

무궁화 위성을 이용한 디지털 위성방송시스템의 링크 설계

正會員 金英完*, 李壽寅*, 宋潤政*, 蔡鍾錫*

Link Budget for KOREASAT Digital DBS System

Young Wan Kim*, Soo In Lee*, Yun Jeong Song*, Jong Suk Chae* Regular Members

要 約

디지털 위성방송은 아날로그 방식의 위성방송에 비해서 중계기당 다수의 채널이 수용가능함으로 기존의 방송 매체에 대한 위성방송의 이점과 아울러 다양한 채널의 공급으로 그 효율은 증대되고 있다. 이와같은 이유로 디지털 위성방송에 대한 관심이 고조되고 있으며 여러 국가에서 현재 그 개발이 진행 중이다. 본 논문은 무궁화위성을 이용한 디지털 위성 방송 시스템의 링크 설계에 관한 연구이며, 위성방송 시스템의 성능계산에 요구되는 무선통신 규정과 시스템의 평가 방법을 기술하고, 전체적인 시스템 성능에 대한 링크 마진을 계산한다.

ABSTRACT

The digital satellite broadcasting system(DBS) has more benefit than the analog system. The system is able to serve various programs by means of accomodating multiple channel in a given transponder, so the DBS service is taken a growing interest by many countries in the world. However, the system is presently being developed by just a few countries. In this paper, we study the link budget for the KOREASAT DBS currently developing in Korea, and describe the performance of the DBS service.

*한국전자통신연구소 위성통신기술연구단
Satellite Communications Technology Division,
Electronics and Telecommunications Reserch
Institute
論文番號 : 95050-0208
接受日字 : 1995年 2月 8日

I. 서 론

1980년대 초반까지 성장을 보이지 못하던 DBS(Direct Broadcasting Satellite) 산업은 1980년대 중반을 들어서면서 일본과 유럽을 중심으로 그 성장의 폭을 더하여 가고 있으며, 오랫동안 침체를 벗어나지 못하던 미국의 DBS 산업도 디지털 방식의 위성방송을 시작으로 활발해지고 있다. 위성방송 서비스는 기존 방송 매체에 비해 향상된 화질 및 고음질의 양호한 수신상태를 제공하며, 전국을 단일 방송권으로 형성할 수 있고, 각종 뉴 미디어에의 대응도 가능할 뿐만 아니라, 긴급 재해시의 활용 가능성 등 여러가지 장점을 가지고 있다. 그러나 DBS 산업은 기존의 방송 매체와 경쟁하기 위해서 해결해야 할 문제점을 가지고 있으며, 이는 CATV와 같은 다양한 채널의 공급 필요성과 고출력의 위성을 사용함으로써 발생하는 경제적 부담이라 할 수 있다.

기존의 아날로그 방식을 이용한 위성방송은 각 나라마다 할당된 고정 채널을 이용하기 때문에 전송할 수 있는 채널 수가 제한되어 있으나, 디지털 영상 압축 기법과 같은 영상 신호의 디지털 처리 기술의 발달과 반도체 기술의 발달로 인하여 디지털 위성방송은 하나의 방송용 증계기에 여러 채널의 전송을 가능하게 하였으며, 전송 전력 효율의 양호한 특성으로 수신 안테나의 소형화를 이룰 수 있어 위성방송이 지상 방송에 비해 상대적으로 갖고 있는 문제점을 해결할 수 있게 되었다. 아울러, 디지털 방식은 정보 서비스의 수용이 용이하며 고선명 TV와 같은 고품위 서비스로의 발전 용이성을 갖고 있어서, 새로운 서비스에 효과적으로 적용할 수 있어 서비스 초기에 발생할 경제적 부담을 줄일 수 있다.

이와같은 이유로 최근 디지털 위성방송 관련 기술개발이 세계적으로 활발히 추진되고 있는 상황이나⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾, 지역연합에 의한 표준방식의 개발, 서비스 계획 등 아직 디지털 위성방송은 전세계는 물론, 지역적으로도 표준화가 이루어지지 않고 있다. 따라서, 현재 우리나라에서 추진하고 있는 무궁화 위성의 방송용 증계기를 이용한 디지털 위성방송은 우리나라의 독자적인 방식으로 개발을 하고 있다.

위성방송 시스템은 위성체가 정지궤도에 위치하는 고가의 시스템으로 일단 설계 후에 이를 변경하는 것이 어렵고, 위성방송 송·수신시 인접 채널 및 인접 위성에

영향을 미칠 수 있기 때문에 시스템 설계 전에 치밀한 계획을 세워 최적의 전송품질을 구현하기 위한 링크 설계가 요구된다. 또한 링크 설계는 각 국가의 환경 특성, 위성체의 특성 그리고 지구국 시스템 및 수신기의 특성에 따라 결정된다⁽⁴⁾.

본 논문에서는 위성방송의 수신 성능 열화를 가져오는 전송 채널상의 열화 요인을 해석하여 주요 파라미터를 구하는 수식을 정리한 후, 이를 바탕으로 무궁화 위성을 이용한 디지털 위성방송 시스템의 각 파라미터를 구하여 링크 설계를 수행하였다. 링크 설계는 상향 링크와 하향 링크별로 나누어 설계하며 수신품질을 만족하도록 디지털 위성방송 시스템 파라미터를 종합한 반송파대 잡음비(C/N Total)와 시스템 구현에 따른 마진을 포함한 시스템 성능상에서 요구되는 C/N을 비교하여 그 차에 따라 링크 마진이 적정 수준이 되도록 설계하였다.

II. 링크 설계를 위한 파라미터 설정

위성링크를 설계하기 위해 기본적으로 검토되어야 할 항목은 위성방송과 관련된 국제무선통신 규칙과의 부합성, 설정된 목표 품질에 대한 방송 시스템의 전송방식, 사용할 위성의 파라미터, 전송로 상의 특성 그리고 송신 지구국 및 지상 수신기의 파라미터 등이다. 이와 같은 내용을 바탕으로 각 파라미터를 설정하고 설계 절차에 따라 링크가 설계된다.

1. 위성방송과 관련된 전송 기술기준

12 GHz 대역을 이용한 위성방송의 전송 기술기준은 WARC-BS 기준⁽⁵⁾을 만족하도록 국제무선통신 규칙에서 규정하고 있다. 이에 대한 주요한 파라미터는 표 1과 같으며 이는 아날로그 FM 변조방식을 기준으로 한 것이다. 그러나 디지털 변조방식을 이용하는 경우에도 통상의 위성방송 시스템을 보호하기 위해 이 기준을 만족해야 한다.

2. 전송방식 설정

디지털 위성방송 시스템은 하나의 방송용 증계기내에 여러 채널의 방송 신호를 수용하므로 신호의 다중화가 필요하다. 다중화 방식은 크게 시분할 다중화 방식(Time Division Multiplexing)과 주파수분할 다중화 방식(Frequency Division Multiplexing)으로

표 1. 12 GHz 대역을 이용한 위성방송의 WARC-BS 기술 기준
Table 1. WARC-BS technical regulations for 12 GHz band.

구 분	WARC-BS 기술 기준
사용 주파수대	상향 14.5-14.8 GHz
	하향 11.7-12.0 GHz
채널 대역폭	27 MHz
채널 간격	19.18 MHz
링크 동일채널 보호비	상향 40 dB
	하향 31 dB
링크 인접채널 보호비	상향 21 dB
	하향 15 dB

분류되며, 시스템의 사용 목적, 상업용 TV 사용자의 망 요구 사항, 기타 서비스와의 호환성 및 향후 시스템 진화 방향 등에 의해 다중화 방식을 결정하게 된다. 무궁화 위성방송 시스템은 위성체의 활용도, 송·수신기의 복잡도 및 고선명 TV 위성방송과의 호환성 등을 고려하여 TDM 방식을 사용한다.

디지털 TV 신호를 위성 전송하기 위한 변·복조 방식의 선택에서는 먼저 위성체의 특성이 고려되어야 한다. 위성체는 대역 제한에 따른 주파수 효율보다는 송신 전력의 제한에 따른 전력 이용 효율이 우선 고려되어야 한다. 또한, 위성체의 TWT(Traveling Wave Tube) 증폭기의 비선형 특성으로 인하여 전송신호의 심각한 왜곡을 발생시켜 심볼간 간섭 현상을 일으키므로 이 영향을 고려한 변·복조 방식이 요구된다⁽⁶⁾. 아울러 위성방송은 다수의 수신자에게 방송 신호를 제공하여야 하므로 비교적 구현이 간단한 복조 방식을 선택하는 경제적인 면도 중요한 고려 사항이다. 따라서, 이와 같은 특성을 고려하여 전력 효율이 우수하고 하드웨어 구현성이 비교적 간단한 동기식-4상 위상변조(Coherent-QPSK) 방식을 선택한다⁽⁶⁾.

위성 채널에서 발생하는 채널 오류에는 랜덤오류(Random Error)와 연접오류(Burst Error)로 구분

표 2. 디지털 위성방송 시스템의 전송 방식
Table 2. Transmission specifications for digital DBS system.

항 목	특 성 값
변조방식	Coherent-QPSK
오류정정부호방식	안쪽부호:부호율 7/8, 소거식 길쌈부호 3비트 연관정 Viterbi 복호 바깥부호:Reed-Solomin
BER 목표치	10^{-11}
정보 속도 (다중화 후)	34.353 Mb/s
전송 속도 (채널 부호화 후)	42.6 Mb/s
나이퀴스트 심볼 대역폭	21.3 MHz
대역 점유율	106.5%
roll-off	0.35
Ideal E_b/N_0	6.4 dB
Ideal C/N	8.5 dB

할 수 있으며, 디지털 위성방송 시스템에는 채널오류에 대해 적절한 C/N에서 QEF(Quasi Error Free)값, 즉, 10^{-11} 인 BER을 갖도록 하기 위해 오류 정정 능력이 우수한 채널 부호 및 복호 방식을 사용한다. 랜덤 및 연접오류 특성을 가지는 채널에 사용하기 위한 채널 부호는 연접오류 정정 능력이 우수한 리드-솔로몬 부호(Reed-Solomon Code)와 램덤오류 정정 능력이 우수한 길쌈부호(Convolutional Code)를 직렬로 연결한 복합부호(Concatenated Code) 방식을 사용한다. 또한, 오류정정 능력을 향상시키기 위해 연접오류를 랜덤 형태로 분산시켜 주는 효과를 갖는 깊이 12의 길쌈 인터리브(Convolutional Interleaver)를 사용한다⁽⁷⁾⁽⁸⁾. 표 2는 디지털 위성방송 시스템의 전송 방식을 나타내고 있다.

3. 디지털 위성방송 시스템 파라미터

디지털 위성방송 시스템은 송신 지구국, 위성체 및 수신기로 구분되며, 각각의 파라미터 값과 전송 채널의 특성을 이용하여 송신 지구국에서 위성체까지의 상향 링크와 위성체에서 지상 수신기까지의 하향 링크가 설계된다. 각 부분에 대한 주요 파라미터를 살펴보면 다음과 같다.

o 디지털 위성방송 시스템의 품질 목표

디지털 위성방송은 임계치 C/N 이상에서는 일정한 수신 품질을 보장하고 있다. 아날로그 방식의 위성방송에서는 목표 품질에 대한 국제적인 기준이 제시되고 있으나, 디지털 위성방송의 경우에는 국제적인 기준이 설정되어 있지 않다. 그러나, 유럽의 디지털 비디오 방송(DVB) 기격⁽⁷⁾에서는 수신부의 채널 복호기 출력단에서 BER을 기준으로 10⁻¹¹ 값을 수신 품질 목표로 설정하고 있다. 이러한 수신 품질 목표는 수신 품질 측정의 절대평가 기준인 국제전기통신연합(ITU-R) 권고안 500 및 권고안 562 절대 평가의 5 등급 중 4.5 등급 이상의 양호한 품질을 제공할 수 있다. 따라서 본 논문에서도 이를 기준 목표로 하여 강우 감쇄에 따른 시스템 가용도를 상향 링크의 경우 최악일 99.97 % 로, 하향 링크의 경우 99 % 로 가정하여 요구 E_b/N₀(Required E_b/N₀)를 설정한다.

o 위치 파라미터

사용 주파수와 송신 지구국의 위치를 우리나라의 서울을 기준으로 하고, 위성체 송신 안테나의 3 dB 점인 신호를 수신기의 위치로 설정하여 한국이 ITU에 등록된 서비스 범 커버리지 영역을 수신 영역의 한계 영역으로 한다. 이에 따른 위치 파라미터의 값은 표 3과 같다. 여기서, 송신 지구국 또는 수신기와 위성체간의 거리(Slant Range) D는 식 (1)과 같이 송신 지구국 및 수신기의 위치 파라미터를 이용하여 구할 수 있다⁽⁴⁾.

$$D = \sqrt{R^2 + 2(R+H)(1 - \cos \theta \cos \phi)} \quad (1)$$

여기서, R : 지구 반경 = 6378.16 km

H : 정지궤도위성과 적도사이의 거리 = 35,786.30 km

θ : 위성 경도 - 송신 지구국(또는 수신기) 경도 (degree)

φ : 송신 지구국(또는 수신기) 위도 (degree)

또한, 송신 신호가 전파하는 상향 링크의 자유 공간에서의 전파 손실과 위성체에서 수신기로 전송되는 하향 링크의 자유공간 손실, FSL은 식 (2)를 이용하여 구한다⁽⁴⁾.

$$FSL = 20 \log\left(\frac{4\pi}{c}\right) + 20 \log(F) + 20 \log(D) \quad (2)$$

여기서, F : 상향(또는 하향) 링크 주파수 (MHz)

c : 광속 = 3×10⁸ m/sec

o 위성 파라미터

무궁화 위성 중계기의 반송파 대 잡음 온도비(C/T)와 빔 영역 한계점에서의 포화 등가 방사 전력(Saturated EIRP (EOC))은 위성체의 파라미터를 이용하여 구할 수 있다⁽⁴⁾. 즉, 위성체의 C/T_{satellite}는

$$C/T_{\text{satellite}} = SFD_{\text{minimum}} + G/T_{\text{satellite}} - G(1\text{m}^2) \quad (3)$$

여기서, SFD_{minimum} : 위성체의 SFD 최소값

G/T_{satellite} : 위성체의 G/T

$$G(1\text{m}^2) : 1\text{m}^2 \text{ 안테나 이득} = 10 \log\left(\frac{4\pi}{\lambda^2}\right)$$

$$\lambda_{\text{feeder-link}} = \frac{1}{f_{\text{feeder-link}}}$$

표 3. 송신 지구국 및 수신기 위치 파라미터에 대한 값
Table 3. Values of feeder station and receiver site parameter.

항 목	특 성 값
RF 주파수	
상향 링크	14.65 GHz
하향 링크	11.85 GHz
위성 위치	
위성	Koreast
위성 경도	동경 116°
송신 지구국 위치 : 서울	
송신 지구국 경도	동경 127.03°
송신 지구국 위도	북위 37.59°
송신 지구국 고도	100 m
G/T _{transmit site} -G/T(EOC)	2 dB
송신 지구국 Slant Range	37,419.18 km
송신 지구국 양각	44.9°
송신 지구국 방위각 오프셋	17.7°
상향 링크 자유공간 손실	207.2 dB
수신기 위치:신포	
수신기 경도	동경 128.20°
수신기 위도	북위 40.10°
수신기 고도	100 m
EIRP _{receiver} -EIRP(EOC)	0 dB
수신기 Slant Range	37,635 km
수신기 양각	41.9°
수신기 방위각 오프셋	18.6°
하향 링크 자유공간 손실	205.4 dB

여기서 $f_{feeder-link}$: 상향 링크의 전송 주파수
 이다. 또한, 빔 영역 한계점에서의 포화 증가 방사 전력, EIRP(EOC)는 식 (4)와 같다⁽⁴⁾.

$$EIRP(EOC) = 10 \log(P_{satellite}) + G_{satellite} - \lambda_{satellite} \quad (4)$$

여기서, 위성 TWT 전력 : $P_{satellite} = 120 \text{ W}$
 위성 안테나 이득 : $G_{satellite} = 40.79 \text{ dB}$
 위성 전송 feed 손실 : $\lambda_{satellite} = 2 \text{ dB}$
 위성체의 규격과 식(3), (4)에 의해 계산한 특성값을 표 4에 나타내었다.

o 송신 지구국 파라미터

송신 지구국에 설비될 송신 안테나의 직경은 6.1 m로 설정하며, 송신단과 안테나 사이의 거리(InterFacility Link)를 최대 15 m로 가정하였다. 고출력 증폭기의 출력은 한국에 허용된 상향 링크 방사 전력과 시스템 가용도를 최대한 보장하는 시스템 운용을 위하여 강우에 대비한 상향 링크 전력 조절(Uplink Power Control) 기능을 고려하여 최대 1700 W로 설계한다. 안테나의 이득 G_{Tx} 와 반 전력 대역폭 BW_{3dB} 은 안테나 효율과 안테나 직경 D 를 이용하여 구할 수 있으며,

$$G_{Tx} = 10 \log[\eta \cdot (\frac{\pi D}{\lambda})^2] \quad (5)$$

$$BW_{3dB} = 65 \frac{\lambda}{D} \quad (6)$$

여기서 η 는 안테나의 효율이며, λ 는 전송 신호의 파장을 나타낸다.

표 4. 위성 파라미터에 대한 값
 Table 4. Values for satellite parameter.

항 목	특 성 값
G/T (EOC)	12.4 dB/K
C/T	-129.4 dBW/K
가용 BW	27 MHz
최소 SFD(with ALC)	-97 dBW/m ²
최대 SFD(with ALC)	-82 dBW/m ²
최대 EIRP(EOC)	59.6 dBW
인접위성 간격	6.0°
입력 백오프	1.0 dB

송신단과 안테나 사이에는 WR75 도파관이 사용되며, 도파관에 의해 발생하는 손실 γ_{IFL} 은

$$\gamma_{IFL} = \frac{l}{100} \times \gamma_{WR75} \quad (7)$$

이며, 여기서 l 은 송신단과 안테나 사이의 거리(IFL)이며, γ_{WR75} 은 도파관 손실 계수 13 dB/100 m를 나타낸다.

또한, 송신 지구국의 송신 포화 전력 P_{sat} 에 의한 최대 증가 방사 전력 $EIRP_{Tx}$ 는 식 (8)에 의해 구할 수 있으며, 송신단과 안테나 사이에 접속되는 도파관 손실 γ_{IFL} , 망 branching 필터에 의한 손실 γ_{filter} 및 커플러(Coupler)에 의한 전력 손실 γ_{CPLR} 을 고려한다⁽⁴⁾.

$$EIRP_{Tx} = P_{sat} + G_{Tx} - \lambda_{IFL} - \lambda_{CPLR} - \lambda_{filter} \quad (8)$$

망 branching 필터 및 커플러에 대한 손실을 포함한 송신 지구국에 대한 파라미터 값들이 표 5에 나타나 있다.

o 수신기 파라미터

수신 안테나의 직경은 0.45 m로 설계하였으며, 수신기 저잡음 증폭 및 주파수 변환기(Low Noise

표 5. 송신 지구국 파라미터에 대한 값
 Table 5. Values for feeder station parameter.

항 목	특 성 값
안테나 직경	6.1 m
안테나 효율	65%
안테나 이득	57.6 dB
3dB 빔폭	0.22°
안테나 지향 손실	1 dB
IFL 도파관	WR75
최대 IFL 거리	15 m
최대 IFL 손실	1.95 dB
포화 전력	1700W 32.3 dBW
망 Branching 필터 손실	2.0 dB
Tx Coupler 손실	0.3 dB
최대 EIRP	85.6 dBW
OBO	3 dB
상향링크 전력조정(출력단)	3.7 dB

Blockconverter)의 잡음 지수는 1.5 dB로 설계하였으나, 현재 생산되고 있는 제품 중에서 성능이 우수한 것은 0.8 dB 까지 가능하다. 수신 안테나에 관련된 안테나 이득과 반 전력 대역폭은 송신 안테나 이득과 반 전력 대역폭 관련식을 이용하여 구할 수 있다. 수신기의 성능을 표시하는 잡음 지수에 따른 잡음 온도 T_{RCVR} 는 식 (9)와 같다⁽⁴⁾.

$$T_{RCVR} = 290 \left(10^{\frac{NF_{rcvr}}{10}} - 1 \right) \quad (9)$$

여기서 NF_{rcvr} 은 수신기 잡음 지수이다.

수신기 안테나 이득 대 잡음 온도 G/T 는 식 (9)에서 구한 수신기 잡음 온도와 안테나 잡음 온도 T_{ANT} , 대기 잡음 온도 T_{ATM} , 그리고 강우에 따른 잡음 온도 T_{RAIN} 를 고려하여 식 (10)을 이용하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} G/T_{(Clear\ Sky)} &= G_{RCVR} - 10 \log(T_{RCVR} + T_{ANT} + T_{ATM}) \\ G/T_{(Rain)} &= G_{RCVR} - 10 \log(T_{RCVR} + T_{ANT} + T_{RAIN}) \end{aligned} \quad (10)$$

수신기 파라미터 설정값과 파라미터 계산식에 의해 계산된 수신기 파라미터에 대한 값들이 표 6에 나타나 있다.

o 강우 특성

강우 감쇄 특성은 위성방송의 가용 시간과 관련된 사항으로, Ku 대역 사용시 신호 감쇄 정도는 대기 가스나 여러가지 잡음에 의한 영향보다 시스템 성능에 더 큰 영향을 미친다. 그러므로, 시스템의 높은 신뢰성을 확보하기 위해서는 강우에 의한 신호의 감쇄량을 정확히 예

측 분석하여야 한다. 전 세계를 몇 개의 강우 지역으로 나눌 경우 우리나라의 경우 M 지역에 속한다⁽⁵⁾. 따라서, 무궁화 위성방송 서비스에 적용된 상향 링크의 최악될 시간을 99.97 %, 하향 링크의 경우 최악될 시간을 99 %의 가용도를 보장하도록 강우 강도에 의한 서비스 신뢰성을 확보하였다.

전파가 전송로상의 강우에 의해 흡수되고 산란되어 감쇄되는 양을 계산하는 기본식은 일반적으로 식 (11)과 같이 표현된다⁽⁶⁾.

$$A(R) = aLR^b \quad (11)$$

여기서, A(R) : 강우 강도(R)로 인한 단위거리당 신호의 감쇄량(dB/km)

R : 강우 강도(mm/hr)

L : 강우 지역을 통과하는 전송로 길이(km)

a, b : 감쇄 상수

식 (11)에 제시된 여러가지 파라미터는 모델에 따라 다르게 설정되며, 위성방송 수신 지역에서 시간을 0.01 %에 대한 강우 강도를 고려하였다. 자유 공간상의 전파 전파 경로는 그림 1과 같으며, 지구곡의 위도 ϕ 에 따른 무궁화 위성방송 서비스 경로의 강우 높이 H_r 은 다음과 같이 주어진다⁽⁵⁾.

$$H_r = (0.6 + 0.02(\phi - 20)) \times (5.1 - 2.15 \log(1 + 10^{(4-2\phi/25)})) \quad (12)$$

강우 높이에서 경사-경로 길이(Slant path) $H_{slantpath}$ 는 식 (13)에서 구한다⁽⁵⁾.

$$H_{slantpath} = \frac{2(H_r - h)}{\sin \phi + \sqrt{\sin^2 \phi + \frac{2(H_r - h)}{R_e}}} \quad (13)$$

표 6. 수신기 파라미터에 대한 값
Table 6. Values for receiver parameter.

항 목	특 성 값
안테나 직경	0.45 m
안테나 효율	70%
안테나 이득	33.4 dB
3dB 빔폭	3.66°
수신기 잡음지수	1.5 dB
수신기 잡음 온도	119.6° K
수신기 G/T(clear sky)	10.9 dB/K
수신기 G/T(rain)	9.0 dB/k

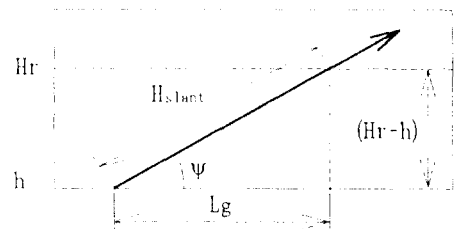


그림 1. 위성방송 전파 전파 경로
Fig. 1. Wave propagation path of DBS.

여기서, R_0 = 유효 지구 직경 = 8,500 km
 h = 지구국의 평균 해면위의 높이(km)
 ψ = 지구국 양각

또한, 경사-경로 길이의 수평 정사영, L_g 는 다음의 식 (14)에서 구하며,

$$L_g = H_{slantpath} \cos \psi \quad (14)$$

시간율 0.01 % 에 대한 보정 계수 R_{factor} 는

$$R_{factor} = 90/(90+4L_g) \quad (15)$$

이다. 따라서, 임의 시간율에 대한 강우 감쇄량을 구하기 위해, 각 강우 지역에 의한 강우 강도 및 주파수 의존 계수를 이용한 식 (16)을 이용하여 단위거리당 강우 감쇄량을 구하고, 시간율 0.01 % 에 대한 강우 감쇄량은 식 (17)을 이용하여 계산할 수 있다⁽⁵⁾.

$$\gamma = k(\text{Site Rain Rate}) \quad (16)$$

여기서, Site Rain Rate : 지구국이 속하는 강우 지역의 0.01% 강우율

$k = 0.0327, \alpha = 1.149$: 상향 링크
 $k = 0.0202, \alpha = 1.198$: 하향 링크

$$A_{0.01} = \gamma H_{slantpath} R_{factor} \quad (17)$$

시간율에 따른 감쇄량 즉, 시간율 1 %에 대한 상향 링크 및 하향 링크의 강우 감쇄는 식 (17)의 계수를 고려하여 식 (18a)과 같이 구할 수 있을 뿐만 아니라, 임의의 시간율 즉, 0.01 %에서 1 %를 초과하는 감쇄는 시간율 0.01 %의 감쇄량으로 부터 식 (18b)와 같이 구할 수 있다⁽⁵⁾.

$$0.223 \gamma_{feederlink} H_{slantpath} R_{factor} : \text{상향 링크 1\% 강우 감쇄}$$

$$0.21 \gamma_{downlink} H_{slantpath} R_{factor} : \text{하향 링크 1\% 강우 감쇄} \quad (18a)$$

$$\frac{(feeder \ link \ 1\% \ rain \ loss)}{0.223} \times 0.12 \mu^{(0.546-0.9431 \log \mu)} : \text{임의의 시간율에 대한 강우 감쇄} \quad (18b)$$

여기서, $\gamma_{feederlink}$: 상향 링크의 단위 거리당 강우 감쇄량

$\gamma_{downlink}$: 하향 링크의 단위 거리당 강우 감쇄량

$$\mu = 0.3 \times (unavailability)^{1.15}$$

unavailability : 상향 링크의 최악월(worst month)의 불가용도

또한, 강우 감쇄에 따른 상향 링크의 연중 불가용도는

다음 식에서 구할 수 있다.

$$annual \ unavailability = \frac{\mu}{100} \times 365.25 \times 24 \times 60 \quad (19)$$

강우 감쇄 특성 관련 식들을 적용한 무궁화 위성방송 서비스에 대한 강우 감쇄 파라미터 값들은 표 7에 나타나 있다.

o 채널 간섭

인접 및 동일 채널로부터 희망 채널에 미치는 간섭 영향은 반송파 대 간섭비(C/I)로 나타내며 이는 WARC-'77 및 '88의 기술 기준⁽⁵⁾에 의한 채널 간섭 보호비를 기준으로 한다. 즉, 무궁화 방송위성 서비스의 상향 링크 및 하향 링크의 동일 채널 간섭 보호비는 송신 지구국의 최대 EIRP인 82 dBW를 사용하고, 위성체의 최대 EIRP는 ITU-R에 등록된 63.6 dBW를 사용할 경우를 규정하였으므로 이를 그대로 적용한다. 또한, 인접 채널 간섭도 동일 채널 간섭과 동일하게 적용한다. 따라서, 동일 채널 및 인접 채널에 대한 간섭 특성은 식 (20), (21)을 이용하여 구할 수 있다⁽⁹⁾.

동일 채널 간섭 :

$$\begin{aligned} \text{상향 링크} &: PR + EIRP_{feederlink} - OBO_{3dB+UPC} - EIRP_{interference} \\ \text{하향 링크} &: PR + EIRP_{satellite} - OBO_{sat} - EIRP_{interference} \quad (20) \end{aligned}$$

인접 채널 간섭 :

$$\begin{aligned} \text{상향 링크} &: PR + \frac{C}{U_{orcvr}} + EIRP_{feederlink} - OBO_{3dB+UPC} \\ &\quad - EIRP_{interference} \\ \text{하향 링크} &: PR + \frac{C}{U_{orcvr}} + EIRP_{satellite} - OBO_{sat} \\ &\quad - EIRP_{interference} \quad (21) \end{aligned}$$

여기서, PR : 간섭 보호비

$EIRP_{feederlink}$: 희망 상향 링크 최대 EIRP

$OBO_{3dB+UPC}$: UPC 를 포함한 희망상향 링크에 대한 출력 백오프

$EIRP_{interference}$: 간섭 신호의 최대 허용 EIRP

- 상향 링크 상의 간섭 지구국의 EIRP는 82 dBW

- 하향 링크 상의 간섭 위성의 EIRP는 63.6 dBW

$EIRP_{satellite}$: 희망 위성의 최대 빔 중심 EIRP

OBO_{sat} : 희망 위성의 OBO

$\frac{C}{U_{orcvr}}$: 수신기 정합필터 뒷단에서의 C/I.

표 7. 강우 감쇄 특성에 대한 값
Table 7. Values for rain attenuation.

항 목	특 성 값
Rain Region	M
0.01% 강우율	63 mm/hr
가용 한계	최악월 1%
상향 링크 1% 강우 감쇄	3.74 dB
하향 링크 1% 강우 감쇄	2.80 dB
상향 링크 최악월	0.03%
상향 링크 강우 감쇄	20.97 dB
Clouds 잡음온도	133° K
Rain 잡음온도	124° K
Clear sky 잡음온도	27° K

표 8. ACI와 CCI에 대한 C/I 값
Table 8. Values for C/I.

항 목	특 성 값
동일채널	
상향 링크 CCI (clear sky)	36.9 dB
하향 링크 CCI (clear sky)	30.0 dB
인접 채널	
상향 링크 ACI (clear sky)	28.4 dB
하향 링크 ACI (clear sky)	24.5 dB

표 9. 상향 링크의 링크 설계
Table 9. Link budget for Feeder link.

	Clear Sky	Rain	
		(1% of w.m)	(0.03% of w.m)
Tx Saturated Power	32.3 dBW	32.3 dBW	32.3 dBW
Tx OBO (Modulated cxr)	-3.0 dB	-3.0 dB	-3.0 dB
Tx IFL loss	-2.0 dB	-2.0 dB	-2.0 dB
Net. Branching filter loss	-2.0 dB	-2.0 dB	-2.0 dB
Tx Coupler loss	-0.3 dB	-0.3 dB	-0.3 dB
Uplink Power Control	-3.7 dB	0.0 dB	0.0 dB
Tx Antenna gain	57.6 dB	57.6 dB	57.6 dB
EIRP	78.9 dBW	82.6 dBW	82.6 dBW
Ant. Pointing Loss	-1.0 dB	-1.0 dB	-1.0 dB
Free Space Loss	-207.2 dB	-207.2 dB	-207.2 dB
Atmospheric Absorption	-0.40 dB	-0.40 dB	-0.40 dB
Rain Loss		-3.70 dB	-21.0 dB
Satellite G/T	14.4 dB/K	14.4 dB/K	14.4 dB/K
Carrier C/T	-115.3 dBW/K	-115.4 dBW/K	-132.6 dBW/K
Satellite C/T	-129.4 dBW/K	-129.4 dBW/K	-129.4 dBW/K
ALC Attenuation	14.0 dB	14.0 dB	0.0 dB
Input Back Off	1.0 dB	1.0 dB	4.2 dB
C/No (Thermal)	113.3 dB-Hz	113.2 dB-Hz	96.0 dB-Hz
C/N (Thermal)	40.0 dB	39.9 dB	22.7 dB
Interference			
CCI		36.9 dB	
ACI		28.4 dB	
C/(N+I) of 99% w.m		27.6 dB	

표 10. 하향 링크의 링크 설계
Table 10. Link budget for down link.

	Clear Sky	Rain(1% of worst month)
Tx Saturated EIRP	59.6 dBW	59.6 dB
Tx OBO (Modulated Cxr)	-0.6 dB	-0.6 dB
EIRP	9.0 dBW	59.0 dBW
Ant. Pointing Loss	-0.5 dB	-0.5 dB
Free Space Loss	-205.4 dB	-205.4 dB
Atmospheric Absorption	-0.15 dB	-0.15 dB
Rain Loss		-2.8 dB
Terminal G/T	10.9 dB/K	9.0 dB/K
Rx Carrier C/T	-136.2 dBW/K	-140.9 dBW/K
C/No (Thermal)	92.4 dB-Hz	87.7 dB-Hz
C/N (Thermal)	19.1 dB	14.4 dB
Interference		
CCI		30.0 dB
ACI		24.5 dB
Total link C/No	92.3 dB-Hz	87.7 dB-Hz
Total link C/N	19.0 dB	14.4 dB
99% Downlink C/N		14.4 dB
Uplink impairment margin		0.5 dB
99% w.m Link C/N		13.9 dB
99% w.m Link C/(N+I)		13.3 dB
Required C/N	8.5 dB	
Margin Allocations:		
Uplink HPA ISI	0.5 dB	
Satellite IMUX/OMUX ISI	1.2 dB	
Satellite HPA ISI	0.8 dB	
	1.3 dB	
Phase Noise	0.2 dB	
Modem	1.5 dB	
Total Margin Allocations(RSS)	3.3 dB (Root Sum Square)	
Link Threshold	11.8 dB	
Excess Margin (Clear Sky)	7.3 dB	
Excess Margin (Rain)	1.5 dB	

표 8은 인접 채널 및 동일 채널에 대한 채널 간섭 보 호비를 요약한 것이다.

III. 링크 설계 및 분석

본 장에서는 제 II 장에서 제시한 파라미터를 이용하여 무궁화 위성을 이용한 디지털 위성방송 시스템의 링크를 설계한다. 링크 설계 절차는 설정된 위성체와 송신 지구국의 제원 그리고 전송 특성을 이용하여 공간상의 각종 손실 및 잡음 등에 따라 상향 링크와 하향 링크별

로 나누어 설계하며, 링크 마진이 0 이상이 되도록 파라 미터를 설정한다. 상향 링크와 하향 링크를 설계한 결과는 표 9와 표 10과 같다.

1. 상향 링크

상향 링크의 경우 강우에 대한 감쇄 영향을 최소화하기 위해서 상향 링크 전력 조정(Uplink Power Control) 기능을 사용하여 우리나라에 할당된 최대 EIRP의 사용이 가능하도록 설정한다. 이 경우 강우 감 쇠에 의한 시간율은 최악일 기준 99.97 %까지 보상 가

표 11. 시스템 마진
Table 11. System margins.

항 목	특 성 값
송신 지구국 HPA ISI 마진	0.5 dB
위상 잡음 마진	0.2 dB
중계기 IMUX/OMUX	1.2 dB
중계기 HPA ISI	0.8 dB
총 마진 (RSS)	1.8 dB
모뎀 마진	1.5 dB

능하도록 설계되었다.

2. 하향 링크

하향 링크의 경우 시간율을 최악월 99 %를 기준으로 설계하며, 링크 마진은 이론적인 C/N을 기준으로 하여 신호 열화에 대한 마진을 포함한 요구 C/N을 설정하고, 전체 시스템의 링크 해석을 통해 얻은 결과를 비교하여 구하며, 그 값은 맑은 날의 경우 7.3 dB, 강우 시 1.5 dB를 나타낸다.

o 시스템 마진

위에서 제시된 디지털 위성 방송 시스템을 구현할 경우 나타나게 될 마진을 표 11에 나타내었다. 이는 고출력 증폭기를 사용함에 따른 비선형 영향과 대역 제한에 대한 신호의 열화 그리고 실제 시스템을 구현할 경우 발생하는 모뎀의 구현 마진을 포함한다.

o 하향 링크 OBO(Output Back Off)

무궁화 위성에 사용된 고출력 증폭기의 비선형성 전달 함수의 계수를 고려한 비선형 특성은 다음과 같은 식 (22)로 나타내었다. 고출력 증폭기의 AM/AM 특성에서 4상 위상 변조된 신호의 변조에 따른 전력 감축 (Modulation Suppression) 및 고출력 증폭기의 입력 백오프(Back Off)를 고려한다.

$$8.5-(16-IBO)+0.003345(16-IBO)^3+5.91516 \cdot 10^{-6}(16-IBO)^5+\Gamma \quad (22)$$

여기서, Γ : 변조에 따른 전력 감축 (Modulation

표 12. 우리나라의 수신 지역별 위치에 따른 링크 마진
Table 12. Link excess margins for receiver sites.

수신기 위치	링크 마진 (dB)		수신 지역 및 수신기 조건	
	맑은 날	99% 최악월		
신포	7.3	1.5	경도:동경 128.2° 위도:북위 40.1°	잡음지수:1.5 dB 안테나 효율:70%
서울	9.3	3.4	경도:동경 127.03° 위도:북위 37.59°	잡음지수:1.5 dB 안테나 효율:70%
제주	8.4	3.0	경도:동경 126.37° 위도:북위 33.26°	잡음지수:1.5 dB 안테나 효율:70%
제주	10.4	4.1	경도:동경 126.37° 위도:북위 33.26°	잡음지수:0.8 dB 안테나 효율:73%

Suppression) = 0.3 dB

IBO : 위성체의 입력 백오프

3. 링크 분석

무궁화 위성을 이용한 디지털 위성방송서비스는 한반도 및 인접국을 서비스영역으로 할 수 있으며, 본 링크 설계에는 위성체 송신 안테나의 반전력 빔폭인 신포 지역을 수신기 기준점으로 설정하여 분석하였다. 수신기 위치를 신포로 하였을 경우에는 맑은날 일경우, 7.3 dB의 링크 마진이 있으며, 또한 강우시에는 1.5 dB의 링크 마진을 갖는 시스템 설계로서, 직경 45Cm 크기를 갖는 수신 안테나를 사용하여 최악월 99%의 시간율에서 안정된 방송서비스를 수신할 수 있다. 또한, 상향 링크의 가용도는 최악월 99.97%의 시간율을 유지하며, 이에 대한 상향 링크의 연중 불 가용 시간은 28분 정도로 최대한의 시스템 가용도를 보장하고 있다. 또한, 우리나라의 여러 수신 지역에 따른 링크 분석과 잡음 지수가 향상된 수신기를 사용할 때의 링크 분석을 하였으며, 이에 대한 링크 분석 결과인 링크 마진은 표 12와 같다. 국내의 수신 지역에서는 최악월 99%의 시간율에 3dB 이상의 링크 마진을 갖고 있으므로 45Cm 보다 더 작은 수신 안테나를 사용하여도 고품질의 위성방송을 수신할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문은 무궁화 위성방송 중계기의 제원과 국제무선

통신 규칙에서 정하고 있는 기술기준을 바탕으로 무궁화 위성을 이용한 디지털 위성방송 시스템에 대한 링크를 설계한 결과를 제시한다. 시간율은 하향 링크에서 최악 월 99 %로 설정하였으며 송신 지구국의 경우 안테나의 크기를 6.1 m로 가정하였고 강우에 의한 감쇄 보상으로 UPC를 고려하였다. 수신기의 안테나 크기를 0.45 m로 설정 하였다. 위성체의 비선형 특성에 대해서는 신호의 전체 열화 정도를 감안하여 0.6 dB의 OBO를 설정하였고, 시스템의 마진은 고출력 증폭기를 사용함에 따른 비선형성 영향과 대역 제한에 대한 신호의 열화, 그리고 실제 시스템을 구현할 경우 발생하는 모델의 구현 마진이 포함하고 있다. 이와 같은 값을 기준으로 하여 무궁화 위성을 이용한 디지털 위성방송 시스템의 링크 설계시의 마진은 맑은 날 7.3 dB 그리고, 강우 시에는 1.5 dB의 값을 가지도록 설계되었다. 여기서, 수신기의 경우 본 링크 설계에서는 LNB의 잡음 지수를 1.5 dB로 설계하였으나 제조 기술의 발달로 인해 0.8 dB의 제품까지 생산되고 있으므로, 디지털 위성방송 시스템의 링크 마진은 더 큰 값을 가지고 서비스할 수 있으리라 생각된다.

참고문헌

1. N. Kawai, E. Nakasu, T. Yosimura and A. Ohaya, "ISDB transmission system in the 12 GHz band digital satellite broadcasting", *NAB 1992 Broadcast Engineering Conference Proceedings*, pp. 43-51, Apr. 1992.
2. M. Cominetti, A. Morello and M. Visintin,

"Digital multi-programme TV/HDTV by satellite", *EBU Technical Review*, no. 256, pp.30-46, Summer, 1993.

3. R. De Gaudenzi, C. Elia and R. Viola, "Analysis of satellite broadcasting systems for digital television", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 11, no. 1, pp.99-110, Jan. 1993.
4. Tri T. Ha, *Digital Satellite Communications*, 2nd edition, McGraw-Hill Company, 1990.
5. ITU, *Radio Regulation*, Appendix 30A, ITU, Geneva, 1990.
6. Kamilo Feher, *Digital Communications : Satellite/Earth Station Engineering*, Prentice Hall, NJ, 1983.
7. DVBP, "Baseline Specification for the European System for broadcasting digital television, sound, and data services by satellite in the 11/12 GHz bands, and the CATV cable and SMATV distribution of corresponding digital services", *DVB Report*, Mar. 2, 1994.
8. 정보통신부 고시 제1995-79호, 디지털 텔레비전 위성방송에 관한 송신의 표준방식 관련 기술 기준, 관보 제 13012호, 1995. 5. 13.
9. Young Wan Kim, Dae-Seong Kang, Hyeon Ho Jeon, "The Characteristics of HDTV Transmission Channel via KOREASAT", *ICEIC'95*, pp. II 139-142, Aug. 1995.



金 英 完(Young Wan Kim) 정회원

1961년 6월 14일생
1983년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1985년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1984년 12월~1990년 10월 : 동양정밀공업(주) 근무
1990년 10월~1992년 11월 : 유영통신(주) 근무
1992년 4월~1992년 10월 : 한국과학기술연구원 부설 시스템공학연구소 위촉연구원
1992년 11월~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
*주관심 분야 : 마이크로웨이브 디바이스, 디지털 통신, 위성통신분야



李 壽 寅(Soo In Lee) 정회원

1962년 2월 16일생
1985년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1989년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1989년 3월~현재 : 경북대학교 전자공학과 박사과정 재학중
1985년 2월~1986년 3월 : 삼성반도체통신(주) 근무
1989년 3월~1989년 12월 : 한국전력공사 근무
1990년 2월~현재 : 한국전자통신연구소 선임연구원
*주관심 분야 : 채널 코딩, 디지털 통신 시스템, 위성통신, 이동통신 등임



宋 潤 政(Yoon Jeng Song) 정회원

1964년 11월 24일생
1987년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1990년 8월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1994년 10월~1995년 9월 : Columbia University 교환연구원
1990년 7월~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
*주관심 분야 : 패턴 인식, 디지털 위성통신



蔡 宗 錫(Jong Suk Chae) 정회원

1977년 2월 : 한국항공대학 전자공학과 졸업(공학사)
1979년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1989년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1979년 3월~1983년 3월 : 국방과학연구소 레이더 연구실 근무
1983년 3월~1984년 3월 : 금성정밀 중앙연구소 근무(기좌)
1985년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 근무중(실장)
*주관심 분야 : 디지털 위성통신, 디지털 위성방송