고강도 철근콘크리트 유공보의 역학적 거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Mechanical Behavior of High Strength Concrete Beam with Circular Opening

구범모* 박강근** 윤승현** 김용태**
Ku, Bum-Mo Park, Kang-Geun Yoon, Seoung-Hyun Kim, Yong-Tae

ABSTRACT

This paper is an experimental study of the normal strength concrete beam and high strength concrete beam for the analysis of bending and shear behavior. In building structure, the story height can be minimized by providing openings in beams which serves for the utility equipments passing through. The dead space in false ceiling increase construction cost, the good ceiling system such as beam with opening give to economical merits because of a substantial reduction in materials and construction cost. For the analysis on the mechanical behavior of the reinforced high strength and normal strength concrete beams with circular opening in the web, the stress concentration of the circular opening, crack pattern and reinforcing methods were studied. Twenty test pieces with different reinforcing methods and difference concrete strength were tested and their resisting forces and load deflection curves were defined in this study.

1. 서 론

1.1 연구의 목적

구조설계의 3대 기본요소는 구조물의 안전성, 사용성, 경제성이다. 구조물 설계시 철근콘크리트 보에 유공을 두는 것은 이 3대 기본요소중 경제적인 측면에서 매우 실용적으로 적용되고 있다.

구조물의 설비 및 서비스 덕트와 파이프 등이 통과할 수 있도록 보의 재축에 수직으로 구멍을 만들면 건물의 층고가 낮아지며 비효율적인 공간을 줄일 수 있어 경제적이다. 이러한 이유로 구조물 시공전에 미리 콘크리트 보에 구멍을 두거나 시공후에 장비를 사용하여 구멍을 뚫게된다.

* 정회원, 밀양대학교 대학원 석사
** 정회원, 밀양대학교 건축공학과 교수

그러나 유공을 둠으로써 보 단면에 유공의 크기만큼 단면손실이 생겨 내력과 강성이 저하되어 구조상 문제가 되어 안전성을 위협하게 된다. 그러므로 철근콘크리트 유공보 설계시 미리 유공부분을 보강하여 유공으로 인하여 저감되는 내력과 강성을 유공을 두지 않았을 때의 내력과 강성으로 회복시켜 구조물 사용에 안전성을 확보하여야 한다.

본 연구는 고강도 철근콘크리트 유공보와 보통강도 철근콘크리트 유공보의 구조적 특성 및 보강방안에 대한 연구와 실험을 비교·분석함으로써 향후 고강도 철근콘크리트 유공보 설계시 참고가 될 기초자료를 얻는데 연구의 목적을 둔다.

1.2 연구의 범위 및 방법

1.2.1 연구 범위

고강도 철근콘크리트 유공보의 역학적 거동에 관한 본 연구의 시험체는 보통강도 철근콘크리트 유공보(콘크리트 강도 ≒ 270 kgf/cm^2) 5개 및 고강도 철근콘크리트 유공보(콘크리트 강도 ≒ 520 kgf/cm^2) 5개를 제작하여 실험하였다. 시험체 제작 후 전단 실험을 통하여 철근콘크리트 유공보에 대한 구조적 특성을 측정하여 실험결과를 비교·분석함으로써 고강도 철근콘크리트 유공보의 역학적 거동에 대한 기초자료를 얻고자 하였다. 각 조건별 시험체는 표1과 같다. 구멍의 위치는 스팬의 중앙부로 하며, 유공의 개소는 1개소, 형태는 무공(無孔) 및 원형(구멍의 크기는 원의 지름), 구멍의 크기는 기존 연구를 고려하여 보 전체 춤의 1/3이하로 하였다.

1.2.2 연구 방법

연구 방법은 개구부의 보강방법이 동일한 보통강도 철근콘크리트 유공보와 고강도 철근콘크리트 유공보에 대한 전단 파괴 실험을 통하여 고강도 철근콘크리트 유공보의 내력, 철근과 콘크리트의 변형 및 보강방안 등을 분석·검토한다. 실험은 표1에 나타난 바와 같이 시험체를 강도에 따라 각각 5개씩 총 10개를 제작하여 구조물 만능시험기인 UTM200을 사용하여 실험하였다.

2. 실험

2.1 시험체 설계

시험체의 크기 및 형태는 철근콘크리트 유공보로서 b×D×l=200×400×3400mm이다. 배근방법은 상·하부근 2-D22, 늑근 D10@200으로 배근하였다. 유공보의 보강시 사용되는 보강근은 D13을 사용하였다. 유공 보강시에 사용되는 D13철근은 격자로 엮어서 2중으로 배근하였다. 시험체 양 옆면에는 실험시 발생되는 균열을 쉽게 발견하고, 진행상황을 파악하기 위하여 흰색 페인트칠을 한 후 세로선 및 가로선을 10cm간격으로 줄을 그었다. 그림1는 시험체의 유공부 배근 및 보강방법을 나타낸 것이다

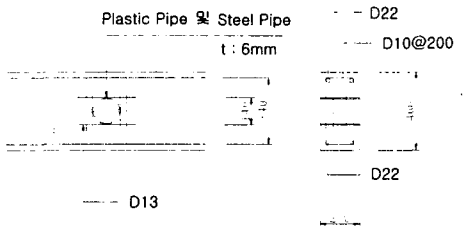


그림 1. 전단시험체의 유공부 보강방법

표 1. 시험체의 종류 및 보강방안

형상 / 시험체명	강도 (28일)	구멍직경 (mm)	do/D	보강방안
SCBV1	270 kgf/cm^2	--	--	무공보
SCBV2		140	0.35	Plastic Pipe
SCBV3		140	0.35	Plastic Pipe+13mm 철근보강
SCBV4		140	0.35	Steel Pipe
SCBV5		140	0.35	Steel Pipe+13mm 철근보강
SHSCBV1	520 kgf/cm^2	--	--	무공보
SHSCBV2		140	0.35	Plastic Pipe
SHSCBV3		140	0.35	Plastic Pipe+13mm 철근보강
SHSCBV4		140	0.35	Steel Pipe
SHSCBV5		140	0.35	Steel Pipe+13mm 철근보강

2.2 사용재료

본 연구 대상인 시험체에 사용한 콘크리트는 보통강도 철근콘크리트 유공보의 경우 보통 포틀랜드시멘트 1종과 모래 5mm이하, 자갈 25mm이하의 골재를 사용하여 슬럼프 10cm로 배합 설계하였으며, 고강도 철근콘크리트 유공보의 경우 보통강도 철근콘크리트 유공보의 조건에 강도를 높이기 위하여 실리카흄을 시멘트량의 8% 배합 설계하였다. 표2는 각 시험체의 콘크리트 배합비이고, 표3은 각 시험체 타설시 제작한 공시체의 3일, 7일, 28일강도 실험 결과이며, 표4는 시험체에 사용한 철근의 인장강도 및 항복강도의 실험 결과이다.

표 2. 콘크리트 배합비

구분	물시멘트비 (W/C)	중량비(kgf/m^3)				혼화재(kgf/m^3)	슬럼프 (cm)
		물	시멘트	모래	자갈	혼화제(kgf/m^3)	
보통강도 콘크리트 (강도 270 kgf/cm^2)	47.2%	172	336	709	1126	--	10
						0.84	
고강도 콘크리트 (강도 520 kgf/cm^2)	30%	167	530	629	1026	실리카흄 : 42.4	10
						1.32	

표 3. 공시체 실험결과

공시체 종류	재령일에 따른 강도(kgf/cm^2)		
	3일 강도	7일 강도	28일 강도
보통강도 콘크리트 (강도 270 kgf/cm^2)	142	213	270
고강도 콘크리트 (강도 520 kgf/cm^2)	205	412	520

표 4. 철근 인장강도 실험결과

구분	단면적 (mm^2)	최대하중 (kgf)	인장강도 (kgf/mm^2)	항복강도 (kgf/mm^2)	비고
D10	71	4708.0	66.31	52.11	늑근
D13	127	7589.3	44.12	44.09	보강근
D16	199	11208.7	56.33	40.70	상부근
D22	387	26133.3	67.53	46.51	하부근

2.3 가력 및 측정방법

가력기구는 200Ton 용량의 만능시험기(U.T.M)를 사용하여 실험하였다.

시험체의 변위 및 변형을 측정하기 위하여 그림2와 같이 스트레인게이지를 설치하였다. 각 시험체에 스트레인게이지는 하부근 및 늑근에 1개소씩 부착하여 타설하였다. 가력장치는 그림2와 같이 시험체위에 H-200×204×12×12의 형강을 가력보로 설치하였고, 가력보 아래 재하면에는 Ø80mm 강봉을 부착하여 시험체에 2점가력이 되도록 하였다

재하방법은 하중속도를 일정하게 유지하면서 연속적으로 재하하였다. 각각의 재하하중 단계마다 처짐, 변형도 및 균열발생을 관찰하면서 직접 보 옆면에 균열된 전 과정을 그리면서 발생 균열 끝에 하중값을 기록한다. 시험체에 하중가력시 발생되는 철근의 변형도는 측정후 그래프로 나타내었으며, 발생되는 균열에 대해서는 끝나는 부분과 각 재하하중마다 시험체에 직접 균열길이를 표시하여 기록하였다. 변형도 및 균열발생 현황의 기록은 시험체가 파괴될 때까지 실시하였다. 철근의 변형은 스트레인게이지로 하부근 및 늑근에 대하여 보 중앙에 2개소 부착하여 측정하였다.

그림2는 전단시험체의 가력방법 및 가력기구의 설치상태이다.

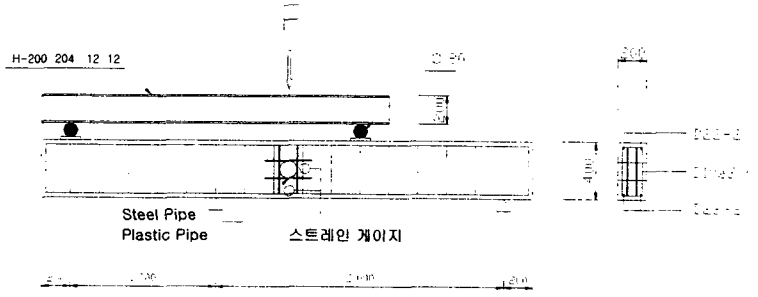


그림 2. 전단시험체 가력방법 및 가력기구

3. 실험결과 및 고찰

3.1 전단실험

전단 실험은 보통강도 콘크리트 유공보 5개와 고강도 콘크리트 유공보 5개를 실시하여 그 결과를 비교·분석하였다. 전단 실험은 시험체에 전단균열을 유도하기 위하여 그림2와 같이 가력기구를 사용하였으며 전단 실험 결과는 표5과 같다. 표5에서는 전단 실험시 각 시험체별 최초균열 하중, 전단파괴시 하중 및 최대내력을 나타내었다

3.2 균열

균열은 보 하단부에서 초기균열로서 전단균열이 발생되었다. 전단균열은 파괴하중에 이르러 보 중앙부에서 양단부까지 급격하게 발생하였다. 균열은 무공보에서는 전체적으로 다수 발생되었으나 유공보의 경우 유공을 중심으로 발생되었다.

3.3 강도

전단 실험에서 무보강인 보통강도 콘크리트 유공보는 무공보보다 극한하중이 63%정도 내력이 감소하였으며, 고강도 콘크리트 유공보의 경우는 무공보보다 극한하중이 42%정도 감소한 것으로 나타났다. 유공에 대한 철근의 수직·수평 보강은 41~68%의 효과가 나타났다

그림3은 각 시험체별 극한하중, 압축파괴시 하중 및 초기균열 하중을 나타내었으며, 그림4는 각 시험체에 대하여 보통강도 콘크리트 무공보를 기준으로 한 하중에 따른 비율을 나타낸 것이다. 그림5과 그림6는 보통강도 콘크리트 유공보와 고강도 콘크리트 유공보의 전단 실험 후 하중에 따른 처짐을 곡선으로 나타내었으며, 그림7와 그림8은 전단 실험시 발생되는 균열에 대하여 시작과 끝부분에 하중을 표시하여 도면화하였다.

표 5. 전단실험 결과표

시험체명		do(mm)	do/D	최초균열 하중(t)	전단파괴시 하중(t)	최대내력 (%)*
보통강도 (270kgf/cm^2)	SCBV1	--	--	13.5	41.8	100
	SCBV2	140	0.35	11.5	15.6	37.3
	SCBV3	140	0.35	14.0	37.9	90.6
	SCBV4	140	0.35	13.0	19.6	46.8
	SCBV5	140	0.35	15.0	30.7	73.4
고강도 (520kgf/cm^2)	SHSCBV1	--	--	16.0	39.6	100
	SHSCBV2	140	0.35	12.0	22.8	57.5
	SHSCBV3	140	0.35	17.0	38.1	96.2
	SHSCBV4	140	0.35	13.0	13.3	33.5
	SHSCBV5	140	0.35	18.0	41.2	104
do : 유공지름 * : SCBV1 및 SHSCBV1의 내력을 기준으로 한 %						

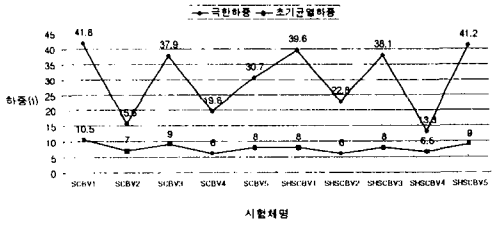


그림 3. 전단실험시 각종 하중 관계

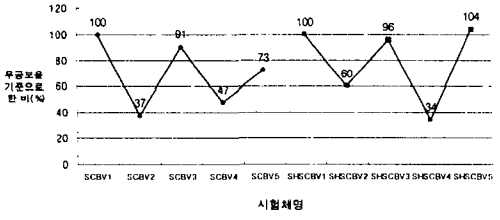


그림 4. 전단실험시 하중에 따른 비율

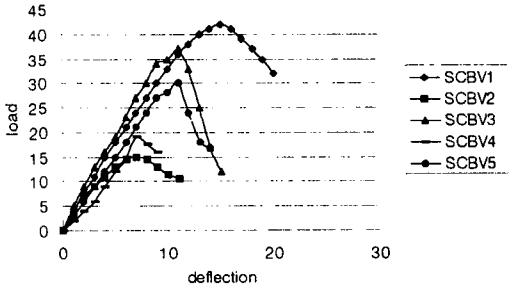


그림 5. 보통강도 유공보의 하중-처짐 곡선

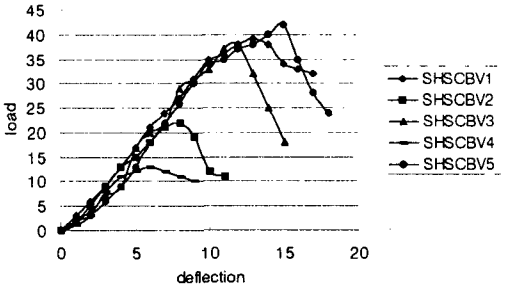
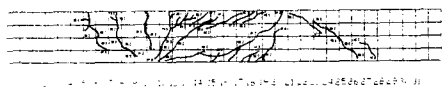
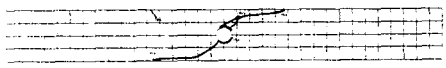


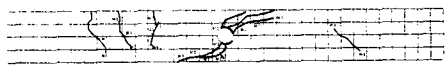
그림 6. 고강도 유공보의 하중-처짐 곡선



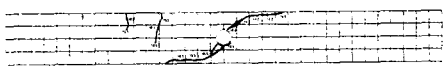
(a)SCBV1



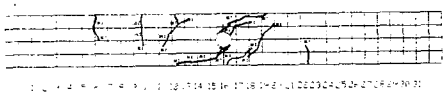
(b)SCBV2



(c)SCBV3

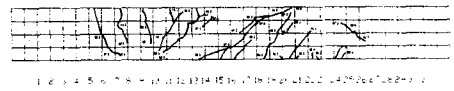


(d)SCBV4

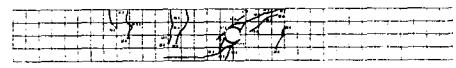


(e)SCBV5

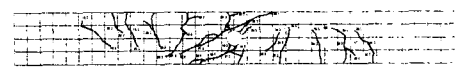
그림 7. 전단 시험체의 균열현황(Fc=270kgf/cm^2)



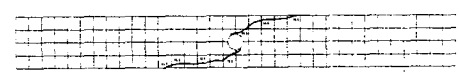
(a)SHSCBV1



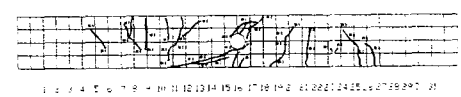
(b)SHSCBV2



(c)SHSCBV3



(d)SHSCBV4



(e)SHSCBV5

그림 8. 전단 시험체의 균열현황(Fc=520kgf/cm^2)

4. 결 론

고강도 철근콘크리트 유공보와 보통강도 철근콘크리트 유공보의 전단 실험 결과는 다음과 같다.

전단실험 결과, 전단균열은 파괴하중에 이르러 구멍을 중심으로 중앙부에서 양단으로 급격하게 발생하였으며, 유공의 보강에 따른 내력차이는 보통강도 철근콘크리트 유공보에서 보강하지 않은 유공보는 무공보 내력의 54~63%정도 감소하였으나, 보강이 된 유공보는 내력이 23~10%정도 감소하였고, 고강도 철근콘크리트 유공보의 경우는 보강하지 않은 유공보는 무공보보다 내력이 43~67%정도 감소하였으나 보강이 된 유공보는 4%정도 감소한 것으로 나타났다. 고강도 철근콘크리트 유공보와 일반강도 철근콘크리트 유공보의 전단 실험 결과와 비교하여 보면 구멍으로 인한 단면손실로 발생되는 내력의 감소는 비슷하였으나 일반강도 철근콘크리트 유공보보다 고강도 철근콘크리트 유공보가 보강에 따른 효과는 높게 나타났다.

참 고 문 헌

1. 고만형, 고강도 철근콘크리트 보의 탄소성 거동에 관한 실험적 연구, 성균관대학교 박사학위논문, 1998.
2. 구해식, 철근콘크리트 사각형 유공보의 구조적 특성에 관한 연구, 성균관대학교 박사학위논문, 1992. 7.
3. 김용부, 철근콘크리트 원형유공보의 구조적 특성에 관한 연구, 고려대학교 박사학위논문, 1985. 12.