

강관으로 보강된 중공 RC 기둥의 중공비에 따른 거동

Behaviors of Hollow RC Columns with Internal Steel Tube by Hollow Ratio

최 준 호* / 윤 기 용** / 한 택 희*** / 강 영 종****

Choi, Jun Ho / Yoon, Ki Yong / Han, Taek Hee / Kang, Young Jong

Abstract

The hollow RC(Reinforced concrete) column has the effect of reducing weight and materials compared to solid RC column. However, the hollow RC column shows a low ductile behavior due to brittle failure of inside concrete. To overcome this problem, the internally confined hollow reinforced concrete column has been developed. In this study, the behavior of internally confined hollow RC columns were evaluated with safety ratio, ductility, total material cost, the total weight of the pier, etc. The hollow ratio is varied from 0.50 to 0.85.

key words : steel tube, hollow ratio, hollow sections, confinement, hollow columns

요 지

중공 RC 기둥은 중실 RC 기둥에 비해 자중의 감소 및 재료 절감에 대한 장점을 가진다. 그러나 중공 RC 기둥은 안쪽면의 취성파괴로 인하여 낮은 연성 거동을 할 가능성이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 중공 부재 내의 콘크리트 3축 구속 상태로 존재하게 하는 강관으로 보강된 중공 RC 기둥이 개발되었으며, 본 연구에서는 강관으로 보강된 중공 RC 기둥의 중공비를 0.50~0.85까지 변화 시켜 중공비에 따른 작용하중에 대한 안전율, 연성도, 재료비, 교각 총 중량에 대한 거동 특성을 파악하였다.

핵심용어 : 강관 보강, 중공비, 중공 단면, 콘크리트 구속 효과, 중공 기둥

1. 서 론

오늘날 교각은 보편적으로 중실 RC 기둥(Solid reinforced concrete column, Solid RC Column)에 대한 연구가 활발히 진행되어 전체 기둥의 대부분에 적용되었다. 기둥 자중의 감소나 재료의 절감의 장점으로 중공 RC 기둥(Hollow reinforced concrete column)이 사용되고 있다. 중공 RC 기둥의 경우 동

일 단면적을 갖는 일반 중실 기둥에 비해, 더 큰 단면 이차모멘트를 갖게 되므로 더 효율적인 단면 활용이 가능하다. 하지만 이러한 장점에도 불구하고, 중공 RC 기둥은 안쪽면의 취성파괴적 특성으로 인하여 낮은 연성 거동을 보인다(F.A.Zahn, 1990).

이러한 중공 RC 기둥의 문제점을 해결하기 위하여, 중공부재 내의 콘크리트를 3축 구속 상태로 존재하게 하는 내부 구속 중공 RC 기둥(Internally Confined Hollow Reinforced Concrete column, 이하 ICH

* 선문대학교 대학원 토목공학과 · 석사과정 (e-mail: cruse1991@hotmail.com)

** 정희원 · 선문대학교 토목공학과 · 교수

*** 정희원 · 고려대학교 공학기술 연구소

**** 정희원 · 고려대학교 사회환경시스템공학과 · 교수

RC 교각의 연구가 활발히 진행되어 왔지만, ICH RC 교각의 연성능력에 대한 연구 및 내부구속효과에 대한 연구에 국한되어 있다. 그리하여 본 연구는 중실 RC 기둥을 기본으로 선택하여 강관으로 보강된 중공 RC 기둥의 중공비를 0.50~0.85까지 변화 시켰다. 중공비에 따른 강관으로 보강된 중공 RC 기둥의 내부강관 두께는 내부 강관의 항복조건에 대한 최소두께를 사용하였으며, 중공비에 따른 작용하중에 대한 안전율 및 연성도의 거동 특성과 재료비와 교각의 중량에 대해서도 파악하였다. 각각에 대한 거동 특성 파악을 위해 사용된 프로그램은 한택희(2005)가 개발하여 검증한 프로그램으로 Material Model Program, Axial Force-Moment Interaction Analysis Program, Force-Displacement Analysis Program을 사용하였으며, 그는 실험적, 해석적 연구를 통해 개발된 프로그램을 검증하였다.

2. 거동 분석을 위한 기본 이론

2.1 강관으로 보강된 중공 RC기둥의 재료 모델

횡구속된 철근 콘크리트의 거동은 여러 연구자들에 의해 연구되어왔다. Mander et al.(1988)은 구속된 콘크리트의 강도에 대해 다음과 같은 관계식을 제안하였고, 제안된 식에 의해 구속된 콘크리트와 구속되지 않은 콘크리트의 응력-변형률 곡선은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

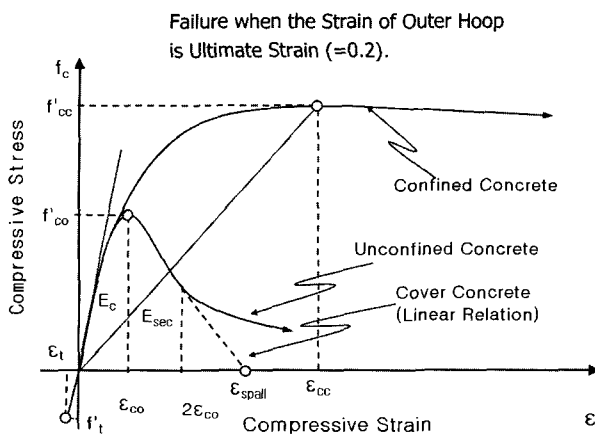


그림 1. 구속된 콘크리트와 구속되지 않은 콘크리트의 응력-변형률 곡선

$$f_c = \frac{f_{cc} x r}{r - 1 + x^r} \quad (1)$$

$$x = \frac{\epsilon}{\epsilon_{cc}} \quad (2)$$

$$r = \frac{E_c}{(E_c - E_{sec})} \quad (3)$$

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (4)$$

여기서, f_c : 콘크리트의 응력, ϵ : 축방향 변형률

f_{cc} : 구속된 콘크리트의 최대 강도

ϵ_{cc} : 구속된 콘크리트가 최대 강도를 발휘할 때의 변형률

비구속 콘크리트의 접선 계수(E_c :tangent modulus)는 $5000\sqrt{f'_{cc}}$ (MPa)로 산정되며, 구속된 콘크리트의 최대 강도(f'_{cc})는 식 5에 의해서 구할 수 있다.

$$f'_{cc} = f'_c \left(-1.254 + 2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94f'_l}{f'_c} - \frac{2f'_l}{f'_c}} \right) \quad (5)$$

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right] \quad (6)$$

$$f_l = k_e \cdot f_l \quad (7)$$

여기서 f'_c 는 비구속된 콘크리트의 최대 강도이며, f'_l 은 유효 구속응력이다. 구속된 콘크리트의 최대 강도에서의 변형률 ϵ_{cc} 는 식6과 같이 비구속된 콘크리트의 최대 강도에 해당하는 변형률 ϵ_{co} 의 함수로서 정의되며, ϵ_{co} 는 일반적으로 0.002로 알려져 있다. 원형 후프 철근에 의해 구속된 콘크리트를 고려하면, 콘크리트에 작용하는 구속압에 의해 후프철근에 등분포의 인장력이 작용 때 횡구속 응력은 식 8에 의해 계산된다. 여기서, A_{sp} 는 후프철근의 단면적, s 는 후프철근의 배근 간격이며, d_s 는 후프철근의 지름이다. 나선철근이나 후프철근의 경우에는 전체 콘크리트를 완전히 구속할 수 없으므로, 최초 발생된 구속응력(f_l)은 식 7과 같이 감소계수 k_e 를 적용하여 사용된다. 원형 후프 철근으로 구속된 경우 감소계수는 0.95를 사용한다.

$$f_l = \frac{2f_s A_{sp}}{s d_s} \quad (8)$$

내부 강관의 좌굴강도와 항복강도는 강관의 두께에 큰 영향을 받으므로, 강관으로 보강된 중공 RC기둥의 파괴 모드는 내부 강관의 두께를 변화시킴으로써 조절될 수 있다. 내부 강관의 항복 이전에 바깥쪽 후프철근의 파괴를 유발하기 위해서는 내부 강관에 작용하는 응력이 내부 강관의 항복강도(f_{ty})보다 작아야 한다 (한택희, 2005).

본 연구에서 사용된 실제 해석 모델의 경우 내부 강관 두께 산정 시 모두 내부 강관의 항복강도에 의해 지배를 받았으며 항복강도에 의한 내부 강관 필요 두께는 식 9와 같이 유도 될 수 있다.

$$t > \frac{D_i \cdot f_{yh} \cdot A_{sp}}{D' \cdot s \cdot f_{yt}} = t_y \quad (9)$$

여기서, D' 은 구속된 콘크리트의 직경, D_i 는 중공의 직경, f_{yh} 는 후프철근의 항복강도, A_{sp} 는 후프철근의 단면적, s 는 후프철근의 배근 간격이며, t_y 는 내부 강관의 항복 파괴가 발생하지 않기 위한 내부 강관의 최소 두께이다.

2.2 거동분석을 위한 규정 및 평가 방법

거동 분석을 위해 도로교설계기준에 제시 되어 있는 축방향 철근비, 축방향 철근의 최소 순간격, 횡방향 철근의 최소 순간격, 횡방향 철근비등의 규정을 만족해야 한다.

연성도 평가 방법으로는 변위 연성도, 곡률연성도, 에너지 연성도 등이 있으며, 변위 연성도 및 에너지 연성도에 대해서는 다음과 같이 정의한다(R.Park, 1988).

$$\text{변위 연성도 } \mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad (10)$$

$$\text{에너지 연성도 } \mu_E = \frac{Eu}{Ey} \quad (11)$$

여기서, Δy : 최대 응답 변위

Δu : 파괴상태까지 나타난 최대응답변위

Eu : 극한상태까지 분석된 총 입력 에너지

Ey : 항복상태까지 분석된 총 입력 에너지

단면력 검토 시 작용 하중에 대한 안전율(Safety Factor, S.F)은 원점으로부터 작용 하중 시까지의 길이와 원점으로부터 작용 하중 시까지의 연장선과

P-M 상관도와 만나는 점까지의 거리비로 구한다.

경제성 평가 방법은 다양한 방법이 있지만 본 논문에서는 교각을 만들기 위한 순수 재료비만을 가지고 경제성 평가를 수행하였다. 재료비 산출 단가는 2006년 정부 구매물자 가격을 기준으로 하였다. 또한, 교각의 총 중량은 교각에 사용되는 순수 재료만을 가지고 총 중량을 계산 하였다.

3. 중실 RC 기둥의 해석 모델

Prototype 선정을 위해 외경이 210cm인 중실 RC 기둥의 단면으로 축방향 철근에 대하여 1단배치 할 수 있는 철근의 지름과 개수를 달리 하여 4가지 종류의 철근비 및 최소 순간격에 대한 검토를 하였다. 횡방향 철근의 간격을 5cm로 시작하여 1cm씩 늘려 10cm까지 나선철근비에 대한 검토를 하였고, 강도감소계수를 고려한 P-M상관도를 작성하여 안전율에 대한 검토를 하였다. 검토 결과, 그림 2와 같은 중실 RC 기둥의 해석모델을 선정하게 되었다. 작용하중에 대한 안전율 검토 시 작용하중은 확대 계수를 고려한 작용하중으로 축하중(P_u)=726(kN)이며, 확대모멘트(δM_u)=1171(kN-m)을 적용하였다. 이때 선정된 prototype인 중실 RC 기둥의 작용하중에 대한 안전율은 약 1.3이다.

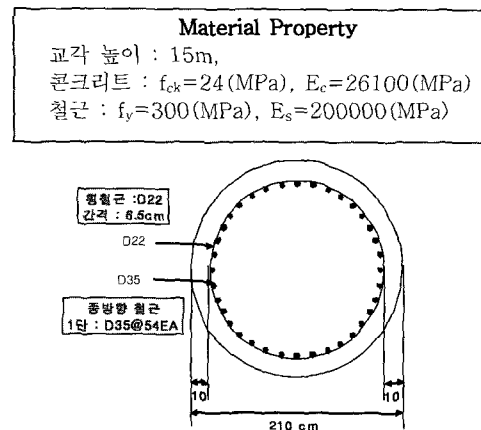


그림 2. 중실 RC 교각의 해석모델

4. 중공비에 따른 강관으로 보강된 중공 RC 기둥의 거동

해석모델로 결정된 중실 RC 기둥을 대상으로 ICH RC 기둥의 중공비에 따른 거동을 파악한다. 중공비는 심부구속철근의 바깥지름에 대한 중공지름의 비율로 0.5~0.85까지 변화 시켰으며 ICH RC 기둥의 단면은

그림 3과 같다. 중공비를 0.5~0.85와 같이 선정할 이유는 현재 주로 시공되는 중공 기둥의 경우 일반적으로 0.7정도를 보편적으로 적용하며 해석 모델에 사용된 축방향 철근을 적용할 경우 도로교설계기준(2005)에 제시되어 있는 축방향 철근비 규정을 만족하는 중공비가 0.5~0.85이었다.

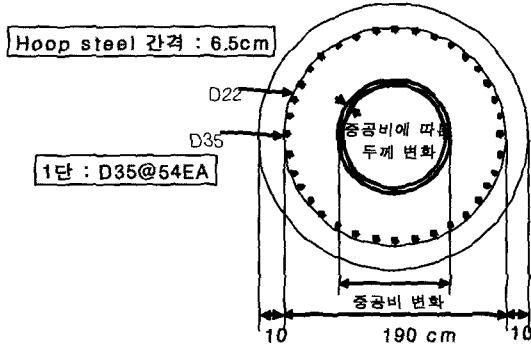


그림 3. ICH RC 기둥 단면의 중공비 변화

4.1. 중공비에 따른 내부강관 최소 필요 두께 산정 및 축방향 철근비 검토

ICH RC 기둥의 중공비 변화 시 심부구속효과를 고려하기 위하여 심부구속효과에 필요한 내부강관의 최소 두께를 사용하였으며 최소필요두께 결정시 내부강관두께를 mm단위로 소수 첫째자리 올림하여 산정하였다.

그림 4에서와 같이 콘크리트 압축 공시체의 응력-변형률 선도는 중실 RC 기둥과 중공비를 변화시킨 ICH RC 기둥은 동일하다. 만일, 응력-변형률 선도가 다른 부분이 있다면 내부 강관 필요 두께를 잘못 선정한 모델이 되므로 내부 강관 필요 두께를 변화시켜야 된다.

모델에 대한 이름의 앞의 숫자는 중공비를 뜻하고 뒤의 숫자는 사용된 내부강관 두께를 말한다(예를 들면 H050T04는 중공비가 0.50이고 사용된 내부강관 두께는 0.4cm를 말한다.).

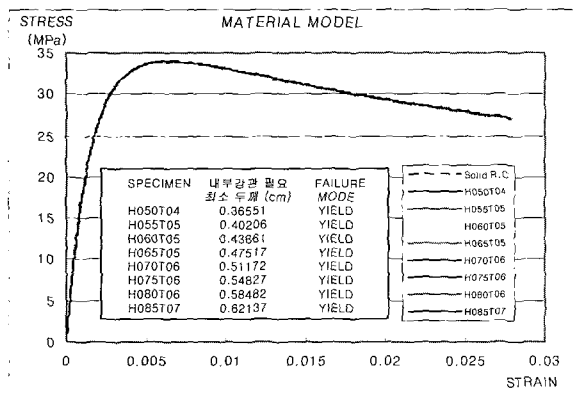


그림 4. 중공비에 따른 ICH RC 기둥의 응력-변형률 선도

표 1. 중공비에 따른 축방향 철근비 검토

SPECIMEN	축방향 철근			중공 지름 (cm)	축방향 철근 단면적 (cm ²)	압축 부재 단면적 (cm ²)	철근 비 (%)	검토
	직경 (cm)	수량 (EA)	강관 두께 (cm)					
중실 RC	3.5	54	0.0	0.0	519.54	34636.05	1.500	OK
H050T04	3.5	54	0.4	95.0	638.42	27666.71	2.308	OK
H055T05	3.5	54	0.5	104.5	682.90	26222.67	2.604	OK
H060T05	3.5	54	0.5	114.0	697.83	24607.30	2.836	OK
H065T05	3.5	54	0.5	123.5	712.75	22850.17	3.119	OK
H070T06	3.5	54	0.6	133.0	769.11	20992.71	3.664	OK
H075T06	3.5	54	0.6	142.5	787.02	18955.04	4.152	OK
H080T06	3.5	54	0.6	152.0	804.92	16775.60	4.798	OK
H085T07	3.5	54	0.7	161.5	873.16	14504.72	6.020	OK

도로교설계기준(2005)에서는 축방향 철근에 대하여 축방향 철근의 단면적을 압축부재 단면적의 1% 이상 8%이하로 제한하고 있으며, 중공비 변화에 따라 최소 필요 두께의 내부 강관을 삽입한 각각의 해석모델들은 표 1에서와 같이 모두 축방향 철근비 규정을 만족하였다.

4.2. 중공비에 따른 작용하중에 대한 안전율

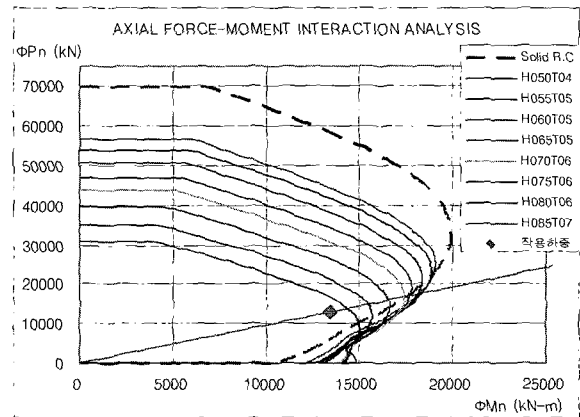


그림 5. 중공비에 따른 P-M 상관도

ICH RC 기둥에서 중공비를 증가시키면 P-M상관도에서 압축력은 중공비에 따라 일정한 비율로 작아진다. 또한 중공비가 증가함에 따라 휨모멘트가 증가하지만 중공비의 증가율만큼의 휨모멘트 증가량은 보이지 않는다.(그림 5) 이와 같은 이유는 콘크리트, 철근 및 강관이 외력에 대하여 받는 단면적이 다르기 때문이다. 단면적을 압축력과 휨모멘트력으로 분류하고 각 재료에 대해서 콘크리트, 철근, 강관에 대해서 비교해 본다면 다음과 같다.

동일한 외경 내에 중공비를 증가시킴으로 인하여 콘크리트의 단면적은 감소하고 강관의 단면적은 최소

필요 강관두께가 증가하므로 강관의 단면적은 증가한다. 중공비 변화량에 대한 콘크리트 단면적의 감소율에 비해 강관의 단면적의 증가율은 상대적으로 작다. 휨모멘트력은 부재가 받는 축력에 대한 영향과 모멘트 팔의 길이 변화에 대한 영향이 있다. 앞에서 서술한 바와 같이 부재가 받는 축력은 콘크리트에 대한 영향이 강관에 대한 영향보다 크다. 모멘트 팔의 길이 변화량은 증가는 하지만 동일한 외경 내에서 중공비가 변화하므로 그 변화량은 작다. 이러한 변화로 인하여 중공비 변화에 따른 중립축하중이 변화되며 이에 따른 안전율을 또한 변화하게 된다. 표 2는 중공비 변화에 따른 안전율을 나타낸 값들이다.

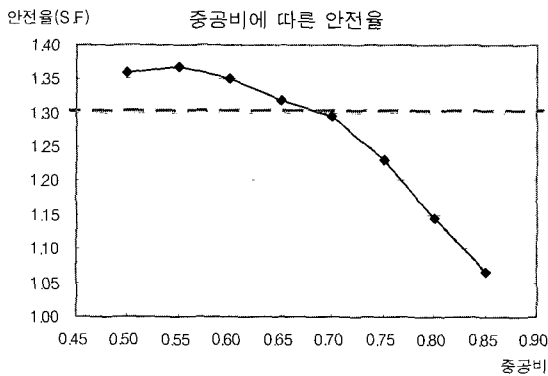


그림 6. 중공비에 따른 안전율

그림 6은 중공비에 따른 안전율을 나타내는 곡선이며 점선으로 표시된 것은 중실 RC 기둥의 기준 안전율이다. 본 연구에서 선정된 ICH RC 기둥의 해석모델들은 그림 6에서와 같이 중공비가 0.50에서 0.55로 증가되면 안전율은 증가함을 보이고, 중공비 0.55이상으로는 안전율이 감소함을 볼 수 있다. 또한, 중공비 0.65이하에서는 ICH RC 기둥의 안전율이 중실 RC 기둥의 안전율보다 크고 0.70이상일 때는 ICH RC 기

둥의 안전율이 작음을 볼 수 있다. 중공비에 따른 ICH RC기둥의 안전율이 모두 1이상 확보 되므로 작용하중에 대한 안전율은 모두 안전하다고 볼 수 있다.

4.3. 중공비에 따른 연성도

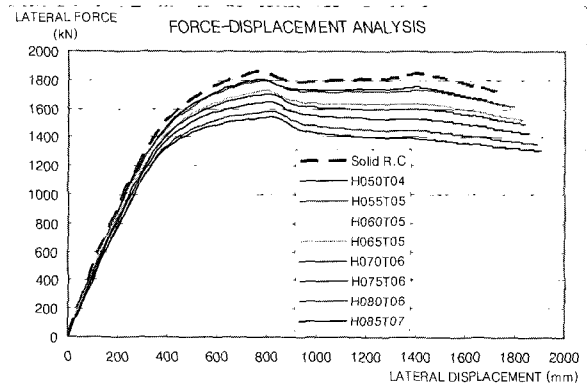


그림 7. 중공비에 따른 하중변위 곡선

그림 7은 중공비에 따른 ICH RC 기둥의 하중-변위 곡선이며 중공비가 증가함에 따라 최대 하중의 크기는 작아지지만 최대변위량은 증가함을 보인다. 그림 7의 곡선을 Park, R.(1988)이 정의한 변위 연성도 및 에너지 연성도를 산정하여 각각의 중공비에 따른 연성도 곡선을 타나내면 그림 8과 같이 나타낼 수 있다.

동일한 외경 내에서 중공비를 증가시키면 전체단면적이 줄어들어 부재가 받을 수 있는 최대하중은 줄어들지만 내부 강관 최소 필요 두께가 증가하므로 최대 변위량은 증가함을 보인다. 즉, ICH RC 기둥에 외부 하중이 작용할 때 중공비를 증가시키면 기둥이 받을 수 있는 최대 하중의 감소율보다 최대 변위량의 증가율이 커진다. 그러므로 중공비가 증가함에 따라서 그림 8과 같이 변위 연성도 및 에너지 연성도는 증가함을 보인다.

표 2. 중공비에 따른 안전율

SPECIMEN	ΦP_b (kN)	ΦM_b (kN-m)	e_b (m)	파괴구간	ΦP_n (kN)	ΦM_n (kN-m)	안전율(S,F)
Solid R.C	32226.443	19922.971	0.618	인장파괴	16964.109	17539.814	1.304
H050T04	25177.193	19074.215	0.758	인장파괴	17680.450	18280.465	1.359
H055T05	23172.961	18861.032	0.814	인장파괴	17797.945	18401.948	1.368
H060T05	21157.673	18393.308	0.869	인장파괴	17572.340	18168.687	1.351
H065T05	18999.904	17813.081	0.938	인장파괴	17160.550	17742.922	1.319
H070T06	16756.909	17414.149	1.039	압축파괴	16841.878	17413.435	1.295
H075T06	14292.641	16620.311	1.163	압축파괴	16005.222	16548.385	1.230
H080T06	11329.949	15684.176	1.384	압축파괴	14904.376	15410.181	1.146
H085T07	8820.548	15047.393	1.706	압축파괴	13864.980	14335.511	1.066

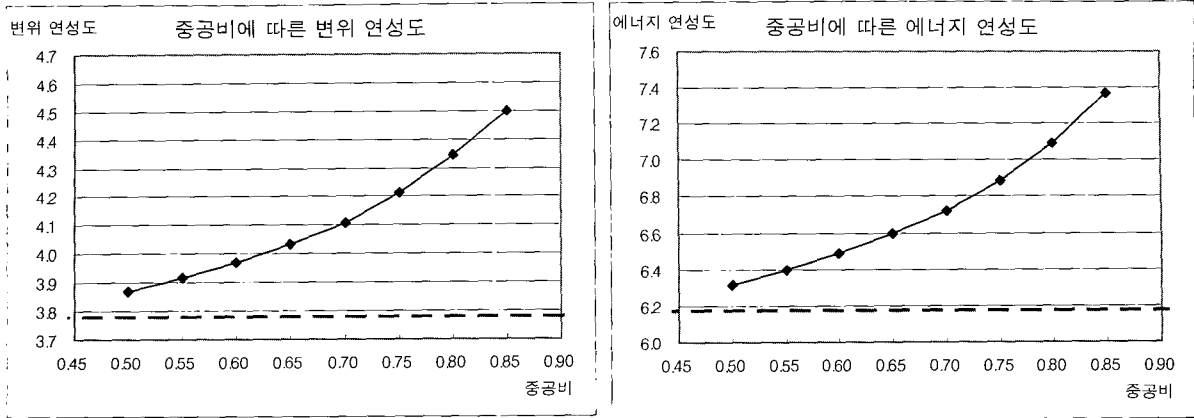


그림 8. 중공비에 따른 변위 및 에너지 연성도 곡선

4.4. 중공에 따른 재료비 및 기둥 총 중량

그림 9는 중실 RC 기둥의 총 중량 및 재료비가 100(%)라 하였을 때 각 중공비에 따른 ICH RC 기둥의 총 중량 및 재료비를 나타낸 상대곡선이다. 중공비가 커지면 콘크리트량은 줄고 강관의 양은 증가한다. 또한 최소필요두께 결정시 강관두께를 mm단위로 소수 첫째자리 올림으로 인하여 중공비가 증가하여도 동일한 내부강관 두께를 적용시키는 경우가 있다. 즉, 중공비가 증가되면 콘크리트량의 감소율에 비하여 내부강관 사용량의 증가율이 작아진다. 그러므로 그림9의 재료비곡선에서 중공비 0.65~0.70, 0.80~0.85에서 곡선의 기울기가 변화되었다.

또한, 이 곡선을 직선이라 가정하고 중공비 0.50~0.85의 직선의 기울기는 총 중량 곡선은 -97.95이고, 재료비 곡선은 22.55이다. 다시 말하면 중공비가 증가함에 따라 ICH RC 기둥의 총 중량 곡선은 중실 RC 기둥 보다 18~52% 감소되었고, 재료비 곡선은 4~12% 증가되었다.

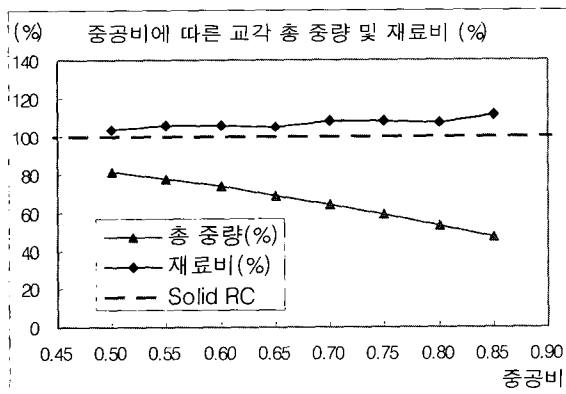


그림 9. 중공비에 따른 재료비 및 교각 총 중량 곡선(%)

5. 결 론

강관으로 보강된 중공 RC 기둥의 중공비에 따른 거동을 파악한 결과 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) 중공비가 증가하면 중공비가 작은 단면에 비해 심부콘크리트의 단면적이 작아지므로 콘크리트가 부담해야하는 응력이 커지게 된다. 따라서 철근사용량이 동일하고 중공비가 커지면, 내부 강관은 두꺼워야 한다.
- (2) 중공비의 변화량에 대해서 각 부재에 대한 단면력을 비교해 본 결과 ICH RC 기둥에서 동일한 외경에 대해 중공비를 증가 시키면 압축력은 중공비의 증가량에 대한 비율과 동일한 비율로 감소하고, 휨모멘트력은 중공비의 증가량에 대한 비율 보다 작은 비율로 증가하였다.
- (3) 중공비에 따른 작용하중에 대한 안전율 검토 결과 중공비 0.50~0.55에서는 안전율이 증가함을 볼 수 있었고, 중공비 0.55이상에서는 안전율이 감소함을 볼 수 있다. 또한, 중공비 0.65이하에서는 ICH RC 기둥의 안전율이 중실 RC 기둥의 안전율보다 크게 나타났고, 0.70이상일 때는 작게 나타남을 볼 수 있다.
- (4) 동일한 외경에 대해 중공비를 증가시키면 전체 단면적이 줄어들어 기둥이 부담할 수 있는 최대 하중의 크기는 줄어들지만 내부 강관의 역할로 인하여 최대 변위량은 증가함을 볼 수 있었다. 그리하여 중공비가 증가함에 따라 연성도는 일정하게 증가하였다.
- (5) 중공비가 증가함에 따라 콘크리트의 사용량은 적어지고 내부 강관의 사용량은 증가하였다.

그리하여 ICH RC 기둥의 재료비 증가율은 중 실 RC 기둥에 대해 4~12(%) 증가되었다. 하지만 기둥의 총 중량 감소율은 18~52(%)로 ICH RC 기둥의 중공단면에 대한 중량 감소효과와 우수함을 볼 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술평가원에서 시행한 2005년도 건설핵심기술연구개발사업 (과제번호: D02-01)의 연구비 지원에 의하여 수행되었기에 감사드립니다.

참고 문헌

- 한승룡, 임남형, 강영중, 이규세. (2003). 강관 보강 중공 R.C 기둥의 연성 평가 해석. 한국강구조학회 논문집, 제15권, 1호(통권 62호), pp. 1-8.
- 한택희, 김홍중, 김영중, 강영중. (2006). 원형 강관 삽입 중공 RC 기둥의 내부구속 효과 연구. 한국토목학회논문집, 제26권, 제4호, pp. 565-575.
- 한택희, 박중섭, 윤기용, 강영중. (2006). 콘크리트의 재료 비선형과 구속효과를 고려한 내부 구속 중공 RC 기둥의 축력-모멘트 상관도 작성. 대한토목학회 2006년도 정기 학술대회 논문집, pp. 654-657.
- 건설교통부, (2005). 도로교설계기준, 한국도로교통협회
- Taek-Hee Han, (2005). *Development of Enhanced Ductile Hollow Columns with Internal Confinement*. Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy, Korea University, F.A.Zahn, R.Park, and M.J.N.Priestly. (1990). Flexural Strength and Ductility of Circular Hollow Reinforced Concrete Columns without Confinement on inside face, *ACI*, 3-4, 156-166.
- Mander, J.B., Priestly, M.J.N., Park, R. (1988). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 114, no. 8, pp. 1804~1826.
- Park R. (1988). State-of-the Art Report on Ductility Evaluation from Laboratory and Analytical Testing, *Proceedings of 9th World Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo-Kyoto, Japan, Vol. 8, pp. 605-616.
- R. Park, T. Paulay. (1975). *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley & Sons, INC.
- R. Park. (1988). Ductility Evaluation from Laboratory and Analytical Testing, *Proceeding of Ninth World Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo, Japan, Vol. 8.

© 논문접수일 : 2007년 01월 22일
 © 심사의뢰일 : 2007년 01월 31일
 © 심사완료일 : 2007년 06월 07일