건축구조용 저항복 고장력강 Beam-Column의 구조특성

Structural Properties of High-Strength and Low-Yield-Steel Beam-Column for High-Rise Architecture Structure

김 종 성¹⁾ · 맹 령 화²⁾
Kim, Jong Sung · Meng, Ming Hua

요약 : 최근 건축구조물의 고층화 및 단면크기의 증대 때문에, 600MPa급 이상의 고강도 후판강재의 개발이 활발하다. 그러나 국내에서 연구되는 이러한 강재는 높은 설계기준강도와 높은 항복비로 인하여 사용이 제한적일 우려가 있다. 그래서 이 연구에서는 일본에서 개발된 저항복강 600MPa급 강재에 대한 기계적 성능을 기본으로 하여, 축력과 휨모멘트를 받는 beam-column의 단조재하실험결과를 이용하여, 연강처럼 건축물에 이용이 가능한지, 그 구조적 특성을 검증한다. 따라서, 이 연구에서는 현재 국내 시험생산된 유사 고강도 강재의 실용적 연구의 기초자료를 제공하고자 한다.

ABSTRACT : Recently, the development of high-strength thicker steel plate above 600MPa is becoming active due to the increase in both height and member size of architectural structure. However, such steel, which is being investigated in Korea nowadays, has possibility of limited practical application because of high design code strength and high-yield ratio. Therefore, this study performed the validation for the structural performance of beam-column with combined axial force and bending moment whether this beam-column might be attributable as an architectural purpose steel. This study was conducted from the result of monotonic loading test of beam-column, based on the material properties of low-yield, 600MPa class steel which was developed during 1988-1993 in Japan. This study might provide the fundamental database for practical research for these steel which are actively being tested in Korea.

핵심용어 : 고장력강, 기둥, 저항복강, 최대내력, 구조특성

KEYWORDS : high-strength steel plate, beam-to-column, low yield steel maximal strength, structural properties

1. 서론

최근 국내건축물의 현황을 살펴보면, 1994년 TMCP강을 사용한 포스코센터(136m), 2001년 동부금융센터(152m), 2004년 현재 국내 최고층인 69층 타워팰리스Ⅲ가 준공되었고, 계획단계의 부산 롯데제2월드(107층), 상암동 IBC(130층), 610m급의 인천타워 및 최근 건설이 최종 확정된 롯데잠실슈퍼타워(123층, 555m)가 있다. 이러한 건축구조물의 초고층화에 따른 부재단면이 점차 증대되고 있다. 이에 대한 해결책의 하나로 고강도강을 기둥부재로 사용하여 내진성과 시공성을 확보하고 유효공간도 늘이는 노력이 필요하다.

이처럼 국내에서도 초고층건축물의 수요가 급증하고 있

며, 이와 관련하여, 초고층 건축물에 필수적인 높은 축력과 휨모멘트를 적정 부재단면으로 설계하기 위해서는, 고장력 극후판 강재의 수요증가에 따라 국내에서도 고강도와 고성능을 만족시킬수 있는 신강재에 대한 연구가 활발히 진행되어, SM570 TMC강과 더불어, 현재 600MPa급, 800MPa급 Mega Structure용 강재가 개발되어, 600MPa급 고강도 강관구조설계지침 및 800MPa 고강도강 설계기준제정연구/제작시공지침서 개발 등이 연구되어 상용화를 목표로 하고 있다(한국강구조학회, 2011).

초고층 건축물에서 이러한 고강도, 고인성 강재를 기둥부재로 사용할 경우, 변형능력도 크고 부재의 중량을 줄이면서 단면의 방향성에 따른 내력감소를 줄일수 있어야 한다.

1) 교신저자. 경일대학교 건축학부 교수, 공학박사
(Tel: 053-850-7243, Fax: 053-850-7607, E-mail: jsk@kiu.ac.kr)
2) (주)FUJUTA 기술연구소 건축사업부, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 2012년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

그런데, 국내에서 개발된 건축구조물에 사용가능한 대표적인 고강도강인 SM570QT와 600MPa급, 800MPa급 강재는 높은 설계기준강도와 높은 항복비(800MPa급, 85%이하 목표)로 인하여 사용이 제한적일 우려가 있다.

따라서 초고층 구조용 강재는 고강도이면서 어느 정도 변형 능력도 확보하고 저항복비의 강재개발에 대한 연구가 필요한 시점이다.(이은택,2004)

이 연구와 관련하여, 1988~1993년 사이에 일본에서 개발된 저항복 60kgf/mm²급 강재(60kg급, 600MPa급)에 대한 기계적 성능을 기본으로 하여(高梨晃一,1983), 조사, 분석한 저항복 600MPa급 고장력강의 일장축력과 재단 힘을 받는 beam-column의 단조재하실험 결과를 이용하여, 그 내력과 변형능력을 조사한다(高梨晃一,1990). 이렇게 얻어진 구조특성을 평가하여, 현재 국내에서 시험 생산되어 활발히 연구되고 있는 600MPa, 800MPa의 생산 및 계획단계에 있는 1000MPa급 강재의 실용성 연구의 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 고강도 저항복강재의 특성(高梨晃一,1983)

2.1 재료특성

2.1.1 샤르피의 제한

후판방향의 강도 · 인성의 신뢰성을 개선하기위하여, 보통 풀림(annealing), 담금질경화(quenching hardening) 처리 된 동일강도의 강재 SM570강에 대해서, 샤르피를 0.35% 이하부터 0.08%이하로 엄격하게 제한하고 있다.

표 1 화학성분(단위: 중량 %)

판두께(t),mm	C	Si	Mn	P	S	Ceq	Pcm
19≤t≤40	0.18	0.55	1.60	0.035	0.008	0.44 이하	0.28 이하
40≤t≤100	이하	이하	이하	이하	이하	0.47 이하	0.30 이하

1) Ceq 탄소당량, Pcm 용접균열감수성 조성 중, 1개만 만족

2) 필요에 따라, 상기 이외의 합금원소 첨가가능

표 2 . 기계적 성질

종류	판 두께	인장시험				샤르피 흡수에너지 J
		항복점 N/mm ²	인장강도 N/mm ²	항복비%	신장율 (시험편) %	
I	19이상	440이상	590이상	80이하	20이상 (4호)	47이상 (0°C)
II	100이하	400이상 540이하	740이하		26이하 (5호)	

단, 4호 시험편은 20mm 초과 후판재의 인장시험에 적용가능

2.1.2 탄소당량

일반적으로 강도가 높을수록 용접시 예열 및 기타 관리조건이 엄격해진다. 탄소당량, 용접균열 감수성조성비의 규정은 용접시공성은, 이전의 강재(SM)와 큰 차이가 나지 않도록 설정되었기 때문에, TMCP강과 유사한 제법으로 만들도록 하여 낮은 레벨의 규정으로 되었다.

그림 1. 신제조법에 의한 강재의 탄소당량

2.1.3 항복비 상한규정

강도가 높은 강판일 수록 항복비를 낮게 억제하는 것이 어렵다. 보통의 SM570강의 항복비는 85%이상이지만, 고성능 600MPa급 강판에서는 항복비를 80%이하로 제한하고 있다. 이것이 가능하게 된 것은 후에 설명하는 제조법의 개선에 있다.

2.1.4 항복점의 상한규정

고성능 600MPa급 강판에는, 항복점에 대해서 종래의 하한규정 외에 상한규정을 설정해서 보다 기계적인 성질의 분산을 적게 한 강종II가 규정되어 있다.

2.2 제조방법

고성능 600MPa급 강판은, 건축구조용 강재로서 새로 개발된 강재이며, 앞에서와 같이, 저항복비로 기계적 성질의 분포가 작은 것이 특징이다.

고강도 저항복비 강재조를 위한 열처리 방법은, 종래의 담금질경화(quenching hardening)-풀림(annealing)의 2단계 열처리(Q-T 또는 D Q-T)대신에, 3단열처리(Q-L-T 또는 D Q-L-T)로 하는 것이다. 600MPa급의 강을 종래의 2단계 열처리에 의해서 제조하면, 조직이 풀림이 되어 베이나이트상(相)으로 되고, 강도, 인성은 확보되지만 항복비가 0.9% 정도로 높게 되는 단점이 있다. 이것에 비해서 3단계 열처리로 하면, 2상 영역 담금질경화과정에서 베이나이트 중에 연질의 페라이트를 생성시킬 수가 있고, 베이나이트에 의해 고강도,

고인성을 유지하면서 페라이트에 의해 항복점을 낮춘 고강도 이면서 저항복비인 고성능강의 제조가 가능해진다.

2.3. 재료의 역학적 특성

그림 2는, 항복점, 인장강도, 항복비, 일정신율, 파단신율을 판두께별로 plot한 것이다. 전체 판두께에 걸쳐 거의 일정한 모양의 특성을 나타내는 것을 알 수가 있다.

그림 2. 판두께와 각종 특성치와의 관계

표 3은, 고성능 600MPa급 강판으로 판두께 6~100mm의 기계적성질의 통계치를 나타냈다.

표 3. 고성능 600MPa급 강판의 기계적성질의 각종 통계치

		최소화	최대화	평균화	표준편차
상항복점 MPa		452	523	486.1	17.7
하항복점 MPa		452	543	480.5	18.0
인장강도 MPa		601	691	641.3	19.3
항 복 비 (%)		70.4	79.7	74.97	2.09
Est MPa		1,940	5,960	3,482	991
신장율 (%)		9.5	18.3	13.28	2.28
상항복점 MPa	4호 시험편	280	350	309.2	21.8
	5호 시험편	280	569	376.6	72.4

Est: 응력-변형관계에서 항복점에서 변형도경화 곡선에 접하는 직선의 기울기

3. Beam-Column 실험개요

3.1. 강재특성

초고층 구조용강재로서 항복비가 낮은 600MPa급 고장력강을 사용한 보 및 기둥의 정적 재하실험 시, 강재의 기계적 성질이 중요해졌고 보통의 연강과 마찬가지로 건축용 강재로

서 이용될 수 있는지 검증되어 왔다(加藤 勉, 1986, 桑村 仁, 1988).

원판에서 절취한 시험편의 인장시험을 실시했다. 시험편 형상은 JIS1A호 시험편이다. 그 결과를 표 4에 나타냈다.

표 4. 인장시험의 결과

	PL-9	PL-6	목표치	범위
항복점(MPa)	460	460	480	450~510
인장강도(MPa)	600.	582	640	605~680
항복비(%)	77	79	75	≤80
ϵ_u (%)	15	17	15	≥13
ϵ_{st} (%)	1.30	1.30	-	-
E_{st}/E	1/70	1/95	1/50	≤1/30

그림 3에 응력-변형도 관계를 나타냈다. 여기서 보듯이 명료한 항복선반이 나타났으므로, 항복응력도 σ_y 는 응력-변형도 관계에서 하항복점에서 정했으며, 최대응력(σ_m)점의 변형을 정하기 곤란해서, 일정신율 ϵ'_m 은 응력-변형도 관계에서 최대응력이 95%로 저하한 점에서의 공칭변형율을 채택했다. 변형도경화 기울기 E_{st} 는 하항복점 응력레벨에서 응력-변형도 곡선에 그은 접선의 기울기로 했다. 표 4에서의 각 특성치의 목표치와 범위는, 일본철강협회(高梨晃一, 1983)에서 제안한 건축구조용 600MPa급 고장력강의 목표치와 허용범위를 참고했다.

그림 3. 인장시험에서 얻은 응력-변형도

3.2. 실험계획 및 시험체

이 연구에서는, 보의 강성이 무한대인 단층 단스팬 기둥붕괴형 골조를 상징하고, 외력을 받아 변형할 때, 전도모멘트에 의한 변동축력을 무시하고 기둥의 반곡점이 중앙에 위치한다고 가정한다. 이 때, 기둥의 1/2을 캔티레버 기둥으로 간주하여, 그 거동에 의해서 골조의 거동이 재현되는 것으로 봤다. 이 캔티레버 기둥의 거동은 그림 4와 같이, 재단 힘과 축방향력을 받는 단순보의 실험으로 재현했다(高梨晃一, 1990).

그림 4. 실험골조 모형

세장비가 작은 구조부재는 하중을 받으면, 부재를 구성하는 판요소의 국부좌굴이 발생하여, 내력이 저하하고 구조부재로서의 기능을 상실한다. 그 국부좌굴의 발생을 지배하는 요인으로서, 판요소의 폭두께비와 축력비가 주로 거론된다. 그래서, 이러한 요인이 저항복 고장력강 beam-column의 최대 내력 및 소성변형능력에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 다음과 같은 실험을 계획했다.

시험체의 단면형상은 H형단면으로 하고, 플랜지는 9mm, 웨브는 6mm의 압연판에서 절취한 것을 이용해서 다리길이 6mm의 필릿용접으로 제작했다. H형단면의 높이와 폭은 동일한 광폭형으로 했다.

각 시험체의 세장비는 20정도로 하고 판폭두께비는, 다음과 같이, 플랜지의 판폭두께비 $b/t_f = 12, 10, 8, 6$ 의 4종류로 했다.

시험체의 일람표는 표 5와 같고, 시험체는 폭두께비에 따라 H-12, H-10, H-8, H-6로 했다. 표 5에서, 시험체의 단면치수는 공칭치수이다.

표 5. 시험체

No.	t_f, t_w mm	B, H mm	A cm^2	I_x cm^4	Z_p cm^3	L cm	L/i_x
H-12	9, 6	216, 216	56.5	4560	467	200	21.1
H-10	9, 6	180, 180	42.8	2580	322	160	20.4
H-8	9, 6	140, 140	34.2	1280	202	130	21.0
H-6	9, 6	108, 108	25.5	514	112	100	21.7

단, b/t_f : H-12(12), H-10(10), H-8(8), H-6(6)

d/t_w : H-12(33), H-10(27), H-8(21), H-6(15)

$E=205,000 \text{ N/mm}^2$

정적 단조제하 실험에서는, H-8과 H-6 시험체에 대해서는 축력비 p 는 $p = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6$ 로 설정하고, H-12, H-10은 축방향 재하용 시험기 용량의 제한으로 $p = 0.0, 0.2, 0.4$ 만 실시했다.

시험체는, end tab을 넣어서 일단 핀지지, 타단 힌지지지 조건으로 축력재하용 액튜레이터에 연결시켰다. 또 단순보의 중앙 연직집중 재하용 액튜레이터에 의해 휨재하를 했다. 시험체의 Set Up상황은 그림 5와 같다.

이 연구에서는, 주로 판요소의 국부좌굴 파괴의 관측을 목적으로 하고 있으므로, 시험체의 면외변형을 구속하기위해, 중앙 하중점의 양단에 횡방향 전도방지장치를 2개 사용했다.

그림 5. Beam-Column실험의 가력개념도

단조재하실험의 재하방법은, 우선 소정의 축력 N 을 시험체에 가력한다. 그 값을 일정하게 유지하면서, 변위제어에 의해서 시험체의 중앙에 하중을 가력한다. 실험의 제어는 PC를 이용한다. 먼저 적절한 목표변위를 정하고 그 값에 도달할 때까지 액추에이터 헤드를 0.5mm씩 움직인다. 또 실험진행과 동시에, PC의 화면에 중앙하중과 변위의 관계를 모니터링하고, 하중-변위곡선을 확인하면서 실험을 진행시킨다(孟令樺, 1990).

3.3. 측정과 실험데이터 수록

3.3.1 하중의 측정

시험체 중앙에 작용하는 하중의 측정은 시험기에 내장된 load cell을 이용했다. 측방향의 하중에 대해서는 실험 진행중에, 일정한 값을 유지하는 것을 디지털 모니터로 확인한다.

3.3.2 시험체 구면내의 변위측정

변위측정의 개요를 그림 6에 나타낸다. 이 그림에서 X_i ($i = 1 \sim 6$)은 측정되는 변위를 나타낸다. 연직변위 X_1 과 X_2 로부터, 중앙처짐 δ_0 를 구한다. 중앙plate의 회전각도 이 2개의 변위에서 구할 수 있지만, 이러한 변위계의 유효 stroke($\pm 150\text{mm}$)가 크기 때문에, 작은 회전각을 측정하는 것이 부적당하다. 그래서 중앙plate의 회전에 의한 연직변위 X_3 과 X_4 만 측정하는 변위계를 설치했다. X_5 과 X_6 은 각각 부재 좌측과 우측의 지점에서 시험체 중앙사이의 수축변형이다. 한편 사용한 변위계는 직선변위계 Green Pot의 F.S. $\pm 150\text{mm}$, $\pm 25\text{mm}$ 이다.

3.3.3 측정데이터의 수록

실험중, 모든 데이터의 수록은 PC(16ch A/D 변환보드 2개, 4CH D/A 변환보드 1개 내장)를 사용했다. 수록된 데이터는 실험진행과 동시에 PC의 Hard Disk에 저장한다. 실험데이터는 액추에이터를 움직이는 각 재하 스텝마다 저장한다.

그림 6. 변위측정 상황

3.4. 국부좌굴 발생측 부재의 내력과 변위의 계산

그림 6)에서 처럼, 시험체는 휨모멘트와 축하중을 받고, 중앙 plate부근의 플랜지 한 쪽에 먼저 국부좌굴변형이 발생한다. 그 좌굴변형의 진행에 따라서 시험체의 변형이 비대칭이 되고, 중앙 plate가 회전하지만, 여기서는 좌굴변형이 발생한 측의 부재를 도출해서 연구대상으로 한다. 재단에 작용하는 휨모멘트 M 과 그 부재의 회전각 θ 및 처짐 δ 는 그림 7에 나타난 기하학적 관계로부터, 다음과 같이 측정되는 변위에서 구할 수가 있다.

$$M = Q \cdot H' + N \cdot \delta_0$$

$$\theta = \alpha + \beta$$

$$\delta = (H' \cdot \tan\beta + \delta_0) \cdot \cos\beta$$

$$\text{단, 좌측부재 대상일 때, } H' = \sqrt{(H - D_5)^2 - \delta_0^2}$$

$$\text{우측부재 대상일 때, } H' = \sqrt{(H - D_6)^2 - \delta_0^2}$$

$$Q = F / 2, \quad \delta_0 = (D_1 + D_2) / 2$$

$$\alpha = \arctan(\delta_0 / H), \quad \beta = \arcsin((X_4 - X_3) / 2a)$$

그림 7. 재단모멘트와 회전각의 관계

4. 실험 결과

4.1. 하중-변형관계

4.1.1 $Q-\delta$ 관계

일정 축력이 작용하고 있는 기둥은, 수평방향(재축과 직각 방향)의 하중(예, 지진)을 받으면, $P-\Delta$ 모멘트가 생기고, 수평내력에 영향을 미친다. 동일단면의 시험체에 대해서 이 2차모멘트의 영향을 명확히 표현하기 위해서, 시험체별로 항복축력비가 다른 실험의 $Q-\delta$ 곡선을 그림 8(a)~(d)에 그 결과를 보여준다. 이 그림에서 동일단면의 시험체에 대해서는 축력비가 클 수록 최대내력 이후의 내력저하가 $P-\Delta$ 효과에 의해서 급격해짐을 알 수가 있다.

그림 8. Q-δ곡선

또한 축력이 작용하는 실험에 대해서, 수평방향의 소성변형 배율(μ_A , μ_B)와 축력비와의 관계를 그림 9에 나타낸다. 이 그림에서 μ_A 는 수평내력 Q 가 그 최대내력의 95%까지 저

하한 점(A)에서의 수평변위 δ_A 를 항복변위 δ_Y 로 나누어서 다시 1을 뺀 값이고, μ_B 는 수평내력 Q 가 0으로 떨어진 점(B)에서의 수평변위 δ_B 를 항복변위 δ_Y 로 나누어서 다시 1을 뺀 값이다.

$$\text{여기서, } \delta_Y = \theta_{PC} \cdot H, \theta_{PC} = \frac{M_{PC}}{3EI_x} \text{이다.}$$

그림 9에서는, 동일단면의 기둥에 대해서 축력이 클수록 소성변형배율은 작아진다. 즉, 이런 관계는 부(負)의 상관성이 있다는 것을 의미한다.

그림 9. 소성변형배율과 축력비의 관계

4.1.2 $M/M_{pc} - \theta/\theta_{pc}$ 관계

$Q - \delta$ 관계에는 $P - \Delta$ 모멘트에 의한 영향이 포함되어 있다. 부재를 구성하는 판요소의 국부좌굴에 의한 내력저하를 명확히 하기 위해, $M/M_{pc} - \theta/\theta_{pc}$ 의 관계를 그림 10에 나타낸다. M_{pc} 는 축력에 의한 저하를 고려한 전소성모멘트이고, θ_{pc} 는 축력에 의해 부가된 회전각을 포함한 탄성한도부재각이다. θ_{pc} 는 다음처럼 구했다.

$$\theta_{pc} = \frac{M_{pc}L}{\eta EI}, \eta = \frac{\xi^2 \sin \xi}{\sin \xi - \xi \cos \xi}, \xi = \sqrt{\frac{NL^2}{EI}}$$

각 실험의 $M/M_{pc} - \theta/\theta_{pc}$ 관계를 구하기 위해 이용한 M_{pc} 와 θ_{pc} 및 실험결과에서 얻은 최대 재단모멘트 M_u 와 이에 대응하는 부재각 θ_u , 응력상승율 $\tau = M_u/M_{pc}$ 와 소성율 $\mu = \theta_u/\theta_{pc}$ 를 표 6에 나타낸다. 그림 10(c), (d)에 나타냈듯이, H-8의 $p=0.6$, H-6의 $p=0.4, 0.6$ 실험에 대해서는, 국부좌굴을 발생하기 전에 수평내력 Q 가 $P - \Delta$ 에 의해서 0까지 저하했기 때문에, 그 시점에서 실험을 종료했다. 따라서 이 경우는, 나타냈듯이 $M/M_{pc} - \theta/\theta_{pc}$ 곡선의 저하는 관찰되지 않아서, 실험종료시의 값으로 했다.

그림 10. $M/M_{pc} - \theta/\theta_{pc}$ 관계

표 6. 실험결과

No.	p	M_{pc} $kN \cdot cm$	τ	θ_{pc} rad	μ	E_{pc}	μ_e
H-12	0.0	21,840	1.080	0.0149	1.933	32.6	1.778
	0.2	19,090	0.984	0.0135	1.711	25.8	1.540
	0.4	16,140	0.985	0.0116	1.578	18.7	1.391
H-10	0.0	14,810	1.078	0.0146	3.515	22.0	3.107
	0.2	13,420	1.140	0.0134	2.821	18.0	2.630
	0.4	10,110	1.278	0.0102	3.490	10.3	3.354
H-8	0.0	9,290	1.226	0.0150	5.50	13.9	5.766
	0.2	8,370	1.247	0.0137	4.394	11.5	4.426
	0.4	6,530	1.358	0.0108	4.852	7.06	5.168
	0.6	4,350	1.708	0.0073	8.575	3.18	10.85
H-6	0.0	5,150	1.304	0.0158	10.51	8.14	11.97
	0.2	4,650	1.394	0.0146	9.521	6.78	11.31
	0.4	3,490	1.596	0.0111	10.45	3.88	13.10
	0.6	2,320	1.694	0.0075	7.653	1.74	9.566

단) p 축력비, M_{pc} 전소성모멘트, τ 응력상승율, μ 소성율
 θ_{pc} 탄성한도부재각, μ_e 기초소성율, E_{pc} 에너지기준량

4.2. M-N 상호작용

최대 재단모멘트와 축방향력과의 상관성을 조사하기 위해, 축력 $N=0$ 때의 전소성모멘트 M_p 로 무차원화 한 각 실험의 최대 재단모멘트-축력관계 $M_u/M_p - N/N_Y$ 를 그림 11에 나타낸다. 그림에서 실선은 강구조설계지침(1990)에 의한 전소성모멘트와 축력의 상관관계이다. 이 그림에서 모든 실험치는 실선을 상회하지만, H형단면의 판요소의 폭두께비가 작을수록 실선보다 크게 떨어져 있다. 그것도 그 떨어진 정도는 축력의 크기와는 상관이 없는 듯하다.

그림 11. M-N 작용

5. 실험결과 고찰

5.1 응력상승률

그림 10에서 알 수 있듯이, beam-column 시험체 H-12에 대해서, 국부좌굴에 의해서 최대 재단모멘트 M_u 가 전소성모멘트 M_{pc} 에 도달하지 않았다(응력상승률 $\tau = M_u/M_{pc}$). 이것은 표 6의 응력상승률이 1.0보다 작은 것을 보면 알 수 있다. 또 축력에 의한 응력상승률은 그다지 변하지 않았다. 다른 시험체 H-10, H-8, H-6는 항복후, 내력의 상승이 확인되어, 축력이 클수록 커지는 경향을 보였다. 응력상승이 확인된 시험체 중에, H-10은 상승률이 작지만, H-8, H-6은 상승률이 아주 컸다.

5.2 소성변형능력

고장력강 부재의 소성변형능력에 대해서는, 이미 항복비가 다른 고장력강 단주의 압축실험(加藤 勉, 1986), 보의 휨실험(加藤 勉, 1987, 桑村 仁, 1988) 등에 의해 항복비가 낮은(YR≒75) 것은 항복비가 높은(YR≒90) 고장력강보다 높은 소성변형능력을 발휘한다고 지적하고 있다. 이 연구에서는, 축력비와 판폭두께비를 실험의 변수로 하여, 각 변수가 소성율에 미치는 영향에 대해서는 실험결과 표 6에서 다음의 사실을 알 수가 있다. H-12는 항복 후 곧 국부좌굴이 발생하여 내력이 떨어졌으므로, 소성율이 작아서 소성변형은 거의 기대할 수 없다. H-8, H-6는 소성율이 크므로 항복 후 최대 응력에 도달할 때까지 소성변형능력을 크게 기대할 수 있다. 또한 축력비의 영향은 현저한 경향을 찾을 수 없었다.

5.3 에너지흡수능력

부재가 최대모멘트 M_u 까지 흡수한 소성에너지 E_u 를 실험 데이터 $M-\theta$ 관계로부터 구하고, 다시 에너지 기준량 $E_{pc}(=M_{pc} \cdot \theta_{pc})$ 로 나눈 μ_e 를 계산한다. 또한 여기서는 $\mu_e(=\mu' + 1)$ 을 에너지흡수량에 기초한 소성율이라 부른다. μ_e 와 E_{pc} 를 표 6에 제시한다. H-8, H-6에 대해서는 항복 모멘트 M_{pc} 에 도달한 후, 내력의 상승이 크므로, 에너지흡수량에 기초한 소성율 μ_e 는 소성율 μ 보다 큰 값을 보여준다.

6. 결 론

최근 국내에서도 초고층 건축물용으로 고강도 강재인 SM570TMC QT강재를 비롯한, 600MPa급 강관 및 800MPa

급의 강재는 시험 생산되어, 내력, 변형능력 및 용접성능 향상, 부재설계시의 요령 등 구조성능에 대해서 연구되고 있다. 그러나, 높은 항복비와 제철소 생산부하증가로 공급에 제한을 하고 있다.

이 연구에서는, 이러한 국내의 일련의 연구의 기초자료를 제공하기위하여, 이미 개발되어 실용성이 검증된 일본의 항복비 가 약 75%인 저항복 60MPa급 고장력강을 이용한 H형 단면의 beam-column의 단조재하실험 결과를 이용하여, 초고층구조물용 고강도강 개발 시, 참고되는 제시기준인 표 2, 표 3의 항복점, 인장강도, 항복율 등의 기계적 성질을 만족시켰는지 확인하였고, 그 실험결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 저항복강은 고풍복비(약 90%)강보다 높은 소성변형능력을 발휘한다고 하는데, 플랜지 b/t가 큰 H-12는, 국부좌굴의 조기발생으로, 소성변형능력을 기대 못했고, H-8, H-6는 축력의 상승과 소성율이 모두 크고, 내진 부재로서의 기능을 충분히 발휘할 수 있다. 단, 시험체(H-10)는 내력의 상승은 있었지만 소성율이 2정도로 작았다.
- (2) 수평내력 $Q-\delta$ 관계는, 축력비가 클수록 최대내력 이후의 내력저하는 $P-\Delta$ 효과에 의해 급격히 약해진다.
- (3) 응력상승률은 축력비가 클수록 커지는 경향을 보인다.
- (4) 수평내력의 소성배율은 동일단면의 기둥에 대해서 축력이 클수록 작아진다.

감사의 글

이 연구에서는 연구실 세미나를 통해서 토론한 자료의 일부를 참고로 하여 작성된 것이며, 이에 은사이신 高梨晃一교수에 감사를 드린다.

참 고 문 헌

- 이은택(2004) 건축구조용 HSB800 강재의 휨내력에 관한 연구, 한국강구조학회지, 한국강구조학회.
 한국강구조학회(2011) 800MPa급 고강도강 설계기준제정연구.
 한대희(2010) 600MPa급 강재를 사용한 원형강관 T-이음 및 K-이음 트러스 접합거동, 중앙대학교 석사논문.
 高梨晃一(1988) 構造用鋼材の機械的性質に關する調査研究委員會/高張力鋼 WG, 日本鐵鋼協會.
 高梨晃一(1993) 總プロジクト; 新材料の建築物への利用技術に關する研究開發報告書, No. H4-2.
 加藤 勉(1986) 60キロ級 鋼柱の耐力實驗, 日本建築學會 關東支部 第37回 學術研究發表會, pp. 217-220.

桑村 仁(1988) 降伏比の異なる高張力鋼梁の曲げ實驗, 日本建築學會 大會學術講演梗概集, pp. 873-874.

高梨晃一(1990) 低YR60キロ級高張力鋼 Beam-Columnの耐力 と變形能力, 構造工學論文集, Vol. 36B.

日本建築學會(1990) 鋼構造塑性設計指針.

孟令樺(1990) 鋼構造骨組の終局限界狀態の解明, 東京大學博士學位論文.

(접수일자 : 2012. 1. 2 / 심사일 2012. 1. 6 /

심사완료일 2012. 2. 10)