

도로공사에서 토공장비 최적 이동을 위한 가설도로 위치선정 요소

이동준¹ · 김성근^{2*}

¹(주)디엠씨엠 주임 · ²서울과학기술대학교 건설시스템공학과 교수

Factors of Selecting Temporary Road Positions for the Optimal Path of Earthwork Equipment in Road Constructions

Lee, Dong-Jun¹, Kim, Sung-Keun^{2*}

¹Administrative manager, Department of Smart Construction & BIM, ©DMCM

²Professor, Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science & Technology

Abstract : Construction industry is facing difficult challenges in terms of productivity, manpower, and industrial accidents. Currently, along with the 4th Industrial Revolution, various high-tech technologies are emerging, and efforts are being made to solve the problem by applying the technologies related to the 4th Industrial Revolution to the construction industry. As part of these efforts, research is being conducted to develop a construction equipment control system to increase productivity and safety at earthworks sites where many and various types of construction equipment are involved, and the system needs a function to increase productivity by optimizing the moving path of construction equipment. In the case of trucks, the location of the temporary road must be optimized in order to optimize the path of movement in the construction site. However, only matters related to the quality standard of temporary roads have been suggested so far, and there is no standardized process for efficiently determining the location of temporary roads. In this paper, the factors and its importance related to the location of the temporary road were identified through field surveys and interviews with experts, and a method for determining the location of the temporary road was presented. It was confirmed that the suggested method through a case study could improve the productivity of earthwork.

Keywords : Temporary Road, Construction Equipment, Equipment Control, Moving Path, Smart Construction

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 건설산업은 낮은 생산성, 숙련공 부족, 기능인력 노령화, 높은 산업재해 등과 같은 여러 가지 문제점들과 직면하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근 대두되고 있는 4차 산업혁명 관련 첨단기술을 건설업에 적용하기 위한 노력이 진행되고 있으며, 그 노력의 일환으로 국토교통부 주관의 스마트 건설기술 개발사업이 진행되고 있다. '스마트 건설기술'이란 공기단축, 인력절감, 안전성 향상 등을 위하여 전통적인 건설기술에 첨단 스마트 기술을 적용하여 건

설 생산성, 안전성, 및 품질 등을 높이고, 건설공사 라이프사이클의 디지털화, 자동화, 공장제작 등을 통하여 건설산업의 발전을 도모하는 데 목적을 둔 공법, 장비, 시스템 등으로 정의하고 있다(MLIT, 2021). 최근 건설현장은 스마트 현장으로 변하는 추세로 전통적 토목·건축기술에 BIM (Building Information Model), IoT (Internet of Things), 빅 데이터, 드론, 건설 로봇 등의 스마트 기술을 융합하여, 전체 건설 과정의 디지털화, 건설장비의 자동화, 가상 건설, 현장 안전관리 등으로 생산성 및 안전성의 극대화를 시도하고 있다. 국토교통부에서는 기술혁신을 통한 건설 패러다임 전환을 위하여 스마트 건설기술 로드맵을 마련하였으며, 2025년까지 스마트 건설기술 활용기반을 구축하고 2030년까지 건설 자동화를 실현하기 위한 목표와 전략을 제시하였다(MLIT, 2018). Ryu et al. (2019)에 따르면, 스마트 건설이 정착되면 관련 시장의 업무 효율이 40% 가량 향상될 것으로 예상하고 있다.

도로공사에서 토공은 다수 및 다종의 건설장비가 동시

* **Corresponding author:** Kim, Sung-Keun, Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science & Technology, 304 Areum Hall, 232 Gongneung-ro Nowon-gu, Seoul, 01811, Korea

E-mail: cem@seoultech.ac.kr

Received December 13, 2021; **revised** February 10, 2022

accepted February 17, 2022

에 투입되기 때문에 건설장비의 효율적인 운영이 전체 도로 공사의 생산성에 매우 큰 영향을 미친다. 하지만 실제 현장에서는 건설장비의 최적 운영을 위한 세부적인 계획이 수립되지 않은 경우가 많으며, 마일스톤 계획에 따라 작업자가 직관적으로 작업하는 경우가 일반적이다. 최근에는 첨단기술이 적용된 MC (Machine Control) 및 MG (Machine Guidance)의 반자동/자동제어 기능이 탑재된 건설장비들의 사용이 늘어나는 추세인데 이러한 첨단 건설장비를 운영하기 위한 입력데이터 마련 및 작업계획 수립에 재래적인 방식을 사용하는 것은 매우 비효율적이다. 현재 도로공사에 스마트 건설기술을 적용하여 건설장비들을 최적으로 관제하기 위한 시스템(Lim & Kim, 2020)을 개발 중이다. 이 관제시스템은 토공 BIM을 기반으로 작업계획을 자동으로 수립하는 기능과 작업계획에 따른 개별 건설장비의 작업위치, 작업 경로 및 작업상태를 제시하는 기능이 포함되어 있다. 또한, 생성된 정보가 실시간으로 건설장비 운전자에게 제공되어 최적의 건설장비 운영 및 작업을 지원하며, MC/MG 장비들에도 제공되어 스마트 시공이 가능하도록 지원하는 기능을 포함하고 있다.

건설장비의 작업경로 및 이동경로는 도로공사 전체의 생산성에 많은 영향을 미치게 된다. 기존의 연구들은 현장 내에서 최단의 경로를 생성하는 것을 목적으로 하고 있으며 이러한 경로를 최적의 경로로 정의하고 있다. 선행연구로 제조업의 로봇경로 계획법을 응용한 Tangent, CAT, SensBug 등의 건설장비 경로계획 알고리즘이 제시되었으며, 굴삭기의 작업경로 및 이동경로를 최적화하는 방법론(Kim et al., 2012) 등이 제시되었다. 또한, 토공계획에 따른 트럭의 이동 경로 생성 및 실시간 위치추적 기술 등이 제시되었다. 하지만 이러한 방법론들은 주어진 현장의 물리적인 조건에서 토공계획에 따라 작업의 시작점과 종료점 사이의 최단 이동 동선을 제시해 주는 것인데 실제 작업에 사용하기에는 한계가 있다. 도로공사 현장 내에서 건설장비들은 임의의 구간을 랜덤하게 주행하는 것이 아니라 트래피커빌리티 확보를 위하여 마련된 가설도로 구간을 주행하며, 가설도로 상에서 특정 작업구역으로 진입하는 방식으로 운영된다. 따라서 건설장비의 최적 이동경로 생성을 위해서는 가설도로 위치선정이 중요하며, 이것은 전체 도로공사의 생산성에 큰 영향을 미치게 된다. 현장이 개설된 후 가설도로의 위치는 설계자 및 공사관리자의 휴리스틱과 노하우를 이용하여 선정하지만 지금까지 정형화된 방법론은 없는 상황이다. 현장에 적용 가능한 건설장비 관제시스템을 만들기 위해서는 현실적인 건설장비 작업경로 및 이동경로 생성 기능이 필요하며, 이러한 기능을 구현하기 위해서는 가설도로의 위치결정 방법을 정형화하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 도로공사 현장 내에서 개설되는 가설도로의 위치를 선정하기 위한 요소들을 파악하고, 이것들의 상대적인 중요도를 결정하는 것을 목적으로 한다. 또한, 가설도로 위치선정을 위한 방법론을 정형화함으로써 건설장비 관제시스템에서 현실적이며 최적의 작업 및 이동경로를 생성하는 기능을 지원하는 것을 목표로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

연구의 대상 공종은 도로공사의 토공에 국한하였으며, 대상 장비는 토공장비 중 트럭으로 한정하였다. 연구범위는 공사현장 내 트럭용 가설도로의 생성과 관련된 요소파악과 중요도 결정으로 하였으며, 연구방법은 다음과 같다.

첫째, 토공계획 수립과 가설도로 설치와 관련한 휴리스틱 및 노하우를 파악하기 위하여 전문가 및 공사관리자를 대상으로 면담과 설문을 시행한다. 아울러 도로현장에서 건설장비 운영을 위한 계획수립과 운영방법을 파악한다.

둘째, 도로현장 방문조사를 통하여 시공계획과 작업상황별로 실제 건설장비가 이동하는 경로와 작업패턴을 확인하고 개선점을 도출한다.

셋째, 가설도로 설치와 관련된 요소들의 상대적인 중요도를 결정하고, 이것에 기반하여 가설도로 위치를 선정하는 방법론을 제시한다. 또한, 제시된 방법론에 따라 가설도로가 생성되는 경우에 도로공사의 생산성이 높아지는지 확인하기 위하여 사례연구를 한다.

2. 토공계획 및 이동계획 수립

2.1 토공계획

토공작업은 굴착(터파기, 절토 작업, 벌개·제근), 운반(이동, 신기, 집토), 포설, 전압 등으로 분류된다. 이러한 토공작업에 대한 계획이 먼저 수립되어야 토공장비의 구체적인 작업 및 이동계획을 수립할 수 있다. 도로공사와 같은 선토공에서는 토적곡선(Mass curve)을 이용하여 토량배분 계획을 세우고 있다. 그런데 토적곡선은 축점별로 절성토량을 제시하고 토량의 평균이동거리를 산출하여 투입되는 토공장비를 결정하며, 특정 축점에서 토량의 이동방향을 결정할 수 있지만 토공장비의 구체적인 작업 및 이동경로를 결정하고 특정 세부 구역에서의 작업량을 산출하는 데 사용될 수 없다. 또한, 토공계획 단계에서 전체 도로공사 구간을 대상으로 축점별로 토공량을 산출하지만 실제 공사 진행할 때는 보상이 완료된 구간만을 대상으로 토공량을 산출해야만 한다. 토적곡선을 이용한 토공계획법은 이러한 가변성을 수용하는데 제약점을 갖고 있다.

건설장비 관제시스템에 적용되어야 하는 토공계획 방법

은 토공장비들의 작업 및 이동을 위한 구체적인 계획수립을 지원해야 하며, 현장의 여건 및 가변성을 반영한 계획수립을 지원해야만 한다. 최근에는 이러한 요구조건을 부합하도록 토공 BIM 기반의 셀분할 방식(Kim et al., 2021)으로 토공계획을 수립하는 방법이 제시되고 있다.

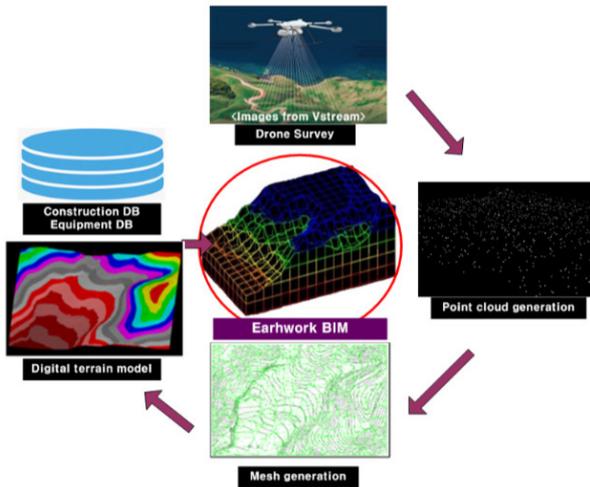


Fig. 1. Earthwork BIM generation process (Kim et al., 2021)

(Fig. 1)과 같이 드론측량정보, 설계정보 및 토공장비 정보에 기반한 토공 BIM 모델을 이용하여 셀분할을 실시하여 토량배분 계획을 수립한다. 대상 현장을 셀로 분할할 때, 일반적으로 많이 사용하는 규격 1m²의 굴삭기를 기준으로 플랫폼을 고정하고 작업할 수 있는 유효반경은 8.5m이기 때문에 Cell 크기를 20×20m로 설정하는 것이 적절한 것으로 제시하고 있다(Kim & Lim, 2017). 각 셀은 위치정보, 지반조사 데이터, 절성토량, 장애물 존재 여부, 설계정보, 작업수행 상태, 보상완료 여부에 관한 속성정보를 포함하게 된다. 시공 기면을 기준으로 각 셀의 절성토량이 결정되면, 보상이 완료되어 토공작업의 대상이 되는 셀 사이의 이동거리를 고려하여 수송모델(Transportation model)을 이용하여 절토구역과 성토구역을 매칭하게 된다. 이렇게 토량배분의 결과로 형성된 절토구역(투취장 포함)과 성토구역(사토장 포함) 간 매칭이 완료된 것을 작업패키지(Task package)라고 정의한다. 작업패키지에서 절성토 구역 간 평균 운반거리가 60m 미만이면 도저를 이용해야 하는 무대토량이 되고, 60m 이상이면 트럭을 이용해야 하는 운반성토량이 된다.

2.2 토공장비 작업계획 및 이동계획

절토구역에서는 측량-벌목 및 벌개제근-장비 투입의 순으로 작업을 진행하는데, 전석 및 암석 구간에서는 토질 성상에 따라 토공장비를 선정하는 뒤 트럭과 굴삭기의 조합작업을 수행한다. 이때 작업량 및 지반의 종류에 따른 경제성을

고려하여 트럭의 대수를 산정하고, 그에 따라 트럭의 스펙도 결정한다. 절토구역의 작업량(100m³)을 고정시키거나 트럭 1대당 운반량(10m³)을 고정값으로 설정하여 트럭의 대수를 산정하는 경우도 있으며, 절성토 구간 간 운반거리에 따라 트럭의 대수를 조정하기도 한다.

현업에서는 차량계 하역운반/건설장비 작업계획서를 활용하여 토량운반 계획을 수립하고 있다. 이 계획서에는 건설장비별 작업장소 및 운행경로, 지형 및 지반상태, 작업방법, 안전대책, 도면에 의거한 장비의 위치 및 동선을 표시한 작업배치도 등의 사항이 포함되어 있다(Fig. 2). 트럭 작업계획서(Fig. 3)에는 설계도면에 의거한 장비의 위치 및 이동경로가 간략히 표시되어 있으며, 여기에 제시된 작업장소 및 운행경로 표시에 따라 작업을 진행하는 것으로 하고 있다.

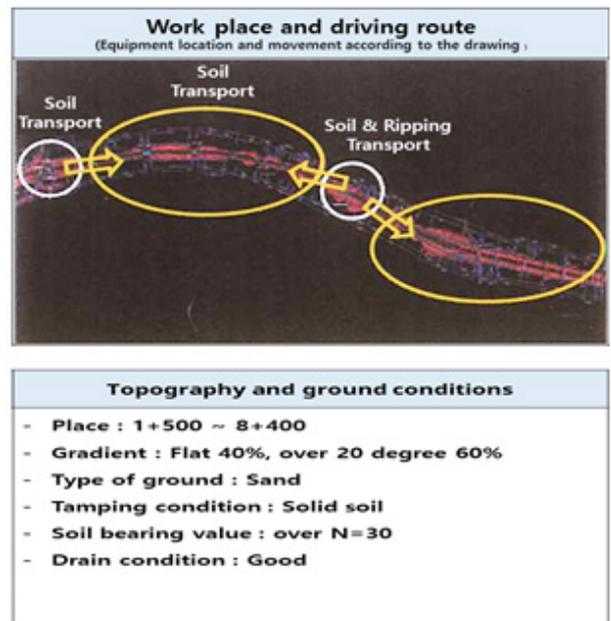


Fig. 2. Work plan for construction equipment (Lee et al., 2021)

트럭의 이동경로는 토량배분의 결과로 매칭된 절토구역과 성토구역 사이에서 형성된다. 기존의 작업계획서에 제시된 이동경로는 토적곡선을 기반으로 개략적으로 설정된 것으로 구체적인 토공장비의 이동경로를 제공해야 하는 건설장비 관제시스템에서는 사용될 수 없다. 따라서 특정 작업패키지를 수행하기 위해 토공장비별 작업 및 이동경로를 구체적으로 제시할 수 있는 방법론이 필요하다. 도로공사 현장에서는 트럭의 이동경로가 절토구역에서 성토구역까지 직접 이동할 수 없는 경우가 많다. 일반적으로 트럭은 절토구역에서 가까운 가설도로로 진입한 후 성토구역과 가까운 위치로 이동하여 해당 구역으로 진입하게 된다. 건설장비 관제시스템에서 토공장비의 작업 및 이동경로를 제시할 때 전체 토공장비의 효율성 관점에서 가장 유리한 위치에 가설도로가

개설되는 것이 매우 중요하며, 가설도로의 위치가 설정되면 특정 절토구역에서 최단으로 가설도로에 진입하고 가설도로에서 성토구역으로 최단으로 진입하는 경로가 생성되도록 해야 한다.

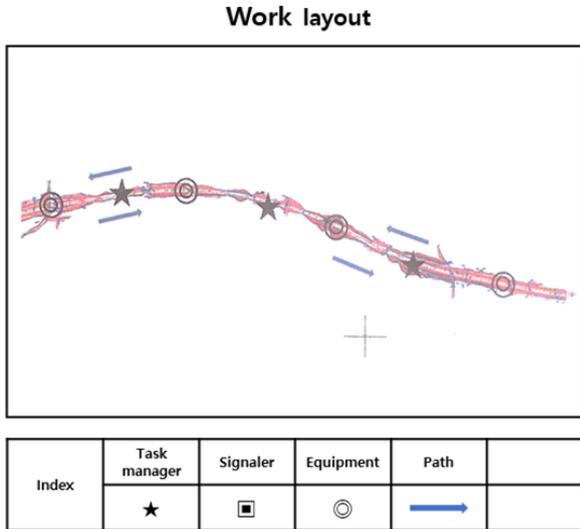


Fig. 3. Work layout for trucks

셀분할 방식으로 토량배분 계획이 수립되면 전체 토공 작업패키지가 생성되고, 각 작업패키지의 토공량과 작업조건을 고려하여 토공장비의 대수와 규격이 결정된다. 절성토 구역 위치, 현장 출입구, 가설도로 위치, 작업량 등에 대한 정보에 근거하여 각 토공장비 별로 세부적인 이동경로에 대한 좌표가 생성되며 이것은 토공장비 부착된 모니터를 통하여 작업자에게 시각적인 정보로 제공된다.

3. 가설도로 생성방법

3.1 가설도로 계획수립 현황

도로공사 현장에서는 하천 및 하천변 구조물 공사의 사전 작업, 작업차량의 작업장 내 진·출입과 구조물 공사 시 토공장비의 주행성을 확보하기 위하여 가설도로를 운영해야만 한다. 이때 가설도로의 위치와 상태는 공기 및 공사비에 매우 큰 영향을 준다(Lee & Choi, 2014). 가설도로는 설계도서에서 명시된 경우뿐만 아니라 현장의 필요에 의해서도 설치되므로, 공사 전 가설도로의 원가, 공정, 환경 등을 충분히 검토해야 한다. 현장에서 임의로 가설도로를 설치하는 경우도 있지만, 기존의 도로를 충분히 활용 가능한 경우라면 그것을 이용하는 것이 유리하다. 가설도로의 설치 시 가장 중요한 요소는 경제성이며, 이 외에 가설도로의 공사비용, 공사 소요기간, 유지관리 비용 등도 함께 검토해야 한다.

도로현장에서 기존 도로를 활용해 가설도로를 설치할 때

는 주로 주변 민가로 진입하는 도로 및 농로 등을 변경한다. 시공사에서는 실정 보고서를 통해 도로시설물 설치구역을 지나는 기존의 도로 상황을 상부에 보고한 뒤, 관련 절차를 거쳐 가도를 설치한다. 이동 불가능한 지역에 가설도로를 신규로 설치할 때는 가설도로 설치의 필요성 및 경제성이 먼저 검토되어야 한다. 이에 초기 설계단계에서 하천 및 하천변 구조물의 사전작업으로 장비의 작업장 내 진·출입로 및 구조물 공사를 해야 할 때 이의 필요성을 고려해 관련 계획을 수립하고 있다. 현장 내의 가설도로는 몇 가지 현장여건에 따라 위치가 가변적으로 결정된다.

3.2 현장 내 가설도로 생성 요소 및 중요도 결정

현장 내에 가설도로를 생성할 때 고려해야 할 요소들을 파악하기 위하여 각종 설계기준 및 관련 문헌을 분석하였고, 전문가 인터뷰 및 설문조사를 실시하였다. 파악된 가설도로 생성 요소들 간의 상대적인 중요도를 파악하기 위하여 AHP 기법(Analytic Hierarchy Process)을 적용하여 가중치를 산출하였다. 설문조사 대상은 공사관리자 10인으로, 경력이 1~5년인 관리자는 2명(20%), 6~15년인 관리자는 4명(40%), 16~22년인 관리자는 4명(40%)으로 확인되었다(Fig. 4).

인터뷰 및 설문에 대한 개요를 <Table 1>에 정리하였다. 설문과 현장조사를 통하여 가설도로 계획수립 현황과 현장 내 가설도로의 위치선정시 고려되는 요소들을 파악하였다.

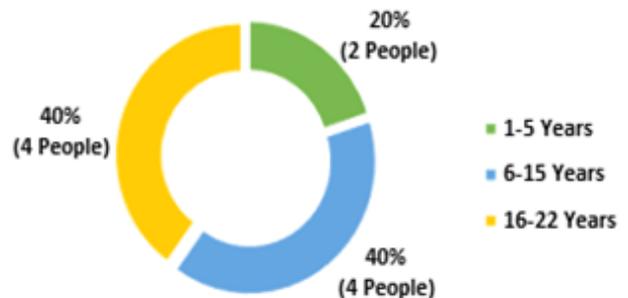


Fig. 4. Interviewee career

Table 1. Survey summary

Category	Contents
Date	2021, April
Object	10 construction managers with an average career of 10 years in road constructions (Construction managers of at least 4 years to up to 22 years)
Contents	- Temporary road conditions in road constructions Factors for selecting the location of a temporary road Relative importance between factors

Table 2. Factors for selecting the location of a temporary road (Lee et al., 2021)

Element	Contents
Transport Distance (Element 1)	Minimum distance for truck transportation work
Slope (Element 2)	The slope of the terrain to be selected as a temporary road
Amount of cut and fill (Element 3)	Minimum amount of cut and fill, minimum amount of cut and fill in earthwork distribution plan
Distance to a nearby private house (Element 4)	Distance to nearby private house to minimize civil complaints through noise, dust and blast vibration methods
Proximity to structures (Element 5)	Considering the distance from the location of large structures or structures for work Selection of temporary roads using existing roads and surrounding structures

조사결과에 따르면 현장 내 가설도로 위치선정시 고려해야 할 중요한 요소들로는 운반거리, 민원발생 여부, 절성토량, 경사도, 설계도상 주요 구조물의 위치, 장마철 피해발생 여부, 지형특성에 따른 장비 이동가능 여부, 토지보상 완료 여부, 예산소모에 따른 공사 시급성 등인 것으로 나타났다. 추가로 지형특성(계곡내 교량, 터널입구 등)에 따른 장비 이동가능 여부 등이 있으나 정량적인 데이터로 사용할 수 없으므로 중요 요소들에서 제외했다. 조사된 요소 중에서 정량화가 가능하고 다수의 공사관리자들이 공통으로 제시한 요소들만을 가설도로 위치결정에 반영<Table 2>하도록 하였다.

3.2.1 운반거리

토공 BIM을 이용하여 셀로 분할하고 토량배분 계획을 수립하면 작업패키지가 구성된다. 운반거리는 작업패키지를 구성하는 절토구역(Start work area)에서 성토구역(Target work area)까지의 3차원적인 운반거리를 의미한다(Fig. 5). 분할된 셀(20m×20m)내에서 절토 및 성토작업이 이루어지는 위치(x, y)와 해당 위치의 표고(z)를 반영하여 구체적인 절성토 작업위치(x, y, z)를 설정하고, 트럭이 이동가능한 구역 중에서 트럭이 통과하게 되는 주요 지점을 분기점(Branch)으로 설정한다. 또한, 가설도로 지점(Temporary Road Point)은 가설도로에서 특정 절토구역 또는 성토구역으로 진입을 하게 되는 지점을 의미한다. 즉, 운반거리는 트럭으로 토량을 운반하는 거리로 원지반의 3차원적인 지형과 장애물, 유수지, 토질상태를 고려한 트럭의 운행가능성 여부, 그리고 가설도로 개설시 특정 작업구역으로의 진입편의성 등을 총괄적으로 고려하여 생성된 경로가 최소거리가 되어야 생산성이 증대한다.

3.2.2 경사도

(Fig. 6)에서 보는 바와 같이 가설도로가 설치될 수 있는

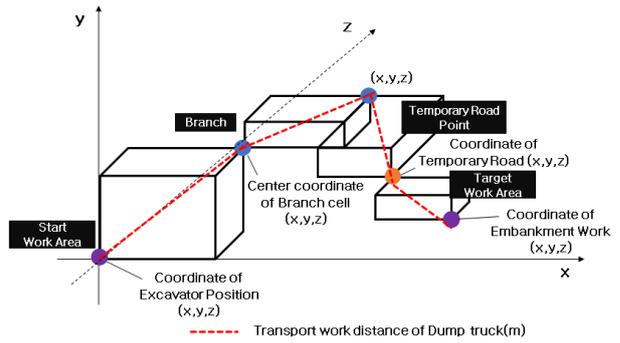


Fig. 5. Transport distance (Lee et al., 2021)

후보지역(셀)의 지형 경사도를 의미한다. 이것은 특정 셀에서 주위에 인접한 셀로 이동하는 할 때 두 셀간의 경사도로써 트럭이 이동을 하는 경우에 허용되는 경사각 이내이면서 주행성에 유리한 셀이 어떤 것인지 판단하는데 사용되는 지표이다. 완만한 경사가 트럭의 주행성 확보에 유리하고 가설도로를 설치할 때 평탄화 작업을 최소화함으로써 공사비 절감 측면에서도 유리하다.

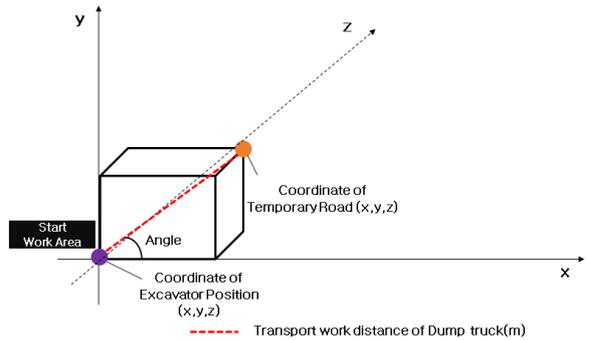


Fig. 6. Slope

3.2.3 절성토량

가설도로 개설시 도로의 위치가 최소 절성토량이 되는 지점을 선택하는 것이 중요하다. 최소 절성토량이 되는 지점에 가설도로를 설치하면 공기 및 공사비 절감이 가능하고, 시공기면에 근접한 위치를 선정하게 되면 공사가 끝난 후 본선으로 유지될 가능성도 있기에 유리하다.

3.2.4 주변 민가와와의 거리

민가와와의 거리는 소음, 분진, 진동에 의한 민원발생을 최소화할 수 있는 위치를 선정하기 위한 요소이다. 공사용 가설도로가 민가와 인접하여 있으면 민원발생 소지가 크기 때문에 일정 거리를 유지하는 것이 필요하다.

(Fig. 7)에서와 같이 가설도로 설치 후보구역에서 주변 민가에 영향이 미칠 수 있는 범위를 표시하였다. 주변 민가와 가능한 멀리 떨어져 있을수록 민원발생이 적어지지만 공사여건상 무조건 가설도로의 위치를 멀리할 수 없는 경우도

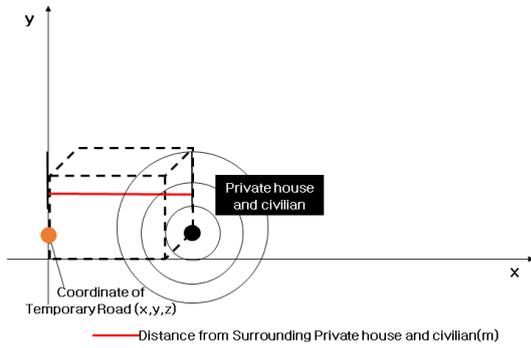


Fig. 7. Distance to nearby private houses (Lee et al., 2021)

있으므로 법에서 규정하는 소음, 진동 및 분진발생 기준을 만족하는 위치를 고려하여 가설도로의 위치를 결정해야 한다. 그림은 건설소음 진동규제기준 및 생활소음 진동규제기준을 만족하는 범위가 가설도로 설치 후보구역에서 어느 정도 범위까지인지 나타낸 원호를 표시한 것이다.

3.2.5 구조물과의 인접거리

가설도로는 트럭의 절성토 작업뿐만 아니라 구조물 시공을 위한 인력, 장비 및 자재가 운송되는 기능을 수행해야 한다. 따라서 가설도로는 설계에서 계획된 구조물들과 인접한 위치에 설치가 되어야 효율적인 공사진행이 가능하다.

상기에 언급된 5가지 요소들의 상대적 중요도를 파악하기 위하여 AHP분석을 실시하였고 그 결과를 <Table 3>에 정리하였다. AHP를 실시한 결과에 따르면 가설도로 위치선정 때 고려해야 할 요소들 간의 중요도는 운반거리가 1순위, 주변 민가와와의 거리가 2순위, 구조물과의 인접 거리가 3순위, 절성토량이 4순위, 경사도가 5순위인 것으로 파악되었다. 일관성 지수(Consistency Index; CI)는 0.0045이고 일관성 비율(Consistency Ratio; CR)은 0.4021%로 10% 이내인 것으로 나타나, AHP 결과가 신뢰성이 있는 것으로 분석되었다.

Table 3. Relative weight among factors

Factor	A	B	C	D	E	Weight
A	1	3.333	2.85	2.75	2.45	0.413 (1st)
B	0.3	1	1.02	0.708	1.033	0.134 (5th)
C	0.351	0.980	1	0.95	0.95	0.142 (4th)
D	0.364	1.412	1.053	1	0.983	0.159 (2nd)
E	0.408	0.968	1.053	1.017	1	0.152 (3rd)
Subtotal	2.423	7.693	6.975	6.425	6.417	1.000

Note- A:Transport Distance, B:Slope, C:Amount of Cut and Fill, D:Distance to a nearby private house, E: Proximity to structures

3.3 현장 내 가설도로 생성 방법

상황에 따라 다음과 같이 3가지 경우에 대하여 현장내에

가설도로 생성과 연계 방법을 제시하고자 한다.

3.3.1 공사초기 가설도로 설치 방법

토공계획이 수립되면 트럭의 운반계획이 수립되고, 형성된 작업패키지의 절토구역과 성토구역을 연결하는 트럭의 상세 이동경로가 상기절에 언급된 요소들을 고려하여 결정된다. 일반적으로 도로현장 내에서는 가설도로가 트럭 이동경로의 많은 부분을 차지하지만 가설도로에 속하지 않는 경로도 상당 부분 존재할 수 있다.

토공계획이 수립되면 다수의 작업패키지가 형성되는데 특정 장비가 처음 할당된 작업패키지를 완료하면, 새로운 작업패키지를 수행하기 위하여 투입된다. 해당 장비의 이동경로는 작업이 종료된 성토구역에서 새로운 작업패키지에 속하는 작업구역(일반적으로 절토구역)까지로 설정된다.

<Fig. 8>은 도로공사 초기에 형성되는 트럭의 운반작업 시작점(Start work area)에서 종료점(Target work area)까지의 경로를 나타내고 있다. 그림에서는 사례로 가설도로의 설치 가능한 후보구역이 표시되어 있는데, 후보구역은 신규 가설도로의 설치가 가능한 셀들로 선정한다. 이의 주요 특징은 현장의 여건을 분석해 파악할 수 있다.

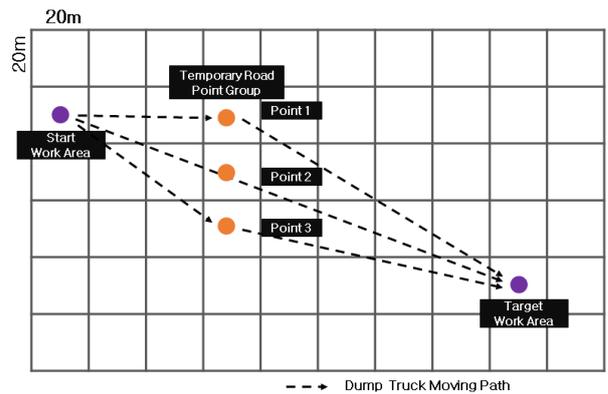


Fig. 8. Set the temporary road position candidate group

<Fig. 8>과 같은 조건에서 가설도로의 설치를 위한 후보구역의 특징을 설명하면 다음과 같다. Point 1은 주변의 민가와 가까운 곳에 있고, Point 2는 운반경로가 최단거리이며, Point 3은 구조물(각종 지장물 포함)에 근접한 곳으로 안전에 유의해야 하는 특징을 지닌다. 이런 점을 고려할 때, 파악한 가설도로 위치선정 요소들의 우선순위 즉 운반거리(1순위), 주변 민가와와의 거리(2순위), 구조물과의 인접거리(3순위)를 고려하여 가설도로의 위치를 선정한다.

3.3.2 특정 작업구역 진출입시 가설도로 연계 방법

트럭의 이동경로의 전부가 가설도로만으로 구성되지 않으며, 특정 작업구역으로 진출입시 가설도로에서 작업구역으로의 효율적인 진입경로가 생성되어야만 한다. <Fig. 9>는 작업이 진행됨에 따라 작업의 시작지점과 종료지점이 변경

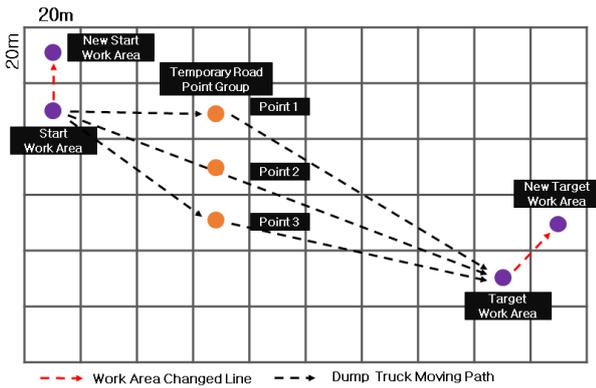


Fig. 9. Set the temporary road position by the work area change

되는 상황을 나타낸 것으로, 가설도로상에서 특정 작업구역으로 단거리로 진출입할 수 있는 위치를 고려하여 이동경로가 생성된다. 새롭게 생성되는 이동경로의 위치도 파악된 요소들을 고려하여 설정한다.

3.3.3 계획 수정에 따른 가설도로의 위치변경

작업상황 변화, 현장여건 변경, 토지 보상상황 변경, 현장 내 하천의 유량증가 등과 같은 사유가 발생할 경우, 기존에 설정한 가설도로의 위치를 변경해 신규 가설도로를 설치할 수 있다. 기존 가설도로를 신규 가설도로로 변경하게 되는 주요 상황은 다음과 같다.

- ① 민원 발생에 따른 통행 불가
- ② 하천 피해 등으로 인한 점용허가 취소
- ③ 토지 임대 기간의 만료
- ④ 공법변경(가설 방식 등)에 따른 기존 가설도로 이용 불가
- ⑤ 도로 노선의 조기 시공에 따른 가설도로 변경
- ⑥ 타 공종(도로 노선 주변의 신규공사 착공)과의 상충

기존의 가설도로는 초기조건에 부합하게 적절한 위치에 설치되어 있으므로, 설치계획을 변경할 경우에는 가급적 기존 가설도로의 주변을 후보군으로 설정한다. <Fig. 10>

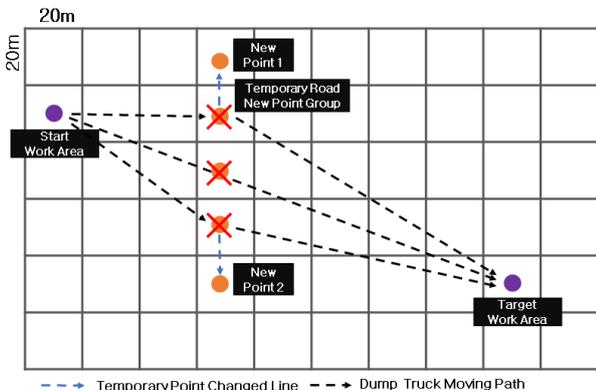


Fig. 10. Set the temporary road position candidate group according to the installation plan change

은 가설도로의 설치위치 후보군별 특징에 관해 설명하고 있다. New Point 1은 주변 민가와 가까운 곳에 위치해 있으며, New Point 2는 구조물(지장물 포함)에 근접해 있으므로 안전에 유의해야 하는 특징을 지닌다. 이러한 점을 고려할 때, 본 연구에서 제시된 가설도로 위치선정 요소의 우선순위에 따라서 가설도로의 위치를 선정하게 된다.

아래 <Fig. 11>은 도로현장 내에서 가설도로 위치를 결정하기 위한 프로세스를 나타낸 것이다.

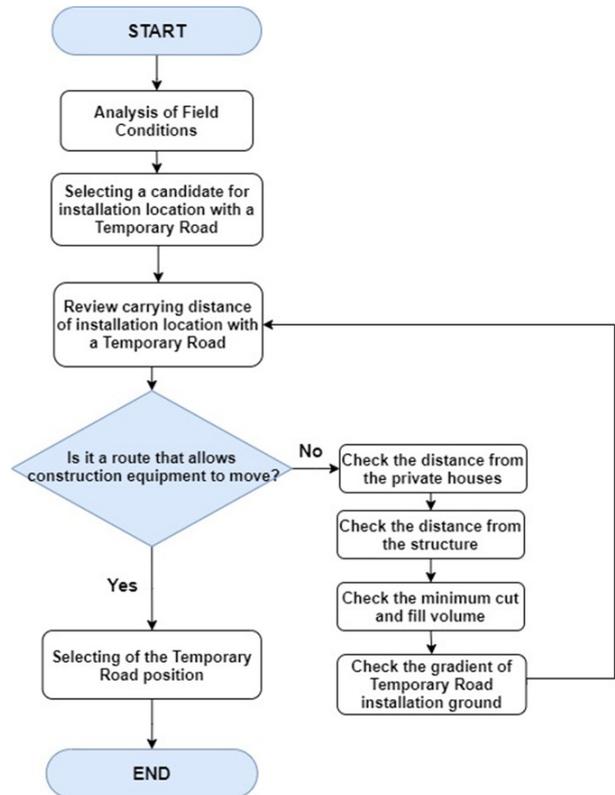


Fig. 11. Process of selecting temporary road positions (Lee et al., 2021)

4. 사례연구

셀분할 기반의 토공계획 수립 및 가설도로 위치결정 방법의 적절성을 확인하기 위해 도로공사 현장을 대상으로 사례 연구를 시행하였다. 사례연구 대상은 충청내륙 고속화 도로 건설공사 제1-1공구 북이~도안 구간이다. 총연장은 10.5km로 전체 토공량 중 절토량은 1,354,744.47m³이고, 성토량은 1,850,859.94m³인 것으로 조사되었다. <Fig. 12>와 같이 도로 현장 종평면도와 축점, 시공기면의 정보를 확인한 뒤 종평면도 위에 20x20m의 셀을 형성하였으며, <Fig. 13>과 같이 드론측량을 통하여 3차원 실시간 정보를 취득하고 셀로 분할한 후 설계정보와 매칭을 하였다.

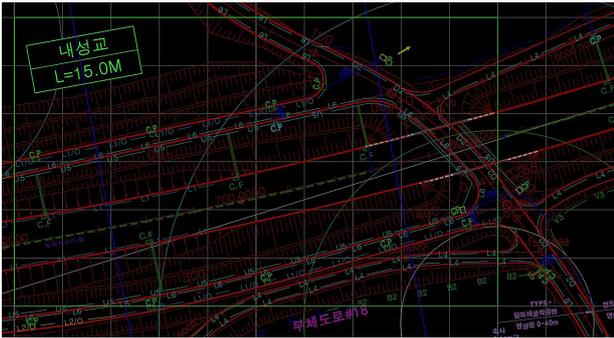


Fig. 12. Nae-Seong Bridge longitudinal section



Fig. 13. Field scanning model and cell division

단기간의 작업 물량(Table 4)을 기준으로 도로 노선 전체 구역 중 STA.3+600~STA.3+800 연장 200m에 해당하는 구역을 대상으로 본 연구에서 제시한 방법론을 적용하였다.

(Fig. 14)에서 보는 바와 같이, 신규 가설도로의 설치를 위하여 3개 후보군을 설정하였다. 이 지점들을 살펴본 결과, Point 1은 지형 경사도로 인한 추가 성토작업이 필요하였다. Point 2는 트럭의 운반경로가 최단거리가 되며 본선에 구조물이 설치되는 계획이 예정되어 있었다. Point 3은 주변 민가(축사)와 근접한 거리에 위치해 있었다.

Table 4. Nae-Seong Bridge section cut and fill volume (Unit : m)

STA. No.	Cut		Fill	
	Soil	Ripping Rock	Subgrade	Subbase
STA.3+600	20,713	19,524	-	-
STA.3+620	21,613	16,735	-	-
STA.3+640	20,062	9,636	-	-
STA.3+660	18,191	3,873	-	-
STA.3+680	13,951	1,928	-	-
STA.3+700	9,878	953	199	587
STA.3+720	7,100	193	437	1,769
STA.3+740	4,591	-	476	2,169
STA.3+760	3,208	-	476	1,781
STA.3+780	3,042	-	461	1,584
STA.3+786	784	-	133.8	581.1
STA.3+800	-	-	-	-
Subtotal	123,133	52,842	2,183	8,471

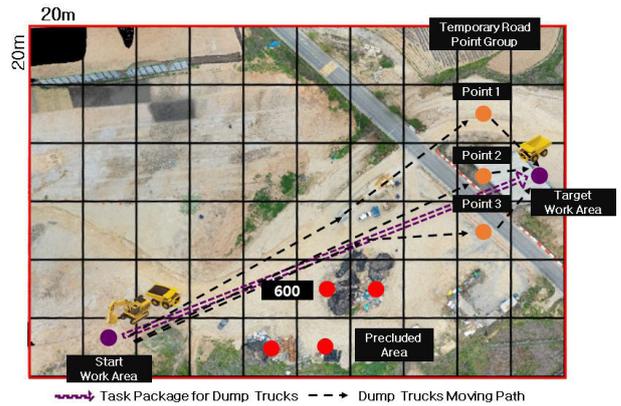


Fig. 14. Set the candidate group position with truck moving paths

상기에 언급된 조건의 현장을 대상으로 가설도로 생성 프로세스를 적용하면, 최단 운반거리인 Point 2의 위치에 가설도로를 개설하는 것이 가장 적절하다. 하지만 이 위치는 본선에 구조물이 설치될 예정이라 가설도로를 개설하는 것이 불가능한 상황이다. Point 3의 경우 Point 1에 비해 운반거리가 짧지만 Point 1은 추가 성토작업이 필요하므로, 차선책으로 Point 3 위치에 가설도로를 개설하는 것이 효과적이라 할 수 있다.

다음으로, Point 3에 설치되어 있던 기존 가설도로의 위치가 도로노선의 조기 시공으로 변경되는 상황에 대해 분석하였다. 본선에 포함된 구조물이 조기에 시공된 상황에서 Point 3의 가설도로 위치를 변경한 것이다. 구체적으로 가설도로 위치선정 요소의 우선순위에 따라서 최단 운반거리인 Point 2의 위치에 신규 가설도로를 설치하는 것으로 계획하였다 (Fig. 15).

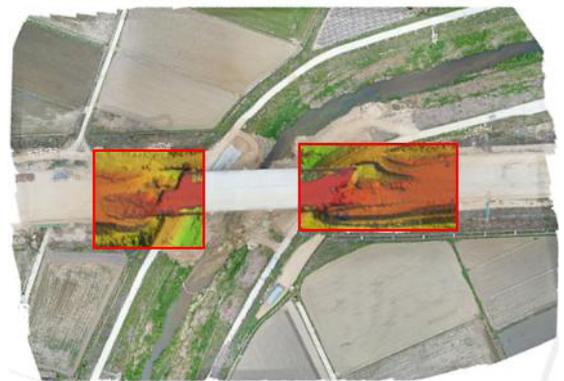


Fig. 15. Temporary road installed on a structure

트럭이 현장내 기존의 가설도로를 이용하여 작업할 때와 본 연구에서 제시한 방법론에 따라 신규 가설도로를 설치하고 작업을 진행할 때의 생산성을 비교해 보았다. 분석 시 사용한 트럭의 속도는 표준폼셈상의 운반도로 상태별 평균주행속도를 이용하였으며, 트럭의 시간당 작업량 분석을 위한

사이클 타임은 표준품셈의 값을 적용하였다.

분석을 실시한 결과 트럭이 현장에서 운영 중인 기존 가설도로를 이용할 때의 운반거리는 233m이고(Table 5), 본 연구에서 제안한 방법론을 적용하여 신규 가설도로를 생성할 때의 운반거리는 196m로 37m 감소한 것으로 나타났다. 트럭의 시간당 작업량은 95.25m³/hr에서 103.37m³/hr로, 8.53% 정도 증가하였다. 또한, 신규 가설도로를 설치한 후 현장의 변화에 따라 트럭의 사이클 타임이 기존 5.98분에서 5.51분으로 7.86% 감소하였는데, 이는 시간당 작업량에 영향을 줄 것으로 보인다.

Table 5. Transport distance of candidate group 98

Candidate Group	Transport Distance	Note.
Point 1	233m	Calculate by 3D Map point coordinates
Point 2	196m	Calculate by 3D Map point coordinates
Point 3	209m	Calculate by 3D Map point coordinates
Shortest Path	182m	3D Map Coordinates between the Work Start Point and the End Point

5. 결론

4차 산업혁명과 더불어 여러 가지 첨단기술이 등장하고 있다. 건설 분야에서도 관련 기술을 적용해 생산성과 안전성을 획기적으로 향상하려는 시도가 나타나고 있다. 이런 노력의 일환으로 스마트 건설기술 개발 연구가 진행되고 있으며, 연구개발의 한 부분으로 스마트 건설장비 관제시스템이 개발되고 있다. 본 연구는 이 건설장비 관제시스템에서 제공하는 건설장비 최적 이동경로 정보를 생성하기 위하여 필요한 스마트 요소기술을 제시하는 것을 목표로 하고 있다.

도로공사에서 토공사는 다수 및 다종의 건설장비에 의존하고 있기 때문에 효율적인 장비의 운영이 전체 생산성에 지대한 영향을 미친다. 건설장비의 최적 운영은 건설장비의 조합과 작업 및 이동경로를 효율화함으로써 달성할 수 있다. 본 연구는 도로공사 현장내에서 토공장비의 이동경로를 최적화하는 기반을 제공하고자 하였다. 현장내에서 토공장비의 이동경로는 가설도로의 위치에 많은 영향을 받기 때문에 연구의 초점을 현장내 효율적인 가설도로의 위치를 선정하는 것에 맞추었다. 또한 토공장비의 이동계획은 토공계획을 이용하여 수립되어야 하는데 기존에 사용하는 방법으로는 토공장비의 작업 및 이동계획을 수립하는 데 사용할 수 없었다.

본 연구에서는 스마트 건설시스템에 적용이 가능한 셀 기반 토량배분 방식을 활용하여 토공장비 작업 및 이동계획을

수립하도록 하였다. 현장 내에서 토공장비의 최적 이동경로 생성을 위하여 효율적인 가설도로의 위치선정 요소들을 파악하고 이것들을 가중치를 결정하였으며, 가설도로의 위치 선정을 위한 방법론을 제공하였다. 장비의 이동계획법도 기존에는 단순히 거리만을 고려하여 경로를 생성하였다면, 본 연구에서는 도로공사의 특성을 고려하여 여러 가지 요소를 반영한 경로가 생성되도록 하는 개념을 제시하고 있다. 또한 제시된 방법론의 효용성을 검증하기 위하여 실제 현장의 자료를 수집하여 사례연구를 진행한 결과 동일한 조건에서 제시된 방법론을 적용하였을 때 재래적인 방법을 적용할 때에 비하여 생산성이 증대되는 것으로 나타났다.

본 연구는 스마트 건설 측면에서 사람의 인위적인 개입없이 작업계획을 수립하고 시공에 필요한 정보를 생성하기 위한 기반기술을 제공하는 것으로 의미가 있다고 사료된다. 또한, 가설도로의 위치는 현장의 조건에 따라 수시로 변경될 수 있기에, 위치결정 방법을 정형화하는 것은 매우 어렵다. 이런 관점에서 또한 건설시공 측면에서 가설도로의 위치 결정을 위한 요소들의 정리와 방법론을 제시한 것은 의미가 있다고 판단된다.

가설도로 위치를 결정하기 위하여 실시한 인터뷰 및 설문 조사의 대상이 공사관리자로 한정된 점과 파악된 요소들 중에서 정량화가 가능한 요소들만 반영한 것은 다소 한계점으로 생각된다. 또한, 표준화된 가설도로 위치결정 방법이 현재까지 존재하지 않았다는 것은 그만큼 가변성이 많아서 표준화하기 어렵다는 의미와 상통한다. 제시된 요소들과 방법론에 부족한 부분은 추후 연구에서 추가로 보완해 나갈 예정이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부의 스마트건설기술개발사업 연구 과제인 ‘C-Map 네비게이션 요소기술 개발’ (과제번호: 22SMIP-A157120-03)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Lim, S.Y., and Kim, S.K. (2020). "Productivity analysis using a fleet management system for construction equipment." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, 40(1), pp. 87-95.
- Kim, S.K., Jang, J.W., and Na, W. (2021). "Automatic Creation of Heuristic-Based Truck Movement Paths for Construction Equipment Control." *Applied Sciences*, 11(13), 5837. <https://doi.org/10.3390/app11135837>
- Kim, S.K., and Lim, S.Y. (2017). "A Study on the

- Improvement of a Fleet Management System for Construction Equipment.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, 37(6), pp. 1063-1076.
- Kim, S.K., Seo, J.W., and Russell, J.S. (2012). “Intelligent Navigation Strategies for an Automated Earthwork System.” *Automation in Construction*, 21(1), pp. 132-147.
- Lee, D.J. Ko. Y.H., and Kim, S.K. (2021). “A Study on the installation conditions of temporary road for construction equipment work plan.” *Proceedings of KICEM Annual Conference, 2021*, Kyungju, Korea
- Lee, S.U. and Choi, B.H. (2014). *Construction methods*, Koomi Books, Seoul, Korea.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT) (2018). Smart construction technology roadmap for construction productivity innovation and safety strengthening, MLIT Report.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT) (2021). Guidelines for field applications of smart construction technology, MLIT Report.
- Ryu, J.R., Lee, S.B., and Nam, J.S. (2019). “Drone Application for Smart-Construction in Construction Sites.” *Magazine of Construction Work*, 19(2), pp. 8-19.

요약 : 건설산업은 생산성, 인력, 산업재해 측면에서 어려운 과제에 직면해 있다. 4차 산업혁명과 함께 다양한 첨단기술이 대두되면서, 건설분야에서는 이런 문제들을 첨단기술을 활용해 해결하려 노력하고 있다. 그 일환으로 다수 및 다종의 건설장비가 투입되는 토공 현장에서 생산성과 안전성을 높이기 위한 건설장비 관제시스템을 개발하고 있는 중이다. 건설장비 관제시스템은 건설장비의 이동경로를 최적화해 생산성을 높이는 기능이 필수이다. 트럭의 현장 내 이동경로를 최적화하려면, 가설도로 위치를 최적화해야만 한다. 하지만 현재 가설도로의 품질에 관한 사항만 규정되어 있을 뿐, 효율적인 방식으로 가설도로의 위치를 결정하는 정형화된 프로세스는 없는 상황이다. 이에 본 논문에서는 현장조사와 면담/설문조사를 통해 가설도로의 위치결정과 관련된 요소 및 그 중요도를 파악한 뒤 이를 기반으로 가설도로의 위치 결정을 위한 방법론을 제시하였다. 이후 사례연구를 통해 해당 방법론이 토공작업의 생산성 향상에 도움이 됨을 확인하였다.

키워드 : 가설도로, 건설장비, 장비관제, 이동경로, 스마트 건설
