

# 태양광 발전 SYSTEM의 설계 기술



글 \_ 이 현 화 (회원 No.8532)  
한빛디앤에스(주) 대표이사/공학박사, 기술사

## d) 허용휨응력도( $f_b$ )

• 하중면내에 대칭축이 있는 압연형강, 플레이트, 거더, 기타의 조립재로서 판, 폭두께비 제한을 만족시키는 부재가 강축에 대하여 힘을 받을 때(상자형 단면 제외) 압축축 허용휨응력도는 다음 두 가지 식 중 큰 값(단,  $f_b$ 는  $f_t$ 를 초과할 수 없다)이다.

$$f_b = 1 - 0.4 \frac{\left(\frac{l_b}{l_b}\right)^2}{C_m \lambda_p^2} f_t \quad \text{식 (5-34)}$$

$$f_b = \frac{900}{l_b \cdot h} \quad \text{식 (5-35)}$$

여기서  $C_m = 1.75 - 1.05 \left(\frac{M_1}{M_2}\right) + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 \leq 2.3$

구간 중간의 휨모멘트가  $M_2$ 보다 클 때는  $C_m = 1$ 로 한다.

$l_b$ : 압축플랜지의 지점간거리(cm)

$h$ : 압축플랜지와 부침의 1/6으로 된 T형 단면의 웨브 축에 대한 단면2차반경

$h$ : 보침

$A_r$ : 압축플랜지 단면적

$C_m$ : 휨모멘트경사에 따른 허용휨응력도 보정계수

$M_1, M_2$ : 좌굴구간 끝 부분의 작은 쪽과 큰 쪽의 강축(強軸)에 대한 휨모멘트

• 강관, 상자형 단면재, 하중면내의 대칭축이 있고 약축에 대하여 힘을 받는 부재로서 폭두께비 제한을 만족시키고 면내에 힘을 받는 가셋플레이트의 압축 및 인장축  $f_b$ 는  $f_t$ 이다.

• T단면 부재 및 하중면내에 대칭축이 없는 부재로서 폭두께비의 규정을 따를 때 부재의 압축축허용휨응력도는 (3-6)식에 따른다(단,  $f_b$ 는 초과할 수 없음).

• 베어링 플레이트 등 면 외로 힘을 받는 판의 허용휨응력도는 식 (5-36)의 값으로 한다.

$$f_{b1} = \frac{F_y}{1.3} \quad \text{식 (5-36)}$$

• 힘을 받는 판의 허용휨응력도는 (3-9)식의 값으로 한다.

$$f_{b2} = \frac{F_y}{1.1} \quad \text{식 (5-37)}$$

## e) 허용지압응력도 $f_{p1}$

• 판, 하중점 스티프터의 접촉부, 기타 마무리면 일반에 대한 허용지압응력도는 식 (5-38)의 값으로 한다.

$$f_{p1} = \frac{F_y}{1.1} \quad \text{식 (5-38)}$$

단,  $F_y$ 는 접촉재질이 다를 때는 작은 값으로 한다.

• 지압응력도  $\sigma_r$ 는 (3-11)식의 값으로 한다.

$$\sigma_r = \frac{P}{A_r} \quad \text{식 (5-39)}$$

여기서 P: 압축력(t), t: 핀의 판부두께(cm), d: 핀지름(mm)

$A_p$ : 일반적으로 접촉부의 단면적(단, 핀접합부에서는  $A_p = t_a$ 이다.)

• 미끄럼판 지지부 또는 로울러 지지부의 허용지압응력도는 식 (5-40)식에 따른다.

$$f_{a2} = 1.9F_y \quad \text{식(5-40)}$$

단,  $F_y$ 는 사용재질이 다를 때는 작은 값으로 하고 지압응력도는 식 (5-41)에 따른다.

$$\sigma_p = 0.42 \sqrt{\frac{PE}{br}} \quad \text{식 (5-41)}$$

여기서 P: 압축력, E: 영계수, b: 지지부의 폭, r: 지지부의 곡률변경

② 볼트: 볼트의 허용응력도는 상기의 ①의 허용응력도에 준한다.

③ 용접: 아크용접 이음의 목단면에 대한 허용응력도는 다음의 각 항을 표준으로 한다.

a) 맞춤 용접 이음새의 허용응력도는 접합되는 모재의 허용 전단 응력도가 된다.

b) 모서리 용접의 허용 응력도는 접합되는 모재의 허용 전단 응력도로 한다.

c) 이중강재를 접합할 경우에는 접합되는 모재의 허용 응력도 중, 작은 값으로 한다.

d) 알루미늄 합금이 아크용접으로 열처리될 경우 강도저하를 고려한다.

**(c) 부재의 접합**

부재의 접합으로는 볼트접합, 용접접합 또는 그 이상의 품질을 얻을 수 있는 방법을 쓰지 않으면 안된다. 구조내력상 중요한 부분인 이음새 또는 이음법은 그 부분의 존재 응력을 전달할 수있는 구조로 해야 한다.

**(d) 방식**

지지구조부재는 잘 썩지 않는 재료를 사용한 것을 제외하고는 유효한 금속의 부식방지 조치가된 것을 사용한다.

① 도금: 지지물에 사용할 강재방식을 도금으로 할 경우, 용융아연도금 또는 그 이상의 도금을 한다. 또한, 용융아연도금의 품질, 시험, 검사, 표시 등은 KSD 8308에 따른다.

② 도장: 지지물에 사용할 강재의 방식을 도장으로 할 경우, 사용환경을 고려하여 사양을 결정한다.

**1. 태양광 발전 송전설비 설계**

**1. 분산형 전원 배전계통 연계기준**

**1) 목적**

이 기술기준은 분산형 전원 발전설비를 한국전력공사(이하 「당사」라고 한다.) 배전계통(이하 「계통」이라고 한다.)에 연계하는 경우의 기술요건을 정하는 것을 목적으로 한다.

**2) 적용범위**

이 기술기준은 분산형 전원 발전설비를 설치한 자가 당사 계통에 연계하고자 하는 경우에 적용한다.

**3) 연계의 구분**

분산형 전원 발전설비를 계통에 연계하고자 할 경우, 공공 인축과 설비의 안전, 전력공급 신뢰도 및 전력품질을 확보하기 위한 기술적인 제반조건이 충족되어야 하며 계통에 연계할 수 있는 발전설비의 용량은 다음과 같다.

**가. 저압 배전선로의 연계**

발전설비 사업자의 전력용량\* 은 원칙적으로 20kW 이하는 제2장1절 및 2절의 기술요건을 만족하는 경우, 저압배전선로에 연계할 수 있다. 전력용량이 20kW를 초과하는 경우에는 전용선로로 연계하여야 하며, 이 경우 발전설비의 출력용량은 원칙적으로 100kW 이하로 한다.

※ 전력용량: 수전전력의 용량, 또는 계통연계에 관련된 분산형 전원 발전설비의 출력용량 중 큰 쪽을 말함.

**나. 특고압 배전선로의 연계**

제2장 1절 및 3절의 기술요건을 만족하는 경우, 3,000kW 이하는 분산형 전원 발전설비를 특고압 배전선로에 연계할 수 있다. 전력용량이 3,000kW를 초과하는 경우에는 전용선로로 연계하여야 하며 이 경우 발전설비의 출력용량은 원칙적으로 10,000kW 이하로 한다.

**4) 협의 및 기술기준 해석**

이 기술기준은 계통연계에 필요한 전력품질을 확보하기 위한 기술요건에 대한 표준적인 지표로서, 실제 계통연계 시 분산형 전원 발전설비의 설치자와 당사는 성의 있게 협의해야 한다.

## 2. 연계 기술기준

### 1) 공통사항

#### 가. 전기방식

분산형 전원 발전설비의 전기방식은 연계하고자 하는 계통의 전기방식과 동일하여야 한다.

#### 나. 공급전압 안정성 유지

분산형 전원 발전설비는 연계하고자 하는 지점의 계통전압을 능동적으로 조정하여서는 안 된다. 분산형 전원 발전설비가 계통에 영향을 미쳐 전기사업법 제18조 및 동법 시행령 제18조에 규정한 공급전압 범위를 벗어나게 하여서는 안 된다.

#### 다. 계통접지

분산형 전원 발전설비의 계통접지는 계통에 연결되어 있는 설비의 정격을 초과하는 과전압을 발생시켜서는 안 되며, 또한 계통의 접지고장 보호협조를 방해해서는 안 된다.

#### 라. 동기화

분산형 전원 발전설비는 연계하고자 하는 지점의 계통전압이  $\pm 4\%$  이상 변동되지 않도록 계통에 연계하여야 한다. 분산형 전원 발전설비의 계통연계 병렬장치를 투입하는 순간, 분산형 전원 발전설비와 연계하고자 하는 계통사이의 주요 제한 변수가 다음 표 값 이하이어야 하며, 만일 주요 3개의 제한 변수 중 어느 하나라도 다음 표 값을 초과하면 분산형 전원 발전설비의 계통 병렬장치를 투입하여서는 안 된다.

발전용량 합계(kVA)	주파수 차( $\Delta f$ , Hz)	전압 차( $\Delta V$ , %)	위상각 차( $\Delta \phi$ , °)
0~500	0.3	10	20
500~1,500	0.2	5	15
1,500~10,000	0.1	3	10

#### 마. 가압되어 있지 않은 계통에서의 연계금지

계통이 가압되어 있지 않을 때에는 분산형 전원 발전설비를 계통에 연계시켜서는 안 된다.

#### 바. 측정 감시

한 사업장의 분산형 전원 발전설비의 용량 합계가 250kVA 이상일 경우 연계지점의 연결 상태, 유효전력, 무효전력과 전압을 측정하고 감시할 수 있어야 한다.

#### 사. 분리 장치

계통 운영상 필요할 경우 쉽게 접근하고 잠금장치가 가능하며 육안 식별이 가능한 분리장치를 분산형 전원 발전설비와 계통연계 지점사이에 설치하여야 한다.

#### 아. 계통연계 시스템의 건전성

##### (1) 전자장 장애로부터 보호

계통연계시스템은 계통운영상 전력계통에 나타나는 EMI 전자장 장애환경에 견딜 수 있어야 하며, EMI 영향으로 인하여 계통연계시스템이 오동작해서는 안 된다.

※ EMI(Electromagnetic Interference) : 전자기기로부터 부수적으로 발생된 전자파가 그 자체의 기기 또는 타기기의 동작에 영향을 미치는 것

##### (2) 서지 보호기능

계통연계시스템은 계통운영 상 계통에 나타나는 서지환경에 견딜 수 있어야 한다.

#### 자. 계통 이상 시 분산형 전원 발전설비 분리

##### (1) 계통 고장, 또는 작업시 역충전 방지

고장이나 작업 등으로 인하여 계통이 가압되어 있지 않을 경우, 즉시 계통에서 분산형 전원 발전설비를 분리시켜야 한다.

##### (2) 전력계통 재폐로 협조

계통에서 고장이 발생할 경우 분산형 전원 발전설비는 즉시 계통에서 분리하여 계통의 재폐로에 지장이 없어야 한다.

##### (3) 전압

계통에서 비정상 전압상태가 발생할 경우 다음 표의 시간 이내에 분산형 전원 발전설비를 전력계통으로부터 분리시켜야 한다.

전압범위(기준전압에 대한 비율%)	고장 제거 시간*(초)
$V < 50$	0.16
$50 \leq V < 88$	2.00
$110 < V < 120$	2.00
$V \geq 120$	0.16

※ 고장제거시간 : 계통에서 비정상 전압상태가 발생한 때로부터 분산형 전원 발전설비가 계통으로부터 완전히 분리될 때까지의 시간. 분산형 전원 발전설비 용량이 30kW 이하일 경우, 최대 고장제거시간을 말하며 30kW를 초과할 경우 전압 정정치를 현장에서 조정할 수 있다.

##### (4) 계통 재 병입

계통에서 이상이 발생하여 전력계통을 정상으로 복구한 후,

전력계통의 전압과 주파수가 정상상태로 5분간 유지되지 않는 한 분산형 전원 발전설비를 다시 계통에 연결하여서는 안 된다.

**차. 전력품질**

**(1) 직류전류 계통유입 한계**

분산형 전원 발전설비는 전력계통 연계지점에서, 발전기용량 정격 최대전류의 0.5% 이상인 직류 전류를 전력계통으로 유입 하여서는 안 된다.

**(2) 역률**

분산형 전원 발전설비의 역률은 계통 연계지점에서 원칙적으로 90% 이상으로 유지한다.

**(3) 플리커**

분산형 전원 발전설비의 빈번한 출력변동 및 병렬분리에 의한 플리커 가혹도 지수는 특고압 계통 연계지점에서 단시간(10분)  $E_{psti}$ 는 0.35 이하로, 장시간(2시간)  $E_{plti}$ 는 0.25 이하로 제한하여야 하며, 저압계통 연계는 이에 준한다.

$$E_{psti} \leq 0.35 \text{ (단시간 : 10분)}$$

$$E_{plti} \leq 0.25 \text{ (장시간 : 2시간)}$$

**(4) 고조파 전류**

분산형 전원 발전설비로부터 계통에 유입되는 고조파 전류는 10분 평균한 40차까지의 총합 전류 왜형률이 5%를 초과하지 않도록 각 차수별로 제어하여야 한다.

○ 발전설비를 제외한 국부 연계계통의 1년 중 15분 최대 부하전류, 또는 (발전설비와 계통연계점 사이에 변압기가 있을 경우 이 변압기를 통과하는)발전설비 정격 전류용량 중 큰 값에 대한 고조파 전류의 비율이 아래의 표 값 이하여야 한다.

고조파 차수	h(11)	11≤h(17)	17≤h(23)	23≤h(35)	35≤h	TDD
비율	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

○ 짝수 고조파는 위의 각 구간별로 홀수 고조파의 25% 이하로 한다.

**카. 단독운전 방지 (Anti-Islanding)**

연계된 계통의 고장이나 작업 등으로 인해 분산형 전원 발전설비가 주 간선 계통으로부터 분리되어 일부 구간의 부하에만 전력을 공급하는 단독운전(Islanding)상태가 불가피하게 발생할 경우 분산형 전원 발전설비는 이러한 단독운전 상태를 가능한 빨리 검출하여 전력계통으로부터 분산형 전원 발전설비를

분리시켜야 하며(최대 0.5초 이내), 0.5초 이내의 순간일지라도 단독운전으로 인하여 계통의 정상운용, 설비운전, 공공인축 안전 등에 나쁜 영향을 미치지 않도록 보호장치를 설치하거나 전송차단장치를 구비해야 한다.

※ TDD(Total Demand Distortion)는 다음과 같이 정의됨

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100 [\%]$$

$I_h$  : 각 차수의 고조파 전류 크기

$h$  : 고조파 차수,  $I_L$  : 최대 부하 전류

**타. 보호협조 원칙**

분산형 전원 발전설비의 고장, 또는 전력계통 고장 시 신속하게 고장을 제거하고 고장범위를 국한시키기 위하여 다음 사항을 고려한 보호협조를 실시한다.

- (1) 분산형 전원 발전설비의 이상 및 고장으로 인한 영향이 연계 계통으로 파급되지 않도록 해당 계통과 신속히 분리한다.
- (2) 분산형 전원 발·변전설비의 보호도면과 제어도면은 사전에 반드시 당사와 협의해야 한다.

**2) 저압 배전선로 연계**

**가. 변압기**

발전사업자는 역변환장치로부터 직류가 계통으로 유출하는 것을 방지하기 위하여 발전설비에 변압기를 설치하여야 한다. 단, 다음 조건을 모두 만족시킬 경우에는 변압기의 설치를 생략함.

- (1) 직류회로가 비접지, 또는 고주파수 변압기를 사용하는 경우
- (2) 교류출력 측에 직류검출기 구비, 직류검출 시 교류출력 정지기능 구비

**나. 전압변동**

(1) 분산형 전원 발전설비의 연계로 인한 저압계통의 상시 전압변동(10분 평균값)은 3% 이하, 순시 전압변동(2초 이하)은 4% 이하로 한다.

(2) 역조류를 허용 하는 발전설비를 저압배전선과 연계시 전압변동이 적정치를 초과하는 경우 전용변압기를 통하여 배전계통에 연계하며, 역조류를 발생하는 최대 발전용량은 변압기 용량을 초과하지 않도록 한다

(3) 분산형 전원 발전설비의 출력변동 및 빈번한 병렬분리에 의한 전압변동으로 저압계통의 상시전압이 적정치(220 ± 13V, 380 ± 38V)를 벗어날 우려가 있을 때는 분산형 전원 발전설비의 설치자가 출력전압을 조정하고 출력전압의 변동을 억제하며 병렬분리의 빈도를 저감하는 등 전압변동 대책을 실시한다. 또한 이로써 대응이 불가능할 경우 분산형 전원 발전설비의 설치자가

- 한류리액터 등의 설치
- 배전선로 증설, 또는 전용선로에 의한 연계
- 단락용량이 큰 상위전압의 계통에 연결한다.

#### 다. 단락용량

분산형 전원 발전설비의 연계에 의해 계통의 단락용량이 다른 고객의 차단기 차단용량 등을 상회할 우려가 있을 때는 분산형 전원 발전설비의 설치자가 단락전류를 제한하는 장치(한류리액터 등)를 설치한다.

#### 라. 보호계전장치 설치

(1) 발전사업자는 원칙적으로 다음의 보호계전기 또는 동등의 기능을 가진 장치를 설치하여 전기적 고장 발생시 자동적으로 배전계통과의 연계를 분리할 수 있도록 설비를 갖추어야 한다.

- ① 설비의 단락 및 지락고장 보호를 위한 보호장치를 설치한다.
- ② 적절한 전압과 주파수를 벗어난 운전을 방지하기 위하여 과·저전압계전기, 저·과주파수계전기를 설치한다.
- ③ 역조류를 허용하지 않는 발전기의 경우는 역전력계전기를 설치한다.

(2) 위 (1)항의 차단장치는 배전계통이 정지 중(무전압상태)에는 투입 불가능하도록 시설하여야 한다. 또한, 재가압 후에도 5분 동안은 투입되지 않도록 시설한다.

(3) 역조류를 허용하는 경우 단독운전방지기능(Anti-islanding)에 의해 자동적으로 연계를 차단하는 장치를 설치하며, 동시에 옥외 또는 옥내에서 조작 가능한 개폐기를 거래용 전력량계의 발전설비 측에 설치하여야 한다.

(4) 기타 연계선로의 보호계전방식은 배전사업소의 검토 결과에 따른다.

### 3) 특고압 배전선로 연계

#### 가. 보호계전장치 설치

(1) 분산형 전원 발전설비에 고장이 발생했을 경우, 설비보호를 위하여 다음과 같은 보호계전기를 설치하며, 당사의 [발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 기준서]에 따른다.

- ① 설비의 단락 및 지락고장 보호를 위하여 단·지락과전류계전기를 설치한다. 단, 해당 계전기가 보호협조가 안될 경우는 방향성 단·지락계전기, 거리계전기 또는 전류차동계전기, 무효전력계전기 등을 설치한다.
- ② 적절한 전압과 주파수를 벗어난 운전을 방지하기 위하여 과·저전압계전기, 저·과주파수계전기를 설치한다.
- ③ 역조류를 허용하지 않는 발전기의 경우는 역전력계전기를 설치한다.

(2) 당사의 변전소 차단기 인출측 연계선로에 선로 무전압 확인장치를 설치하여 재폐로 및 수동 투입시 비동기 투입되지 않도록 한다. 단, 역조류를 허용하지 않는 경우는 보호계전장치 2계열화 설치로 선로무전압 확인장치를 생략할 수 있다.

(3) 발전기를 연계선로와 병렬 운전하고자 할 때는 비동기에 의한 고장이 발생하지 않도록 발전소내 동기점정장치 또는 이와 유사한 기능을 가진 장치를 설치한다.

(4) 기타 연계선로의 보호계전방식은 송전사업자(전력관리처 및 제주지사)의 검토 결과에 따른다.

#### 나. 보호계전장치 설치점

보호계전기는 분산형 전원 발전설비 구내의 수전점(수전 보호배전반)에 설치하는 것을 원칙으로 한다. 단, 수전점에서 고장검출이 불가능한 경우에 한하여 고장검출이 가능한 지점(해당 보호배전반)에 설치 할 수 있다.

#### 다. 분리개소

분리개소는 계통으로부터 분산형 전원 발전설비를 분리할 수 있는 다음 어느 하나 이상의 개소로 한다.

- (1) 수전용 차단기
- (2) 분산형 전원 발전설비 출력단 차단기
- (3) 분산형 전원 발전설비 연락용 차단기
- (4) 모선 연락용 차단기

#### 라. 보호계전기의 설치상수

보호계전기의 설치상수는 다음과 같다.

(1) 저주파수 계전기, 과주파수 계전기 및 지락과전류계전기는 단상에 설치한다.

(2) 역전력계전기, 과전압계전기, 저전압계전기, 과전류계전기, 전류차동계전기는 3상에 설치한다.

**마. 역조류의 제한**

역조류를 허용하지 않는 경우에는 해당 분산형 전원 발전설비를 연계하는 연계지점에서 역조류가 발생하지 않도록 하여야 하며, 만약 역조류가 발생될 경우 이를 검출하여 수전 차단기 또는 해당 발전기를 차단시켜야 한다.

**바. 전압변동**

(1) 분산형 전원 발전설비의 연계로 인한 특고압 계통의 상시 전압변동(10분 평균값)은 2%이하, 순시 전압변동(2초 이하)은 2%이하로 한다.

(2) 분산형 전원 발전설비의 빈번한 출력변동과 빈번한 병렬 분리에 의한 전압변동으로 인하여, 특고압 계통의 상시전압이 당사의 공급전압 변동범위(12,000 ~ 13,800V / 20,800 ~ 23,800V)를 벗어날 우려가 있을 때는, 분산형 전원 발전설비의 설치자가 출력전압을 조정하고, 출력전압의 변동을 억제하며, 병렬 분리의 빈도를 저감하는 대책을 실시한다. 또한 이로써도 대응이 불가능할 경우 분산형 전원 발전설비의 설치자가

- 한류리액터 등의 설치
- 배전선로 증강, 또는 전용선로에 의한 연계
- 단락용량이 큰 상위전압의 계통에 연결한다.

(3) 동기발전기를 이용하는 경우 제동권선을 설치(제동권선과 동등 이상의 난조방지효과를 갖춘 동기발전기를 포함한다.) 함과 동시에 자동동기검정장치를 설치한다.

**사. 단락용량**

분산형 전원 발전설비의 연계로 계통 단락용량이 다른 고객의 차단기 차단용량 등을 상회할 우려가 있을 때는 분산형 전원 발전설비의 설치자가 단락전류를 제한하는 장치(한류리액터 등)를 설치한다. 이로써 대응할 수 없을 경우에는 다른 변전소 뱅크의 계통에 연계하거나, 상위 전압의 송전선로에 연계하거나, 기타 단락용량대책을 강구한다.

**아. 연락체계**

당사의 배전사령실 등과 분산형 전원 발전설비의 설치자 사이에는 보안통신용 전화설비(전용 보안통신용 전화설비 또는 전기통신사업자의 전용회선 전화)를 설치한다. 단, 다음 조건

을 만족시킬 경우에는 일반가입 전화 및 휴대전화를 이용할 수 있다.

(1) 분산형 전원 발전설비 설치자 측의 교환기를 이용하지 않고 직접 기술원과 통화가 가능한 방식(교환기를 이용하는 대표번호 방식이 아니고 직접 기술원과 연결되는 단번방식)으로 한다.

(2) 통화도중에 타전화 착신이 가능한 방식으로 하는 경우

다음호에 계속 ◆◆

