

Clear Sky에서 비정지궤도 위성(COMETS)의 전파특성 분석

Radio Propagation Characteristics Analysis of Non-geostationary Satellite(COMETS) in Clear Sky

김양수 · 최용석 · 이주환 · 김종호 · 이형수

Yang-Su Kim · Yong-Seok Choi · Joo-Hwan Lee · Jong-Ho Kim · Hyung-Soo Lee

요 약

본 논문에서는 국내환경에서 비정지궤도 위성인 COMETS의 Ka 대역 비콘 신호를 측정하였고 측정된 데이터를 이용하여 시간, 거리 및 고도각의 변화에 따른 전파전파특성에 대하여 분석하였다. 분석 결과 Clear sky에서의 거리 변화에 따른 전파전파특성은 자유공간손실이 중요한 영향을 끼침을 알 수 있었으며, COMETS 위성은 고도각이 40도 이상에서 관측되므로 고도각이 신호에 미치는 영향은 거의 나타나지 않았다.

Abstract

In this paper, propagation characteristics are analyzed under the Korean propagation condition based on the measurements for Ka-band beacon signal of COMET satellite which moves in non-geostationary orbit. Radio propagation characteristics varying as time, range, and elevation angle are presented also. As results, it is concluded that free space loss is a major parameter to the radio propagation characteristics varying as a range in clear sky. In addition, the effect of elevation angle is negligible because COMETS is observed above 40 degree.

I. 서 론

지상과 위성간 무선링크의 신뢰도를 높이고 경제적으로 효율적인 설계를 하기 위해서는 국내환경에서의 전파특성에 대한 정량적인 분석이 필요하다.

비정지궤도는 1990년대 중반까지 주로 과학, 탐사, 기상 및 군사적 목적을 갖는 비상업용 위성들이 이용되어 왔으나 현재 비정지궤도를 이용한 다수의 통신위성망들이 제안, 구축단계에 있으며 국내에서도 성층권 통신시스템(HAPS) 등의 서비스를 준비중에 있다.

따라서 국내환경에서 적용할 수 있는 비정지궤도의 전파특성을 연구할 필요성이 있고 정확한 예측 모델을 개발할 필요가 있다.

COMETS(Communication and Broadcasting Engineering Test Satellite) 위성은 비정지궤도 위성으로 방송(통신 분야의 새로운 기술을 발전시킬 목적)의 연구개발 위성이다. 예를 들어 궤도간 통신, 진보된 위성방송, 그리고 진보된 이동위성통신, 다중 주파수 대역 통합기술의 개발 등을 목적으로 한다^[1].

본 연구팀에서는 COMETS 위성의 Ka 대역 비콘 신호를 1999년 5월부터 1999년 7월까지 약 3개월동안 측정하였고, 이 측정데이터를 이용하여 여러가지 전파 요소(자유공간손실 및 대기흡수손실 등)를 고려하여 분석하였다. 측정된 비콘 신호를 이용하여 시간, 거리, 고도각의 변화에 따른 전파특성을 분석하기 위하여, TLE(Two Line Elements) 위성 궤도 데이터를 이용하여 위성의 궤도를 구하였다.

한국전자통신연구원 전파자원연구팀(Spectrum Management Team, ETRI)

· 논문 번호 : 991208-12S

· 수정완료일자 : 2000년 1월 17일

표 1. COMETS 위성의 궤도 파라미터

Table 1. Orbit parameters of COMETS.

원지점(Apogee: km)*	19,000
근지점(Perigee: km)	500
경사각(Inclination : degree)	30.1
주기(Revolution time : min.)	320

표 2. Ka 대역 비콘 측정시스템 파라미터

Table 2. Parameters of Ka-band beacon signal measurement system.

안테나(Horn 직경)	60 mm
주파수	23.3875 GHz
신호형태	CW
편파	RHCP
EIRP	32 dBW 이상 @ beam center
빔폭(HPBW)	약 16

표 1은 측정에 사용된 COMETS 위성의 궤도 변화에 대하여 보여주고 있다.

II. 측정 시스템

COMETS 위성의 비콘 신호는 표 2에 나타난 것처럼 23.3875 GHz(Ka 대역) 주파수를 사용한다. 이 주파수 대역에서 신호의 특징은 직진성이 매우 강하고 강우에 의하여 심각한 신호감쇠를 받으며 안개나 대기 가스 및 대기 먼지 등에 대해서도 영향을 받는다^[2]는 것이다.

COMETS 위성은 비정지 궤도를 따라 이동하므로 국내에서 관측이 가능한 시간은 하루에 약 2시간 정도이며, 표 2는 COMETS 위성의 Ka 대역 비콘 측정 시스템의 파라미터에 대하여 보여주고 있다.

COMETS 위성의 측정 시스템은 ETRI 6 연구동 (127° 22' E, 36° 22' N) 옥상 및 5층에 설치하였으며 다음과 같이 세 개의 하부시스템으로 구성되어 있다.

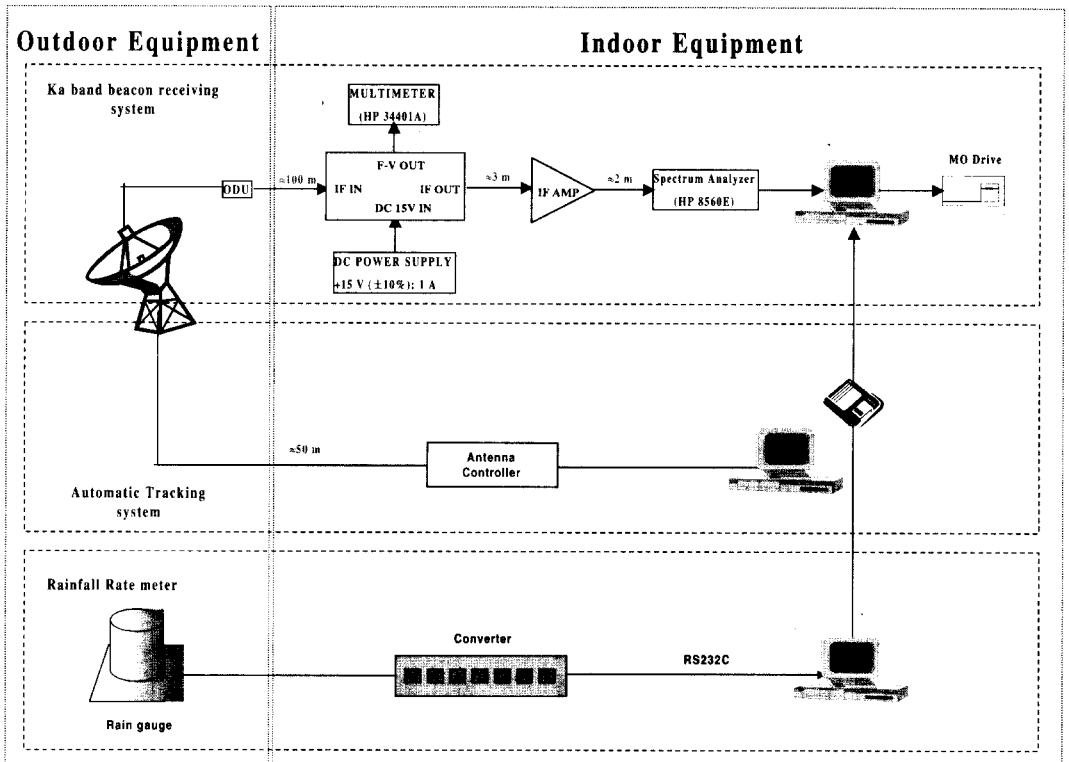


그림 1. COMETS의 측정 시스템

Fig. 1. The measurement system of COMETS.

그림 1은 측정 시스템의 전체 구성을 보여주고 있다.

2-1 위성 추적 시스템

위성 추적 시스템은 타원궤도를 따라 이동하는 COMETS 위성의 위치를 추적한다. 위성의 궤도 데이터(TLE data)가 입력되면 각도에 대한 데이터로 변환하여 추적하게 된다. 이때 궤도 데이터는 일본의 NASDA(National Aerospace Development Agency in Japan)로부터 제공 받았다.

2-2 비콘 신호 수신기

그림 1에서 보듯이 Ka 대역의 신호를 안테나에서 스펙트럼 분석기(Spectrum Analyzer)까지 전송하는 것은 거리에 따른 전송선 손실이 매우 크므로, RF(Radio Frequency) 신호를 중간주파수(IF: Intermediate Frequency) 신호로 바꾸어 전송하는 것이 손실을 줄이는 데 효율적이다. 따라서 안테나 종단에 연결된 ODU(Outdoor Unit)에서 RF 신호(23.38 GHz)를 527~680 MHz의 중간주파수(IF)로 변환한다. 안테나에서 중간주파수 증폭기까지의 전송선 길이를 약 100 m 정도로 설치하였으며, 일차 중간주파수 증폭기로부터 연결된 이차 중간주파수 증폭기까지 3m, IF증폭기로부터 스펙트럼 분석기까지 거리를 2m로 하였으며 스펙트럼 분석기는 2.9 GHz까지 측정할 수 있는 HP-8560E를 사용하였다.

2-3 강우강도 측정기

강우강도 측정기는 그림 1에 보이는 것과 같이 위성의 비콘 신호의 강우에 의한 감쇠를 분석하기 위하여 비콘 신호 수신기와 동일한 지역에 설치하였으며 강우강도를 비콘 신호와 동일 시간에 측정한다. 여기에서 강우강도 측정기는 오일 방식을 이용하였다.

III. 측정 결과

3-1 대기에 의한 영향^[3]

1 GHz 이상의 주파수를 이용하는 전자파는 지상 경로 및 위성경로에서 대기층을 통과할 때 산소와 수증기 등의 흡수 및 산란에 의하여 감쇠가 일어난다. 이때 전체 전파경로에서 대기감쇠량(dB)은 경로에 대한 대기감쇠계수(dB/km)의 적분값과 같다.

$$A_{air} = \int_{path} (\gamma_0 + \gamma_w) \cdot dl \quad (1)$$

식 (1)은 전파경로를 따라 대기가 존재하는 모든 영역에 대해 적분한다. 위성전파경로의 경우에는 고도에 따라 기압, 기온, 수증기 밀도가 크게 변하기 때문에 대기감쇠계수도 고도에 따라 변화한다. 그러므로 이러한 영향을 고려하여 위성전파경로의 대기감쇠를 계산해야 하며, 이를 위하여 대기의 고도분포모델이 이용되고 있다. 즉 각 고도에서의 감쇠계수를 Line-by-Line 계산법으로 계산한 후 이것을 천정방향으로 적분해 주면, 대기모델에 의한 감쇠량이 나온다. 이러한 결과에 근거하여 건조대기와 수증기의 등가높이 개념을 이용하는 간편한 감쇠계산법이 있다.

등가높이 개념을 이용한 천정방향의 위성전파경로에 대한 대기감쇠는 다음과 같다.

$$A_{air} = \gamma_0 \cdot h_0 + \gamma_w \cdot h_w \text{ (dB)} \quad (2)$$

여기서, γ_0 와 γ_w 는 산소 및 수증기 입자에 의한 감쇠계수(specific attenuation, dB/km)를 각각 나타내며 h_0 와 h_w 는 산소 및 수증기입자의 고도이다.

등가높이는 천정방향의 전파경로에 대한 건조대기의 감쇠 또는 수증기의 감쇠가 지상과 동일한 조성과 밀도를 가진 대기때문에 발생한다고 가정하였을 경우, 전파경로의 감쇠를 일으키는데 필요한 대기의 두께에 해당한다. 산소나 수증기의 밀도와 감쇠계수의 고도특성은 다르기 때문에 당연히 등가높이의 값도 다르다.

천정방향 이외의 경우는 평면대지 위에서 대기가 고도각에 따른 전파경로에서의 감쇠는 cosec법칙에 의하여

$$A_{air} = (\gamma_0 \cdot h_0 + \gamma_w \cdot h_w) / \sin \theta \text{ (dB)} \quad (3)$$

과 같이 표현된다. 여기에서 θ 는 고도각을 나타내며 고도각이 10도 이하인 경우에는 지구의 곡률과

대기로 인한 전파경로의 굴절효과를 무시할 수 없기 때문에 그 영향을 고려한 보정을 하여야 한다.

건조한 대기의 등가높이는 주파수에 따라 식 (4a)와 같이 나타난다.

$$h_0 = \begin{cases} 6 \text{ km} & (f < 50 \text{ GHz}) \\ 6 + \frac{40}{(f-118.7)^2 + 1} \text{ km} & (70 < f < 350 \text{ GHz}) \end{cases} \quad (4a)$$

수증기의 등가높이는 식 (4b)와 같다.

$$h_w = h_{w0} \left[1 + \frac{3.0}{(f-22.2)^2 + 5} + \frac{5.0}{(f-183.3)^2 + 6} + \frac{2.5}{(f-325.4)^2 + 4} \right] \quad (4b)$$

(km) (f < 350 GHz)

여기에서 맑은날 $h_{w0} = 1.6$ km, 강우시 $h_{w0} = 2.1$ km이다.

COMETS의 비콘신호의 주파수(23.3875 GHz)에서 대기에 의한 감쇠의 감쇠계수는

$$\gamma_0 = \left[\frac{7.27 r_t}{f^2 + 0.351 r_p^2 r_t^2} + \frac{7.5}{(f-57)^2 + 2.44 r_p^2 r_t^2} \right] f^2 r_p^2 r_t^2 \times 10^{-3} \quad (5a)$$

(dB/km) = 0.010888

$$\begin{aligned} \gamma_w = & \left[3.27 \times 10^{-2} r_t + 1.67 \times 10^{-3} \frac{\rho r_t^7}{r_p} \right. \\ & + 7.7 \times 10^{-4} f^{0.5} + \frac{3.79}{(f-22.235)^2 + 9.81 r_p^2 r_t^2} \\ & + \frac{11.73 r_t}{(f-183.31)^2 + 11.85 r_p^2 r_t^2} \\ & \left. + \frac{4.01 r_t}{(f-325.153)^2 + 10.44 r_p^2 r_t^2} \right] \text{ (dB/km)} \quad (5b) \\ \cong & 0.159875 \end{aligned}$$

와 같다. 여기에서 $r_p = p/1013$, $r_t = 288/(273+t)$ 이며, 이 때 대기의 기압(p)은 1013 mb, 온도(t)는 15°C, 그리고 수증기 밀도(ρ)는 7.5 g/m^3 을 가정하였다.

식 (5a)와 식 (5b)의 산소와 수증기의 감쇠계수

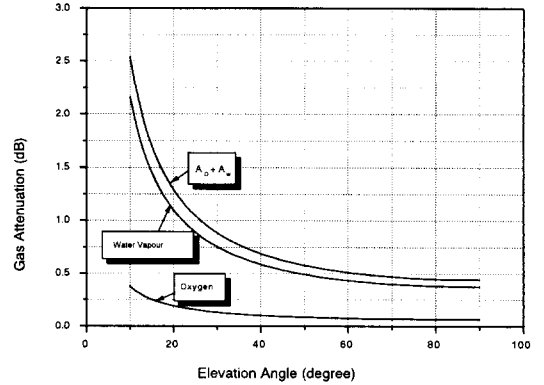


그림 2. 고도각에 따른 대기에 의한 감쇠의 변화
Fig. 2. Atmospheric attenuation varying as elevation angle.

를 등가높이를 이용하여 고도각에 따른 대기의 감쇠량을 살펴보면 그림 2와 같다. 고도각이 90°일 때 대기에 의한 감쇠값이 가장 작고 고도각이 작아짐에 따라 점점 감쇠값이 커짐을 알 수 있다. 그러므로 고도각에 따른 대기의 감쇠는 최소 0.45 dB에서 최대 2.6 dB까지 변화함을 알 수 있다.

3-2 궤도요소^[4]

위성의 궤도는 일반적으로 타원으로 정의되며 다음식과 같이 표현된다.

$$r = p/[1 + e \cos(\theta - \theta_0)], \quad e < 1 \quad (6)$$

여기에서 $p = a(1 - e^2)$ 이고 θ 는 궤도면으로부터 반경 r 까지의 각도이며 θ_0 는 최소반경 r_0 까지의 각을 나타내며 e 는 타원체의 이심률(eccentricity)을 나타낸다. 여기에서 $\theta - \theta_0 = \pi$ 일 때 반경이 최대이고 궤도의 원지점(apogee)과 일치한다. 즉 원지점까지의 반경은

$$r_A = p/(1 - e) \text{ (m)} \quad (7)$$

로 나타낼 수 있다. 궤도의 근지점까지의 반경 r_p 는 궤도의 최소반경 r_0 와 같다. 주축의 길이 $2a$ 는 $r_A + r_p$ 의 합으로 표현된다. 즉,

$$a = 1/2(r_p + r_A) = p/(1 - e^2) \text{ (m)} \quad (8)$$

로 표현될 수 있다. 여기에서 이심률(eccentricity)과 근지점과 원지점까지의 거리는

$$e = (r_A - r_p) / (r_A + r_p) \quad (9a)$$

$$r_p = a(1 - e) \quad (9b)$$

$$r_A = a(1 + e) \quad (9c)$$

로 표현될 수 있다. $\theta - \theta_0 = \nu$ 로 치환하면 타원 방정식은

$$r = a(1 - e^2) / (1 + e \cos \nu) \quad (10)$$

로 표현할 수 있고, ν 는 True anomaly로 근지점으로부터 위성의 회전방향으로 위성까지의 각도를 나타낸다.

Mean moment (n)는 궤도에서 주기 T 인 위성의 각속도로서 정의된다.

$$n = 2\pi / T \text{ (rad/s)} \quad (11)$$

위성의 위치는 주기 T 인 원궤도에서 위성의 True anomaly(ν)가 되는 Mean anomaly(M)에 의하여 정의되며 Mean anomaly는 다음과 같이 표현된다.

$$M = (2\pi / T)(t - t_p) = nt - M_o \text{ (rad)} \quad (12)$$

여기에서 t_p 는 근지점을 통과하는 순간이고 Mean anomaly는 Kepler 방정식의 eccentricity anomaly (E)와 관계 있다.

그럼 공간에서 궤도면의 위치에 따른 파라미터에 대하여 살펴 보자. 궤도면의 위치는 궤도면과 지구 적도면 사이의 각도인 경사각(i : inclination)과 지구의 적도면상의 기준점으로부터 지구의 적도면과 위성의 궤도면이 만나는 지점인 승교점(ascending node)까지의 각도(Ω)에 의하여 정해진다. ω (argument of perigee)는 승교점으로부터 근지점까지의 각도를 나타낸다.

위에서 설명된 다섯 개의 파라미터(a, e, i, Ω, ω)로서 공간상에서 위성의 궤적을 완전히 정의할 수 있고 이 궤적에서 위성의 운동은 anomalies(ν, E, M) 중 하나의 파라미터에 의하여 정의될 수 있다.

3-3 신호의 추정치와 측정치

그림 1과 같은 측정시스템의 수신단에서 수신 가능한 신호 레벨에 대하여 알아보자. 표 3은 맑은 날 수신 가능한 신호 레벨을 추정한 것이다. 고도각의 변화에 따른 대기의 흡수에 의한 감쇠량과 경로거리의 변화에 따른 자유공간 손실량은 위성이 타원궤도를 따라 이동하므로 변화 가능한 양이다. 따라서 측정 데이터를 분석하여 이 두 가지 요소의 변화량에 대하여 예측할 수 있다.

표 3에 사용된 자유공간 손실은 참고문헌 [5]에 의하여 구해졌고 대기흡수에 의한 손실은 3.1절에서 보여진 등가높이의 방법을 이용하여 계산되었다. 추정 가능한 수신신호의 계산은 두 가지 경우로 나눌 수 있다. 첫 번째 경우(Case 1)는 거리만의 함수로 추정하는 것이고, 두 번째 경우(Case 2)는 Case 1의 경우에 고도각의 변화에 따른 대기의 흡수 손실량의 변동을 고려한 경우이다.

그림 3은 맑은 날 측정된 예로서 시간의 변화에 따른 비콘 신호와 도플러편이 및 온도의 변화를 보여주고 있다. 아래 그림에서 도플러 편이가 (-)에

표 3. 수신신호의 추정

Table 3. Estimation of received signal level.

항 목	단 위	값
주파수	GHz	23.38
송신 출력	dBm	43.6
송신 안테나 이득	dB	20.90
송신 손실	dB	-3.7
자유공간 손실(20,000 km)	dB	-205.85
편파손실	dB	-0.5
대기 흡수 손실(90)	dB	-0.45
대기 흡수 손실(10)	dB	-2.6
수신 안테나 이득	dB	41.19
ODU 이득(20°C)	dB	44.10
수신단 선로 손실(103 m)	dB	-15.32
수신단 선로 손실(2m)	dB	-1.68
IF 증폭기 이득	dB	21.52
가능 신호 레벨(90°)	dBm	56.19
가능 신호 레벨(10°)	dBm	58.34

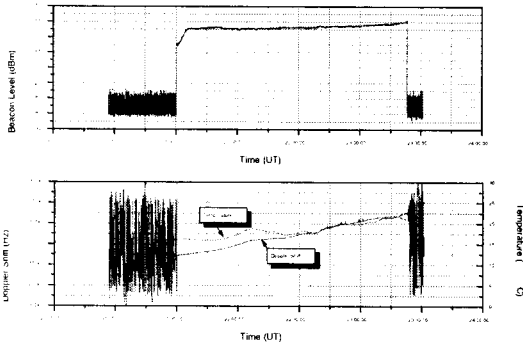


그림 3. 수신된 비콘 신호 (99,6,6.)
Fig. 3. Received beacon signal(99,6,6.).

서 (+)로 변화하고 있다. 이것은 위성과 수신기 사이의 거리가 멀어지다가 점차적으로 다시 가까워지는 것을 의미하며 거리가 멀어질 때 수신레벨이 약간 작아지게 되고 거리가 가까워짐에 따라 약간 더 높은 레벨로 측정되고 있다. 수신신호의 범위는 약 -57.5 ~ -55 dBm로 변화한다.

위성의 비콘 신호를 정확하게 측정하기 위해서는 측정 시스템의 하부시스템의 시간이 모두 같아야 한다. 하지만, 실제 각각에 연결된 컴퓨터의 시간의 변화율이 달라지게 된다. 따라서 세 하부시스템의 시간이 각각 다르게 나타나게 된다. 따라서 주기적으로 컴퓨터의 시간을 조정할 필요가 있다. 위성 추적 시스템의 시간의 변화는 평균 -3.33 sec/day 이며, 비콘 신호 측정기는 평균 6.31 sec/day, 강우강도 측정기는 -2.62 sec/day의 변화를 보인다. 따라서 일주일에 위성 추적 시스템과 비콘 신호 수신기 사이의 시간차는 약 67초가 발생하게 되며 강우강도 측정기와 비콘 신호 수신기 사이에도 62초의 차가 발생하게 된다. 따라서 이로 인한 측정 오차가 발생할 수 있다.

IV. 측정치와 예측치의 비교

그림 4는 위성의 일본의 NASDA에서 보내진 TLE 데이터를 이용하여 3.2절의 방법에 의하여 구해졌다. 시간의 변화에 따른 위성의 거리와 고도각 및 방위각의 변화를 보여준다.

4-1 시간에 따른 신호의 분석

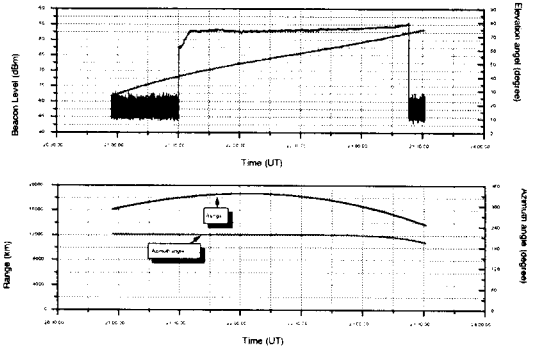


그림 4. 시간의 변화에 따른 궤도변화 (99,6,6.)
Fig. 4. Orbit varying as time.

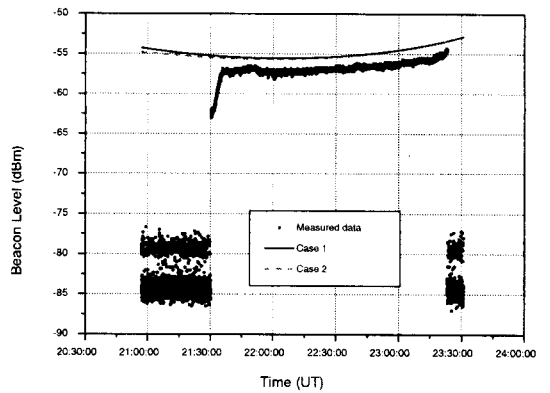


그림 5. 시간에 따른 측정치와 예측치의 비교(99, 6,6.)
Fig. 5. Comparison of measured data and estimated data varying as time(99, 6,6.).

COMETS 위성은 궤도를 따라 이동하므로 시간 별 위치가 다르다. 따라서, 시간의 변화에 따른 신호 레벨이 다르게 관찰된다. 그림 5는 시간의 변화에 따른 수신 레벨의 변화량을 보여준다. 그림 4에서 보듯이 시간에 따라 위성의 거리가 멀어지다 가까워지고 있고 이때 신호레벨이 그림 5에서 보듯이 예측치와 측정치의 신호 레벨이 모두 감소하다가 증가하는 경향을 보인다.

그림 5에서 Case 1의 경우 측정치와 약 2 dB의 차이를 보이며 Case 1과 Case 2의 예측치가 시작점의 근처에서는 약간의 차이가 있지만 점차적으로 두 값이 수렴하고 있다. 이것은 고도각이 높아짐에 따라 대기를 통과하는 경로 길이가 짧아져서 대기에 의한 손실이 적어지기 때문이다.

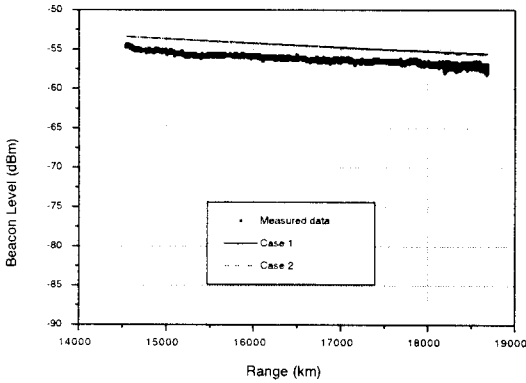


그림 6. 거리에 따른 측정치와 예측치의 변화(99.6.6.)
 Fig. 6. Comparison of measured data and estimated data varying as range(99.6.6.).

4-2 거리에 따른 신호의 분석

COMETS 위성은 타원궤도를 따라 이동하는 비정지궤도 위성이므로 측정하는 동안 거리가 변화한다. 그림 6은 거리에 따른 측정치와 예측치의 변화를 나타내고 있다. 두 가지 경우의 예측치의 변화율이 측정된 신호의 변화율과 거의 같은 경향을 보인다.

4-3 고도각에 따른 신호의 분석

고도각의 변화에 따라 대기를 통과하는 경로길이 가 변하므로 대기에 의한 영향이 달라지게 된다. 고도각에 따른 대기의 감쇠는 맑은 날 약 0.45~2.6 dB의 범위에서 변화함을 알 수 있었다. 그러므로 고도각이 낮을 경우에 대기를 통과하는 경로 길이가 고도각이 높을 때보다 길어지므로 손실량이 더 많아지게 된다. 따라서 낮은 고도각을 갖게 되면 대기에 의한 신호의 변화량을 무시할 수 없다^[6].

그림 7은 고도각의 변화에 따른 측정치와 예측치의 차이를 보여주고 있다. 즉, 거리에 대한 요소의 영향을 제거한 것이다. 그림에서 보듯이 Case 1과 Case 2의 경우 모두 고도각의 변화에 거의 영향을 받지 않고 일정하게 유지하고 있다.

4-4 신호의 편차

표 4는 측정된 비콘 신호와 예측값 사이의 차에

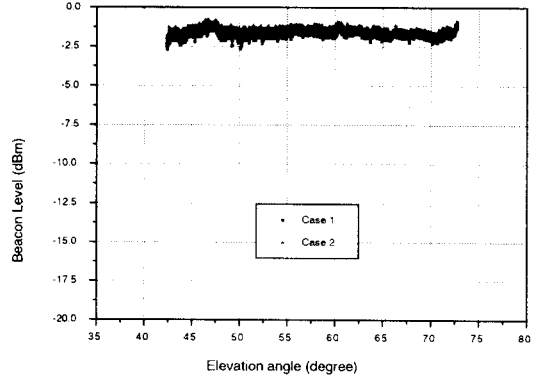


그림 7. 고도각에 따른 측정치와 예측치의 차이(99.6.6.)
 Fig. 7. Difference between measured data and estimated data varying as elevation angle(99.6.6.).

표 4. 신호의 평균 및 편차(dB)

Table 4. Mean and standard deviation of the beacon level(dB).

날 짜	Case 1		Case 2		Total	
	mean	stdv	mean	stdv	mean	stdv
5/19	-1.997	0.395	-1.849	0.426	-1.903	0.411
5/29	-0.697	0.395	-0.561	0.435	-0.629	0.415
6/6	-1.625	0.213	-1.533	0.213	-1.579	0.213
6/8	-1.550	0.515	-1.462	0.558	-1.506	0.536
6/10	-1.422	0.405	-1.340	0.431	-1.381	0.418
mean	-1.458	0.385	-1.349	0.413	-1.400	0.399

대한 평균과 표준편차를 나타내고 있다.

Case 1의 경우에 평균값은 -1.458 dB, 표준편차 0.385 dB이고 Case 2의 경우에는 평균값이 -1.349 dB, 표준편차 0.413 dB이며, 두 경우의 평균값은 평균 -1.400 dB, 표준편차 0.399 dB로 나타났다.

표 4에서 보는 것처럼 측정된 비콘 레벨과 예측치 사이의 차이는 평균 -1.40 dB이고 신호의 흔들림은 약 0.399 dB 정도로 나타났다. 실측치와 예측치 사이의 차이는 위성을 추적할 때 위성 추적 시스템이 연결된 컴퓨터의 시간의 변화로 인한 오차와 시스템의 온도에 따른 특성의 변화에 의하여 발생한 것으로 판단된다.

V. 결 론

지금까지 비정지궤도 위성인 COMETS의 Ka 대역 비콘 신호를 이용하여 Clear sky조건에서 거리 및 고도각에 대한 신호의 특성에 대하여 분석해 보았다.

Clear sky의 경우 비정지 궤도 위성의 신호 레벨은 거리의 변화에 따른 경로 손실이 중요한 영향을 미치며 위성의 신호가 고도각이 40도 이상에서 수신되므로 전파특성은 고도각의 변화에 거의 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 또한 Clear sky에서 신호 레벨의 편차는 약 0.399 dB 이하로 나타났다.

본 논문에서는 비정지궤도 위성의 Clear Sky에서의 전파특성을 분석하였고, 이 결과는 비정지궤도에서의 Ka 대역의 전파전파특성을 모델링하는 기반자료로 이용이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Homepage of NASDA(www.nasda.go.jp), COMETS(Communication and Broadcasting Engineering Test Satellite).
- [2] ITU-R, "Propagation data required for the design of earth-space telecommunication systems," Rec. pp. 618-5, 1997.
- [3] ITU-R, "Attenuation by atmospheric gases," Rec. pp. 676-3, 1997.
- [4] G. Maral, M. Bousquet, *Satellite Communications Systems*, 2nd edition., John Wiley & Sons.
- [5] ITU-R, "Calculation of free-space attenuation," Rec. pp. 525-2, 1997.
- [6] Karasawa, Yasukawa, Yamada, "Tropospheric scintillation in the 14/11-GHz bands on Earth-space paths with low elevation angles," *IEEE Trans. Antenna and Propaga.*, V.364, April, 1988, pp. 563-569.

김 양 수



란

1997년: 충남대학교 전자공학과(공학사)
 1999년: 충남대학교 전파공학과(공학석사)
 1999년 4월~현재: 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 연구원
 [주 관심분야] 전자파 전파 및 산란

이 주 환



모델링, 위성 및 지상 밀리미터파 무선통신

1988년: 서강대학교 전자공학과(공학사)
 1999년: 충남대학교 전파공학과(공학석사)
 1990년~현재: 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 선임연구원
 [주 관심분야] 전파전파 특성 예측

최 용 석



[주 관심분야] 전파전파 특성 예측 모델링, 위성 및 지상 밀리미터파 무선통신

1982년: 연세대학교 천문우주학과(이학사)
 1994년: 동경대학교 대학원 전파물리학과(이학박사)
 1983년~1986년: 공군 레이더 분석관(중위)
 1987년 2월~현재: 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 선임연구원

김 종 호



측 모델링, 위성 및 지상 밀리미터파 무선통신

1986년: 충남대학교 전자공학과(공학사)
 1988년: 충남대학교 전자공학과(공학석사)
 1989년~현재: 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 선임연구원
 [주 관심분야] 전파전파 특성 예측

이 형 수

1980년: 경북대학교 전자공학과(공학사)

1985년: 연세대학교 전자계산학과(공학석사)

1995년: 성균관대학교 정보공학과(공학박사)

1983년~현재: 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소
책임연구원

[주 관심분야] 전파전파 특성, 스펙트럼 관리기술, 무선
망 설계