



공동주택용 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 연결부의 거동분석

송형수¹⁾ · 유승룡^{2)*}

¹⁾동국대학교 토목환경공학과, ²⁾동국대학교 건축공학과

Evaluation on the Behaviors of Precast Concrete Beam-Column Connections for Apartments

Hyung-Soo Song¹⁾ and Sung-Yong Yu^{2)*}

¹⁾ Dept. of Civil and Environmental Engineering, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea

²⁾ Dept. of Architectural Engineering, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea

ABSTRACT The precast concrete beam-column connectors to retrofit an apartment building were investigated experimentally. Five precast concrete beam-column connectors were considered to develop a modified model which was adapted to domestic construction conditions from the DDC(dywidag ductile connection) of Germany. Special H-shape steel hardware was used to decrease the width of column and beams for the construction of external frames in apartments. It was found that the DDC had high joint strength and ductility, however failed in inclined shear 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 was 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.

Keywords precast concrete, beam-column joint, dywidag ductile connector, cyclic loader

1. 서 론

1.1 연구의 개요

근래 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 연결부는 부재간 연결의 어려움으로 인하여, 보와 기둥은 공장형 프리캐스트 콘크리트로 제작하고, 연결부는 현장에서 콘크리트를 타설하여 연결시키는 방법으로 적용되어 왔다. 이 연결 방법은 상부기둥의 스플라이스 접합을 위하여 연결부에 타설되는 토핑 콘크리트의 충분한 양생기간이 요구되어, 공기단축이 어렵고 기존의 철근콘크리트 연결 방법에 비해서 고비용을 요구하는 단점이 있다. 또한 최근에 이 연결 방법을 사용한 국내의 신축공사현장에서 공기단축을 위한 무리한 공사진행으로 인하여 구조물이 붕괴되는 사고가 발생하였다. 이러한 단점 및 문제의 우려가 있는 기존의 프리캐스트 콘크리트 공법을 개선시킬 수 있는 대안 공법이 현재 절실히 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 이러한 기존의 프리캐스트 콘크리트 연결방법의 문제점을 해결하고자 프리캐스트 콘크리트 공법의 장점을 극대화할 수 있는 건식공법을 적용한 공동주택용 보-기둥 연결부를 개발하고자 국외의 건식공법

연결부를 경제성과 시공성 등을 고려하여 변형시킨 시험체를 제작하여 실험을 통하여 분석하였다. 일반적으로 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 연결부는 고층 주거용 건물에 필수적인 횡하중에 대한 저항성능 확보 면에서 철근콘크리트 보-기둥 연결부에 비해 매우 불리한 것으로 인식되어, 본 연구에서는 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 연결부에 반복 횡 하중을 재하하여 실험을 실시하였다.

본 연구에서 제작된 시험체는 현재 미국 샌프란시스코의 파라마운트 빌딩에 적용되어 구조성능에 대한 검증이 이뤄진 건식연결부인 DDC(Dywidag ductile connection) 시스템 공법에 따라 제작한 시험체와 DDC 연결부를 경제성과 시공성 등을 고려하여 개량시킨 시험체들을 제작하였다. 또한 현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 보-기둥 연결부인 철근콘크리트 보-기둥 연결부 시험체를 제작하여 거동을 비교하였다.

1.2 DDC 시스템 공법

기존 국외에서의 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 연결부의 사용은 내진성능에 대한 취약점 때문에 일체형 철근콘크리트 보-기둥 연결부에 비하여 매우 제한적으로 사용되어왔다. 그러나 최근에는 프리캐스트 콘크리트 구조물의 단점을 보완하기 위하여 내진성능이 취약한 보-기둥 연결부의 연성도 확보 및 내진성능 증가를 위한 많은 실험 연구가 진행되어 왔다. 1980년대에는 Pillai와

*Corresponding author E-mail : ysy@dongguk.edu
Received May 15, 2006, Accepted August 31, 2006
(c)2006 by Korea Concrete Institute

Kirk¹⁾, Bhatt와 Kirk²⁾에 의하여 용접을 이용한 프리캐스트 콘크리트의 보-기둥 연결 공법에 대한 연구가 이뤄졌다. 특히 미국-일본 공동연구의 일환으로 1991~2000년에 걸쳐 수행된 PRESSS

```
cast seismic structural system
```

 프로그램에서 5층 프리캐스트 빌딩에 대한 실험 연구가 수행되었는데, Nakaki et al.³⁾에 의해 수행된 이 실험연구는 다양한 골조 연결부 및 시스템의 지진거동을 구명하였으며, 빌딩 구조물에 대한 프리캐스트 콘크리트 구조의 우수한 내진성능을 증명하였다⁴⁾. 이러한 연구들을 통하여 DDC 시스템 공법, 프리스트레스트 연결 공법, hybrid 연결 공법 등이 소개되었다.

DDC(Dywidag ductile connection) 시스템 공법은 Dywidag사에 의해서 개발된 공법으로서, PRESSS 프로그램에서의 실험에서 그 효율성이 검증된 공법이다. Englekirk⁵⁾에 의하여 실용화 연구가 이뤄진 공법으로, 기둥 내에 덕타일 로드(ductile rod)를 Fig. 1과 같이 삽입하여 보와 기둥을 볼트에 의해 간편하고 빠르게 연결할 수 있고 볼트체결로 모든 구조적인 연결을 할 수 있으며, 또한 기존의 프리캐스트 콘크리트 연결방법에 비하여 연성능력이 뛰어난 장점이 있다. Englekirk⁶⁾에 의하면 DDC 시스템 공법의 우수한 성능으로 인하여 기존의 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 연결부에서 적용되지 못하였던 고층구조물인 미국 샌프란시스코의 파라마운트 빌딩(39층)에 적용되었다고 보고하고 있다. 반면에 DDC 시스템 공법은 시공 시 정밀도가 요구되고, 덕타일 로드를 사용함으로써 형태와 크기에 제약이 있으며, DDC 시스템에 사용되는 철물 부품의 비용이 고가인 단점이 있다.

2. 실험

2.1 실험 개요

본 연구에서는 건식공법에 의한 공동주택 건물에 적합한 보-기둥 연결부를 개발하고자 국외의 건식공법 연결부를 경제성과 시공성 등을 고려하여 변형시킨 시험체들의 적용가능성 여부를 평가하고자 시험체를 다음과 같은 목적으로 제작하였다.

- 철근콘크리트 연결 공법과 비교한 DDC 시스템 시험체
- 고가의 DDC 시스템을 대체할 수 있는 시험체

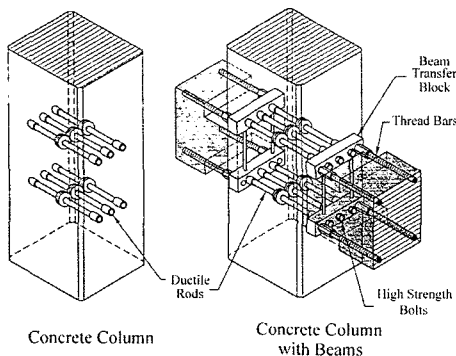


Fig. 1 Isometric view of a ductile connector³⁾

- 프리스트레스트(prestressed) 연결공법의 포스트텐션(post-tension) 공법검증을 위한 대체 시험체

시험체는 국내에서 현재 활용되고 있는 철근콘크리트 연결부 시험체, DDC 연결부 시험체, 철근 및 고강도 봉(thread bar)을 사용한 DDC 연결부를 대체할 수 있는 시험체, 그리고 고강도 봉과 포스트텐션 강선에 의한 시험체로 총 6가지 시험체를 제작하였다. 철근콘크리트 연결부 시험체를 제외한 5개의 시험체의 보 단부에는 Fig. 2의 전달블록(transfer block)을 적용하였다. 전달블록은 보의 단부에 설치되어, 기둥의 연결철물과 보의 주철근을 연결하는 연결부 역할을 하며, 양 보로부터 전달되는 인장과 압축력을 지압으로서 기둥에 전달하는 역할을 한다. 본 연구에서 적용된 전달블록은 아파트 외곽보에 활용할 경우를 고려하여, H형 철물을 사용하여 Fig. 2에서와 같이 보의 폭을 최소화하였다.

프리캐스트 콘크리트와 철근콘크리트 보-기둥 연결부 시험체에 사용된 콘크리트의 설계기준강도는 35 MPa, 27 MPa를 적용하였다. 각 시험체 연결부의 특성은 Table 1과 같고, 시험체의 특성은 다음과 같다.

2.1.1 PCC 1

PCC 1 시험체(Fig. 3)는 국내에서 일반적으로 활용되고 있는 철근콘크리트 보-기둥 연결부이다. 단, 철근(high bar) 대신에 고강도 강봉을 적용하였으며, 콘크리트의 설

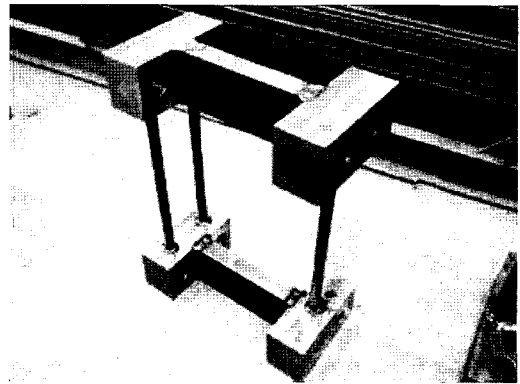


Fig. 2 Photograph of transfer block

Table 1 Properties of test specimens (unit: mm)

Specimen	Connecting bar	Column	Beam
PCC 1	Upper : 2-E32 Lower : 2-E32	762 × 500	250 × 700
PCC 2	Upper : 2-ductile rod Lower : 2-ductile rod	762 × 500	250 × 700
PCC 3	Upper : 2-E32 Lower : 2-E32	762 × 500	250 × 700
PCC 4	Upper : 4-D32 Lower : 4-D32	762 × 500	250 × 700
PCC 5	Upper : 4-D32(grouting) Lower : 4-D32(grouting)	762 × 500	250 × 700
PCC 6	Upper, Lower : 4-D32 Post-tension strand(8-12.7 mm)	762 × 500	250 × 700

계기준 강도는 27 MPa로 제작하였다.

2.1.2 PCC 2

PCC 2 시험체(Fig. 4)는 Englekirk³⁾가 제안하는 DDC 시스템 연결부를 국내의 아파트에 적용되는 외곽보 크기로 제작하고자 전달블록의 크기를 Fig. 2와 같이 보의 폭을 최소화하여 제작하였다. 보에 설치된 전달블록을 통하여 보와 기둥을 볼트 연결로 간편하게 시공할 수 있으며, 기둥 내에 덕타일 로드를 삽입하고 보 주철근을 고강도 봉으로 사용한 시험체이다.

2.1.3 PCC 3

PCC 3 시험체(Fig. 5)는 고비용의 DDC 연결부를 최소화하기 위하여 연결부 상하부에 쉬스(sheath)관을 삽입한 후 고강도 강봉을 적용한 시험체이다. DDC 시스템과 같이 전달블록을 적용하였으며, 고강도 강봉의 끝에는 나사선을 내어, 육각너트를 이용하여 연결하였다.

2.1.4 PCC 4

PCC 3 시험체(Fig. 6)와 유사한 연결부이지만 고강도 강봉 대신에 철근(SD 400)을 적용한 시험체이다. PCC

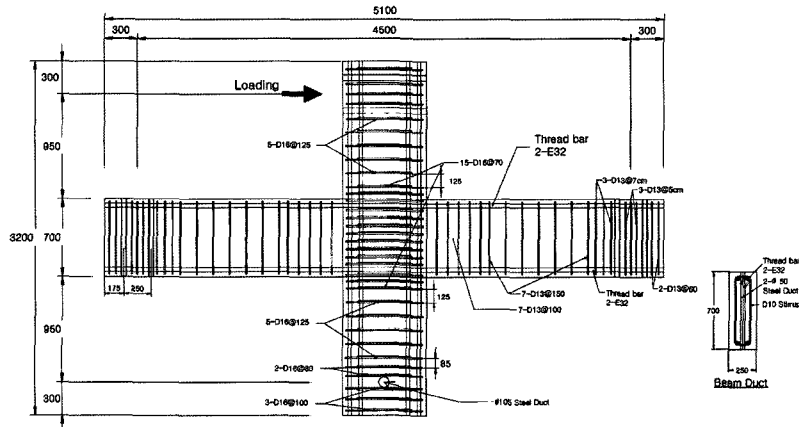


Fig. 3 Basic details for specimen PCC 1

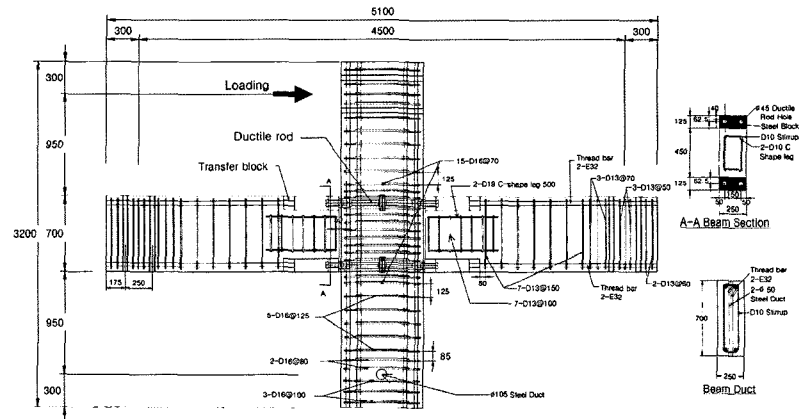


Fig. 4 Basic details for specimen PCC 2

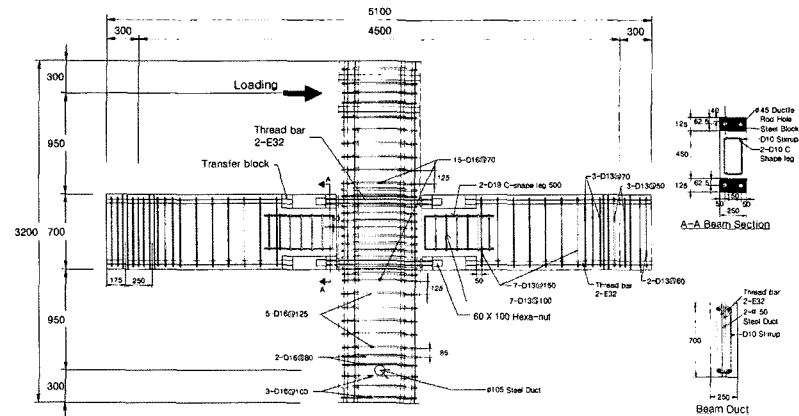


Fig. 5 Basic details for specimen PCC 3

1~3의 시험체들과 연결부의 강도를 동일하게 하기 위하여 Table 1과 같이 연결부 철근을 4-D32로 배치하였다.

2.2 재료 물성

시험체 제작에 사용된 연결부 연결철물의 역학적 특성은 Table 2와 같다. 또한 시험체 제작에 사용된 프리캐스트 콘크리트와 PCC 1에 사용된 현장타설 콘크리트를 타설 시 KS F 2403에 따라 공시체를 제작하여 시험체와 동일한 조건에서 양생하였다. 이러한 공시체를 보-기둥 시험체의 실험 시 KS F 2405에 따라 측정하여 Table 3의 압축강도를 얻었다. 여기서 사용된 프리캐스트 콘크리트와 현장타설 콘크리트의 배합비는 Table 4와 같다.

2.1.5 PCC 5

PCC 5 시험체(Fig. 7)는 PCC 4 시험체에 쉬스관에 그라우트관(grouting hose)을 삽입하여 보-기둥 연결부를 고강도 모르타르로 부착시킨 시험체이다.

2.1.6 PCC 6

PCC 6 시험체(Fig. 8)는 PCC 4 시험체와 동일한 시험체에 프리스트레스를 적용한 시험체이다. 포스트텐션의 도입이 보-기둥 연결부에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

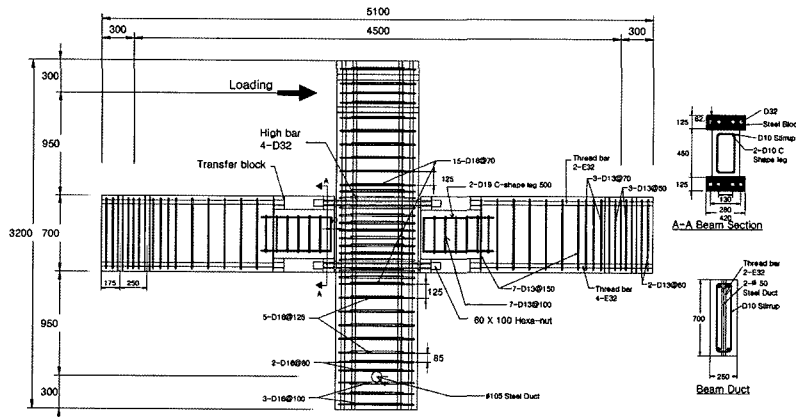


Fig. 6 Basic details for specimen PCC 4

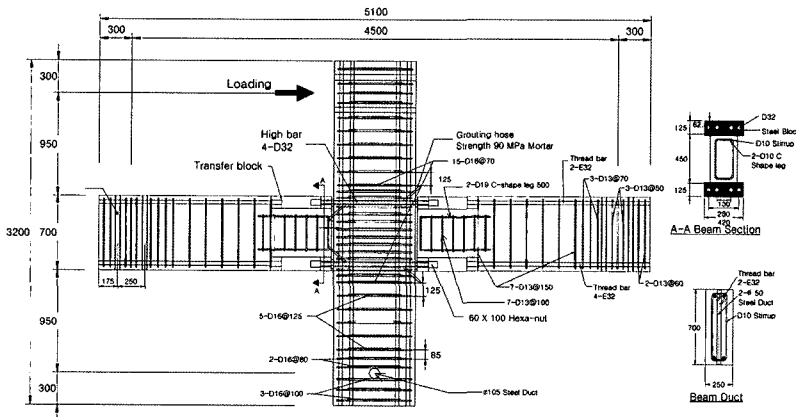


Fig. 7 Basic details for specimen PCC 5

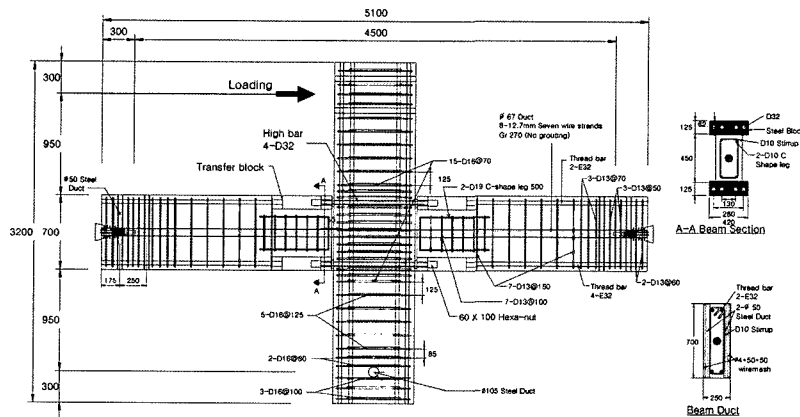


Fig. 8 Basic details for specimen PCC 6

Table 2 Mechanical properties of material

	Area (mm ²)	Yield strength (MPa)
Reinforcing bar(D32)	794.2	400
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	1,890
Transfer block	-	490

Table 3 Compressive strength test result

Specimen	Compressive strength(MPa)
PCC 1	37.7
PCC 2	36.0
PCC 3	35.4
PCC 4	37.1
PCC 5	36.3
PCC 6	35.5

※ Average of 9 tests

2.3 실험 방법

시험체 설치는 기둥하단에 직경 100 mm의 강봉을 사용하여 회전변형을 유도하였고, 보의 양 단부는 Fig. 9에서와 같이 단부지지 철물을 설치하여 수직변형을 구속하는 형태로 유도하였다. 반복 횟 하중을 시험체에 재하하고자 변위용량이 ±250 mm인 1,960 kN hydraulic actuator를 기둥 상부에 수평으로 Fig. 9에서의 위치에 부착하였다. 또한 실험 시 반복 횟 하중 재하로 인한 시험체를 지지하고 있는 바닥판의 미끄러짐을 최소화하고자 20개의 유압볼트를 이용하여 플레이트를 유압에 의하여 바닥판에 고정시켰다. 하중재하 방식은 Fig. 10과 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 사이클씩 반복 재하하였다.

3. 실험 결과

3.1 파괴형상 및 하중-층간변위비 곡선

실험 결과 나타난 각 시험체의 하중-층간변위비 곡선

Table 4 Mix proportion

Specified concrete strength	Maximum size of coarse aggregate (mm)	Slump (mm)	S/a (%)	W/C (%)	Unit mass (kg/m ³)				
					Water (W)	Cement (C)	Fine aggregate(S)	Coarse aggregate(G)	Super plasticizer(SP)
Precast concrete (35 MPa)	25	80	40.0	41.5	128	469	724	1,079	4.69
Cast-in-place concrete (27 MPa)	25	80	40.5	46.0	134	385	736	1,144	-

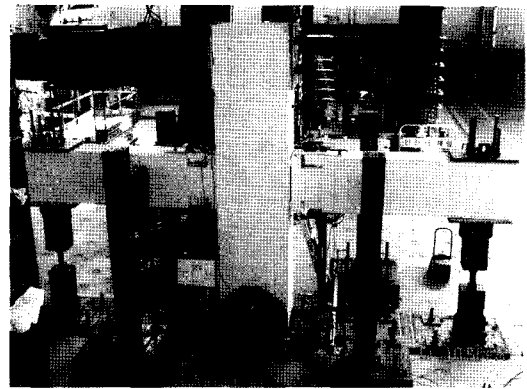


Fig. 9 Photograph of test setup

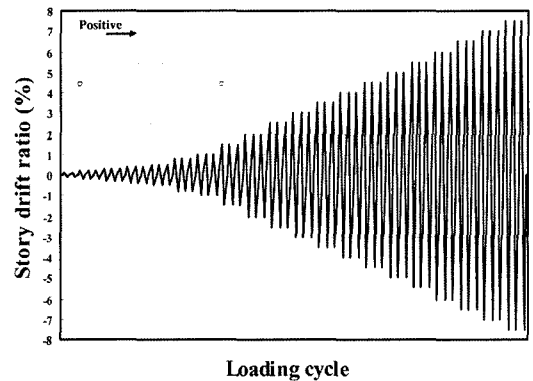


Fig. 10 Loading pattern

은 Figs. 11~16과 같다. PCC 1 시험체의 초기균열은 보와 기둥의 연결부에 수직 직접전단균열(direct shear crack)이 층간변위비 0.4%부터 발생하였다. PCC 1 시험체의 최대하중은 층간변위비 2.0%(591.8 kN)에서 발생하였으며, 최종파괴 형상은 Fig. 17에서와 같이 보-기둥 연결부에 콘크리트의 분쇄파괴가 일어나는 것을 볼 수 있다. 이러한 Fig. 17과 같은 콘크리트의 분쇄파괴는 PCC 1 시험체의 보-기둥 연결부가 고강도 강봉으로만 연결되어, 층간변위비의 증가에 따른 불연속 지점에 응력집중이 발생하여 수평철근의 부착파괴로 인하여 국부파괴가 일어나는 것으로 판단된다. 이러한 국부파괴로 인하여는 철근콘크리트 연결부 시험체는 최대하중이 낮게 나타났지만, 파괴형상이 Fig. 17에서 보는바와 같이 소성회전을 형성하여, 파괴 메커니즘은 합리적인 것으로 판단된다.

DDC 시스템을 국내의 아파트 외곽보 크기로 변형시킨 PCC 2 시험체는 층간변위비 0.5%부터 보의 하부에 위치한 전달블록 위에서 수직 직접전단균열이 발생하였고, 이후 층간변위비의 증가에 따라 보의 상·하 전달블

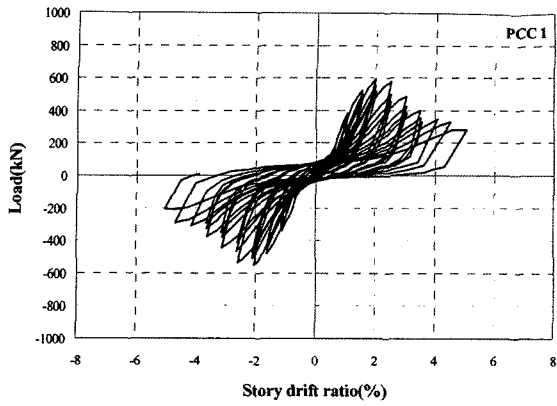


Fig. 11 Load-displacement curves for PCC 1

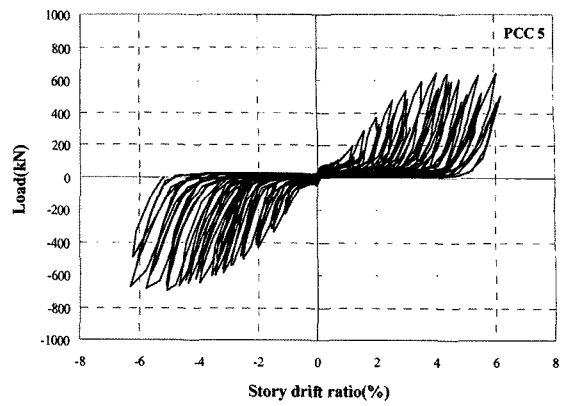


Fig. 15 Load-displacement curves for PCC 5

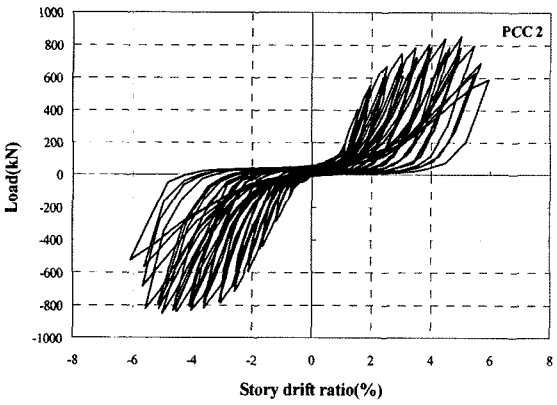


Fig. 12 Load-displacement curves for PCC 2

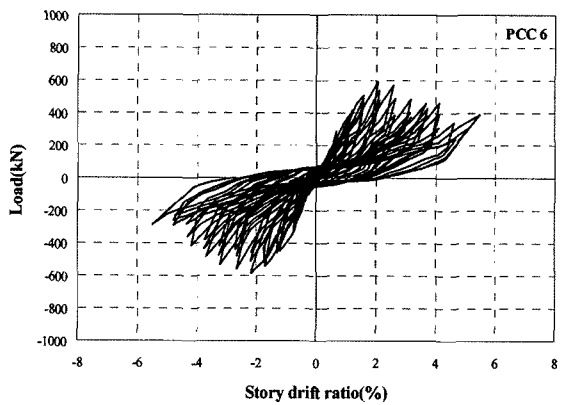


Fig. 16 Load-displacement curves for PCC 6

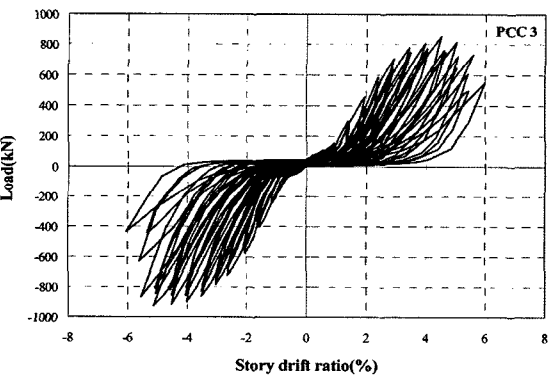


Fig. 13 Load-displacement curves for PCC 3

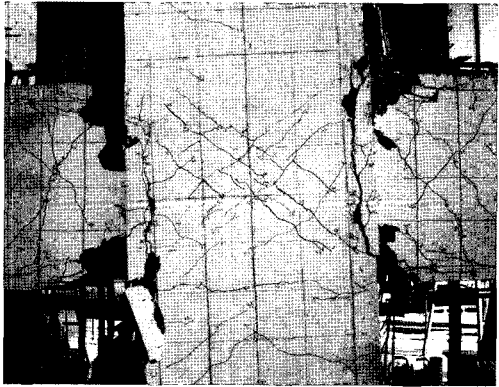


Fig. 17 Failure of PCC 1

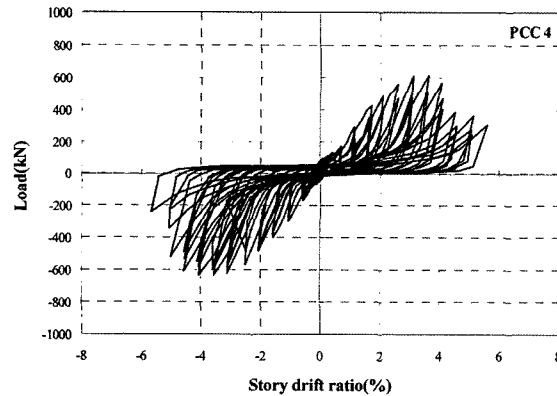


Fig. 14 Load-displacement curves for PCC 4

를 연결하는 균열로 진전되었다. 또한, 기둥에 복부경사균열과 덕타일 로드가 위치한 부위에 부착균열이 층간변위비 1.5%에서부터 발생하여, 층간변위비의 증가에 따라 복부에 경사균열이 X자형으로 진전되기 시작하였다. PCC 2 시험체의 최대하중은 층간변위비 5.0%(852.4 kN)에서 나타났으며, 최종파괴형상은 Fig. 18과 같이 연결부에 콘크리트의 박락이 일어났고, 보와 기둥사이에 유격이 발생하였다. 보와 기둥사이에 발생한 유격은 층간변위비의 증가에 따라 덕타일 로드에서 연결된 볼트가 자체적으로 회전하여 발생한 변위이며, 이러한 변위는 연결부의 연성거동을 유발하는 것으로 판단된다. 이러한 거동을 통하여 DDC 시스템은 역학적 특성이 우수하나 연

결부의 파괴 메커니즘이 보에 에너지를 분산시키지 않고, 연결부에서 에너지를 소산시키게 되어, 최종에는 Fig. 18과 같이 연결부 콘크리트가 박락되어 파괴됨으로 인해 파괴 메커니즘이 취약한 것으로 나타났다.

Thread bar를 연결부에 적용한 PCC 3 시험체는 층간 변위비 0.75%부터 보의 상·하 전달블록 부근에서 초기 균열이 나타났으며, 층간변위비 2.0%에서는 기둥의 북부 경사균열과 고강도 강봉이 위치한 부위에 수평균열이 발생하였다. 층간변위비가 3.0%에서부터는 기둥의 북부경사균열과 보의 직접전단균열 및 휨 균열이 시험체 전체에 발달되었고, 4.0%에서는 보의 주철근 위치에서의 부착균열이 나타났다. 최대하중은 층간변위비 5.0%(929.8 kN)에서 나타났으며, 최종파괴형상은 Fig. 19와 같이 보-기둥 연결부에 지압파괴가 일어났다. PCC 3 시험체의 거동은 PCC 2 시험체에서 나타난 문제점인 연결부에서만 에너지 소산을 국한시키게 되었던 것에 반해, PCC 3 시험체는 연결부 이외에 보에서도 에너지를 분산시킴으로서 PCC 2 시험체보다 파괴 메커니즘이 우수한 것으로 판단된다.

철근(SD 400)을 연결부에 적용한 PCC 4 시험체의 초기 거동은 PCC 3 시험체와 유사하였으며, 층간변위비 2.0%에서 기둥의 북부경사균열이 X자형으로 뚜렷하게 나타내는 특징을 보였다. 최대하중은 층간변위비 4.0% (637.0 kN)에서 나타났으며, 최종파괴형상은 Fig. 20과 같이 보-기둥 연결부에 지압파괴가 일어났다. 이러한 결과는 연결부의 하중과 층간변위비의 증가에 따라 보-기둥 연결부를 연결하는 철근이 항복 후에 나타나는 소성변형으로 인하여, 보-기둥 연결부에 간격이 발생하게 되고, 이후에 재하되는 하중으로 인하여 보-기둥 연결부에 지압파괴가 일어나는 것으로 판단된다. 또한 PCC 4 시험체는 연결부 연결철근의 강성을 PCC 3 시험체와 동일하게 하였으나 연결부의 강도가 떨어지는 단점이 발견되었다.

연결부의 쉬스관을 그라우트하여 연결철근을 부착시킨 PCC 5 시험체의 최대하중은 층간변위비 5.0%(695.6 kN)에서 나타났으며, 최종 파괴 형상은 Fig. 21과 같다. 연결부 연결철근을 그라우팅하여 부착시킨 PCC 5 시험체는 비부착시킨 PCC 4 시험체와 유사한 거동을 보였으며, 기둥 북부에서 나타난 경사균열이 PCC 4 시험체에서 나타난 X자형의 양상과는 다르게, 균열이 연결부에 전면 골고루 발생하였다. 또한 PCC 5 시험체는 연결철근이 연결부 내부에서는 쉬스관에 그라우트된 모르타르로 구속되어 있고, 연결부 외부에서는 전달블록과 너트로만 연결되어 있어, 하중재하 시 전달블록과의 연결부분에 응력 집중이 일어나게 되어 종국에는 연결철근이 항복 후 절단되어 파괴되었다. 이러한 결과들을 통하여 연결철근을 그라우팅하여 부착시키는 공법이 비부착 공법보다 보-기둥 연결부의 역학적 특성 및 파괴 메커니즘을 개선시킬 수 있는 공법으로 판단된다.

PCC 6 시험체는 포스트텐션을 도입하지 않은 동일한 조건인 PCC 4 시험체와 유사한 거동을 보였으며, 최대하중은 층간변위비 2.0%(590.0 kN)에서 발생하였고, 최종

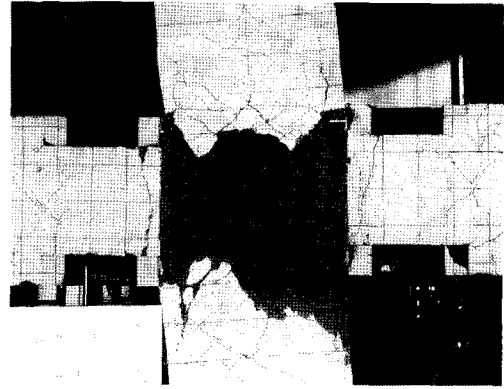


Fig. 18 Failure of PCC 2

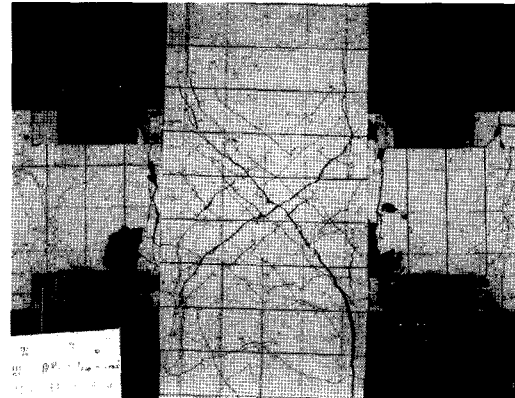


Fig. 19 Failure of PCC 3

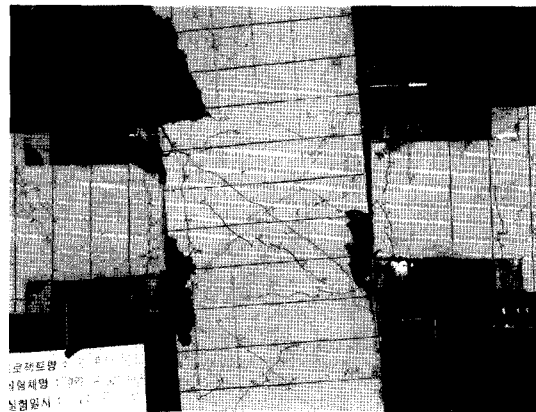


Fig. 20 Failure of PCC 4

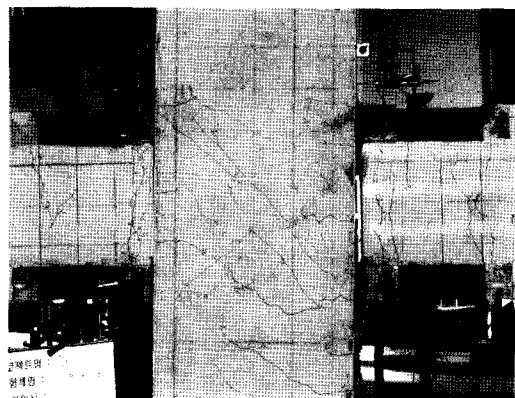


Fig. 21 Failure of PCC 5

파괴 형상은 Fig. 22와 같이 보-기둥 연결부의 지압파괴가 일어났다. PCC 6 시험체와 같이 포스트텐션을 도입한 연결부는 보-기둥 연결부를 연결하는 철근에 포스트 텐션의 도입에 따른 추가적인 응력을 부담하게 되어, 설계 시 예상되었던 연결부 강도에 미치지 못하고, 연결부의 지압파괴가 일어났다. 이러한 결과는 PCC 6 시험체의 연결철근을 일반 철근을 사용하여 나타나는 것으로 보이며, 고강도 강봉 또는 덕타일 로드와 같이 강성이 큰 연결부 연결 철근을 사용할 경우 포스트텐션 도입에 따른 연결부의 역학적 특성이 증가할 것으로 판단된다.

각 시험체의 예상 내력과 실험 결과의 비교는 Table 5와 같다. 고강도 강봉을 적용한 PCC 2, PCC 3 시험체들이 가장 효과적인 연결부의 내력을 보인 반면에 포스트텐션을 도입한 PCC 6 시험체는 예상 내력보다 실험결과를 통한 강도 증가가 포스트 텐션을 도입하지 않은 시험체에 비하여 낮은 단점을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 연결부에 포스트 텐션을 도입하게 되면 횡 강성이 증가하는 기대할 수 있지만 연결부의 강도 증가에는 효과적이지 못한 것으로 판단된다.

3.2 연성능력 및 횡 강성 비교

각 시험체의 하중-층간변위비 곡선에 근거한 포락곡선(envelop curve)을 비교한 결과가 Fig. 23과 같다. 철근 콘크리트 보-기둥 연결부인 PCC 1 시험체는 최대하중 이후 강도가 급격하게 감소하는 형태를 보인 반면, 전달블

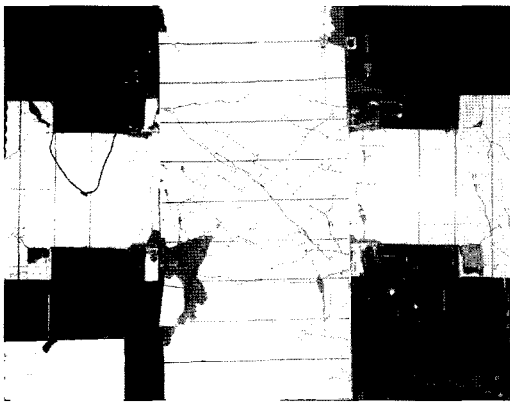


Fig. 22 Failure of PCC 6

Table 5 Theoretical and experimental strength beam-column connections

Specimen	Expected strength		Experimental strength
	Shear(kN)	Moment(kN·m)	Lateral force(kN)
PCC 1	705.6	761.9	591.8
PCC 2	662.9	715.8	852.4
PCC 3	705.6	761.9	929.8
PCC 4	663.6	716.6	637.0
PCC 5	663.6	716.6	695.6
PBC 6	685.9	1,030.3	590.0

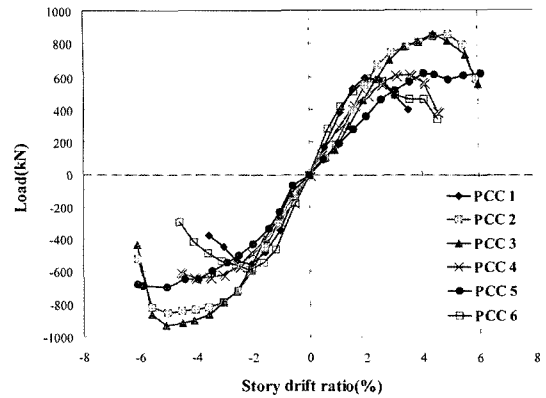


Fig. 23 Comparison of envelop curves

록을 적용한 건식 연결 공법을 적용한 시험체(PCC 2~6)는 최대하중에 도달한 이후 서서히 하중이 감소하는 안정적인 거동이 나타났다. 즉, 힘의 집중이 기둥내부와 기둥 밖의 전달블록으로 분산되므로, 보-기둥 연결부의 연성도를 향상시켜주는 것으로 판단된다.

시험체 최대하중에 대한 연성도를 비교한 결과 최대하중 시 나타난 층간변위비는 DDC시스템을 적용한 PCC 2와 고강도 강봉을 적용한 PCC 3 시험체가 5.0%로 크게 나타났다. 한편 연결부 연결 철근을 고가의 덕타일 로드나 고강도 강봉을 대신하여, 건식 연결부의 경제성을 높이고자 SD 400 철근을 사용한 결과 연성도에서는 안정적인 결과를 얻을 수 있었으나 연결부의 강도에서는 연결부 강성을 고강도 강봉을 적용한 PCC 2와 동일하게 배치하였음에도 불구하고 강도가 낮게 나오는 단점이 발견되었다. 이러한 결과를 통하여 건식 연결 공법의 경제성을 높일 수 있는 대안 공법으로 연결부의 연결 철근을 SD 400 철근의 도입보다는 최근 건축 구조물에서 적용되고 있는 고강도 철근인 SD 500 철근(super bar)을 적용하는 것이 연결부의 역학적 특성을 개선시킬 수 있을 것으로 판단된다. 각 시험체의 횡 강성 비교는 Fig. 23를 통하여 비교하였다. 시험체 별 횡 강성은 철근콘크리트 연결부 시험체인 PCC 1이 프리캐스트 콘크리트 연결부 시험체보다 횡 강성이 크게 나타났다. 프리캐스트 콘크리트 연결부 시험체들의 횡 강성은 유사한 경향을 보였으나 포스트텐션을 도입한 PCC 6 시험체는 PCC 1 시험체와 횡 강성이 유사한 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통하여 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 연결부의 횡 강성은 연결 철물에 따라 큰 차이를 나타내지 않는 것을 볼 수 있었으며, 프리캐스트 콘크리트 연결부에 포스트텐션의 도입은 횡 강성의 증가에 기여하는 것으로 판단된다.

3.3 에너지 소산량 비교

각 시험체의 에너지 소산량을 계산한 결과, 동일한 층간변위 시 사이클은 첫 번째 회전 에너지 소산량이 가장 크게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 그 이후의 사이클에서의 에너지 소산량은 줄어드는 것을 볼 수 있다. 본 연구에서는 시험체의 각 층간변위비 별 첫 번째 사이클

Table 6 Comparison ratio of accumulated energy dissipation

Story drift ratio(%)	PCC 1	PCC 2	PCC 3	PCC 4	PCC 5	PCC 6
1.0	1.00	0.76	0.63	0.73	0.74	0.69
2.0	1.00	0.75	0.63	0.70	0.62	0.85
3.0	1.00	0.75	0.59	0.60	0.50	0.81
4.0	1.00	0.86	0.71	0.71	0.51	0.84

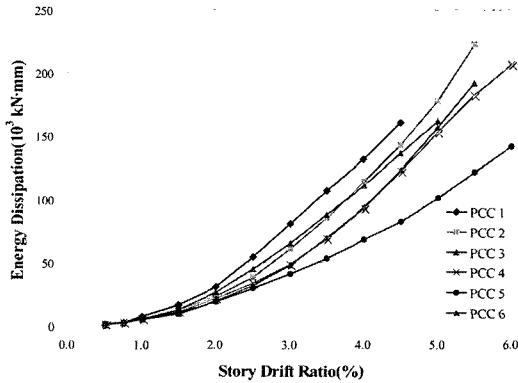


Fig. 24 Comparison of accumulated energy dissipation

의 에너지 소산량을 기준으로 누적 에너지 소산량을 비교하였으며, 누적 에너지 소산량을 PCC 1을 기준으로 층간변위비 4.0%까지 비교한 결과는 Table 6와 같다. 그 이상의 층간변위비에 대해서는 PCC 1 시험체의 파괴로 인하여 비교하지 못하였으며, Fig. 24를 통하여 비교하였다.

3.4 연결부 띠철근의 변형률

보-기둥 시험체의 연결부에 콘크리트를 구속하고 있는 띠철근이 층간변위비에 따라 변형률에 미치는 영향을 분석하고자 연결부 띠철근의 변형률을 측정하였다. 측정된 연결부 띠철근의 위치는 보의 높이가 700 mm(±350 mm) 이므로, ±350 mm 이내에 위치한 콘크리트를 구속하고 있는 띠철근이다. 실험 결과 각 시험체의 층간변위비가 증가할수록 Figs. 25~30에서와 같이 띠철근의 변형률이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 특히, 기둥의 연결부에 심부 콘크리트를 형성하고 있는 ±285.5 mm 이내에 위치한 띠철근이 층간변위에 따라 ±285.5 mm 밖에 위치한 띠철근보다 변형률이 크게 나타났으며, 이러한 결과를 통하여 보-기둥 연결부의 심부 콘크리트는 층간변위의 증가에 따라 응력이 집중되는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 공동주택 건물에 적용을 위한 건식 공법에 의한 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 연결부를 개발하고자 실험을 통하여 보-기둥 연결부의 거동을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 전달블록을 적용한 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 연결부가 철근 콘크리트 보-기둥 연결부보다 강도와 연성능력이 우수한 것으로 나타났다. 그러나 철근

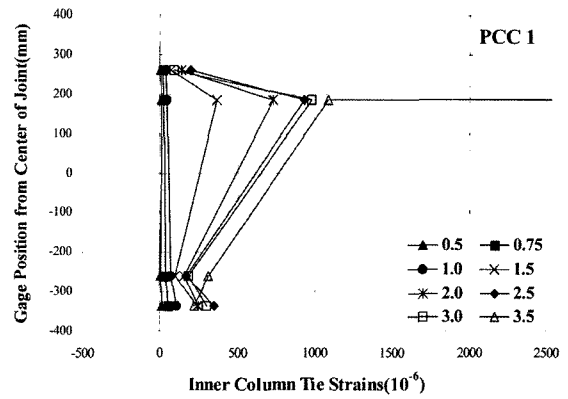


Fig. 25 Strain of joint strip for PCC 1

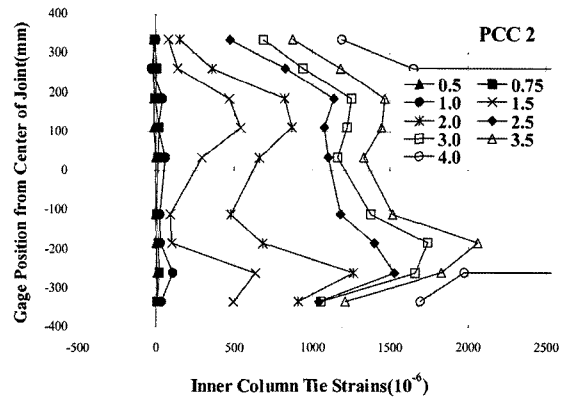


Fig. 26 Strain of joint strip for PCC 2

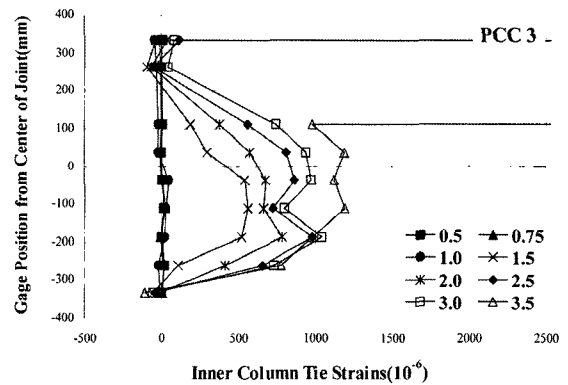


Fig. 27 Strain of joint strip for PCC 3

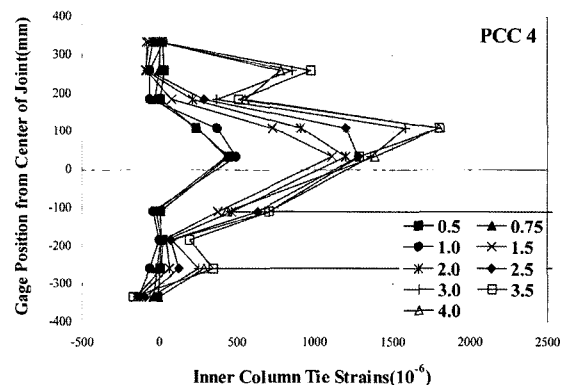


Fig. 28 Strain of joint strip for PCC 4

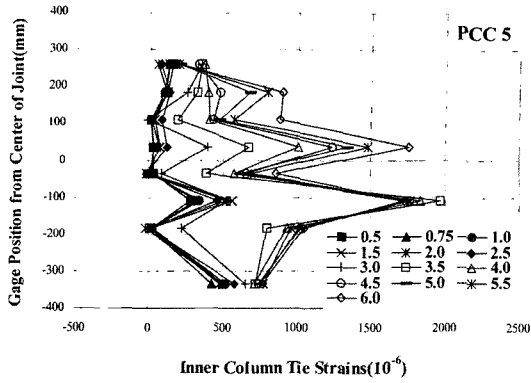


Fig. 29 Strain of joint strip for PCC 5

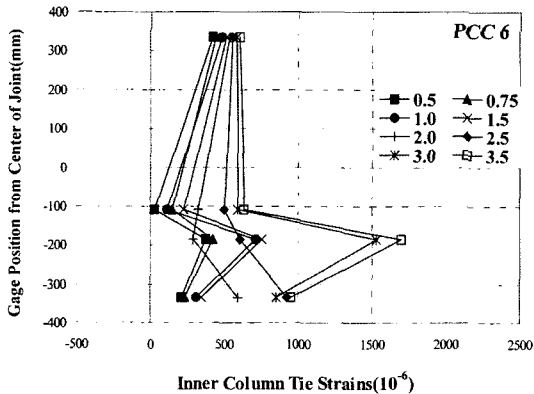


Fig. 30 Strain of joint strip for PCC 6

콘크리트 보-기둥 연결부인 PCC 1 시험체는 파괴되기 전 중간변위비인 4.0%까지 누적에너지 소산량을 비교한 결과, 프리캐스트 콘크리트 연결부 시험체들보다 우수한 것을 확인할 수 있었다. 또한 연결부 강도는 낮게 나타났지만, 연결부 파괴형상이 소성흔리를 형성하여, 파괴 메커니즘이 합리적인 것으로 판단된다.

- 2) 보-기둥 연결부에 DDC 시스템을 적용하게 되면 연결부의 강도와 연성능력의 향상을 기대할 수 있었으나 파괴 메커니즘이 보에 에너지를 분산시키지 않고, 연결부에서 에너지를 소산시키게 되어 최종 파괴 시 연결부 띠철근이 항복되고, 연결부 콘크리트가 박락되어 파괴되는 단점이 나타났다.
- 3) 고가의 DDC 시스템의 덕타일 로드를 대신하여 적용한 고강도 강봉을 적용한 결과 DDC 연결부와 유

사한 연결부 강도를 얻을 수 있었다. 시험체의 파괴 메커니즘도 DDC 연결부는 연결부에서만 에너지 소산을 국한시켰던 것에 반해, 고강도 강봉을 적용한 연결부는 연결부 이외에 보에서도 에너지를 분산시킴으로 인하여 DDC 연결부에 비하여 우수한 것으로 판단된다.

- 4) 보-기둥 연결부 연결철근을 덕타일 로드나 고강도 강봉을 대신하여, 경제성을 높이고자 적용한 SD 400 철근은 연성능력에서는 안정적인 결과를 얻을 수 있었으나 연결부의 강도에서는 성능이 떨어지는 단점이 발견되었다. 이러한 결과를 통하여 건식연결 공법의 경제성을 높일 수 있는 공법으로 SD 400 철근을 대신하여 고강도 철근인 SD 500 철근을 적용하는 것이 연결부의 역학적 특성을 개선시킬 수 있을 것으로 판단되며, 이러한 공법의 적용을 위해서는 추가적인 연구가 반드시 필요하다.
- 5) 보-기둥 연결부에 고강도 강봉 및 철근을 연결하기 위하여 매설하는 쉬스관에 연결철근을 그라우팅하여 부착시키는 공법은 비부착 공법보다 보-기둥 연결부의 역학적 특성 및 파괴 메커니즘을 개선시킬 수 있는 공법으로 판단된다.

참고문헌

1. Pillai, S. U. and Kirk, D. W., "Ductile Beam-Column Connection in Precast Concrete", *ACI Structural Journal*, Vol.78, No.6, 1981, pp.480-487.
2. Bhatt, P. and Kirk, D. W., "Test on an Improved Beam Column Connection for Precast Concrete", *ACI Structural Journal*, Vol.82, No.6, 1985, pp.834-843.
3. Nakaki, S. D., Stanton, J. F., and Sritharan, S., "An Overview of the PRESS Five-Story Precast Test Building", *PCI Journal*, Vol.43, No.2, 1999, pp.26-39.
4. 박흥근, 홍성걸, 이봉학, 유승룡, "프리캐스트 콘크리트 보-기둥 내진 연결부", *콘크리트학회지*, 16권 5호, 2004. 9, pp.10-15.
5. Englekirk, R. E., "Development and Testing of a Ductile Connector for Assembling Precast Concrete Beams and Columns", *PCI Journal*, Vol.39, No.2, 1995, pp.36-51.
6. Englekirk, R. E., "Design-Construction of The Paramount-A 39-Story Precast Concrete Apartment Building", *PCI Journal*, Vol.46, No.4, 1995, pp.56-71.

요약 본 연구에서는 공동주택 리모델링에 활용할 수 있는 완전 건식공법에 의한 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 연결부를 개발하는데 있다. 독일에서 개발한 DDC 연결부를 국내 실정에 적합하도록 그 개선모델을 제안하기 위하여 총 5개의 건식연결부 시험체를 제작하였다. 아울러, 아파트 외곽보로 활용할 경우를 고려하여, H형 철물을 사용하여 기둥과 보의 폭을 최소화하였다. 실험결과 보-기둥 연결부에 DDC 시스템을 적용하게 되면 역학적 특성의 향상을 기대할 수 있었으나 기둥에 발생한 경사균열에 의하여 주도적으로 파괴 메커니즘이 형성되는 취약성을 초래하였다. 고가의 DDC 시스템의 덕타일 로드를 대신하여 고강도 강봉을 적용한 공법은 DDC 연결부와 역학적 특성은 유사한 거동을 보였으며, 파괴 메커니즘은 더 우수한 것으로 나타났다. 또한 연결부에 연결철근을 쉬스관 안에 그라우팅하여 부착시키게 되면, 비부착 시키는 공법보다 역학적 특성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 프리캐스트 콘크리트, 보-기둥 연결부, DDC 연결부, 반복하중