



## 패각을 사용한 철근콘크리트 유공보의 공학적 특성에 관한 연구

### *An Experimental Study on the Engineering Characteristics of Perforated Reinforced Concrete Beams containing Shells*

구해식\*

Koo, Hae-Shik\*

\* Corresponding author; Division of Architecture, Kyungnam Univ., South Korea (koo@kyungnam.ac.kr)

#### ABSTRACT

This is an experimental study on the engineering characteristics of perforated reinforced concrete beams with shells. In the material matter of this study, the water cement ratio put 60%, the ratio of substitution of oyster shells to fine aggregate 30%. And in the structural matter, the form of opening put circle and square, the size of opening as the radius and the length of it changed from one to three times of the beam depth with a change presence and absence of reinforced steel around opening. All thirteen reinforced concrete beam tests composed one standard beam and twelve six beams with the circle and square opening were tested in shear strength under two points loading and compared and analyzed the characteristics of test beams under the same conditions one another. The results of the study showed as followed.

- 1) The initial crack load value of the opening test beams is similar the standard beam but the maximum load value decreased with increase in proportion of the opening size, in the square opening than the circle opening and in the absence than the presence of reinforced steel.
- 2) As the difference between the circle opening and the square opening beams is represented 2.17 ~ 9.8% in the maximum load value and the load capacity of the square opening suddenly decrease than it of the circle opening, it is judged because of the shortage of concrete section, the concentration of the stress in the corner of the square opening and material influence of shell substitution.
- 3) The failure figure such as the pattern of the crack and so on is represented brittle failure as the opening size is the bigger and the ratio of substitution is higher because of the lack material properties.

© 2015 KIEAE Journal

#### KEYWORD

철근콘크리트 유공보  
원형 및 정방형 유공  
공학적 특성

Perforated reinforced concrete beam  
The circle and square opening  
Engineering characteristics

#### ACCEPTANCE INFO

Received July 30, 2014  
Final revision received September 25, 2014  
Accepted September 29, 2014

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

철근콘크리트 구성 재료의 골재는 콘크리트 전체 용적 중 대부분을 차지하고 있는데 이러한 골재는 지금까지 끊임없는 건설산업의 발달과 함께 골재 사용량의 급격한 증가로 골재 부족현상을 더욱 가속화시키고 있다.

그리고 건설현장의 자원고갈 및 자연환경 파괴에 대한 문제점으로 인해 각종 산업폐기물들을 건설재료의 활용 일환으로서 많이 연구되고 있으며 그중 패각을 콘크리트의 골재로 사용하려는 연구<sup>1~3)</sup>도 활발하게 진행되어 왔다.

또한 철근콘크리트 유공보의 특성은 건물의 층고를 줄이고 사각공간(dead space)을 효율적으로 사용할 수 있어 현재 건축물 적용에 실용성이 높으나 유공으로 인해 보의 단면결손이 발생함으로써 보 구조부재의 내력 및 강성저하를 초래할 수 있으므로 구조안전성 측

면에서 철근콘크리트 유공보에 관한 연구들<sup>10~11)</sup>도 많이 이루어져 왔다.

이에 본 연구는 재료적 측면의 패각을 사용한 콘크리트와 구조적 측면의 철근콘크리트 유공보를 결합한 연구로서 우수한 패각 유공보 콘크리트 활용성을 위하여 이들과 관련된 기존 연구들<sup>1~3)</sup>을 분석, 검토하여 높은 활용성을 만족시킬 수 있는 패각을 사용한 철근콘크리트 유공보의 공학적 특성을 실험적으로 규명하여 패각 유공보 철근콘크리트의 품질 실용성 제고와 생산폐기물인 패각 소모량 증대와 함께 환경적 측면과 자원 재활용 측면에 기여하고자 한다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 패각을 사용하여 철근콘크리트 유공보를 제작하여 실험을 통해 공학적 특성을 규명하고자 한다. 먼저, 여기서 사용된 물시멘트비는 패각콘크리트와 관련된 기존 논문들<sup>2~3)</sup>을 조사하여 60%로 정하고 분쇄한 패각을 세골재 중량 대비로 30%로 하여 이를 세골재로 대체재로 사용하기로 한다.

유공보의 연구에 있어서는 유공 형태, 크기, 개수, 위치 및 보강방법 등 변수가 많이 있는데 기존 논문들을 참조하여 실용성을 고려한 유공 형태는 원형과 정방형으로 하고 유공 크기는 보 깊이의 0.2~0.4

배로 변화시키며 유공의 수는 스펠 내에 하나로, 그리고 보강방법은 유공 주변에 보강철근을 설치하도록 한다.

유공보의 특성은 유공으로 인한 보의 단면손실로 보의 전단력과 휨모멘트에 큰 영향을 미치므로 기존의 유공보 연구처럼 휨에 대해 안전하게 설계하고 전단파괴가 일어나도록 계획한다.

이와같이 패각을 사용한 유공보의 성능을 검토하기 위하여 유공 위치를 순수 전단력에 받는 곳에 두고 실험을 실시하여 유공보의 내력과 이에 대해 미치는 영향, 초기균열 및 변위관계, 철근 및 콘크리트의 변형특성, 균열현황 등을 분석하여 패각 철근콘크리트 유공보의 공학적 특성을 연구한다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험체 설계

본 연구에서 패각을 사용한 철근콘크리트 유공보 설계는 극한강도설계법으로 하며 보크기에 대한 휨모멘트 및 전단력 크기를 계산하여 휨에 대해 안전하게 하고 전단력에 의해 파괴가 일어날 수 있도록 하여 패각 철근콘크리트 유공보의 구조적 거동과 공학적 특성을 연구한다.

본 연구의 주요 재료인 패각 크기는 기존 연구들<sup>2-3)</sup>을 바탕으로 세골재 크기로 분쇄한 후 이들을 대체재로 혼입·사용하였으며 각종 실험체의 크기는 실험실의 후레임 시스템(Frame system)을 고려한 반실대형의 축소 모델로서 폭 120mm, 총 200mm, 길이 1,400mm로 한다.

유공크기에 있어서 원형유공 직경은 40mm(0.2D), 60mm(0.3D), 80mm(0.4D)로, 정방형 유공크기는 40mm각, 60mm각, 80mm각으로 하며 보강에 대해서는 원형일 경우 링보강을, 정방형일 경우 유공 주변의 수직 및 수평보강철근을 설치한다.

### 2.2. 사용재료

본 실험에서 사용된 시멘트는 KS L 5201의 규격에 적합한 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며 사용 골재 중 조골재는 최대치수 19mm이하의 함안 석산의 화강암 쇄석을, 세골재는 하동 심진강 모래로 각 골재로부터 불순물을 제거, 세척한 후 자연 건조시켜 사용하였다. 그리고 패각은 통영시 해안에서 폐기 패각을 채취하여 세척한 뒤 이물질을 제거하고 110±10℃ 건조로에서 건조시킨 후 분쇄하여 표준체 5.0mm, 3.0mm, 1.0mm를 각각 사용하여 입도크기별로 분류하였다.

Table 1과 Table 2는 사용 골재 및 패각의 물리적 성질을 나타낸 것이며 패각콘크리트의 28일 압축 및 인장강도<sup>2-3)</sup>는 다음과 같다.

압축강도  $f_{ck}=19.54\text{Mpa}$ , 인장강도  $f_{ct}=2.03\text{Mpa}$

Table 1. Physical properties of aggregate<sup>2-3)</sup>

Aggregate	Specific gravity			F.M <sup>1)</sup>	Absorption (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
	Apparent	S.S.D <sup>2)</sup>	Absolute			
Fine	2.737	2.69	2.658	6.67	1.09	15.51
Coarse	-	2.59	-	1.85	1.61	16.52

Table 2. Physical properties of shell<sup>2-3)</sup>

Grading size	Specific gravity			Percent of absorption (%)	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Percent of solid (%)
	Apparent	S.S.D	Absolute			
5.0~3.0mm	2.50	2.36	2.27	3.90	9.15	40.3
3.0~1.0mm	2.54	2.38	2.27	4.45	9.39	41.4
≤1.0mm	2.61	2.41	2.28	5.21	10.51	46.1
Average	2.55	2.27	2.38	4.52	9.68	42.6

또한 사용 철근은 SD300의 이형철근을 사용하였으며 이들의 재료적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3. Physical properties of steel<sup>2-3)</sup>

Kinds	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
D13, D10	378	515	27.5
Φ6	424	689	26.2

### 2.3. 배합설계 및 철근배근

본 실험의 배합설계는 기존 연구들<sup>2-3)</sup>을 고찰하여 콘크리트 설계 기준강도 18.0MPa를 기준으로 하였으며 Table 4와 같이 배합수와 시멘트, 조골재 사용량은 일정하게 하고 세골재 사용량을 패각으로 대체하여 배합설계를 실시하였다.

여기서의 물시멘트비에 있어서는 기존 연구들의 다양한 실험으로부터 물시멘트비가 60%에서 콘크리트 강도 및 변형도가 가장 이상적인 것으로 조사되어 본 실험도 물시멘트비를 60% 기준으로 정하였다.

패각 사용량도 세골재 중량대비로 다양하게 변화시킬 수 있으나 여기서는 유공보 변화를 명확하게 파악할 수 있도록 하기 위하여 30%로 정하였고 혼합한 패각크기는 기존 연구들을 고려하여 실험체들의 작업성과 강도면에서 아주 이상적인 것으로 판단되는 각 크기 별로 동일하게 취하여 사용하였다. 여기서 기준보는 패각을 사용하지 않는 것으로 한다.

Table 4. Mixture proportions(kN/m<sup>3</sup>)

W/C (%)	Percent of substitution(%)	Water	Cement	Coarse aggregate	Fine Aggregate					Total
					Sand	Shell				
						5.0~3.0mm	3.0~1.0mm	≤1.0mm	Shell total	
60	0	2.01	3.35	15.18	7.59	-	-	-	-	7.59
	30	2.01	3.35	15.18	5.31	0.76	0.76	0.76	2.28	7.59

실험체의 사용 철근은 주근 상부에는 2-D10을, 하부는 2-D13을, 그리고 유공부분을 제외한 실험체 전길이에 걸쳐 늑근  $\phi 6$ 을 80mm 간격으로 배근하였고 주근 양끝 부분에는 후크를 만들어 콘크리트와 철근간의 부착강도 증대와 철근의 정착길이를 확보할 수 있도록 하였으며 피복두께는 유공주위의 좌·우측 모두 15mm로 하였다.

1) FM: Finess Modulus(조립률)

2) SSD: Saturated Surface Dry Condition(표면건조 포화상태)

본 실험체의 보강은 늑근과 같이 유공주위에 보강철근  $\varnothing 6$ 을 사용하였는데 유공형태가 정방형인 경우 유공주위로 수평·수직근 보강을, 원형인 경우 링보강으로 하였으며 Fig 1은 유공 실험체의 크기 및 유공주위의 배근상태, 그리고 실험체에 작용하는 응력관계들을 나타낸 것이다.

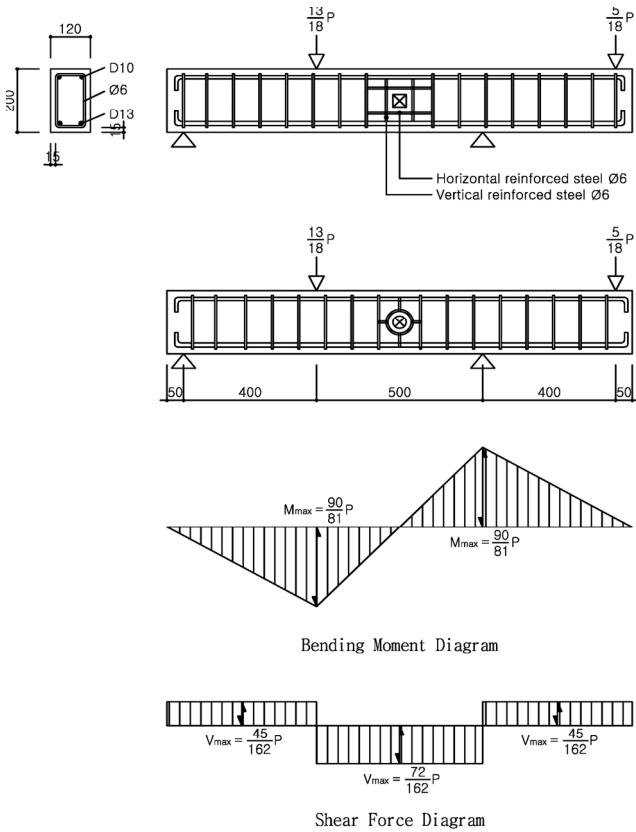


Fig 1. Beam test size, steel situation around opening and relation of stresses

파괴 철근콘크리트 유공보 실험체의 변형 분석을 위해서 최대 휨 모멘트가 작용하는 위치의 주근과 유공 우측 늑근, 그리고 수평 및 수직 보강근 및 링보강 중앙부에 각각 1개소씩 스트레인게이지를 부착

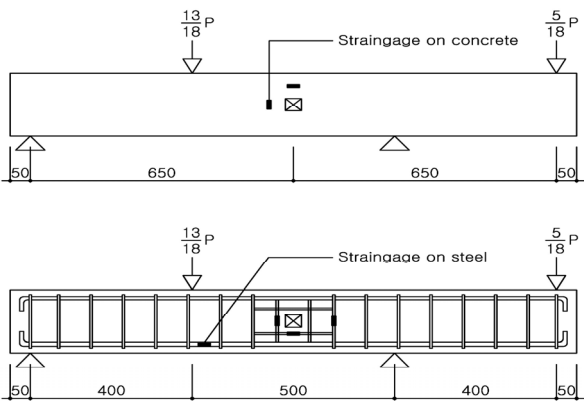


Fig 2. Position of straingages

하였고 콘크리트를 타설, 양생한 후 콘크리트 표면을 평탄하게 정리한 뒤 Fig 2와 같이 유공상부의 콘크리트 중앙부와 유공좌측 콘크리트에 각각 1개소씩 스트레인게이지를 부착하여 변형을 측정하였다. 또한 실험체들의 변위 측정은 지지점 중앙부에 변위계를 설치하여 가력하중에 의한 변위를 측정하였다.

본 실험에서의 실험체의 수는 기준보 1개, 원형 유공보 6개, 정방형 유공보 6개로 모두 13개를 제작하였으며, 유공의 위치는 세로의 경우 보 깊이의 중심에, 가로의 경우 순수 전단력이 작용하는 중심에 위치하였다.

## 2.4. 실험방법

본 실험체들의 시험방법은 Fig 3과 같이 프레임 시스템(frame system)에 가력장치를 사용하여 휨모멘트 값이 0이 되고 전단력만이 작용하는 위치에 유공 중심을 정확하게 두고 내민보 형태의 단순지지 상태에서 2점 집중 가력방법을 사용하였다.

재하방법은 가력기(actuator)에 부착된 200kN 규모의 로드셀(load cell)로 재하속도를 일정하게 유지하면서 예상 최대하중까지 2.0kN 단위의 하중제어방식을, 예상 최대하중 이후에는 변위 2.0mm마다 데이터를 측정하는 변위제어방식을 취하여 실험체가 완전 파괴되는 극한하중 시까지 재하하여 정밀하게 측정하였다.

그리고 실험체의 파괴하중에 이르기까지 각 재하하중 단계마다 변위, 변형, 균열폭을 측정하고 균열발생 상태를 관찰하면서 유공보 측면에 직접 균열진행 과정을 그려 나갔다. 각 재하시의 실험 데이터는 컴퓨터에 연결하여 수집하며 이를 그림 및 표 작업을 할 수 있도록 처리하였다.

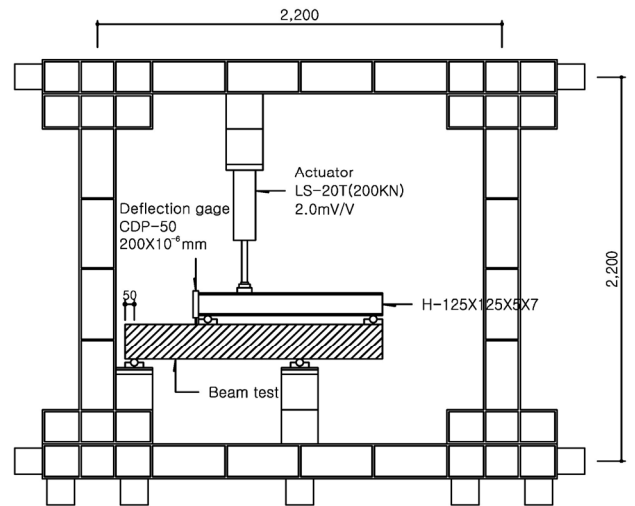


Fig 3. Experimental setup

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 실험체의 강도특성

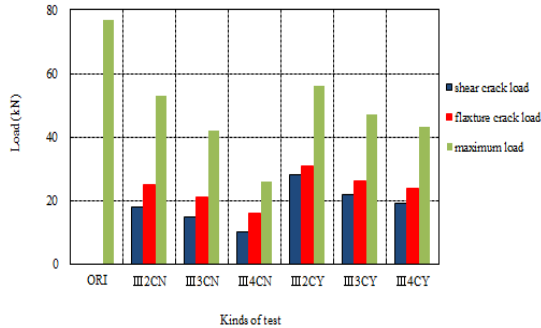
Table 5는 본 연구의 실험 결과를 정리한 것으로서 보강종류 및 보강유무에 대한 실험체의 초기 균열하중과 최대하중을, 그리고 Fig 4

는 이를 유공종류별로 그림을 나타낸 것이다.

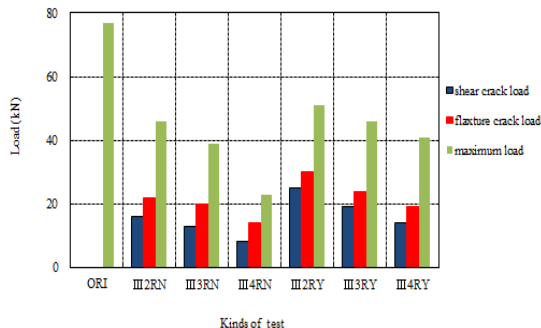
Table 5. Summary of test results(kN)

Test name*	P <sub>sc</sub>	P <sub>fc</sub>	P <sub>max</sub>	P <sub>sc</sub> /P <sub>max</sub>	P <sub>sc</sub> /P <sub>sc</sub> *	P <sub>fc</sub> /P <sub>max</sub>	P <sub>fc</sub> /P <sub>OR,fc</sub>	P <sub>max</sub> /P <sub>OR,max</sub>
ORI	-	29	77	-	-	0.3766	1.0000	1.0000
III2CN	18	25	53	0.3396	0.6429	0.4717	0.8621	0.6883
III3CN	15	21	42	0.3571	0.5357	0.5000	0.7241	0.5455
III4CN	10	16	26	0.3846	0.3571	0.6154	0.5517	0.3377
III2CY	28	31	56	0.5000	1.0000	0.5536	1.0690	0.7273
III3CY	22	26	47	0.4681	0.7857	0.5532	0.8966	0.6104
III4CY	19	24	43	0.4419	0.6786	0.5581	0.8276	0.5584
III2RN	16	22	46	0.3478	0.6400	0.4783	0.7586	0.5974
III3RN	13	20	39	0.3333	0.5200	0.5128	0.6897	0.5065
III4RN	08	14	23	0.3478	0.3200	0.6087	0.4828	0.2987
III2RY	25	30	51	0.4902	1.0000	0.5882	1.0345	0.6623
III3RY	19	24	46	0.4130	0.7600	0.5217	0.8276	0.5974
III4RY	14	19	41	0.3415	0.5600	0.4634	0.6552	0.5325

P<sub>sc</sub>: Initial crack load of shear(kN)  
 P<sub>fc</sub>: Initial crack load of flexure(kN)  
 P<sub>max</sub>: Maximum load, P<sub>OR,max</sub>: Maximum load of ORI test  
 P<sub>sc</sub>\*: Initial crack load of shear on III2C(R)Y  
 P<sub>OR,fc</sub>: Initial crack load of flexure on ORI  
 \* [Notation]  
 III: Percent of shell substitution, 30%, 2-4: Size of opening  
 C or R: Circle or Cubic, N or Y: Without or With reinforcement steel



a) Circle opening



b) Square opening

Fig 4. Kinds of loads

여기서 실험체의 초기 전단균열 하중 및 초기 휨균열 하중은 해당

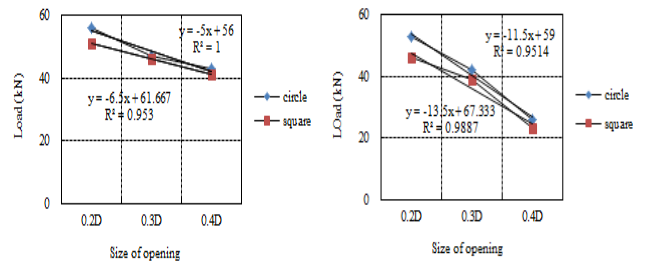
실험체의 최대하중에 대해 각각 33.33~50.00%, 46.34~61.54%로 실험체의 초기 균열하중 크기가 유공종별 및 보강유무에 따라 군(群)을 형성하고 있으며 초기 전단균열 하중은 초기 휨균열 하중에 대해 원형 유공에 있어서는 62.50~90.32%, 정방형 유공에 있어서는 57.14~83.33%로 나타났는데 이로부터 본 연구의 실험계획 의도와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

보강한 실험체의 초기 전단균열과 휨균열 하중 크기는 보강하지 않는 실험체의 크기보다 원형 유공일 경우 각각 46.67~90.0%, 23.81~50.0%만큼, 그리고 정방형 유공일 경우 각각 46.15~75.0%, 20.0~36.36%만큼 크게 나타났다. 이로부터 실험체를 보강함으로써 초기 전단균열 하중 및 휨균열 하중에 대한 성능이 향상되었음을 알 수 있다.

기준보에 대해서는 초기 휨균열 크기는 원형 유공보다 정방형 유공이, 그리고 유공크기가 커질수록 감소하지만 유공크기가 제일 작은 0.2D의 경우는 기준보와 유사한 성능을 나타내고 있다.

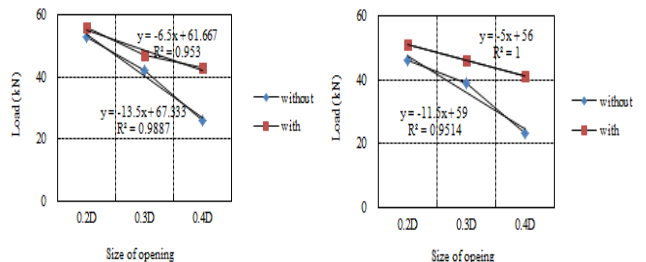
Table 5로부터 기준보에 대한 0.2D 크기의 원형 유공 및 정방형 유공의 최대하중 능력은 각각 72.73%, 66.23%를 나타내고 이후 유공크기가 커질수록, 원형 유공보다 정방형 유공일수록, 보강을 하지 않을수록 최대하중 크기는 점점 감소한다.

그리고 보강한 원형 및 정방형 유공보의 최대하중 크기는 보강하지 않는 경우보다 각각 5.66~65.38%, 10.87~78.26%만큼 더 크게 나타났고 원형 유공보는 정방형 유공보보다 보강하지 않은 경우 7.69~15.22%, 보강한 경우 2.17~9.80%만큼 크게 나타났다. 이로부터 유공형태는 원형 유공이 정방형 유공보다 유리하며 보강형태도 있어도 원형 유공의 보강보다 정방형 유공의 보강이 더욱더 많은 보강을 요구되고 있음을 알 수 있다.



a) With reinforcement steel      b) Without reinforcement steel

Fig 5. Maximum load of beam tests I (type of reinforcement steel)



a) Circle opening      b) Square opening

Fig 6. Maximum load of beam tests II (type of opening)

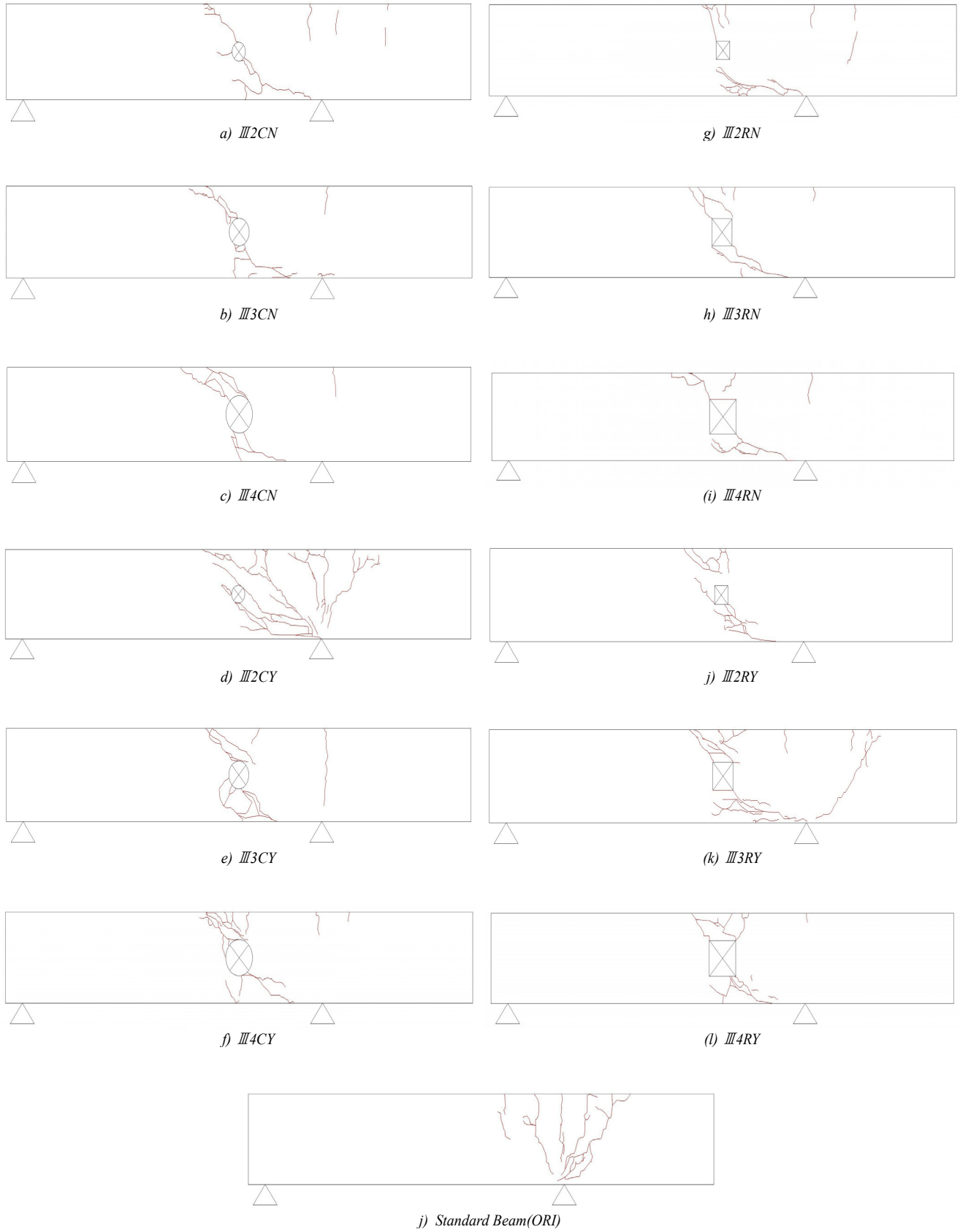


Fig 7. Crack pattern of beam tests

Fig 5 및 Fig 6은 실험체들의 보강유무별, 그리고 유공종별 최대하중을 나타낸 것이다. Fig 5로부터 유공 크기변화에 있어서는 유공크기가 10%씩 커짐에 따라 보강에 의한 하중 증가는 무보강 유공보에 대해 원형일 경우 각각 5.66%, 11.90%, 65.38%씩, 정방형일 경우 각각 10.87%, 17.95%, 78.26%씩 증가하여 보강 효과는 유공크기가 클수록, 그리고 원형 유공의 보강보다 정방형 유공의 보강이 더욱더 효력을 발휘한다.

또한 유공 형태별 최대하중 차이는 보강을 하지 않는 경우 7.69~15.22%정도, 보강을 한 경우 2.17~9.8%정도 원형 유공이 정방형 유공보다 더 높게 나타났는데 이것은 두 유공사이의 0.215배의 단면적손과 정방형 유공의 코너 부분의 응력집중현상, 그리고 패각 물성에 따른 결합력 저하로부터 야기된 것으로 판단된다.

그리고 Fig 6으로부터 유공크기별 최대하중 크기를 회귀분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

$$\text{원형유공, 보강유 } P_{\max} = -6.5x + 61.667$$

$$\text{원형유공, 보강무 } P_{\max} = -13.5x + 67.333$$

$$\text{정방형유공, 보강유 } P_{\max} = -5.0x + 56$$

$$\text{정방형유공, 보강무 } P_{\max} = -11.5x + 59$$

여기서,  $P_{\max}$ 는 최대하중(kN),  $x$ 는 유공크기(mm)

본 관계식들로부터 유공종별과 관계없이 보강을 한 경우의 기울기는 보강을 하지 않은 경우보다 완만하며 보강유무에 따라 관계식들의 절편값은 거의 비슷한 값을 가지며 보강을 한 경우가 하지 않은 경우보다 절편값이 높게 나타나므로 유공크기가 커질수록 보강의 중요성을 나타내고 있다.

### 3.2. 균열 및 파괴특성

Fig 7은 본 실험에서 실시한 실험체들의 파괴균열도를, 그리고 Picture 1은 유공형태별 전형적인 균열 및 파괴현상을 나타낸 것이다.



a) Beam test of III4CY

b) Beam test of III4RY

Picture 1. Failure phenomena of beam tests

기준보의 파괴양상은 최대 부모멘트가 생기는 지점에서 균열이 발생하여 파괴되었다. 기준보에 작용하중은 최대 정모멘트 및 부모멘트 크기가 동일하게 나타나므로 이들 작용 구간 내에서 균열이 발생하여 파괴될 것으로 예상하였는데 최대 정모멘트의 부분이 최대 부모멘트 부분보다 강하게 작용하여 지점에서 균열이 발생하여 보

상부로 균열폭이 점차 확장되면서 파괴에 이르게 된다.

또한 유공보 실험체들은 유공주위 균열이 휨균열보다 먼저 발생하며 하중이 증가함에 따라 유공 주위의 균열이 지점과 하중점 방향으로 진전해 나가면서 균열폭이 커지다가 보의 상·하단으로 파괴되는 전형적인 전단파괴 양상을 보인다.

본 실험체에서 유공형태가 원형인 경우에는 균열양상이 먼저 유공주변으로 고루 분포되어 파괴되지만 유공형태가 정방형인 경우 균열양상이 유공 코너 부분에 집중되어 개구부에 응력집중현상이 작용하여 파괴되는데 정방형 유공형태가 크면 클수록 균열은 분산되지 않고 집중되며 하중 작용점 주위와 유공하부에 가력하중으로 인해 콘크리트 부분이 압괴되거나 박리되면서 균열폭도 크게 나타나고 최대하중도 많이 떨어진다.

### 3.3. 하중과 변위특성

Fig 8은 각 실험체들의 중앙부의 변위를 측정한 데이터로 그림을 그린 것으로 Fig 8로부터 각 실험체들의 변위곡선은 대체로 전형적인 모양으로 항복 변위까지 거의 유사한 형태를 나타내고 있는데 대부분 초기인장균열 발생 전까지 거의 직선으로 변화하여 변위는 유사하게 나타나지만 하중이 증가함에 따라 변위곡선의 기울기는 감소하는 반면 변위크기는 증가하며 최대하중 도달 이후에도 실험체들 모두 유사한 기울기로 파괴하중에 도달한다.

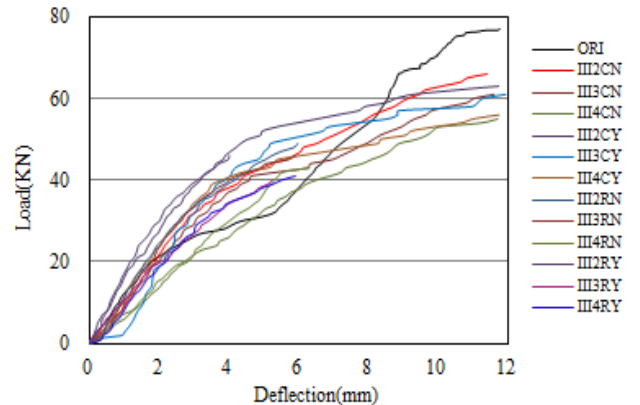


Fig 8. Load-deflection curve

여기서 기준보(ORI)의 하중-변위곡선은 일반 유공보 실험체들과 달리하고 있는데 이것은 Fig 7 j)에서와 같이 파괴양상이 지점파괴의 영향으로 나타난 것으로 판단된다.

### 3.4. 하중과 변형특성

#### 1) 콘크리트 변형도

Fig 9는 실험체의 유공 상부면과 좌측면의 콘크리트의 하중과 변형도 곡선을 나타낸 것으로 하중이 증가함에 따라 변형도도 증가하는 전형적인 양상을 보이다가 항복점 도달 전까지 일정한 기울기를 형성한 후 극한변형에 도달하게 된다.

유공 상부면에서는 패각을 사용한 대부분의 실험체들이 유공형태와 상관없이 기준보보다 낮은 최대하중에서 파괴됨으로서 콘크리트

변형도도 매우 낮게 나타나며 유공 좌측면도 대부분 실험체들이 전단응력에 의해 파괴되므로 유공 상부면 콘크리트 변형보다도 더 낮은 변형에서 파괴된다. 이로부터 유공 좌측면 변형도의 경사면이 상부면보다 매우 급하므로 가력하중에 의해 콘크리트 변형도의 영향이 더욱 크게 작용하고 있음을 알 수 있다.

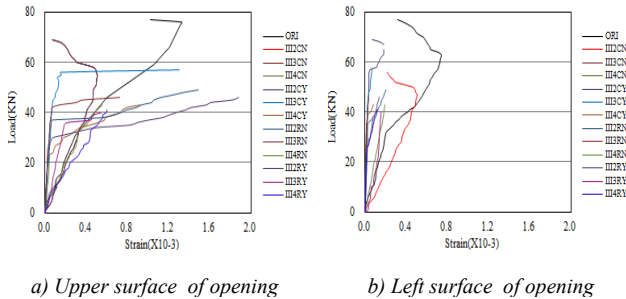


Fig 9. Load-strain curve of concrete

2) 철근 변형도

Fig 10은 실험체의 철근위치별 철근의 하중과 변형도 곡선을 나타낸 것으로 콘크리트 변형도와 유사하게 하중이 증가함에 따라 변형도도 비례적으로 증가하는 양상을 보인다.

여기서 변형도는 항복하중 도달까지 거의 일정한 기울기를 보이다가 유공형태와 크기, 보강유무 등 유공보의 특성에 따라 각각의 기울기를 나타내면서 극한하중에 도달하여 파괴에 이른다.

본 실험에서의 주근 변형도는 유공의 보강유무에 관계없이 대부분 비슷한 크기를 가지는데 이들 중 기준보의 기울기가 제일 완만하고 유공크기가 커짐에 따라 실험체 기울기는 커지지만 이들 변형도의 크기가 일정한 한도에 있으므로 더 많은 응력을 수용할 수 있는 여력이 있는 것으로 판단된다.

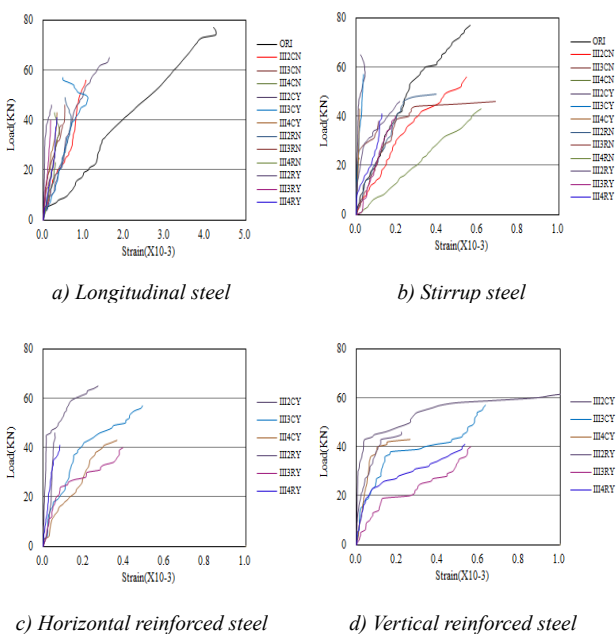


Fig 10. Load-strain curve of steel

극근 변형도에 있어서도 유공 실험체 대부분이 낮은 최대하중으로 인하여 빠른 시간내 파괴가 이루어지므로 실험체 III4RN은 변형이 수직적으로 급격히 발생하며 보강된 실험체 III4RY도 그 극근 보강효과는 미비한 것으로 나타났다.

유공 하부 수평 및 수직보강근에 대해서는 보강된 실험체들만 해당되는데 초기 임계까지는 주근이 하중을 저항하는 관계로 보강근에는 변형도가 낮게 나타나다가 유공주위의 균열발생 이후 주근과 함께 보강근에도 응력이 작용하면서 변형이 나타난다.

유공 하부 수평 및 수직보강근에 대해서는 보강된 실험체들만 해당되는데 초기 임계까지는 주근이 하중을 저항하는 관계로 보강근에는 변형도가 낮게 나타나다가 유공주위의 균열발생 이후 주근과 함께 보강근에도 응력이 작용하면서 변형이 나타난다.

4. 결론

본 연구에 있어서 패각을 사용한 철근콘크리트 유공보의 공학적 특성에 관한 실험 결과를 종합·정리하면 다음과 같다.

- 1) 물시멘트비 60%, 패각 대체율 30%에서 초기 균열하중 크기는 무공보와 유사함을 보이지만 최대하중 크기는 유공크기가 클수록, 원형보다 정방형 유공형태일수록 유공보의 능력은 점차 감소한다.
- 2) 유공크기 0.2D의 보강한 원형과 정방형 유공보의 최대하중 크기는 기준보에 대해 각각 72.73% 및 66.23%로 나타났는데 최대하중 크기는 유공크기가 클수록, 그리고 유공형태가 원형보다 정방형일수록 점차 감소하므로 유공보에 있어서는 보강방안을 향상시켜야 한다.
- 3) 보강한 원형과 정방형 유공보의 최대하중 크기는 2.17 ~ 9.8% 정도 차이를 보이면서 유공크기가 클수록 정방형 유공보의 능력은 원형 유공보보다 급격히 저하되는데 이것은 두 유공사이의 단면결손과 정방형 유공의 코너 부분의 응력집중현상, 그리고 패각 물성에 따른 결합력 저하인 것으로 판단된다.
- 4) 균열패턴 등과 같은 파괴양상은 유공크기가 클수록 단면결손 증대와 패각 대체재의 부족한 물성관계로 취성파괴 성향을 나타낸다.

현재 선진국에서는 환경 친화적이며 자원 재활용에 많은 관심을 가지고 있는데 각종 산업폐기물 또는 부산물을 건설재료로 활용하는 것은 매우 바람직하므로 본 논문을 기저로 향후 연구에 조금이나마 기여되었으면 한다.

Reference

[1] 우송규 외 4인, “굴패각을 사용한 철근콘크리트 보의 특성에 관한 실험적 연구”, 한국생태환경건축학회논문집 Vol.7, No.5(통권27호), 2007. 10 // (Woo, Song-Gyu others 4, “An Experimental Study on the Structural Characteristics of Reinforced Concrete Beams Containing Oyster Shells”, KIEAE Journal, Vol.17, No.5, 2007. 10)

[2] 전학수, 구해식, “굴패각을 사용한 콘크리트의 강도발현에 관한 실험적 연구”, 한국구조물진단학회지 제10권 제5호 통권39호, 2006. 9 // (Jun, Hak-Su, Koo, Hae-Shik, “An Experimental Study on the Strength Development of Concrete Using of the Oyster Shells”, Journal of Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, Vol.10, No.5,

2006. 9)
- [3] 전학수 외 2인, “굴패각 콘크리트의 기본특성에 관한 연구”, 한국구조물진단학회 논문집 제9권 제3호, 2005. 7 // (Jun, Hak-Su others 2, “A Study on the Fundamental Properties of Concrete Using of the Oyster Shells”, Journal of Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, Vol.9, No.3, 2005. 7)
  - [4] 김정섭, 신용석, “고막 패각을 잔골재로 사용한 철근콘크리트 보의 전단 거동에 관한 연구”, 한국건축시공학회 논문집 제4권 제2호(통권12호), 2005. 6 // (Kim, Jeong-Sup, Kim, Kwang-Seok, “Study on Ductility Capacity of Reinforced Concrete Beam without Shear Reinforcement Using Cockle Shells as Fine Aggregate”, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2005. 6)
  - [5] 김철환 외 2인, “철근콘크리트 유공보의 거동에 관한 실험적 연구”, 한국철강구조학회논문집, 2004. 9 // (Kim, Cheol-Hwan others 2, “An Experimental Study on the Behaviors of Reinforced Concrete Beams”, Journal of Korean Association for Shell and Spatial Structures, 2004. 9)
  - [6] 윤길림 외 3인, “파쇄 굴패각의 역학적 특성에 관한 연구”, 대한토목학회 2003년 정기학술대회 논문집, 2003 // (Jun, Gil-Lim others 3, “A Study on Mechanical Characteristics of crushed Oyster-shell”, Journal of the Korean Society of Civil Engineers 2003 Convention, 2003)
  - [7] 양은익 외 3인, “굴패각을 잔골재로 대체 사용한 콘크리트의 장기성능 평가”, 한국콘크리트학회 논문집, 2003. 2 // (Yang, Eun-Ik others 3, “Long-Term Performance Evaluation of Concrete Utilizing Oyster Shell in Lieu of Fine Aggregate”, Korea Concrete Institute, 2003. 2)
  - [8] 양근혁 외 2인, “장방형 개구부를 갖는 철근콘크리트 깊은 보의 전단 내력 예측”, 대한건축학회논문집 구조계, 2003. 12 // (Yang, Keun-Hyeok others 2, “The Prediction on the Shear Strength of Reinforced Concrete Deep Beams with Rectangular Web Openings”, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2003. 12)
  - [9] 구해식, “철근 콘크리트 장방형 유공보의 특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 구조계, 1998. 7 // (Koo, Hae-Shik, “An Experimental Study on Characteristics of Reinforced Concrete Beams with the Rectangular Opening”, Journal of the Architectural Institute of Korea, 1998. 7)
  - [10] 구해식, “철근콘크리트 개방형 유공보의 구조적 특성에 대한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회논문집, 1997. 12 // (Koo, Hae-Shik, “An Experimental Study on Structural Characteristics of Reinforced Concrete Beams with the Perforative Opening”, Korea Concrete Institute, 1997. 12)
  - [11] Neville, “Properties of Concrete”, 3rd Edition, Pitman publishing Limited, London, 2011
  - [12] 구해식, 김용부, “철근콘크리트 사각형 유공보의 구조적 특성에 대한 실험적 연구(I~III)”, 대한건축학회논문집, 1991 // (Koo, Hae-Shik, Kim, Young-Bu, “An Experimental Study on Structural Characteristics of Reinforced Concrete Beams with the Rectangular Opening(I~III)”, Journal of the Architectural Institute of Korea, 1991)