달 잡음에 의한 지상 시스템 수신 성능 열화 분석

Analysis on Receiving Performance Degradation of Ground Station in Lunar Mission

박 덕 종 · 염 경 환*

Durk-Jong Park · Kyung-Whan Yeom*

요 약

달 탐사 미션 수행을 위한 지상국은 달 궤도선과 착륙선의 상태 정보 및 관측한 센서 데이터를 수신할 수 있어야 한다. 이러한 지상 시스템 개발 초기 단계에서는 정확한 링크 파라미터에 의한 링크 분석을 통해 지상 안테나의 크기 및 시스템 잡음 성능이 도출되어야 한다. 한편, 지상 안테나가 달 궤도선과 착륙선과 통신을 할 경우에 달을 지향하게 되고, 이 때 달은 자체 밝기에 의해 안테나의 수신 성능을 열화 시키는 잡음으로써 동작한다. 본 논문에서는 안테나가 달을 지향할 때 발생하는 수신 성능 열화에 대한 분석 결과를 제시한다. 결과 검증에 위해 달에 의한 안테나 잡음 온도를 우선 계산 한 후에 이를 본 논문에서 제안하는 시험 방식의 결과와 비교하였고, 그 결과는 허용 오차 수준에서 일치함을 확인하였다. 이는 달에 의한 안테나 잡음 온도의 계산 방식이 정당함을 검증한 것이므로 이 방식을 통하여 다양한 주파수와 안테나의 크기에 따른 달 탐사 지상 안테나의 수신 열화 분석을 수행할 수 있었다.

Abstract

Ground station in lunar mission is responsible to receive telemetry signal including sensor data from lunar orbiter and/or lander. At preliminary stage of developing this ground station, receiving performance such as antenna size and noise temperature should be designed on the basis of link budget analysis. When the antenna of ground station is pointing to the moon to communicate with lunar orbiter and/or lander, noise level is supposed to be increasing due to the lunar flux density. It means that the moon is working as a noise source to degrade receiving performance when antenna is pointing to the moon. Antenna noise temperature contributed by the moon was firstly calculated and secondary validated by using test configuration in this paper. Consequently, it was shown that antenna noise temperature caused by the moon was quietly matched with measured one and G/T degradation of receiving system in lunar mission can be calculated depending on antenna size and frequency.

Key words: Moon, Lunar, Orbiter, Lander, Antenna

I. 서 론

우주개발 중장기 기본계획에 의하면 2020년과 2025년

에 달 탐사선을 발사하는 것으로 되어 있다. 이러한 달 탐사선은 자체 탑재된 센서를 이용하여 달 주위를 주기적으로 공전하면서 필요한 관측 데이터를 생성한 후, 지구에

한국항공우주연구원 위성지상시스템개발팀(Ground System Development Team, Korea Aerospace Research Institute)

*충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, Chungnam National University)

· Manuscript received August 19, 2013 ; Revised October 1, 2013 ; Accepted December 31, 2013. (ID No. 20130819-075)

· Corresponding Author: Kyung-Whan Yeom (e-mail: khyeom@cnu.ac.kr)

그림 1. 지구-달의 기하학적 구조

Fig. 1. Earth-moon geometry.

있는 지상안테나 시스템으로 관련 정보를 제공한다. 이러한 관측데이터와는 별도로 달 탐사선은 지상안테나 시스템으로부터 원격 명령을 수신하고 또한 상태데이터를 송신한다. 달 탐사선의 운용 및 관측데이터의 수신을 위한 지상안테나 시스템의 규격은 정확한 링크 분석을 통해 결정될 수 있다. 그러한 규격사항에는 안테나 이득, 송신 전력, 수신 잡음 특성, 수신기의 구현 손실(implementation loss) 등이 포함된다. 이러한 규격사항 외에 지상안테나가 달 탐사선을 지향할 때 추가적으로 달이 일종의 잡음 원으로 동작하여 안테나 시스템에 수신 성능의 열화가 발생할 수 있다.

그림 1은 달 탐사선이 달 표면에서 고도 300 km에서 회전을 할 때 달과 지구의 형상에 따른 지향각도(look angle)의 값을 정리한 것이다^[1].

달에 의한 영향을 최소화하기 위해 안테나가 달 탐사선만 지향하기 위한 반 전력 빔폭(HPBW: Half-Power Beam Width)을 대략 0.08 degree라고 하면 이에 해당되는 안테나의 크기는 X-대역에서 최소한 32 m 이상이어야 하나, 달 탐사선이 달과 지구 사이에 위치하면 역시 달의 영향을 배제할 수 없게 된다. 즉, 안테나가 달 탐사선을 지향하는 것은 달을 지향하는 것으로 볼 수 있으며, 이 경우에 달은 모든 주파수 대역에서 잡음을 제공함으로써 결국 지상 안테나로 유입되는 잡음 온도를 상승시키게 된다.

달에 의한 지상 안테나의 수신 성능의 열화는 안테나

가 달을 지향하였을 때 어느 정도의 잡음이 추가적으로 상승하는지를 정량적으로 계산함으로써 산출될 수 있다. 이와 관련하여 Klaus는 달을 통해 안테나의 G/T를 계산하는 것을 제안하였으며^[2], Troitski는 달의 표면 온도를 다양한 주파수에서 측정한 결과를 제시하였다^[3].

본 논문에서는 임의의 안테나 크기 및 운영 주파수에서 달에 의해 증가되는 안테나의 잡음 온도를 계산하고, 이를 검증하기 위한 시험 구성을 제안한다.

먼저 달에 의해 증가되는 안테나의 잡음 온도를 Klaus의 방법을 적용하여 S-대역과 X-대역에 대해 계산하였고, 이를 검증하고자 본 논문에서 제안하는 방법으로 한국항공우주연구원에 설치되어 운영 중인 7.3 m 안테나 시스템을 이용하여 안테나의 잡음 온도를 측정하였다. 그 결과, Klaus의 제안 방법이 타당하였음이 검증되어 다양한 안테나의 크기 및 주파수에서 달에 의한 수신 성능의 열화를 정량적으로 산출할 수 있게 되었다.

II. 분석

달을 지향하였을 때 예상되는 지상안테나의 수신 성능의 영향을 분석하기 위한 절차는 그림 2와 같다.

그림 2. 분석 절차

Fig. 2. Analysis flow.

우선, Klaus가 달을 이용한 안테나의 G/T 측정 방법에 사용된 식을 적용하여, 달에 의해 안테나의 잡음 온도가 상승되는 것을 계산한 후에 이러한 계산 결과를 검증하기 위한 7.3 m 안테나와 연동한 시험을 수행한다. 즉, 안테나의 지향 방향(looking angle)을 달과 cold sky로 위치할 때 각각 측정된 잡음 레벨의 차이, 즉 Y-factor를 측정 한 후에 다시 안테나의 지향 방향을 cold sky로 위치하고, 앞서 측정된 Y-factor와 동일한 잡음 레벨을 인가한다. 이후에 안테나의 저잡음 증폭기(LNA: Low Noise Amplifier)의 커플링 포트(coupling port)와 연결된 케이블의 입력 단에서 잡음 밀도(noise density)를 측정 한 뒤에, 이로부터 케이블 및 수동 소자의 손실을 고려하여 안테나 피드 출력에서의 잡음 밀도를 산출하고, 이 값과 앞서 계산된 안테나의 잡음 온도를 잡음 밀도로 변환한 값과 비교하여 서로 일치하는지를 확인함으로써 계산 결과가 정당하였음을 검증한다. 이러한 검증은 S-대역과 X-대역의 두 개의 주파수에 대역에서 수행함으로써 계산 결과가 일관성이 있게 일치하는지를 확인한다.

이러한 검증을 통해 Klaus가 제안한 수식이 타당함을 확인한 후, 그 수식을 이용하여 최종적으로 현재 달 탐사 지상안테나로 고려하고 있는 26 m 안테나에서의 달에 의한 열화 정도를 계산하게 된다.

2.1 달에 의한 영향 산출

Klaus는 안테나의 전체 방사 이득에서 달을 지향하였을 때의 오프셋 각(offset angle)에 해당되는 이득의 비를 산출한 뒤에 식 (1)에 의해 달에 의해 증가된 잡음 온도를 산출하였다^[2].

$$T_{AM} = \frac{[\eta T_M I(z)]}{\alpha} \quad (1)$$

여기에서 η 는 안테나의 효율을 나타내고, T_M 은 달의 표면온도를 의미한다. 또한 α 는 대기 손실을 나타낸 것이다. 그리고 $I(z)$ 는 전체 안테나의 이득과 달과 지구의 형상에 따라 안테나가 달을 지향하였을 때의 빔 오프셋 각 (beam offset angle)에 해당되는 이득의 비, percent beam power을 의미하며, 식 (2)와 같이 표현된다.

표 1. 7.3 m 안테나에서 계산된 안테나 잡음 온도

Table 1. Calculated antenna noise temperature at 7.3 m antenna.

	X-band (8,205 MHz)	S-band (2,256 MHz)
Antenna diameter	7.3 m	
Beam offset angle	0.262 degrees	
Normalized beam offset angle	2.87	0.79
Percent beam power	0.8646	0.1342
Antenna efficiency	65.4 %	52.0 %
Attenuation	1.05 dB	1.05 dB
Antenna noise temperature (Noise density, dBm/Hz)	115.78 K (-177.96)	14.29 K (-187.05)

$$I(z) = \frac{\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{z1} G(z) z dz d\theta}{\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} G(z) z dz d\theta} \quad (2)$$

여기에서 $G(z)$ 는 파라볼라 안테나의 이득 패턴을 나타낸 것이다. 또한 z 는 normalized offset angle로써 식 (3)에 서처럼 나타낼 수 있다.

$$z = \frac{2\pi r_0}{\lambda} \cdot \sin \Psi \quad (3)$$

여기에서, r_0 는 안테나의 반경이고, λ 는 파장, 그리고 Ψ 는 오프셋 각을 나타낸다. $z1$ 은 그림 1에 나타낸 것처럼 오프셋 각이 0.26도일 때의 normalized offset angle이다.

표 1은 7.3 m 안테나에서 달에 의해 증가되는 잡음 온도를 X-대역과 S-대역의 두 가지 경우에 대해 정리한 것이다.

III. 검 증

그림 3은 7.3 m 안테나 시스템에서 달을 지향하였을 때의 안테나 출력에서 X-대역의 잡음 밀도를 측정하기 위한 시험 구성을 나타낸 것이다.

달에 의해 증가되는 잡음 밀도를 X-대역 피드 출력에서 측정하기 위해서는 먼저 안테나를 달과 cold sky로

그림 3. X-대역 안테나 피드 출력에서 잡음 밀도를 측정하기 위한 시험 구성 및 절차
Fig. 3. Test configuration and procedure for measurement of noise density at X-band feed output.

각각 지향할 때의 잡음 레벨 차이인 Y-factor를 측정 한 뒤에 안테나를 cold sky으로 지향하고, 내부 잡음 원(noise source)을 이용하여 X-대역 상향주파수 변환기(up-converter)로 잡음을 인가한다. 이 때 인가되는 양은 10 dB 감쇄기(attenuator)를 부착한 상태에서 앞서 측정된 Y-factor가 스펙트럼 분석기(spectrum analyzer)에서 나타나도록 조정한다. 10 dB 감쇄기를 사용한 이유는 달에 의한 Y-factor가 비교적 작은 값이므로 10 dB 감쇄기를 연결한 후에 잡음원을 이용하여 Y-factor를 생성한 후 10 dB 감쇄기를 제거하면 전달되는 잡음 신호의 크기는 감쇄기의 감쇄량만큼 커지게 되므로 측정에 용이하기 때문이다. 측정된 잡음 밀도에서 감쇄기의 감쇄량을 보상하면 감쇄기가 없을 때의 값과 같게 된다. 따라서 시험 구성에서 사용된 10 dB 감쇄기의 정확한 감쇄량(attenuation)은 시험 전에 측정되어야 한다. 보상된 잡음 밀도에 대해 저잡음 증폭기의 입력 커플링 포트의 커플링 인자(coupling factor)를 포함하여 안테나 피드까지의 손실을 고려하면 최종적으로 X-대역 피드 출력에서의 잡음 밀도를 산출할 수 있게 된다.

그림 4는 안테나가 달을 지향할 때 예상되는 Y-factor를 계산하기 위해 우선 달을 지향하지 않을 때, 즉, 7.3 m 안테나가 cold sky를 지향할 때 수신 잡음 온도(noise tem-

그림 4. 안테나가 cold sky를 지향할 때의 X-대역(8,205 MHz) 잡음 온도 계산 결과
Fig. 4. Calculated noise temperature in X-band(8,205 MHz) at cold sky.

perature)를 계산한 결과이다.

안테나 입력 잡음 온도는 19.8 K로 가정하였으며, 안테나부터 저잡음 증폭기(LNA) 전단까지의 케이블을 포함한 손실(passive loss)는 약 0.16 dB이므로 저잡음 증폭기 전단에서의 잡음 온도는 29.8 K이다. 한편, 수신시스템의 잡음 온도는 51.9 K로 산출되었다. 달을 지향하였을 때 달에 의한 추가 잡음은 표 1에 나타난 것처럼 115.78 K이므로 이것을 안테나 잡음 온도로서 더하면 최종적으로 전체 시스템 잡음 온도는 193.2 K이며, 데시벨로 환산하면 약 22.9 dB 가량이 된다. 그러므로 cold sky를 지향하였을 때인 19.1 dB에 비하여 약 3.8 dB 가량의 차이가 있으며, 이는 곧 잡음 밀도가 3.8 dB 가량 증가됨을 의미한다.

그림 5는 보름달 상태일 때 스펙트럼 분석기를 이용하여

그림 5. X-대역 하향 주파수 변환기 출력에서 측정된 Y-factor 달과 cold sky의 잡음 밀도
Fig. 5. Noise density measured at X-band down-converter output for moon and cold sky, respectively.

여 안테나가 cold sky와 달을 지향하였을 때 X-대역에서 측정된 잡음 밀도의 차이, Y-factor를 나타낸 것이다.

측정 주파수가 720 MHz인 이유는 X-대역의 주파수를 720 MHz로 변경해 주는 X-대역 하향 주파수 변환기의 출력에서 측정하였기 때문이다. 안테나가 cold sky를 지향하였을 때의 잡음 밀도가 -137.1 dBm/Hz인데 반하여, 달을 지향하였을 때는 -133.6 dBm/Hz로 증가된 것을 확인할 수 있으며, 그 차이는 약 3.5 dB임을 알 수 있다. 이는 앞서 예상된 3.8 dB과는 0.3 dB 가량의 차이가 있음을 알 수 있으며, 이러한 차이는 cold sky에서 가정한 안테나 잡음 온도의 부정확성에 기인한 것으로 판단된다. 실제로 cold sky에서의 안테나 잡음 온도를 측정하기가 쉽지 않으며, 안테나의 온도를 25 K로 가정할 경우에는 예상되는 Y-factor와 정확히 일치하는 것을 확인할 수 있다.

달에 의한 추가적인 안테나 잡음 온도를 측정으로 검증하기 위해 안테나의 지향 방향을 cold sky로 고정하고, 잡음을 인가하여 앞서 측정된 Y-factor인 3.5 dB의 증가된 잡음 밀도가 나타나도록 설정하였다. 그림 6은 잡음 인가 후 X-대역 상향 주파수 변환기(up-converter)의 출력에서 측정된 결과이다.

측정된 잡음 밀도는 약 -131.7 dBm/Hz이며, 감쇄기의 자체 감쇄량을 측정된 뒤에 이를 보상하여야 한다. 측정된 10 dB 감쇄기 자체 감쇄량은 약 9.17 dB이므로 그림

그림 6. X-대역 상향 주파수 변환기 출력에서 측정된 잡음 밀도

Fig. 6. Noise density measured at X-band up-converter output.

그림 7. X-대역(8,205 MHz) 잡음 레벨 측정 결과

Fig. 7. Measurement result of noise density in X-band(8,205 MHz).

6에서 측정된 결과에 9.17 dB의 감쇄량을 보상하면 X-대역 상향 주파수 변환기의 출력에서 측정된 잡음 밀도는 -140.87 dBm/Hz가 되는 것을 알 수 있다.

그림 7은 X-대역 상향 주파수 변환기에서 측정된 잡음 밀도로부터 안테나 피드 입력에서의 잡음 밀도를 단계적으로 계산한 결과를 나타낸다.

X-대역 상향 주파수 변환기에서 저잡음 증폭기의 입력 커플링 포트까지의 케이블 손실이 7.4 dB이고, 저잡음 증폭기의 입력 커플링 포트의 커플링 인자(coupling factor)는 그림 3에서 나타낸 것처럼 29.92 dB이다. 또한 피드(feed)와 저잡음 증폭기 사이의 손실(passive loss)이 0.16 dB이므로 이러한 손실분을 고려하면 결국 피드 출력에서 잡음 밀도는 -178.03 dBm/Hz이다. 이 결과는 앞서 표 1의 잡음 온도를 잡음 밀도로 환산한 -177.96 dBm/Hz와 비교할 때 약 0.07 dB의 차이가 있으므로 식 (1)에 의해 계산된 결과가 상당히 정확한 것을 알 수 있다.

그림 8은 7.3 m 안테나 시스템에서 달을 지향하였을 때의 안테나 출력에서 S-대역의 잡음 밀도를 측정하기 위한 시험 구성을 나타낸 것이다.

X-대역에서의 측정된 것과 동일하게 달에 의해 증가되는 잡음 밀도를 S-대역 피드 출력에서 측정하기 위해서는

그림 8. S-대역 안테나 피드 출력에서 잡음 밀도를 측정하기 위한 시험 구성

Fig. 8. Test configuration for the measurement of noise density at S-band feed output.

먼저 안테나를 달과 cold sky로 각각 지향할 때의 잡음 레벨 차이인 Y-factor를 측정된 뒤에 안테나를 cold sky로 지향하고 내부 잡음원(noise source)을 이용하여 S-대역 상향 주파수 변환기로 잡음을 인가한다. 이후 test injection port에서 측정된 잡음 밀도에 10 dB 감쇄기의 실질 감쇄량을 보상한 후, 저잡음 증폭기의 입력 커플링 포트의 커플링 인자(coupling factor)를 포함하여 안테나 피드까지의 손실을 고려하면 최종적으로 S-대역 피드 출력에서의 잡음 밀도를 산출할 수 있게 된다.

Y-factor를 예측하기 위해 안테나가 달에 의한 영향이 없을 경우, 즉 cold sky를 지향하였을 때의 전체 시스템 잡음 온도를 그림 9와 같이 계산하였다.

안테나 입력 잡음 온도를 18.8 K로 가정을 하면 안테나부터 저잡음 증폭기의 전단까지의 손실은 약 0.73 dB이므로 저잡음 증폭기의 전단에서의 잡음 온도는 61.7 K이다. 한편, 안테나를 제외한 나머지 수신시스템의 잡음 온도는 35.3 K로 산출되었다. 달을 지향하였을 때 달에 의한 추가 잡음은 표 1에 나타난 것처럼 14.29 K이므로 이것을 안테나 잡음 온도로서 더하면 최종적으로 전체 시스템 잡음 온도는 111.3 K이며, 데시벨로 환산하면 약 20.5 dB 가량이 된다. 그러므로 cold sky를 지향하였을 때인 19.9 dB에 비하여 약 0.6 dB 가량의 차이가 있으며, 이는 곧 잡음

그림 9. 안테나가 cold sky를 지향할 때의 S-대역(2,256 MHz) 잡음 온도 계산 결과

Fig. 9. Calculated noise temperature in S-band(2,256 MHz) at cold sky.

그림 10. S-대역 하향 주파수 변환기의 출력에서 측정된 moon과 cold sky의 잡음 밀도

Fig. 10. Noise density measured at S-band down-converter output for moon and cold sky, respectively.

음 밀도가 0.6 dB 가량 증가됨을 의미한다.

그림 10은 보름달에 대해 스펙트럼 분석기를 이용하여 안테나가 cold sky와 달을 각각 지향하였을 때 S-대역 수신 잡음 레벨을 나타낸 것이다.

안테나가 cold sky를 지향하였을 때의 잡음 밀도가 -117.4 dBm/Hz인데 반하여, 달을 지향하였을 때는 -117.1 dBm/Hz로 증가된 것을 확인할 수 있으며, 그 차이는 0.3 dB임을 알 수 있다. 이는 예상된 0.6 dB과는 0.3 dB 가량의 차이가 있음을 알 수 있으며, 이러한 차이는 cold sky에서의 안테나 잡음 온도의 부정확성에 기인한 것으로 판단된다. 달에 의한 추가적인 안테나 잡음 온도를 측정으로 검증하기 위해 안테나의 지향 방향을 cold sky로 고정하고, 잡음을 인가하여 정확히 0.3 dB의 증가된 잡음 밀도가 나타

그림 11. Test injection port에서 측정한 잡음 밀도
Fig. 11. Noise density measured at S-band test injection port.

나도록 설정한다.

그림 11은 잡음원을 이용하여 잡음을 인가한 후에 안테나의 페데스탈 내부의 test injection port에서 측정된 잡음 밀도를 나타낸 것이다.

측정된 잡음 밀도는 -137.8 dBm/Hz 이며, 10 dB 감쇄기의 감쇄량인 9.74 dB를 보상하면 Y-factor가 0.3 dB일 때 test injection port에서 측정된 잡음 밀도는 -147.54 dBm/Hz 가 되는 것을 알 수 있다.

그림 12는 test injection port에서 측정한 잡음 밀도로부터 안테나 피드 입력에서의 잡음 밀도를 단계적으로 계산한 결과를 나타낸다.

S-대역 test injection port에서 저잡음 증폭기의 입력 커플링 포트까지의 케이블 손실이 10.6 dB이고, 저잡음 증폭기의 입력 커플링 포트의 커플링 인자는 그림 8에서 나타낸 것처럼 29.6 dB이다. 또한 피드와 저잡음 증폭기 사이의 손실이 0.73 dB이므로 이러한 손실분을 고려하면 결국 피드의 출력에서 잡음 레벨은 -188.47 dBm/Hz 이다. 이 결과는 앞서 표 1의 잡음 온도를 잡음 밀도로 환산한 -187.05 dBm/Hz 와 비교할 때 약 1.42 dB의 차이가 있음을 알 수 있다. X-대역의 경우보다 차이가 비교적 크게 보이는 이유는 S-대역에서 측정된 Y-factor의 값이 0.3 dB로써 스펙트럼 분석기의 측정 성능을 고려할 때 매우 작은 값에 따른 측정오차 요소가 반영된 것으로 판단된다.

한편, X-대역과 S-대역에서 식 (1)에 의해 계산된 결

그림 12. S-대역(2,256 MHz) 잡음 레벨 측정 결과
Fig. 12. Measurement result of noise density in S-band(2,256 MHz).

과와 측정된 결과가 대체로 일치하는 것으로 보이나 수식과의 일치 여부를 보다 정확하게 판정하기 위해서는 다양한 안테나의 크기 및 대기 환경을 고려한 측정 결과가 수집된 후에 이를 분석하는 것이 필요하다.

그럼에도 불구하고 Klaus의 논문에서는 수식에 따른 오차는 $\pm 0.25 \text{ dB}$ 로 제안하고 있으며, 이는 달 탐사선과 교신하는 지상 안테나 시스템과의 통신 링크 상에 가해진 달 탐사선의 송신 전력, 대기 손실, 지상 안테나 이득, 수신 잡음 등의 다양한 링크 파라미터들의 오차 범위 내에 존재하므로 링크 분석에서는 수용할 수 있다고 판단된다.

IV. 달 탐사 지상안테나에서의 열화 예측

7.3 m 안테나의 X-대역과 S-대역에 의해 달의 영향에 의한 안테나 잡음 온도를 산출하는 식에 대한 검증이 이루어짐으로써 식 (1)을 이용하여 다양한 크기의 안테나에서 발생하는 열화를 예측할 수 있었다.

그림 13은 안테나의 크기 및 주파수에 대한 안테나의 크기별로 예상되는 열화 분석의 결과를 나타낸 것이다.

분석을 위해 가정된 파라미터는 다음과 같다.

그림 13. 안테나의 크기 및 주파수에 따른 열화 예측
Fig. 13. Expected degradation vs. antenna size and frequency.

- Antenna efficiency: 65 %
- Edge taper, m: 0.68
- Moon offset angle: 0.26 degrees
- Atmospheric loss: based on ITU-R @ 30도 고각
- Receiver noise temperature: 30 K

S-대역의 경우, 안테나의 크기에 따라 증가하다가 약 30 m 이상의 안테나에서는 거의 일정한 값을 갖는 것을 알 수 있고, X-대역의 경우 약 10 m 이상부터 일정한 값이 있음을 알 수 있다. 한편, Ka-대역의 경우, 3.96 dB의 성능 열화(degradation)가 전 안테나 크기와 관계없이 거의 일정하게 나타나는 것을 알 수 있다. 안테나의 크기 및 주파수는 percent beam power, $I(z)$ 와 관련됨으로 상대적으로 낮은 주파수에서는 높은 주파수에 비해 보다 급격하게 바뀌는 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 주파수가 높고 안테나의 크기가 클수록 percent beam power는 1의 근방에 있으므로 성능 열화 값이 큰 변동이 없이 유지되는 것을 이해할 수 있다. 한편, Ka-대역의 성능 열화가 X-대역의 경우보다 작게 나온 이유는 percent beam power가 거의 유사한 상태에서 주파수가 높아지면서 대기 손실(atmospheric loss)이 상대적으로 Ka-대역에서는 높기 때문에 달에 의한 추가되는 안테나의 온도가 작기 때문이다.

표 2는 18 m, 26 m, 그리고 34 m의 파라볼라 안테나에서 3개의 다른 주파수 대역에서의 달에 의한 열화를 정리

표 2. 주파수 및 안테나 크기에 따른 열화 정리
Table 2. Degradation vs. frequency and antenna size.

	Degradation [dB]		
	18 m	26 m	34 m
2.3 GHz	4.06	5.05	5.34
8.45 GHz	5.35	5.37	5.4
32 GHz	3.96	3.96	3.96

한 것이다.

표 2에서처럼 달 탐사 지상국 안테나로써 고려되는 26 m 안테나의 경우에 30도의 고각에서 탐사선의 상태데이터를 수신하는 2.3 GHz에서는 5.05 dB, 그리고 관측데이터를 수신 받는 8.45 GHz에서는 5.37 dB의 열화가 발생됨을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 달 탐사 임무용 지상안테나의 수신 성능과 관련하여 안테나가 달을 지향하였을 때 달의 표면 온도에 따른 열화 정도를 안테나의 크기 및 동작되는 주파수에 따라 정리하였다. 예상되는 열화 정도를 계산하기 위해 Klaus가 제안한 식에서 percent beam power를 계산하였고, 이로부터 달을 지향하였을 때 안테나의 피드 출력에서의 잡음 온도를 산출하였다. 산출된 잡음 온도를 검증하기 위해 7.3 m 안테나를 이용하여 달과 cold sky를 지향하였을 때의 Y-factor를 측정된 뒤에 잡음원을 이용하여 X-대역과 S-대역의 RF loop-back을 통한 측정으로부터 안테나 피드에서의 산출된 잡음 온도가 측정 결과와 약 0.1 dB의 오차 내에서 일치됨을 확인할 수 있었다.

추후 잡음 온도의 측정 환경을 확장하여 다양한 안테나의 크기 및 대기 환경을 고려한 측정 결과가 수집된 이후에는 수식 검증의 정밀도가 보다 개선될 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문의 결과는 향후 달 탐사 임무용 지상안테나의 설계를 위한 링크 분석에 반영되어 안테나 시스템의 성능을 결정하는데 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] A. Cha, P. Carner, "An initial study of using the 34-m

antenna for lunar mission support", *TDA Progress Report 42-114*, Aug. 1993.

- [2] K. G. Johannsen, "The moon as source for G/T measurements", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Sep. 1974.

- [3] V. S. Troitski, "Radio emission of the moon, its physical state, and the nature of its surface", in *the Moon, International Astronomical Union Symposium (IAUS) 14*, pp. 465-490. Dec. 1960.

박 덕 중

1999년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)
2001년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
2001년 2월~2002년 5월: (주) 삼성전자 연구원
2002년 6월~현재: 한국항공우주연구원 선

임연구원

2012년 2월~현재: 충남대학교 전파공학과 박사과정

[주 관심분야] 초고주파 집적회로설계, 위성통신시스템설계

염 경 환

1976년~1980년: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1980년~1982년: 한국과학기술원 전기 및 전자과 (공학석사)
1982년~1988년: 한국과학기술원 전기 및 전자과 (공학박사)
1988년 3월: 금성전기(주) 소재부품연구소

선임연구원 (MIC팀 팀장)

1990년 3월: 금성전기(주) 소재부품연구소 책임연구원

1991년 5월: 금성정밀(주) 기술연구소 연구1실 책임연구원

1991년 8월: (주) LTI

1995년 10월~현재: 충남대학교 전파공학과 교수

[주 관심분야] 초고주파 능동 회로 및 시스템, MMIC 설계