

# 태양광 발전시설 스틸 보 기초 모듈러 공법의 구조체 접지 시스템에 대한 고찰



김용욱  
(주) 이스온 CEO

## 서 언

일반적인 접지의 목적은 인명과 재산의 안전을 확보하고 각종 전기, 전자 장비의 장애 방지와 안정적인 시스템의 운영을 확보하는 데에 있다. 접지설비는 기본적으로 각종 설비, 구조체 등을 도체에 의해 대지와 전기적으로 완전하게 접속하는 설비이며 다른 전기설비에 비해서 단순한 설비로 간주되기 쉬우나 전기설비의 사고, 고장 또는 뇌격 서지 침입 시에 감전사고로부터의 보호, 전자기기의 절연파괴를 방지하는 등의 중요한 기능을 수행하는 매우 중요한 설비이다. 접지전극으로는 동, 철 등의 금속제 또는 탄소계의 봉상, 판상 등의 접지극을 대지에 직접 매설해서 이용하거나 접지의 목적으로 시공되는 것은 아니지만 넓은 표면적으로 대지와 접촉하고 있는 금속 물체 또는 구조물을 접지극으로 이용하여 왔다. 특히, 철골조 등의 건축 구조체의 접지저항은 인위적으로 만든 접지극의 접지저항보다 현저하게 낮은 것이 실측에 의해 입증되어 있으며 이러한 구조체의 일부인 철골 등에 접지선을 연결하여 접지극으로 이용하는 것이 구조체 접지이다. 태양광 발전시설에서 기존 구조물의 지주와 기초를 분리시켜서 시공하던 방식을 혁신적으로 개선하여 내식성이 가장 우수한 소재인 PosMAC을 사용, 지주와 기초를 일체화시켜 제작된 스틸 보 기초 모듈러 공법은 구조물 자체가 지중에 매설되어 양호한 구조체 접지극이 된다. 태양광발전 시스템의 구성 설비 중의 하나인 구조물(구조체) 접지설비의 특성과 신공법으로 개발된 스틸 보 기초 모듈러 공법 구조체의 접지효과에 대하여 기술한다.

## 접지공사 개요 및 종류

전기설비의 사고, 고장 또는 감전사고에 대한 보호, 전기 기기의 절연파괴 방지 등 인명안전과 시설보호를 위해 전기 설비기술기준에 따라 접지공사를 시행하여야 한다. 태양광 발전시스템의 구조물인 스틸 보 기초 모듈러의 경우도 전기 설비기술기준에 의거한 접지공사를 시행하며 본딩 접지 시 공부위는 절연파괴 등으로 인한 고장전류가 접지선을 통해 원활히 흐를 수 있도록 철제 지지물을 전기적으로 완전하게 접속하여 전기적 연속성을 유지하고 있다.

접지는 접지가 필요한 기기가 다수 있는 경우에 각각의 기기에 단독으로 접지를 시행하는 단독접지와 가능한 한 기기를 집합시켜 공통으로 접지를 시행하는 공용접지 방식이 있으며 태양광 발전설비가 설치되는 지역처럼 건설용지가 제한되고 넓은 부지의 확보가 어려운 경우에는 접지가 수월한 전기실 주위에 단독접지를 시행하고 있는 추세이다. 단독접지공사의 종류는 제1종 접지공사, 제2종 접지공사, 제3종 접지공사 및 특별 제3종 접지공사로 분류되며 각각의 접지저항 값은 표 1과 같다.

## 시설 장소에 따른 접지공사의 종류

- 1) 제1종 접지공사 : 고압 및 특고압의 전기기기의 철대,

외함 등의 접지

- 2) 제2종 접지공사 : 고압 및 특고압전로와 저압전로를 결합하는 변압기의 중성점 또는 단자 등의 접지
- 3) 제3종 접지공사 : 400V 이하의 저압의 전기기계기구의 철대, 외함 등의 접지
- 4) 특별 제3종 접지공사 : 400V 초과의 저압의 전기기계기구의 철대, 외함 등의 접지

접지선은 녹색으로 표시 하지만, 부득이 녹색 또는 황록색 얼룩무늬 모양인 것 이외의 절연전선을 접지선으로 사용하는 경우는 말단 및 적당한 개소에 녹색테이프 등으로 표시해야 한다.

기계기구의 접지전로에 시설하는 기계기구의 철대 및 금속제 외함은 표 2에 따라 접지공사를 실시해야 한다.

이상적인 단독접지는 2개의 접지전극이 있는 경우에 한편의 접지전극에 접지전류가 흘러도 다른 접지전극에는 절대로 전위상승이 발생하지 않아야 한다.

## 접지극의 종류 및 접지선의 굵기

접지극의 종류와 규격은 표 3, 저압전로 접지선의 최소 굵기는 표 4와 같다.

접지선의 굵기는 제3종 및 특별 제3종접지 공사의 경우, 공칭 단면적 2.5mm<sup>2</sup> 이상의 연동선으로 기기 고장 시에 흐

표 1. 접지공사의 종류와 접지저항값

접지공사의 종류	접지저항값
제1종접지공사	10Ω 이하
제2종접지공사	변압기의 고압측 또는 특고압측 전로의 1선 지락전류의 A수로 150을 나눈 값과 같은 Ω수
제3종접지공사	100Ω 이하
특별 제3종접지공사	10Ω 이하

표 2. 접지공사의 구분

기계기구의 구분	접지공사
400V 미만인 저압용의 것	제3종 접지공사
400V 이상의 저압용의 것	특별 제3종 접지공사
고압용 또는 특고압용의 것	제1종 접지공사

**표 3. 접지극의 종류와 규격**

종류	규격
동판	두께 0.7mm 이상, 면적 900cm <sup>2</sup> (한쪽 면) 이상
동봉, 동복, 강봉	지름 8mm 이상, 길이 0.9m 이상
아연도금 가스철관 후강전선관	외경 25mm 이상, 길이 0.9m 이상
아연도금 철봉	직경 12mm 이상, 길이 0.9m 이상
동복강판	두께 1.6mm 이상, 길이 0.9m 이상, 면적 250cm <sup>2</sup> (한쪽면) 이상
탄소피복 강봉	지름 8mm 이상 (강심), 길이 0.9m 이상

접지극의 종류와 규격 [내선규정 1445-7]

**표 4. 저압전로 접지선의 최소 굵기**

저압 전로 측에 시설된 과전류차단기 중 최소의 정격전류 용량	접지선의 최소 굵기
	동(mm <sup>2</sup> )
20A 이하	2.5
30A 이하	2.5
50A 이하	4
100A 이하	6

3종 또는 특별3종접지공사의 접지선 굵기 [내선규정 1445-3]

르는 전류에 대한 안전성, 기계적 강도, 내식성을 고려하여 결정되어 있다.

## 태양광 발전설비의 적용 규정

[산업통상자원부 공고 제2017-104호 - 전기설비기술기준의 판단기준(제54호)]

제54호(태양전지 모듈등의 시설)

1) 태양전지 발전소에 시설하는 태양전지 모듈, 전선 및 개폐기 기타 기구는 각 호에 따라 시설하여야 한다.

- ① 충전부분은 노출되지 아니하도록 시설할 것.
- ② 태양전지 모듈에 접속하는 부하측의 전로(복수의 태양전지 모듈을 시설한 경우에는 그 집합체에 접속하는 부하측의 전로)에는 그 접속점에 근접하여 개폐기 기타 이와 유사한 기구(부하전류를 개폐할 수 있는 것에 한한다)를 시설할 것.
- ③ 태양전지 모듈을 병렬로 접속하는 전로에는 그 전로

에 단락이 생길 경우에 전로를 보호하는 과전류차단기 기타의 기구를 시설할 것. 다만, 그 전로가 단락전류에 견딜 수 있는 경우에는 그러하지 아니하다.

④ 전선은 다음에 의거하여 시설할 것. 다만, 기계기구의 구조상 그 내부에 안전하게 시설할 수 있을 경우에는 그러하지 아니하다.

가. 전선은 공칭단면적 2.5mm<sup>2</sup> 이상의 연동선 또는 이와 동등 이상의 세기 및 굵기의 것일 것.

나. 옥내에 시설할 경우에는 합성수지관공사, 금속관공사, 가요전선관공사 또는 케이블공사로 제183조, 제184조, 또는 제193조, 제195조제2항 및 제196조제2항, 제3항의 규정에 준하여 시설할 것.  
다. 옥측 또는 옥외에 시설하는 경우에는 합성수지관공사, 금속관공사, 가요전선관공사 또는 케이블공사로 제183조, 제184조, 또는 제218조제1항제7호 및 제195조제2항 및 제196조제2항 및 제3항의 규정에 준하여 시설할 것.

⑤ 태양전지 모듈 및 개폐기 그 밖의 기구에 전선을 접속하는 경우에는 나사조임 그 밖에 이와 동등 이상의 효

력이 있는 방법에 의하여 견고하고 또한 전기적으로 완전하게 접속함과 동시에 접속점에 장력이 가해지지 않도록 시설하며 출력배선은 극성별로 확인 가능하도록 표시할 것.

⑥ 태양전지 모듈의 프레임은 지지물과 전기적으로 완전하게 접속하여야 한다.

2) 태양전지 모듈의 지지물은 자중, 적재하중, 적설 또는 풍압 및 지진 기타의 진동과 충격에 대하여 안전한 구조의 것이어야 한다.

## 태양광 발전설비의 접지설비

태양광 발전설비는 태양전지 모듈, 지지대, 접속함, 인버터의 외함, 금속배관 등의 노출 비충전 부분은 누전에 의한 감전과 화재 등을 방지하기 위해 태양전지 어레이의 출력전압 400V 미만은 제3종 접지공사, 400V를 넘는 경우에는 특별 제3종 접지공사를 시행한다. 구조물의 경우에는 일반적으로 제3종 접지공사를 시행하며 각 지역 전기안전공사의 지침에 따라서 접지시설을 시행하는 경우가 많다.

태양광 발전설비의 직류전로 즉, 태양전지 어레이에서 인버터까지의 직류전로는 원칙적으로 접지공사를 실시하지 않는다.

직류전로는 전식발생 등의 영향을 최소화 하기위해 접지를 생략하는 경우가 많았으나 최근에는 전식영향을 고려하지 않는 경우에는 안전을 우선으로 하여 IEC 60364에 준하여 접지를 시행하기도 한다. 태양광 발전설비의 접지는 태양전지 모듈이나 패널을 하나 제거 하더라도 태양광 전원회로에 접속된 접지도체의 연속성에 영향을 주지 않아야 한다.

태양광 발전설비 구조물의 접지는 직류전로와 다르게 낮은 전압이지만 다습한 환경 또는 우기에 감전우려가 상존하기 때문에 반드시 접지를 시행하여야 안전을 확보할 수 있다.

이와 같은 이유로 태양광 발전설비 관련하여 전기설비기술기준의 판단기준(제54조)에서도 태양광 모듈과 구조물간 전기적 접속을 완전하게 시행하도록 규정하고 있으며 구조물도 대지와 완전하게 접지시키도록 규정하고 있다.

## 스틸 보 기초 모듈러 구조체의 접지저항 추정 및 적용

접지되는 전기기계기구의 금속제 외함, 배관 등과 접지선과의 접속은 전기적 및 기계적으로 완전하게 접속되어야 한다.

특별 제3종 또는 제3종 접지공사의 특례 내선규정 140-4에 따르면 특별 제3종 또는 제3종 접지공사를 실시하는 금속물체와 대지간의 전기 저항 값이 특별 제3종 접지공사인 경우 10Ω 이하 또는 제3종 접지공사인 경우 100Ω 이하이면 해당 접지공사를 시행한 것으로 간주한다.

태양광 발전설비 구조물은 제3종 접지공사 대상으로 대지에 매설되는 구조물의 추정 접지 저항값이 100Ω 이하가 되는 경우에는 접지공사를 별도로 시행하지 않아도 된다는 것이다.

이 경우, 전체 접지설비 금액의 20 ~ 30% 정도가 절약되고 절약되는 금액은 구조물의 수량이 많을수록 더 증가할 것으로 예상된다. 실질적으로 철골 구조체의 접지저항은 매우 낮으며 그 값은 인위적으로 전극에 의해 얻어지는 것보다 상당히 낮다.

또한, 대지와 넓은 면적으로 접촉하고 있으므로 서지 임피던스 특성이 아주 양호한 접지전극이 된다.

특히 태양광 발전설비가 설치되는 지역의 경우에는 접지극을 설치하기 위한 부지면적이 제한되어 구조체 접지를 적극적으로 이용하여야 하며 접지시공 장소 부근에 이러한 구조체가 있는데도 별도로 접지공사를 추가로 시행하는 것은 큰 손실이 될 수 있다.

이스온의 기초 모듈러 구조물은 이러한 장점을 가진 구조물로 각각의 구조물 등에 발생할 수 있는 전위차를 방지(접지 등전위)하기 위해 구조물상 볼트로 연결되는 모든 부분은 접지 본딩선으로 접속한다.

구조체를 이용한 접지는 접지극에서 멀리 이격되어 설치되는 태양광 발전설비 구조물접지의 단점도 보완하고 쥐 등이 노출된 접지선 등을 갉아먹어 발생하는 폐해 등도 사전에 차단이 가능하다. 즉, 감전사고를 유효하게 방지하기 위해서는 구조체와 대지접지(접지극) 사이 거리가 짧은 만큼 그 효과가 극대화되며 지표면에 노출된 접지선이 없기 때문이다.

## 스틸보 기초 모듈러 공법의 접지저항 추정

철제 구조체의 접지저항은 구조체가 설치되어 있는 지역의 대지저항률과 구조체의 지표하 대지접촉 부분의 면적에 의해서 결정된다.

대지저항률( $\rho$ )은 점토질, 모래지역, 산지 등의 구조물의 설치예상 지역을 적용하여  $\rho = 100\Omega \cdot \text{m}$ 를 적용한다.

구조체가 대지와 접촉하는 지하 부분의 전 표면적(A)은 지주면적, 상부 및 측면 면적을 제외하고  $A = 1.185\text{m}^2$  이다. (구조체의 지하부분의 전 표면적:  $3\text{m} \times 0.395\text{m} = 1.185\text{m}^2$ )

### ① 반구형 접지전극 치환

$$A = 2\pi r^2 \quad \therefore r = \sqrt{A/2\pi}$$

여기서,  $r$  : 반구형 전극의 등가반경

### ② 1전극(구조체) 접지저항 산출

$$R = \frac{\rho}{2\pi r} = \frac{0.4\rho}{\sqrt{A}}$$

$$R = \frac{0.4 \times 100}{\sqrt{1.185}} = 36.75\Omega$$

### ③ 3전극(구조체) 병렬 설치의 집합계수

☞ 반구형 전극의 등가반경( $r$ )

$$r = \sqrt{\frac{A}{2\pi}} = \sqrt{\frac{1.185\text{m}^2}{2\pi}} = 0.434\text{m}$$

☞ 접지극 직선 배치에 따른 집합계수( $\eta$ )의 산정

$$\alpha = \frac{r}{d} = \frac{0.434\text{m}}{3.0\text{m}} = 0.145$$

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{3(4\alpha^2 - \alpha - 2)}{(7\alpha - 6)} \\ &= \frac{3 \times (4 \times (0.145)^2 - 0.145 - 2)}{(7 \times 0.145 - 6)} \\ &= 1.24 \end{aligned}$$

$$\therefore \eta = 1.24$$

여기서,  $\alpha$  : 연접 접지극의 등가반경

$r$  : 반구형 전극의 등가반경

$d$  : 전극 병렬설치 간격

### ④ 3전극(구조체) 병렬설치의 추정 접지저항값

$$\begin{aligned} R_0 &= \eta \times \frac{R}{n} \\ &= 1.24 \times \frac{36.75\Omega}{3} = 15.2\Omega \end{aligned}$$

여기서,  $\eta$  : 전극(구조체) 병렬 집합계수

$R$  : 1전극(구조체)의 접지저항

$n$  : 전극(구조체) 설치 갯수

제3종 접지공사 접지저항  $100\Omega$ 의 경우, 안전계수 3을 적용하면  $100/3 = 33.3\Omega$  이 된다.

상기의 구조체 접지저항 계산 결과,  $15.2\Omega$ 이므로 스틸 보 기초 모듈러 구조체 접지를 제3종 접지극으로 사용하기에 충분하다.

## 스틸보 기초 모듈러 공법의 접지극 적용 (이스온 제품)

태양광 발전설비 구조물인 스틸 보 기초 모듈러(이스온 제품)는 내식성이 우수한 소재인 포스코의 포스맥(PosMAC)과 맥볼트(MacBOLT)를 사용하여 현장에서 일체형으로 조립하여 설치장소로 이동 후, 터파기가 선행 작업되어 있는

장소에 일괄 설치하는 공법이다.

스틸 보 기초 모듈러는 고강도 내부식성 금속재료가 지중에 설치되므로 철골과 대지 사이의 전기저항값이 감소되어 스틸 보 기초 모듈러 자체로도 상당한 접지저항값을 가지게 되므로 제3종 접지극의 대응으로 사용이 가능하다.

지중에는 지주 외에도 넓은 면적의 플로어 빔(Floor Beam : 3m x 0.395m)가 설치되어 접지판의 기능을 수행하게 되며 각각의 스틸보 기초 모듈러가 지중에 다수 설치되어 상당한 접지 효과를 발생하게 된다. 그러므로 스틸 보 기초 모듈러 공법은 태양광 발전 설비의 안전성을 증가시키는 효과를 유발하며 접지 시공비를 경감시키는 우수한 방안이 된다.

일반적으로 적용하고 있는 태양광 발전설비의 접지설비는 지중에 접지선을 매설하는 방식 보다는 접지극을 별도로 설

치한 후, 모듈 주위로 설치되는 전력용 케이블 트레이에 접지선을 전원선과 같이 포설하여 접지극에 연결하는 방식으로 접지 시스템을 구성한다.

이 경우, 누전 또는 지락고장 시, 구조물에 근접하여 접지극이 위치하는 경우보다 고장전류의 접지방류 효과 및 효율성이 상당히 저감되므로 스틸 보 기초 모듈러 공법이 더욱 더 안전한 태양광 발전설비 구조물 접지방식이 된다.

### 스틸보 기초 모듈러 구조체의 접지방안

#### 스틸 보 기초 모듈러 구조물 접지 방법

스틸보 기초 모듈러 구조물은 그림 1처럼 볼트로 연결되는

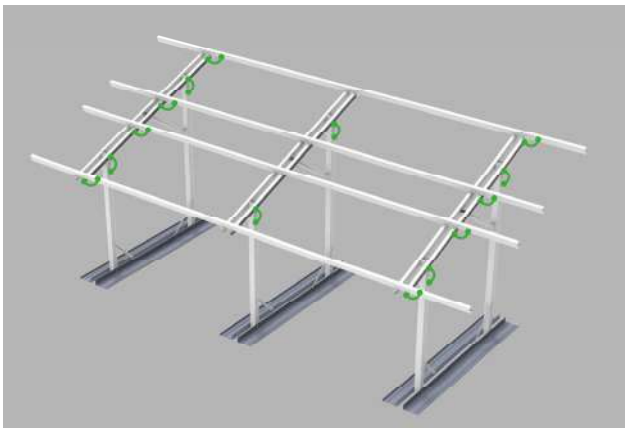


그림 1. 스틸 보 구조체의 등전위 접지 본딩

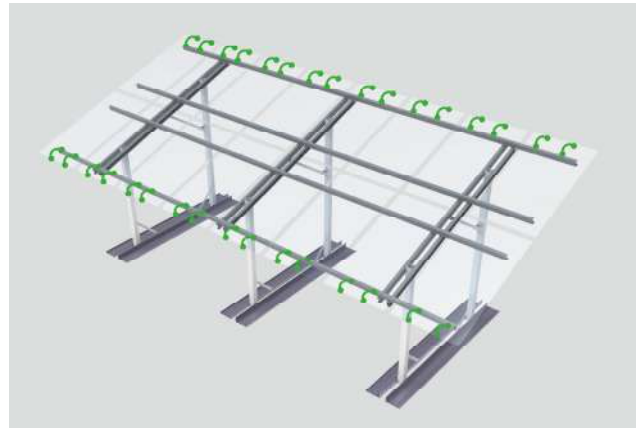


그림 2. 스틸 보 구조체와 태양광 모듈의 등전위 접지

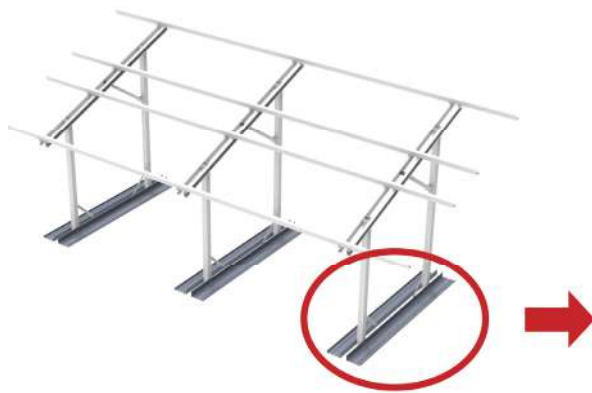
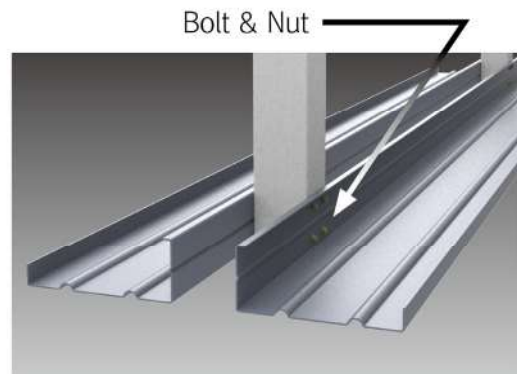


그림 3. 플로어 빔(Floor Beam)과 지주(Column)의 접속



곳은 등전위 접지분당을 시행하여 스틸 보 기초 모듈러가 완전하고 안전하게 등전위 접지되도록 시공한다. 모든 구조체가 일체화되어 어느 방향이든 안전한 대지와 동일한 전기적 및 기계적 접속회로가 구성된다.


### 태양광 모듈과 스틸 보 구조물간 접지 방법

태양광 모듈과 스틸 보 구조물간 접지 연결은 그림 2처럼 각 모듈당 2개소 접지분당을 시행하여 스틸 보 구조물과 전기적 및 기계적으로 완전하고 안전한 접지회로가 구성된다.

### 스틸보 기초 모듈러의 접지방식

태양광 발전설비 스틸 보 구조물의 접지극을 대체하는 플로어 빔(Floor Beam)과 지주(Column)의 접속은 그림 3처럼 기계적 및 전기적으로 완전하고 안전한 접지회로를 구성한다. 태양광 발전설비의 구조물 접지 방법에 대한 특성 비교 결과는 표 5와 같다.

표 5. 태양광 발전설비의 구조물 접지 방법에 대한 특성 비교

	스틸 보 기초 모듈러 접지방식	기존 접지방식
접지방식		
접지효과	상 (최단거리 구조물 자체접지)	중 (중, 장거리 접지)
안전성	상 (접지선이 끊어질 염려가 없음)	중 하 (노출접지선)
미관성	상 (노출 접지선이 없음)	
작업성	상	하
유지보수성	상	하
편리성	상	중
경제성	상	중
요약	<ul style="list-style-type: none"> <li>태양광발전시설의 구조물은 제3종 접지공사 대상이며 대지와 넓은 면적으로 구조물 자체가 직접 접지되는 스틸 보 기초 모듈러 공법의 적용 시, 구조체 접지는 서지 임피던스 특성이 아주 양호한 접지전극이 된다.</li> <li>기존 구조물 접지방식에 비해서 안전하며 접지효과가 매우 높고 경제성이 향상되어 접지설비 설치가 곤란한 태양광 발전시설의 접지 설비에 매우 양호한 방안이 될 것으로 판단된다.</li> <li>대지에 매설되는 구조물의 접지저항이 100Ω 이하가 되는 경우, 별도의 접지공사를 시행하지 않아도 되므로 전체 접지공사비의 20~30% 정도가 절약되는 것으로 판단되며 구조물 수량이 많을수록 절감되는 공사비는 증가된다.</li> </ul>	

## 요약

스틸 보 기초 모듈러 구조체를 이용한 접지는 구조체와 대지접지(접지극) 사이 거리가 짧아 감전사고를 유효하게 방지할 수 있다. 스틸 보 기초 모듈러 구조체 접지저항 계산 결과, 제3종 접지극으로 사용하기에 충분하므로 별도의 접지극 매설 및 접지선 포설 등의 시공이 불필요하다. 결론적으로 태양광 발전설비에서 스틸 보 기초 모듈러 구조체를 이용한 접지는 기술적 및 경제적으로 보다 유리한 방식이며 태양광 발전설비의 안전하고 효율적인 운용을 보장한다.

## 참고문헌

- [1] 산업통상자원부, 전기설비기술기준, 2019.
- [2] 대한전기협회 편집부, “내선규정”, 대한전기협회, 2019.
- [3] 강인권, “최신 피뢰시스템과 접지기술”, 성안당, 2004.
- [4] KS C IEC 60364
- [5] KS C IEC 62305