

# 실시간 지반형상 인식 및 토공량 자동 산출을 위한 요소기술 선정방안에 관한 연구

A Study on the Selection of Key Enabling Technologies for Automation of  
Real-time Ground Shape Recognition and Soil Volume Estimation

유병인\*○     안지성\*\*     오세욱\*\*\*     한승우\*\*\*\*     김영석\*\*\*\*\*  
Yu, Byung-In     Ahn, Ji-Sung     Oh, Se-Wook     Han, Seung-Woo     Kim, Young-suk

## 요 약

건설 산업의 숙련공 부족현상, 고령화 문제, 임금 상승으로 인한 채산성 악화, 품질의 균일성 및 안전성 확보 등은 향후 국내 건설 산업이 해결해야 할 당면 과제이다. 이러한 문제를 해결하기 위한 하나의 기술적인 접근방법으로써 국·내외에서는 건설 자동화에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있으며, 최근 국내에서는 토공사 작업의 안전성을 확보하기 위해 백호(backhoe)를 대상으로 지능형 굴삭로봇을 개발하기 위한 연구가 진행 중에 있다. 본 연구에서는 지능형 굴삭 로봇을 개발하기 위해 필수적으로 요구되는 기반기술 중 실시간 지반형상 인식 및 토공량 자동 산출을 위한 최신 요소기술을 분석하고 최적 대안을 제시하였으며, 이를 위해 국내외 문헌고찰 및 다양한 최신요소기술의 분석을 통해 지반형상을 실시간으로 인식할 수 있는 5가지 요소기술들에 대한 분석을 선행하였다. 또한 로컬영역의 실시간 지반형상 인식 및 토공량 자동 산출을 위해 3차원 모델링 장비가 갖추어야 할 주요 고려요소를 분석하고, AHP 기법을 이용하여 주요 고려요소별 가중치를 산정하고 각 요소기술별 선호지수를 도출하였다. 도출된 선호지수를 바탕으로 최신 요소기술 간의 우선순위를 선정함으로써 3차원 모델링 장비에 적용 가능한 최적 대안을 선정하였다.

키워드 : 건설자동화, 지반형상 인식, 토공량 산출, AHP, 선호지수

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

1980년대 후반부터 일본, 미국, 유럽 등 선진 국가에서는 건설 산업이 지니고 있는 숙련공 부족현상 및 고령화 문제, 임금 상승으로 인한 채산성 악화, 품질의 균일성 및 안전성 저하 등과 같은 문제점을 해결하기 위해 건설 자동화에 대한 연구를 지속적으로 수행하고 있다. 국내에서는 선진 국가에 비해 건설 자동화에 대한 연구개발에 대한 투자 및 기술의 상용화 정도가 부족하지만 2000년 이후부터 산·학·연 공동연구의 수행을 통해 건설 자동화 기술개발에 대한 연구를 점차적으로 확대하고 있는 추세이다. 한편 최근 국내에서는 백호를 대상으로 지능형 굴삭로봇을 개발하기 위한 연구가 진행 중에 있다. 백호를 이용한 토공사 작업은 작업 효율성은 우수하지만 비탈면 작업 시 백호 전복 사고의 위험이 있으며, 백호 주변 작업자

의 안전성이 확보 되지 못하는 등의 문제점을 지니고 있다. 지능형 굴삭 로봇을 개발하기 위해서는 백호의 굴삭영역(로컬 작업영역)에서 시공 상황에 따라 지속적으로 변화되는 비정형(amorphous)의 지반형상을 3차원으로 실시간 맵핑하고, 그 결과를 계획 도면과 비교·검토함으로써 토공량 자동 산출 및 지능형 굴삭로봇에 작업계획을 교시하기 위한 기술이 요구된다. 이를 위해 본 연구에서는 지능형 굴삭 로봇을 개발하기 위한 주요 기반기술 중 하나인 실시간 지반형상 인식 및 토공량 자동 산출을 위한 최신 요소기술의 분석 및 최적 대안을 도출하고자 한다. 본 연구에서는 국내외 문헌고찰 및 다양한 최신요소기술 분석을 통해 지반형상을 실시간으로 인식할 수 있는 5가지 기술들에 대한 분석을 선행하였다. 또한 로컬영역의 실시간 지반형상 인식 및 토공량 자동 산출을 위한 3차원 모델링 장비가 갖추어야 할 주요 고려요소를 분석하고, AHP 기법을 이용하여 주요 고려요소별 가중치 산정 및 기술의 선호지수를 도출하였다. 도출된 선호지수를 바탕으로 최신 요소기술간의 우선순위를 선정함으로써 3차원 모델링 장비에 적용 가능한 최적 대안을 선정하였다. 본 연구를 통해 개발될 3차원 로컬영역 모델링 기술은 백호뿐만 아니라 볼도저, 로더 등 다양한 토공장비의 자동화를 위해 필수적으로 요구되는 원천기술이므로 본 연구를 통해 제안될 개발 기술의 응용성 및 확장성은 매우 클

\* 일반회원, 인하대학교 건축공학과 석사과정, ybi222@hotmail.com  
\*\* 일반회원, 인하대학교 건축공학과 석사과정, golinon@hotmail.com  
\*\*\* 일반회원, Oklahoma State Univ. Post-doc. 공학박사, swoh@hotmail.com  
\*\*\*\* 종신회원, 인하대학교 건축공학과 조교수 공학박사, shan@inha.ac.kr  
\*\*\*\*\* 종신회원, 인하대학교 건축공학과 부교수 공학박사(교신저자), youngsuk@inha.ac.kr

본 연구는 건설교통부 지능형 굴삭시스템 개발 연구비 지원에 의한 연구의 일부임. 과제번호 C106D1010001-06D020100120

것으로 기대된다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 수행한 연구의 범위 및 방법은 다음과 같다.

#### 1) 국내외 관련 기술개발 동향 분석

굴삭 로봇의 실시간 지반 형상 인식 및 토공량 자동 산출을 위해 현재까지 국내외에서 수행된 관련 기술개발 동향을 분석하고, 국내 현실에 적합한 실시간 3차원 로컬영역 인식기술 개발의 필요성을 제시하였다.

#### 2) 최신 요소기술의 조사 및 비교·분석

지능형 굴삭 로봇을 개발하기 위해 필수적으로 요구되는 요소 기술인 실시간 지반 형상 인식 및 토공량 자동 산출 시스템 구현을 위해 본 연구에서는 문헌고찰 및 관련 업체와의 인터뷰 등을 통해 3D 입체영상 및 머신 비전 관련 기술을 분석하였다.

#### 3) 최적 대안 선정을 위한 고려요소 도출

조사·분석된 실시간 지반형상 인식 및 토공량 자동 산출을 위한 최신 요소 기술 중 국내 현실에 적합한 최적의 대안을 지능형 굴삭 로봇에 적용하기 위해 주요 고려요소 및 각 고려요소 별 세부 고려요소를 도출하였다.

#### 4) 최신 요소기술의 비교·분석 및 최적 대안 도출

AHP 기법을 이용하여 주요 고려요소별 가중치를 선정하고, 선호지수를 구함으로써 굴삭 로봇의 실시간 지반 형상 인식에 가장 적합한 요소기술을 도출하였다.

## 2. 국내외 관련 기술개발 동향 분석

### 2.1 지반형상 인식 기술

국내 지반형상 인식기술에 대한 연구는 주로 지반공학 분야에서 암반 사면의 특성 분석 및 안정성 분석, 댐 및 터널 내부의 변위 특성에 관한 이미지 획득 후 3차원으로 분석하는 연구를 수행하였다. 그러나 지반 공학 분야에서 수행된 연구는 지반의 형상을 실시간으로 3차원적으로 분석하는 데는 한계가 있는 것으로 조사·분석되었다. Herman은 굴삭 자동화 시스템 개발을 위해 레이저 스캐너를 사용하여 지반 형상을 자동으로 인식하는 연구를 수행하였다. Herman의 연구에서 사용된 요소기술은 지능형 굴삭 로봇의 개발을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다(표 1).

표 1. 지반형상인식 관련 연구개발동향

저자	논문명	내용
윤운상 (2004)	레이저 스캐너를 이용한 암반 사면 특성조사와 활용	대규모절토사면 현장을 대상으로 레이저 스캐너를 이용하여 조사를 수행함으로써 암반사면의 특성 조사 및 지면정보 활용 방안 제시
손호웅 (2006)	3차원 레이저 스캐닝 시스템을 이용한 불연속면의 방향성 측정과 터널 변위 모니터링	레이저 스캐너 장비의 활용을 통한 암반사면의 안정성 분석, 댐 및 터널 내부의 변위 특성을 3차원 공간 정보로 획득하는 시스템 제시
Herman (1995)	first-result in autonomous mapping and retrieval of buried object	지능형 굴삭 자동화 시스템 개발을 위해 레이저 스캐너를 활용하여 지반인식시스템 개발

### 2.2 토공량 산출 기술

국내외 문헌 고찰 고찰결과, 토공량 산출에 대한 연구는 국내의 경우 토공장비의 용량에 시간당 작업량을 곱하는 단순 산술식을 이용하고 있으며, 국외의 경우 변화되는 토공량을 실시간으로 산출하는 것이 아니라 일정량의 토공작업 후 레이저 스캐너로 이미지데이터를 취득하여 토공량을 산출하는 방법을 사용하고 있는 것으로 조사·분석되었다. 그러나 지능형 굴삭 로봇이 지반 맵핑 결과를 계획 도면과 비교·검토하여 다음 작업을 수행하기 위해서는 3차원 지반 맵핑을 실시간으로 수행해야 하고, 실시간으로 맵핑된 결과물은 토공량 자동 산출 시스템과 연계되어 향후 작업 생산성 도출을 위한 기본 자료로 활용될 수 있다(표 2). 따라서 토공량을 실시간으로 측정할 수 있는 시스템의 개발이 요구된다.

표 2. 지반형상인식 관련 연구개발동향

저자	논문명	내용
황영조 (2006)	시스템 다이내믹스를 활용한 토공량 산정 모형 구축	시스템 다이내믹스 기법을 활용하여 토공작업의 여러 단계 중 기계화 토공장비의 굴착 후 적재 및 운반단계를 대상으로 토공장비의 최적조합시공에 의한 토공량 산정 모형 구축
Elliot Duff (2000)	automation v o l u m e measurement of haul-truck loads	레이저 스캐너를 이용하여 상차트럭에 적재된 흙과 빈 트럭을 이미지 맵핑함으로써 토공량을 산출하기 위한 방법 제시
G. S. Cheok (2001)	laser scanning for construction metrology	쌓여있는 흙더미의 변화를 레이저 스캐너로 측정함으로써 변화하는 토공량을 산정하는 시스템 연구

## 3. 최신 요소기술의 조사 및 비교·분석

### 3.1 실시간 지반형상 인식 및 토공량 자동 산출을 위한 주요 요소기술

#### (1) 레이저 스캐너

레이저 스캐너의 측정 방법은 빛의 비행시간을 측정하여 거리를 계산하는 방법(TOF : Time of Flight)과 레이저와 물체와의 삼각관계를 기하학적으로 계산하는 삼각측정방법(Triangulation Measuring Method)으로 구분될 수 있으나 현재 레이저 스캐너 장비의 경우 주로 TOF 방식을 사용하고 있다. TOF방식은 광대역 레이저 스캐너와 레인지파인더(Range finder)방식의 레이저 스캐너로 구분된다.

#### 1) TOF 방식(광대역 스캐너)

TOF 방식의 광대역 스캐너는 다이오드(diode)에서 레이저 광을 발생하여 물체의 표면에서 산란되고, 산란된 광선의 일부가 리시버(receiver)로 되돌아오는 시간을 측정함으로써 거리를 계산할 수 있는 장비이다(그림 1). 레이저 광의 각 좌표값은 측정점이라 하며 소프트웨어를 이용하여 각 점의 좌표값을 메쉬(mesh)화하면 3D 입체정보를 얻을 수 있다. 광대역 스캐너의 경우 300m 까지 비교적 먼 거리를 측정할 수 있으며 거리에 따라 수 mm에서 2~3cm 범위까지 다양한 해상도(resolution)로 측정이 가

능하므로 정밀한 스캐닝이 가능하나 비전기술을 기반으로 하는 다른 3D 측정기술에 비해 스캔속도(5~10분)가 느리고, 장비 가격(약 1억 5천만원)이 높은 단점을 가지고 있다.

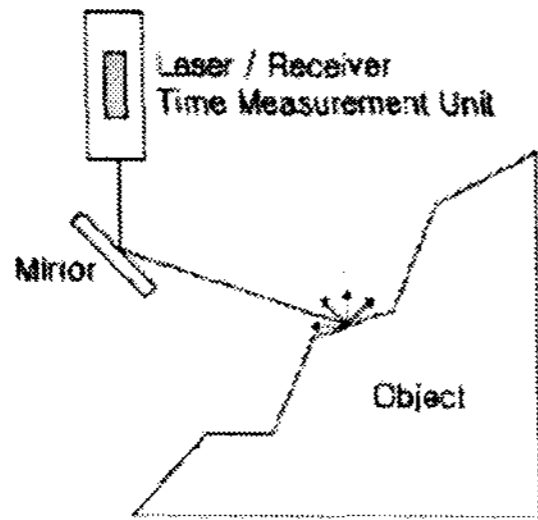


그림 1. TOF 측정방식

2) TOF 방식(레이저파인더 방식)

레이저 파인더(range finder) 방식의 레이저 스캐너는 2차원 거리측정장치를 pan/tilt를 이용하여 3차원 입체정보를 얻을 수 있는 방식이다(그림 2). 레이저 파인더를 이용한 측정방식은 광대역 스캐너에 비해 정확성이 낮고, 측정 거리(30~80m)가 짧으나 가격이 상대적으로 저렴(약 1000~2000만원)하고 작업영역을 ms(milli-second : 1/1000 second)단위로 빠르게 스캐닝 할 수 있는 장점을 지니고 있는 것으로 조사되었다.

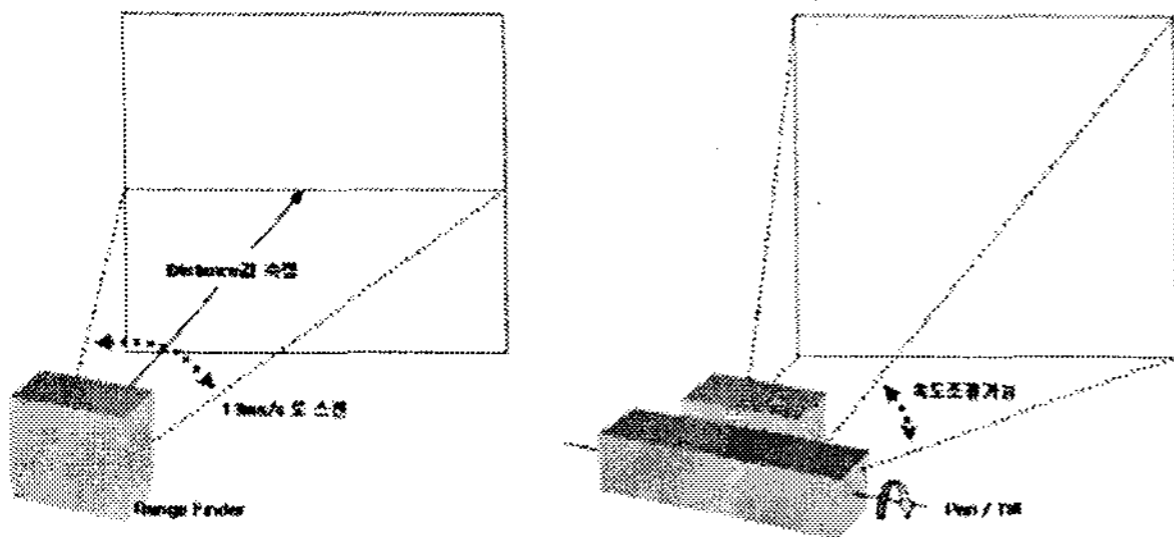


그림 2. Tilt/Pan을 이용한 Range finder방식의 원리

(2) 스테레오 비전

스테레오 비전(stereo vision) 기술은 2차원 영상으로부터 3차원 정보를 추출하는 과정으로 2대의 카메라를 이용하는 방법이다(김상명, 2005).

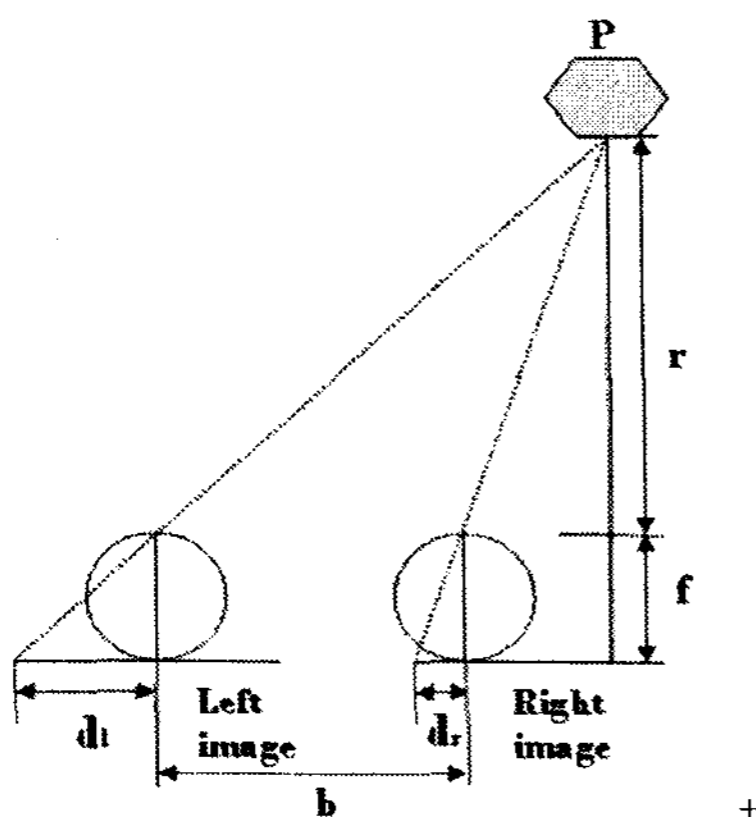


그림 3. 스테레오 매칭 시스템의 기하학적 구조

일정 거리(base(b))를 두고 배치된 두 대의 카메라를 통해 촬영된 두 개의 영상에서 피사체간 거리차( $d_l - d_r$ )를 구하고, 렌즈의 초점거리(f)와 카메라로부터 피사체 사이 거리의 기하학적 구조를 통해 식 1을 이용하여 r값을 도출할 수 있다(그림 3).

$$r = f \frac{b}{d} \quad (\text{식 1})$$

- b : 두 대의 카메라 사이의 base line 거리
- d : 두 개 영상에 맺힌 동일 피사체 사이의 거리차( $d_l - d_r$ )
- f : 카메라 렌즈의 초점거리
- r : 피사체와 카메라와의 거리

식 1을 기반으로 두 개의 영상에서 공통된 각각의 점을 매칭하여 사진상의 각 점들에 대한 거리값 r을 구하면 촬영된 영상의 3D 입체정보를 얻을 수 있다. 스테레오 비전 시스템은 가격이 저렴하고 적외선과 초음파에 비해 높은 정확도를 가진다. 또한 사진촬영을 기반으로 하기 때문에 레이저 스캐너에 비해 스캔속도가 우수하다. 그러나 스테레오 비전 시스템을 사용하여 흠을 촬영할 경우에는 좌·우 카메라로 촬영된 두 개의 영상에서 공통된 지점을 찾아내는 과정에서 에러가 발생할 확률이 높아 지반형상 인식에는 부적절 한 것으로 판단된다.

(3) 음영으로부터의 형상화(SFS : Shape from shading)

SFS 방식은 일정한 표면을 가진 부드러운 물체를 사진으로 찍었을 때 사진에 나타나는 음영을 수식적으로 계산하여 2차원에서 3D 입체정보를 얻는 기법이다. 물체에서 면 구성요소에 의해서 반사되는 빛의 양(면 반사량)은 면의 미세구조, 광학적 성질, 각도분포, 입사조명의 편광상태 등에 의해 결정된다. 가장 널리 사용되고 있는 표면 반사 모형은 알비도 상수(albedo constant)  $\rho$ 를 가지는 함수  $f(i, e, g) = \rho \cos i$ 이다(그림 4).

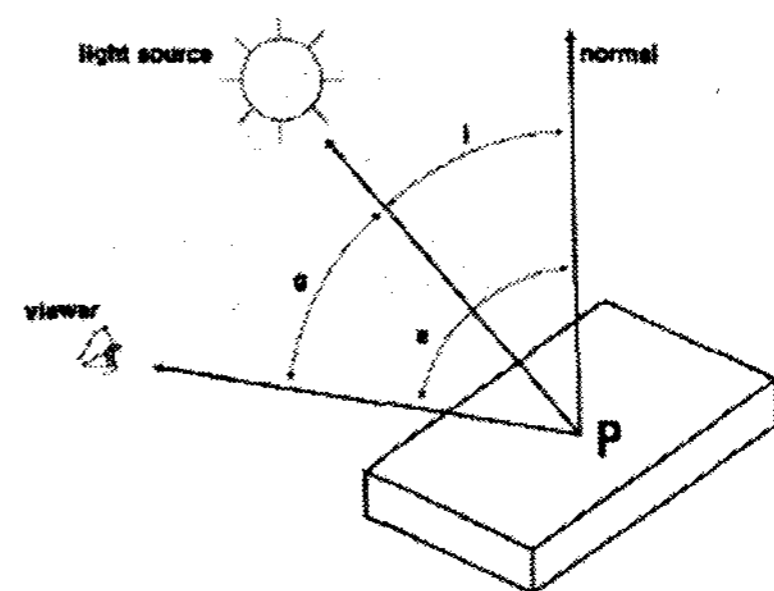


그림 4. 관찰자, 점, 광원의 입사각도  $i$ 와 위상  $g$ , 반사각  $e$ 를 기술하는 반사의 기하학적 배치(김방환, 1994)

이 함수 모형에서 표면상수  $\rho$  및 위상  $g$ 는 측정시 고정된 값으로써 표면 반사 모형식의 음영정도는  $i$ 값에 의해서만 영향을 받는다. 이는 SFS로 측정시 광원과 관측자의 위치가 정해져 있다면  $i$ 값은 법선벡터에 의해서만 변화하게 되므로 이는 측정되는 한 점 P의  $i$ 값이 작을수

록 사진상에 어둡게 나타난다. 이 원리를 역으로 적용하여 사진상의 물체에 나타나는 음영을 분석하여 등광도 곡선을 얻을 수 있다. 등광도 곡선의 각 점에서 법선 벡터값을 수식을 통해 구하면 물체의 상대적인 위치값(초기의 기준점은 설정해야 함)을 알 수 있다.

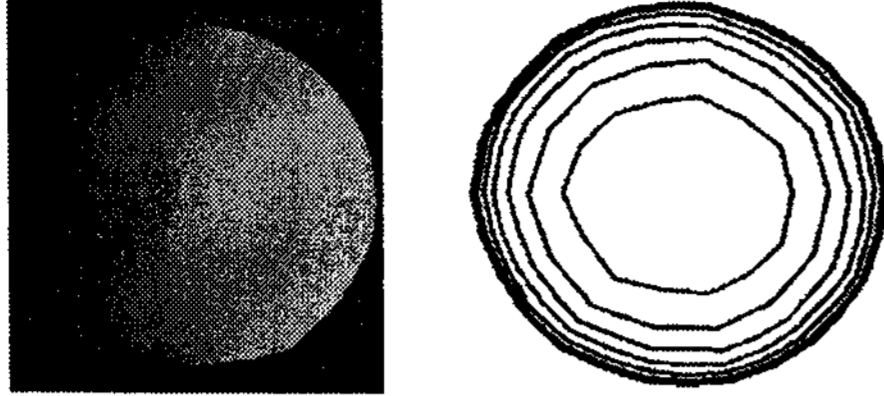


그림 5. 영상에서 얻어진 등광도 곡선 (Thomas Dean, 1988)

SFS방식은 측정시간이 빠르고 일반 영상만 이용하므로 설치 조건이 간단한 장점이 있다. SFS를 통해 3D좌표를 측정하기 위해서는 항상 조명(인공 조명 또는 태양광)의 위치를 알고 있어야 한다. 그러나 계속 움직이는 백호에서는 태양광의 위치를 실시간으로 추적하는 것이 어렵고, 반사특성이 일정하지 않은 지반(흙)에서 일정한 등광도 곡선을 획득하기가 어려운 단점을 가지고 있다.

#### (4) Structured light

Structured light 방식은 기존의 스테레오 비전기술에서 파생된 것으로 불연속적인 표면에 대한 대응점 계산이 용이하지 않은 스테레오 기술의 정확도를 향상시키기 위해 제안된 기술이다. Structured light 방식의 비전 기술의 구현은 프로젝터를 통하여 일정한 규칙의 패턴이 포함된 광을 3차원으로 복원하고자 하는 객체에 투영하고 카메라로 촬영한 후 3차원 이미지 영상을 획득하는 방법이다(그림 6).

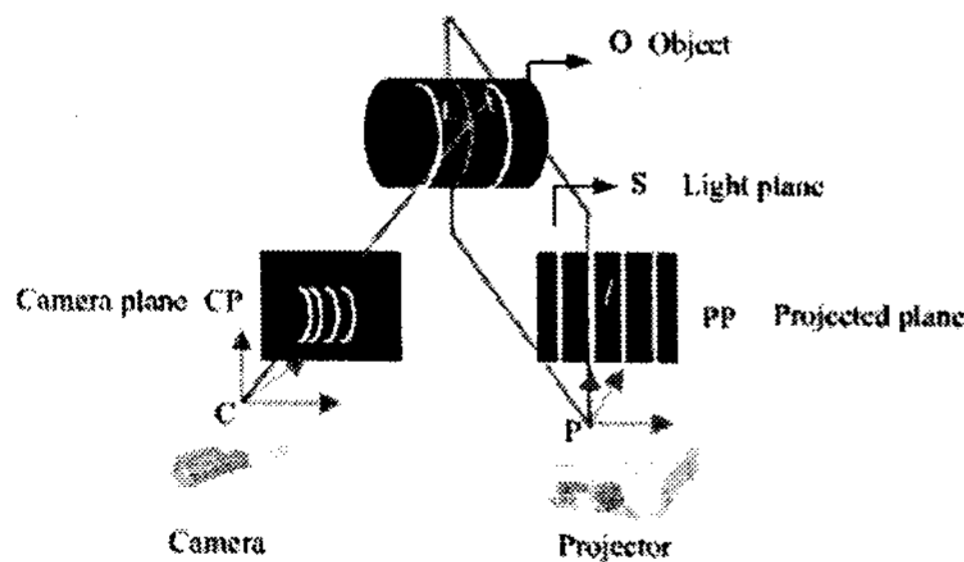


그림 6. Layout of Structured Light System (Single Stripe System) (L Xu, 2006)

주요장비로는 코드화된 패턴이 포함된 광을 투사하는 프로젝터(Projector)와 이미지를 촬영하는 카메라가 있다. 프로젝터로부터 직선으로 투사된 선  $l$ 은 곡면을 만날 경우  $L$ 과 같이 곡면의 곡선을 따라 휘어진다. 곡선  $L$ 과 프로젝터의 중심  $P$ 는 빛 평면  $S$ 를 구성하고 곡선 위의 한 점은 CCD카메라의  $CP$ 에 표현된다. 물체 표면의 한 점에 대한 3차원 위치정보는 빛 평면  $S$ 와 카메라 평면  $CP$  위

에 투영된 점들의 일치에 의해 결정된다. Structured light 방식의 비전 기술은 빠른 시간 안에 정밀한 측정이 가능하고 설치가 편리하며 대응점의 정확도를 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 그러나 프로젝터에서 투사되는 광을 카메라가 인식할 수 있을 정도의 밝은 광원이 필요한 단점을 지니고 있다.

### 3.2 실시간 지반형상 인식 및 토공량 자동 산출을 위한 주요 고려요소

지능형 토공 로봇이 실시간으로 지반 형상을 인식하여 토공 작업 계획을 수립하기 위해서는 가장 효율적인 로컬 영역 3차원 모델링 장비가 선정되어 개발 로봇의 요소기술로 적용되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 최적의 로컬영역 3차원 모델링 장비를 선정하기 위해 경제성 및 신속성 및 데이터 획득범위, 획득된 데이터의 정확성, 설치 가능 여부, 내구성 등을 고려요소로 도출하였다(표 3).

표 3. 3차원 모델링 장비 고려요소

경제성	하드웨어 가격의 적절성
	소프트웨어 가격의 적절성
	백호 장착장비 (Pan/Tilt) 가격의 적절성
신속성 및 데이터 획득범위	데이터 획득의 신속성
	최대 10m 거리의 지반형상 데이터 획득 가능 측정범위 (반경 2m) 내 영상획득의 적합성
데이터 정확성	지반형상 이미지 정확성
	데이터의 충분한 해상도
	야간상황 대응 가능
설치 위치	백호 운전석에 설치 가능
	외부에 설치 가능 (死角에 대한 보정가능)
내구성	백호 진동 대응 가능
	방수 가능
	건설공사 작업에 적합한 내구성

### 3.3 최신 요소기술의 비교·분석 및 최적 대안 도출

#### (1) AHP 기법을 이용한 주요 고려요소별 가중치 산정

본 연구에서는 앞서 조사·분석된 5개의 최신 요소기술을 대상으로 AHP 분석 기법을 이용하여 개발하고자 하는 실시간 지반형상 인식 및 토공량 산출 시스템에 적합한 기술 대안을 선정하였다. 즉, AHP 분석 기법을 이용하여 표 3에서 도출된 고려요소를 쌍대비교 함으로써 각 고려요소 간의 가중치를 표 4와 같이 도출하였다.

AHP 분석 방법을 이용한 고려요소 간의 쌍대비교 결과, 신속성 및 데이터 획득범위의 가중치가 0.43으로 가장 높게 나타났으며 설치위치 0.27, 정확성 0.16, 내구성/안전성 0.09, 경제성 0.05 순으로 분석되었다. 즉, 실시간 지반형상 인식 및 토공량 산출 시스템 개발을 위해서는 신속성 및 데이터 획득범위 요소가 가장 중요하게 고려되어야 하는 것으로 분석되었다.

표 4. 고려요소별 가중치

주요 고려요소	경제성	신속성 및 데이터 획득범위	정확성	설치 위치	내구성/안전성	합계	가중치
경제성	1	1/7	1/3	1/5	1/2	0.27	0.05
신속성 및 데이터 획득범위	7	1	3	2	4	2.15	0.43
정확성	3	1/3	1	1/2	2	0.78	0.16
설치위치	5	1/2	2	1	3	1.33	0.27
내구성/안전성	2	1/4	1/2	1/3	1	0.47	0.09
합계	18.00	2.23	6.83	4.03	10.50	5.00	1.00

(2) 선호지수의 적용

본 연구를 통해 조사된 5개의 대안(GL.S, R.L.S, stereo vision, S.F.S, structured light)중 실시간 지반형상 인식 및 토공량 산출 시스템 구현을 위한 최적 대안을 찾기 위해 고려요소 내의 세부 고려요소를 표 5와 같이 도출하고 각 대안의 해당여부를 검토하였다.

표 5. 요소기술별 해당사항

주요 고려요소	세부 고려요소	GL.S	RL.S	St.Vsn	S.F.S	Str.Lgt.
경제성	하드웨어 가격의 적절성		0	0	0	0
	소프트웨어 가격의 적절성	0	0	0	0	0
	백호 장착장비 (Pan/Tilt) 가격의 적절성		0	0	0	0
신속성 및 데이터 획득범위	백호의 작업 중단 없는 데이터 획득 가능		0	0	0	0
	최대 10m 거리의 지반형상 데이터 획득 가능	0				
	측정범위(반경2m)내 영상획득의 적합성	0	0	0		0
데이터 정확성	지반형상 이미지 정확성	0				0
	데이터의 충분한 해상도	0		0		0
	야간상황 대응 가능					0
설치위치	백호 운전석에 설치 가능		0	0	0	0
	외부에 설치 가능	0	0			0
내구성/안전성	백호 진동 대응 가능		0	0	0	0
	방수 가능	0	0	0	0	0
	건설공사 작업에 적합한 내구성			0	0	0

각 대안에 대한 우선순위(선호지수)는 표 4에서 도출한 고려요소별 가중치와 표 5에서 도출한 요소기술별 세부 고려요소의 해당비율을 곱함으로써 얻을 수 있다. 즉, 각 대안의 선호지수를 산정하기 위한 산술식은 1)5개의 주요 고려요소에 대한 가중치(표 4)와 2)각 주요 고려요소별 세부고려요소(표 5)의 해당비율을 곱한 합으로 정의될 수 있다(식 2).

$$\text{선호지수} = 0.05 \times \text{경제성의 세부 고려요소 중 해당비율} + 0.43 \times \text{신속성 및 데이터 획득범위의 세부 고려요소 중 해당비율} + 0.16 \times \text{정확성의 세부 고려요소 중 해당비율} + 0.27 \times \text{설치위치의 세부 고려요소 중 해당비율} + 0.09 \times \text{내구성/안전성의 세부 고려요소 중 해당비율}$$

(식 2)

본 연구에서는 식 2를 사용하여 실시간 지반형상 인식 및 토공량 산출 시스템 구현을 위한 최적 대안 선정에 위한 선호지수를 표 6과 같이 도출하였다.

표 6. 요소기술별 선호도지수 산출결과

요소 기술	경제성	신속성 및 데이터 획득범위	정확성	설치 위치	내구성/안전성	선호 지수
G.L.S	1/3	2/3	2/3	1/2	1/3	0.57
R.L.S	2/3	2/3	0	1	1/3	0.62
St. Vsn	1	1	1/3	1/2	1	0.76
S.F.S	1	1/3	0	1/2	1	0.42
Str. Lgt.	1	2/3	1	1	1	0.86

선호 지수 도출 결과 표 6과 같이 structured light 기술의 선호지수가 0.86으로 가장 높게 분석되어 실시간 지반형상 인식 및 토공량 산출을 위한 최적 대안으로 분석되었다. 본 연구의 결과 도출된 최적대안은 지능형 토공 로봇의 성공적 구현을 위한 기본 자료로 활용될 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 굴삭작업 중인 백호의 실시간 지반형상 인식 및 토공량 산출 시스템을 구현하기 위한 요소기술로 레이저 스캐너(광대역 스캐너, 레인지 파인더 방식의 레이저 스캐너) 및 스테레오 비전, 음영으로부터의 형상화(S.F.S), structured light 등을 분석하였다.

(2) 최신 요소기술을 지능형 굴삭로봇에 적용하기 위한 고려요소로 경제성 및 신속성 및 데이터 획득범위, 데이터 정확성, 설치위치, 내구성 등을 도출하고 최적 대안 선정을 위한 기초자료로 활용될 수 있도록 하였다. 또한 각 고려요소에 대한 세부 고려 요소를 재 도출하고 각 요소기술의 해당여부를 검토하였다.

(3) AHP 기법을 이용해 주요 고려요소별 가중치를 산정한 결과 5개의 고려 요소(경제성 및 신속성 및 데이터 획득범위, 데이터 정확성, 설치위치, 내구성) 중 “신속성 및 데이터 획득범위”의 가중치가 43퍼센트로 도출되어 최적 대안 선정을 위해 가장 중요하게 인식 되어야 하는 것으로 분석되었다.

(4) 고려요소별 가중치와 요소기술별 세부 고려요소의 해당비율을 곱하여 선호지수를 산정한 결과, structured light 기술의 선호지수가 0.86으로 도출되어 지능형 굴삭로봇의 실시간 지반형상 인식을 위한 최적의 기술적 대안으로 선정되었다.

본 연구를 통해 최적 대안으로 선정된 structured light 기술은 실외에서 태양광보다 밝은 광원 확보 및 10m거리의 지반형상 데이터 획득이 어려운 한계성을 가지고 있

다. 따라서 향후 연구 과제로써 structured light 기술의 한계점을 극복하기 위한 기술개발 및 백호 장착에 대한 실험이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 건설교통기술연구개발계획서, "지능형 굴삭시스템 개발"
2. 건설교통기술연구개발계획서, "로컬영역 3차원 모델링을 통한 공간정보 인식기술 개발"
3. 김방환, " 직교다항식에 의한 표면 근사화를 이용한 Shape from shading" 1994
4. 김상명, "스테레오 영상의 정합값을 통한 얼굴특징 추출 방법", Journal of Korea Multimedia Society Vol. 8, No. 4, April 2005, pp461-472
5. 손호웅, 오석훈, 김영경, "3차원 레이저 스캐닝 시스템을 이용한 불연속면의 방향성 측정과 터널 변위 모니터링", 지구물리 Vol. 9 No. 1, 2006, pp. 47-62.
6. 윤운상, 박성욱, 신경진, "레이저 스캐너를 이용한 암반 사면 특성조사와 활용", 대림정보기술 2004년 겨울호, pp. 124~132.
7. 이준복, "국내외 건설자동화의 연구개발 현황 및 미래 전망", 건설관리 기술과 동향 I, 2003, pp208-212
8. 황영조, 원서경, 한충희, 김선국, "시스템 다이내믹스를 활용한 토공량 산정모형 구축", 한국건설관리학회 학술발표대회논문집, 2006, pp. 467-470.
9. Elliot Duff, "Automation Volume Measurement of Haul-Truck Loads", 2000.
10. G.S. Cheok, W.C. Stone, R. R. Lipman, "Laser scanning for construction metrology", NIST paper No. 82, 2001, pp. 1-9.
11. Herman Herman, Sanjiv Singh, "First Result in Automous Mapping and Retrieval of Buried Object
12. Thomas Dean, "Artificial Intelligence : Theory and practice" 1995, pp425-490
13. L Xu, Z J Zhang, H Ma and Y J YU, "Real-Time 3D Profile Measurement Using Structured Light", Journal of Physics, Vol 48, 2006, pp.339-343.

---

### Abstract

Recently, automated construction machines have been developed for technically solving construction industry problems such as labor, productivity, quality and the profit decrease. In domestic construction industry, a research for developing an intelligent excavation robot has been performed. The primary objective of this research is to analysis state-of-the art technologies in order to recognize local ground shape in real-time and compute soil volume of earth moving. This research analyzed five elemental technologies for 3D modeling of local ground shape and selected an optimal technology among the five technologies through using AHP method. It is anticipated that the optimal technology selected for 3D modeling of local ground shape can be effectively used to develop the intelligent excavation robot.

**keywords** : real-time recognition of ground shpe, soil volume of earth moving, AHP

---