

# 고장력 주인장 철근을 사용한 RC보의 전단거동에 미치는 영향 평가

## Assessment of Shear Behavior of High-Strength Steel RC Beams

손영무<sup>\*</sup>      윤영수<sup>\*\*</sup>      이만섭<sup>\*\*\*</sup>      김영훈<sup>\*\*\*\*</sup>  
Sohn, Young Moo    Yoon, Young Soo    Lee, Man Seop    Kim, Young Hoon

### ABSTRACT

In these days, high-strength steel prevails throughout the construction fields for the benefit of structural and economical aspects. But high-strength steel is used by the simple calculation of flexural capacities for the purpose of reducing flexural reinforcement. So, this paper is mainly focused on the shear behavior of high-strength steel reinforced concrete beams without stirrups comparing with normal-strength steel reinforced concrete beams. Specimens were made and tested with the experimental parameters, such as steel yield strength, reinforcement ratios and minimum shear reinforcement. The main result was that not only area but also the yield strength of flexural reinforcement should be considered to predict the shear capacities of concrete beams.

### 1. 서론

최근의 고장력 철근에 관한 연구가 구조물의 휨 성능 개선에만 초점을 맞추고 있는 것은 부인할 수 없는 사실이다. 단순히 고장력의 철근 사용으로 인한 철근 단면적의 감소에만 중심을 두고 연구가 행해지고 있는 상황에서 충분한 휨 성능의 확보는 가능하다 하더라도 전단 저항성에 관한 연구는 거의 전무한 현실이다. 특히 전단 철근이 배근 되지 않은 부재에서 고장력 철근의 사용으로 인해 야기되는 철근 단면적의 감소는 부재의 전반적인 전단 저항성의 감소를 가져오게 된다. 이는 여러 연구자들의 논문에서 확인되는 사실이다. 아울러 고강도 콘크리트의 사용시 일반 강도 콘크리트 보다 전단 저항 성능이 떨어진다고 밝혀진 상황에서 고장력 철근의 사용으로 인한 추가적인 전단저항성의 감소는 구조물의 안전에 있어서 크나큰 위협 요소로 부상할 가능성이 충분하다. 따라서 고장력 철근의 사용으로 인해 유발되는 전단 저항성의 감소와 이를 방지하기 위한 여러 연구들이 필요로 되어지는 것은 구조물의 성능 개선에 있어서 매우 중요한 의미를 지닌다 할 수 있겠다.

이에 본 연구에서는 고장력 주인장 철근을 사용한 전단 무배근 부재를 제작하여 전단 시험을 수행하여 전반적인 거동 특성과 파괴형태, 최종 전단 저항 성능을 비교하고 이를 보완하기 위하여 시방 규정에 나와있는 최소전단 철근을 고장력이 아닌 일반 철근으로 배근한 부재에 대한 실험을 동일한 방법으로 수행하여 그 성능의 향상을 비교해 보기로 한다. 아울러 고장력 철근과 동일한 단면적을 가지는 일반철근을 배근한 비교 시험체를 제작

\* 정회원, (주)금호엔지니어링 건설기술연구소 연구원

\*\* 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 교수

\*\*\* 정회원, 브이에스엘 코리아(주) 기술연구소 전무

\*\*\*\* 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 석사과정

하여 주 철근의 고장력화에 따르는 전단저항 성능의 차이를 비교해 보고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 기본 물성 실험

#### 2.1.1 콘크리트

배합은 일반적인 시공현장에서 사용중인 콘크리트와 동일한 배합을 사용하였으며 설계압축강도 또한 현장 조건에 적합하고 바로 적용할 수 있는  $400\text{kg/cm}^2$ 을 선택하였다. 압축강도 시험 결과 및 응력 변형도 곡선은 Table 1과 Fig.1에 나타나 있다.

#### 2.1.2 철근의 인장시험

본 연구에서 사용한 철근은 공칭 직경이 10, 16, 19, 22mm 인 이형철근으로 항복강도가 3000,  $5000\text{kg/cm}^2$ 인 것을 사용하였다. 이러한 철근은 KS B 0802의 금속재료 인장시험 방법에 따라 200ton의 만능시험기(U.T.M.)로 시험을 실시하였으며 인장강도 시험 결과는 Table 2와 Fig.2에 나타나 있다.

Table 1 Test results of compressive and splitting tensile strength

Compressive strength ( $\text{kg/cm}^2$ )	Tensile strength ( $\text{kg/cm}^2$ )	Modulus of elasticity ( $\times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ )
401.78	27.64	2.943

Table 2 Test results of tensile stress of steel

Steel	$\sigma_y$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$E_s$ ( $\times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ )	$\epsilon_y$ ( $\times 10^{-6}$ )	$\sigma_u$ ( $\text{kg/cm}^2$ )
D10	3360	1.802	1.953	4790
D16	3470	1.793	1.935	4830
	6000	2.056	2.918	7200
D19	3670	1.937	1.895	5060
D22	3510	1.872	1.875	4720

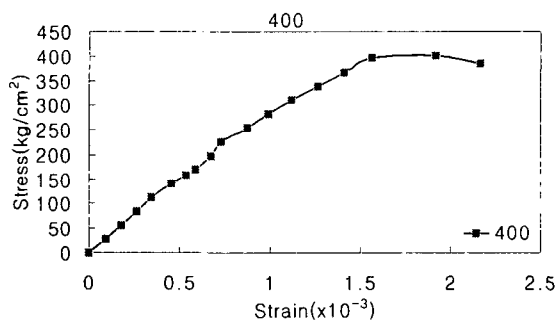


Fig.1 Stress-Strain curves of concrete

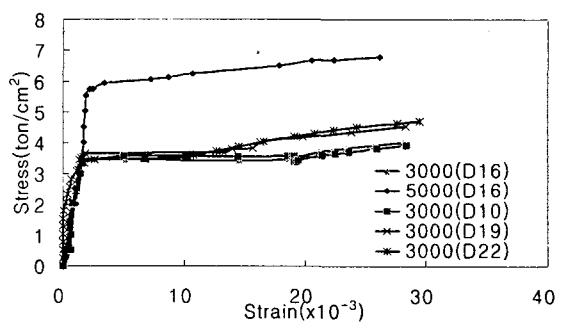


Fig.2 Stress-Strain curves of steels

Table 3. Variables of test

Name of specimen	Span-depth ratio	Compressive strength of concrete (kg/cm <sup>2</sup> )	Tensile strength of steel (kg/cm <sup>2</sup> )	Existence of stirrups	Steel ratio (%)	Steel
LRB-2	3.0	400	3000	no	0.7944	D16 × 2
LRB-3					1.1916	D16 × 3
LRSF-2					1.2887	D10 × 1 D19 × 2
LRSF-3					1.9456	D16 × 1 D22 × 2
HRB-2			5000	yes	0.7944	E16 × 2
HRB-3					1.1916	D16 × 3
HRMB-2					0.7944	D16 × 2
HRMB-3					1.1916	D16 × 3

2.2 실험변수 및 실험체 상세

2.2.1 실험변수

철근콘크리트 부재의 전단강도에 영향을 끼치는 요인에는 부재의 유효깊이, 콘크리트의 압축강도, 전단 철근 비, 단면 형태, 주 철근비, 전단 지간비등이 있으나 본 실험에서는 다음과 같은 영향인자를 변수로 하여 실험을 수행하였으며 실험체의 주요변수는 Table 3과 같다.

2.2.2 실험체 상세

실험체명에 대한 설명은 다음과 같으며, 대표적인 실험체의 상세는 Fig.3에 나타나 있다.

- H : 고강도 철근
- L : 일반강도 철근
- M : 전단보강
- SF : 동일한 휨 성능
- RB : 철근 콘크리트 보
- 2, 3 : 사용 된 D16철근의 개수

실험에 사용된 기기는 다음과 같다

- 만능시험기(Universal Test Machine)
- Steel Strain Gage
- Concrete Strain Gage
- Dial Gage
- LVDT
- U-CAM

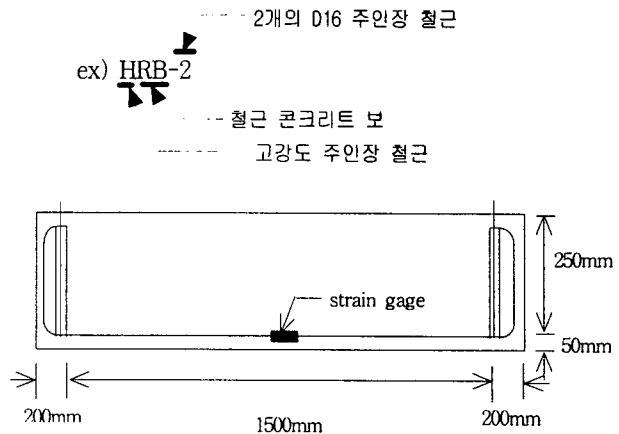


Fig.3 Specimen detail

### 2.2.3 실험 방법

실험은 1점가력으로 실시되었으며, 예상하중의 약 1/3까지는 하중을 관찰하면서, 그 이후에는 변위를 관찰하면서 실험을 진행한다. 각 실험에서 측정하는 항목은 하중과 실험체의 변위, 철근의 strain값 등이며, 하중 단계별로 균열진행사항을 기록한다.

## 3. 실험 결과

### 3.1 파괴 양상

5000kg/cm<sup>2</sup>의 항복강도를 가지는 고장력 철근을 사용한 HRB와 HRMB SERIES 시험체들은 휨 균열이 발생된 후 사균열로 발전되어 파괴에 이르는 전형적인 사인장 파괴의 형태를 보여 주었다. 휨균열이 발생하기 시작한 이후 점진적인 하중의 증가에 따라 균열의 폭과 개수가 늘어났으며, 균열이 점차 증가된 후 사균열이 발생되었다. 사인장 균열 발생 후 급진적으로 균열의 진전이 이루어져 급작스런 파괴에 도달하였다. 부재의 단부측에서는 철근을 따라 SPLITTING 파괴도 유발되었다.

3000kg/cm<sup>2</sup>의 항복강도를 가지는 일반장력 철근을 전단철근으로 사용한 HRMB SERIES의 부재들은 HRB SERIES 부재들과 마찬가지로 사인장 형태의 파괴를 보였으나 최종 파괴에 이르기까지의 균열의 진전 속도와 균열폭의 확장에 있어서 상대적으로 오랜 시간이 걸렸다. HRB SERIES 시험체들은 사균열의 발생과 더불어 극한 하중에 도달하기까지 지극히 짧은 시간이 걸렸으나 HRMB SERIES 시험체는 사균열의 발생이후에도 그 진전속도에 있어 상당한 여유를 가지고 있었다.

3000kg/cm<sup>2</sup>의 항복강도를 가지는 일반강도 철근을 사용한 LRB SERIES 시험체들은 HRB SERIES 시험체들과 마찬가지로 휨 균열이 발생된 후 사인장 균열로 발전되어 파괴되는 양상을 보였다. 그러나 HRB-2 부재의 경우 휨균열 이후의 사균열 거동이 지극히 짧아 휨파괴에 가까운 전단파괴의 거동을 나타내었다.

H SERIES 부재들은 균열이 상부의 압축영역에 다다른 완전 파괴 이후에도 철근의 변형률이 L SERIES 부재들보다 작게 나타나게 되어 상대적으로 작은 균열폭을 지니고 있었다.

이들 시험체의 파괴 양상은 Fig.4에 나타나 있으며, 하중-처짐 곡선과 하중-변형률 곡선이 Fig.5와 Fig.6에 나와있다.

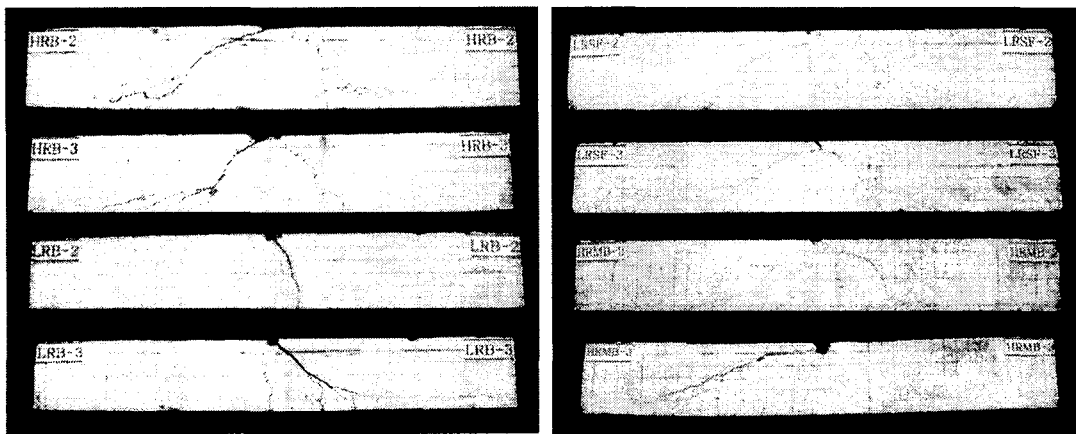


Fig.4 Pictures of Test Specimen

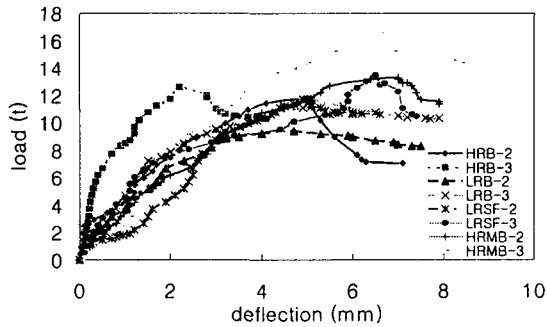


Fig.5 Load-deformation relationship

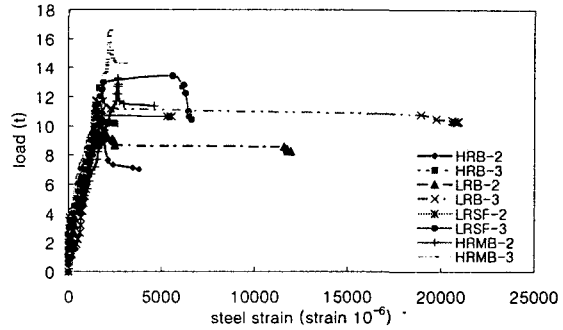


Fig.6 Load-strain relationship

4. 고찰

4.1 전단실험 결과

총 8개의 시험체에 대하여 실험한 결과가 Table 4에 나와 있다. 각각의 시험체들은 모두 사인장파괴의 형태를 보여주었다.

표에서 볼 수 있듯이 극한하중은 전단 보강된 HRMB SERIES의 부재들이 가장 크게 나왔으며 사균열의 발생도 HRMB SERIES의 부재에서 가장 늦게 나타났다. 이는 전단 철근의 배근으로 인하여 부재의 전단 저항능력이 개선되었기 때문으로 판단된다. 휨균열의 발생은 특별한 경향성을 보여주지보다는 5t근처의 하중에서 대부분의 시험체에 발생되는 것으로 나타났다.

Table 4. Test result

Specimen	Cracking load (t) ①	Diagonal cracking load (t) ②	Ultimate load (t) ③	②/③ (%)
HRB-2	5.3	7.95	11.65	68.24
HRB-3	5.6	9	12.6	71.43
LRB-2	4.1	7.5	9.43	79.53
LRB-3	5.18	7.7	11.67	65.98
LRSF-2	4.65	9.2	11.76	78.23
LRSF-3	4.7	11.04	13.44	82.14
HRMB-2	4.6	9.7	13.3	72.93
HRMB-3	4.68	12.2	16.64	73.31

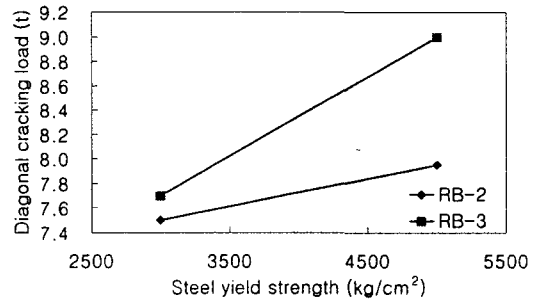


Fig.7 Steel strength-diagonal cracking load

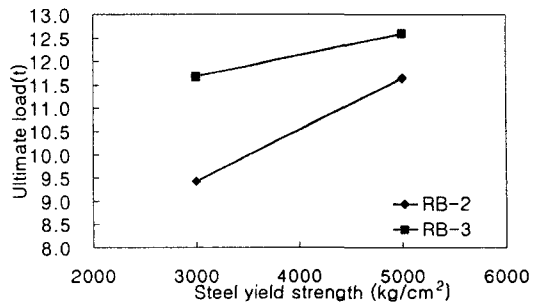


Fig.8 Steel strength-ultimate load

#### 4.2 철근의 고장력화에 따른 전단저항성능

본 연구에서는 주인장 철근의 고장력화에 따른 전단저항성능의 변화에 대한 연구에 초점을 맞추었고 이에 대한 결과가 Fig.7과 Fig.8에 나타나 있다. Fig.7은 철근의 항복강도 증가에 따른 사균열하중의 변화를 보여주고 있다. 철근비가 약 0.7944%인 RB-2 SERIES 경우 6%의 사균열하중증가를 나타내었고, 1.1916%의 철근비를 지닌 RB-3 SERIES의 경우 약16.88%의 사균열하중이 증가되었다. Fig.8에는 철근의 항복강도의 증가에 따른 극한하중의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보이듯이 RB-2 SERIES의 경우 철근의 항복강도가 3000kg/cm<sup>2</sup>에서 5000kg/cm<sup>2</sup>로 증가 될수록 약 23.54%의 극한하중증가를 보였고 RB-3 SERIES의 경우 철근의 항복강도 증진에 따라 약 7.97%의 극한하중의 증가를 나타내었다. 이로 주인장 철근의 항복 강도가 증진 될수록 부재의 전단 저항성능도 개선된다는 사실을 알 수 있다.

#### 5. 결 론

본 연구는 전단보강이 없는 철근콘크리트 보의 주인장철근의 고장력화에 따른 전단저항성능의 변화에 대한 연구를 주요 목표로 하여 실험과 해석을 수행하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 주인장철근의 항복강도가 증가함으로 인하여 시험체의 전단저항성능은 증가되는 경향을 보였다.
- (2) 동일한 항복강도를 지니는 철근을 주인장철근으로 사용한 경우 철근 단면적에 비례하여 전단저항성능이 변화한다는 사실을 확인할 수 있었다.
- (3) 최소전단철근규준에 따라 전단보강 된 부재의 경우 다른 부재들에 비하여 상당히 연성적인 파괴거동을 나타내었고, 전단저항성능에 있어서 상당한 증진을 가져왔다.
- (4) 실험을 통해 주인장 철근의 단면적 이외에도 주인장 철근의 항복강도가 전단저항성능에 영향을 끼친다는 것을 알 수 있다. 따라서 기존의 철근 단면적에만 관계된 전단강도 추정식에 있어서 철근의 항복강도가 추가적으로 고려되어야 될 것으로 판단된다. 이에 따라 주인장 철근의 항복강도와 전단저항성능에 관한 추가적인 많은 연구가 진행된다면 좀더 정확한 전단강도 예측이 가능해 질 것으로 생각된다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 국가지정 연구실(NRL)과 기초전력공학 공동연구소의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다. 또한 실험부재 제작 시 많은 도움을 주신 인천 제철(주) 관계자 및 VSL KOREA(주) 신단양대교 현장 직원께도 깊은 감사의 뜻을 전합니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Michael P. Collins and Daniel Kuchma, "How Safe Are Our Large Reinforced Concrete Beams, Slabs, and Footings?", ACI Structural Journal. Vol.96, No.4, July - August 1999, pp. 482~490.
- (2) Zsutty, Theodore C., "Beam Shear Strength Prediction by Analysis of Existing Data", ACI Journal, Proceedings Vol.65, No.11, Nov. 1968, pp. 943~951.
- (3) 윤영수, "철근콘크리트 보의 고강도화에 따른 전단거동에 관한 연구", 콘크리트학회지 제6권 6호, 1994.12., pp. 190~198.
- (4) Michael P. Collins and Denis Mitchell, "Prestressed Concrete Structures", pp. 309-379