

[붙임 2]

공통·통합접지 검사업무처리방법

2018. 01.

 **한국전기안전공사**
기술사업처 검사부

||| 목 차 |||

I. 주요내용	2
II. 공사계획신고수리업무처리방법	7
III. 사용전검사업무처리방법	18
IV. 검사기록표 서식	26
V. 참고자료	29
[별첨] 229kV 수전설비 접지망의 제 계산 및 설계사례	67

I 주요내용

1. 공통·통합접지 정의

구분	정의
공통접지	등전위가 형성되도록 고압 및 특고압 접지계통과 저압 접지계통을 공통으로 접지하는 방식
통합접지	전기, 통신, 피뢰설비 등 모든 접지를 통합하여 접지하는 방식을 말하며, 건물 내의 사람이 접촉할 수 있는 모든 도전부가 등전위를 형성하여야 함

2. 공통·통합 접지저항값

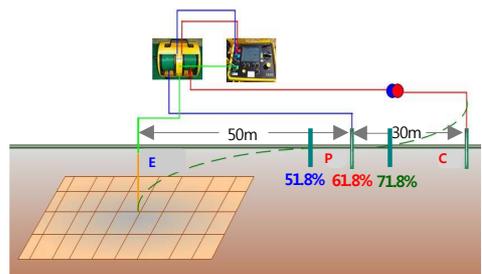
공사계획신고 설계도서(접지계산서 및 설계도)의 **접지저항 값은 인체 안전에 영향을 미치지 않는 인체 허용접촉전압값 이하가 되도록 설계하여야 하며, 접지공사 관련사항은 KS C IEC 60364-4-44 및 KS C IEC 61936-1의 10에 따른다.**

※ 인체를 통과하는 전류경로가 달라서 보폭접압 한계가 접촉전압 한계보다 크기 때문에 인체 허용접촉전압값 이하가 되면, 보폭전압 요건도 만족한 것으로 볼 수 있음

3. 공통·통합 접지시스템 검사

가. 공통·통합 접지저항 측정방법

보조극(P, C)은 저항구역이 중첩되지 않도록 접지극 규모의 6.5배 이격하거나, 접지극과 전류보조극간 80m이상 이격하여 측정



나. 공통·통합접지 부분검사 실시

- 1) 공사계획신고 확인증에 공통·통합 접지공사에 대하여 접지공사 중이나 접지공사가 완료된 때 부분검사를 신청하도록 안내
- 2) 부분검사(공통·통합 접지공사에 대한 중간검사)는 접지저항을 측정하고 공통·통합 접지공사가 신고한 공사계획에 적합한 지 확인
- 3) 부분검사를 받지 않고 전기수용설비 전체 공사가 완료된 후에 사용전검사를 신청하여 주변여건으로 접지저항 측정이 어려운 경우에는 **감리자료**(접지저항 측정값, 대지저항률 측정값, 접지극 재료, 형상, 접속방법, 깊이 등)와 사진 등 증빙자료를 제출받아 **접지저항 측정검사** 같음

4. 등전위본딩 확인 및 전기적 연속성 측정방법

가. 공통·통합 접지공사를 하는 경우에는 KS C IEC 60364-4-41(안전을 위한 보호-감전에 대한 보호)에 적합하도록 시설하여야 한다.(관련근거 : 전기설비기술기준의 판단기준 '1. 전기설비' 제19조 제6항)

나. 건축물·구조물에서 접지도체, 주 접지단자와 다음의 도전성부분은 등전위본딩하여야 하며, 건축물 외부로부터 인입된 도전부는 건축물 안쪽의 가까운 지점에서 본딩하여야 한다. 다만, 통신케이블의 금속외피는 소유자 또는 운영자의 요구사항을 고려하여 보호 등전위본딩에 접속하여야 한다.

1) 수도관·가스관 등 외부에서 내부로 인입되는 금속배관

2) 건축물·구조물의 철근, 철골 등 금속보강재

3) 일상생활에서 접촉이 가능한 금속제 난방배관 및 공조설비 등 계통외 도전부

다. 주접지 단자에 보호 등전위본딩 도체, 접지도체, 보호도체, 기능성 접지도체를 접속하여야 하며, KS C IEC 60364-5-54 및 KECG9103(등전위본딩에 관한 기술지침)을 참고할 수 있다.

라. 계통외 도전성부분 등전위본딩은 육안검사로 확인하는 것을 원칙으로 하며, 확인이 어려운 경우에는 전기적연속성을 측정한 전기저항값이 0.2Ω이하가 되어야 한다.

5. 접지선, 보호도체 및 등전위본딩 도체 단면적

가. 접지선 및 보호도체 단면적

$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \text{ 이상}$	or	설비의 상도체 단면적 S[mm ²]	보호도체 최소단면적 S _p [mm ²]
		S ≤ 16	S
		16 < S ≤ 35	16
S > 35	S/2		

나. 등전위본딩 도체

1) 보호 등전위본딩 도체 단면적

재질	단면적 [mm ²]	낙뢰보호계통을 포함하는 경우 단면적 [mm ²]
구리	6	16
알루미늄	16	25
강철	50	50

2) 보조 보호등전위본딩 도체 단면적

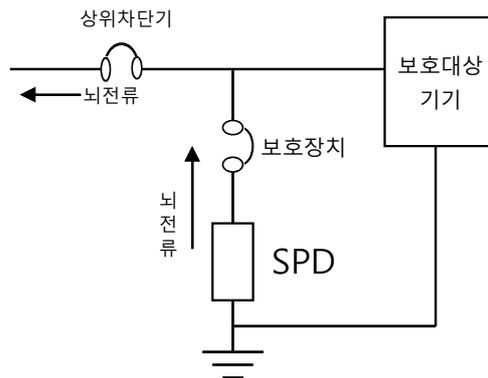
구분	기계적 보호 있음	기계적 보호 없음
전원 케이블의 일부 또는 케이블 외함으로 구성되어 있지 않은 경우	2.5mm ² /Cu 16mm ² /Al	4mm ² /Cu 16mm ² /Fe

6. SPD 시설기준

가. 통합접지 계통의 건축물 내에 시설되는 저압 전기설비에는 과전압으로 인한 전기설비 보호를 위해 다음과 같이 SPD를 시설할 것

- 1) 건축물에 통합접지공사를 하는 경우, 저압 수전설비 또는 변압기 저압측 주 배전반에는 I 등급 또는 II 등급 서지보호장치(SPD)를 시설할 것
- 2) 분전반 등 기타 장소에는 그 장소에 적절한 SPD를 시설할 것(권장사항)

나. SPD 보호장치(MCCB, 누전차단기, 퓨즈 등) 시설기준



- 1) 단락고장으로 상정되는 SPD에 흐르는 단락전류를 확실하게 차단할 수 있는 보호장치를 시설할 것
- 2) I 등급 SPD용 보호장치의 정격은 일반적으로 대용량을 시설할 것
- 3) SPD를 누전차단기 부하측에 설치하는 경우 SPD에 흐르는 전류로 누전차단기가 동작할 수 있으므로 임펄스부동작형 누전차단기를 시설할 것
- 4) SPD를 누전차단기의 전원측에 설치하는 경우에는 SPD가 고장을 일으킬 때 확실히 계통으로부터 분리할 수 있는 차단능력을 가진 보호장치를 시설할 것

다. SPD 연결도체 길이 및 접지선 단면적

- 1) SPD 연결도체의 길이는 상전선에서 SPD와 SPD에서 주접지단자(또는 보호선)까지 가능한 50cm이하일 것. 다만, SPD 연결도체 길이가 50cm를 넘을 경우에는 연결도체의 전압강하를 고려하여 SPD의 전압보호레벨(U_p)를

선정하고, 연결도체의 전압강하를 포함하는 실효보호레벨($U_{P/F}$)이 기기에 요구되는 임펄스 내전압(U_W)을 초과해서는 안 된다. (예, 230/400V 설비의 U_W 는 2.5kV, 120~240V 설비에서는 1.5kV 임)

SPD의 연결도체 길이 L [m]	연결도체의 전압강하 ΔU	SPD의 전압보호레벨 U_p	
		230/400V설비	120~240V설비
0.5 이내	0	2.5 kV 이하	1.5 kV 이하
0.5 초과 1.0 이하	0.5 kV 이하	2.0 kV 이하	1.0 kV 이하
1.0 초과 1.5 이하	1.0 kV 이하	1.5 kV 이하	*1
1.5 초과 2.0 이하	1.5 kV 이하	1.0 kV 이하	
2.0 초과		*2	

U_p : SPD의 보호레벨

$U_{P/F}$: 실효보호레벨 $U_{P/F} = U_p + \Delta U$

ΔU : SPD 연결도체의 유도성 전압강하

단위길이당의 전압강하 $\Delta U = 1 \text{ kV/m}$ 가정(KSC IEC 62305-4)

U_t : SPD와 기기 사이 회로의 유도 과전압

*1, *2 : 기기측에 SPD 추가설치

- 2) I 등급 SPD는 접지선 단면적이 16mm²(구리)이상, 기타 SPD는 접지선 단면적이 4mm²(구리)이상의 것으로 시설할 것
- 라. 서지보호장치(SPD)는 KS C IEC 61643-11에 적합하여야 하며, 다음 중 어느 하나의 국내 공인시험기관의 인증제품을 사용할 것
- 1) 산업표준화법에 따른 KS 표시제품
 - 2) 국가표준기본법에 따른 KAS 인증(예, V-체크마크)제품

7. TN계통에서의 전원자동차단에 의한 감전보호방식

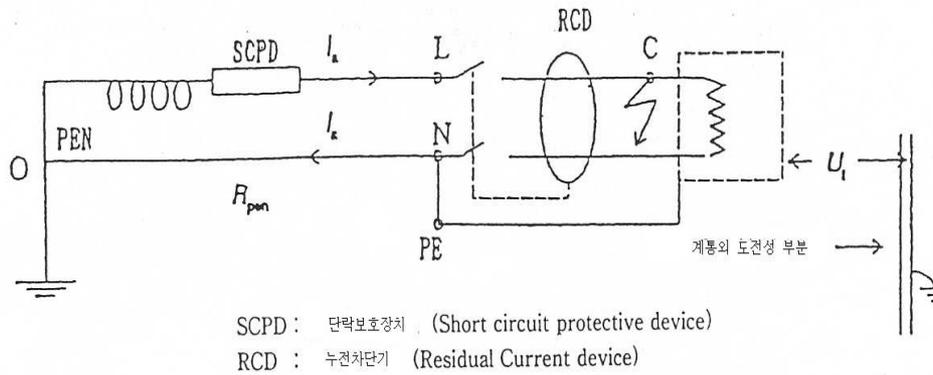
가. 과전류차단기에 의한 감전보호방식

고장루프 임피던스에서 고장전류를 확인하고, 과전류차단기의 보호조건(차단 시간)을 확인하여 규정된 차단시간 내에 전원을 자동차단하는 전류-시간 특성의 배선용차단기를 시설할 것

나. 누전차단기에 의한 감전보호방식

- 1) 콘센트 회로에 접속되는 코드 길이를 특별히 정할 수 없고 고장 임피던스 크기를 제시할 수 없는 경우에는 누전차단기에 의한 보호가 바람직함
- 2) TN-C 계통에는 누전차단기(누전전용)를 사용할 수 없음
- 3) TN-C-S 계통의 TN-S에서 누전차단기를 사용하는 경우에 기기 보호도체는

누전차단기 전원측에 접속할 것. 또한 그림의 C점에서 단락고장이 발생한 경우에 기기와 계통의 도전성부분 간에 접촉전압 U_t 가 발생하기 때문에 계통의 도전성 부분에는 보호 등전위본딩을 할 필요가 있음



8. 기타 (권장사항)

2012.1.1부터 주택용과 산업용으로 구분한 저압 과전류차단기의 KS표준 및 인증심사기준이 시행됨에 따라 적용범위 및 사용장소에 적합한 차단기 사용

II 공사계획신고수리업무처리방법

1. 공통 · 통합접지 개요

공통접지	통합접지
<p>고압 및 특고압 접지계통과 저압 접지계통이 등전위가 되도록 공통으로 접지하는 방식</p>	<p>전기설비 접지, 통신설비 접지, 피뢰설비 접지 및 수도관, 가스관, 철근, 철골 등과 같이 전기설비와 무관한 계통외도전부도 모두 함께 접지하여 그들 간에 전위차가 없도록 함으로써 인체의 감전우려를 최소화하는 방식을 말함.</p> <p>통합접지의 본질적 목적은 건물내에 사람이 접촉할 수 있는 모든 도전부가 항상 같은 대지전위를 유지할 수 있도록 등전위를 형성하는 것임.</p> <p>※ 통신설비 통합접지 여부는 통신사업자의 결정에 의할 수 있음</p>

2. 공통 · 통합 접지저항값 확인

구분	업무처리방법
설계도서 검토방법	<p>가. 공사계획신고 설계도서(접지계산서 및 설계도)의 <u>공통 · 통합 접지공사 접지저항 값이 특고압 계통 지락사고시 발생하는 고장전압이 저압기에 인가되어도 인체 안전에 영향을 미치지 않는 인체 허용접촉전압값 이하가 되도록 한 접지저항 값인 경우에는 인정하며, 접지공사 관련사항은 KS C IEC 60364-4-44 및 KS C IEC 61936-1의 10에 따른다.</u></p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p>※ 지락전류 크기 · 지속시간 및 접지극을 통하여 흐르는 지락전류의 분류를 등을 감안하고, 22.9kV 수전설비 기기 접지선은 한전 22.9kV-Y 배전선로의 중성선과 연결하도록 규정하고 있어 특고압 수용장소에서 22.9kV 지락사고시 지락전류의 대부분이 중성선을 통해서 직접 전원측으로 귀로하기 때문에 특고압 수용장에서의 국지적 대지전위 상승이 크지 않은 점을 <u>고려할 때 접지저항 설계값이 인체 허용접촉전압값 이하라고 접지계산서 및 설계도 등에 의하여 확인된 경우에는 다음의 표준을 참고 할 수 있음</u></p> <p><u>참고1. IEEE 80(2000)의 “14.1 일반적인 요구사항”</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - 송전용 및 대규모 변전소 접지저항값 : 1Ω이하 - 배전용 변전소 접지저항값 : 1Ω~5Ω범위 <p><u>참고2. IEEE 142(1991)의 “4.1.2 권장허용값”</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - 대규모 변전소, 변전소, 발전소 등 : 1Ω이하 - 산업용플랜트 변전소, 빌딩, 대규모 상업용시설물 등 : 1Ω~5Ω 범위 </div> <p>나. 공통 · 통합 접지저항 설계값 미제시로 접지저항값 확인이 불가능 경우에는 공사계획신고 보완토록 통지</p>

3. 등전위본딩 안내

구분	업무처리방법
설계도서 검토방법	<p><u>공통 · 통합접지공사를 하는 경우에는 다음과 같이 등전위본딩을 하도록 안내</u></p> <p>가. <u>공통 · 통합 접지공사를 하는 경우에는 KS C IEC 60364-4-41(안전을 위한 보호-감전에 대한 보호)에 적합하도록 시설하여야 한다. (관련근거 : 전기설비기술기준의 판단기준 ‘1. 전기설비’ 제19조 제6항)</u></p>

구분	업무처리방법
	<p>나. 건축물·구조물에서 접지도체, 주 접지단자와 다음의 도전성부분은 등전위본딩하여야 하며, 건축물 외부로부터 인입된 도전부는 건축물 안쪽의 가까운 지점에서 본딩하여야 한다. 다만, 통신케이블의 금속외피는 소유자 또는 운영자의 요구사항을 고려하여 보호 등전위본딩에 접속하여야 한다.</p> <p>1) 수도관·가스관 등 외부에서 내부로 인입되는 금속배관</p> <p>2) 건축물·구조물의 철근, 철골 등 금속보강재</p> <p>3) 일상생활에서 접촉이 가능한 금속제 난방배관 및 공조설비 등 계통외 도전부</p> <p>다. 주접지 단자에 보호 등전위본딩 도체, 접지도체, 보호도체, 기능성 접지도체를 접속하여야 하며, KS C IEC 60364-5-54 및 KECG9103(등전위본딩에 관한 기술지침)을 참고할 수 있다.</p> <p>라. 계통외 도전성부분 등전위본딩은 육안검사로 확인하는 것을 원칙으로 하며, 확인이 어려운 경우에는 전기적연속성을 측정할 전기저항값이 0.2Ω이하가 되어야 한다.</p>

4. 공통·통합 접지공사에 대한 부분검사 안내

구분	업무처리방법
신고수리 방법	<p>가. 공사계획신고수리 시 공사계획신고 확인증에 공통·통합 접지공사 중 또는 접지공사가 완료된 때 부분검사(접지공사에 대한 중간검사)를 신청토록 안내</p> <p>나. 부분검사를 받지 않고 전기수용설비 전체 공사가 완료된 후에 사용전검사를 신청하여 주변여건으로 접지저항 측정이 어려운 경우에는 감리자료(접지저항 측정값, 대지저항률 측정값, 접지극 재료, 형상, 접속방법, 깊이 등)와 사진 등 증빙자료를 제출받아 접지저항 측정검사를 갈음함을 안내</p>

구분	업무처리방법
----	--------

나. 등전위본딩도체 단면적 확인

1) 보호등전위본딩 도체 단면적 확인

재질	단면적 [mm ²]	낙뢰보호계통을 포함하는 경우 단면적 [mm ²]
구리	6	16
알루미늄	16	25
강철	50	50

2) 보조 보호등전위본딩 도체 단면적 확인

구분	기계적 보호 있음	기계적 보호 없음
전원 케이블의 일부 또는 케이블 외함으로 구성되어 있지 않은 경우	2.5mm ² /Cu 16mm ² /Al	4mm ² /Cu 16mm ² /Fe

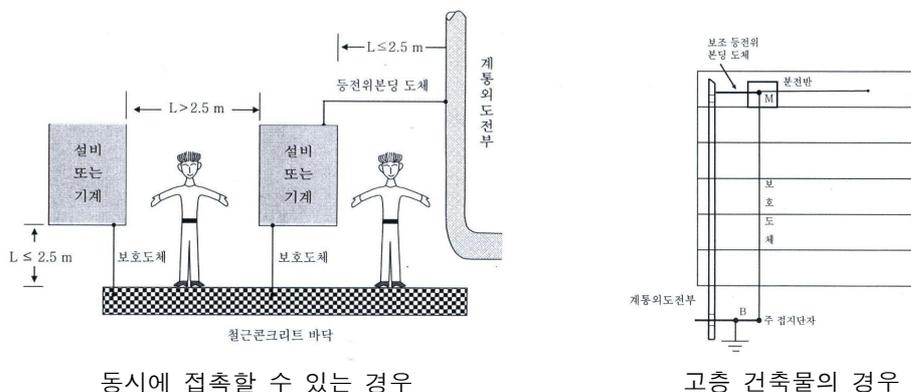
3) 공사계획신고수리 시 안내사항

① 보조 보호등전위본딩의 대상은 전원자동차단에 의한 감전보호 방식에서 고장시 자동차단시간이 아래 표에서 요구하는 계통별 최대차단시간을 초과하는 경우이다. 다만, 아래 표 이외의 경우와 배전회로(간선)에서 TN계통은 5초 이하, TT계통은 1초이하의 차단시간을 허용한다.

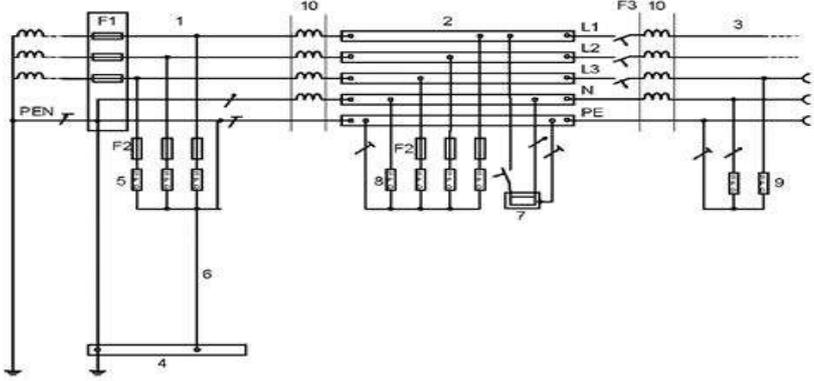
<32A 이하인 분기회로의 최대차단시간>

계통	50V < U ₀ ≤ 120V		120V < U ₀ ≤ 230V		230V < U ₀ ≤ 400V		U ₀ > 400V	
	교류	직류	교류	직류	교류	직류	교류	직류
TN	0.8초	요구값	0.4초	5초	0.2초	0.4초	0.1초	0.1초
TT	0.3초	요구값	0.2초	0.4초	0.07초	0.2초	0.04초	0.1초

② 상기①의 차단시간을 초과하고 2.5m 이내에 설치된 고정기기의 노출도전부와 계통외도전부는 보조 보호등전위본딩을 하여야 한다.



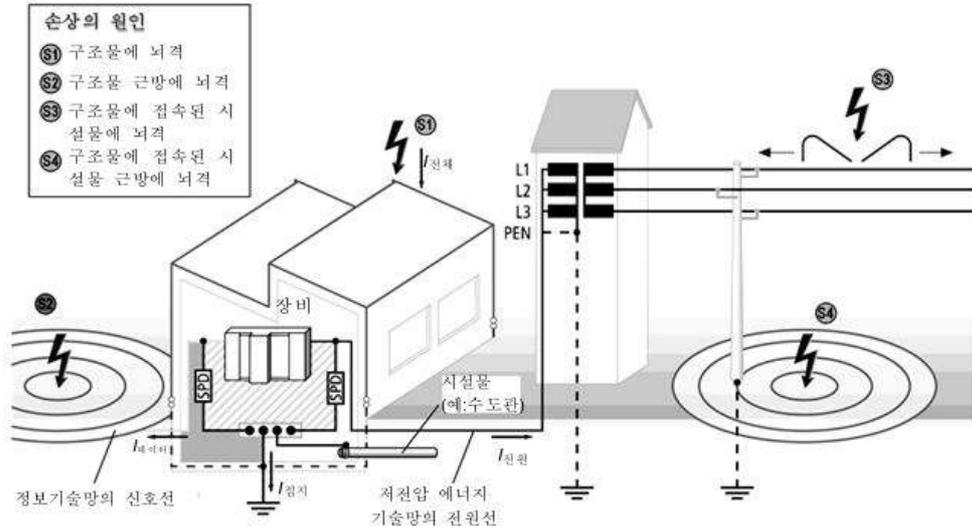
6. 통합접지공사에 따른 SPD 시설기준

구분	업무처리방법
설계도서 검토방법	<p>가. 통합접지 계통의 건축물 내에 시설되는 저압 전기설비에는 과전압으로 인한 전기설비 보호를 위해 다음과 같이 SPD를 시설하였는지 확인 및 안내</p> <p>1) 건축물에 통합접지공사를 하는 경우, 건축물인입구 LPZ1의 경계에 시설하는 저압 수전설비 또는 변압기 저압측 주 배전반에는 I 등급 또는 II등급 서지보호장치(SPD)를 시설할 것</p> <p>① I 등급 SPD에 요구되는 임펄스전류 I_{imp}는 SPD 설치점에 발생할 것으로 예상되는 뇌전류를 흘릴 수 있어야 함</p> <p>② II등급 SPD는 인입선이 완전히 LPZ 0_B 내부에 있을 때 또는 건물 뇌격 및 인입선로 뇌격에 의해 SPD 고장 확률이 무시될 때 사용할 수 있으며, SPD에 요구되는 공칭방전전류 I_n은 예상되는 서지전류를 흘릴 수 있어야 함</p> <p>2) 분전반 등 기타 장소에는 그 장소에 적절한 SPD를 시설할 것 (권장사항)</p> <p>※ 뇌격위험에 대한 LPZ 정의는 KS C IEC 62305-1 참조</p> <p>나. SPD 설치 및 뇌전류 분배의 기본 예시</p> <p>1) SPD 설치 예시</p>  <p>1. 시설물의 시작점 2. 배전반 3. 배전단자함 4. 주 접지단자 및 바 5. 등급 I 또는 II 서지보호장치 6. 서지보호장치의 접지접속(접지도체)</p> <p>7. 보호되어야 할 고정 기기 8. 등급II 시험받은 서지보호장치 9. 등급II 또는 III 서지보호장치 10. 감결합 요소 및 전선 길이 F1, F2, F3 과전류 보호단로기</p> <p>* 비교 : 추가정보는 KS C IEC 61643-12 참조</p>

구분

업무처리방법

2) 구조물 손상의 여러 원인과 시스템 내 뇌전류 분배의 기본예시



다. SPD 정격사항 확인

2) I 등급 SPD의 보호모드별 임펄스전류 I_{imp}

- 구조물에 뇌격(S1)

보호모드	단상		3상	
	CT ₁	CT ₂	CT ₁	CT ₂
각 상전선과 중성선 사이		12.5kA		12.5kA
각 상전선과 PE선 사이	12.5kA		12.5kA	
중성선과 PE선 사이	12.5kA	25kA	12.5kA	50kA

- 건축물 인입 전원선로 뇌격(S3)

보호모드	단상		3상	
	CT ₁	CT ₂	CT ₁	CT ₂
각 상전선과 중성선 사이		5kA		5kA
각 상전선과 PE선 사이	5kA		5kA	
중성선과 PE선 사이	5kA	10kA	5kA	20kA

2) II 등급 SPD의 보호모드별 공칭방전전류 I_n

보호모드	단상		3상	
	CT ₁	CT ₂	CT ₁	CT ₂
각 상전선과 중성선 사이		5kA		5kA
각 상전선과 PE선 사이	5kA		5kA	
중성선과 PE선 사이	5kA	10kA	5kA	20kA

※ CT₁은 SPD를 RCD의 부하측, CT₂는 SPD를 RCD의 전원측에 설치하는 경우

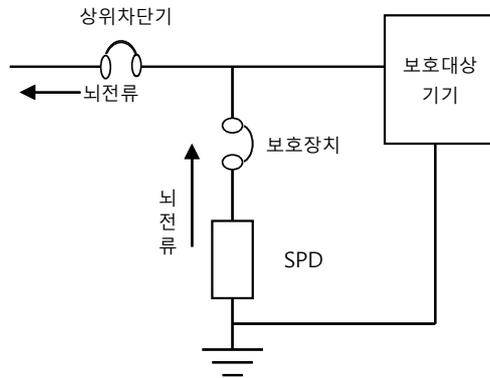
구분 **업무처리방법**

라. 저압 접지방식별(TT, TN, IT) SPD의 접속상태 확인

SPD 연결구간	SPD설치지점의 계통 구성							
	TT		TN-C	TN-S		IT(중성선 있음)		IT (중성선 없음)
	CT ₁	CT ₂		CT ₁	CT ₂	CT ₁	CT ₂	
각 상전선과 중성선 사이	△	○	×	△	○	△	○	×
각 상전선과 PE선 사이	○	×	×	○	×	○	×	○
중성선과 PE선 사이	○	○	×	○	○	○	○	×
각 상전선과 PEN선 사이	×	×	○	×	×	×	×	×
각 상전선 사이	△	△	△	△	△	△	△	△

○ : 의무사항, △ : 선택사항, 추가사항, × : 적용불가
 ※ CT1은 SPD를 RCD의 부하측, CT2는 SPD를 RCD의 전원측에 설치하는 경우

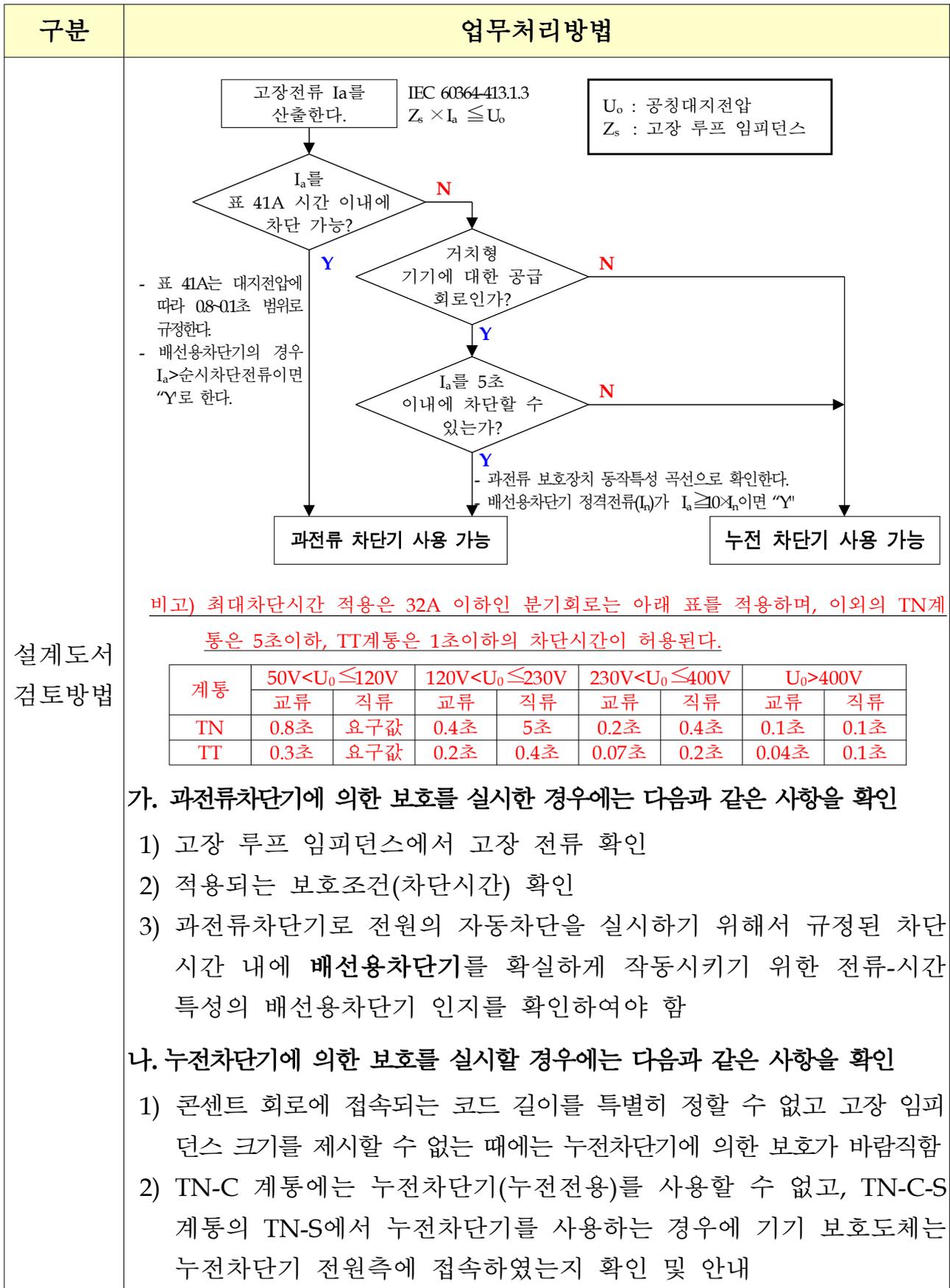
마. SPD 보호장치(MCCB, 누전차단기, 퓨즈 등) 설치여부 확인



- 1) 단락고장으로 상정되는 SPD에 흐르는 단락전류를 확실하게 차단할 수 있는 보호장치 시설여부 확인
- 2) I 등급 SPD용 보호장치의 정격은 일반적으로 대용량 시설
- 3) 상위차단기 정격 및 특성과 보호장치의 동작협조 여부 확인
 - ① SPD를 누전차단기 부하측에 설치하는 경우 SPD에 흐르는 전류로 누전차단기가 동작할 수 있으므로 임펄스부동작형 누전차단기를 사용하였는지 확인 및 안내
 - ② SPD를 누전차단기의 전원측에 설치하는 경우에는 SPD가 고장을 일으킬 때 확실히 계통으로부터 분리할 수 있는 차단능력을 가진

구분	업무처리방법																									
	<p>보호장치를 시설하였는지 확인 및 안내</p> <p>바. SPD 연결도체 길이 및 접지선 단면적 확인</p> <p>1) SPD 연결도체는 상전선에서 SPD와 SPD에서 주접지단자(또는 보호선)까지 길이가 <u>가능한 50cm이하일 것. 다만, SPD 연결도체 길이가 50cm를 넘을 경우에는 연결도체의 전압강하를 고려하여 SPD의 전압보호레벨(U_p)를 선정하고, 연결도체의 전압강하를 포함하는 실효보호레벨($U_{p/F}$)이 기기에 요구되는 임펄스 내전압(U_w)을 초과해서는 안 된다. (예, 230/400V 설비의 U_w는 2.5kV, 120~240V 설비에서는 1.5kV 임)</u></p> <table border="1" data-bbox="384 824 1370 1126"> <thead> <tr> <th rowspan="2">SPD의 연결도체 길이 L [m]</th> <th rowspan="2">연결도체의 전압강하 ΔU</th> <th colspan="2">SPD의 전압보호레벨 U_p</th> </tr> <tr> <th>230/400V설비</th> <th>120~240V설비</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.5 이내</td> <td>0</td> <td>2.5 kV 이하</td> <td>1.5 kV 이하</td> </tr> <tr> <td>0.5 초과 1.0 이하</td> <td>0.5 kV 이하</td> <td>2.0 kV 이하</td> <td>1.0 kV 이하</td> </tr> <tr> <td>1.0 초과 1.5 이하</td> <td>1.0 kV 이하</td> <td>1.5 kV 이하</td> <td rowspan="2">*1</td> </tr> <tr> <td>1.5 초과 2.0 이하</td> <td>1.5 kV 이하</td> <td>1.0 kV 이하</td> </tr> <tr> <td>2.0 초과</td> <td></td> <td colspan="2">*2</td> </tr> </tbody> </table> <p>U_p : SPD의 보호레벨 $U_{p/F}$: 실효보호레벨 $U_{p/F} = U_p + \Delta U$ ΔU : SPD 연결도체의 유도성 전압강하 <u>단위길이당의 전압강하 $\Delta U = 1 \text{ kV/m}$ 가정(KSC IEC 62305-4)</u> U_l : SPD와 기기 사이 회로의 유도 과전압 *1, *2 : 기기측에 SPD 추가설치</p> <p>2) I 등급 SPD는 접지선 단면적이 16mm²(구리)이상, 기타 SPD는 접지선 단면적이 4mm²(구리)이상의 것으로 시설하도록 확인 및 안내</p> <p>사. 서지보호장치(SPD)는 KS C IEC 61643-11에 적합하여야 하며, 다음 중 어느 하나의 국내 공인시험기관의 인증제품을 사용할 것</p> <p>1) 산업표준화법에 따른 KS 표시제품 2) 국가표준기본법에 따른 KAS 인증(예, V-체크마크)제품</p>	SPD의 연결도체 길이 L [m]	연결도체의 전압강하 ΔU	SPD의 전압보호레벨 U_p		230/400V설비	120~240V설비	0.5 이내	0	2.5 kV 이하	1.5 kV 이하	0.5 초과 1.0 이하	0.5 kV 이하	2.0 kV 이하	1.0 kV 이하	1.0 초과 1.5 이하	1.0 kV 이하	1.5 kV 이하	*1	1.5 초과 2.0 이하	1.5 kV 이하	1.0 kV 이하	2.0 초과		*2	
SPD의 연결도체 길이 L [m]	연결도체의 전압강하 ΔU			SPD의 전압보호레벨 U_p																						
		230/400V설비	120~240V설비																							
0.5 이내	0	2.5 kV 이하	1.5 kV 이하																							
0.5 초과 1.0 이하	0.5 kV 이하	2.0 kV 이하	1.0 kV 이하																							
1.0 초과 1.5 이하	1.0 kV 이하	1.5 kV 이하	*1																							
1.5 초과 2.0 이하	1.5 kV 이하	1.0 kV 이하																								
2.0 초과		*2																								

7. TN계통에서의 전원자동차단에 의한 감전보호방식

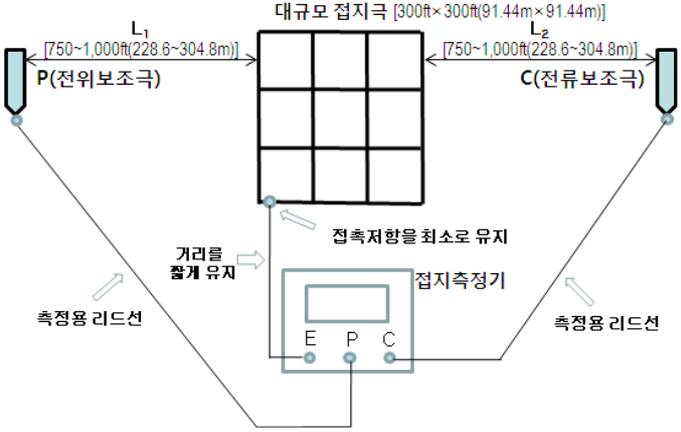


구분	업무처리방법
	<p>다. 2012.1.1부터 주택용과 산업용으로 구분한 저압 과전류차단기의 KS표준 및 인증심사기준이 시행됨에 따라 적용범위 및 사용장소에 적합한 차단기를 사용할 수 있도록 권장사항으로 안내</p>

Ⅲ 사용전검사업무처리방법

1. 공통·통합 접지시스템 검사방법

구분	업무처리방법
판정기준	<p>가. 공통·통합 접지저항 값</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 신고수리된 설계도서(접지계산서 및 설계도)의 접지저항 값을 기준으로 정함 2) 통합접지방식인 경우에는 모든 도전부에 등전위본딩을 실시하고, 접지저항 값은 설계값 이하를 유지할 것 <p>나. 공통·통합 접지저항 측정방법</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 보조극을 일직선으로 배치하여 측정하는 방법 <div data-bbox="496 1019 1259 1469" data-label="Diagram"> </div> <ol style="list-style-type: none"> ① 보조극은 저항구역이 중첩되지 않도록 접지극 규모의 6.5배 이격하거나, 접지극과 전류보조극간 80m이상 이격하여 측정 ② P위치는 전위변화가 적은 E, C간 일직선상 61.8%지점에 설치 ③ 접지극의 저항이 참값인가를 확인하기 위해서는 P를 C의 61.8% 지점, 71.8%지점 및 51.8%지점에 설치하여 세 측정값을 취함 ④ 세 측정값의 오차가 $\pm 5\%$이하이면 세 측정값의 평균을 E의 접지 저항값으로 함 ⑤ 세 측정값의 오차가 $\pm 5\%$초과하면 E와 C간의 거리를 늘려 시험을 반복함

구분	업무처리방법
	<p>2) 보조극을 90°~ 180°배치하여 측정하는 방법</p>  <p>① 91.44m×91.44m(300ft×300ft) 규모의 접지극은 보조극과의 이격거리가 228.6m~304.8m(750ft~1000ft)로 약 2.5배 이상 되어야 함</p> <p>② C와 P를 연결하여 측정한 값과 결선을 반대로 하여 측정한 두 측정값을 취함</p> <p>③ 각각의 방법으로 측정한 저항값의 차이가 15[%]이하이면 두 측정값의 평균을 E의 접지저항값으로 함</p> <p>④ 두 측정값의 오차가 ±15%초과하면 E와 C간의 거리를 늘려 시험을 반복함</p> <p>다. 공통·통합 접지공사 검사방법</p> <p>1) 공통·통합 접지공사에 대한 부분검사는 접지공사 중이거나 접지공사가 완료된 때 접지저항을 측정하고 접지공사가 신고한 공사계획에 적합한 지 확인</p> <p>2) 부분검사를 받지 않고 전기수용설비 전체 공사가 완료된 후에 사용전검사 시 주변여건에 의하여 접지저항 측정이 어려운 경우에는 감리자료(접지저항 측정값, 대지저항률 측정값, 접지극 재료, 형상, 접속방법, 깊이 등)와 사진 등 증빙서류를 제출받아 접지저항 측정검사 같음</p>

2. 공통·통합 접지공사시 등전위본딩 검사 및 전기적 연속성 측정방법

구분	업무처리방법
판정기준	가. 공통·통합 접지공사를 하는 경우에는 KS C IEC 60364-4-41(안전을 위한 보호-감전에 대한 보호)에 적합하도록 시설하여야 한다. (관련근거 : 전기설비기술기준의 판단기준 '1. 전기설비' 제19조 제6항)
	나. 건축물·구조물에서 접지도체, 주 접지단자와 다음의 도전성부분은 등전위본딩하여야 하며, 건축물 외부로부터 인입된 도전부는 건축물 안쪽의 가까운 지점에서 본딩하여야 한다. 다만, 통신케이블의 금속외피는 소유자 또는 운영자의 요구사항을 고려하여 보호 등전위본딩에 접속하여야 한다.
	1) 수도관·가스관 등 외부에서 내부로 인입되는 금속배관
	2) 건축물·구조물의 철근, 철골 등 금속보강재
	3) 일상생활에서 접촉이 가능한 금속제 난방배관 및 공조설비 등 계통외 도전부
	다. 주접지 단자에 보호 등전위본딩 도체, 접지도체, 보호도체, 기능성 접지도체를 접속하여야 하며, KS C IEC 60364-5-54 및 KECG9103(등전위본딩에 관한 기술지침)을 참고할 수 있다.
라. 계통외 도전성부분 등전위본딩은 육안검사로 확인하는 것을 원칙으로 하며, 확인이 어려운 경우에는 전기적연속성을 측정한 전기저항값이 0.2Ω이하가 되어야 한다.	

3. 접지선, 보호도체 및 등전위본딩 도체 시설기준

구분	업무처리방법								
판정기준	가. 접지선과 보호도체 단면적								
	1) 단면적 $S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}$ 값 이상 또는								
	2) 접지선(보호도체 포함)의 최소단면적								
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>설비의 상도체 단면적 S[mm²]</th> <th>보호도체 최소단면적 S_p[mm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S ≤ 16</td> <td>S</td> </tr> <tr> <td>16 < S ≤ 35</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>S > 35</td> <td>S/2</td> </tr> </tbody> </table>	설비의 상도체 단면적 S[mm ²]	보호도체 최소단면적 S _p [mm ²]	S ≤ 16	S	16 < S ≤ 35	16	S > 35	S/2
설비의 상도체 단면적 S[mm ²]	보호도체 최소단면적 S _p [mm ²]								
S ≤ 16	S								
16 < S ≤ 35	16								
S > 35	S/2								

구분	업무처리방법
----	--------

나. 등전위본딩도체 단면적

1) 보호 등전위본딩 도체 단면적

재질	단면적 [mm ²]	낙뢰보호계통을 포함하는 경우 단면적 [mm ²]
구리	6	16
알루미늄	16	25
강철	50	50

2) 보조 보호등전위본딩 도체 단면적

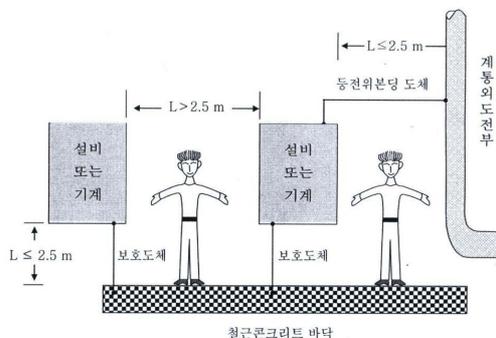
구분	기계적 보호 있음	기계적 보호 없음
전원 케이블의 일부 또는 케이블 외함으로 구성되어 있지 않은 경우	2.5mm ² /Cu 16mm ² /Al	4mm ² /Cu 16mm ² /Fe

① 보조 보호등전위본딩의 대상은 전원자동차단에 의한 감전보호 방식에서 고장시 자동차단시간이 아래 표에서 요구하는 계통별 최대차단시간을 초과하는 경우이다. 다만, 아래 표 이외의 경우와 배전회로(간선)에서 TN계통은 5초 이하, TT계통은 1초이하의 차단시간을 허용한다.

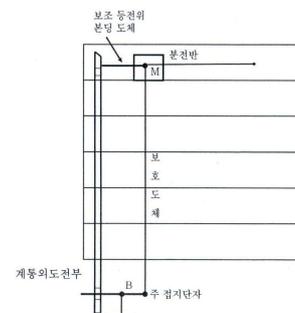
<32A 이하인 분기회로의 최대차단시간>

계통	50V<U ₀ ≤120V		120V<U ₀ ≤230V		230V<U ₀ ≤400V		U ₀ >400V	
	교류	직류	교류	직류	교류	직류	교류	직류
TN	0.8초	요구값	0.4초	5초	0.2초	0.4초	0.1초	0.1초
TT	0.3초	요구값	0.2초	0.4초	0.07초	0.2초	0.04초	0.1초

② 상기①의 차단시간을 초과하고 2.5m 이내에 설치된 고정기기의 노출도전부와 계통외도전부는 보조 보호등전위본딩을 하여야 한다.

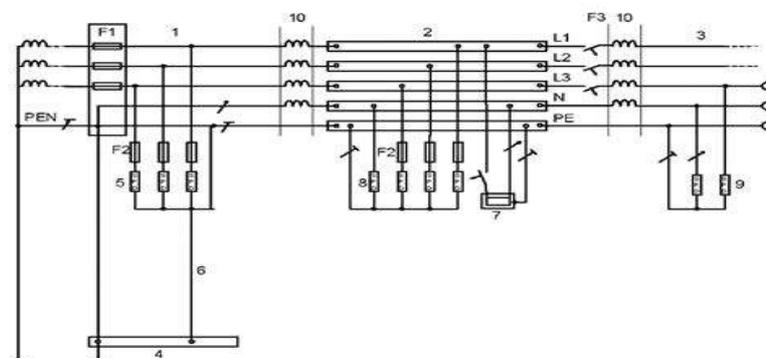
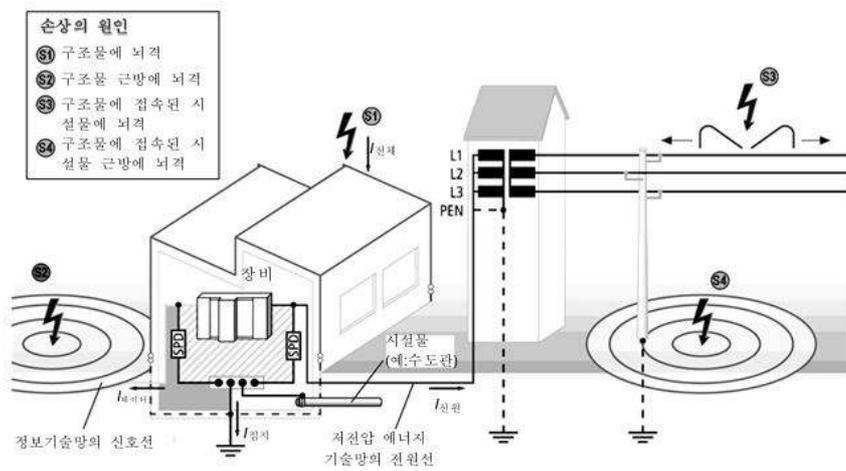


동시에 접촉할 수 있는 경우



고층 건축물의 경우

4. 통합접지공사에 따른 SPD 시설기준 등

구분	업무처리방법
<p>판정기준</p>	<p>가. 통합접지 계통의 건축물 내에 시설되는 저압 전기설비에는 과전압으로 인한 전기설비 보호를 위해 다음과 같이 SPD를 시설할 것</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>건축물에 통합접지공사를 하는 경우, 저압 수전설비 또는 변압기 저압측 주 배전반에는 I 등급 또는 II 등급 서지보호장치(SPD)를 시설할 것</u> 2) 분전반 등 기타 장소에는 그 장소에 적절한 SPD를 시설할 것(권장사항) <p>나. <u>SPD 설치 및 뇌전류 분배의 기본 예시</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>SPD 설치 예시</u>  <ol style="list-style-type: none"> 1. 시설물의 시작점 2. 배전반 3. 배전단자함 4. 주 접지단자 및 바 5. 등급 I 또는 II 서지보호장치 6. 서지보호장치의 접지접속(접지도체) 7. 보호되어야 할 고정 기기 8. 등급II 시험받은 서지보호장치 9. 등급II 또는 III 서지보호장치 10. 감결합 요소 및 전선 길이 <p>F1, F2, F3 과전류 보호단로기</p> <p>* 비교 : 추가정보는 KS C IEC 61643-12 참조</p>
	<ol style="list-style-type: none"> 2) <u>구조물 손상의 여러 원인과 시스템 내 뇌전류 분배의 기본예시</u>  <p>손상의 원인</p> <ul style="list-style-type: none"> Ⓢ1 구조물에 뇌격 Ⓢ2 구조물 근방에 뇌격 Ⓢ3 구조물에 접속된 시설물에 뇌격 Ⓢ4 구조물에 접속된 시설물 근방에 뇌격 <p>정보기술망의 신호선</p> <p>장비</p> <p>시설물 (예:수도관)</p> <p>저전압 에너지 기술망의 전원선</p> <p>PEN</p>

구분	업무처리방법
----	--------

다. SPD 정격사항

1) I 등급 SPD의 보호모드별 임펄스전류 I_{imp}

- 구조물에 뇌격(S1)

보호모드	단상		3상	
	CT1	CT2	CT1	CT2
각 상전선과 중성선 사이		12.5kA		12.5kA
각 상전선과 PE선 사이	12.5kA		12.5kA	
중성선과 PE선 사이	12.5kA	25kA	12.5kA	50kA

- 건축물 인입 전원선로 뇌격(S3)

보호모드	단상		3상	
	CT1	CT2	CT1	CT2
각 상전선과 중성선 사이		5kA		5kA
각 상전선과 PE선 사이	5kA		5kA	
중성선과 PE선 사이	5kA	10kA	5kA	20kA

2) II 등급 SPD의 보호모드별 공칭방전전류 I_n

보호모드	단상		3상	
	CT1	CT2	CT1	CT2
각 상전선과 중성선 사이		5kA		5kA
각 상전선과 PE선 사이	5kA		5kA	
중성선과 PE선 사이	5kA	10kA	5kA	20kA

※ CT1은 SPD를 RCD의 부하측, CT2는 SPD를 RCD의 전원측에 설치하는 경우

라. 저압 접지방식별(TT, TN, IT) SPD의 접속방법

SPD 연결구간	SPD설치지점의 계통 구성							
	TT		TN-C	TN-S		IT(중성선 있음)		IT (중성선 없음)
	CT ₁	CT ₂		CT ₁	CT ₂	CT ₁	CT ₂	
각 상전선과 중성선 사이	△	○	×	△	○	△	○	×
각 상전선과 PE선 사이	○	×	×	○	×	○	×	○
중성선과 PE선 사이	○	○	×	○	○	○	○	×
각 상전선과 PEN선 사이	×	×	○	×	×	×	×	×
각 상전선 사이	△	△	△	△	△	△	△	△

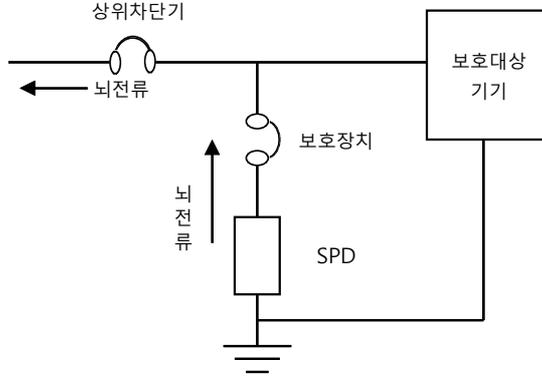
○ : 의무사항, △ : 선택사항, 추가사항, × : 적용불가

※ CT1은 SPD를 RCD의 부하측, CT2는 SPD를 RCD의 전원측에 설치하는 경우

구분

업무처리방법

마. SPD 보호장치(MCCB, 누전차단기, 퓨즈 등) 시설기준



- 1) 단락고장으로 상정되는 SPD에 흐르는 단락전류를 확실하게 차단할 수 있는 보호장치를 시설할 것
- 2) I 등급 SPD용 보호장치의 정격은 일반적으로 대용량을 시설할 것
- 3) SPD를 누전차단기 부하측에 설치하는 경우 SPD에 흐르는 전류로 누전차단기가 동작할 수 있으므로 임펄스부동작형 누전차단기를 시설할 것
- 4) SPD를 누전차단기의 전원측에 설치하는 경우에는 SPD가 고장을 일으킬 때 확실히 계통으로부터 분리할 수 있는 차단능력을 가진 보호장치를 시설할 것

바. SPD 연결도체 길이 및 접지선 단면적

- 1) SPD 연결도체의 길이는 상전선에서 SPD와 SPD에서 주 접지단자(또는 보호선)까지 가능한 50cm이하일 것. 다만, SPD 연결도체 길이가 50cm를 넘을 경우에는 연결도체의 전압강하를 고려하여 SPD의 전압보호레벨(U_p)를 선정하고, 연결도체의 전압강하를 포함하는 실효보호레벨($U_{P/F}$)이 기기에 요구되는 임펄스 내전압(U_w)을 초과해서는 안 된다. (예, 230/400V 설비의 U_w 는 2.5kV, 120~240V 설비에서는 1.5kV 임)

SPD의 연결도체 길이 L [m]	연결도체의 전압강하 ΔU	SPD의 전압보호레벨 U_p	
		230/400V설비	120~240V설비
0.5 이내	0	2.5 kV 이하	1.5 kV 이하
0.5 초과 1.0 이하	0.5 kV 이하	2.0 kV 이하	1.0 kV 이하
1.0 초과 1.5 이하	1.0 kV 이하	1.5 kV 이하	*1
1.5 초과 2.0 이하	1.5 kV 이하	1.0 kV 이하	
2.0 초과		*2	

구분	업무처리방법
	<p>U_P : SPD의 보호레벨</p> <p>$U_{P/F}$: 실효보호레벨 $U_{P/F} = U_P + \Delta U$</p> <p>ΔU : SPD 연결도체의 유도성 전압강하 단위길이당의 전압강하 $\Delta U = 1 \text{ kV/m}$ 가정(KSC IEC 62305-4)</p> <p>U_I : SPD와 기기 사이 회로의 유도 과전압</p> <p>*1, *2 : 기기측에 SPD 추가설치</p> <p>2) I 등급 SPD는 접지선 단면적이 16mm^2(구리)이상, 기타 SPD는 접지선 단면적이 4mm^2(구리)이상의 것으로 시설할 것</p> <p>사. 서지보호장치(SPD)는 KS C IEC 61643-11에 적합하여야 하며, 다음 중 어느 하나의 국내 공인시험기관의 인증제품을 사용할 것</p> <p>1) 산업표준화법에 따른 KS 표시제품</p> <p>2) 국가표준기본법에 따른 KAS 인증(예, V-체크마크)제품</p>

5. TN계통에서의 전원자동차단에 의한 감전보호방식

구분	업무처리방법
판정기준	<p>가. 과전류차단기에 의한 보호를 실시한 경우에는 고장루프 임피던스에서 고장전류를 확인하고, 과전류차단기의 보호조건(차단시간)을 확인하여 규정된 차단시간 내에 전원을 자동차단하는 전류-시간 특성의 배선용차단기를 시설할 것</p> <p>나. 누전차단기에 의한 보호를 실시할 경우</p> <p>1) 콘센트 회로에 접속되는 코드 길이를 특별히 정할 수 없고 고장 임피던스 크기를 제시할 수 없는 경우에는 누전차단기에 의한 보호가 바람직함</p> <p>2) TN-C 계통에는 누전차단기(누전전용)를 사용할 수 없음</p> <p>3) TN-C-S 계통의 TN-S에서 누전차단기를 사용하는 경우에 기기 보호도체는 누전차단기 전원측에 접속할 것</p>

6. 기타 (권장사항)

2012.1.1부터 주택용과 산업용으로 구분한 저압 과전류차단기의 KS표준 및 인증심사기준이 시행됨에 따라 적용범위 및 사용장소에 적합한 차단기 사용

IV

검사기록표 서식

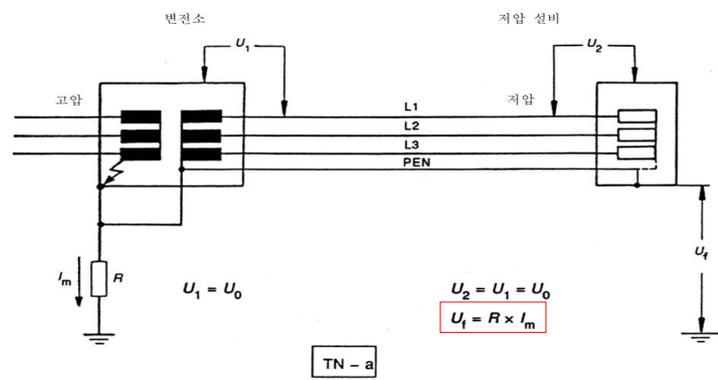
순번	서식명	서식번호	검사업무	비고
1	사용전검사 신청서	별지 제28호	사용전	
2	사용전검사에 대한 안내	검 - F - 015	"	
3	정기검사 신청서	별지 제30호	정기	
4	[]검사확인증	별지 제29호	공통	
5	[]검사실시 확인서	검 - F - 017	"	
6	전기설비[]검사보고서	검 - F - 002	"	
7	변압기 및 접지저항 점검기록표	전 - 1	"	
8	계전기 및 차단기 동작시험 기록표 (1)	전 - 2	"	
9	계전기 및 차단기 동작시험 기록표 (2)	전 - 2 - 1	"	
10	전선로 및 고압모선기기 절연측정 기록표	전 - 3	"	
11	DC 고전압 절연진단 기록표	전 - 4	"	
12	절연저항(설비상태) 점검기록표	전 - 5	"	
13	접지저항 측정기록표	전 - 6	"	
14	발전설비 점검기록표	전 - 7	"	
15	태양광발전설비 점검기록표	전 - 7 - 2	"	
16	비상용 가스터빈 점검기록표	전 - 7 - 3	"	
17	비상용 가스터빈 측정기록표	전 - 7 - 4	"	
18	풍력발전설비 검사기록표	전 - 7 - 5	"	
19	연료전지 발전설비 검사기록표	전 - 7 - 6	"	
20	시험성적서 확인기록표	전 - 8	사용전	
21	<u>전기설비 점검기록표</u>	<u>전 - 9</u>	공통	<u>개정</u>
22	초음파 코로나 측정기록표	전 - 10	정기	
23	적외선 열온도 측정기록표	전 - 11	"	
24	적외선 열화상분포 측정기록표	전 - 12	"	
25	비접촉식 적외선 온도계 측정기록표	전 - 13	"	
26	온도 측정기록표	전 - 13 - 1	"	
27	자외선 코로나 측정기록표(1)	전 - 14	"	
28	자외선 코로나 측정기록표(2)	전 - 14 -1	"	
29	피뢰기 누설전류 측정기록표	전 - 15	"	
30	부분방전 측정기록표	전 - 19	"	
31	전원품질 측정기록표	전 - 20	"	
32	GIS 점검기록표	전 - 21	"	
33	유증가스 분석기록표	전 - 22	"	
34	현장업무지도 기록부	검 - F - 022	공통	
35	(사용전·정기)검사실시 전·후 회의록	검 - F - 024	"	
36	고객방문 조사보고서		"	
37	정전안내		"	
38	검사업무 관계철		"	

V

참고자료

1. 공통 · 통합 접지저항값 산출(예시)

특고압 계통 지락사고시 인체와 저압 계통 기기 보호를 위한 접지저항값

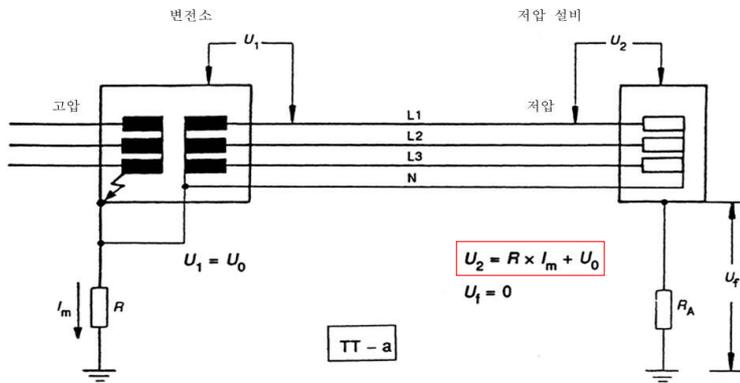
내용	관련근거				
<p>가. PEN 또는 LV중성선이 변압기 외함의 접지극에 접속되는 공통 접지방식(TN-a)에 있어 인체 안전에 영향을 미치지 않는 고장 전압크기와 고장지속시간 기준에 적합한 접지저항값</p>  <p> I_m : 접지극을 통해 흐르는 HV계통의 지락고장전류 R : 변압기 노출도전부의 접지저항 U_0 : 저압 계통의 상전압 U_f : 저압 계통의 노출도전부와 대지간의 고장전압 U_1 : 변압기 저압기기의 스트레스전압 U_2 : 저압설비 저압기기의 스트레스전압 </p> <p>1) HV계통(22.9kV-Y) 지락사고시 저압계통노출도전부-대지간 고장 전압(U_f)과 고장지속시간은 다음 값 이하이어야 함</p> <table border="1" data-bbox="231 1646 1197 1736"> <thead> <tr> <th>저압계통 노출도전부와 대지간 고장전압(U_f)</th> <th>고장지속시간(s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>560 V</td> <td>0.2초</td> </tr> </tbody> </table> <p>※ 22.9kV-Y계통의 지락사고 고장지속시간은 보호계전기와 차단기의 정상동작 시간을 기준으로 하여 0.2초로 정함</p> <p>2) HV계통(22.9kV-Y)의 지중배전선로 공장 3km지점에서 지락고장전류가 5,396A인 경우 접지극을 통해 흐르는 고장전류(I_m)는 1,079A이고, 상기 1)과 같이 고장지속시간이 0.2초 이내인 고장전압의 허용값(U_f)은 560V임</p>	저압계통 노출도전부와 대지간 고장전압(U_f)	고장지속시간(s)	560 V	0.2초	<p>IEC 60364-4-44 (2007)</p> <p><그림1 참조></p> <p><표1 참조></p>
저압계통 노출도전부와 대지간 고장전압(U_f)	고장지속시간(s)				
560 V	0.2초				

내용	관련근거
----	------

3) 따라서, $R = \frac{U_f}{I_m} = \frac{560V}{1,079A} = 0.52\Omega$ 임. **R=0.5Ω이하**이면 본 접지 방식의 적용조건을 만족한다고 볼 수 있으나, R=0.5Ω초과시 인체 안전성 확보측면에서 등전위본딩을 하거나, **TT-a** 방식으로 검토

나. LV중성선(N)이 변압기 외함의 접지극에 접속되고 저압설비에 별도로 접지극을 시설하는 **접지방식(TT-a)**에 있어 저압설비의 기기에 가해지는 스트레스전압크기와 지속시간 기준에 적합한 **접지저항값**

IEC 60364-4-44 (2007)



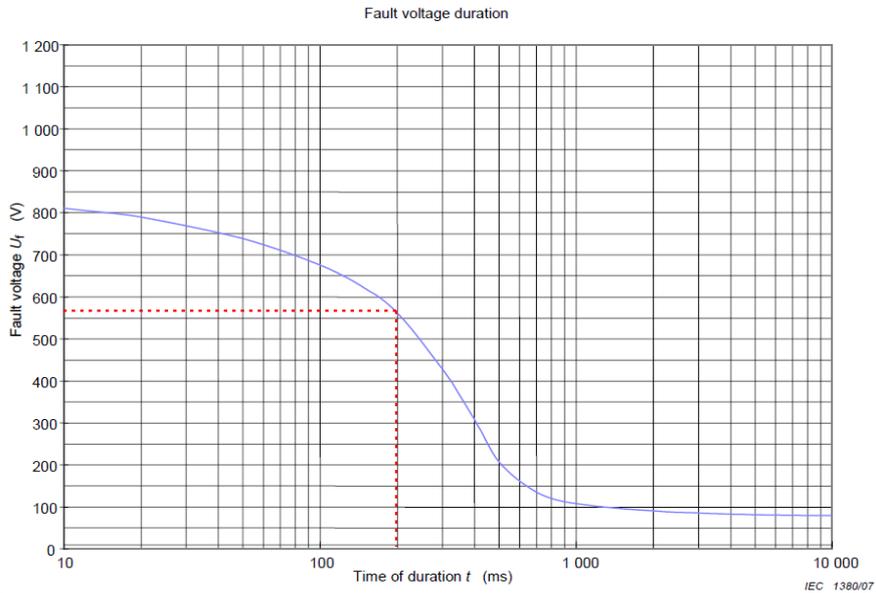
- I_m : 접지전극을 통해 흐르는 HV계통의 지락고장전류
- R : 변압기 노출도전부의 접지저항
- R_A : 저압 설비 노출도전부의 접지저항
- U_0 : 저압 계통의 상전압
- U_f : 저압 계통의 노출도전부와 대지간의 고장전압
- U_1 : 변압기 저압기기의 스트레스전압
- U_2 : 저압설비 저압기기의 스트레스전압

1) 이 접지방식은 변압기 외함의 접지극과 별도로 저압 기기에 접지극 R_A 를 시설하고 있으므로 고장전압($R \times I_m$)이 저압 기기 외함에 인가되지 않아 인체에 영향이 없어, 저압기기 외함의 접촉전압에 대해서는 고려할 필요가 없고, HV계통 지락사고시 저압기기에 고장전압($U_2 = R \times I_m + U_0$)이 스트레스전압으로 인가되므로 그 크기와 지속시간은 다음 값을 만족하여야 함

<표2 참조>

저압설비의 기기 허용 교류스트레스 전압(U_2)	차단시간(s)
$U_0 + 250 V$	5초 초과
$U_0 + 1,200 V$	5초 이내

내용	관련근거
<p>2) HV계통(22.9kV-Y)의 지중배전선로 공장 3km지점에서 지락고장 전류가 5,396A인 경우 접지극을 통해 흐르는 고장전류(I_m)는 1,079A이고, 상기 1)와 같이 고장지속시간이 5초 이내인 고장 전압의 허용값 $U_2=U_0+1,200V$임</p> <p>3) 따라서, $R = \frac{U_2 - U_0}{I_m} = \frac{[U_0 + 1,200V] - U_0}{1,079A} = 1.11\Omega$ 임</p> <p>R=1.1Ω 이하이면 본 접지방식의 적용조건을 만족함</p>	<p><표3 참조></p>



<그림 1> IEC 60364-4-44(2007) 그림 44.A2 - 고압계통에서 지락사고시 허용접촉전압

<표 1> TN-a 방식의 적용조건을 만족하는 접지저항

배전선로구분		0km	1km	2km	3km	4km	5km	6km	7km	8km	9km	10km
가공선로 60MVA단독운전 [0Ω지락고장]	1선지락 고장전류[A]	7,329	5,325	4,182	3,443	2,925	2,543	2,250	2,017	1,827	1,671	1,539
	¹⁾ I_m [A]	1,466	1,065	836	689	585	509	450	403	365	334	308
	²⁾ 접지저항 [Ω]	0.38	0.52	0.66	0.81	0.95	1.10	1.24	1.38	1.53	1.67	1.81
지중선로 60MVA단독운전 [0Ω지락고장]	1선지락 고장전류[A]	7,329	6,548	5,917	5,396	4,960	4,590	4,270	3,993	3,749	3,533	3,341
	¹⁾ I_m [A]	1,466	1,310	1,183	1,079	992	918	854	799	750	707	668
	²⁾ 접지저항 [Ω]	0.38	0.42	0.47	0.52	0.56	0.61	0.65	0.70	0.74	0.79	0.83

비고 1) I_m : 접지극을 통해 흐르는 22.9kV-Y계통의 지락고장전류

※ 1선 지락고장전류 분류율 [IEC 61643-12 부속서E의 그림 E.11 참조]

구분	HV계통 중성선	접지극	저압계통중성선
1선 지락고장전류 분류율	60%	20%	20%

2) 접지저항 계산식 $R = \frac{U_f}{I_m} = \frac{560[V]}{I_m[A]} [\Omega]$

<표 2> IEC 60364-4-44(2007) 표 44.A2 - 허용 교류 스트레스 전압

HV계통의 지락사고 지속시간 t	저압설비의 기기 허용 교류 스트레스 전압 U
> 5 s	$U_0 + 250$ V
≤ 5 s	$U_0 + 1,200$ V

<표 3> TT-a 방식의 적용조건을 만족하는 접지저항

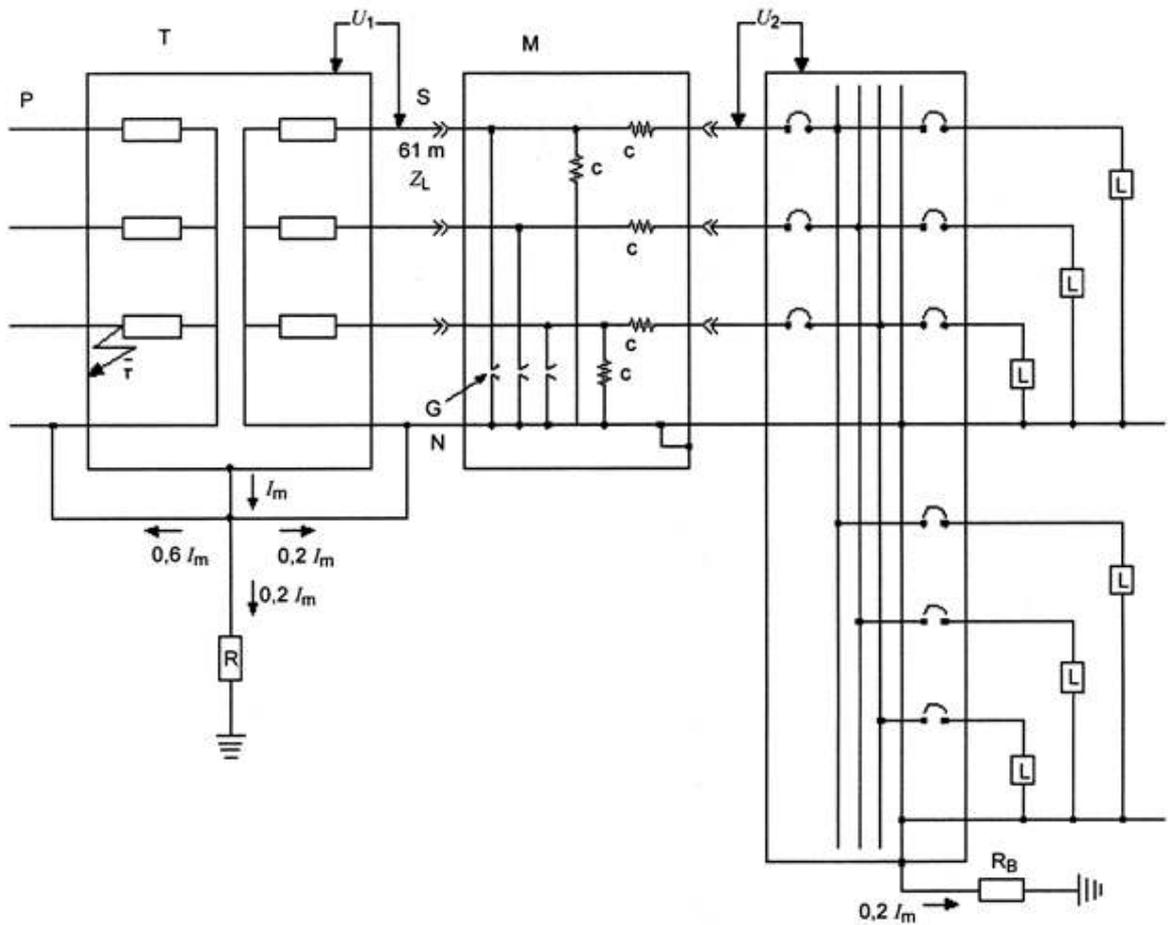
배전선로구분		0km	1km	2km	3km	4km	5km	6km	7km	8km	9km	10km
가공선로 60MVA단독운전 [0Ω지락고장]	1선지락 고장전류[A]	7,329	5,325	4,182	3,443	2,925	2,543	2,250	2,017	1,827	1,671	1,539
	¹⁾ I_m [A]	1,466	1,065	836	689	585	509	450	403	365	334	308
	²⁾ 접지저항 [Ω]	0.81	1.12	1.43	1.74	2.05	2.35	2.66	2.97	3.28	3.59	3.89
지중선로 60MVA단독운전 [0Ω지락고장]	1선지락 고장전류[A]	7,329	6,548	5,917	5,396	4,960	4,590	4,270	3,993	3,749	3,533	3,341
	¹⁾ I_m [A]	1,466	1,310	1,183	1,079	992	918	854	799	750	707	668
	²⁾ 접지저항 [Ω]	0.81	0.91	1.01	1.11	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.69	1.79

비고 1) I_m : 접지극을 통해 흐르는 22.9kV-Y계통의 지락고장전류

※ 1선 지락고장전류 분류율 [IEC 61643-12 부속서E의 그림 E.11 참조]

구분	HV계통 중성선	접지극	저압계통중성선
1선 지락고장전류 분류율	60%	20%	20%

2) 접지저항 계산식 $R = \frac{U_2 - U_0}{I_m} = \frac{[U_0 + 1,200 V] - U_0}{I_m} [\Omega]$



P HV 계통
 S LV 계통
 T 변압기
 M 계량기(meter)

c 코일
 G 방전 캡
 L 부하

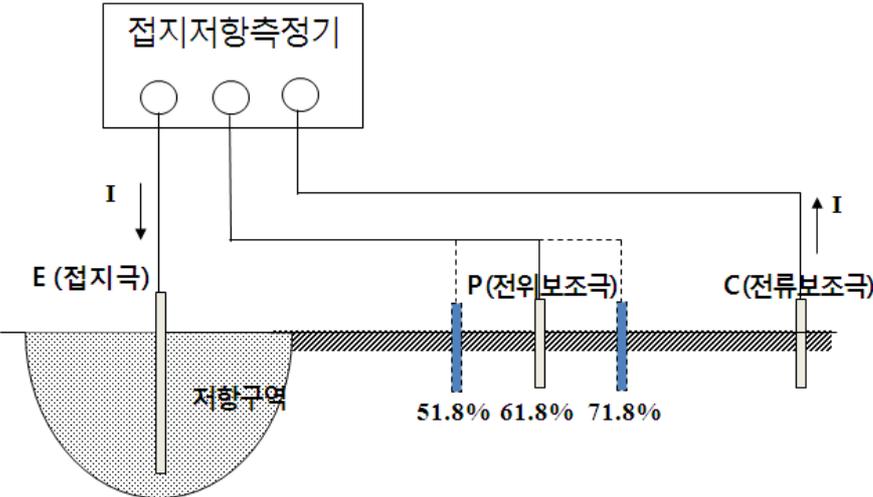
그림 E.11 - 미국 TN-C-S 시스템

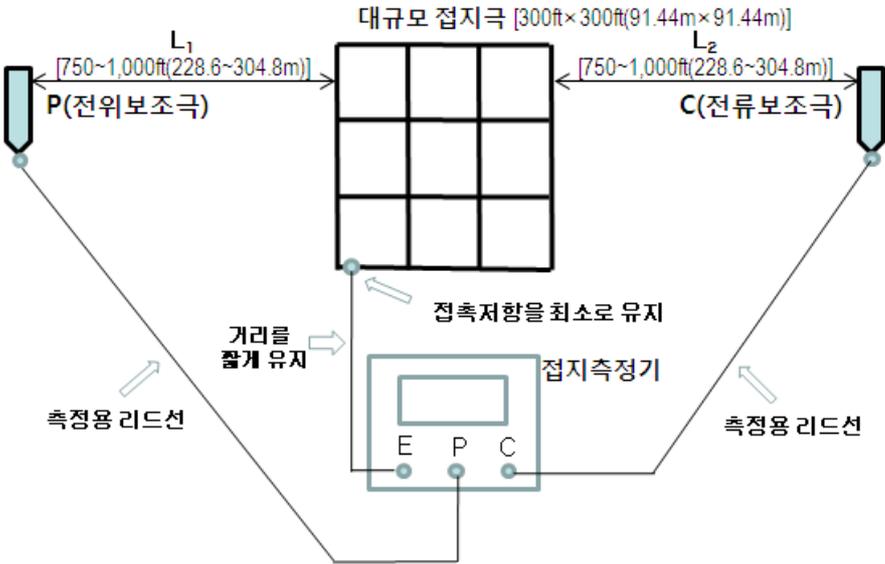
※ 최대고장전류(I_m)가 10kA인 북미의 23kV/13.2kV-Y계통 배전선로의 1선 지락고장전류 분류율

구분	HV계통 중성선	접지극	저압계통중성선
1선 지락고장전류 분류율	60%	20%	20%

<그림 2> KS C IEC 61643-12(2007) 그림 E.11 - 미국 TN-C-S 시스템

2. 접지저항 측정방법

내용	관련근거
<p>가. 보조극을 일직선으로 배치하여 측정하는 방법</p>  <p><그림 4> 접지저항 측정방법(보조극 일직선 배치)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 보조극은 저항구역이 중첩되지 않도록 접지극 규모의 6.5배 이격하거나, 접지극과 전류보조극간 80m이상 이격하여 측정 2) P위치는 전위변화가 적은 E, C간 일직선상 61.8%지점에 설치 3) 접지극의 저항이 참값인가를 확인하기 위해서는 P를 C의 61.8% 지점, 71.8%지점 및 51.8%지점에 설치하여 세 측정값을 취함 4) 세 측정값의 오차가 ±5%이하이면 세 측정값의 평균을 E의 접지저항값으로 함 $R = \frac{R_{51.8\%} + R_{61.8\%} + R_{71.8\%}}{3}$ $\text{오차}\varepsilon = \frac{R_{71.8\%} - R}{R} \times 100 \leq 5\%$ <ol style="list-style-type: none"> 5) 세 측정값의 오차가 ±5%초과하면 E와 C간의 거리를 늘려 시험을 반복함 	<p>KS C IEC 60364-6-61(2005) 부속서 C, 정밀접지저항측정기 C.A 6470, IEEE81(1983), IEEE81.2(1991)</p>

내용	관련근거
<p>나. 보조극을 90°~ 180°배치하여 측정하는 방법</p>  <p><그림 5> 접지저항 측정방법(보조극 180° 배치)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) C(전류보조극)와 P(전위보조극)는 가능한 멀리 이격해야 함. 91.44m×91.44m(300ft×300ft) 규모의 접지극은 보조극과의 이격거리가 228.6m~304.8m(750ft~1000ft)로 약 2.5배 이상되어야 함 2) 그림 5와 같이 C와 P를 연결하여 측정한 값과 결선을 반대로 하여 측정한 두 측정값을 취함 3) 각각의 방법으로 측정한 저항값의 차이가 15[%]이하이면 두 측정값의 평균을 E의 접지저항값으로 함 $R = \frac{R_{cp} + R_{pc}}{2}$ $\text{오차 } \varepsilon = \frac{R_{cp(\text{or } pc)} - R}{R} \times 100 \leq 15\%$ <ol style="list-style-type: none"> 4) 두 측정값의 오차가 ±15%초과하면 E와 C간의 거리를 늘려 시험을 반복함 	<p>IEEE141(1986)</p>

3. 등전위본딩을 포함한 보호도체의 전기적 연속성 측정방법

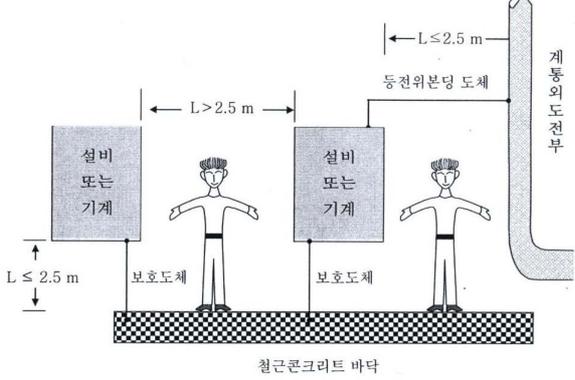
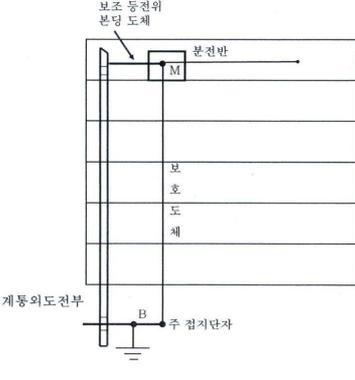
내용	관련근거
<p>가. 측정방법</p> <p>교류 또는 직류로 무부하전압 4~24V 전원을 사용하여 다음의 전기저항 값을 측정할 것. 이 경우 최소전류 0.2A로 실시하는 것이 바람직함</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 주 접지단자와 계통외 도전성부분 간 2) 노출 도전성부분 간, 노출 도전성부분과 계통외 도전성부분 간 3) TT 계통인 경우 주 접지단자와 노출 도전성부분 간 4) TN 계통인 경우 중성점과 노출 도전성부분 간 <p>나. 판정기준</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 일반적으로는 보호 등전위본딩, 보조 보호등전위본딩, 보호도체의 전기저항 값은 0.2Ω이하일 것 2) 보조 보호등전위본딩의 유효성이 의심되는 경우에는 동시에 접근 가능한 노출 도전성부분과 계통외 도전성부분 간의 전기저항 R이 다음 조건에 충족되는 것을 확인할 것. $R \leq \frac{50}{I_a}$ <p>여기서, I_a : 보호기의 동작전류</p> <ul style="list-style-type: none"> - 누전 차단기의 경우 $I_{\Delta n}$(누전차단기 정격동작전류) - 과전류 보호기의 경우 5초간에 동작시킬 수 있는 전류 	<p>KS C IEC 60364-6-61(2005)</p>

4. 접지선, 보호도체 및 등전위본딩 도체 시설기준

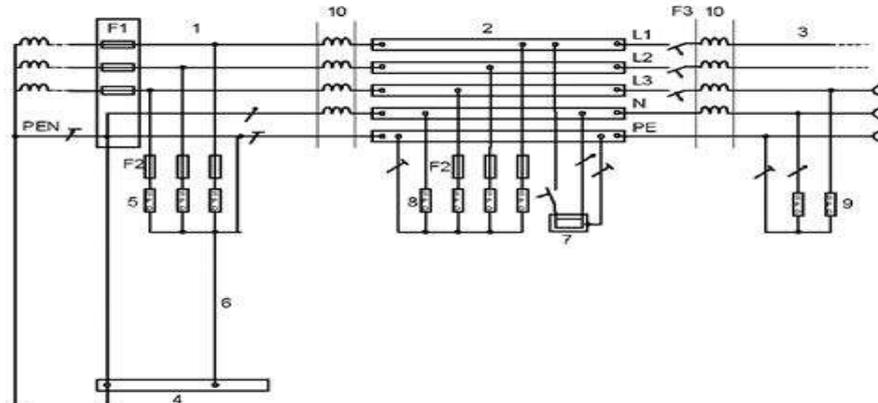
내용	관련근거
<div data-bbox="319 369 1037 929" data-label="Diagram"> </div> <div data-bbox="175 963 1197 1198" data-label="List-Group"> <ul style="list-style-type: none"> 1 : 보호도체(PE) 2 : 보호 등전위 본딩용 전선 3 : 접지선 4 : 보조 보호등전위 본딩용 전선 M : 전기 기기의 노출 도전성 부분 C : 철골, 금속덕트 등의 계통외 도전성부분 B : 주 접지단자 P : 수도관, 가스관 등 금속배관 T : 접지극 10 : 기타 기기(예:정보통신시스템, 뇌보호시스템) </div> <p data-bbox="159 1220 558 1265"><그림 3> 접지설비 개요</p> <p data-bbox="159 1288 638 1332">가. 접지선과 보호도체 단면적</p> <p data-bbox="159 1344 1197 1388">1) 계산식을 이용해 단면적을 산출하는 경우에 접지선(보호도체 포함)의</p> <p data-bbox="223 1400 973 1478">단면적은 $S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}$ 값 이상 또는 표 5에 의함</p> <p data-bbox="223 1489 1197 1859">여기서 S : 단면적[mm²] I : 단락상태와 같은 상태에서의 지락에 의해 보호장치에 흐르는 고장전류. 즉 예상되는 최대 지락전류[교류실효값(A)] t : 차단장치의 동작시간(초) k : 보호도체, 절연 및 기타 부분의 재료, 초기온도와 최종온도로 결정되는 계수(표 4 참조)</p>	<p data-bbox="1204 1288 1436 1444">KS C IEC 60364-5-54(2005) 542.3, 543</p>

내용							관련근거
<표 4> 상도체에 대한 k값 [내선규정 표 5210-1 참조]							
구분	도체절연						
	PVC ≤300 mm ²	PVC >300 mm ²	에틸렌프로필렌고무 /가교폴리에틸렌	고무 60℃	무기재료 ^(*) PVC 피복재료 노출		
초기온도℃	70	70	90	60	70	105	
최종온도℃	160	140	250	200	160	250	
동 도체	115	103	143	141	115	135	
알루미늄 도체	76	68	94	93	-	-	
<표 5> 접지선(보호도체 포함)의 최소단면적							
설비의 상도체 단면적 S[mm ²]			보호도체 최소단면적 S _p [mm ²]				
S ≤ 16			S				
16 < S ≤ 35			16				
S > 35			S/2				
2) 지중에 매설하는 경우의 접지선 최소단면적은 표 6에 의함							
<표 6> 토양에 매설된 접지선의 최소단면적							
구분	기계적 보호 있음		기계적 보호 없음				
부식에 대한 보호 있음	2.5mm ² /Cu		16mm ² /Cu				
	10mm ² /Fe		16mm ² /Fe				
부식에 대한 보호 없음	25mm ² /Cu		50mm ² /Fe				
3) 계통의 도전성 부분은 PEN도체로 사용해서는 안 됨							
나. 등전위본딩 도체							KS C IEC
1) 보호 등전위본딩							60364-5-54(2005)
① 주 접지단자에 접속되는 보호 등전위본딩 도체의 단면적은 표 7의 값 이상이어야 함							544
<표 7> 보호 등전위본딩 도체의 최소단면적							
재질	단면적 [mm ²]	낙뢰보호계통을 포함하는 경우 단면적 [mm ²]					
구리	6	16					
알루미늄	16	25					
강철	50	50					
② 건축물에서 접지선, 주 접지단자와 다음의 도전성 부분은 보호 등전위본딩에 접속해야 함							KS C IEC 60364-4-41(2005) 413.1.2.1

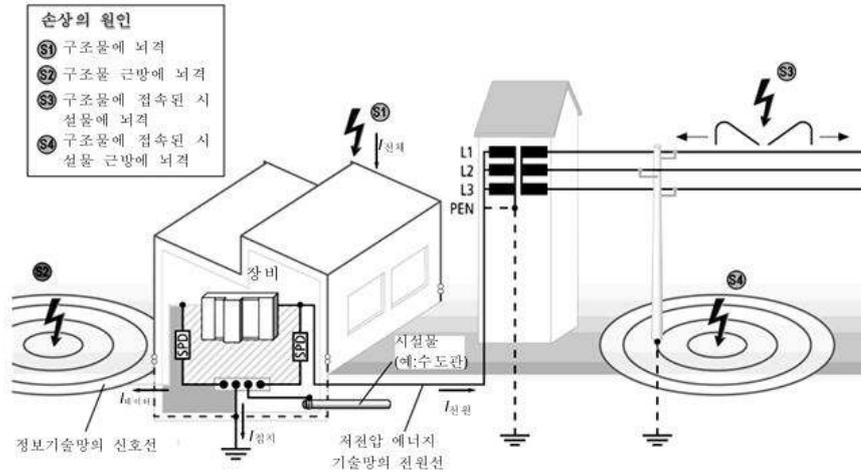
내용	관련근거
<p>㉠ 수도관, 가스관과 같이 건축물로 인입되는 인입계통의 금속관</p> <p>㉡ 접촉할 수 있는 건축물의 계통외도전부, 금속제 중앙난방설비</p> <p>㉢ 철근콘크리트조의 금속보강재</p> <p>2) 보조 보호등전위본딩</p> <p>㉠ 보조 보호등전위본딩 도체의 단면적은 다음과 같음</p> <p>㉠ 2개의 노출도전부를 접속하는 보조 보호등전위본딩 도체의 최소단면적은 각 노출도전부에 접속된 작은 쪽의 보호도체 단면적이상으로 할 것</p> <p>㉡ 노출 도전성부분과 계통외 도전성부분을 접속하는 보조 보호등전위본딩 도체의 최소단면적은 거기에 사용하는 보호도체 단면적의 1/2 이상으로 할 것</p> <p>㉢ 보조 보호등전위본딩 도체가 전원 케이블의 일부 또는 케이블 외함으로 구성되어 있지 않은 경우의 최소단면적은 다음 값 이상이어야 함</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기계적 보호가 있는 경우 : 2.5 mm² 동 / 16mm² 알루미늄 - 기계적 보호가 없는 경우 : 4.0 mm² 동 / 16mm² 알루미늄 <p>㉣ 이동식 숙박차량의 계통외도전부 본딩도체의 단면적은 4mm² 이상이어야 함</p> <p>㉡ 다음과 같이 사람이 동시에 접촉할 수 있는 범위[25m 미만의 이격거리 (그림 4 참조)]의 도전성 부분에는 보조 보호등전위본딩을 실시해야 함</p> <p>㉠ 고정기기의 노출 도전성 부분</p> <p>㉡ 계통외 도전성 부분(배관, 덕트)</p> <p>㉢ 철근콘크리트조의 주철근</p> <p>㉣ 모든 기기와 콘센트의 보호도체</p> <p>㉢ 그림 5와 같이 고층 건축물의 경우에는 보호도체가 길기 때문에 전위차가 크게 되므로 고층의 노출도전부와 계통외도전부에 동시에 접촉하게 되는 경우 위험을 초래할 수 있으므로 보조 보호등전위본딩을 해야 함</p>	<p>KS C IEC 60364-5-54(2005) 544</p> <p>KS C IEC 60364-4-41(2005) 413.1.6</p>

내용	관련근거
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>그림 4. 보조 보호등전위본딩의 시설</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>그림 5. 보조 보호등전위본딩</p> </div> </div>	

5. 통합접지공사에 따른 SPD시설기준

내용	관련근거																
<p>가. 과전압으로 인한 전기설비 보호를 위해 SPD를 시설하여야 하는 장소</p> <p>1) 연간뇌우일수(IKL) 25일/년 초과하는 지역에서 전원이 가공선로로 공급되는 전기설비</p> <p>2) 저압으로 인입되는 전기설비가 통합접지인 건물 안의 전기설비</p>	<p>KS C IEC 60364-4-44(2005)</p>																
<p>나. SPD의 등급시험에 따른 분류</p> <p>SPD는 시험등급에 따라 표 8에 나타난 바와 같이 3종류로 분류함</p> <p style="text-align: center;"><표 8> SPD의 등급시험</p>	<p>KS C IEC 61643-12(2007)</p>																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">SPD종류</th> <th style="width: 15%;">시험등급</th> <th style="width: 15%;">방전매개변수</th> <th style="width: 55%;">시험파형</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I 등급</td> <td>I 등급시험</td> <td>I_{imp}, I_n</td> <td>$I_{imp} : 10/350\mu s$ 임펄스전류</td> </tr> <tr> <td>II 등급</td> <td>II 등급시험</td> <td>I_{max}, I_n</td> <td>$I_n, I_{max} : 8/20\mu s$ 공칭방전전류</td> </tr> <tr> <td>III 등급</td> <td>III 등급시험</td> <td>U_{oc}</td> <td>$U_{oc} : 1.2/50\mu s$ 콤비네이션파형</td> </tr> </tbody> </table>	SPD종류	시험등급	방전매개변수	시험파형	I 등급	I 등급시험	I_{imp}, I_n	$I_{imp} : 10/350\mu s$ 임펄스전류	II 등급	II 등급시험	I_{max}, I_n	$I_n, I_{max} : 8/20\mu s$ 공칭방전전류	III 등급	III 등급시험	U_{oc}	$U_{oc} : 1.2/50\mu s$ 콤비네이션파형	
SPD종류	시험등급	방전매개변수	시험파형														
I 등급	I 등급시험	I_{imp}, I_n	$I_{imp} : 10/350\mu s$ 임펄스전류														
II 등급	II 등급시험	I_{max}, I_n	$I_n, I_{max} : 8/20\mu s$ 공칭방전전류														
III 등급	III 등급시험	U_{oc}	$U_{oc} : 1.2/50\mu s$ 콤비네이션파형														
<p>다. SPD의 설치위치</p>	<p>KS C IEC 62305-4 부속서 D</p>																
<p>1) SPD 설치 예시</p> 																	
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">1. 시설물의 시작점</td> <td style="width: 50%; border: none;">7. 보호되어야 할 고정 기기</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">2. 배전반</td> <td style="border: none;">8. 등급II 시험받은 서지보호장치</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">3. 배전단자함</td> <td style="border: none;">9. 등급II 또는 III 서지보호장치</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">4. 주 접지단자 및 바</td> <td style="border: none;">10. 감결합 요소 및 전선 길이</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">5. 등급 I 또는 II 서지보호장치</td> <td style="border: none;">F1, F2, F3 과전류 보호단로기</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">6. 서지보호장치의 접지접속(접지도체)</td> <td style="border: none;"></td> </tr> </table> <p>* 비고 : 추가정보는 KS C IEC 61643-12 참조</p>	1. 시설물의 시작점	7. 보호되어야 할 고정 기기	2. 배전반	8. 등급II 시험받은 서지보호장치	3. 배전단자함	9. 등급II 또는 III 서지보호장치	4. 주 접지단자 및 바	10. 감결합 요소 및 전선 길이	5. 등급 I 또는 II 서지보호장치	F1, F2, F3 과전류 보호단로기	6. 서지보호장치의 접지접속(접지도체)						
1. 시설물의 시작점	7. 보호되어야 할 고정 기기																
2. 배전반	8. 등급II 시험받은 서지보호장치																
3. 배전단자함	9. 등급II 또는 III 서지보호장치																
4. 주 접지단자 및 바	10. 감결합 요소 및 전선 길이																
5. 등급 I 또는 II 서지보호장치	F1, F2, F3 과전류 보호단로기																
6. 서지보호장치의 접지접속(접지도체)																	

2) 구조물 손상의 여러 원인과 시스템 내 뇌전류 분배의 기본예시



라. SPD의 정격확인

1) I 등급 SPD의 보호모드별 임펄스전류 I_{imp}

- 구조물에 뇌격(S1)

보호모드	단상		3상	
	CT1	CT2	CT1	CT2
각 상전선과 중성선 사이		12.5kA		12.5kA
각 상전선과 PE선 사이	12.5kA		12.5kA	
중성선과 PE선 사이	12.5kA	25kA	12.5kA	50kA

- 건축물 인입 전원선로 뇌격(S3)

보호모드	단상		3상	
	CT1	CT2	CT1	CT2
각 상전선과 중성선 사이		5kA		5kA
각 상전선과 PE선 사이	5kA		5kA	
중성선과 PE선 사이	5kA	10kA	5kA	20kA

2) II 등급 SPD의 보호모드별 공칭방전전류 I_n

보호모드	단상		3상	
	CT1	CT2	CT1	CT2
각 상전선과 중성선 사이		5kA		5kA
각 상전선과 PE선 사이	5kA		5kA	
중성선과 PE선 사이	5kA	10kA	5kA	20kA

※ CT1은 SPD를 RCD의 부하측, CT2는 SPD를 RCD의 전원측에 설치하는 경우

마. SPD의 접속형태

저압 전원계통은 TT, TN, IT 계통으로 구분하며 전원계통별

KS C IEC
60364-5-53(2005)

내용	관련근거
----	------

SPD의 접속형태는 표 11과 같다.

<표 11> 전원계통별 SPD의 접속형태

SPD 연결구간	SPD설치지점의 계통 구성							
	TT		TN-C	TN-S		IT(중성선 있음)		IT (중성선 없음)
	CT ₁	CT ₂		CT ₁	CT ₂	CT ₁	CT ₂	
각 상전선과 중성선 사이	△	○	×	△	○	△	○	×
각 상전선과 PE선 사이	○	×	×	○	×	○	×	○
중성선과 PE선 사이	○	○	×	○	○	○	○	×
각 상전선과 PEN선 사이	×	×	○	×	×	×	×	×
각 상전선 사이	△	△	△	△	△	△	△	△

○ : 의무사항, △ : 선택사항, 추가사항, × : 적용불가
 CT₁ : SPD를 RCD의 부하측에 설치하는 경우, CT₂ : SPD를 RCD의 전원측에 설치하는 경우

바. SPD 보호장치(MCCB, 누전차단기, 퓨즈 등) 선정방법

KS C IEC
60364-5-53(2005)

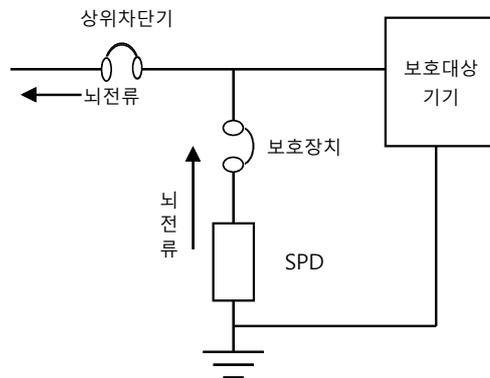


그림 6. SPD 보호장치

- 1) SPD 보호장치는 상정한 뇌전류가 통과한 때 용단, 용착 또는 오동작하지 말아야 함
- 2) SPD 보호장치는 SPD가 고장 난 때 신속하게 회로로부터 분리시킬 수 있어야 함
- 3) SPD 보호장치로 퓨즈를 사용한 경우 상정한 통과뇌전류에 대한 용단특성을 검토해야 함
- 4) 단락고장으로 상정되는 SPD에 흐르는 단락전류를 확실하게 차단할 수 있어야 함
- 5) 보호장치와 상위차단기와의 동작협조

내용	관련근거
<p>① I 등급 SPD용 보호장치의 정격은 일반적으로 대용량임</p> <p>② 상위차단기의 정격 및 특성이 보호장치와 동작협조를 이루어야 함</p> <p>③ 보호대상 기기에 전원공급의 연속성을 우선하는 경우는 보호 장치가 신속하게 회로만 분리해야 함</p> <p>④ 뇌서지보호를 우선하는 경우는 상위차단기가 차단동작을 해도 됨</p> <p>6) 상위차단기는 통과하는 뇌전류에 의해서 용착 또는 동작하지 않아야 함</p> <p>7) SPD를 누전차단기의 부하측에 설치하는 경우</p> <p>① SPD에 흐르는 전류에 의해서 누전차단기가 동작할 수 있으므로 임펄스부동작형 누전차단기를 사용해야 함</p> <p>※ 시간지연여부에 상관없이 최소 3kA의 8/20μs 서지전류에 대한 내성을 가지는 RCD를 사용해야 함. 전압서지에 의해 원하지 않는 트립에 대한 내력이 있는 S-형 RCD는 이 요건을 충족하며, 8/20μs 서지전류가 3kA보다 큰 경우 RCD는 트립되어 전원공급이 중단될 수 있음</p> <p>② SPD가 열화된 경우 누전차단기가 동작하므로 SPD에 직렬로 접속하는 보호장치는 유지관리용으로 개폐기능만 있으면 됨</p> <p>8) SPD를 누전차단기의 전원측에 설치하는 경우</p> <p>① SPD가 고장을 일으킬 때 확실히 계통으로부터 분리할 수 있는 상용주파수 전류의 차단능력이 있어야 함</p> <p>② SPD 전원측의 전원회로에 배선용차단기가 있는 경우 배선용 차단기의 동작전류가 보호장치의 동작전류보다 적으면 배선용 차단기가 먼저 동작되므로 보호장치는 유지관리용으로 개폐 기능만 있으면 됨</p>	
<p>사. SPD 연결도체</p> <p>SPD 연결도체의 길이가 길어지면 과전압 보호의 효율성이 감소하므로 <u>가능한 50cm이하일 것. 다만, SPD 연결도체 길이가 50cm를 넘을 경우에는 연결도체의 전압강하를 고려하여 SPD의 전압보호레벨(U_p)를 선정하고, 연결도체의 전압강하를 포함하는 실효보호레벨($U_{P/E}$)이 기기에 요구되는 임펄스 내전압(U_W)을 초과해서는 안 된다. (예, 230/400V 설비의 U_W는</u></p>	<p>KS C IEC 60364-5-53(2005)</p>

내용		관련근거																											
<p>2.5kV, 120~240V 설비에서는 1.5kV 임)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">SPD의 연결도체 길이 L [m]</th> <th rowspan="2">연결도체의 전압강하 ΔU</th> <th colspan="2">SPD의 전압보호레벨 U_p</th> </tr> <tr> <th>230/400V설비</th> <th>120~240V설비</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.5 이내</td> <td>0</td> <td>2.5 kV 이하</td> <td>1.5 kV 이하</td> </tr> <tr> <td>0.5 초과 1.0 이하</td> <td>0.5 kV 이하</td> <td>2.0 kV 이하</td> <td>1.0 kV 이하</td> </tr> <tr> <td>1.0 초과 1.5 이하</td> <td>1.0 kV 이하</td> <td>1.5 kV 이하</td> <td rowspan="2">*1</td> </tr> <tr> <td>1.5 초과 2.0 이하</td> <td>1.5 kV 이하</td> <td>1.0 kV 이하</td> </tr> <tr> <td>2.0 초과</td> <td></td> <td colspan="2">*2</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>U_p : SPD의 보호레벨</u> <u>$U_{p/F}$: 실효보호레벨 $U_{p/F} = U_p + \Delta U$</u> <u>ΔU : SPD 연결도체의 유도성 전압강하</u> <u>단위길이당의 전압강하 $\Delta U = 1 \text{ kV/m}$ 가정(KSC IEC 62305-4)</u> <u>U_L : SPD와 기기 사이 회로의 유도 과전압</u> <u>*1, *2 : 기기측에 SPD 추가설치</u></p> <p>아. SPD 접지선의 단면적</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 설비 기점 또는 근처의 SPD의 접지선은 최소 단면적이 구리 4mm² 또는 이와 동등하여야 함 2) I 등급 SPD에 대해서는 최소 단면적이 구리 16mm² 또는 이와 동등하여야 함 <p>자. 서지보호장치(SPD)는 KS C IEC 61643-11에 적합하여야 하며, 다음 중 어느 하나의 국내 공인시험기관의 인증제품을 사용할 것</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 산업표준화법에 따른 KS 표시제품 2) 국가표준기본법에 따른 KAS 인증(예, V-체크마크)제품 				SPD의 연결도체 길이 L [m]	연결도체의 전압강하 ΔU	SPD의 전압보호레벨 U_p		230/400V설비	120~240V설비	0.5 이내	0	2.5 kV 이하	1.5 kV 이하	0.5 초과 1.0 이하	0.5 kV 이하	2.0 kV 이하	1.0 kV 이하	1.0 초과 1.5 이하	1.0 kV 이하	1.5 kV 이하	*1	1.5 초과 2.0 이하	1.5 kV 이하	1.0 kV 이하	2.0 초과		*2		<p>KS C IEC 60364-5-53(2005)</p>
SPD의 연결도체 길이 L [m]	연결도체의 전압강하 ΔU	SPD의 전압보호레벨 U_p																											
		230/400V설비	120~240V설비																										
0.5 이내	0	2.5 kV 이하	1.5 kV 이하																										
0.5 초과 1.0 이하	0.5 kV 이하	2.0 kV 이하	1.0 kV 이하																										
1.0 초과 1.5 이하	1.0 kV 이하	1.5 kV 이하	*1																										
1.5 초과 2.0 이하	1.5 kV 이하	1.0 kV 이하																											
2.0 초과		*2																											

6. TN계통에서의 전원자동차단에 의한 감전보호방식

내용	관련근거
<p>가. 보호방식 흐름도와 고장 루프 구성</p> <p>TN 계통에서의 전원자동차단에 의한 보호방식 흐름도와 고장 루프 구성은 그림 10, 11과 같다.</p> <div data-bbox="183 548 1189 1176" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p>Legend: U_o : 공칭대지전압 Z_s : 고장 루프 임피던스 R_f : 전원 접지 저항 R_A : 프레임 접지저항</p> </div> <p>그림 10. TN 계통에서의 전원자동차단에 의한 보호방식 흐름도</p> <div data-bbox="183 1321 718 1747" style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p>L_1, L_2, L_3 : 상도체 PE : 보호도체 M : 노출 도전성부분 I_a : 고장전류 R_B : 전원중성점 접지저항 $Z_{L1}+Z_{C1}$: 상도체 임피던스 Z_0 : 전원변압기 임피던스 $Z_{PE}+Z_{C2}$: 보호도체 임피던스</p> </div> <p>주) 1. 고장 루프는 전원, 고장점까지의 상도체 및 고장점과 전원간의 보호 도체로 구성된다. 이 루프의 전 임피던스가 고장 루프 임피던스(Z_s)가 된다. Z_s는 다음 식과 같다.</p> $Z_s = Z_{L1}+Z_{C1}+Z_{C2}+Z_{PE}+Z_0$	<p>KS C IEC 60364-4-41(2005)</p>

내용	관련근거														
<p>2. 고장 루프 임피던스에 계통접지저항 R_B는 포함하지 않는다는 것에 유의한다.</p> <p>그림 11. TN-S 계통의 고장 루프 구성</p> <p>나. 보호장치의 선정</p> <p>1) 과전류차단기</p> <p>과전류차단기에 의한 보호를 실시할 경우에는 다음과 같음</p> <p>① 고장 루프 임피던스에서 고장 전류를 산출함</p> <p>② 적용되는 보호조건(차단시간) 확인</p> <p>㉠ 콘센트 회로, 휴대형 기기를 보호하는 회로의 경우 표 12를 적용</p> <p><표 12> TN 계통에서의 최대 차단 시간(IEC 60364-4-41의 표 41A)</p> <table border="1" data-bbox="172 902 1174 1216"> <thead> <tr> <th>U_o(V)</th> <th>차단시간(초)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>120</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>(220)</td> <td>(-)</td> </tr> <tr> <td>230</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>277</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>400</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>400 초과</td> <td>0.1</td> </tr> </tbody> </table> <p>주) U_o : “IEC 60038(1983) 표준 전압”에 기초하는 공칭 대지 전압(교류 실효값)</p> <p>㉡ 콘센트 회로, 휴대형 기기에 공급하는 분기 회로 이외는 다음과 같은 이유로 차단시간을 5초 이내로 할 수 있음</p> <ul style="list-style-type: none"> - 고장 중에 이런 종류의 회로에서 공급되는 기기에 접촉하고 있는 사람이 적을 것으로 예상 - 이런 종류의 회로에서 공급되는 기기는 일반인이 잡고 조작하지 않으며 고장이 발생했을 때 쉽게 놓을 수 있음 <p>㉢ 과전류차단기 선정에 있어서는 지락전류에 알맞은 과전류 차단특성(순시 차단특성) 표 13 참조</p> <p>③ 과전류차단기로 전원의 자동차단을 실시하기 위해서 규정된 차단시간 내에 배선용차단기를 확실하게 작동시키기 위한 전류-시간 특성의 배선용차단기 인지를 확인하여야 함</p> <p>㉣ 배선용차단기 표준에는 순시차단 특성을 표 13과 같이</p>	U_o (V)	차단시간(초)	120	0.8	(220)	(-)	230	0.4	277	0.4	400	0.2	400 초과	0.1	<p>KS C IEC 60364-4-41(2005)</p>
U_o (V)	차단시간(초)														
120	0.8														
(220)	(-)														
230	0.4														
277	0.4														
400	0.2														
400 초과	0.1														

내용	관련근거
----	------

규정하고, 순시 분리 특성이 기호화 되어 순시동작전류가 정격전류에 대한 배율로 구분되어 있음

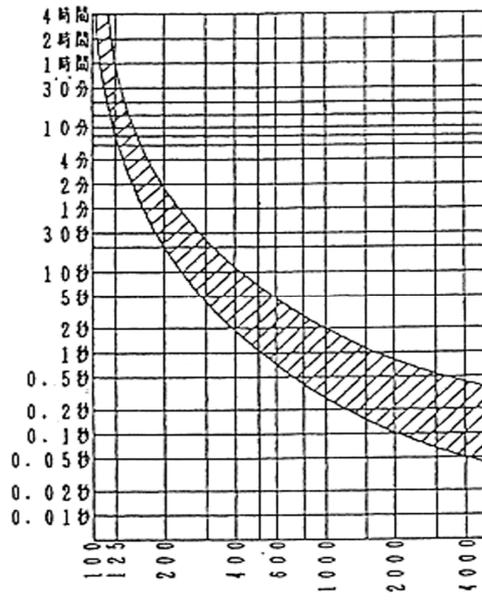
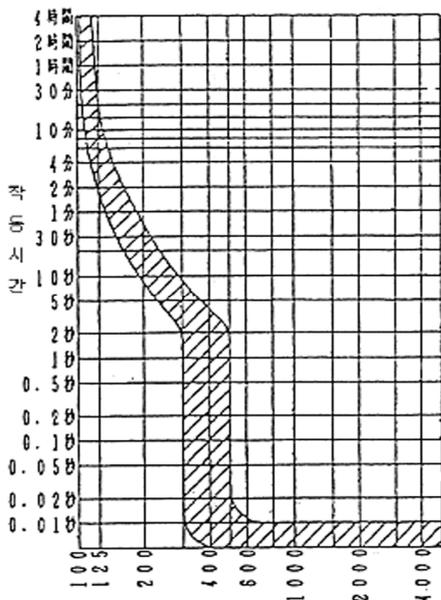
- ㉠ 회로 전압 마다 규정된 표 13에 표시된 최대 차단시간 또는 5초 이내에 배선용 차단기를 확실하게 동작시키기 위해서는 배선용 차단기가 순시차단 성능 인지를 확인하여야 함
- ㉡ 배선용차단기 특성 예는 그림 12, 13과 같음

<표 13> 과전류차단기의 순시차단 특성 비교

KS C IEC
60364-4-41(2005)

적용규격	순시차단 특성			비 고
	종류	순시차단 기능	작동배율	
주택용 차단기	타입 B	있음	3~5I _n	I _n 은 배선용차단기의 정격전류 동작 배율은 0.1s로 작동하는 전류 범위를 나타내고 있다.
	타입 C	있음	5~10I _n	
	타입 D	있음	10~20I _n	
산업용 차단기	임의	있음	제조사 지정	본체에 순시차단 기호(Type B등) 표시가 없으므로 주의 필요. 순시차단 특성이 있는 것은 시방서 등으로 제공되므로 그것을 참조할 필요가 있다.
		없음	-	

- 비고 1. IEC 60898 배선용 차단기는 순시차단 특성이 기호화되어 본체에 표시됨
(예시) B16 : 정격전류 16A Type B
2. 규격에는 0.1s의 동작 배율을 규정하고 있다.



내용	관련근거
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>전류(정격 전류에 대한 %)</p> <p>그림 12</p> <p>순시 차단 기능을 갖고 있는 배선용 차단기의 전류-시간 동작 특성 (예) [Type B(3~5 In 0.1s 동작)]</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>전류(정격 전류에 대한 %)</p> <p>그림 13</p> <p>순시 차단 성능이 없는 배선용 차단기의 전류-시간 동작 특성 (예)</p> </div> </div> <p>④ 배선용차단기 선정(예)</p> <p>㉠ 표 12의 시간 내에 작동시키기 위한 계산</p> <p>전원 임피던스 Z_0을 0.015Ω, 상도체의 선로임피던스 Z_{L1}을 0.35Ω, 보호도체의 임피던스를 Z_{PE}를 0.35Ω, 전원 전압 U_0를 200V로 했을 때(그림 11 참조)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 고장전류는 I_a는 $I_a = U_0 / (Z_0 + Z_{L1} + Z_{PE}) = 200 / (0.015 + 0.35 + 0.35) \approx 280A$ - 회로에 사용된 전선 허용전류(I_Z)의 크기로 부터 배선용 차단기 정격전류(I_n)가 선정되며($I_n \leq I_Z$: IEC 60364-4-43 과전류 보호 참조) 또한 배선용차단기의 순시차단 타입을 선정한다. 정격전류 I_n을 32A라고 했을 때 각각 순시 동작에 필요한 전류는 다음과 같다. <ul style="list-style-type: none"> • Type B 3~5In 32 A × 5 = 160 A • Type C 5~10In 32 A × 10 = 320 A • Type D 10~20In 32 A × 20 = 640 A - 고장전류가 I_a(고장전류) \geq 순시동작전류라면 0.1s 이내에 동작이 가능하므로 이 경우 Type B를 선정한다면 과전류 보호기능으로 규정 시간 내에 차단할 수 있게 된다. <p>㉡ 순시차단 기능이 없는 배선용차단기 또는 퓨즈에 의한 보호</p> <p>고장전류 I_a가 표 12에서 규정하고 있는 시간(t_0)과 교차하는 점 A가 시간-전류특성의 상한보다 위에 있는 것을 확인할 것(그림 14 참조)</p>	<p>KS C IEC 60364-4-41(2005)</p>

내용	관련근거
<div data-bbox="316 309 574 660" data-label="Figure"> </div> <div data-bbox="678 309 1141 622" data-label="Text"> <p>I_a : 고장전류 t_1 : 고장전류 I_a에 의한 퓨즈의 실제 차단시간 t_0 : 표 12에 규정되어 있는 시간</p> </div> <div data-bbox="263 676 1093 716" data-label="Caption"> <p>그림 14. 순시동작 기능이 없는 배선용차단기 또는 퓨즈</p> </div> <div data-bbox="172 750 391 790" data-label="Section-Header"> <p>2) 누전차단기</p> </div> <div data-bbox="220 801 1125 842" data-label="Text"> <p>누전차단기에 의한 보호를 실시할 경우에는 다음과 같음</p> </div> <div data-bbox="188 857 406 898" data-label="Section-Header"> <p>① 적용 장소</p> </div> <div data-bbox="242 913 1204 1176" data-label="Text"> <p>과전류차단기 조건이 충족되지 않은 경우에는 누전차단기로 보호가 가능하며, 콘센트 회로에 접속되는 코드 길이를 특별히 정할 수 없으므로 고장 임피던스의 크기를 정할 수 없어 과전류 차단기에 의한 보호조건을 충족하지 못한다면 단면적이 작고 임피던스가 큰 경우에 누전차단기에 의한 보호가 바람직함.</p> </div> <div data-bbox="188 1191 821 1232" data-label="Section-Header"> <p>② 누전차단기 사용시 보호도체의 접속</p> </div> <div data-bbox="242 1247 1204 1563" data-label="Text"> <p>TN-C 계통에는 누전차단기를 사용할 수 없고, TN-C-S 계통의 TNS에서 누전차단기를 사용하는 경우에 기기 보호도체는 그림 15와 같이 누전차단기의 전원측에 접속할 것. 또한 그림 15의 C점에서 단락고장이 발생한 경우에 기기와 계통의 도전성부분 간에 접촉전압 U_t가 발생하기 때문에 계통의 도전성부분에는 주 등전위분당을 할 필요가 있음</p> </div> <div data-bbox="210 1585 1145 1960" data-label="Diagram"> <div data-bbox="438 1892 917 1960" data-label="Text"> <p>SCPD : 단락보호장치 (Short circuit protective device) RCD : 누전차단기 (Residual Current device)</p> </div> </div> <div data-bbox="306 1989 1050 2029" data-label="Caption"> <p>그림 15. 회로 보호도체의 PEN 도체와의 접속</p> </div>	<div data-bbox="1203 241 1396 282" data-label="Text"> <p>관련근거</p> </div> <div data-bbox="1203 750 1439 840" data-label="Text"> <p>KS C IEC 60364-4-41(2005)</p> </div>

7. 공통·통합접지 외관검사 방법

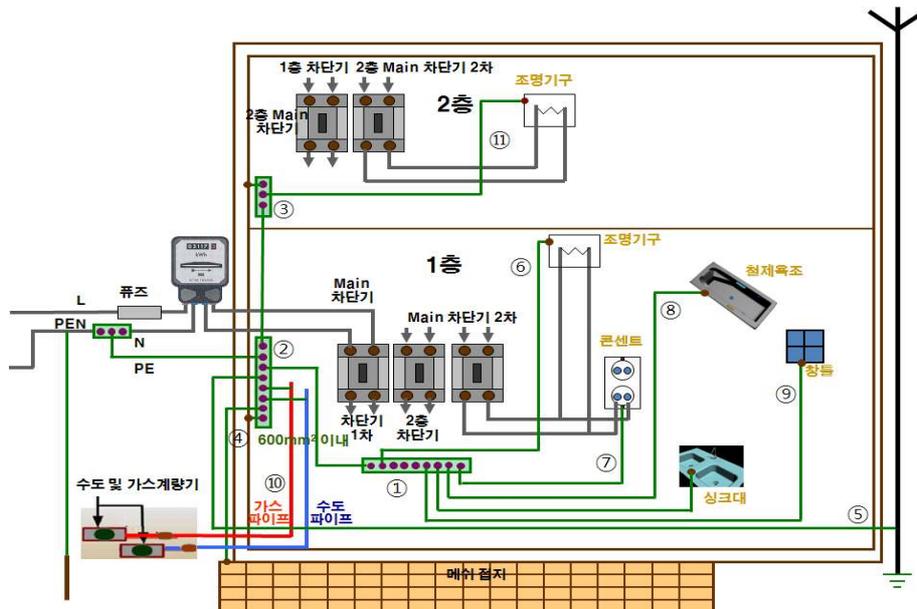
가. 등전위본딩 확인

1) 용어 정의

- ① “노출 도전성 부분”은 충전되어 있지 않지만 기초 절연에 고장이 발생한 경우 충전될 수 있는 기기의 도전성 부분을 의미. 또한 접촉될 가능성이 있고 통상은 통전되지 아니하나, 고장시에 충전부가 될 가능성이 있는 전기기기의 도전성 부분을 의미
- ② “계통외 도전성 부분”은 전기설비의 일부가 아니지만 일반적으로 대지전위를 띠 가능성이 있는 도전성부분을 의미

2) 건축설비 내의 도전성 부분 간 연결 상태를 확인

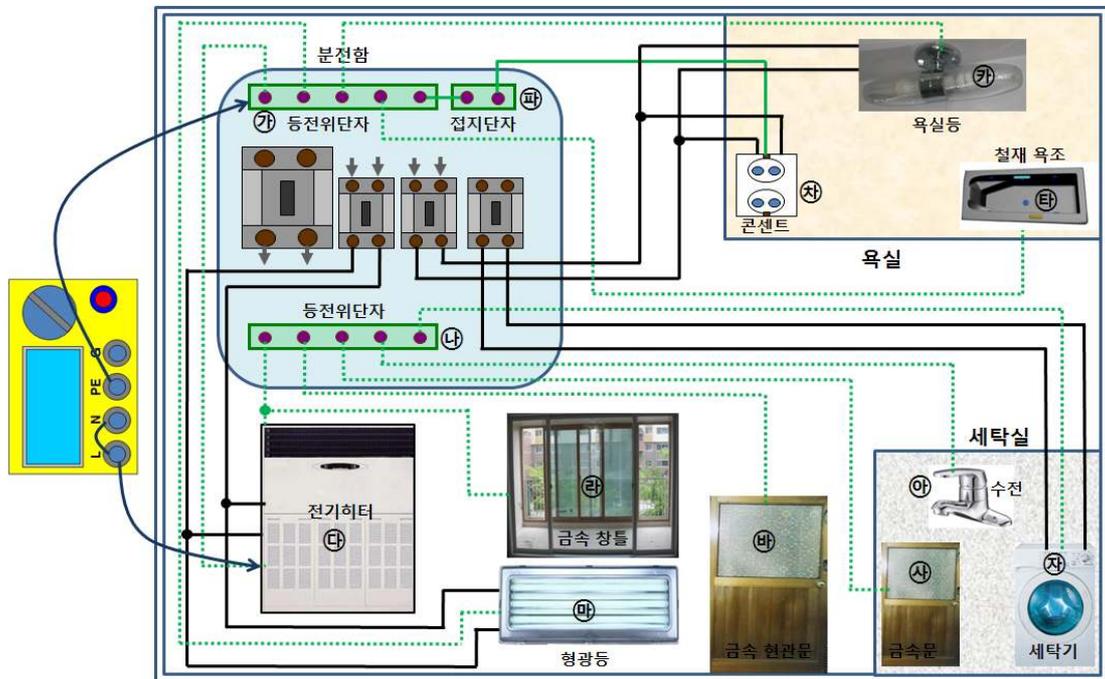
- 3) 각 구간의 분전반과 측정하고자 하는 도전성 부분 사이에 연속성이 확보 되었는지를 확인
- 4) 연속성 측정 대상은 측정구간에 설치된 금속제 문, 창틀, 전기설비 등 모든 금속도체를 포함
- 5) 각각의 구간을 담당하는 분전반 사이의 연속성 측정
- 6) 접속부의 체결상태 확인
- 7) 수도 및 가스 파이프(이하 금속파이프) 등 금속제 파이프의 등전위 상태를 확인한다.



번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
내용	등전위 단자	접지단자	2층 등전위단자	접지선	피뢰설비	조명기구	콘센트	철제욕조	금속창틀	금속파이프	2층 조명기구

번호	점검 내용
1-2	체결상태 확인, 전선 굵기 확인, 연속성 측정
1-6, 7, 8, 9	체결상태 확인, 전선 굵기 확인, 연속성 측정
2-3	체결상태 확인, 전선 굵기 확인, 연속성 측정
2-4	체결상태 확인, 전선 굵기 확인
2-10	체결상태 확인, 전선 굵기 확인, 연속성 측정, 거리확인
3-11	체결상태 확인, 전선 굵기 확인, 연속성 측정

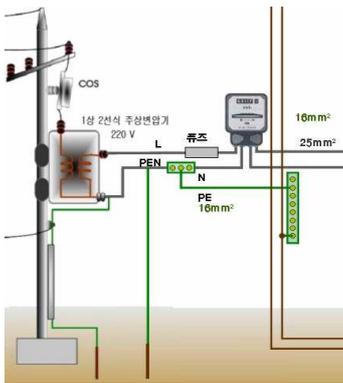
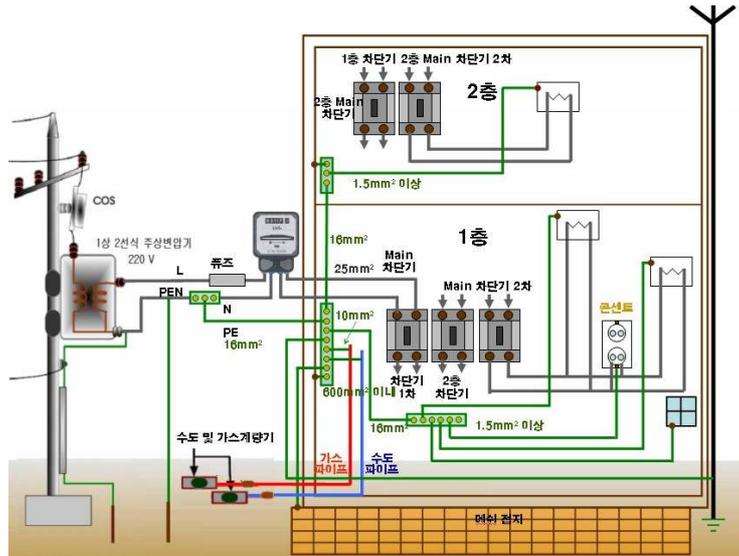
나. 연속성 측정 예시



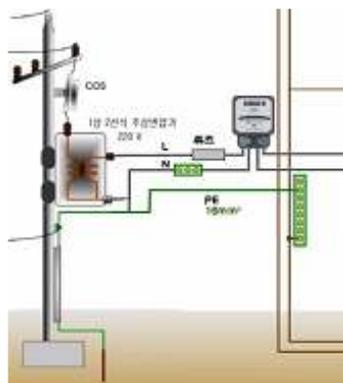
시작점	측정점	비고
가	다, 파, 카, 타, 좌	접지단자와 등전위단자가 분전함에서 분기되었는지 확인
나	라, 바, 사, 아, 자, 좌	
파	좌	

다. 접지계통 종류 확인

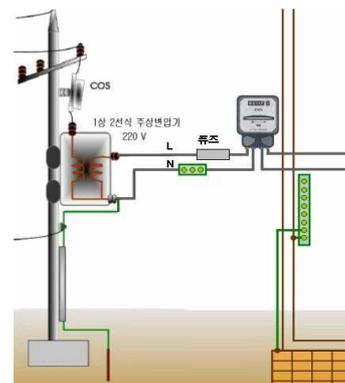
- 1) 수용가 인입점(책임분계점)의 접지방식을 확인한다.
 - ① TN-S : 접지선이 전원선 및 중성선과 분리되어 시설된 경우
 - ② TN-C-S : 접지선이 수용가 인입점(책임분계점)에서 중성선과 분리되어 시설된 경우
 - ③ TT : 접지선이 독립되어 대지에 직접 시설된 경우



TN-C-S 접지계통



TN-S 접지계통



TT 접지계통

8. 지락고장전류(한국전력공사 자료인용)

2.2 1선 지락 고장전류

가. 가공선로 (0 Ω 지락고장)

검토조건	공장(km)	0km	0.5km	1km	2km	3km	4km	5km	6km	7km	8km	9km	10km
Case I 60MVA 단독운전	Ig(A) Max.	7,329	6,169	5,325	4,182	3,443	2,925	2,543	2,250	2,017	1,827	1,671	1,539
	Ig(A) Min.	1,348	1,303	1,260	1,184	1,116	1,055	1,001	952	908	867	830	796
	Ig(A) Avg.	6,046	5,233	4,613	3,730	3,130	2,697	2,369	2,112	1,905	1,735	1,593	1,473
Case II 100MVA 단독운전	Ig(A) Max.	9,883	7,883	6,556	4,905	3,918	3,262	2,794	2,443	2,171	1,953	1,775	1,627
	Ig(A) Min.	1,415	1,365	1,319	1,235	1,162	1,096	1,038	985	938	895	855	819
	Ig(A) Avg.	7,683	6,417	5,510	4,295	3,519	2,980	2,585	2,282	2,042	1,849	1,688	1,554
Case III 60MVA 2Bank 병렬운전	Ig(A) Max.	10,826	8,472	6,958	5,126	4,058	3,358	2,864	2,497	2,213	1,987	1,803	1,651
	Ig(A) Min.	1,433	1,382	1,335	1,249	1,174	1,107	1,047	994	946	902	862	825
	Ig(A) Avg.	8,241	6,802	5,791	4,464	3,631	3,061	2,645	2,329	2,080	1,879	1,714	1,575
Case IV 100MVA 2Bank 병렬운전	Ig(A) Max.	13,380	9,959	7,931	5,636	4,371	3,570	3,017	2,612	2,303	2,060	1,863	1,700
	Ig(A) Min.	1,470	1,416	1,367	1,277	1,198	1,129	1,067	1,012	962	916	875	838
	Ig(A) Avg.	9,642	7,729	6,449	4,845	3,880	3,235	2,774	2,428	2,159	1,944	1,767	1,620
Case V 60+100MVA 2Bank 병렬운전	Ig(A) Max.	12,293	9,344	7,536	5,433	4,248	3,487	2,958	2,568	2,269	2,032	1,840	1,681
	Ig(A) Min.	1,456	1,403	1,354	1,266	1,189	1,121	1,060	1,005	956	911	870	833
	Ig(A) Avg.	9,064	7,353	6,185	4,694	3,783	3,167	2,724	2,390	2,129	1,919	1,747	1,603

나. 가공선로 (30 Ω 지락고장)

검토조건	공장(km)	0km	0.5km	1km	2km	3km	4km	5km	6km	7km	8km	9km	10km
Case I 60MVA 단독운전	Ig(A) Max.	416	412	407	399	391	383	376	369	362	355	349	343
	Ig(A) Min.	332	330	327	321	316	311	306	302	297	292	288	284
	Ig(A) Avg.	411	407	403	395	387	379	372	365	358	352	346	340
Case II 100MVA 단독운전	Ig(A) Max.	422	418	413	405	397	389	381	374	367	360	353	347
	Ig(A) Min.	336	333	331	325	320	315	310	305	300	296	291	287
	Ig(A) Avg.	417	413	408	400	392	384	377	370	363	356	350	344
Case III 60MVA 2Bank 병렬운전	Ig(A) Max.	424	419	415	406	398	390	382	375	368	361	354	348
	Ig(A) Min.	337	334	332	326	321	315	310	306	301	296	292	288
	Ig(A) Avg.	419	414	410	402	393	386	378	371	364	357	351	345
Case IV 100MVA 2Bank 병렬운전	Ig(A) Max.	427	422	418	409	401	393	385	377	370	363	357	350
	Ig(A) Min.	339	336	334	328	322	317	312	307	302	298	293	289
	Ig(A) Avg.	422	417	413	404	396	388	381	373	366	360	353	347
Case V 60+100MVA 2Bank 병렬운전	Ig(A) Max.	426	421	417	408	400	392	384	377	369	362	356	349
	Ig(A) Min.	339	336	333	327	322	317	312	307	302	297	293	288
	Ig(A) Avg.	421	416	412	403	395	387	380	372	365	359	352	346

다. 지중선로 (0 Ω 지락고장)

검토조건	구장(km)	0km	0.5km	1km	2km	3km	4km	5km	6km	7km	8km	9km	10km
Case I 60MVA 단독운전	Ig(A) Max.	7,329	6,916	6,548	5,917	5,396	4,960	4,590	4,270	3,993	3,749	3,533	3,341
	Ig(A) Min.	1,348	1,333	1,319	1,291	1,264	1,239	1,214	1,191	1,168	1,146	1,125	1,105
	Ig(A) Avg.	6,046	5,762	5,504	5,051	4,667	4,337	4,051	3,800	3,579	3,381	3,205	3,046
Case II 100MVA 단독운전	Ig(A) Max.	9,883	9,147	8,513	7,476	6,664	6,012	5,475	5,027	4,647	4,320	4,036	3,787
	Ig(A) Min.	1,415	1,399	1,383	1,352	1,323	1,295	1,269	1,243	1,218	1,195	1,172	1,150
	Ig(A) Avg.	7,683	7,231	6,829	6,145	5,586	5,120	4,726	4,388	4,095	3,839	3,613	3,412
Case III 60MVA 2Bank 병렬운전	Ig(A) Max.	10,826	9,949	9,203	8,003	7,080	6,348	5,753	5,260	4,845	4,491	4,184	3,917
	Ig(A) Min.	1,433	1,416	1,400	1,369	1,339	1,310	1,283	1,257	1,231	1,207	1,184	1,162
	Ig(A) Avg.	8,241	7,723	7,266	6,497	5,875	5,362	4,931	4,565	4,249	3,974	3,732	3,518
Case IV 100MVA 2Bank 병렬운전	Ig(A) Max.	13,380	12,065	10,986	9,318	8,090	7,148	6,402	5,798	5,297	4,877	4,518	4,208
	Ig(A) Min.	1,470	1,452	1,435	1,403	1,371	1,341	1,313	1,285	1,259	1,234	1,209	1,186
	Ig(A) Avg.	9,642	8,940	8,333	7,337	6,554	5,922	5,401	4,964	4,593	4,273	3,995	3,751
Case V 60+100MVA 2Bank 병렬운전	Ig(A) Max.	12,293	11,174	10,242	8,777	7,679	6,825	6,143	5,584	5,118	4,724	4,387	4,094
	Ig(A) Min.	1,456	1,439	1,422	1,390	1,359	1,330	1,301	1,274	1,248	1,224	1,200	1,177
	Ig(A) Avg.	9,064	8,441	7,898	6,998	6,282	5,699	5,214	4,806	4,457	4,156	3,892	3,660

라. 지중선로 (30 Ω 지락고장)

검토조건	구장(km)	0km	0.5km	1km	2km	3km	4km	5km	6km	7km	8km	9km	10km
Case I 60MVA 단독운전	Ig(A) Max.	416	415	413	411	408	405	403	400	397	395	392	390
	Ig(A) Min.	332	331	331	329	327	325	324	322	320	319	317	315
	Ig(A) Avg.	411	410	408	406	403	400	398	395	393	390	388	385
Case II 100MVA 단독운전	Ig(A) Max.	422	421	419	417	414	411	408	406	403	400	398	395
	Ig(A) Min.	336	335	334	333	331	329	327	326	324	322	321	319
	Ig(A) Avg.	417	416	414	412	409	406	404	401	398	396	393	391
Case III 60MVA 2Bank 병렬운전	Ig(A) Max.	424	422	421	418	415	413	410	407	404	402	399	397
	Ig(A) Min.	337	336	335	334	332	330	328	327	325	323	321	320
	Ig(A) Avg.	419	417	416	413	410	408	405	402	400	397	395	392
Case IV 100MVA 2Bank 병렬운전	Ig(A) Max.	427	426	424	421	418	416	413	410	407	405	402	399
	Ig(A) Min.	339	338	337	336	334	332	330	328	327	325	323	322
	Ig(A) Avg.	422	420	419	416	413	411	408	405	403	400	397	395
Case V 60+100MVA 2Bank 병렬운전	Ig(A) Max.	426	424	423	420	417	414	412	409	406	404	401	398
	Ig(A) Min.	339	338	337	335	333	331	329	328	326	324	323	321
	Ig(A) Avg.	421	419	418	415	412	410	407	404	401	399	396	394

9. 대지저항률 측정방법/전기안전연구원 「2008사내연구결과 보고서」

(1) 대지 저항률 (Soil Resistivity) 분포

지구는 접지 시스템과 연결될 때 무제한 공급되는 전류를 거의 무한대로 흡수할 수 있는 체적을 가진다고 가상할 수 있다.

이러한 전류는 금속 접지 전극(Metal Electro+/e-Earth)을 대지에 연결하였을 때 이 연결전극을 통해 흐른다. 따라서 전류가 흐르는 접지 전극 주위에 대지 저항은 접지봉으로부터 점차 바깥쪽으로 위치하는 일련의 가상 대지 전계구들(Virtual Shells of Earth)의 합계가 된다. 접지 저항은 가장 가까이 있는 전계구가 가장 크고, 점차 외부 방향으로 이동 시킬 때 이 저항은 낮아진다.

이러한 대지 저항을 결정하는 가장 중요한 요인을 토지 저항률 혹은 대지 저항률이라 한다. 따라서 높은 대지 저항률을 갖는 지역에서 접지봉 주위에 중간 지역의 대지 저항률은 매우 중요하며, 이 지역의 대지 저항률을 낮추는 것이 접지 시스템에 필수적인 요소이다.

대지 저항률은 표면층으로부터 대지 깊이에 따라 다르며, 대지 표면에 물의 존재가 반드시 접지 저항을 낮추는 것은 아니다. 따라서 대지 저항률은 토양의 종류, 토양 내에 화학적 이온 상태, 대지의 온도 그리고 대지의 수분 함유 상태 등에 따라 달라진다.

(2) 대지저항률 측정 원리

대지 저항률을 측정하는 방법은 4-점 전위 측정법(4-Point Fall-of-Potential Test) 혹은 4-점 Wenner 측정법(Wenner 4-Point Method)을 사용한다. 이 측정법은 4개의 측정 탐침(4-Test Probe)을 일직선상에 일정한 간격으로 박아서 측정 장비 내에서 저주파 전류를 탐침을 통해 대지에 흘려보내어 측정하는 방법이며, 정확한 측정을 위해 등거리로 이격된 탐침의 측정 간격을 다르게 하여 여러 번 측정하는 것이 가장 좋다. 탐침들 중에 측정 회로의 내부에 있는 두개의 탐침 거리가 토양 내의 깊이까지의 대지 저항률을 측정하는 것이다. 측정치는 대지 저항 치로 나타나며, 이 측정치와 간격에 2π 를 곱하여 대지 저항률을 얻게 되고 단위는 $\Omega\text{-cm}$ 혹은 $\Omega\text{-m}$ 이다.

접지 시스템을 설계함에 있어 가장 중요한 요소는 대지저항율의 측정이다. 대지저항율의 단위는 Ohm-m ($\Omega\text{-m}$)으로 표기되며 각 면이 1m인 정육면체 토지의 2개의 양면사이의 저항으로 정의된다. 따라서 1 Ohm-m 은 2개의 양면사이에서 측정된 저항의 Ohm 을 의미하게 된다. 또한 Ohm-m ($\Omega\text{-m}$)으로 표시된 수

치에 100을 곱함으로써 Ohm-cm (Ω -cm)로 바꾸어 표시할 수 있다.대지저항률 측정은 4개의 같은 크기를 갖는 금속 탐침(Test Probe)을 같은 거리 간격으로 대지에 박아서 측정하며, 측정을 위한 연결 방법은 다음과 같다.
 바깥쪽 탐침(X, Z)은 전류회로이고, 내부쪽 탐침(Xv, Y)은 전압회로이다.

- 가. 외부 2개의 탐침에 직류전원과 전류 미터를 연결.
- 나. 내부 2개의 탐침에는 전위차 측정을 위한 전압계를 함께 연결.

이러한 2개의 전압계 및 전류계로 얻어진 측정값은 식 $R = E/I$ 로부터 계산된 저항(R)을 표시하게 된다.

이때 전류는 그림 2.6에 나타난 바와 같이 탐침으로부터 등 심원을 그리며 토지를 통하여 흐르게 되며 각각 토양의 영향 범위(Shell)에서 탐침간의 거리 " a " 을 조절함으로써 효율적인 측정값을 얻을 수 있다.

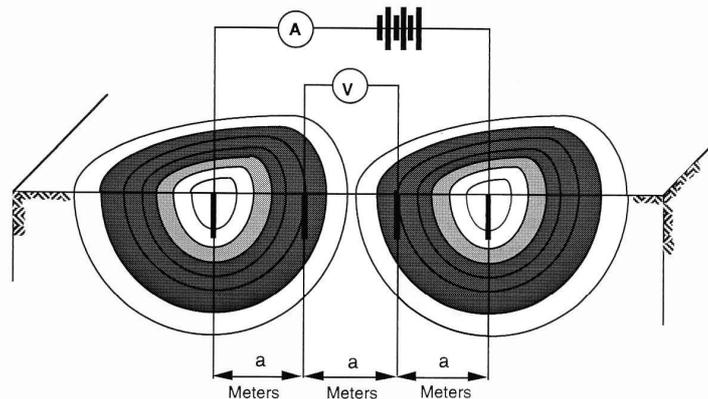


그림 2.6 탐침 간의 대지 전류 전계구

(3) 대지저항률 측정(Wenner 4-Point Method)

구성도로부터 탐침 간의 이격거리와 탐침의 깊이 등으로부터 대지저항률의 계산식을 유도하면 다음과 같다.

단, ρ =대지저항률, a =탐침 간격, B =탐침의 깊이, R =장비의 측정 저항치
 단, $a \geq 20B$ 이라면,

$$\therefore \rho = 2\pi aR = 6.28aR [\Omega\text{-m}]$$

따라서 대지 저항률은 상수 : 6.28, 탐침 간의 간격, 탐침의 깊이, 그리고 측정된 대지저항으로부터 구할 수 있다.

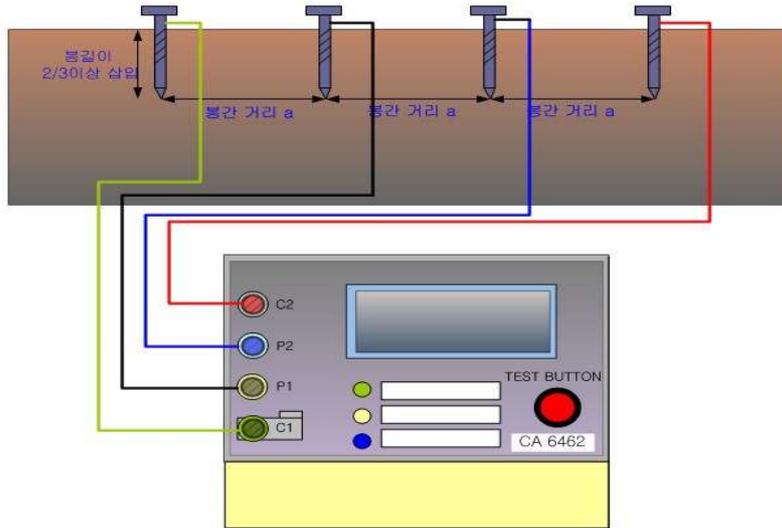


그림 2.7 장비 와 대지의 구성방식

○ 겹보기 대지저항을 측정 절차

① 측정대상(위치) 설정 및 기록지 작성

- 일반적으로 최하 5POINT, 봉간 거리 25m 이상을 측정한다.

② C1 과 P1 (X1 과 X) 사이에 연결된 금속판이 있으면 서로 분리시킨다.

③ 각각의 등거리에서 측정 후 읽은 값은 지표로부터의 토양 내의 동일한 수 도 선을 이용하여 측정기의 4 단자 (C1, P1, P2, C2)를 그림2.7과 같이 측정 탐침에 연결한다.

④ 4개의 금속 탐침을 대지에 일렬로 같은 간격으로 타설한다.

⑤ 측정기의 각 단자와 측정탐침이 바르게 연결되었는지 확인 한다

⑥ 우측 하단의 Test 버튼을 누른 상태에서 측정기 의 LCD 판에 표시된 저항 값을 읽는다. 이때 값의 변화가 심하거나 표시되는 값이 없다면 각 단자와 탐침 간의 연결을 다시 한 번 확인한 재측정을 한다.

⑦ Fault Lamp에 점등이 되면 해당 사항을 체크한다. 체크 후에도 Fault Lamp 가 점등되면 대지의 전기저항율이 매우 높으면 고장으로 인식될 수도 있다.

⑧ 측정 탐침의 거리를 표와 같이 바꾸어가며 ③④⑤⑥ 과 같은 방법으로 측정한 후 측정 표에 기록한다.

⑨ 대지 저항률은 측정 기록된 저항 값을 아래 식에 대입하여 얻는다. $\rho = 6.28 \times a \times R$ [Ω -m] (6.28 : 상수 , R : 측정된 저항값[Ω], a : 탐침 간의 거리 [m])

⑩ 측정하고자 하는 장소의 위치 및 방향을 달리하여 ③④⑤⑥을 반복하여 측정

한다. 반복하여 측정함으로써 보다 정확한 대지 저항률을 얻게 되어 설계의 신뢰성을 높이게 된다.

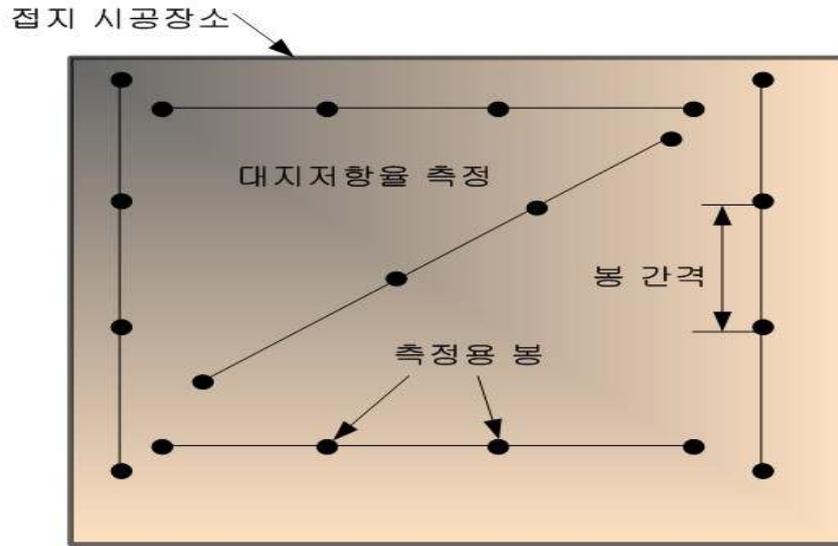


그림 2.8 대지저항률 측정 방향

표 2.2 대지저항률 측정 기록표

공간거리[m]	1		2		4		8		25		50		...	
	R	ρ	R	ρ	R	ρ	R	ρ	R	ρ	R	ρ	R	ρ
1회														
2회														
3회														
4회														
5회														

10. 접지계산서 예시

○○ 빌딩
접 지 계 산 서

○○ 설계사무소

1. 접지 그리드 입력 데이터

1) 접지망 포설길이 : 316.45[m]

2) 접지선 굵기 : 나동선 70[mm²]

3) 요구접지저항 : 2[Ω] 이하

4) 그리드 전류 : 600 [A]

2. 토양 데이터 : (대지저항률분석 참조)

대지 표면			상위층			하위층	
토양종류	비저항 [Ω·m]	깊이 [m]	토양종류	비저항 [Ω·m]	깊이 [m]	토양종류	비저항 [Ω·m]
	2500	0.1		204.12	1.47		589.93

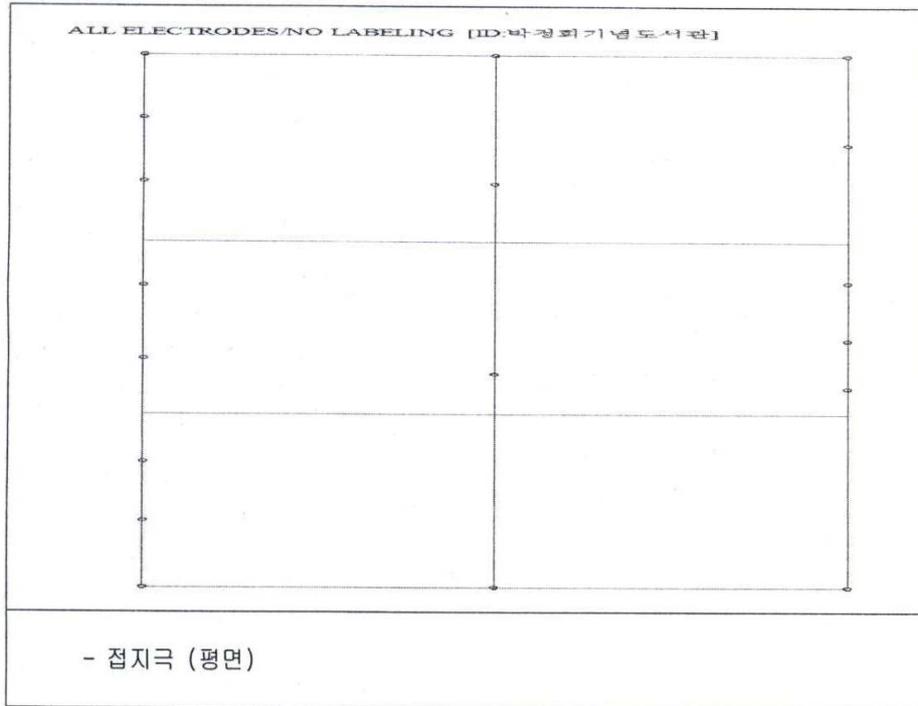
3. 접지봉 데이터

직경 [m]	길이 [m]	봉개수 [EA]	배열
0.26	1	18	그리드 전체배열

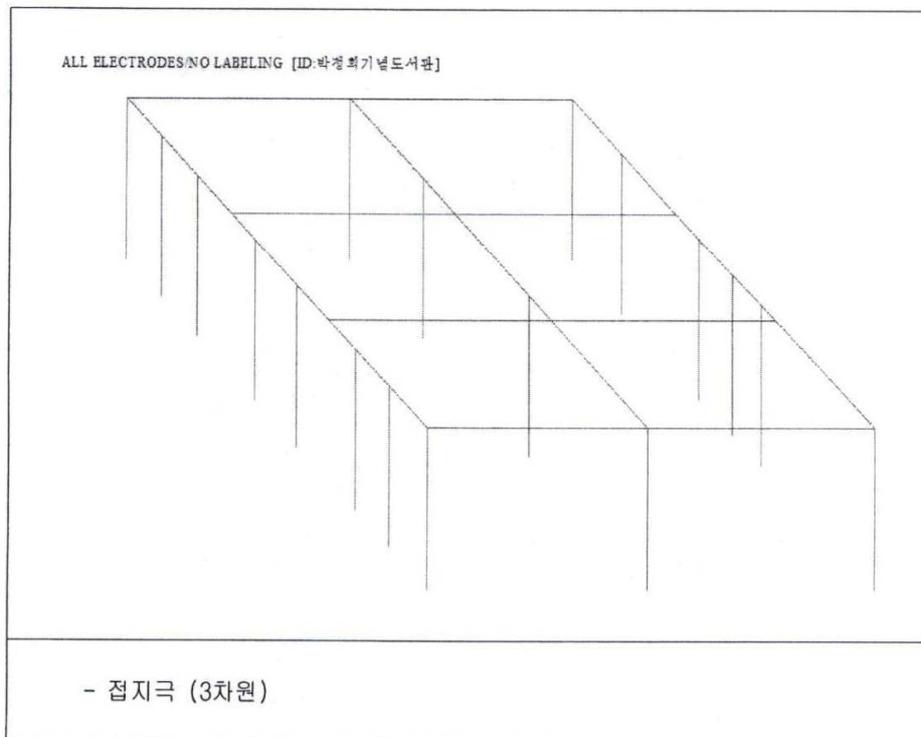
4. 시뮬레이션 결과

===== < G R O U N D I N G (SYSTEM INFORMATION SUMMARY) > =====	
Run ID.....	: 접지계산서
System of Units	: Metric(시스템의 단위는 미터)
Earth Potential Calculations.....	: Single Electrode Case(전체접지시스템의 대지전위 계산)
Mutual Resistance Calculations.....	: NO(타 접지시스템간의 상호저항의 계산은 안함)
Main Ground Resistance and GPR Calculations..:	: Representative Point Method(접지저항과 접지전압 계산)
Type of Electrodes Considered.....	: Main Electrode ONLY(주접지전극-하나의 접지 시스템)
Soil Type Selected.....	: Uniform or Two-Layer Horizontal(지질구조는 상지층, 하지층으로 설계반영)
SPLITS/FCDIST Scaling Factor.....	: 1.0000(대지 저항률의 지층분석)
EARTH PARAMETERS FOR HORIZONTALLY-LAYERED SOIL(수평토양구조 대지 파라미터)	
TOP LAYER RESISTIVITY =	204.12 ohm-meters(상지층의 대지저항률)
BOTTOM LAYER RESISTIVITY =	589.93 ohm-meters(하지층의 대지저항률)
REFLECTION COEFFICIENT =	0.4858 per unit(반사율)
TOP LAYER HEIGHT =	1.47 METERS(상지층의 두께)
* 반사율: 대지는 여러지층으로 구성되어 있다. 상지층과 하지층 중 어떤 지층이 좋은지를 분석해서 효율적이고, 경제적으로 설계하기 위해서 반사율을 적용	
CONFIGURATION OF MAIN ELECTRODE	
=====	
Original Electrical Current Flowing In Electrode...:	3000 amperes(최초 설계된 접지전극에 3000 amperes를 흘려보냄)
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)...	: 0.200 (전류의 기준계수)
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode...:	600 amperes(전극에 유입되는 전류)
Number of Conductors in Electrode.....	: 25 (전극도체의수-OMNI G-2:18, 나동선:7)
Resistance of Electrode System.....	: 2.9658 ohms(접지시스템의 접지저항)
SUBDIVISION	
=====	
Grand Total of Conductors After Subdivision.:	59(총 도체를 59등분으로 세분화해서 각각의 값(저항)들을 계산해서 합한 값이 접지시스템의 접지저항이다.)
Total Current Flowing In Main Electrode.....:	600 amperes(주전극에 흐르는 총전류는 600 amperes)
Total Buried Length of Main Electrode.....:	316.45 meters(주접지전극의 총 길이)
EARTH POTENTIAL COMPUTATIONS	
=====	
Main Electrode Potential Rise (GPR).....:	1779.5 volts(전극시스템에 600 amperes가 유입되면 접지시스템의 전압이 1779.5 volts가 되고 어느 지점까지 가면 대지 전위와 같은 "0" 전위가 되는 지점이 존재한다. 1779.5 volts와 "0" volts 두 기준점에 대한 접지시스템의 상승전위를 말함 (based on two representative points)

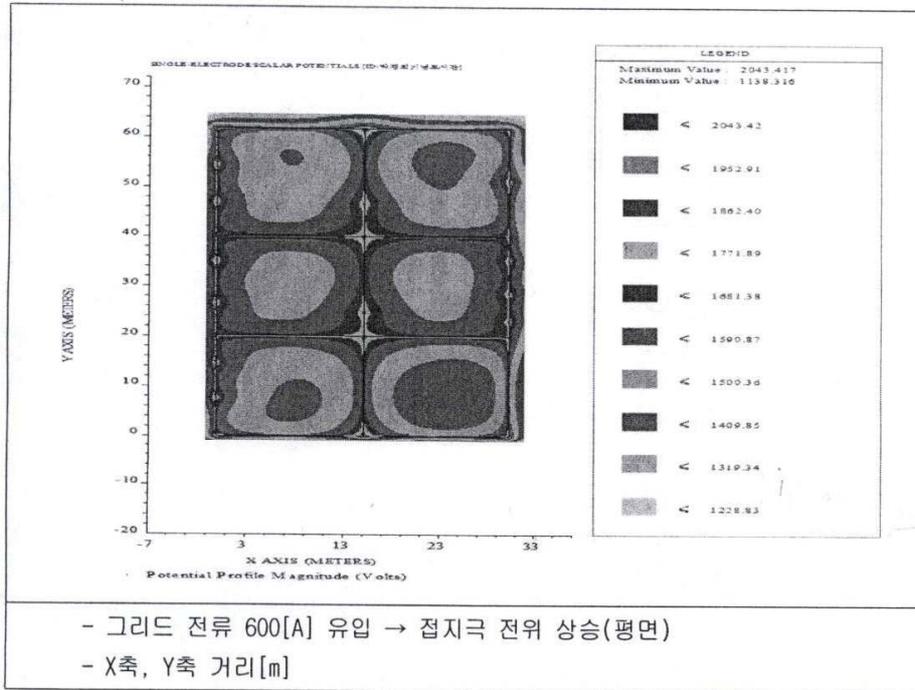
1) 설계구조(2D)



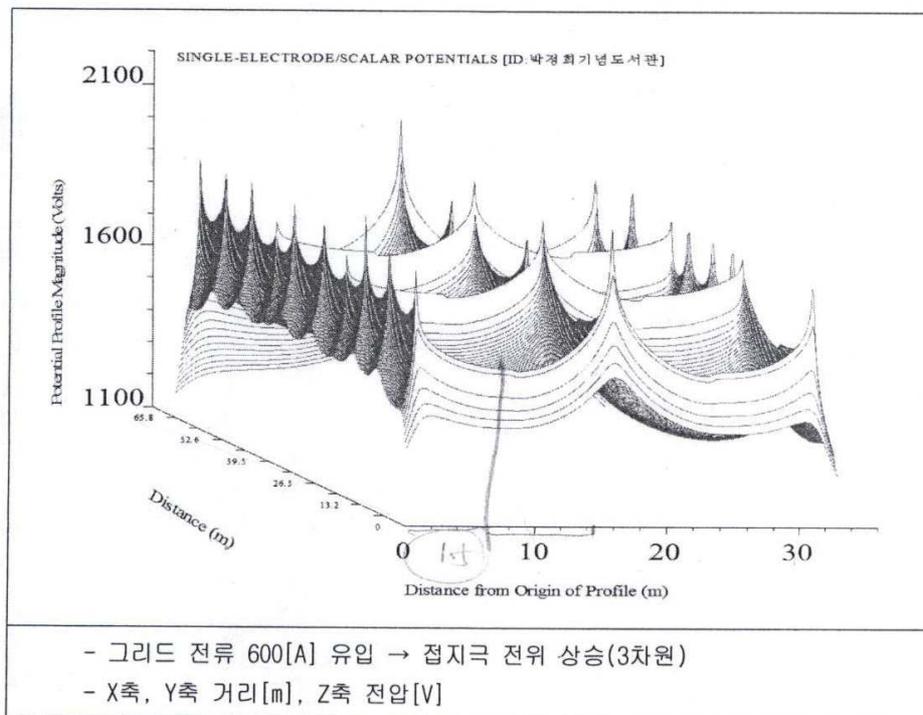
2) 설계구조(3D)



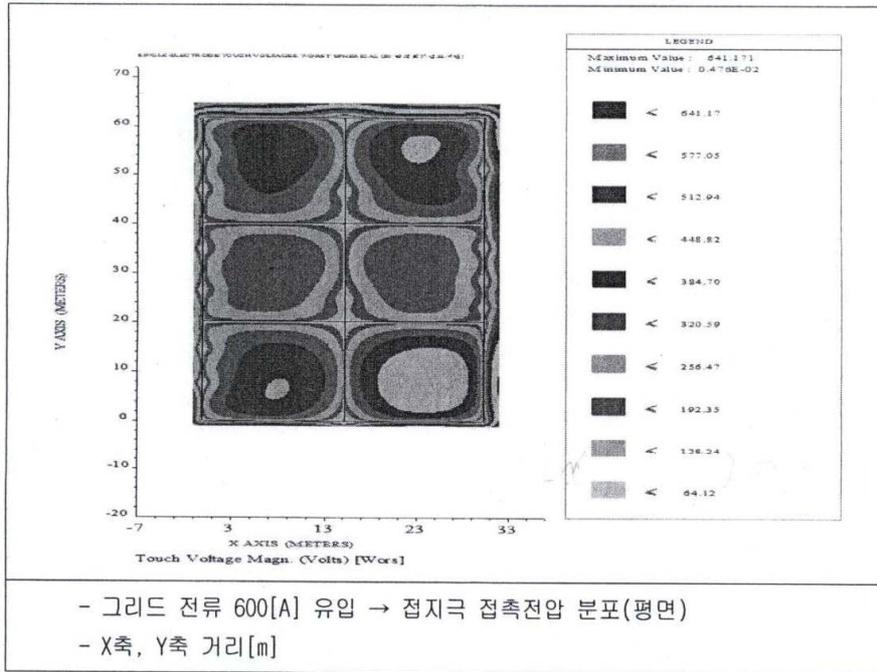
3) 접지 전위 상승(top view_color)



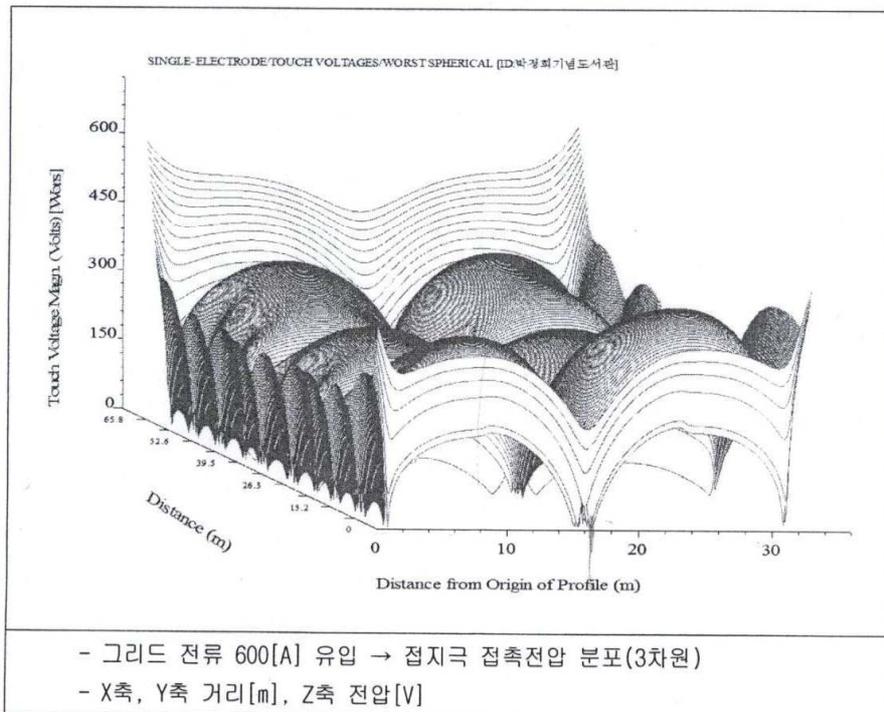
4) 접지 전위 상승(3D)



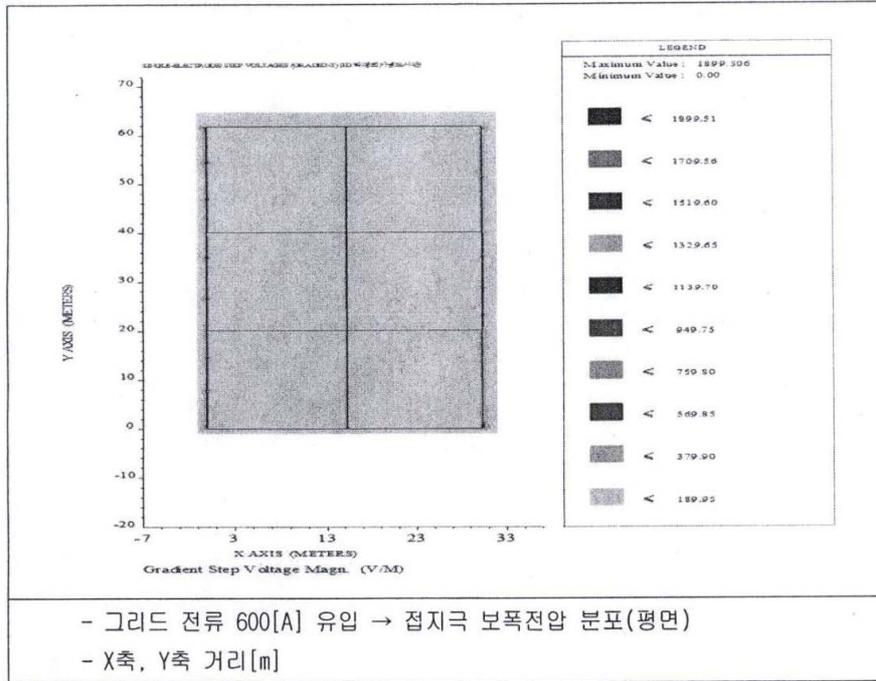
5) 접촉전압 분포(2차원)



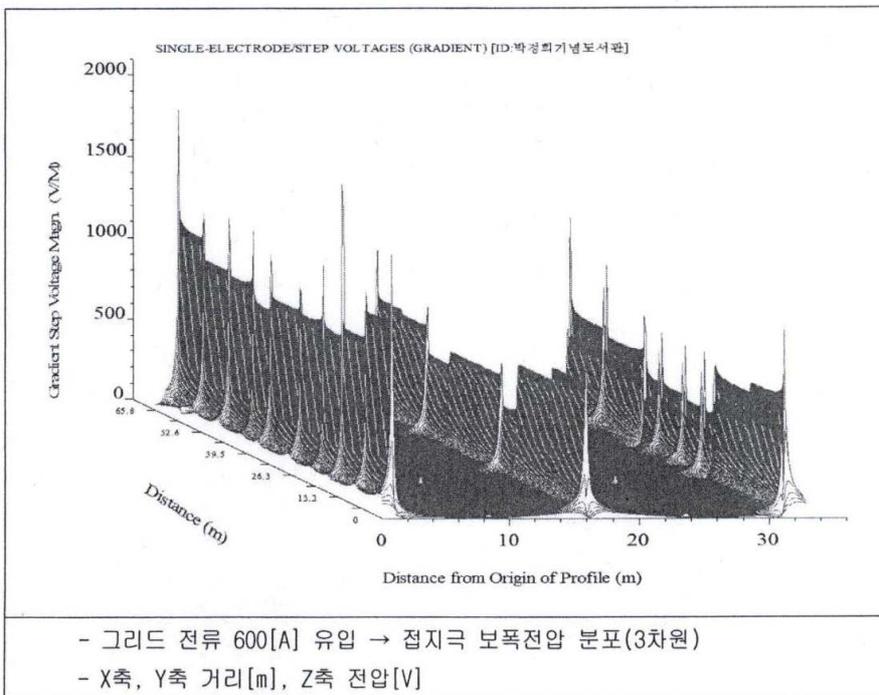
6) 접촉전압 분포(3차원)



7) 보폭전압 분포(2차원)



8) 보폭전압 분포(3차원)



[별첨] 22.9kV 수전설비 접지망의 제 계산 및 설계사례

1. 수전설비 접지설계의 기본 개념

접지설계는 다음 두가지 목적을 가지고 있다. 첫째는 정상 및 사고 상황 하에서 각종 기기의 운전 조건을 초과하거나 전력 공급을 중단하지 않고 전류를 대지에 안전하게 흘릴 수 있어야 하며, 둘째는 접지된 설비의 주위에 있는 사람이나 동물에 치명적인 전기적 충격을 줄 위험이 없어야 한다.

지락고장시 고장전류가 대지 속으로 흘러 들어가면 변전소의 구내 및 주변에 전위차가 발생하여 접지계 설계시 이에 대한 적절한 대책을 세우지 않으면 지락고장시 지표면에 발생하는 전위경도가 인체에 위험을 초래하게 된다. 특히 접지한 철구, 기기의 외함 또는 지지물과 부근 대지 위의 인체간에 위험한 전위차가 발생할 수 있다. 이와 같은 위험전위는 접지계의 구조, 접지지점 토양의 성분 및 균질성, 지락전류의 크기 및 지속시간, 인체의 전기적 특성 등 관계되는 요소가 많을 뿐만 아니라 그 특성이 복잡하고 불확실하여 정확한 계산은 어렵다. 그러나 이에 관한 실험연구 결과에서 얻은 많은 자료에 의해서 실용적으로 안전한 접지계 설계가 이루어 지고 있다. 특히 강조할 것은 낮은 접지저항치 만으로는 인체의 안전이 보장되지 않는다는 것이며, 접지된 시설물에 접촉하여도 안전하다고 생각해서는 안 된다는 것이다.

전 세계에서 변전소에 대한 접지설계의 지침서로 활용되고 있는 IEEE 80(2000) 「IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding」(이하 「IEEE 80」이라 한다)에서는 안전접지의 기본개념에 의한 수전설비에서의 접지계의 위험전압, 최대허용 안전전압, 지락전류, 접지도체의 굵기 선정, 접지저항, 최대대지전위상승 등에 대한 계산방법, 접지설계 절차 내용이 명시되어 있으며 세계 각국의 전력회사 및 관련단체에서 이를 이용하고 있다.

2. 접지망 구성

접지시스템은 다음과 같은 이유로 접지망(接地網, Ground grid)으로 구성한다.

가. 지락고장전류가 큰 계통에서는 접지계의 전위상승이 인체에 위험하지 않을 만큼 접지저항을 낮게 한다는 것은 불가능하다. 그러므로 인체에 대한 위험은 국부적인 전위조정(電位調定)으로서만 방지할 수 있으며, 접지망은 이런 목적에 가장 적합한 방법이다.

[주] ITE, 통신설비 및 대형 건축물에 대한 수전설비의 수변전실 접지저항 요

구치는 1~5Ω 정도로, 낮은 접지저항을 얻기 위해서는 접지망 구성이 필요하다. 또한 균등한 대지표면의 전위분포를 얻기 위해서는 망상접지극을 사용한 접지망을 구성하는 것이 일반적이다.

나. 접지망의 모양은 정방형(正方形) 또는 장방형(長方形)으로 하고, 일정한 간격 또는 지수함수 간격으로 배열하며, 접지망 외각도체의 모서리 부분은 접지도체를 추가하여 도체 간격을 조밀하게 시공 한다. 단, 가공지선, 변압기 중성점, 피뢰기의 접지점 또는 계기용 변압기와 변류기 등이 접속되는 곳에서는 높은 전위경도의 발생을 억제하기 위하여 접지도체를 추가하거나, 도체간격을 조밀하게 추가하여 시공할 수 있다. 접지망 모서리, 외각도체의 접속점, 접지망 내부에 있는 기기의 접지리드선 연결점, 변압기의 중성점, 가공지선 및 피뢰기의 접지점 등에는 접지봉을 타설하고 접지망에 접속시킨다.

다. 옥내형 변전소와 같은 제한된 부지의 변전소는 가능한 접지면적을 넓게 정하여야 낮은 접지저항치를 얻을 수 있다. 접지시스템은 접지망을 주 접지극으로, 접지봉을 보조 접지극으로 구성한다. 또한 건물이나 기초의 철골이나 철근콘크리트 내의 금속체, 금속제 수도관 등을 보조 접지극으로 활용할 수 있다.

라. 접지망과 건물철근 등의 건축물 구조체는 연결함을 원칙으로 하며, 건축물 구조체의 접지극 활용은 안전여유를 주기 위하여 접지저항 계산시 고려하지 않는다.

마. 토양의 고유저항은 토양의 온도와 습기함유량에 따라서 크게 변화하므로 접지도체는 최소한 동기(冬期)에도 얼지 않도록 접지망은 지표면 아래 0.75m 이상의 깊이로 매설한다. 또한 인체의 보폭전압과 접촉전압 허용치를 크게 하기 위하여 접지망이 포설된 지표면(또는 시멘트 슬라브) 위에 10cm 이상의 자갈 또는 절연매트(Mat) 등, 적절한 절연성능을 가진 재료를 포설한다.

바. 울타리(fence) 등의 감전방지대책

울타리는 보통 일반인이나 가축이 접촉될 수 있으므로 울타리 시설에 대한 접지는 매우 중요하다. 공통접지시스템에 있어서도 구역 경계부의 외측 근방에서 발생하는 전위경도에 의해서 인축(人畜)에 위험한 접촉전압이 될 우려가 있으므로, 울타리에서의 접촉전압은 계산된 최대허용접촉전압 이내에 있어야 한다. 보폭전압은 통상 울타리 주변에서 고려되지는 않지만 문제의 발생여부는 확인해야 한다. 이를 위한 감전방지대책이 시행되어야 한다.

3. 접지망의 제 계산

그림 A-1은 접지극에 지락전류가 유입시 접지극이 매설된 주변의 대지 표면에 나타나는 전위상승에 의한 감전 위험전압의 기본개념을 나타내고 있다.

접지도체의 전위상승(Earth Potential Rise, EPR)은 지락전류(I_G)와 접지저항(R_g)의 $I_G \times R_g$ 로 표시하며, 보폭전압(Step Voltage)은 발과 발사이(통상 1m로 간주)의 대지 표면의 전위차이며, 접촉전압(Touch Voltage)은 사람이 서 있는 발의 접지전위와 손을 뻗어 닿을 수 있는 거리(통상 1m로 간주)에 있는 접지된 기기와의 전위차를 말한다. 최대예상접촉전압은 접지망 내의 가장 낮은 지표면 전위와 접지도체의 EPR과의 전위차로서 망전압(Mesh Voltage)이라고도 말한다. 접지시스템이 접지망으로 구성되어 있는 경우 EPR, 접지저항, 발생하는 위험전압, 최대허용 보폭전압 및 접촉전압 등에 대한 계산식 및 허용치는 다음과 같다.

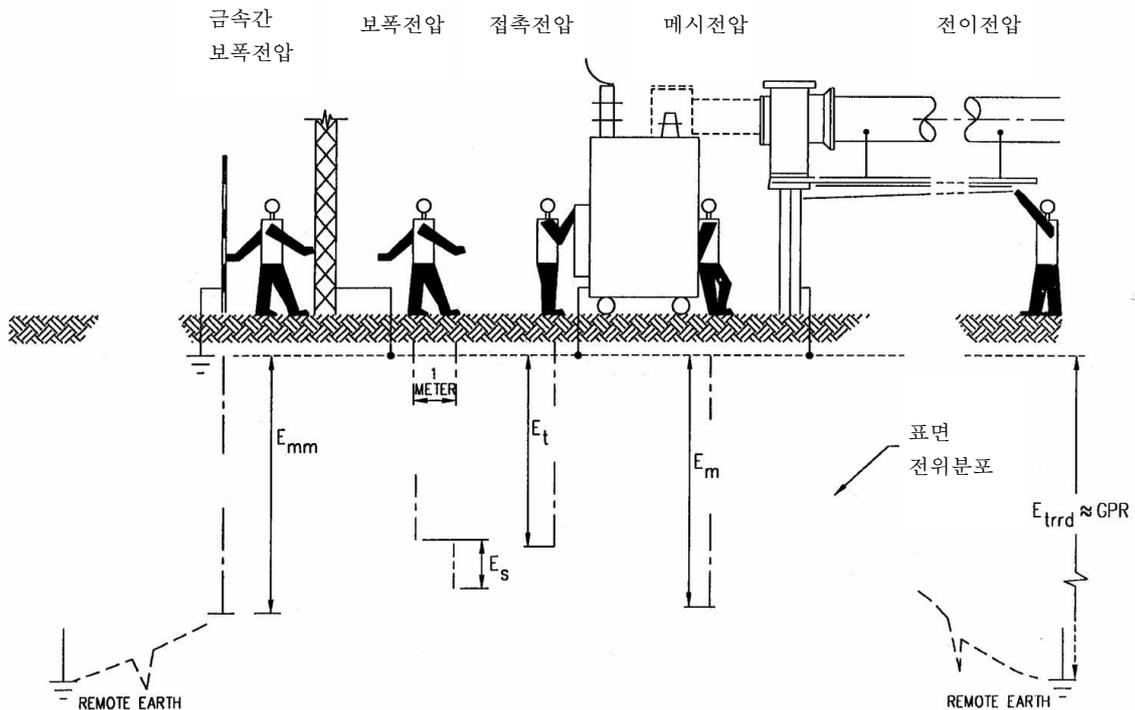


그림 A-1. 위험전압의 개념도 (IEEE Std 80 Fig 12)

가. 접지도체의 최대전위상승(EPR)은 다음과 같이 계산한다.

$$EPR = I_G \times R_g \text{ [V]} \quad \text{-----} \quad [1]$$

여기서, I_G : 접지망 유입전류[A], R_g : 접지망의 접지저항[Ω]

나. 접지망 유입전류(I_G)는 다음과 같이 계산한다.

$$I_G = \beta \cdot D_f \cdot C_p \cdot I_F \text{ [A]} \quad \text{-----} \quad [2]$$

여기서, β : 지락전류 분류계수(표 A-1 참조), D_f : 비대칭분에 대한 교정계수(표 A-2 참조), C_p : 장래의 계통확장계수(1.0~1.5), I_F : 1선 최대지락전류[A]로서 다음 식으로 계산한다.

$$I_F = 3 \times \frac{100}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \times \text{기준전류} = 3 \times \frac{100}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \times \frac{100,000 \text{ [kVA]}}{\sqrt{3} V \text{ [kV]}} \text{ [A]}$$

여기서, V : 선간전압[kV], Z_1, Z_2, Z_0 : 고장회로의 정상, 역상, 영상 %임피던스(100 MVA base)이며, Z_0 에서 지락저항은 0[Ω]으로 산정한다.

표 A-1. 지락전류 분류계수(β)

선로수 \ 접지저항	2개 이하	3~5개	6개 이상
3Ω 미만	0.2	0.15	0.1
3Ω 이상	0.17	0.12	0.1

표 A-2. 비대칭분에 대한 교정계수(D_f)

고 장 지 속 시 간		교정계수(D_f)
초	주파수(60Hz 교류)	
0.05	3	1.40
0.1	6	1.25
0.25	15	1.10
0.5 또는 그 이상	30 또는 그 이상	1.0

[주] 한전변전설계기준 2602(2000) 접지계 설계지침 표 1, 2참고

다. 접지망의 접지저항(R_g)

주로 접지망 포설면적과 대지고유저항의 크기에 따라 결정되며 계산식은 다음과 같다.

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \text{ [Ω]} \quad \text{-----} \quad [3] \text{ (IEEE 80 식 52)}$$

여기서, ρ : 대지고유저항[Ω · m], L_T : 접지계 총 도체길이[m], A : 접지망 포설면적[m²],

h : 접지망 매설 깊이[m]

라. 접지망 주변에서 발생하는 최대예상 접촉전압 E_m 및 보폭전압 E_s 는 다음과 같이 계산한다.

$$E_m = \rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot \frac{I_G}{L_M} \text{ [V]} \quad \text{-----} \quad [4] \text{ (IEEE 80 식 80)}$$

$$E_s = \rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot \frac{I_G}{L_S} \text{ [V]} \quad \text{-----} \quad [5] \text{ (IEEE 80 식 92)}$$

여기서, K_m : 최대예상접촉전압 산출을 위한 간격계수, K_i : 전위경도 변화에 대한 교정계수,

K_s : 보폭전압 산출을 위한 간격계수, I_G : 접지망 유입전류[A], L_S , L_M : 접지망 계수

1) K_m 의 값은 아래와 같이 계산한다.

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left\{ \ln \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right] \right\}$$

----- [6] (IEEE 80 식 81)

여기서, D : grid의 간격(m), h : 접지망 매설깊이(m), d : 도체의 직경(m), n : 접지망 형상계수, K_{ii} : 외각도체에 대한 내부도체의 보정계수로서 접지망 외각 또는 전체에 접지봉을 타설한 경우는 $K_{ii} = 1$, 상기 이외의 경우는 $K_{ii} = \frac{1}{(2 \cdot n)^n}$ 이다.

K_h : 매설 깊이에 따른 보정계수로, $K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}}$

여기서, h_0 : 접지망의 기준 매설깊이(1m)이다.

2) K_i 의 값은 다음과 같이 계산한다.

$$K_i = 0.644 + 0.148 \cdot n \quad \text{-----} \quad [7] \text{ (IEEE 80 식 89)}$$

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d \quad \text{-----} \quad [8] \text{ (IEEE 80 식 84)}$$

여기서, n_a : 공통계수 $n_a = \frac{2 \cdot L_c}{L_p}$

n_b : 정방향 접지망일 때 1, 그 외 경우는 $n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot \sqrt{A}}}$

n_c : 정방향 또는 직사각형 접지망일 때 1,

그 외 경우는 $n_c = \left(\frac{L_x \cdot L_y}{A} \right)^{\frac{0.7 \cdot A}{L_x \cdot L_y}}$

n_d : 정방형, 직사각형 또는 L형태 접지망일 때 1,

$$\text{그 외 경우 } n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}$$

L_C : 접지망 도체의 수평면 길이[m]

L_D : 접지망의 외각길이[m]

D_m : 접지망의 대각선 최대길이(T형 접지망의 경우)[m]

L_x : 접지망의 X축방향의 최대길이[m]

L_y : 접지망의 Y축방향의 최대길이[m]

3) K_s 의 값은 매설깊이에 따라 결정되며 아래와 같이 계산한다.

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right] \text{ ----- [9] (IEEE 80 식 94)}$$

4) 접지망 계수 L_M, L_S 의 값은 다음과 같이 계산한다.

$$L_M = L_C + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R \text{ ----- [10] (IEEE 80 식91)}$$

$$L_S = 0.75 \cdot L_C + 0.85 \cdot L_R \text{ ----- [11] (IEEE 80 식93)}$$

여기서, L_r : 접지봉 1개의 길이[m], L_R : 접지봉의 총 길이[m]

마. 최대허용 보폭전압 및 접촉전압은 다음과 같이 계산한다.

그림 A-2는 발과 발 사이의 전위차에 의한 사고의 경우 등가회로이며, 그림 3은 손과 다른 두 발간의 접촉을 나타내고 있는 사고의 경우 등가회로이다. 이들 회로에서 발과 발 사이에 걸리는 보폭전압과, 손과 두발사이에 걸리는 접촉전압은 다음과 같다.

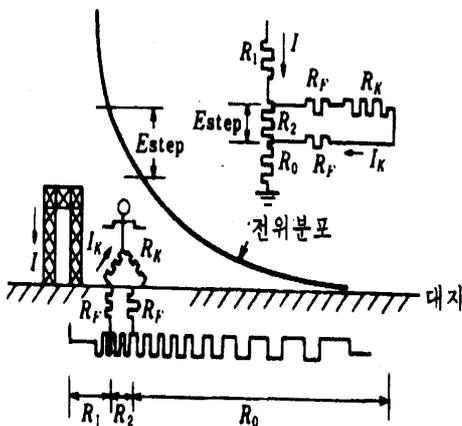


그림 A-2. 철구부근의 보폭전압 등가회로

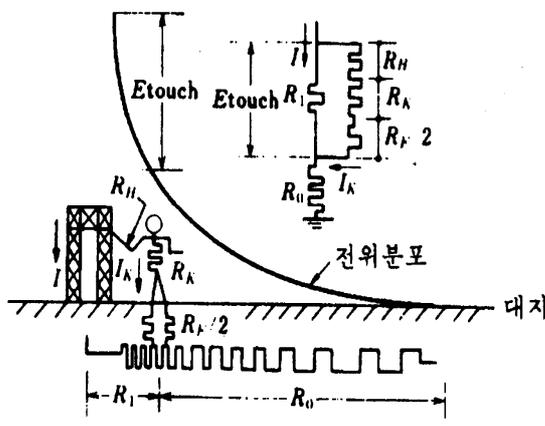


그림 A-3. 철구부근의 접촉전압

등가회로

(한전변전설계기준 2602 접지계 설계지침 그림 2, 3 참고)

$$\text{보폭전압} = (R_K + 2R_F) \cdot I_K \text{ [V]} \quad \text{-----} \quad [12] \quad (\text{IEEE 80 식28})$$

$$\text{접촉전압} = (R_K + \frac{R_F}{2}) \cdot I_K \text{ [V]} \quad \text{-----} \quad [13] \quad (\text{IEEE 80 식31})$$

여기서, I_K : 인체에 흐르는 전류[A], R_K : 두발 사이의 인체저항[Ω],
 R_F : 한쪽 발과 대지사이의 저항[Ω]

IEEE 80의 「7.1 Resistance of the human body」에서는 인체의 한손과 양발, 손과 손, 발과 발 사이 인체저항(R_K)을 1,000Ω으로 간주하며, 신발저항 및 손의 접촉저항은 무시하고 있다. 또한 IEEE 80의 「8.3 Step and touch voltage criteria」에서는 인체의 발은 직경 8cm의 금속성 원판전극과 등가로 간주하며, 대지표면(표토층)의 고유저항이 ρ_s 인 토양에서 두 발 사이의 인체저항 R_F 은 「3· C_s · ρ_s 」로 계산된다. 또한 인체허용전류는 표준체중이 50kg인 경우, 0.03~3초 범위에서 $\frac{0.116}{\sqrt{t_s}}$ 로 산정된다. 따라서 인체에 고장전류가 흐를 때 최대허용보폭전압(E_{step}) 및 최대허용접촉전압(E_{touch})은 다음과 같이 계산된다.

$$E_{step} = (R_K + 2R_F) \cdot I_K = (1,000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \text{ [V]} \quad \text{-----} \quad [14] \quad (\text{IEEE 80 식29})$$

$$E_{touch} = (R_K + \frac{R_F}{2}) \cdot I_K = (1,000 + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \text{ [V]} \quad \text{-----} \quad [15] \quad (\text{IEEE 80 식32})$$

여기서, I_K : 인체허용전류[A], C_s : 표토층의 두께와 반사계수에 의해 결정되는 감소계수, ρ_s : 표토층(表土層)의 고유저항률[Ω·m], t_s : 인체감전시간 [sec]

표토층 두께와 반사계수에 의해서 결정되는 감소계수 C_s 는 그림 A-4에서 구하며, 이때 사용되는 반사계수(K)는 아래 식에 의하여 계산한다.

$$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} \quad \text{-----} \quad [16] \quad (\text{IEEE 80 식21})$$

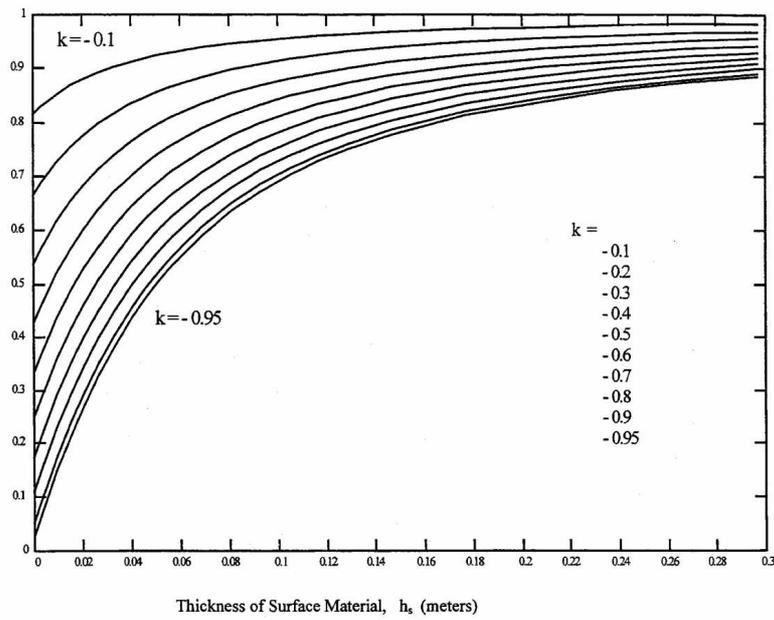


Figure 11— C_s versus h_s

그림 A-4. 감소계수 C_s 곡선 (IEEE 80 Fig 11)

수식에 의해 C_s 를 계산할 경우에는 아래 식에 의한다.

$$C_s = 1 - \frac{0.09(1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s + 0.09} \quad \text{-----} \quad [17] \text{ (IEEE 80 식27)}$$

4. 접지망 설계순서 및 설계사례

접지망 설계순서 및 설계사례는 다음과 같다.

가. 접지망 설계순서

1) 접지설계 흐름도

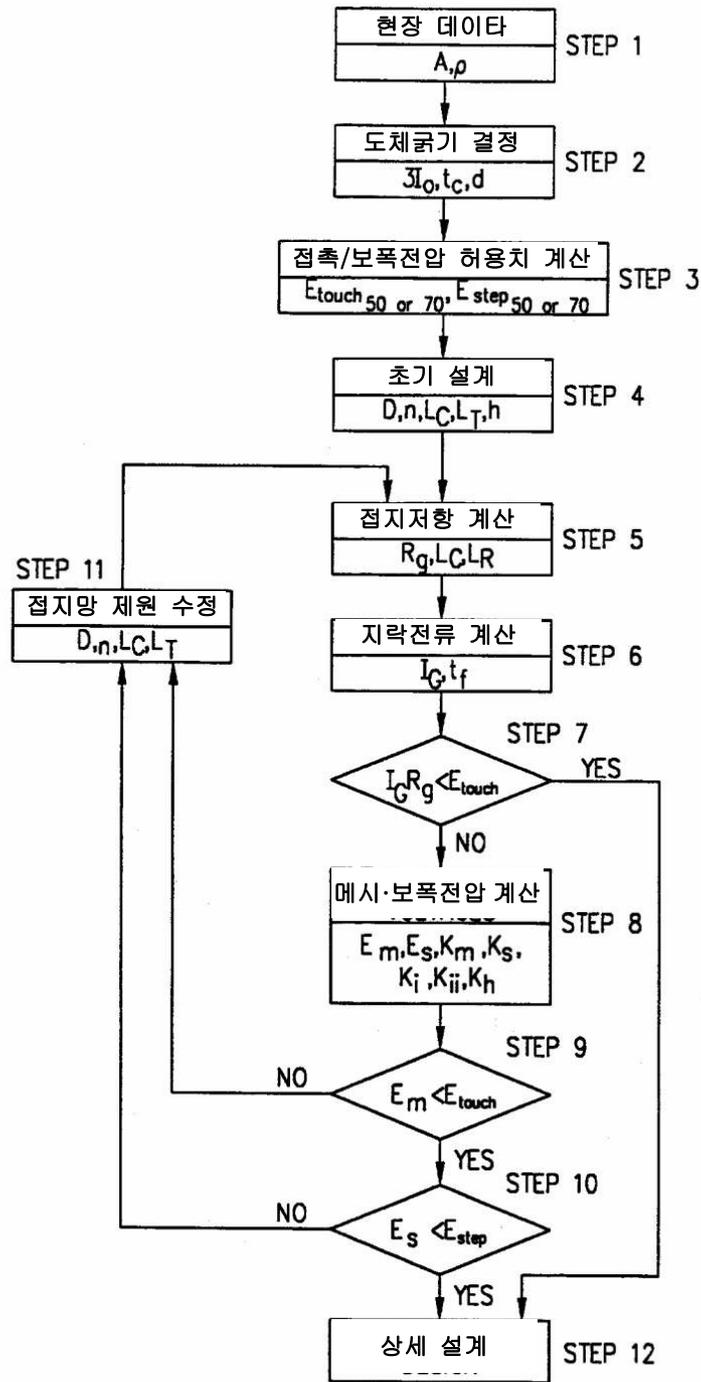


그림 A-5. 접지설계 흐름도(IEEE 80 Fig 33)

2) 접지설계자료 기호표

기 호	내 용
I_F	1선 최대지락전류[A]
I_G	접지망 유입전류[A]
ρ	대지 저항률[$\Omega \cdot m$]
ρ_s	대지표면(표토층)의 고유 저항률[$\Omega \cdot m$]
h_s	대지표면(표토층)의 두께[m]
C_p	장래의 계통확장 계수
C_s	표토층의 두께와 반사계수에 의해 결정되는 감소계수
t_c	접지도체 굽기 결정을 위한 고장전류 지속시간[s]
t_f	비대칭분에 의한 교정계수 결정을 위한 고장전류 지속시간[s]
t_s	인체안전 허용전류 계산을 위한 감전시간[s]
h	접지망 매설깊이[m]
d	접지망 도체의 직경[m]
A	접지망 포설면적[m ²]
D	접지망 그리드 간격[m]
D_f	접지망 유입전류[I_G] 계산을 위한 비대칭분에 대한 교정계수
n	접지망 형상에 따라 결정되는 계수
K_m	최대예상 접촉전압[E_m] 산출을 위한 간격계수
K_s	최대예상 보폭전압[E_s] 산출을 위한 간격계수
K_i	전위경도 변화에 대한 교정계수
K_{ii}	외각도체에 대한 내부도체의 보정계수
K_h	접지망 매설깊이에 따른 보정계수
L_C	접지망 도체의 수평방향의 총길이[m]
L_p	접지망의 외각길이[m]
L_r	접지봉 구성단위(1개소)의 길이[m]
L_R	접지봉 도체의 총길이[m]
L_T	접지계의 총길이($L_C + L_R$)[m]
L_x	접지망 X축 방향의 최대길이[m]
L_y	접지망 Y축 방향의 최대길이[m]
R_g	접지저항[Ω]
E_m	최대예상 접촉전압[V]
E_s	최대예상 보폭전압[V]
E_{touch}	최대허용 접촉전압[V]
E_{step}	최대허용 보폭전압[V]

3) 단계별 세부내용

- 1단계 : 수전설비의 수전실 기본배치도면에서 접지망 포설면적을 계산한다. 토양 자료의 조사 및 분석을 통하여 얻은 결과로부터 등가 대지 저항률을 구한다.

- 2단계 : 접지선의 굵기는 계산식에 의하여 산출한다. 1선지락전류 I_G 는 장래의 계통확장과 도체전류 분류율(α)을 감안하여 접지선이 견뎌야 할 최대값이다. 고장전류 지속시간 t_c 는 보호계전기의 후비보호를 포함하여 최대 고장 제거시간을 반영하여 1.0초로 한다.
- 3단계 : 최대허용접촉전압 및 최대허용보폭전압 허용치 계산은 식 [14], [15]에 의하여 계산한다. 이식에서 사용된 인체가 허용된 감전시간은 고장설비 차단장치의 고장제거시간을 감안하여 감전시간 t_s 를 0.5~1.0초 범위내의 값으로 한다.
- 4단계 : 초기설계에서 접지망 매설깊이 h 를 결정하고, 접지망 그리드 간격 D 를 정하여 1단계에서 구한 접지망 포설면적으로부터 접지망 1변 도체수 n 을 구하고, 접지계 도체의 총길이 L_T 를 구한다. 접지망 그리드 간격과 접지봉 타설위치는 지락전류 I_G 의 크기와 접지망이 포설된 면적을 감안하여 결정한다.
- 5단계 : 접지저항 계산식은 식 [3]에 의하여 계산한다.
- 6단계 : 지락전류 I_G 는 식[2]에 의하여 계산한다. 접지계의 과다설계를 방지하기 위하여 지락전류가 접지망을 통하여 원격대지로 흘러 들어가 보폭전압, 접촉전압 및 접지전위상승에 관계되는 전류분만을 설계에 반영한다. 그러나 최악의 고장위치와 조건, 비대칭분에 대한 교정, 장래의 확장을 고려하여야 한다.
- 7단계 : 예비설계에 의한 대지전위상승(GPR)이 허용접촉전압보다 낮으면 더 이상의 분석은 필요하지 않다. 단 기기 접지가 용이하도록 추가 접지도선이 필요하다. 만일 GPR이 허용접촉전압보다 높으면 8단계로 진행한다.
- 8단계 : 최대예상접촉전압 및 최대예상보폭전압의 계산은 간이 해석 방법인 식 [4]~[11]에 의해서 계산하며, 지표면 전위분포를 계산할 수 있는 컴퓨터 프로그램이 있으면 활용한다.
- 9단계 : 만일 최대예상접촉전압이 최대허용접촉전압보다 낮으면 다음 단계로 넘어가고, 그렇지 않으면 11단계로 넘어가 예비설계를 수정한다.
- 10단계 : 만일 최대예상보폭전압이 최대허용보폭전압보다 낮으면 기본적인 접지설계는 끝내고, 그렇지 않으면 11단계로 넘어가 예비설계를 수정한다.
- 11단계 : 최대예상접촉전압 및 최대예상보폭전압이 최대허용접촉전압 및 최대허용보폭전압보다 높으면 접지망의 그리드 간격 또는 매설깊이 등을 조정하고, 접지봉의 타설 개수를 증가시켜 접지계 도체의 총길이를 증가시키도록 예비설계를 수정한다. 만일 접지망과 접지봉을 증가시켜도 소요 접지저항을 얻을 수 없을 경우에는 접지망 포설면적의 증가 가능성여부, 별도의 접지보강 방법 사용, 자갈의 포설두께를 증가시키거나 절연성능이 좋은 재질로 변경하여 최대허용 접촉전압 및 보폭전압을

증가시킬 수 있는 방안을 검토한다.

- 12단계 : 접촉전압과 보폭전압 계산값이 요구치를 만족하면 본 설계에 들어간다. 접지할 기기의 근처에 접지도체가 설치되어 있지 않으면 접지도체를 추가로 설치하고, 가공지선, 피뢰기, 변압기 중성점 등의 하부에 접지봉을 추가로 타설하는 것을 검토한다. 또한 울타리 시설에 대한 접지공사를 설계한다. 접지설계가 제출되어 시공이 완료되면 접지저항을 실측하여 설계치와 크게 차이가 나면, 그 원인을 분석하고 실측저항치가 설계저항치보다 높으면 접지설계를 보강하여 재시공하여야 한다.

[비고] 울타리시설에 대한 접지공사는 CENELEC HD637 S1 Annex D 대책 M을 참고한다.

나. 22.9kV 수전설비의 수전실 접지망 설계사례 예시

1) 설계조건

- 수전설비 제원 : 수전전압/수전용량 22.9kV/1,500kW, 옥외 수전실
- 고장전류지속시간 t_c 및 인체감전시간 t_s : 1.0[초]
- 1선 최대지락전류 I_F : 8,000[A] (공급변전소 주변압기 154kV/22.9kV, 45/60MVA)

$$\begin{aligned}
 I_F &= 3 \times \frac{100}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + Z_f} \times \text{기준전류[A]} \\
 &= 3 \times \frac{100}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R_f} \times \frac{100,000[\text{kVA}]}{\sqrt{3} \times 22.9[\text{kV}]} \\
 &= \frac{756,300}{j32.2 + j32.2 + j32.2 + 3 \times 0} = \frac{756,300}{96.6} \approx 8,000[\text{A}]
 \end{aligned}$$

변압기 %임피던스[%리액턴스 $j14.5(100\text{MVA}$ 기준: $j14.5 \times \frac{100}{45} = j32.2$)]만 고려

- 지락전류분류계수 β : 0.1, 접지망도체 전류 분류율 α : 0.5
- 토양의 등가 대지 저항률 ρ : 100 [$\Omega \cdot \text{m}$],
부지의 자갈층 대지 저항률 ρ_s : 3,000 [$\Omega \cdot \text{m}$]

[주] 옥내 수전실의 경우, 토양에 매입된 콘크리트 블록은 대지저항률이 30~90[$\Omega \cdot \text{m}$] 정도이므로, 콘크리트 슬라브 위에 대지저항률이 3,000 [$\Omega \cdot \text{m}$] 정도의 암석편(巖石片)이나 절연매트 시설

※ IEEE 80 「14.6. Concrete-encased electrodes」 및 일본전기협회 평성11년(1999) 전기설비기술기준국제화위원회 보고서 참고

- 접지망 매설깊이 h : 0.8m, 수전실 부지의 자갈층 두께 : 0.1m
- 접지망 포설면적 A : $15 \times 15 = 225\text{m}^2$

[주] 건축전기설비설계기준(2005, 건설교통부) 제3장 「2.2 변전실의 면적」 $A = k \cdot (\text{변압기용량 kVA})^{0.7}$ 에서, k 는 1.4(특고압/저압 변환 추정계수), 변압기용량 1,500kW를 적용하는 경우 $A = 1.4 \cdot (1,500)^{0.7} \approx 225\text{m}^2$

2) 설계치 계산

o 1단계

- 현장자료 : 접지망 포설면적 $A = 225\text{m}^2$
- 토양의 등가 대지저항률 $\rho = 100 [\Omega \cdot \text{m}]$

o 2단계 : 접지선(나연동선) 굵기 계산

- 1선최대지락전류 $I_F = 8\text{kA}$
- 도체전류 분류율 $\alpha = 0.5$
- 고장전류지속시간 $t_c = 1.0\text{초}$,
- 20°C에서 저항온도계수 $\alpha_r = 0.00393$
- 20°C에서 접지도체의 고유저항률 $\rho_r = 1.72[\mu\Omega \cdot \text{m}]$
- 0°C에서 저항온도계수 역수 $K_0 = 234$
- 열용량계수 $\text{TCAP} = 3.42[\text{J}/(\text{cm}^3\text{C})]$
- 주위온도 $T_a = 40^\circ\text{C}$
- 최대허용온도 $T_m = 350^\circ\text{C}$ (압축접속인 경우)

$$A = I_F \cdot \alpha \sqrt{\frac{t_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r \cdot 10^4}{\text{TCAP} \cdot \ln\left[1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a}\right)\right]}} = 8 \cdot 0.5 \sqrt{\frac{1.0 \cdot 0.00393 \cdot 1.72 \cdot 10^4}{3.42 \cdot \ln\left[1 + \left(\frac{350 - 40}{234 + 40}\right)\right]}}$$

$$= 4 \times 5.11 = 20.46\text{mm}^2$$

∴ 도체의 굵기는 여유도, 기계적인 강도 및 설치 후 유지보수 등을 감안하여 100mm² 로 산정한다.

[주] 한전변전설계기준 2602에 의거 154kV 변전소의 경우 접지선 최소 굵기는 150mm²를 사용하고 있으며, 대한주택공사 전기·정보통신공사 접지상세도(3)~(4)에 의거 22.9kV급 수전설비의 제1종 접지공사 경우 접지선 굵기는 70mm²를 사용하고 있다. 실제 현장에서는 60~100mm²를 많이 사용하고 있다.

o 3단계 : 접촉 및 보폭전압 허용치 계산

- 토양의 등가 대지 저항률 $\rho : 100[\Omega \cdot \text{m}]$
- 부지의 자갈층 저항률 $\rho_s : 3,000[\Omega \cdot \text{m}]$
- 반사계수 $K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s} = \frac{100 - 3,000}{100 + 3,000} \div -0.94$
- 부지 자갈층 두께 $h_s : 0.1[\text{m}]$
- 감소계수 $C_s = 1 - \frac{0.09(1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2h_s + 0.09} = 1 - \frac{0.09(1 - \frac{100}{3,000})}{2 \cdot 0.1 + 0.09} = 0.7$
- 감전허용시간 $t_s : 1.0\text{초}$
- 최대허용보폭전압 $E_{step} : 1,578[\text{V}]$

$$E_{step} = (1,000 + 6 \cdot C_s \cdot \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} = (1,000 + 6 \cdot 0.7 \cdot 3,000) \frac{0.116}{\sqrt{1.0}} = 1,578[\text{V}]$$

- 최대허용접촉전압 $E_{touch} : 481[V]$

$$E_{touch} = (1,000 + 1.5 \cdot C_s \cdot \rho_s) \frac{0.116}{\sqrt{t_s}} = (1,000 + 1.5 \cdot 0.7 \cdot 3,000) \frac{0.116}{\sqrt{1.0}} = 481[V]$$

o 4단계 : 접지망 설계

- 접지망 포설면적 $A = 15 \times 15 = 225m^2$
 - 접지망 매설깊이 $h = 0.8m$
 - 접지망 그리드간격 $D = 5.0m$
 - 그리드 도체를 등간격으로 배치
 - 접지망 외각에 접지봉 $1.0m \times 2$ 개를 타설
- 예비 접지망은 그림 A-6과 같다.

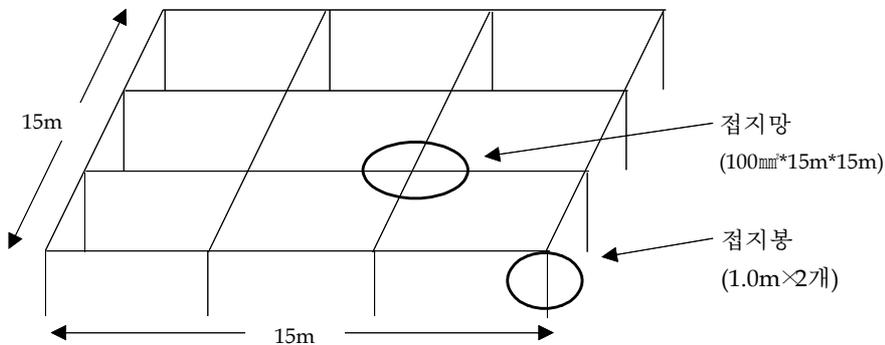


그림 A-6. 접지망 예비 구성도 1

- 접지망 수평도체길이 $L_C = (15 \times 4) \times 2 = 120m$
- 접지망 외각길이 $L_P = (15 + 15) \times 2 = 60m$
- 접지봉 구성 단위길이 $L_R = 2m$
- 접지봉 총길이 $L_R = 12 \times 2 = 24m$
- 접지망의 x축 방향의 최대길이 $L_X = 15m$
- 접지망의 y축 방향의 최대길이 $L_Y = 15m$

정방향(正方向) 접지망에서 접지망 형상계수 n 와 접지망계수 L_M, L_S 는 다음과 같이 계산된다.

$$n = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 = \frac{2 \cdot L_C}{L_P} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2 \cdot \frac{120}{60} = 4$$

$$L_M = L_C + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_R}{\sqrt{L_X^2 + L_Y^2}} \right) \right] L_R = 120 + 40 = 160$$

$$L_S = 0.75 \cdot L_C + 0.85 \cdot L_R = 0.75 \cdot 120 + 0.85 \cdot 24 = 110$$

o 5단계 : 접지저항 R_g 계산

- 접지망 포설면적 $A = 225\text{m}^2$
- 접지망 매설깊이 $h = 0.8\text{m}$
- 접지망 도체길이 $L_T = L_C + L_R = 120 + 24 = 144\text{m}$

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

$$= 100 \left[\frac{1}{144} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 225}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0.8\sqrt{\frac{20}{225}}} \right) \right] = 3.39[\Omega]$$

[주1] 한국전력공사에서는 균등한 대지표면의 전위분포, 허용보폭전압 및 접촉전압을 확보하기 위해서 154kV급 이상의 특고압 변전소의 신설 시 검수접지저항은 1Ω 이하로 접지설계를 하고 있다(한전 송변전건설기술자료 제2집“765kV 변전소건설공사 접지전위상승 및 접지저항 목표치”02. 참고).

[주2] IEEE 80의 14.1 및 IEEE 142의 4.1.2에서는 대규모 상업용건물, 빌딩 및 산업용 플랜트 변전소의 접지저항은 1~5Ω이 적합하다고 권장하고 있다.

o 6단계 : 접지망 유입전류 I_G 계산

- 접지망 유입전류의 산정은 식[2]에 의해서 다음과 같이 계산한다.

$$I_G = \beta \cdot D_f \cdot C_p \cdot I_F = 0.1 \times 1.0 \times 1.2 \times 8,000 = 960[\text{A}]$$

여기서, β : 지락전류분류계수, D_f : 비대칭분에 대한 교정계수(고장지속시간이 1.0초이므로 D_f 는 1.00), C_p : 장래의 계통확장계수

o 7단계 : 예비설계에 의한 대지전위상승(GPR)값 계산

- 대지전위상승값(GPR)은 다음과 같이 계산한다.

$I_G \times R_g = 960 \times 3.39 = 3,254.4[\text{V}]$ 이고, 최대허용접촉전압 $E_{touch} = 481[\text{V}]$ 로서 대지전위상승값(GPR)이 최대허용접촉전압보다 높으므로 8단계로 진행한다.

o 8단계 : 최대예상접촉전압 계산

- 계산은 간이 해석 방법인 식 [4]~[11]에 의해서 계산하며, 지표면 전위분포를 계산할 수 있는 컴퓨터 프로그램이 있으면 활용한다.

- 최대예상접촉전압 E_m

- 접지망 기준 매설깊이 $h_0 = 1.0\text{m}$

- 접지망 매설깊이 $h = 0.8m$ 이므로

$$\text{매설깊이에 따른 보정계수 } K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} = \sqrt{1 + \frac{0.8}{1.0}} = 1.342$$

- 외각도체에 대한 내부도체의 보정계수 $K_{ii} = 1$ (접지망에 접지봉을 타설)
- 접지선 $100mm^2$ 의 직경 $d=0.013m$, 그리드 간격 $D=5.0m$ 에서 간격계수 K_m 은

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left\{ \ln \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right] \right\}$$

$$= \frac{1}{6.28} \left\{ \ln \left[\frac{5^2}{16 \times 0.8 \times 0.013} + \frac{(5 + 2 \times 0.8)^2}{8 \times 5 \times 0.013} - \frac{0.8}{4 \times 0.013} \right] + \frac{1}{1.342} \ln \frac{8}{3.14(2 \times 4 - 1)} \right\}$$

$$= 0.738$$

- 전위경도 변화에 대한 교정계수 K_i 는 도체변수 n 을 대입하면

$$K_i = 0.644 + 0.148n = 0.644 + 0.148 \times 4 = 1.236$$

- ∴ 지금까지 구한 계수를 식4에 대입하여 최대예상접촉전압 E_m 을 구해보면

$$E_m = \rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot \frac{I_G}{L_M} = 100 \times 0.738 \times 1.236 \times \frac{960}{160} = 547[V]$$

- 9단계 : 최대예상접촉전압 E_m 과 최대허용접촉전압 E_{touch} 와 비교

- 최대예상접촉전압 최대허용접촉전압 비교

최대예상접촉전압 $E_m = 547[V]$ 이고, 최대허용접촉전압 $E_{touch} = 482[V]$ 로서 최대예상접촉전압이 최대허용접촉전압보다 높게 산정되므로 접지망 설계를 수정해야 한다. 따라서 11단계를 수행한다.

- 10단계

- 최대예상보폭전압 E_s 와 최대허용보폭전압 E_{step} 과 비교는 11단계 설계 수정 사항을 반영한 후 비교 검토한다.

- 11단계 : 설계 수정

허용접촉전압을 만족할 수 있도록 접지망을 수정하는 방법은 접지망의 도체간격, 접지도체의 길이, 매설깊이 등을 변경시키거나, 접지봉을 추가하는 방법이 있다. 부지 여건상 일반적으로 접지망 외각에 대해서 접지봉을 추가하거나(제1방안), 그리드 간격을 좁게 배치하는 방법(제2방안)이 사용된다. 제1방안과 제2방안에 대한 계산 사례를 비교 검토한다.

<제1방안>

- 1.0m×2 접지봉을 그림 A-7과 같이 접지망 외각 12개소에 추가(총48개)로 설치

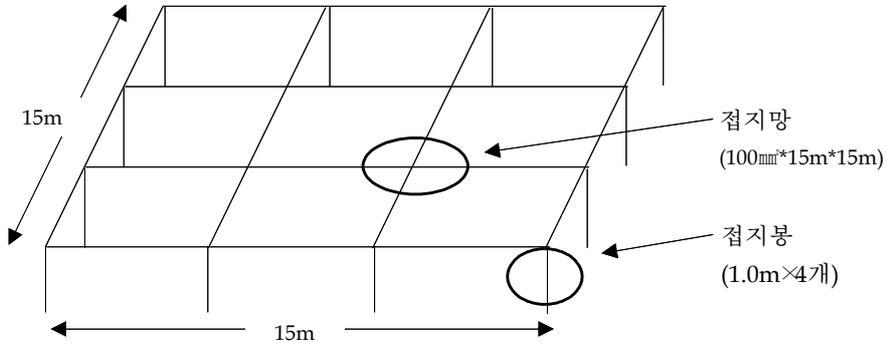


그림 A-7. 접지망 예비 구성도 2

- 접지망 형상계수 n 과 접지망 계수 L_M 은 다음과 같이 계산된다.

$$n = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 = \frac{2 \cdot L_C}{L_P} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2 \cdot \frac{120}{60} = 4$$

$$\begin{aligned} L_M &= L_C + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R \\ &= 120 + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{4}{\sqrt{15^2 + 15^2}} \right) \right] \times 48 \\ &= 120 + 85 = 205 \end{aligned}$$

- 접지저항값 R_g 는 도체총길이 $L_T = 120 + 12 \times (2 + 2) = 168[m]$ 로 증가되었으므로

$$\begin{aligned} R_g &= \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \\ &= 100 \left[\frac{1}{168} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 225}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0.8\sqrt{\frac{20}{225}}} \right) \right] = 3.29[\Omega] \end{aligned}$$

- 최대접촉예상전압 E_m 계산

간격계수 K_m 은 그리드 간격의 변화가 없고, 외각에 접지봉을 타설하여 7단계와 동일 : $K_m = 0.738$

전위경도 변화에 대한 교정계수 K_i 는 도체변수 n 의 변화가 없으므로 7단계와 동일 : $K_i = 1.236$

지금까지 구한 계수를 식 4에 대입하여 최대예상접촉전압 E_m 을 구해보면

$$E_m = \rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot \frac{I_G}{L_M} = 100 \times 0.738 \times 1.236 \times \frac{960}{205} = 427[V]$$

∴ 최대접촉예상전압이 427V로, 최대허용접촉전압 482V보다 낮으므로 12 단계를 수행한다.

<제2방안>

- 그리드간격을 5.0m → 3.0m로 좁게 배치

접지망그리드간격 D = 3.0m, 등간격으로 배치하고, 접지망 외각에 접지봉 1.0m×2개를 타입하면, 예비 접지망은 그림 A-8과 같다.

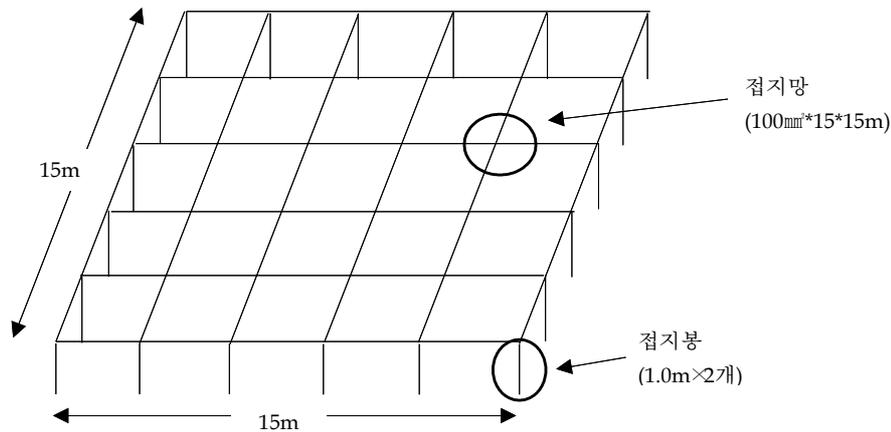


그림 A-8. 접지망 예비 구성도 3

- 접지망 형상계수 n 과 접지망 계수 L_M 은 다음과 같이 계산된다.

도체의 총길이 $L_T = L_C + L_R = (15 \times 6) \times 2 + 20 \times 2 = 220 [m]$

$$n = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 = \frac{2 \cdot L_C}{L_p} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2 \cdot \frac{180}{60} = 6$$

$$L_M = L_C + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \right) \right] L_R$$

$$= 180 + \left[1.55 + 1.22 \left(\frac{2}{\sqrt{15^2 + 15^2}} \right) \right] \times 40$$

$$= 180 + 67 = 247$$

- 접지저항값 R_g 는 도체의 총길이 $L_T = 120 + 12 \times (2 + 2) = 168 [m]$ 로 증가되었으므로

- 접지저항값 R_g 는

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$$

$$= 100 \left[\frac{1}{220} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot 225}} \left(1 + \frac{1}{1 + 0.8\sqrt{\frac{20}{225}}} \right) \right]$$

$$= 3.14[\Omega]$$

- 최대예상접촉전압 E_m 계산

그리드간격이 3m이고 접지망에 접지봉을 타설하였으므로 $K_{ii} = 1$, 간격 계수 K_m 은

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left\{ \ln \left[\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot d} + \frac{(D+2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot d} - \frac{h}{4 \cdot d} \right] + \frac{K_{ii}}{K_h} \cdot \ln \left[\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right] \right\}$$

$$= \frac{1}{6.28} \left\{ \ln \left[\frac{3^2}{16 \times 0.8 \times 0.013} + \frac{(3+2 \times 0.8)^2}{8 \times 3 \times 0.013} - \frac{0.8}{4 \times 0.013} \right] + \frac{1}{1.342} \ln \frac{8}{3.14(2 \times 6 - 1)} \right\}$$

$$= 0.57$$

• 전위경도 변화에 대한 교정계수 K_i 는 도체변수 n 을 대입하면

$$K_i = 0.644 + 0.148n = 0.644 + 0.148 \times 6 = 1.532$$

• 지금까지 구한 계수를 식 4에 대입하여 최대예상접촉전압 E_m 을 구

해보면

$$E_m = \rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot \frac{I_G}{L_M} = 100 \times 0.57 \times 1.532 \times \frac{960}{247} = 339[V]$$

∴ 최대접촉예상전압이 339V로, 최대허용접촉전압 482V보다 낮으므로 12단계를 수행한다.

o 10단계 : 최대예상보폭전압 E_s 와 최대허용보폭전압 E_{step} 과 비교

- 상기 제1, 2방안 모두 최대예상접촉전압이 최대허용접촉전압을 만족한다. 현장에서 비교적 시공이 용이한 제1방안의 “접지봉 추가”에 의한 방법을 적용한 경우 E_s 를 계산한다.

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

$$= \frac{1}{3.14} \left[\frac{1}{2 \times 0.8} + \frac{1}{5+0.8} + \frac{1}{5} (1 - 0.5^2) \right] = 0.302$$

$$K_i = 0.644 + 0.148n = 0.644 + 0.148 \times 4 = 1.236$$

$$L_s = 0.75L_c + 0.85L_r = 0.75 \times 120 + 0.85 \times 48 = 131$$

지금까지 구한 계수를 식(5)에 대입해서 최대예상보폭전압 E_s 을 계산하면

$$E_s = \rho \cdot K_s \cdot K_i \cdot \frac{I_G}{L_s} = 100 \times 0.302 \times 1.236 \times \frac{960}{131} = 274[V]$$

∴ 최대예상보폭전압이 274[V]로, 최대허용보폭전압 1,578[V]보다 적어 안전조건을 만족하므로, 접지망 설계는 시공성이 간편한 제1방안을 채택한다.

○ 접지망 최대전위상승 EPR과 저압 기기류의 허용 내전압 비교

- 접지망유입전류 I_G , 접지망 저항 R_g 를 대입해서 EPR를 계산하면 다음과 같다.

$$EPR = I_G \times R_g = 950 \times 3.29 = 3,158 \text{ [V]}$$

[주1] 일본전력회사의 경우 전원측 변전소 접지설계시 EPR의 한계값은 배전반·저압전동기·통신기기본체가 1,500V/1분, 저압케이블이 2,000V/1분 등이다. 실제로는 지락고장시 차단시간은 1초 이하 이므로 상기 값의 2~3배의 전압이 허용되고 있다(일본전기학회기술보고 “보안용접지기술조사연구보고”제951호, 2002.1 참고).

[주2] 국내의 경우 전원측 변전소 접지설계시 EPR에 대한 기준은 산정되어 있지 않으나, 전기용품안전기준 K 60335-1, 16(누설전류 및 절연내력 2000.4)에서 가정용 및 이와 유사한 전기기기 경우, 절연내력 시험전압치는 1,250~2,500/1분 등으로 규정되어 있다. 지락고장시 차단기의 차단시간은 일반적으로 1초 이하[한전배전선로의 보호계전기 정정지침(배전처, 1995)에서 OCGR의 한시정정값은 0.5초 이하로 정정]이고, 전원측 변전소의 주변압기에 NGR(한류리액터 $j0.4 \sim 0.6\Omega$)을 운전하고 있으므로 최대지락전류는 5,000~6,000A 수준으로 유지된다. 이에 따라 EPR은 2,400V 수준으로 낮아지므로 저압 기기류의 허용 내전압은 최악의 조건인 전원측 공급변전소 인근 수전설비의 EPR에 대해서도 안전하다고 추정된다.

o 12단계 : 상세 설계

- 접촉전압과 보폭전압 계산값이 요구치를 만족하였으므로, 상세설계에 들어간다. 접지할 기기의 근처에 접지도체가 설치되어 있지 않으면 접지도체를 추가로 설치하고 가공지선, 피뢰기, 변압기 중성점등의 하부에 접지봉을 추가로 타설하는 것을 검토한다.
- 울타리 설비에 대한 접지설계는 현장여건을 고려해서 CENELEC HD 637 S1 Annex D 대책 M을 참고해서 시행한다.

전술한 계산에 의하여 한전측 변전소의 인근 22.9kV 배전선로에서 수전하는 1,500kVA급 옥외수전설비 변전소의 접지망의 설계결과를 요약하면 다음과 같다.

- 접지망의 접지도체 굵기 : 나연동선 100mm²
- 접지망의 포설면적/매설깊이 : 15×15 = 225m² / 0.8m
- 접지망 외각부분의 접지봉 굵기·길이·수량 : (14mm × 1.0m) × 48개
- 접지저항 계산치 : 3.29 [Ω]
- 최대허용접촉전압/최대예상접촉전압 : 482/427 [V]
- 최대허용보폭전압/최대예상보폭전압 : 1,578/274 [V]
- 접지망 전체의 최대 대지전위상승값(EPR) : 3,158 [V] (NGR 운전시는 2,408V)
- 접지망 구성도는 그림 A-9와 같다.

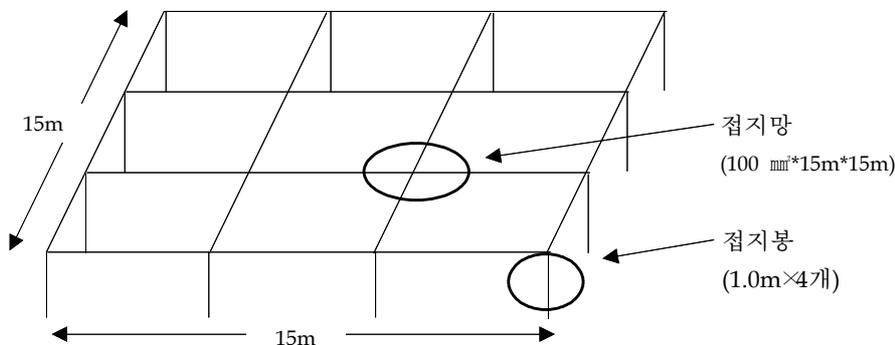


그림 A-9. 22.9kV 1,500kVA급 옥외 수전설비 변전소 접지망 구성도