

# 토공 BIM 설계 효율화를 위한 포인트 클라우드 데이터 처리 프로그램 개선에 관한 연구

김희연<sup>1</sup> · 김정환<sup>2</sup> · 서종원<sup>3</sup> · 심호<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 건설환경공학과 박사과정 · <sup>2</sup>한국교통대학교 사회기반공학전공 조교수 · <sup>3</sup>한양대학교 건설환경공학과 교수 ·  
<sup>4</sup>전 한양대학교 건설환경공학과 초빙교수

## The Improvement of Point Cloud Data Processing Program For Efficient Earthwork BIM Design

Kim, Heeyeon<sup>1</sup>, Kim, Jeonghwan<sup>2</sup>, Seo, Jongwon<sup>3</sup>, Shim, Ho<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Ph.D Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation

<sup>3</sup>Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

<sup>4</sup>Former Invited Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

**Abstract :** Earthwork automation has emerged as a promising technology in the construction industry, and the application of earthwork automation technology is starting from the acquisition and processing of point cloud data of the site. Point cloud data has more than a million data due to vast extent of the construction site, and the processing time of the original point cloud data is critical because it takes tens or hundreds of hours to generate a Digital Terrain Model (DTM), and enhancement of the processing time can largely impact on the efficiency of the modeling. Currently, a benchmark program (BP) is actively used for the purpose of both point cloud data processing and BIM design as an integrated program in Korea, however, there are some aspects to be modified and refined. This study modified the BP, and developed an updated program by adopting a compile-based development environment, newly designed UI/UX, and OpenGL while maintaining existing PCD processing functions, and expanded compatibility of the PCD file formats. We conducted a comparative test in terms of loading speed with different number of point cloud data, and the results showed that 92 to 99% performance increase was found in the developed program. This program can be used as a foundation for the development of a program that reduces the gap between design and construction by integrating PCD and earthwork BIM functions in the future.

**Keywords :** Earthwork, BIM, Point Cloud Data(PCD), Loading Time, Construction Productivity

## 1. 서론

국토교통부는 2018년 발표한 R&D 로드맵에서 2025년까지 스마트 건설기술 활용기반을 구축하고 2030년까지 건설 자동화 기술을 완성하겠다는 목표를 세웠다(Ministry of Land, Infrastructure and transport, 2018). 이에 따라 국토교통과학기술진흥원 KAIA (Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement)는 2020부터

2025년까지 스마트 건설기술 개발 사업을 진행하고 있으며, 사업은 크게 4개의 중점 분야, 즉 건설장비 자동화 및 관계 기술 분야, 도로구조물 스마트 건설기술 분야, 스마트 안전 통합 관계기술 분야, 스마트 건설 디지털 플랫폼 및 테스트 베드 분야로 구분된다.

스마트 건설기술 개발사업의 핵심기술 중 하나는 토공(土工) 자동화다. 토공은 거의 모든 건설 프로젝트에 포함 되어 있고, 공사기간 및 비용 측면에서 큰 비중을 차지하고 있어 타 공종에 비해 스마트 건설기술의 적용 효과가 큰 공종이다(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 2018). 특히 건설장비 자동화기술의 기본이 되는 토공 최종 시공기면(pad) 설계는 자동화 기술과 매우 밀접하게 연관되는 기술이다.

2020년 현재 토공 자동화를 위한 기술은 지속적으로 개발

\* **Corresponding author:** Shim, Ho, Ph.D., Former Invited Professor of the Department of Civil and Environmental Engineering of Hanyang University, AcroRiverpark 100-904, Sinbanporo 15gil 19, Serchogu, Seoul, Korea.

**E-mail:** shim3001@hanmail.net

**Received** June 26, 2020; **revised** August 25, 2020

**accepted** August 25, 2020

중에 있으며, 가장 핵심적인 기술로는 신속 토공 3차원 모델링 기술이 있다. 신속 토공 3차원 모델링은 신속 측량 데이터 취득 및 처리와 토공 3차원 모델링으로 절차상 구분되어 있다. 그 중에서 신속 측량 데이터 취득 및 처리는 사전 측량 단계에서 기존의 점 측량 방식에서 벗어나, 드론(drone)이나 로보틱 토탈 스테이션 RTS (Robotic Total Station)를 이용한 신속 광대역 측량기술이 대중화되고 있다. 전통적인 현장측량 방법을 채택하면 대략 인부 2~3명이 1개월 간 수행할 건설현장 측량작업을 드론을 활용하여 측량할 경우 기체의 사양과 측량 시의 환경 및 규모에 따라 다르기는 하지만 한 사람이 평균 반나절 정도 작업하여 공사현장 영상획득 및 3차원 데이터를 취득할 수 있기 때문에 비용과 시간의 절감효과가 있다(The Korea Transport Institute, 2017). 드론이나 RTS를 이용한 측량 기술은 특히 한국토지주택공사, 한국도로공사, 한국수자원공사 등 규모가 큰 프로젝트를 수행하는 공공기관이나 주거·택지·산업단지를 개발하고 유지 및 관리하는 중앙정부, 지방자치단체, 민간기업 등이 토공사를 할 때 유용하게 적용할 수 있으며, 신속 정확한 측량의 결과로 산출되는 토공물량은 공사 기성검사 및 공사비 정산자료로 활용할 수 있고 토공 BIM (Building Information Modeling) 설계의 기초 자료로 쓸 수 있다.

한편, 드론 사진촬영을 이용한 사진측량(photogrammetry)으로 취득된 포인트 클라우드 데이터 PCD (Point Cloud Data)는 원데이터(raw data)의 처리속도가 매우 중요하다. 예를 들어 드론으로 195장의 항공사진을 촬영했다면 사진 자료를 매핑 프로그램 Pix4D Mapper pro를 이용하여 정사영상으로 생성하고 총 1,860만 개의 PCD를 추출하는 과정에서 걸리는 시간은 컴퓨터의 사양이나 매핑 프로그램의 종류에 따라 차이가 있지만, 약 60분 정도 시간이 소요된다(Park, 2017). 토공 BIM 설계에서 PCD를 적용하면 설계변경과 같은 돌발 상황에서 설계에서 시공으로 이어지는 시간이 줄어들어 공사효율을 크게 증가시킬 수 있다. 현재 PCD 처리 및 BIM 설계가 적용되는 소프트웨어는 해외 Autodesk 사의 Civil 3D와 국내 e-BIM 모델러가 있다. 그런데 Civil 3D는 토공설계의 핵심인 토공 최종 시공기면(pad) 설계를 전문으로 하는 프로그램이 아니며, 외국에서 제작되고 프로그램에 해외 건설기준이 적용되어 있어 이를 국내 현장에 적용하기 위해서는 사용자가 새롭게 설계조건을 입력해야 하는 불편함이 있다. 그래서 국내 건설공사에 쉽게 적용할 수 있도록 국내 설계기준을 프로그램 내부에 탑재한 e-BIM 모델러가 국내 제주도 아파트 단지 공사 및 부산의 단지 공사 토공 BIM 설계 시 PCD를 이용한 원지형 설계와 pad 설계를 이용한 토공물량산출 등에 활용되었다(Fig. 1).

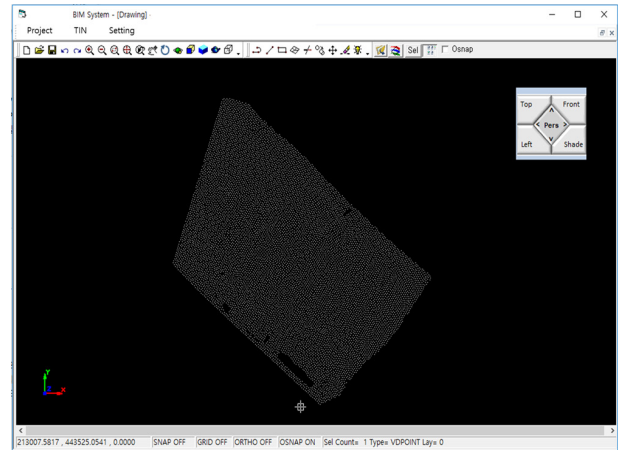


Fig. 1. e-BIM Modeler Program

e-BIM 모델러는 PCD 처리뿐만 아니라 pad 설계, 특히 경사면 설계에 필요한 자동 소단 설정, 타겟 모델링과 같은 핵심적인 기능들을 지원하고 있다. 그러나 e-BIM 모델러는 다른 프로그램과 비교하였을 때 다소 개선이 필요한 부분이 있는데, e-BIM 모델러 프로그램은 인터프리터(interpreter) 기반으로 설계된 프로그램으로 PCD 처리과정에서 데이터를 처리하고 로드하는 속도가 기존의 PCD 로드 및 처리 프로그램에 비해 다소 느린 것으로 알려져 있다. 이것은 e-BIM 모델러가 PCD를 이용한 원지형 생성과 토공 설계 기능을 함께 갖고 있기 때문에 발생한 문제로, 3차원 설계와 시공이 상호 연계되어 있는 머신 가이던스 기술과 같이, 설계변경에 따른 시공의 지연을 최소화하기 위해서는 설계의 기반이 되는 PCD 데이터의 처리효율을 극대화하여 스마트 건설에서 목표로 하는 공사 작업효율을 제고할 필요가 있다. 또한 향후 PCD와 BIM 설계 통합형 소프트웨어, 특히 원데이터의 비지형 모델(non-ground model) 제거 및 밀도 감소(down-sampling)와 같은 데이터 가공에 대한 기능을 포함하는 소프트웨어 개발 시 PCD 로딩속도 개선 및 신속한 렌더링은 빠른 데이터 가공과 이후 처리를 위해 프로그램 전체 성능에 영향을 미치는 중요한 요소이다.

이에 본 연구에서는 스마트 토공 BIM 설계 및 시공의 핵심 사전작업인 PCD 로드 속도와 렌더링 속도의 향상을 위해 기존 프로그램을 개선하고, 성능을 비교함으로써 개선된 프로그램의 처리 효율의 증가 정도를 분석하였다. 또한 데이터의 렌더링 기능향상과 사용자의 편의성을 위한 UI/UX (User Interface/User Experience) 구조의 개선을 진행하였다. 이를 위하여 일반적으로 널리 사용되고 있는 OpenGL 라이브러리와 컴파일 및 최신 렌더링 기법들을 소프트웨어에 탑재하고, 다양한 크기의 PCD 파일을 이용해 처리속도를 상호 비교하는 방법으로 개발된 프로그램의 런타임(run-time)을 분석하였다.

## 2. 선행 연구 분석

### 2.1 PCD 처리 및 토공 설계기술 현황

앞서 기술한 것과 같이, 토공 설계의 시작은 지형과 지반 정보의 취득에서부터 시작된다. 드론, RTS 등의 기술이 있기 전에는 수치지도나 항공측량 지도 등의 지형정보를 토공 설계에 활용하였으나, 실측정보보다 위치, 고도에서 발생하는 오차가 많고 이로 인한 시공오류가 자주 발생했다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 최근에는 측량 신기술을 적용한 토공설계가 매우 활발하게 진행되고 있다. Siebert and Teizer (2014)는 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)를 활용하여 토공 3차원 모델링의 활용성을 제안하고, 3개의 실제 토공현장 내 가적지장의 물량정보 취득과정에서 RTS의 측량결과를 기준으로 UAV 기반 측량결과의 오차정도를 분석한 연구를 시작함으로써 토공사에서 3차원 드론 측량기술의 적용성을 입증했다. Hugenholtz (2015)는 UAV를 활용하여 측량 이미지에서 만들어지는 디지털지형모델 DTM (Digital Terrain Model)의 정확도를 테스트하는 연구를 시행함으로써 UAV 기반의 원지형 부피측량이 기존의 측량법과 비교하였을 때 유사한 측정값을 산출할 수 있다는 것을 증명했다. 이후 Kwon (2017)은 UAV와 레이저 스캐닝을 이용한 하이브리드 스캐닝 방법을 제시하였고, 두 측량의 겹치는 범위를 고려하여 중첩되어 측량된 데이터를 처리하는 머징 (merging) 알고리즘을 이용한 정확도 검증방법을 제안하였다. 이러한 드론 측량기술의 공통점은 드론 사진촬영을 기반으로 사진측량을 이용해 PCD를 생성하고, 그 데이터를 노이즈 제거, 다운샘플링 등의 정제 과정을 거쳐 최종적으로 토공 BIM 설계에 사용할 수 있는 원시 데이터를 얻는 것이다. 결론적으로, 토공 BIM 설계의 가장 근간이 되는 데이터는 PCD이며 이것을 빠르게 가공하고 처리하는 것이 설계효율을 높일 수 있는 중요한 요소가 된다.

이러한 관점에서, 토공사에 사용되는 다양한 PCD 처리 프로그램들을 살펴볼 필요가 있다. PCD는 사진측량을 통해 취득한 원데이터를 가공하고 비지형 모델을 제거하여 정제된 데이터를 생성하는 과정을 거쳐서, Civil 3D에서 점 데이터 기반으로 TIN (Triangular Irregular Network) 지형의 pad를 생성하는데 사용할 수 있다. 이러한 과정에 필요한 PCD 전문 처리 소프트웨어가 몇 개 있는데, Pix4D (Pix4D, 2020)는 드론으로 측량한 사진 데이터를 정합하고 처리하여 PCD를 생성하며, CloudCompare (EDF R&D, 2020)는 대용량 PCD를 로드하여 지형 이외의 객체를 제거하거나 PCD의 밀도를 사용자의 목적에 맞게 줄여주는 식으로 원데이터를 토공사에 사용하기 적합한 형태로 가공하는 기능을 갖고 있다. 이러한 프로그램 외에 PCD 처리가 가능한 프로그램으로

는 레이저 스캐닝으로 취득한 PCD를 처리할 수 있는 라이카지오시스템즈사의 Cyclone (Leica, 2020), Bentley사의 Descartes (Bentley, 2020) 등이 있다. 그러나 이러한 프로그램들은 PCD만을 전문적으로 처리하는 프로그램으로서 토공 BIM 설계기능을 갖고 있지 않다는 점에서 토공 자동화 설계 프로그램으로는 한계가 있다.

토공 BIM 설계는 시공기면, 이른바 pad 설계가 반드시 필요하다. 토공사의 굴착과정은 예정된 높이의 시공기면으로 흙을 쌓거나 깎아 나가는 여러 중간과정을 거쳐 평평한 목표 설계고까지 지속적으로 굴착을 하는 것이며, pad 설계는 흙의 형태를 정의하는 것이기 때문에 콘크리트나 철근과 같이 자립할 수 있는 객체가 아니라는 점에서 사면이나 소단과 같은 경사가 반드시 필요하다(Kim, 2018). 이 경사에 대한 설계기능을 가지고 있으면서 국내 건설현장에 적용 가능한 프로그램은 현재 e-BIM 모델러 밖에 없다(Kim, 2019). e-BIM 모델러는 지면 설계 시 소단 설계의 자동화, pad 설계, PCD 처리 통합 등의 기능을 가지고 있어 토공 BIM 설계에 많이 쓰인다(Tanoli et al., 2017). 특히 국내 사면설계 기준을 프로그램 내부에 탑재하고 있어 국내 실정에 맞는 기준을 적용할 수 있기 때문에 외국 토목설계 프로그램보다 국내 토공사에 적합한 설계를 할 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서는 e-BIM 모델러를 벤치마크 프로그램 BP(Benchmark Program)로 설정하고 프로그램의 개선사항을 도출하여 성능 및 사용성을 향상시키기 위한 연구를 수행하였다.

### 2.2 벤치마크 프로그램 BP의 한계

BP는 앞서 살펴본 바와 같이 pad 설계와 PCD 처리가 통합되어있다는 것과 국내 실정에 적합한 설계기준을 적용하였다는 장점이 있으나, PCD를 다루는데 있어 몇 가지 개선해야 할 점이 있다.

첫째, 데이터 로딩 속도가 다소 느리다는 점이다. BP는 인터프리터 방식의 VB (Visual Basic) 언어로 설계되어 있어 데이터 로드와 불리하다. 예를 들어, BP를 이용하여 PCD를 로딩하고 TIN 지형까지 생성하였을 때(컴퓨터 성능 i5-5500 RAM 8G 기준), 10,334개의 점을 로딩하고 지형을 생성하는데 까지 평균 1분 56초가 걸린다. 이 시간은 데이터의 용량이 커짐에 따라 더 길어지게 되고, 아주 큰 용량의 데이터를 로드할 때는 처리 속도의 증가로 인해 다른 프로그램보다 효율성이 떨어진다.

둘째, 렌더링 속도가 상대적으로 느리다는 점이다. BP는 시점회전이동(orbit) 기능이 있으나, 32 bit 전산환경에서 개발되었기 때문에 포인트 개수가 어느 범위를 초과하면 렌더링 기능이 정상적으로 작동하지 않아 사용자가 불편을 느낀

다. PCD를 이용하여 생성한 원지형의 형태를 확인하기 위해서는 시점회전이동 기능을 사용하여 지형의 형태와 모양을 3차원으로 확인하는 것이 필수적인데, BP는 큰 용량의 PCD를 렌더링 하였을 때 그 처리속도가 사용자가 원하는 속도를 따라가지 못하는 상황이 자주 발생한다.

셋째, 다양한 PCD 파일 로드에 불리한 포맷(format) 구조를 가지고 있다는 점이다. BP에 PCD 정보를 입력하기 위해서는 BP에 적합한 형태로 파일의 포맷을 바꾸어야 한다. 반면, 대부분의 다른 프로그램에서는 이러한 과정이 바이너리(binary) 파일 또는 아스키(ASCII) 파일을 간단히 로드할 수 있게 설계되어있다. 이러한 면에서 BP는 PCD를 입력하는 방법이 제한적이라 할 수 있으므로 사용자 친화적인 방식으로 로드방법을 개선할 필요가 있다.

넷째, BP는 사용자 인터페이스 UI 및 사용자 경험 UX를 개선할 필요가 있다. BP의 UI는 <Fig. 2>에서 나타나는 바와 같이 버튼의 배열, 인터페이스가 다소 불편하여 사용자가 프로그램을 자유자재로 다루기까지 걸리는 학습시간(learning curve)이 오래 걸린다. 따라서 현행 문자 및 드롭다운(drop-down) 방식의 UI에서 리본(ribbon) UI 메뉴와 같은 방식으로 바뀌어서 사용자 편의성을 높일 필요가 있다.

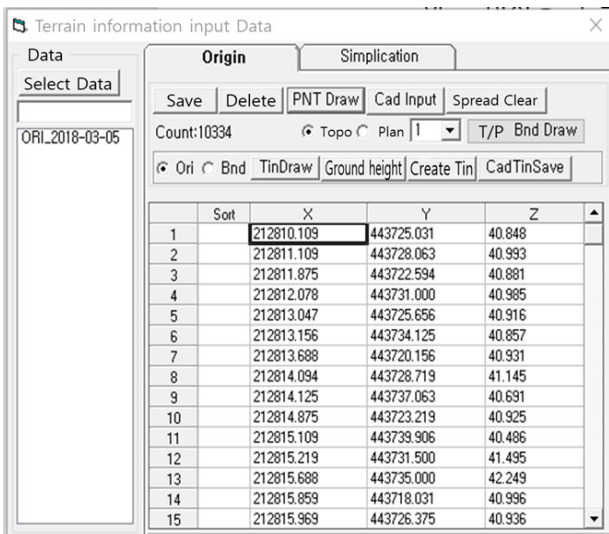


Fig. 2. Lack of UI/UX design in e-BIM modeler (Point cloud data input window)

본 연구에서는 기존 BP의 VB (Visual Basic)언어 개발환경을 컴파일러언어 중 하나인 C언어 개발환경으로 바꾸고, 프로그램의 구동 속도를 높이기 위해 응용프로그램인터페이스 API (Application Programming Interface)를 OpenGL로 보강하였으며, 사용자 편의성을 높인 PCD 파일 입력방식 및 UI, UX 설계를 적용하여 프로그램을 개발하였다.

### 3. 벤치마크 프로그램 BP 개선

#### 3.1 PCD 로딩속도 개선

BP는 VB언어 환경에서 만들어진 프로그램으로서 데이터를 로드할 때마다 소스코드를 한 줄씩 기계어로 번역하는 인터프리터 방식이다. 프로그램 수정이 간단하고 OS (Operating System) 및 플랫폼에 종속되지 않고 구동이 가능하다는 장점이 있지만 데이터를 실행할 때마다 소스코드를 한 줄씩 번역하는 작업을 반복하기 때문에 컴파일언어에 비해 속도가 느리다는 단점이 있다.

본 연구에서 개발한 프로그램 DP (Developed Program)에서는 컴파일언어를 사용함으로써 BP의 인터프리터 방식의 단점을 개선하였다. 컴파일언어 방식은 소스코드를 한꺼번에 기계어로 변환한 후에 변환된 언어를 Java Virtual Machine과 같은 가상 머신에 넣고 실행하는 방식이다. 이 방식은 데이터 빌드(data build) 과정에서는 소스 코드를 한 줄씩 기계어로 번역하는 인터프리터 방식에 비해 시간이 더 소요될 수 있지만, 빌드된 데이터를 로드할 때는 모든 소스코드가 이미 기계어로 번역되어있기 때문에 변환된 데이터를 불러오는 과정에서 인터프리터 방식보다 빠른 실행이 가능하다. 이러한 컴파일언어에는 C와 C++이 있으며 DP는 C언어를 사용하여 개발하였다.

프로그램 언어를 사용하여 명령을 내릴 때 발생하는 간접적인 처리시간 및 메모리를 오버헤드(overhead)라고 하는데, 오버헤드는 C언어와 같은 로우레벨(low-level)의 함수에서는 거의 발생하지 않고, VB언어와 같은 하이레벨(high-level)의 함수에서 많이 발생한다. 그래서 VB언어를 이용한 프로그램에서 PCD를 로드 하였을 때는 데이터를 처리하는데 드는 간접적인 처리시간 및 메모리가 많이 발생하게 되며, 데이터양이 클수록 간접적인 처리시간과 메모리는 더 많이 발생한다. 대량의 PCD를 로드할 때 로딩시간을 줄이기 위해서는 오버헤드의 감소가 필요한데, C언어의 경우 오버헤드가 거의 발생하지 않아 C언어를 사용하여 데이터를 로드하게 되면 간접적인 처리 시간 및 메모리가 줄어들게 된다. 그래서 동일한 PCD를 로드할 때, 데이터의 처리 시간이 VB로 개발한 프로그램보다 크게 줄어들게 된다. 따라서 프로그램을 개발하기 위한 적정 환경으로 C언어를 이용하여 데이터를 로드하는 것을 선택하면, VB언어를 이용하여 데이터를 로드할 때보다 간접적으로 발생하는 메모리와 처리시간을 줄일 수 있다.

#### 3.2 렌더링 속도 개선

프로그램의 개발에 사용되는 다양한 도구가 있는데, 그 중에서도 OpenGL (Open Graphics Library)은 약 250여

개 가량의 함수를 호출하여 단순한 기하도형에서부터 복잡한 삼차원 장면을 그래픽으로 표현할 수 있는 2차원 및 3차원 그래픽 라이브러리이자 산업용 API (Application Programming Interface)이며, 오버헤드가 적게 발생하는 로우레벨의 명령어이다. OpenGL은 하드웨어를 가속시켜 컴퓨터그래픽을 빠르게 렌더링 할 수 있으며, 오버헤드가 적게 발생하여 처리 속도가 빠르다는 장점을 갖고 있기 때문에, CAD, 가상현실, 정보시각화 등의 분야에서 활용되고 있다. 기존 토공 프로그램에서 대량의 PCD를 처리할 때 그래픽 상의 오류가 발생하는 경우가 많다. 그로 인한 토공 설계 작업의 어려움과 작업의 지연으로 인한 낮은 생산성의 문제 때문에, 본 연구에서는 그래픽 처리에 강점을 가지는 OpenGL을 이용하여 DP를 개발하였다.

OpenGL은 직접모드(immediate mode), 보류모드(retained mode) 등 두 가지의 실행모드가 있는데, glEnd, glVertex, glBegin 등 OpenGL의 직접모드는 보류모드에 비해 렌더링 속도가 느리다. 예를 들어 직접모드인 glEnd에서는 데이터 로딩이 다 끝나야 데이터를 컴퓨터 그래픽 처리 장치 GPU (Graphics Processing Unit)에 전달할 수 있도록 설계되어 있기 때문에 시간적 비용이 보류모드에 비해 상대적으로 많이 발생한다(Reina, 2014). 반면, 보류모드의 경우는 정의된 물체의 정보를 그대로 유지하고 재사용하는데 즉, 화면에 한번 렌더링 하였던 물체를 다시 렌더링 할 때 코드를 새롭게 실행하지 않고 이미 해석된 코드를 컴파일 된 형태로 재사용함으로써 직접모드의 경우에서보다 빠른 속도로 렌더링 할 수 있다. OpenGL의 보류모드는 디스플레이리스트 코드를 사용하는데 디스플레이리스트 코드는 그래픽 처리속도와 직결되어 있으며 빠른 속도의 처리를 위해 필수적으로 사용되는 코드이다. 디스플레이리스트 코드는 보통 컴퓨터의 성능에 따라 1초에 20번 정도 실행되고, 한번 실행될 때마다 새롭게 처리된 PCD의 렌더링 정보가 화면에 나타난다. 디스플레이리스트 코드를 쓰지 않았을 때 1초에 10프레임의 렌더링 성능을 보인다면, 이를 사용하였을 때는 1초에 30프레임의 렌더링 성능향상을 보여준다(J. Neider & T. Davis, 1997). 따라서 본 연구에서는 OpenGL 보류모드를 이용하여 DP를 개발하였다.

BP 사용자는 프로그램 안에서 PCD를 이용하여 원지형을 만든 후에 그 형태를 확인하기 위해 시점회전이동(orbit) 기능을 사용하는데, 화면상에서 원지형을 회전할 때 변화된 형태를 화면에 렌더링하기 위해서는 입력된 데이터의 재연산 과정이 필요하다. 이러한 과정에서 프로그램의 데이터 처리속도가 느리면 사용자가 기대하는 만큼 빠르게 렌더링 되지 않게 되고 화면에 데이터가 나타나지 않는다. 그러나 OpenGL을 이용하여 개발한 DP의 경우, 사용자가 시점회

전이동 기능을 실행하였을 때 디스플레이리스트 코드가 입력된 데이터에 대한 연산을 유지하고 그것을 이용해 빠르게 데이터를 렌더링 함으로써 데이터 렌더링 속도가 개선된다.

또한 OpenGL을 사용하였을 때 렌더링 속도에서 얻을 수 있는 이점은 하드웨어 가속인데, 사용자가 화면의 물체를 시점회전이동 할 때마다 프로그램에서는 데이터의 연산이 새롭게 진행되고, 그때 컴퓨터 중앙처리장치 CPU (Central Processing Unit) 사용량이 올라가게 된다. 처리해야 할 데이터의 양이 많으면 많을수록 CPU 메모리 비중이 올라가 부하가 크게 걸리고 그에 따른 렌더링 시간이 길어진다. OpenGL은 그런 상황에서 하드웨어 가속을 사용하여 GPU와 CPU가 연산작업을 함께 수행하게 하여, CPU의 부하를 줄이고 연산속도가 빨라져 화면상에서 PCD의 렌더링이 빠르게 나타나도록 한다.

### 3.3 파일 입력방식 개선

BP에 PCD를 입력할 때는 텍스트 형식의 PCD를 복사한 후 프로그램 내부에 존재하는 스프레드시트(Spreadsheet)에 붙여넣기 하였다. 그런데 데이터를 수동으로 셀에 입력하기 때문에 스프레드시트 형태로 변환 가능한 파일 포맷만 프로그램에 입력할 수 있으며, 입력 가능한 데이터의 개수도 스프레드시트의 행의 최대 개수 1,048,576개로 제한된다. 몇 백만 개, 혹은 몇 천만 개 이상의 PCD도 흔히 발생할 수 있는 토공 작업에서 이러한 파일 형식의 한계는 데이터 손실과 사용자 불편을 야기한다.

이러한 문제점을 개선하기 위해 DP에서는 PCD를 파일 그대로 입력할 수 있는 기능을 추가하였고, 이로 인해 입력이 간편해져서 데이터 손실요인이 사라지고 사용자 편의가 높아지게 되었다. 또한 새로운 기능으로 데이터를 로드 하였을 때, 점 파일에서 RGB (Red-Green-Blue) 색상 코드 정보

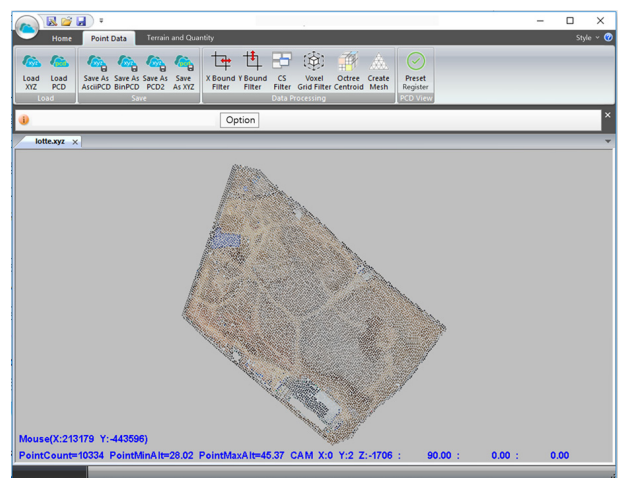


Fig. 3. Loading PCD using DP

의 손상 없이 로드할 수 있는 장점을 가진다. 건설현장에서 PCD를 취득할 때, 지형의 형태뿐 아니라 건설장비, 나무 등 지형이 아닌 객체까지 점 데이터로 취득하게 되는데, 사용자가 원데이터를 가공할 때 RGB 정보가 있으면 비지형 객체와 지형 데이터를 육안으로 쉽게 구분하여 비지형 객체를 선택, 제거할 수 있다. 따라서 데이터 입력방식을 바꿈으로써 사용자가 DP에서 더 효율적으로 PCD를 가공하고 사용할 수 있게 되었다(Fig. 3).

### 3.4 UI/UX 개선

BP의 경우, 문자 및 드롭다운 방식의 UI를 사용하였는데, 사용자가 프로그램을 사용할 때 필요한 기능이 직관적으로 보이지 않는다는 불편함을 가지고 있었다. 이를 개선하기 위해서 DP에서는 문자 및 드롭다운 방식 대신에 리본 메뉴 UI를 사용하였다. 리본 메뉴 UI를 사용함으로써 기존 문자 및 드롭다운 방식과 다르게 기능을 하나의 아이콘으로 표현하여 직관적으로 나타낼 수 있게 되었는데, 그로 인해 사용자의 직관적인 사용성을 증가시켰다. 또한 PCD 입력에 대한 절차도 줄어들게 되었는데 기존 BP에서 사용자는 PCD를 입력하기 위해 ① PCD의 정보를 스프레드시트로 변환 및 복사, ② BP의 메뉴에서 Input Point 탭 선택, ③ 드롭다운 메뉴에서 지형 데이터 입력 탭 선택, ④ 팝업창 형태의 스프레드시트에 복사한 PCD 정보 붙여넣기 하여 PCD 데이터를 화면상으로 불러오기 등 네 단계를 거치게 된다. 그러나 DP에서는 리본메뉴 방식을 채택하여, PCD 정보 입력 방식을 리본 메뉴 상에 하나의 버튼을 클릭하는 방식으로 변경하였다. UI/UX의 변화로 사용자가 PCD를 입력하기 위한 절차가 두 단계로 단축되게 되었는데, ① PCD의 형식에 따라 Load XYZ/Load PCD 아이콘 클릭, ② 데이터 선택 창에서 로드할 데이터를 선택함으로써 PCD 데이터 로드 단계가 그것이다. UI/UX 개선을 통해 데이터 입력절차가 줄어들어 데이터 입력속도가 빨라지게 되었고, PCD를 입력하는 기능을 리본메뉴에 아이콘으로 배치하여 사용자의 학습시간을 줄이고 사용자가 직관적으로 프로그램을 사용할 수 있도록 하였다(Fig. 4).

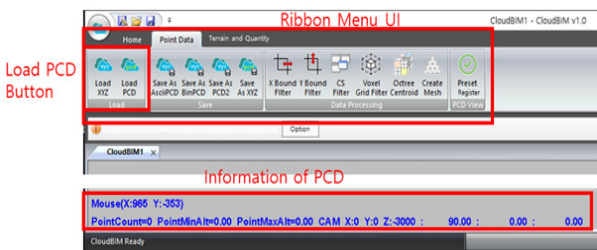


Fig. 4. Improved UI / UX for user convenience

## 4. 개발한 DP의 성능검증 결과 및 토론

본 연구에서 개발한 프로그램은 수십 개에서 수백만 개에 달하는 건설현장 PCD를 신속하게 처리할 수 있도록 설계되었다. 본 연구에서 개발된 프로그램 DP의 성능을 검증하기 위하여 PCD 로드속도를 기존 프로그램 BP의 로드속도와 비교하였다. 성능 비교를 위해 본 연구에서는 10,334개에서부터 775,920개까지 크기가 다른 PCD를 총 9개 집단 준비하였으며, 데이터의 형태는 ASCII(.txt)로, 속성은 XYZ+RGB로 통일하였다(Table 1).

Table 1. Property of point cloud data

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Number of points	10,334	41,554	65,774	71,966	105,352	269,946	439,439	589,204	775,920
File format	.xyz	.xyz	.xyz	.xyz	.xyz	.xyz	.xyz	.xyz	.xyz
Property	XYZ + RGB	XYZ + RGB	XYZ + RGB	XYZ + RGB	XYZ + RGB	XYZ + RGB	XYZ + RGB	XYZ + RGB	XYZ + RGB

두 프로그램은 동일한 PC(i-5500, RAM 8GB)에 설치하였으며, 로딩 속도는 CPU 온도 변화 등을 고려하여 3회 반복하여 측정하였다. 측정결과, PCD 10,334개의 점을 로드할 때 BP는 평균 1.56(SD=9.292×10<sup>-5</sup>)초의 로딩시간이 필요했던 반면 DP는 평균 0.12(SD=1.819×10<sup>-5</sup>)초의 로딩시간이 필요했다. PCD 41,554개의 점을 로드할 때, BP는 평균 4.75(SD=4.441×10<sup>-4</sup>)초의 로딩시간이 걸렸고, DP는 평균 0.13(SD=2.346×10<sup>-5</sup>)초의 로딩시간이 걸렸다. PCD 65,774개의 점을 로드할 때 BP는 평균 7.03(SD=7.006×10<sup>-4</sup>)초의 로딩시간이 필요했고, DP는 평균 0.14(SD=1.55×10<sup>-5</sup>)초가 소요되었다(Table 2). 10,334개부터 775,920개까지의 PCD를 입력하였을 때, 로딩에 소요되는 시간을 그래프로 나타낸 것은 (Fig. 5)와 같다.

Table 2. Comparison of data loading time

Mean (SD)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BP (sec)	1.5567	4.7467	7.0333	7.1433	10.763	27.713	43.25	55.347	265.23
DP (sec)	0.12	0.1303	0.1403	0.1667	0.2183	0.474	0.703	0.8957	1.224
% of difference	92.3%	97.3%	98.0%	97.7%	98.0%	98.3%	98.4%	98.4%	99.5%

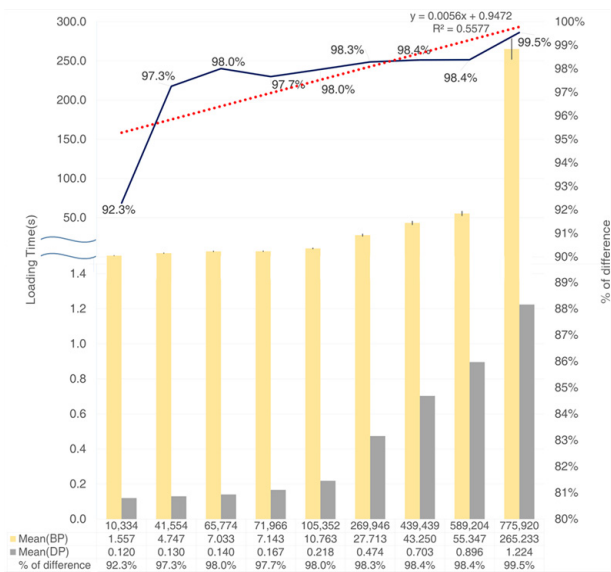


Fig. 5. Difference in data loading speed between BP and DP (% of difference = (PCD Loading time of BP - PCD Loading time of DP)/ PCD Loading time of BP)

〈Fig. 5〉에 있는 꺾은선 그래프는 BP와 DP의 로드 속도를 비교한 차이 % 값(BP 평균 데이터 로드속도 - DP 평균 데이터 로드속도)/BP 평균 데이터 로드속도인데, 이 값은 PCD 10,334개의 점에서는 92.3%의 차이 %를 보이며, PCD 41,554개의 점을 로드할 때는 97.3%의 차이 %를 보이고, PCD 65,774개의 점을 로드할 때는 98%의 차이 %를 보였다. 이후의 값 모두 98%에 가까운 차이 %를 보이고 PCD 775,920개의 점을 로드할 때 99.5%의 차이 %를 보였다.

선형회귀곡선을 이용하여 로드 속도를 비교해 보았더니 선형회귀곡선의 식은  $y = 0.0056x + 0.9472$ 로 증가하는 추세를 보였다. 이는 PCD의 값이 클수록 두 프로그램의 처리속도의 차이가 증가한다는 것을 보여주며,  $R^2$  값은 0.5577이었다. 그런데 〈Fig. 5〉의 차이 % 값을 보았을 때, PCD 10,334개의 점을 로드했던 첫 번째 실험과 PCD 775,920개의 점을 로드했던 마지막 실험의 경우 BP와 DP의 로딩시간 차이 % 값이 다른 실험에 비해 큰 것을 발견할 수 있으며, 또한 첫 번째 실험의 차이 % 값과 마지막 실험의 차이 % 값이 98% 근처 값인 다른 결과들에 비해 차이가 나는 수치인 것을 발견할 수 있다. 첫 번째 실험(PCD 10,334개)에서는 처음 데이터를 빌드할 때 걸리는 시간 때문에 BP와 DP의 데이터 로드시간 차이가 다른 실험에 비해 적게 나타났으며, 다른 실험보다 차이 %가 적게 나타났다. 마지막 실험(PCD 775,920개)에서는 큰 값의 데이터를 입력할 때 데이터 자체가 차지하는 메모리 때문에 BP의 처리속도가 오래 걸렸고, 그에 따른 데이터 로드시간의 차이 %가 크게 나타났다. 따라서 더 정확한 결과 분석을 위해 차이 % 값의 평균과 비교하여 데이터

로드 차이 %가 적게 나타나거나 크게 나타나는 PCD 10,334개의 로딩시간 결과 값과 PCD 775,920개의 로딩시간 결과 값을 제거하고 다시 두 프로그램의 로드 속도를 비교하는 그래프를 그려보았다.

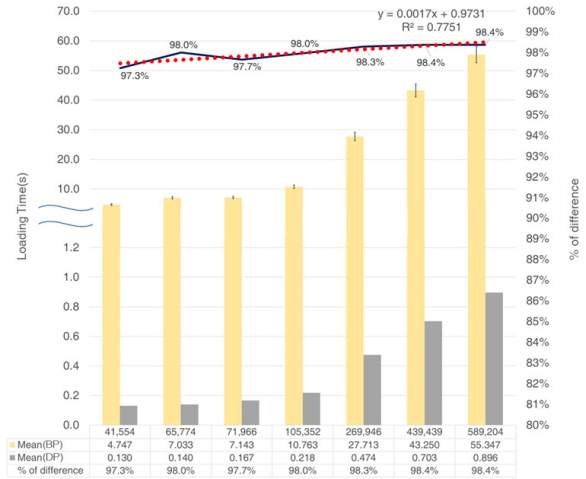


Fig. 6. Difference in data loading speed between BP and DP - removed results of 10,334 and 775,920

〈Fig. 6〉는 첫 번째 실험과 마지막 실험의 결과를 제거한 그래프이며, 선형회귀곡선 식은  $y = 0.0017x + 0.9731$ 로 나타나고, 〈Fig. 5〉와 동일하게 증가하는 추세를 보인다. 이 결과를 봤을 때, PCD의 양이 늘어남에 따라 두 프로그램의 처리속도 차이가 점점 증가한다는 것을 알 수 있다.  $R^2$  값은 0.7751이며, BP와 DP는 PCD 로드속도에서 큰 차이를 보인다.

또한 DP의 포인트 하나당 걸리는 데이터 로드속도를 비교해 보았을 때 선형회귀곡선은  $y = -0.0002x + 0.003$ 으로 점차 감소하는 추세를 보이며, 이를 통해 PCD가 커질수록 DP가 한 포인트의 데이터를 처리할 때 드는 시간이 줄어드는 것

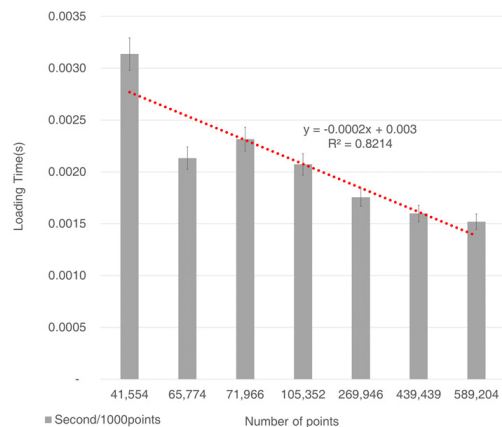


Fig. 7. Point processing speed of the DP according to the number of plot points

을 알 수 있다. 이 선형회귀곡선의  $R^2$  값은 0.8214로 높은 신뢰도를 가지며, 따라서 DP에서는 실험에 사용되었던 데이터보다 더 큰 PCD도 빠르게 처리할 수 있다고 판단할 수 있다 (Fig. 7).

PCD 로드 실험 결과, DP는 1번부터 9번까지의 실험 결과 모두 92%에서 99%까지의 속도 개선 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 BP의 시스템 설계의 한계점, 특히 인터프리터 형식의 데이터 로딩 프로세스가 C언어 및 OpenGL 컴파일러 형식에 비해 많이 느림을 증명하는 결과라고 판단된다.

또한 DP의 렌더링 기능향상 측면에서 보았을 때, 기존 BP에서는 시점회전이동 기능이 있으나, 32-bit가 한계여서 포인트 개수가 일정 범위를 초과하면 렌더링 기능이 사용 속도를 따라오지 못해서 원지형의 렌더링이 잘 되지 않았다. 그러나 OpenGL과 디스플레이리스트 코드를 이용하여 성능을 개선하였더니, 렌더링 속도가 사용자의 기대속도에 부합되었으며 사용자가 데이터를 렌더링 하였을 때 자유자재로 시점회전 이동하여 PCD로 만들어진 지형의 형태를 빠르게 확인할 수 있었다. 시점회전이동 지연시간(orbit latency)은 앞서 사용한 PC에서와 같은 환경에서 Autodesk나 Bentley사의 상용 프로그램에서 보다 빠르게 측정되는데, 이는 DP의 경우 토공에 필요한 필수 기능들 외의 다른 기능을 제하고 프로그램을 가볍게 만든 것이 그 이유라고 볼 수 있다. 따라서 DP는 OpenGL의 디스플레이리스트 코드를 채택함으로써 기존 프로그램보다 빠른 렌더링 속도를 가졌다고 할 수 있다.

## 5. 결론

토공사에서 pad 설계는 아주 중요하다. pad 설계를 이용하여 토공사에 필요한 절토량과 성토량을 정확하게 계산할 수 있고, 공사기간과 공사비의 오차를 줄일 수 있다. 또한 정확한 값을 예측하여 그에 대한 변위를 줄임으로써 그에 따른 손해를 줄일 수 있다. 이렇게 토공사에서 중요한 역할을 하는 pad 설계의 기본이 되는 데이터는 PCD인데, PCD는 라이다(LiDAR)나 드론(drone)을 이용하여 취득되고, 보통 몇 백만 개 이상의 점으로 이루어진 대용량 데이터이다. 특히 토공사의 원지형을 이루는 PCD는 몇 백만 개에서 몇 천만 개까지 나타날 정도로 매우 용량이 크다. 그래서 사용자가 PCD로 이루어진 원지형의 형태를 확인하기 위해서는 PCD 데이터를 프로그램에 빠르게 입력하고 처리하여 로드할 수 있고 PCD로 이루어진 원지형의 형태를 시점회전이동하며 확인할 수 있는 빠른 렌더링 성능이 필요하다.

본 연구에서는 PCD를 입력하여 원지형을 만들 수 있고 pad 설계기능을 가진 토공 프로그램 중에서 국내 설계기준

에 적합하고 자동 소단 생성 기능을 가져 pad 설계에 효율성을 가진 e-BIM 모델러를 벤치마크 프로그램 BP로 설정하였고, BP의 성능을 개선한 프로그램 DP를 개발하였다. DP는 데이터 로드속도의 개선을 위해 BP를 개발할 때 사용하였던 VB언어보다 로우레벨인 C언어를 이용하여 오버헤드를 줄임으로써 데이터 로드속도를 보다 빠르게 개선하였고, 렌더링 속도의 개선을 위해 OpenGL의 디스플레이리스트 코드를 사용하여 BP보다 더 빠른 데이터 렌더링이 가능하게 하였다. 또한 데이터 포맷 입력형식의 개선을 위해 BP의 스프레드시트를 이용한 PCD 입력방식을 파일을 직접 로드하는 형태로 바꾸었으며, 사용자의 편의성을 위해 UI를 기존의 드롭다운 메뉴에서 리본 메뉴로 변경하여, 사용자의 학습시간을 줄일 수 있는 직관적인 형태의 UI/UX를 만들었다.

개발된 프로그램을 이용하여 기존 프로그램과의 PCD 로드 속도를 비교하였을 때, BP에 비하여 DP는 92%에서 99%까지 PCD 로드 속도의 개선이 있었고, 파일 로드에서부터 화면에 데이터를 렌더링 할 때까지 걸리는 시간이 많이 단축되었다. 파일 로드와 렌더링에 소요되는 시간의 단축으로 인해 DP에서 PCD를 입력하고 렌더링 하는 과정에서 사용자의 편의성이 제고되었으며, 향상된 속도를 기반으로 다양한 범위와 규모의 토공사를 진행할 때 시공현장의 원지형 데이터를 빠르게 로드하고 처리할 수 있고, 처리된 데이터를 토공 설계의 기초 데이터로 이용할 수 있다. 향후 PCD를 이용한 토공사 물량산출 프로그램 제작의 기반으로 활용할 수 있다.

본 연구는 C++을 이용한 PCD 로드 데이터 속도 개선 및 OpenGL을 이용한 렌더링 속도 개선 및 UI/UX 설계의 절차 등 시스템 개발에 필요한 적절한 환경 구성 및 방법에 대해 조사하였으며 이후 시스템 개발을 위한 학술적 자료의 가치로 통합적 토공 BIM 프로그램 개발에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 결과값 분석에서 선형회귀분석과 이상점 제거를 통하여 데이터 분석의 면에서도 동일한 논문에 기여할 수 있는 학술적 참고자료로서의 가치도 기대할 수 있다. 향후 개발된 프로그램을 기반으로 PCD의 노이즈를 제거하고 밀도를 조정하는 필터 기능을 포함하고 처리된 PCD를 이용하여 원지형을 만드는 기능을 추가한 통합적 토공 BIM 프로그램을 제작하여, 설계 변경으로 인한 시공까지의 시간 지연을 줄임으로 토공 생산성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.



## 감사의 글

이 성과는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(ERC 선도연구센터 지원사업: No. NRF-2018R1A5A1025137).

## References

- Autodesk, Civil 3D/Earthwork Engineering Software/Autodesk (2020). <<https://www.autodesk.co.kr/products/civil-3d/overview>> (May. 10, 2020).
- Bentley, Descartes - Advanced 3D imaginary and point cloud data editing and processing software (2020). <<https://prod-bentleycdn.azureedge.net/en/products/product-line/reality-modeling-software/bentley-descartes>> (May. 9, 2020).
- EDF R&D, Cloud Compare-Open Source project (2020). <<https://www.danielgm.net/cc>> (May. 10, 2020).
- Hugenholtz, C.H., Walker, J., Brown, O., and Myshak, S. (2015). "Earthwork volumetrics with an unmanned aerial vehicle and softcopy photogrammetry." *Journal of Surveying Engineering*, 141(1), 06014003.
- Kim, J., Kim, H., Tanoli, W.A., and Seo, J. (2019). "3D earthwork BIM design and its application in an advanced construction equipment operation." *Architecture and Engineering*, 4(2), pp.22-26.
- Kim, W., Park, S., Lee, R., and Seo, J. (2018). "A Case Study on the Application of Machine Guidance in Construction Field." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, 38(5), pp.721-731.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (2018). Technical Demand Study for Automation of Smart Earthwork to Improve Construction Productivity.
- Kwon, S., Park, J., Moon, D., Jung, S., and Park, H. (2017). "Smart Merging Method for Hybrid Point Cloud Data using UAV and LIDAR in Earthwork Construction." *Procedia Engineering*, 196, pp. 21-28.
- Leica Geosystems, Leica Cyclone 3D Point Cloud Processing Software (2020). Leica Geosystems, <<https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cyclone>> (May. 09, 2020).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2018). Smart construction technology roadmap for innovation in construction productivity and reinforcement of safety.
- Neider, J., and Davis, T. (1997). *OpenGL Programming Guide: The Official Guide to Learning OpenGL, Version 1.1(OTL)*, 2nd edition, Addison-Wesley.
- Park, K., and Hong, I. (2017). "A Study on the Land Administration Support Using the Popular Rotary-Wing Unmanned Aerial Vehicle." *Journal of the Association of Korean Geographers*, JAKG, 6(1), pp. 93-100.
- Pix4D, (2020). Professional photogrammetry and drone mapping software | Pix4D, <<https://www.pix4d.com>> (May. 10, 2020).
- Reina, G., Müller, T., and Ertl, T. (2014). "Incorporating Modern OpenGL into Computer Graphics Education." *IEEE Computer Graphics and Applications*, 34, pp. 16-21.
- Siebert, S., and Teizer, J. (2014). "Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system." *Automation in Construction*, 41, pp. 1-14.
- Tanoli, W.A., Raza, H., Lee, S., and Seo, J. (2017). "PAD Based 3D Earthwork BIM Design Module for Machine Guidance." *2017 Proceedings of the 34rd ISARC*, Taipei, Taiwan, pp. 626-631.
- The Korea Transport Institute. (2017). A Roadmap Study to Support Drone Activation.

**요약** : 토공 자동화는 건설 산업에서 유망한 기술로 주목받고 있으며, 토공 자동화 기술의 적용은 건설 현장의 포인트 클라우드 데이터(Point Cloud Data, PCD) 취득 및 처리로부터 시작된다. PCD는 광범위한 건설 현장의 특성상 백만 개 이상의 많은 데이터를 가지며, 이에 대한 원데이터의 처리 속도는 디지털 지형 모델(Digital Terrain Model, DTM) 생성 및 공사의 효율성 증가에 매우 중요한 요소이다. 현재 국내 설계기준에 적합한 PCD 처리 및 BIM 설계 통합 프로그램인 벤치마크 프로그램(Benchmark Program, BP)이 존재하지만, 사용자의 편의성과 효율성을 위한 수정과 개선이 필요한 상황이다. 본 연구에서는 BP의 기존 PCD 처리 기능을 유지하며, PCD 파일의 호환성에 대한 확장 및 컴파일(Compile) 기반 개발 환경, OpenGL의 활용 및 UI/UX 디자인을 이용한 개선 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램에 다양한 크기의 PCD를 로드 했을 때, 기존 프로그램과 비교하여 92~99%의 속도 향상이 있었다. 이 프로그램은 추후 PCD와 토공 BIM 기능을 통합하여 설계와 시공 사이의 간극을 줄이는 프로그램 개발의 기반이 될 수 있고, 나아가 토공 생산성 향상에 기여할 것으로 기대된다.

**키워드** : 토공, BIM, 포인트 클라우드 데이터, 로딩속도, 건설 생산성