

論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 44(3), 240-246(2016)

DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2016.44.3.240

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

태양계 인터넷이 심우주 탐사에 미치는 영향 분석

구철희*, 김창균, 류동영, 최기혁

Analysis of effectiveness of solar system internet
to deep space explorationCheolhea Koo*, Changkyun Kim, Dongyoung Rew and Gihyuk Choi
Korea Aerospace Research Institute

ABSTRACT

The hottest news and achievements of space science and research in recent years may be NASA Curiosity rover's exploration (2013) of Mars, China Chang'e 3's exploration (2013) of Moon, ESA Rosetta's exploration (2014) of Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko, and NASA New Horizons' exploration (2015) of Pluto, which are very astonishing achievement since such a deep space journey was possible with current technology. In contrast the wonderful cruise and navigation technologies evolution of explorer in deep space, there are no remarkable changes in deep space data communication, it is still in conservative area, of which much changes are reluctantly accepted so far. But there are some movements of deep space exploration in order to allow ground brilliant technologies to deep space. One of those experiments is internet, whose main topic of this paper. In this paper, we will present the analysis of effectiveness of solar system internet to deep space exploration.

초 록

근래 우주 과학 및 연구의 가장 뜨거운 뉴스 또는 성과는 2013년 NASA의 화성 로버인 Curiosity, 2013년 중국의 달 착륙선/로버인 Chang'e 3 호, 2014년 ESA의 67P/Churyumov-Gerasimenko 소행성 탐사선 Rosetta, 그리고 2015년 NASA의 명왕성 탐사선 New Horizons 일 것이다. 이와 같은 장거리 심우주 탐사가 현 기술로 가능하다는 것에 매우 고무될 수밖에 없다. 하지만 이런 놀라운 심우주 항행 기술의 발전에도 불구하고 심우주 데이터 통신 기술 영역은 이렇다 할 변화가 없었다. 이 영역은 큰 변화를 현재까지 거부해 왔으나 최근 들어 지상의 우수한 통신 기술들을 심우주 탐사에 적용하려는 움직임이 관찰되고 있음에 주목할 필요가 있다. 그중에 하나가 본 논문에서 다루려고 하는 태양계 인터넷 기술이다. 본 논문에서 심우주 탐사에 태양계 인터넷이 미치는 영향을 분석하여 발표하고자 한다.

Key Words : Deep Space Exploration(심우주 탐사), Solar System Internet(태양계 인터넷), Space Internet(우주 인터넷), Data Communication(데이터 통신), Payload(탑재체)

† Received : September 22, 2015 Revised : February 2, 2016 Accepted : February 24, 2016

* Corresponding author, E-mail : chkoo@kari.re.kr

I. 서론

현재 한국항공우주연구원에서는 2016년에 한국형 달탐사를 착수하려고 개발 계획 수립 및 예산 확보를 위해 노력하고 있다. 2014년 예비타당성 조사가 완료되었고 2020년 본 달궤도선/착륙선, 및 로버를 보내기 위한 기술 확보를 위한 시험용 달 궤도선 (Pathfinder Lunar Orbiter) 개발을 2016년에 착수할 예정에 있다. 30년 국내 저궤도, 정지궤도 위성개발을 통해 확보된 경험과 기술이 마침내 우주탐사 영역까지 확대될 기로에 있다. 이 흐름은 해외 우주 선진국의 경우와 유사한데, 한 국가의 우주 개발 과정을 살펴보면 처음에는 근지구 위성을 개발하는데 집중하다가 어느 정도 위성 개발 기술이 안정적 궤도에 들어서게 되면 그 다음은 발사체, 달탐사를 비롯한 우주탐사를 착수하게 되기 때문이다. 따라서 발사체 및 우주 탐사를 하고 있다는 것은 그만큼 기술력과 국력이 있음을 반증하고 있다고 볼 수 있다.

2000년 들어 과학 우주 개발의 제2 경쟁시대에 돌입했다고 보아도 지나치지 않다. 1960~70년대 미소간 냉전체제에서 자국의 국력을 돋보이기 위한 목적으로 우주 개발 경쟁이 이루어졌다면, 2000년에 들어서면서 새로운 우주 강국, 즉 유럽, 일본, 중국의 약진이 두드러진다. 특히 최근의 우주 개발은 우주의 신비를 밝혀냄과 동시에 신기술 개발 및 신산업 창출을 동시에 추구하고 있을 만큼 실용적인 분명한 목표를 가지고 추진되고 있다.

최근 우주 탐사의 경쟁은 누가 얼마나 멀리 있는 우주를 탐험했는지에 초점이 맞추어져 있다. Rosetta는 2004년에 발사하여 10년 동안 동면을 하고 있다가 깨어나 2014년 역사적인 67p 소행성 탐사에 성공했고, New Horizons는 2006년에 발사하여 2014년에 명왕성을 스쳐 지나갔다. 모두 범인으로서의 상상도 못할 거리를 항행하여 탐사를 수행하는 것이며 당시 최고 수준의 우주 기술을 적용하였었다.

반면 우주 통신 기술의 큰 진보는 그동안 두드러지지 않았다. 즉 심우주 탐사선은 허락하는 한 가장 큰 송신 출력으로 신호를 지구를 향해 송출하고, 지구에서는 허락되는 가장 큰 안테나를 가지고 신호를 잡아낸다. 예를 들어 New Horizons 호의 데이터는 NASA(National Aeronautics and Space Administration)의 DSN(Deep Space Network) 기지국 내의 70 m 급 심우주 안테나를 사용해 수신하였다. 그럼에

도 불구하고 New Horizons가 명왕성에서 지구로 송출할 수 있는 최대 속도는 기껏해야 1 kbps에 불과하였다. New Horizons 호가 명왕성에서 관측한 데이터를 지구로 송출하는데 16 개월이 소요될 전망이다.

이 느린 통신 속도가 심우주 탐사선 탑재체의 운용에 어떤 영향을 끼치는지에 대해서 분석하는 것이 본 논문의 주요 주제 중 하나이다. 탑재체 데이터를 초조하게 기다리는 우주 과학계의 염원에 보답할 해결책이 나오지 않는다면 관련 과학계의 활동이 위축되는 것은 자명한 결과이다.

II. 통신 기술 비교

2.1 지상 인터넷

지상의 인터넷 기술은 날로 발전하고 있다. 곧 기가비트 인터넷 환경이 보편화 될 예정이고 무료 와이파이가 도시 곳곳에 깔려서 바야흐로 인터넷이 공공재가 되는 시대에 살고 있다. 모든 것이 인터넷에 연결되는 사물인터넷 시대가 본격화된다면 삶의 질이 어떻게 변화될지 궁금하다. 여기에서 유발되는 초거대 인터넷 데이터를 처리하기 위해 대두되고 있는 빅 데이터 기술도 요즘 초특급 관심거리로서 크게 주목을 받고 있다.

그러나 Table 1에서 볼 수 있듯이 불과 20년 전만 하더라도 인터넷이란 개념조차 일반인에게는 생소했다. 현재 세계 최고 수준의 인터넷 인프라를 가진 우리나라의 경우에도 전화 모뎀을 썼던 때가 있었고 인터넷 전용선조차도 수십 kbps 정도의 전송속도 밖에 제공하지 못했던 시기가 있었다. 현재의 온라인 쇼핑 혁명, 과학기술 혁신, 활발한 문화 교류 모두 인터넷 속도가 충분히 빨라진 다음에 가능해진 것들이다.

시간이 흐를수록 인터넷 속도가 빨라지는 주요 요인은 바로 망간 속도가 증대되고 인터넷 인프라에 대한 ISP (Information Strategy Planning) 투자가 증대되면서 고속망의 거대 인터넷 트래픽을 분담하는 서버 및 라우터가 증설되어 충분히 기능적 뒷받침을 해주었기 때문이다. 현재 인터넷 운영, 관리, 개발에 대한 협의체

Table 1. Internet speed history

연도	~ 1998	~ 2005	~ 2008	~ 현재
속도	56 kbps	10 Mbps	100 Mbps	1 Gbps
형태	전화기 모델	전용선		광케이블

및 프로토콜 개발에 대한 인터넷 표준화 작업 기구는 국제 인터넷 표준화 기구(Internet Engineering Task Force, IETF)이다.

인터넷 자체로 인해 사회 혁신 및 과학 기술의 발전이 이루어지기도 한다. 인터넷을 통해 지식 혁신 확산, 전자상거래 등 세계 시장 통합이 가속화되어 가고 있으며 현시대에는 이미 연구개발의 필수 불가결한 협력 요소가 되었다[2, 4].

2.2 우주 통신

우주 통신(Space Communication) 기술은 CCSDS (Consultative Committee of Space Data Systems)에서 표준화를 진행하고 있으며 우주 통신은 현재 30 ~ 40년의 역사를 가지고 있고 끊임없이 CCSDS 기술 검토 회의에서 부분적으로 개정이 되고 있지만 큰 틀에서 두드러진 외형적 변화는 없었다. 기존의 기술로 S-, X-band 그리고 Ka-band에서 통신 속도를 높이는 것은 안테나 사이즈를 키우거나 송신 출력을 키우는데 한계가 있기 때문에 끊임없이 대안이 요구되고 있었다. 심우주 탐사로 갈수록 통신 속도에 대한 요구가 증대되고 있고, 따라서 사용 주파수도 라디오 주파수 대역에서 광 대역(light wave)으로 변화하고 있다[7, 8]. 최근에 이슈화되고 있는 광학 네트워크(Optical Network)의 시도가 그것이다.

2.3 태양계 인터넷

CCSDS는 우주 인터넷이라고도 불리는 태양계 인터넷 아키텍처(Solar System Internetworking Architecture, SSI)를 2014년에 발표하였다. SSI는 우주 탐험 시대를 위한 통신 시스템 아키텍처이며 지상의 인터넷 기술을 상당 부분 채용하는 기술이다. 현재 관련 표준은 IETF와 CCSDS에 의해서 관리되고 있다.

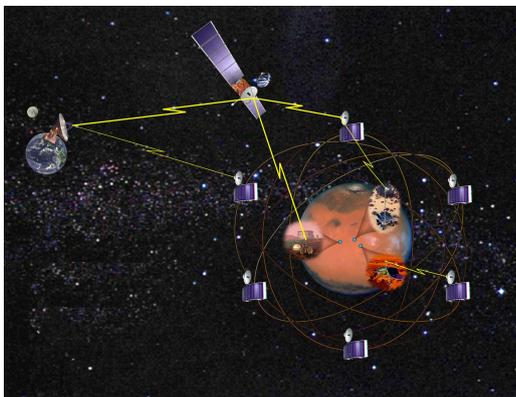


Fig. 1. Mars internetworking (vint cert)

SSI의 목적은 우주 탐험의 영역을 보다 확장하는데 있다. 분명 수십 kbps 이하의 통신 속도를 가진 우주 탐사선이 할 수 있는 일은 한계가 있다. 예를 들면 미지의 지하 수십 km 동굴을 찾בל 하나에 의지해서 탐험을 하는 것과 흡사하다.

앞에서 이야기한 광학 네트워크 기술 분야의 일종인 레이저 통신 기술에 의해서 일대 혁명이 될 것으로 예상되는데 2013년 발사한 NASA LADEE(Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer)의 레이저 통신 장치는 달에서 지구와 622 Mbps의 속도로 통신하는데 성공하였다[10]. 이전의 최고 속도는 2009년 NASA LRO(Lunar Reconnaissance Orbiter)가 Ka-band 통신기를 통해 얻은 100 Mbps 이었다. 실험적인 수치이긴 하지만 종전보다 4 ~ 5배 높은 데이터 전송 속도는 우주 통신 변화에 향후 적지 않은 파장을 가져오리라는 것에 의심할 여지가 없다. 예를 들어 화성에서 현재 기술로 Ka-band로 통신할 수 있는 최대 속도는 5 Mbps인데 레이저 광학통신을 이용하면 250 Mbps를 얻는 것이 가능해지기 때문이다. 따라서 수년동안 받아야 할 데이터를 단 수주에 전달받는 것이 가능하므로 우주 과학 성과의 주기가 획기적으로 짧아질 것으로 기대되고 있다.

2.4 지연허용네트워크

지연허용네트워크(DTN, Delay Tolerant Network)는 바로 태양계 인터넷을 가능하게 하기 위해서 고안된 우주 인터넷 프로토콜이다. IRTF (Internet Research Task Force)의 DTNRG (Delay-Tolerant Networking Research Group)에서 연구를 하고 있으며 NASA, ESA(European Space Agency), JAXA(Japan Aerospace Exploration Agency) 등 해외 선진 우주 기관에서 소프트웨어 개발 및 실험을 수행중이다.

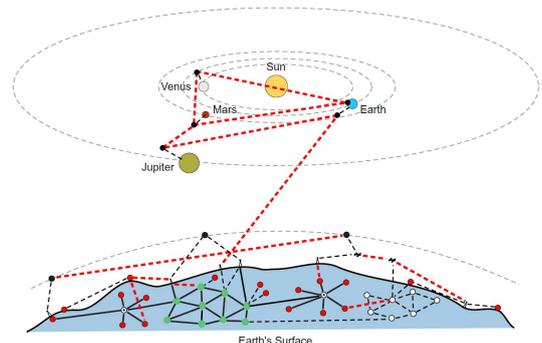


Fig. 2. SSI Architecture[1]

DTN 프로토콜은 지상 인터넷 (terrestrial internet) 기술을 바탕으로 하며 제한적인 우주 자원을 고려하여 개발되었다. LTP (Licklider Transmission Protocol)과 BP (Bundle Protocol)가 대표적인 DTN 프로토콜이며 현재 미 NASA의 ION (Interplanetary Overlay Network) 및 DTNRG의 DTN2 오픈 소스로 DTN 프로토콜이 공개되고 있다. DTN의 핵심은 송신 노드와 최종 수신 노드가 연결이 되지 않을 때에도 송신 노드가 송신을 개시할 수 있고, 중간에 중계 노드를 두어 노드간 거리를 단축함으로써 최종 노드간 통신 속도를 증가시키는 것에 있다. 이는 지상 송수신국과 24시간 가시성을 확보하기가 불가능한 지구외의 심우주 탐사선과의 통신에 필수적으로 요구된다. 지상의 인터넷 기술은 양대 끝 (End-to-End)이 전기적으로 연결되어 있어야 통신이 성립된다.

만약 화성과 지구 사이에 DTN을 적용하기 위해서는 중계노드 기능을 제공하는 다수의 중계 위성이 요구되는데 중계 위성은 SFO (Store and Forward Overlay) 방식을 통해 데이터를 중계한다. 다음 노드가 완전히 데이터의 복사본을 갖기 전에는 자신의 데이터 사본을 삭제하지 않는다.

한국에서는 최초로 2016년 착수되는 시험용 달 궤도선에 우주인터넷 탑재체가 탑재될 예정이며 개발은 한국전자통신연구원(ETRI)에서 담당한다. 한국항공우주연구원(KARI)은 체계중합으로서 우주인터넷 패킷을 지상국과 달 궤도선간에 전달하는 우주 데이터 링크(space data link) 물리 계층을 제공할 것이다[12]. 현재 한국항공우주연구원과 한국전자통신연구원은 미국 NASA와 ION을 이용하여 NASA DEN(DTN Experiment Network) 지상 환경에서의 DTN 프로토콜 국제 공동시험을 수행중이며, 향후 시험용 달 궤도선을 통해 국내의 뛰어난 인터넷 기술이 우주로 확장되기를 희망하고 있다. 시험용 달 궤도선이 하나의 인터넷 노드가 되어 영상, 이메일 등 지상 인터넷 신호를 입수, 처리하고 지상으로 되돌려 보내는 기술이 시험될 예정이다.

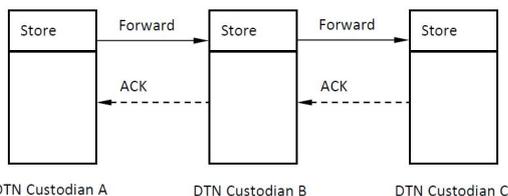


Fig. 3. DTN Custodian Operation Architecture[6]

III. 활용 방안

3.1 위성체 설계

광학 통신 기술은 넓은 통신 대역폭, 소형화, 저전력 소비, 보안성 등의 이점을 가지고 있다 [8]. 따라서 광학 통신 기술을 사용하게 되면 기존의 통신 속도를 위성체에서 지원하기 위해서 보다 적은 전력, 무게의 규격의 탑재체로 지원 가능하다.

$$\theta_{\frac{1}{2}} \approx \left(70 \cdot \frac{\lambda}{D}\right) \tag{1}$$

where $\theta_{\frac{1}{2}}$ is the half beam wavelength,
 λ is the carrier wavelength,
 D is the antenna diameter

(식 1)[8]에 따라서 주파수 파장이 짧아질수록 그리고 안테나 직경이 커질수록 빔폭이 좁아져 신호 에너지를 전달하는 효율이 증대되는데, 안테나 직경을 키우는 것에 대한 한계점이 광학 통신 방식으로의 전환을 가속시키고 있다.

예를 들어 LRO Ka-band로 다운링크 100 Mbps를 지원하기 위해서 약 60 kg/120 W의 RF 시스템이 요구되었는데 반해 LADEE에서는 약 32 kg/90 W 레이저 통신 탑재체로 다운링크 622 Mbps (업링크의 경우 20 Mbps)의 통신 속도를 달성하였다.

지상에서 데이터를 수신하는 장비도 대폭 소형화, 저비용으로 개발할 수 있다. 기존 S-band 대역을 사용하는 심우주안테나 규격이 직경 34m/송신 출력 20 kW임을 고려할 때 LADEE의 레이저 터미널은 직경 10 cm/송신 출력 0.5 W으로 매우 소형/저전력이다.

그러나 광학 통신 시스템을 운용하기 위해서는 위성의 높은 지상 지향 정밀도(Pointing accuracy)가 요구된다. LADEE의 지향 정밀도는 0.5 mrad 인데 이는 저궤도 관측위성(고도 300 ~ 700 km) 수준의 정밀도이다[11].

높은 자세, 위치, 지향 정밀도가 요구되지만



Fig. 4. 34m antenna Goldstone US vs LLGT (Lunar Lasercomm Ground Terminal) (courtesy of NASA)

절약되는 무게와 소비 전력을 다른 곳에 활용가능하고 무엇보다 빠른 전송 속도를 이용해 중계 위성(Relay satellite)으로 활용이 가능하다. 중계 위성은 바로 DTN 기술을 실현하는데 반드시 요구되는 자원이다. 지상의 인터넷과 같이 인터넷 백본망 간의 전송속도가 전체 인터넷의 성능에 매우 큰 영향을 미치기 때문이다.

2009년 발사될 예정이었으나 취소된 MTO (Mars Telecommunications Orbiter)에 탑재될 예정이었던 MLCD (Mars Laser Communications Demonstration) 탑재체는 화성 궤도에서 지구로 10~30 Mbps의 전송속도를 제공하려고 계획되었다[9]. MLCD 프로젝트는 비록 취소되었으나 계획의 일부가 2013년 LADEE에서 실현되었으며 2020년 이후의 화성 궤도선에 레이저 통신 탑재체가 실릴 가능성이 높아지게 되었다.

또한 DTN 기술을 적용함으로써 데이터 송수신 과정을 자동화(automotive)하는 것이 가능하다. DTN 알고리즘은 데이터 송수신시 연결 실패를 자동으로 처리하고 있는 로직을 포함하고 있기 때문에 지상국에서 이를 관리하는데 상대적으로 적은 인력으로도 가능하다.

3.2 탐사 목적 다양화

화성 궤도선이나 착륙선, 로버가 가지고 있는 내장 메모리의 크기에도 제한이 있기 때문에 탑재체의 성능은 송출할 수 있는 데이터 속도에 기준하여 정해지고 있다. 현재 화성에서 Ka-band로 얻을 수 있는 속도는 약 5 Mbps 인데 현재 MRO의 HiRISE(High Resolution Imaging Science Experiment) 탑재체 해상도(30 cm)로 전 화성 표면을 관측했을 때 지상으로 모두 전송하려면 9년 가까이 소요된다. 그러나 광학 통신을 이용하면 9주면 전송이 가능해지기 때문에 임무수명 안에 전 화성을 촬영하는 것이 가능해지고 또는 더욱 획기적인 성능의 탑재체를 싣는 것이 가능해진다. ESA 로제타(Rosetta) 소행성 탐사선의 다운로드속도는 22 kbps 이었고, NASA 뉴 호라이즌(New Horizons) 탐사선이 명왕성을 스쳐 지나갈 때 다운로드 속도는 불과 1 kbps에 지나지 않는다. 현재 뉴 호라이즌 탐사선이 이 태양계 끝 작은 행성의 비밀을 밝혀줄 귀중한 데이터를 가지고 있다고 하더라도 빛의 속도로 4.5 시간이 넘게 걸리는 지구에서 그 데이터를 받는데 년 단위의 시간이 필요할 것으로 생각된다. 그리고 인공위성의 데이터 처리 시스템이 날로 고속화되어 가고 있다는 점을 고려하면[13] 심우주 통신에 있어 통신 대역폭의 한계에 따른 불편은 점차 증폭되게 될 것이다.



Fig. 5. HiRISE payload on MRO (courtesy of NASA)



Fig. 6. Victoria crater on Mars taken by HiRISE MRO (courtesy of NASA)

심우주 고속 데이터 전송이 현실화되면 탐사선이 처리하기 곤란한 원천 데이터(raw data)를 지상으로 전송하여 처리하는 식으로 우주탐사의 패러다임이 바뀔 수도 있다.

3.3 사회 · 문화적 서비스 제공

과거 1960년대의 우주탐사는 주로 국력의 과시, 체제 선전을 위해 수행되었는데 반해 2000년 이후의 달탐사를 비롯한 우주탐사는 첨단 과학기술의 기술 데모, 우주 및 태양계 기원의 탐사, 인류 우주 계획의 소요 기술 개발에 초점이 맞추어져 있다. 2014년 1차 시험발사에 성공한 미국 우주 발사체(SLS, Space Launch System) 역시 향후 화성에 유인 탐사선을 보내기 위한 화물선 개념의 발사체 확보에 있다[3]. 화성 유인탐사의 첫 단계는 사람이 가서 생존하기 위한 시설 및 장비를 우주 화물선을 통해 먼저 화성 궤도에 보내 놓고 화성 궤도상에 거주할 수 있는 ISS (International Space Station)와 같은 거주 시설을



Fig. 7. Mars-Earth internet (courtesy of NASA)

만드는 것이 될 것이고, 그 이후에 사람이 도달하여 거주하는 형태가 될 것이다.

사람이 수개월 이상 다른 행성에서 생존하기 위해서는 물과 산소 외에 스트레스를 줄이기 위한 사회·문화적 콘텐츠가 필요한데 예를 들어 이메일이나 가족 비디오, 영화 감상 등이다. 화성에서 생활하고 있는 동안에 가족의 현재 모습을 비디오로 볼 수 있다면 근무 또는 주변 환경에 대한 스트레스가 많이 감소하게 될 것이다. 이와 같은 서비스를 제공하기 위해서 DTN 기술이 반드시 요구된다. 현재의 지구-화성 간 통신 속도 및 통신 방식으로는 임무를 수행하면서 중간 중간에 이런 우주인을 위한 이메일/뉴스/동영상 서비스를 제공하는 것이 어렵다.

DTN 기술을 통해서 화성에 거주하는 우주인(화성인)은 임무를 수행하면서 지구의 가족 및 친구와 이메일 또는 SNS를 교환하고, 지구의 최신 뉴스 및 영화 등도 큰 문제없이 시청가능하게 될 것이다.

미국 Golden Spike 사는 달에 관광목적의 유인 착륙선을 보내는 사업을 구상중이며 2020년에 달에 첫 착륙선을 보낼 예정에 있다. 이때 DTN 기술이 상용화되면 달 관광객 역시 지구와 차별이 없는 인터넷 서비스를 제공받을 수 있게 될 것이다.

3.4 우주탐사의 첫 경제 모델

현재 지구 근궤도의 우주 활동에 관련되는 상업적 서비스는 크게 위성 관제의 USN (Universal Space Network), NEN (Near Earth Network), DSN) 및 통신 중계의 TDRSS (Tracking and Data Relay Satellite System) 위성 서비스로 크게 구분할 수 있다. 모두 지구 근궤도의 우주 활동을 지원하는데 상업 서비스를 제공하고 있다. USN 및 NEN은 위성 발사 및

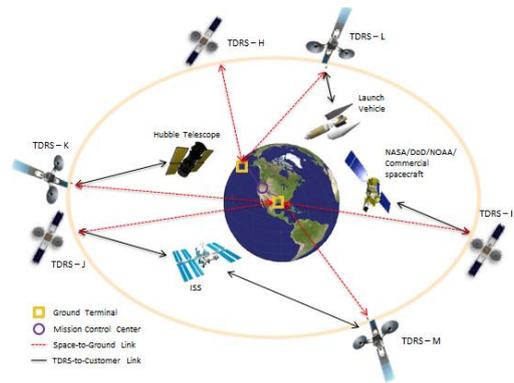


Fig. 8. TDRSS Constellation (courtesy of NASA)

위성 전이궤도 운용시 위성 추적 서비스를 제공하며, TDRSS는 NASA의 스페이스 셔틀 프로그램 등 미국의 우주 미션의 핵심 요소로 Fig. 8과 같이 지구 근궤도 위성과 지상관제국간 데이터 통신을 중계하는 상용 서비스를 제공하고 있다.

향후 달 및 화성 유인 관광 및 유인 탐사가 본격화되면 데이터 중계 위성으로서 수요가 많아지게 될 것이고, 상용 위성 개발회사도 상용 서비스를 목표로 한 DTN 중계 위성 개발 및 서비스에 관심을 가지게 될 것으로 예측된다. 현재 NASA는 ISS에 장착되어 있는 SCan (Space Communication and Navigation) 테스트 베드를 이용해 심우주 통신을 DTN을 이용해 수행하는 시험을 진행중이다[5]. NASA는 DTN 기술이 정립되고 난 후 위성 시스템 및 부품 개발 회사에서 DTN 상용 위성 발사 또는 DTN 상용 탑재체 개발을 할 것으로 조심스럽게 전망하고 있다.

IV. 결 론

인터넷이 발명되고 인터넷 기술이 발전함에 따라 인류의 생활과 과학발전에 많은 변화를 가져왔다. 이제 인류가 우주 탐사를 시작한지 50년이 넘어가면서 근래에 지상의 인터넷 기술이 우주에도 접목되기 시작했다. DTN 인터넷 프로토콜은 2~3년 내에 개발이 완료될 것으로 예상되며 달에서 시험한 레이저 광통신 기술이 성숙되고 상용화되면 앞으로 화성 탐사에 획기적인 전환점을 가져올 것이라고 기대해 볼 수 있는 시점이다. 광통신 기술을 통해서 심우주 탐사선의 통신 탑재체가 소형화/저전력화되고, DTN 인터넷 기술을 통해 장거리 통신 장애 문제가 해결될 수 있는 만큼 고성능의 신개념 과학 탑재체가 탑재

되어 놀라운 우주의 비밀을 밝혀 줄 도구가 될 것을 기대해 본다. 앞서 기술하였듯이 한국항공우주연구원에서는 전자통신연구원과 같이 한국형 달탐사 개발 사업을 통해 태양계 인터넷 기술을 달탐사에서 시험할 계획이며 이 결과가 태양계 인터넷 기술의 확산에 도움이 되기를 희망한다.

References

- 1) Forrest Warthman, "Delay-Tolerant Networks (DTNs) A Tutorial," March. 2003.
- 2) Dave Israel., Don Cornwell, "Disruption Tolerant Networking Demonstrations over LLCD's Optical Links," IPNSIG Space Technology Innovations Conference, Jan. 2014.
- 3) NASA, "space launch system," NASA GSFC Fact sheet, 2012
- 4) Yeoul Hwangbo, et al, "Internet based National Science and Technology Innovation System," STEPI Report, 2001
- 5) Richard Reinhart, "Space Communication and Navigation Testbed: Communications Technology for Exploration," ISS Research and Development Conference, 2013
- 6) Athanasios Vasilakos, et al, "Delay Tolerant Networks - Protocols and Applications," CRC Press, 2012
- 7) Don M. Boroson, "Overview of the Lunar Laser Communication Demonstration," ICSOS, May. 2014
- 8) Taijie Jiang, Lijuan Gao, "Research on Space Optical Communication and Resolving Problems of Deep Space Communication," pp 166-172, ICECA, 2014
- 9) D.M. Boroson, et al, "MLCD: Overview of NASA's Mars Laser Communications Demonstration System," SPIE, 2004
- 10) D.M. Boroson, et al, "The Lunar Laser Communications Demonstration (LLCD)," pp23-28, SMC-IT, 2009
- 11) NASA Ames, "LADEE PDS Spacecraft Description," March. 2013
- 12) Cheol H. Koo, et al, "Conceptual Design of Data Encapsulation Layer on CCSDS Space Link for Lunar Explorer DTN Data Transmitting," pp 604-607, KSAS Fall Conference, Nov, 2015
- 13) Dae-Soo Oh, et al, "Conceptual Design of High Speed Data Processing Unit for Next Generation Satellite," pp 616-620, KSAS, Vol.36 No.6, 2008