 결과

(a) 전압 강하와 순간 정전 전압 측정

(b) 전압 강하와 순간 정전 전압 지속시간 측정



(a)



(b)

그림 8-9 25 주기 동안 0 % 시험레벨(순시정전) 측정 결과

(a) 전압 강하와 순간 정전 전압 측정

(b) 전압 강하와 순간 정전 전압 지속시간 측정

(3) 전압 변동 및 순간 정전 시험 발생기 출력 측정

그림 8-4(a)로부터 출력 전압은 $223.8 V_{rms}$ 이다. 이를 10회 반복 측정하고, 그림 8-4 (b)로부터 1 주기는 $59.81 Hz$ 에 해당한다. 이를 10회 측정하여 구한 출력 전압의 평균과 A형 불확도는 표 8-6과 같이 출력 전압의 평균은 $219.41 V_{rms}$ 이고 A형 불확도는 $0.727 V_{rms}$ 이다. 이와 같은 방법으로 출력 신호의 주파수를 구하면 평균이 $59.93 Hz$ 이고 A형 불확도는 $0.21 Hz$ 로 측정된다.

표 8-6 전압강하 및 순시정전 발생기의 출력전압 측정 (100 % 시험레벨)

n	V_o	n	V_o
1	223.8	6	219.7
2	218.8	7	216.5
3	216.8	8	220.7
4	219.2	9	219.2
5	222.0	10	217.4
평균	—	—	219.41
실험표준편차	—	—	2.298
A형 불확도	—	—	0.727

가. 합성 표준 불확도

전압 강하 및 순시 정전 시험 발생기의 출력 특성 측정 결과로 부터 시험 발생기의 출력이 $220 V$ 일 때 표 8-1에서 요구하는 기준량을 측정할 때 포함된 합성 불확도에 대하여 고찰해보자.

(1) 100 % 시험 레벨의 출력 전압

전압 강하 및 순시 정전 시험 발생기의 출력 전압 $220 V_{rms}$ 를 그림 8-3의 측정 시스템으로 교정 하는 경우 시험 발생기의 출력에 고전압 프로브의 감쇠율이 100이므로 오실로 스코프에 읽히는 전압은 약 $2.2 V_{rms}$ ($6.22 V_{p-p}$)이다. 측정에 사용한 오실로 스코프의 수직 정확도가 $\pm 1.0 \%$ 이기 때문에 오실로 스코

프를 1 V/Div에서 측정하면 측정 오차는 $1 \text{ V/Div} \times 8 \text{ Div} \times 1.0 \% = \pm 0.08$ 이다. 따라서 대칭 직각 분포의 확률 분포로 생각하면 전압 측정의 B형 표준 불확도는 $u_{V_r} = 0.08/\sqrt{3} = 0.0462$ 이다. 따라서 $220 \text{ V}_{\text{rms}}$ 측정의 B형 표준 불확도는 $u_{V_r} = 0.0462/2\sqrt{2} = 0.0163$ 이다. 감도계수는 식 (8-3 a)에서 $S_{V_r} = C = 100$ 으로 구해지기 때문에 오실로 스코프로 $220 \text{ V}_{\text{rms}}$ 의 전압 강하 및 순시정전 시험 발생기의 출력 전압을 측정할 때 오실로 스코프의 측정 불확도 기인하는 불확도 기여도는 $100 \times 0.063 = 1.63$ 이다.

식 (8-1)에서 C_A 는 전압 강하 및 순시 정전 시험 발생기의 출력에 연결한 고전압 프로브의 변환 인자를 나타낸다. 이 고전압 프로브의 변환 오차가 1 %이다. 대칭 직각 분포의 확률 분포로 보면 $u_C = (100 \times 0.01)/\sqrt{3} = 0.577$ 이 된다. 또한 감도계수는 시험 발생기의 출력 전압이 $220 \text{ V}_{\text{rms}}$ 인 경우 $S_C = V_r = 2.20$ 이다. 따라서 감쇠량 측정 불확도가 전압강하 및 순시정전 시험 발생기의 출력전압 측정 불확도에 기여하는 정도는 $2.20 \times 0.577 = 1.270$ 이다.

전압강하 및 순간 정전 시험 발생기의 출력 변화에 기인하는 B형 불확도에 대하여 고찰하여 보자. 시험 발생기의 출력 변화가 3 %로 대칭 직사각형 형태의 확률분포로 보면 표준 불확도는 $u_D = 0.03/\sqrt{3} = 0.0173 \text{ V}$ 이다. 따라서 시험 발생기의 출력 전압 변동에 기인하는 불확도 기여도는 시험 발생기의 출력 전압이 220 V 인 경우 $220 \times 0.0173 = 3.806$ 이다.

표 8-6의 A형 불확도와 위에서 구한 B형 불확도를 이용하여 합성 표준 불확도를 구하면 표 8-7과 같이 구해진다.

(2) 5주기 시험레벨

위와 같은 방법으로 70 %, 50 % 및 0 %(순시 정전)시 합성 표준 불확도를 구하면 표 8-8 ~ 표 8-10과 같이 구해진다.

(3) 25주기 시험레벨

위와 같은 방법으로 70 %, 50 % 및 0 %(순시 정전)시 합성 표준 불확도를 구하면 표 8-11 ~ 표 8-13과 같이 구해진다.

표 8-7 전압강하 및 순간정전 시험 발생기의 출력전압 측정의 불확도 총괄표

양 (X_i)	추정값 (x_i)	표준 불확도 $u(x_i)$	확률분포	감도계수 (C_i)	불확도 기여도 $u_i(y)$
X_1	219.41	—	—	—	—
u_{V_r}	0	0.0163	직 각	100	1.63
u_C	0	0.577	직 각	2.2	1.270
u_D	0	0.0173	직 각	220	3.806
u_r	0	0.727	정 규	1	0.727
V_o	219.41	—	—	—	$u_c(y)=4.391$

표 8-8 5주기 70 % 시험레벨 측정의 불확도 총괄표

양 (X_i)	추정값 (x_i)	표준 불확도 $u(x_i)$	확률분포	감도계수 (C_i)	불확도 기여도 $u_i(y)$
X_1	155.37	—	—	—	—
u_{V_r}	0	0.0102	직 각	100	1.02
u_C	0	0.577	직 각	1.54	0.889
u_D	0	0.0173	직 각	154	2.664
u_r	0	0.743	정 규	1	0.743
V_o	155.37	—	—	—	$u_c(y)=3.079$

표 8-9 5 주기 40 % 시험레벨 측정의 불확도 총괄표

양 (X_i)	추정값 (x_i)	표준 불확도 $u(x_i)$	확률분포	감도계수 (C_i)	불확도 기여도 $u_i(y)$
X_1	87.23	—	—	—	—
u_{V_r}	0	0.0061	직 각	100	0.61
u_C	0	0.577	직 각	0.88	0.508
u_D	0	0.0173	직 각	88	1.522
u_r	0	0.733	정 규	1	0.733
V_o	87.23	—	—	—	$u_c(y)=1.867$

표 8-10 5주기 0 % 시험레벨 측정의 불확도 총괄표

양 (X_i)	추정값 (x_i)	표준 불확도 $u(x_i)$	확율분포	감도계수 (C_i)	불확도 기여도 $u_i(y)$
X_1	6.32	—	—	—	—
u_{V_r}	0	0.0061	직 각	100	0.61
u_C	0	0.577	직 각	0.063	0.0364
u_D	0	0.0173	직 각	6.32	0.109
u_r	0	0.584	정 규	1	0.727
V_o	6.32	—	—	—	$u_c(y)=0.956$

표 8-11 25주기 70 % 시험레벨 측정의 불확도 총괄표

양 (X_i)	추정값 (x_i)	표준 불확도 $u(x_i)$	확율분포	감도계수 (C_i)	불확도 기여도 $u_i(y)$
X_1	156.05	—	—	—	—
u_{V_r}	0	0.0102	직 각	100	1.02
u_C	0	0.577	직 각	1.54	0.889
u_D	0	0.0173	직 각	154	2.664
u_r	0	0.725	정 규	1	0.725
V_o	156.05	—	—	—	$u_c(y)=3.075$

표 8-12 25주기 40 % 시험레벨 측정의 불확도 총괄표

양 (X_i)	추정값 (x_i)	표준 불확도 $u(x_i)$	확율분포	감도계수 (C_i)	불확도 기여도 $u_i(y)$
X_1	87.90	—	—	—	—
u_{V_r}	0	0.0061	직 각	100	0.61
u_C	0	0.577	직 각	0.88	0.508
u_D	0	0.0173	직 각	88	1.522
u_r	0	0.738	정 규	1	0.738
V_o	87.90	—	—	—	$u_c(y)=1.868$

표 8-13 25주기 0 % 시험레벨 측정의 불확도 총괄표

양 (X_i)	추정값 (x_i)	표준 불확도 $u(x_i)$	확률분포	감도계수 (C_i)	불확도 기여도 $u_i(y)$
X_1	7.011	-	-	-	-
u_{V_r}	0	0.0061	직 각	100	0.61
u_C	0	0.577	직 각	0.070	0.040
u_D	0	0.0173	직 각	7.011	0.121
u_r	0	0.527	정 규	1	0.527
V_o	7.011	-	-	-	$u_c(y)=0.816$

전압 강하 및 순시 정전 시험 발생기의 출력 전압 특성 측정에 이용한 오실로 스코프인 Tektronix 사의 TDS 724D의 시간 간격 측정 불확도는 $u_i = (0.15/\text{sample rate}) + (25 \text{ ppm} \times \text{reading})$ 이다. 5 주기 지속시간과 25 주기 지속시간 측정의 경우 sample rate가 각각 2.5 ks/s 와 1 ks/s 이고, 오실로 스코프의 읽는 값이 각각 83.3 ms와 416.6 ms이다. 따라서 5 주기 지속시간 측정의 표준 불확도는 $u_i = 0.0621 \text{ ms}$ 이고 25 주기 지속시간 측정의 표준 불확도는 $u_i = 0.16 \text{ ms}$ 이다.

나. 불확도 표현 및 교정 결과

표 8-1에 주어진 전압 강하 및 순시 정전 시험 발생기의 출력 전압 특성을 그림 8-3과 같은 교정 시스템으로 5주기와 25 주기에서 10회 반복 측정하여 구한 평균값과 합성 표준 불확도를 표 8-4 ~ 표 8-13에 나타내었다. 이로부터 전압 강하 및 순시 정전 시험 발생기의 교정 결과를 표 8-14에 나타내었다. 표 8-14에서 불확도는 측정결과가 95 %내의 정규 분포를 한다고 보고 $k=2$ 인자를 적용하여 산출한 것이다.

전압강하 및 순시정전 시험 발생기 출력전압 지속시간 측정 불확도는 반복 측정에 의한 A형 불확도(u_r)와 측정에 이용된 오실로 스코프인 TDS 724D의 장비 오차(u_i)로 식 (8-4)와 같이 표현된다. 반복 측정에 의한 A형 불확도는 표 8-4와 표 8-5에 기록되어있으며, 오실로 스코프에 의한 B형 불확도는 측정에 이용한 TDS 724D의 시간 간격 측정 표준 불확도로 가절로부터 5 주기 지속시

표 8-14 전압강하 및 순시정전 시험 발생기 출력전압 교정 결과 (220 V_{rms})

측정값	220 V _{rms} 출력 전압측정	5 주기의 시험레벨			25 주기의 시험레벨		
		70 %	40 %	0 %	70 %	40 %	0 %
평 균	219.41	155.37	87.23	6.32	156.05	87.90	7.011
확장 불확도 (k=2)	8.78	6.16	3.73	1.91	6.15	3.74	1.63

간 측정의 표준 불확도는 $u_i = 0.0621$ ms 이고 25 주기 지속시간 측정의 표준 불확도는 $u_i = 0.16$ ms 이다. 따라서 식 (8-4)를 이용하여 주기에 대한 불확도를 구하면 표 8-15와 같다.

$$u_c(t_r) = [u_r^2 + u_i^2]^{1/2} \quad (8-4)$$

표 8-15 전압강하 및 순시정전 시험 발생기 주기 교정 결과 (220 V_{rms})

측정값	0 %의 전압 강하 [ms]	5 주기의 시험레벨			25 주기의 시험레벨		
		70 % [ms]	40 % [ms]	0 % [ms]	70 % [ms]	40 % [ms]	0 % [ms]
평 균	16.77	83.22	83.21	83.24	415.00	415.87	416.1 2
확장 불확도 (k=2)	0.13	2.08	1.92	1.84	1.95	2.08	2.46

제 9 장 결 론

본 연구를 통하여 전파법으로 시행 중인 전자파 보호시험 (내성시험) 항목 중 다음의 EMS 시험 6개 항목의 측정 장비 및 장치에 대한 교정방법과 불확도 산출 방법을 ISO, IEC 및 CISPR 등의 국제 기준에 맞추어 확립하였다.

1. 정전기 방전 내성시험 (KN61000-4-2) : 정전기 시험발생기 교정법 확립
 - 양과 음의 출력 전류에 대한 침투 전류, 30 ns와 60 ns 지점의 전류, 상승시간 (t_r) 측정 방법 및 측정 불확도 산출
2. 전기적 빠른 과도현상 내성 시험 (KN61000-4-4) : EFT/Burst 시험 발생기 교정법 확립
 - 양과 음의 출력 전압에 대한 침투 전압, 임펄스 상승시간, 임펄스와 버스트 지속시간, 임펄스 반복율, 버스트 주기 등의 측정 방법 및 측정 불확도 산출
3. 서지 내성 시험 (KN61000-4-5) : 서지 시험 발생기 교정법 확립
 - 조합파형 시험 발생기 : 양과 음의 출력 전압과 전류에 대한 침투값, 전시간 및 절반치 시간 측정 방법 및 측정 불확도 산출
 - CCITT 시험 발생기 : 양과 음의 출력 전압에 대한 침투 전압, 전시간 및 절반치 시간 측정 방법 및 측정 불확도 산출
4. 전자파 전도 내성시험 (KN61000-4-6) : 감결합 회로망의 교정방법 확립
 - 결합 감결합 회로망의(CDN) 공통모드 임피던스와 삽입 손실 측정 방법 및 측정 불확도 산출
5. 전원 주파수 자계 내성 시험 (KN61000-4-8) : 유도 코일 교정방법 확립
 - 유도 코일의 코일계수 측정법 및 측정 불확도 산출
6. 전압강하 및 순시정전 내성 시험 (KN61000-4-11) : 시험 발생기 교정법 확립
 - 출력 변동 전압과 전압 변동주기의 측정법 및 측정 불확도 산출

본 연구를 통하여 전자파 내성 측정용 시험 장비 및 장치의 교정 기술 확보로 대외 교정지원을 통한 민원 해결의 기틀을 마련할 수 있고, 국가간 또는 지역간 활발히 논의되고 있는 상호 인정협정(MRA)등의 기술적 문제를 대비하는 기반 기술로 활용 가능하리라 본다.

참 고 문 헌

- [1] ISO/IEC 17025, "General Requirements for the competence of Testing and Calibration and Testing Laboratory, 2000
- [2] International Organization for Standardization (ISO), "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", 1993
- [3] 한국표준과학연구원, "측정 불확도 표현 지침(KRISS Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement)" 1998
- [4] EA-4/02, "Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration", 1999
- [5] CISPR 16-4, "Uncertainty in EMC measurements", 2002
- [6] LAB-34, "The Expression of Uncertainty in EMC Testing", 2002
- [7] Tim Williams, and Stan Baker, "Uncertainties of immunity measurements", DTI-NMSPU project R2.2b1 of ELMAC
- [8] 송양섭 외, "최고측정능력 평가방법 확립시행 (Evaluation of the Best Measurement Capability", KRISS/IR-2001-021, Dec., 2000
- [9] 전파연구소 고시 제2000-183호 전자파보호시험방법 " 정전기 방전 내성 시험(KN61000-4-2)", oct. 2000
- [10] 전파연구소 고시 제2000-183호 전자파보호시험방법 " 전기적 빠른 과도 현상 내성 시험(KN61000-4-4)", oct. 2000
- [11] 전파연구소 고시 제2000-183호 전자파보호시험방법 " 서지 내성 시험 (KN61000-4-5)", oct. 2000
- [12] 전파연구소 고시 제2000-183호 전자파보호시험방법 " 전자파 전도 내성 시험(KN61000-4-6)", oct. 2000
- [13] 전파연구소 고시 제2000-183호 전자파보호시험방법 " 전원 주파수 자체 내성 시험 (KN61000-4-8)", oct. 2000
- [14] 전파연구소 고시 제2000-183호 전자파보호시험방법 " 전압 강하 및 순시 정전 내성 시험(KN61000-4-11)", oct. 2000
- [15] 정 낙삼 외, "전자기내성 평가 및 대책기술개발", KRISS-95-083-IR, April, 1995
- [16] 정 낙삼 외, "전자파장해 측정사업", KRISS-97-021-IR, Jan., 1997

주 의

1. 이 연구보고서는 전파연구소의 연구개발사업비 재정 지원으로 이루어진 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 전파연구소 연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다