

## 論文

DOI:10.5139/JKSAS.2010.39.1.42

달 탐사를 위한 우주통신에서 텔레메트리 링크에 대한  
최대 전송속도 성능분석

이우주\*, 윤동원\*, 이재윤\*

Performance Analysis of Maximum Data Rate for Telemetry Links  
in Space Communications for Lunar Explorations

Wooju Lee\*, Dongweon Yoon\* and Jaeyoon Lee\*

## ABSTRACT

Telemetry link requires high data rate to transmit the multimedia data for lunar explorations in space communications. In this paper, we analyze a data rate with the modulation and channel coding schemes based on Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) in S, X, Ku and Ka bands, respectively. Then, we suggests modulation and channel coding schemes to meet the link margins and have a maximum data rate for lunar explorations in telemetry links.

## 초 록

달 탐사를 위한 우주 통신 하향링크는 대용량 데이터의 전송을 위해 높은 전송속도를 요구한다. 따라서 본 논문에서는 달 탐사를 위한 하향링크 S, X, Ku, Ka 대역별로 CCSDS에서 권고하는 변조 및 채널 부호화 기법에 대하여 전송속도를 분석한다. 이를 통해 달 탐사를 위한 텔레메트리 링크에 대하여 최대 전송속도를 가지며 링크마진을 만족하는 변조 및 채널 부호화 기법을 제시한다.

**Key Words** : Space communications(우주 통신), link margin(링크 마진), modulation(변조), channel coding(채널 부호화)

## 1. 서 론

우리나라는 2007년 수립된 우주개발사업 세부 실천로드맵을 통해 2017년부터 2020년까지 달 탐사위성 개발을 목표로 본격적인 우주탐사연구에 나선 계획을 밝혔다[1]. 이 계획을 실현하기 위해서는 달 탐사 위성과 지상국 사이의 우주통신 무선링크 설계가 필요하며, 이와 함께 변조 및 채널 부호화 기법 등의 우주통신을 위한 전송 방식에 대한 연구가 필요하다[2]-[4].

달 탐사를 위한 우주통신 시스템 상향 링크의 경우에는 탐사선을 제어하고, 명령하는 등의 낮은 전송속도의 신호 전송으로도 신뢰성 있는 통신이 가능 하지만, 하향링크의 경우에는 탐사선에서 수집한 멀티미디어 영상 데이터와 같은 대용량 데이터 전송이 요구되므로 전송속도의 증가가 필요하다[5].

전송속도의 증가는 전송 대역폭의 증가와 변조 및 채널 부호화 기법에 대한 주파수 효율의 증가를 필요로 한다. 여기서 변조 및 채널 부호화 기법에 대한 주파수 효율의 증가는 신뢰성 있는 데이터 전송을 위한 목표 비트 오류 확률(BER: Bit Error Rate)을 만족하기 위해 요구되는 비트 당 에너지 대 잡음 전력 밀도 비( $E_b/N_0$ )를

† 2010년 7월 16일 접수 ~ 2010년 12월 1일 심사완료

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

증가시키며, 전송 대역폭의 증가는 통신링크 설계를 통해 도출되는 수신  $E_b/N_0$ 의 감소를 초래한다. 이는 수신  $E_b/N_0$ 와 요구되는  $E_b/N_0$ 의 차이에 의한 링크마진이 줄어드는 주요한 요인이다.

신뢰성 있는 데이터 전송을 위한 링크마진을 만족하며, 전송 대역폭의 증가와 변조 및 채널 부호화 기법의 주파수 효율 증가에 의한 성능을 분석하기 위해, 본 논문에서는 CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems)의 권고를 기반으로 한 지상국과 달 탐사선 사이의 S, X, Ku, Ka 대역별 우주통신 하향링크를 바탕으로[6], 달 탐사를 위한 우주통신의 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해 고려되는 OQPSK, 8PSK, 4-12 APSK, 4-12-16 APSK 변조 방식에 대하여, 채널 부호화 하지 않은 방법, 부호율 1/2, 1/3, 1/4, 1/6을 갖는 터보 부호화 기법을 적용하여 주파수 대역, 전송 대역폭에 대한 성능을 분석한다. 성능 분석을 통해 S, X, Ku, Ka 대역별로 전송 대역폭에 대하여 신뢰성 있는 데이터 전송을 위한 링크마진을 만족하며, 최대 전송속도를 갖는 변조 및 채널 부호화 기법을 제시한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 달 탐사를 위한 우주통신 하향링크 모델과 변조 및 채널 부호화 기법에 대하여 살펴보고, 3장에서 전송 대역별 전송속도를 분석한 후, 마지막장에 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

### 2.1 달 탐사를 위한 우주통신 하향링크 모델

달 탐사선에서 지상국으로 신호를 전송하는 하향링크 송신 주파수 대역은 CCSDS 권고 및 NASA DSN 규격과 국내 주파수 현황에 따른에 따라 S, X, Ku, Ka 대역별로 각각 2295, 8420, 12200, 32000MHz로 설정한다[6]-[9]. 안테나 직경 및 송신전력은 일본의 달 탐사선 셀레네 (SELENE: Selenological and Engineering Explorer)를 참조하여 각각 1.2m와 20W로 가정하며, 지상국의 안테나는 미국 Goldstone에 있는 BWG 안테나 DSS-24를 기준으로 직경 34m로 설정하고, S, X, Ku, Ka 송신 주파수 대역에 대한 잡음온도는 34~44.9K로 설정한다[7]. 안테나크기에 대한 파라볼릭 안테나의 안테나 이득은 식 (1)과 같다[10].

표 1. 우주통신 하향링크 모델

구분	단위	S 대역	X 대역	Ku 대역	Ka 대역
거리	km	384,403			
전송 주파수	MHz	2,295	8,420	12,200	32,000
달 탐사선					
송신전력	W	20.0	20.0	20.0	20.0
	dBW	13.0	13.0	13.0	13.0
송신안테나 직경	m	1.2	1.2	1.2	1.2
송신안테나 효율		0.7	0.7	0.7	0.7
송신안테나 이득	dBi	27.7	38.9	42.2	50.5
송신안테나 회로손실	dB	0.6	0.4	0.3	0.25
송신안테나 지향손실	dB	3.2	4.4	9.3	6.4
전송채널					
자유공간 손실	dB	211	222	225.9	234.2
대기감쇠	dB	0.033	0.039	0.1	0.154
전리층 손실	dB	0.2	0.2	0.2	0.2
강우감쇠	dB	0.0	1.0	4.7	19.2
달전속 밀도손실	dB	5.34	5.4	5.0	3.96
지상국					
수신안테나 직경	m	34.0	34.0	34.0	34.0
수신안테나 효율		0.7	0.7	0.7	0.7
수신안테나 이득	dBi	56.7	68.0	71.2	79.6
수신안테나 회로손실	dB	0.6	0.4	0.3	0.25
수신안테나 지향손실	dB	0.003	0.044	0.150	0.639
잡음온도	K	34.0	31.9	38.0	44.9

$$[G] = \eta(10.472 (f/1000) d)^2 \text{ (dBi)} \quad (1)$$

여기서  $[X] = 10 \log_{10} X$ 는 데시벨 단위를 나타내고,  $\eta$ 는 개구면 효율(Aperture Efficiency)로서 보통 0.55~0.73의 값을 가지며, 본 논문에서는

NASA DSN 규격에 의거하여 0.7로 설정한다 [11]. 그리고 주파수  $f$ 의 단위는 MHz, 직경  $d$ 의 단위는 m이다. 또한 자유공간 손실은 식 (2)와 같다[10].

$$[FSL] = 32.44 + 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) \quad (dB) \quad (2)$$

여기서  $d$ 는 송/수신 안테나 사이의 거리를 나타내고 단위는 m이며,  $f$ 는 송신주파수를 나타내고 단위는 MHz이다. 대기감쇠, 송/수신 안테나 회로 손실, 지향 손실은 [7]을 이용하여 설정하며, 대기감쇠와 송/수신 안테나 지향 손실은 [7]을 이용하여 설정하며, 전리층 손실, 강우 감쇠, 그리고 달 전속 밀도 손실은 각각 [12], [13], [14]를 참조하여 설정한다. 회로 손실은 하드웨어 설계 방법에 따라 회로 손실 값이 변화할 수 있으며, 본 논문에서는 지상국 회로 손실의 경우 [7]을 기준으로 설정하고 달 탐사선의 경우 지상국과 동일하게 가정한다. CCSDS 권고 및 NASA DSN 규격에 의거하여 본 논문에서 설정한 우주통신 하향링크 모델은 표 1과 같다[15].

## 2.2 달 탐사를 위한 우주통신 변조 및 채널 부호화 기법

본 논문에서는 달 탐사를 위한 우주통신을 위해 CCSDS에서 고려하는 변조 및 채널 부호화 기법 중 OQPSK, 8PSK, 4-12 APSK, 4-12-16 APSK 변조방식에 대하여 채널 부호화 하지 않은 방법, 부호율 1/2, 1/3, 1/4, 1/6의 터보 부호화 기법을 고려한다[16]. CCSDS에서 권고하는 제곱근 상승 여현(SRRC: Square Root Raised Cosine) 필터를 사용하며, 필터계수(Roll-off Factor)는 CCSDS 내의 SFCG(Space Frequency Common Group)의 스펙트럼 마스크 기준에 만족하는 필터계수 중 주파수 효율이 가장 좋은 필터계수를 OQPSK, 8PSK, 4-12 APSK, 4-12-16 APSK 변조 방식별로 0.2, 0.35, 0.35, 0.35로 설정한다[16]. 정보 블록 길이는 [17]을 참조하여 8920bits로 설정하며, 우주통신 시스템의 신뢰성 있는 통신을 위한 요구조건은 목표 비트 오류 확률(BER: Bit Error Rate)을  $10^{-5}$ 로 가정한다. 변조 및 채널 부호화 기법에 대한 목표 비트 오류 확률의 요구되는  $E_b/N_0$ 는 부호화 하지 않은 경우 [18]과 터보 부호화된 경우 [19]를 참조하여 설정하였으며, 그에 따른 요구되는  $E_b/N_0$ , 필터 계수, 주파수 효율을 정리하면 표 2와 같다.

표 2. 변조 및 채널 부호화 기법에 대한 요구  $E_b/N_0$ , 필터 계수, 주파수 효율

구분	요구 $E_b/N_0$ (dB)	필터계수	주파수 효율 (bps/Hz)
Uncoded			
OQPSK	9.6	0.2	1.77
8PSK	13	0.35	2.57
4-12 APSK	13.8	0.35	3.43
4-12-16 APSK	15.8	0.35	4.29
Turbo 1/2			
OQPSK	1.66	0.2	0.89
8PSK	3.21	0.35	1.29
4-12 APSK	4.63	0.35	1.72
4-12-16 APSK	6.72	0.35	2.15
Turbo 1/3			
OQPSK	1.22	0.2	0.59
8PSK	2.07	0.35	0.86
4-12 APSK	3.39	0.35	1.14
4-12-16 APSK	5.22	0.35	1.43
Turbo 1/4			
OQPSK	0.92	0.2	0.44
8PSK	1.86	0.35	0.64
4-12 APSK	3.33	0.35	0.86
4-12-16 APSK	4.19	0.35	1.07
Turbo 1/6			
OQPSK	0.69	0.2	0.30
8PSK	1.73	0.35	0.43
4-12 APSK	3.27	0.35	0.57
4-12-16 APSK	3.68	0.35	0.72

## III. 전송 대역별 전송속도 분석

본 장에서는 앞에서 살펴본 달 탐사용 우주통신 하향링크 모델과 다양한 변조 및 채널 부호화 기법을 이용하여 전송 대역폭에 대한 전송속도를 도출하고, 도출된 전송속도를 바탕으로 링크마진을 만족하는 최대 전송속도의 변조 및 채널 부호화 기법을 주파수 대역 별로 제시한다. 전송 대역폭에 대한 성능을 도출하기에 앞서 CCSDS 권고, NASA DSN 규격, 국내 주파수 현황에 따른 S, X, Ku, Ka 대역의 우주통신용 주파수 구간 및

**표 3. 주파수 대역별 할당된 주파수 구간 및 최대 대역폭**

구분	주파수 구간(MHz)	최대 대역폭(MHz)
S 대역	2,200-2,300	100
X 대역	8,400-8,500	100
Ku 대역	12,200-12,750	550
Ka 대역	31,800-32,300	500

최대 전송 대역폭은 주파수 대역별로 표 3과 같다[6], [7], [9]. S, X, Ku, Ka 대역별로 우주통신을 위해 사용할 있는 최대 대역폭은 각각 100, 100, 550, 500MHz를 갖는다.

표 1의 우주통신 하향링크 모델을 이용하여 도출하는 수신 전력( $P_R$ )은 식 (3)과 같다[10].

$$[P_R] = [G_T] + [P_T] + [G_R] - [L_T] \quad (dBW) \quad (3)$$

여기서  $G_T$ 와  $G_R$ 은 안테나 크기, 개구면 능률, 그리고 전송 주파수를 이용하여 식 (1)을 통해 도출되는 송/수신 안테나 이득을 각각 나타내며,  $P_T$ 는 송신 전력을 나타내며,  $L_T$ 는 표 1에서 나타내는 모든 손실 즉, 송/수신 안테나의 회로 및 지향 손실, 채널에서 발생하는 자유공간 손실, 대기감쇠, 전리층 손실, 감쇠, 달 전속밀도 손실의 dB 스케일 합이다. 또한 표 1의 우주통신 하향링크 모델을 이용하여 도출되는 잡음전력 밀도( $N_0$ )는 식 (4)와 같다[10].

$$[N_0] = [k] + [T] \quad (dBW) \quad (4)$$

여기서  $k$ 는 볼츠만 상수로 그 값은  $1.38 \times 10^{-23}$  J/K이고,  $T$ 는 지상국의 등가잡음온도로서 회로에서 발생하는 다양한 잡음을 등가적인 온도로 표현한 것이다. 표 1의 우주통신 하향링크 모델을 이용하여 도출한 수신 전력과 잡음전력 밀도를 이용하여 각 주파수 별로 도출하는 수신 반송파 전력 대 잡음전력 밀도( $C/N_0$ )는 식 (5)와 같다[10].

$$[C/N_0] = [P_R] - [N_0] \quad (dB) \quad (5)$$

식 (5)를 통해 계산되는 수신  $C/N_0$ 를 표 2의 요구  $E_b/N_0$ 와 비교하기 위하여 각 변조 및 채널 부호화 기법의 주파수 효율과 전송 대역폭을 이용하여 전송속도를 계산한다. 식 (5)를 통해 계산된 수신  $C/N_0$ 와 전송속도를 이용하여 수신  $E_b/N_0$ 를 계산한다[10].

$$[E_b/N_0] = [C/N_0] - [R_b] \quad (dB) \quad (6)$$

링크 마진은 식 (6)을 통해 각 주파수 별로 도출된 수신  $E_b/N_0$ 와 표 2에서 나타낸 변조 및 채널 부호화 기법의 요구  $E_b/N_0$ 의 차를 이용하여 도출한다. 전송 대역폭이 증가할 경우 전송속도가 증가하게 되고 이는 수신  $E_b/N_0$ 를 감소시켜 링크 마진이 줄어든다. 링크 마진이 음의 값을 가지게 되면 표 1을 통해 설계한 각 주파수 별 수신  $E_b/N_0$ 가 표 2에서 나타내는 변조 및 채널 부호화 기법별 요구  $E_b/N_0$  보다 작아 링크 성능의 기준인 비트 오류 확률  $10^{-5}$ 를 만족하지 못하여 통신링크 성능이 열화 된다.

그림 1-4는 S, X, Ku, Ka 대역에서 전송 대역폭을 변화시키며 해당 전송 대역폭에 대한 링크 마진을 계산하여 링크 마진이 양의 값을 가질 때의 해당 전송속도를 각 변조 및 채널 부호화 기법별로 보여준다. 만약, 링크마진이 음의 값을 가질 경우에는 해당 대역폭을 기준으로 목표하는 통신이 불가능함으로 링크마진이 양의 값을 갖는 최대 전송 대역폭으로의 통신이 필요하며, 결국 전송 대역폭이 지속적으로 증가하더라도 링크마진이 양의 값을 갖는 최대 대역폭에 대한 전송속도로 통신함으로 최대 전송속도는 수렴하게 된다.

S 대역에서 우주통신 전송 대역폭에 대한 변조방식과, 채널 부호화 기법별 최대 전송속도는 그림 1, 2와 같다. 채널 부호화를 하지 않은 4-12-16 APSK의 대역폭에 대한 전송속도를 살펴보면, 전송 대역폭이 11MHz 이하일 경우에는 대역폭이 증가함에 따라 주파수 효율에 비례하여 전송속도가 증가함을 확인할 수 있다. 그러나 전송 대역폭이 11MHz 이상으로 증가하면, 수신  $E_b/N_0$ 가 신뢰성 있는 통신을 위한 요구되는  $E_b/N_0$ 를 만족하지 못하여 링크 마진이 음의 값으로 떨어지고, 더 이상 전송 대역폭이 증가하여도 링크 마진을 만족하지 못한다. 따라서 S 대역에서 채널 부호화 하지 않은 4-12-16 APSK는 11MHz가 최대 전송속도를 낼 수 있는 최대 전송 대역폭이며, 이때 47.19Mbps의 전송속도로 통신이 가능하다. 한편 채널 부호화 하지 않은 4-12 APSK의 대역폭에 대한 전송속도는 전송 대역폭이 13.76MHz 이하일 경우 11MHz의 전송대역폭을 갖는 채널 부호화 하지 않은 4-12-16 APSK와 비교하여 낮은 전송속도를 갖는다. 그러므로 전송 대역폭 11MHz부터 13.76MHz까지의 구간은 전송 대역폭 11MHz의 채널 부호화 하지 않은 4-12-16 APSK를 사용하는 것이 주파수 효율적인 최대 전송속도 도출이 가능하다. 따라서

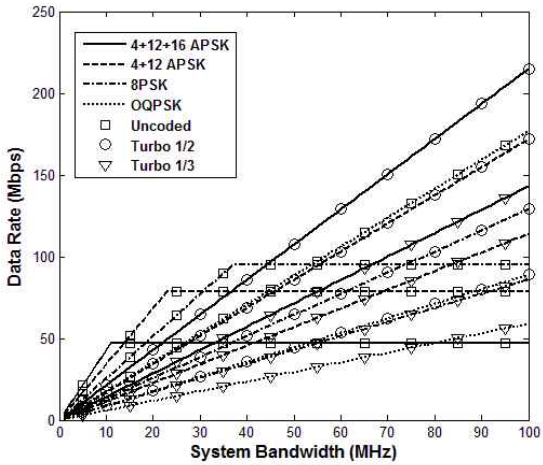


그림 1. S 대역에 대한 변조 및 채널 부호화 기법별 최대 전송속도 #1

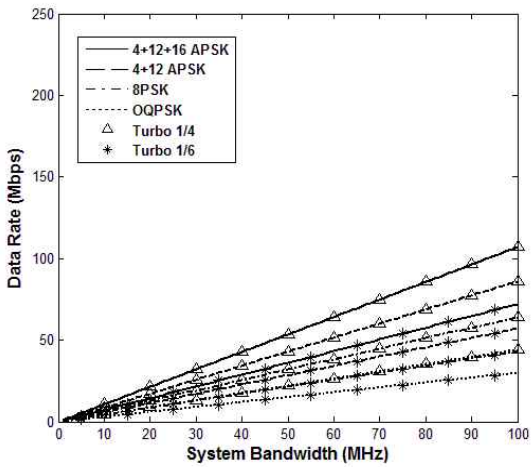


그림 2. S 대역에 대한 변조 및 채널 부호화 기법별 최대 전송속도 #2

채널 부호화 하지 않은 4-12-16 APSK는 최대 13.76MHz까지의 전송 대역폭 구간에서 최대 전송속도를 갖는다.

이와 같은 방법으로, 채널 부호화 하지 않은 4-12 APSK는 전송 대역폭 13.76MHz부터 30.70MHz까지의 구간에서 최대 전송속도를 갖으며, 채널 부호화 하지 않은 8PSK는 전송 대역폭 30.70MHz부터 44.33MHz까지의 구간에서 최대 전송속도를 갖는다. 전송 대역폭 44.33MHz부터 S 대역의 최대 대역폭인 100MHz까지의 구간에서는 부호율 1/2을 갖는 터보 부호화 된 4-12-16 APSK가 최대 전송속도를 만족하는 변조 및 채널 부호화 방식임을 알 수 있다.

X 대역 우주통신 전송 대역폭에 대한 변조 및 채널 부호화 기법별 최대 전송속도는 그림 3, 4와 같다. X 대역의 경우 본 논문에서 고려하는 모든 변조 및 채널 부호화 기법의 수신  $E_b/N_0$ 가 최대 대역폭인 100MHz까지 증가하여도 신뢰성 있는 통신을 위한 요구되는  $E_b/N_0$ 보다 큰 값을 가진다. 따라서 전송속도는 전송 대역폭과 변조 및 채널 부호화 기법별 주파수 효율에 비례하여 전송속도가 증가하는 것을 그림 3, 4를 통해 확인할 수 있다. 다양한 변조 및 채널 부호화 기법 중에서 X 대역의 최대 대역폭인 100MHz까지의 구간에서 채널 부호화 하지 않은 4-12-16 APSK가 링크마진을 만족하며, 최대 전송속도를 갖는 변조 및 채널 부호화 방식임을 알 수 있다.

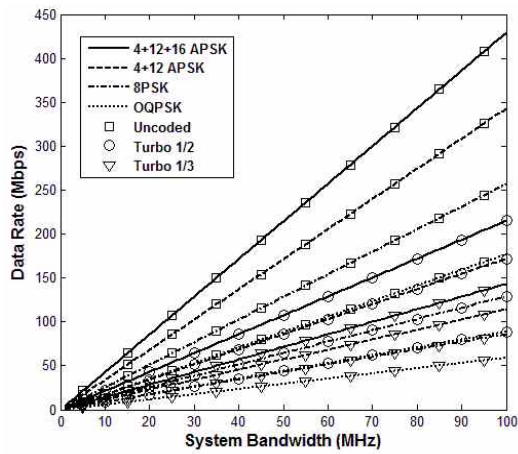


그림 3. X 대역에 대한 변조 및 채널 부호화 기법별 최대 전송속도 #1

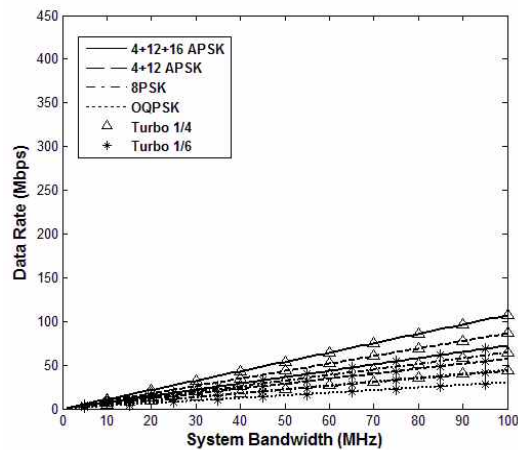


그림 4. X 대역에 대한 변조 및 채널 부호화 기법별 최대 전송속도 #2

Ku 대역의 경우 우주통신을 위한 하향링크 최대 대역폭은 550MHz이며, 전송 대역폭에 대한 변조 및 채널 부호화 기법별 최대 전송속도는 그림 5, 6과 같다. 전송 대역폭 최대 136.33MHz까지의 구간에서는 채널 부호화 하지 않은 4-12-16 APSK, 전송 대역폭 136.34MHz부터 289.61MHz까지의 구간에서는 채널 부호화 하지 않은 4-12 APSK, 전송 대역폭 289.62MHz부터 418.14MHz까지의 구간에서는 채널 부호화 하지 않은 8PSK, 이후 Ku 대역 최대 대역폭인 550MHz까지는 부호율 1/2을 갖는 터보 부호화 된 4-12-16 APSK가 링크마진을 만족하며, 최대 전송속도를 갖는 변조 및 채널 부호화 방식임을 알 수 있다.

Ka 대역의 경우 우주통신을 위한 하향링크 최대 대역폭은 500MHz이며, 전송 대역폭에 대한 변조 및 채널 부호화 기법별 최대 전송속도는 그림 7, 8과 같다. 채널 부호화를 하지 않은 경우, 4-12-16 APSK, 4-12 APSK, 8PSK, OQPSK 기법은 전송 대역폭이 증가함에 따라 각각 26MHz, 52MHz, 84MHz, 267MHz지점 이후로는 링크마진을 만족하지 못해 전송속도가 더 이상 증가하지 않음을 알 수 있다. 따라서 이 경우 채널 부호화가 필요하게 된다. 부호율 1/2을 갖는 터보 부호화 된 4-12-16 APSK는 전송 대역폭 428MHz 이후 수신  $E_b/N_0$ 가 신뢰성 있는 통신을 위한 요구되는  $E_b/N_0$ 보다 낮아져 더 이상 최대

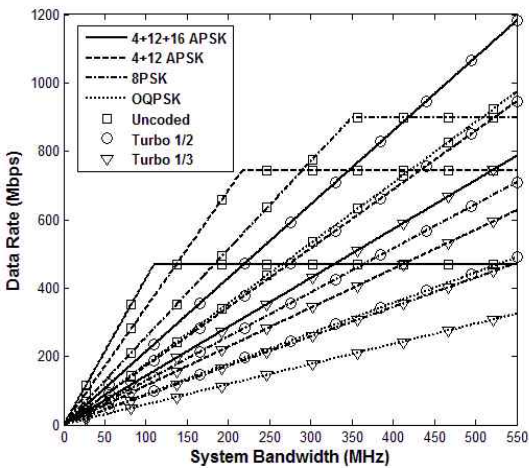


그림 5. Ku 대역에 대한 변조 및 채널 부호화 기법별 최대 전송속도 #1

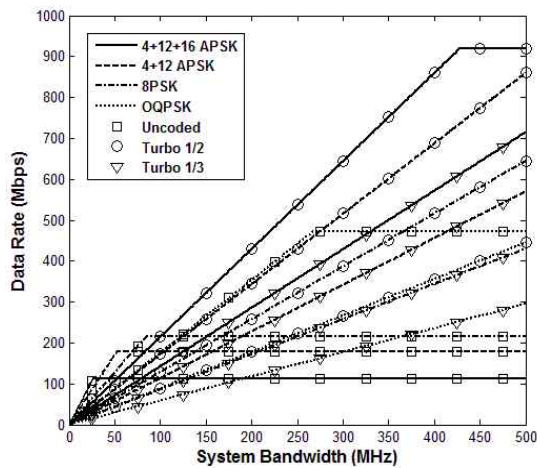


그림 7. Ka 대역에 대한 변조 및 채널 부호화 기법별 최대 전송속도 #1

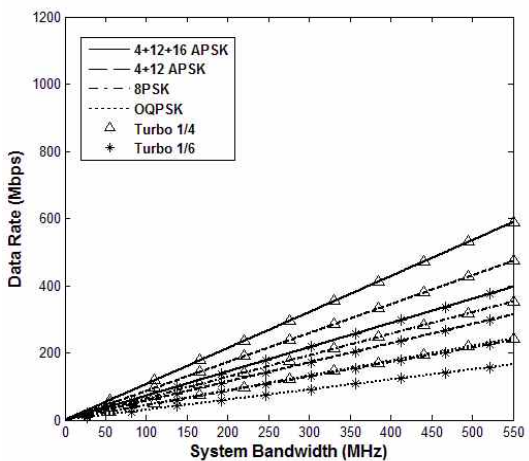


그림 6. Ku 대역에 대한 변조 및 채널 부호화 기법별 최대 전송속도 #2

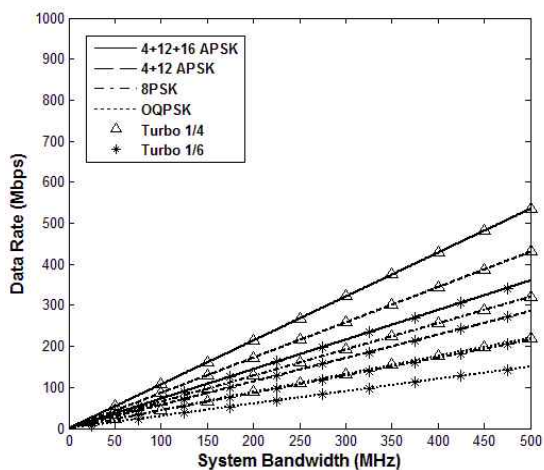


그림 8. Ka 대역에 대한 변조 및 채널 부호화 기법별 최대 전송속도 #2

전송속도가 증가하지 않지만, 전송 대역폭 428MHz을 사용하여 부호율 1/2을 갖는 터보 부호화 된 4-12-16 APSK를 사용하는 것이 최대 전송속도를 갖는 변조 및 채널 부호화 방식임을 알 수 있다. 따라서 전송 대역폭 최대 32.52MHz까지의 구간에서는 채널 부호화 하지 않은 4-12 APSK, 전송 대역폭 32.53MHz부터 69.40MHz까지의 구간에서는 채널 부호화 하지 않은 4-12 APSK, 전송 대역폭 69.41MHz부터 100.64MHz까지의 구간에서는 채널 부호화 하지 않은 8PSK, 이후 Ka 대역 최대 대역폭인 500MHz까지는 부호율 1/2을 갖는 터보 부호화 된 4-12-16 APSK가 링크마진을 만족하며, 최대 전송속도를 갖는 변조 및 채널 부호화 방식임을 알 수 있다.

위에서 살펴 본 달 탐사를 위한 S, X, Ku, Ka 대역의 변조 및 채널 부호화 기법들의 전송속도를 바탕으로 전송 대역폭에 대한 최대 전송속도를 갖는 변조 및 채널 부호화 기법을 정리하면 표 4와 같다. 하향링크 모델을 바탕으로 채널 부호화 하지 않은 변조방식의 경우 주파수 효율적인 통신은 가능하지만, 요구되는  $E_b/N_0$ 가 높아 대역폭이 증가함에 따라 수신  $E_b/N_0$ 가 감소하여

링크 마진을 만족하지 못하고 최대 전송속도가 더 이상 증가 하지 않음을 확인할 수 있었다. 또한 채널 부호화 기법을 이용한 전송 방식의 경우 부호율에 따라 주파수 효율이 저하되지만 오류 정정을 통해 요구되는  $E_b/N_0$ 가 감소하여 각 주파수 대역별 최대 대역폭까지 링크 마진을 만족함을 확인하였다. 따라서 달 탐사 위성 임무에 할당되는 전송 대역폭이 협대역일 경우에는 링크 마진을 만족하는 최대 주파수 효율의 채널 부호화 하지 않은 변조 방식도 사용할 수 있으며, 광대역 전송 대역폭일 경우에는 링크 마진을 만족하는 최대 주파수 효율의 부호율 및 변조 방식을 사용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 CCSDS를 기반으로 지상국과 달 탐사선 사이의 우주통신 하향링크를 바탕으로, 우주통신을 위해 고려되는 OQPSK, 8PSK, 4-12 APSK, 4-12-16 APSK 변조방식에 대하여 채널 부호화 하지 않은 방법, 부호율 1/2, 1/3, 1/4, 1/6을 갖는 터보 부호화 기법을 적용하여 성능을 분석하였다. 성능 분석을 통해 S, X, Ku, Ka 대역별로 전송 대역폭에 대하여 신뢰성 있는 데이터 전송을 위한 링크마진을 만족하며, 최대 전송속도를 갖는 변조 및 채널 부호화 기법을 제시하였다.

S, X, Ku, Ka 대역 중 X 대역의 경우를 살펴 보면 채널 부호화 하지 않은 4-12-16 APSK가 모든 전송 대역폭에서 최대 전송속도를 갖으며, Ka 대역의 경우에는 전송 대역폭이 32.52MHz 이전에는 채널 부호화 하지 않은 4-12-16 APSK, 69.40MHz 이전에는 채널 부호화 하지 않은 4-12 APSK, 100.64MHz 이전에는 채널 부호화 하지 않은 8PSK, 이후 Ka 대역의 최대 대역폭인 500MHz까지는 부호율 1/2을 갖는 터보 부호화 된 4-12-16 APSK가 각각 전송 대역폭에 대한 최대 전송속도를 만족하는 변조 및 채널 부호화 방식임을 알 수 있었다.

달 탐사를 위한 우주 통신 하향링크 모델을 기준으로 채널 부호화 하지 않은 변조방식의 경우에는 주파수 효율적인 통신이 가능하지만, 별도의 채널 부호화 방식을 사용하지 않기 때문에 요구되는  $E_b/N_0$ 가 높아 대역폭이 증가함에 따라 수신  $E_b/N_0$ 가 감소하여 링크 마진을 만족하지 못하고 최대 전송속도가 더 이상 증가 하지 않음을 확인하였다. 또한 채널 부호화 기법을 이용한 전송 방식의 경우에는 부호율에 따라 주파수 효

표 4. 주파수 대역별 전송 대역폭에 대한 최대 전송속도를 갖는 변조 및 채널 부호화 기법

대역폭 (MHz)	~13.76	~30.70	~44.33	~100
대 변조 및 채널 부호화	Uncoded, 4-12-16 APSK	Uncoded, 4-12 APSK	Uncoded, 8PSK	Turbo 1/2, 4-12-16 APSK
대역폭 (MHz)	~100			
대 변조 및 채널 부호화	Uncoded, 4-12-16 APSK			
대역폭 (MHz)	~136.33	~289.61	~418.14	~550
대 변조 및 채널 부호화	Uncoded, 4-12-16 APSK	Uncoded, 4-12 APSK	Uncoded, 8PSK	Turbo 1/2, 4-12-16 APSK
대역폭 (MHz)	~32.52	~69.40	~100.64	~500
대 변조 및 채널 부호화	Uncoded, 4-12-16 APSK	Uncoded, 4-12 APSK	Uncoded, 8PSK	Turbo 1/2, 4-12-16 APSK

율이 저하되지만 오류 정정을 통해 요구되는  $E_b/N_0$ 가 감소하여 각 주파수 대역별 최대 대역폭까지 링크 마진을 만족함을 확인하였다. 따라서 달 탐사위성 임무에 할당되는 전송 대역폭이 협대역일 경우에는 링크 마진을 만족하는 최대 주파수 효율의 채널 부호화 하지 않은 변조 방식도 사용 가능하며, 광대역 전송 대역폭일 경우에는 링크 마진을 만족하는 최대 주파수 효율의 부호화 및 변조 방식을 사용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

본 논문에서 살펴본 전송 대역폭에 대한 변조 및 채널 부호화 기법의 전송속도 분석은 향후 달 탐사를 위한 시스템 설계 시 전송 주파수 대역, 전송 대역폭에 대한 변조 및 채널 부호화 기법을 규정하는 참고 자료로 활용 가능할 것이다.

## 후 기

본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 우주기초원천기술개발 사업(NSL, National Space Lab)으로부터 지원받아 수행되었습니다 (2010-0015083).

## 참고문헌

- 1) 이상률, "우리나라 달 탐사의 기술 개발 방향", 한국항공우주학회 KSAS 매거진, 제3권 제1호, 2009, pp. 51~57.
- 2) 심은섭, "달 탐사위성 개발 현황", 한국항공우주연구원 항공우주산업기술동향, 제5권 제1호, 2007, pp. 39~55.
- 3) 김해동, 이주희, 심은섭, "달탐사 연구개발 동향", 한국항공우주학회 2009년도 춘계학술발표회 논문집, 제4권, 2009, pp. 713~717.
- 4) 김중표, 구철희, "통신위성 원격측정명령계 RF 링크버킷 개념설계 연구", 한국항공우주연구원 항공우주기술, 제1권 제2호, 2002, pp. 45~50.
- 5) W. S. Tai, "Deep Space Network Services Catalog", Document no. 820-100, Rev. E, Jet Propulsion Laboratory, NASA, Jul. 2007.
- 6) "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.
- 7) S. D. Slobin, "34-m BWG Stations Telecommunications Interfaces", Document no.

- 810-005, Rev. B, 104, Rev. B, Jet Propulsion Laboratory, NASA, Sep. 2008.
- 8) R. W. Sniffin, "Frequency and Channel Assignments", Document no. 810-005, Rev. E, 201, Rev. A, Jet Propulsion Laboratory, NASA, Sep. 2008.
- 9) 한국전파진흥협회, "대한민국 주파수 분배표", 제 2호, 2010.
- 10) D. Roddy, Satellite Communications, Mc-Graw Hill, Jul. 2006.
- 11) R. W. Sniffin, "34-m and 70-m Command", Document no. 810-005, Rev. E, 205, Rev. A, Jet Propulsion Laboratory, NASA, Dec. 2002.
- 12) S. D. Slobin, "Atmospheric and Environmental Effects", Document no. 810-005, Rev. E, 105, Rev. B, Jet Propulsion Laboratory, NASA, May 2006.
- 13) "Propagation Data and prediction Methods Required for the Design of earth-Space telecommunication Systems", ITU-R Recommendation P. 618-8, 2003.
- 14) D. J. PARK, D. J. Kim, and S. I. Ahn "Analysis on receiving performance degradatiion of ground station in lunar mission", IAC-09, Aug. 2009.
- 15) 이우주, 조경국, 윤동원, 현광민, "Design and Performance Analysis of Downlink in Space Communications System for Lunar Exploration", 한국우주과학회지, 제27권 제1호, 2010, pp. 11~20.
- 16) "TC Synchronization and Channel Coding. Recommendation for Space Data System Standards", CCSDS 131.0-B-1. Blue Book. Sep. 2003.
- 17) G. P. Calzolari, E. Vassallo, S. Habinc, "CCSDS telemetry channel coding: the turbo coding option", New Technologies, New Standards (Ref. No. 1998/519), IEE 5th CCSDS Workshop pp. 5/1 - 5/6, Nov. 1998.
- 18) L. Deutsch, and F. Stocklin, "Coding, Modulation, and Link Protocol Study Report", Jet Propulsion Laboratory and Goddard Space Flight Center, NASA, Jan 2008.
- 19) 이재윤, 윤동원, 이우주, "Adaptive Coding and Modulation Scheme for Ka Band Space Communications", 한국우주과학회지, 제 27권 제2호, 2010, pp. 129~134.