

달 표면의 광물학적·열물리학적 측정을 위한 다파장 영상 복사계(LCII)

「달 착륙선」

과학기술 임무수요조사서

임무명 : 달 표면의 광물학적·열물리학적 측정을
위한 다파장 영상 복사계 (LCII, Lunar Compact
Infrared Imager)

AA연구원, BB대학교, CC기업

2022. 03. 23.

< 목 차 >

1. 임무	1
1.1. 임무 수행 목표	1
1.2. 임무 수행 필요성	1
1.3. 탑재체 운영 조건(낮/밤, 운영시간)	1
1.4. 임무 수행지 제안 및 구체적 사유	2
1.5. 임무 수행지 변경 시 해당 임무 수행 가능 여부	2
2. 임무 분류	3
2.1. 임무의 혁신성	?
2.2. 임무의 도전성	3
2.3. 임무 키워드와의 구체적 연관성	3
2.4. 과학임무 및 기술실증 임무 분류	4
3. 핵심 및 주요 기술	5
3.1. 핵심 기술	5
3.2. 주요 기술	5
3.3. 핵심/주요 기술의 현 수준(TRL) 대비 달성 기술 수준(TRL) 달성 방안	5
3.4. 탑재체 상세 사양(부피, 질량, 소비전력, 데이터 전송량(bits/s) 등)	6
4. WBS 기반 예상 개발 기간/일정 및 비용	7
4.1. WBS 기반 일정	7
4.2. WBS 기반 비용	7
5. 실증을 위한 탑재체 다운사이징(무게, 전력 등) 가능성 및 구체적 방안	8
6. 임무 수행 기대 효과(과학적, 사회적, 기술적, 경제적)	9
7. 적용 기술 파급 분야 및 효과	10
8. 그 외 추가사항(필요 시)	11

1. 임무

1.1. 임무 수행 목표

달 표면의 광물학적·열물리학적 측정을 위한 다파장 영상 복사계 (LCII, Lunar Compact Infrared Imager)는 월면 착륙지 주변 환경을 4개 파장대역에서 관측해 표면 온도와 분광 복사율(emissivity) 영상을 얻고, 이를 통해 세계 최초로 공간 해상도 1 cm 규모의 월면 규산염 광물 조성 분포 지도를 얻고자 한다.

1.2. 임무 수행 필요성

물과 같은 휘발성 물질은 일반적으로 달 표면에서 쉽게 기화되어 우주로 날아가 버리지만, 예외적으로 고체 상태로 보존되는 콜드 트랩(cold-trap) 환경이 존재한다. 달 표토의 열적, 지질공학적 특성을 탐사하는 것은 달 표면 지각의 생성과 진화를 이해하는 데에 큰 도움이 되고, 과거의 궤도선 관측 자료에 대한 개선책을 제공하며, 향후 로봇 및 유인 탐사 임무의 설계에 기여할 수 있다.

LCII의 다파장 영상 자료는 달 표면에서 최초로 1 cm 규모의 높은 공간 분해능을 갖는 광물 조성 분포 지도를 제공한다. 이 자료를 통해 크고 작은 충돌 사건, 화산 활동, 우주 풍화 등 월면 지각의 진화에 영향을 미치는 현상을 조명한다. LCII의 온도 지도는 통해 달 고위도 지역에서 휘발성 물질을 콜드 트래핑하는 소규모의 음영 지역을 정량적으로 파악한다. 또한, 달정찰위성(LRO)의 적외선 복사계 Diviner가 관측한 자료에 핵심적인 ground truth 값을 제공함으로써 달 궤도에서 얻은 온도 지도를 보정, 개선한다.

1.3. 탑재체 운영 조건(낮/밤, 운영시간)

낮부터 밤까지 연속 운영. 태양 고도의 변화에 따른 달 표면의 열적 특성 변화를 기록하고 다양한 시간대의 평균 온도로부터 표토의 공극률, 열 관성, 암석 함량 등을 추산하기 위함.

LCII를 착륙선 본체에 탑재해 착륙지를 관측할 수도 있고, 로버에 탑재해 음영 지역 등 구체적 임무 수행지로 이동하여 관측할 수도 있음. 착륙선 탑재를 기본으로 하나, 로버에 탑재하여 착륙지로부터 떨어진 지역에서 임무를 수행하거나 이동하며 임무를 수행하면 더욱 넓은 면적에 대해 매핑하여 보다 폭넓게 활용할 수 있음.

1.4. 임무 수행지 제안 및 구체적 사유

- ① 달의 극지방: 물, 메테인 등을 포함하는 휘발성 물질의 콜드 트랩은 PSR에서 가장 잘 생성·유지되므로, PSR이 많은 달의 극지방에서 운용하는 것이 가장 유리함. 북극과 남극 중에는 선호 없음.
- ② 위도 58° 이상의 PSR 지역: PSR은 지형에 따라 최저 58° 위도까지도 드물게 분포하므로, PSR 부근이라면 극지방이 아니어도 안정적으로 임무를 수행할 수 있음.

1.5. 임무 수행지 변경 시 해당 임무 수행 가능 여부

일시적 음영 지역(위도 무관): 중·저위도 또는 PSR이 아닌 곳에서 운용할 경우, 크레이터, 산, 계곡, 큰 암석 등 주변 지형에 의해 달에서의 하루 중 그림자가 생기는 지역에서 열 관성에 대한 관측 연구, micro cold-trap 탐지 등의 임무를 실증할 수 있음. 자연 지형에 의한 그림자 지역을 전혀 찾을 수 없을 경우 착륙선 자체에 의한 음영을 활용하거나 및 태양고도에 따른 일변화 관측을 통해 임무 실증 가능.

달 표면의 광물학적·열물리학적 측정을 위한 다파장 영상 복사계(LCII)

2. 임무 분류

2.1. 임무의 혁신성

착륙선으로부터 수 m 거리 지역에서부터 지평선까지 스캐닝 관측. 스캐닝 방향을 고려한 파장 필터 배열로 스캐닝과 동시에 다파장 합성 영상 획득

2.2. 임무의 도전성

대형 중적외선 분광기의 경량화/소형화

2.3. 임무 키워드와의 구체적 연관성

☐ 달 과학

월면 표토층의 온도, Christiansen Feature (CF) 분포, 성분(규산염, 철분) 조성, 밀도 등 물리적 성질 관측 연구. 달 궤도에서 얻은 기존의 온도분포 자료(LRO/Diviner) 보정 및 개선. 소행성(예: 류구, 베누)의 열적 방출과 비교.

☐ 현지 자원 활용

물, 메테인 등을 포함하는 휘발성 물질의 분포 탐지 및 그러한 물질이 보존될 수 있는 열적 환경 파악. Micro cold-trap 탐지. 규산염, 철분 등의 광물 조성 추정.

☐ 달 표면 인프라/거주

위험한 암석을 식별하고 달 표토의 온도와 밀도, roughness 등을 파악. 이를 착륙선, 로버, 모빌리티는 물론 달 기지, 인프라 등의 공학 설계에 적용하고, 유인 임무를 조성할 때에도 반영할 수 있도록 기반 자료 제공.

☐ 수송/이동

(해당 사항 없음)

달 표면의 광물학적·열물리학적 측정을 위한 다파장 영상 복사계(LCII)

2.4. 과학임무 및 기술실증 임무 분류

☐ 과학임무

과학 임무에 해당. 적외선 분광 복사계를 사용하여 월면 표토의 열 특성, 광물 조성, 물리적 특성 등의 일변화를 파악

☐ 기술임무

(해당 사항 없음)

3. 핵심 및 주요 기술

3.1. 핵심 기술

(주요 기술 중 임무 수행과 직접 연관이 있는 기술을 설명)

- 적외선 분광 복사 측정(7 ~ 14 μm)
 - 열적 특성 및 광물 조성 관측에 활용할 수 있는 분해능
 - 달 표면의 온도 환경에서 활용할 수 있는 열 제어 기술
 - 활용 기준 거리를 감안한 시야각 및 초점면 확보

3.2. 주요 기술

(핵심 기술 외 주요 기술, 탑재체 기술)

- 수직/수평방향 스캐닝
 - 4시간 주기로 1° 간격 스캐닝 (매 스캐닝마다 3점 보정 수행)
 - 수직방향 범위: 탑재체 앞 3.6 m 거리 바닥부터 지평선까지
(탑재 높이 1 m 기준)
 - 수평방향 범위: 방위각 180도 영역 (수평방향 회전 장치)

3.3. 핵심/주요 기술의 현 수준(TRL) 대비 달성 기술수준(TRL) 달성 방안

- 본 적외선 복사계는 국제우주정거장 및 큐브위성에서 활용된 바 있는 LCS의 heritage를 활용하는 것으로, 핵심 기술의 현재 달성 수준은 TRL-7 임. 방위각 방향 스캐닝 모터 등 주요 기술은 TRL-5 수준으로 제작 중임.
- 향후 지속적인 개발 및 시험을 거친 인증모델을 통해 달착륙선에 탑재 가능한 기술 수준으로 달성 가능할 것으로 예상되며, 우주 임무에 직접 사용 가능한 비행모델 제작 예정임.

달 표면의 광물학적·열물리학적 측정을 위한 다파장 영상 복사계(LCII)

3.4. 탑재체 상세 사양(부피, 질량, 소비전력, 데이터 전송량(bits/s) 등)

부피: < 30 cm × 30 cm × 20 cm

질량: < 9 kg

평균 소모 전력: < 19W (히터 포함)

밴드	파장(μm)	주요 기능	성능	값
1	7.2 ~ 7.8	광물 탐사	공간 분해능	0.7 cm (기준거리 3.6 m)
2	7.6 ~ 8.0	광물 탐사		
3	8.1 ~ 8.5	광물 탐사	방출율 분해능	< 0.02
4	7.2 ~ 14.3	열적 특성 관측	온도 분해능	1.3K (기준온도 100K)

4. WBS 기반 예상 개발 기간/일정 및 비용

4.1. WBS 기반 일정

(개조식 / 테이블 둘 다 가능)

- '24. 1. ~ 4. 임무 설계 (AA 연구원, BB 대학)
- '24. 5. ~ 12. 예비모델 제작 (BB 대학)
- '25. 1. ~ '26. 2. 공학모델 제작 (AA 연구원, CC 기업)
- '26. 3. ~ 4. 공학모델 성능시험 (CC기업) 및 예비설계검토회의
- '26. 4. ~ '27. 7. 인증모델 제작 (AA 연구원, CC 기업)
- '27. 8. ~ 11. 인증모델 환경시험 (CC기업)
- '27. 12. 상세설계검토회의
- '28. 1. ~ '29. 6. 비행모델 개발 (AA 연구원, CC 기업)
- '29. 7. 선적전 검토회의 및 납품

4.2. WBS 기반 비용

(개조식 / 테이블 둘 다 가능)

(단위: 천원)

	2024	2025	2026	2028	2029	합계
WBS1						
WBS2						
.....						
합계						

5. 실증을 위한 탑재체 다운사이징(무게, 전력 등) 가능성 및 구체적 방안

3.3.에 전술한 사양은 worst case를 고려한 값으로, 착륙지 및 달까지의 항행 궤도상의 온도 환경에 따라 히터 및 방열판의 부피, 중량, 소모전력을 약 30% 줄일 수 있음. 또한, 로버에 실릴 경우 로버와 탑재체 간 열교환 여부에 따라 재차 최적화할 수 있음.

달 표면의 광물학적·열물리학적 측정을 위한 다파장 영상 복사계(LCII)

6. 임무 수행 기대 효과(과학적, 사회적, 기술적, 경제적)

작성 시 참고사항 (제출 시 삭제)

○ 2차시 작성 제출

LCII의 관측 임무를 통해 달 과학의 가장 큰 화두이자 풀리지 않은 미스터리인 달의 형성 및 진화에 관한 다양한 이론들을 적용해볼 수 있다. 또한, 달 표토의 열적, 지질공학적 특성을 착륙선 및 로버의 특성과 비교함으로써 미래의 달 탐사 임무를 위한 로봇 및 유인 활동을 안전하고 효율적으로 설계할 수 있다.

달 표면의 광물학적·열물리학적 측정을 위한 다파장 영상 복사계(LCII)

7. 적용 기술 파급 분야 및 효과

작성 시 참고사항 (제출 시 삭제)

○ 2차시 작성 제출

향후 월면에서의 유/무인 자원 채취 임무시, 휘발성 물질 함량이 많아 채취에 유리한 위치를 실시간으로 파악할 수 있음. 표토의 온도 특성을 고려한 임무 설계 가능,

달 표면의 광물학적·열물리학적 측정을 위한 다파장 영상 복사계(LCII)

8. 그 외 추가사항(필요 시)

해당 사항 없음