

달 탐사 위성의 통신 링크 분석

김아름*, 이슬기*, 이우경* 정회원

Lunar Exploration Satellite Communication Link Analysis

Ah-Leum Kim*, Lee Seul Ki*, Woo-Kyung Lee* *Regular Members*

요 약

60년대, 70년대 미국과 구소련의 우주경쟁으로 달 탐사 개발이후 진척이 미비하였으나, 최근 들어 미국의 달 탐사 프로젝트를 비롯하여, 우주 개발에 후발 주자라 할 수 있는 일본, 중국, 인도 등의 각국에서도 달 탐사 연구가 확대되고 있다. 국내에서도 그간 축적해 온 위성 기술을 바탕으로 달 탐사 개발에 대한 관심을 가지고, 이를 대비한 요소 기술의 확보가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 달 탐사 위성에 대한 요소기술 중 하나인 통신시스템을 STK(Satellite Tool Kit)를 이용한 시나리오로 설계한다. 설계한 시나리오를 통해 달 탐사 위성의 통신 링크를 분석하고, 달 궤도에서 지상국으로의 데이터 전송량을 도출함으로써, 달 탐사 위성 궤도 임무에 따른 탐사 위성과 지상국간의 통신 링크 분석을 수행한다.

Key Words : STK; satellite communication link analysis; Lunar exploration;

ABSTRACT

In recent space industry, It has become a major trend to launch lunar exploration satellites to extend activities in the deep space environment. In this paper, a link budget analysis is carried out for the lunar exploration satellite. One of the major difference between the lunar satellite and LEO spacecraft lies in the orbit parameters. The vast distance between spacecraft and the Earth station imposes a challenging task for the spacecraft designers in terms of achieving stable communication link budget. The satellite tool kit software has been adopted to simulate the lunar exploring satellite. The relative distance between the spacecraft and the ground stations are tracked and the communication link budget is calculated accordingly.

I. 서 론

세계 위성 산업은 지구 주변에서 벗어나 점차 행성 및 달 탐사, 우주자원 개발에 초점을 맞춰가고 있다. 60년대에서 70년대 중반까지 미국과 구소련간의 우주경쟁으로 달 탐사에 큰 예산을 들여 마침내 인류를 달에 착륙시켜 달 탐사를 실현 할 수 있었다. 이후, 30년간 소극적으로 진행되어 오던 달 탐사 개발이 최근 미국의 달을 화성에 대한 인류의 전진기지로 구축하겠다는 달 탐사 프로젝트를 통해 시작되었다. 우주개발 선진국들은 기술시험위성의 성격을 가진 달 탐사위성을 발사하기 시작하여, 미국의 Clementine과 Lunar Prospector, 유럽연합의 SMART-1의 위성들이 달 궤도에 진입하여 달 탐사 임무를 완수하였다. 이에 뒤이어 우주개발의 후발주자인 일본, 중국, 인

도에서도 각각 KAGUYA, Chan'E-1, Chandrayaan-1의 달 탐사위성을 개발하여 발사에 성공하였다. 행성 탐사 위성에 대한 기술 특징을 살펴보면 경량화에 중점을 둔 위성 제작 기술을 사용하여 중소형위성으로도 달 탐사를 가능하게 하였으며, 통신방식에 있어서도 X 및 Ka 대역을 사용하여 데이터 전송속도를 현저히 증가시켜 위성 및 지상국의 안테나 크기를 줄일 수 있었다. 따라서 우리나라도 지난 15년 이상 지구궤도 위성을 개발하며 구축한 기술을 활용하여 달 탐사 위성의 개발에 대한 관심을 가지며, 이를 대비한 핵심요소기술을 확보하여야 한다.

달탐사 위성은 복잡한 중간궤도 천이 과정을 거쳐서 장기간 여행 후 달 주변 궤도에 서서히 안착하는 여러 단계의 이동과정을 거치게 된다. 지구궤도 위성은 지구와 위성 2개의 상호 관계만을 분석하면 되지만 달탐사 위성은 제 3의 영역인 달의 움직임까지 고려해야 하기 때문에 지구

*항공대학교 항공전자공학과 (wklee@kau.ac.kr)

접수일자 : 2011년 1월 5일, 수정완료일자 : 2011년 3월 25일, 최종게재확정일자 : 2011년 3월 31일

궤도위성과는 전혀 다른 방식으로 접근할 필요가 있다. 이러한 과정을 단순 계산으로 처리하는 것은 비효율적이라고 할 수 있다. STK(Satellite Tool Kit)은 복잡한 위성의 궤도를 자동으로 계산하고 추적할 수 있게 해주는 강력한 소프트웨어이며 이미 많은 논문을 통해 그 정확도가 검증되어왔다[1].

본 논문에서는 달 탐사 위성에 대한 요소기술 중 하나인 통신시스템을 STK(Satellite Tool Kit)를 이용한 시나리오로 설계한다. 설계한 시나리오를 통해 통신링크를 분석하고, 달 궤도에서 지상국으로의 데이터 전송량을 도출한다.

II. 달 탐사 시나리오 설계

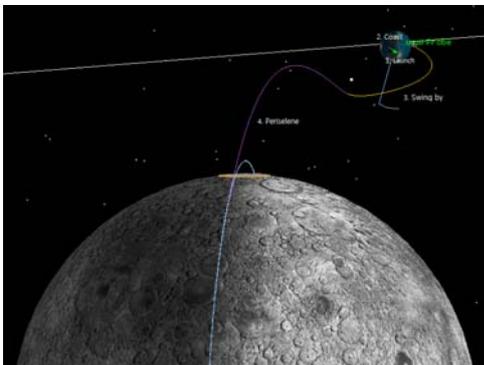


그림 1. 달 탐사 위성 궤도

달 탐사 위성의 통신링크 분석을 위해 먼저, 달 탐사 시나리오를 설계한다. 일반적으로 지구로부터 달까지 가는 비행은 첫 번째 지구로부터 탈출하는 단계, 두 번째 전이 궤도 단계, 그리고 달 궤도에 진입하는 단계로 나뉜다. 지구로부터 달로 가는 전이 궤도를 얻는 방법에는 크게 두 가지가 있는데, 지구에서부터 직접 달로 가는 전이 궤도로 위성이 투입되도록 발사하는 직접 달 천이궤도(Direct lunar transfer orbit : LTO) 방법과 주차궤도를 이용하여 주차궤도에 일정 시간동안 머무른 후에 TLI (Trans-lunar injection) 기동을 수행하는 방법이 있다. 달 탐사 초기에는 러시아의 Luna 1~3의 경우처럼 첫 번째 방법이 사용됐으나, 이후에는 대부분 두 번째 방법을 사용하고 있다. 전이 궤도로 가는 방법을 선택함에 있어, 각각의 장단점 또는 발사일, 임무 시간 등의 상황에 따라 그 방법을 선택하면 된다.

1. STK를 이용한 탐사 위성통신의 궤도 설정

본 논문에서는 달 탐사를 임무로 수행하는 달 탐사 SAR위성을 설계하고자 한다. 또한, 달 탐사 위성의 발사 임무를 설계하는 것이 아니라 달 탐사선이 달 궤도에 진입하여 달 궤도를 공전 할 때, 지상국과의 통신링크를 분석하는 것을 목표로 한다. 따라서 전이 궤도 진입 방식은 직

접 달 천이궤도를 선택하여 단 기간에 위성이 달 궤도로 진입하여 임무를 수행하도록 설계하였다. 이러한 위성이 달에서 통신하기 위한 궤도를 얻기 까지 발사(launch) - 관성이동(Coast) - 궤도천이(TLI) - 스윙바이(Swing by) - 달궤도 진입(To Periselene) 등의 총 5단계를 거친다. 이러한 궤도 움직임을 STK로 구현한 과정은 다음과 같다.

가) Launch

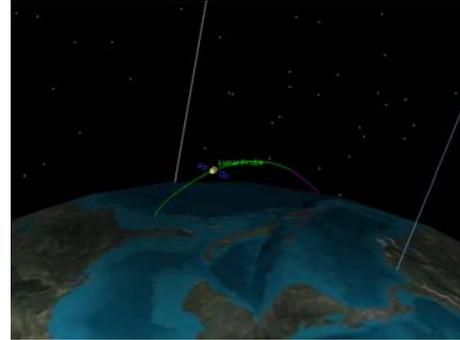


그림 2. 달 탐사 위성 Launch 단계

Launch 단계는 달 탐사 위성이 지구에서 발사되어 일정 고도에 다 달았을 때 까지 이다. 본 시나리오에서는 프랑스 기이아나 기지에서 위성이 발사되는 것으로 가정하였다. 이 때 약 7.29976 km/sec정도의 속도로 발사되며, Coast 단계로 진입하기 까지 약 10분정도의 시간이 소요된다. 따라서 Launch 구간은 약 4379.865km정도임을 알 수 있다.

나) Coast

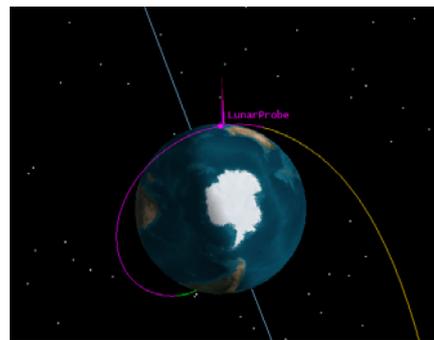


그림 3. 달 탐사 위성 Coast 단계

Coast 단계는 타력주행 구간으로 동력을 쓰지 않고 관성을 이용하여 움직이는 구간이다. 약 2986.26 초 동안 coast 구간이 된다.

다) TLI

TLI(Trans Lunar Injection)는 달 탐사 위성이나 착륙선을 달 궤도까지 보내기 위해 사용되는 것으로 이러한 TLI 기동을 통해 지구를 벗어나 달 천이 비행궤적(Trans Lunar Trajectory)에 진입한다. 이러한 TLI의 주 목적

은 위성 탐사선이 지구를 벗어나게 하고 목표 위치에 정확하게 조준하는 기능이다.[5] 설계한 전이 궤도 진입 방식은 직접 달 천이궤도를 선택하였으므로 별도의 지연시간 없이 TLI (Trans-lunar injection) 기동을 수행한다. TLI 기동의 속도는 3.18825km/sec이다.

라) Swing by

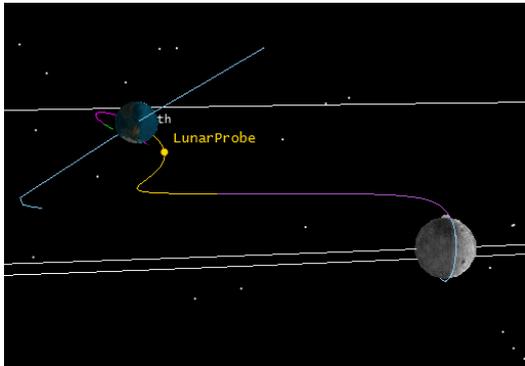


그림 4. 달 탐사 위성 Swing by 단계

일반적으로 달탐사위성은 연료효율을 위해 지구와 달의 중력을 최대한 활용하는 궤도를 택하게 된다. 이러한 과정은 Swing by라고 하는 경로를 통해서 이루어지며 지구와 달의 중력장과 위성의 좌표 및 속도 등에 의해 결정되는 복잡한 수학적식에 의해 계산된다. 본 논문에서는 STK에서 제공하는 궤도식에 대입하여 그 결과값을 궤도 정보에 활용하였고 그림 4는 이에 따른 위성의 이동 경로를 보여준다.

마) Periselene

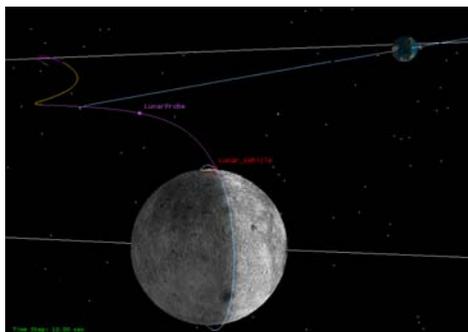


그림 5. 달 탐사 위성 Periselene 단계

Periselene는 periapsis in orbit around the moon를 의미하는 것으로 달궤도를 뜻한다. 달 주위를 공전하는 최종 궤도로서 달 표면에 정착한 지상국과 통신을 개시하는 단계이다.

2. 통신 링크 데이터 산출

전송 시스템은 파라볼라 안테나를 사용하고 그 크기를 각각 0.5m와 1m인 경우로 나누어 2개의 데이터 결과를 산출하였다. Diameter가 0.5m의 경우, 18일 4시 40분

01.709초부터 5시 55분 10.000초 까지 4508.291초, 6시 38분 28.331초부터 7시 53분 51.603초 까지 4523.272초, 8시 36분 56.290초부터 9시 52분 32.150초 까지 4535.861초 3번의 시간 구간동안 한국의 지상국과 데이터 통신이 가능하였다. 위의 결과에 의해 하루에 한국의 지상국에서 데이터 통신이 가능한 시간은 13567.872초이다. 설계한 송신 시스템의 데이터 전송속도는 16Mb/sec 이므로 하루 동안 통신 가능한 데이터의 양은 약 217 Gb이다.

III. 달탐사위성-지상국 통신링크 분석

위성이 달궤도에 도착하면 TT&C 정보와 영상데이터 정보를 동시에 전송하게 된다. 따라서 각각의 통신 링크 분석이 필요하다. 위성 통신 링크분석방법으로 유효 등방성 복사전력(EIRP:Effective Isotropic Radiated Power)을 도출하여 분석하고자한다. 유효 등방성 복사전력은 송신계의 성능을 나타내는 지수의 하나로, 등방성 안테나로부터 방사된 전력에 대한 최대 이득방향으로 방사된 실효 전력 및 송신 안테나의 실효 이득과 송신기 출력의 값으로 구할 수 있다. 이러한 유효 등방성 복사전력의 값을 분석함으로써 위성의 실효 수신 전력을 판단 한다.

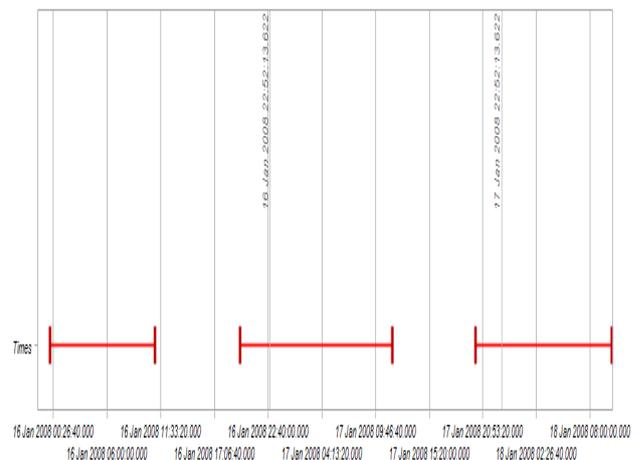


그림 6. 위성-지상국간의 통신 가능 시간

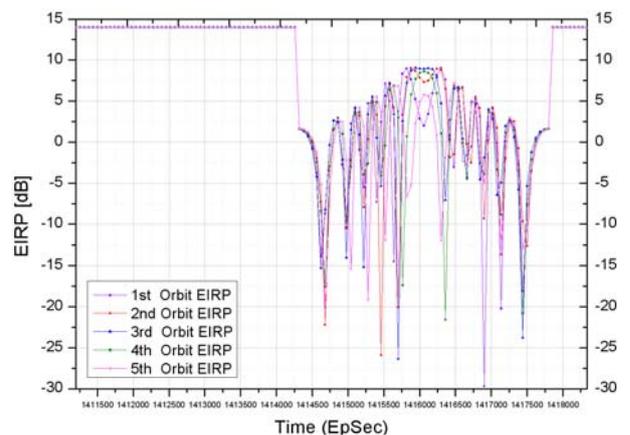


그림 7. 임무 궤도 주기에 따른 EIRP

달 탐사 위성과 지상국간의 통신링크 분석을 위해 STK의 Access 기능을 이용하여 위성의 송신 안테나와 지상국의 수신 안테나간의 통신링크를 설정한다. 달 탐사 위성과 지상국의 통신 가능 시간을 살펴보면 아래 그림 6과 같다. 발사 이후 38998초와 56607초동안 지상국과의 통신이 가능하며, 이후 위성이 달 궤도에 진입하여 50733초 동안 통신이 가능하다. 발사 된 위성이 달 궤도를 공전하기까지 총 146339초 동안 통신가능 시간을 확보한다.

일반적인 통신 링크 분석에서는 EIRP를 도출함에 있어, 단순히 송신 전력과 송신 이득으로 EIRP를 구하게 된다. 하지만 실제 위성에서는 송신안테나와 수신안테나가 항상 최대이득으로 통신하는 것이 아니기 때문에 그에 따른 이득 감소가 발생한다. STK에서는 통신링크 분석 시 실제 임무 환경에 유사하도록 송신 및 수신안테나의 포인팅 에러를 고려한 EIRP 도출 방법을 제공한다. 그림 7은 달 탐사 위성의 임무 주기인 약 120분 간격, 5주기 동안 시간(위성의 위치)에 따라 이득감소를 고려한 EIRP 값의 변화를 보여주며, 다음 표 1은 STK를 이용한 통신링크 분석 예시를 보여준다. 데이터 전송 속도는 10 Mbps로 가정하였다.

표 1. 통신링크 분석 예시

설정	송신전력 [dBW]	
	10	
시간(UTCG)	EIRP[dB]	
18 00:00:00.000	14	
18 01:25:00.000	7.641	
18 05:19:00.000	9.029	
안테나		
- Diameter : 1m		
- Efficiency : 70%		
- Back lobe : -1 dB		
C/No [dBMHz]	Eb/No[dB]	Data rate
3.048369	-6.9516	10 Mbps

그림3에서 위성의 임무 궤도 공전 중 위성이 지구와 달 사이에 있을 경우 14dB의 EIRP 값을 가진다. 또한 그 이외의 구간에서는 이득감소가 발생하여 저하된 EIRP 값을 확인할 수 있고, 통신신호가 미약한 구간임을 예증한다.

표2에서 볼 수 있듯이 EIRP, C/No 및 Eb/No를 도출하고, C/No와 Eb/No의 차이를 통해 자료 전송률(Data rate)을 계산할 수 있다. 전체 달 탐사 궤도에서의 평균 자료 전송량은 약 10Mbps로 달 탐사 위성의 공전 주기 120분간 9GByte 정도의 자료를 전송 할 수 있으며, 하루 동안 전송할 수 있는 자료 전송량은 약 110 GByte 이다.

IV. 결론

STK를 이용하여 달 탐사 위성 궤도 임무에 따른 지상국과의 통신 링크를 분석 해 보았다. 시스템에 의한 정적 링크 설계에서 벗어난 동적 링크 설계로 가상 시나리오 임무궤도 상에서 시간에 따른 통신 링크 분석이 가능하였으며, 이를 통해 달 임무 주기 동안의 자료 전송량과 하루 동안 전송 가능한 자료 전송량을 추정해 보았다. 달 탐사 임무뿐만 아니라 향후 화성 등의 다른 행성 임무에서도 동적 통신 링크 분석을 수행하여, 보다 객관적이고 실제에 가까운 분석이 가능하다.

참고 문헌

- [1] Timothy Pratt, Charles Bostian, Jeremy Allnutt " Satellite Communications" WILEY, pp. 57-150.
- [2] T. Mizuno, H. Satio, M. Ichikawa, "Communication system and operationfor lunar probes under lunar surface," 2000, Aerospace and Electronic systems vol. 36, No. 1
- [3] Yogi Y. Krikorian, Milton K. Sue, Giadira V. Leon, "A Dynamic Deep Space Communication Link Analysis Tool for the Deep Space Network."
- [4] Kathryn Hamera, Todd Mosher, Mark Gefreh, "An evolvable lunar communication and navigation constellation concept,"
- [5] Deepak Bapna, Martin Martin ,William Whittaker "Earth-Moon Communication from a Moving Lunar Rover"
- [6] Antonio F. B. A. Prado "Orbital Control of a Satellite Using the Gravity of the Moon", 2006, ABCM
- [7] Morio Toyoshima "Trends in satellite communications and the role of optical free-space communications", 2005, J. Opt. Netw.
- [8] 박상영, 송영주, "달 탐사를 위한 임무 설계와 우주 항법", 2009. 1, KSAS 매거진
- [9] 김해동, 이주희, 심은섭, "달탐사 연구개발 동향", 2009, KSAS
- [10] 신상윤, 장수영, 육영춘, 용상순, 이승훈, "달 탐사 탐재체 개발 현황", 2008, 항공우주산업기술동향
- [11] 심은섭, "달 탐사위성 개발 현황", 2007 항공우주 산업기술동향

저 자

김 아 름 (Ah-Leum Kim)



2008년 2월 : 한국항공대학교
항공전자공학과 졸업
2011년 8월 : 한국항공대학교
항공전자공학과
대학원 석사졸업

<관심분야> Synthetic Aperture Radar, Image
Processing, Satellite Communication and
Application

이 슬 기 (Seul-Ki Lee)



2011년 2월 : 한국항공대학교
항공전자공학과 졸업
2011년 3월~현재 : 한국항공
대학교 항공전자공학과
대학원 석사 과정

<관심분야> Synthetic Aperture Radar, Satellite
Communication and Application

이 우 경 (Woo-Kyung Lee)

정회원



1999년 9월 : KAIST 인공위성
센터연구교수
2003년 1월 : 삼성종합기술원
책임연구원
2004년 9월~현재 : 한국항공대
항공전자 및 정보통신
공학부 조교수

<관심분야> 인공위성 시스템, 위성전자탐제체