

# 剪斷補強이 없는 鐵筋콘크리트 보의 剪斷 傳達 메카니즘에 關한 實驗的 研究

A Experimental Study on the Shear Transfer Mechanism of  
Reinforced Concrete Beams without Shear Confinement

○박 정현\* 이 근광\* 윤 정배\*\* 홍 기섭\*\*\* 이 원복\*\*\*\*  
Park J.H. Lee K.K. Yoon J.B. Hong G.S. Lee W.P.

## ABSTRACT

If reinforced concrete beam exists crack, ultimate shear transfer strength and shear hardness of section with crack substantially decrease.

In this study, five model beams were designed for the objective of clarifying contributions of three shear resistant elements: the compression zone of concrete, dowel action of tension reinforcement, aggregate interlock across cracks. The shear force carried by each resistant element was calculated from the detailed strain data on the contributions to the shear capacity of beams of the shear forces carried by the other three resistant element.

The test result follows: 1)Compression zone of concrete(C)-56.2%, 2)Dowel action of tension reinforcement(D)-18.0%, 3)Aggregate Interlock(A)-25.8%.

## 1. 序 論

전단을 받는 보의 거동은 확실하게 밝혀져 있지 않으므로, 근본적으로 사인장과 전단의 효과에 대한 합리적인 이론을 확립하기 위한 연구가 필요하다.

전단파괴에서 철근콘크리트 보의 거동은 휨 파괴에서 철근콘크리트 보의 거동과 구별이 된다. 사인장 크랙은 휨 크랙보다 상당히 큰 폭이 발생되며, 이와같은 파괴 성질 때문에 설계자는 극한 전단강도에 도달하지 않고 외부 전단 하중에 충분히 저항할 수 있도록 강하게 설계하여야 하며, 부재내에 작용하는 전단 메카니즘을 명확히 해석하여 설계에 반영하여야만 한다.

철근콘크리트 부재에 크랙이 있다면, 극한

전단 전달강도와 크랙이 있는 단면의 전단 강성은 실질적으로 감소한다. 크랙이 존재하는 평면을 통한 전단 전달 효과에 대한 주요한 메카니즘은 콘크리트 압축부분, 인장 철근의 Dowel 작용, 골재 상호 맞물림 작용, Arch작용, 그리고 전단 철근이다.

## 2. 實驗 計劃

### 2.1 試驗體 計劃

시험체는 본 실험목적에 적합하도록 모델화 한다. 실험에서는 전단 전달 메카니즘능력을 알기 위한 것으로 하중을 가했을때, 휨 파괴가 아니라 전단 파괴가 일어나도록 설계한다.

표 1.에서 보여주는것 처럼, 시험체는 총5개를 제작한다. 시험체의 인장 철근비는 동일하게 주었으며, 복근비와 전단 철근비는 0으로 하였다.

그림 1.은 시험체의 단면, 배근 상황, 크랙의 위치, 가력 위치등을 나타낸것이다.

\* 홍익대 대학원 건축학과  
\*\* 정회원 경상대 건축공학과 부교수, 공박  
\*\*\* 정회원 홍익대 건축학과 조교수, 공박  
\*\*\*\* 홍익대 토목공학과 교수, 공박

표 1. 試驗體 一覽表

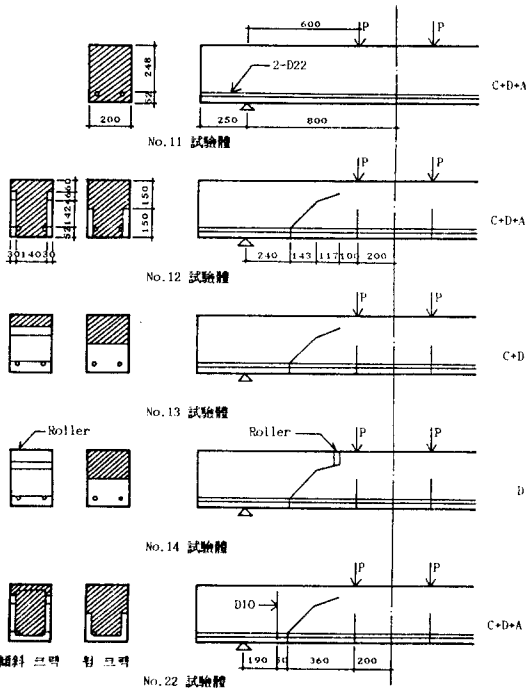
區分 試驗體名	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	a/d	骨材最大 치수(mm)	引張 鐵筋比	올려 놓기 크랙 設置 方 法	計算Mu (t·m)	計算Vu (t)
No.11	240	2.4	20	1.548	無	4.49	7.48
No.12	240	2.4	20	1.548	無 表面크랙**	4.49	7.48
No.13	240	2.4	20	1.548	無 0.1mm板***	NC****	NC****
No.14	240	2.4	20	1.548	有 0.1mm板***	NC****	NC****
No.22	240	2.4	20	1.548	無 表面크랙**	6.38	10.64

\* 200x60x10mm 강판을 양끝에 놓고 치름 10mm, 길이 200mm인 2개의 강봉을 사이에 두었으며, 양끝은 스티치포를 고정시켜주어 힘을 주었을때 미끄러짐이 쉽게 일어나도록 계획하였다.

\*\* 人工的인 表面크랙은 荷重을 주었을때 實際크랙을誘發하는 것으로, 形態는 V자 模樣으로 깊이를 약 3cm정도로 한다.

\*\*\* 0.1mm板은 합석板을 挿入한다.

\*\*\*\* NC : None Calculated



\* 凡例 □: 比龜裂 콘크리트; ○: 表面 크랙; □: 斷面 크랙

그림 1. 試驗體 形狀

2.2 使用 材料

2.2.1 시멘트/모래/자갈의 力學的 性質

○시멘트: TYPE I (S양회産), 비중=3.15

○자갈: 비중=2.70, 단위 중량=1600kg/cm<sup>2</sup>

○모래: 비중=2.65, 조립률(F.M.)=3.00

2.2.2 鐵筋

일반구조용 이형철근을 사용하였는데, 특성은 표 2.와 같다.

표 2. 鐵筋의 引張強度 實驗結果

區分 種類	彈性 係數(E) (kg/cm <sup>2</sup> )	降伏 強度(σ <sub>y</sub> ) (t/cm <sup>2</sup> )	變形度(ε <sub>y</sub> ) (×10 <sup>-6</sup> )	極限 強度(σ <sub>u</sub> ) (t/cm <sup>2</sup> )	伸 率 (%)
D 10	1.51x10 <sup>6</sup>	3.31	2,194	5.14	—
D 22	0.88x10 <sup>6</sup>	3.49	3,938	6.14	—

2.2.3 콘크리트(ACI配合設計)

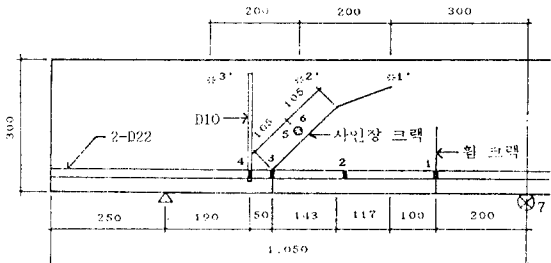
콘크리트의 설계기준강도는 240kg/cm<sup>2</sup>, 최대골재크기는 20mm며, 배합설계는 표 3.과 같다.

표 3. 配合設計表

물-시멘트비 (%)	配 合(kg/m <sup>3</sup> )				슬럼프 (cm)
	물(kg)	시멘트(kg)	모래(kg)	자갈(kg)	
50	180	360	787	970	10.0

2.3 測定 方法

그림 2.와같이 Strain Gage와 변위계를 설치하고 그림 3.과같이 Setting한 다음, 하중 작용 방법으로써, 초기에는 작용 하중이 매 0.5ton마다 측정값을 읽고, 크랙이 발생한 후 부터는 0.05~0.4mm 단위의 보중앙부 변위로서 하중을 제어한다.



\* 縮尺 : 1/10; 單位 : mm

\* 1, 2, 3, 4: 철근용 1축 S.G.; 1', 2', 3': 콘크리트용 1축 S.G.

5, 6: 콘크리트용 2축 S.G.; 7: Dial Gage

그림 2. Gage 및 變位계의 位置

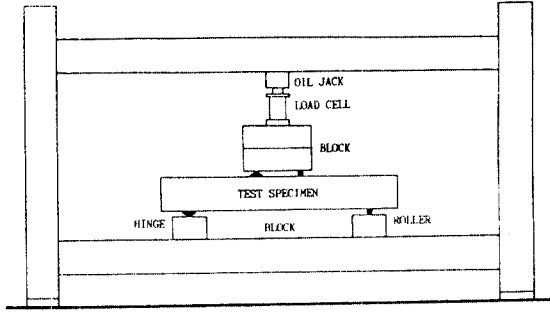


그림 3. 加力 方法 및 實驗用 骨造圖

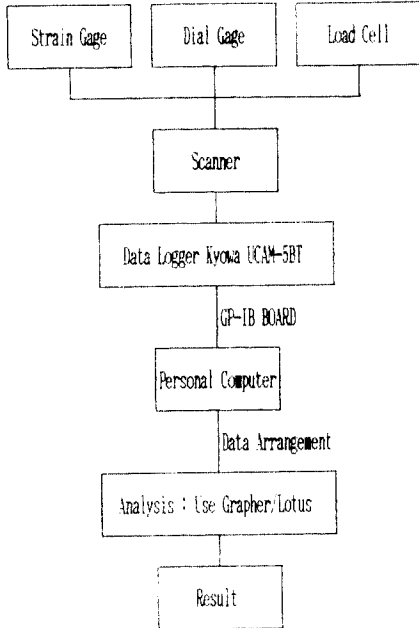


그림 4. 측정 방법

### 3. 實驗 結果 및 分析

#### 3.1 一般의인 破壞樣狀

부재에서의 사인장 크랙은 전단 평면에 이미 존재하는 크랙과 일치한다. 최종적인 파괴는 전단평면에 있는 사인장 크랙 부분에서 전단파괴에 의해 사인장 크랙과 합쳐지는 부수적인 크랙의 형성에 의해 발생된다.

모든 보 시험체는 보의 양끝에서 주철근을 완전히 정착하여 주지 못했으므로 사인장 크랙이 발생한 후 Dowel Action이 파괴되면서 부착파괴의 일종인 Splitting 크랙이 발생하면서 파괴되었다.

대체로 사인장 크랙이후 극한 파괴에 이르는 보유강도는 약 10%를 나타내고, 일반적인 Beam Action이 Arch Action으로 변화된다.

균열양상은 그림 5 에 나타나 있다.

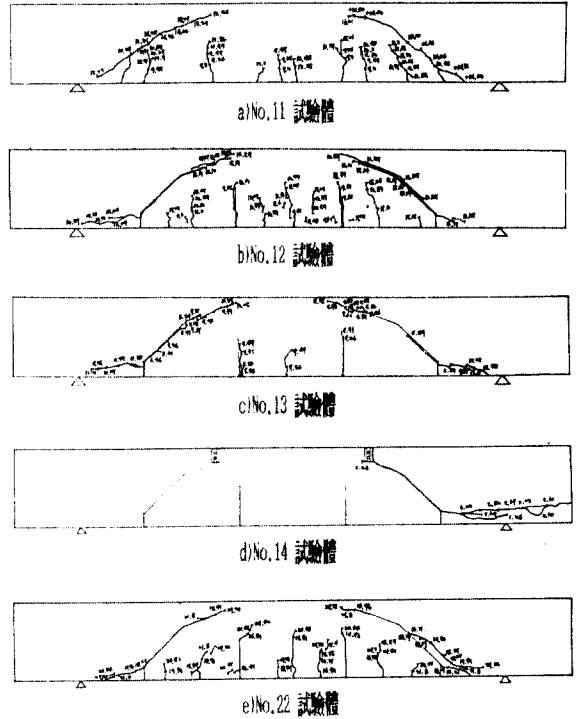


그림 5. 龜裂 樣狀

#### 3.2 荷重-처짐關係 및 彈性勾配

각시험체는 그림 6. 에서 보듯이 하중이 증가함에 따라서 강성이 거의 비슷하게 나타날 수 있다.

일반적으로, Dowel 및 Arch Action을 보강하기 위한 보강근이 없는 경우, 사인장 균열이 발생하면 부재의 처짐은 갑작히 증가하여 종국 강도에 도달하게 된다. 하지만, 보강근이 있는 경우에는, 보강근이 사인장 균열이 발생한 후에도 부재가 급격히 처지는 것을 막아주기 때문에 부재의 내력은 계속 증가한다.

보강근의 구속력은 Dowel Action이 파괴된 후에도 부재의 내력이 떨어지는 것을 방지하여 주기때문에 부재가 연성을 가지는데 유효하다.

보강근이 없는 경우, 부재의 파괴 양상은 사인장 파괴이지만, 보강근이 있는 경우는, 전단 압축파괴의 양상을 보여준다.

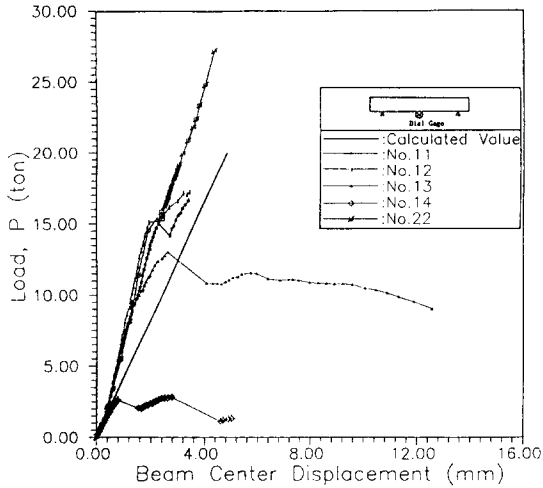


그림 6. 荷重-처짐關係 曲線

표 4. 試驗體別 처짐 및 彈性勾配 比較表

分類 試驗體名	最大 耐力 (ton)	最大耐力시 中央部 처짐 (mm)		中央部 彈性勾配 (t/mm)			SPAN 中央部 처짐	
		$\delta^{**}$	$\delta^{**}$	$\delta^*/\delta$	S*	S**		S'/S
No. 11	16.50	3.42	4.04	0.85	4.82	4.08	1.18	467.8
No. 12	17.24	3.47	4.18	0.83	4.97	4.12	1.21	461.1
No. 13	13.05	12.55	3.03	4.14	1.04	4.31	0.24	127.5
No. 14	2.81	5.03	0.68	7.40	0.56	4.13	0.14	318.1
No. 22	27.23	4.37	6.60	0.66	6.23	4.13	1.51	366.1

\* 實驗값 ; \*\* 計算값

### 3.3 剪斷傳達 메카니즘 分析

#### 3.3.1 No. 11 試驗體

주철근의 변형은 1점에서는 실험치와 이론치가 거의 비슷하나, 사인장 크랙이 발생하는 3점에서는 약 13ton까지는 이론치와 비슷하게 진행되다 크랙이 발생하면서 부터는 변형이 급격히 증가함을 보여준다.

콘크리트 변형에서는 2', 3' 점에서는 이론치와 비슷한 값을 가지나, 지점하부이며, 사인장 크랙이 발생하는 1' 점에서는 이론치와 상당한 차이가 발생함을 보여주고 있다.

#### 3.3.2 No. 12 試驗體

철근과 콘크리트의 변형은 이론값과 거의 비슷하나, 콘크리트 변형에서 지점하부이며,

인공 표면크랙을 만들어 놓은 1' 점에서는 하부에서 부터 올라온 사인장 크랙이 도달하는 약 16ton 에서 갑작스런 변형의 증가를 보여주고 있다.

#### 3.3.3 No. 13 試驗體

철근의 변형에서 3점에서는 Gage의 파손으로 변형을 측정하지 못하였으나, 1, 2점에서는 거의 이론치와 비슷한 증가를 보여준다.

크랙의 영향이 없는 2', 3' 점에서는 이론치와 거의 동일하게 변형이 일어나며, 1' 점에서는 사인장 크랙이 발생하기 시작하는 약 9ton에서 Gage의 손상으로 더 이상 값을 측정하지 못하였다.

#### 3.3.4 No. 14 試驗體

철근의 변형은 사인장 크랙이 위치한 3점에서 사인장 크랙이 발생하면서 심한 변형의 변화가 있었다.

콘크리트 변형이 이론치와 상당한 차이를 보이는 것은 힘을 부담하는 콘크리트 압축부분에 Roller 를 설치하여 힘을 부담할 수 있는 능력을 상쇄하였기 때문이다.

#### 3.3.5 No. 22 試驗體

철근의 변형은 이론치보다는 다소 적은 값이 측정되었다. 3점에서 사인장 크랙이 발생하면서도 변형이 적게 나타난 것은 Dowel 의 강성을 높여주기 위해 보강근을 설치해 주었기 때문이며, 2점에서는 사인장 크랙의 영향으로 심한 변형 변화가 있었음을 보여준다.

표 5. 實驗 結果

分類 試驗體名	最大 耐力 P(ton)	最大 剪斷力 V(ton)	最大 <sup>1)</sup> 모멘트 M(t.m)	最大耐力시 變形度(ε)(x10 <sup>-6</sup> )								
				1	2	3	4	1'	2'	3'	5	6
No. 11	16.65	8.325	4.995	1330	1280	2730	NM*	425	28	45	51	87
No. 12	17.24	8.620	5.172	1140	870	1100	NM*	1260	1	NA**	5190	454
No. 13	13.05	6.252	3.915	625	790	NA	NM*	NA**	28	66	83	126
No. 14	2.81	1.405	0.843	193	290	486	NM*	71	66	57	78	73
No. 22	27.23	13.615	8.169	1444	429	522	1390	209	NA**	14	16	15

1) 최대 전단력 작용시 모멘트

\* NM: None Measurement; \*\* NA: None Analysis

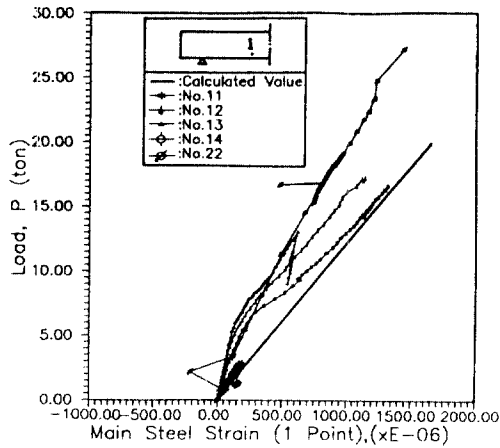


그림 7. 主鐵筋의 變形(1번)

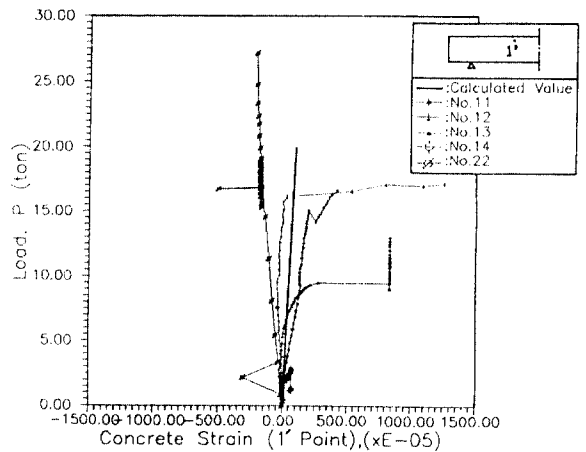


그림 10. 콘크리트의 變形(1'번)

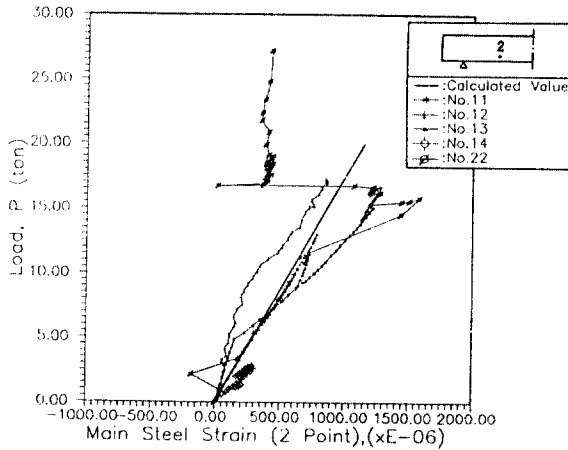


그림 8. 主鐵筋의 變形(2번)

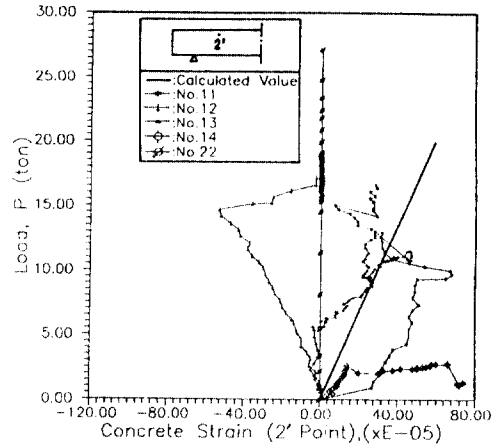


그림 11. 콘크리트의 變形(2'번)

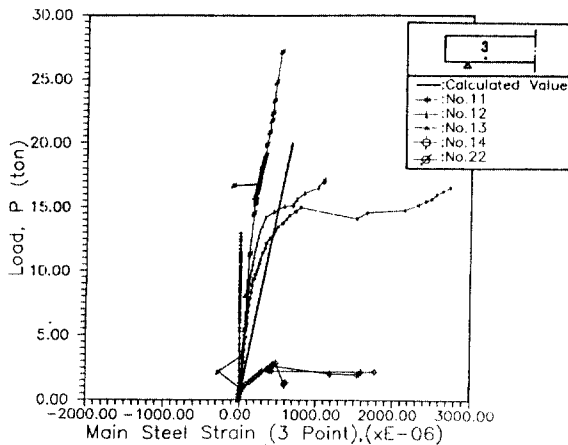


그림 9. 主鐵筋의 變形(3번)

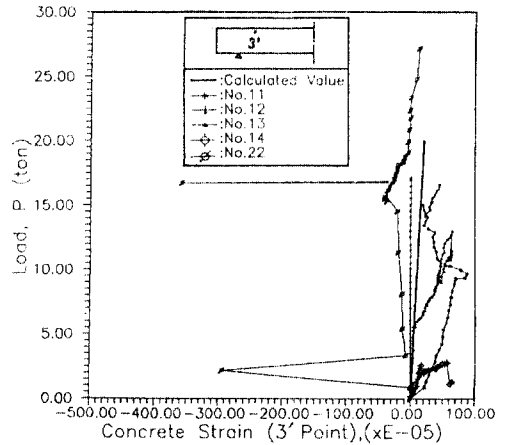


그림 12. 콘크리트의 變形(3'번)

#### 4. 結 論

압축강도 240~300 kg/cm<sup>2</sup>의 콘크리트를 사용한 철근콘크리트 보에서 Aggregate Interlock을 측정하기 위해 크랙의 형태를 달리하고, Dowel 작용만을 측정하기 위하여 콘크리트 압축부분에 Roller를 설치하고, Dowel 강성을 높이기 위한 전단근을 설치한 것과, 설치하지 않은 실험적 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 콘크리트 압축부분, 인장철근의 Dowel 작용, 골재 상호 맞물림 작용의 전단력 분담비율은 다음과 같다. : 콘크리트 압축부분(C)-56.2%; Dowel Action(D)-18.0%; Aggregate Interlock(A)-25.8%이며, 크랙 근처 Dowel 강도와 강성을 높이기 위한 보강근은 Dowel의 능력을 증가 시켰을뿐만 아니라, Arch Action의 능력도 증가시켰다.
- 2) 하중-처짐 관계에서, 크랙을 가로지른 골재 상호 맞물림 작용의 효과는 작다. 콘크리트 압축부분과 인장철근의 Dowel 작용이 부담하는 전단력의 합은 거의 전단 크랙강도와 일치한다.
- 3) 사인장 균열 이후 극한 파괴에 이르는 보유 강도는 약 10% 를 나타내고, 일반적인 Beam Action이 Arch Action으로 변화된다.
- 4) Dowel의 강성을 높이기 위한 보강근의 구속력은 Dowel Action 이 파괴된 후에도 부재의 내력이 떨어지는 것을 방지하여 주기때문에 부재가 연성을 가지는데 유효하다.
- 5) 모든 보 시험체는 보의 양끝에서 주철근을 완전히 정착하여 주지 못했으므로 사인장 크랙이 발생한 후 Dowel Action이 파괴되면서 부착파괴의 일종인 Splitting 크랙이 발생하면서 파괴되었다.

#### 參考文獻

1. 최 창식, "철근 콘크리트 보의 전단저항 메카니즘에 관한 연구", 대한 건축학회 논문집, 1987. 4, pp421-424
2. 신 성우외 3인, "전단 보강이 없는 RC보

- 의 전단 역학적 거동에 관한 연구", 콘크리트학회지 제1권1호, 1989. 9, pp76-74
3. 신 성우외 3인, "현장 타설 고강도 콘크리트 보의 전단 거동에 관한 연구", 대한 건축학회 논문집, 1991. 4, pp411-415
4. 장 일영, "고강도 철근 콘크리트 보의 구조 역학적 거동", 삼성 종합건설 기술정보 통권28호, 1992
5. T.C.Zsutty, "Beam Shear Strength Prediction by Analysis of Existing Data", Journal of ACI, 1968.11, pp943-951
6. J.A.Hofbeck, I.O.Ibrahim and A.H.Mattack, "Shear Transfer in Reinforced Concrete", Journal of ACI, Vol.66, 1969.2
7. T.C.Zsutty, "Shear Strength Prediction for Separate Categories of Simple Beam Tests", Journal of ACI, 1971.2
8. A.Placas and P.E.Regan, "Shear Failure of Reinforced Concrete Beams", Journal of ACI 1971.10, pp763-773
9. ACI-ASCE Committee 426, "The Shear Strength of Concrete Members", ACI MANUAL OF CONCRETE PRACTICE 1980
10. R.C.Fewick and T.Paulay, "Mechanism of Shear Resistance of Concrete Beams", Journal of Structural Division, ASCE, 1968.10, pp2325-2350
11. D.W.Johnston and P.Zia, "Analysis of Dowel Action", Journal of Structural Division, ASCE, 1971.5, pp1611-1630
12. R.N.White and M.J.Holley, "Experimental Studies of Membrane Shear Transfer", Journal of ASCE, 1972.8, pp1835-1852
13. ASCE-ACI Task Committee 426, "The Shear Strength of Reinforced Concrete Members", Journal of ASCE, 1973.6
14. H.Noguchi, "Shear Resistance Mechanism of Reinforced Concrete Beams", Transaction of JCI, Vol.2, 1980, pp217-224
15. H.Noguchi and K.Horikawa, "Shear Resistance Mechanism of RC Continuous Beams", JCI, Vol.4, 1982, pp237-244