

## 끼움벽과 단주효과를 고려한 학교건축물의 내진성능평가

### Seismic Performance Evaluation of School Building Short Column Effect

주 창 길\*      한 주 연\*\*      박 태 원\*\*\*  
Ju, Chang-Gil      Han, Ju-Yeon      Park, Tae-Won

#### Abstract

In the case of low-rise buildings in seismic performance evaluation, lateral force resistance of the pillars affects the seismic performance of the building. Evaluation of the seismic performance of the column is determined by the holding performance is evaluated by comparing the shear strength and bending strength it was destroyed by low intensity. In case of the school building, in order to install the large windows for ventilation and lighting of the partition walls are located between the pillars. The case of the pillars of these, shear failure occurs in the event of an earthquake is often, in the seismic performance evaluation, partition wall and the wall of the shim is evaluated ignoring, pillar of the general pillars. If you have to calculate the results of the seismic performance distorted that are destroyed by bending behavior can be evaluated as often.

Results of the study, when assessed by distinguishing the effective length of the column, it was found that when a seismic load is applied, it is possible to accurately predict the failure mode, reliable results of seismic performance evaluation of the school building.

키워드 : 학교건축물, 내진성능평가, 단주, 유효길이, 전단강도

Keywords : School building, Seismic performance evaluation, Short column, Effect length, Shear strength

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경과 목적

국내 건축물의 내진설계기준은 1978년 국내에서 발생한 흥성지진과 1985년 멕시코 대지진을 계기로 지진에 대한 위험성을 인식하고, 내진설계에 대한 기준제정 필요성이 제기되었으며, 이후 내진설계기준을 제정하고 법제화하기 시작하였다. 당시 건설부는 대한건축학회에 용역을 수행하게 하여 우리나라 실정에 맞는 적절한 내진설계에 관한 기초연구가 시작되었다. 우리나라의 경우 역사지진과 계기지진을 토대로 하여 지진학 전문가들이 분석한 연구결과에 의하면 지진위험도가 매우 높지는 않지만, 건축물에 상당히 영향을 줄 수 있는 지진이 발생할 가능성이 있다고 알려져 있어, 우리도 지진에 대한 대책을 강구해야 할 것

으로 판단된다. 이러한 연구의 결과로 1988년 내진기준이 제정되어, 6층 이상 연면적 10,000m<sup>2</sup> 이상에 대해서 내진설계를 하도록 건축법에 규정하였다. 이 때 제시된 내진설계 대상건축물의 범위는 점차 확대되어 1996년에는 5층 이상 연면적 5,000m<sup>2</sup> 이상으로 확대되고, 2004년에는 3층 이상 연면적 1,000m<sup>2</sup> 이상으로 확대되어, 현재에는 건축법 시행령에 층수가 3층 이상인 건축물, 연면적이 1,000m<sup>2</sup> 이상인 건축물, 국토해양부령이 정하는 지진구역안의 건축물 중 어느 하나에 해당하는 건축물을 건축하거나 대수선하는 경우에는 지진에 대한 안전여부를 확인하도록 규정하고 있다.

우리나라의 경우, 1987년 기준 전국의 학교 수는 12,860 개교에서 2008년 14,681개교로 크게 증가되었으며, 1988년 내진설계법 적용 이후 건립된 학교는 전체 학교 수의 약 14%에 해당되는 것으로 보고되어, 약 86%의 학교는 내진기준 제정 전에 준공되어 대부분의 학교건축물이 내진설계 적용대상에서 제외 되어 있다. 이는 학교건물이 3-4층

\* 정회원, 단국대 건축공학과 석사과정

\*\* 정회원, 단국대 건축공학과 연구교수

\*\*\* 정회원, 단국대 건축공학과 교수, 교신저자  
(tw001@dankook.ac.kr)



Figure 1. Earthquake damage of school building in CA, USA

이내의 소형건물로 분류되어 상대적으로 지진위험도에서 안전한 건물로 분류되기 때문이다. 하지만 학교건축물의 지진하중에 대한 피해는 전세계적으로 매우 많이 보고되고 있으며, 지진하중에 대한 규정이 매우 강한 나라에서도 Figure 1.과 같이 학교건축물이 상대적으로 지진하중에 대하여 많은 피해를 보는 것으로 조사되고 있다. 이러한 피해를 줄이기 위하여 교육부에서는 2011년부터 학교시설선진화 사업을 통하여 학교건축물의 내진성능을 평가하고, 내진성능을 향상시키는 사업을 수행하고 있다.

내진성능평가에 있어서 저층건물의 경우 기둥의 휨력저항능력이 건물의 내진성능을 좌우한다. 기둥의 내진성능평가는 보유성능에 의해 결정되는데, 휨강도와 전단강도를 비교하여 낮은 강도에 의해 파괴되는 것으로 평가한다. 따라서 일반적인 거동을 나타낼 경우 휨에 의해 지배되며, 단주거동을 나타낼 경우 대부분 전단에 의해 파괴되는 경우가 많다. 따라서 동일한 기둥이라도 장주로 판단하는지 또는 단주로 판단하는지에 대하여 건물의 내진성능 거동이 변화하므로 매우 중요한 요소로 작용한다.

Figure. 2와 같이 교실의 채광 및 환기를 위하여 대형 유리창을 설치하므로 조적으로 된 칸막이벽이나 끼움벽이 기둥사이에 위치하게 된다. 이러한 기둥의 경우 대부분 극단주형 기둥이 되어, 지진발생시 전단파괴가 일어나는 경우가 많으나 내진성능평가에서는 끼움벽이나 칸막이벽은 무시하여 평가하여 장주로 평가되어, 내진성능평가지 이러한 현상을 반영하지 못하게 된다. 그 결과 기둥을 일반기둥으로 평가하여 휨거동에 의해 파괴되는 왜곡되는 내진성능 결과를 산정하는 경우가 많다.

본 연구에서는 학교건축물의 내진성능평가지 기둥의 종류를 분류하고, 종류별 내진성능평가결과를 제시하여, 학교건축물의 내진성능을 보다 정확히 평가결과가 도출될 수 있도록 기초데이터를 제시 하고자 한다.

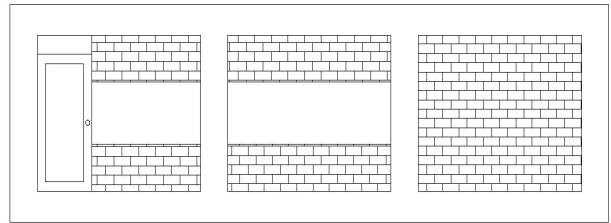


Figure 2. Masonry infilled wall type in RC frame structure

## 2. 학교건물의 내진성능 평가

### 2.1 기둥의 내진성능평가

보유성능으로 내진성능을 평가에서 방법에서는 주요 휨력저항 부재인 기둥을 보유성능 및 작용하중에 따라 작용하중에 따른 강도형인지 변형능력에 따른 연성형인지 평가하여 각각의 거동의 특성을 부여한 모델링을 수행하는 것이다.

이 경우 기둥의 전단강도와 모멘트강도를 평가하여 각 강도의 절대값을 비교하여, 모멘트강도가 전단강도보다 큰 경우, 부재를 전단형으로 구분하여, 취성과파괴형태를 가지는 전단파괴형으로 구분하고, 반대의 경우에는 연성과파괴형태를 가지는 휨형으로 구분하여 모델링 해야 한다. 특히, 일본의 내진성능평가기준에서는 기둥의 극한 휨강도와 전단강도의 비( $V_{SU}/V_{MU}$ )를 비교하여 건물의 변형능력을 산정하고 있다. 이 때, 신축건물일 경우, 전단강도보다는 모멘트강도가 크도록 설계하나, 기존 건축물의 경우에는 내진성능 평가절차가 없었기 때문에, 이를 만족시키지 못하는 경우가 발생할 수 있다는 점을 고려하여 평가하여야 한다. 휨극한강도 및 전단강도는 다음과 같이 산정한다.

#### (1) 극한휨강도

보유성능형 내진성능평가법은 일본의 내진성능평가법에 규정되어 있으며 기둥의 극한 휨강도는 작용하는 축력에 따라 [Eq. 1]~[Eq. 3]을 이용하여 산정한다.

$$M_u = (0.8 A_s f_y D + 0.12 b D^2 f_{ck}) \left( \frac{P_{max} - P}{P_{max} - 0.4 b D f_{ck}} \right) \quad [Eq. 1]$$

$[P_{max} \geq P > 0.4 b D f_{ck}]$

$$M_u = 0.8 A_s f_y D + 0.5 P D \left( 1 - \frac{P}{b D f_{ck}} \right) \quad [Eq. 2]$$

$[0.4 b D f_{ck} \geq P > 0]$

$$M_u = 0.8 A_s f_y D + 0.4 P D \quad [Eq. 3]$$

$[0 > P \geq P_{min}]$

여기서,  $P_{max}$  = 중심압축 시 최대강도,  
 $P_{min}$  = 중심인장 시 최대강도,  
 $N$  = 기둥 축방향력.

콘크리트 구조기준에서 기둥의 축강도 및 모멘트 강도를 정한 기준식은 국내와 미국(ACI 318)에서 동일한 방법으로 산정하며, [Eq. 4]~[Eq. 5]와 같다.

$$P_u = 0.85f_{ck}ab + A_s'f_s' - A_s f_s \quad [Eq. 4]$$

$$M_u = P_u e = 0.85f_{ck}ab \left( \frac{D}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s'f_s' \left( \frac{D}{2} - d' \right) + A_s f_s \left( d - \frac{D}{2} \right) \quad [Eq. 5]$$

[Eq. 1]~[Eq. 5]를 비교하면 일본의 내진성능평가법에서는 휨모멘트를 축하중에 대한 함수식으로 표현하여 계산하도록 하고 있는 반면, 국내와 미국기준은 중립축 위치를 산정하고 이에 따른 철근의 응력을 계속 변화시켜가면서 지탱할 수 있는 압축강도와 모멘트강도를 구해야 함을 알 수 있다. 따라서 기둥의 모멘트강도를 구하는 것은 간편하게 계산할 수 있는 작용하중에 따라 간편하게 계산할 수 있는 [Eq. 1]~[Eq. 3]을 사용하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

기둥 상부 및 하부 극한휨강도로부터 얻을 수 있는 휨 파괴를 발생시키는 횡하중의 크기는 다음 [Eq. 6]과 같다.

$$V_{Mu} = \frac{M_{u1} + M_{u2}}{h_o} \quad [Eq. 6]$$

여기서,  $M_{u1}$ =기둥 상부 휨극한강도,  
 $M_{u2}$ =기둥 하부 휨 극한강도,  
 $h_o$ =기둥 순 길이

(2) 극한전단강도

축력을 받는 기둥의 전단강도는 [Eq. 7]과 같이 콘크리트에 의한 기여분( $V_c$ )과 전단철근에 의한 기여분( $V_s$ )의 합의 형태로 구성된다.

$$V_{SU} = V_s + V_c \quad [Eq. 7]$$

일반적으로 철근이 부담하는 전단력  $V_s$ 는 전단철근의 양에 의한 영향만을 받으나, 콘크리트가 부담하는  $V_c$ 는 콘크리트의 압축강도와 인장철근과 콘크리트의 다우얼 거

동(dowel action), 작용하는 전단력에 대한 모멘트의 비로 주어지는 전단경간비( $V/M$ ), 그리고 축력의 크기의 영향 등 모두 4가지 요소의 영향을 받는다.

지진하중 등의 횡력을 부담하는 전단강도를 산정하는 방법은 지진에 대한 많은 연구가 진행되어 온 일본과 미국에서 각각 제시하고 있다. 특히, 미국의 경우 미국콘크리트학회 전단위원회에서 제시하는 식과, 미연방재난관리국에서 제시하는 산정방법이 각각 다르게 제시되어 있으나 이는 지진이 많이 발생하는 지역과 그렇지 않은 지역에서의 차이이다. 각각의 제시하는 식과 제한조건은 다음에 기술하였다.

1) 일본식

일본에서는 기둥의 전단력을 산정할 때, 부재의 형상

$$V_{SU1} = 0.85 \sqrt{\rho_s f_{sy}} bd + \left( \frac{0.053 \rho^{0.23} (18 + f_{ck})}{M/(Vd) + 0.12} + \frac{P}{10A_g} \right) bd \quad [Eq. 8]$$

여기서,  $\rho_s$  = 횡보강근비,  $f_{sy}$  = 횡보강근 항복강도,

횡보강근비가 1.2%를 상회하여도 최대값은 1.2%로 제한하는 점 및 [Eq. 8]을 적용할 수 있는 경우를 다음과 같이 제한한다.

- ①  $\rho_s \geq 0.012$ 일 때  $\rho_s = 0.012$ ,
- ②  $1 \leq M/(Vd) \leq 3$ ,
- ③  $P/A_g \geq 8\text{MPa}$ 이면  $P/A_g = 8\text{MPa}$ 이고,
- ④  $M/V = 0.5h_o$ ,  $d = 0.8D$ 로 가정해도 좋다.

2) ACI 318-간편식

미국콘크리트학회에서는 기둥의 전단력을 산정할 때, 간편식과 상세식을 별도로 제시하였으며, 간편식은 인장철근 효과를 무시하고 산정하도록 설계되어 있다.

$$V_{SU2} = \frac{A_s f_{sy} d}{s} + \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} bd \left( 1 + \frac{P}{14A_g} \right) \quad [Eq. 9]$$

3) ACI 318-상세식

$$V_{SU2} = \frac{A_s f_{sy} d}{s} + \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} bd + \frac{17.6 \rho V d}{M - P \frac{4D - d}{8}} bd \leq V_{max} \quad [Eq. 10]$$

$$V_{max} = 0.29 \sqrt{f_{ck}} bd \left( 1 + \frac{P}{3.5A_g} \right) \quad [\text{Eq. 11}]$$

4) FEMA 356

미국 연방재난관리국에서 지진피해를 예방하도록 건축 구조물의 기둥을 설계하는 조건에서는 다음의 식을 사용하도록 규정하고 있다.

$$V_{SU4} = k_1 \frac{A_s f_{sy} d}{s} + \lambda k_2 \left( \frac{0.5 \sqrt{f_{ck}}}{M/(Vd)} \sqrt{1 + \frac{P}{0.5 \sqrt{f_{ck}} A_g}} \right) 0.8 A_g \quad [\text{Eq. 12}]$$

단,  $2 \leq M/(Vd) \leq 3$ 이고,

$\lambda=1.0$  (일반콘크리트),  $\lambda=0.75$  (경량콘크리트)이다.

$k_1, k_2$ , 는 다음과 같다.

$$k_1 = \begin{cases} 1 & s \leq 0.5d \\ 0.5 & 0.5d < s \leq d, \\ 0 & s > d \end{cases}$$

$$k_2 = \begin{cases} 1 & \mu \leq 2 \\ -0.15\mu + 1.3 & 2 < \mu \leq 4 \\ 0.7 & \mu > 4 \end{cases}$$

상기 식을 비교해 보면 콘크리트의 전단부담분인  $V_c$ 를 산정하는데 있어 콘크리트압축강도, 인장철근비, 부재에 작용하는 축력 및 전단경간비의 4가지 요소에 의한 효과를 모두 고려하는 것은 일본식, ACI 318-상세식, FEMA 356식이며, ACI 318간편식은 콘크리트 압축강도와 부재에 작용하는 축력만을 고려하고 있다.

또한 일본식이 전단철근비의 영향을  $\sqrt{\rho_s f_{sy}}$ 로 평가하여 전단철근의 영향보다는 콘크리트나 축력등의 영향을 크게 하였으나, 미국의 코드에서 제시하는 식들은 전단철근비의 변화에 따른 영향을 크게 평가하였다. 특히, FEMA식은 전단철근간격  $s$ 가 단면의 유효깊이  $d$ 보다 크면 전단철근내부에 콘크리트가 파괴되므로 이에 대한 전단강도 기여도가 없고,  $s$ 가 단면의 유효깊이  $d$ 보다는 작거나  $0.5d$ 보다 클 경우, 50%정도만 기여하는 것으로 평가하였다. 일본식은 전단철근의 간격 제한이 설계기준에 포함된 1972년 이후 시공한 부재를 실험하여 얻어진 결과인데, 국내 기존 건축물 대부분의 전단철근이  $0.5d$ 보다 큰 것을 고려할 때 일본식보다는 FEMA 356식이 국내 건축물 철근콘크리트 기둥의 전단강도를 평가하는데 적합할 것으로 사료된다.

또한 일본식, ACI 318 상세식, FEMA 356식은 전단경간에 의한 영향을 고려함으로써 단주의 경우 전단강도가

증가하는 것을 고려할 수 있도록 산정하였음을 알 수 있다. 단, 이를 전단경간비를 실제적으로 고려하기 위해서는 각 부재마다 작용하는 전단력과 모멘트의 상대적인 크기를 알아야 하는데 예비평가과정에서 이를 계산하기는 어려우며, 일반적으로 양단이 고정인 기둥에 있어  $M/V = 0.5h_o$ 인 관계를 이용하여 일본식, FEMA 356식에 의한 전단강도를 산정할 수 있다. 그러나 ACI 318 상세식의 경우, 작용하는 축력, 모멘트, 전단력의 크기를 정확하게 알아야 적용할 수 있다.

이러한 전단내력식을 살펴보면 우리나라 학교건축물의 경우 그 시공품질을 확인하기 어렵고, 건설될 당시의 학교 건축물의 상황을 고려할 때, 철근상세를 포함한 일본식, ACI 318-상세식, FEMA 356식등은 우리나라 실정에 적합하지 않을 것으로 판단된다.

2.2 전단내력식의 비교

2.1에서 고려된 일본식, ACI 318-간편식, ACI 318-상세식, FEMA 356식이 각각 기둥의 전단특성을 어떻게 반영하는지 비교하기 위하여  $f_{ck}=21\text{MPa}, f_y=300\text{MPa}, b=400\text{mm}, D=400\text{mm}$ 인 기둥에 대하여 전단경간비, 전단철근간격, 축하중, 인장철근비의 변화에 따른 경향을 비교 평가를 수행하였다. 기둥에 있어서 전단경간비의 영향은  $M/V = 0.5h_o$ 이므로  $h_o/D$ 의 변화로 평가하였으며, 보다 상세한 모멘트와 전단력의 관계식이 필요한 ACI 상세식의 경우 전단력을 단면력의 20%수준으로 가정하여 해석을 수행하여 결과를 비교해 보았다.

[Figure 3]은 전단철근간격과 기둥의 길이의 변화( $s/D$ )에 따른  $V_s$ 의 변화를 보여준다. 일본식은 전단철근의 간

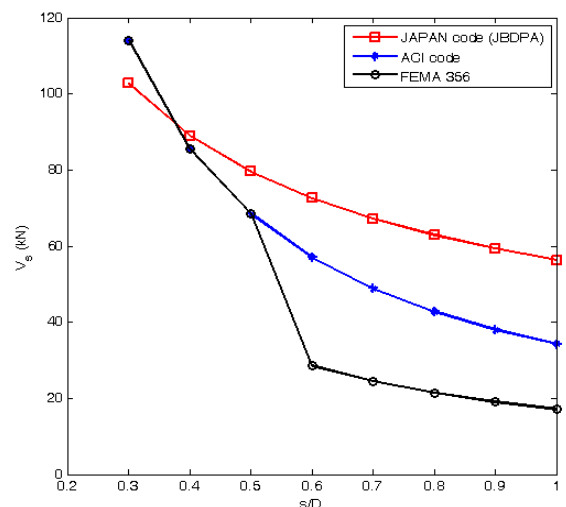


Figure 3.  $V_s$  variation of shear reinforcement

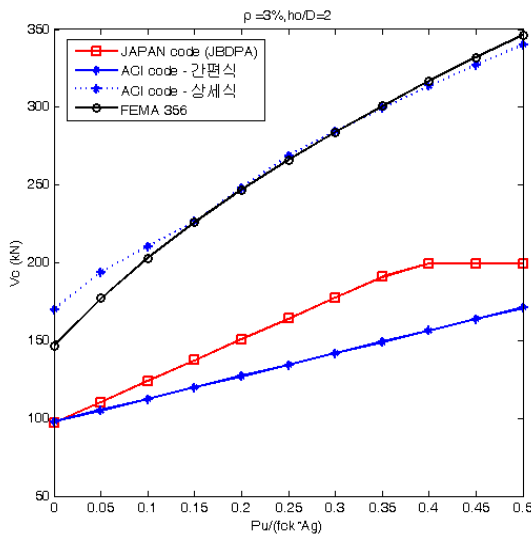


Figure 4.  $V_c$  Variation of effective length on column

격에 따라  $V_s$ 가 56kN~103kN의 범위를 가지며, ACI 318 식은 34kN~114kN, FEMA 356식은 17kN~114kN의 범위를 가다. 모든 식 중에서 일본식이 전단철근의 변화에 따른 변화경향이 가장 완만하며, ACI 318 및 FEMA 356식은 전단철근의 간격에 따라 큰 폭으로 변하는 것으로 해석되었다. [Figure 4.]는  $\rho=2\%$ 이고 축력이 주어지지 않을 때, 기둥유효길이의 변화에 따른  $V_c$ 의 크기의 변화를 보여준다. 일본식은 기둥유효길이의 변화에 따라  $V_c$ 가 38kN~106kN의 범위를 가지며, ACI 318-간편식은 98kN~165kN, ACI 318-상세식은 111kN~171kN, FEMA356식은 98kN~147kN의 범위를 가진다. ACI 318-상세식과 FEMA 356이 기둥 길이가 짧아짐에 따라 전단강도를 크게 평가하고, 일본식이 가장 작게 평가함을 알 수 있다.

우리나라 학교건축물의 내진성능평가를 위한 전단내력을 산정할 때, [Figure 4]를 적용해보면 기둥의 유효길이가 내진성능평가에 중요한 요소가 됨을 알 수 있다. 하지만, 학교건축물과 같이 저층건물에 대한 내진성능평가를 수행할 때, 기둥의 유효길이는 고려되지 않고 있다. 특히, 전술한바와 같이 내진성능 평가시 기움벽의 효과를 전혀 고려하지 않고 있는 실무의 사례를 검토해볼 때, 기둥의 유효길이가 적용을 적극적으로 검토해야 할 필요성이 제기되고 있다.

### 3. 기움벽을 고려한 기둥 내진성능 평가

학교건축물에 내진성능평가를 적용할 경우, 기움벽을 고려하는 경우, 전단성능평가식의 적용성 여부를 판단해 보기 위하여 경기도에 소재한 학교건축물을 대상으로 내진

성능 평가를 수행하여 그 결과를 분석해 보았다. 내진성능을 평가하는 방법은 보유강도를 기초로 평가하는 방식을 채택하여 전단강도를 비교평가하고, 이를 통하여 기둥의 유효길이에 따른 내진성능을 검토하였다.

#### 3.1 평가대상 건축물

본 건축물은 경기도 시흥시에 위치한 학교건축물로 1980년에 준공되어 현재 약 35년간 사용중인 건물로 연면적 4,590<sup>2</sup>, 지하 1층~지상 4층의 철근콘크리트 라멘구조이다.

#### 3.2 전단력 산정

장변방향(X-방향)의 평가결과를 살펴보면 일부의 기둥에서 휨과괴 양상을 나타내었으나 휨과괴와 전단과괴의 경계선상에 위치하여 휨과 전단과괴를 정확히 판정하기는 어려운 면이 있었으며, 다른 기둥들은 모두 전단과괴의 양상을 나타내었다. 이를 기초로 각 기둥의 휨과괴시 전단강도를 산정하고, 전단내력을 [Eq. 1]~[Eq. 5]에 제시한 각 기준별 전단내력을 산정하여 그 결과를 비교하여 보았다. 장변방향의 경우 [Table 1]에 나타난 것처럼 ACI의 상세식으로 평가하면 270cm의 기둥높이를 갖는 대부분의 기둥이 휨모멘트에 의하여 파괴되며, 기움벽에 의하여 단주 또는 극단주화 되는 기둥을 고려한 120cm로 해석한 모든 기둥은 전단과괴가 일어나는 것으로 판단되었다.

또한 [Table 2]에 나타난 바와 같이 단변방향(Y방향)의 경우에서도 장변방향과 동일한 결과를 나타내었으며 270cm

Table 1. Calculation of Shear stress for X-direction

Type	Area (m <sup>2</sup> )	Height (cm)	$q_{SM}$ (t)	$q_{Su}$ (t)			Failure mode
				[Eq. 1] (Japan)	[Eq. 4] (ACI)	[Eq. 5] (FEMA)	
C <sub>1</sub>	3.04	120	40.6	17.5	26.5	20.6	shear
C <sub>2</sub>	8.44	120	49.8	19.5	30.5	23.4	shear
C <sub>3</sub>	9.56	270	22.9	16.4	23.1	18.2	Bending
C <sub>4</sub>	6.08	120	20.3	18.6	28.8	22.2	Bending
C <sub>5</sub>	5.91	270	54.9	15.0	21.4	17.0	shear
C <sub>6</sub>	11.8	120	24.2	20.8	32.6	24.9	Bending
C <sub>7</sub>	11.5	270	61.7	17.1	23.9	18.8	shear
C <sub>8</sub>	16.9	120	27.2	22.7	35.6	27.0	Bending
C <sub>9</sub>	16.9	270	68.3	19.1	26.0	20.3	shear
C <sub>10</sub>	23.0	120	81.1	25.0	38.8	29.2	shear
C <sub>11</sub>	16.9	120	73.8	23.5	35.6	27.0	shear
C <sub>12</sub>	11.5	120	31.7	21.4	32.4	24.8	shear
C <sub>13</sub>	6.08	120	35.8	14.3	21.2	15.6	shear
C <sub>14</sub>	9.45	120	38.4	15.5	23.4	17.2	shear
C <sub>15</sub>	11.8	120	17.5	16.4	24.8	18.2	Bending
C <sub>16</sub>	12.8	270	19.7	15.1	17.8	13.3	shear
C <sub>17</sub>	18.2	270	39.2	17.1	19.7	14.6	shear

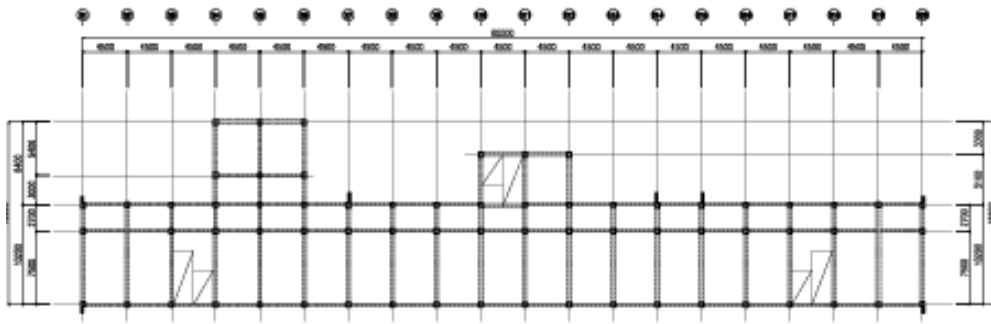


Figure 5. Structural plan of evaluated building

Table 2. Calculation of Shear stress for Y-direction

Type	Area (m <sup>2</sup> )	Height (cm)	q <sub>SM</sub> (t)	q <sub>Su</sub> (t)			Failure mode
				[Eq. 1] (Japan)	[Eq. 4] (ACI)	[Eq. 5] (FEMA)	
C <sub>1</sub>	3.03	120	32.1	15.1	22.4	16.5	shear
C <sub>2</sub>	11.47	120	43.2	18.3	28.3	20.6	shear
C <sub>3</sub>	8.43	120	39.5	17.1	26.3	19.3	shear
C <sub>4</sub>	16.87	120	49.0	20.3	31.5	22.9	shear
C <sub>5</sub>	16.87	270	21.8	18.2	21.9	16.2	Bending
C <sub>6</sub>	16.87	270	28.8	18.6	21.9	16.2	shear
C <sub>7</sub>	22.94	120	54.3	22.6	34.7	25.1	shear
C <sub>8</sub>	22.94	270	24.1	20.4	24.0	17.7	shear
C <sub>9</sub>	29.01	270	32.9	23.1	26.0	19.0	shear
C <sub>10</sub>	6.07	270	14.1	12.5	15.0	11.3	Bending
C <sub>11</sub>	9.44	270	15.9	13.8	16.5	12.4	shear
C <sub>12</sub>	18.22	270	19.7	17.1	19.7	14.6	shear
C <sub>13</sub>	12.14	270	17.2	14.8	17.6	13.1	Bending
C <sub>14</sub>	9.45	120	40.8	17.5	27.0	19.7	shear
C <sub>15</sub>	5.9	270	16.1	14.0	17.3	12.9	Bending
C <sub>16</sub>	11.81	270	19.4	16.2	19.9	14.8	Bending
C <sub>17</sub>	6.07	270	16.2	14.1	17.4	13.0	Bending

의 기둥높이를 갖는 대부분의 기둥이 휨파괴가 일어날 것으로 해석결과 나타났다.

예제학교건물의 경우, [Figure 5]에 나타난 바와 같이 배치된 연직부재는 67개로 모든 기둥이 12-D19의 주근과 D10@250으로 띠근이 배근된 40×50cm의 장방형 단면을 가진 기둥으로 구성되어 있다. 이러한 기둥을 지지하중의 크기에 따라 장변방향 17개, 단변방향 17개의 형태로 분류한 후, [Figure 2]에서와 같이 장주형태의 거동을 하는 기둥의 경우 순층간 높이인 2.7m로 반영하고, 단주형태의 거동을 하는 기둥의 경우 1.2m로 반영하여 평가를 수행하였다.

### 3.3 전단력 분석

각각의 전단내력 계산식으로 산출된 예제건물의 전단내력을 살펴보면, 일본식이나 FEMA식은 270cm의 일반적인

높이를 가지고 있는 기둥도 전단파괴 되는 것으로 계산되고 있다. 즉 [Table 1] 및 [Table 2]에서 나타나 있듯이, 각각의 식에 의해 계산된 각각의 전단내력 계산식 중 ACI-318식만이 기둥유효길이의 효과가 뚜렷하게 나타나고 있다. 그러므로 내진성능 평가시 휨기둥으로만 평가할 것이 아니라 전단기둥이 얼마나 분포하고 있는지 확인하는 기술이 필요하다. 기둥의 높이를 여기서 고려해야 할 것은, 모든 결과물이 해석을 ACI간편식으로 전단내력을 산정하였을 경우이고 일본식이나 FEMA의 식을 적용할 경우, 기둥의 길이를 고려하지 않았을 경우와 동일하게 파괴모드가 결정된다.

## 4. 결론

- 1) 현재 보유강도평가법에 의한 기둥의 전단내력을 평가할 때, 기둥의 유효길이를 고려하여 유효길이별로 기둥성능을 평가하여야 한다. 특히, 휨거동시 전단내력이 작게 나오는 경우, 내진성능평가결과가 왜곡 될 수 있다.
- 2) 내진성능평가시 조적에 의한 칸막이벽이나 끼움벽은 내진성능평가시 고려되고 있지 않으나, 보다 정확한 내진성능평가를 위해서는 칸막이벽이나 끼움벽의 역할에 따라 그 결과의 왜곡이 있으므로, 칸막이벽이나 끼움벽에 대한 고려가 반드시 필요한 것으로 나타났다.
- 3) 본 연구는 학교건축물 1개의 사례만을 분석하였으므로 추후 보다 많은 기초데이터를 확보하여 분석하는 추가연구가 필요할 것으로 판단된다.

## References

1. Oh, Chang-Hak, "Lesson of Wenchuan Earthquake in China", Journal of KSEA, Serial No.87, pp.32~35, 2008
2. Kim, Hye-Jin, Park, Tae-Won, Cho, Seung-Ho, Lee,

- Kyung-Koo, Roh, Young-Sook and Lan Chung, "Experimental study on Seismic Retrofitting Methods for school building using aramid strip" Journal of the KOSOS, Vol. 25, No. 3, pp.100~107, 2010
3. Applied Technology Council (ATC-33 Project), "Nehrp Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 273", Buildings Seismic Safety Council
  4. Applied Technology Council (ATC-43 Project), "Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall buildings, FEMA 306", The Partnership for Response and Recovery
  5. Yoo, Han-Kook, Park, Tae-Won, Lee, Sang-Hyun, Lan, Chung, and Cho, Seong-Ho, "Seismic Performance Evaluation of School Buildings in Gyunggi Region Considering Seismic Hazard Map", Journal of the KOSOS, Vol. 24, No. 4, pp.66~73, 2009
  6. Korea Concrete Institute, "Concrete Design Code", 2012
  7. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Korea Building Code", 2009
  8. Sinan Altin, Özgür Anil, M. Emin Kara, Mustafa Kaya, "An experimental study on strengthening of masonry infilled RC frames using diagonal CFRP strips", Composites Part B: engineering, Vol. 39, No.4, pp. 680~693, 2008
  9. Sheilh, S.A. and Khoury, S.S. "A Performance -Based Approach for the Design of Confining in Tie Columns", ACI Structural Journal, pp.421~431, 1997

접수 2014. 2. 10  
 1차 심사완료 2014. 3. 20  
 게재확정 2014. 3. 21