

내부 구속 중공 RC 기둥의 내진성능에 관한 매개 변수 연구

원덕희¹ · 한택희² · 김정훈³ · 최준호⁴ · 강영종⁵

한국해양과학기술원 연안개발에너지연구부 연수 연구원¹, 한국해양과학기술원 연안개발에너지연구부 선임 연구원²
고려대학교 건축사회환경공학과 박사후과정³, 고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정⁴
고려대학교 건축사회환경공학과 교수 교신저자⁵

A Parametric Study on Seismic Performance of Internally Confined Hollow RC Columns

Won, Deok-Hee¹ · Han, Taek-Hee² · Kim, Jung-Hun³ · Choi, Jun-Ho⁴ · Kang, Young-Jong⁵

¹Korea Institute of Ocean Science & Technology, Coastal Development & Ocean Energy Research Division, Post Doctoral Scientist

²Korea Institute of Ocean Science & Technology, Coastal Development & Ocean Energy Research Division, Senior Research Scientist

³Korea University, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Post Doctoral Researcher

⁴Korea University, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Ph.D course

⁵Korea University, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Professor, Corresponding author

Abstract: Recently, there is to increase interest in seismic performance of piers. Hollow section is applied to increasing the seismic performance of piers. However, hollow RC pier becomes the biaxial confining state because hollow part is not confined. The pier is developed brittle failure from inner face in hollow part. A tube is inserted in hollow part to become the weakness. This is ICH RC(Internally Confined Hollow RC) pier. This pier is enhanced stiffness, strength, and ductility by core concrete has triaxial confining stress.

In this paper is researched about parameters effect the seismic performance. Parameters are hollow ratio, transverse reinforcement, longitudinal reinforcement, and concrete strength.

Key Words: Internally Confined Hollow, Confining Effect, Transverse Reinforcement, Longitudinal Reinforcement

1. 서 론

현재 교량 건설에 있어서 철근 콘크리트(Reinforced concrete, RC) 구조가 가장 널리 적용되고 있으며, 교량의 상부구조는 점점 장대화 되고 하부구조인 교각의 높이가 점점 높아지고 있다. 교각의 자중의 증가로 인해 발생하는 과도한 설계 지진력을 감소시킬 수 있는 중공 철근 콘크리트 단면이 제시되었다.

중공 철근 콘크리트 구조물은 자중 및 재료의 감

소, 수화열 억제를 위한 경제적인 구조로 인하여, 고속도로 및 일반 도로의 교량에 다수 적용되어 설계 및 시공되고 있는 실정이다.

그러나 이러한 중공 RC부재의 콘크리트는 외측의 횡철근으로 구속되는 반면 내측 중공면은 구속력을 받지 못해 취성파괴가 발생할 수 있다. 기둥 내측의 중공부가 구속 상태가 아니기 때문에 Fig. 1과 같이 외측의 횡철근에 의해서만 2축 구속 상태에 놓이게 된다. 구속된 콘크리트의 경우에는 비구속된 콘크리트에 비해 향상된 강도와 연성을 발휘하기 때문에

주요어: 내부 구속 중공, 구속효과, 횡철근, 종철근

Corresponding author: Kang, Young Jong

Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Anam Campus, Anam-dong 5-ga, Seongbuk-gu, Seoul, 136-701, Korea

Tel: +82-02-3290-3310, Fax: +82-02-921-5166, E-mail: yjkang@korea.ac.kr

투고일: 2012년 3월 12일 / 수정일: 2012년 4월 20일 / 게재확정일: 2012년 5월 10일

다수의 연구자들에 의해 콘크리트의 구속 효과에 대해 많은 연구가 수행되었다. 이후 Mander 등에 의해 사각단면과 원형단면의 콘크리트에 모두 적용 가능한 응력-변형률 관계를 정의할 수 있는 모델이 제시되어 졌다.

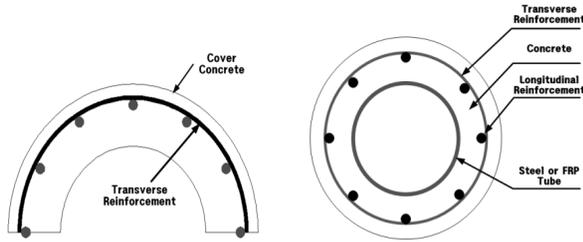


Fig. 1 Hollow RC Section Fig. 2 ICH RC Section

Fig. 1은 중공 RC 단면을 나타낸 것으로 외측의 횡철근에 의하여 구속이 되고 축방향으로 구속이 되지만 내측의 비구속으로 인한 중공단면의 단점을 극복하기 위하여 다수의 연구진들이 연구를 진행하고 있다. 한 예로 내측에 횡철근을 배치한 후 내외부 횡철근을 철근으로 강결시켜 주는 방법이 있으나 이는 현장에 적용할 경우 철근배근이 매우 까다로운 단점을 가지고 있기 때문에 한택희 등(2007)은 Fig. 2와 같이 단면의 중공부에 강관을 삽입함으로써 복잡한 철근배근을 없애고 콘크리트를 3축 압축 상태에 놓이게 하여 강도를 증진시키는 방법을 제안하였으며, Mander 등이 제안한 콘크리트 통합 재료 모델을 이용하여 원형단면을 갖는 내부 구속 중공 RC 기둥(Internally Confined Hollow RC Column, ICH RC Column)의 파괴모드와 비선형 재료 모델을 제안하였다. 이 연구를 통하여 ICH RC 기둥의 성능 발휘를 위해서는 기둥의 파괴시까지 콘크리트의 3축 구속 상태가 지속 되어야 한다는 사실이 밝혀졌다.

또한 위의 연구를 바탕으로 최준호 등(2007)이 중공비에 따른 매개변수 연구를 통하여 거동 특성을 분석하였으며, 동 연구자에 의하여 내부 강관의 두께에 따른 기둥의 거동 특성에 대해 연구가 행하여 졌다.

그러나 기존 연구자들은 ICH RC 기둥의 구성 인자 중 내부 강관의 두께와 중공비가 기둥의 거동에 미치는 영향에 대하여 단순 비교하였을 뿐만 아니라, 나머지를 구성하고 있는 횡철근비, 종철근비, 콘크리트 강도 등이 부재에 미치는 영향성을 분석하지 않았다. 이에 따라 본 연구에서는 위의 인자를 매개변수로 삼아 한택희 등(2009)이 제시한 비선형 재료 모델 및 거동 분석 프로그램을 이용하여 매개변수 해석을 수행하여 본 기둥의 내진성능을 분석하였다.

2. 기본 이론

2.1 파괴모드

Fig. 3은 ICH RC부재에서 콘크리트에 작용하는 구속 응력을 나타낸 것으로 f_{yh} 는 후프철근의 항복강도이며, A_{sp} 는 후프철근의 단면적, f_{lc} 는 원주방향의 콘크리트 구속응력, f_{tube} 는 내부 강관의 항복강도이며, 횡철근과 내부 튜브에 의하여 구속콘크리트가 3축 압축 상태에 놓이게 된다.

이 상태에서 내부 튜브의 파괴와 횡철근의 항복 파괴를 고려한다면 세 가지의 파괴모드를 가정할 수 있다(한택희 등, 2007).

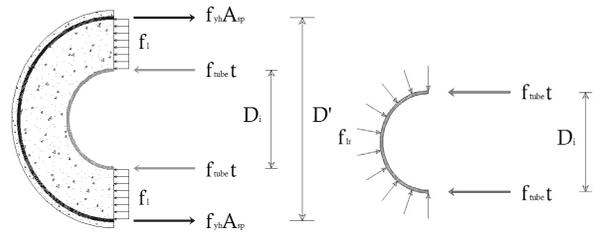


Fig. 3 Confining stress on a ICH RC column

첫 번째 파괴모드는 횡철근의 항복 파괴 이전에 내부 튜브가 좌굴파괴 되거나 항복파괴 되는 경우이며, 두 번째 파괴모드는 내부 튜브의 파괴 이전에 횡철근이 먼저 항복 파괴되는 경우이다. 세 번째 파괴모드는 횡철근과 내부 튜브가 동시에 파괴되는 경우를 들 수 있다.

모드 1은 콘크리트가 3축 구속 상태에 놓이다가 내부 강관의 좌굴 혹은 항복 파괴로 인하여 2축 구속 상태로 된 후에 부재 전체가 파괴되는 것이며, 두 번째의 파괴모드는 횡철근이 먼저 항복 파괴되어 3축 구속 상태에서 비구속 상태로 전이되는 파괴 양상을 갖는다. 세 번째 파괴모드는 횡철근과 내부 튜브가 동시에 파괴되는 경우이다.

내부 튜브의 경우에는 Fig. 3에서 f_{lr} 은 방사 방향의 구속 응력이며 f_{tube} 는 내부 강관의 항복강도이다. 이와 같은 응력상태에 의하여 좌굴 혹은 항복파괴가 나타나는데 좌굴 파괴의 경우 얇은 아치의 스냅-스루(Snap-Through) 좌굴과 유사한 거동을 보인다.

이때 횡철근의 항복 파괴 이전에 내부 튜브의 파괴를 방지하기 위한 좌굴파괴 조건식 Eq.(1)과 항복 파괴 조건식 Eqs.(2)를 한택희 등(2007)에 의하여 제안되었다. 내부 튜브 두께 산정시 2가지 조건식에서 더 큰 값을 적용한다.

$$t_{bk} = \sqrt{\frac{6}{2.27} \frac{D_i^2 f_{yh} A_{sp}}{D' E s}} \quad (1)$$

여기서, D_i : 내부강관의 외경, D' : 구속 콘크리트의 직경, f_{yh} : 외부강관의 항복강도, A_{sp} : 횡철근의 면적, E : 튜브의 탄성계수, s : 횡철근의 간격

내부 튜브는 좌굴 파괴 이외에 항복파괴 될 수 있으며, ICH RC 부재에서 내부튜브의 항복파괴 이전에 횡철근의 파괴를 유도하기 위해서는 내부 튜브에 작용하는 응력이 튜브의 항복강도보다 작아야 한다. 이에 대한 대책으로 항복파괴가 발생하지 않기 위한 튜브의 최소 두께를 제안하였는데 이는 Eqs.(2)와 같다.

$$t_y = \frac{D_i f_{yh} A_{sp}}{D' s f_{yt}} \quad (2)$$

여기서, f_{yt} : 내부 튜브의 항복강도

2.2 기둥의 내진성능 평가 방법

변위 연성도(μ_Δ)는 주어진 최대 응답 변위와 항복변위의 비로 나타내며, 비교적으로 계산이 간단하여 거동 특성 분석에 널리 이용되고 있다. 또한 구조물 전체의 응답을 나타내고 안전한 소성변위를 정의하는데 매우 중요한 지표이다. 항복 및 파괴상태에 따라 항복시점까지 나타나는 최대 응답 변위를 Δy , 파괴 상태까지 도달한 최대응답변위를 Δu 라 하면 Eqs.(3)과 같이 정의 가능하다.

$$\mu_\Delta = \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad (3)$$

서로 다른 기둥 구조물의 극한 변위가 동일하더라도 항복 변위가 다르면 연성도가 상이하므로 변위 연성도를 비교하는데 있어서 먼저 항복변위 및 극한 변위를 명확히 정의할 필요가 있다.

Fig. 4에서 항복변위(Δy)는 Park R.(1988)에 의해 제안된 방법으로 항복 변위를 최대 횡방향 하중의 75%에 대한 할선강선과 최대 횡하중에 대한 수평선의 교점에 대한 변위를 항복 변위로 정의한다. 최대 변위값과 최대 횡하중의 80%에 대한 수평 교점에 대한 변위 큰 값 혹은 감소구간이 없을 경우에는 가장 큰 변위를 최대 응답 변위로 한다.

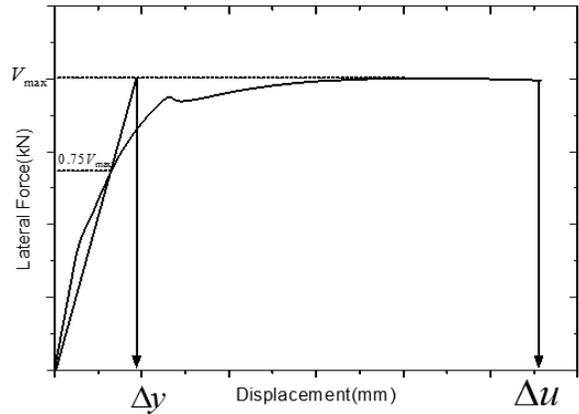


Fig. 4 Displacement ductility (Park R. 1988)

3. ICH RC 기둥의 거동 분석

기존 연구자(한택희 등 2009)에 의해 제안된 비선형 재료 모델과 거동 분석 프로그램을 이용하여 ICH RC 기둥과 중실 RC 기둥, 중공 RC 기둥의 성능을 비교 분석하였다.

3.1 해석 모델의 제원

해석 모델은 중실 RC, ICH RC, 중공 RC로 콘크리트 구조 설계 기준(2007)에 의하여 설계하였다. 기둥의 직경은 2500mm, 높이는 10,000mm로 세장비를 34(장주)로 설계하였다.

Table 1. Dimension of Analysis models(unit : N, mm)

형식	Solid RC	ICH RC	Hollow RC
기둥 직경	2500	2500	2500
중공비	0.0	0.7	0.7
세장비	34	34	34
내부강관두께	0.0	5.9	0.0
콘크리트 강도	27	27	27
종철근비	0.01327	0.01324	0.01339
종철근비 검토	OK	OK	OK
횡철근비	0.00936	0.00936	0.00936
최소횡철근비	0.00926	0.00926	0.00926
횡철근비 검토	OK	OK	OK

ICH RC와 중공 RC는 기둥 외경과 중공부 직경 비율인 중공비를 0.7로 선정하여 비교 하였다. 종철근비는 약 0.013으로 맞추었다. 또한 횡철근비는 심부 구속 철근량 산정식에 의거하여 산정을 하였다. 중공 RC는 Fig. 1과 같이 단면 설계를 하였다.

3.2 단면 성능 비교 분석

단면 형식별 비교 분석은 구속 콘크리트의 재료모델, P-M상관도, 하중-변위 포락곡선, 변위 연성도를 통하여 비교 분석하였다.

Fig. 5는 단면별 구속 콘크리트 재료 모델을 비교한 것이다. 각 단면이 가진 제원에 의하여 구속된 콘크리트의 강도를 나타낸 것이다. 중실 RC 단면과 ICH RC 부재는 횡철근과 내부강관으로 인하여 구속 콘크리트가 3축구속상태가 되는 반면에 중공 RC의 경우에는 내측 중공부가 구속되어 있지 않기 때문에 구속 콘크리트가 2축 구속 상태가 되어 상대적으로 최대 응력과 최대 변형률이 다른 두 가지 형식 대비해 그 크기가 작은 것을 볼 수 있다.

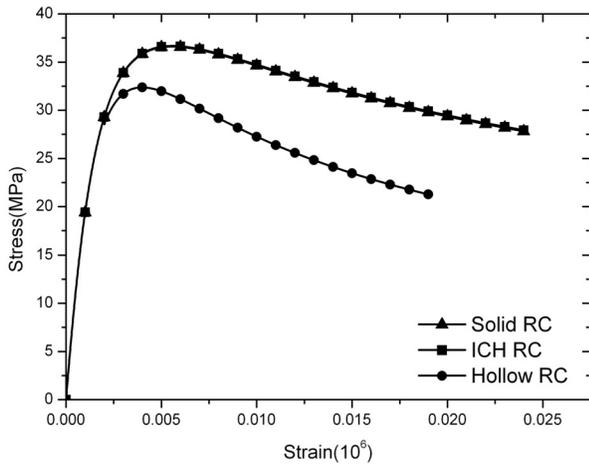


Fig. 5 Material model according to section type

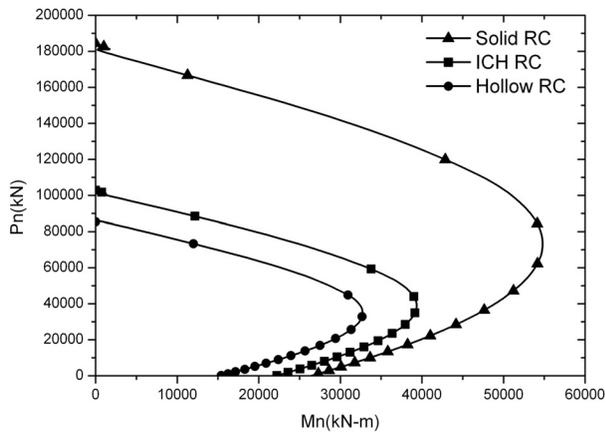


Fig. 6 P-M interaction diagram according section type

그러나 Fig. 7의 하중-변위 포락 곡선을 보면 ICH RC는 중실 RC에 비해 강도 및 강성이 작지만 극한 변위가 더 큰 것을 볼 수 있다. 이는 내부 튜브가 삽입됨으로써 연성도가 상승되었기 때문이다. 내진

성능의 척도인 변위 연성도를 비교 하여 보면 Fig. 8과 같다. 단면 성능과는 다르게 변위 연성도는 중실 RC가 4.21로 가장 작으며, 이에 반해 ICH RC는 5.25, 중공 RC는 4.61로 내진성능이 좋은 것으로 나타났다.

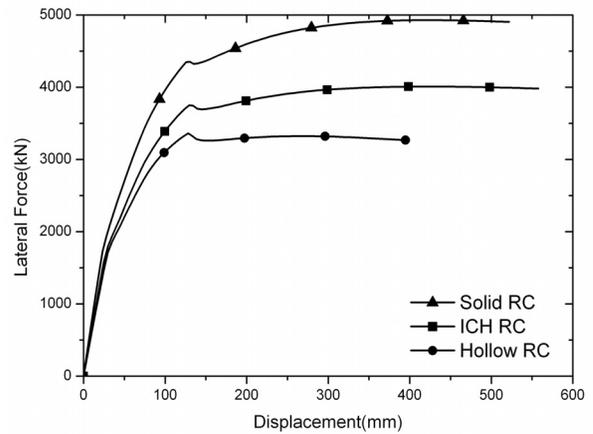


Fig. 7 Lateral force and displacement interaction diagram according to section type

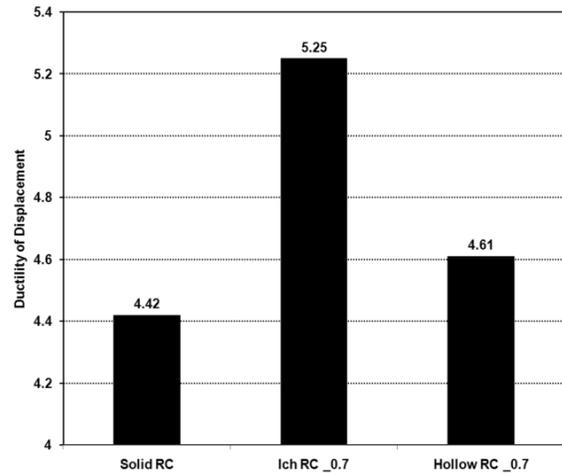


Fig. 8 Displacement ductility according to section type

설계 기준하에 설계된 중실 RC는 강도 및 강성에 대한 성능은 월등히 상승하지만 축력이 크게 요구되지 않는 교각에 사용될 경우에는 필요 이상의 설계력이 산정될 가능성이 매우 크다고 볼 수 있다. 예를 들어 철도교의 경우 최대 변위를 제어하기 위하여 일정한 직경이 확보되어야 하고 내진성능이 좋아야 한다. 이러한 교각들에는 적재적소에 맞는 ICH RC 혹은 중공 RC 단면을 선택하여 시공한다면 경제성 있는 건설을 할 수 있을 것으로 판단된다.

4. ICH RC 기둥의 내진성능에 대한 매개 변수 연구

3장에서와 비교 분석을 통하여 ICH RC 부재가 중실 RC에 비하여 중공부분이 있어 단면 성능은 떨어지지만 자중이 작고 연성도가 좋은 것으로 나타나 내진 성능에 매우 유리한 것으로 나타났다. 본 절에서는 ICH RC 부재를 이루고 있는 변수를 선정하여 각 변수들이 내진성능에 미치는 영향성에 대하여 분석하였다. 변수는 중공비, 횡철근비, 종철근비, 콘크리트 강도를 선정하여 분석을 수행하였다.

4.1 중공비, 종철근비, 내부강관 두께에 따른 거동 분석

Table 2~4는 중공비별 해석 모델의 제원을 나타낸 것으로 공통 제원은 직경 2500mm, 세장비 34, 콘크리트 강도 27MPa 등으로 산정하였다. 표 2는 식 (1)과 (2)에 의하여 산정되는 내부 튜브 두께를 횡철근비가 바뀔 때 따라서 이에 맞게 산정한 것이며, 표 3은 종철근비를 일정하게 산정되도록 종철근의 개수를 조절하였으며, 표 4는 종철근비와 내부 튜브 두께를 기존 기준을 벗어나지 않는 범위에서 고정을 시켰다. 여기에서 최소 횡철근비는 콘크리트 구조 설계 기준에 맞는 심부 구속 철근비 산정식을 적용하여 산정하였으며, 이를 적용하여 해석을 수행하였다.

Table 2. Dimension of analysis models according to hollow ratio and longitudinal reinforcement ratio

중공비	내부강관 두께	종철근비	종철근비 검토	횡철근비	최소 횡철근비	횡철근비 검토
중실 RC	-	0.011	OK	0.00935	0.00925	OK
0.2	1.7	0.01141	OK	0.00935	0.00925	OK
0.4	3.4	0.01283	OK	0.00935	0.00925	OK
0.5	4.2	0.01416	OK	0.00935	0.00925	OK
0.6	5	0.01622	OK	0.00935	0.00925	OK
0.7	5.9	0.01957	OK	0.00935	0.00925	OK
0.8	7.9	0.02561	OK	0.01106	0.01098	OK
0.9	19.5	0.03762	OK	0.02433	0.02422	OK

Table 3. Dimension of analysis models according to hollow ratio (same longitudinal reinforcement)

중공비	내부강관 두께	종철근비	종철근비 검토	횡철근비	최소 횡철근비	횡철근비 검토
중실 RC	0	0.011	OK	0.00936	0.00926	OK
0.2	1.7	0.01107	OK	0.00936	0.00926	OK
0.4	3.4	0.01114	OK	0.00926	0.00936	OK
0.5	4.2	0.01104	OK	0.00936	0.00926	OK
0.6	5	0.01121	OK	0.00936	0.00926	OK
0.7	5.9	0.01122	OK	0.00936	0.00926	OK
0.8	7.9	0.0113	OK	0.01106	0.01099	OK
0.9	19.5	0.01107	OK	0.02433	0.02423	OK

Table 4. Dimension of analysis models according to hollow ratio (Same the longitudinal reinforcement and thickness of internal tube)

중공비	내부강관 두께	종철근비	종철근비 검토	횡철근비	최소 횡철근비	횡철근비 검토
중실 RC	0	0.011	OK	0.00936	0.00926	OK
0.2	19.5	0.01107	OK	0.00936	0.00926	OK
0.4	19.5	0.01114	OK	0.00926	0.00936	OK
0.5	19.5	0.01104	OK	0.00936	0.00926	OK
0.6	19.5	0.01121	OK	0.00936	0.00926	OK
0.7	19.5	0.01122	OK	0.00936	0.00926	OK
0.8	19.5	0.0113	OK	0.01106	0.01099	OK
0.9	19.5	0.01107	OK	0.02433	0.02423	OK

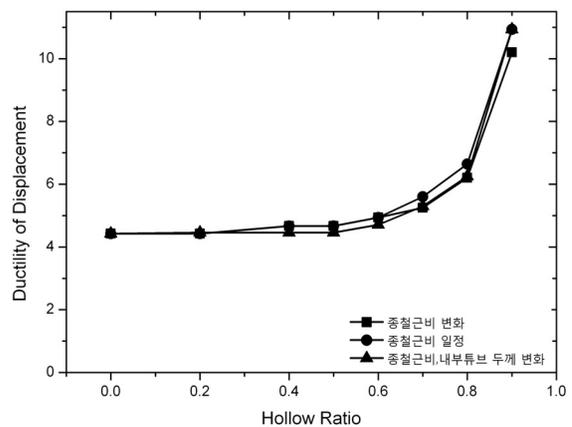


Fig. 9 Change of ductility of displacement according to hollow ratio

Fig. 9는 중공비에 따른 변위 연성도 변화를 나타낸 것으로 중공비가 커질수록 변위 연성도가 커지는

것을 볼 수 있다. 이는 중공비가 커질수록 내부 튜브가 전체 거동 성에 가지는 성능 분담이 점점 커진다고 볼 수 있다. ICH RC가 횡하중을 받을 경우 최종 파괴모드의 경우 횡철근이 파괴되어 종철근이 좌굴 혹은 파단되는 현상을 보인다. 이때 중공비가 커질수록 하중 분담율이 Fig. 10과 같이 내부 튜브의 역할이 점점 커지는 것을 볼 수 있다.

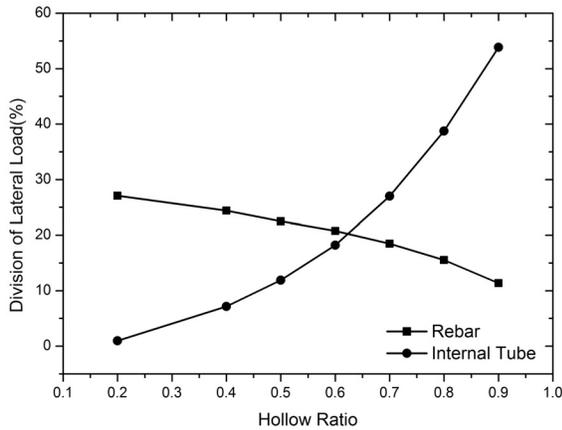


Fig. 10 Division of resistance in internal tube and longitudinal reinforcement for lateral force

Fig. 9에서 변위 연성도가 중공비가 0.5일 때까지 일정하게 유지되다가 중공비 0.6부터 그 증가율이 급격히 커지는 것을 볼 수 있는데 이는 바로 내부 튜브의 하중 분담율이 중공비 0.6을 기준으로 하여 종철근보다 커지기 때문에 종철근이 파괴되지 않도록 내부 튜브가 저항을 함께 저항하여 주기 때문에 변형 성능이 향상되는 것으로 판단된다.

이처럼 중공비가 변위 연성도에 큰 영향을 미치는 반면 종철근비는 Fig. 9에서 보는 바와 같이 그래프의 기울기 등이 미세한 차이는 있지만 전체적인 거동에서는 거의 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 그리고 내부 튜브의 두께의 경우에는 중공비가 작을 경우, 즉 하중 분담율이 적을 경우에는 큰 영향을 미치지 못하나 하중 분담율이 커질수록 변위 연성도에 미치는 영향성이 커지는 것으로 판단된다.

4.2 횡철근비에 따른 거동 분석

Table 5는 횡철근비에 따른 모델 제원을 나타낸 것이다. 공통 제원으로는 직경 및 콘크리트의 강도를 동일하게 하였으며, 중실 RC 그리고 중공비를 0.2~0.9까지 7단계로 나누어 해석을 수행하였으며, 내부 튜브의 두께는 횡철근비에 따라서 산정되는 값을 넣었으며, 횡철근비는 0.009~0.033으로 10단계로 나누어 해석을 수행하였다.

Table 5. Dimension of analysis models according to transverse reinforcement ratio

중공비	직경	내부 튜브 두께	종철근비	횡철근비	콘크리트 강도
중실 RC	2000	-	0.0116	0.009-0.033	27
0.2	2000	1.4-4.8	0.0120	0.009-0.033	27
0.4	2000	2.7-9.5	0.0134	0.009-0.033	27
0.5	2000	3.4-11.8	0.0147	0.009-0.033	27
0.6	2000	4.1-14.2	0.0166	0.009-0.033	27
0.7	2000	4.7-16.6	0.0197	0.009-0.033	27
0.8	2000	5.4-18.9	0.0251	0.009-0.033	27
0.9	2000	6.1-21.3	0.0363	0.009-0.033	27

Fig. 11은 횡철근비에 따른 변위 연성도 변화를 나타낸 것이다. 중실 RC와 중공비 0.4까지는 횡철근비가 증가할수록 변위 연성도 증가율의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 중공비 0.6이상부터는 현저하게 큰 기울기를 가지고 변위 연성도가 상승하는 것을 볼 수 있다. 이는 Fig. 12와 같이 횡철근비가 상승함에 따라 구속 콘크리트의 최대 강도 및 최대 변형률이 상승함으로써 기둥의 연성도가 상승하기 때문이라 판단된다.

구속 콘크리트의 연성도 증가 이외에도 4.1절에서 언급한 중공비에 따라 내부 튜브의 분담율이 증가하는 원인으로 증가하게 되며, 또한 횡철근비가 증가함에 따라 내부 튜브의 두께가 상대적으로 두꺼워진다. 이렇게 3가지의 원리가 적용이 되는 중공비 0.6 이상부터 횡철근비에 따른 변위 연성도의 증가량이 커진 것으로 판단된다.

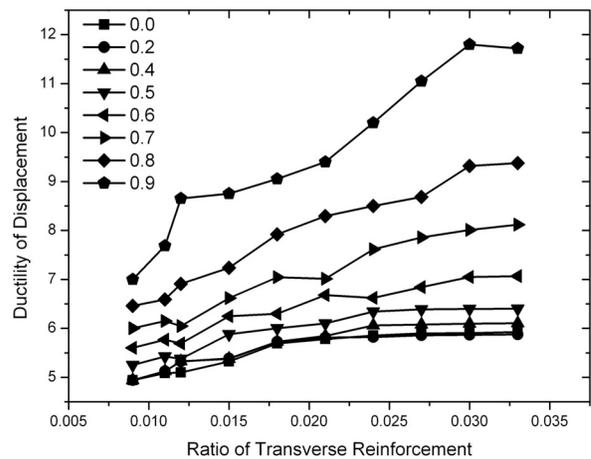


Fig. 11 Change of ductility of displacement according to transverse reinforcement

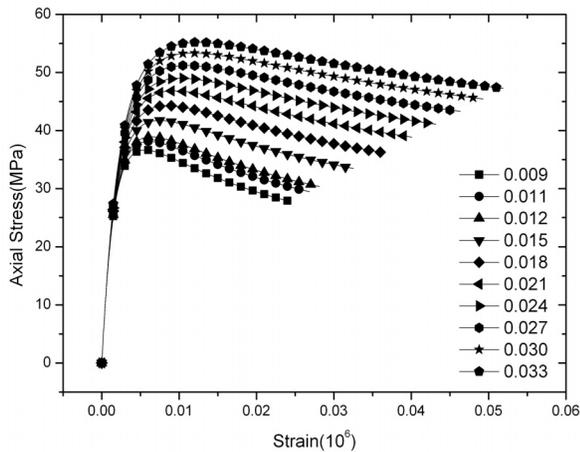


Fig. 12 Change of material models according to transverse reinforcement (hollow ratio 0.7)

4.3 콘크리트 강도에 따른 거동 분석

콘크리트 강도에 따른 거동의 해석 모델은 4.2절의 중공비 0.7을 선정하여 21MPa, 24MPa, 27MPa, 30MPa로 구분하여 해석을 수행하였다. 기본적인 제원은 Table 5와 동일하다.

Fig. 13은 콘크리트 강도에 따른 변위 연성도 변화를 나타낸 것으로 콘크리트 강도가 커질수록 변위 연성도가 작은 것을 볼 수 있다. 그러나 전체적으로는 횡철근비에 따라 변위 연성도가 증가하는 경향은 거의 유사한 것을 알 수 있었다. 콘크리트 강도가 커짐에 따라서 변위 연성도가 작은 이유는 바로 콘크리트의 특성에 있다. 콘크리트는 기본적으로 강도가 커질수록 취성화되는 경향성을 보이는데 이는 최대 강도는 증가하지만 극한 변형률이 작아지는 경향을 가지는 특징을 지닌다. 이는 Fig. 14의 구속 콘크리트 재료모델을 보면 알 수 있다. 콘크리트 강도가 증가함에 따라 최대 강도는 커지지만 극한 변형률은 작아지는 것을 볼 수 있다. 여기에서 각 강도에 따른 극한 변형률은 21MPa (0.05369), 24MPa (0.04965), 27MPa (0.04633), 30MPa (0.04353)이다. 이러한 이유로 콘크리트 강도가 커질수록 취성화되기 때문에 이를 적용한 기둥도 변위 연성도가 떨어지게 되는 것으로 판단된다.

Table 6은 강도별 구속 콘크리트가 동일한 극한 변형률을 얻기 위한 횡철근비를 나타낸 것이다. 콘크리트의 강도가 증가할수록 동일한 극한 변형률을 얻기 위해서는 더 많은 횡철근이 필요하다는 것이며, 이는 동일한 변위 연성도를 얻기 위해서 더 많은 횡철근량이 필요하다는 것을 알 수 있다.

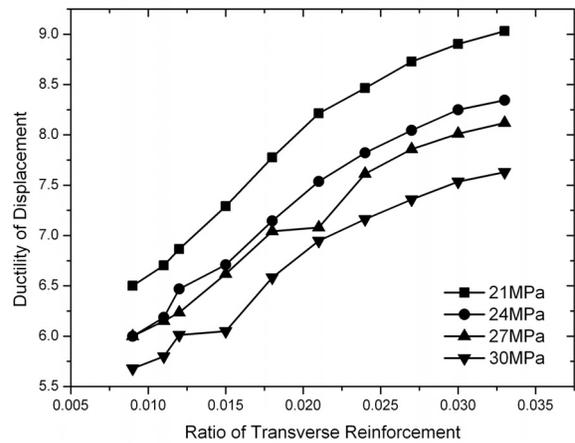


Fig. 13 Change of ductility of displacement according to strength of concrete (hollow ratio 0.7)

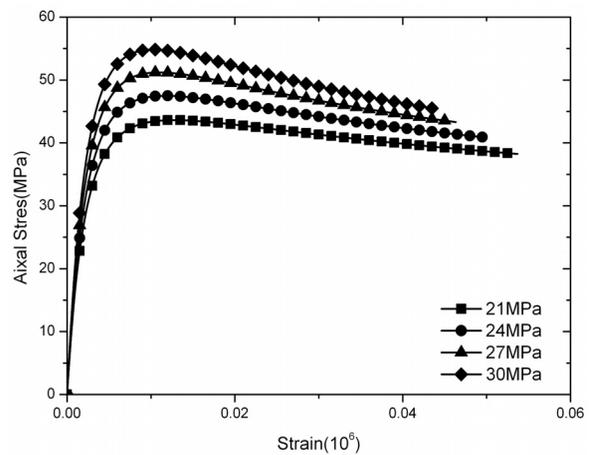


Fig. 14 Change of material model according to strength of concrete (hollow ratio 0.7)

Table 6. Transverse reinforcement under same ultimate strain (hollow ratio 0.7)

	21MPa	24MPa	27MPa	30MPa
횡철근비	0.011	0.013	0.015	0.017
극한변형률	0.032	0.032	0.032	0.032

5. 결론

본 연구는 내부 구속 중공 철근콘크리트 부재 (ICH RC, Internally Confined Hollow RC member)의 내진성능 평가를 위하여 전용프로그램을 이용하여 매개변수를 연구 수행하였으며, 이 연구의 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

1) ICH RC 부재는 중실 RC에 비해 중공부로 인하여 축력에 대한 저항성은 저평가 되지만 강관이 삽입됨으로써 변위 연성도가 증대되어 내진성능이

우수해 지는 것으로 평가된 바 축력이 크게 요구되지 않으면서 내진성능을 필요로 하는 단면에 적용한다면 매우 효율적이라 판단된다.

2) 중공비가 커질수록 내진성능이 비선형적으로 향상되는 것을 볼 수 있는데, 이는 중공비가 커지면서 내부 튜브의 하중 분담율이 커져 종철근이 더욱 오래 견디도록 유도하기 때문이다. 이때의 가장 효율적인 중공비는 0.6~0.8의 단면을 적용하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

3) 종철근량의 증가와 내부 튜브 두께의 증가로 축강도 및 모멘트 강도는 증가할 수 있으나, 항복변위와 극한 변위가 일정하게 증가하기 때문에 그 비율인 변위 연성도는 영향을 받지 않고 동일하다. 그러나 내부 튜브의 경우에는 제한적으로 중공비 0.6 이상처럼 하중 분담율이 커질수록 변위연성도가 미소하게 증가하게 하는 역할을 하는 것으로 판단된다.

4) 횡철근비가 증가할수록 구속 콘크리트의 강도 및 연성도 증가로 인한 기둥의 변위 연성도 증가와 동시에 내부 튜브 하중 분담율의 증가로 인하여 중공비가 커짐에 따라서 변위 연성도 증가량이 커짐을 볼 수 있다.

5) 콘크리트 강도가 증가함에 따라 변위 연성도가 작아지는데 이는 콘크리트 강도가 커질수록 취성화되는 성질을 가지고 있어 최대 강도는 증가하나 극한 변형률은 작아진다. 이러한 이유로 동일한 구속 효과를 발휘하기 위해서는 더 많은 횡철근이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 서울산업통상진흥원에서 시행한 2011년도 특허기술상품화 기술개발 지원 사업의 연구비 지원(과제번호: PA110020)에 의하여 수행된 연구임.

REFERENCES

J.H. Choi, K.Y. Yoon, T.H. Han. and G.S. Yi. (2007) Behaviors of Internally Confined Hollow Reinforced Concrete Piers by Thickness of Internal Steel Tube. *Journal of The Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol.8, No.2, pp.333-338.

J.H. Choi, K.Y. Yoon, T.H. Han, and Y.J. Kang (2007) Behaviors of Hollow RC Columns with Internal Steel Tube by Hollow Ratio. *Journal of Korea Disaster Prevention Association*, Vol.7, No.3, pp.1-7.

Korea Concrete Institute (2007) Structural Concrete Design Code.

Mander J. B., Priestly M. J. N. and 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) Ductility Evaluation from Laboratory and Analytical Testing. *Proceeding of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo, Japan, Vol.8.*

T.H. Han, D.H. Won, G.S. Yi, and Y.J. Kang. (2009) Behavior of Internally Confined Hollow RC Columns. *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.21, No.5, pp.57-668.

T.H. Han, H.J. Kim, Y.J. Kim, and Y.J. Kang (2006) Confining Effect of an Internal Steel Tube in a Circular Hollow RC Column. *Journal of Korea Society of Civil Engineers*, Vol.26, No.4, pp.565-575.

T.H. Han, N.H. Lim, S.Y. Han, J.S. Park, Y.J. Kang (2008) Nonlinear Concrete Model for an Internally Confined Hollow Reinforced Concrete Column. *Magazine of Concrete Research*, Vol.60, No.6, pp.429-440.

T.H. Han, S.Y. Han, and Y.J. Kang. (2007) Development of a Nonlinear Material Model for an Internally Confined Hollow Reinforced Concrete Member. *Journal of Korea Society of Civil Engineers*, Vol.27, No.1A, pp.11-26.