

# 프리캐스트 Girder-Beam 접합부에서 Girder Ledge의 거동에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Behavior of Girder Ledge of Precast Girder-Beam Connection

김기범\*                      박성무\*\*  
Kim, Kee Beom      Park, Sung Moo

---

### Abstract

The purpose of this study is to define the behavior of the girder ledge of precast girder-beam joint in Frame Type Precast Concrete Construction Method. And in behavior, girder ledge is different with bracket, because of longitudinal effective width and longitudinal bending.

Specific objectives of this study are followed: ① To investigate the effects of concrete compressive strength on the maximum shear strength of girder ledge, ② To investigate the effects of shear-span ratio and effective area on behavior of girder ledge, ③ To investigate the effects of the types of reinforcement on behavior and maximum shear strength of girder ledge, ④ To study the applicable possibility of the suggested shear friction formulas to estimating the shear strength of girder ledge.

---

### 1. 서 론

건설시장의 공업화 추세로 인하여 건축자재의 공장생산이 점차 증가하고 있으며 공장생산된 P.C부재를 사용하는 조립식 주택이 대도시와 신도시 일부에 건설이 된바 있다.

그러나 이러한 P.C공법은 그 적용범위가 대형판 구조물에 주로 사용되어지고 있으며, 이러한 P.C 대형판 구조물은 현재 벽량이 많은 주택이나 아파트같은 구조물에 주로 적용되어 지고 있다.

하지만 구조물의 고층화나 평면의 다양화를 도모해야하는 앞으로의 건설시장에서는 Frame Type

---

\* 정희원, 영남대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 정희원, 영남대학교 건축공학과 교수

PC공법이 적용이 되어야만 할 것이다. 이러한 Frame Type PC 구조물의 구조 형식의 장점은 공기의 단축 및 모듈화된 제품의 효율적인 공장 생산, 그리고 장 스패의 공간 형성을 가능케 한다는 것이다. 그러나 이런 Frame Type PC공법에서는 철골 콘크리트 구조물과는 달리 접합부의 내력이 구조 안전성에 절대적인 영향을 미치게 된다는 데 문제가 있으며, 또 접합개소가 많아지고 접합방식에 의해 부재의 종류가 다르게 되는데 외국의 경우 P.C Girder와 기둥의 접합의 브라켓(Bracket)과 주로 주차장 건축에 쓰이는 더블T를 지지하는 Ledge Beam에 대한 연구는 활발히 진행되었으나, Beam에 의해 집중하중을 받는 Girder Ledge에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

그리고 Girder Legde의 설계에 있어서는 ACI(American Concrete Institute)규준의 Bracket 설계식을 그대로 설계에 적용하고 있는 실정이다. 그러나 Girder Ledge의 경우에는 Beam에 의해 비교적 큰 집중하중이 적용되므로 유효폭 및 길이방향의 휨거동이 Girder Ledge의 내력에 주요한 영향을 미치는 점을 고려하여 본다면 유효폭이 일정한 Bracket과 Double-T부재를 지지하는 Ledge Beam과는 그 거동에 있어 많은 차이가 있다고 생각한다. 따라서 본 연구에서는 Girder-Beam 접합부에서 Girder Ledge에 대한 전단내력과 거동 그리고 각 실험체의 Girder Ledge부분에 배근된 철근의 양식에 따른 연성 저하율과 연성도 등을 실험적 연구를 통하여 각 변수별 내력 측정과 거동을 비교 고찰하고, 이들 특성을 규명하기위하여 최대 내력 측정, 구조적 안정성등을 검토하여 향후 Girder-Beam 접합부 설계에 기초자료로 삼는데 그 목적이 있다.

## 2. 시험체

### 2.1 시험체 계획 및 제작

시험체는 실험실 사정 및 가력장치의 용량제한으로 인하여 1/2 축소모델을 사용하였으며, 시험체의 형상은 보 하단양측에 Ledge가 부착된 Inverted-T 형상을 하고 있다. 시험체의 형상 및 배근관계는 그림1, 그림2, 그림3에 나타나있고, 변수에 따른 시험체의 종류는 표1에 나타나있다.

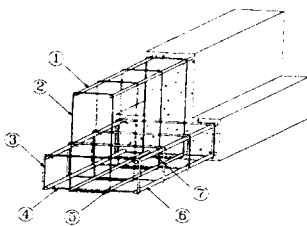


그림 1 시험체 형상

- ① 보 상단근
- ② 보 스트립
- ③ Ledge 주 전단근
- ④ Ledge 전단 보강근
- ⑤ 보 하단근
- ⑥ Ledge 하단 정착근
- ⑦ Ledge 상단 정착근

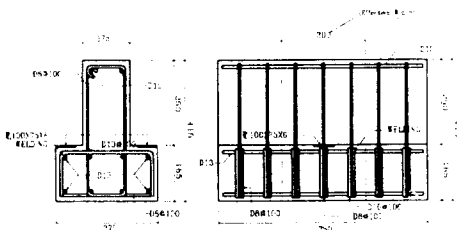


그림 2 PBB 시험체 배근상황

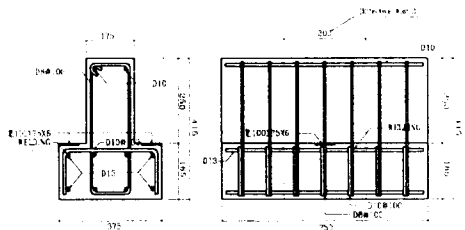
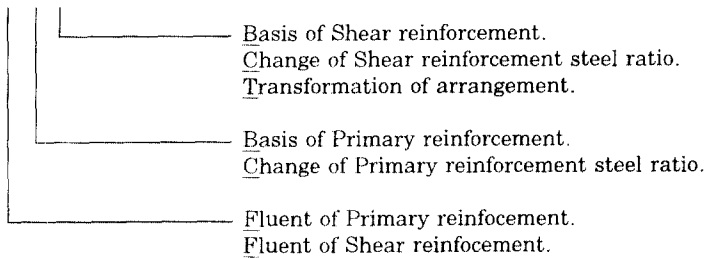


그림 3 SBC-1 시험체 배근상황

표 1 시험체 일람표

구분	시험체명	Fc(kg/cm <sup>2</sup> )	주근(mm)		보강근(mm)		
			간격	갯수	간격	갯수	
주근에 의한 구분	PBB	270	D10@100	3	D8@100	3	
	PCB-1		D10@200	2			
	PCB-2		D10@75	4			
보강근에 의한구분	배근 개수 변화	270	D10@100	3	-	-	
					SBC-1	D8@300	1
					SBC-2	D8@100	3
					SBC-3	D8@60	5
	배근 형태 변화	270			SBT-1	D8@100	3
					SBT-2		
					SBT-3		
					SBT-4		
					SBT-5		
					SBT-6		

PCB - 1 ————— 구분번호



## 2.2 시험체 제작

콘크리트의 설계압축강도는 일괄 210kgf/cm<sup>2</sup>로 하였으며, 시험체의 콘크리트 타설과 동시에 압축강도 실험용 공시체(∅100×200)몰드를 사용하여 총 13개를 제작 하였으며, 재령 28일에 일괄적으로 압축강도 실험을 하였으며, 그 실험결과는 표2, 표3과 같다.

표 2 콘크리트 압축강도 실험 결과

설계압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	28일 압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	탄성계수 (tf/cm <sup>2</sup> )
270	247.51	144.82

표 3 철근의 물리적 성질

철근 종류	항복강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	항복변형도 (×10 <sup>6</sup> )	탄성계수 (t/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )
D10	4,686.0	5,625.0	1,980.0	7,169.0

## 3. 실험

### 3.1 시험체 가력장치 및 설치

각 시험체는 그림4에서 나타나 있듯이 400mm의 스패んの 물러 지점을 가지는 가력보를 U.T.M의

Special Bearing Block에 장착시킨 후 2H-300×200×8 × 12 규격의 형강과 THK 9mm 플레이트로 제작된 하중장치 (Load Device)를 U.T.M Bed에 고정 시켰다.

하중장치를 U.T.M에 고정시킴으로서 시험체가 U.T.M에 의해 가력 되었으며, 가력점은 Ledge부분의 중앙에 설치된 한 방향 롤러를 사용하여 가력시

수평력의 발생을 최대한 배제하였다. 가력에 의한 Ledge부분의 전단변위를 측정을 위하여 가력점을 중심과 시험체의 양 길이방향으로 각각 1개의 LVDT를 설치, 총 6개의 LVDT를 Ledge의 하부에 설치를 하였고, 보의 처짐을 측정하기 위하여 보의 상부의 양 단부와 U.T.M의 Cross Head에 각각 설치 하였다.

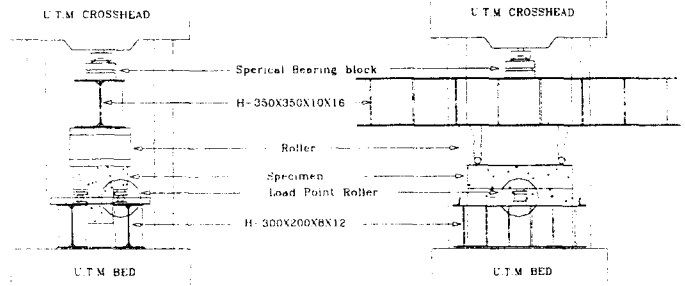


그림 4 시험체 설치 상황

### 3.2 균열 양상 및 파괴양상

본 실험에서 하중 증가에 따른 Ledge의 거동은 Ledge의 전단 변위와 길이 방향의 휨에 의한 변위로 결정이 되었으며, 모든 시험체의 초기 균열은 길이방향의 휨거동과 더불어 Ledge의 전단 거동이 복합적인 요인으로 작용하여 시험체의 밑면 중앙부에서 길이방향의 직각방향으로 발생이 되었다.

시험체의 균열 진전은 Ledge밑면 중앙부에서의 초기균열 발생 후 하중이 증가됨에 따라 어느 정도 진전된 후 Bearing Plate를 중심으로 좌·우 대칭으로 사인장 균열이 발생이 되었으며, 하중이 증가함에 따라 균열은 계속적인 진전을 보였다.

시험체의 초기 균열 하중은 각종 변수별 차이에도 불구하고 큰 차이를 나타내지 못하였고, 최대 하중은 주근의 철근비에 따라 증가됨을 알수 있다.

Girder Ledge의 최대내력에 대한 주전단근의 철근비에 대한 영향은 주전단근의 철근비의 증가와 거의 비례적으로 나타났으며, 전단보강근의 철근비 증감은 Girder Ledge의 최대내력과는 거의 영향이 없는 것으로 나타났다. 또한 전단보강근의 배근위치에 있어 Girder Ledge의 최대내력에 대한 영향은 Girder Ledge의 인장측에서 압축측으로 배근이 이동 할수록 Girder Ledge의 최대내력이 감소되는 것으로 나타났다.

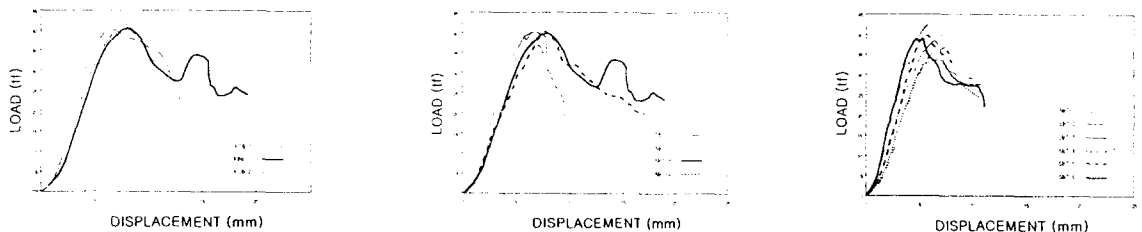


그림 5 하중-변위 곡선

## 4. 고찰

### 4.1 실험결과 고찰

#### 4.1.1 Ledge 주전단근 철근비 변화

PCB-1, PBB, PCB-2 시험체는 보 웹에 직교하는 Ledge의 주 전단근의 간격을 각각 HD10@200, HD10@100, HD10@75로 하여 유효 단면적내 철근비( $\rho$ )를 각각 0.3%, 0.5%, 0.6%으로 하였으며, 각 시험체의 Ledge의 주 전단근에 대한 전단 보강근은 동일하게 철근비( $\rho$ ) 0.3%로 배근하였다. 표 4과 그림 6에서와 같이 주전단의 철근비( $\rho$ )의 증가에 따라 최대 하중이 거의 비례하는 것으로 나타났다.

시험체명	철근비(%)	최대하중(tf)	하중증가율(%)
PCB-1	0.3	38.4	·
PBB	0.5	40.4	5
PCB-2	0.6	42.3	9.2

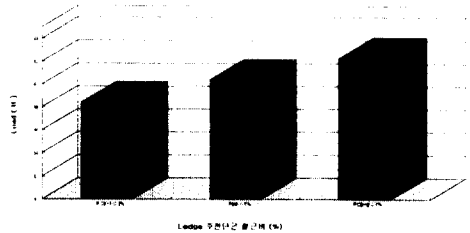


표 4 그림 6 Ledge 주전단근 철근비에 따른 최대 하중

#### 4.1.2 Ledge 전단보강근 철근비 변화

SBC시리즈의 시험체는 Ledge의 주 전단근에 대한 전단 보강근의 간격을 각각 ·, D8@300, D8@100, D8@60으로 하여 유효 단면적내 철근비( $\rho$ )를 각각 0%, 0.1%, 0.3%, 0.55%으로 하였으며, 각 시험체의 Ledge의 주 전단근의 철근비( $\rho$ )는 동일하게 0.5%로 배근하였다. 각 시험체별 최대 하중을 살펴보면 표 7, 그림 7에서 나타나 있듯이 전단보강근의 유효 단면적내 철근비에 따른 증감은 최대 하중의 결과로 미루어 보아 최대내력에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

시험체명	철근비(%)	최대하중(tf)
SBC-1	·	40.8
SBC-2	0.1	42
SBC-3	0.3	40.4
SBC-4	0.55	41.1

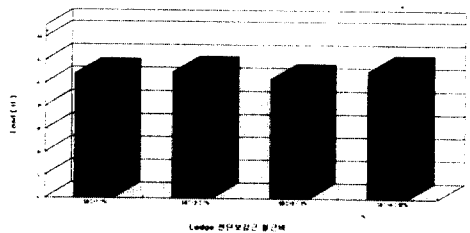


표 5 그림 7 Ledge 전단보강근 철근비에 따른 최대 하중

#### 4.1.3 Ledge 전단보강근 배근위치 변화

PBB, SBT-1, SBT-2 시험체는 Ledge의 주 전단근에 대한 전단 보강근의 위치를 각각 변수로 한 시험체들이다. ACI 에서는 브라켓(Bracket) 설계에 있어 주근에 대한 전단보강근의 위치를 유효층(d)의 2/3 이내로 규정하고 있으나, 본 실험에서는 Ledge 상부로부터 135mm 떨어져 배근된 PBB

시험체와 Ledge 상부로부터 90mm 떨어져 배근된 SBT-1 시험체, Ledge 상부로부터 45mm 떨어져 배근된 SBT-2 시험체를 실험에 사용하였다. 그 외 주전단근의 철근비는 동일 0.5%로 배근하였다. 표 6과 그림 8에서 나타나 있듯이 전단보강근의 위치가 압축측에 가까워질수록 최대 하중은 거의 반비례하는 것으로 나타났다.

시험체명	배근위치(mm)	최대하중(tf)	하중감소율(%)
PBB	135	40.4	.
SBT-1	90	38.9	4
SBT-2	45	37.4	7.4

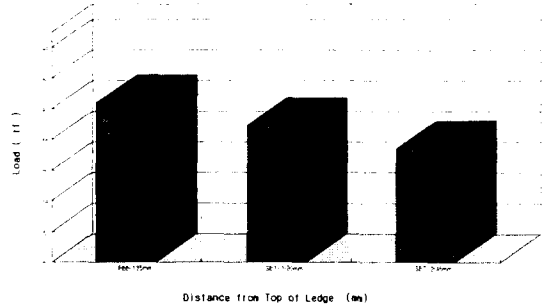


표 6 그림 8 Ledge 전단보강근 배근위치에 따른 최대 하중

#### 4.1.4 Ledge 전단보강근 배근양식과 형태 변화

SBT-3, SBT-4, SBT-5, SBT-6 시험체는 전단 주근에 대한 보강근의 양식과 형태의 변화를 준 시험체들이며, 이러한 변수는 표 7과 8에서 나타나 있듯이 Ledge의 최대 하중에는 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.

표 7 Ledge 전단보강근 배근양식에 따른 최대하중

시험체명	배근양식	최대하중(tf)
PBB	1단배근	40.4
SBT-3	2단배근	42.8
SBT-4	2단배근	33.7

표 8 Ledge 전단보강근 형태변화에 따른 최대하중

시험체명	최대하중(tf)	하중 감소율(%)
PBB	40.4	.
SBT-5	40.15	0.6
SBT-6	39	3.4

#### 4.2 이론적 고찰

브라켓(Bracket)과 Girder Ledge의 하중 증가에 따른 거동에 대해 살펴보면 다음과 같다. 브라켓(Bracket)은 춤에 비해 전단거리(a)가 짧아 전단 거동이 주요한 거동의 양상이 되며, 파괴양상은 기둥과 브라켓(Bracket)의 접촉면인 Critical Section에서 전단 마찰 거동에 의해 기둥과 브라켓(Bracket)이 분리되는 양상을 나타낸다. 그러나 Girder Ledge는 그림9, 그림10처럼 Ledge부분에 작용되는 집중하중에 의해 발생하는 길이방향 휨에 의해 발생하는 전단거동 즉, 전단 마찰 거동에 의해

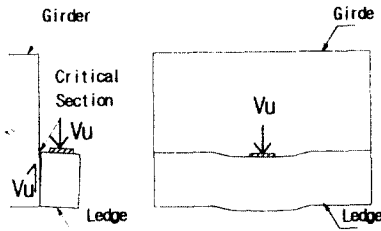


그림 9 전단 마찰 거동에 의한 Ledge의 파괴 양상

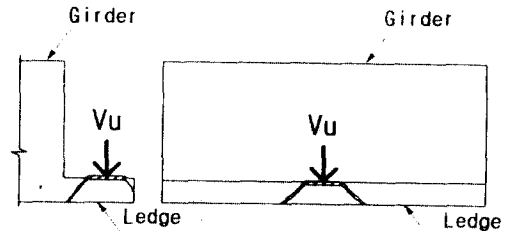


그림 10 Punching Shear에 의한 Ledge의 파괴양상

파괴되는 양상과 Ledge의 춤이 작은 경우 뚫림 전단(Punching Shear)에 의해 Ledge가 파괴된다. 그리고 ACI에서 제안하고 있는 Beam Ledge의 설계식은 S.A Mirza와 R.W Furion에 의해 수행되어진 실험 연구의 결과에 근거를 두고 있는 실정이며, Ledge의 내력은 Ledge면에 수직으로 떨어지는 연직하중에 의해 발생하는 뚫림전단(Punching Shear)에 제안식의 기초를 두고 있다.

S.A Mirza와 R.W Furion의 뚫림전단(Punching Shear)제안식은 Ledge의 충분한 유효춤을 중요한 변수로 두고 있다.

#### 4.2.1 뚫림전단(Punching Shear)

뚫림전단(Punching Shear)이론에 의한 뚫림전단(Punching Shear)식은 다음과 같다.

$$V = 4 \times \phi \times \sqrt{f'c} \times (W + 2L + 2d_f) \times d_f$$

\*: w : 지압플레이트폭 (cm) f'c : 콘크리트의 압축강도 (kgf/cm<sup>2</sup>) L : 지압 플레이트너비 (cm) df : Ledge부분의 유효춤 (cm)

실험결과와 뚫림전단(Punching Shear)식에 의한 결과는 표9과 같다.

표 9 ACI 뚫림전단(Punching Shear)식과 실험 초기균열하중의 비교

시험체명	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	실험치 (Ve)	ACI (V)	V/Ve
PBB	247.51	37.2tf	16tf	2.3
SBC-2		26.9tf		1.6
SBC-1		22.6tf		1.4
SBT-5		22.2tf		1.38

이상의 결과로 ACI에서 제안하고 있는 뚫림전단(Punching Shear)식은 콘크리트 강도에 대하여 상대적으로 많은 안전율을 고려한 것으로 판단된다.

<p>• ACI</p> $\mu_e = 1.4$	<p>• Mattock</p> $v_u = 0.8\rho_v f_y + 400$ $\mu_e = \frac{0.8v_u}{v_u - 400}$	<p>• Birkeland</p> $v_u = 33.5\sqrt{\rho f_y}$ $\mu_e = \frac{1122}{v_u}$	<p>• Raths</p> $v_u = 37.42\sqrt{\rho_u f_y}$ $\mu_e = \frac{1400}{v_u}$
----------------------------	---	---	--

\* : vu: 전단응력 (psi) ρv: 천근비 fy: 철근의 항복강도 (psi) μe: 전단마찰계수

#### 4.2.2 전단 마찰(Shear Friction)

전단 마찰 계수의 정의에 따른 ACI 기준 및 기존 제안식을 살펴보면 다음과 같다.

표 10 전단마찰식과 실험치와의 비교

시험체명	철근 단면적	실험치 (Ve)	ACI (Va)	Mattock (Vm)	Birkeland (Vb)	Rath (Vr)	Ve/Va	Ve/Vm	Ve/Vb	Ve/Vr
PCB-1	1.42cm <sup>2</sup>	38.4tf	18.6tf	37.1tf	31.5tf	35.1tf	2.06	1.03	1.22	1.09
PBB	2.13cm <sup>2</sup>	40.4tf	27.9tf	39.7tf	36.5tf	40.7tf	1.44	1.01	1.11	0.99
PCB-2	2.84cm <sup>2</sup>	42.2tf	37.3tf	47.7tf	44.4tf	49.6tf	1.13	0.88	0.95	0.85

실험결과와 전단마찰이론에 의한 기 제안식과의 비교 · 결과는 다음 표 10와 같다.

기존의 제안식과 실험치를 비교해 볼 때 ACI기준은 약68%정도, Mattock 제안식은 약98%정도, Birkeland 제안식은 약97%정도, Rath 제안식은 약92% 정도로 나타났다.

이러한 결과로 보아 ACI기준은 전단마찰의 영향을 많이 고려하지 않은 것으로 나타났다. 그 외의 제안식들은 실험치와 거의 비슷하게 나타났으며, 특히 Mattock의 제안식이 본 실험치와 가장 근사한 값을 나타내었다.

## 6. 결 론

이상의 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 최대내력에 대한 주전단근의 철근비에 대한 영향은 주전단근의 철근비와 거의 비례적으로 나타났으며, 전단보강근의 철근비 증감은 거의 영향이 없는 것으로 나타났다.
- 2) 전단보강근의 배근위치에 있어 최대내력에 대한 영향은 Girder Ledge의 인장측에서 압축측으로 배근이 이동 할수록 최대내력이 감소되는 것으로 나타났다.
- 3) ACI에서 제안하고 있는 뚫림전단(Punching Shear)식은 콘크리트 강도에 대하여 상대적으로 많은 안전율을 고려한 것으로 나타났다.
- 4) 전단마찰에 대한 기존의 제안식과의 비교에는 기 수행된 실험의 결과와 마찬가지로 ACI기준은 전단마찰의 영향을 많이 고려하지 않은 것으로 나타났으나, 기 수행된 시험체와의 경계조건 차이로 인해 그 외의 제안식들은 전단마찰에 대한 영향을 충분히 고려한 것으로 나타났다.
- 5) 시험체의 파괴양상은 뚫림전단과 전단마찰 내력중 취약한쪽으로 진행후 취성적인 파괴거동을 보였으며, 추후 Ledge의 유효침과 콘크리트강도에 따른 뚫림전단(Punching Shear)에 대한 연구와 더불어 Ledge의 보강방법에 따른 보다 다양한 전단전달에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료 된다.

본 연구는 한양대학교 초대형 구조 연구 센터(STRESS)의 지원에 의하여 수행되었습니다.



## 참고 문헌

1. S.A Mirza & R.W Furlong. "Strenth Criteria for Concrete Inverted T-Girders" Journal of Structral Engineering, Vol 109, No 8, August, 1983
2. S.A Mirza & R.W Furlong. "Prestressed Concrete Inverted T Beam for Bridge Structures" PCI Journal, July-August, 1985