

## 달 탐사를 위한 한국형 심우주 지상국

김상구\*, 윤동원\*, 현광민\*\*

## Ground Stations of Korean Deep Space Network for Lunar Explorations

Sanggoo Kim\*, Dongweon Yoon\* and Kwangmin Hyun\*\*

## ABSTRACT

Many countries of the world have been launched the competition of space development and Korea also has a plan for the launch of Lunar orbiter in 2020 and Lunar lander in 2025 for Lunar explorations. For the success of the planned Lunar exploration, we need to enhance the required deep space communication technologies. To achieve our goals, we should develop space communications system and Korean DSN (deep space network) based on experiences and technologies through cooperation with the advanced countries in the field of deep space exploration. In this paper, we investigate overseas DSNs and deep space communication systems, and present the link margin and other technical requirements for successful DSN deployment. In addition, we propose a best strategy to secure domestic ground stations for the Korean Lunar exploration missions.

## 초 록

세계 각국은 이미 우주 개발을 위한 치열한 경쟁에 돌입하였으며, 우리나라도 2020년에 달 탐사선 발사 및 2025년에 달 착륙선 발사를 계획하고 있다. 우리나라 달 탐사 계획을 성공적으로 수행하기 위해서는 심우주 통신 기술 및 지상국 설치등과 같은 심우주 관련 기술 개발이 필요하다. 이를 위하여 심우주 관련 선진국들과의 협력을 통하여 축적된 경험 및 기술을 바탕으로 한국형 달 탐사 임무에 적합한 심우주 통신 방식을 개발하고 독자적인 지상국을 확보하여야 한다. 본 논문에서는 우리나라의 DSN을 성공적으로 정착시키기 위하여 국외 DSN과 심우주 통신 기술에 대해서 살펴보고, 이를 바탕으로 링크 마진을 비롯한 여러 가지 기술적 요구사항을 제시하며 우리나라의 달 탐사 계획을 위해 필요한 최적의 지상국 확보 전략을 제안한다.

**Key Words** : Space communications(우주 통신), Deep space network(심우주 지상국), Lunar explorations(달 탐사), Link margin(링크 마진)

## I. 서 론

† 2010년 1월 19일 접수 ~ 2010년 4월 1일 심사완료

\* 정회원, 한양대학교 전자통신공학부  
교신저자, Email : dwyoon@hanyang.ac.kr  
서울시 성동구 행당동 17번지

\*\* 정회원, 강릉원주대학교 정보통신공학과

우주개발은 국가 및 인류의 미래와 직결되는 분야로 미래는 우주 기술을 선도하는 국가가 세계를 주도하게 될 것이며, 선진 각국은 이미 우주 개발을 위한 치열한 경쟁에 돌입한 실정이다.

이에 반해 우리나라는 지구 궤도 위성을 성공적으로 개발하고, 위성 발사, 위성체 기술에 대하여 괄목할 만한 성장을 이루었으나, 그 이상으로 달보다 먼 거리의 심우주 통신기술 및 시스템 개발은 현재까지 전무한 실정이다. 이에 따라, 우리나라는 2008년을 우주개발 원년으로 선포하여 2020년에 독자적으로 달 탐사선을 발사하고, 2025년에 달 착륙선을 보내기 위한 계획을 수립하여 우주 개발을 가속화 시키는 촉매제 역할과 더불어 본격적인 우주 강국 실현의 초석으로 삼으려 하고 있다[1]. 이러한 계획을 성공적으로 수행하기 위해서는 기존 달 탐사 및 심우주 관련 선진국들과의 협력이 필수적이고, 이들의 경험을 바탕으로 한국형 달 탐사 임무에 적합한 심우주 통신방식이 개발되고 지상국이 확보되어야 한다.

본 논문에서는 우리나라가 계획한 달 탐사를 성공적으로 수행하기 위하여 국외 우주 선진국들의 달 탐사 사례, 지상국 현황 및 통신 규격을 기반으로 심우주 통신을 위한 링크 성능과 기타 기술적 요소 분석을 수행한다. 이 결과를 이용하여 우리나라 달 탐사 계획을 위한 심우주 통신 시스템 및 심우주 지상국에 관한 기술적인 요구사항을 도출한다. 또한, 우리나라 심우주 연구의 현실적 여건을 고려하여 국내 위성용으로 사용되는 지상국 및 천체 관측을 위한 전파 망원경과 같은 여러 가지 우주 관련 가용 자원들을 분석하여 다양한 심우주 지상국 확보 전략들을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 국외 달 탐사 사례, 지상국 현황 및 통신 방식에 대하여 연구한다[2]-[4]. 3장은 달 탐사에 필요한 국외 지상국 시스템을 분석하고, 심우주 통신을 위하여 필요한 지상국 분석을 통하여 통신 링크 성능을 도출한다. 이를 통하여 4장에서는 한국형 달 탐사에 필요한 지상국 확보 방안을 제시하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 국외 달 탐사 및 심우주 지상국

국외에서는 주로 미국, 러시아, 유럽, 일본, 중국 등의 우주 개발 선진국들에 의해 활발한 개발이 이루어져 오고 있다. 우주 개발 선진국들은 각자 위성체 및 발사체 개발을 성공적으로 수행하였으며, 독자적인 위성 항법 시스템 및 우주 탐사 기술을 확보하고 있다. 1990년대 이후, 미국, 러시아, 유럽, 중국, 일본, 인도 등 세계 각국은 달 탐사에 박차를 가하고 있다. 각국의 달 탐사 사례 및 사용된 지상국에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

### 2.1 미국

미국은 미국항공우주국(NASA: National Aeronautics and Space Administration)을 중심으로 우주개발에 많은 투자를 하고 있으며, 규모나 기술수준에서 절대적인 우위를 점하고 있는 등 세계 우주산업의 약 40~50%를 차지하고 있다[5]. 달 착륙을 여러 번 수행했던 아폴로계획 이후 주춤했던 달 탐사는 1994년 클레멘타인(Clementine) 달 탐사 궤도선의 발사를 시작으로 1998년 달 탐사 궤도선인 루나 프로스펙터(Lunar Prospector)를 발사하면서 다시 활발히 이루어졌다[2]. 2009년 달 탐사 궤도선(LRO: Lunar Reconnaissance Orbiter)을 발사하였으며, 한국, 인도, 일본, 프랑스, 이탈리아, 영국, 캐나다, 독일 등의 각국 우주기관과 달 탐사를 공동으로 수행하기 위한 국제 달 네트워크(ILN: International Lunar Network) 프로젝트를 주도적으로 진행 중이다. 심우주 통신을 위한 미국 지상국은 캘리포니아의 Goldstone에 34m 및 70m, 스페인 Madrid, 호주 Canberra에 각각 26 / 34 / 70m 크기의 안테나가 위치해 있다[3].

### 2.2 유럽

유럽은 유럽우주국(ESA: European Space Agency)을 중심으로 활발히 우주개발 사업을 추진해 오고 있다. ESA에서는 2003년에 달 탐사 궤도선인 스마트 1호(SMART-1) 발사에 성공하였고, 이후 인도의 찬드라얀 1호(Chandrayaan-1)의 개발에도 참여하였다[4]. 유럽의 지상국은 ESTRACK(European Space Tracking) 네트워크로 구성되어 있다. ESTRACK은 프랑스의 Kourou, 스페인의 Maspalomas, Villafranca, Cebreros, 벨기에의 Redu, 포르투갈의 Santa Maria, 스웨덴의 Kiruna, 호주의 Perth, New Norcia 9지역의 핵심 지상국으로 이루어져 있으며, 케냐의 Malindi와 칠레의 Santiago, 노르웨이의 Svalbard의 지상국이 보조로 지원하고 있다[5]. 유럽의 지상국은 15m 및 35m 크기의 안테나로 구성되어 있다. 대부분의 지상국은 15m 크기이나, 2002년 호주 New Norcia와 2005년 스페인 Cebreros에 설치된 안테나는 심우주 통신이 가능한 35m 크기이다.

### 2.3 러시아

러시아는 구소련 시절에 개발되었던 기술과 발사 기지를 그대로 이어받아 러시아연방우주국(RFSA: Russian Federal Space Agency)을 중심으로 우주개발에 박차를 가하고 있다. 구소련의 달 탐사는 1959년 루나 1호(Lunar-1)가 처음으로

달 궤도에 진입하면서 시작되었다. 같은 해 루나 2호(Lunar-2)가 발사되어 달 표면까지 발사체를 보내는데 성공하였고, 루나 3호(Lunar-3)는 최초로 달 뒷면의 약 70%를 촬영하였다. 러시아 연방 우주국 프로젝트는 1976년 24호까지 발사하면서 달에 연착륙하여 월석 채취 및 토질 조사 등의 임무를 수행하였다. 이 후, 구소련의 붕괴 및 예산 부족 등 여러 문제에 직면하면서 우주개발 투자에 주춤하였으나, 2004년 이후 많은 예산이 다시 편성되기 시작하면서 30여년간 중단되었던 달 탐사를 재개하여 2012년에 달 탐사 궤도선 루나 글로브(Luna-Glob)를 발사할 계획이다[7].

### 2.4 일본

일본은 일본우주항공연구개발기구(JAXA: Japan Aerospace Exploration Agency)를 중심으로 신흥 우주강국을 목표로 우주개발 사업에 박차를 가하고 있다. 1990년 달 탐사 궤도선 Muses A 계획과 2004년 루나 A 계획, 그리고 2007년 셀레네(SELENE: Selenological and Engineering Explorer) 1호를 통하여 달 탐사를 추진하였으며, 셀레네 2호를 추진중에 있다. 이러한 계획과 함께 심우주 통신을 목적으로 나고야현의 Usuda와 Uchinoura에 지상국을 건설하였다. UDSC(Usuda Deep Space Center)는 64m 크기의 안테나를 이용하여 달 탐사선으로 명령을 전달하고 탐사선으로부터 관측 데이터를 수신하는 역할을 한다. 또한 USC(Uchinoura Space Center)는 34m 크기의 안테나를 이용하여 달 탐사선으로부터 관측 데이터를 수신하여 저장하는 역할을 한다[8].

### 2.5 중국

중국은 중국국가항천국(CNSA: China National Space Administration)을 중심으로 우주개발 사업에 지속적으로 투자해왔다. 1990년대 후반부터 중국정부는 921 공정이라는 총 3단계로 이루어진 유인우주선 개발 프로젝트를 추진하기 시작해서 2003년에는 유인 우주선인 선저우 5호(Shenzhou V)의 발사에 성공하고, 2005년에는 선저우 6호(Shenzhou VI)의 발사에 성공하였다. 이러한 유인 우주선 개발을 바탕으로 2005년에 달 탐사프로젝트인 창어 계획을 발표하여 2007년에 달 탐사 궤도선인 창어 1호(Chang'E-1)의 발사에 성공하였고 2012년 이전에 착륙선을, 2018년까지 유인 달 탐사선을 달 표면에 착륙시키려는 계획을 추진 중이다. 또한 창어 1호의 성공에 힘입어 2009년 12월에 창어 2호의 테스트를 시작하여

2010년이나 2011년에 창어 2호의 발사를 준비 중이다. 중국의 지상국은 미국이나 일본 등의 지상국들과는 다른 형태의 시스템 체계로 구성되어 있다[9]. 기존의 중국우주전파관측망(CVN: Chinese VLBI Network)을 이용하여 위치 파악 및 데이터를 수신하고 직경 12m 및 18m의 USB(Unified S-Band) 안테나를 이용하여 달 탐사선에 TT&C를 전송하는 독자적인 전송 체계를 구축하고 있다.

### 2.6 인도

인도는 우주부(DOS: Department of Space) 산하에 우주연구기구(ISRO: Indian Space Research Organization)와 우주위원회(SC: Space Commission)를 구성하여 국가의 전폭적인 지원을 받으면서 달 탐사를 비롯한 우주개발을 추진하고 있다. 2008년에 달 탐사 궤도선인 찬드라얀 1호 발사에 성공하였다. 인도의 지상국은 Bangalore 근처의 Byalalu에 위치해 있으며, 직경 18m 및 32m의 안테나로 구성되어 있다[10].

## III. 국외 지상국 시스템 및 기술 분석

달 탐사선에서 탐사 데이터를 지상국으로 보내는 경우, 통신 가능 시간이 제한적이므로 많은 양의 데이터를 빠른 시간에 전송해야 한다. 최근 달 탐사선인 셀레네 1호의 경우, S 대역에서 16kbps, X 대역에서 10Mbps의 데이터 전송속도를 지원하였다[11]. 그러므로 본 논문에서는 허황 링크의 경우, 10Mbps의 전송속도 지원을 기준으로 분석한다. 이를 통하여 본 장에서는 국외 지상국 시스템에 대하여 알아보고, 달 탐사선과의 원활한 통신을 하는데 필요한 지상국의 요구사항에 대하여 연구한다.

### 3.1 국외 지상국 시스템

국외에서는 우주 개발 선진국들에 의해 우주개발이 활발히 진행되고 있으며, 우주 탐사 기술 및 관제 기술을 확보하고 있다. 또한 이러한 기술 및 시스템을 세계 각국의 우주 탐사에 지원하여 경제적인 이익을 추구하고 있으며, 상호-지원하여 추가적인 지상국 건설에 필요한 경비 절감의 효과도 함께 추구하고 있다. 현재 달 탐사에 사용되고 있는 세계 각국의 지상국 현황을 2장에서 살펴보았으며, 표 1에는 국외 지상국 시스템의 안테나 직경, 주파수 대역 등의 주요 특징을 요약하여 나타내었다.

표 1에서 볼 수 있듯이 지상국에서 달 탐사선으로 명령 신호를 송신하는 Telecommand 신호

Table 1. The characteristics of overseas DSN

국가	안테나 직경		주파수 대역	상향 링크 (MHz)	하향 링크 (MHz)
	송신	수신			
미국	26m / 34m / 70m		S 대역	2025~2120 2110~2120	2200~2300
			X 대역	7145~7190 7190~7235	8400~8500
			Ka 대역	34200~34700	31800~32300
유럽	15m / 35m		S 대역	2025~2120	2200~2300
			X 대역	7145~7235	8400~8500
일본	64m	34m / 64m	S 대역	2025~2120	2200~2300
			X 대역	7145~7235	8400~8500
중국	12m / 18m	40m / 50m	S 대역	2025~2120	2200~2300
			X 대역	사용안함	8400~8500
인도	18m / 32m		S 대역	2025~2120	2200~2300
			X 대역	사용안함	8400~8500

의 경우에는 많은 데이터량을 필요로 하지 않으므로, 대부분 S 또는 X 대역의 약 12~26m의 안테나를 사용하고 있다. 달 탐사선에서 수집한 대용량의 데이터를 지상국으로 송신하는 데이터 신호의 경우에는 S 대역 및 X / Ka 대역을 사용하고, 약 26m 이상의 안테나를 사용하고 있음을 알 수 있다.

3.2 시스템 분석

먼 거리에서 데이터를 송신하는 탐사선의 경우에는 탐사선의 탑재체를 감안하면 안테나 크기, 송신 전력 등이 매우 제한적일 수밖에 없다. 이러한 제약사항을 극복하기 위한 방안으로는 지상국의 수신 성능을 향상시키는 것이다. 이러한

방법으로는 두 가지가 존재한다.

첫 번째, 달 탐사선에서 지상국으로 데이터를 송신할 경우, 신뢰성을 높이기 위하여 채널코딩, 변복조 방식 등 신호처리 방법을 이용한 수신 성능 향상 기법을 사용하는 것이다. 두 번째, 지상국에서 사용하는 안테나의 이득을 높이는 방법이다. 통신 기술을 이용한 수신 성능 향상 방법은 이동통신 등에서 많은 새로운 방법들이 연구되고 있지만 탐사선은 설계 기술과 설비로 인한 기술의 경직성이 크고 통신 기술의 발달에 따라 변경될 가능성이 적기 때문에 본 논문에서는 원활한 수신을 위한 지상국에 초점을 맞춘다.

신뢰성 있는 통신 링크를 구축하기 위하여 지상국 - 달 탐사선 간의 링크구성에 필요한 거리는 384,403km로 정의한다[12]. 또한 달 탐사선 안테나 타입, 송신 안테나 회로 손실, 송신 지향 손실 등의 기준모델의 세부 사항을 표 2에 나타내었다[13][14]. S, X, Ka 송신 주파수 대역을 2295, 8420, 32000MHz로 설정하여 국제 우주 통신

Table 2. The reference model of Lunar orbiter

구분	단위	S 대역	X 대역	Ka 대역
시스템 대역폭	MHz	26		
거리	km	384403		
전송 주파수	MHz	2295	8420	32000
송신전력	W	20.0		
	dBW	13.0		
송신안테나직경	m	1.2		
송신안테나효율		0.7		
송신안테나이득	dBi	27.7	38.9	50.5
송신안테나 회로손실	dB	0.6	0.4	0.25
송신 지향 손실	dB	$3.2 \times 10^{-6}$	$4.4 \times 10^{-5}$	$6.4 \times 10^{-4}$
자유 공간 손실	dB	211	222	234.2
대기 감쇠	dB	0.033	0.039	0.154
전리층 손실	dB	0.2		
강우 감쇠	dB	0.0	1.0	19.2
달전속밀도손실	dB	5.34	5.4	3.96
탐사선 잡음 온도	K	500		

권고 규격인 CCSDS(Consultative Committee for Space Data Systems)의 주파수 설정기준에 준하였다[15]. 달 탐사선의 안테나 직경은 1.2m, 송신 전력은 20W, 송신안테나 효율은 0.7, 달 전속 밀도 손실은 3.96~5.4dB, 달 탐사선의 안테나 잡음 온도는 500K로 가정한다[16][17]. 또한 주파수 대역별 경우 감쇠는 국제전기통신연합(ITU-R: International Telecommunication Union Radiocommunication)에서 권고하는 수치를 기준으로 한 통계적인 경우 감쇠량을 가정하였다[18].

### 3.3 링크 성능

앞 절에서 살펴본 달 탐사선 기준 모델에 의거하여 지상국과의 원활한 통신을 유지하기 위한 링크 성능을 도출 할 수 있다. 이 때, 지상국 사양에 따른 여러 가지 결과를 이용하여 지상국에 대한 기본적인 사항에 대한 기준을 설립할 수 있다. 링크 성능을 얻기 위해서는 여러 요소를 고려해야 한다.

첫째, 수신기에 도착하기까지 자유 공간 손실, 대기감쇠, 전리층 손실, 강우감쇠, 달 전속 밀도 손실 등 여러 요소들에 의해 발생하는 손실을 고려해야 한다. 둘째, 시스템 잡음, 송신전력, 부호화 이득, 안테나 이득 및 전송속도에 따라 링크 성능에 영향을 주는 요소를 고려해야 한다. 링크 성능을 계산하기 위하여 비트 오류 확률  $10^{-5}$ 을 만족하는 요구되는  $E_b/N_0$ 를 결정한다. 우주 통신 시스템 기준 모델 분석을 통해 계산된  $E_b/N_0$ 를 통하여 도출된  $E_b/N_0$ 와 전송성능을 만족하는 요구되는  $E_b/N_0$ 를 비교함으로써 링크 마진을 식 (1) 과 같이 나타낸다.

$$\text{링크마진} = \text{계산된 } E_b/N_0 - \text{요구되는 } E_b/N_0 \quad (1)$$

링크 마진이 음수가 될 경우 링크 성능의 기준인 비트 오류 확률  $10^{-5}$ 를 만족하지 못하여 통신링크 성능이 열화 된다. 따라서 계산된  $E_b/N_0$ 와 요구되는  $E_b/N_0$ 를 비교하기 위하여, 계산된  $E_b/N_0$ 는 식(2)와 같이 나타낼 수 있으며,  $R_b$ 는 비트 데이터 전송율,  $C/N_0$ 는 반송파 전력 대 잡음전력 밀도를 나타낸다[19].

$$[E_b/N_0] = [C/N_0] - [R_b] \quad (2)$$

여기서  $C/N_0$ 는 앞에서 언급된 여러 손실 요소들을 반영하여 계산한 수신 전력과 회로에서 발생하게 되는 잡음 전력 및 등가 잡음 대역폭에 의하여 계산된다[16]. 요구되는  $E_b/N_0$ 를 계산하기 위하여 QPSK 변조방식과 Uncoded 방식을 가정하여

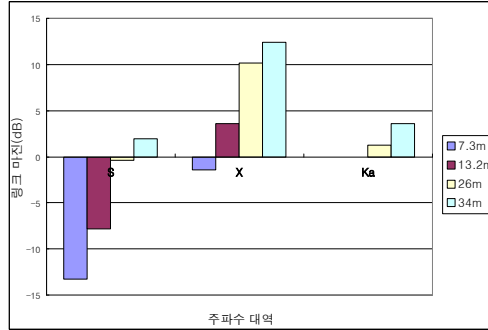


Fig. 1. Link performance according to antenna diameter (10M)

$10^{-5}$ 를 만족시키는  $E_b/N_0$ 는 9.6dB로 한다[20].

본 논문에서 고려하는 지상국 안테나 직경은 현재 국내에서 위성 통신용으로 사용되고 있는 7.3m, 13.2m의 S / X대역 안테나 및 국외 지상국에서 운용하고 있는 26m, 34m의 S / X / Ka 대역 안테나를 기준으로 하고, 데이터 전송속도는 10Mbps로 가정한다. 이러한 지상국의 안테나 직경 및 대역에 따른 달 탐사선과 지상국 간의 하향링크 성능을 그림 1에 나타내었다.

일반적으로, 사용하는 주파수 대역에 따라 동일한 링크 성능을 만족하는 안테나 직경은 달라지게 된다. 동일한 성능을 가지는 S대역 안테나 직경은 X대역에서 사용하는 안테나 직경보다 주파수가 낮기 때문에 요구되는 안테나의 직경이 더 커지게 된다. 따라서 동일한 대역에서 안테나 직경이 커짐에 따라 수신 안테나 이득이 향상되기 때문에 링크 성능이 증가함을 알 수 있다.

S대역의 경우, 7.3m와 13.2m 안테나는 요구되는  $E_b/N_0$  보다 각각 -13.2dB, -7.8dB씩 낮기 때문에 고속 대용량 데이터 신호를 송신하기는 어려우며, Telecommand와 같은 저속 통신에서만 사용 가능하다. 채널 부호화 방식을 적용했을 경우 부호화 방식에 따라 다르지만, 예를 들어 연접코드의 경우 일반적으로 약 2.5dB의 부호화 이득을 기대할 수 있기 때문에 이 경우 26m 안테나는 탐사 데이터 전송을 위한 10Mbps의 성능을 만족할 수 있다. X 대역의 경우, 동일한 직경의 S 대역의 안테나 보다 수신 안테나 이득이 증가하기 때문에, 전체적으로 S 대역보다 링크 성능이 증가함을 볼 수 있다. 7.3m 안테나의 경우에는 링크 마진이 -1.5dB로 10Mbps의 성능을 만족하기에는 부족하나 추가적인 이득을 기대할 수 있는 채널 부호화를 적용하여 극복함으로써 X 대역에서는 모든 안테나를 이용하여 탐사 데이터 전송을 위해 요구되는 성능을 만족 할 수 있다. Ka

대역의 경우에는 20GHz 이상 대역에서 강우에 의한 흡수와 산란 정도가 심해지기 때문에 X 대역 보다는 성능 열화를 보이고 있으나, 26m급 이상의 지상국을 이용한다면 달 탐사선과의 원활한 통신이 가능할 것으로 기대된다. 특히 이 대역은 넓은 주파수 대역폭을 사용할 수 있는 장점을 가지고 있으므로 대용량 데이터를 전송해야 하는 고속 대용량 데이터 신호의 전송 대역으로 고려할 필요가 있다.

#### IV. 한국형 심우주 지상국

우리나라는 아직까지 심우주 통신을 위한 독자적인 지상국을 확보하지 못하고 있으며, 앞으로 다가오는 2020년 달 탐사에는 반드시 한 개 이상의 지상국을 필요하게 될 것이다. 현재 우리나라의 지상국들은 대전, 금산, 보은 등에 위성통신용 안테나와 서울, 울산, 제주도 세 곳에 VLBI 안테나가 구축되어 있으며, 이들 안테나에 대하여 표 3에 요약하여 나타내었다.

현재까지 심우주 통신을 목적으로하는 전용 지상국은 존재하지 않는다[21]-[23]. 이러한 환경에서 심우주 통신용 지상국을 확보하기 위한 방법으로는 두 가지를 고려 할 수 있다.

첫 번째, 기존의 지상국을 활용하는 방법이다. 이미 위성 통신용으로 사용하고 있는 지상국을 심우주 지상국으로 그대로 이용하거나 보완 구축하여 심우주 전용 지상국으로 재건축하여 이용하는 것이다. 그러나 기존의 지상국을 그대로 사용하는 경우에는 S 대역 및 X 대역으로 활용이 가능하지만 다음과 같은 기술적 제한사항이 발생한다.

1) 위성에 따라 지상국 안테나는 제한된 시간에 그 위성을 지향하고 있어야하므로 달 탐사를 위한 통신 시간에 영향을 받을 수 있다.

2) 고속 대용량 데이터 전송에 있어 전송 속도에 제한이 있을 수 있다.

3) 기존의 지상국은 각각 서비스와 목적들을 달리하므로 이에 대한 고려가 필요하고 좀 더 세밀한 분석을 수행한 후 활용 가능 여부를 판단해야 한다. 또한, 설비 관점에서 심우주 통신방식을 지원하기 위해서는 추가적인 설치와 변경이 필요하며, 병행 서비스를 위한 여러 가지 고려 사항이 발생하게 되므로 조심스런 접근이 필요하다.

본 논문에서는 10Mbps를 기준으로 링크 성능을 도출하였지만, 향후 대용량 멀티미디어 데이터를 전송하기 위해서는 더 높은 전송 속도와 넓은 대역폭이 요구될 것이다. 따라서 기존의 지상국을 활용한다면 이러한 제한 조건들이 고려되어야 할 것이다.

두 번째, 심우주 전용 지상국을 구축하는 방법이다. 이미 우주 선진국들은 최소 1개 이상의 심우주 통신용 지상국을 구축하여 운영하고 있으며, 이를 이용하여 국가간 상호-지원 개념으로 서로 협력하고 있다. 또한 Ka 대역은 미래 심우주 통신을 위한 주 관심 대역이다. 미래에는 탐사 대상에 대한 정밀한 영상과 고화질의 영상을 요구하게 되어 대용량의 데이터가 발생하게 된다. 이러한 고속의 대용량 멀티미디어 정보를 전송하기 위해서는 더 넓은 대역폭을 필요로 한다.

이에 따라 국제전기통신연합의 전파규칙(RR: Radio Regulation)에서 우리나라에 분배된 주파수중 우주 통신용으로 사용 가능한 주파수 대역을 표 4에 정리하여 나타내었다[24]. Ka 대역은

Table 3. Domestic ground stations

구분	용도	안테나 직경(m)	주파수 대역
KGS	다목적 실용위성 관제 및 데이터 수신	7.3, 13.2	S, X
금산/보은 지상국	태평양/인도양 연안 국가 및 선박과의 교신	11, 13, 27.4, 30, 32	C, Ku
ETRI 안테나	Ka 대역 시험용 (향 후 통신해양 기상 위성 서비스용)	7.2	Ka
KVN	우주전파신호 수신 (전파망원경)	21	Ka, V, mm

Table 4. Frequency band for space communications

주파수 대역(MHz)	
S 대역	2025~2110
	2200-2290
	2670-2690
X 대역	7145-7190
	7900-8025
	8025-8500
Ka 대역	25250-27500
	30000-31000
	31800-32300
	34200-34700
	34700-35200

S 대역과 X 대역에 비하여 보다 많은 주파수 대역폭의 확보가 가능하다. 즉, 고속 대용량 멀티미디어 데이터를 전송하기 위하여 달 탐사를 위한 심우주 통신에 고려되어야 하는 대역으로 Ka 대역용 안테나는 장기적인 시점에서 추가 구축을 필요로 한다. 따라서 달 탐사를 위한 심우주 지상국을 건설한다면, ILN에 참여하고 있는 현지점에서 우리나라도 국가우주개발 중장기 계획에 따라 상호-지원에 유리하도록 전용 지상국 설치가 필수적이라 할 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 국외 달 탐사 시스템 사례를 조사하고, 심우주 통신용 지상국을 위한 기술적인 요구사항을 제시하였다. 특히 달 탐사 데이터 전송을 위한 통신 시스템에서 링크 성능을 기초로 분석해 보면 기존 우리나라에서 보유하고 있는 S 및 X 대역의 위성 통신용 지상국들을 심우주 통신용으로 제한적으로나마 활용 가능성이 있음을 확인하였다. 신규 지상국을 건설하려면 적지 않은 예산이 소요된다. 만약 예산과 정책적인 문제 등으로 인하여 새로운 심우주 통신용 지상국 건설이 어렵다면, 국내에서 운용중인 여러 가지 위성 통신용 지상국들을 정책적 관점과 서비스 측면에서 고려하고, 설비의 변경 및 추가를 통하여 심우주 통신에 활용이 가능한지에 대한 세밀한 연구를 수행한 후 결정이 이루어져야 한다. 그러나 앞으로 국제 상호 협력 및 고속 대용량 데이터 전송을 위하여 S, X 대역 뿐만 아니라 Ka 대역의 지상국이 필요하며, 이를 위해서는 궁극적으로 신규 심우주 지상국 건설이 필요하다.

미래 국력은 우주 과학기술을 바탕으로 한 우주 주권으로 대표될 것이며, 이를 위해서는 독자적인 우주 과학기술 및 지상국의 확보가 필수적이다. 따라서 우리나라도 ILN과 같은 국제 우주 탐사 네트워크와 같은 프로젝트 참여를 통하여 선진 외국 우주 개발국들과 보조를 맞추어야 할 것이다.

### 후 기

본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 우주기초원천기술개발 사업(NSL, National Space Lab)으로부터 지원받아 수행되었습니다(2009-0082437).

### 참고문헌

- 1) 이상률, "우리나라 달 탐사의 기술 개발 방향", KSAS 매거진 3권 1호, 한국항공우주학회, pp. 51-57, 2009년
- 2) 심은섭, "달 탐사위성 개발 현황", 항공우주 산업기술동향 5권 1호, 한국항공우주연구원, pp. 39-55, 2007년
- 3) W. S. Tai, "Deep Space Network Services Catalog", Document no. 820-100, Rev. E, Jet Propulsion Laboratory, NASA, Jul. 2007
- 4) B. H. Foing et al., "SMART-1 mission overview from launch, Lunar orbit to impact", ESTEC Lunar and Planetary Science XXXVIII, Noordwijk, Europe, 2007
- 5) 교육과학기술부, "Space Vision 2016, 제 1차 우주개발 진흥기본계획", 2008년
- 6) ESA Spacecraft Operations, ESTRACK tracking stations, Jan. 2008 [http://www.esa.int/SPECIALS/Operations/SEM8YCSMTWE\\_0.html](http://www.esa.int/SPECIALS/Operations/SEM8YCSMTWE_0.html)
- 7) V. Ivashkin, "International Lunar Observatory", International Lunar Observatory Advisory Committee Workshop, Moscow, Russia, Nov. 2005.
- 8) H. Hirosawa et al., "The Satellite Tracking Station with a 34m Diameter Antenna at the Kagoshima Space Center", Institute of Space and Astronautical Science, vol. 123, Jan. 2003.
- 9) J. Li, "The Chinese VLBI Network and its Contribution to Chang'E-1", 5th IVS GM, St. Petersburg, Russia, Mar. 3-6, 2008.
- 10) Hayashi et al., "Japanese Deep Space Station with 64-m-Diameter Antenna Fed through Beam Waveguides and its Mission Applications", ISAS, vol. 123, pp. 1-33, Mar. 2003.
- 11) ISRO - Indian Deep Space Network(IDSN), Nov. 2008 [http://isro.org/chandrayaan/htmls/ground\\_segment\\_spacenetwork.htm](http://isro.org/chandrayaan/htmls/ground_segment_spacenetwork.htm)
- 12) Williams, Dr. David R., "Moon Fact Sheet", NASA, Feb. 2006.
- 13) Slobin, S. 810-005, 104, JPL, Sep. 2008.
- 14) W. S. Tai, "Deep Space Network Services Catalog", Document no. 820-100, Rev. E, Jet Propulsion Laboratory, NASA, Jul. 2007.
- 15) "Radio Frequency and Modulation Systems-Part 1: Earth Stations and Spacecraft. Recommendation for Space Data System

Standards", Blue Book CCSDS 401.0-B, Dec. 2007.

16) D. PARK, "Analysis on receiving performance degradatoin of ground station in lunar mission", IAC-09, Aug. 2009.

17) Sniffin, R. W. 810-005, 205, JPL, Dec. 2002.

18) "Propagation Data and prediction Methods Required for the Design of earth-Space telecommunication Systems", ITU-R Recommendation P. 618-8, 2003.

19) D. Roddy, "*Satellite Communications*", Mc-Graw Hill, pp. 351-367, Jul. 2006.

20) Proakis, "*Digital Communications (New York: McGraw-Hill)*", pp. 194, 2008.

21) 이정배, 백현철, 김은규, "세계 지상국 동향 분석", 항공우주산업기술동향 3권 1호, 한국항공우주연구원, pp. 99-107, 2005년

22) 김광영, "*차세대 위성통신공학*", 진한도서, pp. 211-215, 2003년

23) H. G. Kim et al., "Construction of the Korean VLBI Network(KVN)", APRASC, 2004, pp. 409-411.

24) 한국전파진흥협회, "대한민국 주파수 분배표", 2005년