KJCEM 23. 6. 003~014
November 30, 2022

www.kicem.or.kr (pISSN 2005-6095 / eISSN 2465-9703)
http://dx.doi.org/10.6106/KJCEM.2022.23.6.003

대기행렬 모형을 활용한 아파트 골조공사 기준층 인적 자원관리 선정사례에 관한 연구

이정원[1] · 김보희[2] · 함남혁[3*] · 김재준[4]

[1]한양대학교 건축공학과 석사과정 · [2]한양대학교 건축공학과 박사과정 ·
[3]한양사이버대학교 디지털건축도시공학과 조교수 · [4]한양대학교 건축공학과 교수

A Case Study on the Appropriate Construction Personnel of the Typical Floor of Apattment Frame Construction Using the Queueing Model

Lee, JeongWon[1], Kim BoHee[2], Ham, NamHyuk[3*], Kim, JaeJun[4]

[1]Grauduate Student, Department of Architectural Engineering, Hanyang University
[2]Grauduate Student, Department of Architectural Engineering, Hanyang University
[3]Professor, Department of Digital Architectural and Urban Engineering, Hanyang Cyber University
[4]Professor, Department of Architectural Engineering, Hanyang University

Abstract : Quantitative analysis of the number of construction workers and construction period can present a new standard for appropriate personnel. This study presents a Queueing model that predicts the execution time of work procedures, the most important factor among work efficiency indicators. During the working cycle of apartment frame construction the same process tends to be repeated the volume of contruction. Based on these characteristics, this study used a Queueing Model and analyzed reference layer cycle of the delayed frame construction. After adjusting the number of people and the construction period, the performance of the model was analyzed and suggested. This study aims to support the decision making of personnel distribution according to the volume of construction by performing a performance analysis of the Queueing Model.

Keywords : Queueing Model, Human Resource Management, Structural One Cycle Time Scheduling Mechnism of the Typical Floor Construction, Construction Productivity

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내 공동주택공사 공정 관리는 다양한 작업의 동시다발적 진행으로 인해 복잡하고 관리가 어렵다(Shahtaheri et al., 2017; Wee et al., 2021). 공동주택 공사는 유사한 형태 작업 등의 개별 공정이 순차적으로 반복 진행되는 특성이 있다(Choi & Lee, 2018). 그중 공동주택 기준층의 층당 사이클은 공정계획의 주 공정이 되기 때문에 중요하며(Ji et al., 2021), 전체 공기의 40~50%를 차지하는 공정 관리의 핵심이다(Han et al., 2019). 2개 이상의 동에서 연속 이동 작업이 가능한 기준층 층당 작업 사이클 특성상 선행 개별 작업의 지연은 후속 작업의 대기를 발생시킨다(Kim, 2021). 따라서 공동주택 기준층 골조 사이클 특성을 고려한 공정 관리가 필요하다.

건설공사에서 불확실성은 공기 지연과 생산성 저하를 유발한다(Park, 2019). 공기 지연은 전체 프로젝트의 손실을 야기하며, 건설공사의 성패를 좌우한다(Kim et al., 2016; Chae & Kim, 2019). 그러나 국내 공동주택 공정 관리는 발주자의 경험과 직관에 의존하여 수립되고 있다(Kim, 2019). 건설 생산성은 자원관리와 상관관계가 밀접하기에 정량적인 자원관리 계획 수립이 중요하다(Kim, 2018).

공동주택 공사는 인력의존도가 높기에 인적자원이 중요시되고 있다(Kim, 2018). 인적 자원관리는 불확실성을 제거하고 작업의 생산성을 높인다(Kang et al., 2010). 이에 투입되는 정량적인 인원분배가 필요하다(Kim et al., 2021). 대기

* **Corresponding author**: Ham, Namhyuk, Department of Digital Architectural and Urban Engineering, Hanyang Cyber University, Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul, Korea.
E-mail: nhham@hycu.ac.kr
Received August 08, 2022 **revised** September 20, 2022
accepted September 27, 2022

행렬 이론은 시공 프로세스 흐름에 대한 시스템의 성능분석을 수리적 결과로 공식화하여 도출할 수 있다(Truong et al., 2010; Kim et al., 2021). 이를 통해 공정의 물량에 따른 정량적인 인원분배를 제안할 수 있다. 따라서, 본 연구는 골조공사의 기준층에 대한 공정 메커니즘을 실제 공동주택 프로젝트 사례에 적용하여 분석하였다. 대기행렬 이론을 적용하여 공정별 공사 물량에 따른 적절 투입 인원에 대한 정량적인 분석을 하였다. 따라서 본 연구는 대기행렬의 성능을 분석하여 공동주택 공정의 인적 자원관리 의사결정을 지원하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 H 사의 공동주택 현장 5개 동을 대상으로 한다. 각 동별 기준층 이상의 층당 작업 사이클 물량 및 인원을 분석하였다. 공사일보를 참고하여 콘크리트, 철근, 갱폼, 알폼 4가지 골조공사 항목을 분석하였다. 기준층인 4층 이상의 사이클들은 물량 오차에 영향을 받지 않는다. 이에 연구의 범위는 불확실성을 제외한 날씨에 영향을 받지 않는 기준층 이상의 사이클 중 지연된 25개 사이클로 한정하였다. 사이클 연구의 방법은 다음과 같다.

(1) 공동주택 5개 동 공사일보의 수집된 120 사이클 중 지연된 사이클을 수집하였다.

(2) 지연된 사이클의 원인분석 후, 외부 기상 조건(날씨, 휴일)에 영향을 받지 않은 25 사이클을 도출하였다.

(3) 대기행렬 모형을 적용하여 공사일보상의 사이클 성능을 분석하였다.

(4) 공사 물량의 인력투입에 따른 대기행렬 성능지표 탐색을 통해 최적의 인원 투입 사이클 성능을 정량적으로 분석하였다.

2. 이론적고찰

2.1 공동주택 기준층 골조공사

공동주택은 우리나라 주거형태의 절반 이상을 차지하고 있다(Choi, 2021). 그중 골조공사는 전체 공기의 약 50%, 공사비의 약 45%를 차지한다(Lee et al., 2019). 공동주택 골조공사는 거푸집조립, 철근 가공 · 조립, 콘크리트 타설과 양생 작업 등의 단위 공정이 유사한 절차가 연속된다(Choi & Lee, 2018). 기준층 골조 사이클은 전체 건설공사 공기의 40~50%를 차지하는 핵심 공정이다(Choi, 2010; Han et al., 2019). 따라서 개별 공사의 특성과 물량을 고려한 사이클 공정계획이 필요하다.

기존 아파트 골조공사의 기준층 사이클 공정에 관한 다양한 연구가 진행되었다. Kim (2022)은 공동주택 건설 프로젝트 골조공사의 인적자원 배치를 기준층 이상, 지하로 나누어 분석하였다. Yang (2020)은 계획된 6일 사이클 공정과 비교하여 TACT 기반 공동주택 골조공사 공정 최적화 모델을 제안하였다. Lee (2018)은 공동주택 골조공사 공기지연의 원인과 방지방안에 관하여 분석하였다.

기존 공동주택 기준층 골조공사 연구에서는 기준층 작업 사이클의 단위 작업의 운영 계획 등을 분석하고 있다. 그러나 단위 작업의 인적 자원관리, 분류체계 등 공정 메커니즘에 대한 구체적인 분석이 미흡했다. 이에 본 연구는 미흡했던 인적 자원관리를 구체적으로 분석하여 공동주택 기준층 층당 사이클의 골조공사에서 물량에 따른 공정별 인원분배를 분석하고자 한다.

2.2 인적 자원관리

인적 자원관리는 불확실성이 높은 건설사업의 성패를 좌우한다(Chae & Kim, 2019). 이에 인적 자원관리 시스템의 연구 중요성이 강조되고 있다(Yun et al., 2018; P.Ballesteros-Pérez, 2012). 건설 분야에서 인적자원은 다른 기업과의 경쟁에서 우위를 달성하고 조직의 목표 달성을 위해 기술, 정보, 지식을 보유한 건설 기술자로의 종사원이다(한국건설산업연구원, 2016). 건설공사는 노동집약적 산업으로 자재저장, 노동력, 각종 기계를 투입하여 조직적으로 하는 생산 업무이기에 건설 산업의 효율성에 중요한 요소이다(Lee, 2021).

인적 자원관리에 관한 다양한 연구가 진행되었다. Kim (2021)은 복지 분야의 인적 자원관리를 중심으로 지역의 공공복지 수행 조직으로서 지자체 역량의 현재를 진단해보았다. Kim (2022)는 경영연구 분야의 인적 자원관리의 원리로 기술 결정론과 능력주의의 극복, 노동 의미의 재발견, 개인 차별적 특성을 제시하였다. Lee and Song (2021)은 공경비 업무에서 인적 자원관리를 통해 기업의 성과를 지속, 유지하기 위해 민간경비산업 종사자들의 니즈를 반영하였다. Yoon (2021)은 사회적 기업의 인적자원관리시스템이 조직성과에 미치는 영향에 관한 연구를 분석하였다.

건설 분야 인적 자원관리에 관한 연구는 다양하게 진행되어왔다. Son and Kim (2020)은 해외 건설사업관리(CM) 기술자의 전문성 강화 및 전문인력 확대 방안에 대해 제안하였다. Kim (2018)은 국내 건설기업의 고성과 인적 자원관리시스템의 구성요인이 건설기업 종사원들의 직무성과에 어떠한 영향을 미치는지 분석하였다. Ha et al. (2019)는 건설기능인력 확보와 체계적인 관리시스템을 제시하여 건설기능인력의 효율적인 관리를 위한 기초자료로 제공하였다. Yang et al. (2019)은 건설 프로젝트의 건설 기능인력에 대한 실증적 분석을 수행하였다.

기존 건설 분야의 인적자원관리 연구에서는 인력 생산성을 바탕으로 한 현장 경영관리 등을 분석하고 있다. 그러나 인력 생산성을 바탕으로 한 현장 인력자원 분배에 대한 구체적인 분석이 미흡했다. 이에 본 연구는 인적 자원관리를 구체적으로 분석하여 공동주택 현장에서 생산성에 따른 공정별 인원분배를 분석하고자 한다.

2.3 대기행렬 모형(Queueing Model)

경영과학은 과학적 접근 방법을 사용하여 경영 문제를 고려하여 의사결정을 지원하는 학문 분야이다(Frederick, 2013). 대기행렬 이론은 작업 흐름에 따른 작업들을 분석할 때 작업의 효율성을 수치 데이터로 제시하기에 신뢰성이 높다(Kim et al., 2017). 특히 건설 시스템에서 작업자의 대기시간 및 투입을 이용한 성과측정에 적합한 분석 방법이다(Ham & Kim, 2015).

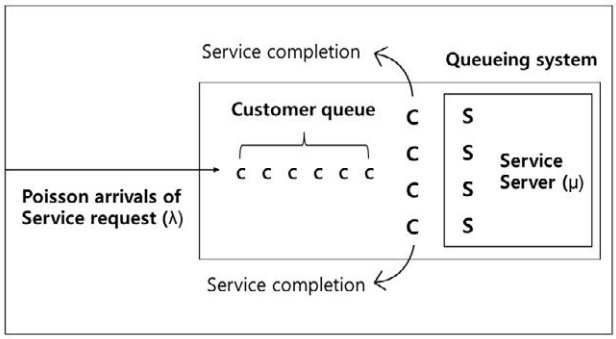
대기행렬 이론을 기반으로 한 다양한 대기에 관한 연구는 현실의 다양한 형태의 대기행렬 시스템(Queueing System)으로 표현된다(Frederick & Mark, 2010).

고객은 서비스를 받기 위해 랜덤하게 개별적으로 대기행렬 시스템에 도착하고, 서버는 서비스를 제공한다. 서비스의 시작부터 끝나는 순간까지의 시간을 서비스 시간(Service Time)이라고 정의한다. 한 개의 서버가 쉬지 않고 일한다는 조건 내에 한 개의 서버가 서비스를 완료하는 평균 고객 수를 평균 서비스율(Mean service Rate, μ)이라고 한다. 서버의 서비스시간은 지수 분포로 표현된다. 고객이 서비스를 도착 즉시 받지 못하면 대기행렬에서 기다린다. 서버로부터 서비스를 받은 고객은 시스템을 떠난다(Ham et al., 2018). 서버의 과다는 과다 비용 발생을, 서버의 부족은 고객의 대기시간 길어짐을 야기한다. 서버와 관련된 비용과 고객의 대기시간 사이에 적절한 절충점(trade-off)을 찾는 것은 서버의 수를 결정하는 것이다(Ham & Kim, 2015). 대기행렬 시스템 속 도착 간 시간은 고객이 도착하는 사이의 시간을 의미한다(Frederick, 2013). 도착 간격 시간은 큰 변동성으로 인해 도착을 예측할 수 없다. 이는 확률 분포로 지수 분포를 가정한다. 지수 분포는 임의 도착 속성을 적절히 설명하는 'Markov 속성'분포로 표현한다. 단위 시간당 고객의 수는 평균 도착률(Mean Arrival Rate, λ)로 표현된다. 평균 도착률을 통해 도착 간격 시간을 확률 분포를 이용한 추정이 가능하다(Kim et al., 2017). 평균 도착률은 도착시간을 변수로 $1/\lambda$의 확률 분포를 평균으로 사용한다. 서버 이용률은 식(1)과 같다.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \tag{1}$$

ρ : 서버 이용률
λ : 평균 도착률
μ : 평균 서비스율

전체 업무 시간 중 서버가 고객을 처리하는 데 소요한 단위시간을 나타낸다. 평균 서비스시간(Server utilization rate,)은 확률 분포의 평균으로 $1/\mu$로 표기한다. MMs 모형은 도착 간격 시간의 분포가 서로 독립적이고 동일한 지수 분포이다. 서비스시간 또한 서로 독립이고 동일한 또 다른 지수 분포이다. 서버의 수는 s명인 시스템이다. 정량적인 서비스를 수행하기 위해서 서버 이용률은 1보다 작거나 같다($\rho \leq 1$).



$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!}\left(\frac{1}{1-\lambda/s\mu}\right)} \tag{2}$$

$$L_q = \frac{P_0(\lambda/\mu)^s \rho}{s!(1-\rho)^2} = \frac{P_0 \lambda^{s+1}}{(s-1)!\mu^{s-1}(s\mu-\lambda)^2} \tag{3}$$

$$W_q = L_q/\lambda \tag{4}$$

$$W = W_q + \frac{1}{\mu} \tag{5}$$

L = 서비스 중인 고객을 포함하여 시스템 내에 있는 평균 고객 수
L_q = 서비스 중인 고객을 제외하고 대기행렬에 있는 평균 고객 수
W =각 고객의 시스템 내에서의 평균 대기 시간(서비스 시간 포함)
W_q =각 고객의 대기행렬에서의 평균 대기 시간(서비스 시간 제외)

대기행렬 모형과 관련한 연구는 다양한 분야에서 진행되어왔다. Jang et al. (2022)은 대기행렬 모형을 통하여 오토스케일링 정책 간의 성능 비교를 시뮬레이션을 통해 수행할 수 있도록 분석하였다. Sohn and Chung (2022)은 대기행렬 이론을 활용하여 군수지원 서비스팀의 무한한 증가가 예상되는 전시 준비 단계의 지상 대기시간을 충족시킬 수 있는 군수지원 서비스팀 수량을 산출하였다. Park (2022)은 대기행렬 이론을 이용한 서울시 공유자전거의 재고 불균형 수준

측정 연구를 진행하였다. Ko and Yoon (2020)은 국방예산의 감축 등으로 효율적인 군사력 운용이 중요한 현시점에서 합리적인 부대 운영을 통한 전술적인 방안을 우선순위 대기행렬 모형을 이용하여 제시하였다. 이처럼 대기행렬 이론을 통해 다양한 분야에서 기다림에 대한 연구가 진행되었다.

건설 분야에서도 대기행렬 모형과 관련한 연구는 다양하게 진행되어왔다. Huh et al. (2021)은 우선순위 규칙을 활용하여 BIM 직원 인력 효율성을 비교하였다. Kim (2021)은 대기행렬 모형을 통해 골조공사의 시공 부위, 단위 공정별 공사 기간에 대한 정량적인 분석을 수행하였다. Kim et al. (2021) 는 대기행렬 모형을 통해 실제 프로젝트 조사를 통해 아파트 건설 프로젝트의 대기 및 낭비로 인한 불확실성에 대한 연구를 진행하였다. Wee et al. (2021)은 대기행렬 모형을 이용해 기초 콘크리트 타설 공사에서 발생한 대기 시스템을 분석하였다. Seong et al. (2021)은 대기행렬을 이용하여 3D 레이저 스캐닝이 적용된 프로젝트의 성과측정 방식을 제안하였다. 이와 같이 대기행렬 모델은 대기 시스템의 정량적인 분석을 가능하게 한다.

따라서 본 연구에서는 최적의 자원관리에 관한 의사결정을 지원하는 도구로써 대기행렬 모델을 활용하였다. 공사 물량의 인력투입에 따른 대기행렬 성능지표 탐색을 통해 최적의 인적자원 할당을 최적화할 수 있는 시스템 상태를 정량적으로 분석하고자 한다.

3. Data Collection

3.1 사례 프로젝트 개요

사례 프로젝트는 경기도 하남에 위치한 공동주택 골조공사 현장이다. 총면적 29,447의 512세대이다. 5개 동의 각 지하 1층부터 29층까지의 데이터를 수집하였다. 공사 기간은 2020년 4월~2022년 8월이다〈Table 1〉.

H사의 해당 프로젝트의 공정별 기준층 예정 투입 인원은 1일 투입 기준 갱폼 4인, 철근 12인, 알폼 23인, 콘크리트 6인이다. 기준층 갱폼 작업은 1일, 알폼, 콘크리트 작업은 1일, 철근 작업은 2일로 총 5일이며 5일 이상 작업은 추가 작업이다.

3.2 데이터 분류

H사의 공사일보를 통하여 프로젝트 실행 공사 기간과 투입 인원을 수집하였다. 1개 동 이상 투입된 인원은 투입 동수로 나누어 도출하여 자료의 정확성을 높였다. 다음으로 단위 공정별 기준층 물량은 층별 물량집계표를 통하여 수집하였다.

Table 1. Project Overview

Classification	Contents
Site Plan	
Project	Apartment Construcion, Gyeonggi-do.
Lot Area	29,447㎡
Construction Period	2020. 04 ~ 2022. 08 (29month)
No. of buildings	5 (B1~29 floors of each buildings)
No. of housing units	512
Architectural Area	82,671㎡
Floor Area Ratio	199.98%

기준층 총 120개 사이클 중 각 층 작업 물량의 편차가 적은 117개 사이클에서 3월 이전 작업의 지연 요인을 수집하였다. 지연된 공정 중 날씨의 영향을 받은 공정의 일부는 26, 27번 사이클과 같다〈Table 4〉. 26번 사이클은 폭설로 인하여 철근 작업 지연으로 1일, 총 5일 지연되었다. 27번 사이클의 경우 폭설로 인해 2일 지연되다. 날씨의 영향을 받지 않는 85개의 사이클 중 인원분배 실패로 지연된 25개 사이클은 단일공정 20건 사이클과 복합공정 5개 사이클로 분류하였다. 갱폼 1개 층 물량은 363.34, 철근 1개 층 물량 평균 22.51, 알폼 1개 층 물량 1600.55, 콘크리트 1개 층 물량 310.42이다. 갱폼, 알폼, 콘크리트의 물량 오차는 없으며 철근의 물량 편차는 0.69 이하이다.

기준층 사이클 공정에 투입된 인원에 대한 성능 및 성과분석을 위해 지연된 25개의 일일 가능 작업량(Capability)과 일일 작업량을 바탕으로 대기행렬 모형으로 분석해야 한다. 평균 서비스율은 해당 프로젝트의 투입된 공정별 골조공사 인원이 일당 처리할 수 있는 작업량으로 최소기간에 최소 투입된 인원으로 설정하였다. 갱폼의 총 물량은 42070.69㎡, 총인원은 477인으로 갱폼 평균 서비스율은 181.67㎡/인으로 가정하였다. 알폼 총 물량은 184506.91㎡, 총인원 2256인이며 알폼 평균 서비스율은 84.23㎡/인으로 가정하였다. 철근 총 물량은 2633.41ton, 총인원은 3070인이며 철근 평균 서비스율은 0.93ton/인으로 가정하였다. 콘크리트 총 물량은 35804.85㎥, 총인원은 923인이며 콘크리트의 평균 서비스율은 51.73㎥/인으로 가정하였다. 계절의 영향과 물량 오차가 큰 상황을 배제하였을 때를 가정하면, 각 층 공정별 물량에 대한 공정 일수를 평균 도착율로 나타냈다. 평균 도착율은 갱폼은 약 363.34㎡, 알폼은 약 1600.55㎡, 철근은 약

22.5ton, 콘크리트는 약 310.42㎥로 나타났다. Workload란 물량을 뜻한다.

단일공정에서는 갱폼 2건, 철근 13건, 알폼 4건, 콘크리트 1건이 지연되었다〈Table 2〉. 갱폼으로 인해 지연된 사이클은 2건 모두 1일 지연되었으며 각 2인, 4인 과투입 되었다. 철근으로 인해 지연된 사이클은 13건이다. 2건을 제외한 11건은 1일 지연되었으며 나머지 2건은 2일 지연되었다. 총 13건 중 8건은 각 9인, 4인, 1인, 2인 1인, 2인, 14인, 2인 과투입 되었고, 3건은 각 4인, 3인, 10인 저투입 되었다. 나머지 2건은 적정투입되었다. 알폼으로 인해 지연된 사이클은 4건이며 알폼 조립 및 면 보수작업으로 인하여 모두 1일씩 지연되었다. 또한, 1건은 8인 저투입 되었으며 나머지 3건은 6인, 6인 4인 과투입 되었다. 콘크리트로 인해 지연된 사이클은 1건이며 4인 과투입 되었다.

Table 2. Single Construction Process Basic Ananlysis

Number of cycle	Delay		Sever	Work load	Input	Cycle (period)
	Activity	Days				
1	Gangform work(m^2)	1	6.00	363.34	2	6 Days
2		1	8.00	363.34	4	6 Days
3	Rebar work (ton)	1	32.50	22.57	9	6 Days
4		1	27.50	22.32	4	6 Days
5		1	19.50	22.26	-4	6 Days
6		1	24.33	23.26	1	6 Days
7		2	25.67	23.21	2	7 Days
8		1	24.83	22.72	1	6 Days
9		2	25.17	22.13	2	7 Days
10		1	37.17	22.50	14	6 Days
11		1	26.00	22.35	2	6 Days
12		1	18.00	22.35	-3	6 Days
13		1	23.75	22.28	0	6 Days
14		1	24.33	22.29	0	6 Days
15		1	14.00	22.45	-10	6 Days
16	Alform work(m^2)	1	15.00	1600.55	-8	6 Days
17		1	29.00	1600.55	6	6 Days
18		1	19.00	1600.55	6	6 Days
19		1	27.00	1600.55	4	6 Days
20	Concrete work(m^3)	1	10.00	310.42	4	6 Days

Table 3. Multi Construction Process Basic Ananlysis

Number of cycle	Delay		Sever	Workload	Input	Cycle (period)
	Activity	Day				
21	Rebar work	1	14.00	22.76	-9	7 Days
	Gangform work	1	10.00	363.34	6	
22	Rebar work	2	28.00	22.72	4	8 Days
	Concrete work	1	14.00	310.42	8	
23	Rebar work	4	39.00	22.63	15	10 Days
	Alform work	1	13.00	1600.55	-10	
24	Rebar work	2	23.00	22.50	-1	8 Days
	Alform work	1	34.00	1600.55	11	
25	Alform work	3	40.00	1600.55	17	10 Days
25	Rebar work	1	13.00	22.31	-11	10 Days
25	Concrete work	1	18.00	310.42	12	10 Days

복합공정 사이클은 5건으로 2가지 이상 공정으로 인해 지연된 사이클로 분류하였다〈Table 3〉. 21번 사이클은 철근으로 인해 1일, 갱폼으로 인해 1일 총 2일 지연되었다. 철근은 9인 저투입 되었고, 갱폼은 6인 과투입 되었다. 22번 사이클은 철근 2일, 콘크리트 1일 총 3일 지연되었다. 철근 인원은 4인, 콘크리트 인원은 8인 총 12인 과투입 되었다. 23번 사이클은 철근 4일, 알폼 1일 총 5일 지연되었다. 철근 인원은 15인 과투입, 알폼 인원은 10인 저투입 되었다. 24번 사이클은 철근 2일, 알폼 1일로 총 3일 지연되었다. 철근 인원은 1인 저투입, 알폼 인원 11인 과투입 되었다. 25번 사이클은 알폼 3일, 철근 1일, 콘크리트 1일 총 5일 지연되었다. 알폼 인원은 17인 과투입, 철근 인원 11인 저투입, 콘크리트는 인원 12인 과투입 되었다.

Table 4. Delayed Process Affected by Weather

Num of cycle	Delay		Cycle (period)
	Activity	Day	
26	Rebar work	1	10 Days
	Weather	4	
27	Weather	2	7 Days

Table 5. Mean Service Rate, Mean Arrival Rate according to Total workload and Total worker

Activity	Total workload	Total workers (person)	Mean service rate (μ)	Mean arrival rate (λ)
Gangform work	42070.69m^2	477	88.20	363.34
Rebar work	2633.41ton	3070	0.93	22.763
Alform work	184506.91m^2	2256	84.23	1600.55
Concrete work	35804.85m^3	923	51.73	310.415

4. 골조공사 대기행렬 모형의 성능 분석

4.1 기준층 단일공정 작업의 성능 분석

본 장에서는 H사의 사례 프로젝트 현장에 대한 총 25건의 지연된 기준층 이상 지상층 골조공사 공정별 인원 투입 시스템의 성능을 2가지 기준으로 나누어 분석하고자 한다. labor input scenario1은 공사일보상의 지연된 일수를 동일하게 적용한 후, 물량에 따른 지연 일수 내에서의 최적의 인원을 분배하였다. labor input scenario2는 지연을 회피하기 위해 물량에 따른 최적의 인원을 배치하였다. 가상의 시나리오를 통해 골조공사 기준층의 객관적인 생산성 지표를 분석, 비교하였다.

MMs 모델에서 서버 이용률 값은 1보다 작아야 서비스가 정상적으로 수행되는 안정적인 조건이다. 본 연구에서는 이

Table 6. Average Construction Process Basic Ananlysis

Activity	Day	Mean arrival rate (λ)	Mean service rate (μ)	Number of server	L	L_q	W	W_q	Server utilization rate (ρ)
Gangform work	0.5	420.7	181.67	4.77	2.60	0.28	0.01	0.00	0.49
Rebar work	2	2.63	0.93	30.7	2.83	0.00	1.08	0.00	0.09
Alform work	1	184.5	84.23	22.25	2.19	0.00	0.01	0.00	0.10
Concrete work	1	358.04	51.73	9.23	8.25	1.33	0.02	0.00	0.75

용률이 0.9 이하인 값을 기준으로 설정하였다.() 건설업종의 적정 휴식시간은 일일 작업시간의 약 10-15%를 반영하였다(Jeong et al., 1995; James J. Adrian, 1987). 대기행렬 모델의 기본 성능지표를 통해 자원 할당과 서버 이용률에 따라 대기행렬 상태를 정량적으로 분석하고자 한다. 실행 공사기간, 시공부위별 작업량 및 생산성, 대기행렬 지표 중 평균 도착률, 평균 서비스율, 서버 이용률을 이용하였다. 기준층 총 132개 평균 사이클 공정 작업별 서버 이용률은 갱폼 0.49, 철근 0.09, 알폼 0.10, 콘크리트 0.75이다〈Table 6〉. 갱폼, 철근, 알폼 작업의 서버 이용률은 0.5 이하로 총 공사시간 중 작업에 사용하는 시간보다 휴식, 장비 셋팅에 할애하는 시간이 많다는 것을 보여준다.

4.2 기준층 갱폼 작업의 성능 분석

갱폼 작업으로 인해 지연된 사이클은 2개로 1번부터 2번 사이클이다〈Table 7〉. 공사일보상의 지연된 2개 사이클은 모두 1일 지연되었으며 각각 6인, 8인 투입되었다. 공사일보상의 지연된 사이클의 서버 이용률은 평균 0.15로 총 공사시간 중 작업에 사용하는 시간보다 휴식, 장비 셋팅에 할애하는 시간이 많다는 것을 보여준다. 이에 서버 이용률을 0.9로 개선하여 두 가지 labor input scenario로 나타냈다. 가상의 시나리오를 통해 골조공사 기준층의 객관적인 생산성 지표를 분석, 비교하였다.

labor input scenario1에서는 지연된 날짜에 인원을 최적으로 맞추어 분배하면 1명, 안정적으로 2인 투입할 수 있다. 이를 통해 기존에 지연된 공정에서 투입된 인원보다 4~7인 감소된 것을 확인할 수 있다. 이는 labor input scenario2에서는 1일을 단축한 후, 물량에 따라 2인, 안정적으로 3인을 투입할 수 있다. 기존 공사일보상의 과투입된 인원을 3~6인 감소되었다. 이를 통해 가상의 시나리오를 통한 대기행렬을 활용하여 정량적인 생산성을 분석할 수 있다.

4.3 기준층 철근 작업의 성능 분석

철근 작업으로 인해 지연된 사이클은 13개로 3번부터 15번 사이클이다〈Table 7〉. 공사일보상의 지연된 사이클의 서버 이용률은 평균 0.30로 총 공사시간 중 작업에 사용하는 시간보다 휴식, 장비 셋팅에 할애하는 시간이 많다는 것을 보여준다. 이에 서버 이용률을 0.9로 개선하여 두 가지 labor input scenario로 나타냈다. 가상의 시나리오를 통해 골조공사 기준층의 객관적인 생산성 지표를 분석, 비교하였다.

공사일보상의 7번 사이클은 2일 지연되어 가장 지연 일수가 길고, 인원은 26인 투입되었다. labor input scenario1에서는 물량에 따라 공사일보상의 지연 일수 2일 내에서 인원을 6~7인 분배하여 기존의 지연된 공정에서 투입된 인원보다 19~20인 감소시킬 수 있다. labor input scenario2에서는 공기 지연을 회피하기 위하여 물량에 따라 27인, 안정적으로 28인을 투입하였다. 지연된 기존 공정의 투입된 인원에 비해 1~2인 과투입되어 인건비가 늘었지만, 2일 단축으로 후속 공정의 착수 시점의 지연을 예방한다는 점에서 의미가 있다.

공사일보상의 10번 사이클에서는 38인 투입되어 철근 작업 사이클 중 가장 과투입 되었다. 10번 사이클에서의 labor input scenario1에서는 지연된 날짜에 인원을 8~9인 분배하여 기존에 지연된 공정에서 투입된 인원보다 29~30인 감소한 것을 확인할 수 있다. labor input scenario2에서는 물량에 따라 최적의 인원인 26~27인을 투입하여 지연된 인원을 11~12인 감소시키고, 공기를 1일 단축하였다. 이를 통해 정량적인 생산성을 분석할 수 있는 것을 확인하였다.

4.4 기준층 알폼 작업의 성능 분석

알폼 작업으로 인해 지연된 사이클은 4개로 16번부터 19번 사이클이다〈Table 7〉. 공사일보상의 지연된 사이클의 서버 이용률은 평균 0.45로 총 공사시간 중 작업에 사용하는 시간보다 휴식, 장비 셋팅에 할애하는 시간이 많다는 것을 보여준다. 이에 서버 이용률을 0.9로 개선하여 두 가지 labor input scenario로 나타냈다. 가상의 시나리오를 통해 골조공사 기준층의 객관적인 생산성 지표를 분석, 비교하였다. 공사일보상의 지연된 4개 사이클은 모두 1일 지연되었으며 각각 15인, 29인, 19인, 27인 투입되었다.

labor input scenario1에서는 지연된 날짜에 인원을 최적으로 맞추어 분배하면 10~11인 투입할 수 있다. 이를 통해 기존에 지연된 공정에서 투입된 인원보다 4~5, 18~19, 8~9, 16~17인 감소되었다. labor input scenario2에서는 물량에 따라 최적의 인원인 21인, 안정적으로 22인을 투입하여 지연된 인원보다 7~8인, 5~6인 감소시키고, 6~7인, 10~11인 추가 투입하였다. 이를 통해 가상의 시나리오를 통한 대기행

Table 7. Single Construction Process Labor Input Performance Analysis

Number of cycle	1 activity cycle duration		Mean arrival rate (λ)	Mean service rate (μ)	L	L_q	W	W_q	Number of server	Server utilization rate(ρ)
1	Real input	2	181.67	181.67	1.00	0.00	0.01	0.00	6.00	0.17
	labor input scenario1	2	181.67	181.67	8.36	7.36	0.05	0.04	1.11	0.90
	labor input scenario2	1	363.34	181.67	9.18	7.18	0.03	0.02	2.22	0.90
2	Real input	2	181.67	181.67	1.00	0.00	0.01	0.00	8.00	0.13
	labor input scenario1	2	181.67	181.67	8.36	7.36	0.05	0.04	1.11	0.90
	labor input scenario2	1	363.34	181.67	9.18	7.18	0.03	0.02	2.22	0.90
3	Real input	3	7.52	0.93	4.30	0.00	1.08	0.00	33.00	0.13
	labor input scenario1	3	7.52	0.93	15.79	7.70	2.10	1.02	8.98	0.90
	labor input scenario2	2	22.57	0.93	32.63	8.36	1.45	0.37	26.97	0.90
4	Real input	3	7.44	0.93	8.00	0.00	1.08	0.00	28.00	0.29
	labor input scenario1	3	7.44	0.93	15.71	7.71	2.11	1.04	8.89	0.90
	labor input scenario2	2	22.32	0.93	31.94	7.94	1.43	0.36	26.67	0.90
5	Real input	3	5.57	0.93	5.99	0.00	1.08	0.00	20.00	0.30
	labor input scenario1	3	5.57	0.93	13.46	7.47	2.42	1.34	6.65	0.90
	labor input scenario2	2	22.26	0.93	31.69	7.75	1.42	0.35	26.59	0.90
6	Real input	3	7.75	0.93	8.33	0.00	1.08	0.00	25.00	0.33
	labor input scenario1	3	7.75	0.93	15.36	7.02	1.98	0.91	9.26	0.90
	labor input scenario2	2	23.26	0.93	33.18	8.17	1.43	0.35	27.79	0.90
7	Real input	4	5.80	0.93	6.24	0.00	1.08	0.00	26.00	0.24
	labor input scenario1	4	5.80	0.93	13.68	7.45	2.36	1.28	6.93	0.90
	labor input scenario2	2	23.21	0.93	33.03	8.07	1.42	0.35	27.73	0.90
8	Real input	3	7.57	0.93	8.14	0.00	1.08	0.00	25.00	0.33
	labor input scenario1	3	7.57	0.93	14.47	6.33	1.91	0.84	9.04	0.90
	labor input scenario2	2	22.72	0.93	29.92	5.49	1.32	0.24	27.14	0.90
9	Real input	4	5.53	0.93	5.95	0.00	1.08	0.00	26.00	0.23
	labor input scenario1	4	5.53	0.93	13.40	7.46	2.42	1.35	6.61	0.90
	labor input scenario2	2	22.13	0.93	31.01	7.21	1.40	0.33	26.44	0.90
10	Real input	3	7.50	0.93	8.06	0.00	1.08	0.00	38.00	0.21
	labor input scenario1	3	7.50	0.93	15.77	7.71	2.10	1.03	8.96	0.90
	labor input scenario2	2	22.50	0.93	32.48	8.28	1.44	0.37	26.88	0.90
11	Real input	3	7.45	0.93	8.01	0.00	1.08	0.00	26.00	0.31
	labor input scenario1	3	7.45	0.93	15.72	7.71	2.11	1.03	8.90	0.90
	labor input scenario2	2	22.35	0.93	32.05	8.01	1.43	0.36	26.70	0.90
12	Real input	3	7.45	0.93	8.01	0.00	1.08	0.00	21.00	0.38
	labor input scenario1	3	7.45	0.93	15.72	7.71	2.11	1.03	8.90	0.90
	labor input scenario2	2	22.35	0.93	32.05	8.01	1.43	0.36	26.70	0.90
13	Real input	3	7.43	0.93	7.99	0.00	1.08	0.00	24.00	0.33
	labor input scenario1	3	7.45	0.93	15.72	7.71	2.11	1.03	8.90	0.90
	labor input scenario2	2	22.28	0.93	31.78	7.82	1.43	0.35	26.62	0.90
14	Real input	3	7.43	0.93	7.99	0.00	1.08	0.00	24.00	0.33
	labor input scenario1	3	7.45	0.93	15.72	7.71	2.11	1.03	8.90	0.90
	labor input scenario2	2	22.28	0.93	31.78	7.82	1.43	0.35	26.62	0.90
15	Real input	3	7.48	0.93	8.10	0.06	1.08	0.01	14.00	0.57
	labor input scenario1	3	7.45	0.93	15.72	7.71	2.11	1.03	8.90	0.90
	labor input scenario2	2	22.45	0.93	32.35	8.21	1.44	0.37	26.82	0.90
16	Real input	2	800.28	84.23	9.62	0.12	0.01	0.00	15.00	0.63
	labor input scenario1	2	800.28	84.23	17.11	7.61	0.02	0.01	10.56	0.90
	labor input scenario2	1	1600.55	84.23	24.63	5.63	0.02	0.00	21.11	0.90
17	Real input	2	800.28	84.23	9.50	0.00	0.01	0.00	29.00	0.33
	labor input scenario1	2	800.28	84.23	17.11	7.61	0.02	0.01	10.56	0.90
	labor input scenario2	1	1600.55	84.23	24.63	5.63	0.02	0.00	21.11	0.90
18	Real input	2	800.28	84.23	9.51	0.00	0.01	0.00	19.00	0.50
	labor input scenario1	2	800.28	84.23	17.11	7.61	0.02	0.01	10.56	0.90
	labor input scenario2	1	1600.55	84.23	24.63	5.63	0.02	0.00	21.11	0.90
19	Real input	2	800.28	84.23	9.50	0.00	0.01	0.00	27.00	0.35
	labor input scenario1	2	800.28	84.23	17.11	7.61	0.02	0.01	10.56	0.90
	labor input scenario2	1	1600.55	84.23	24.63	5.63	0.02	0.00	21.11	0.90
20	Real input	2	155.21	51.73	3.00	0.00	0.02	0.00	10.00	0.30
	labor input scenario1	2	155.21	51.73	10.16	7.16	0.07	0.05	3.33	0.90
	labor input scenario2	1	310.42	51.73	13.47	7.47	0.04	0.02	6.67	0.90

렬을 활용하여 정량적인 생산성을 분석할 수 있다.

4.5 기준층 콘크리트 작업의 성능 분석

콘크리트 작업으로 인해 지연된 사이클은 1개로 20번 사이클이다〈Table 7〉. 공사일보상의 지연된 20번 사이클은 1일 지연되었으며 10인 투입되었다. 공사일보상의 지연된 사이클의 서버 이용률은 0.3으로 총 공사시간 중 작업에 사용하는 시간보다 휴식, 장비 셋팅에 할애하는 시간이 많다는 것을 보여준다. 이에 서버 이용률을 0.9로 개선하여 두 가지 labor input scenario로 나타냈다. 가상의 시나리오를 통해 골조공사 기준층의 객관적인 생산성 지표를 분석, 비교하였다.

labor input scenario1에서는 지연된 일수에 인원을 최적으로 맞추어 분배하면 3~4인 투입할 수 있다. 이를 통해 기존에 지연된 공정에서 투입된 인원보다 6~7인 감소된 것을 확인할 수 있다. labor input scenario2에서는 공기 지연을 방지하기 위하여 물량에 따라 최적의 인원인 6인, 안정적으로 7인을 투입할 수 있다. 이를 통해 가상의 시나리오를 통한 대기행렬을 활용하여 정량적인 생산성을 분석할 수 있다.

4.6 기준층 복합공정 작업의 성능 분석

복합공정 작업으로 인해 지연된 사이클은 5개로 21번부터 25번 사이클이다〈Table 8〉. 21번부터 25번 사이클은 각 철근과 갱폼, 철근과 콘크리트, 철근과 알폼, 철근과 알폼, 철근과 알폼과 콘크리트로 인해 지연되었고, 철근 작업이 모두 지연되었다.

공사일보상의 지연된 사이클의 서버 이용률은 평균 0.34으로 총 공사시간 중 작업에 사용하는 시간보다 휴식, 장비 셋팅에 할애하는 시간이 많다는 것을 보여준다. 이에 서버 이용률을 0.9로 개선하여 두 가지 labor input scenario로 나

Table 8. Muliti Process Labor Input Performance Analysis

Number of cycle	Activity	1 activity cycle duration		Mean arrival rate(λ)	Mean service rate(μ)	Number of server	L	L_q	W	W_q	Server utilization rate(ρ)
21	Rebar work	Real input	4	7.59	0.93	15	8.19	0.03	1.08	0.00	0.54
		labor input scenario1	4	7.59	0.93	9.07	14.58	6.42	1.92	0.85	0.90
		labor input scenario2	2	22.76	0.93	27.19	30.29	5.82	1.33	0.26	0.90
	Gangform work	Real input	2	181.67	181.67	10	1.00	0.00	0.01	0.00	0.10
		labor input scenario1	2	181.67	181.67	1.11	8.36	7.36	0.05	0.04	0.90
		labor input scenario2	1	363.34	181.67	2.22	9.18	7.18	0.03	0.02	0.90
22	Rebar work	Real input	3	5.68	0.93	28	6.11	0.00	1.08	0.00	0.22
		labor input scenario1	3	5.68	0.93	6.79	13.58	7.48	2.39	1.32	0.90
		labor input scenario2	2	22.72	0.93	27.14	29.92	5.49	1.32	0.24	0.90
	Concrete work	Real input	2	155.21	51.73	14	3.00	0.00	0.02	0.00	0.21
		labor input scenario1	2	155.21	51.73	3.33	10.16	7.16	0.07	0.05	0.90
		labor input scenario2	1	310.42	51.73	6.67	13.47	7.47	0.04	0.02	0.90
23	Rebar work	Real input	4	3.77	0.93	39	4.05	0.00	1.08	0.00	0.10
		labor input scenario1	4	3.77	0.93	4.50	11.27	7.22	2.99	1.92	0.90
		labor input scenario2	2	22.63	0.93	27.04	29.04	4.71	1.28	0.21	0.90
	Alform work	Real input	2	800.28	84.23	13	10.09	0.58	0.01	0.00	0.73
		labor input scenario1	2	800.28	84.23	10.56	17.11	7.61	0.02	0.01	0.90
		labor input scenario2	1	1600.55	84.23	21.11	24.63	5.63	0.02	0.00	0.90
24	Rebar work	Real input	4	5.62	0.93	23	6.04	0.00	1.08	0.00	0.26
		labor input scenario1	4	5.62	0.93	6.71	13.52	7.48	2.41	1.33	0.90
		labor input scenario2	2	22.72	0.93	27.14	29.92	5.49	1.32	0.24	0.90
	Alform work	Real input	2	800.28	84.23	13	10.09	0.58	0.01	0.00	0.73
		labor input scenario1	2	800.28	84.23	10.56	17.11	7.61	0.02	0.01	0.90
		labor input scenario2	1	1600.55	84.23	21.11	24.63	5.63	0.02	0.00	0.90
25	Rebar work	Real input	4	7.44	0.93	13	8.12	0.12	1.09	0.02	0.62
		labor input scenario1	4	7.44	0.93	8.89	15.71	7.71	2.11	1.04	0.90
		labor input scenario2	2	22.31	0.93	26.65	31.90	7.91	1.43	0.35	0.90
	Alform work	Real input	2	400.14	84.23	40	4.75	0.00	0.01	0.00	0.12
		labor input scenario1	2	400.14	84.23	5.28	11.97	7.22	0.03	0.02	0.90
		labor input scenario2	1	1600.55	84.23	21.11	24.63	5.63	0.02	0.00	0.90
	Concrete work	Real input	2	155.21	51.73	18	3.00	0.00	0.02	0.00	0.17
		labor input scenario1	2	155.21	51.73	3.33	10.16	7.16	0.07	0.05	0.90
		labor input scenario2	1	310.42	51.73	6.67	13.47	7.47	0.04	0.02	0.90

타냈다. 가상의 시나리오를 통해 골조공사 기준층의 객관적인 생산성 지표를 분석, 비교하였다.

25번 사이클은 철근, 알폼, 콘크리트 세 가지 공정으로 인하여 지연되었다. 25번 사이클의 labor input scenario1에서는 지연된 날짜에 인원을 최적으로 맞추어 분배하면 철근 8~9인, 알폼 5~6인, 콘크리트 3~4인 투입할 수 있다. 이를 통해 기존에 지연된 공정에서 투입된 인원보다 철근 4~5인, 알폼 34~35인, 콘크리트 14~15인 감소한 것을 확인할 수 있다.

labor input scenario2에서는 물량에 따라 최적의 인원인 철근 26인, 안정적으로 27인, 알폼 21인, 안정적으로 22인, 콘크리트 6인, 안정적으로 7인을 투입하였다. 지연된 인원보다 물량에 따라 세 공종 모두 인원이 증가 되었지만, 공기가 단축되었다. 이를 통해 가상의 시나리오를 통한 대기행렬을 활용하여 정량적인 생산성을 분석할 수 있다.

4.7 분석결과

본 연구에서는 대기행렬을 이용하여 공동주택 현장에서 생산성에 따른 객관적인 분석을 진행하였다. 149개의 평균 서비스율은 갱폼 0.49, 철근 0.09, 알폼 0.10, 콘크리트 0.75로 모두 0.5 이하로 총 공사시간 중 작업에 사용하는 시간보다 휴식, 장비 셋팅에 할애하는 시간이 많다.

이에 가상의 시나리오의 서버 이용률을 0.9로 설정하여 정량적인 생산성 지표를 비교하였다. 인원만을 조정한 labor input scenario1과, 인원과 일수를 모두 조정한 labor input scenario2 모두 생산성 예측이 가능했다. 이는 대기행렬 모형이 공동주택 기준층 공사에 있어 불확실한 인적자원 요소를 정량화할 수 있고 객관적인 생산성을 분석할 수 있음을 입증했다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 실제 국내 공동주택 프로젝트의 기성 자료를 바탕으로 대기행렬 이론을 적용하여 분석을 진행하여 의사결정을 지원한다. 공동주택 기준층 사이클 중 지연된 25개 사이클을 대기행렬 시스템을 통해 지연된 요인에 따른 정량적인 적정 인원 산정을 가능하게 한다. 또한, 프로젝트를 대상으로 기준층 공정 작업 시스템의 예상 성능을 2가지 기준으로 나누어 분석하였다.

본 연구는 작업량과 처리 기간이 정해져 있는 대부분의 건설 프로젝트에 따라 프로젝트 관리자가 현장 상황에 맞추어 각 작업의 인원 투입 계획 수립에 있어 참고자료로 사용 가능한 점에서 의의가 있다. 또한, 골조공사의 시공부위별 공사 인원을 개선된 서버 이용률을 통해 분석하였기에 현장에서 발생하는 인적자원의 낭비와 유휴가 제거된 것으로 판단된다. 본 연구에서 제안한 대기 시스템 분석을 통해 골조공사의 시공부위별 공사 인원을 개선된 서버 이용률을 통해 분석하였기에 현장에서 발생하는 인적자원의 낭비가 제거된 것으로 판단된다. 작업량과 처리 기간이 정해져 있는 대부분의 건설 프로젝트에 따라 프로젝트 관리자가 현장 상황에 맞추어 각 작업의 인원 투입 계획 수립에 있어 참고자료로 사용할 수 있다.

그러나 단일 사례 프로젝트를 바탕으로 연구되어 현실 반영이 어렵다는 점에서 본 연구의 한계가 있다. 이후 다양한 사례와 다양한 공정을 중심으로 활용한 향후 연구가 수행되어야 한다.

References

An, S.H., Kim, G.H., Kim, J.Y., Park, H.I., and Jung, B.W. (2007). "A Study on 3-Day Cycle Time for Reducing the Duration of Structural Frame Work." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 23(5), pp. 203-210.

Bae, J.S., and Sa, J.H. (2003). "The Effects of Human Resource Management Systems on Organizational Performance." *Human Resources Organization Research*, 11(2), pp. 133-169.

Bang, J.D., Han, C.H., and Kim, S.K. (2004). "Optimization of Estimating Duration of the Structural Frame for the High." *Journal of the Architectural Institute of Korea structure & construction*, 5(6), pp. 170-178.

Chae, J.S., and Kim, C.J. (2019). "The Impact of Strategic Human Resource Management on Management Performance through Organizational Competence." *Human Resource Management Research*, 26(1), pp. 143-174.

Choi, G.H. (2011). "A study on the evaluation of technology for shortening the period of construction by construction type of reinforced concrete structure." Master dissertaition, Hanyang Univ.

Choi, J.S., and Lee, J.S. (2018). "A Study on Outsourcing Application of M.E.P. System for Manufacturing Process Improvement of the Modular Construction Method." *Journal of Building Construction*, 18(3), pp. 277-283.

Choi, M.Y. (2009). "An Evaluation on the Propriety Essential Technique for 4 day cycle in RC Structure Frame Construction." Master dissertation, Hanyang Univ.

Choi, Y.K. (2021). "A Study on the Changes of Landscape Architecture in Apartment Housing using Big Data." Master dissertation, Hanyang Univ.

Frederick, H., and Mark, H. (2010). Introduction to

Management Science, A Modeling and Case Studies with Spreadsheets.

Frederick, H., and Mark, H. (2013). Introduction to Management Science, A Modeling and Case Studies with Spreadsheets.

Ha, B.H., Bae, J.S., and Gang, S.H. (2004). "Prediction of execution time of corporate business procedures using queue model." *Proceedings of the Korean Operations and Management Science Society Conference*, South Korea.

Ha, G.J., Choi, M.K., Ha, M.S., and Ha, J.H. (2012). "Comparative Analysis on the Labor Cost of Workers Frame work in Apartment House." *Proceedings of the 2012 Korean Architectural Association Conference*, South Korea.

Ha, G.J., Choi, M.K., Lee, D.R., Ha, M.S., and Ha, J.H. (2014). "Analysis on the Actual Labor for Rational Manpower Resource Estimation of Form Work inApartment Hous." *Proceedings of the 2014 Korean Architectural Association Conference*, South Korea.

Ha, G.J., Ha, M.S., and Lee, D.R. (2019). "A study on the effective management plan of skilled manpower through analysis of work environment and productivity of construction skilled manpower." *Proceedings of the Korean Institute of Architects and Engineers-Structural System*, 35(12), pp. 173-180.

Ham, N.H., Ahn, B.J., and Kim, J.J. (2018). "Specialty Contractor's Role and Performance Analysis for Digital Fabrication." Journal of KIBIM, 8(1), pp. 43-55.

Ham, N.H., and Kim, J.J. (2015). "A Case Study on BIM Operating and Performance Measurement in Construction Phase." *Journal of KIBIM*, 5(2), p. 2.

Han, C.H., and Bang, J.D. (2004). "Development of an Effective Time Scheduling Mechanism of the Structural Framework for the High-rise Apartment Housing." *Journal of the Architectural Institute of Korea structure & construction*, 5(4), pp. 87-96.

Han, S.Y., Shin, H.S., and Yang, H.S. (2019). "Application of Apartment Housing Project of Early Strength Concrete for Shortening the Construction Period." *Consturtion Articles*, 31(5), pp. 57-60.

Huh, S.H., Shim, J.H., Ham, N.H., and Kim, J.J. (2021). "BIM-based Design Verification Performance Analysis with Priority Rules Applied." *Journal of KIBIM*, 11, pp. 1-11.

Jang, W.B., and Kim, H.S. (2003). "Productivity Measurement Approach Based on Job Cycle Analysis." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 23(2), pp. 619-622.

Jang, Y.H., Yu, H.C., and Lee, E.Y. (2022). "Reinforcement Learning-based Pod Autoscaling Technique Using the Queueing Mode." *Journal of the Information Science Society*, 49(2), pp. 106-119.

Jeon, S.H., and Koo, K.J. (2015). "Trend Analysis of Labor Input Ratios by Work Types in Apartment Housing Constructions." *Journal of the Architectural Institute of Korea structure & construction*, 16(5), p. 97.

Ji, G,S., Choe, S,D., and Kim, C,J. (2021). "Keimyung University Dongsan Medical Center New Hospital CM Case." *Construction Engineering and Management*, 22 (5), pp. 31-39.

Joo, S.W., Lee, H.S., Park, M.S., Park, S.W., and Kim, K.H. (2007). "A Study on Shortening of Framework Schedule and Cost Calculation in the RC Apartment Housing." *Journal of the Architectural Institute of Korea structure & construction*, 27(1), pp. 667-670.

Kang, D.W., Shim, J.G., Kim, Y.K., Cho, K.M., and Hyun, C.T. (2010). "A Study on the Productivity Analysis of Superstructure Construction for Multi-Housing Projects Using Construction Simulation." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 26(4), pp. 123-131.

Kim, B.Y. (2019). "Utilization of Landscape Information Model for Urban Disaster Reduction Design." Doctoral dissertation, Seoul Univ.

Kim, B.Y. (2021). "Tasks of Basic Local Government Competence for Welfare Decentralization: Focusing on Human Resource Management." *Journal of the Korean Social Policy*, 28(1), pp. 65-102.

Kim, E.J., Kim, J.H., Lee J.H., and Huh, Y.K. (2016). "Analysis of Different Perception on the importance of Construction Schedule Delay Factors by Participants in Apartment Construction Projects." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 18(3), pp. 165-172.

Kim, G.J. (2022). "Human resource management in the post-human era, how to do it?." *Journal of the Logos Management Research*, 20(2), pp. 25-42.

Kim, H.J., Yoo, M.Y., Kim, J.J., and Choi, C.S. (2017). "Performance Analysis of BIM Labor using Case Analysis." *Journal of KIBIM*, 7(3), pp. 31-39.

Kim, J.W. (2021). "A study on the Estimation Criteria for Appropriate Construction Period of Public Apartment Structural Work using the Queuing Model." Doctoral dissertation, Hanyang Univ.

Kim, J.W., Sohn, J.R., Song, S.h., and Bang, J.D. (2014). "A Study on the Basic Schedule Planning of Typical Floor in the Structural Framework of the High-rise Apartment Housing in Winter." *Proceedings of the Korean Architectural Association Conference*, South Korea.

Kim, K,H., Park, M.S., Lee, H.S., Park, S.W., and Joo, S.W. (2007). "An Assessment of Field Application of Elementary Technology for Reducing Construction

Duration in the Apartment Housing Construction." *Journal of the Architectural Institute of Korea structure & construction*, 7(9), pp. 368-372.

Kim, K.H., Yoon, Y.S., and Kim, J.J. (2004). "Optimal Project Duration Estimation Through Enhanced Resource Leveling Technique." *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 5(5), pp. 126-134.

Kim, K.T., and Cho, B.S. (2008). "A Study on the Relationships between HRM and Organizational Outcomes : Mediating Effects of Employee Attitude as an HRM Performance." *Human Resources Organization Research*, 16(1), pp. 115-157.

Kim, M.C., and Son, C.B. (2010). "A Status Analysis on the Organization and Service for Job Site Management of Specialty Contractors in Reinforced Concrete Work." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 26(4), pp. 151-158.

Kim, S.S. (2018). "The Effects of High-Performance Human Resource Management System on Construction Companies Performance : The Test of Mediating and Moderating Effects of Workplace Innovation." Doctoral dissertation, Chosun Univ.

Kim, W.G., Ham, N.H., and Kim, J.J. (2021). "Enhanced Subcontractors Allocation for Apartment Construction Project Applying Conceptual 4D Digital Twin Framework" *Sustainability*, 13(21), p. 11784.

Ko, S.H., and Yoon, B.K. (2020). "An Analysis on the Operation of R.O.K.A Mortar Company with Queuing Model." *Management Science*, 37(1), pp. 19-31.

Korea Construction Industry Research Institute, Trends and Trends in Construction Industry (2016).

Kwon, W.K., and Lee, Y.H. (2009). "Fair and Effcient Human Resource Allocation." *Proceedings of the Fall Conference of the Korean Society of Industrial Engineers*, South Korea.

Lee, G.R., Han, C.H., and Lee, J.B. (2019). "The Development of Productivity Prediction Model for Interior Finishes of Apartment using Deep Learning Techniques." *Korean Journal of Construction Engineering and Management, KICEM*, 20(2), pp. 3-12.

Lee, H.M., Lee, D.H., Zheng, Q., and Kim, S.K. (2010). "A Productivity Analysis for Management Manpower of Building Construction Projects." *Proceedings of the Korean Society for Ecological and Environmental Architecture*, 10(1), pp. 45-55.

Lee, J.H., and Song, E.N. (2021). "A Study on the Effects of Strategic Human Resource Management on Human Resource Flexibility and Organizational Performance." *Security Research*, pp. 325-348.

Lee, S.H. (2021). "A Study on the Oversea Construction Project Claim Factor Analysis and Improvement." Master dissertation, Hanyang Univ.

Lee, Y.H., Shin, K.S., and Kang, S.H. (2010). "Human Resource Allocation Considering Task Leverage Effect." *Entrue Journal of Information Technology*, 9(2), pp. 7-16.

Pablo, B.P., González-Cruz, M.C., and Fernández, D.M. (2012). "Human resource allocation management in multiple projects using sociometric techniques." *International Journal of Project Management*, 30(8), pp. 901-913.

Park, J.S. (2020). "A study on the human characteristics of fatalities caused by apartment house fires." *Proceedings of the Korean Society for Disaster Prevention*, pp. 95-101.

Park, S.Y. (2022). "A study on measuring the level of inventory imbalance of Seoul's Bike Sharing System using Queuing Theory." Master dissertation, Ewha Womans Univ.

Park, Y.N. (2019). "A Study on the Influences of Schedule Uncertainty upon Construction Paths Introducing Social Network Analysis." Doctoral dissertation, Hanyang Univ.

Seong, D.Y., Baek, I.S., Kim, J.J., and Ham, N.H. (2021). "Analysis of 3D Laser Scanner Input Performance in Structual Safety Diagnosis." *Journal of KIBIM*, 11, pp. 34-44.

Shahtaheri, M., Hass, C.T., and Rashedi, R. (2017). "Applying very large scale integration reliability theory for understanding the impacts of type II risks on megaprojects." *Journal of Management in Engineering*, 33(4), 04017003.

Shin, J.H., and Lee, C.S. (2003). "A Proper Construction Planning System for the Reinforced Concrete Work of Apartment Buildings." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 19(11), pp. 207-213.

Son, B.S., and Kim G.U. (2020). "A plan to strengthen the expertise of overseas CM technicians and expand the professional workforce." *Journal of the Construction Engineering and Management*, 21(1), pp. 20-22.

Son, C.B. (2003). "A Status Analysis on the Selection and Evalution of Field Manager in Apartment Building Project." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 19(9), pp. 147-154

Son, K.H., Kim, E.J., Han, D.W., and Kim, S.T. (2001). "Case study of queue system at bank teller: Simulation using Arena." *Journal of the Korean Business Administration*, 27, pp. 81-104.

Son, Y.S., and Jeong, J.M. (2022). "A method of adaptive control of air tanker ground latency using a multi-server queuing model." *Proceedings of the Korean*

Telecommunications Society Conference, pp. 1047-1049.

Song, Y.W., and Choi, Y.K. (2003). "A Study on Material Requirement Planning by Integrating Schedule and Cost." *Journal of the Architectural Institute of Korea structure & construction*, 4(1), pp. 106-113.

Suk, S.J., An, S.H., and Kang, K.I. (2005). "A Model for Assessing a level of Construction Project Using Analytic Hierarchy Process." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 21(5), pp. 143-150.

Truong, N.K.V., Choi, Y., Kim, L., Shin., S., and Hwang, W.J. (2010). "A probabilistic approach to workflow time analysis for business process management." *International Journal of Human and Social Sciences*, 5(12), pp. 811-815.

Wee, K.S., Noh, S.H., Ham, N.H., and Kim, J.J. (2021). "A study on the Improvement of the Large-scale Apartment Foundation Concrete Pouring Work in South Korea Resource Management using the Queing Model." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 37(9), pp. 227-235.

Woo, G.B., Oh, S.W., Kim, Y.S., and Kim, Y.S. (2008). "The Development of a Productivity Prediction System in the Structural Framework of Apartment Housing Projects Using Data Mining Techique." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 24(9), pp. 113-122.

Yang, J.K., Lee, T.S., and Lee, J.M. (2019). "An Empirical Analysis on the Working Conditions of Construction Technician." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 20(1), pp. 14-21.

Yang, J.W., and Lim, N.G. (2020). "TACT-based Optimization Process Model for Improving Work Continuity in Structural Work of Apartment." *Proceedings of the Association of Korean Institute of Architects*, 22(5), pp. 71-79.

Yang, Y.K., and Kim, B.S. (2015). "Efficiency Analysis of the Labor Input for Safety Management in Construction Sites." *Korean Journal of Safety Management Science*, 17(4), pp. 87-96.

Yoon, S.W., Kim, D.K., Jang, Y.L., and Kho, S.Y. (2013). "Determination of Appropriate Number of Ticket Gates at Subway Stations Based on M/G/K Queuing Mod." *Journal of the Korean Transportation Association*, 69, pp. 454-459.

Yun, J.R., Kim, S.S., and Kim, H.C. (2018). "An Study on the Effects of High Performance Human Resource Management System on the construction core competency and Job Performance: Focused on the Mediating Effects of Organizational Commitment." *Business Management Review*, 9(2), pp. 97-120.

Yun, U.C. (2021). "A Study on the Effects of Human Resource Management System in Social Enterprises on Organizational Performance." Doctoral dissertation, Hanyang Univ.

요약 : 현장에서 발생하는 정량적인 공사 인원과 기간의 분석은 새로운 적정 인원의 기준을 제시할 수 있다. 본 연구는 업무효율 지표들 중 가장 중요한 요소인 업무절차의 수행시간을 예측하는 대기행렬 모형을 제시한다. 아파트 골조공사 작업 사이클은 같은 공정이 반복되는 특성을 가진다. 본 연구는 이러한 특성을 바탕으로 지연된 골조공사 기준층 사이클을 대기행렬 모형을 활용하고 그것을 분석하였다. 그리고 인원수와 공사 기간을 조정한 후 모형의 성능을 분석하였다. 본 연구는 대기행렬의 성능 분석을 실시하여 공정의 물량에 따른 인적자원관리 의사결정을 지원하고자 한다.

키워드 : 대기행렬 모형, 인적 자원관리, 기준층 골조공사, 건설 생산성