

외장재의 내진설계

Seismic Design For Cladding



김 태 영*
Kim, Tae-Yeong



박 선 우*
Park, Sun-Woo

1. 서 론

근래에 이르러 건축공사에서 외장재가 차지하는 비중이 점차 증가되고 있다. 그동안 외장재는 주로 풍하중과 자중에 대해서만 설계가 이루어졌다. 그러나 2005년에 제정된 KBC2005 기준에서는 외장재에 대한 내진규정이 포함되어 있으며, 앞으로는 외장재에 대해서도 내진설계가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 본 기사에서는 건축, 기계 및 전기 비구조요소의 내진설계기준 중 외장재에 대한 내진설계기준과 이에 대한 적용을 소개하고자 한다.

2. 외장재의 내진설계기준

2.1 등가정하중

지진에 의한 등가정하중 F_p 는 식(1)과 같이 결정하며, 비구조 외벽에 작용하는 풍하중이 F_p 를 초과하는 경우에는 풍하중에 대하여 설계하여야 한다.

$$F_p = \frac{0.4 a_p S_{DS} W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right) \quad (1)$$

F_p 는 다음의 값을 초과할 필요는 없다.

$$F_p = 1.6 S_{DS} I_p W_p \quad (2)$$

그러나 F_p 는 다음의 값 이상이 되어야 한다.

$$F_p = 0.3 S_{DS} I_p W_p \quad (3)$$

여기서,

a_p : 1.0~2.5 사이의 값을 갖는 증폭계수 - <표 1>

F_p : 비구조요소 질량중심에 작용하는 설계지진력

I_p : 비구조요소의 중요도계수로서 1.0 또는 1.5

h : 구조물의 밑면으로부터 지붕층까지의 평균 높이

R_p : 비구조요소의 반응수정계수로서 1.0~5.0 사이의 값 - <표 1>

* 정회원, K1구조엔지니어링 구조기술사, 공학박사

** 정회원, 한국예술종합학교 미술원 건축과 교수

〈표 1〉 건축 비구조요소 계수

건축 비구조요소 또는 부재	$a_p^{1)}$	R_p
1. 내부 비구조벽체 및 칸막이벽		
a. 비보강 조적벽	1.0	1.25
b. 기타 벽체 및 칸막이벽	1.0	2.5
2. 캔틸레버 부재(형지지 되어 있지 않거나 질량중심 아래에서 골조에 지지된 경우)		
a. 파라펫 및 내부 캔틸레버 비구조 벽체	2.5	2.5
b. 굴뚝 및 골조 구조에 지지된 수직 배기구	2.5	2.5
3. 캔틸레버 부재(형지지되거나 질량중심 위에서 골조 구조에 지지된 경우)		
a. 파라펫	1.0	2.5
b. 굴뚝 및 배기구	1.0	2.5
c. 외측 비구조벽체	1.0	2.5
4. 외측 비구조벽체 부재 및 접합부		
a. 벽체 부재	1.0	2.5
b. 벽판 접합부의 몸체	1.0	2.5
c. 접합시스템의 조임구	1.25	1.0
5. 표면 마감재		
a. 변형이 제한된 부재 및 부착물	1.0	2.5
b. 변형성능이 낮은 부재 및 부착물	1.0	1.25
6. 옥탑(건물골조가 연장된 골조의 경우 제외)		
	2.5	3.5
7. 천장		
	1.0	2.5
8. 캐비닛		
a. 저장용 캐비닛 및 실험장비	1.0	2.5
9. 접근로 바닥		
a. 특수 접근로 바닥	1.0	2.5
b. 그 외	1.0	1.25
10. 부가물 및 장식물		
	2.5	2.5

S_{DS} : 단주기에서의 설계스펙트럼 가속도
 W_p : 비구조요소의 가동중량
 z : 구조물의 밑면으로부터 비구조요소가 부착된 높이.
 $z=0$: 구조물의 밑면 이하에 비구조요소가 부착된 경우
 $z=h$: 구조물의 지붕층 이상에 비구조요소가 부착된 경우

2.2 상대변위

지진에 의한 상대변위 D_p 는 다음과 같이 결정한다. 동일한 구조물 또는 구조시스템상의 수직위치가 x 와 y 인 두 연결점에 대하여 D_p 는

$$D_p = \delta_{xA} - \delta_{yA} \quad (4)$$

그러나 D_p 는 다음 값을 초과할 필요는 없다.

$$D_p = (X - Y) \frac{\Delta_{aA}}{h_{sx}} \quad (5)$$

여기서,

D_p : 비구조요소가 수용해야 할 지진에 의한 상대변위

h_{sx} : 허용 층간변위를 정의하기 위하여 사용된 층고

$\delta_{xA}, \delta_{yA}, \delta_{yB}$: 탄성해석에 의하여 계산된 값에 <표 2>의 C_d 값을 곱하여 구한 구조물 A 또는 B상의 수직위치 x 또는 y 에서의 변위

X : 구조물 밑면으로부터 상부 부착지점 x 까지의 높이

Y : 구조물 밑면으로부터 하부 부착지점 y 까지의 높이

Δ_{aA}, Δ_{aB} : 허용층간변위

2.3 중요도 계수

비구조요소의 중요도계수 I_p 는 1.0으로 한다. 단, 다음에 해당할 경우에는 I_p 를 1.5로 한다.

- (1) 인명안전과 관련된 비구조요소로 지진 후에도 작동하여야 하는 경우
- (2) 위험물이나 발화물질이 비구조요소에 담겨 있는 경우
- (3) 대형 창고형 매장 등에 설치되어 일반 대중에게 개방된 적재장치
- (4) 내진등급 (특)에 해당하는 구조물에서 시설물의 지속적인 가동을 위해 필요하거나, 손상 시 시설물의 지속적인 가동에 지장을 줄 수 있는 비구조요소

2.4 정착

비구조요소의 정착은 다음에 따라야 한다.

- (1) 비구조요소 연결부에 작용하는 하중은 등가정 하중에 따라 탄성해석에 의해 결정한다. 다만, 비구조요소가 팽창성 정착물이나 화학성 정착물, 또는 (낮은 변형도의) 현장 타설 정착물에 의하여 알계 정착될 경우 R_p 는 1.5를 사용하여 연결부의 힘을 산정한다.
- (2) 콘크리트나 조적조에 묻히는 정착물은 다음 중 가장 작은 값의 힘을 전달하도록 설계한다.
 - ① 연결부의 설계강도
 - ② 연결부의 $F_p \times R_p$ 에 해당하는 힘의 1.3배
 - ③ 비구조시스템이 연결된 부위에 전달되는 힘의 최대 값
- (3) 정착부의 내력은 편심의 영향을 고려하여 정한다.

$$F_p(\min) = 0.3 S_{XS} I_p W_p = 0.33 W_p$$

$$F_p(\max) = 1.6 S_{XS} I_p W_p = 1.75 W_p$$

여기서,

$$a_p = 1.0$$

$$S_{DS} = 0.7315$$

$$h = 237.1\text{m}$$

$$I_p = 1.5$$

$$R_p = 2.5$$

$$x = 237.1\text{m}$$

DRIFT : 내진해석 결과값으로 골조설계자가 제시

DRIFT-X =25mm

DRIFT-Y =25mm

3. 설계사례

본문에서 제시하고 있는 설계사례는 현재 송도에서 시공되고 있는 복합판넬시스템(GFRC Pannel)의 내진설계 사례이다. 관련된 국내기준이 없는 부분에 대해서는 UBC97에 따라 설계하였다.

3.1 설계개요

3.1.1 설계하중

GRAVITY :

$$\text{GFRC} \quad 0.035\text{m} \times 20,000\text{N/m}^2 = 700\text{N/m}^2$$

$$\text{FRAME} \quad 200 \text{ N/m}^2$$

$$\text{TOTAL} = 900 \text{ N/m}^2$$

WIND : 풍동실험에 의해 결정

$$\text{TYP. PANEL} \quad -5 \text{ kPa}$$

$$\text{CORNERS INWARD} \quad 4 \text{ kPa}$$

$$\text{CORNERS OUTWARD} \quad -5 \text{ kPa}$$

SEISMIC :

$$F_p = \frac{0.4 a_p S_{DS} I_p W_p \left(1 + \frac{2x}{h}\right)}{R_p} = 0.527 W_p$$

3.1.2 하중조합

Basic Load Case Data

BLC No.	Basic Load Case Description		Code.
BLC 1	DL	Dead Load (D)	KBC 2005
BLC 2	WX(+)	Positive Wind Load (X-DIR.)	KBC 2005
BLC 3	WX(-)	Negative Wind Load (Y-DIR.)	KBC 2005
BLC 4	WY(+)	Positive Wind Load (X-DIR.)	KBC 2005
BLC 5	WY(-)	Negative Wind Load (Y-DIR.)	KBC 2005
BLC 6	EX	Earthquake (X-DIR.)	KBC 2005
BLC 7	EY	Earthquake (Y-DIR.)	KBC 2005
BLC 8	DRIFT-X	Story Drift Load (X-DIR.)	KBC 2005
BLC 9	DRIFT-Y	Story Drift Load (Y-DIR.)	KBC 2005

Load Combination(Steel Panel Frame : Allowable Strength Design)

LCB No.	Combination	Description
sLCB 1	D	
sLCB 2	0.75D+0.75WX(-)	corner panel only
sLCB 3	0.75D+0.75WX(-)+0.75WY(+)	corner panel only
sLCB 4	0.75D+0.75WY(-)	
sLCB 5	0.75D+0.75WY(-)+0.75WX(+)	corner panel only
sLCB 6	0.75D+0.75WX(+)+0.75WY(+)	corner panel only
sLCB 7	0.75D+0.75WX(-)+0.75WY(-)	corner panel only
sLCB 8	0.75(D+0.7*EX)	
sLCB 9	0.75(D+0.7*EY)	corner panel only
sLCB 10	D+DRIFT-X	
sLCB 11	D+DRIFT-Y	corner panel only

Load Combination(Connector Body, Bolts, Welds)

: Allowable Strength Design)

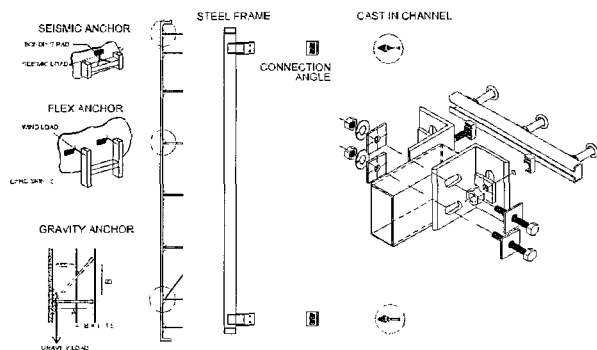
LCB. No.	Combination	Description
cLCB 1	D	
cLCB 2	0.75D+0.75WX(-)	corner panel only
cLCB 3	0.75D+0.75WX(-)+0.75WY(+)	corner panel only
cLCB 4	0.75D+0.75WY(-)	
cLCB 5	0.75D+0.75WY(-)+0.75WX(+)	corner panel only
cLCB 6	0.75D+0.75WX(+)+0.75WY(+)	corner panel only
cLCB 7	0.75D+0.75WX(-)+0.75WY(-)	corner panel only
cLCB 8	0.75(D+2.1*EX)	F_p factor = 3
cLCB 9	0.75(D+2.1*EY)	corner panel only : F_p factor = 3
cLCB 10	D+DRIFT-X	
cLCB 11	D+DRIFT-Y	corner panel only

Load Combination(CAST CHANNEL, SET-ANCHOR
: Allowable Strength Design) : WITH 1.3 FACTOR

LCB. No.	Combination	Description
eLCB 1	1.3D	
eLCB 2	1.3 [D+WX(-)]	corner panel only
eLCB 3	1.3 [D+WX(-)+WY(+)]	corner panel only
eLCB 4	1.3 [D+WY(-)]	
eLCB 5	1.3 [D+WY(-)+WX(+)]	corner panel only
eLCB 6	1.3 [D+WX(+)+WY(+)]	corner panel only
eLCB 7	1.3 [D+WX(-)+WY(-)]	corner panel only
eLCB 8	1.3 [(D+2.1*EX)]	
eLCB 9	1.3 [(D+2.1*EY)]	corner panel only
eLCB 10	1.3 [D+DRIFT-X]	
eLCB 11	1.3 [D+DRIFT-Y]	corner panel only

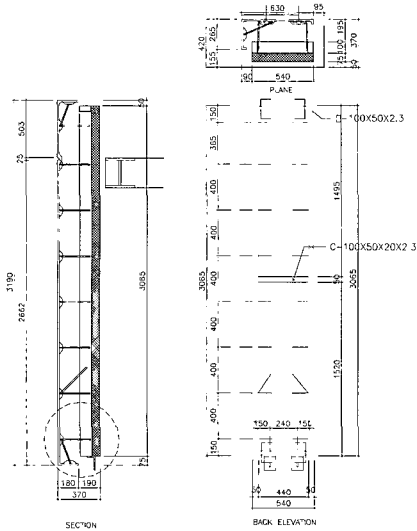
3.1.3. 구조해석 및 결과

GFRC Panel System은 유리섬유로 보강된 시멘트 로 구성된 skin을 flex anchor등을 통해 steel frame 이 지지하고 이를 다시 골조에 정착시키는 형태의 cladding 이다. 판넬의 형식은 <그림 1>과 같다.



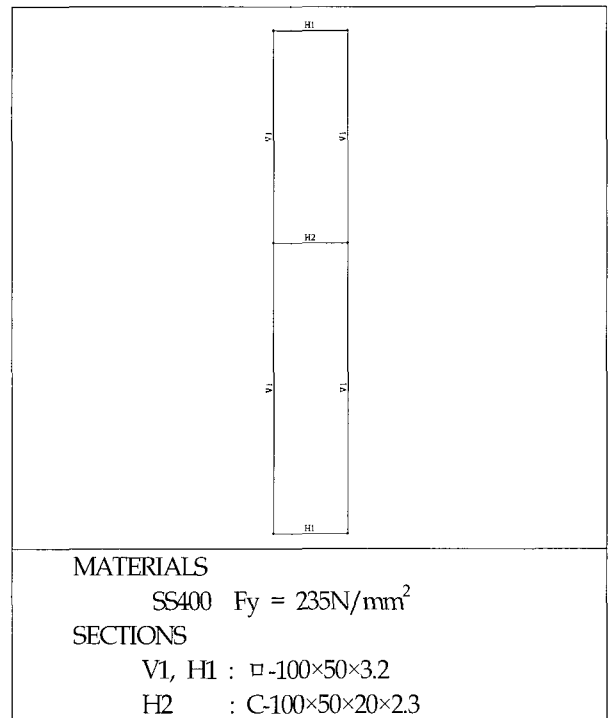
<그림 1> GFRC panel frame System

구조해석에 사용된 판넬은 1개층 높이며, 상부 는 골조에 정착되며, 하부는 다른 판넬에 정착시키 는 형식의 지지조건을 가지고 있다. <그림 2>는 구 조해석에 사용된 판넬의 디테일을 나타낸 것이다.

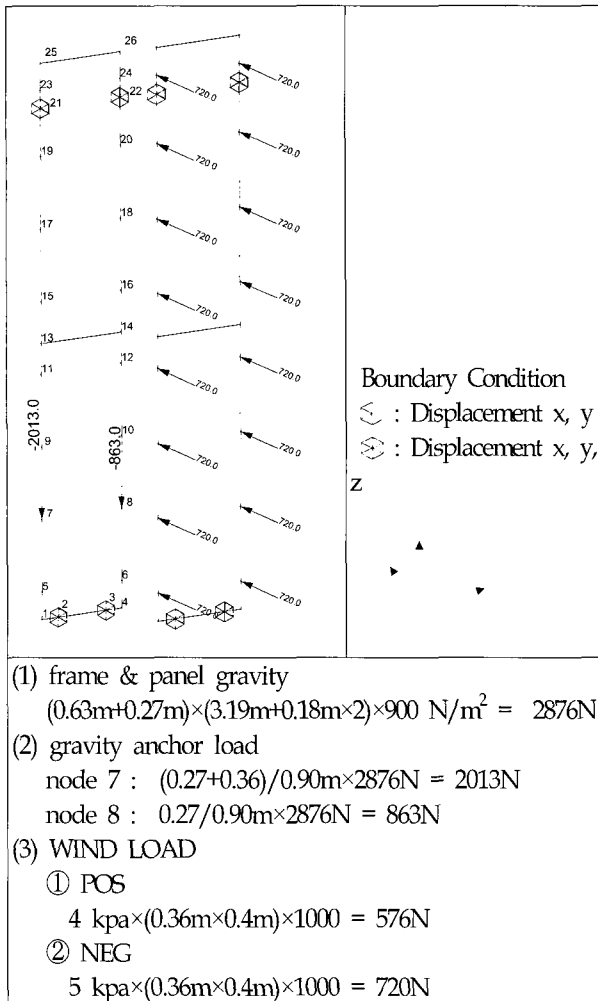


<그림 2> GFRC panel frame Detail

<그림 3>은 구조해석에 사용된 프레임을 나타낸 것이다.



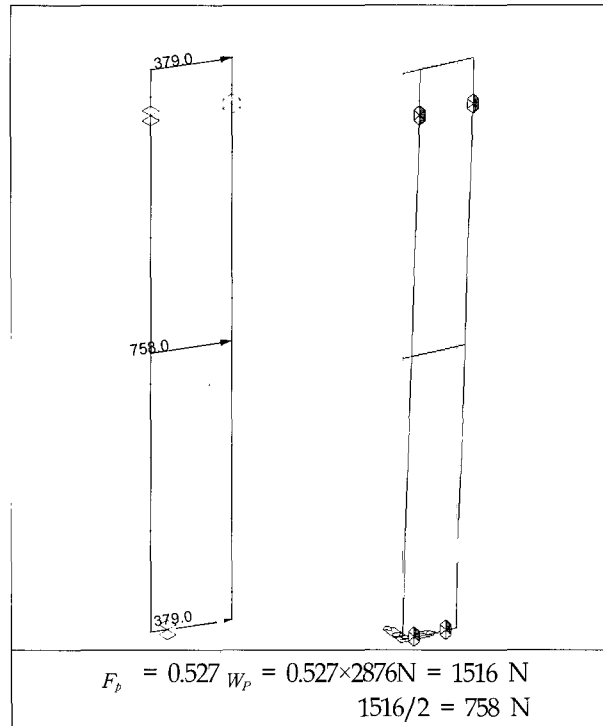
<그림 3> GFRC panel frame Member & Material



<그림 4> 고정하중 및 풍하중

<그림 4>와 <그림 5>는 구조해석에 사용된 하중을 그림으로 표현한 것이다.

해석결과 steel frame의 내력은 Drift에 의해 결정되며, 프레임의 변위는 풍하중에 의해 지배받는 것으로 평가되었다. 또한 골조와의 정착은 Drift에 의



해 지배받는 것으로 평가되었다.

이외의 다양한 구조해석을 통해 Story Drift의 경우 패널의 폭이 작을수록 정착부에 큰 힘을 발생시키게 되며, 이를 제어하기 위해서는 steel frame을 가능하면 연성적으로 구성하여야 한다는 사실을 확인하였다.

국내의 경우 최근 외장재의 내진 설계기준이 마련되었지만 아직도 이를 적용하여 구조설계가 이루어지는 경우는 그다지 많지 않은 것 같다. 그러나 앞으로 외장재도 내진설계가 이루어져야 하며, 특히 Story Drift의 경우 외장재의 구조적 설계를 지배할 수 있으므로 이를 제어할 수 있는 디테일의 개발이 필요할 것으로 판단된다.