

최 종 보 고 서

관 리 번 호	20091222351-00	기 술 분 류	
과 제 명	(한글)국제 달네트워크(ILN) 참여방안 도출 기획 연구 (영문)A Study on Implementation of ILN(International Lunar Network) Participation Approach		
주관연구기관 (협동연구기관)	기 관 명	소재지	대 표
	한국항공우주 연구원	대전시 유성구 과학로 115번지	이 주 진
주관연구책임자 (협동연구책임자)	성 명	소속 및 부서	전 공
	이 상 른	위성연구본부	항공우주공학
총연구기간 (당해년도)	2009년 12월 21일 ~ 2010년 6월 27일(6개월)		
총연구비 (당해년도)	일금 사천오백만원정 (₩45,000,000)		
총참여연구원 (당해년도)	6명(책임: 1명, 연구원: 5명)		

2010년도 정책연구용역사업으로 수행한 연구과제의 최종보고서를
붙임과 같이 제출합니다.

붙임 : 최종보고서 10부.

2010년 6월 27일
주관연구책임자 이 상 른 (인)

주관연구기관장 이 주 진 직인

교육과학기술부장관 귀 하

국제 달네트워크(ILN) 참여방안 도출 기획 연구에 관한 정책연구사업의
최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

2010년 6월 27일

주관연구책임자 이 상 료 (인)

주관연구기관장 이 주 진 직인

제 출 문

교육과학기술부장관 귀하

본 보고서를 “국제 달네트워크(ILN) 참여방안 도출 기획 연구” 최종보고서로 제출합니다.

2010년 6월 27일

- 주관연구기관명 : 한국항공우주연구원
- 연구기간 : 2009.12.21~2010. 6.27
- 주관연구책임자 : 이 상 름
- 참여연구원 :
 - 연구원 : 안 상 일, 이 주 희
 - 연구원 : 주 광 혁, 최 기 혁
 - 연구원 : 최 남 미, 유 명 중
 - 연구원 : 류 동 영
- 자문전문가
 - 자문위원 : 권 세 진, 김 경 자
 - 자문위원 : 민 경 욱, 박 상 영
 - 자문위원 : 박 정 선, 방 효 충
 - 자문위원 : 이 병 선, 이 승 렬
 - 자문위원 : 이 태 식, 진 호
 - 자문위원 : 최 영 준

목 차

제 1 장 서론	1
제 2 장 세계 달탐사 연구개발 동향	3
제 1 절 미국의 달 탐사 연구개발 동향	3
1. 달 및 행성 탐사 정책	3
2. ILN 개발 현황	4
제 2 절 아시아국가의 달 탐사 연구 개발 동향	5
1. 중국의 달탐사 연구 개발 동향	5
2. 일본의 달탐사 연구 개발 동향	6
3. 인도의 달 탐사 연구 개발 동향	7
제 3 절 유럽국가의 달 탐사 연구개발 동향	8
제 4 절 분야별 달탐사 연구개발 동향	8
1. 유도 및 제어	8
2. 지상국 분야	11
3. 달 지질학 분야	13
4. 과학 탑재체 분야	19
5. 궤도 해석 소프트웨어 및 기술수준	21
제 3 장 우리나라 달탐사 연구개발 동향	23
제 1 절 정부출연연구기관의 달탐사 연구개발 동향	23
1. 달 탐사선 개념설계 및 핵심기술 개발(한국항공우주연구원)	23
2. 달 지질학 분야(한국지질자원연구원)	26
제 2 절 대학의 달탐사 연구개발동향	33
1. 소형 달 착륙선 실험 모델 개발(KAIST)	33
2. 궤도 천이용 우주선 엔진 개발 및 검증(KAIST)	35
3. 달궤도 우주환경 탐사를 위한 초소형 인공위성 개발(경희대)	38
4. 달궤도 우주 탐사를 위한 탑재체 개발 및 달 주변 우주환경 연구(경희대)	40
5. 과학 탑재체 분야(KAIST)	41
6. 궤도설계 분야(연세대)	43

제 4 장 우리나라 달탐사 연구개발 방안	45
제 1 절 분야별 달탐사 연구개발 방향	45
1. 행성지질 분야 달 탐사 연구개발 방향	45
2. 소형 탐사선을 사용한 달 탐사	46
3. 플라즈마 로켓등 비추력이 높은 차세대 추진체 개발	46
4. 달 표면 환경 탐사	47
5. 과학탑재체 분야	47
6. 궤도 설계 분야	48
제 2 절 분야별 달탐사 국제협력방안	49
1. 유도 항법 및 제어	49
2. 달 지질연구	54
3. 학계의 국제 협력 추진 현황 및 전략(경희대)	54
4. 국가 달탐사 국제 협력 방향 제언(경희대)	55
5. 궤도 설계 분야	56
제 5 장 ILN 사업 개요 및 진행현황	57
제 1 절 ILN 사업개요	57
제 2 절 ILN 착륙선 설계분석	58
1. ILN 공동 탑재체	58
2. 미국의 ILN Anchor Nodes 설계	66
제 3 절 ILN 추진경위 및 추진체계	72
1. ILN 추진경위	72
2. ILN 참여국의 추진체계	74
제 4 절 ILN 참여국의 추진현황	76
1. 미국 (NASA)	76
2. 일본(JAXA)	80
3. 유럽(ESA)	81
4. 영국 (BNSC)	82
5. 캐나다 (CSA)	83
6. 독일 (DLR)	83
7. 이탈리아	85
8. 프랑스 (CNES/iPGP)	86
9. 인도 (ISRO)	87
제 5 절 ILN WG활동현황	88

1. WG1(탐재체)	88
2. WG2(통신)	90
3. WG3(착륙지 선정)	96
4. WG4(기술)	98
제 6 절 우리나라의 ILN 참여추진현황 및 활동	100
1. ILN 총괄(Steering Group)회의 참석 및 기술위원회 활동	102
2. WG1(공동탐재체) 활동	115
3. WG2(통신) 활동	119
4. WG4(기술) 활동	122
제 6 장 ILN 참여방안	125
제 1 절 참여의 필요성	125
1. 사업추진 시의성	125
2. 사업추진 필요성	126
3. 상위계획과의 부합성	127
4. 기존 사업과의 차별성	129
5. 사업추진상의 위험요인과 대응방안	130
제 2 절 추진전략	131
1. 우리나라의 달 탐사선 개발과 연계하여 ILN 참여 추진	131
2. 참여방안	131
제 3 절 추진체계	132
1. 기본 역할분담 체계	132
제 4 절 추진일정	135
제 5 절 소요예산	135
제 7 장 결론 및 제언	137
부록	
부록 1 해외기관 달탐사 동향 입수자료	
부록 2 ILN 참여의향서	
부록 3 ILN WG별 최종보고서	
부록 4 달탐사 워크샵 발표자료	

표 목 차

표 2.1 SELENE 프로그램의 차이	6
표 2.2 달 탐사선별 탑재체	19
표 2.3 궤도 해석 소프트웨어 및 기술 수준	21
표 3.1 발사체 별 필요 추력	36
표 3.2 Spectral Imager 사양	42
표 3.3 국내 궤도설계 기술 현황	43
표 3.4 연세대궤도 설계 활동 현황	44
표 5.1 아폴로 프로그램을 통한 달 관측장치	60
표 5.2 아폴로 탐사시대 달탐사 네트워크 ALSEP 주요 구성장치	61
표 5.3 ILN 공동 탑재체 및 요구사양 (1)	65
표 5.4 ILN 공동 탑재체 및 요구사양 (2)	66
표 5.5 ASRG 적용 달 착륙선의 주요 설계 사양	69
표 5.6 태양전지 적용 달 착륙선의 주요 설계 사양	71
표 5.7 ILN WG 구분	75
표 5.8 달 탐사 탑재체 사양	79
표 5.9 ILN 공동 탑재체 및 요구 사양	89
표 5.10 WG3이 선정한 착륙후보지와 착륙후보지별 과학적 목표와의 관련성	97
표 5.11 WG4 회원국 명단	98
표 5.12 연료전지형 전력계기술과 원자력 전지기술을 중심으로 달착륙선용 핵심기술분석결과와 권고안을 도출	99
표 5.13 ILN 참여국간 회의의 한국대표 구성	101
표 5.14 NASA ILN 총괄 회의 참석 기관	103
표 5.15 NASA ILN 총괄 회의각 우주청의 발표 내용	103
표 5.16 미측에 제시한 ILN 협력에 관한 질의	113
표 5.17 WG4 회의 내용	122
표 6.1 달 착륙선 개발예산	136

그림 목 차

그림 2.1 미국의 달 탐사 프로그램	4
그림 2.2 ILN Anchor Nodes의 두 가지 형상	5
그림 2.3 달 마그마 바다 개념도 (NRC, 2007)	15
그림 2.4 마그마 바다의 마지막 결정화 산물인 KREEP 물질	16
그림 2.5 달 표면에 집중적으로 관찰되는 운석충돌분화구 모델.	17
그림 3.1 KARI 달탐사 개념설계 친 핵심 기술 개발 추진도	23
그림 3.2 개념설계 및 임무시뮬레이터 개발 흐름도(KARI)	24
그림 3.3 달 탐사선 모듈형 구조개발모델 개발 흐름도	25
그림 3.4 달 착륙선용 추진시스템 시험모델 개발 흐름도	25
그림 3.5 달 착륙 지역, 달 지형도, 달 고도를 통합한 달 지도	28
그림 3.6 달 구성 암석의 형성시기별 암상분포도 예시	29
그림 3.7 한국지질자원연구원의 열이온화 질량분석기	30
그림 3.8 달 표면의 우라늄 분포도	32
그림 3.9 달 탐사선의 궤도	33
그림 3.10 달 탐사선 예비 설계 형상 (KAIST)	34
그림 3.11 달 착륙선 예비 설계 형상 (KAIST)	34
그림 3.12 소형 달 착륙선 설계 및 구현 (KAIST)	35
그림 3.13 KSLV-II를 이용한 직접 전이 궤도 및 n.5 페이징 궤도시 시뮬레이션 결과	36
그림 3.14 PSLV를 이용한 직접 전이 궤도시 시뮬레이션 결과	36
그림 3.15 탐사선용 1,200 N 급 이원추진제 로켓 엔진 비행 모델	37
그림 3.16 탐사선용 로켓 엔진 검증 시험 모습	37
그림 3.17 100, 250 N 급 달 탐사선 자세제어용 단일추진제 추력기	38
그림 3.18 지구-달 주변의 우주공간의 구조	38
그림 3.19 Lunar Prospector에서 관측한 달 주변의 자기장 분포	39
그림 3.20 태양풍과 달 주변 하전입자들 간의 예상되는 상호 작용	40
그림 4.1 우리나라 달 탐사 전략의 예시	45
그림 4.2 한국지질자원연구원이 추진 중인 행성지질자원기술개발 로드맵 ..	46
그림 4.3 달탐사위성의 GN&C 기술 분류	49
그림 4.4 달착륙선의 GN&C 핵심 기술	50
그림 4.5 달탐사선 GN&C 기술의 국내 보유 현황	51
그림 4.6 달탐사선 GN&C 기술 자체 확보를 위한 Road Map	53

그림 4.7 국내 기반 기술 축적 방안 제안	53
그림 5.1 ILN 공동 탑재체 달 표면설치 가상도	58
그림 5.2 아폴로 착륙지점 및 달 지진계 네트워크	59
그림 5.3 공동 탑재체 설치 노드 (Node) 후보지	60
그림 5.4 SRG 적용 달 착륙선 형상	68
그림 5.5 SRG 적용 달 착륙선을 ATLAS V 발사체에 탑재한 형상	68
그림 5.6 SRG 적용 달 착륙선을 ATLAS V 발사체에 탑재한 형상	70
그림 5.7 태양전지 적용 달 착륙선을 Falcon 9 발사체에 탑재한 형상	70
그림 5.8 ILN 추진 체계	74
그림 5.9 각국의 달탐사 계획	76
그림 5.10 착륙방식에 따른 착륙선 형태 Trade-Off Study	78
그림 5.11 캐나다 탐사 로버 상상도	83
그림 5.12 착륙 로버 상상도와	84
그림 5.13 H3 탐침기 이탈리아 (ASI)	84
그림 5.14 레이저 반사경 시험	85
그림 5.15 레이저 측정거리를 이용한 이론 시험원리	86
그림 5.16 프랑스 광대역 (VBB) 지진계	87
그림 5.17 찬드라얀-1 호 구성도	87
그림 5.18 2009년도의 WG2의 업무 예비 계획안	95
그림 5.19 달 내부구조에 대한 2가지 해석 모델	96
그림 5.20 WG3에서 제시한 ILN node 위치(좌)와 ILN 최종보고서에서 제시된 node 위치(중)	97
그림 5.21 기술위원회 구성	101
그림 6.1 달탐사 추진을 위한 기관별 역할분담체계	134
그림 6.2 달탐사 추진체계(2안 추진시)	134

요 약 문

1. 연구의 필요성 및 목표

1) 연구의 필요성

○ 추진근거

- '07.11., 「우주개발사업 세부실천로드맵」

발사체 기술자립 전까지는 국제협력을 통해 우주탐사에 참여

- '08.8.6. 한미 정상회담

양국 정상은 민간 우주탐사, 우주과학 등의 분야에서 긴밀한 협력을 적극 추진키로 합의하고 NASA가 주도하는 국제 달 네트워크 사업 참여와 같은 항공우주분야 협력을 강화키로 합의

- '09.10.12. 대전 국제우주대회(IAC) 개막식 대통령축사

우주개발도 국가간 상호협력을 통해 우주를 더 잘 파악하고 연구개발의 성과를 인류 전체의 삶의 질 향상을 위해 공유해야 하며 활발하게 이뤄지고 있는 우주 분야 국제협력에 동참하기 위해 현재 국제 달탐사 프로그램에 참여를 검토 중

○ 연구의 배경

- NASA는 우리나라를 포함한 8개국 우주기관을 초청, ILN 참여 제안 ('08.3.12)

- 우리나라 한국항공우주연구원을 포함한 8개국의 우주기관이 제2차 총괄(SG, Steering Group)회의에서 ILN 참여의향서 서명('08.7.20)

- 참여의향서 서명국으로 구성된 WG(Working Group)에 참여하여 세부참여 방안을 NASA와 협의

- '08년 8월 이후부터 9개 참여국이 세부분야별로 4개(탐재체, 통신, 착륙지 선정, 기술)의 WG (Working Group)을 조직, '09년 현재까지는 4개의 WG이 활동을 해왔으며 우리나라가 모두 참여

- '10년 초 제4차 총괄(SG)회의에서 공동탐재체 결정 예정이며, 10년 중에 각국별 정식협약체결이 이루어질 것으로 전망

○ 연구의 필요성

- ILN 참여는 우주탐사를 선도하는 미국과 국제협력을 강화할 수 있는 좋은 기회일 뿐 아니라 유인 달탐사 기지건설의 협력 네트워크 형성할 수 기회이므로 구체방안 마련 필요
- ILN을 우리나라의 자력발사 달 탐사를 위한 중간진입 전략으로 활용필요
- 달 탐사 및 우주탐사는 국가의 과학기술력을 나타내는 척도로, ILN 참여를 통하여 국가 위상 및 국민 자긍심 제고 필요

2) 연구의 목표

- ILN 참여의향서 서명 이후, '10년 상반기까지 실무논의를 통한 우리나라의 참여방안 구체화
- 한국형 달 탐사의 핵심기술 확보를 위한 중간진입전략으로 ILN 협력사업의 활용방안 도출

2. 연구의 내용 및 범위

- ILN 참여의향서 서명 국가들의 ILN 진행현황 검토
 - 미국의 ILN Anchor Node의 설계진행상황 분석
 - 영국, 독일, 일본, 이태리 등 사업참여국가의 관계기관 방문을 통한 ILN 참여실태 조사
- ILN 참여국과의 협력방안 협의
 - 제4차 ILN 총괄회의(SG)참석을 통한 ILN 참여국과의 협력방안 실무협의
 - 부분품, 탑재체, 지상국 해외협력방안 도출
 - 달 과학자료 공유 등의 해외협력방안 협의
- ILN Working Group(WG)별 활동지원
 - ILN WG별 회의참석 및 참여방안 협의
 - ILN WG별 공동보고서 작성 지원

- 우리나라 참여방안 구체화
 - 산·학·연 협력 및 의견수렴을 통한 우리나라 참여방안 구체화
 - 우주개발진흥 세부실천계획과 연계한 우리나라 참여방안 수립
- ILN협력사업의 활용방안 수립
 - 달 과학자료의 국내활용방안 마련
 - 한국형 달 탐사의 핵심기술 확보를 위한 중간진입전략으로 ILN협력사업 결과를 활용하는 방안 마련

3. 연구 결과

1) ILN 개요

○ ILN은 달에 대한 광범위 하고 지속적인 과학 탐사를 수행하고 향후 달 표면에서 수행될 유인달탐사 프로그램을 가속화하기 위해 미국 NASA에 의해 추진되는 새로운 국제협력 형태의 달탐사 네트워크임

- NASA는 ILN을 통해 상대적으로 표준화된 작은 고정된 로봇식 관측소 (robotic station) 혹은 간단한 로버 (rover)들을 달의 적도부터 극지역까지 전역에 걸쳐 설치할 예정임

○ 2008년 3월 미국은 2013~14년 6~7개의 달 착륙선을 달에 착륙시켜 달 탐사 네트워크를 구축할 것을 세계 주요국에 제안하였고, 2009년 3월 13일 일본 요코하마에서 열린 ILN 총괄회의에서 2016년 자국의 착륙선 4기의 달 앞면에 착륙시킬 것을 발표함.(현재는 2018년 발사로 계획 수정됨)

- 일본 등 ILN 참여국은 자국의 달탐사 계획을 ILN과 연계하여 추진할 예정임을 발표

○ ILN의 공동 탑재체로 논의되고 있는 관측기기 종류들은 과거 1969년부터 1972년 사이에 미국이 달 과학 연구를 위해 설치한 과학관측기기 패키지인 ALSEP (Apollo Lunar Surface Experiments Package)와 크게 다르지 않으나 ILN 탑재체는 아폴로 탐사시대보다 좀더 성능이 향상되었고 더 넓은 광역의 네트워크를 구축하는데 있음

○ 현재 논의되고 있는 ILN 공동 탑재체는 지진계(Seismometry), 지열측정계(Heat Flow), 전자기장계(E-M Sounder), 및 레이저 반사경(Laser ranging reflector)으로 연구목적은 달 내부의 지진 상태 이해, 달 내부의 온도구조 특성을 알기 위한 지열유동 측정, 달 내부의 전기전도도 구조를 알기 위한 전자기 측정, 차세대 레이저 거리측정 장치를 이용한 달 내부구조와 중력 구조의 이해임

○ 지진계의 경우 아폴로 시대의 장치와 비교하여 11kg 에서 6kg 으로 경량화 되었고, 지열 측정계는 기존 10kg에서 2kg로 , 전자기장계의 경우 요구중량은 비슷하나 측정정밀도와 보정을 위한 장치가 추가, 레이저 반사경의 측정 정밀도는 수 cm에서 수 mm 수준으로 크게 향상될 것임

2) 우리나라의 ILN 참여 필요성

○ 우리나라는 2020년 달 탐사 궤도선, 2025년 달 착륙선의 발사를 계획하고 있으나(우주개발사업세부실천로드맵) 달 탐사에 관한 핵심기술 확보는 미진한 상태임. 시기적으로 2010년대 중반에 ILN 참여는 2020년경 자력 달 탐사에 연계할 수 있는 중간진입전략으로 활용효과가 클 것으로 기대됨

- 달 탐사 및 우주탐사는 국가의 과학기술력을 나타내는 척도로, ILN 참여를 통하여 과학기술 강국으로의 국가 위상 제고가 기대됨

○ 우리나라는 러시아와 발사체 개발 협력, 프랑스, 이스라엘 등 유럽국가와 다목적실용위성 및 통신해양기상위성 개발사업을 추진하여 왔으나 미국과는 우주분야 협력이 미비하였음. ILN사업은 미국이 우리나라에 제안한 우주분야 협력으로 제 1의 우주강국인 미국과의 우주분야 협력을 추진하여 미국-한국간 우주분야 협력 네트워크를 강화할 적절한 사업으로 판단됨

- 다목적실용위성 사업 및 KSLV-I의 사업 등에서 국제협력이 이루어졌지만 이는 우리가 부족한 기술부분에 대해 기술협력 차원으로 이루어진 것으로 각국의 독립적인 기여를 통해 공동의 목적달성을 꾀하는 우주분야의 국제협력은 ILN 참여로 처음 시도되는 것임

- 미국이 우리나라를 비롯하여 세계 8개국에 ILN 참여를 제안한 것은 우리나라의 우주분야 기술력이 어느 정도 수준에 도달한 것으로 평가되고 있음을 나타냄

- ILN 참여는 국제사회에서 우리나라의 국가 경제력에 걸 맞는 국제공조의 우주활동을 펼칠 수 있는 좋은 기회이며 미국과의 실질적 우주협력 네트워크를 구성할 수 있는 기회라는 점에서 기존 국가 우주개발 사업과 크게 차별화됨

- 우리나라 이명박 대통령과 미국 부시 대통령은 한·미 정상회담에서 국제 달 네트워크 사업(ILN) 참여 등의 우주협력을 강화하기로 합의함에 따라 ILN 사업을 적극 추진하여 우주분야 협력을 통한 양국간의 우호관계를 돈독히 할 필요성 있음

○ ILN 참여를 통하여 최신의 달 관측 자료를 관측 즉시 수신하고, 다른 나라와 자료를 공유함으로써, 풍부한 달 관측 자료를 우주과학 연구 분야 뿐만 아니라 자원활용, 교육용 교재, 방송 등에 활용 효과가 클 것으로 기대됨

- 1998년부터 2007년간 세계 주요국의 지구관측 위성은 98기 발사되었고, 세계 정부의 총 위성 개발 투자의 37%를 차지하며, 우주과학위성은 84개 발사되었고 세계 정부의 총 위성 개발 투자의 33%를 차지함

- 세계 주요국의 위성개발 경향에서 보듯이 각국은 지구관측 위성 투자에 근접하게 과학위성 개발에 투자하고 있음

- 우리나라도 달 궤도선 및 착륙선 개발을 통하여 우주과학의 증진을 도모하고 국가 기초과학 분야의 수준을 제고할 필요성 있음

○ 중국의 유인우주선 발사에 따른 외국인의 대 중국 태도는 응답자의 66.6%가 기존의 부정적 인식에서 긍정적으로 사고로 전환하였고, 중국산 제품에 대해 응답자의 63.4%가 보통 이상의 인지도 상승을 가져왔다고 응답함. 우리나라도 세계 선진국이 참여하는 ILN에 참여하여 달 탐사를 추진하면 국가 이미지 제고 및 국민 자긍심 고취가 클 것으로 기대됨

○ 「우주개발진흥법」에 따른 「우주개발진흥기본계획」(07) 과 「우주개발사업 세부실천로드맵」(07)에 국제협력에 의한 우주탐사가 반영 됨에 따라 ILN 추진의 타당성을 제공한 바 있음

- “미국, 유럽, 일본 등 우주선진국의 국제 우주탐사프로그램에 참여하여 기초기술을 습득하는 방안 검토(우주개발진흥기본계획)”

- “발사체 기술자립 전까지는 국제협력을 통해 우주탐사에 참여하여 향후 독자 우주탐사 추진을 위한 기반기술을 확보하고 임무 수행을 위한 탑재체 및 본체 선행기술 연구 수행(우주개발사업 세부실천로드맵)”

○ ILN이 미국 주도로 추진됨에 따라 미국의 국내 예산 획득 및 정책 변화에 따라 국제 달 네트워크의 구성 및 운영시기가 변동될 수 있으나, 일본, 인도 등과 같이 우리나라도 우리나라의 달 탐사 계획을 추진하되, 미국의 ILN 운영시기와 비슷하게 달 탐사선을 발사하여 ILN에 참여하고, 미국의 계획 변경이 우리나라의 달 탐사선 개발 시기에 영향을 미치지 않도록 대응할 필요성 있음

3) 우리나라의 ILN 참여 추진 현황 및 활동

○ ILN 총괄 및 WG 회의 참석, ILN 참여 방안 도출을 위하여 달 탐사 관련 연구원 및 학계 전문가들을 중심으로 ILN 기술위원회를 구성하였음

- 기술위원회는 과학팀(SDT:Science Definition Team)) 및 공학팀(EDT: Engineering Definition Team)으로 구성하여 과학팀은 ILN 과학 임무 분석 및 공동탑재체, 우리나라 고유탑재체에 관한 연구를 수행하였고, 공학팀은 ILN 착륙선에 관한 기술적인 사항을 검토하였음

○ ILN 기술위원회는 미 NASA 및 국무성을 방문하여 우리나라 ILN 참여방안의 가능성을 타진하였음

- NASA는 달 착륙기지에 설치될 공동 탑재체의 성능은 ILN 참가국 모두가 동의하는 기준으로 설정될 것이며, 이 성능 기준에 맞게 참가국은 기본적으로 자국의 공동 탑재체를 개발해야할 것임을 언급함

- 우리측은 ILN에 대한 한·미 협력방안으로 인력 파견 등을 통한 공동 개발, 미 설계자료 제공과 한국의 제작 및 한국 주도개발을 위한 미국의 부분품 수출 등을 제시하고 이에 대한 미국의 협력 가능성을 타진한 바, NASA는 공동설계 및 개발 등은 가능하지 않으며 각각의 부분품을 따로 제작 후 합치하는 것은 가능하다고 답변

- ILN 착륙선 등의 조립을 위한 부분품, 부품, 소재 등의 구매는 구체적인 사양에 따라 수출허가 요구(export license requirement)에 따라야 함

- 우리나라의 ILN 총괄회의 및 WG 참석 경위는 다음과 같음
 - 2008. 3. 12. : NASA는 우리나라를 포함 8개국 우주기관을 초청, ILN 사업에 대한 소개 및 참여 제안
 - 2008. 7. 24. : 한국항공우주연구원을 포함, 9개국 우주기관들이 각국을 대표하여 ILN 참여의향서 서명
 - ※ 미국(NASA), 이탈리아(ASI), 영국(BNSC), 캐나다(CSA), 프랑스(CNES), 일본(JAXA), 독일(DLR), 인도(ISRO), 대한민국(KARI)
 - 2008. 7~ 2009.3. : Working Group 1(공동탐재체), WG2(통신), WG4(구성 및 운영)
 - 2009. 3.13 : 일본 요코하마에서 ILN 총괄회의 개최

○ ILN 기술위원회 과학팀의 연구결과 ILN 공동 탐재체 전체 또는 부분의 자체 개발이 필요하다고 판단되며 ILN 기술위원회 과학팀은 레이저반사경과 전자기파탐지기 공동탐재체는 국내주관개발이 가능할 것으로 판단

- 지진계와 지열측정계 2종은 국제협력으로 개발 추진. 지진계는 NASA 및 프랑스 IPGP와 협력하여 개발하며, 지열측정계는 NASA 및 독일 DLR과 협력하여 개발함
- 레이저반사경과 전자기파탐지기 관련 개발 능력은 한국천문연구원, 연세대, KAIST, 지질자원연, 서울대, 항우연 등이 보유하고 있다고 판단됨

○ 한국 고유의 ILN 탐재체로는 항우연, KAIST, 천문연구원, 지질자원연구원과 우주과학회로부터 후보 탐재체들을 접수하였음. 공동 탐재체 탑재시 7~35kg의 한국 고유탐재체 탑재 가능하다고 판단되며, 현재 8 종의 한국 고유탐재체가 제안되었음

- 1) 광학적 여기 형광측정계 (기초과학연)
- 2) 라만 분광계 (KAIST-SaTReC)
- 3) 레이저 증발 분광계에 의한 Bioimarker 동위원소 측정 (연세대)
- 4) 태양 중성자 및 감마선 분광기 (충남대, 한양대, SaTReCi, 부산대,

원자력연)

- 5) 우주플라즈마 탐지기 (천문연)
- 6) 지구영상분광 모니터링 시스템 (천문연, 연세대)
- 7) 스테레오 카메라 (항우연)
- 8) 달 지하탐사 레이더 (항우연)

4) ILN 참여 방안(안)

○ 참여방안

- 1안 : 달 탐사 핵심기반기술개발을 통한 위성부분품 공급

달 탐사를 위한 핵심기반기술과 병행하여 일부 위성 부분품을 제작하여 공급

- 2안 : 미국 ILN 착륙선에 공동탑재체 및 위성부분품 공급

공동탑재체, 위성 부분품 등을 제작하여 공급

달 탐사를 위한 핵심기반기술과 병행하여 추진

- 3안 : (2안) + 심우주 지상국 구축

공동탑재체, 위성 부분품, 심우주안테나 등을 제작하여 공급

달 탐사를 위한 핵심기반기술과 병행

관제 및 데이터수신이 가능한 26m급이상의 심우주안테나 설계,제작과 달 과학 데이터 수신 및 처리기술개발

※ 미국과의 ILN 착륙선 공동개발방안은 기술이전 및 설계자료 공유에 대한 미국의 부정적인 입장, 한국형발사체의 개발시기 지연으로 인한 한국형 달탐사선 개발일정의 조정 등으로 인해 추진방안에 포함하지 않음

○ 추진전략

- 달 탐사 핵심기반기술과 연계하여 일부 부분품 개발

- 전자기장측정계와 레이저반사경은 국내주도로 개발하고 달 지진계와 지열측정계는 해외협력을 통하여 개발하여 최소 1기씩 공급

※ 미국과의 추후 협의결과 및 국내 활용도를 고려하여 탑재체 결정

- 위성 부분품 공급은 기술자립도가 높은 부분품을 위주로 수행하고 미국과의 세부협의를 통해 결정
- 심우주 지상국을 통한 달 과학데이터의 독자수신/처리체계 구축과 더불어 한국형 달 탐사선의 지상국으로도 연계 활용

○ 추진체계

- 우주개발전문기관을 중심으로 종합관리를 수행
- 부분품과 지상국기술은 핵심기술 연구개발형태로 전문기관별로 분리하여 진행
- 공동탐재체는 선정된 개발기관이 직접 제작하고 ILN착륙선과의 인터페이스는 우주개발전문기관이 담당

○ 소요예산

구분	추진방안 개요	소요예산	비고
1안	달탐사 핵심기반기술 및 위성부분품 공급	150억	○ 핵심기반기술 및 부분품 : 150억
2안	공동탐재체 및 위성부분품 공급	350억	○ 핵심기반기술 및 부분품 : 150억 ○ 공동탐재체 : 200억
3안	공동탐재체, 위성부분품 및 심우주지상국 공급	550억	○ 핵심기반기술 및 부분품 : 150억 ○ 공동탐재체 : 200억 ○ 심우주 지상국 : 200억

5) 향후 추진일정

- '10년 7~8월 교과부 - NASA 우주기술협력회의 개최(잠정)
 - ILN 참여방안 등 양국간 우주협력방안 논의
- '10년 9월 ILN 참여방안 총괄회의 참석(유럽)
 - 공동탐재체 결정 및 참여국과의 협력방안 협의
- '11년 상반기중 ILN 참여결정 및 필요시 협약체결
- '11년~'15년 : 달 탐사 핵심기반기술 개발
- '12년~'17년 : 공동탐재체, 부분품, 심우주지상국 개발

4. 결론 및 제언

- 우리나라는 인공위성 분야의 축적된 기술력을 바탕으로 우리나라는 향후

7~8년 내에 충분히 자력으로 달 궤도선을 개발할 수 있다는 타당성도 확보하였으며(“달 탐사 계획 수립을 위한 기획연구”, 한국항공우주연구원, 2008.10) 달 궤도선을 달로 보낼 발사체는 2018년 개발 완료될 한국형발사체를 활용할 계획임

○ 우주개발사업 세부실천로드맵에서 정부는 2018년 한국형발사체의 개발 후 달 궤도선과 달 착륙선의 자력 발사를 2020년 2025년으로 계획하고 있음. 발사체를 보유한 선진국의 예에서 보듯이 인공위성을 지구 궤도 위로 올린 후 달로 보내는 것은 발사체 임무 수행의 순연으로 한국형발사체를 이용한 우리나라 달 궤도선의 자력 발사는 우리나라의 우주개발 능력의 획기적인 도약 외에도 발사체의 성능을 세계에 알리는 중요한 이벤트가 될 것임

○ 우주개발진흥기본계획은 자력 발사 전에 국제협력으로 우주탐사를 진행할 계획을 명시하였음. 우리나라의 달 탐사 계획을 구체적으로 수립하고자 하는 시점에서 미국의 ILN 참여 제의는 자력 달 탐사를 위한 국제협력의 좋은 기회를 제공하고 있음. 자력 달 탐사 전에 국제협력은 비교적 적은 예산과 낮은 위험도로 달 탐사에 관한 경험을 축적할 수 있는 기회이며, 자력 달 탐사를 위한 준비 착수를 앞당길 수도 있기 때문임. 아울러 우리나라가 미국이 ILN참여 제의를 한 8개국 중에 하나였다는 점은 우리의 우주기술이 세계적으로 어느 정도의 경쟁력을 갖추고 있음을 입증하는 것으로 시사점이 큼.

○ 일본, 인도 등 해외 우주 선진국은 자국의 달 탐사 계획을 추진하되 ILN 사업 시기 전·후에 발사될 달 탐사선의 일부 기능이 ILN에 기여할 수 있도록 자국의 달 탐사계획을 ILN과 연계하고 있음. 우리나라도 우주 탐사 기술 획득의 최종 목표를 수립하고 자력 달 탐사선 개발을 위한 계획의 연장선 상에 ILN 참여를 놓아야 할 것임

○ 자력 달탐사는 향후 10년 후의 계획이지만 기술 축적은 치밀한 계획 하에 장기간의 시간을 요하기 때문에 될 수 있으면 빠르게 핵심기반기술 연구에 착수할 필요성 있음

○ ILN 참여를 통해 달 탐사 기술 축적을 도모하고 자력 달 탐사를 위한 교두보를 확보하게 될 것임. 따라서 ILN 참여를 우리나라 자력 달 탐사로 연계하

기 위한 전략이 필요함

○ 한국형 달 탐사를 위한 기술과 획득 전략을 구체화하고, 달 탐사를 위한 사업 규모, 예상되는 문제점과 해결 방안(안) 등을 기획하는 일이 시급히 이루어져야 할 것임.

○ 또한 본격적인 ILN 참여 사업이 착수되지 않더라도 국가우주기초원천기술 개발 사업 등을 통해 이루어지고 있는 우주탐사 분야의 기초연구를 총괄관리할 필요성 있음. 향후 자력 달 탐사를 위해 꼭 필요한 핵심기술에 관한 연구가 진행될 수 있도록 연구의 방향을 조정하고, 연구결과를 총괄 관리하여야 본격적인 달 탐사 사업이 착수되어도 단기간에 적은 예산으로 달 탐사를 수행할 수 있기 때문임

제 1 장 서론

○ 현재 미국, 일본, 중국, 유럽연합, 인등 등은 2010년대에 달 착륙 또는 달 샘플 채취 후 지구귀환 등을 목표로 달 탐사를 추진 중에 있음

- 특히 아시아에서 달 탐사 경쟁은 일본, 중국, 인도 등이 앞다투어 달 궤도선을 발사하고 두 번째 단계인 달 착륙선 발사 계획을 발표하는 등 첨예화되고 있음
- 2007년 9월 14일 일본이 SELENE 달 탐사위성을 발사한 후 한 달 뒤 중국이 창어 1호 달 궤도선을 발사하였으며 2008년 9월 27일 중국은 세계 3번째로 우주 유영에 성공하기에 이르렀음. 또한 인도는 2008년 10월 22일 찬드라얀 1호를 성공적으로 발사하였음

○ 또한, 미국 부시대통령은 “우주탐사를 위한 비전”에서 한 국가의 역량만으로 우주탐사를 지속적으로 진행하기에는 어려운 점이 많다는 인식하에 우주탐사를 위해서 국제협력을 증진할 것을 발표하였음

- 이에 따라 우리나라 항공우주연구원을 포함한 14개국* 우주청은 범국가적 차원의 재원과 과학지식의 공동 활용을 모색하고 우주탐사 수행능력 강화를 위해 GES(Global Exploration Strategy) 협력서에 서명하였음(2007.5.31.)

* ASI(이태리), BNSC(영국), CNES(프랑스), CNSA(중국), CSA(캐나다), CSIRO(오스트레일리아), DLR(독일), ESA(유럽), ISRO(인도), JAXA(일본), KARI(한국), NASA(미국), NSAU(우크라이나), ROSCOSMOS(러시아)

○ NASA는 2008년 3월 12일 우리나라를 포함한 8개국 우주기관을 초청하여 달 표면에 6~8개의 탐사선을 착륙시켜 달 탐사를 국제협력으로 수행하는 국제달탐사 네트워크(ILN : International Lunar Network)에 참여할 것을 제안함

- 한국항공우주연구원을 포함한 8개국*의 우주기관은 ILN 참여의향서에 서명하였음(2008.7.24.)

* 미국(NASA), 이탈리아(ASI), 영국(BNSC), 캐나다(CSA), 프랑스(CNES), 일본(JAXA), 독일(DLR), 인도(ISRO), 대한민국(KARI)

○ 우리나라는 ILN에 참여할 의향을 표명함에 따라 ILN 참여국으로 구성된 Working Group에 참여하여 ILN 세부 추진 계획에 관하여 논의하고, 한편으로 우리나라의 가능한 참여분야를 구체화해야할 필요성이 대두됨

○ 한국항공우주연구원은 우주탐사에 관련된 연구소, 산업체와 “달 탐사 기획연구”를 수행하여 우리나라의 장기적인 달탐사 방향 및 방안을 제시한 바 있음

○ 본 연구의 목표는 ILN 참여의향서 서명 이후, ‘10년 상반기까지 실무논의를 통한 우리나라의 참여방안 구체화하고 한국형 달 탐사의 핵심기술 확보를 위한 중간진입전략으로 ILN 협력사업의 활용방안 도출하는데 있음

목적은 첫째, “달 탐사 기획연구”에서 제시된 장기 달 탐사 계획과 연계한 ILN의 참여방안을 제시하고, 둘째, ILN 참여국으로 구성된 WG 및 Steering Group에 활동하며 ILN 참여를 위한 기본 자료를 수집하고 국가간 협력 네트워크를 구축하는 것임

제 2 장 세계 달탐사 연구개발 동향

제 1 절 미국의 달 탐사 연구개발 동향

1. 달 및 행성 탐사 정책

NASA는 “우주탐사, 과학적 발견 및 항공학 연구의 미래 개척”이라는 미션과 “견고한 우주탐사 프로그램을 통해 미국의 과학, 보안 및 경제적 이익 추구”라는 비전을 내걸고 다양한 다양한 프로그램을 진행하고 있다. 특히 우주탐사와 직접 연관된 다양한 과학 프로그램을 수행하고 있다. 이들 과학 프로그램은 지구과학 (Earth Science), 행성과학 (Planetary Science), 태양물리 (Heliophysics), 천체물리 (Astrophysics) 등 4개 분야로 구성되어 있다. 현재 NASA는 이들 과학 프로그램에 연간 약 45억 달러의 예산을 투입하여 57개의 미션을 운용 중에 있고 31개의 새로운 미션을 개발하고 있고 약 3000천여 개에 달하는 연구 및 분석을 위해 연구비를 지원하고 있다.

우주탐사 분야관련 ESMD(Exploration Systems Mission Directorate)을 중심으로 추진 중이던 유인 달탐사 계획은 오바마 정부에 이르러 전면적으로 재검토된 결과 그 진행이 전면적으로 취소되고 대신 장거리 유인우주선을 사용한 소행성탐사(2025년), 화성탐사(2030년 중반) 추진으로 변경되었다. 이를 위하여 기술 검증, 고용량 추진 기술, 무인우주 탐사 등의 강화를 위한 우주탐사 R&D 예산이 신설되었다. 또한, 상업 우주 비행 및 차세대 로켓 연구를 위한 예산이 신설되었다.

달 과학을 위한 탐사선 프로그램은 SMD(Space Mission Directorate)를 중심으로 진행되고 있다. 2009년 6월에 발사되어 성공적으로 임무를 수행한 LRO(Lunar Reconnaissance Orbiter)/LCROSS(Lunar Crater Observation and Sensing Satellite) 는 이러한 달 탐사 프로그램 중의 하나이다. 향후 발사될 달 과학을 위한 무인 탐사선으로는 달 중력장 맵핑을 위한 궤도선으로 2011년에 발사될 예정인 GRAIL(Gravity Recovery and Interior Laboratory) 이 있다. 또한, Lunar Quest Program의 일환으로 계획 중인 달 대기 및 먼지환경을 조사하기 위한 LADEE(Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer) 와 달 지질 탐사용 착륙선인 ILN 이 있다.

이러한 SMD 중심의 달 탐사 프로그램 및 행성 탐사에 관련한 계획은 현재 US National Research Council에서 전반적인 검토가 진행되고 있다. 행성 탐사의 새로운 10년간의 검토(New Decadal Survey for Planetary Science) 로 향후 10년 동안의 행성 탐사의 로드 맵 및 우선 순위를 결정하고 2011년에 최종 보고서가 제출될 계획이다. 이러한 전반적인 재검토 환경에서도 ILN 관련 사업 예산은 개념

설계 및 소형 무인 달 착륙선 기술 증진을 위한 개념 연구 분야에 지속적인 지원이 예상되고 있다. 그림 2.1은 미국이 2020년까지 달 탐사를 위하여 발사를 계획하고 있는 프로그램이다.

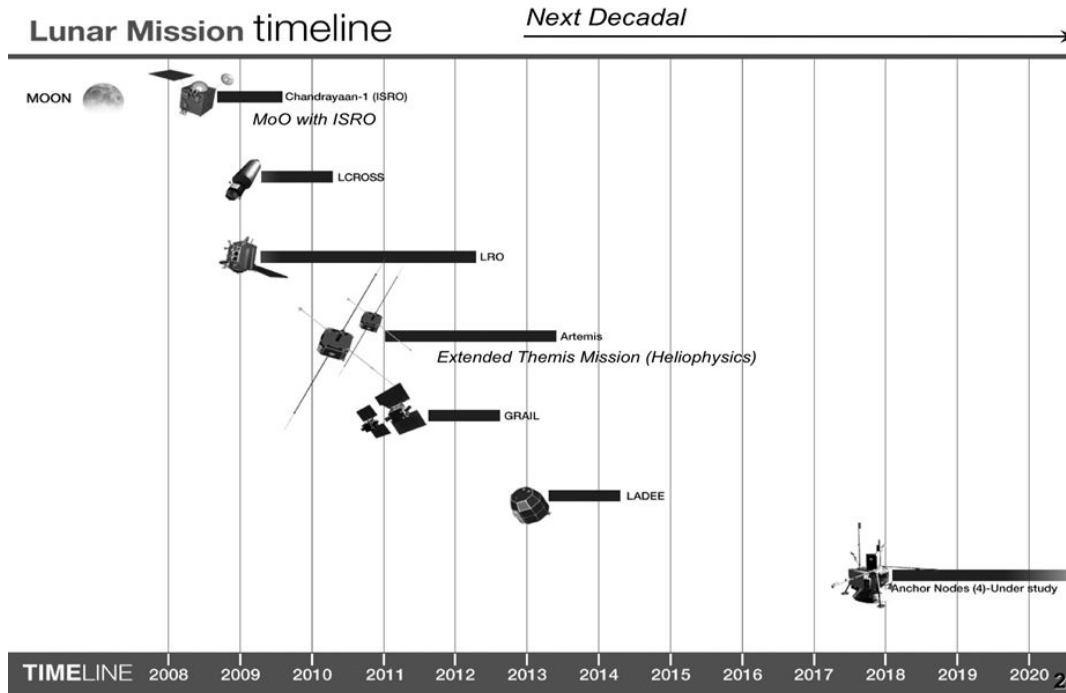


그림 2.1 미국의 달 탐사 프로그램

2. ILN 개발 현황

ILN은 넓은 범위에서 지속적인 달 탐사를 수행하고자 국제적인 협력을 통하여 달 탐사 네트워크를 구현하고자 하는 프로그램이다. ILN 중 미국에서 담당하고자 하는 임무 수행을 위하여 ILN Anchor Nodes 프로젝트가 제안되고 개념설계가 진행되고 있다. 프로젝트의 진행은 나사의 마셜 우주 비행센터와 존 홉킨스 대학의 응용물리연구소에서 공동으로 이루어지고 있으며 개발 Phase A의 사전 단계의 연구가 완료되었고 향후 10년 계획이 완성될 때까지 대기하며 달 탐사시의 위험 요소를 감소하기 위한 연구가 현재 진행되고 있다.

- 탐사선 설계를 위한 주요 임무로는 다음과 같은 사항이 고려되었다.
- 달의 전면에 다수의 노드를 구성
- 달의 밤 기간을 포함한 수년 동안 연속적인 임무 수행
- 6년 동안의 임무 기간
- 저전력, 저중량의 부시스템 및 관측장비 적용

ILN Anchor Nodes 임무용 위성은 전원으로 방사성연료인 ASRG(Advanced Stirling Radioisotope Generator)를 사용하며 4개의 착륙선으로 노드를 구성하는 방안과 태양전지-배터리를 전원으로 사용하며 2개의 착륙선으로 노드를 구성하는 방안으로 구분되어 개념설계가 진행되었다.

그림 2.2는 이러한 두 가지 경우에 대하여 진행된 설계의 형상과 특징을 정리한 것이다.

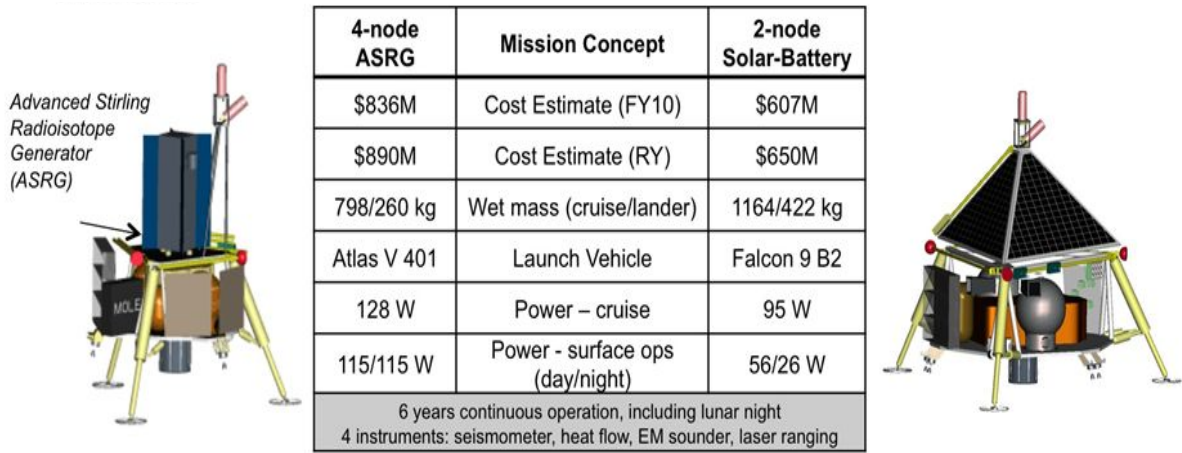


그림 2.2 ILN Anchor Nodes의 두 가지 형상

제 2 절 아시아국가의 달 탐사 연구 개발 동향

1. 중국의 달탐사 연구 개발 동향

중국은 2020년 이전에 달에서 샘플을 채취하여 지구로 귀환하는 3단계 무인 달 탐사 프로그램을 CLEP(China's Lunar Exploration Program) 이라는 이름으로 추진 중에 있다. CLEP의 제 1단계는 궤도선을 달에 보내는 것으로 2007년 발사되어 성공적으로 탐사임무를 수행한 창어-1 이 포함된다. 제 1단계의 개발 범위에는 탐사선 뿐만 아니라 장정-3A 발사체, 발사장 조성, TT&C를 위한 지상국 조성, 지상에서의 과학적인 어플리케이션을 등이 포함된다. 제 2단계는 원래 창어-1의 백업이 목적이었으나 창어-1호가 성공적인 임무를 완료하여서 지금은 달에 착륙선을 보내기 전에 사전 조사의 임무로 2010년 말에 발사할 예정인 창어-2 와 달에 연착륙 임무를 수행할 창어-3호를 2012년 발사하는 것이 포함된다. CLEP의 마지막 단계인 제3단계는 달의 샘플을 채취하여 귀환하는 창어-4 프로그램으로 2017년 발사를 목표로 하고 있다.

한편 중국의 우주개발에 대한 좀 더 장기적인 계획으로는 심우주 탐사 계획이 있으며 이 역시 3단계로 구분하여 추진되고 있다. 무인 달 탐사계획인 CLEP 또한 이 심우주 탐사 계획 내에 포함된 것이다. 심우주 탐사의 제 1단계에는 달에 착륙선을 보내는 CLEP 2단계와 2011년에 화성에 궤도선인 Yinhuo-1호를 발사하는 계획이 포함된다. 심우주 탐사 제 2단계는 CLEP의 3단계와 화성에 착륙선 및 로버를 보내는 계획이 포함된다. 심우주 탐사의 제3단계는 유인 달 탐사, 화성에서의 로봇에 의한 샘플 채취 및 귀환, 목성 이상의 행성을 탐사하는 계획이 포함된다.

2. 일본의 달탐사 연구 개발 동향

일본은 1990년 달 탐사선인 히텐(Muses-A)을 성공적으로 발사한 후, 소행성에 착륙하고 샘플을 채취하여 돌아오는 하야부사(Muses-C), 달 궤도선인 SELENE 등 달과 행성 탐사를 위한 지속적인 프로그램을 운영하고 있다.

SELENE-2는 2007년 8월 발사되어 달 궤도를 선회하며 탐사임무를 성공적으로 수행한 SELENE의 후속 프로젝트로 SELENE-2, SELENE-X 등으로 진행되는 일련의 달 탐사 프로그램 중의 하나이다.

SELENE 시리즈에서 각각의 프로젝트에서 필요로 하는 주요 기술 및 목적을 정리하면 표 2.1 과 같다.

표 2.1 SELENE 프로그램의 차이

구분	Kaguya(SELENE)	SELENE-2	SELENE-X
주요 기술	-달 궤도 진입기술 -궤도 상에서의 달 관측 기술	-정교하고안전한착륙기술 -달표면에서의 이동기술 -식 기간동안의 생존기술	다수의 임무에 대한 검토 진행 중 -대형 화물용 착륙선
행성관련 과학	-달표면 물질및 중력장 원격 조사	-달현지에서의 지질학 및 지구물리학적 관측	-달에 대형구조물 건설에대한demo -달 샘플리턴
달 활용성 조사	-달 표면 환경 및 자원 분포의 원격 조사	-달 현지에서의 표면 환경 조사	-천문학적 관측소 설치 -지진관측을 위한 지진계 네트워크 구성
국제 협력 및 공익	-과학 및 향후탐사를 위한 자료의공유 -HDTV의 공개방송	-국제협력 탑재체 -달표면에서의HDTV방송(TBD) -대학의 소형위성(TBD)	

한편 일본의 우주 정책은 2008년 법안이 통과된 우주기본법에 따라 우주기본계획을 설정하기 위한 작업을 수행 중에 있으며 2010년 중반에 최종 보고서가 발표될 예정이다. 이 우주개발전략 중에는 일본의 로봇 및 유인 달 탐사 전략도 포함되어 있으며, 결정될 우주기본계획에 따라 SELENE 프로그램도 변경될 가능성이 있다.

3. 인도의 달 탐사 연구 개발 동향

인도는 달 탐사선으로 찬드라얀 임무 프로그램을 진행하고 있다. 찬드라얀-1호는 2008년 인도의 발사체인 PSLV(Polar Satellite Launch Vehicle)로 발사되고 발사시 중량은 1,304kg, 달 궤도에서의 중량은 590kg 이다. 찬드라얀-1호는 인도의 탑재체외에 다음과 같은 세계 각국의 탑재체를 탑재하였다.

- ESA(유럽)
 - C1XS(X-ray fluorescence spectrometer)
 - SIR-2(Near infrared spectrometer)
 - SARA(Sub-keV atom reflecting analyser)
- BSA(불가리아)
 - RADOM(Radiation dose monitor experiment)
- NASA(미국)
 - Mini SAR
 - M3(Moon mineralogy mapper)
- 인도
 - TMC(Terrain mapping camera)
 - LLRI(Lunar laser ranging instrument)
 - HySI(Hyper spectral imager)
 - HEX(High energy aj/gamma xray spectrometer)
 - MIP(Moon impact probe)

찬드라얀-2호는 2013년 발사를 목표로 하고 있으며 궤도선, 착륙선과 30~100kg 정도의 로버로 구성된다. 사용될 발사체는 인도의 GSLV(Geosynchronous satellite

launch vehicle) 가 예정되어 있다. 찬드라얀-2호는 인도 ISRO와 러시아의 Roskosmo와의 협력으로 진행될 예정이며 ISRO는 궤도선, 러시아는 착륙선 및 로버에 대한 책임을 맡아서 진행할 예정이다.

제 3 절 유럽국가의 달 탐사 연구개발 동향

유럽은 ESA(European Space Agency)를 중심으로 달 탐사선 프로그램을 진행하고 있다. 달에 대형 화물용 착륙선을 보내는 것을 목표로 하고 있으며 그 중간 단계로 소형 착륙선인 NEXT-LL(Lunar Lander) 발사를 위한 개발을 진행 중에 있다. NEXT-LL 달 표면에 정밀 연착륙 검증 및 현지에서의 탐사활동을 주 임무로 하고 있다. 초기 단계에서는 Thales Alenia Space, Astrium ST, OHB를 각각 중심으로 하는 세 개의 컨소시엄에서 개별적으로 연구를 진행하여 경합하였으나, 2010년 1사분기 현재는 OHB 컨소시엄과 Astrium ST 컨소시엄 중심으로 Phase-A 단계의 개발을 진행 중이다. 발사는 소유즈 발사체 또는 아리안V 의 2차 탑재체로 발사하는 것을 고려하고 있으며 2018 이전에는 발사하는 것을 목표로 하고 있다.

탐사선 프로그램과는 별도로 지상에서의 시험을 위한 "Lander Demonstrator" 프로그램이 독일의 DLR에서 진행되고 있다.

한편 학생들의 우주 탐사에 대한 관심을 고취하고자 ESA가 지원하고 Surrey Satellite Technology사가 개발하고 있는 달 탐사선인 ESMO(European Student Moon Orbiter) 프로그램도 Phase A 단계를 진행하고 있으며 2014년 발사를 목표로 하고 있다.

제 4 절 분야별 달탐사 연구개발 동향

1. 유도 및 제어

달 탐사선의 유도, 항법 및 제어계 국외 기술 동향을 살펴보면 달궤도 진입 기술이 성숙 단계에 도달하였고 달 표면 착륙 기술로 확장되는 것을 알 수 있다. 특히 1990년대 미국에서 추진한 Clementine(1994) 탐사선과 Lunar Prospector(1998) 탐사선의 성공적인 임무 수행 이후에 유럽의 SMART-1(2003)은 물론, 일본, 중국 및 인도의 달탐사 임무가 성공적으로 진행되어 탐사선의 유도항법 및 제어기술의 완성도가 높은 것으로 판단할 수 있다.

1960년대의 아폴로 계획과 러시아의 달탐사 프로그램을 통해 이미 축적된 기술이 탑재 컴퓨터와 장비의 소형 경량화를 거치면서 신뢰성이 향상되고 있다. 먼저 탐사선의 가장 기본적인 요구사항인 자세제어는 크게 스핀안정화기술과 3축 자세

제어기술이 적용되고 있다. 이 가운데 스핀 안정화 기술은 지구-달 천이궤도 진입을 위해 주추력기 발사로 인하여 발생하는 외란을 극복하기 위한 효과적인 방법으로 알려져 있다. 스핀 안정화는 한 동체축에 대하여 위성을 일정하게 회전시켜 줌으로써 어느 정도 크기의 외란에 대하여 자세 안정성을 유지할 수 있다. Lunar Prospector, Clementine 위성의 경우 달천이궤도 진입시 스핀 안정화 방식을 채택하였고 나머지 임무 기간 동안에는 3축 자세제어 방식을 적용하였다.

스핀 안정화 방식의 큰 문제점 가운데 하나가 바로 장동운동(Nutation)의 발생이다. 즉 스핀 안정화가 완벽하게 이루어지지 않는 경우 스핀축과 직교하는 축에 토크성분이 가해져서 동체 각속도 벡터와 각운동량(Angular momentum) 벡터를 중심으로 회전운동을 하는 장동운동이 발생한다. 능동형 장동운동제어(Active Nutation Control)은 Clementine과 Lunar Prospector에 적용된 적이 있으며 추력기를 이용하여 장동운동을 능동적으로 제어하는 방법이다.

달탐사 위성의 3축 자세제어는 일반 위성의 3축 자세제어기와 근본적인 차이가 없이 구성된다. Clementine 및 SMART-1의 경우 모두 본격적인 임무 수행 단계에서 3축 자세제어 방식을 채택하여 달 표면 탐사와 같은 주요 임무를 수행한 것으로 알려지고 있다. 천이궤도를 순항할 때에는 탐사선의 궤도정보를 이용하여 통신 안테나를 지구를 지향하도록 연속적으로 제어하면서 3축 자세제어 방식을 유지하였다.(Clementine)

탐사선의 자세 결정은 일반 지구궤도 임무의 탐사위성과 크게 다르지 않은 것으로 알려져 있다. 즉 별추적기(Star Tracker)와 자이로를 이용한 자세 결정이나 쿼터니언(Quaternion) 자세정보를 이용한 제어기 설계 방식도 일반 저궤도 위성과 큰 차이가 없는 것으로 볼 수 있다. 한편 스핀 안정화 모드에서는 주로 태양센서와 지구센서를 이용하는 반면에 3축 제어 모드에서는 별추적기와 자이로를 주로 이용한다. 스핀 모드의 자세결정 방법은 일반 지구궤도 임무 위성과 큰 차이는 없는 것으로 볼 수 있으나 3축 제어 모드에서는 별추적기의 탐색범위가 전체 천구를 대상으로 해야 하므로 Star 카탈로그 작성에 이를 고려해야 한다. 또한 달표면 착륙시에도 별추적기를 이용한 자세정보를 확보하는 기술이 구현되고 있다.

달 탐사 임무 기간 동안 위성체의 위치 결정은 주로 지상 안테나를 이용한 추적(Tracking)과 위성체에 탑재된 궤도 전파기를 이용하는 것으로 알려져 있다. 대부분은 달탐사 위성은 지상 안테나를 이용한 추적 정보를 이용한 궤도 결정에 많이 의존하는 것으로 알려져 있다. 한편 궤도 전파기의 경우 궤도 전파 알고리즘을 탑재 컴퓨터상에서 연속적으로 수행하여 그 결과를 이용하는 방법으로 수치 적분 기법이 활용되고 있다. Clementine위성의 경우 4차의 Runge-Kutta 알고리즘을 이

용한 탑재용 궤도 전파기가 활용된 것으로 알려져 있다. 이와 같은 위치 결정은 필요한 경우에 수시로 수행할 수 있으나 최근 경향은 자동화로 바뀌고 있다. 즉 지상 Tracking과 탑재용 전파기를 이용하여 자동으로 궤도(위치)를 결정하게 된다. 탑재용 전파기는 지구에 대한 위성체의 위치 뿐만 아니라 달의 위치, 지구의 위치, 달에 대한 위성의 위치 등 다양한 정보를 제공해준다. 한편 달이나 천체의 상대 각도 정보를 이용하여 탑재 컴퓨터 내에서 위치 정보를 파악하는 기법이 미국의 Deep Space-1 임무와 최근의 행성 탐사 임무에 적용된 적이 있는데 향후 달 탐사선에 적용될 가능성이 높다. 아폴로 11호의 항법도 유사한 기법이 적용된 것으로 보고되었다.

궤도보정 기동(Trajectory Correction Maneuver, TCM)은 달천이궤도상에서 위성체의 궤적이 당초 설계된 궤적과 차이가 나는 경우에 이를 보정하기 위한 기동으로서 최종 달궤도에 정확하게 진입하기 위해서 중요한 임무 단계이다. 궤도보정을 위해서는 먼저 궤도 결정이 이루어지고 확보한 궤도 정보로부터 궤도 오차를 산출하고 오차를 수정하기 위한 기동을 수행하게 된다. 보정 기동은 일반적으로 천이궤도 진입에 비해 소모 연료량이 많지 않으나 대체로 3차례 정도의 기동을 수행한다. Lunar Prospector의 경우도 3번의 보정 기동을 수행하여 최종 달궤도에 진입하였다.

한편 안전하고 정밀한 달 표면 착륙 방법을 위해 이전의 아폴로 착륙 임무와 다른 자동 착륙, 위험 회피 기술(Autonomous Landing and Hazard Avoidance Technology, ALHAT)를 포함하는 새로운 기술이 미국 NASA를 중심으로 활발히 연구되고 있다. ALHAT 항법 시스템은 지형상대항법(Terrain-Relative Navigation, TRN)과 장애물상대 항법(Hazard Relative Navigation, HRN)으로 구성되어 있고 고도계, 카메라, RADAR, LIDAR와 같은 광학식 센서로 측정된 데이터를 참조지도(reference map)와 비교하여 탐사선의 위치를 파악하는 기술이다.

이와 같은 광학 센서를 이용한 정보와 기존의 관성항법시스템(INS)의 정보를 결합하여 엄격한 항법 정확도를 만족시킬 수 있다. 이 시스템을 지형보조 관성항법(Terrain Aided Inertial Navigation, TAIN)이라 하며 향후 ILN과 같은 달표면 착륙 임무에 일반적으로 적용될 기술로 예상되고 있다. 미국의 경우 2009년 LRO(Lunar Reconnaissance Orbiter)를 발사하여 향후 탐사선 착륙을 위해 고해상도의 2,3차원 달 표면 지도를 제작중인 것으로 알려져 있다.

2003년 발사된 유럽 최초의 달탐사선인 SMART-1은 기존의 달 탐사선의 고출력의 화학식 추력기를 이용한 임펄스 방식과 달리 저추력(Low-thrust)을 이용하여 장시간 비행을 거쳐 최종 달에 도착하였다. SMART-1의 저 추력 시스템은 높은

연료 효율을 제공해 주는 것으로 알려져 있다. 한편 추력기의 장시간 작동으로 인하여 외란 효과가 커지고 결국 반작용휠이 포화(Saturation) 상태에 도달하는데 이를 제어하기 위해 2축 김벌(Gimbal) 장치가 사용되었는데 저추력기 운용을 위해 필수적인 기술로 간주할 수 있다.

달탐사 위성의 탑재 컴퓨터의 역사는 매우 길다고 볼 수 있다. 1969년 인류가 달에 착륙한 Apollo 11호 임무에 탑재 컴퓨터가 이용되었으며 이때 컴퓨터의 주요 기능은 자동 항법을 위해 변수를 연속적으로 추정하는 것이었다. 즉 최초의 실시간 칼만(Kalman) 추정기가 구현된 것으로 알려져 있다. Clementine에 탑재된 MIL-STD-1750A 컴퓨터는 RISC 32-bit 프로세서로 구성되어 영상처리, 자동 운용, 영상 압축등의 기능을 수행하였다. 한편 Lunar Prospector의 경우는 탑재 컴퓨터를 탑재하지 않고 대부분의 임무를 지상국을 통해 수행한 것으로 알려져 있다. SMART-1은 ERC32 프로세서의 탑재 컴퓨터가 탑재되었다.

달탐사 위성에 탑재된 탑재 S/W의 경우 지금까지 많은 자료가 보도되지 않고 있다. 최근에 성공적으로 임무를 수행한 Clementine과 SMART-1의 탑재 S/W는 주로 자율화(Autonomy) 기능이 크게 강조되고 있는 점을 주목할 필요가 있다. Clementine의 경우 복잡하고 다양한 임무 수행을 자동으로 수행하기 위해 탑재 S/W가 구성되어 있다. SMART-1의 탑재 S/W는 크게 AOC(자세 및 궤도제어) 부분, 열제어부분, FDIR (Fault Detection, Isolation, and Recovery)등으로 구성되어 있다. SMART-1의 경우도 OBAN(Onboard Autonomous Navigation)이라는 자율화 시스템이 구현되었고 탑재 시스템의 제어는 VxWorks 실시간 운영체제가 담당하였다. 자세제어 S/W는 MATLAB/Simulink 환경 하에서 개발되었다.

2. 지상국 분야

가. 심우주 통신

기본적으로 외국의 달탐사 임무를 수행한 연구기관에서는, 심우주통신 분야에 대해, 그 필요성을 절감하면서, 각 기관들이 보유하고 있는 심우주통신망을 서로 다른 임무에서 활용할 수 있도록, 관련 인터페이스를 CCSDS를 통한 표준화작업을 수행중임. 대표적인 것으로 CCSDS에서 정의한 SLE (Space Link Extension)이 있으며, 현재 주요 국가들은 SLE를 표준으로 채택하였거나 채택할 예정이다. ISRO의 경우도, SLE 접속방법을 구축하여, 외국의 지상국을 활용한 바가 있다. SLE외에 CCSDS에서 지상국간 접속에 관한 표준화를 IOAG/CCSDS를 통해 지속적으로 추진함에 따라, 한국도 이에 대한 적극적으로 참여할 필요가 있다.

NASA의 경우는, 호주에 있는 70미터급 DSN의 안테나를 보완하는 연구를 마치고, 현재 보강하는 사업을 추진 중임. 현재 NASA는 70미터급의 DSN 안테나 대신 작은 안테나를 어레이로 연결하여 단일 초 대형 안테나의 효과를 얻는 방향으로 내부 결정을 하였다. ESA, JAXA의 경우, 기존 심우주통신망을 활용하고 추가적인 개발에 대해서는 발표되지 않고 있다.

유인 달 탐사의 경우, 특히나 연속적인 통신링크의 필요성이 커짐에 따라, 단일 DSN 안테나를 가상의 지구상 좌표에 두고 최적의 링크를 제공하는 연구도 중국에서 수행을 하고 있었으며, 북극지역에 둘 경우, 거의 11일을 단일 안테나로 연속적인 통신 링크를 제공가능하다는 연구결과가 있었다.

대형 안테나 시스템에 대한 연구 외에 지구와 달 사이의 거리에 따라 당연히 발생하는 데이터의 전송 지연에 따라 낮은 SNR 상황에서도 높은 BER이 가능한 새로운 채널코딩에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 중국에서는 fountain code에 대한 연구와 코드 회귀법과 연동된 CPM에 관한 연구가 진행되고 있다.

ILN과는 별도로 미국 하와이 대학을 중심으로 구성된 ILOA는 캐나다의 MDA도 참여하고 있으며 중국의 국립천문대인 NAOC가 참여하고 있다. ILOA는 지구와 달 사이의 항구적인 통신시스템 구축을 추진 중임. 만약 ILOA의 심우주 안테나가 우리에게 활용가능한지 확인하는 것도 우리의 달 탐사임무 수행 시, 고려될 수 있는 부분으로 판단된다.

나. 관제 분야

달 탐사 임무에 반영되는 매우 다양한 탑재체들이 연구되고 있음에 따라, 관제 시스템에서는 한정된 자원 내에서 모든 데이터를 안정적으로 주고 받기 위한 임무 계획을 최적화 하는 연구가 진행 중이다. 특히, 달 주변의 릴레이 위성을 이용하고, 달 표면에 동시에 물리적으로 멀리 떨어진 곳의 Rover나 Lander와 데이터를 주고 받기 위해서는, 데이터전송속도기반 임무계획 최적화 연구가 미국에서 이루어지고 있으며, ESA에서도 lunar rover의 tele-operation system의 임무 계획에 관한 연구가 진행 중이다.

또한 Lunar Orbit Injection의 중요성을 고려하여, 실시간으로 위성의 자세 및 궤도를 정확히 계산하고 보여주는 기술에 관한 연구가 이루어져 어느 정도 성숙 단계에 이른 것으로 판단됨. 중국의 경우도 CE-1에 대해 자국의 USB시스템과 VLBI 시스템을 통해, 거의 실시간으로 range, range rate, 기상데이터를 수신하여, 실시간 자세 및 궤도 감시시스템을 개발하고 활용한 바가 있다.

위성의 LOS (Line-Of-Sight) 속도를 지상에서 수신한 RF 신호를 활용하여 측정할 수 있도록, 도플러 정밀 측정 기기에 대한 연구 개발도 진행 중이다.

다. 자료 활용 시스템 분야

이미 여러 나라에서 달탐사 임무를 수행하였고, 해당 탑재체의 연구자 집단에게 획득된 데이터를 제공해 주고 있다. 미국의 LRO의 경우, 특히 탑재체의 수나 그 데이터의 양이 상당히 방대한데, 이런 대용량의 자료를 외부 사용자가 쉽게 활용할 수 있는 데이터 활용 시스템의 구축은 매우 중요한 부분이라 할 수 있다. 워싱턴 대학에서는 PDS (Plenary Data System)로부터 lunar data를 접근할 수 있는 시스템을 독자 개발하여, 현재 운영중이며, 이에 대한 연구발표가 있었고, 많은 기관에서 관심을 표명하였다. 한국도 데이터의 활용을 활성화하기 위해, 이 분야에 대한 연구도 병행할 필요가 있다고 판단된다.

3. 달 지질학 분야

가. 미국의 새로운 달 탐사를 위한 논리적 근거

○ 미국은 2004년 1월 부시 대통령이 천명한 '우주탐사를 위한 새로운 비전(The Vision for Space Exploration, NASA)'에 따라 아폴로 계획 이후 중단되었던 달 탐사를 재개

○ 미국이 새로운 우주탐사비전에 따라 달 탐사를 재개하는 근본적인 과학적, 탐사적, 경제적 논리

- 달은 행성과학의 토대 ⇒ 달은 지구, 금성, 화성 등에 남아있지 않은 태양계 초기의 행성분화와 초기 진화사를 보존하고 있음

- 달은 행성진화과정의 천연 실험실 ⇒ 진공환경에서 행성의 화산활동, 소행성충돌에 의한 분화구 형성과정 등과 같은 근본적 행성과정을 보존하고 있음

- 지구-달의 기원 ⇒ 달은 지구의 탄생과 밀접한 관련을 가지고 있으며, 지구-달 시스템의 형성이후 약 40억년-38억년 사이에 일어난 '후기 집중 충돌(late heavy bombardment)'의 기록을 보존하고 있어 지구에서 생명의 탄생과 진화과정을 이해하는데 중요

- 달은 지구에서 2-3일 만에 도착할 수 있는 현재 기술로 접근이 용이한 현실적 행성탐사대상임

- 달은 인류가 유일하게 지구 이외 행성시료를 직접 채취에 성공한 행성으로

이들 시료에 대한 아주 자세한 물리, 화학적 연구가 가능하여 원격탐사자료를 정확하게 보정하여 정밀한 행성탐사가 가능

- 달은 대기가 없기 때문에 달 표면에 분포하고 있는 토양층은 과거부터 현재까지 태양에서 유입된 태양풍 활동의 증거를 기록하고 있어 태양의 진화과정을 이해할 수 있음

- 달은 화성 등을 향한 인간의 장거리 우주여행에 필요한 다양한 임상적, 기술적 시험대로 활용이 가능

- 달은 지구에 비해 중력이 약하기 때문에 타 행성으로 탐사를 위한 저비용의 연료 재충전기지로 활용이 가능

- 달 탐사와 달 정착은 막대한 비용이 소모되는 만큼 국제우주협력체계를 수립하고 강화하는 장으로 활용

- 달 탐사는 후속 세대의 우주탐사에 대한 진취적 도전의식과 과학적, 공학적 교육 기회를 제공

- 달 표면은 지구에서 가능하지 않은 다양한 우주환경에서의 과학적 실험이 가능

- 달은 타 행성 탐사를 위한 전초기지 개척을 통한 상업적 개발의 기회를 제공

나. 미국의 새로운 달 탐사를 위한 과학적 배경

- NASA는 새로운 우주탐사 비전에 따라 향후 달 탐사를 성공적으로 수행하기 위해서 '왜 다시 달에 가야하며, 달에서 어떤 과학적 성과를 얻어내야 하는지'에 대한 과학적 배경이 필요

- NASA는 미국 국가연구위원회(National Research Council, NRC)에 새로운 달 탐사를 위한 과학적 배경에 대한 보고서 제출을 요청

- NRC는 2007년 '달 탐사를 위한 과학적 경과보고서(The Scientific Context for Exploration of the Moon, National Academies Press, 2007)'를 발간

- '달 탐사를 위한 과학적 경과보고서(The Scientific Context for Exploration of the Moon, National Academies Press, 2007)'에 제시된 향후 달 탐사를 통해 해결해야할 과학적 의문

- 아폴로 프로그램에서 루나프로스펙터에 이르기 까지 얻어진 많은 자료들을 바탕으로 행성과학적 측면에서 달의 기원과 진화를 설명할 수 있는 세가지 중요한 가설이 제안 ⇒ 달은 (1) 거대충돌(giant impact)에 의해 형성되었으며, (2) 마그마 바다(magma ocean)를 거쳐 진화했으며, (3) 마지막 대변혁(terminal cataclysm)을 경험한 것으로 알려져 있음

- 달의 기원에 관해서 지금까지 포획설(capture hypothesis), 동시생성설(co-formation hypothesis), 분리설(fission hypothesis) 등 여러 가지 이론들이 제시되었으나, 지금은 거대충돌설(giant impact hypothesis)이 가장 널리 인정되고 있음
 ⇒ '거대충돌설'은 태양계 초기에 이미 맨틀(mantle)과 핵(core)으로 분화된 화성 크기의 원시행성이 역시 맨틀과 핵으로 분화를 마친 원시 지구(proto-Earth)와 충돌하여 충돌한 행성의 핵은 원시 지구로 흡수되고, 지각과 맨틀 물질로 이루어진 암석 파편들이 지구 궤도상에서 재응집되어 달을 형성하였다는 이론으로 지구와 달 암석의 유사성과 동일한 산소동위원소 조성을 가지는 지구화학적 특징을 잘 설명할 수 있으며, 행성간 충돌을 컴퓨터로 모사한 모의실험에 의해 재현되는 것이 밝혀졌음

- 거대충돌에 의해 방출된 에너지는 대규모 용융을 일으켜 지구와 달에 '마그마 바다'를 만들었으며, 밀도가 가벼운 사장석이 분정(crystal segregation)되면서 회장암(anorthosite)질 지각을 형성하였음 ⇒ 달에 마그마 바다가 존재했다는 사실은 아폴로11호가 채취한 시료가 도착하자마자 즉시 명확해졌으며 개념적으로 태양계 행성의 초기 지각형성과정을 이해하는데 매우 획기적인 행성과학적 진보

⇒ 그림 2.3 은 마그마 바다를 개념적으로 나타낸 것으로 사장석으로 구성된 지각과 감람석, 휘석으로 구성된 맨틀, 그리고 사장석, 감람석, 휘석, 티탄철석(ilmenite)이 분정된 후 남은 잔류물로 K, U, Th, Ba, Rb, REE, Cs, Zr, P 등의 불호정성원소(incompatible elements)가 농집된 KREEP 물질이 지각과 맨틀 사이에 샌드위치처럼 분포하고 있는 모습 ⇒ 일차원적 마그마 바다의 결정화 과정의 결과 모든 달 지각 하부에는 KREEP 물질이 골고루 분포해야 하는데 루나프로스펙터 등에 의해 얻어진 원격탐사자료에 의하면 실제로 이들 불호정성 원소들이 달의 앞면에 집중적으로 분포하고 있음이 밝혀졌음(그림 2.3)

⇒ 따라서 1970년대 제안된 마그마 바다 모델은 이들 원소들이 수평적으로 이동하여 달 앞면에 집중되어 관찰되는 현상을 설명할 수 있는 더 사실적 모델로 수정될 필요성이 제기되고 있음

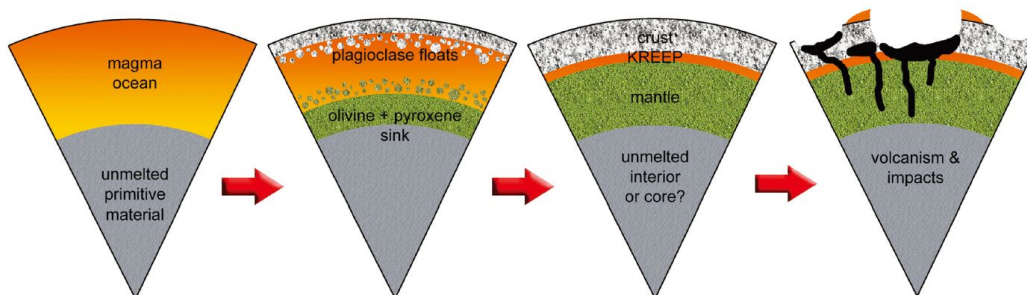


그림 2.3 달 마그마 바다 개념도 (NRC, 2007)

- 지금과 같은 내행성계가 거의 완성된 이후에는 잔류 행성형성물질의 충돌량이 지수함수적으로 감소하는 것으로 알려져 있으나 달 표면에 분포하는 충돌분화구의 밀도를 분석하여 보면 이들이 약 40억년에서 38억년 사이에 현저히 증가되는 특징이 관찰되며 이를 '마지막 대변혁' 혹은 '후기 집중 충돌(Late Heavy Bombardment)'로 부름(그림 2.4)

⇒ 이 가설은 지구에서 생명의 탄생과 밀접한 관련이 있기 때문에 매우 중요한 의미를 가지며 실제로 약 40억년에서 38억년 시기에 집중적인 외계물질의 유입이 있었다면 이전에 지구에 존재했던 생명체는 모두 사라졌을 것이고 이후 새로운 생명체가 탄생했을 것으로 추정됨

⇒ 마지막 대변혁이 실제로 존재했는지, 그렇다면 원인은 무엇이었는지는 아직 까지도 많은 논쟁의 중심에 있음

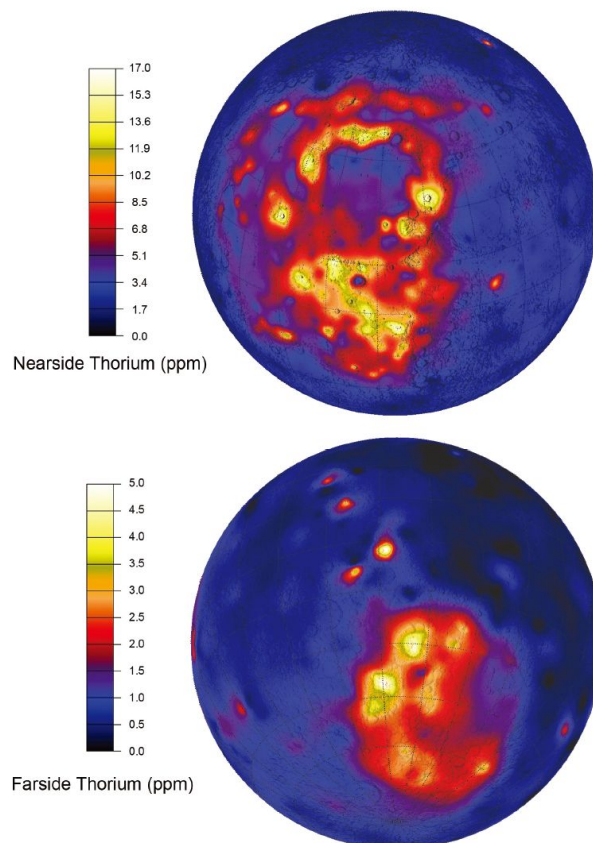


그림 2.4 마그마 바다의 마지막 결정화 산물인 KREEP 물질이 달의 특정지역에 집중되어 나타나기 때문에 이에 대한 과학적 설명이 필요함 (NRC, 2007)

○ NRC 보고서에 제시된 달 탐사의 과학적 의문들은 이러한 3가지 중요한 가설들을 검증하고 재정립하는 방향으로 진행될 예정이며 NRC 보고서에서는 8개의 달 과학 개념(Lunar science concept)들과 연계된 32개의 주요 과학적 연구 목표들을 제시하고 있으며 우선 해결해야 할 과학적 의문점들에 대한 우선 순위를 제시하고 있음

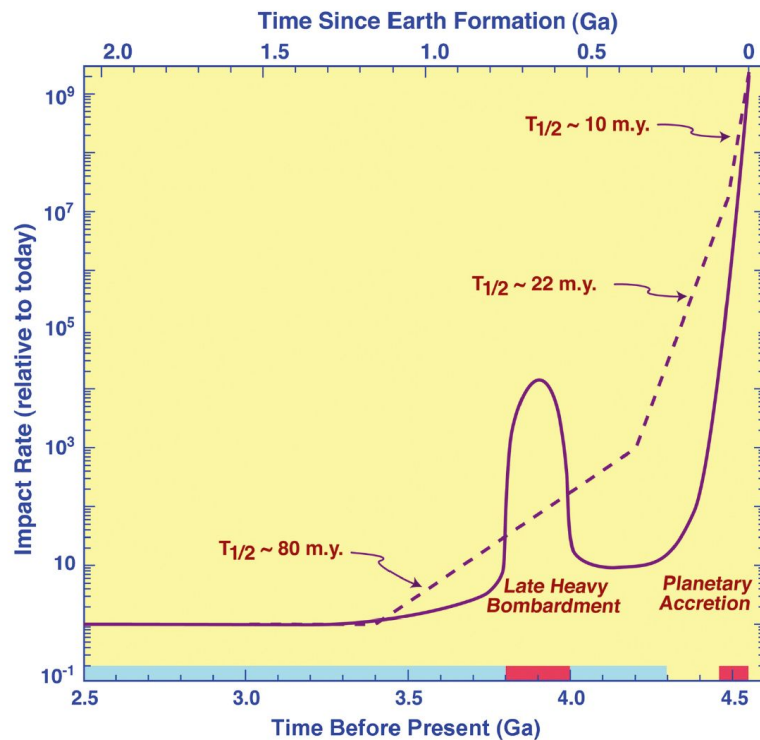


그림 2.5 달 표면에 집중적으로 관찰되는 운석충돌분화구에 대한 두가지 경쟁 모델. 이들 모델에 대한 검증이 향후 달 탐사의 중요한 과학적 미션이 될 것이며 지구에서 생명이 탄생한 비밀의 열쇠가 됨

- NRC 보고서에서 선정된 8개 달 과학 개념은 다음과 같음
 - 태양계 내행성계의 충돌역사가 달 표면에 기록
 - 달의 내부구조와 성분을 조사함으로써 분화 행성의 진화를 밝힐 수 있음
 - 다양한 달 암석 연구를 통해 행성에서 일어나는 핵심적인 과정들을 이해할 수 있음
 - 극지방 연구를 통해 태양계 형성 후기의 휘발성 물질 유입량(volatile flux)

을 밝힐 수 있음

- 화산활동연구를 통해 달의 열역사 및 성분 진화사를 밝힐 수 있음
- 행성 단위의 충돌 과정을 연구할 수 있음
- 공기가 없는 무수환경(anhydrous)에서 토양의 형성과 풍화작용을 연구할 수 있음
- 원시상태로 남아있는 달의 대기와 먼지 환경과 관련된 여러 가지 과정들을 연구할 수 있음

○ NRC 보고서에서 제시된 32개 주요 연구목표 중 우선적으로 고려되는 과학적 의문점들

- 1a. Test the cataclysm hypothesis by determining the spacing in time of the lunar basins ⇒ 달 충돌 분화구의 시간별 간격을 조사하여 대충돌변혁 가정을 테스트
- 1b. Anchor the early Earth-Moon impact flux curve by determining the age of the oldest lunar basin (South Pole-Aitken Basin) ⇒ 가장 오래된 달 충돌분화구의 형성시기를 조사하여 지구-달 시스템에 유입된 소행성의 충돌을 결정
- 1c. Establishing a precise absolute chronology ⇒ 절대연령측정
- 4a. Determine the compositional state (elemental, isotopic, mineralogic) and compositional distribution (lateral and depth) of the volatile component in lunar polar region ⇒ 달 극지역의 휘발성 성분의 특성과 분포양상 결정
- 3a. Determine the extent and composition of the primary feldspathic crust, KREEP layer and other products of planetary differentiation ⇒ 달 분화 과정에서 형성된 일차 회장암질 지각, KREEP층 등의 성분과 분포양상 결정
- 2a. Determine the thickness of the lunar crust (upper and lower) and characterize its lateral variability on regional and global scales ⇒ 달 상하부 지각의 두께와 광역적 규모에서 측면 분포양상
- 2b. Characterize the chemical/physical stratification in the mantle, particularly the nature of the putative 500-km discontinuity and the composition of the lower mantle ⇒ 달 맨틀의 화학적/물리적 층상구조, 달 내부 500-km 지점의 불연속면의 성격 그리고 하부 맨틀의 성분 규명

- 8a. Determine the global density, composition, and time variability of the fragile lunar atmosphere before it is perturbed by further human activity
⇒ 유인 탐사에 의한 교란이 있기 전의 달 대기의 광역적 밀도, 성분, 시간에 따른 변화양상 규명

○ 미국의 새로운 달 탐사는 이러한 미해결 의문점들을 해결할 수 있는 방향으로 달 탐사기술개발이 진행될 예정

- 예를 들면 NRC (2007) 보고서에서 제시한 첫 번째 과학적 개념인 ‘태양계 내행성계의 충돌역사가 달 표면에 기록되어 있다’라고 하는 데 대한 해결을 위해서는 고해상도 영상을 취득할 수 있는 촬영장비의 개발과 달 남극지역에 분포하는 암석에 대한 시료채취기술의 개발 그리고 이 지역에 분포하는 암석들을 현장에서 바로 연대측정(in situ instrumental dating)을 수행할 수 있는 장비 개발 등을 요구하고 있음

4. 과학 탑재체 분야

과학적 목적의 달탐사는 Apollo 우주선의 초기 시대부터 지금까지 달의 기원과 진화를 연구하기 위한 지질 및 지리학적 정보 획득과 달에서의 인간 활동 및 기지 건설에 필요한 기초자료로도 이용될 우주환경의 연구로 크게 구분될 수 있다. 이들 연구에 수반되는 탑재체는 그동안 성능의 향상이 있기는 하지만 기능면에 있어서는 큰 변화가 없었고, 다만 달에서의 관측 기회가 많지 않았던 점을 보완하기 위해 향상된 성능을 바탕으로 분해능과 자료의 신빙성을 높이기 위한 시도가 현재까지도 계속되고 있다. 실제로 이들 탑재체는 대부분 행성 등 태양계 탐사에도 그대로 적용될 수 있는 범용의 탑재체이다. 다음 표는 최근의 미션에 탑재된 장비들이다.

표 2.2 달 탐사선별 탑재체

Mission	payloads
Kaguya (2007)	X-ray Spectrometer, Lunar Imager/Spectrometer, Laser Altimeter, Charged Particle Spectrometer, Radio science, Four way Doppler measurements by Relay satellite and Main Orbiter transponder (RSAT)/Differential VLBI Radio Source (VRAD), High Definition Television, Gamma Ray Spectrometer, Lunar Radar Sounder, Lunar Magnetometer, Plasma energy Angle and Composition Experiment, Upper-atmosphere and Plasma Imager
Chandrayaan-1 (2008)	Hyper Spectral Imager, Lunar Laser Ranging Instrument, X-ray fluorescence spectrometer, High Energy X-ray/gamma ray

	spectrometer, Moon Impact probe, The Sub-keV Atom Reflecting Analyzer, Moon Mineralogy Mapper (visible - NIR), Near Infrared Spectrometer, Radiation Dose Monitor, S-band mini-SAR
Chang'E-1 (2007)	CCD Stereo Camera, Interferometer Spectrometer Imager, Laser Altimeter, Gamma/X-Ray Spectrometers, Microwave Detector, Space Environment Monitor System
LRO (2009)	Diviner Lunar Radiometer Experiment, Cosmic Ray Telescope for the Effects of Radiation, Lyman-Alpha Mapping Project, Lunar Exploration Neutron Detector, Lunar Orbiter Laser Altimeter, Lunar Reconnaissance Orbiter Camera

위의 표에 기술된 탑재체 중 Kaguya의 탑재체에 대해 그 임무를 분류하면 다음과 같다. 즉, High Definition Television으로 Earth-rise 및 월면의 분화구 촬영, Terrain Camera으로 달 표면의 stereo image 촬영, Multi-band Imager로 9개 분광 채널의 영상 촬영, Spectral Profiler로 296 개의 파장에서 달 표면으로부터 반사되는 빛의 분광측정, X-ray Spectrometer와 Gamma Ray Spectrometer에 의한 달 지각의 원소 측정, Radar Sounder를 이용하여 달 표면의 구조 연구, Laser Altimeter를 이용한 달의 지형도 작성, Magnetometer 및 Plasma Energy Angle and Composition Experiment로 달의 국부적 자기장 측정 및 주변 플라즈마 (전자 및 이온) 측정, Charged Particle Spectrometer로 alpha 입자를 측정하여 radon과 polonium의 방사능 붕괴로부터 달의 지질 구조 연구하는 한편 태양풍 및 은하 우주선 측정, 이온층을 통과하는 전파를 측정하여 달의 이온층 규명(Radio Science), Upper-atmosphere and Plasma Imager로 극자외선 망원경과 가시광 망원경을 사용하여 각각 지구 플라즈마권의 헬륨 이온 분포 및 오로라와 상층대기 관측, 및 Doppler 측정을 이용하여 반대편 월면의 중력장 측정 (Relay Satellite and Main Orbiter Transponder 및 Differential VLBI Radio Source) 등이다.

한편 궤도선을 이용한 달 미션에 성공한 일본, 인도, 중국 등은 착륙선과 Rover를 이용한 달 표면 탐사를 다음 계획으로 추진하고 있으며 미국과 러시아도 비슷한 미션을 추진 중이다. 특히 미국은 달의 열적 환경 및 내부구조 등을 연구하기 위해서 국제협력으로 달 표면에 공동 탑재체를 탑재한 기지국을 6~7개 설치하는 국제 달 네트워크(ILN: International Lunar Network) 프로그램을 제시하였다.

1969년부터 1972년까지 미국이 월면에 설치한 과학관측기기 ALSEP이 1세대 달 탐사 네트워크라면 국제 달 네트워크는 2세대 달 탐사 네트워크의 성격을 갖는다. 미국은 달의 과학적 탐구 및 유인 달 탐사를 대비하여 1단계 사업으로 소형 대기 환경관측궤도선 LADEE를 2013년에 발사하여 준비하고 2단계 사업으로 각국에서

추진 예정 중인 달 탐사사업들과 조율해서 국제 달 네트워크를 구축하고 이를 통해 보다 효율적인 공동 달 탐사를 추진할 예정이다.

ILN의 기본 개념은 참여국간에 합의된 공통 탑재체를 장착한 각국의 착륙/탐사선(고정 또는 이동형) 6~8개를 달 표면에 고루 분포하여 운용하는 것으로 각 참여국은 공통 탑재체, 탐사선(착륙선) 또는 부분체 제공을 통해 참여를 할 수 있다. NASA에서 제안한 핵심관측기기 후보는 달 지진계(Seismometer), 열 흐름 계측기(Heat Flow), 자력계(Magnetometer), 레이저 거리 측정계(Laser Ranging) 등이 있다. 달 지진계의 임무는 아폴로 착륙지점에 설치된 것보다 넓은 지역에 골고루 분포되도록 달 지진계를 설치하여, 달 지진의 진원의 깊이와 원인을 정확히 파악하고, 달 내부 맨틀과 핵의 분포를 이해하고자 하는 것이다. 열흐름 측정장치(Heat Flow Experiment)는 태양열에 의한 일변화 및 계절변화와 무관하게 순수하게 달 내부에서 발생하는 열을 측정하여 내부에 열을 발생시키는 방사능 물질의 성분과 그 양을 이해하고 달 내부 구조가 시간에 따라 어떻게 변화해 왔는지 연구하는 것이다.

자력계(Magnetometer) 또는 Electromagnetic Sounding은 유도 자기장의 측정으로 달 내부의 전기적 구조를 연구하는 것이 목적이며, 달 레이저 반사경(Lunar Laser Ranging Experiment)은 정밀하게 달과의 거리를 측정하여 달에 작용하는 지구의 조석력 등 달 표면의 위치에 따른 힘의 변화를 유추하고 이를 통해서 달 내부의 밀도와 구조 등을 이해하는 것이 목적이다.

5. 궤도 해석 소프트웨어 및 기술수준

표 2.3 궤도 해석 소프트웨어 및 기술 수준

국가	Missions	목적지	개발 S/W	궤도방식	기술수준 (임무궤도 오차 요구사항)
미국	LRO(2009.6)	달	STK's Astrogator	순간추력	15 km
	LCROSS(2009.6)	달	STK's Astrogator	순간추력	10 km
	Phoenix(2007.8)	화성	POST2	순간추력	-
	MRO(2005.8)	화성	POST	순간추력	-
	Mars Odyssey (2001.4)	화성	POST	순간추력	-
	Lunar Prospector(1998.1)	달	STK's Astrogator	순간추력	20 km
	Mars Pathfinder(1996.12)	화성	POST & AEP	순간추력	-
	Clementine(1994.1)	달	STK's Astrogator	순간추력	25 km

일본	SELENE(2007.9)	달	JAXA에서 개발한 SELENE Flight Dynamics System (STK's Astrogator를 사용해 검증)	순간추력	10 km
	Nozomi (1998.7)	화성	2번의 지구 swing-by를 이용한 새로운 궤적 전략 수립	순간추력	-
	Hiten(1990.1)	달	ISAS에서 개발	순간추력	달 표면 충돌 궤도
EU	SMART-1(2003.9)	달	독일 Darmstadt에 있는 ESOC에서 궤적 최적화	저추력	4 km
	Mars Express (2003.6)	화성	ESA's PEM-NT	순간추력	-
인도	Chandrayaan-1 (2008.10)	달	ISRO's Orbit Determination System (ODS)	순간추력	15 km
중국	Chang'e 1(2007.10)	달	COSTIND에서 개발	순간추력	50 km
홍콩	HGS-1(1997.12)	달	STK's Astrogator	순간추력	12 km

제 3 장 우리나라 달탐사 연구개발 동향

제 1 절 정부출연연구기관의 달탐사 연구개발 동향

1. 달 탐사선 개념설계 및 핵심기술 개발(한국항공우주연구원)

한국항공우주연구원에서는 기관장 재량사업을 통하여 달 탐사 개념설정과 핵심기술의 사전 개발을 위한 연구를 진행하고 있다. 연구기간은 2010년부터 3년간이며 개발의 목표는 다음과 같다.

- 한국형 달탐사 계획추진을 위한 기술로드맵 수립
- 달궤도선/착륙선 호환성을 고려한 달 탐사선의 개념설계 기반구축
- 달 탐사선 구조개발모델과 달 임무설계 소프트웨어 및 달 지형지도 데이터베이스와 연계한 3차원 달 임무 시뮬레이터 개발
- 달궤도선/착륙선 호환성을 고려한 모듈형 구조개발모델 개발
- 원격조정으로 역추진 착륙이 가능한 달 착륙선용 추진시스템 시험모델구현 및 달 착륙 모의기능 구현
- 달 탐사용 전자광학 카메라 시스템 설계 및 지상모델 개발

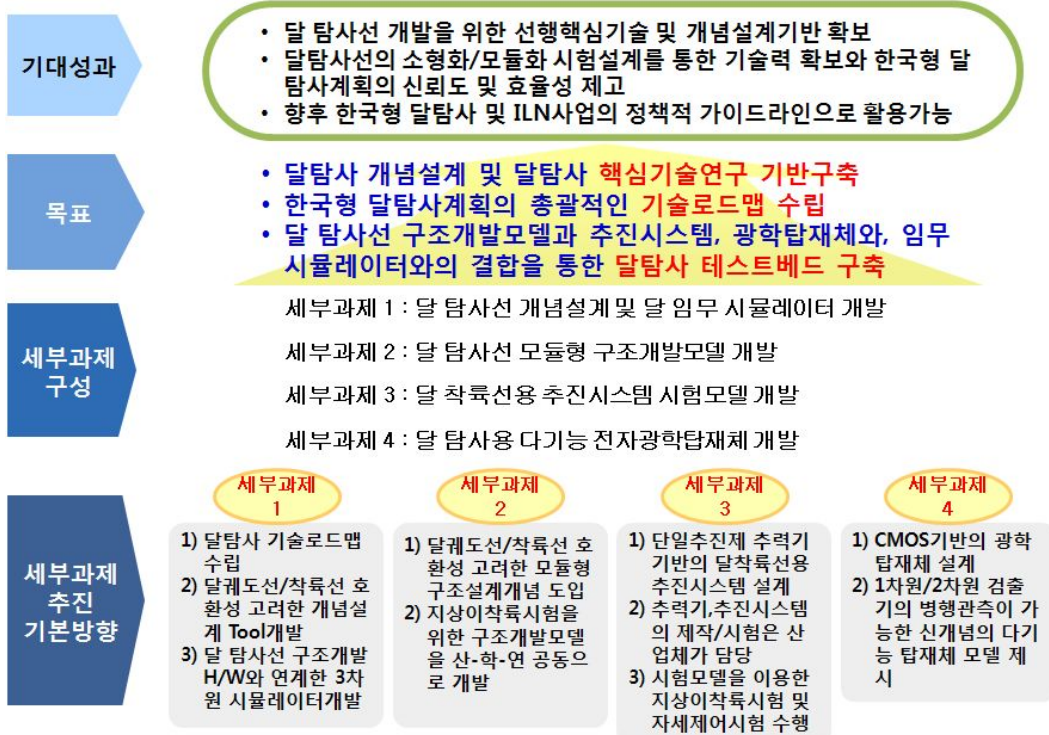


그림 3.1 KARI 달탐사 개념설계 친 핵심 기술 개발 추진도

위 그림에서 보인 것과 같이 개발은 네 가지의 세부과제로 나누어 진행되고 있다. 각 세부 과제의 목표 및 진행 계획은 다음과 같다.

가. 달 탐사선 개념설계 및 달 임무 시뮬레이터 개발

○ 최종 연구목표 :

- 한국형 달탐사 계획추진을 위한 기술로드맵 수립
- 달궤도선/착륙선 호환성을 고려한 달 탐사선의 개념설계 기반구축
- 달 탐사선 구조개발모델과 달 임무설계 소프트웨어 및 달 지형지도 데이터 베이스와 연계한 3차원 달 임무 시뮬레이터 개발
- 달 착륙선의 착륙제어시스템 개발

○ 개발 흐름도

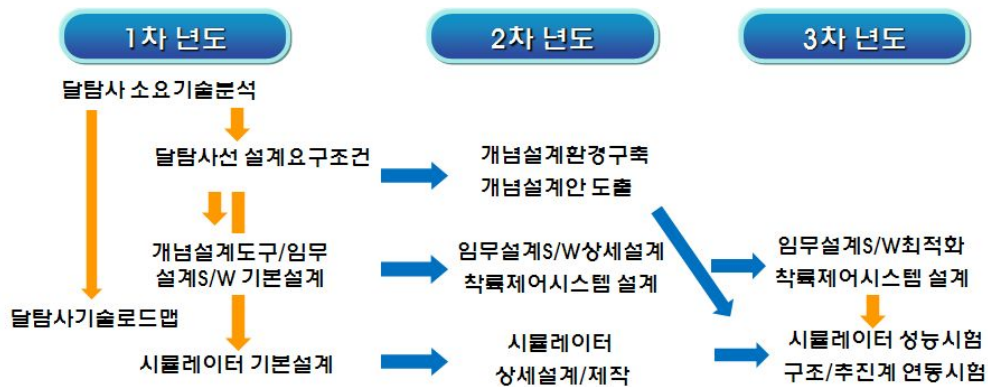


그림 3.2 개념설계 및 임무시뮬레이터 개발 흐름도(KARI)

나. 달 탐사선 모듈형 구조개발모델 개발

○ 최종연구목표 :

- 달궤도선/착륙선 호환성을 고려한 모듈형 구조개발모델 개발
- 착륙 시 구조안정성 검증을 위한 착륙장치/시험치구 개발
- 다양한 주 구조물 최적설계/ KSLV-II와 연계한 설계 최적화(550kg급)

○ 개발 흐름도

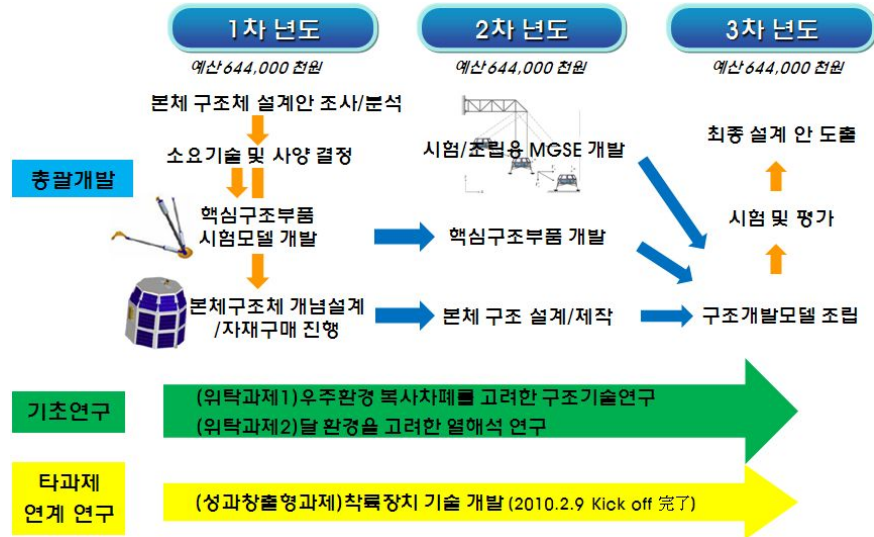


그림 3.3 달 탐사선 모듈형 구조개발모델 개발 흐름도

다. 달 착륙선용 추진시스템 시험모델 개발

○ 최종연구목표 :

- 달착륙선용 추력기 및 추진시스템 개발

○ 개발 계획

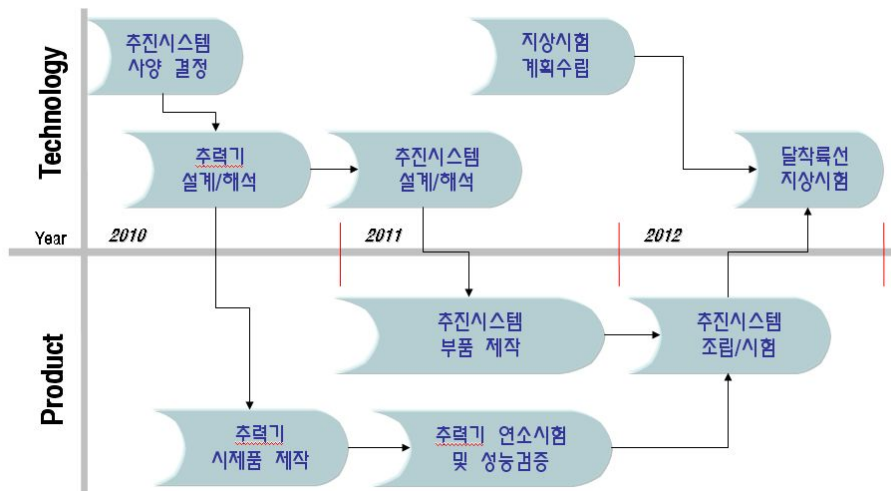


그림 3.4 달 착륙선용 추진시스템 시험모델 개발 흐름도

라. 달 탐사용 다기능 전자광학 탑재체 개발

○ 최종연구목표 :

- 달 탐사용 전자광학 탑재체 요구조건 도출
- 달 탐사용 다기능 스테레오 카메라의 탐사선 본체 접속 설계
- 달 탐사용 전자광학 탑재체 시스템 설계 및 지상모델 개발
- 달 탐사용 전자광학 탑재체 지상모델의 비행검증 연구

2. 달 지질학 분야(한국지질자원연구원)

가. 달 행성 지질연구 관련 국내 현황

국내의 행성지질연구는 국외에 비하여 현저히 열악한 상황이며, 행성 지질연구 학자들도 일본이나 미국 등에 비해 현저히 적으며, 최근의 극지연구소와 서울대 등의 연합연구에 의한 남극에서의 운석 수집 프로그램을 시작으로 향후 운석을 이용한 행성지질연구는 활성화될 것으로 보이나, 우주계획을 동반한 행성지질탐사는 아직 잘 알려져 있지 않다. 2007년부터 시작된 지질자원연구원의 우주화학 및 원격탐사를 결합한 행성지질프로그램으로 제1회 행성지질 워크숍을 개최했으며, 2009년의 원천지질과학과의 신설은 향후 운석연구 및 원격탐사를 이용한 화성 및 달 연구 중심의 행성 표면의 지질연구에의 활성화를 가져올 것으로 기대된다.

우리나라는 우주개발사업 세부실천 로드맵을 통해 2020년 달 탐사 위성을 발사하는 계획을 수립하였으며, 행성지질탐사 분야에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았을 뿐만 아니라 국민적 인식도 낮다. 그러나 최근 2009년 10월 국제행성지질워크숍이 한국지질자원연구원에서 성공적으로 개최 되었으며 그리고 10월 28일 국제원격탐사심포지엄에서도 행성지질 원격탐사 특별 세션을 가졌다. 이와 같은 국내의 연구 활동의 활성화는 향후 우리나라의 달 탐사 계획 및 장기적 행성탐사프로그램 수행을 위한 초석을 다지는 길이라고 할 수 있다. 또한 2009년 자생적인 달 탐사 연구회가 한국지질자원연구원, 한국과학기술원, 그리고 기타 연구기관 소속의 연구자들의 향후 우리나라의 달 탐사프로그램을 위한 연구모임을 정기적으로 개최하고 있다.

우리나라의 달 탐사 계획은 1 단계는 달 궤도 약 100 km 상공을 도는 달 궤도 위성탐사, 2단계는 달 표면 착륙선으로 달의 토양 등의 지질조사, 지진계의 설치, 달의 열 유량 점검 등의 수행이며, 3단계는 착륙선의 탐사로봇 등이 채취한 월석 및 토양 자료 등을 회수해 귀환하는 것으로 곧 항공우주연구원의 달 탐사 발사체

개발 단계를 시작하게 되며, 이를 기점으로 국내의 향후 달 탐사 프로그램을 위한 관련연구자들의 연구 활동이 한층 활성화 될 것으로 전망 된다.

나. 행성지질분야 달 탐사 연구개발 동향

1) 과거 달 탐사자료 수집 및 지질학적 측면에서 달 과학 분석

○ ILN과 같은 국제협력을 통한 달 탐사를 수행해야 할 경우 각 탐사 프로그램이 추구하는 과학적 목표를 충분히 이해하는 것이 필수적임

○ 탐사 프로그램이 추구하는 과학적 목표에 대한 이해가 없이는 프로그램을 주도하는 국가 혹은 기관과 프로그램 내용과 전혀 관련이 없는 기술협력에 대한 협의와 과학적 목표에 부합하지 않는 탑재체를 제안함으로써 실질적 협력을 통한 기술이전이 불가능하게 됨 ⇒ ILN의 근본적인 과학적인 목표는 NRC가 제시한 달 과학의 가장 중요한 의문점 중에 하나인 달 내부구조를 밝히는데 있으며, 이를 달성하기 위한 필수 탑재체로 지진계(sesimometer), 지열계(heat flow probe), 자력계(magnetometer), 레이저반사경(laser reflector)가 선정하였음. 따라서 우리가 ILN이 추구하는 근본적인 과학적 목표를 이해하지 않고 목표에 부합하지 않는 탑재체를 제안할 경우 전혀 선정에 고려대상이 되지 못함

○ 한국지질자원연구원은 아폴로에서 루나프로스펙터에 이르기까지 수집된 많은 달 탐사 자료를 수집하여 이들 자료들을 GIS에 기반한 통합관리시스템으로 구축하는 작업을 수행 중에 있음 (그림 3.5) ⇒ 한국지질자원연구원의 GIS 기반 행성지도 정보시스템(Planetary GIS-Interactive Map Analysis Program: PGIMAP, KIGAM)은 USGS와 미국 아리조나대학과 협력하여 달 지질정보를 교육 및 연구 활동에 사용할 수 있도록 아크뷰 프로그램을 이용하여 구축하고 있으며, 달 지형도, 달 지질도, 달 광물지도, 달 중력지도, 달 원소지도 그리고 달 착륙 지점 등의 참고자료도 포함되어있음

○ 또한 NRC 보고서 및 Lunar Exploration Group (LEAG)이 제시한 다양한 달 과학의 미해결 과학적 의문점들에 대한 행성지질학적 분석을 수행하고 있으며, 이를 통해 향후 우리나라가 달 탐사를 개시할 경우 독자적 과학적 목표를 도출할 수 있는 기반을 마련 중에 있음 (표 3.2) ⇒ 아쉽게도 현재 국내에는 표 3.2에 제시된 많은 미해결 과학적 의문점들을 적어도 개념적으로도 이해할 수 있는 달 과학 전문가가 국내에 거의 없는 실정이며, 특히 제시된 많은 연구주제들은 행성지질학적 관점에서 달 과학을 분석할 수 있는 지질 분야의 달 과학 전문가를 요구하고 있어 향후 우리나라의 성공적인 달 탐사를 위해서는 이 부문에 대한 정부차

원의 지원 프로그램이 요구됨.

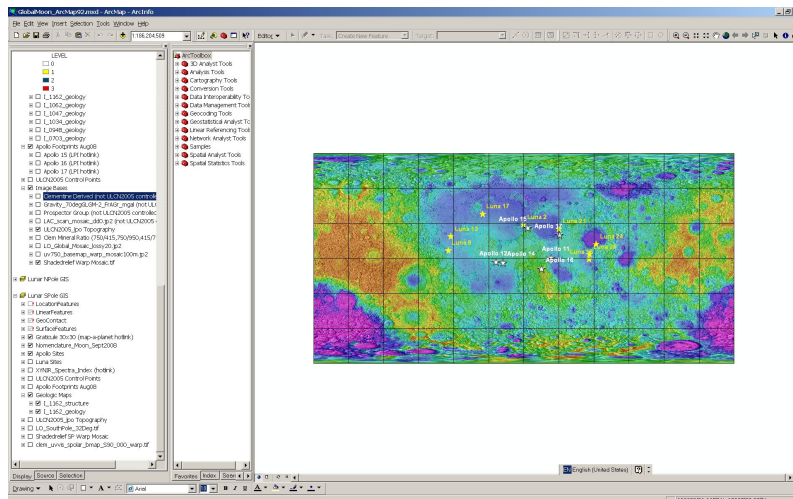
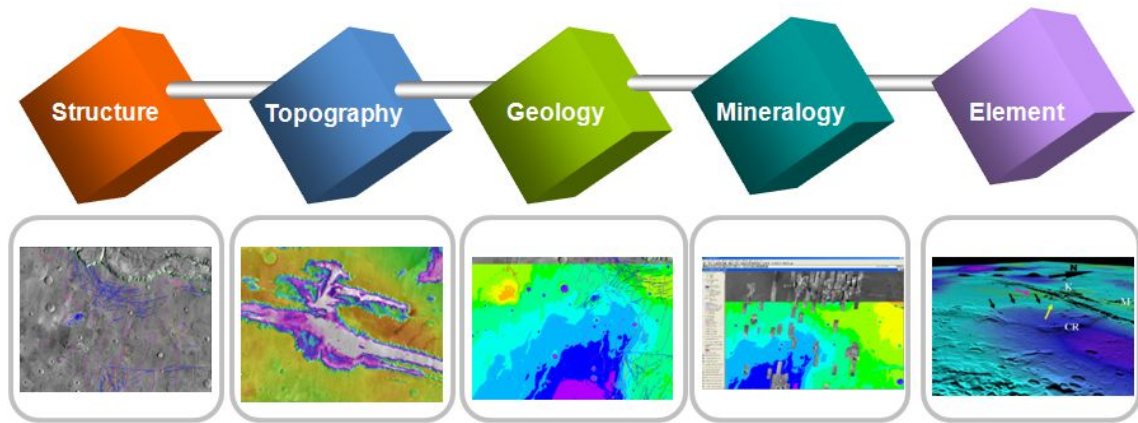


그림 3.5 PGIMAP 프로그램으로 구현한 달 착륙 지역, 달 지형도, 달 고도를 통합한 달 지도

2) 행성지질도 작성기술 개발 (Development of planetary mapping technique for Lunar geology and resources)

○ 지질도란 지각을 구성하는 다양한 암석들의 종류, 형성시기, 산출상태 등을 구분하여 분포양상과 각 암석들의 상호관계 및 지질구조등을 표시한 도면

○ 행성지질도는 현재까지 사람에 의한 현장조사가 불가능하기 때문에 주로 원격탐사자료를 바탕으로 제작되고 있음

○ NRC 보고서가 제시한 가장 우선적인 과학적 목표가 달 표면에 분포하고 있는 충돌분화구의 밀도와 상대적 형성시기를 밝히는 것으로 이를 정확하게 해석하

기 위해서는 행성지질도 작성기술이 필수적임 (그림 3.6)

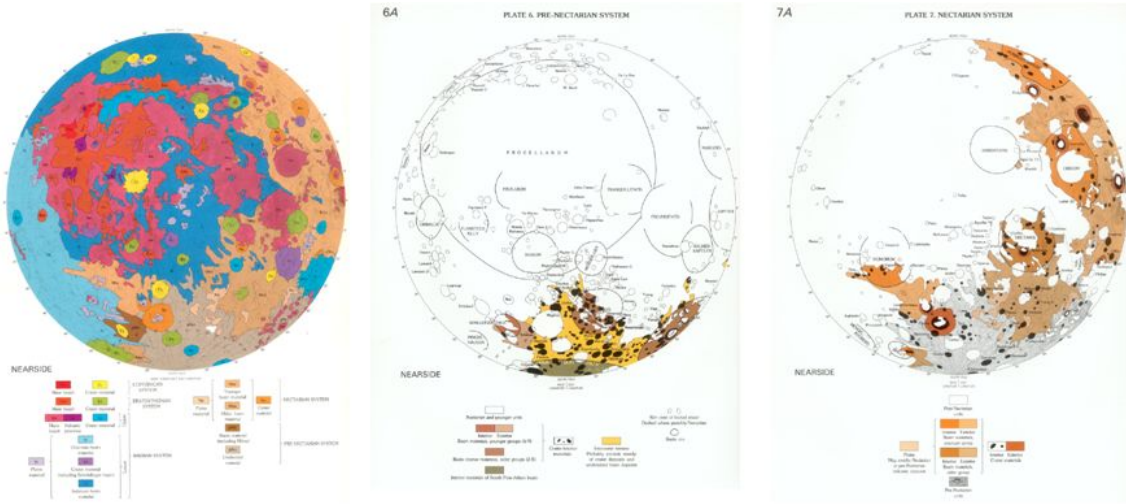


그림 3.6 달 지질도(좌)와 지질분석을 통한 달 구성 암석의 형성시기별 암상분포도 예시(중, 우) ⇒ Nectarian (39억-38억년) 시기를 기준으로 Pre-Nectarian System(중)과 Nectarian System(우)에 해당하는 암석의 분포. 충돌분화구의 형성밀도가 Pre-Nectarian 시기에 훨씬 우세함을 알 수 있음

3) 행성물질(달 운석 등)의 방사성 동위원소 연대측정법 개발 (High precision geochronology of extraterrestrial materials)

○ 아폴로 프로그램 이후 지금까지 수행된 다양한 연구와 기술적 진보로 우리는 지금 어떤 지구 너머 태양계 어떤 행성들보다도 자세히 달의 기원과 진화에 대해 많은 것을 알게 되었으며, 이러한 배경에는 아폴로와 루나가 지구로 가져온 달 시료들이 매우 중요한 역할을 하였음

○ 지구로 가져온 달 시료들은 우리가 유일하게 시료 채취 지점을 정확하게 알고 있는 외계물질로 1994년 클레멘타인과 1998년 루나프로스펙터가 달 전역을 대상으로 얻은 많은 원격탐사자료를 정확하게 보정하고 해석하는 것을 가능하게 하였음

○ 한국지질자원연구원에서는 행성물질(운석, 달 운석, 화성 운석 등)의 성분과 형성시기를 정확하게 분석할 수 있는 기반시설을 구축 중에 있음 (그림 3.7)

○ 한국지질자원연구원이 이번에 도입 예정인 장비는 열이온화 질량분석기로 소량의 행성물질을 대상으로 정밀한 방사성 동위원소비를 측정하는 장비로 행성물질의 형성시기를 밝힐 수 있음



그림3.7 한국지질자원연구원이 정밀 동위원소비
측정을 통해 행성시료의 연대측정 수행하기 위해
도입예정인 열이온화 질량분석기 ⇒ 각국의
시료귀환계획에 참여하기 위해서는 이외에 다양한
질량분석기를 통합한 종합 분석시스템의 구축이
필요함

○ 현재 우주개발 선도국들이 다양한 시료귀환계획(sample return program)을 수행 중에 있으며 또한 수행할 예정이며, 일반적으로 시료귀환계획에 의해 지구로 가져온 시료들은 일정한 수준의 분석시설 및 분석기술을 보유하고 있는 국가 혹은 연구실에 무상으로 배분하여 연구를 수행하게 하고 있음 ⇒ 최근 일본이 ‘이토카와’ 소행성 탐사를 위해 2003년 보낸 시료귀환탐사선 ‘하야부가’가 지구에 도착하여 많은 관심을 끌고 있음

○ 우리나라는 아직까지 행성시료를 전문적으로 분석할 수 있는 전문분석시설의 구축과 분석기술의 확보가 미비하여 각국의 시료귀환계획을 통해 가져온 시료들을 공여받지 못하고 있으나, 향후 한국지질자원연구원이 이러한 행성시료 전문분석시설을 확충하여 각국의 시료귀환계획에 참여할 예정임 ⇒ 그러나 행성물질 분석에 사용되는 장비들이 고가이기 때문에 행성시료 전문분석시설 확보에 다소 시간이 소요될 것으로 예상됨

4) 행성표면원격탐사기술 개발 (Instrument development and planetary remote sensing data analysis)

○ 아폴로 계획에 의한 유인 달 탐사가 진행되었지만 아직까지 행성탐사에 사용되는 주요한 장비는 궤도선, 착륙선, 로버 등에 의한 원격탐사가 주로 이용되고 있음

○ 한국지질자원연구원에서는 향후 달 기지 건설과 달 자원 이용을 위해 달 표면에 분포하고 있는 암석들의 다양한 원소적 특성을 조사하여 자원가치를 평가하는 것이 주요 임무임

○ 따라서 여러 행성탐사 계측기 중에서 달 표면에 분포하는 다양한 원소들의 분포특성을 광역적으로 조사할 수 있는 감마선 계측기 분야의 원격탐사 연구를 수행 중에 있음

○ 지금까지 미국 화성오디세이 미션과 일본 가쿠야 미션의 감마선 연구팀과 공동으로 이들 궤도선들이 전송한 감마선 원격탐사자료를 분석하는 공동연구를 수행 중에 있음(그림 3.8)

○ 감마선 원격탐사 해석기술 개발과 더불어 감마선/중성자 계측기 개발을 위한 연구개발을 추진 중에 있으며, 달 내부구조 조사에 핵심장비인 지진계, 지열계 등의 개발도 계획 중에 있음

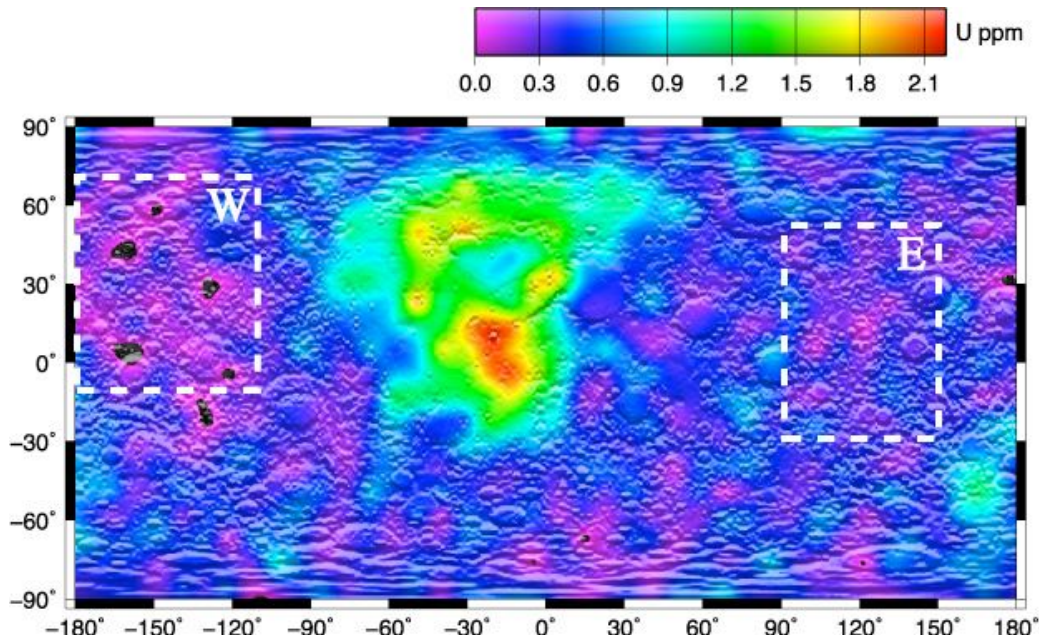


그림 3.8 일본 가쿠야 감마선 계측기에 의해 조사된 감마선 원격탐사 자료 분석을 통해 세계 최초로 얻은 달 표면의 우라늄 분포도

5) 달 유사암석 연구 (Terrestrial analogue study of Lunar rocks)

- 지구-달 시스템은 탄생에서부터 현재까지 진화과정이 상호 밀접한 관련을 가지고 있으며, 각각을 구성하는 암석들이 거의 동일함

- 달의 표면에 분포하고 있는 암석은 크게 회장암(anorthosite)과 현무암(basalt)으로 구분됨

- 비록 형성시기와 구성 화학성분에서 다소 차이는 있지만 달을 구성하고 있는 암석은 모두 지구상에 분포하고 있기 때문에 달 암석과 유사한 지구 암석을 연구함으로써 달의 기원과 진화사를 비교연구할 수 있음

- 달의 주요 구성암석인 회장암과 현무암은 모두 우리나라에 산출하고 있기 때문에 한국지질자원연구원에서는 이들 달 유사 암석에 대한 연구를 수행하고 있음

- 달 유사 암석 연구는 향후 우리나라가 달 착륙선 및 기타 달 탐사 장비를 개발하여 테스트할 때 달 토양 모사토를 제작하는데 이용이 될 수 있으며, 달 자원을 추출하는 다양한 기술들을 실험하는데 이용될 수 있음

6) 행성지질학자 교육프로그램 개발 (Development of training program for planetary field geologists)

- 유인 달 탐사를 위해서는 달 표면에 분포하고 있는 다양한 암석 및 토양에

대한 행성지질학적 지식이 요구되기 때문에 한국지질자원연구원에서는 우주인에 대한 행성지질학 교육프로그램을 개발 중에 있음

제 2 절 대학의 달탐사 연구개발동향

1. 소형 달 착륙선 실험 모델 개발(KAIST)

달 표면 탐사를 위한 로버를 보내고자 할 때, 최종 stage에서 로버를 착륙시 충격으로부터 보호하기 위해서는 달 표면 근처에서 속도를 충분히 줄여 표면에 연착륙 시켜주는 착륙선(lander)이 필수적으로 개발되어야 한다(그림 3.9). 현재까지 한국은 여러 위성들을 개발하여 성공적으로 운용해 왔고 IT 및 로봇 관련 기술 수준은 매우 높으므로 탐사 로봇 개발의 가능성은 비교적 높으나 추력기, 추력 조절 장치 및 자세제어 추력 시스템이 통합되어 있는 착륙선 연구는 과거 국내 기술의 필요성이 적었고 기술적 난이도가 높을 뿐 아니라 핵심 기술은 선진국으로부터의 기술 이전이 어려워 관련 연구가 국내에서 시도된 사례가 없다.

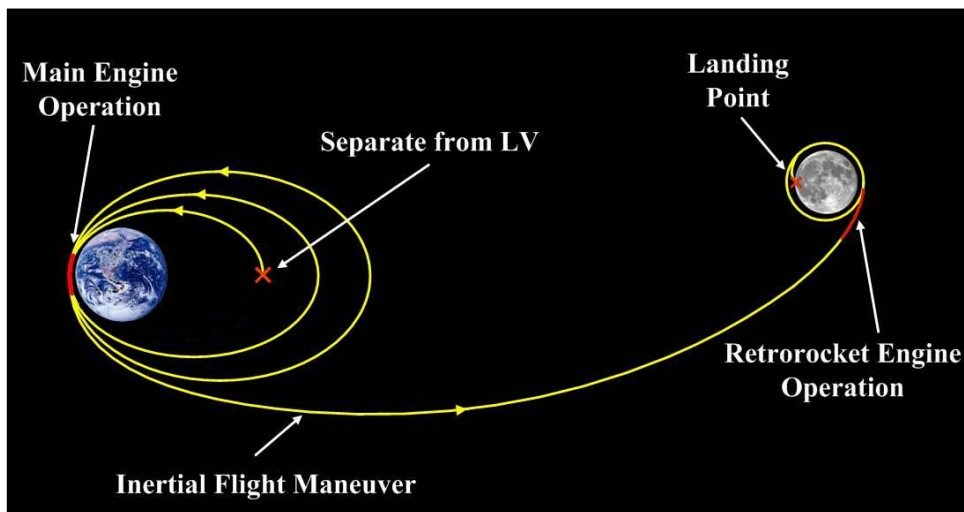


그림 3.9 달 탐사선의 궤도

이런 배경 하에서 KAIST 로켓 연구실은 2008년부터 달 탐사선(그림 3.10) 및 달 착륙선(그림 3.11)의 예비 설계 연구뿐만 아니라 달 착륙선과 관련된 실제적인 하드웨어 제작 또는 하드웨어를 이용한 실험적 검증 연구와 같은 적극적인 개발연구를 주도해오고 있다(그림 3.12). 역추진 시스템 방식은 (1) 추력 조절(throttling) 및 재시동 (restart) 여부, (2) 국내의 현재 기술수준 또는 단기간의 개발 기간 내에 실현 가능 여부, (3) 개발비용, 신뢰도, 추진제의 독성, 안전성 등을 고려하여 과산화수소를 이용하는 단일추진제 추진 방식을 이용하였다. 엔진 내부에 충전되

는 촉매를 자체 기술로 제작하였으며 다양한 추력 수준의 로켓 설계 경험을 통해 소형 엔진을 독자적으로 설계하였다. 소형 달 착륙선의 추진제 탱크에는 30초 동안 엔진을 작동시킬 수 있는 양의 추진제가 주입된다. 또한 착륙선 경량화를 위해 추진제 탱크를 복합재료 재질로 제작하였고, 허니컴 샌드위치 판넬을 이용하는 등, 장치의 무게를 획기적으로 줄이면서도 강성을 높이는 설계 기법을 사용하였다. 구현한 소형 달 착륙선 추진 시스템은 지상 추력 350 N을 지니며 추력 조절 (throttling) 및 기초적인 고도 조정 비행시험을 성공리에 수행 하였다. 현재 역추진 시스템의 주 엔진의 비추력 효율과 추력 수준을 더욱 향상시키고 자세제어용 추력기를 추가하는 연구를 진행 중에 있다.

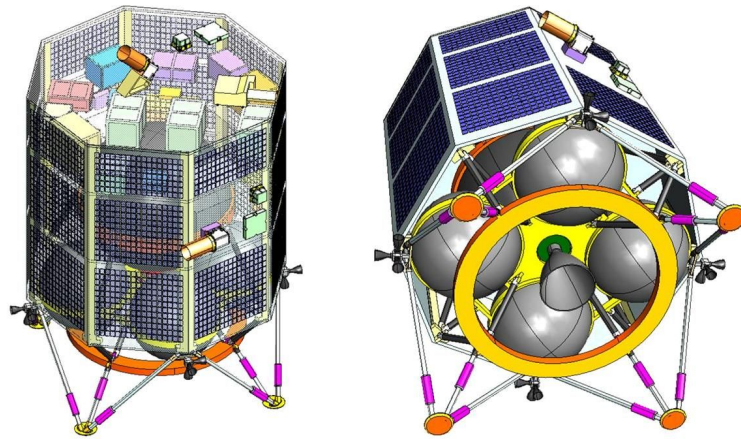


그림 3.10 달 탐사선 예비 설계 형상 (KAIST)



그림 3.11 달 착륙선 예비 설계 형상 (KAIST)

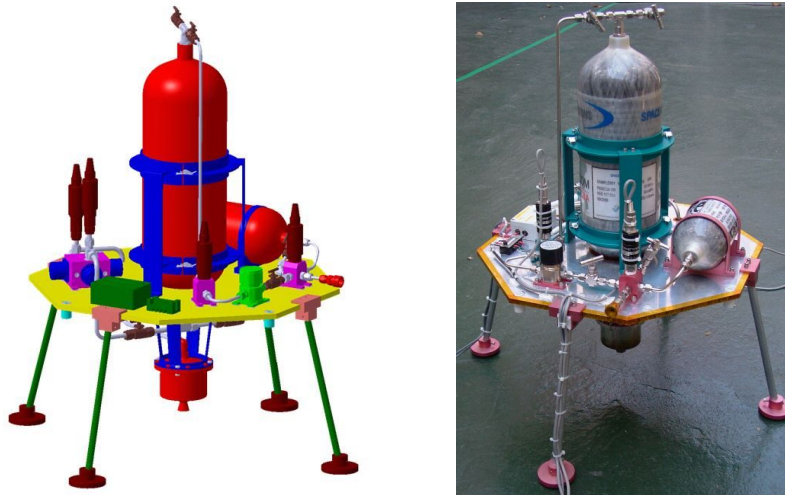


그림 3.12 소형 달 착륙선 설계 및 구현 (KAIST)

2. 궤도 천이용 우주선 엔진 개발 및 검증(KAIST)

달 탐사선을 달 궤도로 보내주는 탐사선용 로켓 엔진은 달 탐사를 위한 핵심 기술 중 하나이다. 그 중요성으로 인해 로켓 엔진 기술은 우주선진국의 엄격한 수출 통제를 받는 기술로 분류되어 해외도입은 원천적으로 불가능하다. 따라서, 탐사선 엔진은 우리나라가 자력으로 우주개발을 하기 위해 반드시 확보해야 하는 항목이다. 현재 한국의 달탐사 방법에 대한 구체적인 임무요구조건이 설정되지 않았음에도 불구하고, 엔진 개발의 중요성을 인식한 KAIST 로켓 연구실은 다양한 가능성을 열어두고 있다. 향후 개발될 국산 발사체 KSLV-II 및 외산 발사체 PSLV(인도)를 이용할 경우 가능한 달 탐사궤도를 시나리오에 따라 계산하였고(그림 3.13 및 3.14), 필요할 것으로 예상되는 로켓 엔진을 개발해 왔다. 계산 결과에 따르면 궤도 및 발사체에 따라 차이가 있으나 달 탐사선을 달 진입 궤도로 진입 시키는 킥모터의 경우 약 4,800 ~ 10,000 N의 추력이, 달 착륙선에는 1,200 ~ 2,000 N의 추력을 내는 엔진이 필요한 것으로 계산되었다(표 3.1). 아직 미결정된 추력 수준의 단일 고추력 엔진을 개발하는 것 보다는 소형 엔진을 다수 묶어서 고추력을 내는 방법을 쓰면 보다 효율적인 궤도 제어가 가능할 뿐 아니라 피치, 요 축의 자세제어에도 활용 가능하므로 기준이 될 것으로 예상되는 1,200 N 급 Flight Model 급 엔진 개발에 주력하고 있다.

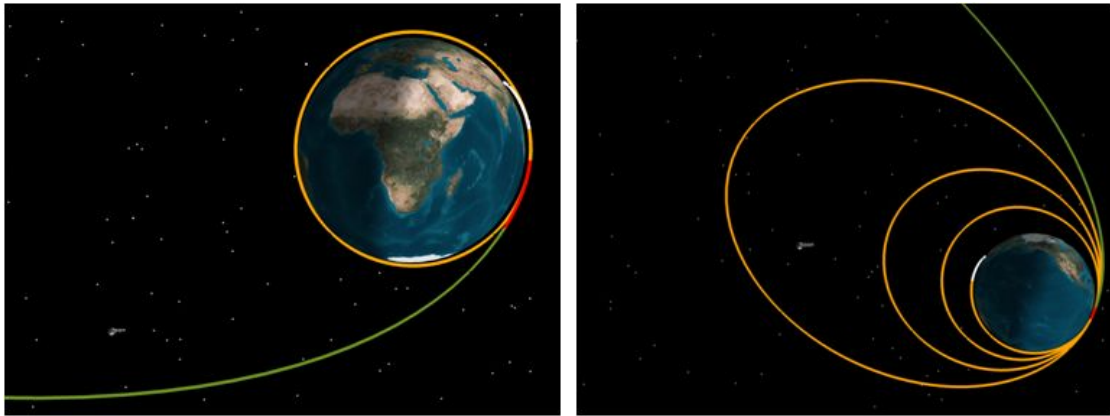


그림 3.13 KSLV-II를 이용한 직접 전이 궤도 및 n.5 페이징 궤도시 시뮬레이션 결과

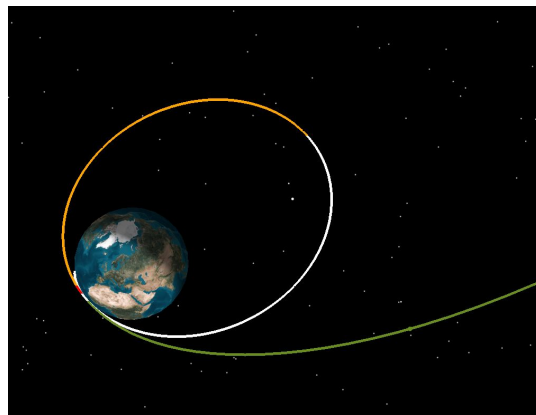


그림 3.14 PSLV를 이용한 직접 전이 궤도시 시뮬레이션 결과

표 3.1 발사체 별 필요 추력

발사체	요구 추력	
	Kick motor	달착륙선
KSLV-II	10,000 N (직접 전이시) 4,800 N (3.5 페이징궤도 시)	2,000 N
PSLV	4,800 N (직접 전이시)	1,200 N

가. 탐사선 궤도 진입용 Kerosene-과산화수소 이원추진제 로켓 엔진

최근 개발한 이원추진제 로켓 엔진(LKR-1, 그림 3.11 및 3.12)은 탐사선을 지구

궤도에서 달로 보내는 데 필요한 추력 1,200 N을 낼 수 있다. 개발된 엔진은 길이 21 cm, 무게 1.8 kg이고, 산화제로 친환경 추진제(고농도 과산화수소)를 사용하기 때문에 맹독성 추진제를 사용하는 미국 엔진에 비하여 개발 비용을 크게 줄였다. 추진제는 상온에서 액체 상태로 저장이 가능해 지구에서 달에 도착하는 수일간 별도의 냉각이 필요 없다는 장점을 지닌다. LKR-1은 우주선진국이 보유하고 있는 맹독성 추진제 엔진에 비해 개발 및 시험에 훨씬 적은 비용이 소요되어 수출 및 기술이전이 기대되고 있으며, 현재 White Label Space GLXP사와 LKR-1의 유럽내 독점판매를 위한 MOU 체결을 진행 중이다. KAIST 로켓 연구실은 달 착륙선의 개발에 뒤이어 탐사선을 달궤도에 진입시키는 엔진의 개발에 가시적인 성과를 보임으로써, 달탐사를 위한 핵심기술을 일정 부분 확보해둔 상태이며, 달탐사를 계획보다 앞당길 수 있는 길을 열어 놓은 것으로 평가된다.



그림 3.15 탐사선용 1,200 N 급 이원추진제 로켓 엔진 비행 모델

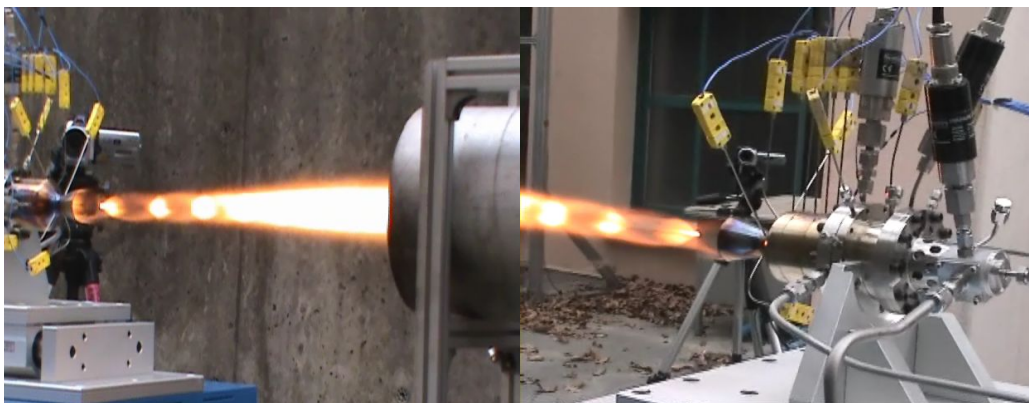


그림 3.16 탐사선용 로켓 엔진 검증 시험 모습

나. 탐사선 자세제어용 추력기

탐사선은 궤도에 진입시켜주는 주엔진(LKR-1) 뿐만 아니라 비행시 탐사선의 자세제어를 위한 다수의 추력기 또한 필요하다. 따라서 향후 탐사선에 적용하기 위한 수 십 ~ 수 백 N 급의 단일추진제 추력기 또한 개발하였다(그림 3.17). 임무 요구조건이 주어졌을 때 이에 대응할 수 있는 핵심 설계 기술을 기 확보하고 있으므로 비행임무 조건이 결정되면 이에 부합하는 자세제어용 추력기를 빠른 시일 내에 제품화 가능하다.



그림 3.17 100, 250 N 급 달 탐사선 자세제어용 단일추진제 추력기

한국항공우주연구원이 가지고 있는 달 탐사를 위한 장기적인 계획을 가지고 있는데, 로켓 연구실에서 수행하고 있는 이런 일련의 핵심 개발 연구들은 한국이 자력으로 달 탐사를 할 수 있는 시기를 앞당기는데 일조할 것으로 평가된다.

3. 달궤도 우주환경 탐사를 위한 초소형 인공위성 개발(경희대)

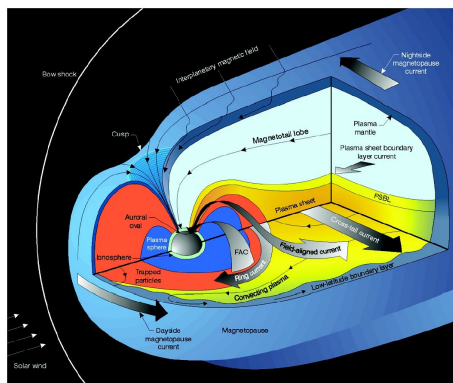


그림 3.18 지구-달 주변의 우주공간의 구조

경희대학교 우주탐사학과에서는 지구로부터 약 60 Re 거리에 위치하는 달궤도에서 달 자체에서 발생하는 우주현상과 우주 물리량들을 측정하여 이 지역에서 발생하는 제 현상들을 물리적으로 규명하는데 집중하고 있다.

경희대학교 우주탐사학과에서는 이와 관련하여 천문 우주과학분야에 있어 '달궤도 우주탐사' 라는 연구주제로 WCU의 사업을 진행 중이다. 이 사업의 연구단계는 다음과 같다.

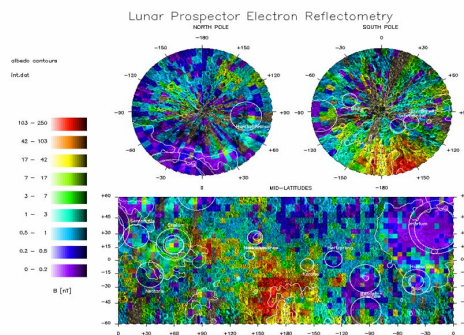


그림 3.19 Lunar Prospector에서 관측한 달 주변의 자기장 분포

가. 연구계획 1단계

2011년까지는 우리가 직접 제작한 우주과학용 입자 검출기 및 자기장 측정 탐재체를 지구 궤도에 올려서 탐재체 제작과 위성운용 경험을 확보하고 지구 주변의 연구를 수행한다.

이와 관련하여 최신의 Silicon센서를 이용하여 최소전력, 최소 부피를 만족하는 탐재체를 제작 하고 있으며 미국 UC Berkeley 대학과 공동으로 TRIO CINEMA 라는 초소형 인공위성 3기를 개발 하고 있는 중이다.

또한 지상에서 수행할 수 있는 달의 관측과 이론 연구를 통해 달 관련 과학연구를 진행 중이다. 편광관측을 이용한 달 표면 조사와 달 코로나 망원경을 이용하여 태양풍에 의한 달 주변의 입자 분포를 연구하고 있다.

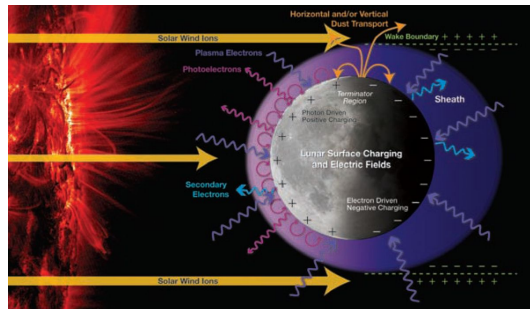


그림 3.20 태양풍과 달 주변 하전입자들 간의 예상되는 상호 작용

나. 연구계획 2단계

2016년 이후에는 달 궤도에 우주과학 탐재체를 보내어 달 궤도 상에서 우주과학 물리현상 연구를 목표로 한다.

이는 달 자기장 측정을 통해 달의 구조를 보다 자세히 알아 볼 수 있으며, 1단계에서 제작된 검출기들을 가지고 달궤도 우주공간에서 일어나는 현상을 연구하는 것이 목표이다. 달 궤도 상에서 우주공간 탐사는 매우 의미있는 일로서 세계 최초의 과학적 임무를 달성할 수 있는 관측 자료를 제공할 것으로 예상 된다.

4. 달궤도 우주 탐사를 위한 탐재체 개발 및 달 주변 우주환경 연구(경희대)

가. 달 궤도 및 달 주변 우주공간 연구

자기장, 플라즈마 입자 및 중성 입자들을 측정하는 것은 우주플라즈마 및 우주기상 연구에 필수적이다. 따라서 달 및 행성 탐사를 포함하는 모든 우주 탐사 프로그램에서 이러한 관측은 일부 수행되었고 앞으로도 수행될 것이다. 실험의 용이성과 경제성을 이유로 우주과학 탐재체 들은 모두 소형의 크기, 질량, 전원을 필요로 한다. 본 연구에서는 2013년까지는 달궤도에 적합한 위성 탐재체를 개발하여 지구궤도에서 운용을 하고 2015년 이후는 실제로 달궤도에서 운용을 할 계획이다.

특히 자기권 우주과학 탐재체의 경우 다수 탐재체를 동시에 올려 단일 탐재체의 단점들을 극복하려고 노력하고 있다. 현재 운용중인 Cluster(4개), THEMIS(5개)등이 그런 예이다. 소형 탐재체가 개발됨에 따라 가까운 미래에는 10-100개의 소형위성이 하나의 그룹(constellation)으로 만들어 것으로 기대된다.

나. 달 주변의 행성간 공간에 미치는 태양 활동의 영향 연구

달 탐사를 비롯한 모든 우주탐사는 태양에서 발원하는 플라즈마 및 자기장, 그리고 고 에너지 입자의 위협에 노출되어 있다. 그러므로 이 모든 것들의 원인이 되는 태양활동을 관측하고 이해하는 것은 안전하고 성공적인 우주탐사를 위하여 반드시 필요하다. 그리고 태양활동은 지상에서 보다는 우주에서 기후와 밤낮의 제약 없이 관측될 수 있으므로 태양 연구는 현재와 미래의 우주탐사에 있어서 중요한 대상 중의 하나이다.

모든 태양활동은 태양의 자기장으로부터 비롯된다. 태양자기장의 측정 및 자기장 변화에 의해 생겨나는 다양한 척도의 구조의 관측은 태양활동을 이해하는 데에 가장 기본적인 것이다

5. 과학 탑재체 분야(KAIST)

KAIST는 과학로켓 2호로부터 우리별 위성 시리즈와 아리랑 1호 및 과학기술위성 1호에 이르기까지 국내의 많은 우주 미션을 대상으로 과학 탑재체를 개발한 경험을 보유하고 있다. 이 경험을 바탕으로 KAIST는 우주기초원천기술개발사업의 일환으로 달 탐사용 탑재체 시스템 기술 과제를 수행하며 향후 우리나라의 달 탐사를 대비한 탑재체 개발을 수행하고 있다. KAIST에서 개발하는 탑재체는 Spectral Imager와 Space Environment Monitor로 다음과 같은 기능을 갖는다.

Spectral Imager는 과학기술위성 1호의 원자외선 분광기(Far Ultraviolet Imaging Spectrograph: FIMS)의 원천기술을 바탕으로 개발되며 Kaguya의 Spectrometer 및 Chandrayaan-1의 Hyperspectral Imager와 마찬가지로 spectrum과 영상을 동시에 얻는 것을 목적으로 한다. 다음 표는 Spectral Imager와 Kaguya 및 Chandrayaan-1의 사양을 비교한 것으로 Kaguya와 비슷한 공간 분해능인데 반해 파장 분해능이 앞서고 Chandrayaan-1와 비교하면 파장 분해능은 비슷하지만 공간 분해능이 앞서는 것을 볼 수 있다. 다만 Spectral Imager는 가시광선 영역에서의 관측만 가능하므로 Kaguya와 같이 적외선 영역을 관측하기 위해서는 detector 부분을 수정할 필요가 있다. Spectral Imager는 부가기능으로 stereo imaging과 편광관측 기능이 포함되어 있다. stereo imaging의 성능은 Kaguya나 Chandrayaan-1에 비해 우수하지는 않으나 편광관측은 이전의 외국 미션에서 수행된 적이 없다. 이들 부가 기능은 향후 우리나라 달 탐사선의 궤도와 운영 시나리오 등이 결정될 때 다시 조정될 것이다.

Space Environment Monitor는 달 착륙선 또는 국제달네트워크에 탑재하는 것을 목적으로 개발되고 있는 고에너지 입자 검출기로, 달의 우주환경 중 인간의 활동이나 달기지 건설에 많은 영향을 미칠 수 있는 방사능 환경을 측정하는 것이 목적이다. Chandrayaan-1과 Lunar Reconnaissance Orbiter에서는 고에너지 입자의 영향을 간접적으로 측정하고 입자 자체의 에너지를 측정하지 않았으나

Kaguya에서는 고에너지 입자를 직접 측정하였다. 다만 Kaguya는 궤도선으로 측정 기간이 태양 극소기에서 1년 남짓하였으나 국제달네트워크에서는 수 년 동안 관측이 가능하여 태양활동에 따른 변화를 볼 수 있을 것이다. Space Environment Monitor는 여러 하전 입자 중에서 우주 방사능의 대부분을 차지하는 양성자의 측정에 초점이 맞추어져 있다.

이와 더불어서 KAIST에서는 지질자원연구원과 협력하여 Gamma Ray Spectrometer를 개발할 계획으로 있다. Gamma Ray Spectrometer는 Kaguya에서도 관측을 수행하였으나 neutron monitor를 탑재하지 않아 분석에 어려움이 있다. 지질자원연구원과 KAIST에서 공동으로 개발하는 Gamma Ray Spectrometer는 neutron detector를 포함하며 또한 neutron generator까지 탑재하여 active experiment를 착륙선 및 Rover에서도 수행할 목표로 연구 중이다.

표 3.2 Spectral Imager 사양

	Chandrayaan	Kaguya		Spectral Imager (100 km 고도)
		visible	Near IR	
Swath width	20 km	19.3 km	19.6 km	30 km
Spatial resolution	80 m	20 m	62 m	25 m
Spectral bands	400 - 920 nm (64 channels)	415, 750, 900, 950, 1050 nm (5 bands)	100, 105, 125, 155 nm (4 bands)	450 - 900 nm (60 channels, variable)
Spectral resolution	15 nm	10 - 20 nm	15 - 25 nm	< 15 nm
Field of view	13°	11° (+/- 5.5°)	11.2 °	+/- 13.6°
Focal length	62.5 mm	65 mm	65 mm	30 mm
diameter	15 mm	17.6 mm	17.6 mm	8.1 mm
f number	4	3.7	3.7	3.7
Spectroscopy	wedge filter	filter	filter	wedge filter
detector	APS (Active Pixel Sensor)	2 D Si CCD (1024 x 1024) (13micro-m x 13micro-m) Partially masked	2 D InGaAs CCD (320 x 240) (40micro-m x 40micro-m) Partially masked	2 D interline CCD (2048 x 2048) (7.5micro-m x 7.5micro-m) divided for polarimetric study
Integration time		2.0, 4.1, 8.2 msec	6.6, 13.3, 26.4 msec	< 15.6 msec
digitization	12 bit	10 bit	12	12 bit
mass	3 kg	10.2 kg		3 kg
power	16 W	3 W		3 W

6. 궤도설계 분야(연세대)

가. 국내 달탐사 연구 진행 현황

1) 국내 달탐사 궤도설계 연구 진행 현황

- 연세대학교
 - 달탐사 임무 디자인 및 분석
 - 달탐사를 위한 최적의 천이 궤적 디자인 및 제어
 - 자동 온보드 항법
- KAIST
 - 달탐사를 위한 최적의 궤적 디자인
 - 자동 항법

2) 국내 현황

표 3.3 국내 궤도설계 기술 현황

달탐사 기술	수준	현황	실제 Mission을 위한 기술 개선 방향
달탐사 궤도 설계	상	- 연세대에서 순간 추력을 이용한 궤도 설계 소프트웨어 개발 - 연세대에서 저추력을 이용한 궤도 설계 소프트웨어 개발	- 국내 구현 가능한 또는 예정인 발사체, 추력기의 하드웨어 성능을 바탕으로 실제 임무에 적용 가능한 궤도 설계
지구-달 궤적에서의 탐사선 위치 결정	하	- 연세대에서 탐사선의 궤도 결정 알고리즘 개발	- 현재 수십 km 수준의 오차를 좀 더 정밀한 수준으로 개선 - 실제 관측 데이터를 사용한 궤도 결정 수행
화성 탐사 기술	하	- 연세대에서 행성 간 비행임무 탐사선을 위한 궤도 결정 시스템 개발 - Deep Space Network 도입을 위한 기본 구성조사 및 이론정립	- 행성간 탐사 임무 디자인 및 분석 능력과 천이 궤적 설계 - DSN 운용을 위한 구체적 기술 분석
달에서의 궤도 전파	중	- 연세대에서 달 근접 궤도 전파 소프트웨어 개발	- 다양한 달 궤도들의 수명 및 특성 분석

3) 연세대 활동 현황

표 3.4 연세대궤도 설계 활동 현황

달탐사 연구 Category	내 용	결과물
순간 추력을 이용한 궤도 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 지구, 달, 지구의 비대칭 중력장, 달의 J2, 태양풍의 영향 고려 - TLI 기동시 대전 지상국의 가시성을 고려한 임무 설계 - 다양한 지구 출발 궤도의 형상을 이용한 임무 설계 - 다양한 KSLV-II의 발사 능력을 고려한 임무 설계 	<ul style="list-style-type: none"> - 한국형 달탐사 임무 예비 설계 소프트웨어
저추력을 이용한 궤도 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 다양한 섭동의 고려 (지구 비대칭 중력장, 지구, 달, 태양) - 상대적으로 정확하고 빠른 궤적해의 도출 - 등저추력과 가변저추력을 이용한 가상의 달탐사 임무 설계 	<ul style="list-style-type: none"> - 등저추력을 이용한 지구-달 천이 궤적 설계 소프트웨어 (KLMDs-cLTE) - 가변저추력을 이용한 지구-달 천이 궤적 설계 소프트웨어(KLMDs-vLTE)
지구-달 궤적에서의 탐사선 위치 결정	<ul style="list-style-type: none"> - Least Squares 방법으로 궤도 결정 S/W 구성 - 가상의 관측값을 사용하여 실험 	<ul style="list-style-type: none"> - 수십 km 오차 내로 탐사선 위치추적
달에서의 탐사선 궤도 변화 예측	<ul style="list-style-type: none"> - 달 근접 궤도 전파 소프트웨어 개발 및 STK와 검증 - 달의 극궤도의 궤도 수명 및 특성 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 달 궤도 전파 소프트웨어
화성 탐사	<ul style="list-style-type: none"> - 행성간 탐사선의 정밀궤도 결정 시스템을 위한 동역학 모델 개발 - Deep Space Network 관측모델 및 관측 생성기(simulator) 구현 - 행성간 탐사선의 정밀궤도 결정 시스템 기초버전 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 실제 행성간 비행 임무 탐사선을 위한 궤도 결정 시스템 개발

제 4 장 우리나라 달탐사 연구개발 방안

제 1 절 분야별 달탐사 연구개발 방향

1. 행성지질 분야 달 탐사 연구개발 방향

○ 성공적인 달 탐사를 위해서는 (1) 지금까지 얻어진 달 탐사 자료에 대해 과학적, 탐사적, 경제적 관점에서 분석이 선행되어야 하며, (2) 이를 바탕으로 우리나라 달 탐사를 추진하기 위한 비전과 목표를 설정하여야 하며, (3) 이를 바탕으로 달 탐사 미션을 개발하고, (4) 이러한 미션을 수행하기 위한 기술개발이 추진되어야 할 것임(그림 4.1)

○ 한국지질자원연구원은 국내 유일의 지질분야 전문연구소로 우리나라 달 탐사를 위해 필요한 행성지질분야 관련 기술을 개발하기 위해 행성지질자원기술개발 로드맵을 작성하여 연구기술개발을 추진 중에 있음(그림 4.2)

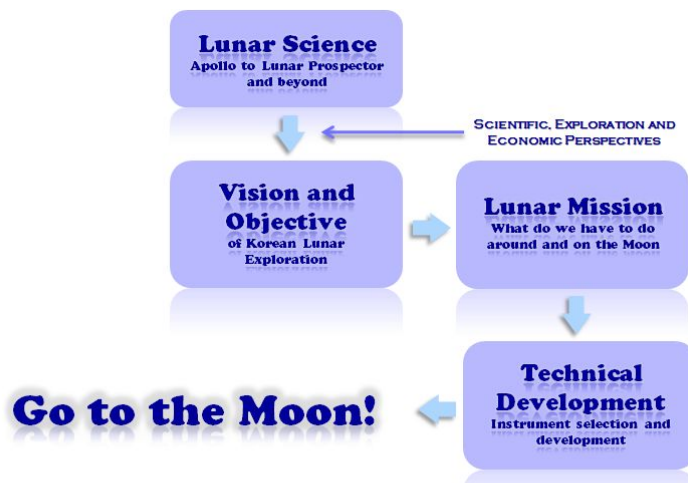


그림 4.1 우리나라 달 탐사 전략의 예시

- 연구개발의 필요성
 - ✓ 21세기 우주개발 및 행성탐사 경쟁에 적극적 대응을 위한 지질기반 미래원천장기술 개발
 - ✓ 행성식민지 개척과 행성지질자원 확보를 위한 기초기술 개발
- 연구개발 목표
 - ✓ 행성물질 정밀화학분석기술 개발
 - ✓ 행성표면원격탐사기술 개발
 - ✓ 행성지질자원탐사기술 개발

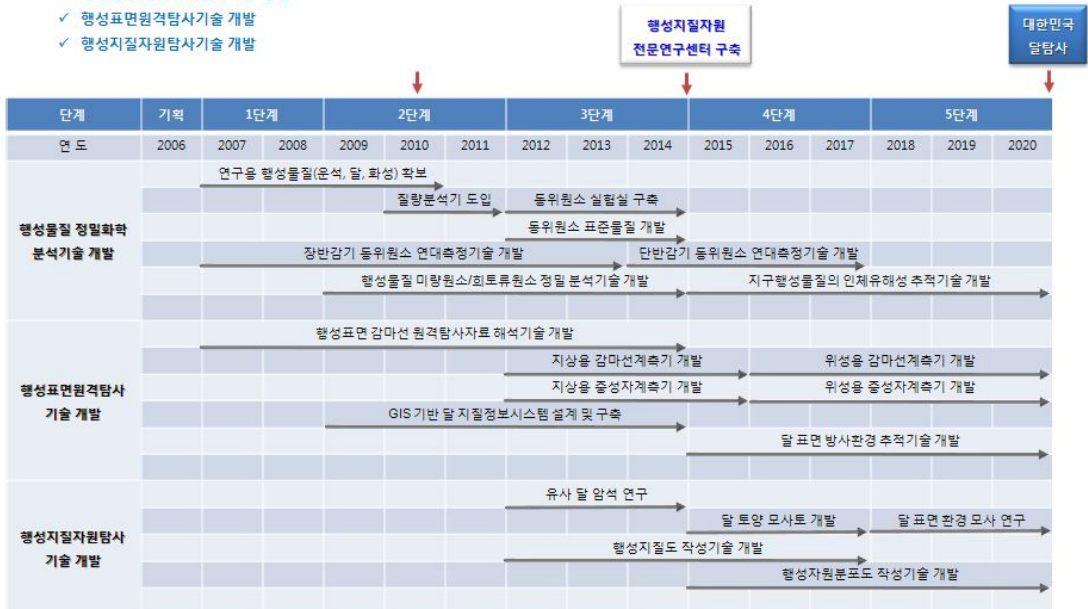


그림 4.2 한국지질자원연구원이 추진 중인 행성지질자원기술개발 로드맵

2. 소형 탐사선을 사용한 달 탐사

최근 상업용 위성을 제외한 대부분의 탐사선이나 인공위성들은 첨단 장비를 탑재하고 있으며 그 크기는 점점 소형화 되고 있다. 이는 한정된 예산으로 최대한의 효과를 내기 위해 가장 중요한 부분으로서, 특히 고중량의 위성체를 사용하는 경우 발사체의 크기가 커지게 되고 이는 발사비용의 상당한 증가를 불러오게 된다. 대형 미션들을 위주로 달 탐사를 진행하게 된다면, 오히려 예산집행의 효율성이 떨어질 가능성이 있다. 이에 우리는 가능한 한 소형의, 최신 장비들을 사용하여 예산 집행의 효율성을 높이고, 더 많은 기관과 대학들이 참여 할 수 있도록 유도하는 것이 우리의 달탐사 계획에 큰 이득이 될 수 있다.

3. 플라즈마 로켓등 비추력이 높은 차세대 추진체 개발

화학로켓과는 달리 플라즈마 로켓같은 차세대 추진체는 순간적으로 낼수 있는 추진력은 매우 낮지만 비추력이라고 불리는 에너지효율이 5~10배가 높아진다. 유인 탐사선처럼 미션의 진행기간이 제한된 미션이 아니라면 다소 시간이 걸리더

라도 에너지 효율이 높은 추진체를 사용하여 달까지 여행을 하게 된다면 이 역시 엄청난 양의 초기 탑재중량의 감소를 가지고 올수 있다. 이 역시 예산 및 자원의 낭비를 줄일 수 있는 길이며, 이는 역으로 좀더 활발한 달 탐사를 위해 매우 중요한 기술중에 하나가 될 것이다.

4. 달 표면 환경 탐사

달 표면은 대기가 없고 자기장이 매우 약하여 월면이 태양풍, 플레어 등에 직접적인 영향을 받을 수 있는 환경에 처해있다. 이는 태양활동이 활발한 때나 밤낮이 바뀌는 경계면에서 극적인 환경변화를 나타내는 요인이 된다. 특히 고입자 에너지와 전자기적 변화는 향후 장기 무인 탐사 시 월면 계측 장비 등이 망가지기 쉬운 환경에 처할 수 있음을 뜻한다.

이러한 점을 사전에 인지하는 것은 고려하지 못했던 사고로 인하여 고가의 탐사장비를 잃는 등의 사고를 최소화하기 위하여 매우 중요한 일이다. 그러므로 달 탐사를 위한 착륙선을 개발할 경우 가장 최우선적으로 탑재해야 할 장비는 달 표면의 전자기장과 고에너지 입자들의 운동을 계측 할 수 있는 장비여야 할 것이며, 이는 향후 본격적인 유인 탐사선이나 월면 개발 인원 등이 지속적으로 달에 착륙하게 되는 경우, 최우선적으로 고려해야 할 부분 중 하나라고 볼 수 있다.

5. 과학탑재체 분야

달 탐사를 위한 과학 탑재체는 외국의 미션에서도 보듯이 대부분 행성 탐사에 범용으로 사용될 수 있는 잘 정립된 과학 장비들이다. 이들 장비는 사양에 따라 차이는 있으나 대부분 5 kg 정도의 소형이며 큰 장비라고 하더라도 10 kg 정도에서 소화할 수 있는 기기들이다. 따라서 달 탐사를 비롯하여 장래 행성탐사에서도 한 미션에 수 개 이상의 과학 장비를 탑재할 수 있을 것으로 기대된다. 이런 관점에서 볼 때 달 탐사를 위한 탑재체 개발은 소형의 우주과학 범용 장비를 위주로 개발하는 것이 합당하다고 생각된다. 특히 향후 행성탐사에도 사용될 수 있는 범용 장비 위주의 개발은 우리나라 우주탐사의 연속성을 위해 중요한 점이다.

우주과학 장비는 세계적으로 관측 자료를 사용할 그룹에서 개발하는 것이 관례이다. 즉 개발자가 과학적 목적을 잘 알고 있어야 실제 개발에 있어서 나타나는 문제점을 적절하게 해결할 수 있기 때문이다. 이런 관점에서 볼 때 우주과학 탑재체는 국내의 우주과학 그룹 몇 개를 선정하여 각 그룹마다 강점을 가질 수 있는 연구 분야와 탑재체 개발을 장려할 필요가 있다고 본다. 이는 탑재체 개발 뿐만 아니라 향후 성공적인 자료 분석을 위해서도 중요하다.

우리나라의 달 탐사는 2020년 이후로 계획된 반면 2020년 이전에도 외국에서는 여러 미션이 있을 것으로 기대되며 이들 미션에 탑재될 과학 장비는 아직 확정되지 않은 상태이다. 또, 이미 수행된 미션에서 얻은 자료의 분석도 아직 끝나지 않은 상태이기 때문에 현 단계에서 탑재체 종류와 사양을 결정할 수는 없을 것이다. 이 점이 우리나라에서 달 탐사 탑재체가 범용 탑재체 위주로 개발해야 되는 또 다른 이유도 된다. 현재로서는 범용 탑재체에 대한 기본적인 설계를 시작하고 실제로 우리나라의 달 탐사가 가시화되는 시점에 개발 탑재체의 사양 등을 결정해야 할 것이다.

향후 우리나라 달 탐사 미션의 과학적 성과를 극대화하기 위해 좀 더 적극적인 방법으로 탑재체 개발을 시도한다면 2020년 이전에 계획된 외국의 미션에 우리나라에서 개발한 탑재체를 싣는 것도 하나의 좋은 방법이 될 것이다. 이는 탑재체 개발 기술의 확보뿐만 아니라 우리나라의 독자적인 미션을 위한 과학적 준비도 된다. 현재 국내의 기술 수준으로 볼 때 탑재체 제작을 위한 기초적인 준비가 갖추어진 그룹이 다수 있다고 판단되며 이들 그룹이 외국과의 협력을 통해 탑재체를 개발하는 경우, 외국의 달 탐사 미션에 동참할 수 있는 안정된 과학 탑재체 개발이 가능할 것이다. 다만 외국의 미션에 탑재체를 개발하여 참여하기 위해서는 국내의 미션 위주의 우주 프로그램을 수정하여 탑재체 개발 등 우주 응용과 장기적인 연구개발을 포용할 수 있는 우주 프로그램으로의 전환이 필요하다고 생각된다.

더불어 국내 우주과학자들이 우리나라의 미션에 참여할 수 있는 기회를 높여 많은 경험을 쌓을 수 있도록 해야 할 것이다. 예를 들어 과학기술위성 프로그램 후속으로 소형위성을 이용한 핵심기술시험을 할 때 우주과학 탑재체 실험도 동시에 수행할 수 있는 기회를 제공하는 것이다. 앞에 서술한 바와 같이 범용의 우주 과학 탑재체는 대체로 소형이므로 이들 소형 위성에서 충분히 소화할 수 있을 것으로 판단되며, 합당한 위성에서 실험하는 경우에는 충분한 과학적 성과도 얻을 수 있을 것이다. 예를 들어 우주환경 탑재체는 궤도에 상관없이 모든 위성에서 실험이 가능하며 과학적으로도 의미있는 결과를 제공할 것이다.

6. 궤도 설계 분야

○ 현재 달 탐사를 수행하거나 계획하는 국가들은 우주기술 선진국들과의 상호 협력하에 관련기술을 독자적으로 개발

(예, 중국은 러시아 기술습득, 일본과 인도는 미국과 유럽연합 기술습득)

- 순수한 기술이전은 불가능함
- 달탐사 궤도설계 및 궤도결정 기술은 독자적 개발이 필수적
(예, 일본은 독자개발 후 JPL에서 검증)
- 현재, 독자적인 기술 개발이 가능한 국내역량 보유

제 2 절 분야별 달탐사 국제협력방안

1. 유도 항법 및 제어

가. GN&C 기술의 분류

유도, 항법 및 제어계(GN&C)는 달탐사 위성이 발사체로부터 분리된 시점부터 달 궤도에 진입하여 임무를 수행할 때까지 위성체의 자세를 제어하고 위성의 궤적을 설계된 궤적을 따라 비행하도록 유도하는 역할을 수행한다. 이를 위해 필요한 위성체의 위치난 궤도정보를 항법 시스템을 통하여 확보하게 된다. 또한 요구되는 임무수행과 궤적 유도 및 자율 항법등을 위해 자세제어(Attitude Control) 시스템이 요구된다. 달탐사 위성의 자세제어는 지구궤도로부터 달 천이궤도로 진입하는 과정에서 고출력 추력기 발사로 인한 교란 효과를 효과적으로 억제하기 자세 안정화 기술이 필요하고, 달 천이궤도에 진입한 후에는 3축 자세제어 기술을 적용하는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 달탐사 임무를 위한 GN&C 기능을 분류하면 아래의 그림 4.3과 같다.

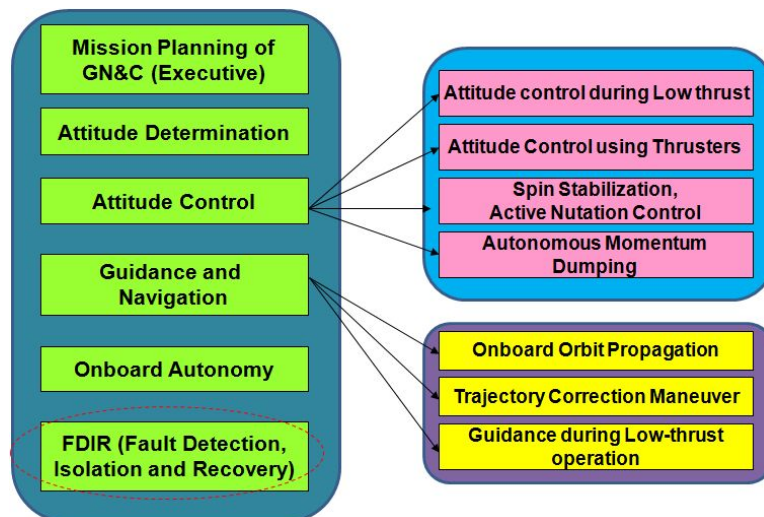


그림 4.3 달탐사위성의 GN&C 기술 분류

그림 4.3에서 알 수 있듯이 일부 기술은 기존의 국내 저궤도 관측위성(아리랑위성 및 통해기 위성)에 적용된 기술이지만 대부분의 기술은 국내에서 아직 시도된 적이 없다. 특히 달 천이궤도(Transfer orbit) 진입시 필요한 탐사선은 안정화기술, 궤도 보정기술, 탑재 S/W의 자율화(Autonomy) 기술, 정밀 자세결정, 저추력을 이용한 탐사선의 유도제어 기술등은 앞으로 독자적인 달탐사를 위해 필수적으로 요구되는 기술로 간주할 수 있다.

나. 달표면 착륙선의 GN&C 기술 요소

ILN 프로그램이나 향후 달탐사 임무의 주된 흐름이 달표면 착륙을 목표로 하고 있으며, 따라서 착륙선에 대한 GN&C 기술을 별도로 분류하여 정리하면 아래의 그림 2와 같다. 즉 착륙을 위한 하강 기동시 자세 결정과 착륙 직전에 DSN(Deep Space Network)을 이용한 궤도 결정, 동력 하강 유도법칙, 착륙단계에서의 관성 항법, 정밀 착륙을 위한 지형참조항법 및 디지털 영상 정합기법(Digital Scene Matching Area Correlation, DSMAC), 그리고 전 착륙 단계에서 비행체의 자세 안정화 기술등이 요구된다.

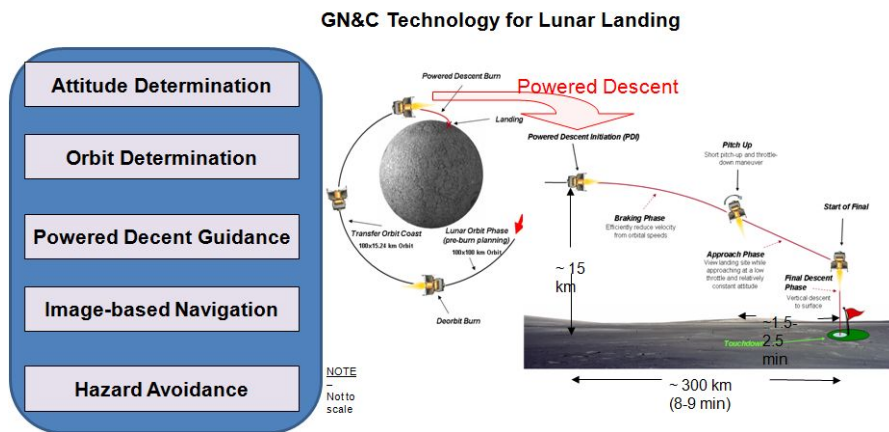


그림 4.4 달착륙선의 GN&C 핵심 기술

이 가운데 현재 미국 NASA를 중심으로 추진되고 있는 달표면 정밀 착륙 프로그램인 "Precision Landing and Hazard Avoidance on the Moon"은 사전에 구축된 달 표면 지도를 활용하여 착륙선의 정확한 항법 정보를 확보하고 또한 표면의 장애물을 스스로 감지하여 회피 기동을 수행하는 계획으로 비교적 대규모의 연구 사업이다. 이때 필요한 달표면지도는 LRO(Lunar Reconnaissance orbiter)를 통해 확보할 예정이며 실제 지형을 측정하는 센서는 LIDAR(Light Detection and

Ranging)가 고려중에 있다. 또한 유도무기의 장거리 항법에 활용되는 영상 정합 기술도 정밀 착륙을 위해 필요한 기술로 검토 중인 것으로 알려져 있다.

이와 같이 지형정보를 이용한 항법 기술을 지형참조항법(Terrain Reference Navigation, TRN)이라 불리는데 핵심 기술로서 지형 지도, 지형 형상 측정용 센서, 그리고 측정된 지형과 컴퓨터에 저장된 지도를 활용한 항법 정보 추정 기법 등을 들 수 있다.

다. ILN을 위한 GN&C 기술의 우선순위

달표면 정밀 착륙을 포함한 ILN 탐사선의 GN&C 분야에 대한 필요 기술 우선 순위를 살펴보면 아래와 같다.

- 제 1 순위 - 정밀 착륙을 위한 지형 참조 항법(달 지도 포함)
- 제 2 순위 - 임무 전기간에 걸친 항법(자동) 기술
- 제 3 순위 - 정밀 궤도 결정 기술(DSN)
- 제 4 순위 - 탐사선 자세 안정화 기술(발사-> 천이궤도-> 착륙)
- 제 5 순위 - 임무 전 기간 동안 자세 결정 기술
- 제 6 순위 - 탑재 S/W 자율화(Autonomy)

또한 국내 보유기술과 미 보유기술을 분류하여 정리한 내용이 그림 4.5에 주어져 있다.



그림 4.5 달탐사선 GN&C 기술의 국내 보유 현황

이와 같이 미보유 국내 기술 확보를 위해 국제 협력이 요구되고 있다.

라. ILN을 위한 GN&C 분야의 기술 협력 가능성

ILN 추진시 GN&C 분야의 기술 협력은 상당히 제한적일 것으로 전망된다. 특히 우리나라의 경우 달탐사 프로그램을 독자적으로 추진한 경험이 없어 주도적인 제안을 하기가 어려운 상황으로 판단된다. ILN 참여하는 국가들 대부분이 탐사선을 달 표면에 착륙시키는 것은 해당 국가가 독자적으로 추진해야 한다는 원칙을 제시하고 있는 분위기이다. 한편 GN&C 분야의 하드웨어 구매시 E/L(Export/License) 문제 해결을 위해 협력은 기대할 수 있으나 시스템 통합 및 탑재 S/W 분야의 기술 협력은 원칙적으로 기대하기 힘든 상황이다. 현재로서 시급하면서 협력이 가능한 GN&C 분야로 달표면 지도(2차원, 3차원) 정보이다. 달표면 지도를 탐사선의 정밀 착륙을 위한 항법 정보 정밀도를 제공해줄 수 있는 주요 수단이다. 이를 위해 미국 및 일본등과의 정보 제공 가능성에 대한 협의가 요망된다.

마. ILN을 위한 GN&C 기술 협력 방안

GN&C 분야의 기술 협력 1순위는 착륙선의 정밀 착륙이다. 이를 위해 달표면 지도 확보를 위해 ILN 참여국(미국, 일본등)과 협의를 추진할 필요가 있다. 또한 정밀 착륙용 광학센서(LIDAR)와 관성항법장치(ILN)의 구매 가능성을 미국등에 타진할 필요가 있다. 또한 지상에서 달표면 착륙 시험을 위한 국제 공동연구에 참여하도록 하며, 기존 달 탐사선에 적용된 기술에 대한 부분적인 교류를 추진할 필요가 있다. 특히 DSN을 이용한 궤도 결정, 자동항법, 탑재 SW의 자율화기술, 달착륙선의 착륙 기간 중 자세 안정화 기술등을 고려할 수 있다. 또한 일본의 하야부사(Hyabusa) 탐사선과 같이 달 이외의 탐사 임무에 대해서도 협력 가능성을 타진할 수 있을 것이다.

바. 달탐사선 GN&C 기술 개발을 위한 로드맵

달탐사선 GN&C 기술의 국내 확보를 위한 로드맵을 아래 그림 4와 같이 제안한다. 크게 3단계로 나뉘어지는데 1단계에서 기반기술을 연구하고 2단계에서 기술 구현 및 시험, 그리고 3단계에서 탐사위성 개발을 계획하도록 한다. 특히 2단계에서 지구-달 사이의 타원궤도를 목표로 달탐사 시험위성을 발사하는 것을 제안한다. 시험위성을 통해 달탐사 임무의 GN&C 기능 가운데 상당 부분을 시험할 수 있을 것으로 예상된다.

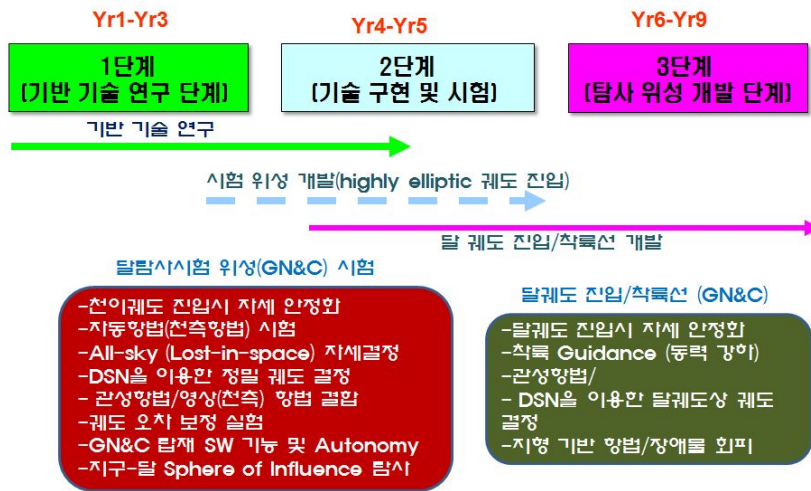


그림 4.6 달탐사선 GN&C 기술 자체 확보를 위한 Road Map

사. 국내 기술 협력

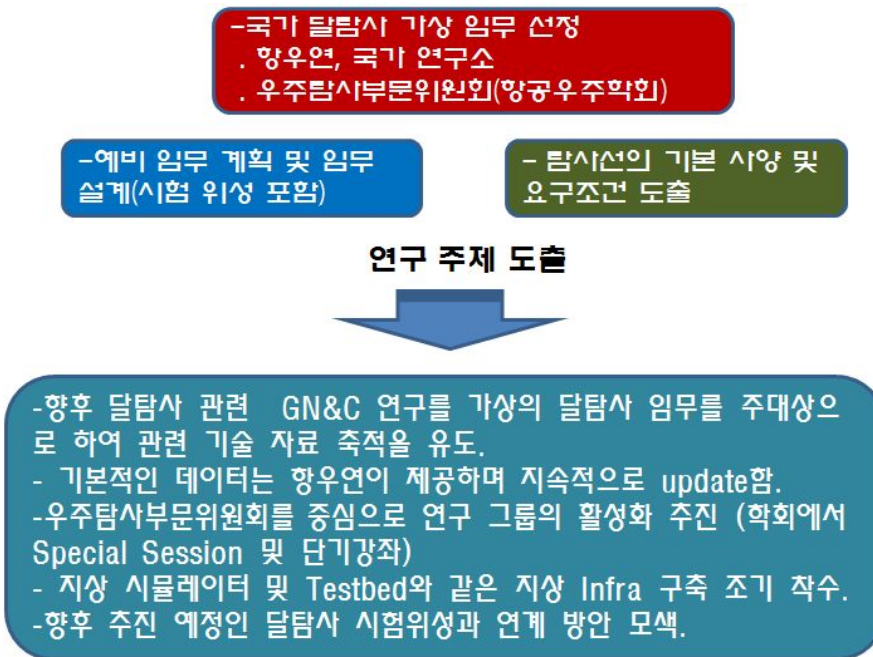


그림 4.7 국내 기반 기술 축적 방안 제안

달탐사를 위한 GN&C 기술의 국내 확보를 위해서 무엇보다 정부의 예산과 체계적인 지원이 필요하지만 현실적으로 예산 확보와 조직구성이 용이하지 않은 상황에서 자체 계획을 수립하여 기반을 조성할 필요가 있다. 이를 위해 국가 달탐사를 위한 가상의 임무를 선정하고 임무 계획 수립 및 탐사선의 기본 사양과 요구조건등을 국가 연구기관을 중심으로 도출할 필요가 있다. 이와 같은 기본 자료를

근간으로 향후 수행되는 모든 달탐사 연구의 주제는 가상임무와 탐사선을 중심으로 수행되어야 한다. 이 과정에서 소규모의 정부 지원이 있을 경우에 관련 연구과제의 도출을 예상할 수 있는데, 도출되는 과제의 대상 또한 가상의 임무가 중심이 되어야 한다.

가상의 임무 및 탐사선에 대한 연구 결과와 자료를 체계적으로 관리할 수 있는 연구팀이 국가 연구기관에 구성되어야 한다. 또한 임무 설계와 탐사선의 예비 설계가 구체화되면서 관련 자료를 지속적으로 업데이트하도록 한다. 이러한 결과를 기반으로 달탐사 시험 위성 개발에 착수할 수 있을 것으로 예상된다. 무엇보다 모든 축적된 기술과 자료를 체계적으로 관리할 수 있는 제도적인 장치를 마련하는 것이 급선무이다.

2. 달 지질연구

국내의 경우, 행성표면에 대한 연구는 거의 없었으며, 달을 연구하는 연구자도 거의 없는 것으로 알려져 있다. 그러나 최근 우리나라의 달 탐사 계획이 확실시 되면서 이 분야에 관심 있는 학자들의 연구 활동이 증가하고 있는 추세이며, 2020년에 추진될 예정으로 있는 달 궤도탐사 프로그램의 계획에 발맞추어 이와 관련된 학자들은 항공우주기술 및 연구기술의 개발에 중점을 두고 있다. 지난 6월 부터는 자생적인 우주탐사 연구회 모임이 조성되어 향후 달 탐사를 준비하기 위한 연구자들의 정기적인 모임이 한국과학기술원, 한국지질자원연구원, 한국천문연구원 등 기타 관련학계의 참여로 이루어지고 있다. 또한 한국지질자원연구원의 일본의 가쿠야 달 탐사 프로그램 및 향후 발사될 셀레니-2 프로그램인 달 착륙/로버 탐사 계획, 또한 한국의 국제 달 탐사 네트워크(International Lunar Network)에의 참여에 따른 국내의 달 탐사관련 연구가 활성화 될 것으로 예상되고 있다.

본 과제를 추진하면서 달 탐사 국제협력네트워크가 한국, 일본, 미국, 프랑스, 스페인의 공동 연구 협력체계를 구축하게 되었으며, 이 국제협력네트워크에 참여하고 있는 학자들은 화성, 수성, 목성, 달 탐사 등의 우주탐사계획에 참여하고 있는 학자들로서 우리나라의 향후 달 탐사 계획을 준비 및 기존의 달 탐사 연구 자료를 이용한 기초연구를 공동협력 하에 수행할 수 있는 학자들로 구성되어 있다.

3. 학계의 국제 협력 추진 현황 및 전략(경희대)

- 선진국 신기술 기관 및 관련 연구대학과의 연구 협력 체결
 - 과학임무 분석 및 관측기술을 공유

- 첨단 우주과학 분야의 연구 동참
 - 입자 에너지 검출기 및 관련 기술 확보
 - 관련 학문 및 기술 인력 양성
- 국내외 과학연구 협력 추진 및 실질적 공동개발 진행
 - 국제 학술대회 개최 및 국외 학술 대회 적극적 참여
 - TRIO Cubesat 개발 중
- 국내외 우주탐사 프로그램 참여
 - 국내 우주관측 프로그램 참여 노력
 - 미국 Solar Probe Plus 미션, 입자 검출기 참여 중
 - ESA Solar Orbiter 미션, 입자 검출기 참여 중
 - 기타 탐사위성 논의 중 (일본, 대만, 미국, 독일, 영국 등)

4. 국가 달탐사 국제 협력 방향 제언(경희대)

- 국내 역량 강화
 - 달 탐사 및 우주탐사 기본 로드맵 작성
 - 과학임무 및 관련 기술분야의 기반 연구 지원 (Phase A, B 까지 연구비 지원)
 - 국내 위성 프로그램 활성화를 통한 기반 기술 축적
 - 관련 학문 및 기술 인력 양성
 - 국내 소형위성 발사 기회 확대
- 적극적 국내외 프로그램 참여
 - 국제 학술대회 개최 및 국외 학술 대회 적극적 참여
 - 국제 협력 연구비 지원 강화
 - 달 탐사 관련 국제 프로그램 참여 연구기관

○ 국제 협력 방안 제언

- 국내의 기반기술 또는 국외 연구자들의 관심 있는 과학 임무 등이 있어야 국제 협력 관계 원할. 이에 기반 기술 연구지원 사업 강화
- 대학 또는 연구기관별 달 관련 연구과제를 수행할 수 있는 국제 협력 지원 사업 강화. Low-Level 접근법
- 현재 진행 중인 방식인 교과부-NASA의 협력 관계를 통한 Top-down 방식의 High-Level 접근법
- 독자 개발을 목표로 한다면 실질적으로 우리가 잘 할 수 있고, 원하는 임무를 달성할 수 있는 Low-Level 접근법이 국가적으로 이득이 되는 접근법으로 판단됨

5. 궤도 설계 분야

우리나라의 독자개발 기술을 NASA나 ESA에서 검증

- 우리나라에서 개발한 행성간 궤도 결정 알고리즘을 NASA의 궤도 결정 시스템(ODS)과 성능 분석
- 우리나라에서 개발한 행성간 최적 궤적 산출 알고리즘을 NASA의 Interplanetary Program to Optimize Simulated Trajectories (IPOST) 또는 IPOST-2, ESA의 Advanced Concepts Team (ACT) 소프트웨어 등과 비교
- 우리나라에서 개발한 행성간 궤도 전파 알고리즘을 ESA의 Space Trajectory Analysis (STA) 등을 사용하여 검증

제 5 장 ILN 사업 개요 및 진행현황

제 1 절 ILN 사업개요

○ 국제달네트워크(ILN:International Lunar Network)은 광범위하고 지속적인 달과학과 향후 달 표면에서 수행될 유인달탐사 프로그램을 가속화하기 위해 미국 NASA에 의해 추진되는 새로운 형태의 달탐사 네트워크임

- NASA는 ILN을 통해 각 국가 혹은 국제협력팀 별로 상대적으로 표준화 되었으면서도 작은 고정된 로봇식 관측소 (robotic station) 혹은 간단한 로버 (rover)들을 달의 적도부터 극지역까지 전역에 걸쳐 설치할 예정임

○ 2008년 3월 미국은 2013~14년 6~7개의 달 착륙선을 달에 착륙시켜 달 탐사 네트워크를 구축할 것을 세계 주요국에 제안하였으며, 2009년 3월 13일 일본 요코하마에서 열린 ILN 총괄회의에서 2016년 자국의 착륙선 4기를 달 앞면에 착륙시킬 것을 발표하였으나 현재는 2018년 예정

- 일본 등 ILN 참여국은 자국의 달탐사 계획을 ILN과 연계하여 추진할 예정임을 발표

○ ILN의 목적은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 하나는 달의 구조 및 구성성분에 대한 과학적 탐구이며, 또 하나는 유인 달탐사를 대비한 사전 프로젝트 개념으로 시작했으나 NASA의 과학임무국 주도의 달 과학 목적이 우선하는 무인 탐사임

○ ILN이 구축하게 될 공동 탑재체(Core instruments)의 핵심은 달지진계 (Seismometry)이며, 그 외 지열측정장치(Heat flow measurement), 전자기장측정장치 (EM Sounder), 레이저 정밀거리측정장치(Laser ranging measurement)가 있음

- 달 지진계는 특히 여러 기로 네트워크를 구성하여야 달 내부구조에 관한 구체적이고 통합적인 자료를 얻을 수 있으므로, 될 수 있으면 많은 나라가 참여하여 달 네트워크를 구성하여야 충분한 자료를 수집할 수 있을 것임

○ ILN은 미국 NASA가 주도한 국제우주정거장 (ISS, International Space

Station) 프로그램 이후 향후 본격적인 우주탐사 수행을 위한 두 번째 국제공동 우주개발 프로그램으로써, 우주분야의 구체적이고 효율적인 국제협력 체계 구축의 의미도 있음

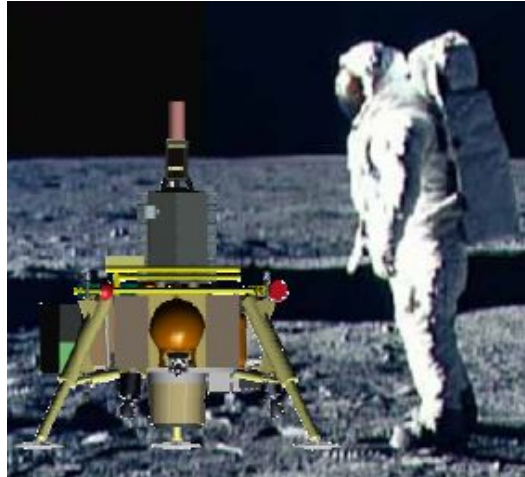


그림 5.1 ILN 공동 탑재체 달 표면설치
가상도

제 2 절 ILN 착륙선 설계분석

1. ILN 공동 탑재체

○ ILN의 공동 탑재체로 논의되고 있는 관측기기 종류들은 과거 1969년부터 1972년 사이에 미국이 달 과학 연구를 위해 설치한 과학관측기기 패키지인 ALSEP (Apollo Lunar Surface Experiments Package)와 크게 다르지 않음

- 이는 과거 아폴로 탐사시대의 ALSEP이 제 1세대 달탐사 네트워크로 가정할 때, ILN은 기술적으로 진보된 형태의 제 2세대 달탐사 네트워크로 볼 수 있음
- ALSEP은 달 지진계, 지열측정기, 전자기장계, 태양풍 측정기, 초열 이온검출기, 레이저 거리측정 장치들로 구성되어 있고, ILN의 공동 탑재체로 논의되는 장치들 역시 달 지진계, 지열측정기, 전자기장계 및 레이저 거리측정 장치들임

○ ILN의 공동 탑재체로 논의되는 장치들은 ILN의 과학적 목적을 성취하기 위해 선택되어지게 되는데, ILN의 과학임무팀 (SDT, Science Definition Team)에서 논의하고 있는 공동 탑재체를 이용한 과학적 탐구 목적들은 다음과 같음

- 달 내부 현재 지진 상태 이해
- 달 내부의 온도구조 특성을 알기 위한 지열유동 측정
- 달 내부의 전기전도도 구조를 알기 위한 전자기 측정
- 차세대 레이저 거리측정 장치를 이용한 달 내부구조와 중력 구조 연구

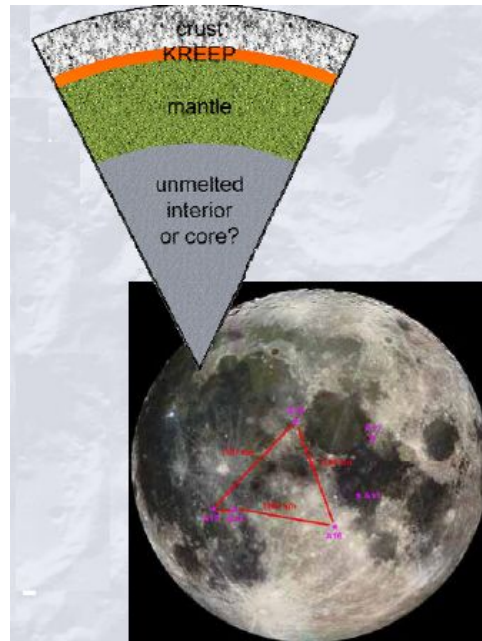


그림 5.2 달 내부 구조 연구를 위한 아폴로 착륙지점 및 달 지진계 네트워크

○ ILN 임무의 주요 특징은 아폴로 탐사시대의 네트워크 보다 더 넓은 광역의 네트워크를 구축하는데 있음

○ NASA의 ILN SDT는 그림 2.3에서 보는 바와 같이 달의 뒷면 (Farside)에 대한 달탐사를 요청하고 있음. 또한, 안정적인 연속적인 통신망 구성을 위해 적절한 달 앞면 (Nearside) 지역의 설치 후보지 찾기 연구도 수행하고 있음

가. 아폴로 프로그램에서의 달 관측장치 (ALSEP)

○ 앞서 언급한 바와 같이 ILN의 공동 탑재체로 논의되고 있는 관측장비들은 아폴로 탐사시대의 ALSEP 구성 관측장치들과 유사함.

- 따라서, 현재 논의 중인 ILN의 공동 탑재체를 기술하기 전에 과거 아폴로

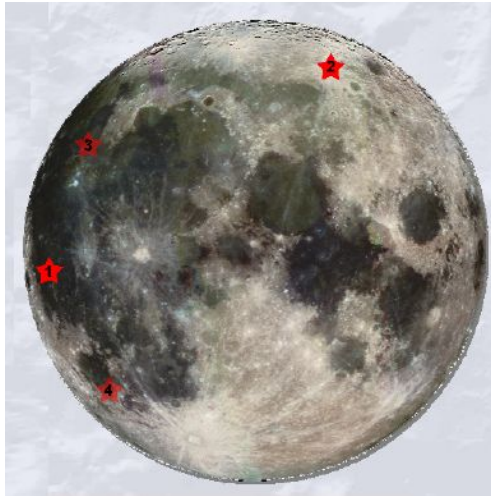


그림 5.3 공동 탐재체 설치 노드

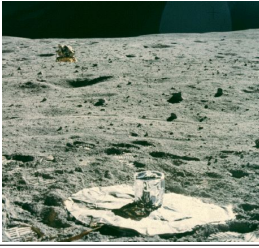
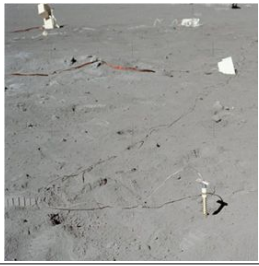
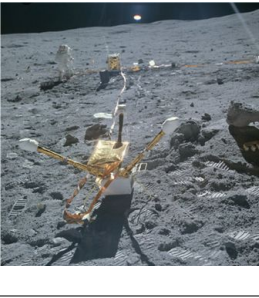
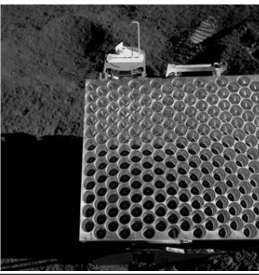

(Node) 후보지
유인탐사 프로그램을 통해 달 표면에 설치한 관측장치 및

- ALSEP 주요 구성 관측장치들을 살펴보면 각각 다음 표 5.1과 표 5.2와 같음

표 5.1 아폴로 프로그램을 통한 달 관측장치

관측장비명(약자)	주요활동	아폴로 임무
Active Seismic Experiment (ASE)	지진파 탐지기	14, 16
Cold Cathode Ion Gauge experiment (CCIG)	이온 탐지기	12, 14, 15
Heat Flow Exp. (HFE)	열 흐름 측정기	15, 17
Lunar Atmospheric Composition Exp.(LACE)	대기성분 측정기	17
Lunar Dust Detector(LDD)	먼지 검출기	12, 14, 15
Lunar Ejecta And Meteorite(LEAM)	유성 및 방출물 검출	17
Lunar Surface Gravimeter(LSG)	표면 중력 측정기	17
Lunar Surface Magnetometer(LSM)	표면 자력계	12, 15, 16
Lunar Seismic Profiling exp. (LSP)	지진파 파형 측정	17
Passive Seismic Exp. (PSE)	지진파 탐지	11, 12, 14, 15, 16
Suprathermal Ion Detection Exp. (SIDE)	초열이온 검출기	12, 14, 15
Solar Wind Spectrometer(SWS)	태양풍 분광기	12, 15
Lunar Ranging Retroreflector(LRRR)	달거리 측정용 반사경	11, 14, 15

표 5.2 아폴로 탐사시대 달탐사 네트워크 ALSEP 주요 구성장치

탐재체 명	설명	설명
	<p>지진계 중량: 11.0kg 크기: 지름:23cm, 높이:29cm 열 천막(thermal skirt)은 최대 직경 1.5m 까지 펼쳐짐</p>	<p>아폴로 11,12,14,15,16호 임무에 포함 다국적 Network 탐사</p>
	<p>열유동 계측기 중량: 10kg(4.6kg 전장박스) 크기: 계측기: 50cm 4 segments (stowed 8.6×11.4×64.8 cm) 전장박스: 28×25×24cm</p>	<p>다국적 Network 탐사</p>
	<p>자력계 Mass: <4 kg Power: < 4 W Resolution: 0.5 nT, Accuracy: 5 nT * 10⁵nT(nano Tetra) = 1Gauss</p>	<p>아폴로 임무에 포함 달탐사 외, 다수</p>
	<p>레이저 반사경 중량: 11.0kg 크기: 30×60×60 cm (펼쳤을때 : 30.0×105.2×64.8 cm)</p>	<p>아폴로 11,14,15, 임무에 포함</p>
	<p>생명기원 물질탐사 Sample manipulation system 중량 : 약 6kg 크기 :30cm x 30cm x20cm Pyrolysis Mass spectrometer 중량 : 약 8kg 크기 : 30cm x 30cm x30cm</p>	<p>Sample manipulation system - Sample extraction - Hybridization - Nitrogen Desolvation Pyrolysis Mass spectrometer -Vaccum pyrolysis unit - Gas processing system - Mass spectrometer</p>

○ 표 5.1에서 보는 바와 같이 주요 활동에서 가장 많이 차지하는 것은 달 지진과 탐지기임. 달 지진과 탐지기는 기본적으로 달 구조 및 내부 구성성분을 이해하

는데 가장 기본적인 정보를 제공하기 때문에 가장 많이 설치되었음을 알 수 있음

○ 아폴로 프로그램을 통해 설치된 주요 장치들의 과거 운영현황과 성과들은 다음과 같음

- 달 지진계

· 아폴로 17호를 제외하고 모든 아폴로 착륙지점에 지진계가 설치되었지만, 불행하게도 아폴로 11호의 지진계는 설치된 지 21일 만에 고장이 나고, 1972년 4월부터 4대의 지진계가 네트워크로 작동되기 시작하여 1977년 9월 30일 모든 스위치가 내려졌음

· 달에서 측정된 지진 강도는 전체적으로 리히터 규모 3 이하의 약한 것들이 대부분이며, 주로 700 - 1200 km 보다 깊은 곳에서 일어 나는데 이는 조석력에 의한 영향인 것으로 생각되어지지만, 구체적인 상관관계가 아직 밝혀지지는 않았음

· 하지만, 가끔씩 규모 5 이상의 강한 지진이 관측되었는데, 그 깊이가 50-200 km 정도의 얕은 곳에서 발생하는 것으로 알려져 있지만, 구체적인 원인은 알려져 있지 않음

- 지열 측정계

· 아폴로 착륙지점에 설치된 열흐름 측정장치는 2.55 cm 의 두개의 구멍을 달 표면에 뚫어 그 속에 각각 장비를 설치하여 서로를 케이블로 연결하여 둔 장치임

· 아폴로 15, 16, 17 호 임무시에 설치된 열흐름 측정장치 중 아폴로 16호의 것은 케이블이 끊어져 버리고, 15호는 3.5년, 17호는 2년 동안 작동하였음

· 달 내부의 열 흐름을 $\pm 5 \text{ mW m}^{-2}$ 정도의 정밀도로 측정하기 위해서는 주어진 지표환경에서 여러 번의 측정이 필수적임

· 태양열에 의한 일변화 및 계절변화와 무관하게 달 내부에서 발생하는 열만을 측정하기 위해서는 3개 이상의 동일한 측정장비를 달 지표면 10~100m 깊이에 설치하여야 함.

· 이를 통하여 달 내부의 열출입 수지를 알게 되면, 달 내부의 열을 발생시키는 물질의 구성성분과 그 양을 이해할 수 있을 뿐 아니라 달 내부 구조가 시간에 따라 어떻게 변화해 왔는지 연구하는데 많은 기여를 할 수 있음.

- 자력계

- 달 궤도와 달 표면의 자장(magnetic field)을 측정하기 위해 아폴로 12, 15, 16 호의 착륙지점에 달 표면 자력계를 설치했고, 아폴로 15와 16호에는 우주인들이 지구로 귀환할 때 작은 보조위성(subsatellite)을 달 궤도에 각각 올려놓았음. 이 보조위성에는 달의 중력장을 정밀하게 측정하기 위한 S-밴드 트랜스폰더 (Transponder)와 자력계, 그리고 이온화된 입자 측정기가 탑재되어 있었음
- 달 표면의 자력계는 1974년 6월 14일 스위치가 차단되었는데, 관측결과로부터 달 지표의 어떤 부분은 자화(magnetization)되어 있다는 사실과 월석 표본으로부터 과거의 달의 자기장의 강도는 약 3.6 ~ 3.9 Gyr 동안 가장 강한 시기였다는 사실을 알게 되었음
- 또한 달 보조위성과 Lunar Prospector 의 관측 결과에 의하면, 달 앞면 (nearside)의 충돌분지(impact basin)로부터의 분출물(ejecta material)이 있는 곳 근처에서 자기장의 변이가 주로 나타났음

- 레이저 반사경

- 현재까지 알려진 가장 정밀하게 달과의 거리를 측정하는 방법은 달 표면에 설치된 레이저 반사경을 이용하는 것임
- 아폴로 15호 임무 시에 설치된 반사경은 11, 14호 보다 3배가 큰 것이고, 처음 25년 동안 거리측정의 75%가 아폴로 15호 반사경을 이용한 것임
- 구소련의 Lunokhod 1, 2호도 작은 반사경 어레이를 설치하여 지구- 달 간의 거리를 측정하였음. 이 반사경을 통해 얻은 중요한 결과는 달이 지구로부터 매년 38mm 정도씩 멀어지고 있다는 것과 달 내부에 달 반경의 20% 정도 크기의 액상의 핵이 존재할 가능성이 있다는 것 등임

나. ILN 공동 탑재체 (Core Instruments)

○ 현재 논의되고 있는 ILN 공동 탑재체의 관측장치는 지진계 (Seismometry), 지열측정계 (Heat Flow), 전자기장계 (E-M Sounder), 및 레이저 반사경 (Laser ranging reflector)임

○ 공동 탑재체의 구성은 이들 4가지 모두가 선택될 수도 있고, 논의되는 장치 중 일부가 될 수도 있으나, 지진계는 어떤 경우에도 제 1의 (Primary) 관측장치가 될 예정임

- 지진계는 달 내부구조 및 구성성분 연구를 위한 가장 핵심장치이며 여러 기의 노드를 이용한 네트워크 구성을 통해서만 정밀한 측정이 가능
- 아폴로 프로그램에서의 관측장치와의 차이는 성능의 차이이며, 동일 관측 장치에 대해 추가적인 설계 요구사항은 거의 없음

○ 표 5.3과 5.4는 현재 논의 중인 ILN 공동 탑재체 후보 장치들과 각각의 설계 요구사항들을 보여주고 있음

- 지진계의 경우 ILN 지진계의 중량이 아폴로 시대의 장치와 비교하여 11kg에서 6kg으로 감소
- 지열 측정계는 기존 10kg에서 2kg로 감소
- 전자기장계의 경우 요구중량은 비슷하나 측정정밀도와 보정을 위한 장치가 추가로 요구
- 레이저 반사경은 아폴로 탐사 때와는 달리 크기나 중량이 감소하였으며, 측정 정밀도는 수 cm에서 수 mm 수준으로 크게 향상되었음

표 5.3 ILN 공동 탑재체 및 요구사항 (1)

장치명	과학 목적	네트워크 요구사항	과학적 필요이유	측정 요구사항
지진계 (Seismometry)	-달의 현재 지진상태 이해 -달의 내부구조 결정	-다수개의 지진계가 동시에 운용이 되도록	-달구조판들의 지진파는 달의 구조, 달표면, 맨틀 및 공동을 결정하는데 사용 가능함	-지리적으로 떨어진 다수의 지역에서 광대역 지진계를 이용
지열 측정계 (Heat Flow)	-달의 내부 온도구조를 이해하기 위한 내부 지열유동 측정	-지열유동에서 측면변화에 대한 유효한 증거 지점에 설치	-지열유동 측정은 달표면과 상부 맨틀에서의 방사능의 국지적이고 대량발산을 제한시킴 -또한 달의 열적인 진화를 이해하는데 필요함	-다양한 깊이에서의 열전도를 측정함 -서로 다른 장소에서 서로 다른 깊이에 설치된 장치를 통해 열변화도 측정
전자기장 계 (E-M Sounder)	-달의 내부 전자기 전도성 측정을 하기 위한 전자기 사운드링 사용	-열상태 및 구성에 있어 측면변화에 대한 유효한 증거 지점에 설치	-내부 온도와 구성은 전도성으로부터 참조됨 -우주물리 환경 측정뿐만 아니라 추가 장소들에서 달표면의 자화현상에 대한 자료 제공함	-각 측정장소에서 주파수에 따른 대기주위 전기 및 전자기장 측정함 -국소 플라즈마장에 의한 전자기장 기여도를 측정
레이저 반사경 (Laser Reflector)	-달 내부 중 핵 (core) 연구를 위한 정밀 지구-달 사이 거리 측정 -일반상대성 이론 시험	-과거 아폴로 설치 지역 이외 새로운 설치 지역 선택 -특히, 가장자리에 새로이 설치할 것	-달모양의 미세한 변화에 의해 발생하는 달자전율의 불규칙성을 발견할 수 있음 -또한 달 내부의 공동 및 맨틀의 운동에 대해 알 수 있음	-측정 정밀도를 수 mm 수준으로 함

표 5.4 ILN 공동 탑재체 및 요구사항 (2)

장치명	임무 요구사항	장치 요구사항	무게, 전력, 열	데이터
지진계 (Seismometry)	-최소 4곳에서 6년간 동시 운용함 -각 관측국간의 시계정밀도: 5ms -장치는 월면에 장착하고 위성체와는 진동 영향 없도록	-3축 광역밴드 (VBB) 지진계 -동적범위 >24bits -고주파 cutoff : 20 Hz -민감도 : [0.001-0.1 Hz] 10-11m/s [0.1-1 Hz] 2x10-11m/s [1-20Hz] 10-9m/s -열적 안정도 : +/-5deg -고도 정보 제공	-무게 : 6kg -전력 : 2W(peak) 1W(cont.) 0.2W(low power) -장치 히팅을 위한 추가적인 전력이 필요할 수도 있음	-100 Mbits per Earth day -downlink 드라이버 없음
열유동 측정계 (Heat Flow)	-온도센서 배열은 최소 3m 깊이 -표토와 열적으로 잘 접촉되도록 -위성체로부터 열적 영향을 최소화하도록 -주요 지형선으로부터 최소 200-300km 떨어진 곳에 설치 -2년동안 연속적으로 운영	-각 열전도율 측정은 1 월일(lunar day) 이상 열적감쇄율 (thermal decay)도 기록해야 함 -각 센서들은 매 6-12시간마다 온도를 측정 -온도측정 정밀도 : 0.05-0.001K -최소 9가지 열전도율과 9가지 열측정이 수행되어야 함 -각 센서들은 30cm씩 간격을 둠	-온도 센서 : 각 10g -전력 0.2W (per sensor) -센서 전개 무게는 구현하기에 따라 달라질 수 있음 -MOLE 무게 : 2kg -최대전력 : 5W	-수 kbit/day
전자기장 계 (E-M Sounder)	-연속 1년 동안 운영 -월면 부착에 대한 요구사항은 없음 -자기장과 전위계는 위성체로부터 2m 떨어진 곳에 위치 -전위계 측정봉은 수직방향으로 전개되어야 함 -플라즈마밀도계측 탐침은 위성체로부터 0.5m 위치에 설치	-주파수 범위 : DC - 100 Hz -23개 자기장 조합 (10pT/rtHz) -12개 전위계 조합 (100uV/m/rtHz) -수직 기둥에 설치된 1개 플라즈마 밀도 계측 탐침 (500K, 10e/cm3) -보정(calibration)을 위한 온도센서 -전개된 센서들을 위한 고도정보 제공	-센서, 붐(boom), 전자박스 총 무게 : 2-5kg -추정 연속전력 : 6W	-연속 10-100Mbits/d ay
레이저 측정반사 경 (Laser Reflector)	-반사경 배열판은 지구가 보이는 방향으로 설치	-반사배열판 최소 크기는 10cm임	-무게 : 1kg -전개 하드웨어장치 : 1kg	-특이사항 없음

2. 미국의 ILN Anchor Nodes 설계

미국의 ILN Anchor Nodes 임수 수행을 위한 착륙선으로는 원자력 열전지인 ASRG(Advanced Stirling Radioisotope Generator)를 사용하는 모델과 태양전지를

사용하는 모델 등 2가지의 다른 방식이 검토 되고 있다.

이 두 가지 방식에서 공통적으로 높은 비추력을 갖는 이원추진제를 사용하고, 달 표면의 온도환경에 해당하는 100°K에서 390°K의 온도에서 견딜 수 있도록 방열판과 히트파이프를 같이 사용하는 열제어 구조를 사용한다. 또한 탑재 컴퓨터로는 LEON 프로세서와 8Gbit의 데이터 저장용 메모리를 사용하며 무게 및 전력소모량을 줄이기 위하여 전력분배와 인터페이스 보드를 동일 패키지에 내장한다.

설계 시 각 부품의 무게는 추정된 무게에 최소 30% 이상의 여유를 더하여 구조, 추진계 설계 및 발사 중량 검토 시에 사용한다.

착륙 정확도는 ILN의 과학 임무가 정확한 착륙지점에서의 착륙을 요구하는 것이 아니어서 목표 착륙지점에서 10km 범위의 착륙을 허용하는 설계를 수행하였다. 그러나 좀 더 정확한 착륙 정확도를 필요로 하는 임무가 주어지는 경우 NASA에서 개발하고있는 자동 정밀 착륙 및 장애물 회피기술(ALHAT) 등을 추가할 수 있다.

착륙선의 임무 기간은 6년이다.

가. ASRG를 사용하는 달 착륙선

ASRG를 전원으로 사용하는 달 착륙선 모델은 탑재체 23kg을 포함한 건조 질량의 추정치가 155kg 이다. ASRG의 전체 용량을 사용하는 형태로 설계되어 100W의 전력을 공급할 수 있어서 이 전원을 순항 및 착륙 단계에서도 사용할 예정이다.

그림 5.4은 ASRG를 적용한 달 착륙선의 형상이다.

NASA에서 제안한 ILN 임무 수행을 위해서는 4기의 달 착륙선이 동시에 작동될 필요가 있으며 이를 위하여 그림 12와 같이 Atlas V 401 EELV 발사체에 4개의 착륙선을 함께 탑재하여 동시에 발사할 수 있는 형태를 고려하였다.

표 5.5는 ASRG를 사용하는 달 착륙선의 주요 설계 사양을 정리한 것이다.[19]

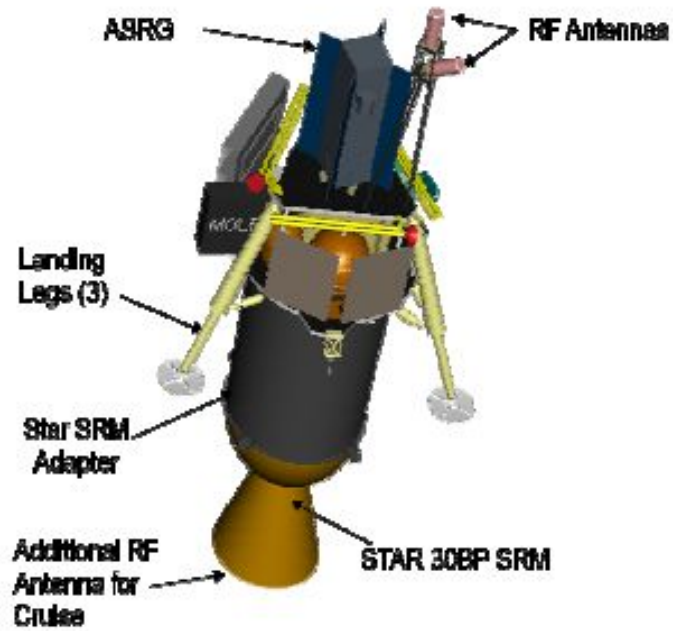


그림 5.4 SRG 적용 달 착륙선 형상

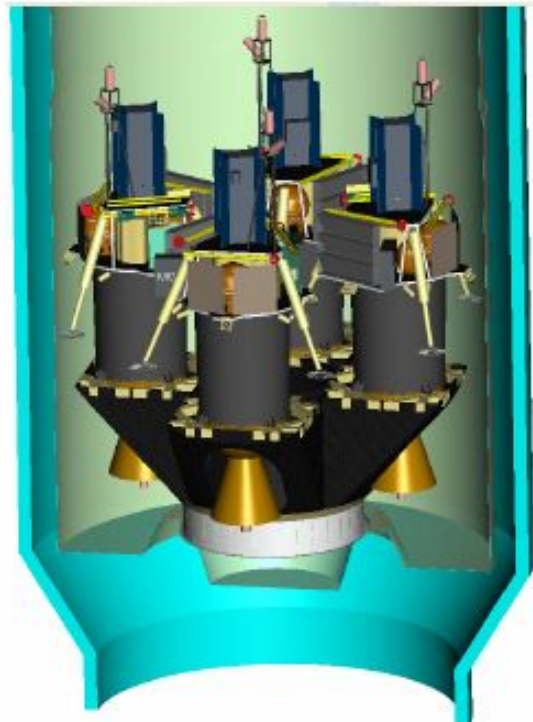


그림 5.5 SRG 적용 달 착륙선을 ATLAS V 발사체에 탑재한 형상

ASRG를 사용하는 달 착륙선은 ILN 임무 외에 동일한 버스 구조를 이용하여 영구적으로 그늘에 가리어지는 크레이터나 태양 빛의 이용이 어려운 다른 지역에

서의 임무를 위하여 사용될 수도 있다.

나. 태양전지를 사용하는 달 착륙선

태양전지를 사용하는 달 착륙선 모델의 경우 탑재체 19kg을 포함한 건조중량이 265kg으로 ASRG를 사용하는 달 착륙선 모델 보다 무겁다.

그림 5.6은 태양전지를 사용하는 달 착륙선 형상이다. 그림 5.7는 이 착륙선을 Falcon 9 Block 2B 발사체를 사용하여 2개를 동시에 발사할 수 있도록 탑재한 형상이다. Falcon 9 Block 2B 는 SpaceX에서 개발되고 있는 발사비용이 저렴한 발사체로 달 착륙선 설계 시 경제적인 발사를 위하여 이 발사체에 탑재가 가능하도록 착륙선의 무게를 제한하였다.

표 5.5 ASRG 적용 달 착륙선의 주요 설계 사양

구분	설계 사양
전력계	<ul style="list-style-type: none"> - ASRG를 주전원으로 사용 - 전력계용 전자회로 사용 - 1차전지 사용
추진계	<ul style="list-style-type: none"> - 이원 추진계 - 444N의 축방향 기동용 추력기(3개) - 26N의 자세제어용 추력기(6개) - 2개의 격막구조의 탱크
Avionics	- 탑재컴퓨터와 전력분배기(PDU) 통합 패키지
RF	<ul style="list-style-type: none"> - S-밴드 - 1W 송신전력 - 달 전면부에서의 운용을 위한 안테나 커버리지
유도항법제어	<ul style="list-style-type: none"> - 별 추적기(듀얼 헤드) - 관성항법 장치(IMU) - 레이저 고도계 - 착륙 카메라(2개)
구조계	- 복합재료를 사용한 1차 구조

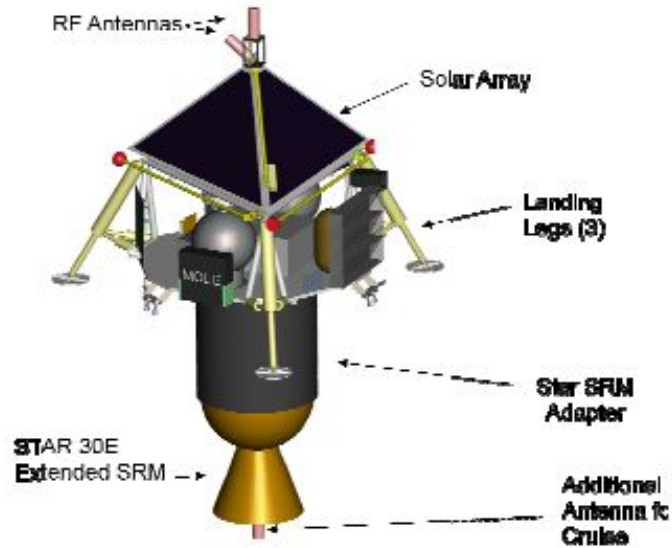


그림 5.6 SRG 적용 달 착륙선을 ATLAS V 발사체에 탑재한 형상



그림 5.7 태양전지 적용 달 착륙선을 Falcon 9 발사체에 탑재한 형상

표 5.6는 태양전지를 사용하는 달 착륙선의 주요 설계 사양을 정리한 것이다.

표 5.6 태양전지 적용 달 착륙선의 주요 설계 사양

구분	설계 사양
전력계	- 순항 및 달의 낮 기간 동안은 태양전지판을 사용 - 밤 기간에는 2차전지를 사용 - 전력계용 전자회로 사용
추진계	- 이원 추진제 - 444N의 축방향 기동 및 자세 제어용 추력기(6개) - 26N의 자세제어용 추력기(6개) - 2개의 격막구조의 탱크
Avionics	- 탑재컴퓨터와 전력분배기(PDU) 통합 패키지
RF	- S-밴드 - 1W 송신전력 - 달 전면부나 후면부에서의 운용을 위한 안테나 커버리지
유도항법제어	- 별 추적기(듀얼 헤드) - 관성항법 장치(IMU) - 레이저 고도계 - 착륙 카메라(2개)
구조계	- 복합재료를 사용한 1차 구조

태양전지를 사용하는 달 착륙선이 ASRG를 사용하는 경우보다 무거운 주된 이유는 15.5일 정도 되는 달에서의 밤 기간 동안 작동하고 생존하기 위한 전원을 공급하기 위한 대용량의 배터리 무게 때문이다.

ILN의 임무외에

- 임무 수행기간이 짧은(14일 이하) 경우
- 낮 기간 동안에만 작동을 하고 밤 동안에는 방사성열원 (RHU)을 사용하여 생존하는 경우
- 달의 극지역 임무와 같이 지속적으로 낮이 유지되는 지역에서의 임무의 경우와 같이 배터리를 사용하는 임무 수행의 시간이 짧은 경우, 동일한 버스 구조하에서도 배터리 무게를 줄이고 대신 탑재체의 무게를 증가 시켜서 사용할 수도 있다.

제 3 절 ILN 추진경위 및 추진체계

1. ILN 추진경위

○ 미국 NASA는 아폴로 11호 이후 1969년부터 1972년까지 아폴로 (12, 14, 15, 16, 17호) 우주비행사들에게 월면에 5기 과학관측기기 패키지(ALSEP: Apollo Lunar Surface Experiments Package)를 설치하여 지진파 및 지열유동, 자기장, 태양풍 측정, 초열 이온검출, 레이저반사경 관측 등의 달 과학 관측임무를 수행하였음

○ 이후, 국가아카데미 소속 국가연구위원회(NRC: National Research Council)에서는 '달탐사 과학적 배경 보고서(The Scientific Context for Exploration of the Moon (2007))'에서 달은 과학적으로 매우 중요한 가치가 있으며, 향후 달 전체의 활발한 과학적 탐사를 위해서는 국제협력이 필요하다고 주장함

또한 달 표면에 4~8개의 지진 모니터링 네트워크를 설치할 것을 강력하게 제안하였고 2007 글로벌 탐사 전략 보고서(2007 Global Exploration Strategy)에서도 국제협력의 필요성을 역설함

위와 같이 달의 과학적 탐사분야가 매우 광범위하기 때문에 미국 단독으로 진행하기보다 적극적인 국제협력을 통해 진행해야 된다는 인식이 싹트기 시작하였음

○ NASA 과학임무국(SMD: Science Mission Directorate)은 달의 과학적 탐구 및 유인 달 탐사를 위한 달 탐사선(robotic mission) 사업예산으로 2009년부터 2011년까지 연간 \$60M(약 610억원) 그리고 2012년부터는 연간 \$70M(약 712억원)의 예산을 확보하였음

- 1단계 사업으로 소형 대기환경관측(atmospheric/dust) 궤도선 LADEE(Lunar Atmosphere & Dust Environment Explorer)를 2011년에 발사하고 2단계 사업으로는 2014년에 소형 지표탐사(geophysical network) 착륙선 2기를 발사할 계획을 수립
- 이 사업들과 병행하여 향후 각국에서 추진 예정 중인 달 탐사사업들을 조율해서 ILN을 구축하고 이를 통해 보다 효율적인 공동 달 탐사를 추진하기 위해 ILN을 제안할 계획을 수립함

○ 2008년 3월 12일 NASA에서는 한국을 포함한 8개국 우주 관련 연구기관 및 우주국(Space Agency)들을 미국 휴스턴에 위치한 달 및 행성연구소(LPI; Lunar and Planetary Institute)에 초청하여 국제 달 탐사 네트워크(ILN: International Lunar Network)라는 새로운 달 탐사 협력 사업을 소개하였음

- 2008년 4월 30일, 6월 9일에 2차례 Teleconference를 통해 working group을 구성하였고, 참여의향서 내용을 검토하였음

○ ILN은 ALSEP 의 1세대 달 탐사 네트워크(1st generation Lunar Network) 대비 2세대 달 탐사 네트워크(2nd generation Lunar Network)의 성격을 띠며, 또한 미국뿐만 아니라 참여를 희망하는 다른 나라들과 함께 달 과학 임무를 수행하며, 공동 탐재체의 관측자료를 공유하게 될 것임

○ 2008년 7월 24일에는 미국, 영국, 일본, 독일, 프랑스, 캐나다, 인도, 이탈리아, 한국 총 9개국 우주기관이 참여의향서에 서명하였음

○ 2009년 3월 13일 일본 요코하마에서 열린 ILN 총괄회의에서 2016년 자국의 착륙선 4기의 달 앞면에 착륙시킬 것을 발표

- 일본 등 ILN 참여국은 자국의 달탐사 계획을 ILN과 연계하여 추진할 것을 발표

○ 추진일정

- 2007.~ : 미국내 ILN 필요성 제기

- 2008. 3. 12. : NASA는 8개국 우주기관을 초청, ILN사업에 대한 소개 및 참여 제안

- 2008. 7. 24. : 한국항공우주연구원을 포함, 9개국* 우주기관들이 각국을 대표하여 ILN 참여의향서 서명

※ 미국(NASA), 이탈리아(ASI), 영국(BNSC), 캐나다(CSA), 프랑스(CNES), 일본(JAXA), 독일(DLR), 인도(ISRO), 대한민국(KARI)

- 2008. 7~ : Working Group 1(공동탐재체), WG2(통신), WG4(기술) 구성 및 운영

- 2009. 3.13 : 일본 요코하마에서 ILN 총괄회의 개최
미국, 2016년 자국의 착륙선 4기의 달 앞면에 착륙시킬 계획 발표
- 2016~ : 국제 달 탐사 네트워크 형성

2. ILN 참여국의 추진체계

○ 2008년 7월 24일 ILN 참여의향서에 서명한 NASA를 비롯한 미국, 영국, 일본, 독일, 프랑스, 캐나다, 인도, 이탈리아, 한국, 총 9개국 우주기관 대표들이 SG(Steering Group)을 구성하고 원격회의 및 대면회의를 개최하여 전체적인 총괄 사항을 논의하고 결정하였음

○ 또한 NASA는 2008년 7월 이후 자세한 ILN 추진방안을 검토하기 위해 세부 분야별로 탐재체, 통신, 착륙지, 기술과 관련된 총 4개의 WG(Working Group)을 구성하였고, 2009년 3월 13일까지 WG1(공동탐재체), WG2(통신), WG4(기술)의 WG을 구성하여 운영하였음. WG3(착륙지)는 공동탐재체가 결정된 2009년 3월 13일 이후 구성 및 운영을 논의하기 시작함

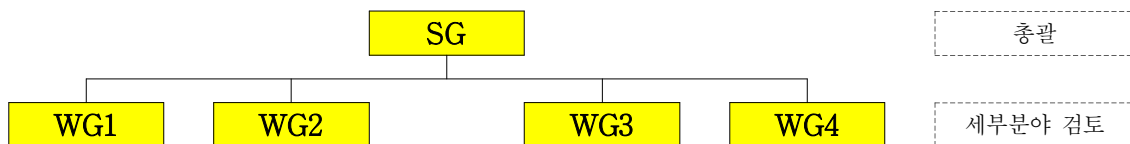


그림 5.8 ILN 추진 체계

표 5.7 ILN WG 구분

	WG 명칭	WG 목적	운영기간
1	Core Instrument (탐재체)	관측이 필요한 달과학 요소의 조사 및 이를 위한 탐재체 선정	'08.7~12
2	Communications (통신)	ILN 구축/운용에 필요한 통신표준 수립 및 국제표준에 반영	'08.7~12
3	Site Selection (착륙지)	선정된 관측 요소에 적합한 달 착륙지점 조사 및 선정	'09.1~
4	Enabling Technology (기술)	ILN 구축/운용에 필요한 주요기술 검토 (원자력 전지-RTG 등)	'08.8~'09.3
-	(이후에 추가 가능)	-	

○ SG(총괄회의)

- ILN 운영의 총괄적인 사항을 논의하는 회의로 ILN 참여제안, 참여의향서서명, 공동탐재체 결정 및 향후 일정 논의 등이 회의 의제로 다루어짐

○ WG1(탐재체)

- 각 국 착륙선에 공동으로 탑재되어 달 탐사를 네트워크를 이루어 추진할 관측기기의 집합을 논의

○ WG2(통신)

- 각 나라 별로 ILN에 제공할 수 있는 있는 통신위성, 안테나 등 통신 장비와 달과 지구간 레이저 통신 및 달 통신 시나리오 등에 관한 사항 논의

○ WG3(착륙지)

- 선정된 관측 요소에 적합한 달 착륙지점 조사 및 선정을 위한 WG으로 공동 탐재체의 선정 후('09.3월) 가동 예정

○ WG4(기술)

- RTG(Radio Isotopic Generator)등 enabling technology의 구현가능 방안 논의

제 4 절 ILN 참여국의 추진현황

○ ILN 참여국가는 미국, 영국, 독일, 이탈리아, 캐나다, 일본, EU, 인도, 러시아, 대한민국이며, 현재까지 계획된 각국의 달탐사 계획은 아래와 같음

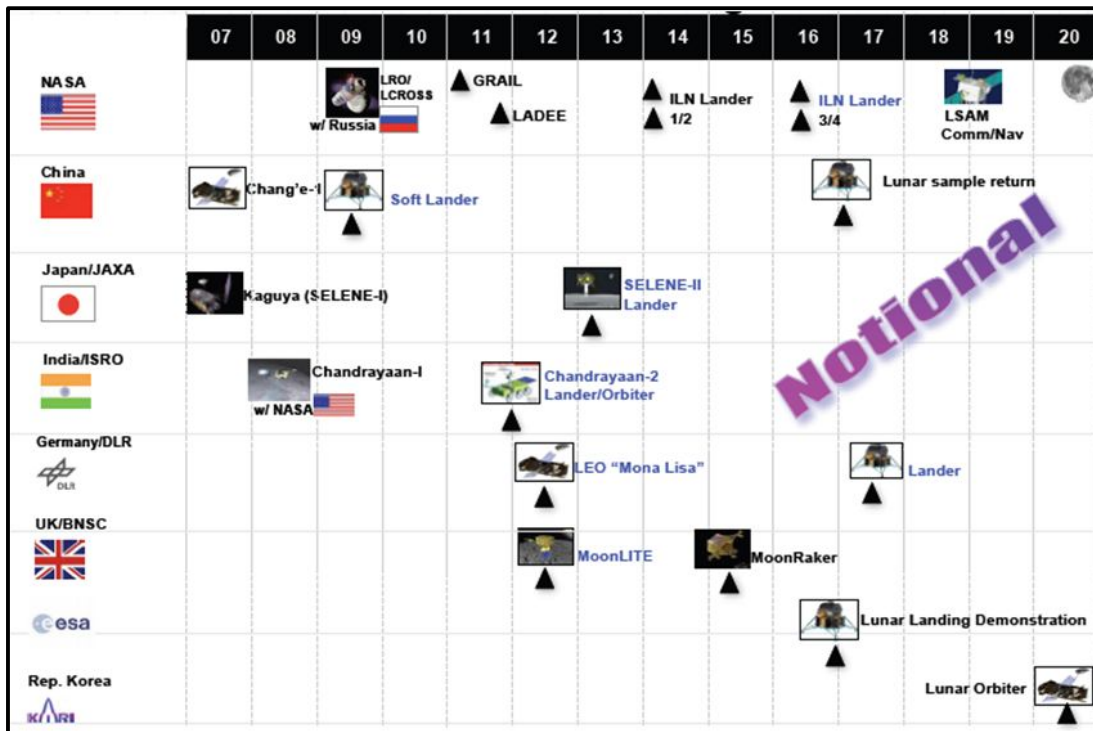


그림 5.9 각국의 달탐사 계획

1. 미국 (NASA)

가. 미국에서 ILN의 위상

○ ILN 은 NASA SMD(Science Mission Directorate) 주도의 달 탐사 Mission의 일부이며, 과학 관측 결과는 ESMD(Exploration Systems Mission Directorate)와 SOMD(Space Operations Mission Directorate)에 제공하게 됨

○ 전체 총괄 기관은 NASA Marshall Space Flight Center(MSFC)과 탑재체는 Johns Hopkins 대학의 Applied Physics Lab(APL)이 주관기관임

○ 미국은 초기에 2013/14 년에 달 극지방에 2기의 착륙선을 발사하고 2016/17 년에 2기의 착륙선을 추가 발사 예정이었으나 2009년 3월 일본 요코하마 총괄회의에서 2016년 달 앞면에 4기의 착륙선을 발사할 것으로 계획 변경

나. 미국 ILN 착륙선 주요 사양

- 임무수명 : 최소 6년
- 발사시 중량 : 1250 kg(중형급 발사체 이용시), 400kg(소형급 발사체 이용시)
- 예산 : 2억 달러(NASA)
- 주관기관 : 미국 NASA Marshall Space Flight Center (MSFC)

미국 John's Hopkins 대학 Applied Physics Laboratory (APL)

- 설계 개념
 - 달 표면 임무수행을 위한 전력량 최소화
 - 발사중량 최소화
 - 비용 최소화
- 달 환경 요구조건
 - 14일 동안 낮/15.5일 동안 밤 사이클
 - 방사능 수준 : 2 krad/년(달 표면) + 12 krad/년(방사능 전력계)
- 달 전이궤도 투입방식 : 직접궤도투입방식 또는 WBS 방식
- 착륙지 후보
 - EAST(Lat 45, Lon 70), WEST(Lat -5, Lon -64)
 - WEST Farside1(남위 37.95o, 서경 127.2o), WEST Farside2(북위 27.95o, 서경 123.4o)

다. ILN 착륙선 본체 설계사양 및 요구조건

- 구조계
 - Sandwich Panels CFRP facesheets over AL Honeycomb core
 - 3 landing legs tripods : AL Honeycomb energy absorbers 포함
- 추진계 : 이원추진제시스템 + 고체로켓모터 복합형
 - 3EA KEW-4(100 lbf) 추력기

- 6EA KEW-7(6 lbf) 추력기
- 고체역추진 로켓모터 (SRM braking burn)
- 전력계
 - 요구전력 : 70W(임무초기 기준)
 - 1/2 ASRG(Advanced Stirling Radioisotope Generator)
- Avionics
 - 60 MIPS LEON3cpu + 8Gb Solid State Recorder
- 항법제어계
 - 3축제어방식
 - 단계별 항법제어 (궤적수정기동단계, SRM 역추진단계, 최종 착륙단계)
 - 착륙목표지점 정확도 : 10km
- 통신계
 - S-대역 링크 (중간이득 안테나)
 - 심우주네트워크(DSN) 안테나 이용 (18m, 34m)
 - 2개의 저이득 Near-Hemispherical 방식 안테나 (천이 궤도 단계용)




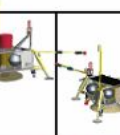
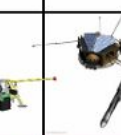


Basic Lander Type	Soft Landers					Hard Lander	
Architecture							
Science Objectives	Baseline	1/2 Floor	Floor	Baseline	Baseline	Baseline	Floor
Launch Mass (kg) / LV class	1250/Medium	403/Small	2680/Med-Large	2680 Med-Large	2680 Med-Large	2680 Med-Large	2680 Med-Large
Trajectory Approach	Direct	Direct	Direct	Direct	Direct	Direct	Direct
Landers / launch	2	1	2	2	2	2	2
Power source	1/2 ASRG	1/2 ASRG	1/2 ASRG	1/2 ASRG	Battery/SA	Battery/SA	Battery/SA
Braking Solid Propulsion	Star 27H	Star 24C	Star 30E	Star 30E	Star 30E	Star 37XFP	Star 30C
Landing Propulsion	MMH/NTO	MMH/NTO	MMH/NTO	MMH/NTO	MMH/NTO	N2H4	N2H4
Landed Payload (kg)*	12.6	6	6	12.6	12.6	13 + 2	7
Additional Payload Capacity (kg)	13	0	52	45	0	0	297
Landed Mass (kg)	150	115	254	244	330	365 + 22.5	324

그림 5.10 착륙방식에 따른 착륙선 형태 Trade-Off Study

라. ILN 착륙선 탑재체 설계사양 및 요구조건

○ 기본 요구조건

- 총중량 : 25 ~ 50kg
- 전력 : 1W 연속, 2W peak
- G-load : 40g
- Data Rate : 100 Mbits / Earth day
- 탑재체로 LGIP(Lunar Geophysical Instrument Package, 지진계, 지열측정계, 자장계 포함)가 후보로 논의되고 있으며 최종적으로 2009년 상반기에 확정될 예정

표 5.8 달 탐사 탑재체 사양

탑재체	용도	중량 (kg)	데이터 전송속도 Mb/일	요구전력(W)
광대역 지진계	달 내부구조 연구	6.5	100	2.6
지열측정계	달 지열 측정	2	10	5.7(최대)
전자기파 탐지기	전자기파 탐지	3.4	25	6.1(운용시)
레이저 반사경	레이저기반 거리 측정	0.6	0	0

마. 미국의 ILN 추진 현황

○ 미국은 전체 WG 지원과 NASA 자체 개발을 위해 SDT (Science Definition Team) 과 MSFC/APL ILN EDT(Engineering Definition Team) 을 별도로 조직, 운영 중임. 또한, Pre-Phase A Study (Conceptual Designs & Study)를 완료한 후 MSFC, APL, JPL, ARC, DOD를 주축으로 3개의 개념 설계팀을 구성하였음

- Team1: Mission Design Concepts for Soft Landing Capability
- Team2: Mission Design Concepts for Hard Lander (penetrators)
- Team3: Inter-center Concept Evaluation Team for existing H/W

○ 2008. 7월 획득전략(Acquisition Strategy)을 심사했으며 ILN 예비 설계를 위한 RFI 공고를 통한 업체 계약 추진 (2008. 4. 28).

- 2009년 6월에 임무개념설계검토회의(MCR, Mission Concept Review) 개최예정
- 4기의 ILN 착륙선(수명 6년, 원자력전지 사용)을 1기의 Atlas-V에 동시 발사하여 달 전면에만 배치하기로 확정

2. 일본(JAXA)

자체 달 탐사 프로그램인 SELENE-2 달 탐사선을 ILN참여와 연계하는 계획을 추진 중에 있음

가. SELENE-2 개요

- 주요 임무목적은 고 정밀 착륙기술, 달 표면 기동성, 야간생존기술 등 미래 우주탐사를 위한 핵심기술의 개발이며, 이를 통한 과학 및 미래 달 자원 활용을 위한 현장 관측, 즉 In-situ 기술 구현 및 탐사임
 - 또한 ILN 참여, 타국 탑재체 공유, HDTV(TBD), 대학제작 소형위성(TBD) 개발 등을 통한 국제 달 탐사 활동에 기여 및 대중의 관심 추구도 목적 중의 하나임
- 1톤급 착륙선 1기, 로버 1기, 통신릴레이 궤도선 1기로 구성 (착륙선 2기 방안도 연구 중)
 - 야간생존을 위한 Fuel-Cell Battery 개발과 극지방에서의 전력생산을 위한 Extendable Solar Cell Tower를 연구를 병행 중이며, 레이저 고도계, 항법용 영상센서, 착륙용 레이더를 이용한 고 정밀 착륙기술 개발 중임. 또한 장애물 탐지용 Laser Scanning 센서도 연구 중임.
- 과학탑재체 후보군
 - 지질관측을 위하여 다중채널 파노라믹 카메라, X선/감마선/적외선 분광계, 레이더 Sounder등이 고려되고 있으며, 지구물리학 관측을 위하여는 지진계, 지열 계측기, 자장계, 레이저 반사경, 달 운동 관측용 극 천저 망원경 등이 거론되고 있음
- 일본은 착륙지점 선정에 따른 Trade-Off와 위성형상의 최적화를 논의 중 (극지방의 준 영구 sunlit 영역이 후보지역중 하나) 이며, 2011-2012년과 2012-2013년 H-2A 또는 H-2B 발사체로 발사하여 운용할 계획임

나. ILN 참여방안

○ SELENE-2 계획은 본래는 ILN과 무관하였으나 ILN Program이 SELENE-2의 본래 임무목적 중 하나인 국제협력과 부합하므로 일본측은 적극적으로 참여하고 있음

다. SELENE-2 와 ILN의 기술 분석

○ 논의 중인 탑재체 후보군과 개발 중인 주요 기술도 WG1(탑재체), WG2(통신), WG4(Enabling Technology)에서 다루어지는 기술과 대부분 공동되므로 적극적으로 참여 중임

- 탑재체 후보군에 WG1에 의해 제안중인 공동 탑재체 모두 포함
- 통신 릴레이 궤도선도 기본계획의 구성에 포함됨
- 장기간 생존하는 Fuel Cell Type 전력계의 개발이 진행 중이나 Space Heritage는 없는 것으로 판단되며 한편 미국주도의 원자력기반 전력계가 표준이 되는 것을 원치 않음

3. 유럽(ESA)

가. MoonNEXT 개요 및 목적

○ ESA는 화성탐사 프로그램인 ExoMars (2013)와 MSR (2020)의 행성탐사 Gap을 보충하기 위한 NEXT (Next Exploration Science & Technology Mission) 프로그램의 일환으로 선정하였음

○ Mission Objectives

- 주 목적은 화성탐사선 MSR을 위한 정밀 장애물회피 연착륙 기술 개발이며, 달 표면 현지에서의 과학활동 수행과 기동성을 갖는 것이 목표임

○ Science Objectives

- 달 지질물리학 분야에서는 달의 기원, 내부구조, 진화연구, 달 지질화학 및 광물학 분야에서는 달 남극지방 분지 조사(Aitken Basin), 달 남극지방 환경 분야에서는 방사능, 먼지, 미소운석 충돌, 자장분포 연구 등임
- 달 표면에서의 전파천문학분야도 주요 연구분야이며, In-situ 기술검증분야에서는 미래 탐사가능성을 대비하여 Life Support System과 Fuel Cell을 시험할 것임

○ Mission Architecture

- 착륙선 1기(100kg 탑재체+로버, TBC)와 로버(20km range) 1기로 구성
- 발사목표시기 : 2015-2018
- 발사체(기준) : Soyuz-SM
- 착륙정밀도 : 500m
- 임무수명 : 1년 (달 남극지방 기준)

○ 예상 탑재체

- 다중스펙트럼 영상시스템
- 광대역 단기 지진계
- 지열 측정계
- 알파입자 X선 분광계
- 먼지, 미소운석 탐지 및 분석기
- 방사능 탐지기
- 저주파 전파탐지기
- 레이저 반사경
- 생명과학 실험장치

○ ILN 참여방안

- SDT가 구성되어 ILN의 과학목적과 공동탑재체를 논의 중이며, Phase-A 연구수행(12개월)을 위한 3개 콘소시엄을 Thales Alenia Space(France), Astrium ST (Bremen), OHB로 구성하였음. 달탐사를 미국 NASA와 GES와 ILN 협력을 위한 방안으로 고려중임

4. 영국 (BNSC)

가. MoonLITE 개요

극궤도선에서 투하되어 달표면에 충돌하는 복합 소형 충돌기 (Micro-Penetrator)가 장착되어 있음. 이 충돌기는 Far-Side와 Near-Side 양쪽에 투하되며 달표면 현장에서 지질물리와 화학을 연구하는 것이 목적임. 2010년 발사를 목표로 하고 있음

나. MoonRaker 개요

소형 착륙선으로 준 경착륙 및 연착륙을 목표로 하고 있으며 달의 북쪽 Nearside에서 지질물리와 화학연구가 목적임. 1km 주행능력을 가진 소형 로버가 탑재되어 있으며 2013년 인도의 PSLV 발사체로 발사될 예정임

다. ILN 참여방안

MoonLITE에 탑재하는 충돌기를 이용하여 ILN 참여 의사를 밝힌 바 있으며, MoonRaker 계획이 구체화되면 이를 기반으로 ILN 참여방안을 구체화 할 가능성이 있음. 미국과의 우주탐사협력협정을 통해 구체적 기술협력기반을 마련할 계획이며, 관련 기술과 장비의 수출허가를 요청할 것으로 알려져 있음

5. 캐나다 (CSA)

ILN을 위한 별도의 착륙선 계획은 현재로는 언급한 바 없으며, 2008년 8월 캐나다 우주청 CSA가 우주탐사(달 탐사 포함) 관련한 9개의 RFP를 공모하였음



그림 5.11 캐나다 탐사 로버
상상도

6. 독일 (DLR)

가. ILN 참여 방안

- ILN 프로그램에 탑재체 개발 및 제공의 방식으로 참여할 계획임

나. ILN 참여 위한 개발 가능 탑재체

- Heat Flow and Physical Properties Package HP3
- Panoramic Camera PanCam
- Laser Induced Plasma Breakdown Spectrometer (LIBS)
- TRL 토양 굴착기 (ExoMars 용으로 개발하고 있음)

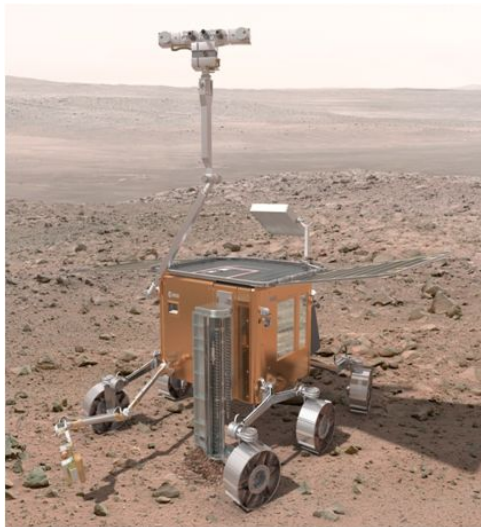


그림 5.12 착륙 로버 상상도와

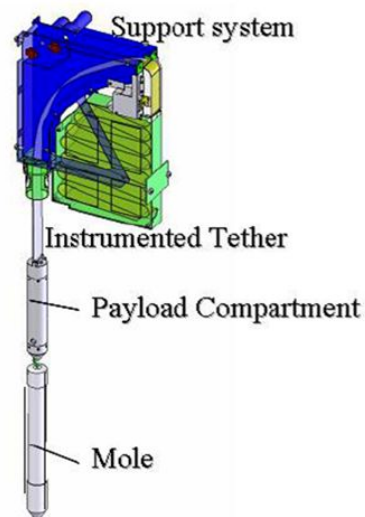


그림 5.13 H3 탐침기
이탈리아 (ASI)

7. 이탈리아

가. ILN 참여 방안

현재 자국에서 진행 중인 Laser retro-reflector payload를 ILN의 공동 탑재체로 제안하고 있음

나. 과학적 관심사

이탈리아는 상대성 이론 연구에 국제적으로 명성이 높고 관심이 크므로 상대성 이론 (General Relativity) 이론에 대한 정밀 실험, 상대성 이론을 넘어서는 새로운 이론에 대한 실험, Quantum Gravity and Unification of the four interaction, 차세대 Lunar Laser Ranging 을 통한 실험을 계획하고 있음

다. 우주탐사 기술개발 경험

- ASI-MLRO (Matera Laser Ranging Observatory)
- ILRS (International Laser Ranging Service)의 데이터 분석 주요 기관
- 달표면에 탑재체를 설치하기 위한 Robotics
- Thermal sensors, heat pipes

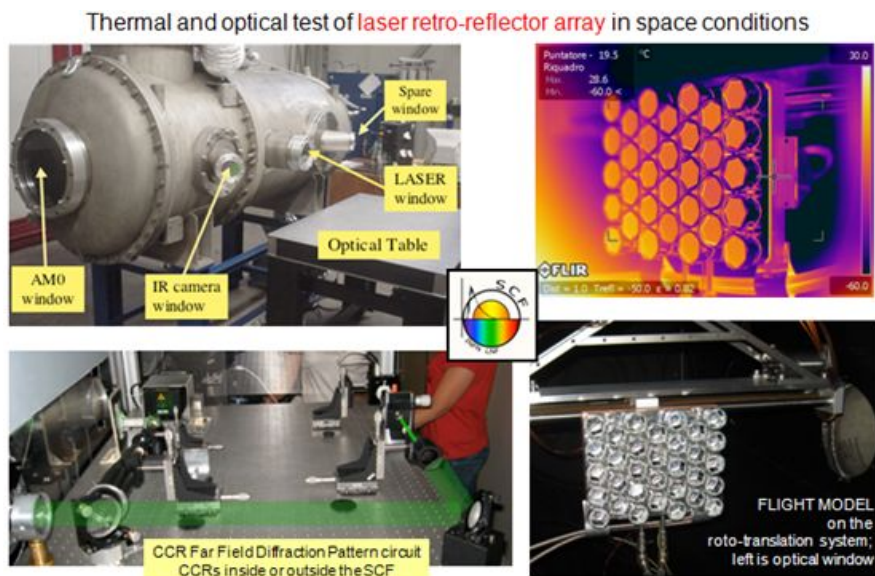


그림 5.14 레이저 반사경 시험

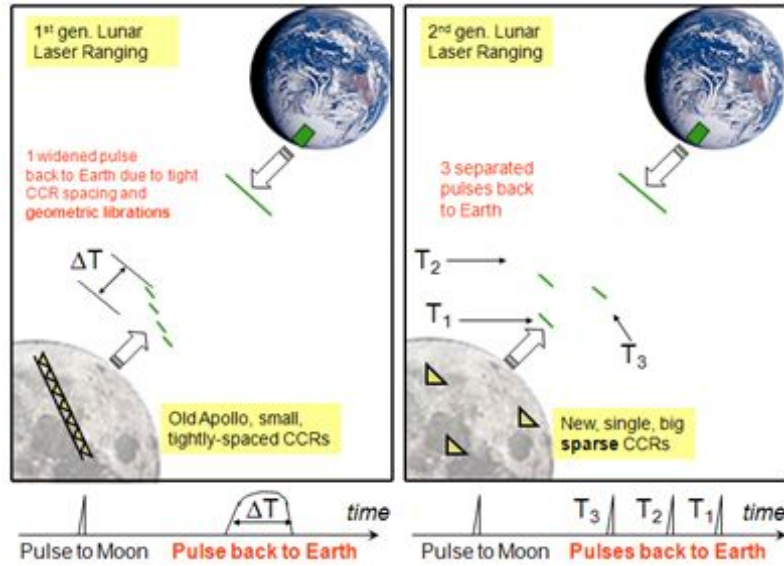


그림 5.15 레이저 측정거리를 이용한 이론 시험원리

8. 프랑스 (CNES/iPGP)

가. ILN 참여 방안

○ 프랑스는 지진계 개발에 관심을 가지고 있으며, 구체적인 ILN 참여방안 보다 화성 탐사를 중점적으로 수행하면서 화성 탐사를 위해 개발되었던 장비 및 탑재체를 달 탐사에 활용할 계획임

○ 화성 탐사 ExoMars의 광대역 (VBB) 지진계를 달탐사 착륙선 (Lander)에 활용하는 것과, 화성 탐사용 분광계 LIBS를 달 탐사 로버 (Rover)에 활용하는 것을 계획하고 있음

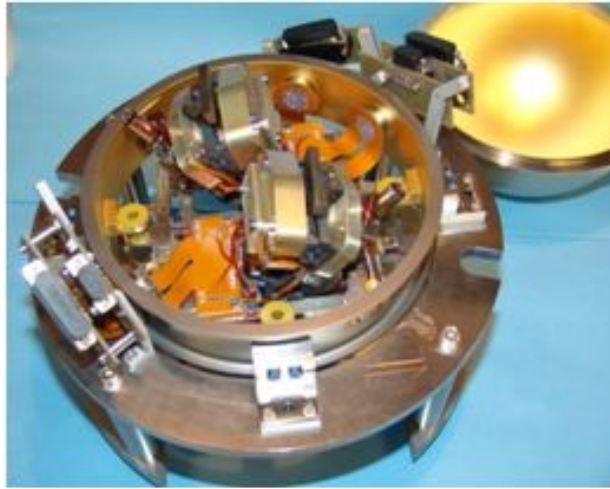


그림 5.16 프랑스 광대역 (VBB) 지진계

9. 인도 (ISRO)

현재까지 구체적인 ILN 참여 계획은 없으며, 독자 달 탐사 위성 Chandrayaan-1을 2008년 10월 발사하여 운영 중인데, 이 탐사위성에는 외국의 탑재체가 다수 탑재되어 있음

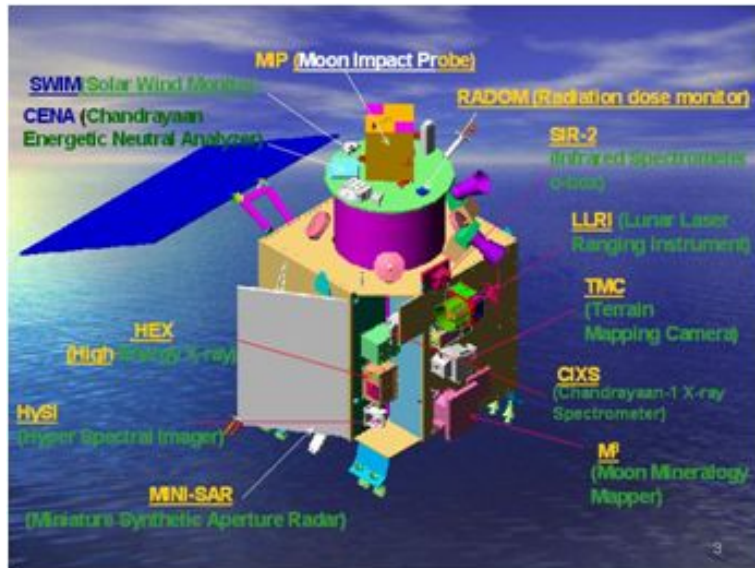


그림 5.17 찬드라얀-1 호 구성도

제 5 절 ILN WG 활동 현황

1. WG1(탐재체)

가. WG1(Core Instrument) 개요

- 참가국(총 9개국)
 - 캐나다, 프랑스, 독일, 영국, 인도, 이탈리아, 일본, 미국, 한국
- 조직(WG#1:탐재체, WG#2:통신, WG#3:착륙지선정, WG#4:기술)
 - WG#1 Chair : Dr. Tom Morgan(미국) / Dr. Satoshi Tanaka(JAXA)
 - 한국측 CP : 최기혁 팀장(정, 항우연), 최영준 박사(부, 천문연)
- 활동 목표
 - 달탐사 착륙선에 설치할 공동 탐재체 선정

나. WG1 진행 연혁

- '08. 7 : NASA Ames 연구소에서 각 나라가 희망하는 과학탐사 내용과 탐재체 발표
- '08. 9 : San Diego에서 회의 개최. 공동탐재체 검토를 위한 Spreadsheet 작성
- '09. 2 : 공동탐재체 WG White Paper 초안 작성
- '09. 3 : 일본 요코하마에서 face-to-face meeting 수행

다. WG1 결과물

- WG1 Terms of Reference
- NASA가 작성한 공동 탐재체의 Science와 운용 그리고 요구조건 표

표 5.9 ILN 공동 탑재체 및 요구 사양

탑재체	관련 Science & 운용	요구사항
광대역 지진계 (VBB Seismometer)	현재 달의 지진상태와 달 내부구조 파악, 최소 4 곳에서 6년간 운영, 각 착륙선의 센서간 5ms의 시간 정확도, 3축 광역 방식	<ul style="list-style-type: none"> 차단 고주파; 20 Hz. 감도; [0.001-0.1 Hz] 10-11m/s [0.1-1 Hz] 2x 10-11m/s [1-20Hz] 10-9m/s. 열안정도; +/- 5deg 무게; 6 kg, 전원; Power 2 W(최대), and 1 W(연속), and 0.2 W (최저). 보온전력 필요가능성 자료전송량; 100Mb/day
굴착지열측정계 (Heat Flow Meter)	달의 지열구조 및 열적 진화 파악, 3m 깊이로 굴착, 2년간 연속 운용	<ul style="list-style-type: none"> 열센서 정확도; 0.05-0.001 K. 최소 30cm 간격으로 9개 센서 필요 열센서 무게; 각 10g. 전력; 0.2 W/각 센서 굴착기 무게; 2 kg, 전력; 5 w. 자료전송량; 수 kb/day
전자기파 탐사계 (EM Sounding)	달표면의 전자기장을 측정하여 달내부의 전기 전도도 측정, 달내부 온도와 구성, 각각의 자기화 정도 파악, 공간의 플라즈마 환경 측정, 1년간 연속 운용, 센서는 본체와 2m 격리	<ul style="list-style-type: none"> 주파수 범위: DC - 100 Hz. 2개의 3-component 자장계 (10pT/rtHz). 1개의 2-component 전기장계 (100uV/m/rtHz). 1 개의 Langmur 센서 (500 K, 10 e/cm³) 센서, 붐, 전자장비 무게; 2-5 kg 연속 전력; 6 W. 자료전송량; 10~100Mb/day, 연속
레이저 반사계 (Laser Reflector)	달까지의 거리를 현 2cm 정확도에서 mm 정확도로 측정하여 달내부의 구조를 파악하고, 상대성 이론 검증	<ul style="list-style-type: none"> 최소 한면에 10 cm Array 무게; 탑재체 1 kg, 전개장비 1 kg.

라. WG1 향후 진행계획

- '10. 3월 이후 : face-to-face meeting(상반기 중) 수행 결과에 따른 예정

2. WG2(통신)

가. WG2 개요

- 활동 목표: 국제협의를 통한 ILN 심우주 통신 네트워크 협의를 도출
- 조직 및 참가국: 미국, 일본, 프랑스, 이태리, 영국, 캐나다, 독일, 인도, 대한민국

Dr. Takahiro Yamada(JAXA, Japan, Co-Chair) Olivier Bompis(CNES, France), Dr. Hermann Bischl(DLR, Germany), Tomaso deCola(DLR, Germany), Dr. Nicolas Perlot(DLR, Germany), Dr. Peter Allan(BNSC, UK), Loredana Bruca(ASI, Italy), Sang-Il Ahn(KARI,Korea), Dr. Byoung-Sun Lee(ETRI,Korea) Jim Schier(NASA,USA, Chair), L. Sreenivasan(ISRO, India), Brian Morse(NASA, USA)

나. 주요 회의내용 요약

○ WG2 활동(2008년)

- 12 번 전화회의 진행(#1: 2008 08 12, #2: 2008 09 16, #3: 2008 10 07, #4: 2008 11 13, #5: 2008 12 11, #6: 2008 12 16 #7: 2009 01 06, #8: 2009 01 08, #9: 2009 01 21, #10: 2009 01 28, #11: 2009 02 04 #12: 2009 02 06)
- 전화회의를 통해, 각국의 참여방안에 대한 인식을 공유하였고, CCSDS, SFCG, SISG, IOP, IOAG과 같은 외부 국제 표준이나 조직과 ILN 관련 진척상황을 공유하여 협조적 외부여건 구축 상황 공유. ILN 관련 보고서에는 WG에서 확인/도출된 연구 결과를 바탕으로, 주요 권고안을 도출함.

○ WG2 (2009년)

- 일본 요코하마 ILN 종합회의(3월12/13)에서 WG2(통신) '08년도 활동보고서 제출 및 2009년 말까지 WG 활동계획 발표
- “그러나 일본회의 이후, WG 활동계획에 따른 진척은 이루어지지 않았음”

다. 주요 결과물

- ILN Comm WG Report

라. WG2 주요 권고안

- WG에서 확인·도출된 연구 결과를 바탕으로, WG에서는 다음과 같은 주요

권고안을 도출하였음

○ "Recommendations on a Strategy for Space Internetworking"에 기초를 둔 SISG의 구축안의 작성 및 완성에 직접적이며, 적극적인 참여를 함

○ 영국과 미국간의 BNSC-NASA간의 양자간 연구를 통해, BNSC가 제안한 MoonLITE 미션에 대해 ILN에서 사용하고자하는 통신 탑재체를 제공하는 가능성을 확인함

○ ILN의 주파수 사용 권고안 확정을 위해 SFCG's LMSCG와 공동 작업을 향 후에는 수행

○ ILN 임무 지원에서 robotic/human support로의 the lunar communications의 진화 발전방향에 관해 NASA의 Exploration Systems Mission Directorate와 공동 연구를 수행

○ ILN에서 relay 활용은 International Space Exploration Coordination Group (ISECG), 그리고 ILN과 다른 독립적인 달탐사임무를 추구하는 기관들과 논의가 되어야함

○ Core Instrument WG에서 공식 보고서를 받은 즉시, ILN 통신시스템의 요구조건을 만족시킬 수 있는 몇 가지 선택 안을 도출함

- 지속적 연구를 해서 ILN 임무를 수행하기위해 필요한 공통 통신 체계를 밝힘

○ Core Instrument WG에서 확인해준 선택사항을 논의하기위해서, 필요하다면, 우선순위를 갖는 요구조건의 묶음이나 대안을 포함하는 예비 통신 요구조건을 만들

○ 현재 존재한 것 뿐만 아니라 계획되고 있는 모든 CCSDS의 표준안을 연구해서 ILN을 지원하는 데 필요한 어떠한 변화사항이라도 권고하도록 함

- 여기에는 a) ILN 임무를 수행하는데 필요한 최소한 세트의 표준을 구현할 수 있는 능력을 ILN 구성원이 갖추고 있는지를 조사하는 것도 포함함.

b) 최소 표준 세트를 구현하는데 있어 ILN 구성원 시설들이 어떻게 영향을 받는지를 확인 c) ILN 필요조건을 만족시키기 위한 CCSDS 계획안이 있다면, 그것에 대한 기술적, 일정 변화들을 분석

○ NASA에서 작성한 Commercial Lunar Communications and Navigation 연구보고서에 기초해서, 상용 서비스 제공회사의 서비스에 대해 ILN 임무를 위해 어느 정도 활용가능한지를 분석하고 ILN 구성원들은 NASA에서 추진 중인 다음 단계의 Commercial Lunar C&N Study에 모두 다 참여해야함

○ 계속해서 ILN 구성기관이 갖고 있는 지상시설 및 우주자산 정보를 갱신하여

ILN 임무를 위해 활용될 수 있도록 해야 하며, IOAG와 함께, 공동으로 업무 수행하여 각 구성기관이 갖는 제공능력 정보 수치 값을 갱신함

○ ILN 구성기관들이 ILN에 영향을 주거나, 영향을 받는 IOP 결정사항들을 구현하는데 있어 도움을 제공함

- Far-side, 항구적인 그늘지역, 혹은 극지역 크레이터에 위치할 경우의 landing site의 영향분석을 수행하고 릴레이 궤도, 패스지속기간, 재방문주기, 그리고 그에 상응하는 착륙선의 설계에 관한 영향 및 달표면-궤도선간 통신 링크에 관한 영향도 분석

- 타이밍(시각동기)에 대한 요구조건 논의는 이번 WG에서 다루어지지 않았으나, 이런 요구조건에 관한 결정을 위한 연구는 반드시 이루어져야함

- 각 기관간의 상호지원을 위한 상호-운영성을 시험하기 위한 공통 테스트 베드는 유용함에 따라 반드시 그 필요성에 대한 조사-분석이 이루어져야함

○ 착륙위치 선정 WG과의 협력·조정을 통해 통신 요구조건 및 그에 따른 lunar relay의 구축 비용 및 성능을 다시 정리해야함

- 광을 이용한 고속 하향링크는 달 및 다른 행성 탐사를 위한 중요한 enabling technology로 인식이 되어야 하며, 이 분야에 관한 국가간 협력과 표준화 업무를 증진시켜야함

마. WG2 관련 외국의 주요 참여 방안

ILN 통신 WG과 관련하여 참여 가능한 각국의 분야별 내용은 다음과 같음

1) 미국

○ 미국은 ILN에 활용 가능한 지상자산 및 우주자산이 제일 잘 구축된 나라임. 지상자산으로 캘리포니아, 호주, 스페인에 걸쳐 위치한 DSN(Deep Space Network)망이 우선적으로 ILN에 활용될 수 있으며, 노르웨이, 플로리다, 알래스카, 남극에 걸쳐 구축된 NEN(Near Earth Network)망이 위성상태데이터 및 원격 명령어 전송, 궤도 임무를 위한 추적 서비스를 제공할 수 있음

○ NASA의 우주자산은 White Sands Complex (WSC)와 정지 궤도에서 Tracking and Data Relay Satellites (TDRS)의 2가지 요소로 구성되며, WSC는 3개의 시설로, 그중 2개는 뉴멕시코에 위치한 WSGT과 STGT가 있으며, 다른 하나는 괌에 위치한 GRGT이 있음

○ 우주공간에는 최대 6기의 TDRSS가 운영될 수 있음. SN은 통신, 추적 및 시

각보정, 시험 및 링크해석 서비스를 제공할 수 있음

2) 영국

○ 영국의 주요 지상자산으로는 BNSC의 RAL 지상국으로 12미터 관제안테나와 4.5미터 관제/수신안테나가 있으며, 모두 CCSDS를 채택하여, 호환성에 문제가 없음

○ 스코틀랜드의 QinetiQ 지상국은 S, L X 밴드의 데이터 링크를 제공 가능하며, 13m 크기의 안테나를 포함해서 모두 7개의 안테나를 운영하고 있음. 현재 S 밴드 상향링크만을 사용하도록 설정 되어 있지만 X밴드를 사용할 수 있도록 업그레이드가 가능함

○ 우주자산으로는 BNSC에서 제안한 MoonLITE가 있으며, 계획된 임무는 달 궤도 탐사선과 4개의 Penetrator로 구성되어 있음. 이 궤도 탐사선은 달 극지 궤도에 진입하게 되며, 각 penetrator와 지구 사이의 통신 링크를 제공함. 또한 이 궤도 탐사선에서 NASA의 Communications and Navigation 시험이 진행됨

3) 이탈리아

○ 이탈리아의 주요 지상자산은 Center for Space Geodesy "Ginseppe Colombo" (ASI-CGS)와 Sardinia Radio Telescope (SRT)가 대표적임. ASI는 Telespazio "Piero Fanti" Fucino Space Center (FSC) 국가 지상 시스템으로 Telespazio a Finmeccanica/Thales가 소유/관리하고 있음

○ FSC는 370,000 평방미터에 90개의 안테나를 갖고 있으며, 로마로부터 130km 떨어진 지역에 위치하고 있음. FSC는 1963년부터 운용을 시작 했고, 위성 궤도 조정, 통신, TV, 멀티미디어 서비스 등을 하고 있음.

- FSC는 두 개 중의 하나의 Galileo Control Center를 가지고 있으며, ASI는 ESA 멤버십을 통해 지상 시스템 개발에 박차를 가하고 있음
- ASI-CGS와 SRT는 지상 인프라로 ILN agency와의 상호 지원이 가능할 것으로 판단

4) 독일

○ DLR에서는 달에서 지구로의 광학 다운링크를 위하여, 0.5m정도의 광학 망원경을 지상용으로 고려하고 있으며, 현재 Lunar Downlink 요구사항을 만족하는 몇몇 광학 지상국이 DLR에 있음

○ Oberpfaffenhoren에는 0.4미터 지름을 갖는 OGS-OP가 이미 시험이 이루어졌고, 스페인에 위치한 ESA-OGS는 1미터의 크기를 갖으며, 성능 시험을 마친 단계로 이동형 광학 지상국(TOGS)도 준비 중에 있음

- 일반 Cross support를 위한 대형 안테나 중에서, 현재 Weiheim에 있는 5기의 안테나는 GSOC(German Space Operatin Center)에서 운영하고 다른 4기의 안테나는 DFD(German Remote Sensing Data Center)에서 운영중임
- 현재 Weilheim에는 ka밴드용 7.5미터 안테나가 설치중임

○ DLR은 위성으로는 LEO 임무를 고려하고 있음. Phase-A때 설계된 LEO의 Space Segment는 한 개의 주 위성과 2개의 똑같은 부 위성으로 구성되며, 부 위성은 주 위성에 의해 달까지 옮겨지며, 부 위성의 달 궤도에 배치됨.

- LEO는 2012년에 발사가 예정되어 있으며 소유즈 발사체를 통해 기아나 우주 센터에서 발사될 예정으로 Phase-A 활동이 2008년에 종료 되었으나, 정부와 의회의 결정에 따라 지속될 수 있음

5) 일본

○ JAXA의 Usuda Deep Space Center (UDSC)에는 심우주통신을 위하여, 위성관제 및 전파천문학 관측 지원을 위한 64m 안테나가 있음.

- UDSC는 일본 도쿄에서 북서쪽으로 100km 떨어진 곳에 위치하고 있으며, 안테나는 S밴드와 X밴드를 지원한다. 신호와 데이터 포맷은 CCSDS 표준을 따르고 있음
- UDSC는 도쿄에서 서쪽으로 30km 정도 떨어진 Sagamihara에 위치한 Sagamihara Space Operations Center (SSOC)와 임대 통신 회선을 통해 연결되어 있고 위성상태데이터 수신과 원격명령 전송 서비스는 CCSDS SLE Services를 통해 실시간으로 지원이 가능함

○ Uchinoura Space Center (USC)에는 34m, 20m, 10m 크기의 안테나가 있음. 34m 안테나는 행성간 임무와 지구 궤도 임무 모두 지원이 가능 하지만, 20m와 10m 안테나는 지구 궤도 임무만 지원이 가능함.

- USC는 도쿄의 남서쪽으로 800km 떨어진 일본의 최남단에 위치해 있음. 10m 안테나는 S 밴드를 통해 신호를 전송하고 400MHz 대역과 S 밴드를 통해 신호를 수신하는 것이 가능함. 20m 안테나는 S밴드로 수신, S/X 밴드로 송신이 가능함

- 34m 안테나는 S/X 밴드 모두를 통해 송/수신이 가능하다. 신호와 데이터 포맷은 CCSDS 표준을 따르고 있음. USC는 임대 통신 회선을 통해 SSOC와 연결되어 있음

○ JAXA의 SELENE-2는 달 착륙선과 지구 지상국사이의 데이터 릴레이를 위한 달 궤도선을 가지고 있음. 현 단계에서는 릴레이를 위한 RF 주파수, 데이터 포맷, 릴레이 모드 등의 자세한 정보는 정해지지 않았으며 현재 연구 중임

바. WG2 향후 업무 추진 계획

○ 2009년도의 WG2의 업무 예비 계획안은 요구조건, 성능, 멤버십, 권고안, 표준안, 유지보수, 미래 활용의 7분야에 관해 수행할 업무를 아래 그림과 같이 규정 하였음

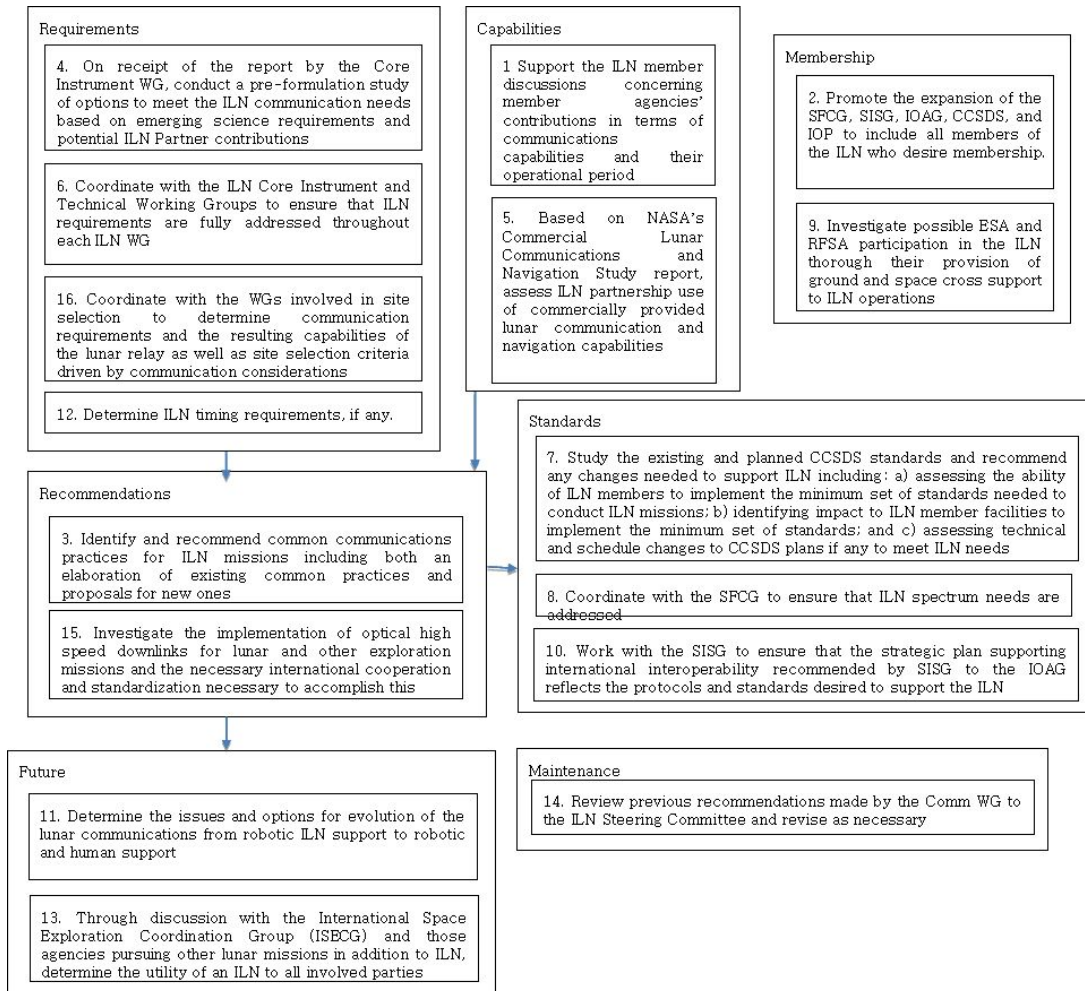


그림 5.18 2009년도의 WG2의 업무 예비 계획안

○ 2010년도, 계획 확정된 것이 없음.

3. WG3(착륙지 선정)

○ ILN 보고서에서 제시한 탐사목표는 NRC 보고서에서 가장 우선적으로 해결해야될 과학적 과제인 달 내부구조에 대한 지구물리학적 조사임(그림 5.20)

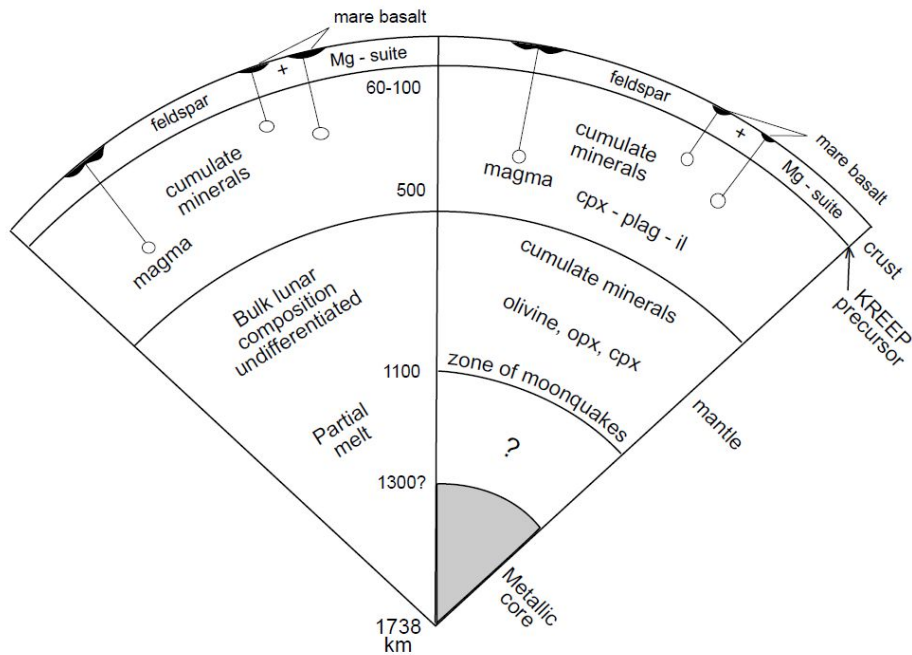


그림 5.19 달 내부구조에 대한 2가지 해석 모델. 좌측 모델은 달의 마그마 바다가 부분적으로 형성되어 핵의 형성이 없는 경우이며, 우측은 달이 완전한 마그마 바다 과정을 통해 핵이 형성된 경우임

○ ILN은 달 내부구조 조사를 통해 달의 지각, 맨틀 그리고 핵의 구조와 열역사를 밝히고자 하고 있으며, 이를 위해 4개의 지구물리탐사장비를 핵심장비로 선정하였음

○ 선정된 핵심장비는 지진계, 지열계, 자력계, 레이저반사경으로 지진계는 달의 지각, 맨틀, 핵의 구조와 달 지진의 분포 및 원인을 밝히는데 사용될 예정이며, 지열계는 열발생 방사성 동위원소의 분포특성을 밝히고 지진자료와 함께 여러 달 내부구조 모델을 검증하는데 사용될 예정이며, 자력계는 달 내부의 온도분포와 성분을 조사하는데 사용될 예정이며, 레이저반사경은 달의 3차원 회전과 조석, 그리

고 달의 맨틀-핵 경계와 핵의 물리적 특성을 조사하기 위해 사용될 예정임

○ 착륙지 선정 WG과 ILN 최종보고서에서 제시된 착륙 후보지는 약간의 차이가 있으나, 첫 번째 착륙 후보지는 일치하고 있음 ⇒ 표5.10은 WG3이 선정한 착륙후보지와 착륙후보지별 과학적 목표와의 관련성을 보여주고 있음

표 5.10 WG3이 선정한 착륙후보지와 착륙후보지별 과학적 목표와의 관련성

	Site 1 (A33 Antipode)	Site 2 (Imbrium)	Site 3 (Descartes)	Site 4 (Crisium)	Site 5 (Reiner Gamma)	Site 6 (Apollo 12)
Crust Structure (non-mascon)	X		X		X	X
Crust Structure (Mascon)		X		X		
Core Structure	X		C	C	C	C
Heat Flow (FHT)	X			X		
Heat Flow (PKT)		X	Edge		Edge	X
Heat Flow (Mantle)				X		
Magnetic Anomaly			X		X	
EM Sounding	X	X		X		X
Laser Ranging	X	X		X	X	

Note: X means that site addresses the science objective. C means the site contributes to addressing the science objective. Edge means the station helps to define the edge of the PKT heat flow anomaly. For Laser Ranging, X means that the site expands the geographic range of the existing reflector network.

○ ILN의 첫 번째 착륙 후보지(Node 1)는 달 지진이 빈번히 발생하는 달 뒷편 내부 진앙지인 A33 nest를 기준으로 지진파가 달 내부를 직선으로 통과하여 도착하는 전면부에 해당함(그림 5.21)

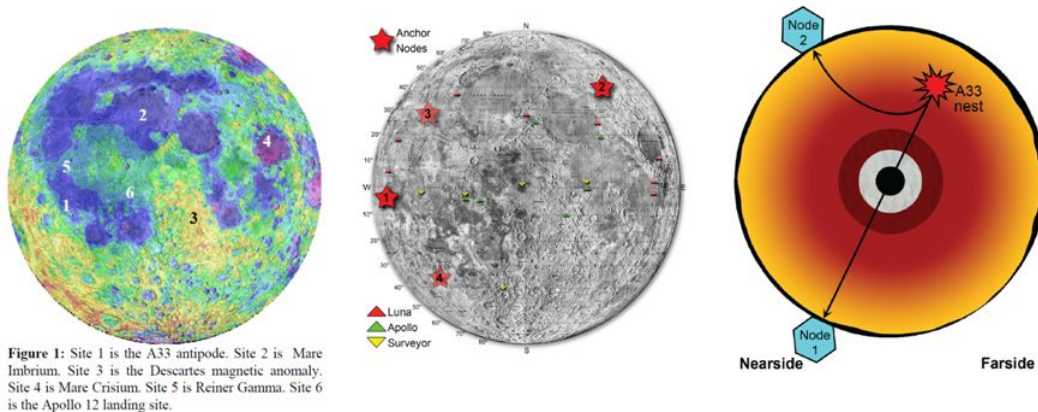


그림 5.20 WG3에서 제시한 ILN node 위치(좌)와 ILN 최종보고서에서 제시된 node 위치(중). 각 node의 위치는 차이가 있지만 첫 번째 node의 위치는 일치하고 있으며 달 후면 내부에서 발생한 지진파가 달 내부를 통과하여 달 전면에 도착하는 지점을 Node 1의 착륙후보지로 선정하고 있음

4. WG4(기술)

가. WG4 개요

○ 활동 목표

- ILN 착륙선의 원활한 임무수행을 위해서는 장기간(1년이상, 최장6년) 생존할 수 있는 임무요구조건을 도출하고 필수 핵심기술의 국가별 개발현황 및 기술정보 데이터베이스 구축
- 모든 참가국이 ILN의 성공적인 임무수행을 위해 전력계가 최우선적으로 필수 핵심기술(Enabling Technology)란 것에 동의하고 전력계 및 핵심기술을 모색

○ 조직 및 참가국: 미국, 일본, 프랑스, 이태리, 영국, 캐나다, 독일, 인도, 대한민국

- 한국측 WG멤버 : 주광혁 박사(KARI, POC), 방효충 교수(KAIST)

나. 회원국 명단

표 5.11 WG4 회원국 명단

	국가	기관	이름
의장	일본	JAXA	Mr. Takeshi Hoshino
부의장	영국	BNSC	Prof. Richard Crowther
회원	캐나다	CSA	Dr. Daniel Rey
	캐나다	CSA	Dr. Jean-Claude Piedboeuf
	캐나다	CSA	Dr. David Kendall
	독일	DLR	Dr. Stephan Ulamec
	독일	DLR	Dr. Jens Biele
	인도	ISRO	Dr. Mylswamy Annadurai
	이태리	Padua University	Dr. Alessandro Francesconi
	한국	KARI	Dr. Gwanghyeok JU
	한국	KAIST	Prof. Hyochoong Bang
	영국	BNSC	Prof. Alan Smith
	미국	NASA	Dr. Carol Stoker
	미국	APL	Mr. Brian Morse
	일본	JAXA	Prof. Jun'ichiro Kawaguchi
	일본	JAXA	Prof. Tatsuaki Hashimoto
	일본	JAXA	Dr. Yoshitsugu Sone

다. 주요 활동내용 요약

- 총 9회 WG회의 개최(대면회의 3회, 전화회의 6회)

표 5.12 연료전지형 전력계기술과 원자력 전지기술을 중심으로 달착륙선용 핵심기술분석결과와 권고안을 도출

회차	일시	협의내용	회의형식
1	2008.9.12	Kick-Off 회의	Teleconference
2	2008.10.1	- ToR(Term of Reference) - 기술적 요구사항	Face-to-face IAC Glasgow, UK
3	2008.10.29	핵심기술조사 및 검토 1	Face-to-face LEAG Florida, US
4	2008.12.8	핵심기술조사 및 검토 2	Teleconference
5	2009.1.15	기술개발을 위한 권고사항 성능목표 달성 가능성 검토	Teleconference
6	2009.2.13	보고서 초안 작성 및 검토	Teleconference
7	2009.3.12	활동보고 및 '09년도 계획발표	일본 요코하마
8	2009.9.29	대체 전력계 연구현황 및 총괄회의준비를 위한 work plan협의	Teleconference
9	2009.10.27	대체 전력계 연구현황 및 총괄회의준비를 위한 work plan협의	Teleconference

- '08년도 활동보고 및 보고서 제출

- 일본 요코하마 ILN 총괄회의(3월12/13)에서 WG4(기술)관련 '08년도 활동보고서 제출 및 2009년 말까지 WG 활동계획 발표

- '09년도 요코하마회의 이후, WG활동을 위한 TOR을 별도 제정하였으나 '08년도에 비해 적극적인 활동은 이루어지지 않음

- '09년도 2차례 전화회의를 가졌으며 추가적으로 연구할 핵심기술선정과 관련된 데이터베이스를 보완, 검토하는 활동을 진행

라. 주요 결과물

- ILN WG4 Working Group Report

- ILN 핵심기술(Enabling Technology) 목록관리용 데이터베이스 구축

마. 향후 활동계획

○ 당초 '09년 12월에 개최예정이었던 4차 ILN총괄회의의 결정에 따라 '10년도 활동계획 수립예정이었으나 총괄회의가 연기됨에 따라 DLR과 JAXA중심으로 계속되어 오던 연구는 진행하고 있으나 WG차원의 활동은 답보상태에 있음

○ 미국의 유인탐사계획 취소에 따른 ILN사업에의 영향에 상관없이 미국을 제외한 타 참여국은 개별국가의 달탐사 또는 달관련 연구계획이 수립되어 있으므로 달관련 핵심기술 및 극한기술을 계속적으로 협의하는 데는 큰 무리가 없는 것으로 판단됨

제 6 절 우리나라의 ILN 참여추진현황 및 활동

○ NASA는 우리나라를 포함한 8개국 우주기관을 초청, ILN 참여를 제안(2008. 3.12)하였으며, 우리나라 한국항공우주연구원을 포함한 9개국의 우주기관, ILN 참여의향서 서명(2008.7.24)

○ ILN 참여국은 2009년 3월 일본 요코하마에서 총괄회의에 참여하였으며, 미국은 2016년경에 1개의 발사체(Atlas-V)에 4기의 달착륙선을 동시에 발사하여 달 전면에 배치할 계획을 발표

○ 항우연과 국내 연구기관을 중심으로 ILN 기술위원회를 구성하여 NASA와의 협력 방안을 모색하고, NASA가 주관하는 ILN 총회 및 WG에 참석하였음.

○ 기술위원회는 과학분야(SDT : Science Definition Team)와 공학분야(EDT : Engineering Definition Team) 2개팀으로 나누어 세부과제를 수행하였음.

- 총괄은 SDT, EDT가 수행한 세부과제를 바탕으로 우리나라 ILN 참여 방안(안)을 도출하였으며, 이를 위하여 NASA 및 교육과학기술부와 협의를 수행하였고, ILN 총괄회의(Steering Group Meeting)에 참석하였음
- 과학분야(SDT)는 ILN 참여의 과학임무분야의 연구를 수행하였으며, ILN 참

여국간의 공동탐재체(WG1) WG에 참여

- 공학분야(EDT)는 ILN 착륙선과 연계한 기술적 검토를 수행하였으며 통신(WG2)과 기술(WG4) WG에 참여

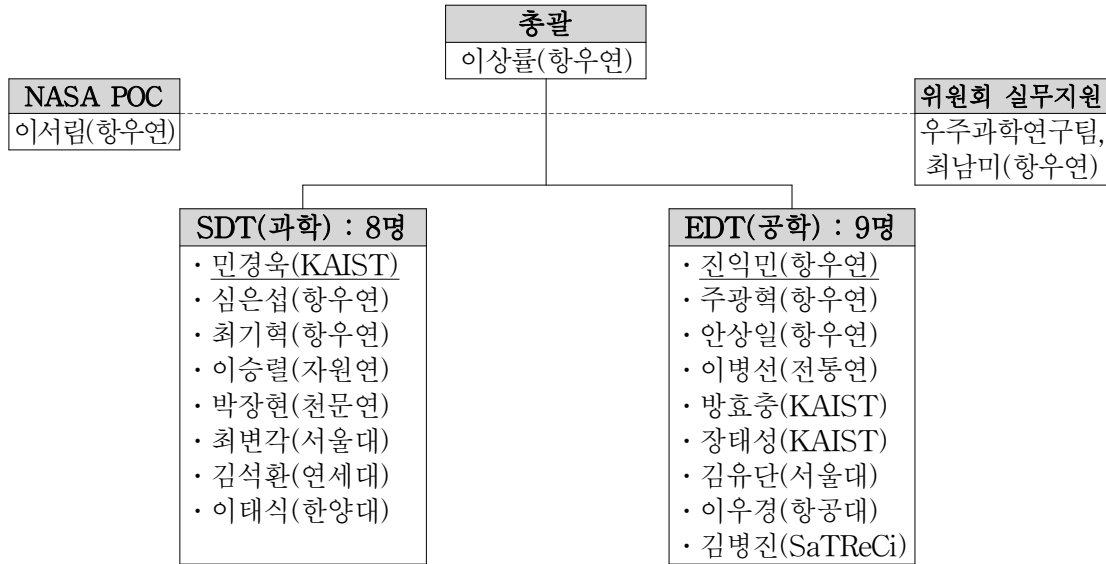


그림 5.21 기술위원회 구성

○ ILN 참여국간의 ILN 세부사항에 관한 협의를 위해서 총괄(SG:Steering Group)과 WG(working Group)이 구성되었으며, 현재 SG, WG1, WG2, WG4가 운영 중에 있음. 착륙지 선정을 위한 WG3은 공동탐재체가 결정된 후 구성될 예정임

- 각 WG의 우리나라 정대표는 한국항공우주연구원의 연구원이, 부대표는 각 분야의 전문연구기관의 연구원이 담당

표 5.13 ILN 참여국간 회의의 한국대표 구성

	SG (총괄)	WG1 (탐재체)	WG2 (통신)	WG3 (착륙지)	WG4 (기술)
정	이상률(항우연)	최기혁(항우연)	안상일(항우연)	(추후 선정)	주광혁(항우연)
부		최영준(천문연)	이병선(전통연)		방효충(KAIST)

○ WG1, 2, 4는 수차례의 원격회의를 통해 WG별 각 나라의 ILN 참여 가능성

을 논의하였음

1. ILN 총괄(Steering Group)회의 참석 및 기술위원회 활동

가. NASA ILN 총괄 회의 참석

1) NASA는 우리나라를 포함한 8개국 우주기관을 초청, ILN 참여 제안(2008. 3.12)

○ NASA HQ에서 8개국 우주기관 및 Space Agency들을 초청('08.2.19 서신), 달 탐사와 관련하여 새로이 추진 중인 ILN(International Lunar Network) 사업에 대한 소개 및 참여 제안('08.3.12., 미국 Lunar and Planetary Institute)

- NASA SMD(Science Mission Directorate)에서는 달의 과학적 탐구 및 유인 달 탐사를 대비한 달 탐사선(robotic mission) 사업예산으로 '06년부터 '11년까지 매해 \$60M(약 610억원) / '12년부터는 매해 \$70M(약 712억원) 예산 확보
 - 1단계 사업 : 소형 대기환경관측(atmospheric/dust) 궤도선 발사(2011)
 - 2단계 사업 : 소형 지표탐사(geophysical network) 착륙선 2기 발사(2014)
 - NASA는 위 사업과 병행하여 향후 각국에서 추진 중인 달 탐사사업들을 조율하여 국제 달 네트워크 (ILN: International Lunar Network) 구축을 통한 공동 달 탐사 제안
 - NASA는 ILN을 위하여 2013/2014년에 달에 보내는 착륙선 2기를 우선 초기 node/station으로 제공하고 2차로 2016/2017년에 2기를 추가로 제공 예정
 - 또한 달의 far-side 탐사를 위해 필요시에는 달 통신 궤도선의 제공도 검토 중
 - 각 참여국에서는 탐사선(착륙선) 또는 주요 부분체(instrument) 제공을 통해 참여 가능
- ※ ILN의 구성: 공통 탑재체(seismic, laser retro-reflector, heat flow 등 측정)를 장착한 각국의 탐사선으로 구성된 6~8개 station(고정 또는 이동형 탐사선)이 달 표면에 고루 분포되어 운용
- 회의 참가국들은 각국이 현재 추진 중인 달 탐사 관련 내용을 발표하고 ILN 사업 참여에 대한 긍정적인 의견 표명

○ 참석기관

표 5.14 NASA ILN 총괄 회의 참석 기관

	국가	참여기관	비고
1	미국	NASA HQ, LSI(Lunar Science Institute), MSFC(Marshall Space Flight Center), LPI 등	
2	영국	MSSL(Mullard Space Science Laboratory)/UCL	대학
3	독일	DLR	Space Agency
4	이탈리아	ASI(*Agenzia Spaziale Italiana)	"
5	캐나다	CSA	"
6	일본	JAXA	"
7	대한민국	KARI, KAIST, KASI	3개 기관
8	러시아	FSA	Space Agency
9	인도	ISRO	"
10	유럽연합	ESA	"

○ 각 우주청의 발표 내용

표 5.15 NASA ILN 총괄 회의각 우주청의 발표 내용

국가	발표내용
영국	<ul style="list-style-type: none"> · Moonlite 사업 소개 - 4개 penetrator 이용(2013년 발사, 1년간 운용) - 4 descend probes : De-orbiter 23kg, Penetrator 13kg
독일	<ul style="list-style-type: none"> · LEO(Lunar Exploration Orbiter) 소개 - 2012년 발사, 2016년이 EOL - mapping 미션(optical/microwave) - mapping 궤도 50±25km (i=85deg 3yrs, i=90deg 1yr) · ILN에 기여 사항 - landing site 정보 - instrumentation(카메라, spectrometer, microscope 등) - robotic 기술(arm, drill, crawling) - landing units(possible LEO follow-up)
이탈리아	<ul style="list-style-type: none"> · 현재 추진 중인 확정적인 달 사업은 없음. · 달 탐사에 관한 16개 사전연구는 추진 중 - 관련 총괄 보고서 작성 중 · 1개 달 중력 연구(궤도선 2 기 2012년 발사) Phase-A 검토 중 · '08년말 달 연구 1개 추가 수행 예정 · 기타 ESA와 달 착륙선 검토 중('08.11 회의에서 참여결정 필요) · 국가우주개발계획('09~'11) 소개 - ESA 사업 50% / 이탈리아(국내+국제협력) 자체사업 50%
캐나다	<ul style="list-style-type: none"> · 우주개발에 다방면으로 참여 중(Canadian Arm 등) · ILN 사업에 대해 매우 긍정적으로 평가하나, 장기적 사업 참여 결정은 아직 정부의 설득이 필요함.
일본	<ul style="list-style-type: none"> · Kaguya follow-on 사업 소개

	<ul style="list-style-type: none"> - 원격탐사 및 in-situ 탐사 임무 - Selene-2(2010 상반기) : lander + rover (in-situ) / Phase-A 진행 중 MEXT에서 '07. 9월 승인 - Selene-X(2010 하반기) : pre-human lander
러시아	<ul style="list-style-type: none"> · Luna-Glob 사업 소개 - 1단계 : 달의 내부 구조 연구(궤도선 120kg) - 2단계 : 달의 극지방 연구(궤도선 1200kg / rover 50kg : 수명 1년) · Luna-Grunt 사업 소개(검토 중) - 달 샘플 return 미션(rover 400kg / 귀향선 400kg)
인도	<ul style="list-style-type: none"> · 찬드라 사업 - 찬드라-1(2008년 7월 발사 예정) - 찬드라-2(2012년 발사) : 탑재체 국제협력 가능성 있을 수도 있음. · 찬드라 사업으로 인해 7월 서명 어려울 수 있음.
ESA	<ul style="list-style-type: none"> · ILN에 SMART-1 달 탐사 데이터 제공 희망 · 유럽내 70개 이상 달 탐사 제안서(lander 포함)들을 접수하여 검토 중 · 인도의 찬드라와 협력 추진 중 · 기타 대형사업을 위한 개념 설계 중(hitchhiking 등)

○ NASA, 향후 세부일정 발표

- 2008. 3월: ILN의 세부사항(ILN 협약서 초안 포함) 및 5월 워크숍을 위한 초청장을 2주내 각국에 발송
- 2008. 4월: 각국과의 협력방안 논의를 위한 Telecon 추진
- 2008. 5월: ILN 워크숍 개최(워싱턴 DC) 'Statement of Intent' 형태의 협약서(Charter) 작성 및 세부 Working Group 정의
- 2008. 7월: 참여국과 미국간 ILN 협약서 서명(NASA Ames)
- 2008. 12월: ILN의 'Core instrument*' 합의. 각국의 Lunar Lander에 공통적으로 장착할 탑재체

2) 우리나라 한국항공우주연구원을 포함한 9개국의 우주기관, ILN 참여의향서 서명(2008.7.24., NASA Ames Research Center)

○ 미국(NASA), 이탈리아(ASI), 영국(BNSC), 캐나다(CSA), 프랑스(CNES), 일본(JAXA), 독일(DLR), 인도(ISRO), 대한민국(KARI)의 우주기관들이 각국을 대표하여 ILN 참여의향서 서명

○ 각국 우주탐사 현황 소개 및 향후 추진계획 논의

- 착륙지 선정 WG은 '09년 1월부터 설치 운영(1월 telecon. 3월 대면회의)
- 달 탐사관련 기술 검토를 위한 Enabling Technologies WG 추가 설치(8월~)
 - ※ 원자력 전지(ASRG: Advanced Sterling Radioisotope Generator) 등의 사용 검토
- 차기 SG 회의는 '09년도 일본에서 개최 예정(1월 telecon. 3월 대면회의)

○ 세부 Working Group(WG) 회의 (7월 23일)

- Core Instrument(공통탑재체) WG 회의시 8개국(이탈리아, 미국, 영국, 캐나다, 독일, 프랑스, 대한민국, 일본) 현황 발표
 - ILN의 기본 구성을 4개 착륙선이 6년간 운용되는 것으로 정의(NASA 제안)
 - NASA 내부 검토결과 기존 2개 착륙선을 2년간 운용하는 것은 임무의 일부만을 달성하는 수준으로 의미있는 과학임무 달성을 위해서는 임무 확장 필요
 - 최종 공통 탑재체는 회원들의 합의로 결정
- Communications(통신표준) WG회의에 7개국(미국, 캐나다(예정), 독일, 영국, 이탈리아, 대한민국, 일본) 참여
 - 행성탐사 주과수 분배 현황 및 ILN 통신 시나리오 검토
 - 지구⇔달 / 지구⇔궤도선⇔달 통신 시나리오 논의(NASA/JAXA 제안)
 - 국제 통신 협의체(5개) 참여를 통해 ILN 통신규격 적용 추진 예정
 - 공모를 통한 상용 달 통신 시스템 도입 검토 중(NASA 지분 참여 등)

3) ILN 총괄회의(2009.3.13, 일본 요코하마)

- 미국, 일본, 프랑스, 이태리, 영국, 캐나다, 독일, 중국, 대한민국 참석
 - ※ 중국은 ILN 참여의향서 서명을 하지 않고 SG, WG 활동을 해오지 않았으나 초청됨
- 참가대상 : 각국 ILN Agency SG(Steering Group) 위원 및 WG(Working Group) 국가별 담당자
- WG 회의(12일)와 Agency SG 회의(13일)로 나누어 진행
- WG별 현황보고, 참가국별 달 탐사계획 진행현황 발표, ILN 협력방안 협의, 향후 WG & SG 활동계획 협의

○ 미국은 무인 달 궤도선(LRO & LCROSS)은 2009년 5월에 발사예정

○ 미국은 1개의 발사체(Atlas-V)에 4기의 달착륙선 동시 발사하여 달 전면에 배치할 예정임을 발표

· 60W급 원자력전지(RTG)를 이용, 착륙선의 임무수명을 6년으로 설계

· 임무설계검토회의('09.6), 예비설계('09.후반), 상세설계('10)

※ 일본, 영국 등 자국의 달탐사 계획이 있는 나라들은 ILN사업을 별도로 추진하지 않고 자국달 탐사계획에 따라 진행하고 있으며, 캐나다, 프랑스 등 자국의 달 탐사 계획이 없는 나라들은 기술 및 탑재체 제공으로 ILN 참여를 희망

○ WG별 회의내용

- WG1(탑재체) : 미국은 지진계, 열흐름계측기, 전자기파 측정기, 레이저 반사경으로 자체 확정하였으나 타 참여국은 공통탑재체 이외의 탑재체도 제안하므로 합의에 이르지 못함 ('08년도 활동보고서 미제출)

- WG2(통신) : 국제협의체를 통한 심우주 통신 네트워크 협의안을 도출 ('08년도 활동보고서 제출), 2009년 말까지 WG 활동계획 발표

- WG4(기술) : 원자력전지와 연료전지를 위주로 하여 기술현황조사, ('08년도 활동보고서 제출) 2009년 중반까지 WG활동시한 연장

- WG3(착륙지선정) : 착륙지 선정을 위해서는 과학그룹과 공학그룹이 결합된 WG의 운영 필요성을 역설하고 영국과 프랑스가 의장, 부의장국을 맡기로 결정하고 첫 회의를 '09년 7월에 미국 NASA Ames에서 개최기로 협의

○ ILN 참여제안 초기부터 중국을 배제하여 왔으나 금번 ILN회의에 중국대표(중국 달착륙선 창어-2호 사업책임자)를 초청하여 참여국들의 동의를 구하였으며, 추후 참여의향서에 서명하는 과정을 거쳐 ILN 협력체제내에 포함하기로 결정함

- 미국의 달 착륙선이 당초 최소 6기발사에서 4기 발사로 축소하고 달 전면(Near Side)에 전부 배치하기로 함에 따라 달 후면 통신을 위한 달 궤도선(통신선)이 필요하지 않다는 입장을 제시함

- 차기 총괄회의(#4)는 2009년 11월에 유럽에서 ISECG 회의와 병행하여 개최
기로 합의

나. 기술위원회 총괄 활동

**1) 한국항공우주연구원은 ILN 협력에 관한 질의를 NASA에 송부하였으며,
NASA는 이에 답변(2008.5.21)**

○ ILN에 부분체나 부품 수준의 참여가 가능합니까?(착륙선의 버스 또는 탑재체)

- ILN 참여의 최소 수준은 ILN 그룹 전체의 합의가 필요할 것으로 보나, 부분체 또는 부품 수준에서의 주요 기여는 충분할 것으로 생각한다. 예를 들어 어떤 기관이 한 종류의 측정 장비를 모든 착륙선에 제공할 수 있을 것이다. 다만, 유의할 점은 NASA는 모든 ITAR 규정을 준수할 것이라는 것이다.

※ ITAR(International Traffic in Arms Regulations): 미군수품 수출 규제 제도

○ ILN에 부분체 또는 부품 수준으로 참여하면 발사 서비스는 NASA에서 제공 가능한지?

- NASA는 아직 발사체를 정하지 않았으며, 이는 먼저 탑재체의 정의 그리고 그 다음에 착륙선의 정의가 우선적으로 이루어져야 발사체를 결정할 수 있기 때문이다. 부분체 또는 부품의 성격에 따라 만약 전체 착륙선의 일부로 들어 간 것이라면 아마도 NASA에서 발사 서비스를 제공할 것이다. 그러나 별도의 착륙선이 된다면, NASA는 임무 정의가 추가로 된 후에도 그 규모에 따라 가능 여부를 검토해야 할 것이다.

○ ILN에 부분체 또는 부품 수준으로 참여하면 달 궤도/표면과 지구간의 데이터 통신 서비스를 NASA에서 제공 가능한지?

- 모든 데이터는 아마도 동일한 네트워크를 사용할 것이다.

○ ILN의 설계 단계에서 공동설계 또는 참여가 가능한지? (미국 착륙선 또는 측정장비의 설계 참여 및 표준 설계 문서 공유)

- 이는 미국 수출 규제 정책으로 매우 어려울 것으로 본다. NASA는 공동설계를 거의 하지 않는다. 대부분의 NASA 협력은 시스템간의 인터페이스가

명확히 정의 및 설계된 상황에서 NASA가 외국의 우주체에 제작이 완성된 부분체를 설치하거나 외국 파트너가 완성된 부분체를 NASA의 우주체에 설치하는 내용으로 이루어진다.

○ ILN의 협력 체계내에서 인력교류도 가능한가? (항우연의 인력이 NASA의 시설에서 과학 및 공학 연구활동의 수행, NASA 인력이 항우연에서의 연구활동 수행)

- 인력 교류는 특정 활동의 수행을 위해 그 필요성이 합당할 경우에 가능하며, 이는 양자간 협약으로 추진이 가능하다.

○ 참여의향서의 서명이 Working Group 참여의 전제 조건인가?

- 그렇다. 초기 참여의향서는 다음 단계 참여를 위한 관문이라고 보면 될 것이며, 특히 Working Group이 그렇다.

○ ILN에 궤도선 만으로도 참여가 가능한가?

- 궤도선이 ILN을 직접적으로 지원하면 그렇다. 예를 들어 통신 중계 서비스 또는 사전에 조율된 과학 임무를 통한 지표면의 과학실험의 직접적인 지원 또는 실험결과에 도움되는 데이터 창출

○ 참여의향서는 법적 구속력이 있는가? 아니라면 참여의향서에 이에 대한 문구를 추가해 주기 바란다.

- 아니다. 참여의향서는 법적 구속력이 없으며, 프로그램의 초기 단계에서 그렇게 할 수도 없다. 초기 단계의 목적은 최대한 많은 국가들이 ILN에 대해 고민하고 보다 포괄적인 협력 가능성에 대해 생각하게 하기 위한 것이며, 향후 ILN 개발과정에서 상세검토가 완료된 후에 ILN에 의무적으로 참여하도록 하기 위한 것은 아니다. 또한, 관련된 기관들의 예산 및 승인 절차로 인해 이 시점에서 법적 구속력이 있는 협약을 체결하기 위해서는 법무 절차 등으로 인해 상당한 시간이 소요될 것이며, 각 기관의 예산 체계 및 일정으로 인해 ILN의 참여가 제한될 것으로 본다. 법적 구속력이 있는 협약은 구체적인 협력 활동이 정의되었을 때, 양자간 협약으로 이루어질 것이다.

○ NASA에서는 누가 참여의향서를 서명할 것인가? 참여의향서의 서명주체가 반드시 정부 기관이어야 되는가? (항우연이 아닌 교육과학기술부)

- NASA에서는 Jim Green(행성과학과장) 또는 Ed Weiler(과학임무국장)가 서명할 것이다. 정부기관이 서명하는 것을 선호하나, 특히 정부 기관이 국가의 모든 기관들을 대변할 수 있을 경우, 특정 기관이 내부 예산 및 지원이 보장된다면 특별히 서명주체를 제한할 필요는 없다고 본다. 참고로 지난 4월 30일 teleconference에서 논의 되었듯이 필요하다면 정부의 서명을 사전에 받아서 서명식에 가지고 와도 된다.

○ ILN이 NASA의 유인탐사계획과 어떻게 연계가 되는가?

- ILN은 기본적으로 미국 국가연구위원회가 수립한 과학목표에 기반한 독립적인 과학 임무이다. 그러나 ILN은 초기 탐사에 유용한 과학 데이터의 제공, 착륙선들에 탐사연구사업에 주요한 탑재체들의 추가 탑재, 착륙선들을 이용한 기술시범 등의 연계성을 가질 것이다.

2) 기술위원회 구성 및 1차 기술위원회 개최('08. 8.21.,교육과학기술부)

○ ILN 회의 참여 및 ILN 참여 방안 도출을 위하여 한국항공우주연구원을 중심으로 우주탐사 관련 학계 및 연구계는 기술위원회를 구성하였음

- 교육과학부 우주정책과에서 개최된 1차 회의에서 다음 사항이 결정됨
- 기술위원회 WG의 POC는 항공우주(연) 담당하나 SDT/EDT의 팀장은 호선으로 선출
- 지나친 항공우주(연) 중심의 운영은 바람직하지 않음
- 정보의 공유를 위해 Data Center를 만들어 운영
- ILN 추진 과정은 언론에 공개하여 투명하게 추진하고 우주산업 활성화의 기회로 활용
- 달탐사의 타당성 확보와 대국민 홍보강화 노력 요망

3) 2차 기술위원회 개최('08.9.1., 한국항공우주연구원)

○ 한국항공우주연구원에서 개최된 2차 기술위원회에서는 과학기술원 민경욱

교수가 과학팀(SDT, Science Definition Team) 팀장에 한국항공우주(연) 진익민 실장이 공학팀(EDT, Engineering Definition Team) 팀장에 호선됨

※ 1차 기술위원회에서 과학팀(SDT) 및 공학팀(EDT) 팀장을 호선하기로 결정한 바에 따라 각팀의 팀장 호선

- 기술위원회의 목표는 '08년 12월까지 ILN 기술사항을 검토하고 우리나라의 참여방안을 도출하는 것으로,
- 이를 위하여 세부 과제(첨부 참조)에 대한 방안 검토를 통하여 선택 가능한 참여 방안들을 도출한 후, 미국 NASA와 접촉하여 우리나라의 참여방안 도출
- 세부과제는 ILN 참여 방안 도출을 위하여 기술위원들이 수행하여야 할 구체적인 해결 과제로 기술위원들의 답변을 바탕으로 12개의 항목으로 정리하였으나 각 팀에서 토의 후 항목의 추가 가능

4) 기술위원회, NASA 및 국무성(DOS) 방문('08.11.24, 미국 NASA HQ)

〈NASA 방문〉

○ NASA는 현재 ILN을 위해서 NASA내부에 “착륙기지과학임무정의팀”과 “기술개념설계팀”이 가동되고 있으며, 두 팀의 연구결과는 추후 다른 나라에 발표 예정임을 설명

- 미국의 달 기지는 임무개념설계('09년 1/2월), 예산예측('09.2월), 예비설계('09.9월)단계를 거쳐 '09.10월 상세설계에 들어갈 예정임
- NASA는 2013/14, 2016/17년에 각기 2기씩 총 4기의 미국의 착륙기지를 건설하겠다는 계획을 재검토 중으로, 2014-2017년간 자국의 ILN 달 착륙기지를 2기로할지 4기로 할지에 대해서는 검토 중에 있음
- 미국의 ILN 계획은 단계적 성과에 따라 그 다음 단계의 계획이 진화해 갈 수 있는 유연성이 있으므로 한국측은 지속적인 논의 참여가 필요
- 달 착륙기지에 설치될 공동 탑재체의 성능은 ILN 참가국 모두가 동의하는 기준으로 설정될 것이며, 이 성능 기준에 맞게 참가국은 기본적으로 자국의 공동 탑재체를 개발해야할 것임
- NASA가 공동탑재체를 제공할 수 있는지의 여부는 추후 답할 예정
- NASA는 각국을 방문하여 공동탑재체의 성능 검증에 참여할 예정임

- 미국은 달의 과학적 연구를 위해 "NASA 달과학연구소(NASA Lunar Science Institute)"를 운영 중으로 한국의 KAIST가 등록되었고, 달 과학에 관심있는 기관들의 참여가 가능함(캐나다 Univ. of Western Ontario, 영국 Open University 등 참여)

- 우리측은 ILN에 대한 한·미 협력방안으로 인력 파견 등을 통한 공동개발, 미 설계자료 제공과 한국의 제작 및 한국 주도개발을 위한 미국의 부분품 수출 등을 제시하고 이에 대한 미국의 협력 가능성을 타진
 - 미국측은 NASA의 대외협력 정책은 "No money and no technology exchange"가 기본이 됨을 설명하고 공동설계 및 개발 등은 가능하지 않으며 각각의 부분품을 따로 제작 후 합치하는 것은 가능하다고 답변
 - ILN 착륙선 등의 조립을 위한 부분품 및 부품의 수출은 가능하나, 착륙 조정 프로그램 코드, RTG(Radioisotope Generator)의 수출은 불가
 - ILN은 미국의 수출허가면제 조항의 적용 대상으로 ILN의 착륙선 부분품 등의 운영을 위한 환경 정보, 접속부분의 사양 등은 수출허가 없이 수출가능하나, 부분품을 어떻게 제작하는 등의 정보는 수출허가면제 대상이 아님
 - NASA가 제시하는 요구사항에 따른 한국에서의 부품 제작은 분야에 따라 가능할 수도 있음
 - 또한 태양에너지를 쓸 수 없는 달의 밤을 견디며 6년 동안 달에서 임무를 수행하기 위해서 원자력 열전지(RTG)의 사용이 논의되고 있으나, 미국의 RTG 수출이 가능하지 않으므로,
 - 한국은 달의 밤이 없는 극지방에 착륙한다면 현재의 기술만으로도 달 탐사를 수행할 수 있음을 언급
 - 우리측은 기술자문 가능 여부, 발사 제공여부, ILN의 예산 획득 계획, 수출허가 품목 등에 관한 질문을 전달하였으며,
 - NASA는 쉽지는 않으나 12월 중순까지는 가급적 가능한 답을 주도록 노력하겠다고 답변
 - 한국의 교육과학기술부-NASA간 우주협력의향서 서명의 후속조치에 관해 문의한 바,
 - 올 12월 19일경 NASA측 WG 구성원의 명단을 전달 예정이며, 2009년 1~2월경 NASA는 한국을 방문 예정

〈국무성 방문(‘08.11.25)〉

○ 우리측은 미 NASA에서 ILN 관련 사항을 발표했으며, ILN 관련 수출허가에 관해 논의하고자 방문했음을 설명

- 미 국무성측은 ILN에 관한 수출허가사항은 미 NASA 및 국방성과 협의해 12월 중순까지 1차적인 답을 줄 수 있을 것이며 세부사항은 지속적 협의가 필요하다고 답변
- 또한, 미측은 FMS(Foreign Military Sales)에 관련한 한국의 지위가
- NATO 회원국 수준으로 격상이 되었으나 우주와는 직접적인 관련이 없다고 언급

표 5.16 미측에 제시한 ILN 협력에 관한 질의

번호	한국의 ILN 참여에 관한 질의	NASA 관심 여부		가능성 여부		
		있	없	가능	논의 필요	불가능
1.1	미국으로부터 부분품의 구매를 통해 한국의 ILN 안테나의 개발은 가능한지?					
2.1	관측자료의 균질성을 위해 NASA는 참여 착륙선 모두를 위한 공동탐재체를 모두 개발할 것인지?					
2.2	만약 한국이 1~2개의 공동탐재체를 개발한다면, 모든 착륙선을 위해 공동 탐재체를 공급할 수 있는지?					
2.3	각각의 나라가 공동탐재체를 각각 개발한다면 데이터의 정확도는 어떻게 처리할 것인지?					
2.4	NASA는 한국에 탐재체를 위한 사양과 설계문서를 제공할 수 있는지?					
2.5	NASA는 한국에 탐재체의 구체적 설계를 제공할 수 있는지?					
3.1	공동 연구를 위해 한국 기술자들을 NASA에 파견할 수 있는지?					
4.1	NASA는 데이터 처리의 균질성을 어떻게 조정할 것인지?					
4.2	NASA는 자료 처리 S/W를 제공할 수 있는지?					
4.3	만약 자료 처리 S/W의 개발이 필요하다면 한국 기술자를 NASA에 파견하여 공동개발할 수 있는지?					
5.1	한국의 고유 탐재체에 대해 의견은 있는지?					
6.1	한국의 기술자가 NASA에 파견될 수 있는지?					
6.2	한국의 기업이 ILN 부품 및 부분품을 한국에서 제작할 수 있는지?					
6.3	한국이 한국에서 ILN 착륙선 및 궤도선을 조립/시험할 수 있는지?					
7.1	NASA가 설계한 부품/부분품을 한국 기업이 한국에서 제작할 수 있는지?					
8.1	한국이 NASA가 설계한 탐사선을 한국 시설을 이용하여 한국에서 조립/시험 가능한지?					
9.1	한국의 궤도선 개발을 위해 한국은 연결부분의 정보를 포함한 미국의 H/W를 구매할 수 있는지?					
9.2	한국의 궤도선을 위해 NASA는 한국에 발사서비스를 제공할 수 있는지?					
10.1	한국의 착륙선 개발을 위해 한국은 연결부분의 정보를 포함한 미국의 H/W를 구매할 수 있는지?					
10.2	한국의 착륙선을 위해 NASA는 한국에 발사서비스를 제공할 수 있는지?					
11.1	착륙선/궤도선 개발을 위하여 한국은 NASA의 은퇴과학자를 초빙할 수 있는지?					
11.2	NASA는 ILN 관련 기관의 명단을 제공할 수 있는지?					
11.3	NASA는 11.2의 명단의 기관으로부터 자문을 받기위해 도와줄 수 있는지?					

5) NASA 및 국무성(DOS)의 우리측 질의에 대한 답변

〈NASA 답변〉

- ILN기술위원회는 NASA를 방문하여 한국의 ILN 참여를 위한 방안의 가능성 등을 질의('08.11.24)한것에 대해, NASA측은 질의에 대한 답변 송부('08.12.23)
- 우리측이 제시한 ILN의 한-미 협력방안 ① 공동개발, ② 미 설계자료 제공과

한국의 개발 ③ 한국 주도개발을 위한 미국의 부분품 수출의 협력가능성 질의에 대해

- NASA는 한국과 미국이 독립적으로 ILN에 참여하는 ③이 협력 가능하다고 답변
- NASA는 ③의 세부 협력사항으로 다음 사항으로 가능하다고 답변
 - NASA 시설에서 한국 탑재체의 조립 및 시험
 - NASA-KARI간 협정 체결 하에 NASA의 필요한 자료처리 S/W 제공
 - NASA-KARI간 협정 체결 하에 공동 과학 연구 및 과학자 교류
 - 한국의 ILN 관측 데이터를 수신할 수 있는 심우주용 안테나 설치 가능
 - 공동탑재체 그룹이 정한 계측요구기준을 충족하는 한국의 공동탑재체 개발
 - 한국의 공동탑재체 외의 우주 프라즈마 계측기, 스테레오 카메라 등 탑재체 개발
- NASA는 우리측이 질의한 기술자문 가능 여부, 부분품의 수출 허가 여부 등의 질의 사항은 각각의 기술, 부분품의 품목마다 검토되어야 하며 좀더 구체적인 논의를 요구한다고 답변

〈미 국무성 답변〉

○ ILN기술위원회의 한국의 ILN 참여를 위한 방안의 가능성 질의('08.11.24)에 따른 미 국무성(DOS) 답변 송부('09.1.14)

- 부분품, 부품, 소재 등의 구매는 구체적 사양에 따라 수출허가 요구(export license requirement)에 따라야 함
- 고체 키크모터, 착륙시스템, 이원 추진 시스템의 구매는 MTCR의 총추력 제한 규정을 만족시켜야 하며, 수출 허가 요구를 따라야 함
- 원자력열전지(RTG : Radioisotope Thermoelectric Generator)의 수출은 에너지성의 관할로 수출이 가능하지 않음
- SW구매, SW공동개발, 미국 설계 부품의 한국제작, 설계, 조립, 시험 단계에서 한국의 공동참여, 아폴로 프로그램의 달 착륙 탑재체의 설계자료 제공 등은 미국의 수출 허가 요구를 따라야 함

6) 3차 기술위원회 개최(2009.2.6.,유성 스파피아 호텔)

○ 기술위원회 위원장(항우연 이상률)은 미국 NASA 방문 및 그간의 활동을 발표한 바, 관계 전문가들은 아래와 같은 의견 제시

- 한국형 달 탐사선은 KSLV-II 외에 외국 발사체를 이용하여 발사할 가능성이 있으므로, KSLV-II와 달 탐사는 별도로 추진해야 할 것임
- 내년도 예비타당성 조사를 위해서는 ILN 사업 체계가 올해 말까지는 도출되어야 함
- 각 분야의 기술적 정보가 기관간 논의를 통해서 상호 도움이 되도록 소그룹별 논의의 장을 마련하기로 함
- 교육과학기술부는 달 관련 여러 기관의 역량을 집결할 수 있는 추진 체계를 만들기 위해 노력할 것임을 언급

2. WG1(공동탐재체) 활동

가. NASA ILN WG1 회의 참석

○ 한국의 ILN 참여가 결정된 후 정부, 대학, 연구원으로 구성된 대표단이 미국 NASA에서 2008. 7.23~24일간에 ILN 전체회의와 병행하여 개최된 공동 탐재체 실무 그룹회의 (Core Instrument Working Group; WG1) 참석하였음

○ 이 회의는 첫 번째 ILN의 국제회의로서, 미 NASA, 일본 JAXA, 유럽 ESA, 한국 KARI (KAIST, 천문연)가 참석하였는데 회의 내용은 아래와 같음

- 각국이 제안한 탐재체를 Spread Sheet로 만들어 분석할 것임
- 2008년 9월 Spread Sheet를 제작, 연말에 최종회의를 개최함
- Core Instrument는 Performance Matrix에 의해 결정될 것이며 한 국가의 특정 탐재체로 정의되지는 않을 것임. Matrix는 일본이 발표한 여러 요인들을 포함할 것임
- 2008.9월 회의 (San Diego) 개최, 12월말까지 공동탐재체 결정
- ILN의 Lander는 수명이 6년이 필요하므로 방사능동위원소전지(RTG; Radioactive Thermal Generator, 무게 10kg) 사용필요
- 미국은 착륙선의 6년간 사용을 위해 원자력 전지 사용 의사
- 일본은 RTG를 대체할 수 있는 기술개발 가능성 제기

- "Enabling technology WG"를 구성하여 내년 상반기 RTG 및 대체 문제를 논의하기로 함, 일본이 Chair, 영국이 Co-Chair을 맡기로함, 첫 번째 회의는 8월에 있을 것임
- Communication & Navigation WG에서 미국은 달의 통신 Network 구성은 민간기업에 맡길 것임을 피력
- Landing Site Selection WG는 2009년 1월 Telecon을 갖고, 3월 회의를 갖기로 함

나. 국내 SDT 활동

○ 한국의 달탐사 ILN 참여가 결정된 후 국내 관련 기관들과 과학자들로 SDT (Science Definition Team)을 구성하였음.

○ 그 동안 SDT는 한국이 참여하게 될 ILN에서 NASA, JAXA 등과 국제협력으로 공동 탑재체 (Core Instrument)를 선정하였으며, 그 개발 방안을 도출하였고 NASA와의 탑재체 관련 협상 방안을 작성하였음.

○ 또한 8종의 한국 고유 탑재체 후보를 접수하였음. 향후 달탐사 관련 국내외 Community를 구성하여 한국 고유 탑재체를 선정하고 관련 과학 활동을 수행할 계획임.

다. 한국의 공동 탑재체 및 한국고유 탑재체 개발방안

1) ILN 탑재체 개발방안 도출시 고려해야할 배경

○ 3회에 걸친 국내 SDT 회의에서 ILN 탑재체 개발시 고려해야할 사항들이 아래와 같이 논의 되었음

○ ILN 참여를 한국 우주탐사 관련 우주과학과 엔지니어링 수준을 한 단계 Upgrade 하는 계기로 삼기위해, 국내주관개발과 국제협력을 병행하여 기술개발/습득을 극대화함

- 즉, 개발기술은 산업과 안보에 적극 활용하여 수출과 수입대체효과를 얻도록 하며, 가능한 한 능력을 보유한 국내 다수 기관의 참여를 추진
- 달탐사 계획은 향후 국민과 여론의 관심이 클 것으로 예상되므로 관련 기술과 장비의 Demo 등 적극 홍보가 필요하며, 특히 미래 에너지를 해결할 수 있는 달표면의 He3 탐사를 적극 추진하여 국민적 공감대를 얻는 것

도 필요할 것임

○ 미국 NASA는 “No Money & Technology Exchange” 원칙에 의거 기술이전에 난색을 표할 것이며, 한국의 ILN참여조건으로 4종의 공동 탑재체에 대하여 한국측 개발 혹은 미국측 탑재체 탑재를 요구 할 것으로 예상되므로, 한국은 그 대신 NASA측의 발사 서비스 (200~300억원)를 요구해야할 것임

○ 한국은 공동 탑재체 전체 또는 부분의 자체 개발이 필요하다고 판단되며, 미국측이 무상으로 공동탑재체를 제공한다면 이를 받되 이 경우 한국측 고유 탑재체를 2~3종 탑재하는 것이 필요할 것으로 보임

○ 탑재체의 개발은 전체 Lander 개발예산 (1,200억원 예상)에서 본체 개발비와 균형을 고려하여 결정해야함.

- Lander의 탑재체 할당 가능 무게는 25~50kg, 공동 탑재체 4종의 무게는 15~18kg으로서 한국 고유탑재체 가능 무게는 7~35kg 정도임
- 공동 탑재체는 4종으로, 각각 지진계 6kg, 지열측정계 ~5kg, 레이저반사계 2kg, 전자기파탐사기 2~5 kg 임

○ 기술이전 설계도면을 직접받는 것은 불가능하겠지만, 설계 (SDR, PDR, CDR), 제작 (DM, EM, QM/FM), 시험단계 등 매단계를 NASA와 공동수행하여 간접적으로 기술과 Know How 습득을 추진하는 것이 바람직함

○ 공동 탑재체 개발시 NASA로부터 관련자료, 특히 아폴로 탑재장비 관련 자료를 입수하도록 추진함 또한 탑재체 개발비의 일정부분을 Data 분석과 준비에 할당하는 것이 국내 Science Community의 연구 활동을 위해 필요함

- 아울러 경험이 있는 해외전문기관 또는 해외전문가들과 Consulting 계약을 하는 것도 필요할 것으로 판단됨

2) ILN 공동 탑재체 기술 분석

○ SDT에서 분석한 공동 탑재체 기술분석은 아래와 같음.

- 광대역 지진계 (Seismometer)
 - 해외협력개발 가능
 - 핵심 센서 부분을 국제협력 (NASA, 프랑스 IPGP)으로 개발 또는 구매하면 지진계 본체와 전자박스는 국내개발가능
 - 국내지진연구와 국방안보 분야 (핵실험 탐지) 등에 활용 가능
- 굴착지열측정계 (Heat Flow Probe)
 - 해외협력개발 가능
 - 센서 및 굴착기 (Mole) 분야는 해외협력 및 도입필요 (독일 DLR의 화성탐사 ExoMars 탑재체 HP3 등)
 - 본체와 전자박스는 국내개발 가능
- 레이저 반사계 (Laser Reflector)
 - 국내주관개발 가능
 - 다만 반사경 코팅 등은 해외 협력 필요
 - 인공위성 레이저 추적 관련 연구로 상당한 기술력 축적
 - 위성추적에 활용가능
- 전자기파 탐사계 (EM Sounder)
 - 국내주관개발 가능
 - 다만 초정밀 자기장 탐지센서는 국내 개발 중인데 필요시 해외 구매 추진
 - 초정밀 자기센서는 잠수함 등 국방분야에 활용 가능

라. ILN 공동 탑재체 개발 방안

○ 레이저반사경과 전자기파탐지기 2종은 국내주관개발이 가능하며, 필요시 반사경 코팅 및 초정밀 자기센서부분 수입하도록 함

○ 지진계와 지열측정계 2종은 국제협력으로 개발하도록 한다. 지진계는 NASA 및 프랑스 IPGP와 협력하여 개발하며, 지열측정계는 NASA 및 독일 DLR과 협력하여 개발한다. 각 공동 탑재체 개발주관기관은 추후 관련 위원회, 교과부와의 협의를 거쳐 결정하며, 관련개발능력을 천문연, 연세대, KAIST, 지질자원연, 서울대,

항우연 등이 보유하고 있다고 판단됨

- 공동 탑재체, 한국고유탑재체 개발비 및 Data 분석비용은 총 200억원으로 예상됨
 - 공동 탑재체 국내주관개발 2종; 80억원
 - 공동 탑재체 국제협력개발 2종; 60억원
 - 한국고유탑재체 개발 2~3종; 40억원
 - Data 처리 준비 및 분석; 20억원

○ 한국 고유의 ILN 탑재체로는 항우연, KAIST, 천문연구원, 지질자원연구원과 우주과학회로부터 후보 탑재체들을 접수하였다. 공동 탑재체 탑재시 7~35kg의 한국 고유탑재체 탑재 가능하다고 판단되며, 현재 8 종의 한국 고유탑재체가 제안되었음

- 1) 광학적 여기 형광측정계 (기초과학연)
- 2) 라만 분광계 (KAIST-SaTReC)
- 3) 레이저 증발 분광계에 의한 Bioimarker 동위원소 측정 (연세대)
- 4) 태양 중성자 및 감마선 분광기 (충남대, 한양대, SaTReCi, 부산대, 원자력연)
- 5) 우주플라즈마 탐지기 (천문연)
- 6) 지구영상분광 모니터링 시스템 (천문연, 연세대)
- 7) 스테레오 카메라 (항우연)
- 8) 달 지하탐사 레이더 (항우연)

○ 추후 공정한 선정을 위하여 선정위원회를 구성하고 국제 과학계의 자문도 받아 최종 선정할 필요성 있음

3. WG2(통신) 활동

가. WG2 개요

○ ILN Comm WG은 참여회원국간 2008년 최종보고서 작성까지 2008년 8월 이후로 10번 이상의 전화회의를¹⁾ 통한 기술협의를 다루어야할 기술의제에 따라

1) #1: 2008 08 12, #2: 2008 09 16, #3: 2008 10 07, #4: 2008 11 13, #5: 2008 12 11, #6: 2008 12 16 #7: 2009 01 06, #8: 2009 01 08, #9: 2009 01 21, #10: 2009 01 28,

수행하였음

- 본 WG에 참석한 구성원은 ILN 참가의향서에 서명한 나라의 대표기관별로 최소 1인 이상으로 구성되었으며, 전체12명2)으로 구성되어 운용되었음

○ ILN Comm WG의 회장은(Chair) 미국 NASA의 James Schier가, 일본 JAXA의 Dr.Takahiro Yamada가 부회장(Co-chair)를 담당하였음. 각 기관별 멤버 구성원들은 이 분야의 오랜 경험을 갖고 있는 전문가들로 구성이 되어 있음

나. 2008년도 WG2 수행 업무 내용

○ 10차례 이상의 전화회의를 통해 이루어진 WG2의 주요한 관련 업무 성과를 정리하면 다음과 같음

○ 국제기구인 SFCG (Space Frequency Coordination Group), CCSDS, IOAG/IOP에 모두 ILN에서 요구하는 내용들을 인지하게 하였고, 성공적 임무 목적을 위해 필요한 관련 업무를 지원할 수 있도록 하였음.

- ILN Comm WG이나 SFCG에서 모두 주파수 할당과 할당된 주파수의 이용에 있어 크게 문제되지 않는다는 점을 확인하였음.
- SISG's 보고서 ("Recommendations on a Strategy for Space Internetworking," 15 November 2008, including ILN communications scenarios for interoperability)는 IOAG와 IOP에 의해 모두 문제없이 승인되는 결과를 얻었음.

○ ILN의 예비 운영개념과 시나리오들은 비록 CCSDS 표준에 맞게 개발되었으나, 해당되는 모든 ILN 참여국에게도 모두 이 표준들이 상호운영가능함을 확인하는 기술 검토가 필요하다는 것을 모두 인식하게 하였음.

○ 달의 보이지 않는 반대편에 위치한 far-side nodes와의 통신을 위해서는 달

#11: 2009 02 04 #12: 2009 02 06

2) Dr. Takahiro Yamada(JAXA, Japan) Olivier Bompis(CNES, France), Dr. Hermann Bischl(DLR, Germany), Tomaso deCola(DLR, Germany), Dr. Nicolas Perlot(DLR, Germany), Dr. Peter Allan(BNSC, UK), Loredana Bruca(ASI, Italy), Sang-Il Ahn(KARI,Korea), Dr. Byoung-Sun Lee(ETRI,Korea) Jim Schier(NASA,USA), L. Sreenivasan(ISRO, India), Brian Morse(NASA, USA)

궤도 통신 중계위성(lunar-orbiting communications relay)이 반드시 필요함을 확인함.

○ 전체 6년에 걸쳐 모든 ILN 노드의 생성 정보를 획득하기 위해서는 달궤도 통신 중계위성(lunar-orbiting communications relay)을 6-10년 동안 운영해야함을 모든 구성원들이 인식하게 되었음.

○ 달궤도 통신 중계위성(lunar-orbiting communications relay)을 사용하는 개념은, 이 중계위성이 고려 안 되었을 경우, 각 노드가 갖추어야 하는 통신 탑재체 요구조건을 대폭 완화시킴으로써 전체 ILN 사업의 측면에서 볼 때, 부가적인 장점이 될 수 있다는 것을 인식하게 됨.

○ 여러 나라/기관에서 달궤도 통신 중계위성(lunar-orbiting communications relay) 구축에 관심이 있고, 또한 공동 개발시 비용 절감의 효과가 가능함을 확인하였음.

○ 지구에서 보이는 달 표면상에 위치한 Near-side nodes들은 수kbps의 속도로 지구와 직접 통신이 가능하나, 보이지 않는 Far-side의 경우는 low lunar orbit상의 통신중계위성을 통해, 약 175MB를 정도를 저장하였다가, 5Mbps정도의 속도로 천천히 전송하는 것이 기술적으로 가능하다는 것을 확인함.

○ 특별한 Position, Navigation, and Timing (PNT)의 성능을 요구하거나 새로운 관련 기술 개발에 관한 요구조건이 이번 WG에서는 논의되지 않았음.

○ NASA SDT에서 Far-side ILN stations들이 LRRs을 구비 안하기로 결장함에 따라, 레이저 레인징에 관련한 기구물에 대한 필요성이 확인된 부분은 없었음.

○ Site selection criteria는 패스기간에 영향을 주는 terrain masking과, site간 위경도 위치 이격거리를 고려해야 한다는 것을 확인함. (그 이유는 최소한의 relay capability는 한 번에 한 개의 ILN surface station과 통신을 할 수 있기 때문임)

○ Optical communications links는 선택사항으로 lunar relay satellites, lunar landers, 그리고 earth stations간의 data relaying로 사용가능하며, 망으로 연결된 optical ground station network은 maximum throughput과 reliability를 제공할 수 있다는 것을 확인함.

4. WG4(기술) 활동

가. 개요

○ WG4는 2008년 8월 24일, 미국 NASA Ames에서 개최된 ILN 총괄회의에서 달 착륙선에 대한 원자력 전력원(RPS)에 대한 필요성이 제기되고 대안 전력계에 대한 기술검토와 더불어 다른 한계기술에 대한 검토를 위해 발족됨

○ 의장국은 일본(JAXA), 부의장국은 영국(BNSC)이 담당하였으며 총 8개국의 10여개 기관이 회원으로 활동함

○ WG4는 2008년 9월 모임의 발족이래 총 7회의 전화회의 또는 대면회의를 가졌으며 주로 달 착륙선이 극한상황에서 장시간동안 견딜 수 있는 전력계 기술을 중심으로 연료전지 및 원자력전지(RTG, Radioisotope Thermoelectric Generator)에 대한 ILN 착륙선 적용가능성을 연구해 왔으며 제3차 총괄회의 때 활동의 결과물로 보고서 초안을 제출함

○ 한국이 ILN 참여의향서에 서명한 이후, ILN 기술위원회에서 기술 작업반회의(WG4, Enabling Technology Working Group)에 참여하기로 결정하고 한국측 담당자로 주광혁 박사(한국항공우주연구원)와 방효충 교수(KAIST)를 각각 정, 부로 지명하고 관련기술의 검토는 필요시 공학기술팀(EDT)에서 수행

나. WG 회의 참석

표 5.17 WG4 회의 내용

회차	개최일	주요회의내용 및 회의결과	비고
1	2008.9.12	Kick-Off 회의	<ul style="list-style-type: none"> 전화회의 7개국기관참석

		<ul style="list-style-type: none"> • WG4 발족계기 설명 • WG4 업무범위 협의 • WG4 업무목표 및 추진방향 설정 • WG4 향후 회의일정 협의 	
2	2008.10.1	<ul style="list-style-type: none"> • WG4의 기술 검토 업무범위를 착륙선의 Survivability에 국한하여 진행하는 것으로 확인하고 참석국간의 동의유도 • WG4의 Enabling Technology의 검토를 위해 WG1과 협조 및 WG1의 요구사항 우선도출 필요성 제기 • NASA ILN 프로그램 현황 보고 • JAXA의 탑재체 운용방안과 전력조건 및 열제어방안소개 	<ul style="list-style-type: none"> • 대면회의 • 2008 IAC 회의장(영국 Glasgow, UK) • 8개국기관 참석
3	2008.10.29	<ul style="list-style-type: none"> • Term of Reference 승인 • ILN 진행상황 발표 <ul style="list-style-type: none"> - NASA의 ILN 노드 개념설계 진행상황 - 이태리 및 독일의 달 탐사기술 보유현황 - 영국 MoonLITE 개발현황 • 향후 WG 업무추진계획 및 Action Item 협의 	<ul style="list-style-type: none"> • 전화회의/대면회의 • LEAG 회의장(미국 Florida) • 6개국기관 참석
4	2008.12.08	<ul style="list-style-type: none"> • ILN 기술현황 발표 <ul style="list-style-type: none"> - JAXA의 연료전지 개념설계 결과발표 - JAXA 및 DLR 달 탐사기술 보유현황 발표 • ILN 업무추진계획 및 Action Item 검토 협의 	<ul style="list-style-type: none"> • 전화회의 • 4개국기관참석
5	2009.1.15	<ul style="list-style-type: none"> • ILN 기술현황 발표 <ul style="list-style-type: none"> - NASA ILN 노드의 Pre-Phase A 연구결과 발표 - 영국의 MoonLITE 프로그램 진행 현황 발표 - 캐나다 ILN 추진현황 발표 • 국가별 보유기술 목록작성 방법 설명 • WG4 보고서 목차 검토 및 업무분담 	<ul style="list-style-type: none"> • 전화회의 • 5개국기관 참석
6	2009.2.13	<ul style="list-style-type: none"> • ILN 기술현황 발표 <ul style="list-style-type: none"> - ILN 노드의 연료전지 전력계 예비검토 결과 발표 • WG4 활동보고서 초안 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 원자력전지 내용 포함 - 타 기술 포함 여부 협의 	<ul style="list-style-type: none"> • 전화회의 • 4개국기관 참석
7	2009.3.12	<ul style="list-style-type: none"> • WG4 활동보고서 초안 내용 수정 <ul style="list-style-type: none"> - 목차 수정 - 연료전지형 전력계 내용 설명 및 수정 - RTG 부분 내용추가 설명 및 ILN 착륙선 임무 조건 분석 - 다른 방식의 전력계 협의 • WG4 향후 활동내용 및 일정협의 	<ul style="list-style-type: none"> • 대면회의 • ILN 총괄회의(일본 요코하마) • 5개국기관 참석

다. 활동보고서 요약

○ WG4의 활동보고서는 WG 구성배경, Term of Reference, WG 회원명단, ILN 전력계 요구조건, 원자력전지 개발현황 및 기술분석, 연료전지기반의 전력계 기술 분석, 그 외 실행기술(Enabling Technology) 후보목록 등으로 구성되어 있음

○ WG4의 구성목적(Term of Reference중에서 발췌)

- The WG4 of the ILN was established by the ILN Plenary Group with the following objectives.

a) Identify the technological requirements of the ILN nodes.

b) Identify enabling technologies that will be crucial in realizing the ILN nodes.

c) Survey enabling technologies and their current levels of development.

d) Determine required and recommended technology developments in the future.

- ILN 노드의 기술적 요구사항 규정

- ILN 노드를 구현하기 위해 필요한 실행기술의 규정

- 실행기술의 현황조사

- 미래 소요 기술 및 추천기술 규정

○ ILN전력계 요구조건

- WG1의 공동탑재체 방안에 따라 전력계 요구조건이 좌우됨

- 요구전력 : 10W이하(탑재체), 50W이하(추가기술에 대한 부가조건)

- 작동요구조건 : 전력계는 밤낮(각각 2주) 전전후에 지속적으로 작동가능

제 6 장 ILN 참여방안

제 1 절 참여의 필요성

1. 사업추진 시의성

가. 자력 달탐사를 위한 중간진입 전략으로 적절

○ 우리나라는 2020년 달 탐사 궤도선, 2025년 달 착륙선의 발사를 계획하고 있으나(우주개발사업세부실천로드맵) 달 탐사에 관한 핵심기술 확보는 미비한 상태임

○ 시기적으로 2016년 경 미국의 ILN 참여는 우리나라가 달 탐사 관련 기술을 축적하여 2020년경 자력 달 탐사에 연계할 수 있는 적합한 시기로 자력 달 탐사를 위한 중간진입전략으로 활용효과가 클 것으로 기대

나. 국제 달탐사 흐름에 적시 진입

○ 미국, 중국, 일본 등 주요 우주 선진국들은 2020년경 유인 달 기지건설을 목표로 달 탐사를 추진하고 있으며, 이를 위한 선행연구를 위해 무인 달 궤도선을 발사하였음

- 일본 가쿠야 달 궤도선('07.9.), 중국 창어 달 궤도선('07.10.), 인도 찬드라얀 달 궤도선('08.10.)

○ 현재 계획된 우리나라의 자력 달 궤도선의 발사시기인 2020년은 주요 우주 선진국의 유인 달 탐사시기로 2016년경 ILN에 참여하여 우리나라의 달 탐사 시기를 앞당길 필요성 있음

다. 미국과의 우주협력 강화를 위한 적절한 시기

○ 우리나라는 러시아와 발사체 개발 협력, 프랑스, 이스라엘 등 유럽국가와 다목적실용위성 및 통신해양기상위성 개발사업을 추진하여 왔으나 미국과는 우주 분야 협력이 미비하였음

○ 지속적인 우주탐사를 위해 미국은 국제협력으로 우주탐사를 추진할 것을 제안하였으며 우리나라를 비롯 14개국은 국제우주탐사전략(Global Exploration Strategt)에 서명하였음

○ ILN사업은 미국이 우리나라에 제안한 우주분야 협력으로 제 1의 우주강국인

미국과의 우주분야 협력을 추진하여 미국-한국간 우주분야 협력 네트워크를 강화할 적절한 사업으로 판단됨

라. 우리나라-미국 양국 정상 간의 합의

○ 우리나라 이명박대통령과 미국 부시 대통령은 한·미 정상회담에서 국제 달 네트워크 사업(ILN) 참여 등의 우주협력을 강화하기로 합의함에 따라 ILN 사업을 적극 추진하여 우주분야 협력을 통한 양국간의 우호관계를 돈독히 할 필요성 있음

※ ILN 관련 VIP 말씀 내용

- '08.8.6. 한미 정상회담 공동성명

양국 정상은 민간 우주탐사, 우주과학 등의 분야에서 긴밀한 협력을 적극 추진키로 합의

- '08.8.6. 한미정상회담 기자 브리핑

한·미 양국은 우호적 탐사 과학기술위성, NASA가 주도하는 국제 달 네트워크 사업 참여와 같은 항공우주분야 협력을 강화키로 합의

2. 사업추진 필요성

○ 기술진보

- ILN 참여를 통하여 달 탐사선 개발에 필요한 핵심기술을 획득하여 우주개발사업 세부실천로드맵(2007.11)에 따른 우리나라의 달 궤도선(2020) 및 달 착륙선(2025)의 개발에 활용
- 우리나라는 위성기술을 어느 정도 확보하고 있으나, 달 착륙, 달 환경 임무 수행 등의 우주탐사 핵심기술의 축적은 미흡한 상태
- 달 탐사 및 우주탐사는 국가의 과학기술력을 나타내는 척도로, ILN 참여를 통하여 과학기술 강국으로의 국가 위상 제고가 기대됨

○ 우주과학 증진 및 자원 활용

- 최신의 달 관측 자료를 관측 즉시 수신하고, 다른 나라와 자료를 공유함으로써, 풍부한 달 관측 자료를 우주과학 연구 분야 뿐만 아니라 자원활용, 교육용 교재, 방송 등에 활용
- 우리나라 우주과학의 연구 분야를 확장하고, 티타늄, 헬륨-3 등 희귀 자원의

맵을 작성할 수 있음

- 기존 다목적실용위성, 통신해양기상 위성 등의 위성개발 사업은 국가적 수요에 의해 실용성을 목적으로 개발되었음. 인공위성을 활용한 기초과학의 증진을 위해 개발된 위성은 과학기술위성 시리즈가 있으나, 위성 1기당 투자 예산의 규모는 다목적위성의 1/30배 정도로 미비하게 투자됨.
- 1998년부터 2007년간 세계 주요국의 지구관측 위성은 98개 발사되었고, 정부의 총 위성 개발 투자의 37%를 차지하며, 우주과학위성은 84개 발사되었고 총 위성 개발 투자의 33%를 차지함
- 세계 주요국의 위성개발 경향에서 보듯이 각국은 지구관측 위성 투자에 근접하게 과학위성 개발에 투자하고 있음
- 우리나라도 달 궤도선 및 착륙선 개발을 통하여 우주과학의 증진을 도모하고 국가 기초과학 분야의 수준을 제고할 필요성 있음

○ 국제협력 강화

- ILN 참여는 우주탐사를 선도하는 미국과 국제협력을 강화할 수 있는 좋은 기회로 선진국의 유인 달탐사 기지건설시 동참할 수 있는 협력 네트워크 형성
- ILN을 우리나라의 자력발사 달 탐사를 위한 중간진입 전략으로 활용하여 국제 우주탐사 흐름에 적시 동참
 - ※ ILN 참여로 우주 선진국(미국, 영국, 일본, 독일, 프랑스, 캐나다, 인도, 이탈리아, 한국)들과 우주분야 협력 네트워크 형성

○ 경제적 효과

- 우리나라가 세계 선진국이 참여하는 ILN에 참여하여 달 탐사를 추진하면 국가 이미지 제고에 따른 원산지 효과가 나타날 것으로 기대
- 중국의 유인우주선 발사에 따른 외국인의 대 중국 태도는 응답자의 66.6%가 기존의 부정적 인식에서 긍정적으로 사고로 전환하였고, 중국산 제품에 대해 응답자의 63.4%가 보통 이상의 인지도 상승을 가져왔다고 응답함³⁾

3. 상위계획과의 부합성

3) KIET, 우주개발에 따른 경제적 파급효과 분석, 2004.9.

가. 「우주개발진흥법」에 따른 「우주개발진흥기본계획」(‘07) 반영

○ 우주개발진흥기본계획의 시사점으로 위성기술 자립화 이후 한 차원 높은 우주개발을 위한 비전(예: 우주탐사) 제시 필요성 제시

○ 우주개발 비전 실천을 위한 6대 전략 중 하나인 우주개발사업의 진흥시책 반영

- 우주개발사업의 진흥시책 강화를 위한 과제로 4개 과제를 추진할 것을 「우주개발진흥기본계획」에 명기한 바, 달 탐사를 우주탐사 프로그램 준비에 명기

과제 1. 위성체 기술개발 자립

과제 2. 발사체 기술개발 자립

과제 3. 우주개발 산업화 역량 강화

과제 4. 우주탐사 프로그램 준비

과제 4 우주탐사 프로그램 준비

지구를 관측하는 위성체와 발사체의 기술자립이후 중장기적으로 우주탐사프로그램 준비

○ 국내전문인력, 기술, 예산 등을 고려하여 행성탐사 기초 연구와 국제협력을 통해 기반기술 확보를 위한 선행 연구 추진

○ 미국, 유럽, 일본 등 우주선진국의 국제 우주탐사프로그램에 참여하여 기초기술을 습득하는 방안 검토

나. 「우주개발사업 세부실천로드맵」(‘07)에 반영

○ 발사체 기술자립 전까지는 국제협력을 통해 우주탐사에 참여(‘07.11., 「우주개발사업 세부실천로드맵」)

Ⅲ. 우주탐사

2. 기술개발 목표

[기본 목표]

- 우주탐사 프로그램을 중장기적으로 추진
 - 2017년부터 2020년까지 달탐사위성(궤도선) 1호 개발
 - 2021년부터 2025년까지 달탐사위성(착륙선) 2호 개발
- 지구 관측용 위성체와 발사체 기술자립 이후 중장기적으로 우주탐사 프로그램을 준비하고, 행성탐사를 위한 우주과학 연구의 기초기반 구축

[기술개발 목표]

- 발사체 기술자립 전까지는 국제협력을 통해 우주탐사에 참여하여 향후 독자 우주탐사 추진을 위한 기반기술을 확보하고 임무 수행을 위한 탑재체 및 본체 선행기술 연구 수행
- 발사체 기술자립 이후 우주탐사위성 자력발사 추진
- 국제협력을 통해 국제우주정거장(ISS) 우주실험 수행과 우주탐사 기반기술 확보를 위한 선행 연구 추진

4. 기존 사업과의 차별성

가. 기존 우주개발사업과의 차별성 - 본격적 국제협력의 기회

○ 다목적실용위성 사업 및 KSLV-I의 사업 등에서 국제협력이 이루어졌지만 이는 우리가 부족한 기술부분에 대해 협력이 이루어진 것으로 각국의 독립적인 기여를 통해 공동의 목적달성을 꾀하는 우주분야의 국제협력은 ILN 참여로 처음 시도되는 것임

○ 미국이 우리나라를 비롯하여 세계 8개국에 ILN 참여를 제안한 것은 우리나라의 우주분야 기술력이 어느 정도 수준에 도달한 것으로 평가되고 있음을 나타냄

○ 국제사회에서 우리나라의 국가 경제력에 걸 맞는 국제공조의 우주활동을 펼칠 수 있는 좋은 기회이며 미국과의 실질적 우주협력 네트워크를 구성할 수 있는 기회라는 점에서 기존 국가 우주개발 사업과 크게 차별화됨

나. 과학기술위성 사업과의 차별성 - 우주과학 수준의 일류화

○ 과학기술위성 1호의 연구결과가 국제적으로 저명한 천체물리학회지 *Astrophysical Journal Letter*의 특별호로 게재되는 등 지금까지 개발된 과학위성 시리즈는 우리나라 우주과학의 발전에 큰 기여를 해 왔으나,

○ 세계적으로 공동의 관심사인 우리지구의 기원 등에 열쇠가 되는 달 과학에 관한 연구는 전무한 상태임

○ ILN의 참여는 우리가 관측한 자료 뿐만 아니라 ILN 참여국이 획득한 자료까지 공유할 수 있어 달 과학의 기본 데이터를 충분히 얻을 수 있어 우리나라 달 과학의 수준을 세계 선두로 이끌 수 있다는 점에서 기존 과학기술위성 사업과 차별화 됨

5. 사업추진상의 위험요인과 대응방안

가. 국제협력사업의 특성에 따른 계획변경

○ ILN이 미국 주도로 추진됨에 따라 미국의 국내 예산 획득 및 정책 변화에 따라 국제 달 네트워크의 구성 및 운영시기가 변동될 수 있음

○ 일본, 인도 등은 자국의 달 탐사선 개발을 독자적으로 추진하여 발사된 탐사선을 통해 ILN에 참여하는 전략을 수립 중임

○ 우리나라도 우리나라의 달 탐사 계획을 추진하되, 미국의 ILN 운영시기와 비슷하게 달 탐사선을 발사하여 미국의 계획 변경이 우리나라의 달 탐사선 개발 시기에 영향을 미치지 않도록 대응

나. 핵심기술 확보

○ 우리나라가 다목적실용위성과 통신해양기상위성의 개발로 위성체 분야에 기술을 어느 정도 축적함에 따라 달 탐사선의 개발에는 큰 기술적 어려움이 없을 것으로 예측되나, 달 착륙 기술, 탑재체 기술, 달 탐사 기술 등의 축적은 미비한 상태임

○ 또한 이러한 기술 등은 국가 간 기술이전이 어려운 핵심기술로 국제협력으로 획득하기에는 한계가 있음

○ 달 탐사를 위한 핵심기반기술연구를 조기에 추진하여 국내 산업체, 연구계, 학계에 산재되어 있는 달 탐사 관련 기초연구의 역량을 응집하고, 장기적으로 핵심기술을 확보하도록 추진

다. 국내 ILN 참여 기관간의 역할 및 책임

○ 달 탐사 관련 축적된 경험이 거의 없는 현 시점에서 우리나라의 달 탐사는 우리나라 전체의 달 탐사 관련 연구소, 대학, 기업이 참여하는 사업이 될 것임. 이에 따른 여러 기관의 역할 분담과 책임 범위가 모호해 질 수 있음

○ 주관 연구기관이 사업 착수 전에 국내 달 관련 커뮤니티의 상황 파악과 역할 조정을 통하여 사업 예산과 연구시간 및 인력을 효율적으로 투입할 필요성 있음

제 2 절 추진전략

1. 우리나라의 달 탐사선 개발과 연계하여 ILN 참여 추진

○ 우리나라는 우주개발사업 세부실천로드맵(2007.11)에 달 궤도선(2020) 및 달 착륙선(2025)의 개발 계획 명시

○ 항우연 및 관련기관이 공동으로 참여하여 수행한 달탐사 계획수립을 위한 기획연구(2008.10) 결과, 달 탐사선 개발측면에서는 2020년까지 달 궤도선 1기, 달 착륙선 1기의 개발이 가능한 것으로 분석됨

○ 우리나라가 ILN사업에 참여한다면 현재 상황에서 우리나라 달 탐사 계획을 조기사행하는 것이 기술확보 측면에서 보다 유리함

2. 참여방안

○ 참여방안

- 1안 : 달 탐사 핵심기반기술개발을 통한 위성부분품 공급

달 탐사를 위한 핵심기반기술과 병행하여 일부 위성 부분품을 제작하여 공급

- 2안 : 미국 ILN 착륙선에 공동탑재체 및 위성부분품 공급

공동탑재체, 위성 부분품 등을 제작하여 공급

달 탐사를 위한 핵심기반기술과 병행하여 추진

- 3안 : (2안) + 심우주 지상국 구축

공동탑재체, 위성 부분품, 심우주안테나 등을 제작하여 공급

달 탐사를 위한 핵심기반기술과 병행

관계 및 데이터수신이 가능한 26m급이상의 심우주안테나 설계, 제작과 달 과학 데이터 수신 및 처리기술개발

※ 미국과의 ILN 착륙선 공동개발방안은 기술이전 및 설계자료 공유에 대한 미국의 부정적인 입장, 한국형발사체의 개발시기 지연으로 인한 한국형 달탐사선 개발일정의 조정 등으로 인해 추진방안에 포함하지 않음

○ 추진전략

- 달 탐사 핵심기반기술과 연계하여 일부 부분품 개발

- 전자기장측정계와 레이저반사경은 국내주도로 개발하고 달 지진계와 지열측정계는 해외협력을 통하여 개발하여 최소 1기씩 공급

※ 미국과의 추후 협의결과 및 국내 활용도를 고려하여 탑재체 결정

- 위성 부분품 공급은 기술자립도가 높은 부분품을 위주로 수행하고 미국과의 세부협의를 통해 결정

- 심우주 지상국을 통한 달 과학데이터의 독자수신/처리체계 구축과 더불어 한국형 달 탐사선의 지상국으로도 연계 활용

○ 추진체계

- 우주개발전문기관을 중심으로 종합관리를 수행

- 부분품과 지상국기술은 핵심기술 연구개발형태로 전문기관별로 분리하여 진행

- 공동탑재체는 선정된 개발기관이 직접 제작하고 ILN착륙선과의 인터페이스는 우주개발전문기관이 담당

제 3 절 추진체계

1. 기본 역할분담 체계

○ ILN 사업의 추진체계는 교육과학기술부가 전체를 총괄하는 구도하에 산학연이 협력체제를 이루어 역할분담을 하는 체계를 구축하는 것이 바람직함

○ 교육과학기술부

- 달 탐사에 대한 국가적 비전(Vision)을 제시 및 우주탐사 국민공감대 확보 주도

- 달 탐사 중장기계획 수립 및 ILN 사업계획수립, 정책지원, 예산산출 및 지원
- ILN사업 수행체계 효율화 및 관리감독
- 우주개발 산업체의 전문화 육성 및 지원
- 국가간 우주탐사 국제협력 창구
- 우주탐사전문연구기관(KARI)
 - 착륙선 개발 및 운용의 총괄책임
 - 착륙선 임무해석, 체계종합 및 종합시험평가
 - 탐사 핵심기술 연구개발, 실용화 및 산업체로의 기술이전 및 상용화지원
 - 분야별 전문연구기관, 대학, 산업체의 공동 협력체제 확립 및 기술연계체제 구축
 - 국제 공동연구 및 기술협력의 창구
- 분야별 전문기관
 - 전문분야별 핵심기술 연구 개발 및 해당서브시스템 개발 책임
- 산업체
 - 핵심 서브시스템 및 부품제작
- 대학
 - 우주원천기술 및 핵심선행기술 연구
 - 우주탐사 전문 인력 양성

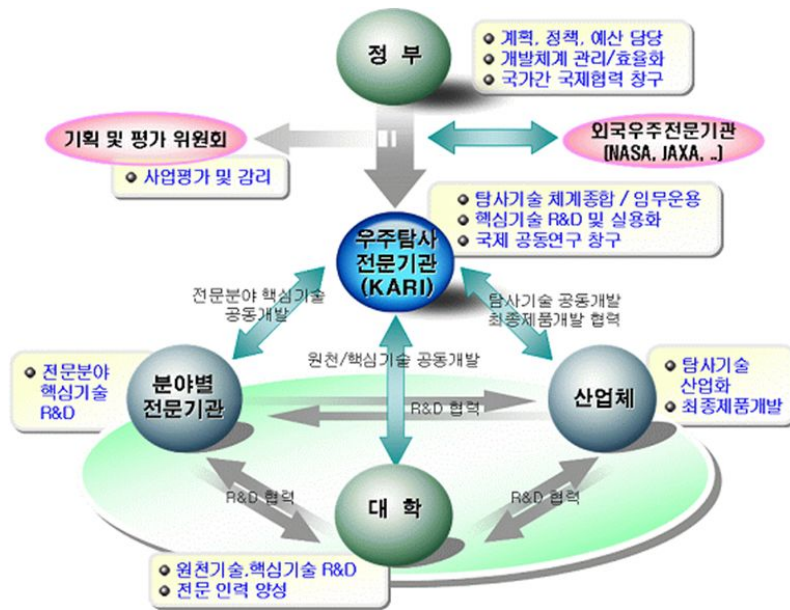


그림 6.1 달탐사 추진을 위한 기관별 역할분담체계

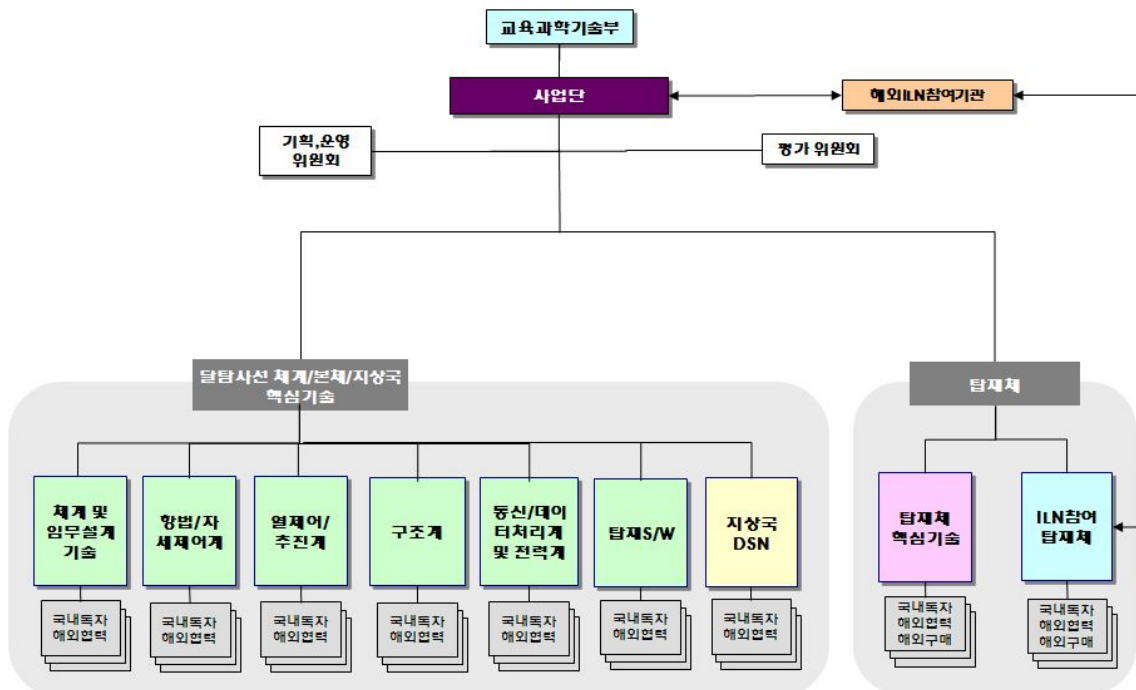


그림 6.2 달탐사 추진체계(2안 추진시)

제 4 절 추진일정

- '10년 7~8월 교과부 - NASA 우주기술협력회의 개최(잠정)
 - ILN 참여방안 등 양국간 우주협력방안 논의
- '10년 9월 ILN 참여방안 총괄회의 참석(유럽)
 - 공동탐재체 결정 및 참여국과의 협력방안 협의
- '11년 상반기중 ILN 참여결정 및 필요시 협약체결
- '11년~'15년 : 달 탐사 핵심기반기술 개발
- '12년~'17년 : 공동탐재체, 부분품, 심우주지상국 개발

제 5 절 소요예산

○ 방안 1,2,3 을 위하여 산출된 예산은 2009년을 기준으로 하였으므로 인건비 상승, 물가변동과 환율변동 여부에 따라 10~20%의 증가의 여지는 있는 것으로 판단된다. 인력의 경우 설계 및 개발방식에 따라 바뀔 수 있어 추정하는 것이 부적절하여 본 절에서는 포함되지 않았음

○ 지상국의 경우, ILN 착륙선의 임무수명은 5~6년을 예상하고 있으며 초기에 구축될 심우주용(DSN) 안테나와 관련 지상국 시설 및 장비가 한국형 궤도선과 착륙선의 임무에 최대한 그대로 활용하는 것을 감안하여 예산을 산출하였으나 ILN 단독 지상국의 경우 예산이 100억정도 상향 조정될 여지가 있음

○ 탐재체의 경우, 탑재 가능한 탐재체의 수와 같은 성능수준(해상도, 정밀도 등)에 따라 소요예산과 인력의 규모가 많이 달라질 수 있으며, 본 보고서에서는 ILN 착륙선의 경우, 미국 NASA에 제시한 탐재체의 허용기준을 고려하였으며, 한국형 궤도선의 경우 550kg급 위성을 기준으로 궤도선 임무를 각각 고려하여 산출된 탑재가능한 탐재체 중량을 적절히 감안하여 탐재체 예산에 반영하였음

표 6.1 달 착륙선 개발예산

구분	추진방안 개요	소요예산	비고
1안	달탐사 핵심기반기술 및 위성부분품 공급	150억	○ 핵심기반기술 및 부분품 : 150억
2안	공동탐재체 및 위성부분품 공급	350억	○ 핵심기반기술 및 부분품 : 150억 ○ 공동탐재체 : 200억
3안	공동탐재체, 위성부분품 및 심우주지상국 공급	550억	○ 핵심기반기술 및 부분품 : 150억 ○ 공동탐재체 : 200억 ○ 심우주 지상국 : 200억

※ 세부 예산의 상세 내역은 설계, 개발방식에 따라 변동될 수 있으며, 필요에 따라 분야별 예산은 조정되어야 함.

제 7 장 결론 및 제언

○ 우리나라는 우주 선진국에 비하여 비교적 짧은 우주개발 역사를 가지고 있으나 정부의 우주개발중장기계획의 체계적 추진, 우주분야 연구진의 도전과 열정, 국민의 성원에 힘입어 고해상도 인공위성 분야에 있어서는 세계7위권의 기술력을 갖게 되었음. 인공위성 분야의 축적된 기술력을 바탕으로 우리나라는 향후 7~8년 내에 충분히 자력으로 달 궤도선을 개발할 수 있다는 타당성도 확보하였으며(‘달 탐사 계획 수립을 위한 기획연구’, 한국항공우주연구원, 2008.10) 달 궤도선을 달로 보낼 발사체는 2018년 개발 완료될 한국형발사체를 활용할 계획임

○ 우주개발사업 세부실천로드맵에서 정부는 2018년 한국형발사체의 개발 후 달 궤도선과 달 착륙선의 자력 발사를 2020년 2025년으로 계획하고 있음. 발사체를 보유한 선진국의 예에서 보듯이 인공위성을 지구 궤도 위로 올린 후 달로 보내는 것은 발사체 임무 수행의 순연으로 한국형발사체를 이용한 우리나라 달 궤도선의 자력 발사는 우리나라의 우주개발 능력의 획기적인 도약 외에도 발사체의 성능을 세계에 알리는 중요한 이벤트가 될 것임

○ 우주개발진흥기본계획은 자력 발사 전에 국제협력으로 우주탐사를 진행할 계획을 명시하였음. 우리나라의 달 탐사 계획을 구체적으로 수립하고자 하는 시점에서 미국의 ILN 참여 제의는 자력 달 탐사를 위한 국제협력의 좋은 기회를 제공하고 있음. 자력 달 탐사 전에 국제협력은 비교적 적은 예산과 낮은 위험도로 달 탐사에 관한 경험을 축적할 수 있는 기회이며, 2020년 이후의 자력 달 탐사를 위한 준비 착수를 앞당길 수도 있기 때문임. 아울러 우리나라가 미국이 ILN참여 제의를 한 8개국 중에 하나였다는 점은 우리의 우주기술이 세계적으로 어느 정도의 경쟁력을 갖추고 있음을 입증하는 것으로 시사점이 큼.

○ 일본, 인도 등 해외 우주 선진국은 자국의 달 탐사 계획을 추진하되 ILN 사업 시기 전·후에 발사될 달 탐사선의 일부 기능이 ILN에 기여할 수 있도록 자국의 달 탐사계획을 ILN과 연계하고 있음, 우리나라도 우주 탐사 기술 획득의 최종 목표를 수립하고 자력 달 탐사선 개발을 위한 계획의 연장선 상에 ILN 참여를 놓아야 할 것임