

# 철근 콘크리트 깊은보의 전단 거동에 대한 개구부의 영향

## The effect of opening on the shear behavior of reinforced concrete deep beam

정원태\*

양근혁\*\*

이영호\*\*\*

은희창\*\*\*\*

정헌수\*\*\*\*\*

Won-Tae Jung

Keun-Hyeok Yang

Young-Ho Lee

Hee-Chang Eun

Heon-Soo Chung

### ABSTRACT

The focus of this experimental study is to verify the effect of openings in reinforced concrete deep beam. Main variables are opening depth, width and vertical locations but the shear span-to-overall depth ratio was fixed by 0.5 . The experimental results about 8 deep beams which was tested under two equal symmetrically placed point loads are reported.

### 1서론

ACI 기준<sup>3)</sup>에서 깊은 보라 함은 한쪽 면에 하중이 가해지고 반대쪽 면에서 지지되며 가력점과 지지 점을 연결하는 압축 스트럿을 따라 응력이 전달되며 스패น( $l_n$ )이 부재총( $h$ )의 4배보다 작거나 같고 전단 경간비( $a/h$ )가 2 이하인 부재를 말한다. 이러한 깊은 보에 개구부를 두는 것은 공조덕트나 서비스 덕트를 시공상의 필요성에 의해 보를 관통하여 설치하는 경우와 그러한 덕트를 보에 개구부를 두어 설치함으로써 건물 전체적으로 층고를 줄여 결국 비용절감과 경제적 이득을 취할 수 있는 이유에서이다. 하지만 보에 이러한 개구부를 두는 것은 보의 단순한 거동이 응력 집중이나 응력 흐름의 불연속성 등 복잡적이고 3차원적인 응력 흐름을 발생시켜 개구부로 인한 내력저하 및 전단거동에 미치는 영향의 평가가 이루어져야한다. 깊은 보는 전단에 의해 역학적 거동이 결정되며 취성적인 특징을 가지며 이러한 깊은 보에 개구부가 설치되면 하중경로를 차단하게 되어 일반보에 비해 전단내력에 미치는 영향이 깊은 보에서 더 크다

따라서 본 연구의 목적은 철근 콘크리트 깊은 보에서 개구부가 전단거동에 미치는 영향을 판단하고 개구부 보강 설계를 위한 기초자료를 제공하는데 있다.

\* 중앙대학교 건축학과 석사과정

\*\* 중앙대학교 기술과학연구소 연구원, 공학박사

\*\*\* 동원대학 건축과 교수, 공학박사

\*\*\*\* 제주대학교 건축학과 교수, 공학박사

\*\*\*\*\* 중앙대학교 건축학과 교수, 공학박사

표 1 시험체 상세 및 결과

| specimen* | $f_{ck}$<br>( $kgf/cm^2$ ) | $a/h$ | $a$<br>(cm) | 개구부 폭과춤         |                   |       |                   | 개구부 위치 |       |        | 실험결과     |        |
|-----------|----------------------------|-------|-------------|-----------------|-------------------|-------|-------------------|--------|-------|--------|----------|--------|
|           |                            |       |             | $m_1$           | $m_1 * a$<br>(cm) | $m_2$ | $m_2 * h$<br>(cm) | $k_1$  | $k_2$ | 위치**   | $V_{cr}$ | $V_u$  |
| 1.H5F3C   | 500                        | 0.5   | 30          | 0.5             | 15                | 0.3   | 18                | 0.25   | 0.35  | S.C    | 8.05     | 29.395 |
| 2.H5F3B   |                            |       |             |                 |                   |       |                   |        | 0.2   | S.B    | 7        | 30.74  |
| 3.H5F3T   |                            |       |             |                 |                   | 0.5   | S.T               |        | 10.75 | 34.315 |          |        |
| 4.H5F1C   |                            |       |             |                 |                   | 0.1   | 6                 |        | 0.45  | 15.2   | 48.275   |        |
| 5.H5F2C   |                            |       |             | 0.2             | 12                | 0.4   | 12.05             | 35.625 |       |        |          |        |
| 6.H5T3C   |                            |       |             | 0.25            | 7.5               | 0.3   | 18                | 0.375  | 0.35  | 11.2   | 34.485   |        |
| 7.H5S3C   |                            |       |             | 0.65            | 19.5              |       |                   | 0.175  |       | 5.05   | 24.32    |        |
| 8.H5      |                            |       |             | without opening |                   |       |                   |        |       |        |          |        |

\* H5 F 3 C

개구부 위치: B(bottom), C(center), T(top)  
 개구부 춤비: 1( $m_2=0.1$ ), 2( $m_2=0.2$ ), 3( $m_2=0.3$ )  
 개구부 폭비: T( $m_1=0.25$ ), F( $m_1=0.5$ ), S( $m_1=0.65$ )

\*\* S.C : Shear center. S.B : Bottom of shear center. S.T : Top of shear center

## 2 시험체 제작 및 가력방법

### 2.1 시험체 제작

개구부가 있는 철근 콘크리트 깊은보의 전단거동에 영향을 미치는 변수를 살펴보면 개구부 크기, 개구부 위치 및 개구부 상호간격, 개구부 형상 및 형상 비, 콘크리트강도, 전단 경간비, 개구부 보강방법을 들 수 있다. 본 연구에서는 깊은보의 전단거동에 대한 개구부의 영향을 파악하기 위하여 전단보강을 하지 않고 개구부 상하위치, 개구부 깊이, 개구부 폭을 주 실험 변수로 하여 8개의 시험체를 제작하였고 개구부가 없는 시험체와 비교하여 전단능력 감소율을 파악해 보았다.

콘크리트 강도는  $500kgf/cm^2$  이며 시험체 단면은  $16cm \times 60cm$  이다. 주철근의 장부작용으로 인한 간섭을 최소화하기 위해 1단 배근(주철근비 1%)하였고 본 연구의 주요 인자인 개구부의 영향을 더욱 정량적으로 측정하기 위해 전단 보강근은 배근하지 않았다. 또한 전단파괴 유도를 위해 항복강도( $f_y$ )  $8200kgf/cm^2$  의 3-HD19를 주철근으로 사용하였고 압축철근은 2-D10을 사용하였다. 정착과 부착확보를 위하여 시험체 길이방향의 양 단부에 강판( $16 \times 10 \times 1cm$ )을 주철근에 용접하고 3.5cm의 피복과 15cm의 여장길이를 두었다. 이상에서 살펴본 시험체 상세와 시험체 단면 상세를 표 1

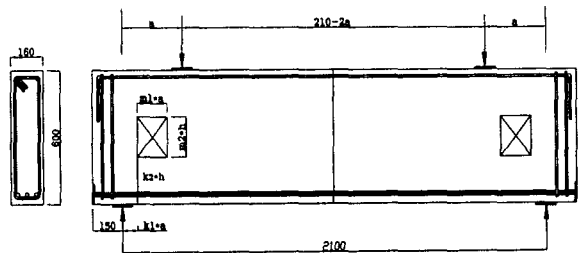


그림 1 시험체 단면상세

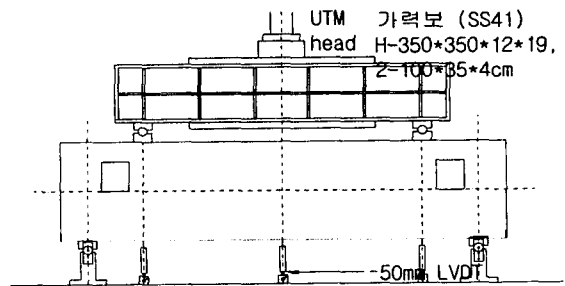


그림 2 시험체 가력상황

과 그림 1에 각각 나타내었다

### 2.2 가력 및 측정 방법

시험체 가력 상황과 측정방법을 나타낸 그림 2에서 가력 장치로는 300tonf 용량의 만능시험기(UTM-Servo System)를 사용하였고 3tonf/min의 일정한 속도로 재하 하였다. 그리고 지압파괴를 방지하기 위하여 폭 10cm의 가력판과 지점판을 설치하였다. 주철근의 휨 항복 여부를 판단하기 위하여 가력점과 경간 중심위치에서 주철근에 각각 Strain gauge를 부착하였다. 또한 하중-변위 관계를 파악하기 위해 시험체 저면에 LVDT를 설치하였다.

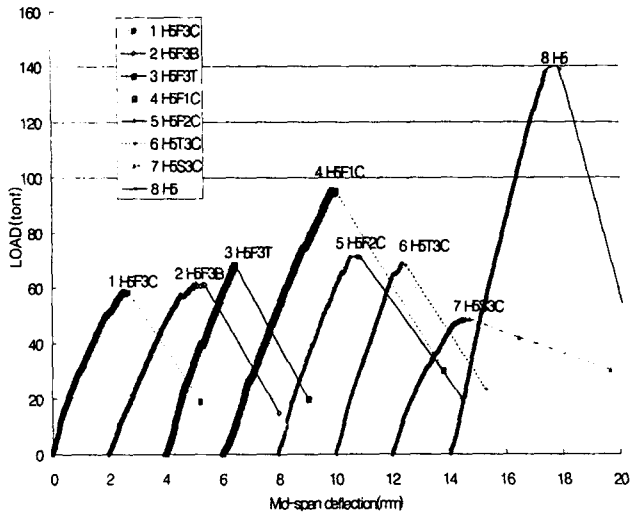


그림 3 하중-변위관계

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 하중-변위 와 균열진전 관계

각 시험체의 하중-변위 관계를 나타낸 그림 3과 개구부의 상하 위치에 따른 균열진전 상황을 나타낸 그림 4에서 균열의 발생과 진전과정을 살펴보면 모든 시험체가 극한 파괴 하중의 21%~34%에서 초기 경사균열이 발생하였다. 초기 경사균열은 개구부의 상부와 하부에서 각각의 가력점과 지지점에서 가까운 운쪽 모서리에서 동시에 발생하여 가력점과 지지점을 향하여 진전 하였다. 하중이 증가함에 따라 가력점 하부의 보 하단에서 수직 균열이 발생하여 개구부 모서리를 향하여 서서히 진행 되어 갔다. 수직 균열 발생 후 곧 개구부 상부 바깥쪽 중앙에서 수직으로 균열이 발생하고 개구부와 보상부 연단을 향하여 양방향으로 서서히 진행되었다. 균열 진행과 함께 보 하부의 여러 곳에서 균열이 발생하여 개구부를 향하여 전전하고 진전 높이는 개구부 하부까지였다. 가력점과 지지점에서 개구부의 각각의 먼 쪽 모서리를 잇는 연장 선상의 가운데에 파괴 하중의 60~90%에서 경사 균열이 발생하여 급격하게 양방향으로 진행하여 전단파괴 하였다.

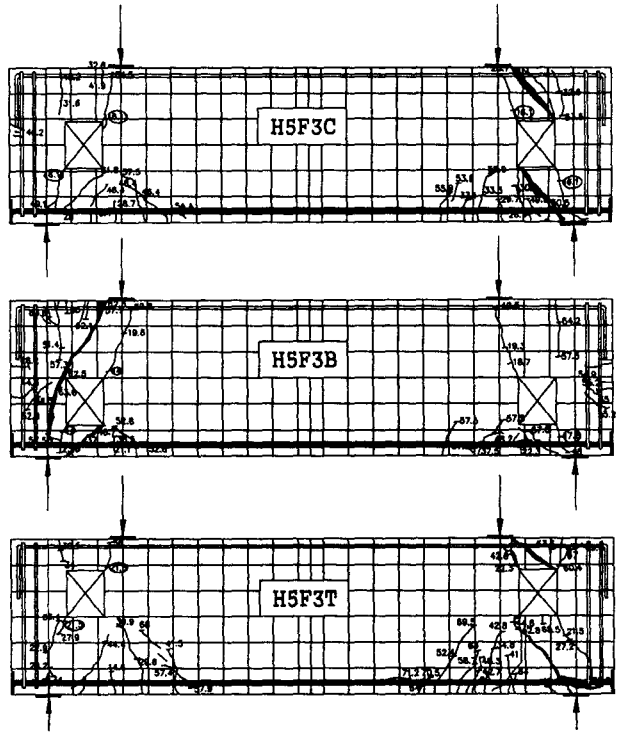


그림 4 개구부 상하 위치에 따른 균열 진전상황

균열 진전과 연관하여 하중-변위 관계를 살펴보면 초기 경사균열발생 시점과 주 경사 균열 발생시

점에서 모든 시험체가 강성이 저하하는 경향을 보였다. 하지만 개구부의 위치나 크기, 형상이 초기 경사 균열 발생전의 초기 강성에는 영향을 미치지 않았다.

그림 3에서 개구부의 크기가 가장 큰 H5S3C 시험체가 다른 시험체들에 비하여 상대적으로 적은 취성적 경향을 보이는데 이것은 개구부가 커질수록 전단거동 하는 깊은 보에서 압축 스트럿 작용을 하는 콘크리트의 전단내력 분담분이 커져 전단에 취약한 콘크리트가 급격하게 파괴되기 때문이다.

### 3.2 개구부 상하 위치 ( $k_2 \times h$ )의 영향

그림 5는 보 저면에서 개구부 하부까지의 높이 ( $k_2 \times h$ )에 따른 파괴하중과 초기균열 하중을 나타내었다. 개구부의 위치에 따른 전단내력을 살펴보면 상부에 있을 때가 내력이 가장 높고 하부, 중앙의 순서로 전단내력의 차이를 보였다. 개구부의 위치가 가력점과 지지점을 연결하는 주응력 전달선상에 위치한 경우 중앙에 위치한 것이 가장 적은 전단내력을 보이는데 전단응력 분포를 보았을 때 중앙에서 가장 크고 상하 단부에서 가장 작기 때문으로 보인다. 개구부가 상부에 위치한 것과 하부에 위치한 것을 비교하였을 때 하부에 위치한 것이 조금 적은 전단내력을 보였다. 이는 개구부가 하부쪽으로 위치할수록 개구부 하부에서 주철근까지의 거리가 짧아져 주철근의 타이작용으로 인한 콘크리트 인장응력 분담분이 상대적으로 커지기 때문으로 사료된다. 하지만 개구부가 없는 H5 시험체의 전단내력에 대한 개구부 상하 위치별 전단내력의 감소율을 비교하였을 때 큰 차이를 나타내지 않았다.

### 3.3 개구부 깊이와 폭의 영향

그림 6에서 개구부 깊이의 증가에 따른 전단내력의 변화를 나타내었다. 깊이가 보 높이의 10% 인 경우 ( $m_2 = 0.1$ )에 대해  $m_2$ 가 0.2와 0.3으로 변할 때 각각 26%와 39%의 전단내력감소

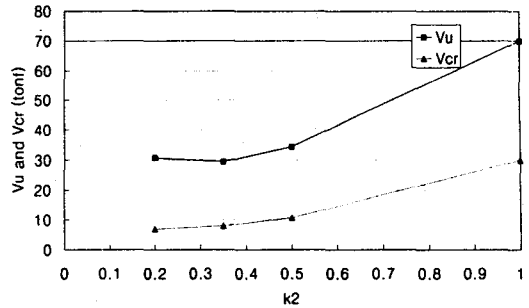


그림 5 개구부 상하위치에 따른 전단내력

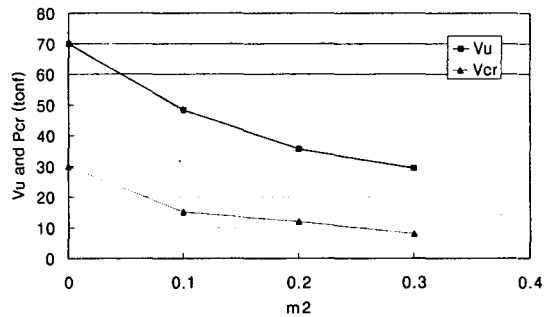


그림 6 개구부 깊이에 따른 전단내력

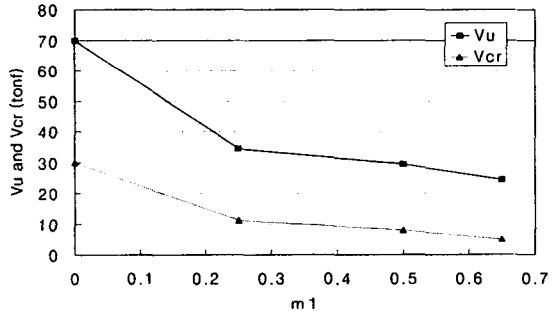


그림 7 개구부 폭에 따른 전단내력

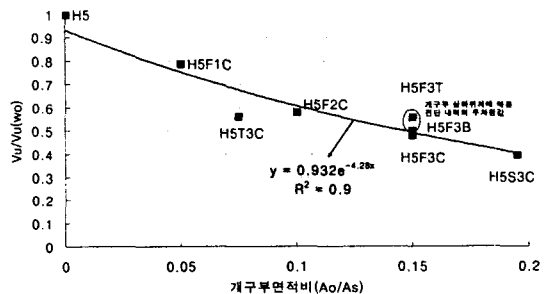


그림8 개구부 면적비에 따른 전단내력

를 보였고 개구부가 없는 시험체와 비교하였을 때 보 전체 춤에 대한 개구부의 깊이가 10% 씩 늘어날 수록 전단 내력은 각각 31%, 49%, 58% 의 급격한 감소를 보였다.

그림 7은 개구부 폭에 따른 전단내력의 변화를 나타내었다. 개구부 폭이 전단 스패길이의 25%인 경우 ( $m_1=0.25$ ) 대해  $m_1$ 이 0.5와 0.6으로 변할 때 각각 15%와 29%의 내력감소를 보였고 개구부가 없는 시험체와 비교하였을 때,  $m_1=0.25$  일 때 50%의 전단 내력 감소를  $m_1=0.5$ 와  $m_1=0.65$ 로 변할 때 각각 58%와 65%의 내력 감소를 보였다. 개구부 깊이비( $m_2$ )가 증가 할 수록 전단내력은 감소하지만 개구부 폭비( $m_1$ )는 0.25이상으로 증가 하여도 극한내력의 감소율은 거의 일정하게 나타났다.

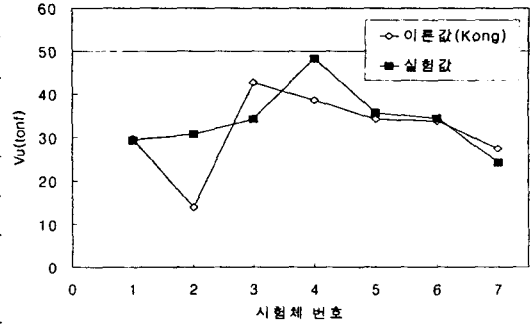


그림9 Kong 이론식과의 전단내력 비교

### 3.4 개구부 면적비의 영향

그림 8은 전단 스패 면적( $a \times h$ )에 대한 개구부가 차지하는 전단 스패 내부의 개구부 면적비에 대하여 각 시험체의 전단내력 값을 개구부가 없는 시험체의 전단내력으로 무차원화 하여 나타내었다. 개구부가 주응력 전달선 중앙에 위치할 경우 개구부 면적비가 5%일 때 21%의 전단내력 감소를 보였고 10%일 때 42%의 감소를, 15%일 때 52%의 감소를 보였다.

즉 철근콘크리트 깊은 보에서 개구부가 전단내력에 미치는 영향은 개구부 폭과 깊이를 함께 고려한 개구부 면적 점유율에 의해 가장 큰 영향을 받음을 알 수 있다. 전단 경간비가 일정할 때 개구부로 인한 전단내력 감소율은 회귀 분석으로부터 식(1)과 같이 간략히 나타낼 수 있다.

$$V_u / (V_u)_{w0} = 0.932e^{(-4.28A_o/A_s)} \quad (1)$$

여기서  $(V_u)_{w0}$ 는 개구부가 없는 시험체의 전단내력,  $A_o$ 는 전단스패내의 개구부 면적( $m_1 a \times m_2 h$ )을,  $A_s$ 는 전단스패 구간의 면적( $a \times h$ )을 각각 나타낸다.

### 3.5 기존 이론식과의 비교

그림 9는 Kong의 전단내력 예측식에 의한 전단내력과 본 연구의 실험값과의 관계를 나타내었다. Kong은 개구부가 가력점과 지지점의 주 응력 전달선을 간섭할 때 식(2)와 같이 극한 전단 내력식을 제시 하였다.

$$Q_{ult} = C_1 \left[ 1 - 0.35 \frac{k_1 x}{k_2 D} \right] f_c b k_2 D + \sum \lambda C_2 A \frac{y_1}{D} \sin^2 \alpha_1 = \frac{W_2}{2}$$

예상식이 본 연구의 실험결과와 차이가 발생하는 것은 Kong식에서 콘크리트의 전단내력 부담분에서 개구부의 크기에 대한 고려가 없었고 보 하부쪽 철근의 전단저항 능력을 과내평가 하였기 때문이

다. 따라서 더 많은 보안이 필요한 것으로 평가된다.

#### 4결론

- 1) 모든 시험체는 파괴하중의 21%~34%에서 초기 경사균열이 발생하였고 극한전단 내력의 60~90%에서 가력점과 지지점에서 개구부의 먼 쪽 모서리를 가로지르는 경사 균열이 발생하여 전단 파괴하였다.
- 2) 개구부가 가력점과 지지점을 연결하는 주 응력 전달 선상에 간섭되어질 때 상, 하 위치에 따른 전단 내력을 살펴보면 개구부 상부, 하부, 중앙부의 순으로 전단내력이 감소하였다. 하지만 그 차이는 크지 않았다..
- 3) 철근콘크리트 깊은 보에서 개구부가 전단내력에 미치는 영향은 개구부 폭과 깊이를 함께 고려한 개구부 면적 점유율에 의해 가장 큰 영향을 받고 있으며 전단경간비가 일정할 때 개구부로 인한 전단내력 감소율은 회귀 분석으로부터 다음 식과 같이 간략히 나타낼 수 있었다.

$$V_u / (V_u)_{w0} = 0.932e^{(-4.28A_o/A_s)}$$

#### 참고문헌

1. 양근혁, 정현수, "전단보강근이 없는 고강도 철근콘크리트 깊은 보의 전단거동," 대한건축학회 논문집, 제17권 11호, 2001. 11, pp.11-18.
2. 대한건축학회, 철근 콘크리트 구조계산규준 및 해설, 1982.
3. ACI Committee 318, Building Code Requirement for reinforced Concrete(ACI 318-02) and Commentary(ACI318R-02), ACI, Detroit, 2002.
4. F.K.Kong, G.R.Sharp, S.C. Appleton, C.J. Beaumont and L.A. Kubik, "Structural idealization for seep beams with web openings: further evidence", Magazine of Concrete Research Vol.30, No.103 June., 1978. pp.89-94.