

지중 전선로의 기준 및 접지공사에 대한 비교·분석 ②

글/김삼수

한국전기안전공사 부설 전기안전시험연구원

현재 배전설비는 대부분 가공선으로 되어 있으나 대도시에서는 안전 등의 문제로 더욱 확대되어 지중 배전설비가 증가하고 있다. 배전선을 지중화로 하는 목적은 전력설비의 고신뢰성 확보 및 설비의 현대화, 도심지 부하밀도 증가와 위해(危害)시설 제거·보완, 관광지 및 국제행사장 등 중요지역의 미관확보, 가공전선로 건설 곤란 장소(다회선, 장경간, 철도, 고속도로 횡단 등), 관련 법규의 제약(도로법, 하천법, 공원법 등) 등으로 송·배전 계통에 지중전선로를 시설하고 있다.

본고에서는 지중전선로 공사방법 및 케이블공사 종류, 매설깊이 및 이격거리의 기준, 케이블의 접지공사 방법 등에 대하여 외국의 예를 들어 비교·분석하고자 한다.

2. 케이블 접지방식

2.2 편단 접지방식

케이블 노선(Route)의 편단에서 금속 차폐층을 접지하고 다른 쪽의 편단을 접지하지 않는 방식으로 그림 5와 같다.

이 방식은 금속 차폐층에 유도전압은 발생되지만 대지와 폐회로가 형성되지 않기 때문에 순환전류와 전력손실이 발생되지 않는다. 상시 편단측에 유도전압은 케이블 길이에 비례하므로 장경간(長徑間)인 경우 높은 전압이 유도되어 적용하지 않고 비교적 짧은 선로에 적합하다.

일반적으로 접지하지 않는 측에서 유기전압을 방전하지 않지만 서지(Surge)가 침입하였을 때 이상전압이 발생되어 피뢰기, 방직층 보호장치 등을 설치하여 고장시 이상전압 등으로부터 외장을 보호하는 방식을 채용하고 있다.

발·변전소의 인출구가 단거리선로 또는 통신선로가 충분히 이격되어 포설된 경우 등에 사용되며 단점은 비접지된 차폐층에서 유기된 유도전압에 의한 감전사고의 위험이 많다

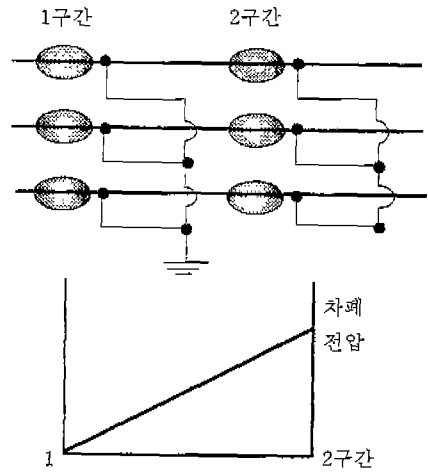


그림 5 편단 접지방식

2.3 크로스 본딩방식

크로스 본딩방식(Cross Bonding System)은 케이블 길이를 3등분하여 3상의 차폐선을 절연 접속함을 통해 연가하면 차폐전압의 벡터합(Vector Sum)

이 영(Zero)이 되어 접지간 거리의 균형이 불평형 되어도 차폐손실을 저감할 수 있으며, 단심 케이블의 구간 길이가 긴 경우 접지전위를 낮출 수 있어 대단히 유리한 방식으로 단심 케이블에서 접지구간이 3구간 이상인 경우 적용되며, 그림 6은 정삼각형 포설시 각 상의 유기전압을 나타내고 있다.

크로스 본딩방식에서 케이블 배열방법에 따라 각 상의 차폐 유기전압은 표 6과 같이 계산되며, 합성 차폐 유기전압은 식 1과 같이 $V_s = E_A + E_B + E_c = 0[V]$ 가 된다.

$$V_s = \frac{X_m}{2} (-j - \sqrt{3}) I_B + j X_m I_B + \frac{X_m}{2} (-j + \sqrt{3}) I_B = 0 \quad (\text{식 1})$$

그러나 실제 선로정수는 평형이 곤란하므로 유기전압을 0으로 하기 어렵다.

즉, 시설장소의 포설방법, 토양, 주변여건 등이 상이하여 동일하지 않다. 따라서 3상 케이블 사용이 가장 이상적이며, 이것이 곤란하면 정3각형으로 포설하는 것이 좋다.

또한, 단상케이블을 양단 접지방식으로 접지하고 연가 등으로 3상 합성전위를 0으로 할 경우 차폐 상호간의 순환전류는 각상의 전위를 차폐 임피던스로 나눈 값의 순환전류가 발생된다.

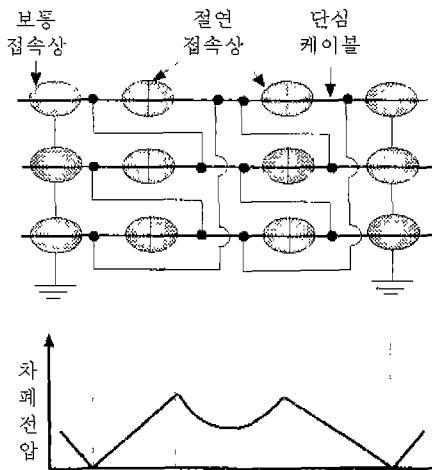


그림 6 크로스 본딩 접지방식

3. 차폐 유기전압 및 차폐 접지의 효과

3.1 차폐 유기전압

고압 및 저압 케이블은 보통 금속 차폐층(금속 외장이나 동테이프)으로 구성되어 있어 케이블에 전류가 흐른 경우 전자유도에 의해 발생하는 유지전압은 금속 차폐층 도체에 흐르는 전류의 크기에 비례하고 거리에 반비례하는 전압이 유기된다.

이 전압은 전력손이 적고, 인체의 위험이 없는 낮은 전압이 되도록 접지방식을 선택하여야 하며 다음과 같다.

$$E = \sum j X_m I \times 10^{-4} [V/km]$$

여기서

$$X_m = 4\pi f \log_e \frac{S}{R} \times 10^{-4} [\Omega/km]$$

(도체와 차폐 상호 리액턴스)

S : 케이블 중심거리[mm]

R : 금속 차폐 평균 반경[mm]

I : 통전 전류[A]

차폐 유기전압의 각극의 허용값은 표 7과 같으며, 우리나라는 인체에 대한 안전과 단락 사고시 방식층 절연파괴만을 고려하여 30~60V(보통 50V) 이하로 제한하고 있다.

3.2 차폐 접지의 효과

금속 차폐의 양단을 접지할 경우 심선과 접지간의 전위차는 차폐없는 케이블에 비해 1/10 이하로 저감된다.

금속 차폐 효과는 유기도선과 조작 케이블이 수백m로 병행시 문제가 발생되지만, 충격파일 때는 그림 7(a)와 같이 접지선과 케이블의 자기 서지 임피던스(Magnetic Surge Impedance)에 의해 위험한 전압이 유기된다. 즉, 접지전류의 파고치가 1[A]당 유기전압은 0.5~2[V]가 유기된다.

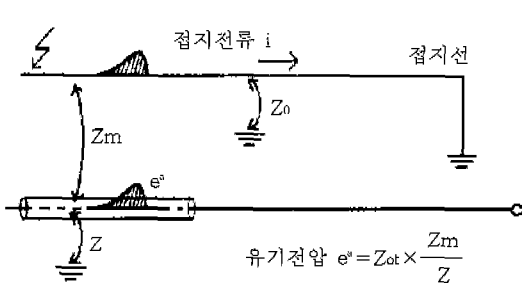
또한 금속 차폐가 있을 경우는 그림 7(b)와 같이 양단접지를 하면 사고전류 분산과 유기전압 저감이 가능하며, 금속 시즈의 양단접지가 불가능한 경우는 절연내력이 낮은 기기가 접속되어 있는 곳을(단, 충격전류 유입예상 지점의 반대의 배전반 측에) 접지한다.

표 6 각종 배열형태에 따른 차폐선의 유기전위 계산식

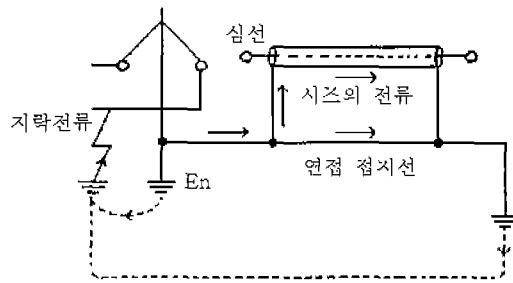
배 열		차폐 전위(Sheath Voltage)[V/km]		
		E _A	E _B	E _C
Ⓐ Ⓑ	단 상	$-jX_m I_B$	$jX_m I_B$	-
Ⓐ Ⓑ Ⓒ	정 삼각형	$\frac{X_m}{2} (-j - \sqrt{3}) I_B$	$jX_m I_B$	$\frac{X_m}{2} (-j - \sqrt{3}) I_B$
Ⓐ Ⓑ Ⓒ	3조병렬	$\frac{1}{2} \{j(-X_m + a) - \sqrt{3} Y\} I_B$	$jX_m I_B$	$\frac{1}{2} \{j(-X_m + a) - \sqrt{3} Y\} I_B$
Ⓐ Ⓑ Ⓒ	직각 1	$\frac{1}{2} \{j(-X_m + \frac{a}{2}) - \sqrt{3} Y\} I_B$	$jX_m I_B$	$\frac{1}{2} \{j(-X_m + \frac{a}{2}) - \sqrt{3} Y\} I_B$
Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓒ Ⓑ Ⓐ	3조(1) 병렬2단	$\frac{1}{2} \{j(-X_m + \frac{b}{2}) - \sqrt{3} Y\} I_B$	$jX_m I_B$	$\frac{1}{2} \{j(-X_m + \frac{b}{2}) - \sqrt{3} Y\} I_B$
Ⓐ Ⓑ Ⓒ Ⓐ Ⓑ Ⓒ	3조(2) 병렬2단	$\frac{1}{2} \{j(-X_m + \frac{b}{2}) - \sqrt{3} Y\} I_B$	$jX_m I_B$	$\frac{1}{2} \{j(-X_m + \frac{b}{2}) - \sqrt{3} Y\} I_B$
Y부호		3조 병렬 : $X_m + a$, 직각 : $X_m + \frac{a}{2}$. 3조 병렬2단 : $X_m + a - \frac{b}{2}$ [(2) $\frac{b}{2}$ 부호가 -]		
비 고		$a = 2w \log_e 2 \times 10^{-1} [\Omega/\text{km}]$ $b = 2w \log_e 5 \times 10^{-1} [\Omega/\text{km}]$ $X_m = 2w \log_e \frac{S}{r_m} \times 10^{-1} [\Omega/\text{km}]$ (도체와 차폐층과의 상호 리액턴스). S : 케이블 중심간 거리[m], r_m : 차폐 평균반경[m]		

표 7 차폐 유기전압 제한값

국 명	상시 유기전압 허용값		비 고
한 국	50V(100V)		노동위생안전기준
일 본	50V~100V		전력회사에서 결정
영 국	132kV계통 이하	65V	최대 평형 부하시
	275kV계통 이하	150V	
부 미	50V~100V		전력회사에서 결정



(a) 충격전류에 의한 유도전압



(b) 양단 접지시 사고전류 분산

그림 7 충격파의 유도전압 및 사고전류

4. 지중설비 접지공사

지중설비는 전력케이블 및 지중 배전용 기기로 구분되며 배전용 전력케이블의 형태는 케이블에 3상의 전력선을 일괄한 3심형 케이블과 한 상의 전력선으로 구성된 단심형으로 분류된다.

우리나라 지중 배전계통에서 모두 단심형 케이블을 사용하며 22.9KV-Y의 인입선은 동심중성선 전력케이블(CNCV)을 많이 사용하고 있다. 각 항목별 접지방법을 현장에서 쉽게 적용할 수 있도록 지중설비의 접지공사에 대하여 알아본다.

4.1 일반사항

- 동일개소의 두 종류이상 접지할 경우 낮은 축 접지로 타 접지공사를 겸용이 가능하다.
- 맨홀내의 접지는 일반적으로 2개소 이상을 제1종 접지로 하며, 합성저항은 20[Ω]이하 (한곳의 접지저항값 40[Ω]이하) 유지한다.
- 주상 위에 시설한 케이블, 완금 등 접지는 가공선의 접지를 공용한다.

4.2 지중설비의 접지공사

지중설비는 크게 전력케이블, 지중 배전용 기기 등으로 분류할 수 있으나, 각 기기의 접지시공 방법에 상이하므로 자세히 설명하면 다음과 같다.

가. 지중 배전용 기기

통행인이 접속할 수 있는 지상 설치형 특 고압 기기의 외함은 제1종 접지공사를 시행하도록 규정하고 있지만, 지중 배전용 기기의 각종 부품에 대한 접지방법은 기기의 특성을 고려하여 다음과 같이 시행하고 있다.

1) 단상, 3상 변압기

변압기 1차에 설치된 각 엘보 커넥터 (Elbow Connector)의 접지는 2.6mm 연동선으로 연결하여 케이블의 중성선 22mm를 연동 피복선으로 접속하고 변압기의 접지단자에 연결된 38mm 접지선과 접속한다(그림 8).

2차측 접지단자(단상: X2, 3상: X0)는 38mm 연동선으로 변압기 접지단자의 접속선과 접속한다.

변압기 외함 접지단자에 연결되는 접지선은 38mm 연동선으로 접지저항 10Ω 이하를 유지하여야 한다.

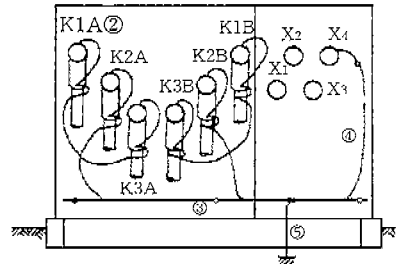


그림 8 지상설치형 3상변압기 접지

2) 엘보 커넥터 접지

변압기 엘보 커넥터의 접지구멍에 접지하는 이유는 엘보 커넥터의 재질은 반도체성으로 도체에 흐르는 전류에 의해 전하분포 충전되는 것을 방전하기 위함이다(그림 9).

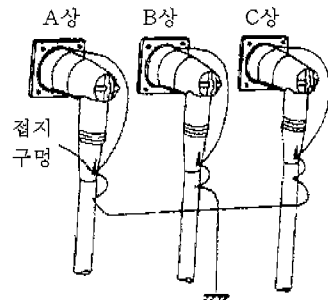


그림 9 엘보 커넥터 접지 시공방법

3) 개폐기

변압기와 같은 방법으로 각상 케이블의 중성선과 접속한다. 각상 케이블의 중성선은 케이블 중성선 규격과 동등한 굵기의 전선을 사용하여 3상을 일괄하여 접속하고 하나의 접지선으로 개폐기의 접지동대에 접지

한다. 개폐기의 외함에 설치된 접지단자는 38mm 이상의 연동선으로 개폐기의 접지동대에 연결하고 제1종 접지공사를 한다

나. 지상기기

지상기기는 페드(PAD) 변압기, 기중다회로 개폐기 등을 말한다.

- 접지봉은 2본(本)을 표준으로 지하 75cm 이상의 깊이에 매설한다.
- 2본으로 규정의 접지저항값을 얻지 못한 경우는 2본 이상의 접지봉을 매설하고 접지선은 지하에서 분기하고 접지봉 상호간을 2m 이상 이격하여야 한다.
- 보도에 시설한 경우에 접지봉을 되도록 차도측에 시설하여야 한다.

다. 전력케이블

전력케이블의 접지 목적은 사고 발생시 케이블을 보호하기 위함이며, 시공할 때 고려할 점은 유도전압의 저감(양단, 다중접지방식), 연피손의 저감(일접접지)이다.

케이블의 중성선(금속차폐층)과 완금 등은 가공선로의 중성선과 연결하고 피뢰기 및 가공지선과 별도로 제3종 접지한다. 차폐의 유기전압은 최대 발생전압을 50V로 제한하며, 직접 본딩방식은 보안상 안전하지만, 차폐 순환전류가 많아 케이블의 송전용량이 감소한다. 우리나라는 크로스 본딩 접지방식이 적용되고 있다.

1) 편단접지와 양단접지

- 변전소 인출구, 구내 종단부에 편단 또는 양단방식으로 제3종 접지한다.
- 편단접지는 비접지 계통에 적용한다.
- 양단접지는 케이블 길이가 길어 유기전압 발생이 높은 경우 적용한다.
- 22.9KV-Y 선로는 매 접속점마다 가공 배전선로 접지기준에 준해 시공한다

2) 접지방법

- 편단접지는 수용가 구내 또는 변전소 인출 부분에 시공한다.

- 접지선은 5.5mm 이상(22mm 이상 연선 이 바람직하다.)
- 구내의 접지선 길이를 짧게하고 프 레임에 고정하고 굵은 연선을 사용한다.
- 수전실의 제2종과 제3종 접지는 단독으로 접지하고 접지극은 1m 이상 이격하여야 한다.
- 주상 접지시 케이블 헤드 접지선은 가공공 동지선과 접속하지 않고 단독으로 제3종 접지공사 시공한다.
- 케이블 부하측에 지락보호용 영상분류기(ZCT) 설치시 접지선을 ZCT에 관통하지 않도록 한다.
- 발·변전소 인출 케이블이 ZCT를 관통하는 경우 접지선은 ZCT를 관통한다.

3) 전력케이블 접지

평균 250m 간격으로 실시되는 맨홀에서 다중접지되어 각 맨홀에서 38mm 연동선으로 2개소 접지하여 20Ω이하로 유지하여야 하며 그림 10과 같이 시공한다.

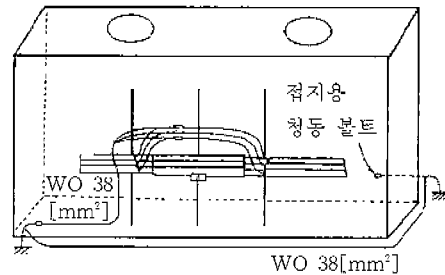


그림 10 전력케이블 접지

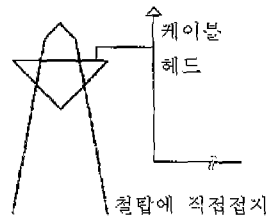
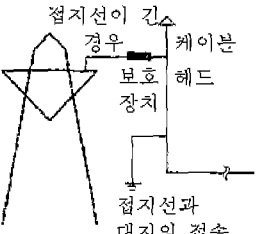
4) 지중전선 피복 금속체

관, 암거 기타 지중전선을 넣은 방호장치 금속체 부분, 전선 접속함 및 지중전선의 피복으로 사용한 금속체는 제3종 접지공사를 한다(단, 방식조치 부분은 예외).

라. 제어케이블

발·변전소의 접지계에 충격전류가 유입시

표 8 철탑 케이블 중단접속부의 접지방법 및 특성

중단부 접지방법	특	징
 <p>케이블 헤드 철탑에 직접접지</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 가공선 도체로부터 전파 서지에 대한 방식층 보호 효과가 큼 ○ 가공지선 전파 서지가 케이블 시즈에 침입가능 ○ 철탑에 상시 시즈 순환전류가 흐름 	
 <p>케이블 헤드 보호장치 접지선이 긴 경우 접지선과 대지의 접속</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 철탑에 상시 시즈 순환전류가 흐름 ○ 접지선이 길면 서지에 대한 접지효과는 없음 ○ 케이블 헤드의 시즈와 철탑간에는 보호장치 동작 전압까지 전위차 발생 우려 	

저압케이블에 서지성 이상전압이 발생하는데, 이러한 현상은 접지방식, 접지판의 위치, 접지선의 배치, 접지망의 유무 등에 영향을 받는다.

- 케이블 일단의 전위가 접지전위의 동요(動搖)에 의해 동요되며 타단에 진행된다.
- 접지전류가 흐르고 있는 도선과 케이블간의 상호 임피던스와 자기 서지 임피던스에 의해 결정되는 유기전압이 발생하여 유도된다.
- 대지와 케이블의 정전 결합에 의해 대지전위가 변동하여 케이블에 유도전압이 발생한다.

마. 접지 보호장치와 케이블접지

- 접지선을 ZCT내에 관통시키고 케이블의 차폐선에서 접지선을 통해 대지에 사고 이외의 전류가 흘러도 ZCT에 유도의 영향을 주지 않는다.
- 케이블 헤드 양단간을 단락배선에 의해 단락하고 ZCT 내를 관통한다.
 - ZCT는 타 접지공사와 공용으로 하지 않고 단독 접지한다.
 - ZCT의 접지는 하지 않도록 한다.

바. 철탑입상 중단접속부 케이블 접지

가공 전선로에 침입하는 뇌 서지 등에 의해 지중 송전선로의 케이블이 손상을 받을 우려가 있는 경우는 다음과 같은 내뢰 대책을 단독 또는 병용하여 시행한다.

1) 케이블 절연체의 보호

- ① 가공전선로의 철탑접지와 중단접속상 지물 및 케이블 급속 시즈 접지의 연결
- ② 피뢰장치의 설치
- ③ 케이블의 절연강화

2) 154kV·송전선로 접지

- 가공선과 케이블을 접속하는 개소의 철탑 접지저항은 2Ω(66kV : 3.2Ω)이하로 유지하여야 한다.
- 가공지선 및 케이블 차폐는 공용으로 접지계통에 접속한다.

3) 철탑 입상 중단접속부 접지

철탑 입상 중단접속부의 접지는 표 8과 같이 케이블 시즈(Sheath)를 철탑에 직접 접지하는 방법과 철탑상체에 방식층 보호장치를 이용하여 접지하고 지상에서 직접 접지하는 방법이 있다.

표 9 장소별 접지종류 및 접지저항값

설비구분	접지장소	접지선의 굵기[mm 이상]
맨홀 전력구 관로	맨홀, 전력구, 교량 첨가	100
	배수, 환기 조명시설 분전반	38
	통신용 원방접지	22
케이블	접속부 및 접속부 철대	100
급유설비	유조 밸브판넬	38
경보설비	단자함, 발·수신기	38
	통신관 및 케이블 차폐층	22
방식설비	외부 전원방식의 외함	38
	유전양극 방식	100
내뢰설비	공동접지, 병행접지	100
	방식층 보호장치(C.C.P.U)	38
	피뢰기	100~200
	피뢰침	개별검토

표 10 설비별 접지선 굵기

설비구분	설치장소	접지		비고
		종류	저항[Ω]	
맨홀 전력구 관로	맨홀	3중	25 이하	
	전용교, 교량첨가 (강판)	1중	10 이하	○ 사람 접촉우려가 있는 경우 : 1중
		3중	100 이하	○ 사람 접촉우려가 없는 경우 : 3중
	전력구내	3중	25 이하	○ 함성저항값은 매km마다 5Ω 이하
	전력구내 통신용 원방접지	3중	100 이하	○ 변전소에서 20~200m 지점에 단독으로 시공(필요시) 한다.
배수, 환기의 조명 설비 및 분전반	3중	100 이하	○ 맨홀접지와 연결하거나 장소에 따라 단독으로 시공한다.	
케이블	케이블 종단접속부	1중	10 이하	○ 케이블 금속 차폐층을 종단접속부 지지대의 접지 선에 연결한다.
	종단접속부	1중	10 이하	○ 가공과 지중 접속개소에서 가공철탐의 접지와 연 결하고, 2개소 이상에 등연선 사용한다. ○ 발·변전소 구내의 접지모선과 연결한다. ○ 단독접지시 지지대의 부근에 2개소(1개소 2본 이 상)의 접지봉을 매설한다.
	맨홀내 케이블 접속부	3중	25 이하	○ 케이블 금속 차폐층을 접속상에 연결하고 맨홀내 접지선에 접속한다.
급유설비	유조 및 지지대, 밸브판넬, 지지대	3중	100 이하	○ 접지모선과 연결
경보설비	단자함, 발수신기 외함, 통신관 및 통신 케이블 차폐층	3중	100 이하	○ 접지모선과 연결
방식설비	외부 전원방식의 외함	3중	100 이하	
	유전 양극방식	1중	10 이하	

설비 구분	설치 장소	접지		비고
		종류	저항[Ω]	
내뢰 설비	공통접지	1종	10 이하	
	병행지선	1종	10 이하	
	방식층 보호장치	3종	100 이하	
	피뢰기	1종	10 이하	
	피뢰침	1종	10 이하	
올다리	현장 상황에 따라 고려			

4.3 지중전선로 설비별 접지저항 및 접지선 굵기

지중전선로의 각 설비별 접지선 굵기는 표 9와 같으며, 설치 장소별 접지종류 및 접지저항값은 표 10과 같다.

5. 결 언

최근 전력수요의 증가, 공급신뢰도 확보, 도시미관의 유지 등으로 지중설비가 증가하고 있는 추세이다.

본고에서는 지중설비의 공사종류와 포설방법, 외국의 매설깊이 및 이격거리 기준을 비교·분석

하였다.

그리고 케이블 접지방식의 장·단점과 지중 설비별 접지 시공방법, 기기별 접지저항 기준값, 접지선 굵기를 설명하였다. 그러나 최근 도시화의 진행과 건물의 작업환경 쾌적화 등으로 건물내부(지하 변전실) 또는 공동구(맨홀) 등에서 접지저항 측정시 정상적인(즉 보조 접지극을 매설한 3폴 방식)방법으로 측정하기가 매우 어려워 현장에서 적용하기 손쉬운 접지저항 측정방법이 절실히 요구되고 있다.

끝으로 현장에서 지중설비 공사를 완벽하게 시공할 수 있도록 전기설비 설계 및 감리자 등에 유익한 자료로 활용되어 설비 사고예방에 기여되길 바란다.



전력기술인의 기술지식과 정보제공을 위한 전기설비의 기술기준 발간

- ▶ 정가 : 15,000원(회원가 : 12,000원, 20% 할인)
- ▶ 협회 소속 지부 방문 또는 우편 주문 가능
- ▶ 우편주문의 경우는 도서 구입자가 우송료(2,500원) 부담하며, 송금전 해당 지부에 확인 요망
- ▶ 기타 궁금한 사항은 본부 및 해당 지부로 문의 바랍니다.