

# 콘크리트 충전 각형강관 기둥재의 최대내력

## The Beam-Column Strength of Concrete Filled Tubes

이 명 재<sup>1)</sup>

Lee, Myung Jae

요 약 : 본 연구의 목적은 콘크리트충전 각형강관 기둥의 최대내력을 산정할 수 있는 내력식을 제안하는데 있다. 내력식을 제안하기 위해서 수치해석과 실험을 통해 최대내력을 정량적으로 평가하고 기존의 한계상태설계법의 규준식에 근거하여 적절한 보정방안을 제안하여 콘크리트 충전 각형강관 기둥의 최대내력을 산정할 수 있는 내력식을 제안하고자 한다.

ABSTRACT : The objective of this paper is to suggest formula of Concrete Filled Tube Beam-Column members maximum strength by using of numerical analysis and tests. The numerical analysis results are compared with test results for evaluating numerical analysis method. The formula of Limit State Design of Architectural Institute of KOREA is used for basic form of suggestion formula. In order to suggest formula, two methods are used. One is to use the coefficient, and the other is to use the amplified factor of material strength. The formula by two methods are compared with numerical analysis results.

핵심용어 : 콘크리트 충전 각형강관, 기둥재, 최대내력

KEYWORDS : Concrete Filled Tube, Beam-Column, Maximum Strength

### 1. 서 론

건축물이 고층화 될수록 상당한 축력을 부담하면서 모멘트도 무시할 수 없는 기둥재(Beam-Column)가 중요한 구조적 문제가 된다. 그러므로 이러한 경우 충분한 내력과 변형능력을 가진 기둥재가 필요로 하게 된다. 이러한 요인들로 인해 최근 강관에 콘크리트를 충전한 콘크리트 충전 강관이 기둥재로서 활발히 연구되고 있다.

하지만 아직 이러한 콘크리트 충전 강관기둥의

최대내력을 산정할 수 있는 내력식이 완전하게 마련되어 있지 못한 실정이다. 물론 미국의 Load and Resistance Factor Design과 대한건축학회의 한계상태설계법 등에서 강관을 콘크리트로 충전한 경우에 대한 내력식이 제안되어 있으나 이는 콘크리트 충전 강관만을 위한 규준식이 아니라 합성구조에 적용되는 범용식이므로 콘크리트 충전 강관이 가진 특성을 충분히 고려, 내력을 정확하게 산정하고 있다고는 보기가 어렵다.

1) 정회원, 중앙대 건축공학과 교수, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 1997년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 토의회답을 게재하겠습니다.

그러므로 본 논문에서는 콘크리트 충전 각형강관 기둥의 특성을 고려하여 그 내력을 적정하게 평가할 수 있는 내력식을 제안하기 위해서 수치해석인 방법과 실험을 통하여 실제 콘크리트 충전 각형강관 기둥의 최대내력을 고찰하고 이 결과와 기존의 표준식을 기본으로 하여 콘크리트 충전 각형강관 기둥의 최대내력을 적절하게 산정할 수 있는 내력식을 제안하고자 한다.

## 2. 콘크리트 충전 각형강관 기둥재의 실험

### 2.1 소재 시험

실험에 사용된 재료의 기계적인 특성을 파악하기 위해서 재료의 인장, 압축시험과 단주압축시험을 실시하였다.

먼저 실험체 제작에 사용되어진 강관의 기계적인 특성을 조사하기 위해서 강재의 인장강도 시험을 실시하였다. 사용된 강관의 재료는 STKR 400으로 이를 한국공업규격에서 제시하고 있는 금속재료시험편인 5호 시험편으로 각 강관의 단면 크기에 따라서 절편하여 인장시험 하였다. 그 결과는 다음과 같다. 단, 항복강도의 경우 정확한 항복점이 나타나지 않는 시험편의 경우 0.2% off set법을 이용하여 항복점을 정하였다.

표 1. 강재의 인장강도시험 결과

시험체 명	항복강도 (t/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (t/cm <sup>2</sup> )	항복비	연신율 (%)
□-75×75×2.3	4.52	5.00	0.90	30.0
□-100×100×2.3	3.72	4.37	0.85	28.0
□-150×150×4.5	4.39	4.93	0.89	27.0
□-150×150×6.0	4.22	4.75	0.88	35.0

콘크리트 충전에 사용되어진 콘크리트의 재료적인 특성을 파악하기 위해서 콘크리트 압축강도 시험을 실시하였다. 충전이 된 콘크리트는 공칭강도

210kg/cm<sup>2</sup>으로 계획 배합하였다. 기둥 실험체의 콘크리트 충전시 지름 10cm, 높이 20cm의 원형 공시체를 제작하여 이를 28일 자연 양생을 하여 가력 시험을 실시 하였다. 그 결과는 다음과 같다.

표 2. 콘크리트의 압축강도시험 결과

공시체명	최대 응력도 (kg/cm <sup>2</sup> )	최대 잔골재 (cm)	슬럼프치 (cm)
C-1	192.0	2.5	15
C-2	170.1	2.5	16
C-3	164.8	2.5	15

기둥재에 사용되었던 각형강관의 축력에 대한 단면내력과 응력-변형도 관계를 알기위해서 중공강관과 충전강관에 대한 단주압축시험을 실시하였다. 단주의 길이는 부재좌굴의 영향을 배제하기 위해서 단면 폭의 3배로 하였다. 중공형, 충전형 각 단면 치수에 따라서 각각 하나씩의 실험체를 제작하여 가력하였다.

이상과 같은 단주압축시험체의 가력시험 결과는 표 3과 같다. 결과를 살펴보면 중공강관의 경우 단순계산에 의해서 도출된 계산하중과 실제 시험의 결과를 비교해 보면 폭두께비가 클수록 그 차이가 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

이는 폭두께비가 커질수록 국부좌굴의 영향이 증가하여 내력의 감소를 가져온 결과라고 사료된다.

그러나 충전을 하게 되면 이러한 폭두께비에 의한 내력의 차이가 현저하게 감소하여 폭두께비와 관계없이 모든 실험체에서 거의 동일하게 계산된 내력값에 도달하는 것을 볼 수 있다. 이는 충전에 의해서 국부좌굴 방지효과가 나타난 것이라 할 수 있겠다.

단주의 경우 콘크리트 충전효과를 살펴보기 위해서 단순누가내력 (중공강관 단주압축 시험 결과 + (콘크리트 충전단면적 × 콘크리트 압축시험 결과))과 충전콘크리트 단주압축시험 결과를 비교해 그림 1에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이

표 3. 단주압축시험 결과

시험체명	누가 하중 (ton)	최대 하중 (ton)	최대 누가	중공 충전
□-75×75×2.3(H)	32.7	23.9	0.73	0.63
□-75×75×2.3(F)	41.48	37.35	0.9	
□-100×100×2.3(H)	38.6	24.2	0.62	0.49
□-100×100×2.3(F)	54.68	50.45	0.92	
□-150×150×4.5(H)	126.5	90.2	0.71	0.60
□-150×150×4.5(F)	161.55	149.40	0.92	
□-150×150×6.0(H)	159.7	137.9	0.86	0.75
□-150×150×6.0(F)	193.34	185.0	0.95	

누가하중 : 중공의 경우 (단면적 × 강재의 항복강도), 충전의 경우 (강재단면적 × 강재 항복강도 + 콘크리트 단면적 × 콘크리트 압축강도)

단순누가를 한 결과보다 콘크리트 충전 시험체의 결과가 더 크게 나타난 것을 볼 수 있다. 이러한 현상이 콘크리트를 충전할 경우에 얻을 수 있는 콘크리트 충전 효과라고 볼 수 있다.

## 2.2 기둥재 실험

콘크리트 충전 각형강관 기둥의 최대내력과 하중-변형관계 등을 조사하기 위해서 강관기둥재의 가력실험을 실시하였다.

실험의 변수로서는 각형강관 단면크기, 폭두께비, L/B, 축력비, 충전 유무 등이 변수로서 실험체에 적용이 되었다.

가력은 100ton 성능의 U.T.M을 사용하여 가력을 하였으며, 모멘트 구배를 주기 위해서 상단부 중앙집중가력, 하단부 편심가력하여 기둥부재의 하단부에 편심(e)에 의한 모멘트가 발생, 상단부 모멘트는 0이고 하단부 모멘트는 (P×e)가 되어 (모멘트 구배 = 0)의 상태가 되도록 하였다. 편심거리는 최대 축력비가 0.3~0.6 사이의 결과를 얻을 수 있도록 설정되었다.

양단은 나이프 엣지 (knife edge)를 사용하여 편 지지로 하였다. 이때 양단에 부착된 나이프 엣지로 인한 강역의 발생이 좌굴에 미치는 영향을

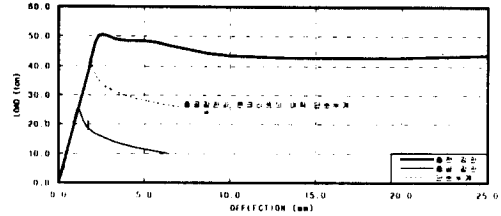


그림 1. 단주의 콘크리트 충전효과

고려하여 등가좌굴길이를 산정하여 실험체의 길이를 결정하였다.

실험체를 가력하면서 5개의 다이얼게이지를 이용하여 횡변위를 측정하였고, 4개의 다이얼게이지를 이용하여 축변위, 회전각을 측정하였다. 그리고 와이어 스트레인 게이지로 변형도를 측정하였다. 시험체의 가력방법을 그림 2에 나타내고 BCF 75-30-3 시험체의 최대내력시의 상황을 사진 1에 나타낸다.

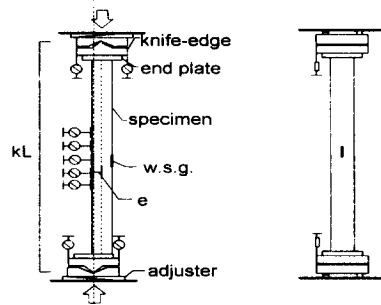


그림 2. 시험체 가력방법

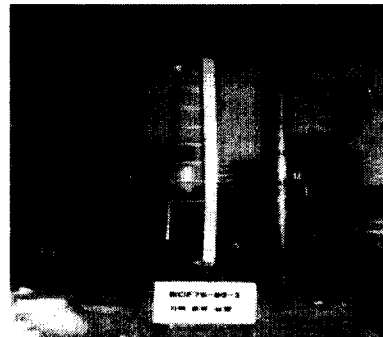


사진 1. BCF-75-30-3 시험체의 최대내력

표 4 기둥 실험체 일람 및 실험결과

실험체 명	단면 형상	길이 (cm)	편심 거리 (cm)	충전 유무	최대 횡변위 (cm)	최대 축력 (ton)	최대 모멘트 (tcm)	N/Ny	M/Mp
BCF75-25-1	□-75x75x2.3	162.8	2.3	유	1.96	14.07	48.61	0.42	0.67
BCF75-25-2	□-75x75x2.3	162.8	3.75	유	1.75	12.85	62.12	0.38	0.85
BCF75-25-3	□-75x75x2.3	162.8	6.4	유	1.60	9.67	72.15	0.29	0.99
BCH75-25	□-75x75x2.3	162.8	6.4	무	2.30	8.14	64.51	-	-
BCF75-30-1	□-75x75x2.3	200.0	2.3	유	2.66	13.77	50.92	0.41	0.70
BCF75-30-2	□-75x75x2.3	200.0	3.75	유	2.70	11.52	60.63	0.34	0.83
BCF75-30-3	□-75x75x2.3	200.0	6.4	유	2.84	8.67	69.40	0.26	0.95
BCH75-30	□-75x75x2.3	200.0	6.4	무	2.66	7.23	58.18	-	-
BCF100-10-1	□-100x100x2.3	77.2	3.0	유	0.29	26.00	83.07	0.53	0.63
BCF100-10-2	□-100x100x2.3	77.2	5.0	유	0.48	24.57	128.95	0.50	0.98
BCF100-10-3	□-100x100x2.3	77.2	8.5	유	0.79	17.07	152.43	0.35	1.15
BCF100-20-1	□-100x100x2.3	175.2	3.0	유	1.56	26.17	101.22	0.53	0.77
BCF100-20-2	□-100x100x2.3	175.2	5.0	유	1.24	20.97	119.97	0.43	0.91
BCF100-20-3	□-100x100x2.3	175.2	8.5	유	1.14	11.77	108.08	0.24	0.82
BCH100-20	□-100x100x2.3	175.2	8.5	무	1.05	9.05	82.51	-	-
BCF150A-10-2	□-150x150x4.5	125.0	7.5	유	1.28	67.05	553.00	0.42	0.75
BCF150A-10-3	□-150x150x4.5	125.0	12.8	유	1.67	43.45	595.63	0.27	0.81
BCF150A-15-2	□-150x150x4.5	200.0	7.5	유	2.18	70.00	614.27	0.43	0.84
BCF150A-15-3	□-150x150x4.5	200.0	12.8	유	2.81	45.85	661.61	0.28	0.90
BCH150A-15	□-150x150x4.5	200.0	12.8	무	2.40	33.95	482.23	-	-
BCF150B-10-3	□-150x150x6.0	125.0	12.8	유	2.29	61.60	866.35	0.32	0.95
BCF150B-15-3	□-150x150x6.0	200.0	12.8	유	2.74	53.55	773.48	0.28	0.85
BCH150B-15	□-150x150x6.0	200.0	12.8	무	2.71	46.10	662.54	-	-

### 2.3 실험 결과

콘크리트 충전 각형강관 기둥의 가력실험결과를 표 4에 나타낸다. 부재가 세장해질수록 단면 내력보다 작은 최대내력값을 나타내는 것을 볼 수 있다.

이는 횡변위에 의한 2차모멘트의 영향이라고 생각이 된다. 그리고 단주압축주 시험시에 나타났던 충전효과가 부재가 세장해질수록 감소하는 것을 볼 수 있다. 이 역시 부재가 세장해질수록 단면의 내력보다는 부재 전체의 변형에 의한 내력결정이 중요한 요인으로 작용하기 때문이라고 사료된다.

그리고, 최대내력 도달 이후에 기둥재의 편심 가력 부분에서 국부좌굴의 발생에 의한 내력의 급

격한 저하가 발생하는 것이 관찰되었다. 이는 편심비가 클수록 현저하게 나타나고 있는데 편심비가 커질수록 과도한 회전각의 발생으로 인하여 이러한 국부좌굴이 발생한 것으로 생각된다.

### 3. 기둥재 최대내력의 수치해석

#### 3.1 수치해석 방법

모멘트 구배가 있는 콘크리트 충전 각형강관 기둥재의 최대내력을 예상하는 수치해석은 단면의 축력-모멘트-곡률 관계를 이용하였다.

양단 편지지 상태에 기둥재의 수치해석법은 다음과 같이 수행된다.

- ① 재료의 응력-변형도 관계를 이용하여 단면

의 축력-모멘트-곡률 관계를 산정한다.

- ② 대상이 되는 Beam-Column 부재의 길이 (L)를 n 등분한다(dx=L/n).
- ③ Beam-Column에 가해지는 축력을 일정 치( $N_0$ )로 정한다.
- ④ 최초의 등분요소에 대해 임의의 변형각( $\theta_0$ )을 정한다.
- ⑤ 부재의 양단에 가해지는 모멘트를 임의의 값( $M_0$ )으로 정한다.
- ⑥ 각 등분요소는 축력  $N_0$ 와 모멘트  $M_0$ 에 의해 P- $\delta$  효과가 고려된 모멘트  $M_i$ 를 받게 되는데 이때 ①의 과정에서 구한 단면의 모멘트-곡률 관계를 이용하여 모멘트  $M_i$ 를 받는 등분요소의 곡률( $\phi_i$ )을 구하고 이 곡률로부터 회전각( $\theta_i$ )과 처짐량( $\delta_i$ )을 계산한다.

모멘트( $M_i$ ), 회전각( $\theta_i$ ), 처짐량( $\delta_i$ )은 모멘트 면적법에 의한 다음과 같은 근사식으로 계산한다.

$$M_i = M_{i0} + N_0 \delta_i \quad (1)$$

$$\theta_i = \theta_{i-1} - \phi_{i-1} \cdot dx \quad (2)$$

$$\delta_i = \delta_{i-1} + \theta_{i-1} \cdot dx - \frac{1}{2} \phi_{i-1} (dx)^2 \quad (3)$$

- ⑦ i가 n이 될 때까지 ⑥의 계산을 계속하여 부재단의 처짐량( $\delta_n$ )이 0에 수렴할 때까지  $M_0$ 를 늘리고  $\delta_n < 0$ 이면  $M_0$ 를 줄인다.
- ⑧ 부재단의 처짐량( $\delta_n$ )이 0에 수렴하면 이때 구한  $M_0$ 는 변형각  $\theta_0$ 와 축력  $N_0$ 받는 부재에 있어서 평형을 이루기 위한 모멘트 값이 된다.
- ⑨  $\theta_0$ 를 증가시켜( $\theta_0 = \theta_0 + \Delta\theta$ ) ⑤에서 ⑧의 과정을 반복한다.
- ⑩ 이상의 순서로부터 각각의  $\theta_0$ 에 대한  $M_0$ 가 정해지고 이  $M_0$ 중 최대치가 축력  $N_0$ 를 받을 때의 휨좌굴내력이 된다.

콘크리트의 경우 압축강도시험에서 얻어진 응력-변형도 관계, 그리고 강재의 경우 단주압축시

험과 인장시험에서 얻어진 응력-변형도 관계를 합성하여 이들을 이용하여 단면의 축력-모멘트-곡률 관계를 구하였다. 강재의 경우 단주압축시험과 인장강도시험의 결과를 합성한 것은 단주압축시험 결과만을 사용할 경우에는 폭-두께비가 큰 실험체의 경우 충전시에는 거의 발생하지 않는 국부좌굴의 영향이 많이 발생하게 되어 그 내력값의 상당한 저하가 발생하게 되고, 국부좌굴의 영향이 적다고 하더라도 강재의 항복응력에 도달하지 못하는 경우도 있게 된다. 그러므로 내력의 과소 평가를 막기 위해서 단주압축시험에서 나온 초기구배와 인장강도시험에서 얻은 항복응력을 합성하여 사용하였다.

수치해석을 하는 과정에서 강재나 콘크리트 모두 최대내력 도달 이후에 내력의 저하는 없는 것으로 하고, 충전 콘크리트와 강관은 일체로 거동하는 것으로 하였다.

수치해석의 대상은 콘크리트 충전 각형강관 기둥을 그 대상으로 하였으며 주요 변수는 실험에 사용된 실험체에 적용되었던 모든 변수들을 해석에 동일하게 적용하였다.

### 3.2 수치해석 결과

이상과 같은 방법으로 행한 콘크리트충전 각형강관 기둥재의 수치해석결과를 표 5에 실험결과와 함께 나타내었다.

수치해석과 실험결과를 보면 두 결과값이 무차원화한 내력값으로 오차의 범위 -23% ~ 29% 이내에 있는 것을 볼 수 있다. 이들 중 국부좌굴 등의 불안정 현상에 의해서 내력이 급격하게 저하된 시험체를 제외한다면 오차의 범위 -0.05% ~ 29% 이내에서 수치해석결과와 실험결과가 일치하고 있는 것을 볼 수 있다.

그러므로, 국부좌굴 등의 불안정 요소를 제외한다면 본 수치해석의 결과가 콘크리트 충전 강관 기둥의 내력을 무차원화한 내력값으로 약 25% 정도 안전측으로 평가하고 있다고 할 수 있다.

표 5. 실험결과와 해석결과의 비교

실험체 명	실험 결과		해석 결과		실험결과 ----- 해석결과
	N/Ny	M/Mp	N/Ny	M/Mp	M/Mp
BCF75-25-1	0.42	0.67	0.42	0.78	0.86
BCF75-25-2	0.38	0.85	0.38	0.86	0.99
BCF75-25-3	0.29	0.99	0.29	0.99	1.00
BCF75-30-1	0.41	0.70	0.41	0.73	0.96
BCF75-30-2	0.34	0.83	0.34	0.84	0.99
BCF75-30-3	0.26	0.95	0.26	0.92	1.03
BCF100-10-1	0.53	0.63	0.53	0.82	0.77
BCF100-10-2	0.50	0.98	0.50	0.85	1.15
BCF100-10-3	0.35	1.15	0.35	1.00	1.15
BCF100-20-1	0.53	0.77	0.53	0.71	1.08
BCF100-20-2	0.43	0.91	0.43	0.90	1.01
BCF100-20-3	0.24	0.82	0.24	1.06	0.77
BCF150A-10-2	0.42	0.75	0.42	0.68	1.10
BCF150A-10-3	0.27	0.81	0.27	0.79	1.02
BCF150A-15-2	0.43	0.84	0.43	0.65	1.29
BCF150A-15-3	0.28	0.90	0.28	0.79	1.13
BCF150B-10-3	0.32	0.95	0.32	0.80	1.18
BCF150B-15-3	0.28	0.85	0.28	0.83	1.02

### 3.3 실험결과와의 비교

콘크리트 충전 각형강관 기둥의 실험결과와 수치해석 결과를 살펴보면 우선 단면형상의 변화에 따라서 내력의 변화는 축력과 모멘트를 항복축력과 전소성모멘트로 무차원화 시킬 경우 내력의 변화에 그다지 큰 영향을 주지 않는 것을 볼 수 있다. 그리고 부재의 폭두께비가 커질수록 무차원화한 내력이 상승하는 것을 볼 수 있다. 이는 폭두께비가 클수록 충전의 영향이 크게 나타나기 때문으로 생각된다. 그리고 콘크리트 충전의 효과는

L/B가 낮을수록, 그리고 폭두께비가 클수록 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 L/B가 낮을수록 부재 전체의 좌굴에 영향보다는 단면의 내력이 부재의 최대내력에 큰 영향을 미치게 되므로 단면 내력에 많은 영향을 주는 충전효과가 크게 나타나는 것으로 사료된다. 그리고 폭두께비의 경우 폭두께비가 클수록 국부좌굴의 영향이 증가하나 충전을 하게 됨으로써 이러한 국부좌굴의 영향을 감소시키게 되므로 이러한 결과가 나온 것으로 사료된다.

이상의 실험과 수치해석 결과를 살펴보면 콘크리트충전 각형강관 기둥의 경우 부재의 폭두께비가 클수록, 그리고 부재의 L/B가 낮을수록 내력 상승효과가 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

## 4. 콘크리트 충전 각형강관 기둥재의 내력식

### 4.1 한계상태설계 기준식과의 비교

현재 콘크리트충전각형강관 기둥재에 최대내력에 관한 규정이 있는 한계상태설계법의 기준식을 살펴보고, 기준식에서 평가하고 있는 기둥재의 내력과 실험 및 해석을 통하여 얻은 결과를 비교하여 기준식에서 평가하고 있는 내력의 적정성을 확인하고자 한다. 이를 위하여 실험에 사용되었던 변수와 재원들을 수치해석과 기준식에 동일하게 적용, 그 결과를 살펴보면 그림 3, 그림 4와 같다.

한계상태설계법의 기준식의 경우 저항계수 ( $\phi_c, \phi_b$ )를 제외한 경우에도 실험이나 수치해석을 통하여 얻은 콘크리트 충전 각형강관 기둥의 최대내력을 단면의 항복축력으로 무차원화한 축력비로 15~25% 정도 과소평가하고 있는 것을 볼 수 있다.

이는 기준이 가지고 있는 안전율이라는 개념을 고려하더라도 최대내력을 지나치게 안전측으로 평가하고 있는것이라 사료된다.

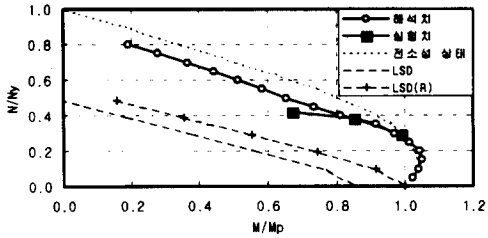


그림 3. 규준식과 실험 및 해석 결과의 비교 [BCF 75-25]

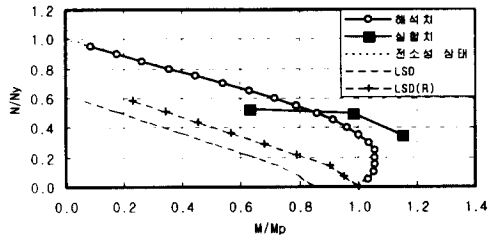


그림 4. 규준식과 실험 및 해석 결과의 비교 [BCF-100-10]

이러한 원인은 현재 한계상태설계법에서 제안된 내력식의 경우 콘크리트충전강관의 경우에만 국한된 것이 아니라 합성구조 기둥재에 전반적으로 적용이 가능한 내력식이므로 콘크리트 충전강관의 내력적 특성을 명확하게 반영하지 못하고 있는 것으로 생각된다. 그러므로 이러한 내력의 과소평가치를 적정한 수준에서 보정해 주는 것이 필요하다.

#### 4.2 콘크리트 충전 강관기둥 내력식의 제안

앞에서 살펴본 바와 같이 현재 제안되어진 내력식의 경우 콘크리트 충전 각형강관 기둥재의 내력을 과소평가하고 있으므로 과소평가치를 정량적으로 파악하여 과소평가분을 기존의 규준식에 보정하는 방식으로 콘크리트 충전 각형강관기둥재의 최대내력식을 제안하고자 한다.

이를 위해 실시한 수치해석의 변수들은 표 6과

같다.

표 6. 수치해석의 변수

CASE명	단면 형상	Fy (t/cm <sup>2</sup> )	Fc (kg/cm <sup>2</sup> )	L/B	모멘트 구배	속력 비
LC1	□-50x50x3.2	2.4	210	20	-1.0	0.05 ~ 0.95
LC2	□-100x100x2.3	2.4	210	20	-1.0	
LC3	□-175x175x5.0	2.4	210	20	-1.0	
LC4	□-175x175x5.0	3.3	500	20	-1.0	
LC5	□-175x175x5.0	2.4	210	10	-1.0	
LC6	□-175x175x5.0	2.4	210	30	-1.0	
LC7	□-175x175x5.0	2.4	210	20	0.0	
LC8	□-175x175x5.0	2.4	210	20	0.5	

이상과 같은 변수들을 이용하여 수치해석을 하고 그 결과를 동일한 조건을 적용한 한계상태설계법의 규준식과 비교하였다. 그 결과를 그림 5에서부터 그림 12까지 나타낸다.

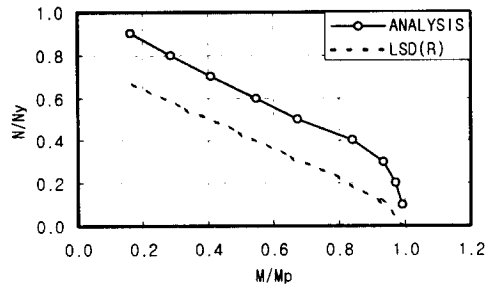


그림 5. LC 1의 경우

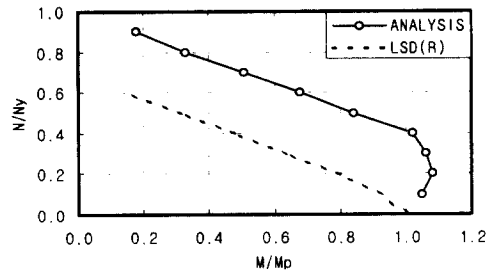


그림 6. LC 2의 경우

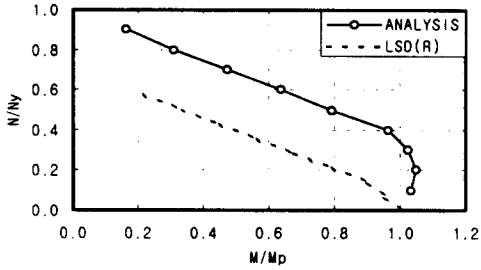


그림 7. LC 3의 경우

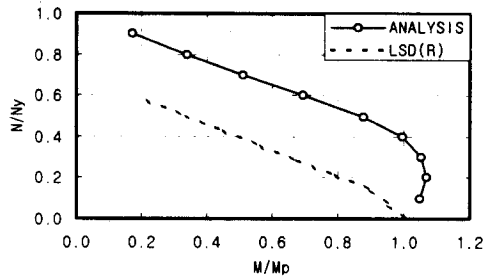


그림 11. LC 7의 경우

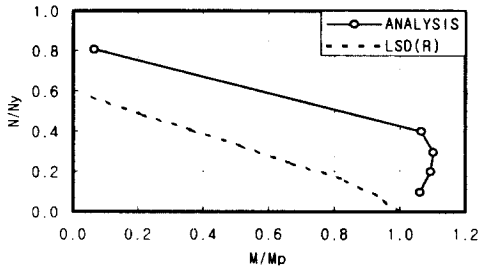


그림 8. LC 4의 경우

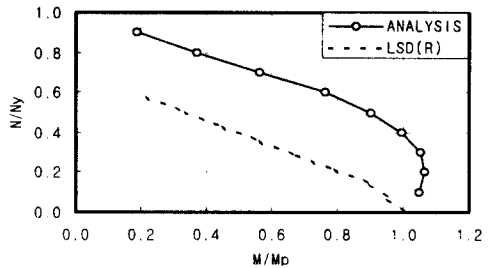


그림 12. LC 8의 경우

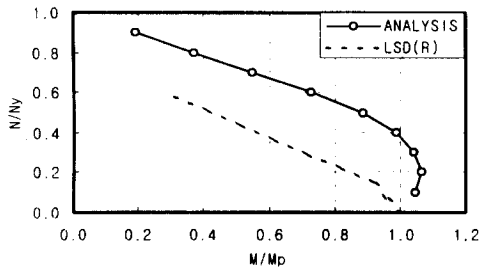


그림 9. LC 5의 경우

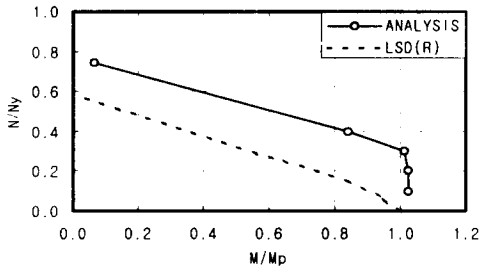


그림 10. LC 6의 경우

이상의 결과를 보면 현 규준식이 콘크리트 충전 각형강관 기둥의 내력을 무차원화한 축력으로 약 35% 정도 과소 평가하고 있는 것을 볼 수 있다.

각 변수별 내력의 차이를 살펴보면 단면의 폭 두께비의 경우 폭두께비가 커질수록 내력값의 과소평가분이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 충전을 함으로써 발생하는 국부좌굴 방지 효과가 현 규준식에서는 고려되지 않아서 발생하는 현상으로 사료된다. 그리고 사용된 재료의 강도변화에 따른 내력의 과소평가는 강도의 차이에 거의 관계없이 약 35% 정도로 나타나는 것을 볼 수 있다. 부재의 L/B가 증가할수록 내력의 과소평가가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 최대내력 결정시 충전 강관의 경우 변형능력의 증가로 인해서 횡변위에 의한 2차 모멘트의 영향이 증가하게 됨으로써 발생하는 것으로 사료된다. 모멘트 구배에 따른 내력의 변화는 모멘트 구배 정도에 관계없이 거의 35% 정도 내력을 과소 평가하고 있는 것을 볼



수 있다.

이상과 같은 결과를 이용 콘크리트 충전 각형 강관 기둥재의 최대내력을 적정하게 산정할 수 있는 내력식을 다음과 같이 제안하고자 한다.

· A 형 내력식

$$\cdot \frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0.2 : C \cdot \left( \frac{P_u}{P_n} + \frac{8}{9} \frac{M_u}{M_n} \right) \leq 1.0 \quad (4)$$

$$\cdot \frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0.2 : C \cdot \left( \frac{P_u}{2P_n} + \frac{M_u}{M_n} \right) \leq 1.0 \quad (5)$$

$$C = \left( 0.65 + \frac{0.4B}{L} + \frac{2.7t}{B} \right), \quad \left( \frac{M_u}{M_n} \leq 1.0 \right) \quad (6)$$

· B 형 내력식

$$\cdot \frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0.2 : \left( \frac{P_u}{P_n} + \frac{8}{9} \cdot \frac{M_u}{M_n} \right) \leq 1.0 \quad (7)$$

$$\cdot \frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0.2 : \left( \frac{P_u}{2P_n} + \frac{M_u}{M_n} \right) \leq 1.0 \quad (8)$$

단, (7), (8) 식에서는  $P_n$ ,  $M_n$  계산시  $F_y$  대신에 다음의 식을 사용한다.

$$\cdot F_y = 1.3 \times F_y \quad \left( \frac{M_u}{M_n} \leq 1.0 \right) \quad (9)$$

여기서 제안된 두 식은 다음과 같은 범위에서 적용된다.

단면의 폭두께비 :  $10 < B/t < 45$

부재의 세장비 :  $5 < L/B < 25$

위에서 제안된 두 내력식 중 A형 내력식의 경우 수치해석을 통해서 나타난 부재의 폭두께비와 L/B에 따른 내력저하의 차이를 고려한 형태의 내력식이고, B형 내력식의 경우에는 전반적인 내력 과소평가분을 재료의 강도에 적용한 내력식이다. A형의 경우 비교적 다양한 변수의 변화가 있어도 거의 일정한 수준으로 내력을 적정수준에서 평가하는 반면 식 자체가 복잡하다는 단점을 가지고 있으며, 이에 반해 B형의 경우 부재의 폭두께비나 세장비가 변함에 따라서 내력의 평가가 다소 변화가 있으나 사용이 용이하다는 장점이 있다. 그러므로 차후 사용성이나 내력의 평가 정도를 고려하

여 두 식을 사용할 경우 콘크리트 충전 각형 강관 기둥의 내력을 평가할 수 있는 내력제한식을 확립할 수 있을 것으로 사료된다.

이상에서 제안된 내력식과 수치해석, 그리고 한계상태규준의 내력식을 표 6의 수치해석의 변수를 적용하여 비교한 결과를 그림 13에서부터 그림 16까지 나타낸다.

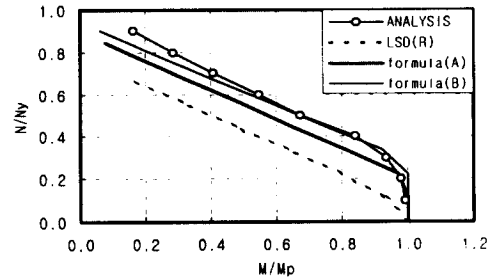


그림 13. 제안된 내력식과 해석결과와의 비교 [LC1]

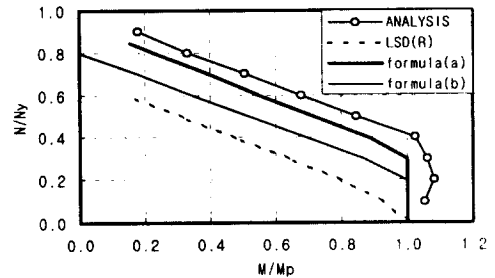


그림 14. 제안된 내력식과 해석결과와의 비교 [LC2]

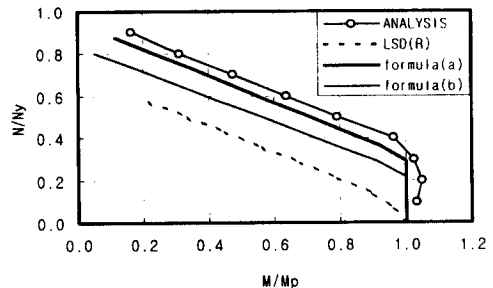


그림 15. 제안된 내력식과 해석결과와의 비교 [LC3]

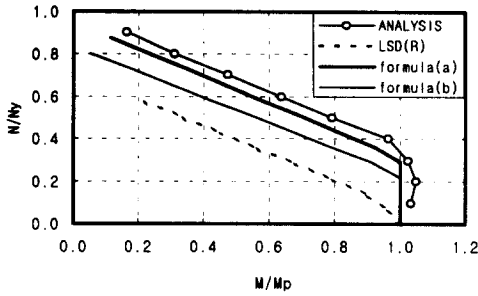


그림 16. 제안된 내력식과 해석결과와의 비교 [LC4]

이들 결과를 살펴보면 제안된 내력식은 수치해석의 결과에 근사하게 접근하고 있는 것을 볼 수 있다.

### 5. 결 론

이상의 연구결과는 다음과 같이 정리될 수 있다.

- (1) 콘크리트 충전 각형강관 기둥은 국부좌굴 방지와 충전효과등으로 인한 내력상승과 변형 능력 상승등의 효과를 기대할 수 있다.
- (2) 제안된 수치해석법은 실험결과와 비교하면 콘크리트 충전 각형강관 기둥재의 최대내력을 적절히 산정하고 있음을 알 수 있다.
- (3) 한계상태설계법에서 제안되어 있는 내력식의 경우 실제 콘크리트 충전 각형강관 기둥재의 내력을 무차원화한 축력비로 약 35% 정도 과소평가하고 있는 것을 알 수 있다.
- (4) 현 내력식에서 과소평가하고 있는 최대내력을 보정할 수 있는 최대내력식을 A형 내력식으로는 (4), (5), (6)식으로, B형 내력식으로는 (7), (8), (9)식으로 각각 제안하였다.
- (5) 제안된 두 내력식 모두 콘크리트 충전 각형강관의 최대내력을 안전측에서 적정하게 평가하고 있는 것으로 사료된다.

- (1) American Institute of Steel Construction, Inc., Manual of Steel Construction. LOAD & RESISTANCE FACTOR DESIGN, Part 6, 1986
- (2) 대한건축학회, "강구조 한계상태설계법", 1996
- (3) Lee, Myung Jae, et.al, Column Strength of Square and Circular Hollow Section Members Filled with Concrete, EASEC-4, Vol 1, 1993
- (4) 이명재, 加藤勉, 角形 및 圓形鋼管柱의 最大耐力에 관한 研究, 대한건축학회지, 28권 119호 1984년 8월
- (5) 이명재, 김희동, "Beam-Column 최대내력 산정을 위한 수치해석법 [충전콘크리트 각형강관의 경우]", 대한건축학회 학술발표 논문집, 1996년 5월
- (6) 이명재, 김희동, "모멘트 구배가 있는 충전콘크리트 각형강관 Beam-Column의 최대 내력", 대한 강구조 학회 학술발표 논문집, 1996. 7
- (7) 이명재, 김희동, "모멘트 구배가 있는 충전콘크리트 각형강관 Beam-Column의 최대 내력에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 추계학술발표 논문집, 1996. 10
- (8) 이지수, 충전 콘크리트 강관부재의 내력 및 변형에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 석사학위논문, 1992
- (9) Lee, Myung Jae, et.al, Column Strength of Square and Circular Hollow Section Members Filled with Concrete, EASEC-4, Vol 1, 1993
- (10) 이지수, 이명재 충전 콘크리트 각형 및 원형강관주의 최대내력 산정법, 대한건축학회학술발표 논문집, 1992, 10

(접수일자 : 1997. 11. 4)