

# PT 플랫 플레이트와 RC 플랫 플레이트 내부 접합부의 구조적 거동 비교에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Comparison of Structural Behavior of PT Flat Plate and RC Flat Plate Interior Connections

이 동 근\*      하 상 수\*\*      한 상 환\*\*\*      이 리 형\*\*\*  
Lee, Dong Keun      Ha, Sang Su      Han, Sang Whan      Lee, Li Hyung

### ABSTRACT

While the existing reinforced concrete flat plate(RC flat plate) has a lot of advantages including reduced building height, it has some weak points such as many steel bars and the brittle rupture by punching shear. Compared with the RC flat plate, the post-tensioned flat plate (PT flat plate) has not only the same merits, but it also makes longer span possible and induces slab-column connections to be failed with the ductile behavior rather than with the brittle behavior by means of post-tensioning. However, it is difficult to define the joint behavior of PT flat plate under vertical and lateral loads since there are limit experimental results.

For this reason, the experimental study is undertaken to investigate the comparison of behavior of PT flat plate and RC flat plate, and how flat plate(Gravity Load Resisting System) is displaced as lateral loads, like the wind and the earthquake, are occur. The result of this experiment shows that PT flat plate is generally superior to RC flat plate in terms of controlling crack, postponing stiffness deterioration, energy dissipation, etc.

### 1. 서론

기존의 철근 콘크리트 플랫 플레이트 구조(RC 플랫 플레이트)는 층고저감과 같은 장점들이 있지만 자중이 크고 철근이 많이 요구되어지며 전단파괴로 인한 취성적 거동을 하는 단점이 있다. 이에 반해 포스트 텐션 플랫 플레이트(PT 플랫 플레이트) 구조 시스템은 RC 플랫 플레이트의 장점과 더불어 장경간의 사용을 가능케 하며 슬래브-기둥 접합부의 전단파괴로 인한 취성적인 파괴를 강선의 긴장으로 인해 연성적인 파괴를 유도하는 등의 많은 장점들이 있다. 하지만 수직하중과 수평하중이 동시에 작용할 때 슬래브-기둥 접합부에 관한 PT 플랫 플레이트의 실험적 연구가 부족하여 접합부 거동에 대해 충분히 규명되지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 PT와 RC 플랫 플레이트의 구조적 거동을 비교하였으며, 중력 저항 시스템으로 이용되는 플랫 플레이트가 수평하중이 작용되었을 때 어느 정도의 구조적 성능을 발휘 하는지에 대하여 알아보았다.

\* 정회원, 한양대학교 건축공학부 석사과정

\*\* 정회원, 한양대학교 STRESS 연구조교수, 공학박사

\*\*\* 정회원, 한양대학교 건축공학부 교수, 공학박사

본 연구는 2004년 건설기술연구개발사업(과제번호:03산학연 B01-01) 지원으로 수행된 연구결과의 일부임.

## 2. 실험체 계획 및 제작

대상 건물은 층고 3.5m를 가지는 20층의 전형적인 주거 및 사무실 구조물로서 건물 골조 시스템이며 한국의 하중 조건과 유사한 미국 동부 뉴욕의 지진지역 B(IBC 2003)<sup>2)</sup>에 위치한다.

실험체는 탄성 구조물에 대한 약식해석으로 슬래브의 중간 경간과 기둥 중간 높이에서 변곡점을 갖는다고 가정하여 슬래브 경간과 기둥의 중심을 절단하여 대상 건물의 60% 축소 모델로 계획하였으며, 실제 실험체 크기는 그림 1에 나타난 바와 같이 실험실 여건에 맞춰 한쪽 방향을 축소하여 RC 플랫 플레이트 경우는 3400mm×3600mm×2100mm로 PT 플랫 플레이트 경우는 4600mm×3600mm×2100mm로 제작하였다. 실험체 배근은 ACI 318-02<sup>1)</sup>에 근거하여 설계하였다.

PT의 경우, 현행 기준<sup>1)</sup>에 언급 되어있지는 않지만 기존 연구자들(Hawkins<sup>3)</sup> 등의 연구를 따라서 하부 철근(structural integrity reinforcement)을 배근하였으며, 강선은 KS D 7002를 따라서 제작된 SWPC 7B(12.7mm)를 사용하였다.

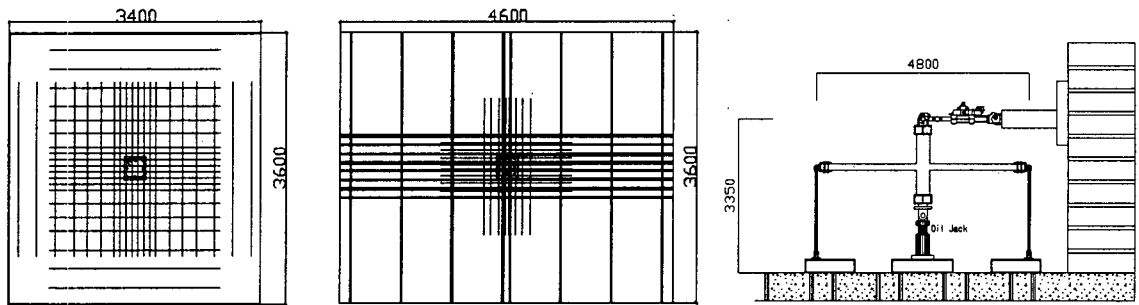


그림 1(a). RI-50 평면도

그림 1(b). PI-50 계열 평면도

그림 2. 실험체 설치상황

표 1. 실험체 일람표

실험체명	h	d <sub>ave</sub>	C	f <sub>ck</sub>	f <sub>y</sub>	f <sub>pu</sub>	f <sub>se</sub>	강선배치 (가력방향)	ρ(%)				V <sub>g</sub> /φV <sub>c</sub>
									유효폭내		유효폭밖		
									상	하	상	하	
	(mm)			(MPa)									
RI-50	132	110	300×300	30	400	-	-	-	0.64	0.27	0.28	0.24	0.5
PI-B50	132	110	300×300	30	400	1890	995	Banded	0.61	0.81	-	-	0.5
PI-D50	132	110	300×300	30	400	1890	995	Distributed	0.61	0.81	-	-	0.5

Notation : f<sub>ck</sub>=콘크리트 압축강도, f<sub>y</sub>=철근의 인장강도 f<sub>pu</sub>=강선의 설계 인장 강도, f<sub>se</sub>=용력손실 이후 강선의 유효용력

## 3. 실험체 설치 및 가력방법

실험체 설치는 그림 2에서 볼 수 있듯이 일정 크기의 연직 하중을 유지하면서 일방향 수평 하중을 가력 하도록 설치하였다. 기둥 하부에는 가력 방향으로 회전 하도록 베어링을 설치하였고 중력하중에 대한 경계조건을 만족시키기 위하여 5000kN 오일 잭을 설치하였다. 기둥 상부에는 수평 하중 가력을 위해 250kN 액츄에이터를 설치하였다. 네 모서리에는 4개의 강지주를 설치하여 경계조건을 만족하였고 비틀림 방지를 위해 철골 프레임을 설치하였다. 슬래브 상부의 하중 블록과 기둥 하부의 오일 잭을 이용하여 수직하중을 가하였으며 기둥 상부의 액츄에이터를 이용하여 변위제어를 통한 유사 정적 수평하중을 3회씩 반복가력 하였다. 접합부와 슬래브의 LVDT, 액츄에이터와 강지주에 부착되어있는 로드 셀, 철근에 부착되어있는 스트레인 게이지 그리고 강선에 부착되어있는 텐돈 로드 셀로부터 실험 결과 데이터를 습득하였다.

#### 4. 실험결과 및 분석

그림 3은 실험체의 수평하중과 수평변위에 대한 상관곡선을 나타내었다. 결과를 비교해보면 PT가 RC에 비해 더 큰 경간을 가지고 있음에도 불구하고 RI-50에 비해 PI-B50과 PI-D50의 강도가 더 많이 발휘되었음을 알 수 있다. 변위-연성비( $\Delta_{max}/\Delta_y$ )의 경우 RI-50 : 1.23, PI-B50 : 1.30, PI-D50 : 2.15로 PT의 경우가 더 좋은 연성능력을 보여주었다. 중력 저항 시스템인 RC와 PT 실험체의 Drift Ratio가 전단강도의 약40%(RC 플랫 플레이트의 경우 중력 전단력 비를 0.4로 제한)의 중력하중 하에서 RI-50 : 3.71%, PI-B50 : 3.5%, PI-D50 : 4.5%로 모두 1.5% 이상의 Drift Ratio를 나타내어 수평하중에 대한 우수한 저항성능을 보여주었다.

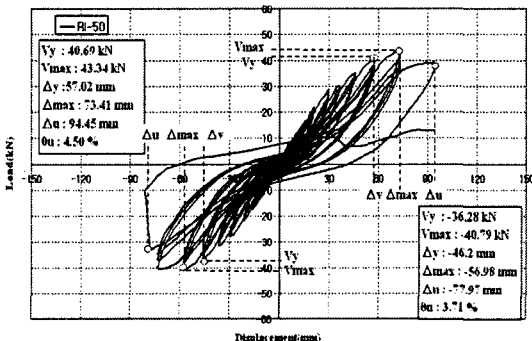


그림 3(a). RI-50 실험체의 하중-변위 곡선

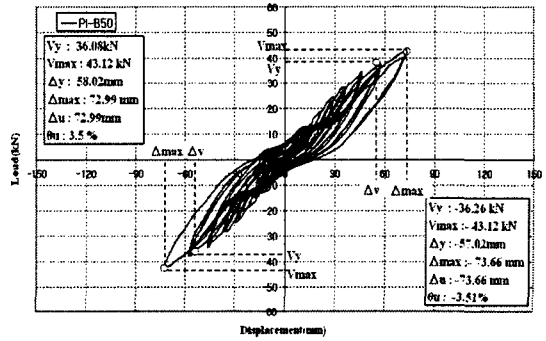


그림 3(b). PI-B50 실험체의 하중-변위 곡선

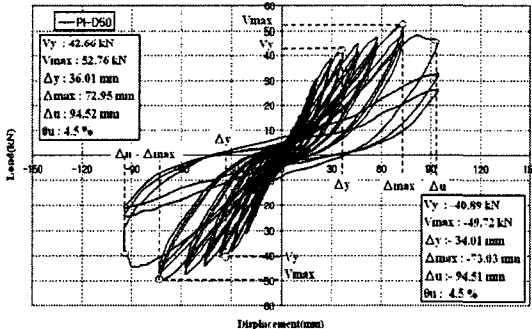


그림 3(c). PI-D50 실험체의 하중-변위 곡선

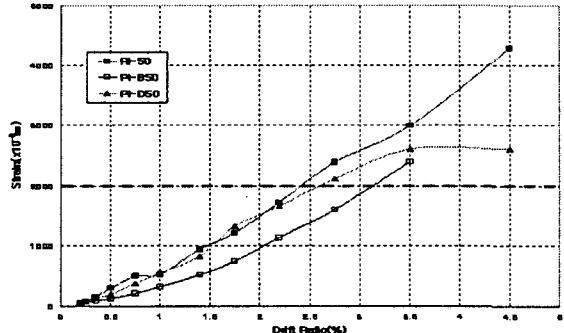


그림 4. 부재각에 따른 하부철근 변형률

그림 4는 기둥을 통과하는 하부 철근(structural integrity reinforcement)을 비교해 본 것으로 RC의 경우 하부 철근이 항복(부재각 2.42%)한 이후에도 파괴시까지 계속 응력을 받아 변형함으로써 수평하중이 작용했을 때 중력하중을 지지하여 진행형 붕괴(progressive collapse)를 막아주는 역할을 하였으며, PT의 경우 횡력이 작용했을 시에 국부적인 모멘트 역전현상(moment reverse)으로 인해 하부 철근에서 인장응력이 일어났으며 이는 강선과 더불어 하부 철근이 횡변위 저항 성능을 높여 줌을 나타낸다. 그림 5는 부재각에 따른 강성저하를 나타낸 것으로서 RC에 비해 PT 두 실험체 모두 강성저하가 지연됨을 알 수 있으며 PI-D50의 경우 부재각 1.4%에서 상부철근의 변형이 두배로 증가하면서 강성저하가 시작되기 전까지 초기 강성이 거의 유지가 되었다. 그림 6에 각 실험체별 항복시의 에너지 소산 면적에 대한 파괴시의 에너지 소산 면적 비를 나타내었다. RC와 비교하여 PT의 에너지 소산 능력이 더 뛰어난 것을 알 수 있으며, 이를 통해서 전단 파괴 시에 강선의 긴장력이 취성적인 파괴 메커니즘을 피할 수 있도록 도와줌을 알 수 있다. 실험체 최종파괴는 그림 7에 보여 지듯이 횡력이 가해지면서 약 30°~45°의 대각선 균열의 성장을 보이다가 RI-50은 부재각 4.5%에서 약12%의 강도 저하

를 보이며 전단 파괴되었고 PI-B50과 PI-D50의 경우는 각각3.5%와 4.5%에서 별다른 강도 저하 없이 전단 파괴되었다.

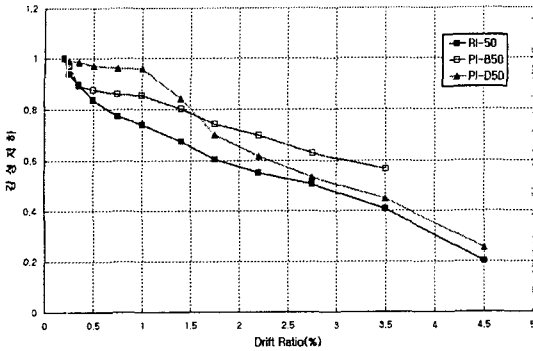


그림 5. 각 실험체별 강성저하

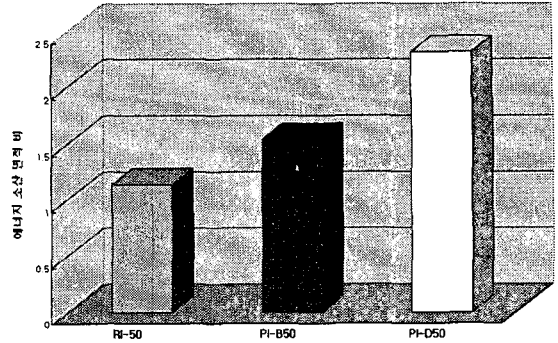


그림 6. 각 실험체별 에너지 소산 능력 비

PT의 경우 강선의 긴장효과로 인하여 RC에 비해 중력하중에 의한 초기 휨균열이 나타나지 않았으며 수평하중 하에서도 균열의 성장이 억제됨을 확연하게 알 수 있다. 이상의 결과들로 보면 RC에 비해 PT 내부 접합부의 횡변형 저항 성능이 전반적으로 더 우수하다고 사료된다.

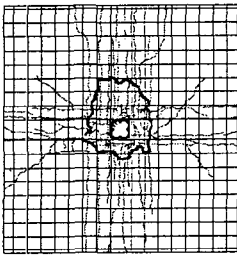


그림 7(a). RI-50 최종균열 상황

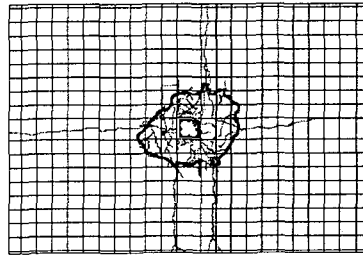


그림 7(b). PI-B50 최종균열 상황

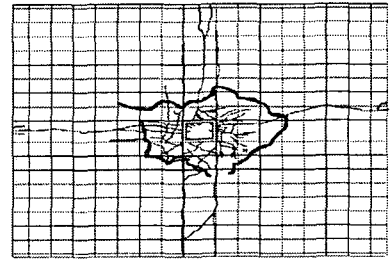


그림 7(c). PI-D50 최종균열 상황

## 5. 결론

RC 플랫 플레이트와 PT 플랫 플레이트의 슬래브-기둥 내부 접합부의 거동에 관한 실험연구 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) RC에 비해 PT강선의 긴장력이 접합부 강도의 증대와 강성유지에 매우 효과적임을 보여 주었다.
- 2) 에너지 소산 능력을 비교해 볼 때 PT가 RC에 비해 더 높아 결과적으로 연성적인 거동을 유도 하며 PT의 경우 강선의 집중형 배치에 비해 분산형 배치의 경우가 더 연성적임을 보여 주었다.
- 3) 하중 제하 초기부터 심한 균열이 발생한 RC에 비하여 파괴 이후 까지도 균열의 성장이 억제되고 수평변위 능력을 보유하고 있는 PT가 사용성 및 안전성 측면에서 더 유리하다는 것을 알 수 있었다.
- 4) 기둥을 관통하는 하부 철근은 진행형 붕괴를 막아주어 RC와 PT 플랫 플레이트의 내진 성능을 높여 줌을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI 318-02)," American Concrete Institute, Detroit, 2002.
2. 2003 International Building Code, International Code Council, IL. 2003.
3. Hawkins, N. M, "Lateral Load Resistance of Unbonded Post-Tensioned Flat Plate Construction," PCI Journal, V.26, No.1, January-February, 1981, pp 94-116.