

강봉댐퍼의 개수 및 Z 플레이트 사용에 따른 의존성 및 성능 평가

Dependency and Performance Evaluation according to the Number of Steel Rod Dampers and the use of Z plates

이 현 호*

Lee, Hyun-Ho

Abstract

In this study, the displacement dependence, strength, and energy dissipation capacity of the steel rod damper were evaluated. The test variables are the number of steel rod dampers and the lateral deformation prevention details. From test results, it was evaluated that the displacement dependence conditions in the structural design code were satisfied. The maximum strength and energy dissipation capacity increased linearly as the number of steel rod increased. In addition, the maximum strength and energy dissipation capacity were evaluated by more than 20 times increased by using of the lateral deformation prevention details.

Keywords : Steel rod damper, Displacement dependency, Z plate, Lateral deformation prevention detail

1. 서론

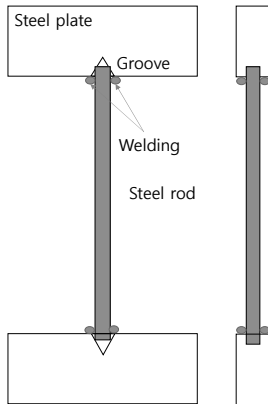
2023년 9월 8일 발생한 모로코 마라케시사피 지진은 규모 6.8의 강진으로 9월 10일 현재 약 3천명의 사망자가 발생한 끔찍한 재앙이었다. 이번 지진 이전에 규모 5의 지진도 거의 없었다는 기록으로 보아 지진에 대한 대비가 미비하여 심각한 지진 피해가 발생한 것으로 판단된다. 즉 지진활동이 없거나 미미한 지역에서도 지진이 발생할 수 있다는 것이다. 우리나라도 외국의 피해를 경험삼아 지속적인 내진설계 및 보강이 필요하며, 그 성능도 확인하여야 될 것으로 판단된다. 행정안전부는 지난 4월 27일 2022년도 기존 공공시설물 내진보강대책 추진 결과, 전국 기존 공공시설물 내진성능 확보율(내진율) 75.1%를 달성했다고 발표하였다. 내진보강이 된 공공기관은 공공건축물이 가장 많았으며, 학교시설, 도로시설물 순인 것으로 보고되었다. 학교 건축물의 내진보강은

강재프레임을 이용한 특허공법이나 강관댐퍼가 많이 사용되고 있다. 강관댐퍼는 일방향성으로 인하여 면외좌굴이 발생할 가능성이 높아서, 이를 개선하기 위한 강봉댐퍼의 개발이 진행되고 있다. 또한 면외좌굴을 방지하기 위한 횡변형방지상세를 적용한 공법들이 적용되고 있다.

본 연구에서는 Lee(2020)¹⁾의 기존 연구결과를 참고로 하여 <Fig. 1>과 같은 강봉댐퍼를 제작하였다. 즉 강봉댐퍼는 강관댐퍼의 스트럿에 해당하는 댐퍼부분과 장치에 연결하기 위한 연결판을 각각 만들어, 서로 용접하는 방법으로 제작하였다. 이 제조방법은 작업 공정이 매우 단순하고, 빠른 장점이 있으며, 실험결과 용접부가 파괴되지 않은 것으로 평가되었다. 강봉댐퍼는 건축물내진설계기준인 KDS 41 17 00에서 규정하고 있는 변위 의존성 평가에 근거하여 안전성 평가를 진행하고자 한다. 또한 강도 및 에너지소산능력을 평가하여, 강봉댐퍼의 성능을 검증하고자 한다. 실험체 변수는 강봉댐퍼의 개수 및 횡변형방지상세인 Z 형상의 플레이트 적용 유무이다. 이를 통하여 강봉댐퍼 개수에 따른 변위

* 교신저자, 동양대학교 스마트건축공학과 교수, 공학박사
Department of Smart Architecture Engineering,
Dongyang University
Tel: 054-630-1165 Fax: 054-630-1371
E-mail : hhlee@dyu.ac.kr

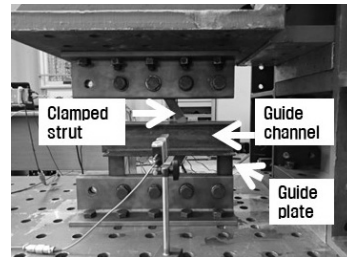
의존성 평가 및 Z 플레이트 적용에 따른 강도 및 변형능력 향상을 평가하는 것이 본 연구의 목적이다.



〈Fig. 1〉 Making procedure of steel rod damper

2. 기존연구 및 변위의존성 평가 기준

Chen & Eads(2005)²⁾의 연구결과에 의하면 교량의 내진 보강을 위한 강봉댐퍼의 성능실험을 실시하였으며, 성능이 좋은 보강효과를 확인하였다고 보고서에 발표하였다. Baek et al.(2014)³⁾ 등은 기존 저층 철근콘크리트 필로티 건물을 강봉댐퍼로 보강한 성능실험을 진행하여, 강봉댐퍼의 적용 가능성을 확인하였다. Oh & Choi(2017)⁴⁾는 강봉의 형상비를 변수로 한 성능실험을 실시하였으며, 형상비에 따른 특성을 평가하였다. Lee(2021)⁵⁾은 기존 강판댐퍼의 횡변형방지상세를 적용한 특허공법을 강재댐퍼에 적용한 실험을 진행하였다. 〈Fig. 2〉와 같은 가이드 채널을 가이드 판에 연결한 횡변형방지상세를 적용한 결과, 일자형 스트럿을 가지는 댐퍼는 수평하중에 의한 모멘트 저항 능력이 1.41배 증가하였고, 변위능력은 1.31배 증가한다고 실험결과를 발표하였다. Lee et al.(2022)⁶⁾는 고감쇠고무와 강재슬릿이 결합된 하이브리드 댐퍼의 구조 성능 평가에 있어서, 건축물내진설계기준(KDS 41 17 00)에 따른 반복재하실험을 수행하였다. 즉 변위의존성 평가 실험을 실시하여 개발댐퍼가 기준의 표준요구성능을 만족하는 것을 확인하였다.



〈Fig. 2〉 Guide plate and channel in damper

건축물내진설계기준(KDS 41 17 00)에서는 감쇠시스템을 적용한 구조물에 대한 적합성 평가 기준을 제시하고 있으며, 감쇠장치의 시험 방법을 기술하고 있다. 장치 원형에 대한 시험내용 중, 지진하중시험에서는 최대고려지진에 대한 장치의 변위를 사용하여야 한다고 기술하고 있다. 지진하중실험에 대한 변위의존성 평가시험 및 적합조건은 아래와 같다.

(가) 특정 변위진폭, 진동수 및 온도에서 수행된 시험에서, 임의 회차의 반복재하 시 변위 원점에서의 최대·최소하중이 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

3. 성능 실험

3.1 실험변수 선정

기준의 변위의존성 평가를 위한 강봉댐퍼의 실험 변수는 강봉댐퍼의 개수이며, 개수가 1개인 R19-C, 개수가 2개인 R19-C-2, 개수가 3개인 R19-C-3이다. 또한 횡변형방지 효과 평가를 위해 Z플레이트를 사용한 R19-C-BP를 포함한 총 4개의 실험체를 제작하였다. 여기서 Z 플레이트를 기

존의 가이드 판과 채널 대신 사용한 것은 작업성을 개선하기 위함이다. 평가변수는 다음과 같이 정리할 수 있으며, <Table 1>에 실험체 변수를 정리하였다. 여기서 댐퍼의 높이는 260mm, 지름은 19mm, 단면적은 283.4mm²이다. Z 플레이트는 두께 12mm 강판을 적용하였으며, 모든 강종은 SS275를 사용하였다.

<Table 1> Specimen lists

Name	Number of steel rod dampers	Lateral deformation prevention detail
R19-C	1	×
R19-C-2	2	×
R19-C-3	3	×
R19-C-BP	1	Z plate

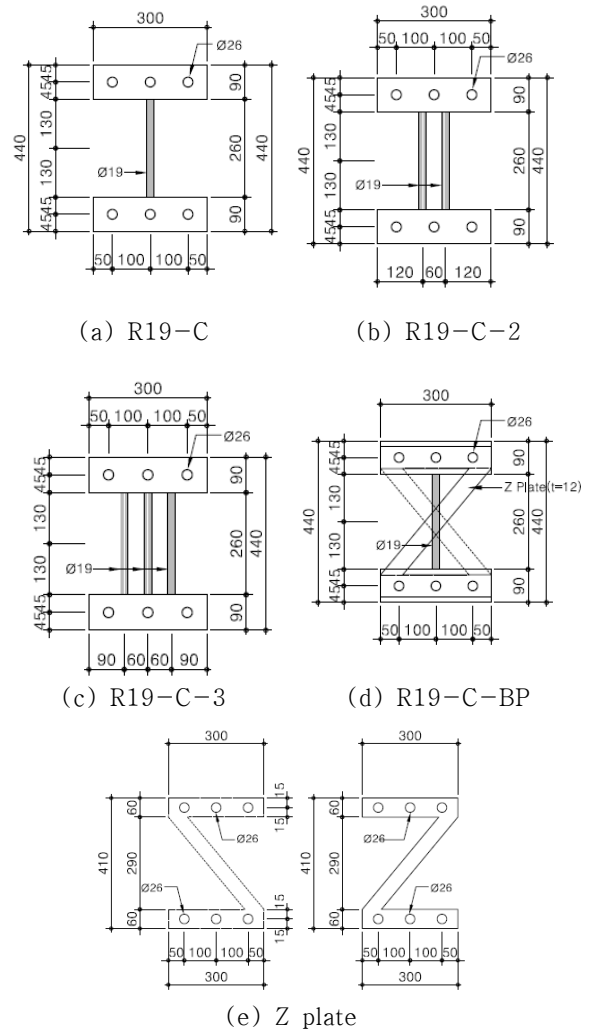
- ① 댐퍼의 개수: R19-C, R19-C-2, R19-C-3
- ② 횡변형방지상세 적용 유무: R19-C, R19-C-BP

강봉댐퍼의 강봉은 시중에서 판매하는 강종을 신뢰할 수 없어서, 20mm강판을 원형으로 밀링가공하여 사용하였다. 상세한 실험체 상세를 <Fig. 3>에 정리하였다.

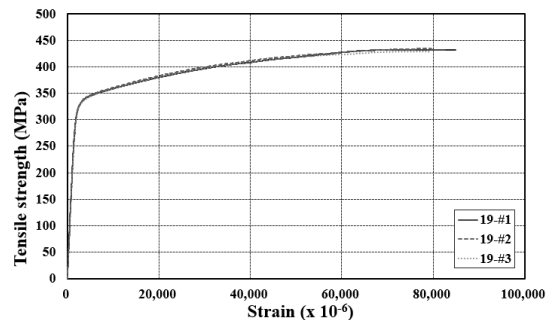
3.2 재료 시험 및 결과

강종규격이 기존의 인장강도 표기법에서 항복강도 표기법으로 2017년 1월부터 변경되어 기존의 SS400이 SS275로 표기법 및 강재의 구성성분이 조정되었다. 그렇지만 현재까지도 SS400이 시중 상가에서 소용되고 있으며, 강종표기 변경의 주체인 강재회사에서도 지속적인 제품생산을 하고 있지 않아 시중에서는 많은 혼란이 야기되고 있다. 본 연구에서는 선행연구의 경험을 바탕으로 강판의 밀시트를 확인 후, SS275 20mm두께의 강판을 구입하였다. 지름 19mm강봉은 강판을 가공하여 제작하였으며, 제작시의 재료물성치 변경여부를 확인하기 위하여 재료물성 시험을 KS규격에 의하여 진행하였다. 강봉시험은 KS B 0801 강봉 2호 시험편을 사용하였다. 재료 시험결과 평균 항복강도는 331MPa, 인장강도는 432MPa로 평가되었다. KS 규격의 항복

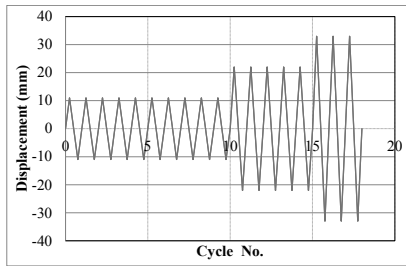
강도(265MPa이상) 및 인장강도(415~550MPa)에 적합한 것으로 평가되었다. <Fig. 4>에 강봉의 응력-변형도 곡선을 나타내었다.



<Fig. 3> Details of specimen



<Fig. 4> Stress-strain curve of Φ 19mm steel coupon



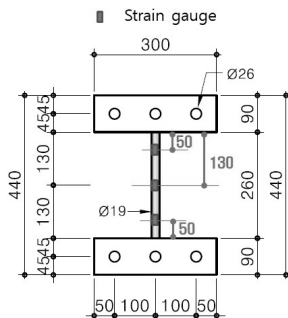
〈Fig. 5〉 Loading history

3.3 변위의존성 실험

본 연구에 적용한 변위의존성 실험은 KDS 41 07 00의 감쇠장치 지진하중실험에 근거하여 진행하였다. 본 연구에서는 내진 특등급인 학교시설을 대상으로 하였으며, 한 층 높이 3.3m에 대한 허용 층간변위비 1%(33mm)를 최대변위로 설정하였다. 즉 기준에 의거하여 예상 최대변위의 0.33배를 10회, 0.67배를 5회, 1.0배를 3회 반복재하하였으며, 가력 곡선은 〈Fig. 5〉와 같다. 대표적인 실험체 R19-C의 셋팅은 〈Fig. 6〉과 같이 수평변위만 작용하도록 고안한 셋팅으로 실험을 진행하였다. 실험 중 댐퍼에 작용하는 변형도를 측정하기 위하여 강봉댐퍼 상단 중단 하단에 스트레인 게이지를 〈Fig. 7〉과 같이 설치하였다.



〈Fig. 6〉 Setting plan

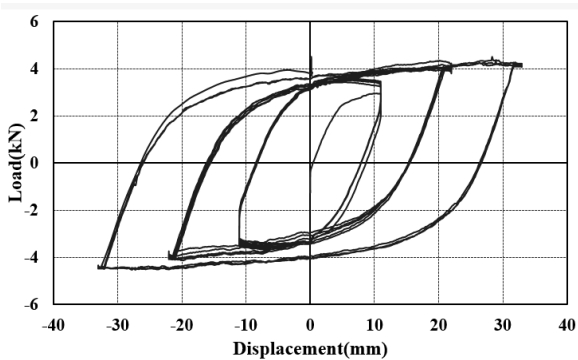


〈Fig. 7〉 Strain gauge location

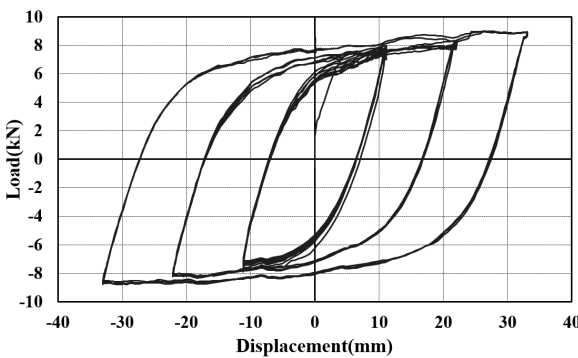
3.4 변위의존성 실험 결과

R19-C는 지름 19mm, 높이 260mm인 강봉댐퍼 1개로 제작된 실험체이다. 변위의존성 실험결과에 의한 R19-C의 하중-변위 곡선을 〈Fig. 8 (a)〉에 나타내었다. 가력곡선은 〈Fig. 5〉를 근거로 실험이 진행되었다. 최대 정가력 변위 33mm일 때 하중은 4.23kN, 부가력 변위 -33mm일 때 하중은 -4.46kN으로 평가되었으며, 댐퍼의 큰 손상 없이 변위의존성 평가가 진행되었다. 강봉댐퍼 2개로 제작된 R19-C-2의 하중-변위 곡선을 〈Fig. 8 (b)〉에 나타내었다. 최대 정가력 변위 33mm일 때 하중은 8.93kN, 부가력 변위 -33mm일 때 하중은 -8.75kN으로 평가되었다. 강봉댐퍼 3개로 제작된 R19-C-3의 하중-변위 곡선을 〈Fig. 8 (c)〉에 나타내었다. 최대 정가력 변위 33mm일 때 하중은 12.87kN, 부가력 변위 -33mm일 때 하중은 -13.19kN으로 평가되었다. 횡변형방지상세인 Z 플레이트를 적용한 R19-C-BP의 하중-변위 곡선을 〈Fig. 8 (d)〉에 나타내었다. 최대 정가력 변위 33mm일 때 하중은 116.1kN, 부가력 변위 -33mm일 때 하중은 -90.76kN으로 평가되었다. 실험결과 중 가장 큰 하중 능력을 나타내었는데, 강봉댐퍼가 가력하중에 저항하기 전, Z 플레이트가 하중을 부담하는 것으로 판단된다. 하중-변위 곡선의 형상중 횡변형방지상세 없는 곡선 대비, 가력 변위 끝부분에서 하중이 튀어 오르는 것은 Z 플레이트가 강봉 대신 힘을 받으면서 생기는 현상으로 판단된다. 그러한 사유로 타 실험체 대비 하중이 크게 나타난 것으로 판단된다.

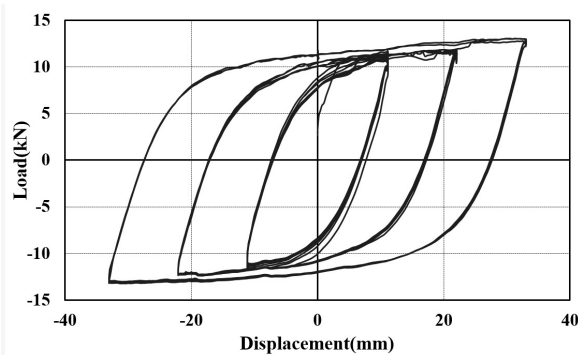
총 4개의 실험체를 대상으로 한 변위의존성 실험 결과 최종상황을 정리하여 〈Fig. 9〉에 나타내었다. 강봉댐퍼 1개, 2개, 3개 적용한 실험체의 댐퍼는 큰 손상이 발생하지 않았으며, 용접부위도 파괴되지 않았다. 횡변형방지상세를 적용한 R19-C-BP의 경우 Z 플레이트가 상당한 변형을 보여, 가력하중을 대부분 받았음을 확인할 수 있었으며, Z 플레이트 사이에 긴 강봉댐퍼는 중단부분에 약간의 변형이 발생함을 확인할 수 있었다.



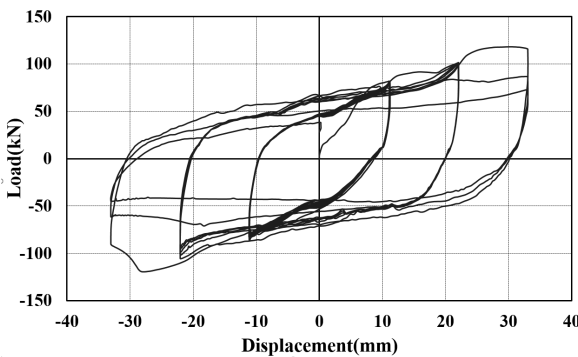
(a) R19-C



(b) R19-C-2



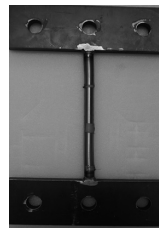
(c) R19-C-3



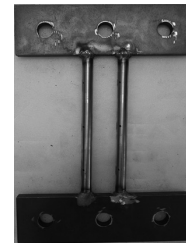
(d) R19-C-BP

〈Fig. 8〉 Load-displacement curve

이상과 같이 강봉댐퍼에 부착한 횡변형방지상세인 Z 플레이트의 강도능력증진효과는 명확하게 확인되었지만, 강봉댐퍼 및 Z 플레이트의 하중 부담 비율 및 작동 기구에 대한 검토가 부족하여, 향후 이에 대한 보완연구가 필요한 것으로 판단된다.



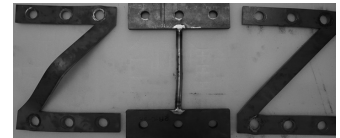
(a) R19-C



(b) R19-C-2



(c) R19-C-3



(d) R19-C-BP

〈Fig. 9〉 Failure shape

〈Table 2〉 Displacement dependency condition check at 33mm displacement

Name	Condition Ga (%)	Condition Na (%)	Condition Da (%)
R19-C	8	1	7
R19-C-2	7	0	2
R19-C-3	8	1	2
R19-C-BP	4	6	3

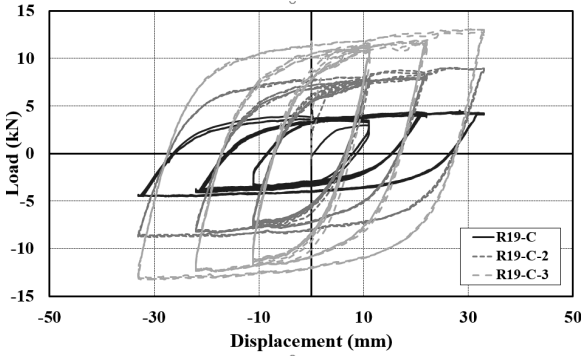
3.5 변위의존성 적합조건 평가

KDS 41 17 00에서 제시하는 변위의존형 제진장치 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.

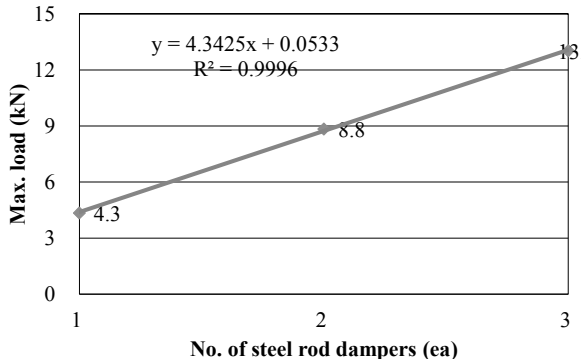
〈Table 2〉에 최대변위 33mm 경우, 실험결과와 변위의존성 적합기준 (가), (나), (다)를 평가

한 결과를 정리하였다. 그 결과 평균치의 15% 이하로 평가되어 적합 기준을 만족하는 것으로 판단된다.

4. 강봉댐퍼 성능평가



(a) Load-displacement curve



(b) Max. load

〈Fig. 10〉 Test results comparison of R19-C, R19-C-2, R19-C-3

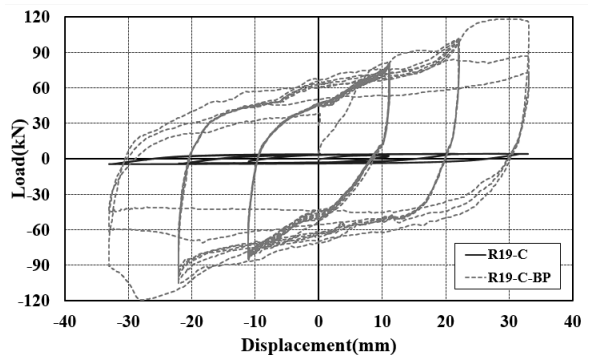
4.1 하중-변위곡선 및 최대강도

3장에서는 댐퍼실험 결과 및 변위의존성 적합 평가를 진행하였다. 그 결과 변위의존성은 4개 실험체 전부 다 적합한 것으로 평가되어, 본 장에서는 댐퍼 개수 및 횡변형방지상세 적용여부에 대한 평가를 진행하였다.

〈Fig. 10〉 (a) 에 강봉댐퍼의 개수에 따른 하중-변위곡선을 비교하였다. 그 결과 거의 유사한 변위 이력에 대하여 강도가 비례적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 강봉댐퍼 1개의 단면적 283.4mm²을 기준으로 개수 2개, 개수 3개의 최

대강도가 비례적으로 증진되는 것으로 평가되었다. 따라서 〈Fig. 10〉 (b)에 강봉댐퍼의 개수에 따른 최대강도를 비교하여 보았다. 여기서 최대강도는 정, 부하중의 평균치를 사용하였다. 평가 결과 댐퍼 개수 1개 증가할 때마다 내력이 배수로 증가하는 것으로 평가되었다, 즉 댐퍼 개수 2개일 때는 2.03 배, 개수 3개 일 때는 3.0배 증가하는 경향을 나타내었다. 정밀한 분석을 위하여 회귀분석을 수행하였는데, 신뢰도 지수(R²)가 0.9996인 선형식이 산정되어, 최대 변위 가력 33mm(허용층간변위비 1%)의 실험에서 강봉댐퍼의 개수에 따른 최대강도는 예측 가능한 것으로 판단된다.

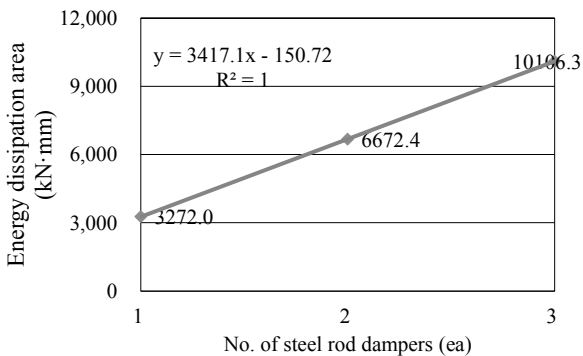
〈Fig. 11〉에 횡변형방지상세 유무에 따른 하중-변위곡선을 나타내었다. 그림에서 확인할 수 있듯이 횡변형방지상세 없는 R19-C의 하중-변위곡선이 매우 작은 것으로 나타나, 강도 및 변형능력이 큰 차이를 나타낸 것으로 판단된다. 횡변형방지상세 없는 R19-C의 최대강도 4.3kN 대비, 횡변형방지상세 있는 R19-C-BP는 103.4kN로 평가되어 약 23.8배의 강도능력이 증진됨을 확인하였다. 즉 R19-C-BP는 R19-C의 강도 4.3kN을 제외한 99.13kN의 강도가 증가한 것이다. 이를 Z 플레이트 2개의 단면적 1,200mm²을 1개의 강봉댐퍼의 단면적 284.3mm²으로 나누면 약 4.23배가 되는데, 실제 실험결과는 23.8배로 많은 차이가 발생됨을 확인할 수 있었다. 따라서 횡변형방지상세 적용에 대한 수평하중 저항 기구 및 효과에 대한 보완평가가 필요한 것으로 판단된다.



〈Fig. 11〉 Load-displacement curve comparison of R19-C, R19-C-BP

4.2 에너지소산능력

최대가력변위 33mm까지 강봉댐퍼의 개수에 따른 에너지소산면적을 정리하여 <Fig. 12>에 댐퍼 개수로 나타내었다. 그 결과 최대하중 평가와 동일하게 강봉댐퍼의 개수가 1개에서 2개, 3개 증가됨에 따라 에너지소산능력도 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다. 최대강도와 마찬가지로 회귀분석을 수행한 결과, 신뢰도 지수(R^2)가 1.0인 선형식이 산정되었다. 이로부터 실험결과와 일관성을 확인할 수 있었으며, 최대 변위 가력 33mm(허용중간변위비 1%)의 실험에서 강봉댐퍼의 개수에 따른 에너지소산능력을 예측할 수 있는 것으로 평가되었다. 횡변형방지상세 없는 R19-C의 에너지소산능력은 3270 kN·mm 대비, 횡변형방지상세 있는 R19-C-BP는 65,771kN·mm 로 평가되어 약 20.11배의 에너지소산능력이 증진됨을 확인하였다. 이는 최대강도가 약 23.8배 차이나는 것과 거의 유사한 것으로, 횡변형방지상세의 작동 기구 및 보강 효과에 대한 보완 연구가 필요한 것으로 판단된다.

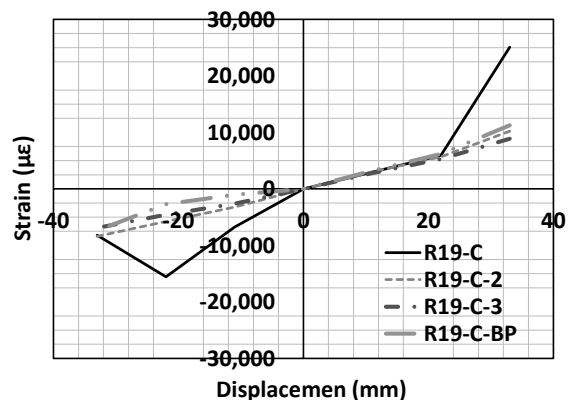


<Fig. 12> Energy dissipation area comparison of R19-C, R19-C-2, R19-C-3

4.3 댐퍼 변형도

4.1절의 강봉댐퍼 최대강도 평가에서 댐퍼개수 증진에 따른 보강효과를 확인할 수 있었으며, 이 경우 댐퍼에 작용하는 변형도를 평가하였다. 스트레인 게이지는 <Fig. 7>에 나타난 것과 같이 강봉댐퍼

의 상단, 중단, 하단에 설치하였다. 성능실험결과 상단에 부착한 스트레인 게이지의 변형도가 가장 큰 것으로 나타나, 상단의 변형도를 가력변위인 11mm, 22mm, 33mm로 정리하여 <Fig. 13>에 정리하였다. 최대강도 및 에너지소산능력이 가장 적게 평가된 R19-C의 변형도가 가장 크게 나타났으면 가력변위 11mm전에 항복한 것으로 평가되었다. 또한 가력변위 22mm를 지나서는 변형도가 10,000 $\mu\epsilon$ 을 상회하여 매우 큰 변형이 일어남 또한 확인하였다.



<Fig. 13> Strain comparison of damper upper part

최대강도 평가에서 수평강성이 큰 것으로 평가된 R19-C-2 및 R19-C-3의 변형도는 거의 유사한 것으로 평가되었다. 즉 가력변위 11mm, 22mm, 33mm까지 거의 선형적으로 변형도가 증가하는 것으로 평가되었다. 횡변형방지상세가 적용된 R19-C-BP의 변형도는 R19-C-2 및 R19-C-3와 유사한 것으로 평가되었다. 향후 횡변형방지상세의 정확한 기여도를 변형도로 평가할 수 있는 보완 실험이 필요한 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 개발된 강봉댐퍼의 건축물내진설 계기준의 부합여부를 평가하기 위하여 변위의존성 적합 평가, 강도 및 에너지소산능력 평가를 진행하였다. 주요한 연구결과는 다음과 같다.

1) 건축물내진설계기준에서 제시하는 변위의존형 제진장치의 적합 기준 (가), (나), (다)를 평가하였다. 총 4개 실험체의 실험 결과가 평균치의 15% 이하로 평가되어 적합 기준을 만족하는 것으로 평가되었다.

2) 강봉댐퍼의 댐퍼개수에 따른 최대 강도를 평가한 결과, 댐퍼개수 1개 증가할 때 마다 내력이 배수로 증가하는 것으로 평가되었다, 즉 댐퍼 개수 2개일 때는 2.03배, 개수 3개 일때는 3.0배 증가하는 경향을 보였다. 따라서 허용층간변위비 1%(33mm)의 실험에서 강봉댐퍼의 개수에 따른 최대강도는 예측 가능한 것으로 판단된다. 또한 횡변형방지상세 없는 R19-C의 최대강도 4.3kN 대비, 횡변형방지상세 있는 R19-C-BP는 103.4kN로 평가되어 약 23.8배의 강도능력이 증진됨을 확인하였다.

3) 허용층간변위비 1%(33mm)까지 강봉댐퍼의 개수에 따른 에너지소산능력 평가한 결과, 강봉댐퍼의 개수가 1개에서 2개, 3개 증가됨에 따라 에너지소산능력도 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한 횡변형방지상세 있는 R19-C-BP는 65,771kNmm 로 평가되어 약 20.11배의 에너지소산능력이 증진됨을 확인하였다. 이는 최대강도가 약 23.8배 차이나는 것과 거의 유사한 것으로, 횡변형방지상세의 작동 기구 및 보강효과에 대한 보완 연구가 필요한 것으로 판단된다.

4) 향후 강봉댐퍼의 개수, 단면형상 및 횡변형방지상세의 적용유무에 따른 록킹거동 성능실험을 보완할 예정이다.

감사의 글

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

References

1. Lee, H. H., "Steel Rod damper and Rocking Behavior ", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 24(6), pp.1~9, 2020

DOI: <https://doi.org/10.11112/jksmi.2020.24.6.1>

2. Chen, G. and Eads, S. A., "Behavior and Fatigue Properties of Metallic Dampers for Seismic Retrofit of Highways Bridges", University of Missouri/Roll, RDT 05-007, 2005
3. Baek, E. L., Oh, S. H. and Lee, S. H., "Seismic performance of an existing low-rise reinforced concrete piloti building retrofitted by steel rod damper", EESK J Earthquake Eng, 18(5), pp.241-251, 2014
4. Oh, S. H. and Choi, K. Y., "An experience study of structural performance of steel rod damper", Proceeding of the Architectural Institute of Korea, 27(1), pp.731-732. 2017
5. Lee, H. H., "Hysteretic Behavior of Steel Damper using Guide Plate and Channel", Journal of the Korea Association for Spatial Structures, 21(3), pp.61-68, 2021
DOI:<https://doi.org/10.9712/KASS.2021.21.3.61>
6. Lee, J. H., Park, B. T. and Kim, Y. S., "Experimental Structural Performance Evaluation of Hybrid Damper Combining with High Damping Rubber and Steel Slit", Journal of Korean Association for Spatial Structures, 22(4), pp.23-30, 2022
DOI:<https://doi.org/10.9712/KASS.2022.22.4.23>

- Received : October 2, 2023
- Revised : October 21, 2023
- Accepted : October 25, 2023