

강봉댐퍼의 단면형상과 형상비에 따른 변위의존성 및 성능 평가

이현호^{1*}

Displacement Dependency and Capacity Evaluation According to the Cross-Sectional Shape and Aspect Ratio of Steel Rod Dampers

Hyun-Ho Lee^{1*}

Abstract: In this study, the displacement dependence, strength, and energy dissipation capacity of the steel rod damper were evaluated. The test variables were cross-sectional shape and aspect ratio. The 6th test specimens were made for performance test. From the test results, it was evaluated that the displacement dependence conditions of design code were satisfied in all specimens. And the strength effect according to the cross-sectional shape was minimal. As a result, the strength and energy dissipation capacity of the aspect ratio of 13.7 were evaluated as excellent.

Keywords: Steel rod damper, Displacement dependency, Cross-sectional shape, Aspect ratio

1. 서론

전북 장수군에 2023년 7월 27일 발생한 규모 3.5 지진은 다행스럽게도 주택 담장 균열 및 공동주택 외벽 균열 등의 경미한 피해만 유발하였다. 그렇지만 이 지진은 2023년 7월까지 한반도에서 발생한 59회 지진중 세 번째로 큰 규모이며, 내륙 지진 24회 중에서는 최대 규모이다. 또한 2020년 4월 27일과 2021년 2월 6일에 이번 지진과 거의 동일한 위치와 깊이에서 각각 규모 2.8과 2.7의 지진이 발생했다. 2020년 이전 해당 지역의 지진 활동이 없었기 때문에 2020년 지진 이후 단층 활동이 시작되었을 가능성이 있다. 즉 새로운 지진 위협이 다가오는 것이다. 이에 전북 지자체에서도 특별한 지진 재난 방재 대책을 강구하여야 될 것이다. 2023년 4월 27일 행정안전부에서는 2022년도 기존 공공시설물 내진보강대책 추진 결과, 전국 기존 공공시설물 내진성능 확보율(내진율) 75.1%를 달성했다고 발표하였다. 2021년 72% 이후 3.1%의 내진보강이 더 진행된 것이다. 시설 종류별로는 공공건축물이 가장 많았으며 학교시설, 도로시설물 순이다. 교육부, 국방부, 국토교통부 순으로 내진성능 확보 실적이 많았으며, 자치단체별로는 경기도, 경상북도, 제주특별자치도 순인 것으로 발표되었다. 향

후 민간 건축물의 내진보강도 지속적으로 진행하여야 할 필요가 있다. 학교 시설과 같이 RC 골조로 구성된 건축물은 강제프레임 보강이나 강제댐퍼 등을 적용한 특수 공법이 많이 적용되고 있다. 또한 아파트의 인방보에 강제댐퍼를 설치하여 특수전단벽구조가 아닌 일반전단벽구조로 변경하여 사용하는 사례도 많다. 이러한 강제댐퍼는 경제성이 우수하며, 손상시 손쉬운 교체가 용이한 장점이 있다. 강제댐퍼는 강판댐퍼와 강봉을 사용한 강봉댐퍼 등이 있는데, 강봉댐퍼는 강판댐퍼의 일방향성을 개선한 것으로 파괴시의 스트럿 좌굴을 다소 줄일 수 있는 것으로 보고되고 있다.

본 연구에서는 Lee(2020)의 기존 연구결과를 참고로 하여 강봉댐퍼를 개발하였다. 즉 강봉댐퍼의 댐퍼부분과 연결판을 각각 만들어, 서로 용접하는 것으로, 작업 공정이 매우 단순하고, 빠른 장점이 있다. 또한 성능실험결과 용접부분이 판단되지 않고 댐퍼가 에너지를 흡수하는 것으로 평가되었다. 제작된 강봉댐퍼는 KDS 41 17 00(건축물내진설계기준)에서 제시한 변위의존성 평가를 진행한다. 또한 강도 및 에너지소산능력을 평가하여, 강봉댐퍼의 성능을 검증하고자 한다. 변위의존성 실험은 기준에 의거 진행하며, 실험체 변수는 강봉댐퍼 단면형상 및 댐퍼 높이에 대한 지름 비, 즉 형상비이다. 이를 통하여 최적의 강봉댐퍼를 선정하는 것이 본 연구의 목적이다.

¹정회원, 동양대학교 스마트건축공학과 교수, 교신저자

*Corresponding author: hhlee@dyu.ac.kr

Professor, Department of Smart Architecture Engineering, Dongyang University

•본 논문에 대한 토의를 2023년 11월 30일까지 학회로 보내주시면 2023년 12월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

2. 기존 연구

Chen et al.(2015)은 고속도로 다리 보강을 위해 Fig. 1과 같

은 테이퍼 형태의 강봉 댐퍼 성능실험을 수행하였다. 정적 및 이력시험을 진행하였으며, 저탄소강을 사용하였다. 댐퍼의 재료적 특성은 매우 안정적이었으며, 유효강성도 안정적으로 감소하였으나, 적은 변위에서 감쇠가 급격히 증가하는 것으로 나타나, 강종과 목포 변위에 대한 감쇠 평가가 필요함을 제시하였다.

Oh and Choi(2017)는 강봉의 형상비를 변수로 한 성능실험을 Fig. 2와 같이 실시하였으며, 형상비에 따른 특성을 평가하였다. 형상비는 강봉의 지름 대 길이 비이며, 강봉의 길이는 200mm, 지름은 30mm와 50mm, 즉 형상비 0.15와 0.25를 실험 변수로 하였다. Fig. 2의 파괴 양상과 이력 실험결과 강봉댐퍼의 하중-변위 곡선은 방추형으로 안정적인 이력거동을 나타내었으며, 형상비가 커질수록 강성이 증가하는 반면 최대 변위는 감소하는 것으로 평가되었다. 이상으로부터 강봉 댐퍼의 형상비가 하중-변위 능력에 미치는 영향이 큰 것으로 평가되었다.

Maida et al.(2019)은 경량 RC 벽교각과 강재슬릿 댐퍼 사이의 연결부 손상 및 경량 RC 벽교각에 축력이 작용하는 등의 원인으로 구조물의 감쇠력이 안정되지 못하는 문제를 해결하기 위해 방향성이 우수한 강봉댐퍼를 사용하였다. 강봉댐퍼를 매개변수로 한 4개의 실험체에 대한 성능시험을 실시하였다. 그 결과, 제안된 강봉댐퍼는 가벼운 RC 벽교각에 큰 손상을 주지 않으면서 안정적인 복원력을 갖는 것으로 평가되었다.

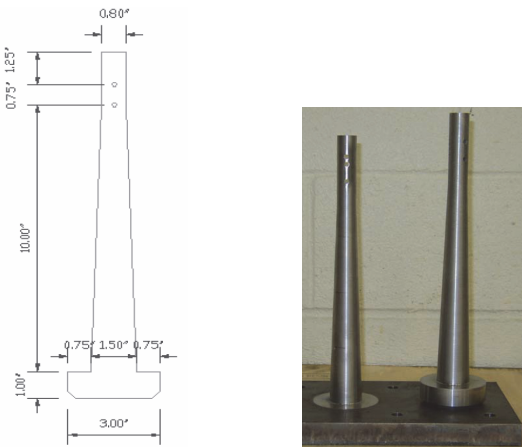


Fig. 1 Steel tapered rod damper by Chen and Eads(2005)

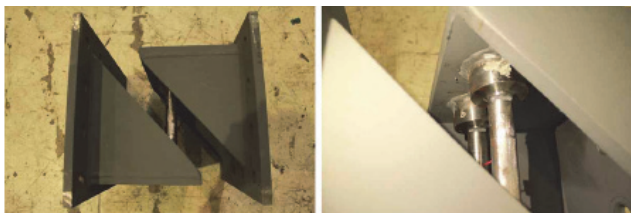


Fig. 2 Failure shape of steel rod damper by Oh and Choi(2017)

Lee(2020)는 SS 275 강종의 강봉댐퍼를 제작하여 댐퍼 지름에 대한 길이의 비인 형상비(Aspect ratio, AR)로 록킹거동 실험을 진행하였다. 즉 댐퍼 지름은 10mm, 20mm이고, 길이는 260mm, 200mm, 140mm로 하였으며, 형상비는 AR 26, AR 20, AR 14 및 AR 13, AR 10, AR 7이다. Fig. 3과 같은 파괴양상과 같이, 강성저하 및 에너지소산능력 등을 평가한 결과, 지름이 20mm이고, 길이가 260mm인 SR 20-260 강봉댐퍼의 능력이 가장 우수한 것으로 평가되었다.

KDS 41 17 00(건축물내진설계기준)의 17장에서는 감쇠시스템을 적용한 구조물에 대한 기준을 제시하고 있는데, 17.6 절에서는 감쇠장치의 시험 방법을 기술하고 있다. 장치 원형에 대한 시험내용 중, 지진하중시험에서는 최대고려지진에 대한 장치의 변위를 사용하여야 한다고 기술하고 있다. 즉 지진하중시험에 대한 변위의존성 평가시험은 아래와 같다.

- (가) 특정 변위진폭, 진동수 및 온도에서 수행된 시험에서, 임의 회차의 반복재하 시 변위 원점에서의 최대-최소 하중이 모든 반복재하로부터 산정된 각각 평균치의 15% 이내
- (나) 특정 변위진폭, 진동수 및 온도에서 수행된 시험에서, 임의 회차의 반복재하 시 방향별 최대 장치변위에서의 하중이 모든 반복재하로부터 산정된 각각 평균치의 15% 이내
- (다) 특정 변위진폭, 진동수 및 온도에서 수행된 시험에서, 임의 회차의 반복재하 시 감쇠장치의 이력곡선 면적이 모든 반복재하로부터 산정된 평균치의 15% 이내



(a) SR 10-260



(b) SR 20-140

Fig. 3 Failure shape by Lee(2020)

3. 변위의존성 실험

3.1 실험 변수

강봉댐퍼의 변위의존성 평가를 위한 실험 변수는 댐퍼의 단면형상과 댐퍼 높이에 대한 지름 또는 폭에 대한 형상비 (Aspect ratio, AR)이다. Table 1에 실험체 일람을 나타내었다.

SS 275 강종을 사용한 기본 실험체는 원형단면이고, 댐퍼 높이가 260mm, 지름 19mm인 R19-C이다. 이를 기반으로 정사각형 단면(16.8×16.8mm) R19-S, 직사각형 단면(23.6×12mm) R19-R 실험체를 제작하였다. 그리고 이들의 단면적은 거의 동일하게 제작하였다. 또한 댐퍼 지름 15mm의 경우도 평가하기 위하여 원형단면 R15-C와 정사각형단면 R15-S를 제작하였다. 형상비 평가를 위한 댐퍼 높이 200mm인 R19-C-200를 포함한 총 6개의 실험체를 제작하였으며, 평가 변수는 다음과 같다.

- ① 단면형상 : R19-C, R19-S, R19-R
R15-C, R15-S
- ② 형상비 13.7 : R19-C, R19-S, R19-R
형상비 17.3 : R15-C, R15-S
형상비 10.5 : R19-C-200

Table 1 Test specimen list

Name	Damper height [mm]	Damper diameter or width [mm]	Aspect ratio	Section shape	Section area [mm ²]
R19-C	260	19	13.7	Round	283.4
R19-S	260	16.8	15.5	Square	282.2
R19-R	260	23.6	11.0	Rectangle	283.2
R15-C	260	15	17.3	Round	176.6
R15-S	260	15	17.3	Square	176.9
R19-C-200	200	19	10.5	Round	283.4

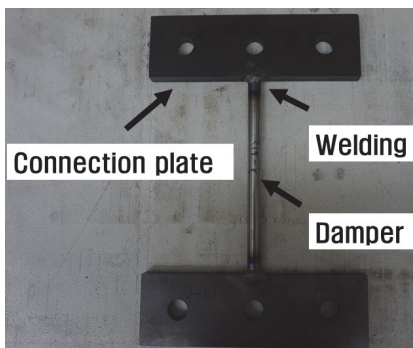


Fig. 4 Manufacturing detail of damper

댐퍼 제작은 연결판과 댐퍼를 각각 만들어 연결판에 홈을 내어 댐퍼를 용접하는 것으로 Fig. 4와 같이 제작이 쉽고 빠른 방법을 적용하였다. 이상과 같이 제작된 댐퍼 상세를 Fig. 5에 나타내었으며, 원형단면은 시중에서 구입하는 재료의 품질을 확신할 수 없어서, 20mm 강판을 원형으로 밀링 가공하여 제작하였다. 이는 시중에서 소량의 SS275 강종을 구입하기 어렵고, 재생 강재도 있어서, 규격에 의한 재료적 물성을 확보하기 위함이다.

3.2 재료 시험

Lee(2020)의 연구결과에 의하면 댐퍼용 강재를 소량 구입하는 것은 강재의 재료적 특성을 확보할 수 없는 것으로 평가되었다. 이를 근거로 본 연구에서는 밀 시트를 확인하고 재료를 구입하였다. 사용 강종은 SS 275, 20mm 두께의 강판을 사용하였다. 20mm 두께 강판은 연결부를 제작하는데 사용하였으며, 지름 19mm, 15mm 댐퍼는 20mm 두께의 강판을 밀링

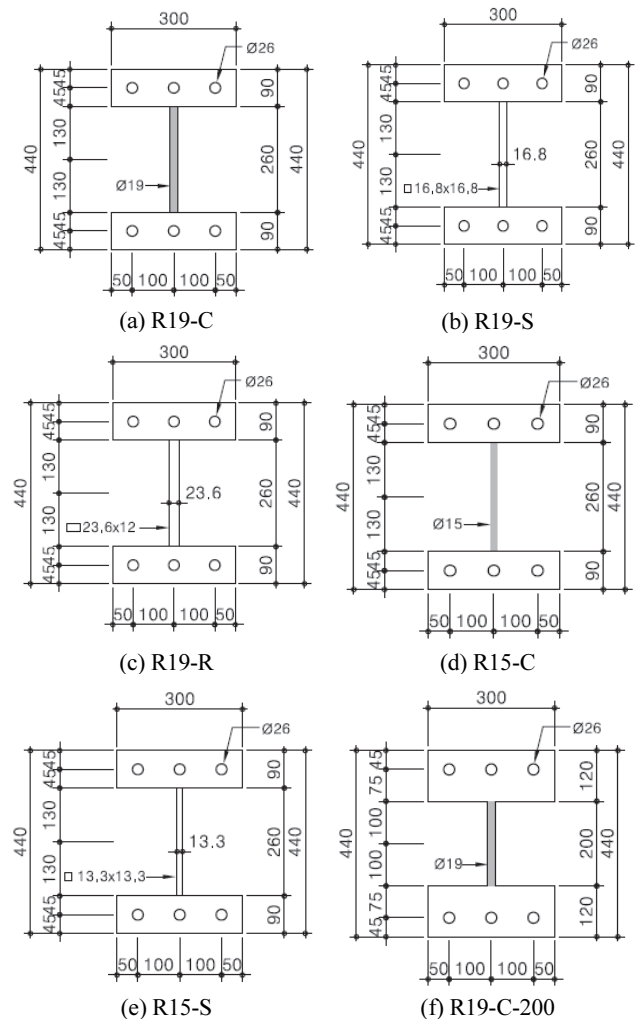


Fig. 5 Details of specimens

가공하여 사용하였다. 따라서 재료 시험은 20mm 두께의 강판 및 지름 19mm, 15mm 댐퍼로 구분하여 진행하였다.

지름 19mm, 15mm의 강봉 인장 시험은 KS B 0801의 강봉 2호 시험편을 사용하여 각 3개씩 제작하였다. 15mm 강봉의 평균 항복강도는 329MPa, 인장강도는 453MPa로 평가되었다. 또한 19mm 강봉의 평균 항복강도는 331MPa, 인장강도는 432MPa로 평가되었다. 20mm 두께의 강판 인장 시험은 KS B 0801의 14B호 시험편을 사용하여 3개씩 제작하였다. 재료 시험 결과 평균 항복강도는 325MPa, 인장강도는 451MPa로 평가되었다. 이로부터 본 연구에 사용한 강종은 KS 규격의 항복강도(265MPa이상) 및 인장강도(415~550MPa)에 적합한 것으로 평가되었다.

3.3 성능 실험

변위위존성 실험은 Fig. 6에 나타낸 것과 같이, 500kN의 액츄에이터를 수평으로 가력하는 방법으로 진행하였다. 가력 사이클은 KDS 41 07 00의 지진하중실험에 근거하여 진행하였다. 본 연구에서는 내진 특등급인 학교시설을 대상으로 하여, 1층 높이 3.3m에 대한 허용층간변위각 1%(33mm)를 최대 변위로 설정하였다. 예상 최대변위의 0.33배를 10회, 0.67배를 5회, 1.0배를 3회 반복재하하였으며, 가력 곡선은 Fig. 7과 같다.

실험과 동시에 강봉댐퍼 상단 중단 하단에 스트레인 게이지를 설치하여 변형도를 측정하였으며, 댐퍼 수직방향으로 2

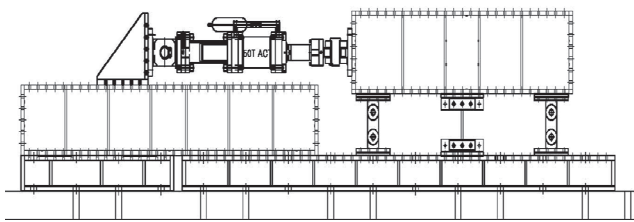


Fig. 6 Setting plan

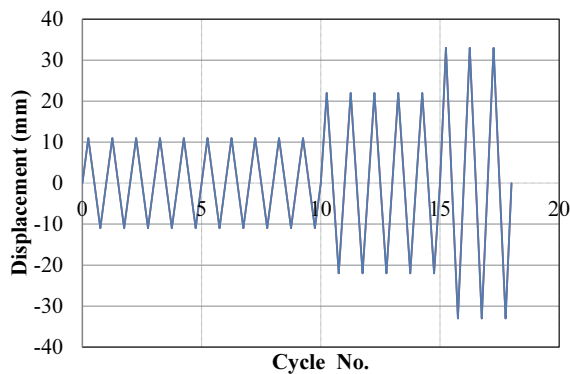
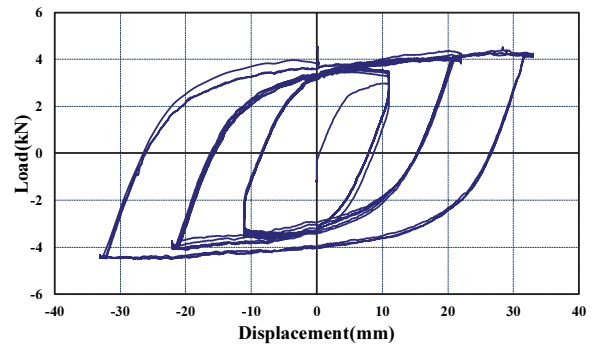


Fig. 7 Loading history

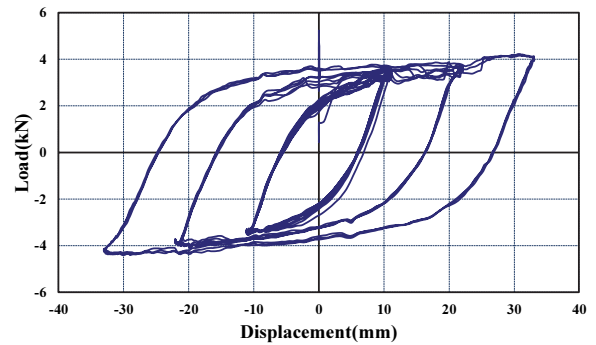
개의 LVDT, 수평방향으로 또한 2개의 LVDT를 설치하여 댐퍼의 변형을 측정하였다.

3.4 실험 결과

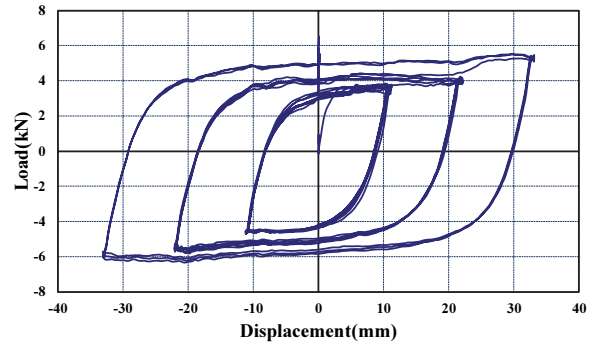
지름 19mm 원형단면 강봉댐퍼 R19-C의 하중-변위 곡선을 Fig. 8(a)에 나타내었다. Fig. 7의 가력 곡선에 따른 정·부가력에 따라 인장과 압축을 교대로 받으면서 실험이 진행되었다. 최대 정가력 변위 33mm일 때 하중은 4.23kN, 부가력 변위 -33mm일 때 하중은 -4.46kN으로 평가되었으며, 댐퍼의 큰 손상 없이 변위위존성 평가가 진행되었다. 정사각형단면 강봉댐퍼 R19-S의 하중-변위 곡선을 Fig. 8(b)에 나타내었다. 최대 정가력 변위 33mm일 때 하중은 4.12kN, 부가력 변위 -33mm



(a) R19-C



(b) R19-S

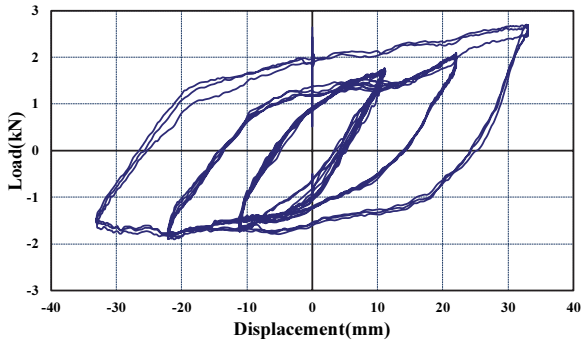


(c) R19-R

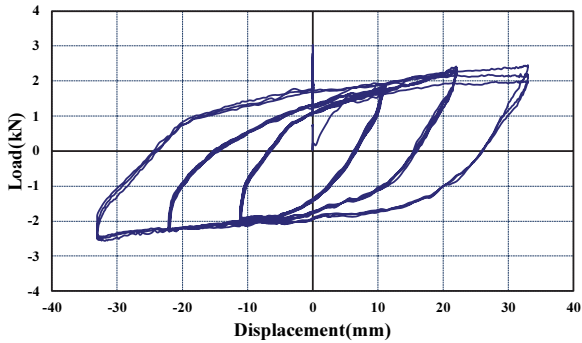
Fig. 8 Load-displacement curve of R19-C, R19-S, R19-R



Fig. 9 Final figure of R19-R



(a) R15-C



(b) R15-S

Fig. 10 Load-displacement curve of R15-C, R15-S

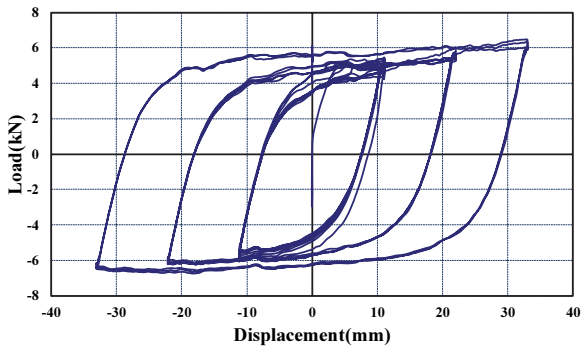


Fig. 11 Load-displacement curve of R 19-C-200

일 때 하중은 -4.31kN 으로 평가되었으며, 댐퍼의 큰 손상 없이 변위위존성 평가가 진행되었다. 직사각형단면 강봉댐퍼 R19-R의 하중-변위 곡선을 Fig. 8(c)에 나타내었다. 최대 정가력 변위 33mm 일 때 하중은 5.39kN , 부가력 변위 -33mm 일 때 하중은 -6.12kN 으로 평가되었다. Fig. 9에 나타낸 R19-R 실험체의 실험 종료 상황과 같이 댐퍼의 큰 손상 없이 변위위존성 평가가 진행되었다.

지름 15mm 원형단면 강봉댐퍼 R15-C의 하중-변위 곡선을 Fig. 10(a)에 나타내었다. 최대 정가력 변위 33mm 일 때 하중은 2.70kN , 부가력 변위 -33mm 일 때 하중은 -1.66kN 으로 평가되었으며, 댐퍼의 큰 손상 없이 변위위존성 평가가 진행되었다. 정사각형단면 강봉댐퍼 R15-S의 하중-변위 곡선을 Fig. 10(b)에 나타내었다. 최대 정가력 변위 33mm 일 때 하중은 2.45kN , 부가력 변위 -33mm 일 때 하중은 -2.53kN 으로 평가되었다. 또한 형상비 10.5인 R19-C-200의 하중-변위 곡선을 Fig. 11에 나타내었다. 최대 정가력 변위 33mm 일 때 하중은 6.43kN , 부가력 변위 -33mm 일 때 하중은 -6.50kN 으로 평가되었으며, 댐퍼의 큰 손상 없이 변위위존성 평가가 진행되었다.

형상비 10.5인 R19-C-200의 하중-변위 곡선을 Fig. 11에 나타내었다. 최대 정가력 변위 33mm 일 때 하중은 6.43kN , 부가력 변위 -33mm 일 때 하중은 -6.50kN 으로 평가되었으며, 댐퍼의 큰 손상 없이 변위위존성 평가가 진행되었다.

3.5 변위위존성 평가

KDS 41 17 00(건축물내진설계기준)에서 제시하는 변위의존형 제진장치의 적합 기준은 본 논문의 2장에 기술한 조건 (가), (나), (다)와 같다. 조건 (가)는 변위 원점(제로 변위)에서 하중이 모든 하중값이 평균의 15%이하 이어야 하고, 조건 (나)는 최대 변위에서 하중이 모든 하중값 평균의 15%이하 이어야 하고, 조건 (다)는 하중-변위 이력 곡선 면적이 평균치 면적의 15% 이하이어야 하는 것이다. Table 2에 최대변위 33mm 경우, 6개 실험체의 변위위존성 적합기준 (가), (나), (다)를 정리하였다. 그 결과 평균치의 15%이하로 평가되어 적합 기준을 만족하는 것으로 판단된다.

Table 2 Condition check of displacement dependency at 33mm displacement

Name	Condition Ga	Condition Na	Condition Da
R19-C	0.08	0.01	0.07
R19-S	0.10	0.01	0.02
R19-R	0.13	0.03	0.05
R15-C	0.12	0.04	0.08
R15-S	0.12	0.10	0.12
R19-C-200	0.12	0.04	0.04

4. 강봉댐퍼의 성능평가

4.1 하중-변위 곡선 및 최대하중

3장의 변위의존성 평가 결과는 적합한 것으로 평가되었기에, 댐퍼의 단면형상 및 형상비에 대한 평가를 하중-변위 곡선을 대상으로 진행하였다. Fig. 12에 지름 19mm인 강봉댐퍼의 단면형상별 하중-변위곡선을 나타내었다. 원형단면인 R19-C와 정사각형 단면인 R19-S의 이력 거동은 거의 유사한 반면, 가력 방향으로 길이가 긴 직사각형 단면인 R19-R의 강도 능력이 다소 큼을 확인할 수 있었다.

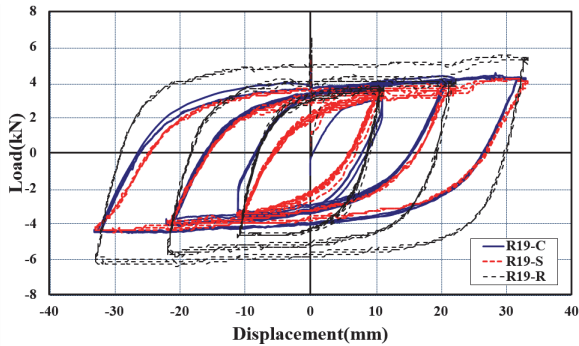


Fig. 12 Load-displacement curve comparison of R19-C, R19-S, R19-R

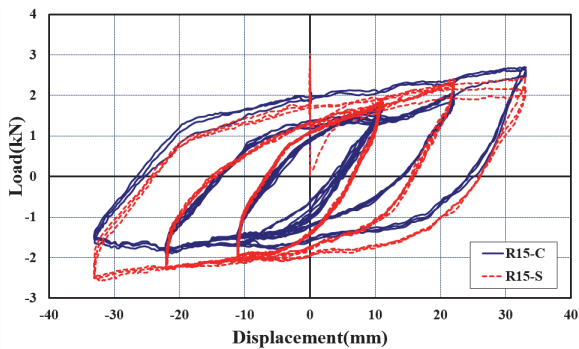


Fig. 13 Load-displacement curve comparison of R15-C, R15-S

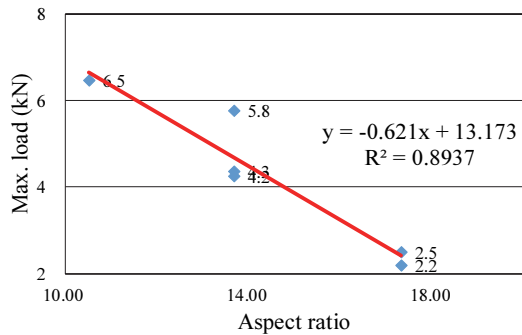


Fig. 14 Max. load comparison by aspect ratio

Fig. 13에 지름 15mm인 강봉댐퍼의 단면형상별 하중-변위 곡선을 나타내었다. 이 경우 단면형상은 원형 및 정사각형으로 제한하였다. 정가력시는 원형단면이, 부가력시는 정사각형단면의 하중 능력이 좋음을 확인할 수 있었다. 그렇지만 실제 차이는 최대 0.87kN으로 중요한 특성이 발현되지 않은 것으로 판단된다.

형상비에 따른 최대하중을 비교하기 위하여 Fig. 14에 형상비별 최대하중을 정리하였다. 여기서 최대하중은 정·부가력시 하중의 평균치이며, 형상비 13.7은 댐퍼 높이가 260mm, 지름이 19mm인 경우이다. 또한 형상비 17.3은 댐퍼 높이가 260mm, 지름이 15mm인 경우이며, 형상비 10.5는 댐퍼 높이가 200mm, 지름이 19mm인 경우이다. 본 비교에서는 실험체 개수가 적어 단면형상은 동일하다고 보고 평가를 진행하였다. 그 결과, 형상비가 커질수록 최대하중이 선형적으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 14에 나타난 회귀분석에 의한 신뢰도 지수(R^2)가 0.89로 산정되어, 선형적으로 최대강도를 산정할 수 있는 것으로 판단된다. 그렇지만 향후 많은 실험 결과의 보완이 필요한 것으로 판단된다. 이상의 결과로부터 강재댐퍼 사용시 강도와 변형능력의 증진이라는 측면에서 형상비를 적절히 활용할 수 있는데, 본 연구에서는 형상비 13.7이 적절한 강도 및 변형능력을 보유한 것으로 평가되었다.

4.2 에너지소산능력

형상비에 따른 누적 에너지소산능력을 평가하기 위하여 Fig. 15에 6개 실험체 형상비별 에너지소산면적을 정리하였다. 본 비교에서는 실험체 개수가 적어 단면형상은 동일하다고 보고 평가를 진행하였다. 형상비 10.5인 R19-C-200의 에너지 소산능력이 5,254 kN·mm로 가장 우수한 것으로 평가되었다. 이는 타 실험체 댐퍼 높이 260mm에 비해, 높이가 200mm이므로 동일 변위에 대한 강도저항능력이 크게 평가된 것에 기인한 것으로 판단된다. 이후 형상비 13.7 및 10.5로 갈수록 선형적으로 에너지소산능력이 감소하는 것으로 평가되었다. Fig. 15에 나타난 회귀분석에 의한 신뢰도 지수(R^2)가 0.85로

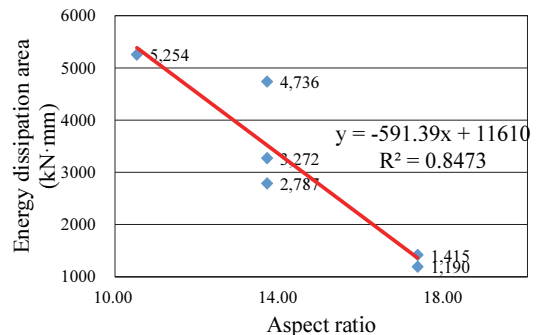


Fig. 15 Energy dissipation area comparison by aspect ratio

산정되어, 선형적으로 에너지 소산능력을 산정할 수 있는 것으로 판단된다. 그렇지만 향후 많은 실험결과와 보완이 필요한 것으로 판단된다.

4.3 댐퍼 변형도

본 연구의 성능실험 진행시 Fig. 16에 나타낸 것과 같이 댐퍼의 상단, 중단, 하단에 스트레인 게이지를 설치하여 변위 이력에 따른 변형도를 측정하였다. 그 결과 상단의 변형도는 매우 크게 측정되었는데 중단의 변형도는 항복하지 않은 것으로 평가되었다. 하단의 변형도는 상단과 유사한 경향을 나타내었다. 이를 수치적으로 확인하기 위하여 최대변위 33mm 가력시 상단부 변형도를 Table 3에 나타내었다. 이에 의하면 형상비 13.7인 원형단면 R19-C와 직사각형단면 R19-R이 큰 변형도를 나타내었다. 또한 타 실험체보다 단면적이 적은 형상비 17.3인 R15-C, R15-S는 가력변위 33mm일 때 강도가 낮게 평가되어 이에 따른 낮은 변형도를 나타내었다. 또한 댐퍼 높이가 200mm인 형상비 10.5인 R19-C-200도 변형도도 낮게 평가되었다. 이상으로부터 적절한 강봉댐퍼의 형상비는 13.7, 즉 댐퍼 높이가 260mm이고, 지름 19mm와 이와 동등한 단면적을 가지는 댐퍼의 변형 능력이 우수한 것으로 판단된다.

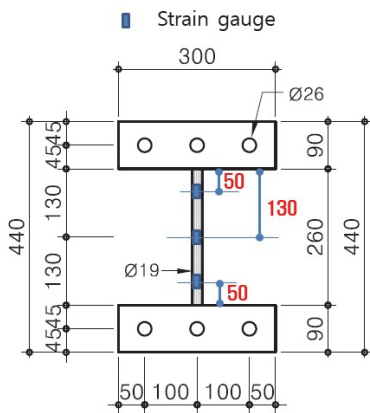


Fig. 16 Attachment of strain gauge

Table 3 Strain comparison of damper upper part

Name	(+) cycle $\mu\epsilon$	(-) cycle $\mu\epsilon$
R19-C	25061	8206
R19-S	10746	10383
R19-R	20199	27278
R15-C	9755	12387
R15-S	8350	8596
R19-C-200	8733	4871

5. 결론

본 연구에서는 기존연구결과를 참고로 하여 강봉댐퍼를 개발하고, 구조기준의 변위의존성 평가를 진행하였다. 또한 강도 및 에너지소산능력을 평가하여, 강봉댐퍼의 성능을 검증하였다. 변위의존성 실험은 건축물내진설계기준에 의거 진행하였으며, 총 6개의 실험체를 제작하였다. 실험체 변수는 강봉댐퍼 단면형상 및 형상비(댐퍼 높이에 대한 지름 또는 폭비)이다.

- 1) 강재를 사용한 연구를 진행할 경우, 강재의 재료적 특성이 규격에 적합한 것을 구매하기는 매우 어려운 것으로 평가되었으며, 이는 국내 강재 시장의 문제점이기도 하다. 본 연구에서는 밀 시트를 확인하고 재료를 구입하였으며, KS 규격에 의한 인장시험을 진행하였다. 그 결과 평균 항복강도는 325MPa, 인장강도는 451MPa로 평가되어, KS 규격의 항복강도(265MPa이상) 및 인장강도(415~550MPa)에 적합한 것으로 평가되었다.
- 2) KDS 41 17 00(건축물내진설계기준)에서 제시하는 변위의존형 제진장치의 적합 기준 (가), (나), (다)를 평가한 결과, 6개 실험체의 실험 결과가 평균치의 15%이하로 평가되어 적합 기준을 만족하는 것으로 평가되었다.
- 3) 지름 19mm인 강봉댐퍼의 단면형상별 강도를 평가한 결과, 원형단면인 R19-C와 정사각형 단면인 R19-S의 이력 거동은 거의 유사한 반면, 가력 방향으로 길이가 긴 직사각형 단면인 R19-R의 강도 능력이 다소 우수함을 확인할 수 있었다. 그렇지만 하중 값의 차이가 크지 않으므로, 단면형상에 따른 강도 특성은 미비한 것으로 판단되었다.
- 4) 형상비에 따른 강도, 에너지소산능력, 변형도를 평가한 결과, 형상비 13.7 즉 댐퍼 높이가 260mm이고, 지름 19mm와 이와 동등한 단면적을 가지는 댐퍼의 성능이 우수한 것으로 평가되었다.
- 5) 이상의 실험결과는 제한된 개수의 평가에 의한 결과이므로, 향후 강봉댐퍼의 댐퍼 개수 및 록킹거동에 의한 보완 성능평가를 진행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2022R1F1A1063821).

References

1. Baek, E. L., Oh, S., H., and Lee, S. H. (2014), Seismic performance of an existing low-rise reinforced concrete piloti building

- retrofitted by steel rod damper, *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, 18(5), pp.241-251 (in Korean).
2. Belleeri, A., Schoettler, M., Restrepo, J. I., and Fleischman, R. B. (2014), Dynamic Behavior of Rocking and Hybrid Cantilever Walls in a Precast Concrete Building, *ACI Structural Journal*, May-June.
 3. Chen, G., and Eads, S. A. (2005), Behavior and Fatigue Properties of Metallic Dampers for Seismic Retrofit of Highways Bridges, University of Missouri/Roll, RDT 05-007.
 4. Hashemi, A., Zarnani, P., Masoudnia, R., and Quenneville, P. (2017), Seismic Resilient Lateral Load Resisting System for Timber Structures, *Construction and Building Materials*, 149, 432-443.
 5. Lee, H. H. (2020), Steel Rod damper and Rocking Behavior, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 24(6), 1-9 (in Korean).
 6. Maida, Y., Mori, T., Sakata H., Izumi, N., and Maegawa, T. (2019), Experimental study on the effective use of lightly RC wall piers utilizing steel rod damper, *Journal of Structure and Construction Engineering*, AIJ, 84(6), 851-861
 7. Oh, S. H. and Choi, K. Y. (2017), An experience study of structural performance of steel rod damper. *Proceeding of the Architectural Institute of Korea*, 27(1), 731-732 (in Korean).

Received : 09/07/2023

Revised : 09/22/2023

Accepted : 10/05/2023

요 지 : 본 연구에서는 강봉댐퍼의 변위의존성 평가, 강도 및 에너지소산능력을 평가하였다. 실험 변수는 단면형상 및 형상비이며, 총 6개의 실험체를 제작하였다. 실험 결과, 설계기준에서 제시한 변위 의존성 조건을 모든 실험체가 만족하는 것으로 평가되었다. 그리고 단면형상에 따른 강도 영향은 미비하였다. 결과적으로, 형상비 13.7의 강도 및 에너지소산능력이 우수한 것으로 평가되었다.

핵심용어 : 강봉댐퍼, 변위의존성, 단면형상, 형상비
