

2축 편심 축하중을 받는 직사각형 고강도 RC기둥의 거동에 대한 실험적연구

An Experimental Study in Rectangular High Strength Concrete Columns under Both Axial Load and Biaxial Bending

이 종 원*	조 문 희*	한 경 돈*
Lee, Jong Won	Cho, Mun Hee	Han, Kyung Don
유 석 형**	반 병 열***	신 성 우****
Yoo, Suk Hyung	Bahn, Byong Youl	Shin, Sung Woo

ABSTRACT

Most reinforce concrete Columns of Building structure are subjected to both axial load and biaxial bending. However, It is hard to estimate the moment capacity of biaxial bending by exact solution. Thus, columns under biaxial bending are designed by approximate methods in practice.

The purpose of this study is to compare experimental result with approximate methods and exact solution by computer. Parameters of the present test are compressive strength of concrete (350, 585, 650kgf/cm²) and shape ratio of rectangular section. Ultimately, an experimental shape factor for rectangular RC column section is obtained through the test program. The shape of load contour is dominated by this shape factor obtained experimentally. So, reasonable design of RC columns subjected to both axial compression and biaxial bending depends on load contour.

1. 서론

현대의 철근콘크리트 건물들은 사회적인 요구와 구조기술, 구조재료의 발전에 따라 고층화되고 있으며 그에 따른 고강도 콘크리트를 이용한 더욱 세장된 기둥을 사용함에 있어 효율적인 공간활용과 경제성확보라는 측면에서 고강도 콘크리트의 사용은 매우 효과적이며, 그에 대한 필요성이 증대되고 있다.

철근콘크리트 건물에서 대부분의 기둥들은 2축 휨을 받는다. 그러나, 휨의 영향을 크게 받는 축에 비해 다른 축에 대한 휨의 영향은 매우 작기 때문에 1축 휨을 받는 기둥으로 설계되지만, 특히 모서리 기둥은 2축 휨의 영향이 뚜렷하므로 2축 휨을 받는 기둥으로 설계되어야 한다. 이때 설계강도는 변형률과 휨의 분포에서 중립축을 변화시키면서 1축 휨을 받는 기둥의 경우와 같이 변형률 적합조건과 휨

- * 정회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정
- ** 정회원, 한양대학교 건축공학과 박사과정
- *** 정회원, 대전대학교 건축공학과 교수
- **** 정회원, 한양대학교 건축학부 교수

의 평형조건을 적용하여 구할 수 있으나 계산상 많은 시간과 노력이 소요되므로 실용적인 근사 설계 방법을 사용하고 있다.

그러므로, ACI 318-99 Building Code¹⁾에서는 근사적인 방법으로 Bresler³⁾의 상반하중법(Reciprocal Load Method)과 등하중선법(Load Contour Method), 그리고 Parme의 PCA Load Contour Method와 같은 근사법을 사용하고 있다.

본 연구에서는 일반강도(350kgf/cm²)와 고강도콘크리트(585, 650kgf/cm²)를 사용한 직사각형 기둥의 2축 편심 압축력을 받는 기둥의 거동과 '근사적인 방법'에 의한 내력평가 그리고, 응력블럭을 이용한 '정역학적인 해석결과'를 비교 분석하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험체 계획

본 연구의 주요변수는 콘크리트 압축강도(350, 585, 650kgf/cm²)와 단면 형상비(1:1.5, 1:2.0)로서, 총 18 개의 실험체를 제작, 실험하였다. 실험체는 직사각형 단면의 기둥으로써 네 모서리에 대칭으로 주근을 배근하였으며 피복두께는 2cm이다. 높은 축하중하에서 압축이나 전단파괴에 의한 내력저하를 방지하기 위하여 실험체 양단부에 탄소섬유를 붙여 상하 대칭으로 주두보강을 하였다. 실험체의 크기, 철근비, 배근상세와 실험체의 형태는 표 1, 그림 1, 2와 같다.

표 1 실험체 계획

실험체명	f_{ck} (kgf/cm ²)	형상비	길이 (cm)	실험구간 (cm)	단면크기 (cm)	주근비 (ρ)	주근	횡보강근	횡보강근 간격(cm)
NR series	350	1 : 1.5	132	60	20 × 30	0.019	D19(SD40)	D6	10
HR series	585, 650	1 : 2.0	176	80	20 × 40	0.019	D22(SD40)	D6	10

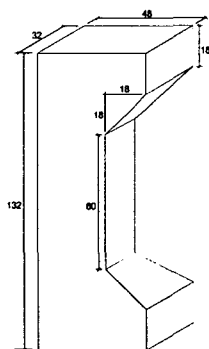


그림 1 실험체 형상

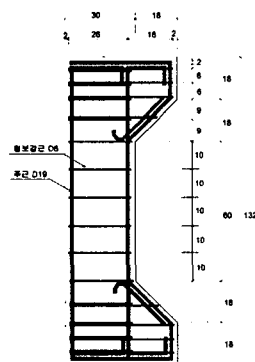


그림 2 배근상세도

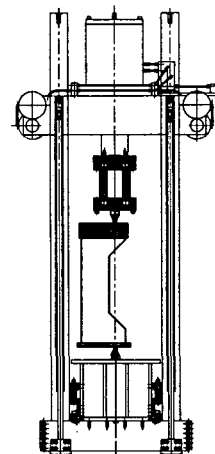


그림 3 설치상황

2.2 실험방법

실험체에 2축 편심 축하중을 가력하기 위하여 500tonf 용량의 UTM을 사용하였고, 철근의 변형율은 타설 전 주근에 부착한 변형계이치를 통하여 측정하였으며, 휨에 의한 횡변위는 상,하 중앙부에 3개씩 양면에 6개의 LVDT를 설치하여 측정하였다. 곡률은 콘크리트 표면에 Pi-Gage를 부착하여 측정하였다. 실험체 가력은 하중제어방식으로 정확한 편심각과 거리를 유지하기 위하여 Holing된 보조철물을 이용하였으며, 기둥 실험체 상하의 지지는 핀(pin)으로 처리되었다. 실험체의 설치상황은 그림 3과 같다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 실험결과

콘크리트 강도별 6개의 실험체와 형상비, 축력비를 두 개의 Type으로 나눈 총 18개 실험체의 실험결과는 인장파괴 영역($0.2P_0$)에서는 예상하중에 근접하고 있으나, 압축파괴 영역($0.5P_0$)에서는 주두보강을 하였음에도 불구하고 주두부분에서의 전단, 압축파괴에 의하여 내력의 저하를 보이고 있다. 편심각도는 그림 4와 같이 강축에 대한 각을 θ 로 하였으며, 실험결과는 표 2와 같다.

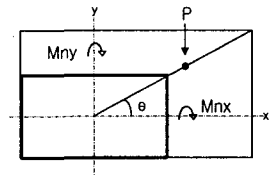


그림 4 편심각

표 2 실험결과

실험체명	f _{ck} (kgf/cm ²)	형상비	축력비	편심각 (θ;°)	편심거리 (cm)	실험값 P ₀ (tf)	예상하중 P _i (tf)	P _u / P _i	파괴형태
NR1T-Ux	350	1.5	0.2	0	24.29	39.2	44.2	0.89	T
NR1T-B		1.5	0.2	33.69	19.23	48.6	44.2	1.1	T
NR1C-B		1.5	0.5	33.69	7.14	129.7	110.5	1.17	C
NR2T-Ux		2.0	0.2	0	33.82	55.84	59.062	0.95	T
NR2T-B		2.0	0.2	26.57	26.68	49.95	59.062	0.85	T
NR2C-B		2.0	0.5	26.57	9.95	144.5	147.655	0.98	C
H1R1C-Ux	585	1.5	0.5	0	7.64	145.7	169.28	0.86	C
H1R1C-B		1.5	0.5	33.69	5.70	183.6	169.28	1.08	C
H1R1C-Uy		1.5	0.5	90	4.87	159	169.28	0.94	C
H1R2C-Ux		2.0	0.5	0	10.39	157.3	226.01	0.7	C
H1R2C-B		2.0	0.5	26.57	7.20	246.9	226.01	1.09	C
H1R2C		2.0	0.5	중심축력		188	-	-	-
H2R1T-Ux	650	1.5	0.2	0	18.89	77.71	74.22	1.05	T
H2R1T-B		1.5	0.2	33.69	13.83	94.3	74.22	1.27	T
H2R1T-Uy		1.5	0.2	90	11.80	75	74.22	1.01	T
H2R2T-Ux		2.0	0.2	0	25.94	89.6	99.074	0.9	T
H2R2T-B		2.0	0.2	26.57	17.60	112.9	99.074	1.14	T
H2R2T-Uy		2.0	0.2	90	11.70	82.1	99.074	0.83	T

T = Tension failure C = Compression failure

3.2 실험결과 분석

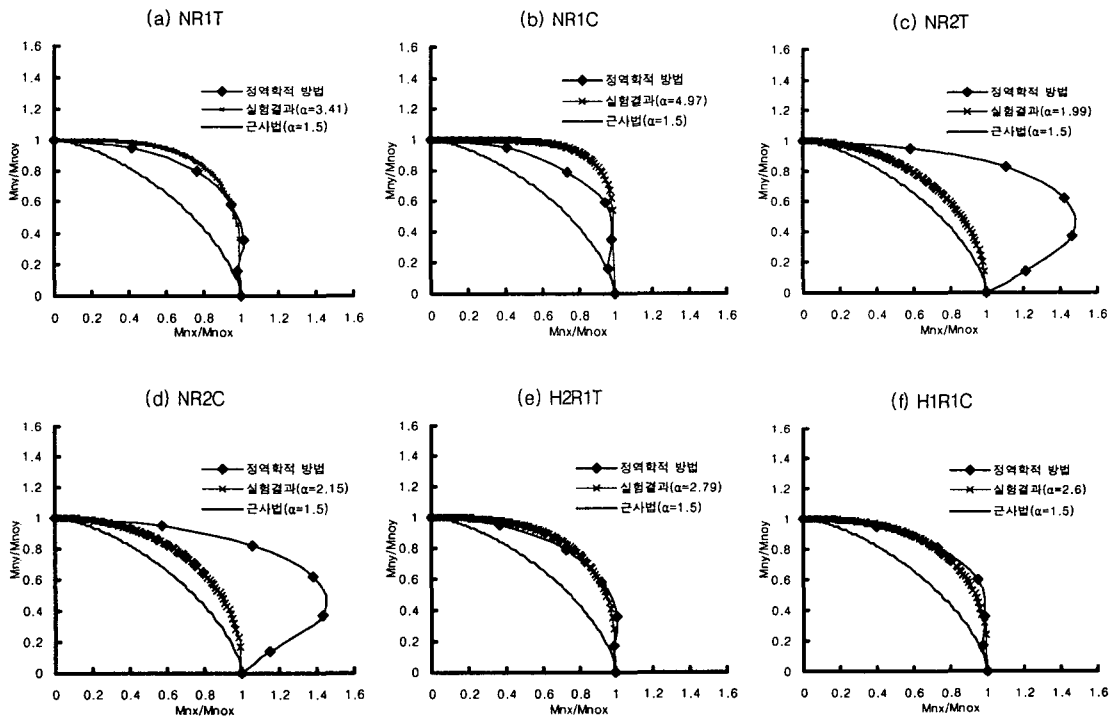
일반적으로 2축 편심 축하중을 받는 기둥의 설계는 근사법을 사용하고 있으며 상반하중법(식 1)은 $P_n \geq 0.1f_{ck}A_g$ 의 조건에서 실험결과와 잘 일치하는 것으로 알려져있다. 등하중선법(식 2)에서 각 축의 모멘트 M_{nx} 와 M_{ny} 를 1축에 대한 모멘트 M_{nox} 와 M_{noy} 로 무차원화된 그래프상에서 파괴곡선의 형태를 나타내는 α 값의 범위를 ACI 318-99 Building Code에서는 사각형 단면에 대해서 1.15~1.55의 범위를 제안하고 있고, Bresler는 1.5를 적당한 값으로 하고 있으며, Hsu^{6,7)}는 α 값이 정사각형 단면에서는 1.75가 적절하

다고 제안하고 있다. 본 연구에서는 변형도와 힘의 분포에서 중립축을 변화시키면서 반복계산에 의하여 설계강도를 계산하는 '정역학적 방법'과 '근사법', '실험의 결과'를 Load Contour로 비교 분석하였으며, 그에 따른 결과는 실험결과와 비교하였을 때 형상비가 1 : 1.5에서는 '정역학적 방법'에 의한 해석값이 실제와 근사한 값을 보이고 있으나 1 : 2.0의 형상비를 가진 직사각형 단면에서는 '정역학적 방법'이 과대평가하고 있다. 그러므로, 형상비가 커질수록 등가응력불력을 사용한 단면의 해석은 상당히 과대평가 하는 것으로 나타났다. 그에 반면, ACI Code에서 제시하고 있는 $\alpha = 1.5$ 의 Load Contour와 비교했을 때 기둥의 내력이 과소평가 되고 있어 '근사법'이 상당히 안전값임을 알 수 있다. (그림 5 (a),(b),(c),(d),(e),(f),(g),(h))

상반하중법(Reciprocal Load Method)
$$\frac{1}{P_u} = \frac{1}{\frac{P_{ox}}{P_{oy}} + \frac{1}{P_0} - \frac{1}{P_0}} \quad (1)$$

등하중선법(Load Contour Method)
$$\left(\frac{M_{nx}}{M_{nox}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{ny}}{M_{noy}}\right)^\alpha = 1 \quad (2)$$

Rusch²⁾에 따르면 압축영역이 삼각형일 경우 압축연단에서 콘크리트의 최대변형율이 0.004에 도달하므로 압축응력의 중심이 중립축에 가까워져 휨강도가 감소된 것으로 판단된다. 결과적으로 실험결과가 '정역학적 방법'보다 기둥의 내력이 낮은 것으로 사료되고 좀 더 정확한 응력불력계수(β_1)의 값을 적용할 필요가 있음을 알 수 있다. 단면 형상비에 따른 α 계수를 비교하면, 보통강도 콘크리트(350kgf/cm²)와 고강도 콘크리트(585kgf/cm²)기둥의 압축파괴영역(0.5P₀)에서 단면의 형상비가 클수록 α 값이 작아지나 고강도 콘크리트(650kgf/cm²)의 인장파괴영역(0.2P₀)에서는 단면의 형상비가 클수록 α 값이 커짐을 알 수 있다. (그림 5 (i),(j),(k),(l))



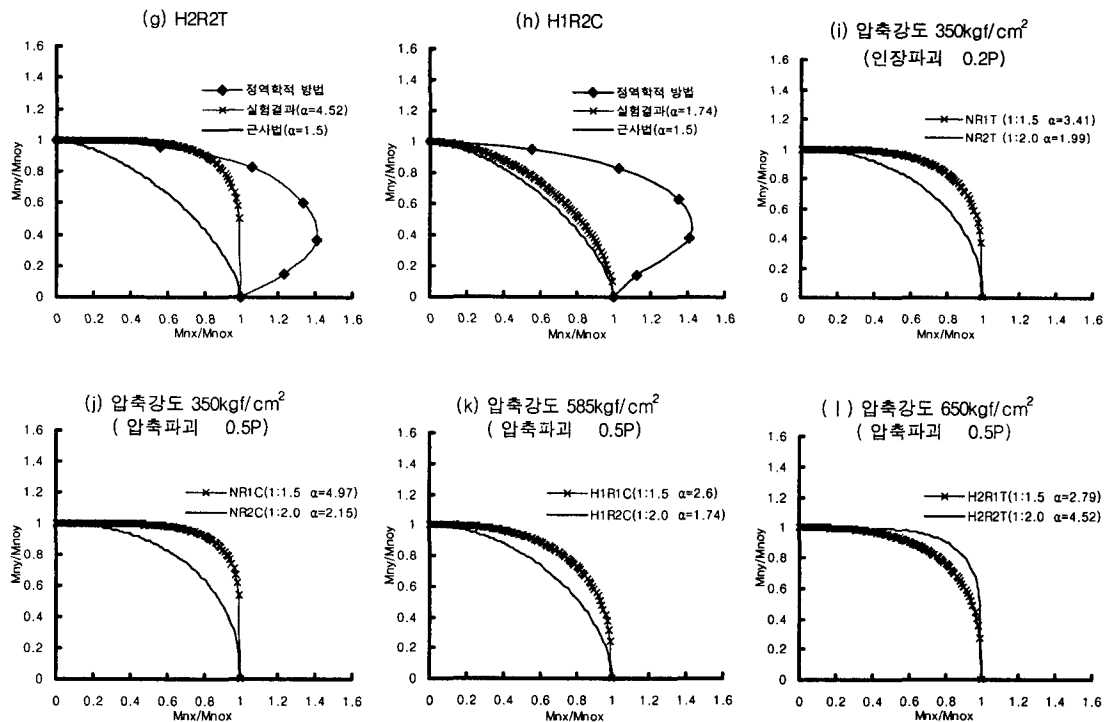


그림 5 변수별 Load Contour

4. 결론

콘크리트 강도, 단면 형상비를 변수로 하여 2축 편심 축하중을 받는 직사각형 고강도 콘크리트 기둥을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 콘크리트 압축강도에 따라 보통강도(350kgf/cm²)와 고강도 콘크리트(585kgf/cm²)의 압축파괴영역(0.5P₀)에서는 단면의 형상비가 커질수록 α 값이 작아지나 고강도 콘크리트(650kgf/cm²)의 인장파괴영역(0.2P₀)에서는 단면의 형상비가 커질수록 α 값이 커짐을 알 수 있다.

(2) ACI 318-99 Building Code의 '근사법'은 2축 휨에 대한 직사각형 기둥의 내력을 과소평가하고 있으므로 안전한 설계는 가능하나 상대적으로 기둥의 단면이 커짐으로 인한 경제성이 저하되므로 좀 더 현실적인 α 값에 대한 연구가 필요함을 알 수 있다.

(3) 형상비가 1 : 1.5일 때에는 등가응력블럭을 이용한 '정역학적 방법'에 의한 α 값과 거의 일치하고 있으나 형상비가 1 : 2.0인 실험체에 대해서는 상당한 차이를 보이고 있다. 이는 Rusch²⁾에 따르면 2축 편심 축하중을 받는 직사각형 단면의 기둥에 대한 압축응력블럭의 형태는 기존의 등가사각형단면이 아닌 삼각형의 응력블럭을 나타내고 있으며 최대모멘트일 때 극한변형을 값이 0.003이 아닌 0.004에 가까운 값을 가지므로 압축영역과 중립축과의 거리가 더 가까워짐에 따라 모멘트값이 작아진다. 따라서 '정역학적 방법'이 실제 기둥보다 내력을 과대하게 평가함으로써 구조물 안전성의 문제를 야기하게 된다. 따라서 2축 휨을 받는 직사각형 기둥에 대한 콘크리트 압축부위의 형태와 극한변형을 값에 대한 더 많은 연구가 수행되어야 한다고 사료된다.

감사의 글

본 연구를 위하여 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터와 실험을 위해 많은 도움을 주신 여러분들께 진심으로 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- 1) ACI, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-99)", ACI Committee 318, American Concrete Institute, 1999.
- 2) H. Rusch, "Researches Toward a General Flexural Theory for Structural Concrete", ACI Journal, Proceedings, V.57, No.1, July.1960, pp.1~28
- 3) Boris Bresler, "Design Criteria for Reinforced Columns under Axial Load and Biaxial Bending", ACI Journal, Proceedings, V.57, No.5, Nov.1960, pp.481~490
- 4) R.Park and T.Paulay, "Reinforced Concrete Structures", pp.154~172
- 5) Richard W. Furlong, "Concrete Columns under Biaxially Eccentric Thrust", ACI Journal, Proceedings, V.76, No.10, Oct.1979, pp.1093~1118
- 6) Chen-Tzu Thomas Hsu, "Reinforced Concrete Members Subject to Combined Biaxial Bending and Tension", ACI Journal, Proceedings, V.83, No.1, Jan-Feb.1986, pp.137~144
- 7) Cheng-Tzu Thomas Hsu, "Analysis and Design of Square and Rectangular Columns by Equation of Failure Surface", ACI Structural Journal, 85, Mar-April.1988, pp.167~179
- 8) 김진근, 양주경, "2축힘을 받는 구형기둥의 축력-모멘트 상관곡선", 1993년 봄학술발표 제5권 1호, pp.113~118
- 9) 소윤호, 김선영, 이수곤, "2축힘을 받는 철근콘크리트 기둥의 내하력에 관한 연구", 1998년 봄학술발표 제18권 제1호, pp.565~570
- 10) 김진원, 강석봉, "2축 휨모멘트와 축하중을 받는 정방형 RC부재의 파괴면을 위한 매개변수", 1999년 10월 제19권 제2호, pp.266~271