

시험용 달 궤도선과 KDSA 및 DSN 간 가시성 분석을 통한 다운링크 용량 연구

김창균, 전문진, 이상록, 임성빈

Study on Downlink Capacity based on the Visibility Analysis between KPLO and KDSA/DSN

Changkyoon Kim, Moon-Jin Jeon, Sang-Rok Lee, Seong-Bin Lim

요 약

한국항공우주연구원은 한국 최초의 달 탐사를 위한 시험용 달 궤도선을 개발하고 있으며, 임무 성공을 위해 다양한 분석을 수행하고 있다. 특히 각 탑재체를 통해 획득된 과학 및 기술 데이터를 지구로 전송하기 위해 통신 성능이 중요한 요소 중의 하나로 판단된다. 본 논문에서는 지상국과 궤도선 간의 가시성 분석을 통해 하루 평균 전송 가능한 다운링크 용량에 대한 연구 내용을 설명하고, 그 결과에 대해 정리하였다.

Key Words : Lunar Exploration, KDSA(Korea Deep Space Antenna), DSN(Deep Space Network), Visibility, Downlink Capacity

ABSTRACT

KARI(Korea Aerospace Research Institute) has been developing the KPLO(Korea Pathfinder Lunar Orbiter) for Korean first lunar exploration, and analysing various subjects for the mission success. Especially the performance of the communication is one of important factors, because massive scientific and technical data acquired by multiple payloads might be transferred to ground stations on the Earth. In this paper, we explained the study on the 1-day average downlink capacity based on the visibility analysis between ground stations and KPLO, and described its results.

I. 서 론

한국항공우주연구원은 한국형 달 탐사 프로그램의 일환으로 2016년 1월부터 시험용 달 궤도선(KPLO: Korea Pathfinder Lunar Orbiter)의 개발과 심우주 통신을 위한 안테나의 구축을 시작하였다.

시험용 달 궤도선은 국내에서 개발하는 과학 및 기술 탑재체와 NASA에서 개발하는 과학 탑재체를 탑재하여 1년간 달 궤도를 선회하며, 달의 지형, 환경, 자원 등을 조사하고 DTN(Disruption-Tolerant Networking) 프로토콜의 기능 및 성능을 시연하는 임무를 수행할 예정이다. 또한, 지구 저궤도 위성과의 통신을 위한 기존 지상국으로는 달 궤도에 위치한 궤도선과의 통신이 원활하지 않을 것으로 예상되기 때문에 더 크고 성능이 좋은 심우주 안테나(KDSA: Korea Deep Space Antenna)를 국내에 구축할 예정이다. 이 심우주

안테나는 NASA의 DSN(Deep Space Network)과 호환되도록 설계되어, 한국형 달 탐사 프로그램 이후의 국제협력에 대비할 예정이다.

II. 시험용 달 궤도선

시험용 달 궤도선은 달 지형 정보 획득을 위한 고해상도 카메라인 LUTI(Lunar Terrain Imager), 달 표면의 편광 영상 획득을 위한 광시야편광카메라인 PolCam(Wide-angle Polarimetric Camera), 감마선 분석을 통한 달 표면 물질 조사를 위한 감마선분광기인 KGRS(KPLO Gamma Ray Spectrometer), 달의 자기장 측정을 위한 자기장측정기인 KMAG(KPLO Magnetometer), DTN 프로토콜의 시연을 위한 DTNPL(DTN Payload) 등 국내 개발 탑재체와 NASA에

*한국항공우주연구원 (kck@kari.re.kr)

접수일자 : 2016년 9월 13일, 최종재확정일자 : 2016년 9월 30일

서 공모를 통해 선정할 과학 탑재체를 탑재하고, 달 표면에서 100±30 km의 고도를 1년간 선회하면서 달의 지형, 환경, 자원 정보를 획득하는 목적을 갖는다. 그림 6은 설계 중인 기본 형상의 초안이며, 궤도선 외부의 각종 탑재체와 태양전지판, 고이득 안테나 등을 확인할 수 있다.

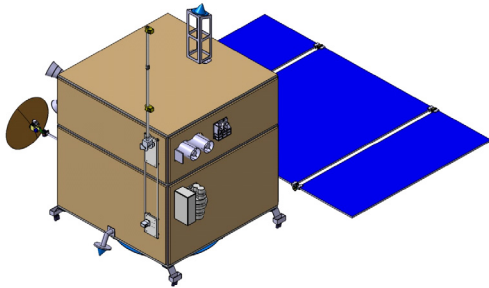


그림 1. 시험용 달 궤도선 기본 형상 초안[1]

그림 2는 달의 북극 상공에서 달을 바라보며, 시험용 달 궤도선, 달, 지구, 태양의 운동을 개념적으로 묘사한 것이다. 이 그림 중심의 검은 굵은 선과 같이 시험용 달 궤도선의 궤도는 관성적으로 고정되어 달의 양 극점을 통과하고 약 118분 주기로 달을 공전한다. 또한, 달은 약 28일 주기로 자전하고, 지구는 약 28일 주기로 달을 공전하는 것으로 간주할 수 있으며, 태양은 약 1년 주기로 달을 공전하는 것으로 간주할 수 있다.

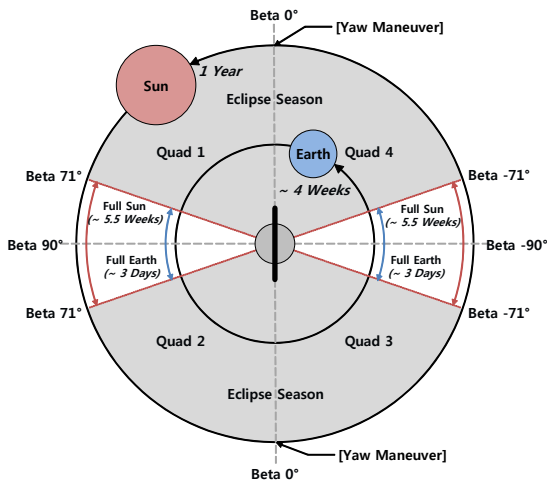


그림 2. 궤도선 기준의 천체 운행 개념도[2-3]

이 그림에서 시험용 달 궤도선의 궤도와 지구가 이루는 각도인 지구 베타(beta)각이 -71도에서 71도인 회색 음영 지역에 지구가 위치하는 경우 지구상에서 시험용 달 궤도선을 관측했을 때 달의 앞면과 뒷면을 오가는 edge-on 상태가 되며, 지구 베타각이 71도에서 90도, -71도에서 -90도인 백색 지역에 지구가 위치하는 경우 궤도선이 달의 옆면을 선회하는 face-on 상태가 된다[4].

Ⅲ. 가시성 분석

지구가 edge-on 상태에 위치하는 경우 통신이 가능한 기간과 불가능한 기간이 반복적으로 발생하게 되고, face-on 상태에 위치하는 경우는 항상 통신이 가능하게 되며, 이러한 양상이 약 28일을 주기로 반복적으로 나타나게 된다. 그러나 지구도 약 24시간을 주기로 1회 자전하기 때문에 face-on 상태라고 할지라도 지구상의 특정 지점에서 달을 연속적으로 관측할 수 있는 시간이 제한되며, 같은 이유로 시험용 달 궤도선과 특정 지역의 지상국 간의 통신 가능 시간도 제한된다 [4]. 이와 같이 시험용 달 궤도선의 공전, 지구의 자전 및 공전, 지상국의 위치를 모두 고려하여 통신 가능 여부를 파악하는 것을 가시성 분석이라고 정의하며, 시험용 달 궤도선과 지상국이 통신 가능한 기간을 접촉이라고 정의한다.

1. KDSA 가시성 분석

KDSA는 시험용 달 궤도선과의 통신을 위해 새롭게 구축할 지상국으로, 현재 충청남도 금산을 건설 후보지로 고려하고 있다. 이 지상국을 이용해 시험용 달 궤도선에 명령을 전송하고 시험용 달 궤도선의 상태 정보를 수신하며 탑재체를 통해 획득한 각종 데이터를 수신한다.

그림 3은 AGI사의 STK(Systems Tool Kit)[5]을 이용한 시뮬레이션을 통해 도출된 2018년 1월 한 달간의 KDSA 가시성 분석 결과이다. 이때, KDSA의 위치는 금산, 양각은 10도로 설정하였으며, 시험용 달 궤도선은 2018년 1월 1일에 face-on 상태의 궤도를 공전하는 것으로 설정하였다.

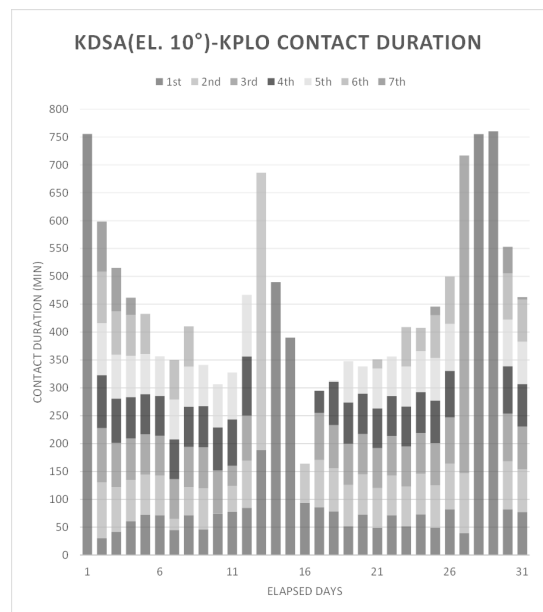


그림 3. 2018년 1월의 KDSA 접속 횟수 및 통신 시간

가시성 분석 결과, 2018년 1월 1일, 14일, 15일, 28일, 29일은 face-on 상태로 1회 접속으로 장시간 통신이 가능함을 확

인할 수 있다. 다만, 지구와 달 공전면이 이루는 각도의 영향으로 face-on 상태에 있더라도, 연속 통신 가능 시간은 차이가 존재함을 확인할 수 있다[4].

또, 2018년 1월 2일에서 13일, 16일에서 27일, 30일, 31일은 edge-on 상태이므로 하루 최대 7회의 접속이 발생하고, 각 접속 별로 통신 가능 시간이 다를 수 있다.

이러한 양상은 시뮬레이션 기간을 다르게 설정하더라도 유사하게 나타나고, 28일을 주기로 반복됨을 확인할 수 있었다.

2. KDSA 양각 별 가시성 분석

KDSA의 양각은 시험용 달 궤도선과의 통신 성능에 영향을 주는 요소이므로, 양각 변화에 따른 가시성 분석이 필요하다. 일반적으로 양각이 커질수록 통신 성능은 향상되지만 접속 횟수는 줄어들고 통신 시간은 짧아지게 된다.

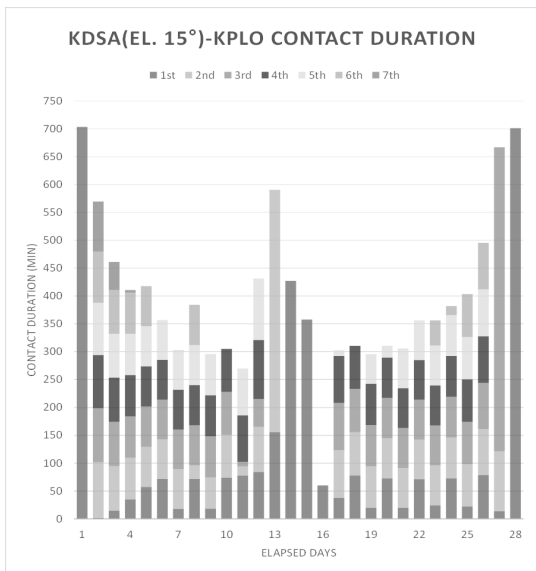


그림 4. KDSA 양각 15도의 접속 횟수 및 통신 시간

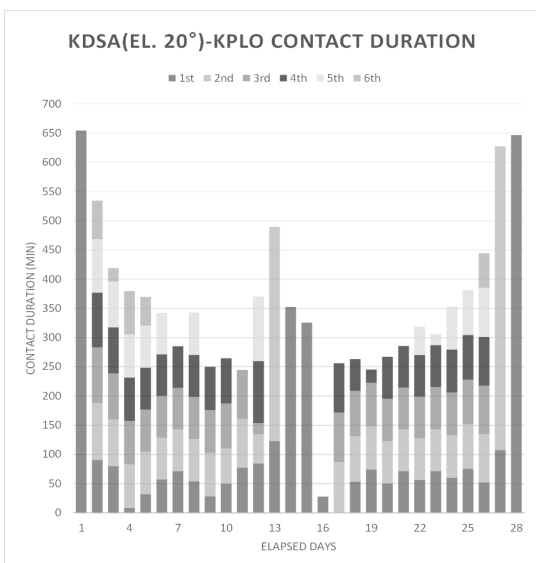


그림 5. KDSA 양각 20도의 접속 횟수 및 통신 시간

그림 4와 5는 각각 KDSA 양각 15도 및 20도인 경우의 접속 횟수 및 통신 시간을 도식화한 것이다.

표 1은 그림 8에서 5의 결과를 종합하여 표시한 것이며, 이 표를 통해 양각이 증가할수록 총 접속 횟수, 하루 평균 접속 횟수, 28일간 총 통신 시간이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 하루 평균 통신 시간의 경우, 양각 20도에서 증가한 것을 확인할 수 있는데, 이는 총 통신 시간보다 총 접속 횟수가 더 급격하게 감소했기 때문에 발생한 것으로 분석할 수 있다.

표 1. KDSA 양각 별 접속 횟수 및 통신 시간

2018년 1월 (28일)	KDSA 양각		
	10°	15°	20°
총 접속 횟수 (회)	130	125	109
평균 접속 횟수 (회/일)	4.64	4.46	3.89
총 통신 시간 (분)	12,287.63	11,230.37	10,047.61
평균 통신 시간 (분/회)	94.52	89.84	92.18

3. KDSA 및 DSN 가시성 분석

DSN은 NASA에서 심우주 탐사 위성과의 통신을 위해 구축한 지상국 네트워크이며, 그림 6과 같이 미국 골드스톤, 호주 캔버라, 스페인 마드리드에 각각 위치하고 있다[6]. 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 KDSA와 캔버라 안테나는 경도 상 인접한 지역에 위치하고 있기 때문에 활용 이득이 높지 않을 것으로 판단되어 이번 분석에서는 제외하였다.

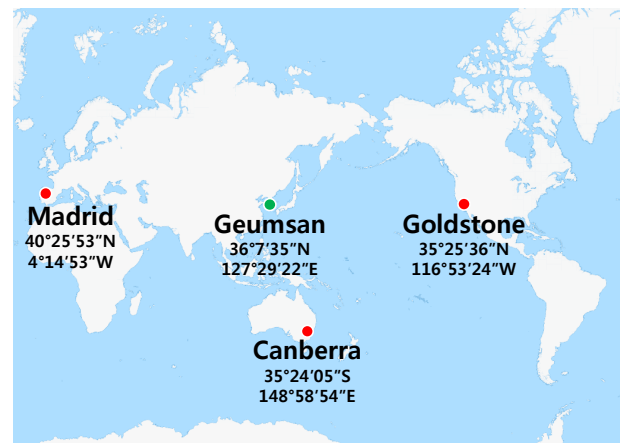


그림 6. KDSA 및 DSN 위치[7]

그림 7은 STK 시뮬레이션을 통한 2018년 1월 한 달간 KDSA, 골드스톤 및 마드리드 안테나의 가시성 분석 결과를 도식화한 것이다. 이 때, KDSA의 양각은 10도, 통신 성능이 더 좋은 DSN의 양각은 5도로 설정하였다.

표 2는 그림 12의 결과 중에서 2018년 1월 1일부터 28일까지의 가시성 분석 결과를 정리한 것이다.

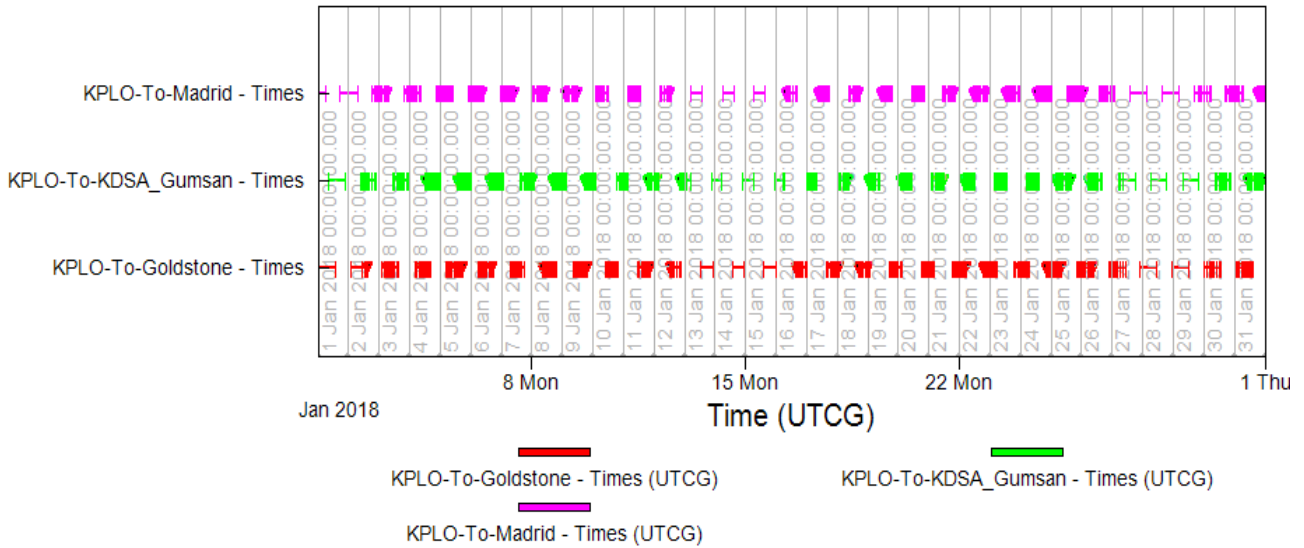


그림 7. 2018년 1월 한 달간 KDSA 및 DSN 가시성 분석 결과

표 2. KDSA와 DSN 접속 횟수 및 평균 통신 시간

2018년 1월 (28일)	KDSA	골드스톤	마드리드
총 접속 횟수 (회)	130	146	140
평균 접속 횟수 (회/일)	4.64	5.21	5.00
총 통신 시간 (분)	12,287.63	14,175.30	13,591.80
평균 통신 시간 (분/회)	94.52	97.09	97.08

표 3. KDSA 양각 및 DSN 조합에 따른 평균 접속 횟수

평균 접속 횟수 (회/일)	KDSA 양각		
	10°	15°	20°
KDSA 단독	4.64	4.46	3.89
KDSA-골드스톤	8.14	8.04	7.86
KDSA-마드리드	8.64	8.57	8.18
전체	10.32	10.32	10.32

분석 결과, 양각의 영향으로 KDSA가 골드스톤 및 마드리드의 안테나보다 접속 횟수도 적고, 통신 시간도 짧은 것을 확인할 수 있다.

표 3은 KDSA 양각과 KDSA-DSN 조합에 따른 하루 평균 접속 횟수를 정리한 것이다. 이때, 각 지상국 간의 중첩 접속이 발생하는 경우, 접속 시간이 더 긴 지상국이 유효한 것으로 판단하였다. 이 표에서 KDSA만 운영하거나, KDSA-골드스톤, KDSA-마드리드를 조합하여 운영하는 경우 KDSA의 양각이 증가할수록 하루 평균 접속 횟수는 감소하는 것을 확인할 수 있다. 다만, KDSA-마드리드 조합이 KDSA-골드스톤의 조합보다 더 높은 하루 평균 접속 횟수를 보이는 것은 KDSA가 골드스톤 보다는 마드리드와 경도상 더 먼 곳에 위치하기 때문이 것으로 판단할 수 있으며, 따라서 KDSA와 한 곳의 DSN만을 운영하는 경우, 골드스톤 보다는 마드리드를 선택하는 것이 유리함을 알 수 있다. 또한, 특이하게 KDSA-골드스톤-마드리드 전체를 운영하는 경우, 하루 평균 접속 횟수는 모두 동일한 것을 확인할 수 있는데, 이는 KDSA 양각 증가에 따른 접속 횟수 감소를 두 DSN 안테나가 충분히 보상해주기 때문인 것으로 판단할 수 있다.

IV. 다운로드 용량

시험용 달 궤도선의 탑재체 데이터 전송을 위해 고려되고 있는 다운로드 속도는 3Mbps와 5Mbps이며, 시험용 달 궤도선의 통신기 성능 및 지상국 안테나 성능 등을 종합하여 추후 확정할 예정이다.

또한, 다운로드 용량 산정을 위해서는 통신 시간도 중요한 요소이기 때문에 가시성 분석을 통해 도출된 통신 시간을 바탕으로 실제 통신 시간을 산출해야 한다.

시험용 달 궤도선과 유사한 NASA LRO의 경우, 연속 통신 시간 50분 이상인 접속에 대해서만 데이터 전송을 실시했으며, 50분 중 5분은 통신 개설에 할당하여 45분만 실제 데이터 전송에 사용하였고, 남은 시간은 재전송 등을 대비한 마진으로 활용하였다[2]. 시험용 달 궤도선도 동일한 조건을 적용하기 위해, 그림 8과 같이 각 접속별 통신 시간 중 50분미만의 접속은 이번 분석에서 제외하였으며, 데이터 재전송 등을 위한 마진을 고려하여 50분 이상의 접속도 50분만 통신하는 것으로 간주하였다.

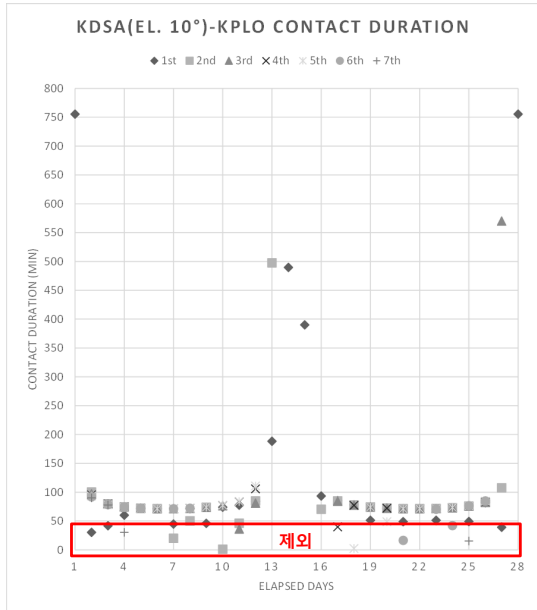


그림 8. 접속별 통신 시간

표 4는 KDSA 양각 10도에서 접속 당 50분 통신을 수행하는 경우 다운로드 용량을 계산한 것이며, 다운로드 속도에 따라 하루 평균 각각 32.4 Gbits와 54.0 Gbits가 전송됨을 확인할 수 있다.

표 4. 다운로드 기준 용량

KDSA 총 접속 횟수	130	회/28일
다운로드 속도	3 5	Mbps
최소 접속 시간	50	분
통신 개설 시간	5	분
KDSA 접속 횟수 (50분 이상)	112	회/28일
하루 평균 접속 횟수 (50분 이상)	4	회/일
하루 평균 다운로드 용량	32.4 54.0	Gbits/일

표 5는 표 3의 결과를 산출한 데이터 중 50분 이상 통신이 가능한 접속에 대한 평균 횟수를 정리한 것이며, 표 3의 결과에 비해 평균 횟수가 소폭 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 KDSA 양각이 증가할수록 하루 평균 접속 횟수가 감소하고, KDSA-마드리드 조합이 KDSA-골드스톤 조합보다 더 좋은 성능이 보이는 등의 양상은 동일하게 나타남을 알 수 있다.

표 5. 50분 이상 접속의 평균 횟수

하루 평균 접속 횟수 (50분 이상) (회/일)	KDSA 양각		
	10°	15°	20°
KDSA 단독	4.00	3.75	3.46
KDSA-골드스톤	7.46	7.43	7.21
KDSA-마드리드	7.96	7.75	7.57
전체	10.21	10.21	10.11

표 6은 표 5의 결과를 바탕으로 산출한 하루 평균 다운로드 용량을 정리한 것이다.

표 6. 하루 평균 다운로드 용량

하루 평균 다운로드 용량 (50분 이상) (Gbits/일)		KDSA 양각		
		10°	15°	20°
3 Mbps	KDSA 단독	32.40	30.38	28.03
	KDSA-골드스톤	60.43	60.18	58.40
	KDSA-마드리드	64.68	62.78	61.32
	전체	82.70	82.70	81.89
5 Mbps	KDSA 단독	54.00	50.63	46.71
	KDSA-골드스톤	100.71	100.31	97.34
	KDSA-마드리드	107.46	104.63	102.20
	전체	137.84	137.84	136.49

하루 평균 다운로드 용량의 분석 결과, KDSA를 단독으로 운영하는 것에 비해, DSN 1곳을 추가 운영하는 경우 약 2배, DSN 2곳을 추가 운영하는 경우 약 2.5배의 이득이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

한국항공우주연구원은 시험용 달 궤도선의 개발과 그 임무의 성공을 위해 다양한 분석을 수행하고 있으며, 그 일환으로 KDSA와 DSN을 이용한 하루 평균 다운로드 용량을 분석하였다. 이 분석 결과, KDSA 단독 운영에 비해 DSN 동시 운영 시 2~2.5배의 이득이 발생하는 것을 확인할 수 있었고, 특히 DSN 한 곳만 추가 운영하는 경우 골드스톤보다는 마드리드를 선택하는 것이 더 유리함을 확인할 수 있었다. 이와 같은 분석 결과를 바탕으로 앞으로 시험용 달 궤도선의 통신 용량, 대용량 저장 장치의 크기, 탑재체별 할당 통신 용량 등을 산정하는 업무를 수행할 예정이다.

참고 문헌

- [1] 신현진, 김희경, 2016. 7, KPLO System Requirement Review Mechanical System, 한국항공우주연구원.
- [2] 431-OPS-000042 LRO Mission Concept of Operations, NASA Goddard Space Flight Center, Nov. 2006.
- [3] 민승용, 2016. 7, KPLO System Requirement Review Mission Concept of Operations, 한국항공우주연구원.
- [4] 최수진, 김인규, 문상만, 김창균, 류동영, “지구-달 전이궤적 및 임무 궤도에서 궤도선과 지상국의 가시성 분석에 관한 연구,” 한국항공우주학회지 제 44권 3호, pp. 218-227, 2016.
- [5] <https://www.agi.com/products/stk/>
- [6] <http://deepspace.jpl.nasa.gov/about/DSNComplexes>
- [7] <https://www.openstreetmap.org>

저자

김 창 균(Changkyoon Kim)

정회원



- 2001년 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터공학부 학사
- 2003년 2월 : 한양대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2003년 ~ 2014년 : 삼성탈레스
- 2014년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원

<관심분야> : 위성체, 우주탐사, 소프트웨어, 네트워크

전 문 진(Moon-Jin Jeon)



- 2006년 2월 : 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업
- 2008년 2월 : 한국과학기술원 공학석사
- 2007년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원

<관심분야> : 인공위성 본체운용, 고장관리, 지능시스템

이 상 록(Sang-Rok Lee)



- 2008년 2월 : 충남대학교 전자전파정보통신 학사
- 2010년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과 석사
- 2010년 ~ 2011년 : 하이닉스반도체
- 2011년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원

<관심분야> : Signal Integrity, Power Integrity, 위성 전기 시스템

임 성 빈(Seong-Bin Lim)



- 1988년 2월 : 단국대학교 전자공학과 공학사
- 1993년 8월 : 단국대학교 전자공학과 공학석사
- 2007년 2월 : 단국대학교 전자공학과 공학박사

· 1994년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원

<관심분야> : 위성시스템 설계, 전자파양립성 설계