

## 반복-횡력을 받는 조적벽 골조와 전단벽 골조의 내력 및 연성에 관한 실험적 연구

### Experimental Study of Strength and Ductility on Masonry Wall Frame and Shear Wall Frame Subjected to Cyclic Lateral Loading

이 호\*                      변상민\*\*                      정환목\*\*\*                      이택운\*\*\*\*  
Lee, Ho                      Byeon, Sang-Min                      Jung, Hwan-Mok                      Lee, Taick-Oun

#### Abstract

The core aim of this dissertation is to empirically scrutinize a strength characteristic of beam-column frame subjected to the cyclic lateral load, a beam-column frame of un-reinforced masonry wall, and a shear wall frame. First and foremost, I embark upon making three prototypes vis-à-vis this research. By conducting this process, I touch on an analysis of cyclic behavior and a damage characteristic of the beam-column frame, the beam-column frame of un-reinforced masonry wall, and the shear wall frame. What is more, through the previous procedure, the next part delves into the exact stress transfer path and the destructive mechanism to examine how much and how strong the beam-column frame of un-reinforced Masonry Wall does have a resistance capacity against earthquake in all the architecture constructed by the above-mentioned frame, as well as school buildings. In addition to the three prototypes, two more experimental models, a beam-column frame and shear wall frame, are used to compare with the beam-column frame of un-reinforced masonry wall. Lastly, the dissertation will suggest some solutions to improve the resistance capacity against earthquake regarding all constructions built with non bearing wall following having examining precisely all the analysis with regard to not only behavior properties and the damage mechanism of the beam-column frame and the beam-column frame of un-reinforced Masonry Wall but also the resistance capacity against earthquake of non bearing wall and school buildings.

*Keywords : Lateral load, Ductility, Energy dissipation, Beam-column frame, Masonry wall frame, Shear wall frame*

#### 1. 서 론

구조물에 작용하는 수평하중은 지진력과 풍하중을 들 수 있다. 이중에서 특히 지진하중은 순간적이며 사전에 예측하기 힘든 자연현상으로 상대적으로 자중이 큰 콘크리트 구조물에서는 풍하중보다 작용하는 힘이 크다는 점에서 크게 고려할 대상이라 판단된다. 우리나라에서는 1970년대부터 지진에 대한 계기관측을 실시하였고 1988년부터는 6층 이상의 건물 또는 면적 1만㎡ 이상 건축물에 한정됐던 대

상은 1995년 5층 이상으로 넓혀졌고 2005년부터 시행된 현행 건축법은 3층 이상 또는 연면적 1000㎡ 이상으로 규정하고 있다. 1998년 이전에 지어지거나 2층 이하인 건물은 내진설계와 관련이 없는 셈이다. 현재 우리나라 전체 건축물 중 80% 이상이 이 범위에 속한다. '월간조선, (일본지진특집) 강진에 속수무책 한국 건축물(2011.3.22)'에서 제시된 것과 같이 전국 680만 건축물 중 내진설계가 적용된 곳은 2.4%뿐이라고 데이터가 제시하고 있다. 특히, 건축물 중 가장 큰 위협에 노출된 곳은 학교이다. 전체 1만 1293개 초·중·고교의 내진설계 대상 건축물 1만 8329동 중 13.2%인 2417동만이 내진설계를 적용한 것으로 조사됐다. 학교 건축물 중 85%가 지진에 무방비 상태인 셈이다.

우리나라 대부분의 학교건축물은 4층 이하의 철근콘크리트 연성골조로써 1970 ~ 1980년대에 표준도면에 의해 지어졌으므로 내진설계가 적용되지 않았으며 2000년 이후에 오픈스쿨로써 명명된 건물에서 내진설계가 반영되었다. 대부분의 학교건축물은 지진에 저항하는 횡력저항시스템이 철근콘크리트

\* 교신저자, 경북대학교 융복합시스템공학과 교수  
Kyungpook National Univ. School of Convergence & Fusion system Engineering  
Tel: 054-530-1372, Fax: 054-530-1379  
E-mail : holee59@knu.ac.kr

\*\* 정회원, 경북대학교 건축도시환경공학부 외래강사  
Kyungpook National Univ. School of Architecture and Urban Environmental Engineering

\*\*\* 정회원, 경동대학교 도시공간디자인학과 교수  
Kyungdong Univ. Urban Space Design on Architecture

\*\*\*\* 정회원, 영남이공대학교 건축과 부교수, 공학박사  
Yeungnam College of Science & Technology, Department of Architecture

모멘트 연성골조로 되어 있다.

우리나라의 경우 대형규모 지진은 없었으나 1996년 12월 규모 4.5의 영월 지진, 2004년 5월 규모 5.2의 울진지진 및 2007년 1월 규모 4.8의 오대산 지진, 2013년에 들어서 현재까지 총 6회의 중소규모의 잦은 출현으로 보아 우리나라도 더 이상 지진에 대한 안전지대가 아니며 표준도면으로 내진설계가 적용되지 않은 대부분의 건축물들이 대규모 지진이 발생 시 붕괴될 수 있는 위험에 처해있다. 그리고 이러한 중요한 피해가 예상되는 학교건축물에 대해 지진에 대한 안전성을 평가하고 보강방법들을 개발하고 있다. 그러나 보강법에 따른 안전성, 시공성 및 미관성, 경제성 모두 고려하지는 못하고 있는 실정이다.

기존연구 중 기둥과 벽체가 보강된 조적벽체의 지진거동에 대한 실험적 연구<sup>1)</sup>에서는 속이 빈 조적벽체 보강블록에 철근으로 보강된 경우 파괴형상에 대한 내용이 언급되어 있어 연구에 참고 할 수 있었다. 학교건물에 있어서 비탄성해석 및 비선형 정적해석을 통한 내진성능 평가에 따른 보강연구<sup>2)</sup>에서 강축(X방향)에 대한 Steel Damper 및 Oil Damper 보강에 따른 내진성능향상에 대한 내용이 언급이 되었지만, 약축(Y방향)에 대한 보강은 연구에서 크게 언급이 되어 있지 않은 실정이었다. 또한, 기존 건축물의 구조적 성능 평가를 통한 내진보강(Seismic Retrofit)에 대한 연구<sup>3)</sup>에서 조적벽체의 사용은 진동, 처짐, 내력등에 상당한 구조적인 장점을 가지고 있으나, 비 구조체로 간주되어 그 역할을 무시하고 있다고 저술하고 있다. 이에 따라 실험으로 제시할 수 있는 내력에 대한 구조적인 장점을 제시하기 위해 일반 보-기둥골조와 조적벽이 밀실하게 시공된 보-기둥골조, 전단벽 골조의 내력을 평가하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 그리고, 조적벽체를 시공 할 경우 내진성능에 어느정도의 효과를 볼 수 있는지 기둥과 기초의 연성 및 에너지 소산을 검토하였다<sup>4)</sup>. 또한, Damper의 경우 학교건물에 적용시 내진성능에 대한 뛰어난 응답효과를 얻을 수는 있으나, 초기 비용이 과다하게 발생하기 때문에 조적벽체 보강은 Damper 보강과 비교하여도 경제적인 측면에서 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 이를 반영하여 학교건축물과 형상

비가 같도록 골조를 제작하여 3가지 타입의 실험체를 실험하였다. 첫째는, Portal Frame으로 보와 기둥만이 있는 모멘트 연성골조이며 둘째는, Portal Frame에 학급과 학급사이에 조적벽체를 밀실하게 채워 넣은 보강 형태를 취하고 있다. 마지막으로 학급과 학급사이의 벽체를 전단벽으로 보강한 시스템을 사용하고자 한다. 이를 토대로 모멘트 연성골조와 조적벽체로 보강된 시스템을 비교하고 조적벽체로 보강된 골조와 전단벽이 보강된 골조를 비교함으로써 보강된 요소들이 얼마만큼의 내력상 차이를 보이는지 비교하고, 조적벽체를 시공할 경우 일반 보-기둥골조와의 연성 및 에너지소산능력을 비교하여 분석한다. 본 연구에서는 3가지 타입에서의 차이점을 연구하여 시공성, 경제성 및 내진성능을 만족할 수 있는 학교 건축물의 내력증진 및 내진성능을 검토하는데 목적이 있다.

## 2. 본 론

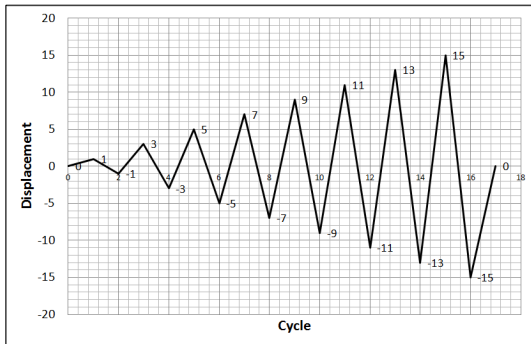
### 2.1. 실험개요

집합부 실험체에 대한 횡하중 가력은 최상부의 최대변위를 일정한 이력으로 제어하는 반복-수평력 실험을 실시하였다. KBC2009에서 제시하는 내진등급에 따른 허용층간변위의 경우 <Table 1>과 같다.

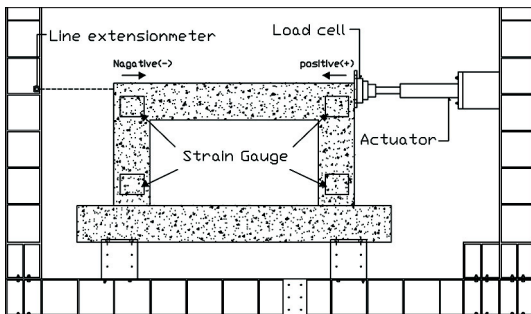
<Table 1> Allowable relative storey displacement

	Seismic rated		
	S	I	II
$\Delta_a$	0.010 $h_{sx}$	0.015 $h_{sx}$	0.020 $h_{sx}$

학교 건물의 경우 내진등급 I에 해당되므로 실험체의 높이를 고려하여 허용층간변위를 15mm로 제한하였다. 기둥에 가해지는 축력 없이 최상부 최대 횡변위를 변위제어 방식으로 <Fig. 1>과 같이 1mm, 3mm, 5mm, 7mm, 9mm, 11mm, 13mm, 15mm 총 8단계로 실시하였으며 가력 사이클 당 1회 반복-수평력을 가하여 실시하였다. 실험 시 상부고정하중이 포함되어야 정확한 실험데이터를 얻을 수 있으나, 상부고정하중은 실험실의 실험대 사정상 고려할 수 없었다. <Fig. 2>는 실험모델의 설치개요이다.



〈Fig. 1〉 Lateral loading history



〈Fig. 2〉 Test setup of specimen

## 2.2. 실험체

실험모델은 <Fig. 3> ~<Fig. 5>으로 보-기둥 골조모델, 조적벽체가 시공된 보-기둥 골조모델, 전단벽 골조 모델 3가지 Type으로 제작하였다.

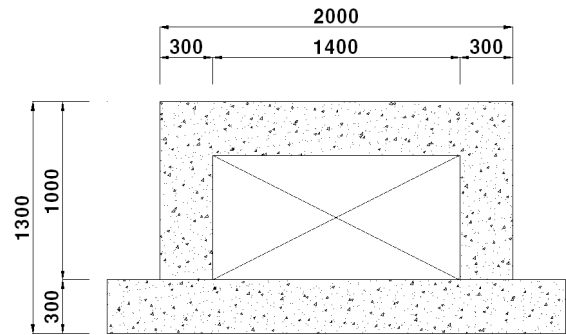
〈Table 2〉 Test specimens

Model Type	Test specimen
Type-1	Beam-column frame
Type-2	Masonry wall frame
Type-3	Shear wall frame

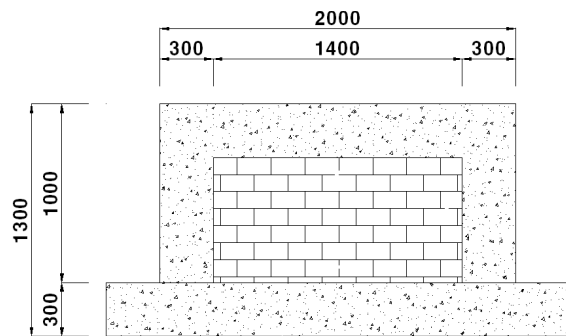
실험모델은 실제 학교건물의 모멘트연성골조를 조사하여 학교건물과 비율(형상비 1/2)이 같도록 축소시켜 제작하였다. 기본적으로 일반적인 보-기둥 골조모델, 조적벽체 골조모델, 전단벽 골조 모델로 총 3가지 모델의 응력의 흐름과 균열에 형태에 따른 파괴 메커니즘 및 연성능력과 에너지소산능력을 조사하고자 한다.

## 2.3. 실험계측

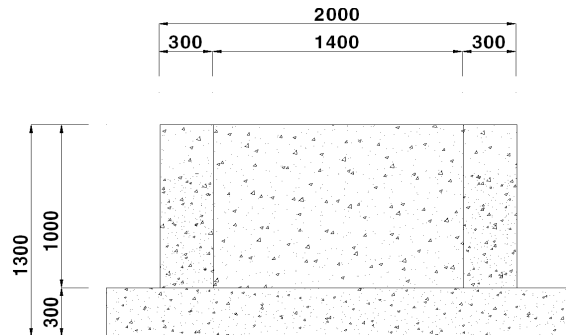
본 실험에서 실험체의 가장 중요한 거동은 보-기둥(라멘)골조, 조적벽 골조와 전단벽 골조의 기둥 상부와



〈Fig. 3〉 Test specimen of beam-column frame



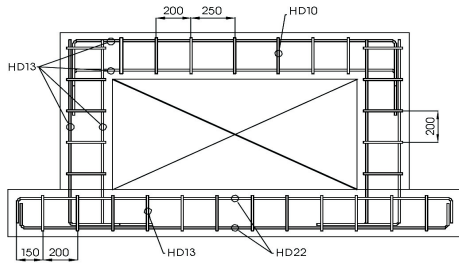
〈Fig. 4〉 Test specimen of masonry wall



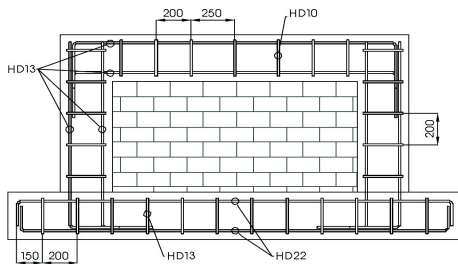
〈Fig. 5〉 Test specimen of shear wall

하부의 층간변위에 따른 거동이므로 이곳에 작용하는 부재력을 계측함과 동시에 이 부분에서의 변형률을 정확히 계측하는 것이 무엇보다 중요하다.

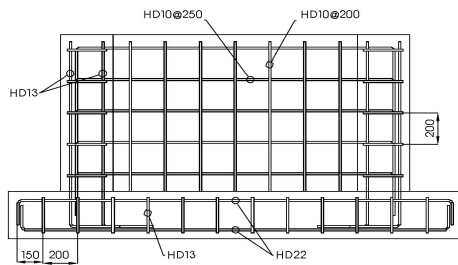
<Fig. 6> ~ <Fig. 8>는 각 모델별 철근상세 및 스트레인 게이지의 위치를 나타내고 있다. 기둥주근의 상·하부에 반복-횡력에 대한 주근의 변형률을 측정하기 위해 게이지를 부착하였다. 콘크리트 타설 중에 발생하는 손상을 감안하여 한부위에 2개씩 총 8개를 부착하였다. 다행히 스트레인 게이지는 각 부위에 1개씩만 손상이 발생되어 이력거동을 알아보는데 문제가 없었다.



〈Fig. 6〉 Details of specimen(Beam-column frame)



〈Fig. 7〉 Details of specimen(Masonry wall frame)



〈Fig. 8〉 Details of specimen(Shear wall frame)

## 2.4. 재료 특성

### 2.4.1. 철근

전 실험모델의 기초부 주근은 HD22를 사용하였고, 보와 기둥은 주근은 HD13을 사용하였으며, 스티럽 및 전단벽 보강철근은 HD10을 사용하였다.

<Table 3>은 실험체에 사용된 철근 및 배근간격에 대한 상세내용이고, <Table 4>은 실험체에 사용된 철근을 인장 실험한 이형철근의 물성치이다.

〈Table 3〉 Details of Reinforcement arrangement

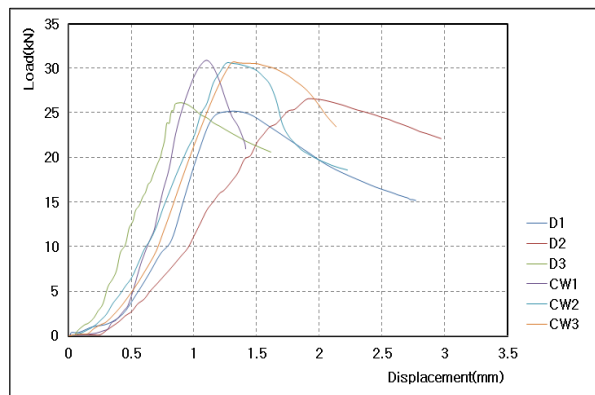
Test specimens	Base Main bar	Beam-column Main bar	Stirrup		Hoof (Column)	Wall	
			Beam	Base		H	V
Type-1	HD22	HD13	HD10 @200	HD13 @200	HD10 @200	-	-
Type-2	HD22	HD13	HD10 @200	HD13 @200	HD10 @200	-	-
Type-3	HD22	HD13	HD10 @200	HD13 @200	HD10 @200	HD10 @250	HD10 @200

〈Table 4〉 physical Properties of reinforcement

Bar size	specimen	Yield strength(MPa)	Tensile strength(MPa)	Yield ratio ( $\sigma_y/\sigma_t$ )
HD22	HD1	501.23	632.95	0.79
	HD2	514.24	654.43	0.79
	HD3	504.43	633.66	0.80
	Mean	506.63	640.35	0.79
HD13	HD1	514.13	624.16	0.82
	HD2	523.13	647.66	0.81
	HD3	574.19	677.51	0.85
	Mean	537.15	649.78	0.83
HD10	HD1	608.86	724.13	0.84
	HD2	605.71	722.67	0.83
	HD3	576.54	702.74	0.82
	Mean	597.04	716.51	0.83

### 2.4.2. 콘크리트

실험체에 사용된 콘크리트는 1종 보통콘크리트로, 굵은 골재의 최대치수를 25mm로 하고 시공연도를 높이기 위해 콘크리트용 고로슬래그미분말을 25%(KSF 2563)를 사용하였으며, 슬럼프 값은 80mm로 하였고, 보-기둥 콘크리트 배합표는 <Table 5>로 동일한 배합비율을 갖도록 하였다. 콘크리트의 설계기준강도는 24MPa인 레드믹스콘크리트를 사용하였고, KS F 2403에 따라 제작한 공시체는 대기양생과 수중양생 2가지로 실험하여 비교하였다. <Table 6>는 표준공시체 압축강도 실험에 대한 결과표이고, <Fig. 9>는 공시체 하중-변위 곡선이다.



〈Fig. 9〉 Load-displacement curve of concrete specimens

〈Table 5〉 Mixed design of concrete

Classification	W/C (%)	S/A (%)	Unit Quantity (m <sup>3</sup> )	Cement (m <sup>3</sup> )	Sand (m <sup>3</sup> )	gravel (m <sup>3</sup> )	Slump (mm)	Admixture (%)
Concrete	53	46	0.103	0.242	0.838	1.011	80	25

<Table 6> Strength tests of concrete specimens

cured Method	Test specimens	Strength criteria (MPa)	Compressive strength (MPa)	Mean (MPa)
Air cured	D1	24.00	25.22	26.00
	D2		26.61	
	D3		26.19	
Water cured	CW1		30.98	30.75
	CW2		30.57	
	CW3		30.71	

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 실험체의 거동특성

<Table 7>은 최대강도에 도달되는 최대변위를 나타낸 표이다.

1) 보-기둥 골조 실험체의 최대강도는 (+)12.8mm 변위일 때는 131.7kN이고, (-)11mm 변위에서 128kN으로 나타났다.

2) 조적벽이 시공된 보-기둥골조 실험체의 최대강도는 (+)10.9mm 변위일 때 361.3kN이고, (-)10.8mm에서 278.4kN으로 나타났다.

3) 전단벽 골조 실험체의 최대강도는 (+)13.1mm 변위에서 567.1kN이고, (-)12.9mm 변위에서 402.4kN으로 나타났다.

<Table 7> Displacement analytical results of strength(max)

specimens	Maximum strength(kN)		Displacement(mm)	
	Positive(+)	Negative(-)	Positive(+)	Negative(-)
Beam-column	131.7	132.2	12.8	9.5
Masonry wall	361.3	278.4	10.9	10.8
Shear wall	567.1	402.4	13.1	12.9

실험체별 최대강도 도달이후 연성능력을 확인하기 위해 허용충간변위점에서의 강도를 비교하였다.

<Table 8>은 최대 변위에서의 최대강도를 나타낸 표이다.

1) 보-기둥 골조 실험체의 최대강도는 (+)14.7mm 변위일 때는 125.6kN이고, (-)15.1mm 변위에서 93.0kN으로 나타났다.

2) 조적벽이 시공된 보-기둥골조 실험체의 최대강도는 (+)15.1mm 변위일 때 215.6kN이고, (-)14.8mm에서 247.2kN으로 나타났다.

3) 전단벽 골조 실험체의 경우 전단벽의 강성이 매우 높아 허용충간변위까지 도달하기 전에 기초부가 파단되어 허용충간변위에서의 내력을 측정할 수 없었고, 최대 강도에 대한 변위만 측정 할 수 있었다. 그러므로 최대 강도에 대한 최대변위는 <Table 7>과 동일하게 제시하였다.

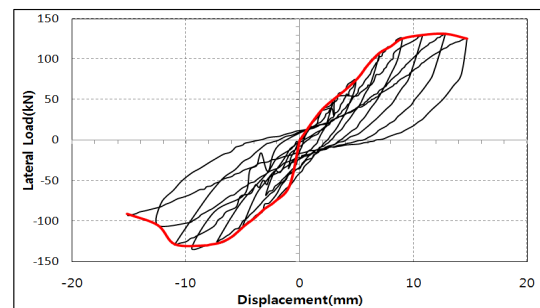
(+)변위는 Actuator로 전방으로 가력하는 방향이고 (-)방향은 Actuator로 후방으로 당길 때의 방향이다.

<Table 8> Strength analytical results of displacement(max)

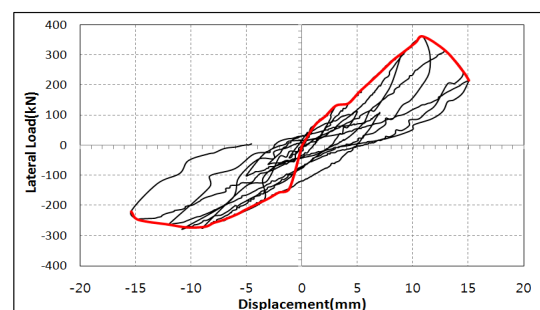
specimens	Strength(kN)		Displacement (mm)	
	Positive(+)	Negative(-)	Positive(+)	Negative(-)
Type-1	125.6	93.0	14.7	15.1
Type-2	215.6	247.2	15.1	14.8
Type-3	567.1	402.4	13.1	12.9

(+)방향과 (-)방향의 내력의 차이가 발생하는 이유는 Actuator로 가력 시 기초부의 유격이 발생하여 Sliding 현상이 발생한 것으로 판단된다.

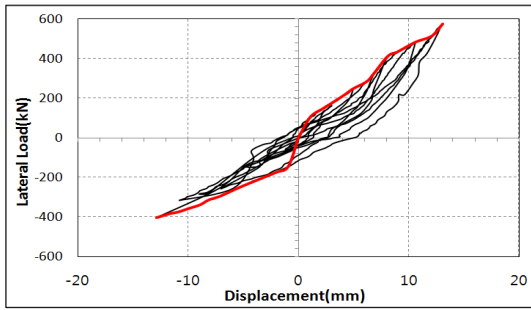
<Fig. 10> ~ <Fig. 12>는 반복-수평력에 의한 하중-변위 이력곡선이다.



<Fig. 10> Load-displacement hysteresis loops of Beam-Column (Type-1)



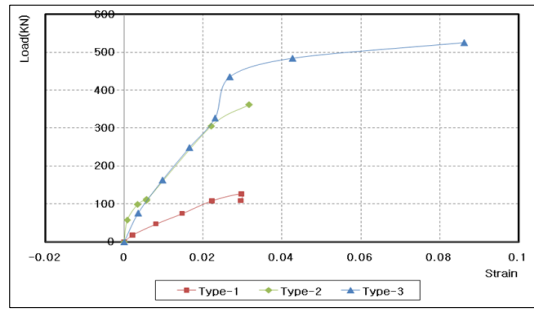
<Fig. 11> Load-displacement hysteresis loops of masonry wall (Type-2)



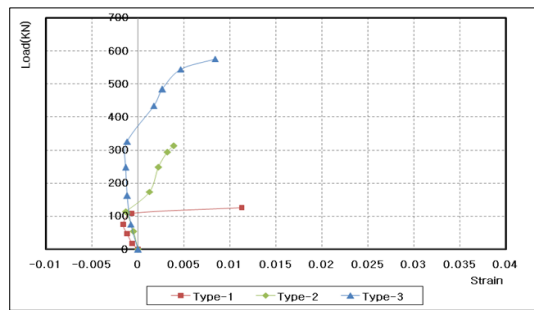
〈Fig. 12〉 Load-displacement hysteresis loops of shear wall (Type-3)

〈Fig. 13〉 ~ 〈Fig. 16〉은 실험체의 기둥에 부착한 스트레인 게이지에서 분석한 하중-변형률 관계에 대한 이력곡선이다. Type-1은 일반 보-기둥골조, Type-2는 조적벽 골조, Type-3은 전단벽체이다.

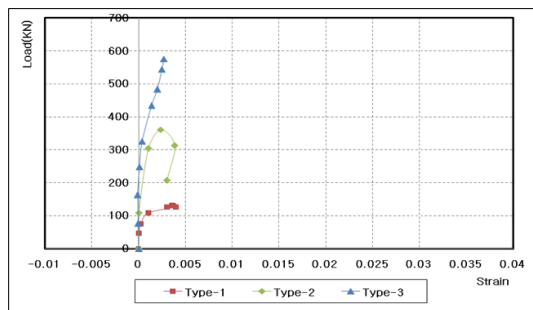
골조상단의 경우 하중-변형률 이력곡선에서 연성적인 거동을 비교할 수 없었고, 골조하단의 경우에 연성적인 거동을 비교할 수 있었다. 예상대로 전단벽 골조가 가장 연성적인 거동을 보였고, 〈Fig. 15〉, 〈Fig. 16〉 하중-변형률 이력곡선을 보았을 때 조적벽 골조도 연성적인 거동을 나타내었다.



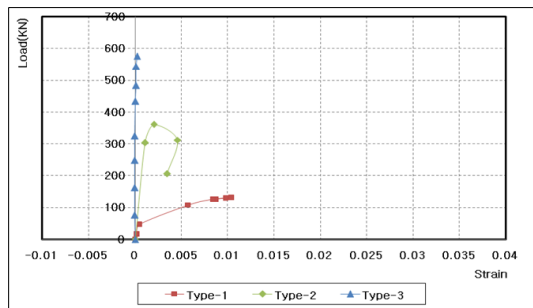
〈Fig. 15〉 Load-strain hysteresis curve of lower left side column



〈Fig. 16〉 Load-strain hysteresis curve of lower right side column



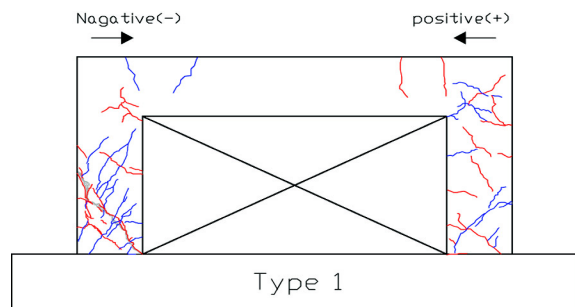
〈Fig. 13〉 Load-strain hysteresis curve of upper left side column



〈Fig. 14〉 Load-strain hysteresis curve of upper right side column

### 3.2 실험체의 파괴양상

1) 보-기둥 실험체는 (±)1mm사이클에서 (+)5mm사이클 실험에서는 균열이 없었고, (-)5mm사이클에서 좌측기둥상부 접합부의 모서리로 경사방향 균열이 발생하였고 우측기둥하부에 경사방향 균열이 발생하였다. (+)7mm에서는 우측기둥상부에 접합부 모서리로 경사방향 균열이 발생하였고, 좌측기둥하부에 수평방향 균열이 발생하였다. (-)7mm사이클 이후에는 계속해서 균열이 증가하는 양상을 보였다.

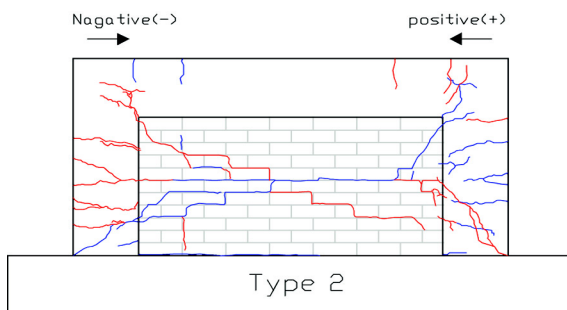


〈Fig. 17〉 Crack patterns of beam-column frame (Type-1)

2) 조적벽체 실험체에서는 (±)1mm사이클에서 (+)7mm사이클 실험에서는 균열이 없었고, (-)7mm사이클

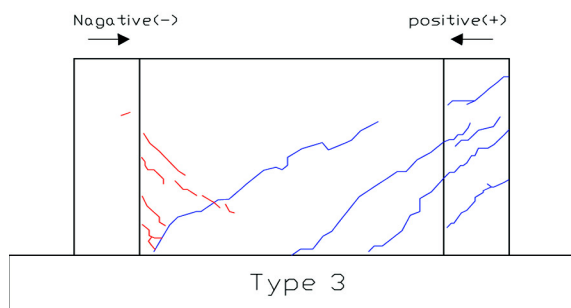


에서 우측기둥하부에 경사방향 균열이 발생하였고, 좌측기둥상부에 접합부 모서리로 경사방향 균열이 발생하였으며, 좌측기둥중간부에 수평방향 균열이 발생하였고, 좌측기둥하부에 경사방향 균열이 발생하였다. (+)9mm에서는 경사방향 균열 및 수평방향 균열이 증가하였다. (±)11mm 이후에는 보-기둥 골조에 균열이 발생한 경계점에서 줄눈의 파괴가 진행된 것으로 보아 보-기둥골조가 항복과 동시에 조적벽체의 줄눈이 파괴되는 형태를 보였다.



<Fig. 18> Crack patterns of masonry wall frame(Type-2)

3) 전단벽 실험체에서는 (±)1mm사이클에서 (+)3mm 사이클 실험에서는 균열이 없었고, (-)3mm사이클에서는 우측기둥상부에 경사방향 균열이 발생하였고, 우측기둥중간부에 경사방향 균열이 발생하였으며, 우측전단벽 중간부에는 수평방향 균열이 발생하였다. (+)5mm에서는 우측전단벽 하부에 경사방향 균열이 발생하였다. (-)5mm에서는 우측 전단벽 하부에서 기둥중심부로 균열이 발생하였다. (+)7mm에서는 특별한 변화는 없었다. (-)7mm 이후부터는 경사방향 균열 및 지압판 하부균열이 증가하였다. 전단벽체의 최대 변위를 13mm에서 진행을 못 한 이유는 전단벽의 강도가 높아짐에 따라 기초부 단부에 휨모멘트가 크게 발생하여 기초부에서 파단이 일어난 것으로 판단된다.



<Fig. 19> Crack patterns of shear wall frame(Type-3)

### 3.3 내력에 대한 비교분석

#### 3.3.1 최대내력에 대한 비교분석

<Table 9>는 최대내력이 발생한 시점에서의 변위에 대한 비교표이다. 최대내력을 비교한 결과 기본형 보-기둥골조에 비해 조적벽골조의 경우 약 242% 내력이 높은 것으로 분석되었고, 기본형과 전단벽골조를 비교한 결과 약 367% 내력이 높게 나타났다. 또한, 조적벽 골조의 경우 전단벽 골조에 비해 약 66%정도의 내력을 나타내었다.

<Table 9> Displacement comparative analysis of maximum strength

specimen	Load(kN)		Displacement(mm)		Average load (kN)	Note (%)
	Positive (+)	Negative (-)	Positive (+)	Negative (-)		
Type-1	131.7	132.2	12.8	9.5	131.95	100
Type-2	361.3	278.4	10.9	10.8	319.85	242
Type-3	567.1	402.4	13.1	12.9	484.75	367

#### 3.3.2 최대 허용층간변위에서의 내력 비교 분석

<Table 10>는 최대허용층간변위 15mm에서의 최대내력을 비교한 표이다. 최대허용층간변위 15mm에서 비교한 결과 기본형 보-기둥골조에 비해 조적벽 골조의 경우 약 212% 내력이 높은 것으로 분석되었다. 전단벽 골조의 경우 허용층간변위에 도달하기 전에 기초부의 파단이 발생하여 허용층간변위에서 조적벽 골조와 최대내력을 비교할 수 없었다.

<Table 10> Strength comparative analysis of maximum displacement

specimen	Load(kN)		Displacement(mm)		Average load (kN)	Note (%)
	Positive (+)	Negative (-)	Positive (+)	Negative (-)		
Type-1	125.6	93.0	14.7	15.1	109.3	100
Type-2	215.6	247.2	15.1	14.8	231.4	212
Type-3	-	-	-	-	-	-

### 3.4 접합부의 연성 및 에너지 소산능력 비교분석

#### 3.4.1 내부 보강에 따른 연성 비교 분석

조적벽체 시공에 따른 변수로 실험체의 연성지수를 정리하여 <Table 11>에 나타내었다. 이 연구에서는 연성지수를 정방향 가력을 기준으로 산정하여 조적

벽체 시공에 따른 연성능력을 비교하였다. 여기서 연성이란 부재가 최대 하중 이후 하중의 큰 저하 없이 변형할 수 있는 능력을 의미한다. 이 연구에서는 여러 연구지들에 의하여 사용된 다음 식 (1)을 이용하여 연성을 산정하였다(Kim et al., 2009). 실험 시 허용충간변위까지만 실험을 실시하였기 때문에  $\Delta_{80}$  이 존재하는 시점의 값이 없는 경우가 발생하였다.

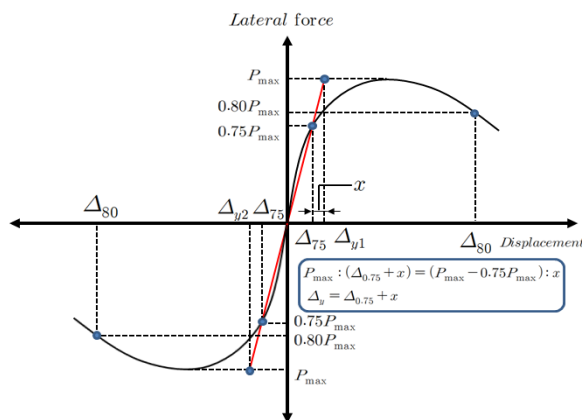
$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_{80}}{\Delta_y} \quad \text{식 (1)}$$

여기서  $\Delta_{80}$  은 <Fig. 20>에 나타난 바와 같이 하중-변위 이력곡선에서 최대하중 이후 최대하중의 80%에 해당하는 극한 시 변위,  $\Delta_y$  는 최대하중의 75%에 접선과 최대하중이 교차하는 지점에 해당하는 항복 시 변위이다. 이 연구에서 항복변위  $\Delta_y$  는 <Fig. 20>에서 제시한 비례식을 이용하여 산정하였다. 전단벽골조의 경우 허용충간변위에 도달하기 전에 기초가 파단되어 연성검토를 실시 할 수 없었다.

조적벽 골조의 경우 일반 보-기둥골조와 식 (1)으로 비교한 결과 연성지수가 약 32%정도 증진되었음을 알 수 있다.

<Table 11> Ductility analytical results of tested specimens

Ductility		Specimens		
		Type-1	Type-2	Type-3
$\Delta_y$ (mm)	Positive(+)	9.2	10.4	14.5
	Negative(-)	8.4	7.5	9.9
$\Delta_{80}$ (mm)	Positive(+)	-	12.7	-
	Negative(-)	12.5	14.8	-
$\mu_{\Delta}$	Positive(+)	-	1.22	-
	Negative(-)	1.49	1.97	-
note(%)		100	132	



<Fig. 20> Definition of ductility

### 3.4.2 에너지 소산능력 비교 분석

에너지 소산능력은 철근콘크리트 기초와 기둥의 변형 성능을 평가하는데 있어서 연성능력과 함께 매우 중요한 평가방법이다. 따라서 이 연구는 <Table 12>에 나타난 바와 같이 에너지 소산능력을 실험체의 하중-변위 이력곡선을 각 사이클별로 단조화 그래프를 작성하여 면적의 총합을 누적하여 나타내었다(Eom et al., 2002).

조적벽체의 경우 일반 보-기둥골조에 비해 약 8%의 에너지 소산능력이 향상되었고, 전단벽체의 경우 13mm까지 비교한 결과 약 20%의 에너지 소산능력이 향상되었다. 이는 일반 보-기둥골조에 조적벽 및 전단벽을 보강하는 경우 효과적인 에너지 소산효과를 볼 수 있음을 뜻한다.

<Table 12> Energy dissipation analytical results of tested specimens cycle

Specimens Cycle(mm)	Energy dissipation (kN·mm)		
	Type-1	Type-2	Type-3
1	63,833.64	56,599.71	27,817.77
3	154,105.60	32,957.38	189,031.84
5	90,871.60	275,674.89	110,700.35
7	144,802.49	155,844.47	247,361.54
9	166,639.07	77,662.28	204,499.04
11	32,123.01	40,817.73	43,467.91
13	40,402.94	110,412.92	56,181.26
15	37,223.77	35,758.06	-
total	730,002.12	785,727.45	879,059.71
Note(%)	100	108	120

## 4. 결론

본 연구에서는 학교건축물의 약축방향 일반 보-기둥 골조에 조적벽체 및 전단벽을 적용한 내력증진 및 내진성능에 대한 구조적인 장점을 확인하기 위해 실험을 진행하였으며 얻어진 결론은 아래와 같다.

- 1) 일반 보-기둥 골조 실험체와 조적벽 골조 실험체, 전단벽 골조 실험체를 비교한 결과 최대 내력은



각각 평균 131.95kN, 319.85kN, 484.75kN으로 나타났다. 조적벽 골조의 경우 일반 보-기둥골조에 비해 약 242%, 전단벽골조의 경우 367% 정도의 내력을 상승한 것으로 보아 실제 교실과 교실 사이의 조적벽체 및 전단벽으로 보강 시 내력증진에 큰 효과를 볼 수 있는 것으로 판단된다.

2) 조적벽 골조의 경우 항복시점이 ( $\pm$ )11mm에서 발생하였고, 이 후 내부 조적벽의 줄눈에 파괴가 진행된 것으로 보아 항복시점 전까지 일체로 거동된 것으로 판단된다. 위의 결과로 줄눈의 강도가 높은 재료를 사용한다면 골조의 내력증진에 효과를 볼 수 있을 것으로 사료된다.

3) 허용충간변위에서의 실험체별 내력을 분석한 결과 조적벽 골조의 경우 일반 보-기둥골조에 비해 약 212%의 내력증진 효과를 알 수 있었다.

4) 실험체의 연성능력을 일반 보-기둥골조와 비교한 결과 조적벽 골조의 경우 약 132% 연성능력이 높은 것으로 나타났다. 전단벽 골조의 경우 기초부 파단으로 인해 허용충간변위까지 실험을 진행할 수 없어 연성능력을 비교 할 수 없었다.

5) 실험체별 에너지 소산능력을 비교한 결과 일반 보-기둥골조에 비해 조적벽 골조의 경우 8% 상승하였고, 전단벽 골조의 경우 약 20% 상승하였다.

### 감사의 글

이 논문은 2012년도 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.2011-0023261)입니다. 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Kim, Hong-Do et al, The Study of Reinforcement through the Nonlinear Static Analysis and Inelastic Seismic Performance Evaluation in School Building, Journal of the Korean

Association for Spatial Structures, Vol.12, No.2, pp.55-63, 2012.06.

2. Kenji Kikuchi et al, Experimental Study On Seismic Behavior Of Masonry Walls With Column, Journal of the Korean Association for Spatial Structures, Vol.6, No.2, pp.93-105, 2006.06.

3. Kim, Hong-Do et al, A Study on Seismic Retrofit to structural performance Evaluation of the existing building, Kyungpook national university, 2011.08.

4. Kim, Min-jun, Experimental Study on Ductility of RC Columns According to Configuration of Transverse Reinforcement, Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 16, No. 6, pp.018-025, 2012.11.

4. Byeon, Sang-Min et al, Strength Experimental Study on Precast Column-R.C. Foundation Anchor Joint Subjected to Cyclic Horizontal Loading, Journal of the Korean Association for Spatial Structures, Vol.11, No.1, pp.57-66, 2009.06.

5. Cha, Beong-Gi et al, Cyclic-Leading Tests of RC Exterior Beam-Column Joints with Non-Seismic Detailing, Journal of the Korea concrete institute, Vol.15, No.1 = No.73, pp.11-16, 2003.

6. Standard Specification for construction, Architectural Institute of Korea, 2006.

7. Concrete design code, Korea concrete institute, 2007.

8. Korean Building Code, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2009.

9. Korean Building design code, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2011.

(접 수 일 자 : 2013년 03월 11일)

(심사완료일자 : 2013년 05월 27일)

(게재확정일자 : 2013년 05월 30일)