

프리캐스트 병렬 전단벽의 내진 설계에 관한 연구

A Simplified Seismic Design Method of Precast Coupled Shear Wall

홍 성 곁¹⁾ 김 영 옥²⁾
Hong, Sung Gul Kim, Young Wook

ABSTRACT

In seismic design procedure of precast concrete structure, it is important to assign ductility requirement on the connection element for a favorable failure mechanism. The purpose of this paper is to propose a simplified procedure to determine the required ductility of coupling beam in coupled precast shear wall for a lateral displacement ductility demand at the top of a structure. This study shows that an equation for ductility of coupling beam is introduced on the basis of several basic assumption.

Key words: precast coupled shear wall; coupling beam; ductility; gap opening

1. 서 론

프리캐스트 구조물의 구조적 성능은 공장에서 생산된 부재의 품질보다는 연결 부재 또는 접합부의 성능에 의해서 좌우되므로 적절한 내진 성능을 갖는 연결부재 또는 접합부 설계가 이루어지면 일체식 콘크리트 구조물에 비해 손색이 없는 내진 성능을 발휘할 수 있다. 실제적으로 지난 몇 년간의 지진 피해 사례를 살펴보면 프리캐스트 구조물이 일체식 콘크리트 구조물에 비해 못지 않은 성능을 보여주고 있다. 따라서 프리캐스트 구조물의 내진 설계에 있어서 연결 부재 또는 접합부가 적절한 강도와 연성도를 갖도록 설계하는 것이 가장 중요하다고 볼 수 있다.

일반적인 정적 하중을 이용한 내진 설계에서는 구조물의 형식에 따라서 반응수정계수 값을 달리 하고 있는데, Clough가 제안한 설계방법에 따르면, 설계자의 판단(높은 강도와 낮은 연성도 또는 낮은 강도와 높은 연성도)에 따라서 적절한 반응수정계수를 택하여 설계 횡하중을 결정하고 변위를 기준으로 한 kinematic analysis를 통해서 연결부재 또는 접합부의 요구성능을 결정하고 있다. 본 연구에서는 기존의 Clough가 제안한 방법을 고찰하고 이를 수정하여 간편하고 적절하게 연결부재 또는 접합부의 필요한 성능을 결정하는 방법을 제시하고자 한다.

횡력저항 시스템으로서 전단벽을 많이 사용하고 있는데, 이러한 전단벽은 창, 출입구 등의 개구부로 인해서 서로 분리되어 있고 이를 연결하는 부재(슬라브 또는 보), 즉 연결보(coupling beam)가 존재한다. 본 연구에서는 이러한 병렬 연결 프리캐스트 전단벽(coupled precast shear wall)에 대한 적절한 가정을 통해서 최상층에서의 변위 연성도(displacement ductility)와 연결보의 연성도 및 수평 접합부의 개폐거동의 관계와 이러한 관계를 결정하는 인자에 대해서 살펴본다.

1) 서울대학교 건축학과 전임강사, 정회원

2) 서울대학교 건축학과 대학원

2. 기존 연구

2.1 개요

Clough's method²에 따른 내진설계는 적절한 횡력저항 시스템 결정, 설계 횡하중 결정, 최상층에서의 비탄성 변위량 예측, kinematic analysis를 통한 접합부의 내진 성능 결정 순서로 이루어져 있다. 횡력저항 시스템은 기초부분에서 휨에 의해 항복하는 캔틸레버 벽이나 병렬 연결 선단벽(coupled shear wall)과 같이 탄성강도 범위를 넘어설 때의 소성힌지 발생 위치를 미리 설정하여 구조물을 1-자유도(SDOF) 항복 메커니즘으로 유도되도록 한다.(그림 2) 횡력저항 시스템을 결정한 후에 설계자의 판단에 의하여 적절한 반응수정계수를 택하여 설계 횡하중을 설정한 후, 동일 에너지 이론(equal-energy principle)에 의하여 소성변위를 결정하고 소성변위로부터 kinematic analysis를 이용하여 각 부재나 접합부에 요구되는 강도와 연성도를 결정한다.(그림 18 참고)

2.2 최상층에서의 비탄성 변위량 예측

지진 하중이 작용 시에 일자유도 항복 메커니즘으로 횡력 저항 시스템이 설계되면 탄소성(elasto-plastic) 일자유도의 지진 응답 이론을 적용할 수 있다. 대체로 고유진동주기가 1/8초와 1/2초 사이에 있으면 탄성상태에서의 최대 내부 변형 에너지(internal strain energy)와 탄소성(elasto-plastic) 상태에서의 에너지가 같다고 볼 수 있다. 이러한 사실을 이용하여 최상층에서의 비탄성 변위량을 예측할 수 있다. (그림 1 참고)

Newmark와 Hall의 동일 에너지 개념을 ($A_1 = A_2$) 이용하여 연성도 (μ)와 소성 변위 (D_p)를 구할 수 있다. 여기서 구한 소성 변위는 kinematic analysis에 적용하게 된다.

$$R = \frac{ESD}{F_y}, \mu = \frac{D_{ep}}{D_y} \quad \text{식(1)}$$

$$\mu = \frac{R^2 + 1}{2} \quad \text{식(2)}$$

$$D_p = D_y \left(\frac{R^2 - 1}{2} \right) \quad \text{식(3)}$$

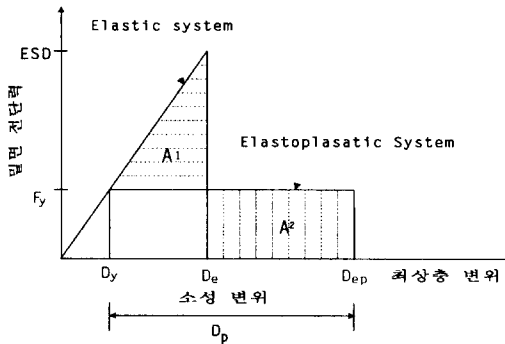


그림 1 The equal-energy concept for estimating maximum seismic displacement of an elastoplastic system

2.3 Kinematic Analysis of Post-Yield Behavior

이상에서 예측된 최상층에서의 소성변위 (D_p)로부터 그림2와 같이 kinematic analysis를 통해서 연결부재 또는 접합부에 요구되는 성능을 결정한다. 여러 층이 연속되어 있는 경우에는 각 층에서의 수평접합부의 개폐(h_1, h_2, h_3, \dots)비를 먼저 설정하여 연결보의 변형을 얻어내고 이를 통해서 연결보에 요구되는 연성도를 구한다.

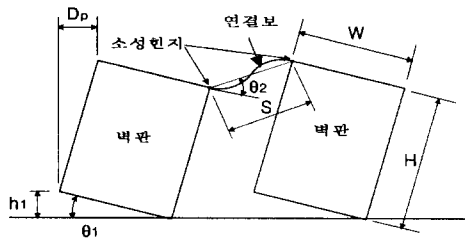


그림 2 Kinematic model

3. 병렬 연결 프리캐스트 전단벽에서의 연성도

3.1 병렬 연결 프리캐스트 전단벽의 거동

그림 3에서와 같이 좌우 대칭이며 양쪽 프리캐스트 전단벽을 연결보로 연결한 형태의 구조물에서의 거동 특성을 다루기로 한다. 병렬 연결 전단벽은 각기 좌우 전단벽의 저항 모멘트와 좌우 전단벽을 연결하는 연결보로 인해서 유발되는 전단벽의 인장·압축으로 인한 추가적인 저항모멘트로 외력(전도모멘트)에 저항한다. (식4) 프리캐스트 전단벽의 경우는 연결보와 특히 수평접합부의 거동 특성이 전체 구조물의 거동을 좌우하게 된다.

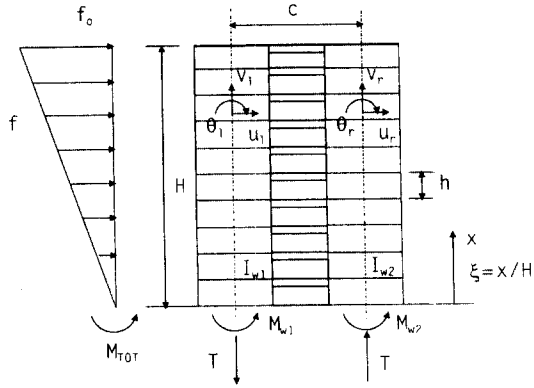


그림 3 Coupled precast shear wall

$$M_{TOT} = (M_{w1} + M_{w2}) + T \cdot c \quad \text{식(4)}$$

$$= M_w + M_{CPL}$$

3.2 기본가정

- 1) 부재의 항복순서는 먼저 모든 연결보(coupling beam)가 항복하고 연결보가 항복한 후에 수평접합부의 비탄성 거동이 나타난다. (그림 5)
- 2) 지진하중에 의한 등가정적하중은 역삼각형 분포를 따른다. (그림 6)
- 3) 연결보의 변곡점은 보 중간에 위치하며 보의 길이 방향의 변화는 무시한다. 좌우 전단벽의 수평변위와 회전변위가 동일하다. ($u_l = u_r$, $\theta_l = \theta_r$)
- 4) 그림 4에서와 같이 각 층간의 연결보(discrete coupling beam)를 연속적인 등가 전단 연결보(equivalent continuous shear medium)로 바꾼다.

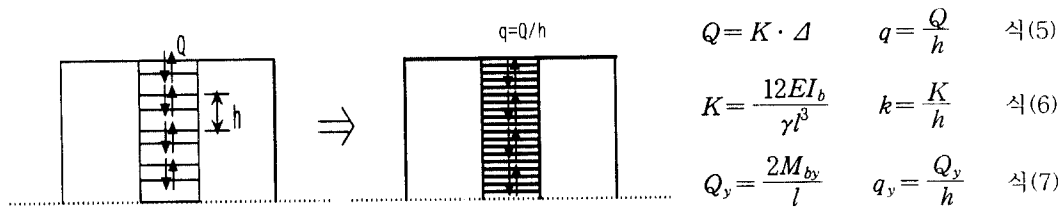


그림 4 Equivalent continuous shear medium

5) 각 층간에 수평접합부가 비탄성 거동을 지배한다. 수평접합부의 거동은 개폐거동과 미끄러짐에 의한 거동으로 나눌 수 있는데, 여기서는 미끄러짐에 의한 거동은 전단키 등의 적절한 방법을 통해 제한할 수 있으므로 전체 구조물의 거동에 큰 영향을 끼치는 개폐거동에 대해서만 다루기로 한다.

6) 그림 5에서 보면 연결보의 항복과 수평접합부의 개폐는 각기 한 시점에서 일어나지 않고 연속적으로 일어난다. 그러나 모든 연결보는 동시에 항복하고, 각 층에서의 수평접합부 개폐 거동이 동시에 일어난다고 간단화하여 그림 6과 같이 이상화시킨다.

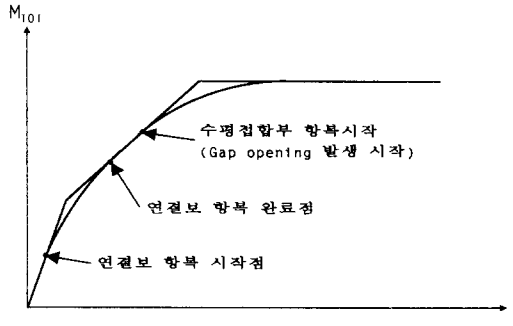
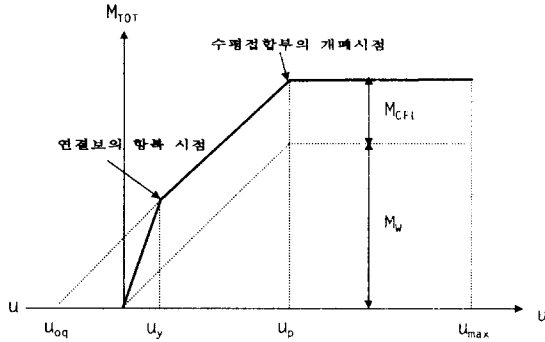


그림 5 Lateral displacement-total moment curve



→ 그림 6 Idealized lateral displacement-total moment curve

3.3 전단벽의 변형

전단벽의 변형을 다음의 세가지의 메커니즘으로 나누어서 구한 후 이를 합산하여 전체 전단벽의 변형을 구한다.

1) 메커니즘은 연결보의 항복에 의한 전단벽의 탄성 변형을 말한다. 전단벽에 비해 연결보는 강성이 작기 때문에 연결보가 양단에서 먼저 항복하게 되는데 양단에서의 항복모멘트를 좌우 전단벽에 가하여 전단벽의 탄성 변형을 구한다. (그림 8)

2) 메커니즘은 외력 즉 지진하중을 역삼각형 정적 하중으로 간주하여 이를 전단벽에 가할 때의 전단벽의 탄성 변형을 말한다. (그림 9)

3) 메커니즘은 전단벽의 비탄성 변형으로 인한 변형을 말한다. 프리캐스트 전단벽의 비탄성 변형은 접합부에 집중적으로 발생하기 때문에 수평접합부의 개폐 거동에 의한 전단벽의 변형을 구한다. (그림 10)

첫 번째와 두 번째의 메커니즘의 경우, 전단벽에서 수평접합부가 존재하기 때문에 명확한 휨강성 EI_o 결정을 하는데 어려움이 있다. 그러나 탄성 범위 안에서는, 수평접합부의 휨강성이 프리캐스트 벽판의 휨강성과 큰 차이가 없다면 수평접합부로 연결된 단위 판의 상하길이에 비해 수평접합부의 길이가 매우 작기 때문에 벽판의 휨강성을 전단벽의 휨강성으로 간주하는 데는 무리가 없다. 세 번째의 메커니즘에서는 위에서 고려하지 않은 전단벽의 비탄성 거동만을 고려한다. 즉 프리캐스트 벽판을 강체로 보고 수평접합부의 개폐거동에 의한 전단벽의 변형을 구한다.

병렬 연결 전단벽의 단면 특성은 식(8)~식(10)과 같이 정의한다. (그림 7 참고)

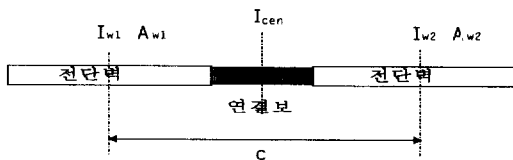


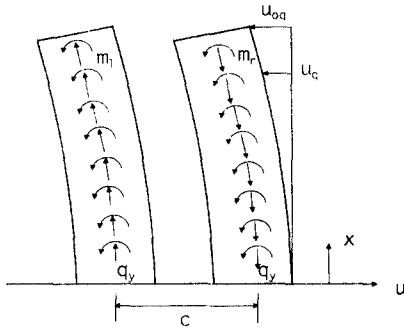
그림 7 Coupled shear wall section

$$I_o = I_{w1} + I_{w2} \quad \text{식(8)}$$

$$A = A_{w1} + A_{w2} \quad \text{식(9)}$$

$$I_{cen} = I_o + \frac{A_{w1}A_{w2}}{A} c^2 \quad \text{식(10)}$$

1) 연결보 항복 전단력 q_y 에 의한 탄성 변형



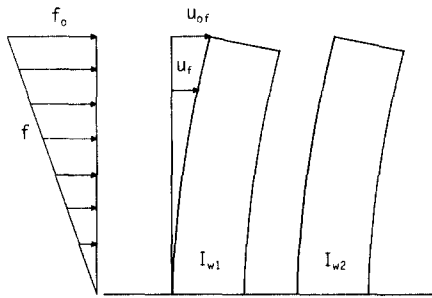
$$u_{a_i}(\xi) = -u_{0a} \cdot \Psi_q(\xi) \quad \text{식(11)}$$

$$u_{0a} = \frac{1}{3} \frac{q_y c H^3}{EI_o} = \frac{1}{3} \frac{M_{CPL} H^2}{EI_o} \quad \text{식(12)}$$

$$\Psi_q(\xi) = \frac{3}{2} \xi^2 - \frac{1}{2} \xi^3 \quad \text{식(13)}$$

그림 8 Elastic deflection of walls due to q_y

2) 역삼각형 형태의 정적 지진 하중 f 으로 인한 탄성 변형



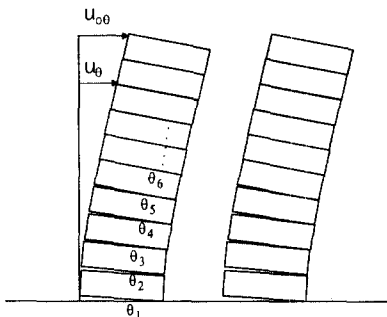
$$u_f(\xi) = u_{0f} \cdot \Psi_f(\xi) \quad \text{식(14)}$$

$$u_{0f} = \frac{11}{40} \frac{f_o H^4}{EI_o} = \frac{11}{40} \frac{M_{TOT} H^2}{EI_o} \quad \text{식(15)}$$

$$\Psi_f(\xi) = \frac{20}{11} \xi^2 - \frac{10}{11} \xi^3 + \frac{1}{11} \xi^5 \quad \text{식(16)}$$

그림 9 Elastic deflection of walls due to seismic force f

3) 수평접합부에서의 개폐 거동(gap opening)에 의한 변형



$$\begin{aligned} \theta_1 &= \beta_1 \theta_{pw} \\ \theta_1 + \theta_2 &= \beta_2 \theta_{pw} \\ \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 &= \beta_3 \theta_{pw} \end{aligned} \quad \text{식(17)}$$

$$\begin{aligned} &\vdots \\ \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \dots + \theta_n &= \beta_n \theta_{pw} \\ 0 &\leq \beta_i \leq 1.0 \end{aligned}$$

$(i-1)h \leq x \leq ih$ 일 때 (i 층에서)

$$u_{\theta}(\xi) = \theta_1 h + (\theta_1 + \theta_2) h + \dots + (\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_i) x \quad \text{식(18)}$$

$$\begin{aligned} u_{\theta} &= u_{\max} - u_p \\ &= \sum \beta_i \theta_{pw} h \end{aligned}$$

$$\theta_{pw} = \frac{u_{\max} - u_p}{\sum \beta_i h} \quad \text{식(19)}$$

그림 10 Deflection of walls due to gap opening

3.4 연결보의 변형과 연성도

전단벽의 변형에 의해서 연결보의 변형이 좌우되기 때문에, 위에서 구한 전체 전단벽의 변형식(식 11, 식 14, 식 18)으로부터 연결보에 요구되는 변형을 구하여 부재의 연성도와 전체 시스템의 연성도와의 관계식(식 23)을 결정한다. 여기서 연결보의 연성도는 보 양단에서의 상하 항복 변위를 기준으로 하고(그림 11 참고), 최상층에서의 변위 연성도는 수평접합부 개폐 시점(u_p)을 기준으로 한다.

$$u_{TOT} = u_{ay} + u_f + u_\theta \quad \text{식(20)}$$

$$\Delta = c \frac{du_{TOT}}{dx} + v_r - v_l$$

$$\Delta = \frac{c}{H} \frac{du_{TOT}}{d\xi} + v_r - v_l \quad \text{식(21)}$$

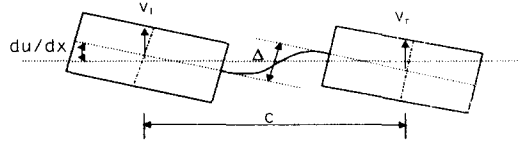


그림 11 Deformation of coupling beam

$$\Delta_i = \beta_i \theta_{pw} c + u_{of} \frac{c}{H} \Psi_f' - u_{oq} \frac{c}{H} \Psi_q' + (v_r - v_l)_{ay} \quad \text{식(22)}$$

$$= (u_{max} - u_p) \frac{\beta_i}{\Sigma \beta_i} \frac{c}{h} + u_{of} \frac{c}{H} \Psi_f' - u_{oq} \frac{c}{H} \Psi_q' - \frac{1}{E} \left(\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) q_y H^2 \cdot \frac{1}{3} \Psi_q'$$

식 (22)을 Δ_y 로 나누어 식(5), (6), (9), (10), (12), (15)를 이용하여 정리하면 다음과 같은 제안식을 얻을 수 있다.

$$\mu_{c_i} = \frac{1}{3} \alpha^2 \left[(\mu_w - 1) \frac{\beta_i}{\Sigma \beta_i} \frac{1}{(h/H)} \left(\frac{1}{\omega} - 1 \right) + \frac{\Psi_f'}{\omega} - \frac{\Psi_q'}{j} \right] \quad \text{식(23)}$$

여기서, $\mu_{c_i} = \frac{\Delta_i}{\Delta_y}$: i층에서의 연결보의 연성도

$\mu_w = \frac{u_{max}}{u_p}$: 최상층에서의 변위 연성도

$\frac{\beta_i}{\Sigma \beta_i}$: 수평접합부의 개폐비

$\alpha^2 = \frac{kc^2 H^2}{EI_o}$: 연결보의 상대 강성 (relative coupling stiffness)

$\frac{1}{j} = \frac{I_{cen}}{I_{cen} - I_o}$: 단면 특성 (cross-sectional parameter)

$\frac{1}{\omega} = \frac{u_{of}}{u_{oq}} = \frac{33}{40} \frac{M_{TOT}}{M_{CPL}}$: 연결보의 상대 강도(relative coupling strength) 이다.

식 (23)에서 연결보의 연성도를 결정하는 주요한 변수를 살펴보면, α^2 이 클수록 즉, 벽체의 강성비에 비해서 연결보의 강성의 비가 클수록 연결보에 요구되는 연성도가 커진다. $1/\omega$ 가 클수록, 즉 전체 모멘트(M_{TOT})에 대한 연결보가 부담하는 모멘트(M_{CPL}) 비가 클수록 연결보에 요구되는 연성도가 커진다.

3.5 제안식의 적용

최상층에서의 변위 연성도는 동적 해석 또는 push-over analysis를 통해서 최상층에서의 변위 연성도를 얻을 수 있다. 그러나 이러한 방법은 설계 초기 단계에서는 부적절하므로 Clough가 제안한 설계 방법을 통해서(그림 18) 최상층에서의 변위 연성도를 결정하는 것이 적절하다. 적용 대

상 구조물은 그림 12와 같고 Kianoush et al의 예제 결과⁴를 감안하여 최상층 변위 연성도 μ_w 와 변수를 정하여 제안식에 의한 연결부 연성도의 분포 경향을 살펴보고자 하였다. 현행 우리나라 설계 기준에 의한 설계 방법을 적용한 구조물에서의 제안식의 적용은 차후 연구과제로 미루었다.

수평접합부의 개폐거동에 관해서는 10층 건물의 경우 최하층에서부터 전체 개폐량(θ_{pw})의 40퍼센트, 30퍼센트, 20퍼센트, 10퍼센트 비율로 분배된다고⁴ 가정하여 수평접합부의 개폐비를 설정하였다. (그림 15)

$$n = 10, \quad \frac{1}{j} = \frac{1}{0.824}, \quad \alpha^2 = 17.5, \quad \frac{1}{\omega} = 2.0, \quad \mu_w = 5.0$$

$$\beta_1 = 0.4, \beta_2 = 0.7, \beta_3 = 0.9, \beta_4, \beta_5, \dots, \beta_{10} = 1.0$$

$$\mu_{c_i} = \frac{1}{3} \cdot 17.5 \left[(\mu_w - 1) \frac{\beta_i}{\sum \beta_i} \frac{1}{0.1} (2.0 - 1) + 2.0 \psi'_j - \frac{\psi'_q}{0.824} \right]$$

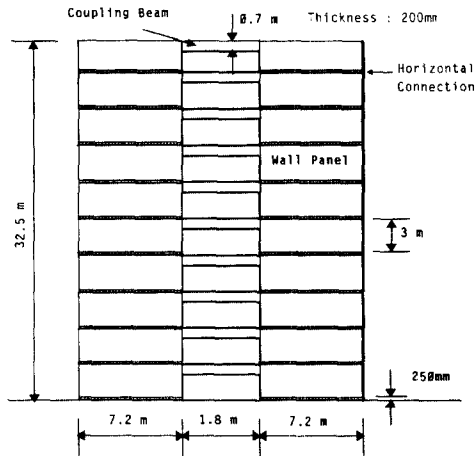


그림 12 Dimension of coupled wall

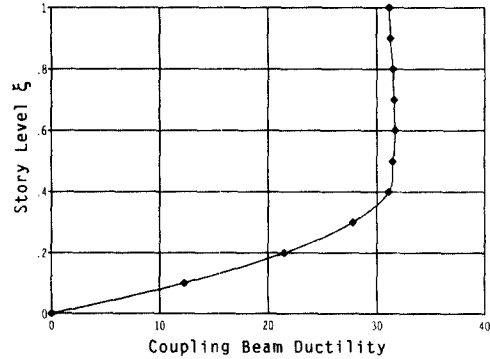


그림 13 Coupling beam ductility ($\mu_w = 5.0$)

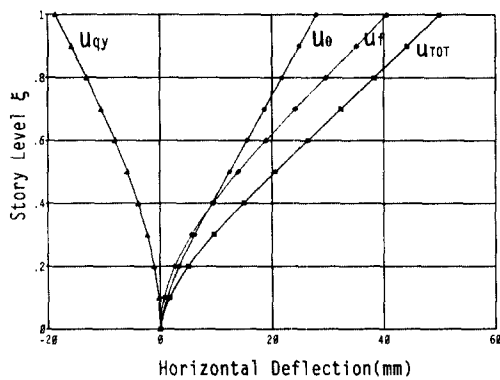


그림 14 Horizontal deflection

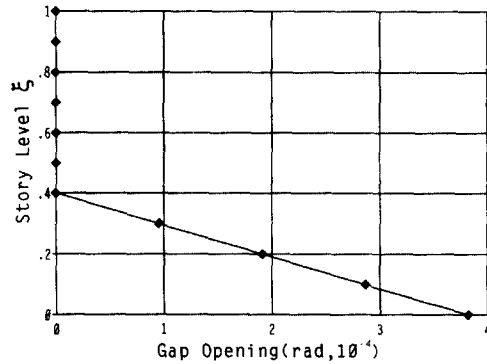


그림 15 Gap Opening of horizontal connection

제안식을 적용한 결과, 그림 13에서 보듯이 상층부에서의 연결보의 연성도는 거의 일정한 값을 보이고 있다. Clough가 제안한 방법에서는 수평접합부의 개폐거동이 일어나지 않는 상층부에서는 연결보의 연성도는 일정한 값을 나타내고 있다. (그림 17) 그림 16는 수평접합부의 개폐거동이 일어나지 않는 극단적인 경우인데 최상층 변위 연성도가 작은 값을 가질 때는 상층부에서의 연성도는 많이 감소되는 경향을 보여준다. 이는 수평접합부의 개폐거동에 의한 변형이 전체 변형에 영향을 주지 않는 경우이다.

그림 15는 접합부의 개폐 각도를 나타내는데 이러한 개폐 각도를 이용하여 수평접합부 설계시 이를 감안하여 설계할 수 있다.⁸

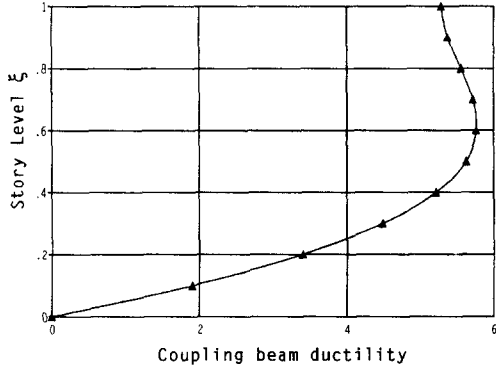


그림 16 Coupling beam ductility ($\mu_s = 1.0$)

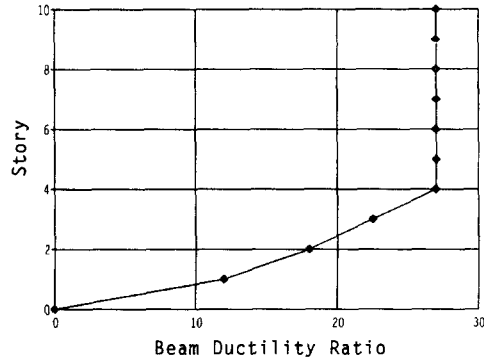


그림 17 Example of Clough's method⁴

4. 결 론

- 1) 설계 초기 단계시 제안식을 이용하면 주요변수(α^2 , $1/\omega$, $1/j$)를 통해서 연결보에 요구되는 연성도의 확보가 가능한지 쉽게 예측할 수 있다.
- 2) Clough가 제시한 방법에서는 수평접합부의 개폐거동이 거의 일어나지 않는 상층부에서는 연결보의 연성도가 동일한 값을 가지지만, 제안식을 적용하면 중간층에서의 최대 연성도에 비해 상층부에서의 요구 연성도가 감소되는 경향을 나타내준다.
- 3) 연결보의 연성도는 수평접합부에서의 전체 개폐량(θ_{pw})의 영향을 크게 받지만, 대부분의 개폐 거동이 저층부에 국한되기 때문에 각층에서의 개폐비(β_i)는 상층부에서의 연성도에는 그다지 큰 영향을 끼치지 않는다.
- 4) 연결보의 상대강성계수 α^2 가 연결보의 연성도를 결정적으로 좌우하는데, 연결보의 강성 k 와 진단벽의 휨강성 EI_o 을 적절하게 산정하는 것이 가장 중요하다.
- 5) 고유진동주기가 1/2 초 이상의 경우에는 Newmark와 Hall에 따르면 최대 비탄성 변위 D_{ep} 는 D_e 와 같다. 그러나 다른 연구 결과에 따르면 최대 비탄성 변위는 지반 운동에 의해 결정적으로 좌우된다고 한다. 동일 변위(equal-displacement) 가정은 일반적으로 안전측에 있지만 해석을 하게 되면 최대 비탄성 변위 D_{ep} 가 탄성요구 변위 D_e 를 상당히 넘어서는 경우도 종종 발견할 수 있다. 따라서 이 범위에서는 이상의 설계 방법을 적용하는 데는 무리가 있다.

6) 고층 건물이거나 하중과 강성이 불규칙적으로 분포된 경우에는 비틀림(torsion)이나 고차모드의 의한 구조물의 거동을 무시할 수 없으므로 이상과 같은 방법의 적용에 앞서 동적해석을 통해 모드 형상과 진동 주기를 검토하는 것이 바람직하다.

감사의 글

본 연구는 1997년도 학술진흥재단 공모과제(신진교수과제) 연구비에 의해 연구되었음을 밝히며 이에 감사드립니다.

기 호

- A : 전단벽의 단면적
- EI_b : 연결보의 휨강성
- EI_o : 전단벽의 휨강성
- I_{cen} : 전체 병렬연결 전단벽의 단면 2차 모멘트 (그림 7참고)
- K : 연결보의 강성
- M_{CPL} : 연결보의 항복으로 인하여 전단벽에 가해지는 모멘트
- M_{TOT} : 정적 지진하중에 의하여 전단벽에 가해지는 모멘트
- M_{by} : 연결보 양단에서의 항복 모멘트
- M_w : 전단벽이 부담하는 모멘트
- Q : 연결보 중간에서의 전단력
- Q_y : 연결보의 항복 전단력
- T : 좌우 전단벽에 작용하는 인장·압축력
- c : 좌우 전단벽 중심간 거리
- u_{TOT} : 병렬 연결 전단벽의 수평 변형
- u_{qy} : 연결보의 항복으로 인한 전단벽의 탄성변형
- u_r : 정적 지진 하중으로 인한 전단벽의 탄성변형
- u_θ : 수평접합부의 개폐로 인한 전단벽의 변형
- u_{max} : 최상층에서의 최대 수평변위
- u_p : 수평접합부 개폐 거동 시점에서의 최상층 수평변위
- u_y : 연결보 항복시의 최상층 수평변위
- u_{of} : 정적 지진하중으로 인한 전단벽 최상층에서의 수평변위
- u_{oq} : 연결보의 항복 전단력에 의한 전단벽 최상층에서의 수평변위
- $u_{o\theta}$: 수평접합부의 개폐거동에 의한 전단벽 최상층에서의 수평변위
- β_i : 수평접합부의 개폐비
- γ : 전단변형을 고려한 계수
- θ_{pw} : 모든 수평접합부의 개폐각도의 합

참고문헌

1. Gluck, J., (1973), "Elasto-Plastic Analysis of Coupled Shear Walls" Journal of the Structural Division, ASCE, August
2. Clough, D. P., (1986), "Design of Connections for Precast Prestressed Concrete Buildings for

the Effect of Earthquakes" PCI, Technical Report No. 5

3. Kianoush, M. R., and Scanlon, A., (1988), "Behavior of Large Panel Precast Coupled Wall Systems Subjected to Earthquake Loading" PCI Journal, September-October

4. Kianoush, M. R., Elmorsi, M., and Scanlon, A., (1996), "Response of Large Panel Precast Wall System: Analysis and Design" PCI Journal, November-December

5. Bryan Stafford Smith, Alex Coull, (1991), "Tall Building Structures: Analysis and Design" Wiley Interscience

6. R. Park, T. Paulay, (1974), "Reinforced Concrete Structures", Wiley Interscience

7. A. Coull, B. S. Choo, (1982), "Simplified Elasto-plastic Analysis of Coupled Shear Walls", Journal of the Structural Division, ASCE, June

8. Soudki, K. A., Rizkalla, S. H., and LeBlanc, B., (1995), "Horizontal Connections for Precast Concrete Shear Walls Under Cyclic Deformation - Part 1: Mild Steel connections" PCI Journal, July-August

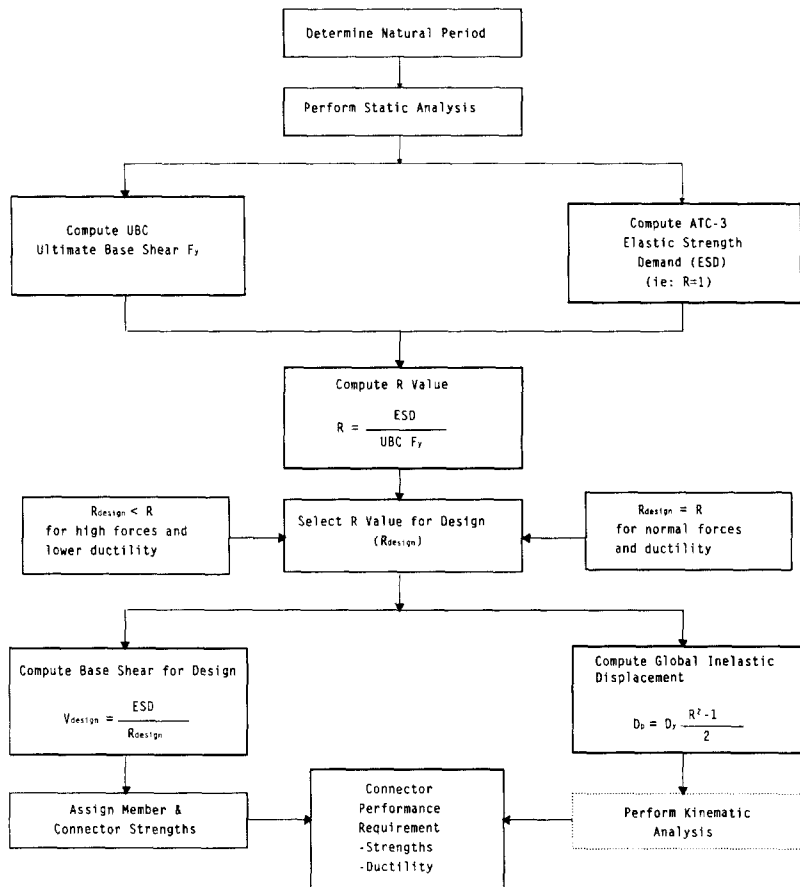


그림 18 Simplified Design Procedure for Seismic Resistant Precast Concrete Buildings²