

# PC구조 접합부공사의 생산성 향상을 위한 거푸집 개발

—공동주택을 중심으로—

## Development of Form to Improve the Productivity of PC Structure Connections

—Focused on Apartment Buildings—

김 선 형<sup>1</sup> 이 원 석<sup>1</sup> 김 선 국<sup>2</sup> 이 동 훈<sup>3\*</sup>

Kim, Seon-Hyung<sup>1</sup> Lee, Won-Suk<sup>1</sup> Kim, Sun-Kuk<sup>2</sup> Lee, Dong-Hoon<sup>3\*</sup>

Master's Course, Graduate School, KyungHee University, Giheung-Gu Seoul, 446-701, Korea <sup>1</sup>

Professor, Department of Architectural Engineering, KyungHee University, Giheung-Gu Seoul, 446-701, Korea <sup>2</sup>

Doctor's Course, Graduate School, KyungHee University, Giheung-Gu Seoul, 446-701, Korea <sup>3</sup>

### Abstract

With the amendment to the Building Act in November of 2005 that offered incentives in terms of floor area ratio and number of stories to apartment buildings adopting the Rahmen structure to facilitate remodeling, the construction industry is paying more attention to PC structures. As connections between PC columns and beams require complex design, it is very difficult to install and remove forms. Since forms made of plywood for such connections are fabricated and installed on site, a significant amount of labor is required, and constructability is low. Furthermore, after concrete casting, the forms are removed in a state in which they cannot be recycled, which leads to a significant amount of construction waste. For this reason, a solution to address such issues needs to be studied. However, many researchers have focused only on the structural performance of PC structures in Korea and elsewhere, ignoring the need for research on the forms used in building PC structure connections. Therefore, this research aims to develop a form that can improve the productivity of PC structure connection construction, and compare it with conventional forms to highlight its contribution to gains in productivity and economic viability.

Keywords : Precast Concrete structure, Connection, Form, Productivity, Apartment Buildings

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건설시장의 추세는 중·저층의 저밀도 건축물보다는 초고층 고밀도 건축물과 장스팬의 대형 구조물 건설이 눈에 띄게 증가하고 있다[1]. 또한 국내에서는 2005년 11월 건축법 개정을 통해 리모델링이 용이한 라멘구조의 공동주택 신축 시

용적률과 층수 등의 인센티브를 부여함으로써 SH공사 등에서 그린프레임(Green Frame)등의 PC(Precast Concrete)구조 적용에 대하여 관심이 증가하고 있다. 이러한 PC구조는 현장 작업을 최소화하여 인력비용을 절감할 수 있고 공사품질을 보장할 수 있다. 또한 공기를 단축시킬 수 있고 비산, 먼지, 진동, 소음 등을 줄일 수 있다. 반면 단점은 접합부 처리의 어려움과 높은 생산 단가, 현장 작업자들의 인식 부족 등으로 국내 건설 현장에 완전히 정착되기는 문제점이 있다.

특히 기존의 PC부재의 기둥과 보 접합부는 일반적으로 구조가 복잡한 특성이 있기 때문에 접합부 거푸집 설치 시 현장에서 합판 거푸집을 제작, 설치하여 인력이 많이 소요되고 시공성이 낮아 공기가 증가하며 품질의 저하를 유발 시킨다. 거푸집 해체 시는 안전상의 문제를 발생시킬 뿐만 아니라 해체된 거푸집은 파손되어 재사용이 불가능하기 때문에 다량의 건

Received : June 7, 2010

Revision received : July 27, 2010

Accepted : August 3, 2010

\* Corresponding author : Lee, Dong-Hoon

[Tel: 82-2-1234-5678, E-mail: abcd@hanmail.net]

©2010 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.)

축 폐기물이 발생하는 문제점도 가지고 있다. 또한 기성 (progress payment) 대비 투입인력 및 원가의 비율이 높은 문제점이 있으나, 전체원가 대비 차지하는 비율이 크지 않기 때문에 간과되고 있다. 따라서 친환경적이고 저비용, 고효율의 PC구조 접합부공사의 거푸집의 개발이 필요하다.

Park et al.[2]의 연구에서는 Half PC 보를 이용한 보와 기둥 접합부의 구조성능에 관한 연구를 진행하였고, Lim et al.[3]의 연구에서는 지하주차장 PC화 공법 접합부에 대한 구조성능 평가를 하여, 구조성능에 관한 연구만 진행 했을 뿐 거푸집에 관한 연구는 진행하지 않았다. 또한 Yoo et al.[4]의 연구에서는 PC복합화 공법의 경제성 분석에 관한 연구를 하였고, Hyun et al.[5]의 연구에서는 공동주택 벽 하부 시공 품질개선을 위한 거푸집 시스템 개발 연구를 하였다. 그러나 PC 구조의 기둥과 보 접합부 거푸집에 관련된 연구는 Kim et al.[6]의 연구에서 접합부 거푸집 개선방안을 제시하였으나, 실제 현장에 적용하기에는 보완되어야 할 부분이 있다.

따라서 본 연구는 PC구조 접합부공사의 생산성 향상을 위한 거푸집개발을 목적으로 하며, 개선 거푸집과 기존 거푸집과의 비교를 통하여 생산성 및 원가절감의 효과를 제시한다. 향후 본 연구의 결과물은 PC구조 접합부 거푸집의 신공법사용에 따른 CO<sub>2</sub>저감효과 연구의 기초자료로 사용되리라 사료된다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

PC구조가 적용되고 있는 분야는 건축공사와 토목공사로 구분되며[7], 본 연구의 범위는 건축공사의 공동주택에서 사용되는 PC구조의 적용 시 해결해야 할 문제들 중 기둥과 보의 접합부 거푸집 개발을 통하여 생산성 및 경제성 향상제시 연구로 한정하였으며, Figure 1과 같다.

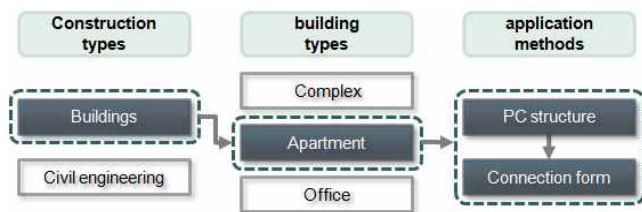


Figure 1. The scope of the study

본 연구는 문헌조사와 전문가 및 실무자 인터뷰를 통하여 기존의 PC구조 접합부 거푸집의 문제점을 파악하고, 거푸집 필요조건 및 개발요건을 모색하여, 개선된 거푸집을 개발한다. 또한 기존 거푸집과 개선된 거푸집을 각각 모의 현장에 적용하여 생산성 및 경제성비교를 통한 개선효과를 제시한다. 연구 절차와 방법은 Figure 2와 같다.

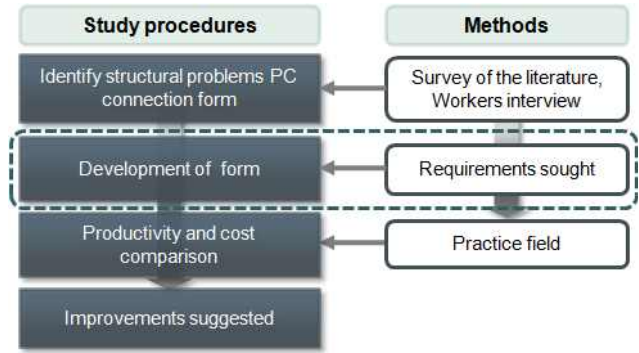


Figure 2. Procedures and method of the study

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 기존연구의 고찰

국내의 거푸집 관련 연구로 Yang et al.[8]은 기존의 유닛 테이블 폼의 구성적 특징으로 인한 전용상의 문제점을 개선한 새로운 구조의 테이블폼을 제안하고 현장 적용을 통해 새로운 테이블 폼의 경제적 타당성을 평가하여, 제작비용, 제작시간, 노무비등을 절감하였다. Hyun et al.[5]은 거푸집은 설치 후 콘크리트가 양생되어 자중과 작업자중을 지지할 수 있을 때까지 임시 필요한 가설구조물로서 콘크리트가 양생되면 곧 해체되어 남아 있지 않기 때문에 설계, 시공면에서 소홀히 다루어짐에 따라 품질저하 및 추가비용투입의 방지를 위해 바닥면에 설치되는 각목과 거푸집사이의 수평을 용이하게 맞출 수 있도록 하면서 벽체 콘크리트의 타설 후 양생수의 유출을 방지할 수 있도록 하는 벽체 거푸집 하부 수평대를 개발하였다. 또한 KIm et al.의 연구[9]에서는 공동주택 현장에 AFB (Aluminum panel Form with dropping Beam)시스템을 적용하여 소음저감 및 공기단축효과를 기반으로 경제성 및 시공성을 분석하였다.

국외의 거푸집 관련 연구로 Elazouni et al.[10]은 신경망 (neural network)을 이용하여 새로운 수평 거푸집 시스템의 적합성 평가를 하였고, Hanna et al.[11]의 연구에서는 전문가 시스템(expert system)을 이용하여 거푸집 선정 시 의사결정 지원에 대한 연구를 진행하였다.

국내의 PC공법 관련 연구로 Yoo et al.[4]은 PC복합화공법의 실제 적용성을 확인하기 위하여 재래식 RC (Reinforced Concrete)공법시공시의 가상공사비를 산출, 비교, 검토하여 향후 원가관리 측면에서의 기초적 데이터 제시하였고, Jeong et al.[12]의 연구에서는 실험 연구를 통하여 프리캐스트 경량콘크리트 거푸집의 부착력 파괴와 초기 균열 발생 시기, 철근의 항복시점 등을 실험과정을 통해 관찰 검토

하여 보부재의 내력을 평가하였다.

또한 Son et al.[13]은 기존의 철골 및 PC구조에 썬기형 접합장치를 적용하였을 때의 웹 사이클론(web cyclone)을 이용하여 생산성분석을 하고 비교 대상별 경제성을 조사함으로써, 건설현장의 적용에 따른 생산성 및 경제성 향상을 분석하였으며, Lim et al.[3]의 연구에서는 PC공법의 활성화에 대한 일환으로 하프PC 골조와 하프PC 슬래브로 조립한 후, 덧침 콘크리트를 타설하여 일체화하는 지하주차장 구조시스템을 구축하면서 발생할 수 있는 접합부에 대한 접합 성능을 평가하였다.

국외의 PC공법 관련 연구로는 El Debs et al.[14]의 연구에서 새롭게 개발된 시멘트 기초의 PC접합 구조상에서의 압축강도를 실험하였고, Kim et al.[15]은 전단저항(shear resistant) 접합 구조에서의 프리캐스트 콘크리트의 부분적인 브릿지 컬럼(bridge column)의 성능을 파악하였다.

PC구조 접합부 거푸집에 관한 연구는 Kim et al.[6]의 연구에서 개선방안을 제시하였으나, 실제 현장에서 적용하기에 부족하며, 보완되어야 할 부분이 필요하다. 따라서 본 연구는 PC구조 접합부공사의 생산성 향상을 위한 거푸집개발을 목적으로 하고, 개선 거푸집 사용에 따른 기존 거푸집과의 비교를 통하여 생산성 및 원가절감의 효과를 제시한다.

## 2.2 기존 접합부 거푸집의 특징

PC콘크리트 복합 기둥은 철골과 철근 및 콘크리트를 사용하여 미리 제작된 프리캐스트 복합보와 함께 시공 시 더욱 효율적이다. 통상적으로 PC구조 시공방법은 PC콘크리트 복합 기둥을 먼저 설치하고, 여기에 프리캐스트 복합보를 연결 브라켓 또는 용접으로 연결하며, 연결된 복합보 윗면에 슬래브용 거푸집이나 데크 플레이트(deck plate)를 설치한다. 이때 복합보와 기둥의 접합부위는 별도로 거푸집을 설치해 커버해야 하는데 이러한 거푸집의 설치 시 시공성, 경제성, 안전성, 품질성 등의 여러 가지 문제점을 가지고 있다.

PC구조의 접합부 거푸집은 현장에서 직접 거푸집을 제작, 조립하여 설치하고, 거푸집의 코너부위, 마무리부위, 절단부위, 조립 시 틈새 등을 상세하게 검토하여 몰탈이 새어 나오지 않도록 시공한다. 그리고 해체 시 용이하도록 거푸집 내면에 박리제를 충분히 도포하여야 한다. 또한 콘크리트 청소용 및 검사용 일시 개구부를 따로 설치하여 품질 저하에 영향을 미칠 수 있는 영향 요소들을 제거 및 검사한다. 이러한 현재의 시공 방법은 다양한 형상의 거푸집을 제작할 수 있는 장점이 있지만, 시공시간이 길어지고, 노동력이 많이 요구됨에 따른 인건비의 상승, 현장제작 및 해체 시 빈번한 안전사고 발생, 거푸집 사용 후 폐자재의 과다발생, 현장 환경과 거푸집 제작자의

능력에 품질이 좌우되는 등의 많은 단점이 있다. 따라서 기존 거푸집의 단점을 보완하고 개선된 거푸집개발이 필요하다.

## 2.3 거푸집 선정 기준 및 방법

거푸집 공사는 공사비 및 공사기간측면으로 볼 때 건축공사에서 차지하는 비중이 매우 크다. 공사비는 구조체공사비의 30~40%, 전체 공사비의 약 10%를 차지하고, 전체 공사기간의 25%를 차지하여 마감 및 설비 등 후속 공사에 미치는 영향이 매우 큰 공사이다[16]. 따라서 거푸집은 강성이 크고 내구성이 좋으며 시공성이 용이한 재료와 각 현장의 공법특성 및 비용 등의 여러 기준들을 고려하여 선정해야 한다. 거푸집의 선정 기준은 Table 1과 같다.

Table 1. Form Selection Criteria

Criteria	Item
Cost	Initial investment, Installation/demolition cost, Frequency of use
Constructability	Installation/demolition, Lightweight materials, Work space
Construction Speed	Continuous work, Installation/demolition, Wether simultaneous finishing process
Site Characteristics	Accessibility, Skilled workers on-site training, Weather, Site size
Building Characteristics	Long span, Building size, Building shape
Automation	Labor, Skilled workers role
Quality	Covering depth decrease, Reduced sag, Excellent exactitude
Safty	The occurrence of accidents

거푸집 선정 방법은 첫째, 공사의 설계조건인 건조물의 형상, 반복횟수, 규모, 시방과 현장조건인 기능공, 현장 크기, 자재의 접근성 등의 여건을 고려해야 한다. 둘째, 각 거푸집 공법별로 이러한 조건들 각각에 대한 정합을 검토하여 가능한 공법들을 1차로 선정을 한다. 마지막으로 시공성, 작업 가능성과 효율, 경제성 등을 검토하여 최적의 거푸집공법을 선정한다.

그러나 현재 PC부재의 접합부 거푸집은 전체거푸집에 비해 차지하는 비율이 적기 때문에 선정기준항목을 고려하지 않고 시공되고 있지만, 최근 건설산업이 친환경적이고 저비용, 고효율의 기술집약적인 산업으로 발전함에 따라 접합부 거푸집 또한 비용의 최소화과 시공속도의 최적화 등의 효율적인 거푸집 선정기준을 적용하여 건설산업에서의 인력, 공기, 원가손실을 줄여야 할 것이다.

### 3. PC구조 접합부 거푸집의 개발

#### 3.1 PC구조의 접합부 거푸집개발을 위한 요건

본 장에서는 PC구조 접합부공사의 생산성 향상을 위한 거푸집 개발의 필요조건을 설명하며, 아래와 같은 조건을 만족시키도록 거푸집을 개발하였다.

첫째, 기존의 PC구조 접합부 거푸집은 설치 및 해체가 어렵다. 따라서 설치 및 해체과정이 용이해야 하며, 강성이 있으면서 거푸집의 무게가 가벼워야 한다.

둘째, 기존의 PC구조 접합부 거푸집은 재사용이 불가능하여, 다량의 건축 폐기물이 발생한다. 따라서 재사용이 가능한 전용율이 좋은 자재를 사용하여야 하며, 경제성이 좋아야 한다.

셋째, 콘크리트 타설 시 콘크리트 측압에 견딜 수 있도록 설계되어야 하며, 품질 저하 요인이 없어야 한다.

넷째, 거푸집설치의 시공성 향상을 위해 슬래브용 거푸집, 하프PC(half PC), 데크 플레이트(deck plate)등과 간섭이 없으며 구조적연결성이 좋아야 한다.

이외에도 청소구 등 다양한 요건을 거푸집 개발(이하 개선 거푸집이라 지칭)에 반영하였다.

#### 3.2 개선 거푸집의 구성 및 특성

개선 거푸집은 본 거푸집 부분과 거푸집 보조 장치부분으로 구성되어있으며 Table 2와 같다.

거푸집부분의 거푸집 합판은 기둥과 보의 접합 형상에 따라 최소 2개에서 최대 4개의 유닛(unit)으로 한 세트의 접합부 거푸집을 형성한다. 합판면의 내부는 에폭시 도장이며 파손 위험이 있는 모서리는 철재와 각재로 보강하여 거푸집의 강도를 높였다. 그리고 콘크리트 타설 부위는 타설 후 다짐봉의 사용으로 인한 합판의 변형 및 파손을 막기 위하여 함석판을 부착하여 강도를 높였으며, 거푸집의 전용율 또한 향상시킨다. 보와 기둥의 콘크리트 면과 거푸집이 맞닿는 부위는 스펀지를 덧대어 시멘트 페이스트 누출을 막았다.

콘크리트 타설 시 1차적인 측압을 보강하기 위하여 보강 턴버클을 마주보는 보 옆 거푸집과 거푸집 사이에 각 유닛 당 하나씩 설치하였다. 또한 턴버클을 이용하여 보강재의 길이를 조정하여 거푸집을 PC콘크리트 접합부에 딱 맞게 설치할 수 있으며 이로써 정밀시공이 가능하다.

한 세트의 접합부 거푸집을 형성하기 위하여 각각의 유닛의 간편하고 강력한 체결이 필요하다. 각 유닛의 체결을 위하여 보밀 거푸집 부분과 기둥 거푸집 부분에 유닛 당 2개의 긴결장치를 설치하였다. 이 긴결장치는 강성이 뛰어나며 간편한 조작으로 거푸집의 설치 및 해체가 용이하고, 콘크리트 타설 시

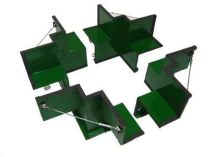





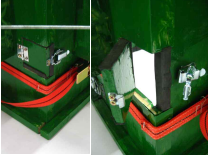

측압에 대한 2차적인 힘을 얻을 수 있다. 또한 접합부 거푸집 체결 후 기둥 거푸집에 고정벨트를 설치하여 체결된 유닛을 결속시키고, 측압에 대해 3차적으로 보강을 할 수 있으며, 래치 버클(ratchet buckle)을 사용하여 설치 및 해체가 용이하다.

개선 거푸집은 기둥 모서리 부분에 청소구를 설치하여 일반 거푸집처럼 별도의 청소구의 설치 작업이 생략되어 작업 시간을 줄일 수 있고, 개폐식으로 설치되어있어 사용이 용이하며 품질관리에 효과적이다.

보조 장치부분은 거푸집의 가설치 후 거푸집이 기둥과 보의 접합부의 정확한 위치까지 상승되어 맞춰질 수 있도록 보조해주는 상승 장치이다. 보조 장치는 시저스잭(scissors jack), 시저스잭 상승레버, 결속턴버클, 상승장치 받침철물로 구성되어 있다.

시저스잭은 거푸집을 손쉽게 올리기 위하여 필요하며, 힘을 균등하고 안전하게 분배할 수 있다. 이는 기둥의 적당한 위치에 고정된 결속턴버클과 시저스잭 받침철물의 결합으로 구성된 받침대에 올려지고, 한사람이 양손으로 돌릴 수 있게 제작된 시저스잭 상승 레버를 시저스잭과 결합하여 강력한 힘으로 상승시켜 거푸집을 접합부의 정확한 위치에 고정시키는 장치이다.

Table 2. Composition of Improving form

	Form parts		Accessory parts
Plywood		Scissors jack ×2	
Armature turn-buckle ×4		Scissors jack rising lever ×2	
Combining device ×8 Fixed belt		Scissors jack metal bracket ×2	
Cleaning hole		Holding turn-buckle ×2	

### 3.3 개선 거푸집의 시공 및 해체방법

개선 거푸집의 시공방법은 조공 2명이 한 조(crew)를 이루어 시공하며, 공장제작 된 거푸집을 현장반입 한 후 각 접합부 형상에 맞는 거푸집 유닛을 준비한다. 접합부 형상의 종류는 Figure 3과 같다.

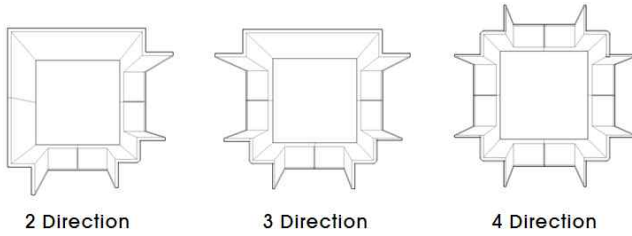


Figure 3. Types of connection shape

거푸집 설치 조는 설치개소로 안전작업대를 이동하여 설치한 후, 설치준비를 마친다. 그리고 시저스잭 받침철푼물 2개와 결속턴버클 2개를 결합하여 기둥의 접합부와 가까운 적당한 높이에 이를 설치하여 고정한다. 이 때, 설치 기둥마다 설치 가이드라인을 미리 그려놓으면 시공성을 더욱 향상시킬 수 있다. 그 후 설치된 받침장치위에 시저스잭을 올려놓고, 각 유닛을 긴결장치와 고정벨트를 이용하여 한 세트의 접합부 거푸집으로 결속한다. 마지막으로 가설치된 거푸집은 시저스잭과 시저스잭 상승레버를 이용하여 거푸집을 접합부의 정확한 위치로 상승시켜 설치를 완료한다.

개선 거푸집의 해체방법은 시저스잭 상승레버를 이용하여 시저스잭을 하강시킨 후 래칫 버클을 이용하여 간편하게 고정벨트와 긴결장치를 풀고, 거푸집을 각 유닛별로 해체한다. 마지막으로 기둥에 고정된 받침장치를 해체함으로써 설치 및 해체를 마친다.

## 4. 개선효과 분석

### 4.1 작업내용 및 작업순서 비교

본 연구에서는 거푸집의 작업순서를 현장 외 제작, 거푸집 설치 RC공사, 거푸집 해체의 순서로 분류 하였으며, 일반거푸집과 개선 거푸집의 작업순서와 세부 작업내용을 비교하면 Figure 4와 같다.

거푸집의 설치 작업 시 일반 거푸집은 목공과 조공이 한조를 이루어 작업을 하는 반면, 개선 거푸집은 설치 및 해체가 간편하여 숙련된 목공이 필요 없이 조공 2명이 한조를 이루어 작업이 가능하다. 따라서 개선 거푸집을 사용함에 따라 인건비를 줄일 수 있다. 작업의 세부내용은 일반 거푸집 설치 시 8단계, 개선 거푸집 설치 시 11단계로 일반거푸집에 비해 개선 거

푸집이 3단계가 많다. 그러나 개선 거푸집은 일반 거푸집에 비해 설치 및 해체의 효율화로 작업시간을 단축할 수 있다.

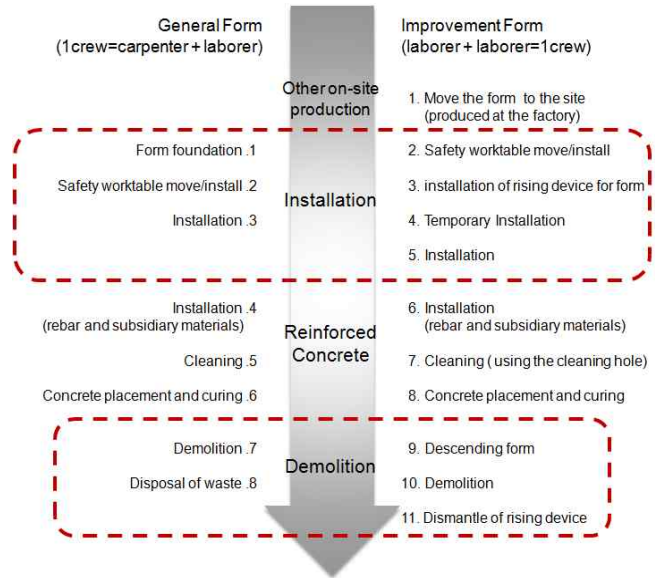


Figure 4. Working order

현장 외 제작단계에서는 개선 거푸집이 공장제작 거푸집으로 현장 내 제작 및 설치인 일반 거푸집에 비해 추가적인 단계를 가진다.

거푸집 설치단계에서 일반 거푸집은 거푸집 합판 가공단계, 안전 작업대 이동 및 설치단계, 거푸집 제작 및 설치단계로 3단계이고, 개선 거푸집은 안전 작업대 이동 및 설치단계, 거푸집 상승장치 설치단계, 거푸집 가 설치단계, 거푸집 설치단계로 4단계이다.

RC공사 단계에서는 작업순서와 세부작업내용이 같으나, 개선 거푸집에선 청소구의 활용으로 작업 시간을 줄일 수 있으며, 양질의 품질을 기대할 수 있다.

거푸집 해체 단계에서는 일반 거푸집은 거푸집 해체단계, 폐기물 처리단계로 2단계이며, 개선 거푸집은 거푸집 하강단계, 거푸집 해체단계, 거푸집 상승장치 해체단계로 3단계로 해체가 진행된다.

위와 같이 개선 거푸집 사용 시 기존 거푸집 대비 작업 단계는 더 많지만 인건비를 줄일 수 있다. 또한 간결한 작업으로 설치 및 해체가 용이하며 양질의 품질을 기대할 수 있다.

### 4.2 생산성 비교

본 연구에서 거푸집의 작업순서를 현장 외 제작, 거푸집 설치, RC공사, 거푸집 해체의 순서로 분류 하였으며, 생산성 비교는 주요단계인 거푸집 설치단계와 거푸집 해체단계에서 진행한다. 일반 거푸집은 목공 한 사람과 조공 한 사람으로 총

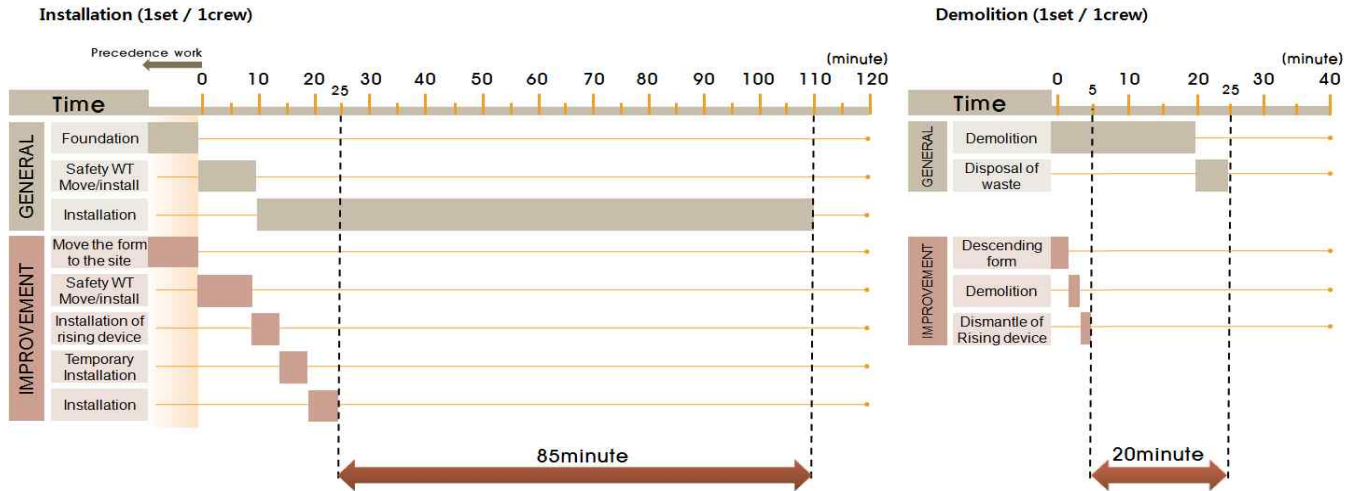


Figure 5. Comparison of the installation and dismantling work

두 명이 한조를 이뤄 한 세트의 거푸집을 설치하고 해체하는 것으로 전문가 및 현장 실무자 인터뷰를 통한 예상시간으로 측정하였으며, 개선 거푸집은 조공 두 사람이 한조를 이뤄 한 세트의 거푸집을 설치하고 해체하는 것으로 모의실험을 통하여 측정하였다.

거푸집 설치단계에서는 선행 작업인 일반 거푸집에서의 거푸집 합판 가공단계와 개선 거푸집에서의 거푸집 현장 반입 시간은 비교대상에서 제외하였다.

첫째 작업인 안전 작업대 이동 및 설치단계는 두 거푸집에서 모두 포함하고 있으며, 10분이 소요된다. 다음 작업부터 설치공정과 시간에서 차이가 난다.

일반 거푸집의 경우 거푸집 제작 및 설치단계에서 100분 소요가 예상되었다. 이는 거푸집을 접합부 크기에 맞게 재단하고 제작하는 시간과 측압을 견딜 수 있도록 보강하는 시간이 대부분을 차지하였다. 개선 거푸집의 경우 거푸집 상승장치를 설치하는 단계에서 5분이 소요되었고, 그 위에 거푸집을 조립하여 가설치하는 단계에서 5분이 소요되었으며, 시저스잭을 이용하여 거푸집을 접합부의 정확한 위치에 상승시켜 고정하는 단계에서 5분이 소요되어 총 15분이 소요되었다. 이는 미리 공장제작 된 거푸집과 간결화 시킨 설치방법으로 시간을 단축시킬 수 있다. 따라서 일반 거푸집의 총 거푸집 설치 시간은 2단계에 걸쳐 110분이 소요되었고, 개선 거푸집의 총 거푸집 설치 시간은 4단계에 걸쳐 25분이 소요되었으며, 개선 거푸집을 사용함에 따라 설치단계에서 총 85분을 줄일 수 있다.

거푸집 해체단계에서는 일반 거푸집의 경우 15분 소요가 예상되었으며, 이는 합판이 해체되어지면서 잘게 부서지고, 작은 틈사이의 이물질들을 제거하는 시간이 대부분을 차지하였다. 또한 거푸집 폐기물 처리단계에서 이러한 잘게 부서진 합판거푸집과 잔여 이물질들을 청소하고, 폐기 처리하는 시간이 5분

을 소요하였다. 개선 거푸집의 경우 거푸집 상승장치를 하강시키는 단계에서 2분 30초가 소요되었고, 거푸집을 해체하는 단계에서 1분 30초가 소요되었으며, 거푸집 상승장치 해체 단계에서 1분이 소요되었다. 이는 누구나 쉽고 빠르게 해체할 수 있게 간결한 도구들로 제작하여 시간을 줄일 수 있었다. 따라서 일반 거푸집의 총 거푸집 해체 시간은 2단계에 걸쳐 20분이 소요되었고, 개선 거푸집의 총 거푸집 하체 시간은 3단계에 걸쳐 5분이 소요되었으며, 대비 개선 거푸집을 사용함에 따라 해체단계에서 총 15분을 줄일 수 있다.

개선 거푸집을 사용함으로써 설치 및 해체단계에서 총 100분을 단축시킬 뿐만 아니라 일반 거푸집에서는 목공이 필요하다는 점에서 인건비 또한 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있기 때문에 생산성을 향상시키기에 충분하며, 거푸집 설치 및 해체 작업 시간 비교는 Figure 5와 같다.

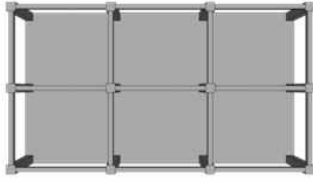
그러나 본 연구에서는 하나의 조가 한 세트의 거푸집을 설치 및 해체하는 시간을 비교하여, 일반 거푸집의 경우 반복적인 작업을 하는 경우 일정 크기로 부품화하여 사용하기 때문에 설치시간이 줄어들 수 있다.

### 4.3 원가 비교

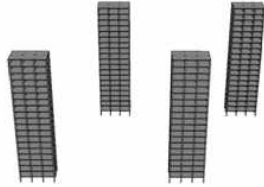
본 연구에서는 모의 현장을 선정하고 일반 거푸집과 개선 거푸집을 모의 현장에 적용하였을 때의 거푸집 공사의 투입물량과 투입인력의 측면에서 원가비교를 진행한다. 모의 현장개요는 기둥이 12개로 이루어진 20층의 공동주택이며, 총 4개 동으로 이루어져 있다. 모의 현장개요는 Figure 6과 같다.

거푸집 합판의 물량은 12mm합판 사용을 전제로 하였으며, 거푸집의 전개도를 통하여 기둥, 보, 보강부분으로 나누어 산출하였고, 할증률 3%를 추가하였다. 여기서 거푸집 합판의 전개도는 개선 거푸집과 일반 거푸집이 동일하다고 가정하였으

**-Floor plan**



**-Bird's eye view**



ITEM	Quantity
Columns	12
Floors	20
The number of apartments	4

Figure 6. Practice field summary

며, 물량 산출식은 Table 3과 같다.

한 세트의 일반 거푸집을 제작 및 설치하기 위해 2인(목공+조공) 1조를 이루어 작업한다. 형틀목공이 하루에 0.2인이 투입되어, 인건비 20,000원이 소요되며, 보통 인부가 하루에 0.2인이 투입되어, 인건비 14,000원이 소요되므로, 총 34,000원의 인건비가 소요된다.

Table 3. Plywood Quantity

Mockup				
Formula of Quantity				
Item	STD	Unit	Q'TY	Formula
plywood (columns)	12mm	m <sup>2</sup>	0.56	$\{(0.25 \times 0.4 - 0.162 \times 0.212) + (0.262 \times 0.4 - 0.162 \times 0.212)\} \times 4 \times 1.03$
plywood (girder)	12mm	m <sup>2</sup>	0.78	$\{(0.162 \times 0.262) + (0.198 \times 0.262)\} \times 8 \times 1.03$
plywood (reinforce)	12mm	m <sup>2</sup>	0.15	$\{[(0.274 \times 0.05) + (0.262 \times 0.05) + (0.1 \times 0.015) + (0.088 \times 0.015)] \times 4 + [(0.25 \times 0.015) \times 8]\} \times 1.03$

투입 물량은 합판 1.49m<sup>2</sup>, 2\*2각재 0.8개가 사용되어 총 14,327원이 소요된다.

Table 4. Quantity details

General Form						
Item	Standard	Unit	Q'TY	Unit price (won)	Amount (won)	Re marks
plywood (columns)	12mm	m <sup>2</sup>	0.56	8,976	5,026	
plywood (girder)	12mm	m <sup>2</sup>	0.78	8,976	7,000	
plywood (reinforce)	12mm	m <sup>2</sup>	0.15	8,976	1,346	
Scantling	3.6*0.036*0.036m	EA	0.83	1,150	955	
<b>Total price of quantity = 14,327 won</b>						
installation of forms	Carpenter	man	0.2	100,730	20,000	site
	laborer	man	0.2	68,965	14,000	site
<b>Total price of manpower = 34,000 won</b>						
<b>Total amount = 48,327 won</b>						
Improvement Form						
Item	Standard	Unit	Q'TY	Unit price (won)	Amount (won)	Re marks
plywood (columns)	12mm	m <sup>2</sup>	0.56	8,976	5,026	
plywood (girder)	12mm	m <sup>2</sup>	0.78	8,976	7,000	
plywood (reinforce)	12mm	m <sup>2</sup>	0.15	8,976	1,346	
Tin plate	1mm	m <sup>2</sup>	0.755	27,000	20,000	
Epoxy	twice	m <sup>2</sup>	1.3	4,550	6,000	
Primer	once	m <sup>2</sup>	1.3	1,200	1,500	
Outside of painting	water paint	m <sup>2</sup>	1.3	500	650	
Reinforce steel	1*0.032*0.032m	EA	1.5	450	675	
Reinforce scantling	3.6*0.036*0.036m	EA	0.4	1,150	460	
Scissors jack	1ton	EA	2	8,000	16,000	
Holding turn-buckle	Ø8*720mm	set	2	3,500	7,000	
Rising lever	Ø8*300mm	EA	2	2,000	4,000	
Metal bracket	0.5*0.5*0.03m	set	2	6,000	12,000	
Sponge	0.01*1*2m	EA	0.17	5,500	935	
Reinforce turn-buckle	Ø5*450mm	set	4	1,500	6,000	
Fixed belt	w=50mm, L=3m	set	1	5,500	5,500	
Combining device 1	SUS304 35*54	EA	8	1,200	9,600	form
Combining device 2	SUS304 28*42	EA	1	800	800	cleaning hole
<b>Total price of quantity = 104,492 won</b>						
Production of forms	Carpenter	man	0.05	100,730	5,000	factory
Epoxy	twice	man	0.02	92,700	2,000	factory
Outside of painting	once	man	0.01	92,700	1,000	factory
installation of forms	laborer	man	0.05	68,965	3,500	factory
	laborer	man	0.05	68,965	3,500	factory
<b>Total price of manpower = 15,000 won</b>						
<b>Total amount = 119,492 won</b>						

한 세트의 개선 거푸집을 제작 및 설치하기 위해 2인(조공+조공) 1조를 이루어 작업한다. 이때 개선 거푸집은 공장제작 거푸집으로 공장제작 시 투입 인원과 현장설치 인원을 구분하여 산정하였다. 현장설치 시 보통인부가 하루에 0.1인이 투입되어, 인건비 7,000원이 소요된다. 공장 제작 시에는 합판거푸집 및 합석설치를 형틀목공이 하루에 0.05인, 에폭시 코팅 2회 작업에 0.02인, 외부도장 작업에 0.01인이 투입되어 8,000원의 인건비가 소요되며, 총 15,000원의 인건비가 소요된다.

투입물량은 합판, 합석, 에폭시, 프라이머, 외부 도장재, 보강철재, 보강각재, 시저스잭, 결속턴버클, 시저스잭 상승레버, 상승장치 받침철물, 스펀지, 보강 턴버클, 고정벨트, 긴결장치 1, 긴결장치2를 사용하여 제작되며, 총 104,492원이 소요된다. 산출 내역은 Table 4와 같으며, 이때 물량의 단가는 지역과 제작시점에 따라 차이가 날 수 있다.

거푸집 설치 시 초기투자비용은 개선 거푸집이 일반거푸집보다 약 7배 이상 소요되지만 인건비는 일반 거푸집이 개선 거푸집보다 2배 이상 소요된다. 또한 개선 거푸집은 20회 이상의 전용횟수를 가지고 있으며, 현장 설치 시 공장제작 인건비를 전용횟수 만큼 절약할 수 있기 때문에 일반 거푸집에 비해 경제성이 우수하다.

모의현장에 일반 거푸집과 개선 거푸집을 각각 적용하였을 때 물량과 인력의 원가산출결과는 Table 5와 같다.

Table 5. The Cost of input Quantity and input manpower of Practice field

Price of Quantity			
Item	Price	Unit	Formula
General form	1,375	10,000 WON	$12 \times 20 \times 4 \times 14,327$
Improvement Form	672	10,000 WON	$(12 \times 4 \times 104,492) \times 1.34$
Price of Manpower			
Item	Price	Unit	Formula
General form	3,264	10,000 WON	$12 \times 20 \times 4 \times 34,000$
Improvement Form	710	10,000 WON	$(12 \times 4 \times 8,000) + (12 \times 4 \times 20 \times 7,000)$

일반 거푸집의 경우 한개 층당 12개의 접합부에 거푸집 공사를 끝낸 후 거푸집을 폐기처분하게 되므로 남은 19층에 또 다시 거푸집을 제작해야 한다. 공동주택 동수가 4동이므로 총 960개의 거푸집을 제작해야하며, 총 제작비는 1,375만원이 소요된다. 인건비는 거푸집 1세트 제작 및 설치 시 34,000원으로 총 3,264만원이 소요된다.

개선 거푸집은 초기투자비용은 일반 거푸집에 비해 많이 들지만 20회 이상의 전용횟수로 인해 한개 층당 12개의 접합부

거푸집을 제작한 후 남은 19층에 재사용이 가능하다. 공동주택 동수가 4동이므로 총 48개의 개선 거푸집이 필요하며, 총 제작비는 제작 시 경상이익 34%를 포함하여 672만원이 소요된다. 인건비는 공장제작비와 현장설치비를 합하여 710만원이 소요된다.

따라서 개선 거푸집 적용 시 일반 거푸집 사용대비 제작비는 51%를 절감할 수 있으며, 인건비는 78%절감 가능하며, 총공사비 70%를 절감할 수 있다.

### 5. 결론

PC구조의 기둥과 보 접합부는 구조의 복잡한 특성 때문에 거푸집을 설치하고 해체하는 과정이 어렵다. 현재 접합부 거푸집 설치 시 현장에서 합판 거푸집을 제작 및 설치하여 인력이 많이 소요되고, 시공성이 낮다. 또한 콘크리트 타설 후 해체된 거푸집은 파손되어 재사용이 불가능하여 건축 폐기물이 다량으로 발생하는 등 많은 문제점을 가지고 있다.

본 연구는 문헌조사와 전문가 및 실무자 인터뷰를 통하여 기존의 PC구조 접합부 거푸집의 문제점을 파악하고, 거푸집 필요조건 및 개발요건을 모색하여, 개선된 거푸집을 개발하였다. 또한 기존 거푸집과 개발한 거푸집을 모의 현장에 적용하여 생산성 및 원가 비교를 하였으며, 개선 거푸집의 특징은 다음과 같다.

첫째, 설치 및 해체과정이 용이해야 하며 콘크리트 측압에 견딜 수 있어야 한다. 시공성 향상을 위하여 고정벨트에 래칫버클을 사용하였고, 보 밑 거푸집 부분과 기둥 거푸집 부분에 유닛 당 2개의 긴결장치를 설치하였으며, 이들은 콘크리트 타설 시 측압에 대해서도 강력한 힘을 얻을 수 있다.

둘째, 강성이 있으면서 거푸집의 무게가 가벼워야 한다. 합판면의 내부에는 에폭시 도장을 하였고 파손 위험이 있는 모서리는 철재와 각재로 보강하여 거푸집의 강도를 높였으며, 불필요한 각재를 제거하여 거푸집의 무게를 줄였다.

셋째, 재사용이 가능한 전용율이 좋은 거푸집이어야 한다. 거푸집 내 콘크리트 타설 부위는 타설 후 다짐봉의 사용으로 인한 합판의 변형 및 파손을 막기 위해 합석판을 부착함으로써 거푸집의 전용율을 향상시켰으며, 보강 턴버클을 사용하여 거푸집 변형을 최소화 하였다.

넷째, 품질저하 요인이 없어야 한다. 시멘트 페이스트 누출을 막기 위해 보와 기둥의 콘크리트 면과 거푸집이 맞닿는 부위에 스펀지를 덧대었으며, 청소구를 설치하여 간편하게 이물질을 제거할 수 있게 하여 품질저하를 최소화하였다.

이에 따라 본 연구의 개선 거푸집을 모의 현장에 적용 결과 기존 거푸집 대비 설치 및 해체시간을 77%의 단축효과를 기



대할 수 있으며, 공사비는 70%를 절감할 수 있었다. 뿐만 아니라 양질의 균일한 품질을 기대할 수 있으며, 폐기물 및 CO<sub>2</sub> 발생량을 줄일 수 있는 친환경적 거푸집이다.

그러나 본 연구는 모의현장 적용으로 실제 현장시공의 특성이 고려되지 않았다. 향후 본 연구의 개선 거푸집을 실제 현장 적용을 통한 생산성향상 및 원가절감 검증 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 요 약

2005년 11월 건축법 개정을 통해 리모델링이 용이한 라멘 구조의 공동주택 신축 시 용적률과 층수 등의 인센티브를 부여함으로써 PC구조적용에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 PC구조의 기둥과 보 접합부는 구조가 복잡하다는 특성 때문에 거푸집을 설치하고 해체하는 과정이 매우 까다롭다. 현재 접합부 거푸집 설치 시 현장에서 합판 거푸집을 제작 및 설치하여 인력이 많이 소요되고, 시공성이 낮다. 또한 콘크리트 타설 후 해체된 거푸집은 파손되어 재사용이 불가능하여 건축 폐기물이 다량으로 발생한다는 문제점을 가지고 있기 때문에 이런 문제점들을 해결 할 연구가 필요한 실정이다. 그러나 국내외적으로 PC구조 접합부의 구조적 성능에 관한 연구들이 진행되어져 왔을 뿐, PC구조 접합부 거푸집에 관한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 PC구조 접합부공사의 생산성 향상을 위한 거푸집개발을 목적으로 하고, 개선 거푸집 사용에 따른 기존 거푸집과의 비교를 통하여 생산성 및 경제성 향상의 기대효과를 제시한다.

**키워드** : PC구조, 접합부, 거푸집, 생산성, 공동주택

## Acknowledgement

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (NO.R11-2010-0001860)

## References

1. Kang SM, Kim OJ, Domestic and Foreign Present Situation Analysis of a PC Method, Daelim Technology Research Institute, 2006
2. Park CL, Kim MH, Chung IY, An Experimental Study on the Structural Properties of Beam-Column Joint Using Half Precast Beam, Journal of Construction

- Engineering and Management, 1994;10(3):117-125.
3. Lim JH, Lee KM, Moon JH, Lee WH, Kim SY, Lee KC, Structural Capacity Evaluation of Precast Concrete Joints used for Underground Parking System, Journal of the Architectural Institute of Korea,2008;10(2):265-274.
4. Yoo DH, Lee HB, Ahn JC, Kang BH, A Study on the Economical Analysis of the Composite Precast Concrete Method, Journal of Construction Engineering and Management, 2007:113-118.
5. Hyun KM, Choi IW, Kim OK, Development of the form-work system for quality improvement on the kick-up of wall in the apartment house construction, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2005;21(4):173-178.
6. Kim SH, Choi JH, Kim SK, Lee DH, Improvement Plan for Connecting Form of PC Member -Focused on Apartment Buildings-, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2010;10(1):9-12.
7. An SH, Lee UK, Kang KI, A Study on the Proposal about the Improvement of PC in Construction Industry, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2004;20(7):133-140.
8. Yang SW, Cho HH, Kang KI, Development and Application of Unit Table Form using Euro Form for High-rise Building Construction, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2008;8(2):45-53.
9. Kim TH, Kim OJ, Kim GH, Lee DB, An Analysis of Rapid Construction and Productivity of Formwork System by Using Aluminum Panel Form System with Dropping Beam, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2008;28(1):523-526.
10. Elazouni AM, Ali AE, Abdel-Razek RH, Estimating the Acceptability of New Formwork Systems Using Neural Networks, Journal of Construction Engineering and Management, 2005;131(1):33-41.
11. Hanna AS, Willenbrock JH, Sanvido VE, Knowledge acquisition and development for formwork selection system, Journal of Construction Engineering and Management, 1992;118(1):179-198.
12. Jeong BJ, Hong KP, Ha SW, The Flexural Behaviour of Reinforced Concrete Beams with Precast Light Weight Concrete Formwork, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2009;25(5):95-102.
13. Son JH, Seok HS, Lee SH, Park JW, Simulation Analysis of Productivity and Economic Efficiency of the PC and Steel Structures According to the Beam-Column Connection Type, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2009;25(7):137-144.

14. EL DEBS MK, Montedor LC, DE HANAI JB, Compression tests of cement-composite bearing pads for precast concrete connections, *Cement & concrete composites*, 2006;28(7):621-629.
15. Kim TH, Lee HM, Kim YJ, Shin HM, Performance assessment of precast concrete segmental bridge columns with a shear resistant connecting structure shear resistant connecting structure, *Engineering Structures*, 2010.
16. Ahn YS, Lee LH, Survey and Analysis on the Work Process and Working Time Characteristics of Formwork Operation, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 1993;9(3):191-196.