

건축 시공단계 검측 업무 자동 생성을 위한 프레임워크 개발

조석연¹ · 이진강² · 최재현^{3*}

¹한국기술교육대학교 건축공학과 석사과정 · ²한국기술교육대학교 디자인건축공학부 조교수 · ³한국기술교육대학교 디자인건축공학부 교수

A Framework of Automating Inspection Task Generation for Construction Projects

Jo, Seuckyeon¹, Lee, Jin Gang², Choi, Jaehyun^{3*}

¹Master Student, School of Architectural Engineering, Koreatech University
²Assistant Professor, School of Architectural Engineering, Koreatech University
³Professor, School of Architectural Engineering, Koreatech University

Abstract : Quality control (QC) is an essential work for the successful construction project execution. Recently, robust application of ICT to the QC tasks leads to utilizing innovative technologies and equipment. However, overall planing of QC works needs to take place before applying new technologies to each and individual QC task. The objectives of this research involve developing a database and an algorithm that identifies QC tasks and related information upfront. In addition, the researchers developed a methodology to generate inspection tasks in conjunction with construction work tasks. The Korean Ministry of Land and Transportation provides standard supervision checklists. They were classified based on criteria of inspection items, methods, period and the scope. Reinforced concrete work was selected as a case study for validation of the method. This framework can function when planing construction tasks with any type of planning tools and innovative technologies. The researchers expect this framework may contribute to various construction projects when developing QC plans and tasks with applicable technologies.

Keywords : Quality Control, Construction Inspection, Inspection Task Generation, Inspection Database

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설 프로젝트의 대형화 및 복잡화가 가속화 되고 있는 추세에 따라 시공단계에 투입되는 자재, 장비, 인력 등의 자원의 집중적 투자 및 최신 공법 활용으로 인한 시공 난이도 또한 증대되고 있다. 시공 난이도 증가는 계약공기를 준수해야 하는 시공 주체에게 부담으로 작용하여 시공 품질 확보에 위협이 될 수 있다. 시공 주체는 공기 준수를 위해 세부 공정별 적용공법에 따른 공기 및 자원투입 계획과 더불어 공정의 진행에 따른 품질관리 계획을 수행해야 한다. 그러나 대규모 현장의 복잡한 공사수행 과정에서 공기 준수를 위한

공정계획에 비해 품질관리 계획은 선제성과 체계성이 부족한 경향이 있다.

품질관리를 위해 건설자재 및 시공 생산품에 대한 검측 업무는 가장 기본적인 업무로서 인력에 대한 의존도가 매우 높다. 최근 전문 건설 인력의 감소와 고령화로 인한 기술자 부족은 국내 건설 프로젝트 관리의 주요 리스크로 대두되고 있다. 경제활동인구조사에 의하면 산업별 취업자 중 건설업 취업자 증감률은 2019년부터 매년 감소 및 노령화 추세에 있다. 2021년 말 취업자 중 40대 이상의 비중이 78.5%인 것에 비해 건설업 종사자 중 40대 이상의 비중은 81.8%에 해당한다(통계청, 2022). 건설업 인구의 고령화는 건설 프로젝트의 생산성 및 품질을 떨어뜨리고 현장 작업에서 안전사고를 증가시키는 직접적인 원인이 된다(Choi, 2021). 2015년 50세 이상 근로자의 사고율이 20,473명 중 10,941명으로 49%에 해당하는 것과 같이, 연령대가 높을수록 신체 능력이 떨어져 사고율이 높다는 것을 알 수 있다(통계청, 2022). 고령화는 단순히 인력의 부족 이외에도 건설업의 생산성과 시공 품질을 떨어뜨리고 산업재해에 따른 안전성 저하에 영향

* **Corresponding author:** Choi, Jaehyun, School of Architectural Engineering, Korea University of Technology and Education (Koreatech), Cheonan 31253, Korea
E-mail: jay.choi@koreatech.ac.kr
Received October 4, 2022; **revised** November 11, 2022
accepted January 13, 2023

을 주는 복합적인 문제로 파생될 수 있다.

이러한 건설업의 인구구조 변화와 특성에 따라 한정된 인력으로 현장 검측 업무를 정확하고 효율적으로 수행해야 하는 실정이다. 이를 해결하기 위해서는 검측 인력의 업무를 자동화하는 3D 스캐닝 및 컴퓨터 비전 등의 활용이 다방면으로 시도되고 있다. 이러한 첨단 기술 및 장비를 효과적으로 활용하여 현장 감리자의 검측 업무를 자동화, 효율화하기 위해서는 공정 계획과 검측 계획이 연계된 검측 업무 액티비티 관리가 필요하다. 이를 위해서 검사 항목의 검측 대상, 시기, 방법, 작업 범위에 대한 정보가 정확해야 한다. 또한 그 정보에 근거하여 공정 진행 상황에 따라 감리 인력 또는 대체 장비가 검측 업무에 대해서 사전 계획이 수립되어야 한다.

이에 본 연구에서는 국내 표준 검측 체크리스트의 검사 항목들을 유형별로 분류/분석한 결과를 바탕으로 검측 액티비티 자동 생성 프레임워크를 제안하였다.

1.2 연구의 방법 및 절차

국내 건설 현장에서 사용되고 있는 국토교통부 고시 건축공사 감리 세부 기준 법령에서 단계별 감리 체크리스트 대장 중 책임 상주 감리 체크리스트를 건설 검측 업무 액티비티 자동 생성 프레임워크의 기초자료로 활용하였다. 체크리스트를 바탕으로 검측 업무 액티비티의 자동 생성을 위해 필요한 검사 항목, 검측 대상, 검측 방법, 검측 시기, 검측 범위 등을 분류하고 정의하였다.

검사 항목은 건설 현장에서 사용하는 감리 체크리스트 대장에서 도출하였다. 검측 대상은 검사 항목별로 검측해야 하는 대상으로 정의하였다. 검측 방법은 검측 대상의 유형에 따라 수치 측정을 해야 하는 검측 대상을 3D 스캐닝을 활용(1), 시각적 판단으로 검측 대상의 존재 및 결함 여부를 확인해야 하는 대상은 카메라로 촬영하고 컴퓨터 비전 기술을 활용(2), 현장에 가지 않고 도면 및 서류를 검토(3), 총 세 가지로 분류하였다. 검측 시기는 검측 업무 수행 시점을 정확히 명시하기 위해 체크리스트의 검사 항목을 공정 별 세부 공정 업무 프로세스에 연계하여 따라 분류하여 검사 항목이 세부 공정 단계 전, 중, 후 중 어느 시기에 진행되는 지를 식별하였다. 검측 범위는 검측 액티비티 자동 생성 시 필요한 검측 범위를 설정할 수 있도록 대지 안의 공지 법령을 기준으로 규정하였다. 마지막으로 건설현장에서 검측 범위에 존재할 수 있는 제약요소를 표준품셈을 근거로 도출하였다.

2. 이론적 고찰 및 문제점 도출

2.1 검측 업무의 현황 및 제도

건축법 제24조 제6항에 따르면 건축물의 건축주는 공사

현장의 공정을 관리하기 위하여 건설산업기본법 제2조 제15호에 따른 건설기술자 1명을 현장관리인으로 지정하도록 하고 있다. 건축주가 아닌 전문 건설업자가 공사하는 경우에는 현장관리인을 배치하지 않아도 되며, 건설산업기본법 제41조 제1항 본문 중 괄호 안의 사항이나 단서에 해당되어 제외되는 경우 또한 배치하지 않아도 된다. 현장관리인의 자격은 건설기술자의 직무 분야 건축 분야에 관련된 자로 하며 따로 등급을 제한하지는 않는다. 이처럼 현재 현장관리인에 관한 법령은 감리 업무가 공사 종류나 공기에 상관없이 비체계적으로 진행될 가능성을 내포하고 있다(Kim, 2021). 그리고 현장관리인의 건설현장 방문횟수가 월평균 4회 정도로 이루어지고, 감리 업무가 공정관리와 별개로 이루어지기 때문에, 공정에 따른 검측이 제대로 이루어지지 못한다. 또한 감리 업무에 대한 기록은 세움터에 저장될 뿐, 공사 중이나 준공 후 시공 오류가 생겼을 경우 남아있는 기록이 없어 공사가 어디서 어떻게 문제가 발생했는지 알기 어렵다(Lee, 2016). 이와 관련한 국내 감리 분야에서 최근 진행된 연구 동향을 보면 감리제도의 개선 및 개별 공종에 대한 업무 효율성 증가를 위한 기술 적용 연구가 활발히 이루어지고 있다. 하지만 국내 현장 관리에 대한 문제점을 고려하여 공정 계획과 검측 계획을 연계하여 관리하는 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 현장 관리의 제도적 문제점과 현장 상주 검측의 어려움을 개선하기 위해 공정 계획과 감리 업무를 연계하였다. 연계된 공정 계획에 따른 검측 계획에서 검측 업무 액티비티 자동 생성을 제시하는 자동화 알고리즘을 개발하고자 한다.

2.2 첨단 기술과 장비를 활용한 건설현장 검측

건설 현장에서는 관리자의 육안, 사진 촬영, 측량 등으로 검측 업무를 수행하고 그 결과를 컴퓨터에 입력하여 관리한다. 앞서 언급했듯이 건설 산업은 인구 노령화의 영향을 크게 받고 있기 때문에 한정된 인력 대체를 위한 기술 개발은 향후 효과적인 현장 검측을 위한 필수 조건이라 볼 수 있다. 이에 4차 산업혁명과 더불어 등장한 자동화, 인공지능 등 고도화된 ICT 기술은 건설 시공 및 검측 업무에 필요한 노동력을 줄이고 생산성을 높일 것으로 기대를 받고, 다방면으로 활용이 검토되고 있다. 대표적으로 3D 레이저 스캐너 또는 카메라를 드론이나 로봇에 장착하여 활용할 경우 촬영을 위한 인력의 도움 없이 현장 데이터를 수집할 수 있다. 3D 스캐너의 경우 수집한 3D 포인트 클라우드 정보를 고해상도 3차원 DSM (Digital Surface Model)로 변환하여 건설 현장을 파악하는데 사용할 수 있다(Kim et al., 2017). 토목공사 현장에서는 교량, 터널 등의 구조물을 스캔하여 수집한 정보를

분석하여 시공오차 또는 균열 등을 파악하는데 3D 스캐너를 활용하였다(Bolourian, N. et al., 2020; Bang, 2012). 그리고 건축공사 현장에서는 철근공사, 콘크리트공사, 마감공사 등의 품질관리를 목적으로 스캐너로 수집한 정보를 3D 모델과 비교분석 하였다(Turkan et al., 2012; Kim, M.K. et al., 2015; Han, 2008; Kwon, 2009; Jeong, 2019)

카메라로 수집한 영상을 CNN (Convolutional Neural Networks)와 같은 딥러닝 기반의 컴퓨터 비전 기술을 기반으로 분석할 수 있다. 레이저 스캐너와 마찬가지로, 카메라로 수집한 영상을 3D 모델로 변환하여 현장 검측 및 품질관리 목적으로 활용할 수 있다(Kim, 2021; Choi, 2021; Song, 2021). 토목공사 현장에 투입되는 굴삭기 등의 중장비를 검출하여 작업을 자동으로 모니터링하는데 컴퓨터 비전 기술을 활용하였다(Luo, 2019; Son, 2021; Kim, 2019). 또한 건축공사 현장에서 작업 상황을 모니터링 하여 작업자를 대상으로 행동패턴을 분류하거나(Luo, 2020), 작업자의 안전모 착용 여부를 실시간으로 파악하는 등의 다양한 목적으로 컴퓨터 비전기술을 활용하였다(Jo, 2016; Jo, 2017; Gong, 2011). 이처럼 건설 현장 검측 및 모니터링 업무에서 첨단 기술이 다방면으로 사용되면서 단순 사진/영상 촬영용으로 제한되어 있던 로봇/드론의 적용 범위가 공사 세부작업 분석으로 확대되고 있다(Choi, 2021).

Table 1. Construction Inspection technology research study

Inspection Method	Category	Inspection target
3D Scanning	building construction	steel structure(Jeong, K.R et al., 2019), finishing(Kwon, S.W et al., 2009), rebar(Han, S.H. et al., 2008), site monitoring(Kim, S.K. et al., 2017)
	civil work	tunnel(Park, J.J. et al., 2012), construction equipment(Kang, J.M. et al., 2016), bridge(Bolourian, N et al., 2012)
Camera (Computer Vision)	building construction	worker(Luo, et al, 2020; Jo, B.W. et al., 2016; Jo, H.M. et al., 2017; Gong, et al., 2011), construction site(Kim, T.H. et al., 2021; Choi, J.D., 2021; Song, S.M. et al., 2021)
	civil work	construction equipment(Luo, et al., 2019; Son, T.G. et al., 2021; Kim, J.W. et al., 2019)

동시에 반복적인 현장 감리 업무에 첨단 기술을 연계하여 자동화하는 연구도 활발히 이루어지고 있다. Kang (2012)은 건설 프로젝트 공정별로 최적의 진도 측정 유형을 분석하고 분석 결과에 따라 자료 수집 기술(Data Acquisition Technology; DAT) 선정 방법을 제시하였다. Lee (2021)은 현장 반입 프리캐스트 콘크리트 부재에 대해 효율적이고 정확한 품질 검측 수행을 위한 균열 검출 자동화 시스템을 개발하였다. 하지만 대다수의 연구는 특정 공정 업무 및 현장 단일 부위에 대한 기술 적용에 초점이 맞추어져 있다. 이처

럼 공사관리 과정 중 검측해야 할 대상이 명확히 정의되지 않은 현재 상황에서 대부분 기업의 기술활용 수준은 건설 현장 확인, 대규모 측량, 근로자 현황 확인 등 건설 현장을 전체적으로 촬영하는 범위에 제한되어 있다(Song, 2020). 이에 컴퓨터 비전, LIDAR와 같은 첨단 기술과 앞서 언급한 현장 업무 자동화 방안이 건설현장에서 제대로 활용되지 못하는 한계점을 개선하기 위해서는 첨단 기술을 활용하여 무엇을(검측 대상), 언제(세부 공정, 검측 시기), 어떻게 검측 할 것인가에 대한 사전 정의가 필요하다고 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 공정 계획에 따라 검측 계획을 정의하고 검사 항목 대상별로 검측 적정 시기와 적정 범위를 분류하였다. 분류된 검측 대상과 업무를 바탕으로 컴퓨터 비전과 같은 기술을 적용할 수 있는지 분석하였다. 분석된 결과를 바탕으로 검측 업무 액티비티 자동 생성 프레임워크와 알고리즘을 개발하고자 한다.

3. 검측 업무 자동생성 프레임워크 개발

본 연구에서는 국토교통부에서 고시한 건축공사 감리 세부기준 법령을 기준으로 건설 현장 감리를 위한 검측 업무를 정의하고, 검측 업무를 공정 계획과 검측 방식과 연계하여 검측 업무 액티비티 자동 생성을 위해 필요한 정보를 (검측 대상, 시기, 방법, 범위, 제약요소) 도출하는 프레임워크

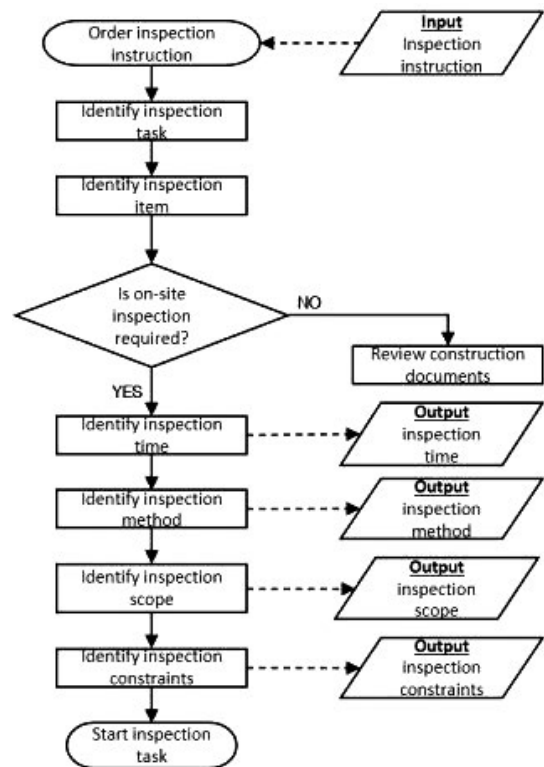


Fig. 1. Flow chart for inspection task automation

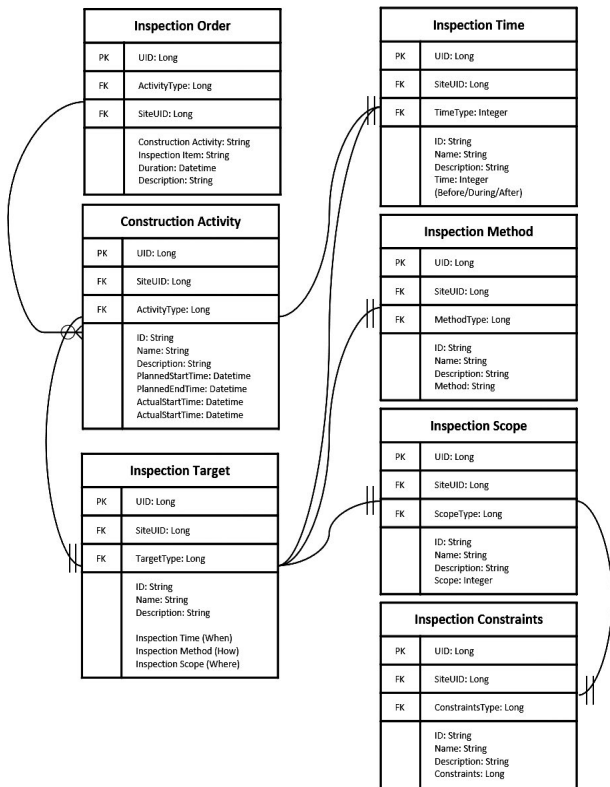


Fig. 2. Database schema for inspection information management

를 제시하고자 한다. 이를 위해 국토교통부 공종별 상주 감리 체크리스트의 검사 항목을 분석한 결과를 바탕으로 검측 대상, 검측 시기, 검측 방법, 검측 범위, 검측 제약요소에 대해서 각각의 클래스로 정의한 스키마 <Fig. 2>를 바탕으로 데이터베이스를 구축하였다. 구축한 데이터베이스를 기반으로 공종별 감리 업무에 필요한 정보를(검측 대상, 시기, 방법, 범위, 제약요소) 도출할 수 있도록 검측 업무 액티비티 자동 생성 알고리즘을 개발하였다(Fig. 1).

본 프레임워크의 검측 대상과 검측 시기는 발주된 해당 공사의 검측 지시서의 검사 항목을 바탕으로 결정된다. 여기서 검측 대상은 검사 항목에서 구체적인 측정, 검사 등이 필요한 대상을 말한다. 검측 시기는 해당 공사의 세부 공정에 따라 결정되며, 검사하고자 하는 항목을 선택하고 대상을 검측할 수 있는 공정 작업 전, 중, 또는 후와 같은 시점을 말한다. 그리고 현장 검측이 필요한 검측 대상에 대해 첨단 검측

장비 및 기술을 활용할 수 있는지 판별한다(검측 방법). 특정 장비 및 기술의 활용이 가능한 경우, 검측 범위가 결정되고 검측 과정에서 제약요소가 될 수 있는 작업자, 건설 장비, 자재 등이 있는지에 대한 정보를 확인한 후에 검측 액티비티가 자동 생성되도록 알고리즘을 개발하였다.

3.1 책임 상주 체크리스트 분석 및 검측 대상 도출

국토교통부 고시 건축공사 감리 세부기준 법령은 공사 단계별로 상주 감리 체크리스트를 포함한다. 이는 건설 현장에서 검측 지시서 발주 시 활용된다. 본 연구에서는 체크리스트의 검사 항목(Inspection item)을 분석하여 항목별 검측 대상(Inspection target)을 도출하였다(Table 2). 그리고 검측 대상을 수치 측정을 해야 하는 대상, 시각적인 판단으로 존재 및 결함 여부를 확인해야 하는 대상, 공사 전에 도면 및 건설공사 시방서, 관련 서류 등을 확인해야 하는 대상, 총 3가지 유형으로 분류하였다. 이를 추후 검측 방법을 선택하는 기준으로 활용하였다.

Table 2. Inspection targets by inspection item for earth work (examples)

Inspection item	Inspection target
Check the depth of pit excavation	depth of pit excavation
Check the waterproof status of the structure in the backfill area	waterproof status
Check the condition of soil for backfill and banking	soil condition
Check the condition, grade, dimension of the slope	grade and dimension of the slope
Check the site condition around the building	site condition

3.2 세부 공정 연계 및 검측 시기 분류

현재 체크리스트의 기본 업무에 해당하는 검사 항목 부분이 공종 별로 검사 항목이 구분되어 있기는 하지만, 이는 현장에서 이루어지는 세부 공정 순서대로 연계되지 않아, 검측 시점을 알기 어렵다. 이에 본 연구에서는 기존 체크리스트의 검측 업무를 세부 공정과 연계하여 공정 계획에 따라서 검측 업무 액티비티를 자동 생성하도록 하였다. 건설공사에서 각 공종 별 세부 공정 순서는 공사마다 규모와 계획이 달라지기 때문에 정확히 규정해 놓은 기준이 없다. 따라서 공종별로 세부 공정을 정의하고 이를 검사 항목과 연계하였다.

Table 3. Construction activity and Inspection time for earth work (examples)

Construction activity	Inspection time	Inspection item	Inspection target
1. Excavation	Before	Check the depth of pit excavation	depth of pit excavation
2. Backfill	Before	Check the waterproof status of the structure in the backfill area	waterproof status
4. Appurtenant work of filling	Before	Check the condition of soil for backfill and banking	soil condition
5. Slope protection work	Before	Check the condition, grade, dimension of the slope	grade and dimension of the slope
9. Maintenance	During	Check the site condition around the building	site condition

검측 업무의 액티비티가 세부 공정(Construction Activity) 작업의 시작 전, 작업 중, 작업 완료 후에 이루어져야 하는지 검측 시기(Inspection time)를 분류하였다. <Table 3>은 토공사 체크리스트 검사 항목을 각 공종 별 세부 공정을 연계한 데이터의 예시이다.

3.3 검측 대상에 따른 검측 방법 분류

본 연구에서는 수치 측정을 해야 하는 검측 대상에 3D 스캐닝을 활용하고, 시각적 판단으로 존재 및 결함 여부를 확인해야 하는 대상은 카메라로 촬영하고 컴퓨터 비전 기술을 활용하는 것을 가정하여 프레임워크를 제안한다. 서류를 확인해야 하는 항목은 도면, 시방서 및 관련 서류 검토 방법으로 분류하였다<Table 4>.

Table 4. Inspection automation method for earth work (examples)

Inspection item	Inspection target	Inspection method
Check the depth of pit excavation	depth of pit excavation	3D Scanning
Check the waterproof status of the structure in the backfill area	waterproof status	Camera
Check the condition of soil for backfill and banking	soil condition	Camera
Check the condition, grade, dimension of the slope	grade and dimension of the slope	3D Scanning
Check the site condition around the building	site condition	Camera

3.4 검측 장비/기술 활용을 위한 검측 범위 분류

첨단 장비 및 기술을 활용한 검측 업무 수행 시, 검측 대상에 따라 필요한 공간을 검측 범위로 정의하였다. 건설 현장 외부 검측에서 시작하여 내부 검측으로 이루어지는 순서에 따라 검측 범위를 3가지 유형으로 분류하였다.

검측 범위는 대지 안의 공지 기준(The Minimum Depth of the Yard), 건축선(Building Line), 인접 대지 경계선

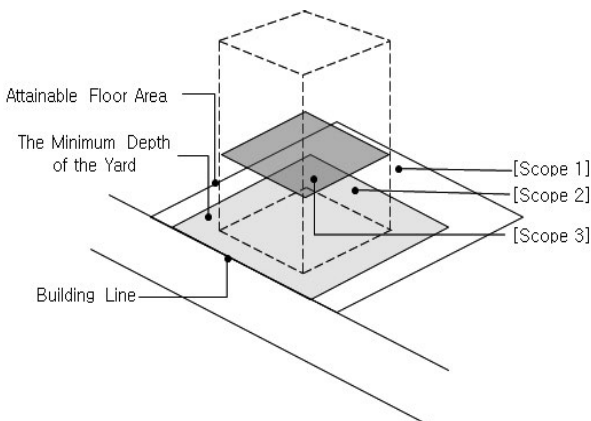


Fig. 3. Classification of Inspection Scope

(Attainable Floor Area)의 정의를 기준으로 <Fig. 3>과 같이 구분하였다. 대지 안의 공지 기준은 국토의 계획 및 이용에 관한 법률에 따른 용도지역, 용도지구, 건축물의 용도 및 규모 등에 따라 건축선 및 인접 대지 경계선으로부터 6미터 이내의 범위에서 건축법 시행령 또는 해당 지방자치단체의 조례로 정하는 거리 이상을 띄워야 한다. 건축선은 대지 안의 공지에 규정되어 있는 건축법 제46조에 따르며 도로와 접한 부분에 건축물을 건축할 수 있는 선은 대지와 도로의 경계선임을 정의한다. 인접 대지 경계선은 대지와 대지 사이에 공원, 철도, 하천, 광장, 공공공지, 녹지, 그 밖에 건축이 허용되지 아니하는 공지가 있는 경우에는 그 반대편의 경계선으로 한다. Scope 1은 대지 안의 공지를 기준 외부영역, Scope 2는 대지 안의 공지 내부 영역(건물의 내부 공간이 생기기 전 영역에 해당), Scope 3은 건물의 내부 영역으로 설정한다. 위 과정을 통해, 본 연구에서 제안한 프레임워크는 검측 업무 액티비티 자동 생성을 활용한 검측 자동화 장비 사용을 위해 검사 항목에 따른 검측 대상, 검측 시기, 검측 방법, 검측 범위를 제공한다.

3.5 검측 장비의 활용을 위한 제약요소 도출

스캐너와 카메라와 같은 검측 장비는 현장에서 설치 또는 활용을 위한 공간이 필요하다. 또한 본 연구에서는 향후 검측 업무는 검측 인력이 실측하거나 장비를 직접 조종하는 것이 아닌 기계 학습을 통해 현장 상황에 대한 자율적 판별이 가능한 로봇, 드론 등의 검측 자동화 장비로 검측을 할 수 있을 것으로 가정하고 있다. 이때 해당 공간에 작업자, 건설 장비, 자재의 존재 또는 이동 여부는 검측 업무의 예상치 못한 변수가 될 수 있을 것이다. 이에 본 연구에서 제안하는 프레임워크에서는 이러한 제약요소에 대한 정보를 제공하여 검측 시 사전에 고려해야 할 정보를 파악할 수 있도록 하였다. 제약요소는 각 공종 별 세부 공정에 해당하는 건설공사 표준품셈을 기준으로 작업자, 자재, 장비에 대한 정보를 도출하였다. 도출한 자원 요소를 세부 공정 계획에 반영하여 검측 업무 액티비티 자동 생성 진행 시 파악할 수 있도록 하였다.

4. 사례 연구

개발된 검측 자동화 프레임워크의 실효성을 점검하기 위해 토공사와 철근콘크리트 공사에 적용하여 프레임워크를 테스트하였다.

4.1 검측 자동화 프레임워크 토공사 적용 예시

건설공사에서 토공사의 경우 작업 범위가 넓고 대형 중장

비들이 현장에 투입되기 때문에 공사 현장이 매우 복잡하고 사고 발생 가능성이 다른 공사에 비해 높다. 또한 건물의 기반을 다지는 초기 작업으로서 시공 중에 오차가 발생하면 공기 지연, 건물의 시공 완성도 저하, 유지관리 비용 추가 발생 등 발생할 수 있는 리스크가 증가하게 된다. 따라서 토공사의 시공 상태 검측 진행 시 정확한 검측이 진행되어야 한다. 또한 넓은 공사 현장에서 투입되는 작업자, 장비, 자재의 종류가 많아서 해당 공사에 투입되는 자원에 대한 품셈을 사전에 파악해야 한다. 이를 위해 본 연구에서 제안한 검측 자동화 프레임워크 활용을 테스트하였다.

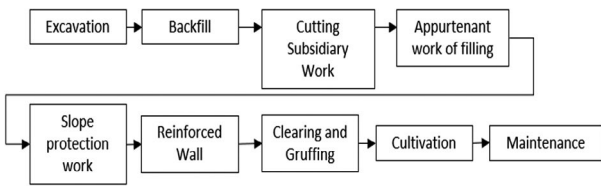


Fig. 3. Classification of Inspection Scope

〈Fig. 4〉는 건설 공사 중 토공사에서 공사 현장 규모에 맞게 토공사 세부 공정 계획 작성 시 포함되는 모든 항목을 표준품셈에 근거하여 토공사의 세부 공정 순서를 1. 굴착, 2. 되메우기 및 뒤채움, 3. 절토 부대공, 4. 성토 부대공, 5. 비탈

면 보호공, 6. 보강토 옹벽, 7. 벌개 제근, 8. 개간, 9. 유지보수의 순서로 재정의한 내용이다.

〈Table 5〉는 검측 업무 액티비티 자동 생성 프레임워크가 적용된 토공사의 검측 업무 액티비티 자동 생성 체크리스트 실제 적용 예시이며 검사 항목이 없는 세부 공정은 생략하였다.

〈Fig. 5〉은 공정관리 프로그램 (Primavera P6)에서 토공사의 세부 공정 계획에 따라서 검측 계획의 생성을 보여주는 예시이다. 토공사의 세부 공정(Civil work activity; 바차트 녹색) 계획 일정에 맞게 검측 업무(Inspection task activity; 바차트 빨간색)가 생성되고 검측 시점에 따라 토공사 세부공정과 관계를 형성한다. 해당 검측 액티비티 선택 시 수행해야 하는 토공사 세부 공정의 검측 업무 액티비티에 대한 정보를 확인할 수 있다.

〈Table 6〉은 토공사의 세부 공정별 투입되는 작업자, 장비, 자재에 관한 정보이다. 해당 데이터는 건설공사 표준품셈을 바탕으로 생성하였다. 공사 규모와 연동하여 현장에 투입되는 자원의 물량을 관리함과 동시에, 검측 작업을 위해 사전에 검토해야 할 정보를 제공한다. 작업자, 장비, 자재의 수의 위치는 향후 자율주행 드론과 같은 검측 자동화 장비의 운행 측면에서 운행 경로의 제약요소가 될 것으로 사전

Table 5. Identified inspection information for earth work by proposed framework

Construction activity	Inspection item	Inspection target	Inspection method	Inspection time	Inspection Scope
1. Excavation	Check the depth of pit excavation	depth of pit excavation	3D Scanning	Before	Scope 2
2. Backfill	Check the waterproof status of the structure in the backfill area	waterproof status	Camera	Before	Scope 2
4. Filling subsidiary work	Check the condition of soil for backfill and banking	soil condition	Camera	Before	Scope 2
5. Slope protection construction	Check the condition, grade, dimension of the slope	grade and dimension of the slope	3D Scanning	Before	Scope 2
9. Maintenance	Check the site condition around the building	site condition	Camera	During	Scope 2

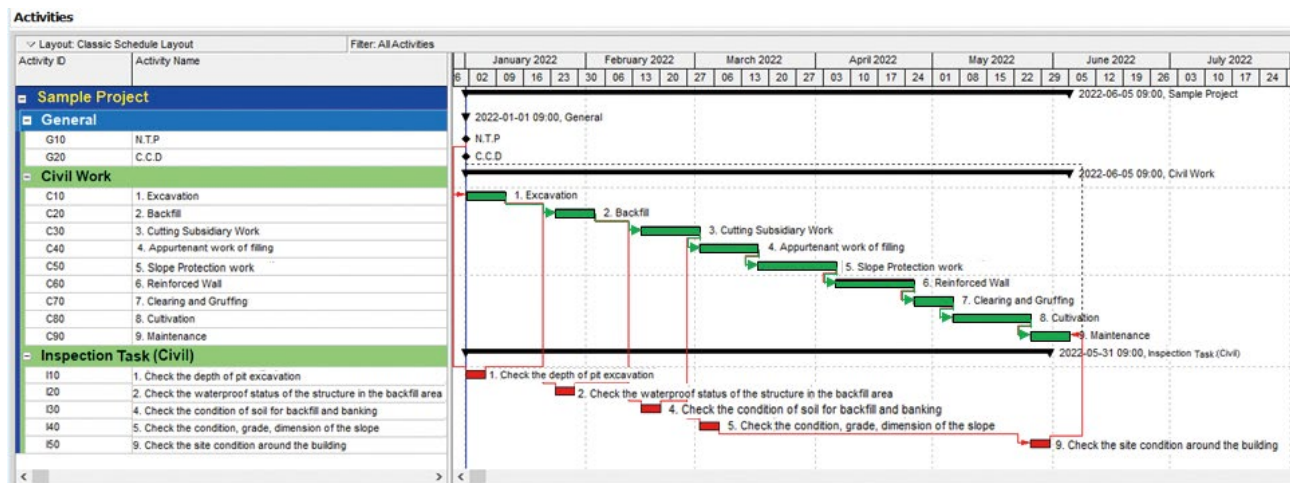


Fig. 5. Inspection tasks linked with to construction activity of earth work (Primavera P6)

Table 6. Required construction resources for earth work

Resources	Install panel (m ³)	Install block (m ³)	Remove blocking timber (m ³)	Backfill and compaction (m ³)
Unskilled worker	0.06	0.09	0.03	0.07
Skilled worker	0.1	0.21	-	-
Rebar worker	0.03	-	-	-
Form carpenter	0.04	-	0.06	-
Crane	0.06	0.09	0.03	0.07
Excavator	0.1	0.21	-	-
Vibratory roller	0.03	-	-	-
Hand-guide vibratory roller	0.04	-	0.06	-
Stud lumber	-	-	0.36	-

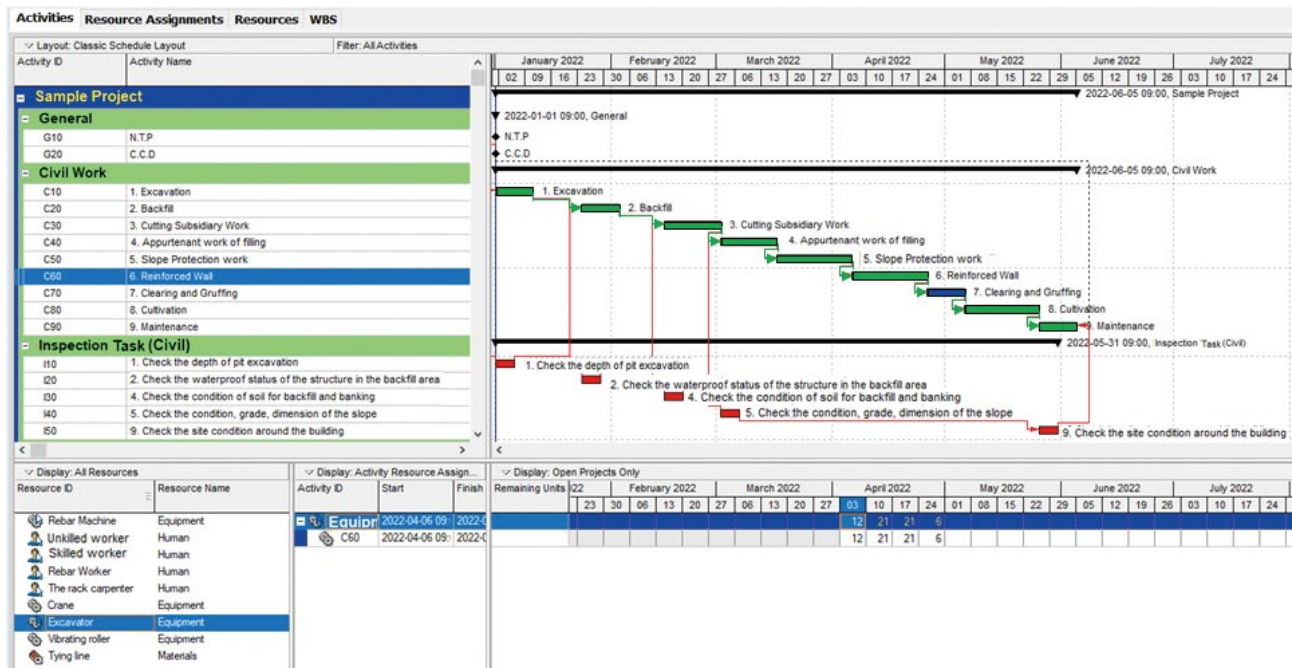


Fig. 6. Site constraints information of earth work inspection task (Primavera P6)

에 확인해야 할 정보다. 작업자, 장비, 자재와 같은 자원 정보를 세부공정 정보와 검측업무 정보와 연계하여 공정관리 프로그램에서 토공사의 세부 공정 계획과 검측 계획에 따라 표준품셈에 근거한 현장에서 제약요소가 될 수 있는 작업자, 자재, 장비에 대한 정보를 확인할 수 있다(Fig. 6). 검측 업무 액티비티 자동 생성 프레임워크를 토공사에 적용 시, 기존의 불명확했던 감리자의 업무 시점과 필요 정보를 공정 계획 순서에 따라 진행할 수 있도록 시점 정보를 제공하고 검측 관련 정보를 명확히 제공할 수 있다.

4.2 검측 자동화 프레임워크 철근콘크리트공사 적용 예시

철근콘크리트 공사는 건물이 받는 하중을 견딜 수 있는 골조를 시공하는 공사로 시공 중에 발생하는 오차가 건물의 성능과 유지관리에 미치는 영향이 크다. 철근콘크리트 공사

는 일반적으로 거푸집설치, 철근배근, 콘크리트타설, 양생, 거푸집해체 등의 5가지 세부작업을 순차적으로 반복하여 수행된다(Kim, 1996). 철근 콘크리트 공사의 세부 공정을 건설 공사 표준품셈에 근거하여 1. 근 가공 및 조립, 2. 철근 배근, 3. 콘크리트 타설, 4. 콘크리트 양생, 5. 콘크리트 면 처리, 6. 거푸집 해체의 순서로 정의하였다. <Fig. 7>에서 공장 제작과 거푸집 재사용 과정을 제외한 나머지 공정으로 구성하였다.

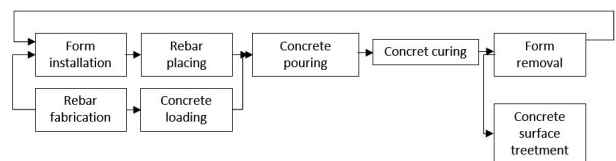


Fig. 7. Construction activity sequence for concrete work

Table 7. Identified inspection information for concrete work by proposed framework

Construction activity	Inspection item	Inspection target	Inspection method	Inspection time	Inspection task range
1. Form installation	Check the rebar work specification	Rebar work specification	Review of drawings, specifications	Before	-
2. Rebar placing	Number and thickness of main rebar	Number and thickness of main rebar	Review of drawings, specifications	Before	-
3. Concrete pouring	Check the metal lath around the joint and opening	Metal lath reinforcement	Camera	Before	Scope 3
4. Concrete curing	Check the concrete compressive strength	Strength of concrete	Review of drawings, specifications	Before	Scope 3
5. Concrete surface treatment	Check the exposed rebar and concrete surface	Exposed rebar, Concrete surface	Camera	After	Scope 3

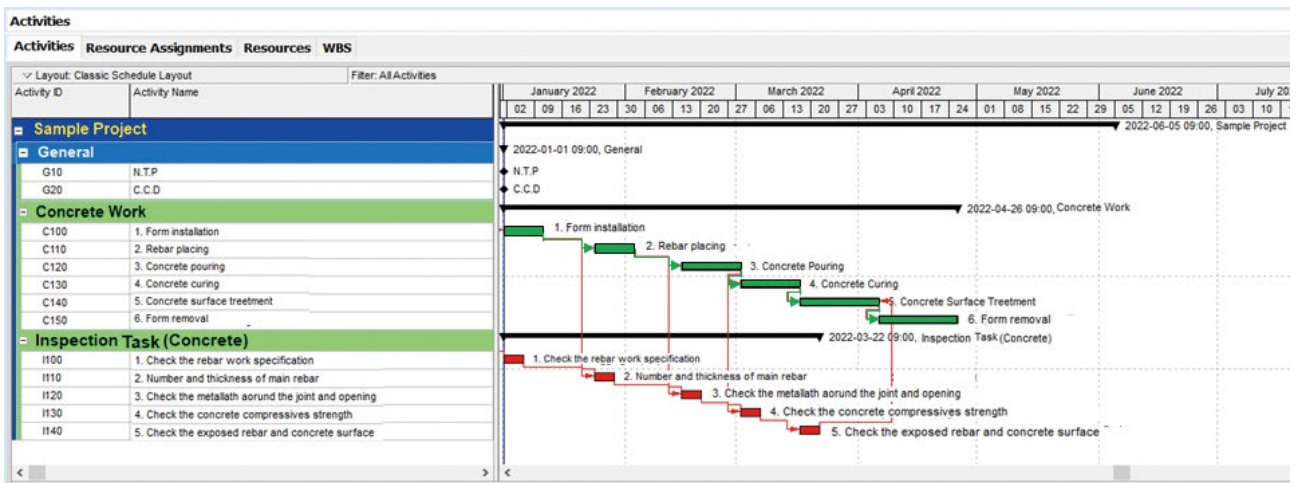


Fig. 8. Inspection tasks linked to construction activity of concrete work (Primavera P6)

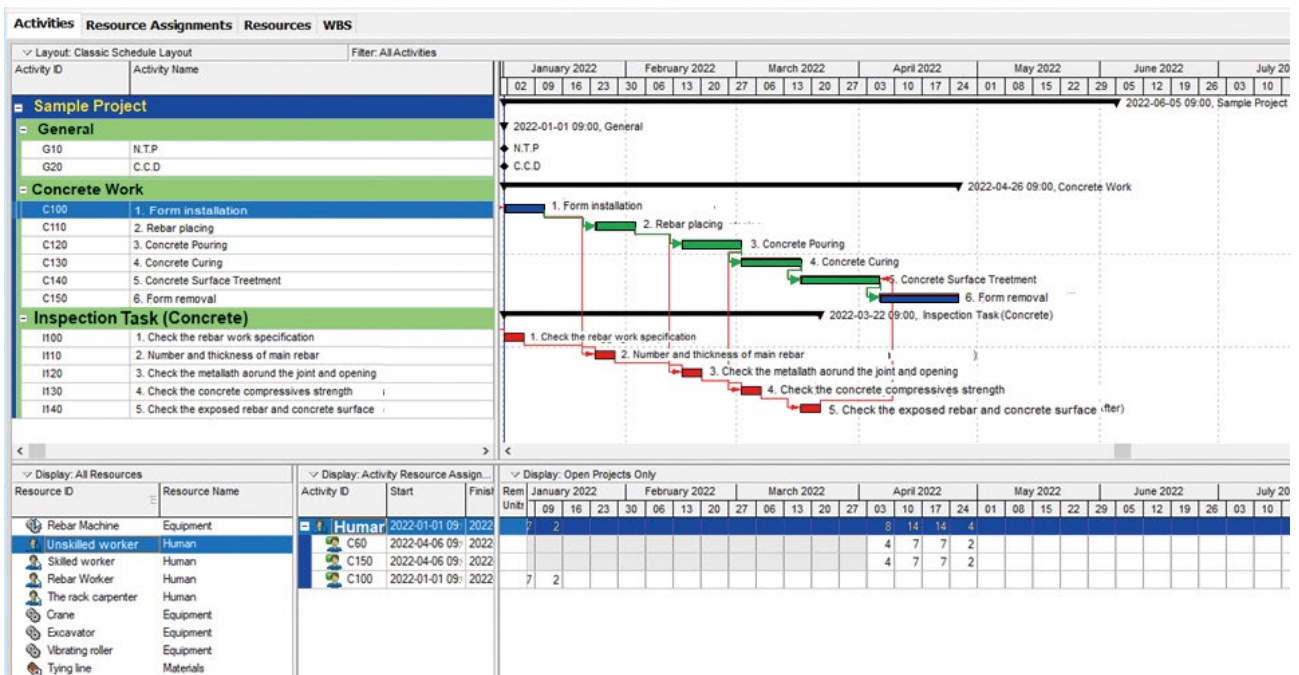


Fig. 9. Site constraints information of concrete work inspection task (Primavera P6)

Table 8. Required construction resources for concrete work

Resources	Normal fabrication (site)	Complex Fabrication (site)	Normal fabrication (assembly)	Complex Fabrication (assembly)	Normal fabrication (factory)	Complex Fabrication (factory)
Unskilled worker	0.45	0.5	0.75	0.8	0.03	0.04
Skilled worker	1.24	1.51	1.84	1.92	0.23	0.3
Rebar fabrication machine	2% of the work force	2% of the work force	2% of the work force	2% of the work force	2% of the work force	2% of the work force
Rebar tying wire (0.9mm)	6.5kg	8kg	6.5kg	8kg	-	-

정의된 철근콘크리트 공사의 세부 공정 순서에 따라 (Table 7)과 같이 검측 자동화를 위해 분류, 분석이 진행된 데이터를 정리하게 되면 철근콘크리트 세부 공정 순서에 따라 발생하는 검사 항목을 확인할 수 있다. 또한 해당 검사 항목의 검측 대상, 시기, 방법, 작업 범위에 대한 정보를 얻을 수 있게 된다. 따라서 검측 자동화 프로세스 과정을 실행하여 실제 철근콘크리트 공사 진행 시 실시해야 하는 감리 인력 및 검측 자동화 장비의 업무를 명확히 하고자 한다.

(Fig. 8)은 정의한 철근콘크리트공사의 세부 공정 계획에 따라서 검측 계획의 생성을 보여주는 예시이다. 철근 콘크리트 공사에서 검측 액티비티가 있을 시 철근 콘크리트 공사의 세부 공정 계획 일정에 맞게 검측 계획이 생성된다. 이후 해당 검측 액티비티 선택 시 수행해야 하는 철근 콘크리트 공사 세부 공정의 검측 업무에 대한 정보를 확인할 수 있다.

(Table 8)은 철근콘크리트 공사의 세부 공정 순서별 투입되는 작업자, 장비, 자재에 대한 현황 정보를 건설공사 표준 품셈을 바탕으로 도출하였다. 자율운행 경로의 제약요소로 활용 가능하며 공정 계획과 연계하여 공정 순서에 따라 세부 공종 별, 시간별로 투입 자원이 상대적으로 적은 시간대에 검측 장비를 운행하기 위한 검측 장비 운행 적합 시기 파악을 위한 기초 데이터 자료로서 활용할 수 있다. (Fig. 9)는 철근 콘크리트 공사의 세부 공정 계획과 검측 계획에 따라 검측 업무 액티비티 자동 생성을 수행할 때 표준품셈에 근거하여 현장에서 제약요소가 될 수 있는 작업자, 자재, 장비에 대한 정보를 확인할 수 있는 예시이다.

5. 결론

본 연구는 검측 업무 액티비티 자동 생성 프레임워크 개발을 위해 단계별 상주 감리 체크리스트 대장을 기반으로 공정 계획과 검측 계획을 연계하여 현장에서의 공정에 따른 검측 대상과 검측 시점을 정의하였다. 또한 검측 업무 액티비티 자동 생성을 위한 검측 방법, 작업 범위, 관련 제약요소를 각 검측 대상별로 분류할 수 있는 알고리즘을 제안하여, 현장 검측 진행 시 필요한 정보를 정확하게 파악할 수 있도록 한다. 마지막으로 개발한 검측 업무 액티비티 자동 생성

지원 알고리즘을 실제 토공사와 철근콘크리트 공사의 검측 체크리스트에 적용하고 공정관리 프로그램과 연계하여 공사 진행 시 검측 자동화를 위해 필요한 정보가 정확하게 도출되는지 검증하였다. 향후 건설 공정의 전체 프로세스에 개발한 검측 업무 액티비티 자동 생성 프레임워크를 적용하기 위해서는 사례 연구에서 한정된 토공사와, 철근 콘크리트공사 범위 이외의 다른 공정의 검측 업무에서도 전문 과정을 통해 검증된 분류 기준과 분석 기법을 통해 한계점을 개선해야 할 것이다.

건설 기업은 인구 고령화 및 기술자의 현장 이탈로 인한 인력 감소 문제를 마주하고 있다. 검측 업무 또한 인력에 의존하는 업무지만 최근 3D 스캐너, 카메라를 부착한 드론이나 로봇을 통해 검측 업무를 지원하여 인력 부족 문제를 해결하려는 다양한 연구가 시도되고 있다. 하지만 검측 업무가 체계적인 검측 계획에 따라 이루어지지 못하다 보니, 3D 스캐너, 카메라 등의 장비를 활용하여 검측 업무를 하는 것이 특정 공정, 검측 대상, 환경에서 테스트하는 것에 그치고 있다. 이에 본 연구에서 제시하는 프레임워크는 공정 계획에 따라 검측 업무의 대상과 시점을 정의하고 작업 범위, 제약요소 등의 현장 정보를 제공함으로써, 검측 업무에 대한 체계적인 관리를 가능케 할 것이다. 앞으로 핵심 검측 방법이라 할 수 있는 3D 스캐너 또는 카메라(컴퓨터 비전) 기술 활용에 대한 검증, 본 연구에서 제안한 프레임워크를 기반으로 한 가상환경 검측 시뮬레이션, 현장 테스트를 통한 검측 결과 도출 등 본 연구의 실효성을 높이기 위한 많은 단계가 남아있다. 이에 본 연구의 결과는 건설 현장이 당면하고 있는 인력 부족 문제를 해결하기 위해 갈수록 중요성이 커지고 있는 건설 현장 관리를 위한 ICT 기술 활용의 기반이 될 것이다.

감사의 글

이 논문은 2021년도 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥과제 및 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(NO. 2021R1F1A1062967)에 의하여 연구되었음.

References

- Aggarwal, J.K., and Ryoo, M.S. (2011). "Human activity analysis: A Review" *ACM Computing Surveys*, CSUR, 43(3), pp. 1-43.
- Azar, E.R., Feng, C., and Kamat, V.R. (2015). "Feasibility of In-Plane Articulation Monitoring of Excavator Arm Using Planar Marker Tracking." *Journal of Information Technology in Construction*, ITcon, 20(15), pp. 213-229.
- Bolourian, N., and Hammad, A. (2020). "LIDAR-equipped UAV path planning considering potential locations of defects ofr bridge inspection, Automation in Construction, 117, 103250.
- Choi, B.K. (2015). A Study on status of productivity according to labor trend in construction sites.
- Choi, K.A. (2021). "A Coastal Garbage Monitoring System Using Drones and AI Technologies: Focusing on the Case of Jeju Province." *Automation in Construction*, 12, pp. 127-128.
- Choi, J.D. (2021). "Effects of aged consurction worker' s safety consciousness and safety climate on unsafe behaviors." Doctor's degree, University of Koreatech.
- Fangyu L., Sisi Z., Martiin K., Xueying B., and Abdoulaye D. (2018). "Universal path planning for and indoor drone." *Automation in Construction*, 95, pp. 275-283.
- Gong, J., and Caldas, C.H. (2011). "An Object recognition tracking and contextual reasoning-based video interpretation method ofr rapid productivity analysis of construction operations." *Automation in Construction*, 20(8), pp. 1211-1226.
- Han, S.H., Sohn, H.G., Kim, J.S., and Woo, S.K. (2008). "Examination of Construction Site Using 3D Laser scanner." *The Journal of geographic information system association of Korea Spring Conference*, pp. 525-528.
- Hwang E.K. (2015). Architecture & Society, Korea Architects Institute, pp. 12-18.
- Jeon R.E., Yu, Y.S., Jung, I.S., and Lee, C.S. (2012). "Analysis of Importance on the Inspection Task in Asbestos Dismantlement & Removal Work." Architectural Institute of Korea, pp. 629-630.
- Jeong K.Y., and Kim, K.J. (2018). "A Study on Developing an Automatic Model for Quantity Estimation of Seawater Desalination Plants Off-shore Structure." Master's degree, University of Chung Ang.
- Jo B.W., Lee, Y.S., Kim, D.K., Kim, J.H., and Choi, P.H. (2016). "Image-based Proximity Warning System for Excavator of Construction Sites." *The Journal of the Korea Contents Association*, 16(10), pp. 588-597.
- Jo H.M., and Kim, C.W. (2017). "Detection of moving objects from moving camera in construction site." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, JAKI, 37(1), pp. 931-932.
- Kang, S.H., and Jeong, Y.S. (2012). "Progress Measurement Pattern and Data Acquisition Technology Selection Algorithm for Automated Progress Mangement." *Proceedings of KICEM Annual Conference*, KICEM, 12, pp. 87-89.
- Park, J.G., Sin, J.C., Hwang, J.H., Lee, K.H., Seo, H.J., and Lee, I.M. (2012). "Assessment of over/under-break of tunnel utilizing BIM and 3D laser scanner." *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, 14(4), pp. 437-451.
- Park, S.M., Kim, Y.J., Jeong, Y.G., and Lee, I.S. (2017). "Trends in Drone Technology in Construction Industry." *The Korean Steel Construction*, 8, pp. 17-24.
- Kang S.C., Kim, C.S., Jung, J.I., Kim, U.J., and Park, J.W. (2021). "A Study on the Method of Facility Management and the Effectiveness of 3D Mapping using Drone in Large Areas." *Journal of the Korean Society of Computer Education*, 4, pp. 223-226.
- Kim, J.M., and Jeong, Y.C. (2021). "A Study on the Improvement Measures of Safety Supervision System for Small and Medium-Sized Consturction Sites: Focusing on the Supervision System under the Building Act." *Korean Society of Public Sociology*, 11(2), pp. 86-109.
- Kim M.K., Cheng, J.C., Sohn, H., and Chang, C.C. (2015). "A framework for dimensional and surface." *Automation in Construction*, 49, pp. 225-238.
- Kim, S.K. (2017). "Drone Geospatial data use cases and Construction field use plans." *The Korean Society for Geospatial Information Science*, 5, pp. 3-46.
- Kim, T.H. (2021). "Construction Site Monitoring using Vision Artificial Intelligence." *Architectural Institute of Korea*, 65(12), pp. 64-67.
- Kim Y.S., and Kim, A. (2008). "A study on Comparative Analysis for Improvement of Architectural Construction Supervisory System." *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 24(11), pp. 47-56.
- KOSIS. (2022). 「Construction industry survey」, Statistical Office, <<https://kostat.go.kr>> (Jan. 19. 2022).
- Krchung., K.R., Lee, B.D., and Kim, T.H. (2019). "Engneering Construction With High-Precision Survey Equipment(3D laser scanner, 3D photo scanner, drone)" *Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference*, 19(1), pp. 133-134.
- Kwon, S.W. (2009). "Object Recognition and Modelling Technology Using Laser Scanning and BIM for Construction Industry." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, JAIK, 53(4), pp. 31-38.
- Lee, D.W., and Yoon, H.S. (2016). "Improvement of

- Construction Management Process for the Site Manager in Small Scale Building Construction Project.” *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 18(1), pp. 81-87.
- Lee, H.S. (1996). “A Method of Estimating the Construction Duration based on Rdpetitive Work Modules for Reinforced Concrete Buildings.” *Architectural Institute of Korea*, 12(5), pp. 257-266.
- Lee, J.Y. (2005). “Direction of Systematic Reform action in Architectural Design, Management and Examination – Focusing on Small-scale Bulidings.” *Korean Architects*, 5, pp. 64-71.
- Lee, S.J., and Kwon, S.W. (2021). “AI-based work support technology of member crack detection for precision construction of OSC(off site construction)” Masters degree’, University of Sung Kyun Kwan.
- Luo, H., Xiong, C., Fang, W., Love, P.E.D., Zhang, B., and Quyang, X. (2018). “Convolutional neural networks: Computer vision-based workforce activity assessment in construction.” *Automation in Construction*, 94, pp. 282-289.
- Luo, X., Li, H., Wu, Z., Dai, F., and Cao, D. (2018). “Recognizing Diverse Construction Activities in Site Images via Relevance Networks.” *J, Comput, Civ, Eng.*, 32(3), 04018012.
- Park J.H., Kim, H., and Choo, S.Y. (2020). “A Development on Deep Learning-based Detecting Technology of Rebar Placement ofr Improving Building Supervision Efficiency.” *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 36(5), pp. 93-103.
- Song S.M., Joo, H.J., and Choi, B.S. (2020). “Construction site drone technology use case.” *Korean Geosynthetics Society*, 1, pp. 21-31.
- Yoon J.S., Yoo, B.E., and Han, C.P. (2006). “Measures to Implement Comprehensive Supervision for the Purpose of Bolstering Construction Management(CM)” *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 6(4), pp. 99-102.
- Turkan, Y., Bosche, F., and Haas, R. (2012). “Automated progress tracking using 4D schedule and 3D sensing technologies.” *Automation in Construction*, 22, pp. 414-421.

요약 : 건설 품질관리는 건설 프로젝트의 성공적 수행을 위한 필수요소이다. 최근 ICT 기술 적용이 활성화 됨에 따라 현장 검측 업무에 첨단 기술 및 장비를 활용하기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있다. 그러나 개별적 검측업무에 대한 첨단기술 적용에 앞서 전체 검측업무를 선제적으로 계획하는 것이 매우 중요하다. 본 연구의 목적은 건설 검측업무에 첨단 기술 및 장비를 활용하기에 앞서 검측 대상과 관련 정보를 명확히 도출하기 위한 데이터베이스와 그 데이터 베이스를 활용하기 위한 알고리즘을 개발하는 것이다. 또한 건축 시공계획에 따라 검측업무에 해당하는 액티비티를 자동 생성하기 위한 프레임워크를 제안하였다. 그 방법으로 국토교통부에서 고시한 책임 상주 감리 체크리스트의 검사 항목을 바탕으로 검측 대상, 검측 시기, 검측 방법, 검측 범위, 검측 제약요소를 분석하고 분류하였다. 본 프레임워크는 철근 콘크리트 공사 사례에 적용되었다. 개발된 건설 검측 업무 액티비티 자동 생성 프레임워크는 건축 시공을 위해 사용하는 공정관리 프로그램, 검측업무 및 검측기술을 연계하는데 적용할 수 있다. 향후 다양한 건설 프로젝트의 검측 업무 시, 액티비티 자동 생성 및 자동화를 위한 기초로 활용될 것으로 판단된다.

키워드 : 품질관리, 건설 검측, 검측 액티비티 생성, 검측 데이터베이스
