

CFT 기둥 - RC 무량판 슬래브 접합부의 횡저항 성능

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

송진규* 송호범** 오상원*** 이철호****
Song, Jin Kyu Song, Ho Beom Oh, Sang Won Lee, Cheol Ho

ABSTRACT

This paper verified the lateral resisting capacity of CFT column-RC flat plate connection in comparison with general RC column-flat plate connection and detected moment capacity and ductility capacity of connection according to lateral force-displacement ratio. We made and tested specimens which have different variables respectively and as a result derive a following conclusion. In CFT specimen a critical section was extended and initial stiffness and moment increased 35%, 25~35% respectively in comparison to general RC column specimen. In all specimens generally shear governed behaviors and in CFT specimen complemented with seismic band, flexure behavior region of slab was extended and also ductility ratio and energy absorbance increased.

요약

RC 무량판 구조시스템은 여러 구조적 장점들로 인해 그 사용이 증가하는 추세이지만 횡방향 변위 성능, 변형성능에 대한 약점을 지니고 있고, 고층화에 따라 기둥 크기가 증가하는 단점을 가지고 있다. 이러한 구조적 단점들은 CFT기둥의 사용을 통해 어느 정도 보완될 수 있으나 현재 CFT 기둥과 RC 무량판 접합부의 상세 및 설계법은 명확하게 제시된 바가 없다. 따라서 본 논문은 실물대 실험을 통해 일반 RC 기둥-무량판 접합부와 비교하여 CFT 기둥-RC 무량판 접합부의 횡저항 성능을 검증하고, 횡하중-변위비 성능에 따른 접합부의 모멘트 성능과 연성 능력을 파악하였다. 각기 다른 변수를 지닌 4개의 실험체를 제작하여 횡력 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다. CFT 실험체는 전단머리의 영향으로 위험단면이 확장되었으며 일반 RC 기둥 실험체에 비해 초기강성은 35%, 모멘트는 25~35% 증가하였고, 모멘트의 증가로 인한 에너지 흡수율이 증가하였다. 모든 실험체는 슬래브의 전단거동이 지배하였지만 내진밴드로 보강된 CFT 실험체는 슬래브의 휨거동 영역이 확장되었고, 연성비와 에너지 흡수율 또한 증가하였다.

* 정회원, 전남대학교 건축학부 교수
** 정회원, 전남대학교 건축공학과 박사과정
*** 정회원, 전남대학교 건축공학과 석사과정
**** 정회원, 서울대학교 건축학과 교수

1. 서론

콘크리트충진 강관기둥(Concrete Filled steel Tube Column)은 원형 또는 각형강관 내에 콘크리트를 충전한 것으로 콘크리트는 강관의 국부좌굴을 구속하고 반대로 강관은 콘크리트의 부풀음을 구속하는 컴파인트 효과로 인하여 높은 내력과 변형능력을 가진다. 이처럼 CFT는 높은 내진성능, 뛰어난 내화성능, 거푸집 생략으로 여러 가지 이점이 있다. 여기에 RC 무량판 슬래브를 접목하여 공기단축의 극대화를 위한 방법으로 CFT 기둥과 RC 무량판 슬래브 접합부를 개발하고 기 수행된 중력하중 실험 결과¹⁾를 이용하여 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 국내 CFT 구조의 경우 40mm 정도의 후판을 이용한 빌트업(Built-up) 단면을 사용하고 있다. 만약 CFT 기둥 제작 시 박판의 롤(Roll) 부재를 사용한다면 기둥 제작 비용을 대폭 줄여 CFT 구조의 경제성을 확보할 수 있다. 따라서 박판의 압연부재를 사용한 CFT 기둥-RC 무량판 슬래브 구조의 실험을 수행하여 성능을 확인하고자 하였다.

따라서, 본 연구의 횡하중 실험 대상은 강관의 두께가 19mm이고 전단키 역할을 하는 전단머리의 길이가 320mm인 CFT 기둥-RC 무량판 접합부(CFT 접합부) 실험체로, 중력하중 실험 결과, 최대펀칭강도가 627kN이었다. 이는 RC 기둥-슬래브 접합부(RC 접합부)의 전단머리보강이 되어 있는 경우의 펀칭전단강도 $0.59\sqrt{f_{ck}}b_0d$ 에 미치지 못하는 값으로, 비록 전단머리보강이 CFT 실험체의 전단강도 증진에 효과가 있지만 CFT 실험체의 경우는 RC 실험체와 달리 전단머리보강이 접합부의 전단내력을 증가시키는 역할이 아닌 슬래브에 작용하는 하중(모멘트, 전단력)을 기둥에 전달하는 하중전달 매개체(전단키)로써 작용하는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 전단머리(Shear Head)가 전단키 역할을 하는 CFT 기둥-RC 무량판 슬래브 접합부의 실물대 실험을 통하여 횡하중에 대한 저항성능을 고찰하고 RC 기둥-슬래브 접합부와와의 성능차이를 검증하고자 한다.

2. 실험 프로그램

2.1 실험 개요

실험체의 프로토타입은 KBC 2005²⁾에서 규정하는 중요도(특)의 건축물로 허용층간변위비는 1.0%로 제한하였다. 또한 실물대 실험과 실험체의 제작 및 운반을 고려하여 실험체의 슬래브 두께는 200mm, 슬래브 경간은 4000mm×4000mm, 기둥 크기는 400mm×400mm, 층간 높이는 3000mm로 설계하였다.

표 1 실험 변수

Type	Column Type	전단머리길이(mm)	중력하중크기(% of V_c)	내진보강재
BM	RC	-	40	-
CFT1	CFT	270	40	-
CFT2	CFT	270	60	-
CFT3	CFT	270	40	전단밴드

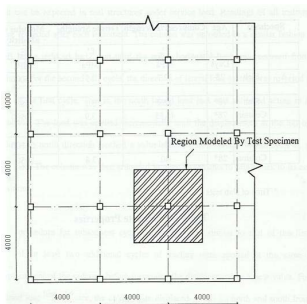


그림 1 프로토타입 평면

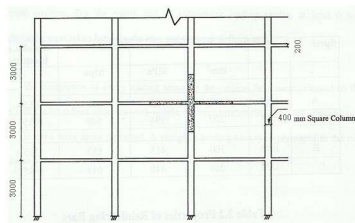


그림 2 프로토타입 단면

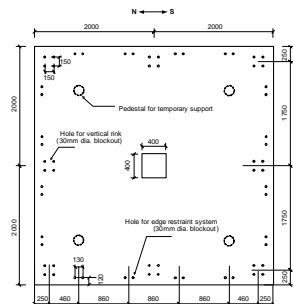


그림 3 실험체 평면

실험체의 슬래브는 그림 3에서 보이는 바와 같이 단부에 총 64개의 30mm 직경의 구멍을 설치하였다. 32개소는 중력하중에 대하여 경계조건을 만족시키기 위한 단부 구속 시스템(Edge Restraint System)의 고정이, 나머지 32개소는 횡하중에 대하여 경계조건을 만족시키기 위한 힌지 시스템(Hinge System)의 고정이 목적이다. 그림 4는 CFT3 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. Moehle³⁾는 슬래브-기둥 접합부의 1.5% 이상의 층간변위비 성능 확보를 위해 무량판에 적용하는 중력하중의 크기를 공칭 편칭전단강도의 40% 이하가 되도록 제한할 것을 제안하였다. 이에 기초하여, ACI 318-05⁴⁾는 요구변위성능에 따라 계수 중력하중비가 공칭 편칭전단강도의 40% 이상인 무량판 골조의 경우에 층간변위비 1.5%를 확보하기 위해서 슬래브를 전단 보강하여야 한다고 제한하고 있다.

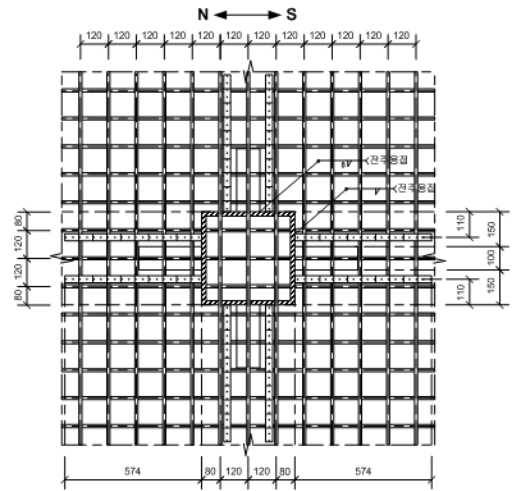


그림 4 CFT3 실험체 상세

2.2 실험체 셋업 및 측정

실험체 설치는 그림 5와 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 8개의 힌지 시스템을 설치하였고 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.



그림 5 실험체 셋업

실험체의 강도 및 변위성능에 관한 응답을 계측하기 위하여 2개의 하중계와 7개의 변위계를 설치하였다. 각 실험체 상·하부 철근에 16개의 스트레인 게이지를 부착하고 전단머리에 10개의 스트레인 게이지를 부착하여 휨철근과 전단머리의 변형을 계측하였다. 또한 내진보강재인 전단밴드에 6개의 스트레인 게이지를 부착하여 변형을 계측하였다.

실험은 중력하중 재하 과정과 횡하중 재하 과정으로 구분된다. 중력하중은 기둥 하부에 설치된 유압재를 이용하여 치울림에 의한 변위하중을 가력하였다. 이때, 중력하중은 그 크기가 슬래브의 공칭 편칭전단강도의 40%(0.4V_c)가 될 때까지 단조 가력하였다. 수직하중이 목표치에 도달한 후, 모든 계측장치를 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 치울림 변위를 조절하였다.

3. 실험 결과 및 분석

그림 6은 각 실험체의 포락곡선(hysteresis loop)을 비교한 것이다. 각 실험체 응답의 일반적인 특성은 1.0% 횡변위비까지 유사하였고, 실험체의 강성은 횡변위비 증가와 함께 점진적으로 감소하였다. 기준 실험체인 BM는 1.5% 횡변위비에서 200kN·m에 도달하였고, 1.5% 두 번째 싸이클에서 파괴되었

다. CFT1 실험체는 1.5% 횡변위비에서 최대강도 300 kN·m을 나타내고 1.7%에서 파괴되었다.

CFT2 실험체는 1.3% 횡변위비에서 파괴되었고 CFT1과 유사한 거동을 보였다. CFT3 실험체는 2.0% 횡변위비에서 최대강도 300kN·m에 도달하였고 3.0% 첫 번째 싸이클에서 최대 모멘트의 45%까지 저하되었다. 이는 CFT1과 비교하였을 때 최대강도는 유사하지만 최대 횡변위 성능은 증가하였음을 보여준다. 또한, CFT 실험체가 BM 실험체에 비해 초기 강성이 35%증가하였고, 모멘트는 25~50% 증가한 것으로 나타났다. CFT3가 CFT1에 비하여 모멘트의 증가는 없지만 연성비(μ)는 증가하였다.

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 BM 실험체에 비하여 CFT 실험체가 에너지 흡수 능력이 우수하게 나타났고 CFT3 실험체가 CFT1 실험체에 비하여 내진밴드의 영향으로 에너지 흡수 능력이 약 3배 더 높게 나타났다.

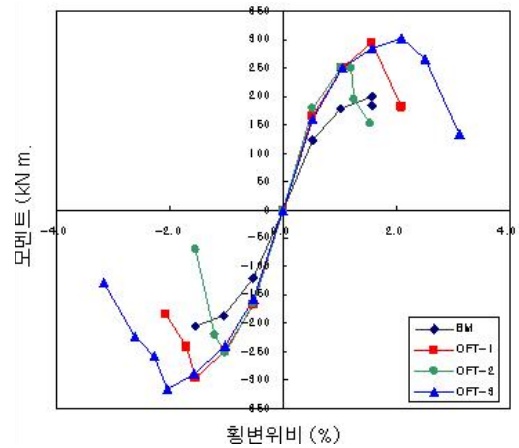


그림 6 실험체의 포락곡선

4. 결론

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

- (1) CFT 실험체는 전단머리의 영향으로 위험단면이 확장되었다.
- (2) CFT 실험체는 BM 실험체에 비하여 초기강성은 35%, 모멘트는 25~50% 증가하였다. CFT 실험체가 모멘트의 증가로 인하여 BM 실험체에 비하여 에너지 흡수 능력이 높게 나타났다.
- (3) CFT1 실험체는 BM에 비하여 모멘트 증가, CFT3 실험체는 CFT1 실험체에 비하여 연성비와 에너지 흡수 능력이 증가하였다. 접합부의 모멘트와 전단력은 전단머리가, 연성과 에너지 흡수는 내진밴드가 담당하는 것으로 나타났다.
- (4) 실험체 전반적으로 슬래브 두께/경간 비가 커서 슬래브의 전단 거동이 지배적이었으나 CFT3는 내진밴드의 사용으로 슬래브의 휨거동 영역이 확장되었다.
- (5) 모든 실험체가 설계기준에서 요구하는 $0.4 V_c$ 중력하중 하에서 1.5% 횡변위비를 만족하였다.

감사의 글

이 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2005년도 건설핵심기술연구개발 사업(05 R&D 건설핵심 D02-01)과 2008년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(지방연구중심대학육성사업/바이오하우징연구사업단)

참고문헌

1. 이철호, 김진원, "CFT기둥-RC무량판 접합부의 편칭전단강도 및 거동", 한국강구조학회 논문집, 제 18권 4호, 2006년 8월, pp. 491-502.
2. 대한건축학회 (2005), "건축구조설계 기준 및 해설", 기문당
3. 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.
4. 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.