

## 합성기둥을 경계요소로 갖는 RC전단벽의 거동 및 설계

Behavior and Design of Reinforced Concrete Shear Wall System with Composite Columns Designed for Boundary Element



윤승조\*  
Seung-Jo Yoon



이기학\*\*  
Ki-Hak Lee



안종문\*\*\*  
Jong-Mun Ahn



이우진\*\*\*\*  
Woo-Jin Lee

### 1. 일반사항

#### 1.1 합성기둥 - RC 전단벽 구조의 개요

보와 기둥이 만나는 접합부면이 강하게 설계된 골조 구조물은 설계자에게 내부 공간의 구획에 대해 큰 가변성을 부여하기 때문에 사무용 또는 주거용 구조물에 널리 사용되어 왔다. 그러나 이러한 골조 구조물은 강한 바람이나 지진, 폭발 등 예상되는 큰 횡 하중에 대해 구조물의 전체 높이가 증가할수록 구조적으로 효과적이지 못하게 된다. 이는 골조 구조물의 높이가 증가함에 따라 횡 하중으로부터 받는 힘의 크기는 비선형적으로 크게 증가하게 되고 이에 반해 골조 구조물의 강성의 증가에는 제한이 따르기 때문이다.

산업발전과 인구의 도시 집중의 결과로 고층 건물이 증가함에 따라 구조적으로 보다 효과적이고 경제적인 구조 시스템을 개발하기 위해 기술자들은 많은 실험과 연구를 수행해 왔다. 이러한 결과중의 하나는 골조 구조물에 철근콘크리트 전단벽을 채워 넣은 복합 구조시스템으로 기존 지진발생시 관찰되었던 경험과 그간의 연구에 대해 훌륭한 성능을 보여줌으로 많은 관심을 불러일으키고 있다. 특히 횡 하중의 증가에 따라 전단벽의 양 끝단에 요구되는 경계요소의 상세를 복합기둥이 대체함으로 현장에서의 시공성을 증대시킬 수 있다.

RC 전단벽 시스템의 존재는 전체 골조 구조물의 횡적 강성과 강도에 대한 구조적 기여를 가져오는 것으로 오래전부터 인정되어 왔으나 구조해석과 설계 등 실무적인 차원에서 이에 대한 효과는 일반적으로 고려되지 않거나 비구조적 시스템으로

인식되어 왔다. 실무 기술자들이 이러한 시스템의 합성거동에 대한 효과를 명확하게 반영하지 못한 이유는 ① 골조 시스템과 RC 전단벽 시스템의 합성 거동에 대한 이해와 연구의 부족, ② 복합 구조 시스템의 강성과 강도를 예측할 수 있는 실질적인 해석 방법의 부족, ③ 문이나 창문을 비롯한 개구부에 대한 벽체 시스템의 변경 가능성 때문이다. 일반적으로 골조와 RC 전단벽 시스템의 접착 부위에 어떤 연결재나 접합이 없이 설계된 시스템은 비일체성 구조로 인식된다. 이에 반해 골조와 RC 전단벽의 모든 접착면이 전단에 대한 연결재나 강한 접착 등으로 연결되는 시스템은 일체성 구조로 고려할 수 있다.

#### 1.2 합성기둥 - RC 전단벽 구조의 구성

〈그림 1〉은 합성기둥으로 이루어진 골조시스템에 RC 전단벽이 시공된 구조 시스템의 입면을 보여주고 있다. 〈그림 2〉는 RC 전단벽 끝부분에 합성기둥과 보가 접하는 곳의 상세를 보여주고 있다. 수직 전단력과 전도 모멘트 힘을 구조적으로 합성기둥에 전달하기 위해 스티드가 기둥에 용접되어 설치되어 있다. 일부 경우에 대해서는 콘크리트가 기둥을 대신 부분적으

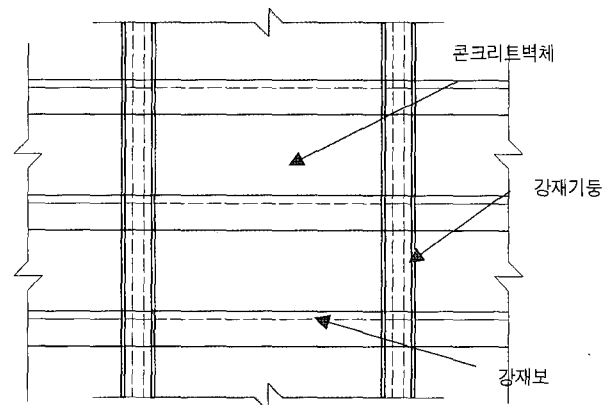


그림 1. 하나의 경간을 가진 복합 전단벽구조 시스템의 입면도

\* 정회원, 충주대학교 건축공학과 교수  
sjyoon@cnu.chungju.ac.kr

\*\* 정회원, 세종대학교 건축공학과 조교수

\*\*\* 정회원, 안산1대학 건축설계과 전임강사

\*\*\*\* 정회원, 충주대학교 산업과학기술연구소 선임연구원

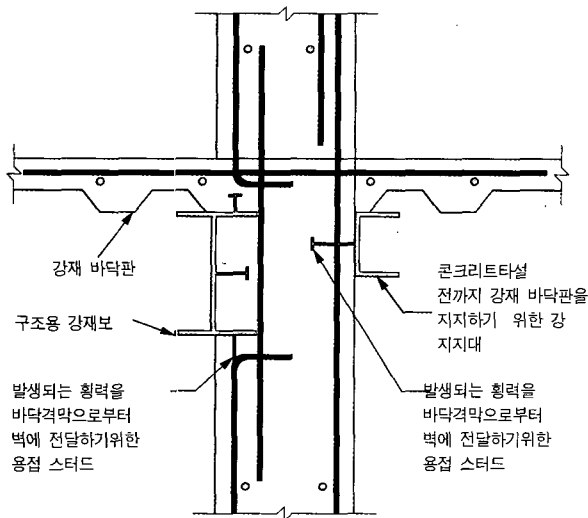


그림 2. 바닥-전단벽 교차부분의 상세

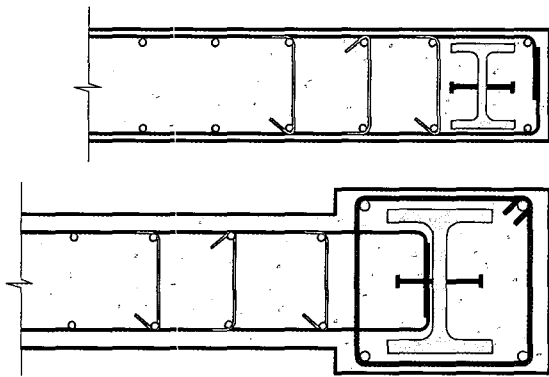


그림 3. 복합 전단벽 구조시스템에서의 기둥 접합부 상세

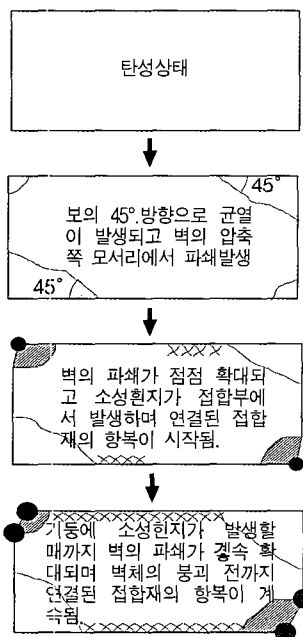


그림 4. 여러 단계에서의 붕괴 메커니즘의 발달

로 둘러싸는 경우가 적합할 수 있다. 이는 기둥 전체가 콘크리트에 둘러싸이는 경우에 시공'현장에서 기둥의 위에 놓이게 되는 바닥층의 보와 철제데크(steel decking)를 설치하는데 어려움을 초래할 수 있기 때문이다.

## 2. 합성기둥 - RC 전단벽 구조의 거동

합성기둥-RC 전단벽 구조 시스템은 크게 횡력을 받는 부분과 전도 모멘트를 받는 부분으로 나눌 수 있다.

콘크리트 벽체는 풍하중이나 지진하중으로 인한 수평 전단력에 대해 저항하며 구조용 합성기둥은 수직방향으로 나타나는 전도 모멘트 힘에 대해 저항하게 된다. 극한하중상태에서 콘크리트 벽체는 전도 모멘트 힘에 대한 저항력을 증가시키게 된다. 벽체의 어느 한쪽 면에 있는 바닥보가 모멘트에 저항할 수 있는 접합부를 가지고 있는 경우 벽체의 강성과 형상에 따라 전도 모멘트 힘을 축면에 연결되어 있는 합성기둥에 전달하게 된다.

골조 시스템에서 보는 바닥 격막에 발생하는 수평력을 모아 전단 벽체에 전달하는 긴결재(collector)의 역할을 하게 된다. 이러한 이유로 보의 접합부는 예상되는 수평력에 대해 충분히 저항할 수 있도록 설계되어야 한다. <그림 3>은 RC 전단벽 구조시스템에서 철골조 기둥이 콘크리트에 둘러싸인 접합부의 상세를 보여 주고 있다. 횡 하중의 작용에 따른 전도 모멘트의 발생은 철골조 기둥이 저항하게 되어 있다. 이는 RC 전단벽 구조시스템에서 지진하중에 대한 경계요소로 고려되며 일반 전단벽 구조시스템에서 콘크리트의 구속과 길이 방향 주철근의 좌굴을 방지하기 위해 밀접한 간격으로 요구되는 띠철근의 상세가 필요하지 않게 된다.

철골기둥이 전단벽 시스템에서 경계요소의 부재로 역할을 담당하는 경우 전도 모멘트 등에 의해 인장력을 받을 수 있는 가능성이 많다. 이러한 경우에 대해 각각의 철골 기둥 부재가 연결되는 이음부분에 대해 끊어짐에 의한 파괴(peel off)가 발생하지 않도록 특별한 상세의 고려가 필요하게 된다.

일반적으로 합성기둥-RC 전단벽 구조 시스템은 높은 강도와 강성을 가지며 파괴이전의 큰 횡 변위까지 상당한 에너지의 소산을 담당할 수 있다. <그림 4>는 복합 전단벽 구조시스템의 여러 단계에 따른 붕괴 메커니즘을 보여 주고 있다. 횡 변위의 증가에 따라 벽체의 많은 균열이 45° 방향으로 보까지 연속해서 발생하게 된다. 전단벽의 한쪽 모서리가 압축력을 받음에 따라 강성은 점차적으로 감소하게 되고 전단벽과 골조 시스템의 접합부는 항복하게 된다. 일반적으로 전단벽과 골조 시스템을 연결하는 접합부는 전단력에 파괴되고 압축력을 받는 벽체의 모서리 부분에서 콘크리트의 파쇄가 발생하게 된다.

### 3. 설계규정

#### 3.1 국내

국내에는 합성기둥을 경계요소로 갖는 철근콘크리트 전단벽에 대한 구체적인 설계지침이 마련되어 있지 않은 실정이다. 보편적으로 이러한 이중 골조방식은 강성 골조시스템(rigid frame)이 중력방향의 하중을 분담하도록 설계하고, 전단벽은 횡하중을 지지하도록 설계하고 있다. 다른 방법으로는 SRC기둥을 콘크리트로 피복된 철골구조로 보고 콘크리트의 기여도는 무시한 상태에서 철골기둥과 철근콘크리트 전단벽구조의 합성구조로 해석하는 경우도 있다. 강성골조-전단벽구조의 횡력에 대한 반응은 전단벽에 대한 골조의 상대강성에 따라 달라지는데 일반적으로 대부분의 횡력은 전단벽이 부담하며, 높이가 높아질수록 상부에서 골조가 횡력을 부담하게 된다. 보통 저층건물 설계 시 전단벽이 전 횡력을 부담하는 것으로 하여도 큰 무리는 없다. 현행 전단벽의 설계는 콘크리트구조설계기준에 벽체면과 나란히 수평전단력에 대한 설계는 7.9절 규정에 따르도록 하고, 벽체면에 수직인 전단력에 대한 설계는 7.10절의 규정에 명시되어 있다. 수평전단력에 의한 전단벽의 공칭전단강도는 콘크리트의 기여도와 전단보강근의 기여도의 합으로 계산되며, 전단강도  $V_n$ 은 식(1)과 같이  $5\sqrt{f_{ck}}/6$ 를 넘지 않도록 규정하고 있다.

$$V_n = V_c + V_s \leq 5\sqrt{f_{ck}}/6 \quad (1)$$

콘크리트의 전단강도  $V_c$ 는 다음 식(2)와 식(3)에 의해 계산할 수 있으나, 두 값 중에서 작은 것을 취하여야 한다.

$$V_{c1} = 0.28\sqrt{f_{ck}}hd + \frac{N_u d}{4l_w} \quad (2)$$

$$V_{c2} = \left[ 0.05\sqrt{f_{ck}} + \frac{l_w(0.10\sqrt{f_{ck}} + 0.2\frac{N_u}{l_w h})}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}} \right] hd \quad (3)$$

여기서,  $N_u$ 는 인장력일 때 부(-)이다.  $(M_u/V_u - l_w/2)$ 의 값이 부(-)일 때는 식(3)은 적용할 수 없다. 수평전단력에 대한 설계에서  $d$ 는  $0.8l_w$ 로 취할 수 있으나, 적합조건에 의해 해석할 경우에는 압축연단에서 인장철근의 힘의 중심까지의 거리인  $d$ 를 사용할 수 있다. 철근의 기여도  $V_s$ 는 전단강도  $\phi V_c$ 를 초과하는 곳은 식(1)이 충족되도록 수평전단철근이 배치되어야

하며, 전단강도  $V_s$ 는 식(4)에 의해 구하여야 한다.

$$V_s = \frac{A_{vh}f_y d}{s_h} \quad (4)$$

여기서,  $A_{vh}$ 는  $s_h$  거리 내의 수평전단철근의 단면적이다.

#### 3.2 국외

##### 3.2.1 ACI 318 Code

건축물에서 철골구조와 콘크리트 전단벽을 합성시키는 경우 <그림 5>에서와 같이 합성기둥 안에 넣어 구성되는 RC 전단벽의 경계요소로 구성되어지고 있다. 이러한 구조형태가 ACI 318기준에서 명확하게 밝히지는 않았지만, 구체적으로 합성기둥을 경계요소로서 사용되지 않는다고 제한하고 있는 규정도 없다. ACI 318-05기준 21장 내진설계를 위한 특별조항에서 콘크리트 벽과 합성경계요소의 상대강성차이로 인하여 발생하는 균열을 최소화하기위하여 벽과 기둥의 경계면에 벽체 철근이 반드시 추가되어야 하는 특별 경계요소에 대하여 언급하고 있다.

##### 가. 전단벽 설계기준

현행 ACI 318-05에서는 전단벽의 전단설계방법으로 11.10절 및 21.7절에서 규정하고 있다. 콘크리트에 의한 전단강도  $V_c$ 는 다음 두 식에 의해 계산된 값 중 적은 값을 적용하도록 규정하고 있다.

$$V_{c1} = 0.27\sqrt{f'_c}hd + \frac{N_u d}{4l_w} \quad (N, \text{ mm}) \quad (5)$$

$$V_{c2} = \left[ 0.05\sqrt{f'_c} + \frac{l_w \left( 0.1\sqrt{f'_c} + 0.2\frac{N_u}{l_w h} \right)}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}} \right] hd \quad (6)$$

여기서,  $N_u$ 는 벽체에 작용되는 계수축하중으로 인장일 때 부(-)이고  $(M_u/V_u - l_w/2)$ 의 값이 부(-)일 때는 식(6)을 적용할 수 없다.  $f'_c$ 는 콘크리트 압축강도,  $d$ 는 압축축 연단으로부터 인장철근 중심까지의 거리와  $0.8l_w$ 중 큰 값,  $l_w$ 는 벽체의 길이,  $h$ 는 벽체 두께,  $M_u$ 는 계수 휨모멘트,  $V_u$ 는 계수 전단력이다.

수평 전단보강철근의 기여분( $V_s$ )은 수평 전단보강근의 단면적  $A_v$ , 항복강도  $f_y$  및 수평철근 간격  $s_2$ 에 의해 표현되는 다음 식(7)로 산정된다.

$$V_s = \left( \frac{A_v f_y d}{S_2} \right) \quad (\text{N, mm}) \quad (7)$$

전단벽의 공칭 전단강도는 식(5) 또는 식(6)에 의해 산정된 콘크리트 기여분과 식(7)에 의한 수평 전단보강근의 기여분과 합으로 산정된다. ACI 기준의 내진설계를 위한 특별규정 (Sec. 21.7)에서는 전단벽체 콘크리트의 압괴에 의한 취성적인 파괴를 방지하기 위하여 전단벽의 공칭 전단강도  $V_n$ 는 다음 식으로 계산된 값 이하가 되도록 규정하고 있다.

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \sqrt{f_c'} + \rho_h f_y) \quad (\text{N, mm}) \quad (8)$$

여기서  $\alpha_c$ 는  $h_w/l_w \leq 1.5$ 일 때 0.25,  $h_w/l_w \geq 2.0$  일 때 0.17,  $1.5 < h_w/l_w \leq 2.0$ 일 때는 0.25와 0.17사이의 직선 보간 값을 취한다.

식(8)에서 부분벽(segment wall)의 전단강도를 결정하기 위하여 사용되는  $h_w/l_w$  값은 벽 전체 또는 고려된 부분벽에 대한 값 중에서 큰 값으로 하며, 벽은 그 평면 내의 직교하는 두 방향으로 전단철근을 배근한다. 또한 같은 수평력을 분담하는 모든 벽기둥(wall piers)의 공칭 전단강도는  $0.66 A_{cv} \sqrt{f_c'}$ 를 넘지 않아야 한다. 여기서  $A_{cv}$ 는 전체 단면적이며, 독립된 벽기둥의 공칭전단강도는  $0.83 A_{cv} \sqrt{f_c'}$ 를 넘지 않아야 한다. 여기서  $A_{cv}$ 는 고려된 벽기둥의 개별 단면적이다. 수평방향 부분벽과 커플링 보의 공칭전단강도는  $0.83 A_{cp} \sqrt{f_c'}$  이하이어야 하며, 여기서  $A_{cp}$ 는 수평방향 부분벽과 커플링 보의 단면적이다.

웹에서의 수직 철근의 최대 간격  $S_{vmax}$ 는  $3t$ ,  $l_w/3$ , 또는 18 in.(500 mm) 중에 가장 작은 값으로 하며, 수평 철근의 최대 간격  $S_{vmax}$ 는  $3t$ ,  $l_w/5$ , 혹은 18 in.(500 mm) 중에 최소값으로 배근한다. 만약 특별 지진 규정을 적용한다면 수평최대간격  $S_{vmax}$ 은 18 in.(500 mm)로 사용한다.

수평 철근의 최소 철근비 :

$$\rho_{hmin} = 0.0025 \quad (9)$$

수직 철근의 최소 철근비 :

$$\rho_{vmin} = 0.0025 + 0.5 \left[ 2.5 - \frac{h_w}{l_w} \right] (\rho_h - 0.0025) \geq 0.0025 \quad (10)$$

여기서 특별 지진 규정(special seismic provision)을 적용할 경우는 최소 수직철근비  $\rho_{vmin}$ 은 0.0025을 적용하고,  $h_w/l_w$  비가 2.0 하일 경우 수직 철근비는 반드시 수평 철근

비보다 많아야 한다. 만약 웹의 두께  $t$ 가 10 in.(250 mm) 보다 크거나 혹은 특별 지진 규정을 적용할 때 최대 계수 전단력이  $2\ell_w t \sqrt{f_c'}$ 을 초과할 경우 벽체의 웹철근은 복근배근을 원칙으로 한다.

전단벽의 전단강도는,

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s) \leq 10 dh \sqrt{f_c'} \quad (11)$$

여기서, 전단강도 감소계수  $\phi$ 는 ACI 318-02 기준에서는 0.75값을 사용하고 있으나 다른 기준에서는 0.85값을 채택하고 있으며, 벽체의 높이가 벽체의 길이의 2배 이하인 경우 ( $H_w/L_w \leq 2.0$ )는 강도감소계수는 0.6으로 동일하게 적용된다.

지진지역에서의 전단강도는,

$$V_n = t\ell_w (\alpha_c \sqrt{f_c'} + \rho_h f_y) = 8\ell_w t \sqrt{f_c'} \quad (12)$$

$$\text{여기서, } \alpha_c = 6 - 2 \left[ \frac{h_w}{\ell_w} \right] : 1.5 \leq \frac{h_w}{\ell_w} \leq 2.0, \quad \rho_h = \left[ \frac{A_{vh}}{S_h} \right] t$$

나. 특별 경계요소(ACI 318-05 21.7)

ACI 318-05 기준과 IBC 2000 기준은 내진설계기준에 콘크리트 구조벽(structural wall)과 경계요소의 상대강성차이로 인하여 발생하는 균열을 최소화하기위하여 벽과 기둥의 경계면에 벽체 철근이 반드시 추가되어야 할 특별 경계요소에 대하여 언급하고 있다. 여기에서는 ACI 기준과 IBC 기준과 유사하여 ACI 기준을 중심으로 소개하고자 한다. 이 규준은 구조물의 기초에서 벽의 상부까지 효과적으로 연속되면서 휨과 축력에 대한 단순한 위험단면을 가진 것으로 설계된 벽체에 적용된다.

특별경계요소가 필요한 경우는 다음과 같다.

(a) 최대 중립축의 깊이가 식(13)보다 큰 압축영역은 특별경계요소로 보강해야하며, 특별경계요소가 요구되는 곳은 특별경계요소의 수직범위는  $l_w$ 나  $M_u/4V_u$  중 큰 값 이상이 되도록 한다.

$$c \geq \frac{\ell_w}{600(\delta_u/h_w)} \quad (13)$$

여기서,  $\delta_u/h_w$ 는 0.007이상으로 한다.

(b) (a)의 조항에 의해 설계되지 않은 전단벽은 지진하중을 포함한 계수하중에 의한 최대 연단응력이  $0.2f_c'$ 를 초과할 경우 전단벽의 경계부나 개구부 주위에 경계요소를 두어야 한다. 그러나 벽 전체에 계산된 압축응력의 값이  $0.15f_c'$  미만인 구역에서

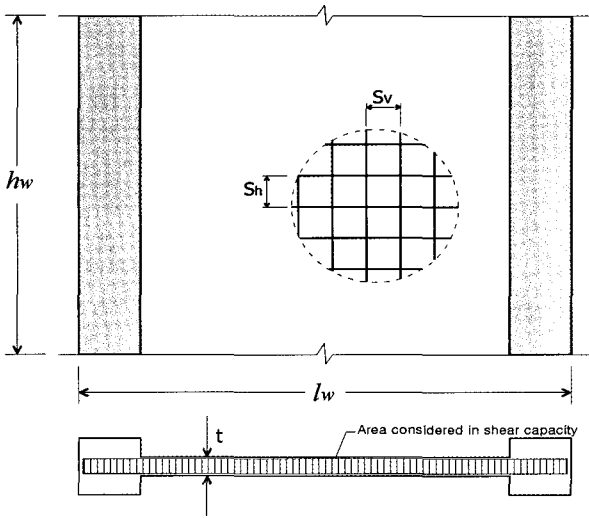


그림 5. 경계요소를 갖는 전단벽의 유효단면적

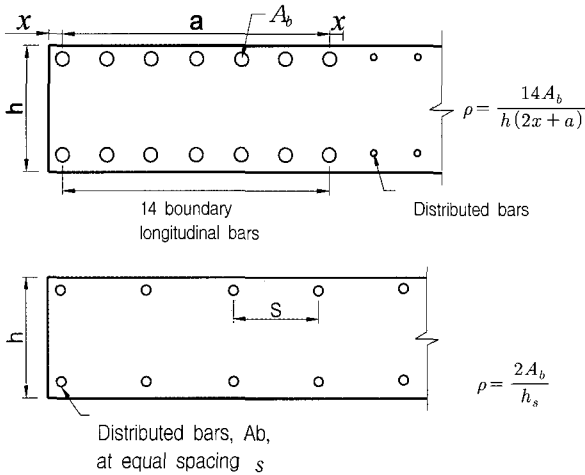


그림 6. 경계요소조건에서의 수직철근비

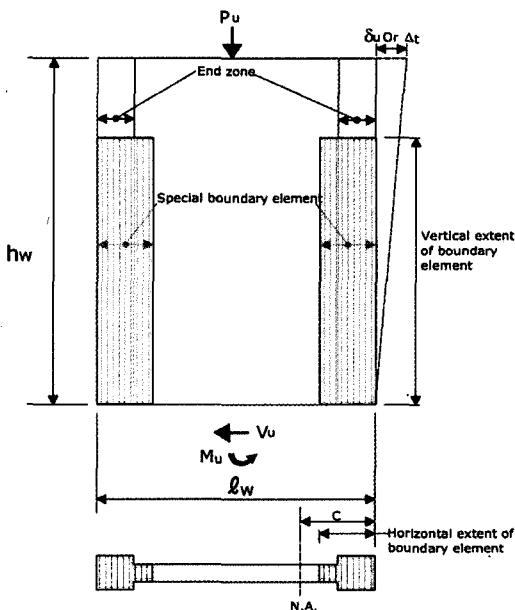


그림 7. RC전단벽의 경계요소

는 경계부재를 두지 않아도 된다. 응력은 선형탄성모델과 전체 단면의 특성을 사용하여 설계하중으로 계산하여야 한다.

특별한 경계요소가 요구되는 곳은 다음사항을 만족하도록 규정하고 있다.

- (i) 경계요소의 수평범위는 압축연단으로부터  $C-0.1l_w$ 와  $C/2$ 중 큰 값 이상으로 한다.
- (ii) 플랜지 단면에서 경계요소는 압축을 받는 유효 플랜지 폭을 포함해야 하며, 웨브도 적어도 300 mm 이상 연장해야 한다.
- (iii) 특별 경계요소의 횡보강 띠철근은 다음 식을 만족해야 하며, 띠철근의 중심간 간격은 14 in. (35.56 mm)를 넘지 않도록 해야 한다.

- 나선철근의 체적비

$$\rho_s = 0.12 f'_c / f_{yh} \quad (\text{N, mm}), \text{ Code 21.4.4.1(a)} \quad (14)$$

- 띠철근(Hoop)의 전체 단면적(둘 중 큰 값)

$$A_{sh} = 0.3 (s b_c f'_c / f_{yt}) \left[ \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right] \quad (\text{N, mm})$$

$$A_{sh} = 0.09 s h_c f'_c / f_{yh} \quad \text{Code 21.4.4.1(b)} \quad (15)$$

- (iv) 기초판에서 특별 경계요소의 횡보강근은 특별 경계요소가 기초와 매트위에서 경계되지 않는다면 적어도 특별 경계요소의 가장 긴 주근의 정착길이 만큼 지지점안으로 연장해야 되며, 특별한 경계요소의 띠철근은 적어도 기초와 매트에 안으로 12 in. (300 mm) 연장되어야 한다.
- (v) 전단벽의 웨브에 배근된 수평철근은 특별 경계요소의 코어 안에 정착시켜 항복강도가 발휘되도록 한다.
- (vi) 특별경계요소안에 배근된 주근의 기계적 이음 및 용접이음은 주근의 항복강도  $f_y$ 의 125% 이상 발휘 할 수 있도록 한다.

Consecutive cross-ties engaging the same longitudinal bar have their 90-deg hooks on opposite sides of column

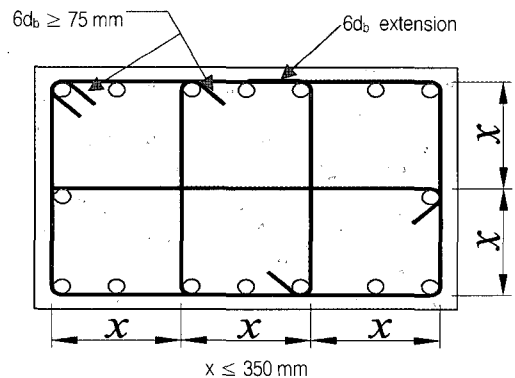


그림 8. 특별경계요소의 횡보강근의 배근 예

### 3.2.2 UBC 97 Code

UBC 기준에서는 Section 1921 내진설계에서 필요에 따라 수직철근이나 횡보강근으로 보강해야할 전단벽과 다이어프레임의 경계요소에 대하여 언급하고 있다. 경계조건이 필요로 하는 경우를 두 가지로 나누고 있는데 첫째, 1921.6.6.4에서는 축하중에 정도에 따라 달라지고 두 번째는 1921.6.6.5에 따라 압축연단의 변형률에 의해 결정되어진다. 전단벽과 다이어프레임의 공칭 전단강도는 다음을 초과하지 않도록 한다.

$$V_n = A_{cv} (0.166 \sqrt{f'_c} + \rho_n f_y) \quad 1921.6.5 \quad (16)$$

전단벽이나 벽체의 전체높이  $h_w$ 가 벽체의 전체길이  $l_w$ 의 2 배보다 작은 부분벽의 경우 공칭전단강도는

$$V_n = A_{cv} (0.08 \alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_n f_y) \quad 1921.6.5.3 \quad (17)$$

여기서 계수  $\alpha_c$ 는  $h_w/l_w$  값이 1.5에서 2.0으로 변환할 때 3.0에서 2.0사이의 값으로 직선보간 값을 적용한다.

### 3.2.3 AIJ Guideline

골조의 내부 전단벽은 압축 경사 스트럿처럼 작용하여 강도를 부여시키고 골조가 굽혀지지 않게 작용하는 것은 잘 아는 사실이다. 최근 일본건축학회는 철골구조와 내부 RC 전단벽으로 된 합성구조의 내진설계에 대한 임의의 설계지침을 제안하였다. 기본 개념은 전단벽을 경사 압축 가새(brace) 유효면적에 응력을 받게 하는 경사 압축 가새(brace)로 대체할 수 있다는 것이다. 이러한 합성구조 종류의 응력분석은 편리함을 위한 가새구조처럼 사용할 수 있게 한다. 스테드 집합은 골조와 벽 사이를 집합하는 스테드는 벽이 가새역할로 내력에 기여할 수 있게 할 뿐만 아니라 벽과 골조가 지진하중을 받을 때 분리되는 것을 막아주는 역할도 한다. 구조의 상세에 대한 다른 요구 사항이 고려되었고, 거의 1/3 크기로 축소된 시험체의 실험적 연구에서 얻은 결과는 개념을 설명하기 위해 요약되었다. 아치 및 트러스 기구를 조합하고 소성이론을 근거 일본건축학회에서 제안된 전단벽의 전단강도식은 아래 식(18)과 같다. 다만  $p_s \sigma_{sy}$ 가  $\nu \sigma_B/2$ 를 초과하는 경우  $p_s \sigma_{sy} = \nu \sigma_B/2$ 로 한다.

$$V_u = t_w l_{wb} p_s \sigma_{sy} \cot \phi + \tan \theta (1 - \beta) t_w l_{wa} \nu \frac{\sigma_B}{2} \quad (18)$$

$$\tan \theta = \left[ \sqrt{\left(\frac{h_w}{l_{wa}}\right)^2 + 1} - \frac{h_w}{l_{wa}} \right]$$

$$\beta = \frac{(1 + \cot^2 \phi) p_s \sigma_{sy}}{\nu \sigma_B}$$

여기서  $t_w$ 는 벽판의 두께,  $h_w$ 는 층고(벽체의 높이),  $p_s$  및  $\sigma_{sy}$ 는 벽체의 전단보강근비 및 전단보강근의 강도,  $\sigma_b$ 는 콘크리트 압축강도,  $\phi$ 는 트러스 기구에서 압축스트럿의 경사각,  $\beta$ 는 아치기구에서 압축 스트럿의 경사각을 의미한다. 또한  $l_{wa}$  및  $l_{wb}$ 는 아치 및 트러스 기구에서 등가벽체길이로 AIJ 규준에 제시된 방법에 준하여 구하게 된다. 전술한 바와 같이 트러스 기구의 압축지주 경사각은 벽체의 형상비에 따라 변화되며 다른 연구자의 전단벽 실험체에 발생된 전단균열각의 평균적인 각 30°를 압축지주의 경사각으로 하여  $\cot \phi = 1.0$ 로 가정하였다. 또한, AIJ 규준에서 콘크리트 압축강도 유효계수인  $\nu$ 는 소성현저 내외에서 전단강도산정 여부에 따라 다르게 규정하고 있다. 특히 소성현저 내에서의 전단강도 산정시 유효계수는 전단벽의 요구(demand) 변형각에 따라 다르게 규정하고 있으나 각 실험체 설계시 가정된 요구 변형각을 파악하기 곤란함으로 NEW-RC 프로젝트에서 임시로 적용한 CEB-FIP 모델 규준(1987)에서 제시하고 있는 다음 식(19)를 적용하였다.

$$\nu = \frac{1.7}{\sqrt[3]{f_{ck}}} \quad (19)$$

## 4. 철근배근

### 4.1 수평, 수직 전단보강근의 정착

#### 4.1.1 SRC 기둥 단면 내

〈그림 9, 10〉은 SRC 기둥에 내부에 정착되는 수평, 수직 전단보강근의 정착상세를 보여주고 있다.

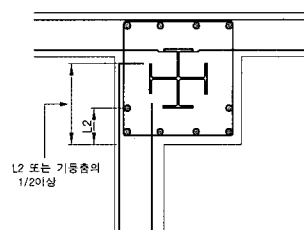


그림 9. 콘크리트에 즉시 정착

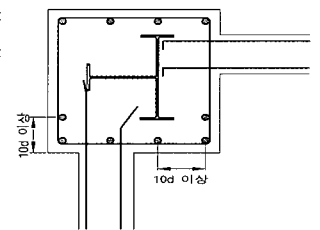


그림 10. 절곡 정착

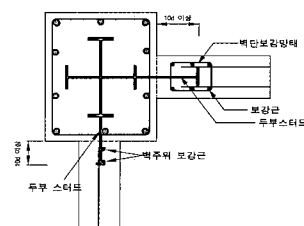


그림 11. 스테드 볼트를 적용한 예

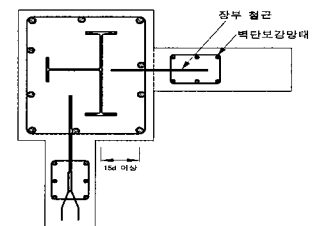


그림 12. 장부철근을 적용한 예

### 4.1.2 주변골조와 내진벽의 접합 예

〈그림 11, 12〉는 경계요소로 SRC기둥을 갖는 내진벽의 수평, 수직 전단보강근의 정착상세를 보여주고 있다.

### 4.2 전단벽의 배근법

SRC 구조의 전단벽에서는 벽판의 보강근 주변의 정착은 일반적으로 곤란하다. 특히, 보가 순 철골, 기둥이 SRC와 같은 구조에서는 보통의 방법으로 세로 방향의 철근은 정착이 되지 않는다. 이와 같은 경우에는 벽근은 차라리 콘크리트의 박리(剝離) 혹은 박락(剝落)의 방지 정도로 생각하고 콘크리트만으로 전단내력을 확보하는 방법을 택할 수도 있으며, 또 〈그림 13〉에 나타낸 바와 같이 벽판으로 보강근에 의한 힘의 평형을 이루어 주변 골조와 벽판과의 사이에는 전단력만이 작용하도록 하는 것도 하나의 방법이다.

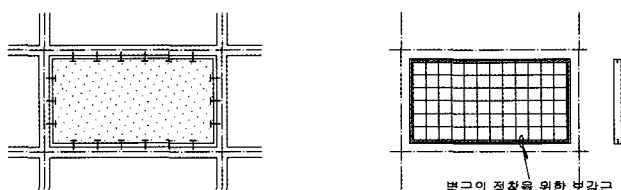
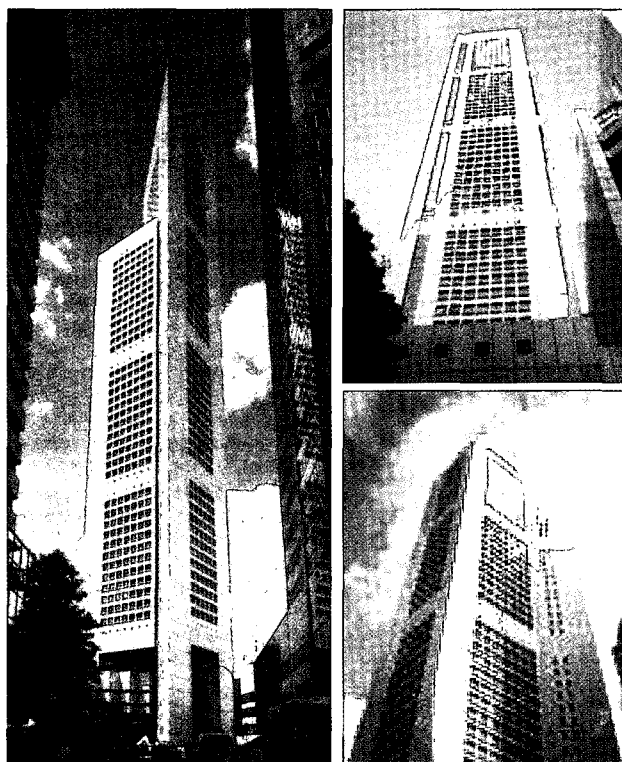


그림 13. 전단벽의 전단보강근 배근

## 5. 적용사례

Overseas Union Bank Center(그림 14)는 싱가포르 Raffle place 은행 본부 사무실과 임대용 사무실, 상가 및 주차장 공간을 확보하기 위하여 설계되었다. 고층부 평면은 빗변을 마주하여 시각적으로 분리돼 있는(구조적으로는 일체임) 두 개의 삼각형으로 설계되었다. 한 쪽 모서리의 서비스 코어와 삼각형 기둥은 더 높은 쪽 타워의 지주 역할을 하며, 낮은 타워는 좀 더 작은 삼각형 기둥과 L자형 기둥으로 지지된다. 건물의 폭에 대한 높이 비는 남쪽 입면에서 10대 1, 북쪽 입면에서는 8대 1이고, 고층부 구조는 지상의 전체 높이에 걸쳐 무주 공간으로 되어 있다.

고층부 구조는 높은 항복점을 갖는 구조용 강재 골조로 되어 있다. 주요 기둥들은 엘리베이터 샤프트를 형성하는 박스 기둥과 벽체선에 따른 T형 기둥들로 제작되어, 엘리베이터 샤프트 면적의 잠식을 최소화한다. 동서 방향으로 중심간 간격이 4.32 m이고 깊이 950 mm의 단순지지 철골 트러스가 큰 무주공간을 지지하고 있다. 이 트러스들은 콘크리트 바닥 시스템과 합성 작용하도록 설계되었으며, 바닥 시스템은 63 mm 높이의 데크 플레이트와 합성된 철근 콘크리트 슬래브로 이루어진다.



설계자	Kenzo Tange and Urtec/SAA Partnership
구조설계	Meinhardt Asia Pty. Ltd
완공연도	1986년
지상높이	280 m
세장비	남쪽 입면 - 10:1, 북쪽입면 - 8:1
층수	지상 63층, 지하 4층
건물용도	상가, 사무실
골조재료	강재 및 콘크리트 전단벽
기준층 활하중	250 kgf/m <sup>2</sup>
기본풍속	37.7 m/sec, 1000년 재현주기
최대 수평처짐	448 mm
설계용 기본 주기	7.3초
설계 감쇄율	사용상태 1%, 극한상태 3%
지진하중	적용하지 않음
구조시스템	콘크리트 벽체 병용 철골복합 시스템
지반조건	실트질 모래, 사암, 점토암
기초형식	7개의 5~6 m 지름의 케이슨, 100 m 깊이
기준층 - 높이	4 m
- 보 스패	20.3 m
- 보 깊이	950 mm
- 보 간격	4.32 m
- 슬래브	데크플레이트 위 150 mm 콘크리트
기둥(1F)	800 × 800 mm
코어 두께(1F)	콘크리트 전단벽을 갖는 복합 철골조: 600 mm

그림 14. OUN 빌딩 전경 및 개요

콘크리트 슬래브는 각종 설비가 설치된 후, 규정된 층간 방화 간격에 충분한 두께를 유지하기 위하여 전체를 150 mm의 두께로 되어 있다. 철골의 내화 피복에는 경량의 광물질 섬유가 사용되었다. 고층부 구조는 지름 5~6 m, 길이 96~110 m 인 일곱 개의 케이슨으로 지지된다. 케이슨들은 하부에서 구근

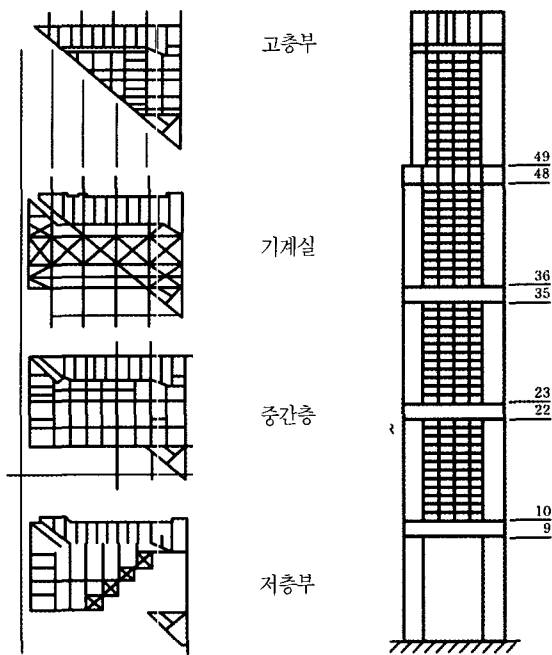


그림 15. OUN 빌딩 골조평면과 입면

형태로 되어 하중을 단부 지압으로 경압반에 전달한다.

구조물의 구성은 철골이 구조 시스템의 뼈대를 제공하고, 가새와 콘크리트 벽체로 된 부분이 건물의 강성을 증가시키는 작용을 하는 형태이다. 각 요소들(철골과 콘크리트 벽체)은 모두 최상부에서 기초까지 수직하중의 전달에 있어 독립적으로 기능을 수행할 수 있다. 그러나 함께 사용된 요소인 콘크리트는 철골이 독립된 구성요소로서 충분히 응력을 받을 수 있도록 하면서 철골에 구속력을 제공한다. 콘크리트와 구조용 강재 사이의 부동 크리프의 조절에 대해 철골 기둥의 축방향 단축과 시공 계획, 조립공사 중의 가새 설치 등을 고려하면서 광범위하게 조사되었다. 콘크리트 부재 및 철골 작업동안 발생할 수 있는 응력들은 장/단기간에 대하여 모두 고려되었고, 해석결과는 콘크리트 공사가 철골 공사보다 대략 4~5층 아래에서 이루어지는 것이 최적으로 나타났으며, 최대 허용차는 콘크리트 공사가

철골 공사보다 24층 뒤쳐지는 경우이다. OUB 건물에 대한 최종의 최적해는, 최소 비용으로 철골과 콘크리트가 최상의 성능을 발휘하도록 하는 효율적인 구조체를 제공하는, 혼합 골조 복합 구조물이다.

### 6. 맺음말

지금까지 합성기둥을 경계요소로 갖는 RC전단벽구조 시스템의 개요, 내진거동, 설계기준 및 적용 사례를 살펴보았다. 현재 우리나라에서는 기존 주거용 및 상업용 건물에 RC전단벽구조가 횡하중을 지지하는 효과적인 시스템으로 널리 사용되고 있다. 신내진기준 KBC2005의 적용으로 지반조건과 지진위험도에 따라 전단벽구조시스템에 지진하중이 증가하는 경우 축하중과 전도모멘트의 적용으로 경계요소의 설계가 구조적으로 중요성을 갖는 경우가 발생하게 된다. 보다 효과적이고 경제적인 구조 시스템을 이룩하기 위해 복합기둥을 전단벽구조시스템에 고려하는 것도 공학적으로 좋은 대안이 될 수 있다. 보다 많은 연구가 이에 대해 이루어져서 공학적으로 한층 더 발전된 구조 시스템이 실제 건물 구조에 적용되기를 기대해 본다. □

### 참고문헌

1. 건설교통부, "콘크리트구조설계기준", 한국콘크리트학회, 2003.
2. FEMA, "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings 1997," Federal Emergency Management Agency, 1997.
3. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-05) and Commentary(ACI 318R-02)," ACI, 2005.
4. Uniform Building Code, 1997.
5. 日本建築學會, "鐵骨鐵筋 콘크리트造 配筋指針(案)·同解説".
6. Council on tall building and urban habitat, "고층건물의 구조시스템, 인하대학교 출판부, 1999.

### 도서소개

## 콘크리트 미학(Aesthetics of Concrete)

#### ◆ 소개

... 이 시리즈는 그간 각 분야별로 학회지 특집기사에 참여한 전문가들의 경험과 축적된 연구결과 및 국내외에서 개발된 각종 기술 등에 대하여 체계적이고 깊이 있는 내용을 수록하고 있어 관련분야에 종사하는 실무자나 학생들에게 매우 유익한 도서가 될 것이다.

- 저 자: 한국콘크리트학회
- 출판사: 기문당
- 발행일: 2005년 8월 5일
- 정 가: 12,000원(회 원: 10,000원)
- ISBN: 89-7086-764-3
- 총쪽수: 183쪽(판형: B5)

