

Uplink Jamming하에서 OBP 환경을 고려한 군 위성시스템 성능분석에 관한 연구

정회원 김인겸*, 신관호*, 안호성

Onboard Processing performance under uplink-jamming for military satellite communication systems

Ihn-Kyeom Kim*, Ho-Kwan Shin*, Ho-Seong Ahn* *Regular Members*

요 약

상용위성통신의 경우 일반 광역 통신지원은 가능하지만 전시/유사시의 생존성과 보안성을 요하는 환경에서는 사용이 크게 제한되는 단점이 있다. 따라서, 본 논문은 군 위성시스템에 적용가능한 세가지 형태의 중계시스템을 제안하고 분석했으며, 상향링크 방해시의 지원 가능한 데이터율을 기준으로 성능을 분석/비교하여 군 운용환경에 따른 위성자원의 이용효율을 높이는 방안을 모색하였다. 이를 위해 중계기와 합정용 단말의 설계변수를 설정하여 적용하였으며, 또한, 각 대역별(UHF/SHF/EHF) 항방해 성능비교를 통하여 운용환경에 따른 생존성의 정도를 파악하였다.

ABSTRACT

A key difference between a tactical military and commercial satcom system is that the military system is expected to provide a service in the presence of ECM threats such as jamming. In this paper, we analyzed the three different type of link system applicable to the military satellite and directly compared to each system in order to find system performance according to the maximum jammer power. For the analysis, we modeled and simulated the SHF satellite system based on uplink jamming. From the results, it is found for each different type of link the maximum jammer power that can be tolerated with link operating at its suggested nominal rate. Also, we studied to the survivability level against the jamming condition through the performance comparison in shipborne and portable terminal consistent with frequency.

I. 서론

상용 위성통신은 평시 광역 통신 지원을 위한 통신 수단으로서는 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 위성통신이 쉽게 무력화 될 수 있으며, 위성으로부터 지상으로 송신되는 하향 회선의 노출로 도청 및 통신 기만이 용이하다. 군 위성시스템은

상용 위성의 군사 작전 운용에 대한 결점을 보완하기 위한 위성통신체계로서 고도의 생존성, 보안성, 군 운용 환경의 적합성이 요구된다. 따라서, 본 연구에서는 군 환경을 고려한 광대역통신 및 신뢰성 있는 서비스를 제공할 수 있도록 SHF (8/7GHz) 대역에서 3가지 형태의 군위성시스템을 제안분석하여 성능평가/비교를 수행하였다. 제안된 위성 시스템으로서, Limiter가 적용된 Bent-pipe형의 시스템, Onboard Despread/ Respread 중계시스템, OBP가 가능한 중계시스템 등으로 분류하여 평가하였으며,

* 국방과학연구소 위성통신 연구실(ikkim@sunam.kreonet.re.kr)
논문번호 : 98422-0923, 접수일자 : 1998년 9월 23일

방해는 상향링크방해(Uplink jamming)를 기본으로 Antenna Nulling기법을 적용하였다. 이를 위한 가정으로서 적절한 중계기 사양과 합정간의 통신을 위한 Shipboard단말을 기초로 성능분석을 피하였다. 각 링크형태에 따라 위성에서 송신된 원하는 신호와 재머 전력을 계산해 보면 지상 단말에서 수신된 총 $C/(N_o + N_j)$ 는 얻어진다. 이는 모델의 E_b/N_o 의 요구사양을 알고 링크 형태마다 최대 지원 가능한 데이터율이 계산을 통해서 성능분석이 이루어 지게 된다.

II. 군 위성 시스템 분석

1. 상향링크 잼밍시 Bent-pipe 중계기시스템

본 시스템의 경우, 상향링크 잡음과 잼머 신호는 하향링크상에서 원하는 신호와 함께 재전송된다. 중계기내에 Hard limiter가 작동되므로 좀 복잡해지게 되지만 지상으로 전송되는 신호는 입력레벨에 비례하여 현재의 모든 신호가 나뉘어지게된다. 더구나, 수신된 재머전력이 수신된 원하는 신호 레벨을 초과하게 된다면, 원하는 신호는 Limiter에 의해 훨씬 더 잘려지게 된다. 이러한 압축양는 limiting 정도와 다양한 신호스펙트럼을 포함하여 많은 요인에 의해 발생하며 수치는 백색잡음과 톤 잼밍시에 각각 1.25, 6dB이다. 하향링크상에서 지상에 되돌아 오는 원하는 신호전력을 계산하기 위해 먼저, 총 전송전력 대 원하는 신호비를 f 로서 표현해보자^[6].

$$f = P_{us} / [L_s (P_{ss} + P_{un} + P_w)] \quad (1)$$

여기서, L_s 는 리미터 사용으로 발생한 신호압축비, P_{us} 는 채널별 위성수신전력, P_{un} 는 상향링크 잡음 전력, P_w 는 위성수신 재머전력을 의미한다. 다중상향링크 캐리어를 사용시, 총신호전력 P_{ss} 는 모든 원하는 신호의 합이다.

지상단말에서 수신된 원하는 신호레벨은 식(2)와 같이 기술된다.

$$f_{DS} = f \cdot eirp_{sat} \cdot G_{esR} / (L_D L_{DF}) \quad (2)$$

반면에 위성에서 재 전송되어 단말에 수신된 원하지 않는 신호전력 P_{DS} 는 식(3)와 같다.

$$P_{DS} = [(1-f)eirp_{sat} \cdot G_{esR}] / (L_D L_{DF}) \quad (3)$$

또한, 하향링크 상에서 부가된 열잡음은 다음 식

(4)과 같다.

$$P_{DN} = k \cdot T_{es} \cdot B_s \quad (4)$$

그러므로, 총 하향링크 캐리어 대 잡음밀도비는 식(5)과 같이 유도된다.

$$(C/(N_o + N_{Jo}))^{-1} = (C/(N_o + N_{Jo}))^{-1} + (C/(N_o + N_{Jo}))^{-1} \quad (5)$$

따라서, 최대 전송가능한 데이터율은 식(6)로 정의된다.

$$R_{max} = (C/(N_o + N_{Jo})) / f (E_b/N_o) \quad (6)$$

2. 리미터를 사용한 수동중계시스템

리미터를 이용한 수동중계 시스템을 분석해보면 다음과 같다. 지상단말에서 송신된 신호가 수동 중계기를 통해서 목적지 단말수신기에 도달시, 수신기에 입력된 신호는 수동중계기의 리미터에 의해서 일정치 이상의 크기를 갖는 신호가 차단되는데, 이때 사용자 신호도 감쇄를 받게된다. 상향링크 방해를 기준으로 링크해석을 하면 다음의 유도결과를 얻게된다. 수신입력에서의 신호전력은 식(7)이며 방해에 의한 전력은 식(8)과 같다^[4].

$$S_d = (L \cdot S) / (S + J) \cdot Pr \quad (7)$$

$$J_d = [1 - (L \cdot S) / (S + J)] \cdot Pr \quad (8)$$

그러므로, 총 신호대 잡음비는 식(9)과 같이 표현된다.

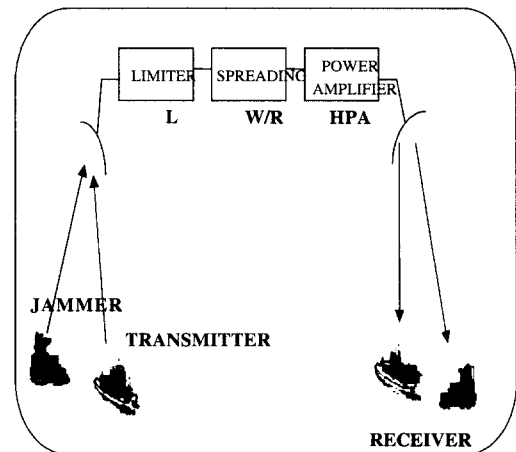


그림 1. 수동 중계 시스템 구성도

$$(S/N)_{out} = [K \cdot L \cdot (S/J) \cdot Pr] / [(1 - (L \cdot S)/(S+J)) \cdot Pr + k \cdot Tr \cdot W] \quad (9)$$

여기서, $P_r = P_i + G_i + G_r - L_p - M$ (dB)이며 $J/S \gg 1$, 대역폭을 R 이라 하여 식(10)을 정리하면

$$(S/N)_{out} = [K \cdot L \cdot (S/J)] / [1 + kTrW/Pr] \quad (10)$$

이며, $(S/N)_{out} = E_b/N_o$ 이므로, 수신기가 최대로 허용 가능한 J/S 값은 식(11)와 같다.

$$(J/S)_{max} = (K \cdot L) / (E_b/N_o) \cdot (Pr/kTrW) / (1 + Pr/kTrW) \quad (11)$$

3. Onboard Despreading 중계시스템

본 제안은 복조 및 복호화를 하지 않고 단지 역확산만을 하는 안테나 널링 능동중계기로서 이에 대한 시스템 링크를 해석하면 다음과 같다. 중계기에서 역확산을 하면 재밍 신호와 사용자신호를 분리해 낼 수 있기에 하향링크상에서 발생하는 전력 분배 손실을 줄일 수 있게된다. 즉, 중계기에서 역확산을 하여 K 값을 크게 하면 재밍 신호를 사용자 신호에서 쉽게 분리해 낼 수 있다. 상향링크 방해를 기준으로 링크해석을 하면 다음의 유도결과를 얻게 된다. 하향링크의 신호전력과 간섭전력은 각각 식(12), 식(13)과 같다.

$$S_d = [S / (S + J/a \cdot K)] \cdot P_i \approx P_i \quad (12)$$

$$J_d = [J/a \cdot K] / [S + J/a \cdot K] \cdot P_i \approx J / (S \cdot a \cdot K) \cdot P_i \quad (13)$$

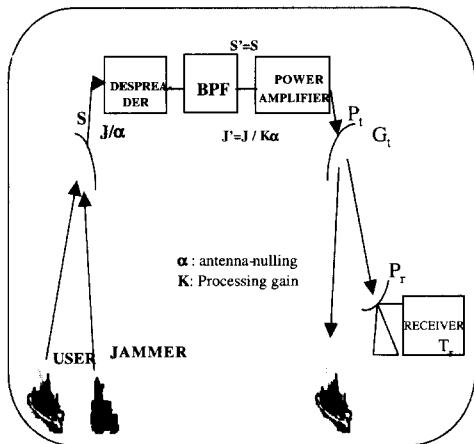


그림 2. Onboard Despreading중계시스템구성도

$P_r/kTrB \gg 1$ 인 경우, 하향링크상의 반송파 대 잡음비를 구하면 식(14)로 유도된다.

$$(C/kT) = [S / (S + J/aK) \cdot Pr] / [1 + Pr/kTrB \cdot J/aK / (S + J/aK)] \approx Pr/kTr / [1 + Pr/kTrW \cdot J/aS] \quad (14)$$

이때 최대 전송 가능한 데이터 전송속도는 식(15)로 전개가 가능하다.

$$R = (C/kT) / (Eb/No) = R_{max} / [1 + R_{max} / W \cdot (Eb/No) \cdot J/aS] = R_{max} \cdot Rp / (R_{max} + Rp) \approx Rp \quad (15)$$

(단, $R_{max} = Pr/kTr / (Eb/No)$, $Rp = Wa / (Eb/No) \cdot S/J$)

따라서, 안테나 널링 능동 중계기에서 AJ성능에 대한 최종 결과식(16)을 얻게된다.

$$J/S = K \cdot a / (Eb/No) \quad (16)$$

4. Onboard Processsing 중계기 시스템

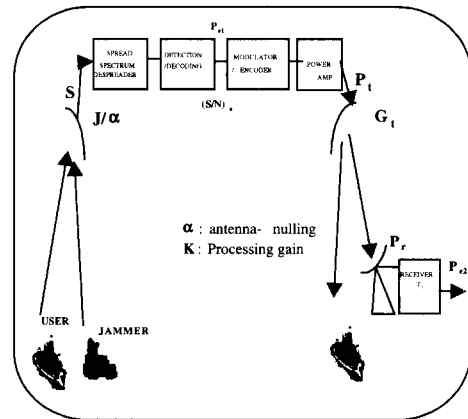


그림 3. OBP 중계기 시스템 구성도

능동중계기에 역확산, 복조/복호화 및 재변조/재부호화 기법과 안테나 널링기법 등을 사용해서 상향링크로 전달된 신호에 포함되어 있는 재밍신호와 잡음들을 능동위성 중계기에서 제거한 후 하향링크로 전달하는 완전 능동 중계기 모델에 대한 링크시스템관련 성능분석을 유도하면 다음과 같다. 능동중계의 수신 출력 단의 신호 대 잡음비는 식(17)과 같이 표현이 가능하다.

$$(S/N)_o = E_b/N_o = W/R \cdot S / (kTrW + J/a) \quad (17)$$

$J/\alpha \gg kT_s W$ (여기서 $kT_s W$ 는 상향링크 잡음)
인 경우에, 전송 가능한 최대 전송속도(R)은 식(18)
과 같이 유도된다.

$$R = W(E_b/N_0) \cdot S / (kT_s W + J/\alpha) \cong W a / (E_b/N_0) \cdot S / J \quad (18)$$

따라서, $(J/S)_{\max}$ 에 관한 식으로 정리하면 아래
식(19)와 같다.

$$(J/S)_{\max} \cong W/R \cdot a / (E_b/N_0) \quad (19)$$

III. 시스템 성능 분석용 변수설정

중계기별 링크시스템의 성능분석을 위한 시스템
관련 변수는 다음과 같다. 지상단말의 경우는 Ship-
board 단말을 위주로 하여 적용하였다.

표 1. 시스템 분석용 변수

시스템 항목	중계기(Payload)	합정용 단말
설계 변수	- 위성 EIRP = 31dBW - Spread BW = 40MHz - 안테나 널링 = 20dB	- 단말 G/T = 10dB/K - 안테나 크기 = 1.2m - HPA Power = 2 kW
추가 적용 변수	- Jammer EIRP : 70 - 130dB - Coding Gain : 5dB - Coverage : Area Coverage - $(E_b/N_0)_{\text{req}}$: 10dB - Limiter loss : 6dB * antijam 성능 분석시 적용된 비교변수 SpreadBW: UHF(100MHz), SHF(500MHz), EHF(2GHz)	

IV. 시스템별 성능분석

본 연구에서는 군 위성중계 시스템에서 사용 가
능한 세가지 형태의 시스템을 제안하여 성능 분석
을 수행 하였다. 먼저, 이를 수행하기 위한 가정으
로서, 위성중계기와 지상단말을 정의하였다. 특히,
지상단말의 경우는 운용 가능한 합정용 단말(Ship-
board Terminal)간의 통신을 기초로 하여 시스템을
비교 분석하였으며, 재머에 의한 방해는 일반적으로
군 위성통신에 효과적인 상향링크 재밍을 기본적인
위협수단으로 가정하여 수식을 유도하였다. ECCM
운용시 40MHz의 확산대역폭에서 최대 지원 가능한

전송 데이터 속도를 성능의 주요평가지수로 삼았다.
첫 번째, Limiter가 적용된 Passive 형태의 시스템에
서 총 전력 용량은 입력레벨에 비례하여 통신을 원
하는 신호와 재머 전력으로 나뉘어진다. 더욱이 리
미터의 신호 억압효과로 신호의 손실을 유발하게된
다. 분석 결과, 재밍 분석은 높은 J/S비에 의한 고
출력 재밍하에서 지원가능한 링크수가 상당히 제한
되었음을 보여주었다. 대역확산만을 고려하여 재머
전력이 110dBW 이상으로 적용시 전송가능한 데이
타율은 수십bps급 이하로 제한되는 것을 보였다. 또
한, 안테나 널링효과를 부가된 경우도 재머 전력이
120dBW급 이상에서는 동일한 효과를 나타내었다.
따라서, 재머 전력이 100dBW급 이상으로 방해가
발생하게 되면 시스템용량에 지대한 영향을 미치게
되어 효과적인 대응 방안의 요구된다. 둘째로, 항
재밍 성능을 상당히 향상시킬 수 있는 Onboard
Despreading 기법을 적용한 시스템에서는 단지 위성
탐재신호처리 중계기보다는 간단한 형태로 신호의
복조를 포함하지 않고 구현된다. 탐재상에서 역확산
동작은 채널 여과 단계전에 수행가능하므로, 확산신
호를 이용하는 대역폭은 채널대역폭에 의해 제한을
받지 않게 되어 처리이득을 향상시키게 되는 결과
를 얻게된다. 고전력 재머의 영향을 받을 때에는
Limiter를 이용한 중계기 시스템보다 10dB 이상의
성능 효과를 얻을 수 있으나, 평시나 80dB 이하의
재밍환경 하에서는 오히려 성능의 차이가 적어지
게 됨을 알 수 있었다. 또한, 재머 전력이 클수록 지원
가능한 링크 전송율은 완전한 재생중계기 시스템과
거의 유사한 성능을 얻을 수 있었다. 본 방식은 위
성중계기 확산대역폭에 따라서 성능의 현저한 차가
발생하는데 재머 전력이 110dBW 이상에서는 거의
OBP 환경과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서,
본 방식은 평시에서도 유효한 성능을 지니지만 열
악한 stressed 환경에서 더욱 효과적인 기법으로 확
인되었다. 셋째로, 완전한 재생 중계기의 경우, 상향
링크 신호는 위성에서 역확산 될 뿐 만 아니라 기저
대역 데이터를 복구하기 위해 완전히 복조된다. 그
리고 하향링크 케리어상에서 재변조하게된다. 비재
생중계기와 비교시 본 시스템의 이점은 상향링크/하
향링크가 완전히 서로 독립되어있기 때문에 어떠한
재머 전력도 하향링크에서 재전송되지 않으며 전신
환경에서 영향을 끼치는 소신호 억압효과와 전력
robbing이 제거되는 효과이다. 그러므로 하향링크
열잡음에 의한 상향링크 신호대 총 잡음비의 감소

가 일어나지 않는다. 성능분석결과, 위 경우와 마찬가지로 재머 전력에 상당히 제한을 받게 되었으며, 120dBW 이상에서 2400bps급의 전송을 위한 3-4개의 단말만이 통신이 가능한 것으로 나타났다. 완전한 OBP형중계기와 대역확산만을 수행한 중계기 사이에는 안테나 널링효과와 코딩이득만의 효과로 성능차이를 보였다. 아울러, 그림9에서는 전시환경에서 휴대용 단말과 합정용 단말에 대한 항 방해 성능분석결과로서 주파수가 높아질수록 통신 가능한 최대허용 재머 전력이 증가함을 알 수 있었고 UHF/EHF대역에서는 최대 60dBW만큼의 성능차가 나타났다. 또한, 휴대용 단말과 합정용 단말간에는 재머 전력에 대하여 20dBW정도의 성능차를 나타냈다.

V. 결론

본 연구는 군 위성환경에서 적용 가능한 세가지 형태의 위성시스템을 제안하여 성능 분석을 수행하였다. 성능분석 결과, 높은 J/S비에 의한 고출력 재밍하에서 지원 가능한 링크수가 시스템에 따라 상당히 제한되었음을 보여주었다. 심지어 Limiting repeater에서는 재머전력이 120dBW 이상일때 2400bps급의 데이터 전송이 어려운 것으로 나타났다. 또한, Onboard Despreading 중계기의 경우는 확산대역폭에 따라 결과가 다른데, 200MHz에서는 110dBW 급이상의 재머 영향하에서 OBP시스템과 거의 유사한 성능을 얻게되었다. 따라서, 전략/전술적인 운용 환경에 따라 위성자원에 대한 이용 효율을 높이기 위한 방안이 모색되어야 할 것이다. 이를 위한 제안 사항으로 군 운용환경에 따른 모드변환도 주요한 방법이 될 것이다. 예를 들어, 평시(unstressed mode)나 약한 전파방해 상황이 도래하면 Transparent 채널이나 군용의 Limiting repeater를 사용하다가 전시(stressed mode)환경에서는 방해정도에 따라 Onboard Despreading 중계기 혹은 OBP 위성시스템의 모드 변경을 하게된다면 신뢰성있는 통신능력의 향상이 가능할 것이다. 추가적으로, 이동단말(휴대용/합정용급)을 기준으로 주파수 대비(UHF/SHF/EHF) 재머전력에 대한 결과를 보듯이 고주파 대역으로 옮겨감에 따라 각각 최고 60dB 재머 전력에 대항능력이 현저하게 향상됨을 알 수 있었다. 그러므로, 군용대역인 SHF대역에서 EHF대역으로의 초고주파대역으로 연구가 진행되어 대전전 및 AJ/LPI효과를 얻도록 생존성이 증가된 군 운용환경

의 변화가 뒤따라야 할 것이다.

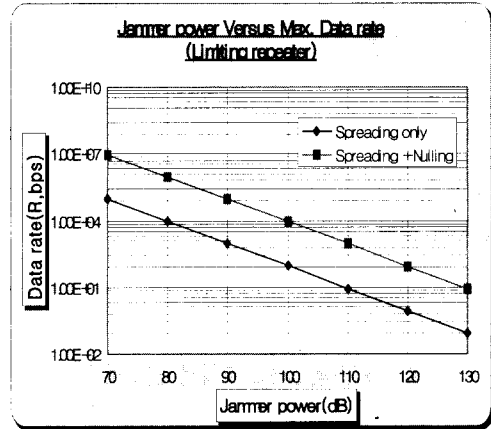


그림 4. Limiting repeater시스템 성능분석도

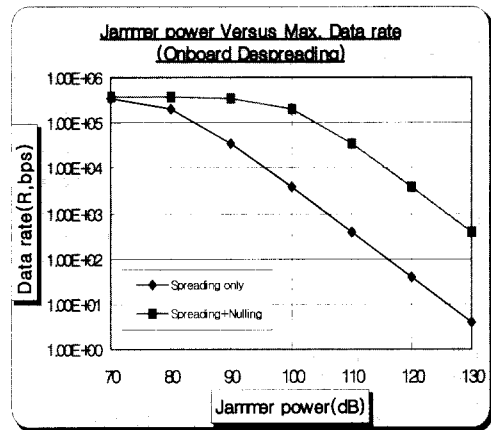


그림 5. Onboard Despreading성능분석도

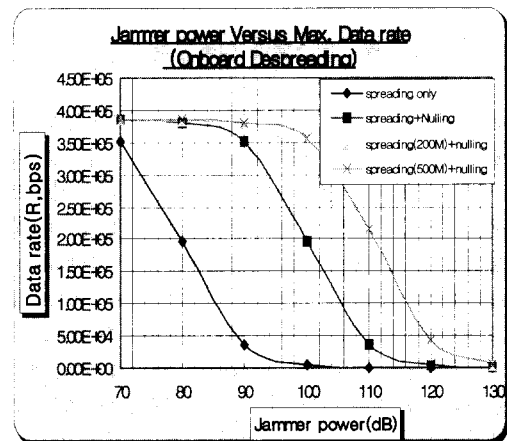


그림 6. Onboard Despreading성능분석비교도

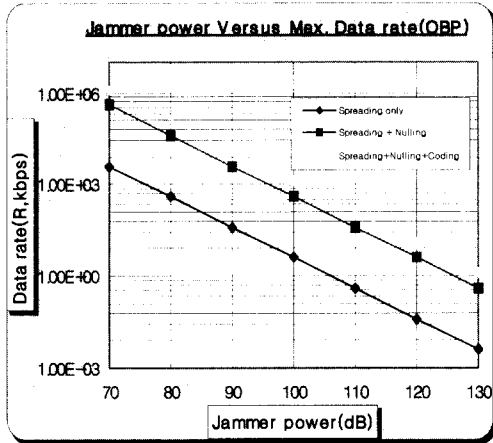


그림 7. OBP시스템 성능분석도

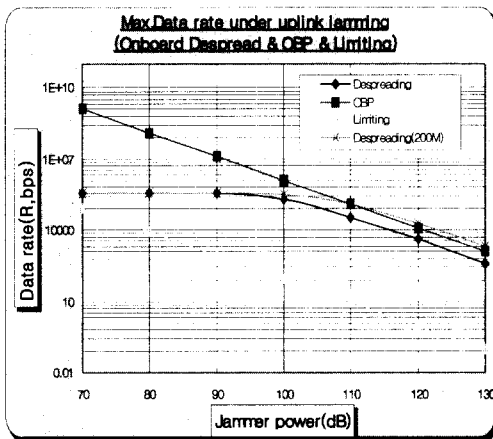


그림 8. 시스템별 성능비교 분석도

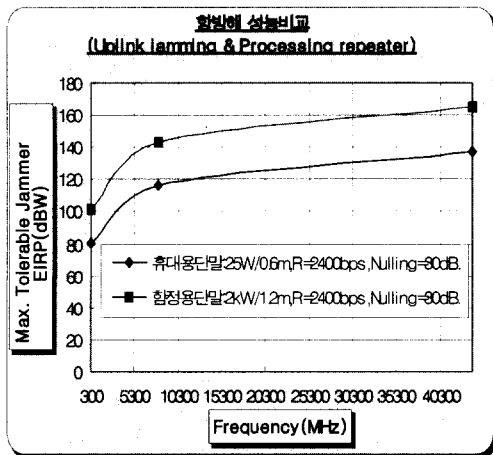


그림 9. 단말별 항재밍 비교도

참고 문헌

- [1] W.C Cummings, P.C Jain & L J Ricardi, "Fundamental performance characteristics that influence EHF MILSATCOM systems," IEEE Trans. commun.,pp. 1423-1435, vol. COM-27, no. 10, October 1979.
- [2] Pravin C. Jain, "Architectural Trends in Military Satellite Communications Systems," Proceedings of the IEEE, vol. 78, no. 7, pp.1176-1189, July 1990.
- [3] A.M.Stroomer, Satellite Communications- Past, Present and Future, Military technology, pp. 60-62, May 1996.
- [4] Three Days Intensive Short Course (Strategic/ Tactical Communications by Satellites, Defense Communications Agency).
- [5] William T. Brandom, "Design Trade-offs in Antijam Military Satellite Communications" IEEE Communications Magazine, pp 18-22, July 1982.
- [6] Bernard Sklar, Digital Communications Fundamentals and Applications, Prentice Hall. 1988.
- [7] A.Nejat Ince, Digital Satellite Communications Systems and Technologies (Military and Civil Applications), Kluwer Academic Publishers, 1992.
- [8] Wiley J.Larson and James R.Wertz, Space Mission Analysis and Design, Kluwer Academic Publishers, 1992.
- [9] Proakis, Digital Communications, New York : Mcgraw-Hill, 1989.
- [10] R.E. Ziemer, Digital Communications and Spread Spectrum Systems, Macmillan Publish Company, 1985.
- [11] KOREAN MILSATCOM SYSTEM FEASIBILITY STUDY (WP1350 User Terminal Definition)
- [12] KOREAN MILSATCOM SYSTEM FEASIBILITY STUDY(Final Study Report)
- [13] 김인겸, "Jamming 환경하에서 Ka-band 위성링크 설계에 관한 연구," 한국통신학회논문집 제 21권 11호, 1996.

