공동주택을 위한 건식 프리캐스트 보-기둥 변형 DDC 접합부의 거동분석

Analysis on the Behavior of Modified DDC, Precast Beam-Column Concrete Connectors for Apartments

송 형 수* 이 보 경** 유 승 룡***
Song, Hyung Soo Lee, Bo Kyung Yu, Sung Yong

ABSTRACT

Four precast concrete beam-column connectors for the apartment buildings were considered to develop a modified model which was adapt to domestic construction conditions from the DDC(Dywidag Ductile Connectors) of Germany. Special H-shape steel were used to decrease the width of column and beams for the construction of external frames of apartments. It was found that the DDC had high joint strength and ductility, however failed in x-shape crackings in the columns. The modified one showed better behaviors in tests because they did not show critical column crackings at failure. The test result of modified one with grouting were compared to that of the one without grouting within the duct. The one with grouting showed higher strength and ductility in failure than that without grouting.

1. 서 론

현재 국내에서의 프리캐스트 보-기둥 접합부는 부재간 접합의 어려움으로 인하여, 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. 한편, 프리캐스트 콘크리트의 공법의 장점을 극대화 할 수 있는 국외의 건식공법에 의한 보-기둥 접합 방법은 미국 샌프란시스코의 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 접합방법 개발의 필요성이 높아지고 있다.

본 연구에서는 공동주택 건물에 적용가능한 건식공법에 의한 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 접합부를 개발하고자 현재 미국에서 사용되고 있는 DDC 시스템을 국내의 여건에 맞게 적용한 보-기둥 접합부와 DDC 시스템을 변형시킨 보-기둥 접합부 시험체들을 제작하여, 실험을 통하여 거동을 평가하고자 하였다.

2. 실 험

2.1 실험개요

본 연구에서 제작된 시험체는 DDC 연결부 시험체, 철근 및 고강도 강봉(Thread bar)을 사용하여 DDC 연결부를 대체한 시험체들로 총 4가지 시험체를 제작하였다. 프리캐스트 콘크리트의 설계기준강도는 35 MPa을 사용하였으며, 시험체의 특성과 접합부 연결철물의 역학적 특성은 Table 1, Table 2와 같다.

*정회원, 동국대학교 토목환경공학과 박사과정
**정회원, 동국대학교 건축공학과 석사과정
***정회원, 동국대학교 건축공학과 교수 · 공학박사

Table 1 Properties of test specimens

Specimen	Connecting bar	Column	Beam
PCC 1 (Fig. 1)	Upper : 2-Ductile rod Lower : 2-Ductile rod	762 × 500	250 × 700
PCC 2 (Fig. 2)	Upper : 2-E32 Lower : 2-E32	762 × 500	250 × 700
PCC 3 (Fig. 3)	Upper : 4-D32 Lower : 4-D32	762 × 500	250 × 700
PCC 4 (Fig. 4)	Upper : 4-D32(Grouting) Lower : 4-D32(Grouting)	762 × 500	250 × 700

Table 2 Mechanical properties of material

	Area (mm^2)	Yield strength (MPa)
SD 400(D32)	794.2	400
Thread bar(E32)	804.0	823
Ductile rod	1,154.0	400
Bolt(A490)	1,139.0	877
Transfer block	-	490

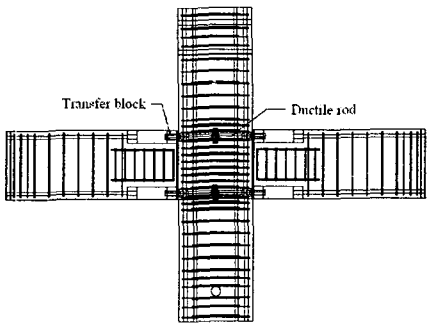

Fig. 1 Basic details for specimen PCC 1

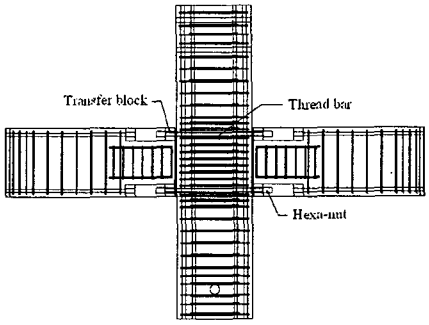

Fig. 2 Basic details for specimen PCC 2

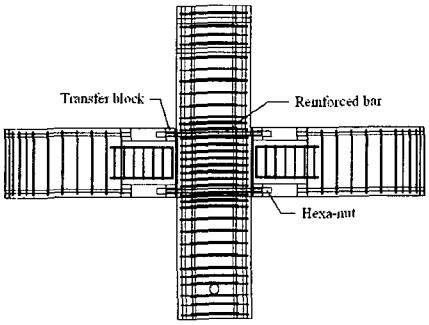

Fig. 3 Basic details for specimen PCC 3

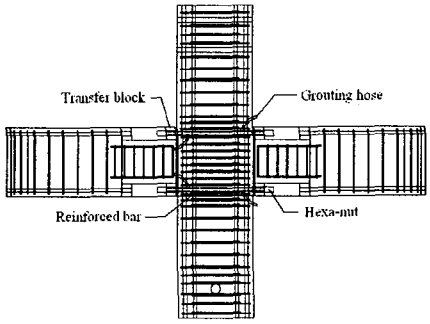

Fig. 4 Basic details for specimen PCC 4

2.2 실험방법

설치된 시험체는 기둥하단에 직경 100 mm의 강봉을 사용하여 회전변형을 유도하였고, 반복 횡하중을 시험체에 재하하고자 변위용량이 ±250 mm인 1960 kN Hydraulic actuator를 기둥 상부에 수평으로 Fig. 5에서의 위치에 부착하였다. 하중재하 방식은 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 반복재하하였다.

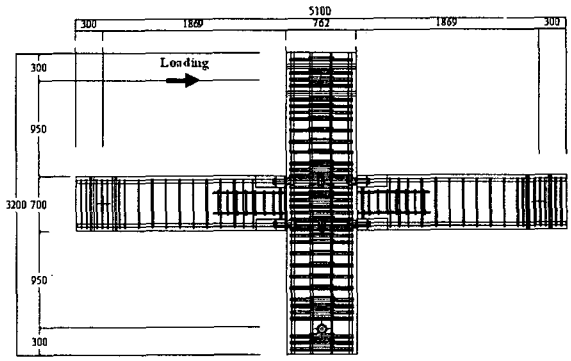

Fig. 5 Schematic of the loading for the test specimens

3. 실험결과 및 고찰

실험결과 나타난 각 시험체의 하중-변위 곡선은 Fig. 6~Fig. 9와 같다. PCC 1 시험체의 최대하중은 층간변위비 5.0%(852 kN)에서 나타났으며, 최종파괴형상은 Fig. 10과 같이 접합부에 콘크리트의 박락이 일어났으며, 보와 기둥사이에 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. 10과 같이 파괴되는 단점이 나타났다.

고강도 강봉(Thread bar)을 접합부에 적용한 PCC 2 시험체의 최대하중은 층간변위비 5.0%(929 kN)에서 나타났으며, 최종파괴형상은 Fig. 11과 같이 보-기둥 접합부에 지압파괴가 일어났다. PCC 2 시험체의 거동은 PCC 1 시험체에서 나타난 문제점인 접합부에서만 에너지 소산을 국한시키게 되었던 것에 반해, PCC 2 시험체는 접합부 이외에 보에서도 에너지를 분산시킴으로서 PCC 1 시험체보다 파괴 메커니즘이 우수한 것으로 판단된다.

철근(SD 400)을 접합부에 적용한 PCC 3 시험체의 최대하중은 층간변위비 4.0%(637 kN)에서 나타났으며, 최종파괴형상은 Fig. 12와 같이 보-기둥 접합부에 지압파괴가 일어났다. 이러한 결과는 접합부의 하중과 층간변위비의 증가에 따라 보-기둥 접합부를 연결하는 철근이 항복 후에 나타나는 소성변형으로 인하여, 보-기둥 접합부에 간격이 발생하게 되고, 이후에 재하되는 하중으로 인하여 보-기둥 접합부에 지압파괴가 일어나는 것으로 판단된다. 또한 PCC 3 시험체는 접합부 연결철근의 강성을 PCC 2 시험체와 동일하게 하였으나 접합부의 강도가 떨어지는 단점이 발견되었다.

접합부의 Sheath관을 그라우팅하여 연결철근을 부착시킨 PCC 4 시험체의 최대하중은 층간변위비 5.0%(695 kN)에서 나타났으며, 최종파괴형상은 Fig. 13과 같다. 접합부 연결철근을 그라우팅하여 부착시킨 PCC 4 시험체는 비부착시킨 PCC 3 시험체와 유사한 거동을 보였으며, 기둥 복부에서 나타난 경사균열이 PCC 3 시험체서 나타난

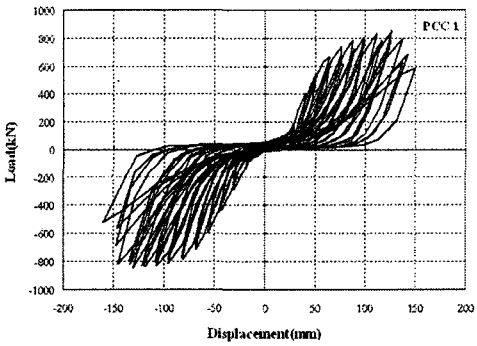

Fig. 6 Load-displacement curves for PCC 1

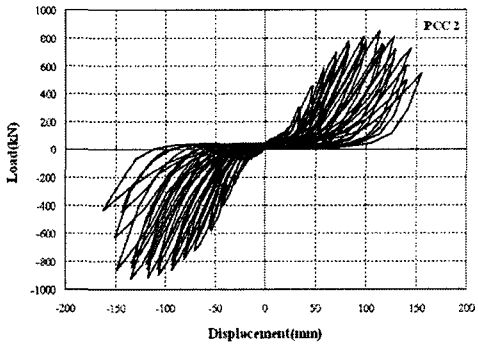

Fig. 7 Load-displacement curves for PCC 2

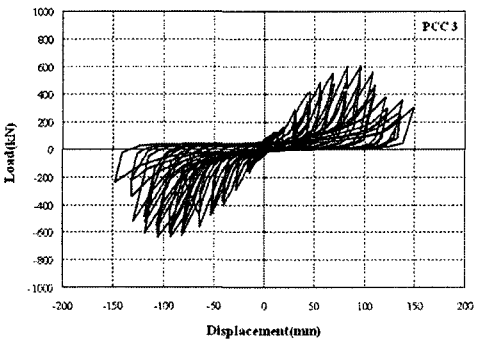

Fig. 8 Load-displacement curves for PCC 3

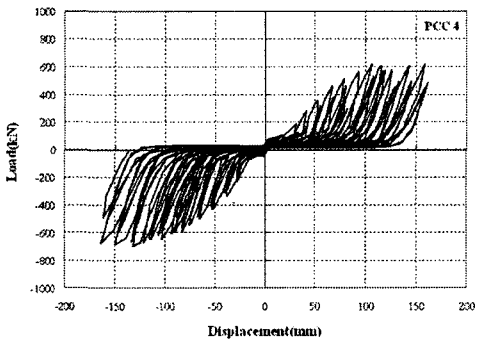

Fig. 9 Load-displacement curves for PCC 4

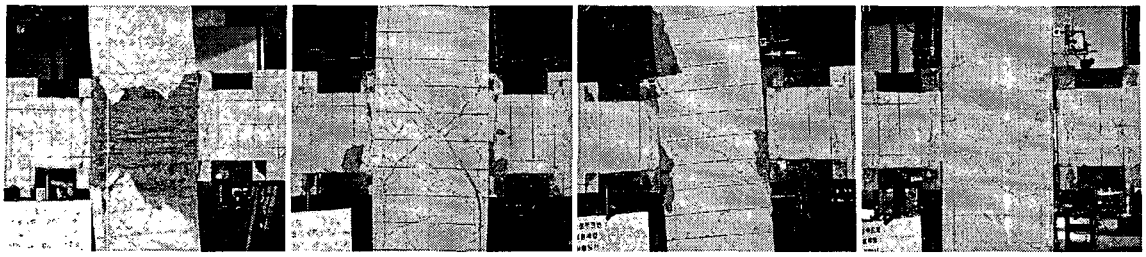

Fig. 10 Failure of PCC 1 **Fig. 11** Failure of PCC 2 **Fig. 12** Failure of PCC 3 **Fig. 13** Failure of PCC 4

X자형의 양상과는 다르게, 균열이 접합부에 전면에 골고루 발생하였다. 또한 PCC 4 시험체는 연결철근이 접합부 내부에서는 Sheath관에 그라우팅된 모르타르로 구속되어 있고, 접합부 외부에서는 Transfer block과 너트로만 연결되어 있어, 하중재하 시 Transfer block과의 연결부분에 응력 집중이 일어나게 되어 종국에는 연결철근이 항복 후 절단되어 파괴되었다. 이러한 결과들을 통하여 연결철근을 그라우팅하여 부착시키는 공법이 비부착 공법보다 보-기둥 접합부의 역학적 특성 및 파괴 메커니즘을 개선시킬 수 있는 공법으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 공동주택 건물에 적용을 위한 건식공법에 의한 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 접합부를 개발하고자 실험을 통하여 보-기둥 접합부의 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. 고가의 DDC 시스템의 Ductile rod를 대신하여 적용한 고강도 강봉(Thread bar)을 적용한 결과 DDC 접합부와 유사한 접합부 강도를 얻을 수 있었다. 시험체의 파괴 메커니즘도 DDC 접합부는 접합부에서만 에너지 소산을 국한시키기 되었던 것에 반해, 고강도 강봉(Thread bar)을 적용한 접합부는 접합부 이외에 보에서도 에너지를 분산시킴으로 인하여 DDC 접합부에 비하여 우수한 것으로 판단된다.
3. 보-기둥 접합부 연결철근을 Ductile rod나 Thread bar를 대신하여, 경제성을 높이고자 적용한 SD 400 철근(High bar)은 연성능력에서는 안정적인 결과를 얻을 수 있었으나 접합부의 강도에서는 성능이 떨어지는 단점이 발견되었다. 이러한 결과를 통하여 건식접합 공법의 경제성을 높일 수 있는 공법으로 SD 400 철근(High bar)을 대신하여 고강도 철근인 SD 500 철근(Super bar)을 적용하는 것이 접합부의 역학적 특성을 개선시킬 수 있을 것으로 판단되며, 이러한 공법의 적용을 위해서는 추가적인 연구가 반드시 필요하다.
4. 보-기둥 접합부에 고강도 강봉 및 철근을 연결하기 위하여 매설하는 Sheath관에 연결철근을 그라우팅하여 부착시키는 공법은 비부착 공법보다 보-기둥 접합부의 역학적 특성 및 파괴 메커니즘을 개선시킬 수 있는 공법으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원이 위탁실행한 산학연 공동연구개발사업(03산학연A07-06)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.