

# IPA를 통한 PC부재 할당 및 적재 계획 시 고려사항 분석

장준영<sup>1</sup> · 조경운<sup>2</sup> · 구충완<sup>3</sup> · 이찬식<sup>4</sup> · 김태완<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>인천대학교 일반대학원 건축학과 박사과정 · <sup>2</sup>인천대학교 일반대학원 건축학과 석사과정 · <sup>3</sup>인천대학교 도시건축학부 조교수 ·  
<sup>4</sup>인천대학교 도시건축학부 교수 · <sup>5</sup>인천대학교 도시건축학부 부교수

## Importance and Performance Analysis on Factors of PC Component Allocation and Loading Planning

Jang, JunYoung<sup>1</sup>, Cho, Kyeong Woon<sup>2</sup>, Koo, Choongwan<sup>3</sup>, Lee, Chansik<sup>4</sup>, Kim, Taewan<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Graduate School, Incheon National University

<sup>2</sup>Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Graduate School, Incheon National University

<sup>3</sup>Assistant Professor, Division of Architecture and Urban Design, Incheon National University

<sup>4</sup>Professor, Division of Architecture and Urban Design, Incheon National University

<sup>5</sup>Associate Professor, Division of Architecture and Urban Design, Incheon National University

**Abstract :** PC component allocation and loading plan can contribute to reductions in carbon dioxide emission and energy use of vehicles and total project costs with increased utilization of vehicle loading space. The study derived 18 considerations that PC construction plant managers and site managers take into account when they plan allocation and loading of PC components. Then, IPA (Importance and Performance Analysis) was performed to assess importance and performance of the 18 considerations. Results show that in the PC component allocation planning, considerations regarding the number of vehicles and existence of yard for storing PC components have not been taken into account well by the managers. In the PC component loading planning, PC component loading direction has not been reflected well by the managers although it is considered important by them. Recently, ill-planning issues of PC component transportation, such as inefficient use of vehicle space and loading with low stability, are frequent due to various types of PC components produced. In this context, if the results of this study are reflected in the development of component allocation and loading planning, vehicle management of PC projects would be more efficient, thereby leading to economic project management.

**Keywords :** Precast Concrete, Logistic, IPA, PC Component Allocation Plan, PC Component Loading Plan

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

Precast Concrete (PC) 공법은 공장에서 제작된 PC부재를 현장에서 운반 및 조립하는 공법이다. PC부재를 현장에서 운반하기 위해 PC부재를 차량 공간에 할당하는 업무와 차량의 적재공간에 PC부재를 효율적으로 적재하는 업무는 프로젝트 일정에 큰 영향을 미친다(Kim et al., 2015). PC부재 할당 및 적재 계획은 발주요청서를 바탕으로 도착시각, 부재 수량 등의 고려사항을 반영하여 현장작업에 유리하면서 동

시에 효율적인 PC부재 운반을 가능케 함으로써, 차량적재 공간의 활용률을 높이고 부재 상하차 중 발생하는 안전사고를 줄이며(Lee, 2020) 차량에서 발생하는 이산화탄소 배출과 에너지 사용을 줄일 수 있다. 또한, 효율적인 운송은 전체 프로젝트 비용의 10~30%를 절감하는 등(Said & El-Rayes, 2014) 사회·경제적 이익을 가져올 수 있다. 이에 따라 차량 공간을 효율적으로 활용하기 위해 PC부재 할당 및 적재 계획과 관련된 연구가 수행되고 있다.

국내 PC산업에서는 PC공법이 처음 도입된 이래 공장 생산 효율화(현장 생산 및 설치 공정 계획 영향요소, Lim et al., 2007; PC 부재 생산일정 계획, Shin et al., 2016) 및 현장 조립 측면의 공법적 개선(PC공법 적용성, Kim & Kim, 2000; 지하주차장 PC 공법 적용방안, Kim et al., 2006)을 위한 연구가 꾸준히 진행됐다. 하지만, PC부재의 할당 및 적재 계획은 여전히 생산관리자의 경험을 바탕으로 계획이 수립됨으

\* **Corresponding author:** Kim, Tae Wan, Division of Architecture and Urban Design, Incheon National University, Incheon, Korea

**E-mail:** taewkim@inu.ac.kr

**Received** December 6, 2020; **revised** January 18, 2021

**accepted** February 2, 2021

로써 도착시간, 부재 수량 등과 같은 고려사항을 충실히 반영하기 힘든 실정이며, 이는 결과적으로 PC공사의 공기 지연, 운송 비용 증가로 이어질 수 있다. 따라서 생산관리자에 의한 인적오류를 예방하고, 일관된 PC부재 할당, 적재 계획을 수립하기 위하여 계획 수립 시, 고려사항 반영에 대한 실태조사가 선행되어야 한다.

따라서 이 연구에서는 PC부재의 차량 할당 및 적재 계획을 수행하는 데 필요한 여러 고려사항을 도출한 후 PC공사 참여자를 대상으로 이들 고려사항의 중요도(Importance)와 반영도(Performance)를 비교 분석하여 PC부재 운반과 관련한 현황을 파악하고자 한다. 이를 통해 도출되는 중요하지만 반영도가 낮은 고려사항을 파악하고 이를 개선하기 위한 노력이 뒷받침되면 보다 효율적인 PC부재 할당 및 적재 계획을 수립할 수 있을 것으로 판단된다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

이 연구의 범위는 PC 부재를 차량에 할당하는 업무와 적재하는 업무로 한정하였으며, 구체적인 정의는 다음과 같다.

“PC부재 할당계획”이란, 현장에서 명일 PC 조립작업을 수행하기 위해 보내온 발주요청서와 여러 제약조건(부재, 차량, 도로 및 현장상황 등)을 고려하여 PC부재를 차량 공간에 효율적으로 할당하는 계획 업무를 말한다. PC부재 할당계획은 현재 일반적으로 다음과 같은 작업 절차로 진행된다. 첫째, 현장에서 요청한 PC부재 발주요청서를 이메일 또는 팩스로 접수한 뒤 생산관리자가 내용을 검토하여 수립된 계획의 이상 유무를 확인한다. 둘째, 현장에서 요청한 PC부재가 생산되어 있는지를 확인한다. 셋째, PC부재 유형을 확인한 후 부재 유형에 적합한 차량을 선정한다. 넷째, PC부재 설치 순서에 맞춰서 차량 허용 적재량 이내 PC부재들을 할당 후 출하한다.

“PC부재 적재계획”이란, PC부재 할당계획에서 수립된 정보(차량 대수, 차량 중량, 차량에 적재한 부재 유형, 수량, 도착 시간)를 기반으로 차량적재 공간에 PC부재를 효율적으로 적재하는 계획을 말한다. 효율적인 PC부재 적재계획은 차량 대수 절감, 운반 중 안전사고 감소, 부재 조립 작업 시 시공성 증진에 기여한다. PC부재 적재계획의 작업 절차는 다음과 같다. 첫째, 출하요청서에 따라 식별된 부재를 출하 전 검사한다. 둘째, 부재 형상(면적이 큰 부재가 밑으로) 및 중량(무거운 부재가 밑으로)에 맞게 적재한다. 셋째, 부재를 적재할 때 부재 아래위로 받침목을 설치한다. 넷째, 차량의 허용 중량, 높이, 크기를 초과하지 않는지를 확인 후 출하한다.

이 연구의 구체적인 진행 방법은 다음과 같다. 첫째, PC 부재 할당 및 적재 계획 시 필요한 고려사항을 도출하기 위해 국내 PC 운송 계획과 관련된 문헌과 PC공사 시공계획

서를 수집 및 분석하여 25개의 1차 고려사항을 도출하였다. 둘째, 전문가를 통한 사전 인터뷰를 수행하여 분석에 포함되는 PC부재 할당계획 고려사항 12개와 PC부재 적재계획 고려사항 6개를 최종 도출하였다. 셋째, PC공사와 관련된 생산관리자와 현장관리자를 대상으로 리커트 5점 척도를 활용한 설문을 수행하여 PC부재 할당 및 적재 계획 시 고려사항의 중요도 및 반영도를 조사하였다. 넷째, Cronbach's alpha를 통해 설문결과에 대한 내적 일관성 분석을 수행하여 결과의 신뢰성을 확인하였다. 다섯째, 대응표본 t-검정을 활용한 갭 분석(Gap Analysis)을 통해 PC부재 할당 및 적재 계획 시 고려사항별 중요도와 반영도의 차이를 분석하였다. 마지막으로 IPA 기법(Importance-Performance Analysis)을 활용하여 PC부재 할당 및 적재 계획 시 개선사항 및 시사점을 제시하였다(Fig. 1).

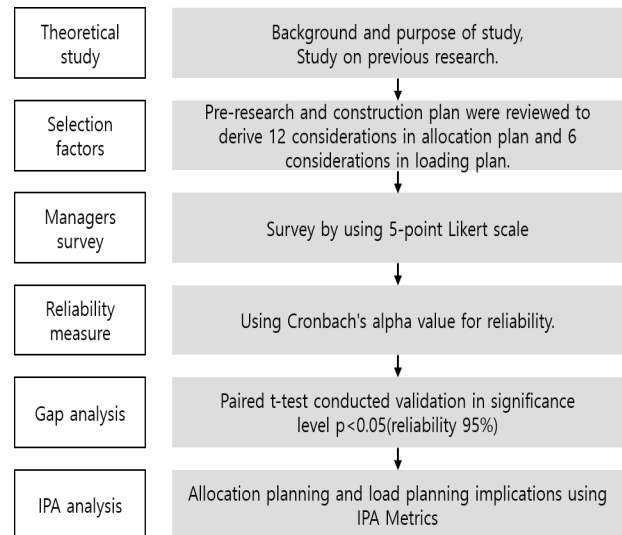


Fig. 1. Research Flow

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 선행연구 고찰

선행연구 고찰을 통해 PC 및 모듈러 운송 계획과 관련된 연구가 다수 수행된 것을 확인하였다.

Kwahk et al. (1998)은 PC 부재의 수명주기에 따른 물류 흐름을 효과적으로 제어하기 위해 정보지원 시스템을 개발하였다. Pheng et al. (2001)은 프리캐스트 콘크리트 부재를 공장-운반-현장에서 즉시 설치(JIT)할 준비가 되어 있는지를 설문조사를 통해 분석 및 검토하였다. Jo (2006)는 PC 공법의 여러 가지 개념들을 재정립하고 PC 부재 생산 관련 국내생산업체 실태를 조사하였다. Polat (2010)은 PC 프로젝트에서의 부재 운반 시 필요한 고려사항을 정리하였다. Park et al. (2012)은 유닛모듈의 운송 중 안전하고 효과적으로 유

닛 모듈을 고정하는 장비의 개발 방향을 도출하고 새로운 고정방안을 제시하였다. Kim et al. (2015)은 모듈러 공사의 조달 및 양중 계획의 효율화를 위하여 우선적으로 개선이 필요한 고려사항을 도출하였다. Gangyan et al. (2015)은 국경 간 운송에 대한 세부적인 비즈니스 분석을 수행한 다음 SOA 및 클라우드 자산을 기반으로 한 클라우드 자산 지원 조립식 운송 서비스(CAPTSE)를 제안하였다. Choi et al. (2016)은 모듈러 운송을 위해 운송과 현장설치와 관련된 고려요소를 도출하였다. Baek et al. (2016)은 모듈러 파손방지를 위한 운송계획 고려사항을 도출하였다. 또한, Shin et al. (2016)은 모듈러 운반 프로세스를 정립하기 위해 단계별 고려사항을 도출하였다. Chen et al. (2016)은 프리캐스트 콘크리트 생산 계획, 저장, 운송 등을 최적화하고 계약된 프로젝트를 적시에 관리하는 데 필요한 고려사항을 도출하였으며, 이를 활용하여 실용적인 모델을 제작하였다. Chang et al. (2016)은 PC 부재의 기하학적 특성 및 설치순서 분석을 기초하여, 적재량 최대화를 목표로 차량 적재능력을 제약조건으로 설정하여, PC 부재의 부하 및 운송 최적화 모델을 개발하였다. Robin et al. (2020)은 화물창에 적재되는 조립식 제품과 이러한 조립식 제품을 화물간에 포장하는 방법을 결정하는 고려사항 도출 및 최적의 적재계획을 개발하였다. Liu et al. (2020)은 실시간 스케줄링 및 추적을 기반으로 한 PC 부재 운송 및 저장을 위해 운송 계획과 관련된 고려사항을 도출하였으며, 이후 동적 최적화 방법을 제시하였다.

이러한 연구들은 PC 또는 모듈러 프로젝트에서 운반지원 시스템의 필요성을 제시하였다. 하지만 PC부재의 특성을 고려한 PC부재 할당 및 적재계획 고려사항들을 정리하고 이들의 중요도와 반영도를 조사한 연구는 수행되지 못하였다.

### 2.2 IPA (Importance-Performance Analysis)

IPA는 각 역량에 대해 전문가들의 의견을 취합하여 제한된 자원의 효율적인 투자를 위한 포트폴리오 분석기법이다. IPA 분석은 다양한 제품이나 서비스에 대한 사용자의 반영도를 측정하기 위해 각 속성의 이용 전 중요도와 이용 후의 반영도를 평가해 각 속성의 상대적인 중요도와 반영도를 동시에 비교 분석할 수 있다. IPA 분석은 문제를 직관적으로 제시하고 결과해석이 용이해 실무에서의 활용도가 높다. IPA는 중요도와 반영도를 비교분석하여 각 속성을 다음 네 가지 사분면에 위치시킴으로써 제품이나 서비스의 개선방안을 제시한다(Fig. 2).

1) 1사분면(성과 유지; Keep up the Good Work): 고려사항에 대해 중요하게 생각하고 있고, 실제로 고려사항들의 현재 수준 또한 상대적으로 잘 반영하고 있는 상태로 계속 유지해 나가는 것이 바람직함.

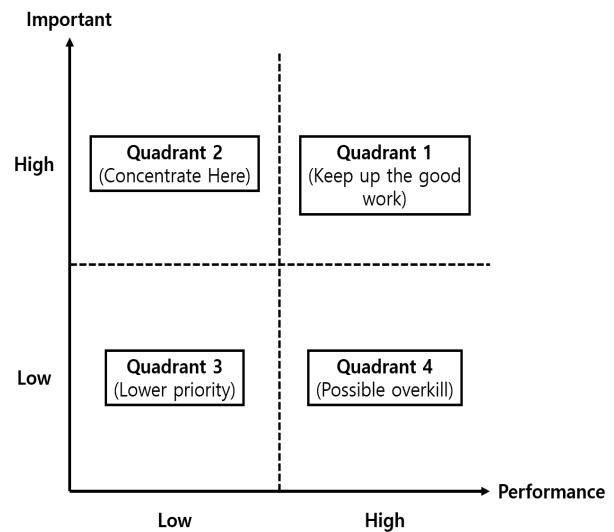


Fig. 2. IPA (Importance-Performance Analysis)

2) 2사분면(노력 집중화; Concentrate Here): 고려사항에 대해 중요하게 생각하고 있으나 해당 고려사항에 대한 현재 반영도가 낮게 평가된 상태로 향후 시급히 개선이 필요함.

3) 3사분면(낮은 우선순위; Low Priority): 고려사항에 대한 중요도를 낮게 평가하고 있고 현재 반영수준 또한 낮은 상태로 현재 이상의 노력이 필요하지 않은 상태임.

4) 4사분면(과잉노력 지양; Possible Overkill): 중요하게 생각되지 않는 고려사항이지만 현재 반영수준이 상대적으로 높은 상태로, 반영을 위한 노력을 다른 고려사항을 위해 투입할 필요가 있음.

이 논문은 PC부재 할당 및 적재 계획의 고려사항에 대한 중요도와 반영도를 평가하고, 이들의 차이(Gap) 분석을 수행하고 상기 사사분면에 표현함으로써 향후 PC부재 할당 및 적재 계획 개선에 활용하고자 한다.

### 3. PC 부재 할당 및 적재 계획 시 고려사항

PC 운송 계획을 수립할 때 고려하는 사항을 도출하기 위하여 관련 문헌과 PC공사 시공계획서를 검토하여 우선적으로 25개의 고려사항을 도출하였다(Table 1).

이후 PC분야의 전문가들과의 인터뷰를 통해 이들 고려사항의 적절성을 검토하고 중복되는 항목과 불필요한 항목을 변경 및 삭제하였다. 그 결과 PC 부재 할당계획에 관한 고려사항 12개, PC 부재 적재 계획에 관한 고려사항 6개를 다음과 같이 선정하였다(Table 2). 그 중 “PC부재 적재순서”와 “PC부재 적재 안전성”에 관한 고려사항은 PC 부재 할당 및 적재 계획 시 공통으로 필요한 고려사항으로 나타났다.

Table 1. Extracting factors from relevant documents

Category	Considerations	Articles							PC project execution plans									
		Dawood Richard (1990)	Pheng (2001)	Thomas et al. (2009)	Morabito & Silva (2000)	Park et al. (2018)	Lee et al. (2004)	Olsson et al. (2020)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
PC factory	[1]Transportation cost estimate	●																
	[2]The existence of factory yard for storing PC Components	●		●	●													
	[3]Construction Progress rate in on-site	●		●			●		●		●							
	[4]PC Component requested on-site	●		●			●	●	●				●	●	●			
	[5]Type of Component to be transported			●	●				●	●	●		●	●				
	[6]Possibility of using cranes in the factory			●	●													
	[7]Existence of trailer belonging to the factory		●	●	●					●	●							
	[8]Communication with the construction site	●	●			●						●			●			
	[9]PC factory type	●								●	●						●	
Transport	[10]Packages size				●		●	●	●	●								
	[11>Loading capacity of transport equipment			●	●			●		●								
	[12>Loading method on the trailer							●	●	●		●	●					●
	[13>observing related law			●				●	●	●								
	[14>Prevention of Component damage				●			●	●	●		●	●					●
	[15>Reduced waiting time			●														
	[16>Possibility of using on-site yard		●				●	●			●							
	[17>Time saving to Unload in on- site		●	●			●											
Construction site	[18>PC Components arrival time according to schedule	●	●	●	●	●	●		●	●		●		●	●			
	[19>Consumption on the day	●	●	●	●		●	●			●	●	●	●	●			
	[20>Keeping quality		●	●				●		●		●						●
	[21>Situation where no PC Components in on-site						●											
	[22>Absence of yard for storing PC Components		●	●			●	●			●							
	[23>Existence of unloading equipment		●	●			●				●			●				
	[24>Communication with the PC factory		●				●								●			
[25>transportation congestion in on-site		●				●												

Table 2. Recategorize considerations in PC Component allocation and load planning

Category	Consideration Type	Logistic Consideration
PC Component Allocation Planning (12 Consideration)	Inventory management	[2], [8], [9], [19]
	Transportation cost	[1], [15], [16]
	Loading sequence of PC components	[3], [4], [5], [8], [17], [19], [22], [23], [24]
	The type of PC components	[5], [6], [10], [11], [12], [13], [14]
	PC transport equipment in the factory	[4], [5], [6], [7], [9], [10]
	Existence of yard for storing PC components	[3], [4], [9], [18], [21], [22], [23], [24]
	Trailer specifications	[4], [5], [10], [12]
	Number of vehicles for PC component transport	[4], [5], [8], [10], [11], [12], [24], [25]
	Traffic laws	[14]
	PC components arrival time	[8], [19], [25]
	Loading safety of PC components on the trailer	[5], [10], [12], [14], [20]
	Transport route	[12], [13], [16], [18]
PC Component Load Planning (6 Consideration)	PC Components weight	[5], [7], [10], [11], [25]
	PC Components loading direction	[5], [7], [10], [11], [12], [14]
	Loading sequence of PC components	[3], [4], [5], [8], [17], [19], [22], [23], [24]
	Loading location of PC components	[5], [7], [10], [11], [12], [14]
	Loading safety of PC Components on the trailer	[5], [10], [12], [14], [20]
	Variety of PC Component Patterns	[5], [7], [10], [11], [12], [14], [20]

- 1) PC부재 할당 계획시 고려사항
  - 재고관리: 사전에 생산된 PC부재를 우선으로 출하해야 한다.
  - 운송비용: PC공장에서 건설현장으로 PC부재를 운반할 때 사용할 차량의 임대비용을 고려해야 한다.
  - PC부재 적재 순서: 건설현장에서 조립하는 순서를 고려하여 PC부재를 차량에 적재해야 한다.
  - PC부재 유형: 당일 출하될 목록에서 부재의 타입(기동, 보, 슬래브 등)을 고려해야 한다.
  - 공장 내의 PC 운반장비: PC공장 내의 보유한 운반장비(크레인 등)의 사용 가능 여부를 고려해야 한다.
  - 건설현장 내의 야적장 유무: 건설현장 내에서 PC부재를 보관할 수 있는 장소가 있는지를 고려해야 한다.
  - 차량 제원: 효율적으로 PC부재를 차량에 적재하기 위해서는 차량의 제원(적재용량 등)을 종합적으로 고려해야 한다.
  - PC부재 운반 차량 대수: 건설현장에서 요청한 부재들을 최적의 비용으로 운송하기 위해서는 적정 차량의 대수를 고려해야 한다.
  - 국가 법령 및 도로교통 법규: 차량에 적재된 물품을 가지고 도로에서 운행할 수 있는지 파악해야 한다.
  - 운송 시간: 현장에서 원하는 시간에 맞춰 PC부재 운송 계획을 수립해야 한다.
  - PC부재 적재 안전성: 부재의 안전성을 위해 부재가 운행 중 움직이며 파손되지 않도록 충전재 혹은 그에 맞는 완충재 사용을 고려해야 한다.(중량??)
  - 차량 운송경로: 사전에 건설현장까지의 루트를 미리 파악해서 반영해야 한다.
- 2) PC부재 적재 계획시 고려사항
  - PC부재 하중: 차량의 허용 적재용량을 고려해서 부재를 적재해야 한다.
  - PC부재 방향: 부재 적재시 부재의 특징(유형, 이음철근 위치, 양중고리 위치 등)을 고려해야 한다.
  - PC부재 적재 순서: 건설현장에서 조립하는 순서를 고려하여 PC부재를 차량에 적재해야 한다.
  - PC부재 적재 위치: 특정 부재의 특성(위험정도 등)을 고려하여 적재 위치를 선정해야 한다.
  - PC부재 적재 안전성: 부재의 안전성을 위해 차량의 운행 중에 부재가 움직여 파손되지 않도록 충전재 혹은 그에 맞는 완충재 사용을 고려해야 한다.
  - PC부재 패턴의 다양성: 차량 적재공간을 최대한 활용하고 최대한 무게를 많이 실어야 하므로 두 가지를 모두 고려한 부재별 적재 패턴을 파악해야 한다.

〈Table 3〉는 인터뷰 및 설문조사에 응한 실무자들의 인적 사항이다. 인터뷰 대상자들은 PC공장에서 할당 및 적재 계획 업무를 10년 이상 수행했으며, 국내 PC공장의 과장, 차장, 부장급의 관리자이다(〈Table 3〉).

Table 3. Summary of 1st survey / interview

Affiliation	Contents
Period of survey	2020.08~2020.11 (Total: 3 Month)
Target	PC Factory Expert
Position	10 production managers
Survey purpose	Derivation of items to be considered necessary for allocation plan and loading plan

## 4. 중요도-반영도 수준 조사 및 Gap 분석

### 4.1 공장 및 현장 설문조사 개요

고려사항에 대한 설문지는 2020년 8월부터 11월까지 약 3개월간 PC공장 생산관리자(20명), PC공사 현장관리자(30명)를 대상으로 배포하였다. 총 50명을 대상으로 이메일과 구글 설문지(Google Survey)를 통해 진행하였으며, 총 30부(60%)가 회수되었다. 설문 내용은 인적사항 및 각 고려사항에 대한 중요도와 반영도를 파악할 수 있는 질의항목으로 구성하였다. 중요도와 반영도는 리커트 5점 척도로 측정되었다. 설문 응답자 구성은 다음 〈Table 4〉과 같다. 응답자의 경력은 최소 9년, 최대 22년이며 평균 경력은 11년이었다.

Table 4. Summary of survey for IPA analysis

Affiliation	Contents				
Number of survey	Allocation plan		Loading plan		
	30/50		30/50		
Period of survey	'20.08. ~ '20.10 (85 days)				
Managers	Total				
	30				
Experience	5~10	10~15	15~20	More than 20 years	Total
Experience	20	6	2	2	30

### 4.2 신뢰도 검증

설문 결과값에 대한 신뢰성을 확인하기 위해 SPSS 25 프로그램을 활용해 크론바하 알파계수(Cronbach's alpha)를 이용한 내적 일관성을 분석하였다. Nunnally (1978)는 탐색적 연구 분야에서는 크론바하 알파계수의 값이 0.60 이상이면 충분하고, 기초연구 분야에서는 0.80 이상이어야 한다고 주장하였다.

이 연구에서의 설문 결과값에 대한 크론바하 알파계수는

다음 <Table 5>과 같이 최소 0.718에서 최대 0.836의 값을 나타내고 있어 설문 결과값을 활용한 통계적 분석은 유의미함을 알 수 있다.

**Table 5. PC management Results of cronbach's alpha test**

Affiliation	Classification	Average	Cronbach's alpha	Number of item
Allocation plan	Importance	3.96	.718	12
	Performance	3.85	.775	12
	Average		.638	
Loading plan	Importance	4.04	.815	6
	Performance	3.92	.836	6
	Average		.835	

### 4.3 중요도-반영도 차이 분석

설문 결과값을 활용하여 중요도와 반영도 간의 차이값을 분석하였다. 차이값이 클수록 중요도는 높고 반영도는 낮으므로 PC 부재 할당 및 적재계획이 부적절하다고 볼 수 있으며, 해당 계획의 약점요인이라 볼 수 있다. 이러한 차이값의 유의미한 수준을 검증하기 위해 대응표본 t-검정을 수행하였으며, 유의수준은 0.05 수준으로 하였다.

<Table 6>는 PC부재 할당계획 시 12개의 고려사항에 관한 중요도와 반영도 수준을 분석한 결과이다. “건설현장 내의 야적장 유무”(0.34) 고려사항이 가장 큰 차이값을 보여, 중요성에 비해 PC부재 할당시 실제 반영도는 낮은 것으로 조사되었다. 이어 “PC부재 운반 차량 대수”(0.30), “PC부재 적재 안전성”(0.24), “PC부재 유형”(0.20), “운송 비용”(0.20),

**Table 6. Gap analysis result of allocation planning considerations**

	Considerations	Metrics		Gap	P
		importance	performance		
Allocation plan	Existence of yard for storing PC components	4.07	3.73	0.34	0.08
	Number of vehicles for PC component transport	4.03	3.73	0.30	0.04
	Loading safety of PC components on the trailer	4.47	4.23	0.24	0.03
	The type of PC components	4.17	3.97	0.20	0.11
	Transportation cost	3.80	3.60	0.20	0.31
	PC components arrival time	4.43	4.27	0.17	0.23
	Loading sequence of PC components	4.20	4.07	0.13	0.21
	Transport route	3.57	3.43	0.14	0.25
	Traffic laws	3.90	3.87	0.03	0.80
	PC transport equipment in the factory	3.93	3.97	-0.04	0.78
	Trailer specifications	3.77	3.87	-0.10	0.55
	Inventory management	3.23	3.47	-0.24	0.21
Average	3.96	3.85	0.11	0.47	

“운송 시간”(0.17), “PC부재 적재 순서”(0.13), “차량 운송 경로”(0.13), “국가 법령 및 도로 교통 법규”(0.03) 등이 중요도에 비해 반영도가 낮은 것으로 나타났다. 반면, “재고관리”(-0.23), “차량 제원”(-0.10), “공장 내의 PC 운반 장비”(-0.03) 등은 중요도에 비해 상대적으로 반영도가 높은 고려사항으로 꼽혔다. 한편, 유의수준 보다 낮은 p값을 가짐으로써 중요도와 반영도 간에 통계적으로 유의미한 차이를 보이는 고려사항은 “PC부재 운반차량 대수”(p=0.04)와 “PC부재 적재 안전성”(p=0.03)이다.

<Table 7>은 PC부재 적재계획 시 6개의 고려사항에 관한 중요도와 반영도 수준을 분석한 결과이다. “PC부재 방향”(0.27) 고려사항이 가장 큰 차이값을 보여 중요도에 비해 반영도가 특히 낮은 항목으로 나타났다. 이어 “PC부재 적재순서”(0.13), “PC부재 적재 위치”(0.13), “PC부재 하중”(0.13), “PC부재 적재 안전성”(0.07), “PC부재 패턴의 다양성”(0) 순으로 큰 차이 값을 보였으며 중요도에 비해 반영도가 높다고 응답한 항목은 없었다. 한편, 유의수준 보다 낮은 p값을 가짐으로써 중요도와 반영도 간에 통계적으로 유의미한 차이를 보이는 고려사항은 “PC부재 방향”(0.00)이다.

**Table 7. Gap analysis result of loading planning considerations**

	Considerations	Metrics		Gap	P
		importance	performance		
Loading plan	PC Components loading direction	4.17	3.90	0.27	0.00
	Loading sequence of PC components	4.00	3.87	0.13	0.16
	Loading location of PC components	4.00	3.87	0.13	0.25
	PC Components weight	4.27	4.13	0.13	0.16
	Loading safety of PC Components on the trailer	4.10	4.03	0.07	0.66
	Variety of PC Component Patterns	3.70	3.70	0.00	1.00
	Average	4.04	3.92	0.12	0.37

## 5. IPA Matrix 분석

### 5.1 할당 및 적재 계획 IPA Matrix 분석결과

PC 부재 할당(12개), 적재 계획(6개)과 관련된 현황을 파악하고 개선점을 도출하기 위하여 IPA를 활용하여 다음과 같은 결과를 도출하였다. 이때, 각 고려사항 중요도의 평균과 반영도의 평균을 각 사분면을 나누는 기준으로 활용하였다.

#### 1) PC부재 할당계획 결과

<Fig. 3>은 PC부재 할당계획의 중요도와 반영도를 분석한 결과이다. 전반적으로 중요도가 높은 고려사항들의 반영도

가 높은 추세를 보이고 있음을 알 수 있다. “성과 유지(Keep up the Good Work)”를 의미하는 1사분면에는 “운송 시간”, “PC부재 적재 안정성”, “PC부재 유형”, “PC부재 적재순서”가 포함되어 있었고, “낮은 우선순위(Low Priority)”를 의미하는 3사분면에는 “운송비용”, “차량 운송 경로”, “재고관리”와 같은 고려사항들이 포함된 것을 파악하였다.

중요하지만 상대적으로 반영도가 낮아 보다 “노력 집중화(Concentrate Here)”이 필요한 2사분면에는 “PC부재 운반 차량 대수”와 “건설현장 내의 야적장 유무”가 포함되어 있다. 따라서, PC부재 할당계획의 효율성을 높이기 위해서는 “PC부재 운반 차량 대수”와 “건설현장 내의 야적장 유무”를 효율적으로 고려하기 위한 시스템이 필요하다. 또한, 중요도에 비해 상대적으로 반영도가 높아 “과잉노력 지양(Possible Overkill)”해야 하는 4사분면에는 “공장 내의 PC 운반 장비”, “국가 법령 및 도로 교통 법규”, 그리고 “차량 제원” 고려사항이 포함된 것을 파악하였다.

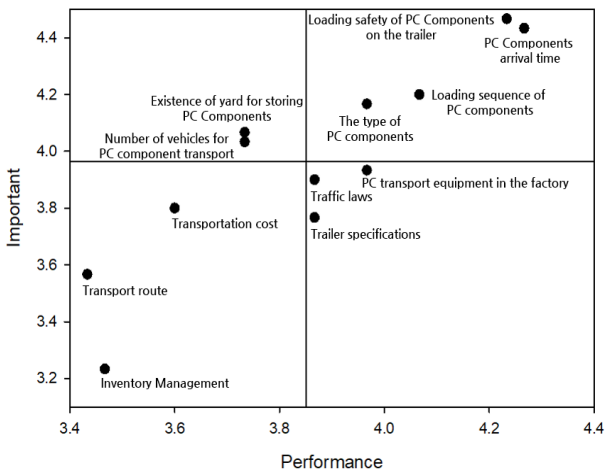


Fig. 3. Results of IPA Matrix for PC Manufacture Manager in Allocation

2) PC부재 적재계획 결과

(Fig. 4)는 PC부재 적재계획의 중요도와 반영도를 분석한 결과이다. 1사분면(성과 유지)에 “PC부재 하중”, “PC부재 적재 안정성”, 2사분면(노력 집중화)에 “PC부재 방향”, 3사분면(낮은 우선순위)에 “PC부재 적재 위치”, “PC부재 적재순서”, “PC부재 패턴의 다양성”에 관한 고려사항이 포함된 것을 확인하였다. 4사분면(과잉노력 지양)에 포함된 고려사항은 없었다. 따라서, PC부재 적재계획의 효율성을 높이기 위해서는 2사분면에 해당하는 항목인 PC 부재 방향의 영향을 파악하고 이를 적재 단계에서 효과적으로 고려하기 위한 노력을 집중적으로 기울여야 한다.

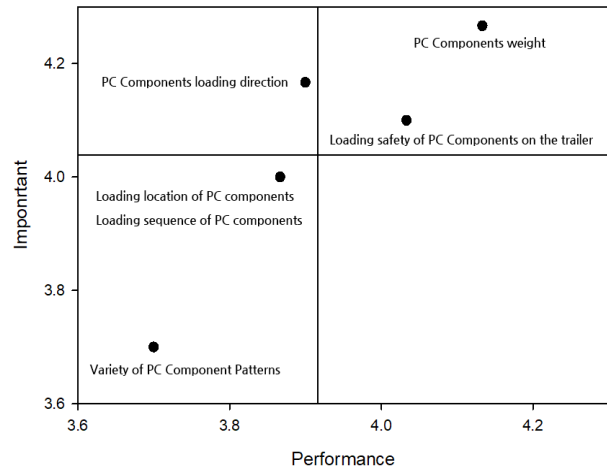


Fig. 4. Results of IPA Matrix for PC Manufacture Manager in Loading

5.2 IPA Matrix 분석결과 시사점

PC부재 할당 및 적재계획을 수립할 시 주요사항과 개선이 필요한 고려사항에 대한 시사점은 다음과 같으며, (Table 8)에 IPA 결과를 정리하였다.

첫째, PC 부재 할당 계획과 PC 부재 적재계획의 IPA 그래프의 X축과 Y축의 값이 모두 3.00 이상인 것으로 보아, 생산관리자는 PC 부재 할당계획 및 적재계획 수립 시, 12개의 고려사항을 모두 중요하게 생각하며 이를 고려하여 계획을 수립하고 있는 것을 알 수 있다.

또한, 대부분 고려사항이 1사분면과 3사분면에 분포해 있는 것으로 보아, 중요도가 높은 고려사항을 잘 반영하여 PC 부재 할당 계획과 적재계획을 수립하고 있는 것을 알 수 있다.

둘째, PC부재 할당계획에서 “PC부재 운반 차량 대수”와 “건설현장 내의 야적장 유무”는 계획 수립 시 중요도가 높은 고려사항임에도 불구하고 잘 반영하지 않고 있는 것으로 나타났다 (2사분면). 또한, “공장 내의 PC 운반 장비”, “차량 제원” 등은 계획 수립 시 중요도가 낮은 고려사항임에도 불구하고 반영도가 높은 것으로 나타났다(4사분면).

특히, “PC부재 운반 차량 대수”의 경우, 종합건설사와 PC공장이 주로 총액방식으로 계약을 체결하기 때문에 효율적인 비용 관리 계획이 잘 수립되지 않고 있다. 또한, PC부재는 이형부재와 혼합 적재 시 부재파손 등의 문제가 발생하여 이형부재의 경우에는 주로 차량에 단독 적재하여 운반한다. 하지만, PC공장은 운반업체와 계약을 할 때 차량당 최소 중량을 보장하는 조건으로 대부분 계약을 체결하기 때문에, 이형부재의 무게가 최소 중량이거나 최대 중량일 경우 PC부재 할당계획에 많은 어려움을 겪고 있다. 이를 개선하기 위해서는 PC부재 할당계획 수립 시 공장-운반-현장관리자 간의

원활한 의사소통을 위한 PC 운반 계획 시스템 개발이 필요하다. “건설현장 내의 야적장 유무”의 경우 대부분의 건설현장 내 부지가 부족한 경우가 많아 이를 고려하지 않고 계획을 수립하는 것으로 파악되었다. 또한, 현장의 야적장 유무 정보와 연계하여 차량의 중량 조건을 만족하게 하면서 최소의 비용으로 운반할 수 있는 부재 할당계획 시스템 개발이 요구된다.

셋째, PC부재 적재계획에서 “PC부재 방향”은 계획 수립 시 중요도가 높은 고려사항임에도 불구하고 잘 반영하지 못하고 있다. 그 이유로는 부재 방향에 따라 무게중심이 변경되는 것을 즉시 파악하기 어렵고 또한, 부재 방향을 변경할 때 구조전문가의 구조검토를 받지 않고 PC 부재를 적재계획을 수립하면 운반 시 차량의 진동 또는 충격으로 인해서 부재가 파손될 우려가 있다. 이를 위한 PC 운송 전용 프로그램 또는 적재 설계도와 같이 적재 시 PC 부재의 방향에 따라 차량 적재 계획을 수립하는 데에 도움을 주는 시스템의 개발이 필요하다.

## 6. 결론

이 연구는 효율적인 PC공사를 수행하기 위해 PC부재 할당계획 및 적재계획 수립에 필요한 고려사항을 도출하고, 실제 PC공사 전문가와의 설문조사를 통해 이들 고려사항이 어떻게 반영되고 있는지를 조사함으로써 PC공사 관리지식에 기여하고 있다. 또한, 차이분석(Gap Analysis)와 IPA 기법을 활용하여 각 고려사항들의 중요도와 반영도에 따른 개선 우선사항을 도출함으로써 향후 연구개발의 시사점을 제공하였다.

우선, PC 물류 관련 연구, PC 시공계획서 고찰을 통해 PC 운송과 관련이 있는 25개의 고려사항을 도출하였다. 이후, 전문가 면담 및 설문조사를 통해 생산관리자가 PC부재 할당계획 수립 시 반영하는 고려사항 12개 항목과 PC부재 적재계획 수립 시 반영하는 고려사항 6개 항목을 도출하고, IPA 기법을 활용하여 PC부재 할당 및 적재 계획 고려사항의 중요도와 반영도 수준을 조사하였다.

1. PC부재 할당 계획 수립 시 반영하는 고려사항

- 재고관리, 운송비용, PC부재 적재 순서, PC부재 유형, 공장 내의 PC 운반장비, 건설현장 내의 야적장 유무, 차량제원, PC부재 운반 차량대수, 국가 법령 및 도로교통 법규, 운송 시간, PC부재 적재 안전성.

2. PC부재 할당 계획 수립 시 반영하는 고려사항

- PC부재 하중, PC부재 방향, PC부재 적재 순서, PC부재 적재 위치, PC 부재 적재 안전성, PC부재 패턴의 다양성.

3. PC부재 할당계획 고려사항에 대한 IPA 분석결과는 다음과 같다.

생산관리자는 “PC부재 할당계획 시 운송 시간”, “PC부재 적재 안정성”, “PC부재 유형”, “PC부재 적재순서”를 중점으로 관리하는 것을 파악하였다. 반면 “PC부재 운반 차량 대수”, “건설현장 내의 야적장 유무” 항목은 중요한 고려사항인 것에 비해 관리자가 잘 반영하지 못하고 있는 것을 파악하였다.

4. PC부재 적재계획 고려사항에 대한 IPA 분석결과는 다음과 같다. 생산관리자는 “PC부재 하중”, “PC부재 적재 안전성”을 중점으로 관리하는 것을 파악하였다. 반면, “PC부재 방향” 항목은 중요한 고려사항인 것에 비해 관리자가 잘 반영하지 못하고 있는 것을 확인하였다. 비효율적인 PC적재로 인해 PC부재가 운반시 파손될 우려가 있다.

이 연구는 PC공장 생산관리자와 현장관리자를 대상으로 PC부재 할당 및 적재계획을 수립할 때 필요한 고려사항을 도출하고 분석하는 데에 의의가 있지만, 국내에서 PC 운송 계획을 수립하는 관리자의 수가 적어 도출된 고려사항들이 제한적이고 분석결과의 통계적 유의미성이 높지 않다는 한계점이 있다. 향후 PC공사가 활성화되면 고려사항들에 대한 다양한 통계적 분석이 이루어질 수 있을 것이다. 도출된 PC부재의 할당 및 적재 고려사항을 충실히 반영한 운반계획 시스템이 개발, 적용된다면 초보자와 전문가의 운반 계획이 일관성 있게 수립될 수 있고, PC공사 운반비 절감 및 인적 오류로 인한 잘못된 계획 수립 방지에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

Table 8. IPA Matrix Analysis Results

Category	PC Component Allocation Plan	PC Component Loading Plan
Keep up the good work	PC Components arrival time, Loading safety of PC Components on the trailer, The type of PC components, Loading sequence of PC components	PC Components weight, Loading safety of PC Components on the trailer
Concentrate Here	Number of trailers for PC component transport, Existence of yard for storing PC Components in on-site	PC Components loading direction
Low priority	Transportation cost, Transport route, Inventory Management, Traffic laws	Loading sequence of PC components, Loading location of PC components, Variety of PC Component Patterns
Possible overkill	PC transport equipment in the factory, Trailer specifications	-



## 감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 21ORPS-B158109-02)

이 논문은 인천대학교 2020년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

## References

- Baek, C.H., Kwak, M.K., and Seol, W.J. (2016). "Requirements Elicitation of Modular Unit Transportation for Preventing Damage." *Architectural Institute of Korea*, pp. 1124-1125.
- Boyd, N., Khalfan, M.M., and Maqsood, T. (2013). "Off-site construction of apartment buildings." *Journal of Architectural Engineering*, 19(1), pp. 51-57.
- Chang, C., Wu, F., and Liu, D. (2016). "Optimization Model of Load and Transportation for Prefabricated Construction Components." pp. 1145-1148.
- Chang, C., Wu, F., and Liu, D. (2016). "Optimization model of load and transportation for prefabricated construction components." *Environment and Sustainable Development*, pp. 1145-1148.
- Choi, O.K., Park, M.S., Hyun, H.S., and Lee, H.S. (2016). "Transportation and Site Erection Effect Factors Analysis for Modular Construction Process Planning." *Architectural institute of Korea*, 36(1), pp. 369-370.
- Dawood, N.N., and Richard H.N. (1990). "A Survey of Current Production Planning Practices in the Precast Concrete Industry." *Construction Management and Economics*, 8(4), pp. 365-83.
- Jang, J.Y. (2019). "Research Trends in Off-Site Construction Management: Review of Literature at the Operation Level." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 20(4), pp. 114-125.
- Jo, G.D. (2006). "A Study on the Integrated Management and Revitalization of Prefabricated Building with Precast Concrete." pp. 1-137.
- Kim, D.M., Lee, J.S., Kim, J.Y., and Kim, J.J. (2014). "Marketing Strategy and Influential Factors based on the Attributes of Unit Modular System Kim,." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 15(1), pp. 78-86.
- Kim, M.J., Lee, D., Lim, H., Cho, H., and Kang, K.I. (2015). "Derivation of Factors for Improvement for Efficient Procurement and Lifting Management of Modular Construction." *The Korea Institute of Building Construction*, 15(1), pp. 211-212.
- Kim, S.Y., Yoon, Y.H., Park, K.Y., and Lee, B.S. (2006). "A research for Practical Using Method of PC Structural System for the Underground Parking Garage in an Apartment Housing Site." LH.
- Kim, Y.S., and Kim, J.Y. (2000). "A Study on the Application of Precast Concrete Panel Method for Steel Framed Residential Buildings." *Architectural Institute of Korea*, 20(1), pp. 513-514.
- Kwahk, G.J., Sohn, J.R., Kim, K.R., Sohn, C.B., and Kim, J.J. (1998). "A Logistics Information Management System for the Prefabricated Precast Concrete Panels." *Architectural institute of Korea*, pp. 87-94.
- Lee, Y. (2020). "A methodology to align the logistical requirements of prefabricated wall panels." Stanford University, 2020.
- Lim, C.Y., and Kim, S.K. (2006). "An Analysis of Influence Factors on Insitu-production and Installation Schedule of Composite Precast Concrete Members." *The Korea Institute of Building Construction*, 13(1), pp. 176-177.
- Lim, H., and Yu, J.H. (2018). "Analysis of Inhibiting Factors Using PC(Precast Concrete) Method." Proceedings of the 2018 KICEM Conference, Seoul, KOREA.
- Liu, D., Li, X., Chen, J., and Jin, R. (2020). "Real-Time Optimization of Precast Concrete Component Transportation and Storage." *Advances in Civil Engineering*, 2020.
- Martilla, J.A., and James, J.C. (1977). "Importance - Performance Analysis." *Journal of Marketing*, 41(1), pp. 77-79.
- Morabito, R., Morales, S.R., and Widmer, J.A. (2000). "Loading optimization of palletized products on trucks." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 36(4), pp. 285-296.
- Ng, S.T., Shi, J., and Fang, Y. (2009). "Enhancing the logistics of construction materials through activity - based simulation approach. Engineering." *Construction and Architectural Management*, 22(1), pp. 91-107.
- Nunnally, J.C. (1978). *Psychometric theory*. 2ed., Mc-Graw Hill, NY.
- Olsson, J., Larsson, T., and Quttineh, N.H. (2020). "Automating the planning of container loading for Atlas Copco: Coping with real-life stacking and stability constraints." *European Journal of Operational Research*, 280(3), pp. 1018-1034.
- Park, S.Y., Kim, K.T., Park, N.C., and Jung, I.S. (2012). "Study of Improved Transporting Methods on Unit Module." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 12(2), pp. 243-244.
- Pheng, L.S., and Chuan, C.J. (2001). "Just-in-time management of precast concrete components. Journal of construction engineering and management." 127(6), pp. 494-501.

- Pheng, L.S., and Chuan, C.J. (2000). "Just-in-Time Management of Precast Concrete Components." *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(6), 494-501.
- Polat, G. (2010). "Precast concrete systems in developing vs. industrialized countries." *Journal of Civil Engineering and Management*, 16(1), pp. 85-94.
- Said, H., and El-Rayes, K. (2014). "Automated multi-objective construction logistics optimization system. *Automation in Construction*," 43, pp. 110-122.
- Shin, H.K., and Ahn, Y.H. (2016). "A Study on Module Transport Process for Modular Construction." *Architectural institute of Korea*, pp. 417-418.
- Shin, N.R., Kim, Y.S., Han, S.W., and Yeom, D.J. (2016). "Development of a Decision Support System for Production Scheduling of Precast Concrete Members." *Architectural Institute of Korea*, 32(2), pp. 31-40.
- Xu, G., Zhong, R.Y., Yang, H., and Huang, G.Q. (2015). "Cloud asset-enabled prefabrication transportation service for public housing production in Hong Kong." In 2015 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, pp. 1497-1502.
- Yi, W., Phipps, R., and Wang, H. (2020). "Sustainable Ship Loading Planning for Prefabricated Products in the Construction Industry." *Sustainability*, 12(21), pp. 1-12.

---

**요약 :** PC 부재 할당, 적재 계획은 차량적재 공간의 활용률을 높임으로써 차량에서 발생하는 이산화탄소 배출과 에너지 사용을 줄일 수 있으며, 또한 전체 프로젝트 비용을 절감할 수 있다. 이 연구는 PC 공사 공장관리자와 현장관리자를 대상으로 PC 부재를 차량에 할당 및 적재 계획을 수립하는 데 도움을 줄 수 있는 고려사항 18개를 도출하였으며, 도출한 18개 고려사항을 활용하여 IPA분석을 수행하였다. 주요결과, PC 부재 할당계획 시 "PC 부재 운반 차량 대수", "건설현장 내의 야적장 유무" 항목에 관한 고려사항 개선이 필요한 것을 파악하였다. 또한, PC 부재 적재계획에서는 "PC 부재 방향" 항목에 관한 고려사항 개선이 필요한 것으로 나타났다. 최근 들어 다양한 PC 부재 유형의 생산으로 인해 차량에 PC 부재를 안정적으로 적재하기 어려워 PC 부재 적재계획에서 비효율적인 차량 공간 사용, 불안한 적재 형태 등의 많은 문제가 발생하고 있다. 이 연구결과를 생산관리자가 부재 할당 및 적재 계획에 반영한다면 효율적인 차량 관리로 인해 경제적인 계획을 수립할 수 있을 것으로 판단된다.

**키워드 :** 프리캐스트 콘크리트, 운반, IPA, PC 부재 할당 계획, PC 부재 적재 계획

---