

원형강관을 이용한 철근콘크리트 다공보의 구조적 특성에 관한 연구

A study on the Structural Properties of Reinforced Concrete Beams with Multiple Openings using Circular Steel Tube

최진영* 임병호** 박정민*** 김화중****
Choi, Jin Young Lim, Byung Ho Park, Jung Min Kim, Wha Jung

ABSTRACT

This study is aimed to investigate on the structural properties (like as strength, failure mode, ductility) of beams with multiple openings reinforced with steel tube of circular. The main parameters are follows :1)location of openings, 2)the number of opening, 3) existence of opening or not. When the locations of opening are respectively maximal moment zone, maximal shear zone, co-existence zone of moment and shear, the specimen with opening at maximal moment zone is not less than that without opening in terms of strength and ductility. The specimens with opening at shear zone and both zones are expected to carry the structural performance corresponding to beam without opening by varying the number and reinforcing method of opening.

1. 서론

최근 공간 사용의 한계성과 대지의 부족 등으로 인해 건물은 고층화, 심층화 및 대형화 추세가 날로 증대되어 가고 있으며, 이에 따라 건물내의 각종 설비 등도 대형화, 복잡화됨으로써 최대한 가용공간을 확보하기 위해 층고를 낮출 수 있는 방법이 요구되고 있다. 이러한 대응책의 하나로서 종래 보 하단부에 배치하던 설비용 덕트나 배관류 등을 보에 개구부를 두어 관통시킴으로서 건축물의 층고를 낮출 수 있는 유공보에 대한 관심과 연구가 많이 행해지고 있다. 이러한 유공보는 보의 재축에 수직으로 구멍을 만들어 각종 설비시스템을 보 축안에서 처리함으로써 층고를 낮추고 사장공간(dead space)을 줄여 최대한의 가용공간을 확보함으로써 경제적인 이점을 가져 올 수 있으나 보에 구멍을 설치함으로써 단면손실이 따르며, 이 부분에 응력이 집중되어 내력 및 강성의 감소, 변형 등 구조 안정성에 많은 장애가 되는 요소가 발생할 수 있다.

이러한 요인들을 극복하기 위해 국·내외적으로 철근 콘크리트 유공보에 대한 연구가 많이 이루어졌으며 많은 성과들이 보고되고 있다. 하지만 기존의 연구 성과들을 살펴보면 개방형 유공보에 대한 연구성과들이 주류를 이루고 있으며, 다공보에 대한 연구는 미흡하다 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 앞선 연구 성과를 바탕⁽¹⁾으로 유공보의 구조적 성능에 영향을 미치는 인자 중에서 개구부의 크기, 위치, 개수를 주요변수로 하여 유공을 원형강관으로 보강한 다공보의 구조적인

* 정회원, 경북대 건축공학과 석사과정
** 정회원, 경북대 건축공학과 박사수료
*** 정회원, 경북전문대 건축학과 조교수
**** 정회원, 경북대 건축공학과 교수

특성을 고찰하여 효율적인 다공보의 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실험 개요 및 계획

2.1 시험체 계획 및 상세

본 연구에서 계획한 시험체는 유공의 위치(최대모멘트 영역, 전단영역, 모멘트+전단영역) 및 크기를 주요변수로 하여 다공보 6개, 이들과의 비교를 위해 무공보 1개로 총 7개의 시험체를 제작하였으며, 각각의 다공에 대해서는 원형강관으로 보강하였다. 또한 다공보에 사용된 콘크리트의 강도는 400kgf/cm²의 고강도 콘크리트를 사용하였다. 시험체의 일람을 표 1에 나타내었으며, 시험체 상세를 그림 1에 나타내었다.

2.2 가력방법 및 변형측정 위치

다공보 시험체에 대한 가력 방법은 가력프레임에서 유압잭으로 지간의 1/3지점에 가력용 강재보를 이용하여 2점재하 하였으며, 보중앙부 및 양단부에 LVDT를 각각 1개씩 총 3개를 설치하여 처짐을 측정하였다.

표 1 시험체 일람

시험체	시험체크기		fc (kgf/cm ²)	사용 철근	인장 철근비 (ρ)	평형 철근비 (ρ_b)	ρ/ρ_b	보강 강관	유공				Depth	Width
	b	D							형상	면적비	갯수	위치		
RCB								-	-	-	-	-	-	
PFBC1A	150	300	400	3-D13	0.0191	0.0885	0.216	Ø-76.3	○	0.0266	3	M	1/4D	1/2B
PFBC1B											6	S		
PFBC1C											7	M+S		
PFBC2A	150	300	400	3-D13	0.0191	0.0885	0.216	Ø-89.1	○	0.0311	3	M	1/3D	2/3B
PFBC2B											6	S		
PFBC2C											7	M+S		

시험체명 RCB : 무공보 PFB : 다공보 C(유공형상) : 원형
 1(유공면적) : [1:0.0266 2:0.0311] A(유공개수) [A:3개 B:6개 C:7개]

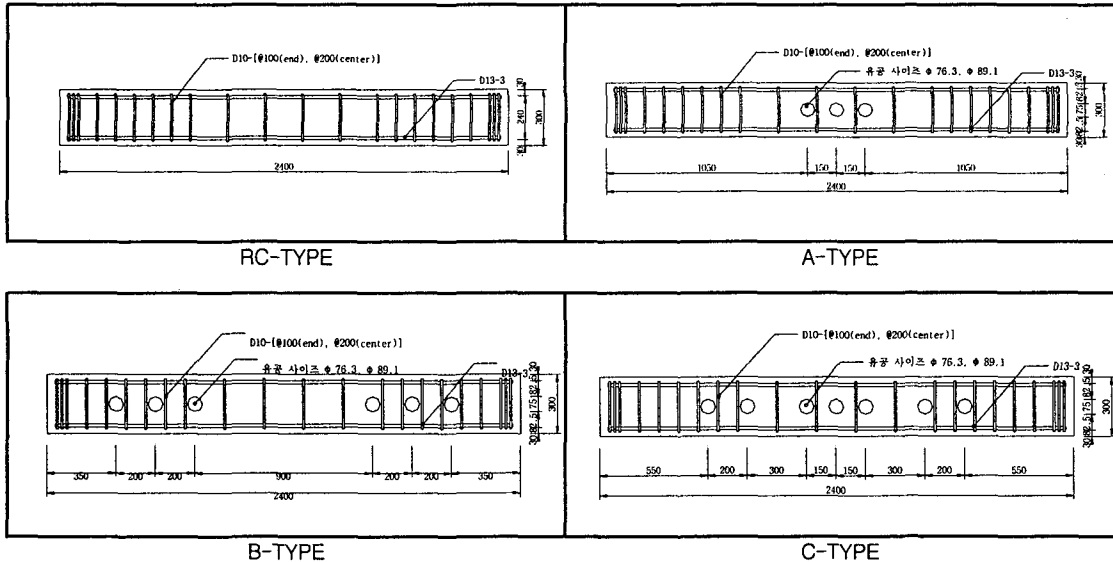


그림 1 시험체 상세

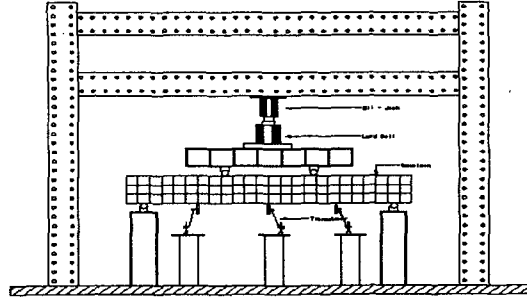


그림 2 실험 Set-up

3. 소재의 재료적 성질에 관한 실험

다공보 제작에 사용된 소재의 재료적 성질을 파악하기 위해 강재에 대해서는 인장강도 시험을 행하였으며, 콘크리트에 대해서는 압축강도 시험을 행하였다. 그 결과를 표 2와 표 3에 각각 나타내었다.

표 2. 강재의 인장강도 시험 결과

구분	σ_y (t/cm ²)	σ_{max} (t/cm ²)	σ_y/σ_{max}	elo(%)
D10	3.988	5.526	0.722	20.1
D13	4.283	6.032	0.710	20.6
∅76.3×3.2t	3.647	5.114	0.713	19.2
∅89.1×3.2t	3.772	5.245	0.719	19.8

표 3. 콘크리트의 배합비 및 시험결과

설계강도 (kgf/cm ²)	Slump (cm)	단위중량 (kg/m ³)						ST (kgf/cm ²)
		W	C	S	G	Ag	A	
400	15	170	425	678.4	1053	-	2.55	423

주) W:물 C:시멘트 Ag:혼화제 S:모래 G:자갈
A:혼화제 ST : 압축강도 MS: 최대내력시 변형을

4. 실험 및 실험결과

본 연구는 원형강관을 이용한 다공보의 내력특성 및 변형특성을 고찰하기 위한 것으로 실험 결과를 표 4에 나타내었으며, 하중-처짐 관계를 그림 3에, 시험체의 최종적인 파괴상태를 그림 4에 나타내었다.

표 4. 실험 결과

시험체	Initial		Yield Load		Maximum Load		연성
	Load	Deflection	Load	Deflection	Load	Deflection	
RCB	5.664	1.13	19.280	6.61	24.896	18.71	3.667
PFBC1A	9.029	1.99	22.046	6.62	25.252	31.07	4.693
PFBC1B	8.127	1.52	23.075	7.85	24.838	30.43	3.876
PFBC1C	6.585	1.74	19.171	7.48	22.221	29.96	4.005
PFBC2A	9.774	1.66	24.366	6.56	26.360	33.45	5.099
PFBC2B	8.862	1.79	22.960	7.54	26.185	34.55	4.582
PFBC2C	8.406	1.84	23.070	7.65	25.823	31.17	4.074

5. 결과의 분석 및 고찰

5.1 하중-처짐 곡선

그림 3은 각각의 시험체의 최대하중과 시험체 중앙부 LVDT에서 측정된 처짐과의 관계를 나타낸 것이다. 전체적인 시험체의 거동 양상은 bi-linear적인 안정한 거동양상을 나타냈으며, 부재강성은 무공보에 비해 다공보가 상대적으로 약간씩 큰 것으로 나타났다. 각각의 시험체의 처짐량은 부재 항복 시점까지는 큰 차이를 보이지 않았으나, 항복하중 이후에는 같은 하중 단계에서 다공보가 무공보에 비해 처짐량이 상대적으로 증가하여 뛰어난 변형능력을 나타내었다.

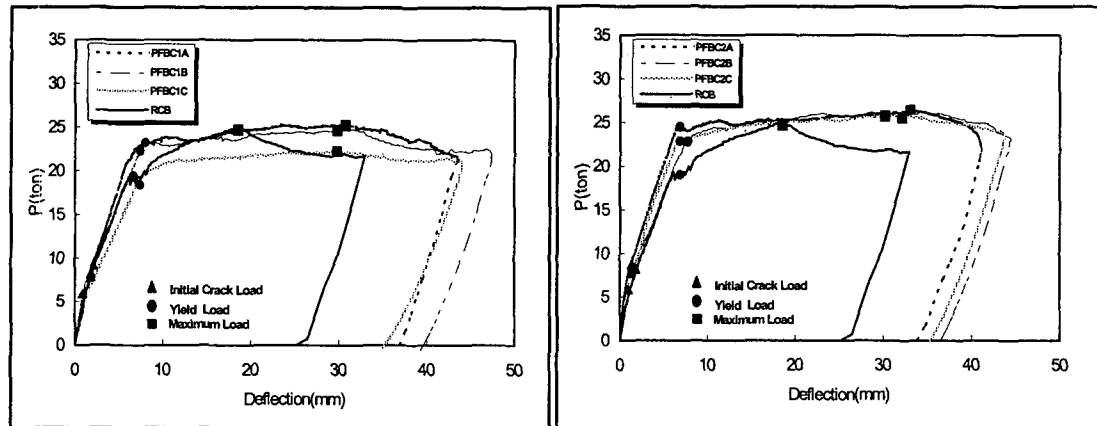


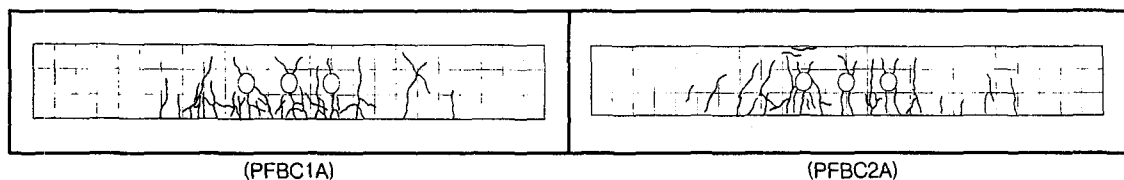
그림 3. 하중-처짐관계

5.2 파괴특성

그림 4는 각각의 시험체의 파괴 상황을 나타낸 것이다.

유공을 설치하지 않은 RCB 시험체는 시험체 중앙 표면부에서 초기 미세 휨 균열이 나타나, 하중의 증가에 따라 시험체 단부쪽으로 휨균열이 확장되었다. 항복하중 이후에는 휨균열의 발생은 억제되며 전단균열이 지배적인 파괴 양상을 나타내어 최종적으로 휨과 전단이 복합적인 파괴 양상을 나타내었다. 모멘트 영역에 유공을 둔 PFBC1A, PFBC2A 시험체는 유공의 크기에 관계없이 유공 주위에서 초기 휨균열이 발생하여 휨균열이 확장 확산되어 최종적인 파괴양상을 나타내었으며, 전단균열의 양상은 거의 나타나지 않았다. 전단 영역에 유공을 둔 PFBC1B, PFBC2B의 경우 시험체 중앙부위에서 초기균열이 나타났으며, 항복하중 이전까지는 유공주위로 거의 균열이 관측되지 않았으며, 항복하중 이후 유공주위로 미세한 휨균열이 관측 되었다.

모멘트 영역과 전단영역에 모두 유공을 둔 PFBC1C, PFBC2C는 초기 균열은 모멘트 영역의 유공에서 집중적으로 발생하였으며, 항복하중 이전까지 모멘트 영역 유공에서 균열이 집중적으로 발생하였으며, 전단영역의 유공에서는 큰 균열이 관측되지 않았다.



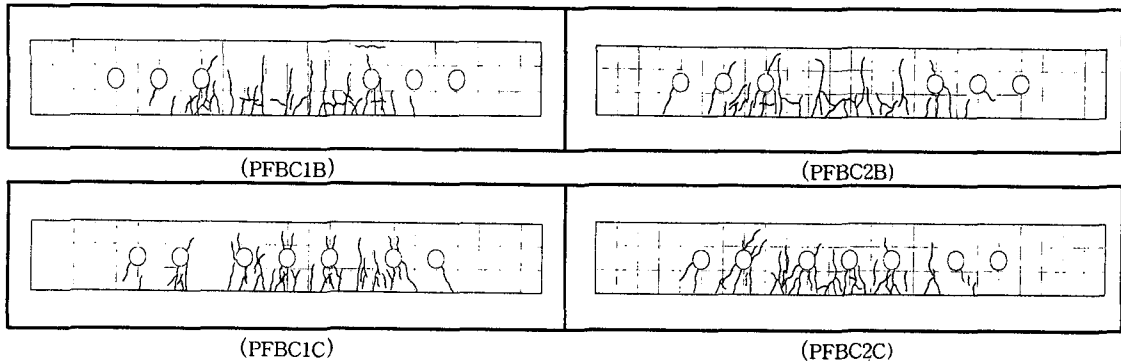


그림 4. 파괴성상

5.3 연성능력

연성이란 부재가 휨 능력에 큰 감소없이 변형을 일으킬 수 있는 능력으로 표현될 수 있으며, 본 연구에서는 최대하중시의 변위를 인장철근 항복시의 변위로 나눈 변위연성지수로서 연성율을 비교 고찰하였다. 그림 5는 각각의 시험체의 연성율을 비교하여 나타낸 것이다. 무공보의 연성지수는 3.667을 다공보의 연성지수는 3.876~5.009의 값을 나타내어 무공보에 대한 다공보의 연성능력은 5~35% 정도 상승하였으며, 모멘트 영역에 유공을 둔 경우 가장 효과적인 것으로 나타났다.

5.4 내력

그림 6은 무공보와 다공보의 내력을 상호 비교하여 나타낸 것이다. 무공보에 대한 다공보의 내력비는 0.892~1.059 정도로 나타났다. 모멘트 영역에 유공을 설치하여 원형강관으로 보강한 PFBC1A, PFBC2A 시험체는 무공보에 비해 내력 성능면에서는 거의 동등 수준 이상을 나타내어 다공일 경우에도 충분한 효과가 나타났으며, 전단 영역 및 모멘트+전단영역에 유공을 설치한 경우에는 무공보에 비해 강관의 보강면적에 따라 내력의 변동상황이 나타남으로써 유공의 크기 및 강관보강 면적에 따른 충분한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

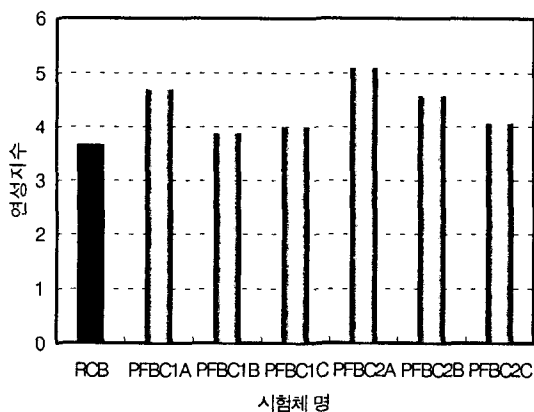


그림 5 다공보의 연성지수

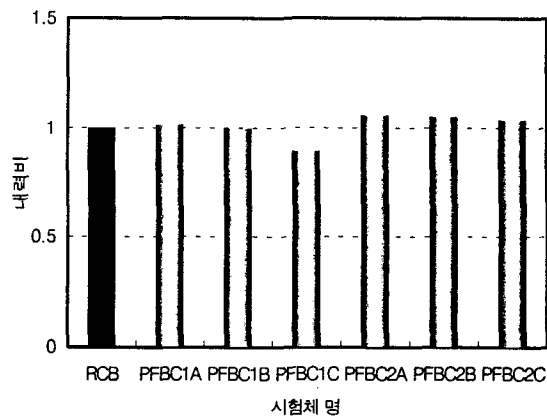


그림 6 다공보의 내력비교

6. 결론

본 연구는 유공을 원형강관으로 보강한 철근콘크리트 다공보의 구조적 특성을 고찰한 연구로서 그 내용을 요약하면 아래와 같다.

- 1) 시험체 파괴형태는 무공보의 경우 휨전단의 복합적인 파괴양상을 다공보의 경우 순수 휨이 지배적인 파괴양상을 나타냈으며, 모멘트 영역에 유공을 설치한 경우 유공중심으로 균열이 집중적으로 발생하였으나, 전단영역 및 전단+모멘트 영역에 유공을 설치한 경우는 유공 중심으로 균열 집중 현상은 나타나지 않았다.
- 2) 무공보의 연성지수는 3.667을 다공보의 연성지수는 3.876~5.009의 값을 나타내어 무공보에 대한 다공보의 연성능력은 5~35% 정도 상승하였으며, 모멘트 영역에 유공을 둔 경우 가장 효과적인 것으로 나타났다.
- 3) 모멘트 영역에 유공을 설치하여 원형강관으로 보강한 시험체는 무공보에 비해 내력 성능면에서는 거의 동등 수준 이상을 나타내어 다공일 경우에도 충분한 효과가 나타났으며, 전단 영역 및 모멘트+전단영역에 유공을 설치한 경우에는 무공보에 비해 강관의 보강면적에 따라 내력의 변동상황이 나타남으로써 유공의 크기 및 강관보강 면적에 따른 충분한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

이상에서와 같이 철근콘크리트보 시험체에 유공을 다수 설치할 경우 유공의 위치가 내력 및 변형능력에 중요한 요소를 차지하고 있으며, 강관 혹은 기타 보강 요소를 도입할 경우 유공 개수에 따른 구조적 결점은 충분히 극복할 수 있을 것으로 사료되며, 추후 다공보의 개구부의 크기, 위치, 모양, 수, 보강방법 등과 같은 구조적 성능에 영향을 미치는 요인들을 대상으로 지속적인 연구를 수행할 계획이다.

참고문헌

1. 최 진영 외 3인, 강관을 이용한 철근콘크리트 다공보의 구조적 특성에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 2001.4, pp. 23-26.
2. 이 화직 외 5인, 철근 콘크리트 장방형 유공보에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 1994.2, pp. 141-150.
3. 구 해식, 철근 콘크리트 장방형 유공보의 특성에 대한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 1998년 7월, pp. 11-19.
4. Mohammad A. Mansur & Kiang-Hwee Tan, Design Procedure for reinforced concrete beams with large web openings, ACI, 1996, pp. 404-411.
5. P. Govindan et al 2, Inelastic behavior of reinforced concrete beams with web opening, Indian Concrete Journal, 1987, pp. 301-306.
6. Naoko Tsuchida et al 2, An experimental study on shear-flexural behavior of reinforced concrete beams with a web opening, JCI Journal, 1997, pp. 295-302.
7. Toshihiko Yamamoto & Masafumi Toyoda, An experimental study on shear strength of reinforced concrete beams with an opening using high strength steel, JCI Journal, 1995, pp. 305-312.