축하중을 받는 ICH-CFT 단면의 비선형 거동 분석

Nonlinear behavior analysis of ICH-CFT section under axial force

박종근* · 한택희** · 유재홍*** · 강영종****

Park, Jong Gun · Han, Taek Hee · Yoo, Chai Hong · Kang, Young Jong

Abstract

A ICH-CFT colunn(internally confined hollow-concrete filled tube column) has many advantages compare with R.C column and CFT column. For example using a hollow section, it is possible to save material and to reduce self weight of column. Also two steel tubes on both sid of concrete,inner and outter tube, can improve ductility of ICH-CFT column. But study about ICH-CFT section has done only theoretically. Thus although ICH-CFT column has many advantages, ICH-CFT column dosen't use in construction. In this thesis, through out 3-D full modeling using ABAQUS analyze the nonlinear behavaior of ICH-CFT column. And using the analysis result, review the theoretical knowledge.

key words : ICH-CFT, Material nonlinearity, Confining pressure, Poisson effect

1. 서 론

ICH-CFT(internally confined hollow-concrete filled tube) 기둥은 기존에 이용되어 오던 R.C 기둥에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 예를 들어 콘크리트 내부의 중공 부분에 의해 재료비 절감과 동시에 기둥의 자중 절감 효과를 가져 올 수 있으며, 충전 콘크리트 양쪽을 둘러싸고 있는 내 외부 강관에 의해 콘크리트가 3축 구속 상태에 있게 되어 콘크리트의 성능 또한 향상된다. 그리고 내 외부 강관이 이용되는 경우 기둥의 연성도 증진 효과도 기대 할 수 있다.

하지만 한택희 박사 논문(2005)에 의해 개발된 ICH-CFT 단면은 아직까지 많은 연구가 되어 있지 않다. 지금까지 ICH-CFT 단면에 대한 연구는 기존의 콘크리트 기둥에 적용되어 오던 이론적 배경을 이용한 것이 대부분이다. 게다가 ICH-CFT 기둥은 기존의 실험 결과가 있는 ICH-R.C 기둥과는 달리 주철근과 횡철근을 대신하여 외부 강관이 이용되고 있기 때문에 이 차이가 내부 강관의 거동에 미치는 영향에는 차이가 있을 것이다. 물론 반복 하중을 받고 있는 ICH-CFT 기둥의 실험을 통해 하중 변위 이력 곡선을 구하기는 했지만 이를 통해 ICH-CFT 단면의 거동을 충분히 파악하기에는 부족하다.

그러므로 본 논문에서는 ICH-CFT 단면에 대해 구조해석 범용 프로그램 ABAQUS로 3차원 full modeling 하여 해석 결과와 이론을 바탕으로 만들어진 한택희 박사 논문(2005)의 프로그램 결과와 비교하여 기존의 이론을 검토 하는 반면, 잘못된 부분에 대해서는 수정하도록 하겠다.

2. 해석 연구 개요

ICH-CFT 단면에 대한 실험 결과가 없기 때문에, 기존의 실험 결과가 있는 CFT 단면에 대한 해석을 먼저 수행하여 해석 방법을 검증한 후, ICH-CFT 단면에 대한 해석을 수행하였다.

* 비회원 · 고려대학교 건축 · 사회환경공학과 · 석사 · E-mail : 99210788@korea.ac.kr
** 정회원 · Auburn University 토목공학과 · Visiting Scholar
*** 비회원 · Auburn University 토목공학과 · 명예교수
**** 정회원 · 고려대학교 건축 · 사회환경공학과 · 교수

2.1 해석 제원

콘크리트와 강관의 비선형 물성치는 다음과 같다. 콘크리트의 물성치는 한택희 박사논문(2005)의 것을 이용하였으며, 강관의 물성치는 bi-linear 모델을 이용하였다.

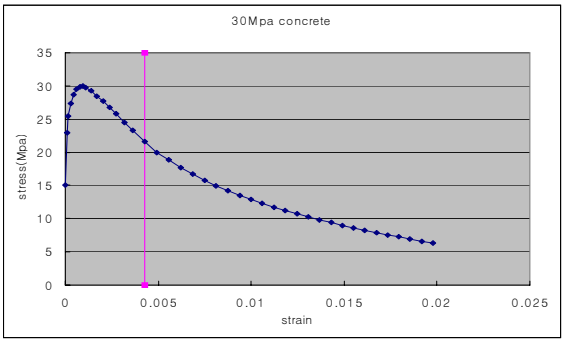

그림 1. 콘크리트의 응력 변형률 곡선

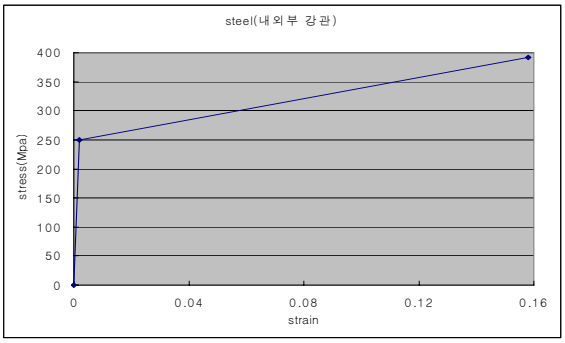

그림 2. 강관의 응력 변형률 곡선

사용 요소는 중공 콘크리트는 솔리드 요소(C3D8R)을 이용하였고, 내·외부 강관은 쉘 요소(S4R)을 이용하였다. 콘크리트와 강관 사이의 처리는 frictionless로 하였으며, 완전 비합성으로 가정하였다.

3. 해석 결과 및 분석

3.1 CFT 에 대한 해석 결과

비교는 ABAQUS 를 이용하여 해석한 결과와 한택희 박사 논문(2005)의 프로그램(이상 Han's program)과 실험 결과를 비교하였으며, 이 결과를 통해 ABAQUS를 이용하여 해석한 것이 Han's program에 의한 결과 보다 더 실험 결과를 잘 반영함을 증명하였다. 각각에 의한 응력 변형률 선도는 다음과 같다. 실험 결과는 임석빈(2004) 석사 논문의 결과를 이용하였다.

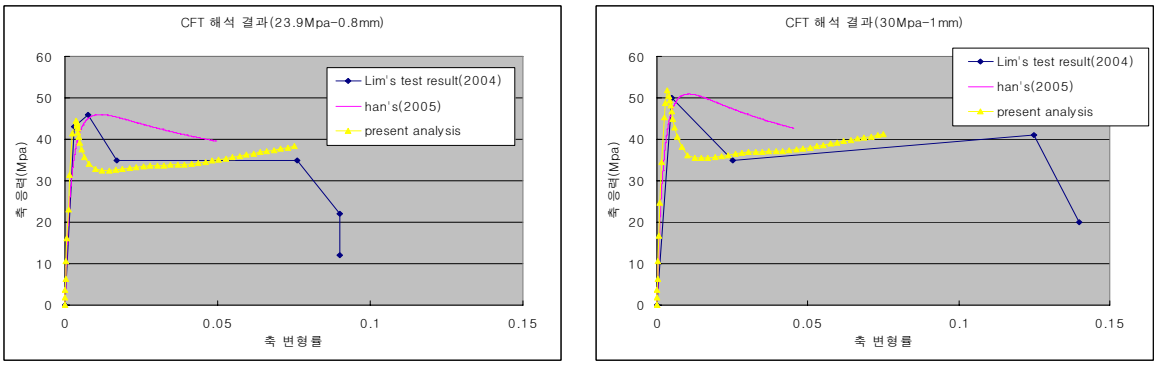

그림 3. CFT 에 대한 응력 변형률 선도 비교

CFT에 대한 해석 결과는 그림 3과 같으며, 비교 결과 ABAQUS를 이용하여 해석한 경우나 Han's program 을 이용한 경우 모두 최대 축응력의 크기는 유사하게 나왔지만 Han's program보다는 ABAQUS를 이용하여 해석한 경우가 축하중을 받고 있는 CFT 의 응력 변형률 선도를 더 잘 모사한다. 기본적으로 실험 결과는 최초 peak 점의 응력에 도달 한 후 응력의 크기가 급격히 감소한 후 소성 구간이 존재하지만 Han's program은 이를 모사하지 못하고 있음을 알 수 있다.

3.2 ICH-CFT에 대한 해석 결과

CFT 에 대한 해석 결과 ABAQUS를 이용하여 해석 할 경우 실험 결과를 잘 반영하고 있음을 바탕으로 기존에 실험 결과가 없는 ICH-CFT 단면에 대하여 해석을 해 보았다. 해석은 콘크리트 직경 400mm에 대해 수행하였으며 중공 부분은 직경 200mm 로 하였다. 내 외부 강관의 두께는 0.2mm부터 8mm 까지로 변화시키며 해석하였다. 사용 요소와 강관과 콘크리트 사이의 처리는 CFT 의 것과 동일하다. 이론적인 수식에 의한 결과(Han's program 의 결과)는 다음과 같다.

-외부 강관 최소 요구 두께 : 4mm

-내부 강관 최소 요구 두께 : 내부 강관 항복에 대해 4mm, 내부 강관 좌굴에 대해 : 1.67mm

-내 외부 강관 방향으로 작용하는 confining pressure : 10Mpa

이며, 내부 강관은 최소 요구 두께를 만족시키지 못할 경우를 ICH-CFT 단면의 파괴로 가정하였다. 그리고 내외부 강관 방향으로 작용하는 confining pressure 는 서로 동일한 것으로 가정하였다.

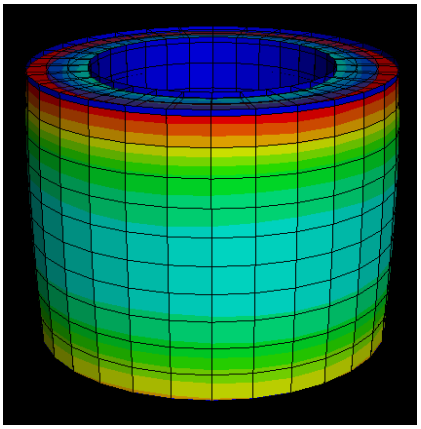

그림 4. ICH-CFT 에 대한 해석 전후 모델

해석 결과는 다음과 같다.

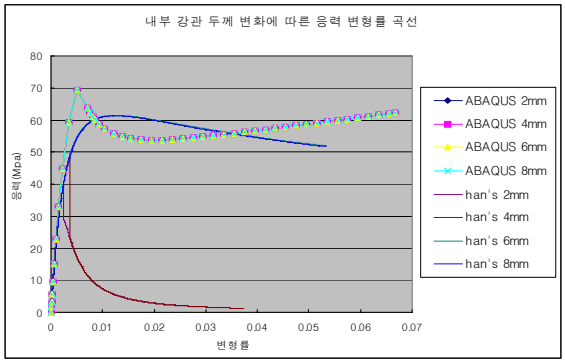

그림 5. 내부 강관 두께 변화

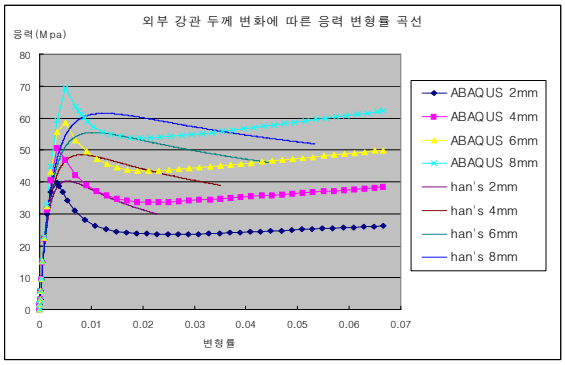

그림 6. 외부 강관 두께 변화

그림 5는 외부 강관 두께를 8mm 고정 한 후 내부 강관 두께를 변화 시켜가며 해석 한 것이고 그림 6은 내부 강관 두께를 8mm 로 고정 한 후 외부 강관 두께를 변화 시킨 것이다. 외부 강관 두께가 변하는 경우 외부 강관의 radial 방향 강성 차에 따라 ICH-CFT 단면이 받을 수 있는 최대 응력이 점차 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 하지만 내부 강관의 경우 내부 강관이 최소 요구 두께 4mm 를 충족 시키는지 여부가 Han's program 에서는 응력 변형률 선도의 큰 변수가 되었다. 하지만 ABAQUS를 이용하여 해석한 결과 내부 강관 2mm 까지는 충분히 구속 효과를 발휘 할 수 있는 것으로 나타나고 있다. 그래서 내부 강관의 두께

를 더 얇게 하여 해석을 수행하였으며, 내부 강관 밑 내부 강관 방향으로 작용하는 confining pewssure 의 크기를 비교하여 보았다.

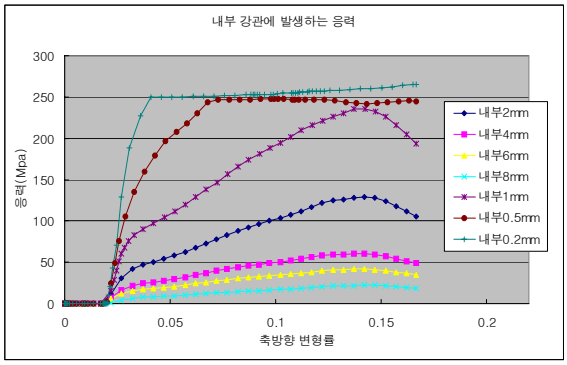

그림 7. 내부 강관에 발생하는 응력

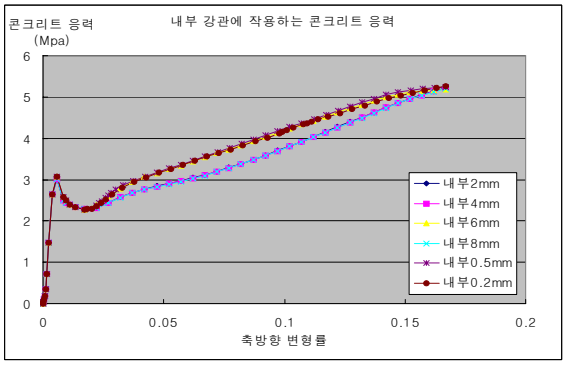

그림 8. 내부 강관에 작용하는 콘크리트 응력

이론적인 결과에서는 내부 강관이 4mm 이하인 경우 내부 강관이 항복하여 더 이상 구속 효과를 발휘하지 못하는 것으로 하였지만, 실제 해석 결과 내부 강관의 항복은 0.2mm 가 되어야 발생하였으며, 내부 강관이 항복하여도 ICH-CFT 단면은 구속효과를 발휘하는 것을 알 수 있었다. 그리고 내 외부 강관 방향으로 작용하는 confining pressure 는 외부 강관 방향으로는 이론치인 10Mpa 와 같은 값을 보였지만, 내부 강관 방향으로는 3.12Mpa 정도로 외부 강관 방향으로 발생하는 것 보다 작은 값을 갖는 것을 확인 할 수 있다.

4. 결 론

ICH-CFT 단면은 축하중을 받는 경우 기본적으로 내 외부 강관 방향으로 똑 같은 포아송 효과를 발휘하며, 같은 크기의 confining pressure 가 발생하는 것으로 하였지만, 실제 해석 결과 외부 강관 방향의 confining pressure는 이론값과 같은 결과를 보였지만, 내부 강관 방향으로 작용하는 confining pressure는 외부 강관 방향으로 작용하는 것 보다 더 작게 나왔다. 그 결과 기존에 이용되던 내부 강관의 최소 요구 두께는 더 작아져도 충분히 구속 효과를 발휘 할 수 있을 것이다. 그리고 내부 강관의 항복은 ICH-CFT 단면의 파괴를 의미하였지만, 해석 결과 내부 강관이 항복하더라도 ICH-CFT 단면은 파괴에 이르지 않았으며 그 이후에도 충분한 구속 효과를 발휘하였다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 건설 기술 연구 개발 사업 최종 연구 보고서(2005) '강관 삽입 중공 RC 고교각 개발'
2. 한택희(2005) 'Development of Enhanced Ductile Hollow Columns with Internal Confinement' 고려대학교 학위논문
3. Ehab Ellobody, Ben Young(2006) 'Nonlinear analysis of concrete-filled steel SHS and RHS column'
4. 장태영(2004) '비조밀 단면을 이용한 SC 합성 기둥의 압축 내력에 관한 비선형 유한요소 해석' 고려대학교 학위논문
5. ABAQUS(2006), Standard User's Manual, Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc., Vols. 1, 2 and 3, Version 6.6.
6. 임석빈(2004) '구속 조건이 콘크리트 응력-변형률 관계에 미치는 영향' 고려대학교 학위논문
7. Wang Chuan-Zhi(1987) 'Evaluation of strength criteria for very-high-strength concrete under triaxial compression'