

로버 카메라 시스템을 이용한 건설공간정보화 기술의 개발 방안 연구

홍성철^{1*}, 정태일¹, 박재민², 신휴성¹

¹한국건설기술연구원 미래융합연구본부, ²한국건설기술연구원 혁신전략실

Research on Development of Construction Spatial Information Technology, using Rover's Camera System

Sungchul Hong^{1*}, Taeil Chung¹, Jaemin Park², Hyu-Sung Shin¹

¹Department of Future Technology and Convergence Research, Korea Institute of Civil Engineering and
Building Technology

²Innovation and Strategy Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 달에 얼음 형태의 물과 희귀 자원의 대량 존재하는 것이 밝혀지면서, 달의 경제적, 산업적 가치는 증대되고 있다. 이에 우리나라를 포함한 전 세계 주요 우주국들은 달 자원 확보와 유인 기지 건설을 위한 현지 자원 활용 기술을 개발하고 있다. 향후 달 현지 건설을 준비하기 위해서는 로버에서 취득한 지형 및 건설 영상을 가공하여, 건설 전 주기의 의사 결정 지원정보를 제공하는 무인 건설공간정보화 기술을 개발해야한다. 본 연구에서는 달 로버 카메라 시스템을 기반으로 한 건설공간정보화 기술의 개발 방안을 소개하였다. 세부적으로 로버의 주행 영상, 지형 및 건설 영상 취득을 위한 로버 기반 카메라 시스템의 개념 설계와 달 건설공간정보 구축을 위한 분산 환경 기반의 개념적 아키텍처인 달 로버 운영 시스템을 제안하였다. 또한 달 표면에 특화된 로버의 위치 결정 및 3차원 지형복원 기법 개발 방안을 제시하였다. 본 연구에 도출한 달 무인 건설공간정보화 기술은 개념적 설계로 실험을 통한 검증이 필요하다. 따라서 개발된 로버와 로버 운영 시스템은 향후, 달 모의 지형에 적용하여 개선할 예정이다.

Abstract The scientific, economical and industrial values of the Moon have been increased, as massive ice-water and rare resource were founded from the lunar exploration missions. Korea and other major space agencies in the world are competitively developing the ISRU (In Situ Resource Utilization) technology to secure future lunar resource as well as to construct the lunar base. To prepare for the lunar construction, it is essential to develop the rover based construction spatial information technology to provide a decision-making aided information during the lunar construction process. Thus, this research presented the construction spatial information technology based upon rover's camera system. Specifically, the conceptual design of rover based camera system was designed for acquisition of a rover's navigation image, and lunar terrain and construction images around the rover. The reference architecture of the rover operation system was designed for computation of the lunar construction spatial information. Also, rover's localization and terrain reconstruction methods were introduced considering the characteristics of lunar surface environments. It is necessary to test and validate the conceptual design of the construction spatial information technology. Thus, in the future study, the developed rover and rover operation system will be applied to the lunar terrestrial analogue site for further improvements.

Keywords : Lunar Construction, In Situ Resource Utilization, Construction Spatial Information, Rover, Optical Camera System

본 논문은 한국건설기술연구원 주요사업으로 지원을 받아 수행된 연구(극한건설 환경구현 인프라 및 TRL6 이상급 극한건설 핵심기술 개발)로 이에 감사합니다.

*Corresponding Author : Sungchul Hong(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

email: shong@kict.re.kr

Received April 5, 2019

Accepted July 5, 2019

Revised April 29, 2019

Published July 31, 2019

1. 서론

우주 강대국들은 달에 얼음 형태의 물과 다량의 희귀 자원이 존재하는 것이 밝혀짐에 따라, 달 착륙선과 로버 중심의 달 탐사를 준비 중이다 [1-3]. 최근 미국은 1970년대 이후 중단되었던 유인 달 탐사 재개를 선언하였고, 유럽연합은 문 빌리지(Moon Village) 계획을 발표하여 달 기지 건설을 위한 국제협력을 제안하였다 [4, 5]. 달은 그동안 궤도선을 이용하여 조사 및 분석되어 왔다. 달 탐사 궤도선은 장기간 동안 광역적인 표면 탐사가 가능하다. 하지만 달 궤도선의 관측 정보는 낮은 해상도를 가지며 달 표면에 국한되기 때문에, 다수의 관심 지역을 이동하며 지표면과 지반에 대한 정밀 조사가 가능한 탐사 로버가 개발되고 있다 [6]. 달과 화성을 포함한 행성 탐사 로버는 유인 로버와 무인 로버로 구분된다. 유인 로버는 과거 아폴로 임무(Apollo Mission)에서 사용된 사례가 있다 [7]. 하지만 우주인이 행성 표면에 착륙해서 직접 조정해야 하므로 높은 위험성이 있으며 장기간 탐사가 불가능하다(Fig. 1). 반면 지구에서 원격으로 조작되는 무인 로버는 카메라, 분광기, 시추 장비 등의 관측장비를 탑재하고 지형 촬영, 표토 분석, 지반 조사 등의 탐사 임무를 수행한다. 따라서 유인 로버에 비해 상대적으로 낮은 위험성으로 장시간 탐사 임무를 수행할 수 있다[7, 8].

달 탐사 로버는 행성 표면의 험한 지형에서 목적지까지 충돌 없이 빠르게 움직여야 하며, 달 표면의 토양과 지반을 조사할 경우 안전하고 정확하게 관측장비를 조작해야 한다. 하지만 로버 주행과 관측장비는 지구와의 원격 통신을 통해 조작되므로 송수신 지연을 고려해서 제작되어야 한다. 또한 로버는 극고온 및 극저온, 우주 방사선, 진공 등의 극한환경을 견딜 수 있도록 제작되어야 한다 [8]. 특히, 달 토양은 60 ~ 80 μ m의 미세한 입자크기를 가진다. 태양광으로 인해 정전기를 가지는 달 토양 입자는 로버 내부에 침투하여 오작동과 고장을 유발할 수 있으므로 적절한 방진 방안을 고려하여 로버를 제작해야 한다.

최근에는 달 자원 개발과 유인 탐사의 필요성이 대두됨에 따라, 달 자원 개발 인프라와 유인 기지 건설 등의 임무를 수행하기 위한 건설 로버가 개발 중이다. 로버에 탑재된 카메라는 주변 영상을 지구에 전송함으로써 로버의 이동과 위치 추정을 위해 사용된다. 또한 스테레오 카메라를 사용할 경우 지형 및 건설 현장을 3차원으로 입체감 있게 구현할 수 있어, 건설 기획 및 설계, 건설 시공 관리, 건설물 유지관리 등에 활용이 가능하다. 본 연구에서는 로버 카메라 시스템 기반 건설공간정보화 기술의

개념적 설계와 개발 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 달과 화성 탐사 로버를 조사하였고, 로버 기반의 건설공간정보화 기술을 개발하기 위한 고려 사항을 도출하였다. 마지막으로 로버 카메라 시스템의 개념 설계와 로버 운영 시스템의 참조 아키텍처를 제시하였고, 이를 기반으로 달 건설공간정보화 기술 개발 방안을 제시하였다.

2. 행성 탐사 로버 개발 동향

2.1 개요

행성 탐사 로버는 카메라, 분광기, 시추 장비 등 다양한 장비를 탑재한다. 이중 카메라는 로버의 원격 조작을 위한 주변 영상 확보, 자율 주행, 지형정보 취득 등에 활용된다. 본 장에서는 2000년 대 들어 달과 화성 탐사를 위해 개발된 로버와 탑재된 카메라 시스템을 조사하여 로버 기반 건설공간정보화 기술의 개발 고려 사항을 도출하고자 하였다.

2.2 Yutu 1호

달 탐사선인 중국 Chang'e 3호는 2013년 12월 달 탐사 무인 로버인 Yutu 1호를 달 Mare Imbrium에 성공적으로 착륙하였다 [9, 10] (Fig. 1). Yutu의 크기는 1.0m(W) x 1.5(L) x 1.1m(H)로 140kg의 무게를 지닌다. 험준한 지형을 주행하기 위해 6개의 바퀴를 이용하여 최대 20km/h의 속도로 주행하도록 제작되었다. Yutu 1호는 지표 투과 레이더, 알파입자 X 선, 적외선 분광기 등의 탑재체를 가진다. 주행용 카메라와 파노라마 카메라는 로버의 주행 및 지형 영상 촬영을 위해 1.5m 높이의 마스트에 탑재하였고, 본체 하단에는 위험 회피용 카메라를 탑재하였다. 각각의 카메라는 2대로 구성되어 스테레오 영상을 생성하므로 3차원 지형공간정보를 취득하기 위해 이용되며, 구축된 3차원 지형정보는 로버의 안전한 주행을 위해 사용할 수 있도록 설계되었다.

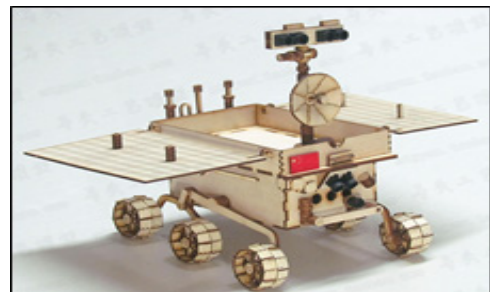


Fig. 1. Yutu-1 [10]

2.3 Spirit과 Opportunity

미국의 Spirit과 Opportunity는 쌍둥이 무인 탐사 로버로 화성의 토양 및 암석 조사, 지형 촬영, 물 흔적 찾기 등을 위해 개발되었으며, 각각 2003년 6월과 7월에 발사되었다 [7, 8](Fig. 2). Spirit은 2004년 1월 화성 남반구의 Gusev Crater에 착륙하였고, Opportunity는 3주 후 Meridiani Planum에 착륙하였다. 두 로버의 크기는 2.3m(W) x 1.6m(L) x 1.5(H)로 총 중량은 185kg이다. 평균 주행 속도는 1cm/sec, 최대 속도는 5 cm/sec이고 최대 30도 경사도를 지닌 지형까지 주행할 수 있도록 개발되었다. 두 로버는 지형공간정보 구축과 주행을 위해 파노라마 카메라와 주행 카메라를 탑재하였다. 파노라마 카메라는 지형의 질감, 색깔, 광물과 구조 등을 분석하고, 주행 카메라는 로버 주변 탐색과 주행을 위한 정보를 수집하는 기능을 담당하였다.

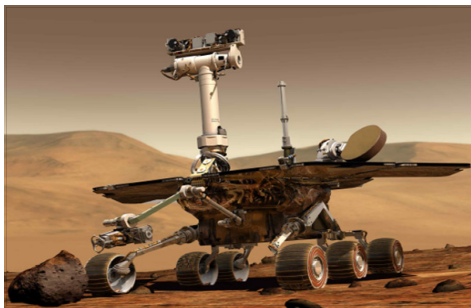


Fig. 2. Spirit [11]

2.4 Curiosity

화성에서 활동 중인 세 번째 무인 탐사 로버는 미국의 Curiosity로 2012년 Gale Crater에 착륙하여 화성 기후, 지질 조사, 물의 흔적 및 생명체 존재 찾기 등의 탐사 임무를 수행 중에 있다 [8]. Curiosity는 대형 탐사 로버로 크기는 2.7m(W) x 2.9m(L) x 2.2m(H), 총 중량은 899kg이다. 다른 로버와는 달리 방사선 동위원소 발전기를 이용하여 동력을 공급한다. 최대 주행 속도는 2.5cm/sec이나, 평균 주행속도는 지형의 험한 정도와 가시성 등을 고려하여 대략 0.83cm/s일 것으로 예상된다. 로버 주행과 지형공간정보 구축을 위해 주 카메라, 주행 카메라, 위험물 회피용 카메라를 탑재하고 있다. 주 카메라는 컬러 영상 정보를 제공하여 지형 및 지질 조사를 위해 사용되고, 주행 카메라는 로버의 주행을 보조하기 위한 흑백 영상을 제공한다. 위험물 회피용 카메라는 로버 주행 중 자율적인 위험 회피와 로봇 팔의 안전한 위치

를 유지하기 위한 흑백 영상을 제공한다.

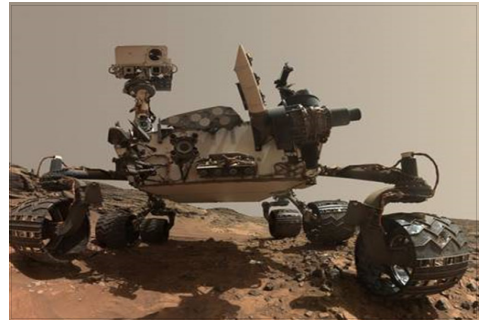


Fig. 3. Curiosity [12]

3. 로버 기반 건설공간정보화 기술 설계

3.1 개요

달 무인 로버의 카메라 시스템을 기반으로 한 건설공간정보화 기술은 달 건설부지의 지형 및 건설 정보 구축과 건설부지 내 로버의 이동 및 위치추정을 위해 사용된다. 본 장에서는 그동안 개발된 행성 탐사 로버의 카메라 시스템을 참조하여 건설공간정보화 기술의 개발 요건을 도출하고, 이를 기반으로 로버의 카메라 시스템과 로버 운영 시스템의 개념적 설계를 제시하고자 한다.

3.2 로버 기반 건설공간정보화 기술 개발 요건

Table 1은 로버 기반 건설공간정보화 기술의 개발 요건을 보여 준다. 먼저 달 공간정보화 기술은 달 표면의 지형 객체의 위치와 특성 및 속성을 관측한다. 건설 후부지는 달 탐사 궤도선의 지형 정보를 이용하여 선정할 수 있다. 하지만 궤도선의 지형 영상은 낮은 공간해상도를 가지므로, 달 표면에서 건설 계획을 정확하게 수립하기 위해서는 로버를 이용하여 건설 예정지의 현장 정보를 취득해야 한다. 또한 유인 기지와 자원 개발 인프라를 설계하기 위해서는 지형의 고도, 경사도, 평탄도 등을 계산할 수 있는 고정밀 3차원 지형모델 구축이 선행되어야 한다. 최근에는 달 극지역의 영구음영지역을 대상으로 달 탐사 계획이 추진 중이다 [13]. 달 영구음영지역에 매장된 얼음 형태의 물은 유인 탐사를 위한 식수 및 산소 생산에 활용될 수 있어, 달 극지역은 향후 유력한 건설 후보지 중 하나이다.

Table 1. Development Requirements of Rover based Construction-Spatial Information Technology

	Description	Functional Requirement
Spatial Information	<ul style="list-style-type: none"> describes and characterize lunar topography such as terrain feature's name and location, terrain roughness, slope, and elevation. 	<ul style="list-style-type: none"> provides color terrain images even under low illumination conditions constructs a high resolution 3D terrain model
Construction Information	<ul style="list-style-type: none"> describes construction activities in the series of a lunar base and infrastructure construction 	<ul style="list-style-type: none"> provides lunar ISRU construction images computes soil volume during a construction
Navigation and Localization	<ul style="list-style-type: none"> helps a rover to safely reach a destination, avoiding hazardous obstacles such as a rock and a crater 	<ul style="list-style-type: none"> observes a near distance obstacle and measures obstacle's size around a rover plans paths between construction sites computes relative distance and orientation from a landmark

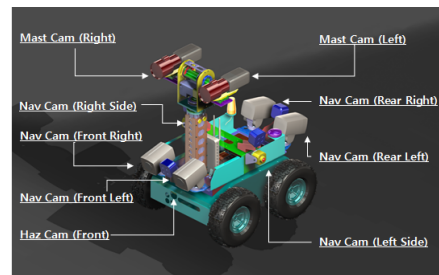
따라서 달 공간정보화 기술은 달의 낮은 조도 환경에서도 지형 영상을 취득할 수 있도록 개발되어야 할 것이다. 달 건설을 위해서는 막대한 양의 건설재료를 지구로부터 수송해야하므로, 달 표면에 존재하는 자원을 활용하는 달 현지 건설기술 (Lunar In-Situ Construction Technology)이 개발 중이다. 지구와는 달리, 달 건설정보화 기술은 건설 자원 채굴 및 선별, 건설 자원 이송 및 보관, 건설 자원 가공 및 시공 등의 건설 정보를 제공해야 한다. 건설정보를 안전하고 효율적으로 구축하기 위해서는 로버가 주행하는 동안 장애물을 인식하고 회피할 수 있어야하고, 달 표면에서 로버의 위치를 추정할 수 있어야 한다.

3.3 로버 카메라 시스템의 개념 설계

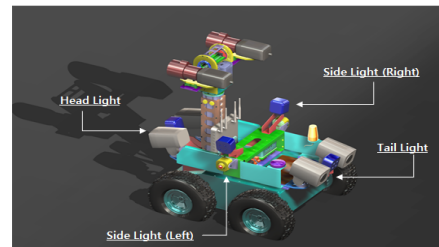
달 건설공간정보 취득을 위한 로버 카메라 시스템의 개념적 설계를 제작 하였다 (Fig. 4). 카메라 시스템은 로버의 깃대에 설치된 2대의 마스트 카메라 (Mast Cam), 로버 본체 전후방 및 측면에 설치된 6대의 주행 카메라 (Nav Cam), 로버 전면부 하단에 설치된 1대의 위험물 회피 카메라(Haz Cam)으로 구성된다. 2대의 마스트 카메라는 망원 렌즈를 장착한 저조도 카메라이다. 마스트의 팬/틸트 (Pan/Tilt)에 장착되어 수평 및 수직 방향으로 회전이 가능하다. 따라서 1 lux 미만의 저조도 환경에서도 로버의 이동을 최소화 하면서 원거리의 지형 및 건설 영상을 취득할 수 있도록 하였다. 또한 스테레오 영상을 제공하므로 3차원 지형모델 구축과 토공량 계산을 위해 사용될 수 있다.

주행용 카메라는 광각 렌즈를 장착한 전방 및 후방 카메라와 어안 렌즈를 장착한 측면 카메라로 구성된다.

전방 및 후방 카메라는 로버 경로 상의 장애물을 3차원으로 구현할 수 있다. 따라서 로버가 장애물을 안전하게 회피할 수 있고, 주변 지형의 평탄도와 경사도를 측정함으로써 경제적인 주행이 가능하도록 하였다. 또한 측면 카메라는 전후방 카메라와 함께 로버 주변 전방위 영상을 제공하도록 하여, 로버의 원활한 원경 조정을 지원하도록 하였다. 마지막으로 위험물 회피 카메라는 로버의 근접 영상을 촬영함으로써 로버의 장애물 회피 주행을 용이하도록 하였다.



(a) Camera System



(b) Illumination Device

Fig. 4. Conceptual Design of a Camera System based on Rover

Table 2. Rover-based Camera System for Construction Spatial Technology

Functions	Description
Mapping	<ul style="list-style-type: none"> Starlight tele-scope camera on a pan-tilt unit on a rover mast Stereo color images for 3D mapping and soil volume estimation Terrain and construction images
Localization	<ul style="list-style-type: none"> Two cameras for rover's front and rear sides, and one fish-eye camera for rover's right and left sides Mainly for navigation, but supplementary for mapping
Navigation	<ul style="list-style-type: none"> One camera on the front lower part of a rover Close range image for rover's navigation and hazardous obstacle avoidance

3.4 달 로버 운영 시스템의 참조 아키텍처

로버 운영 시스템의 참조 아키텍처는 드라이버 레이어, 플랫폼 레이어, 알고리즘 레이어, 사용자 인터페이스 레이어로 구성 된다 (Fig. 5). 일반적으로 로버 시스템의 레이어들은 연산 효율성을 높이기 위해 하나의 서버에서 실행되며, 원격 조정 시스템의 유저 인터페이스 레이어는 로버 카메라 영상과 로버 상태 데이터를 이용하여 로버를 조작한다. 하지만 달 무인 로버는 달 표면의 극한환경 (주야간의 높은 온도 편차, 우주 방사선 등)으로 인해 연산 능력보다는 내구성이 높은 서버를 사용한다.

따라서 본 연구에서 제안한 로버 운영 시스템은 레이어들을 로버의 내장 시스템과 서버, 그리고 로버 원격 조정 시스템에 분산하여 구현하였다. 로버의 모터와 센서

필터와 같은 고속 연산 장치를 담당하는 드라이버 레이어는 로버 내장 시스템에서 실행하도록 하였지만, 로버 이동을 제어하고 카메라와 관성측정 장치의 입출력 데이터를 처리하고 저장하는 플랫폼 레이어와 알고리즘 레이어는 로버 서버에서 구현하였다. 하지만 로버 서버의 연산 능력과 저장 용량은 우주의 가혹한 환경으로 인해 제한적이다. 따라서 로버의 안전 주행을 위한 장애물 회피 기능은 로버 서버의 알고리즘 레이어에서 구현하도록 하였지만, 3차원 지형모델 구축, 토공량 계산, 이동 경로 계획 수립 등 많은 용량의 데이터와 높은 연산 능력이 필요한 건설공간정보 구축 기능은 지구의 원격 조작 시스템의 알고리즘 레이어에서 구현 하도록 하였다. 마지막으로 로버 원격 조작 시스템의 사용자 인터페이스 레이어는 지리정보시스템 (Geographic Information System)을 기반으로 개발된다. 사용자 인터페이스는 로버에서 전송하는 영상과 로버 위치 및 이동 경로 계획을 달 지형 및 자원 지도와 함께 보여준다. 따라서 지구의 원격 조작자가 보다 효과적으로 달 건설공간정보 구축을 할 수 있도록 설계하였다. Fig. 6은 사용자 인터페이스 레이어의 지형 경사도와 이를 이용하여 산출한 로버 이동 경로 계획의 예를 보여준다. 지형 경사를 생성하기 위해 1에서 100까지 생성된 난수를 건설 부지의 경사도로 간주하여 각각의 그리드에 할당하였으며, Dijkstra 알고리즘을 이용하여 출발지와 목적지까지의 경사도 합이 최소인 경로를 최적경로로 결정하였다. 또한 현재의 로버 위치를 빨간색으로 표시하여 원격 조작자의 로버 운영을 위한 의 사결정을 지원하도록 하였다.

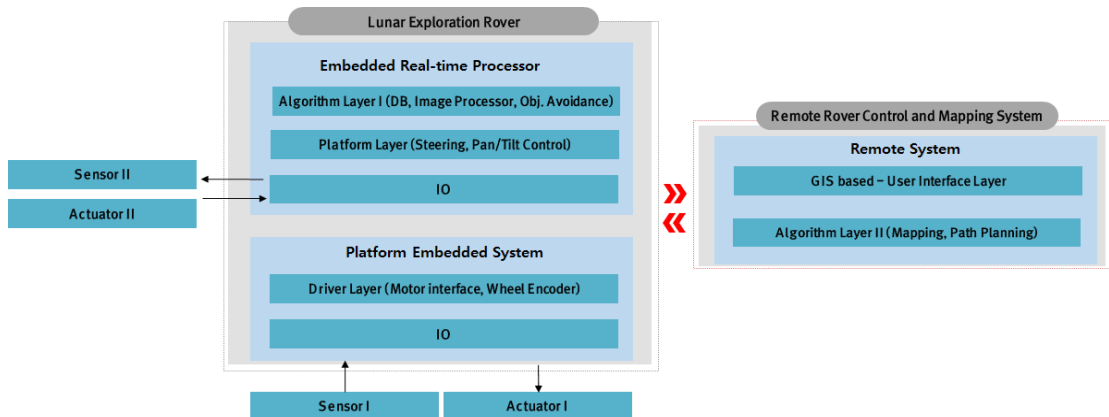


Fig. 5. Reference Architecture of a Rover Operation System

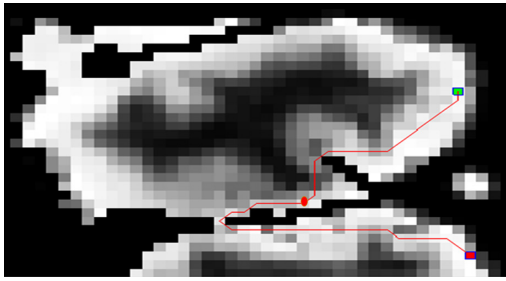


Fig. 6. Example of Rover's Planned Route and Current Position shown from GIS-based Rover Control System

4. 로버 기반 건설공간정보화 기술 개발 방안

달 표면의 험한 지형에서 무인 로버의 원격 조작은 카메라 영상의 제한된 시야각, 지구와의 송수신 지연 등으로 인해 많은 제약이 있다. 로버의 위치 결정을 위해 관성항법장치가 이용되나, 로버는 달 표면의 모래 지역, 경사 지역 등을 주행하면서 바퀴의 미세한 공회전과 밀립 등의 영향을 받으므로 낮은 정확도를 가진다. 또한 달에는 GNSS (Global Navigation Satellite System)가 없어 로버 위치에 대한 절대좌표를 취득하기 어렵다. 따라서 로버 원격 조정 시스템의 알고리즘 레이어에서 로버 카메라 영상 기반의 건설공간정보를 구축하기 위해서는, 달 표면 환경을 고려한 로버 위치 결정 (Localization) 기법과 함께, 3차원 지형복원(Terrain Reconstruction) 기법 개발이 필요하다.

행성 표면에서 로버의 정확한 위치 결정을 위해 로버 카메라의 스테레오 영상을 이용한 영상주행거리 측정기법 (Visual Odometry)이 활용되고 있다 [9]. 본 연구에서 제안한 로버 카메라 시스템의 마스트 카메라와 로버 전방 및 후방에 위치한 주행 카메라는 두 대의 카메라로 구성되므로, 자갈, 바위 등의 객체를 스테레오 영상을 이용하여 매칭 함으로써, 로버의 위치와 주행 거리를 측정할 수 있다. Fig. 7 (a)는 달 착륙선인 Chang'e 3호에서 촬영한 Yutu 1호의 주행 궤적 영상이다. 달 표면은 진공으로 대기가 없어 풍화 및 침식 작용이 없다. 달 토양의 로버 바퀴 궤적은 운석 충돌 등의 외부 충격이 없다면, 반영구적으로 유지된다. 따라서 로버가 지형지물이 없는 평탄한 지형을 주행할지라도, 로버 후방의 주행 카메라를 이용하여 바퀴 궤적을 추적한다면 로버의 주행 거리 및 위치 결정이 가능하다.

하지만 관성항법장치와 영상주행거리 측정기법은 출발지로부터 상대적인 위치를 계산하므로, 로버의 주행거리가 길어짐에 따라 위치 오차가 누적되는 단점이 있다. Fig. 7(b)는 미국 LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter) 궤도선의 NAC (Narrow Angle Camera)로부터 촬영된 Yutu 1호 영상을 보여준다. LRO NAC 이미지는 50cm의 해상도를 가지며, 이미지의 개별 픽셀은 달의 좌표정보가 등록 되어있다 [18]. 따라서 로버의 절대 위치는 달 궤도선의 영상을 이용하여 결정할 수 있고 관성항법장치와 영상주행거리 측정기법을 통해 누적된 위치 오차를 상쇄할 수 있다. 이외에도 로버 카메라의 스테레오 영상을 이용한 지형복원기법은 로버 주변 지형을 3차원으로 구현함으로써 로버 주변 지형 및 토공 정보를 취득할 수 있다. 또한 장애물에 대한 3차원 정보를 기반으로 로버의 극복 여부를 판단하고 안전하게 회피할 수 있게 하고, 주변 지형의 평탄도와 경사도를 측정함으로써 경제적인 주행이 가능하게 한다.

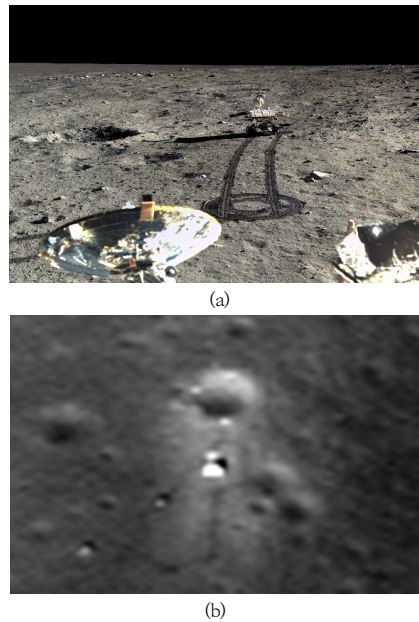


Fig. 7. Rover's Localization Method. (a) Chang'e 3 and Yutu-1 [14], (b) Yutu-1 on LRO's NAC Image [15]

5. 결론 및 향후 연구

달의 과학적 가치 외에, 경제적, 산업적 가치가 증대됨

에 따라 미국과 구소련 주도로 진행되던 달 탐사는 유럽, 일본, 중국, 인도를 포함한 우주 신흥강국들로 확장되고 있다. 또한 달 자원 개발과 유인 기지 건설을 위해 달 현지 자원을 활용한 건설 기술이 개발 중이다.

본 연구에서는 그동안 개발된 행성 탐사 로버의 카메라 시스템을 조사하여, 향후 달 건설공간정보를 구축하기 위한 로버 카메라 시스템과 로버 운영 시스템의 개념적 설계를 제안하였다. 로버 카메라 시스템은 마스트 카메라, 주행 카메라, 위험물 회피 카메라로 구분된다. 각각의 카메라는 건설공간정보 구축과 로버 주행 조작을 위해 상호 보완적인 역할을 한다. 마스트 카메라는 망원 렌즈를 장착한 저조도 카메라로 원거리의 건설 영상과 함께 로버의 이동 경로 수립을 위한 지형 및 건설 영상을 촬영할 수 있다. 또한 낮은 조도 환경에서도 칼라 영상을 취득할 수 있으므로 광물, 지질 등의 탐사 임무를 지원할 수 있다. 주행 카메라와 위험물 회피 카메라는 로버 전방 위 영상을 제공하므로 보다 효율적인 원격 조정이 가능하다. 반면 전방 및 후방 카메라는 스테레오 영상을 제공하므로 3차원 지형정보 구축에 활용할 수 있다. 마지막으로 달 로버 운영 시스템은 레이어들을 로버의 내장 시스템과 서버, 그리고 로버 원격 조정 시스템에 분산하여 구현하였다. 일반적인 로버 운영 시스템과 같이 드라이버 및 플랫폼 레이어는 로버에서 구현된다. 하지만 극한 환경에서 활동하는 로버의 연산 능력의 제약과 영상 송수신의 지연을 고려하여, 지형 및 건설 영상 취득 및 저장, 로버의 장애물 회피 등을 위한 알고리즘 레이어는 로버의 서버에서 구현하였고, 건설공간정보 구축을 위한 알고리즘 레이어는 지구의 원격 조정 시스템에서 구현하였다. 지리정보시스템을 기반으로 제작된 사용자 인터페이스는 로버의 위치 및 경로 정보를 달 지형 및 자원 지도와 함께 보여줌으로써 보다 효과적으로 달 건설공간정보 구축을 할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 제안한 달 로버 기반의 건설공간정보화 기술의 개념적 설계 모델과 개발 방안은 향후 달 지형 및 건설 정보를 구축하기 위한 요구 사항을 반영하여 구현하였다. 향후 건설공간정보화 기술 개념 설계를 기반으로 제작된 로버와 로버 운영 시스템은 달 모의 지형을 대상으로 운행할 예정이다. 달 모의 지형은 크레이터와 바위 등의 지형지물을 포함한다. 무인 로버의 카메라 영상을 이용하여 취득된 로버의 위치 및 3차원 지형정보는 로버의 GNSS로부터 취득된 경로 데이터와 측량된 고정밀 3차원 지형모델과 비교 및 검증을 통해 개발할 계획이다.

References

- [1] G. Ju "Development Status of Domestic & Overseas Space Exploration & Associated Technology," Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, vol. 44, no. 8, pp. 741-757, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5139/JKSAS.2016.44.8.741>
- [2] K. J. Kim "A Research Trend on Lunar Resource and Lunar Base", The Journal of The Petrological Society of Korea, vol. 26, no. 4, pp. 373-384, 2017. DOI: <https://doi.org/10.7854/IPSK.2017.26.4.373>
- [3] ISECG, "The Global Exploration Roadmap", Available from https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/GER-2013_Small.pdf (accessed February, 6, 2018)
- [4] NASA, "New Space Policy Directive Calls for Human Expansion Across Solar System", Available from : <https://www.nasa.gov/press-release/new-space-policy-directive-calls-for-human-expansion-across-solar-system> (accessed March, 19, 2018)
- [5] ESA, "Moon Village: A Vision for Global Cooperation and Space 4.0", Available from : https://www.esa.int/About_Us/Ministerial_Council_2016/Moon_Village (accessed March, 19, 2018)
- [6] S. Hong, K. Kim, M. Seo, H. Shin "Geographic Distribution Analysis of Lunar In-Situ Resource and Topography to Construct Lunar Base," Journal of The Korean Academia-Industrial cooperation Society, vol. 19, no. 6, pp. 669-676, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.6.669>
- [7] W. Lee, G. Ju, G. Choi, E. Sim "Development Trends of Space Robots," Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, vol. 9, no. 2, pp. 158-175, 2011.
- [8] W. Eom, Y. Kim, J. Lee, G. Choi, E. Sim "Development Trends of Unmanned Planetary Exploration Rover by NASA" Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, vol. 10, no. 2, pp. 102-111, 2012.
- [9] S. Choi, D. Lee, J. Bae, D. Ryu, G. Ju, E. Sim "Introduction to Chang'e-3 and Analysis of Estimated Mission Trajectory," The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, vol. 43, no. 11, pp. 984-997, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2015.43.11.984>
- [10] SapceLight 101, "Chang'e 3-Mission Overview." Available from <http://spaceflight101.com/change/change-3> (accessed Sep, 12, 2018)
- [11] NASA-JPL "Mars Exploration Rover," Available from <https://www.jpl.nasa.gov/missions/mars-exploration-rover-spirit-mer-spirit> (accessed March, 6, 2019)
- [12] NASA-JPL "Curiosity Rover," Available from : https://www.nasa.gov/mission_pages/msl/index.html (accessed March, 6, 2019)
- [13] R. Elphic, M. Colaprete, M. Shirley, A. McGovern, R.

Beyer "Resource Prospector Landing Site And Traverse Plan Development," Annual Meeting of the Lunar Exploration Analysis Group, November, vol. 1960, 2016.

- [14] Planetary Society "Chang'e 3 data: Lander Terrain Camera (TCAM)," Available from <http://planetary.s3.amazonaws.com/data/change3/tcam.html> (accessed April 24, 2019)
- [15] NASA, Lunar Reconnaissance Orbiter Camera, Available from : <http://lroc.sese.asu.edu/posts/929> (accessed April 24, 2019)

홍 성 철(Sungchul Hong)

[정회원]



- 2005년 5월 : 위스컨신주립대 토목환경공학과 (지형공간정보공학 석사)
- 2010년 12월 : 위스컨신주립대 토목환경공학과 (지형공간정보공학 박사)
- 2013년 12월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>

달 탐사, 지리정보시스템, 원격탐사

정 태 일(Taeil Chung)

[정회원]



- 2009년 1월 : 한국과학기술원 로봇공학학제전공 석사
- 2009년 6월 ~ 2016년 12월 : 삼성중공업 중앙연구소 메카트로닉스센터 책임연구원
- 2017년 1월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 전임연구원

<관심분야>

달 환경 모사, 시스템 설계 및 제어, 건설로봇

박 재 민(Jaemin Park)

[정회원]



- 2004년 2월 : 인하대학교 지리정보공학과 석사
- 2010년 8월 : 인하대학교 지리정보공학과 박사 수료
- 2012년 12월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>

3차원 공간정보, 매핑시스템, 원격탐사

신 휴 성(Hyu-Soung Shin)

[정회원]



- 1996년 3월 : 한양대학교 자원공학과 암반공학전공 공학석사
- 2002년 1월 : 영국 University of Wales Swansea, 토목공학과 (전산지반공학전공 공학박사)
- 2003년 6월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

우주건설, 지반공학, 수치모델링, 인공지능, 딥러닝, 영상처리