

# 슬림형 바닥시스템을 이용한 고층 복합구조의 내진성능에 관한 해석적 연구

## Analysis of Seismic Performance of Slim Flat Plate System in High-rise Hybrid Structural System

하기주\* 박효선\*\* 박중현\*\*\* 최경렬\*\*\*\* 김대중\*\*\*\*\* 정재광\*\*\*\*\*  
Ha, Gee Joo Park, Hyo Sun Park, Joung Hyen Choi, Kyung Ryeol Kim, Dae Joung Jung, Jea Kwang

### ABSTRACT

Recently the construction of high-rise hybrid type building is progressively increased as the social demands. It is significantly important factors such as economy, the safety of structure, and the flexibility of internal space. Therefore new hybrid structural system, using slim flat plate system, is also required to be attained the reduction of story height, the flexibility and efficient use of space. The most suitable structural system is ,with the economy and flexibility, flat plate system in high-rise hybrid type building. But it was focused in the seismic performance for high performance flat plate system in high-rise hybrid type building.

Therefore, in the study, to develop the new flat-plate system with high ductile, durable, good performance for the applications. It was evaluated the seismic performance in the critical region of slab-column connection. And then high performance flat plate system, designed by the economy and safety, was developed as a new technique in the application of high-rise hybrid type building.

키워드 : 고층복합구조시스템, 슬림형 플랫플레이트, 내진성능, 구조해석

Keywords : high-rise hybrid structural system, slim flat plate system, seismic performance, structural analysis

### 1. 서론

최근 대도시의 용지난과 사회적 요구에 따라 건축물의 초고층화 추세는 점점 증가하고 있는 추세이며, 경제적이고도 안전한 초고층건물의 설계 및 시공을 위하여는 새로운 구조시스템의 개발이 절실히 요구되고 있다. 초고층건물의 경제성, 안전성 및 공간의 융통성을 고려하여 플랫 플레이트 바닥시스템의 도입을 적극 검토하고 있으나, 이는 초고층 건물의 경우 기둥에서 전달되는 큰 축하중의 영향에 따른 내진성능 확보가 구조설계시 대단히 중요한 고려사항으로 인식되고 있다. 특히 초고층 철근콘크리트 건물이 지진하중을 받을때 부재요소 보다는 슬래브-기둥 접합부가 더 취약적이고 응력부담이 높다는 것이 국내외의 실험연구 및 지진사례에서 밝혀지고 있다. 따라서 초고층건물에 적용 가능한 고성능 슬림형 바닥시스템의 설계개념, 즉 SRC기둥과 지지보(ERECTION GIRDER) 및 스티드(STUD)를 응용한 복합구조 형식의 초슬림형 슬래브-기둥 접합부의 구조성능을 개선할 수 있는 시스템을 제안하고 실험적 연구를 통한 결과로 해석을 수행하여 따른 구조성능을 평가하고자 한다.

\*정회원, 경일대학교 건축학부 교수, 공학박사

\*\*정회원, 연세대학교 건축학부 교수, 공학박사

\*\*\*정회원, 밀레니엄 구조기술사 사무소 대표이사, 구조기술사

\*\*\*\*정회원, (주)삼성물산 건설부문 건축사업본부장

\*\*\*\*\*정회원, (주)삼성물산 건설부문 기술본부 부장, 구조기술사

\*\*\*\*\*정회원, (주)삼성물산 건설부문 건축사업본부 과장, 구조기술사

## 2. 슬림형 바닥시스템을 응용한 고층 복합구조 시스템의 실험

### 2.1 개요

초고층건물에 적용가능한 초슬림형 플랫 플레이트 시스템을 개발하기 위하여, 매우 경제적이고 안전한 초고층건물의 건설을 위하여 초슬림형 바닥시스템을 응용한 새로운 복합구조 형식을 제안하고, SRC기둥과 지지보(ERECTION GIRDER) 및 스타드(STUD)를 이용한 슬래브-기둥 접합부의 위험단면영역에 대한 내진성능을 평가하고자 한다.

### 2.2 실험계획

고층 주거형 또는 주상복합형건물의 슬래브-기둥 접합부 형식을 채택하고, 크기는 실물의 약 3/4로 축소 모델화 하여 제작하였다. 그리고 지진하중과 같은 반복주기하중을 받는 플랫 플레이트 시스템의 슬래브-기둥 접합부의 구조성능을 평가하기 위하여 초고층건물에 적용 가능한 플랫 플레이트 시스템의 내부 슬래브-기둥 접합부에 대한 실험체의 개수는 표 1 에서와 같이 총 3개를 제작하였다. 실험체의 크기 및 배근 상세는 그림 1과 같다.

표 1 실험체 일람표

NO	실험체명	구분	슬래브			작용하중형태	기둥		접합부	파괴모드
			두께	주근	간격		주근보강	크기		
1	SRCFP-C	RC FLAT PLATE	16cm	HD13	90mm	반복주기하중	R/C	40cm×40cm	고정	전단 파괴
2	USHSF-C	복합구조 (SRC기둥+E.G)	16cm	HD13	90mm	반복주기하중	SRC	40cm×40cm	고정	전단 파괴
3	USHSH-C	복합구조 (SRC기둥+E.G)	16cm	HD13	90mm	반복주기하중	SRC	40cm×40cm	힌지	휨 파괴

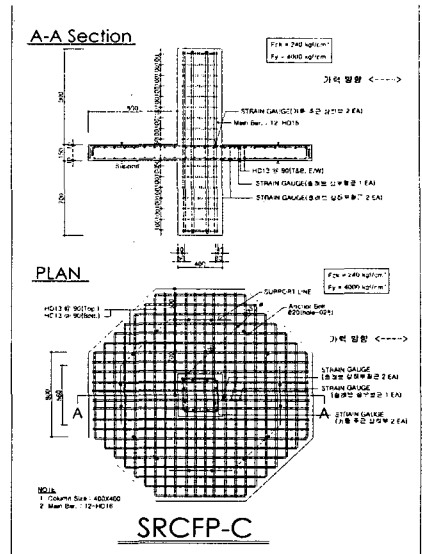


그림 1 표준 실험체 SRCFP-C의 배근 상세 및 스트레인 게이지의 부착 위치도

### 2.3 실험방법 및 장치

본 실험은 경일대학교 구조실험실에서 구조실험용 프레임을 제작하여 설치하였으며, 슬래브-기둥 접합부시스템의 내진거동을 파악하기 위하여 3개의 실험체의 기둥에 단조 축하중(각 25ton)을 일정하게 가력한 후, 그림 3과 같이 슬

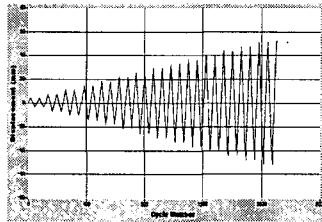


그림 2 변위 이력

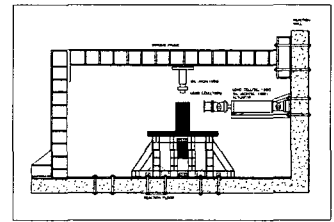


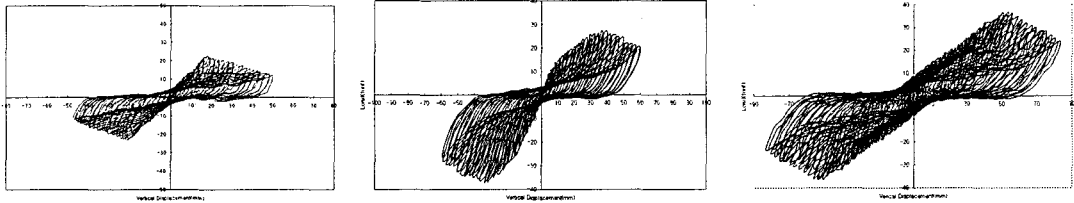
그림 3 실험체 설치도

래브-기둥 접합부의 상부기둥 옆면에 로드셀을 부착한 유압 서보 액츄에이터를 사용하여 변위제어에 의해 반복주기하중을 작용시켰으며, 반복주기하중의 형태는 그림 3과 같다.

### 2.4 각 실험체의 이력거동 특성

각 실험체의 이력거동 곡선을 구하기 위하여 그림 2와 같은 반복주기하중을 가력하여 각 시험체의 작용하중과 하중 작용점의 변위와의 관계를 구하였다. 그리고 각 실험체의 항복변위는 상부 기둥의 슬래브와 기둥의 경계면의 주철근에 부착한 스트레인 게이지의 측정치가 항복변형에 이를 때 기둥의 하중 작용점의 변위로 하였다. 각 실험체의 이력거동 곡선은 슬래브 시스템의 차이 및 슬림형 바닥시스템을 응용한 복합구조시스템의 경우 SRC기둥과 지지보(ERECTION GIRDER)의 접합방식 등에 따라 큰 차이를 나타내었고, 각 사이클 및 변위 연성별 각 실험체의 에너지 소산능력, 강도 및 강성변화, 연성능력 등 고찰할 수 있었다. 초고층건물에 적용 가능한 신 복합구조 형식의 초슬림형 플랫 플레이트 시스

탐의 내진성능 개선을 위하여 SRC기둥과 지지보(ERECTION GIRDER) 및 스테드(STUD)를 적용한 초슬림형 플랫 플레이트 시스템의 경우 지진하중과 같은 반복주기하중 작용시 기존 R/C 플랫 플레이트 시스템에 비하여 이력거동이 안정적이고, 최대내력이 22~62% 증가하였다. 또한 초슬림형 바닥시스템을 응용한 복합구조시스템은 기존 R/C플랫 플레이트 시스템과 비교하여 보면 변위연성 5에서는 에너지 소산능력이 실험체 USHSF-C의 경우 1.48배, 실험체 USHSH-C의 경우 3.01배 증가하였고, 기존 플랫 플레이트 시스템에 비하여 연성비도 각각 1.07~1.2배 증가하였다.



(a)표준실험체 SRCFP-C

(b)실험체 USHSF-C

(c)실험체 USHSH-C

그림 4 각 실험체의 이력거동 특성

### 3. 초슬림형 바닥시스템을 적용한 고층 복합구조 시스템의 내진성능 해석

#### 3.1 해석개요

본 연구에서 실험을 수행한 ERECTION GIRDER 시스템을 비교·분석하기 위한 목적으로 구조해석을 수행하였다. 구조해석에 사용된 프로그램은 국내에서 개발된 MIDAS GEN 프로그램을 사용하였다. 해석적 연구에서는 ①설계된 모델과 ERECTION GIRDER적용 모델의 변위비교, ②

표 2 내진성능 개선 실험체의 탄성계수 비교

실험체	1cycle		tanθ	θ	탄성계수비	REMARK
	변위	최대하중				
SRCFP-C	2.82	4.236	1.5	56.3	1	1.50 적용
USHSF-C	2.05	3.832	1.87	61.86	1.25	
USHSH-C	3.37	8.669	2.57	68.74	1.71	

충고지감 효과 비교를 통하여 연구대상 시스템을 평가하였다. 구조해석에 사용된 프로그램은 국내에서 개발된 MIDAS GEN 프로그램을 사용하였으며, 비교검토를 위한 ERECTION GIRDER시스템의 탄성계수 적용은 탄성한도 내에서의 실험치를 근거로 설계건물 유효 보의 탄성계수보다 50% 증가한 탄성계수를 적용하였다.

#### 3.2 제안 해석 MODEL

CASE 1) 8m X 8m 정형 30층 건물

- 건물 규모
    - 층수 : 30층 • 높이 : H = 90.m • 기준층 층고 : h = 3.0 m
  - 구조 형식 : R.C기둥 + 유효 보 + CORE WALL (FLAT PLATE 시스템)
  - FLAT PLATE 슬래브 두께 : 25 cm
  - max. Span : 8.0 m
  - 유효 보 SIZE : 1.0m(폭) × 0.25m(depth)
  - 재료 강도 ( fck )
    - R.C기둥 : 300 kgf/cm<sup>2</sup> • CORE WALL : 300 kgf/cm<sup>2</sup>
    - 슬래브 : 300 kgf/cm<sup>2</sup> • 유효 보 : 240 kgf/cm<sup>2</sup> (탄성계수 Ec = 2.307×106 tf/m<sup>2</sup>)
- ※ 해석 시 강성비교를 위하여 강도를 줄여서 해석

#### 3.3 해석 방법

구조물의 지지조건은 지표면에 완전 고정된 상태로 하였으며, 유효보폭 산정은 Grossman의 유효 폭

제안식(1)을 응용하였다. 해석에 적용한 유효보폭은 비교분석의 간편성을 위하여 산출된 폭보다 작은 1.0m 폭을 적용하였다.

$$\alpha l_2 = K_d [0.3l_1 + C_1(l_2/l_1) + (C_2 - C_1)/2](d/0.9h)K_{FP} \dots\dots\dots\text{식(1)}$$

$$\text{단, } (0.2)(K_d)(K_{FP})l_2 \leq \alpha l_2 \leq (0.5)(K_d)(K_{FP})l_2$$

표 3 MODEL의 CASE1과 CASE2의 비교

	CASE 1		CASE 2		감소효과
(X-Dir.) max.δ	99.13mm	H/909	89.33mm	H/1008	9.1%
(Y-Dir.) max.δ	157.6mm	H/571	143.6mm	H/627	8.9%

3.4 해석 결과 및 분석

1) 제안 MODEL에서의 해석 결과 비교

제안 MODEL에서는 구조시스템의 내진성능 분석결과 표 3에서와 같이, 설계모델CASE 1과 ERECTION GIRDER를 적용한 CASE 2 모두에서 허용 변위인 H/500를 초과하지 않는 것으로 나타나고 있다. 그리고 표 4에서와 같이 ERECTION GIRDER 적용 시 두께에 대한 감소 효과도 유도할 수 있으므로 고층구조물 설계 시 적용 가능할 것으로 사료된다. 또한 표 5에서와 같이 CASE 4에서 ERECTION GIRDER를 적용하고 두께를 20cm로 감소시켰을때 변위는 (X-Dir.) max.δ=10.45cm(H/861), (Y-Dir.) max.δ=16.53cm(H/544)으로 분석되었고, 이는 허용 변위인 H/500를 초과하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 기존 설계건물의 FLAT SLAB시스템에 대해서 ERECTION GIRDER를 적용했을 때와 정형 MODEL에 대한 해석적 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

표 4 MODEL의 CASE 1 & CASE 3 유효 보 두께비교

	CASE 1	CASE 3	감소 두께
유효 보 폭	100 cm	100 cm	-
유효 보 depth	25.0 cm	21.8 cm	-3.2 cm

표 5 MODEL 2의 CASE1과 CASE4의 비교

	CASE 1	CASE 4	개선 효과
콘크리트 강도	300kgf/cm <sup>2</sup>	240kgf/cm <sup>2</sup>	20% 강도 저감
슬래브 두께	25cm	20cm	20% 물량 절감

4. 결론

본 연구에서는 초고층건물에 적용가능한 초슬립형 플랫 플레이트 시스템을 개발하기 위하여, 기존의 R/C 플랫 플레이트 시스템과 SRC기둥과 지지보(ERECTION GIRDER) 및 스타트(STUD)를 이용한 새로운 복합구조 형식의 슬래브-기둥 접합부의 위험단면영역에 대한 실험을 수행하여 실험결과를 토대로 내진성능을 해석적으로 평가하였으며 이를 근거로 본 연구의 실험 및 해석 결과를 근거로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 초슬립형 바닥시스템을 응용한 복합구조시스템은 슬래브-기둥의 접합부 성능 향상과 함께 초고층 건물의 횡변위 제어가 8.9%~13.9% 정도 개선 효과를 예상할 수 있었다.
- 2) 초슬립형 바닥시스템을 응용한 복합구조시스템은 기존 플랫 플레이트 바닥 시스템에 비하여 전단 성능이 향상되므로 플랫 플레이트 바닥 시스템의 결점을 보완하여 횡력에 대하여 연성적인 구조시스템을 구현할 수 있고, 전단력에 대하여 자유로운 계획이 가능하게 되어 슬래브 OPENING 배치가 자유로워진다.
- 3) 초슬립형 바닥시스템을 응용한 복합구조시스템은 기존 플랫 플레이트 시스템에 비하여 슬래브의 두께를 약 20% 감소시킬 수 있고, 또한 해석 MODEL에서 볼 수 있듯이 슬래브의 콘크리트 강도 또한 약 20% 감소시킬 수 있어 공사비 절감이 예상된다.

참고문헌

1. 하기주 외 “고인성 복합성유 모르타르를 이용한 플랫 플레이트 구조 슬래브-기둥 접합부의 내진성능 개선” 한국구조물진단학회 봄학술발표회, vol. 9 no.1 2005.5
2. 하기주, 신중학, “철근콘크리트 보-기둥 접합부의 리모델링을 위한 내진성능 개선기술”, 대한건축학회 연합논문집, 제 6권 1호(통권17호), 2004. 3, pp. 57-64
3. J. S. Grossman, "Verification of Proposed Design Methodologies for Effective Width of Slabs in Slab-Column Frames", ACI Structural journal, 1997 pp.181-196