

# 경간비와 휨처 기울기 변화에 따른 철근콘크리트 휨치보의 전단성능에 관한 연구

## Shear Capacity of Reinforced Concrete Haunched Beams by Shear Span-to-Depth Ratio and Haunch Slope

송 호 산\*

Song, Ho-San

### Abstract

Reinforced concrete haunched beams have been used for enhancement of shear resistance of beams to avoid the stress concentration. But American and British codes do not give any formula for the design of haunched beams. The purpose of this research is to experimentally investigate the shear failure of reinforced concrete haunched beams for various haunch inclinations and shear span-to-depth ratios. The experimental results showed that even though shear behavior of haunched beams were similar to that of resembled rectangular beams, shear span-to-depth ratios and inclinations of haunch had effects on shear cracking strength.

**keywords** : Haunched Beam, Haunch inclinations, Shear Span-to-Depth Ratio, DIN-Code, Shear Failure

### 1. 서 론

철근콘크리트 구조물에서 보 중앙부의 치짐과 휨모멘트가 감소시키고, 단부 전단력이 큰 경우에는 전단에 대한 저항능을 만족시키면서 보를 감소시킬 수 있는 방안으로 휨치보가 종종 사용되어 왔다.<sup>1)</sup>

철근콘크리트 휨치보는 긴 경간을 갖는 구조물에서 뿐만 아니라, 기계장비가 설치되는 공장이나 항고, 교

량 구조물, 그리고 지하철 공간장과 같은 Box형의 구조물 등에서 단부의 전단저항을 향상시키는 목적으로 사용되어지며, 보와 기둥 접합부의 강역이 넓어지거나 지간 중앙의 휨모멘트가 감소하게 될 뿐 아니라 보 길이의 감소로 슬래브 및 보의 지중을 경감시킬 수 있으므로, 콘크리트 불량의 감소로 공사의 질감의 경제적인 효과도 동시에 갖게 된다. 그러나 단면이 일정하지 않고 경간에 따라 연속적으로 변하는 변단면을 갖

\* 성희원 동의대학교 건축공학과 교수  
E-mail : hysong@hyomin.dongseul.ac.kr 051-890-1823

\* 본 논문에 대한 토의권 2002년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 2002년 7월호에 토의권자를 게재하겠습니다.

는 현치모는 현치부분의 용력집중으로 인하여 균열이 발생할 뿐 아니라 현치의 깊이, 기용기 등에 따라 선단성능을 해석적으로 명확히 파악하기가 매우 어려운 상태로서 구조물의 재비와 각질 관련된 선단에 대해서는 균열단면모에 비해 연구가 미흡한 실정이다. 기존의 연구 범위도 단일부재로서의 이론해석이나 현치의 기용기, 크기, 모양과 배치 등에 따른 해석에만 국한 되어 왔다. 그 외 현차부분의 스테랩 보강방법, 위험 단면의 위치개념을 도입한 선단강도 산정, 현치 T형모 해석 등과 같이 선단강도의 영향을 미치는 변수에 따른 연구는 균열단면모에 비해 그리 활발하지 못하였다.<sup>2)</sup>

철근콘크리트 현치모에 대한 규준은 국내뿐만 아니라 미국과 영국을 비롯한 대부분의 국가에서도 선단설계에 관한 식이 별도로 마련되어 있지 않고 있으며, 다만 독일의 DIN code와 다른 몇몇 유럽 국가의 규준에서 선단강도를 계산하기 위한 식이 제안되어 있으나 사용 시 제약조건으로 인하여 단면의 형상이나 기용기에 따라 적용하기가 어려운 실정이다.<sup>3),4)</sup>

또한 철근콘크리트모에 있어 균열단면모의 경우 선단파괴 시동에 영향을 미치는 주요한 인자로서 콘크리트 압축강도, 선단-경간비, 수철근비, 선단보강비의 등을 들 수 있으나, 이러한 여러 인자를 현치모에 적용할 경우와 선단시동에 대한 연구도 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트 압축강도와 철근비가 동일한 현치모를 대상으로 선단-경간비와 현치의 기용기만 변수로 실험체를 계획하고 실험을 통하여 구조적 시동을 고찰하여 보고, 규준식과의 검토로서 현치모의 선단성능과 그 적용성을 분석하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험체 계획

본 실험에서는 현치와 기용기와 선단-경간비가 철근콘크리트 현차모에 미치는 영향을 파악하기 위하여 총 16개의 실험체를 제작하였다. 실험체는 사인장파괴를 유도하기 위하여 선단-경간비가 1.0~2.5가 되도록 작게 하였으며 현치의 기용기에 따라서 4가지 형태로 제작하였다. 지지점에서 조간을 동일하게 하기 위하

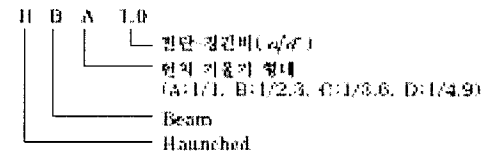
이 모든 실험체는 지지점에서 16mm 떨어진 곳으로부터 기용기를 변화시켜 선단-경간비가 1.0, 1.5, 2.0, 2.5가 되도록 선단 경간 길이를 조정하여 선단 경간 길이까지 변단면이 위치하도록 기용기(세로높이/가로 길이)를 1/1, 1/2.3, 1/3.6, 1/4.9의 4가지 형태로 각각 4개의 제작하였다.

이는 선단-경간비에 따른 거리 위치에 변단면의 균열이 놓이게 함으로써 용력의 집중현상과 부재의 휨곡률을 극대화하기 위한 것이며, 단부에서의 보 종류 중앙부에서의 보 종의 비율은 2/3로 계획하였다. 실험체의 총 길이는 2.2m이며, 순경간은 1.5m로 실험체의 단면은 단부에서 15cm×30cm, 중앙부에서 15×20cm이며, 철근배근은 인장측 하부에 2-HD16, 압축측 상부에 2-HD13으로 배근하고, 스테랩은 HD-10을 단부에 d/2인 13cm로, 중앙부에 15cm로 모두 동일한 형태로 배근하였다. 또한, 수근의 부와 또는 정착파괴를 방지하기 위하여 실험체 양단에 15m의 여유를 두었으며, 단부에 12d 길이와 90° 각도인 두어 충분한 정착길이를 확보하였다. 실험체의 일람은 Table 1과 같으며, 실험체의 형태는 Fig. 1과 같다.

Table 1 실험체 일람표

| 구분      | 단면(b×D)<br>(cm) |         |          | 유요<br>깊이<br>(cm) | 현치<br>기용기<br>비율<br>(가로/세로) | 현치<br>각도<br>(°) | 선단<br>경간<br>길이<br>(cm) | 선단<br>경간비<br>(a/d) |     |
|---------|-----------------|---------|----------|------------------|----------------------------|-----------------|------------------------|--------------------|-----|
|         | 단부<br>상         | 중앙<br>부 | 폭<br>Fb1 |                  |                            |                 |                        |                    |     |
| HBA-1.0 | 30              | 20      | 15       | 26               | 10                         | 1/1.0           | 45.00                  | 26                 | 1.0 |
| HBA-1.5 | 30              | 20      | 15       | 28               | 10                         | 1/1.0           | 45.00                  | 39                 | 1.5 |
| HBA-2.0 | 30              | 20      | 15       | 26               | 10                         | 1/1.0           | 45.00                  | 52                 | 2.0 |
| HBA-2.5 | 30              | 20      | 15       | 28               | 10                         | 1/1.0           | 45.00                  | 65                 | 2.5 |
| HBB-1.0 | 30              | 20      | 15       | 26               | 23                         | 1/2.3           | 23.50                  | 26                 | 1.0 |
| HBB-1.5 | 30              | 20      | 15       | 28               | 23                         | 1/2.3           | 23.50                  | 39                 | 1.5 |
| HBB-2.0 | 30              | 20      | 15       | 26               | 23                         | 1/2.3           | 23.50                  | 52                 | 2.0 |
| HBB-2.5 | 30              | 20      | 15       | 28               | 23                         | 1/2.3           | 23.50                  | 65                 | 2.5 |
| HBC-1.0 | 30              | 20      | 15       | 26               | 36                         | 1/3.6           | 15.52                  | 26                 | 1.0 |
| HBC-1.5 | 30              | 20      | 15       | 28               | 36                         | 1/3.6           | 15.52                  | 39                 | 1.5 |
| HBC-2.0 | 30              | 20      | 15       | 26               | 36                         | 1/3.6           | 15.52                  | 52                 | 2.0 |
| HBC-2.5 | 30              | 20      | 15       | 28               | 36                         | 1/3.6           | 15.52                  | 65                 | 2.5 |
| HBD-1.0 | 30              | 20      | 15       | 26               | 49                         | 1/4.9           | 11.53                  | 26                 | 1.0 |
| HBD-1.5 | 30              | 20      | 15       | 28               | 49                         | 1/4.9           | 11.53                  | 39                 | 1.5 |
| HBD-2.0 | 30              | 20      | 15       | 26               | 49                         | 1/4.9           | 11.53                  | 52                 | 2.0 |
| HBD-2.5 | 30              | 20      | 15       | 28               | 49                         | 1/4.9           | 11.53                  | 65                 | 2.5 |

실험체명 설명



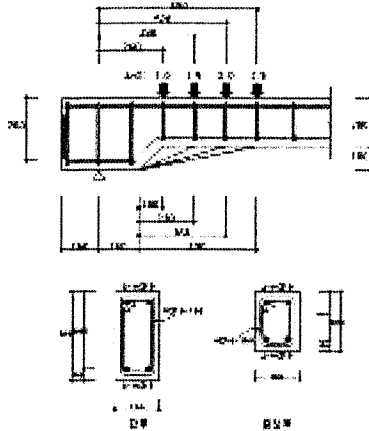


Fig. 1 실험체의 형제 및 최근 상세도

## 2.2. 재료의 성질

### (1) 콘크리트

본 실험체에 사용된 콘크리트는 설계 기준강도 240 kg/cm<sup>2</sup>를 목표로 하여 별도의 배합설계 없이 레미콘 회사의 레디믹스트 콘크리트를 사용하였다. 사용된 재료의 배합비는 다음 Table 2와 같다.

5개의 공시체(10×20cm)를 제작하여 콘크리트 압축강도 시험결과 평균압축강도는 271.13kg/cm<sup>2</sup>로 나타났고, 탄성계수는  $E_c = 15,000/\sqrt{f_c}$  식에 의해 246,990kg/cm<sup>2</sup>으로 산정하였다.

### (2) 철근

본 실험에 사용된 철근은 모두 SD10의 이형철근으로 D13(압축철근용), D16(인장철근용), D10(선단보강용)의 3종류이다. 철근의 인장강도 시험은 각 철근당 시험 3개의 평균값으로 하였으며, 탄성계수는  $2.0 \times 10^6$ kg/cm<sup>2</sup>로 한다. 인장강도 시험 결과는 Table 3과 같다.

## 2.3 하중제하 및 측정방법

본 실험에서의 가력은 가력 프레임에 실험체를 단속 지지시키고, 실험체 상단에 가력보를 설치하여, 로드셀을 부착한 유압재용 이용하의 2점 집중하중 형태로

Table 2 콘크리트 재료 배합비

| W/B  | 유기질 함량 비율 | 최대 입자 크기 | 단위 수량 (kg/m <sup>3</sup> ) | 단위 시멘트 분량 (kg/m <sup>3</sup> ) | 단위 잔골재량 (kg/m <sup>3</sup> ) | 단위 모골재량 (kg/m <sup>3</sup> ) | 단위 총화재량 (kg/m <sup>3</sup> ) |
|------|-----------|----------|----------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 15%  | 4.5       | 4.5      | 47.2                       | 153                            | 818                          | 682                          | 951                          |
| 55.4 | 41.6      | 47.2     | 153                        | 818                            | 682                          | 951                          | 1.59                         |

Table 3 최근의 인장강도 시험결과

| 구분                         | D10   | D13   | D16   |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| 압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 4.292 | 4.089 | 4.090 |
| 인장강도(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 5.966 | 6.069 | 6.074 |

가력하였다.

선단-경간비와 변위에 따라 가력점을 이동하여 하중을 가하 하였으며, 초기에는 하중조절방식으로 가하 하였으며, 균열정도에 따라 변위조절에 따른 제어로 가력하였다.

중앙부 처짐을 측정하기 위하여, 실험체 중앙부 하단에 50mm 선径의 변위계를 설치하고, 데이터 로서에 리드선으로 연결하였다.

각 실험체의 변형률을 측정하기 위하여 인축방향 스트레인 게이지를 인장철근, 압축철근와 중앙부에 각각 1개씩, 한치내에 위치한 압축 4번째 스티럽에 1개씩, 총 4개의 스트레인 게이지를 부착하여, 변형률의 실시간 분식이 가능하도록 데이터 로서에 연결하여, 모든 게이지의 이상 유·무를 확인한 후 초기화하였다. 가력 이후 실험체에 발생하는 균열, 파괴양상, 시인장간 인하중 및 최대하중 등은 직접 관찰하여 도식화한다. 실험체의 설치상황은 Fig. 2와 같다.

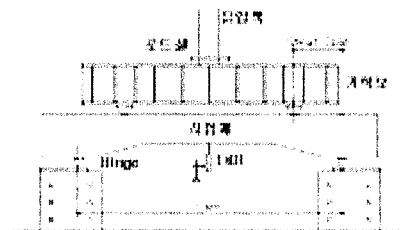


Fig. 2 실험체 설치상황

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 균열형상

현치의 기용기와 선단-경간비를 변화시킨 현치의 균열형상은 균열탄젠트와 유사한 형태로 진행되었으나, 현치의 기용기에 따라서 선단-경간비가 같은 실험체에서도 균열의 형상이 조금씩 달라지는 양상을 나타내었다.

균열의 진행은 초기 횡균열이 3~4ton 이내의 하중에서 보의 중앙부 하단에서 미세하게 발생한 후, 보의 단부쪽으로 횡균열이 차차 퍼져나감에 따라 원-선단 균열의 형태를 띄었다. 이 과정에서 현치의 변곡점 부분에 먼저 균열이 발생하였는데 실험체에 따라서 횡균열과 동시에 발생하기도 하였다.

하중이 증가할수록 변곡점 부분에 발생한 균열의 폭이 증가하면서 저점과 저하점간의 사인장균열이 현치 면을 따라 발생하였다.

육상의 관찰에 따른 파괴형태는 대부분 인장철근의 항복 후, 현치부분의 사인장파괴의 양상이 지배적이었으며, 현치의 기용기와 선단-경간비에 따른 각 실험체의 균열양상은 Fig. 3~Fig. 6과 같다.

#### 3.2 균열하중의 분석

실험체의 초기 횡균열하중은 대체적으로 선단-경간비가 1.0인 경우의 실험체가 가장 크게 나타났으며, 현치의 기용기에는 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이는 육상의 관찰에 따른 저점과 하중저하점 치와 보의 자중에 의한 차이로 보여진다.

현치 변곡부 균열하중 또한 대부분의 실험체에서 선단-경간비가 1.0인 실험체에서 가장 높게 나타났으며, 현치의 기용기가 작고 선단-경간비가 큰 HBC-2.0 실험체와 HBD-2.5 실험체의 경우는 초기 횡균열 발생과 동시에 변곡점균열이 발생하기도 하였다.

모든 실험체에서 사인장균열하중 및 최대하중은 선단-경간비와 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 즉, 실험체의 선단-경간비가 증가할수록 사인장균열하중 및 최대하중은 감소하는 양상으로 나타났으며, 동일한 선단-경간비를 갖는 실험체에서는 현치의 기용기가

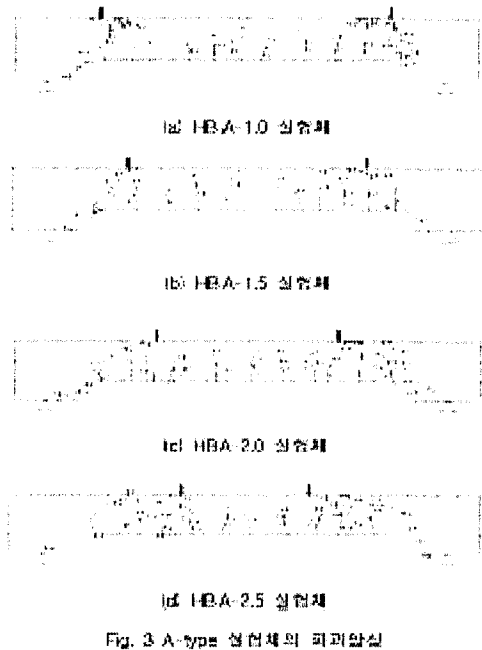


Fig. 3 A-type 실험체의 파괴양상

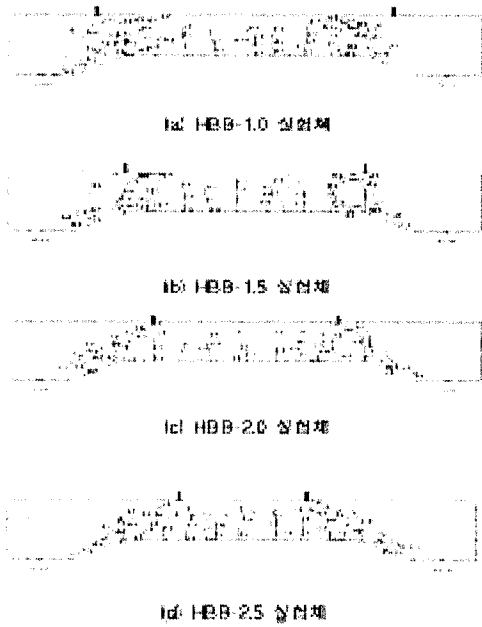


Fig. 4 B-type 실험체의 파괴양상



1a) HBC-1.0 실험체



1b) HBC-1.5 실험체



1c) HBC-2.0 실험체



1d) HBC-2.5 실험체

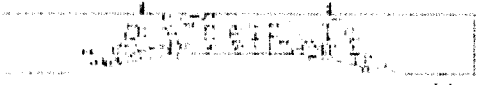
Fig. 5 C-type 실험체의 파괴모양



1a) HBD-1.0 실험체



1b) HBD-1.5 실험체



1c) HBD-2.0 실험체



1d) HBD-2.5 실험체

Fig. 6 D-type 실험체의 파괴모양

작용수직, 즉 현직의 시작점으로부터의 깊이가 증가할수록 높게 나타나는 양상을 나타내었다. 또한 선단-경간비 증가에 따른 균열하중의 감소율은 현직의 기울기가 작은 실험체일수록 크게 나타나 현직의 기울기가 작은 실험체가 선단-경간비 증가에 따른 균열하중 감소에 대한 기이도가 큰 것으로 보인다. 그리고 대부분의 실험체에서 초기 사인장균열하중은 최대하중의 약 50%내외에서 결정되어 선단-경간비가 작은 균열단면모색과 같이 사인장균열 발생 후에도 상당한 보유 내력을 보였다.

각 실험체별 사인장균열하중,  $F_g$  및 최대하중,  $F_u$ 은 Table 4에 나타내었고 Fig. 7은 선단-경간비 증가에 따른 균열하중이며, 현직의 기울기에 따른 균열하중은 Fig. 8에 나타내었다.

Table 4 각 실험체별 균열하중 및 극한하중

[단위:톤]

| 실험체명    | 최균열하중 | 반곡점 균열하중 | 사인장 균열하중 ( $F_g$ ) | 추가하중  | 최대하중 ( $F_u$ ) | 파괴형태  |
|---------|-------|----------|--------------------|-------|----------------|-------|
| HBA-1.0 | 3.80  | 5.68     | 6.87               | 7.72  | 14.59          | 사인장파괴 |
| HBA-1.5 | 0.99  | 2.01     | 4.72               | 4.71  | 9.43           | 사인장파괴 |
| HBA-2.0 | 1.24  | 5.20     | 4.37               | 3.45  | 7.82           | 사인장파괴 |
| HBA-2.5 | 0.99  | 3.80     | 3.60               | 3.79  | 7.59           | 사인장파괴 |
| HBB-1.0 | 2.21  | 3.18     | 7.32               | 12.88 | 20.20          | 사인장파괴 |
| HBB-1.5 | 1.24  | 1.34     | 6.23               | 6.52  | 12.75          | 사인장파괴 |
| HBB-2.0 | 0.52  | 3.30     | 5.00               | 4.81  | 9.87           | 사인장파괴 |
| HBB-2.5 | 0.79  | 3.03     | 4.14               | 3.63  | 7.77           | 사인장파괴 |
| HBC-1.0 | 3.50  | 4.39     | 15.30              | 8.11  | 23.47          | 사인장파괴 |
| HBC-1.5 | 1.71  | 2.50     | 10.52              | 0.52  | 11.04          | 사인장파괴 |
| HBC-2.0 | 0.92  | 0.92     | 5.76               | 3.05  | 8.81           | 사인장파괴 |
| HBC-2.5 | 0.62  | 1.12     | 4.04               | 3.55  | 7.89           | 사인장파괴 |
| HBD-1.0 | 2.51  | 4.91     | 23.57              | 1.49  | 25.06          | 사인장파괴 |
| HBD-1.5 | 0.82  | 1.59     | 9.33               | 4.86  | 14.19          | 사인장파괴 |
| HBD-2.0 | 0.77  | 1.84     | 6.30               | 4.12  | 10.42          | 사인장파괴 |
| HBD-2.5 | 0.84  | 0.84     | 4.89               | 4.20  | 7.07           | 사인장파괴 |

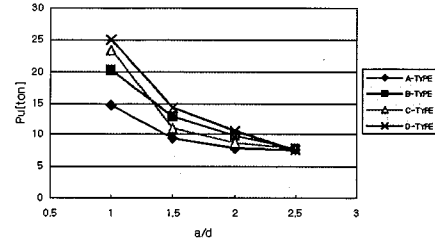
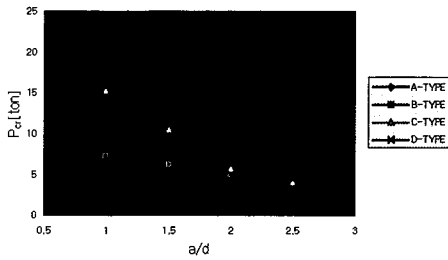


Fig. 7 전단-경간비 증가에 따른 시인장균형허중 및 최대하중

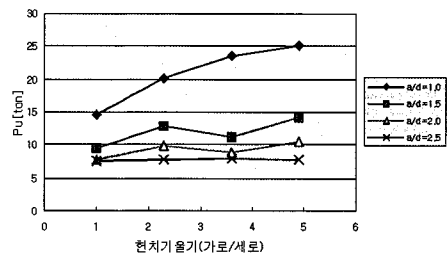
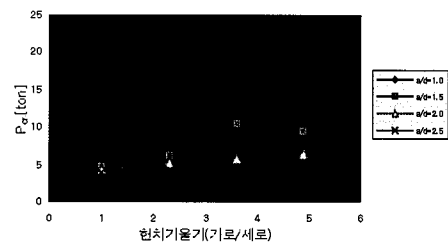


Fig. 8 전치 기울기 증가에 따른 시인장균형허중 및 최대하중

### 3.3 하중-치짐관계

본 실험에서의 하중-치짐관계는 Table 5에서 사인

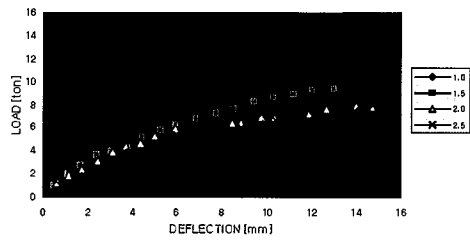
Table 5 각 실험체별 하중-치짐 관계

| 실험체명     | 전단-경간비 | 하중 (ton) |          | 중앙부치짐 (mm)    |               | 하중-치짐 곡선 기울기 (ton/mm) |                      |
|----------|--------|----------|----------|---------------|---------------|-----------------------|----------------------|
|          |        | $P_{cr}$ | $P_{cr}$ | $\delta_{cr}$ | $\delta_{cr}$ | $P_{cr}/\delta_{cr}$  | $P_{cr}/\delta_{cr}$ |
| HB A-1.0 | 1.0    | 6.87     | 14.59    | 3.26          | 10.49         | 2.11                  | 1.39                 |
| HB A-1.5 | 1.5    | 4.72     | 9.43     | 3.79          | 13.03         | 1.25                  | 0.72                 |
| HB A-2.0 | 2.0    | 4.37     | 7.82     | 3.68          | 14.70         | 1.19                  | 0.53                 |
| HB A-2.5 | 2.5    | 3.80     | 7.59     | 3.95          | 14.54         | 0.96                  | 0.52                 |
| HB B-1.0 | 1.0    | 7.32     | 20.20    | 3.52          | 13.54         | 2.08                  | 1.49                 |
| HB B-1.5 | 1.5    | 6.23     | 12.75    | 4.66          | 21.33         | 1.34                  | 0.58                 |
| HB B-2.0 | 2.0    | 5.06     | 9.87     | 4.90          | 19.65         | 1.03                  | 0.50                 |
| HB B-2.5 | 2.5    | 4.14     | 7.77     | 4.94          | 16.48         | 0.84                  | 0.47                 |
| HB C-1.0 | 1.0    | 15.36    | 23.47    | 7.65          | 20.29         | 1.95                  | 1.16                 |
| HB C-1.5 | 1.5    | 10.52    | 11.04    | 9.51          | 9.97          | 1.13                  | 1.11                 |
| HB C-2.0 | 2.0    | 5.76     | 8.81     | 6.97          | 14.42         | 0.90                  | 0.61                 |
| HB C-2.5 | 2.5    | 4.04     | 7.89     | 5.23          | 19.69         | 0.77                  | 0.40                 |
| HB D-1.0 | 1.0    | 23.57    | 25.06    | 12.50         | 18.00         | 1.89                  | 1.39                 |
| HB D-1.5 | 1.5    | 9.33     | 14.19    | 6.20          | 14.32         | 1.49                  | 0.99                 |
| HB D-2.0 | 2.0    | 6.30     | 10.42    | 5.27          | 13.73         | 1.20                  | 0.76                 |
| HB D-2.5 | 2.5    | 4.89     | 7.67     | 5.92          | 16.93         | 0.83                  | 0.45                 |

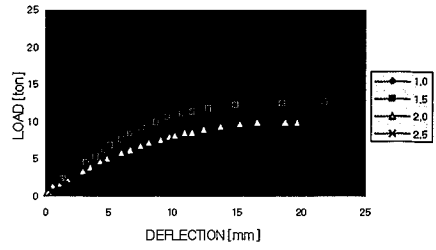
1) 사인장균형시의 하중 2) 약연장균형시의 중앙부 치짐 3) 약연장균형시의 하중 4) 최대하중시의 중앙부 치짐

장균형하중과 최대하중시의 치짐을 중심으로 나타내었다. 각 변수별 하중-치짐관계는 Fig. 9에서 보는 바와 같이 전치의 기울기가 동일한 실험체에서 전단-경간비가 증가할수록 하중-치짐곡선의 기울기 감소하고 있는 것으로 나타나 전단-경간비가 증가할수록 실험체의 강성은 감소하고 있음을 알 수 있다.

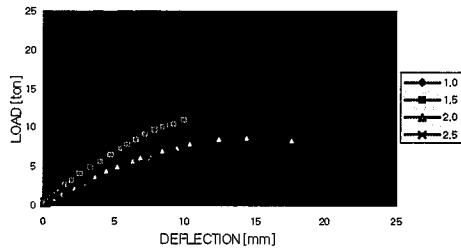
그리고 Fig. 10은 전치의 기울기에 따른 하중-치짐곡선의 비교로 동일한 전단-경간비에서의 전치 기울기에 따른 실험체 중앙부 치짐은 초기 하중에서 선형으로 증가하여 4-5ton 정도의 하중까지 거의 같은 치짐량을 나타내었으나 하중이 증가할수록 전차 기울기가 작은 실험체일수록 하중-치짐 곡선의 기울기가 증가하여 치짐 제어에 유리한 것으로 나타났다. 이는 전단-경간비가 작은 실험체에서 뚜렷히 나타났으며, 전단-경간비가 큰 실험체인 경우는 전치의 기울기에 따른 하중-치짐 곡선의 기울기가 큰 차이가 없이 나타나 전단-경간비가 증가할수록 치짐제어에는 기울기와 영향이 덜 받는 것으로 나타났다.



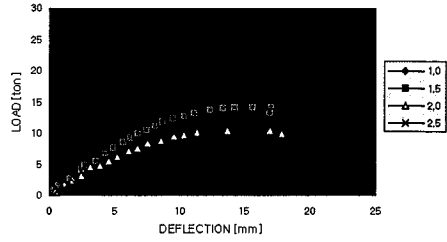
(a) A-type



(b) B-type

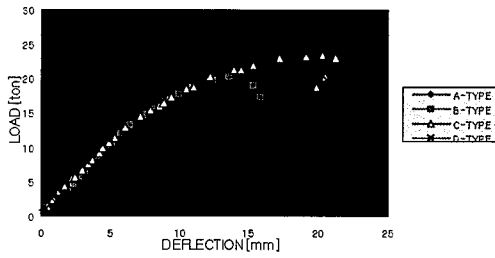


(c) C-type

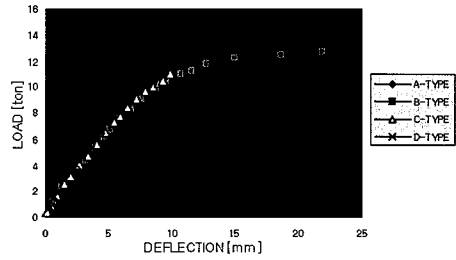


(d) D-type

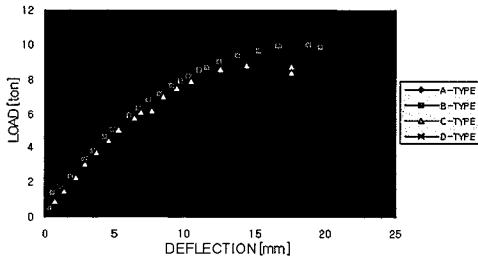
Fig. 9 전단-결강비 따른 최종-최점곡선 비교



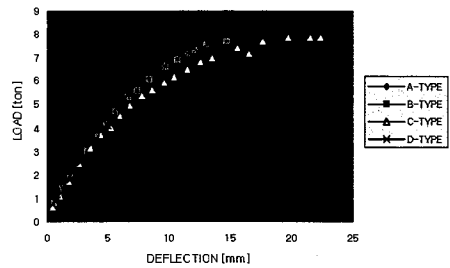
(a)  $a/d=1.0$



(b)  $a/d=1.5$



(c)  $a/d=2.0$



(d)  $a/d=2.5$

Fig. 10 변치기용기에 따른 최종-최점곡선 비교

### 3.4 철근의 변형률

A-type 실험체의 선단-경간비에 따른 인장철근의 변형률용 Fig. 11에 나타내었으며, 선단보강근의 변형률용 Fig. 12에 나타내었다. 그리고 선단-경간비 2.5인 경우와 현치 기용기에 따른 인장철근 및 선단보강근의 변형률용 Fig. 13과 Fig. 14에 나타내었다. 다른 유형의 실험체도 유사한 결과를 보이므로 본 논문에서는 생략한다.

각 실험체에서의 인장철근의 변형률은 현치의 기용기 보다는 선단-경간비의 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다. 그러나 최대 변형률은 선단-경간비가 동일한 실험체의 경우 현치의 기용기가 작은 D-type의 실험체가 크게 나타났으며, 현치의 기용기에 따른 실험체의 각 type별 인장철근의 최대변형률은 선단-경간비가 2.5인 실험체가 가장 크게 나타나, 현치의 기용기가 작고 선단-경간비가 큰 실험체 일수록 인장철근의 최대변형률이 크게 나타났음을 알 수 있다.

선단보강근의 변형률은 사인장균열 발생이전에는 거의 나타나지 않거나 미소하게 나타나는 반면, 사인장균열 이후에는 하중의 증가에 따라 급격히 증가하는 것으로 나타나 사인장균열 발생이후 선단보강근의 부담력이 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다.

선단-경간비가 동일한 실험체에서는 현치의 기용기가 증가함에 따라 선단보강근의 변형률이 크게 나타났으며, 현치의 기용기에 따른 선단보강근의 변형률은 큰 영향을 미치지 않았으나 대체로 선단-경간비가 큰 실험체 일수록 변형률이 크게 나타났다.

선단-경간비에 동일한 경우 현치의 기용기가 가장 큰 A-type 실험체가 사인장균열 발생 이후 선단보강근의 변형률의 증가도가 가장 크게 나타났으며, 현치의 기용기가 감소할수록 선단보강근의 변형률의 증가도는 아주 미소하게 나타나, 동일한 선단하중이 재하 될지라도 선단보강근의 선단시행은 현치의 기용기가 작을수록 효율이 감소한다고 할 수 있다.

### 4. 규준식 고찰 및 전단강도 산정

철근콘크리트 현치보에 관한 전단강도 규준식은 미

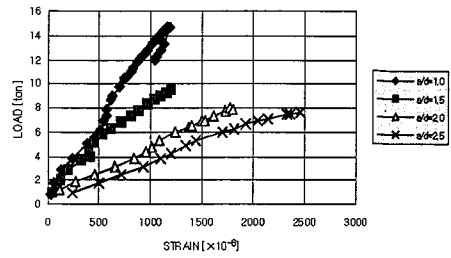


Fig. 11 A-type 실험체의 선단-경간비에 따른 인장철근의 변형률

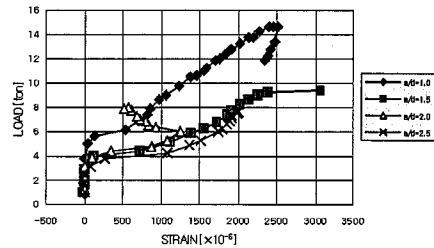


Fig. 12 A-type 실험체의 선단-경간비에 따른 선단보강근의 변형률

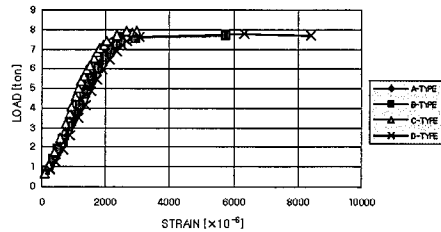


Fig. 13 선단-2.5에서의 현치 기용기에 따른 인장철근의 변형률

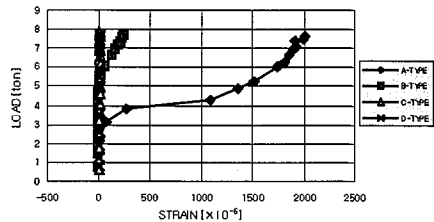


Fig. 14 선단-2.5에서의 현치 기용기에 따른 선단보강근의 변형률



국의 ACI code나 영국의 BS8110 code에서는 마련 되어 있지 않은 실정이다. 그러나, 독일의 DIN code 및 다른 유럽의 몇몇 나라에, 선단보강이 없는 형근콘크리트 헌치보의 선단강도에 관한 규준식이 제시되고 있는데, 그 식은 다음의 식 (1)과 같다.<sup>31,32)</sup>

$$V_k = V_{Rk} = \left( \frac{M}{d} \right) \tan \theta \quad (1)$$

여기서,

$\pm$  : 모멘트가 증가하는 방향으로 보충이 감소하는 경우 (+)사용

$V_k$  : 형근콘크리트 헌치보의 콘크리트 선단강도 (ton)

$V_{Rk}$  : 유효깊이  $d$ 인 굽힘단면 보의 콘크리트 선단 용력(ton)

$M$  : 단면의 휨모멘트(t·m)

$d$  : 단면의 유효깊이(m)

$\theta$  : 헌치의 경사각도(+ : 모멘트가 증가하는 방향으로 보 충이 감소하는 경우, -)

그러나 헌치보에서의 선단강도 산정은 헌치의 기울기뿐만 아니라 헌치의 시작점, 헌치길이, 하중위치 등에 따라서도 값이 달라질 수 있으므로 헌치의 경사각만으로 헌치보의 선단강도를 추정하기란 어렵다. 또한 DIN code와 규준식은 헌치의 기울기와 선단-경간비

를 동시에 고려하고 있으므로 하중 위치점이 헌치 외부에 위치하는 경우는 헌치의 기울기를 정의하기가 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 헌치 경사면 끝점에 하중이 재하되는 4개의 실험체만으로 선단강도 산정을 수행하였다.

헌치의 기울기 변화에 따른 선단-경간비가 1.0, 1.5, 2.0, 2.5가 되는 HBA-1.0, HBB-1.5, HBC-2.0, HBD-2.5와 실험체로 선단강도를 산정하였다. 그리고 굽힘단면보의 선단강도,  $V_{Rk}$  계산은 본 실험 범위에서와 유사한 콘크리트 압축강도가 비교적 높고 선단-경간비가 2.5 이하로 낮은 경우의 실험에 기초한 ACI code와 Zsutty 제안식을 사용하여 계산하였다.<sup>33)</sup>

ACI code와 마찬가지로 Zsutty 제안식도 선단-경간비만 2.5를 기준으로 짧은보와 일반보로 나누어 콘크리트의 선단용력을 제안하고 있어 본 논문에서 헌치보의 콘크리트 선단용력 산정에 이용하였다. 또한 DIN code 규준식은 선단보강관이 부당하는 선단강도에 관한 식은 별도로 없고 콘크리트만이 부당하는 선단강도로 되어 있어 본 연구에서는 ACI code와 선단보강관의 선단강도 식을 사용하여 모든 실험체에서 선단보강관이 부당하는 선단강도는 동일하게 하였다.

각 실험체별 선단강도는 헌치보의 사인장굴절강도를  $V_{k,cr}$ 로 극한선단강도를  $V_{k,u}$ 로 표기하여 Table 6 와 Table 7에 나타내었다.

Table 6 DIN code 규준식에 ACI 변형용력을 적용한 선단강도

| 실험체명    | 실험치              |                 | ACI 변형용력               |                       | 헌치보의 선단강도              |                       | 실험치/제안치       |              |
|---------|------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|---------------|--------------|
|         | $V_{k,cr}$ (ton) | $V_{k,u}$ (ton) | $V_{k,cr}^{ACI}$ (ton) | $V_{k,u}^{ACI}$ (ton) | $V_{k,cr}^{ACI}$ (ton) | $V_{k,u}^{ACI}$ (ton) | $V_{k,cr}/3)$ | $V_{k,u}/4)$ |
| HBA-1.0 | 6.87             | 14.59           | 7.50                   | 3.91                  | 7.82                   | 15.32                 | 0.88          | 0.95         |
| HBB-1.5 | 6.23             | 12.75           | 7.50                   | 3.68                  | 6.08                   | 13.58                 | 1.02          | 0.94         |
| HBC-2.0 | 5.56             | 8.81            | 7.50                   | 3.58                  | 5.54                   | 13.04                 | 1.04          | 0.86         |
| HBD-2.5 | 4.89             | 7.67            | 7.50                   | 3.49                  | 5.26                   | 12.56                 | 0.93          | 0.60         |

Table 7 DIN code 규준식에 Zsutty 식 변형용력을 적용한 선단강도

| 실험체명    | 실험치              |                 | Zsutty 변형용력          |                     | 헌치보의 선단강도            |                     | 실험치/제안치       |              |
|---------|------------------|-----------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------|--------------|
|         | $V_{k,cr}$ (ton) | $V_{k,u}$ (ton) | $V_{k,cr}^{Z}$ (ton) | $V_{k,u}^{Z}$ (ton) | $V_{k,cr}^{Z}$ (ton) | $V_{k,u}^{Z}$ (ton) | $V_{k,cr}/3)$ | $V_{k,u}/4)$ |
| HBA-1.0 | 6.87             | 14.59           | 7.5                  | 13.75               | 28.00                | 35.50               | 0.25          | 0.41         |
| HBB-1.5 | 6.23             | 12.75           | 7.5                  | 8.01                | 13.47                | 20.97               | 0.46          | 0.61         |
| HBC-2.0 | 5.56             | 8.81            | 7.5                  | 5.46                | 8.63                 | 16.33               | 0.67          | 0.55         |
| HBD-2.5 | 4.89             | 7.67            | 7.5                  | 4.05                | 6.22                 | 13.72               | 0.79          | 0.56         |

1)  $V_c = \frac{A_s f_y d}{s}$  (cm) : 철근보강근이 부딪히는 전단강도

2)  $V_c = m_s \rho_w f_c d$  (cm) : 균일단면보의 전단강도

$$m_s = 0.05\sqrt{f_c} + 176 - \rho_w \left( \frac{V_c d}{M_c} \right) \quad (\text{Table 7의 경우는 } m_s = 100.2 \left( f_c - \rho_w - \frac{d}{a} \right)^{0.5} \left( \frac{2.5}{a/d} \right) \text{ 적용함.})$$

3)  $V_{c,lim} = V_c + \left( \frac{M}{d} \right)_{lim} \rho$  : 철근보의 사인응력전단강도

4)  $V_{c,u} = V_{c,lim} + V_c$  : 철근보의 극한전단강도

## 5. 전단강도 비교분석

Fig. 15에서 나타나듯이 실험값에 대하여 ACI식을 적용한 철근보의 사인응력전단강도는 비교적 잘 일치되고 있음을 보여준다. 계산값에 대한 실험값의 비는 전단-경간비가 1.0인 경우 0.88, 전단-경간비가 1.5인 경우 1.02,  $a/d$ 가 2.0, 2.5인 경우 각각 1.01, 0.93에 불과하다. 전단-경간비에 대한 영향을 비교적 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.

그러나 Zsutly식을 적용한 철근보의 사인응력전단강도는 전단-경간비의 영향을 과대평가하고 있는 것으로 나타났다. 특히 전단-경간비가 1.0인 경우는 실험값에 대하여 상당히 과대평가하는 것으로 나타나 철근보의 전단강도산정을 위한 전단용력의 적용이 비합리적인 것으로 생각된다.

그리고 ACI식와 전단용력을 적용한 철근보의 극한전단강도는 Fig. 16에서와 같이 전단-경간비 1.0과 1.5인 경우는 비교적 잘 일치하고 있으나 전단-경간비가 2.0, 2.5로 증가함에 따라 실험값에 대한 이론값의 비가 0.68, 0.60로 나타났다.

Zsutly식의 전단용력을 적용한 극한전단강도의 경우도 사인응력전단강도와 마찬가지로 상당히 과대평가되고 있는 것으로 나타났으며,  $a/d$ 가 1.0인 경우 약 2배정도 큰 값으로 나타나  $a/d$ 값소에 따른 전단강도 증가요인을 충분히 고려하고 있음을 보여준다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 철근의 기용기와 전단-경간비의 변화에 따른 철근콘크리트 철근보의 전단성능을 실험적으로 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

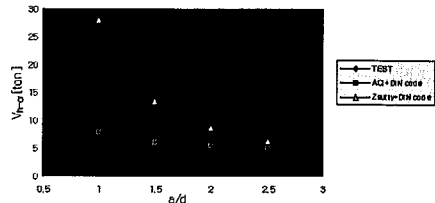


Fig. 15 전단-경간비에 따른 전단강도( $V_u$ )의 비교

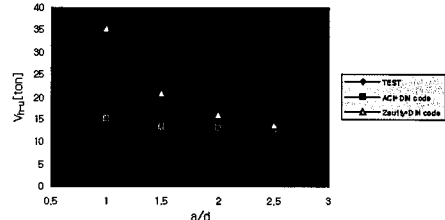


Fig. 16 전단-경간비에 따른 극한전단강도( $V_{u,u}$ )의 비교

- 1) 철근콘크리트 철근보의 균일형상 및 재치양상은 균일단면보와 유사하나 전단-경간비 및 철근의 기용기에 따라 다소 차이가 있었다.
- 2) 철근 기용기가 작고 전단-경간비가 증가할수록 사인응 균열의 깊이는 철착의 시작면까지 더 이상 증가하지 않는 패턴으로 발생하여 기용기가 작은 철근보가 철근부위의 균열제어에 유리한 것으로 판단된다.
- 3) 철근보의 사인응력전단강도는 철착의 기용기가 동일한 경우 전단-경간비가 증가함에 따라 감소하였고, 동일한 전단-경간비를 갖는 실험체의 경우는 철착의 기용기가 감소함에 따라 증가하여 나타났다.

- 4) 전단-경간비가 비교적 작은 1.0-2.5에서의 현치모는 사인장균열강도가 극한전단강도의 약 50%내외에서 결정되어 사인장균열 이후에도 상당한 보유내력이 있는 것으로 나타났다.
- 5) 현치모에 있어 전단-경간비가 작고, 현치의 기울기가 작은 경우 치짐 제야에 더욱 유리한 것으로 판단된다.
- 6) ACI code의 전단용력을 적용한 현치모의 전단균열강도는 실험값과 비교적 잘 일치되고 있으나, Zsutty 제안식의 전단용력을 사용한 현치모의 전단균열강도는 전단-경간비의 영향을 다소 과대평가하고 있는 것으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. 정병주, 홍갑표, 이성수, "철근콘크리트 현치모의 균열 제어에 관한 연구", 대한건축학회논문집, 제15권 5호, pp.85-92, 1999.
2. 李孟洙, "현치모 형상변화에 따른 구조물의 처짐에 관한 연구", 東義大學校, 建築工學科, 碩士論文, 1996.
3. Deutches Institute for Normung, "Concrete and Reinforced Concrete Design and Construction", July, 1988.
4. E. I. El-Nemr, "Investigation of Concrete Haunched T-Beam Under Shear", Journal of Structural Engineering, No. 4, Vol 114, pp.917-930.
5. ACI-ASCE Committee 426, "The Shear Strength of Reinforced Concrete Member", Journal of Structural Division, ASCE 99, June 1973, pp.1401-1487.
6. M. D. Kotsvos, "Behavior of Reinforced Concrete Beams with a Shear Span to Depth Ratio Between 1.0 and 2.5", ACI Journal, May-June, pp.279-286, 1984.
7. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete", American Concrete Institute, 1995.
8. British Standards Institute, "Structural Use of Concrete", London, 1985.
9. Zsutty, T.C., "Shear Strength Prediction for Separate Categories of Simple Beams Tests", ACI Journal, Proceedings Vol.68, No.2, Feb., 1977.

(접수일자 : 2001년 4월 24일)