

---

# 철근콘크리트 개방형 유공보의 구조적 특성에 대한 실험적 연구

## An Experimental Study on Structural Characteristics of Reinforced Concrete Beams with the Perforative Opening



구해식\*

Koo, Hae-Shik

---

### ABSTRACT

One standard reinforced concrete beam, six beams with rectangular opening and three beams with perforative opening were tested in shear strength under two points loading. Here the length of opening size put 0.3 times of beam depth, the width of it changed from one to three times of the length and they made a change presence and absence of reinforcement. This experimental study investigated mainly the load capacity and structural characteristics of the perforated beams in comparison with rectangular opened beams under the same conditions by considering the existing researches.

Keywords : perforated beam, rectangular opened beam, structural characteristics

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 목적

철근콘크리트의 유공보구조는 건축기술과 함께 증

가하는 각종 설비시스템의 요구에 부응하고 건축물의 용적률을 높임으로서 경제적인 건축물을 생산하기 위한 구조이다. 더욱이 최근의 건축물이 고층화 및 대형화되어짐에 따라 강성과 중량비에 있어 경제

---

\* 정회원, 경남대학교 건축공학과 부교수

• 본 논문에 대한 토의를 1998년 2월 30일까지 학회로 보내주시면 1998년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

적이며 최대한의 가용공간을 확보하기 위해 보의 축에 일정 규모의 구멍을 설치하여 충고를 낮추고 사각공간(dead space)을 줄일 수 있게 한다.

그러나 유공보를 설계함으로써 보의 단면은 유공 크기만큼의 손실단면으로 인해 내력 및 강성부족, 변형 등 구조상의 문제들이 발생하지만 최근의 고강도 콘크리트의 출현과 고계질의 철근사용이 일반화되어 짐으로 구조적인 문제 해결도 더욱더 가능하게 되었다.

그래서 본 연구는 기존의 유공보 연구<sup>1)~4)</sup>에 대한 호응과 내력특성을 기초로 하여 높은 활용성과 시공의 난점을 만족시킬 수 있는 사각형 유공형태를 변화시킨 개구부 하부 콘크리트 부분을 제외한 개방형 유공보의 개구형상비에 대한 구조적 특성을 실험으로 연구하여 동일 조건의 유공보와 비교·분석하여 개방형 유공보의 실용 가능성에 기초자료를 제공하고 나아가 유공보의 구조적 발전에 기여하고자 한다.

## 1.2 연구범위와 방법

철근콘크리트 개방형 유공보에 있어서 관통공으로 인한 보의 단면손실은 보의 전단과 휨내력에 큰 영향을 미치므로 본 연구에서는 기존의 연구를 고려하여<sup>5)~7)</sup> 개방형 크기에 대한 유공보의 전단성능 검토를 주고찰대상으로 한다. 유공보의 연구대상은 구멍의 형태, 크기, 위치, 개수, 보강방법 및 응력상태 등의 변수가 많이 있다. 따라서 본 연구는 먼저 개방형 유공보와 동일조건의 사각형 유공보에 있어서 휨에 대해서는 충분히 안전하게 하여 전단파괴가 일어나도록 계획하였으며 이의 사각형 유공하부 콘크리트 부분을 제외한 개방형 유공보를 설계하여 무공보와 함께 개방형의 가로길이 변화에 대한 내력변화를 비교하기 위하여 실험을 실시하였다.

실험에 있어서 유공의 위치는 순수 전단력을 받는 곳에 위치하고 개구의 수는 스패न्에 하나로 하였으며 개구형태는 실용성을 고려한 사각형으로 하며 사각형 유공의 세로길이는 보춤의 3/10을 기준으로 하고 가로길이는 유공 세로길이의 1~3배로 변화하였으며 개방형 유공보는 사각형 유공보와의 동일조건으로서 이들 각각에 대해 사각형 유공하부 콘크리트 부분을 제외시킨 개방형 유공보를 제작하여 실험·연구하였다.

연구방법은 이들 유공보에 대한 전단파괴 실험을 통하여 개방형과 사각형 유공보의 내력, 재료의 변형도, 변위, 균열특성, 철근콘크리트의 역학적 메카니즘 등 제반특성을 분석 검토한다.

## 2. 실험

### 2.1 시험체의 계획 및 제작

시험체의 크기는 반실대형의 크기로서  $b \times D \times l = 15\text{cm} \times 30\text{cm} \times 180\text{cm}$ 이고 철근종류는 SD24으로 주근은 복근으로 상·하부에 각각 3-D13을 배근하고 늑근은  $\phi 6$ 을 유공부분을 제외한 시험체 전길이에 걸쳐서 12cm간격으로 배근하였으며 피복두께는 주근에서는 2cm, 유공주위의 좌우측은 2.5cm, 상하측은 2cm로 하였다. 본 시험체의 보강문제에 있어서 무보강은 기존보에 구멍을 만들었을 경우를 고려하였으며 개방형 유공보와 같이 유공주위에 보강근  $\phi 6$ 을 사용하여 보강하였다. Fig. 1은 사각형 및 개방형 유공주위의 보강상태를 나타낸다.

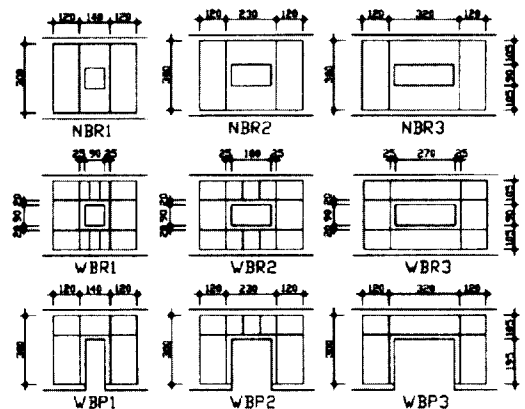


Fig. 1 Kinds of reinforced situation around opening

시험체의 종류는 무공보 1개, 무보강, 보강 그리고 개방형 유공보에 대하여 각각 3개씩으로 총 10개를 제작하였으며 각 보의 시험체 형상은 Table 1과 같다. 사각형 유공의 세로위치는 보춤의 중심에 두고 개방형 유공은 사각형 유공 하부에 주철근만 두고 유공하부 콘크리트 부분을 제외하였다.

시험체 제작에 사용한 콘크리트는 보통 포틀랜드시멘트 1종과 입경 5mm이하 크기의 합천산 잔골재와

Table 1 Kinds of test specimen

classification	specific name	opening size (width×length)	reinforcement condition
無孔보	SB	-	-
長方形 有孔보	NBR1	9cm×9cm	無
	NBR2	18cm×9cm	無
	NBR3	27cm×9cm	無
	WBR1	9cm×9cm	有
	WBR2	18cm×9cm	有
長方形 有孔보	WBR3	27cm×9cm	有
	WBR1	9cm×19.5cm	有
	WBR2	18cm×19.5cm	有
WBR3	27cm×19.5cm	有	

25mm이하의 복면산 굵은골재를 사용하여 압축강도가 180kg/cm<sup>2</sup>가 되도록 Table 2의 배합표와 같이 설계하여 레미콘회사에 주문하였다. 그리고 콘크리트 타설후 치밀하고 균질한 콘크리트가 되기 위해 진동기 다짐을 사용하였으며 타설후 20℃, 습윤상태를 유지하기 위하여 살수, 실내 기중양생을 하였다.

Table 2 Concrete mix design

W/C (%)	slump (cm)	S/(S+G) (%)	water (kg/m <sup>3</sup> )	unit weight (kg/m <sup>3</sup> )			AE admixtur
				cement	sand	gravel	
68.6	12	56	212	308	800	986	0.462

본 실험에 사용된 콘크리트와 철근의 재료시험은 KSF 2405 그리고 KSB 0802에 의해 실시하였으며 시험결과는 Table 3 및 Table 4와 같다.

Table 3 Compressive strength of concrete

cylinder size	compressive strength(kg/cm <sup>2</sup> )	modulus (kg/cm <sup>2</sup> )
φ 15cm×30cm	184.7	1.802×10 <sup>4</sup>

Table 4 Strength of steel reinforcement

steel reinforcement	yeild strength (kg/cm <sup>2</sup> )	tensile strength (kg/cm <sup>2</sup> )	elastic modulus (kg/cm <sup>2</sup> )
D 13	3,858.27	5,039.4	1.5576×10 <sup>4</sup>
φ 6	-	6,964.3	1.9216×10 <sup>4</sup>

## 2.2 재하 및 측정방법

각 시험체는 Fig. 2와 같이 내민보 형태의 가력장치를 사용하여 장방향 유공 중심부분을 휨모멘트가 없고 전단력만이 작용하는 위치에 두어서 시험체 재하시 전단력이 휨모멘트보다 크게하여 극한상태에서는 전단파괴가 일어나도록 설계하였다. 하중재하는

하중속도를 일정하게 유지하면서 초기균열 발생까지는 0.25t씩 증가시키고 그 이후부터 극한하중까지는 0.2t씩 계속 증가시켜 재하하였다.

시험체의 변위는 Fig. 2에서 2점 가력점의 캔틸레버 자유단 부분, 최대 휨이 작용하는 부분, 유공하부 중앙부분에 변위측정기를 설치하여 측정하였으며 철근변형중 수평보강근은 일반 유공보의 경우 유공하부 중앙에, 개방형 유공보의 경우 유공상부 중앙에, 수직철근은 우측면 스테럽 또는 보강철근에, 콘크리트 변형은 사각형 유공 상부중심의 수평과 수직, 측면 스테럽이 있는 콘크리트면에 스트레인게이지를 부착하여 변형도를 측정하였다.

그리고 각 재하하중 단계마다 처짐, 변위, 변형을 측정하고 균열발생이후 균열상태를 관찰하면서 직접 보면에 균열진전 과정과 균열폭을 나타내고 발생한 균열끝에 하중값을 기록하였다.

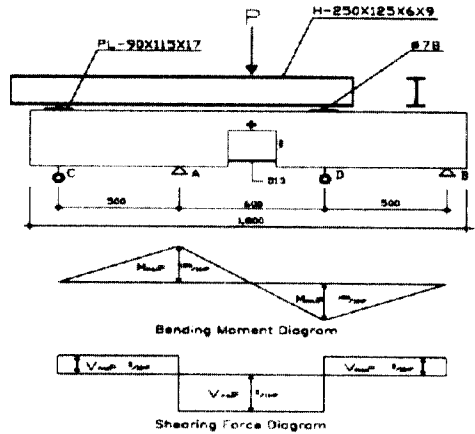


Fig. 2 Experimental setup and stress diagram (unit:mm)

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 최대하중

Table 5는 실험결과로부터 시험체의 최대내력과 인장면과 유공주위의 초기균열 발생시의 내력값을 나타내며 Fig. 3은 이들 관계를 그림으로 나타낸 것이다.

Table 5 및 Fig. 3와 같이 전반적으로 유공보에서는 유공크기가 커짐에 따라 내력이 저하됨을 알 수 있지만 유공크기가 크면 클수록 내력크기의 차이는 더 큰 변화를 나타내고 있다. 그러나 사각형 유공보

Table 5 Summary of test results

Specific name	$P_{max}$ (t)	$P_{i.}$ (t)	$P_{o.}$ (t)	$P_{max}/P_{max}$	$P_{i.}/P_{max}$	$P_{o.}/P_{max}$
SB	24.25	9.0	10.0*	1.0000	0.3711	0.4124
NBR1	10.70	5.1	5.1	0.4412	0.4766	0.4766
WBH1	14.80	4.8	4.2	0.6103	0.3243	0.2838
WBP1	7.30	2.4	2.0	0.3010	0.3288	0.2740
NBR2	11.10	3.6	3.0	0.4577	0.3243	0.2703
WBH2	14.00	3.2	3.0	0.5773	0.2286	0.2143
WBP2	6.80	1.7	1.7	0.2804	0.2500	0.2500
NBR3	9.80	2.6	1.8	0.4041	0.2653	0.1837
WBH3	11.30	3.4	2.0	0.4660	0.3009	0.1770
WBP3	6.20	1.2	0.6	0.2887	0.1935	0.0968

$P_{max}$  : maximum load(\*: diagonal crack)

$P_{i.}$  : initial crack load of tensile side

$P_{o.}$  : initial crack load around opening

에 있어서 3배의 사각형 유공크기가 2배의 경우보다 내력의 차가 매우 큰데 비해 개방형 유공보에서의 유공크기 비교에 따른 내력의 차는 아주 크지 않은 것으로 나타났다.

무공보와의 비교에 있어서는 사각형 유공크기 변화에 따라 무보강 유공보는 무공보 내력의 40.41~45.77%, 보강 유공보에 대해서는 46.41~61.03%, 개방형 유공보에서는 25.57~30.10%를 나타내었다. 그리고 동일크기의 유공보에 있어서 보강한 유공보의 내력은 무보강 유공보보다 정방형 유공크기에서는 38.32%, 2배의 장방형 크기에서는 26.13%, 3배의 장방형 크기에서는 15.31%만큼 높은 값이 나타나서 유공크기가 커질수록 동일방법의 보강효과는 저하됨을 알 수 있다.

무보강 유공보와 개방형 유공보에 대해서는 개방형 유공보의 내력은 정방형 유공크기에서는 무보강 유공보 내력의 68.22%, 2배의 장방형 크기에서는

61.26%, 3배의 장방형 크기에서는 63.27%로 개방형 유공크기가 1~3배로 변함에 따라 무보강 유공보의 61.26%~68.22%로 나타나고 보강 유공보와 개방형 유공보에 있어서는 개방형 유공보의 내력은 정방형 유공크기에서는 보강한 유공보 내력의 49.32%, 2배의 장방형 크기에서는 48.57%, 3배의 장방형 크기에서는 54.87%로 개방형 유공크기가 1~3배로 변함에 따라 보강 유공보의 48.57%~54.87%로 나타나서 유공의 하부 콘크리트부분이 유공보에서는 많은 영향을 미치며 유공크기가 커질수록 내력크기의 변화는 저하됨을 알 수 있다.

또한 콘크리트 인장강도와 콘크리트와 인장철근과의 부착강도 성능은 유공크기의 증가에 따라 보강 유공보 내력의 50.68%, 51.43%, 45.13%에 해당하므로 유공크기 비례에 따라 콘크리트의 인장강도 분담도 비례함을 알 수 있다.

무공보와 개방형 유공보에 있어서 유공단면 손실로 인해 발생하는 내력저하치는 정방형 유공크기에서는 69.90%, 2배의 장방형 크기에서는 71.96%, 3배의 장방형 크기에서는 74.43%로 개방형 유공보설계는 사용성을 고려하여 개방형 유공보의 적절한 중립축의 위치를 먼저 결정하고 이에따라 유공보의 춤과 길이를 정하여 상기 실험의 토대로 유공단면손실에서 생기는 내력저하치 이상을 보강하는 것이 바람직하다.

그리고 본 실험의 개방형 유공보는 유공으로 인한 콘크리트 면적이 적기때문에 다른 유공보보다 적은 내력을 가지므로 개방형 유공보의 크기는 이전의 사각형 유공보 연구<sup>1)</sup>와 같이 내력의 효율성을 고려하여 유공의 최대 세로길이는 보춤의 0.3배 이하로 하고 최대 가로길이는 세로길이의 1~3배 정도로 하는 것이 바람직하다.

### 3.2 초기균열하중

개방형 유공보의 초기균열하중에 있어서 유공주위 전단균열은 무보강 유공보에서는 그의 최대하중의 18.37~47.66%, 보강 유공보에서는 17.70~28.38%, 개방형 유공보에 대해서는 8.82~27.40%가 나타났으며 휨인장균열은 무보강 유공보에서는 26.53~47.66%, 보강 유공보에서는 22.86~32.43%, 개방형 유공보에서는 17.65~32.88%으로

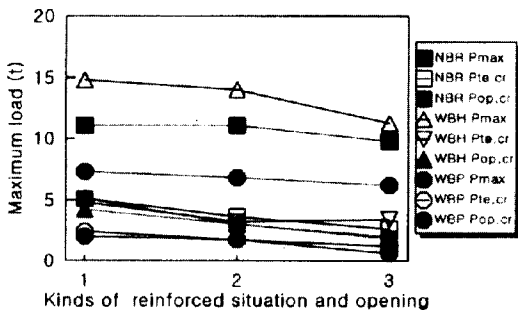


Fig. 3 Maximum load for kinds of reinforced situation and opening

나타나서 유공보 모두 유공주위의 전단균열이 휨인장균열보다 먼저 발생하였다.

그래서 본 유공보 실험에 있어서 처음의 실험회과 잘 일치하고 있으며 유공주위의 전단균열과 휨인장균열은 대부분의 시험체가 사각형 및 개방형 유공크기에 반비례하고 있음을 알 수 있다.

### 3.3 하중-변위곡선

Fig. 4의 (a)~(c)는 시험체의 캔틸레버 하중작용점, 최대휨모멘트 발생점, 유공하부 중앙점에서 측정 한 하중-변위곡선으로 개방형 유공보에 있어서의 유공하부 중앙점은 인장철근의 중앙부를 측정 한 것이다.

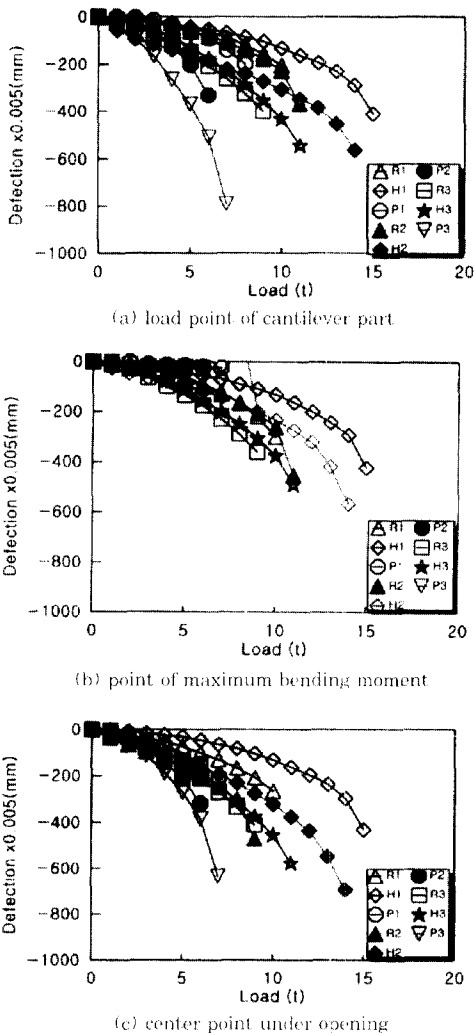


Fig. 4 Load-deflection curves

이의 그림으로부터 유공보에서의 변위 크기량은 하중작용점, 최대휨모멘트점, 유공하부 중앙점의 순으로 크며 초기하중시의 변위량은 적은 반면에 파괴 하중 부근에서의 변위량은 크게 나타나서 전형적인 변위곡선 모양을 보이고 있다.

그리고 변위의 크기는 사각형 유공크기가 클수록 변위도 크게 나타났으며 개방형 유공보는 보강 유공보와의 같은 보강방법을 했는데도 변위는 무보강 유공보보다 변위가 더 크며 개구부가 큰 개방형 유공보의 변위가 제일 크게 나타났다. 이것으로부터 개방형으로 인해 제외된 콘크리트 면적부분이 파괴하중에 이르러서는 강성에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

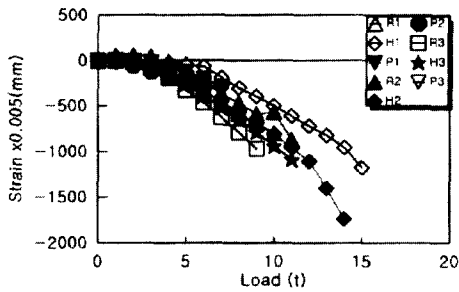
### 3.4 하중-변형도곡선

Fig. 5의 (a)에서 전체 시험체의 모든 주근은 인장응력을 받으며 이의 변형도는 거의 일정한 기울기를 가져서 휨파괴 이전에 전단파괴가 일어나도록 설계되었음이 확인되었고 (b)에서는 개방형 유공보의 개구부크기가 커짐에 따라 수직보강근은 유공보의 보강근과 같이 외력에 크게 저항하므로 수직보강근의 역할이 대단히 중요하므로 보폭에 대해서도 보강근을 고려할 필요가 있으며 (c)의 수평보강근에 있어서는 보강 유공보의 수평보강근의 측정치가 압축과 인장역으로 변화하여 유공하부 콘크리트부분은 작은 보 역할을 하고 있으며 개방형 유공보에서는 주철근과 함께 유공상부의 수평보강근도 인장응력을 받아서 유공상부 콘크리트도 보 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

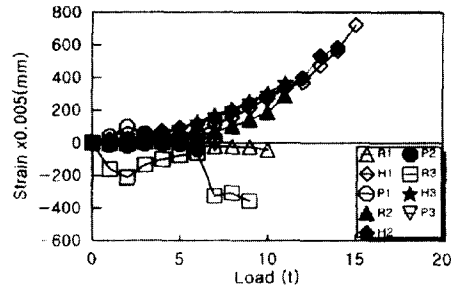
Fig. 5(d)로부터 유공좌측면의 콘크리트 부분은 보강한 일반 유공보에서는 외력에 저항하지만 개방형 유공보에서는 거의 저항하지 못하며 (e)와 (f)로부터 수직변형은 압축 또는 인장으로 응력상태의 변화가 있으나 수평변형은 시험체 모두 일률적으로 압축응력만을 나타낸다. 특히 3개의 개방형 유공보에서는 개방형 유공으로 제외된 콘크리트부분이 보 역할을 하고 있음이 확인된다.

### 3.5 균열 및 파괴형태

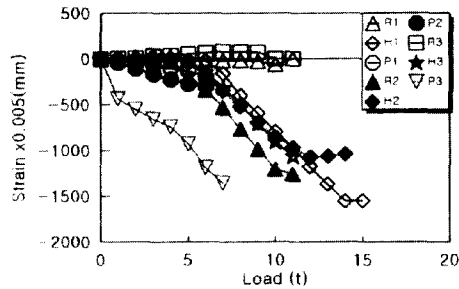
본 시험체의 실험결과 균열현황도는 Fig. 6의 (a)~(j)와 같다. 그림으로부터 유공보의 균열은 최대부



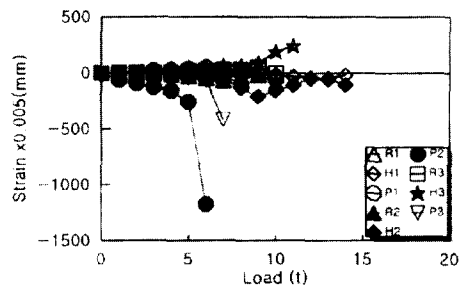
(a) longitudinal steel



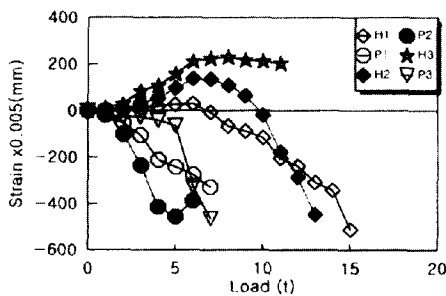
(d) left surface of opening



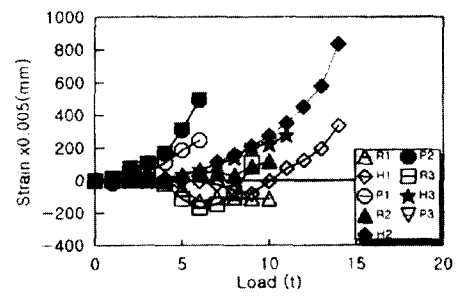
(b) vertical reinforced steel



(e) central vertical surface above opening



(c) horizontal reinforced steel



(f) central horizontal surface above opening

Fig. 5 Load-strain curves

모멘트의 지지점과 최소정모멘트의 하중점사이 에 있는 사각형 유공주위에서 지점과 하중점을 연결하는 유공 모서리로부터 전단력에 의한 초기균열이 발생하여 계속적인 하중증가에 따라 지점방향과 작용하중방향으로 균열폭의 증대와 함께 점진적으로 균열이 진행하여 최종하중 도달 즈음에 많은 균열과 더불어 파괴하게 된다. 이러한 하중증가 도중에 사각형 유공의 다른 모서리의 상부와 하부에 있어서 상부보다 하부에서 먼저 휨균열이 발생하여 유공코너쪽으로 균열이 진행하고 파괴하중에 이르러서는 이러한 균열들이 처음 형성된 균열쪽으로 향하여 함께 파괴에 작용할 뿐아니라 최대모멘트들이 작용하는 부근

에서도 높은 하중에서 독단적으로 휨균열이 발생하여 진행하고 있다. 이러한 사각형 유공의 파괴 메카니즘은 유공면적에 대한 콘크리트 단면결손으로부터 사각형 유공의 내부응력 집중현상에서 야기된다.

개방형 유공보에서는 다른 유공보와 같이 유사하지만 개방형 유공과 지점사이에는 균열이 없고 작용하중점사이에서만 균열이 발생하여 일반 유공보의 양상과 같이 파괴에 도달한다. 이러한 개방형 유공의 파괴 메카니즘도 유공보와 비슷하지만 하부 콘크리트 단면부분이 결손되어 세로길이가 길어짐에 따라 균열진행 속도는 더욱 증가하며 개방형 유공 모서리에 응력집중현상이 두드러져 파괴에 도달하게 된다.

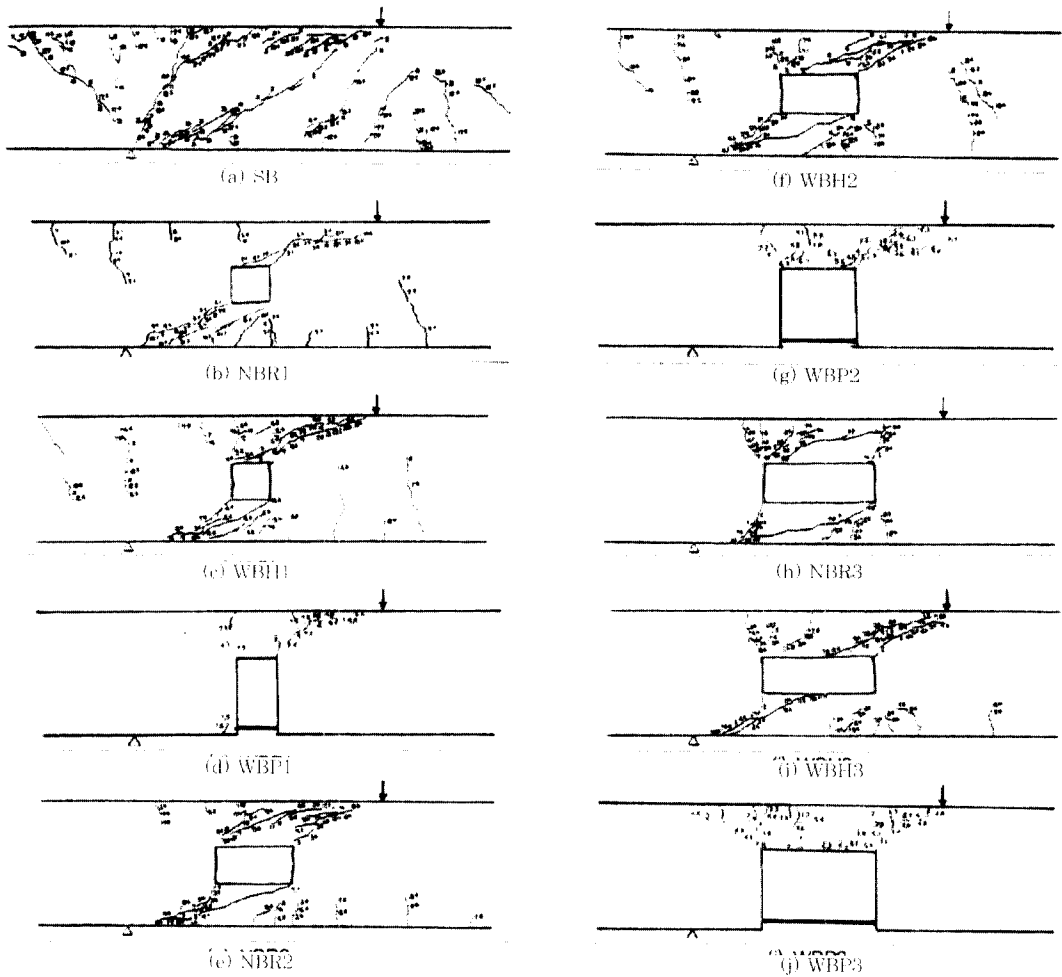


Fig. 6 Crack patterns of test specimens

#### 4. 결론

본 연구는 철근콘크리트의 사각형 유공보와 개방형 유공보에 대하여 일련의 실험을 통해 개방형 유공보의 제반 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 개방형 유공보의 하부 콘크리트부분은 보강 유공보 내력의 39.82~55.71%로 유공보 내력에 많은 영향을 미친다.

2) 개방형 유공보에서는 콘크리트 인장강도와 부착강도의 손실로 응력집중현상이 두드러지므로 설계시 이를 고려할 필요가 있다.

3) 사각형 유공보의 유공하부 콘크리트부분은 처음부터, 개방형 유공보의 콘크리트 하부는 압축에서 인장으로 변화하면서 보의 거동을 한다.

4) 사각형 및 개방형 유공보에서 구멍의 크기가 클수록, 무보강일수록 내력은 작아지고 처짐은 크므로 보강근을 많이 사용해야 한다.

5) 개방형 유공보설계는 사용성을 고려한 유공보의 중립축 위치를 먼저 정하고 이에 유공보의 출과 길이를 결정하여 단면손실의 저항에 대한 보강을 실시하는 것이 바람직하다.

본 연구의 결과를 기초로 개방형 유공보의 보강방법, 개구위치의 변화, 개구크기의 변화 등 개방형 유공보의 많은 연구가 필요하며 나아가 유공보의 계속

적인 연구를 하고자 한다.

## 참 고 문 헌

1. 金容孚 外 5人, "鐵筋콘크리트 有孔보에 대한 研究(1~5)," 大韓建築學會 學術發表論文集, 1985.
2. 金容孚, "鐵筋콘크리트 圓形 有孔보의 構造의 特性에 관한 研究," 高麗大學校 大學院 博士學位論文, 1985.
3. 朴敬浩, "鐵筋콘크리트 有孔보에 관한 研究," 大韓建築學會論文集, 1988.
4. 具海植, 金容孚, "鐵筋콘크리트 四角形 有孔보의 構造의 特性에 대한 實驗的 研究(1~Ⅲ)," 大韓建築學會論文集, 1991, 2
5. 具海植, "鐵筋콘크리트 四角形 有孔보의 構造의 特性에 대한 研究," 成均館大學校 大學院 博士學位論文, 1992.
6. 노희일 外 5人, "鐵筋콘크리트 長方形 有孔에 관한 實驗的 研究," 大韓建築學會論文集, 1994, 2
7. 조창호, 김정섭, "鐵筋콘크리트 開方形 有孔보에 관한 研究, 開口크기와 補強方法에 대하여," 大韓建築學會論文集, 1995, 8
8. 류기표, 박정곤, 서정환, 양영성, "鐵筋콘크리트 多孔보의 構造的 舉動에 관한 實驗的 研究," 大韓建築學會論文集, 1996, 7
9. 오승석, 이청수, 조창호, 김정섭, "鐵筋콘크리트 開方形 有孔보에 관한 研究, 開口형상비와 開口位置에 대하여," 大韓建築學會論文集, 1997, 3
10. 東洋 外 多數, "鐵筋コンクリート造 有孔梁のせん断 補強方法に關する 實驗的 研究," 第4會 コンクリート工學 年次講演論文集, 1982.
11. Mansur, M.A., and Paramasivam, P., "Reinforced Concrete Beams with Small Opening in Bending and Torsion," ACI Journal, March-April, 1984, pp.180~185

## 요 약

철근콘크리트 유공보에 있어서 기존 유공보의 연구는 유공위치를 보춤의 중앙에 위치하여 연구하였으나 철근콘크리트 보의 역학적 특성활용과 시공상의 편의성을 위해 사각형 유공의 위치를 보춤 하단에 설치하여 개방형 유공보로 변형하였다. 본 연구에서는 사각형 유공보에 대한 유공크기의 세로길이를 보춤의 0.3 배로 하고 가로길이를 세로길이의 1~3배로 변화시켜 보강 및 무보강 상태의 사각형 유공보와 이의 사각형 유공하부 콘크리트를 제외시킨 개방형 유공보에 있어서 총 10개의 시험체를 대상으로 실험을 실시하여 시험체의 최대내력, 유공주위에서의 전단균열과 시험체의 휨인장균열, 주요위치의 변위조사, 주근 및 유공주위의 콘크리트와 보강철근의 변형도조사, 시험체의 균열을 조사하여 상호변화를 비교·분석하였다. 이 연구결과로부터 개방형유공보의 유공주위 응력변형상태, 파괴메카니즘, 적절한 개방형 유공크기, 설계시 고려사항을 제시하여 차후의 개방형 유공보의 계속적인 연구에 기여하고자 한다.

(접수일자 : 1997. 8. 29)