

# 계단실 공사를 위한 PC Double Wall 공법 개발

## Development of PC Double Wall for Staircase Construction

서 정 일<sup>1</sup>      박 흥 근<sup>1\*</sup>      황 현 종<sup>1</sup>      임 주 혁<sup>2</sup>      김 용 남<sup>2</sup>

Suh, Jung-Il<sup>1</sup>      Park, Hong-Gun<sup>1\*</sup>      Hwang, Hyeon-Jong<sup>1</sup>      Im, Ju-Hyuk<sup>2</sup>      Kim, Yong-Nam<sup>2</sup>

*Department of Architecture & Architectural Engineering, Seoul National University, Kwanak-Gu, Seoul, 151-744, Korea<sup>1</sup>*

*Modular Business Team, SAMSUNG C&T Engineering & Construction, Seocho-Gu, Seoul, 137-956, Korea<sup>2</sup>*

### Abstract

In the present study, hollow precast concrete wall (PC Double Wall) for staircase construction was developed. Comparing the conventional walls, the PC Double Wall can be reduced the lift weight using hollow core and improves the integrity between the PC members. The cross-section and re-bar details of the PC Double Wall were developed considering precast concrete manufacturing, constructability, and the structural safety. Particularly, a form system was developed to manufacture thin and hollow core PC wall efficiently. A mock-up test for a staircase using the PC Double wall was performed to verify the constructability and integrity of the PC walls. The test result verified that joint deformation and cracking did not occur as showing good constructability.

Keywords : precast concrete, PC double wall, staircase construction method, mock-up

## 1. 서 론

계단실 공사를 위한 철근 콘크리트 (Reinforced Concrete, 이하 RC) 계단실 공법은 재래식 거푸집의 복잡성과 노무 생산성 저하, 형틀과 철근의 공정 간 간섭으로 인한 공기 지연 등의 한계 때문에 이를 개선할 수 있는 PC 공법의 적용이 필요하다[1].

현재 철골 건축물에 적용되는 계단 공법은 조립식 철골 계단 공법이 보편화되어있으며, 철근콘크리트 건축물에 적용되는 기존 PC 계단 공법은 계단실의 모든 부재를 선제작하는 방식과 계단은 선제작하고 계단참만 현장타설 하는 방식이 적용되고 있다[2]. 계단실의 모든 부재를 선제작하는 경우, PC 부재가 양중 용량을 초과할 우려가 있고 양중

시에 안전사고의 위험이 크다. 또한 계단참을 재래식으로 시공하는 경우에는 현장 콘크리트 타설 시 이음부에서 형틀과 철근 공정 간 간섭이 발생하고 이에 따른 공기 지연과 시공성 저하를 야기한다[3].

계단실 공법과 관련하여, Kim et al.[4]은 대형 거푸집 시스템을 이용하여 RC 코어 시공 후, PC 계단과 PC 계단참을 조립하는 COSEC system을 개발하여 구조 실험을 수행하였고 현장 적용을 통한 구조 성능 및 시공성을 검증하였다. 그러나 PC 부재의 양중 무게 제한으로 인하여 현장 적용의 한계가 있는 것으로 나타났다. Yoon et al.[2]은 철골 건축물에 보편적으로 적용되는 시스템 철골 계단을 RC에 적용하여 구조적 안전성을 검증하였다. 구조적 안전성에 가장 큰 영향을 미치는 시스템 철골 계단과 계단참의 스테어 앵커 접합부에 대하여 실험을 수행한 결과, 구조 설계상 요구되는 설계하중을 지지할 수 있는 내력의 3배 이상 보유한 것으로 평가되었다.

중공부가 있는 PC 벽체와 관련하여, Lee et al.[5,6]은 PC Double Wall간의 수직 접합부와 PC Double Wall과

Received : June 30, 2014

Revision received : August 28, 2014

Accepted : September 11, 2014

\* Corresponding author : Park, Hong-Gun

[Tel: 82-2-880-7053, E-mail: parkhg@snu.ac.kr]

©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

슬래브 간의 수평 접합부 성능에 대한 실험을 수행하였다. 수직 접합부의 경우, 실험체의 최대 내력이 설계 기준식에 의한 공칭강도보다 높은 값을 보여 일체 타설 벽체와 동등한 성능이 있는 것을 확인하였다. 수평 접합부 또한 면내 힘 실험 결과, 실험체 강도가 예측값보다 안전측으로 나타났으나 PC 벽체와 충전 콘크리트 사이의 경계면에서 수직 균열이 발생하여 내력이 급격히 저하됨에 따라 최종 파괴 양상이 일체 타설 벽체와 상이하게 나타남을 확인하였다.

기존 PC 계단 공법에 사용된 벽체는 일체 타설(Full PC)로 인하여 양중 적재 용량을 초과할 우려가 있으며 부재 경계면 내에서만 접합이 이루어지므로 부재 간 일체성을 확보하기 어렵다. Figure 1은 이러한 문제를 개선할 수 있는 PC Double Wall을 나타낸다. Figure 1 (a)와 같이 PC Double Wall은 60mm의 두 PC Wall이 U형 철물로 연결되어 80mm의 중공을 생성하기 때문에 기존 PC 벽체에 비해 무게를 40% 줄일 수 있다. PC Double Wall 조립 후에는 중공에 콘크리트를 타설하여 인접 부재와의 일체성을 확보한다. PC 벽체의 최소 피복 두께는 콘크리트 측압에 의한 U형 철물의 뺏힘을 방지하기 위하여 20mm로 고려하였다[10]. 따라서 PC Wall의 두께는 U형 철물과 용접 철망의 피복 두께, 측압에 의한 뺏힘을 방지하기 위한 최소 피복 두께를 고려하여 60mm이다.

Figure 1 (b),(c)는 PC Double Wall 내부의 중공을 생성하기 위한 거푸집을 나타낸다. 벽체를 세워서 제작하기 때문에 중공을 위한 내부 거푸집이 필요하며 콘크리트 양생 후 제거한다. 길이 450mm의 내부 거푸집은 500mm 간격으로 배치되며, 내부 거푸집 간 간격 50mm를 확보하여 U형 철물이 내부 거푸집 사이를 관통하도록 구성된다. 여기서 U형 철물의 역할은 콘크리트 타설시 양쪽의 PC Wall을 연결함으로써 콘크리트 측압에 저항하여 균열과 변형을 억제한다. 또한 벽체 형태를 유지하여 접합부 시공에 용이하다. 측벽 타설 후 콘크리트가 경화하면 중공 생성 구조물을 제거하여 벽체 내부에 공간을 생성한다.

PC Double Wall은 이미 유럽의 공동주택, 공장, 고층 건물 현장에 보편적으로 적용되고 있다[8]. 국내에서는 주로 Full PC 벽체의 구조 성능에 대해서만 고려하고[9,10], PC Double Wall에 대한 연구는 많이 부족하다. 이와 같이 PC Double Wall의 국내 도입은 아직 미비한 상태로 국내 실정에 맞는 PC Double Wall 제작 및 시공 방법을 개발하여 현장에 도입한다면 기존 PC 계단 공법의 한계성을 극복

할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 PC Double Wall을 적용하여 공법의 단순화 및 공업화가 가능하고 양중 및 조립이 용이한 계단실 구성 부재의 개발을 목적으로 하며, 국내 실정에 맞는 PC Double Wall을 적용한 계단실 공법을 개발하기 위하여 다음과 같은 연구를 진행하였다.

- 1) PC Double Wall 제작 시 가로 놓힘 타설 대신 세움 타설 공법을 개발하여 PC 벽체의 제작 기간을 단축하였다.
- 2) PC Double Wall 적용 시 계단실 공법 및 접합부 고려사항을 검토하였다.
- 3) PC Double Wall을 적용한 계단실 Mock-up test를 실시하여 개발한 공법의 시공성을 평가하였다.

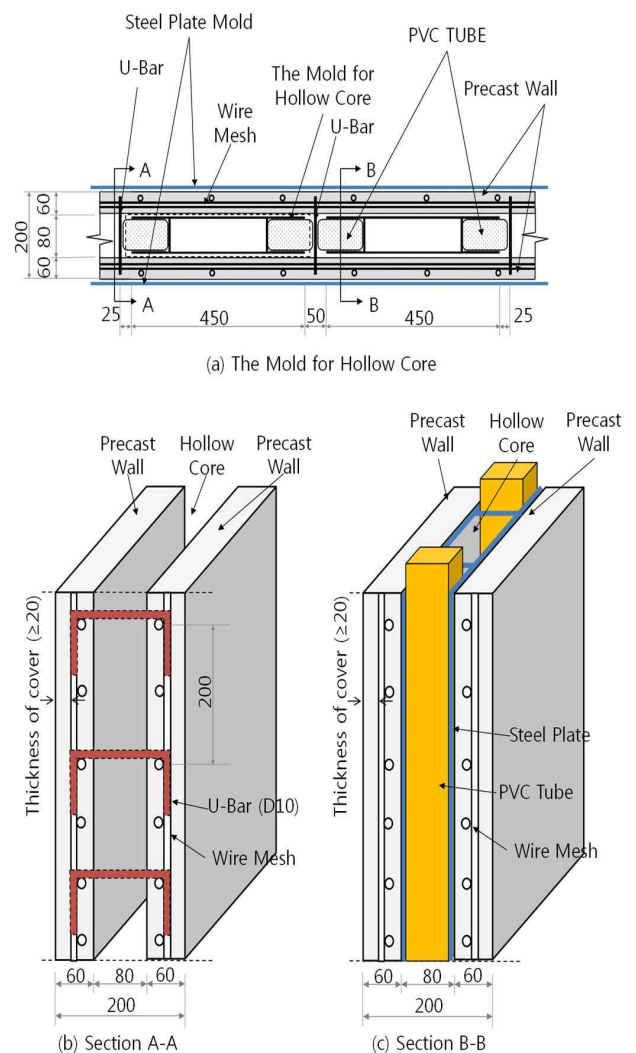


Figure 1. Configuration of PC double wall (unit:mm)

## 2. 계단실 구조 및 공법

### 2.1 기존 계단실 공법

#### 2.1.1 기존 RC 계단 공법

Figure 2 (a)는 기존 RC 계단 공법을 나타낸다. 일반적인 시공법으로서 거푸집, 동바리 설치, 철근 배근 등의 과정을 수행한다. 계단참 거푸집과 계단 거푸집은 현장에서 조립하고 철근을 배근한다. 철근 배근 후 콘크리트를 일체 타설하므로 구조적으로 견고하며 공사비가 저렴하다. 그러나 현장에서 철근 배근 및 거푸집 설치 작업이 복잡하므로 현장 전문 인력이 필요하다. 또한, 작업 통로 미확보로 인한 안전사고 발생 가능성이 높아 후속 공정에 지장을 초래할 수 있다.

#### 2.1.2 Full PC 계단 공법

Figure 2 (b)는 Full PC 계단 공법을 나타낸다. PC 벽체, PC 계단참, PC 계단 부재의 공장 생산 후, 현장에서 조립한다. PC 벽체 조립 후 계단참 및 난간을 조립하고 수직 접합부에 몰탈 시공을 한다. 이 공법은 계단실을 선시공하므로 골조 공사기간을 단축할 수 있고 가설 통로를 통한 작업자의 동선을 확보하여 안전한 시공이 가능하다. 그러나 타워 크레인의 최대 양중 용량 문제로 PC조립용 크레인을 별도로 투입해야 하고 PC 전문 조립업체의 투입으로 공정 간섭을 야기한다. 또한, RC 공법에 비하여 높은 공사비와 구조적 안전성 및 일체성 측면에서 불리하고 부재 간 접합부의 과다로 관리 소홀 시 구조적 일체성 및 방수 성능의 하자 발생 가능성 등의 문제점이 있다.

#### 2.1.3 COSEC System

Figure 2 (c)는 COSEC System의 개념도로서 대형 거푸집을 사용하여 철근 콘크리트 계단실 코어 벽체를 타설 및 양생 후, PC 계단 경사판과 PC 계단참 부재를 조립 및 설치한다[2]. PC 계단, PC 계단참 부재 및 상부 계단실 벽체를 연속 시공하는 방법으로서 PC 계단참은 강봉에 의해 벽체와 전단 접합한다. Rhim et al.[3]에 따르면, 대형 거푸집을 이용하여 벽체의 연속 시공이 가능하고 골조 품질이 우수하나, 수직 이동계획에 있어서 가설재를 이용해야 하고 PC 부재가 양중 용량을 초과할 경우 안전사고의 위험이 있다.

### 2.2 PC Double Wall 적용 계단실 공법

기존 공법의 분석 결과를 바탕으로 PC 계단 공법 시스템에 필요한 개선안은 다음과 같다.

- 1) 양중 무게를 줄이기 위하여 PC 부재에 중공을 생성하고 현장 조립 후 중공부에 콘크리트를 타설한다. 이는 부재 간 일체성 확보에도 영향을 미친다.
- 2) 계단실의 선시공을 통하여 수직 작업 통로를 확보함으로써 작업자들이 안전한 공사를 진행할 수 있도록 한다.
- 3) PC부재 간의 접합부에서는 기존 RC와 동일한 철근 정착 길이를 확보하고 현장 콘크리트 타설을 통하여 구조적 안전성을 도모한다.

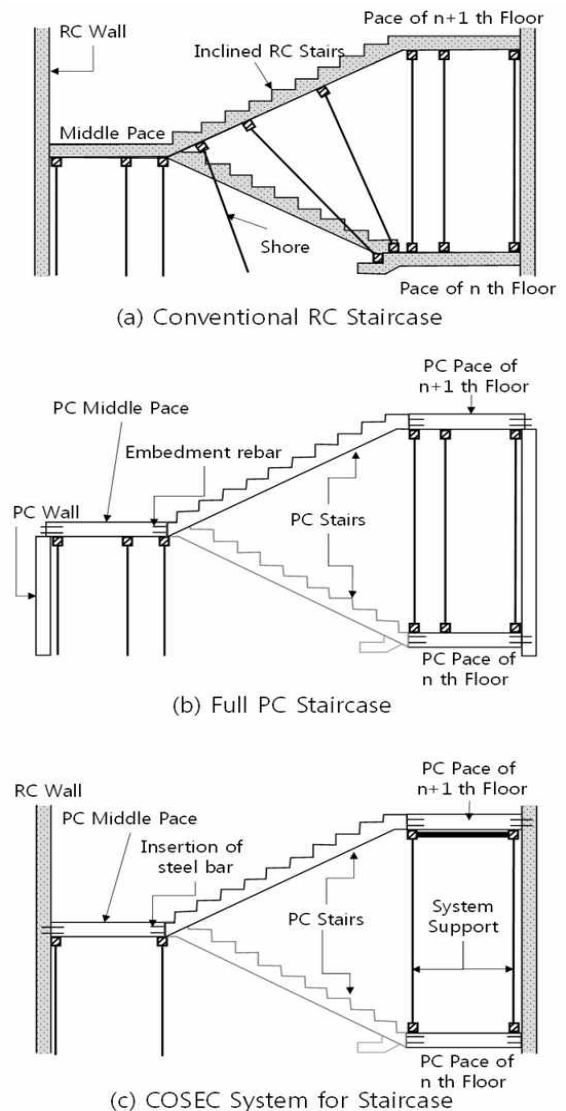


Figure 2. Comparison of staircase construction methods

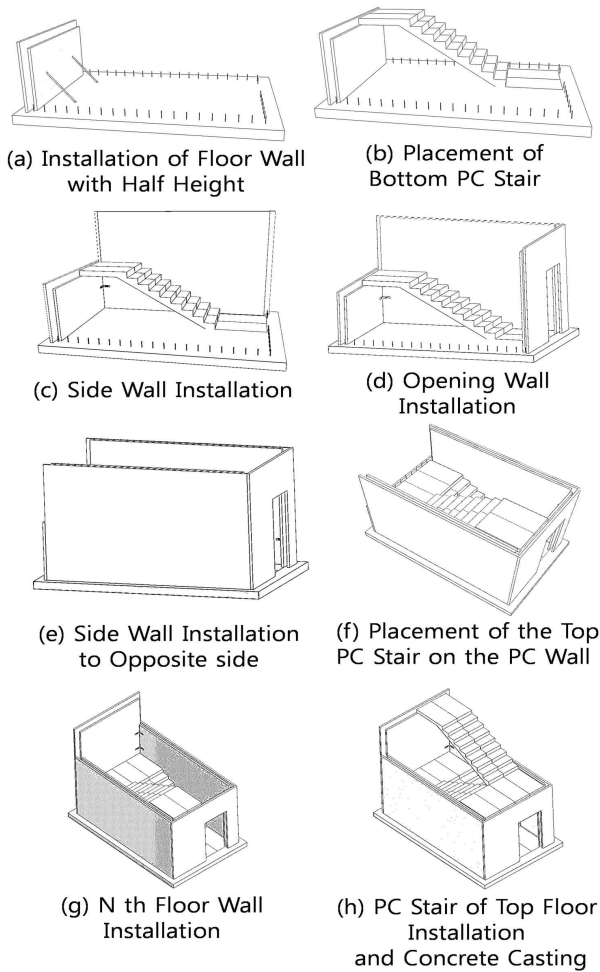


Figure 3. Proposed PC staircase construction

이러한 개선안을 만족시킴으로써 난이도가 높은 계단실 공사를 PC Double Wall을 통하여 골조 품질을 향상시키고 공기 단축, 원가 절감의 효과를 기대할 수 있다.

Figure 3은 PC Double Wall을 이용한 계단실 시공 과정을 나타낸다. 1/2 층의 PC Double Wall을 가설지주로 지지하여 설치 후, 하부 PC 계단을 PC Double Wall에 얹힌다(Figure 3 (b)). 그 다음 측면 PC Double Wall과 개구부가 있는 PC Double Wall을 순서대로 조립하고 쓰러지지 않도록 가설지주로 지지한다(Figure 3 (d)). 이때 부재가 만나는 접합부는 앵글을 덧대어 볼트로 체결한다. 계단실 벽체가 완성되면 1/2층에서 1층으로 올라가는 PC 계단을 걸치고 1/2층 PC double Wall 위치에 후속 PC Double Wall을 설치하여 측면 PC Double Wall과 조립한다(Figure 3 (f)). N층 계단실의 PC Double Wall의 조립이 완성되고 후속 1/2층의 PC계단을 설치되면 N층 PC Double Wall의 중공에 콘크리트를 타설하여 계단실 시공을 마무리한다(Figure 3 (h)).

Table 1은 기존 RC 계단실 공법과 PC Double Wall을 적용한 계단실 공법의 공정표를 나타낸다. 기존 RC 계단실 공법은 공정 간 중첩이 발생하지 않아야 하며 순차적으로 진행되어야 한다. 또한 거푸집 설치 및 해체 작업이 추가적으로 발생한다. 반면에 PC Double Wall을 적용한 계단실 공법은 PC 계단 조립과 동시에 조립된 계단참에서 벽체 중공부에 삽입되는 이음 철근의 배근 작업을 동시에 진

Table 1. Comparison of construction schedule between RC and PC double wall (1st Floor)

Wall Type	Work	1 day		2day		3 day		4 day		5 day		6 day	
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
RC	Form-work	Marking	Floating G/F, Forms			Forms of Wall and Slab							
	Rebar Arrangement			Wall						Slab			
	Facility Installation				Wall						Slab		
	Concrete												Concrete Placing
PC D/W	Rebar Arrangement			Wall		Slab							
	Facility Installation				Wall	Slab							
	Assembling	Marking	PC Wall Erection	PC Slab Erection									
	Concrete								Concrete Placing				

행할 수 있으며 별도의 거푸집 설치 및 해체 작업이 발생하지 않는다. 따라서 PC Double Wall을 적용한 계단실 공법은 기존 RC 공법보다 2일의 공기 감소 효과를 기대할 수 있다.

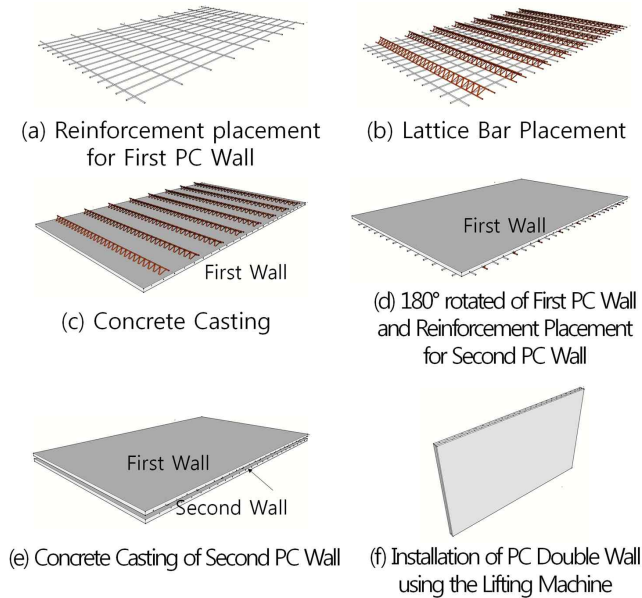


Figure 4. Conventional production method of PC double wall

### 3. PC Double Wall 제작 방법

#### 3.1 기존 PC Double Wall 제작 방법

Figure 4는 기존 PC Double Wall의 제작 과정을 나타낸다. 기존 PC Double Wall의 경우, 벽체를 놓혀놓고 제작 설비를 이용하여 얇은 PC 벽체를 두 번에 나누어 타설하여 제작한다[8]. 한 면에 수평 철근과 수직 철근, 라티스 철근을 배근한다(Figure 4 (a),(b)). 이때 라티스 철근은 앞서 제시한 U형 철물과 같이 양 쪽의 PC Wall을 연결하여 형태를 유지하고 중공에 콘크리트를 타설했을 때 측압을 저항하는 역할을 한다. 한 면에 대해 콘크리트 타설 및 양생을 하고 반전기를 이용하여 하부 PC 벽체를 180도 회전시킨다(Figure 4 (c),(d)). 마찬가지로 두 번째 벽체 면에도 수평 철근과 수직 철근을 배근한 후에, 콘크리트를 타설 및 양생한다(Figure 4 (e)). 마지막으로 리프트 머신을 이용하여 현장 반입 및 조립한다(Figure 4 (f)).

이와 같은 얇힘 타설법은 제작설비와 운송설비가 갖춰진 공장에서 중공 부분의 거푸집이 따로 필요 없이 제작 가능하기 때문에 라티스 철근을 거푸집 형태의 제약 없이 자유

롭게 배근할 수 있다. 그러나 PC Double Wall을 제작하기 위하여 총 두 번에 걸쳐 콘크리트 타설 및 양생 기간이 필요하므로 제작 기간이 오래 걸리고 설비 시스템을 따로 갖추어야 한다는 점에서 설비 시스템이 정착되어 있지 않은 국내에서는 현장 적용에 다소 한계가 있다.

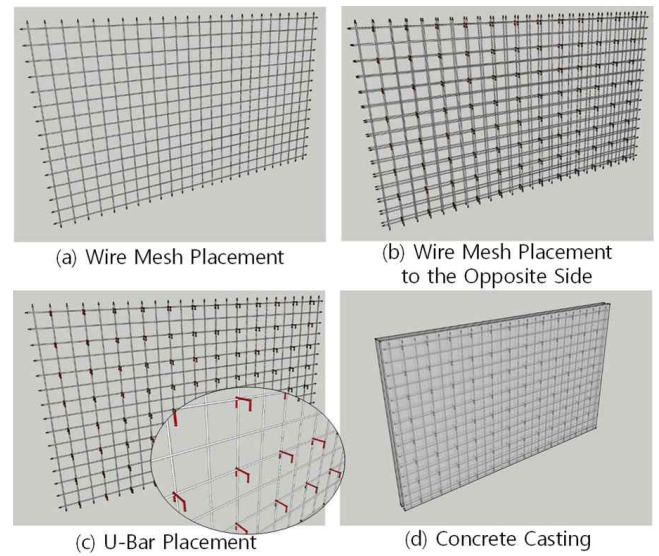


Figure 5. Proposed production method of PC double wall manufacture

#### 3.2 제안된 PC Double Wall 제작 방법

기존 Double Wall 제작 과정에서 두 번의 타설과 양생으로 인한 번거로움 및 공기 지연, 제작 설비의 국내 도입 실정을 고려하여 Figure 5와 같이 새로운 벽체 제작 방법을 제안하였다. 수직 상태에서 PC Wall 한 면의 수평·수직 철근을 배근하고 중공 확보를 위한 U형 철근을 배근한다(Figure 5 (a),(b)). 두 번째 벽면에도 동일하게 수평·수직 철근을 배근한다(Figure 5 (c)). 벽체 외부 및 중공 구간에 거푸집 설치 후, 콘크리트를 일체 타설 한다(Figure 5 (d)). 경화 후에는 거푸집을 떼어내고 운반 및 조립한다. 이는 기존 PC Double Wall 제작 과정처럼 두 번의 콘크리트 타설이 필요 없고, 반전기와 같은 기계 설비를 사용하지 않아서 제작 벽체의 크기 제한이 필요 없다. 반면 중공 부분에 해당하는 거푸집을 따로 제작해야 하므로 벽면을 연결하는 철물을 단순화해야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 기존 방법의 라티스 철근을 대신할 U형 철물을 배치하여 중공 생성 구조물의 제작과 삽입을 용이하게 하고 배근을 단순화하였다.

실제 PC Double Wall의 제작 과정은 Figure 6과 같다.

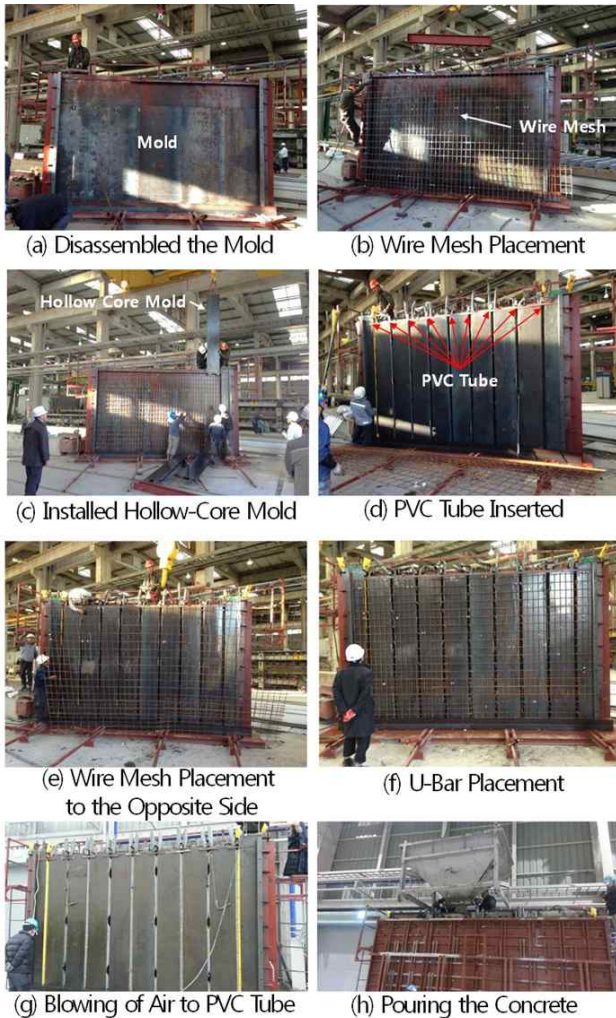


Figure 6. Proposed manufacture process of PC double wall

설치된 강판 거푸집의 한쪽 면에 박리제를 도포하는 동시에 용접 철망을 세워서 설치하고 중공 생성 구조물을 거푸집에 고정하였다(Figure 6 (c)). 고정된 중공 생성 구조물 사이에 PVC튜브를 조립하고 반대편 용접 철망을 설치하였다(Figure 6 (e)). 설치된 두 용접 철망을 연결하는 U형 철물을 좌·우 500mm 간격, 상·하 200mm 간격으로 일정하게 배치하고 벽체 상단에 양중 고리를 설치하였다(Figure 6 (f)). 그 후, 반대편 강판 거푸집을 조립하고 중공 생성구조물 양단에 삽입된 PVC튜브에 공기를 주입시켰다(Figure 6 (g)). PVC튜브는 콘크리트 타설 시 벽체 사이를 지나가는 U형 철물에 콘크리트가 침투하지 못하도록 팽창되고 콘크리트가 경화하게 되면 튜브의 공기를 배출시

켜 페이스트가 U형 철물로 침투하는 것을 방지한다. 마지막 과정인 콘크리트 타설 후 일정 시간이 경과하면 중공 생성 구조물을 제거하고 경화된 PC Double Wall을 양중하였다(Figure 6 (h)).

#### 4. PC Double Wall의 균열 저항 성능 검토

PC Double Wall의 중공에 콘크리트 타설 시, 두께 60mm의 PC Wall이 받는 측압 P는 식 (1)과 같다.

$$P = 1.5 W_0 + 0.2 W_0 \times (H - 1.5) \text{-----} (1)$$

여기서,  $w_0$ 는 콘크리트 자중,  $H$ 는 벽체의 높이를 나타낸다. 콘크리트 자중  $w_0=2400\text{kg/m}^3$ , 벽체 높이  $H=3\text{m}$ , 타설 속도  $2.1\text{m/s}$ 이하, 슬럼프  $120\sim 150\text{mm}$ 로 가정했을 때, 벽체 최하단부에서 약  $42\text{kN/m}^2$ 의 최대 측압이 발생하였다.

U형 철물 간격 500mm에 대하여 콘크리트 측압에 의한 균열모멘트와 변형량을 유한 요소 해석을 통하여 분석하였다. PC Double Wall의 상·하단부에 대해서는 단순보 지지로 가정하였고 양단부에 대해서는 U형 철물에 의하여 고정된 것으로 가정하여 벽체 인장 측의 균열 모멘트는 식 (2)와 같다[10].

$$M_{cr} = \frac{0.63 \sqrt{f_{ck}} I_g}{y_t} \text{-----} (2)$$

여기서,  $f_{ck}$ 는 콘크리트 강도(=24MPa),  $y_t$ 는 도심에서 인장측 외단까지의 거리,  $I_g$ 는 전단면에 대한 단면 2차 모멘트를 나타낸다. 식 (2)에 의한 PC Double Wall의 균열 모멘트  $M_{cr}$ 은  $0.77\text{kN} \cdot \text{m}$ 로 유한 요소 해석에 의한 요구 모멘트  $0.61\text{kN} \cdot \text{m}$ 보다 큰 것으로 나타났다. 따라서 U형 철물을 통하여 PC Wall은 콘크리트 측압에 저항할 수 있고 균열 발생을 억제할 수 있다. 또한 유한 요소 해석 결과, 측압으로 인한 변형은 벽체 하단부에  $0.2\text{mm}$  발생하는 것으로 나타났다. 이는 ‘건축 공사 표준 시방서’와 ‘콘크리트 표준 시방서’의 변형량 기준인  $3\text{mm}$ 보다 현저히 작으므로 콘크리트 측압에 의한 PC Double Wall의 변형량은 기준을 만족한다[11, 12].

식 (3)은 콘크리트 건조 수축 변형률을 나타낸다.

$$\varepsilon_{sh}(t, t_s) = \varepsilon_{sho} \beta_s(t - t_s) \text{-----} (3)$$

여기서,  $\varepsilon_{sho}$ 는 기본 수축 변형률,  $\beta_s(t, t_s)$ 는 재령에 따른 건조 수축 계수,  $\varepsilon_{sh}(t, t_s)$ 는 콘크리트 수축 변형률을 나타낸다. 두께가 60mm이고 길이가 최대 5m인 PC Wall을 콘크리트 강도  $f_{ck}=24\text{MPa}$ , 상대습도 50%, 콘크리트 타설 후 재령  $t=30$ 일, 습윤 양생 기간  $t_s=5$ 일의 조건으로 제작할 경우 벽체 길이 방향 콘크리트 수축 길이는 1.6mm로 계산되었다. 이는 무근 콘크리트에서의 건조 수축을 나타내며, 따라서 철근 보강 시의 건조 수축 길이는 무근 콘크리트의 건조 수축보다 더 작기 때문에 건조 수축으로 인한 PC Wall의 제작 오차는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

현행 구조 설계 기준에 따라 벽체에서의 최소 수직 철근비는 0.0012, 최소 수평 철근비는 0.0020 이상이 되도록 PC Double Wall에 용접 철망을 배근하였다[10].

## 5. 접합부 상세

### 5.1 슬래브-PC Double Wall 내부 접합부

Figure 7은 상·하층 내부 벽체 연결부에 두 개의 슬래브가 연결되어 있는 형태를 나타낸다. 접합부에서 상·하부 PC Double Wall의 하중전달을 위하여 중공부 내부에 배근하는 철근은 정착 길이를 확보해야 한다. 접합부 상세에서 겹침 이음 철근량은 PC Double Wall의 전체 철근량이 요구되므로 B급 이음을 해야한다. 따라서 정착길이는 B급 이음  $1.3l_d$ 를 확보해야하며, 이형 철근의 인장 정착길이  $l_d$ 는 다음과 같다[10].

$$l_d = \frac{0.9d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \left( \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{c + K_{tr}} \right) \geq 300\text{mm} \text{----} (4)$$

여기서,  $\alpha$ 는 철근 배치 위치 계수,  $\beta$ 는 에폭시 도막 계수,  $\gamma$ 는 철근 또는 철근의 크기 계수,  $\lambda$ 는 경량 콘크리트 계수,  $K_{tr}$ 은 횡방향 철근 지수를 의미하고  $d_b$ 는 철근의 직경,  $f_y$ 는 철근 항복강도,  $c$ 는 철근 간격 또는 피복 두께에

관련된 치수를 나타낸다.

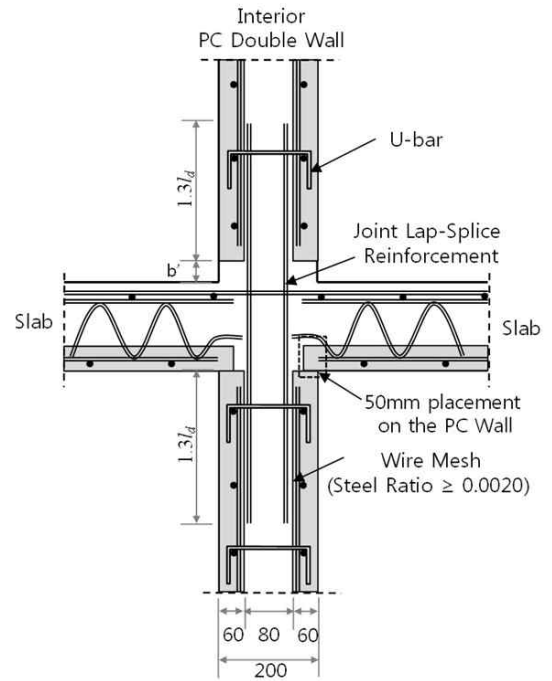


Figure 7. Interior PC double wall-slab Joint (unit:mm)

### 5.2 슬래브-PC Double Wall 외부 접합부

Figure 8과 같이 상·하층 내부 벽체 연결부에 한쪽 방향으로만 슬래브가 연결되어 있는 외부 접합부에서는 한쪽 방향으로만 정착된 슬래브로 인해 발생하는 불균형 하중에 대한 안정성이 검토되어야 한다. 계단실의 경우, 계단참이 슬래브에 해당하고 사용하중에 의한 처짐이 발생한다. 또한, 안쪽 벽체에 Half PC 슬래브를 얹고 타설하므로 바깥 벽체보다 안쪽 벽체를 Half PC 슬래브 두께만큼 감하여 벽체를 제작해야 한다.

슬래브의 정착을 위한 표준 갈고리를 갖는 인장 이형철근의 정착길이  $l_{dh}$ 는 기본 정착길이  $l_{hb}$ 에 적용 가능한 모든 보정 계수를 곱하여 구한다. 이렇게 구한 정착길이  $l_{dh}$ 는  $8d_b$  이상 또는 150mm 이상으로 하고 B급 이음을 고려하여 1.3배 연장시킨다[10].

슬래브와 접하는 PC Double Wall에서 철근 정착 가능 길이는 140mm이므로 최소 정착 길이 규정인 150mm를 만족하지 않는다. 따라서 슬래브 경계조건을 고정단으로 설계하기 위해서는 갈고리 철근의 정착 길이에 대한 접합부 구조 성능을 실험으로 검증하거나 안전측으로서 힌지조건으로 설계해야 한다. Half PC 슬래브와 PC Double

Wall에서의 결침길이는 손상으로 인한 파괴 가능성을 고려하여 50mm 이상 확보하였다.

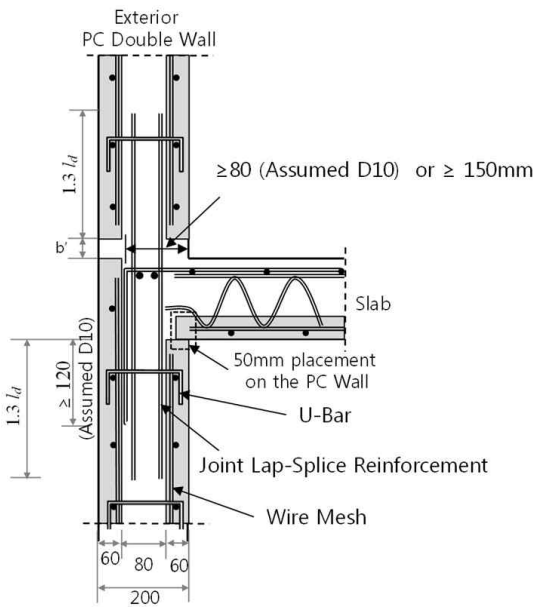


Figure 8. Exterior PC double wall-slab Joint (unit:mm)

### 5.3 벽체 간 수직 접합부

Figure 9는 길이 방향으로 접한 PC Double Wall 접합부를 나타낸다. 슬래브와 접하는 벽체와 마찬가지로 벽체 간 수직 접합부도 벽체 중공에 B급 이음 철근을 삽입한다 [10]. 다만, 이음 철근 삽입 시에 U형 철물과 중첩되지 않도록 U형 철근 위치 및 철근의 정착길이를 고려해야 한다. 또한, 시공성을 고려하여 이음 철근망을 선 제작한 후 벽체 내부에 매입시킨다. 이음 철근망은 콘크리트 타설 및 다짐 시 치우칠 수 있으므로 스페이서를 삽입하여 벽체와의 간격, 이음 철근망 간의 간격을 유지한다. 또한 중공부에 현장 콘크리트 타설 시 페이스트 유출을 방지하기 위하여 수직 접합부 경계에 Steel Plate를 덧댄다.

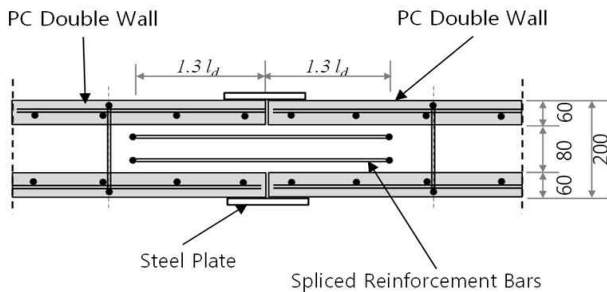


Figure 9. Vertical wall Connection (unit:mm)

### 5.4 모서리 부분의 벽체 간 수직 접합부

Figure 10은 모서리 부분의 벽체 간 수직 접합부를 나타낸다. 벽체 중공부에 일체화한 ㄱ자형 이음 철근을 삽입하고 B급 이음에 대해 정착길이를 확보한다[10]. 벽체 간 수직 접합부와 마찬가지로 이음 철근망을 선 제작 후 벽체 내부에 삽입하고 위치 고정을 위하여 스페이서를 삽입한다. 또한, 수직 접합부 경계에 ㄱ자형 앵글을 덧대어 중공부의 현장 콘크리트 타설 시 페이스트 유출을 방지한다.

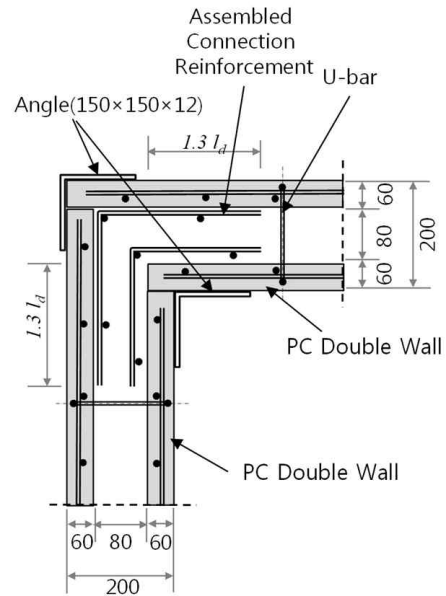


Figure 10. Vertical wall connection at the corner (unit:mm)

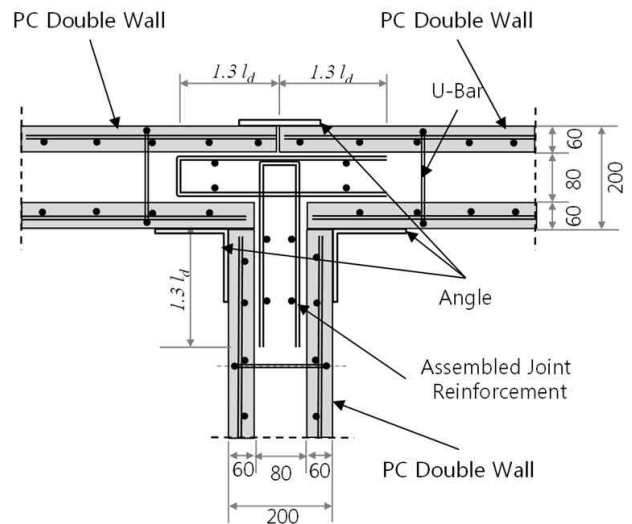


Figure 11. T Joint (unit:mm)



## 5.5 T형 벽체 수직 접합부

Figure 11은 Double Wall의 T자형 벽체 수직 접합부를 나타낸다. 위의 두 벽체 간 접합부와 달리 T자형 접합부에서는 세 개의 벽체가 접합하므로 일체화한 두 개의 U형 철근을 중공에 삽입하여 접합부마다 B급 이음길이를 확보한다[10]. 이 때, 높은 휨 강성을 요구할 경우 중앙부에 접합되는 벽체의 이음 철근을 연장시키는 방안도 검토할 수 있다.

## 5.6 PC계단과 계단참 접합부

기존 PC 공법은 계단참과 PC 계단의 걸침길이를 50mm 이상 확보하여 시공하는데 PC 계단의 자중으로 인하여 걸침부의 손상 가능성이 크며 안전사고 발생 가능성도 높다(Figure 2 (b)). 따라서 Figure 12 (a)와 같이 PC 계단과 계단참을 미리 선 제작한 몰드를 통하여 콘크리트를 일체 타설하여 하나의 부재로 제작하여 안전성을 확보하고 접합부간 손상 가능성을 억제하였다. Figure 12 (b)와 같이 양중 중량을 초과하지 않기 위하여 계단 요소를 길이 방향으로 두 개로 나누어 제작하였다.



Figure 12. Integrated PC Stairs and pace

## 6. Mock-up Test

### 6.1 계단실 Mock-up 제작 과정

#### 6.1.1 부지 선정 및 먹메김

계단실 시공을 위하여 부지 선정 후 먹메김 작업을 하고 부지 레벨 차이를 조정하였다.

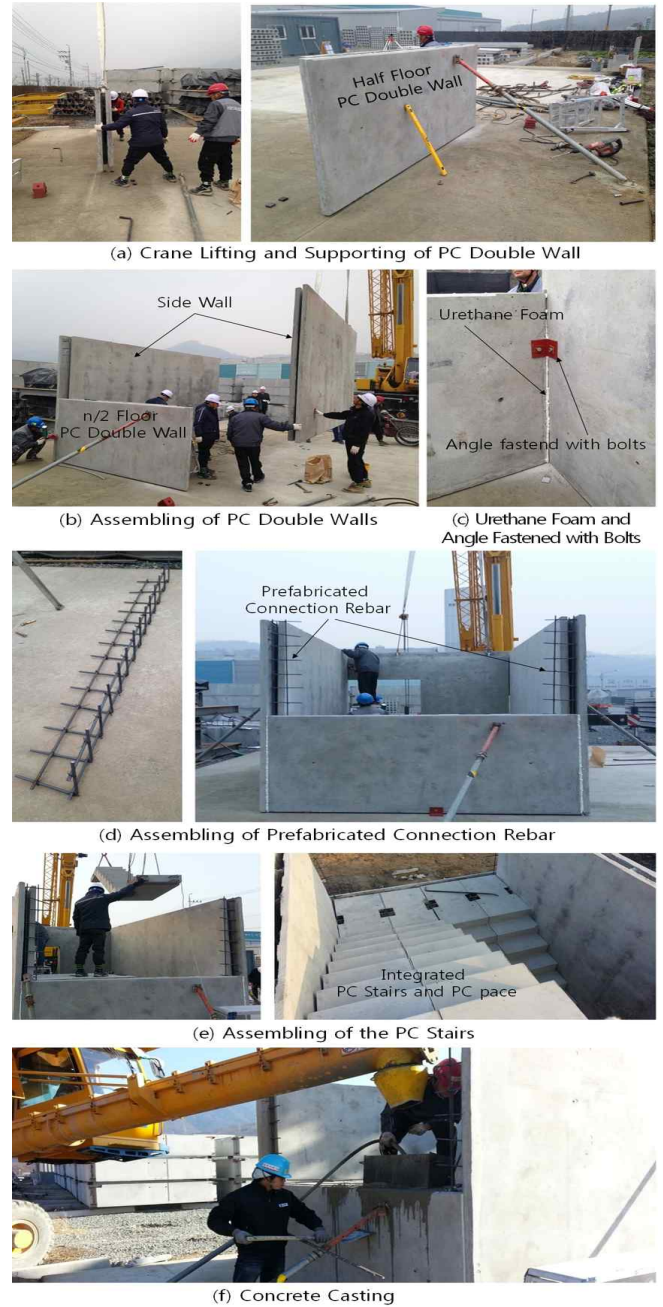


Figure 13. Mock-up process

#### 6.1.2 벽체 설치 및 접합부 이음 철근 삽입

Figure 13 (a)와 같이 벽체를 크레인으로 양중하여 미리 선정해 놓은 지점에 위치시키고 가설 지주를 덧대어 벽체를 고정시켰다. Figure 13 (b)와 (c)에서 보듯이 벽체 간 수직 접합부는 우레탄 폼으로 마감하여 콘크리트 타설 시 페이스트 유출을 방지하고 벽체 간 앵글을 덧대어 접합부를 체결함으로써 구조적 기능을 발휘하진 않지만 조립의 형태를 유지시켰다. 이는 Mock-up 시공을 진행하는 동안 모든 수직 접합부

Table 2. Comparison between PC members using solid PC wall and PC double wall in mock-up test

Members	Dimension (m×m)	Amount	Solid PC Wall				PC Double Wall				Weight Ratio (Double Wall/Solid Wall)
			Each volume (m <sup>3</sup> )	Each weight (ton)	Total volume (m <sup>3</sup> )	Total weight (ton)	Each volume (m <sup>3</sup> )	Each weight (ton)	Total volume (m <sup>3</sup> )	Total weight (ton)	
Wall (Side)	5 × 3	2	3	7.5	6	15	1.57	3.93	3.14	7.86	0.52
Wall (n/2 floor)	3 × 1.5	1	0.9	2.25	0.9	2.25	0.60	1.49	0.60	1.49	0.66
Wall (Entrance)	3 × 3	1	1.32	3.3	1.32	3.3	0.91	2.27	0.91	2.27	0.69
Stair		4	0.5	1.25	2	5	0.50	1.25	2	5	-
Sum					10.22	25.55			6.65	16.62	

에서 시행하였다. 콘크리트 타설 시 벽체의 일체성 확보를 위하여 모서리 부분의 벽체 간 수직 접합부 내부로 선조립된 이음 철근을 벽체 위에서부터 삽입하였다(Figure 13 (d)).

### 6.1.3 계단 조립

Figure 13 (e)는 일체로 타설된 계단과 계단참이 벽체 상부에 조립된 것을 나타낸다. 이 일체화된 계단 부재는 양중 무게를 고려하여 기존 계단을 이등분하여 제작하였고, 계단참과 계단을 한 몰드로 일체 타설하여 제작함으로써 계단참을 현장에서 동바리를 덧대어 따로 시공하지 않고 양중으로만 설치 및 조립 가능하도록 하였다.

### 6.1.4 콘크리트 타설

Figure 13 (f)와 같이 계단 조립부 및 벽체 간 수직 접합부에 콘크리트를 타설하여 일체성을 확보하였다.

## 6.2 계단실 Mock-up 결과 분석

Table 2는 PC Double Wall을 적용한 계단실 Mock-up 시공 시 사용된 부재에 대하여 각 부재의 물량과 중량을 산정하고 기존 Solid PC Wall과 비교하였다. PC Double Wall 부재의 최대 중량은 3.93ton이었으며, 기존 Solid PC Wall보다 31%~48%의 양중 무게 감소 효과가 나타났다.

PC 계단과 계단참이 일체 타설되어 하나의 부재로서 조립되었기 때문에 접합부의 개수를 줄일 수 있었다. 따라서 부재의 제작이 간편하고, 고려해야 할 접합부의 개수가 감소하므로 조립시 안전성도 확보할 수 있다. 다만 부재의 양중 용량을 고려하여 길이 방향으로 이등분하여 제작하였기 때문에 양중 횡수는 크게 감소하지 않았다. 계단 부재는 한 층당 네 개의 부재로 조립되었고 두 부재씩 각각 오르막 경사와 내리막 경사를 구성하였다. 이렇게 선 시공된 PC 계

단과 계단참은 작업 통로로 사용되므로 작업의 효율성을 높일 수 있다.

PC Double Wall의 중공 폭은 80mm이고 높이가 3m이므로 중공 폭이 좁아 내부 진동 다짐기를 사용할 수 없었고 외부 진동기 역시 벽체 외부의 손상 가능성 때문에 사용할 수 없었다. Mock-up 시공 후, 육안으로 공극을 확인해 본 결과 고려할 만한 문제점은 발생하지 않았지만 중공부에 콘크리트 타설 시 공극 발생 가능성을 억제하기 위한 방안을 마련해야 한다.

계단참과 PC Double Wall의 외부 접합부에서는 불균형 모멘트로 인하여 발생하는 처짐이나 균열이 발생하지 않았다. 또한, 벽체 간 수직 접합부에 적용한 우레탄 폼 충진은 별도의 마감처리 없이도 페이스트 유출을 억제하는 데에 효과적인 성능을 발휘하였다.

## 7. 결 론

본 연구에서는 공동 주택 벽식 구조에서 PC 공법을 적용하여 계단실 공법을 개선하기 위해 기존 계단실 공법의 국·내외 기술 동향 및 시공 사례를 분석하였다. 이를 바탕으로 양중이 용이하고 제작이 간편한 PC Double Wall을 적용한 계단실 PC공법을 제안하였다. 주요 연구 내용은 다음과 같다.

- 1) PC Double Wall은 프리캐스트로 제작된 두 개의 PC Wall이 U형 철물로 결합되어 구성된다. PC Double Wall의 세움 타설 제작을 위한 상세 및 계단실 제작 공법을 제안하였다.
- 2) PC Double Wall의 중공에 콘크리트 타설 시 양쪽 PC Wall에 작용하는 콘크리트 측압과 부재 제작 시 발생하는 콘크리트 건조 수축을 평가하였으며, 시공

성이나 구조 성능에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

- 3) PC Double Wall이 접하는 부재와 조립 위치에 따라 중공부의 철근 이음 상세는 현행 구조 설계 기준을 만족하도록 제안하였다.
- 4) Mock-up 시공을 위한 PC Double Wall과 PC 계단 부재를 생산하였다. 벽체 및 계단 부재를 조립하여 계단실 Mock-up을 시공함으로써 PC Double Wall을 적용한 계단실 공법에 대한 시공성을 평가하였다. 평가 결과, Double Wall을 적용한 계단실의 시공 품질이 우수한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 PC Double Wall 제작성 및 시공성을 평가하였으며, 구조성능 검증을 위한 추가적인 연구가 필요하다. 제안한 PC Double Wall은 공동 주택의 벽식 구조에 대한 PC부재 활용 기반을 마련하였으며, 기존 PC계단 공법 대비 시공성 향상을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구에서는 중공 PC 벽체 (PC Double Wall)를 적용한 계단실 공법을 개발하였다. 중공 PC 벽체는 내부 중공으로 인하여 양중 무게를 줄이고 외부 벽체가 거푸집 역할을 하며, 벽체 내부 중공에 현장 콘크리트를 타설하여 기존 PC 벽체와 비교하여 부재간의 일체성 확보가 우수하다. PC Double Wall 제작 및 현장 콘크리트 타설, 구조적 안전성을 고려하여 PC 벽체 단면과 철근 배근 상세를 제안하였다. 제안 상세를 바탕으로 얇은 PC벽체와 중공부를 효과적으로 형성하기 위한 세움 타설 방식의 거푸집 시스템을 개발하였다. PC Double Wall을 이용하여 계단실 Mock-up test를 통하여 부재 간 일체성과 시공성을 검증하였으며, 부재 간 접합부의 변형 및 균열이 발생하지 않고 시공성이 우수한 것으로 나타났다.

**키워드** : 프리캐스트 콘크리트, 계단실 공법, PC Double Wall, Mock-up

## Acknowledgement

This research was supported by a grant from

Modular Business Team of SAMSUNG C&T Engineering & Construction funded by Research Affairs of SNU & SNU R&DB Foundation.

## References

1. Kim OJ, Kim LB. RC Core Sequential Construction Method by Using PC Stairs, Journal of Architectural Institute of Korea, 2005 Mar;49(2):100-8.
2. Yoon YH, Chun YS, Park JY, Jang IH, Kim SB, An HK. System Steel Stairs for RC Structures, Journal of the Korea Concrete Institute, 2003 Sep;15(9):61-6.
3. Rhim HC, Kim OJ, Cho HD, Song JY. Analysis of PC Stairways for Improved Performance Based on Construction Cases, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2008 Jun;24(6):153-62.
4. Kang SM, Kim OJ. Domestic and Foreign Present Situation Analysis of a PC Method, DAELIM Technology Research Institute, 2006 Mar; 28-37.
5. Lee LH, Yi WH, Lim JH, Lee DN, Woo KS. Behavior of Wall-to-Floor Joint in Bearing Wall System with Double Precast Concrete Panel, Journal of Architectural Institute of Korea, 1997 Jan;13(1):165-72.
6. Lee LH, Yi WH, Lim JH, Lee DN, Woo KS. Behavior of Wall-to-Wall Joint in Bearing Wall System with Double Precast Concrete Panel, Journal of Architectural Institute of Korea, 1997 Feb;13(2):181-86.
7. N.H,Hamid, John B.Mander. A Comparative Seismic Performance Between Precast Hollow Core Walls and Conventional Walls Using Incremental Dynamic Analysis, Arabian Journal for Science and Engineering, 2012 May;37(7):1801-5.
8. Syspro®PART. The Technology behind the Wall, 1st ed, Freilassing: Christian Prilhofer Consulting; 1997, 146 p.
9. Kang SM, Oh JK, Kim OJ, Lee DB, Park HG. Development of a Precast Concrete Structural Wall Adopting Improved Connections in the Plastic Hinge Region, Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, 2010 Apr;14(2):15-26.
10. Korea Concrete Institute. Concrete Design Code, Korea Concrete Institute, Seoul: Kimoonang Publishing Company; 2012, 600p.
11. Korea Architectural Institute. Korea Architectural Standard Specification, Seoul: Kimoonang Publishing Company; 2013, 1784p.
12. Korea Concrete Institute. Concrete Standard Specification, Seoul: Kimoonang Publishing Company; 2009, 366p.