

태양광 발전 SYSTEM의 설계 기술



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

3-1. 태양전지 어레이용 가대설계의 기초

태양전지 어레이를 지상 또는 건물의 옥상과 주택의 평지부에 설치할 경우, 견고한 기초부분에 설치하는 것을 전제로 가대설계기법을 해설한다.

가대(지지물)는 대부분 강구조물인데, 여기에서는 그것이 보유할만한 기계적 강도를 정하기 위해 설계용 상정하중 및 가대에 사용할 재료와 그 허용응력도 등에 대하여 기술하기로 한다. 또한, 구조설계는 허용응력도 설계를 기본으로 하고 설계용 하중으로는 등가 정적 하중을 전제로 한다.

지금까지 태양전지 어레이용 가대의 설계표준이 없었고 전기 설비로 생각되는 경우에는 배전용 지지물 설계표준을, 건축물로서 생각되는 경우에는 건축법 시행령, 건축물 하중지침 등이 준용되어 왔다. 그러나 이들 기준 사이에는 대상과 설계의 사고방식에 약간의 상이점이 있어 태양전지 어레이에 적용한 설계표준이라고는 말하기 어렵다. 그래서 다음의 항목을 태양전지 어레이용 가대설계하는데 참조하기 바란다.

(1) 적용범위

대상 가대는 하단에서 상단까지의 높이가 4m이하인 태양전지 어레이를 구축하기 위한 지지물로 한다. 또한, 건재일체형과 해발고도 1,000m를 초과할 경우, 지상 60m를 초과하는

장소에 설치할 경우는 제외한다.

(2) 상정하중

태양전지 어레이용 가대의 구조설계시 상정하중으로는 영구적으로 작용하는 고정하중과 자연의 외력인 풍하중, 적설하중, 지진하중이 있다. 이밖에 온도변화에 따른 「온도하중」도 있는데, 용접구조의 길이가 긴 경우 이외의 지지물에서는 다른 하중보다 작으므로 제외한다. 고정하중(D), 풍하중(W), 적설하중(S), 지진하중(E)에 대한 하중 조합은 다음과 같다.

- ① 고정하중(D) : 모듈의 질량과 지지물 등의 질량의 합
- ② 풍하중(W) : 모듈에 가해지는 풍압력과 지지물에 가해지는 풍압력의 합(백터합)
- ③ 적설하중(S) : 모듈면의 수직 적설하중
- ④ 지진하중(E) : 지지물에 가해지는 수평 지진력(강구조 가대에서 이 지진하중은 일반적으로 풍하중보다 작다)

【표 6】 하중 조합

	하중조합
1	1.4D
2	1.2D+0.5S
3	1.2D+1.6S+0.8W
4	1.2D+1.3W+0.5S
5	1.2D+1.0E+1.5S
6	0.9D+1.0E 또는 1.3W

[주] 위의 식 중 S에 대한 하중계수 0.2는 튜브모양의 지붕과 같이 눈이 흘러내리지 못하는 지붕인 경우 0.7로 하고 기타 지붕에 대해서는 0.2로 한다.

(3) 풍하중

태양전지 어레이용 가대의 구조설계에 있어서 상정하중이 최대가 되는 것은 일반적으로 풍하중인 경우가 많다. 바람으로 인한 태양전지 어레이 파괴의 대부분은 강풍시에 발생하는데, 여기에서 상정하는 풍하중은 강풍으로 인한 파괴방지의 목적으로 설계할 경우에 적용시킬 수 있다.

(a) 기호

풍하중에서 사용되는 기호는 다음과 같이 정리하니 참고하기 바란다.

- A: 유효 수압면적 (m^2)
- C_r : 풍력계수
- C_{pe} : 외압 계수
- C_{pe1} : 풍상벽의 외압계수
- C_{pe2} : 풍상벽의 외압계수
- C_{pi} : 내압 계수
- G_r : 구조 골조용 가스트 영향계수
- G_i : 내압 가스트 영향계수
- GC_{pe} : 외장재 설계용 가스트 외압계수
- GC_{pi} : 외장재 설계용 가스트 내압계수
- I_w : 건축물의 중요도 계수
- K_{zt} : 풍속의 고도분포계수
- K_{za} : 지형에 의한 풍속할증계수
- V_o : 기본풍속(m/s)
- V_h : 설계지역의 지표면으로부터 지붕면 평균높이 h 에 대한 설계풍속 (m/s)
- V_z : 설계지역의 지표면으로부터 임의 높이 Z 에 대한 설계풍속 (m/s)
- P_c : 외장재 설계용 설계풍압 (N/m^2)
- P_r : 구조골조용 설계풍력 (N/m^2)
- q_h : 지붕면의 평균높이 h 에 대한 설계속도압 (N/m^2)
- q_z : 지표면에서의 임의 높이 Z 에 대한 설계속도압 (N/m^2)
- p : 공기밀도로써 균일하게 $1.25 (N \cdot s^2/m^4)$ 적용

(b) 구조골조용 풍하중 (W_r)

구조골조용 풍하중은 식 (5-5)로 산출한다.

$$W_r = P_r \cdot A \quad \text{식 (5-5)}$$

① 밀폐형 건축물의 구조골조용 설계풍력(P_r)

$$P_r = G_r \cdot (q_z \cdot C_{pe1} - q_h \cdot C_{pe2}) \quad \text{식 (5-6)}$$

② 개방형 건축물 및 기타 구조물의 구조골조용 설계풍력(P_r)

$$P_r = q_z \cdot G_r \cdot G_r \quad \text{식 (5-7)}$$

(c) 지붕골조용 풍하중(W_r)

지붕골조용 풍하중은 식 (5-8)로 산출한다.

$$W_r = p_r \cdot A_r \quad \text{식 (5-8)}$$

① 밀폐형 건축물 및 일부개방형 건축물의 지붕골조용 설계풍력(p_r)

$$p_r = q_h \cdot (G_r \cdot C_{pe} - G_i \cdot C_{pi}) \quad \text{식 (5-9)}$$

② 독립 편지붕인 경우의 설계풍력(p_r)

$$p_r = q_h \cdot G_r \cdot G_r \quad \text{식 (5-10)}$$

(d) 외장재용 풍하중 (W_e)

외장재용 풍하중은 식 (5-8)로 산출한다.

$$W_e = p_c \cdot A \quad \text{식 (5-11)}$$

외장재 설계용 풍압(p_c)은 다음과 같다.

① 지붕면의 평균높이 20m 이상 건축물의 정압인 외벽

$$p_c = q_z (GC_{pe} \cdot GC_{pi}) \quad \text{식 (5-12)}$$

② 지붕면의 평균높이 20m 이상 건축물의 부압인 외벽 및 지붕면

$$p_c = q_h \cdot (GC_{pe} \cdot GC_{pi}) \quad \text{식 (5-13)}$$

③ 지붕면의 평균높이 20m 미만인 건축물 외벽 및 지붕면 (다만 여기서 q_h 는 노풍도 구분 C에서의 설계속도압을 적용)

$$p_c = q_h \cdot (GC_{pe} \cdot GC_{pi}) \quad \text{식 (5-14)}$$

(e) 설계속도압

설계속도압은 다음의 식으로 산출한다.

① 설계 높이에 대한 설계속도압(q_z)

$$q_z = \frac{1}{2} \cdot p \cdot V_z^2 \quad \text{식 (5-15)}$$

② 지붕면평균높이에 대한 설계속도압(q_h)

$$q_h = \frac{1}{2} \cdot p \cdot V_h^2 \quad \text{식 (5-16)}$$

③ 설계풍속 (V_z, V_h)

$$V_z (V_h) = V_o \cdot K_{zt} \cdot K_{za} \cdot I_w \quad \text{식 (5-17)}$$

(f) 풍하중을 산출하는 데 사용되는 각종 수치 및 계수

풍하중을 산출에 필요한 각종 수치 및 계수를 다음과 같이 정리하니 참고하기 바란다.

① 기본풍속(V₀)

【표 7】 기본풍속(지역별) V₀

지 역		V ₀ (m/sec)
서울특별시	서울, 인천, 김포, 부천, 구리, 오산, 평택, 시흥, 과천,	30
인천광역시	안양, 수원, 안산, 군포, 의왕, 안성, 강화	
경기도	양평, 성남, 하남, 용인, 의정부, 동두천, 포천, 파주, 광주, 기흥, 미금, 여주군, 이천, 신갈, 장호원	25
강원도	속초, 강릉, 양양, 주문진	40
	거진, 간성, 동해, 삼척, 원덕	35
	춘천, 화천, 양구, 철원, 김화, 인제, 영월, 정선, 태백, 원주, 평창, 홍천	25
대전광역시	장항	40
	태안, 서산, 청주, 대천, 서천, 안면도, 조치원, 천안, 홍성, 광천, 아산	35
충청북도	대전, 당진, 합덕, 성환, 진천, 증평, 온양	30
충청남도	음성, 청양, 금산, 영동, 공주, 논산, 제천, 충주, 부여, 보은, 단양, 괴산, 옥천	25
부산광역시	포항, 울릉도, 구룡포, 오천, 흥해, 감포	45
	부산, 기장, 장안, 연일, 외동, 가덕도	40
대구광역시	울산, 통영, 거제, 고성, 진해, 김해, 마산, 창원, 양산,	35
대구광역시	울진, 평해, 안경, 경주, 남해, 삼천포	
울산광역시	김천, 가야, 삼랑진, 영덕, 사천	30
경상북도	대구, 영주, 구미, 김천, 영천, 안동, 봉화, 풍기, 예천, 청송, 영양, 하양, 경산, 청도, 남지, 의령, 추풍령, 상주, 선산, 군위, 의성, 문경, 점촌, 함창, 진주, 거창, 함양, 산청, 고령, 창녕, 함녕, 밀양	25
	경상남도	
광주광역시	목포, 여수, 완도, 진도, 옥구, 노화, 익산, 금일, 해남, 관산, 대덕, 도양, 고흥	35
	전라북도	광주, 나주, 화순, 영암, 일노, 강진, 장흥, 보성, 벌교, 순천, 광양, 무안, 함평, 영광
전라남도	전주, 함열, 진안, 무주, 삼례, 담양, 부안, 남원, 순창, 구례, 고창, 정주, 장수, 승주, 임실, 태인	25
제주도	전지역	40

② 풍속의 고도분포계수

【표 8】 노풍도 구분에 따른 풍속의 고도분포계수 (K_z)

지표면으로부터의 높이 Z(m)	노풍도 구분			
	A	B	C	D
Z ≤ Z ₀	0.58	0.81	1.0	1.13
Z ₀ < Z ≤ Z _a	0.22Z ^a	0.45Z ^a	0.71Z ^a	0.97Z ^a

[주] Z₀: 대기경계층의 시작높이, m
Z_a: 기준경도풍높이, m
a: 풍속의 고도분포지수

【표 9】 대기경계층의 시작 높이 (Z₀), 기준 경도풍 높이(Z_a) 및 풍속의 고도분포 지수(a)

노풍도 구분	A	B	C	D
Z ₀ (m)	20m	15m	10m	5.0
Z _a (m)	500m	400m	300m	250
a	0.33	0.22	0.15	0.10

[주] Z₀: 대기경계층의 시작높이, m
Z_a: 기준경도풍높이, m
a: 풍속의 고도분포지수

【표 10】 노풍도 구분

노풍도 구분	주변지역의 지표면 상태
A	대도시 중심부에서 10층 이상의 대규모 고층건축물이 밀집해 있는 지역
B	높이 3.5m 정도의 주택과 같은 건축물이 밀집해 있는 지역 중층건축물이 산재해 있는 지역
C	높이 1.5~10m 정도의 장애물이 산재해 있는 지역 저층건축물이 산재해 있는 지역
D	장애물이 거의 없고, 주변 장애물의 평균 높이가 1.5m 이하인 지역 해안, 초원, 비행장

③ 지형에 의한 풍속할증계수

• 지형에 의한 풍속할증계수(K_z)는 경사, 산 및 언덕의 영향이 없는 지역에서는 기본적으로 1.0이다

• 산, 언덕 및 경사지 정상부근의 풍속할증이 필요한 부분의 풍속할증계수 적용범위 및 지형에 의한 풍속할증계수(K_z)는 【표 11】, 할증적용범위는 【표 12】과 같다.

【표 11】 지형에 의한 풍속할증계수(K_z)

풍상측 중 가장 불리한 경사(θ)	풍속할증계수(K _z)	
	경사지(θ ≤ 0.05)	언덕, 산(θ ≤ 0.1)
0.05	1.05	1.11
0.1	1.09	1.21
0.2	1.18	1.41
≥ 0.3	1.27	1.61

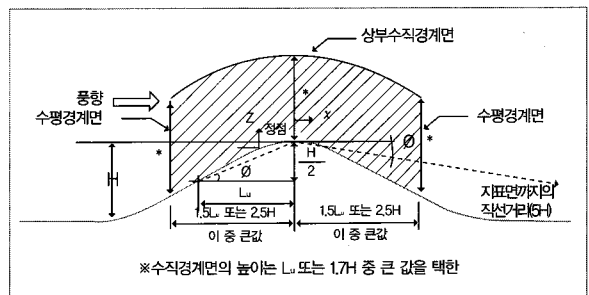
[주] 언덕, 산의 경우 풍하측의 경사가 0.05 ≤ θ < 0.1일 때는 경사지와 언덕 또는 산의 사이 값을 직선보간하여 사용할 수 있다.
여기서, θ: 풍상측에서 가장 불리한 조건의 경사(θ = H / L₀)

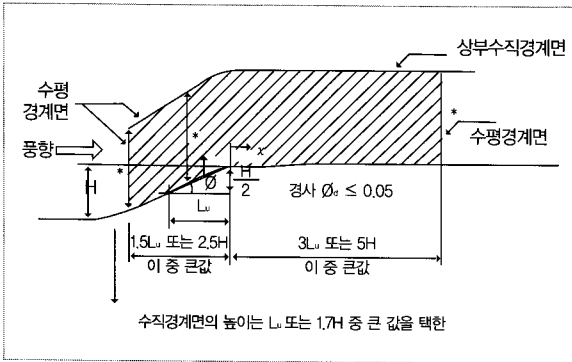
θ: 언덕, 산, 경사지의 정점으로부터 풍하측 빗변으로 5H되는 거리까지의 평균경사

【표 12】 지형에 의한 풍속할증계수(K_z) 적용범위, m

지형구분	적용높이 및 거리	적용범위	
		풍상측	풍하측
언덕, 산	풍속할증 수직높이 (지표면에서)	L ₀ 1.7H	중 큰 값
	풍속할증 수평거리 (정점에서)	1.5L ₀ 2.5H	중 큰 값
경사지	풍속할증 수직높이 (지표면에서)	L ₀ 1.7H	중 큰 값
	풍속할증 수평거리 (정점에서)	1.5L ₀ 중 큰 값 2.5H	3L ₀ 중 큰 값 5H

[주] 언덕, 산의 경우 풍하측의 경사가 0.05 ≤ θ < 0.1일 때는 경사지와 언덕 또는 산의 사이 값을 직선보간하여 사용할 수 있다.





여기서, θ : 풍상측에서 가장 불리한 조건의 경사($\theta = \frac{H}{2L}$)

θ : 언덕, 산, 경사지의 정점으로부터 풍하측 빗변으로 5H되는 거리까지의 평균경사

H : 언덕, 산, 경사지의 높이(m)

L : 언덕, 산, 경사지의 정점 중앙으로부터 H/2인 지점에서 풍상 경사지까지의 수평거리(m)

④ 중요도계수

【표 13】 중요도 계수(w)

중요도	건축물의 용도 및 규모	중요도 계수(w)
특	· 연면적이 1,000m 이상인 위험물저장 및 처리시설, 종합병원, 병원, 방송국, 전신전화국, 발전소, 소방서, 공공업무시설 및 노약자시설 · 15층 이상 아파트 및 오피스텔	1.10
1	· 연면적이 5,000m 이상인 관람집회시설, 운동시설, 운수시설, 전시시설 및 판매시설 · 5층 이상인 숙박시설, 오피스텔, 기숙사 및 아파트	1.00
2	· 중요도 (특), (1), (3)에 해당하지 않는 건축물	0.95
3	· 가설 건축물, 농가 건축물, 소규모 창고	0.81

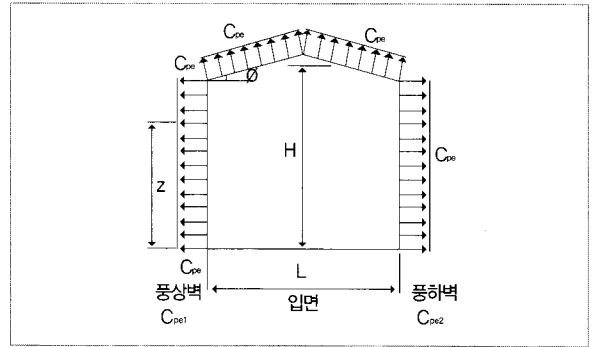
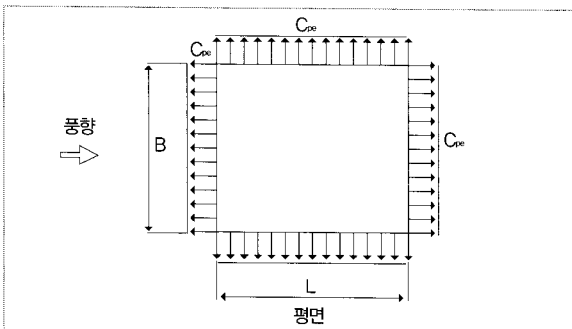
⑤ 구조골조용 및 지붕골조 설계용 가스트 영향계수

【표 14】 구조골조용 및 지붕골조 설계용 가스트 영향계수 (G_i)

노풍도구분	가스트 영향계수 (G_i)
A	2.5
B	2.2
C	1.9
D	1.8

⑥ 구조골조용 및 지붕골조 설계용 풍압계수 및 풍력계수

- 밀폐형 및 일부개방형 건축물의 구조골조용 외압계수(C_{pe})



【표 15】 벽면의 외압계수(C_{pe})

	L/B	C_{pe}	적용 속도압
풍상벽	모든 값	0.8	q_w
	0~1	-0.5	
풍하벽	2	-0.3	q_h
	≥4	-0.2	
측벽	모든 값	-0.7	q_h

[주] q_s : 지표면에서 높이 z에 대한 설계속도압, N/m^2

q_h : 지표면에서 높이 z에 대한 설계속도압, N/m^2

【표 16】 지붕면 외압계수 (C_{pe})

풍향	h/L	풍상면						풍하면	
		경사각(θ)							
		0	10~15	20	30	40	50	≥60	
용마루	≤0.3	-0.7	0.2 ^a	0.2	0.3	0.4	0.5	0.01 θ	
			-0.9 ^b						
루직각	0.5	-0.7	-0.9	-0.75	-0.2	0.3	0.5	0.01 θ	-0.7
	1.0	-0.7	-0.9	-0.75	-0.2	0.3	0.5	0.01 θ	
	≥1.5	-0.7	-0.9	-0.9	-0.9	-0.35	0.2	0.01 θ	
용마루방향	h/B 또는 h/L ≤ 2.5	-0.7						-0.7	
	h/B 또는 h/L > 2.5	-0.8							-0.8

[주] 1) 정압 및 부압에 대하여 고려해야 한다.

B : 건물의 풍직각방향 길이, m

L : 건물의 풍방향 길이, m

Z : 지표면으로부터의 임의높이, m

h : 지붕면 평균높이, m

q_s : 지표면으로부터 임의높이 z에 대한 설계속도압, N/m^2

q_h : 지붕면 평균높이 h에 대한 설계속도압, N/m^2

θ : 지붕경사각, °

- 밀폐형 건축물의 지붕골조용 설계용 내압계수 및 내압 가스트 영향계수

【표 17】 밀폐형 건축물의 내압계수 (C_{pi}) 및 내압 가스트 영향계수 (G_i)

C_{pi}	G_i
0 또는 -0.4	1.3

다음호에 계속 ◆◆