

# PC계단 공법 성능개선을 위한 현장사례에 근거한 요소기술 분석

## Analysis of PC Stairways for Improved Performance Based on Construction Cases

임 흥 철\* 김 육 종\*\*

Rhim, Hong-Chul Kim, Ook-Jong

조 흥 덕\*\*\* 송 지 윤\*\*\*\*

Cho, Hong-Duk Song, Jee-Yun

### Abstract

Stairways made by Precast Concrete(PC) are emerging as alternative to traditional Reinforced Concrete(RC) stairways. PC stairs can reduce construction time and cost with improved quality compared to RC stairs. The existing PC stairway construction method often requires the placement of surrounding walls and PC stairways at the same time to secure connection between the two elements. The method described in this paper has the advantage of allowing the construction of walls and stairways in sequence, not together. This is possible because of developed technique for the connection and the other convenient ways for the PC stairways. Application of the method in various construction sites is analyzed and studied for further development.

키워드 : PC 계단, 프리캐스트 콘크리트, 성능개선, 현장사례, 요소기술, COSEC 시스템

Keywords : PC Stairs, Precast Concrete, Improved Performance, Construction Cases, Elemental Technology, COSEC System

### 1. 연구의 배경 및 목적

철근콘크리트(이하 reinforced concrete; RC)공사의 경우, 거푸집 조립, 철근 배근 등과 같은 노임성 공사의 비중이 크기 때문에, 공사비 절감과 공사기간 단축에 대한 필요성이 상존한다. 이에 비해, 프리캐스트 콘크리트(이하 precast concrete; PC)공법은 인건비 절감, 공기단축, 그리고 품질 향상의 측면에서 향후 습식 RC 공법을 대체할 수 있을 것으로 기대된다. PC 공법은 1960년대 대한주택공사가 처음 국내에 도입하여, 1980년대 말까지 점진적으로 적용되었으나, 당시 초기투자비용의 과다, 수요의 불확실, 기술인력 부족, 부품의 표준화 및 규격화 미흡과 같은 장애 요인에 부딪혀 확대 보급되지 못하였다(민병호 외, 1991; 정하선, 1993; 이종민 외, 2007). 그러나 유럽의 PC 산업은 주택건설 공업화에 있어서 위와 비슷한 초기 시행착오에도 불구하고 꾸준한 기술개발 노력과 투자로 인하여 점차 생산성이 향상되었고, 꾸준히 그 수요가 증가하고 있다.

국내에서도 최근 건설인력의 부족현상이 심해지고, 공사기간의 단축에 관심이 높아지면서, 이에 대한 해결책으로 PC 공법의 적용이 증가하고 있으며, 과거의 완전 PC 공법의 문제점을 분석하고 해외 선진국의 기술을 토대로 PC 복합화 공법을 개발, 적용하고자 노력하고 있다. 벽식 구조

복합화공법(이종민 외, 2000), PC슬래브-현장타설 벽체 복합 시스템(대한주택공사, 1995)을 이용한 공동주택에의 적용 외에도 지하주차장, 창고, 아파트 옥탑 등으로 그 영역을 확장하고 있는 추세이며(안성훈 외, 2004; 김범기 외, 2005), RC 계단실 코어의 계단공사에도 인력절감과 품질향상을 도모하고자 PC 계단 공법이 적용되고 있다.

RC 계단실 코어에 적용되는 PC 계단 공법에는 크게 계단실 동시 시공 PC 공법과 계단참 콘크리트 후 타설 PC 공법이 있다. 먼저 계단실 동시 시공 PC 공법은 경사판 및 참을 PC화하여 계단실의 품질 향상 효과가 있으나 시스템 거푸집 사용을 통한 계단실 코어의 연속화 시공에 한계가 있다. 그리고 계단참 콘크리트 후 타설 PC 공법은 코어 벽체를 우선 시공하여 계단실 코어 벽체의 연속화 시공이 가능하나 코어벽체 거푸집의 간섭으로 PC 경사판의 반입에 어려움이 있고 현장 타설하는 참 부위에 추가 마감작업이 필요하다(김육종 외, 2005).

이에 계단의 모든 부재를 PC화하는 동시에 코어의 연속화 시공으로 공기단축을 도모하고자, RC Core Sequential Construction Method by Using PC Stairs(이하 COSEC 시스템)가 개발되었다(김육종 외, 2005). 대형 거푸집을 이용하여 RC 코어 벽체 연속화 시공 후 PC 계단을 나중에 조립하는 방식의 본 공법은 2002년 개발 후 지금까지 현장 적용을 거치면서 개선되고 있다(조홍덕, 2007). 본 논문에서는 COSEC 시스템의 개요를 설명하고, 실제 적용된 건설현장의 시공사례를 근거로 본 공법의 개선된 요소기술을 제시한다. 또한 품질, 원가, 공정의 성능 분석을 통해 COSEC 시스템의 활용화를 도모하고자 한다.

\* 연세대학교 건축공학과 교수

\*\* 대림산업(주) 기술연구소 책임연구원

\*\*\* 대림산업(주) 건축사업본부 과장

\*\*\*\* 연세대학교 건축공학과 첨단구조연구실 석사과정

## 2. PC계단의 구성과 기존공법

### 2.1 PC계단의 구성과 주요 요소

최근 수요가 증가하고 있는 고층 주거용 건물들은 대부분 RC 코어 내부에 엘리베이터 샤프트와 계단실을 갖고 있는 타워형 건물로, 대부분 그림1과 같이 굴절형 계단을 가지고 있다. 이런 RC 코어의 계단실은 각 층 계단의 형상이 동일하여 부재의 대량 생산이 가능하고, 고층이 될수록 조립식(건식) 계단공법 적용에 따른 경제적 효과가 클 것으로 기대할 수 있다.

하지만 RC 계단실 코어의 계단공사는 지금까지 대부분 현장타설 철근콘크리트로 시공되었으며, 이는 복잡한 공정과 품질확보 측면에서 개선이 필요한 실정이다(김상범 외, 2005; 김육종 외, 2005). 이를 대체할 수 있는 건식, 조립식 계단으로, RC 계단실에 철골 계단을 가설한 후 실내의 모든 콘크리트 공사를 완료하고 최종적으로 가설된 철골 계단을 슬라이딩시켜 설치, 접합하는 슬라이딩형 철골 계단 공법이 있는데(대한주택공사 외, 2004) 여전히 참을 재래식으로 시공하고 경사판에 철골 부재를 사용하기 때문에, 경제성 측면에서 단점이 존재한다. 이에 PC를 활용한 조립식 계단 공법이 개발, 일부 적용되고 있다.

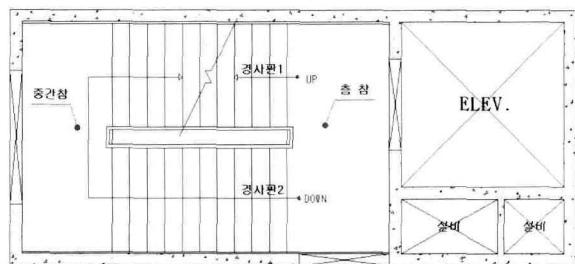


그림1. RC 코어 계단실 평면도(굴절형 계단)

PC 계단은 RC 코어 벽체와 일체로 시공되는 습식 RC 계단과는 달리, 부재분할 및 조립, 그리고 RC 코어 벽체와의 접합방식이 중요하게 고려되어야 한다.

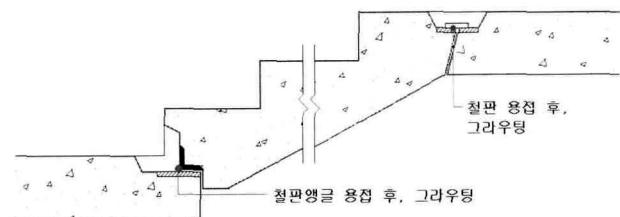
먼저 PC 계단 부재의 분할방식은 표1에서 보는 바와 같이 크게 4가지로 구분된다. 이중 4) 방식이 조인트가 많아 현장조립작업이 많다는 단점 외에는 가장 적합한 방식으로 판단되며, 2) 방식도 운반 상 불리한 조건이 해결될 경우 시공 상 유리한 방식으로 판단된다(대한주택공사, 1980). 그리고 실제 현장에서의 활용도는, 주로 PC 부재의 반입과 설치작업의 난이도에 따라 결정되므로 계단실 코어 내 반입이 가장 유리한 4) 방식을 주로 사용하고 있다.

이렇게 분할된 PC 계단참과 경사판의 조립에는 건식접합(Dry Joint) 또는 단순결침 방식이 사용된다(대한주택공사, 1980). PC 부재끼리의 접합이 구조물 전체의 구조성능을 좌우하는 PC 슬래브나 내력벽의 경우 습식접합(Wet Joint) 방식을 사용하나, 여기에서의 조립은 단순히 경사판의 이탈을 방지하는 목적이므로 시공이 번거로운 습식접합은 사용하지 않는다. 모르타르나 콘크리트를 사용하지 않

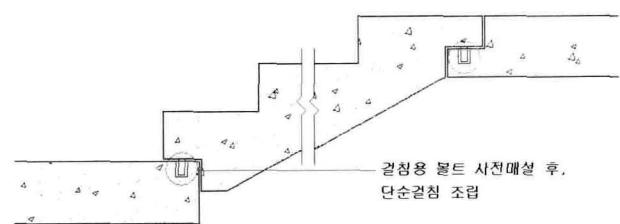
표1. PC 계단 부재의 분할방식

분류	1)	2)	3)	4)
분할방식	(e) (a1) (d) (b) (c2) (c1)	(a) (d) (b) (c)	(a) (d) (b) (c2) (c1)	(a) (d) (b) (c)
부재수	2	2	3	4
운반	불리	불리	보통	유리
조인트	가장 적음	적음	보통	많음
조립공정	불리	유리	불리	유리
계단유닛 설명	<p>그림1은 PC 계단 부재의 분할방식을 보여주는 그림입니다. 두 개의 계단 유닛이 서로 연결되어 있는 모습을 보여줍니다. 각 유닛은 여러 조각으로 구성되어 있으며, 각 조각에는 알파벳으로 표기된 코드가 부여되어 있습니다. 예를 들어, 첫 번째 유닛에는 (a1), (a2), (b), (c1), (c2) 등이 있고, 두 번째 유닛에는 (a), (d), (b), (c) 등이 있습니다.</p>			

고 PC 부재에 묻힌 플레이트 또는 앵글을 서로 용접하여 고정하는 건식접합은, 불에 약하고 부식될 우려가 있으므로 내화 및 방청의 목적으로 그라우팅한다. 부재 한편에 걸침용 볼트를 사전 매설하여 소규모 용접작업의 수를 줄일 수 있는 단순 걸침형 조립방법도 사용되고 있다.



(a) Dry Joint에 의한 조립



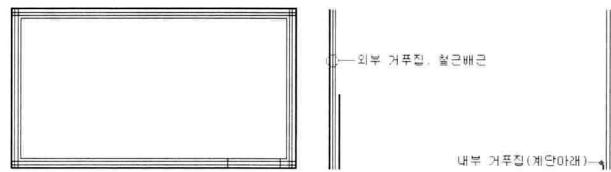
(b) 단순걸침에 의한 조립

그림2. 계단참과 경사판의 조립방식

PC 계단 공사의 품질을 좌우하는 부분은 RC 코어 벽체와 PC 계단 부재(PC 계단참)의 접합공정으로, 이 접합방식에 따라 기존의 PC 계단 공법은 크게 두 가지로 분류된다. 계단실 벽체와 PC 계단을 동시에 시공하여 접합하는 방식(모든 부재를 Prefab하는 방식)과, 계단실을 선시공한 후 PC 계단을 설치하는 방식(계단참을 현장 타설하는 방식)이 있다.

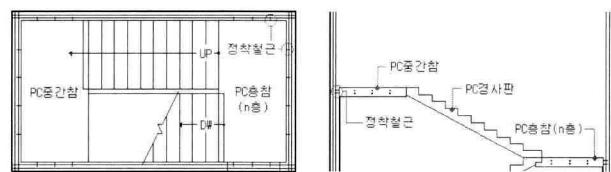
## 2.2 기존의 PC 계단 공법

첫 번째 방식은 모든 계단부재를 Prefab하는 방식으로, 계단실 동시 시공 PC 공법이 있다(그림3). 계단실 동시 시공 PC 공법은 계단실 벽체 내부 거푸집에 PC 계단참 부재의 정찰 철근을 걸친 후 계단실 코어를 타설하여 고정 접합하는 방식이다. 이 경우 계단의 모든 부재를 PC화할 수 있어 계단실의 품질 향상에 효과가 있으나, 참을 올려놓은 후 콘크리트를 타설해야 하므로 시스템 거푸집 사용을 통한 계단실 코어의 연속 시공에 한계가 있어 공정상으로 RC 계단에 비해 크게 향상된 바가 없다는 단점이 있다.

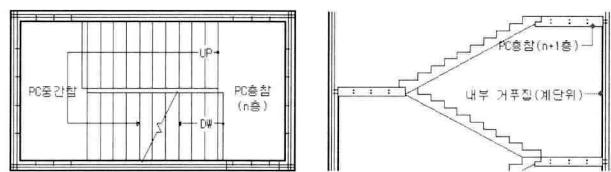


(a) 벽체 외부거푸집(유로폼 또는 갱폼(이하G/F)) 설치, 벽체

철근배근, 내부거푸집(재래식 거푸집) 일부 설치



(b) PC 계단참의 정착철근을 내부거푸집에 걸치고 PC 경사판 설치



(c) 내부거푸집을 추가로 설치하고 n+1층 PC 참 설치

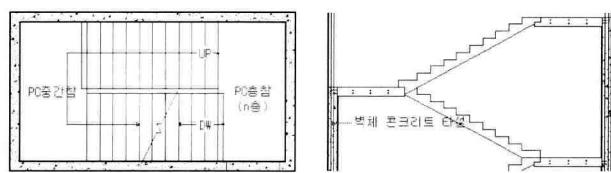
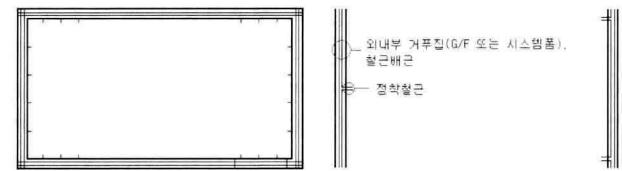


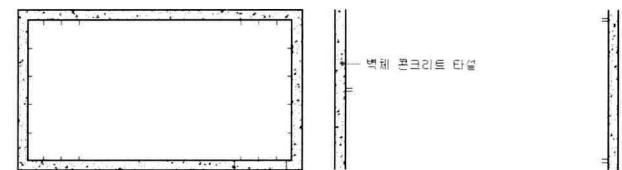
그림3. 계단실 동시 시공 PC 공법

두 번째 방식은 계단참을 현장 타설하는 방식으로, 계단참 콘크리트 후 타설 PC 공법이 있다(그림4). 계단참 콘크리트 후 타설 PC 공법은 코어 벽체를 우선 시공하고 선 시공된 벽체와 계단의 접합을 위하여 참은 현장 타설하여 경사판만을 PC화하는 방법이다. 따라서 계단실 코어 벽체의 연속 시공이 가능하나 코어 상부 거푸집의 간섭으로 PC 경사판의 코어 내부 반입에 어려움이 있고 참 부위 콘크리트 타설 후 추가 마감작업이 필요하다. 또한 계단실 콘크리트 타설 작업 때문에 작업량에 비해 많은 인력이 소

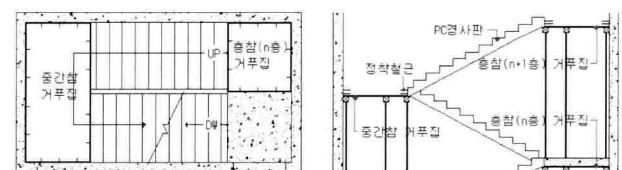
요되며 참 거푸집 서포트 개수가 많아 통행에 방해가 되는 단점이 있다.



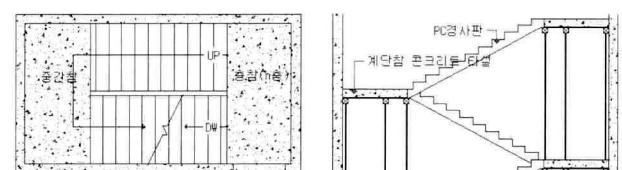
(a) 벽체 거푸집(시스템폼) 설치, 벽체 철근배근, 계단부재 정착철근 삽입



(b) 벽체 콘크리트 타설



(c) 계단참 거푸집 및 PC 경사판 설치



(d) 계단참 부위 콘크리트 타설, 경화 후 서포트 해제

그림4. 계단참 콘크리트 후 타설 PC 공법

## 3. COSEC 시스템

### 3.1 COSEC 시스템의 개요 및 연속화 시공개념

COSEC 시스템은 RC 계단실 코어를 대형 시스템 거푸집을 이용하여 시공한 후, 공장 및 현장에서 제작된 경사판 및 참 등의 PC 계단 부재를 나중에 조립하는 공정으로 코어 벽체의 연속화 시공이 가능하며, 또한 모든 계단부재를 PC화함으로써 품질향상과 공기단축을 동시에 이를 수 있는 계단 시스템이다(그림5).

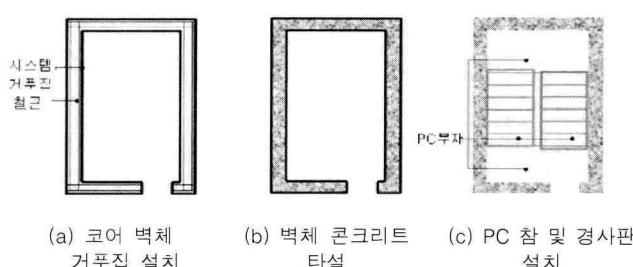


그림5. COSEC 시스템의 개요

본 공법의 벽체 및 계단 시공개념은 다음과 같다.  $n+1$ 층의 벽체 및 슬래브 시공이 완료되면 타워 크레인을 이용하여 내부 벽체 쟁포를  $n+2$ 층으로 인양한다. 그리고  $n$ 층의 PC 참을 설치하기 위해  $n-1$ 층의 중간참에  $n$ 층 중간참 높이 하단까지의 시스템 서포트를 설치한다. 서포트 설치 후  $n$ 층에 PC 중간참과 층참을 설치하고 그 사이에 경사판을 설치하여  $n$ 층의 계단 설치를 완료한다. 이 때  $n+2$ 층의 벽체는 계단 설치와 별개의 공정으로 진행된다(김옥종 외, 2005; 김록배 외, 2005)

### 3.2 COSEC 시스템의 요소기술

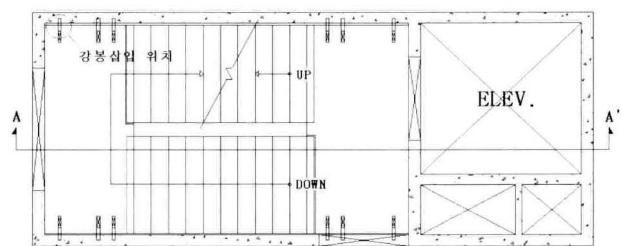
계단실 내부 벽체를 대형 거푸집을 이용하여 연속 시공한 후 PC 계단을 후 조립하기 위해서는, PC 부재와 벽체의 접합방법이 간단하여야 하고, PC 부재 반입 문제가 해결되어야 하며, 최상부 코어 골조 2~3개 층에 대해 가설통로를 확보하여야 한다. 이는 COSEC 시스템의 핵심기술로 그림6과 같이 크게 네 가지로 축약할 수 있다.

첫 번째 요소기술로 PC참과 선 시공된 RC 코어 벽체의 접합방식은, 참과 벽체에 동시에 물리는 강봉의 다우얼 작용에 의해 경사판과 참의 하중을 벽체에 전달하는 전단접합을 사용한다. 이를 위해 벽체 콘크리트 타설 전 미리 강봉을 삽입될 슬리브(sleeve)를 매립한다. 참을 설치한 후 강봉을 벽체쪽 슬리브로 밀어 넣고, 그림6의 요소기술1과 같이 계단참 하나에 6개의 강봉이 제자리에 설치되면 빈 공간에 무수축 모르타르를 충전한다.

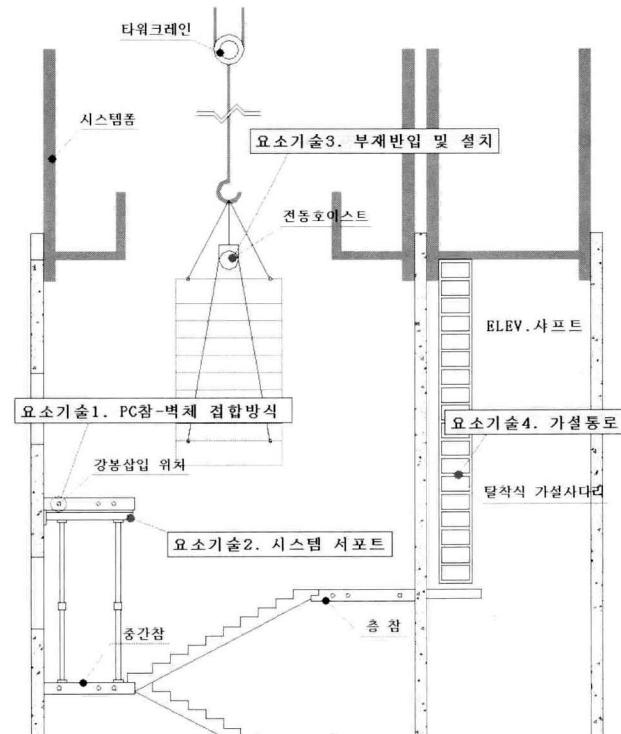
두 번째 요소기술은 시스템 서포트이다. PC 참 설치 직후부터 강봉 삽입 구멍에 충전한 무수축 모르타르가 어느 정도 경화하여 하중전달이 가능해 질 때까지 계단실의 모든 하중은 서포트가 지지하는데, 서포트의 설치 및 해체를 용이하게 하기 위하여 서포트 및 명예를 시스템화하고 명예에는 고무패드를 부착하여 무수축 모르타르의 거푸집 역할을 수행하도록 하였다(그림6 요소기술2).

세 번째 요소기술은 선 시공된 코어 내부로의 PC부재 반입 및 설치 공정인데, 일반적으로 코어에 사용되는 대형 시스템 거푸집은 내부에 작업발판이 설치되어 있어 그 사이 공간이 80~100cm 정도에 불과하기 때문에 PC 부재 반입 시 간섭이 생긴다. 본 공법에서는 타워 크레인 와이어에 바로 PC 부재를 연결하지 않고, 와이어와 부재 사이에 전동호이스트를 설치하여 반입 및 설치 시 부재를 회전시키는 방식으로 이를 해결하였다(그림6 요소기술3).

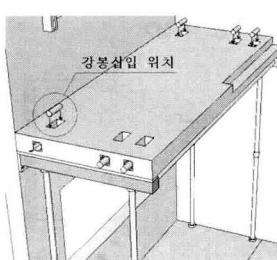
네 번째로, 본 시스템에서 PC 계단은 최상부 코어 골조 2~3개층 하부까지 설치가 가능하므로 최상부 층에 대해 별도의 수직이동 통로의 확보가 요구되며, 현장여건에 따라 가설통로 계획을 세워야 한다. 저층건물에서는 건물 외부에 설치된 비계에 가설계단을 설치할 수 있고, 고층건물에서는 안전상 문제로 계단실 코어 내부 거푸집 또는 엘리베이터 샤프트 거푸집에 가설계단을 설치하여 수직이동 통로를 확보할 수 있으며(그림6 요소기술4), 자재를 상부 층으로 인양하기 위해 통상적으로 슬래브에 위치하는 자재 반입구를 확대하여 사용 가능하다.



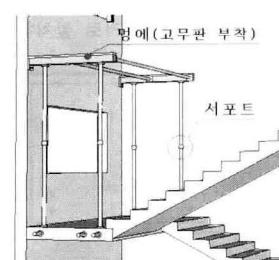
(a) PC 부재 분할도 (평면도)



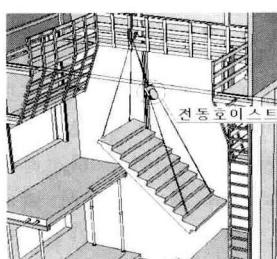
(b) PC 부재 분할도 (A-A' 단면도)



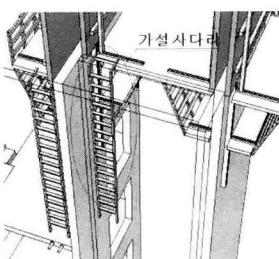
요소기술1. PC 참-벽체 접합방식



요소기술2. 시스템 서포트



요소기술3. 부재반입 및 설치



요소기술4. 가설통로

그림6. COSEC 시스템의 요소기술 상세

결과적으로 COSEC 시스템은, 대형 거푸집에 의한 코어 벽체의 연속시공과 함께 모든 계단부재를 PC화하였기에 품질이 우수하고 마감 공정을 최소화할 수 있는 시스템을 구현할 수 있다.

#### 4. 현장사례에 근거한 요소기술 분석

COSEC 시스템은 2002년 개발 후, 주상복합 현장 Mock-up 시공을 필두로 오피스텔, 미디어 센터 그리고 아파트에 적용되었다. 적용 현장의 여건에 맞추어 당초 계획대로 시공된 현장이 있는 반면, 부분적인 생략과 추가과정을 거치면서 개선되었다. 따라서 이 곳 현장적용 사례를 근거로 앞서 제시한 각각의 요소기술의 변화과정을 분석하여 COSEC 시스템의 발전을 도모하고자 한다.

##### 4.1 PC 참-벽체 접합방식

본 공법에서 경사판은 참에만 단순 지지하고, 참과 벽체에 동시에 물려 있는 강봉에 의해 하중이 벽체에 전달되는 전단접합을 사용한다. 구체적인 시공과정은 그림7과 같다.

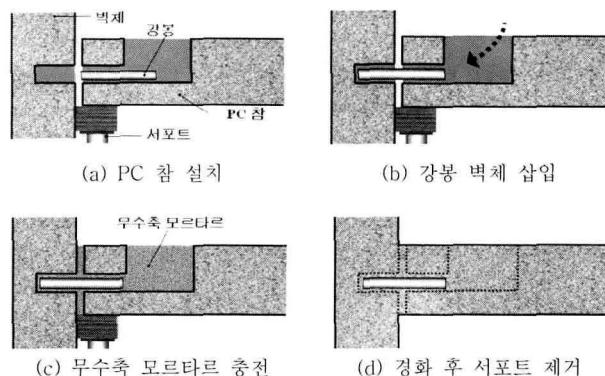


그림7. PC 참-벽체 접합개념

이를 위해 PC 참에는 강봉 삽입을 위한 강재박스를 매립하며, 강봉의 지름은 25mm이나 시공오차를 대비하여 PC 참 강재박스의 삽입부 및 벽체 슬리브의 지름은 50mm로 여유를 둔다.

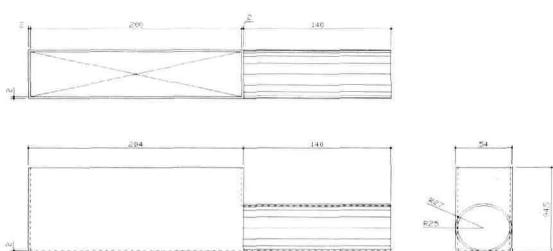


그림8. 강봉 삽입을 위한 강재박스

먼저 주상복합 현장은 공법 개발 초기의 Mock-up 시공으로서, 적용 현장의 여건상 거푸집의 수정이 불가능하여 벽체 시공 및 거푸집 탈형 후 코어링을 하여 강봉 삽입 구

멍을 형성하였다. 결침턱 역시 동일한 이유로 벽체 시공 및 탈형 후에 커팅하여 형성하였다. 강봉에 전달되는 전단력에 의해 강봉 및 강재 박스 주변의 응력 집중이 우려되므로 공장에서 기계 가공한 사각의 나선 철근으로 각각의 강재 박스 주위를 보강하였다. PC 중간참의 양쪽 단부는 전단키를 두어 무수축 모르타르 충전 및 양생 후 전단키에 의해서도 어느 정도 전단력이 분배될 수 있도록 하였다.

두 번째 오피스텔 현장에서는, 강봉 삽입을 위하여 PC 참과 벽체 쟁점(G/F)에 각각 강재박스와 슬리브를 매립하고, 결침턱도 미리 형성하여, 당초 계획대로 시공하였다. 계단참과 연결되는 슬래브 부분은 계단설치 전 현장 타설하여 골조공사의 오차가 크므로, 슬래브 최종 마감재를 시공하기 전에 27mm 정도의 미장 마감을 하도록 설계하고, 마감이 불필요한 PC 부재는 기존 세대 슬래브보다 27mm 높게 설치한 후, 미장 마감 부위에서 레벨 오차를 흡수하도록 개선하였다.

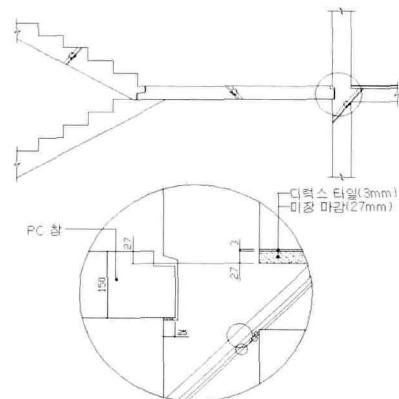


그림9. 오피스텔 현장 PC 참-슬래브 레벨 상세



그림10. PC 참 강재박스 및 결침턱 보강 단면

Mock-up 시공 시 설치하였던 전단키는, 시공이 불편하고 품질확보에 큰 문제가 없어 본 논문의 두번째 현장에서부터는 생략하였다. PC 참 강재 박스 부근을 나선철근으로 보강하였으나 보강근의 인장력에 의해 강봉의 하중에 보다 잘 저항할 수 있도록 상세를 보완하였고, 박스 자체에 정착 철근을 용접하여 한번에 설치되도록 하였다(그림10).

세 번째 미디어 센터 현장에서는, 선릉 오피스텔 현장과 같은 방식으로 시공하였으며, 슬래브 마감 관련하여 변경이 있었다. 당초 27mm 몰탈 후 3mm 비닐타일시공이었던 사무실 바닥 마감을, 몰탈 시공 없이 콘크리트 기계미장 후 3mm 비닐타일 시공으로 설계 변경하여, PC 계단 시공 시 정확한 레벨관리가 필요하였다. 그리고 결침턱 시공 시, 불충분한 무수축 모르타르 충전으로 피복두께 불량과 함께

거푸집 탈형의 어려움이 고려되어, 결침력을 생략하여 PC 부재 및 벽체 거푸집을 설계하였다.

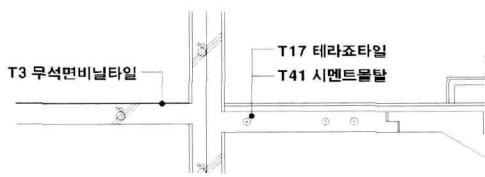


그림11. 미디어 센타 현장 계단실 마감 단면도

네 번째 아파트 현장에서는, 평면 구조상 층참을 현장 타설하였고, 경사판과 중간참만 PC 부재로 하였다. 층참의 BOX품 내부에는 중간참 양쪽 단부에 강봉 슬리브를 삽입 할 수 있도록 박스를 매립하였으나 기존 옹벽 철근의 간섭으로 설치 시공이 상당히 힘들고 세팅 시 위치가 부정화 한 문제점이 발견되어 탈착식 강봉 슬리브를 별도로 제작 하여 시공 시 활용하도록 하였다. 그리고 계단실 마감이 무기질계 무너코트이므로 PC 자재의 바탕면 자체가 마감 품질과 직결되기 때문에 자재품질관리에 최대한 주의를 기울였고 경사판과 층참과는 40mm의 단차를 두어 PC 시공 후 층참에 미장 마감이 가능하도록 설계하였다.

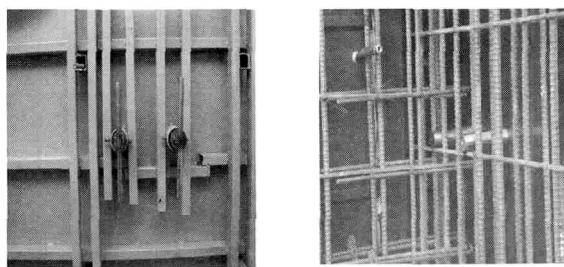


사진1. 탈착식 강봉 슬리브 부착

#### 4.2 시스템 서포트

PC 참 설치 직후부터 강봉 삽입 구멍에 충전한 무수축 모르타르가 어느 정도 경화하여 하중전달이 가능해 질 때 까지 계단실의 모든 하중은 서포트가 지지하는데, 서포트의 설치 및 해체를 용이하게 하기 위하여 서포트 및 명예를 시스템화하는 기술이다.

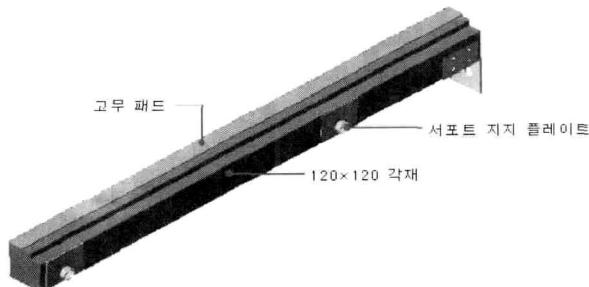
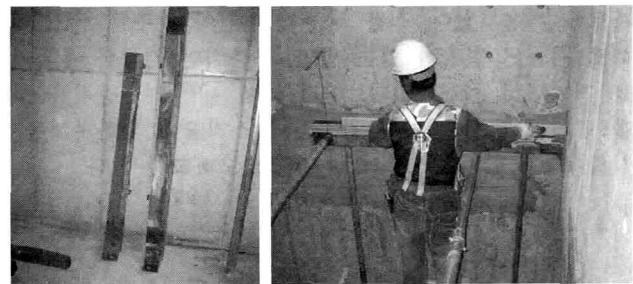


그림12. 시스템 서포트의 명예부분

시스템 서포트는 현장에서 제작하였고, 각재 위에 수평, 수직 서포트의 고정을 위한 플레이트를 부착하였고 서포트

상부 및 벽체 밀착 부위에는 고무 패드를 부착하여 무수축 모르타르의 거푸집 역할을 수행하도록 한다. 시스템 서포트는 사진2.에서와 같이 수평지지 서포트를 이용하여 양쪽 벽체에 밀착되도록 설치한다. 또한 서포트의 높이가 PC 참의 최종 레벨을 결정하므로 수평 및 높이 조절에 유의하여 설치한다. 이는 한 층의 PC 부재 조립 및 모르타르 충전이 완료되고 무수축 모르타르가 일정 강도 이상 경화한 후 해체하여 다음 층에 전용하여 사용한다.



(a) 현장 제작

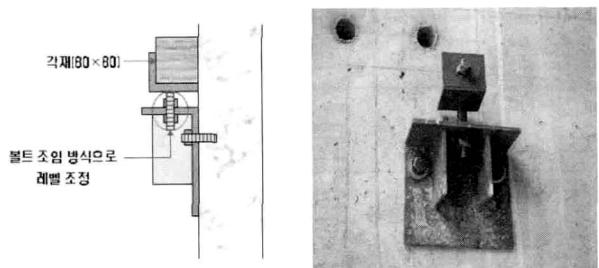
(b) 설치 작업

사진2. 시스템 서포트의 제작 및 설치

첫 번째 주상복합 Mock-up 시공에서는, 적용 층수가 2개 층에 불과해 PC 참 지지용 서포트를 시스템화하지 않았다. 일반 서포트를 사용함으로써 안전 및 무수축 모르타르의 흐름 방지 기능은 현격히 떨어졌다.

두 번째 오피스텔 현장과 세 번째 미디어 센타 현장에서부터, 공법이 당초 의도한 바대로 시스템 서포트가 적용되었으며, 일반 서포트 사용에 비해 무수축 모르타르의 소실이 적어 재료의 효율뿐 아니라 공극 발생으로 인한 단면 손실을 예방할 수 있었다. 하지만 시스템 서포트 명예 부분을 받치는 지지 서포트의 설치에 대한 시공성과 설치 시 안전에 취약하다는 문제점이 제기되었다.

따라서 네 번째 아파트 현장에서는, 명예 지지방식으로 사용하던 서포트를 브라켓 방식으로 개선하여 적용하였다 (그림13). 브라켓의 볼트 개수 및 규격은 PC 참의 하중을 고려하여 구조 검토 후 결정하였다. 기존 시스템 서포트 방식으로 시공 시, 작업속도가 더디고 시공 중간에 중간참 하부로 작업자를 투입해야 하는 위험을 감수해야 하는 반면, 브라켓 탑입의 경우 설치도 비교적 간단하고 레벨관리도 용이해서 공기단축이나 품질관리 측면에서는 상당히 유리하다고 판단된다.



(a) 브라켓 탑입 상세

(b) 브라켓 탑입 시공 사진

그림13. 시스템 서포트 중 브라켓 탑입

#### 4.3 부재 반입 및 설치

본 공법에서는 타워크레인 와이어에 바로 PC 부재를 연결하지 않고 와이어와 부재 사이에 전동호이스트를 설치하여 PC 부재를 회전시키는 방식을 사용한다. 리모컨(Remote Control)으로 하부에서 전동호이스트를 원격 조정하여 PC 부재를 세워서 거푸집의 발판 사이를 통과시킨 후 설치 위치에서 설치 각도에 맞게 PC 부재를 회전시켜 세부 조정하여 설치한다.

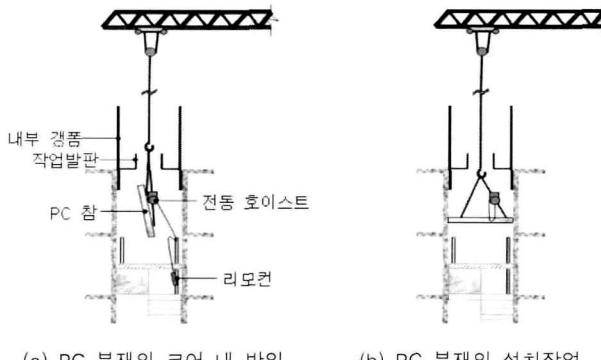


그림 14. 전동호이스트를 이용한 부재의 반입 및 설치

계단실의 세로폭을 2,600mm라고 가정할 때, 코어 벽체 골조 오차  $\pm 20\text{mm}$ 를 고려하여 PC 참의 폭을 2,560mm로 설계하면 참의 최대 대각선 길이는 2,564mm가 되므로, 부재 반입 및 계단실 내에서의 회전을 위하여 계단실 벽체의 시공오차는 36mm가 허용된다. 또한 벽체의 배부름으로 경사판이 벽체에 밀착되지 않을 것을 대비하여 경사판과 만나는 부분의 결침턱 폭에는 10mm의 여유를 둔다. 현장에 따라 차이가 나지만 PC 참과 경사판의 무게는 1개당 대략 0.8~1.7 tonf의 범위에 있으므로 전동호이스트는 한쪽만 부담하므로 2 tonf 용량을 사용한다. PC 부재에 고정한 네 개의 양중 고리 중 한쪽 두 개의 양중고리에는 4m 슬립벨트를 1/2 접어서 걸고 전동호이스트를 연결하여 타워크레인 고리에 전다. 다른 두 개의 양중고리에는 6m 슬립벨트를 걸어 타워 크레인 고리에 직접 연결한다(그림15).

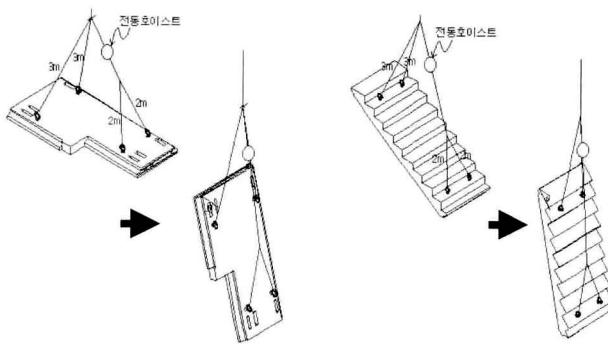
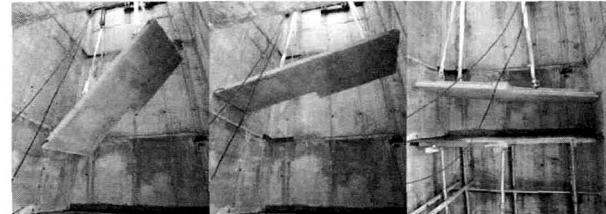


그림 15. PC 부재 양중 방법

타워 크레인과 전동호이스트를 이용하여 PC 참을 세워 상부 코어 거푸집 사이를 통과, 코어 내부로 반입한다. 부

재를 하강시킨 후 다시 전동호이스트를 이용하여 부재를 수평으로 회전시키고 타워 크레인과 전동호이스트, 그리고 인력으로 중간참의 강봉 구멍과 벽체의 강봉 삽입 구멍의 위치가 일치하도록 세부 조정하여 시스템 거푸집 위에 앉힌다. 제자리 설치 후에는 PC 참 강재 박스 속의 강봉을 벽체 구멍 쪽으로 밀어 넣어 접합한다(사진3). 이와 마찬가지 공정으로 PC 경사판을 코어내부로 반입한 후, PC 참과 단순지지 방식으로 조립한다.



(a) 전동 호이스트를 이용한 PC 참 회전



(b) PC 참 설치 작업

사진3. PC 참 반입 및 설치 과정

주상복합 현장 외 2개 현장(오피스텔, 미디어 센터 현장)에서 당초 계획된 위의 방법에 따라 부재 반입 및 설치를 하였다. 다만 두 번째 오피스텔 현장에서는 계획된 4개의 계단실 공사 중, #4 코어 계단실의 경우 층참의 길이가 길어 양중 및 조립의 어려움이 있었고 중량 과다로 부재의 양중 및 조립의 어려움이 있어 PC 참을 2개로 분할하여 총 5개의 PC 부재로 설계하였다(그림16).

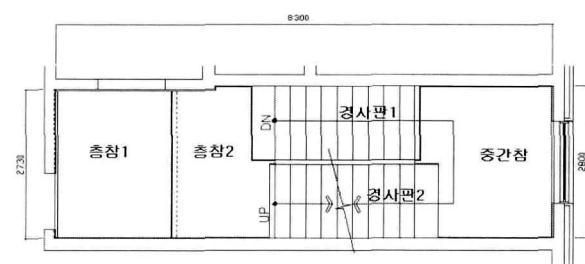
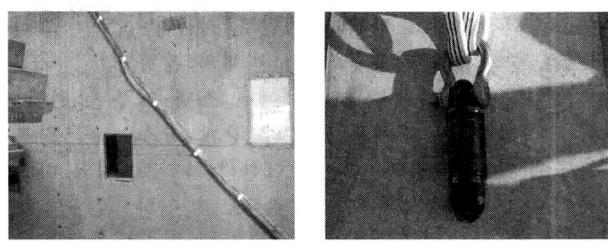


그림16. 오피스텔 현장 #4 계단실 PC 부재 분할도

마지막 아파트 현장에서는, 자재 양중 및 반입 시 케이블과 와이어의 꼬임 발생 문제가 제기되었다. Box폼 내부로 부재 반입 시 이 꼬임 현상 때문에 시공의 편의성은 물론 안전상에도 문제가 발생한다고 판단되어 케이블 타이를 이용하여 케이블자체의 꼬임 현상을 방지하고 롤링 커넥터를 별도로 제작 설치하여 와이어 꼬임을 최소화하였다. 하지만 여전히 본 공법의 시공의 편리성 이면에 있는 부재의 낙하 비례 등 안전상의 취약점은 해결해야 할 과제이다.



(a) 케이블 꼬임방지용  
케이블 타이 사용  
(b) 와이어 꼬임방지용  
롤링 커넥터 사용

사진4. 케이블 및 와이어의 꼬임방지

#### 4.4 가설통로

본 시스템에서 PC 계단은, 코어 선행 공법을 제외하고 코어 내부 벽체 거푸집의 간섭으로 최상부 코어 골조 2~3개 층 하부까지 설치가 가능하므로 최상부 2~3개 층에 대해 별도의 수직 이동통로의 확보가 요구된다. 이에 대해 현장 여건에 따라 다음과 같이 네 가지 정도의 방식으로 가설 통로를 계획할 수 있다.

저층건물에서는, 건물 외부에 기 설치된 비계에 가설계 단을 설치하여 대체 이동 통로로 사용할 수 있다(그림17). 이 방법은 설치 및 안전상의 한계를 갖기 때문에, 고층건물에서는 계단실 코어 내부 대형 거푸집에 착탈식 또는 접이식의 가설 계단을 설치하여 하부 1~2개 층까지 수직이동 통로를 확보할 수 있다. 이와 유사하게 엘리베이터 샤프트 거푸집 내에 가설 계단을 설치하는 방식도 사용 가능하다(그림18). 또한 일반적인 RC공사에서 거푸집 등의 자재를 상부 층으로 인양하기 위해 두는 450mm×900mm 크기의 자재 반입구를 사람의 통행이 가능한 크기로 확대하여(600mm×1500mm) 가설 통로를 확보할 수 있다(그림19).

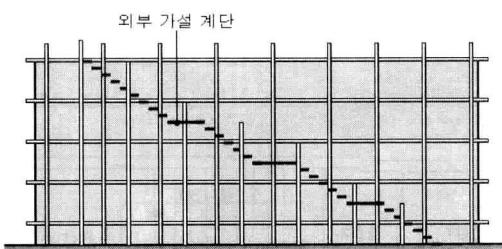
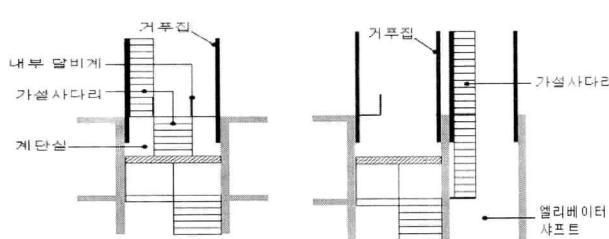


그림17. 저층건물에서 수직이동 계획



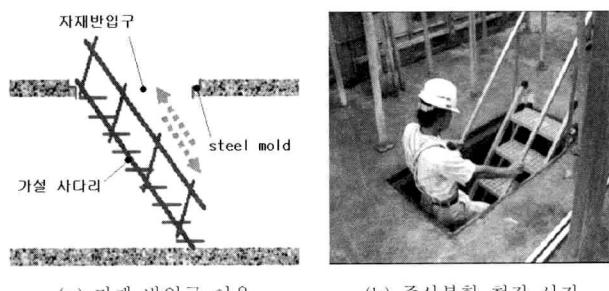
(a) 내부 가설계단 이용  
(b) 엘리베이터 샤프트 이용

그림18. 고층건물에서 수직이동 계획

첫 번째 주상복합 현장에서는, 일부만 본 공법을 적용하여 기존 재래식 타설한 계단으로의 수직이동이 가능하기 때문에 별도의 수직 가설통로가 필요치 않았다.

두 번째 오피스텔 현장에서는, 별도의 설치작업 없이 가장 간단하게 수직 통로를 확보할 수 있는 내부 자재 반입구를 이용하였는데, 자재와 사람의 이동이 같이 이루어져야 하므로 작업에 불편이 따랐다.

세 번째 미디어 센타 현장에서는, 현장 바닥 골조가 철골 데크로 이루어져 자재 반입구가 존재하지 않으므로, 외부에 가설 비계 계단을 설치하여 수직이동 통로로 사용하였다며 내부 계단이 완성된 이후에도 사용을 지속할 수 있었다.



(a) 자재 반입구 이용  
(b) 주상복합 현장 사진

그림19. 자재 반입구를 이용한 수직이동 계획

마지막으로 아파트 현장에서는, 기존 네 가지 방식 이외의 방법인, 외부 갹폼을 이용한 가설통로가 고안되어 사용되었다(사진5). 외부 시스템 거푸집을 이용한 방법은 수직이동에 있어서 기존의 재래식 공법과 거의 같은 작업효율을 이를 수 있었다는데서 그 의미를 찾을 수 있다.



사진5. 외부 갹폼을 이용한 수직이동 계획

#### 5. 성능 분석

##### 5.1 품질

본 공법에서는 계단실 내부 벽체를 대형 거푸집으로 연속 시공하고, 계단 부재를 PC화하여 계단과 계단실 모두의 품질을 향상시킬 수 있었다. PC 부재는 마감 면이 우수하여 기존의 공법에서 바탕 모르타르의 생략이 가능하며 별도의 마감 없이 아크릴페인트 등의 마감으로도 시공을 완

료할 수 있다. 따라서 환경적인 면에서도 장점을 가진다.

그러나 품질관리 측면에서 몇 가지 문제점을 노출하였다. PC 부재 생산 시 치수 오류 및 탈형 파손, 이동시 발생하는 파손, 보관 시 적층 보관으로 인한 휨, 시공 시 모서리 손상 등이 있다. 이를 개선하기 위하여 현장마다 나름대로의 품질관리 기준을 강화할 필요가 있으며, 공통적으로 제작치수 검사 철저, 노출면 상태 확인 철저, 현장 보수 지양, 자재 공간 확보 및 관리, 부재 넘버링 관리, 자재 반입시기 확인 등이 필요하다.

PC 부재 간 조인트 처리에서도 문제점들이 있었는데 벽체 이격부위 마감처리 불량, RC-PC 접합부 단차 발생, 기타 부재 표면 기포 발생, 인양 고리 돌출, 접합 부위 배부를 현상 등이 있으며, 이를 개선하기 위하여 시공 전반에 관한 철저한 품질관리 및 자재검수가 필요하다.

이러한 문제점들에도 불구하고 분명한 것은 기존의 재래식 공법보다 훨씬 용이하게 품질을 확보할 수 있음을 사례현장을 통해 알 수 있었다.

## 5.2 원가

본 공법의 개발 당시, 30층, 500세대 공동주택에서 적용 부위 50개소를 대상으로 한 기대 원가는 재래식 RC 공법의 90%선 이었다. 기존 RC 공사에 있어서 품질 확보가 어려운 계단실을 PC로 하여 품질이 뛰어나고 원가 또한 절감되는 것으로 분석 되었다.

적용현장은 분석한 결과, 당초 예상 원가 기준과는 상이하여 단순 비교가 어렵지만, 기존 재래식 RC 공법 대비 15층 공동주택 기준으로 1층당 105.8%, 20층 공동주택 기준으로 103.0%로 분석 되었다. 이는 기존 RC 공법 대비 원가개선은 없는 것으로 보이나, 월등한 품질을 감안하여 나타나는 원가는 향후 적용하는데 있어 큰 부담은 아닐 것으로 기대된다. 또한 적용층수가 늘고 부재의 개수가 늘어나면 단가는 떨어지므로 대형 공동주택현장에서 본격 적용하면 기존 공법 단가 이하로 시공이 가능할 것으로 예상된다. 간접비에 있어서도 작업 부산물이 현저히 줄어드는 등 현장정리비 등의 절감으로 인한 원가절감을 포함한다면 그 효과는 더 기대할 수 있다.

표2. COSEC 시스템의 RC 계단공법 대비 투입원가율

구분	당초 예상원가율	실투입원가율(15층)	실투입원가율(20층)
재래식 대비	90.3%	105.8%	103.0%

## 5.3 공정

본 시스템은 계단실 코어를 대형 거푸집으로 시스템화하여 연속 시공하고, 시공이 어렵고 복잡한 계단실 참파 경사판을 PC화하여 간단히 설치함으로써, 공기단축의 효과가 크다.

실제 적용현장의 사례에서도 기존의 RC 공법이 계단실 만 순수하게 시공하는 것으로 계산하여 13시간이 걸린 반

면, 본 공법은 2시간 전후로 1개 층을 설치 완료하였다. 기존의 PC 공법인 계단실 동시 시공 PC 공법과 계단참 콘크리트 후 타설 PC 공법의 1개층 시공 소요시간은 5시간 내외로, COSEC 시스템이 타 PC 공법에 비해서도 월등하였다.

하지만 본 공법의 설치 방식은 양중장비에 의존하는 방식이므로 타워크레인 등 양중장비의 작업시간 간섭도 발생함을 사례현장에서 알 수 있었다. 이를 개선하기 위하여 현장 개설 초기부터 타 공종의 여유시간이 발생하지 않도록 공정을 철저히 계획하여야 할 것이다.

표3. 계단 공법별 작업시간 대비



## 6. 결론

최근 건설현장에서의 노동 생산성 악화로 인력 효율을 극대화시킬 수 있는 PC 공법의 필요성은 나날이 증대하고 있으나 PC 부재 설치 작업의 어려움, RC 부분과의 접합부 처리의 어려움, 비용의 상승 등으로 실제 현장에서의 활용도는 기대치에 못 미치고 있는 현실이다. COSEC 시스템은 계단실 내부 벽체 거푸집의 대형화, 모든 계단부재의 PC화를 통해 이러한 난점을 극복하고 인력절감, 공기단축, 품질향상 등을 도모하여 건설 환경 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 공법이다.

본 공법은 2002년 개발 후 지금까지 현장적용을 거치면서 개선되고 있으며 본 논문에서는 COSEC 시스템의 요소기술을 간략하게 소개하고, 실제 적용된 건설현장의 시공 사례를 근거로 본 공법의 개선된 요소기술을 제시하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. PC 참과 RC 벽체의 접합은, 시공 편리성을 향상하기 위하여 PC 참과 벽체에 동시에 물리는 강봉에 의한 전단 접합을 사용한다. 현장 적용 과정에서 PC 참 강재박스 부근의 보강근의 상세를 변경하여 인장력에 의해 강봉이 하중에 저항할 수 있도록 개선하였고, PC 참과 연결되는 RC 슬래브에 미장마감을 설계하여 시공 시 레벨오차를 흡수하도록 개선하였다.

2. PC 참 설치 시 하중을 지지하고 무수축 모르타르의 거푸집 역할을 수행하는 시스템 서포트는, 명예부분은 당초 계획대로 현장에서 제작되어 사용되었으며, 서포트를 브라켓 타입으로 개선하여 현장에서 제작되었던 서포트 설치의 시공성과 안전문제를 해결하였다.

3. COSEC 시스템에서 요구되는 최상부 2~3개 층에 대한 가설통로 기술은, 당초에 외부비계를 이용하는 방법과 내부 가설사다리를 이용하는 방법, 그리고 자재 반입구를

이용하는 방법이 계획되었다. 그 외에도 외부 생폼을 이용한 가설통로가 고안되어, 수직이동에 있어서 기존의 재래식 공법과 거의 같은 작업효율을 이루도록 개선하였다.

COSEC 시스템을 적용한 현장을 통하여, 품질, 원가, 공정 면에서 기존의 공법에 비해 월등한 성과를 확인할 수 있었다. 다만 PC 부재의 생산, 이동, 보관과 시공 전반에 관한 철저한 품질관리 및 자재점수가 필요한 것으로 판단되었으며, 공정 면에서 양중장비에 의존하는 방식이므로 타 공정과의 간섭을 최소화하기 위해서는 비록 짧은 시간이지만 PC 설치 공정을 반영한 공정 관리가 필요하다.

### 감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고, 한국건설교통기술평가원에서 시행한 2006년도 건설핵심기술 연구사업 「공기 단축형 복합구조시스템 건설기술」(과제번호: 05 R&D 건설핵심 D02- 01) 연구 사업으로부터 논문 작성에 일부 지원을 받았으며, 이에 감사드립니다. 또한 본 논문 작성에 도움을 준 연세대학교 첨단구조연구실 이석용 연구원에게 감사의 뜻을 표하는 바입니다.

### 참고문헌

1. 민병호, 장호운, 도건효, 주택건설 공업화기술의 장애요인, 대한건축학회논문집, 제7권 2호, p.p.281~292, 1991
2. 정하선, PC기술 고도화를 위한 향후 연구과제, 공업화 주택 기술향상을 위한 섬포지엄 발표집, 대한건축학회, 1993
3. 이종민, 최일섭, PC 구조의 현재와 미래, 대한건축학회 학회지, 제51권 4호, p.p.76~82, 2007
4. 이종민, 김영길, 류재천, 박금성, 배규웅, 벽식구조 복합화 공법 개발에 따른 수직 접합부의 진단내력에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 구조계, 제16권 8호, p.p.11~18, 2000
5. 대한주택공사 주택연구소, PC슬래브-현장타설벽체 복합시스템 개발, 대한주택공사, 1995
6. 안성훈, 이웅균, 강경인, 건설업의 PC 기술 활성화 방안에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 구조계, 제20권 7호, p.p.135~142, 2004
7. 김범기, 석성준, 이웅균, 안성훈, 강경인, 초고층 주상복합 프리 캐스트 콘크리트 구조물의 경제성 분석에 관한 연구, 한국건축 시공학회 논문집, 제5권 1호, p.p.89~96, 2005
8. 대한주택공사, 포항산업과학연구원, (주)두하요코모리, 슬라이딩 형 철골계단을 이용한 철근콘크리트조의 구조체 동시진행형 계단공법, 대한주택공사, 2004
9. 김상범, 이영학, 계단실 철골계단의 진동 사용성에 관한 실물대 실험, 대한건축학회 논문집 구조계, 제21권 11호, p.p.103~110, 2005
10. 김육종, 김록배, 철근콘크리트 구조에서 계단실의 연속화 시공을 위한 프리캐스트 콘크리트 계단 공법(COSEC system), 대한건축학회 학회지, 제49권 2호, p.p.100~108, 2005
11. 조홍덕, 프리캐스트 콘크리트 계단(COSEC System)의 현장 적용 사례 분석, 연세대학교 석사학위 논문, 2007
12. 대한주택공사 주택연구소, 복합구조연구보고서, 대한주택공사, 1980

13. 김록배, 김육종, 이지웅, 이도범, 프리캐스트 계단의 접합방법 개선에 따른 구조 성능 평가, 대한건축학회 논문집 구조계, 제21권 11호, p.p.27~34, 2005

(接受: 2008. 4. 3)