

## TS 제진공법으로 내진보강된 철근콘크리트 골조의 내진성능(Part 1:해석적 연구)

정명철<sup>1</sup>, 송정원<sup>2</sup>, 송진규<sup>3\*</sup>

### Seismic Performance of RC Frame System Retrofitted with TS Seismic Strengthening Method (Part 1:Analytical Study)

Myung-Cheol Jung<sup>1</sup>, Jeong-Weon Song<sup>2</sup>, Jin-Kyu Song<sup>3\*</sup>

**Abstract:** In this study, a cyclic loading test was carried out for a reinforced concrete frame installed a TS(tension-spring) damper for the purpose of verifying the seismic strengthening effect of the TS seismic reinforcing method. The test specimens are four specimens of non - reinforced frame and three reinforced frame specimens. Experimental parameters are Shape of damper and construction method of damper. As a result, the construction method of inserting type inside window was twice as much in terms of strength and stiffness, and the method of externally attached type showed a performance improvement of about 2 times in terms of energy dissipation. From these results, it can be confirmed that the TS seismic reinforcing method is a superior method for field application and seismic strengthening.

**Keywords:** Seismic rehabilitation, Earthquake control system, TS(Tension-Spring) damper, Inserted type, Attached type, Vibration control brace, RC frame reinforced with damper, Cyclic load

## 1. 서 론

지진은 우리가 경험하는 자연재해 중 가장 극단적인 지각의 변동과 인명 및 재산의 피해를 가져오는 무서운 현상으로서 인류의 역사와 함께 기록되어왔다. 지진은 규모와 빈도의 차이가 있을 뿐 어디에서나 발생할 수 있는 것으로 과학적으로 지진 관측을 시작한 1978년 이래 우리나라에서 지진 발생 건수는 지속적으로 증가하는 추세를 보여 왔다. 근래 경북 경주 및 포항 등지에서 규모 5이상의 강진(強震)이 발생한 이후, 지진 피해에 대한 건축물 및 기간시설물의 안전에 대한 관심이 높아지고 있으며, 더 이상 우리나라가 지진의 안전지대가 아니라는 것이 사실로 드러나게 되었다.

1988년 초 개정된 건축법 시행령의 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙에서 내진설계가 도입된 이래 우리나라의 내진 관련 대책은 주로 고층 건축물이나 원자력발전소 등 중대 시설에 국한 되는 경향이 있어왔다. 현재 우리나라는 내진설계

기준이 도입되기 이전에 시공된 건축물이 많이 남아있어 이 건물들에 대한 내진 대책이 필요한 실정이다(Lee et al., 2012). 또한 오래된 건축물의 리모델링의 활성화추세 맞추어 저렴한 비용으로 충분한 내진보강 효과를 거둘 수 있는 제진장치가 필요하다.

내진보강에 사용되는 방법 중 제진공법은 건물에 설치된 제진장치가 지진에너지를 흡수하여 흔들림을 억제하도록 하는 방법이다(Jeong, 2015; Oh, 2001). 구조물에 진동제어를 위한 장치를 설치함으로써 구조물이 지진을 경험하게 될 때에 구조체에 추가되는 지진에너지를 제진장치로 에너지 흡수, 건물전체의 흔들림에 대한 감소의 효과를 볼 수 있다. 이 공법은 기존 건물의 기둥, 보, 기초에 영향을 주지 않고 설치 가능하기 때문에 기존 구조물의 내진 보수보강에 특히나 유리하다는 장점을 갖고 있지만, 사용되는 제진장치 자체의 성능도 중요하지만 구조물에 설치되었을 때 일체화 정도에 따라 그 효과가 달라진다.

이에 본 연구에서는 브레이스 내부에 다수의 탄성스프링을 내재하여 멀티제진이 가능하게 함으로써 구조물의 안전성 및 거주성을 향상시킬 수 있고, 내부 뿐 아니라 외부에도 부착이 가능하여 시공환경에 영향을 받지 않는 TS 댐퍼(Tension Spring-Damper)를 적용한 TS 내진보강공법의 내진성능 효과를 검증할 목적으로 구조실험을 진행 하였다. 기존 실험체인 무보강 골조를 포함한 총 4개의 골조 실험체에 대하여 반복 주기하중

<sup>1</sup>정회원, 에이엠지그룹 건축사사무소 대표이사

<sup>2</sup>정회원, 전남대학교 학술연구 교수

<sup>3</sup>정회원, 전남대학교 건축학부 교수, 교신저자

\*Corresponding author: jgsong@jnu.ac.kr

School of Architecture, Chonnam National University, Gwangju, 61186, South Korea

•본 논문에 대한 토의를 2018년 4월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

가력 실험을 수행하였으며, 그 결과를 강도, 강성, 에너지 흡수 능력의 측면에서 평가하여 정리 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험계획

구조실험의 대상 건물은 층고 3.8 m, 3층의 비내진 상세를 갖는 철근콘크리트조의 학교 건축물로 정하였으며 Fig. 1에 골조 실험체를 제작하기 위한 프로토타입을 나타내었다. 실험체는 대상학교의 외부 내측골조의 1층 부분의 1스팬으로 기둥-보-경두리벽(조적조)으로 이루어져 있으며, 실험실의 규모를 고려하여 약 60% 크기로 축소하여 제작하였다.

기준 실험체인 비보강 실험체 1개와 TS 내진보강 실험체 3개의 총 4개의 실험체를 제작하여 반복 횡하중을 이용한 구조 실험을 수행하였다. 모든 실험체의 골조는 동일한 배근을 갖도록 설계하였으며, 기준실험체인 RC 실험체는 골조만으로 이루어진 비보강 실험체이다. RC 실험체의 대조군으로 기본 골조에 설치된 TS 댐퍼의 형상에 따라 V-type과 D-type, 시공 방법에 따라 창호 삽입형(Inserted type) 외부 부착형(Attached type)으로 구분하여 3개의 TS 내진보강 실험체를 제작하였다. 4개의 실험체는 Table 1에 나타난 바와 같이 표기하였으며, Fig. 2~3에 실험체 배근 상세와 TS 댐퍼의 형상 및 설치 상황을 나타내었다. 실험체는 상부와 하부의 스테브, 장방형의 기둥과 보로 구성하였으며, 상·하부 스테브의 강성을 충분히 키워 기둥붕괴형 붕괴메커니즘을 구현하도록 계획하였다.

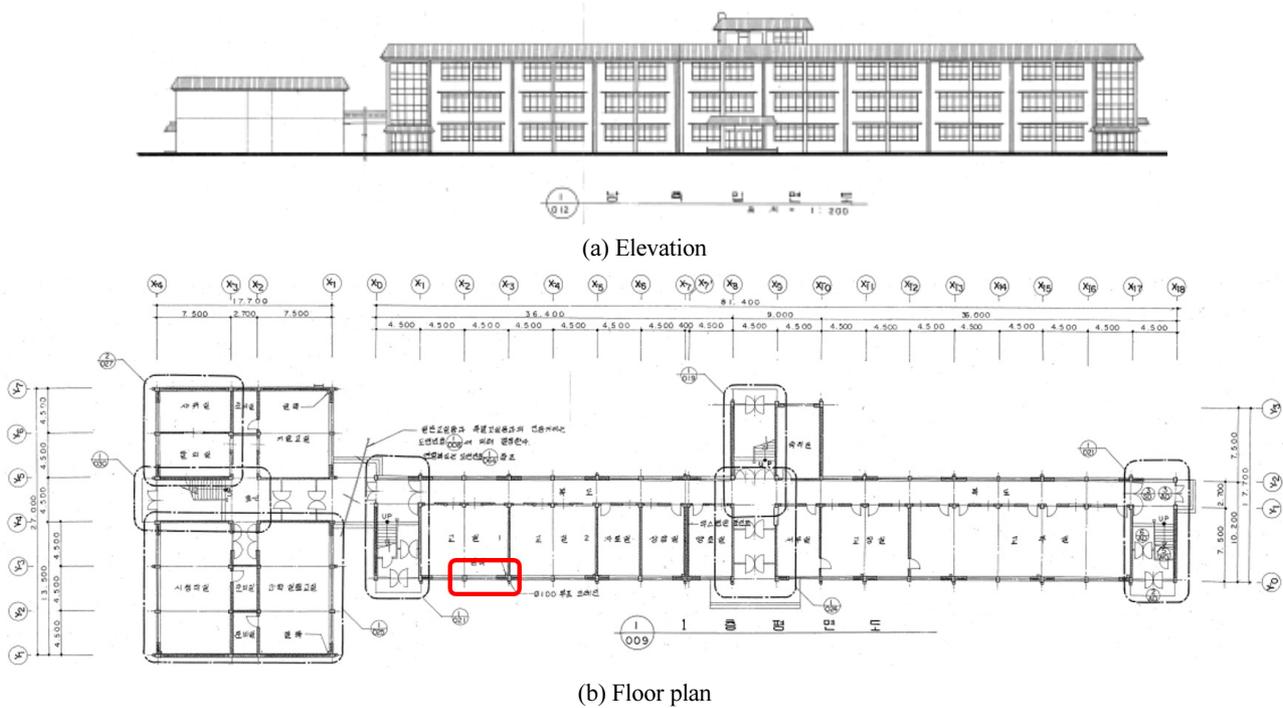


Fig. 1 Prototype structure

Table 1 Specimen list

	$f_{ck}$ (MPa)	$f_y$ (MPa)	$P_u$ (MPa)	Damper	Installation
RC*				-	-
V-IN	21	300	315	V-Brace	Inserted type
V-EX				V-Brace	Attached type
D-IN				Diamond-Brace	Inserted type

\* : reference

$f_{ck}$  : compressive strength of concrete

$f_y$  : yield strength of steel reinforcement

$P_u$  : vertical load applied to the frame

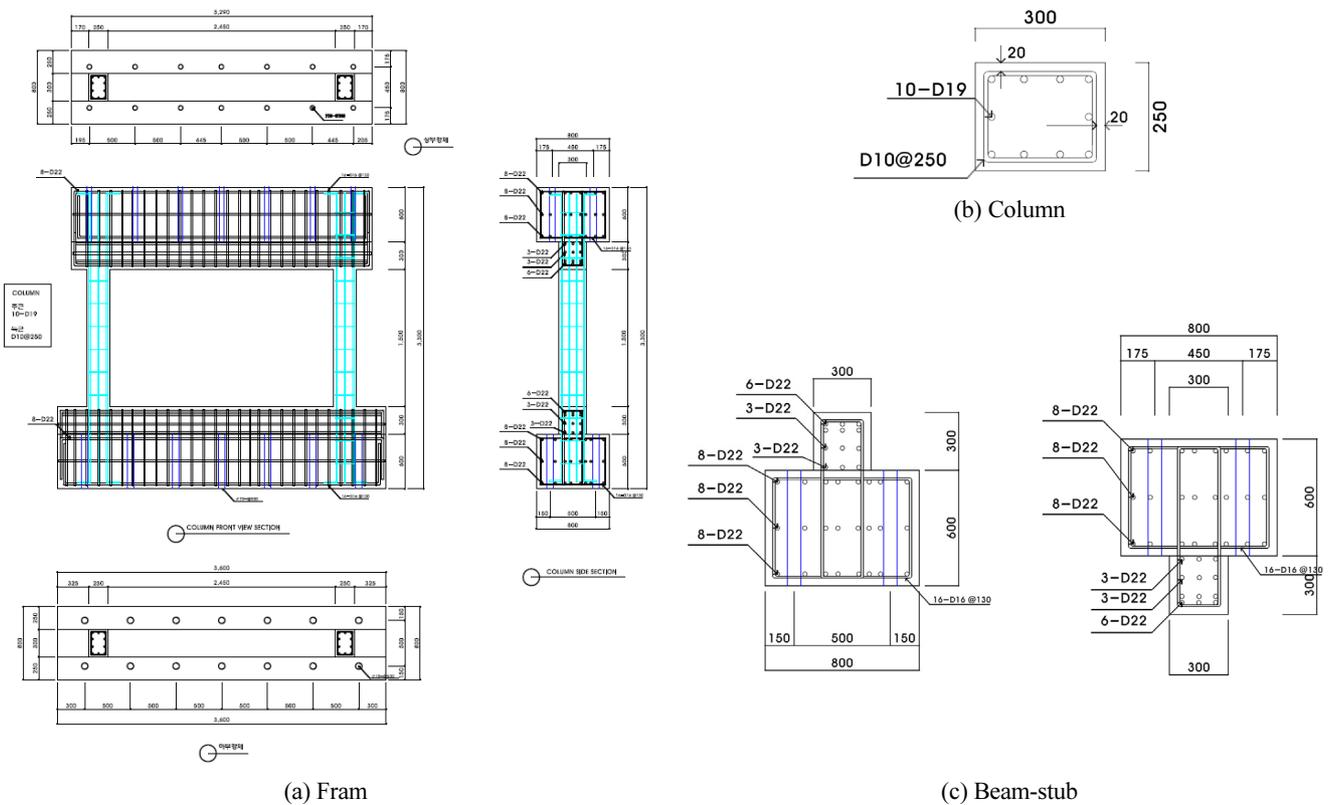
## 2.2 재료시험

콘크리트의 압축강도 시험용 원통형 공시체는 KS F 2403 (KS F 2403, 2014)에 따라 직경 100 mm, 높이 200 mm의 실린더형 몰드를 사용하여 제작하였으며, 실험체와 동일한 기간 타설과 동일조건에서 양생하였다. 구조시험 당일 6개의 공시체를 통해 측정된 콘크리트 강도와 평균값은 Table 2와 같다.

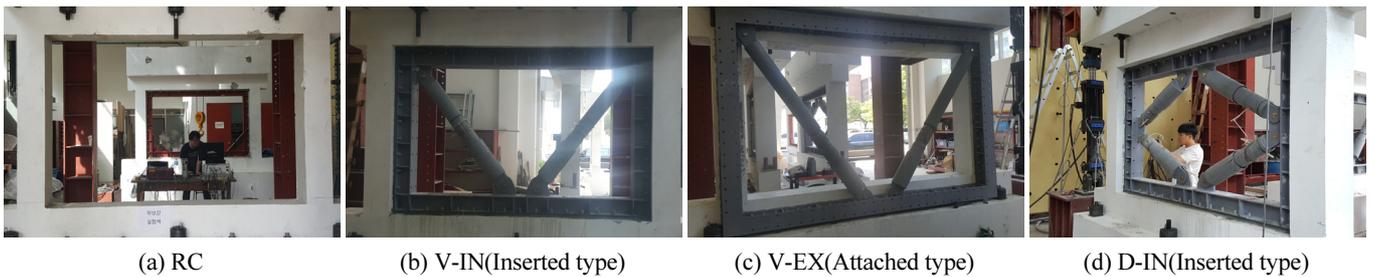
기둥의 주근과 전단 보강근으로 각각 D19(1종 SD300)과 D10(1종 SD300)을 사용하였으며, 철근의 재료적 특성을 파악하기 위하여 KS B 0801(KS F 2403, 2017)에 따라 철근 인장 시험편을 각각 3개씩 제작하여 만능시험기(U.T.M.)을 이용하여 인장시험을 수행하였다. Fig. 4에 철근의 인장강도 시험 결과(D19)를 나타내었다. 주철근(D19)의 응력-변형률 곡선

**Table 2** Concrete compressive strength

	Design strength (MPa)	Compressive strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)
Cylinder 1	21	24.4	25933.3
Cylinder 2		23.4	25625.3
Cylinder 3		25.9	26382.1
Cylinder 4		25.5	26263.9
Cylinder 5		24.0	25811.0
Cylinder 6		23.4	25625.3
Average (Standard deviation)		24.4 (0.97)	25940.15 (293.01)



**Fig. 2** Reinforcement detail of specimen(unit:mm)



**Fig. 3** Installation of damper

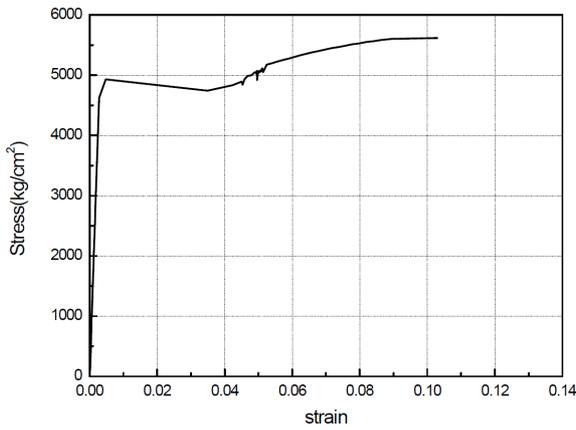


Fig. 4 Stress-strain curve of deformed bar(D19)

Table 3 Lateral loading history

Cycle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Drift (%)	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.67	1.00	1.33	1.67	2.00	2.50	3.33
Displ. (mm)	1.50	3.00	4.50	6.00	7.50	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	37.5	50.0

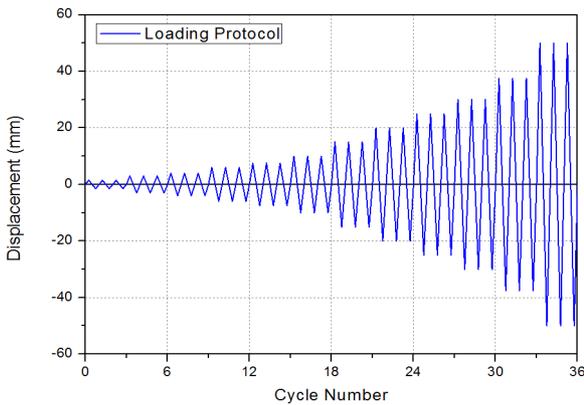


Fig. 5 Lateral loading history

에 의하면 비례한계점은 약 4600 kg/cm<sup>2</sup>(460 MPa), 항복점은 약 4950 kg/cm<sup>2</sup>(495 MPa)로 측정되었다. 항복응력을 지나 변형경화부분에서는 스트레인게이지의 과단으로 측정할 수 없었으며, Fig. 4에 나타난 응력-변형률 곡선은 스트레인게이지가 과단되기 전까지의 데이터이다.

### 2.3 가력방법

실험체에 역대칭 모멘트가 발생하도록 횡력을 가하는 Actuator의 가력점을 실험체 상부 가력용 철골빔의 중심에 일치시켰으며, Table 3에 나타난 바와 같이 수평 부재각(%)에 따라 각 3 cycle씩 단계별로 점증 가력 하였다. 실험체에 적용된 하중 가력 이력선도를 Fig. 5에 나타내었다. 각 변위마다의 강도와

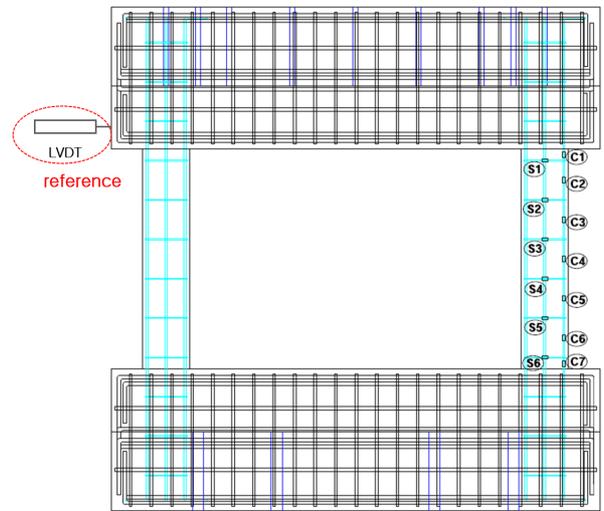


Fig. 6 Locations of LVDT and strain gauges

강성 저하에 대한 정보 취득을 위하여 동일변위 당 3회씩 가력 하였으며, 실험은 내력이 크게 저하되는 구간까지 수행하였다. 실험체의 균열은 가력이 끝나는 단계별로 구분하여 정·부 방향 모두 표시하였다.

### 2.4 계측계획

실험에 사용된 계측장비의 위치를 Fig. 6에 나타내었다. 하중이 가력되는 동안 실험체 전체의 변위확인을 위하여 LVDT 1개를 설치하였으며, 기둥의 응력 분포 변화 측정을 위하여 각 실험체 기둥 주근 5개소와 스트럽 6개소에 스트레인 게이지를 부착하였다.

## 3. 실험 결과

### 3.1 균열 및 파괴양상

Fig. 7에 4개의 실험체에 대한 최종 파괴 상황을 나타내었다. 무보강 기준 실험체인 RC 실험체의 경우 변위비 2% 구간에서 기둥의 상·하부에 미세한 휨균열이 발생하였다. 이후 균열이 기둥 중앙부로 확대되며 변위비 0.4%에 도달하였을 때 전단균열이 되어 변위비 0.67%에 이르러 기둥의 상·하부의 전단균열로 확대되었다. 변위비가 1.33%를 넘어가며 전단균열의 폭이 증가하며 피복의 박리가 시작되어 변위비 1.67%에서 양측 기둥 상부에 전단균열이 급격히 확장되었으며 하중이 급격히 감소하기 시작하여 최종파괴 되었다.

TS댐퍼를 이용하여 제진 보강된 골조의 경우 모두 변위비 0.1% 구간에서 시작된 휨균열이 변위비 0.4%에 도달하였을 때 전단균열로 진전된 후 실험종료 시 까지 TS댐퍼의 프레임



(a) RC



(b) V-IN(Inserted type)



(c) V-EX(Attached type)



(d) D-IN(Inserted type)

Fig. 7 Final cracks of specimens

으로 인한 강성 증대효과로 인하여 전단균열의 진전이 억제되는 현상을 보였다.

제진 보강 골조 실험체의 중 창호 외부 부착 방식이 적용된 V-EX를 제외한 창호 내부 삽입형인 V-IN, D-IN 실험체는 TS 댐퍼의 프레임으로 인한 강성 증대효과가 커서 목표내력에 도달 후 실험을 종료하였다.

### 3.2 하중-변위 관계 및 에너지 소산 능력

Fig. 8에 각 실험체의 하중-변위 곡선을 나타내었다. 무보강 골조 실험체인 RC 실험체는 정가력 시 변위비 1.33%에서 최대하중 243.7 kN에 도달하였으며, 전단파괴 양상을 나타내었다. 이는 대상 학교건물이 비내진상세를 갖는 1980년대 건설 학교건물의 전형적 파괴모드를 보여주는 매우 중요한 자료라고 판단된다.

창호 내부 삽입형인 V-IN 실험체는 정가력 시 변위비 2%에 도달 하였을 때 최대하중 466.68 kN을 나타내었으며, 골조에 전단균열이 발생하여 진전되었으나, 최종적으로는 목표내력에 도달하여 실험을 종료하였다. 최대 하중발현 시까지 뚜렷한 내력저하 없이 강도증가 추세가 지속되었는데, 이는 TS

Table 4 Test results

		$V_{max}$ (kN)	$\frac{V_{max}}{V_{max}^*}$	$\delta_{max}$ (mm)	$\frac{\delta_{max}}{\delta_{max}^*}$	$E$
Case1*	RC	243.7	1.00 (243.7/243.7)	20.00	1.00 (20.00/20.0)	2878.6
Case2	V-IN	466.8	1.92 (466.8/243.7)	29.95	1.49 (29.95/20.0)	-
Case3	V-EX	342.4	1.40 (342.4/243.7)	20.00	1.00 (20.00/20.0)	5374.6
Case4	D-IN	471.3	1.93 (471.3/243.7)	19.87	0.992 (19.84/20.0)	-

\* : reference

$V_{max}$  : maximum load

$V_{max}^*$  : maximum load of reference

$\delta_{max}$  : displacement at  $V_{max}$

$\delta_{max}^*$  : displacement at  $V_{max}^*$

$E$  : accumulated energy

댐퍼의 프레임에 의한 것으로 판단되며, 창호 내부에 TS 댐퍼를 삽입하는 시공방식을 통해 제진 뿐 아니라 강도보강의 효과도 함께 기대할 수 있을 것으로 보인다.

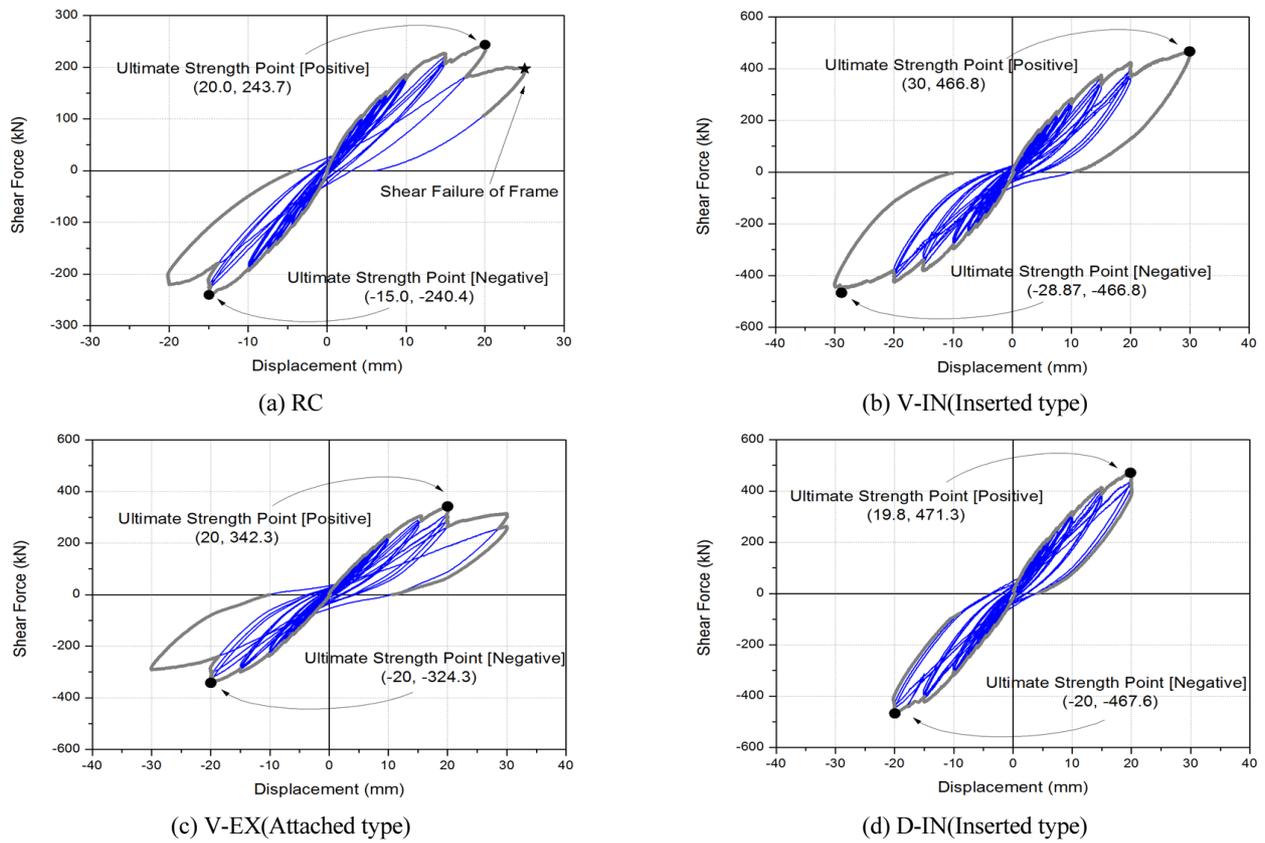


Fig. 8 Force-displacement curves of specimens

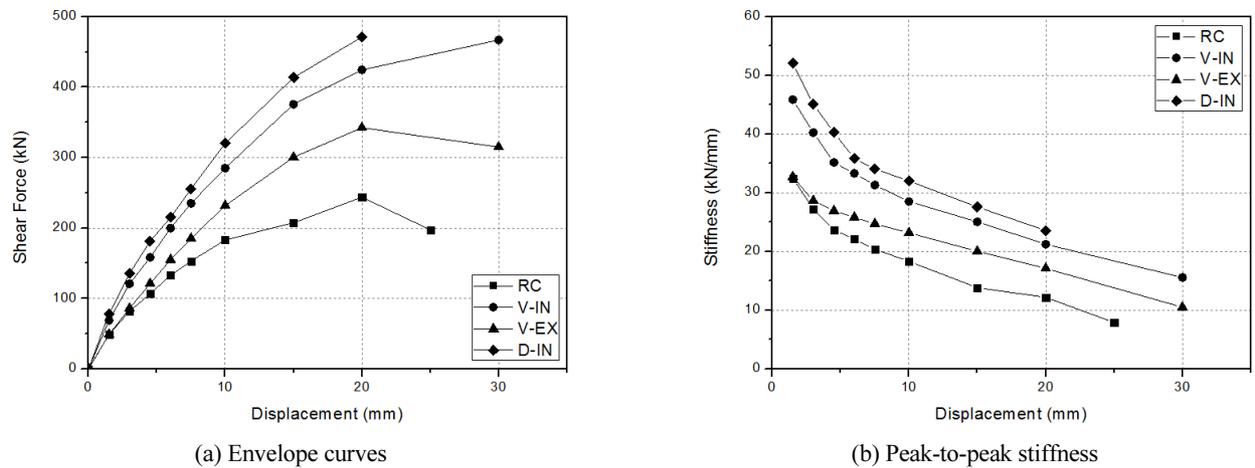


Fig. 9 Comparison of structural performances for specimens

외부 접합형인 V-EX 실험체의 경우 정가력 시 변위비 1.33%에 도달 하였을 때 최대하중 342.375 kN을 나타내었으며, 이후 골조에 발생한 전단균열이 진전되어 변위비 2%에 이르러 최종 파괴되었다. V-IN 실험체와 V-EX 실험체는 TS 댐퍼의 형상은 동일하나 시공 방식에 차이가 있는 경우로 창호 내부 삽입 방식의 강도증진효과가 뛰어나게 나타났으나, 외부에

부착하는 방식도 무보강 실험체에 비하여 제진 및 강도증진의 효과가 뛰어남을 알 수 있었다.

창호 내부 삽입형인 D-IN 실험체의 경우 시공방식이 유사한 V-IN 실험체와 유사한 경향을 나타내었다. 변위비 1.33% 정가력 시 최대내력 471.31 kN에 도달하여 목표내력에 도달함으로 인해 실험을 종료하였다. 최대 하중발현 시까지 뚜렷

한 내력저하 없이 강도증가 추세가 지속되었으며, 강도보강의 효과가 탁월 하였다.

Fig. 9와 Table 4에 각 실험체의 성능을 비교하여 나타내었다. 창호 내부 삽입형 V-IN 실험체와 D-IN 실험체는 기준 실험체인 RC 실험체 대비 각각 1.92배, 1.93배의 내력 증가를 보여주었고, 외부 부착형 V-EX 실험체는 1.4배의 내력 증가를 보여주었다. 더불어 무보강 골조 실험체와 TS 댐퍼 보강 골조 실험체의 누적에너지의 양에 2배 가까운 차이가 있음을 알 수 있었다. 단, 목표내력에 도달하여 실험을 종료하였던 창호 내부 삽입형 실험체(V-IN, D-IN)와 기준 실험체의 누적 에너지 양의 비교는 제외하였다.

#### 4. 결 론

TS 댐퍼 내진보강공법의 유효성 검증을 위한 구조실험의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 기준 실험체인 RC 실험체는 정가력 시 변위비 1.33%에서 최대하중 243.7 kN에 도달하였으며, 전형적인 전단파괴의 양상을 보여주었다. 이는 비내진 상세를 갖는 학교건물의 파괴모드를 확인할 수 있는 중요한 자료라고 판단된다.
- 2) 창호 내부 삽입형태의 시공방법을 적용한 V-IN 실험체와 D-IN 실험체는 TS 댐퍼의 강도증진 효과로 인하여 파괴 이전에 목표내력에 도달함으로써 실험이 종료되었다. 무보강 골조 실험체인 RC 실험체와 외부 부착형 실험체인 V-EX 실험체 보다 강도, 강성, 균열 측면에서 매우 우수한 성능을 나타내었다.
- 3) 외부 부착 방식의 시공방법을 적용한 V-EX 실험체는 정가력 시 변위비 1.33%에 도달하였을 때 최대하중 342.375 kN을 나타내었으며, 이후 골조에 발생한 전단균열이 진전되어 변위비 2%에 이르러 최종 파괴되었다. 창호 내부 삽입 방식에 비하여 강도, 강성의 측면에서 성능이 다소 낮게 나

타났으나, 기준 실험체인 RC 실험체에 비하여 강도, 강성, 균열, 에너지 소산 측면에 있어 우수한 성능을 보여주었다. 이를 통해 본 연구에서 제안한 TS 댐퍼 공법의 내진보강유효성이 검증되었다고 판단된다.

- 4) 내진 보수보강의 경우 공법 자체의 유효성과 더불어 다양한 현장의 상황에 따라 유연하게 적용할 수 있도록 다양한 방법으로 시공 시 성능에 대한 안정성이 보장되어야 한다. TS 댐퍼를 이용한 내진보강 방법은 창호 내부 삽입이 불가능한 경우에도 외부 부착 방식을 채택함으로써 목표로 하는 내진 보강 효과를 얻을 수 있는 우수한 공법으로 판단된다.

#### References

- Jeong, S. J. (2015), A Study on Hysteresis Characteristics and Seismic Performance of Buckling Resistance Steel Damper, Chocun University, Gwangju, Korea.
- Korean Agency for Technology and Standards (2014), Standard Test Method for Making and Curing Concrete Specimens, Korean Agency for Technology and Standards.
- Korean Agency for Technology and Standards (2017), Test Pieces for Tensile Test for Metallic Materials, Korean Agency for Technology and Standards.
- Lee, K. S., and Kim, H. J. (2012), Guideline on Seismic Evaluation and Upgrading of School Buildings, KORMARC, *Korean Institute of Educational Facilities*, 19(2), 22-25.
- Oh, S. H. (2001), The Principle of Earthquake Control System of Steel Framed Building and Application Method in Korea, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Korean Society of Steel Construction, 47(2), 96-105.

Received : 01/10/2018

Revised : 01/17/2018

Accepted : 01/24/2018

---

**요 지 :** 본 연구에서는 TS 내진보강공법의 내진보강 효과를 검증 할 목적으로 TS 댐퍼(Tension Spring-Damper)를 설치한 철근콘크리트 골조를 대상으로 한 반복 주기하중 재하 실험을 수행 하였다. 실험체는 기준 실험체인 무보강 골조 실험체와 3개의 보강 골조 실험체의 총 4개이며, 실험의 변수는 댐퍼 설치 여부, 댐퍼의 형상 및 시공방법이다. 그 결과 창호 내부 삽입 형식의 시공방법이 강도와 강성의 측면에서 2배가량, 외부 부착형식의 시공 방법이 에너지 소산의 측면에서 2배가량의 성능 향상을 나타내어 TS 내진보강공법이 현장 적용성과 내진보강 효과가 우수한 공법임을 확인할 수 있었다.

**핵심용어 :** 내진보수보강, 제진공법, TS 댐퍼, 창호 삽입형, 외부 부착형, 제진브레이스, 댐퍼 보강 골조, 주기하중

---