

600MPa급 고강도강 압축재의 좌굴강도에 관한 구조특성

Structural Characteristics on the Buckling Strength for 600MPa Grade High Strength Steel Compression Members

이 명 재¹⁾†

Lee, Myung Jae

요약 : 이 논문은 600MPa급 고강도강이 원형강관 건축구조용으로 이용될 때 중심압축재의 좌굴강도에 관하여 수치해석적으로 조사한 것이다. 600MPa급 고강도강의 소재인장시험 결과로부터 중심압축재의 좌굴강도를 산정하였으며, 좌굴강도 산정에는 Beam-Column이론에 근거한 방법과 Tangent Modulus 이론에 의한 양자의 방법을 이용하였다. 그리고 소성흐름이 없는 인장시험의 응력-변형도 관계를 비례한도의 크기와 비례한도에서 항복점에 이르는 접선계수의 기울기로 근사시키고 좌굴강도 미치는 영향인자를 조사하였다. 600MPa급 고강도강에 적용되는 현재의 건축기준은 압축재의 경우 항복강도 F_y 값을 480Mpa 까지 상향조정하여도 무리가 없다고 사료된다.

ABSTRACT : The objective of this study is to investigate the structural character of the buckling strength of 600MPa-class high-strength steel compression members. The buckling strength of circular hollow-section columns is evaluated by a numerical analysis of the stress-strain curves of the tension test results. The numerical analysis was based on the beam-column theory and the tangent modulus theory. It was considered possible to enlarge the nominal yield strength of the 600MPa-class steel

핵심용어 : 좌굴강도, 고강도강, 압축재, 원형강관, 응력-변형도 곡선

KEYWORDS : buckling strength, high strength steel, compression member, circular hollow section, stress-strain curve

1. 서론

고강도강이 강구조 건축에 사용되는 것이 현실화 되고 있다. 이 경우 접합부, 합성재 등 검토해야 할 부문이 많이 있지만, 기본적인 구조부재의 성능으로서 압축재로서의 적용성이 우선 확인되어야 한다. 압축재의 좌굴강도는 강재의 기계적 성질에 따라 구조특성이 달라진다. 특히 최근 초고층구조의 경향으로서 다이아그리드구조(diagrid structure)를 많이 채택하고 있다. 이 구조는 원형강관을 이용하는 것이 합리적인 것으로 받아들여지고 있다.

이 연구는 600MPa급 고강도강을 이용한 원형강관을 대상으로 압축재의 좌굴강도를 수치해석으로 산정하고, 좌굴강도에 관계하는 영향인자를 고찰하였다. 또한 건축구조기준(KBC 2009)에의 적용에 관해서도 조사하였다.

압축재의 좌굴강도 산정법에 대해서는 Beam-column 이론

에 따른 방법(이명재, 2005)과 접선계수이론에 의한 방법을 사용하고 양자의 해석결과를 비교하여 산정방법의 타당성을 확인하였다.

2. 압축재의 좌굴강도

2.1 좌굴강도 산정법

2.1.1 Beam-column 이론에 의한 방법

이 방법은 필자의 다른 연구에서 그 산정 방법을 기술한 바 있다(이명재, 2005). 이 경우 강재의 응력-변형도 특성이 정량적으로 필요하게 된다. 단주압축주의 응력-변형도 관계를 사용하는 것이 합리적이거나 대상이 되는 강관이 $\phi - 750 \times 12$ 의 대구경이어서 국내 여건상 가력이 곤란하여 차선택으로 강관의 인장시험결과를 적용하였다.

1) 교신저자, 중앙대학교 건축학부 정교수, 공학박사
(Tel: 02-820-5871, Fax: 02-824-1776, E-mail: mjlee@cau.ac.kr)

본 논문에 대한 토의를 2011년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

600MPa급 고강도강관 인장시험편의 시험결과는 표 1에 나타나고 도시하면 그림 1과 같다. 그림에는 2개의 인장시험편의 결과가 나타나 있다.

1) 축력-모멘트-곡률관계

축력-모멘트-곡률관계는 그림 1의 강관의 응력-변형도 관계를 이용하여 다음과 같이 산정하였다.

- ① 강관단면을 n등분하고 최초의 미소한 곡률을 정하여 탄성초기강성으로 시작한다.
- ② 단면 최외연의 변형도를 산정한다.
- ③ 이 변형도에 근거한 단면의 저항모멘트를 산정한다.
- ④ 최외연의 변형도가 비례한도의 변형도보다 작을 때는 탄성초기강성을 만족하지만, 곡률이 증가하면 비례한도의 영역을 벗어나므로 가정한 초기강성이 수렴할 때까지 반복 계산한다.
- ⑤ 수렴한 초기강성으로 주어진 축력(P)에 대한 모멘트(M)를 구한다.
- ⑥ 곡률을 단계적으로 증가시켜서 ①부터 ⑤까지의 과정을 진행하면 1개의 축력에 대한 모멘트-곡률 관계를 구할 수 있다.
- ⑦ 다른 축력(P)에 대하여 앞의 과정을 반복하면 n개의 축력에 대한 모멘트-곡률관계를 구할 수 있다.

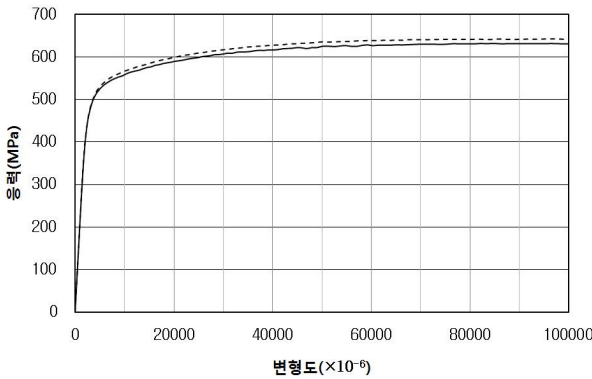


그림 1. 인장시험결과

2) 좌굴강도 산정

좌굴강도는 다음과 같은 전제조건 하에서 산정된다.

- ① 축력의 편심은 없다.
- ② 국부좌굴은 발생하지 않는다.
- ③ 비틀림의 영향은 받지 않는다.

좌굴강도 산정방법은 다음과 같다(그림 2 참조).

- ① 산정하고자 하는 압축재를 n등분한다($dx = L/n$).
- ② 초기변형을 가정한다($D_i = A \sin \pi z / L$).
- ③ 최초($i = 1, x = 0$)에는 임의의 회전각(θ_0)을 정한다.
- ④ 임의 하중 $P = P_0$ 부터 시작한다.
- ⑤ 각 등분점에서의 모멘트(M_i)를 구하여 P_0 와 M_i 를 가지고 앞에서 구해둔 축력-모멘트-곡률관계로부터 곡률(ϕ_i)을 구하여 회전각(θ_i)와 변형량(δ_i)을 계산한다.

$$M_i = P_0 \times (\delta_i + D_i) \tag{1}$$

$$\theta_i = \theta_{i-1} - \phi_{i-1} dx \text{ (단, } \phi_0 = 0) \tag{2}$$

$$\delta_i = \delta_{i-1} + \theta_{i-1} dx - \frac{1}{2} \phi_{i-1} (dx)^2 \text{ (단, } \delta_0 = 0) \tag{3}$$

- ⑥ $i = n/2$ 이 될 때까지 ⑤의 계산을 계속하여 부재중앙부분의 회전각($\theta_{n/2}$)이 0에 수렴할 때까지 P_0 를 가감하면서 반복계산한다. 이 때 $\theta_{n/2} > 0$ 이면 P_0 를 증가시키고 $\theta_{n/2} < 0$ 이면 P_0 를 감소시킨다.
- ⑦ 중앙부분($i = n/2$)의 회전각($\theta_{n/2}$)이 0에 수렴하면 그때의 P_0 와 θ_0 는 평형하고 있다고 볼 수 있다.
- ⑧ θ_0 를 증가시켜서 ($\theta_0 = \theta_0 + \Delta\theta_0$) ①부터 ⑦까지의 과정을 진행한다.
- ⑨ 이상의 과정으로부터 각 θ_0 에 대한 P_0 가 정해지고 P_0 중의 최대값을 좌굴강도(P_{max})로 한다.

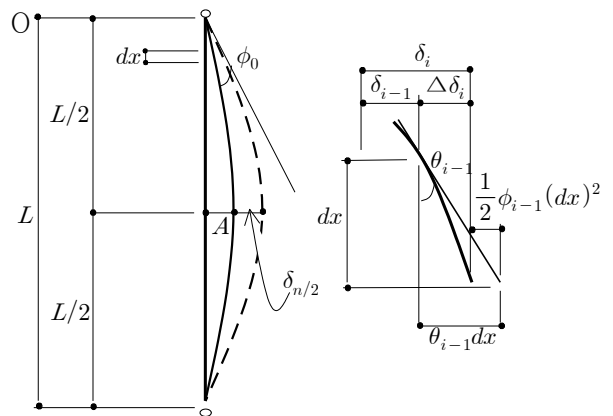


그림 2. 좌굴강도 산정 참고그림

2.1.2 접선계수이론에 의한 산정법

Shanley(Shanley, 1947)에 의해서 정설로 확립된 비탄성 좌굴강도는 접선계수이론(tangent modulus theory)에 따르는 것으로 응력-변형도 관계가 그림 1과 같이 곡선관계를 유지하여 전구간에 접선계수를 정량적으로 구할 수 있을 때 가능하다. 접선계수이론에 따르면 압축재의 좌굴강도는 다음 식과 같이 표현된다.

$$\sigma_t = \pi^2 E_t / \lambda^2 \tag{4}$$

여기서, σ_t : 좌굴강도
 E_t : 접선계수
 λ : 세장비

표 1. 인장시험결과

인장 시험편	항복강도 (MPa)		인장강도 (MPa)		항복비		연신율 (%)	
	0.2%	0.1%	0.2%	0.1%	0.2%	0.1%	0.2%	0.1%
No. 1	532	526	628	634	0.8	0.8	22	21
No. 2	520		641		0.8		1	

[주] 항복강도는 0.2% off-set에 따른 것임

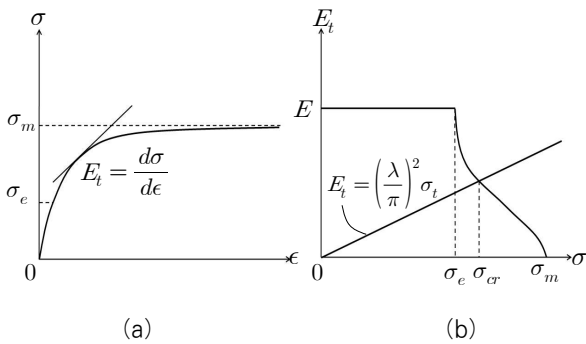


그림 3. 접선계수 이론에 따른 산정

접선계수이론에 의한 산정법은 다음과 같이 요약된다.

- ① 그림 1과 같은 응력-변형도 관계에서 응력(σ)에 대한 각각의 접선계수($E_t = d\sigma/d\epsilon$)를 구한다(그림 3(a)).
- ② 접선계수(E_t)와 응력(σ)과의 관계를 도시하면 그림 3(b)와 같이 된다.
- ③ 식(4)에서 $E_t = (\lambda/\pi)^2 \sigma_t$ 이고 세장비(λ)의 값을 정했을 때 E_t 와 σ_t 는 1차식의 관계로 나타난다.
- ④ $E_t = (\lambda/\pi)^2 \sigma_t$ 를 그림 3(b) 상에 표현하면 교점이 생

기게 되고, 이 때의 σ 값을 읽으면 구하고자 하는 접선계수하중(tangent modulus load) σ_{cr} 이 된다.

2.2 원형강관의 좌굴강도

2.2.1 좌굴강도

앞에 기술한 두가지 좌굴강도 산정법으로 그림 1의 원형강관($\phi - 750 \times 12$) 인장시험결과를 이용하여 각각 좌굴강도를 산정하였다. 비탄성역에서 좌굴강도가 결정될 것으로 예상되는 세장비 30부터 90까지의 해석결과를 표 2에 나타내었다.

표 2. 좌굴강도 해석결과

λ	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
방법 1	493	435	414	380	348	289	243	197	162	137
방법 2	458	431	406	397	373	302	249	201	169	141
방법 2 / 방법 1	0.93	0.99	0.98	1.04	1.07	1.04	1.02	1.02	1.04	1.03

[주] 방법 1 : Beam-column 이론에 의한 방법
 방법 2 : 접선계수이론에 의한 방법

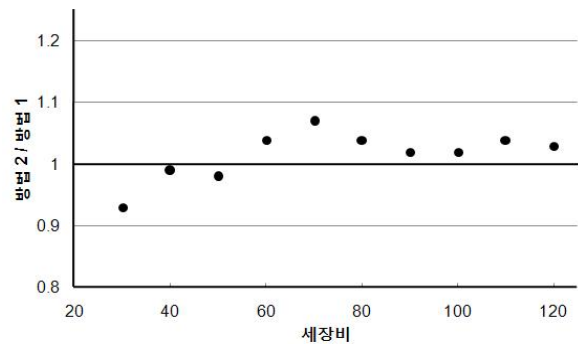


그림 4. 좌굴강도 산정법의 비교

2.2.2 해석방법에 따른 결과의 비교

해석방법을 비교하기 위하여 표 2에 Beam-column 이론에 의한 방법(방법 1)으로 접선계수이론에 의한 방법(방법 2)을 무차원화하여 나타내고 있다. 또한 무차원화 값을 그림 4에 도시하고 있다. 약 $\pm 7\%$ 이내의 차이가 나고 있다. 접선계수이론에 의한 산정에서 접선계수의 정량적 수치를 확정하기에 어려운 점이 있지만 양자의 해석방법이 다르지만 양호한 해석결과를 기대할 수 있다고 생각된다.

3. 좌굴강도에 관계하는 영향인자

3.1 응력-변형도 관계의 근사

3.1.1 응력-변형도 관계

600MPa급 고강도강의 응력-변형도 관계는 그림 1과 같이 소성흐름 구간이 보이지 않는 특성을 가지고 있다.

이 경우 항복강도는 0.2% off set법에 의해서 정하도록 하고 있다.

소성흐름이 없는 경우는 이와 같이 강재를 고강도화 시켰을 때 금속학적으로 불가피한 경우이거나 강재가 소성가공을 받아 잔류응력이 존재할 경우에 해당된다. 따라서 구조용 강재가 압축재로 사용될 때 항복강도에 이르기 전에비탄성으로 변하고 소성흐름구간이 없는 경우 좌굴강도는 소성흐름구간이 있는 강재와는 그 특성이 달라진다.

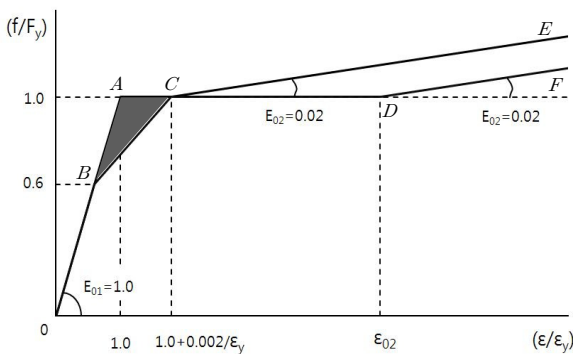


그림 5. 무차원화된 응력-변형도 관계

필자는 스테인리스강에 관한 연구(이명재, 2005)에서 스테인리스강에 전형적인 소성흐름구간이 없는 점에 착안하여 응력-변형도 관계를 모델화한 바 있다. 다만 스테인리스강은 0.1% off-set법으로 하였다.

600MPa급 고강도강에 대해서도 응력-변형도 관계를 소성흐름이 있는 경우와 소성흐름이 없는 경우에 대하여 모델화하면 그림 5와 같이 된다. 그림에서 강재의 탄성이 항복강도의 50%에서 비탄성으로 벗어나게 되어 있다. 여기서 소성흐름이 있는 경우는 O-B-A-D-F로 이어지는 관계를 나타내고 있고 소성흐름이 없는 경우는 O-B-C-E로 되어 소성흐름이 없고 탄성한도를 벗어나면 0.2% off-set에 의한 항복강도까지 직선으로 극단적으로 변화하는 것으로 나타나고 있다.

따라서 그림 5에서 A-B-C로 둘러싸인 빗금친 범위 내에 구조강재의 응력-변형도 관계는 모두 표현될 수 있다. 비례한도를 여기서도 50%로 하였지만 경우에 따라서는 가변적일 수 있다.

3.1.2 응력-변형도 관계의 근사

순수한 강재의 응력-변형도 관계는 항복흐름과 변형도 경화가 뚜렷하게 나타나지만 구조용 강재로 사용되는 H형강, 원형 및 각형강관 등은 제조과정과 용접 및 소성가공에 따른 잔류응력의 영향으로 항복흐름이 명확하지 않은 이른바 Round House 형태(RH형)의 곡선관계를 나타낸다.

이런 경우 항복강도는 0.2% off-set에 따라 정하고 있다. 이러한 응력-변형도 관계는 비례한도, 항복강도에 따라 정해진다고 볼 수 있다. 응력-변형도 관계를 다음과 같이 근사시켜 본다.

그림 5와 같이 무차원화한 응력-변형도 관계를 다음에 정의하는 G, H, I, J, K 등을 이용하여 도시하면 그림 6과 같이 된다.

여기서, G : 비례한도 시의 변형도(ϵ_{op})

H : 항복변형도(= 1.0)

I : 항복변형도보다 ϵ_{op} 만큼 큰 변형도
(= 1.0 + ϵ_{op})

J : 0.2% off set법에 의한 항복변형도
(= 1.0 + 0.002/ ϵ_y)

또 L, M, N, P, Q의 각점을 다음과 같이 정의한다.

L : 변형도 I에서 AC선상의 점

M : 변형도 I에서 BC선상의 점

N : 변형도 H에서 BC선상의 점

P : AN선상의 점

Q : LM선상의 점

RH형의 응력-변형도 관계는 비례한도점(그림 6의 B점)을 벗어나 0.2% off set법에 따른 항복점(그림 6의 C점)에 이를 때까지 다양하겠지만 B-A-L-C를 최대, B-N-M-C를 최소로 하는 범위 내, 즉 삼각형ABC 범위 내에서 변동하는 관계이다. 따라서 RH형의 응력-변형도 관계는 삼각형 ABC 내부의 점 P, Q를 사용하여 O-B-P-Q-C-E와 같이 근사시킬 수 있다.

비례한도는 비례한도점(그림 6의 B점)을 벗어난 응력-변형도 관계에도 영향을 미친다고 생각된다. 즉 비례한도가 커질수록 B-P-Q-C 선상의 곡률은 크게 되고 비례한도가 작아질수록 곡률은 작아진다는 것을 예상할 수 있다.

이상으로부터 비례한도를 가지고 근사하는 경우, 점 P, Q는 각각 다음과 같이 주어진다(그림 6 참조).

① $\sigma_{op} \leq 0.5$; 식(5)를 만족하는 P, Q는 좌표를 구한다.

$$\left. \begin{aligned} AP : PN &= (1 - \sigma_{op}) : \sigma_{op} \\ LQ : QM &= \sigma_{op} : (1 - \sigma_{op}) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

식(5)로부터,

$$\left. \begin{aligned} P(1.0, 1.0 - (\epsilon_{oz} - 1)(1 - \sigma_{op})^2 / (\epsilon_{oz} - \sigma_{op})) \\ Q(1.0 + \sigma_{op}, 1.0 - \sigma_{op}(1 - \sigma_{op})(\epsilon_{oz} - \sigma_{op} - 1) / (\epsilon_{oz} - \sigma_{op})) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

② $\sigma_{op} > 0.5$; 식(7)을 만족하는 P, Q의 좌표를 구한다.

$$\left. \begin{aligned} AP : PN &= \sigma_{op} : (1 - \sigma_{op}) \\ LQ : QM &= (1 - \sigma_{op}) : \sigma_{op} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

식(7)로부터,

$$\left. \begin{aligned} P(1.0, 1.0 - \sigma_{op}(\epsilon_{oz} - 1)(1 - \sigma_{op}) / (\epsilon_{oz} - \sigma_{op})) \\ Q(1.0 + \sigma_{op}, 1.0 - (1 - \sigma_{op})^2(\epsilon_{oz} - \sigma_{op} - 1) / (\epsilon_{oz} - \sigma_{op})) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

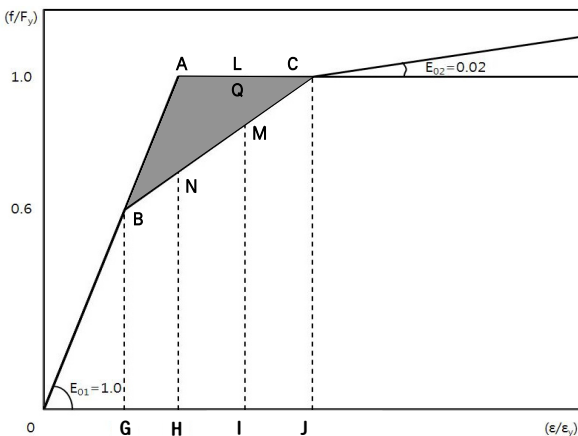


그림 6. 응력-변형도 관계의 근사

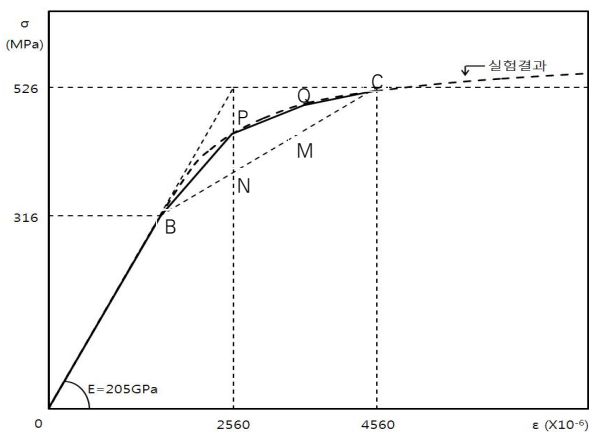


그림 7. 응력-변형도 관계의 근사와 실험결과와의 비교

식(6)과 식(8)의 좌표를 사용하여 점 P, Q를 정하면 O-B-P-Q-C-E 선이 근사된 응력-변형도 관계이다. 이것을 인장시험결과와 비교한 것이 그림 7에 나타나 있다. 그림 7에서 알 수 있는 바와 같이 비례한도와 항복강도를 알면 응력-변형도 관계가 예측될 수 있다.

3.2 영향인자

강재의 응력-변형도 관계가 압축재의 좌굴강도에 영향을 받고 있음은 앞에서의 수치해석결과로부터 확인되었다. 그 영향인자로서는 비례한도, 항복강도, 항복흐름 존재의 유무, 변형도경화개시점, 변형도경화계수, 그리고 초기변형 등을 나열할 수 있다. 이러한 영향인자에 관하여 고찰해본다.

3.1.1 무시할 수 있는 인자

좌굴강도의 범위를 항복강도 이하로 한 경우 앞에 나열한 변형도경화개시점, 변형도경화계수 등의 인자의 영향은 무시할 수 있다고 생각되나 수치해석으로 확인해 본다.

그림 8과 같이 항복흐름이 있는 것과 없는 것에 대하여 영향인자로 볼 수 없는 각각의 경우를 대상으로 하였다. 그림 8(1)은 항복흐름이 있고 변형도경화개시점에서 차이가 있는 경우, 그림 8(2)는 항복흐름이 없고(RH형) 변형도경화개시점에서 차이가 있는 경우, 그림 8(3)은 항복흐름이 있고 변형도경화계수가 다른 경우, 그림 8(4)는 항복흐름이 있고 변형도경화계수가 다른 경우이다.

그림 8의 각 경우들에 대하여 Beam-column 이론에 따른 수치해석결과를 표 3에 나타내고 무차원화된 좌굴강도 $F_0 (\sigma_{cr} / F_y)$ 와 세장비 $\lambda_0 (\lambda / \lambda_{cr})$ 로 나타내면 그림 9와 같이 된다.

표 3과 그림 9에서 나타난 바와 같이 변형도경화개시점과 변형도경화계수의 영향은 항복흐름 존재의 유무와 상관없이 항복강도 이하의 압축재 좌굴에서는 영향을 미치지 않는다는 것이 확인되고 있다.

3.1.2 좌굴강도에 영향을 미치는 인자

비례한도와 항복강도는 좌굴강도에 미치는 영향이 클 것으로 판단되는데 항복강도의 크기는 좌굴강도와 세장비를 무차원화시키면 그 영향은 없어진다고 볼 수 있다.

여기서는 비례한도를 그림 10과 같이 차이를 두고 항복강도에 이르는 구간을 직선으로 한 경우(e, h, i 선)를 항복흐름이 있는 경우(c선)와 비교해 본다. 수치해석결과를 표 4에 나타내고 무차원화된 좌굴강도와 세장비관계로 나타내면 그림 11과 같이 된다.

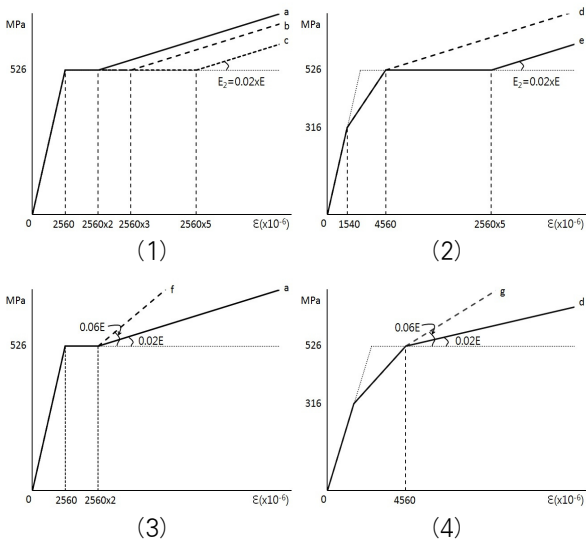


그림 8. 무시할 수 있는 영향인자를 포함한 응력-변형도 관계

표 3. 무시할 수 있는 영향인자에 대한 수치해석 결과(MPa)

λ	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
a	515	510	505	502	401	307	243	197	162	137
b	515	510	505	502	401	307	243	197	162	137
c	515	510	505	502	401	307	243	197	162	137
d	500	417	347	328	308	278	243	197	162	137
e	500	417	347	328	308	278	243	197	162	137
f	515	510	505	502	401	307	243	197	162	137
g	500	417	347	328	308	278	243	197	162	137

그 관계가 역전된다. 이것은 세장비가 어느 범위를 벗어나 작아지면 비례한도의 영향은 없어지고 그림 9의 비례한도를 벗어나는 지점에서 항복강도에 이르는 기울기의 크기가 좌굴강도에 영향이 미친다는 것을 의미한다. 즉 비례한도는 작지만 항복강도에 이르는 기울기가 큰 선의 경우 세장비가 작으면 좌굴강도는 상대적으로 높아지는 경향이 있음을 말한다.

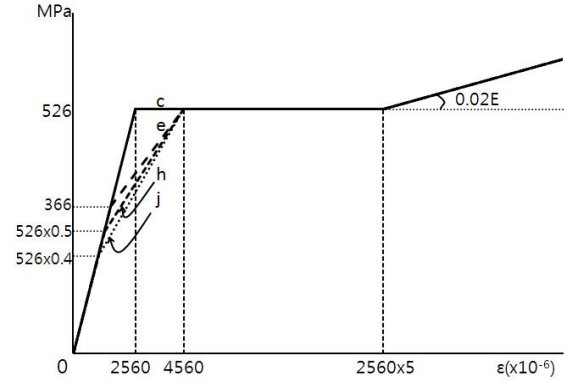


그림 10. 비례한도에 차이가 있는 경우

좌굴강도에 영향하는 또 다른 것으로 초기변형을 들 수 있다. 표 5는 초기변형을 1/1000, 1/2000, 3/1000로 하여 수치해석한 결과이다. 그림 12는 무차원화된 세장비와 좌굴강도와의 관계이다. 초기변형이 클수록 좌굴강도가 상대적으로 작아지는 것을 알 수 있다. 특히 $0.6 < \lambda < 1.5$ 의 범위인 건축구조용 부재로 일반적으로 잘 사용되는 비탄성영역에서 그 차이가 뚜렷하게 나타나고 있다.

4. 건축구조기준(KBC2009)에의 적용

4.1 실제 항복강도를 적용한 경우

건축구조기준(KBC2009)에서 압축재의 공칭강도 P_n 은 다음과 같이 규정되어 있다.

$$P_n = F_{cr} A_g \tag{9}$$

여기서,

$$KL/r \leq 4.71 \sqrt{E/E_y} \text{ 이면 } F_{cr} = 0.658^{F_y/F_c} \cdot F_y \tag{10}$$

$$KL/r > 4.71 \sqrt{E/E_y} \text{ 이면 } F_{cr} = 0.877 F_c \tag{11}$$

$$F_c = \pi^2 E / (KL/r)^2$$

A_g : 부재의 총단면적

F_y : 강재의 항복강도

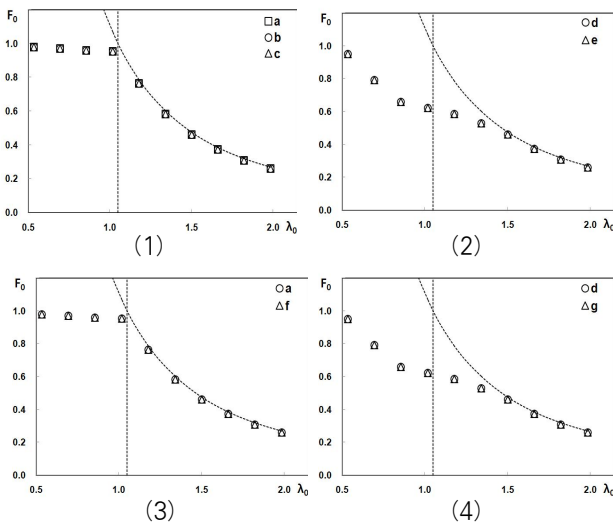


그림 9. 무차원화된 좌굴강도와 세장비의 관계

비례한도는 항복강도의 0.4(j선), 0.5(h선), 0.6(e선), 1.0(c선)배를 선택하였다. 그림에서 세장비가 큰 경우는 비례한도가 커질수록 좌굴강도도 커지지만 세장비가 작은 경우는

표 4. 비례한도에 차이가 있는 경우의 수치해석 결과(MPa)

λ	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
c	515	510	505	502	401	307	243	197	162	137
e	500	417	347	328	308	278	243	197	162	137
h	500	480	307	288	269	247	223	197	162	137
i	510	499	342	252	232	213	194	175	159	137

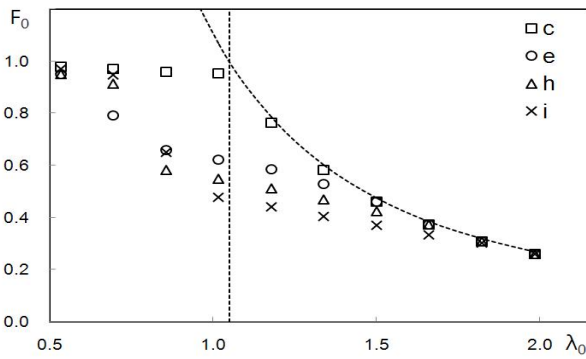


그림 11. 비례한도에 차이가 있는 경우의 무차원화된 좌굴강도와 세장비 관계

표 5. 초기변형의 좌굴강도에 관한 영향(MPa)

	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
초기변형	1/1000	472	397	340	287	254	223	192	165	141	121
	1/2000	500	407	348	295	270	242	209	176	151	128
	1/3000	511	410	351	299	278	256	215	181	154	130

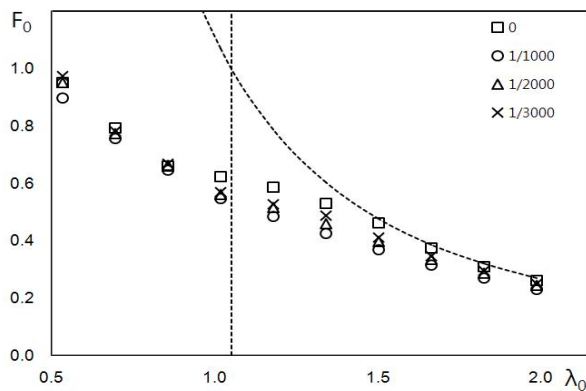


그림 12. 초기변형 인자의 무차원화된 좌굴강도와 세장비 관계

식 (10), (11)에서 F_y 는 강재의 공칭항복강도이고 600MPa

급 고강도강은 SM570TMC강에 상당하므로 공칭항복강도는 440MPa로 볼 수 있다. 그런데 실제 인장시험결과 얻어진 항복강도는 표 1과 같이 526MPa로 나타나고 있다.

식 (10), (11)에 F_y 값으로서 실제 항복강도인 526MPa를 적용하여 표 2의 방법 1에 의한 해석결과와 비교하면 그림 13과 같다. 그림에는 저감계수(ϕ_c) 0.9를 적용한 경우로 직선으로 나타났다. 이것으로부터 KBC2009의 압축재의 압축강도를 규정한 식 (10), (11)은 600MPa급 고강도강의 압축재에 대하여도 실제 항복강도를 적용하여도 압축강도를 적절하게 평가하고 있다고 볼 수 있다.

4.2 공칭항복강도를 적용한 경우

실제 항복강도가 높아도 건축구조기준에서는 강종별로 정해진 공칭항복강도(F_y)를 식 (10), (11)에 사용하도록 규정하고 있다. 이에 따라 600MPa급에 해당하는 SM570TMC의 F_y 값인 440MPa를 식 (10), (11)에 적용하여 표 2의 방법 1에 의한 해석결과와 비교하면 그림 13과 같이 된다. 600MPa급 고강도강에 대하여 압축강도에서 440MPa를 F_y 값으로 적용하면 그림 14에서 보는 바와 같이 지나치게 안전측임을 알 수 있다.

600MPa급 고강도강의 경우 480MPa를 F_y 값으로 적용하면 그림 15와 같이 된다. 강재의 품질관리적인 측면도 고려하여 480MPa를 적용하면 건축구조기준의 압축강도적용에 무리가 없다고 생각된다.

5. 결론

600MPa급 고강도강의 원형강관의 좌굴강도에 관하여 그 특성을 조사하고 건축구조기준과의 비교를 통하여 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) 압축재의 좌굴강도는 Beam-column에 의한 수치해석으로 산정할 수 있다.
- (2) 항복흐름이 없는 응력-변형도 관계를 비례한도와 항복강도만으로 근사시키는 방법을 식 (6), (8)로 제시하였다.

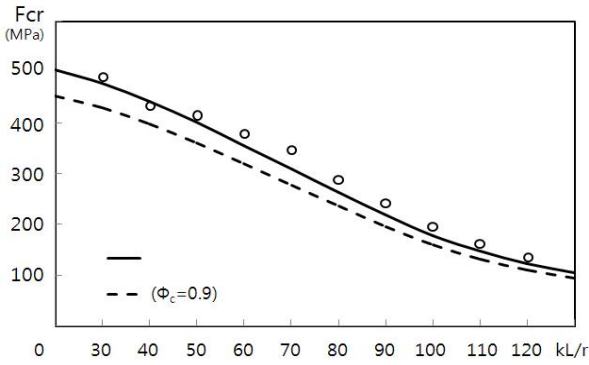


그림 13. $F_y = 526\text{MPa}$ 에서의 좌굴강도-세장비 관계

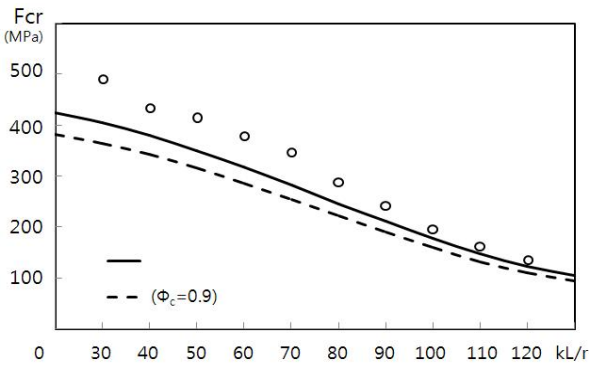


그림 14. $F_y = 440\text{MPa}$ 에서의 좌굴강도-세장비 관계

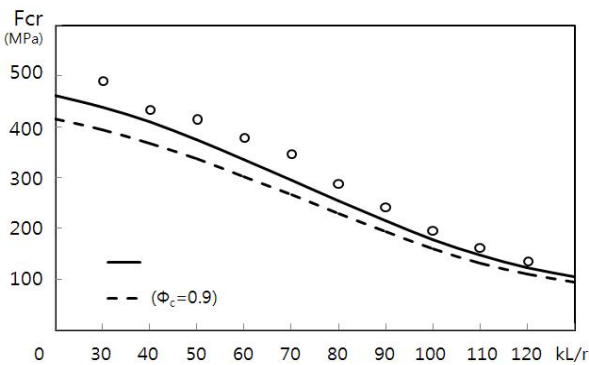


그림 15. $F_y = 480\text{MPa}$ 에서의 좌굴강도-세장비 관계

- (3) 비탄성역 좌굴강도에 미치는 영향인자는 비례한도 크기와 비례한도로부터 항복강도에 이르는 기울기의 크기임을 수치해석으로 확인하였다.
- (4) 건축구조기준의 압축강도에 적용할 때 F_y 값으로 현행 440MPa를 적용하면 지나치게 안전측으로 평가된다.
- (5) 600MPa급 고강도 원형강관을 압축재로 사용할 때 F_y 값을 480MPa로 상향조정해도 건축구조기준 적용에는 무리가 없다고 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 중앙대학교 학술연구비의 지원에 의한 것입니다. 그리고 고강도강 인장시험결과는 한국강구조학회 600MPa급 고강도강 원형강관 접합부 연구팀으로부터 제공받았습니다. 이에 진심으로 감사드립니다.

참고 문헌

대한건축학회(2009) 건축구조기준(KBC2009), 국토해양부.
 이명재, 김희동(2005) 스테인리스 각형강관 기둥의 최대내력, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제17권, 제1호 pp.73-82.
 한국강구조학회(2009) 하중저항계수설계법에 의한 강구조설계기준, 국토해양부.
 Galambos, T.V. (1968) *Structural Members and Frames*, Prentice-Hall.
 Shanley, F.R. (1947) Inelastic Column Theory, *Journal of the Aeronautical Sciences*, No. 5.
 Ronald, D.Z. (2010) *Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, 6th edition*, John Wiley & Sons.

(접수일자 : 2010. 9. 15/ 심사일 2010. 9. 27/
 게재확정일 2010. 11. 25)