

Jamming 환경하에서 Ka-band 위성링크 설계에 관한 연구

正會員 金 仁 謙*

Ka-band Satellite Link Design and Performance Analysis in Jamming Environment

In-Kyum Kim* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 재밍환경하에서 신뢰성 있는 통신 서비스를 제공할 수 있도록 Ka-band대역의 성능 평가를 하였다. 링크성능분석은 Ka-band에서 위성시스템을 모델링하고 하향링크전력이 제한된 중계기를 사용시 링크분석을 통해 저속에서 요하는 지상단말의 사양을 도출했다. 또한, 위 결과를 토대로 하여 강력한 상향링크 전파방해(up-link jamming)시에 비재생 중계기와 대역확산(DS)변조기법을 가정하여 허용가능한 J/S(Jamming-to-signal Power ratio)값을 데이터 속도 2400, 19600bps에 대하여 성능을 분석하였다.

ABSTRACT

Conventional non-regenerative satellite repeaters do not provide anti-jamming capability enough to provide communications between small terminals in jamming environment. In this paper, We analyze the link budget and system requirements for Ka-band satellite communication. For the analysis, we modeled and simulated the Ka-band satellite system based on downlink power limited repeater. Assuming that a spread spectrum is applied for anti-jamming purpose, we also analyzed a tolerable jammer-to-signal power ratio under strong up-link jamming in the bit rates of 2.4Kbps and 19.6Kbps.

I. 서 론

위성통신 시스템 설계자들은 과거 십여 년이상 EHF 대역의 시스템 특성을 연구해 왔다. 이는 밀리미터파에서 사용 가능한 대역폭이 기존의 대역에 비해 10-20배의 증가가 가능하며, 이에 대한 소자 기술의 진보, 지상 단말에 대한 엄청난 투자 등으로 고주파 대역으로 옮기고자 하는 동기부여가 되었다. 또한, 최근

*국방과학연구소 연구원
論文番號:96164-0604
接受日字:1996년 6월 4일

에는 주파수 밀집으로 인한 궤도 위치할당의 어려움과 운영 관리의 난점으로 연구가 가속화되었다¹⁾. 상용 위성통신은 평시 광역 통신 지원을 위한 통신 수단으로는 적합하지만 생존성과 보안성이 취약하여 전시/유사시에는 사용이 매우 제한되는 단점이 있다. 상용 위성의 경우, 위성 신호 수신이 가능한 지역에서는 적의 고의적인 저 출력의 방해 전파에 의해서도 위성이 쉽게 무력화 될 수 있으며, 위성으로 부터 지상으로 송신되는 하향 회선의 노출로 도청 및 통신기만이 용이하다. 군사 위성 체계는 상용 위성의 군사 작전 운용에 대한 결점을 보완하기 위한 위성통신 체계로서 고도의 생존성, 보안성, 군 운용 환경의 적합성이 요구되어진다. 이와 같은 군용 통신 및 신뢰성 있는 서비스를 제공할 수 있도록 Ka-band대역의 성능을 평가하기 위해서 본 연구에서는 링크 Budget에 대하여 고찰을 하였다. 이는 링크 Budget을 통하여 전체 시스템의 설계 및 최적의 시스템 성능을 평가하는데 기초가 되는 영역이기 때문이다. 반송파 대 잡음비라고 하는 RF 반송파 대 잡음전력비 C/N 은 기저 대역 수신 신호를 측정하는 하나의 파라미터이다. 반송파 대 잡음비 C/N 은 수신 변조 반송파의 전력대 모든 잡음원의 누적 잡음 전력으로써 링크 Budget의 목표는 이 값을 계산하여 최적의 시스템 파라미터와 송수신 장치의 사양을 도출하는 것이다. 따라서, 본 연구에서는 Ka-band 대역에서 하향 링크전력제한된 중계기(Downlink power limited repeater)를 사용한 모델링을 통해 링크 Budget을 평가하였다. 일정 속도의 데이터 속도 즉, 저속의 2400 bps, 19.6 Kbps 속도로서의 수신가능한 링크 Budget을 계산하여 적절한 지상국의 안테나 크기, 송신전력등의 값을 도출했다. 한편, EHF 대역인 Ka-band에서는 본질적으로 대기 및 강우 감쇠를 위해서 링크 마진을 주어야하는 문제가 발생하기에 일반적으로 통용되는 Crane 및 CCIR 모델을 적용하여 링크 가용도(link availability) 99.90%에서의 감쇠값을 비교, 적용하였다. 또한, 강력한 상행링크 전파방해(up-link jamming)를 대비 비재생 중계기와 대역확산(Direct sequence or Frequency-hopping)변조기법을 사용시 허용 가능한 J/S(Jamming-to-signal power ratio)값을 데이터 속도 2400, 19600 bps에 대하여 비교, 분석하였다.

II. 위성중계시스템

위성 중계기는 캐리어 주파수를 변환하여 받은 메시지를 재전송한다. 재생 중계기(Regenerative repeater)는 재전송전에 수신 파형에 포함된 디지털 정보를 복조하고 재구성한다²⁾. 그러나, 비재생중계기(Nonregenerative repeater)는 단지 증폭하고 재 전송할 뿐이다. 그러므로, 위성답재신호처리를 하지 않는 경우 서로 다른 변조형태(스위칭 없이 동시에 혹은 순차적으로)의 사용이 가능하지만 재생 중계기의 경우는 보통 하나 또는 소수의 변조형태를 가지고 운용하도록 설계된다. 재생중계기를 위한 링크분석은 두개의 분리된 해석으로서 상향 및 하향링크에서 각각 수행된다. 또한, 일반 상용의 중계기와 군용의 중계기사이에는 구별이 되는데 이는 방해전파로 말미암는 문제가 대두되어 군용시에는 중계기내에 Limiter를 둔다. 이는 강력한 방해전파시에는 TWTA 증폭기의 동작점이 비선형영역으로 전이되는 것을 막기위해 사용하는 것이다. 따라서, 본 논문에서는 일반 상용 중계기와는 다른 군용시에 적용되는 Limiter가 추가된 형태의 비재생 증폭기로 제한하여 재밍환경시 J/S를 구하였다³⁾.

1. 비재생중계기(Nonregenerative Repeaters)

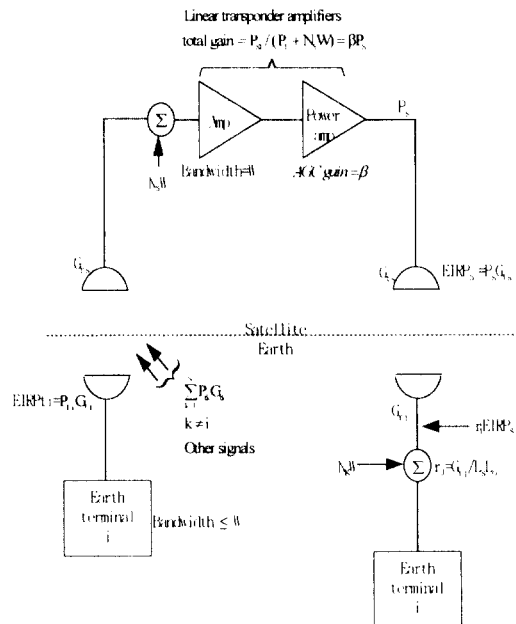


그림 1. 비재생 위성 중계기

Fig. 1 Nonregenerative Repeaters

비재생중계기에서의 특징은 다양한 상향링크상의 신호와 잡음에 비례해서 상향링크의 신호대 잡음비에 대한 전체의 SNR과 중계기의 하향링크 전력의 분리(Sharing)와의 연관성을 갖는 것이다. 그러므로, 단지 중계만을 위한 중계기이며 중계기는 선형의 영역에서 작동되도록 되어있다고 가정한다. 위성 중계기는 하향링크전력과 지상단말의 상향링크전력, 위성과 지상단말 잡음, 채널 대역폭에 의해서 전송용량이 제한된다. 그림 1은 선형위성중계기 채널의 주요한 링크 변수를 도시한 것이다. 중계기는 단지 중폭과 주파수 변환만을 수행하여 상향링크신호를 전송한다. 수신기의 대역폭 W내에서 동시에 다수의 상향링크가 연결되어 있다고 가정하자. 중계기가 선형이라고 가정하기에 위성의 유효하향링크전력 EIRPs는 입력전력 레벨에 비례하여 다수의 상향링크신호와 잡음으로 나뉘어진다. 전송은 지상국에서 시작한다(대역폭 ≤ W). 단말 I번째의 EIRPti = Pti · Gti이다. 동시에 다수의 신호가 위성으로 송출한다고 하자.(본 연구에서는 단말을 2개로 가정하여 수행하였다.) k번째 단말의 EIRP는 단지 Pk로서 언급이 가능하기에 위성에서의 총 신호전력 Pr = Ak · Pk가 수신된다. Ak는 상향링크전송 손실과 위성수신안테나이득을 의미한다. NsW는 위성의 상향링크 잡음전력이며 Ns는 위성안테나와 위성수신에서 발생되어 방사된 잡음에 의한 복합 잡음 전력밀도 즉, 시스템 잡음 밀도이다. 전체의 위성 하향링크 EIRPs = Ps · Gts이며 여기서 Ps는 위성중계기의 출력전력이며 Gts는 위성의 송신 안테나 이득이며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$EIRPs = EIRPs \cdot \beta [Ai \cdot Pi + (Pr - Ai \cdot Pi) + NsW] \quad (1)$$

위의 식은 전체 위성의 EIRP를 표시한 것이다. 우측의 항은 다수의 가입자와 상향링크 잡음으로 구성되어 있다. 총 수신된 상향링크신호 전력, Pr는 중계기의 다수의 신호에서 I번째 전력을 분리하기 위해 주로 Ai · Pi + (Pr - Ai · Pi)로 도시한다. j번째 지상단말에서 수신된 전체 전력은 식(2)와 같다.

$$Prj = EIRPs \cdot \gamma j \cdot \beta [Ai \cdot Pi + (Pr - Ai \cdot Pi) + NsW] + NgW \quad (2)$$

where, $j = Grj/Ls \cdot Lo$, 이는 j번째 지상단말에 대한 수신안테나이득과 하향링크손실을 나타낸다. EIRPs · γj는 j번째 지상단말에서 받은 EIRPs의 일부분이다. 또한, Ng는 수신단말에 입력되어 발생된 하향링크잡음 전력밀도를 나타낸다. 위식을 1/(PT + Ns · W)로 대치하면 식(3)으로 표현된다.

$$Prj = EIRPs \cdot \gamma j \left[\frac{Ai \cdot Pi}{Pr + NsW} + \frac{Pr - Ai \cdot Pi}{Pr + NsW} + \frac{NsW}{Pr + NsW} \right] + NgW \quad (3)$$

또한 위의 식(3)을 쉽게 풀어 쓰면 식(4)으로 변환이 가능하다.

$$Prj = EIRPs \cdot \gamma j \left[\frac{Si \cdot U / Lpower}{total(S + N) \cdot U / Lpower} + \frac{balanceS \cdot U / Lpower}{total(S + N) \cdot U / Lpower} + \frac{U / Lnoise power}{total(S + N) \cdot U / Lpower} \right] + NgW \quad (4)$$

여기에서 S는 신호전력이며 N는 잡음전력이다. 또한 U/L는 상향링크를 표시한다.

식(4)로부터 비재생 중계기를 공유하는 다수의 사용자 사이에 존재하는 중요한 관계를 알 수 있다. 즉, 임의의 하나의 사용자에 사용된 하향링크 EIRP의 일부분은 총 상향링크신호와 잡음전력에 대한 사용자 의 상향링크전력의 비로서 결정된다는 사실이다. 또한, 위 식으로부터 j 번째 단말에서 수신된 i신호에 대한 Pr/N은 식(5)와 같다.

$$(Pr/N)_{ij} = \frac{EIRPs \cdot \gamma j \left[\frac{Ai \cdot Pi}{Pr + NsW} \right]}{EIRPs \cdot \gamma j \left[\frac{NsW}{Pr + NsW} \right] + NgW} \quad (5)$$

j번째 단말에서 수신된 I번째 신호의 총 Pr/No는 다음과 같다.

$$(Pr/No)_{ij} = \frac{EIRPs \cdot \gamma j \cdot \beta \cdot Ai \cdot Pi}{EIRPs \cdot \gamma j \cdot \beta \cdot Ns + Ng} \quad (6)$$

전체적으로 상향링크 중계기의 잡음은 두가지면에서 총 신호대 잡음비를 감소시키는데 즉, 하향링크 $EIRP$ 를 나누며, 총 시스템 잡음에 기여한다는 사실이다. 만일 $EIRPs \cdot r_j \gg NgW$ 를 만족한다면, 위의 식은 다음과 같이 표현된다.

$$(P_r/N_o)_{ij} \cong \frac{EIRPs \cdot \gamma_j \cdot A_i \cdot P_i}{NsW} \cong \frac{A_i \cdot P_i}{Ns} \quad (7)$$

식(7)은 상향링크 제한된채널에서의 표현식이며 상향링크 SNR 이 P_r/N_o 율로서 나타내게된다. $P_r \gg NsW$ 인 경우를 일반적인 형태로서 하향링크로 제한된 채널(downlink limited)이라 하는데 위성의 $EIRP$ 가 제한된 경우이다. 이경우를 간략하게 표현하면 식(8)과 같다.

$$(P_r/N_o)_{ij} \cong \frac{EIRPs \cdot \gamma_j \cdot A_i \cdot P_i}{P_t} \cong \frac{P_t}{N_g} \quad (8)$$

2. 항 방해(Anti-jamming)

기존의 위성중계기는 전파방해하에서도 소형의 단말사이에서 통신을 지원하기 위한 항방해 능력을 제고하지 않는다. 잼머는 사용자의 신호전력보다 훨씬 강하기 때문에 위성의 $EIRP$ 의 대부분이 잼머에 의해서 포획되어서 전력의 분배와 약한신호의 압축(suppression)이 발생되기에 군용 위성송수신기에서 Limiter가 사용된다. 강력한 상향링크 전파방해시에 대역확산(Pseudo-noise or Freq.-hopping)변조기법을 사용한 허용가능한 J/S (jammer-to-signal power ratio)는 다음과 같이 표현된다^[3].

$$J/S = \frac{W}{R} \cdot \frac{L}{E_b/N_o} \cdot \frac{(P_r/K) \cdot T_r \cdot W}{1 + (P_r/K) \cdot T_r \cdot W} \quad (9)$$

여기에서, J 는 잼머의 $EIRP$ 이며, S 는 사용자의 $EIRP$, W/R (Spread-BW/date rate) 즉, 처리이득(Processing gain)을 표시하며, L 은 Limiter suppression이다. 여기서, Limiter suppression은 jamming 파형의 통계적인 진폭치에 따라서 $-6 \sim -1dB$ 사이에서 변화한다. 일반적으로, Limiter로 인한 감쇄는 CW Jammer에 의해서는 사용자의 신호가 6 dB 압축(Suppressed)되고 Noise Jammer에 의해서는 1 dB압축이 이루어지므로

$-6 \sim -1dB$ 값을 가진다^[5]. 본 논문에서는 Jammer의 파형이 CW Jammer라고 가정을 하여 이값을 $-6dB$ 로 고정해서 시행하였다. 본 논문에서는 상향링크방해를 기준으로 해서 성능평가를 하였으며 식(9)의 유도과정은 다음과 같다.

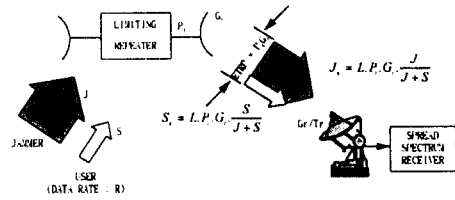


그림 2. 상향링크 방해시 링크 해석도
Fig. 2 Link Description in Uplink Interference

수신입력에서의 신호 전력은 식(10)이며 방해에 의한 전력은 전체의 전력에서 신호전력을 뺀 것과 같기에 식(11)와 같게 된다.

$$\frac{L \cdot S}{S + J} \cdot P_r \quad (10)$$

$$\left[1 - \frac{L \cdot S}{S + J} \right] \cdot P_r \quad (11)$$

그러므로, 전체 신호대 잡음비는 식(12)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} [S/N]_{OUT} &= \frac{K \cdot L \cdot (S/S + J) \cdot P_r}{(1 - \frac{L \cdot S}{S + J}) \cdot P_r + K \cdot T_r \cdot W} \\ &= \frac{K \cdot L \cdot S/J}{1 + (1-L) \cdot \frac{S}{J} + (1 + \frac{S}{J}) \cdot \frac{K \cdot T_r \cdot W}{P_r}} \quad (12) \end{aligned}$$

여기에서, 만일 $J/S \gg 1$ 인 관계를 만족한다면 식(13)의 결과를 얻게된다.

$$(S/N)_{OUT} \cong \frac{K \cdot L \cdot \frac{S}{J}}{1 + \frac{K \cdot T_r \cdot W}{P_r}} \quad (13)$$

그러므로, $(S/N)_{OUT} = E_b/N_0$ 관한 식을 이용하여 식

(13)을 정리하면 식(14)가 된다.

$$J/S = \frac{W}{R} \cdot \frac{L}{E_b/N_o} \cdot \frac{P_r/(K \cdot T_r \cdot W)}{1 + P_r/(K \cdot T_r \cdot W)} \quad (14)$$

그림 3은 정량적인 값을 표시하는데 J/S 율은 한계치 이상으로 증가시킬 수 없음을 보여주고 있다. 만일, 확산하고자 하는 대역폭이 광대역인 경우 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$J/S = \frac{L}{E_b/N_o} \cdot \frac{P_r}{K \cdot T_r \cdot R} \quad (15a)$$

결국 J/S 의 한계치는 위성의 $EIRP$ 와 하향링크의 노이즈로서 결정된다. 또한, 강력한 상향링크 전파방해시에 대역확산 시스템을 위한 허용가능한 J/S 는 다음과 같이 주어진다.

$$J/S = \frac{W/R}{E_b/N_o} \quad (15b)$$

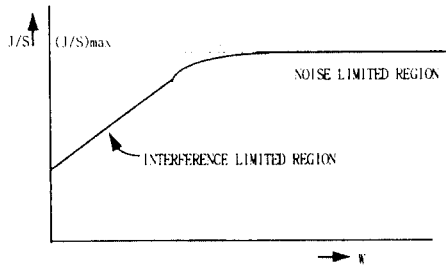


그림 3. J/S 와 대역폭(W)와의 관계도
Fig. 3 Comparison of limiting and processing system

Ⅲ. 링크 설계를 위한 파라미터 설정

Ka-band에서의 위성시스템의 제안(모델링)

1. 사용주파수 대역 및 대역폭

주파수대역은 현재 IRR(International Radio Regulation)에서 위성통신용으로 지정된 것을 기준으로 상향링크:27.50-30.00, 하향링크:17.7-20.20GHz를 기준으로 설정하였다^[4].

2. 빔폭(Beamwidth)과 지상커버리지

Ka-band 좁은구부빔(narrow spot beam)은 배치 및 갯수에 따라 여러가지 유형으로 제안될 수 있으며 유형에 따른 빔폭, 빔의 유형 및 지상영역을 제시하면 다음과 같다.

표 1. 위성 빔 특성
Table 1. Satellite beam Characteristics

사용주파수	반전력빔폭	서비스 영역	빔의종류
Ka-band	0.3×0.3	한반도 및 주변연안	narrow spot beam

Ka-band에서의 위성빔은 빔폭이 0.3로서 지상직경이 약 200 Km이며 주요 기술적인 문제로서는 좁은 빔폭의 지향성 유지에 있다. Ka-band의 경우 매우 세심한 기술적인 배려가 요구된다. 기술자료^[9]에 의하면 2005년까지의 기술로 0.1까지의 빔폭설계가 가능한 것으로 제시되고 있으므로 0.3의 빔폭유지는 가능하다고 사료된다. 지상반경은 지상과 위성간 거리를 약 35786 Km로 가정해 볼때 지상반경은 다음과 같다. 양각이 90도인 경우 정지궤도상에서의 지상과 위성간 거리를 약 35786 Km이나 본 제안에서는 무궁화위성과 같은 양각으로서 46.5도로 가정하여 적용하여 계산해 보면 37307 Km이므로 다음과 같이 얻을 수 있다. 여기에서, 위성고도 H, 지상커버리지 지름 ds라 놓을때 안테나의 빔폭은 식(16)과 같이 표현된다^[10]. 식(16)에 지상과 위성거리를 적용하여 계산해보면 직경이 대략 200 Km의 지상커버리지를 나타내게 된다.

$$\phi_D = 2 \tan^{-1} ds/2H = ds/H, \quad \text{단, } ds/H \ll 1 \quad (16)$$

3. 위성체 안테나 크기(Narrow beam antenna)

파라볼릭 안테나상에서의 수신안테나 이득은 주파수의 제곱에 비례하며 안테나크기의 제곱에 비례하는 형태로 다음과 같이 주어진다. 또한, 안테나효율은 통상 0.65로서 표현된다.

$$G_r = \eta r \pi^2 d r^2 / \lambda^2 \quad (17)$$

진폭분포에 의하여 빔폭은 다르지만, 파라볼라 안테나를 비롯한 통상의 반사경 안테나의 반치폭과 구경크기의 관계식은 다음과 같다. 3dB 빔폭과 위성안

테나 크기와 관계식은 다음 식(18)과 같다.

$$\theta_{3dB} = k\lambda/D(\text{degree}) \quad (18)$$

여기에서 K 는 illumination law of the aperture(=75)이며 D 는 안테나의 직경은 파장이다. 안테나 크기를 위성 빔폭을 기준으로 하여 결정하면 다음과 같다. 즉, 지상의 커버리지영역을 200Km 이라할때 전절에서 결정된 위성의 빔폭이 0.3도이므로 Ka-band 대역의 주파수로서 식(18)을 이용하여 구하여 보면 상향 링크시는 안테나의 크기가 2.61m가 된다.

4. 위성체 안테나 이득

위성체 안테나 이득은 안테나직경, 사용주파수와 밀접한 관계를 가지고 있다. 안테나 직경 및 안테나 이득을 제시하면 식(19)에서 주파수대역에서 안테나 크기나 3dB반치폭의 각도를 알면 가능하기에 이에 대입하면 약56dBi를 얻게 된다. 안테나 효율은 0.65로 가정하였다.

$$G = \eta \left[\pi D / \lambda \right]^2 = \eta \left[\pi k / \theta_{3dB} \right]^2 \quad (19)$$

5. 위성체 안테나의 G/T

안테나 이득과 시스템 잡음 온도를 기준으로 계산한 위성안테나의 G/T는 다음과 같다. 시스템 잡음온도 T 는 안테나의 자체 잡음과 안테나와 수신기간을 연결하는 케이블손실 및 수신기의 잡음을 합한값이다. 통상 케이블손실의 경우 1 dB 값을 추정하나 위성체의 경우 지상과 다른 제한된 환경이기에 본 제안에서는 지상국의 경우는 1dB를 위성체의 경우는 열악한 환경을 감안하여 2dB감쇠를 주었다. 안테나의 자체 손실은 주파수에 따라 다르게 적용되는데 일반적으로 Ka-band의 경우는 100K의 잡음온도로 표시하며 수신기의 잡음지수도 200MHz-60Ghz 대역에서 2.0-8.0 dB 값을 제안하고 30Ghz에서는 4.5 dB 값을 제시^[13]하기에 이 수치로 전체 시스템잡음온도를 구해 보았다. 대략 800K이 되므로 이 수치를 G/T계산에 적용하여 링크버짓에 응용하였다.

6. 중계기 TWTA 출력 전력 및 EIRP

주요사안으로는 초고주파 대역인 Ka-band에서 고

출력을 가지는 TWTA제작에 있다. 출력전력의 증가는 위성링크성능에 상당한 영향을 미치는 요소로서 본 제안에서는 100W를 설정하였다. 출력전력 100W를 가지는 Ka-band용 위성중계기의 제작은 2005년까지의 기술로 가능하다고 제시하고 있다^[6]. 또한 다수의 캐리어(Multiple carrier)를 사용시 선형의 TWTA 작동을 위해서는 출력 전력을 6dB에서 최고 9dB back-off^[7]를 하므로 본 연구에서는 중계기의 링크계산시 9dB로 적용하여 수행하였다.

7. 위성링크 가용도(Link-availability)

고주파 대역인 Ka-band의 사용에 따라 위성링크 가용도는 강우에 의한 신호전력의 감쇠에 의해 매우 크게 영향을 받게 된다. 국내지역(대전)을 기준으로 Crane^[6] 및 CCIR 강우모델에 적용하여 링크가용도 99.90%, 99.99%에 의한 강우에 의한 신호전력감쇠를 분석해 보면 표 2와 같다.

표 2. 강우 효과 분석(괄호의 값은 CCIR Model 치임.)
Table 2. Result of Rain Attenuation(Crane & CCIR Model)

시간율	99.90%	99.99%
Up link : 28.75 Ghz	15.041(10.876)dB	46.761(29.274)dB
Down link : 18.95 Ghz	5.955(5.082) dB	17.827(13.680)dB

대전을 기준으로 하여 Ka-band에서의 링크가용도와 강우에 의한 신호 전력의 감쇠를 제시하면 다음의 그림과 같다.

30/20Ghz 예시의 강우감쇠(Crane Model)

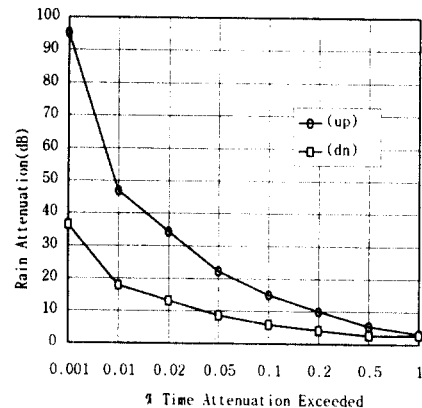


그림 4. 강우감쇠도

Fig. 4 Rain Attenuation in Ka-band

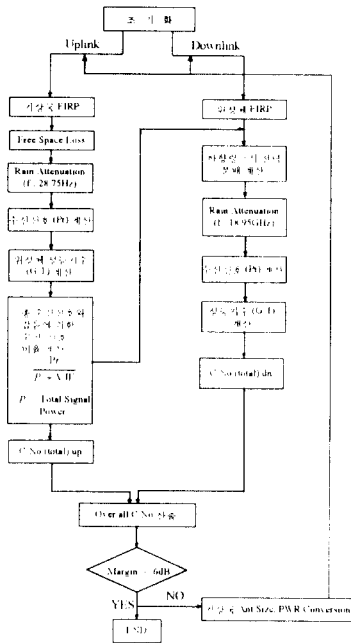


그림 5. Ka-band에서 링크버킷 성능평가를 위한 모의실험 순서도
Fig. 5 Link budget Simulation Flow Chart in Ka-band

8. 링크 성능 분석 결과

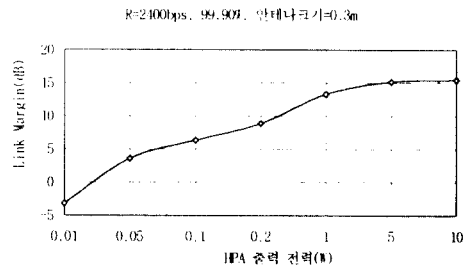
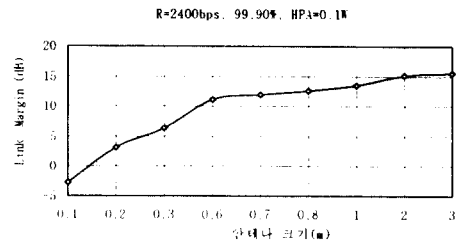
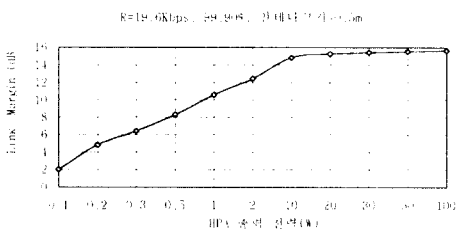
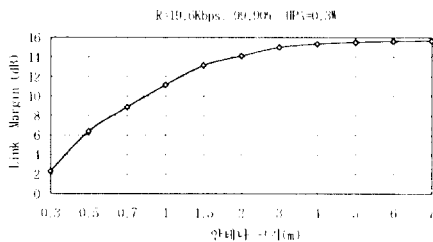


그림 6. HPA & ANT size에 따른 링크마진 비교(19.6 & 2.4 Kbps)
Fig. 6 Link Margin Comparison according to the HPA & ANT size

IV. 항 방해(Anti-jamming) 성능분석

강력한 상향링크 전파방해시에 대역확산(Pseudo-noise or Frequency-hopping)변조기법을 사용시 허용가능한 J/S(Jamming-to-signal power ratio)는 식(20)과 같으며 본 논문을 수행한 가정은 다음과 같다.

$$J/S = \frac{W}{R} \cdot \frac{L}{E_b/N_o} \cdot \frac{P_r/K T_r W}{1 + P_r/K T_r W} \quad (20)$$

(단, J: Jammer EIRP, S: User EIRP, W/R: Spread-BW/Data rate, = Processing gain, L: Limiter suppression)

가정 : repeater → Limiting nongenerative repeater, Jamming → Up-link jamming, Jammer → CW jammer, Limiter → -6 dB, Spread Spectrum → DS or FH, User date Rate → 2400 bps, 19600 bps, Link availability → 99.90%, Link condition → Rainy

위의 식에서 $P_r/K T_r W \ll 1$ 일때에는 식(21)과 같고

$$(J/S) = L/(E_b/N_0) \cdot P_r / K T_r R \quad (21)$$

$P_r / K T_r W \gg 1$ 일때는 식(22)과 같다.

$$(J/S) = W/R \cdot L/(E_b/N_0) \quad (22)$$

그러므로, (J/S)max의 값을 얻기 위해서는 위성의 송신전력을 올리거나 수신기의 G/T값을 올리는 방법이 있다. 그러나, 일정영역에 도달하면 광대역의 확산기법을 사용하더라도 전대역에 고루 퍼져있는 백색잡음으로 인한 영향을 받게되어 포화상태를 이루게 된다. 그러므로, 먼저 포화상태에 이르는 Processing gain(W/R)값을 구하기 위해서 각종, 변수를 적용하여 구한다. 이 변수는 위성의 EIRP, 전송손실(Path loss), 일정량의 허용오차(Margin), Gr/Tr, BER = 10⁻⁵에서 요구되는 Eb/No = 9.6 dB와 항방해를 위해 균용중계기에서 요구되는 Limiter suppression = 6dB, 등의 값을 이용하여 전송속도가 Data rate = 2.4K, 19.6K인 경우에 대하여 성능을 분석, 평가하였다. 본 제안에서는 (W/R)값을 10-60 dB 값을 적용하여 (J/S)max대 (W/R)과의 관계를 그림으로 표시하였다. 분석결과 R이 19.6Kbps일 경우에는 BER = 10⁻⁵을 만족하는 지상국의 경우 링크마진이 6dB를 만족하는 지상국의 사양(G/T = 9.030dB/K)을 토대로 하여 이보다 링크마진이 떨어지는 지상국(링크마진 6dB이하)과 비교하여 처리 이득에 따른 최대 허용 J/S를 도출하였다. 전체적으로 일정영역까지는 대역 확산에 따라 J/S가 증가하는 형태로 나타났으며 그 이상 시에는 대역을 확산하여도 통신신로상에 기본적으로 존재하는 백색잡음의 영향을 받아서 정체하는 것을 볼 수 있다. 참고로 지상국(G/T = 9.030dB/K)일 경우에는 최대허용 가능한 J/S는 24-25dB가량의 값에서 일정하게 도출이 되어 일정한 값을 유지한다. 이때 포화점이 39.313dB로 나타나 J/S가 각각 20dB, 24dB로 도출되어 지상국의 성능 지수에 따라 약 4dB가량의 잼밍에 대해서 강한 것을 알 수 있었다. 그리고 처리 이득이 일정치를 넘어서면 확산 시에도 효과가 없는 것으로 나타났다. 결국 이러한 포화점의 영역에서 링크설계에 반영이 되어야 효과적일 것이다. 또한, 전송속도가 2400bps인 경우는 포화점이 43.997dB로 19.6K경우보다 4dB가량 오른 것을 알 수 있었고 J/S는 최대 30dB

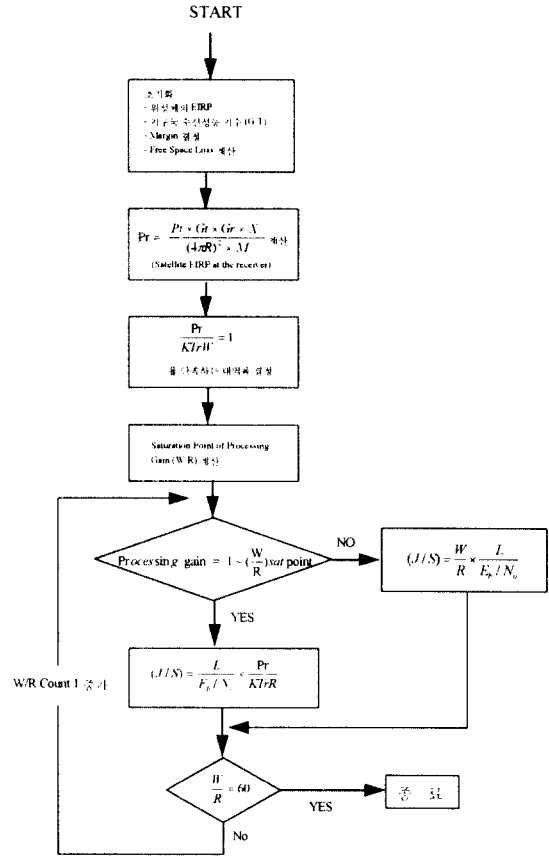


그림 7. J/S값을 구하기 위한 모의시험 순서도
Fig. 7 Simulation Flow Chart for J/S

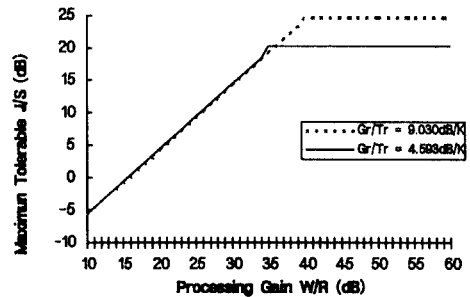


그림 8. 처리이득에 대한 J/S 비교(R = 19.6K)
Fig. 8 Max. Tolerable J/S as a funtion of Processing gain (R = 19.6K)

가량으로 G/T가 1.072인 경우보다 3dB가량 오른 것으로 측정되었다. 공통적으로 주어진 M값은 10dB로 주었는데 이는 하향링크시의 각종 손실치를 추정함값으로 99.90%의 가용도를 위해서 강우 감쇠에 의한 손실치 5.955dB와 대기 및 지상단말의 손실등을 합한 값이다. 이에 대한 모의 실험도는 다음과 같으며 처리이득 대 J/S에 대한 결과를 도시하였다.

표 3. 최대 J/S를 구하기 위한 적용 변수(19.6K)
Table 3. Basic Parameters for Max. Tolerable J/S

Satellite EIRP	65.036 (dB)
Path Loss	209.430 (dB)
Margin	10.000 (dB)
Eb/No	9.600 (dB)
Limiter suppression	6.000 (dB)
Date Rate	19600.000 (bps)
Gr/Tr	9.030 (dBi/K)
Tr	800.000 (K)
Saturation point of Processing Gain(W/R)	39.313 (dB)

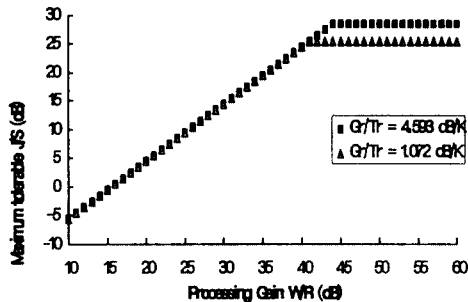


그림 9. 처리이득에 대한 J/S 비교(R = 2.4K)
Fig. 9 Max. Tolerable J/S as a funtion of Processing gain (R = 2.4K)

표 4. 최대 J/S를 구하기 위한 적용 변수(2.4K)
Table 4. Basic Parameters for Max. Tolerable J/S

Satellite EIRP	65.036 (dB)
Path Loss	209.430 (dB)
Margin	10.000 (dB)
Eb/No	9.600 (dB)
Limiter suppression	6.000 (dB)
Date Rate	2400 (bps)
Gr/Tr	4.953 (dBi/K)
Tr	800.000 (K)
Saturation point of Processing Gain(W/R)	43.997 (dB)

V. 결 론

본 논문에서는 잦밍환경하에서 신뢰성 있는 통신 서비스를 제공할 수 있도록 Ka-band의 성능평가를 위해서 링크버짓에 대한 고찰을 하였다. 이를 수행하기 위해 본 연구에서는 하향 링크가 제한된 채널을 사용하여 Ka-band대역을 기초로 위성체의 안테나 크기, 안테나 이득, 수신성능지수(G/T), 중계기의 TWTA 출력 전력 및 EIRP등을 도출하여 모델을 설정하였다. 이를 근거로 데이터 속도 2400, 19600bps에서는 BER = 10⁻⁵를 유지하는 지상국 안테나의 크기와 전력치를 비교평가하였다. 아울러, Ka대역에서는 기존의 UHF, X, Ku대역보다 사용가능한 대역폭이 증가되어 항방해보호능력을 단말에 부여할 수 있는 장점이 있지만 지구대기장을 통과시 커다란 감쇠에 따른 링크마진을 유지하기위하여 Crane 강우알고리즘을 적용하여 계산하였다. 또한, Limiter가 추가된 군용의 비재생 중계기로 위성시스템을 제한하여 강력한 상향링크 전파방해(Uplink-jamming)시 대역확산 변조기법에 의한 허용가능한 J/S값을 데이터 속도 2400, 19600bps에 대하여 구하였다. 전체적으로 일정영역까지는 대역 확산에 따라 J/S가 증가하는 형태로 나타났으며 그 이상 시에는 대역을 확산하여도 정체하는 것을 볼 수 있었다. 19.6Kbps일 경우, 포화점이 39.313dB로 나타나 J/S가 24dB로 도출되어 지상국의 성능지수에 따라 4dB가량 잦밍에 대해서 강한 것을 알 수 있었다. 향후 링크버짓에 의한 위성시스템 변수를 도출하기 위해서는 중계기 및 안테나의 기술수준 및 변조/코딩기법등 적용가능한 변수뿐만 아니라 자국 실정에 맞는 강우모델에 따른 강우가용도 적용, 지상 및 우주환경에 의한 간섭등을 이용하여 도출시 최적의 개발 범위의 설정이 가능한 것이다.

참 고 문 헌

1. Bernard Sklar, Digital Communications Fundamentals and Applications 1988.
2. Timothy Pratt & Charles W. Bostian, Satellite Communication, John Willy & sons, 1986.
3. Pravin C. Jain, "Architectural Trends in Military

- Satellite Communications Systems," Proceedings of the IEEE, vol. 78, NO. 7, pp. 1176-1189, JULY 1990.
4. William C. Cummings, Pravin C. Jain, "Fundamental Performance Characteristics That Influence EHF MILSATCOM Systems," IEEE Trans. on Comm., vol. COM-27, NO. 10, pp. 1423-1434, Oct. 1979.
 - 5 C.R.Chhn, "A note on signal-to-noise ratio in band-pass limiters," IRE Trans. Inform. Theory, vol. IT-7, Jan. 1961, 39-43.
 6. Maral & M. Bousquet, Satellite Communications, 2nd. John Willy & sons, 1993.
 7. Pravin C. Jain, Strategic/Tactical Communications by Satellites, (Three day Intensive short course)
 8. Robert K.Crane, "Prediction of Attenuation by Rain," IEEE Trans. on Comm., vol. COM-28, NO. 9, pp. 1717-1733, Sep. 1980.
 9. Takashilida, Naoto Kadowaki, Shingo Ohmori, Eiji Takano and Jun-ichi Aoyama, Gigabit Satellite Communication System: Discussion of Needs and Space Segment Technology, 19th International Symposium on Space Technology and Science, Yokohama, Japan, May 15-24, 1994.
 10. Tri T. Ha, Digital Satellite Communications, 2nd ed. MacGraw-Hill, 1990.
 11. Larry C. Palmer, Enrique Laborde, Alan Stern, and Philip Y. Sohn, "A Personal Communications Network Using a Ka-Band Satellite," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 10, No. 2, 1992. 2.
 12. 무궁화 위성통신(응용)서비스 개발 및 수요 조사 보고서, 한국통신기술주식회사, 1993. 9.
 13. James R. Wertz & Wiley J. Larson, Space Mission Analysis and Design, Kluwer academic publishers., 1991.
 14. Dayton and P.C Jain, "MILSATCOM architecture," IEEE Trans. Commun., vol. COM-28, no. 9, Sept. 1980, 1456-1259.
 15. 연구 보고서 "초고속 정보통신망에서의 위성통신의 역할에 관한연구", 1995. 5, 한국전자통신연구소.



김 인 겸(In Kyum Kim) 정회원

1964년 1월 29일

1988년 2월: 한양대학교 전자통신
공학과 졸업

1990년 2월: 한양대학교 전자통신
공학과 대학원 졸업

1990년 3월~현재: 국방과학연구소
연구원

※주관심분야: B-ISDN/ATM 교환망, 채널 코딩, 정지
궤도 위성통신 분야