

2축힘과 축하중을 받는 임의 단면 형태의 철근 콘크리트 부재의 설계 Design of R.C. Members with General Shape Subjected to Biaxial Bending

문 선미* 이 종권** 이 병해***
Moon, Seon-Mi Lee, Jong-Kweon Lee, Byung-Hai

ABSTRACT

A computerized numerical method is presented for the design and/or the investigation of RC members with general shape and material properties subjected to axial load and biaxial bending moment. Slenderness effects can also be considered with the use of the moment magnification factor. The method is based on the summation of stress resultants on a small area of the cross section which enables the determination of strength interaction diagrams, load contours and moment-curvature relationships for the general section. Thus the presented program HYCOL can be used as a direct tool for design and/or investigation of RC members with general shape subjected to biaxial bending. The accuracy of program HYCOL is established by comparison with experimental results.

1. 서 론

힘과 압축력을 받는 직사각형과 원형 단면의 철근 콘크리트 부재의 경우에는, 기존의 많은 실험과 연구를 바탕으로하여 설계시 이용할 수 있는 충분한 자료들이 축적되어 있다. 직사각형 단면의 2축힘 설계에 대해서도 Bresler, Parme[1,2] 등에 의해 만들어진 하중궤적법(Load contour method) 혹은 컴퓨터 프로그램이 사용가능하며 실제로 설계에 직접적인 도움을 주고 있다. 하지만, 축하중(압축·인장력 포함)과 2축힘을 복합적으로 받는 임의 형태의 단면을 가진 부재에 대하여는 그렇지 못하다. 철근 콘크리트 기둥과 전단벽의 경우, L형 단면이 건물 외측 구성 기둥으로 자주 사용되며, U형 단면이 기둥 또는 엘리베이터 샤프트의 둘레구조(enclosure)로, 와이드 플랜지 단면이 부재의 구조적 강도를 증가시키기 위하여, 압축력 뿐만 아니라 횡하중으로 인한 인장과 2축힘을 동시에 받는 비대칭의 임의 형태 단면들이 아파트 구조물에 사용(프리캐스트 콘크리트로도 사용)되지만, 현재 그러한 부재들을 설계하는 데 필요한 설계 이용 자료들을 충분히 제공하지 못하고 있는 실정이다.

2축힘과 축하중(압축 혹은 인장)을 동시에 받는 부재를 설계하기 위한 방법에는 몇가지가 있다. 그 중 하나는 제공된 설계 곡선과 도표를 이용하는 것이다. 하지만, 2축힘과 축력을 받는 직사각형 단면만 되어도 그 자료의 양은 엄청난 것이 되므로 이 방법은 실용적이지 못하다. 또다른 방법으로는 몇가지 가능한 근사법에 의해 설계를 단순화시키는 것인데, 아직까지 임의 형태의 단면을 위한 근사법의 연구가 이루어지지 않고 있을 뿐만 아니라 약산과 경험에 의존하는 이 방법은 지나친 안전측 설계를 유발하여 경제적 손실을 가져오기도 하며, 경우에 따라서는 경제적 손실 이외에도 구조물의 강성을 필요 이상 크게함으로써 지진 영역에 적용될 때 연성의 손실을 가져오기도 한다. 이외에 제안할 수 있는 방법으로는, 2축힘을 받는 임의 단면 형태에 관한 합리적인 정식화와 수렴 알고리즘의 개발을 통하여 설계 절차를 컴퓨터 프로그램화하고 이를 설계와 해석에 사용하는 것이다. 컴퓨터의 사용이 보편화된 현재의 상황을 고려해 볼 때, 이 방법은 가장

* 한양대학교 건축공학과 석사과정
** 한양대학교 건축공학과 박사과정
*** 한양대학교 건축공학과 교수

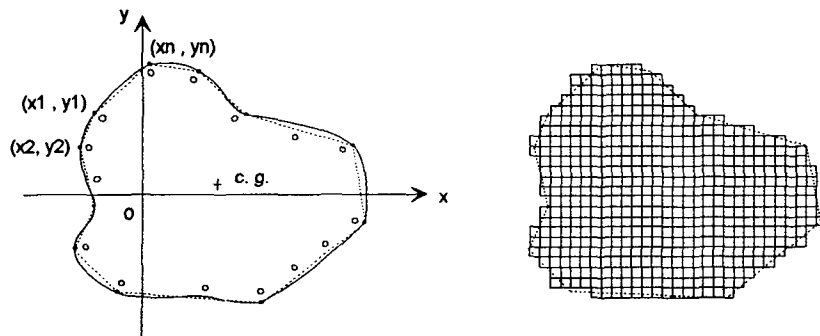
효율적인 방법이다.

따라서, 본 연구에서는 2축휨과 축하중을 동시에 받는 임의 형태 단면과 임의 재료 성질을 가지는 철근 콘크리트 부재를 해석할 수 있는 이론적인 수치 접근 방법을 제시하고, 압축 부재에 대해서는 세장비 검토도 가능하도록 이를 컴퓨터 프로그램화하여 실용적인 부재 설계 해석에 이용될 수 있는 도구(tool)를 제공하고자 한다. 본 연구에서 개발된 프로그램 HYCOL은 전체 철근 콘크리트 단면을 이산의(discrete) 작은 요소로 분할하여 단면 전체에 대한 적분으로 내력을 계산하며, 파괴면(failure surface) 개념을 이용한 극한 강도 설계법을 사용한다. 프로그램은 설계 모드(Design mode)와 검토 모드(Investigation mode)로 구성되며, 설계 모드에서는 일단 단면의 자동 분할과 직사각형 단면에 대한 자동 배근을 시도하여 앞으로 2축휨과 축하중을 받는 임의 단면 형태의 철근 콘크리트 부재의 지식 기반 설계 시스템(Knowledge-based design system)을 구축하는데 그 기초가 되도록 한다. 부재의 해석 결과로는 축하중-모멘트 상관도(Interaction diagram) 및 하중궤적(Load contour), 모멘트-곡률 곡선(Moment-curvature curve) 등 부재 설계에 필요한 자료들이 제공되는데 프로그램의 결과값은 기존의 실험값, 프로그램 해석값, 기준 [9,11]에서 제공된 값과 비교됨으로써 그 적정성과 유용성이 검증된다.

2. 해석 방법

2.1 부재 단면 분할

단면 분할의 선택 사항으로 자동 분할과 사용자 분할이 있다. 자동 분할인 경우, 반시계 방향으로 입력된 단면 절점의 좌표값들이 직선 연결되어 전체 단면을 형성하며, 이 전체 단면은 프로그램 내에서 작은 요소로 자동 분할되어 해석된다. 사용자 분할일 경우에는 사용자가 직접 부재 단면을 분할하여 데이터 값을 입력한다.



(a) 임의 형태의 단면

(b) 단면의 요소 분할

<그림 1> 임의 형태 단면의 요소 분할

2.2 부재의 내력 및 곡률 계산

2.2.1 기본 가정

- 1) 휨 이전의 평단면은 휨 이후에도 평면을 유지한다. 즉, 수직 변형율이 중립축으로부터 선형적으로 변한다.
- 2) 각 요소의 응력은 요소 전단면에서 걸쳐 일정하며, 각 요소의 응력도와 변형율은 요소의 중심점에서 계산된다.
- 3) 휨 모멘트는 단면의 중심축(central axes)에 대해 계산된다.
- 4) 부재는 길이 방향으로 등단면(prismatic)이다.
- 5) 축하중은 단순 하중(monotonic load)만을 고려한다.

2.2.2 응력-변형을 관계

콘크리트의 응력-변형을 곡선으로는 PCA에서 채택하고 있는 Parabolic 곡선<그림3>과 Kent-Park 곡선[3]을 사용한다.<그림2> Kent-Park 곡선에서는 구속 콘크리트와 구속되지 않은 콘크리트의 응력-변형을 관계를 다루고 있으며 이를 설명하기 위한 수식은 아래와 같다.

$$f_c = kf_c' \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0 k} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0 k} \right)^2 \right] \quad \varepsilon_c \leq k\varepsilon_0 \quad (1)$$

$$f_c = kf_c' [1 - Z_m(\varepsilon_c - \varepsilon_0 k)] \geq 0.2kf_c' \quad \varepsilon_c > k\varepsilon_0$$

f_c : 콘크리트 수직 응력 (kg/cm²)

ε_c : 콘크리트 수직 변형률

$\varepsilon_0 = 0.002$

윗 식에서,

$$k = 1 + \frac{\rho f_{yh}}{f_c'}$$

$$Z_m = \frac{0.5}{\varepsilon_{50u} + \varepsilon_{50h} - \varepsilon_0 k}$$

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0.029f_c'}{14.3f_c' - 1000} \quad \text{and} \quad \varepsilon_{50h} = 0.75\rho \sqrt{\frac{h}{s}}$$

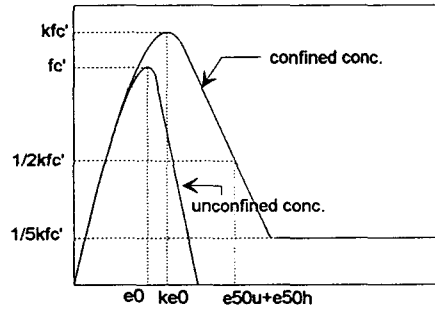
f_{yh} : 띠근의 항복 응력 (kg/cm²)

h : 띠철근의 바깥면까지 측정된 콘크리트 코어의 폭 (cm)

s : 띠철근의 중심 간격 (cm)

ρ : 띠철근 바깥면까지 측정된 콘크리트 코어의 부피에 대한 띠철근 부피의 비

철근의 응력-변형률 곡선은 이중직선(bilinear curve) 혹은 변형 경화 효과를 고려한다. 변형 경화 곡선은 변형 경화 시점에서의 응력-변형률 곡선의 초기각(initial slope), 극한 응력과 변형률, 파괴(fracture) 응력과 변형률에 의해 정의된다. 곡선의 관계식은 Saenz(1964)에 의해 제안된 식을 기초로 하였다.



<그림 2> Kent-Park 곡선

2.2.3 내력 및 곡률 산정

2축 휨과 축하중을 받는 임의의 형태 단면에 대한 PCA 응력-변형률 관계를 <그림 3>에 나타내었으며, 앞에서 설명한 기본 가정 하에서 부재의 내력과 곡률 산정을 다음 순서에 따라 진행한다.

- 1) 축력 P 와 중립축 각도 θ 를 결정한다. 원하는 축력 P 값이 있는 경우 한번의 프로그램 실행으로 여러개의 원하는 축력을 고려하며, 강도 상관도를 얻기 위한 경우 P_0 값을 원하는 갯수 만큼으로 나누어 각각의 P 에 대해 고려한다.
- 2) 주어진 중립축 각도 θ 에 대해 중립축의 위치를 정한다. 전체단면에서 압축기준점(compression reference point)을 찾아내어 압축점으로부터 중립축까지의 거리 d 를 결정한다.
- 3) 콘크리트 요소의 중심점 x_{ci}, y_{ci} 와 각 철근의 중심점 x_{sj}, y_{sj} 에 대한 각각의 수직 변형률 ε_{ci} 와 ε_{sj} 를 구한다. 변형률은 단면 전체에 걸쳐 선형 분포한다.

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ci} &= \varepsilon_{cu} - (cy_{ref} - y_{ci}) \cos \theta \varepsilon_{cu} / d + (cx_{ref} - x_{ci}) \sin \theta \varepsilon_{cu} / d \\ \varepsilon_{sj} &= \varepsilon_{cu} - (cy_{ref} - y_{sj}) \cos \theta \varepsilon_{cu} / d + (cx_{ref} - x_{sj}) \sin \theta \varepsilon_{cu} / d \end{aligned} \quad (2)$$

- 4) 콘크리트 요소와 각 철근의 중심점에 대한 각각의 응력도 f_{ci} 와 f_{sj} 를 구한다. 여기에서 A_{ci} 와 A_{sj} 는 각각 콘크리트 요소와 각 철근의 면적이다.

$$\begin{aligned} f_{ci} &= \varepsilon_{ci} A_{ci} \\ f_{sj} &= \varepsilon_{sj} A_{sj} \end{aligned} \quad (3)$$

5) 전체 단면에 대한 축력 P_n 를 구한다.

$$P_n = \sum_{i=1}^n f_{ci} + \sum_{j=1}^m (f_{sj} - f_{ci}) \quad (4)$$

f_{ci} 는 철근으로 대체된 콘크리트의 응력을 나타낸다.

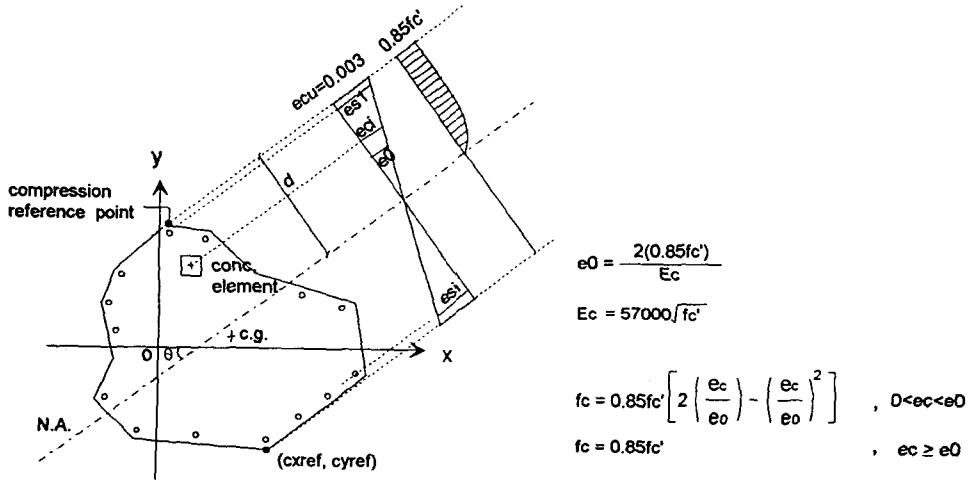
6) 계산된 P_n 이 주어진 오차 내에서 평형방정식과 적합방정식을 만족하여 1단계에서 정해진 P 와 일치하면 다음 단계로 넘어가고, 일치하지 않으면 2단계로 다시 돌아가는데 이때 빠른 수렴을 위해 이분법(Bisection method)이 사용된다.

7) 전체 단면의 중심축 x, y 에 대한 각각의 모멘트 M_{rx}, M_{ry} 와 곡률 ϕ 를 구한다.

$$M_{rx} = \sum_{i=1}^n f_{ci} y_{ci} + \sum_{j=1}^m (f_{sj} - f_{ci}) y_{sj} \quad (5)$$

$$M_{ry} = \sum_{i=1}^n f_{ci} x_{ci} + \sum_{j=1}^m (f_{sj} - f_{ci}) x_{sj}$$

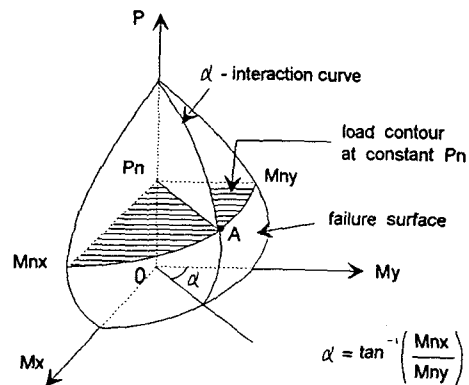
$$\phi = \frac{\varepsilon_{ci}}{d} \quad (6)$$



<그림 3> 2축 휨과 축하중을 받는 PCA 응력-변형 분포

2.2.4 2축 휨을 받는 단면의 파괴면 (Failure surface)

축하중과 2축 휨을 동시에 받는 단면의 파괴면에 대한 도식적 설명이 <그림 4>에 나타나 있다. 파괴면은 축하중과 2축 휨을 받는 단면의 공칭 극한 강도를 표현하는 면으로서 1축 휨을 받는 단면의 2차원 상관도를 3차원 공간으로 확장시킨 것이다. 이러한 파괴면은 하중궤적 (Load contour) 곡선들의 집합으로 이루어진 곡선면 (curvilinear surface)으로 볼 수 있으며, 이들 하중궤적은 일정한 축력 P 에 대해 중립축의 각도를 변화시켜가며 얻을 수 있다. 또한 일정한 α 값에 대한 축하중-모멘트 상관 곡선이 만들어지는데 이 곡선의 형태는 철근비와 배근 상태의 영향을 받는다. 이상의 하중궤적과 α -상관 곡선은 부재의 실제 설계에 직접적으로 많은 도움을 준다.



<그림 4> 2축 휨을 받는 단면의 파괴면

2.3 압축 부재의 세장비 검토

압축 부재의 세장비 검토는 Z 세장비 kl_u/r 에 의해 좌우되며, 여기에서 k 는 유효 길이 계수, l_u 는 비지지(unsupported) 부재 길이, r 은 부재 단면의 회전반경을 나타낸다.

본 연구에서는 ACI 기준[11]에 의거한 세장 근사 해법인 모멘트 증대법을 사용하며, 모멘트 증대법은 부재의 횡변위(lateral deflection) Δ 로 인해 발생하는 추가 모멘트 $P\Delta$ 를 고려하기 위해 주모멘트(primary moments)를 증가시키는 모멘트 증대 계수 δ 를 사용한다.

모멘트 증대 계수 δ_b, δ_s 는 (7), (8)식과 같다. 부재의 임계 좌굴 하중으로 Euler 공식 $P_c = \pi^2 EI / (l_u)^2$ 을 사용하며, C_m 은 횡보강이 되어 있는 부재에 대하여 $C_m = 0.6 + 0.4 M_{1b} / M_{2b}$ 이 되고 0.4보다 작은 값을 가질 수는 없으며, 그 외의 경우에는 모두 1.0의 값을 갖는다.

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{\phi P_c}} \geq 1.0 \quad (7)$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{\phi \sum P_c}} \geq 1.0 \quad (8)$$

결국, 증대 모멘트는 아래식과 같이 된다.

$$M_c = \delta_b M_{2b} + \delta_s M_{2s} \quad (9)$$

M_{1b} 와 M_{2b} 는 각각 횡하중을 받지 않을 때 압축 부재에 작용하는 연단 모멘트 중 작은 값과 큰 값이며, M_{2s} 는 횡하중을 받는 경우 압축 부재에 작용하는 연단 모멘트 중 큰 값이다.

세장비 검토는 프로그램 내에 선택사항으로 정해져 있으며, 2축 힘을 받는 부재를 고려할 경우에는 각각의 주축에 대한 모멘트를 모두 확대시키고 각 방향에 대한 별도의 세장비 검토를 하도록 한다.

2.4 2축힘과 축하중을 받는 직사각형 단면의 자동 설계

2.2.4절에서 언급한 파괴면의 개념이 2축힘과 축하중을 받는 직사각형 단면의 자동 설계에서 매우 중요하게 사용되며, 특히 일정한 축력 P 에 대한 하중 궤적과 일정한 α 값에 대한 상관도가 만나는 점(그림 4의 A점)이 요구 설계 강도와 기둥의 내력을 비교하기 위해 사용된다.

단면의 치수, 철근 크기, 재료 성질, 요구 단면 강도는 사용자에게 의해 제공되며, 프로그램은 증립축을 변화시켜 가면서 일정한 P 값에 대해 아래식을 만족하는 점을 찾는다. 이때 P 는 설계 축하중이며, M_{rx} 와 M_{ry} 는 부재 단면의 내력이며, M_{rx} 와 M_{ry} 는 요구 설계 하중 모멘트이다. 이 점이 파괴면 상 혹은 내에 존재하지 못할 경우 프로그램은 자동적으로 철근을 추가한다.

$$\frac{M_{rx}}{M_{ry}} \approx \frac{M_{rx}}{M_{ry}} \quad (10)$$

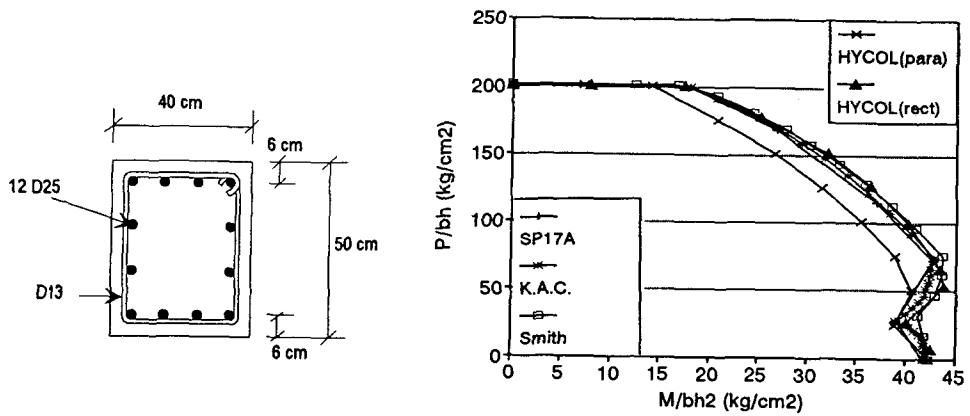
$$M_{rx} \geq M_{rx} \text{ and } M_{ry} \geq M_{ry} \quad (11)$$

자동 배근의 절차는 초기에 각각의 코너에 한개씩, 즉 전체 네개의 철근을 가정하고 단면의 강도가 설계 요건을 만족시킬 때까지 필요에 따라 단면에 요구되는 철근을 추가해 나간다. 철근은 4면에 골고루 배근되는 경우와 단면의 양단에 배근되는 경우가 있으며, 한국 건설 기준의 최소 철근 간격과 최소 철근비에 도달하면, 더 이상의 철근은 추가되지 않고 error message를 내보낸다. 결과적으로 철근의 양은 최적화될 수 있다.

3. 기존의 실험값과 본 연구 해석 결과값의 비교

3.1 1축힘과 축하중을 받는 직사각형 단면

본 프로그램의 결과와 기존의 설계 이용 데이터·프로그램의 결과를 비교하기 위하여 1축힘을 받는 직사각형 단면을 선택했다. <그림 5(a)>의 단면을 가지는 직사각형에 대한 하중-모멘트 상관도의 비교가 <그림 5(b)>에 나타나있다. ACI Design Aids SP17[13]의 상관도와 한국건축학회 [10]와 J.C.Smith[4]가 제안한 상관도 프로그램을 사용하여 본 프로그램 HYCOL과 비교하였다. <그림 5(b)>를 보면, HYCOL에서 포물선 응력분포를 사용하였을 경우 등가 직사각형 콘크리트 응력-변형률 곡선을 등가 직사각형 콘크리트 응력분포로 대체시킴으로써 보완될 수 있었다

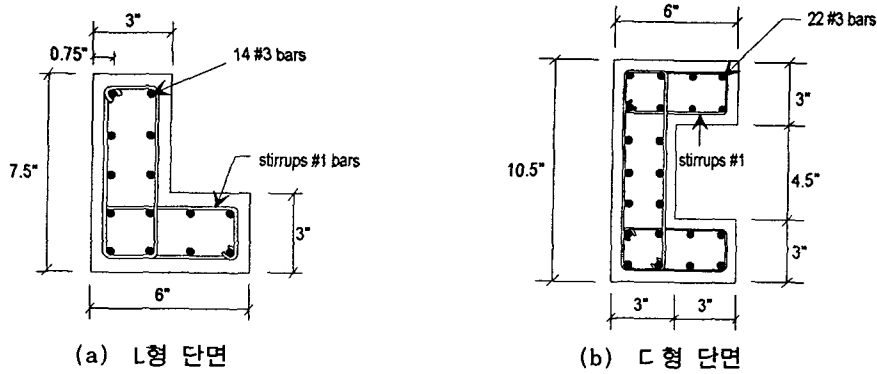


(a) 직사각형 단면 모델 (b) 하중-모멘트 상관도의 비교
 <그림 5> 1축휨과 축하중을 받는 직사각형 단면에 대한 결과값 비교

3.2 2축휨과 축하중을 받는 L형, C형 단면

Thomas Hsu가 실험한 L형 철근 콘크리트 단면[5]과 C형 단면[6]의 실험값과 본 연구에서 개발한 HYCOL의 결과값을 비교한다. 기존의 실험도 직사각형과 원형에 거의 국한되어 있어 임의 단면 형태에 대한 실험 자료가 매우 부족하다. Bhattacharyay가 L형과 T형 단면을 실험[7]했고, Ramamurthy와 Hafeez Khan이 2축휨과 축하중을 받는 45개의 L형 기둥을 실험[8]했지만 시험체 상세나 실험 결과값이 구체적으로 명시되지 않아 Hsu의 실험을 선택했다. L형 단면에 대한 10개의 시험체 중 3개를, C형 단면에 대한 11개의 시험체 중 2개를 비교 모델로 선정했다.

비교 모델의 단면은 <그림 6>에, 시험체 상세는 <표 1>에 나타나 있으며, 극한 하중과 모멘트에 대한 비교 결과값은 <표 2>에, 시험체 4b에 대한 하중 상관도와 하중 궤적은 <그림 7>에 제시되어 있다. 비교 결과를 살펴보면, 결과값이 근사함을 알 수 있다. 결국, 본 연구에서 제시한 컴퓨터 해석 프로그램 HYCOL이 실제 2축휨과 축하중을 받는 임의 단면 형태의 철근 콘크리트 부재의 해석시 실용적으로 사용될 수 있으며, 그 결과값이 타당하다는 것을 검증할 수 있다.



(a) L형 단면 (b) C형 단면

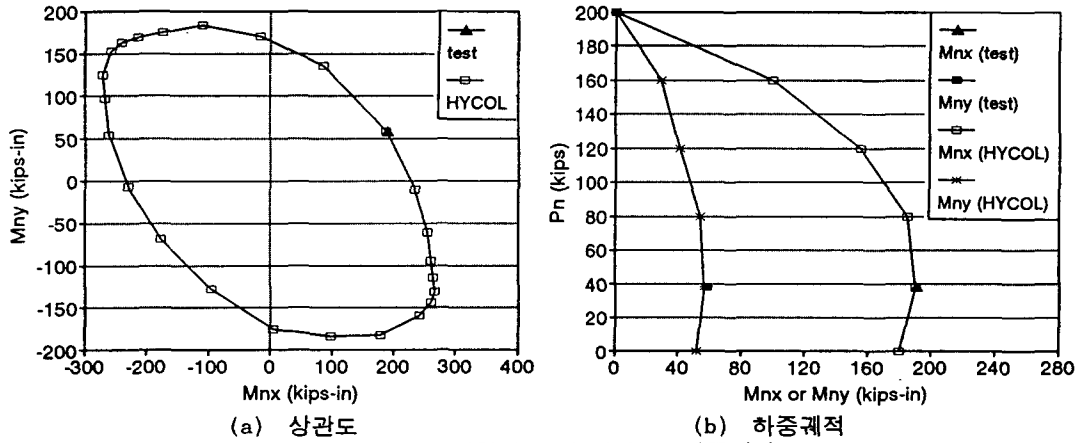
<그림 6> 비교 모델

Section shape	Specimen number	Main bars	f_y (ksi)	f_c' (psi)	s (in)	e_x (in)	e_y (in)	l (ft)	l' (ft)	ρ (%)	α (deg)
L	2a	14-#3	51.8	3,756	3	0.643	0.643	6	4	4.9	45
	4b	14-#3	67.0	4,200	3	1.53	5.0	6	4	4.9	73
	6b	14-#3	58.0	4,000	3	1.68	6.5	6	4	4.9	75.5
C	1c	22-#3	51.8	3,662	4	1.8	3.0	6	4	4.9	59
	4c	22-#3	51.8	4,237	4	1.8	3.5	6	4	4.9	62.8

<표 1> 시험체 상세

Section shape	Specimen number	Test Results			Analysis Results		
		Pn (kips)	Mnx (kips-in)	Mny (kips-in)	Pn (kips)	Mnx (kips-in)	Mny (kips-in)
L	2a	111.4	71.6	71.6	111.3	70.35	69.84
	4b	38.2	190.8	58.4	38.1	190.11	56.57
	6b	26.8	174.3	45.0	26.8	170.76	46.5
C	1c	108.31	324.9	195.0	108.3	311.38	176.18
	4c	107.28	375.5	193.1	107.2	367.6	174.2

<표 2> 극한 하중, 모멘트 결과값 비교



<그림 7> 시험체 4b의 상관도, 하중궤적

4. 설계 예제

4.1 2축힘과 축하중을 받는 직사각형 단면의 자동 설계

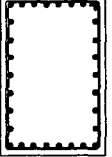
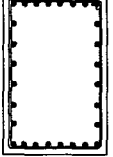
PCA notes[12]의 2축힘을 받는 직사각형 단면 설계에 대한 예제 12.1와 12.2를 HYCOL을 사용하여 자동 설계하였다. 자동 설계한 결과, HYCOL의 자동 배근은 PCA의 설계와 근사하였으며, 좀 더 수치적으로 정확한 해석에 근거한 배근으로써 철근의 양을 줄일 수 있었기 때문에 이 철근량은 최적화된 값이 된다. 또한 철근을 4면에 골고루 배근시키는 것뿐만 아니라 단면의 특정한 면에 보강을 집중화함으로써 더 효율적인 설계가 가능하다는 것도 보여주었다. 2축힘의 직사각형 단면의 설계를 위한 기존의 근사 방법은 4면에 골고루 배근시키는 경우가 대부분이지만 본 프로그램에서는 배근을 4면에 고정시키지 않고 2면 배근을 시도함으로써 경우에 따라서는 좀 더 유리한 설계가 이루어질 수 있도록 하였다. 각각의 예제 단면 모델과 HYCOL의 자동 설계와의 비교가 <표 3>에 나타나있으며, 각각의 배근 형태에 관한 상관도와 요구 설계 하중 모멘트의 값이 <그림 8>에서 비교된다.

예제 12.1 $P_u = 1200$ kips, $M_{ux} = 1800$ ft-kips, $M_{uy} = 750$ ft-kips, $f_c' = 4$ ksi, $f_y = 60$ ksi

예제 12.2 $P_u = 1700$ kips, $M_{ux} = 2900$ ft-kips, $M_{uy} = 1200$ ft-kips, $f_c' = 4$ ksi, $f_y = 60$ ksi

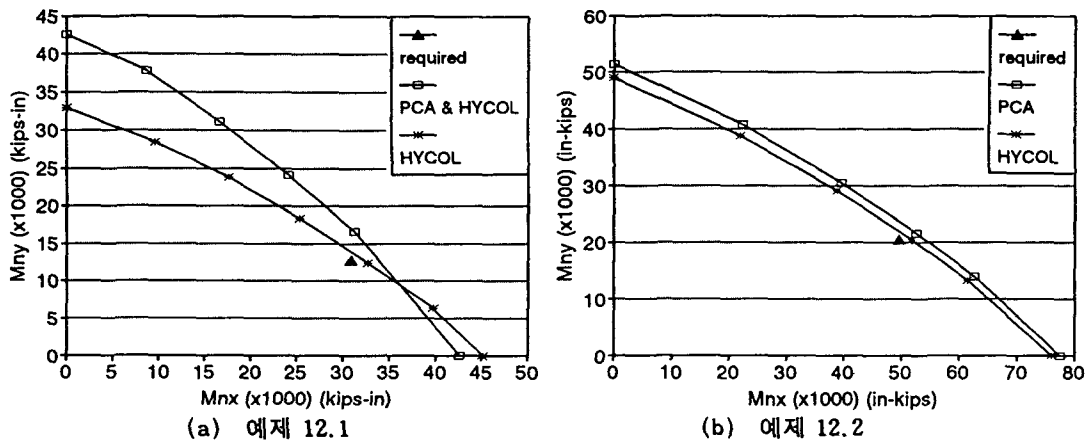
	PCA notes 예제 12.1	Design by HYCOL uniformly distributed	Design by HYCOL
section (36in×36in)			
	7#10 in x-direction 7#10 in y-direction	7#10 in x-direction 7#10 in y-direction	10#10 in x-direction 2#10 in y-direction
전체 철근수	24 #10	24 #10	20 #10

(a) 예제 12.1

	PCA notes 예제 12.2	Design by HYCOL uniformly distributed
section (32in×48in)		
전체 철근수	30 #11	28 #11

(b) 예제 12.2

<표 3> 결과값 비교



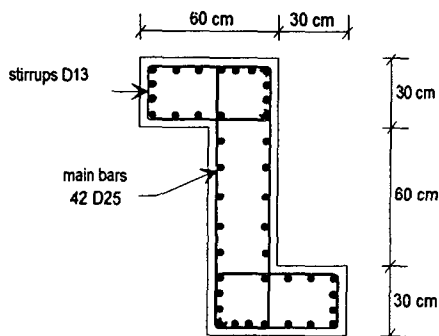
<그림 8> 하중 곡선의 비교

4.2 Z형 단면의 설계

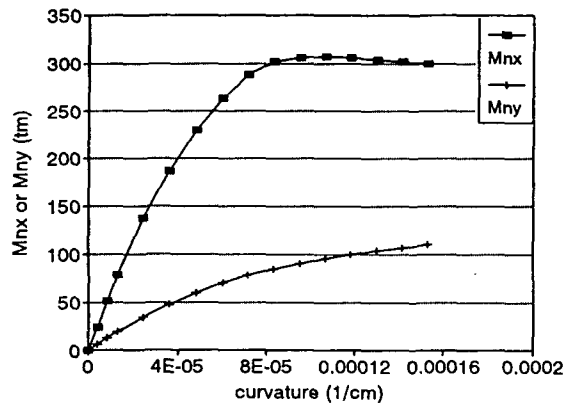
<그림 9>의 Z형 단면을 해석하고 주어진 설계 조건을 만족하는지 검토한다. 콘크리트의 압축 강도 $f_c' = 280 \text{ kg/cm}^2$, 철근의 극한 응력 $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ 이다.

Case 1 $P_u = 450 \text{ t}$, $M_{ux} = 180 \text{ tm}$, $M_{uy} = 45 \text{ tm}$

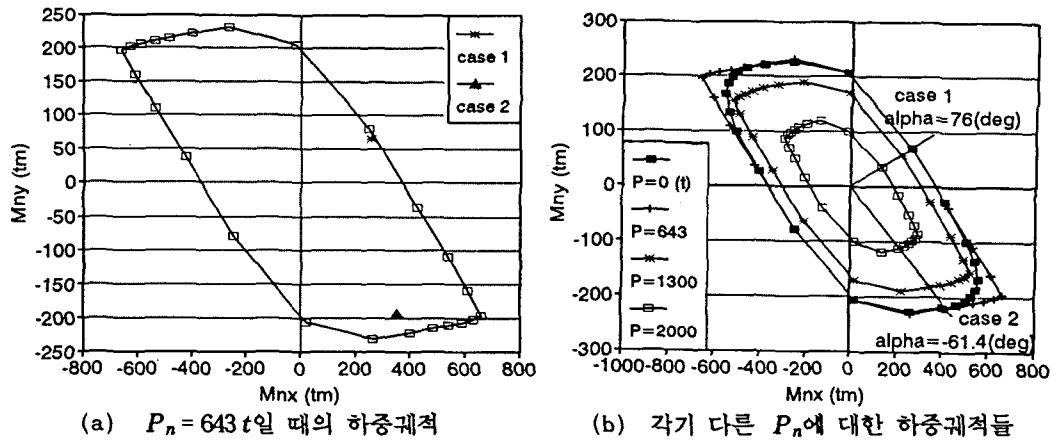
Case 2 $P_u = 450 \text{ t}$, $M_{ux} = 247.5 \text{ tm}$, $M_{uy} = -135 \text{ tm}$



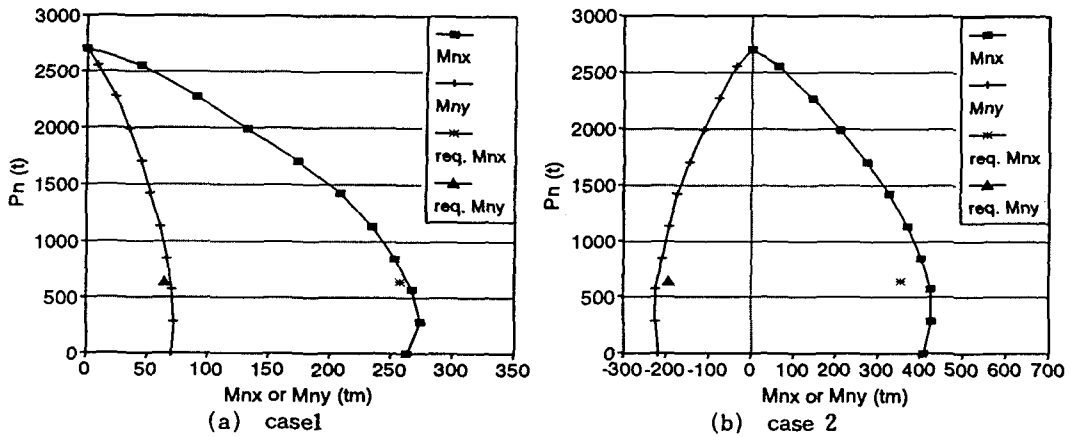
<그림 9> Z형 단면 모델



<그림 10> 모멘트-곡률 관계 곡선 (case1)



<그림 11> 하중궤적



<그림 12> 상관 곡선

<그림 11>과 <그림 12>에 나타나있는 것처럼 설계된 Z형 단면은 case1과 case2에서 주어진 조건을 모두 만족시키고 있다.

5. 결론

이상의 개발 과정을 통하여 임의 단면 형태에 대한 축력(압축 혹은 인장)과 2축 힘을 받는 콘크리트 기둥을 설계, 해석할 수 있는 실용적인 프로그램을 개발하였으며, 결론은 다음과 같다.

- 1) 기본적인 수치 개념을 사용하여 2축힘과 축하중(압축 혹은 인장)을 복합적으로 받는 임의 단면 형태의 철근 콘크리트 부재를 해석할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 실제 설계에 필요한 도구로 제시할 수 있었다.
- 2) 기존의 설계 이용 자료, 프로그램, 실험의 결과값과 본 연구에서 제시한 HYCOL 프로그램의 결과값을 비교한 결과, 거의 일치하는 값을 얻을 수 있었다.
- 3) 해석 프로그램의 결과로 상관도와 하중 궤적을 얻을 수 있어서 부재 설계에 직접적인 자료를 제공할 수 있다.
- 4) 임의 형태의 압축 부재의 경우, 해석뿐만 아니라 세장비 검토도 가능하였다.
- 5) 단면의 좌표값만의 입력으로 자동분할을 실시하고, 직사각형 단면인 경우에는 자동 배근을 시도하여 앞으로 지식 기반의 설계 시스템을 구축하는데 그 기초가 되었다.

6. 참고 문헌

- [1] B.Bresler, "Design Criteria for Reinforced Concrete Columns under Axial Load and Biaxial Bending" ACI Journal, V.57, Nov. 1960
- [2] A.L.Parme, J.M.Nieves, A.Gouens, "Capacity of Reinforced Rectangular Columns Subjected to Biaxial Bending" ACI Journal, V.63, No.9, Sep. 1966
- [3] R.Park, M.J.N. Priestley, W.D.Gill, "Ductility of square Confined Concrete Columns" Journal of the Structural Division, ASCE, V.108, No.ST4, April 1982
- [4] J.C.Smith, "Biaxially Loaded Concrete Column Interaction Curve" Computers & Structures V.3, Pergamon Press 1973 (Great Britain)
- [5] Hsu, Cheng-Tzu, "Biaxially Loaded L-Shaped Reinforced Concrete Columns" Journal of Structural Engineering, ASCE, V.111, No.12, Dec. 1985
- [6] Hsu, Cheng-Tzu, "Channel-Shaped Reinforced Concrete Compression Members under Biaxial Bending" ACI Journal, V.84, No.3, May-June 1988
- [7] S.Bhattacharyay, B.Chattapadhyay, T.C.Ray, P.Som, "An Investigation of Concrete Columns with Special Reference to L and T Sections With and Without Diaphragm" V.16, LABSE, 1974
- [8] L.N.Ramamurthy, T.A.Hafeez Khan, "L-Shaped Column Design for Biaxial Eccentricity" Journal of Structural Engineering, ASCE, V.109, No.8, Aug.1983
- [9] "극한강도 설계법에 의한 철근 콘크리트 구조계산 기준 및 해설", 대한 건축학회, 1988
- [10] "극한강도 설계법에 의한 철근 콘크리트 구조설계 예제집", 대한 건축학회, 1992
- [11] ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI 318-89)", American
- [12] "Notes on ACI 318-89 Building Code Requirements for Reinforced Concrete with Design Applications", Portland Cement Association, Skokie, 1990
- [13] "Design Handbook in Accordance with the Strength Design Method of ACI 318-89", ACI SP-17(91)