

# 신형상 냉간성형 단면의 구조적 거동(I) - 압축거동

## Structural Behavior of Newly Developed Cold-Formed Steel Sections(I) - Compressive Behavior

박 명 균<sup>1)</sup> · 김 한 식<sup>2)</sup> · 정 현 석<sup>3)</sup> · 권 영 봉<sup>4)</sup>  
*Park, Myeung Kyun Kim, Han Sik Chung, Hyun Suk Kwon, Young Bong*

요 약 : 현재 우리나라 스틸하우스 건설에 사용하는 구조재는 SGC41 강종으로 제작된 보통 C-형강이나 Lip-C-형강이 주를 이루고 있으나 이 분야의 선진국가에서는 좌굴 강도가 높고 시공성이 좋은 고유의 단면 형상을 개발하여 사용하고 있다. 본 연구에서는 경량이면서 강도 및 강성이 높고 다양한 시공상 장점이 있는 고강도 신형상 박판냉간성형단면의 압축부재로서의 구조적인 거동과 성능을 연구하기 위하여 재료실험 및 압축실험을 수행하고 해석치와 비교하여 보았다.

ABSTRACT : Cold-Formed C-section and Lipped C-section are commonly used as structural members of steel houses in Korea. Both are made of SGC41 steel. However, special Cold-Formed Sections with unique cross sectional shape have been developed and widely used in advanced countries. This research focused on the newly developed thin-walled Cold-Formed Sections which possess not only high strength and stiffness but also other advantages in construction. A series of compression tests was conducted to investigate the structural behavior of a compression member, including its load carrying capacity. Test results were compared with analytical study results.

핵 심 용 어 : 스틸하우스, 냉간성형형강, 국부좌굴, 뒤틀림좌굴, 휨-비틀 좌굴, 압축부재, 클린칭

KEYWORDS : Steel House, Cold-Formed Steel Sections, Local Buckling, Distortional Buckling, Flexural/Torsional Buckling, Compression Member, Clinching

### 1. 서 론

박판냉간성형강재(Thin-Walled Cold-Formed Steel Sections)는 강재주목분야에서 지붕트러스, 내·외벽체 및 바닥 등에 다양하게 적용이 되고 있다. 현재 국내에서는 SGC41 강종의 두께 1.0~1.2mm의 C-형강 또는, Lip-C-형강 단면이 주로 사용되어 오고 있으며, 특히 지붕트러스에는 강성이 비교적 크고, 조립이 간편한 Lip-C-형강이 적용되고 있는 실정이다. 그러나 이러한 개단면들은 낮은 압축응력하에서 국부좌굴(Local Buckling), 뒤틀림좌굴(Distortional Buckling) 및 휨-비틀 좌굴(Flexural-Torsional Buckling)<sup>(1),(2)</sup>이 발생하므로 스티드나 트러스 등의 압축부재로 사용될 경우 좌굴

강도가 낮기 때문에 벽체의 높이나 트러스의 스패닝길이에 따라 적용하기 힘든 구조적 성능의 한계가 있으므로 박판냉간성형강재의 적용 분야가 극히 제한되어 있다. 그러나 이 분야의 선발 국가에서는 경량이면서도 시공성이 우수한 고유한 형상<sup>(3),(4)</sup>을 개발하여 각종 시설물에 폭넓게 적용하고 있어, 국내에서도 이러한 문제점들을 극복한 새로운 신형상 단면의 개발이 요구된다.

본 연구에서는 좌굴성능을 향상시킨 고강도 신형상 폐단면 경량형강(이하 PRY 단면)에 대한 재료시험, 압축시험을 수행하여, 벽체의 스티드, 트러스의 복부재 및 현재 등 압축부재로서의 적용 가능성을 검토였다.

1) 동일기술공사 사원  
2) (주)수성엔지니어링 사원  
3) 포항산업과학연구원 강구조연구소 선임연구원  
4) 영남대학교 토목공학과 부교수

본 논문에 대한 토의를 2002년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

## 2. 단면의 제원 및 형상

### 2.1 단면의 제원

시험체는 SGC41 ( $F_y = 3000 \text{ kgf/cm}^2$ )과 SGC58 ( $F_y = 5700 \text{ kgf/cm}^2$ )의 두 가지 강종을 절곡압착(Brake-Pressing) 및 냉간압연(Cold-Roll Forming)법으로 제작하였다. 시험체의 단면형상은 그림 2.1과 같이 1축 대칭 폐단면으로, 단면의 제원은 표 2.1과 같다. 유효단면적은 등분포 압축하중 작용시의 국부좌굴을 고려한 AISI(1996)<sup>(5)</sup> 규정을 적용하여 계산하였다.

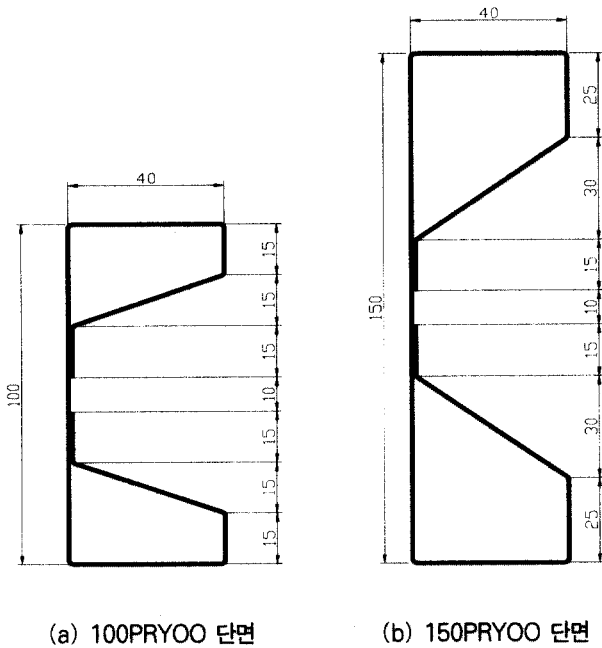
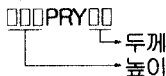


그림 2.1 실험단면형상(단위:mm)

표 2.1 단면의 제원

시험체명	복부 높이 (mm)	단면 두께 (mm)	전체 단면적 (cm <sup>2</sup> )	유효 단면적 (cm <sup>2</sup> )	단면2차모멘트 (cm <sup>4</sup> )	
					I <sub>x</sub> (강축)	I <sub>y</sub> (약축)
100PRY05	100	0.5	1.62	1.20	20.52	3.57
100PRY06	100	0.6	1.92	1.55	24.57	5.48
100PRY08	100	0.8	2.58	2.34	31.60	5.67
150PRY05	150	0.5	2.05	1.39	53.87	4.83
150PRY06	150	0.6	2.46	1.82	64.62	7.45
150PRY08	150	0.8	3.28	2.77	83.24	7.71

주) 시험체 표기방법



시험체의 첫머리에 표기된 숫자는 시험체의 높이(mm)이고, 문자(PRY)뒤에 표기된 숫자는 시험체의 두께(mm)를 각각 표시하고 있다.

신형상단면 복부의 폐합부는 점용접(Spot Welding)이나 스크류(Self-Drilling Screw Fastener)를 사용하지 않고, 그림 2.2에 나타난 상세와 같은 클린칭(Clinching; 양쪽 판재를 연결재의 사용 없이 압착하여 접합하는 방법)으로 접합하였다.

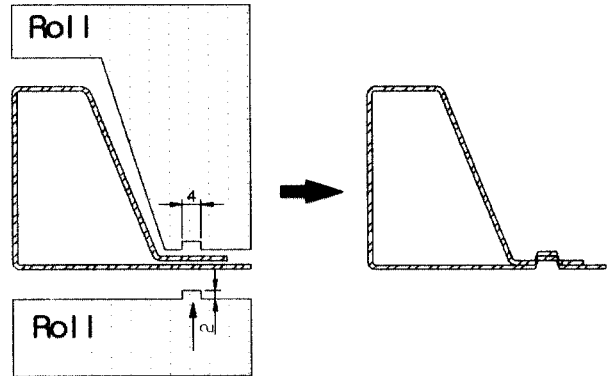


그림 2.2 클린칭 상세 (Roll-Forming)

## 3. 재료 시험

### 3.1 시험방법

시험체 제작에 사용된 강재의 역학적 성질을 파악하기 위하여 모재와 냉간성형된 시험단면 각각으로부터 절취하여 KS B 0801의 규정에 따라 강재의 인장시험편을 제작하였다. 그림 3.1과 같이 냉간성형된 실험단면의 경우, 편평부와 절곡부에서 시험편을 절취하여 인장시험편을 제작하였다. 절곡부 시험편의 경우도 편평부의 규격을 따랐으며 투영폭이 20mm가 되도록 하였다. 가공된 시험편의 형상은 그림 3.2와 같고 시험전경은 그림 3.3과 같다. 인장시험은 용량 25ton(Shimadzu AUTOGRAPH AG-250KNG 모델) U.T.M을 이용하여 1mm/min의 속도로 가력하는 방법으로 수행하였으며, 변형률은 Extensometer를 이용하여 측정하였다.

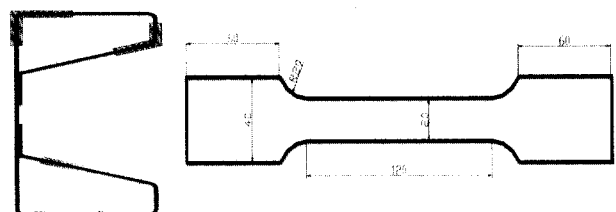


그림 3.1 인장시험편 절취부위 및 시험편의 제원

표 3.1 강재의 인장시험결과

시편명		$F_y$ ( $kg/cm^2$ )	$F_u$ ( $kg/cm^2$ )	$F_y/F_u$	$\epsilon$ (%)
모재 (SGC58)		5760	5903	0.976	7.06
PRY05 (SGC58)	절곡부	7,443	7,448	0.994	4.75
	편평부	5,820	5,967	0.976	7.43
PRY05* (SGC58)	절곡부	7393	7603	0.972	10.7
	편평부	6225	6312	0.986	12.95
PRY06* (SGC58)	절곡부	6104	6184	0.987	15.40
	편평부	5792	5980	0.969	12.00
PRY08* (SGC58)	절곡부	6711	6928	0.969	8.52
	편평부	6328	6464	0.983	9.34
PRY08 (SGC41)	절곡부	4166	5039	0.827	21.28
	편평부	3541	4334	0.817	23.71

\* Roll Forming으로 제작된 단면

그림 3.2 인장시편

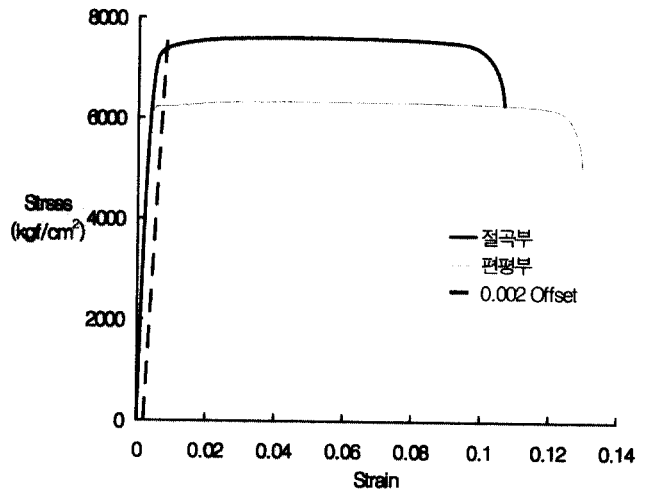


그림 3.3 인장시험 전경

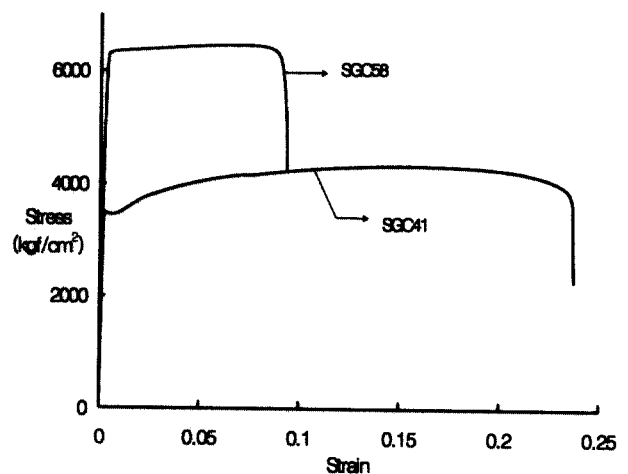
(a) SGC58(t=0.5mm) 절곡부와 편평부

### 3.2 인장시험 결과

강재의 인장시험 결과를 표 3.1에 나타냈다. 표와 같이 절곡부는 절곡에 의한 소성변형이 발생하여, 항복 및 인장강도가 공칭항복 및 인장강도보다 크게 증가한 것을 알 수 있다. 강재의 종류와는 상관없이 냉간성형에 의한 항복강도의 증가량이 인장강도의 증가량보다 크며, 판재가 얇을수록 냉간가공에 의한 소성변형의 영향이 크므로 강도의 증가량이 큰 것으로 나타났다. 절곡압착법과 냉간압연법으로 제작된 PRY06 단면을 비교한 결과, 절곡법에 의한 강도증가량이 냉간압연에 의한 값보다 크며, 연신률은 더 작게 나타났다.

SGC41 강종은 강도와 연신률이 KS규정에 부합된다. 고강도 강종인 SGC58의 경우, 모재나 가공 단면의 시편 모두 항복 및 인장강도 규정을 만족하나, 연신율이 KS규정인 18%보다 작게 나타났다. 또한 항복강도와 인장강도의 비교에 있어서, SGC58의 경우는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

그림 3.4(a)에서는 두께 5mm SGC58 강종의 편평부와



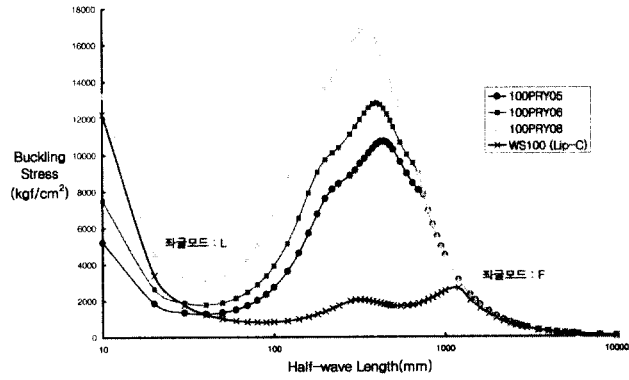
(b) SGC58과 SGC41 비교 (PRY08 편평부)

그림 3.4 강재의 인장시험결과

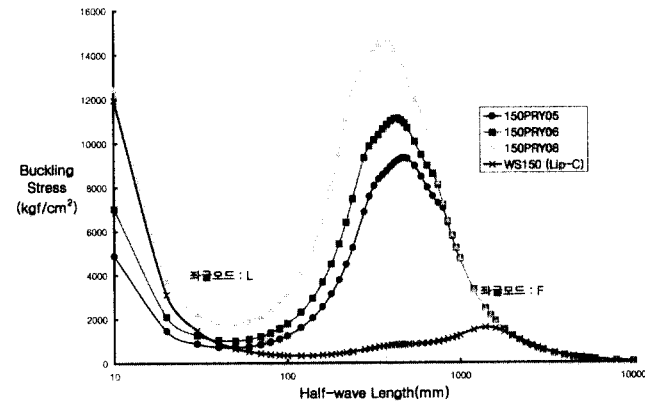
절곡부의 시험결과를 비교하였으며, 그림 3.4(b)에는 SGC58과 SGC41로 제작한 PRY08 시험결과를 비교하여 보았다.

### 4. 좌굴해석

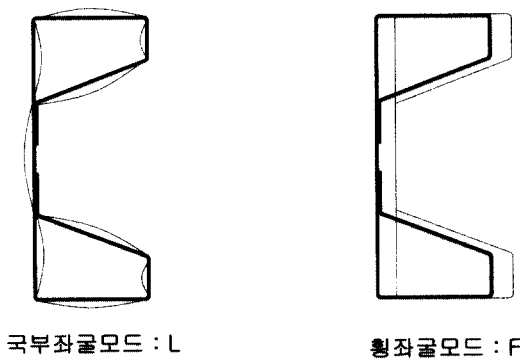
좌굴해석 전용프로그램 BFINST<sup>(6)</sup>를 이용하여 실험대상 단면에 대한 탄성좌굴해석을 수행하여 그 결과를 그림 4.1 (a), (b)에 나타냈다. 그림에서 보는 것처럼 단면의 좌굴응력은, 두께와 상관없이 같은 좌굴장에서 국부좌굴응력에 의해서 결정되고, 좌굴장이 대략 1500mm-2000mm 이상으로 길어지면 횡좌굴에 의해서 좌굴응력이 결정되는 것을 알 수 있다. 그림에서 좌굴모드 L은 국부좌굴, 좌굴모드 F는 횡좌굴 모



(a) 100PRY시리즈의 좌굴응력



(b) 150PRY시리즈의 좌굴응력



(c) 좌굴모드

그림 4.1 좌굴장에 따른 좌굴응력 및 좌굴모드

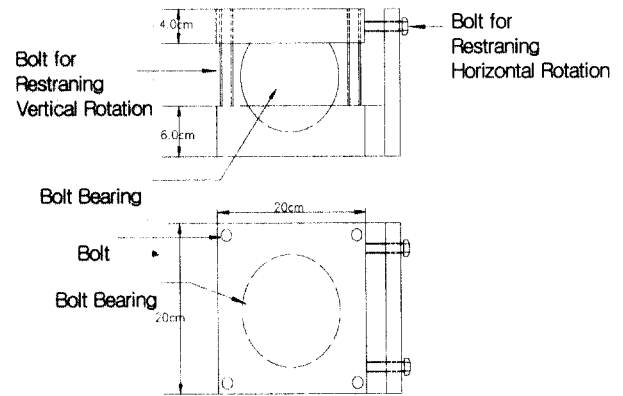
드를 각각 나타낸다.

그림 3.1(a), (b) 각각의 PRY05 단면과 높이 및 단면적이 같은 Lip-C-형강 WS100 및 WS150의 해석결과를 함께 비교하였다. 폐단면이 Lip-C-형강에 비하여 휨좌굴응력은 비슷하지만 국부좌굴응력은 상당히 큰 것을 알 수 있다.

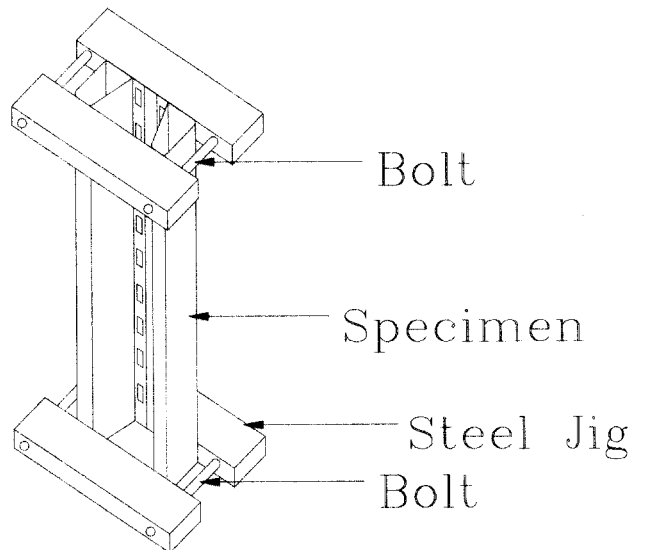
### 5. 압축실험

#### 5.1 실험방법

대상 시험체의 길이는 300mm에서 2400mm까지 300mm간격으로 정하였고, 단부는 Wire Cutting후 Milling으로 마무리하였으며, 다양한 좌굴모드를 보이는 단주, 중간주 및 장주의 거동을 파악하고자 하였다. 또한 클린칭 간격을 25, 50 및 100mm의 세 가지로 제작하여 클린칭 간격이 단면의 좌굴 및



(a) Special Bearing Used for Column Test



(b) Steel Jig

그림 5.1 단부장치 및 압축지그

그림 5.2 기둥의 파괴형상

극한강도에 미치는 영향을 파악해 보고자 하였다.

압축실험은 용량 25ton 및 100ton(Shimadzu, UH100A) U.T.M을 이용한 단순가력을 원칙으로 하였다. 상단 가압부는 고정된 힌지장치를 사용하였으며, 하단부는, 편심을 제거하기 위해 그림 5.1(a)와 같은 보조장치를 사용하여 시험체의 중심을 조정하기 쉽도록 하였다. 기둥 하단부의 지점조건은 수직볼트를 조정하여 힌지 또는 고정지점으로 적용할 수 있도록 하였다. 또한 단면이 박판이고 작은 점을 감안하여 하중재하시 지점부의 국부압괴를 최대한 방지하기 위한 그림 5.1(b)와 같은 특수 압착 그림을 단면의 상·하단부에 장착하였다.

하중은 U.T.M을 1mm/min의 속도로 변위 제어하는 방법으로 재하하였고, 장주의 횡변위는 시험체 중앙부 및 좌굴하중 발생 가능 위치에 변위계를 부착하여 측정하였으며, 낮은 하중(탄성범위)재하시 좌굴 발생 위치가 정확하지 않은 경우 재하초기에 변위계의 위치를 변경하여 다시 재하하는 방법을 적용하였다. 국부좌굴 하중은 발생위치의 예측이 어려우므로 목측이나 축수를 통해, 국부좌굴 발생시점으로 판단한 하중값과, 하중 변위곡선상에서 구한 국부좌굴하중을 비교하여 보다 정확한 하중을 구하였다. 압축시험 전경은 그림 5.2와 같다.

## 5.2 실험결과

### 5.2.1 파괴거동

시험단면이, Lip-C-단면과 같은 개단면 중간주의 특성인 뒤틀림좌굴이 발생하지 않는 폐단면이므로, 좌굴모드 및 파괴

형상이 국부좌굴인 경우를 단주, 국부좌굴과 휨-비틀림좌굴이 혼합되어 발생하는 경우를 중간주 그리고 휨좌굴인 경우를 장주로 구분하였다.

단주의 경우 모든 단면이 극한응력에 도달하기 전에 복부판 부분에서 먼저 국부좌굴이 발생한 후 하중의 증가에 따라서 후좌굴유보강도(Postbuckling Strength Reserve)에 의한 후좌굴 거동을 보였다. 그리고 플랜지로 국부좌굴에 의한 변형이 확장되었고, 유효폭이 감소됨에 따라 단면의 강성이 감소하여 복부와 플랜지가 박판단면의 전형적인 파괴 형상인 Kink 형태로 찌그러지면서 클린칭 부분이 이탈되고 또한 단면의 모서리 부분이 최종적으로 파괴되는 양상을 보였다. 그림 5.2(a)는 단주의 국부좌굴에 의한 전형적인 파괴형상을 보여 주고 있다.

중간주의 경우, 국부좌굴의 발생은 단주의 경우와 유사하나, 국부좌굴 발생후 하중의 증가에 따라서 전체적인 휨-비틀림좌굴(주로 휨좌굴 형상)이 발생하였고(그림 5.2(b)), 단부의 국부좌굴로 강성이 감소된 부분이 꺾어지면서 기둥의 종국파괴에 이르렀다. 기둥길이 2400mm 장주는 먼저 휨좌굴이 발생한 후 좌굴에 의한 기둥 중앙부의 횡변위가 증가하여,  $P-\delta$  효과에 의한 응력의 증가에 따라서 복부판의 국부좌굴 발생, 플랜지의 국부좌굴이 연이어 발생하였으며 중앙부가 그림 5.2(c)와 같이 꺾어지는 파괴 메커니즘을 보였다.

그림 5.3에는 신형상 단면의 전형적인 하중 변위 곡선상을 나타냈다. 그래프상에서 단면의 국부좌굴발생에 따른 강성의 감소와 후좌굴 거동 및 최대하중점을 지나 단면 모서리부의 파괴에 따른 강성의 급작스런 감소가 발생한 것을 알 수 있다.

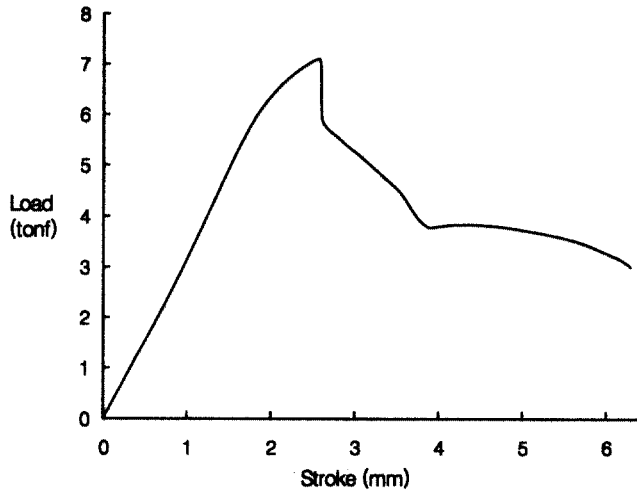


그림 5.3 하중-변위 곡선 (100PRY08단면)

5.2.2 좌굴 및 극한응력

압축실험에 의한 극한하중 및 좌굴하중을, 좌굴전용해석프로그램인 BFINST<sup>(6)</sup>에 의한 탄성좌굴응력 및 좌굴모드와 함께 비교하여 표 5.1에 정리하였다.

단주나 중간주(길이 300mm-1500mm)의 경우 좌굴하중과 극한하중의 비를 보면 작게는 5%에서 크게는 43%정도 까지 상당한 크기의 후좌굴강도를 나타내고 있다. 장주(길이 2400mm)의 경우 낮은 응력하에서 휨좌굴의 발생후 장주효과에 의한 국부좌굴이 나타나기는 하지만 지배형상이 전체적인 휨좌굴이므로 특성상 후좌굴강도는 미미하였다. 같은 두께의 100PRY 단면과 150PRY 단면을 비교하여 보면 좌굴 및 극한하중의 차이가 별로 나타나지 않는데, 이는 복부가 큰 150PRY 단면의 국부좌굴응력이 상대적으로 작기 때문이다. 따라서 150PRY 단면은 압축만을 받는 부재로는 효율성이 상대적으로 떨어진다고 결론지을 수 있다.

기둥길이 300mm 시험체의 실험결과가 특히 낮게 나타난 경우는 단부의 국부적인 압괴현상을 피할 수 없었기 때문이며, 중간주의 경우 기둥의 길이가 길어짐에 따라서 실험에 의한 좌굴응력이 감소하는 경향을 보였는데 이는 초기변형, 잔류응력과 하중재하시의 편심 등의 요소에 기인한 결과로 판단된다.

좌굴응력은 휨좌굴에 의해 지배되는 장주의 경우 이론과 실험값이 비교적 잘 일치하지만, 국부좌굴에 의해 지배를 받는 중간주의 경우 100PRY 단면은 실험결과가 수치해석치 보다 대체로 낮게 나타났고, 150PRY 단면은 그 반대였다. 이는 비교적 폭 두께비가 작은 100PRY 단면의 경우 클린칭부분의 강성이 국부좌굴의 절선 역할을 하기에 충분하지 못한 결과로 판단된다. 실험과 해석결과의 차이는 단면이 폐합되는 클린칭부분의 모델링의 부정확성도 중요한 원인이라고 판단된다<sup>(7)</sup>.

표 5.1 PRY단면의 극한하중 및 좌굴하중

구분	길이 (mm)	클린칭 간격 (mm)	좌굴하중 (tonf)		최대하중 (tonf) P <sub>max</sub>	P <sub>max</sub> / P <sub>cr</sub>	좌굴 모드	
			수치 해석	실험 P <sub>cr</sub>				
100PRY05	300	50	2.53	2.60	3.31	1.27	L	
		100	2.53	3.05	3.35	1.10	L	
	600	50	2.53	2.50	3.11	1.25	L	
		100	2.53	2.20	3.15	1.43	L	
	900	50	2.53	2.42	3.00	1.23	L	
		100	2.53	2.00	3.25	1.61	L	
	1200	50	2.53	2.15	2.60	1.20	L	
		100	2.53	1.90	2.41	1.27	L	
	1500	50	2.53	1.80	2.56	1.43	L	
		100	2.53	1.78	2.31	1.30	L	
	100PRY06	300	25	3.44	3.18	4.57	1.43	L
		600	25	3.44	2.96	3.84	1.30	L
900		25	3.44	2.95	4.22	1.43	L	
1200		25	3.44	2.79	3.30	1.18	L	
1500		25	3.44	2.78	3.17	1.14	L	
2400		25	1.52	1.86	1.94	1.04	F	
100PRY08	300	25	7.97	5.31	5.83	1.10	L	
	600	25	7.97	6.42	6.79	1.05	L	
	900	25	7.97	6.37	7.09	1.11	L	
	1200	25	7.97	6.21	6.55	1.05	L	
150PRY05	300	25	1.44	2.20	2.97	1.35	L	
	600	25	1.44	2.19	3.13	1.43	L	
	900	25	1.44	2.13	2.92	1.37	L	
	1200	25	1.44	2.23	2.97	1.33	L	
150PRY06	300	25	2.49	3.14	4.13	1.32	L	
	600	25	2.49	3.20	4.47	1.39	L	
	900	25	2.49	3.12	4.05	1.30	L	
	1200	25	2.49	3.01	3.39	1.14	L	
150PRY08	300	25	5.91	6.32	7.38	1.16	L	
	600	25	5.91	6.47	8.03	1.23	L	
	900	25	5.91	6.28	7.15	1.14	L	
	1200	25	5.91	6.38	7.31	1.15	L	
150PRY08	2400	25	2.78	2.39	2.41	1.01	F	

(L: 국부좌굴, F: 휨/비틀림좌굴)

그림 5.4는 AISI Specifications(1996)허용응력설계법<sup>(5)</sup>의 설계곡선과 실험결과를 P<sub>n</sub>, P<sub>y</sub>, P<sub>e</sub> 무차원화 하여 비교한 것이다. 그림에서 보듯이 시험체의 최대하중이 모두 허용응력곡선보다 위에 나타나 신형상 단면의 압축강도가 안전치임을 알 수 있다.

그림에서 는 각각 공칭압축하중, 항복하중 및 허용압축하중을 나타내며, λ<sub>c</sub> (= √F<sub>y</sub>/F<sub>cr</sub>) 는 세장비계수이다.

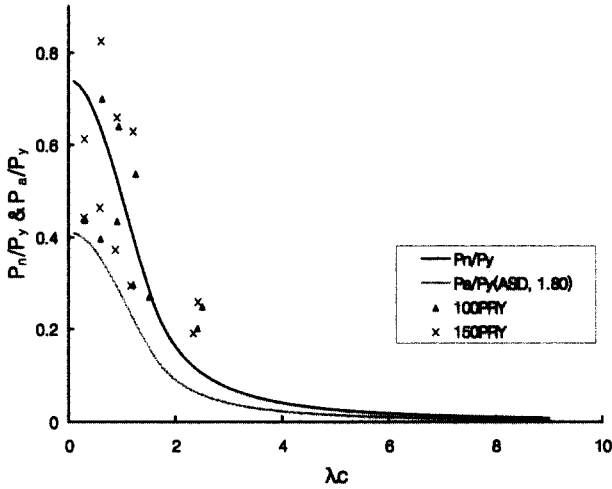


그림 5.4 AISI-Design Curve (ASD)

표 5.2 클린칭 간격에 따른 좌굴 및 극한하중

시 편	클린칭 간격 길이(mm)	극한하중 (tonf)			좌굴하중 (tonf)		
		5cm	10cm	5cm 10cm	5cm	10cm	5cm 10cm
100PRY05	300	3.31	3.08	1.07	2.60	2.35	1.11
	600	3.11	3.15	0.99	2.50	2.20	1.14
	900	3.00	3.25	0.92	2.42	2.00	1.21
	1200	2.60	2.41	1.08	2.15	1.90	1.13
	1500	2.56	2.31	1.11	1.80	1.78	1.01

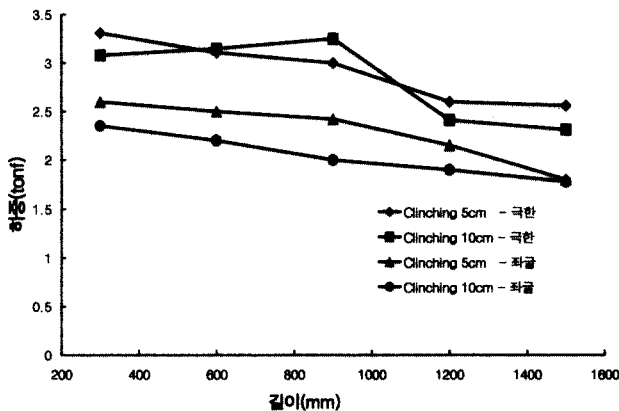


그림 5.5 클린칭 간격이 강도에 미치는 영향

### 5.2.3 클린칭 간격의 영향

압축부재의 강도에 대한 클린칭 간격의 영향을 알아보기 위해 클린칭 간격이 5cm와 10cm인 100PRY05 단면의 극한 하중과 좌굴하중 값을 표 5.2과 그림 5.5에서 비교하였다.

클린칭 간격에 따라 극한하중의 차이는 10%이내의 증감을 보였으나, 좌굴하중은 길이 1500mm 시편을 제외하고는 간격이 작은 단면이 1~20%의 증가를 보였다. 따라서 클린칭 간격은 극한하중보다는 좌굴하중에 크게 영향을 미침을 알 수

있다. 단면의 클린칭 간격이 증가하면 단면의 복부 및 립의 국부좌굴변형에 대한 구속력이 작아지므로 국부좌굴응력 값은 감소하지만, 국부좌굴 발생후 상당한 크기의 후좌굴강도가 발현된 후 모서리의 파괴로 이어지는 파괴 메카니즘이 같으므로 극한응력은 클린칭 간격에 상관없이 비슷한 값을 나타내는 것으로 판단된다.

## 6. 결론

신형상 박판냉간성형 단면에 대한 재료 및 압축실험을 실시하여 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 폐단면인 PRY단면은 두께 1.0mm 내외의 개단면 C- 또는 Lip-C-형강과 비교하여, 국부좌굴과 뒤틀림좌굴 강도 및 비틀강성이 크므로 압축부재로 사용시 두께 0.5-0.8mm 박판 사용에 의해 구조물의 경량화 따른 경제성 및 시공성을 향상시킬 것으로 판단된다.
- (2) 폐단면 제작시 적용된 클린칭 방법은, 기둥부재의 좌굴 및 극한하중과 수치해석결과를 비교해 볼 때, 접합 강도가 신뢰 가능하고, 점용접에 의한 단면의 뒤틀림 등의 단점을 배제할 수 있으므로 효과적인 접합방법으로 판단된다.
- (3) 클린칭간격은 단면의 극한강도 보다는 좌굴강도에 영향을 크게 미치는 것으로 나타났다.
- (4) 100PRY단면에 비하여 150PRY단면은 복부판의 폭 두께비가 상대적으로 크기 때문에 국부좌굴응력이 상대적으로 낮다. 따라서 압축부재로는 100PRY단면이 더 효과적이라고 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 (재)포항산업과학연구원과 (주)피알와이(PRY)의 지원으로 수행되었기에 이에 감사의 뜻을 표합니다.

## 참고 문헌

1. Koji, H. and Ryoichi, K. : Strength of Structural Elements for Steel Framed Houses, Nippon Steel Tech. Rep., No. 79, pp. 1-74, 1999.
2. Kwon, Y. B. and Hancock, G. J. : "Tests of Cold-Formed Channels with Local and Distortional Buckling", J. of Structural Engineering, ASCE, 117(7), 1786-1803(1992).
3. Hancock, G. J. : Design of Cold-Formed Steel Structures (2nd Edition). Australian Institute of

- Steel Construction, 1988.
4. Yu, W. W. : Cold-Formed Steel Design (2nd Edition), John Wiley & Sons, 1991.
  5. American Iron and Steel Institute(1996) : Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members.
  6. BFINST User's Manual : CASE, University of Sydney, 2000.
  7. PRY TRUSS 신형상 단면의 구조해석 및 실험 : 연구보고서 No. 1999B526, RIST, 2000.

(접수일자 : 2001년 7월 27일)