

원형 주차 램프 구조물의 Precast Concrete 적용 설계 (특허 제 10-2031773호)

Design Methodology of Precast Concrete Spiral Parking Ramp System (Patent# 10-2031773)



강 우 영*
Kang, Woo-young



이 윤 희**
Lee, Yoonhee



백 예 지***
Paik, Yejee

1. 서론

도심지 내 차량의 급속한 증가는 많은 사회 및 경제적 문제를 야기한다. 따라서 근래에는 다중이용시설을 중심으로 대규모의 지하주차장 또는 주차타워를 구축하여 주차공간을 확보하는 것이 일반적이다. 이러한 대규모 지하주차장 내지 주차타워의 진출입용 램프는 타원형 혹은 원형으로 구성하지만, 최근에는 판매시설이나 복층형 대형 물류창고의 경우 대지면적을 효율적으로 이용할 수 있도록 하기 위하여 타원형의 램프에서 완전한 원형의 램프 구조로 변하고 있는 추

세이다.

주차 램프의 RC조 시공은 경사로의 진행 방향에 따라 순차적으로 형틀의 구성, 타설 및 양생이 이루어지기 때문에 시공 기간이 오래 걸리며 가설 공사비가 증가된다. 특히 층고가 높은 경우 경사로 형틀 구조의 안전성 확보를 위한 비용과 시간이 추가로 투입되어야 한다. 따라서 우리나라 시공환경에서도 공사 기간과 공사 안전에 유리한 PC나 철골 합성구조 등의 무지주 공법을 적용하는 사례가 점차 늘고 있다.

그러나 원형 주차 램프의 경우 곡선과 경사가 함께 어우러지는 형상을 가지고 있어 Precast Concrete 구조의 적용이 용이하지 않다. 곡선 부재에는 강선의 긴장력을 이용하는 Prestress의 적용이 불가하기 때문에 곡선형 램프의 Precast Concrete 구조화는 국내에서 사례를 찾아보기 어렵다. 특히 원형 램프는 PC 구조로 구현된 사례가 없다.

본고에서는 2019년 10월 특허 출원된 원형 주차 램프의 Precast Concrete 구조설계법을 소개하고, 현

* (주)오푸로 구조기술사 사무소, 대표소장, PE, 건축구조기술사

Opuro Structural Engineers Inc. Principal, PE, KSE

** (주)오푸로 구조기술사 사무소, 연구원, 공학박사

Opuro Structural Engineers Inc. Researcher, PH.D

*** 연세대학교 건축공학과, 학사과정

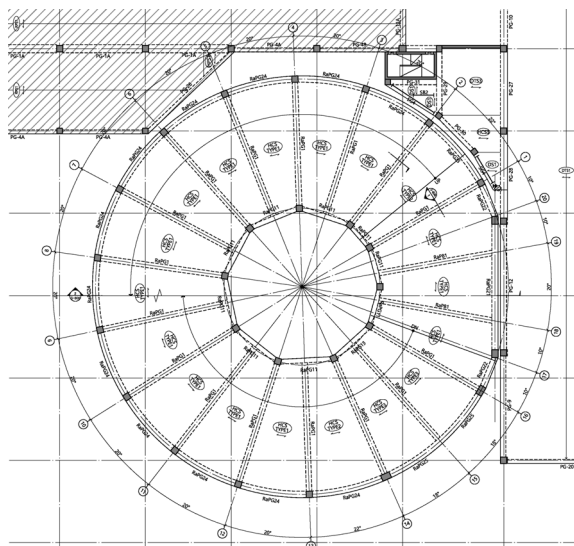
Department of Architecture, Yonsei University

장 적용 사례에서 확인된 문제점들과 도출된 해결방안들을 통해 해당 특허설계법의 발전 방향을 소개하고자 한다.

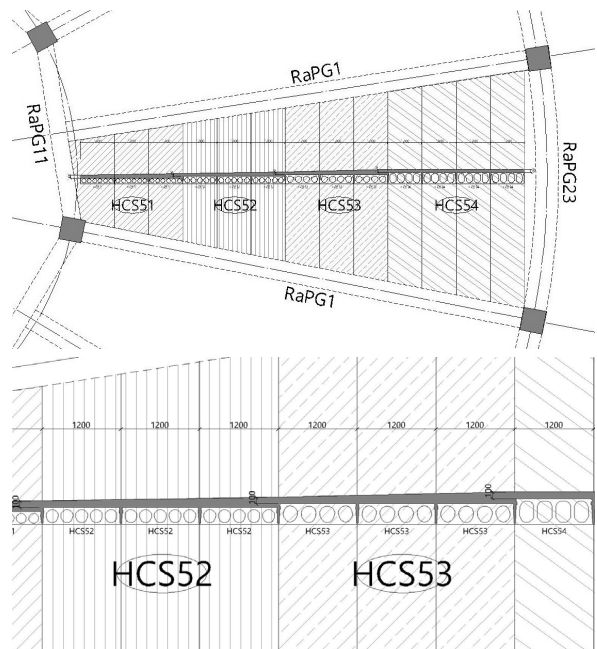
2. 원형 주차 램프 구조물의 PC화

2.1 PC 구조 원형 주차 램프의 구성

PC 구조 원형 주차 램프의 전체 평면도는 <Fig. 1>에 나타냈다. PC 공법을 적용할 수 있는 원형 주차 램프는 내주 동심원을 형성하는 다수 개의 내주 기둥, 외주 동심원을 형성하는 다수 개의 외주 기둥, 내주 기둥 사이에 접합되는 외주 거더 그리고 내주 거더와 외주 거더 사이에 접합되는 방사 거더로 구성된다. 이때 상기 내주 기둥과 내주 거더의 접합 및 외주 기둥과 외주 거더의 접합은 모멘트 접합 구조로, 내주 기둥과 외주 기둥을 연결하는 방사 거더의 접합은 핀접합 구조로 구성된다. <Fig. 2>는 주차 램프의 상세도로 방사 거더들은 분할 각도를 가급적 동일하게 유지하여 동일한 단면을 가지는 PC 거더로 구성되도록 설계하였다. 아울러 방사 거더들 사이에 다수 개의 Hollow Core Slab(이하 HCS)가 설치된다.



<Fig. 1> Typical ramp plan (Gimpo Logistics Park)



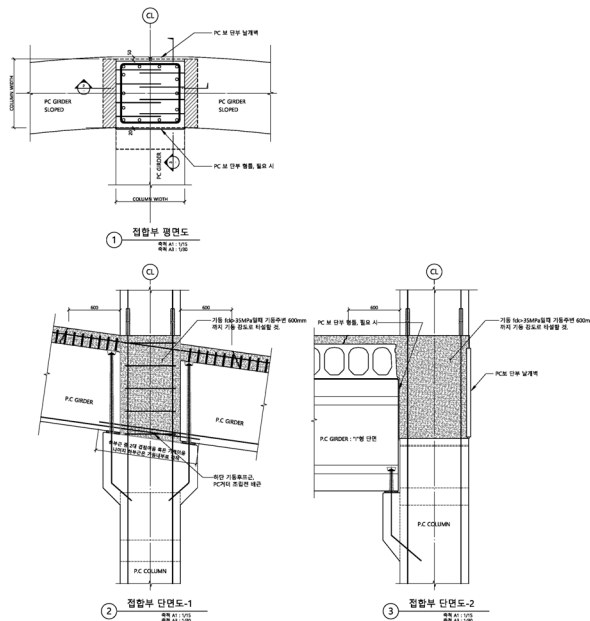
<Fig. 2> Enlarged plan for gravity girder and HCS

2.2 PC 구조 원형 주차 램프의 고안점

PC 구조 원형 주차 램프는 원심 방향으로 방사 거더(Gravity girder)를 배치하여 대부분의 중력 하중을 부담하게 한다. 방사 거더는 동일한 단면의 부재로 설계되며, 가급적 등분의 분담폭으로 반복 구성되어 PC 구조에 적합하도록 한다. 또한 원심 방향 PC 거더와 기둥 접합부를 '핀'으로 구성하기 때문에 기둥이 중력 하중에 의한 모멘트를 크게 부담하지 않아 기둥 부재 단면이 절감된다. 그와 더불어 방사 거더의 프리스트레스 단순보 구조의 강점을 이용하여 고하중, 장경간을 소화하도록 한다. <Fig. 1>의 실제 설계 사례의 경우와 같이 해당 주차 램프는 RC 구조로는 구현하기 어려운 대형 물류 트럭이 이용하는 고하중(21kPa), 장경간(16.5m) 구조를 소화할 수 있었다.

방사 PC 거더 사이에는 HCS를 이용하여 슬래브를 구성하는데, 이때 내부의 짧은 스패ンは 춤이 작은 HCS를, 외부 측 긴 스패는 춤이 더 큰 HCS를 사용하게 된다. 단일 거더(방사형 PC 거더) 상부에 올라타는 HCS는 내부에서 외부로 가면서 상단 높이가 점차 높아지는 형태로 구성된다. 이 단면을 따라서 최소 두께

(100~120mm)를 확보하여 Topping slab를 타설하였을 때 램프 슬래브의 바깥쪽이 높아지며 단면 형상이 노면 마감 단면 형상에 자연스럽게 부합할 수 있다. 원주 방향의 내주 및 외주 거더는 HCS 스펠 방향과 평행하게 모멘트 프레임을 구성한다. 내주부와 외주부의 원형은 더블 튜브 형태의 프레임으로 구성되고, 중력 하중의 부담 없이 기둥과 강접되어 모멘트 프레임 수평력 저항 시스템을 구성한다. 중력 하중의 부담이 없으므로 Prestress(강선)의 배치를 통한 긴장력 재하 없이 곡선 형태의 Non Prestressed PC 거더로 모멘트 프레임을 구성할 수 있다. PC 기둥과 거더의 강접합 접합부는 <Fig. 3>과 같이 구성된다.



<Fig. 3> Rigid joint connection for PC frame

3. PC 구조 원형 주차 램프의 현장 적용 및 문제점

3.1 현장 적용

원형 주차 램프의 PC조 적용은 해당 설계법 특허의 출원 기간이었던 2018년 최초로 김포 로지스틱스 파크 설계에서 적용 및 시공되었다. 해당 프로젝트에서는 구조설계자(관계 기술자)가 타사로 변경되는 우여곡절을 겪는 과정에서 PC 삼 및 최종 현장 적용설계

를 직접 수행하지 못하였으나, 시공에 관여했던 CM단의 설명과 완성된 구조물에 대한 답사를 통해 현재의 특허설계법이 해결해야 할 몇 가지 문제점들을 확인할 수 있었다. 주요 논점들을 요약하면 아래와 같다.

3.2 확인된 문제점

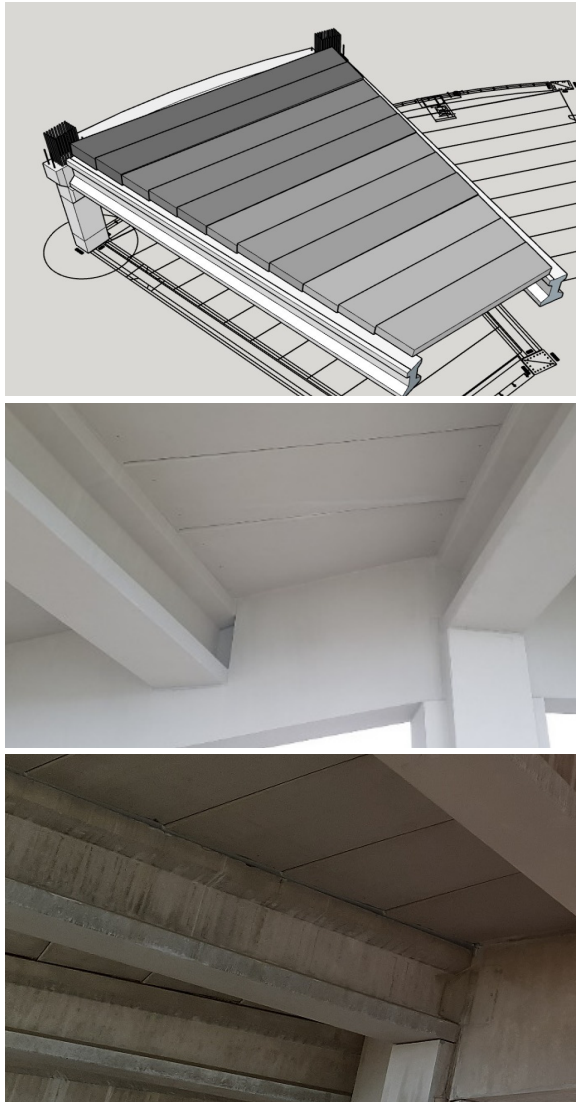
3.2.1 방사 거더 위 HCS 거치 시 지압면이 맞지 않고 들떠 있게 되는 현상

이는 HCS가 거치되는 인접한 방사 거더들의 상면 사이에서 HCS가 뒤틀린 형태를 만들어내지 못하므로 발생할 수밖에 없는 현상이다. 당시 현장에서는 <Fig. 4>의 시공 사진과 같이 HCS 거치 후 들떠있는 시공면에 즉각적으로 무수축 그라우트를 실시하는 방식의 조치를 통해 해결하였다.

차기 프로젝트에서는 방사 거더 제작 시 상면부와 미장면에 경사를 적용하여 지압면에서 발생하는 들뜸 치수를 최소화하고, 상면 지압면 외단부에 베어링패드를 적용하여 무수축 콘크리트 주입 시 타설 막이 역할을 할 수 있도록 하는 방법을 적용할 예정이다.



<Fig. 4> Use of PC spiral ramp in Gimpo Logistics Park



〈Fig. 5〉 Tilt issue on HCS bearing plane

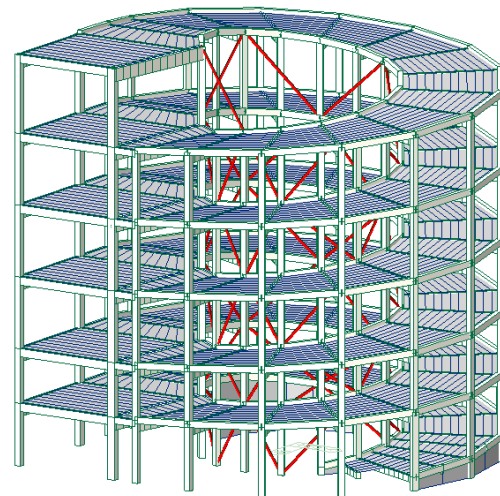
3.2.2 외·내주 거더와 기둥의 횡지지 모멘트 프레임 접합부(소위 판넬존)의 시공

원형 램프는 대개 본 동으로부터 독립된 구조물로 설계되며, 중간 모멘트 골조(Intermediate moment frame)를 수평력 저항 시스템(Lateral stability system)으로 적용하게 된다. PC조 보/기둥 강접 접합은 국내에서 일반적으로 적용되는 ‘판넬존’ 현장 타설 접합 방식을 특허 당시 기본안으로 적용하였다. 하지만 〈Fig. 5〉의 실제 현장 적용 과정에서 2가지 문제점을 확인할 수 있었다.

그중 하나는 외주 PC 거더 하부근 이음 시공의 어려움이었다. 건축구조기준 0505.8.1 (2)에 의해 PC 외

주 거더 하부근 중 최소 2대의 철근이 기둥 주근으로 둘러싸인 심부를 지나 ‘이음’으로 연결되어야 하는데, 2개의 곡선 PC 거더 단부에서 각각 뿔혀 나와 있는 하부 철근을 후체결 커플러 혹은 용접 등의 방법으로 현장에서 기계적 이음 시공을 해야 하는 어려움이 있었다.

두 번째는 판넬존의 타설이었다. 타설을 위한 측면 형틀을 별도로 구성해야 하고, PC 기둥 부재와 동일한 고강도 콘크리트를 현장 타설로 별도 준비해야 하는 단점이 있었다. 결국 주차 램프의 진행 방향으로 순차 조립 및 시공되어야 하는 형태에서 판넬존 타설 및 양생 시간만큼 공사 기간이 추가로 소요되는 상황을 확인하였다.



〈Fig. 6〉 Braced frame for lateral stability system

4. 개선 방향

이상의 초기 프로젝트 적용 과정에서 확인된 문제점을 고려하여 현재는 다음과 같이 해당 특허설계법을 변경하여 적용하고 있다.

첫째로는 외주 및 내주 거더와 기둥으로 이루어진 중간 모멘트 골조 시스템에서 내주 거더와 기둥만으로 구성되는 중심 가새 골조(Braced frame)로 수평력 저항 시스템(Lateral stability system)을 변경하였다. 가새는 강관을 이용하여 R=3의 수평력 저항 시스템

을 구성하였다. 원형 램프의 내주부는 건물 외부에서 노출되는 입면이 아니므로 가새 설치에 부담이 없으며, 전단벽보다 개방감이 있어 램프를 이용하는 차량의 가시성을 확보하는데 더 용이한 시스템이다.

수평력 저항 시스템의 부담으로부터 벗어난 외·내주 프레임의 기둥과 거더 간 접합은 더이상 강접일 필요가 없으므로 핀접합 PC 프레임의 형태로 변경하였다. 이는 기둥 조립, 거더 거치, 슬래브 거치, 스플라이스 슬리브를 이용한 상부 절주 기둥 조립, 타핑 슬래브 타설 후행의 순서로 시공이 진행되어 PC조 특유의 빠른 공사 속도를 복원할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결언

곡선형 구조물의 PC화 설계는 서로 모순된 특성을 최대한 조합하면서 해결해 나가야 하는 과정이다. 우연치 않게도 현재 급격히 주목받고 있는 E-Commerce 시장의 핵심인 복층 대형 물류창고는 종래의 '창고'의 성능에서 벗어나 생산된 물품이 들어가서 판매되어 나오는 '시장'의 기능을 탑재한 기계화 건축물이 되었다. 이 기계화 건축물 내 차량 동선을 책임지는 주차 램프 구조물은 대형 물류창고 건물의 기능뿐만 아니라 외관을 특징짓는 요소가 되었다. 즉, 원형 램프 구조의 PC화 설계가 시장의 관심을 받게 된 상황이다. 공사 비용과 공사 기간, 공사 중 안전 관리 등 거의 모든 측면에서 RC나 철골 등 타 구조 시스템 대비 우월한 상황으로 현장여건도 변화하고 있다. (안전 관리 비용 증가, 인건비 증가, 각종 쟁의, 파업 등으로 인한 자재 및 인력 확보의 불확실성 등) 구조체의 중력 하중 부담 요소와 수평하중 부담 요소를 구분하여 각각 Prestressed Precast Concrete 구조의 장점을 최대한 이용하거나 분담하지 않도록 하여 PC조의 강점이 손실되지 않도록 하는 방향으로 설계법을 발전시켜 나가고 있다. 향후에는 삼 수준의 접합부 연구가 진행되어 조립 및 시공성을 향상시킬 것으로 기대하고 있다. 또한 원형 난간벽을 포함한 외관 디자인에서도 PC조

특유의 강점을 이용하여 고품질의 다양한 노출 입면을 구성할 수 있을 것으로 예상된다.