ISSN 1598-4095 (Print)
ISSN 2287-7401 (Online)
http://dx.doi.org/10.9712/KASS.2022.22.4.39

Journal of Korean Association for Spatial Structures
Vol. 22, No. 4 (통권 90호), pp.39~48, December, 2022

형상기억합금을 이용한 슬릿댐퍼 적용 역V형 편심가새골조의 내진 성능

Seismic Performance of an Inverted V-type Eccentrically Braced Steel Frames with Slit Dampers Using Shape Memory Alloy

장 한 렬*
Jang, Han Ryul

김 주 우**
Kim, Joo-Woo

Abstract

The energy dissipation of inverted V-type eccentric steel braced frames can be achieved through the yielding of a slit link, through yielding of a number of strips between slits when the frame is subjected to inelastic cyclic deformation. On the other hand, the development of seismic resistance system without residual deformation is obtained by applying the superelasdtic shape memory alloy (SMA) material into the brace and link elements. This paper presents results from a systematic three-dimensional nonlinear finite element analysis on the structural behavior of the eccentric bracing systems subjected to cyclic loadings. A wide scope of structural behaviors explains the horizontal stiffness, hysteretic behaviors, and failure modes of the recentering eccentric bracing system. The accurate results presented here serve as benchmark data for comparison with results obtained using modern experimental testing and alternative theoretical approaches.

Keywords : Shape Memory Alloy (SMA), Hysteretic behavior, Nonlinear finite element analysis, Inverted V-type eccentrically braced steel frame, Slit link, Recentering of eccentric bracing system

1. 서론

중심가새골조는 일반적으로 모멘트저항골조가 지진이나 바람과 같은 횡력을 충분히 견디기 위한 경제적인 설계가 어려울 때 사용된다. 그러나 건물의 비정형성 및 개구부 등에 대한 요구로 인해 가새가 기둥이나 골조의 중심으로 벗어나서 연결될 수 밖에 없으며, 이러한 골조가 전형적인 횡력저항 편심가새골조이다. 편심가새골조는 지진하중 작용시 비탄성거동을 링크로 국한시켜 링크 내에서의 항복을 통해 안정적으로 에너지를 소산시키는 시스템이다.

역V형 편심가새골조는 건축구조적 장점으로 인해 가장 널리 사용되고 지진하중 작용시 압축가새와 인장가새가 공존하는 특성을 가지고 있으며, 강진에 의해 압축가새는 좌굴하고 인장가새는 항복하는 비탄성거동에 의하여 골조에 영구변형이 발생하게 된다.

Fujimoto 등[1]은 중심가새골조를 개선하여 모멘트 골조와 유사한 연성과 중심가새골조에 가까운 강성을 보여주는 편심가새골조를 제시하였으며, A. Stratan 등[2]의 실험 및 연구에 의하면 탈착 링크의 성능과 링크를 쉽게 교체할 수 있는 편심가새골조의 지진거동 후 손상된 링크를 교체하는 기술적 타당성을 입증하였다.

Musmar[3]는 전단 항복 링크가 있는 편심가새골조는 안정적이고 연성이 높기 때문에 강진에 효과적임을 증명하였으며, 충분한 에너지 소산능력을 확보할 수 있는 횡강성 골조 시스템이라 강조하였다.

앞에서 언급한 여러 가지 장점에도 불구하고, 강재 가새로 구성된 역V형 편심가새골조는 비탄성거동을 동반시킬 수 있는 큰 지진하중이 작용할 경우 압축가새의 좌

* 정회원, 이레구조내진기술 사원, 공학석사
Dept. of IREH Structure Seismic Design & Technology
** 교신저자, 세명대학교 건축공학과 교수, 공학박사
Dept. of Architecture, Semyung University
Tel: 043-649-1329 Fax: 043-649-1755
E-mail : jw_kim@semyung.ac.kr

굴로 인한 저항내력과 에너지 소산능력이 감소될 수 있다. 압축강성이 급격히 저하되면 잔류변형이 발생하여 원래의 형태로 돌아가기 어렵고, 이에 따른 P-△ 2차 효과에 의해 구조물의 붕괴까지 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 강진에서도 구조물의 붕괴를 방지하면서 손상을 최소화할 수 있는 구조물의 복원력을 제공하는 리센터링 기술이 적용된 다양한 구조시스템이 제시되고 있다.

특히 형상기억합금(Shape Memory Alloy, SMA)은 열에너지를 이용하여 원래의 형상으로 돌아갈 수 있는 성질[4),5)]을 이용하여 역V형 편심가새골조의 잔류변형 등에 대한 문제점을 해결할 수 있고, 이와 더불어 편심가새골조의 링크에 슬릿댐퍼를 적용하여 가새골조의 에너지 소산능력을 위한 충분한 연성을 확보할 수 있다.

Mualla & Belev[6)]은 댐퍼에 대해 구조물 내에서 피해저감 설비로 장착되어 지진에너지를 소산하며 이로 인하여 구조물 전체에 발생하는 층간변위를 효율적으로 제어하는 기능을 담당한다고 나타냈다.

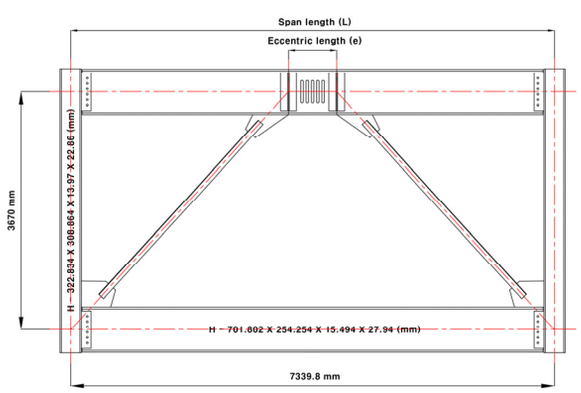
Dolce 등[7)]은 강재 가새와 SMA 가새를 적용한 RC 골조의 축소모형에 대한 진동대 실험을 수행하였으며, 현재 사용되는 가새 시스템에 의해 제공되는 것과 SMA 기반의 새로운 가새 시스템이 유사한 성능을 발휘하는 것을 확인하였다.

Lee & Kim[8)]과 Kim 등[9)]은 SMA를 적용하여 반복하중을 받는 X가새 및 대각가새를 적용한 중심가새골조의 에너지 소산능력과 원상복원 효과를 해석적으로 분석하였다.

본 논문은 Yoon & Kim[10)]의 선행 연구와 연관되어 수행된 후속 연구로 반복하중을 받는 역V형 편심가새골조에 초탄성 SMA와 슬릿댐퍼를 적용하였다. 이러한 슬릿댐퍼를 적용한 역V형 편심가새골조에 대해 3차원 비선형 유한요소해석을 수행하였으며, 수평강성, 파괴모드 및 하중-변위 관계에 근거한 에너지 소산 및 원상복원 등의 구조적 거동을 알아보았다.

2. 3차원 유한요소 해석모델

〈Fig. 1〉은 보, 기둥, 거셋플레이트, 가새 및 링크 부재로 구성된 역V형 편심가새골조에 대한 기하학적 형상과 크기를 나타내고 있다. 여기서, 골조의 높이와 스팬의 크기는 각각 3.67m와 7.34m이며, 기둥에는 H-322.8×308.9×14.0×22.9mm 형강, 보에는 H-701.8×254.3×15.5×28.0mm 형강을 사용하였다. 보와 기둥은 전단 탭을 사용하여 볼트접합하였고, 다양한 단면크기를 갖는 ㄱ형강 가새는 기둥과 보에 거셋플레이트를 이용하여 용접접합을 하였다. 보와 링크는 용접접합과 볼트접합으로 앵글을 사용하여 접합하였으며, 보 및 기둥의 거셋플레이트는 용접접합으로 건축구조기준 및 해설(KBC-2016)[11)]에 따라 가새 단부의 비탄성 회전을 수용할 수 있도록 이격거리를 설계하여 모델링 하였다.

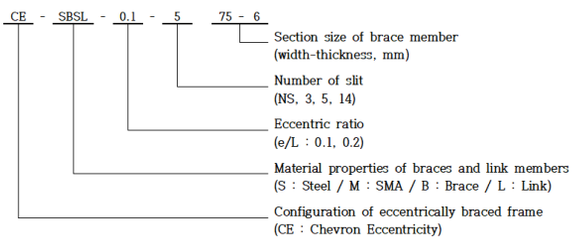


〈Fig. 1〉 Typical geometry of inverted V-type eccentrically braced frames

편심가새골조의 이력거동에 영향을 미치는 요소로는 가새의 단부조건, 단면형상, 세장비 및 단면 폭-두께비와 링크의 길이와 스팬길이의 비인 편심비 등이 있다. 선행 연구를 참고하여 본 연구에서 설정한 변수는 다음과 같이 4가지이다. 즉, (1) 등변ㄱ형강 가새의 단면크기; (2) 재료특성; (3) 링크의 슬릿 개수; (4) 편심비(링크길이/스팬길이)이다.

다양한 변수 해석연구를 위해 건축구조기준에서 제한하고 있는 내진콤팩트 단면에 국한하지 않고, KS 규격상 제작 가능한 다양한 단면 사이즈에 대한 연구를 위해 ㄱ형강 가새의 단면크기를 선정하였다. 링크의 강성에 의한 편심가새골조의 거동과 가새에 미치는 영향에 대한 연구를 위해 슬릿댐퍼의 슬릿 개수가 가새의 편심비에 따라 산정되었다. 또한 기존 강재(TS)와 형상기억합금(SMA)의 비교·분석을 위해 2가지 재료 특성에 대한

해석을 수행하였다. 〈Fig. 2〉에 본 연구에서 수행된 해석모델의 명칭을 나타내었다.

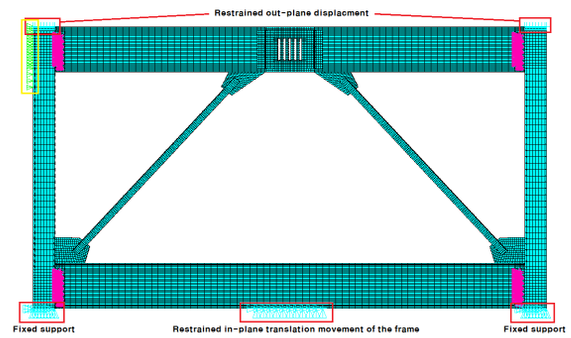


〈Fig. 2〉 Definition of analytical model designations

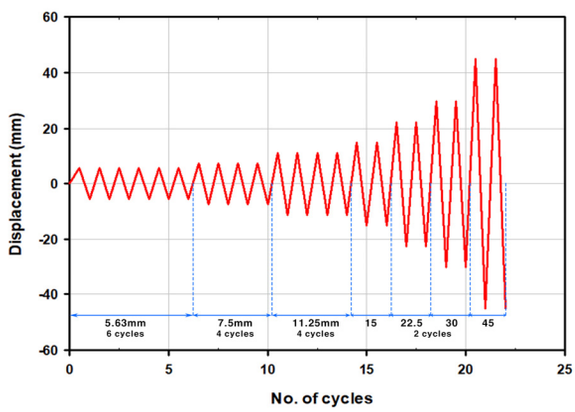
본 연구에서는 범용 유한요소 해석 프로그램 ANSYS(2019)[12]를 이용하여 선정된 모델들의 3차원 유한요소 해석모델을 생성하고 반복하중에 의한 비선형 동적해석을 수행하였다. 〈Fig. 3〉에 나타낸 유한요소 해석모델은 Yoo[13]의 경계조건, 재료물성, 해석환경 등을 참조하였다.

이러한 모델링 과정에서 골조 및 가새 부재는 강재의 재료 및 기하학적인 비선형을 지원하고 형상기억합금의 재료특성을 나타낼 수 있는 3차원 요소인 Solid 185를 사용하고, 부재 접합시 사용되는 볼트는 단순한 모델링을 위하여 Beam 188 요소를 사용하였다. 골조의 면내 병진변위를 제어하기 위해 하부 보 아래 플랜지의 중심부를 구속하였으며, 각 기둥의 하부는 고정지지점으로 설정하였다. 또한 기둥의 상부는 면외 방향의 변위를 제어하기 위해 구속하였다. 응력집중과 소성거동이 발생될 가능성이 있는 접합부와 가새는 요소망을 세밀하게 형성시켰고, 항복이 발생되지 않고 제한된 탄성변위가 나타날 것으로 예상되는 부분은 넓은 요소망을 형성하였다. 〈Fig. 3〉의 역V형 편심가새골조에 작용하는 하중은 〈Fig. 4〉에서와 같은 반복 변위하중을 적용하였다.

〈Table 1〉은 역V형 편심가새골조의 각 부재 및 접합부에 적용되는 강재의 재료특성을 나타내고 있으며, 이러한 강재의 응력-변형률 관계는 〈Fig. 5〉와 같이 완전탄소성으로 가정하였다.



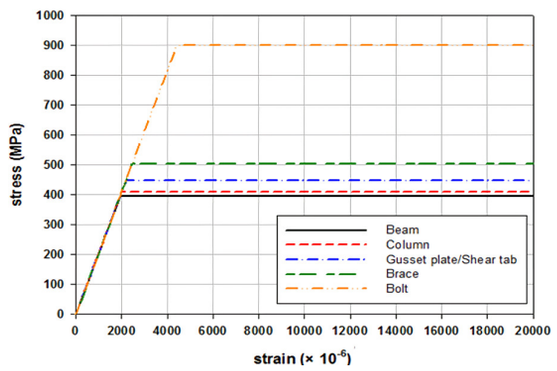
〈Fig. 3〉 Finite element analytical model of an inverted V-type eccentrically braced frame



〈Fig. 4〉 Displacement loading history

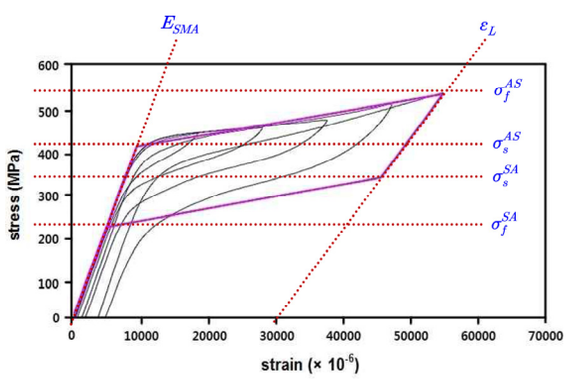
〈Table 1〉 Material properties of steel components of an inverted V-type eccentrically braced frame

Members	Yield strength (F_y,MPa)	Modulus of elasticity (E,MPa)	Poisson ratio (ν)
Column	408.58	205,000	0.3
Beam	394.80	205,000	0.3
Brace	504.35	205,000	0.3
Gusset plate / Shear tab	446.47	205,000	0.3
Bolt	900.00	205,000	0.3



〈Fig. 5〉 Stress-strain relationships of steel components

역V형 편심가새골조의 원상복원 능력을 확인하기 위한 가새와 슬릿 링크에 적용된 초탄성 SMA의 재료특성은 DesRoches 등[14]이 제시한 직경 25.4mm의 형상기억합금 봉에 대한 실험 결과를 참고하여 적용하였다. 이에 대한 응력-변형율 관계는 〈Fig. 6〉과 같다.



〈Fig. 6〉 Stress-strain relationships of superelastic shape memory alloy(SMA)

본 논문에서는 슬릿댐퍼를 적용한 역V형 편심가새골조에 가새 단면적, 재료 물성치, 슬릿댐퍼의 슬릿 개수, 편심비에 대한 변수 연구를 진행하여 역V형 편심가새골조의 이력거동 및 원상복원 능력에 미치는 영향을 폭 넓게 분석하고자 한다.

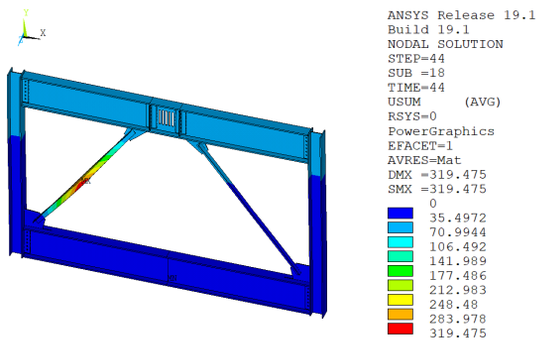
3. 3차원 유한요소 해석 결과

앞 절에서 언급한 슬릿댐퍼를 적용한 역V형 편심가새골조 해석모델에 〈Fig. 4〉와 같은 반복 변위하중을 적용하여 변형형상과 응력분포, 하중-변위 이력곡선을 얻어냈다.

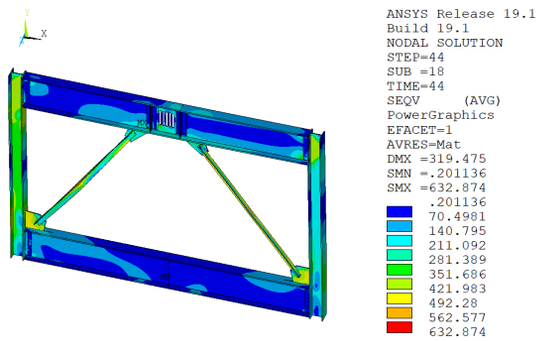
〈Fig. 7〉과 〈Fig. 8〉은 편심비가 0.1이고 강재 링크의 슬릿 개수가 5일 때 등변ㄱ형강 가새(단면크기 : L-120x8)의 재료특성(TS, SMA)에 따른 변형형상과 von Mises 응력분포를 나타냈다. 반복 변위하중이 작용하면 골조는 인장과 압축에 저항하는 각각의 가새로 인해 횡변위를 저항하며 하중 방향이 전환되면 인장 가새는 압축 가새로 압축 가새는 인장 가새가 된다. 이때 좌굴로 인한 휨변형이 생긴 압축 가새는 하중의 전환으로 인장을 받아도 원래의 상태로 돌아가기 어렵고 잔류변형이 존재하게 되는데, 이러한 형상을 볼 수 있다. 가새에 SMA를 적용한 골조에서도 면외좌굴이 발생하지만, TS와 비교하면 최대변위가 감소된 것을 볼 수 있다. 〈Fig. 7〉과 〈Fig. 8〉로부터, 편심가새골조의 응력분포는 TS 가새를 SMA 가새로 대체한 경우에도 큰 변화가 일어나지 않는 것을 알 수 있다.

〈Fig. 9〉는 TS 슬릿댐퍼를 적용한 역V형 편심가새골조의 가새의 재료특성에 따른 하중-변위 이력곡선을 나타내고 있으며, 여기서 〈Fig. 9 (a)〉와 〈Fig. 9 (b)〉는 ㄱ형강 가새의 단면크기가 L-120x8과 L-175x12인 경우를 각각 보여주고 있다. 가새의 재료특성(TS, SMA)의 변화에 따른 최대내력은 비슷하게 나타났고, 가새의 단면크기가 증가하면 최대내력 및 초기강성, 에너지 소산능력이 증가하는 것을 볼 수 있다. 가새의 단면크기가 같을 경우, TS를 적용한 골조가 SMA를 적용한 골조보다 에너지 소산능력이 다소 크게 나타나지만, SMA를 적용한 경우에 가새 골조의 원상복원 효과가 더 확실하게 나타났다.

〈Table. 2〉는 TS와 SMA 가새를 갖는 골조의 잔류변위 값을 가새의 여러 가지 단면크기에 따라 나타내었다. 여기서, SMA를 적용한 경우에도 역V형 편심가새골조가 반복 변위하중이 작용한 후 비탄성 거동으로 인한 잔류변위가 발생하는 것을 볼 수 있다. 그러나 TS를 적용한 역V형 편심가새골조의 잔류변위 값보다 상당히 적은 값을 나타내고 있으며, SMA를 적용한 경우 TS 가새보다 약 36%~71% 골조의 원상복원 효과가 있음을 알 수 있다.

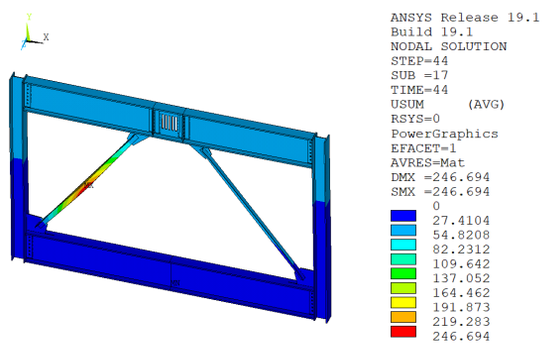


(a) Deformation of CE-SBSL-0.1-5-120-8

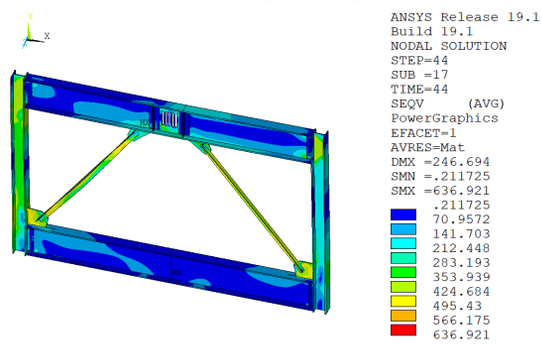


(b) von Mises stress of CE-SBSL-0.1-5-120-8

〈Fig. 7〉 Deformation shape and von Mises stress distribution of CE-SBSL-0.1-5-120-8

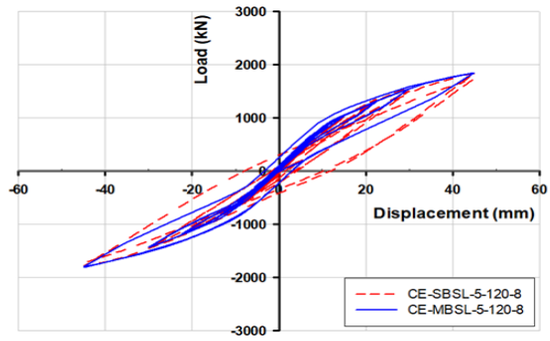


(a) Deformation of CE-MBSL-0.1-5-120-8

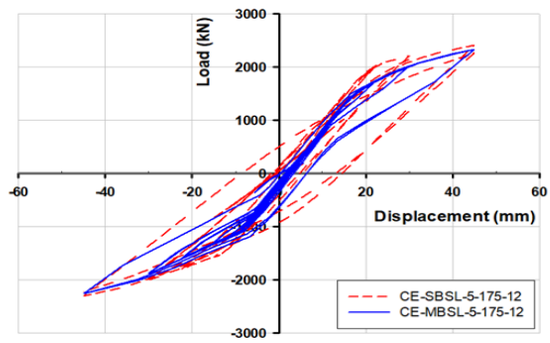


(b) von Mises stress of CE-MBSL-0.1-5-120-8

〈Fig. 8〉 Deformation shape and stress distributions of CE-MBSL-0.1-5-120-8



(a) CE-SL-0.1-5-120-8



(b) CE-SL-0.1-5-175-12

〈Fig. 9〉 Load-displacement hysteresis curves of according to material properties and section size of brace

〈Table 2〉 Residual displacements of TS and SMA braced frames having different section sizes of angle brace

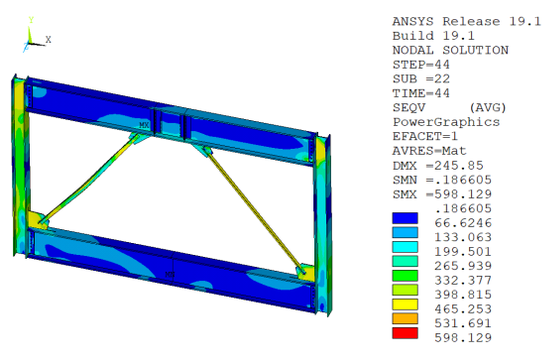
Models	Residual displacement (mm)		
	Material types of brace		Recentering effect (%)
	TS	SMA	
CE-0.1-5-75-6	7.21	4.62	36
CE-0.1-5-75-10	8.43	3.16	63
CE-0.1-5-80-6	7.35	3.84	48
CE-0.1-5-100-8	9.18	3.67	60
CE-0.1-5-100-12	10.25	4.04	61
CE-0.1-5-120-8	10.13	2.96	71
CE-0.1-5-120-10	10.96	5.06	54
CE-0.1-5-120-14	11.52	5.57	52
CE-0.1-5-130-12	11.84	4.67	61
CE-0.1-5-150-10	12.11	3.72	69
CE-0.1-5-175-12	13.11	6.33	52

〈Fig. 10〉은 편심비가 0.1이고 SMA 가새를 이용한 역V형 편심가새골조의 링크의 슬릿의 유무 및 개수에

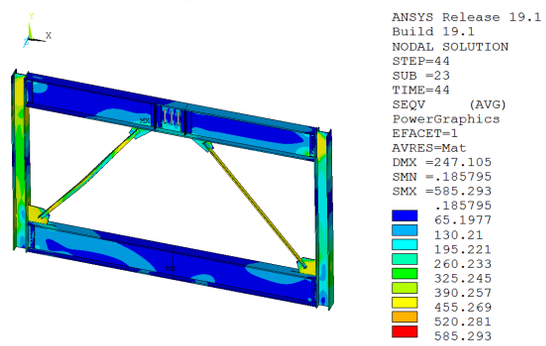
따른 응력분포를 나타내고 있다. 여기서 SMA ㄱ형강 가새의 크기는 L-90x6이며, 슬릿이 없는 경우(NS)와, 그리고 슬릿의 개수를 3과 5로 변화시켰다. 역V형 편심가새골조의 최대변위는 링크의 슬릿 개수와는 상관없이 가새의 중심부에서 발생하는 것을 알아냈다. 〈Fig. 10〉으로부터 슬릿 개수가 증가할수록 링크에서의 응력분포 면적이 증가하며, 가새의 응력크기가 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 이 골조의 최대응력은 거셋플레이트와 보가 접합되는 경계에서 발생되는 것으로 나타났다.

〈Fig. 11〉은 〈Fig. 10〉에서 보여준 역V형 편심가새골조의 슬릿댐퍼의 슬릿 개수에 따른 하중-변위 이력곡선을 나타내고 있으며, 링크의 슬릿 개수에 따른 최대내력과 에너지 소산능력은 유사하게 나타났다.

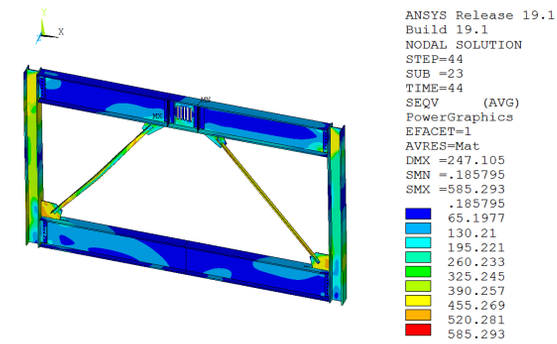
〈Table. 3〉은 〈Fig. 11〉로부터 얻어낸 잔류변위 값을 링크의 슬릿 개수에 따라 나타내었으며, TS 가새를 적용한 잔류변형 값과도 비교를 하였다. TS 가새와는 달리, SMA 가새를 이용한 역V형 편심가새골조의 경우 슬릿댐퍼의 슬릿 개수가 증가할수록 골조의 잔류변위가 감소하였다. 또한 TS를 적용한 경우보다 SMA를 적용한 경우, 55%~61%의 골조 원상복원 효과를 얻을 수 있었다.



(a) von Mises stress of CE-MBSL-0.1-NS-90-6

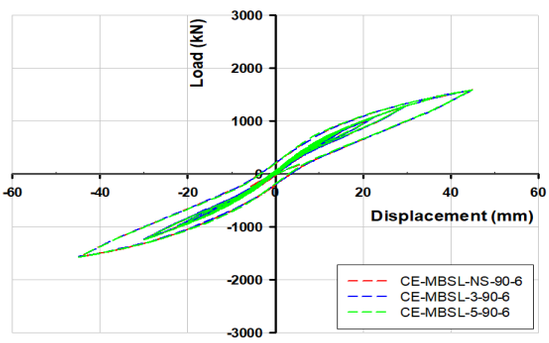


(b) von Mises stress of CE-MBSL-3-90-6



(c) von Mises stress of CE-MBSL-5-90-6

〈Fig. 10〉 Stress distributions according to the number of slits using SMA angle brace



〈Fig. 11〉 Load-displacement hysteresis curves according to the number of slits using SMA angle brace

〈Table. 3〉 Residual displacements of TS and SMA braced frames according to the number of slits

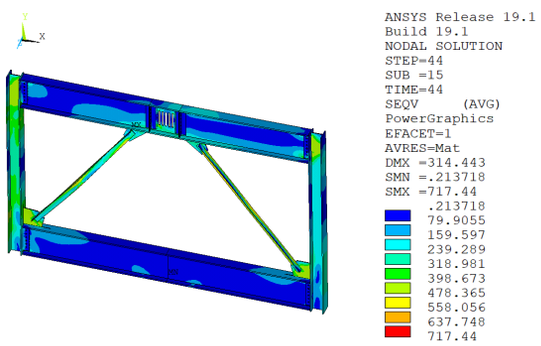
Models	Residual displacement (mm)		
	Material types of brace		Recentering effect (%)
	TS	SMA	
CE-NS-90-6	7.8	3.5	55
CE-3-90-6	7.7	3.4	56
CE-5-90-6	8.0	3.1	61

〈Fig. 12〉는 편심비 0.1을 갖는 역V형 편심가새골조에서 L-130x10의 ㄱ형강 가새와 슬릿 개수가 5개인 링크의 재료특성의 3가지 조합에 따른 응력분포를 나타내고 있다. 즉, 가새와 슬릿 링크 모두 TS를 적용한 경우(SBSL), 가새는 TS, 링크는 SMA를 적용한 경우(SBML), 가새와 링크 모두 SMA(MBML)를 적용한 경우를 비교하였다. 〈Fig. 12〉로부터 SBSL과 SBML은 가새의 끝단에서, MBML은 거셋플레이트와 보의 접합부에서 최대응력이 발생하는 것을 볼 수 있었다.

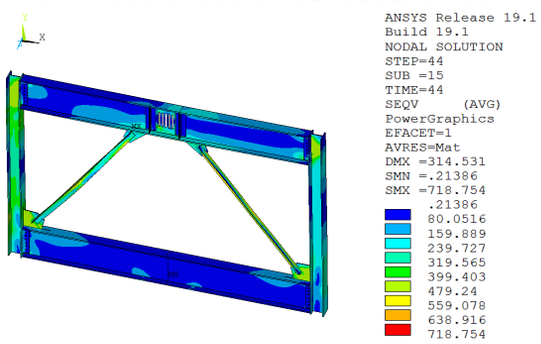
〈Fig. 13〉은 〈Fig. 12〉에서의 슬릿댐퍼를 적용한 역V

형 편심가새골조의 가새와 링크의 물성치에 따른 하중-변위 이력곡선을 나타내고 있다. 〈Fig. 13〉으로부터 링크에 SMA를 적용한 경우는 가새와 링크 모두 TS를 적용한 경우와 유사한 에너지 소산능력을 보였고, 가새와 링크 모두 SMA를 적용했을 때 골조의 잔류변위가 가장 적게 발생된 것을 볼 수 있다.

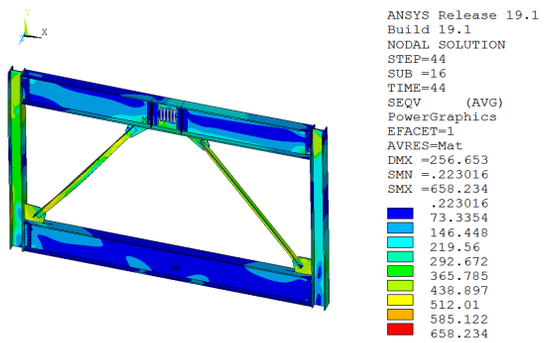
〈Table. 4〉은 가새의 단면적의 크기에 따른 골조의 잔류변위를 링크 물성치에 따라 나타내었다. 가새와 링크를 모두 TS를 적용한 경우(SBSL)와 가새는 TS 그리고 링크는 SMA를 적용한 경우(SBML)를 비교할 때, 골조의 잔류변위가 가새의 단면적이 3,000mm^2 보다 작으면(즉, L-130x10 과 L-90x8) 최대 2.6% 감소하였고, 3,000mm^2 보다 크면(즉, L-150x12) 3.4% 증가하였다. 이를 통해 링크에 SMA를 적용할 경우에도 원상복원 효과를 얻는 것을 알 수 있었다. 또한, 〈Table. 4〉는 가새와 링크 모두 SMA를 적용한 경우(MBML)에서 최대 66%의 골조의 원상복원 효과를 얻는 것으로 나타났다.



(a) von Mises stress of CE-SBSL-5-130-10

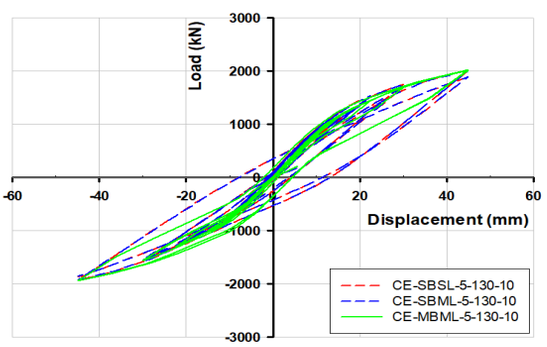


(b) von Mises stress of CE-SBML-5-130-10



(c) von Mises stress of CE-MBML-5-130-10

〈Fig. 12〉 Stress distributions according to material properties of slit link and brace



〈Fig. 13〉 Load-displacement hysteresis curves of according to material properties of brace and slit link

〈Table. 4〉 Residual displacements according to the combinations of TS and SMA and different section sizes of angle brace

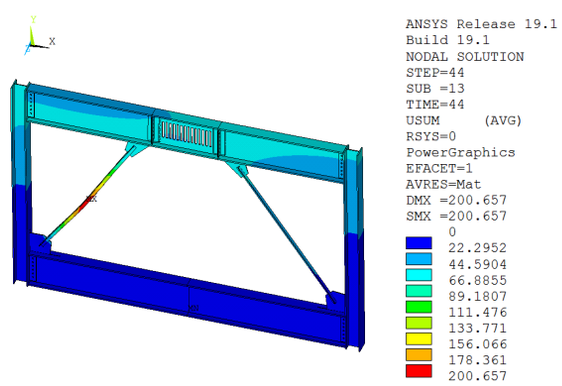
Models	Residual displacement (mm)		
	SBSL	SBML	MBML
CE-5-90-8	8.6	8.5	5.7
CE-5-130-10	11.5	11.2	4.4
CE-5-150-12	11.9	12.3	4.0

〈Fig. 14〉는 링크의 길이를 증가시킨 경우(즉, 편심비가 0.2인 경우), SMA 가새와 TS 슬릿댐퍼를 적용한 역V형 편심가새골조의 변형형상과 응력분포를 보여주고 있다. 최대변위는 가새의 중심부에서 발생하였고, 가새의 단면적이 비교적 작은 L-75x10이 적용될 경우 골조의 상부 보에 변형이 크게 발생하였다.

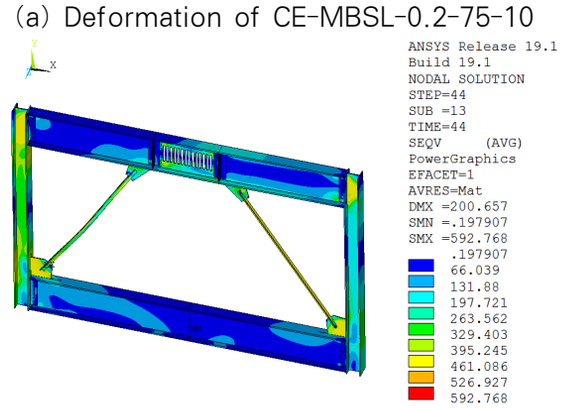
〈Fig. 15〉는 SMA 가새와 TS 슬릿댐퍼를 이용한 역V형 편심가새골조의 편심비가 0.1과 0.2인 경우 하중-변

위 이력곡선을 나타내고 있다. 이 그림으로부터 편심비의 크기가 0.1과 0.2인 경우에 에너지 소산능력과 원상복원 효과가 크게 차이가 나지 않는 것을 알 수 있다.

〈Table. 5〉는 SMA 가새와 TS 슬릿댐퍼를 이용한 역V형 편심가새골조에서 가새의 단면크기에 따른 가새의 최대변위와 골조의 잔류변위를 편심비 0.1과 0.2에 대해서 나타내었다. 가새의 단면크기에 상관없이 편심비가 0.2일 때 0.1일 때보다 가새의 최대변위가 약 8.6~13.8% 감소하였다. 역V형 편심가새골조의 잔류변위는 가새의 단면크기가 가장 작은 CE-MBSL-75-10일 때 약 27.8% 감소한 반면, CE-MBSL-75-10을 제외한 나머지 경우에서는 약 10.6~ 42.5% 증가하였다.

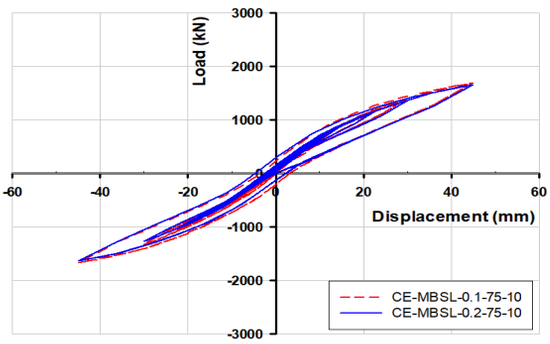


(a) Deformation of CE-MBSL-0.2-75-10



(b) von Mises stress of CE-MBSL-0.2-75-10

〈Fig. 14〉 Load-displacement hysteresis curves of according to eccentric ratio



〈Fig. 15〉 Load-displacement hysteresis curves according to eccentric ratios having SMA brace

〈Table 5〉 Maximum and Residual displacements according to eccentric ratios and section sizes of angle brace

Models	Brace		Frame	
	Maximum displacement (mm)		Residual displacement (mm)	
	0.1	0.2	0.1	0.2
CE-MBSL-75-10	232.9	200.7	3.16	2.28
CE-MBSL-100-12	243.2	215.8	4.04	4.47
CE-MBSL-120-8	246.7	225.6	2.96	3.72
CE-MBSL-130-12	255.8	222.4	4.67	5.94
CE-MBSL-150-10	259.6	233.3	3.72	5.30

4. 결론

본 연구에서는 기존에 사용되고 있는 가새골조의 잔류변형에 대한 문제점을 해결하고 에너지 소산능력을 향상시키기 위해 SMA와 슬릿댐퍼를 사용하여 3차원 비선형 유한요소 해석을 수행하였다. 유한요소 해석 결과로부터 역V형 편심가새골조의 변형형상, 응력분포 및 파괴모드, 하중-변위 이력곡선을 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 가새 단면적이 증가할수록 에너지 소산능력이 증가하였고, 가새에 형상기억합금을 적용한 경우 단면적의 크기에 따라 최대 71%의 원상복원 효과를 얻을 수 있었다.

(2) 가새와 링크 모두 기존 강재를 적용한 경우를 기준으로 링크에 형상기억합금을 적용한 경우와 비교하면, 골조의 원상복원 효과는 최대 2.6% 얻을 수 있었고, 가

새와 링크 모두 형상기억합금을 적용한 경우 골조의 원상복원 효과는 최대 66% 얻을 수 있었다.

⑶ 가새에 형상기억합금을 적용한 슬릿댐퍼를 갖는 역V형 편심가새골조는 편심비가 작을수록 에너지 소산능력이 더 크게 나타났으며, 편심비가 0.1일 때 보다 0.2일 때 가새의 최대변위가 최대 13.8% 감소하였다.

이러한 결론을 통해 슬릿댐퍼를 적용한 역V형 편심가새골조에 형상기억합금을 이용하면 골조의 원상복원 효과에 효과적으로 사용될 수 있음을 보여준다. 향후, 편심가새골조의 에너지 소산능력 향상과 리센터링 효과를 더욱 명확히 파악하고 이해하기 위해서는 다양한 파라미터에 대한 해석적 연구와 이를 검증하기 위한 실험적 연구가 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

이 연구는 한국연구재단 지역대학 우수과학자지원 사업(과제번호 : 2020R1I1A3065908)으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

References

1. Fujimoto, M., Aoyagi, T., Ukai, K., Wada, A., & Saito, K., “Structural Characteristics of Eccentric K-Braced Frames”, Trans.AIJ, no. 195, pp.39-49, 1972.
2. Stratan, A., Dogariu, A., & Dubina, D., “Bolted links for eccentrically braced frames: Influence of link stiffness”, Structures Congress 2009, pp.847-853, 2007.
3. Musmar, M. A., “Effect of Link on Eccentrically Braced Frames”, Journal of Engineering Sciences, Assiut University, Vol. 40, No. 1, pp. 35-43, 2012, doi: 10.21608/jesaun.2012.112712
4. Auricchio, F. & Sacco, E., “A one-dimensional model for superelastic shape-memory alloys with different elastic properties between austenite and martensite”, International Journal of Non-Linear Mechanics, Vol. 32, No. 6, pp. 1101-1114, 1997, doi: 10.1016/S0020-7462(96)00130-8
5. Auricchio, F., Taylor, R. L., & Lubliner, J., “Shape-memory alloy: macromodelling and numerical simulations of the superelastic behavior”, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 146, No. 3-4, pp. 281-312, 1997, doi: 10.1016/S0045-7825(96)01232-7
6. Mualla, I. H. & Belev, B., “Performance of steel frames with a new friction damper device under earthquake excitation“, Eng. Struct., 24, pp. 365-371, 2002, doi: 10.1016/S0141-0296(01)00102-X
7. Dolce, M., Cardone, D., Ponzo, F. C., & Valente, C., “Shaking Table Tests on Reinforced Concrete Frames without and with Passive Control Systems”, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol.. 34, No. 14, pp. 1687-1717, 2005, doi: 10.1002/eqe.501
8. Lee, S. J. & Kim, J. W., “Recentering X-Braced Steel Frames Using Sperelastic Shape Memory Alloy”, Jourmal of Korean Association for Spatial Structures, Vol. 18, No. 2, pp. 109-119, 2018, doi: 10.9712/KASS.2018.18.2.109
9. Kim, J. H., Kim, J. W. & Lee, S. J., “Hysteresis Behavior of Recentering Diagonal Bracing Steel Frames”, Journal of Korean Society of Steel Con struction, Vol. 30, No. 4, pp. 185-192, 2018
10. Yoon, S. H. & Kim, J. W., “Seismic Recentering Effects of Chevron Braced Steel Frames with SMA”, Jourmal of Korean Association for Spatial Structures, Vol. 20, No. 3, pp. 53-61, 2020, doi: 10.9712/KASS.2020.20.3.53
11. Architectural Institute of Korea, “Korean

Building Code and Commentary(KBC-2016)", 2016.
12. ANSYS, "Reference Manual", Ver. 18.0, 2019.
13. Yoo, J. H., "Analytical Investigation for Improved Design Models of Chevron Braced Frames", Journal of Earthquake Engineering Society of Korea, Vol. 13, No. 5, pp.73-78, 2009, doi: 10.5000/EESK.2009.13.5.073
14. DesRoche, R., McCormic, J., & Delemont, M., "Cyclic Properties of Superelastic Shape Memory Alloy Wires and Bars", Journal of Structural Engineering, Vol. 130, No. 1, pp. 38-46, 2004, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:1(38)

■ Received : August 8, 2022
■ Revised : September 5, 2022
■ Accepted : October 2, 2022