

중상부 거셋플레이트의 다층 X-형 가새골조 거동에 미치는 영향

유 정 한^{1)*}

¹⁾ 조교수, 서울과학기술대학교, 건축학부, 공학박사

Effect of Mid-span Gusset Plates on the Behavior of Multi-Story X-Braced Frames

Yoo, Jung Han^{1)*}

¹⁾ Assistant Professor, School of Architecture, Seoul National University of Science & Technology, Seoul, 139-743, Korea

ABSTRACT : Steel braced frames are commonly used because braced frames are one of the most economical and efficient seismic resisting systems. However, research into the behavior of multi-story X-braced frame systems with mid-span gusset plates, as used in practice, is limited. As a result, their seismic performance and the influence of connection design on this performance are not well understood. Detailed nonlinear computer analyses of the frame were performed prior to building the test specimens and were used to aid the design and to predict the system performance. These analyses suggested significantly different behavior for the midspan gusset plate than that noted for the corner gusset plate connections. This paper summarizes the results of a full scale, 2-story braced frame analysis and test on concentrically braced frames.

KEYWORDS : X-braced frame, gusset plate connections, finite element analysis, seismic performance

1. 서 론

가새골조는 가장 경제적이고 효과적인 횡저항 시스템 중 하나로 지진 다발지역에서 자주 사용된다. 가새 골조의 비탄성 휨반응은 가새의 좌굴 후 거동에 의해 지배되고 이에 상응하는 디자인 규정은 가새에 초점이 맞추어져 있다^[1]. 그러나 가새 시스템의 거동은 가새 뿐만 아니라 거셋플레이트, 골조 부재 모두에 달려있다. 잘못 디자인된 거셋플레이트는 가새 골조의 강도와 강성에서 상당한 손실을 초래할 수 있다. 골조 성능을 개선하기 위해, 거셋플레이트의 강도, 강성, 연성 등은 가새골조 디자인에서 반드시 고려해야 한다. 즉, 거셋플레이트의 강도는 골조의 저항력에 기여하고 지진에 저항하도록 디자인 되어야 하며 가새 시스템의 연성을 제공하도록 도와야 한다.

가새 골조와 그 구성요소의 단조하중과 반복하중에 대한 거동을 실험적 또는 해석적 테크닉을 이용하여 평가하기 위해 많은 연구가 수행되어 왔다. Roeder 등은 과거 실험결과를 이용, 거셋플레이트에 대한 현 디자인 모델들을 검토 및 평가하였다^[2]. 그러나 이들 디자인 모델들은 거셋플레이트의 좌굴에 대한 예측을 강조할 뿐 아직 적절한 거셋플레이트 디자인의 가이드라인을 주기 어렵다. 게다가 거셋플레이트의 실제 거동은 매우 비선형적이고 복잡하다. 구조 설계자는 시스템과 접합부 성능을 대략적으로 예측할 수 있는 골조 부재를 포함한 단순화한 모델을 원한다. 이에 저자는 최근 연구에서 접합부 축강성 및 회전강성 평가를 위해 단순화한 디자인 모델을 개발했고 이를 평가했다^[3].

Note.-Discussion open until October 31, 2013. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on December 24, 2012; revised February 13, 2013; approved on March 25, 2013.
© KSSC 2013

* Corresponding author

Tel. +82-2-970-9015 Fax. +82-2-970-1480
E-mail: happyjh@seoultech.ac.kr

Lehman 등은 최근의 연구에서 개선된 접합부 디테일로 모델한 사각형 HSS 튜브 가새의 성능에 대해 조사했다^[4]. 이 연구에서 거셋플레이트가 적절히 디자인되면 HSS 튜브를 포함한 골조 성능을 높인다는 결과를 얻었다. 이 연구는 코너 거셋플레이트를 포함한 가새에 관한 것으로 거셋플레이트 접합부는 가새의 최대성능을 발현하기 위해 충분한 강도와 강성을 가지고 디자인해야 하지만 지나치게 부과된 접합부 강

성과 저항력은 가새의 비탄성 변형 능력과 연성 능력에 부정적인 영향을 미친다는 사실을 보여준다. 또한 이 연구에서는 과도한 접합부 강성과 저항력은 인접한 보와 기둥의 현저한 항복을 일으킨다는 사실도 보여준다. 이에 타원형 간극거리 모델을 제안, 얇고 더욱 컴팩트한 거셋플레이트를 유도하여 가새의 연성과 변형 능력을 증가시켰다.

미국 국가과학재단(NSF)의 지원을 받아 진행된 최근의 연구 프로젝트는 개선된 내진 가새 골조 시스템에 대한 양질의 데이터를 얻기 위해 힘쓰고 있다. 과거 연구는 코너 거셋플레이트에 초점을 맞추었고 V형이나 역V형 가새골조에 관한 연구는 많지 않았다^[5]. 역V형 가새골조는 보의 항복에 의한 골조의 횡강성이 급격히 감소하지 않도록 불균형력을 고려하여 설계해야 한다. 최근의 역 V형 가새골조 관련 연구는 유한요소법 (FEM)을 이용 불균형력을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 가새골조를 모델링하고 매개변수 연구를 통해 가새의 접합부가 시스템 내진성능에 미치는 영향을 조사하였다^[6].

현재까지 다양한 형태의 가새골조에 대한 연구가 진행되어 왔으나, 다층 X형 가새 골조 형태의 경우, 보의 중앙부 거셋플레이트가 가새골조 시스템의 내진성능에 미치는 영향에 대한 실험적이거나 비탄성 해석적인 연구는 상당히 부족하다. 따라서 본 연구에서는 실제크기 다층 X-형 가새골조의 일부인 2층 중심가새골조를 이용하여 실험적, 해석적 연구를 수행하였다. 이번 연구는 이들 중앙부 거셋플레이트의 내진 거동을 조사하는 새로운 연구가 될 것이다.

2. 선행 해석결과

2.1 선행 해석 개요

유한요소 프로그램인 ANSYS를 이용, 2층 X-형 가새골조와 거셋플레이트 접합부의 비선형 해석연구를 수행했다. X-형 가새골조 시스템의 거동을 시뮬레이션하고 효과적인 디자인을 얻기 위해 선행연구로써 본격적인 실험연구와 해석연구 전에 수행되었다. 이 선행연구 결과는 중앙부(X 교차부) 거

셋플레이트와 코너부 거셋플레이트의 거동이 상당히 다르다는 것을 보여준다. 코너부 거셋플레이트의 거동은 가새에 가해진 압축력이나 인장력에 의해 발생한 정·부모멘트의 영향을 받는다. 비탄성 해석 결과에 따르면, 중앙부 거셋플레이트의 경우 이런 거동을 보이지 않는다. 대신 중앙부 거셋플레이트는 횡방향 구속과 보의 강성, 슬래브의 유무, 거셋플레이트 접합부의 보강 스티프너 등에 영향을 받는다^[7]. 선행연구에서 조사한 변수는 Table 1에 나타냈듯이 중앙부 거셋플레이트의 수직 스티프너, 슬래브의 유무, 중앙부 거셋플레이트의 에지 플레이트 등이다.

변수명에서, 예를 들어, EC_St_S_Ep에서 EC는 중앙부 거셋플레이트를 타원형 간극거리 (Elliptical Clearance) 설계법^[4] 이용해서 디자인했다는 의미이고, St는 중앙부 거셋플레이트의 수직 스티프너를, S는 슬래브를, Ep는 중앙부 거셋플레이트의 에지 플레이트 보강을 의미한다. 여기서, 골조의 항복강도(F_y)는 410MPa, 거셋플레이트의 항복강도(F_y)는 430MPa, 가새의 항복강도(F_y)는 480MPa, 탄성계수(E)는 205GPa로 가정한다.

2.2 선행 해석 결과

Fig.1은 밀면전단력과 층간변위 관계 그래프로써 압축측과 인장측 내력의 차이 모두 5% 미만으로 전체적인 비교에서는 중앙부 거셋플레이트에 설치한 수직 스티프너나 에지 플레이트, 슬래브의 유무 등은 내력에 큰 영향을 미치는 변수는 아니었다.

Fig. 2는 평균 층간변위가 약 1.5%일 때, 2층 가새골조 중앙부 거셋플레이트의 응력 분포와 국부변형을 나타낸 것으로 각기 다른 조건하의 결과를 나타낸다. Fig. 2(a)의 경우, 중앙부 거셋플레이트는 코너부 거셋플레이트에 적용한 타원

Table 1. Member descriptions

Specimen	Stiffener on the middle of gusset plate	slab	Edge plate on gusset plate
EC	X	X	X
EC_St	O	X	X
EC_St_S	O	O	X
EC_St_S_Ep	O	O	O

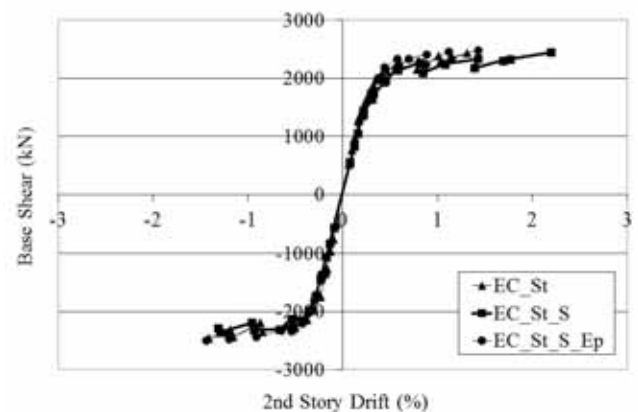


Fig. 1 Force-Displacement response

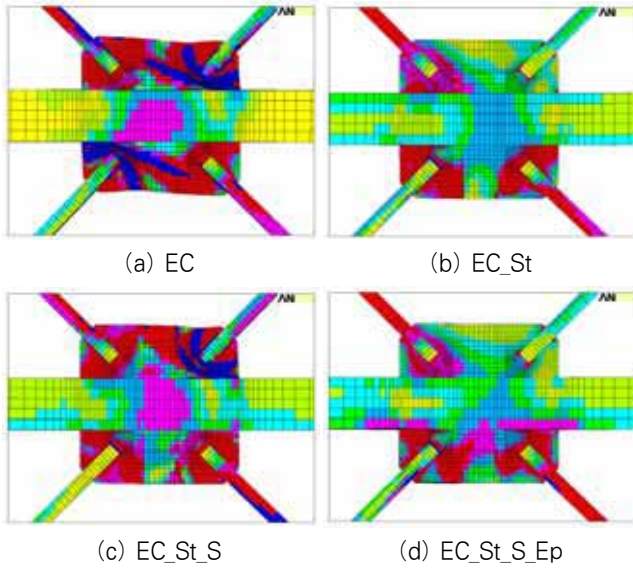


Fig. 2 Stress distribution results of preliminary analyses in mid-span gusset plates

형 간극거리 (Elliptical Clearance) 설계법을^[4] 이용해서 디자인 했고 슬래브를 포함하지 않으며 스틱프너에 의한 보강도 없는 모델이다. 해석 결과, 중앙부 거셋플레이트는 동일한 방법으로 디자인한 코너부 거셋플레이트에 비해 훨씬 심각한 변형과 높은 국부 응력을 받는 것으로 나타났다. Fig. 2(b)의 경우, 한 쌍의 수직 스틱프너를 중앙부 거셋플레이트에 보강한 것으로 거셋플레이트의 응력 집중과 변형을 상당히 줄였다. 이것은 스틱프너가 기둥의 플랜지 역할을 하여 중앙부 거셋플레이트가 더욱 컴팩트하게 되어 코너부 거셋플레이트와 거의 동일한 상태가 되기 때문이다^[4]. 그러나 Fig. 2(a)와 (b)의 경우는 중앙부 거셋플레이트 접합부의 성능에 상당한 영향을 미치는 슬래브를 모델에 포함하지 않고 있기 때문에 중앙부 거셋플레이트의 거동을 정확하게 반영했다고 할 수 없다. Fig. 2(b)의 경우에 슬래브 모델을 포함시켰을 때의 결과는 Fig. 2(c)에 나타났다. 슬래브가 거셋플레이트의 국부 응력집중과 변형에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 슬래브를 포함한 가새골조 모델의 접합부 성능에 미치는 영향을 조사하기 위해 다양한 변수(거셋플레이트의 두께, 크기, 에지 플레이트 보강 등)를 이용하여 해석적 연구를 수행했다. 두꺼운 거셋플레이트를 사용한 경우 거셋플레이트의 응력집중과 국부변형을 줄이는 장점이 있었지만 가새와 구조시스템의 연성능력을 저하시키는 결과를 가져왔다. Fig. 2(d)는 거셋플레이트 둘레에 에지 플레이트를 보강했을 때의 응력과 변형을 나타낸 것으로 에지 플레이트가 중앙부 거셋플레이트의 응력집중과 변형을 상당히 줄이는 것으로 나타났다. 그림에서 보듯이 거셋플레이트의 일부는 항복한 상태이고 심



Fig. 3 Mid-span gusset plate connection detail

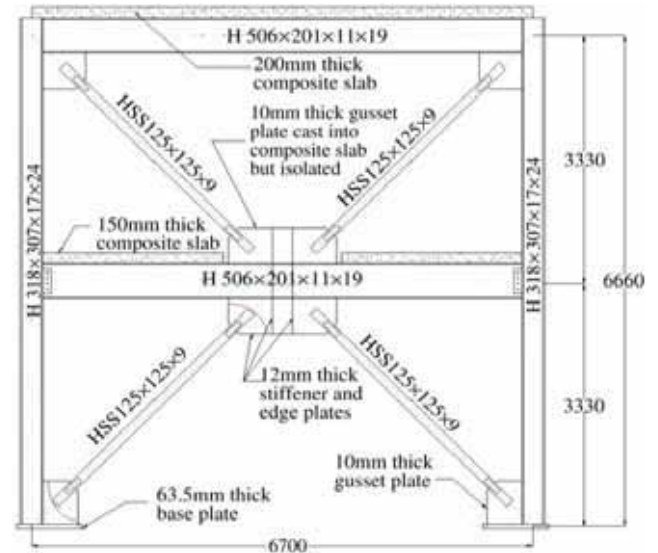


Fig. 4 Test set-up

각한 변형은 상당히 줄었다. 거셋플레이트의 항복은 중심가새골조(CBF) 시스템의 성능을 향상시키기 때문에 바람직하다^[4]. 이 결과에 따라 실험체를 결정했고, Fig. 3과 Fig. 4에서 보듯이 실험체는 중앙부 거셋플레이트에 한 쌍의 스틱프너와 거셋플레이트 둘레에 에지 플레이트를 포함하게 되었다. 해석결과 바닥슬래브의 영향과 보와 접합부의 비틀림 때문에 중앙부 거셋플레이트가 코너 거셋플레이트보다 취약하다는 것을 알 수 있었다. 이런 사실은 거셋플레이트와 보와의 용접부의 조기파단을 피하기 위해서 이 거셋플레이트의 강도와 강성 증가의 필요성을 제시한다. 즉, 거셋플레이트의 에지 플레이트보강으로 얇은 거셋플레이트의 두께는 그대로 유지하면서 가새가 좌굴함에 따라 거셋플레이트가 회전할 수 있도록 접합부 강성을 증가시켰다.

3. 실험결과 및 해석결과

3.1 실험 개요

실험 골조는 최근 워싱턴대학에서 연구된^[4] 대각가새를 이용한 단층 중심가새골조를 기반으로 하여 2층 X-형 가새 골조 구조 또는 중층 구조(mid-story of a mid-rise structure)의 실제 크기를 시뮬레이션하기 위해 설계되었다. Fig. 4는 실험 set-up이다. 층고와 기둥 간격은 각각 약 3.33m와 6.7m이지만, 기둥의 기초 때문에 아래층은 실질적으로 위층보다 크다. 부재의 규격은 기둥, 보, 가새가 각 H318×307×17×24, H506×201×11×19, HSS125×125×9이다. (이 규격은 최근 골조와 거싯플레이트 접합부 실험과 유사하게 만들어졌으며, 지난 실험 결과^[4]와 직접 비교가 가능하다.) 실험체의 거싯플레이트는 타원형 간극 거리를 이용한 모델과 선행된 코너 거싯플레이트 접합부 연구^[2]에서 제안된 균형 설계 지침(Balanced Design Procedure)을 이용한 규격을

사용하고 있기 때문에 비교적 얇고(10mm) 조밀하다. 메탈 데크 위에 합성슬래브로 골조를 완성했고 데크는 전단스터드에 의해 1층보와 2층보에 각각 접합되고, 이 데크시스템을 통해 실험골조에 수평하중을 적용하였다.

실험체의 국부 거동과 전체 거동에 대한 광범위한 수치들을 관찰하였다. Fig. 5에서 알 수 있듯, 구조의 높이에 대한 평균 층간 변위를 부여하기 위한 cyclic roof 변위 패턴을 상층부에서 100톤(220kip) 액추에이터 4기로 가력했다. 수평 지지골조에 의해 슬래브의 수평 변위를 구속했고 보의 축에 대한 슬래브의 회전과 수직의 이동은 허용했다. 위차계는 골조의 굴절, 거싯과 인접한 기둥과 보의 국부적인 변형, 모든 가새의 축방향 변형, 거싯과 가새의 면외 변형을 측정하기 위해 사용되었다. Fig. 5는 실험체의 방향과 이 논문에서 언급될 부재의 위치를 나타내고 Fig. 6은 하중이력을 나타내며 해석을 위해 변위제어를 택했다. 이 변위제어 하중 계획은 ATC-24와 SAC의 지침을 따랐다.

3.2 실험 결과

실험체는 예상했던 가새좌굴 거동을 보여줬고 $\pm 2.0\%$ 이상의 변위폭도 도달했다. Fig. 7에서 Fig. 9까지 보듯이 골조는 -2.07% 에서 2.16% 까지의(총 4.24%) 변위 능력을 보였으며, 1층에서는 -2.10% 에서 2.27% 까지(총 4.36%), 2층에서는 -2.07% 에서 2.05% (총 4.13%)까지의 층간 변위를 나타냈다. 모든 가새는 소성힌지가 발생했고 특히 1층 가새에서는 소성힌지에 파단이 발생했다(Fig. 10, 11).

Fig. 12에서 보듯이 코너 거싯플레이트의 상당한 수준의 항복이 관찰되었고 거싯플레이트와 접합된 골조 부재에서도 항복이 관찰되었다. 중앙부 거싯플레이트는 약간의 항복을 보

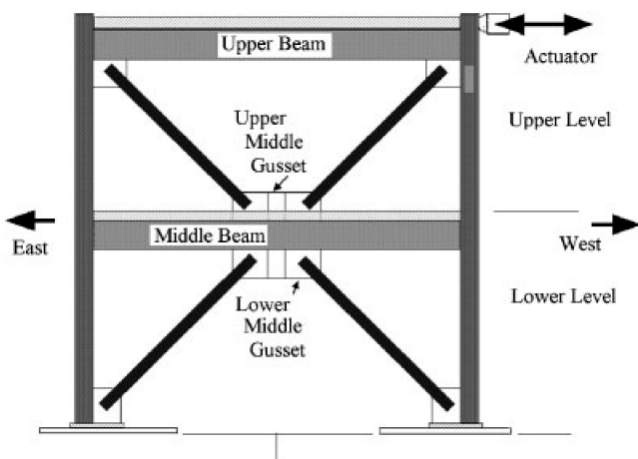


Fig. 5 Direction

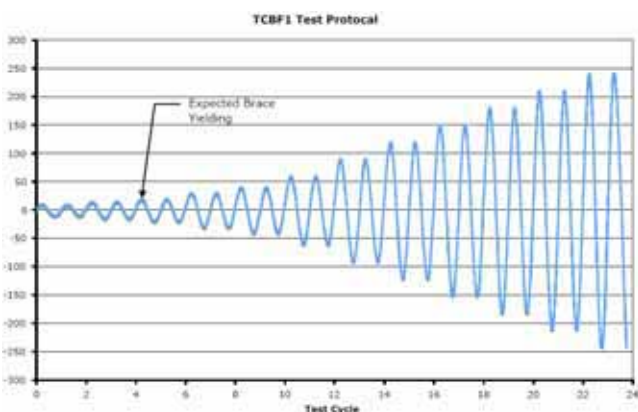


Fig. 6 Hysteresis loop

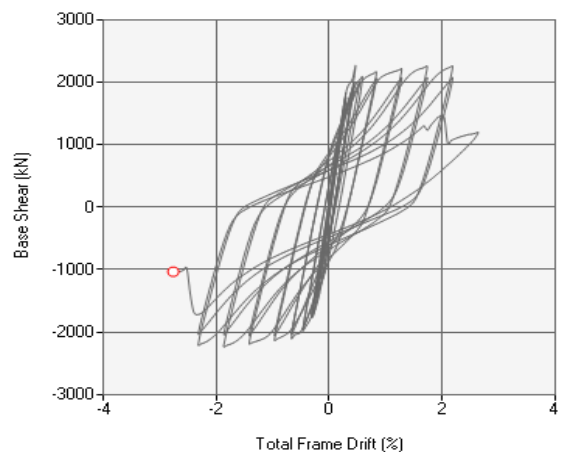


Fig. 7 Story drift vs. base shear for total frame (Test result)

였으나, 가새가 좌굴함에 따라 큰 면의 변형을 일으켰다 (Fig. 13). 또한 중앙부 거셋플레이트와 골조 부재간의 용접 부에서 연성 파단도 발견됐다. 모든 가새에서 면의 좌굴이 발

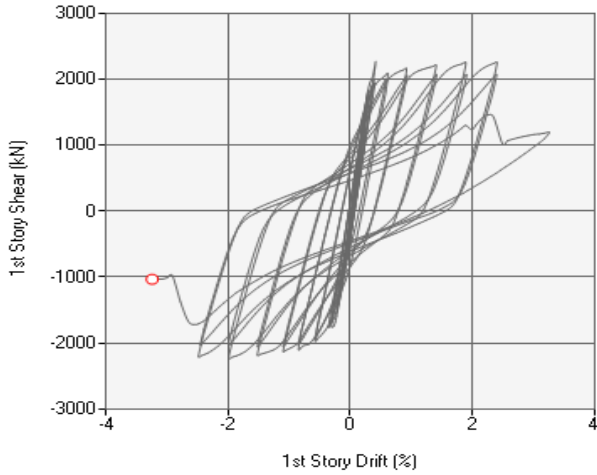


Fig. 8 Story drift vs. base shear for 1st story

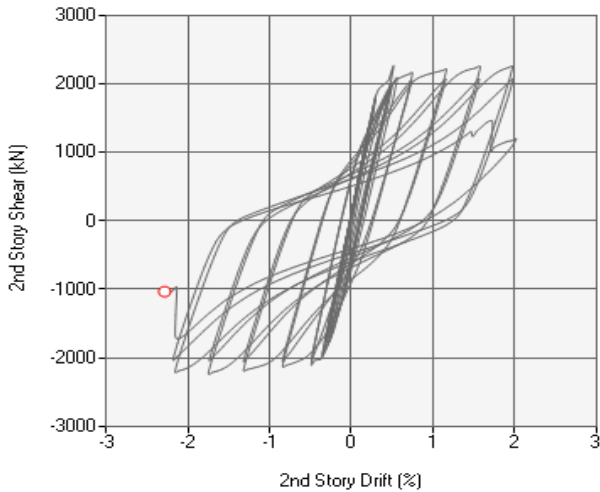


Fig. 9 Story drift vs. base shear for 2nd story



Fig. 10 Out-of plane buckling of 2nd floor braces

생했고 파단이 발생하기 직전 면의변위는 약 316mm였다. -120mm(-1.65%)의 변위를 도달했을 때 1층 서측 가새에서 소성 힌지가 첫 번째로 관찰되었다. 뒤이은 사이클에서 1층 동측 가새와 2층 동측 가새에서 소성힌지가 관찰되었다. -150mm(-2.07%)의 변위에서 1층 서측 가새가 압축하중일 때 가새의 파단이 가새의 소성힌지 안쪽에서 발생했다. 뒤이은 인장 사이클의 144mm(2.08%) 변위에서 가새는 인장 파단했다(Fig. 11). 1층 동측 가새가 파단 될 때까지 하중 사이클은 반대방향으로 계속되었다. 이 사이클에서 중앙 보의 쉬어탭 접합부에서 볼트 파단이 발생했다. 이 시점에서 안전을 위해 실험을 중단했다.

중앙부 거셋플레이트의 항복이 발생했지만 코너 거셋플레



Fig. 11 Fracture of 1st floor braces



Fig. 12 Yielding in 2nd floor west gusset plate



Fig. 13 Mild yielding in 2nd floor mid-span gusset plate

이트보단 경미한 정도였다(Fig. 12, 13). 수직 스티프너 엣지 플레이트, 보의 웹과 플랜지에서도 항복이 발견되었다. 거셋플레이트는 거셋플레이트와 보와의 용접부에 경미한 손상을 입히면서 좌굴시 가새의 상당한 면외 변형을 허용했다. 가새와 거셋플레이트가 만나는 부분에서의 엣지 플레이트의 구속이 인접한 용접부에 응력집중을 발생시켰다. 이 문제는 가새가 좌굴함에 따라 면외 회전 구속을 유연하게 하기 위해 엣지 플레이트를 짧게 한다든지 테이퍼링을 한다든지 하는 방법으로 해결할 수 있다. 코너 거셋플레이트는 워싱턴대학교에서 실시된 실험과 유사한 성능을 보였다. 상당한 면외 좌굴과 더불어 거셋플레이트를 가로지르는 광범위한 항복이 발생했다(Fig. 12).

3.3 해석 개요

해석은 다층 X형 가새 골조 중 실제 2층 가새골조를 시뮬레이션하였다. 골조의 각 층별 대각 가새의 설계는 워싱턴대학에서 실험되고 시뮬레이션으로 분석된 단층 대각 가새골조의 부재 규격과 치수가 유사하다. 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS^[8]를 사용하여 3차원 모델링을 수행하였고, 실험치와 비교 분석하였다. 인장시험 결과를 바탕으로 비선형 모델인 multi-linear kinematic hardening 모델을 사용했고, 좌굴을 시뮬레이션하기 위해 대변위 해석 (large deflection analysis)을 수행했다. 여기서 프와송비(ν)는 0.3, 항복조건은 von-Mises 이론을 적용하였다. 유한요소모델은 Shell181 요소를 모델 전체에 사용했다. Shell181 요소는 재료적 비선형과 기하학적 비선형 해석이 가능하여 소성(plasticity),

고탄성(hyperelasticity), 강성보강(stress stiffening), 크리프(creep), 대변위(large deflection), 대변형률(large strain)의 특성을 반영한다. Shell181 요소를 사용한 해석 모델은 Fig. 14와 같다. 매쉬 사이즈는 해석의 정확도와 수렴을 위해 거셋플레이트와 같은 중요부분은 비교적 조밀한 크기로 결정했다.

3.4 해석 결과

실험결과와 해석결과의 전체적인 비교를 위해 하중-변위 관계 곡선과 가새의 면외변위를 각각 Fig. 15와 16에 나타냈다. ANSYS로 모델링한 해석모델은 실험결과를 상당히 비슷한 결과를 얻었고 골조의 변위 능력도 잘 시뮬레이션 했다고 할 수 있다. 인장축과 압축축의 밀면전단력에 대한 실험결과와 해석결과의 차이는 약 8%정도로 해석모델이 비교적 정확하게 실험결과를 시뮬레이션했다고 볼 수 있다. 하지만 가새의 좌굴이 증가함에 따라 Fig. 15에서 보듯 비탄성구간에

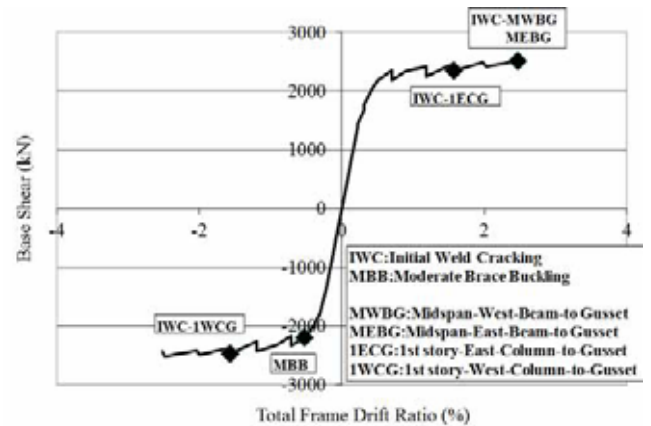


Fig. 15 Story drift vs. base shear for total frame (Analysis result)

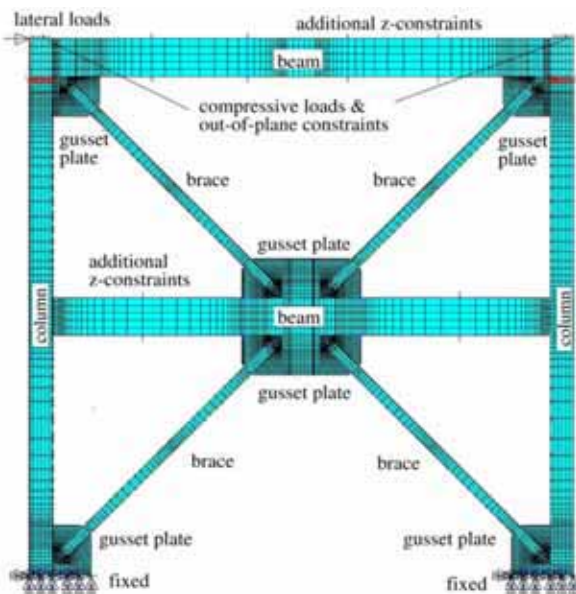


Fig. 14 Analytical model

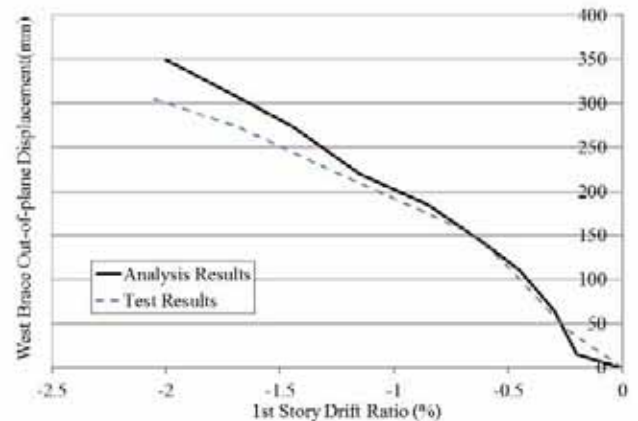


Fig. 16 Out-of-plane displacement comparison

서 해석에서 얻은 최대 밀면전단력이 실험에서 얻은 결과보다 다소 크게 나타났다. Fig. 16에서 보듯 가새의 면외변위의 비교의 경우, 상당히 흡사하다가 가새의 좌굴이 증가하면서 차이가 생김을 알 수 있다. 해석결과는 비탄성변형에 대한 요구가 2층부보다는 1층부에 좀 더 집중되는 결과를 보인 반면 실험의 경우, 두개층 모두 비슷한 변위를 나타냈고 가새, 거셋플레이트, 골조 부재에서 두 개층에 걸쳐 비슷한 비탄성 변형을 나타냈다. 즉, 면외변위 결과를 비교해 보면, 해석결과는 2층부보다는 1층부에 비탄성변형에 대한 요구가 컸기 때문에 가새의 좌굴이 증가함에 따라 실험결과보다 크게 나타났다. 향후, 본 연구의 결과를 바탕으로 더욱 다양한 변수를 고려한 X-형 가새골조의 분석이 가능해 졌다. 또한 이런 큰 스케일의 구조체의 거동과 결과를 좀 더 자세히 시뮬레이션하기 위해 추가 해석이 요구된다고 하겠다.

4. 결 론

이 연구는 중앙부 거셋플레이트를 포함하는 다층 X-형 가새골조의 내진 성능을 파악하기 위한 것으로 중앙부 거셋플레이트의 내진성능에 대한 실험적이거나 해석적인 연구가 상당히 부족한 현 시점에서 다층 X-형 가새시스템이 집합부 설계에 미치는 영향을 파악할 수 있을 것이다.

- (1) 선행해석연구를 통해 X-형 가새골조 시스템의 거동을 시뮬레이션하고 효과적인 디자인을 얻을 수 있었다. 이 선행연구 결과는 중앙부(X 교차부) 거셋플레이트와 코너부 거셋플레이트의 거동이 상당히 다르다는 것을 보여준다. 또한 이 선행연구를 통해 중앙부 거셋플레이트에 한 쌍의 수직 스티프너와 거셋플레이트 둘레에 에지 플레이트를 포함한 실험체가 결정되었다.
- (2) 선행해석에 의해 결정된 실험체는 $\pm 2.0\%$ 이상의 변위 폭에 도달하며 내진성능이 우수한 것으로 나타났다. 실험결과 코너부 및 중앙부에 적용한 개선된 거셋플레이트 디자인은 응력집중이 가새에만 집중되지 않고 응력분산을 시킴으로써 시스템 전체적으로 거동을 향상시켰다. 실험에서 얻은 이력곡선은 가새의 좌굴에 의한 효과적인 에너지 소산 능력을 보여준다.
- (3) 전체적인 비교 결과로써 해석모델이 실험결과를 비교적

정확히 예측했다. 초기강성은 실험치와 해석치가 정확히 일치하였고 하중-변위 관계와 면외변위 결과의 비교도 가새의 좌굴이 증가함에 따라 다소 차이는 발생했지만, 실험결과와 해석결과가 유사하게 나타났다. 이로써 본 연구의 결과를 바탕으로 더욱 다양한 변수를 고려한 X-형 가새골조의 분석이 가능해 졌다.

참 고 문 헌(References)

- [1] AISC (2010) *Manual of Steel Construction Load and Resistance Factor Design*, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL
- [2] Roeder, C.W., Lehman, D.E., and Yoo, J.H. (2005) Improved seismic design of steel frame connections, *International Journal of Steel Structures*, Vol. 5, No. 2, pp.141-153.
- [3] 유정환(2009) 가새 골조에서 거셋플레이트 연결부의 강성 평가, *한국강구조학회 논문집*, 한국강구조학회, 제21권, 제2호, pp.1-9.
Yoo, J.H. (2009) Evaluation of Gusset Plate Connection Stiffness in Braced Frames, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 21, No. 2, pp.1-9.
- [4] Lehman, D.E., Roeder, C.W., Herman, D., Johnson, S., and Kotulka, B. (2008) *Improved seismic performance of gusset plate connections*. ASCE, J Struct Eng. Vol. 134, No. 6, pp.890-901.
- [5] Uriz, P. and Mahin, S.A. (2004) Seismic vulnerability assessment of concentrically braced steel frames, *korean society of steel construction. International Journal of Steel Structures*, Vol. 4, No. 1, pp.239-248.
- [6] 유정환(2009) 역V형 가새 골조의 개선된 디자인 모델을 위한 해석적 연구, *한국지진공학학회 논문집*, 한국지진공학학회, 제13권, 제5호, pp.73-78.
Yoo, J.H. (2009) Analytical Investigation for Improved Design Models of Chevron Braced Frames, *Earthquake Engineering Society of Korea*. Vol. 13, No. 5, pp.73-78.
- [7] Yoo, J.-H., Roeder, C.W., and Lehman, D.E. (2009) Simulated behavior of multi-story X-braced frames. *Engineering Structures*. Vol. 31, pp.182-197.
- [8] ANSYS (2011) ANSYS multiphysics, Version 13.0 ANSYS Inc. Canonsburg, PA, USA.

요 약: 가새골조는 가장 경제적이고 효과적인 내진시스템 중 하나로써 자주 사용된다. 그러나 중앙부 거셋플레이트를 포함하는 다층 X-형 가새골조의 경우, 실무에서 뿐만 아니라 거동에 대한 연구도 드물다. 그 결과, 이 시스템의 내진 성능과 접합부 설계에 미치는 영향은 아직 잘 알려져 있지 않다. 이 영향을 파악하기 위해 선행해석연구가 수행됐고 이 선행연구는 실험체 제작 전에 수행되어 시스템 거동을 예측하고 효과적인 디자인을 위해 수행되었다. 선행연구 결과를 보면 중앙부(X 교차부) 거셋플레이트와 코너부 거셋플레이트의 거동이 상당히 다르다는 것을 알 수 있다. 선행연구의 결과로 결정된 실제크기의 2층 중심가새골조 실험체의 실험결과와 해석결과를 요약하였고 그 결과를 비교하였다.

핵심 용어: X-형 가새골조, 거셋플레이트, 유한요소해석, 내진성능
