PC 다층 연성 골조시스템의 현장적용 사례 연구

Application of PC Beam-Column Interior Joint with Splice Type Re-bar.

○김 준 호** 전 병 갑** 박 순 규*** 김 광 희***
Kim, Joon-Ho Jeon, Byong-Kap Park, Soon-Kyu Kim, Gwang-Hee

Abstract

The purpose of this study was to introduce the applied case of PC beam-column interior joint with splice type re-bar. In this case, although the erection time of the introduced case was a little bit higher than that of general pre-cast concrete method, this method was more effective than general pre-cast concrete method in aspect of direct cost and the number of column joint. Therefore, this method could be adopted in the construction of the commercial and residential building in the future.

키워드 : 프리캐스트 콘크리트, 보-기둥 접합부, BCS 모르터
Keywords : Pre-cast concrete, Beam-column joint, BCS mortar

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근 사회 전반적인 발전으로 건축물에 대한 요구 조건도 점차 고층화·대형화·다양화로 나타나고 있으며 합리적인 구조 형식의 개발에 대한 요구도 증가하고 있다. 또한 건축물이 조기에 완성되고, 안전성을 보장하도록 요구되고 있으며, 공기 단축과 안정성의 확보는 또 다른 경쟁력의 한 요소 이다.

또한 국내의 건설시장은 노동에 대한 인식이 변화하면서 젊은 기능공의 감소에 따른 노동 인력 수급의 문제, 그로 인한 노동임금의 상승으로 빚어질 수 있는 건축물의 품질 저하는 시급히 해결해야 할 문제로 인식되고 있다. 이러한 국내 건설시장에 대한 사회적 경향에 대한 문제점을 해결하기 위해서는 기존 구조시스템의 장점을 극대화하고, 경제성 및 구조안전성이 확보된 새로운 구조시스템에 대한 필요성이 대두되고 있으며, 국내 건설업계에서 사용하고 있는 하나의 방안으로 프리캐스트 콘크리트 (precast concrete, PC) 구조를 들 수 있다.

그러나 PC구조는 아파트의 대량 공급이 가능하도록 우리나라에서는 벽식PC조가 먼저 발전하였으나 시대의 요구에 적절히 대응하지 못하여 지금은 실패한 공법으로 기억되고 있다. 대규모의 아파트 단지의 주차장과 공장 건물에 적합한 라멘조 PC공법은 점차 발전을 거듭하여 지금은 PC구조의 대부분을 차지하고 있다. 라멘조 PC구조는접합부의 접합 방법에 따라서 여러 가지 공법으로 분류할 수 있으며, 용접에 의한 방법, 기계적 연결 장치에 의한 방법, 그라우팅에 의한 방법 등 다양하다.

PC구조는 공장에서 부재를 제작하여 현장에서 조립하는 공법으로 콘크리트의 품질관리가 가능하고 현장 타설 콘크리트 공법에 비해 공기를 단축할 수 있는 특징을 가지고 있다. 그러나 일체화된 현장 타설 콘크리트와 비교하여 PC부재의 연속성을 위한 배근 상세와 요구되는 구조 성능을 확보하기가 쉽지 않고 접합부를 형성하는데 많은 비용이 들어간다.

따라서 접합부의 비용을 적게 하면서 일체성을 확보하는 것이 PC공법 개발의 핵심 사항이며 다층 연성 골조시스템은 접합부 비용을 획기적으로 절감시키면서도 구조 안정성은 그대로 유지하는 우수한 공법으로 개발되었으나 실험적 연구와 이론 연구로 존재할 뿐 현장에 직접 적용된 경우는 없었다. 따라서 ○○건설현장에 적용된 PC 다층 연성 골조시스템의 시공사례를 소개하여 향후 고층·대형 공사에 적용 가능성을 알아보고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구는 PC 다층 연성 골조시스템을 실제 공사에 적용된 사례를 소개하는 것으로 다음과 같은 순서로 연구를 진행하고자 한다.

첫째 기존 PC 공법과 PC 다층 연성 골조시스템을 비교함으로서 기존 PC 공법을 문제점을 파악하고, 두 공법의 장단점을 분석한다. 둘째 PC 다층 연성골조 시스템의 특징과 종류를 알아본다. 셋째 PC 다층 연성골조 시스템을 사례현장에 적용한 순서 등을 고찰한다. 넷째 적용사례에 대한 일반 PC공법과 PC 다층 연성 골조 시스템의 시공시 조립시간과 공사비를 비교하여 적용 가능성을 분석한다.

* 삼성물산(주) 건설부문 잠실4재건축아파트 현장소장 겸 주거시설 Expert, 정회원
** 삼성물산(주) 건설부문 차장
*** 삼성물산(주) 건설부문 잠실4재건축아파트 현장 대리
**** 목포대학교 건설공학부 건축공학전공 전임강사, 정회원

2. 기존 PC 공법과 PC 다층 연성 골조시스템

2.1 기존 PC 공법의 현황 및 문제점

기존 PC공법에 대한 현황과 문제점을 설계적인 측면, 생산 및 시공적인 측면, 그리고 PC기둥 이음부의 원가부담 측면에서 분석하면 다음 표1과 같다.

표 1. 기존 PC 공법의 현황 및 문제점

구 분	현황 및 문제점
설계	- 기둥 주근과 보 정착 철근의 간섭 발생 - 판넬존 배근 검토 시간이 전체 부재 설계의 20% 이상을 상회 - 주근 간섭을 피하기 위하여 각 부재의 종류가 많아짐
생산 및 시공	- 부재 종류의 증가에 따른 생산 효율 저하 - 시공 조립 오차에 따른 철근 간섭 문제 발생
PC기둥 이음부 원가 부담	- 역학적으로 불리한 곳에 접합부 형성 - 기둥의 모든 주근을 이음 해야 하므로 비경제적인 경우 발생

2.2 기존 PC과 다층 연성 골조시스템 비교

기존 PC 공법과 RC조의 부분 P.C화한 부재를 조합해 가구를 형성하고 보강 배근을 하여 현장 콘크리트 타설에 의거 전체를 일체화하여 구체를 완성시키는 공법인 다층 연성 골조 시스템의 가장 큰 차이점인 이음위치를 그림으로 도식하여 비교하면 다음 그림1, 2와 같고 장담점은 표 2 와 같이 정리할 수 있다.

표 2. 기존 PC공법과 다층 연성 골조시스템의 장·단점 비교

구분		기존 PC 공법	PC 다층 연성골조 시스템
시공성 및 경제성	보기둥접합부	1. 기둥과 보 주근의 간섭을 고려한 설계 요함. 2. 시공정밀도 요함. 3. 보 하부 철근 높이에 대한 조립 순서 고려.	1. 기둥과 보 주근의 간섭이 발생하지 않음. 2. 배근이 쉽고, 시공이 간편함. 3. 별도의 판넬 존 설계 불필요. 4. 조립순서를 고려하지 않음.
	기둥이음부	1. 층 하부에서 기둥 주근이 이음. 2. 응력이 크게 발생하는 곳에서 기둥 주근이 이음. 3. 모든 주근을 이음(스플라이스 슬리브 비용 절감).	1. 층 중간에서 기둥 주근이 이음됨. 2. 역학적으로 유리한 곳에 이음. 3. 일부 주근을 이음. 4. 주근 연결 개수를 최소화함. (최대 75%)

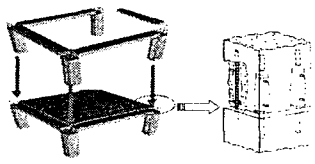


그림 1. 기존 PC공법

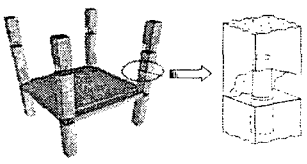


그림 2. 다층 연성 골조시스템

3. 다층 연성 골조시스템

3.1 다층 연설 골조시스템 특징

다층 연설 골조시스템의 특징을 간단히 요약하면 다음과 같다.

첫째 층 중간에서 기둥 주근을 이음 함으로서 이음 개수 감소할 뿐만 아니라 공기 단축과 원가 절감이 가능하다.

둘째 보-기둥 접합부는 철근 관통형에 철근 연결재를 사용하여 보강 배근하고, 현장 타설 콘크리트를 타설하여 일체화시키는 공법을 적용하여 보-기둥 접합부의 시공성과 안정성을 확보하면서 경제성의 확보가 가능하다.

셋째 기둥의 최소 철근비는 "압축 겹침이음은 최소한 fy/4의 인장 저항 능력을 가져야 한다" 는 규정에 따라 이음 되는 철근은 전체 PC기둥에 배근된 철근의 25%를 만족하도록 하였다.

넷째 기둥 중앙에 이음한 스플라이스 슬리브가 기둥에 작용하는 전단력에 저항하도록 하였다. 만약 이음되는 철근만으로 전단력을 저항하지 못하는 경우는 기둥에 전단키를 설치한다.

다섯째 기둥 중앙에 작용하는 축력은 콘크리트만으로 저항할 수 있도록 하고, 접합부의 회전에 의한 지압응력도 저항하도록 한다.

3.2 다층 연성 골조 시스템의 구분

다음 연성 골조 시스템을 연결재의 종류에 따라 분류하면 U형 하프 PC 보에 연결재(강선) 매립하는 강선 이음형과 U형 하프 PC 보에 연결재인 철근을 배근한 후 콘크리트를 타설 하는 철근 이음형으로 구분할 수 있다.

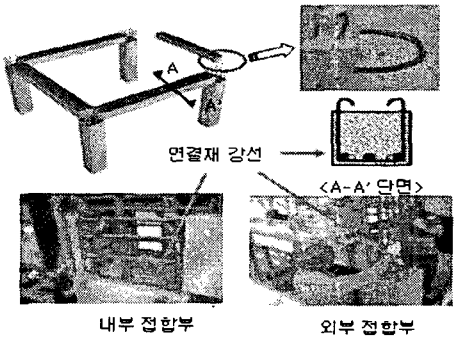


그림 3. 강선 이음형

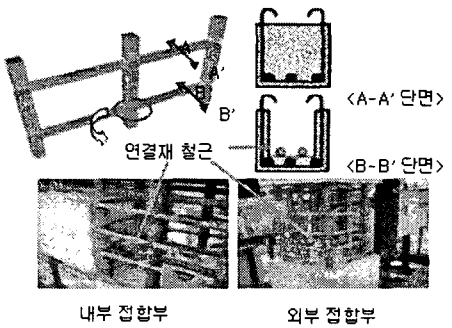


그림 4. 철근 이음형

4. 사례적용

4.1 사례개요

본 연구에서 소개하는 Pilot 현장의 공사개요를 정리하면 다음 표4와 같다.

표 4. 사례개요

공 사 명	○○건설 ○○재건축아파트 상가공사
공사기간	2006년 2월 ~ 2006년 12월
층 수	지하 3층, 지상 5층
연 면 적	11,758 ㎡
건축면적	1,366 ㎡
구 조	PC구조(연성 PC공법 적용)

4.2 시공순서

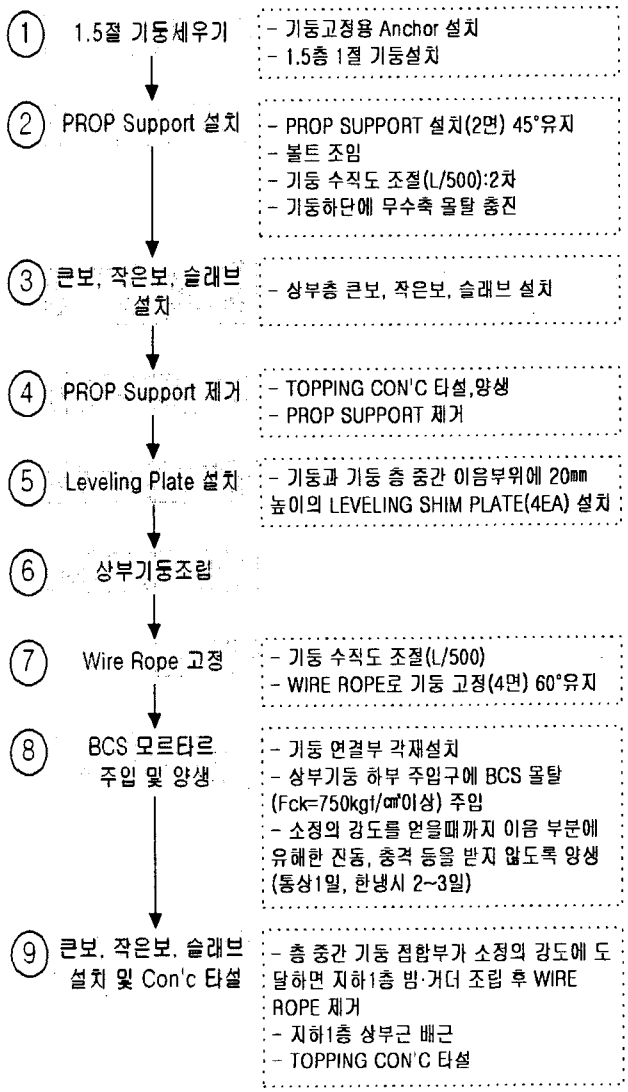
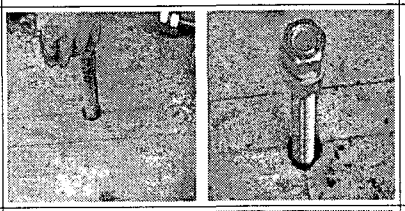
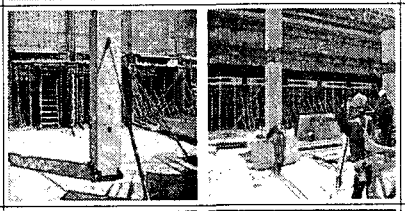
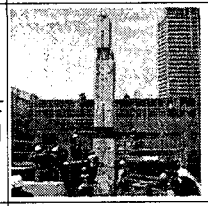
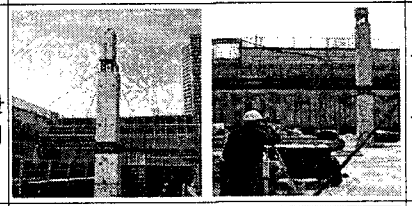


그림 5. 다층 모멘트 연성골조 시공순서

표 5. 시공단계별 시공사진

단계	시공사진	비고
1 단계		- Anchor 볼트 설치
2 단계		- 기둥 및 PROP SUPPORT 설치 - 기둥 수직도 조절
3 단계		- 보 설치 - Half Slab 설치
4 단계		- 철근배근 - Topping 콘크리트 타설
5 단계		- Shim Plate 설치
6 단계		- 상부 층 기둥 조립
7 단계		- Wire Rope 고정 - 기둥 수직도 조정
8 단계		- BCS 모르타르[2] 주입 및 양생

2) Bar Connection Sleeve 모르터로 기계화 시공에 적합한 유동성과 부착강도를 확보한 스플라이스 슬리브용 시멘트계 무수축 고강도 그라우트 제품

5. 사례적용 결과 분석

5.1 일반 PC와 다층 연성골조의 설치시간

일반 PC공사와 연성 PC공사의 부재 설치시간을 측정하여 비교해 본 결과 평균적으로 보, 슬라브의 설치시간에는 차이가 없었다. 그러나 기둥의 설치시간은 연성 PC공법이 1.5절 기둥에서는 5분, 2.5절 기둥에서는 15분이 더 소요되었다. 연성 PC의 1.5절 기둥에서는 기둥 부재의 이음 시에 Liner Shim Plate를 사용하는 것과 BCS 모르타르을 주입하는 공정 때문에 설치시간이 5분정도 더 걸렸고, 2.5절 기둥에서는 와이어로프로 지지하는 과정이 더 추가되어 일반 PC공사와 비교하여 총 15분정도 더 소요되었다. 그러나 2.5절 기둥은 2개 층이 동시에 시공되기 때문에 실제로는 설치시간이 10분정도 단축되었다고 보아야한다.

사례 현장에서 외곽기둥은 와이어로프로 지지할 수 가 없어 안전성을 기하기 위하여 1.5절 기둥을 사용하였고 와이어로프의 설치가 가능한 중앙의 21개의 기둥에 대해서만 2.5절 기둥을 사용하였다. 본 사례공사는 지하 3층 지상 5층의 비교적 규모가 작은 공사로서 현장여건상 2.5절 기둥을 적용할 수 있는 부위가 제한되어있어 일반 PC공사에 비해 공기단축의 효과를 얻을 수는 없었다. 그러나 대공간의 구조물이나 고층건물에서 보다 많은 2.5절 기둥을 적용한다면 충분한 공기단축의 효과가 예상된다.

앞으로 연성 PC공법을 통해서 보다 많은 공기단축의 효과를 얻기 위해서는 와이어로프가 아닌 다른 지지 방법을 통하여 외곽 기둥에도 2.5절 기둥을 적용할 수 있는 방안을 연구해야 할 것으로 사료된다.

표 6. 일반PC공사와 연성PC 공사의 설치시간 비교

구분	부재수 (개)	일반 PC공사			연성 PC 공사		
		부재당 설치 시간 (분)	소요 시간 (분)	소요 일	부재당 설치시간 (분)	소요 시간 (분)	소요 일
기둥	174	25	4,350	8.1	125(2절)*30분	3,750	6.9
					21(3절)*40분	840	1.6
보	370	15	5,550	10.3	15분	5,550	10.3
슬라브	1,030	10	10,300	19.1	10분	10,300	19.1
합계	1,574		20.200	37.5		20,440	37.9

5.2 원가 비교

○○건설 아파트 상가공사의 골조공사금액을 구조별로 비교해보면 표6에 제시된 바와 같이 RC구조의 공사비에 비해 SRC 구조는 126%, PC 구조는 112.8%, 연성PC 구조인 경우는 111%로 약간의 직접공사비 차이가 있다. 그러나 연성 PC구조의 경우 1.5절 기둥을 적용함으로써 철골구조에 비해 낮은 공사비로 철골조의 장점인 공기단축과 건식공법의 장점을 살릴 수 있고, 또한 기존의 PC공사에 비해서도 약 1.8%정도의 공사비 절감 효과가 예상된다. 단 RC구조의 공사비에 비해서는 연성 PC구조의 직접공사비가 11%정도 상승요인이 있지만 앞으로 건설현장에서의 인력부족으로 인한 인건비 상승과 PC부재 생산기술의 발달과 대량생산으로 인한 생산비 인하 효과를 고려하면 차후에는 RC공사대비 원가경쟁력을 갖출 것으로 사료된다.

표 7. 공사비 비교

구분	RC	SRC	PC	연성PC
부재제작비	-	-	652	637
부재조립비	-	-	260	258
RC(SRC)공사비[3]	961	1,210	172	172
합계	961	1,210	1,084	1,067
RC구조 대비(%)	100.0	126.0	112.8	111.0

5.3 개선 사항

본 사례에서 Pilot 시공하면서 확인된 향후 개선 및 보완할 점은 다음과 같다.

첫째, 보와 기둥이 접합되는 부위에 보의 정착철근과 기둥의 철근으로 인해 철근이 집중되어 콘크리트 타설시 콘크리트의 충진이 충분히 이루어지지 않을 우려가 있다.

둘째, 기둥하부에 보 춤(D=700)만큼의 빈 공간에 콘크리트가 채워짐으로 콘크리트의 블리딩과 침하 및 수축으로 인한 미세한 틈이 생겨 상부기둥의 하중이 하부기둥으로 철근으로만 전달되는 경우가 발생한다. 따라서 보다 많은 상부하중이 예상되는 고층건물에서는 기둥과 보의 접합부위에 무다짐 콘크리트나 BCS 모르타르 등을 시공하여 기둥의 일체화를 확보하는 방안이 연구되어야 할 것이다.

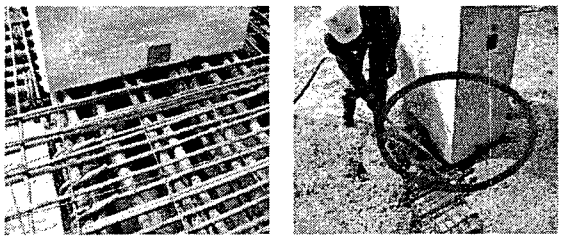


그림 7. 보와 기둥의 접합부

6. 결 론

RC조의 부분 P.C화한 부재를 조합해 가구를 형성하고 보강배근을 하여 현장 콘크리트 타설에 의거 전체를 일체화하여 구체를 완성시키는 공법인 다층 연성 골조 시스템의 현장적용 사례를 조사를 한 결과 본 시스템의 가장 큰 장점으로는 기둥 이음을 층 중간에 실시하여 접합부의 비용을 절감하면서 응력에 합리적으로 접합부를 설계할 수 있는데 본 사례에서 접합부 이음 개소를 기존 PC 조에 비해서 약 75%를 절감할 수 있었다. 또한 철골조와 유사하게 기둥을 절로 시공함으로서 공기단축과 조립비 절감을 실현할 수 있을 것이다.

그리고 본 PC 다층 연성 골조 시스템을 시공할 시 유의할 점을 정리하면, 첫째 기존의 PC공법과 달리 층 중간에서 기둥 이음을 하는 공법으로 기둥의 수직도(L/500)를 정밀하게 관리해야 한다. 둘째 기둥 이음을 BCS 모르터로 일체화하기 때문에 BCS 모르터가 완전히 충진되는지를 반드시 확인해야하고, 소정의 강도를 얻을 때까지 양생기간(통상1일, 한냉시 2~3일)동안 이음 부분에 유해한 진동이나 충격이 가지 않도록 주의해야 한다. 셋째 2.5절 기둥의 길이는 약 10M 정도로 타워크레인으

3) RC, SRC 구조는 공사비에 각종 자재비를 포함한 금액임

로 부재 설치 작업시 세심한 주의가 요구된다. 넷째 BCS모르터가 충분한 강도를 얻을 때까지 부재가 전도되지 않도록 와이어로프를 확실히 체결하고 상부 작업시 작업자의 추락 등 안전사고에 유의하여 작업하여야 한다. 다섯째 보와 기둥이 접합되는 부위에 보의 정착철근과 기둥의 철근으로 인해 철근이 집중되어 콘크리트 타설시 콘크리트의 충진이 충분히 이루어지지 않을 우려가 있으므로 확인 후 대책이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김승훈 외 5인, 철근 이음형 PC 보-기둥 내부 접합부의 구조적 거동에 관한 실험적 제24권, 제1호, pp.51-54, 2004.04.
2. 김승훈, 문정호, 이리형, 철근 이음형 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 내부 접합부의 구조적 거동에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집(구조계), 제20권, 제10호, pp.53-61, 2004.10.
3. 안성훈, 이웅균, 강경인, 건설업의 PC 기술 활성화 방안에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(구조계), 제20권 제7호, pp. 135-142, 2004.07.
4. 하상수외 4인, 강선 이음형 PC 보-기둥 외부 접합부의 구조적 거동에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(구조계), 제20권, 제10호, pp.119-126, 2004.10.