

# 지중전선로



우송정보대학 철도전기과

# CONTENTS

1. 지중 전선로의 계통 구성

2. 전력케이블

# 1.1 지중 전선로란?

## ★ 지중 전선로

- 지하에 전력 케이블(power cable)을 매설하여 전력을 공급하는 선로
- 주요 지역의 미관을 확보해야 하거나 가공 전선로 시설을 설치하기 어려운 지역, 유지 보수가 어려운 지역, 뇌. 풍수해에 의한 사고가 우려되는 지역 등에서 적용
  - 발·변전소 인출구 등 회선수가 많아 가공 전선로로 시설하기 어려운 경우
  - 지중 공급지역, 지중 배전 공급 예정 지역, 지중화 확정지역에서 선로를 시설하는 경우
  - 행정관서, 사용자의 요청으로 지중 전선로로 공급하는 것이 타당하다고 인정되는 경우
  - 전기설비기술기준, 도로법, 도시 계획법 등 기타 관계 법규에 의해 제한을 받아 가공 전선로를 시설할 수 없는 경우
  - 장경간으로 가공 전선로의 시설이 곤란한 경우
  - 기타 시설 방법, 보안상 및 기술적으로 지중 전선로로 시설하는 것이 타당하다고 인정되는 경우

# 1.2 전선로 비교

[표 4-1] 우리나라 주요 도시의 지중화 비율(출처 : 전국 시·도별 지중화율, 2021, 한국전력)

지역	서울	인천	부산	광주	제주	대구	대전	세종	경기	전국
지중화율[%]	89.9	73.0	46.7	37.3	33.4	27.7	28.9	20.6	18.5	13.0

[표 4-2] 전선로의 비교

구분	가공 전선로	지중 전선로
전력 공급 회선 수	하나의 선로에 4회선 이상의 공급이 곤란하여 전력 공급에 제한	하나의 선로에 다수 회선 공급이 가능하여 도심에 적합
외부 영향	비, 바람 등 기상조건과 수목, 까치 등 조류에 의한 영향을 받음	외부 기상조건에 영향을 거의 받지 않음
고장 유형	자연 기상조건, 수목, 조류 등에 의한 고장	전력 케이블의 외상, 작업자의 불량 시공에 의한 고장
건설비	지중 전선로에 비해 경제적	건설비용이 고가
건설기간	단기간	장기간
유지 보수	설비의 지상 노출로 유지 보수 많음	비교적 적음
환경미화	도시 환경 저해	쾌적한 도시 환경 조성
고장수리	고장점 발견 및 보수가 유리	고장점 발견 및 보수가 불리
발생열의 냉각	자연 냉각	구조적인 냉각 장애가 있음
유도장해	유도장해 발생	차폐케이블을 사용하여 유도장해 경감
안전도	충전부 노출로 이격거리가 필요함	충전부 절연으로 안전도 확보
신규 수용	신규 수요에 대처하기 용이함	신규 수요에 대한 탄력성 저하

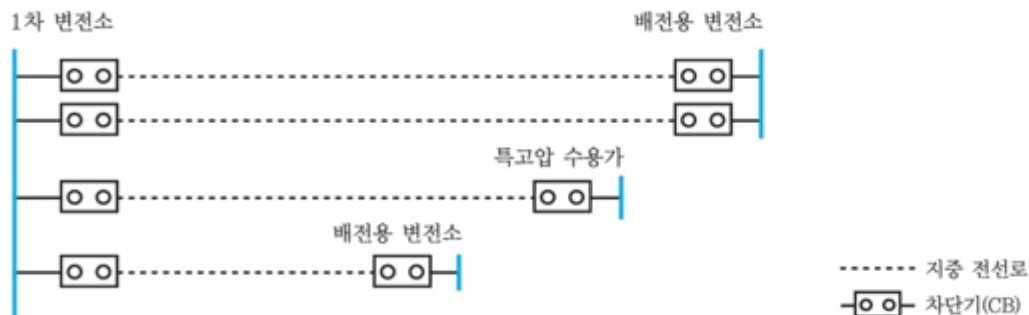
# 1.3 지중 전선로의 계통 구성

## ★ 지중 전선로의 계통 구성

- 계통을 구성할 때는 공급 신뢰도를 높여야 하고 유지 보수가 쉽도록
- 방사상 방식, 환상식 방식, 유닛 방식, 스포트 네트워크 방식

## ★ 방사상 방식

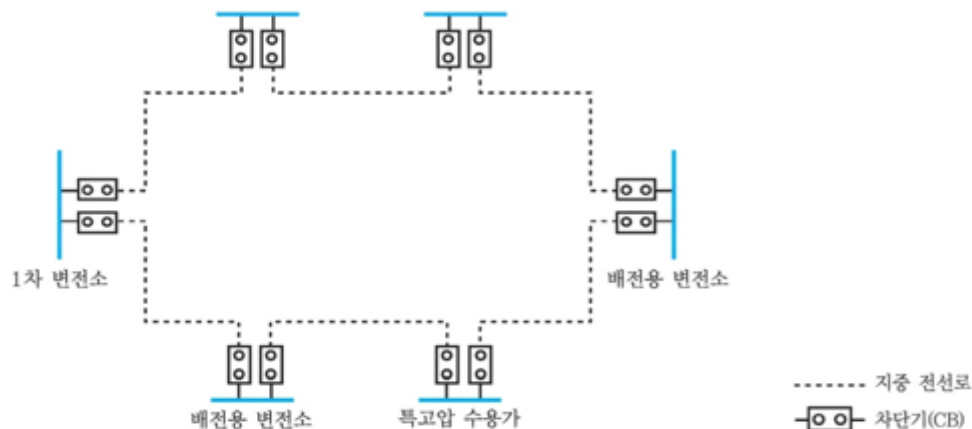
- 1차 변전소로부터 여러 개의 배전용 변전소 또는 특고압 수용가를 연결하는 지중 전선로를 각각 방사상으로 연결
- 유지 보수가 어렵고, 공사비가 비쌘. 공급 신뢰도 낮음



# 1.3 지중 전선로의 계통 구성

## ★ 환상식 방식

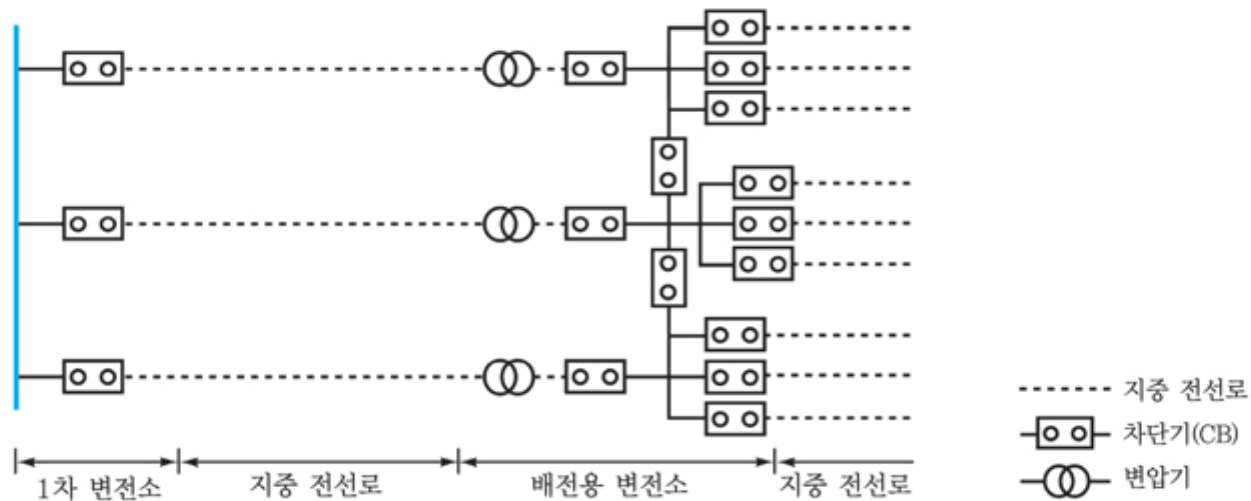
- 지중 전선로를 하나의 루프(loop system)로 만들어 전력을 공급하는 방식
- 지중 전선로의 한 구간에서 사고가 발생하더라도 사고 구간의 양쪽 차단기가 동작하여 사고 구간을 자동으로 분리함으로써 사고 구간을 최소화하고, 지중 전선로의 다른 구간에는 계속 전력을 공급하는 방식
- 대용량 부하가 밀집해 있는 도심지역과 공장지역에 적합



# 1.3 지중 전선로의 계통 구성

## ★ 유닛 방식

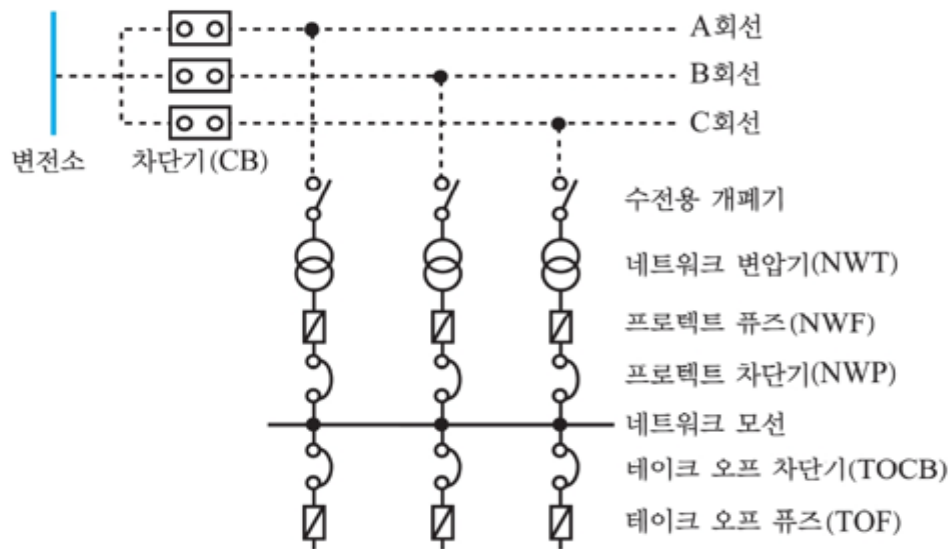
- 변압기의 1차 측 차단기와 모선을 생략하고 선로와 변압기를 직접 연결하는 방식
- 유닛 방식에서 사고가 발생하면 전원 측 차단기와 변압기의 2차 측 차단기가 동작하여 사고 구간 분리



# 1.3 지중 전선로의 계통 구성

## ★ 스포트 네트워크 방식

- 배전계통에 사용하는 전원 공급 방식
- 수전용 개폐기를 통해 전원 변전소에서 나온 네트워크 지중 전선로와 네트워크 변압기를 연결하고, 프로텍트 차단기를 통해 변압기의 2차 측과 네트워크 모선을 병렬로 연결하는 방식



## 2.1 전력 케이블

### ★ 전력 케이블의 종류

- 지중 전선로의 전선으로는 전력 케이블을 사용하며, 전력 케이블은
- 도체, 절연물, 외피로 구성
- 도체로는 동선이 사용되며, 심선 수에 따라 단심, 2심, 3심 케이블로 구분된다.

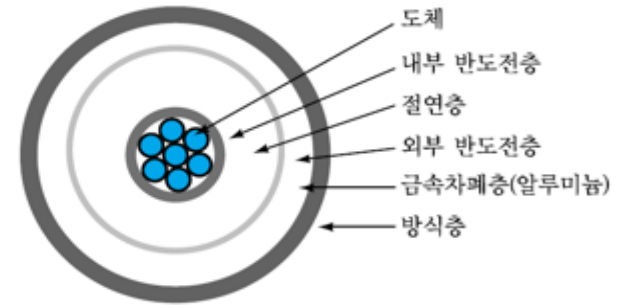
#### ★ 전력 케이블에 대한 규정 ★

케이블은 화재가 발생할 경우 화염, 부식성 가스 및 유독 가스가 발생하여 철 구조물을 부식시킬 뿐만 아니라 인명을 사망에 이르게 하는 원인이 되므로 케이블 트레이에 설치하는 전력 케이블은 수직 트레이 불꽃시험을 통과한 난연 케이블을 사용하도록 규정하고 있다.

## 2.2 전력 케이블의 종류

### ☆ CV 케이블

- Cross Linked Polyethylene Insulated PVC Power Cable의 약어, XLPE
- 가교 폴리에틸렌 절연 비닐 시스 케이블
- 154[kV], 345[kV] 지중 전선로에 적용
  - 전기적 특성 및 내열성이 양호하다.
  - 중량이 가볍고 접속방법도 용이하다.
  - 절연물의 유전율이 작으므로 유전체 손실이 작다.
  - 절연유를 사용하지 않으므로 보수, 점검이 용이하다.
  - 물의 침입에 의한 트리(tree) 현상이 발생할 수도 있다.



[그림 4-5] CV 케이블

[표 4-3] 케이블의 온도 특성 비교

절연 재료	연속 사용 온도[°C]	단시간 사용 온도[°C]	단락 온도[°C]
폴리에틸렌	75	90	140
가교 폴리에틸렌	90	130	250

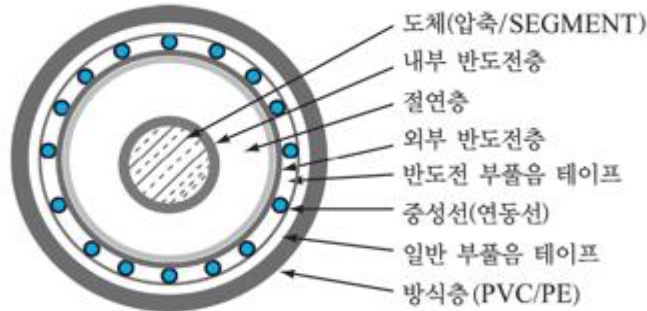
## 2.2 전력 케이블의 종류

### ★ CN-CV 케이블

- CV 케이블의 절연체 외부에 동심 중심선이 있는 것
- 22.9[kV]선로에 적용

[표 4-4] CN-CV 케이블의 종류

명칭		특징
CNCV	일반형	• 중성선층만 수밀처리
CNCV-W	수밀형	• 중성선 및 도체부분 수밀처리
TR-CNCV-W	트리억제형	• 절연층 재료로 TR-XLPE 컴파운드를 사용 • 반도체층 재료로 고순도 컴파운드를 사용
FR-CNCO-W	난연형	• 외피 재질의 무독, 난연 처리

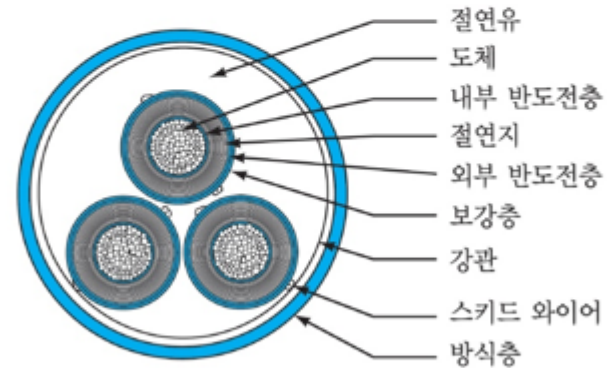


## 2.2 전력 케이블의 종류

### ★ POF 케이블

- 강관 내에 세 가닥의 지절연 도체를 삽입하고 절연유를 충전한 케이블
- 온도 상승에 의한 공극이 발생하지 않으므로 절연 성능이 안정적
- 도체 위에 내부 반도체층과 절연지를 감고 외부 반도체층을 입힌 후 연동 테이프 등으로 보강하여 스킨드 와이어(skid wire)라는 반원형의 금속선을 나선형으로 감아 만듦

- 케이블의 중량이 가볍다.
- 케이블의 제조 과정이 용이하다.
- 기계적 강도가 강하다.
- OF 케이블에 비해 접속방법이 용이하다.
- 가압 장치의 규모가 커진다.
- 강관에 의한 전력손실이 있고 부식 방지 대책이 필요하다.

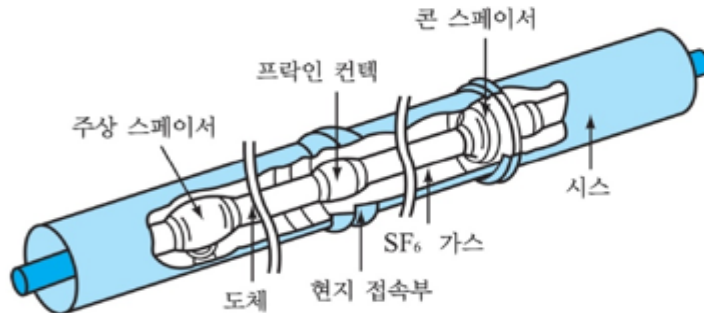


[그림 4-8] POF 케이블

## 2.2 전력 케이블의 종류

### ☆ 관로기중 케이블

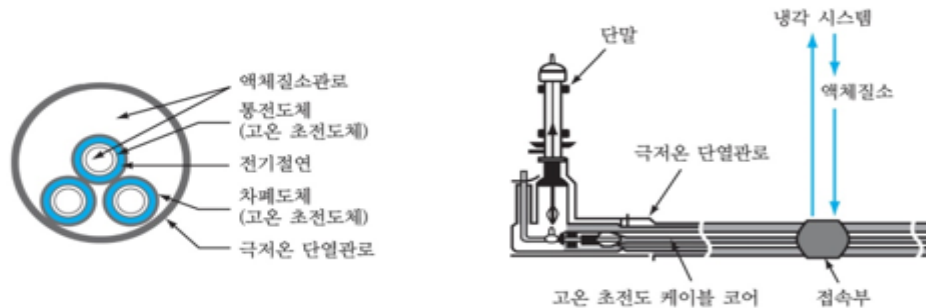
- 파이프 모양의 강관 또는 알루미늄관 내부에 에폭시 수지제의 스페이서를 이용하여 동 또는 알루미늄 도체를 적당한 간격으로 배치하고 절연시킨 케이블
- 시스와 도체 간에 절연 특성이 우수한 SF<sub>6</sub> 가스를 충전한 케이블
- 일반 케이블과는 달리 공장에서의 제조 길이가 12~14[m]로 한정되어 현장에서 케이블을 접속하는 일이 많아 공사 기간이 길다.
  - 가공 전선로와 같은 정도의 송전용량을 기대할 수 있다.
  - 유전율이 거의 1이므로 OF 케이블에 비해 충전전류가 작다.
  - 유전체 손실이 매우 작다.



## 2.2 전력 케이블의 종류

### ☆ 초전도 케이블

- 어떤 물질이 일정 온도 이하에서 전기저항이 0이 되는 초전도 현상을 이용
- 관로 내의 초전도 도체를 극저온 냉매를 이용하여 복합 절연 방식으로 절연함으로써 전기저항을 0으로 만드는 차세대 케이블
  - 대용량 송전 및 저손실 전선로를 구성할 수 있다. 송전용량을 현재보다 수 배 증가시키면서도 전력손실은 기존 케이블의 1/20로 줄일 수 있다.
  - 22.9[kV]의 전압으로 수용가까지 저전압, 대전류 송전이 가능하다.
  - 저전압 송전이 가능하므로 절연 레벨을 낮출 수 있다.
  - 장거리 송전이 가능하다.
  - 케이블 및 관로의 소형화가 가능하다.



## 2.3 전력 케이블의 손실

### ★ 저항손

도선에 전류가 흐를 때 발생하는 열에 의한 손실

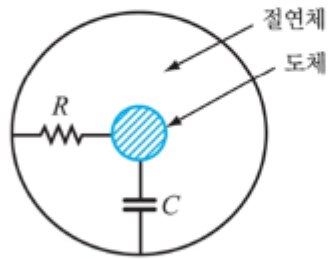
$$R = \frac{1}{58} \times \frac{100}{C} \times \frac{l}{A} [\Omega] \quad (4.1)$$

- $C$  : 도전율[%](연동선 : 100[%], 알루미늄선 : 61[%])
- $l$  : 케이블의 길이[m]
- $A$  : 케이블의 단면적[mm<sup>2</sup>]

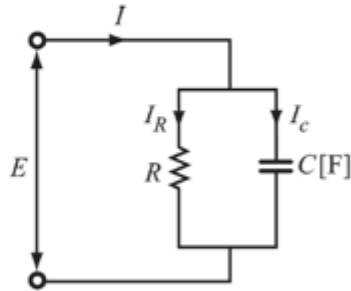
## 2.3 전력 케이블의 손실

### ★ 유전체손

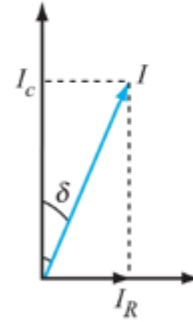
- 전력 케이블의 유전체에서 발생하는 손실
- 절연체 전극 간에 교류전압을 인가하였을 때 발생하는 손실



(a) 전력 케이블



(b) 등가회로



(c) 벡터도

[그림 4-11] 유전체손

## 2.3 전력 케이블의 손실

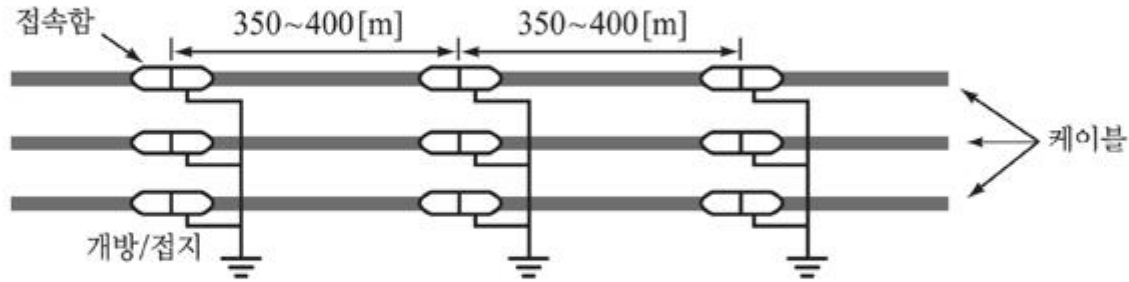
### ★ 시스손

- 전력 케이블의 시스가 연피, 알루미늄피 등 도전성을 갖는 경우 전자유도작용에 의해 전력 케이블의 외피에서 발생하는 손실로 케이블 발열의 원인
- 시스 와류손 : 전력 케이블의 시스 내부에서 발생하는 손실
- 시스 회로손 : 케이블의 양단을 접지할 때 케이블에 생기는 순환전류에 의한 손실
- 시스손은 시스의 저항률이 작을수록, 전류의 크기나 주파수가 클수록, 단심 케이블의 이격거리가 클수록 커짐
- 시스는 전력 케이블의 길이에 따라 편단접지나 크로스본드 접지를 적용

## 2.3 전력 케이블의 손실

### ★ 편단접지

- 발변전소 인출용 선로와 같이 전력 케이블의 길이가 짧은 구간에 적용
- 케이블의 한쪽에서 시스를 접지하고 다른 쪽은 개방하여 시스 회로손이 0이 되게 하는 방식



(a) 편단접지

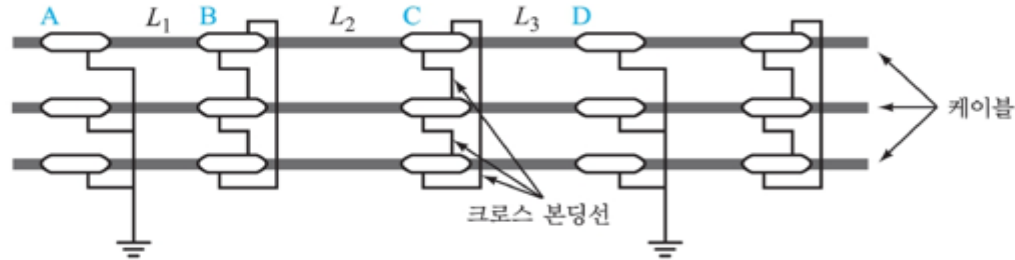


(b) 편단접지 시 케이블 길이에 따른 시스 유기전압

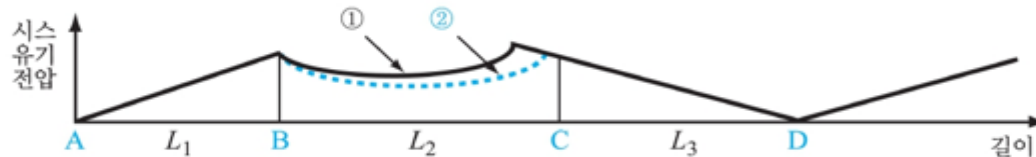
## 2.3 전력 케이블의 손실

### ★ 크로스본드 접지

- 전력 케이블의 길이가 길어 편단접지의 효과가 없을 때 사용하는 방식으로 본딩선으로 3상을 연가한 후 접지
- 경제성이 좋고 유지 보수가 쉬워 대규모 지중 전선로에 가장 많이 사용



(a) 크로스본드 접지



- ① 이상적인 유기 전압 : 시스의 연가 길이가 같을 때 ( $L_1 = L_2 = L_3$ )
- ② 실제 유기전압 : 시스의 연가 길이가 같지 않을 때 ( $L_1 \neq L_2 \neq L_3$ )

(b) 크로스본드 접지 시 케이블 길이에 따른 시스 유기전압