

Ka 대역 초고속 위성통신 시스템에 대한 군지연 및 비선형 특성의 영향

Effects of Group Delay and Non-linear Characteristics in Ka-Band High Data Rate Satellite Communication System

김 영 완 · 박 동 철*

Young-Wan Kim · Dong-Chul Park*

요 약

본 논문에서는 초고속 위성통신 시스템의 채널 특성에 대한 성능 분석을 하였다. 고속 데이터 전송의 열화 요인으로 작용하는 군지연과 비선형 분석을 통하여 다양한 전송 서비스를 제공하는 Ka 대역의 초고속 전송 시스템의 채널 성능 영향을 고찰하였다. 전송 데이터가 증가할수록 군지연과 비선형에 의한 영향은 증가하며, 군지연의 선형 성분과 비선형의 AM-AM 성분이 시스템 성능 열화에 지배적으로 작용하는 것을 알 수 있었다. 고속 데이터에 따른 광대역 전송 대역폭으로 낮은 군지연과 이득 평탄도를 얻기가 어려우므로 주요 열화 요소를 등화하여 수십 Mbps에서부터 수백 Mbps의 넓은 범위의 서비스를 동일 시스템에서 효과적으로 제공하여야 한다. 분석된 결과는 최적의 동작점을 갖는 초고속 위성통신 시스템을 설계하고 운용하는데 활용될 수 있다.

Key words : Ka 대역 초고속 전송 시스템, 군지연 열화, 비선형 열화

Abstract

The effects of group delay and non-linear characteristics on high data rate(HDR) satellite channel are presented in this paper. Based on the modeling of group delay and non-linear characteristics the system performances which provide various data rate services were analyzed in Ka-band satellite channel. As the transmission data rate is increased, the degradation due to these channel characteristics is severely increased. The linear component of group delay and the AM-AM component of non-linear characteristics severely affect the system performance. To efficiently provide the various service via the same transmission system it is necessary to equalize the primary impairment factors. The optimum operating points of HDR satellite transmission system are implemented by considering the analyzed results on channel characteristics

Key Words : Ka-band HDR system, Group delay degradation, Non-linear degradation

I. 서 론

20/30 GHz 대역 위성통신 기술의 발전과 광대역 위성 멀티미디어 서비스의 요구에 부응하여 Ka 대역 기술을 이용한 초고속 위성통신 서비스가 발전

하고 활성화되고 있다. 화상 회의 등 비디오 전송에 서부터 텔레마케팅, 고속 데이터 전송 영역의 서비스를 제공할 수 있는 초고속 위성통신 시스템은 향후 국가 통신망의 핵심이 될 초고속 국가망 등의 백업과 국간 중계, 홍수, 재해 등의 국가 비상사태에

한국전자통신연구원(ETRI)

* 충남대학교 전파공학과(Dept. of Radio Science and Eng., Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20010214-020

· 수정완료일자 : 2001년 4월 16일

대비한 새로운 위성통신 시스템을 가능하게 한다. 이러한, 초고속 위성 전송 시스템은 수십 Mbps에서부터 수백 Mbps의 정보 데이터를 처리하고 광대역 전송 특성을 갖는 위성 중계기를 이용하여 위성 통신 서비스를 제공한다^{[1],[2]}. 위성 전송 시스템의 RF 장비와 위성 중계기의 채널 특성은 전송되는 디지털 데이터의 전송 성능에 영향을 가져온다.

디지털 데이터는 전송 채널의 비선형, 군지연, 진폭 평탄도, 그리고 위상잡음 특성 등의 영향을 받는다. 전송 데이터율이 증가할수록 위상잡음과 주파수 변동에 따른 영향은 감소하나, 비선형과 군지연에 의한 영향은 증가하는 특성을 갖는다. 초고속 전송 데이터는 전송 채널의 광대역성으로 전송 채널내의 낮은 군지연과 진폭 평탄도 특성을 유지하기가 어려우므로 낮은 전송 데이터 채널보다 상대적으로 보다 많은 영향을 받는다. 특히, 고속 데이터 전송 시스템에 대한 군지연 특성은 시스템 성능에 지배적으로 작용한다. 군지연 특성에 대한 시스템 성능 분석 결과들이 일정한 전송 데이터를 갖는 서비스를 중심으로 이루어지고 있다^{[3],[4]}. 개구율(eye diagram)에 의한 군지연 성능 분석 결과는 낮은 BER 조건(10^{-6} 이하)에서 수행되었으며^[3], 수십 Mbps 전송 데이터를 갖는 Ku-band 위성통신서비스와 시스템에 대한 최적의 군지연 특성을 분석하고 있다^[4]. 또한, 비선형에 대한 분석 결과들도 수십 Mbps의 일정한 데이터 전송 시스템에 대한 영향을 분석하였다^{[5],[6]}. 그러나, 수백 Mbps 초고속 전송 데이터를 갖는 Ka 대역 위성통신 시스템은 전송 대역폭의 광대역성으로 비선형, 진폭응답 그리고 군지연 특성의 영향이 크게 발생하여 채널 등화 기술을 필요로 할 수 있다. 따라서, 기존 해석보다는 군지연, 진폭 응답 그리고 비선형 특성들의 구성 성분 요소들에 대한 열화 분석이 필요하며, 각 채널 특성들의 주요 열화 성분을 분석하여 시스템 설계시 요구되는 등화 기술의 주요 대상을 도출할 수 있도록 하여야 한다. 또한, 시스템 운용에 필요한 요구 BER에서의 성능 분석을 통하여 시스템 설계 기준점을 설정할 수 있는 분석 결과가 중요하게 되었다. 그리고, 동일 위성전송 시스템에서 수십 Mbps와 수백 Mbps의 다양한 전송 데이터의 위성통신 서비스를 제공하기 위하여, Ka 대역 위성전송 시스템은 넓은 범위의 전

송 데이터에 대해 일정한 범위내의 성능 영향을 갖도록 설계되고 운영되어야 한다.

본 논문에서는 무궁화 3호 위성의 Ka 대역 중계기를 사용하여 초고속 데이터를 전송할 경우 발생하는 시스템 성능 열화 요인을 분석하고 시스템 특성을 연구하는 것으로서, 수백 Mbps 광대역 서비스 전송 성능에 지배적으로 영향을 미치는 채널의 비선형, 진폭 응답 그리고 군지연 특성의 성분 요소들을 모델링하고, SPW와 Omnisys 프로그램을 이용하여 시스템 설계 및 운용 요구 BER을 기준점으로 성분 요소들에 대한 시스템 성능을 분석한다. 군지연과 진폭 응답 특성의 구성 열화 성분을 고차 다항식으로 표현하여 전송 데이터가 증가할수록 열화 요소로 작용하는 왜곡 성분들의 열화도와 시스템 성능에 지배적으로 영향을 미치는 군지연 및 진폭 왜곡 성분을 분석한다. 또한, 비선형 특성의 AM-AM, AM-PM 성분을 독립적으로 분석하여 각 성분들에 대한 영향과 열화 의존도를 알아본다. 아울러, 채널 열화 요소들에 대한 분석된 결과들을 바탕으로 동일 시스템에서 수십 Mbps에서 수백 Mbps의 다양한 전송 데이터 서비스가 가능하도록 지배적인 열화 성분을 등화하여 효과적으로 위성 전송 시스템을 설계하고 운용할 수 있는 방안을 제시한다.

II. Ka 대역 위성통신 시스템

2-1 초고속 위성 전송 시스템 특성

무궁화 위성 3호를 대상으로 하는 국내 초고속 위성 전송 시스템은 최대 155 Mbps 버스트(burst) 정보 신호를 ATM 셀(cell) 단위로 하여 TDMA 접속 방식으로 전송하며, 보다 낮은 45 Mbps 정보 신호를 동일 구조에서 전송할 수 있다. 전송 데이터는 위성 채널에서의 에러를 교정하기 위한 FEC와 에러의 랜덤화를 위한 블록 인터리버(block interleaver) 방식을 사용한다. 표 1은 초고속 위성 전송 시스템의 채널 특성을 보여준다.

45 Mbps 정보 신호는 78.32 Mbps 전송 데이터로 변환되어 52.86 MHz 대역폭으로 전송되며, 155 Mbps 신호는 215 Mbps 전송 데이터로 변환되어 145.125 MHz의 대역폭으로 위성 전송된다. 따라서,

표 1. 초고속 위성 전송 시스템의 채널 특성
Table 1. The channel characteristics of HDR satellite transmission system.

변조 방식	QPSK
정보 데이터율	45/155.52 Mbps
전송 데이터율	78.32/215 Mbps
Roll-Off Factor	0.35
FEC	RS (213/232) + Convolutional (7/8), Interleaver : Block (232 × 8 Block)
요구 Eb/No	8.5 dB @ 10 ⁻¹⁰ BER
송신 주파수	30.385 ~ 30.885 GHz
수신 주파수	20.355 ~ 21.155 GHz

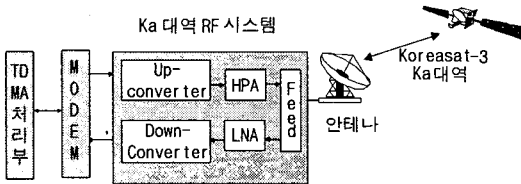


그림 1. 초고속 위성 전송 시스템의 채널 구조도
Fig. 1. Conceptual channel block diagram of satellite transmission system.

초고속 데이터를 전송하기 위하여 100 MHz 이상의 넓은 RF 대역을 사용하므로 위성 중계기와 RF 체인 장비들의 RF 특성이 시스템 성능에 지배적으로 작용하게 된다. 이러한 광대역 위성 전송 시스템은 그림 1과 같은 채널 구조를 갖는다.

QPSK 변조된 신호는 상향 주파수 변환기(up-converter)에 의해 Ka 대역 주파수로 변환되며, 주파수 변환된 전송 신호는 고출력 증폭기(HPA)에 의해 요구 출력으로 증폭된 후 송신 안테나를 통하여 위성 전송된다. 또한, Ka 대역 수신 신호는 저잡음 증폭기를 통하여 증폭된 후 하향 주파수 변환기(down-converter)에 의해 복조기 입력 신호로 변환된다. 고속 데이터 전송에 영향을 미치는 군지연과 비선형 특성은 필터를 포함하는 주파수 변환기와 고출력 증폭기 장비에서 주로 발생하며, 전송 데이터가 증가할수록 채널 특성 영향이 크게 나타나므로 최대 전송 가능 데이터의 성능 열화가 일정한 범위 내에

있도록 설계하여 45/155 Mbps 서비스를 동일 시스템에서 제공할 수 있도록 한다.

2-2 Ka 대역 트랜스폰더 특성

무궁화 위성 3호의 Ka 대역 중계기는 그림 2와 같이 800 MHz 대역내에서 200 MHz의 대역폭을 갖는 3개의 채널로 구성되어 있다^[7]. 위성 중계기에서 전송 데이터의 성능을 열화시키는 요소로는 중계기 입출력 필터에 의한 채널 대역 제한과 군지연, 그리고 TWTA에 의한 비선형 특성을 고려할 수 있다.

그러나, 초고속 전송 신호의 최대 전송 대역폭은 145.125 MHz이므로, 그림 3의 인접 채널을 고려하여 대역 제한을 하는 인접(contiguous) 채널과 가장 자리에 위치한 비인접(non-contiguous) 채널의 주파수 응답은 ±75 MHz 이상의 평탄한 대역 특성을 보여주고 있으므로 대역 제한에 의한 영향은 무시할 수 있다. 따라서, 위성 중계기의 비선형과 군지연에 의한 영향이 작용할 것이다.

그림 4는 TWTA의 포화 영역에서의 동작 또는

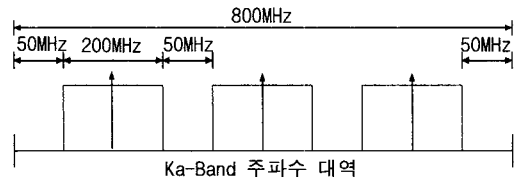


그림 2. 위성 중계기의 채널 배치도
Fig. 2. Channel allocation of transponder.

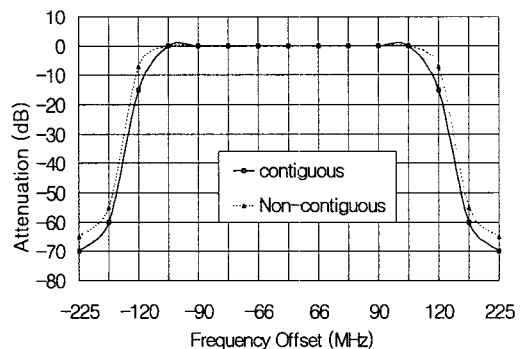


그림 3. 위성 중계기의 주파수 응답 특성
Fig. 3. Frequency response of transponder.

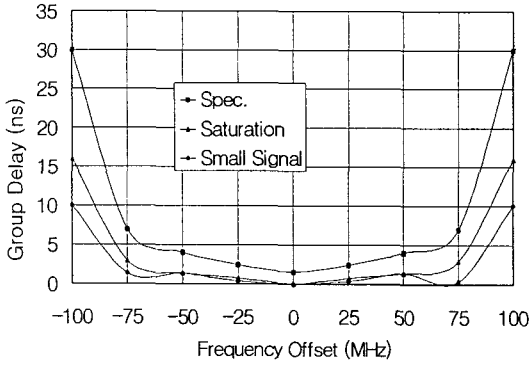


그림 4. 위성 중계기의 군지연 특성
Fig. 4. Group delay of transponder.

소신호 선형 영역에서의 동작에 의한 군지연 성분과 대역통과 필터에 의한 군지연 성분으로 구성된 위성 중계기의 군지연을 보여 준다. ±75 MHz 대역 폭내에서 선형 영역 동작 모드에서는 0.3~1.4 ns의 변화를 가지며, 포화 동작 모드에서는 최대 3ns의 군지연 특성을 갖는다. 또한, 위성 중계기의 규정 군지연은 약 7 ns이다.

III. 채널 특성 및 모델링

3-1 비선형 특성

위성통신 지구국의 고출력 증폭기는 선형 영역에서 동작하도록 설계할 수 있으나, 위성에 탑재되는 TWTA는 최대 가용 출력을 위하여 비선형 영역에서 동작한다. 따라서, 증폭기의 AM-AM, AM-PM 성분으로 인하여 심볼간 간섭이나 위상 왜곡, 그리고 측대파의 재생 현상이 발생하여 시스템 성능이 저하된다.

증폭기의 입력 신호를 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 x(t) &= r(t) \cos[\omega_o t + \theta(t)] \\
 &= r(t) \cos \omega_o(t) \cos \theta(t) - r(t) \sin \omega_o(t) \sin \theta(t) \\
 &= \text{Re}\{ [r_I(t) + jr_Q(t)] \exp(j\omega_o t) \} \\
 &= \text{Re}\{ r_X(t) \exp(j\omega_o t) \} \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서, $r_I(t) = r(t) \cos \theta(t)$ 와 $r_Q(t) = r(t) \sin \theta(t)$ 는 입력 신호의 복소 포락선 $r_X(t)$ 의 동위상(in

-phase)과 직교위상(quadrature) 신호 성분으로, 복소 포락선 신호는 기저 대역 신호로 다음과 같다.

$$r_X(t) = r(t) \exp[j\theta(t)] \quad (2)$$

증폭기의 전달 특성을 $h(t) = \text{Re}\{h_X(t) \exp(j\omega_o t)\}$ 이라고 하면, 증폭기 출력 신호의 복소 포락선 신호는 입력 신호와 증폭기의 복소 포락선 성분들의 컨볼루션(convolution)을 이용하여 등가의 기저 대역 통과 시스템으로 해석할 수 있는 식 (3)으로 표현할 수 있다.

$$y_X(t) = r_X(t) \times h_X(t) \quad (3)$$

여기서, $h_X(t)$ 는 증폭기의 복소 임펄스 응답이다. 등가 비선형 증폭기를 진폭-위상 모델로 사용하여 표현하면, 식 (3)으로부터 증폭기의 출력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 y(t) &= \text{Re}\{y_X(t) \exp(j\omega_o t)\} \\
 &= \text{Re}\{A[r(t)] \exp j[\theta(t) + \phi[r(t)]] \exp(j\omega_o t)\} \quad (4)
 \end{aligned}$$

따라서, 입력 복소 포락선과 증폭기 출력 복소 포락선의 관계를 식 (5)와 같이 정의할 수 있다.

$$y_X(t) = \text{Re}\{A[r(t)] \exp j[\theta(t) + \phi[r(t)]]\} \quad (5)$$

여기서, $A[r(t)]$ 와 $\phi[r(t)]$ 는 AM-AM과 AM-PM 성분을 각각 나타내며 다음과 같이 표현할 수 있다 [8].

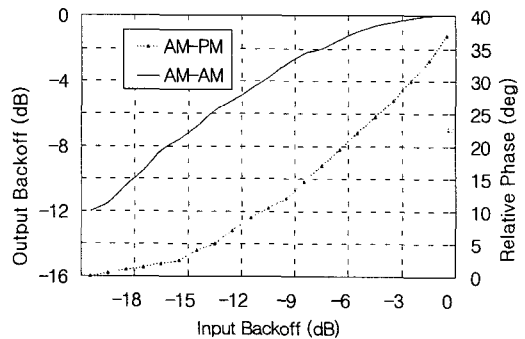


그림 5. 위성 TWTA의 전달 특성
Fig. 5. Transfer characteristics of TWTA.

$$A[r(t)] = \frac{\alpha_a r(t)}{[1 + \beta_a r^2(t)]}$$

$$\phi[r(t)] = \frac{\alpha_\phi r^2(t)}{[1 + \beta_\phi r^2(t)]} \quad (6)$$

상수 $\alpha_a, \beta_a, \alpha_\phi$ 그리고 β_ϕ 는 그림 5의 위성 TWTA 전달 특성으로부터 결정된다.

그림 5는 무궁화 위성의 TWTA 비선형 특성으로, AM-AM, AM-PM 특성을 보여준다. 입력 back-off에 따른 출력 신호의 위상 변화와 출력 크기의 비 선형 특성을 나타내고 있다.

3-2 군지연과 진폭 응답 특성

군지연과 진폭 응답은 유사한 왜곡 특성을 갖는다. 그림 6과 같이 보다 높은 주파수 대역에서 더 적은 이득 특성을 갖는 선형망을 통하여 스퀘어 파형(square wave)이 전송될 경우, 입력 신호의 높은 주파수가 감쇠되는 현상이 나타난다. 또한 대역내 주파수 성분들이 다른 지연 특성을 갖는다면 통과 신호는 전력 손실은 발생하지 않으나 파형이 왜곡된

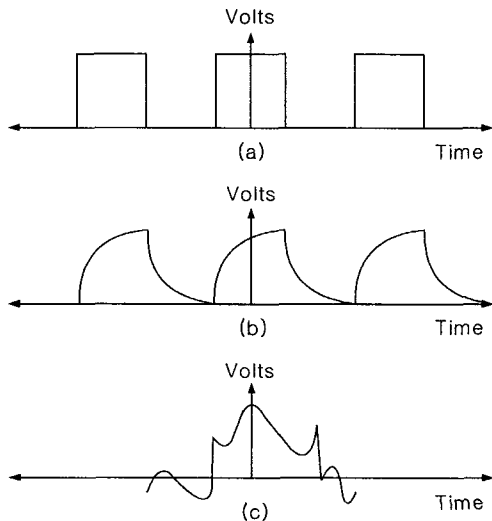


그림 6. 진폭 응답과 군지연에 의한 선형 왜곡 특성, (a) 입력 신호, (b) 대역내 이득차로 인한 진폭 응답 왜곡, (c) 군지연에 의한 왜곡

Fig. 6. Linear distortion of the amplitude response and group delay, (a) input signal, (b) amplitude distortion, (c) group delay distortion.

다. 이러한 왜곡에 의해 원하지 않는 직교위상 신호가 발생되어 신호간 누화(crosstalk)가 일어나 전송 신호의 성능이 저하된다.

선형망에 입력되는 전송 신호를 다음과 같이 표현하면,

$$s(t) = (1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_o t \quad (7)$$

선형망의 입출력 신호간에는 위상차가 발생하여 시간 지연이 발생한다.

$$u(t) = [1 + m \cos(\omega_m t + \Delta\theta)] \cos(\omega_o t + \theta_o)$$

$$= \left[1 + m \cos \omega_m \left(t + \frac{\Delta\theta}{\omega_m}\right)\right] \cos \omega_o \left(t + \frac{\theta_o}{\omega_o}\right)$$

$$= [1 + m \cos \omega_m(t - t_e)] \cos \omega_o(t - t_p) \quad (8)$$

여기서, $t_p = -\frac{\theta_o}{\omega_o}$ 는 위상 지연(phase delay)이며, $t_e = -\frac{\Delta\theta}{\omega_m}$ 는 포락선 지연(envelope delay)이다.

군지연은 포락선 지연과 같이 주파수에 대한 위상 응답 특성의 기울기로 정의된다.

$$t_g = -\frac{d\theta}{d\omega} = -\frac{d\theta}{2\pi df} \quad (9)$$

전송 신호의 시간 지연은 포락선 지연이나 군지연에 의해 표현할 수 있다. 그러나, 포락선 지연은 선형 지연 특성을 갖는 회로에서는 군지연과 동일하나, 대역내 주파수 성분에 따라 지연이 변화하면 선형 부분인 작은 주파수 범위내의 포락선 지연의 평균값으로 군지연을 고려하여야 한다.

채널의 비선형 지연 특성을 효과적으로 해석하기

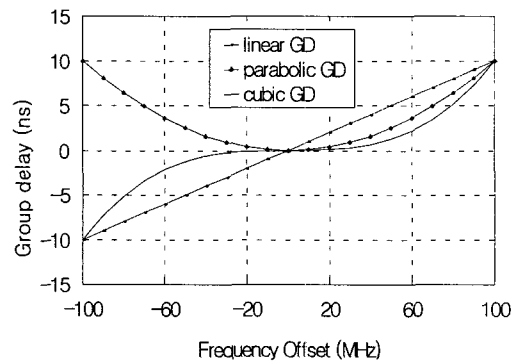


그림 7. 군지연 성분 특성

Fig. 7. Group delay components characteristics.

위하여 군지연 특성을 고려하며, 군지연은 다항식 (polynomial) 항으로 표현할 수 있다. 즉, 군지연 특성은 그림 7과 식 (10)과 같이 선형 지연 왜곡(linear delay distortion), 파라볼릭 지연 왜곡(parabolic delay distortion) 그리고 큐빅(cubic) 이상의 고차 성분으로 표현할 수 있다.

$$\text{Group delay} = A_0 + A_1 df + A_2 df^2 + A_3 df^3 \dots \quad (10)$$

여기서, A_0 는 상수 지연 값이며, A_1, A_2, A_3 는 선형 지연, 파라볼릭 그리고 큐빅 지연 상수다. df 는 전송 채널 주파수 대역폭이며, 군지연 단위는 각각 ns/MHz, ns/MHz² 등으로 표시할 수 있다.

그림 7은 군지연의 선형 성분, 파라볼릭 성분 그리고 큐빅 성분을 나타낸 것으로, 식 (10)의 A_1, A_2, A_3 지연 상수가 각각 $10^2, 10^3, 10^4$ 일 경우에 200 MHz 대역에서의 군지연 성분을 보여준다.

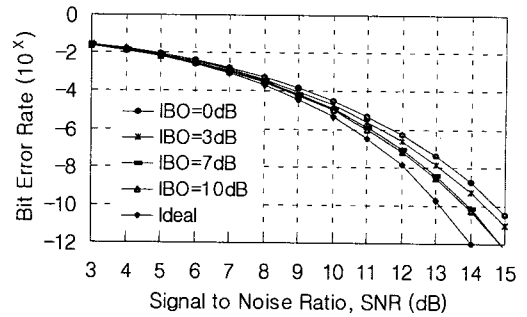
또한, 진폭 응답 특성도 군지연과 같은 다항식 항으로 그림 7과 식 (10)과 같은 형태로 해석한다. 이때에는, A_1, A_2 는 선형 감쇠와 파라볼릭 감쇠 상수로 고려되며, 단위는 각각 dB/MHz, dB/MHz²로 표시한다.

IV. 성능 분석

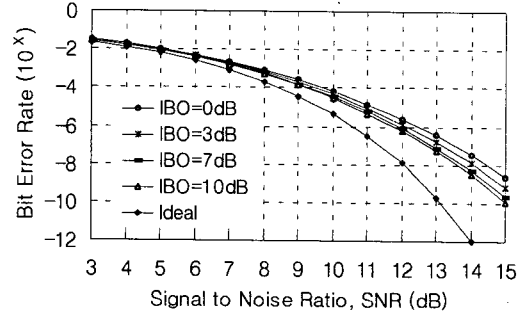
표 1의 초고속 전송 시스템의 채널 특성을 사용하여 78.32 Mbps와 215 Mbps의 고속 데이터 전송에 따른 비선형, 군지연 그리고 진폭 응답 특성에 대한 영향들을 분석하였다. 시스템 요구 BER를 만족하기 위한 복조기의 출력단에서의 비트 오류율(BER)은 10^{-3} 정도이므로, 성능 분석의 기준점으로 설정하였다.

4-1 비선형 특성

비선형 특성은 그림 5의 TWTA에 대한 AM-AM, AM-PM 특성 곡선으로부터 식 (6)의 상수 $\alpha_a, \beta_a, \alpha_\phi$ 그리고 β_ϕ 를 구하여 AM과 PM 성분으로 표시하여 성능 분석한다. 또한 AM-AM 및 AM-PM 비선형 성분에 대한 각각의 영향 분석은 다른 성분의 선형화를 가정한다.



(a)



(b)

그림 8. 비선형에 의한 성능 (a) 78.32 Mbps, (b) 215 Mbps

Fig. 8. Performance due to non-linear (a) 78.32 Mbps, (b) 215 Mbps.

그림 8은 이상적인 채널 상태(Ideal)와 TWTA의 입력 back-off(IBO) 동작점에 따른 78.32 Mbps와 215 Mbps 전송 데이터의 성능을 보여 준다.

그림 8로부터 전송 데이터가 증가할수록 비선형

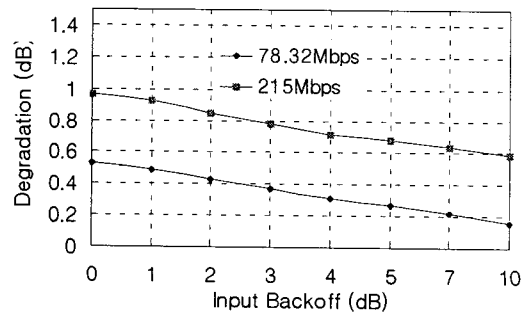


그림 9. 입력 back-off에 따른 성능 특성
Fig. 9. Performance vs. input back-off.

에 의한 영향이 증가함을 알 수 있다. 위성 중계기의 전력을 최대한 활용할 수 있는 포화 동작점(0 dB IBO)을 고려할 때 78.32 Mbps와 215 Mbps 전송에 대한 성능 저하는 각각 0.53 dB와 0.96 dB이었다. 또한, TWTA의 IBO에 따른 10^{-3} BER 기준점에 대한 성능은 그림 9와 같다.

입력 back-off의 10 dB 변화에 약 0.37 dB의 성능 변화가 있으며, 낮은 전송 데이터에 비해 215 Mbps 급의 초고속 데이터 전송에서는 비선형 영향이 크게 작용하여 10 dB IBO에서도 0.59 dB의 열화가 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서, 초고속 전송 시스템에서 위성 중계기의 동작점은 전력 효율을 고려할 때 0 dB IBO가 효과적이라 할 수 있다. 또한, TWTA의 AM-AM, AM-PM 성분의 영향도는 그림

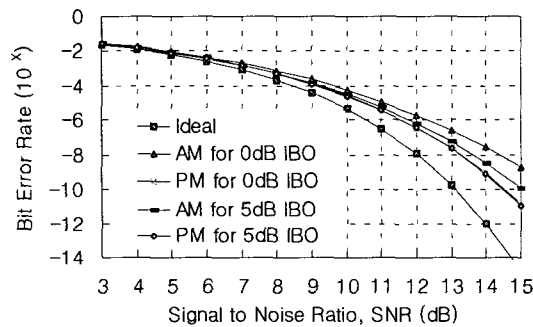


그림 10. TWTA의 AM, PM 성분의 영향(@215 Mbps)

Fig. 10. Performance of TWTA AM-AM, AM-PM components (@215 Mbps).

10에 나타나 있다.

그림 10으로부터 TWTA의 AM-AM 성분이 시스템 성능에 지배적으로 작용하는 것을 알 수 있다. 이는, 그림 11과 같이 AM-AM 성분은 이득의 비선형으로 위상과 진폭의 변화를 가져오나, AM-PM 성분은 위상이 변화하는 특성을 가져오기 때문이다. 따라서, 비선형의 주요 열화 요소로 작용하는 TWTA AM-AM 성분의 선형화로 0 dB IBO에서 약 0.42 dB 개선할 수 있을 것이다.

또한, TWTA의 비선형에 의해 측대파 신호가 복원되고, 위상 왜곡에 의해 정상도가 회전하는 특성이 나타나므로 인접 채널에 간섭 신호로 작용하거나 신호 획득 시간에 영향을 가져온다. 0 dB IBO 동작점에서 발생하는 측대파 신호를 그림 12에서 보여 주고 있으며, ± 100 MHz 대역 이상에서 약 15

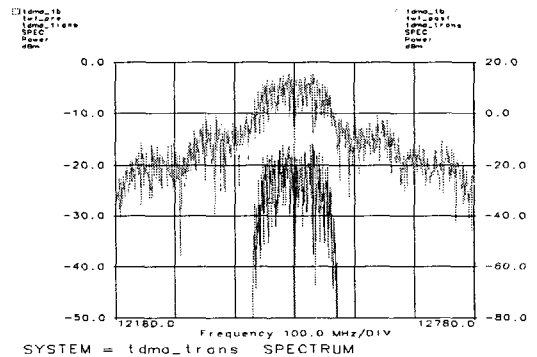
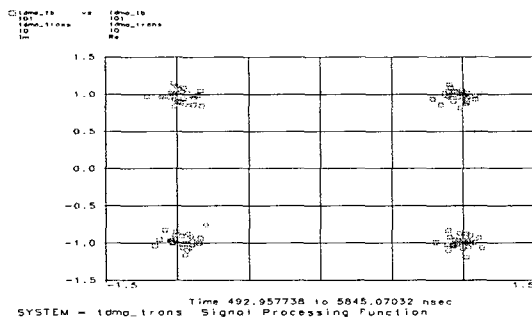
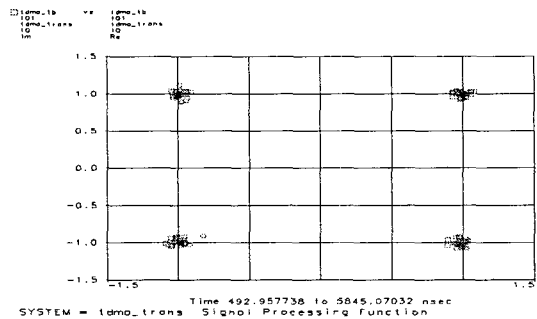


그림 12. TWTA 비선형으로 인한 측대파 신호 발생
Fig. 12. Spectral regrowth due to TWTA non-linear.



(a)



(b)

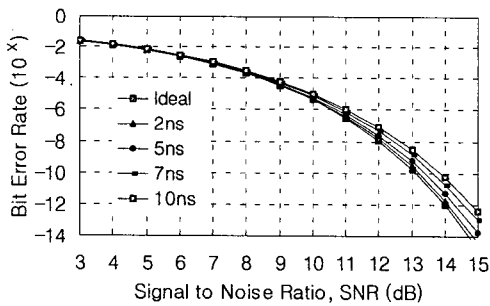
그림 11. TWTA의 AM-AM, AM-PM 성분의 영향(@ 78.32Mbps). (a) AM-AM, (b) AM-PM
Fig. 11. Performance due to TWTA's AM-AM, AM-PM. (a) AM-AM, (b) AM-PM.

dBc 이하의 재생 신호를 보이고 있으나 중계기의 출력 채널 필터에 의해 효과적으로 억압되어 인접 채널에 대한 간섭 신호를 줄일 수 있다.

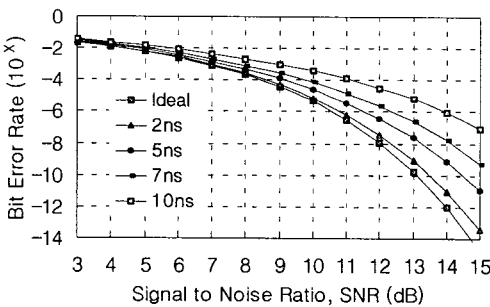
4-2 군지연 특성

군지연 특성은 식 (10)의 군지연 성분들이 78.32 Mbps와 215 Mbps에 대하여 각각 52.86 MHz와 145.125 MHz 대역폭내에 분석하는 선형 지연, 파라볼릭 지연 그리고 큐빅 지연 성분값을 갖도록 지연 상수값을 설정하여 분석한다.

그림 13과 14는 군지연의 선형과 파라볼릭 성분에 의한 열화 특성을 각각 보여 준다. 전송 신호율이 증가할수록 군지연의 영향이 크게 작용하고 있으며, 78.32 Mbps 그리고 보다 낮은 전송 신호에 대해서는 군지연에 의한 영향이 작다. 그림에서와 같이 52.86 MHz 대역폭을 갖는 78.32 Mbps에 대한



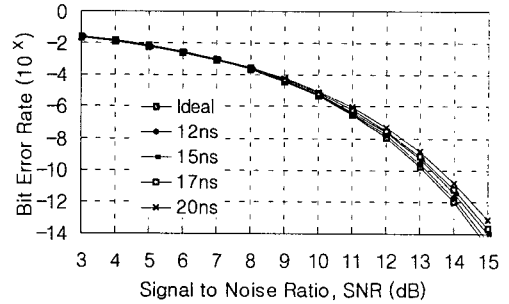
(a)



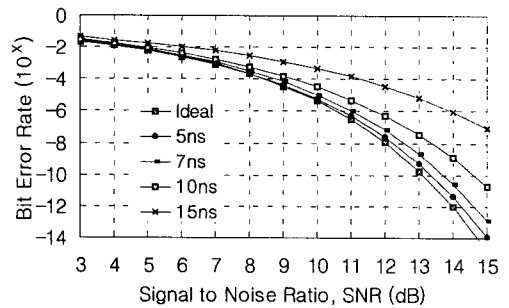
(b)

그림 13. 군지연의 선형 성분에 의한 성능
(a) 78.32 Mbps, (b) 215 Mbps.

Fig. 13. Performance due to linear group delay.
(a) 78.32 Mbps, (b) 215 Mbps.



(a)



(b)

그림 14. 군지연의 파라볼릭 성분에 의한 성능
(a) 78.32 Mbps, (b) 215 Mbps.

Fig. 14. Performance due to parabolic group delay
(a) 78.32 Mbps, (b) 215 Mbps.

선형 성분과 파라볼릭 성분이 각각 10 ns/52.86 MHz, 10 ns/52.86 MHz에 대하여 0.22 dB와 0.01 dB로 각각 낮은 성능 열화 특성을 보여주고 있으나, 215 Mbps에 대해서는 등가적으로 같은 군지연 특성인

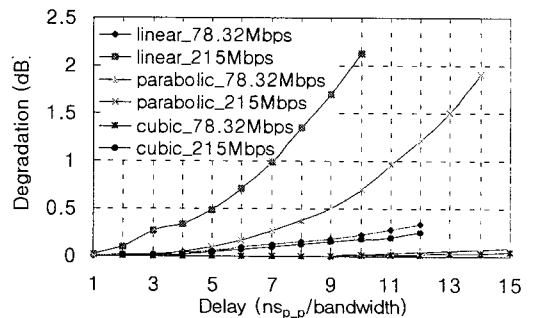


그림 15. 군지연 성분에 의한 성능 열화 특성
Fig. 15. Performance due to group delay.

10 ns/145.125 MHz, 10 ns/145.125 MHz에 대하여 각각 2.13 dB와 0.69 dB로 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 15는 10^{-3} BER 기준점에 대한 근지연 성분들의 영향을 보여 준다. 선형 성분에 의한 영향이 지배적으로 작용하며, 파라볼릭 성분에 의한 영향도 전송 데이터가 증가할수록 크게 나타나고 있다. 이는, 전송 데이터율이 증가하면 비트 지속 시간(duration time)이 작아져서 상대적으로 같은 근지연에 대해 많은 영향을 받게 되므로 성능 저하가 많이 발생한다. 또한, 큐빅 성분 이상의 고차 성분에 의한 영향은 상대적으로 작은 값을 나타내고 있다.

여기서, 78.32 Mbps는 52.86 MHz 그리고 215 Mbps는 145.125 MHz 대역폭을 기준으로 하며, 근지연은 대역폭내 최대 변화값(peak to peak)으로 하

였다.

4-3 진폭 응답 특성

진폭 응답에 대한 성능은 근지연 특성과 같은 방법으로 분석하며, 진폭 응답은 대역내 이득 평탄도로 전송 데이터율에 관계없이 전송 신호 대역내에 동일한 응답 특성에 대해서는 같은 영향이 나타난다.

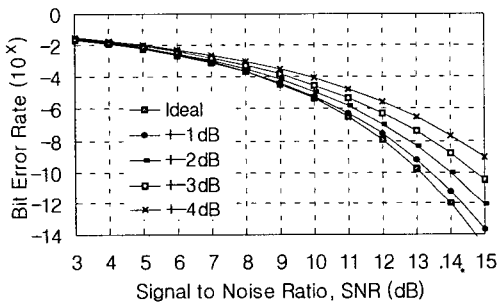
그림 16은 대역내 이득 평탄도에 의한 영향을 나타낸 것으로 전송 신호 대역폭내 이득 기울기 특성이 ± 2.0 dB인 경우 즉, 78.32 Mbps에 대하여 ± 2.0 dB/52.86 MHz 그리고 215 Mbps에 대하여 ± 2.0 dB/145.125 MHz에 대하여 0.27 dB의 성능 저하가 발생한다. 또한, 이득 특성의 파라볼릭 성분은 대역내 특성이 2 dB인 경우 약 0.08 dB의 성능 저하가 발생한다.

4.4 위성 증계기 및 등화 특성

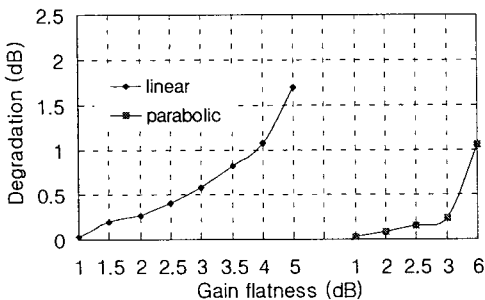
초고속 위성통신 시스템 성능에 영향을 가져오는 위성 증계기 특성은 근지연과 비선형 특성이다. 따라서, 위성 증계기에 의한 영향은 포화 영역에서 약 3 ns의 파라볼릭 성분과 작은 리플 성분의 근지연을 가지므로 그 영향은 작다. 따라서, 위성 증계기에 의한 영향은 TWTA 포화 영역의 동작에 따른 열화 값 0.96 dB를 고려할 수 있다. 그러나, 광대역 특성을 갖는 주파수 변환기를 포함하는 지구국 장비에서는 낮은 근지연과 이득 평탄도를 얻기가 어려우므로 이에 대한 영향을 무시할 수 없다.

그림 17은 시스템의 채널 특성과 동작점에 대한 성능 관계를 보여 주며, 시스템 설계에 대한 각 채널 특성들의 설계 목표값으로 설정할 수 있다.

여기서, TWTA 동작은 0 dB IBO, 이득 평탄도는 전송 대역폭에 대하여 ± 1 dB로 하였으며, (a)는 215 Mbps 전송에 대한 선형 근지연과 파라볼릭 지연 성분이 각각 0.023 ns/MHz, 0.00078 ns/MHz²인 경우이며, (b)는 선형 근지연과 파라볼릭 지연 성분이 각각 0.095 ns/MHz, 0.013 ns/MHz²인 (a) 경우와 등가적인 채널 특성을 갖는 78.32 Mbps 전송이다. 또한, (c)는 215 Mbps에 대하여 지연 성분을 각각 0.0093 ns/MHz와 0.00043 ns/MHz² 그리고 TWTA



(a)



(b)

그림 16. 진폭 응답 특성에 대한 성능 특성. (a) 선형 성분에 대한 열화(이득 평탄도는 \pm dB 입), (b) 진폭 응답 성분에 대한 열화

Fig. 16. Performance due to amplitude response. (a) for linear component(gain flatness: \pm dB), (b) for amplitude response.

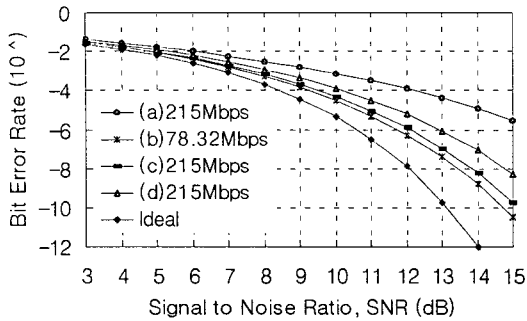


그림 17. 시스템 채널 특성과 동작점에 따른 성능 특성

Fig. 17. Performance according to system channel characteristics and operating point.

의 AM-AM 성분을 등화하였을 경우이며, (d)는 (c)와 같은 채널에서 TWTA의 AM-AM 성분을 등화하지 않았을 경우이다.

215 Mbps의 전송 조건 (a)의 경우에는 10^{-3} BER 기준에서 약 2.61 dB의 성능 저하가 발생하나, 동일한 특성을 갖는 78.32 Mbps 전송 (b)에서는 약 0.64 dB의 낮은 성능 열화가 나타난다. 따라서, 초고속 위성통신 서비스를 위하여 군지연의 등화나 비선형 특성의 등화가 필요하다. 0.0093 ns/MHz와 0.00043 ns/MHz²의 선형과 파라볼릭 성분으로 등화하였을 경우(d), 성능 저하는 약 1.3 dB가 되어 약 1.31 dB의 성능 개선을 얻을 수 있다. 또한 군지연과 비선형의 AM-AM 등화에 의한 경우 (c)에는 약 0.79 dB의 열화로 1 dB 이하의 전송 열화 성능을 보여 준다. 따라서, 채널에 대한 시스템 열화 요소를 1dB 이하로 설계하기 위해서는 (c)와 같은 채널 특성과 등화 기술을 필요로 한다.

V. 결 론

본 논문에서는 초고속 위성 전송 시스템에서의 채널 특성에 대한 성능 분석을 하였다. 고속 데이터 전송의 열화 요인으로 작용하는 군지연과 비선형 특성을 분석하여 다양한 전송 데이터 서비스를 갖는 시스템 성능 영향을 고찰하였다. 전송 데이터가 증가할수록 군지연과 비선형에 의한 영향은 증가하며, 선형 성분의 군지연과 비선형의 AM-AM 성분

이 시스템 성능 열화에 지배적으로 작용하는 것을 알 수 있었다. 고속 데이터 전송에 따른 광대역의 전송 대역폭으로 낮은 군지연과 이득 평탄도를 얻기가 어려우므로 주요 열화 요소를 등화하여 수십 Mbps에서부터 수백 Mbps의 넓은 범위의 서비스를 제공하는 초고속 위성통신 시스템이 일정한 범위내의 성능 영향을 갖도록 설계되고 운영될 수 있도록 할 수 있다. 분석된 결과는 무궁화 3호 위성을 대상으로 하는 초고속 위성통신 시스템 이외에 수백 Mbps 단위의 전송 데이터를 갖는 다른 위성 전송 시스템의 채널 특성에 대한 성능 분석에 활용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Douglas Hoder, "Gigabit satellite network for NASA's advanced communication technology satellite(ACTS)", *International Journal of Satellite Communications*, vol. 14, pp. 161-173, 1996.
- [2] M. A. Bergamo, "Terminal system and capability for ARPA-NASA high-speed SONET/ATM experiments over NASA's advanced communications technology satellite", *MILCOM'93*, pp. 235-241, 1993.
- [3] E. D. Sunde, "Pulse transmission by AM, FM and PM in the presence of phase distortion", *The Bell System Technical Journal*, vol. XL, pp. 353-422, 1961.
- [4] Edward Farell and Pasteur L. Ntake, "90Mbit/s digital performance of canada's 14/12GHz ANIK C earth stations", *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-29, no. 10. pp. 1502-1513, 1981.
- [5] R. D. Gaudenzi, C. Elia and R. Viola, "Digital broadcasting systems: A new frontier for satellite communications", *ESA Journal*, vol. 15, pp. 1-5, 1991.
- [6] Rai, "Digital satellite HDTV broadcasting at 12GHz", *NAB HDTV World Conf.*, pp. 122-129, 1993.
- [7] 장상구, 박정우, 김성중, "무궁화 3호 위성 현황 및 탑재체 성능 분석", *위성통신과 우주산*

업, 제 7권, 제 2호, pp. 34-45, 1999.

[8] A. A. Saleh, "Frequency-independent and frequency-dependent nonlinear models of TWT

amplifiers", *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-29, no. 11, pp. 1715-1720, 1981.

김 영 완



1983년 2월: 경북대학교 공과대학 전자공학과(공학사)

1985년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1997년 3월~현재: 충남대학교 대학원 전자공학과 박사과정

1992년 11월~현재: 한국전자통신

연구원 무선방송기술연구소 근무

[주 관심분야] Microwave devices, 디지털 위성통신/방송 시스템 등.

박 동 철



1974년 2월: 서울대학교 공과대학 전자공학과(공학사)

1976년 2월: 한국과학기술원 전기·전자공학과(공학석사)

1984년 12월: University of California, Santa Barbara(공학박사)

1976년~현재: 충남대학교 공과대

학 전파공학과 교수

1977년~1978년: Ruhr University, Bochum, Germany, 방문교수

1994년~1998년: IEEE MTT Korea Chapter Chairperson

1998년~현재: IEEE EMC Korea Chapter Chairperson

2000년~현재: 한국전자과학회 회장

[주 관심분야] Microwave and millimeter-wave passive devices, EMC/EMI topics, and Antennas