

건설 시공현장의 3D기반 광대역 모델링을 위한 Sensor 기술 분석과 향후 현장적용 모델 연구

Study of Sensor Technology Analysis and Site Application Model
for 3D-based Global Modeling of Construction Field

권혁도* 고민혁** 윤수원*** 권순욱**** 진상윤***** 김예상*****
Kwon, Hyuk-Do Koh, Min-Hyeok Yoon, Su-Won Kwon, Soon-Wook Chin, Sang-Yoon Kim, Yea-Sang

요약

최근 건설산업의 현장 생산성이 점차 저하되는 현실을 개선하기 위하여 시공과정에서의 프로세스 개선이 중요 사항으로 부각되고 있다. 이에 따라 다양한 3D 센싱기법이 개발되어 적용되고 있지만 구체적인 장비 적용성 및 기술검토는 부족하다.

본 연구의 목적은 시공과정에서 3D기반 광대역 모델링 기술을 활용한 건설현장의 3D구현을 통해 실시간으로 현장의 실시간 변화상황을 파악하여 현장관리의 효율화는 물론 시공 진척도 측정 및 공정관리 과정의 정보흐름 활성화를 통해 현장 생산성 증대에 기여하는 것이며 이를 위해 모델링 관련 알고리즘과 광대역 현장 구현관련 기술의 조사연구를 실시하였다.

시공현장 실시간 현장 모니터링 정보를 제공함으로써 안전사고 발생을 감소와 함께 현장정보 데이터베이스의 구축과 활용을 통한 향후 유사공사 적용 및 우리 건설산업 생산 프로세스 개선의 계기가 될 수 있을 것이다. 나아가 건설산업 전체 이미지 제고에도 큰 역할을 할 수 있으리라 사료된다.

키워드 : terrain modeling, scanning, vision, monitoring, database

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설현장의 생산성 증가 및 시공 기술력 확보에 대한 사회적인 요구 증가와 현장관리 비용의 절감을 위해서 현장관련 정보의 신속한 제공이 요구되고 있으며 이런 요구사항을 지원하기 위한 IT산업과의 연계 중요성이 점차 설득력을 얻고 있다.

이러한 IT기술 중 3D기반 광대역 모델링기술은 지금까지 대표적인 노동집약적 산업으로 인식되어온 건설산업의 현장 생산성 저하를 해결하고 기술력 향상을 위한 새로운 기술로서 그 기술적용에 따른 파급효과는 매우 클 것으로 예측되고 있다.

본 연구결과에 따르면 현장 모델링을 통해 건설장비/노무

자의 위치 파악과 작업량을 실시간으로 산정하고 그에 따른 능동적인 대응과 시공프로세스 개선이 가능하다.

또한 시공과정에서 현장상황의 실시간 모니터링을 통한 정보제공이 가능하게 됨으로써 현장관리의 효율화와 예상치 못한 상황 발생시 신속한 대처가 이루어져 시공 안정성을 확보할 수 있다.

하지만 기존 연구들은 기술적 가능성만을 제시하고 Prototype 시스템 개발에 초점을 맞추고 있을 뿐 실제현장에 적용하기 위한 기술 장단점 검토 및 적용 모델 제시는 미흡하다.

따라서 본 연구의 목적은 이러한 시공현장의 3D기반 광대역 모델링을 지원할 수 있는 센싱기술로서 레이저 스캐너와 스테레오 비전을 선택하고 각 기술별 장비 검토 및 현장 적용시 활용모델을 제시하는 것이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 논문의 3D기반 광대역 모델링은 각종 3D 모델링 구축 요소기술을 이용하여 건설 현장을 모델링하고 이 데이터를 근거로 하여 건설장비 및 현장내 노무자 위치, 움직임을 파악하기 위한 프로세스를 의미한다.

그리고 광대역 모델링을 통해 구축하고자 하는 공간은 시공현장의 단순한 물리적 공간뿐만 아니라 현장 변화상황을

* 일반회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과, 석사과정, hs19819@naver.com

** 일반회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과, 석사과정

*** 일반회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과, 박사과정

**** 종신회원, 성균관대학교 건축공학과 조교수, 공학박사, swkwon@skku.edu

***** 종신회원, 성균관대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

***** 종신회원, 성균관대학교 건축학과 교수, 공학박사

실시간으로 기록하고 공사의 진행상황을 능동적으로 파악할 수 있는 공간 개념을 대상으로 한다.

본 연구에서는 3D기반 광대역 모델링을 건설현장에 적용하고 향후 활용하기 위한 프로세스 모델 작성을 위해 다양한 3D 센서 기술 중 레이저 스캐너, 스테레오비전을 선택하고 각각의 기술 분석을 실시하여 현장 모델링시 기술 선택과정을 지원하고자 한다. 연구의 진행흐름은 그림1과 같다.

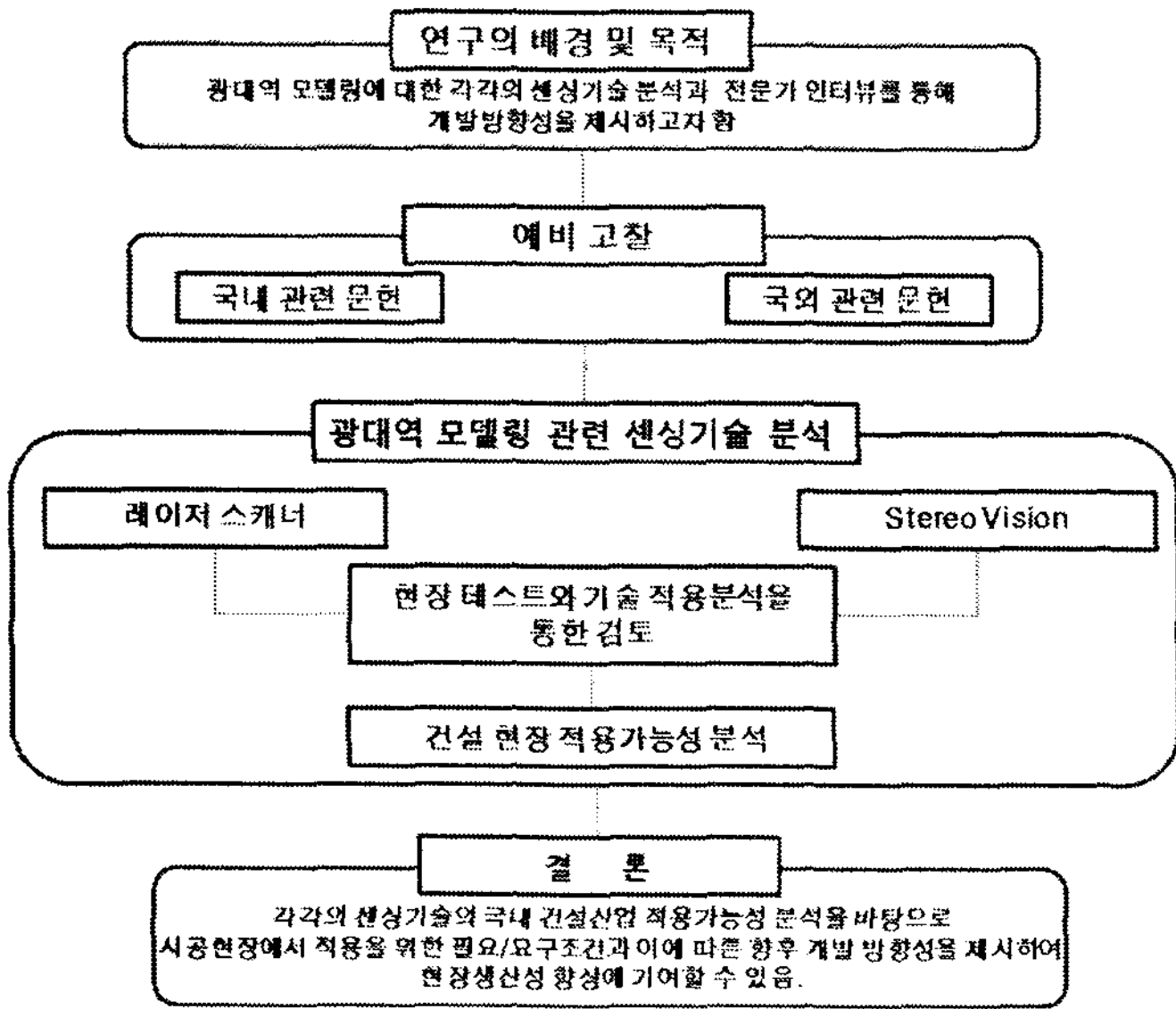


그림1. 연구의 흐름

2. 기존 3D기반 광대역 모델링 관련 연구고찰

다음에 제시되는 표 1과 같이 국내외에서 3D 공간 모델링과 공간정보 획득과 관련된 연구가 진행되었으나 국내의 경우 실제 시공현장 적용성 검토 단계가 아닌 모델링 방법제안에 그치고 있다.

국외의 경우에도 3D 모델링 방법과 시스템 연구가 일정부분 진행 중이고 모델링 도구로써 레이저 스캐너나 센서를 이용하고 있으나 정확성의 결여 및 데이터 프로세싱에 너무 긴 시간이 소요되고 대부분 실험실 테스트를 통해 알고리즘 성능을 평가하는 수준에 그치고 있다.

따라서 모델링 알고리즘 제시에 관한 연구는 다양하게 이루어졌으나 센싱 알고리즘과 오차율 보정 알고리즘을 포함하는 다양한 3D 모델링 기술검토 및 장비관련 연구가 부족하다고 판단된다.

표 1 국내외 관련 논문 조사

구분	저자/출처	논문제목	논문내용
국내	김창완, 건축학회 (2006)	건설장비 자동화를 위한 레이저 거리측정기를 이용한 인간지원 3차원 공간모델링	• 3차원 공간 모델링 시스템을 개발하기위해 하드웨어 시스템 및 공간분할, 컨벡스 홀, 좌표 변환 알고리즘을 포함한 모델링

			방법을 제안.
	김창완, 건설관리학회 (2004)	효율적인 건설공사와 유지관리를 위한 건설현장에서의 3차원 공간 정보 획득	• Workspace Partitioning, 컨벡스홀 알고리즘과 함께 여러 건설 현장 정보를 하나의 협업 transformation으로 포함하는 3차원 공간 모델링 방법을 제안.
	Louis-Philippe Morenc, IEEE (2002)	Fast 3D Model Acquisition from Stereo Images	• 이미지를 정렬하고 구성된 3D mesh를 재구성하는 보다 빠른 3D모델획득시스템을 제안.
	Jérémie Allard, IPT (2004)	Marker-less Real Time 3D Modeling for Virtual Reality	• 유용한 요소를 사용하여 가상현실 환경에서 실시간 marker-less 3D모델링 작성하기 위하여 양자택일 접근방식 제안.
해외	Chris Leger, TRI	Obstacle detection and safeguarding for a high-speed autonomous hydraulic excavator	• 장거리 동작 인식 시스템과 단거리 장애물 인식 시스템 두 단계의 센서를 기본으로 한 안전 시스템을 제안.
	Stone, W. C, ASCE (2000)	Automated Earthmoving Status Determination	• 2D 범위 데이터의 자동 등록법, 자동 체적 계산법과 지형 Geometry을 반영하는 웹 기반의 3D사이트 시뮬레이터 개발.
	G. S. Cheok, NIST	Laser Scanning for Construction Metrology	• 통제 불가능한 건설현장에서 계획된 예정작업을 위한 초기 시공단계의 공법, 공정 확장법 제안.

3. 3D기반 광대역 모델링 관련 기술 분석

건설현장을 스캔하는 경우 넓은 지역을 일정한 시간 간격으로 촬영하고 3D영상으로 모델링하는 과정의 반복 및 그 결과를 이용하게 되므로 스캔범위(최대각도, 거리), 속도, 정확도 측면에서 테스트를 실시하고 비교하였다.

그리고 시공 현장 모델링이 보통 척박한 야외에서 작업이 이루어지는 만큼 휴대성(배터리 이용), 하드웨어에 영향을 미칠 수 있는 급격한 날씨 변화, 방수, 온도, 습도, 분진 등에 대비한 내구성과 강한 야외조명(태양광)의 문제점을 해결할 수 있는 기술적인 Solution제시의 가능성을 확인하였다.

또한 스테레오 비전 모델링 과정에서 카메라 렌즈의 굴곡으로 인한 형태 변형 및 측정 거리가 멀어질수록 정밀한 결과 값을 기대할 수 있는 반면 측정오차 발생 가능성은 증가하는 오류와 좌우 카메라에서 식별 불가능한 대상의 측정이 불가능한 문제에 대한 해결의 필요성을 도출했다.

3.1 레이저 스캐너 개요

3D 레이저 스캐닝 기술은 다중 레이저를 이용하여 1회 측

정시 수 많은 측정 데이터를 얻게 되며 Time of Flight 방식으로 측정 대상물체에 레이저를 발사하여 반사되어 되돌아오는 시간을 계산하여 거리를 산출하는 기술이다.


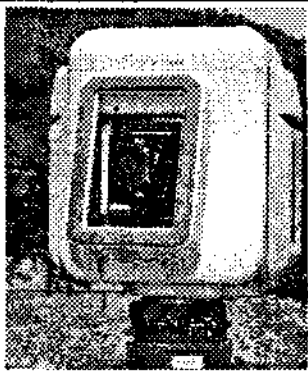
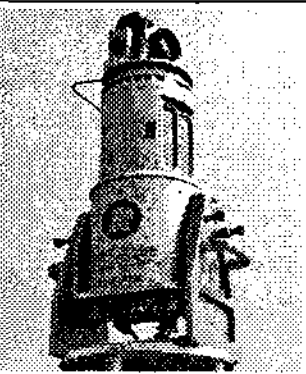
레이저 빔이 순간적으로 측정 대상물을 주사하여 대상의 3차원 좌표값을 측정하게 되며 이 때 얻어지는 3D 형상을 화면에서 확인하고 동시에 모델링 단계를 거쳐 결과를 얻는 과정을 거친다.

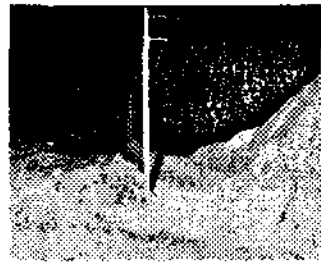
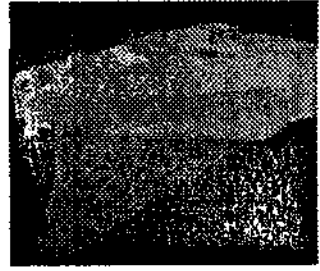
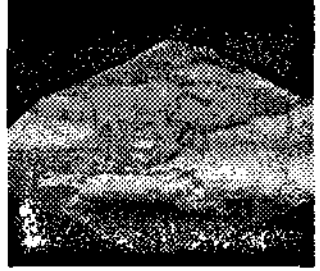
건설분야에서 레이저스캐닝 기술은 도로면이나 교량 하부의 크랙(Crack)측정과 같이 사회간접자본 시설물의 유지보수와 빌딩의 주기적인 3차원 모델링을 통한 변형측정, 기성도면(as-built drawing) 생성, 간섭체크, 안전관리 관점에서 토공사 주변 시설물에 대한 주기적인 모니터링 등 그 활용범위가 다양하고 이를 지원하는 H/W 및 S/W의 발전으로 건설분야에서의 적용은 날로 증가하는 추세다.

3.2 레이저 스캐너 현장테스트 결과 성능 비교분석

레이저 스캐너 기술 분석을 위해 다양한 업체의 제품이 있으나 전문가 자문 및 업체방문을 통해 국내 판매량과 인지도 측면에서 앞선 레이저스캐너 분야의 대표적 업체 3개사 (Leica, Trimble, Riegl)를 선택하고 제품성능을 비교하였다.

표 2 레이저 스캐너 3개사 성능 비교분석

업 체	Leica - HDS 3000	Trimble - GX200+	Riegl - LMS-Z390
외 관			
최 대 스 캐 너 영 역	<ul style="list-style-type: none"> • 상/하 90°/45° • 좌우 360° 	<ul style="list-style-type: none"> • 상/하 30°/30° • 좌우 360° 	<ul style="list-style-type: none"> • 상/하 40°/40° • 좌우 360° (Tilt 조정을 통해 상하각도 조절가능)
스 캐 너 속 도	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 4000pts/sec 	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 5000pts/sec 	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 8000pts/sec이지만 저해상도 스캔일 경우 12000pts/sec 가능
스 캐 너 범 위	<ul style="list-style-type: none"> • 반사율 90% 일 때 300m까지 스캔가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 최대 350m 	<ul style="list-style-type: none"> • 반사율 80% 이상일 경우 300m • 반사율 10% 이상일 경우 100m • 스캔 최소범위: 1m
접 근 성	<ul style="list-style-type: none"> • TCP/IP 데이터 인터페이스로 인한 손쉬운 	<ul style="list-style-type: none"> • TCP/IP 데이터 인터페이스로 인한 손쉬운 	<ul style="list-style-type: none"> • TCP/IP 데이터 인터페이스로 인한 손쉬운

	접근	접근	접근
장 점	<ul style="list-style-type: none"> • 짧은 배터리 사용시간과 불안정한 데이터 전송 문제를 차량용 배터리를 이용하여 해결 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 자동으로 360° 이미지 획득 가능 • 트루컬러 스캔 기능 • 사용조도 제약 없음 • 사진에서 필요 부분만 스캔영역 설정 가능 :스캔 시간 단축 	<ul style="list-style-type: none"> • GPS를 이용한 Real-time global 좌표 입력 가능. • 고온의 작업환경에서도 동작 • 무선 데이터 전송 가능 • 일반적인 Notebook에서 운영가능
단 점	<ul style="list-style-type: none"> • 스캔속도가 빠른 반면 상대적으로 정확도가 떨어짐 	<ul style="list-style-type: none"> • 타겟을 세우고 스캔하는 방식에서 타겟 수가 많아질 경우 오차 발생빈도 증가 	<ul style="list-style-type: none"> • 스캐닝 시간이 상대적으로 길어 작업 연속성 확보 어려움 • 카메라와 스캐너의 회전축이 상이하여 맵핑시 추가 보정 작업 필요
기 타 사 항	<ul style="list-style-type: none"> • 스캔 정확도: 6mm at 50m • QuickScan button • 기울기가 6분이 넘으면 작동 중지 	<ul style="list-style-type: none"> • 기울기가 6분이 넘으면 자동 보정 • 디지털 이미징: 일체형 컬러 비디오 탑재(5.5배 광학줌) • 데이터 획득 S/W: Point Scape(노트북) Pocket Scape (PDA) 	<ul style="list-style-type: none"> • 스캔 정확도: 6mm • 스캐너 동작 및 데이터 프로세싱 S/W : XML 파일 포맷에서 tree 구조를 사용한 데이터 보존방식
스 캐 너 화 면			

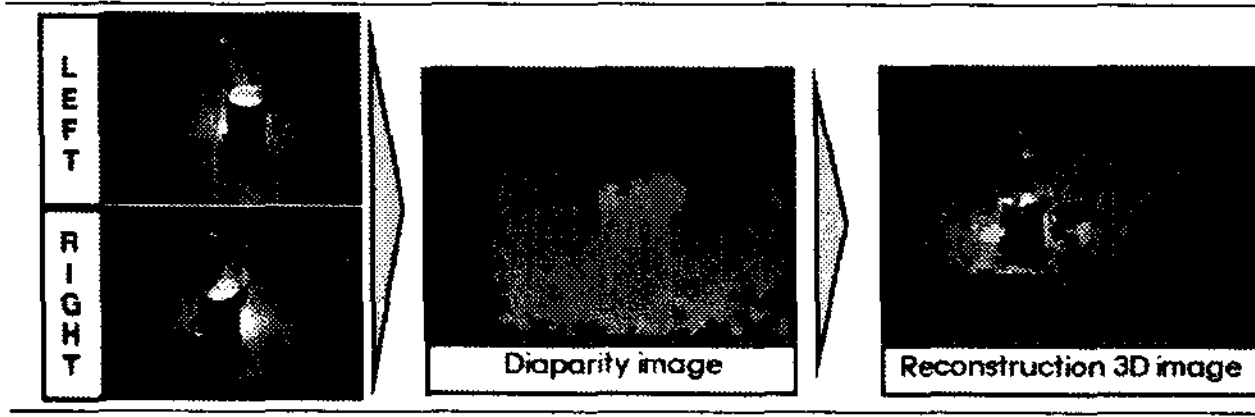
3개사 제품의 기술분석 결과, 스캔 정확도에서는 모두 3D기반 광대역 모델링의 현장 적용을 위해서 충분한 성능 (100m에 30cm 정도의 resolution)을 갖추었지만 스캔속도 측면에서 leica, trimble의 경우 rieggl에 비해 속도가 떨어진다.

본 연구에서 필요로 하는 장비선택의 우선 변수는 시공 현장에서 사용되어진다는 점이므로 가장 우선시해야 할 측면은 제품의 내구성과 스캔속도이다. 제품의 내구성의 경우 3개사 제품이 유사한 등급을 가지고 있고 방수성과 스캔속도 측면에서는 3업체중 Riegl 제품이 앞선 결과를 나타내었다.

3.3 Stereo Vision 개요

스테레오 비전은 광학센서로부터 획득한 2가지나 그 이

상의 동시적인 2차원 뷰를 이용하여 대상물체의 3D 이미지를 추정하는 기술이며 특정 point의 추출 및 결합을 통하여 대상 물체의 위치 및 형태가 결정된다.



- 양쪽 영상에서 같은 위치를 찾는다.
- 왼쪽과 오른쪽의 차이를 이용하여 disparity를 얻어낸다.
- Disparity를 기준으로 3차원 값을 얻어낸다.

그림2. 스테레오비전의 3차원 영상 추출 원리

그림.2에서는 왼쪽 및 오른쪽 카메라에서 촬영한 영상을 바탕으로 Point를 추출하고 Point 추출 결과를 이용하여 Point의 위치 및 형태 결정하는 스테레오 비전의 촬영 알고리즘을 보여준다.

스테레오 비전 시스템을 이용한 3D 모델링 과정에서는 양 포인트에서 일치하는 포인트를 찾아내는 과정과 일치가 이루어지지 않은 영상이 진 경우 두 대의 카메라의 초점 거리와 이미지간의 좌표 계산에 특별한 주의를 기울여야 한다. 이는 일치성의 문제라고 불리며 스테레오 비전 촬영 알고리즘에서 어려운 문제다.

이를 해결하기 위한 다양한 매칭 알고리즘이 연구 중이지만 일반적인 방법은 일치점을 모든 포인트에 대응시켜 찾는 것이 아니라 임의의 Epipolar line이 하나 존재하고 그 선상에 대응 포인트가 있다고 가정함으로써 해결한다.

3.4 Stereo Vision 성능 분석

스테레오 비전은 위치 추적, 이동객체의 확인 및 거리/속도 측정이 가능한 성능을 활용하여 가상환경 구현, 고속도로 무인속도 측정기 등 다양한 분야에 적용되고 있다.

레이저 스캐너에 비하여 상대적으로 가격이 저렴하고 저 사양 하드웨어에서 실시간 측정이 가능할 뿐 아니라 Passive sensor로서 다른 센서 기구의 간섭을 받지 않는 장점이 있지만 실외작업에 따른 날씨 변화, 방수, 온도, 습도, 먼지등에 큰 영향을 받고 태양광에 민감하며 외부충격에 약한 단점에 대한 보완이 필요하다.

4. 광대역 모델링 관련 기술 특성 및 비교

지금까지 3D기술을 기반으로 한 시공현장 모델링 기술 검토를 레이저 스캐너와 스테레오 비전을 중심으로 실시하였다.

각각의 기술별 장단점이 다양하고 적용성이 다르기 때문에 표.3의 기술비교를 통하여 건설현장의 3D기반 광대역 모

델링시 적합한 기술 선택 과정을 지원하려 한다.

표.3 모델링 관련 기술 특성 비교

	레이저스캐너	스테레오비전
방식	<ul style="list-style-type: none"> • Time of Flight 방식: 측정 대상물체에 레이저를 발사하여 반사되어 되 돌아오는 시간을 계산하여 거리를 산출 	<ul style="list-style-type: none"> • 광학센서로부터 획득한 2차원 뷰를 이용하여 대상물체의 3D 이미지를 추정하는 기술 • 특정 point의 추출 및 결합을 통하여 대상 물체의 위치 및 형태 결정
적용 분야	<ul style="list-style-type: none"> • 건설측량의 지형도 작성 • 지형 시각화 • 3D 모델링 	<ul style="list-style-type: none"> • 현장 위치추적시스템 • 이동객체 추출 및 거리 측정 • 이동물체 속도 측정
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 광범위한 지역을 모델링할 경우, 스캔 장소를 여러장 촬영한 후 조합하여 지형전체를 스캐닝하는 방식: 이 때 영상 사이 겹치는 부분의 왜곡현상 제거 중요. 	<ul style="list-style-type: none"> 일치성의 문제라고 불리는 두 대의 카메라로 촬영시 일치하는 포인트를 찾는 매칭방법에 대한 고려가 중요
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 측정시 타 센서알고리즘에 비해 높은 정확도 • 기후의 영향이 적음 	<ul style="list-style-type: none"> • 가격이 저렴 • 상대적으로 저 사양 하드웨어에서 실시간 측정 가능 • passive sensor로서 다른 센서 기구의 간섭을 받지 않음
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 충격에 예민하므로 내구성에 대한 보완 필요 • 데이터 merging시 데이터가 틀어지는 현상 • 30m 이상 장거리에서 사용할 경우 스캔각도 문제로 사용이 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> • 실외작업에 따른 날씨 변화, 방수, 온도, 습도, 먼지 등에 큰 영향을 받음 • 강한 야외 조명(태양광)에 민감 • 외부충격에 약함 • 카메라 렌즈 굴곡으로 인한 변형 • 좌우 카메라로 식별이 어려운 대상의 측정불가
적용 사례	<ul style="list-style-type: none"> • 바코드 	<ul style="list-style-type: none"> • 가상환경 구현 • 고속도로 무인속도측정기

5. 결론

시공현장 3D기반 모델링 기술 적용을 통해 실시간으로 변화하는 지형을 측정함으로써 작업량과 공사진척도의 체계적인 관리가 가능하다. 또한 현장정보의 체계적인 수집 및 관리로 인한 현장관리 효율화를 통해 시공현장의 생산성 향상은 물론 현장 안전관리에도 기여할 수 있으며 유사공사 시공 시 참고자료로 활용될 수 있는 데이터베이스화가 가능하다. 이렇게 모델링을 통해 제공된 현장정보 D/B는 공정관리와 연계되어 필요정보의 적시제공을 가능하게 한다.

본 연구에서는 3D 센서장비를 이용하여 시공현장 부지를 스캔하고 스캔된 데이터를 3D모델링한다. 3D모델링된 데이터를 활용하여 시공현장 생산성향상, 모니터링, 안전관리, 현장

관리 효율화를 위해 필요한 작업환경분석, 작업계획결과, 작업량산출 결과 데이터를 토공 데이터베이스에서 수집하게 된다. 수집된 토공정보 데이터베이스는 아래의 그림3과 같은 프로세스를 통하여 향후 유사 공사의 작업분석 및 작업계획에 활용된다.

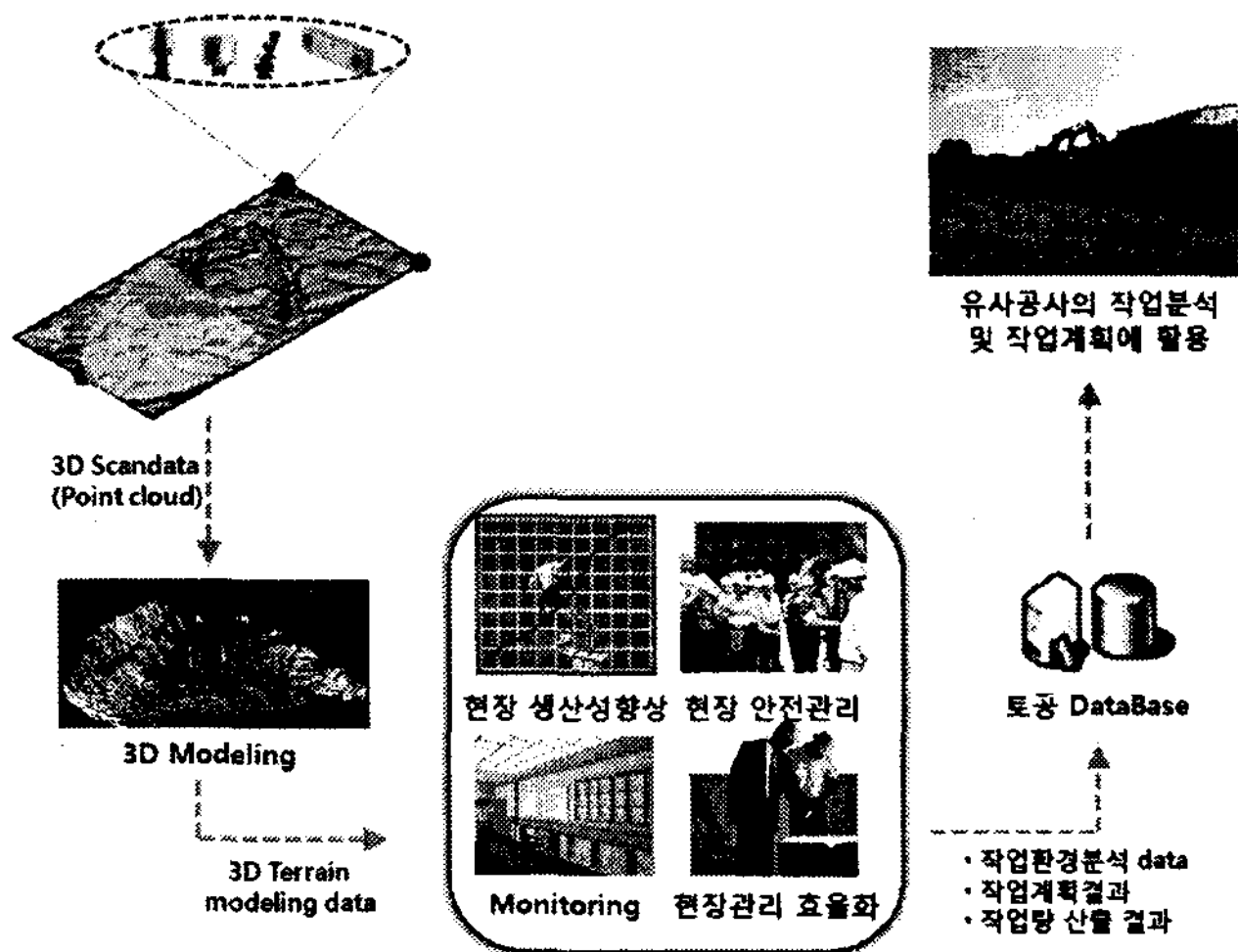


그림3. 현장 3D모델링과 활용 프로세스

연구 진행과정에서 건설현장 3D기반 모델링의 적용 필요성 대한 인식부족, 고가 장비 사용으로 인한 경제성 저하, 현장 적용시 기술적인 문제점을 인식하였다.

그리고 기존의 센서기술 자체에 국한된 3D기반 모델링에 관한 연구와 달리 센싱 알고리즘과 오차율 보정 알고리즘을 포함하는 다양한 3D기반 광대역 모델링 기술검토 및 장비 선정과 관련 연구의 필요성을 확인하였다.

본 연구 결과, 3D기반 광대역 모델링 센서기술을 활용한 토공 데이터 축적과 향후 활용 프로세스를 제시하였으며 3D 모델링 기술을 통해 획득되는 3D모델링 데이터와 토공정보

데이터베이스간의 연결 소프트웨어, 현장의 3D기반 모델링 후 오차율 보정 알고리즘 개발, 장비선정과정에 적용가능한 각 센서기술의 장단점 분석의 추가 연구를 진행할 것이다.

참고문헌

1. 김창완(2006), 건설장비 자동화를 위한 레이저 거리측정기를 이용한 인간지원 3차원 공간모델링, 건축학회
3. 김창완(2004), 효율적인 건설공사와 유지관리를 위한 건설현장에서의 3차원 공간 정보 획득, 건설관리학회
4. 이희만(2004), 스테레오 비전을 이용한 가상환경구현, 컴퓨터정보학회
5. 홍성표(2001), 삼각측량 시스템을 이용한 3-D 형상 복원, 전자정보통신연구소
7. Luca Iocchi, Multiresolution Stereo Vision System for Mobile Robots, AI Center-SRI International
8. Louis-Philippe Morency, "Fast 3D Model Acquisition from Stereo Images", IEEE, 2002
9. Jérémie Allard, "Marker-less Real Time 3D Modeling for Virtual Reality", IPT, 2004
10. Field demonstration of Laser Scanning for Excavation Measurement
11. Chris Leger, "Obstacle detection and safeguarding for a high-speed autonomous hydraulic excavator", TRI(The Robotics Institute)
12. Stone, W. C, "Automated Earthmoving Status Determination", ASCE, 2000
13. G. S. Cheok, "Laser Scanning for Construction Metrology", NIST
14. Anthony Stentz, "Robotic Excavator for Autonomous Truck Loading", TRI(The Robotics Institute)

Abstract

The importance of process improvement under construction has arisen from recent issue, lower productivity in the construction site. The various 3D modeling program is utilized in the procedure of construction as an alternative solution. However, it's still shortage of the consideration about a specific technical application.

The purpose of the study in this paper is helpful to improve the productivity of construction site using 3D realization of constructing place as one of extensive modeling technologies, which leads to not only efficient management of construction site allowing people to check the real time situation in the place but also the revitalization of information flow about building process control and progress. Therefore, I research into modeling algorithm and extensive construction site realization technology.

3D realization of building place would reduce the safety concerns by providing the real time information about construction site, and it could help to access easily to similar project through collecting and applying the database of sites. Furthermore it can be an opportunity to develop the procedure of production in construction industry and to upgrade the image of this field.

Keywords : terrain modeling, scanning, vision, monitoring, database