

연결보에 부착된 박판형 금속 감쇠기의 성능실험

Experiments on the Performance of a Thin-Plate Damper Attached to a Coupling Beam

이영욱¹⁾ · 채지용²⁾ · 박태준³⁾

Lee, Young Wook · Chae, Ji Yong · Park, Tae-Jun

국문 요약 >> 본 연구에서는 내력벽 시스템에 대하여 연결보의 단부에 적용이 가능한 박판형 금속감쇠기의 성능을 실험을 통하여 규명하고자 하였다. 박판형 금속감쇠기의 박판 두께와 길이를 변수로 하여 5개 시험체를 제작하였으며, 층간변위비 5%까지 반복하여 횡력을 가력하였다. 실험결과, 금속 박판에 좌굴발생 후 소성변형이 발생하면서 에너지 발산이 이루어졌으며, 기존의 일반 콘크리트 시험체보다 에너지 발산량이 크게 나타났다. 박판의 길이가 짧을수록 전단내력의 값은 증가하였으나 발산에너지의 양의 증가는 크게 나타나지 않았다. 실험 내력을 탄성좌굴해석과 비교한 결과, 해석에 의한 내력은 내력곡선 선형영역의 최대값을 적절히 예측함을 알 수 있었다.

주요어 내력벽 시스템, 연결보, 금속박판 감쇠기, 에너지소산

ABSTRACT >> To examine the performance of a thin plate damper attached to coupling beam of bearing wall system, 5 specimens were designed with the variable parameters of the thickness and length of a thin steel plate, which was constructed and tested with a lateral load with up to a 5% drift ratio. The result was that the total amount of the energy dissipation of the specimen with the thin plate damper was greater than that of the standard RC specimen, and the plate buckling and plastic deformation could be seen in steel plate. The shorter the length of the damper, the higher was the lateral resistant force, but there was no apparent increase in the energy dissipation. By comparison of the experiments with the elastic buckling analysis, it was shown that the buckling force from the analysis could properly estimate the maximum value of the linear elastic range.

Key words Bearing Wall System, Coupling Beam, Thin-Plate Damper, Energy dissipation

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내 대부분의 공동주택에서 적용되고 있는 내력벽 시스템은 벽체와 슬래브로 이루어져 있는 매우 경제적인 시스템이다. 내력벽 시스템에서 벽과 벽 사이를 연결하는 연결보는 마감과 구조적 필요성에 의해 사용되고 있다. 연결보는 바람이나 지진 등에 의한 횡하중에 대해 하나의 벽체에서 다른 벽체로 전단력을 전달하며, 그림 1에서 보는 바와 같이

벽체에 작은 변형이 발생하더라도 연결보에는 크게 증폭된 비탄성 변형이 이루어지고 이에 상응하는 상당한 외력이 작용하게 된다.⁽¹⁾

국내 내력벽 시스템에 대한 연구⁽²⁾에 따르면, 연결보의 경우 단면의 크기가 제한되어 있는데 이는 사람의 통행과 채광을 위하여 단면의 춤이 제한되며 연결보의 폭은 내력벽과 동일하여야 하기 때문에 단면 치수에 대한 제약에 의하여 부재력을 통해 산정되는 철근 배근을 수용하기가 쉽지 않다고 기술하고 있다. 따라서 현행의 설계관행은 연결보에

¹⁾ 정회원·군산대학교, 교수
(교신저자: leeyu@kunsan.ac.kr)

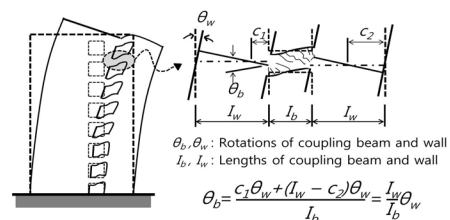
²⁾ 정회원·군산대학교, 박사과정

³⁾ 정회원·군산대학교, 석사과정

본 논문에 대한 토의를 2012년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

(논문접수일 : 2012. 2. 14 / 수정일 : 2012. 4. 3, 게재확정일 : 2012. 4. 4)

© 2011EESK www.eesk.or.kr



<그림 1> 병렬전단벽과 연결보의 변형⁽¹⁾

작용하는 내력을 만족하도록 설계하기 어려운 실정이다.

이러한 이유로 연결보는 설계 단계부터 취약성을 가지고 있다. 그러므로 지진 발생 시 가장 먼저 연결보의 손상이 발생하게 됨에 따라, 2차적으로 주요부재의 손상을 유발하게 되며 내력벽시스템의 내진 성능이 감소하게 된다.⁽³⁾ 가장 먼저 손상을 입게 되는 연결보는 강도이외에 에너지 소산이 발생할 수 있도록 충분한 에너지 발산능력을 가져야 한다.

에너지를 발산하는 방법으로 연결보의 단부에 감쇠기를 부착하는 방법이 있다. 그러나 납, 고무, 점탄성 등의 재료로 구성된 감쇠기⁽⁴⁾는 반복적인 하중이 작용함에 따라 휨과 전단력이 동시에 작용하는 연결보에는 적합하지 않다. 이러한 조건을 만족할 수 있는 재료로 금속재료가 가장 적합하다 할 수 있다.⁽⁵⁾

금속재료를 이용한 감쇠기는 소성 거동하는 부재의 하중-변위 이력에 따른 에너지소산능력을 이용하여 구조물에 전달되는 에너지를 소산시키는 장치이다.

그림 2는 가장 대표적으로 역삼각형의 얇은 판들을 겹친 플레이트형(ADAS) 소성 감쇠기이다. 이 감쇠기의 적용은 전단력이 작용하는 곳에는 효율적으로 적용이 가능하나 휨이 작용하는 곳에는 적용하기 곤란하다.⁽⁴⁾ 그러나 다른 감쇠기와 비교할 때 플레이트형 감쇠기는 반복되는 이력거동 동안에 강성이나 강도에 큰 변화가 없어 안정적으로 거동한다는 점과 에너지 소산효과가 높다는 점이다.

금속 박판을 사용한 감쇠기는 극한상태에서 박판의 국부 좌굴에 의한 인장응력장(Tension Field Action)이 발생하여, 우수한 강도뿐만 아니라 연성능력을 발휘 할 수 있다.⁽⁵⁾

Caccese et al. (1993)⁽⁶⁾, 박홍근 등 (2006)⁽⁷⁾의 연구에 의하면 보다 얇은 강판을 사용할 경우, 모멘트저항골조와 같이 전단지배거동을 나타내는 전단지배형 강판시스템이 가능하다. 이 전단지배형 강판시스템은 우수한 강도뿐만 아니라, 모멘트저항골조에 버금가는 변형 능력을 발휘하는 최적의 내진구조시스템이 가능함을 보여 주었다.^{(5),(7)}

본 연구의 대상인 연결보 단부에 전단과 휨이 동시에 작용하므로 전단력에만 저항하는 금속감쇠기의 적용은 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 박판형 금속감쇠기를 채택하여

연결보의 적용함으로, 연결보의 손상을 방지하면서 에너지 발산능력을 향상시키고자 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

기존 연결보의 대표성을 갖는 기준 모델을 설정하고 이 기준 모델의 양단부에 부착이 가능한 박판형 금속 감쇠기를 설계하고 제작하여 실험을 수행하였다.

박판형 금속감쇠기의 설계를 위하여 좌굴 해석을 수행하였으며, 콘크리트 연결보와 벽에 부착하여 실험하였다. 설계에 대한 상세한 내용은 2장에 기술하였다. 실험의 주요변수로는 박판의 두께와 길이 변화가 내력과 에너지 소산량에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다.

2. 실험모델 설계

2.1 대상 구조 모델

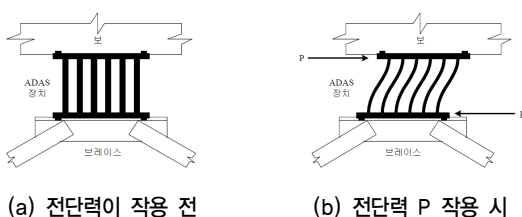
본 연구의 연결보의 형상으로 국내 내력벽시스템의 조사 연구⁽²⁾를 바탕으로 그림 3과 같은 일반적인 형태를 설정하였다. 즉, 좌우의 전단벽을 연결하는 연결보의 춤은 450mm 두께는 200 mm, 길이는 1,100 mm 이다. 연결보의 춤에 대한 경간비는 $1100/450=2.44$ 로 건축구조설계기준⁽⁸⁾에 따르면 대각선철근뭉음을 반드시 설치할 필요는 없다.

이러한 구조물의 실험을 위하여 2/3 규모로 실험체를 설계하고 제작하였다. 또한 연결보의 경우는 지진력 작용 시 보 중앙의 모멘트가 '0'이므로 힌지로 모델링이 가능하므로 그림 3와 같이 전단벽과 연결보의 일부만을 실험체 대상으로 하였다.

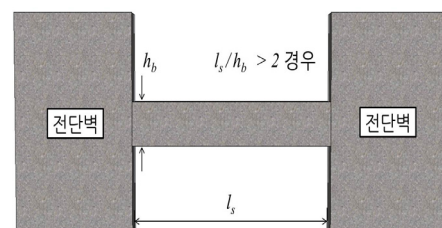
2.2 금속감쇠기 설계

그림 4(a)는 본 연구를 위한 전단벽과 연결보의 일부인 시험체 대상이며, 연결보와 전단벽 사이에 그림 4(d)의 연결 플레이트를 이용하여 그림 4(c)의 감쇠기를 부착하도록 설계하였다.

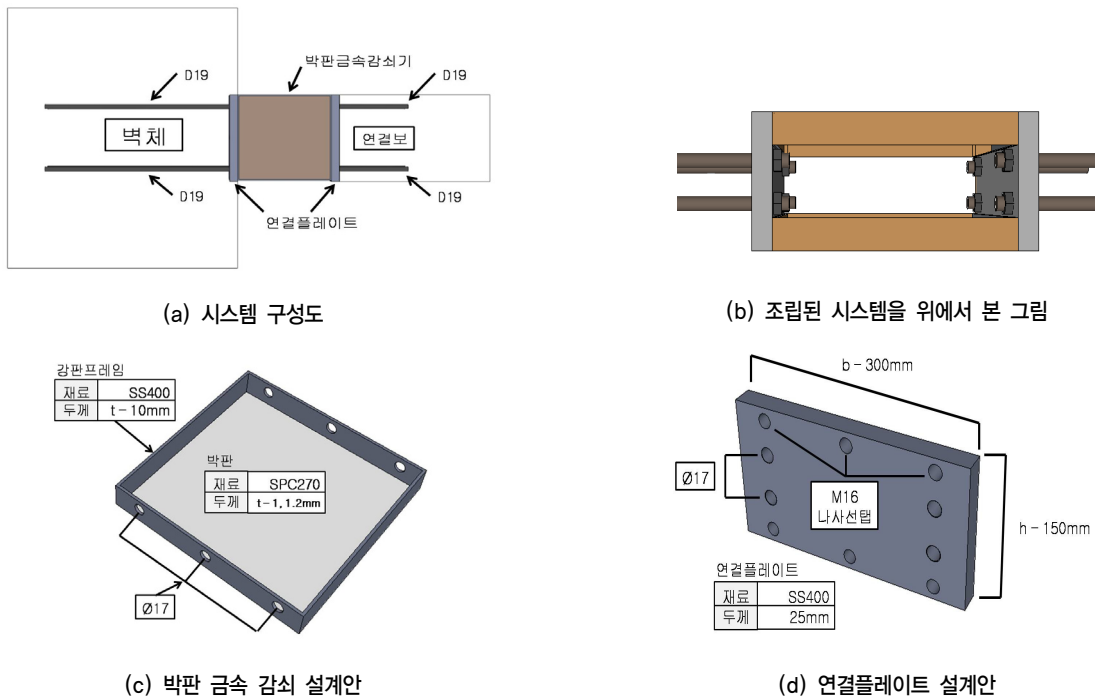
금속감쇠기의 박판이 안정적으로 에너지를 소산하도록



〈그림 2〉 플레이트형 소성감쇠기의 거동



〈그림 3〉 대상 구조모델



〈그림 4〉 실험체모델

도록 고정할 수 있도록 강판 프레임을 테두리에 설치하였다. 이 강판 프레임은 두께와 높이 10×30mm 인 강재를 사용하여 사각형의 형태로 구성되어 있으며, 각 모서리는 모두 모살 용접하였다. 이러한 강판 프레임은 박판에 좌굴이 선행하도록 충분한 좌굴강도를 갖도록 하였으며, 휨에 의한 극한강도 M_p 가 연결보의 공칭휨강도 M_n 보다 작도록 설계하였다. 단, M_p 는 상하측의 강판 프레임이 항복강도에 도달할 때의 저항모멘트이며 철관의 영향은 고려하지 않은 값이다.

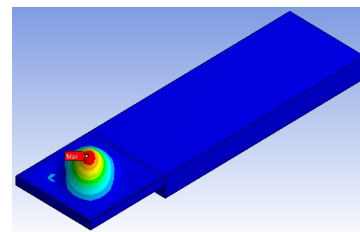
금속감쇠기의 고정을 위해 시험체의 각 단부에 그림 4(d)의 연결플레이트를 부착하였다. 연결플레이트는 D19철근 단부를 나사선으로 가공하여, 연결플레이트를 관통하여 고력볼트로 조임하였다.

최종적으로 설계된 박판형 금속감쇠기의 형상은 그림 4(c)과 같으며, 이러한 감쇠기는 연결보의 단부양쪽의 매립된 연결플레이트에 고력볼트를 이용하여 부착하였다.

2.3 금속감쇠기 해석

실제 실험에서는 금속감쇠기를 양측에 설치하나, 좌우대칭이므로 한쪽만을 그림 5와 같이 8절점 입체(Solid) 요소를 이용하여 모델링하였다. 콘크리트 부분은 좌굴이 발생하지 않으므로 하중이 작용하는 평면에 대한 직각방향의 변위는 구속하였다.

설계안으로 제시된 금속감쇠기의 좌굴하중을 산정하기



〈그림 5〉 CB-PL-1.0(30) 모델의 좌굴해석 결과

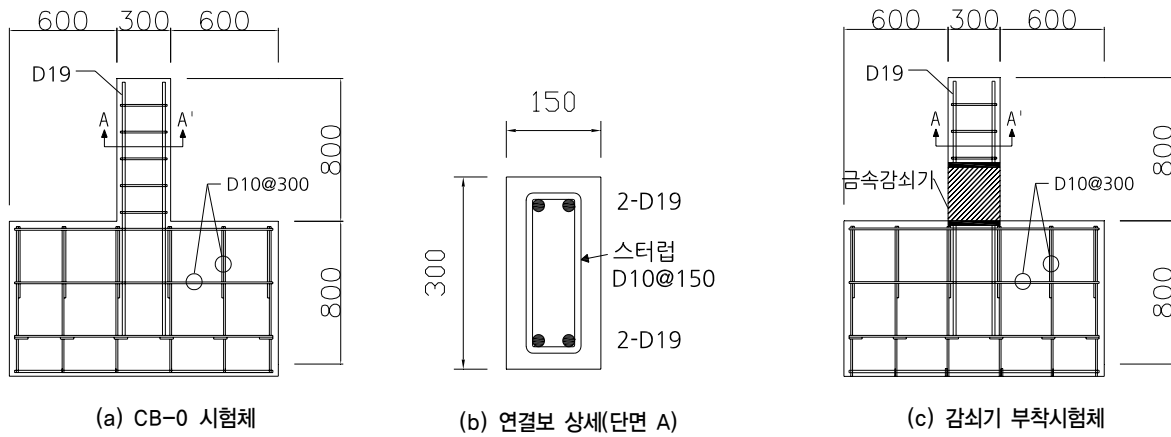
위해 ANSYS 프로그램을 이용한 선형 좌굴해석을 수행하였다. 하중은 연결보의 0.55m 지점에 횡방향으로 가력하였으며, 박판의 두께와 길이를 변수로 설정하여 해석조건에 반영하였다.

그림 5는 박판두께 1.0mm이고 길이가 300mm인 경우에 대한 좌굴해석 결과를 나타낸 것이다. 모든 해석에서 모델들이 박판에서 좌굴이 발생하도록 하였다. 해석에 따른 좌굴하중을 표 5의 두 번째 열에 정리하였다. 표에서 보듯이 좌굴하중은 박판의 두께가 두꺼워지거나 길이가 짧아질수록 증가하였다.

3. 금속감쇠기 성능 실험

3.1 실험개요

감쇠기의 성능 평가를 위해 기준모델 CB-0 시험체와 감쇠기를 부착한 시험체를 대상으로 횡 저항 능력실험을 수행



〈그림 6〉 시험체 배근 상세

〈표 1〉 시험체의 구분

시험체명	실험 변수	
	박판두께	박판길이
CB-0	감쇠장치 미부착 시험체, 기준모델	
CB-PL-1.0(30)	1.0mm	300mm
CB-PL-1.0(27)	1.0mm	270mm
CB-PL-1.0(24)	1.0mm	240mm
CB-PL-1.1(30)	1.1mm	300mm
CB-PL-1.2(27)	1.2mm	270mm

박판길이(cm)
 박판두께(mm)

〈표 2〉 실험체 정수

철근	항복강도 $F_y(1)$ (MPa)	인장강도 $F_u(2)$ (MPa)	사용부위
D10	529.6	652.7	스터럽, 벽체
D13	499	625.4	벽체
D19	492.2	602.1	주근, 벽체
SS400	318.5	473	강판프레임
SPC270 (THK-1mm)	177.5	285.3	박판
SPC270 (THK-1.2mm)	229.2	333	박판

하였다.

시험체 모델은 실물의 2/3규모로 제작되었다. 보와 벽두께는 동일하며, 연결보의 춤은 300mm, 폭은 150mm, 하중을 받는 보의 길이는 550mm로 제작하였다. 이러한 크기의 벽체와 연결보의 제작을 위하여 일반 콘크리트와 일반 철근을 사용하였으므로 실물 축소에 따른 특별한 상사 법칙을 적용하지 않았다. 다만, 보의 공칭 내력을 먼저 결정하고 그에 따라 감쇠기의 내력을 결정하고 설계하였다. 보의 스테

〈표 3〉 시험체의 측정항목

계측기 번호	측정위치	측정내용	측정기
001	연결보 상부 550mm	수평변위	변위변환기 100mm
002	연결보 상부 철판 1/2		
003	연결보 하부 철판 1/2		변위변환기 50mm
004	벽체 좌측 하부	수직변위	변위변환기 50mm
005	벽체 우측 하부		

럽은 D10@150으로 배근하였다. CB-0 시험체와 감쇠기가 부착된 시험체의 배근상세는 그림 6과 같다.

시험체의 콘크리트 28일 강도가 23.8Mpa로 나타났으며, 철근과 철판의 제원은 표 2와 같다.

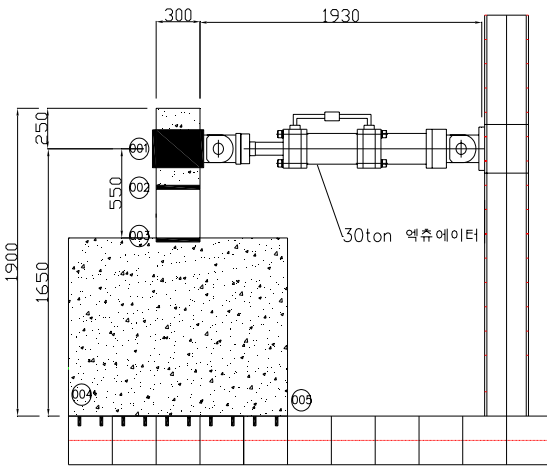
표 1과 같이 감쇠기 변수에 따라 시험체를 구분하였으며, 감쇠기가 부착된 시험체는 감쇠기만 교체하여 실험을 진행하였다.

3.2 실험방법

제작된 시험체는 그림 7에서 보듯이 미리 시험체에 매립된 앵커를 통해 실험실의 지그에 고정하였으며, 연결보의 550mm 지점에 30ton 액츄에이터를 이용하여 횡방향으로 가력하였다.

표 3과 같이 변위변환기를 이용하여 총 5개의 항목을 측정하였다. 각 계측기 번호의 위치는 그림 7에 표시하였다. 연결보 상부 550mm 지점과 상부철판의 1/2지점 그리고 최하단 지지점으로부터 50mm의 수평변위를 측정하였으며, 벽체하부의 좌측과 우측에서 수직변위를 측정하였다.

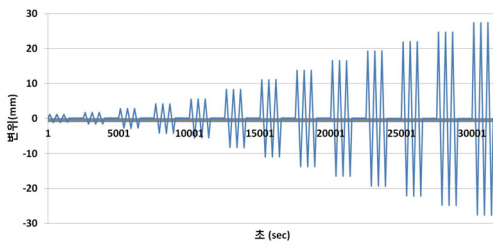
하중가력은 액츄에이터를 이용한 수평하중으로 표 4과 같이 변위비가 0.2%부터 시작하여 최종 변위비 5%에 도달할 때까지 총 13단계의 변위비로 구분하여 가력 하였으며,



〈그림 7〉 설치된 시험체와 계측위치

〈표 4〉 수평변위이력

변위비(%)			
1단계	2단계	3단계 ~ 5단계	6단계 ~ 13단계
0.2	0.3	0.5% ~ 1% (0.25% 씩 증가)	1.5% ~ 5% (0.5% 씩 증가)



〈그림 8〉 수평하중이력곡선

그림 8과 같이 각 단계별 3사이클(Cycle)의 반복하중을 가력 하고 강도의 감소현상을 관찰하였다.

3.3 실험결과

각 시험체의 하중-변위 관계도를 그림 9에 작성하였다. 감쇠기가 부착된 시험체의 관계도는 좌굴해석에 따른 좌굴 하중을 같이 표시하였고, 표 5에서 최대하중과 그 때의 변위 그리고 최종변위비 5%일 때 하중을 최대하중에 대한 비율로 나타내었다.

그림 9에서 보듯이, 모든 시험체들은 원점대칭의 이력거동을 보여주고 있으며, 감쇠기가 부착된 시험체들은 감쇠기와 콘크리트부재 사이의 이격거리로 인해 약간의 핀칭(Pinching)⁽⁹⁾현상을 보였다. 일반적인 금속감쇠기 이력모델⁽⁴⁾과 비교하면 평행사변형의 모양이 부족하게 나타났다. 일반적인 금속감쇠기에는 전단력만 작용하지만 연결보의 양단부에는 전단력과 휨이 작용하기 때문에, 에너지의 발산량

이 큰 평행사변형의 모습이 나타나지 않았다.

그림 9의 하중-변위 관계도에서 CB-0 시험체는 타시험체에 비해 높은 내력을 보유했음에도 불구하고, 변위비 2%에서 항복 후 급격한 내력감소를 보여주었으며, 최종변위비 5%의 강도비는 최대하중의 60% 미만으로 나타났다. 반면에 감쇠기가 부착된 시험체들은 항복 후에도 급격한 내력저하 없이 꾸준한 성능을 유지하였다.

그림 10에서 보여진 양상에서 반복 거동 후에도 CB-0 시험체는 접합부 파괴 후에 벽체로 균열이 이어지면서 벽체에 손상을 유발하였지만, 감쇠기가 부착된 시험체는 감쇠기로 에너지가 집중되어 벽체에 손상이 발생하지 않았음을 볼 수 있다.

4. 결과 분석

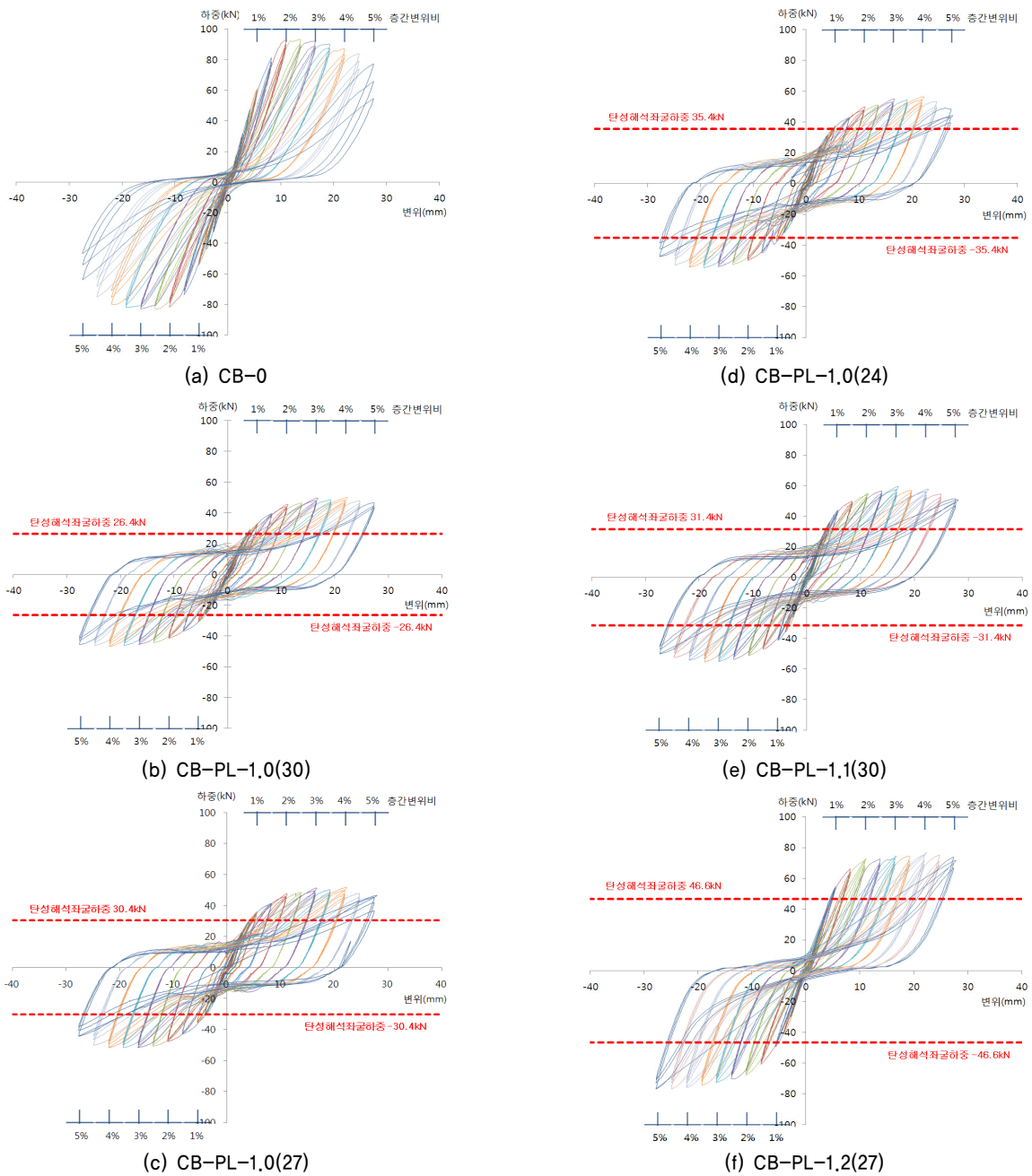
4.1 발산 에너지량

그림 12는 시험체의 누적 발산에너지량을 나타낸 것으로, 감쇠기가 부착된 시험체의 값이 CB-0 시험체보다 크게 나타났다. 다만, 두께 1.2T 시험체의 경우에 발산에너지의 값이 CB-0보다 작게 나타났다.

그림 11은 그림 7의 1번과 2번 변위변환기 값을 3단계부터 11단계까지 2단계별로 정리한 그래프이다. 그림 11에서 CB-PL-1.0(27) 시험체는 하중가력 단계가 증가 할수록 하부의 변위증가량의 비율이 증가함을 볼 수 있으나, CB-PL-(27) 시험체는 단계의 증가에 상관없이 거의 직선의 형태를 나타내고 있다. 직선의 형태는 강제회전 거동을 의미한다. 따라서 CB-PL-1.0(27) 시험체는 전단에 의한 항복이 감쇠기에 많이 발생하였으나 CB-PL-1.2(27) 시험체는 전단 항복이 발생하지 않았음을 의미한다.

그림 11(a)와 (b)에서 보면 7단계와 9단계, 11단계의 변형의 패턴이 유사함을 볼 수 있다. 이중에서 9단계(층간변위비 3%)를 선택하여 모든 시험체의 금속감쇠기의 변형도를 그림 13에 나타내었다. 그림 13에서 수직축 금속감쇠기의 횡변위비는 2번 변위변환기로 측정한 수평변위를 박판의 길이로 나눈 값으로, 금속감쇠기 박판의 전단변형비를 의미한다. 두께 1.0T와 1.1T 시험체는 감쇠기의 변위비가 층간변위비 3%보다 큰 값을 나타내었지만, 두께 1.2T 시험체는 2.5%의 변위비를 나타내어 상대적으로 변형비가 작았음을 보여주었다.

따라서 그림 12에서 두께 1.2T 시험체의 경우 누적 발산에너지량이 작은 이유는 금속 박판감쇠기에 상대적인 변형이 작았기 때문이다. 즉, 금속 박판감쇠기에 유도하고자 하는 전단변형이 발생하지 않음에 따라 감쇠기가 제대로 작동



〈그림 9〉 수평하중이력곡선

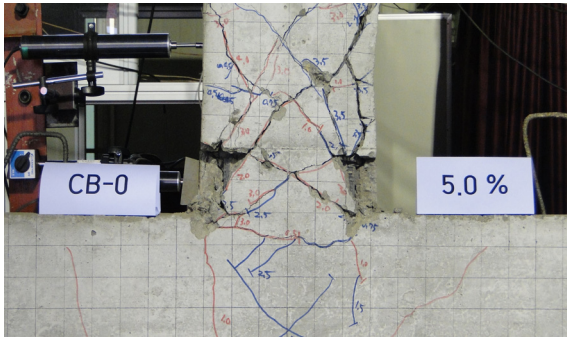
〈표 5〉 실험체 내력 비교

시험체명	탄성좌굴하중 (kN)	실험							
		(1) Pmax (kN)		최대하중 변위(mm)		(2) 최종단계 5% 최종 Cycle 하중 (kN)		(3) = (2)/(1)	
		(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
CB-0	85.5*	93.2	-83	13.7	-16.4	55.8	-44.1	59.9%	53.1%
CB-PL-1.0(30)	26.4	48.54	-46.6	19.3	-22	44	-40.4	90.6%	86.7%
CB-PL-1.0(27)	30.4	50.2	-51.8	19.2	-16.7	38.7	-37	77.1%	71.4%
CB-PL-1.0(24)	35.4	54.6	-54.5	25	-25.3	41	-40.4	75.1%	74.1%
CB-PL-1.1(30)	31.4	57.5	-55.3	16.6	-19	46.9	-44.5	81.6%	80.5%
CB-PL-1.2(27)	46.6	75.1	-77	21.4	-27.7	66.7	70.2	88.8%	-91.2%

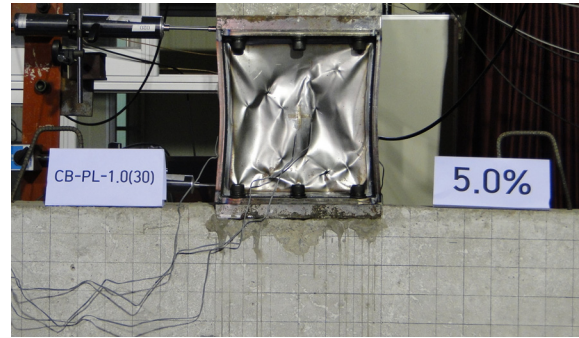
박판길이(cm)

 박판두께(mm)

* CB-0 하중 값은 연결보가 공칭강도 M_u 에 도달할 때의 횡력

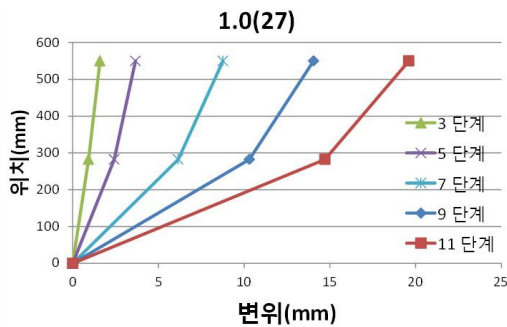


(a) CB-0 시험체 변위비 5% 단계

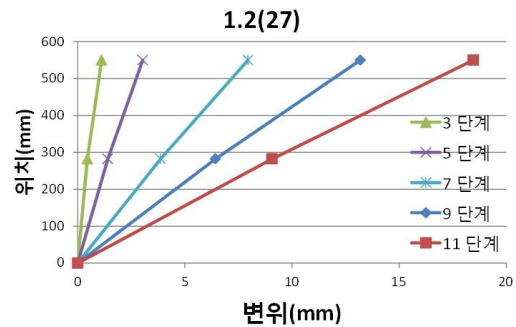


(b) CB-PL-1.0(30) 시험체 변위비 5% 단계

〈그림 10〉 시험체 시험 후 영상

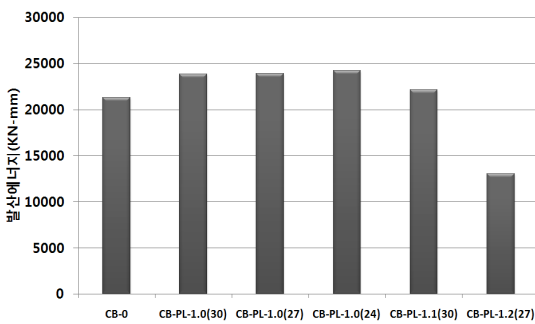


(a) CB-PL-1.0(27) 높이별 변위

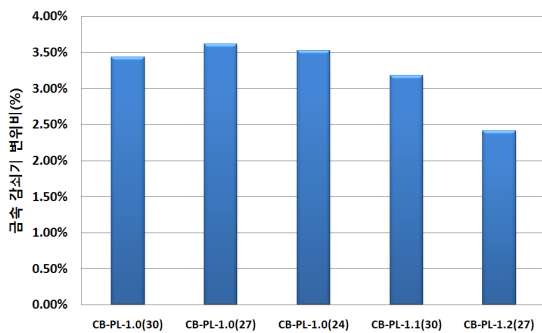


(b) CB-PL-1.2(27) 높이별 변위

〈그림 11〉 높이별 LVDT에서 측정된 횡변위



〈그림 12〉 누적 발산 에너지량 비교



〈그림 13〉 금속감쇠기의 횡변위비 (9단계)

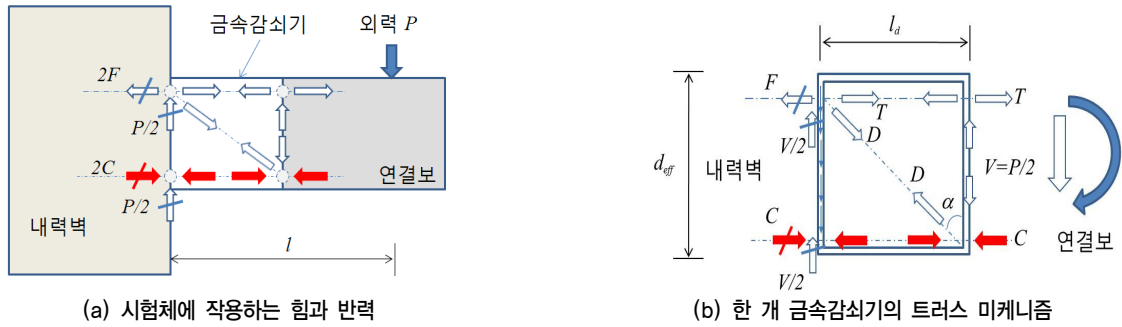
하지 못하여 발산에너지량이 작게 나타났다. 이에 대한 자세한 원인분석은 4.2절에서 다루기로 한다.

그림 9에서 두께 1.0T 시험체에 대하여, 박판 길이가 줄어들수록 최대내력은 증가하였지만, 그림 12의 결과와 같이 누적 발산 에너지량에서는 큰 증가를 보여주지 않았다.

본 실험의 결과, 박판형 금속감쇠기를 적절하게 설계하여 박판에 좌굴이 먼저 발생하도록 유도하면 그림 10의 (b)와 같이 박판에 'X'자 형태로 판에 소성변형이 발생하면서 에너지 발산이 이루어져 기존의 일반 콘크리트 시험체보다 에너지 발산량이 증가함을 확인하였다.

4.2 힘의 전달 메커니즘

그림 14(a)는 시험체에 작용하는 외력 P 에 따른 힘의 전달 메커니즘을 묘사한 그림이다. 외력에 의하여 금속감쇠기에는 전단력과 모멘트가 작용하게 된다. 모멘트로 인하여 상부에 인장력과 하부에 압축력이 발생한다. 그림 14(b)는 한 개의 금속감쇠기에 작용하는 하중을 도시화한 것으로 한 개의 감쇠기가 받는 전단력 $V = P/2$ 이다. 금속 감쇠기의 박판은 얇아서 압축력은 받지 못하고 인장력만 받을 수 있다고 가정하였다. 금속감쇠기 박판에 작용하는 사인장력은 D 이며, 수직선과 이루는 각도는 α 로 표시하였다. 상부의 반력 F 는 인장력 T 와 D 의 수평분의 합이다. 작용하는 힘의 수식을 정리하면 다음과 같다.



〈그림 14〉 실험체 힘의 전달 메커니즘

〈표 6〉 실험체 내력 비교 (그림 9참조)

시험체명	P*(kN)	V**(kN)	D(kN)	B(mm)	T(kN)	F(kN)
CB-PL-1.0(30)	47.6	23.8	33.6	118.0	51.3	75.1
CB-PL-1.0(27)	51.0	25.5	34.3	120.4	55.0	78.0
CB-PL-1.0(24)	54.6	27.3	34.9	122.6	58.8	80.6
CB-PL-1.1(30)	56.4	28.2	39.9	127.2	60.8	89.0
CB-PL-1.2(27)	76.1	38.0	51.1	128.0	82.0	116.2

* P는 표 5에서 Pmax의 (+)와 (-)의 절대값의 평균

** V는 P의 1/2으로 한편의 금속감쇠기에 작용하는 힘 (그림 14 참조)

$$C = T = lP/d_{eff} \quad (1)$$

$$D = V/\cos\alpha \quad (2)$$

$$F = T + D\sin\alpha \quad (3)$$

$$\tan\alpha = l_d/d_{eff} \quad (4)$$

단, l 는 지지단부로부터 하중이 작용하는 점까지의 거리이고, d_{eff} 는 금속감쇠기의 유효층으로 금속감쇠기의 높이에서 인장단에서 연결볼트의 중심선까지의 거리와 압축단에서 압축을 받는 플레이트 중심선까지의 거리를 뺀 길이이다.

표 6은 실험결과에서 계측된 최대 P 를 사용하고 수식 (1)~(4)을 이용하여 작용하중을 계산한 값이다. 단, P 는 표5의 음과 양의 최대값의 평균값이다. 표 6에서 B 는 D 의 값을 철판의 강도와 두께로 나눈 값으로 박판이 작용하는 유효폭을 의미한다. B 는 전반적으로 120mm 내외의 값을 보여주고 있으므로, 금속감쇠기의 높이가 300mm임을 고려하여 볼 때 B 의 값이 합리적이라고 판단된다.

최종적으로 상단 볼트에 작용하는 반력 F 의 값을 보면 두께 1.0T 시험체의 경우는 80kN의 값으로 실험에서 사용한 F10T 직경 16mm 볼트의 허용내력 61kN을 약간 초과하나, 두께 1.2T 시험체의 경우는 거의 2배의 수준까지 됨을 알 수 있다.

실험 시 두께 1.0T 시험체는 볼트 체결과 해체가 용이하였으나, CB-PL-1.2(27) 시험체의 경우는 실험종료 후 볼트 체결을 푸는데 많은 애로가 있었다. 따라서 두께 1.2T 시험

체의 경우에는 지지 볼트에 과도한 인장력이 작용하여 볼트에 손상이 발생하였음을 알 수 있었다. 참고로 두께 1.2T 시험체는 그림 10(b)와 같은 ‘X’자 형상이 나타나지 않았다. 이러한 힘의 전달 메커니즘을 고려할 때, 금속감쇠기 설계 시 상하부의 접합부에 매우 큰 인장력이 발생하므로 이를 완화하는 방안이 강구되어야 할 것이다.

4.3 탄성좌굴 해석과 내력

그림 9 (b)~(d)에 나타낸 바와 같이 탄성좌굴 해석에 의하여 계산된 내력은 실험의 내력곡선에서 비선형 영역으로 넘어가는 전이 영역에 위치하고 있음을 볼 수 있다. 따라서 판단형 금속 감쇠기의 경우 탄성좌굴해석결과는 전단내력에 대하여 어느 정도 안전율을 가지고 있으므로 설계용 전단내력의 값으로 참고할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 연결보의 층이 스패의 2보다 큰 내력벽 시스템에 대하여 연결보의 단부에 적용 가능한 박판형 금속감쇠기를 탄성좌굴해석에 따라 설계하고, 실험크기의 2/3 규모로 실험을 수행하고 비교 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 탄성좌굴해석을 통하여 박판에 좌굴이 선행되도록 박판형 금속감쇠기를 설계하면, 횡하중이 작용 시 박판에 좌

굴이 선행되고 소성변형이 박판에 발생하면서 에너지 발산이 이루어져 기존의 일반 콘크리트 시험체보다 에너지 발산량이 크게 나타남을 확인하였다. 그러나 힘의 전달 미커니즘에 의하여 박판의 상하 연결단부에는 매우 큰 인장력이 작용하게 되므로 접합부 설계에 주의하여야 함을 알 수 있었다.

2. 박판의 내력은 박판의 두께와 길이와 높이에 의하여 변동되며, 동일한 박판의 두께의 경우에 박판형 금속감쇠기의 길이가 짧을수록 전단내력은 상승하였고 발산에너지량도 미소하게나마 증가함을 확인하였다.
3. 탄성좌굴해석에 의한 내력은 실험의 내력곡선에서 비선형 영역으로 넘어가는 전이 영역에 위치하는 것으로 나타났다으므로, 탄성좌굴해석에 의한 하중은 선형탄성 구간의 최대내력값으로 볼 수 있다.

이러한 실험 연구를 통하여 박판형 금속감쇠기가 연결부의 단부에 적용이 가능하다는 것을 확인하였으나, 내력과 에너지 발산량에 영향을 미치는 변수 등에 대한 추가 연구가 필요하다.

감사의 글

본 논문은 2010년 한국연구재단 지역대학우수과학자지원사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. Paulay, T., "Coupling beams of reinforced concrete shear walls," *Journal of the Structural Division, ASCE*, Vol. 97, No. 3, 843-862, 1971.
2. 채지용, 철근콘크리트 내력벽시스템의 내진성능평가 -1990년대 공동주택을 중심으로, 석사학위논문, 군산대학교, 2011.
3. 이영욱, 채지용 "연결보가 있는 철근콘크리트 내력벽시스템의 내진성능평가 -1990년대 공동주택을 중심으로-," 지진공학회 논문집, 제15권, 제4호, 2011.
4. 민경원, 김진구, 강경수, 지진성능수준에 따른 에너지 소산형 감쇠기의 설계 및 적용 방법에 관한연구, 한국과학재단, 특정 기초연구보고서(R01-1999-000-00298-0), 2002.
5. 박홍근, 최인락, 전상우, 김원기, "다양한 웹강판 상체에 따른 골조강판벽의 구조성능," 한국강구조학회 논문집, 제19권, 제1호, 2007.
6. Caccese, V., Elgaaly, M., and Chen, R, "Experimental study of thin-plate shear walls under cyclic load," *J. Strut Eng*, 119(2), 573-587, 1993.
7. 박홍근, 최인락, 전상우, 김원기, "전단지배 강판벽의 연성능력," 한국강구조학회 논문집, 제18권, 제4호, 2006.
8. 대한건축학회, 건축구조기준 및 해설, 2009.
9. 박홍근, 임태성, "힘지배 철근콘크리트 부재의 핀칭과 에너지 소산능력," 한국콘크리트학회 논문집, 제15권, 제4호, 2003.