

# NASA의 우주자원탐사 시추장비 개발동향 분석

배성준\*

\*한국생산기술연구원

e-mail:sjbae@kitech.re.kr

## Trend Analysis on the Development of Drilling Systems for Space Resource Exploration in NASA

Sung-June Bae\*

\*Korea Institute of Industrial Technology

### 요약

NASA는 우주에 대한 과학 탐구 목적으로 달 토양 샘플을 채취하기 위해 우주자원탐사 시추장비 연구개발을 시작하였다. 최근 NASA의 우주자원탐사 목적은 과학 탐구 이외에도 부가가치가 높은 우주 광물 선점, 우주 자원을 통한 우주 시스템 개발 및 운영 등으로 확장되었으며, 우주자원탐사 대상지 또한 달 뿐만 아니라 화성, 소행성 등으로 확장되었다. 또한 무인 탐사 미션에 적용하기 위해 진보된 우주자원탐사 시추장비가 개발되고 있다. 본 연구에서는 NASA의 우주자원탐사 시추장비 개발동향을 분석하였다. NASA의 대표적인 최신 우주자원탐사 시추장비는 아이스브레이커 드릴과 RPM 드릴인데, 이 시추장비들은 우주 환경을 고려하여 기능별 구현 메커니즘이 선정되고, 소프트웨어가 구성되고, 작업 공정이 고안되었음을 분석할 수 있었다.

## 2. NASA의 개발사례

### 1. 서론

NASA(미국항공우주국, National Aeronautics and Space Administration)는 우주에 대한 과학 탐구 목적으로 달 토양 샘플을 채취하기 위해 우주자원탐사 시추장비(Drilling Systems for Space Resource Exploration) 연구개발을 시작하였다. NASA의 이러한 목적에 부합하는 첫 번째 우주자원탐사 시추장비는 1971년 아폴로 15 유인 탐사 미션에 적용된 ALSD(The Apollo Lunar Surface Drill)라고 명명된 휴대용 드릴공구였다(Zancy et al., 2013a).

최근 NASA의 우주자원탐사 목적은 과학 탐구 이외에도 부가가치가 높은 우주 광물 선점, 우주 자원을 통한 우주 시스템 개발 및 운영 등으로 확장되었으며, 우주자원탐사 대상지 또한 달 뿐만 아니라 화성, 소행성 등으로 확장되었다. 또한 무인 탐사 미션에 적용하기 위해 진보된 우주자원탐사 시추장비가 개발되고 있다.

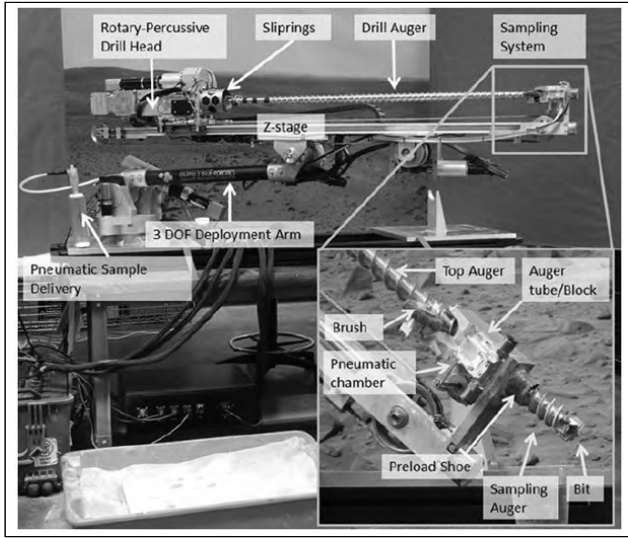
본 연구에서는 NASA의 최신 우주자원탐사 시추장비 개발 사례를 분석한다.

### 2.1 아이스브레이커 드릴 1

아이스브레이커 드릴(The Icebreaker Drill)은 NASA가 허니비 로보틱스社(Honeybee Robotics, Ltd)와 공동 개발한 우주자원탐사 시추장비 중 가장 유명한 최신 시추장비인데, 화성 무인 탐사 미션인 아이스브레이커 미션에 적용하기 위해 개발되었다(Zancy et al., 2013b). 우리가 아이스브레이커 드릴 개발 사례 분석에서 주목할 사항은 우주환경을 고려한 기구 구성, 소프트웨어 구성, 작업공정이다.

아이스브레이커 드릴 1의 기구부는 크게 전개 암(Deployment Arm), Z축 스테이지(Z-stage), 회전타격식 드릴 구동부(Rotary-percussive Drill Head), 오거·비트(Auger, Bit), 샘플추출장치(Sampling System) 등으로 구성되어 있다(Zancy et al., 2013b). 전개 암은 Z축 스테이지를 시추하고자 하는 지면 위치로 이동시키는 기능을 구현하는 로봇 암 형태의 장치이며, Z축 스테이지는 시추작업 시 오거·비트를 시추 방향으로 직선이송시키는 기능을 구현하며, 회전타격식 드릴 구동부는 시추작업에 필요한 토크, 타격력을 오거·비트에 공급하는 역할을 하며, 오거는 절삭토 수송 및 제거·절삭토 샘플채취 역할을 하고, 비트는 오거 끝단에 설치된 커터(Cutter)

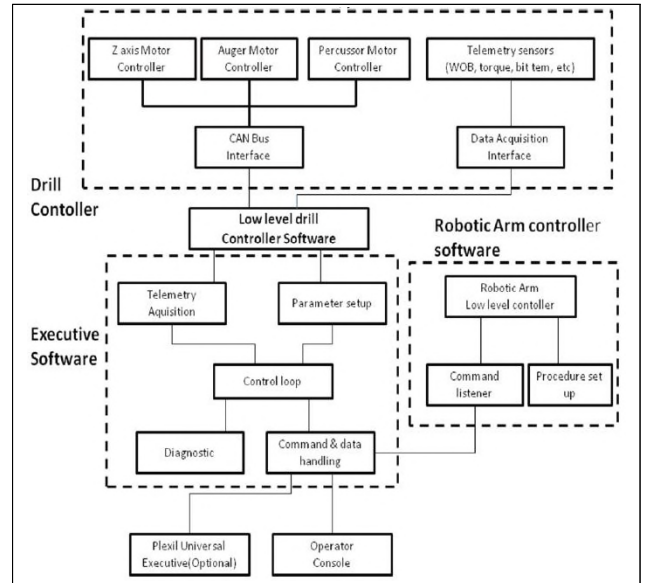
인데 절삭작업을 직접적으로 수행하고, 샘플추출장치는 오거 홈(Flute)에 부착된 절삭토를 추출하는 기능을 구현하는 장치이다(Zancy et al., 2013b).



[그림 1] 아이스브레이커 드릴 1의 기구구성(Zancy et al., 2013b)

우주 환경을 고려한 기구 구성적인 측면에서, 절삭토 수송 및 제거·절삭토 샘플채취 기능을 오거를 이용하여 구현하였는데 이는 우주 환경에서의 절삭용 사용 불가, 장비 구성 간소화 및 장비 질량 최소화 조건을 고려하였기 때문이다(Zancy et al., 2013a; Glass et al., 2016). 시추 방법 결정에 있어서도, 기계식 시추툴(Drilling Tool)을 이용한 회전식 시추 또는 회전타격식 시추 방법을 채택하였는데 이는 우주환경에서는 전기에너지 공급이 제한적이기 때문에 저에너지 소모 시추 방법을 채용한 결과이다(Zancy et al., 2013b). 또한, 아이스브레이커 드릴 1은 전개 암을 이용해 시추 지면으로의 이동 기능을 구현할 뿐만 아니라 장비 접이 기능 또한 구현하여 장비 부피를 최소화하였는데, 이는 우주 발사체 운송에 따른 체적 제한을 고려한 기구 구성으로 보인다.

아이스브레이커 드릴 1의 소프트웨어는 관리 소프트웨어(Executive Software), 드릴 컨트롤러 소프트웨어(Drill Controller Software), 전개 암(로봇 암) 컨트롤러 소프트웨어(Robotic Arm Controller Software)로 구성되어 있는데, 관리 소프트웨어는 자율 구동하는 아이스브레이커 드릴의 상위 단계 제어 및 진단을 수행하며, 드릴 컨트롤러 소프트웨어는 드릴의 제어 및 진단을 담당하고, 전개 암(로봇 암) 컨트롤러 소프트웨어는 전개 암의 제어 및 진단을 수행한다(Glass et al., 2014). 여기서 아이스브레이커 드릴 1의 소프트웨어는 무인 운용을 고려하여 구성되어 있는데, 이는 지구와 화성간의 거리에 기인한 통신 지연에 의해 지구에서의 원격제어가 불가능하기 때문에 선택한 소프트웨어 구성이다(Glass et al., 2016; Glass et al., 2014).



[그림 2] 아이스브레이커 드릴 1의 제어시스템 구성(Glass et al., 2014)

아이스브레이커 드릴 1은 전개 암의 구동으로부터 작업을 시작하는데 전개 암에 의해 드릴은 시추목표 지표면으로 이동되며, Z축 스테이지와 회전타격식 드릴구동부의 구동에 의해 시추작업이 시작되는데, 이 때 시추작업은 1회당 100mm씩 진행되고, 절삭토 샘플은 오거 홈에 샘플링된 후에 오거·비트 회수시에 샘플추출장치에 의해 추출된다(Zancy et al., 2013b). 아이스브레이커 드릴의 시추작업이 1회당 100mm씩 반복되는 이유는 우주환경을 고려한 저중량 시추장비가 시추작업에 의해 발생하는 추력(Thrust)에 대한 반력(Reaction Force)을 견디기 위한 측면이 있다.

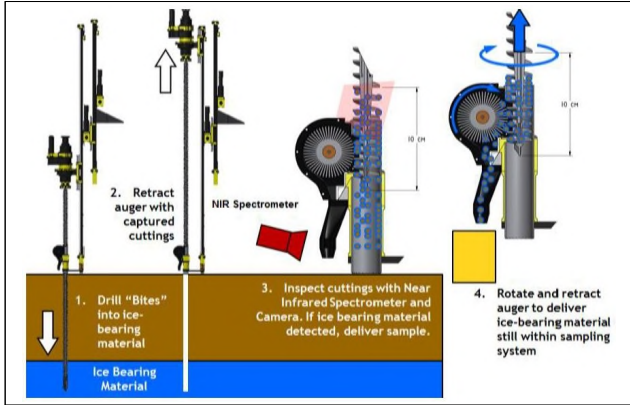
## 2.2 RPM 드릴

NASA의 달 탐사 미션인 RPM(The Lunar Resource Prospecting Mission)에 적용하기 위해서 개발 중인 RPM 드릴은 아이스브레이커 드릴 2, 3을 기반으로 개발되고 있다(Zancy et al., 2015). 아이스브레이커 드릴 2, 3은 아이스브레이커 드릴 1의 기구 구성을 일부 변경하고 개선한 시추장비이다.

RPM 드릴의 기구부는 아이스브레이커 드릴 1의 기구부와 거의 같은데, 단지 아이스브레이커 드릴 1의 전개 암이 RPM 드릴에서는 전개 스테이지(Deployment Stage)로 대체되었는데, 전개 스테이지는 Z축 스테이지를 시추 지표면과 닿게 한 후, 예압을 가하는 기능을 구현한다(Glass et al., 2014; Zancy et al., 2015). 또한 RPM 드릴에는 절삭토 성분 분석을 위한 근적외선 스펙트럼 센서(NIR Spectrometer)가 추가되어 있다(Zancy et al., 2015). 1 자유도의 Z축 직선이송운동을 수행

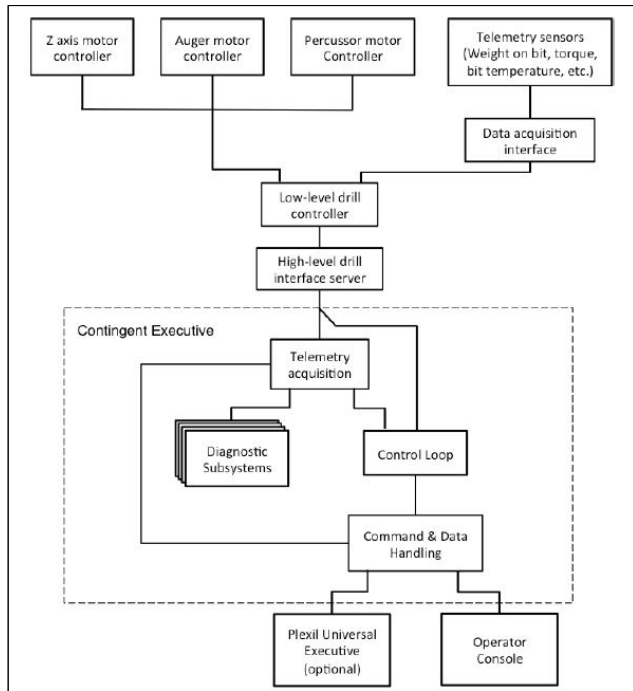
하는 전개 스테이지를 채용한 RPM 드릴은 3자유도 회전운동을 구현하는 전개 암을 채용한 아이스브레이커 드릴 1에 비해 제어적인 측면, 장비 구성 간소화 측면에서는 유리하지만, 접이 기능 구현 측면에서는 불리한 면이 있다.

작되는데, 시추작업은 1회당 100mm씩 반복되고, 질삭토 샘플은 오거 홈에 샘플링된 후에 오거·비트 회수시에 근적외선 스펙트럼 센서의 성분 분석에서 얼음 성분이 발견되면 샘플 장치에 전달된다(Zancy et al., 2015).



[그림 3] RPM 드릴(Zancy et al., 2015)

RPM 드릴의 소프트웨어 구성은 아이스브레이커 드릴 3의 소프트웨어 구성을 따르는 것으로 추정된다. 그림 4는 아이스브레이커 3의 소프트웨어 구성을 나타낸다.



[그림 4] 아이스브레이커 드릴 3의 제어시스템 구성(Glass et al., 2016)

RPM 드릴의 작업공정은 전개 스테이지의 구동에 의해 시작되는데, 이 작업에 의해 Z축 스테이지는 시추 지표면에 닿게 되고 예압을 가하게 된다(Zancy et al., 2015). Z축 스테이지와 회전타격식 드릴 구동부의 구동에 의해 시추작업이 시

### 3. 결론

본 연구에서는 NASA의 우주자원탐사 시추장비 개발동향을 분석하였다. NASA의 대표적인 최신 우주자원탐사 시추장비는 아이스브레이커 드릴과 RPM 드릴인데, 이 시추장비들은 우주 환경을 고려하여 기능별 구현 메커니즘이 선정되고, 소프트웨어가 구성되고, 작업공정이 고안되었음을 분석할 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업의 지원을 받아 수행된 연구(극한건설 환경구현 인프라 및 TRL6 이상급 극한 건설 핵심기술 개발)로, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

[1] K. Zancy, G. Paulsen, M. Szczesiak, J. Craft, P. Chu, C. McKay, B. Glass, A. Davila, M. Marinova, W. Pollard, W. Jackson, "LunarVader: Development and Testing of Lunar Drill in Vacuum Chamber and in Lunar Analog Site of Antarctica", *Journal of Aerospace Engineering*, pp.74-86, 2013.

[2] K. Zancy, G. Paulsen, C. P. McKay, B. Glass, A. Dave, A. F. Davila, M. Marinova, B. Mellerowicz, J. Heldmann, C. Stoker, N. Cabrol, M. Hedlund, J. Craft, "Reaching 1m Deep on Mars: The Icebreaker Drill", *Astrobiology*, Vol.13, No.12, pp.1166-1198, 2013.

[3] B. Glass, D. Bergman, B. Yaggi, A. Dave, K. Zancy, "Icebreaker-3 Drill Integration and Testing at Two Mars-Analog Sites", *ASCE Earth and Space Conference*, 2016.

[4] B. J. Glass, G. Paulsen, A. Dave, C. McKay, "Robotics and Automation for "Icebreaker"", *Journal of Field Robotics*, pp.192-205, 2014.

[5] K. Zancy, G. Paulsen, P. Chu, B. Mellerowicz, B. Yaggi, J. Kleinhenz, Jim Smith, "The Icebreaker Drill System: Sample Acquisition and Delivery for the Lunar

Resource Prospecting Mission”, 46th Lunar and Planetary Science Conference, 2015.