

# 기둥 축력과 조적허리벽을 고려한 1980년대 학교교사 구조요소의 파괴모드 평가

## Failure Mode of Structural Components Considering Column Axial Forces and Partial Masonry Infills for School Buildings Constructed in the 1980s

정수현\*  
Jeong, Su-Hyeon

최명호\*  
Choi, Myeong-Ho

이창환\*\*  
Lee, Chang-Hwan

### Abstract

As earthquakes have increased in Korea recently, people are paying attention to the seismic performance of buildings built in the past. Many school buildings in Korea were built based on standard drawings before the seismic design was applied. However, since school buildings are often designated as emergency evacuation facilities in case of disasters such as earthquakes, seismic evaluation and retrofit must be done quickly. This study investigated the failure modes among structural components (beams, columns, and joints), focusing on 1980s standard drawings for school buildings. The effects of column axial force, partial masonry infills, and different material strengths for concrete and rebar were considered for detailed evaluation. As a result, most of the joints were found to be the weakest among structural components. Column axial forces tended to make the joints more vulnerable, and partial masonry infills increased the possibility of joint failure and shear failure in columns.

*Keywords : School buildings, Standard drawings, Joint, Failure mode, Axial force, Partial masonry infills*

### 1. 서론

최근 지진으로 인한 피해에 대해 관심이 높아지고 있다. 국내에서는 신축건물의 내진설계는 물론 기존건물의 내진성능평가 및 보강 또한 활발히 이루어지고 있다. 2010년 당시 교육과학기술부는 학교시설물을 대상으로 내진보강 사업계획을 수립하였다<sup>1)</sup>. 또한 행정안전부에서는 33종의 기존 공공시설물에 대한 내진보강을 2035년 까지 완료하는 것으로 목표로, 보강사업을 단계적으로 추진하고 있다<sup>2)</sup>.

우리나라에서 내진설계기준이 최초로 제정된 1988년에는 의무 적용대상의 범위가 6층 이상 및 연면적 10,000 m<sup>2</sup> 이상으로 제한되었다<sup>3)</sup>. 이후 적용대상 범위는

지속적으로 확대되어 왔는데, 2005년에는 3층 이상 및 연면적 1,000 m<sup>2</sup> 이상으로<sup>4)</sup>, 또한 최근에는 거의 모든 구조물에 대해 내진설계가 필수적인 것으로 개정되었다. 따라서 2005년 이전에 지어진 많은 건물들은 내진설계가 이루어지지 않았을 것으로 예상할 수 있는데, 여기에는 대다수의 저층 공동주택, 학교건물 및 관공서 등이 해당한다<sup>5)</sup>. 이 중 1988년 이후에 지어진 학교건물은 전체 학교 수의 약 14%에 불과한데, 이는 곧 최소 86% 이상의 학교건물에서 내진설계가 적용되지 않았음을 의미한다<sup>6)</sup>. 학교건물은 지진 발생 시 아동 및 청소년 인명 피해가 발생할 수 있고, 비상시의 긴급대피수용시설로 지정된 경우가 많기 때문에, 시급히 내진성능이 확보되어야 한다.

대부분의 기존 학교건물에는 조적벽이 함께 적용되어 있다. 건물의 장변방향으로는 환기 및 채광을 위한 유리창을 제외한 부분에 조적허리벽을, 그리고 단변방향으로는 교실의 공간 구획을 위해 조적채움벽이 주로 사용되었다. 이 중 조적채움벽은 지진 발생 시 골조의 횡강성을 증가시키는 효과가 있지만, 자중이 커짐에 따라 중력

\* 학생회원, 부경대학교 건축·소방공학부, 석사과정  
Division of Architectural and Fire Protection Engineering, Pukyong National University  
\*\* 교신저자, 정회원, 부경대학교 건축공학과, 부교수  
Department of Architectural Engineering, Pukyong National University  
Tel: 051-629-6087 Fax: 051-629-7084  
E-mail: chlee@pknu.ac.kr

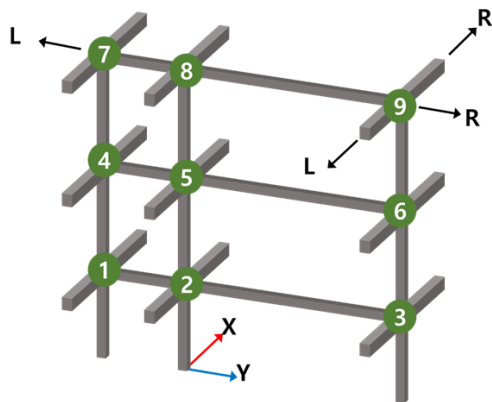
하중과 지진하중을 증가시켜 골조에 취성적인 거동을 유발할 수 있다<sup>7)</sup>. 또한 조적허리벽의 유무에 따라 기둥의 유효높이가 달라지게 되고, 이는 파괴모드에 영향을 주게 된다<sup>8)</sup>. 즉 조적허리벽의 높이가 커지면, 기둥 전단 파괴의 가능성이 높아질 것으로 예상할 수 있다.

Choi et al.(2021)은 80년도 학교교사 표준설계도(유형 “가”~“라”)에 대해 취약부재 및 파괴모드를 파악하여 내진보강을 위한 기초자료를 제시하였다<sup>9)</sup>. 이 연구에서는 표준설계도 유형 및 적용된 재료강도에 따른 구조요소의 기본적 파괴특성을 살펴보고자, 기둥에 작용하는 축력과 조적벽의 구조적인 역할을 고려하지 않았다. 그러나 기둥에 작용하는 축력은 기둥과 접합부의 강도에 영향을 미치고, 조적허리벽으로 인한 구속은 기둥에 단주효과를 유발하게 된다. 본 연구에서는 선행 연구<sup>9)</sup>에서 고려되지 않았던 기둥의 축력과 조적허리벽의 영향을 추가로 고려하여 접합부와 주위 부재들 간의 파괴모드를 평가하였다. 이를 통해 내진설계가 적용되지 않은 기존 학교건물의 내진성능 및 취약성 평가에 도움을 줄 수 있는 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 분석 과정

### 2.1 강도 산정 과정

분석 대상과 기본적인 평가 절차는 선행 연구인 Choi et al.(2021)<sup>9)</sup>에 따라 진행하였다. 파괴모드 분석을 위해 대상건물의 내부골조를 기준으로 <Fig. 1>과 같이 접합부를 구분하였다. 이 중 유사한 조건을 가진 1번과 4번, 2번과 5번, 그리고 3번과 6번 접합부에 대해서는 각각

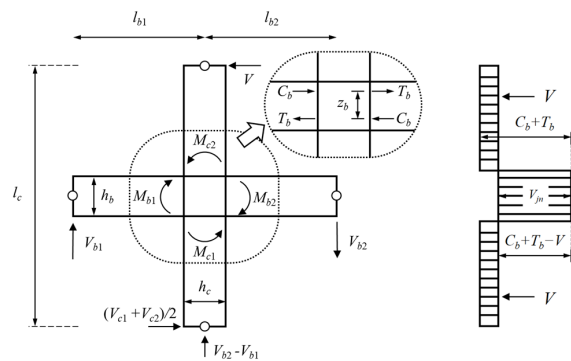


<Fig. 1> Analyzed frame

분리하지 않고, 통합하여 분석을 수행하였다. 건물의 장변을 X방향, 단변을 Y방향으로 정의하였다. 골조의 축과 외력의 적용 방향은 <Fig. 1>에서 확인할 수 있다.

강도 산정 시 콘크리트와 철근의 재료강도는 기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령<sup>10)</sup>에 주어진 건설연도별 강도 기본값을 참조하여 정하였다. 1980년대에 지어진 학교건물로 가정하여 콘크리트 설계기준압축강도( $f_{ck}$ )와 철근 설계기준항복강도( $f_y$ )의 조합을 4가지 경우(15 및 240 MPa, 18 및 240 MPa, 18 및 300 MPa, 21 및 300 MPa)로 나눔으로써 재료강도 변수에 대한 영향을 평가하였다. 이는 재료강도가 연도별 기본값과 일치하지 않는 경우를 고려하기 위한 것이다.

접합부 위치별 파괴모드는 접합부 전단파괴, 보의 휨파괴 및 전단파괴, 기둥의 휨파괴 및 전단파괴의 5가지로 구분하였고, 각 파괴모드에 해당하는 강도를 산정 및 비교하여 지배적인 파괴모드를 결정하였다. <Fig. 2>는 외부 수평력  $V$ 가 내부접합부에 가해졌을 때의 자유물체도를 나타낸 것이다. 접합부를 구성하는 요소들이 각 파괴모드에 해당하는 접합부 전단강도, 보 휨강도, 보 전단강도, 기둥 휨강도 및 기둥 전단강도에 도달할 때의  $V$  값을 각각  $V_j$ ,  $V_{mb}$ ,  $V_{vb}$ ,  $V_{mc}$  및  $V_{vc}$ 로 정의하였고, 이를 치환 전단력이라 칭하였다.



<Fig. 2> Free body diagram of an interior joint<sup>9)</sup>

각 치환 전단력을 산정하는 과정은 Choi et al.(2021)<sup>9)</sup>에서와 동일하다. <Fig. 2>에서 보와 기둥의 변곡점은 부재의 중간위치로 가정되었다.  $M_b$ 와  $M_c$ 는 각각 보와 기둥의 휨강도(또는 휨모멘트)를 나타내며,  $V_b$ 와  $V_c$ 는 각각 보와 기둥의 전단강도(또는 전단력)를 나타낸다.  $l_{b1}$ 과  $l_{b2}$ 는 기둥 중심에서 양측 보의 변곡점까지의 거리이고,  $l_c$ 는 상부와 하부 기둥의 변곡점 사이

거리이다. 또한 보와 기둥에 대해 양쪽의 산정값이 다른 경우를 고려하기 위하여, 기호 뒤에 아래첨자로 숫자를 붙여 구분하였다.

접합부 중심에서의 모멘트 및 수평력 평형 조건을 취하면,  $V$ 는 식 (1)과 (2)로 각각 표현할 수 있다.

$$V \times l_c = V_{b1} \times l_{b1} + V_{b2} \times l_{b2} \quad (1)$$

$$V = (V_{c1} + V_{c2})/2 \quad (2)$$

양측 보에 작용하는  $V_{b1}$ 과  $V_{b2}$ 는 각각 식 (3)과 (4)를 통해 계산될 수 있다.

$$V_{b1} = M_{b1} / (l_{b1} - 0.5h_c) \quad (3)$$

$$V_{b2} = M_{b2} / (l_{b2} - 0.5h_c) \quad (4)$$

위 식에서  $h_c$ 는 기둥 단면의 깊이, 즉 골조방향 기둥의 폭이다. 식 (3)과 (4)를 식 (1)에 대입하여 정리하면 식 (5)와 같이  $V_{mb}$ 를 구할 수 있는데, 이때  $M_{b1}$ 과  $M_{b2}$ 에는 단면해석을 통한 휨강도가 입력되어야 한다. 또한 식 (1)의  $V_{b1}$ 과  $V_{b2}$ 에 단면해석을 통한 전단강도를 입력함으로써,  $V_{vb}$ 는 식 (6)과 같이 산정된다.

$$V_{mb} = \frac{M_{b1}}{l_{b1} - 0.5h_c} \left( \frac{l_{b1}}{l_c} \right) + \frac{M_{b2}}{l_{b2} - 0.5h_c} \left( \frac{l_{b2}}{l_c} \right) \quad (5)$$

$$V_{vb} = V_{b1} \left( \frac{l_{b1}}{l_c} \right) + V_{b2} \left( \frac{l_{b2}}{l_c} \right) \quad (6)$$

한편, 하부와 상부 기둥에 대한  $V_c$ 와  $M_c$ 의 관계는 각각 식 (7)과 (8)로 표현되며, 식에서  $h_b$ 는 보의 깊이를 나타낸다.

$$V_{c1} = 2M_{c1} / (l_c - h_b) \quad (7)$$

$$V_{c2} = 2M_{c2} / (l_c - h_b) \quad (8)$$

위 두 식을 식 (2)에 대입하면, 식 (9)와 같이  $V_{mc}$ 를 산정할 수 있다. 그러나 이때  $M_{c1}$ 과  $M_{c2}$ 에는 단면해석을 통한 휨강도가 입력되어야 함을 유의해야 한다. 또한 식 (2)의  $V_{c1}$ 과  $V_{c2}$ 에 단면해석을 통한 전단강도를 입력함으로써,  $V_{vc}$ 는 식 (10)과 같이 산정된다.

$$V_{mc} = (M_{c1} + M_{c2}) / (l_c - h_b) \quad (9)$$

$$V_{vc} = (V_{c1} + V_{c2}) / 2 \quad (10)$$

접합부의 전단강도( $V_{jn}$ )는 ASCE 41-17<sup>11)</sup>에 따라 식 (11)과 같이 계산된다.

$$V_{jn} = 0.083\gamma \sqrt{f_{ck}} A_j \quad (11)$$

$\gamma$ 는 접합부 강도산정 계수로서, 접합부의 위치, 형태 및 직교보 유무에 따라 구분하여 사용된다.  $A_j$ 는 접합부의 유효면적으로, 접합부 너비와 골조 방향 기둥 단면 치수의 곱으로 구해진다. 이때 접합부 너비는 다음 세 가지 조건 중 최소값으로 정해진다: a) 골조방향 기둥의 폭, b) 보폭과 골조방향 기둥 깊이의 합, 그리고 c) 기둥과 연결된 보의 중심축에서 기둥 측면까지의 수직거리 중 작은 값의 2배. 앞의 조건 c)를 통해 편심의 영향이 고려될 수 있으며, 편심이 커질수록  $V_{jn}$ 이 작게 평가된다. 참고로 본 연구의 대상건물인 80년도 학교교사 표준 설계도에서는 X방향으로 다수의 접합부에서 편심이 존재하였다.

<Fig. 2>에서 확인할 수 있듯이,  $V_{jn}$ 은  $T_{b1}$  ( $\approx M_{b1}/z_b$ )과  $C_{b2}$  ( $\approx M_{b2}/z_b$ )의 합에서 외부 수평력  $V$ 를 뺀 값으로 식 (12)와 같이 계산된다.

$$V_{jn} = C_{b2} + T_{b1} - V \quad (12)$$

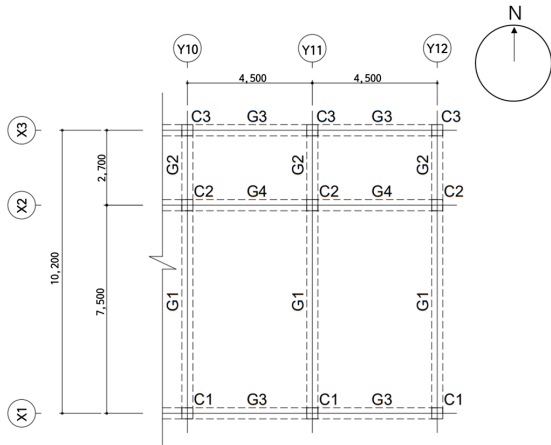
식 (3)과 (4)를 참고하면, 기둥 경계면에서 보의 휨모멘트  $M_{b1}$ 과  $M_{b2}$ 는 각각  $V_{b1}(l_{b1} - 0.5h_c)$ 와  $V_{b2}(l_{b2} - 0.5h_c)$ 가 된다. 따라서 기준에 따라 식 (11)로 계산된  $V_{jn}$ 을 식 (12)에 대입하고,  $V$ 를  $V_j$ 로 고쳐 쓰면 식 (13)으로 표현된다. 이를 다시 정리하면, 최종적으로 식 (14)와 같이  $V_j$ 가 산정될 수 있다.

$$V_{jn} = (V_{b1} + V_{b2}) \left( \frac{l_b - 0.5h_c}{z_b} \right) - V_j \quad (13)$$

$$= V_j \left( \frac{l_c}{l_b} \right) \left( \frac{l_b - 0.5h_c}{z_b} \right) - V_j$$

$$V_j = \frac{V_{jn}}{\left( \frac{l_c}{z_b} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{l_c h_c}{l_b z_b} \right) - 1} \quad (14)$$

위 식에서  $z_b$ 는 모멘트 팔 길이를 나타낸 것으로, 보 유효깊이의 0.87배로 산정하였다<sup>12)</sup>.



〈Fig. 3〉 Structural plan (Type “가”)

## 2.2 축력 적용 과정

표준설계도를 구성하는 전체 평면 중 〈Fig. 3〉에 표현된 기둥을 대상으로 축하중을 예비적으로 산정하였다. 〈Fig. 3〉은 예시로서 유형 “가”에 해당하며, 기둥을 선정

한 기준은 조적허리벽의 유무와 종류, 기둥의 위치에 따른 내·외부 구분 및 실용도이다. 설계도면에 주어진 정보에 기반하여 고정하중과 활하중을 산정한 후, 기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령<sup>9)</sup>의 상세평가 하중조합을 적용하여 기둥에 작용하는 축력을 산정하였다.

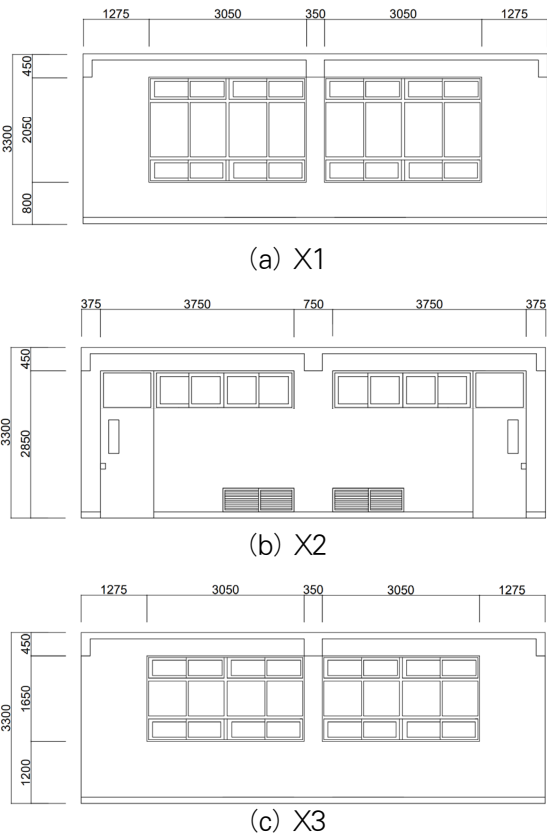
또한 구조해석 프로그램인 ETABS<sup>13)</sup>를 이용하여 건물 유형별로 기둥에 대한 단면해석을 수행하였다. 각 기둥의 P-M 상관도 상에서 축력에 상응하는 휨강도를 확인하였고, 이 값을 치환 전단력 산정 시 적용하였다. 유형 “가”(지상 4층 규모)를 예시로 살펴보면, 최대 축강도 대비 최하층 내부기둥 1C2의 축력비가 약 28%로 가장 높았고, 최상층 외부기둥 4C3의 축력비가 약 2%로 가장 낮았다. 이러한 결과를 바탕으로 전체 유형에 대해 축력비를 0%에서 최대 30%까지 증가시키면서 예비 검토를 수행하였다. 그 결과 각 파괴모드 사이에서 약간의 차이는 있었으나 최종 파괴모드에 큰 영향을 미치지 않았고, 이에 따라 모든 기둥에 대해 10%의 동일한 축력비를 적용하였다.

## 2.3 조적 적용 과정

조적허리벽의 높이는 표준설계도에 따라 적용하였다. 〈Fig. 1〉에서 정의한 접합부 종류를 기준으로, 1, 4, 7번 접합부의 X방향 조적허리벽은 복도의 외벽에 해당한다. 유형 “가”의 경우 〈Fig. 4 (c)〉를 통해 높이를 확인할 수 있다. 이 경우 치환 전단력을 산정 시 기둥 길이를 총고 3,300 mm에서 조적허리벽 높이 1,200 mm를 뺀 2,100 mm로 적용하였다.

3, 6, 9번 접합부의 경우 교실의 외벽으로 〈Fig. 4 (a)〉에 해당한다. 조적허리벽의 높이는 800 mm로, 이때 기둥 길이는 2,500 mm로 적용하였다. 내부접합부인 2, 5, 8번의 경우 〈Fig. 4 (b)〉에서 볼 수 있듯이, 교실 문으로 인해 조적벽이 기둥 사이에 연속적으로 채워져 있지 않다. 따라서 기둥에 대한 구속력을 제공하기 어렵기 때문에, 조적허리벽이 없는 것으로 고려되었다<sup>3)</sup>.

한편 Y방향으로는 교실 간 공간 계획을 위해 한 경간 건너 조적벽이 완전채움벽 형태로 배치되는데, 본 연구에서는 완전채움벽에 대한 영향은 고려하지 않고 분석을 수행하였다.



〈Fig. 4〉 Elevation view (Type “가”)

<Table 1> Results for Type “가” 2,5Y

Mode	AFR = 0 (kN)		AFR = 10% (kN)	
	L	R	L	R
$V_j$	89.54	89.54	89.54	89.54
$V_{mb}$	111.47	91.53	111.47	91.53
$V_{vb}$	201.33	201.33	201.33	201.33
$V_{mc}$	87.98	87.98	105.38	105.38
$V_{vc}$	140.18	140.18	142.05	142.05

Note:  $f_{ck} = 21$  MPa,  $f_y = 300$  MPa

<Table 2> Results for Type “가” 7X

Mode	AFR = 0 (kN)		AFR = 10% (kN)	
	L	R	L	R
$V_j$	61.22	61.22	61.22	61.22
$V_{mb}$	105.87	105.87	105.87	105.87
$V_{vb}$	236.21	236.21	236.21	236.21
$V_{mc}$	47.54	47.54	67.36	67.36
$V_{vc}$	139.60	139.60	140.94	140.94

Note:  $f_{ck} = 21$  MPa,  $f_y = 300$  MPa

### 3. 분석 결과

#### 3.1 축력 적용 결과

기둥에 낮은 수준의 축력이 작용하면 휨강도가 커지게 되고, 접합부에 외력이 전달되는 과정에서 파괴모드에 영향을 미치게 된다. <Table 1>과 <Table 2>는 분석 결과 중 유형 “가”의 2,5Y와 7X 접합부의 파괴강도를 표현한 것으로, 수평력 작용이 왼쪽(L)과 오른쪽(R)인 경우로 구분되며,  $f_{ck}$ 와  $f_y$ 는 각각 21 MPa과 300 MPa

인 경우에 해당한다. 두 표를 통해 축력 유무에 따른 영향을 볼 수 있다. 10%의 축력비(AFR)가 적용되었을 때의 파괴강도는 축력이 없는 경우 대비, 기둥 휨파괴 강도인  $V_{mc}$ 와 전단파괴 강도인  $V_{vc}$ 가 증가하게 된다. 그에 따라  $V_j$ 가 가장 작은 값이 되면서, 파괴모드의 순서가 변화하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 경향은 다른 유형 및 다른 위치의 접합부에서도 동일하게 나타났다.

<Table 3>, <Table 4> 및 <Table 5>는 각각 유형 “가”, “나” 및 “라”에 대하여 재료강도를 달리했을 때의

<Table 3> Results for Type “가”

Material strength (MPa)		1,4X		1,4Y		2,5X		2,5Y		3,6X		3,6Y		7X		7Y		8X		8Y		9X		9Y	
$f_{ck}$	$f_y$	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
15	240	○	○					◎		○	○							○	○	○	○	○	○		
18	240	○	○					◎		○	○							○	○	◎	○	○	○		
18	300	○	○			○	○	○	○	○	○			◎	◎			○	○	○	○	○	○		○
21	300	○	○			○	○	◎	◎	○	○			◎	◎			○	○	○	○	○	○		

<Table 4> Results for Type “나”

Material strength (MPa)		1,4X		1,4Y		2,5X		2,5Y		3,6X		3,6Y		7X		7Y		8X		8Y		9X		9Y	
$f_{ck}$	$f_y$	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
15	240	◎	◎			○	○	◎						◎	◎			○	○	○	◎	○	○		○
18	240	◎	◎			○	○	◎						◎	◎			○	○	○	◎	○	○		◎
18	300	○	○			○	○	○	○					◎	◎			○	○	○	○	○	○		○
21	300	○	○			○	○	○	○					◎	◎			○	○	○	○	○	○		○

〈Table 5〉 Results for Type “라”

Material strength (MPa)		7X		7Y		8X		8Y		9X		9Y	
$f_{ck}$	$f_y$	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
15	240	◎	◎	◎		○	○			○	○		◎
18	240	◎	◎	◎		○	○			○	○		◎
18	300	◎	◎	◎		○	○		◎	○	○		◎
21	300	○	○	◎		○	○		◎	○	○		◎

접합부 파괴 발생여부를 종합적으로 정리한 것이다. 유형 “나”와 “라”는 각각 지상 3층과 1층 규모의 건물이며, 유형 “다”의 경우 “나”와 거의 동일한 조건을 가지기 때문에 별도의 분석을 수행하지 않았다. 표에서 ○는 기동 축력 적용 전 접합부 전단파괴가 1순위(지배적 파괴모드)인 것을 표시한 것이고, ◎는 원래 파괴모드는 접합부 전단파괴가 아니었지만 축력 적용 후 최종 파괴모드가 접합부 전단파괴로 바뀐 접합부를 나타낸다.

분석 결과, 축력이 적용되기 전과 후에 대하여 X방향으로는 많은 경우에 접합부 파괴가 가장 먼저 발생하는 것을 확인할 수 있다. 유형 “가”의 경우에는 7X, “나”의 경우에는 3,6X를 제외하면 모든 X방향 접합부에서 편심이 존재하는데, 이로 인해 접합부가 취약해져 나타난 결과라고 볼 수 있다. 또한 기동 축력이 적용된 후 재료강도 변수에 따른 결과를 살펴보면,  $f_y$ 가 240 MPa에서 300 MPa로 증가할 때 접합부 파괴모드로 바뀌는 경우가 많은 것을 확인할 수 있다.  $f_y$ 가 증가하면 기동 및 보 부재들의 강도가 커지게 되는데, 이에 따라 접합부 파괴강도가 상대적으로 낮게 평가된 결과이다.

유형 “가”와 “나”에 대한 2,5Y의 결과에서는  $f_y$ 가 240 MPa인 경우 L방향으로 접합부 파괴가 발생하고,

300 MPa인 경우에는 양방향에서 모두 접합부 파괴인 것을 볼 수 있다. 이는 2,5번 접합부는 Y방향으로 양쪽 보의 단면 크기가 다르기 때문에, 접합부를 기준으로 좌측 보의 단면 높이가 더 크다. L방향으로 외력이 가해질 경우 접합부 기준 좌측 보의 하부와 우측 보의 상부가 인장을 받고, R방향인 경우 좌측 보의 상부와 우측 보의 하부가 인장을 받게 된다. 따라서 L방향일 때 보의 강도가 커지게 되고 접합부가 상대적으로 취약해져 접합부 파괴가 더 많이 발생하는 것으로 이해할 수 있다.

### 3.2 조적 적용 결과

조적허리벽을 적용하였을 때의 결과는 〈Table 6〉에 요약된다. 축력 적용 결과에서와 같이 원래 파괴모드는 접합부 전단파괴가 아니었지만, 조적허리벽이 적용된 후 접합부 전단파괴로 결과가 바뀐 경우에 대해 ●로 표시하였다. 유형 “가”와 “라”에서는 조적허리벽으로 인해 결과가 바뀌는 경우가 없었으며, 유형 “나”의 3,6X에 대해서만 조적허리벽의 적용이 접합부 전단파괴로 이어졌다. 3,6X 접합부에 대해서, 유형 “가”의 경우에는 편심의 영향으로 조적허리벽이 없는 경우에도 접합부 전단파괴가 지배적이었다. 그에 비해 유형 “나”의 경우에는 편심이 존재하지 않아 원래 접합부 전단파괴가 발생하지 않았지만, 조적허리벽의 적용을 통해 최종 파괴모드가 접합부 전단파괴로 바뀌는 것을 볼 수 있었다.

유형 “나”에 대한 조적허리벽 적용 시의 영향은 〈Table 7〉과 〈Table 8〉에 요약되어 있는데, 여기에서는 1,4X와 앞에서 언급된 3,6X에 대한 접합부 파괴모드의 변화를 볼 수 있다. 조적허리벽 적용 시 기동 전단파괴를 제외한 접합부의 전단파괴 강도, 보의 휨파괴 및 전단파괴 강도와 기동 휨파괴 강도는 증가한다. 그러나 이 4가지

〈Table 6〉 Results for Type “나” (partial masonry infills considered)

Material strength (MPa)		1,4X		1,4Y		2,5X		2,5Y		3,6X		3,6Y		7X		7Y		8X		8Y		9X		9Y	
$f_{ck}$	$f_y$	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
15	240	◎	◎			○	○	◎						◎	◎			○	○	○	◎	○	○		○
18	240	◎	◎			○	○	◎		●	●			◎	◎			○	○	○	◎	○	○		◎
18	300	○	○			○	○	○	○	●	●			◎	◎			○	○	○	○	○	○		○
21	300	○	○			○	○	○	○	●	●			◎	◎			○	○	○	○	○	○		○

<Table 7> Results for Type “나” 1,4X  
(effect of partial masonry infills)

Mode	Not considered (kN)		Considered (kN)	
	L	R	L	R
$V_j$	39.59	39.59	67.02	67.02
$V_{mb}$	41.47	41.47	79.59	79.59
$V_{vb}$	177.05	177.05	354.11	354.11
$V_{mc}$	55.34	55.34	95.59	95.59
$V_{vc}$	123.76	123.76	123.76	123.76

Note:  $f_{ck} = 18 \text{ MPa}$ ,  $f_y = 240 \text{ MPa}$

<Table 8> Results for Type “나” 3,6X  
(effect of partial masonry infills)

Mode	Not considered (kN)		Considered (kN)	
	L	R	L	R
$V_j$	56.55	56.55	77.78	77.78
$V_{mb}$	41.47	41.47	64.06	64.06
$V_{vb}$	177.05	177.05	285.01	285.01
$V_{mc}$	82.58	82.58	114.80	114.80
$V_{vc}$	146.91	146.91	146.91	146.91

Note:  $f_{ck} = 18 \text{ MPa}$ ,  $f_y = 240 \text{ MPa}$

중 접합부의 전단파괴 강도의 증가폭이 가장 작게 나타났고, 이 영향으로 접합부 전단파괴와 기둥 전단파괴의 가능성이 높아지는 것을 확인할 수 있다. 조적허리벽의 영향을 받은 기둥의 경우 단주효과로 인해 기둥의 전단파괴로 이어질 것이라는 예상과 달리, <Table 6>의 전체적인 결과는 접합부 전단파괴가 지배적인 것을 확인할 수 있었다. 조적허리벽 적용 시 기둥 전단파괴의 가능성이 높아지는 것은 분명한 사실이지만, 80년도 학교교사 표준설계도에 따른 건물에서는 기둥에 비해 접합부가 상당히 취약해 최종적인 파괴모드가 기둥 전단파괴로 이어지지 않은 것으로 판단된다. 또한 조적 적용 시 기둥의 전단파괴 강도는 변화하지 않기 때문에, 조적허리벽의 높이가 증가할 경우에는 기둥 전단파괴의 취약성이 높아질 것으로 예상할 수 있다.

한편 유형 “나”의 1,4X는 편심이 있고, 3,6X는 편심이 없는 경우에 해당하기 때문에, <Table 6>과 <Table 7>을 통해 편심의 영향도 볼 수 있다. 중심접합부 3,6X의 지배적 파괴모드는 접합부 전단파괴가 아니었지만, 편심 접합부 1,4X에 대해서는 접합부가 가장 취약한 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 1980년대 학교교사 표준설계도를 대상으로 접합부와 주위 부재 사이의 지배적인 파괴모드를 예측하기 위한 연구를 수행하였다. 기둥에 작용하는 축력과 실제 존재하는 조적허리벽 및 재료강도의 변수를 두어 구조요소별 파괴강도를 산정하고 분석을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 기둥 축력이 작용하는 경우, 기둥의 휨파괴 강도와 전단파괴 강도가 커지게 되고, 이에 따라 접합부의 전단파괴 강도는 상대적으로 낮아지는 결과를 보였다. 최종적으로 유형 “가”에서는 24가지 검토 조건 중 최대 17개, 유형 “나”에서는 최대 15개의 경우(접합부 위치 및 외력방향)에서 접합부가 가장 먼저 파괴하는 결과를 보였고, 유형 “라”에서는 12가지 검토 조건 중 9개의 경우에서 접합부 파괴가 발생하였다.

2) 재료강도 변수에 따른 결과에서는, 철근의 항복강도가 240 MPa에서 300 MPa로 증가하는 경우 기둥 및 보 부재들의 강도가 증가하여 최종 파괴모드에 영향을 주었으며, 접합부가 가장 먼저 파괴되는 경우가 증가하였다.

3) 조적허리벽의 영향을 고려한 경우에는, 접합부 전단파괴, 보의 휨파괴 및 전단파괴 강도와 기둥 휨파괴 강도가 커지는 결과를 보였다. 4가지 파괴강도 중 접합부 전단파괴의 증가폭이 가장 작았고, 이에 따라 접합부 전단파괴와 기둥 전단파괴 발생 가능성이 높아졌다. 그러나 조적허리벽의 영향을 받은 기둥의 경우 단주효과로 인해 기둥 전단파괴로 이어질 것이라는 일반적인 예상과 달리, 접합부 전단파괴가 지배적으로 나타났다. 이는 기둥에 비해 대상건물의 접합부가 상대적으로 더 취약하게 설계된 결과로 판단된다.

4) 본 연구는 80년도 학교교사 표준설계도에 제시된 4가지 유형의 건물을 대상으로 수행되었다. 구조요소 사이의 파괴모드는 단면크기, 재료강도 및 배근상세 등에 따라 달라질 수 있으므로, 본 연구의 결과가 실존하는 다양한 학교건물의 파괴모드를 대표할 수 없음을 주지할 필요가 있다.

### 감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2022R1A2C4001229).

### References

1. Ministry of Education (MOE), "Seismic Retrofit of Educational Facilities (교육시설 내진보강의 방향)", Retrieved from <https://www.moe.go.kr/boardCnts/viewRenew.do?boardID=316&lev=0&statusYN=C&s=moe&m=0302&opType=N&boardSeq=16510>
  2. Ministry of the Interior and Safety (MOIS), "Announcement of the Results of Promoting Measures for Seismic Retrofitting", Retrieved from [https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type001/commonSelectBoardArticle.do?bbsId=BSMSTR\\_000000000015&entId=84784](https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type001/commonSelectBoardArticle.do?bbsId=BSMSTR_000000000015&entId=84784)
  3. Kang, J., "Seismic Performance Evaluation According to Seismic Retrofit Techniques of Existing School Buildings", Journal of the Korean Society of Industry Convergence, Vol.15, No.1, pp.29-36, 2012, doi: 0.21289/KSIC.2012.15.1.029
  4. Kim, D.K., "Seismic Retrofit and Seismic Performance Evaluation of Existing School Structures Using diagonal, x-shaped, chevron Braces", Journal of the Korean Digital Architecture Interior Association, Vol.11, No.2, pp.115-121, 2011
  5. Moon, K.H., Jeon, Y.R., Lee, C.S., & Han, S. W., "Evaluation of performance of korean existing school buildings with masonry infilled walls against earthquakes", Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, Vol.16, No.6, pp.37-46, 2012, doi: 10.5000/EESK.2012.16.6.037
  6. Kim, T.W., & Min, C.G., "Analytical study of the effect of full and partial masonry infills on the seismic performance of school buildings", Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, Vol.17, No.5, pp. 197-207, 2013, doi: 10.5000/EESK.2013.17.5.197
  7. Cho, W.S., Lee, S.H., Chung, L., Kim, H.J., Kim, S. J., & Yu, E. J., "Seismic performance evaluation of reinforced concrete frame with unreinforced masonry infill", Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol.28, No.3, pp.31-41, 2012 doi: 10.5659/JAIK\_SC.2012.28.3.31
  8. Ju, C.G., Han J.Y., & Park T.W., "Seismic performance evaluation of school building short column effect", Journal of the Korean Institute of Educational Facilities, Vol.21, No.2, pp.33-39, 2014, doi: 10.7859/kief.2014.21.2.033
  9. Choi, M.H., Ha S.Y., & Lee C.Y., "Analysis of Failure Modes among Beams, Columns, and Joints for School Buildings Constructed in the 1980s", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.21, No.3, pp.51-60, 2021 doi: 10.9712/KASS.2021.21.3.51
  10. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), "Guidelines for Seismic Evaluation of Existing Buildings (기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령)", MOLIT, 2019
  11. American Society of Civil Engineers (ASCE), "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings", ASCE/SEI, pp.41-17, 2017, doi: 10.1061/9780784412855
  12. Park, S.J., & Khalid, M., "Parameters for shear strength prediction of exterior beam-column joints without transverse reinforcement", Engineering Structures, Vol.36, pp.198~209, 2012, doi: 10.1016/j.engstruct.2011.11.017
  13. Computers & Structures, Inc. (CSI), "CSI Analysis Reference Manual", ETABS version 17, CSI, 2017.
- Received : July 28, 2022
  - Revised : September 2, 2022
  - Accepted : September 6, 2022