

제 출 문

본 보고서를 「정보기기 전도성 고출력 전자파 보호
방법 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2015. 11. 20.

연구책임자 : 민 경 령 (한국전파진흥협회)

연 구 원 : 김 지 수 (한국전파진흥협회)

장 관 석 (한국전파진흥협회)

이 영 일 (한국전파진흥협회)

연구보조원 : 이 열 (한국전파진흥협회)

오 세 빈 (한국전파진흥협회)

요 약 문

1. 과 제 명 : 정보기기 고출력 전자파 보호방법 연구
2. 연 구 기 간 : 2015. 06. 03. ~ 2015. 11. 20
3. 연구책임자 : 민 경 령 (한국전파진흥협회 EMP대응팀장)
4. 계획 대 진도

가. 월별 추진내용

세부연구내용	연구자	월별 추진일정						비 고
		6	7	8	9	10	11	
○ 전도성안전성평가기준 및 시험방법 분석 - 시험방법 분석	김지수 장관석							
○ 측정환경조사 및 기술이전방안 마련 - 측정시험 공동수행 - 측정환경 조사	이영일 이 열							
○ 현장시험 대체 가능성 분석 - 비교시험 공동수행 - 대체가능성 분석	이영일 오세빈							
○ 세부절차 마련 - 절차서 마련	김지수 장관석							
○ 최종보고서 제출 - 환경 분석결과, 절차서, 시험 대체가능성	김지수 이영일							
분기별 수행진도 (%)		40%		40%		20%		

나. 세부 과제별 추진사항

1) 전도성 안전성평가 기준 및 시험방법 분석

- 국립전파연구원 고시 제2014-20호 『고출력·누설 전자파 안전성 평가기준 및 방법 등에 관한 고시』 중 전도성평가 관련 기준 검토 및 참고문헌 연계표준에 대한 조사·분석
- 고시에서 인용한 표준에 따른 평가절차 수립 및 측정환경조사
- 평가기준에 대한 신뢰도 확보를 위해 측정 및 장비관련 전문가 자문 병행

2) 측정환경 조사 및 전도성 안전성평가 기술 이전방안 마련

- 국립전파연구원 평가담당자의 숙련도 확보를 위한 다양한 측정 환경 모델 도출 및 세부시험 수행
 - 입력케이블 길이에 따른 비교시험
 - 출력케이블 길이에 따른 비교시험
 - 전류센서 위치 가변 시험
 - 입력케이블 종류에 따른 비교시험
 - 입력케이블 간 교차 및 중첩에 따른 영향 분석 시험
- 세부절차 마련을 위한 단펄스, 중펄스, 충전선펄스에 대한 시험 진행 및 EMP시공·유지보수 현장조사를 병행

3) 현장시험 대체 가능성분석

- 효율적인 안전성 평가방안 마련을 위해 측정관련 전문가 의견수렴 및 표준 절차시험을 통한 대체시험 실효성 확보

5. 연구결과

1) 전도성 안전성평가 기준 및 참고 문헌 분석

- IEC 61000 Series를 통한 EMP침투경로 및 방호대책 분석
 - 전도성 침투경로 대책
 - EMP 필터의 회로 구성
 - 과전압방전소자(MOV, GDT) 분석

- 국립전파연구원 고시 및 MIL-STD-188-125-1 부록B PCI(Pulse Current Injection) 시험절차 분석
 - 자체 시험절차 수립
 - 미 군사 규격 및 북대서양 조약기구, 국제 전기기술위원회 규격 분석
- 문헌 분석에 따른 자체 시험절차 방법 수립 및 관련 전문가를 통한 검토·자문

2) 측정환경 조사 및 분석

- 입력케이블의 길이 변화(20cm~200cm)에 따른 최대전류, 상승시간, 반치폭 결과값 비교 분석
 - 입력케이블의 길이가 증가할수록 L(인덕턴스)값이 상승하여 상승시간 및 반치폭이 증가함을 확인
 - 시험 진행시 유효한 입력케이블의 길이(40cm이하) 도출
- 출력케이블의 길이 변화(40cm~200cm)에 따른 잔류전류의 최대 전류, 최대상승률, Root Action 결과값 비교 분석
 - 출력케이블 길이는 시험환경에 영향이 거의 없음을 도출
- 고정 및 잔류전류 측정시 전류센서의 위치(15cm~200cm)에 따른 결과값 변화 비교 분석
 - 고시내용과 타 규격에 명시된 전류센서 고정 위치(인입점 보호장치로부터 15cm 이내)에 대한 유효성확인
 - 잔류 전류센서의 위치에 따른 영향이 거의 없음을 도출
- 입력케이블의 종류(일반케이블, 실리콘 케이블, 이중실드 고무케이블, RF케이블)에 따른 결과값 비교 분석
 - 케이블과 접지면의 결과값 영향 분석을 통한 절연파괴가 일어나는 케이블(일반케이블, 실리콘 케이블) 도출
 - 입력케이블이 접지면과 이격되어 있을 때 입력케이블 종류에 따른 영향은 거의 없음을 도출

- 입력케이블 두께(일반케이블 4SQ, 6SQ, 10SQ, 16SQ) 비교 분석
 - 입력케이블의 면적에 따른 결과 값 비교시험 수행
 - 케이블 길이가 두꺼워 질수록 반치폭과 상승시간이 줄어들었으며 4SQ 케이블을 사용 할 때 보다 16SQ케이블을 사용할 때 요구기준 충족용이
- 필터 접지상태비교
 - 필터의 접지 상태에 따른 잔류전류의 영향성분석을 위해 필터 함체의 접지가 좋을 때와 좋지 않을 때, 접지를 실시하지 않았을 때 비교시험 수행
 - 접지가 좋을 때와 접지상태가 불량할 때 거의 영향성이 없음 접지를 실시하지 않았을 때 고전압방전소자에서 방전되지 못한 전류가 잔류전류에 영향을 주어 계측기상 오류 발생

3) 현장시험 대체가능성분석

- 현장시험 구성시 시험장시험과 달라지는 요소 분석
 - 입·출력 케이블 길이와 입력케이블이 함체면과 맞닿아 절연과 파괴가 일어나 파형이 측정 불가
 - 시험장 시험과 현장시험의 입력케이블 길이를 각각 50cm와 1500cm로 가정하여 비교 실시
 - 케이블길이가 길어짐에 따라 입력전류가 감쇄되어 잔류전류 요구기준을 만족하기 용이함

4) 전도성 안전성 평가를 위한 세부절차서 작성

- 국립전파연구원 고시내용과 미 국방성 규격을 기준에 따른 시험 절차 내용 반영
- 측정환경 조사 결과를 반영하여 전도성 안전성 평가를 위한 장비 구성 및 상세 배치방법에 대한 세부 내용 작성
- 세부절차서에 시험환경 분석에 따른 유의사항 반영
 - 전류센서 및 계측기 등 사용자 유의사항 기술

6. 기대효과

1) 시험환경 분석

- 시험 환경을 사전 분석함으로써 시험시 고려할 환경오차를 최소화하여 정확한 시험 수행 가능

2) 현장시험 대체가능성 분석

- 현장에서 수행하는 전도성 안전성 평가를 대체하여 시험장 시험 대체 가능성 분석으로 향후 고시 개선에 효과

3) 전도성 안전성 평가 세부절차서 마련

- 환경 및 개인오차를 최소화하고 시험방법을 정형화하여 신뢰성 있는 시험 수행 가능

7. 기자재 사용 내역

시설·장비명	규격	수량	용도	보유현황	확보방안	비고
○ 전자파 차폐실	10kHz~1GHz 80dB이상 3×3m	1	전도성 안전성 평가 시험측정	한국 표준 과학 연구원	유상임대	
○ 전도성 안전성 시험평가 장비		1		국립 전파 연구원 & 한국 표준 과학 연구원	유상임대	
- 단펄스 발생기	≤ 1KA, ≤ 5KA					
- 중펄스 발생기	≤ 250A					
- 충전전펄스 발생기	≤ 400A					
- 오실로스코프	sampling late 2GHz/ 4CH					
- 전류프로브	MAX Peak 1000/10000					
○ 전도성 방호장치	전원선 신호선	1		국립 전파 연구원	무상임대	
○ 시험재료 및 공구	Set	1		-	재료구매	

최종보고서 초록

국문 초록

이 보고서는 전도성 고출력 전자파 안전성 평가 수행 시 고려사항과 세부절차에 대한 연구결과이다. 1장은 연구배경 및 전도성 평가에 대한 개요를 다루었다. 2장은 전도성 안전성 평가 수행시 영향을 줄 수 있는 환경요소를 분석하였다. 3장은 현재 현장에서 수행되는 전도성 안전성 평가 시험장 시험 대체 가능성에 대해 분석하였다. 4장은 전도성안전성 평가의 세부 시험 절차서를 기술하여 개인오차를 최소화하고 정형화된 시험방법으로 시험의 신뢰성을 확보하기 위하여 작성하였다. 장비를 운용하면서 발생 할 수 있는 문제점을 대처하고 시험자 변경시에도 안정적으로 시험을 수행 가능하도록 세부적으로 작성하였다.

영문 초록

This report is a research result of considerations and specific procedures of Conducted Electromagnetic Pulse safety assessment(Pulse Current Injection test). Chapter 1 includes the research background and the Pulse Current Injection test. In chapter 2 and 3, respectively, we analyzed environmental factors from Pulse Current Injection test and whether Pulse Current Injection field test can be replaced with Pulse Current Injection laboratory test or not. In Chapter 4, a specific procedures for Pulse Current Injection test was written to minimize personal error and to satisfy the reliability for the test. This report was written in detail so that testers can resolve problems while operating equipment and perform the test even though others use it.

색 인 어	한글	전도성 안전성 평가, 펄스발생기, 고출력전자기파 시험
	영문	PCI, Pulse Current Injection, HEMP Test

SUMMARY

제 1 장 서 론

o 연구의 배경

- 고출력 전자파는 강력한 전자기 펄스를 발생시켜 전기·전자기기의 물리적 파괴 및 오작동 유발
- 중요한 전력 계통시설이나 통신체계 등을 마비시킬 수 있으며 방대한 영역에 걸쳐 물리적으로 파괴된 장비의 복구에는 많은 비용과 시간 소요됨
- 피해를 막기 위하여 사전에 위협을 인식하고 방호대책 수립 필요
- 국내의 경우 '14.6월 전파법 개정에 따라 고출력·누설 전자파 안전성 평가에 대한 법률이 신설 되었고 이에 따른 안전성 평가를 위한 세부 기준에 대한 고시가 '14.12월 국립전파연구원에 의해 제정
- 지속적으로 고시 개정에 대한 연구가 이루어지고 있으며 장비도입에 따라 세부절차 및 시험환경에 대한 분석 필요

o 연구개요

- 고출력전자파 침투경로는 구조적으로 개방된(문, 통풍구 등) 경로를 통해 침투되는 복사성침투와 전기적으로 개방된(전원선, 신호선 등) 전도성침투로 분류
- 전도성 침투 방호는 선로의 용도에 따라 방호방법이 달라지나 전체적인 프로세스는 고전압 방전소자를 이용하여 고전압 펄스를 접지로 방전시켜 내부로 인가되지 못하는 원리
- 전도성침투 방호소자가 정상적인 동작을 하는지 내성 및 특성을 평가하는 시험을 전도성 안전성 평가라고 칭함
- 전도성 안전성 평가 방법 고시를 통해 시험절차 및 허용기준 분석

제 2 장 시험환경 분석

o 시험환경 분석의 필요성

- 시험환경 분석의 목적은 환경에 의한 오차로 시험 결과가 달라지는 것을 미연에 방지함
- 시험환경을 분석함으로써 오차 요소를 사전에 제거하거나 최적화하여 이론적 참값에 가까운 결과값을 도출 가능
- 시험자의 판단으로 보정 할 수 있으나 개인오차를 발생 시키는 요인으로 작용
- 환경 분석을 통해 결과값에 영향을 주는 요소를 절차서에 반영함으로써 시험환경오차 및 개인오차 최소화

o 시험환경 분석 결과

- 입력케이블 길이변화 시험
입력케이블의 길이가 길어질수록 케이블의 임피던스가 상승하여 입력 파형의 상승시간과 반치폭이 증가함 12AWG 케이블 기준으로 40 cm 이상에서 요구 규격에 부적합
- 입력케이블 종류 비교시험
절연상태가 좋지 않은 케이블이 접지면과 가까워지면 펄스가 접지로 유기되고 절연파괴 현상이 발생하여 파형이 관측되지 않음 절연상태가 좋은 케이블은 접지면과 맞닿아도 현상이 발생하지 않았으나 고가의 케이블을 사용하는 것보다 접지면과 닿지 않게 팽팽하게 설치하거나 압축스티로폼(3 cm 이상)을 사용하여 접지면과 이격시키는 것이 효과적임
- 출력케이블 길이변화 시험
출력케이블의 길이는 필터를 통과 고전압펄스가 대부분 걸러진 잔류 전류가(전원선 기준 입력전류 : 2500A → 잔류전류 : 10A미만) 흐르는 선로로 케이블의 길이가 최대 2m까지 길어져도 영향이 없음

- 입력전류 및 잔류전류 센서 위치 가변 시험

고시내용 중 입·출력 전류센서의 위치를 인입점보호장치에서 15cm 이내에 위치하도록 명시하였으나 현장시험 수행시 전류센서 위치를 정확히 맞추기 힘든 경우가 많음 이에 따라 입·출력케이블의 길이를 일정하게 하고 센서의 위치를 변화하여 유효한 위치를 확인하고자 하였으나 비교시험 결과로는 차이가 거의 없음을 도출

- 입력케이블 두께 가변시험

입력케이블의 두께에 따른 결과 값 차이를 확인하기 위해 4SQ, 6SQ, 10SQ, 16SQ 케이블의 비교시험을 진행하였음 케이블의 두께가 두꺼워 질수록 규격에서 요구하는 파형을 만들기 용이함을 도출

- 필터 접지상태 비교시험

필터를 시공하면서 작업자의 실수로 접지 상태가 불량한 것을 가정하여 접지상태가 좋을 때, 접지상태가 좋지 않을 때, 접지를 하지 않았을 때를 비교시험 한 결과 접지를 실시하지 않았을 때 고전압방전소자에서 접지로 빠져나가지 못한 잔류전류가 계측기 오류를 일으키며 접지불량상태와 접지양호 상태에서는 차이가 없음

제 3 장 현장시험 대체가능성 분석

o 현장시험 대체 가능성 분석의 필요성

현재 고출력 전자파 전도성 평가는 현장에서 시험하는 것을 원칙으로 하여 정확한 시험에 어려움이 있음 이에 따라 시험장시험으로 대체 가능한지 여부에 대해 분석한 결과 현장 여건상 케이블의 길이가 길어지게 되고 현장시험보다 시험장 시험이 가혹한 조건에서 실시하는 것으로 볼 수 있음 결과의 신뢰성 확보를 위해 추가적인 연구가 필요함

제 4 장 세부절차서

o 시험을 정형화하여 신뢰도를 향상시키고 정확한 시험수행을 위하여 작성하였으며 일반사항, 용어정의, 장비배치, 교정시험 절차, 필터시험 절차의 순으로 작성

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 개요 및 필요성	1
1. 연구배경	1
제 2 절 고출력 전자파 방호방법	3
1. 고출력 전자파의 침투경로	3
2. 고출력 전자파의 방호방법	3
3. 고출력 전자파의 방호시설 평가방법	5
제 3 절 전도성 고출력 전자파 안전성 평가방법	10
제 2 장 시험환경 분석	16
제 1 절 개 요	16
1. 시험환경 분석의 필요성	16
2. 시험환경 오차요소	16
제 2 절 시험환경 분석 결과	18
1. 입력케이블 길이변화 시험	18
2. 입력케이블 종류 비교시험	24
3. 출력케이블 길이변화 시험	28
4. 입력전류 센서 위치 가변 시험	32
5. 잔류전류 센서 위치 가변 시험	36
6. 입력케이블 두께 가변시험	40
7. 필터 접지상태 비교시험	44
8. 필터 덮개유무 비교시험	47
제 3 장 현장시험 대체가능성 분석	49
제 1 절 개 요	49
1. 분석의 필요성	49
제 2 절 비교시험	50
1. 현장시험 대체가능성 비교시험	50
제 3 절 결 론	54
1. 현장시험 대체가능성 분석 결과	54

제 4 장 전도성 고출력 전자파 안전성 평가 세부 절차	55
제 1 절 개 요	55
제 2 절 세부절차서	56
1. 일반사항	56
2. 용어정의	57
3. 측정 장비 요구사항 및 배치	58
4. 장비 교정 시험절차	68
5. 인입점 보호장치 시험절차	76

표 목 차

표 1-1 전파법 제56조 고출력·누설 전자파 안전성 평가 등	2
표 1-2 과전압 방전소자(MOV, GDT) 비교	5
표 1-3 미 국방성 EMP 관련 표준현황	6
표 1-4 NATO EMP관련 표준 현황	7
표 1-5 IEC EMP관련 표준 현황	8
표 1-6 고출력 누설 전자파 안전성 평가 기준 및 방법 등에 관한 고시 목차...	9
표 1-7 전도성 안전성 평가 장비 요구사항	10
표 1-8 전기적 인입점에서 주입 전류 요구사항	12
표 1-9 RF 안테나선 인입점에서 주입 전류 요구사항	13
표 2-1 입력케이블 길이에 대한 결과 값 변화	20
표 2-2 입력케이블 종류별 측정결과	26
표 2-3 출력케이블 길이에 따른 측정결과	30
표 2-4 입력 전류센서 위치 가변시험 측정결과	34
표 2-5 잔류 전류센서 위치 가변시험 측정결과	38
표 2-6 입력 케이블 두께 가변시험 측정결과	42
표 2-7 필터 접지상태 비교시험 측정결과	46
표 2-8 필터 필터덮개 비교시험 측정결과	48
표 3-1 현장시험 대체가능성 분석 측정결과(1차)	51
표 3-2 현장시험 대체가능성 분석 측정결과(2차)	52
표 4-1 Motena社 전도성 평가 장비 종류	55

그림 목 차

그림 1-1	고출력 전자파의 영향	1
그림 1-2	고출력 전자파 침투경로	3
그림 1-3	복사성 침해 방호수단	3
그림 1-4	EMP 방호 필터 구성	4
그림 1-5	EMP 방호 필터 회로 구성(예시)	4
그림 1-6	전도성 안전성 평가 시험구성	11
그림 1-7	전도성 안전성 평가 주입펄스 평가항목	11
그림 1-8	결합측정 및 안테나 부속시스템의 구성도	14
그림 2-1	입력케이블 길이에 대한 펄스 변화 시뮬레이션	17
그림 2-2	입력케이블 길이 변화 시험 장비구성	18
그림 2-3	입력케이블 길이변화 시험사진1 (입력케이블 20cm) ..	19
그림 2-4	입력케이블 길이변화 시험사진2 (입력케이블 200cm)	19
그림 2-5	입력케이블 길이변화 시험사진3 (전류센서 구성)	19
그림 2-6	입력케이블 길이와 최대 전류값 상관관계	21
그림 2-7	입력케이블 길이와 상승시간 상관관계	21
그림 2-8	입력케이블 길이와 반치폭 상관관계	21
그림 2-9	입력케이블 길이 변화시험 측정파형	23
그림 2-10	입력케이블 종류 비교시험 장비구성	24
그림 2-11	입력케이블 종류 비교시험 시험사진1(일반케이블)	25
그림 2-12	입력케이블 종류 비교시험 시험사진2(실리콘케이블)	25
그림 2-13	입력케이블 종류 비교시험 시험사진3(이중실드고무케이블) ...	25
그림 2-14	입력케이블 종류 비교시험 시험사진4(RF케이블 개조)	25
그림 2-15	절연파괴 측정파형	26
그림 2-16	입력케이블 종류 비교시험 측정파형	27

그림 2-17 출력케이블 길이 변화 시험 장비 구성	28
그림 2-18 출력케이블 길이 변화 시험 측정사진1 (40cm)	29
그림 2-19 출력케이블 길이 변화 시험 측정사진2 (120cm)	29
그림 2-20 출력케이블 길이 변화 시험 측정사진3 (200cm)	29
그림 2-21 출력케이블 길이와 최대전류값 상관관계	30
그림 2-22 출력케이블 길이와 Root Action 상관관계	30
그림 2-23 출력케이블 길이 변화시험 측정과형	31
그림 2-24 입력 전류센서 위치 가변 시험 장비구성	32
그림 2-25 입력 전류센서 위치 가변시험 사진1 (15cm)	33
그림 2-26 입력 전류센서 위치 가변시험 사진2 (60cm)	33
그림 2-27 입력 전류센서 위치 가변시험 사진3 (100cm)	33
그림 2-28 입력 전류센서 위치 가변시험 측정과형	35
그림 2-29 잔류 전류센서 위치 가변 시험 장비구성	36
그림 2-30 전류센서 위치 가변시험 사진1 (15cm)	37
그림 2-31 전류센서 위치 가변시험 사진2 (40cm)	37
그림 2-32 전류센서 위치 가변시험 사진3 (200cm)	37
그림 2-33 잔류전류 측정센서 위치와 최대전류값 상관관계	38
그림 2-34 잔류전류 측정센서 위치와 Root Action 상관관계	38
그림 2-35 잔류전류 측정센서 위치 가변시험 측정과형	39
그림 2-36 입력 케이블 두께 가변 시험 장비구성	40
그림 2-37 케이블 굽기 비교사진 (상단부터 16, 10, 6, 4 SQ)	41
그림 2-38 케이블 굽기 변화시험 (6SQ, 40cm)	41
그림 2-39 케이블 굽기 변화시험 (16SQ, 40cm)	41
그림 2-40 입력케이블 두께와 상승시간 상관관계	42
그림 2-41 입력케이블 두께와 반치폭 상관관계	42
그림 2-42 입력케이블 두께 가변시험 측정과형	43
그림 2-43 필터접지상태 비교시험 시험 장비구성	44

그림 2-44	접지상태 비교시험(접지양호)	45
그림 2-45	접지상태 비교시험(접지불량)	45
그림 2-46	접지상태 비교시험(접지미설시)	45
그림 2-47	접지미설시 측정과형	46
그림 2-48	접지상태 비교시험 측정과형	46
그림 2-49	필터덮개 유무시험 장비구성	47
그림 2-50	필터덮개 유무시험 비교시험 사진	48
그림 2-51	필터덮개 유무시험 비교시험 측정과형	48
그림 3-1	현장시험 대체가능성 비교시험 장비구성	50
그림 3-2	현장시험 대체가능성 비교시험 시험사진(1차)	51
그림 3-3	현장시험 대체가능성 비교시험 측정과형(1차)	51
그림 3-4	현장시험 대체가능성 비교시험 시험사진(2차)	52
그림 3-5	현장시험 대체가능성 비교시험 측정과형(2차)	53

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 개요 및 필요성

1. 연구배경

현대의 정보화 사회는 전기·전자기기에 대한 의존도가 매우 높은 상황이며, 산업의 발전에 따라 그 의존도가 점차 높아지고 있는 상황이다. 하지만, 전기·전자기기의 편익에도 불구하고 국가 주요기반시설인 전력, 통신시설 등에 문제가 생기면 연쇄적으로 이와 연결된 모든 시스템이 마비되고 심각할 경우 국가 전체의 공황상태를 초래할 수 있다.

고출력 전자파는 강력한 전자기 펄스를 발생시켜 전자·전기기기의 물리적 파괴 및 오작동을 유발한다. 이로 인하여 중요한 전력 계통시설이나 통신체계 등을 마비시킬 수 있다. 또한 방대한 영역에 걸쳐 물리적으로 파괴된 장비의 복구에는 많은 비용과 시간이 소요된다. 이러한 피해를 막기 위하여 사전에 위협을 인식하고 방호대책을 수립하여야 한다.

최근 국제적으로도 고출력 전자기파(Electromagnetic Pulse)의 위협이 대두되면서 이를 방어하기 위한 대책수립의 필요성이 강조되고 있다. 또한 북한과 대치하고 있는 국내 상황과 북한의 지속적인 핵 도발을 고려한다면 주요시설에 대한 EMP 방호체계 구축이 시급한 상황이다.

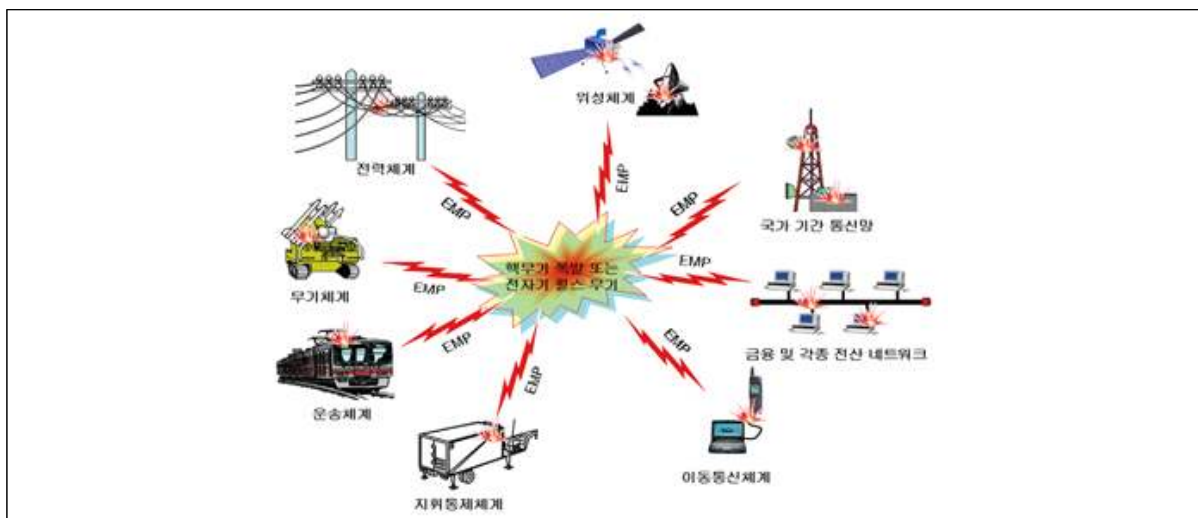


그림 1-1 고출력 전자파의 영향

미국의 경우 '01년 9.11테러 이후 국토 안보에 대한 의식이 고조되었고 EMP 위원회를 설립하여 '04년, '08년 2회에 걸쳐 미 의회 EMP보고서를 발간하였으며 지속적으로 관련내용의 입법을 추진하고 있다. '15년 국토보안법 및 방패법 등에 EMP 시나리오를 국가계획에 포함하고 실무자에 대한 교육과 기반시설의 취약성 평가, 대응기술, 복구에 대한 연구·개발의 필요성에 대한 내용으로 입법 추진중이며 현재 하원 통과 상태로 확인되었다.

국내의 경우 '14.6월 전파법 개정에 따라 고출력·누설 전자파 안전성 평가에 대한 법률이 신설 되었고 이에 따른 안전성 평가를 위한 세부 기준에 대한 고시가 '14.12월 국립전파연구원에 의해 제정되었다.

표 1-1 전파법 제56조 고출력·누설 전자파 안전성 평가 등

<div> <div> </div> <div> < 전파법 제56조 고출력·누설 전자파 안전성 평가 등 > </div> </div>	
제56조(고출력·누설 전자파 안전성 평가 등) ①	고출력 전자파로 인한 피해와 누설 전자파에 의한 정보유출을 방지하기 위하여 방호차폐시설 또는 장비보호시설 등을 구축한 자는 미래창조과학부장관에게 그 시설 등의 안전성 평가를 의뢰할 수 있다.
②	미래창조과학부장관은 제1항에 따라 안전성 평가를 의뢰받은 경우에는 안전성을 평가하고 그 결과를 통지하여야 한다. 다만, 평가결과가 안전성 평가기준에 맞지 아니하는 경우에는 이에 대한 대책을 마련하도록 권고할 수 있다.
③	제1항 및 제2항에 따른 안전성 평가기준 및 방법 등에 관하여 필요한 세부사항은 미래창조과학부 장관이 정하여 고시한다.

전파법 개정에 따라 고출력 전자파에 대한 법제화의 초석이 마련되었으며 세부 고시 내용을 통해 시험 방법의 기준을 제공하였다. 고시내용은 '15년 4월 일부 개정 되었고 지속적으로 보완 개정 작업이 이루어지고 있다.

국립전파연구원에서는 개정된 전파법에 따라 방호차폐시설 또는 장비보호시설에 대한 안전성 평가를 수행할 수 있으며, 이를 위한 세부 기준 마련 및 다양한 환경에서 시험평가를 위한 연구를 진행중에 있다.

이에 따라 본 연구는 ① 전도성 안전성 평가에 영향을 줄 수 있는 환경요소 조사를 통해 측정환경에 대한 조사를 진행하며, ② 전도성 고출력 전자파 안전성 평가 세부절차 마련을 위해 장비설정 및 배치, 측정방법 등 세부 시험절차서를 마련하고, ③ 자체성능시험과 현장시험의 비교·분석을 통한 현장시험 대체 가능성을 분석하는 연구를 수행하였다.

제 2 절 고출력 전자파 방호방법

1. 고출력 전자파의 침투경로

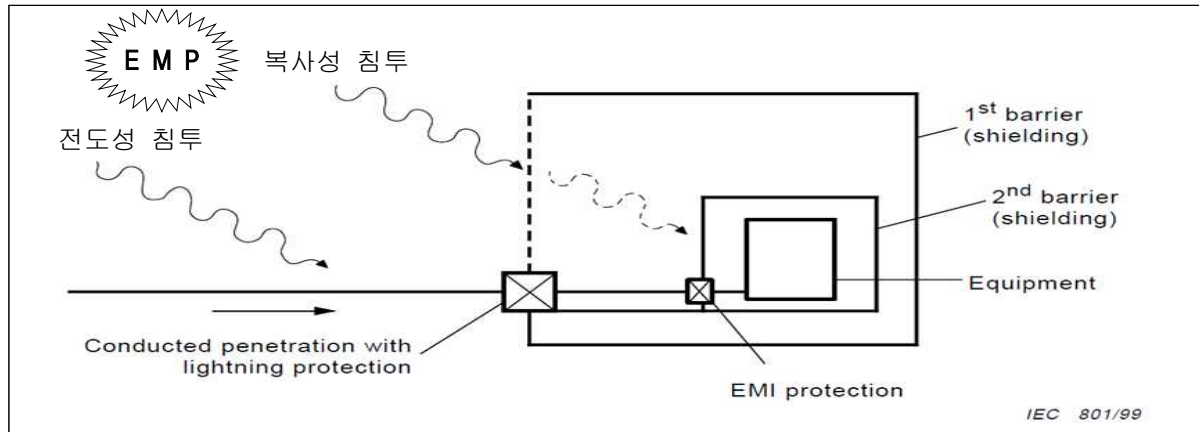


그림 1-2 고출력 전자파 침투경로

고출력 전자파를 방호하기 위해서는 고출력 전자파가 대상시설에 침투되는 경로를 알아야 방호 할 수 있을 것이다. 그림 1-2와 같이 EMP의 침투경로는 크게 복사성 침투 경로와 전도성 침투 경로로 나뉜다. 복사성 침투는 전자기 펄스가 발생하여 공기중을 통해 전달된 펄스로 대상 시설의 문, 통풍구, 파이프 등 구조적으로 개방된 경로로 침투되는 것을 의미한다. 전도성 침투는 대상 시설로 인입되는 전원 선로, 통신 선로, 안테나 선로 등 전기적으로 관통되는 경로를 통해 침투되는 것을 의미한다.

2. 고출력 전자파의 방호방법

복사성 침투를 방호하기 위해서는 구조적으로 차폐시설을 설치하여야하며 환기장치 및 내부로 인입되어야하는 파이프 등은 EMP의 주파수가 통과하지 못하도록 설계되어야 한다. 본 연구과제에서는 전도성 보호방법에 중점을 두어 복사성 침투에 대해서는 세부적으로 설명하지 않았다.

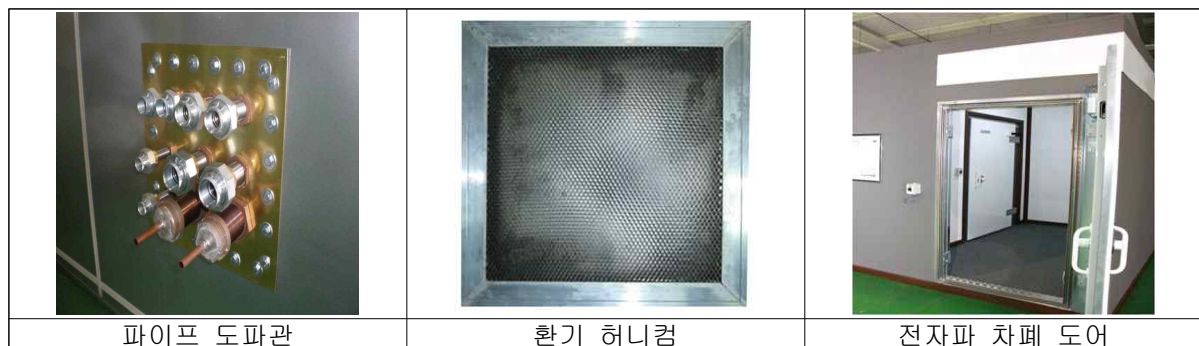


그림 1-3 복사성 침해 방호수단

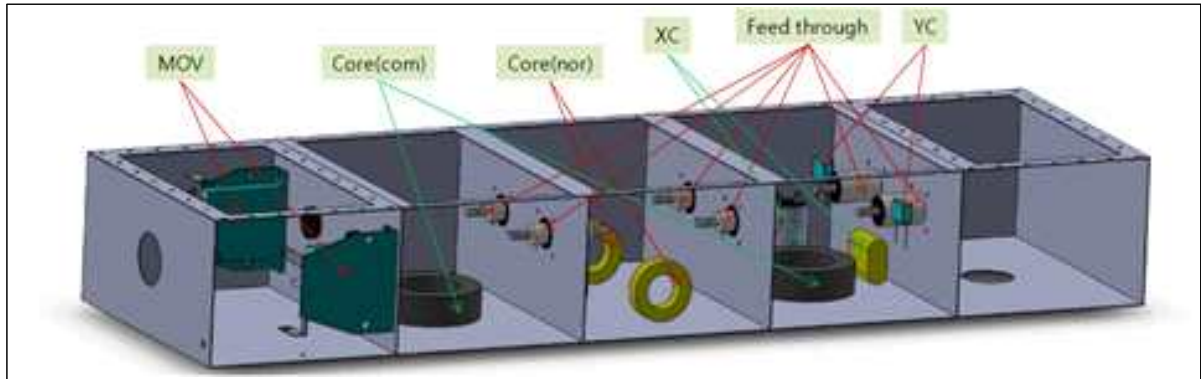


그림 1-4 EMP 방호 필터 구성

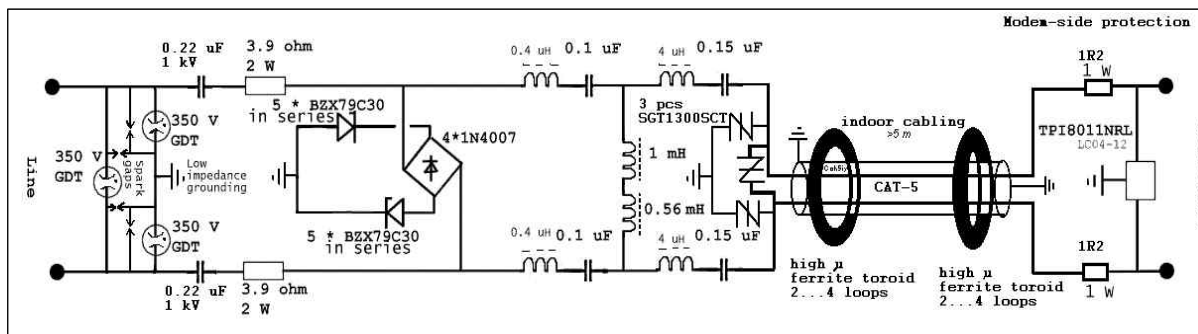




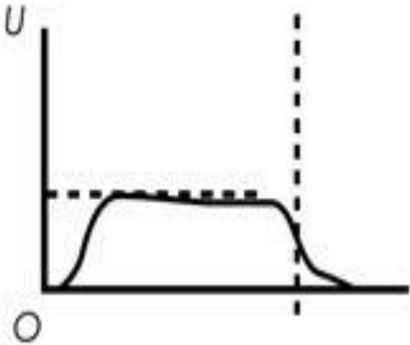
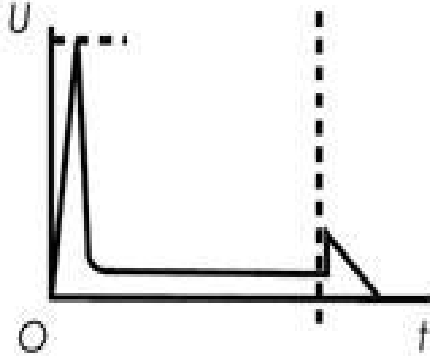
그림 1-5 EMP 방호 필터 회로 구성(예시)

전도성 침투를 막기 위해서는 EMP를 차단 할 수 있는 필터 장치가 필요하다. 필터의 구성은 기본적으로 RF노이즈를 차단 할 수 있는 EMI 필터(LC회로)에 순간적인 과전압을 방전시키는 소자로 이루어지게 된다.

필터의 최초 입력단에 과전압 방전 소자가 부착되어 과전압이 인가되면 소자가 동작하여 과전류를 접지로 방전시키는 역할을 한다. 과전압 방전소자에는 MOV(Metal Oxide Varistor), GDT(Gas Discharge Tube) 등이 있다. 과전압 방전소자의 단자는 한쪽은 신호 전류가 흐르는 단자에 연결되고 다른 한 단자는 접지로 연결되어 과전압이 발생되면 접지로 흘려주는 역할을 한다.

MOV는 정상 상태에서 매우 높은 임피던스(수 MΩ)를 나타내지만 일정 한도 이상의 전압이 인가되면 매우 낮은 임피던스를(수십 mΩ) 나타낸다. 이러한 특성 때문에 MOV에 서지 전압이 인가되면 서지에 대해 저임피던스 통로가 만들어지고 서지가 부하쪽으로 흐르지 못하게 한다.

표 1-2 과전압 방전소자(MOV, GDT) 비교

MOV (Metal Oxide Varistor)	GDT(Gas Discharge Tube)
	
	
전원선, 제어선 필터	신호선, LAN선, RF통신, 전화선 필터

GDT는 튜브 안에 가스를 넣고 플라즈마 형태로 방전시킨다. 전극 양단에 걸리는 전압이 설정된 전압이하일 때에는 커다란 임피던스로 작용하여 전류를 거의 흐르지 못하고 그 값을 초과하는 전압이 걸리면 전극 사이에서 방전이 일어나게 된다. 전압이 설정된 전압 이하일 때에는 커다란 임피던스로 작용하여 전류를 거의 흐르지 못하고 그 값을 초과하는 전압이 걸리면 전극 사이에서 방전이 일어나게 된다.

3. 고출력 전자파의 방호시설 평가방법

EMP 방호대책 추진현황은 미국의 행정부, 의회, 학계, 민간업체 등 다양한 영역에서 주도적으로 EMP 침해 대응방안을 지속적으로 논의·수립 중이며 유럽, 일본 등 일부 선진국과 기관들도 대응방안을 수립하고 있다. 미국은

1960년대 핵 EMP의 발견 이후부터 EMP 영향 및 방호대책에 관한 연구를 하였으며, 연구 결과물로 국방성에서 C4I 등 군사 중요시설에 대한 핵 EMP 방호 관련 문서를 발간하였다.

특히 MIL-STD-188-125는 HEMP방호규격으로 현재 국내에서 가장 많이 준용되는 규격이다. Part1은 고정형 시설 규격을 다루고 Part 2는 이동형 시스템 규격을 다루지만 시스템 간 상호 연결 기준을 제외하면 강화설계, 검사 프로그램, 강화유지 및 관리 등의 내용은 거의 유사하다.

세부내용은 시설 및 시스템 강화 설계 방법, 검사 프로그램, 시설의 수명연장을 위한 유지·감시 절차를 다루고 있으며 부록에는 차폐효과(Shield Effectiveness), 펄스전류주입(Pulse Current injection), 연속파 주입(Continuous Wave Immersion)의 시험 절차를 수록하였다.

표 1-3 미 국방성 EMP 관련 표준현황

문 서 분 류	문서번호	연도	문서명	비고
규 격	MIL-STD-188-125-1/2	1998 / 1999	HEMP Protection for Fixed and Transportable Ground-based C4I Facilities Performing Critical, Time-Urgent Missions PART 1 : Fixed Facilities PART 2 : Transportable Systems	공개문서
	MIL-STD-464A	2002	Electromagnetic Environmental Effects Requirements for Systems	
	MIL-STD-461F	2007	Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment	
핸 드 북	MIL-HDBK-423	1993	HEMP Protection for Fixed and Transportable Ground-based C4I Facilities Volume 1 : Fixed Facilities Volume 2 : Ground-mobile and Transportable Facilities	비공개문서
	MIL-HDBK-237D	2005	Electromagnetic Environmental Effects and Spectrum Supportability Guidance for the Acquisition Process	공개문서
	MIL-HDBK-419A	1987	Grounding, Bonding, and Shielding for Electronic Equipments and Facilities	

차폐효과 시험은 HEMP 발생시 전달되는 복사성 침투요소가 대상시설에 침투되는 것을 모사한 시험으로 HEMP의 주파수 특성을 고려 10kHz ~ 1GHz 까지의 영역 중 380개의 주파수를 선정 차폐효과를 측정하도록 하였다.

펄스 전류시험은 HEMP 발생시 전기적 선로에 유기되어 침투되는 전도성 시험을 모사한 시험으로 이를 방호 할 수 있는 필터 및 전선관 등을 시험 하도록 하였다. 연속파 주입은 초·중기 HEMP 발생 후 후기 HEMP 파형을 모사한 시험으로 수 초간 지속되는 파형의 형태를 대상시설로 주입하는 시험을 의미한다.

북대서양 조약기구(NATO)에서는 앞서 말한 MIL-STD-188-125 준용한 것으로 파악되며 EMP 방호 관련 문서 8개를 발간하였으며 그 중 2건만 공개되고 있다. 특히 AEP-20은 이동형 쉘터에 시스템을 설치하는 프로그램 매니저, 시스템 계약자와 생산자, 시스템 시험 담당자를 대상으로 쉘터 내부 시스템 설계에서의 고출력 전자기파 대책 강화정의, 실제 강화된 시스템 구현, 방호 및 시험 표준화 등을 다루고 있다.

표 1-4 NATO EMP관련 표준 현황

문서번호	연도	문서명	비고
AEP-04	1975	(CLASSIFIED) Nuclear Survivability Criteria for Armed Forces Material and Installations	비공개 문서
AEP-09 VOL.1	1995	(CLASSIFIED) NATO Manual of Simulators of Nuclear Weapons Effects-Introduction and Effects	
AEP-09 VOL.2	1995	(CLASSIFIED) NATO Manual of Simulators of Nuclear Weapons Effects - Simulators of Blast(or Shock) Effects	
AEP-09 VOL.3	1992	(RESTRICTED) NATO Manual of Simulator of Nuclear Weapons Effects - Simulators of Thermal and Optical Effects	
AEP-09 VOL.4	1990	(RESTRICTED) NATO Manual of Simulator of Nuclear Weapons Effects - Simulators of Nuclear Radiation Effects	
AEP-09 VOL.5	1994	(RESTRICTED) NATO Manual of Simulator of Nuclear Weapons Effects - Simulators of Electromagnetic Pulse(EMP) Effects	
AEP-18	1988	The NATO users guide to EMP testing and simulation	공개문서
AEP-20	1993	EMP design and test guidelines for systems in mobile shelters	

국제전기기술위원회(IEC)는 '90년대 중반부터 핵 및 비핵EMP 대책을 포괄적으로 포함한 관련 문서를 전 세계 산·학·연 전문가의 검토를 통해 작성중이다. '14년 말 의도적 전자기파에 대한 시험 기술 표준을 발간하였다.

표 1-5 IEC EMP관련 표준 현황

문서번호		문서명	비고
61000-1	-3	The effects of HEMP on civil equipment and systems	영향분석
	-5	HPEM effects on civil systems	
61000-2	-9	HEMP environment – Radiated disturbance	전자파 환경 정의 및 분류
	-10	HEMP environment – Conducted disturbance	
	-11	Classification of HEMP environments	
	-13	HPEM environments – Radiated and conducted	
61000-4	-23	Test methods for protective devices for HEMP and other radiated disturbance	측정방법 및 시뮬레이터 정리
	-24	Test methods for protective devices for HEMP conducted disturbance	
	-25	HEMP immunity test methods for equipment and systems	
	-32	High-altitude electromagnetic pulse(HEMP) simulator compendium	
	-33	Measurement methods for high-power transient parameters	
	-35	High power electromagnetic(HPEM) simulator compendium	
	-36	Testing and measurement techniques – IEMI immunity test methods for equipment and systems	
61000-5	-3	HEMP protection concepts	방호방법, 장치 및 평가
	-4	Specifications for protective devices against HEMP radiated disturbance. Basic EMC Publication	
	-5	Specifications of protective devices for HEMP conducted disturbance. Basic EMC Publication	
	-6	Mitigation of external EM influences	
	-7	Degrees of protection provided by enclosures against electromagnetic disturbances(EM code)	
	-8	HEMP protection methods for the distributed infrastructure	
	-9	System level susceptibility assessments for HEMP and HPEM	
61000-6	-6	HEMP immunity for indoor equipment	내성

국내에서는 국립전파연구원고시 제214-20호 고출력·누설 전자파 안전성 평가 기준 및 방법 등에 관한 고시가 제정되면서 고출력 전자파로 인한 피해와 누설 전자파에 의한 정보유출을 방지하기 위하여 구축된 방호차폐시설 또는 장비보호시설의 안전성 평가 기준 및 방법 등에 관하여 필요한 세부사항을 정하였다.

표 1-6 고출력 누설 전자파 안전성 평가 기준 및 방법 등에 관한 고시 목차

— <국립전파연구원고시 제 2014-20호 목차> —

제1장 총 칙

제1조 목적

제2조 목적

제3조 용어의 정의

제4조 안전성 평가 대상

제2장 안전성 평가 대상 및 절차

제5조 안전성 평가의 신청 등

제6조 안전성 현장 평가 절차

제7조 안전성 평가 결과의 통보 등

제3장 안전성 평가 기준 및 방법 등

제8조 안전성 평가 기준

제9조 안전성 평가 방법

제10조 기타 방호성능 평가기준 및 방법

제4장 보 칙

제11조 자문위원회의 구성 등

제12조 처리기간

제13조 재검토기한

별표

별표 1 방사성 방호성능기준

별표 2 전도성 방호 성능 기준

별표 3 방사성 방호성능 측정방법

별표 4 전도성 방호성능 측정방법

제 3 절 전도성 고출력 전자파 안전성 평가방법

앞서 설명한 국립전파연구원고시 제214-20호 고출력·누설 전자파 안전성 평가기준 및 방법 등에 관한 고시를 기준으로 전도성 고출력 전자파 안전성 평가방법을 분석하였다.

전도성 방호성능 측정은 전력선, 통신선과 같은 전도성 과도현상이 침투 할 수 있는 케이블에 연결된 시설 인입부 장치에 대해서 측정하며 시설 내부에 운용할 기기가 설치되기 전에 측정하는 것을 원칙으로 한다. 또한 시설 내부에 기기가 운용되고 있는 경우 기기를 시설 인입부 장치로 분리하여 측정해야한다.

전도성 평가를 위해서는 펄스발생기, 전류 계측장비, 모의부하 등이 필요한데 고시에서 요구하는 장비의 사양은 다음과 같다.

표 1-7 전도성 안전성 평가 장비 요구사항

기기명	구 분		
	단펄스	중펄스	충전선 펄스
펄스 발생기	단락전류 : ≥ 5 kA 신호 임피던스 : $\geq 60 \Omega$	단락전류 : > 250 A 신호 임피던스 : $\geq 10 \Omega$	단락전류 : > 400 A 신호 임피던스 : $\geq 50 \Omega$ (가변 펄스폭)
전류 센서 (외부 주입용)	10 kHz ~ 750 MHz 0 ~ 5 kA	DC ~ 10 MHz 0 ~ 250 A	10 kHz ~ 750 MHz 0 ~ 400 A
전류 센서 (내부 잔류용)	100 Hz ~ 750 MHz 0 ~ 5 kA	DC ~ 10 MHz 0 ~ 250 A	100 Hz ~ 750 MHz 0 ~ 100 A
오실로스코프	100 Hz ~ 750 MHz	DC ~ 10 MHz	100 Hz ~ 750 MHz
데이터 기록계	0 ~ 5 ms	0 ~ 50 ms	0 ~ 5 ms
전치증폭기	100 Hz ~ 750 MHz	-	100 Hz ~ 750 MHz
계측기 차폐 및 전원	필요한 경우 펄스 발생기로 부터 절연	필요한 경우 펄스 발생기로 부터 절연	필요한 경우 펄스 발생기로 부터 절연
케이블류, 감쇠기, 모의부하 저항	필요한 경우	필요한 경우	필요한 경우

또한 시험을 위한 선, 접지의 시험 배치도는 다음 그림과 같으며, 세부 시험 조건은 다음과 같다.

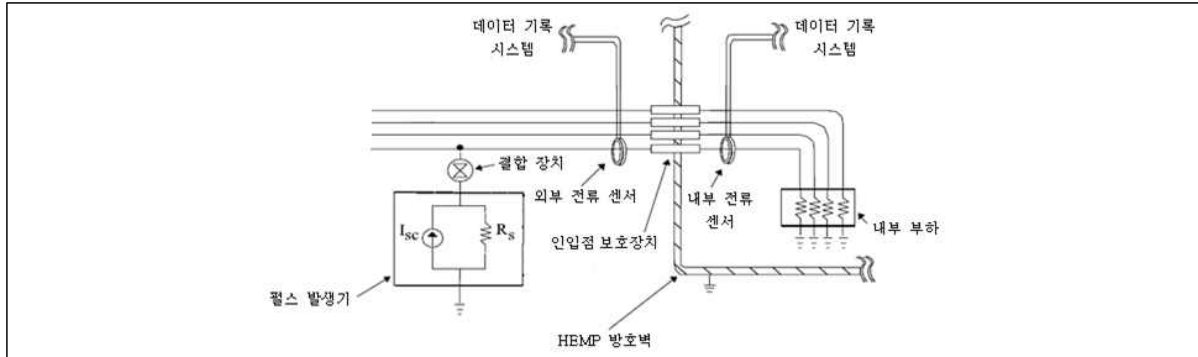


그림 1-6 전도성 안전성 평가 시험구성

- 펄스 발생기의 출력은 시험선에 직접 결합이 될 수 있으며, 외부 및 내부 전류 센서는 인입점 보호장치 단자로부터 15cm 이내에 위치되어야 한다.
- 시험시에는 외부 부하가 없는 상태로 개방되고, 내부 부하는 저항으로 구성되어야 한다.
- 인입점 보호장치가 방호시설에 설치된 후에 시험을 하여야 한다.

전도성 방호성능 측정방법은 각 전기적 인입점의 외부 인입부에 다음 그림과 같은 이중지수함수 전류 파형을 표와 같은 조건으로 주입해야 하며, 이때에 주입된 전류에 있어서 측정된 내부 잔류전류가 최대 잔류 전류값의 한계값을 초과하지 않아야 하고 인입점 보호장치의 시험 후 해당 장치의 손상 또는 성능저하가 없어야 한다.

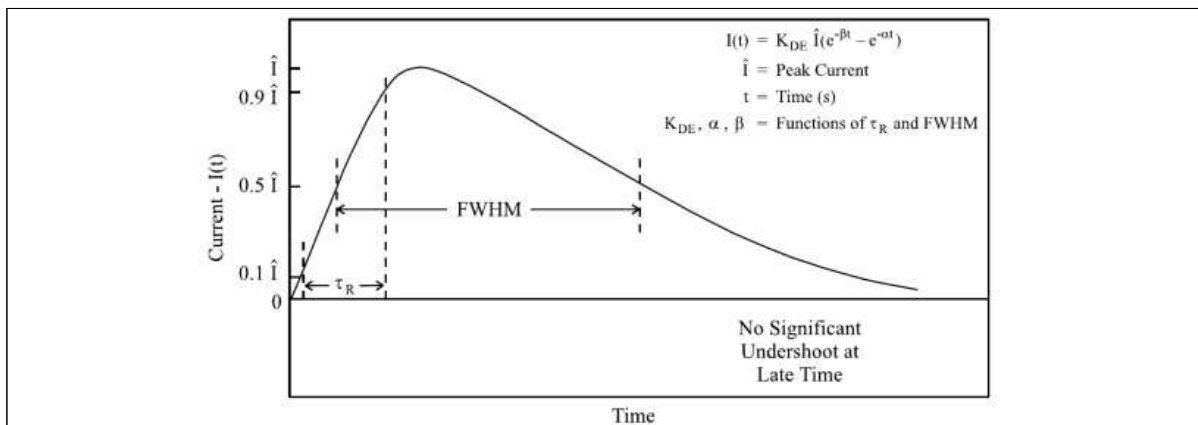


그림 1-7 전도성 안전성 평가 주입펄스 평가항목

※ 여기서, \hat{I} = 최대 전류, K_{DE} , α , β = τ_R^* 과 반치폭의 함수

* τ_R : 최대 전류의 10%에서 90%까지 상승하는데 걸리는 시간(상승시간)

표 1-8 전기적 인입점에서 주입 전류 요구사항

전기적 인입점			주입형태	최대 단락전류 \hat{I} (A) ⁷⁾	소스 임피던스 Z_s (Ω)	상승 시간 τ_R (s)	반치폭 (s)	부하 임피던스 (Ω)
상용 전원선 (외부 → 내부)	단펄스		선-접지 ¹⁾	2500	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	2 또는 V_{rated}/I_{rated} ²⁾
	중펄스		선-접지	250	≥ 10	$\leq 1.5 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3}$	50
기타 전원선 (내부 → 내부)	비제한선	단펄스	선-접지	2500	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	2 또는 V_{rated}/I_{rated} ²⁾
	제한선 ⁵⁾	단펄스	선-접지	$800/\sqrt{N}$ 또는 500 ³⁾	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	2 또는 V_{rated}/I_{rated} ²⁾
오디오/데이터선 (외부 → 내부)	단펄스		선-접지	$5000/\sqrt{N}$ 또는 500 ³⁾	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	50
	중펄스		선-접지	250	≥ 10	$\leq 1.5 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3}$	50
제어/신호선 (내부 → 내부)	비제한선	단펄스	선-접지	$5000/\sqrt{N}$ 또는 500 ³⁾	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	2 또는 V_{rated}/I_{rate} ²⁾
	제한선 ⁶⁾	단펄스	선-접지	$800/\sqrt{N}$ 또는 500 ³⁾	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	2 또는 V_{rated}/I_{rated} ²⁾
전선관 실드	매설 ⁴⁾		관-접지	800	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	2 ⁵⁾
	노출		관-접지	5000	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	2 ⁵⁾

- ※ 인입점에 인접한 그라운드에 대해 방호벽 관통선이 각각 시험된다.
- ※ 2개 중 작은 값을 선택하며, V_{rated} , I_{rated} 는 인입점 보호장치(필터 등)의 최대 정격전압 및 최대 정격전류를 의미한다.
- ※ 2개 중 큰 값을 선택하며, N 은 케이블 내부 관통 도체의 개수이다.
- ※ 전선관의 노출 길이가 1 m 미만인 경우 매설로 한다.
- ※ 전선관 내부의 선은 내부기기에 연결하며, 연결되지 않는 선은 부하 임피던스(2 Ω)에 공통 연결한다.
- ※ 외부에 노출된 케이블의 길이가 5 m 미만이고, 연결된 기기의 크기가 2 m 미만이며, 다른 전기적 도체(접지 제외)에 연결되어 있지 않은 경우를 제한선으로 한다.
- ※ 최대단락전류는 $t = 0$ 에서 $t = 5 \times 10^{-3}$ 초 동안 측정되는 전류 파형 $I(t)$ 의 최대값을 말한다.

표 1-9 RF 안테나선 인입점에서 주입 전류 요구사항

전기적 인입점 (RF 안테나선)			주입 형태	주입 주파수 ¹⁾ (MHz)	최대 단락전류 \hat{I} (A) ⁴⁾	소스 임피던스 Z_s (Ω)	상승 시간 τ_R (s)	반치폭 (s)	부하 임피던스 (Ω)
외부 도체 (실드)	매설	단펄스	실드-그라운드 ²⁾	미적용	800	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	$50^{2)}$
	노출	단펄스	실드-그라운드 ²⁾	미적용	5000	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	$50^{2)}$
내부 도체 (신호선)	단펄스		신호선-실드	≤ 30	위험 레벨 ¹⁾	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	$50^{2)}$
	충전선 펄스		신호선-실드	> 30	위험 레벨 ¹⁾	≥ 50	$\leq 5 \times 10^{-9}$	다양함 ³⁾	$50^{2)}$

※ 주입 주파수와 위험 레벨은 커플링 측정결과를 산출하여 구한다.

※ 신호선은 50 Ω 으로 RF 안테나선의 외부 도체(실드)에 종단되어야 한다.

※ 충전선 펄스 발생기(Charge line pulser)의 출력 충전선의 길이는 주입 주파수의 1/4 파장인 길이를 가져야 하며, 충전선 펄스 발생기의 전류 용량이 부족할 경우 단펄스 발생기를 사용하여야 한다.

※ 최대단락전류는 $t = 0$ 에서 $t = 5 \times 10^{-3}$ 초 동안 측정되는 전류 파형 $I(t)$ 의 최대값을 말한다.

여기서, 전기적 인입점에서의 전류 주입 방법은 다음 각 호와 같다.

- 인입점 보호장치 및 내부기기의 손상을 최소화하기 위해 위 표와 같이 전류 크기를 최대까지 증가시키면서 적용하여야 한다.
- 최대 전류의 10% 미만인 전류와 인입점 보호장치 내부의 비선형 소자 동작전압에서의 전류 중 더 큰 전류를 최소 시험전류로 한다.
- 전류의 크기를 대략 두 배수로 증가시켜가며 최대 전류까지 주입 시험한다. 이 때, 위 표에 있는 최대 주입 전류의 110%를 넘지 말아야 한다.

또한, RF 안테나선 인입점에서의 전류 주입 방법은 다음 각 호와 같다.

- 결합 측정은 다음 그림과 같이 안테나, 안테나 방호장치(있을 경우), 전자 기기 및 튜닝기기(있을 경우), RF 전송선, 침입점 방호장치로 이루어진 안테나 부속시스템이 완전히 구축된 상태에서 수행되며, 방호벽 외부에 튜닝회로가 있는 안테나의 경우 최소 동작주파수, 중간대역 동작 주파수,

- 최대 동작주파수에서 수행된다.
- 안테나선은 전기자기 방호벽 내부에서 RF 전송선의 특성임피던스와 동등한 내부 저항 부하는 30 cm 미만인 길이의 케이블로 연결하여야 한다.
 - 결합 측정을 위한 송신 안테나의 위치 및 편파는 최대의 안테나 응답을 얻을 수 있도록 설정하고, 안테나 단자지점(A)과 방호벽 내부지점(B)에서 전류를 측정한다.
 - 측정된 최대 전류값과 해당 주파수로부터 최대 주입 전류(표 2의 위협레벨)와 주입 주파수를 결정한다.
 - 안테나 단자 지점(A)에서 전류를 주입하며, 방호벽 외부에 튜닝회로가 있는 안테나의 경우 최소 동작주파수, 중간대역 동작주파수 및 최대 동작 주파수에서 시험한다.
 - RF 안테나선 실드 PCI 시험은 단펄스 발생기를 사용한다.
 - RF 안테나선 내부도체 시험에서는 주입 주파수가 30 MHz 이하인 경우 단펄스 발생기를 사용하고, 30 MHz를 초과하는 경우는 주입 주파수의 1/4 파장의 길이를 가진 충전선 펄스 발생기(Charge line pulser)를 사용한다. (충전선 펄스 발생기의 전류 용량이 부족할 경우 단펄스 발생기를 사용한다.)
 - 최대 주입 전류는 충전선 펄스 발생기의 단락전류가 커플링 측정 시 측정된 최대 전류값의 2배가 되는 전류이며, 이 최대 주입전류는 대략 10 %, 25 %, 50 %, 100 %의 순서로 주입하여 시험한다.

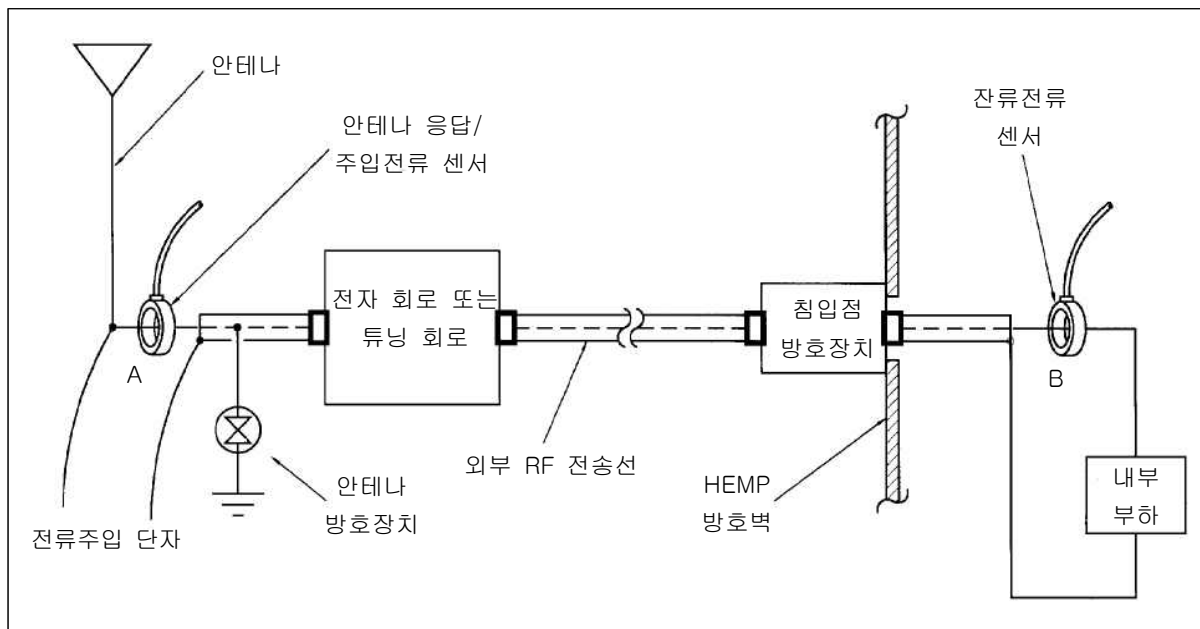


그림 1-8 결합측정 및 안테나 부속시스템의 구성도

마지막으로, 펄스 전류 주입 측정 방법은 다음 각 호와 같다.

- 펄스 발생기와 데이터 기록 시스템을 설치하고 교정을 수행한다.
- 시험선의 전원을 끄고 센서를 설치한다.
- 신호-노이즈 비를 만족하는지 확인하기 위해 데이터 기록 시스템의 노이즈를 점검한다.
- 시험 구성 및 내부기기 상태 등을 확인한다.
- 펄스 전류를 시험선에 주입한다.
- 측정지점의 그래프 또는 값을 기록한다.
- 측정값과 잔류전류의 한계값을 비교하여 만족하지 못하면, 인입점 보호장치를 수리 또는 교체하여 재시험한다.
- 최소 전류주입 레벨부터 최대 전류주입 레벨까지 높여가면서 3.4.1~3.4.7의 단계를 반복한다.
- 시험선의 전원을 끄고 펄스발생기의 출력 연결 및 센서를 제거한다.
- 서지보호장치가 설치되어 있으면, 이를 분리하여 DC 1 mA에서의 전압 (금속산화물 바리스터의 경우), 또는 DC 절연파괴 전압(스파크 갭의 경우)을 측정한다. 측정값이 서지보호장치 사양을 만족하지 못하면 수리 또는 교체하여 재시험한다.
- 다른 시험선에서 위의 단계를 반복한다.

제 2 장 시험환경 분석

제 1 절 개 요

1. 시험환경 분석의 필요성

시험환경 분석의 가장 큰 목적은 환경에 의한 오차로 인하여 시험 결과가 달라지는 것을 미연에 방지하는 것에 있다. 시험환경을 분석함으로써 오차를 발생 시킬 수 있는 요소 사전에 제거하거나 최적화하여 이론적 참값에 가까운 결과값을 도출하여야 한다.

이것을 시험자의 지식으로 판단하여 보정 할 수 있으나 이 또한 개인오차를 발생 시키는 요인이 된다. 따라서 환경 분석을 통해 결과값에 영향을 주는 요소를 확인하고 이를 절차서에 반영함으로써 시험환경오차 및 개인오차를 최소화 할 수 있다.

2. 시험환경 오차요소

EMP 방호성능 평가 중 전도성 안전성 평가에 영향을 줄 수 있는 여러 요소를 예측 할 수 있다. 펄스발생기에서 발생된 파형 성분의 특성에 매우 짧은 시간(수백 ns)동안 수천 암페어의 전류를 발생시키므로 주변 환경에 매우 민감한 편이다.

전류센서의 측정 위치에 따라 결과값이 달라질 것으로 예측 되었으며 고시 내용을 따르면 인입점보호장치에서 15cm이내에 전류센서를 위치시키도록 하였다. 펄스 특성상 연속적인 전류가 아니라 순간적으로 전류 발생되므로 케이블에 흐르는 전류가 위치마다 다를 것으로 분석하였다.

케이블 길이의 영향은 길이가 길어질수록 인덕턴스와 저항 성분이 높아지게 된다. 이에 따라 케이블 길이에 따라 입·출력 파형이 다르게 나타날 것으로 예상되며 입·출력 라인의 종류와도 연관이 있다.

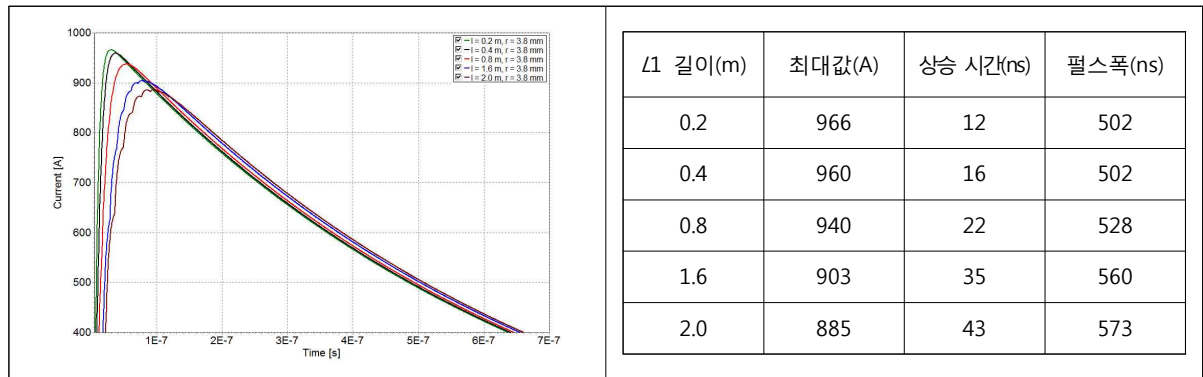


그림 2-1 입력케이블 길이에 대한 펄스 변화 시뮬레이션

이 밖에도 주변잡음이나 펄스발생기가 제대로 차폐되지 못한 신호가 계측기에 영향을 미칠 수 있으며 계측기의 전원이 안정적이지 못할 때에도 영향이 있다. RF케이블의 손실률 및 등전위로 연결된 접지저항에 따라 결과값에 영향을 줄 수 있다.

또한 펄스발생기 특성상 재현성이 부족하다. 순간적인 펄스 생성을 위해 고전압 커패시터를 사용한 막스 방식의 펄스발생기를 많이 사용하는데 이 방식은 전극의 물리적인 간격 및 장비 임피던스 등에 따라 발생 시키는 파형이 달라져 일관성을 유지하기 어렵다. 실제로 시험환경 분석을 실시하면서 장비를 사용해본 결과 교정측정 구성에서 반복 측정시 $\pm 30 \text{ A}$ 이상의 오차가 발생하였으며 펄스를 발생하기 위해 충전되는 시간을 짧게 할 경우 $\pm 200 \text{ A}$ 이상의 장비 오차가 발생하기도 하였다. 제어장치에 Ready 표시가 화면에 나타나고 2 ~ 3초 이후에 펄스를 발생하는 것이 비교적 안정적인 펄스를 구현하였다.

제 2 절 시험환경 분석 결과

1. 입력케이블 길이변화 시험

○ 시험의 필요성

전도성 고출력전자파 성능 평가시 펄스발생기가 발생 시킬 수 있는 값을 기준으로 시험을 실시하게 되는데 이 값을 측정하는 시험을 교정시험이라 한다. 교정시험시 펄스발생기의 단자로부터 최대한 짧은 위치의 접지단자에 케이블을 연결하고 이 케이블에 지나는 전류를 측정하여 교정을 실시한다. 하지만 케이블의 길이가 길어질수록 인덕턴스 성분이 증가하게 되고 요구하는 파형과 차이가 발생하게 된다. 이 시험을 통해 입력케이블의 길이와 파형의 관계를 확인 하고자 하였다.

○ 시험조건

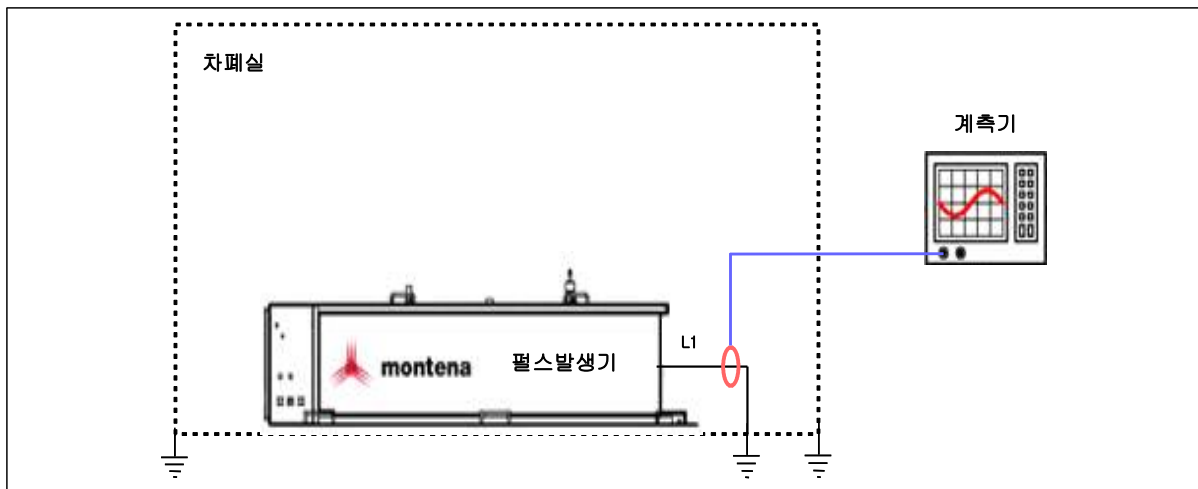


그림 2-2 입력케이블 길이 변화 시험 장비구성

- 위 그림과 같이 펄스발생기를 차폐실 내부에 배치하고 계측기를 차폐실 외부에 위치시킨다. 펄스발생기는 Montena EMP 80K-5-500을 사용하였으며 계측기는 Tektronix DPO-7254를 사용하였으며 전류센서는 Bergoz CT F0.1을 사용하였고 20dB감쇠기를 사용하였다.
- L1은 펄스발생기 출력 단자에서 접지로 연결하는 케이블의 길이를 가변하여 시험을 실시하였다.
- 전류센서의 위치는 L1이 접지되는 지점에서 15cm 떨어진 위치에서 실시하였다.
- PCI 시험은 최대 입력 전류에 대하여 10%, 20%, 40%, 80%, 100%를 입력하도록 되어 있으나 시험환경 분석시 변수 조건을 줄이기 위하여 1kA(전원선 기준 40%)에 대해서만 시험을 실시하였다.

○ 시험사진

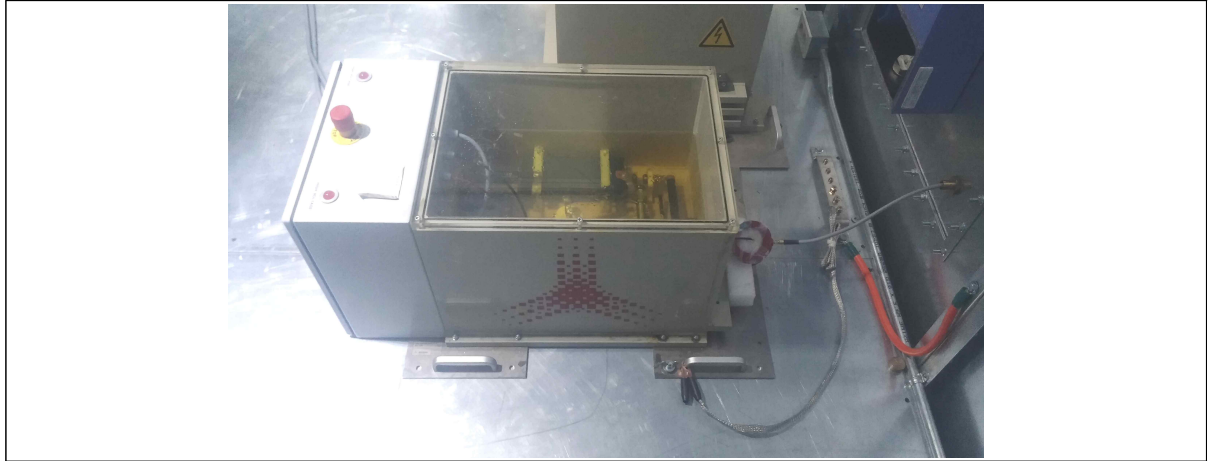


그림 2-3 입력케이블 길이변화 시험사진1 (입력케이블 20cm)

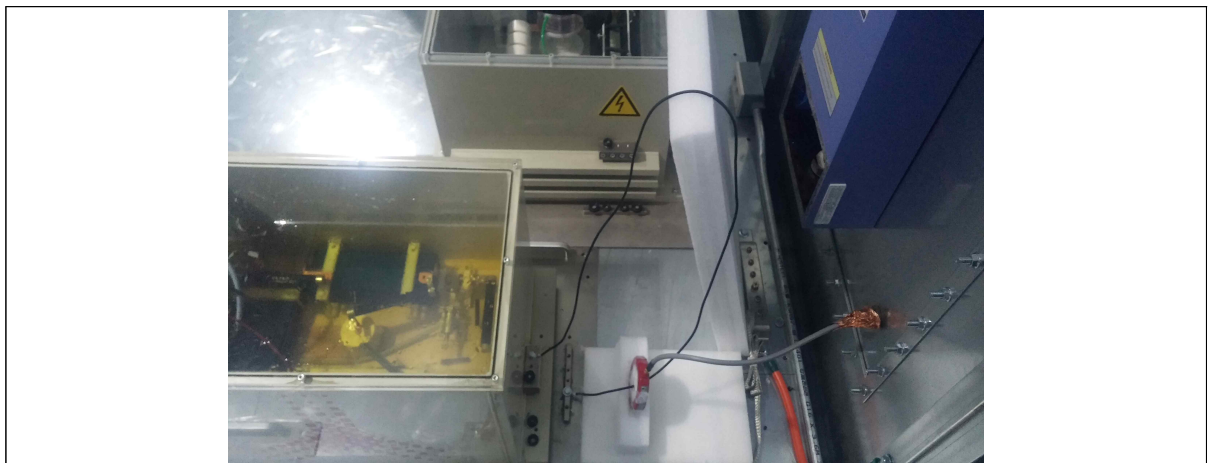


그림 2-4 입력케이블 길이변화 시험사진2 (입력케이블 200cm)

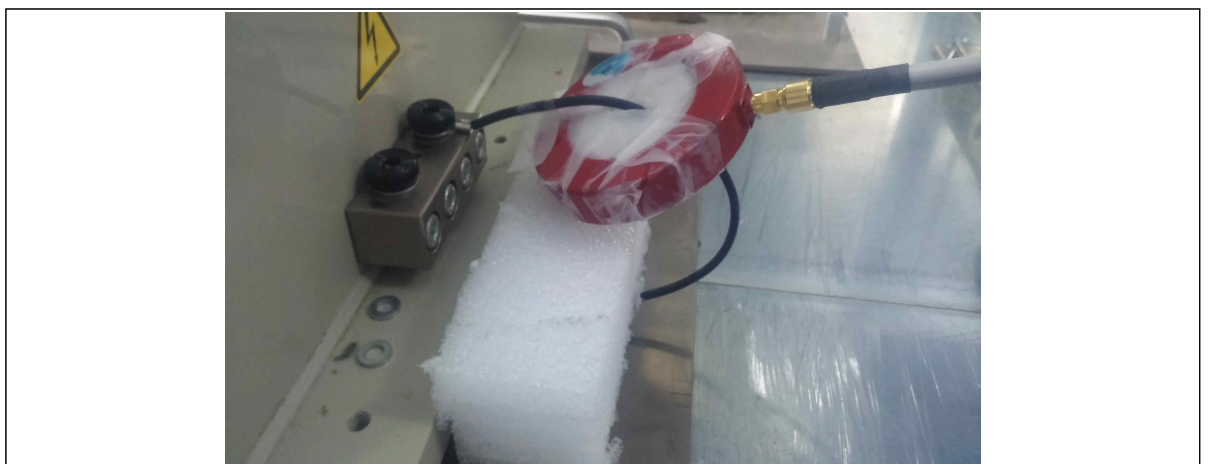


그림 2-5 입력케이블 길이변화 시험사진3 (전류센서 구성)

○ 시험결과

- 입력케이블의 길이 따라 최대전류값, 상승시간, 반치폭의 변화를 확인하였으며 최대 전류값은 장비 자체의 오차가 있어 입력케이블의 길이에 대한 경향성을 판단하기 어려웠다. 상승시간의 경우 길이에 따른 변화량이 일부 경향성을 벗어나는 데이터 값이 확인되었으나 전체적으로 상승시간이 증가하는 형태를 보였으며 L1의 길이가 50cm 이상일 때부터 요구사양을 만족하지 못하였다. 반치폭 역시 상승시간과 마찬가지로 일부 경향성을 벗어나는 데이터가 측정되었으나 L1의 길이가 증가할수록 반치폭이 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 반치폭의 경우 L1의 길이가 90cm 이상일 때부터 요구사양을 벗어나는 결과를 도출하였다.

표 2-1 입력케이블 길이에 대한 결과 값 변화

L1길이(cm)	최대전류값(A) 1,000A ±100A	상승시간(ns) < 20ns	반치폭(ns) 500~550ns
20	1004	17.63	521.79
30	1004	18.67	525.82
40	1084	18.52	516.75
50	1020	26.43	516.09
60	1060	20.78	535.62
70	1090	26.51	548.89
80	1028	29.98	544.56
90	1036	33.10	558.19
100	964	33.74	581.46
120	1028	37.83	592.25
140	1004	44.44	606.63
160	1004	46.81	619.20
180	996	47.37	634.75
200	1004	53.00	623.22

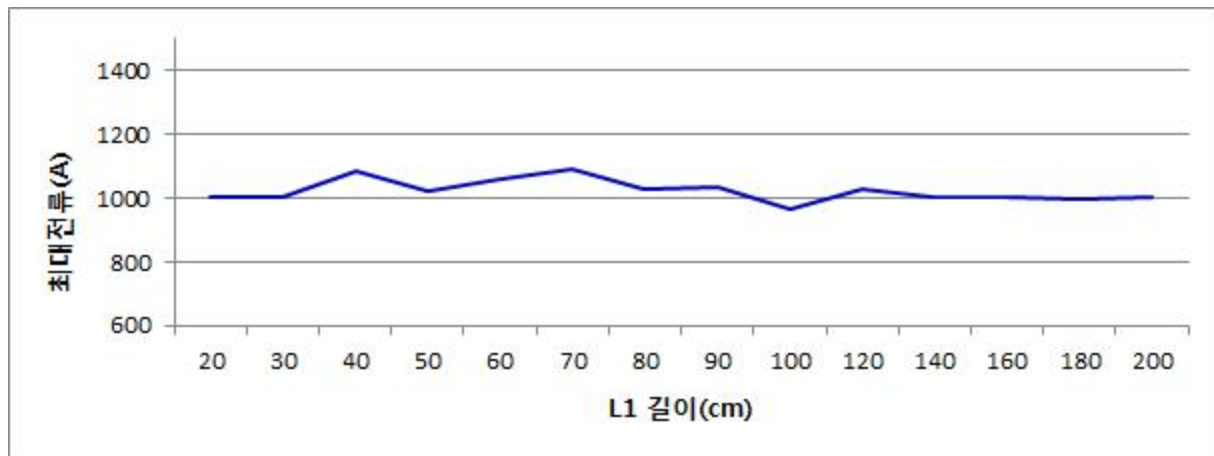


그림 2-6 입력케이블 길이와 최대 전류값 상관관계

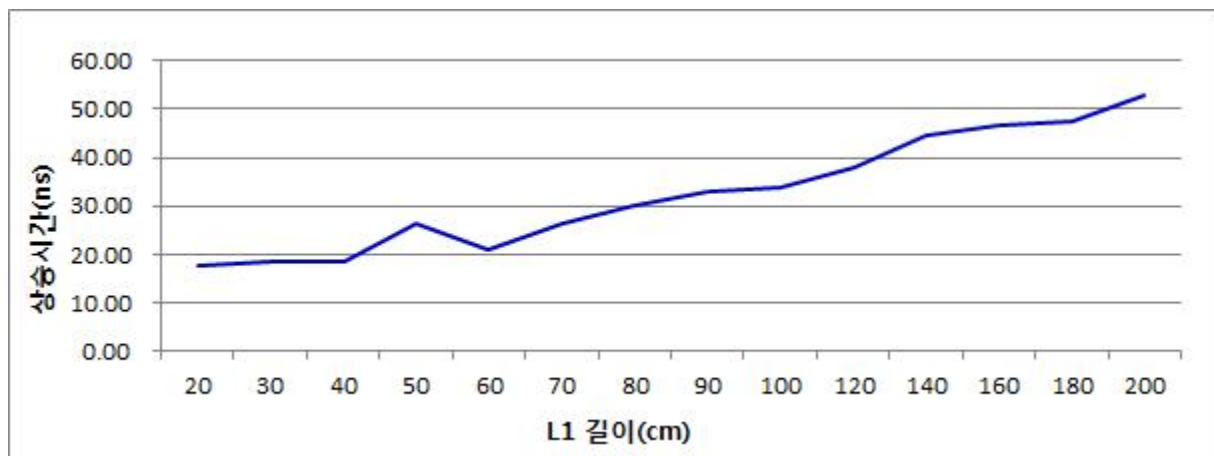


그림 2-7 입력케이블 길이와 상승시간 상관관계

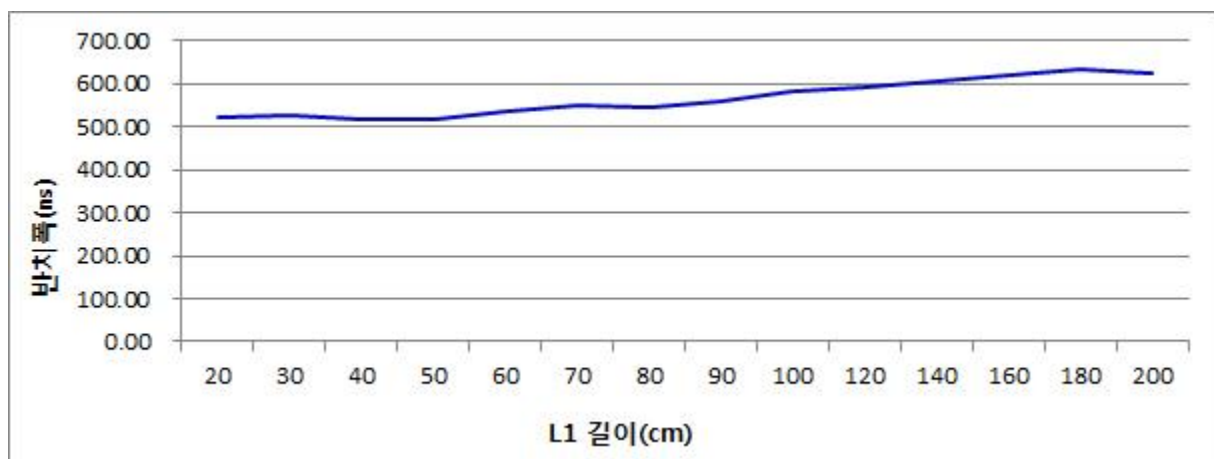
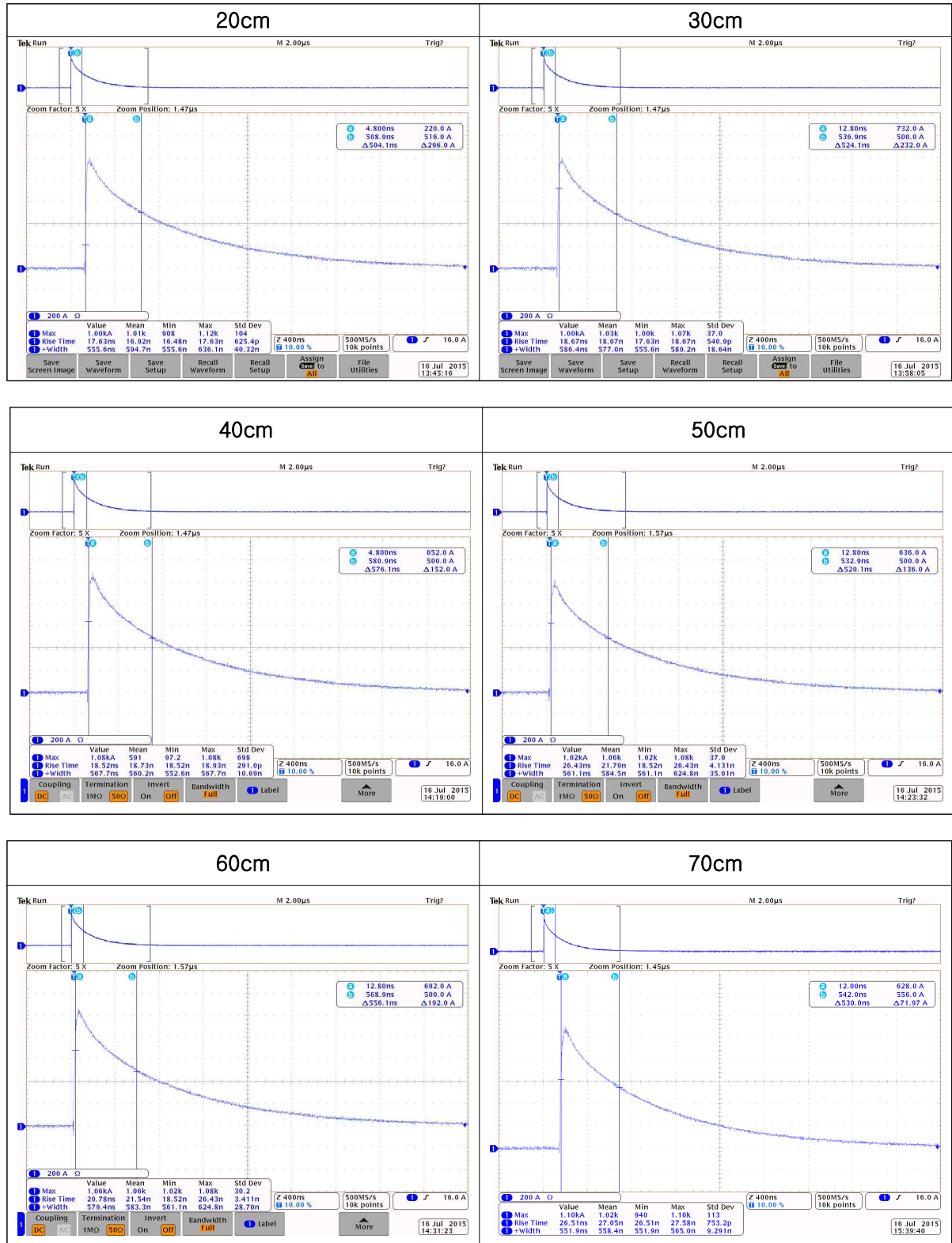


그림 2-8 입력케이블 길이와 반치폭 상관관계

○ 측정과정



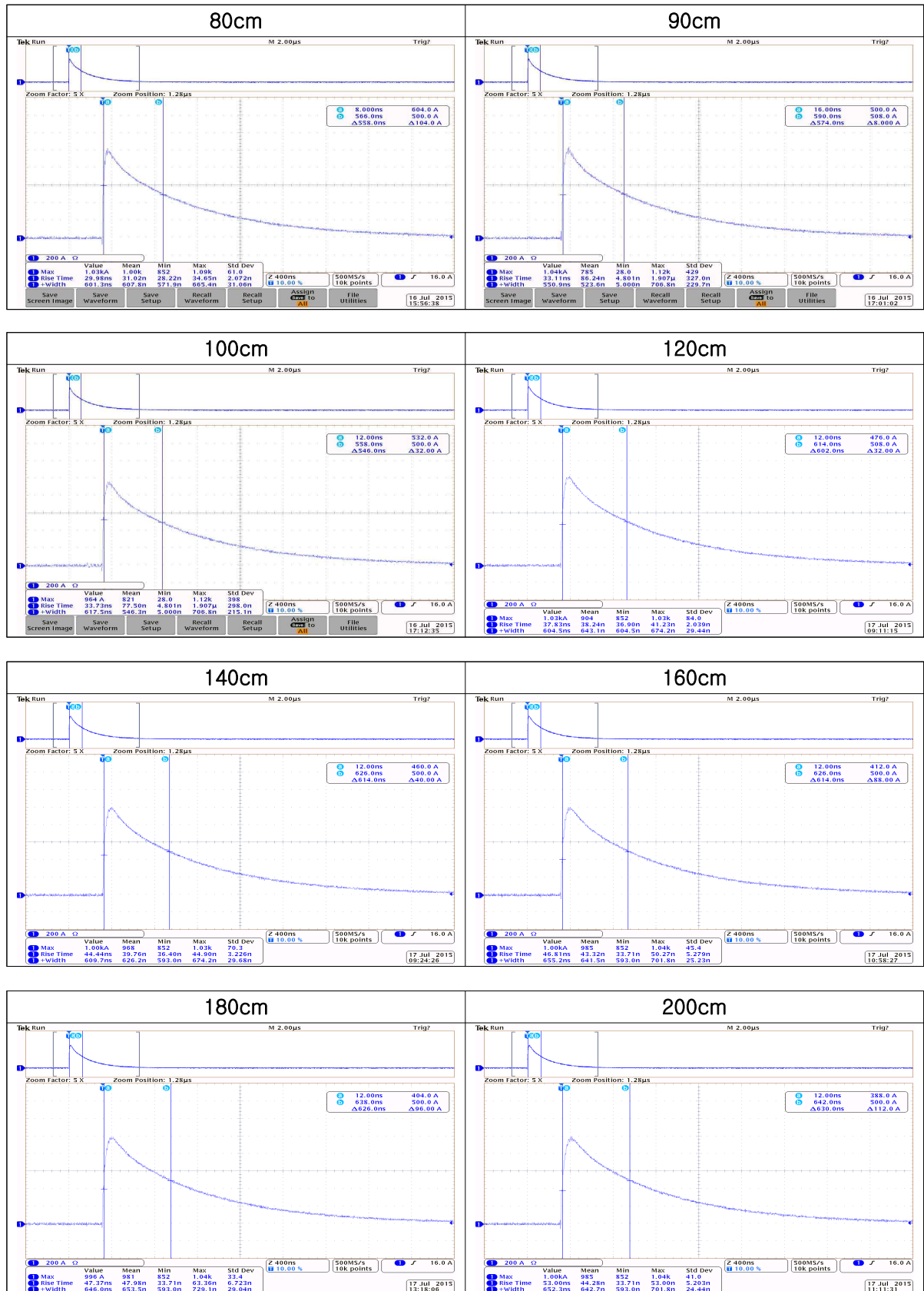


그림 2-9 입력케이블 길이 변화시خم 측정파형

2. 입력케이블 종류 비교시험

○ 시험의 필요성

입력케이블의 종류 비교시험은 케이블 절연에 따라 발생하는 파형이 달라지는 점을 확인하고자 하였다. 일반케이블의 경우 바닥 접지면이나 필터 함체와 맞닿아 있을 경우 케이블을 지나는 펄스신호가 접지면으로 유기되는 현상이 발생하여 절연파괴가 일어나 파형이 측정되지 않거나 파형이 원래의 파형에 비하여 찌그러진 형태의 파형이 발생된다. 케이블의 종류에 따라 값의 변화량을 확인하였다.

○ 시험조건

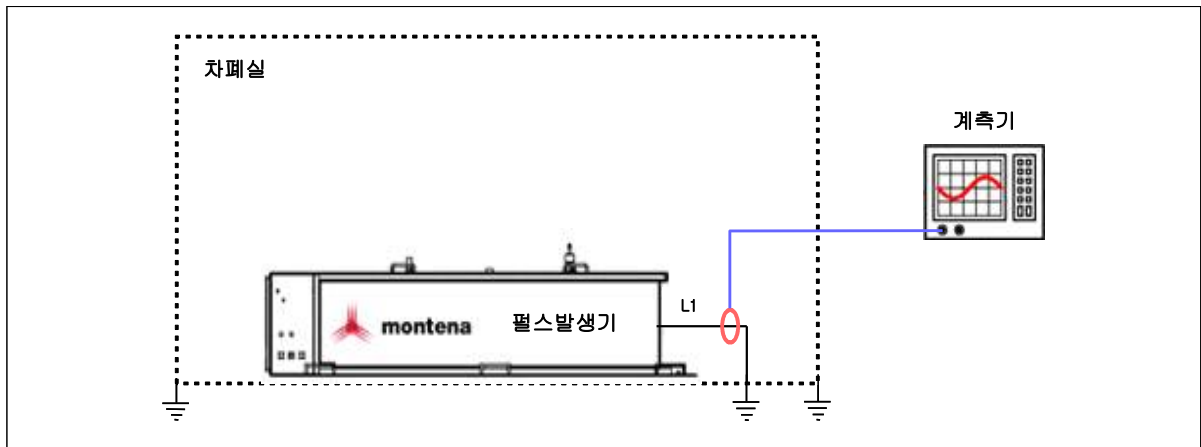


그림 2-10 입력케이블 종류 비교시험 장비구성

- 위 그림과 같이 펄스발생기를 차폐실 내부에 배치하고 계측기를 차폐실 외부에 위치시킨다. 펄스발생기는 Montena EMP 80K-5-500을 사용하였으며 계측기는 Tektronix DPO-7254를 사용하였으며 전류센서는 Bergoz CT F0.1을 사용하였고 20dB감쇠기를 사용하였다.
- 전류 센서의 위치는 L1이 접지되는 지점에서 15cm 떨어진 위치에서 실시하였다.
- PCI 시험은 최대 입력 전류에 대하여 10%, 20%, 40%, 80%, 100%를 입력하도록 되어 있으나 시험환경 분석시 변수 조건을 줄이기 위하여 1kA(전원선 기준 40%)에 대해서만 시험을 실시하였다.
- 모든 조건을 동일하게하고 입력케이블의 종류를 바꿔가며 시험하였다.
- 케이블의 길이는 85cm와 150cm 두 종류에 대해 시험하였다.
- 케이블의 종류는 일반케이블(12AWG), 실리콘케이블, 이중실드고무 케이블, RF케이블을 비교시험 하였다.

○ 시험사진



그림 2-11 입력케이블 종류 비교시험 시험사진1 (일반케이블)



그림 2-12 입력케이블 종류 비교시험 시험사진2 (실리콘케이블)



그림 2-13 입력케이블 종류 비교시험 시험사진3 (이중실드고무케이블)

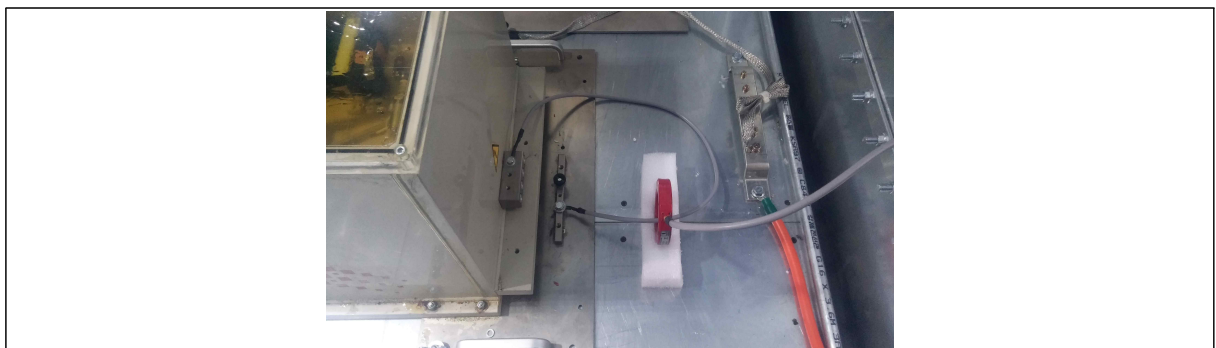


그림 2-14 입력케이블 종류 비교시험 시험사진4 (RF케이블 개조)

○ 시험결과

시험초기 모든 케이블을 바닥 접지면에 붙여 시험을 실시하였다. 비교적 절연이 약한 일반케이블과 실리콘케이블에서 절연파괴가 일어나 계측기 상에 파형이 나오지 않는 현상이 발생 하여 데이터 값을 얻지 못하였다. 이에 따라 접지바닥면과 케이블에 약 3cm의 압축스티로폼을 깔고 시험을 실시하였다. 케이블의 종류와 관계없이 압축스티로폼을 깔아 접지면에서 띄운 상태로 시험을 할 경우 절연파괴가 일어나지 않는 것을 확인하였다.

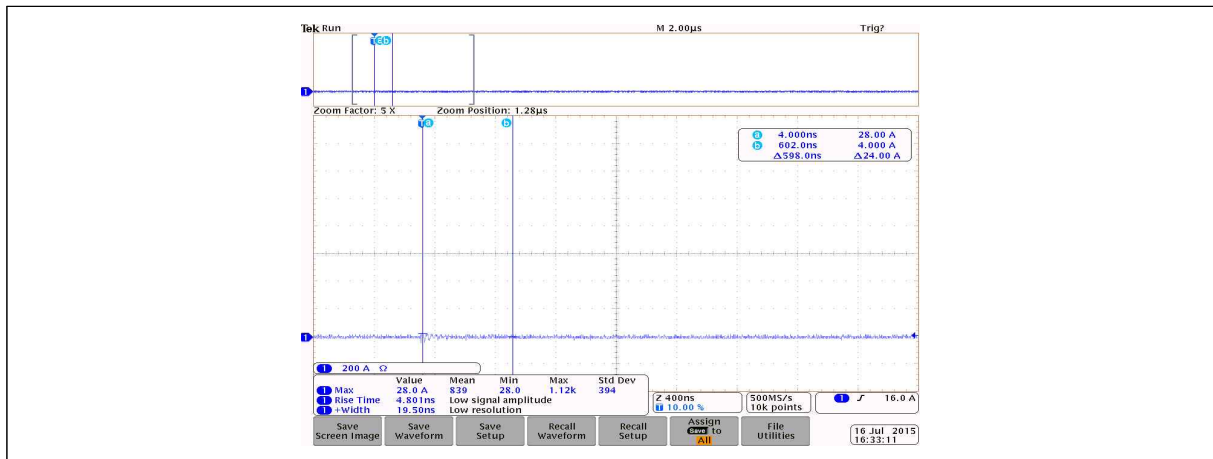


그림 2-15 절연파괴 측정파형

표 2-2 입력케이블 종류별 측정결과

입력케이블 변수	최대전류값(A) 1,000A ±100A	상승시간(ns) < 20ns	반치폭(ns) 500~550ns
일반케이블			
85cm	1028	29.98	544.56
150cm	1028	46.21	600.75
실리콘케이블			
85cm	1028	33.29	596.73
150cm	996	36.34	628.90
이중실드고무케이블			
85cm	1080	31.04	537.40
150cm	1024	46.53	607.00
RF케이블			
85cm	1048	37.25	573.29
150cm	1040	31.04	586.71

○ 측정파형

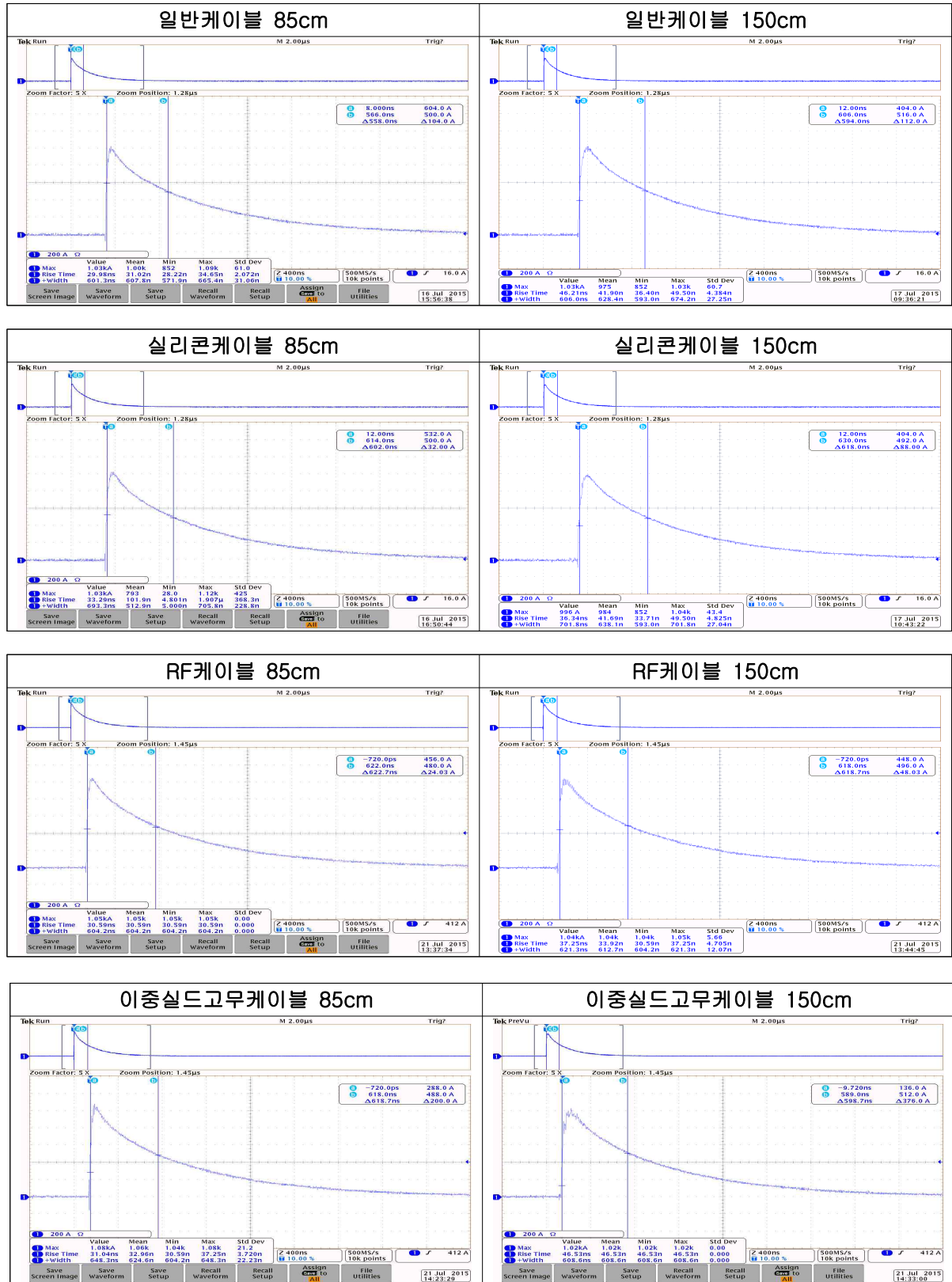


그림 2-16 입력케이블 종류 비교시험 측정파형

3. 출력케이블 길이변화 시험

○ 시험의 필요성

입력케이블과 마찬가지로 케이블의 길이에 따라 값의 결과값의 변화가 있을 것으로 예측되어 시험을 실시하였다.

○ 시험조건

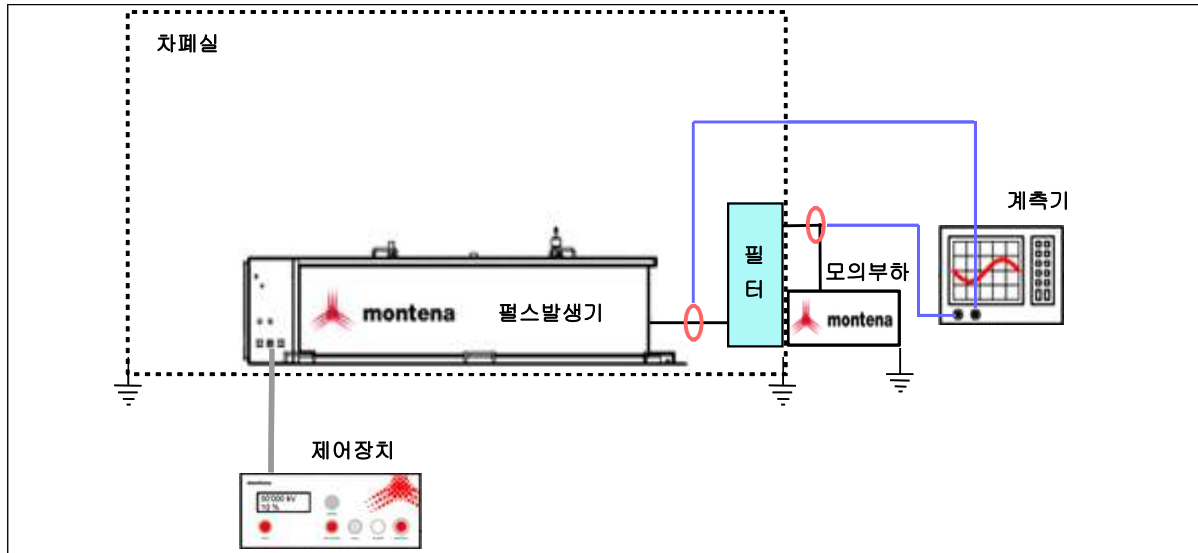


그림 2-17 출력케이블 길이 변화 시험 장비 구성

- 위 그림과 같이 펄스발생기를 차폐실 내부에 배치하고 계측기를 차폐실 외부에 위치시킨다. 펄스발생기는 Montena EMP 80K-5-500을 사용하였으며 계측기는 Tektronix DPO-7254를 사용하였으며 전류센서는 Bergoz CT F1.0을 사용하였다.
- 필터는 국내 제조사인 I-SPEC社의 전원선 30A 필터를 사용하였으며 10회 반복측정에도 결과값 오차가 $\pm 0.05A$ 이내로 안정적인 성능을 나타내는 것을 확인하였다.
- 전류 센서의 위치는 필터 출력단자에서 15cm 이내로 위치시켰다.
- 케이블의 길이는 40cm, 80cm, 120cm, 160cm, 200cm 다섯 가지의 변수로 시험하였다.
- PCI 시험은 최대 입력 전류에 대하여 10%, 20%, 40%, 80%, 100%를 입력하도록 되어 있으나 시험환경 분석시 변수 조건을 줄이기 위하여 1kA(전원선 기준 40%)에 대해서만 시험을 실시하였다.

○ 시험사진

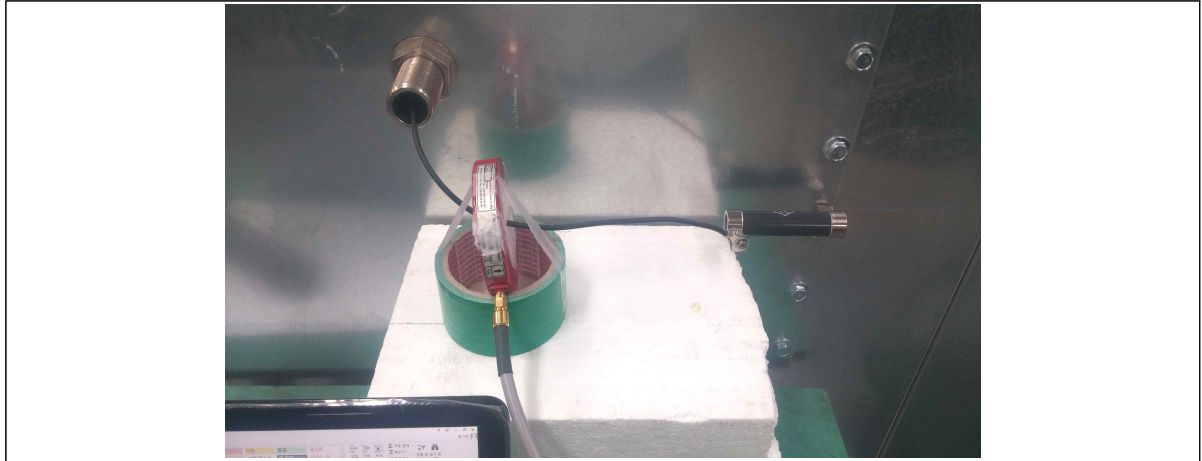


그림 2-18 출력케이블 길이 변화 시험 측정사진1 (40cm)

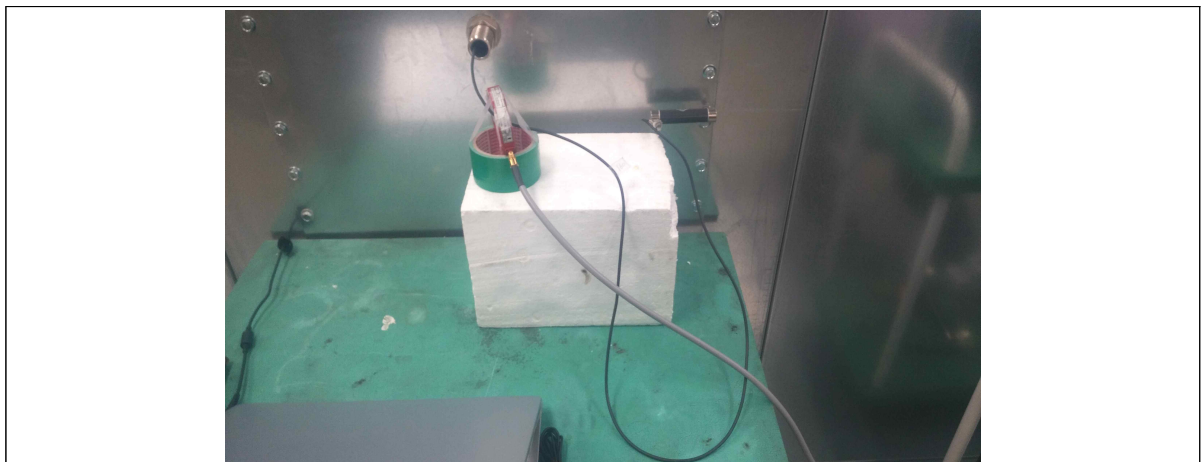


그림 2-19 출력케이블 길이 변화 시험 측정사진2 (120cm)

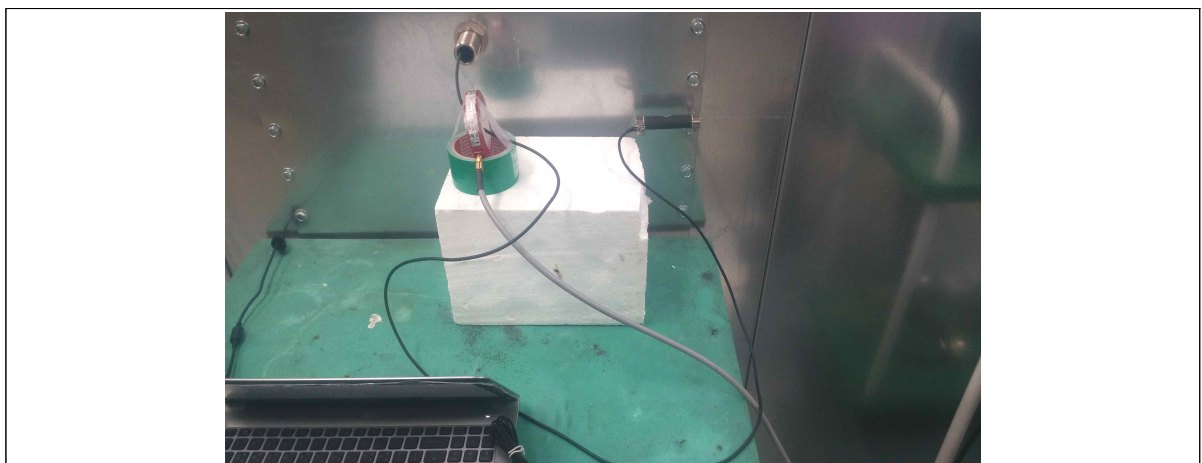


그림 2-20 출력케이블 길이 변화 시험 측정사진3 (200cm)

○ 시험결과

시험결과는 출력케이블의 길이에 대한 결과값의 변화는 거의 없다는 것을 알 수 있었다. 출력단의 펄스는 이미 필터에서 걸러지는 파형이므로 대부분 10A미만의 최대전류값을 가지므로 출력 라인의 길이는 결과값에 아주 미미한 영향을 미친다는 결과를 확인 할 수 있었다. 특히 최대상승률은 모두 같은 값을 도출할 수 있었다.

표 2-3 출력케이블 길이에 따른 측정결과

출력케이블 길이(cm)	Peak Current(A) < 10A	Peak rate of rise(A/s) $\leq 1 \times 10^7$	Root Action(A \sqrt{s}) $\leq 1.6 \times 10^{-1}$
40	2.112	160000	0.0162
80	2.192	160000	0.0168
120	2.160	160000	0.0165
160	2.160	160000	0.0164
200	2.144	160000	0.0162

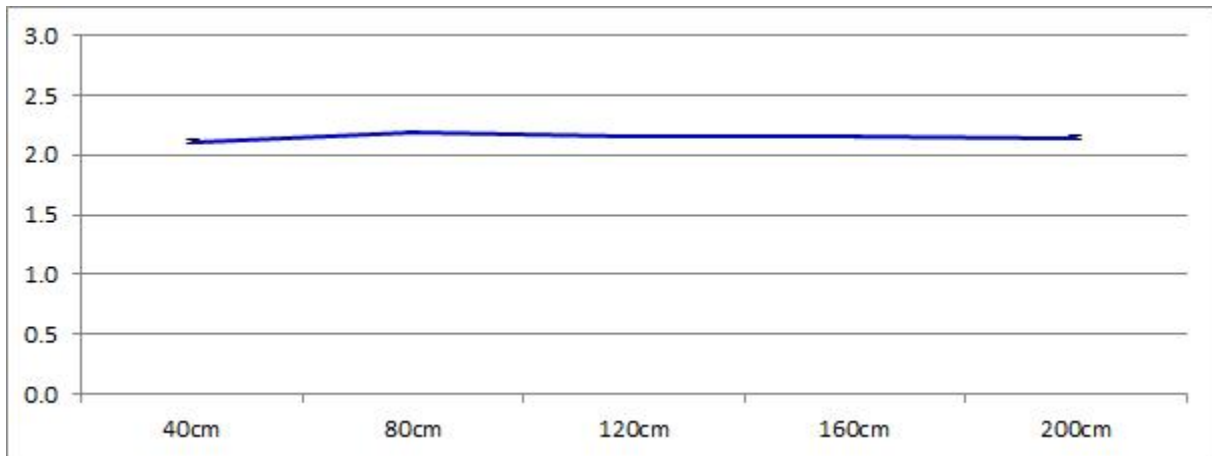


그림 2-21 출력케이블 길이와 최대전류값 상관관계

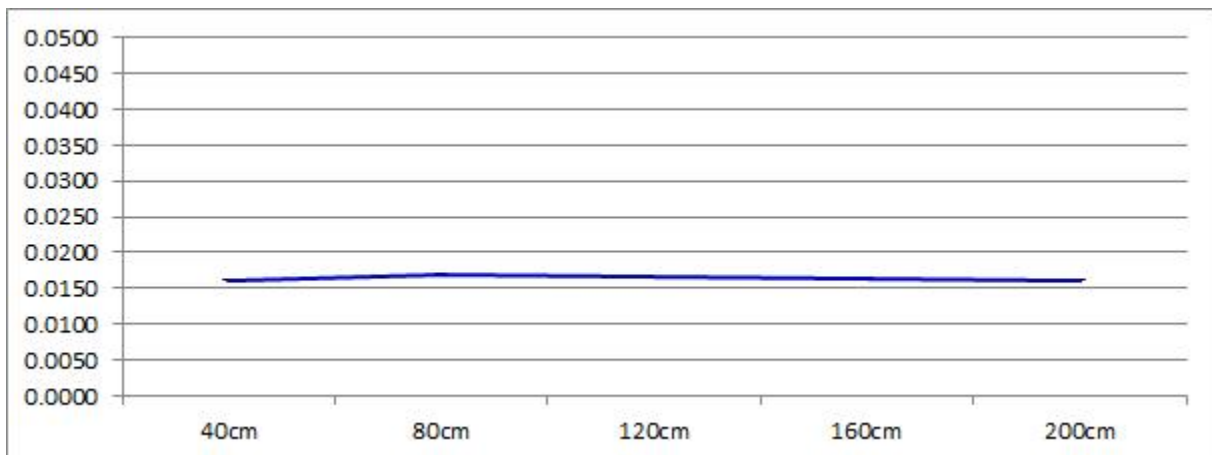


그림 2-22 출력케이블 길이와 Root Action 상관관계

○ 측정파형

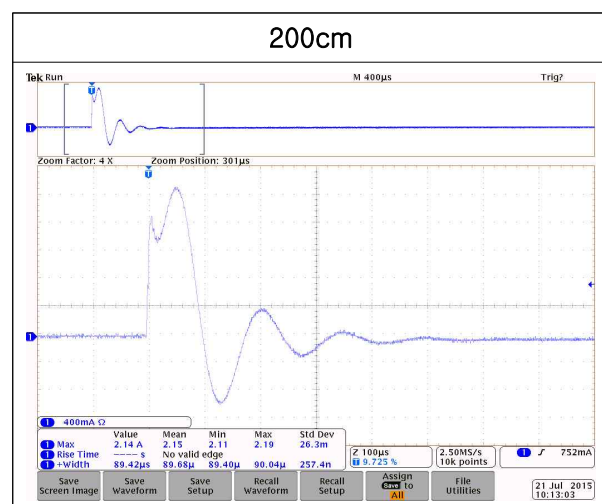
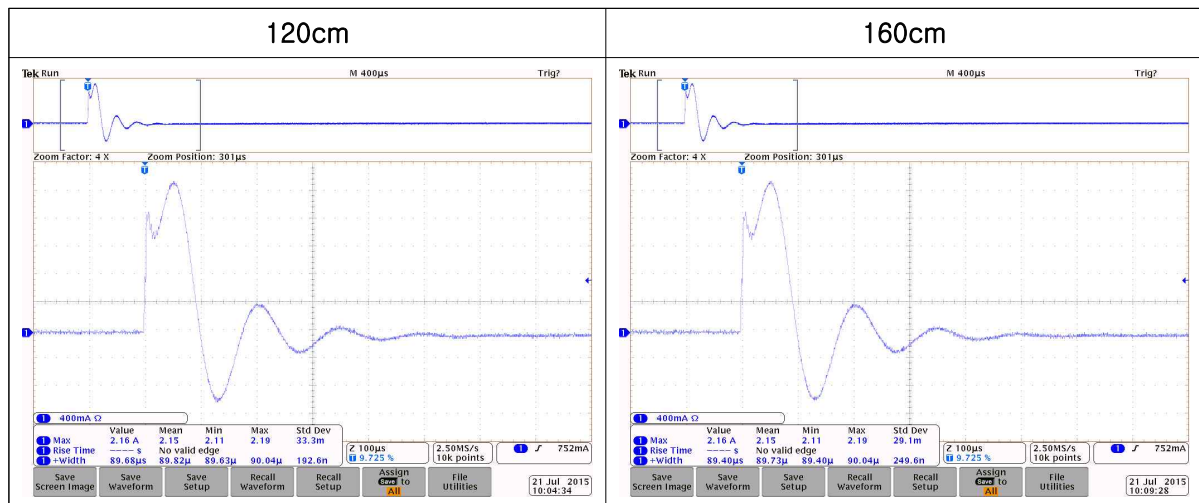
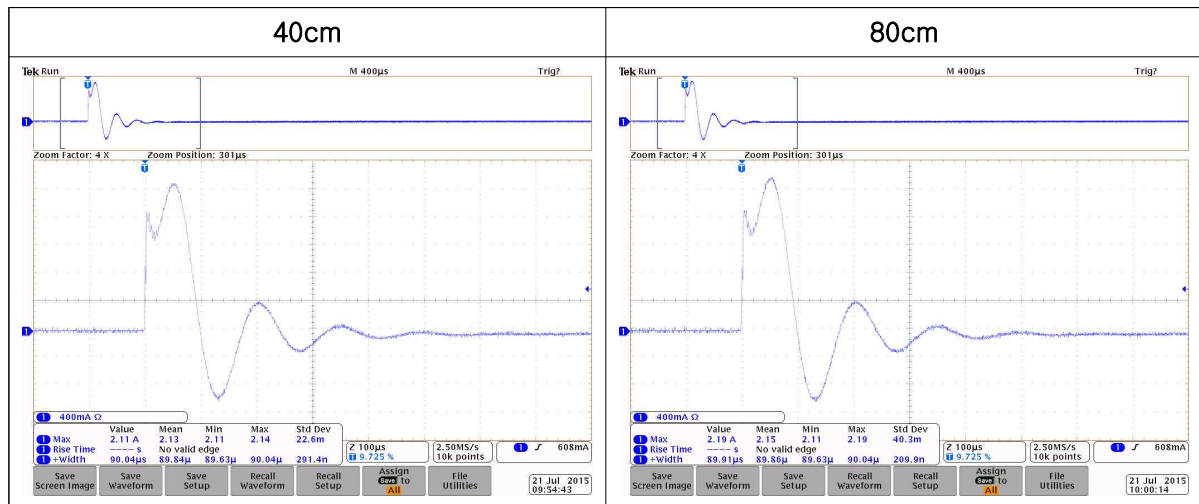


그림 2-23 출력케이블 길이 변화시험 측정파형

4. 입력전류 센서 위치 가변 시험

○ 시험의 필요성

고시 세부내용을 확인해보면 전류센서의 위치를 인입점보호장치 단자에서 15cm 이내에 위치하도록 하였다. 하지만 현장시험 진행시 그 조건을 따르기 위해 RF케이블의 길이가 길어지는 역효과가 발생한다. 이에 따라 센서의 위치 변화에 따라 결과값에 미치는 영향을 알아보하고자 하였으며 센서의 위치를 가변 하였을 때 어떤 구간까지 결과값이 유효한지를 확인하였다.

○ 시험조건

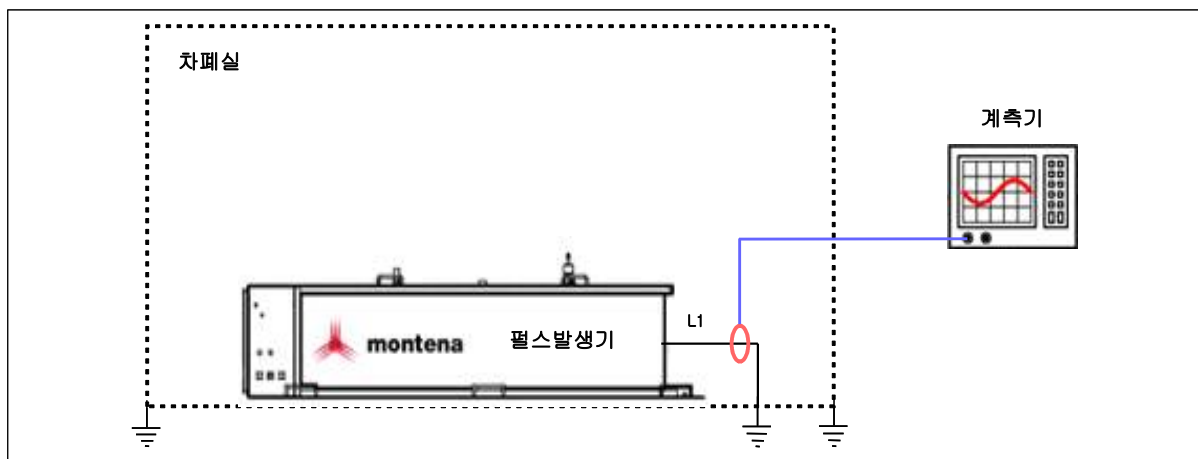


그림 2-24 입력 전류센서 위치 가변 시험 장비구성

- 위 그림과 같이 펄스발생기를 차폐실 내부에 배치하고 계측기를 차폐실 외부에 위치시킨다. 펄스발생기는 Montena EMP 80K-5-500을 사용하였으며 계측기는 Tektronix DPO-7254를 사용하였으며 전류센서는 Bergoz CT F0.1을 사용하였다.
- 입력케이블은 100cm로 고정하여 연결하였고 센서 위치를 접지면 기준으로 15cm, 40cm, 60cm, 80cm, 100cm로 변경하여 비교시험을 실시하였다.
- PCI 시험은 최대 입력 전류에 대하여 10%, 20%, 40%, 80%, 100%를 입력하도록 되어 있으나 시험환경 분석시 변수 조건을 줄이기 위하여 1kA(전원선 기준 40%)에 대해서만 시험을 실시하였다.

○ 시험사진

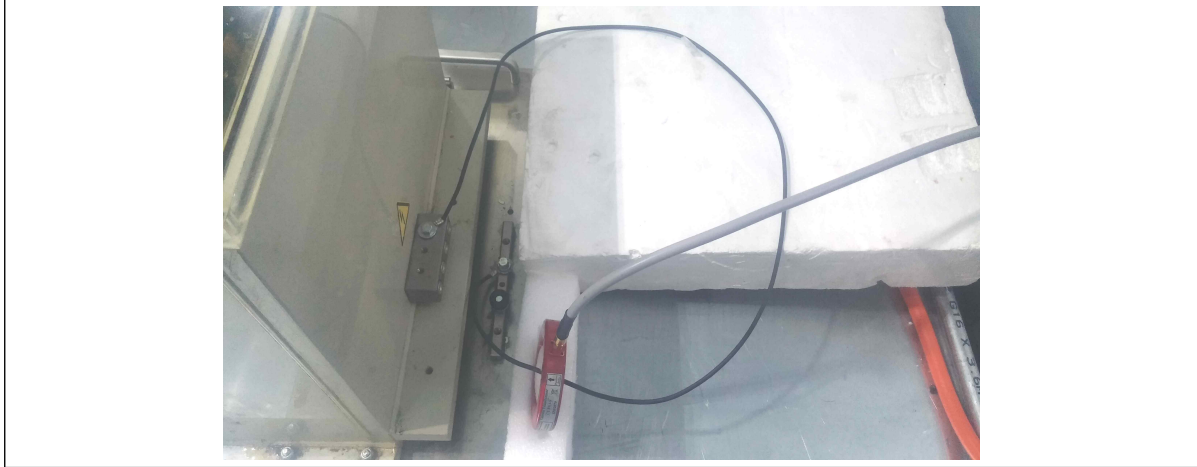


그림 2-25 입력 전류센서 위치 가변시험 사진1 (15cm)

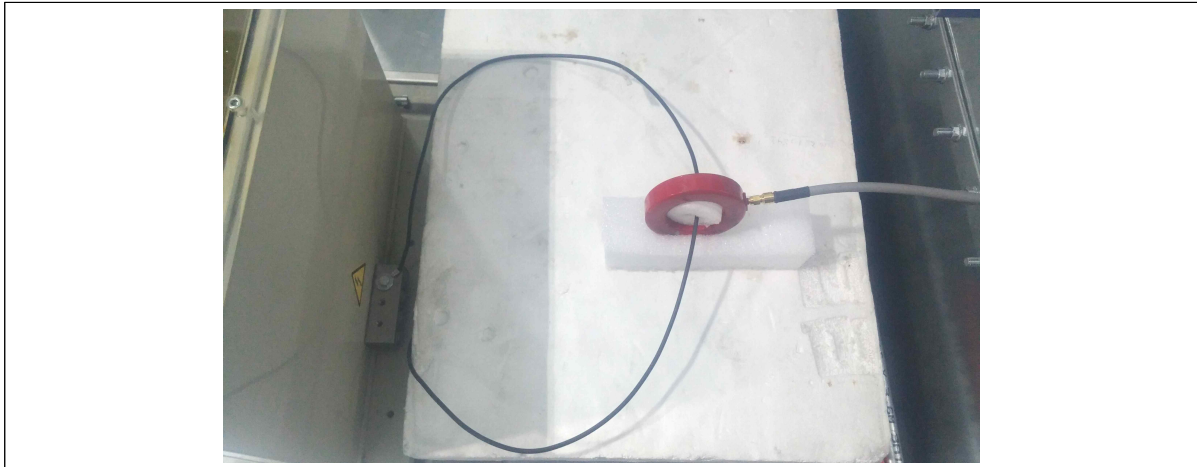


그림 2-26 입력 전류센서 위치 가변시험 사진2 (60cm)



그림 2-27 입력 전류센서 위치 가변시험 사진3 (100cm)

○ 시험결과

시험결과 입력 전류 측정 센서의 위치는 15 ~ 100cm 구간에서 최대전류의 변화량은 50A정도의 오차를 보였다. 입력 전류가 1000A인 점을 감안하면이 비교적 낮은 오차율이며 위치에 대한 경향성을 나타내지 않았다. 최대전류의 90% 지점을 나타내는 상승시간과 이중지수 파형의 반치폭에서도 경향성을 보이지 않았다. 앞서 시험한 입력케이블의 길이변화 시험과 마찬가지로 100cm로 고정하고 시험을 실시한 결과 반치폭에서 벗어나는 경향을 보였다.

표 2-4 입력 전류센서 위치 가변시험 측정결과

센서위치(cm)	Peak Current(A) 1000A \pm 10%	Rise time(ns) < 20ns	FWHM(ns) 500~550
15	1048	30	582.29
40	1001	26	595.33
60	1024	26	591.20
80	1040	28	591.27
100	1024	26	595.05

○ 측정파형

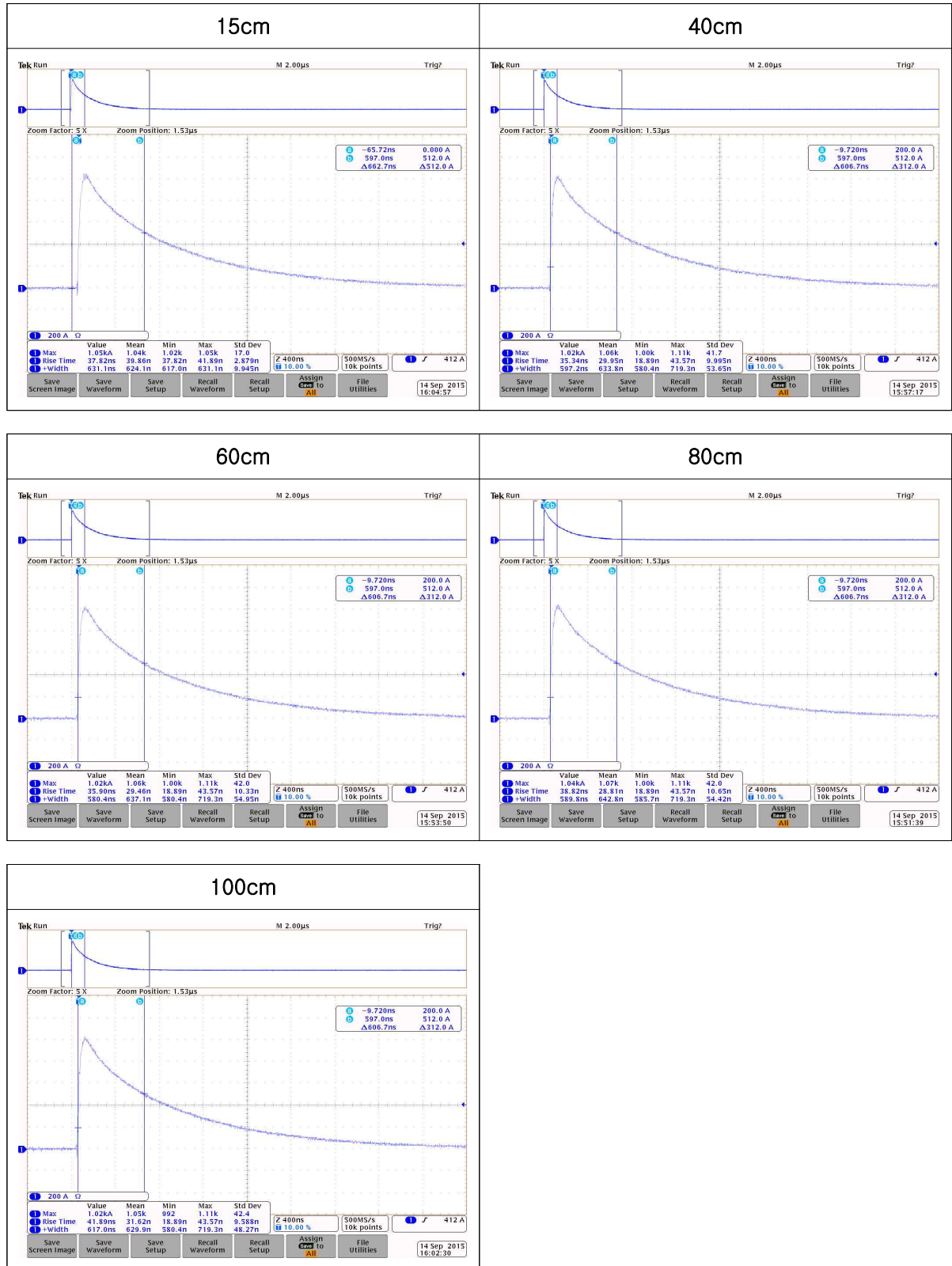


그림 2-28 입력 전류센서 위치 가변시험 측정파형

5. 잔류전류 센서 위치 가변 시험

○ 시험의 필요성

입력 전류 센서 위치 가변시험과 마찬가지로 잔류 전류센서의 위치를 인입 점보호장치 단자에서 15cm 이내에 위치하도록 하였다. 입력 전류센서 위치 가변시험과 마찬가지로 현장시험 진행시 그 조건을 따르기 어렵다. 이에 따라 센서의 위치 변화에 따라 결과값에 미치는 영향을 알아보려고 하였으며 센서의 위치를 가변 하였을 때 어떤 구간까지 결과값이 유효한지를 확인하였다.

○ 시험조건

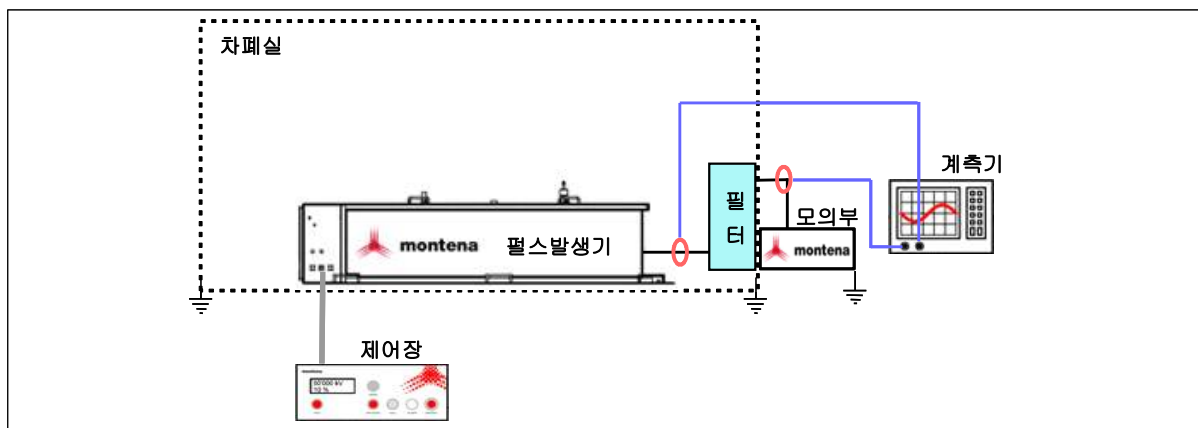


그림 2-29 잔류 전류센서 위치 가변 시험 장비구성

- 위 그림과 같이 펄스발생기를 차폐실 내부에 배치하고 계측기를 차폐실 외부에 위치시킨다. 펄스발생기는 Montena EMP 80K-5-500을 사용하였으며 계측기는 Tektronix DPO-7254를 사용하였으며 전류센서는 Bergoz CT F1.0을 사용하였다.
- 필터는 국내 제조사인 I-SPEC社의 전원선 30A 필터를 사용하였으며 10회 반복측정에도 결과값 오차가 $\pm 0.05A$ 이내로 안정적인 성능을 나타내는 것을 확인하였다.
- 입력케이블은 최대한 짧게하여 50cm로 연결하였고 출력케이블의 길이는 동일한 임피던스 값을 위하여 일반케이블 200cm를 사용하였다.
- 전류 센서의 위치는 필터 출력단자에서 15cm, 40cm, 80cm, 120cm, 160cm, 200cm 로 변경하여 비교시험을 실시하였다.
- PCI 시험은 최대 입력 전류에 대하여 10%, 20%, 40%, 80%, 100%를 입력하도록 되어 있으나 시험환경 분석시 변수 조건을 줄이기 위하여 1kA(전원선 기준 40%)에 대해서만 시험을 실시하였다.

○ 시험사진

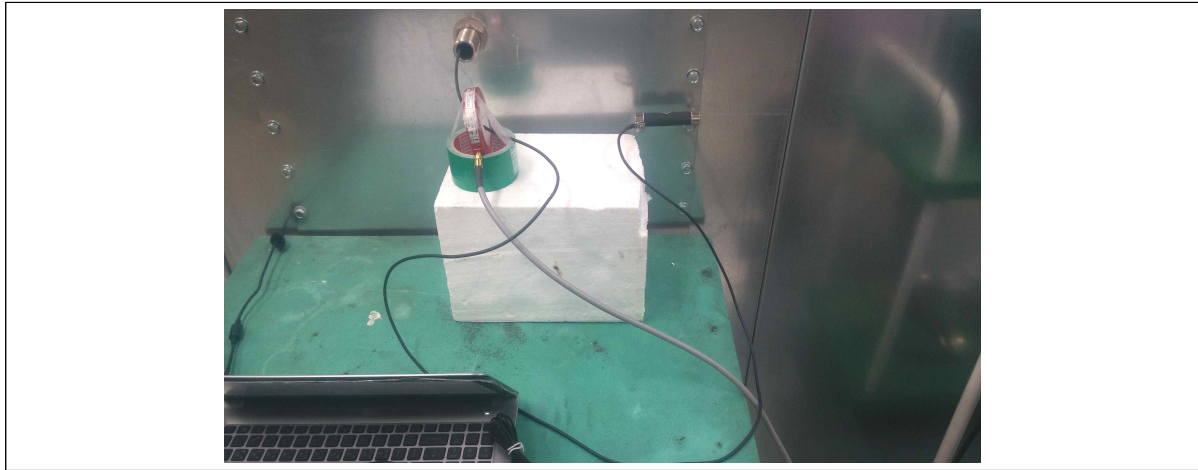


그림 2-30 전류센서 위치 가변시험 사진1 (15cm)

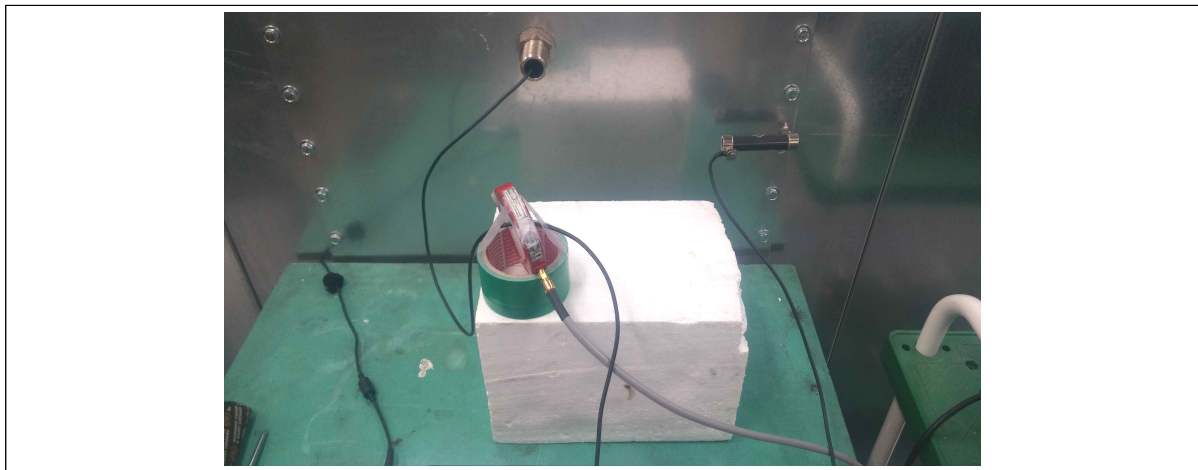


그림 2-31 전류센서 위치 가변시험 사진2 (40cm)

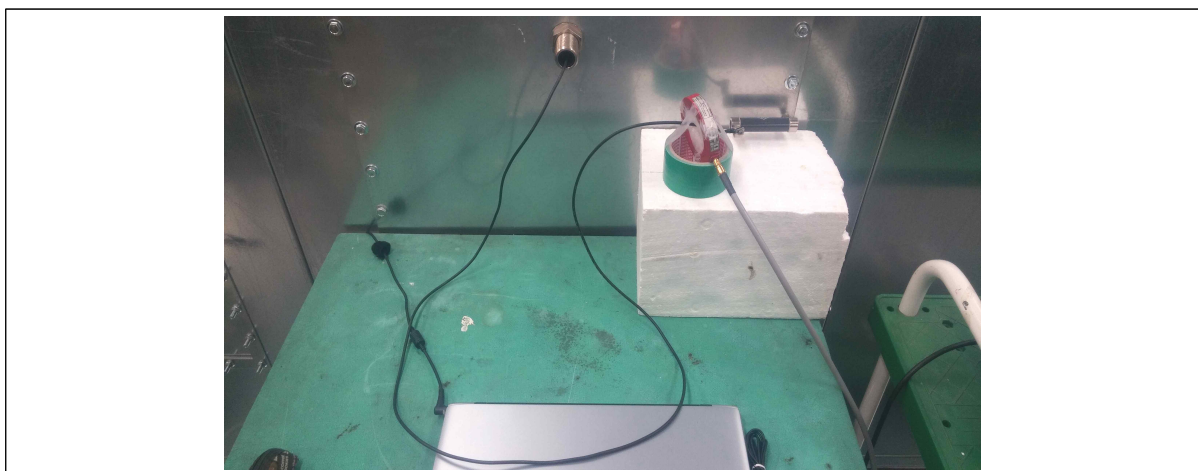


그림 2-32 전류센서 위치 가변시험 사진3 (200cm)

○ 시험결과

시험결과 15cm 잔류전류 측정 센서의 위치는 15 ~ 200cm 구간에서 최대전류의 변화량은 0.05A정도의 오차를 보였다. 이 결과값은 최적의 조건에서 필터를 10회 반복시험 하였을 때 나타나는 오차수준이었으며 200cm 일 때 최대전류값과 Root Action값 오히려 상승하는 경우가 발생하여 데이터의 경향성이 없는 것으로 판단되어 잔류전류 센서위치는 결과값에 미미한 영향을 주는 것으로 확인되었다.

표 2-5 잔류 전류센서 위치 가변시험 측정결과

센서위치(cm)	Peak Current(A) < 10A	Peak rate of rise(A/s) $\leq 1 \times 10^7$	Root Action(A \sqrt{s}) $\leq 1.6 \times 10^{-1}$
15	2.176	200000	0.0164
40	2.160	200000	0.0162
80	2.128	160000	0.0161
120	2.096	160000	0.0158
160	2.096	160000	0.0159
200	2.128	160000	0.0161

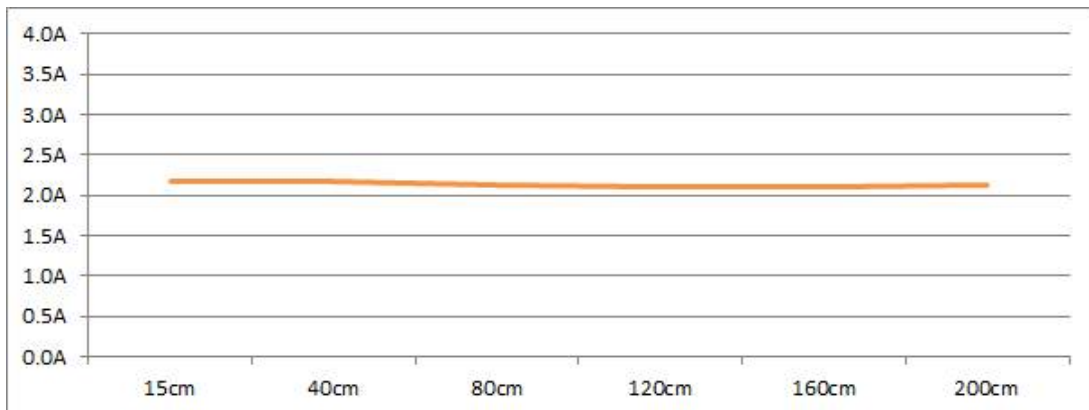


그림 2-33 잔류전류 측정센서 위치와 최대전류값 상관관계

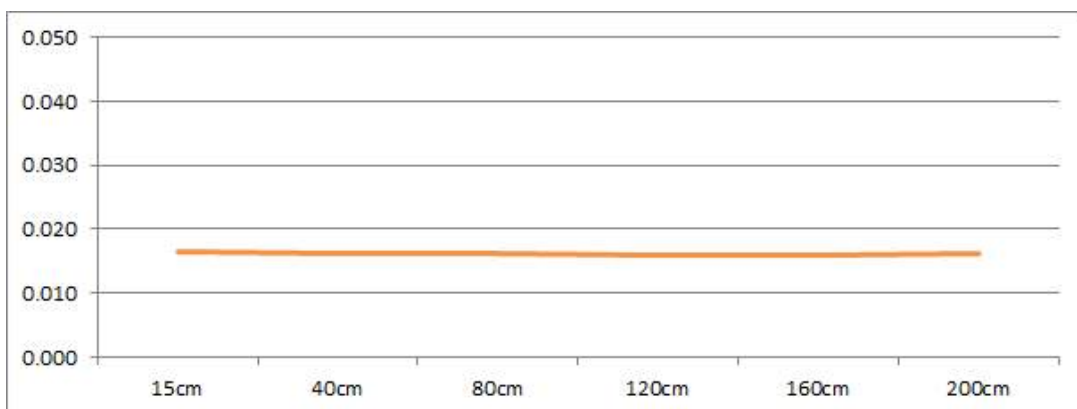


그림 2-34 잔류전류 측정센서 위치와 Root Action 상관관계

○ 측정파형

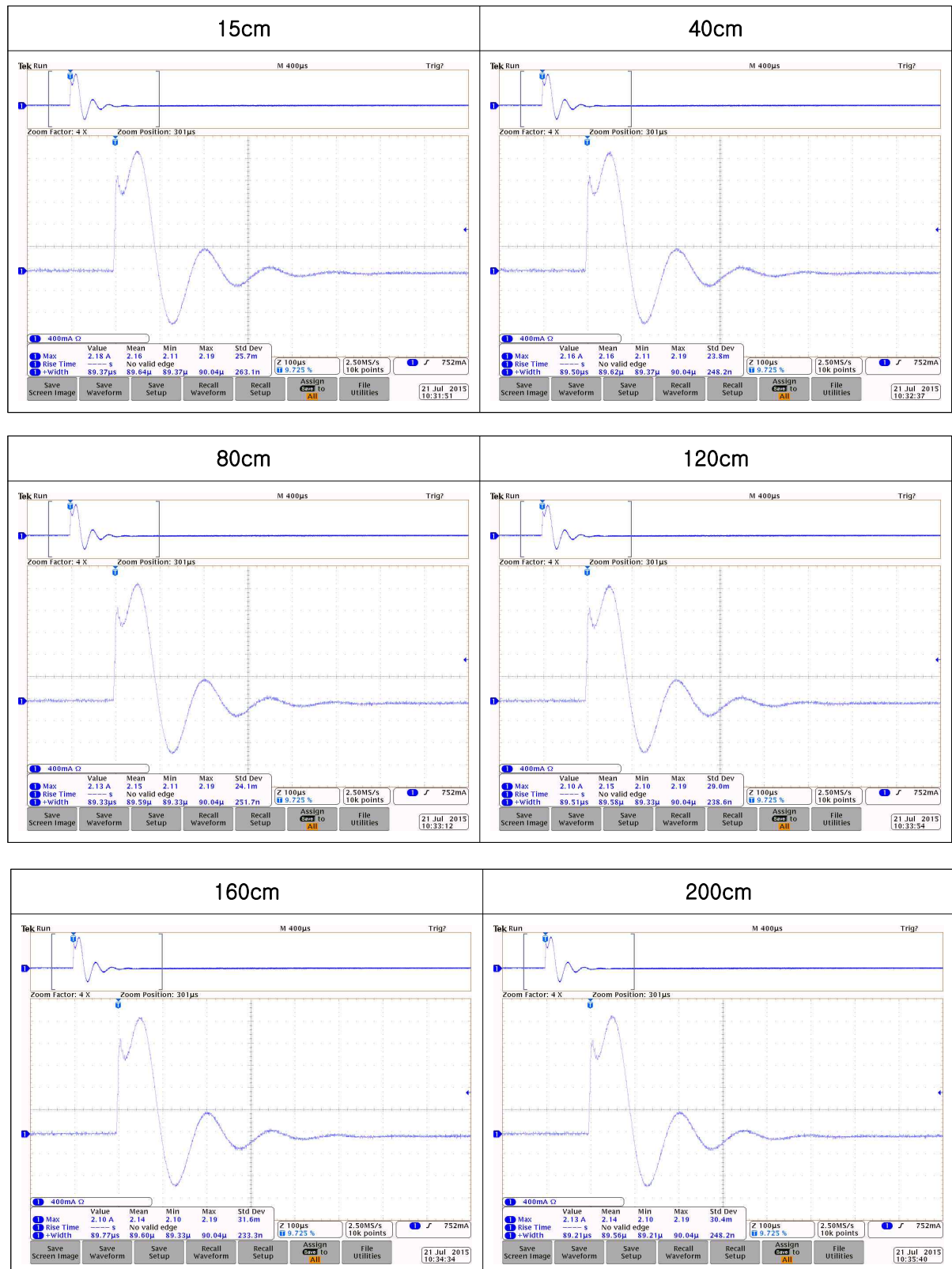


그림 2-35 잔류전류 측정센서 위치 가변시험 측정파형

6. 입력케이블 두께 가변시험

○ 시험의 필요성

입력케이블의 두께가 시험에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 일반적으로 케이블의 두께가 두꺼워질수록 임피던스가 낮아지는데 이 점을 확인하고자 하였으며 시험을 진행할 때 적합한 입력케이블의 두께를 선정하고자 시험을 실시하였다.

○ 시험조건

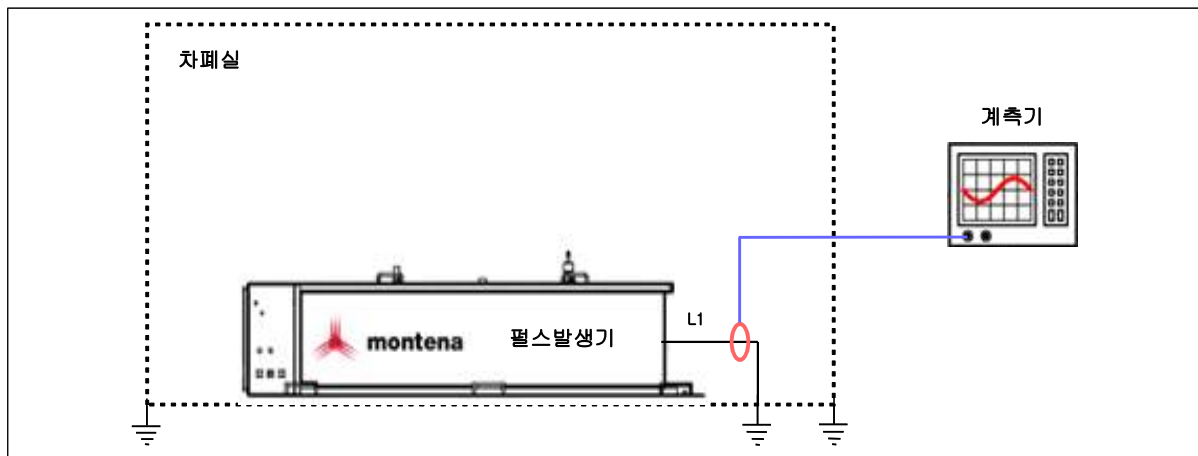


그림 2-36 입력 케이블 두께 가변 시험 장비구성

- 위 그림과 같이 펄스발생기를 차폐실 내부에 배치하고 계측기를 차폐실 외부에 위치시킨다. 펄스발생기는 Montena EMP 80K-5-500을 사용하였으며 계측기는 Tektronix DPO-7254를 사용하였으며 전류센서는 Bergoz CT F0.1을 사용하였다.
- 입력케이블은 사전시험에서 안정적인 입력파형을 만들었던 40cm로 고정하였고 전선의 두께를 4SQ, 6SQ, 10SQ, 16SQ 네 종류의 케이블로 비교시험을 실시하였다.
- PCI 시험은 최대 입력 전류에 대하여 10%, 20%, 40%, 80%, 100%를 입력하도록 되어 있으나 시험환경 분석시 변수 조건을 줄이기 위하여 1kA(전원선 기준 40%)에 대해서만 시험을 실시하였다.

○ 시험사진

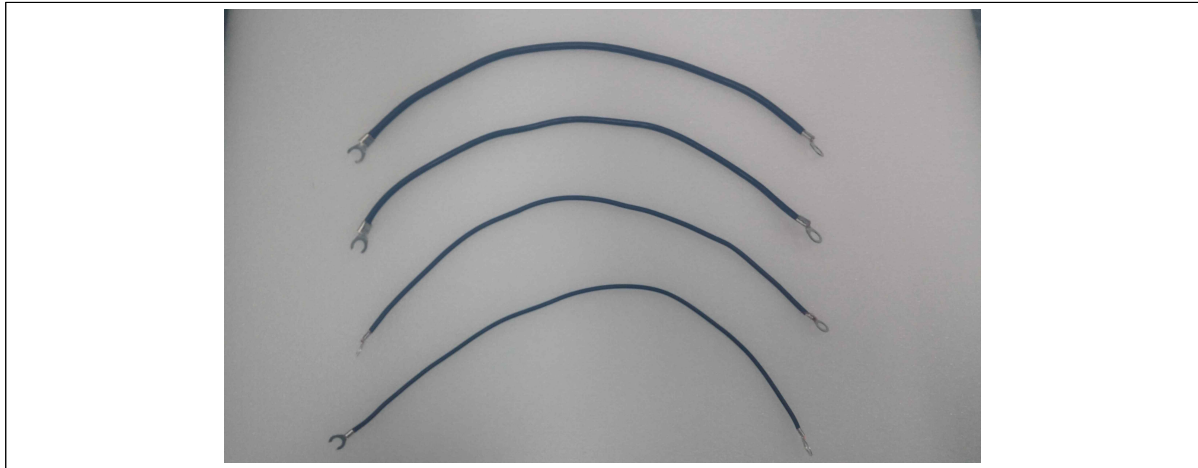


그림 2-37 케이블 굵기 비교사진 (상단부터 16, 10, 6, 4 SQ)

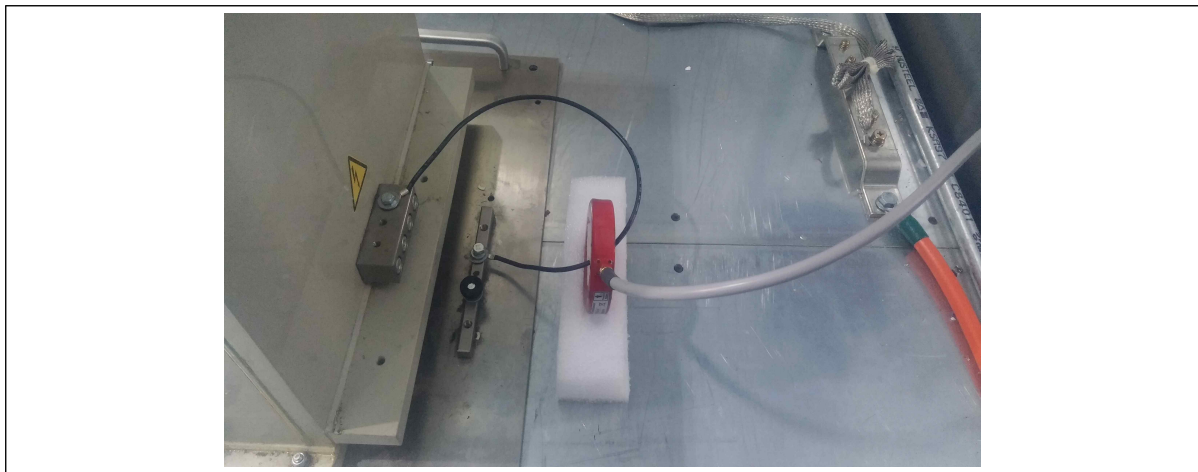


그림 2-38 케이블 굵기 변화시험 (6SQ, 40cm)



그림 2-39 케이블 굵기 변화시험 (16SQ, 40cm)

○ 시험결과

시험결과 입력케이블 두께와 최대 전류값의 영향의 미미하며 경향성을 보이지 않았고 상승시간 역시 큰 변화는 없었으나 두꺼워질수록 상승시간이 빨라지는 경향을 나타내었으며 반치폭 또한 줄어드는 경향을 나타내었다. 측정파형을 확인해보면 두께가 두꺼워 질수록 보다 날카로운 형태의 이중지수파형을 나타내었다.

표 2-6 입력 케이블 두께 가변시험 측정결과

케이블 두께(SQ)	Peak Current(A) 1000A \pm 10%	Rise time(ns) < 20ns	FWHM(ns) 500~550
4	1088	18	543.26
6	1104	18	539.87
10	1120	18	516.93
16	1104	12	510.67

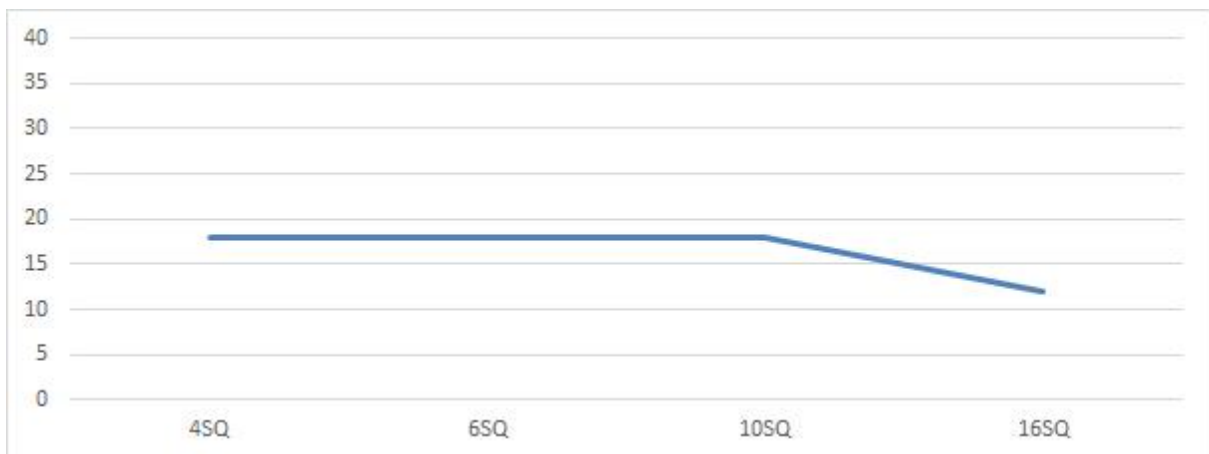


그림 2-40 입력케이블 두께와 상승시간 상관관계

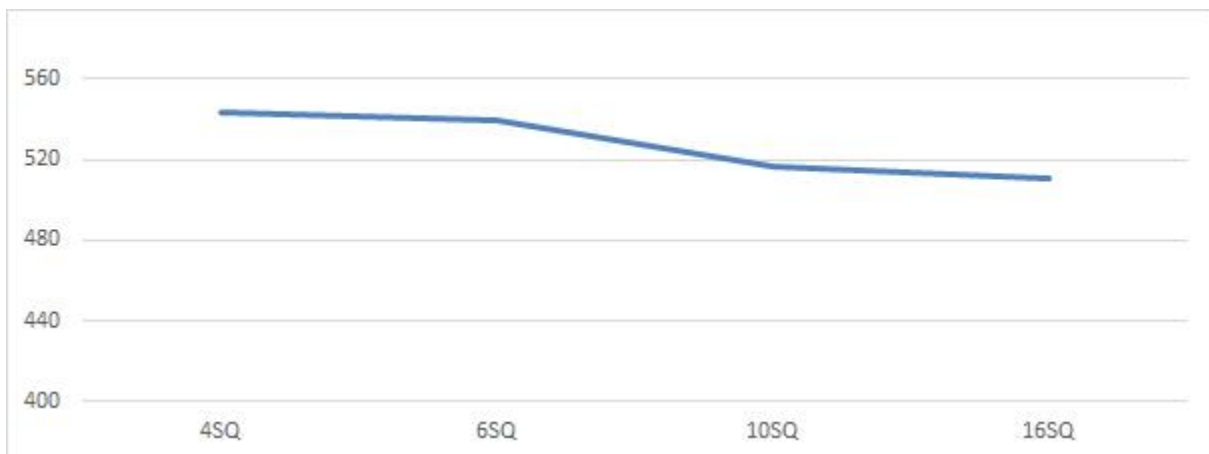


그림 2-41 입력케이블 두께와 반치폭 상관관계

○ 측정파형

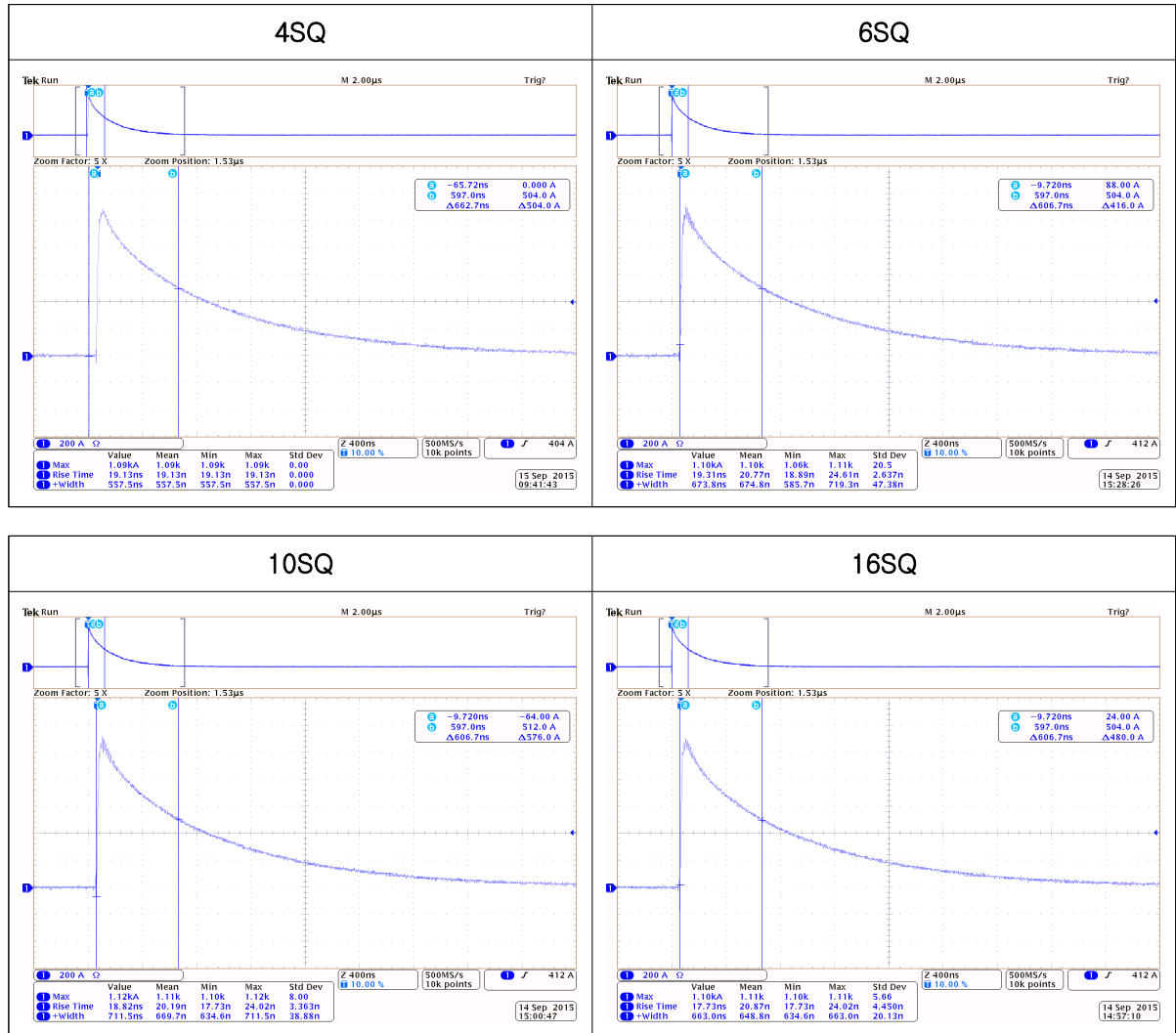


그림 2-42 입력케이블 두께 가변시험 측정파형

7. 필터 접지상태 비교시험

○ 시험의 필요성

필터를 방호시설 함체에 부착할 때 작업자 부주의 또는 기타요인으로 접지 상태가 불량할 때 필터 내부의 고전압방전소자(MOV, GDT)의 동작이 원활하지 못해 고전압 펄스를 접지로 방전 시키지 못할 경우 전도성 안전성평가 결과에 영향을 줄 수 있다.

○ 시험조건

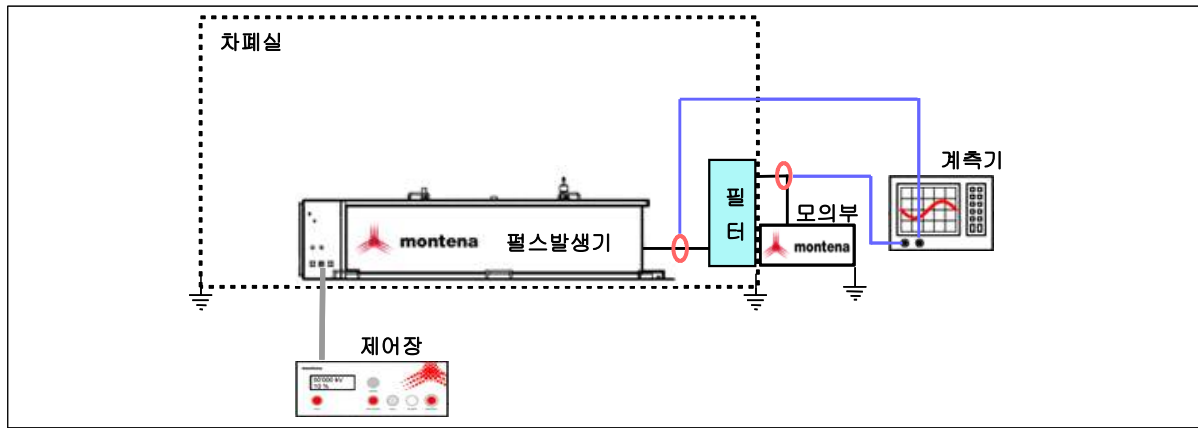


그림 2-43 필터접지상태 비교시험 시험 장비구성

- 위 그림과 같이 펄스발생기를 차폐실 내부에 배치하고 계측기를 차폐실 외부에 위치시킨다. 펄스발생기는 Montena EMP 80K-5-500을 사용하였으며 계측기는 Tektronix DPO-7254를 사용하였으며 전류센서는 Bergoz CT F1.0을 사용하였다.
- 필터는 국내 제조사인 I-SPEC社의 전원선 30A 필터를 사용하였으며 10회 반복측정에도 결과값 오차가 $\pm 0.05A$ 이내로 안정적인 성능을 나타내는 것을 확인하였다.
- 입력케이블은 최대한 짧게하여 50cm로 연결하였고 출력케이블의 길이는 동일한 임피던스 값을 위하여 일반케이블 30cm를 사용하였다.
- 전류 센서의 위치는 필터 출력단자에서 15cm로 고정하였고 필터의 접지 상태가 좋을 때와 좋지 않을 때 그리고 접지가 되어 있지 않을 때를 가정하여 비교시험을 실시하였다.
- PCI 시험은 최대 입력 전류에 대하여 10%, 20%, 40%, 80%, 100%를 입력하도록 되어 있으나 시험환경 분석시 변수 조건을 줄이기 위하여 1kA(전원선 기준 40%)에 대해서만 시험을 실시하였다.

○ 시험사진

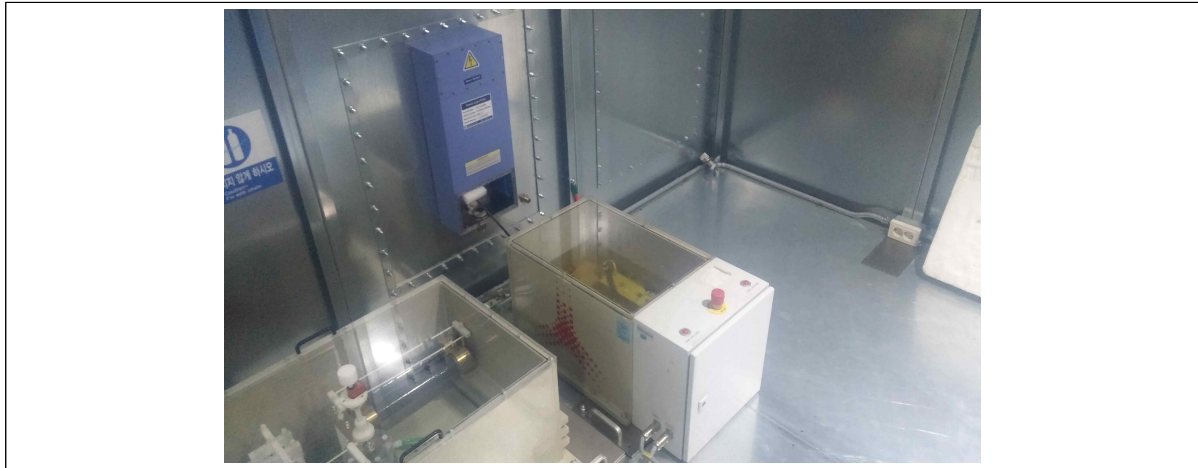


그림 2-44 접지상태 비교시험(접지양호)



그림 2-45 접지상태 비교시험(접지불량)

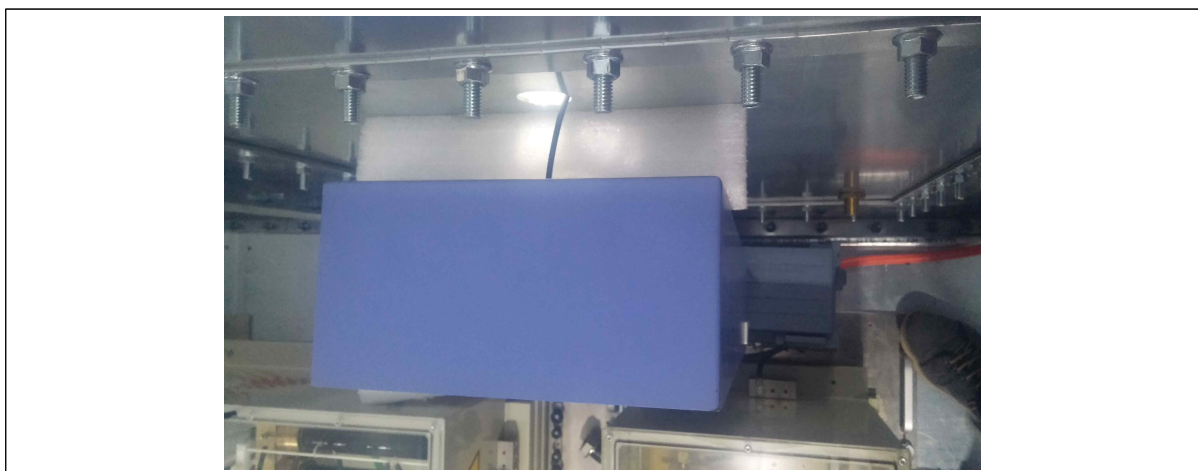


그림 2-46 접지상태 비교시험(접지미실시)

○ 시험결과

필터가 차폐시설 함체에 밀착되어 좋은 상태의 접지상태와 인위적으로 만든 접지불량 상태의 비교시험은 거의 비슷하나 초기 파형이 일그러지는 형태를 보였으며 접지가 완전히 이루어지지 않을 때 고전압방전소자가 제대로 동작하지 못하여 접지로 방전시켜야 할 파형이 잔류전류 측정 센서 쪽으로 유입되어 계측기에 강한 전류가 인가되어 보호동작모드로 전환 되었다.

표 2-7 필터 접지상태 비교시험 측정결과

센서위치(cm)	Peak Current(A) < 10A	Peak rate of rise(A/s) $\leq 1 \times 10^7$	Root Action(A \sqrt{s}) $\leq 1.6 \times 10^{-1}$
접지양호	2.16	1.08×10^6	0.0172
접지불량	2.176	4.28×10^6	0.0172
접지 미 실시	측정오류		

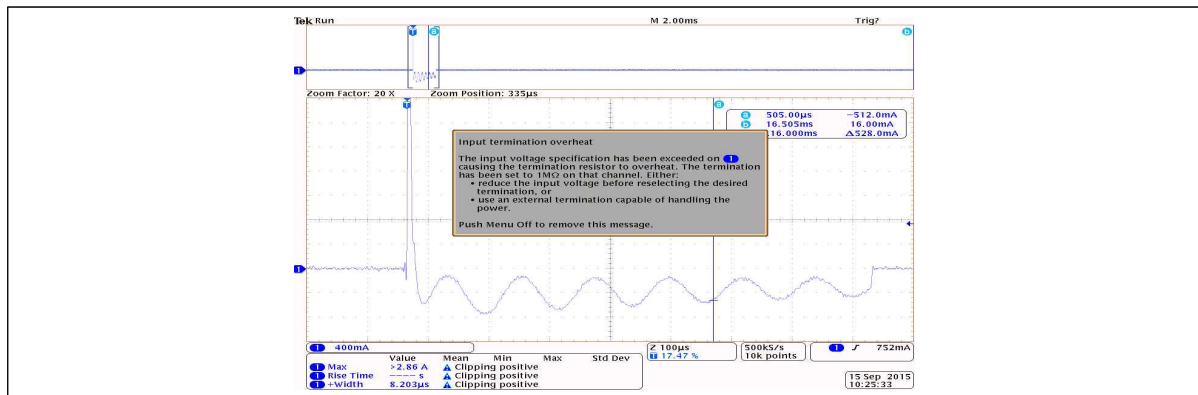


그림 2-47 접지미실시 측정파형

○ 측정파형

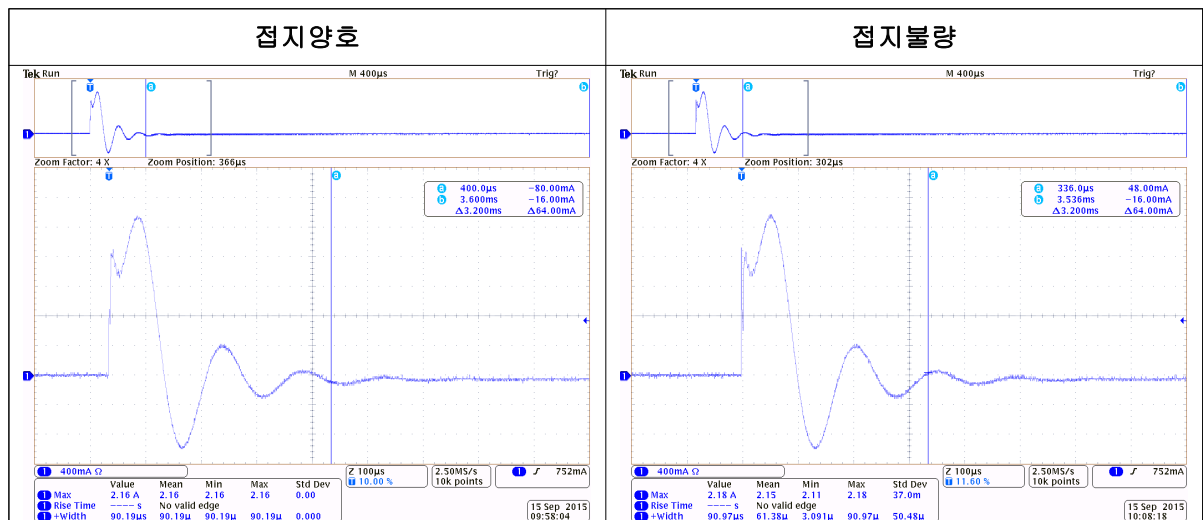


그림 2-48 접지상태 비교시험 측정파형

8. 필터 덮개유무 비교시험

○ 시험의 필요성

필터를 함체에 설치했을 때 차폐효과의 저하가 발생하지 않아야한다. 함체 부분과 직접적 관통되는 출력단의 차폐는 매우 중요하다. 이에 따라 필터는 일반적으로 덮개에 개스킷이 설치되고 수십개의 볼트로 잠그는 방식을 많이 채용한다. 시험 수행시 이 볼트를 모두 다 체결 할 경우 많이 시간이 소요되므로 덮개를 개방하고 시험을 수행했을 때의 영향성을 확인하였다.

○ 시험조건

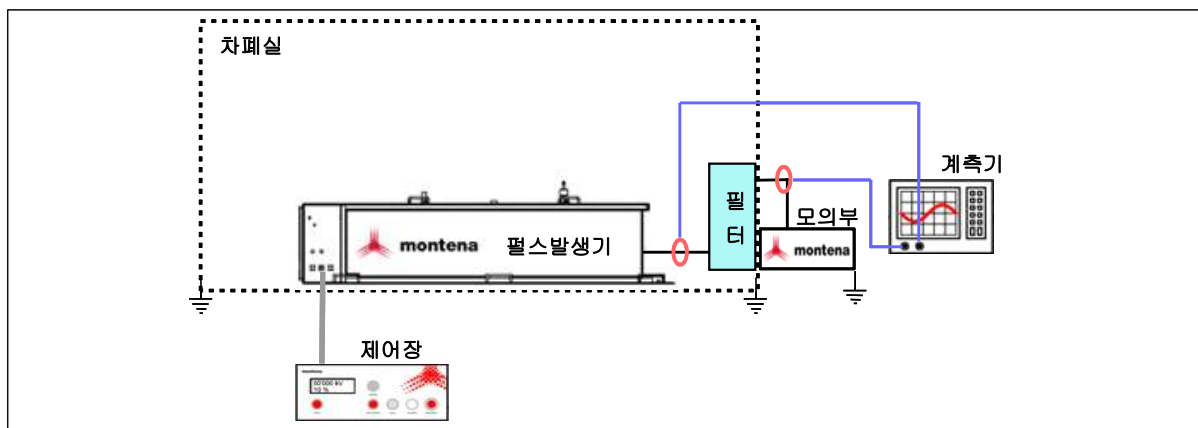


그림 2-49 필터 덮개유무 비교시험 장비구성

- 위 그림과 같이 펄스발생기를 차폐실 내부에 배치하고 계측기를 차폐실 외부에 위치시킨다. 펄스발생기는 Montena EMP 80K-5-500을 사용하였으며 계측기는 Tektronix DPO-7254를 사용하였으며 전류센서는 Bergoz CT F1.0을 사용하였다.
- 필터는 국내 제조사인 I-SPEC社의 전원선 30A 필터를 사용하였으며 10회 반복측정에도 결과값 오차가 $\pm 0.05A$ 이내로 안정적인 성능을 나타내는 것을 확인하였다.
- 입력케이블은 최대한 짧게하여 50cm로 연결하였고 출력케이블의 길이는 동일한 임피던스 값을 위하여 일반케이블 30cm를 사용하였다.
- PCI 시험은 최대 입력 전류에 대하여 10%, 20%, 40%, 80%, 100%를 입력하도록 되어 있으나 시험환경 분석시 변수 조건을 줄이기 위하여 1kA(전원선 기준 40%)에 대해서만 시험을 실시하였다.
- 필터의 덮개를 유무에 따른 잔류전류 결과 값을 비교하였다.

○ 시험사진



그림 2-50 필터 덮개유무 비교시험 사진

○ 시험결과

덮개 유무에 따른 데이터 변화는 거의 없음을 도출하였다. 그러나 계측와 데이터 수집용 노트북에서 화면이 깜박이는 현상이 발생하였다. 결과값에 영향을 주지 않더라도 주변 장비 및 계측기를 보호하기 위해 반드시 덮개를 덮고 시험을 실시하여야 한다. 그러나 필터에 체결된 볼트를 모두 체결하지 않고 양끝 쪽 모서리에만 체결을 하여도 계측기에 영향을 주지 않았다.

표 2-8 필터 덮개유무 비교시험

센서위치(cm)	Peak Current(A) ≤ 10A	Peak rate of rise(A/s) ≤ 1×10 ⁷	Root Action(A√s) ≤ 1.6×10 ⁻¹
접지양호	2.11	1.08 × 10 ⁶	0.0178
접지불량	2.14	1.08 × 10 ⁶	0.0172

○ 측정파형

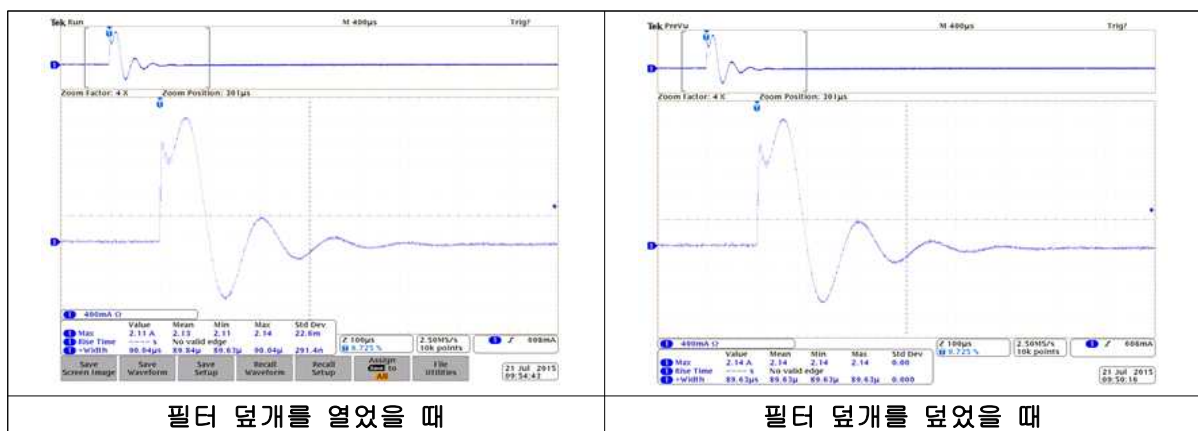


그림 2-51 필터 덮개유무 비교시험 측정파형

제 3 장 현장시험 대체가능성 분석

제 1 절 개 요

1. 분석의 필요성

현재 고출력 전자파 전도성 평가는 현장에서 시험하는 것을 원칙으로 하며 시험장 시험은 필터 제조사에서 개발단계 및 납품단계 시험에 적용되고 있다. 일부 EMP 현장은 방호부품 납품단계 제품성적서를 요청하여 시험장에서 사전 시험을 통해 필터를 검증하고 설치 후 현장시험을 추가로 진행하여 이중으로 시험을 실시하고 있다.

필터를 현장에서 시험 하더라도 필터의 내성이 쉽게 저하 되거나 특성이 달라지지 않는다. 2장 시험환경 분석에서도 비교시험 하였듯이 필터의 접지 상태가 불량하여도 잔류전류 파형의 변화는 거의 없었다. 필터 접지를 하지 않았을 때 과전압 방전소자에서 방전되지 못한 전류가 잔류전류에 영향을 주었으나 일반적으로 필터가 시공될 때 함체에 부착되어 설치되므로 방호시설 함체와 등전위 접지를 이루게 된다. 따라서 시공단계에서 성능이 저하될 가능성은 0에 가깝다.

또한 시험장비의 부피가 크고 무거워 접근성이 떨어져 필터가 설치된 부분으로 이동하여 시험하기에 제한적인 요소가 많이 발생한다. 이에 따라 대부분 현장시험 진행시 펄스 입·출력케이블의 길게 늘어 시험을 수행하고 있다. 케이블이 길어짐에 따라 회로 전체의 임피던스가 상승하게 되고 펄스 파형의 상승시간과 반치폭이 늘어나거나 최대전류가 낮아지는 등 인가파형에 영향을 주어 고시에서 요구하는 조건에 미달되는 파형으로 시험을 수행하게 될 수 있으며 시험조건이 현장마다 달라져 시험장 시험에 비해 신뢰도가 떨어지는 역효과가 발생할 수 있다.

그리고 시험이 EMP방호시설 시공 현장에서 수행되므로 고가의 시험장비가 분진과 습한 환경, 불안정한 전원 상태 등에 노출되어 장비에 심각한 영향을 줄 수 있다. 위와 같이 현장시험 수행시 발생할 수 있는 시험의 부정확성, 장비 손상 등을 방지하기 위해 시험장 시험으로 대체가 가능한지에 대한 분석이 필요하다.

제 2 절 비교시험

1. 현장시험 대체가능성 비교시험

시험장시험과 달라 질 수 있는 현장시험의 요소를 분석하고 이를 반영하였을 때 시험장 시험과 동일한 결과가 나오는지 비교 시험을 실시하였다. 현장시험 상황을 가정하여 입·출력 케이블의 길이를 다르게하여 결과를 분석하였다. 시험은 총 2회에 걸쳐 진행하였으며 종류가 다른 펄스발생기를 사용하였다.

○ 시험조건

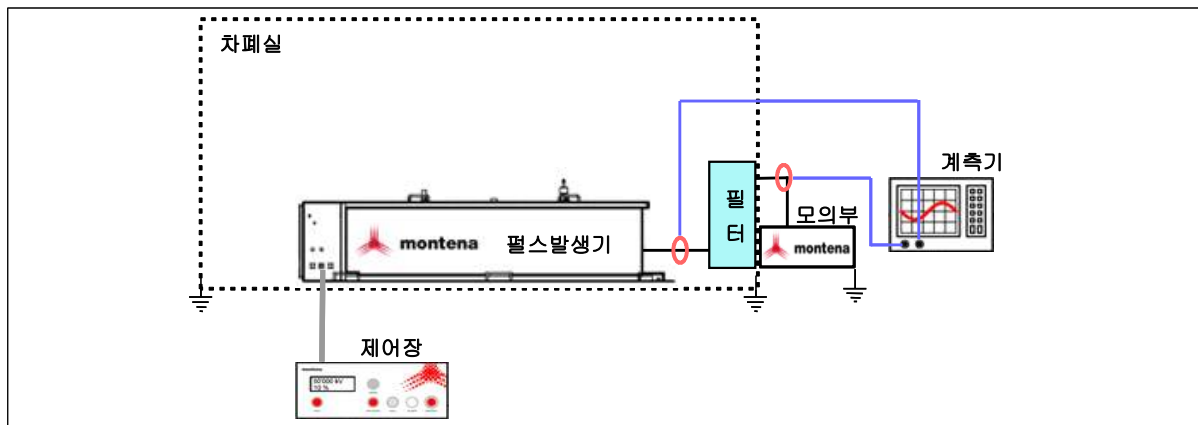


그림 3-1 현장시험 대체가능성 비교시험 장비구성

- 위 그림과 같이 펄스발생기를 차폐실 내부에 배치하고 계측기를 차폐실 외부에 위치시킨다. 펄스발생기는 Montena EMP 80K-5-500을 사용하였으며 계측기는 Tektronix DPO-7254를 사용하였으며 전류센서는 Bergoz CT F1.0을 사용하였다.
- 필터는 국내 제조사인 I-SPEC社의 전원선 30A 필터를 사용하였으며 10회 반복측정에도 결과값 오차가 $\pm 0.05A$ 이내로 안정적인 성능을 나타내는 것을 확인하였다.
- 입력케이블은 최대한 짧게하여 50cm와 1500cm로 연결하였고 출력케이블의 길이는 동일한 임피던스 값을 위하여 일반케이블 30cm를 사용하였다.
- 전류 센서의 위치는 필터 출력단자에서 15cm로 고정하였고 필터의 접지 상태가 좋을 때와 좋지 않을 때 그리고 접지가 되어 있지 않을 때를 가정하여 비교시험을 실시하였다.
- PCI 시험은 최대 입력 전류에 대하여 10%, 20%, 40%, 80%, 100%를 입력하도록 되어 있으나 시험환경 분석시 변수 조건을 줄이기 위하여 1kA(전원선 기준 40%)에 대해서만 시험을 실시하였다.

○ 1차 시험사진



그림 3-2 현장시험 대체가능성 비교시험 시험사진(1차)

○ 1차 시험결과

케이블길이를 50cm로 하였을 때와 1500cm 거의 동일한 형태의 파형특성을 보였으며 둘 다 잔류전류 기준을 만족하였다. 최대상승률에 대한 결과분석은 케이블 길이가 1500cm 일 때 잔류전류 허용기준을 쉽게 통과할 수 있었다.

표 3-1 현장시험 대체가능성 분석 측정결과(1차)

출력케이블 길이(cm)	Peak Current(A) < 10A	Peak rate of rise(A/s) $\leq 1 \times 10^7$	Root Action(A \sqrt{s}) $\leq 1.6 \times 10^{-1}$
50	2.16	1080000	0.0172
1500	2.11	360000	0.0168

○ 1차 측정파형

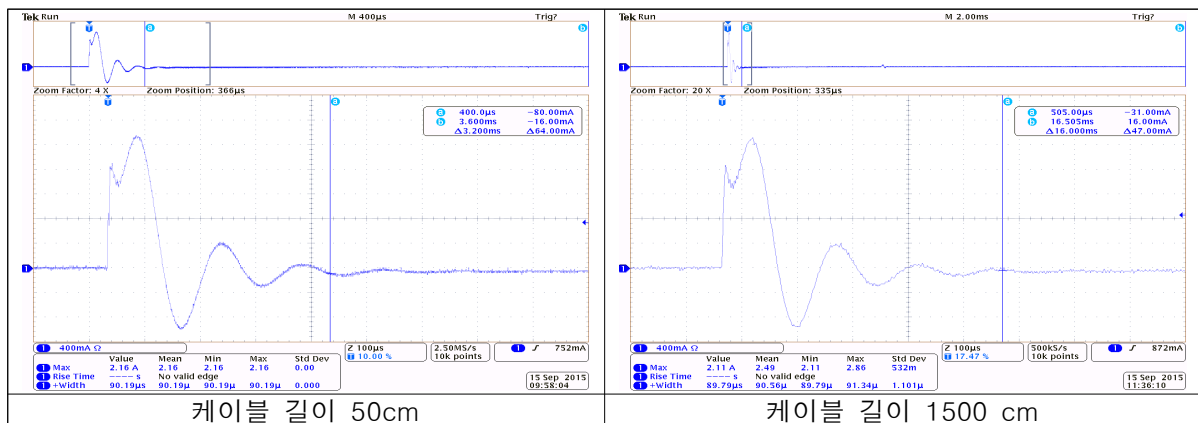


그림 3-3 현장시험 대체가능성 비교시험 측정파형(1차)

○ 2차 시험사진





	
입력케이블 100 cm	입력케이블 100 cm
	
입력케이블 1500 cm (절연바닥)	입력케이블 1500 cm (접지바닥)

그림 3-4 현장시험 대체가능성 비교시험 시험사진(2차)

○ 2차 시험결과

시험결과 1차 시험 결과와 마찬가지로 케이블이 길 때 잔류전류 허용치를 쉽게 만족하였다. 1차 시험 때 고려하지 않은 요소 중 인가케이블이 접지면과 맞닿아 있을 때의 파형을 같이 분석한 결과 잔류전류 최대값이 더 감소하는 것을 확인하였으며 입력파형에서 스파이크 성 노이즈가 증가하는 것을 확인하였다. 이는 케이블이 접지면에 닿았을 때 전류가 유기되어 파형이 인입점보호장치의 입력단자로 제대로 인가되지 못하는 것을 알 수 있다.

표 3-2 현장시험 대체가능성 분석 측정결과(2차)

출력케이블 길이(cm)	Peak Current(A) < 10A	Peak rate of rise(A/s) $\leq 1 \times 10^7$	Root Action(A \sqrt{s}) $\leq 1.6 \times 10^{-1}$
50	1.71	1640000	0.0127
1500(절연바닥)	1.43	440000	0.0077
1500(접지바닥)	1.05	4840000	0.0056

○ 측정과정

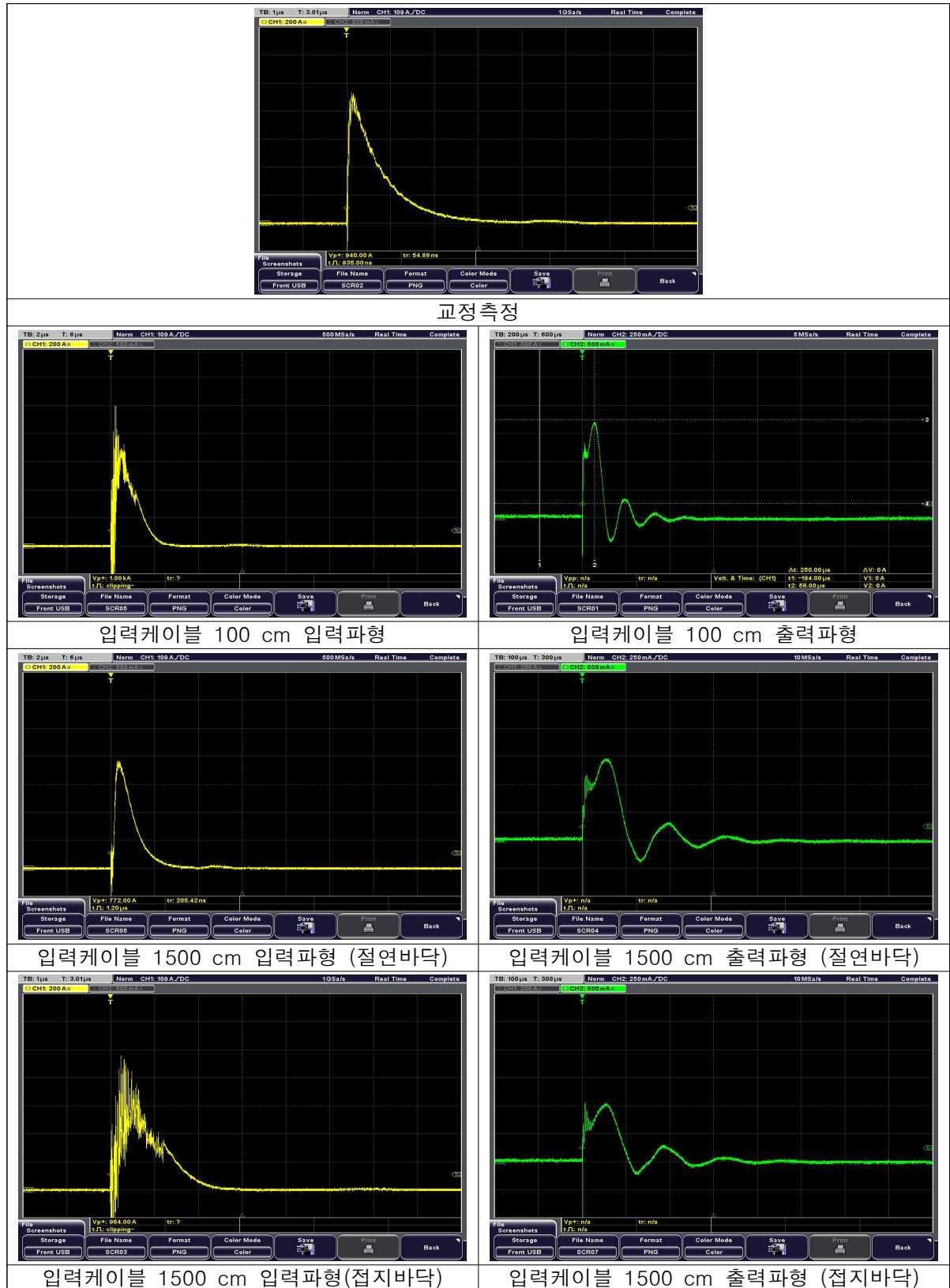


그림 3-5 현장시험 대체가능성 비교시험 측정파형(2차)

제 3 절 결 론

1. 현장시험 대체가능성 분석 결과

현장시험은 장소와 장비셋업을 시험장과 동일하게 시험을 하는 것은 매우 어렵다. 시험장비의 부피 때문에 필터가 설치된 곳에 장비를 구성하는데 제한적이다. 이러한 제한적 요소 때문에 현재 케이블 길이를 길게 늘여 시험을 진행하는 경우가 많다. 또한 케이블 길이가 길어지면서 함체에 맞닿아 절연과괴가 일어나 과형이 측정되지 않는 경우도 종종 발생한다.

현장조건을 가정한 시험구성과 시험장시험의 비교시험결과 두 결과 모두 시험결과를 만족하였으나 입력케이블이 길어지고 함체에 닿을 가능성이 높은 현장시험의 잔류전류 특성이 고시 기준을 더 쉽게 통과 할 수 있는 것을 확인 할 수 있었다. 케이블 길이를 50cm로 하였을 때의 잔류 과형과 1500cm 잔류 과형을 비교하였을 때 전류값은 최대 30% 정도 감소하였고 최대상승률은 최대 3배 까지 늘어나는 현상이 발생하였다. 이는 케이블의 길이와 절연의 영향으로 임피던스가 높아져 회로에 흐르는 입력 전류특성이 달라져 잔류전류의 평가요소인 최대전류값과 최대 상승률, Root Action 값을 만족하기가 용이해짐을 의미한다. 오히려 시험장에서 진행하는 시험이 현장시험 보다 가혹한 조건으로 시험을 수행하는 것이며 케이블길이가 일정하여 정형화된 방법으로 시험을 실시하여 시험전체의 신뢰도가 높일 수 있다.

그리고 최근 필터 및 고전압방전소자 제작기술이 향상되어 수 십 ~ 수 백회의 반복시험을 실시하여도 거의 동일한 잔류전류 특성을 나타낸다. 관련 시험 전문가 자문을 실시한 결과도 시험장 시험과 현장시험을 동시에 수행하였을 때 시험장 시험에서 적합 판정을 받은 필터가 현장시험에서 부적합 판정을 받은 사례는 없었으며 본 과제의 수행 결과와 마찬가지로 현장시험이 요구조건에 만족하기 쉬운 경향을 나타내었다고 답하였다.

시험결과 현재의 고시 내용 중 현장에서 수행하도록 부분을 SELDS 용접면 검사와 SE 차폐효과시험과 같은 방사성 시험에 적용하고 전도성시험의 경우 방호시설에 설치되는 모든 인입점보호장치를 시험장 시험으로 전수조사한 뒤 방호시설에 시공하여도 인입점보호장치의 전도성 방호성능에는 영향을 주지 않을 것으로 판단되며 신뢰성 있는 시험을 실시하기 위해서 시험장 시험으로 일원화 하여 성능검사를 실시하여야 한다.





제 4 장 전도성 고출력 전자파 안전성 평가 세부 절차

제 1 절 개 요

전도성 고출력 전자파 안전성 평가 세부절차서의 목적은 절차를 정형화하여 개인에 의한 오차를 줄여 정확하고 재현성 있는 시험으로 신뢰성을 확보하고자 하였으며 시험담당자 변경시에도 절차에 따라 동일한 시험이 가능하도록 세부적 내용까지 기술하고자하였다.

또한 시험환경 분석을 통해 결과값에 영향을 주는 요소를 절차서에 반영하여 환경에 의한 오차를 최소화 할 수 있다. 절차서 내용은 국립전파연구원 고시를 기준으로 세부 시험방법을 설명하였고 MIL-STD-188-125-1을 참고 문헌으로 활용하였다. 세부절차서 작성시 사용된 장비는 국립전파연구원 도입하는 Montena社의 펄스발생기를 기준으로 작성하였다.

표 4-1 Motena社 전도성 평가 장비 종류

단펄스발생기(1.2kA이하)	단펄스발생기(1.5kA~6.0kA)
	
발생전류 : 80 A ~ 1kA 상승시간 : 20 ns 이하 펄스폭 : 500 ~ 550 ns	발생전류 : 1kA ~ 5 kA 상승시간 : 20 ns 이하 펄스폭 : 500 ~ 550 ns
중펄스발생기	충전설펄스발생기
	
발생전류 : 10 A ~ 260A 상승시간 : 0.6 μ s 펄스폭 : 3.4 ms	발생전류 : 40A ~ 400A 상승시간 : 5 ns 이하

제 2 절 세부절차서

1. 일반사항

- 1-1. 고정형 시설에 대한 HEMP의 전도성 영향을 재현한 시험으로 단펄스, 중펄스, 충전선펄스 대한 수락시험의 절차를 다룬다.
- 1-2. 시험의 목적은 전도성 과도현상이 침투할 수 있는 인입점 보호장치에 전류를 인가하고 출력되는 잔류전류의 특성으로 안전성을 평가하기 위함이다.
- 1-3. 절차서의 목적은 세부절차를 정형화하여 정확하고 재현성있는 절차로 신뢰성 있는 평가를 하기 위함이다.
- 1-4. 본 절차서는 전파법 제56조 3항 고출력·누설 전자파 안전성 평가기준 및 방법 등에 관한 세부사항인 국립전파연구원 고시 제2014-20호를 기준으로 작성되었으며 본 절차서와 고시 중 상충되는 내용이 있는 경우 고시 내용이 우선권을 가진다.
- 1-5. 미 국방성 표준인 MIL-STD-188-125-1(High-Altitude Electromagnetic Pulse(HEMP) Protection For Ground-Based C4I Facilities Performing Critical, Time-Urgent Missions)을 참고문헌으로 활용하였으며 고시와 상충되는 내용이 있는 경우 고시 내용이 우선권을 가진다.
- 1-6. 본 절차서는 스위스 Montena社 EMP80K-5-500(80kV), EMP300K-5-500(350kV), IPP3K-4MS(260A), CLP40K(400A)를 기준으로 작성되었다.

2. 용어정의

2-1. 본 절차서에 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

- **HEMP** : High-Altitude Electromagnetic Pulse의 약자로, 높은 고도에서 발생한 핵폭발로 인해 발생한 강력한 전자기파를 의미함, 일반적으로 지상에서 30km 이상의 상공에서 발생하여 침투치 50kV/m의 전계강도를 가진다.
- **검증시험** : 영문으로 Verification Test로 표기하며 방호시설 운용중 시험을 의미하며, 모의부하가 아닌 실제 사용되는 장비를 설치하고 전원을 인가한 상태에서 시험이 진행된다.
- **단펄스시험** : HEMP 발생 초기단계 펄스를 재현한 시험으로, $\leq 5000(A)$ 의 침투전류, $\leq 2 \times 10^{-8}(s)$ 의 상승시간, $5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}(s)$ 반치폭을 가진 파형을 말한다.
- **수락시험** : 영문으로 Acceptance Test로 표기하며 방호시설 운용전 시험을 의미하며, 실제 사용되는 장비대신 모의부하를 사용하여 시험을 실시한다.
- **인입점보호장치** : 방호시설 구축시 전기적, 구조적, 건축적, 기계적으로 발생하는 인입점을 보호하는 장치로 본 절차서에서는 전기적 인입점보호장치만 다루므로 HEMP필터 및 RF안테나선로 보호장치를 의미한다.
- **중펄스시험** : HEMP 발생 중기단계 펄스를 재현한 시험으로, $\leq 250(A)$ 의 침투전류, $\leq 1.5 \times 10^{-8}(s)$ 의 상승시간, $3 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3}(s)$ 반치폭을 가진 파형을 말한다.
- **충전선펄스시험** : RF 안테나 선로의 인입점보호장치를 평가하는 시험으로, 사용주파수가 30MHz이상인 안테나 선로에 적용되는 시험

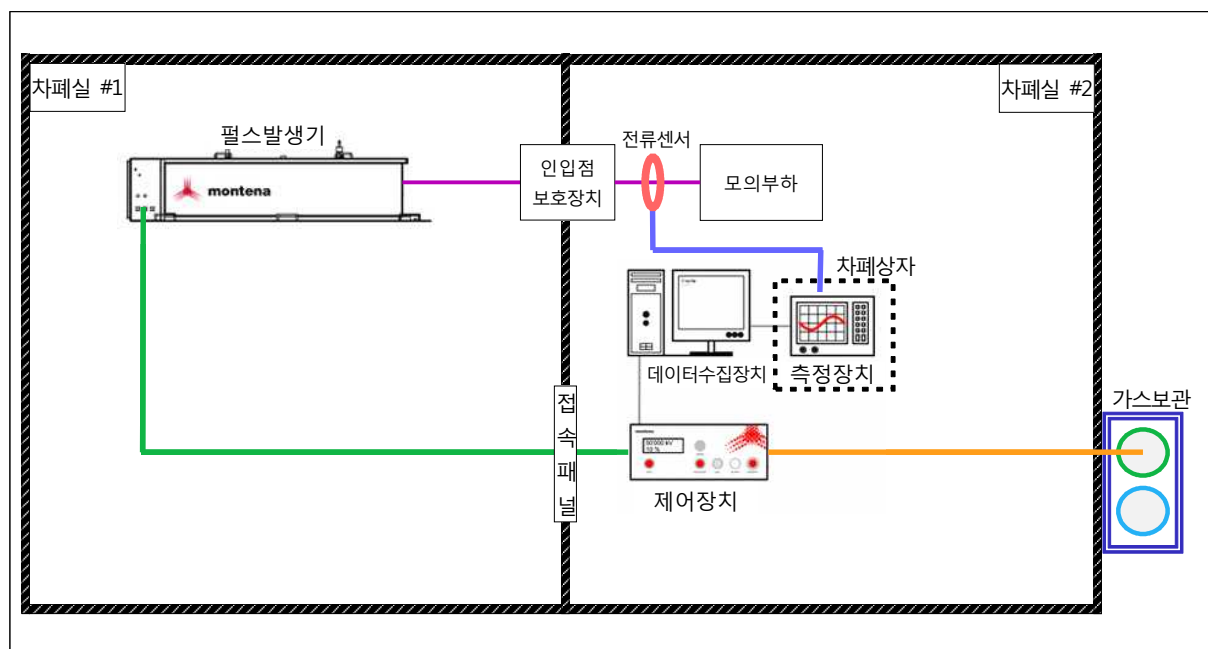
3. 측정 장비 요구사항 및 배치

3-1. 전도성 안전성 평가를 위해 필요한 장비 요구사항은 다음과 같다.

기기명	구 분		
	단펄스	중펄스	충전선 펄스 ^{주)}
펄스 발생기	단락전류 : $\geq 5 \text{ kA}$ 신호 임피던스 : $\geq 60 \Omega$	단락전류 : $> 250 \text{ A}$ 신호 임피던스 : $\geq 10 \Omega$	단락전류 : $> 400 \text{ A}$ 신호 임피던스 : $\geq 50 \Omega$ (가변 펄스폭)
전류 센서 (외부 주입용)	10 kHz ~ 750 MHz 0 ~ 5 kA	DC ~ 10 MHz 0 ~ 250 A	10 kHz ~ 750 MHz 0 ~ 400 A
전류 센서 (내부 잔류용)	100 Hz ~ 750 MHz 0 ~ 5 kA	DC ~ 10 MHz 0 ~ 250 A	100 Hz ~ 750 MHz 0 ~ 100 A
오실로스코프	100 Hz ~ 750 MHz	DC ~ 10 MHz	100 Hz ~ 750 MHz
데이터기록계	0 ~ 5 ms	0 ~ 50 ms	0 ~ 5 ms
전치증폭기	100 Hz ~ 750 MHz	-	100 Hz ~ 750 MHz
계측기 차폐 및 전원	필요한 경우 펄스 발생기로 부터 절연	필요한 경우 펄스 발생기로 부터 절연	필요한 경우 펄스 발생기로 부터 절연
케이블류, 감쇠기, 모의부하 저항	필요한 경우	필요한 경우	필요한 경우

3-2. 측정 장비의 배치

3-2-1. 단펄스 시험 구성(EMP80k-5-500($\leq 1\text{kA}$) 및 EMP300K-5-500($\leq 5\text{kA}$))

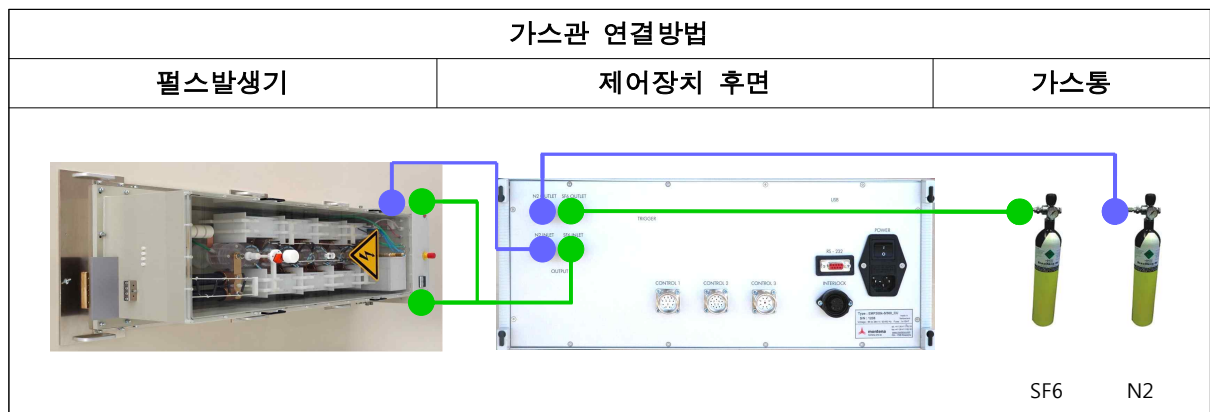


3-2-1-1. 펄스발생기를 차폐실#1에 위치시킨다.

3-2-1-2. 제어장비 및 측정장비, 모의부하를 차폐실#2에 위치시킨다. EMP 300K-5-500($\leq 5\text{kA}$)은 제어를 위해 질소(N_2), 육불화황(SF_6)가스가 사용되는데 가스통은 차폐실#2 또는 차폐실 외부에 두어야한다. 또한 가스통 안전사고를 예방하기 위하여 틀로 고정하여야한다.

3-2-1-3. 펄스발생기와 제어장치 사이의 제어선 및 가스관을 연결한다.

- EMP300K-5-500의 경우 제어선 1, 2, 3 및 질소(N_2), 육불화황(SF_6) 가스관을 접속패널에 연결하고 접속패널 반대편에서 다시 제어장치로 연결한다. 질소(N_2), 육불화황(SF_6) 가스통과 제어장치사이에 가스관을 설치한다.
- 펄스발생기에 연결되는 가스관은 제어장치 후면의 INLET 단자에 연결하고 가스통으로 연결되는 가스관은 제어장치 후면의 OUTLET 단자에 연결한다.
- 펄스발생기의 경우 육불화황(SF_6) 연결단자가 두 개가 있는데 제어장치 후면에서 나온 가스관을 분기하여 연결한다.



- EMP80k-5-500의 경우 제어선 2, 3을 접속패널에 연결하고 접속패널 반대편에서 다시 제어장치로 연결한다.

3-2-1-4. 전류센서와 측정장치를 RF케이블로 연결한다.

- 전류센서의 위치는 인입점보호장치 출력단자에서 15cm 이내에 위치해야한다.

3-2-1-5. 제어 및 데이터수집 목적의 컴퓨터를 사용할 경우 연결한다.

3-2-1-6. 차폐실#1, #2에서 평가에 영향을 줄 수 있는 요소를 제거한다.

3-2-1-7. EMP300K-5-500의 경우 장비 내부회로의 절연을 위해 SF₆(육불화황) 가스를 사용하는데 장비내부에 가스가 적정선까지 주입되어있는지 확인하여야 한다.

- SF₆ 가스가 충분하지 않은 경우 내부 부품 손상을 야기한다.

3-2-1-7-1. 제어장치의 전원을 인가하고 펄스발생기 윗면에 위치한 SF₆ Gas Check를 눌러 Lighting Lamp에 불꽃이 발생하는지 검류계에 전류가 흐르는지 확인한다. 불꽃이 발생하거나 검류계 레벨이 올라갈 경우 SF₆ 가스가 부족하므로 보충 해주어야 한다. 가스 보충 후 불꽃이 발생하지 않을 때 시험을 실시하여야 한다.



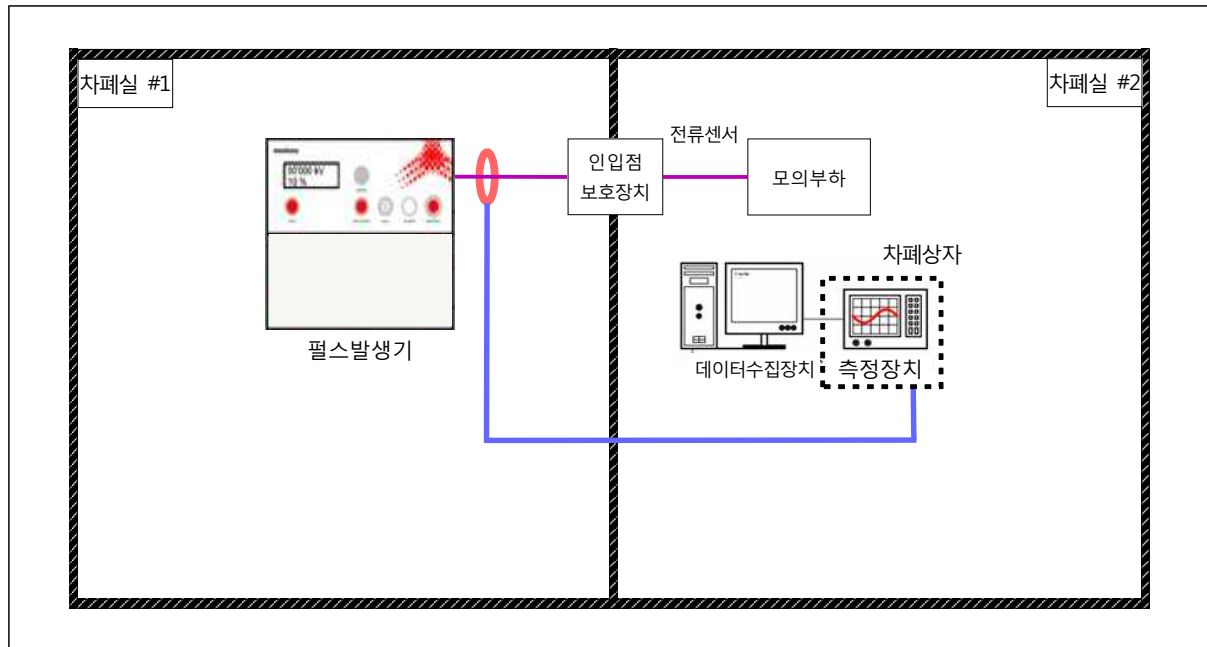
3-2-1-7-2. 절연용 SF₆ 가스 보충방법은 제어장치의 전원을 켜고 SF₆ 가스를 약 제어장치의 SF₆ 압력을 3 Bar 정도로 올려 가스가 주입될 수 있도록 한다. (일부 장비 전원 미사용)

3-2-1-7-3. 펄스발생기의 공기 배출 뚜껑을 열고 SF₆ 가스 주입 밸브를 열어 불꽃이 꺼질 때 까지 가스를 주입한다. 주입이 완료되면 뚜껑과 밸브를 닫아준다.



3-2-1-8. EMP80k-5-500($\leq 1\text{kA}$)은 EMP300K-5-500($\leq 5\text{kA}$)과 달리 제어용 가스를 사용하지 않아 가스관이 연결되지 않는 점을 제외하고 장비구성은 동일하다.

3-2-2. 중펄스 시험의 구성(IPP3K-4MS($\leq 260\text{A}$))

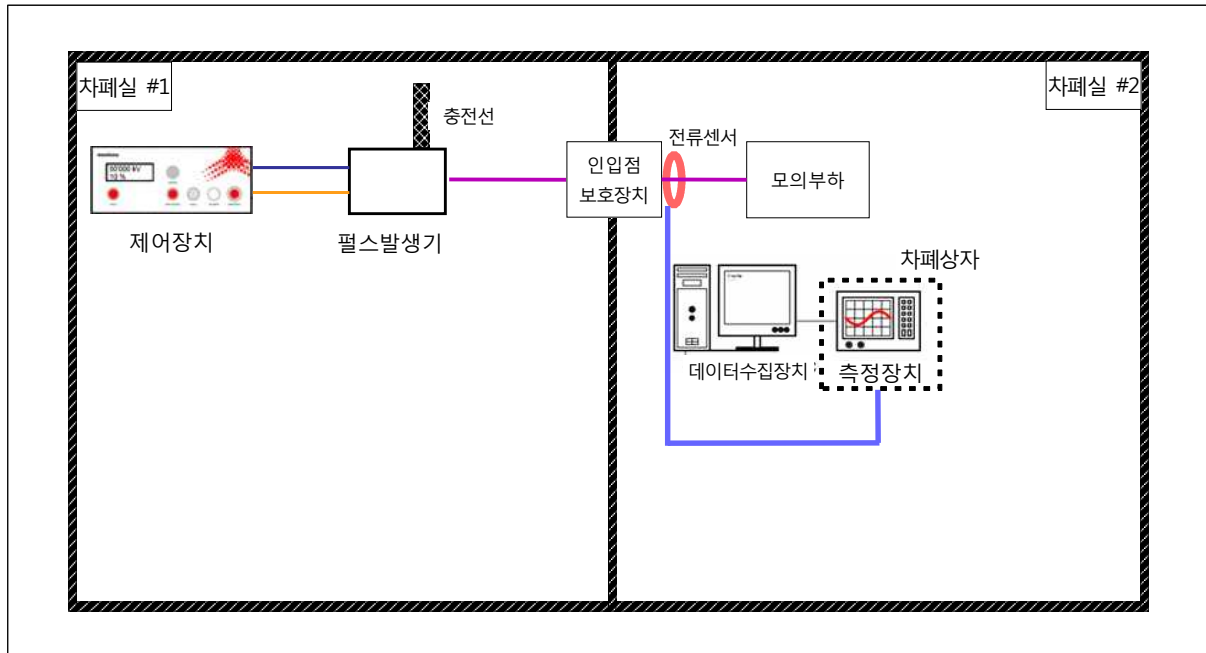


3-2-2-1. 펄스발생기를 차폐실#1에 위치시킨다. 모의부하를 차폐실#2에 위치시킨다. IPP3K-4MS($\leq 260\text{A}$)의 경우 펄스발생기와 제어장치가 일체형으로 구성되어있다.

3-2-2-2. 제어선이 없으며 출력선을 인입점 보호장치로 바로 연결한다.

3-2-2-3. 중펄스 시험의 경우 요구 규격이 “장비의 성능 저하 또는 손상이 없어야 한다.”이므로 전류센서로 측정할 필요가 없다. 필요시 입력 라인에 대해 모니터링을 할 수 있다.

3-2-3. 충전선 펄스 시험의 구성(CLP40K($\leq 400A$))



3-2-3-1. 충전선 펄스발생기와 제어장치를 차폐실 #1에 위치시키고 모의부하를 차폐실 #2에 위치시킨다.

3-2-3-2. 제어장치와 펄스발생기 사이에 고전압 출력케이블과 제어선2를 연결한다.

3-2-3-3. RF용 인입점보호장치의 사양을 파악한 후 충전선의 길이를 조절하여 연결한다.

- 체결시 안전 스위치가 완전히 눌러지도록 설치한다.



3-3. 주입전류 요구사항은 다음과 같다.

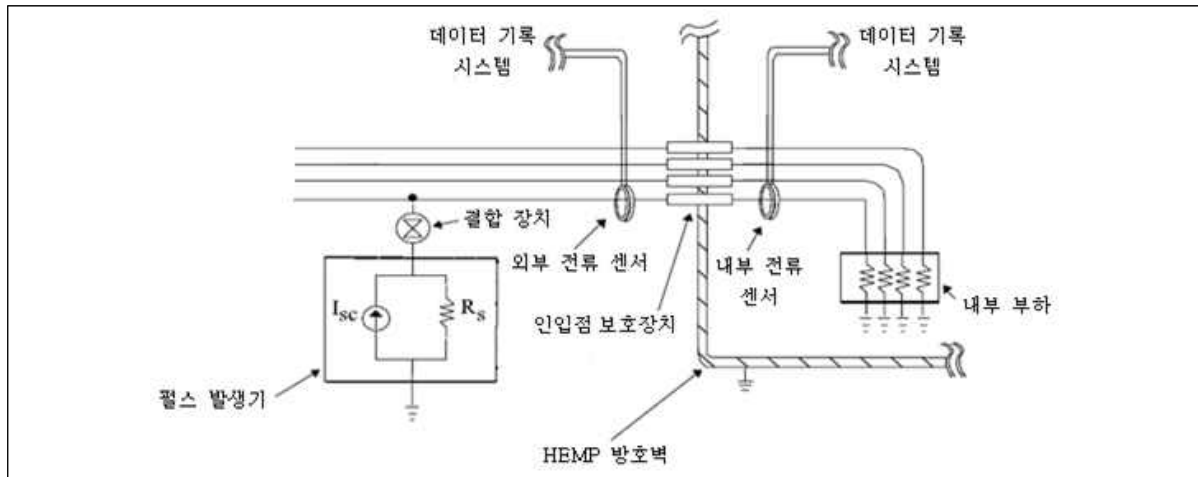
전기적 인입점		주입 형태	최대 단락전류 \hat{I} (A) ⁷⁾	소스 임피던스 Z_S (Ω)	상승 시간 τ_R (s)	반치폭 (s)	부하 임피던스 (Ω)
상용 전원선 (외부 → 내부)	단펄스	선-접지 ¹⁾	2500	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	2 또는 V_{rated}/I_{rated} ²⁾
	중펄스	선-접지	250	≥ 10	$\leq 1.5 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3}$	50
기타 전원선 (내부 → 내부)	비제한선 단펄스	선-접지	2500	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	2 또는 V_{rated}/I_{rated} ²⁾
	제한선 ⁵⁾ 단펄스	선-접지	$800/\sqrt{N}$ 또는 500 ³⁾	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	2 또는 V_{rated}/I_{rated} ²⁾
오디오/데이터선 (외부 → 내부)	단펄스	선-접지	$5000/\sqrt{N}$ 또는 500 ³⁾	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	50
	중펄스	선-접지	250	≥ 10	$\leq 1.5 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3}$	50
제어/신호선 (내부 → 내부)	비제한선 단펄스	선-접지	$5000/\sqrt{N}$ 또는 500 ³⁾	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	2 또는 V_{rated}/I_{rate} ²⁾
	제한선 ⁶⁾ 단펄스	선-접지	$800/\sqrt{N}$ 또는 500 ³⁾	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	2 또는 V_{rated}/I_{rated} ²⁾
전선관 실드	매설 ⁴⁾	관-접지	800	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	2 ⁵⁾
	노출	관-접지	5000	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-7} \sim 5.5 \times 10^{-7}$	2 ⁵⁾

- 1) 인입점에 인접한 그라운드에 대해 방호벽 관통선이 각각 시험된다.
- 2) 2개 중 작은 값을 선택하며, V_{rated} , I_{rated} 는 인입점 보호장치(필터 등)의 최대 정격전압 및 최대 정격전류를 의미한다.
- 3) 2개 중 큰 값을 선택하며, N은 케이블 내부 관통 도체의 개수이다.
- 4) 전선관의 노출 길이가 1 m 미만인 경우 매설로 한다.
- 5) 전선관 내부의 선은 내부기기에 연결하며, 연결되지 않는 선은 부하 임피던스(2 Ω)에 공통 연결한다.
- 6) 외부에 노출된 케이블의 길이가 5 m 미만이고, 연결된 기기의 크기가 2 m 미만이며, 다른 전기적 도체(접지 제외)에 연결되어 있지 않은 경우를 제한선으로 한다.
- 7) 최대단락전류는 $t = 0$ 에서 $t = 5 \times 10^{-3}$ 초 동안 측정되는 전류 파형 $I(t)$ 의 최대값을 말한다.

전기적 인입점 (RF 안테나선)			주입 형태	주입 주파수 ¹⁾ (MHz)	최대 단락전류 \hat{I} (A) ⁴⁾	소스 임피던스 Z_S (Ω)	상승 시간 τ_R (s)	반치폭 (s)	부하 임피던스 (Ω)
외부 도체 (실드)	매설	단펄스	실드- 그라운드 ²⁾	미적용	800	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	5×10^{-7} ~ 5.5×10^{-7}	50 ²⁾
	노출	단펄스	실드- 그라운드 ²⁾	미적용	5000	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	5×10^{-7} ~ 5.5×10^{-7}	50 ²⁾
내부 도체 (신호선)	단펄스		신호선-실드	≤ 30	위험 레벨 ¹⁾	≥ 60	$\leq 2 \times 10^{-8}$	5×10^{-7} ~ 5.5×10^{-7}	50 ²⁾
	충전선 펄스		신호선-실드	> 30	위험 레벨 ¹⁾	≥ 50	$\leq 5 \times 10^{-9}$	다양함 ³⁾	50 ²⁾

- 1) 주입 주파수와 위협 레벨은 커플링 측정결과를 산출하여 구한다.
- 2) 신호선은 50 Ω 으로 RF 안테나선의 외부 도체(실드)에 종단되어야 한다.
- 3) 충전선 펄스 발생기(Charge line pulser)의 출력 충전선의 길이는 주입 주파수의 1/4 파장인 길이를 가져야 하며, 충전선 펄스 발생기의 전류 용량이 부족할 경우 단펄스 발생기를 사용하여야 한다.
- 4) 최대단락전류는 $t = 0$ 에서 $t = 5 \times 10^{-3}$ 초 동안 측정되는 전류 파형 $I(t)$ 의 최대값을 말한다.

3-4. 전류센서의 배치



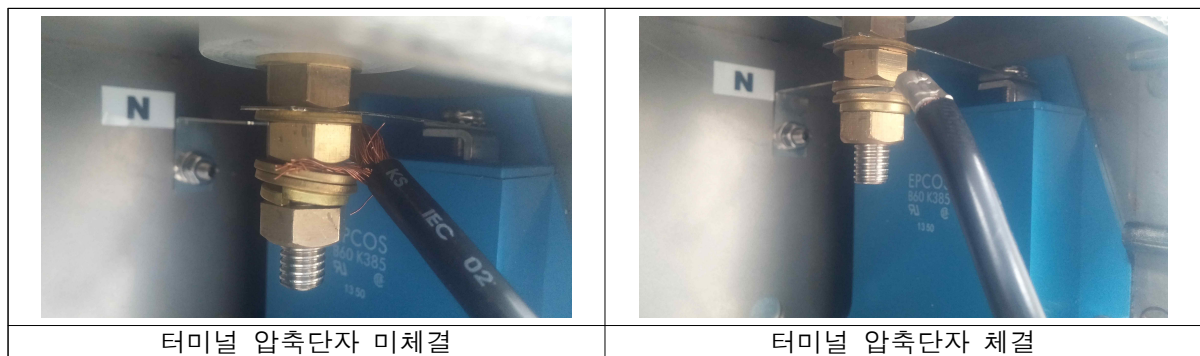
- 3-4-1. 전류센서의 배치는 위 고시 내용과 같이 인입점보호장치(필터, 서지프로텍터 등)의 각 입력단자 및 출력단자에서 15cm이내에 위치시킨다. 환경 비교 시험 결과 입·출력 센서의 위치에 따른 차이는 보이지 않았으나 가급적 일정한 위치에 고정해야 한다.
- 3-4-2. 전도성 안전성 평가는 최대 5kA의 전류를 발생시키므로 5kA 이상의 내구성을 지닌 전류센서를 채택하여야한다.
- 3-4-3. 전류센서는 전류가 흐르는 방향으로 설치하여야한다. 전류센서에 표기된 화살표의 방향이 접지 또는 모의부하 쪽을 향하도록 하여야한다. 방향이 반대로 되어있으면 계측기 파형이 역상으로 출력된다.



3-5. 입·출력 케이블의 설치

3-5-1. 케이블의 어떤 종류를 사용하여도 무방하나 교정 측정시 사용한 케이블의 종류와 동일한 케이블을 사용하여야한다.

3-5-2. 케이블 양끝 단자는 필터단자에 맞게 O형 터미널 압축단자를 사용하여 연결하여야한다. 여러 갈래의 연선을 그냥 연결 할 경우 제대로 체결되지 못하고 튀어나온 연선 가닥이 필터 합체와 가까워져 스파크를 유발하고 절연파괴현상이 발생한다.



3-5-3. 케이블이 바닥 또는 벽체, 필터합체 등 접지면과 맞닿아 있으면 펄스가 접지면으로 유기되어 절연 파괴가 일어나 파형이 제대로 관측되지 않는다. 나무 또는 압축 스티로폼을 이용하여 접지면과 일정 간격(3cm 이상)을 유지하여야 한다.

3-5-4. 입·출력케이블의 길이는 최대한 짧게 하는 것을 원칙으로 한다. 입력케이블이 길어질 경우 케이블 자체에 인덕턴스 성분이 증가하게 되고 입력파형의 상승시간과 반치폭이 길어지게 된다. 길이는 가급적 1m 이하로 하되 상황에 따라 길게 할 수 있다.

3-5-5. 입·출력 케이블은 측정하고자 하는 선로만 케이블을 연결하여 시험을 실시하여야한다. 부득이하게 모든 선로를 연결하여야 할 경우 입력케이블은 펄스발생기에서 가급적 먼 위치의 접지면에 연결하고 출력케이블은 절연테이프를 사용하여 마감처리 또는 접지면에 연결한다.

3-5-6. 인입점 보호장치의 단자의 너트는 크기에 알맞은 스패너를 사용하여 사용하여야하며 제품사양서에 체결강도가 표시되어있을 경우 토크렌치를 사용하여 체결강도 만큼 조여 주어야한다.

- 필요 이상으로 너트를 강하게 조일 경우 인입점보호장치의 볼트(Feed through Capacitor)가 파손될 우려가 있다.

3-6. 모의부하의 연결

인입점 보호장치 종류	단펄스 모의부하 임피던스(Ω)	중펄스 모의부하 임피던스(Ω)
전원선	2 또는 V_{Rated}/I_{Rated}	50
음성	50	50
데이터	50	50
제어	2 또는 V_{Rated}/I_{Rated}	미 실시
신호	2 또는 V_{Rated}/I_{Rated}	미 실시
전선관 차폐체	2	미 실시
RF안테나 선로 차폐체	50	미 실시
RF 안테나 선로 신호선	50	미 실시

3-6-1. 단펄스 시험의 모의부하 연결

3-6-1-1. 단펄스 시험의 전원선, 제어선, 신호선 필터는 2Ω 또는 V_{Rated}/I_{Rated} 값 중 작은 값으로 한다.

- V_{Rated}/I_{Rated} 의 V_{Rated} 값은 인입점 보호장치의 최대전압을 의미하며 I_{Rated} 값은 최대전류를 의미한다. 필터함체에 표기되어있는 정격전압 및 정격전류를 확인하여 계산하며 필요시 제품 사양서를 확인하여야 한다. 계산값이 소수점 이하의 값이 나올 경우 정확한 저항값을 선정하기 어려우므로 가장 가까운 근사치의 공칭저항 값을 사용한다.

3-6-1-2. 단펄스 시험의 전화(음성)선, 데이터선은 50Ω 으로 한다.

3-6-2. 중펄스 시험의 모의부하의 연결

3-6-2-1. 중펄스 시험의 전원선, 전화(음성)선, 데이터선 필터는 50Ω 으로 한다.

3-6-2-2. 제어선, 신호선 필터는 3-3에 따라 중펄스 시험을 실시하지 않는다.

3-6-3. 모의부하 관리

3-6-3-1. Motena社의 TLB4 모의부하의 사양은 다음과 같으며 주기적으로 저항 값을 측정하여 정확한 저항값을 가지는지 확인 하여야하며 필요에 따라 교정을 실시하여야 한다.



구분	사양
Resistance values	0.2 / 0.5 / 2.2 / 50 ohm
Precision of the resistance	± 10 %
Energy	16.5 kJ
Peak voltage (short pulse)	30 kV
Power	70 W
Connector	screw terminals + banana 4 mm
Weight	7.9 kg
Dimensions (L x W x H)	41 x 20.5 x 22 cm

3-6-3-2. TLB4 모의부하의 접지바닥면은 항상 청결하게 유지하여야한다. 오염시 알코올을 이용하며 접지면을 닦아내고 접지가 잘 이루어지도록 접지판에 동 테이프를 사용하여 밀착한다.

3-7. 계측기의 설치

3-7-1. 계측기의 사양은 단펄스 특성을 측정 할 수 있도록 선정하여야한다.

3-7-1-1. 단펄스의 주파수 특성은 최대전류 5kA, 상승시간 ≤20ns, 반치폭 500~550ns를 측정 할 수 있어야 한다.

- 측정 최대전류는 전류 센서의 팩터와 감쇠기의 사양에 따라 출력 레벨을 조정 할 수 있다.

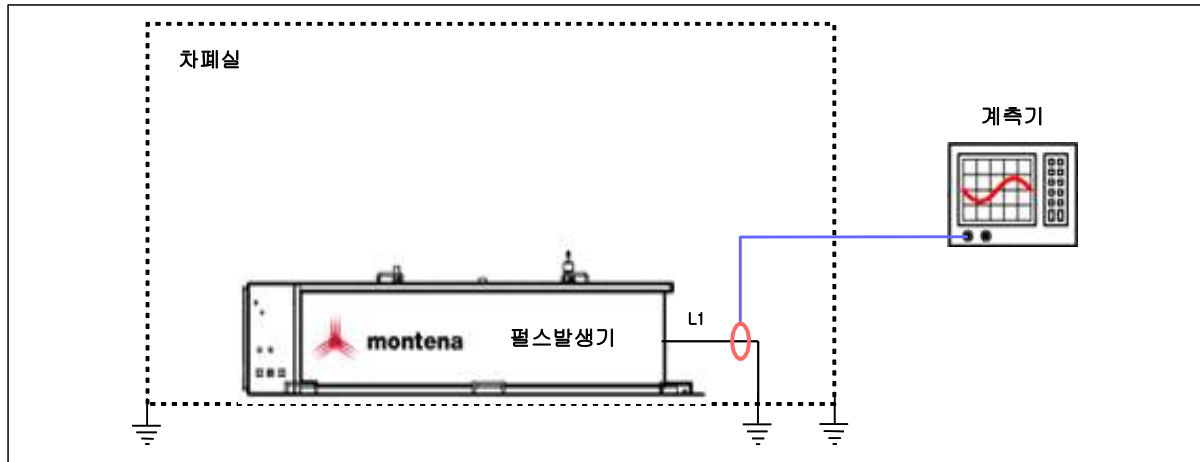
3-7-1-2. 샘플링 속도는 1ns단위가 측정 가능한 1GS/s 이상 대역폭은 1GHz 이상, 아날로그 대역폭 500MHz 이상의 성능을 가져야 하며 1ns 단위로 샘플링 하는 경우 500 ~ 550ns 이상을 디스플레이 및 메모리 할 수 있는 성능을 가져야 한다.

3-7-1-3. 기타필요 성능

- 2채널 이상의 동시 측정이 가능하여야 한다.
- Single Trigger 및 Trigger Level을 조정 할 수 있어야 한다.
- 상승시간 및 펄스폭을 측정 할 수 있어야하며 최대상승률과 Root Action을 연산 할 수 있도록 고급 연산 기능을 탑재한 장비여야 한다.
- 원격 측정 및 측정 결과 분석을 위한 GPIB 또는 LAN을 통한 제어 기능을 갖추어야한다.

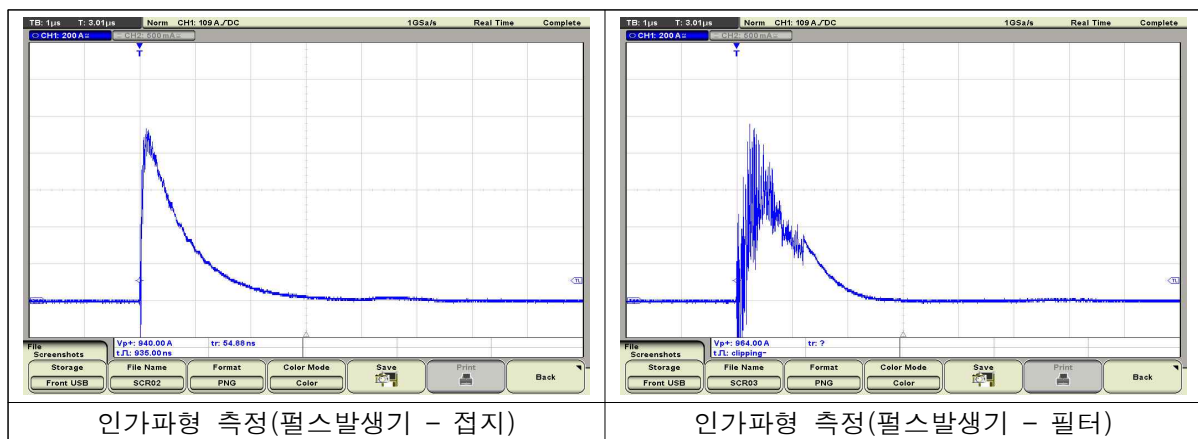
4. 장비 교정 시험절차

4-1. 단펄스 장비의 교정시험 구성은 다음과 같다.



4-1-1. 펄스가 발생하는 단자를 필터와 연결하지 않고 접지단자로 연결하여 장비가 낼 수 있는 성능 확인한다.

- 인입점보호장치를 연결한 뒤 입력파형을 측정하면 모의부하의 임피던스와 인입점보호장치의 내부 회로의 영향으로 규격에서 요구하는 파형을 확인하기 힘들다 따라서 펄스발생기에서 접지로 연결된 선로의 전류를 확인해야한다.



4-1-1-1. 접지로 연결되는 케이블 실제 수락시험에 사용되는 동일한 종류의 케이블을 사용해야하며 L1의 길이는 최대한 짧게 하여야한다.(약 20 ~ 40cm)

4-1-1-2. 케이블의 터미널 압축단자 이외의 구간이 접지체와 이격되어있어야 한다.

4-1-2. 전류센서의 위치는 접지면에서 15cm이내에 위치시킨다.

4-1-3. EMP80k-5-500($\leq 1\text{kA}$) 제어장치 조정



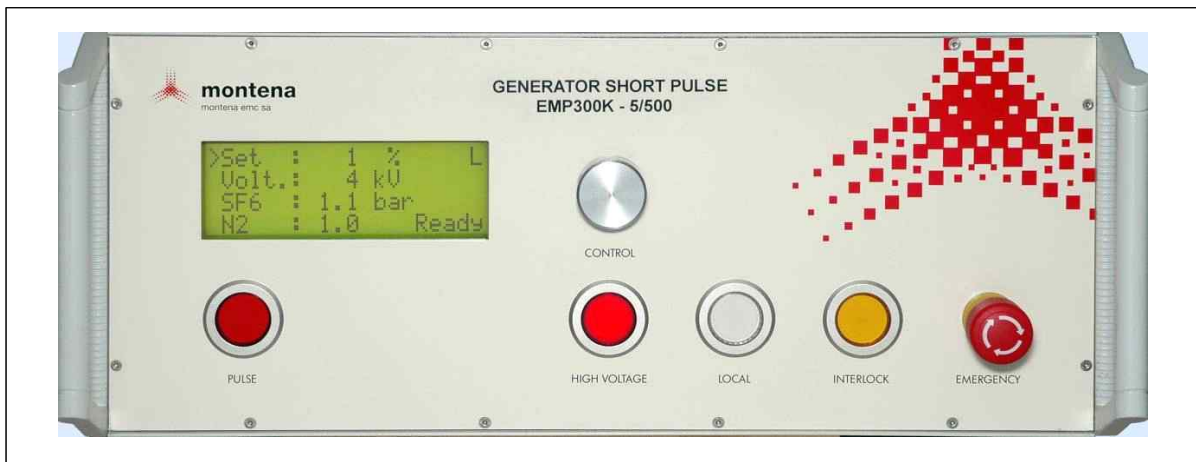
4-1-4. 장비 후면의 전원버튼을 누르고 장비 정면의 High voltage 버튼을 눌러 장비 전원을 켜다.

4-1-5. 장비 정면의 Control Range를 누르고 Control Range돌려 Set값을 조정한다. Set 값에 따라 Voltage Level이 변환된다.

- 교정 값 예시(Max 2500A)

기준	Set	Voltage	Current Peak
10%(250A)	14 %	12 kV	250 A
20%(500A)	40 %	32 kV	508 A
40%(1000A)	84 %	67 kV	1028 A

4-1-6. EMP300K-5-500($\leq 5\text{kA}$) 제어장치 조정



4-1-7. 장비 후면의 전원버튼을 누르고 장비 정면의 High voltage 버튼을 눌러 장비 전원을 켜다.

4-1-8. 장비 정면의 Control Range를 돌려 화살표를 N2 위치시키고 Control Range를 눌러 N2셋업화면으로 들어가 N2값을 조정한다. 다시 Control Range를 눌러 초기화면으로 돌아 온 뒤 SF6를 위와 같은 방법으로 조정한다. 그 후 Set값을 조정한다. Set 값에 따라 Voltage Level이 변환된다.

- 순서는 N₂, SF₆, Set 값 순으로 조정해야한다. 가스를 조정하지 않고 전압을 먼저 조정할 경우 펄스발생기에서 전압을 충전하지 못하고 지속적으로 펄스를 발생하게 되므로 순서에 주의하여야 한다.
- 교정 값 예시(Max 2500A)

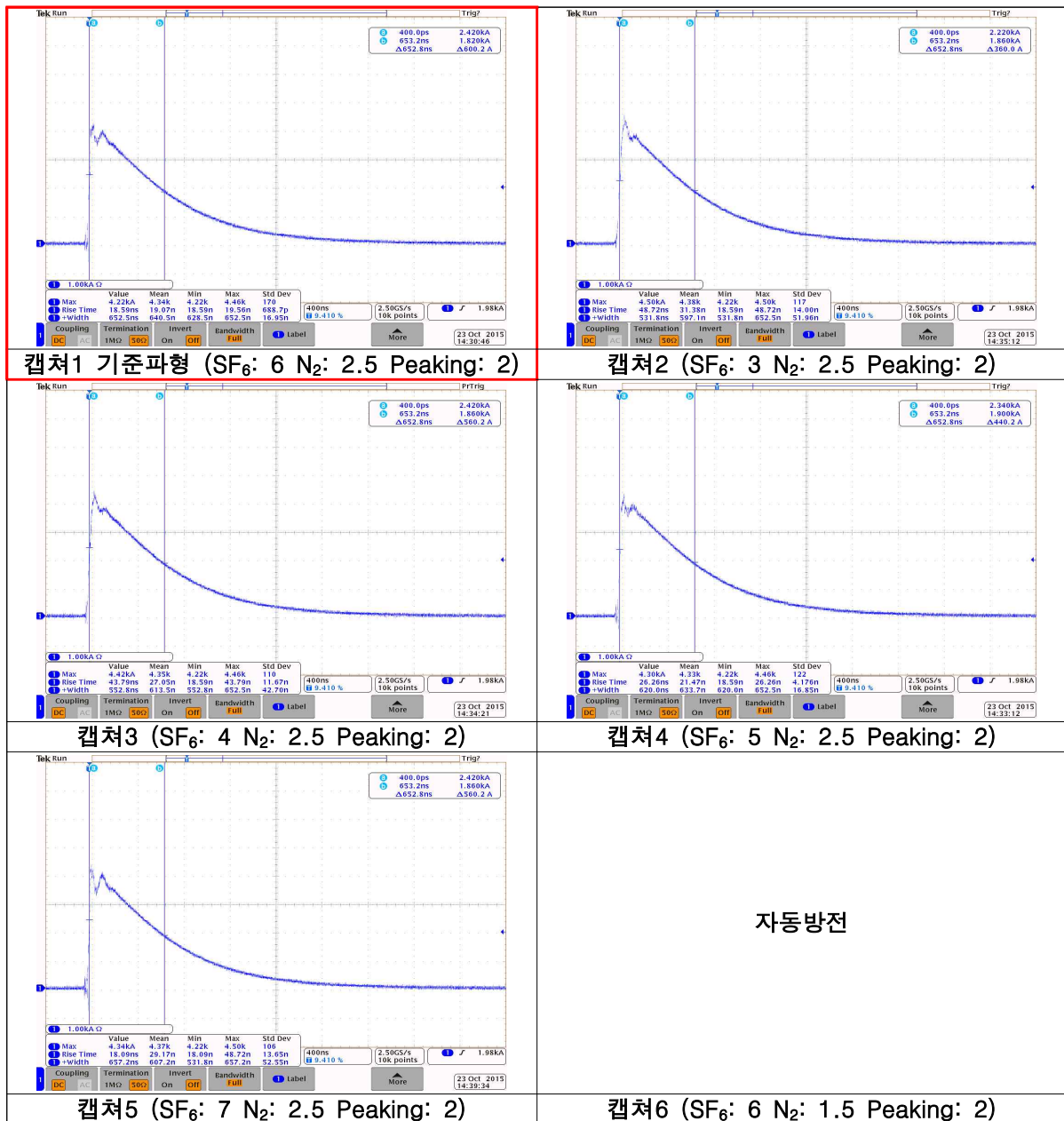
기준	Set				Voltage	Current Peak
	Set	SF6(bar)	N2(bar)	Peaking		
80%(2000A)	36 %	6	2	2	108 kV	2018 A
100%(2500A)	43 %	4	2.5	2	129 kV	2634 A

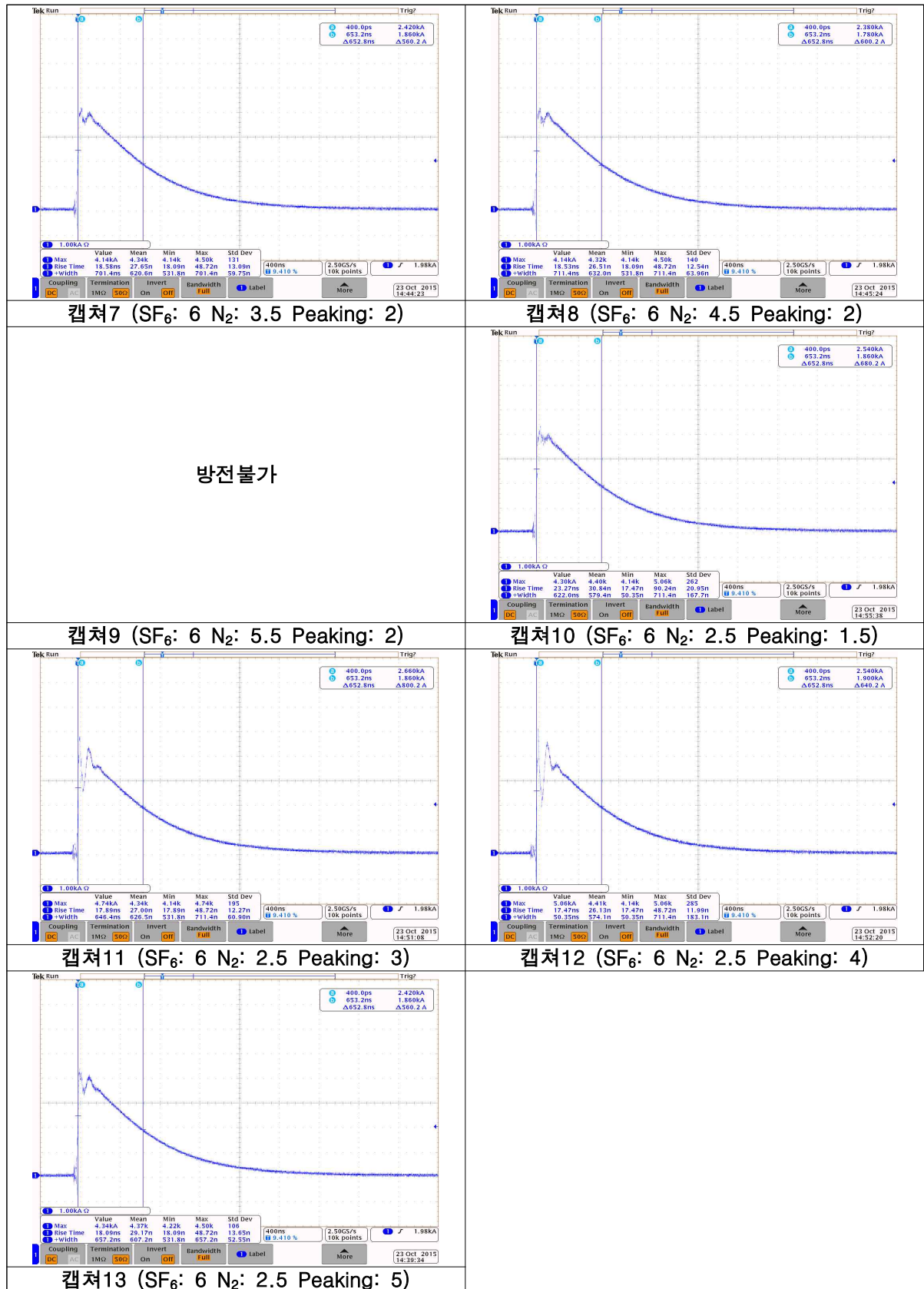
- EMP300K-5-500(≤5kA)교정 예시(2500A)

SF ₆ (Bar)	N ₂ (Bar)	Peaking(mm)	Peak Current (kA)	상승시간 (ns)	반치폭 (ns)	캡처번호
6	2.5	2	2.67	9.6	570.12	1
3	2.5	2	2.84	28	536.69	2
4	2.5	2	2.80	29.2	564.16	3
5	2.5	2	2.72	17.6	563.90	4
7	2.5	2	2.74	20	564.23	5
6	1.5	2	자동방전			6
6	3.5	2	2.62	10	471.67	7
6	4.5	2	2.62	9.2	589.45	8
6	5.5	2	방전불가			9
6	2.5	1.5	2.72	14.4	563.80	10
6	2.5	3	3.00	12.8	511.29	11
6	2.5	4	3.20	14	471.67	12
6	2.5	5	2.77	72.8	566.00	13

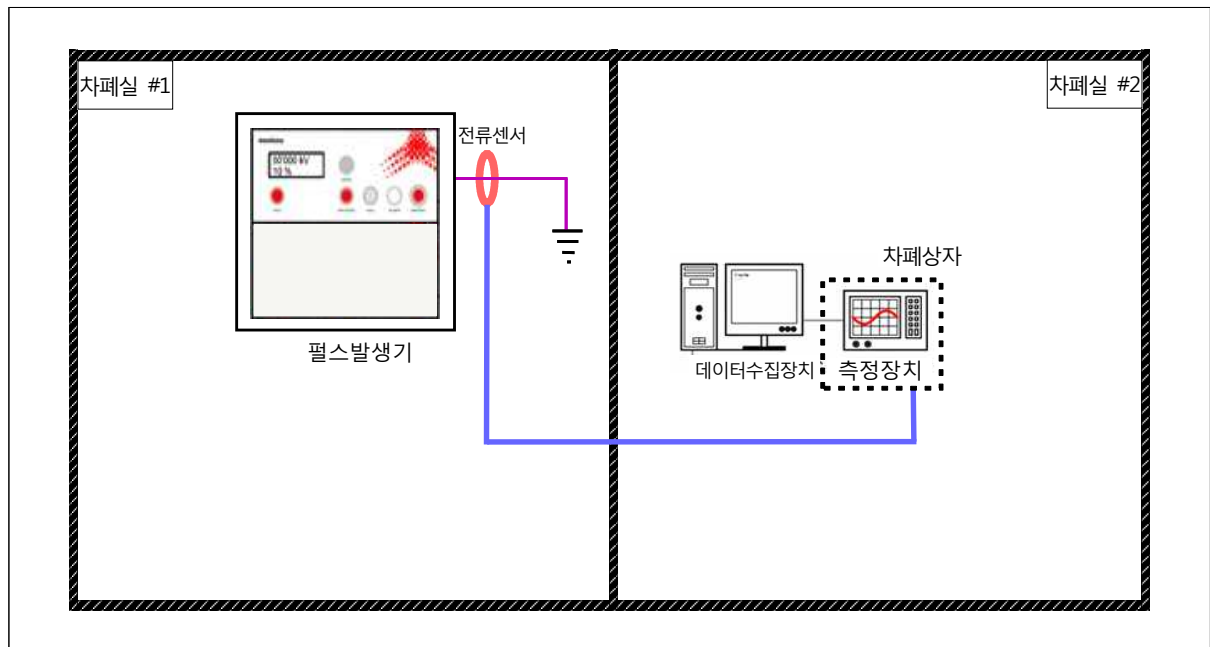
위 표는 교정 절차 수행시 변수에 따른 인가파형의 변화를 비교하였다. 장비오차가 있어 파형의 변화가 이상적으로 변하지는 않았으나 SF₆가스가 증가할수록 상승시간이 감소하는 추세를 보였으며, N₂가스

가 너무 낮으면 완전히 충전되기 전 자동적으로 펄스가 발생하는 현상이 일어났으며 너무 높을 경우 펄스발생기의 Pulse(인가) 버튼을 눌러도 펄스가 인가되지 않는 현상이 발생하였다. 스파크 갭을 의미하는 Peaking 간격을 조정하였을 경우 반치폭의 길이를 짧게 할 수 있으나 펄스 시작단계에서 파형이 찌그러지는 형태가 발생하였다. 이 파형은 장비마다 다르게 표현될 수 있으며 참고용으로만 활용해야 한다.





4-2. 중펄스 장비의 교정시험 구성은 다음과 같다.



4-2-1. 중펄스발생기를 차폐실 #1에 위치시키고 계측장치는 차폐실 #2에 위치시킨다.

4-2-2. 중펄스발생기의 출력케이블을 접지에 연결한다.

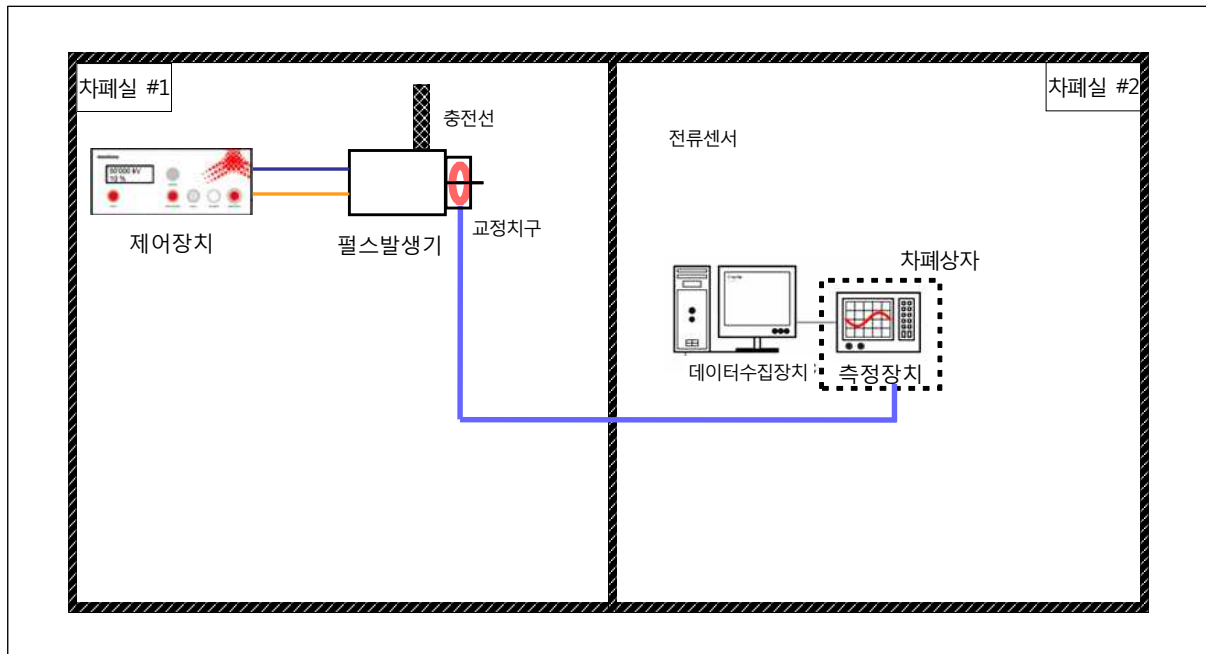
4-2-3. 펄스발생기 후면의 전원스위치를 켜고 펄스발생기 전면의 High Voltage 버튼을 눌러 장비 전원을 켜다./

4-2-4. 펄스발생기 컨트롤 버튼을 눌러 Set값을 조정하여 전압값을 조정한다.

- 교정 값 예시(Max 250A)

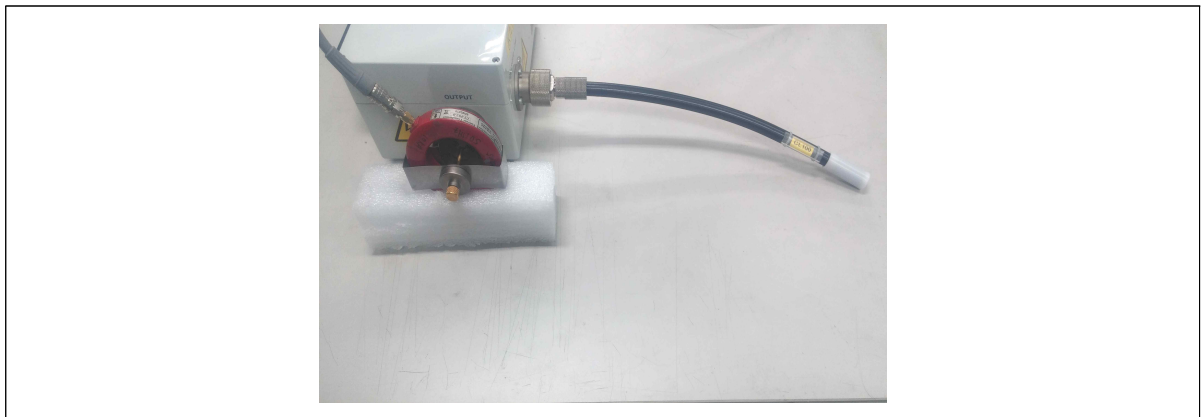
기준	Set	Voltage	Current Peak
10%(25A)	9 %	0.27 kV	26 A
20%(50A)	18 %	0.54 kV	52 A
40%(100A)	35 %	1.05 kV	103 A
80%(200A)	69 %	2.07 kV	218 A
100%(250A)	84 %	2.52 kV	263 A

4-3. 충전선펄스 장비의 교정시험 구성은 다음과 같다.



4-3-1. 충전선 펄스발생기 릴레이박스과 제어장치를 차폐실 #1에 위치시키고 계측장치는 차폐실 #2에 위치시킨다.

4-3-2. 펄스발생기 교정치구와 전류센서를 체결한다.



4-3-3. 사용 주파수를 확인하고 충전선의 길이를 선정하고 펄스발생기 릴레이박스에 체결한다.

- RF안테나 단자 시험은 방호장치의 외부동조회로를 포함하여 최저 동작주파수와, 중간대역 동작주파수, 최고 동작주파수에서 PCI시험을 실시한다. 응답주파수가 30MHz이하 일 때 단펄스발생기로 시험을 실시하고 30MHz이상 일 때 충전선 펄스발생기로 시험을 실시한다.

- 충전선로의 길이는 주입주파수의 1/4파장의 길이를 가진 충전선을 사용한다.(충전선 펄스 발생기의 전류 용량이 부족할 경우 단펄스 발생기를 사용한다.)

- 충전선로의 선정

충전 선로는 파장의 $1/4$ 배로 선정한다.

파장의 산출식은 다음과 같다.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f} \quad (1)$$

이 값에 파장의 $1/4$ 배를 곱하고 충전선로의 유전율을 대입한다.

(이 충전 선로의 유전율은 $\epsilon_r = 2.3$ 이다.)

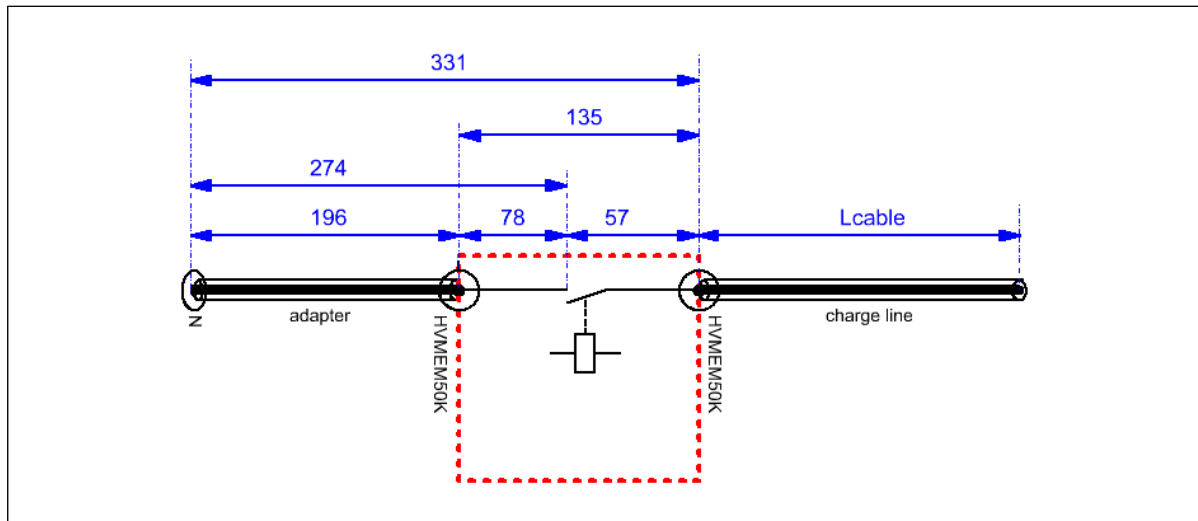
$$L_{cable} = \frac{c}{4 \times f \times \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{3 \times 10^8}{4 \times f \times 1.52} \quad (2)$$

$$L_{cable} = \frac{49342105}{f(Hz)} \quad (3)$$

$$L_{cable} \cong \frac{49.5}{f(MHz)} \quad (4)$$

충전선로의 주파수에 맞게 충전선로를 선정하여야하나 주파수가 달라질 때 마다 충전선로를 새로 제작하는 것은 상당히 제한적이다. 제작되어 있는 선로의 근사치로 시험을 수행해야 한다.

- CLP40K(400A) 충전선로 길이



- 충전선로 길이

충전선로의 길이는 릴레이박스 내부의 길이를 포함하여야하므로 케이블 자체의 길이는 $\lambda/4$ 보다 짧게 설계되었으며 실제 파장테스트를 거쳐 제작되어 정확히 길이가 일치하지 않는 경우가 많다.

충전선 이름	충전선 길이(L cable)	전체 충전선 길이 ($\lambda/4$)
CL30L (30MHz)	1.51	2.50
CL40L (40MHz)	1.10	1.88
CL50L (50MHz)	0.85	1.50
CL75L (75MHz)	0.52	1.00
CL100L (100MHz)	0.36	0.75
CL125L (125MHz)	0.26	0.60
CL150L (150MHz)	0.19	0.50
CL175L (175MHz)	0.15	0.43
CL220L (220MHz)	0.09	0.34
CLSPE(Non Charged)	0	~ 0.30

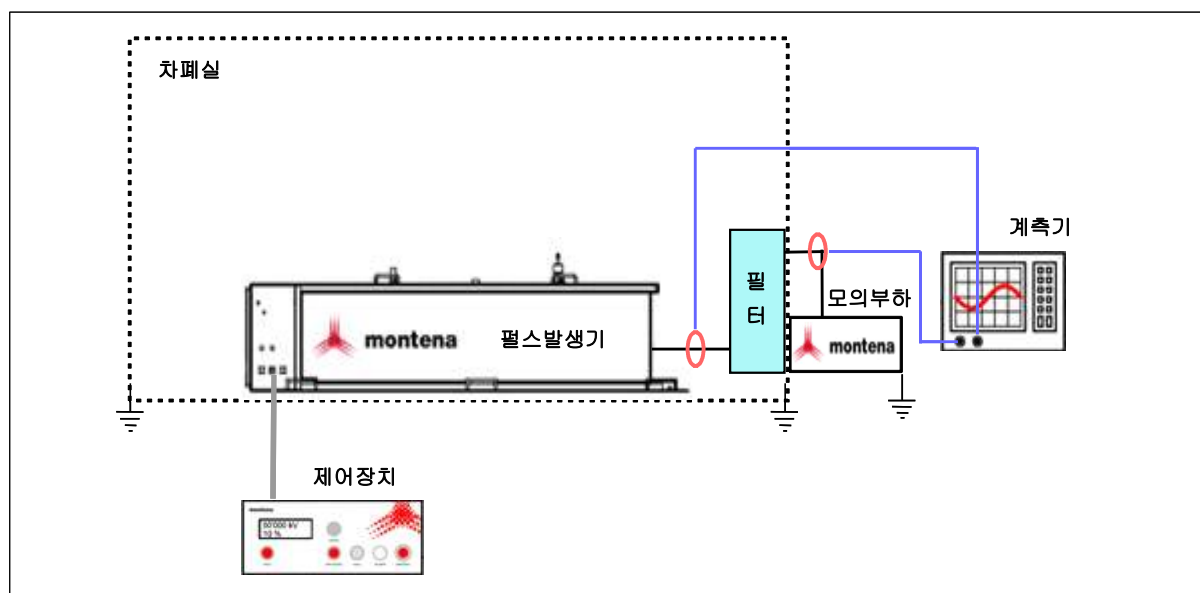
5. 인입점 보호장치 시험절차

인입점보호장치가 시험품으로 입고되면 시험품의 상세사양을 확인해야한다. 이를 잘못 판단하고 잘못된 시험방법으로 시험 할 경우 재시험을 실시해야한다. 심각한 경우 시험품에 손상을 주어 인입점보호장치가 재기능을 하지 못하는 경우가 발생한다. 다음은 필터가 처음 입고되었을 때 판단해야 할 내용을 체크리스트로 나타내었다.

- 체크리스트(예시)

구 분	체크리스트	확 인
1	필터제조사	○○○ 社
2	필터의 용도 (전원선, 음성선, 데이터선, 제어선, 신호선, RF 등)	전원선
3	필터의 용도(전원선일 경우 Intersite, Intrasite)	Intrasite용
4	장비 사양(정격전압, 정격전류)	단상 30 A, 220V
5	장비 사양(외형, 무게, 볼트, 너트, 도파관 사이즈 및 체결강도)	체결강도 5N.m
6	필터 상 별 도통검사 및 납품단계 이상 유무	이상없음
7	고전압방전소자 모델명 (MOV, GDT 제조사 및 사양)	□□社 ××모델
8	제품 시리얼넘버	2015001
9	기타 특이사항	다단 구조의 필터

5-1. 인입점 보호장치의 단펄스 시험구성은 다음과 같다.



5-1-1. 교정측정이 끝나면 위와 같이 장비를 구성한다. 펄스발생기와 인입점보호 장치를 차폐실 #1에, 계측기와 제어장치는 차폐실 #2에 위치시킨다.

- 상기 그림에서 입력단에 위치한 전류센서는 필터와 모의부하의 영향으로 기준 파형을 만족하지 못하는 경우가 발생되므로 측정하지 않아도 무방하나 펄스발생기의 상태를 모니터링 용도로 측정하도록 그림 상에 나타내었다.
- 계측기 사양과 인입점보호장치 특성에 따라 달라지지만 인가파형 특성(계측기 설정 약 2us 500A)과 잔류전류 파형의 특성(계측기 설정 약 100us 500mA)의 차이가 심하여 하나의 계측기에 표현하는 것은 매우 어렵다.

5-1-2. 펄스발생기에서 인입점보호장치로 연결되는 인가케이블과 모의부하로 연결되는 출력케이블의 길이는 최대한 짧게 한다.

5-1-3. 케이블 체결이 완료되면 교정파형에서 측정한 조정값을 제어장치에 입력 후 Pulse 버튼을 눌러 인가한다.

- 전원선(2500A) 기준(예시)
 - EMP80k-5-500($\leq 1\text{kA}$)

기준	Set	Voltage	Current Peak
10%(250A)	14 %	12 kV	250 A
20%(500A)	40 %	32 kV	508 A
40%(1000A)	84 %	67 kV	1028 A

- EMP300K-5-500($\leq 5\text{kA}$)

기준	Set				Voltage	Current Peak
	Set	SF6(bar)	N2(bar)	Peaking		
80%(2000A)	36 %	6	2	2	108 kV	2018 A
100%(2500A)	43 %	4	2.5	2	129 kV	2634 A

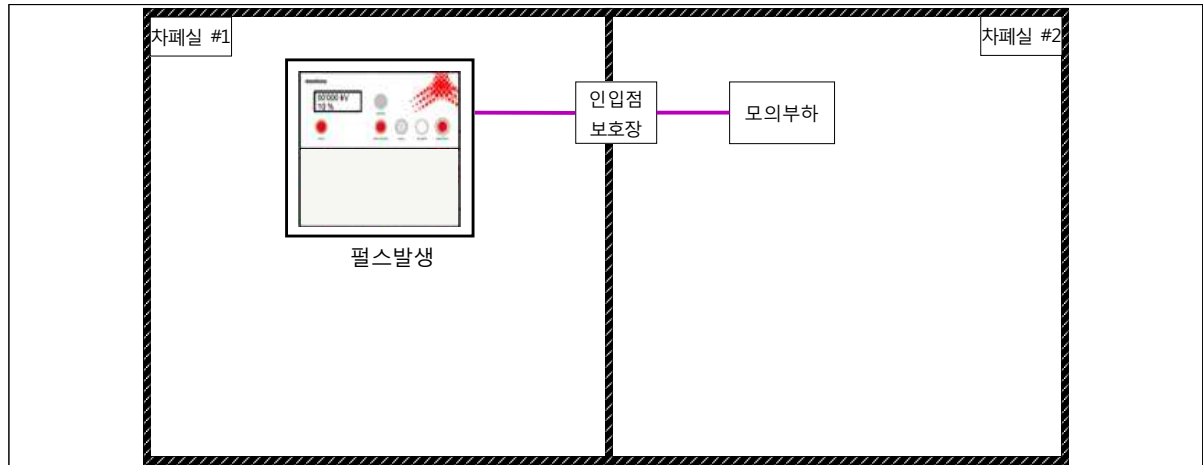
5-1-4. 잔류전류 파형의 특성을 확인하기 위해 2~3회 펄스를 인가한다.

5-1-5. 최대인가 전류의 10%, 20%, 40%, 80%, 100%를 순차적으로 인가한다.

5-1-6. 잔류전류의 최대값, 상승률, Root action 값을 기록하고 기준범위 내에 들어오는지 확인한다.

5-1-7. 연결된 케이블을 해체 할 때 입력단자에 접지봉을 연결하여 잔류전류를 방전한다.

5-2. 인입점 보호장치의 중펄스 시험구성은 다음과 같다.



5-2-1. 위 그림과 같이 중펄스발생기를 차폐실 #1에 배치한다.

- 중펄스발생기는 펄스발생기와 제어장치가 일체형으로 구성되어 있으며 고전압 펄스가 출력되는 부분과 인입점보호장치가 바로 직결된다.
- 중펄스시험은 별도의 잔류 전류 측정을 실시하지 않고 펄스 인가 후 동작의 이상 유무만 판단하므로 전류센서를 설치할 필요가 없다.

5-2-2. 펄스발생기에서 인입점보호장치로 연결되는 인가케이블과 모의부하로 연결되는 출력케이블의 길이는 최대한 짧게 한다.

5-2-3. 케이블 체결이 완료되면 교정과형에서 측정한 조정값을 제어장치에 입력 후 Pulse 버튼을 눌러 인가한다.

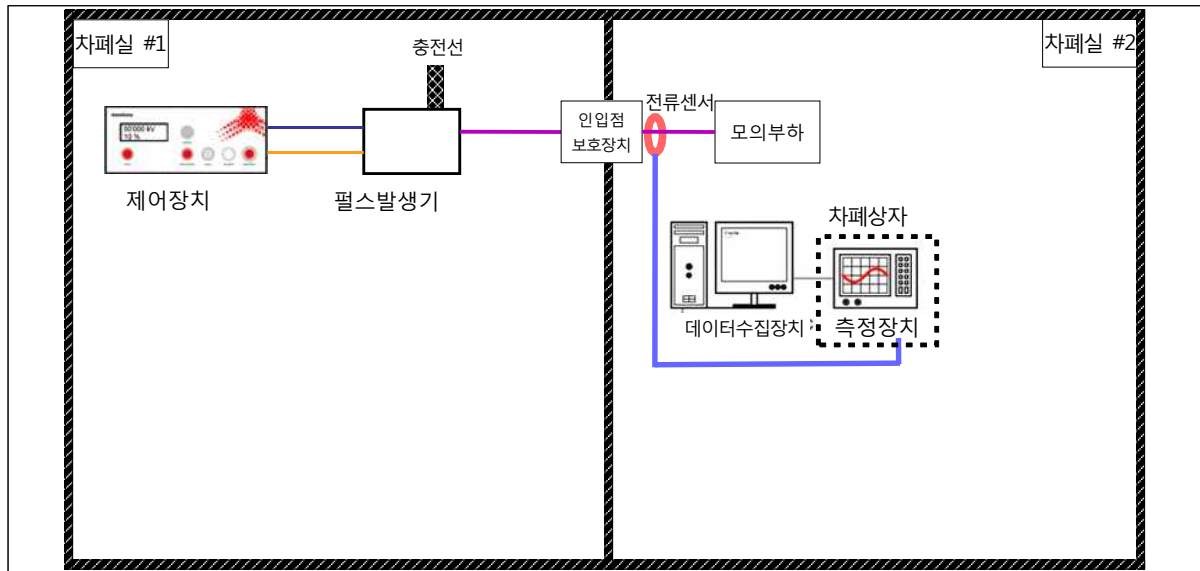
- 교정 값 예시(Max 250A)

기준	Set	Voltage	Current Peak
10%(25A)	9 %	0.27 kV	26 A
20%(50A)	18 %	0.54 kV	52 A
40%(100A)	35 %	1.05 kV	103 A
80%(200A)	69 %	2.07 kV	218 A
100%(250A)	84 %	2.52 kV	263 A

5-2-4. 최대인가 전류의 10%, 20%, 40%, 80%, 100%를 순차적으로 인가한다.

5-2-5. 연결된 케이블을 해체 할 때 입력단자에 접지봉을 연결하여 잔류전류를 방전한다.

5-3. 인입점 보호장치의 충전선펄스 시험구성은 다음과 같다.



5-3-1. 차폐실 #1에 제어장치와 펄스발생장치를 설치한다.

5-3-2. 인입점보호장치의 주파수 특서에 맞추어 충전선을 연결한다.

- 충전선로 길이

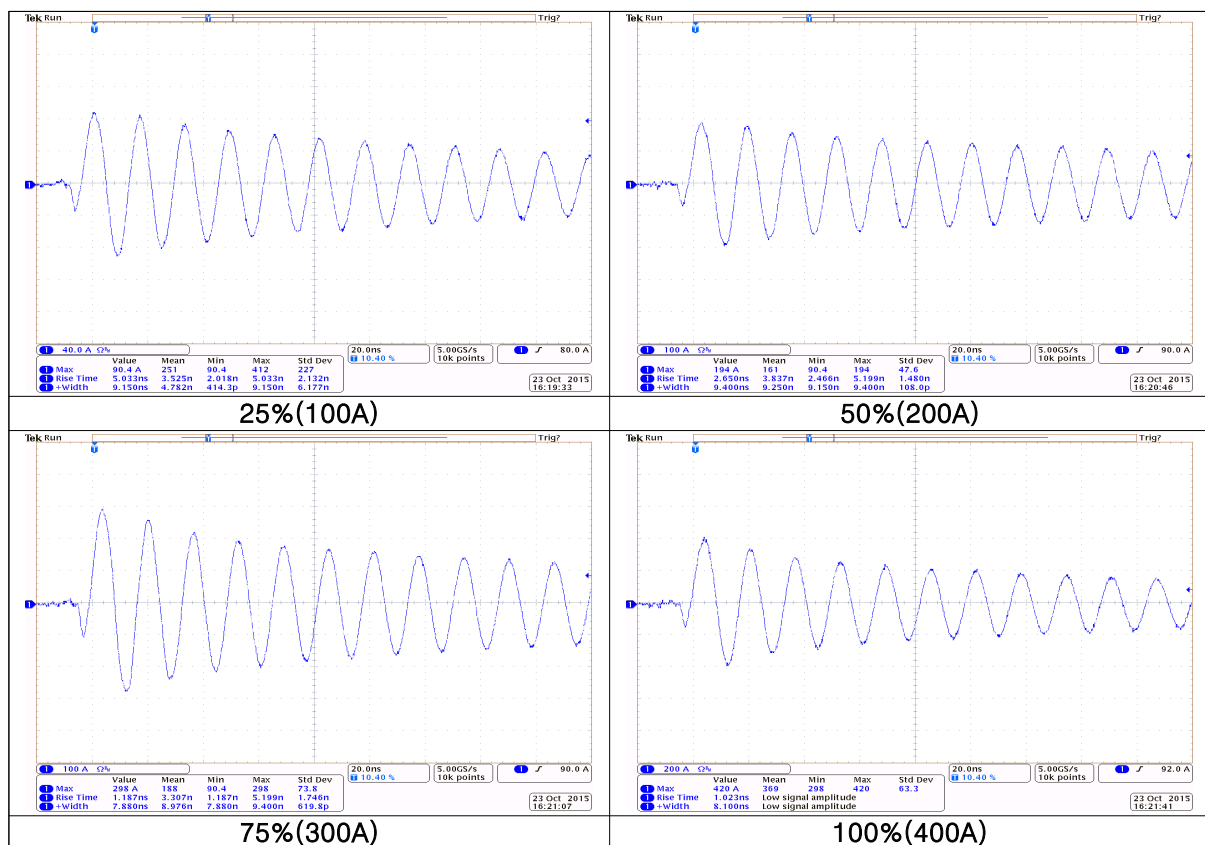
충전선 이름	충전선 길이(L cable)	전체 충전선 길이 ($\lambda/4$)
CL30L (30MHz)	1.51	2.50
CL40L (40MHz)	1.10	1.88
CL50L (50MHz)	0.85	1.50
CL75L (75MHz)	0.52	1.00
CL100L (100MHz)	0.36	0.75
CL125L (125MHz)	0.26	0.60
CL150L (150MHz)	0.19	0.50
CL175L (175MHz)	0.15	0.43
CL220L (220MHz)	0.09	0.34
CLSPE(Non Charged)	0	~ 0.30

5-3-3. 케이블 및 인입점보호장치를 체결한다.

5-3-4. 인입점보호장치의 주파수 특성을 확인하여 충전선을 선정하고 교정시험을 실시하여 확인된 인가파형 조정 값을 제어장치에 입력하고 Pulse(인가)버튼을 눌러 펄스를 인가한다.

- 교정 값 예시(Max 250A)

기준	Set	Voltage	Current Peak
25%(100A)	20 %	4.6 kV	100 A
50%(200A)	39 %	9.6 kV	194 A
75%(300A)	61 %	15.0 kV	302 A
100%(400A)	80 %	19.8 kV	412 A



5-3-5. 인입점보호장치 출력단에 연결된 전류센서의 값에 최대값, 상승률, Root action 값을 기록하고 기준범위 내에 들어오는지 확인한다.

연구결과 활용계획서

연구과제명	정보기기 전도성 고출력 전자파 보호방법 연구					
연구분야	EMP(Electromagnetic Pulse)					
연구구분	2015 정책연구과제					
연구책임자1	소 속	한국전파진흥협회	직위·직급	팀 장	성 명	민 경 령
연구책임자2	소 속	한국전파진흥협회	직위·직급	사 원	성 명	이 영 일
연구기간	2015. 06. 03. ~ 2015. 11. 20					
주요활용분야	<ul style="list-style-type: none"> • 고출력 전자파 방호시설 성능평가 시험방법 개선 • 국립전파연구원 고시 제2014-20호 『고출력·누설 전자파 안전성 평가기준 및 방법 등에 관한 고시』 시험절차 개선 					
국내외 공업소유권	구 분	명 칭	출원일	등록일	기타	
학술지발표 현 황	구 분	학술지명	신청일	게재일	기 타	
타 연구로 활용계획						
기타활용 계 획						

정보기기 전도성
고출력 전자파 보호방안 연구



520-350 전남 나주시 빗가람로 767
발 행 일 : 2015. 11
발 행 인 : 최 영 진
발 행 처 : 미래창조과학부 국립전파연구원
전 화 : 061) 338-4416
인 쇄 : 경성문화사
Tel. 02) 786-2930

ISBN : 979-11-5820-017-6 < 비 매 품 >

주 의

1. 이 연구보고서는 국립전파연구원에서 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 국립전파연구원 연구결과임을 밝혀야 합니다.