

태양광 발전 SYSTEM의 설계 기술



글_이현화 (회원 No.8532)
한빛디엔에스(주) 대표이사/공학박사, 기술사

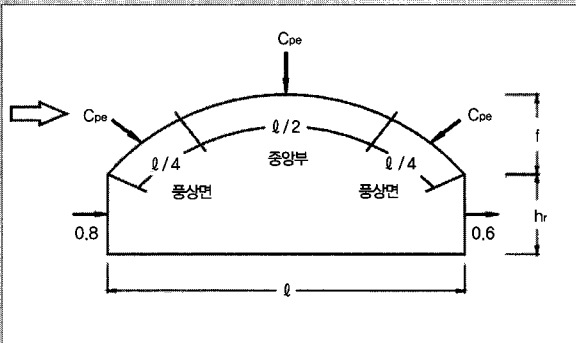
• 곡면지붕의 외압계수

외압계수 (C_{pe})는 지표면에서 곡면지붕 처마까지의 높이로 구분하고 지붕면 높이, 지붕면경간에 따라 풍상면과 풍하면 1/4 경간 지붕중앙 부분의 값으로 구분하여 적용한다.

[표 18] 곡면지붕의 외압계수 (C_{pe})

조건	높이 대 경간비 γ (h/l)	C_{pe}		
		풍상면 1/4 부분	중앙부 1/2 부분	풍하면 1/4 부분
$h_r > 0$	$0 < \gamma < 0.2$	-0.9	$-0.7 - \gamma$	-0.5
	$0.2 \leq \gamma < 0.3^*$	$1.5\gamma - 0.3$	$-0.7 - \gamma$	-0.5
	$0.3 \leq \gamma \leq 0.6$	$2.75\gamma - 0.7$	$-0.7 - \gamma$	-0.5
$h_r = 0$	$0 \leq \gamma < 0.6$	1.4γ	$-0.7 - \gamma$	-0.5

[주] (1) 기호 γ : h/l
 h : 지붕면 높이, m
 l : 지붕면 경간, m
 h_r : 지표면에서 곡면지붕 처마까지의 높이, m
 * $0.2 \leq \gamma < 0.3$ 인 경우 $1.5\gamma - 0.3$ 대신 0.2 로 할 수 있다.



• 독립된 편지붕의 풍력계수

압력의 중심은 지붕경사각에 따라 풍상측 처마끝점으로부터 풍압력의 중심점까지의 거리를 적용한다.

[표 19] 독립된 편지붕의 풍력계수 (C_i)

지붕경사각 θ	L/B						
	5	3	2	1	1/2	1/3	1/5
10	0.2	0.25	0.3	0.45	0.55	0.7	0.75
15	0.35	0.45	0.5	0.7	0.85	0.9	0.85
20	0.5	0.6	0.75	0.9	1.0	0.95	0.9
25	0.7	0.8	0.95	1.15	1.1	1.05	0.95
30	0.9	1.0	1.2	1.3	1.2	1.1	1.0

지붕경사각 θ	압력의 중심 X/L		
	L/B = 2~5	L/B = 1	L/B = 1/5~1/2
10~20	0.35	0.3	0.3
25	0.35	0.35	0.4
30	0.35	0.4	0.45

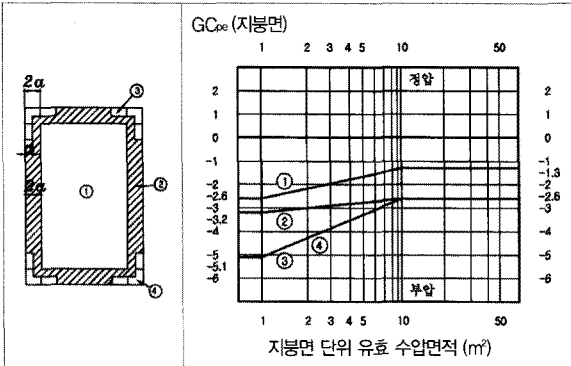
[주] (1) 지붕면 직각에 대하여 내측면, 외측면 양 방향으로 풍압이 작용하는 것을 고려해야 한다.
 (2) 수평지붕이라도 수평중향각 $\pm 10^\circ$ 를 고려해야 한다.
 (3) 기호: θ : 풍방향 지붕차수, m
 B : 풍직각방향 지붕차수, m
 X_c : 풍상측 처마끝점으로부터 풍압력의 중심점까지의 거리, m
 θ : 지붕경사각, °

⑦ 외장재 설비용 가스트 외압계수 및 내압계수

각 외장재는 최대 정압과 최대 부압으로 설계한다. 밀폐형 건 축물의 외장재 설비용 가스트 내압계수 (G_{cp})는 0 또는 -0.52 를 적용한다.

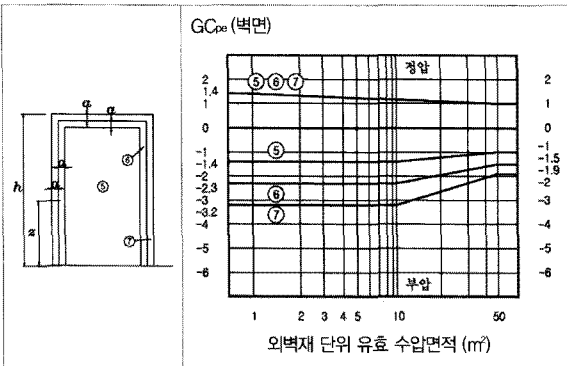
• 높이가 20m 이상인 건축물의 가스트 외압계수

[표 20] 지붕면의 평균높이 20m이상인 건축물의 지붕면 가스트 외압계수



- [주] (1) 유효수압면적은 외장재 및 마감재의 입력을 주구조체에 전달하는 단위 2차 부재의 유효수압면적
 (2) 지붕경사각이 10° 이상인 경우 (표 7.5.17)의 b), c)를 사용하되 노풍도구분 C의 q_s 를 따른다
 (3) a: 최소폭의 5% 또는 0.5h 중 작은 값
 h: 지붕면 평균높이
 z: 지표면으로부터의 임의 높이

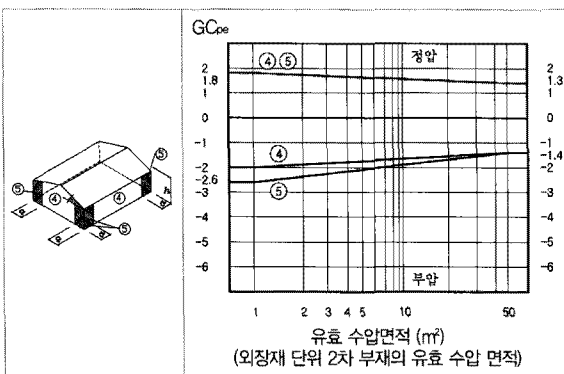
[표 21] 지붕면의 평균높이 20m이상인 건축물의 벽면 가스트 외압계수



[주] [표 20] 과 동일

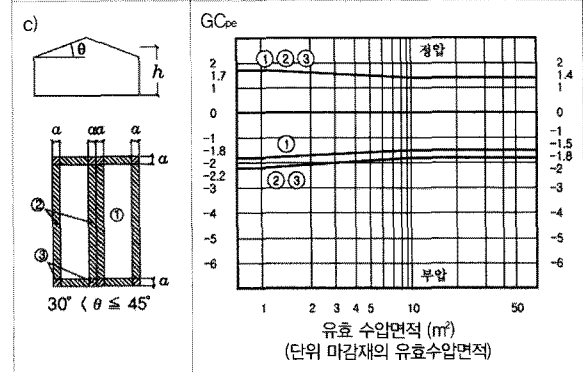
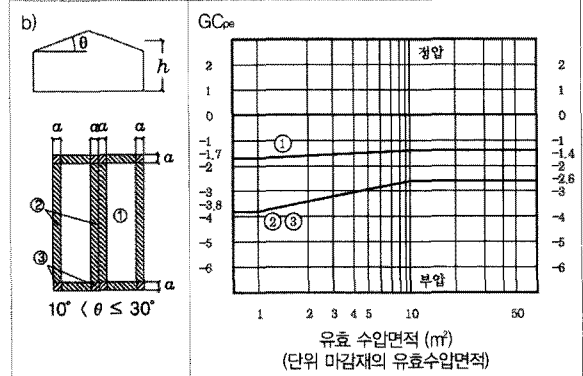
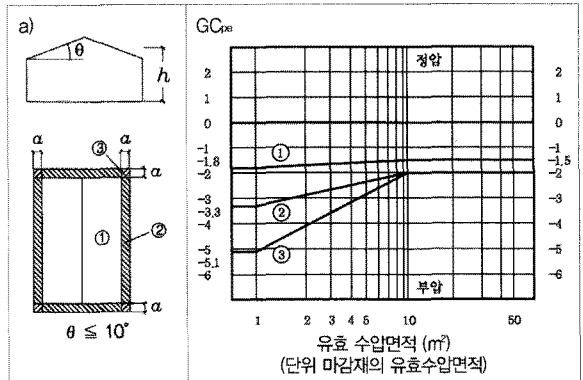
• 지붕면 평균높이가 20m 미만인 박공지붕형 건축물의 벽면 및 지붕면의 가스트 외압계수

[표 22] 지붕면의 평균높이 20m 미만인 박공지붕형 건축물의 벽면의 가스트 외압계수



- [주] 1) $\theta \leq 10^\circ$ 인 경우의 벽면의 GC_{pe} 값을 10% 줄일 수 있다.
 2) 종축의 GC_{pe} 는 노풍도 구분 C에 해당하는 q_s 를 계산할 경우이다.
 a: 건축물 최소폭의 0.1배 혹은 0.4h 중 작은 값으로 한다.
 단 최소폭의 0.04배 또는 1.0m보다 작아서는 안된다.

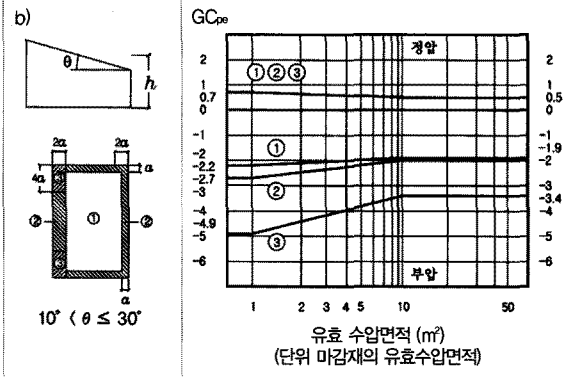
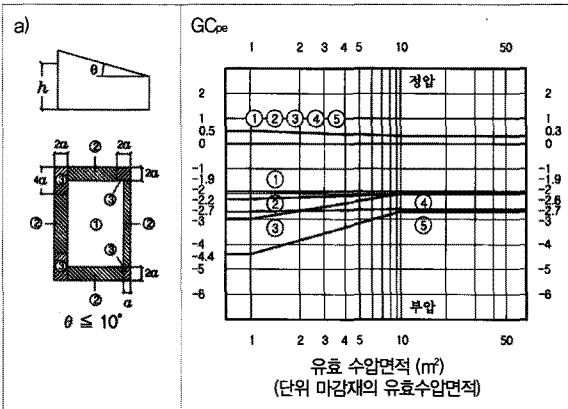
[표 23] 지붕면의 평균높이 20m 미만인 박공지붕형 건축물 지붕면의 가스트 외압계수



- [주] a: 건축물 최소폭의 0.1배 혹은 0.4h 중 작은 값으로 한다.
 단 최소폭의 0.04배 또는 1.0m 보다 작아서는 안된다.

• 지붕면 평균높이 20M 미만인 편지붕형 건축물 지붕면의 가스트 외압계수

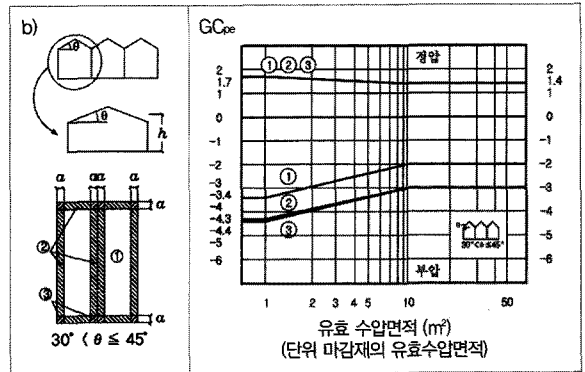
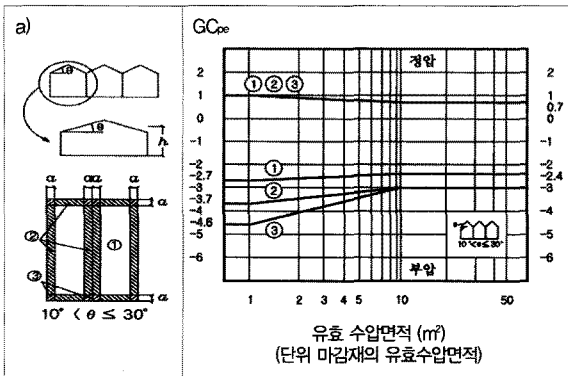
[표 24] 지붕면의 평균높이 20m 미만의 편지붕형 건축물 지붕면의 가스트 외압계수



[주] (1) 종축의 GC_{pe} 는 노풍도 구분 C에 해당하는 C_p 를 계산할 경우이다.
(2) 노풍도 구분 B에 위치한 건축물의 경우 산출된 풍압력을 10% 줄일 수 있다.
a: 건축물 최소폭의 0.1배 혹은 0.4h 중 작은 값으로 한다.
단 최소폭의 0.04배 또는 1.0m 보다 작아서는 안 된다.

• 지붕면 평균높이가 20m 미만인 다중 박공지붕형 건축물 지붕면의 가스트 외압계수

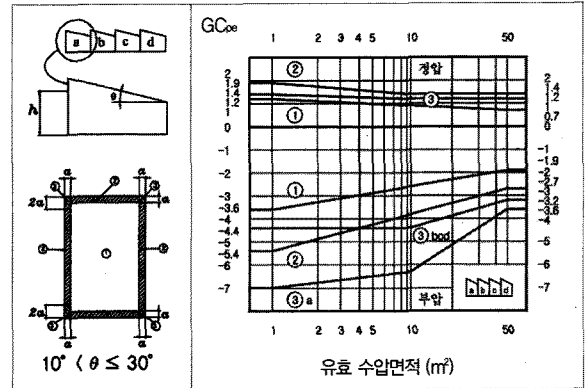
[표 25] 지붕면의 평균높이 20m미만의 다중박공지붕형 건축물 지붕면의 가스트 외압계수



[주] (1) $\theta \le 10^\circ$ 인 경우는 [표 23] > a)의 값을 준용해도 좋다.
(2) 종축의 GC_{pe} 는 노풍도 구분 C의 C_p 를 계산할 경우이다.
(3) 노풍도구분 B에 위치한 건축물의 경우 산출된 풍압력을 10% 줄일 수 있다.
a: 건축물 1개 스펠에 대한 최소폭의 0.1배 또는 0.4h 중 작은 값으로 한다.
단 1개스팬에 대한 최소 폭의 0.04배 또는 1.0m 보다 작아서는 안 된다.

• 지붕면 평균높이가 20m 미만인 톱니지붕형 건축물 지붕면의 가스트 외압계수

[표 26] 지붕면 평균높이가 20m 미만인 톱니지붕형 건축물 지붕면의 가스트 외압계수



[주] [표 25]의 주와 동일

(4) 적설하중

(a) 평지붕하중의 적설하중

식 (5-18)의 평지붕하중의 적설하중 S_r 는 식 (5-19)로 산출한다.

$$S_r = C_b \times C_e \times C_t \times I_s \times S_g \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

C_b : 기본지붕 적설하중계수 (0.7 적용)

C_e : 노출계수

C_t : 온도계수

I_s : 중요도계수

S_g : 지상 적설하중의 기본값

노출계수, 온도계수, 중요도계수, 지상 적설하중의 기본값은 다음을 참조한다.

① 노출계수 (C_e)

주변 환경	C_e
A. 지형, 높은 구조물, 나무 등 주변 환경에 의해 모든 면이 바람막이가 없이 노출된 지붕이 있는 거센 바람 부는 지역	0.8
B. 약간의 바람막이가 있는 거센 바람 부는 지역	0.9
C. 바람에 의한 눈의 제거가 지형, 높은 구조물 또는 근처의 몇몇 나무들 때문에 지붕 하중의 감소를 기대할 수 없는 위치	1.0
D. 바람의 영향이 많지 않은 지역 및 지형과 높은 구조물 또는 몇몇 나무들에 의하여 지붕에 바람막이가 있는 지역	1.1
E. 바람의 영향이 거의 없는 조밀한 숲 지역으로서, 촘촘한 침엽수 사이에 위치한 지붕	1.2

② 온도계수 (C_t)

난방 상태	C_t
난방 구조물(적설하중 제어구조)	1.0
비난방 구조물(적설하중 비제어구조)	1.2

③ 중요도계수 (I_s)

중요도	건축물의 용도 및 구조	I_s
특	· 연면적이 1천 제곱미터 이상인 위험물 저장 및 처리시설, 종합병원, 병원, 방송국, 전신전화국, 발전소, 소방서, 공공업무시설 및 노약자시설 · 15층 이상 아파트 및 오피스텔	1.2
1	· 연면적이 5천 제곱미터 이상인 관립집회시설, 운동시설, 운수시설, 전시시설 및 판매시설 · 5층 이상인 숙박시설, 오피스텔, 기숙사 및 아파트 · 3층 이상의 학교	1.1
2	· 중요도(특), (1) 및 (3)에 해당하지 않는 건축물	1.0
3	· 가설 건축물, 농가 건축물 및 소규모 창고	0.8

④ 지상 적설하중의 기본값 (S_g)

지역	S_g
서울, 수원, 춘천, 서산, 청주, 대전, 충청명, 포항, 군산, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 충무, 목포, 여수, 제주, 서귀포, 진주, 울진, 이천	0.5
인천	0.8
속초	2.0
강릉	3.0
울릉도, 대관령	7.0

(b) 지붕 경사도계수 (C_s)

지붕 경사도계수는 따뜻한 지붕의 경사도계수로 나누는데, 다음과 같이 구한다.

① 따뜻한 지붕의 경사도계수

· 지붕표면이 미끄러지기 쉽고 열이 전달되는 따뜻한 경우의 지붕의 경사도 계수는 [그림 (a)] 난방이 된 지붕, $C_t = 1.0$ 의 점선에 의한다.

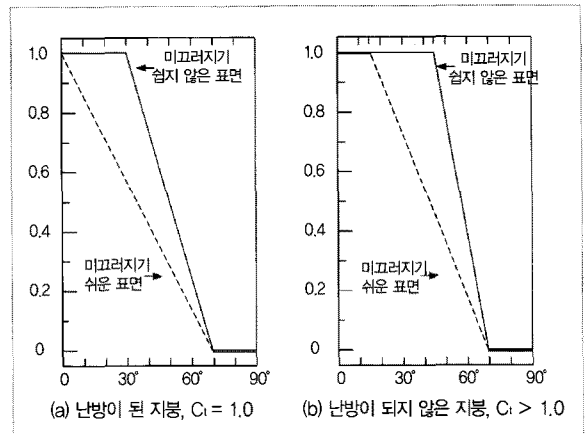
· 지붕표면이 미끄러지기 쉽지 않고 열이 전달되는 따뜻한 경우의 지붕의 경사도 계수는 [그림 (a)] 난방이 된 지붕,

$C_t = 1.0$ 의 실선에 의한다.

② 차가운 지붕의 경사도계수

· 지붕표면이 미끄러지기 쉽고 열이 전달되지 않는 차가운 경우, 지붕의 경사도 계수는 [그림 (b)] 차가운 지붕, $C_t > 1.0$ 의 점선에 의한다.

· 지붕표면이 미끄러지기 쉽지 않고 열이 전달되지 않는 차가운 경우의 지붕의 경사도 계수는 (b) 차가운 지붕, $C_t > 1.0$ 의 실선에 의한다.



(5) 지진하중

등가정적해석법에 의한 지진하중의 산정법은 다음과 같다.

(a) 밀면 전단력

$$V = C_s W \quad \text{식 (5-20)}$$

(b) 유효 건물중량, W

유효 건물중량, W는 고정하중과 아래에 기술한 하중을 포함한다.

- 창고로 쓰이는 공간에서는 적재하중의 최소 25%
- 바닥하중 산정시 칸막이 하중이 포함될 경우, 칸막이의 질재중량과 0.5 kN/m^2 중 큰 값
- 영구설비의 총 하중
- 적설하중이 1.5 kN/m^2 이 넘는 평지붕의 경우, 평지붕 적설하중의 20%.

(c) 지진응답계수, C_s

$$C_s = \frac{S_{d1}}{[R/E] T} \quad \text{식 (5-21)}$$

다만, 지진응답계수 C_s 는 (식 5-20)의 값을 초과하지 않아도 되며 (식 5-21)의 값 이상이어야 한다.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{[R/I_E]} \quad \text{식 (5-22)}$$

$$C_s = 0.044 S_{DS} I_E \quad \text{식 (5-23)}$$

(d) 건물의 중요도계수, I_E

[표 27] 내진등급과 중요도계수

내진등급	용도 및 규모	중요도계수(I_E)	
		도시계획 구역	그 외 지역
(특)	지진 후 피해복구에 필요한 중요시설을 갖추고 있거나 유해 물질을 다량 저장하고 있는 구조물	1.5	1.2
I	지진으로 인한 피해를 입을 경우 대중에 개 큰 위험을 초래할 수 있는 구조물	1.2	1.0
II	내진등급 (특)이나 I 에도 해당되지 않는 구조물	1.0	0.8

(e) 반응수정계수, R

[표 28] 지진력 저항시스템에 대한 반응수정계수

기본 지진력 저항시스템 ^a	반응 수정 계수R
1. 내력벽 시스템	
1-a. 철근콘크리트 전단벽	4.5
1-b. 철근보강 조적 전단벽	2.5
1-c. 무보강 조적 전단벽	1.5
2. 건물 골조 시스템	
2-a. 철골 편심가새골조(모멘트 저항 접합)	8
2-b. 철골 편심가새골조(비모멘트 저항 접합)	7
2-c. 철골 중심가새골조	5
2-d. 철골 강판전단벽	6.5
2-e. 철근콘크리트 전단벽 ^b	5
2-f. 철근보강 조적 전단벽 ^b	3
2-g. 무보강 조적 전단벽	1.5
3. 모멘트-저항 골조 시스템	
3-a. 철골 모멘트골조	6
3-b. 철근콘크리트 중간 모멘트골조	5
3-c. 철근콘크리트 보통 모멘트골조	3
4. 중간 모멘트골조를 가진 이중골조 시스템	
4-a. 철골 가새골조	5
4-b. 철근콘크리트 전단벽	5.5
4-c. 철골 강판전단벽	6.5
4-d. 철근보강 조적 전단벽 ^b	3
5. 역추형 시스템	
5-a. 캔틸레버 기둥 시스템	2.5
5-b. 철골 모멘트골조	1.25
6. 기타 구조	
6-a. 기타 구조	3

(f) 기본진동주기의 약산법

$$T_a = C_r h_n^{3/4} \quad \text{식 (5-24)}$$

여기서, $C_r = 0.085$: 철골 모멘트골조
 $= 0.073$: 철근콘크리트 모멘트골조,
 철골 편심가새골조
 $= 0.049$: 그 외 다른 모든 건물
 h_n = 건물의 밑면으로부터 최상층까지의 전체 높이 (m)

다만, 철근콘크리트와 철골 모멘트저항 골조에서 12층을 넘지 않고 층의 최소높이가 3m 이상일 경우 근사 기본진동주기 T_a 는 아래 식에 의하여 구할 수 있다.

$$T_a = 0.1N \quad \text{식 (5-25)}$$

여기서, N : 층 수

(g) 설계스펙트럼 가속도, S_{DS} , S_{D1}

① 지진지역 및 지역계수

[표 29] 지진지역 구분 및 지역계수 (A)

지진지역	행정구역	지역계수(A)
1	지진지역 2를 제외한 전지역	0.11
2	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도	0.07

* 강원도 북부(군,시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초
 전라남도 남서부(군,시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포

② 지반의 분류

[표 30] 지반의 분류

지반 종류	지반종류의 호칭	상부 30m에 대한 평균 지반특성		
		전단파속도 (m/s)	표준관입시험 \bar{N} (타격횟수/300mm)	비배수전단강도 S_u ($\times 10^{-3}$ N/mm ²)
S _a	경암 지반	1500 초과	-	-
S _b	보통암 지반	760에서 1500	-	-
S _c	매우 조밀한 토사 지반 또는 연암 지반	360에서 760	> 50	> 100
S _d	단단한 토사 지반	180에서 360	15에서 50	50에서 100
S _e	연약한 토사 지반	180미만	< 15	< 50

③ 단주기 설계스펙트럼 가속도 S_{DS}

[표 31] 단주기 설계스펙트럼 가속도 S_{DS}

지반종류	지진지역	
	1	2
S _a	2.0MA ^b	1.8MA
S _b	2.5MA	2.5MA
S _c	3.0MA	3.0MA
S _d	3.6MA	4.0MA
S _e	5.0MA	6.0MA

1) M=1.33 (이 경우 스펙트럼 가속도의 크기는 재현주기 2400년에 대한 2/3 수준의 극한하중임)

④ 주기 1초의 설계스펙트럼가속도 S_{D1}

【표 32】 주기 1초의 설계스펙트럼가속도 S_{D1}

지반종류	지진계급	
	I	2
S_A	0.8MA ³	0.7MA
S_B	1.0MA	1.0MAA
S_C	1.6MA	1.3MA
S_D	2.3MA	2.3MA
S_E	3.4MA	3.4MA

(h) 지진력의 수직분포

밀면 전단력을 수직 분포시킨 층별 횡하중 F_x 는 다음 식에 따라 결정한다.

$$F_x = C_{ux}V \quad \text{식 (5-26)}$$

$$C_{ux} = \frac{\omega_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n \omega_i h_i^k} \quad \text{식 (5-27)}$$

여기서, C_{ux} : 수직분포계수

k : 건물 주기에 따른 분포계수

$k=1$: 0.5초 이하의 주기를 가진 건물

$k=2$: 2.5초 이상의 주기를 가진 건물

다만, 0.5초와 2.5초 사이의 주기를 가진 건물에서는 k 는 1과 2 사이의 값을 직선보간하여 구한다.

h_i, h_x : 밀면으로부터 i 또는 x 층까지의 높이

V : 밀면전단력

ω_i, ω_x : i 또는 x 층 바닥에서의 중량

n : 층수

(i) 수평전단력분포

x 층에서의 층전단력 V_x 는 다음 식에 의해서 결정한다.

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad \text{식 (5-28)}$$

여기서, F_i : i 층 바닥에 작용하는 지진력

(j) 변형과 횡변위 제한

설계층간변위 Δ_s 는 어느 층에서도 【표 32】에 규정한 허용층간변위 Δ_a 를 초과해서는 안 된다.

【표 33】 허용 층간변위 Δ_a

허용층간변위 Δ_a	내진등급		
	특	I	II
	0.010h _{sr}	0.015h _{sr}	0.020h _{sr}

h_{sr} : x 층 층고

(6) 재료와 그 허용 응력도

(a) 재료의 선정

태양전지 어레이용 가대의 구성재는 특별한 경우를 제외하고는 KSD에 제정된 강재 또는 이들과 동등한 품질을 가진 재료를 사용한다(【표 34】).

【표 34】 지지물 구성재의 예

재료의 종류	선정대상재료의 규격
강재	KSD 3503, KSD 3515, KSD 3529, KSD 3506, KSD 3530, KSD 3566, KSD 3568

(b) 허용응력도

① 구조용 강재 : 장기하중의 설계응력에 대한 구조용강재의 허용응력도는 다음의 각호에 따른다.

a) 허용인장응력도(f_t) = $\frac{F_y}{1.5}$ 식 (5-29)

단, F_y : 구조용 강재의 장기응력에 대한 허용응력도 [t/cm²]

b) 허용전단응력도(f_s) =

$$\frac{F_y}{1.5\sqrt{3}} \quad (f_s = \frac{F_s}{1.5}, F_s = \frac{F_y}{1.5}) \quad \text{식 (5-30)}$$

c) 허용압축응력도(f_c)

• 전단면에 대하여 $\lambda \leq \lambda_b$ 일 때

$$\lambda \leq \lambda_b \text{ 일 때 } f_c = \frac{1 - 0.4(\frac{\lambda}{\lambda_b})^2 F_y}{n} \quad \text{식 (5-31)}$$

$$\lambda < \lambda_b \text{ 일 때 } f_c = \frac{0.227F_y}{(\frac{\lambda}{\lambda_b})^2} \quad \text{식 (5-32)}$$

다만 $\lambda_b = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F_y}}$, E : 영계수 (t/cm²),

$$n = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} + \frac{\lambda^2}{\lambda_b^2} \quad \text{: 안전율}$$

λ : 압축재의 세장비, λ_b : 한계세장비(좌굴내력이 항복강도의 60%일 때)

• 압연형강, 용접 I 형 단면의 웨브플랫 끝부분의 허용압축응력도는 식 (5-33)으로 한다.

$$f'_c = F_y / 1.3 \quad \text{식 (5-33)}$$

다음호에 계속 ◆◆