

CFT 기둥-RC 무량판 슬래브 외부접합부의 횡저항 성능

Lateral Resisting Capacity for CFT Column to RC Flat Plate Slab Exterior Connections

송 호 범* 송 진 규** 오 상 원*** 김 병 조***
Song, Ho Beom Song, Jin Kyu Oh, Sang Won Kim, Byung Jo

ABSTRACT

A combination of CFT column and RC flat plate without formworks is very effectively rapid constructions. This paper verified the lateral resisting capacity of CFT column-RC flat plate exterior connection in comparison with general RC column-flat plate connection and detected moment capacity and ductility capacity of connection according to moment-displacement ratio. We made and tested specimens which have different variables respectively and as a result derive a following conclusion. In CFT-E2 specimen a critical section was extended and maximum moment increased 20% respectively in comparison to general RC column specimen. In BME and CFT-E1 specimens generally shear governed behaviors and CFT-E2 specimen complemented with seismic band, flexure behavior region of slab was extended and also ductility ratio and energy absorptance increased.

요 약

콘크리트충진 강관기둥(Concrete Filled steel Tube Column)과 RC 무량판 슬래브의 조합은 거푸집을 사용하지 않는다는 것만으로도 초고층 건물의 공기단축에 상당한 영향을 미칠 수 있다. 뿐만 아니라 기둥의 내력 증진으로 인한 기둥 크기의 축소, 그로 인한 공간 활용도의 증가, 층간 소음문제 해결 등 많은 장점이 잠재되어 있다. 하지만 접합부의 성능을 정확히 밝혀내는 것이 우선 이루어져야 하며, 본 논문에서는 기존에 수행된 CFT 기둥-RC 무량판 슬래브의 내부접합부에 대한 중력 실험과 횡하중 실험을 바탕으로 외부접합부에 대한 실물대 실험을 수행하였다. 외부접합부 실험 결과, 내부접합부 실험체에 비하여 동일한 조건에서 설계된 외부접합부 실험체는 최대 모멘트강도가 50%~65% 감소하였고, 내진밴드가 추가된 CFT-E2 실험체는 BME 실험체에 비하여 20%의 최대모멘트 증진과 탁월한 연성능력, 에너지 흡수능력을 보유한 것으로 나타났다. 또한 CFT-E2는 내진밴드의 사용으로 슬래브의 휨거동 영역이 확장되었으며 모든 실험체가 설계기준에서 요구하는 $0.4 V_c$ 중력하중 하에서 1.5% 횡변위비를 만족하였다.

* 정회원, 전남대학교 건축공학과 박사과정

** 정회원, 전남대학교 건축학과 교수

*** 정회원, 전남대학교 건축공학과 석사과정

1. 서 론

최근 들어 콘크리트충진 강관기둥(Concrete Filled steel Tube Column)은 높은 내력으로 인하여 기둥을 축소할 수 있고, 거푸집 생략으로 인한 공기단축, 높은 내진성능, 뛰어난 내화성능 등의 장점 때문에 고층건물에 사용되는 빈도가 높아지고 있다. 본 논문에서는 CFT 기둥에 RC 무량판 슬래브를 접목하여 공기단축과 공간 활용도를 극대화하기 위한 방법으로 CFT 기둥과 RC 무량판 슬래브 외부접합부를 개발 및 실험하고 기 수행된 내부접합부의 중력하중 실험¹⁾, 횡하중 실험²⁾을 바탕으로 외부접합부의 횡저항 성능을 검증하고자 한다.

CFT 기둥과 RC 무량판 슬래브의 중력하중 실험 결과¹⁾, 휨철근을 CFT 기둥에 완전 관통시키고 포스트 펀칭철근을 배근한 전단머리를 갖는 CFT 기둥-RC 무량판 슬래브 접합부의 펀칭강도가 RC 기둥-무량판 슬래브의 펀칭강도를 상회한다는 것이 실험을 통하여 검증되었다. 또한 횡하중 실험 결과²⁾, 모든 실험체가 설계기준에서 요구하는 $0.4 V_c$ 중력하중 하에서 1.5% 횡변위비를 만족하였으며, CFT 실험체는 BM 실험체에 비하여 초기강성은 35%, 모멘트는 25~50% 증가하였다. 접합부의 변형 능력을 나타내는 에너지 흡수 능력에서도 CFT 실험체가 모멘트의 증가로 인하여 BM 실험체에 비하여 높게 나타났다.

본 논문의 외부접합부 횡하중 실험 대상은 내부접합부 실험체를 기준으로 선정하였으며, CFT 기둥의 경우 강관의 두께가 19mm이고 전단키 역할을 하는 전단머리의 길이가 270mm로 내부접합부 실험체와 동일하게 설계를 하였다. 이처럼 본 연구에서는 전단머리(Shear Head)가 전단키 역할을 하는 CFT 기둥-RC 무량판 슬래브 외부접합부의 실물대 실험을 통하여 횡하중에 대한 저항성능을 고찰하고 RC 기둥-슬래브 접합부와 성능차이를 검증하고자 한다.

2. 실험 프로그램

2.1 실험 개요

실험체의 프로토타입은 KBC 2005³⁾에서 규정하는 중요도(특)의 건축물로 허용층간변위비는 1.0%로 제한하였다. 또한 실물대 실험과 실험체의 제작 및 운반을 고려하여 실험체의 슬래브 두께는 200mm, 기둥 크기는 400mm×400mm, 층간 높이는 3000mm로 설계하였다. 이 때, 횡하중 방향과 직각방향의 슬래브 경간은 4000mm, 평행방향의 슬래브의 경간은 오버행을 고려하여 슬래브 유효두께만큼, 중력하중 경계조건을 위하여 500mm만큼 증가한 2870mm로 설계를 하였다.

표 1 실험 변수

Type	Column Type	전단머리길이 (mm)	중력하중크기 (% of V_c)	내진보강제
BME	RC	-	40	-
CFT-E1	CFT	270	40	-
CFT-E2	CFT	270	40	내진밴드

실험체의 슬래브는 그림 1에서 보이는 바와 같이 단부에 44개의 30mm, 4개의 50mm 직경의 구멍을 설치하였다. 24개소의 30mm, 4개소의 50mm 직경의 구멍은 중력하중에 대하여 경계조건을 만족시키기 위한 단부 구속 시스템(Edge Restraint System)의 고정이, 나머지 20개소는 횡하중에 대하여 경계조건을 만족시키기 위한 힌지 시스템(Hinge System)의 고정이 목적이다. 그림 2는 CFT-E1 실험체의 상세를 나타낸 것이다.

횡하중 저항성능에 관한 주요 관심사는 기둥-슬래브 접합부의 횡변위 성능에 관한 것이다. 지진 등의 횡하중에 의하여 유발되는 무량판 건물의 횡방향 변형을 수용하기 위해서는 충분한 횡변위 성능을 확보하여야 한다. Moehle⁴⁾는 슬래브-기둥 접합부가 1.5%

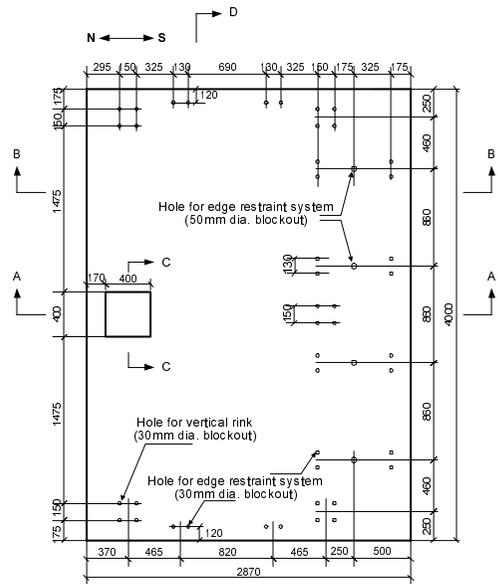


그림 1 프로토타입 평면

이상의 층간변위비 성능 확보하기 위해서 무량판에 작용하는 중력하중의 크기를 공칭 편칭전단강도의 40%이하가 되도록 제한할 것을 제안하였다. 이에 기초하여, ACI 318-05⁵⁾는 요구변위성능에 따라 계수 중력하중비가 공칭 편칭전단강도의 40%이상인 무량판 골조의 경우에 층간변위비 1.5%를 확보하기 위해서 슬래브를 전단 보강하여야 한다고 제한하고 있다.

2.2 실험체 셋업 및 측정

실험체 설치는 그림 3과 같다. 실험체 기둥의 하단부는 힌지가 되도록 하였고 수직하중을 위한 유압재와 힌지 사이에는 2000kN의 수직 하중계를 설치하였으며 기둥 하부의 힌지를 양측의 베이스플레이트에 연결함으로써 수평 방향 이동을 구속하였다. 기둥 상부는 1000kN 용량의 액츄에이터를 연결하여 남-북 방향으로 반복 횡하중을 가력하였다. 슬래브 단부에는 5개의 힌지 시스템을 설치하였고 힌지 시스템의 양단을 핀 접합하여 슬래브 단부의 수직방향 이동은 구속하고 수평방향 이동 및 회전은 자유롭게 하였다. 또한 슬래브의 상부에는 단부 구속 시스템을 남-북 방향으로 4개, 동-서 방향으로 4개 설치하여 중력하중에 대한 슬래브의 단부를 구속하게 하였다. 그리고 동-서 방향의 슬래브 단부는 횡좌굴 방지 시스템을 설치하여, 횡하중 실험 과정에서 실험체에 비틀림이 발생하지 않도록 하였다.

실험은 중력하중 재하 과정과 횡하중 재하 과정으로 구분된다. 중력하중은 기둥 하부에 설치된 유압재를 이용하여 치올림에 의한 변위하중을 가력하였다. 이때, 중력하중은 그 크기가 슬래브의 공칭 편칭전단강도의 40%($0.4V_c$)가 될 때까지 단조 가력하였다. 수직하중이 목표치에 도달한 후, 모든 계측 장치를 초기화하였다. 횡하중 반복 이력은 기둥 상부에 연결된 액츄에이터를 이용하여 하중 작용점의 변위량에 따른 변위제어방식으로 반복 가력하였다. 이때, 반복 횡하중 실험이 진행되는 동안, 접합부에 작용하는 중력하중비가 일정하게 유지되도록 치올림 변위를 조절하였다.

3. 실험 결과 및 분석

그림 4~6은 각 실험체의 이력곡선을 나타낸 것이다. 기준 실험체인 BME의 경우, 슬래브 유효깊이 만큼의 오버행(170mm)을 둔 결과로 내부접합부와 유사한 거동을 나타냈으며 2.0%의 횡변위비에서 최대강도 $104kN \cdot m$ 에 도달하였고, 2.5% 횡변위비 첫 번째 사이클에서 급작스럽게 편칭파괴되었다. 이 결과를 내부접합부 실험체와 비교해보았을 때, 0.5%의 횡변위비가 증진되었고 최고 모멘트강도가 50% 감소되었다.

CFT-E1 실험체는 1.5% 횡변위비에서 최대강도 $99kN \cdot m$ 을 나타냈고 2.0% 횡변위비 첫 번째 사이클에서 50%의 강도 저감을 나타내며 파괴되었다. 이는 BME 실험체와 동일하게 제작한 오버행이 효과를 발휘하지 못한 것으로 판단된다. 내부접합부 실험체와 비교해보았을 때, 0.2%의 횡변위비와 최고 모멘트강도의 65%가 감소되었다.

CFT-E2 실험체는 1.5% 횡변위비에서 최대강도 $120kN \cdot m$ 을 나타냈고 3.0% 횡변위비 첫 번째 사이클에서 40%의 강도 저감을 나타내며 파괴되었다. 내진밴드의 효과로 인하여 슬래브 휨철근의 항복이 지연되어 CFT-E1 실험체에 비하여 20% 가량의 강도증진을 나타내었으며 접합부의 연성비 또한 증

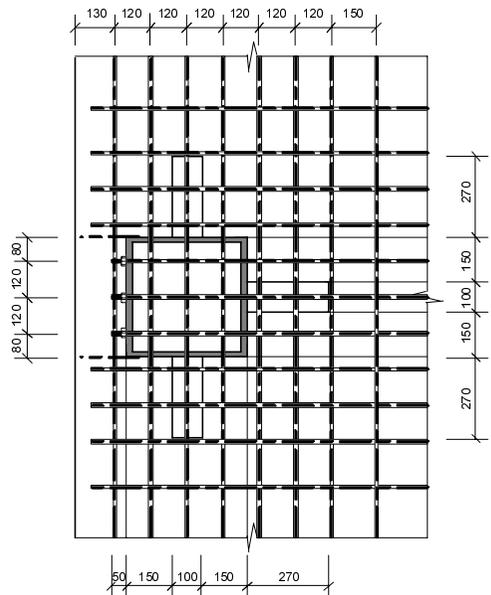


그림 2 CFT-E1 실험체의 상세 도면



그림 3 CFT-E1 실험체의 셋팅 사진

진되었다.

접합부의 성능을 표현하는 하나의 지표로 변위성능을 반영할 수 있는 에너지 흡수 능력을 이용할 수 있다. 에너지 흡수 능력은 접합부의 내진성능을 평가하는 중요한 인자로서 이력거동 곡선의 면적으로 산정된다. 에너지 흡수 능력에 대하여 각 시험체의 결과를 분석하면 BME 시험체에 비하여 CFT-E1 시험체는 큰 차이가 없었으나 CFT-E2 시험체는 내진밴드의 영향으로 상당히 큰 효과를 나타냈다.

4. 결론

본 연구에서는 CFT 기둥-RC 무량판 슬래브 외부접합부의 성능에 대한 실험을 실시하여 실험변수에 따른 접합부 성능 발현의 차이를 다음과 같이 분석하였다.

- (1) 내부접합부 시험체에 비하여 외부접합부 시험체는 최대 모멘트강도가 50%~65% 감소하였다.
- (2) RC 기둥-슬래브 외부접합부의 경우, 오버행의 효과를 확인할 수 있으나 CFT 기둥-RC 슬래브 외부접합부의 경우, 철근 배근 등의 다른 대안이 제시되어야 할 것이다.
- (3) CFT-E2 시험체는 BME 시험체에 비하여 20%의 최대모멘트 증진과 탁월한 연성능력, 에너지 흡수능력을 보유한 것으로 나타났다.
- (4) 전반적으로 슬래브 두께/경간 비가 커서 슬래브의 전단 거동이 지배적이었으나 CFT-E2는 내진밴드의 사용으로 슬래브의 휨거동 영역이 확장되었다.
- (5) 모든 시험체가 설계기준에서 요구하는 $0.4 V_c$ 중력하중 하에서 1.5% 횡변위비를 만족하였다.

감사의 글

이 논문은 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2005년도 건설핵심기술연구개발 사업(05 R&D 건설핵심 D02-01)과 2008년 교육과학기술부의 지원을 받아 수행된 연구임(지역거점연구육성사업/바이오하우징연구사업단)

참고문헌

1. 이철호, 김진원, "CFT기둥-RC무량판 접합부의 편칭전단강도 및 거동", 한국강구조학회 논문집, 제 18권 4호, 2006년 8월, pp. 491-502.
2. 송진규, 송호범, 오상원, 이철호, "CFT 기둥-RC 무량판 슬래브 접합부의 횡저항 성능", 한국콘크리트학회 봄 학술발표회, Vol.20, No.1, 2008년 4월, pp.65-68.
3. 대한건축학회 (2005), "건축구조설계 기준 및 해설", 기문당
4. Pan, A.D. and Moehle, J.P. "Lateral Displacement Ductility of Reinforced Concrete Flat Plates", ACI Structural Journal, V.86, No.3, 1989, pp.250-258.
5. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI 318-05 and ACI-318R-05, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2005.

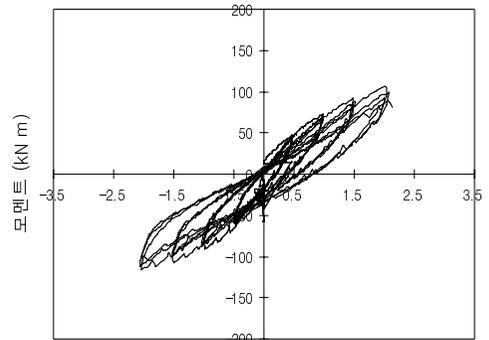


그림 4 BME 시험체의 셋팅 사진

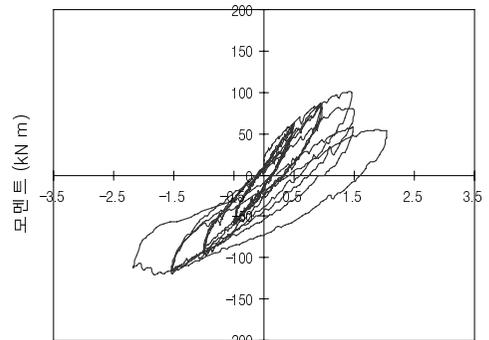


그림 5 CFT-E1 시험체의 셋팅 사진

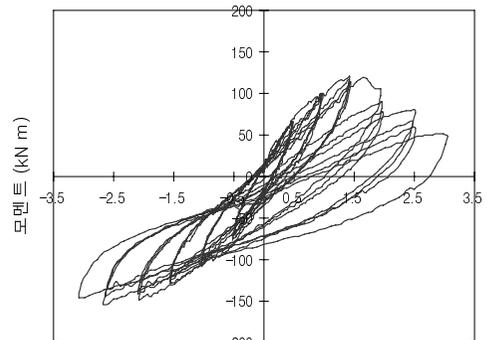


그림 6 CFT-E2 시험체의 셋팅 사진