

프리캐스트 Girder-Beam 접합부에서 Girder Ledge의 전단내력에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Shear Strength of Girder Ledge of Precast Girder-Beam Connection

배준우*
Bae, Jun Woo

박성무**
Park, Sung Moo

Abstract

This study is aimed to define the behavior of the girder ledge of precast girder-beam joint in rame type precast concrete construction method. The variable of this study is followed : 1) The change of the maximum shear strength depended on the transformation of concrete compressive strength 2) The change of the behavior of ledge depended on the transformation of shear-span ratio 3) The chagne of maxumum shear strength and ductility by the type of reinforcement.

The results of this study show that the behavior of ledge is affected by shear-span ratio and the maximum shear strength is depended on the concrete compressive strength, reinforcement ratio and effective section area.

In addition, through the investigation of the established study, the results of this study suggest the shear friction formula of Raths.

1. 서 론

Precast Concrete (이하 P.C)공법은 부재를 공장에서 동일한 방법으로 생산하므로 품질관리가 용이하고, 거푸집을 사용하지 않으므로 공기를 절감시킬 수 있는 잇점이 있다. 또한 일반공법에 비해 작업 환경이 양호하며 CAD-CAM의 도움을 받을 수 있으므로 공정이 효율적이다. 그러나 P.C공법은 아파트와 같이 주로 벽량이 많은 대형판 구조물에 한정되어 적용되어지고 있는 실정이며, 이러한 P.C 공법의 적용범위를 사무실, 공장, 주차장 등으로 넓히기 위해서는 단위를 구분하는 방법과 접합 형식

* 영남대학교 건축공학과 석사 과정

** 영남대학교 건축공학과 부교수, 공학박사, 정회원

본 연구는 한양대학교 초대형 구조 연구센터

(STRESS)의 지원에 의하여 수행 되었음.

에 따라 수많은 구조형태가 있을 수 있는 Frmae Type P.C 공법이 요구되어진다.

그러나 Frame Type P.C 공법은 접합 개소가 많아지고 접합 방식이 부재의 종류별로 다르게 되는데, 현재 국내에서는 P.C 보-기둥 접합에서의 브라케에 대한 ACI (American Concrete Institute) 의 규준을 그대로 사용하고 있을 뿐 Frmae Type P.C 공법에서의 접합형식에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 프리캐스트 Girder-Beam 접합부에서 Girder Ledge의 전단내력, 전단스팬 비 변화에 따른 거동 및 콘크리트 압축 강도와 배근 형태에 따른 영향을 분석·고찰하고자 한다. 또한 실험결과에 의한 최대하중과 ACI 규준 및 기존 연구식의 최대전단내력을 비교·고찰하고자 한다.

2. 시험체

2.1 시험체 계획 및 제작

시험체는 실험실 사정 및 가력 장치의 용량을 고려한 1/2 축소 모델이며 시험체의 총 개수는 15개이다. 시험체의 형상은 보의 하부 양측에 Ledge가 부착된 역T형 형상을 하고 있다. 변수에 따른 시험체의 종류는 표 2.1에 나타나 있으며, 시험체 형상 및 배근 상황은 그림 2.1, 2.2에 나타나 있다.

표 2.1 시험체 일람표

시험체명	전단스팬비	콘크리트강도 (kg/cm ²)	정착철근	주철근	전단보강근	비고			
UNT-1	0.33	210	.	.					
UNT-2		270							
UNT-3		350							
RTNB-1	0.5	210	D13(WELDING)	D10@120		PROTOTYPE			
RTNB-2	0.33								
RTNB-3	0.25								
RNNA-1	0.33		270			D10(WELDING)	D10@200		RTNB-2와 동일
RNNA-2						D13(WELDING)			
RNNA-3						D16(WELDING)			
RNNA-4									
RNTB-1	0.33	350	D13(WELDING)	D10@120		RTNB-2와 동일			
RNTB-2									
RNTB-3									
RNNP-1	0.33	210	D13(WELDING)	D10@200		RTNB-2와 동일			
RNNP-2				D10@120					
RNNP-3				D10@80					
RNNH-1	0.33	210	D13(WELDING)	D10@120	D8@120	RTNB-2와 동일			
RNNH-2									
RNNH-3									

R --- Reinforced Girder Ledge, Unreinforced Girder Ledge
 T --- Normal Effective Depth, Transformation of Effective Depth
 N --- Normal Concrete Strength, Transformation of Concrete Strength
 B --- Basis of reinforcement, Anchor Bar, Primary Reinforcement
 -2 --- 구분번호

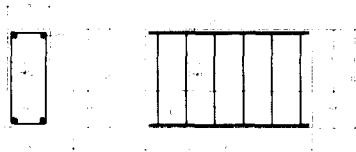


그림 2.1 UNT-1 시험체 배근 상황

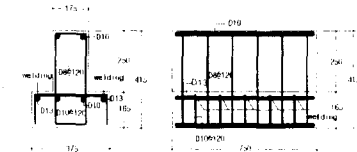


그림 2.2 RTNB-2 시험체 배근 상황

2.2 시험체 제작

시험체 제작은 충북 음성 소재 (주) 청구 P.C 공장에서 동일한 환경하에서 제작되었다. 콘크리트 압축강도가 270 kg/cm², 350 kg/cm²인 UNT-2,3 와 RNTB-2,3 시험체는 손비빔후 타설 되었으며, 콘크리트 압축강도가 210 kg/cm²인 시험체는 (주) 청구 P.C 공장에 설치된 Batcher에서 혼합한 콘크리트를 타설하였다. 타설 후 모든 시험체는 하루 7시간씩 2일간 증기 양생한 후 28일 대기 양생하여 탈형하였다.

보와 Ledge의 주근은 HD10을 사용하였고 보의 스테럽은 HD8, 정착철근은 변수에 따라 HD10, HD13, HD16을 사용하였다.

2.3 재료의 성질

콘크리트 압축 강도의 설계 강도는 변수에 따라 210 kg/cm², 270 kg/cm², 350 kg/cm²으로 하였으며 시험체 콘크리트 타설과 동시에 압축강도 시험용 공시체를 100×200 몰드를 사용하여 총 26개를 제작 하였으며 각각 재령 28일에 압축강도 실험을 시행하였으며 그 실험결과는 표 2.3과 같다. 보 및 주근으로 사용된 철근의 항복강도는 4000kg/cm²인 이형철근이며 물리적 성질은 표 2.4와 같다.

표 2.3 콘크리트 압축 강도 실험 결과

설계압축강도 (kg/cm ²)	28일 압축강도	탄성계수 (t/cm ²)	비고
210	247.51	144.82	
270	279.922	143.37	UNT-2, RTNB-2
350	343.775	144.85	UNT-3, RTNB-3

표 2.4 철근의 물리적 성질

철근 종류	항복강도 (kg/cm ²)	항복변형도 (×10 ⁶)	탄성계수 (t/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)
D10	4,686.0	5,625.0	1,980.0	6,995.0

3. 실험

3.1 시험체 가력 장치 및 설치

시험체의 설치는 전단거리가 50mm인 Ledge 상부에 집중하중이 작용하면서 수평력이 발생하지 않도록 설계되었다. 시험체의 설치는 그림 3.1에 나타나 있으며, 가력은 100 ton 용량의 U.T.M으로 단 순 증가 형식으로 가해지며 하중 증가에 따른 변위는 Ledge 하부에 설치된 전기식 다이알 게이지와 Ledge 주근에 설치된 Strain Gage에 의해서 측정되었다.

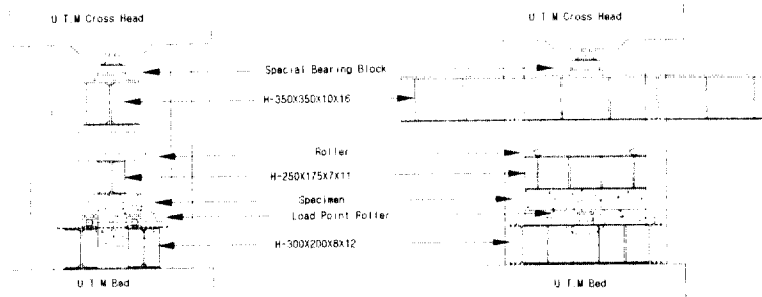


그림 3.1 시험체 설치 상황

3.2 균열 양상 및 파괴 양상

본 실험에서 하중 증가에 따른 Ledge의 거동은 Ledge 직교방향 변위 및 길이 방향 휨에 의한 변위로 결정되었으며, 시험체의 초기균열은 Ledge 길이 방향 휨에 의해 Ledge 하부에서 나타났다. Ledge 길이 방향의 휨에 대한 스패는 가력점을 중심으로 한 Ledge 사인장 균열의 변곡점으로 결정되어지며 그 값은 500mm로 모든 시험체에서 동일하게 나타났다.

파괴 양상에 있어서는 Ledge가 배근 되지 않은 UNT 시리즈의 경우 Ledge의 내민보 작용에 의해 Ledge 상부가 보의 측면과 분리되면서 파괴 되었으며, Ledge가 배근된 R 시리즈의 경우 브라켓의 파괴 양상과 같이 위험단면에서 전단마찰 파괴 양상을 나타내었다.

시험체의 파괴 양상은 콘크리트의 파괴가 지배적으로 나타났으며 이로 인해 소성영역이 짧게 나타나며 연성 능력이 거의 없는 것으로 나타났다.

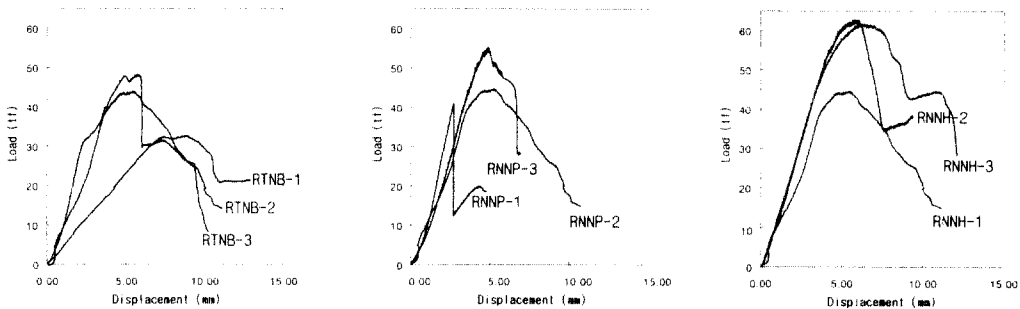


그림 3.2 하중-변위 곡선

3.3 하중-변위 관계

시험체의 파괴 하중은 유효단면적, 콘크리트 압축 강도, 철근 단면적의 증감에 따라 차이를 나타내고 있으며, 최대하중시의 변위는 전단스팬비와 철근비가 증가할수록 크게 나타났다.

그림 3.2는 각각 RTNB 시리즈, RNNP 시리즈, RNNH 시리즈의 하중-변위 곡선을 나타내고 있

다.

4. 실험결과 고찰

4.1 콘크리트 압축강도

그림 4.1과 같이 실험을 통해 얻어진 UNT 시리즈와 RNTB 시리즈의 최대하중은 콘크리트 압축강도의 평방근에 비례하고 있음을 알 수 있다.

4.2 전단스팬비

전단스팬비가 증가함에 따라 모멘트의 영향이 증대되어 Ledge의 직교 방향 및 길이 방향의 처짐이 증가하였으며, 그림 4.2에 나타나듯이 유효단면적의 증가에 따라 최대하중은 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다.

4.3 정착철근의 단면적 변화

ACI에서는 Ledge의 직교 방향의 주근이 충분한 정착효과를 갖기 위해 주근의 직경과 동일한 직경 이상의 철근과 용접하도록 규정하고 있다.

4.3에 나타나듯이, 가력점으로부터의 위치 변화에 따른 철근 변형률의 종단면도를 살펴볼 때 본 실험에서는 정착철근의 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.

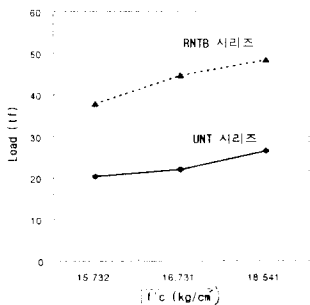


그림 4.1 콘크리트 압축강도에 따른 최대강도

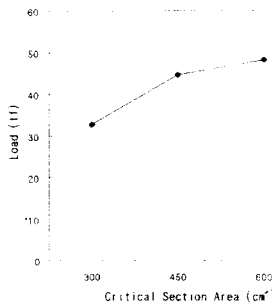


그림 4.2 유효단면적 변화에 따른 최대강도

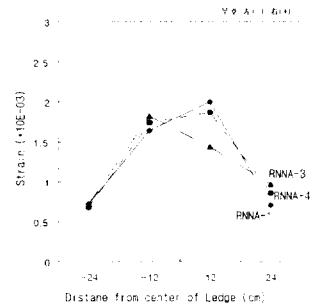


그림 4.3 철근변형률 종단면도

4.4 배근형태

최대 하중은 유효단면적내의 철근 단면적의 증가에 따라 거의 선형적으로 증가하였으며, Ledge의 수평 전단 보강근 및 길이 방향 보강 철근의 배근 위치를 Ledge 상부로부터 각각 75mm, 145mm로 한 RNNH-2, RNNH-3의 초기균열하중 및 최대 하중을 비교해 볼 때 RNNH-3 시험체가 초기 균열하중은 34% 정도 증가된 값을 나타내었으며, 최대하중은 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

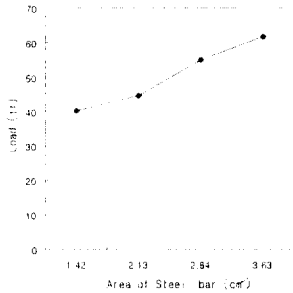


그림 4.4 철근단면적에 따른 최대하중

표 4.1 보강근 위치에 따른 초기 균열 하중

시험체명	보강근 위치 (Ledge 상부로부터) (mm)	초기균열 하중(t)	최대 하중(t)
RNNH-1	·	17.5	44.65
RNNH-2	75	17.3	62.8
RNNH-3	145	26.4	61.8

5. 이론적 고찰

5.1 유효폭

ACI 전단마찰규정에서는 전단마찰에 대한 유효폭을 Mirza, S.A, Furlong, R.W의 연구에서 제안한 $(W+4a)$ 를 채택하고 있다.(여기서 W : 지압 플레이트 폭, a : 전단거리)

본 실험에서 가력점을 중심으로한 사인장 균열 폭은 모든 시험체에 동일하게 500mm 내외로 나타나고 있으며, 사인장 균열의 중심 거리를 측정하였을 때 ACI 전단마찰규정에서 제안하고 있는 $(W+4a)$ 의 값과 거의 동일한 300mm 내외의 값을 나타내고 있다.

5.2 ACI 기준 및 기존 제안식

ACI의 전단마찰규정에서는 콘크리트 압축강도에 따른 최대 전단 내력을 다음식으로 규정하고 있다.

$$0.2 \times f_c \times (W+4a)$$

$$0.2 \times f_c \leq 56 \text{ kg/cm}^2$$

여기서 f_c : 콘크리트 압축 강도 (kg/cm²)

W : 지압 플레이트의 폭

a : 전단거리

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

$$V_u = \phi \times f_y \times \mu_v \times A_v$$

· ACI
 $\mu_v = 1.4$

· Mattock
 $v_u = 0.8 \rho_v f_y + 400$
 $\mu_v = \frac{0.8 v_u}{v_u - 400}$

· Birkeland
 $v_u = 33.5 \sqrt{\rho_v f_y}$
 $\mu_v = \frac{1122}{v_u}$

· Raths
 $v_u = 37.42 \sqrt{\rho_v f_y}$
 $\mu_v = \frac{1400}{v_u}$

여기서 v_u : 전단응력 (psi)
 ρ_v : 철근비
 f_y : 철근의 항복강도 (psi)
 μ_v : 전단마찰계수

5.3 실험결과와 기존식과의 비교 분석

그림 5.1에 나타나듯이 ACI에서 규정하는 최대전단내력식은 콘크리트 압축강도가 증가할수록 실험치와의 차이가 많이 나타나는 것으로 보아 안전을 고려한 것으로 판단된다.

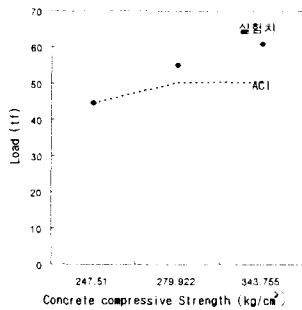


그림 5.1 ACI 기준과 실험치 비교
(콘크리트 압축강도에 따라)

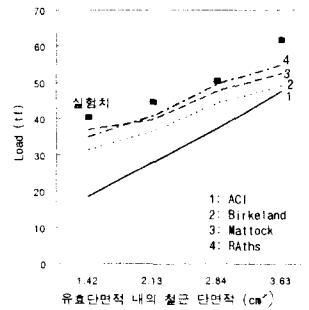


그림 5.2 기존 제안식과 실험치의 비교

실험치와 기존제안식의 값을 비교할 때 ACI 기준은 실험치의 45.9%~75.8% 정도를 나타내고 있으며, Mattock 제안식의 경우 80.4%~94%, Birkeland 제안식의 경우 77.8%~87.8%, Raths 제안식의 경우 87.4%~98.1%의 값을 나타내고 있다.

ACI 기준의 값은 전단마찰의 영향을 다소 과소 평가하고 있는 것으로 나타났으며, Raths의 제안식이 본 실험치와 가장 근사한 값을 나타내고 있다.

6. 결 론

이상의 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Ledge의 배근의 유무에 관계없이 Ledge의 최대 전단 내력은 콘크리트 압축강도의 평방근에 비례하는 것으로 나타났다.
2. 전단스팬비가 증가할수록 Ledge의 거동에서 휨의 영향이 증대되며, 최대 전단 내력은 유효 단면적이 증가함에 따라 대체로 선형적으로 증가한다.
3. Ledge의 최대 전단 내력은 유효 단면적 내의 철근비의 증가에 따라 대체로 선형적으로 증가한다.
4. 기존 제안식과의 비교에 있어서 전단마찰에 대한 길이 방향의 유효폭은 $(W+4a)$ 로 ACI 제안식과 거의 동일하게 나타났으며, 전단 마찰 이론을 적용한 기존 제안식들은 대체로 전단 마찰의 영향을 과소 평가하고 있는 것으로 나타났으며, 본 실험을 통하여서는 아래와 같은 Raths의 식을 제안한다.

$$\text{Raths} \quad v_u = 37.42\sqrt{\rho_v f_y} \quad \mu_e = \frac{1400}{v_u}$$

5. 시험체의 파괴 양상은 콘크리트의 파괴가 지배적으로 나타나 소성영역이 매우 짧은 취성적으로

나타났다. 따라서 추후 Ledge의 보강 방법에 따른 연성능력에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

● 참고문헌 ●

1. Seckin M, and H.C. Fu. "Beam-Column Connection in Precast Reinforced Concrete Construction" ACI Journal, 1990. 5-6
2. Yook-Kong Yong and P.Balaguru "Behavior of Reinforced High-Strength-Concrete Corbel" Journal of Structural Engineering Vol 120, No. 4 April, 1994
3. Ned M. Cleland, Thomas T. Baber "Behavior of Precast Reinforced Concrete Ledger Beams" PCI Journal, March-April 1986
4. Gary j. Klein "Design of Spandrel Beam" PCI Journal September-October 1986