



## 절판형 응력제한 기구의 개발에 관한 연구

김철환<sup>1</sup> · 채원탁<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>교수, 경북대학교, 건축토목공학부, <sup>2</sup>박사과정, 경북대학교, 대학원

### A Study on the Development of Force Limiting Devices of Folded Plate Type

Kim, Cheol Hwan<sup>1</sup>, Chae, Won Tak<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Professor, School of Architecture and Civil Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea

<sup>2</sup>Doctoral Course, Graduate School, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea

**Abstract** - The steel braces are used to control the lateral drift of high rise buildings. The braces are designed as tensile members since the braces consisted of slender member can not resist compressive loads by elastic buckling. To resolve this problem, a lot of research were performed to develop the non-buckling member. The force limiting device (FLD.) is one of them. The purpose of this study is the development of FLD. to prevent a elastic buckling for a slender member. The folded plate type is proposed to induce the yielding before occurring elastic buckling. In this study, member test and FEM analysis for proposed type were performed. Further, It is verified that the structure with FLD member is stable by high energy absorption. The proposed folded plate type FLD could be effective to preserve the compressive member from the elastic buckling.

**Keywords** - Force limiting device, Folded plate, Load-displacement relationship, Failure mode, Strength

#### 1. 서론

건축물이 고층화될수록 자중 등과 같은 연직하중에 의한 영향보다도 지진이나 바람 등과 같은 수평하중에 의한 영향이 크게 작용하게 된다. 따라서, 건축물의 안전성과 거주성을 높이기 위해서는 건축물의 강성을 높이거나, 브레이스나 전단벽과 같은 구조물을 설치하여 수평하중에 대해 저항하는 능력을 가져야 한다.

건축물에 설치되는 브레이스는 수평 변동하중이 작용할 경우 압축력과 인장력이 교대로 작용하게 된다. 이러한 브레이스가 세장한 경우, 인장에는 유효하게 작용할 수 있으나

압축력이 작용하게 될 때에는 탄성 좌굴이 발생하여 내력이 급격히 저하하게 되어 불안정한 상태가 될 수 있다. 따라서, 이러한 브레이스에 있어서 압축력이 작용할 경우에도 안정적으로 저항하도록 하기 위해 많은 연구가 진행되어 왔다. 그중 Yukun *et al.* (2009), Inoue *et al.* (2001) 등은 강재 플레이트의 외부에 콘크리트를 감싼 형태의 브레이스의 언본드 브레이스에 대한 연구<sup>[1],[2]</sup>를 진행하였으며, 국내에서는 Park and Kim(2008)에 의해 강재의 바깥에 강관과 충전재로서 저항하는 형식의 비좌굴 브레이스에 대한 실험적인 연구<sup>[3]</sup>가 진행되었다. Lee *et al.* (2010)은 Diagrid 시스템을 이용하여 외부튜브를 이루는 가새와 이를 연결하는 거더의 스트럿-타이 거동에 의해 수직 및 수평하중에 대해 저항하는 실험적 연구<sup>[4]</sup>를 진행하였다. 이들의 연구는 인장력이 작용할 경우에는 내부의 강재가 인장력에 저항하게 되고 압축력이 작용할 경우에는 강재의 외부에 설치된 부재에 의해 좌굴에 저항하도록 하는 형식이라 할 수 있다.

한편, Parke(1988)는 세장한 부재가 압축력이 작용할 경우에 있어서 각형강관 부재가 탄성좌굴이 발생하기 이전에

Note.-Discussion open until June 30, 2015. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on August 27, 2014; revised October 8, 2014; approved on October 14, 2014.

Copyright © 2014 by Korean Society of Steel Construction

\*Corresponding author.

Tel. +82-54-530-1374 Fax. +82-54-530-1379

E-mail. [cwtak@hanmail.net](mailto:cwtak@hanmail.net)

항복이 되도록 유도하는 응력제한 장치를 대상으로 실험적 해석적 연구<sup>[5]</sup>를 통하여 그 유효성을 입증하였으며, Schmidt *et al.*(1979), Tada(1993)에 의해 대공간 구조물에서의 시공오차를 흡수하여 높은 안정성을 가질 수 있음을 규명<sup>[6],[7],[8]</sup>하고 있다. 국내에서는 Kim *et al.*(2013)에 의해 응력제한 기구의 새로운 형태를 제안하고 그의 유효성을 실험적 이론적으로 규명<sup>[9],[10],[11],[12],[13],[14]</sup>하여 왔으나, 아직까지 보다 정량적으로 평가할 수 있는 응력제한 기구의 개발은 완성되지 못하고 실험적, 이론적인 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 이러한 응력제한 기구의 개발 및 실용화를 목적으로 타 기구보다 시공성, 경제성, 유지관리의 우수, 변형 및 에너지 흡수능력이 뛰어난 절판형 응력제한 장치를 제안하고 기구의 역학적 특성을 실험적 해석적으로 규명함을 그 목적으로 하고 있다.

## 2. 실험 계획

### 2.1 응력제한 장치 및 부재 계획

본 연구에서는 응력제한 방식 중 재료변형의 절판형 FLD를 제안하고 실험체를 계획하였으며, Table 1에서는 응력제한 장치(FLD) 및 부재의 실험체 계획을 나타낸다.

실험체 계획은 FLD기구와 FLD를 장착한 부재로 크게 2가지로 나누어 제작하였다. 실험체 제작에 사용된 강재는 모두 SS400급 강재를 사용하였다. FLD 실험체 제작은 직경 80mm 원형강봉의 내외부를 절삭하여 제작하였으며, 각 실험체의 절판의 개수(2~5EA)는 절판의 각도에 따라 실험체의 전체적인 높이를( $h=150\sim 200\text{mm}$ ) 고려하여 조금씩 다르게 계획 하였다. 각 실험체 절판의 외단 내민폭은 10mm로 설정하였다. 부재 실험체 계획은 양단부 핀접합부까지의 전체길이는  $l=1,600\text{mm}$ , 순 길이는  $l=1,500\text{mm}$ , 부재 치수는 원형강관  $\varnothing 42.7 \times 2.9$ 를 사용하였으며, 부재하단부에 FLD기구를 부착하였다.

FLD 실험체는 절판의 각도를 변수로 하여 Table 1에서와 같이  $45^\circ \sim 150^\circ$ 사이에서 5가지 형태로 계획하였다.

FLD 실험체는 강봉을 선반에서 자동 프로그래밍에 의해 디바이스로 정밀가공 하였으며, 장비 및 절삭 등의 제약으로 인해  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ 는 제작을 하지 못하였으며, 이에 대해서는 유한요소 해석을 통하여 거동 및 파괴양상 등을 파악하고자 한다. 또한 부재 실험체에 장착된 FLD도 90, 120, 150 실험체

에 대해서만 제작을 하여 부착하였다. 부재에 장착된 FLD 내부에는 편심하중에 의한 영향을 고려하여 직경 25mm의 강봉(guide bar)을 설치하였다.

FP 및 FP-M 실험체 모두 절판의 두께는 3.0mm로 하였다. Fig. 1에서는 FLD 및 부재의 실험체 형상을 나타내고 있다.



(a) FP Type

(b) FP-M Type

Fig. 1. Shape of specimens

Table 1. Test specimens

No	Name	Method of FLD		Shape
		Type	Degree	
1	FP	FLD	$45^\circ$	
			$60^\circ$	
			$90^\circ$	
			$120^\circ$	
			$150^\circ$	
2	FP-M	Member	$90^\circ$	
			$120^\circ$	
			$150^\circ$	

## 2.2 실험체 설치 및 측정방법

FLD기구 실험체에 대한 실험은 용량 600kN의 만능재료 시험기(UTM)에 실험체를 설치하여 압축실험을 실시하였으며, 하중, 변위, 거동 등의 실험결과를 취득하였다.

FLD기구를 부착한 부재실험은 구조프레임에 실험체를 설치하고 하중, 변위, 거동 등의 정확한 실험결과를 취득하기 위해 별도로 로드셀과 변위계(LVDT)를 설치하여 측정하였으며, 실험체의 변형율을 판단하기 위하여 중앙부에 축방향으로 스트레인게이지를 부착하였다.

실험의 진행은 파괴를 상정하여 절판이 압축하중에 의해 압괴, 파괴 및 변형이 발생할 때까지 변위제어를 하였다. 변위제어속도는 2mm/min으로 하였다. Fig. 2는 FLD기구 및 부재 실험체의 설치상황을 나타낸다.

## 2.3 재료시험

실험체 제작에 사용된 강재의 기계적 특성 및 성질을 파악하기 위하여 시편을 제작하여 인장강도시험을 실시하였다.

FLD 기구에 사용된 강봉 및 부재에 사용된  $\varnothing 42.7 \times 2.9$  원형강관에서 각 3개씩의 인장시편을 제작하여 재료시험을 수행하였다. 재료시험은 한국공업규격의 금속재료 인장시험편(KS B 0801)에 따라 제작하였으며, KS B 0802에서 규정하는 시험방법에 준하여 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 강재의 기계적 특성은 Table 2에 나타낸다. SS400급 강재를 사용하였으나, 실제로는 보다 높은 항복강도를 나타내고 있다.

Table 2. Mechanical properties of steel

Grade	Section	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Yield ratio	Elongation (%)
SS400	Steel bar(FLD)	350	468	0.75	24%
SS400	$\varnothing 42.7 \times 2.9$ (Member)	371	433	0.86	43%

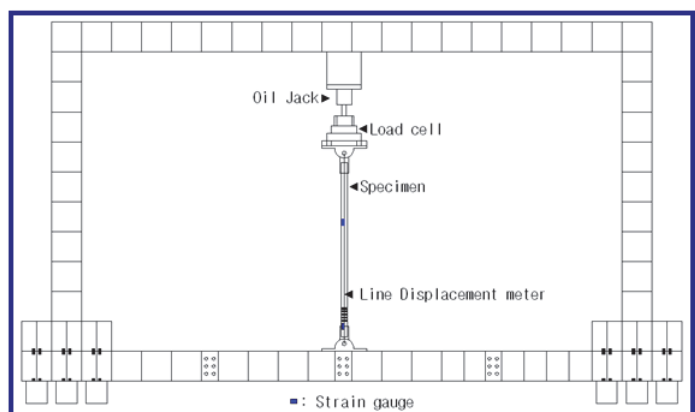
## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 하중-변위관계

Fig. 3에서는 FLD 실험체 및 부재 실험체에 대한 각 Type 별 하중-변위관계 곡선을 나타내고 있다. Fig. 3(a)의 FLD 실험체에서 FP-90, FP-120 실험체는 모두 탄성구간 이후 소성영역에서 안정적인 거동을 나타내고 있으며, FP-150 실험체에서는 항복이후 하중이 점진적으로 감소하다가 변위 25mm를 전후하여 다시 하중이 증가하는 양상을 나타낸다. 이는 시험체의 상부절판 접합부의 압괴 이후 하부절판 접합부에서 압축하중에 의한 압괴가 일어나면서 다시 하중의 증가가 나타나며 톱니형태의 파형을 나타내고 있다. FP-90, FP-120 실험체에 비해 FP-150 실험체의 하중 증가가 두드러지게 나타나는데 이는 제작상의 오차 등에 기인한 것으로 판단된다. 한편, 절판의 각도가 증가할수록 하중이 크게 나타나고 있다. Fig. 3(b)는 FP-M 실험체에 대해 실험결과를 나타낸다. 그림중의 수평실선은 부재의 탄성좌굴하중을 나타낸다. 이는 FLD 부재실험체와 비교하기 위해 FLD를 부착

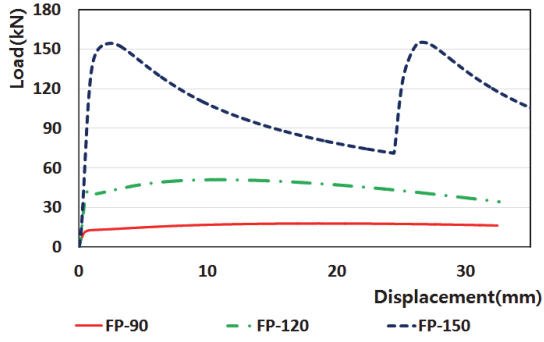


(a) FP type device

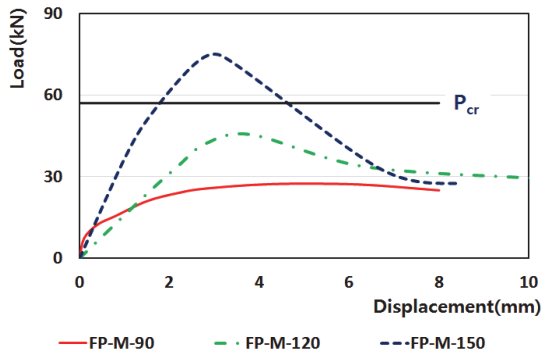


(b) member specimen with FP type device (FP-M)

Fig. 2. Set-up of specimen



(a) FP type



(b) FP-M type

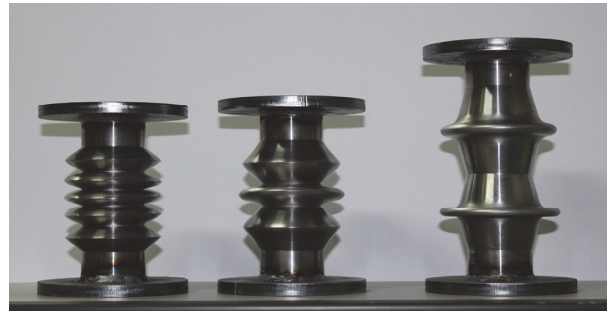
Fig. 3. Load-displacement relationship

하지 않은 기본부재에 대해 압축실험을 실시결과로서 약 57kN으로 나타났다. 그림에서와 같이 FP-M-90 부재실험체는 FLD 기구실험체인 FP-90 보다 항복하중이 약 2배 높은 28kN을 나타내고 있으며, 150° 실험체인 경우에는 90° 실험체와는 달리 FP-M-150 부재실험체에서 75kN을 나타낸 반면, FP-150 FLD 기구실험체에서는 약 2배 높은 153.1kN을 나타냈으며, 절판의 각이 120°에서는 FP 기구실험체 및 FP-M 부재실험체 모두 유사한 결과가 나타났다. 부재 실험체의 하중-변위관계 곡선에서 소성구간에서의 변위가 짧고, 항복 이후 내력의 감소가 나타나는 것은 압축 실험시 편심하중, 부재제작상의 오차, 부재의 탄성좌굴 등으로 판단된다.

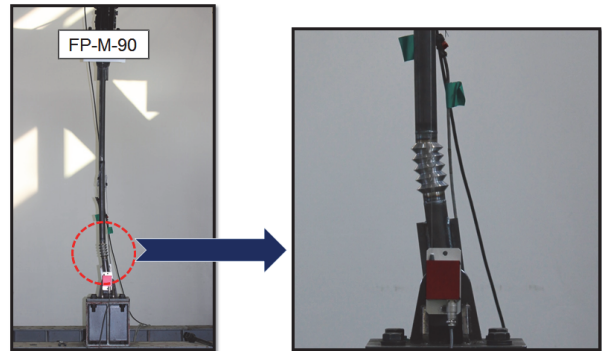
### 3.2 파괴양상

Fig. 4에서는 각 실험체별 파괴모드를 나타낸다.

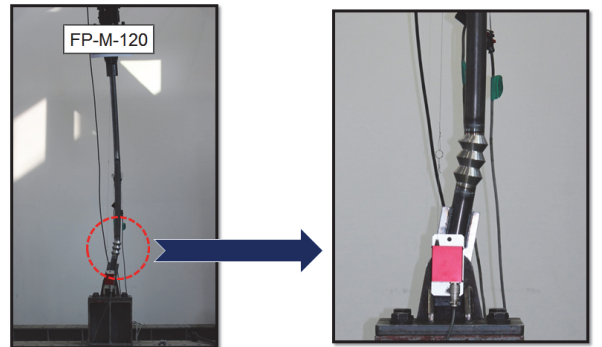
FLD 기구실험체에서 FP-90, 120은 중앙부 절판에서 먼저 변형 및 파괴가 나타났으며, FP-50에서는 상부 절판접합부에서 압괴가 일어난 후 하부 절판 접합부 가장자리에서 압괴가 나타나며 변형되었다.



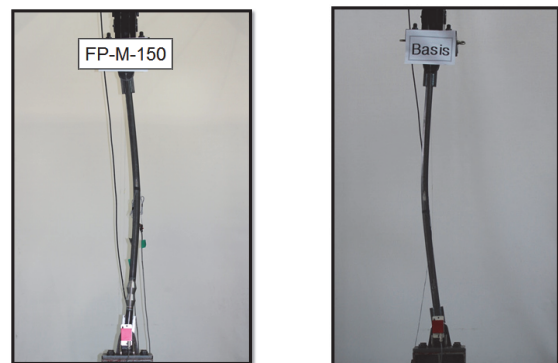
(a) FP type



(b) FP-M-90 type



(c) FP-M-120 type



(d) FP-M-150 type



(e) Basic type

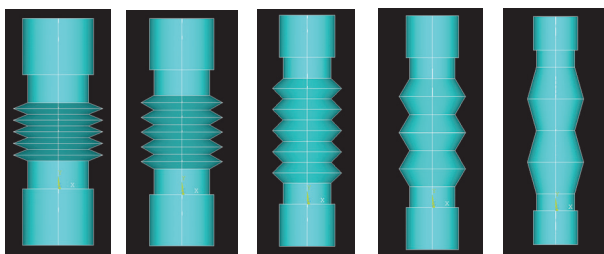
Fig. 4. Failure modes

부재 실험체인 FP-M-90, 120 은 FLD 기구부 상부에서 변형이 나타나고 있으며, 실험체 제작오차, 편심하중, 부재에 장착된 FLD 내부의 Guide bar 등의 영향으로 부재와 FLD 접합부에서 꺾임변형이 나타났다. FP-M-150 에서는 FLD 기구의 항복하중이 부재의 좌굴하중 보다 높아 부재의 중앙부에서 탄성좌굴이 일어났다. Fig. 4(e)는 기본부재의 압축하중에 의한 탄성좌굴을 보여주고 있다.

### 4. 유한요소해석

#### 4.1 해석 모델

FLD 각 실험체에 대한 수치해석을 수행하였다. 해석에 사용된 S/W는 범용유한요소 해석프로그램인 ANSYS를 사용하였으며, Fig. 5는 해석 모델을 나타낸다. FP-45, 60, 90 실험체에서의 절판 개수는 5EA, FP-120 실험체는 3EA, FP-150 실험체에서는 2EA로 모델링 하였다. 또한, 하단은  $U_x, U_y, U_z$  방향을 구속하였고 상단은  $U_x, U_y$  방향을 구속하였다. 또한 변위제어방식을 이용하여 상단의 변위를  $U_y$  방향으로 35mm씩 변위를 주어 해석을 수행하였다.



(a) FP-45 (b) FP-60 (c) FP-90 (d) FP-120 (e) FP-150

Fig. 5. Analysis model

#### 4.2 해석 단계별 응력분포

Fig. 6은 해석 단계별 각 모델링의 응력분포 상태를 나타낸다. 각 실험체의 응력분포는 변위 5mm 단위로 나타내었다. 모든 실험체들은 변위 1mm 내외에서 탄성한계에서 소성영역 구간으로 들어서고 있으며, 최대 및 항복하중이 나타나고 있다.

FP-45 실험체는 변위가 증가할수록 최대응력은 상부 절판부위에서 하부절판부위로 이동하여 나타나고 있으며, 하중은 변위가 5mm에서 약 88kN이며, 변위가 10mm에서는

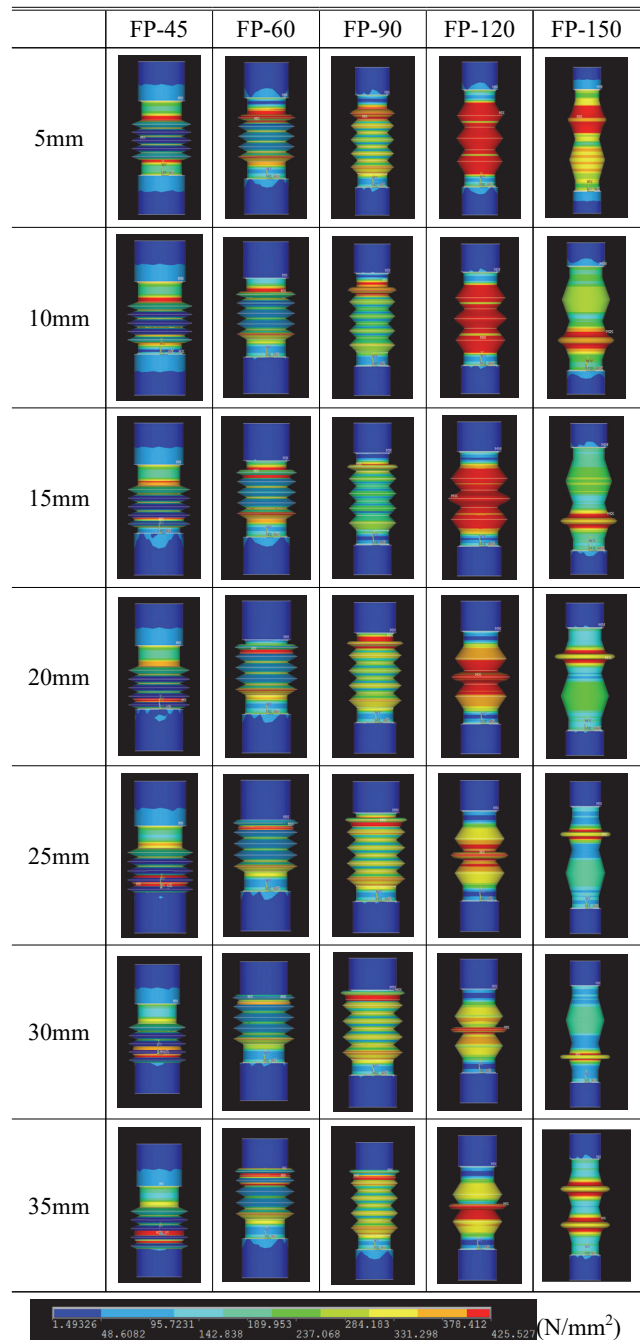


Fig. 6. Stress distribution(Analysis)

하중이 약 92kN으로 증가한 이후 변위가 점점 증가하면서 하중은 서서히 감소를 나타낸다. FP-60 실험체에서는 변위 증가에 따른 응력분포는 하부 절판부 보다 상부 절판부위에서 응력집중 현상이 나타나고 있으며, 변위가 5mm에서 하중은 약 64kN이나, 변위가 10mm에서는 하중이 55kN으로 감소하였으나 15mm 이후에서는 약 65kN 내외로 안정적인 거동을 나타낸다. FP-90 실험체는 변위가 0~10mm까지

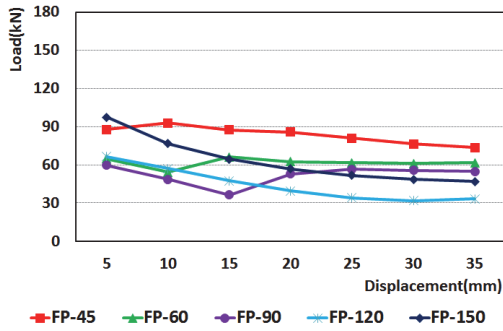


Fig. 7. Load-displacement relationship at analysis steps

는 다른 형태의 실험체에 비해 하중이 낮게 나타났으며, 응력분포는 상부 첫 번째 절판에서 최대응력을 나타내고 있다. 항복하중 이후 변위증가에 따라 하중은 약 35kN으로 감소하였으며, 변위가 약 15mm 이후부터 하중은 약 55kN으로 안정적인 거동을 나타낸다. 120 Type에서는 변위가 0~20mm까지는 절판 전반에 걸쳐 응력이 균등하게 분포하다 변위가 20mm 이후부터는 중앙부 절판에 응력이 집중되어 나타난다. 최대하중 이후 변위 증가에 따라 하중은 서서히 감소추세를 나타낸다.

FP-150 실험체에서는 변위가 5mm에서는 상부 절판부에서 응력이 높게 나타났으나, 10~15mm에서는 하부 절판부에서, 다시 20~55mm에서는 상부 절판부에서 응력이 높게 나타났다. 하중분포는 최대하중 이후 변위가 증가함에 따라 서서히 감소하는 경향을 나타낸다. Fig. 7은 해석 단계별 하중-변위 관계를 나타낸다.

### 4.3 해석 결과

해석결과는 Fig. 8 및 Table 3에 나타낸다. Fig. 8은 각 해석 모델의 최대응력을 나타내고 있으며, Table 4는 각 실험체의 항복하중을 나타내고 있다.

최대응력은 시험체의 절판단면이 이루는 각도가 작을수록 응력이 증가하고, 각도가 증가할수록 응력이 작아지고 있다. 이는 절판 사이각이 작을수록 단면의 두께는 모든 형태의 실험체에서 일정한 반면, 변의 길이는 줄어들기 때문이다. FP-45 실험체의 최대응력은 2,604.9kN/mm<sup>2</sup>으로 FP-150 실험체의 최대응력 1070.1kN/mm<sup>2</sup>보다 2배 이상의 차이를 나타낸다. 전체적인 응력은 절판의 각도에 반비례하여 약 15~30% 전후의 비율로 차이를 나타내고 있다. FP-45 Type에서는 중앙의 절판부위에서 최대응력을 나타내고 있으며, FP-60, FP-90 실험체에서는 상부 절판부에서

최대응력을 나타내고 있다. FP-120 실험체는 중앙부에서 FP-150 실험체에서는 상부 절판부에서 최대응력을 나타낸다.

수치해석에 따른 항복하중은 FP-150 실험체에서 123.9kN으로 가장 높게 나타내고 있으며, FP-45 실험체가 상대적으로 FP-60, 90, 120 실험체보다 높은 84.4kN을 나타냈다. 이는 절판 경사단면의 두께는  $t=3\text{mm}$ 로 일정한 반면, 두 단면이 접하는 사이각이 작을수록 각 단면의 접합부 폭이 상대적으로 증가하여 하중증가 요인이 발생하였다.

또한 각 단면의 접합부 가장자리에서 응력집중 및 최대응력이 발생한다. Fig. 9에서는 절판 각도에 따른 접합부 폭을 나타낸다. FP-45 실험체에서 두 단면의 접합부 폭  $B=7.84\text{mm}$ 이며, FP-60 실험체는  $B=6.05\text{mm}$ , FP-90 실험체는  $B=4.24\text{mm}$ , FP-120 Type은  $B=3.46\text{mm}$ , FP-150 실험체는  $B=3.11\text{mm}$ 로 절판 사이각이 커질수록 절판두께  $t=3\text{mm}$ 에 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 절판의 각도가 작을

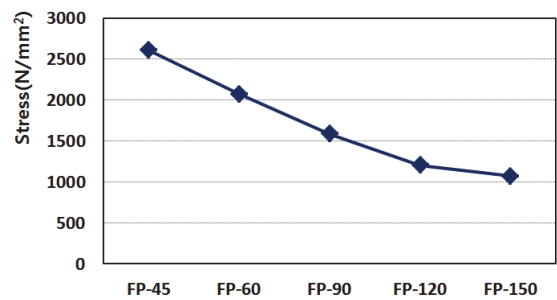


Fig. 8. Maximum stress(Analysis)

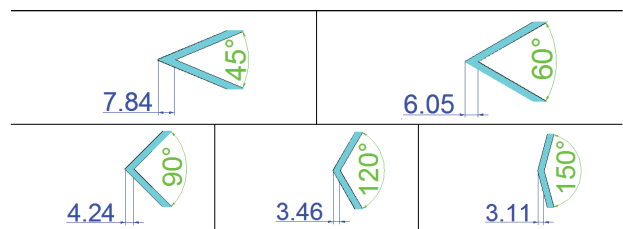


Fig. 9. Width of folded joint

Table 3. Maximum stress & yield strength(Analysis)

Type	Degree	Maxium stress (N/mm <sup>2</sup> )	Yield Strength (kN)
FP	45°	2,604.9	84.4
	60°	2,069.6	71.4
	90°	1,587.4	68.1
	120°	1,205.0	72.3
	150°	1,070.1	123.9

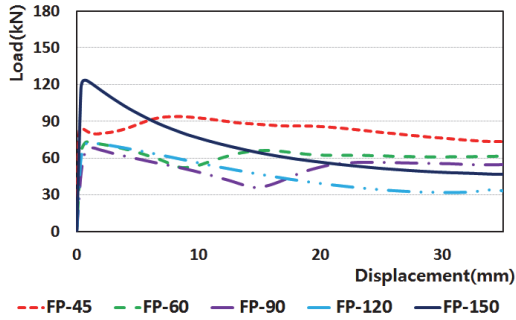


Fig. 10. Load-displacement relationship(Analysis)

수록 두 단면 접합부위의 단면적 증가, 응력집중 등으로 인해 FP-45 실험체에서 상대적으로 항복하중이 높게 나타났다.

Fig. 10에서는 각 Type별 수치해석에 따른 하중-변위관계를 나타내고 있으며, FP-60, 90, 120 실험체는 모두 유사한 거동을 나타내고 있으며, FP-45 실험체가 상대적으로 높은 항복강도를 나타낸다. FP-150 실험체는 항복이후 하중이 서서히 감소하는 추세이나 나머지 Type에서는 항복이후 소성영역에서 안정적인 거동을 나타내고 있다.

#### 4.4 실험 및 해석결과 분석

Table 4 및 Fig. 11에서는 FP Type의 실험결과와 수치해석의 항복하중 비교를 나타낸다.

FLD의 FP Type에서 항복하중은 수치해석 결과 약 68.1~123.9kN로 나타났으나, 실험결과는 약 12.8~153.1kN으로 나타났다. FP-90 실험체에서는 수치해석 결과값이 실험치의 약 5배, FP-120 실험체에서는 약 70% 정도 항복하중이 높게 나타났으나, FP-150 실험체에서는 실험치가 수치해석 값보다 항복하중이 약 20% 정도 높게 나타났다. FLD 실험체에서의 항복하중은 약 12.8~153.1kN으로 각 Type별 항복하중은 약 30% 정도의 차이를 나타낸다.

Fig. 11에서 실험치와 해석치의 차이는 해석모델링상의 접합부 설계, 부재 제작상의 오차, 내부 Guide bar, 편심하중 등에 의한 영향으로 판단된다.

Table 4. Yield strength

Type	Experiment(kN)	Analysis(kN)	
FP	45°	-	84.4
	60°	-	71.4
	90°	12.8	68.1
	120°	41.3	72.3
	150°	153.1	123.9

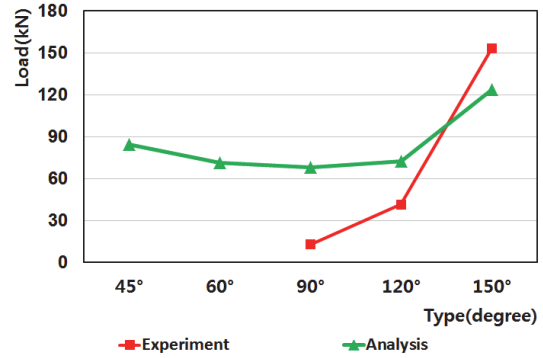


Fig. 11. Yield strength

### 5. 결론

본 연구에서는 세장한 철골부재에 압축력이 작용할 때, 부재의 좌굴 이전에 항복하도록 유도하는 장치를 제안하여 실험과 수치해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) FLD 기구실험체인 FP 실험체의 경우 FP-90, 120 실험체에서는 항복이후 소성영역에서 안정적인 거동을 나타내며, FP-150 실험체에서는 톱니형 웨이브 형태의 거동을 나타낸다.
- (2) FP 형태의 해석에서는 FP-150 실험체를 제외한 나머지 형태에서는 항복이후 소성영역에서 안정적인 거동을 나타내고 있으며, 항복하중 역시 유사하게 나타나는데 이는 두 절판단면의 접합부가 이루는 각이 작을수록 접합부 가장자리 단면적이 증가하여 응력이 증가한 것으로 판단된다.
- (3) FP-M 부재 실험체의 경우 FP 기구실험체에서와 같이 안정적인 소성변형능력은 나타나지 않고, 소성구간에서의 변위가 짧고, 항복 이후 내력의 감소가 나타나며, 이는 편심하중, 부재 제작상의 오차, 내부 Guide bar, 부재의 탄성좌굴 등의 영향으로 판단된다.
- (4) 절판을 이용한 응력제한 장치는 항복 후 안정된 이력거동을 나타내고 있어 응력제한방식으로서 유효성이 확인되었으며, 향후 부재와 기구의 탈부착이 가능하도록 하여 가새 등의 부재에 변형 및 파괴가 발생하지 않고, 응력제한 기구만 교체하여 반복 사용할 수 있도록 현장 적용성을 높여 실 구조물에 적용이 가능하리라 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업(No. 2011-0024207)이며, 또한 교육부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력선도대학(LINC) 육성사업의 연구결과임.

## 참고문헌(References)

- [1] Ding, Y. (2014) Cyclic Tests of Unbonded Steel Plate Brace Encased in Steel-Concrete Composite Panel, *Journal of Constructional Steel Research*, Elsevier, Vol.102, pp.233-244.
- [2] Inoue, K., Sawaizumi, S., and Higashibata, Y. (2001) Stiffening Requirements for Unbonded Braces Encased in Concrete Panels, *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol.127, No.6, pp. 712-719.
- [3] 박준희, 김진구(2008) 각형강봉으로 충전된 좌굴방지가새의 반복하중실험, 대한건축학회논문집-구조계, 대한건축학회, 제24권, 제10호, pp.53-60.  
Park, J.-H., and Kim, J.-K. (2008) Cyclic Test of Buckling Restrained Braces Filled with Square Bars, *Journal of the Architectural Institute of Korea - Structure & Construction*, AIK, Vol.24, No.10, pp.53-60 (in Korean).
- [4] 이종혁, 주영규, 김영주, 김상대(2010) Diagrid BRB의 실험적 구조성능 평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제22권, 제3호, pp.261-269.  
Lee, J.H., Ju, Y.K., Kim, Y.J., and Kim, S.D. (2010) Experimental Evaluation for Structural Performance of Diagrid BRB Structural System, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.22, No.3, pp.261-269 (in Korean).
- [5] Parke, G.A.R. (1988) *The Behaviour of Space Trusses Incorporating Novel Compression Members*, Ph.D Dissertation, University of Surrey, UK.
- [6] Schmidt, L.C., and Hanaor, A. (1979) Force Limiting Devices in Space Trusses, *Journal of the Structural Division*, American Society of Civil Engineers, Vol.105, No.5, pp. 939-951.
- [7] Hanaor, A., and Schmidt, L.C. (1980) Space Truss Studies with Force Limiting Devices, *Journal the Structural Division*, American Society of Civil Engineers, Vol.106, No. 11, pp.2313-2329.
- [8] 多田元英(1993) 立体トラスの複合非線形解析および座屈制御による耐震性能の向上に関する研究, 博士 大阪大学, 日本.  
Tada, M. (1993) *A Study on the Combined Non-Linear Analysis of Space Trusses and Improvement of Seismic Capacity by Buckling Control System*, Ph.D. Dissertation, Osaka University, Japan (in Japanese).
- [9] 김철환, 채원탁, 도천기(2014) 절판형 항복유도장치 개발에 관한 연구, 한국강구조학회 2014년 학술발표대회 논문집, 한국강구조학회, pp.113-114.  
Kim, C.H., Chae, W.T., and Do, C.G. (2014) A Study on the Development of the Force Limiting Device with Folded Types, *Proceedings of Annual Conference of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, pp.113-114 (in Korean).
- [10] 김철환, 채원탁, 도천기(2014) 구형 항복유도장치 개발에 관한 연구, 한국공간구조학회 2014년 춘계학술발표회 논문집, 한국공간구조학회, pp.67-68.  
Kim, C.H., Chae, W.T., and Do, C.G. (2014) A Study on the Development of the Force Limiting Device with Convex Types, *Proceedings of Annual Spring Conference of Korean Association for Spatial Structures*, KASSS, pp. 67-68 (in Korean).
- [11] 오영석, 김철환, 김채영, 채원탁(2013) 슬릿형 응력제한장치(FLD)의 좌굴 후 거동에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제5호, pp.475-486.  
Oh, Y.S. Kim, C.H., Kim, C.Y., and Chae, W.T. (2013) A Study on the Post-Buckling Behavior of Slit Type FLD (Force Limiting Device), *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.5, pp.475-486 (in Korean).
- [12] 김철환, 채원탁, 오영석, 김채영(2013) 좌굴전 항복유도 장치(FLD) 개발에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제25권, 제3호, pp.279-287.  
Kim, C.H., Chae, W.T., Oh, Y.S., and Kim, C.Y. (2013) A Study on the Development of Force Limiting Devices (FLD) Which Induce Yielding Before Elastic Buckling, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.25, No.3, pp.279-287 (in Korean).
- [13] 김철환, 채원탁(2013) 좌굴전 항복유도 장치 개발 및 부재 실험, 한국강구조학회 2013년 학술발표대회 논문집, 한국강구조학회, pp.235-236.  
Kim, C.H., and Chae, W.T. (2013) A Study on the Development of the Force Limiting Devices Which Induce Yielding Before Buckling, *Proceedings of Annual Conference of Korean Society of Steel Construction*, KSSC,



pp.235-236 (in Korean).

[14] 김철환, 채원탁, 오영석(2012) 좌굴전 항복유도 장치의 개발(1), 한국강구조학회 2012년 학술발표대회 논문집, 한국강구조학회, pp.91-92.

Kim, C.H., Chae, W.T., and Oh, Y.S. (2012) Development

of Force Limiting Devices Which Induce Yielding Before Buckling (1), *Proceedings of Annual Conference of Korean Society of Steel Construction, KSSC*, pp.91-92 (in Korean).

---

**요 약 :** 고층건축물의 수평변위 제어에 필요한 브레이스는 구조물의 경제성 확보를 위해 주로 새장한 부재를 설치하여 인장하중에 저항하도록 하는 경우가 많다. 하지만, 브레이스에 압축하중이 작용할 경우에는 부재가 하중에 저항하지 않는 부재로 상정하여 설계되고 있다. 이는 브레이스에 압축하중이 작용할 경우 부재의 탄성좌굴이 발생하게 되어 급격히 내하력을 잃어버리게 되기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 이루어져 왔으며, 그중 대표적인 것이 응력제한장치라 할 수 있다. 응력제한장치는 새장한 부재가 압축하중에 의해 탄성좌굴이 발생하기 전에 부재가 항복하여 안정적인 거동을 유도하는 것을 목적으로 하고 있다. 본 논문에서는 응력제한장치로서 절판방식을 제안하고 실험과 유한요소 해석을 수행하였다. 실험은 절판단면의 경사각을 변수로 하여, FLD장치 및 FLD를 장착한 부재에 대한 압축실험 및 해석을 진행하였다. 그 결과 절판방식의 실험체는 항복 후 소성영역에서 내력의 큰 저하 없이 안정적인 거동을 나타내고 있어 응력제한방식으로서 유효함이 확인되었다.

**핵심용어 :** 응력제한장치, 절판, 하중-변위관계, 파괴양상, 최대강도

---