

포스트텐션 프리캐스트 보-기둥 건식 콘크리트 접합부의 거동분석

Analysis on the Behavior of Post-tensioned Precast Beam-Column Concrete Connectors

송형수* 유정욱** 김연수** 유승룡***
Song, Hyung Soo Ryu, Jung Wook Kim, Yun Soo Yu, Sung Yong

ABSTRACT

Three precast concrete beam-column connectors for the high-rise office buildings were considered to investigate the prestressing effects of the DDC(Dywidag Ductile Connectors) of Germany and of the modified DDC. The specimens of DDC, DDC with post-tensioning and modified DDC with post-tensioning were constructed and tested to verify the safety. The DDC with and without post-tensioning showed reliable joint strength and ductility but failed in critical x-shape crackings at the column. The modified one showed better behaviors in tests because they did not show critical column crackings at failure. The use of prestressing did not help significantly to increase the strength and ductility of connectors but helpful only to develop self-centering behavior for stability.

1. 서론

현재 국내의 프리캐스트 보-기둥 접합부는 현장에서의 작업량을 최소화 할 수 있고, 콘크리트 품질의 향상을 기대할 수 있는 장점 등의 있으나 부재간 접합의 어려움 현장 실무자들의 성능에 대한 확신이 부족하여 제한적으로 사용되고 있다. 국내에서의 프리캐스트 보-기둥 접합부는 보와 기둥은 공장형 프리캐스트 콘크리트로 제작하고, 접합부는 현장에서 콘크리트를 타설하여 접합시키는 방법이 일반적으로 사용되어 왔다. 이러한 방법은 습식 공법을 부분적으로 도입한 방법으로서, 프리캐스트 콘크리트의 공법을 효율적으로 적용하지 못하는 단점이 있다.

프리캐스트 콘크리트 공법의 장점을 극대화 할 수 있는 국외의 건식공법에 의한 보-기둥 접합 방법은 미국 샌 프란시스코의 파라마운트 빌딩에 이미 적용되어, 구조성능에 대한 검증은 이미 이뤄진 상태이지만, 경제성, 시공성 등이 국내 건설여건상 국외의 공법을 직접 적용하기에는 어려운 실정이다. 그러므로 국내의 건설현장에 적용 가능한 건식공법에 의한 보-기둥 접합방법의 개발 필요성이 높아지고 있다.

본 연구에서는 주상복합 건물에 적용가능한 건식공법에 의한 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 접합부를 개발하고자 현재 미국에서 사용되고 있는 DDC 시스템을 국내의 여건에 맞게 적용한 보-기둥 접합부와 접합부에 Post-tension을 도입한 개선된 보-기둥 접합부 시험체를 제작하여, 반복 횡하중을 재하하여 프리캐스트 보-기둥 접합부의 거동을 평가하고자 하였다.

2. 실험

*정회원, 동국대학교 토목환경공학과 박사과정

**정회원, 동국대학교 건축공학과 석사과정

***정회원, 동국대학교 건축공학과 교수·공학박사

2.1 실험개요

본 연구에서는 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 연결부의 건식 접합공법의 적용가능성 여부를 평가하고자 시험체를 다음과 같은 목적으로 제작하였다.

- DDC 시스템 공법을 국내의 여건에 따라 적용하기 위한 시험체
- 프리스트레스트 접합공법의 Post-tension 공법검증을 위한 시험체

본 연구에서 제작된 시험체는 DDC 연결부 시험체(PBC 1, Fig. 1), DDC 연결부와 Post-tension을 도입한 시험체(PBC 2, Fig. 2)와 고가의 DDC 시스템을 대체하고자 고강도 강봉(Thread bar)을 사용하고 Post-tension을 도입한 시험체(PBC 3, Fig. 3)로 3가지 시험체를 제작하였다. 프리캐스트 콘크리트의 설계기준강도는 35 MPa를 사용하였으며, 시험체의 특성과 접합부 연결철물의 역학적 특성은 Table 1, Table 2와 같다.

Table 1 Properties of test specimens

Specimen	Connecting bar	Column	Beam
PBC 1	Upper : 2-Ductile rod Lower : 2-Ductile rod	762 × 600	360 × 600
PBC 2	Upper, Lower : 2-Ductile rod P.T. strand(10-12.7mm)	762 × 600	360 × 600
PBC 3	Upper, Lower : 2-E32 P.T. strand(10-12.7mm)	762 × 600	360 × 600

Table 2 Mechanical properties of material

	Area (mm ²)	Yield strength (MPa)
Thread bar(E32)	804.0	823
Ductile rod	1,154.0	400
Bolt(A490)	1,139.0	877
Low relaxation 7-wire strand(12.7 mm)	98.7	1890
Transfer block	-	490

2.2 실험방법

시험체 설치는 기둥하단에 직경 100 mm의 강봉을 사용하여 회전변형을 유도하였고, 반복 횡하중을 시험체에 재하하고자 변위용량이 ±250 mm인 1960 kN Hydraulic actuator를 기둥 상부에 수평으로 Fig. 4에서의 위치에 부착하였다. 또한 실험 시 반복 횡하중 재하로 인한 시험체를 지지하고 있는 바닥판의 미끄러짐(Sliding)을 최소화시키고자 20개의 유압 볼트를 이용하여 플레이트를 유압에 의하여 바닥판에 고정시켰다. 하중재하 방식은 Fig. 5와 같은 변위제어방식으로 층간변위비(층간변위/기둥길이 비율, Story drift ratio)를 첫 번째 하중은 0.1%로 하고 그 이후 0.1%씩 증가시키고, 층간변위비가 1.0% 이후에는 층간변위비를 0.5%씩 증가시키며 파괴에 이를 때까지 실험하였으며, 각각의 층간변위비마다 3 Cycle씩 반복 재하하였다.

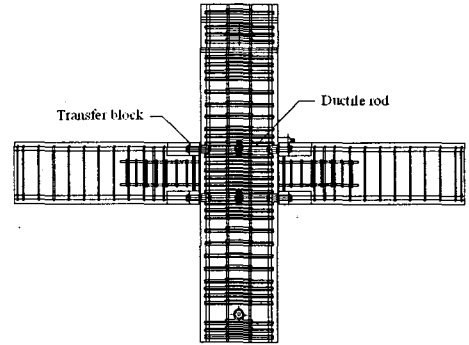


Fig. 1 Basic details for specimen PBC 1

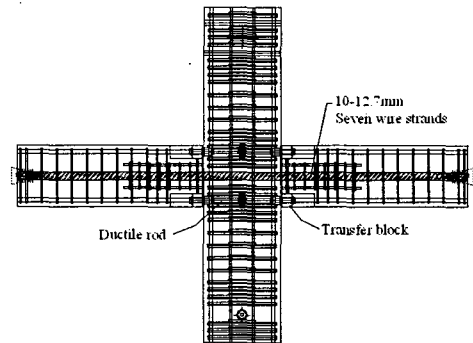


Fig. 2 Basic details for specimen PBC 2

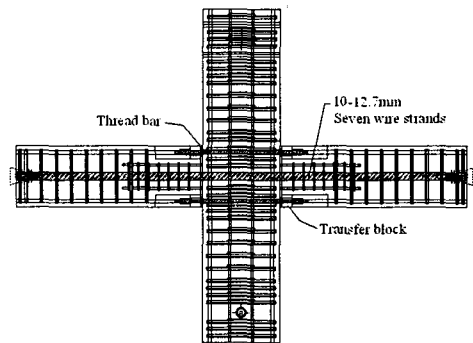


Fig. 3 Basic details for specimen PBC 3

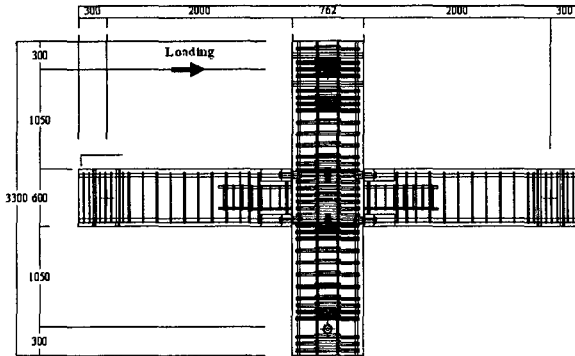


Fig. 4 Schematic of the loading for the test specimens

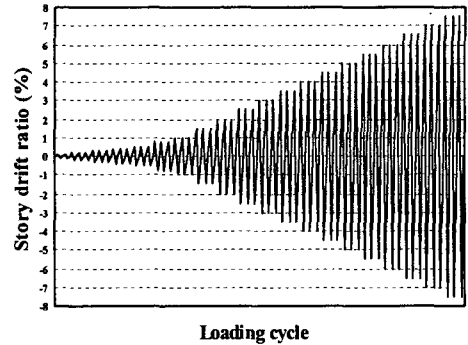


Fig. 5 Loading pattern

3. 실험결과 및 고찰

실험결과 나타난 각 시험체의 하중-변위곡선은 Fig. 6~Fig. 8과 같다. PBC 1 시험체의 최대하중은 층간변위비 5.0%(736 kN)에서 나타났으며, 최종파괴형상은 Fig. 9와 같이 접합부에 콘크리트의 박락이 일어났으며, 보와 기둥 사이에 유격이 발생하였다. 보와 기둥사이에 발생한 유격은 층간변위비의 증가에 따라 Ductile rod에 연결된 볼트가 자체적으로 회전으로 인하여 발생한 변위이며, 이러한 변위는 접합부의 연성거동을 유발하는 것으로 판단된다. 이러한 거동을 통하여 DDC 시스템은 역학적 특성이 우수하나 접합부의 파괴 메커니즘이 보에 에너지를 분산시키지 않고, 접합부에서 에너지를 소산시키게 되어, 최종에는 Fig. 9와 같이 파괴되는 단점이 나타났다.

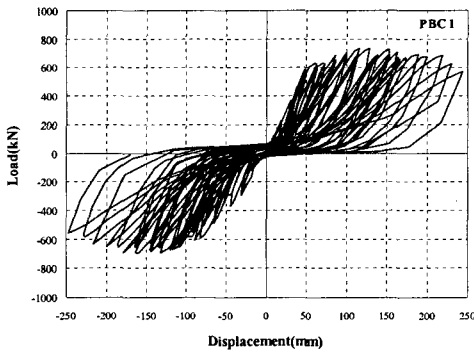


Fig. 6 Load-displacement curves for PBC 1

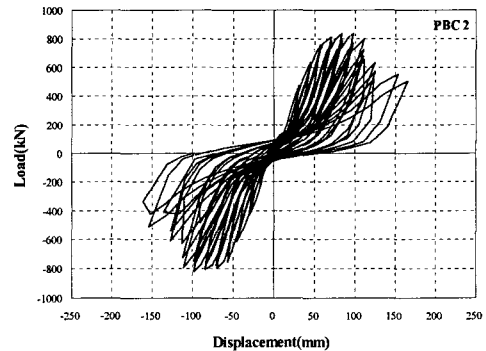


Fig. 7 Load-displacement curves for PBC 2

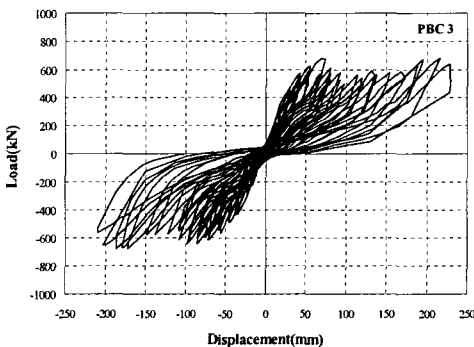


Fig. 8 Load-displacement curves for PBC 3

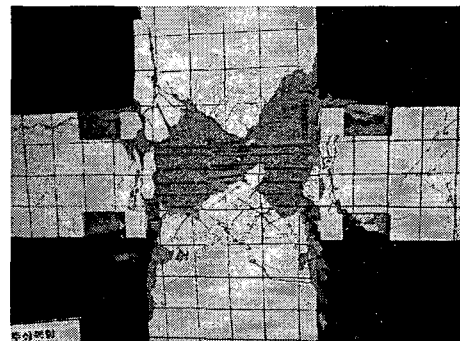


Fig. 9 Failure of PBC 1



Fig. 10 Failure of PBC 2

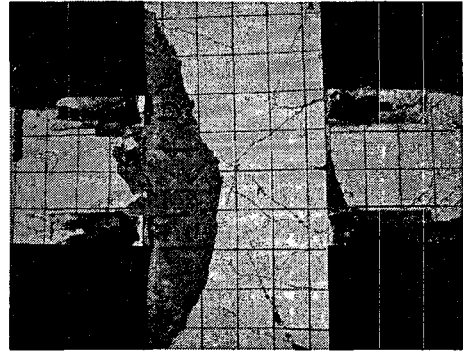


Fig. 11 Failure of PBC 3

PBC 2 시험체의 최대하중은 증간변위비 3.5%(838 kN)에서 나타났으며, 최종파괴형상은 Fig. 10과 같이 접합부 콘크리트의 박락이 발생하였다. PBC 2 시험체가 PBC 1 시험체 보다 최대하중은 크게 나왔지만, 최대하중 이후 연성능력은 크게 떨어지는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 Ductile rod와 Post-tension의 도입으로 인하여 접합부 연결철근의 강성이 증가되어, 접합부의 강도는 증가하지만 최대하중 이후 PBC 1 시험체에서 나타난 Ductile rod와 볼트의 회전으로 나타나는 연성거동이 발생하기 전에 접합부 콘크리트에서 응력집중이 발생하여 Fig. 10과 같이 파괴가 나타나는 것으로 판단된다.

PBC 3 시험체의 최대하중은 증간변위비 3.0%(679 kN)에서 나타났으며, 최종파괴형상은 Fig. 11과 같이 나타났다. PBC 3 시험체는 PBC 2 시험체에서의 Ductile rod 대신에 고강도 강봉(Thread bar)을 Transfer block에 접합시키게 되어, 접합부 내부의 Ductile rod와 같은 지판이 없으므로 접합부에서 에너지 흡수가 PBC 2에 비하여 떨어지게 된다. 이러한 특성으로 인하여 접합부의 강도는 PBC 2 시험체보다 적게 나타났으나 Fig. 8의 하중-변위 곡선에서 보는바와 같이 최대하중 이후 연성거동을 하는 것으로 나타났다. 이러한 접합부의 파괴 메커니즘은 DDC 시스템을 적용한 시험체(PBC 1, PBC 2)보다 우수한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 주상복합건물에 적용가능한 건식공법에 의한 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 접합부를 실험을 통하여 거동을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 보-기둥 접합부에 DDC 시스템을 적용하게 되면 접합부의 강도와 연성능력의 향상을 기대할 수 있었으나 파괴 메커니즘이 보에 에너지를 분산시키지 않고, 접합부에서 에너지를 소산시키게 되어 접합부가 파괴되는 단점이 나타났다.

2. 보-기둥 접합부에 Post-Tension의 도입은 접합부 강도의 증가는 크게 기대할 수 없었으나 Self-centering 등을 통하여 접합부의 안정성 및 연성능력에는 기여하는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원이 위탁실행한 산학연 공동연구개발사업(03산학연 B02-05)의 재정지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 박홍근, 홍성걸, 이봉학, 유승룡, "프리캐스트 콘크리트 보-기둥 내진 접합부," 콘크리트학회지, Vol. 16, No. 5, 2004.9. pp.10-15.
2. R.E. Englekirk, "Development and Testing of a Ductile Connector for Assembling Precast Concrete Beams and Columns," PCI Journal, Vol.39, No.2, 1995. pp.36~51.
3. R.E. Englekirk, "Design-Construction of The Paramount-A 39-Story Precast Concrete Apartment Building," PCI Journal, Vol.46, No.4, 1995. pp.56~71