

철근콘크리트 중공 하프슬래브의 구조성능평가

Structural Performance Evaluation of Hollow Reinforced Concrete Half Slabs

황 현 복*	김 상 우**	황 현 식***	이 기 장****	이 정 윤*****
Hwang, Hyun-Bok	Kim, Sang-Woo	Hwang, Hyun-Sik	Lee, Ki-Jang	Lee, Jung-Yoon

ABSTRACT

This study is for proposing the shape of hollow and evaluating the structural performance of hollow reinforced concrete (RC) half slabs. The two-phase experimental works were carried out, and styrofoam was used for reduction of dead load and vibration. From the Phase I test result, the shape and spacing of the hollow were determined to obtain the high deduction ratio of the concrete and the desirable failure mode of the hollow RC half slabs. In the Phase II test, two slab specimens were tested in flexure to evaluate the flexural capacity of the hollow RC half slabs with the proposed hollow shape. In the result of the test, all the specimens having the proposed hollow shape showed sufficient flexural capacity.

요 약

이 연구에서는 철근콘크리트 중공 하프슬래브의 중공형상을 제안하고 휨성능을 검증한다. 실험은 총 2단계로 나누어 수행하였으며, 중공재료는 자중과 진동 감소를 위하여 스티로폼을 사용하였다. 1단계 실험은 중공형상과 간격을 결정하기 위한 것으로 총 3가지 중공형상(구형, 4면 절단형, 5면 절단형)이 사용되었다. 1단계 실험결과로부터 콘크리트 체적 감소율이 높으면서도 균열패턴이 바람직한 중공형상 및 간격을 결정하였다. 2단계 실험에서는 1단계 실험결과를 바탕으로 결정된 중공형상과 간격을 가지는 중공 하프슬래브 실험체의 휨성능 실험이 수행되었다. 실험결과, 제안된 중공형상을 가지는 철근콘크리트 중공 하프슬래브는 휨강도와 연성측면에서 우수한 능력을 보였다.

* 정회원, 성균관대학교 건축공학과 박사과정
*** 정회원, 삼성중공업 건설사업부 과장
***** 정회원, 성균관대학교 건축공학과 부교수, 공학 박사

** 정회원, 성균관대학교 건설환경연구소 책임연구원, 공학박사
**** 정회원, 삼성중공업 건설사업부 부장

1. 서론

현대 도시는 인구집중으로 인하여 고층건물의 수요가 크게 증가하고 있으며, 구조공학 기술의 발전과 사회·경제적 요구에 의하여 이들 건물의 장스팬화가 이루어지고 있다. 특히 오피스 건물과 공동주택의 진동 및 소음 문제 등이 근래에 사회적 문제로 대두되어 중량바닥충격음 성능등급기준¹⁾과 내진기준²⁾의 강화 등과 같은 구조적, 환경적 측면에서 정부의 정책 및 기준이 강화되고 있는 실정이다.

진동과 소음에 대한 강화된 기준을 만족시키기 위하여 슬래브의 두께를 증가시키는 등 새로운 시도가 있어 왔으나 자중의 증가로 인한 지진하중의 증가가 단점으로 부각되었다. 이러한 문제를 해결하고 장스팬화를 이루기 위하여 최근 유럽과 일본 등에서는 플라스틱이나 스티로폼을 사용한 중공 하프슬래브가 개발되어 실제 건물에 적용되고 있다. 그러나 우리나라에서는 중공 하프슬래브에 대한 연구와 실무에 적용할 수 있는 기초적인 자료가 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 중공형상과 콘크리트 체적 감소율을 변수로 한 중공 하프슬래브의 휨실험으로부터 휨성능과 콘크리트 체적 감소율이 뛰어난 중공재의 형상을 제안하며, 제안된 중공재를 사용한 하프슬래브의 휨성능 실험을 수행하여 중공 하프슬래브 설계의 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 중공형상 결정을 위한 슬래브의 구조성능평가 실험

2.1 실험체 계획

중공형상 결정을 위하여 중공재의 형상과 콘크리트 체적 감소율을 변수로 표 1과 같이 콘크리트 압축강도가 25 MPa이고 높이가 300mm인 실험체를 제작하였다. 중공형상은 200mm 직경의 구형과 이 구형의 옆면을 25mm씩 절단한 4면절단형, 직경 220mm 구형의 윗면과 옆면을 25mm씩 절단한 5면절단형이 있으며, 중공재 하부는 PC판과 후타설 콘크리트 사이의 부착력을 위하여 구형으로 하였다.

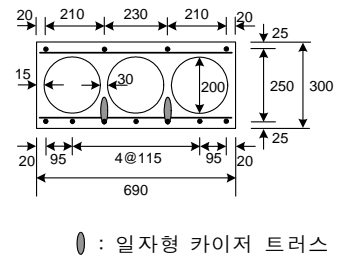
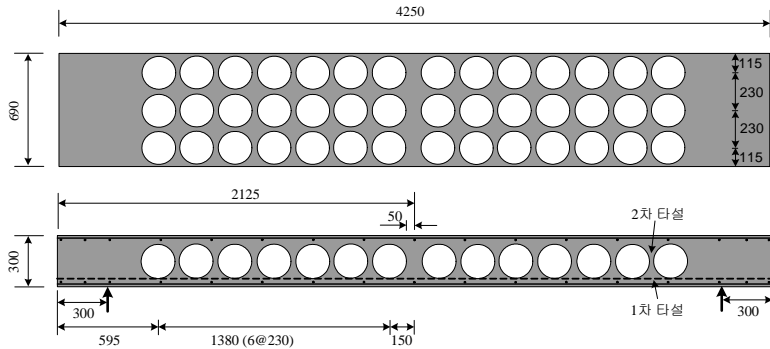
S1-0 실험체의 철근배근 및 중공재의 배치는 그림 1과 같으며, 나머지 실험체도 이와 유사하다. 인장 및 압축철근은 각각 D13($f_y=490$ MPa) 7대와 4대를 사용하였으며, 온도철근은 D10을 이용하였다. PC판 타설이음면의 부착성능을 높이면서 중공재의 배치를 원활하게 하기 위하여 $\phi 12$ 로 된 일자형 카이저 트러스를 사용하였다. 단순지지된 실험체는 중앙부 집중하중을 받도록 계획하였으며, 실험체의 변위를 측정하기 위하여 LVDT를 실험체 중앙과 가력점에서 1m 떨어진 곳에 각각 설치하였다.

2.2 실험결과 및 분석

모든 실험체는 휨항복 후 파괴되었다. S1-1b를 제외한 모든 실험체는 표 1과 그림 2에서 보듯이 변위연성지수가 약 4~8에 이르는 연성적인 휨거동을 보였으며, 완전충진된 단면의 휨강도 해석결과와 유사하여 충분한 휨성능을 가진 것으로 판단된다. 그러나 중공간격이 190mm로 작은 S1-1b의 경우,

표 1 1차 실험체 상세 및 실험결과와 해석결과 비교

실험체	중공형상	체적 감소율 (%)	중공간격 (중심간격) (mm)	폭 (mm)	실험						해석		실험/해석		
					항복시			최대하중시			$\frac{\Delta_{max}}{\Delta_y}$	M_y (kN·m)	M_{max} (kN·m)	M_y	M_{max}
					P_y (kN)	M_y (kN·m)	Δ_y (mm)	P_{max} (kN)	M_{max} (kN·m)	Δ_{max} (mm)					
S1-0	구형	26.4	30(230)	690	127.0	115.9	15.8	138.9	126.7	129.6	8.2	110.5	113.8	1.05	1.11
S1-1a	4면절단형	26.2	60(210)	630	128.6	117.3	18.3	145.7	133.0	142.8	7.8	110.2	113.5	1.06	1.17
S1-1b	4면절단형	32.0	40(190)	570	119.2	108.8	15.8	130.9	119.5	39.7	2.5	109.8	113.1	0.99	1.06
S1-2	5면절단형	35.6	40(215)	654	127.8	116.6	17.8	144.5	131.9	70.0	3.9	110.2	113.6	1.06	1.16



○ : 일자형 카이저 트러스

그림 1 실험체 상세(S1-0)

(단위 : mm)

휨항복 후 계면에서의 부착 파괴를 일으켰으며, 이에 대한 합리적인 대책이 2차 실험에서 요구된다.

중공재의 형상이 안정적이지만 콘크리트 체적 감소율이 작은 구형의 경우(S1-0 실험체), 휨균열이 완전충진형과 유사하게 발생하였다. 그러나 구형에서 절단된 면을 가지는 실험체의 경우, 면의 모서리에서 응력집중에 의한 균열이 발생하였다. 따라서 중공재의 형상을 결정할 때 모서리 부분의 응력집중을 해결할 수 있는 중공재의 개발이 필요하다.

3. 제안된 중공형상을 사용한 슬래브의 구조성능평가 실험

3.1 실험체 계획

실험체는 폭이 600mm이고 높이가 300mm와 210mm인 슬래브로 하였으며, 중공재의 높이는 각각 200mm와 110mm이고 넓이가 160×160mm가 되도록 계획하였다. 중공형상은 콘크리트 체적 감소율이 큰 직육면체 형태를 가지되 1차 실험에서 관찰된 응력집중 현상을 해결하기 위하여 표 2에서와 같이 모서리 부분을 곡선으로 완만하게 처리하였다. 따라서 제안된 중공형상은 타설이음면과 접하는 면적이 중공재 전체 밀면적의 14%밖에 되지 않으면서도 콘크리트 체적 감소율은 약 35%와 25%로 높다.

2차 실험체의 배근 및 중공 상세는 그림 3에 나타내었다. 콘크리트 압축강도는 23MPa이었으며, 인장철근은 D13($f_y=495\text{MPa}$) 3대와 D10($f_y=530\text{MPa}$) 2대, 압축철근은 D13 3대를 배근하였다. 중공간격은 1차 실험결과를 바탕으로 200mm로 하였으며, 타설이음면에서의 부착성능을 높이기 위하여 거친면 마감과 하부근으로 $\phi 6\text{mm}$ 용접철선($f_y=490\text{MPa}$)을 가지는 3각형 카이저 트러스를 사용하였다.

3.2 2차 실험 결과 및 분석

제안된 중공재를 사용한 실험체의 휨실험 결과, 1차 실험과는 달리 모서리 부분의 응력집중 없이 두 실험체 모두 완전충진된 일반적인 휨부재와 유사한 균열패턴을 보였으며, 표 2에서와 같이 완전충진된 실험체로 해석한 휨강도보다 실험결과가 약 25% 이상 높게 나타났다. 이것은 카이저 트러스의 상부근($\phi 12$)을 무시하였기 때문으로, 실제 휨설계시 충분한 안전성을 가질 것으로 판단된다.

실험에서 관찰된 하중-처짐 관계를 나타낸 그림 4와 같이 최대하중 이후 카이저 트러스의 하부 철근이 파단되면서 휨내력 감소가 발생하였으나, 인장철근에 의해 힘의 평형을 이루면서 변위연성지수

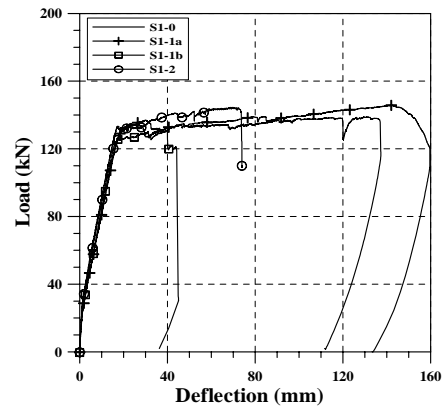




그림 2 S1 시리즈의 하중-처짐 곡선

표 2 2차 실험체 상세 및 실험결과와 해석결과 비교

실험체	중공 형상	체적 감소율 (%)	중공 간격 (중심 간격) (mm)	높이 (mm)	실 험							해 석		실험/해석		
					항복시			최대하중시			극한시		M_y (kN·m)	M_{max} (kN·m)	M_y	M_{max}
					P_y (kN)	M_y (kN·m)	Δ_y (mm)	P_{max} (kN)	M_{max} (kN·m)	Δ_{max} (mm)	Δ_u (mm)	$\frac{\Delta_u}{\Delta_y}$				
S2-1	 (모따기형)	35.1	40 (200)	300	112.6	102.7	15.8	129.4	118.0	28	74	4.7	81.2	83.5	1.26	1.41
S2-2	 (모따기형)	24.8	40 (200)	210	53.7	49.0	21.9	61.1	55.7	40	143	6.5	43.5	44.3	1.23	1.26

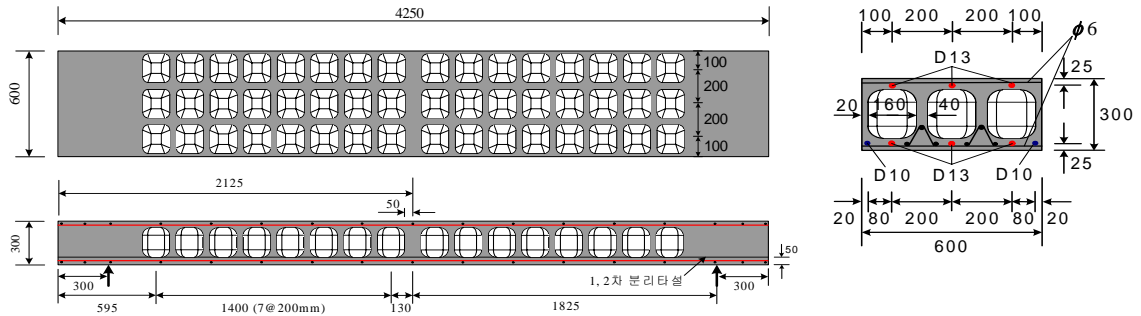


그림 3 실험체 상세(S2-1)

(단위 : mm)

4.7과 6.5의 연성적인 휨거동을 보였으며, 계면에서의 균열은 발생하지 않았다.

4. 결론

- (1) 제안된 중공형상을 가진 중공 하프슬래브는 완전충진된 경우의 휨강도 해석결과 이상의 충분한 휨강도와 연성능력을 나타냄을 확인할 수 있었다.
- (2) 제안된 중공형상은 직육면체 형태를 가지면서도 모서리 부분을 완만하게 곡선으로 처리한 결과 중공 하프슬래브의 콘크리트 체적 감소율이 높으면서도 균열패턴이 완전충진된 경우와 유사하였다. 그리고 타설이음면의 거친면 마감과 함께 사용될 경우 PC판의 접합면에서 부착력 감소로 인한 휨성능 감소가 발생하지 않음을 확인할 수 있었다.

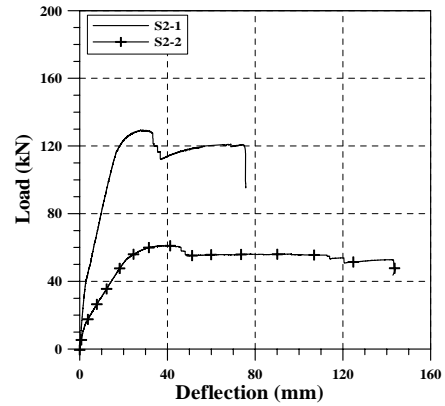


그림 4 S2 시리즈의 하중-처짐 곡선

감사의 글

이 논문은 2007년도 삼성중공업의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. “공동주택 바닥 충격음 차단구조 인정 및 관리기준”, 건설교통부고시 제 2004-71호
2. “건축구조설계 기준”, 건설교통부고시 건설교통부 고시 제2005-81호