

## 지능형 굴삭시스템 개발을 위한 작업환경 모델링 시스템



권순욱 성균관대학교 건축토목학부 교수

### 1. 서론

#### 1.1 건설 산업 자동화의 필요성

최근 국내 건설 산업은 수요자의 다양한 요구와 해외 시장의 진출을 위한 생산력과 기능 인력, 기술력의 확보가 경쟁력의 관건이 되고 있다. 그러나 개인의 숙련도에 의존하고 있는 건설 산업의 특성상 생산성의 향상속도가 다른 산업에 비해 더디며, 3D 업종으로의 인식과 복잡성, 가변성, 중량물 취급 등의 특성으로 인한 안전사고의 위험이 항상 내재되어 있는 산업으로서 고용대비 높은 재해율로 인해 최근 젊은 기능 인력의 건설현장 기피 현상이 심화되어 숙련된 기능 인력의 확보가 더욱 힘들어졌다. 위와 같은 추세로 인하여 건설 산업에 자동화 및 로봇화에 관한 요구가 증대되고 있으며, 이를 통하여 건설사업 비용의 감소, 공기의 단축, 생산성 향상 및 작업자의 안전성 확보 등의 문제를 해결하고자 하고 있다. 본 논문에서는 3차원 레이저 스캐닝 기술을 이용한 토공 작업모델 생성 및 이에 관한 연구결과에 대해서 기술하고자 한다.

#### 1.2 건설현장에서의 3차원 레이저 스캐너

여러 산업분야에서 활용 중인 자동화 방법 중 3차원 레이저 스캐너는 품질검사, RP(Rapid Prototype)시스템 구축, 맞춤형제작, 문화재 복원 등에 활발히 사용되고 있다. 그 중 토공 분야에서는 하천, 댐, 강바닥, 제방 등에 3차원 모델 생성, 등고선도, 종횡 단면도, 토량 계산 등 개보수계획에 이용 가능하며, 홍수·유수 등 시뮬레이션 데이터로서 효과적으

로 활용이 가능하다. 또한 접근이 곤란한 위험 지역의 계측으로 보수 계획용 현황 데이터로 활용이 가능하며, 건축 분야에서는 품질관리, 도면 손실에 따른 건물의 역설계, 간섭체크, 공정관리, 재시공 방지, 유지관리, 시공관리 분야 등에 데이터 활용이 가능하다.

이러한 3차원 레이저 스캐너는 크게 접촉식 측정방법과 비접촉식 측정방법으로 나눌 수 있다. 접촉식 측정방법의 경우 측정 대상과 접촉으로 인한 표면 손상의 우려가 있고, 탄성 변형을 일으키기 쉬운 물체, 연성 재질 및 박막의 경우 측정의 어려움, 비교적 긴 데이터 획득 시간과 같은 단점이 있다.

비접촉식 측정방법은 측정 정밀도는 접촉식에 비해 다소 떨어지지만 접촉식이 가지고 있는 많은 단점들을 해결 할 수 있다. 이러한 비접촉식 측정방법도 측정 원리 및 구현방법에 따라 광 축짐법, 슬릿빔 주사법, 영사식 모아레법, 백색광 주사 간섭법 등 다양한 측정 방법이 있다.

본 연구에서는 위와 같은 특징을 가진 비접촉식 3차원 레이저 스캐너를 활용하여 고도화 된 인공지능과 최첨단의 센싱 장비를 활용하여 자율적으로 이동하고 굴삭 작업을 수행할 지능형 굴삭 시스템(IES)의 지능형 Task Planning system을 개발에 필요한 세부요소들을 연구하여 건설현장의 자동화를 통한 건설 현장의 생산성 향상 및 안전성 확보 등에 기여하고자 하였다.

### 2. 3차원 작업환경 모델링 시스템 개발

#### 2.1 3차원 Auto Registration 모듈 개발

본 연구에서는 실제 토공 작업환경을 대상으로 연구를 진행하였으며, 지속적으로 변화하는 환경을 측정·갱신하기 위해

서 차량에 3D 레이저 스캐너, 무선 송수신 모듈, 노트북 등을 부착하였다. 또한 스캐너의 점군 데이터 획득을 고속으로 처리하기 위하여 SCR이라는 새로운 S/W와 3D 레이저 스캐너를 토공 현장에서 사용하기 위한 인터페이스를 개발하였다.



그림 1. Auto Registration 모듈 통합실험  
(지능형 굴삭시스템 개발 최종보고서, 2011)

그림 1과 같이 실험을 통하여 최초 스캔 된 데이터는 점군을 생성하고 각각의 점은 삼각형 매쉬 형태로 변환된다. 전체 2개소 이상의 지점에서 스캔이 이루어지기 때문에 정확한 3차원 모델을 생성하기 위해서는 스캔 지점간의 공통되는 부분이 스캔되어야 한다. 공통되는 부분을 중심으로 정합된 데이터는 최종적으로 병합과정을 거치게 된다. 이러한 과정들을 통하여 지능형 굴삭 시스템 작업을 위한 1차 작업환경 모델링이 완성된다.

위와 같은 작업을 반복적으로 수행하여 작업환경 변화를 지속적으로 측정하고 토공 작업량 산출 및 계획 대비 진행의 적합성 판단, 작업 진행 상황을 자동으로 갱신 할 수 있다.

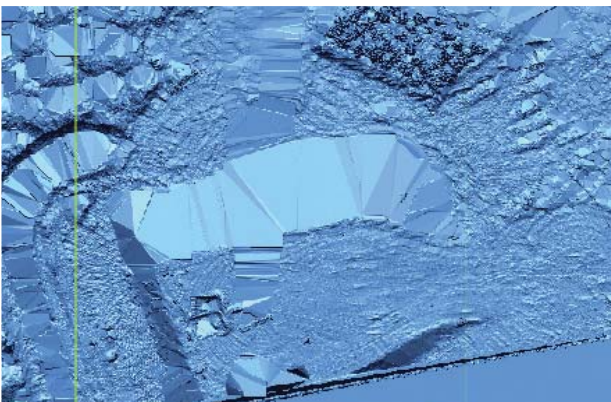


그림 2. 1차 작업환경 모델링지능형 (굴삭시스템 개발 최종보고서, 2011)

또한 장애물 인식을 위한 알고리즘을 개발하여 장애물 위치와 구분 및 Grid Mesh를 통한 계산결과를 토대로 포인트 데이터에서 장애물의 위치정보를 바탕으로 장애물별 구분을 실시 할 수 있다, 이 과정을 통하여 좀 더 빠르고 정확한 데이터 획득이 가능하였다.

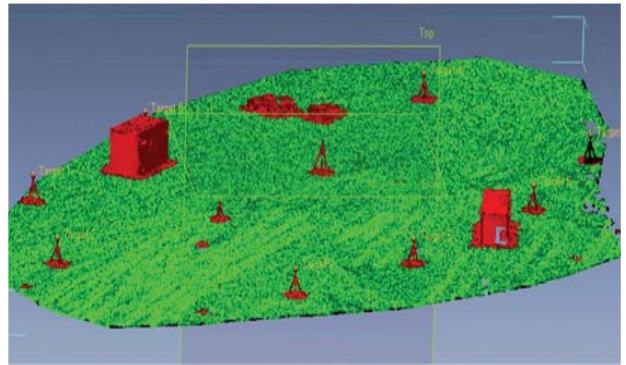


그림 3. Grid Mesh 계산을 통한 장애물 위치계산  
(지능형 굴삭시스템 개발 최종보고서, 2011)

## 2.2 World Model 요소기술 분석 및 설계

토공사 작업은 주로 장비에 의해 진행되는 특성을 가지고 있기 때문에 의사결정의 리드타임이 발생하여 토공작업의 생산성이 저하되고 있다. 본 연구에서는 의사결정의 리드타임 감소를 위한 “World Model” 개념의 3차원 실시간 모델링을 위한 프로토타입 시스템을 개발하였다.

World Model은 데이터베이스와 데이터베이스상의 모델을 갱신 관리하기 위한 관리체계, 공유가 가능한 인터페이스 체계로 구성된다. 월드모델 데이터베이스에 저장될 지형정보는 일련의 소영역으로 분할되어 2차원 배열 형태로 저장된다. 각 소영역은 가로 세로 2미터의 정사각형의 구역에 해당되며 지면의 높이 정보를 기록함으로써 지형 정보를 저장하게 된다.

World Model 데이터를 생성하기 위해서는 3차원 레이저 스캐너로 획득한 Local 데이터와 Global 데이터의 병합이 필요하다. Global 데이터란 토공 작업영역 전체를 스캔하여 얻은 데이터이고 Local 데이터는 토공장비의 3차원 레이저 스캐너가 획득한 작업영역을 뜻한다. 두 데이터 간의 병합을 통하여 World Model 데이터 업데이트를 진행하게 된다. 아래의 그림4는 토공작업환경 3D 모델인 World Model의 개념도를 나타내고 있다.



그림 4. World Model 기본 개념  
(지능형 굴삭시스템 개발 최종보고서, 2011)

빠르고 정확한 World Model 데이터 획득을 위하여 World Model 생성 알고리즘을 개발하였으며, 이는 향후 실시간 토공작업진행 현황을 모니터링하기 위한 의사결정지원 체계 구축 시 요소기술로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 2.3 Merge Algorithm 개발

토공 현장을 스캔하여 얻은 Global 데이터는 Mesh화하여 Task Planning System에 전달하게 된다. 이때 Global 데이터 내에 Local 데이터가 포함되도록 지형정보와 동일한 UMM좌표를 입력한다.

Global 데이터와 Local 데이터를 병합하기 위해서 3차원 스캐너로부터 출력된 점군데이터를 Registration 할 때 사용되는 ICP Algorithm을 사용하였다. ICP Algorithm은 Feature Extractive에 의한 매칭에 비해 상대적으로 단순하고 두 데이터 셋의 형태가 부분적으로만 일치하여도 매칭 수행이 가능하다는 특징이 있다.

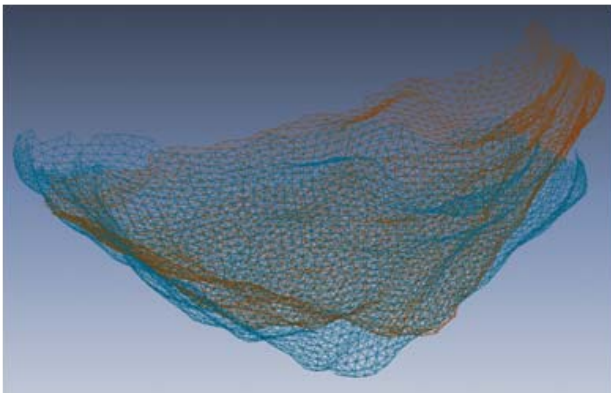


그림 5. z축의 변화에 따른 차이점 분석 실시(유석준, 2010)

알고리즘 테스트를 위해 실제 건설작업 환경에서 절토가 진행되는 순서를 고려하여 Excel을 활용하여 Text Map를 작성하였으며, 각각의 3차원 미지로 형상화 한것이고 절토된 모양과 범위는 변화에 따른 Merging 결과를 테스트 하기 위한 것이다. 색이 진한 부분은 절토가 더욱 많이 진행된 부분을 뜻한다.

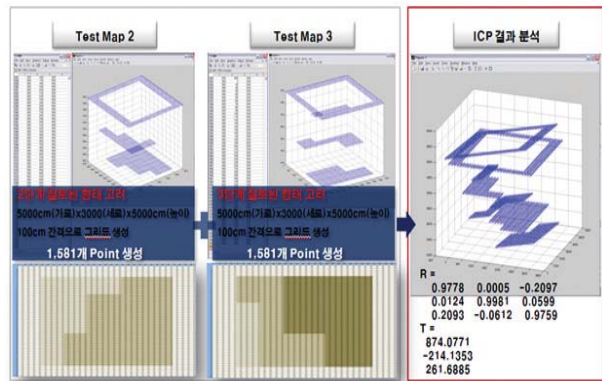


그림 6. ICP 알고리즘을 활용한 Test Map 결과  
(지능형 굴삭시스템 개발 최종보고서, 2011)

Merging x,y,z,축 모두 큰 오차 없이 완벽하게 일치하는 것을 확인 가능하였다.

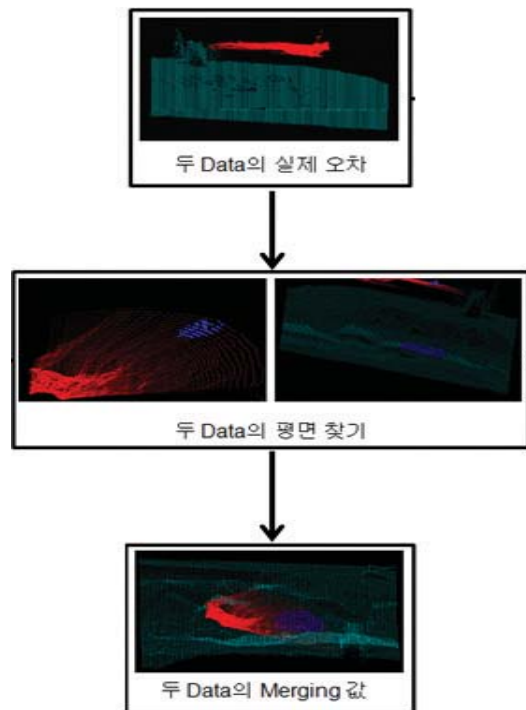


그림 7. 실제 두 Data 알고리즘 적용  
(지능형 굴삭시스템 개발 최종보고서, 2011)

또한 기존의 ICP 알고리즘과 본 연구에서 제안된 개선 ICP 알고리즘을 서로 적용하여 처리시간 및 결과의 정확도를 비교한 결과 기존 알고리즘 보다 빠른 시간에 Merging을 수행할 수 있었다.

### 3. 맺음말

본 연구는 건설현장에서 자율적으로 이동하고 굴삭 작업을 수행할 지능형 굴삭 시스템(IES)의 지능형 Task Planning system을 개발 중 Auto Registration과 World Model요소기술 분석 및 설계, Merging Algorithm 개발에 관한 연구를 수행한 내용이다.

특히, Global 데이터와 Local 데이터 병합과정의 정확성과 신속성에 중점을 두고 연구하여 Merging Algorithm을 개발하였으며, 이는 건설현장에서 발생하는 의사결정 리드타임을 최소화하기 위함이다.

각 연구를 바탕으로 지능형 굴삭기의 경제성을 평가한 결과 초기의 투입비용은 지능형 굴삭 시스템이 높으나 각 9대가 투입 되면서부터 일반 굴삭시스템과 투입비용이 비슷해짐을 알 수 있었다.

향후 지능형 굴삭 시스템의 최적화를 통하여 싸이클타임, Global 데이터와 Local 데이터의 획득시간 감소, Merging 시간 감소 및 최적화에 대하여 연구하여 개선한다면 더 좋은 결과가 있을 것으로 예상된다.

### 참고문헌

- 지능형 굴삭시스템 개발 최종보고서, 한국건설교통기술평가원, 2011
- 김태호 외(2006), 역설계시스템을 이용한 제품의 검사에 관한 연구, 대한기계학회, 한국
- 도덕희 외(2012), 역설계를 위한 3차원 모델형상 측정, 한국가시화정보학회지, 한국
- 도현민 외(2009), 스캔 매칭을 이용한 철골 자재 식별 및 위치 인식, 대한건축학회, 한국
- 이종현 외(2000), 위치정보를 이용한 최단경로탐색 알고리즘 개선, 제주대학교 산업기술연구소 논문집, 한국
- 이미나 (2012), 플랜트 배관 역설계를 위한 레이저 스캔 데이터의 최적화 매칭에 관한 연구, 성균관대학교 석사학위논문, 한국

유석준 외 (2010), Merging Point Clouds from Heterogeneous 3D Scanners for Fast Update of an Earthwork Site Model, ISARC 2010 Conference, 슬로바키아

이미나 (2011), Development of Optimized Point Clouds Merging Method for Rapid Processing to Generate Earthwork Site Model, ISARC 2011 Conference, 한국

### 감사의 글

본 연구결과는 국토해양부 한국건설교통기술평가원의 건설기술혁신사업(과제번호:06첨단융합 C01)의 지원을 받아 이루어 졌습니다.