

PC부재에 의한 물류시설의 골조공사 개선사례 연구

A Case Study of the Improvement of the Structural Work of a Logistics Facility by Using PC Member

김 선 형¹ 최 은 규² 김 선 국³ 이 성 호^{4*}

Kim, Seon-Hyung¹ Choi, Eun-Gyu² Kim, Sun-Kuk³ Lee, Sung-Ho^{4*}

Master's Course, Graduate School, KyungHee University, Yongin, 446-701, Korea ¹

Ph. Doctor, Manager, DnK Construction inc, Daoudigitalsquare, 23-7, Gyeonggi-do, Korea ²

Professor, Department of Architectural Engineering, KyungHee University, Yongin, 446-701, Korea ³

Doctor's Course, Graduate School, KyungHee University, Yongin, 446-701, Korea ^{4*}

Abstract

As logistics facilities have a high ceiling height, simple structure, and the need for a quick return on investment, it is usually essential to advance the construction schedule of such facilities. Accordingly, PC structures, which require less labor, cost and schedule, can be more competitive than RC structures. However, most construction companies in Korea are familiar with RC structure design, have negative perceptions regarding PC structures, and do not sufficiently adopt new construction techniques. The structure that this research features has 110 columns that are 14 m high and are built to the same specification, and applying an RC design to the structure will lead to issues related to constructibility, economic viability, project duration and safety. Therefore, this study intends to feature PC design as an alternative to the RC warehouse design, and perform a comparative analysis of the reduction in labor, cost and construction schedule to highlight benefits. The research outcomes herein will provide inputs to subsequent studies on new construction strategies to advance the construction schedule, improve quality and constructibility, enhance safety and save costs.

Keywords : PC Member, Logistics facilities, Erection of frameworks, Constructibility

1. 서론

PC(Precast Concrete)공법은 80년대 초부터 인력 및 원가 절감, 공기 단축 등을 도모하기 위하여 적용되었다. 공동주택 및 일반 건축물에서는 품질 저하 등의 문제로 국내에서는 사양 산업으로 취급되었으나, 해외의 경우는 신기술의 개발 및 투자로 지속적으로 성장하고 있다[1]. 또한 전 세계적으로 최근 10여 년간 건설시장의 변화를 살펴보면, 대형 구조물이 눈에 띄게 증가하고 있다[2]. 대표적인 대형 구조물인 물류창고 및 공장의 경우 건설 경상 수주액은 2000년에 6,760억원에서 2007년 6조5,480억원으로 지속적인 증가추세를 보이고 있다

[3]. 이러한 구조물 중 특히 물류창고시설은 층고가 높고 구조가 단순하며 투자비 회수를 위한 조속한 건설 및 운영이 필요하기 때문에 공기단축이 절실하다. 이에 따라 건설과정 중 PC 부재의 사용으로 인한 공기단축은 매우 큰 경제적 이득을 가져올 수 있다. 그러나 현재 물류시설 건설과정을 살펴보면 RC(Reinforced Concrete) 기술에 익숙해져 있고, PC를 이용한 건설에 부정적 인식과 새로운 공법적용에 대한 노력 부족으로 인하여 현장 적용에 어려움이 있다. 대량소품종을 생산하는 국내 조립식 공법의 특성상 소량다품종 생산이 필요한 물류창고의 요구에 적절히 대응할 수 없으며, 공장생산 PC의 경우 운송비 증가로 인한 원가 절감이 어렵다.

따라서 본 연구는 사례분석을 통한 물류창고 RC장주(長柱) 제작에서 발생하는 시공성 및 품질저하, 공기증가 및 원가상승에 대한 문제점 개선을 중심으로 연구범위를 설정하고, 사례현장 물류시설의 RC기둥의 생산성 향상을 위한 현장제작 PC공법 적용을 통한 개선효과 제시를 목적으로 한다. 향후 본

Received : November 10, 2010

Revision received : December 2, 2010

Accepted : December 9, 2010

* Corresponding author : Lee, Sung-Ho

[Tel: 82-31-201-3366, E-mail: khsh@khu.ac.kr]

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

연구의 결과물은 물류시설 시공 시 공기단축, 품질 및 시공성 향상, 안전성향상, 원가절감효과를 가져올 신공법개발 연구의 기초자료로 사용될 것으로 사료된다.

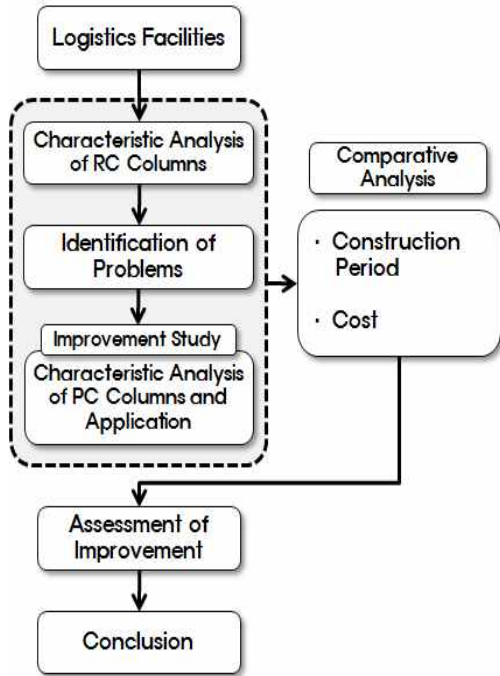


Figure 1. Procedures of the study

본 연구의 절차는 Figure 1과 같으며, 첫째, 문헌고찰의 단계에서는 국내 및 해외의 연구사례를 분석하고, 그 결과를 토대로 물류창고의 RC기둥 제작의 문제해결의 기본 지식을 체계화 한다. 둘째, 기존 물류창고의 RC기둥의 구조적 특성 및 시공 방법을 분석한 후 문제점을 도출하여 추후 제시될 개선(안)의 실패요인을 제거한다. 셋째, 개선된 현장제작 PC기둥의 원가 및 공기를 비교, 분석한다. 넷째, 개선(안)에 대한 정량적 공법 평가를 하고 개선 공법의 기대효과를 제시한다.

2. 예비적 고찰

2.1 공법 특성 고찰

Table 1과 같이 물류창고 장주(長柱)제작에 사용되는 공법은 기둥의 제작 방식에 따라 크게 RC공법과 PC공법으로 나눌 수 있다. PC공법은 제작 장소에 따라 다시 공장제작 방식과 현장제작 방식으로 구분할 수 있다. RC공법은 콘크리트 타설 높이의 제한으로 반복제작이 필연적이며 공기단축이 어렵다. 또한 기둥 제작 시 고공 비계 작업으로 안전에 대한 리스크가 크다. 공장제작 방식의 PC공법은 공기단축과 품질향상 및 시

공시 안전성이 확보되나, 운반비용 증가와 소량생산의 경우 원가 상승이 발생한다. 현장제작 방식의 PC공법은 공장제작 PC의 장점을 가지면서 운반비용을 절약할 수 있다. 따라서 물류창고의 경우 현장제작 방식의 PC공법은 원가, 공사기간, 안전 및 품질측면에서 최적의 공법이다.

Table 1. Columns installation method characteristic comparison of Logistics facilities

Classifications	RC Method	Plant Manufacture PC Method	Site Manufacture PC Method
Period	period delay by placing separate	period reduce by placing a time	period reduce by placing a time
Quality	normal	very good (concerned about damage during Transportation and installation)	very good (concerned about damage during installation)
Cost	normal	normal	good
Safety	normal	very good	very good
Risk	placing height limited	normal	normal

2.2 관련연구 동향

건축물이 대형화·고층화되어 가면서 공사비 상승, 숙련공의 부족으로 공사기간의 지연 등의 문제점들이 나타나고 있다. 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 방안으로 공장에서 건축부재를 생산하여 현장에서 조립 시공하는 PC공법의 중요도가 높아지고 있다. PC공법은 공장이나 현장플랜트에서 생산된 부재를 양중 장비를 이용하여 조립 시공하는 공법을 말하며, 부재의 공장생산으로 균일한 품질을 확보할 수 있어 기존의 재래 공법에 비하여 공기 단축과 공사인력을 절감할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 초기에는 유럽 국가를 중심으로 공사기간 단축과 노동력 부족의 해소, 주택의 안정적인 보급을 목적으로 시행되었으며, 아시아에서는 일본에서 2차 세계대전 이후 급속한 경제성장 및 주택수요 급증에 따라 PC공법이 발전하게 되었다[2]. PC공법 관련 연구로 Ahn et al.[1]은 국내 PC산업의 도입 시기부터 현재까지의 발전과정, PC공법이 국내 건설업에 미친 영향, 그리고 기존 PC공법의 문제점 및 현황을 조사하여 향후 건축에서의 PC산업 활성화를 위한 방안을 제시하였으며, Kang and Kim[2]은 PC공법의 국내·외 현황을 분석하고 PC산업의 발전 방향에 대하여 논하였다.

RC공법은 인건비 비중이 커 공사비 절감과 공기단축의 필요성이 대두되고 있다[4]. RC공법과 PC공법의 비교연구로 Park[5]은 지하주차장에 적용된 각 공법의 공사비, 공사기간, 품질을 비교하였으나 공사비 비교에서 세부항목을 파악할 수 없었으며, Kim et al.[6]의 연구에서는 초고층 아파트의 골조

공정에서 PC공법과 RC공법의 공사비를 비교하였으나 공사기간 및 품질 등에 대한 분석이 부족하였다. 그 외의 Kim et al.[7]은 아파트 지하주차장의 PC공법 적용방안을 연구하였고, Kim and Kim[8]은 철골조 아파트에서의 PC공법 적용에 대한 연구를 진행하였다. 또한 Cho et al. [9]의 연구에서는 PC DTS 공법을 적용한 물류창고를 대상으로 RC공법과의 공사비 및 공사기간, 품질을 비교·분석하였으나, 장스팬 슬래브 중심의 공법으로 연구가 진행되었다.

이와 같이 다양한 PC공법 적용 연구가 진행되어 왔지만 물류창고의 RC기둥 제작의 문제점을 개선한 현장제작 PC기둥에 관한 연구는 진행되지 않았으므로, 관련 연구가 필요하다.

3. 공법 소개

3.1 RC공법의 문제점

RC구조는 열팽창계수가 동일한 철근과 콘크리트의 일체로 결합하여 철근의 인장력에 콘크리트의 압축력을 유효하게 작용시켜 상호 보완을 이루는 이상적인 구조체이다[10]. 본 연구 대상 현장인 OO물류창고에서 RC기둥 제작 시 문제점은 Table 2와 같다. 본 현장의 단위기둥의 높이가 14m로 층고가 높고, 동일한 규격의 장주(長柱)가 110본 소요되는 현장으로 RC공법을 이용할 경우 1회 타설 콘크리트 높이의 제한으로 4회 분리 타설(시방서에 의거)에 따른 공사일정 지연, 거푸집 및 비계의 과다 사용과 콘크리트 분리 타설로 인한 레미콘 및 작업인력의 반복 동원에 따른 원가 증가가 예상된다. 또한 RC기둥 제작의 경우 모든 작업이 비계를 중심으로 이루어짐에 따른 고공작업이 필수적으로 수반되어 현장작업인력의 안전도 감소가 불가피하고, 기둥의 품질저하 및 이음부분에서의 구조적 취약성으로 인한 성능확보의 어려움이 있다.

3.2 공법개요

3.2.1 PC기둥의 요구 성능 및 구성

위에서 언급한 현장제작 RC기둥의 문제점을 해소하기 위하여 14m 기둥의 일체화 및 콘크리트 1회 타설 시공을 위한 방법으로 현장제작 PC기둥을 적용하였다. PC기둥의 구성은 Figure 2와 같으며, 공기, 원가, 안전, 품질문제에 대한 해결책을 마련하였고, 아래의 조건을 만족하도록 현장제작 PC기둥을 개발하였다.

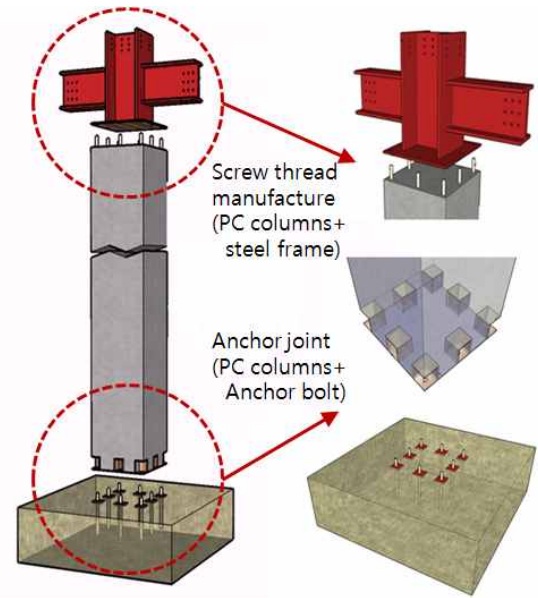


Figure 2. Configuration of site manufacture PC columns

Table 2. Problems by RC columns of Logistics facilities

Classifications	Problems
Period	period delay by placing four times of 14m columns
Cost	cost increase by excess use of materials and manpower.
Safety	Reduced by build up type scaffolding safety
Quality	quality decrease by four times of separation manufacture

첫째, 기존의 물류창고 RC기둥은 제작이 어렵고, 품질확보가 어렵다. 따라서 제작 및 설치가 용이하며, 구조적 필요성능을 확보하여야 한다. 그 방안으로 기둥 상부의 철골과 PC기둥 접합시 주근 단부를 나사산 가공하여 시공성을 향상시켰다.

둘째, 가설재 및 재료의 최소화로 원가 절감 효과가 있어야 한다.

셋째, 장주의 시공방법 개선을 통한 공기단축이 필요하다.

넷째, 제작 및 설치 시 현장작업인력의 안전성이 확보되어야 한다.

다섯째, 상부 SS조와의 연결 시 시공성이 좋아야 하며, 충분한 구조적 안전성을 확보하여야 한다.

여섯째, 하부 독립기초와의 일체성이 확보되어야 한다.

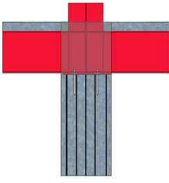
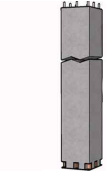
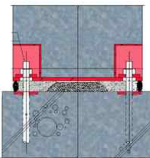
이외에도 페콘크리트 잔량의 최소화등의 요건을 현장제작 PC기둥 개선공법에 반영하였다.

위의 요구 성능을 반영한 현장제작 PC는 Table 3과 같으며, 하부의 앵커접합부, 중부의 PC기둥, 상부의 SRC접합부로

구성되어 있다.

앵커접합부는 개별기둥의 위치에 독립기조를 설치하고 기둥 고정용 앵커볼트를 8개 설치하여, 기초와 기둥의 접합 성능을 확보하였다. 중부의 PC기둥은 설계 성능을 고려하여 1회 타설로 마감한 콘크리트 기둥이며, 상부는 2층 SS조와의 접합을 용이하기 위한 H-beam으로 제작되어 있다.

Table 3. Characteristics of site manufacture PC columns

Position	Material	Image	Features
upper	Steel Reinforced Concrete		H-beam installation to connect to upper part Steel Structure (screw thread manufacture of steel reinforcement)
S T R U C T U R E	middle		Site Manufacture PC columns
bottom	Anchor Bolt		Anchor installation to be put together with foundation and columns

3.2.2 구조 안전성 검토

일반적으로 RC기둥은 기초의 다우얼바를 기둥에 정착시켜 기둥의 축하중을 기초에 전달한다. 현장제작 PC기둥 시공에서는 이러한 시공방법 대신 앵커볼트를 설치하여 PC 기둥과 볼트이음을 하는 핀접합 방식을 사용하였다. 이러한 기둥의 축하중 전달 메커니즘은 기둥에서 무수축 모르타르와 강판을 통하여 기초로 전달된다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트의 기준에서 정의하는 지압단면까지 기초의 강성을 고려하여 기둥 상·하부의 안전성을 검토하였다.

1) PC 기둥 하부의 안전성 검토

가. PC 기둥 하부 각 부재에 작용하는 힘

PC 기둥 하부의 각 부재에 작용하는 하중은 다음 식(1)과 같으며, <KBC 2005 0303 3.2.4>에 의거하여 c값은 다음 식(2)와 같이 적용할 수 있다.

$$P = 1.4D + 1.7L \times 0.8 = 5,363kN \quad (1)$$

$$c = 0.36 + \frac{4.0}{\sqrt{A}} \geq 0.8 \quad (2)$$

여기서 $A=121m^2$ 이고 $c=0.72$ 이므로, $c=0.8$ 을 적용한다. 나. 하중전달 메커니즘에 의해 각각 부재에 작용하는 하중 기초판에 전달되는 총 하중은 $P=P_1+P_2$ 와 같으며, 여기서 P_1 과 P_2 는 각각 다음과 같다. 이는 각각 식(3)과 식(4)와 같이 계산된다.

P_1 : 콘크리트만 있는 면적에 작용하는 하중

P_2 : 강판이 설치된 면적에 작용하는 하중

$$P_1 = \left(\frac{k_1}{k_1 + k_2} \right) \cdot P \quad (3)$$

$$P_2 = \left(\frac{k_2}{k_1 + k_2} \right) \cdot P \quad (4)$$

$$f_{(flexibility)} = \left(\frac{1}{E_{ici}(t')} + \frac{\Phi_i(t, t')}{E_{ici}} \right) \cdot \int \frac{1}{A_i(l)} dl \quad (5)$$

식(5)에서 전항은 크리프를 반영한 식을 나타낸 것이고, 뒤의 항은 변단면을 반영한 항이다. 또한 강성 k값은 식(5)의 역수로 구할 수 있으며 다음 식(6)과 식(7)과 같이 계산 할 수 있다.

① 콘크리트만 있는 면적의 강성

$$k_1 = 1 / \left[\left(\frac{1}{39,309} + \frac{1.422}{42,638} \right) \cdot \int_0^{50} \frac{1}{250^2 - 200^2} dl + \left(\frac{1}{30,904} + \frac{2.123}{32,643} \right) \cdot \int_0^{50} \frac{1}{(1,050 - 4l)^2 - (400 - 4l)^2} dl \right] = 96,061,479 N/mm$$

(6)

② 강판이 설치된 면적의 강성

$$k_2 = 1 / \left[\frac{1}{206,000} \cdot \int_0^{50} \frac{1}{200^2} dl + \left(\frac{1}{30,904} + \frac{2.123}{32,643} \right) \cdot \int_0^{50} \frac{1}{(400 - 4l)^2} dl \right] = 14,817,010 N/mm \quad (7)$$

따라서 각 부재에 작용하는 하중은 위의 식(6)과 식(7)에서 구한 값을 식(3)과 식(4)에 대입하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_1 = \left(\frac{k_1}{k_1 + k_2} \right) \cdot P = 4,646.3 kN$$

: 무수축 모르타르에 작용하는 하중

$$P_2 = \left(\frac{k_2}{k_1 + k_2} \right) \cdot P = 716.7 kN$$

: 강판이 설치된 면적에 작용하는 하중

다. 기초 지압 검토

각 부재에 전달되는 하중에 대한 기초의 지압을 검토하기 위하여 다음과 같이 강판하중에 대한 지압(식(8))과 모르타르 하중에 의한 지압(식(9))을 검토한다. 이때 기초 콘크리트의

압축강도는 $f_{ck}=27$ MPa 이다.

① 강판하중에 대한 지압

$$\phi \times 0.85 \times f_{ck} \times A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad (A_2=4A_1)$$

$$= 0.7 \times 0.85 \times 27 \times 200^2 \times 2/1000$$

$$= 1,285 \text{ kN} > 716.7 \text{ kN} \quad \therefore O.K$$

(8)

② 모르타르 하중에 의한 지압(강판에 대한 지압분담 면적 A_2 를 제외한 면적을 적용)

$$\phi \times 0.85 \times f_{ck} \times A_1 \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad (9)$$

$$= 0.7 \times 0.85 \times 27 \times 850^2 \times \sqrt{\frac{(850^2 \times 4 - 200^2 \times 4)}{850^2}} / 1000$$

$$= 22,562 \text{ kN} > 4,646.3 \text{ kN} \quad \therefore O.K$$

라. 기둥 지압 검토

각 부재에 전달되는 하중에 대한 기둥부재의 지압을 검토하기 위하여 다음과 같이 강판하중에 대한 지압(식(10))과 모르타르 하중에 의한 지압(식(12))을 검토한다. 이때 기둥 콘크리트의 압축강도는 $f_{ck}=30$ MPa 이다.

① 강판하중에 대한 지압

$$\phi \times 0.85 \times f_{ck} \times A_1 \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad (A_2=4A_1)$$

$$= 0.7 \times 0.85 \times 30 \times 69,696 \times 2/1000$$

$$= 2,488 \text{ kN} > 918.8 \text{ kN} \quad \therefore O.K$$

(10)

여기서, A_1 은 강판의 하중 전달에 의한 하중분산을 나타내며 다음 식(11)에 의해 계산된다.

$$A_1 = (0.2 + 0.032 \times 2) \times (0.2 + 0.032 \times 2) \quad (11)$$

$$= 0.069696 \text{ m}^2$$

A_1 에 가해지는 하중은 강판에 의한 하중과 분산되어 증가된 면적만큼의 모르타르 하중의 합과 같다.

$$\text{즉, } 716 \text{ kN} + \frac{4,646.3 \text{ kN}}{0.6825 \text{ m}^2} \times (0.069696 - 0.2^2)$$

$$= 918.8 \text{ kN} \text{ (202.1 kN 증가)}$$

② 모르타르 하중에 의한 지압

강판에 대한 지압분담 면적 A_2 를 제외한 면적을 적용하며, 순수 기둥 단면으로 지압된다.

$$A = (0.85^2 - A_2) = (0.85^2 - 0.069696 \times 4) = 0.443716 \text{ m}^2$$

$$\phi \times 0.85 \times f_{ck} \times A$$

$$= 0.7 \times 0.85 \times 30 \times 0.443716 \times 1000$$

$$= 7,920 \text{ kN} > 4,444.2 \text{ kN} \quad \therefore O.K$$

(12)

2) PC 기둥 상부의 안전성 검토

가. PC 기둥 상부에 작용하는 힘

PC 기둥의 상부에 작용하는 하중은 기둥의 하부에 작용하는 하중에서 기둥의 자중을 제외한 하중과 같으며 나머지는 기둥 하부에 재하되는 하중과 동일하며 다음 식(13)과 같이 계산된다.

$$P = 1.4D + 1.7L \times 0.8$$

$$= 1.4 \times (1,210 - 0.85 \text{ m}^2 \times 12.5 \text{ m}^2 \times 241 \text{ N/m}^3) + 1.7 \times 2,698 \times 0.8$$

$$= 5,060 \text{ kN} \quad (13)$$

나. 하중전달 메커니즘에 의해 각각 부재에 작용하는 하중
본 시공에 사용된 기둥은 12.5m 길이의 기둥 상부에 각각 10mm와 50mm 강판이 설치되어 있는 두 가지 안으로 설계되었으며, 10mm의 강판을 설치하는 경우는 무수축 모르타르의 타설 깊이를 조절하여 부재의 수직도를 조절하도록 하였다. 이에 대한 검토는 St. Vernant 정리를 이용하여 등분포 작용선까지 기둥의 강성을 고려하여 해석하였으며, 위의 정리에 의해 하중이 분산되지만, 안전측으로 검토하기 위하여 하중전달 경로를 수직으로 하여 $\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}=1.0$ 값을 적용하여 검토하였다. 또한 이외에 불확실한 요소에 대해 안전측으로 검토를 하기 위하여, 무수축 모르타르의 탄성계수를 기둥과 동일한 탄성계수를 적용하여 계산하도록 하였으며, 장기하중에 대하여 기둥 콘크리트의 크리프를 반영하였다. 기둥 상부의 각 부분에 작용하는 하중은 다음 식(14) 및 식(15)와 같이 구할 수 있으며, 이에 필요한 각 강성에 대한 식은 식(16) 및 식(17)에 각각 나타내었다.

$$P_c : \text{콘크리트 부분에 작용하는 하중} = \frac{k_c}{k_c + k_s}$$

$$, P = 4,358.8 \text{ kN} \quad (14)$$

$$P_s : \text{강판이 긴 부분에 작용하는 하중} = \frac{k_s}{k_c + k_s}$$

$$, P = 701.2 \text{ kN} \quad (15)$$

① 콘크리트만 있는 면적의 강성

$$k_c = 1 / \left[\left(\frac{1}{30,930} + \frac{2,037}{33,550} \right) \int_0^{50} \frac{1}{550^2 - 200^2} dl + \left(\frac{1}{30,930} + \frac{2,037}{33,550} \right) \int_0^{850} \frac{1}{550^2 - 200^2} dl \right]$$

$$(16)$$

$$= 3,134,796 \text{ N/mm}$$

② 강판이 긴 면적의 강성

$$k_s = 1 / \left[\frac{1}{206,000} \int_0^{50} \frac{1}{200^2} dl + \left(\frac{1}{30,930} + \frac{2,123}{33,550} \right) \int_0^{850} \frac{1}{200^2} dl \right]$$

$$(17)$$

$$= 504,286 \text{ N/mm}$$

다. 기둥 지압 검토

각 부재에 전달되는 하중에 대한 기둥 상부의 지압을 검토하기 위하여 다음과 같이 강관하중에 대한 지압(식(18))과 콘크리트 하중에 대한 지압(식(19))을 검토하였다.

① 강관하중에 대한 지압

$$\phi \times 0.85 \times f_{ck} \times A \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}, \quad \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 1.0 \quad (18)$$

$$= 0.7 \times 0.85 \times 30 \times 200^2 \times 1.0 / 1000$$

$$= 714 \text{ kN} > 701.2 \text{ kN} \quad \therefore O.K$$

② 콘크리트 하중에 대한 지압 (강관에 대한 지압분담 면적 A_2 를 제외한 면적을 적용)

$$\phi \times 0.85 \times f_{ck} \times A \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

$$= \phi \times 0.85 \times 30 \times (550^2 - 200^2) \times 1.0 / 1000 \quad (19)$$

$$= 4685 \text{ kN} > 4358 \text{ kN} \quad \therefore O.K$$

라. 응력 검토

St. Vernant 정리의 등분포 하중 작용선에서의 응력을 비교하면 다음과 같으며, 기둥이 허용하는 응력(17.85 MPa)내에서 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

$$\sigma_s = \frac{701.2 \text{ kN}}{200^2 \text{ mm}^2} = 17.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = \frac{4,358 \text{ kN}}{(550^2 - 200^2) \text{ mm}^2} = 16.6 \text{ MPa}$$







위의 안전성 검토에서와 같이 앵커볼트를 설치하여 PC 기둥과 볼트이음을 한 편접합 방식 기둥 상부 접합의 강성이 소요 강성을 만족하고 있음을 알 수 있다.

3.3 현장제작 PC기둥 제작 및 시공순서

현장제작 PC기둥의 제작 과정은 Table 4와 같다. 현장에서 거푸집 제작 후 철근을 배근하고, 콘크리트를 타설 및 양생 후 순보기를 거쳐 기둥 제작을 완료한다. 제작된 기둥은 Figure 4와 같은 순서로 설치된다.

- ① PC제작 및 독립기초를 설치하고, 기초의 레벨보기 등 선행공정을 실시한다.
- ② 개별 기초위에 Anchor 홀을 천공한다.
- ③ Anchor를 시공한다.
- ④ Anchor Level을 고정하고 수직도를 확인한다.
- ⑤ 현장 제작한 PC기둥을 조립한다.
- ⑥ 기둥의 수직도를 확인한다.
- ⑦ 기초와 기둥의 일체화를 위한 그라우팅을 한다.

Table 4. Production process of site manufacture PC columns

1. Form manufacture	2. Arrangement of rebar
	
3. Concrete placing	4. Concrete curing
	
5. Demolition & Cleaning	6. Installation
	

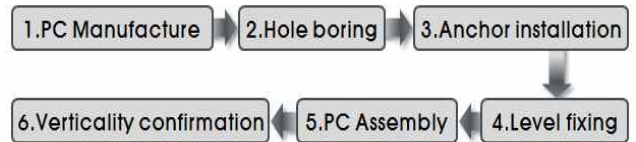


Figure 4. Installation process of site manufacture PC columns

4. 사례분석을 통한 개선공법 비교분석

4.1 사례현장 개요 및 적용

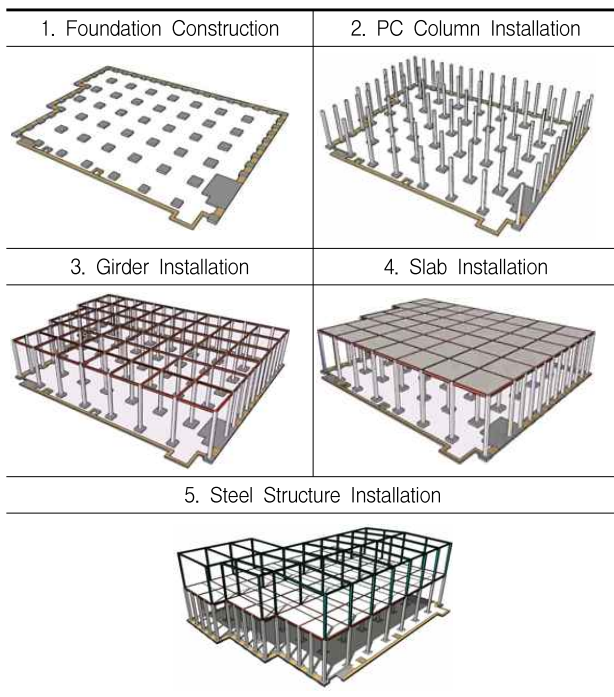
개선공법인 현장제작 PC기둥 공법을 적용한 사례현장은 경기도 남양주시 OO물류센터이며, 현장개요는 Table 5와 같다. 이 현장은 지상2층의 물류시설로 기존에는 1층은 RC, 2층은 SS조(Steel Structure)로 설계되었으나 단위기둥의 높이가 14m로 동일한 규격의 장주(長柱)가 110본 소요된다. RC공법을 이용할 경우 시공성, 경제성, 공사기간, 안전성등의 문제발생이 예상되어, 1층을 현장제작 PC기둥 공법으로 변경하여 시공하였다.

Table 5. Site Summary

Site Location	SudongMyun, Namyangju, Gyeonggi-do
Building Use	Logistics facilities
Site Area	17,554.0 m ²
Size	underground 1f ~ ground 2f
Total Floor Area	15,549.5 m ²
Construction Period	2008.08.21 ~ 2009.01.25
Type of Foundation	spread foundation
Structural Characteristics	RC + SS

비교대상 기둥 구조체는 동일한 설계내용으로 동일한 성능의 RC기둥을 현장제작 PC기둥으로 변경 적용하였으며, 골조 시공 시물레이션은 Table 6과 같다.

Table 6. Erection of frameworks Simulation



4.2 공법의 원가 비교

본 연구에서는 두 공법의 공사비를 효율적으로 평가하기 위하여 동일한 성능의 기둥을 제작한다는 가정 하에 현장에 투입된 물량 산출을 선행하였다. 현장제작 PC공법은 실제 계약 단가를 적용하여 공사비를 산정하였고, RC공법에서는 본 현장에서 현장제작 PC공법과 동일한 재료강도와 구조형식으로 구조해석을 실시하여 물량을 산출 한 후 품과 부·자재는 대한건설협회의 표준품셈을 근거로, 단가는 2010년 8월 물가자료에 근거하여 작성하였다.

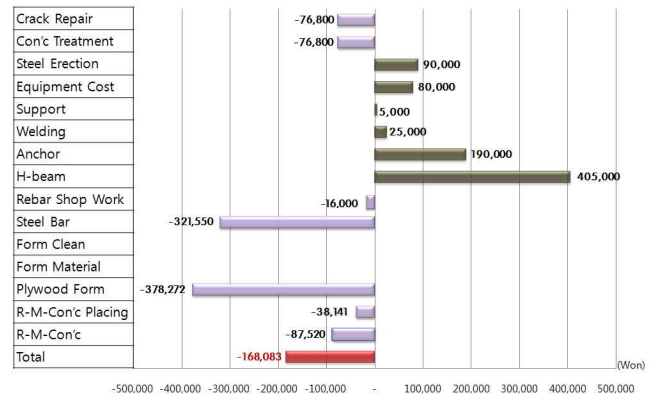


Figure 5. The PC expenses of construction comparison that was based on RC expenses of construction

현장제작 PC기둥의 원가계산에는 실제 투입공사비를 적용하였다. PC기둥이지만, 현장제작으로 인하여 운송비용이 제외되는 장점이 있어 원가산출에서 제외되었고, 재료 보강 자재인 H-beam, 앵커, 용접 등의 비용과 PC기둥의 설치를 위한 양중비용이 추가로 발생하였다. Table 7과 같이 현장제작 PC기둥의 공사비는 3,600,050원으로 산출되었다.

Table 7. Comparative table of Site Manufacture PC Method and RC expenses of construction

(Unit : Won)

Item	PC (A)	RC (B)	A-B
R-M-Con'c	444,416	531,936	-87,520
Con'c Placing	67,200	105,341	-38,141
Plywood Form	544,000	922,272	-378,272
Form Material	34,000	34,000	-
Form Clean	34,000	34,000	-
Steel Bar	1,199,000	1,520,550	-321,550
Rebar Shop Work	482,434	466,434	-
H - beam	405,000	-	405,000
Anchor	190,000	-	190,000
Welding	25,000	-	25,000
Support	5,000	-	5,000
Equipment Cost	80,000	-	80,000
Steel Erection	90,000	-	90,000
Con'c Treatment	-	76,800	-76,800
Crack Repair	-	76,800	-76,800
Total	3,600,050	3,768,133	-168,083

RC공사의 공사비는 지출이 큰 가설공사, 거푸집공사, 철근공사, 콘크리트공사를 주 대상으로 각 공종별로 산출된 물량에 2010년 표준품셈을 이용하여 산정하였다. 이상의 결과, 공사비는 3,768,133원으로 산출되었다.

Figure 5는 Table 7의 공사비 차이를 도식화한 것으로 RC기둥의 원가를 기준으로 하여 항목별 현장제작 PC의 원가 상

승 및 절감을 표시한 것이다. Figure 5를 통하여 현장제작 PC공법이 RC공법에 비하여 개별항목의 원가증가는 존재하나 최종적인 제작비용은 168,083원 만큼 비용이 덜 들어 원가를 RC대비 4.5%이상 절감할 수 있다.

4.3 공법의 공정 비교

본 연구에서의 두 공법의 공정비교에서는 공기단축 효과를 분석하기 위하여 기동 한 개 시공 시 각 공법의 공정 절차 차이점을 검토하였다. 주요 원인을 분석해보면 타설 횟수에 따라 공기의 차이가 발생하였다. 현장제작 PC공법의 경우 1회 타설로 원하는 길이의 기동제작이 가능하였으나, RC기동은 콘크리트 타설 높이의 문제로 총 4회로 나누어 작업이 이루어진다. 매단계마다 틀비계조립, 철근조립, 거푸집조립, 콘크리트 타설, 양생, 거푸집 해체에 총 9일이 소요되나, 3단과 4단 설치 시에는 고공작업을 위한 틀비계 조립에 추가 일정이 소요되어 10일이 걸리며, 기동 한 개 시공 시 총 38일의 일정이 소요된다. 따라서 RC공법의 경우 거푸집이 건널 수 있는 측압의 한계로 인하여 4회 분리 타설이 이루어져야하며, 이에 따라 공기가 증가하였다. 현장에서 적용 가능한 공법의 공정은 Figure 6과 같이 비교된다. RC공법 적용 시 공사기간은 1단 및 2단 설치 시 각 9일, 3단, 4단 설치 시 각 10일이 걸려 38일이 소요되며, 현장제작 PC공법을 적용하였을 경우 14일이 소요되어 RC공법에 비해 공기를 24일을 단축시킬 수 있다.

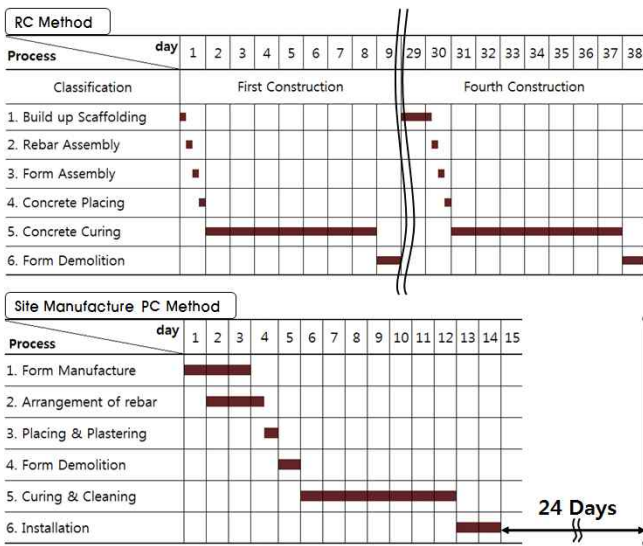


Figure 6. Process comparison of methods

현장제작 PC공법은 장주(長柱)인 현장의 특성에도 불구하고 1회 타설로 설치로 가능하고, 증기양생을 이용할 경우 양생 및 손보기 일정을 기존 7일에서 2일로 단축할 수 있어 추가로 5일의 공기단축이 가능하다. 현장 제작 PC기동은

Figure 6과 같이 거푸집 제작에 3일, 철근배근에 2.5일, 레미콘 타설 및 미장에 0.5일이 소요되며, 거푸집 탈형 및 양생에 8일, 마지막으로 설치에 2일이 추가로 소요되어 총 14일이 소요된다. 사례 현장에서는 현장 합판 거푸집 제작 및 습윤 양생한 경우로, 스틸 거푸집 사용 및 증기양생¹⁾을 실시할 경우 최대 6일이 단축되어 8일까지 공기단축이 가능하다. 즉, 현장제작 PC공법 적용 시 공사기간은 RC공법의 적용 대비 63%, 증기양생을 이용할 경우 최대 79%의 공기단축 효과가 있다.

5. 결론

물류창고시설은 층고가 높고 구조가 단순하며 투자비 회수를 위한 조속한 건설 및 운영이 필요하기 때문에 공기단축 필요성이 절실하다. 그러나 현재 물류시설 건설과정을 살펴보면 RC기술에 익숙해져 있고, PC를 이용한 건설에 부정적 인식과 새로운 공법적용에 대한 노력 부족으로 인하여 현장 적용에 어려움이 있다. 본 연구는 문헌조사와 전문가 및 실무자 인터뷰를 통하여 기존의 물류창고 RC기동 시공 시 문제점을 파악하고, 이를 개선하기 위한 현장제작 PC기동공법을 사례 현장에 적용하여, 원가, 공사기간을 비교분석하였다.

본 연구 대상 현장인 OO물류창고의 기동은 높이가 14m인 장주(長柱)로 동일한 규격 110본이 소요된다. RC공법을 이용할 경우 1회 타설 콘크리트 높이의 제한으로 4회 분리 타설에 따른 공사기간의 연장, 거푸집 및 비계의 과다 사용과 콘크리트 분리 타설로 인한 레미콘 및 작업인력의 반복 동원에 따른 원가 증가가 불가피하다. 또한 고공작업 시 현장작업인력의 안전성이 확보되지 않기 때문에 안전 및 품질저하의 원인이 되었다. 따라서 이를 개선 할 PC기동의 특징은 다음과 같다.

첫째, 기동 상부의 철골과 PC기동 접합시 주근 단부를 나사산 가공함으로써 볼트체결이 가능하여 설치 및 제작 과정이 용이하며, 원가절감을 위하여 현장에서 PC를 제작하였다. 이는 물류창고 기동제작의 공기단축 및 생산성을 향상시켰다.

둘째, 필요한 소요강성을 충분히 확보하였고, 고공비계작업을 제거함으로써 인한 안전성이 향상되었다.

셋째, 총 110본의 PC기동의 제작에 따라 인력, 거푸집 가설재 및 재료의 최소화로 원가 절감 및 폐자재를 최소화 시켰다.

넷째, 상부 철골조와 접합 시 CT(Cut Tees)형강을 이용하여 H형강과 일반 철골 구조와 동일한 방식으로 접합 되므로 신속한 접합이 가능하여 공사기간을 단축하였다.

1) 조기에 강도를 촉진시키기 위한 방법으로 고온의 증기를 이용하여 콘크리트 부재를 생산하는 공법으로, 24시간 안에 강도발현이 가능하다.[11]

이에 따라 현장제작 PC기둥을 사례현장에 적용결과 현장제작 PC기둥의 공사비는 3,600,050원으로 산정되었고, RC기둥의 공사비는 3,768,133원으로 산출되어 약 4.5%저감할 수 있었다. 또한 공사기간은 현장제작 PC기둥을 사례현장에 적용결과 RC공법 대비 단위기둥 당 24일의 공정을 단축할 수 있었다. 이는 63%의 단축효과를 가져오며, 증기양생을 할 경우 최대 79%의 공사기간을 단축 할 수 있다. 향후 본 연구의 결과물은 물류시설 시공 시 공기단축, 품질 및 시공성 향상, 안전성향상, 원가절감효과를 가져올 신공법개발 연구의 기초자료로 사용될 것으로 사료된다.

요 약

물류시설은 층고가 높고 구조가 단순하며, 투자회수를 위한 조속한 운영이 필요하기 때문에 공기단축이 절실한 특징이 있다. 이에 따라 인력 및 원가절감, 공기단축을 기대할 수 있는 PC공법의 사용은 RC조에 비해 경쟁력을 확보할 수 있다. 그러나 국내의 시공사들은 RC공법에 익숙해져 있어, PC공법에 대한 부정적 인식이 팽배하며, 새로운 공법적용에 대한 노력이 미흡한 문제점이 있다. 본 연구의 사례현장은 단위기둥의 높이가 14m로 동일한 규격의 장주(長柱)가 110본 소요되는 현장으로 RC공법을 이용할 경우 시공성, 경제성, 공사기간, 안전성등의 문제발생이 예상된다. 따라서 본 연구는 RC조로 계획된 물류창고 현장을 PC공법으로 시공하여 인력 및 원가절감, 공기단축효과를 비교분석하고, 개선효과를 제시하는데 목적을 두고 있다. 향후 본 연구의 결과물은 물류시설 시공 시 공기단축, 품질 및 시공성 향상, 안전성향상, 원가절감효과를 가져올 신공법개발 연구의 기초자료로 사용될 것으로 사료된다.

키워드 : PC부재, 물류시설, 골조공사, 시공성

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. 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.

2. Kang SM, Kim OJ. Domestic and Foreign Present Situation Analysis of a PC Method. Daelim Technology Research Institute; 2006.
3. Investment expenditures of Korea construction market, Construction association of Korea; 2008.
4. Lee SY, Rhim HC, Kim OJ, Cho HD, Jeong MR. Analysis of Construction Cases for Sequential PC Stairway Method. Journal of the Korea Institute of Building Construction 2008;8(1):15-19.
5. Park DY. A Study on the Effective Application of the Composite Precast Concrete Method for the Substructure of Apartment [MA dissertation]. Seoul: Chung-Ang University; 2000.
6. Kim BK, Suk SJ, Lee UK, An SH, Kang KI. A study on the economic analysis of high-rise residential-commercial building that is made by precast concrete. Journal of the Korea Institute of Building Construction 2005;5(1):89-96.
7. Kim SY, Yun YH, Park KY, Lee BS. A Research for Practical Using Method of PC Structural System for the Underground Parking Garage in an Apartment Housing Site. Korea institute of construction technology; 2006.
8. Kim YS, Kim JY. A Study on the Application of precast Concrete Panel Method for Steel Framed Residential Buildings - About Steel Framed Residential Buildings in Yongin Gusung-, Journal of the Architectural Institute of Korea 2000;20(1):513-516.
9. Cho JY, Lee GS, Lee SK, Lim HS, Lee HS, Kim YS. A Study on the Feasibility Analysis of the Precast Concrete Double Tee Slab Method on Long Span Structure, Journal of Construction Engineering and Management, 2009;857-862.
10. Kim YS, Lee CS, Son BS, Kim SK. Constructon Engineering. Korea. Hansol Academy; 2009.
11. Lee WJ, Lee WA, Um TS, Lee JR. The Characteristics of the Strength Development and Chloride Attack Resistance on the Concrete using High Early Strength Cement by Steam Curing Temperature Condition. Journal of the Korea Concrete Institute 2005;17(2):2005.