

건설현장배치 수준의 정량적 평가: 사용성평가 방법을 활용하여

박성훈¹ · 김태원² · 손보식^{3*}

¹인천대학교 건축학과 석사과정 · ²인천대학교 도시건축학부 부교수 · ³남서울대학교 건축공학과 교수

Quantitative Analysis of Construction Site Layout: A Usability Evaluation Study

Park, Seonghun¹, Kim, Tae Wan², Son, Bosik³

¹Graduate Student, Division of Architecture & Urban Design, Incheon National University

²Associate Professor, Division of Architecture & Urban Design, Incheon National University

³Professor, Department of Architectural Engineering, Namseoul University

Abstract : Construction site layout is attracting attention as efficient use of construction site space greatly affects the duration and cost of the overall construction. Therefore, there are many studies that automate and optimize construction site layout planning. However, the usability of construction site, which consists of goal variables of the studies, has still been unknown. Therefore, the authors present the evaluation criteria for usability of construction site layout and evaluate the usability of domestic construction sites through user survey. Furthermore, the difference in usability between construction site managers and construction site workers was confirmed. As a result of the survey, domestic construction site layout had a low effectiveness and had the lowest score in the environment category. In addition, construction site workers scored lower overall than construction site managers. Through such usability evaluation results, it contributed to the construction site layout theory by assessing current construction site layout practice and suggesting an improvement direction for automating site layout planning.

Keywords : Construction site layout, Automation, Usability, Usability evaluation, User survey

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 도시가 과밀화되고 건설현장이 복잡 및 협소해지며 좁은 면적을 효율적으로 활용하는 것이 중요해지고 있다. 이에 따라 시설, 장비, 인력, 자재 등 건설현장을 구성하는 모든 자원을 최상의 상태로 배치하는 건설현장배치가 주목받고 있다. 최적화된 건설현장배치를 통해 제한된 공간을 효율적으로 사용하고, 건설 중 재배치 빈도를 감소시키며 안전성 또한, 확보할 수 있다. 또한, 현장에 대한 접근성과 보안을 향상시키는 등 공기감소와 공사비용을 절감시킬 수 있다.

이에 따라 시설간 이동거리 최적화(Kumar & Cheng,

2015), 자재취급 장비 및 현장 교통량을 고려한 소음공해 최소화(Hammad, 2020), 재배치 빈도 최소화(Jaafar et al., 2020) 등 현장배치 자동화 및 최적화에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 또한, 전문가 의견과 규칙에 기반한 체크리스트 형식의 건설현장배치 평가(Zolfagharian & Irizarry, 2014), 시설간 안전거리 및 시설물 크기의 BIM 기반 자동 체크(Schwabe et al., 2019), 건설현장배치를 평가하기 위한 평가항목 도출(Ning & Wang, 2011) 등 건설현장배치 평가 연구도 이루어지고 있다. 하지만 이러한 연구들은 경험에 의한 계획자 위주의 평가로 한정되며, 많은 경우 제한적 변수를 다루거나 물리적 제약사항만을 중심으로 진행되고 있다. 즉, 건설현장배치의 실사용자인 작업자와 관리자가 현장시설물을 사용하면서 현장 내 이동, 안전, 작업환경, 관리감독, 작업성 등에 대해 어떻게 느끼는지 실사용자 입장에서 평가된 적은 없다. 따라서, 실사용자 입장에서의 건설현장배치 사용성 평가를 통해 개선점을 도출하고, 이를 현장배치 최적화 및 자동화를 위한 목표변수와 평가 기준으로 적용하기 위한 기초연구가 필요하다.

* **Corresponding author:** Son, Bosik, Department of Architectural Engineering, Namseoul University, 91, Daehak-ro, Seonghwan-eup, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, Korea

E-mail: bsson@nsu.ac.kr

Received June 3, 2022; **revised** August 9, 2022

accepted August 11, 2022

제조업을 비롯해 컴퓨터, 모바일 등 다양한 산업분야에서는 시스템, 제품, 혹은 서비스 기능을 향상시키거나 효율을 높이고 사용자 중심의 디자인을 만족시키기 위해 사용성평가를 진행하고 있다(Harte et al., 2017). 건설현장배치 또한 하나의 디자인과 제품으로 인식할 수 있으며, 본 연구는 건설현장배치 수준을 사용성평가 방법을 빌어 파악하고 현장배치 최적화 및 자동화 연구 진행을 위한 기본 지식을 제공하고자 한다.

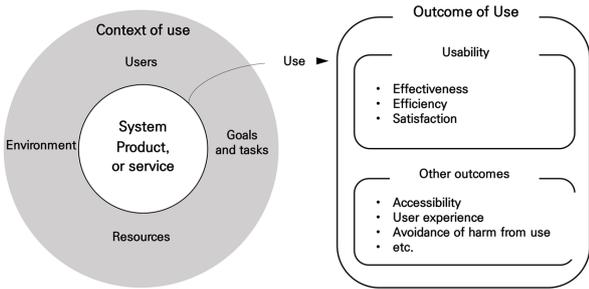


Fig. 1. Usability that results from use of a system, product or service in a context of use [ISO9241-11]

〈Fig. 1〉은 ISO (International Organization for Standardization) 9241-11에서 언급하고 있는 사용성의 정의를 설명한다. 사용성이란, 특정 사용자가 특정 사용상황에서 특정 목표를 달성하기 위해 시스템, 제품 또는 서비스를 사용했을 때, 효과(effectiveness), 효율(efficiency), 만족도(satisfaction) 등으로 나타나는 결과이다. 어떠한 시스템, 제품 혹은 서비스가 있을 때, 그 제품을 사용하는 사용자, 주변 환경, 제품을 사용하는 목적, 제품의 사용에 도움을 주는 자원을 포함하는 사용상황이 존재하게 된다. 이러한 상황에서 제품을 사용했을 때 그 결과 중 하나로 사용성이 도출되게 된다. 전술한 바와 같이 사용성을 구성하는 내용은 대표적으로 효과, 효율, 만족도가 있다. 효과는 업무의 정확도와 완성도를 뜻하고, 효율은 그 업무를 완료하는데 소비되는 자원들의 정도이며, 만족도는 업무 진행 과정에서 제품을 사용함에 따라 욕구가 충족되는 정도를 뜻한다.

본 연구에서는 이러한 방법을 활용해 건설현장의 항목별 사용성 수준을 정량적으로 평가한다. 구체적으로, 건설현장배치의 사용성평가를 위한 기준을 제시하고, 설문조사 방법을 활용해 건설현장배치의 사용성 수준을 파악하고자 하였다. 추가적으로, 관리자와 작업자의 평가 결과를 비교하여 국내 건설업의 현장배치 수준을 파악하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

ISO/IEC (International Electrotechnical Commission)

25066에서 제시하고 있는 조사(inspection), 관찰(observation), 사용자설문(user survey) 세 가지 사용성 평가 방법을 제시하고 있다(Table 1). 조사는 사용자 요구사항, 원칙, 설계지침, 확립된 규약과 같은 기준을 기반으로 평가 대상의 편차를 확인하는 방법이다. 관찰은 사용성평가를 위해 실제 사용자 행동을 관찰하여 작업 수행과정과 응답을 측정한다. 사용자설문은 사용자로부터 문제, 의견 및 인상을 도출하고 사용자의 만족도 또는 인식수준을 확인하고자 사용자가 보고한 데이터를 활용하는 방법이다. 본 연구는 현재 완료된 건설현장 배치에 대한 국내 전반의 사용성수준을 확인하기 위함으므로, 다수 현장에서의 시설물 배치수준을 평가하기 위해 사용자설문을 활용하여 진행하였다.

Table 1. Usability evaluation method

Method	Description
Inspection	Deviations of the object of evaluation from specified criteria such as user requirements, principles, design guidelines or establishes or established conventions Potential usability problems when attempting to complete one or more tasks with the object of evaluation
Observation	Observing user behavior to identify actual usability findings Measuring user performance and response (e.g. time taken to perform a task, number of use errors, skin conductance or eye pupil dilation)
User survey	Eliciting problems, opinions and impressions from users Measuring level of user satisfaction or perception (e.g. rating scale values for satisfaction or for subjectively perceived effectiveness or efficiency) Other user reported data (e.g. data collected from an individual in conjunction with observation data)

또한, ISO/TR (Technical Report) 16982 에서 사용성을 높이기 위해 인간중심 디자인을 지원하는 방법을 제시하고 있다. 그 중 다유형사용자 방법, 문서기반 방법을 사용하여 사용자 설문조사를 보조하여 진행하였다. 즉, 문서를 기반으로 건설현장배치를 구성하는 요소와 영향을 미치는 요소를 정리하여 사용성평가 기준을 작성하고, 건설현장의 사용자를 관리자와 작업자로 나누어 분리된 기준을 적용하였다.

연구의 진행 절차는 〈Fig. 2〉와 같다. 첫째, 문헌고찰을 통해 건설현장배치와 사용성평가의 개념을 파악한다. 둘째, 건설현장배치의 사용자를 관리자와 작업자로 구분하고 기존 연구에서 언급하고 있는 건설현장배치 구성요소를 파악한다. 그 후 ISO9241-11에서 정의하고 있는 사용성에 영향을 미치는 요소들을 정리하여 기준을 작성한다. 이때, 관리자와 작업자로 나눈 사용자 유형에 맞는 사용성평가 기준을 적용한다. 셋째, 작성한 사용성평가 기준을 바탕으로 설문지를 제작한다. 각 문항은 사용 결과인 효과, 효율, 만족도를 나타낼 수 있도록 하여 설문지를 배포하고 응답을 수집한다. 넷

째, 응답을 통해 건설현장배치의 사용성을 확인하고 그룹별 일원배치분석, 응답주체별 T-test를 통해 분석을 수행한다.

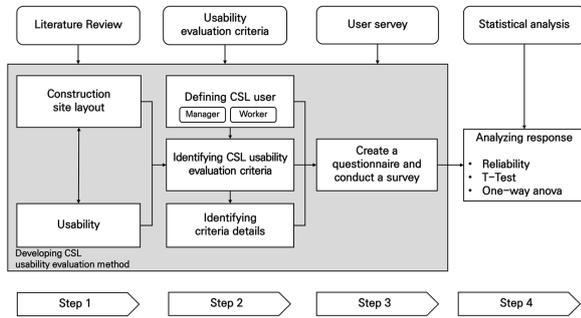


Fig. 2. Research procedure

2. 문헌고찰

2.1 건설현장배치

건설현장배치는 프로젝트의 규모와 위치에 따라 단순한 구역 구획부터, 창고, 작업 사무실, 노동 거주 시설 등의 시설과 타워크레인, 호이스트 등으로 대표되는 건설 장비 및 인력을 배치하는 것이다(Yeh, 1995). 좋은 건설현장배치는 안전하고 효율적인 운영을 촉진하고 이동시간을 최소화하며 자재 취급을 줄이고 인력, 자재, 장비 이동에 장애가 없도록 하는데 중요하다(Tommelein et al., 1992). 이처럼, 잘 세워진 계획에 따라 현장배치가 이루어지면 제한된 공간을 효율적으로 사용할 수 있고, 건설 중 재배치 빈도가 감소한다. 나아가 현장에 대한 접근성과 보안이 향상되고 작업환경의 안전성 또한 확보할 수 있다. 이러한 장점들은 공기감소와 공사비용의 절감으로 이어진다. 하지만 건설업의 현장배치를 구성하는 요소와 그에 따른 제약사항이 무수히 많으며 전문가 경험에 의해 계획이 작성, 배치되기 때문에 오류가 발생하거나 효율이 떨어지는 경우가 많다(Lai et al., 2020).

Lai et al. (2020)은 건설현장배치를 복잡한 다중 목표 최적화 문제라고 정의하였다. 이와 함께 자재 처리 비용과 공사 시간을 줄이고 작업 효율성 및 공간 활용도를 높이기 위한 현장배치 최적화를 제안하였다. 또한, Hammad (2020)는 자재 취급 장비 선택, 건설 중 현장 교통량을 고려하여 현장배치를 최적화하였고, Elbarkouky et al. (2021)은 공사 단계에 따라 변화하는 환경에서 시설 해체 및 재배치, 자재의 흐름 등에 의한 비용과 위험을 최소화하는 연구를 진행하였다. 또한, Abotaleb et al. (2016)는 현장 시설의 불규칙 모형 및 시설간 거리를 최적화하는 연구를 진행하는 등 건설현장배치에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 하지만 건설현장배치에 대한 평가 기준을 제시하고 사용자들의 평가가 이루어진 연구는 거의 없다(Park & An, 2012). 건설업의 경우 프

로젝트가 진행되면서 현장배치가 변화하고 건설이 완료되면 해체되기 때문에 현장배치를 평가하는데 어려움이 있다(Ning et al., 2011). 또한, 현장배치 계획은 계획자의 경험과 통찰에 의해 이루어지며 계획단계에서 주로 다루어지기 때문에 사용자의 의견이 포함되기 어렵다. 따라서 사용자의 관점에서 건설현장배치 수준을 평가하고 이를 건설현장배치 사용성 향상을 위해 활용하려는 노력이 필요하다고 사료된다.

2.2 목표변수로서 건설현장배치 수준의 평가

기존 건설현장배치 평가와 관련한 연구는 시설물 배치를 위한 제약사항을 검토하여 문제를 발견하는 것에 초점을 맞추고 있다. 이를 위해 몇몇 연구는 전문가 의견과 규칙을 기반한 체크리스트 형식을 제안하고 있다. Zolfagharian and Irizarry (2014)는 건설현장배치 평가에 대한 규칙 기반 접근 방식의 필요성을 강조하며 건설현장배치에 영향을 미치는 중요한 변수를 제시하였다. Heagazy et al. (1999)는 시설의 수직, 수평 배치 기준과 시설배치 순서를 결정하는 규칙을 제시하였고, El-Rayes and Said (2009)는 현장배치 변화에 따른 충돌 방지를 위한 내용을 제시하였다. Kevin et al. (2019)는 현장시설간 안전거리, 임시도로 폭, 현장 사무소 크기 등의 규칙을 BIM을 기반으로 자동체크하는 연구를 진행하였다. 하지만 이러한 규칙 기반의 제약사항들은 시설물간의 충돌과 거리제한과 같은 물리적인 제약사항만을 주로 다루고 있다는 한계가 있다.

한편, 물리적인 충돌 이외의 다양한 제약사항들을 고려하기 위해 Ning and Wang (2011)은 최적화 모델에서 생성된 건설현장배치를 평가하기 위한 평가항목을 제시하였다. 평가항목은 퍼지집합이론과 이상적 해법과의 유사성에 의한 선호순서 기법을 결합하여 개발된 퍼지 다중속성 의사결정 모델을 통해 제시되었다. 제시된 평가항목은 생산적인 자재 수송, 안전, 외부 교통 시스템과의 원활한 연결, 쉬운 공간 확장, 인력의 효과적인 이동 등 23가지로 정리하였다. Lin and Sharp (1999)는 공장현장배치를 평가하기 위한 항목을 제시하고 있다. 크게 비용, 흐름, 환경 3개의 그룹으로 분류하고 유지관리비용, 재료의 흐름, 환경품질 등 세부적인 18개의 항목을 선정하였다. 이러한 연구들은 정량적으로 평가되기 어려운 현장배치 목표를 고려하여 대안을 평가하는데 기여하고 있다. 하지만 관리자 혹은 계획자에 의해 평가가 이루어지기 때문에 실사용자의 평가와 의견은 반영되지 않았다는 한계가 있다.

2.3 사용성평가 방법

전술한 바와 같이 사용성평가는 ISO/IEC25066에서 제시한 조사, 관찰, 사용자설문 중 하나 이상을 사용하여 제품을

평가하는 프로세스이다.

Harun et al. (2011)은 병원 시설 사용자를 대상으로 사용성평가를 진행하였다. 병원 사용자를 관찰한 데이터를 수집하고 인터뷰를 통해 사용성평가 항목을 구성하였다. Kim et al. (2021)은 실내 보조용 이동기기의 사용성 평가를 관찰과 사용자 설문문을 통해 수행하였다. 또한, Chae et al. (2021)은 웨어러블 로봇에 대한 조사를 진행하고 사용자 인터뷰와 설문문을 진행하여 사용성평가를 수행하였다. 이러한 문헌 검토 결과 사용자 설문 방법이 많이 사용되며 상황에 따라 여러 가지 방법을 동시에 수행할 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 국내 건설현장배치의 전반적인 사용성을 파악하기 위해 건설공사가 끝난 여러 현장에 대해 사용성을 평가해야 하기 때문에 사용자 설문조사를 통해 사용성평가를 진행하였으며, 이와 더불어 평가 기준을 세우기 위한 문헌기반의 조사와 그룹별 비교를 위한 다른 타입의 참가자 평가를 함께 진행하는 것으로 하였다.

3. 현장배치 사용성평가 프로세스

3.1 사용성평가 기준 수립

ISO에 따르면 사용성평가 기준은 평가하고자 하는 대상에 따라 상이하다. 따라서 본 연구에서는 문헌조사를 통해 Ning and Wang (2011)에서 제시하고 있는 생산적 자재 수송, 인력의 효과적 이동, 감독과 통제 용이성과 같은 사항들을 비롯하여, 시설간 이동거리(Kumar & Cheng, 2015), 금지구역설정(Sanad et al., 2018), 자재 수령 및 저장(Ren et al., 2011) 등 건설현장배치 평가 고려사항 27가지를 정리하였다. 그 중 대지조건 고려정도, 변화 용이성(Zolfagharian & Irizarry, 2014), 시설간 관계 고려(Hegazy & Elbeltagi, 1999)와 같이 계획자가 아닌 현장배치의 실사용자가 판단할 수 없는 사항들 6가지를 제외하였다. 그 후, 작업자 동선과 작업자의 이동 거리, 자재 이동 경로와 자재 이동시간과 같이 유사한 내용을 설명하는 사항을 통합하여 최종적으로 14가지의 사항으로 정리하였다. 마지막으로 해당 사항들을 이동, 환경, 안전, 관리감독, 작업성으로 그룹화하여 기준을 작성하였다(Table 2).

설문은 관리자와 작업자에 해당하는 항목을 구분하고 각 항목마다 효과, 효율, 만족도를 수집할 수 있도록 구성하였다. 각 기준에 대한 설명은 다음과 같다: (1) 현장 내 이동: 건설현장 내에서 자재, 작업자, 장비의 흐름이 원활한지를 확인하기 위한 항목으로, 현장 내 흐름이 복잡하면 현장배치의 사용성이 떨어짐을 가정하였다. (2) 작업환경: 건설현장 배치를 통해 소음과 먼지 저감, 현장에 대한 접근성, 시설물의 편의성을 확보하고 통제하여 적절한 작업환경을 구성

하였는지 확인하기 위한 항목으로, 작업환경이 적절히 구성되지 않으면 현장배치의 사용성이 떨어짐을 가정하였다. (3) 안전: 건설현장 내부의 금지 및 안전구역 설정과 위험물 인지 및 대처를 위한 배치가 적절하게 이루어졌는지 확인하기 위한 항목으로, 작업자의 안전이 확보되지 않으면 현장배치의 사용성이 떨어짐을 가정하였다. (4) 관리감독: 건설현장 관리자가 보안, 인력, 품질을 관리하기 용이한 정도를 확인하기 위한 항목으로, 현장관리가 용이하지 않으면 건축물을 만들어 내기 위한 현장배치의 사용성이 떨어짐을 가정하고 있다. 해당 항목은 건설현장 관리자에게만 해당하는 항목이다. (5) 작업성: 건설현장 작업자가 자재저장, 크레인 사용, 호이스트 사용하기 편리하고 적절하였는지 확인하기 위한 항목으로, 작업자가 작업을 하는데 있어 자재저장과 양중장비 사용이 용이하지 않으면 건축물을 만들어내기 위한 현장배치의 사용성이 떨어짐을 가정하였다. 해당 항목은 건설

Table 2. Construction site layout usability evaluation criteria

Criteria	Component	Description	Manager	Worker
Travel	Material flow	Time, effort, accuracy and completeness of moving location, and comfort of moving materials	○	○
	People flow	Time, effort, accuracy and completeness of moving location, and comfort of moving people	○	○
	Equipment flow	Time, effort, accuracy and completeness of moving location, and comfort of moving equipment	○	○
Environment	Noise and air condition	The degree of exposure to noise and dust, and the resulting stress	○	○
	Accessibility	Location of parking lot, entrance, etc. and the ease of site access accordingly	○	○
	Facility comfort	Convenience of use according to the number, size, and location of placed convenience facilities	○	○
Safety	Prohibited area Safety zones	Arrangement of prohibited and safe zones and their effects	○	○
	Hazard recognition	Location of hazardous materials and ease of handling in case of accident	○	○
Workability	Security	Prevent intrusion and theft	○	
	Manpower management	Manpower management such as work order	○	
	Quality management	Ease of quality control of materials and conditions	○	
Workability	Storage of materials	Easy of work according to the location of the material warehouse		○
	Location and convenience of crane	Convenience according to the number and location of crane		○
	Location and convenience of hoist	Convenience according to the number and location of hoist		○

현장 작업자에게만 해당하는 항목이다.

3.2 설문지 작성 및 데이터 수집

작성된 사용성평가 기준을 바탕으로 설문지를 작성하고, 파일럿 테스트를 수행하였다. 설문대상을 건설현장 관리자, 건설현장 작업자로 하여 관리자와 작업자 그룹에 맞는 설문을 구성하였다. 작업성 항목의 크레인과 호이스트 관련 질문은 사용 여부에 따라 후속 질문에 응답할 수 있도록 하였다. 예를 들어 다음은 실제 설문지 중 자재의 이동을 묻는 질문이다.

- [자재의 이동] 1-1-1. 건설 또는 작업장 내에서 자재를 원하는 위치에 쉽게 운반시킬 수 있었다. (효과)
- [자재의 이동] 1-1-2. 건설 또는 작업장 내에서 자재를 이동시키기 위한 동선이 효율적이었다. (효율)
- [자재의 이동] 1-1-3. 자재를 이동시키기 위한 현장 또는 작업장의 배치에 만족한다. (만족)

세밀하고 정확한 설문을 위해 모든 문항은 리커트 7점 척도로 구성하였으며, 본 설문은 전문 설문업체에 의뢰하여 대상을 섭외하고 온라인 방식을 통해 수행되었다. 수행기간은 2021년 8월 27일에서 9월 6일까지 11일간 진행하였다. 또한, 설문의 신뢰도를 위해 설문 날짜로부터 1개월 이내에 1

Table 3. Profiles of survey respondents

Dimension		Construction site managers	Construction site workers
Profiles	Range		
Age (N=200)	20's or younger	24	12
	30's	26	25
	40's	23	28
	50's	18	29
	60's and over	9	6
Years of service (N=200)	<5 years	45	44
	5~10 years	18	21
	10~15 years	14	12
	15~20 years	8	9
	20~25 years	3	8
	25~30 years	7	4
Field work period (N=200)	>30 years	5	2
	1~3 months	13	35
	3~6 months	15	22
	6~9 months	17	9
	9~12 months	11	12
Site scale (N=200)	>12 months	44	22
	<20 employees	20	24
	20~50 employees	19	14
	50~100 employees	13	17
	>100 employees	48	45

년 이상 건설현장에서 근무한 인원을 선정하여 설문을 배포하였다. 최종적으로 건설현장 관리자 100명, 그리고 건설현장 작업자 100명이 응답하였다. 응답자의 연령은 40대가 가장 많았으며 근속년수는 5년 미만이 가장 많았고, 해당 현장에서의 근무기간은 1년 이상이 가장 많았다. 또한, 현장규모는 100명 이상의 작업자가 동시에 일하는 규모의 현장에 많이 분포되어 있었다(Table 3).

응답 유효성 검사는 크론바흐 알파 신뢰도 검사(Nunnally & Bernstein, 1994)를 진행하였으며 모든 설문항목에서 0.85 이상의 수치를 기록하여 높은 신뢰도를 보였다(Table 4). 설문결과의 기술적 통계분석을 통해 건설현장 내 이동을 위한 배치, 현장의 안전성을 위한 배치 등을 중심으로 현장배치의 사용성을 조사하였다. 또한, 일원배치 분산분석을 통해 응답자의 특징별 사용성 차이가 있는지 확인하였으며, t 검정을 통해 관리자와 작업자 그룹 간의 차이를 확인하였다.

Table 4. Cronbach's α reliability test

Questionnaire	Number of questions	Reliability
		Cronbach α
Travel	11	.936
Environment	9	.894
Safety	7	.934
Supervision	4	.896
Workability	6	.867

4. 사용성평가 결과

4.1 건설현장배치의 사용성

(Table 5)는 건설현장배치의 사용성평가 결과이다. 관리감독의 용이성(supervision) 항목은 건설현장 관리자만 응답한 결과이며, 작업의 용이성 항목(workability)은 건설현장 작업자만 응답한 결과이다. 소음 및 대기오염을 얼마나 효율적으로 제어했는지(효율), 위험물 인식이 얼마나 만족스럽게 이루어졌는지(만족도)와 같이 사용자가 판단하기 어려운 항목은 제외하였다.

그 결과, 사용성점수는 위험물 인지 및 대처 4.91점, 보안 4.80점, 인력관리 4.78점, 호이스트 위치 및 편의성 4.74점으로 높게 나타났으며, 관리감독 용이성 항목의 사용성평가 점수가 상대적으로 높게 나타났다. 반면, 시설편의성 3.70점, 소음 및 오염물질 3.82점, 자재의 저장 4.16, 자재의 이동 4.21 등에 대한 사용성은 낮게 평가되었다. 시설의 편의성은 사용자의 만족도와 피로도에 영향을 주기 때문에 건설공사 과정에 따른 구체적인 자재 경로 계획과 사무실, 화장실, 샤워실, 식당 등 현장 시설의 편의성이 확보되어야 것으로 보

Table 5. Usability score of construction site layout

Criteria	Component	Usability score (SD)	Effectiveness (SD)	Efficiency (SD)	Satisfaction (SD)
Travel	Material flow	4.21 (1.348)	4.28 (1.471)	4.27 (1.410)	4.08 (1.522)
	People flow	4.72 (1.164)	4.96 (1.276)	4.54 (1.367)	4.40 (1.432)
	Equipment flow	4.54 (1.292)	4.74 (1.415)	4.43 (1.412)	4.28 (1.488)
Environment	Noise and air condition	3.82 (1.403)	3.91 (1.443)	-	3.73 (1.469)
	Accessibility	4.23 (1.445)	4.05 (1.548)	4.58 (1.518)	-
	Facility comfort	3.70 (1.614)	3.77 (1.671)	-	3.65 (1.689)
Safety	Prohibited area Safety zones	4.61 (1.335)	4.56 (1.489)	4.64 (1.404)	4.64 (1.349)
	Hazard recognition	4.91 (1.248)	4.98 (1.289)	4.84 (1.295)	-
Supervision	Security	4.80 (1.544)	4.80 (1.544)	-	-
	Manpower management	4.78 (1.390)	4.78 (1.390)	-	-
	Quality management	4.73 (1.466)	-	4.74 (1.508)	4.72 (1.484)
Workability	Storage of materials	4.16 (1.460)	4.31 (1.535)	4.01 (1.586)	-
	Location and convenience of crane	4.70 (1.077)	-	4.06 (1.515)	5.33 (1.178)
	Location and convenience of hoist	4.74 (1.611)	-	4.45 (1.742)	5.04 (1.641)

이다. 또한, 건설현장에서 자재의 이동과 저장은 공사 기간에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에 적절한 위치에 자재를 저장하고 필요할 때 불편함 없이 이동할 수 있도록 계획하는 것이 중요하다.

효과, 효율, 만족도 측면에서 보면, 시설 편의성 항목의 효과 점수가 3.77점으로 가장 낮게 나타났다. 이는 건설현장에 배치된 시설을 사용할 때 사용하는 목적을 정확하고 완전하게 이루기 어렵다는 것을 의미한다. 특히 편의시설의 사용 효과가 떨어지는 것은 사용자의 만족도와 직결되어 만족도 또한 3.65점으로 낮은 점수를 기록한 것으로 판단된다. 효율 측면에서는 자재저장이 4.01점으로 가장 낮은 점수를 기록했다. 이는 자재를 저장하는 창고 혹은 야적장을 효율적으로 활용하지 못한다는 것을 의미한다.

〈Table 6〉은 항목별 관리자와 작업자의 사용성평가 결과이다. 관리자는 위험물 인지 5.00점, 사람의 이동 4.83점으로 높은 점수를 기록했으며, 시설의 편의성 3.91, 소음 및 오염물질 3.94점으로 낮은 점수를 기록했다. 작업자는 위험물 인

지 4.82점, 호이스트의 위치 및 편리함 4.74점으로 높은 점수를 기록했으며, 시설의 편의성 3.50점, 소음 및 오염물질 3.70점으로 낮은 점수를 기록했다.

Table 6. Detailed score for each component

Criteria	Component	Usability score (SD)	Manager score (SD)	Worker score (SD)
Travel	Material flow	4.21 (1.348)	4.22 (1.320)	4.20 (1.382)
	People flow	4.72 (1.164)	4.83 (1.163)	4.60 (1.159)
	Equipment flow	4.54 (1.292)	4.59 (1.286)	4.50 (1.303)
Environment	Noise and air condition	3.82 (1.403)	3.94 (1.388)	3.70 (1.416)
	Accessibility	4.23 (1.445)	4.22 (1.406)	4.23 (1.490)
	Facility comfort	3.70 (1.614)	3.91 (1.621)	3.50 (1.589)
Safety	Prohibited area Safety zones	4.61 (1.335)	4.62 (1.370)	4.60 (1.307)
	Hazard recognition	4.91 (1.248)	5.00 (1.257)	4.82 (1.240)
Supervision	Security	4.80 (1.544)	4.80 (1.544)	-
	Manpower management	4.78 (1.390)	4.78 (1.390)	-
	Quality management	4.73 (1.466)	4.73 (1.466)	-
Workability	Storage of materials	4.16 (1.460)	-	4.16 (1.460)
	Location and convenience of crane	4.70 (1.077)	-	4.70 (1.077)
	Location and convenience of hoist	4.74 (1.611)	-	4.74 (1.611)

관리자와 작업자 모두 위험물 인지 및 대처를 가장 높게 평가하였으며 금지 및 안전구역 설정의 점수도 높은 점수를 기록하였다. 이는 최근 안전 문제에 대한 높아진 인식이 건설현장배치에 반영된 것으로 보인다. 반면, 관리자와 작업자 모두 시설의 편의성을 가장 낮게 평가하였으며 작업환경 항목의 소음 및 대기오염과 접근성 또한 낮은 점수를 기록하였다. 이는 건설현장배치가 이루어질 때, 실제 사용자의 의견이 반영되지 않기 때문으로 판단된다. 따라서 작업환경을 개선하기 위한 지표 개발 및 목표변수 반영이 필요하다.

4.2 응답자 특징에 따른 건설현장배치 사용성 차이

응답자의 특징에 따른 사용성 차이를 확인하기 위해 일원 배치 분산분석 및 사후검정을 수행하였다. 응답자의 근무년수에 따른 사용성 차이와 현장의 규모에 따른 사용성 차이

를 확인하기 위해 근속년수 5년 단위로 그룹(a: 5년 미만; b: 5년 이상 10년 미만; c: 10년 이상 15년 미만; d: 15년 이상 20년 미만; e: 20년 이상 25년 미만; f: 25년 이상 30년 미만; g: 30년 이상)을 지정하고, 현장규모를 현장근무자 수로 그룹(a: 20명 미만의 근로자가 동시에 일하는 곳; b: 20명 이상 50명 미만의 근로자가 동시에 일하는 곳; c: 50명 이상 100명 미만의 근로자가 동시에 일하는 곳; d: 100명 이상의 근로자가 동시에 일하는 곳)을 지정하였다.

〈Table 7〉을 보면, 신뢰도 95% 구간에서 자재의 이동, 장비의 이동, 자재저장 항목에 그룹간 응답 차이가 있는 것으로 나타났다. 사후검정의 결과, 자재의 이동 항목은 5년 미만의 경력 집단보다 15~20년 경력의 집단이 높은 점수를 보였으며, 10~15년 경력의 집단보다 20~25년 경력의 집단과 20~25년 경력의 집단이 높은 점수를 보였다. 장비의 이동 항목은 20명 미만 현장이 100명 이상 현장보다 높은 점수를 보였으며, 자재저장 항목은 20명 미만 현장이 50~100명 현장과 100명 이상 현장보다 높은 점수를 보였다.

Table 7. One-way ANOVA according to years of continuous service

Profiles	Variable	Group	Mean	Deviation	P-value	post-hoc test
Years of continuous service	Material flow	~5 (a)	3.90	1.387	.034*	a<d c<d, e
		5~10 (b)	4.35	1.414		
		10~15 (c)	3.92	1.167		
		15~20 (d)	4.98	1.426		
		20~25 (e)	4.76	.790		
		25~30 (f)	4.67	.989		
		30~ (g)	3.71	1.254		
Site scale	Equipment flow	~20 (a)	5.14	1.139	.002*	a>d
		20~50 (b)	4.66	1.002		
		50~100 (c)	4.44	1.334		
		100~ (d)	4.25	1.353		
	Storage of materials	~20 (a)	5.00	1.294	.004*	a>c, d
		20~50 (b)	4.32	1.310		
		50~100 (c)	3.53	1.452		
		100~ (d)	3.90	1.424		

일반적으로 근속년수가 짧은 인원은 비교적 부족한 경험으로 인해 현장 내에서 자재를 다루는 것에 어려움을 겪고 있는 것으로 판단된다. 이때, 9명의 30년 이상 근속한 인원은 자재의 이동 항목을 낮게 평가하였으나 사후검정 결과 통계적으로 유의미한 결과를 보이지 않았다. 또한, 현장의 규모가 클수록 현장에 적응하기 어렵고 다양한 자재저장 계획을 세울 수 있기 때문에 장비의 이동과 자재를 적절한 곳에 저장하는 것에 불편함을 겪는 것으로 판단된다. 이에 따

라 근속년수가 짧은 인원이 많을수록, 현장규모가 클수록 조금 더 세밀하고 효과적인 건설현장배치가 이루어져야 하고 전문적인 건설현장배치 도구가 필요하다 할 것이다.

4.3 건설현장 관리자 및 건설현장 작업자 비교

사용성평가 결과를 작업자와 관리자로 분류하여 비교한 결과는 〈Table 8〉과 같다. T-test 결과 통계적으로 유의미한 차이를 보이지는 않았지만, 모든 항목에서 작업자가 관리자에 비해 건설현장배치의 사용성을 낮게 평가하고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 응답 주제와 질문 내용이 달라 통계적으로 분석할 수는 없으나 작업의 용이성 점수가 관리감독의 용이성 항목보다 낮은 점수를 보였다. 건설현장배치의 계획이 주로 관리자에 의해 이루어지고 있으며, 미세하게 관리자에게 유리하게 건설현장배치가 이루어지고 있는 것으로 판단된다. 건설현장배치 최적화는 자칫 관리자의 입장에서만 이루어지기 쉬우므로 작업자의 작업 용이성에 초점을 맞춘 목표변수의 수립 및 관리가 필요하다고 사료된다.

작업자는 야적장 혹은 창고의 위치가 적절하지 않으면 자재를 취급하기가 어려우며, 호이스트 및 크레인의 사용이 원활하지 않으면 작업이 지연될 수 있다. 때문에 공사가 진행됨에 따른 자재저장 계획과 크레인 및 호이스트의 용량을 적절히 분배하는 계획이 이루어져야 작업의 용이성을 확보할 수 있을 것으로 보인다.

Table 8. Usability score for each evaluation criteria of construction site managers and workers

Questionnaire	Managers score (SD)	Workers score (SD)
Travel	4.57 (1.107)	4.45 (1.125)
Environment	4.02 (1.210)	3.83 (1.205)
Safety	4.84 (1.218)	4.72 (1.225)
Supervision	4.77 (1.379)	-
Workability	-	4.53 (-)

5. 결론 및 논의

최근 제한된 건설현장 공간을 효율적으로 사용하기 위한 건설현장배치가 갈수록 중요하게 인식되고 있으며, 이에 따라 건설현장배치의 자동화 및 최적화 연구도 활발히 이루어지고 있다. 하지만, 이러한 연구의 기반이라 할 수 있는 건설현장배치의 목표변수 정의에 있어 실제 사용자의 의견을 반영하고 정량적인 평가를 위한 기준을 제시하는 연구는 이루

어지지 않고 있다. 본 연구에서는 건설현장배치의 사용성을 구성하는 기준을 제시하고 사용성평가를 진행하여 국내 건설현장배치의 사용성을 정량적으로 평가하였다.

이에 따라 건설현장배치 자동화 및 최적화 연구를 위한 현장배치 수준 평가에 대해 다음과 같은 점을 도출하였다. 첫째, 현 건설현장배치는 소음 및 오염물질에 노출이 많고 현장에 대한 접근성이 떨어지는 등 작업환경 항목에서 가장 낮은 사용성 점수를 보였다. 작업환경에 대한 지표 개발 및 목표변수 반영이 필요하다. 둘째, 토공사가 필수적으로 진행되며 각종 장애물이 많은 건설현장의 특성상 자재, 사람, 장비의 이동에 대한 점수가 낮게 나타났다. 자재, 사람, 장비의 다양한 이동모드에 대한 고찰 및 흐름에 대한 시뮬레이션 연구 등이 결합되어야 현장배치계획 자동화의 효과를 극대화할 수 있다. 셋째, 건설현장관리자와 작업자의 사용성 점수를 비교하였을 때, 전반적으로 작업자의 사용성이 낮은 경향을 보였다. 또한, 관리감독의 용이성이 높은 것이 비해 작업의 용이성은 비교적 낮은 점수를 보였다. 이는 건설현장배치 자동화 및 최적화 시 작업자 관점의 지표를 충실히 반영해야 함을 의미한다. 넷째, 실외에서 중장비를 이용하는 건설작업의 특징으로 인해 소음과 먼지에 노출이 많을 수 있지만, 현장 접근성과 시설의 편의성은 개선되어야 할 것으로 보인다. 주차공간과 출입구 등을 현장 흐름을 고려하여 설치하고 현장 내부 편의시설의 수와 질을 고려한 현장배치계획이 필요하다.

본 연구는 한국의 전반적인 건설현장 배치에 대한 사용성을 조사한 것으로, 특정현장을 조사하는 케이스 스터디가 수행될 경우 현장의 특징에 따라 다양한 결과가 도출될 수 있다. 추후 본 연구와 같은 전반적인 건설현장배치의 사용성 평가와 케이스 스터디가 함께 이루어져 데이터를 축적할 수 있다면, 정확하고 실용적인 사용성 점수를 도출할 수 있을 것으로 기대된다. 현장배치의 자동화 및 최적화 연구가 계속 이어진다면 건설 프로젝트가 공간을 효율적으로 사용하고, 재배치 빈도를 감소시키며 접근성 향상, 작업환경의 안전성 향상 등에 기여할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.

과제번호 : 2021R1A2C1013188

References

Abotaleb, I., Nassar, K., and Hosny, O. (2016). "Layout

optimization of construction site facilities with dynamic freeform geometric representations." *Automation in Construction*, 66, pp. 15-28.

Chae, U., Kim, K., Choi, J., Hyun, D., Yun, J., Lee, G., Hyun, Y., Lee, J., and Chung, M. (2021). "Systematic usability evaluation on two harnesses for a wearable chairless exoskeleton." *International Journal of Industrial Ergonomics*, 84, 103162.

El-Rayes, K., and Said, H. (2009). "Dynamic site layout planning using approximate dynamic programming." *Journal of Computing in Civil Engineering*, 23(2), pp. 119-127.

Hammad, A. (2020). "A multi-objective construction site layout planning problem solved through integration of location and traffic assignment models." *Construction Management and Economics*, 38(8), pp. 756-772.

Harte, R., Glynn, L., Rodríguez-Molinero, A., Baker, P., Scharf, T., Quinlan, L., and ÓLaighin, G. (2017). "A human-centered design methodology to enhance the usability, human factors, and user experience of connected health systems: a three-phase methodology." *JMIR human factors*, 4(1), p. e5443.

Harun, S., Hamid, M., Talib, A., and Rahim, Z. (2011). "Usability evaluation: Criteria for quality architecture in-use." *Procedia Engineering*, 20, pp. 135-146.

Hegazy, T., and Elbeltagi, E. (1999). "EvoSite: Evolution-based model for site layout planning." *Journal of Computing in Civil Engineering*, 13(3), pp. 198-206.

ISO. (2018). 9241-11 Ergonomics of human-system interaction-Part 11 Usability definitions and concepts. ISO 9241-11.

ISO/IEC. (2016). 25066 Systems and software engineering-Systems and software Quality requirements and evaluation(SQuaRE)-Common industry format (CIF) for usability-Evaluation report. ISO/IEC 25066.

ISO/TR. (2002). 16982 Ergonomics of human-system interaction - Usability method supporting human-centred design. ISO/TR 16928.

Jaafar, K., Elbarkouky, R., and Kennedy, J. (2021). "Construction site layout optimization model considering cost and safety in a dynamic environment." *Asian Journal of Civil Engineering*, 22(2), pp. 297-312.

Kim, M., Yu, M., Oh, S., Hong, C., and Kwon, T. (2021). "Improvement Plans through Usability Test of Indoor Mobility Device for Senior Living Assistance." *Rehabilitation Engineering And Assistive Technology Society of Korea*, 15(3), pp. 147-157.

Kumar, S., and Cheng, J. (2015). "A BIM-based automated site layout planning framework for congested construction sites." *Automation in Construction*, 59, pp. 24-37.

- Lai, W., Fu, Y., Li, R., and Lin, J. (2020). "Optimum Design of Construction Site Layout Based on SLP Method and Genetic Algorithm." In *ICCREM 2020: Intelligent Construction and Sustainable Buildings*, Reston, VA: American Society of Civil Engineers, pp. 71-83.
- Lin, L., and Sharp, G. (1999). "Application of the integrated framework for the plant layout evaluation problem." *European Journal of Operational Research*, 116(1), pp. 118-138.
- Ning, X., Lam, K.C., and Lam, M.C.K. (2011). "A decision-making system for construction site layout planning." *Automation in Construction*, 20(4), pp. 459-473.
- Ning, X., and Wang, L. (2011). "Construction site layout evaluation by intuitionistic fuzzy TOPSIS model." In *Applied Mechanics and Materials*, Trans Tech Publications Ltd., 71, pp. 583-588.
- Park, U., and An, S. (2012). "Optimization Algorithms for Site Facility Layout Problems Using Self-Organizing Maps." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 12(6), pp. 664-673.
- Ren, Z., Anumba, C.J., & Tah, J.H.M.T. (2011). "RFID-facilitated construction materials management (RFID-CMM) - A case study of water-supply project." *Advanced Engineering Informatics*, 25(2), pp. 198-207.
- Sanad, H.M., Ammar, M.A., and Ibrahim, M.E. (2008). "Optimal construction site layout considering safety and environmental aspects." *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(7), pp. 536-544.
- Schwabe, K., Teizer, J., and König, M. (2019). "Applying rule-based model-checking to construction site layout planning tasks." *Automation in Construction*, 97, pp. 205-219.
- Tommelein, I., Levitt, R., and Hayes-Roth, B. (1992). "SightPlan model for site layout." *Journal of construction engineering and management*, 118(4), pp. 749-766.
- Yeh, I. (1995). "Construction-site layout using annealed neural network." *Journal of computing in civil engineering*, 9(3), pp. 201-208.
- Zolfagharian, S., and Irizarry, J. (2014). "Current trends in construction site layout planning." In *Construction*
- Research Congress 2014: Construction in a Global Network*, pp. 1723-1732.

요약 : 건설현장배치는 프로젝트 공기와 비용에 큰 영향을 미치므로 이에 대한 최적화 및 자동화 연구가 수행되고 있다. 하지만, 이러한 연구의 목표변수인 건설현장배치의 수준을 평가하는 근거는 매우 제한적이다. 본 연구는 사용성평가 방법을 활용하여 건설현장배치의 수준을 평가하고 향후 건설현장배치 자동화 및 최적화 연구에서 초점을 맞추어야 하는 부분을 확인하고자 하였다. 설문결과 국내 건설현장배치 사용성은 효과와 작업환경 항목에서 낮은 점수를 받았으며, 작업자가 관리자에 비해 낮게 평가하였다. 또한 작업환경 항목에서 낮은 점수를 받았으며 현장접근성과 시설 편의성이 낮음을 확인하였다. 이 연구는 건설현장배치 현황을 파악하고 개선방향을 제시함으로써 건설현장배치 자동화 및 최적화 연구의 진행을 위한 지식에 기여한다.

키워드 : 건설현장배치, 자동화, 사용성, 사용성평가, 사용자 설문
