

강우 감쇠가 존재하는 위성 방송 시스템의 성능 개선

Performance Improvement of Satellite Broadcasting System in Rain Attenuation

강희조*

Heau-Jo Kang*

요 약

본 논문에서는 위성통신을 이용한 방송 및 디지털 멀티미디어 서비스의 요구증대를 앞두고 20 GHz 이상의 높은 주파수 대역의 강우에 의한 전파 손실 예측 모델을 제안하고 강우량에 따른 감쇠 정도를 기존의 모델과 비교 분석 하였다. 본 논문에서는 Ka 대역에서 강우 감쇠 특성에서 이론치와 실험치가 접근함을 보이고 강우감쇠에 효과적인 기법을 제안하여 적응변조 시스템의 성능을 분석하였다. 제안 예측모델에서는 강우 강도를 기준으로 위성링크 설계를 위한 안테나 크기, 시스템의 불작동을 등에 대한 기본 자료를 Ka 대역 위성통신 시스템의 원활한 운영을 위해 제공한다.

Abstract

The demand for digital multimedia service using Ka band satellite communication are growing rapidly. So, in this paper, we have analyzed rain attenuation with typical model, and proposed prediction model of rain attenuation in high frequency(20 GHz). This paper illustrates Korea rain attenuation characteristics at the Ka band Koreasat beacon frequency based on the theoretical and empirical approaches and seek for efficient techniques by rain attenuation estimate and analyzed performance of adaptive modulation system. Propose prediction model of rain attenuation and parameter of satellite link can be available for the Ka band satellite communication.

Key words : Satellite Communication, Digital Multimedia Broadcasting, Rain Attenuation, Adaptive Modulation

I. 서 론

정보화 사회의 확산과 급변하는 디지털 환경 속에서 방송·통신 융합 현상이 두드러짐에 따라 HDTV, DMB(Digital Multimedia Broadcasting), D-TV 등의 멀티미디어 통신, 초고속 인터넷, 위성을 이용한 무선 인터넷 서비스 수요의 증가로 유무선 통신로 확보가 세계적 문제로 제기 되고 있다. 특히 이동

통신 서비스와 멀티미디어 통신 서비스 욕구로 기존의 무선 채널 포화 현상은 심각한 수준이다. 따라서 통신 선진국들은 높은 주파수를 이용한 위성 방송 및 위성 통신 서비스에 연구를 집중하고 있다[1].

위성 방송 및 위성 통신은 서비스 지역의 광역성, 동보성, 회선 설정의 유연성, 신속성 및 내재해성 등의 장점으로 국가 차원의 위성 통신망이 요구되고 있고 초고속의 광대역 통신을 위해 높은 주파수(Ka)

* 목원대학교 컴퓨터공학부(Division of Computer Engineering, Mokwon University)

· 제1저자 (First Author) : 강희조

· 접수일자 : 2006년 9월 4일

대역의 위성통신망이 필요하게 되었다. Ka 대역으로 운용되는 지상 및 위성 무선 전송 시스템의 경우, 희소성에 따른 간섭문제 해결, 단말기의 소형화 가능, 시스템의 광대역화를 통한 대용량 시스템 구축 가능 등 여러 장점을 가지고 있으나 강우를 포함한 대기 중의 산란 및 흡수에 의해 신호의 감쇠 및 편파 열화가 심각하여 시스템의 안정적인 운용에 제약을 가지고 올 것으로 예측된다[2],[3].

위성 디지털 멀티미디어 방송 DMB은 국내 방송 시장과 국내 산업에 엄청난 파급 효과를 가져올 것으로 예측되며 정보화 사회의 또 다른 변화를 예고하고 있다. 이러한 위성 방송 시스템은 위성 통신 경로의 영향을 받으며 특히 강우에 심각한 열화 특성을 나타낸다.

위성을 이용한 고속 고품질 서비스 제공을 위한 통신 시스템은 현재 이용되고 있는 Ku 대역의 주파수보다 높은 Ka 대역 이상의 주파수 사용이 고려되고 있다. Ka 대역 이상의 주파수를 이용한 디지털 위성 방송을 고려할 경우 다른 대역에 비해 강우에 의한 신호 감쇠가 심각하게 발생하므로 강우 감쇠에 능동적으로 대처하기 위한 보상 기법에 대한 연구와 대비가 필요한 실정이다. 또한 최근 폭우의 발생율이 증가하고 위성 방송을 재난 방송으로 이용하려는 움직임은 위성 통신 시스템의 안정화와 성능 개선을 요구하고 있으며 따라서 강우량에 따른 위성 방송 시스템의 열화 정도를 분석하고 이에 대한 기술적인 대책이 필요한 실정이다.

본 논문에서는 Ka 대역의 강우감쇠에 따른 실측 자료를 토대로 성능 열화 정도를 분석하고 강우감쇠 예측에 따른 효율적 운용 방안을 모색하고 보상기법 중의 하나인 적응형 변조방식을 고려한 시스템 성능을 분석한다.

II. 위성 통신 경로의 전파 환경

약 30 MHz 이상의 전리층 침투 주파수를 이용하는 위성 통신은 낮은 대기 혹은 대류권 내의 가스 입자 특히 산소 및 수증기 입자가 에너지를 흡수하는 주파수대 이하에서는 방해없이 전송될 것이다. 무선 주파수와 대기 가스의 상호작용이 특별히 심한

어떤 특정 흡수 대역에서 위성통신은 매우 제한적이다. 실제로 위성 통신은 이러한 흡수 대역 사이에 존재하는 전파의 창에서 개발되었으며, 여기서의 주요 관심사도 이러한 창에서의 감쇠를 유발하는 전파전파 요인들이며, 현재의 위성 통신 기술 추세에 비추어 10 GHz 주파수를 고려 대상으로 한다. 약 100 GHz까지 전파의 창에서 운용되는 위성 통신에 영향을 주는 주요 전파전파 요인들은 다음과 같다[4]-[6].

2-1 대기 가스 흡수

지구 대기를 형성하고 있는 가스들은 여러 구성요소가 복합되어 전자파와 상호 작용을 일으키나, 무선 주파수에 대해서는 단지 산소와 수증기 입자만이 전파 흡수를 유발시킨다. 주요 흡수 대역으로 3개의 대역이 존재하며, 22.2 GHz(수증기), 60 GHz(산소), 118.8 GHz(산소)를 중심 주파수로 하는 대역이다. 산소 분자의 영구 자기 모멘트는 전파의 자기장과 상호작용을 일으키며, 수증기분자의 전기 쌍극자는 전파의 전기장과 상호작용을 일으킨다. 이러한 상호작용으로 분자의 회전 에너지 레벨이 변화하고 전파로부터 에너지를 흡수하게 된다.

2-2 편파열화

강우나 얼음 결정으로 대표되는 강수 입자와 다중경로 전파의 두 가지 원인에서 발생한다. 다중경로 전파에 의해 발생하는 편파열화는 일반적으로 지상 무선링크에 한정되어 있으므로, 위성-지구 경로 간에서 주된 교차편파 원인은 강우라 할 수 있다. 편파열화의 특성은 전송로 상의 불균일 매질에 좌우되며, 이러한 매질로부터 받는 감쇠량이나 위상 변화에 따라 다르게 나타난다.

2-3 대기 잡음

대기 잡음의 증가로 인한 시스템 성능의 영향은 하향링크의 C/N을 떨어뜨린다는 것이며, 이것은 하향링크의 진폭 감쇠와 동일한 효과를 준다. 그렇지만 대기 잡음의 증가는 부가적으로 일어나는 것이므로 그 효과의 크기는 대기 잡음이 없을

경우의 지구국 잡음온도에 의존한다.

2-4. 굴절지수의 변화효과

대기의 굴절을 구조에 대한 소규모 불균일성에 의해 일어나는 효과로는 파면(wave-front)의 불일치에서 기인한 안테나 이득의 감소, 위상이나 진폭의 빠른 변화로 알려진 대기 신틸레이션 현상 등이 있다. 대기 굴절율의 불균일성에서 기인하는 수신안테나에서 입사파의 파면 불일치 현상은 안테나 유효 이득의 감소로 해석할 수 있는 안테나-매질간의 결합손실을 제공할 수 있으며 대기 신틸레이션의 경우, 대기의 다중 경로 페이딩으로 불리워지며 고도상으로 수 km내에서 생성되므로 10도 이하의 낮은 양각에서 중요한 신호 변동의 요소가 된다.

III. 위성통신 경로의 강우 감쇠

3-1 강우 감쇠 예측을 위한 요소 파라미터 분석

Olsen에 의해 강우로 인한 특정감쇠(specific attenuation : 단위 길이당 감쇠량을 나타내는 것으로써 단위는 dB/km이며 이하 감쇠계수라 표기함) 추정식이 단순화된 이후 가장 보편적으로 이용되는 수식이다[7].

$$A = aR^b L_e \quad (1)$$

여기서, a 와 b 는 빗방울의 온도, 주파수, 편파, 빗방울 입자의 크기 분포 등에 의존하는 상수이며, R 은 표면 강우강도[mm/hr]이다. 또한 L_e 는 유효 강우경로 길이(km)로써, 표면 강우강도가 경로 전체에 대해 일정하게 내리는 것으로 가정하는 가상의 경로 길이를 나타낸다.

식(1)에 의해 강우감쇠 예측 모델링의 기본적인 절차를 알 수 있으며, 이것은 그림 1과 같이 이론적 요소, 통계적 요소, 실험적 요소의 세 가지로 대별할 수 있다. 또한, 그림 2에서는 이상의 요소를 획득하

기 위한 세부적인 절차를 나타내었다.

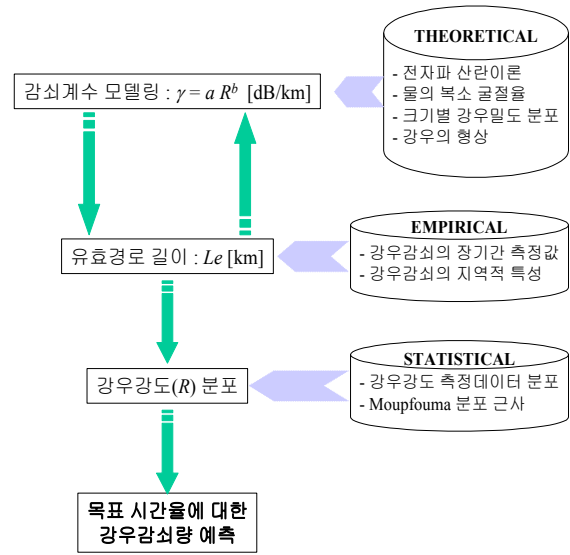


그림 1. 강우감쇠 예측 요소 및 절차
Fig. 1. Prediction parameter of rain attenuation and procedure.

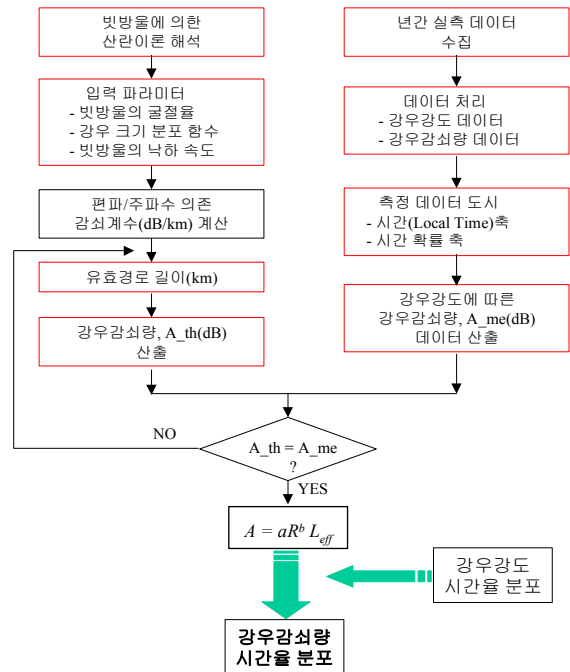


그림 2. 강우 감쇠 예측을 위한 세부 절차
Fig. 2. Prediction for rain attenuation details procedure.

3-2 국내 강우 환경에 적합한 강우 감쇠 예측 기술

위성 통신을 위한 강우 감쇠에 대한 연구는 꾸준

히 진행되어 왔으며 여러 종류의 강우 감쇠 예측 모델이 발표되었으나, 대부분 국내 환경이 아닌 외국의 강우 환경을 토대로 개발 및 제안된 모델들이기 때문에 국내 환경에 직접 적용하기가 어렵다. 지금까지 국내 지역을 대상으로 강우 감쇠 예측 방법을 제안한 예는 한국전자통신연구원에서 무궁화 위성 비콘 신호(12.25 GHz)를 이용한 강우 감쇠량 예측 연구가 유일하다. 동 연구의 결과, 국내 위성 통신 경로에 적용될 수 있는 강우 감쇠 예측 모델을 다음과 같이 제안되었다[8].

1) 감쇠계수 예측

강우 감쇠를 위한 감쇠계수는 현행 ITU-R 권고[9]를 이용하여

$$\gamma = aR^b \text{ [dB/km]} \quad (2)$$

로 예측되며, 여기서 a , b 는 주파수 및 편파에 따른 상수(표 1 참조)이고, R 은 해당 시간울에 대한 강우 강도[mm/hr]이다. 만일, 고려하는 주파수가 표 1에 제시되지 않은 값이면 가까운 아래, 위 주파수에 해당하는 두 상수 값으로부터 내삽법을 이용하여 산출한다.

표 1. ITU-R 권고 감쇠계수 파라미터
Table 1. Parameter attenuation factor of ITU-R Recommendations.

주파수 [GHz]	a		b	
	수평편파	수직편파	수평편파	수직편파
4	0.000650	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
8	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.200
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
40	0.350	0.310	0.939	0.929

2) 유효경로 길이 예측

국내 위성 통신 경로에 대한 강우 감쇠 유효경로 길이(L_{eff} km)는 실제 경사경로 길이(L_s km)에

조정인자(F_s)를 고려하여 다음과 같이 제안되었다.

$$L_{eff} = F_s \times L_s \quad (3)$$

$$F_s = \sqrt{(F_H \cdot \cos \Theta)^2 + (F_V \cdot \sin \Theta)^2} \quad (4)$$

$$F_H = 0.158 + 0.837 \times e^{-R/130.14} \quad (5)$$

$$F_V = 4.175 \times R^{-0.409} \quad (6)$$

여기서, Θ 는 경로의 고도각(deg)을 의미하며 R 은 강우 강도 값이다.

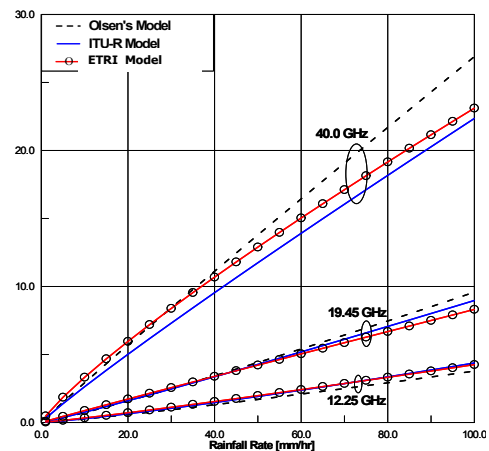


그림 3. 강우 감쇠 예측 모델
Fig. 3. Prediction of rain attenuation.

3-3 국내 강우 강도 분포[10]

강우 감쇠량 예측에 있어서 가장 중요한 요소는 강우 강도이다. 이러한 강우 강도 분포는 지역별 시간별로 다르게 나타나므로, 장기간에 걸친 지역별 강우 강도 실측 데이터를 통해 근사 확률분포로 추정하는 방법이 일반적으로 이용되고 있다.

1) 확률분포함수

한 지역의 시간울에 대한 강우 강도 분포는 강우 강도의 실측치를 이용하여 가장 근사적으로 일치되는 확률분포를 찾아내어 적용시킬 수 있다. 통상 널리 이용되는 확률분포로는 Gamma, Log-normal 분포

등이 있으며, 50[mm/hr] 이상의 높은 강우 강도 영역에 대해서는 Gamma 분포가, 그 이하의 낮은 강우 강도에 대해서는 Log-normal 분포가 더 적당한 것으로 알려져 있다. 이 외에도 Moupfouma 분포함수를 이용하여 강우 강도 분포를 추정한 연구 사례도 있다.

- Log-normal 분포

Log-normal 변수 R의 확률밀도 함수 $p(R)$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$p(R) = \frac{\log e}{\sqrt{2\pi} \sigma R} \exp\left\{-\frac{(\log R - m)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (7)$$

여기서 R은 강우 강도[mm/hr], σ 는 log R의 표준편차, m은 log R의 평균이다. Log-normal 분포를 이용할 경우, 변수인 R이 Log-normal 분포를 가지면 변수의 합이나 지수 및 곱으로 표현된 변수도 Log-normal 분포를 따른다.

- Gamma 분포

Gamma 확률 분포를 이용하여 강우강도 분포를 추정할 경우, 아래의 Gamma 확률밀도 함수 $f(R)$ 을 적용한다.

$$f(R) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} R^{\alpha-1} e^{-\beta R} \quad (8)$$

여기서, R : 강우강도 (mm/hr), $\Gamma(\alpha)$: Gamma 함수, β, α : 상수

이 때, 평균 및 분산은 각각 $m = \alpha/\beta$, $\sigma^2 = \alpha/\beta^2$ 으로 표시되며, 식 (8)으로 표시된 확률밀도 함수 $f(R)$ 을 확률 누적함수 $F(R)$ 로 나타내면,

$$F(R) = \int_R^\infty f(r) dr \quad (9)$$

이 된다.

- Moupfouma 분포

Moupfouma 변수 R의 확률밀도 함수 $g(R)$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$g(R) = \frac{a}{R^r} \exp(-\beta R) \left[\frac{r}{R} + \beta \right] \quad (10)$$

$$, R_{\min} \leq R < \infty$$

여기서, a, β 및 r은 분포의 파라미터이고 R_{\min} 은 밀도함수의 발산을 막기 위한 변수의 하한값이다.

IV. 강우 감쇠 보상 기법

그림 3에서 보듯이 위성 통신 시스템의 주파수가 높아질수록 강우에 의한 신호 감쇠가 심각함을 알 수 있다. 그러므로 다른 대역에 비해 강우에 의한 신호 감쇠가 심하게 발생하는 Ka 대역의 위성 방송을 위한 성능 개선 방안으로 다음과 같이 방법들을 고려할 수 있다[11].

4-1 정적인 보상 방법

정적인 보상 방법으로는 수신기 G/T의 개선과 잡음에 강한 변복조 방식의 채용 또 부호화 이득이 높은 오류정정 부호를 채용하는 방법이다. 이러한 기법들은 적은 강우감쇠의 경우에 유리하며, 소자의 성능 및 정보의 특성에 좌우된다. 하지만 안테나 유효면적의 증가와 수신단의 회로구성이 복잡하며 수신기의 가격 상승이 우려된다.

4-2 다이버시티 기법

강우 상관도가 떨어지는 복수개의 수신 시설 이용하는 기법으로 주파수, 궤도, 공간, 시간 다이버시티 등이 있으며 광대역 채널이나 지구국에서의 강우 영향이 심한 경우에 대규모 위성 통신 시스템에서 널리 사용된다. 하지만 수신 공간의 제약을 받거나 일반 가입자의 단말기인 경우에는 다이버시티 기법을 적용하기에는 다소의 무리가 따른다.

4-3 적응형 보상 방법

강우 지역에 중점적으로 송신 전력을 분배하는 적응적 송신 전력 제어 기법과 계층 부호 및 계층 변조 방식을 채택하는 적응형 전송 기법이 있다. 강우의 연중 발생률이 매우 낮은 경우 강우가 발생하는 기간에만 보상할 수 있어 효율적인 정보 전송이 가능하다. 이러한 기법은 강우가 넓고 일정하여 지구국 위치에서의 강우에 의한 효과가 적은 경우 유리하다.

4-4 적응변조 기법을 위한 성능분석

본 논문에서는 강우에 따른 효율적인 보상을 위한 기법중의 하나인 적응형 변조 기법을 적용한 고품질 위성 방송 시스템에 대한 파라미터를 산출하고 성능 분석을 하였다. BPSK, QPSK, 8PSK의 변조방식을 사용하였고 고려된 시스템 분석 파라미터는 표 2에 나타내었다.

표 2. 시스템 분석 파라미터
Table 2. Parameter of analysis system.

변조방식	BPSK, QPSK, 8PSK
외부부호	RS(31, 15)
인터리버	길쌈 인터리버(M=7, d=12)
내부부호	길쌈부호(1/2), K=7, 3bit soft decision

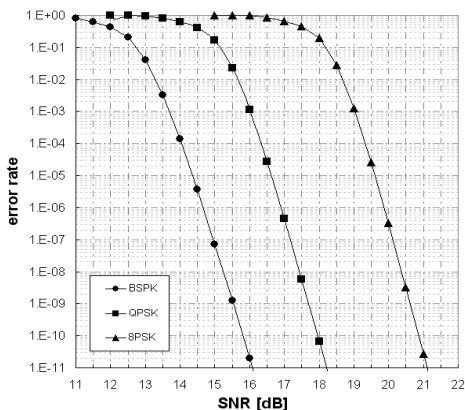


그림 4. 라이시안 factor(k=1)에서 에러율 대 SNR에 따른 시스템 성능

Fig. 4. Error rate SNR performance system of Rician factor(k=1).

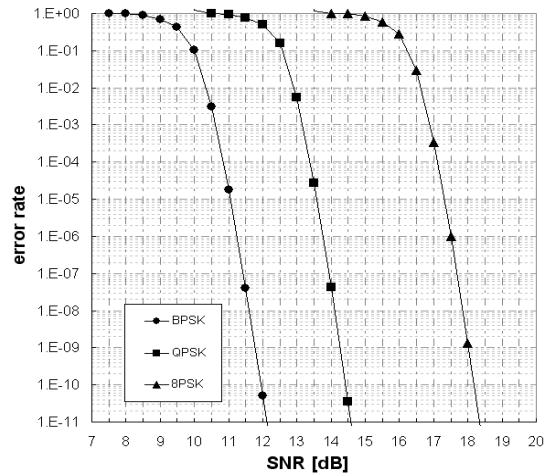


그림 5. 라이시안 factor(k=7)에서 에러율 대 SNR에 따른 시스템 성능

Fig. 5. Error rate SNR performance system of Rician factor(k=7).

변조 방식별 성능 분석을 통해 적응 변조 스위칭 파라미터의 산출이 가능하며 강우 감쇠의 영향에 따라 요구하는 SNR이 높아져야 됨을 알 수 있었다.

그림 4, 5는 라이시안 factor 값에 따라 각 변조 모드별 성능 분석 그래프이다. 라이시안 factor k=1인 경우는 직접파 성분이 아주 열악한 레일리 분포의 페이딩 환경으로써 HDTV, 3D-TV 등의 멀티미디어 통신, 초고속 인터넷, ATM 등의 광대역 통신 서비스에서 요구되는 BER = 10⁻¹⁰을 만족하기 위해 BPSK에서는 16 dB, QPSK에서는 18 dB, 8PSK에서는 21 dB가 요구됨을 알 수 있다. 라이시안 factor k=7일 때는 직접파 성분이 비교적 양호한 페이딩 환경으로써 요구되는 BER = 10⁻¹⁰을 만족하기 위해 각 변조 방식에 따라 12 dB, 14.5 dB, 18 dB가 요구됨을 알 수 있다. 직접파 성분이 미약한 레일리 페이딩 환경에서는 변조 모드의 확장에 따라 BPSK에서 QPSK로의 전환 시 약 2dB의 SNR이 추가로 요구되고 QPSK에서 8PSK로의 전환 시 약 3dB 정도의 SNR이 요구됨을 알 수 있다. 이것은 8PSK의 높은 전송 속도로 이루어지고 있는 위성 통신 시스템의 경우 강우 강도에 따라 QPSK 또는 BPSK의 전송 속도로 낮추어 전송이 가능함을 보여 준다. 표 2에서 나타낸 것처럼 연간 강우 시간을 0.1%의 평균 강우량인 18 [mm/hr]로 폭우가 내릴 경우 5~6 dB의 강우 감쇠가 있으므로 8PSK 변조에서 BPSK 변조로 변조 방식을

전환하면 전송 속도에는 문제가 있겠지만 성능에는 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 그러나 연간 강우 시간을 0.01%의 평균 강우량인 47 [mm/hr]로 폭우가 내릴 때에는 11 dB 이상의 강우 감쇠가 나타나고 있으므로 적응 변조 기법도 시스템 성능 개선에 큰 도움이 되지 않는 것으로 분석되었다. 또한 라이시안 factor=7인 페이딩 환경에서는 모든 변조 기법에서 레일리 페이딩 환경보다 3 dB 정도의 SNR 개선 효과가 있는 것을 알 수 있었다. 위의 결과를 분석하면 서비스 품질 BER = 10^{-10} 을 만족하는 위성 통신 시스템에서 연간 강우 시간을 0.1%에 해당하는 강우량인 18 [mm/hr]로 폭우가 내리는 8시간 40분 정도는 통신 서비스를 받을 수 없음을 알 수 있었다.

V. 결 론

위성 방송 및 위성 통신은 서비스 지역의 광역성, 동보성, 회선 설정의 유연성, 신속성 및 내재해성 등의 장점으로 국가 차원의 위성 통신망이 요구되고 있고 초고속의 광대역 통신을 위해 높은 주파수(Ka) 대역의 위성 통신망을 필요로 하고 있다. Ka 대역 이상의 주파수를 이용한 디지털 위성 방송을 고려할 경우 다른 대역에 비해 강우에 의한 신호 감쇠가 심하게 발생하므로 이에 대한 보상 기법이 활발히 연구되고 있다. 현재 제안되고 있는 보상 방안으로는 정적인 보상 방법, 적응형 보상 방법, 다이버시티 기법 등이 있다.

본 연구에서는 위성 통신 시스템의 개요와 국내 위성 통신 현황을 토대로 강우에 의한 위성 통신 시스템의 성능 열화를 예측 모델과 전남 나주와 대전에서 측정된 강우 감쇠 실측 자료로 분석하고 보상 기법중의 하나인 적응형 보상 기법을 적용한 고품질 위성 방송 시스템에 대해 분석하였다.

라이시안 페이딩 환경에서는 연간 강우 시간을 0.1%의 평균 강우량인 18 [mm/hr]로 폭우가 내릴 경우 5~6 dB의 강우 감쇠가 있으므로 8PSK 변조에서 BPSK 변조로 변조 방식을 전환하면 전송 속도에는 문제가 있겠지만 성능에는 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 그러나 연간 강우 시간을 0.01%의 평균 강

우량인 47 [mm/hr]로 폭우가 내릴 때에는 적응 변조 기법도 시스템 성능 개선에 큰 도움이 되지 않는 것으로 분석되었다. 서비스 품질 BER = 10^{-10} 을 만족하는 위성 통신 시스템에서 연간 강우 시간을 0.1%에 해당하는 강우량인 18 [mm/hr] 이상으로 폭우가 내리는 연간 8시간 40분 정도는 고품질의 통신 서비스를 받을 수 없음을 알 수 있으며 여러 가지 보상 기법을 병행하여야 성능 개선 효과가 있을 것으로 분석되었다. 또한 47 [mm/hr] 이상의 강우량으로 폭우가 내리는 연간 50분(연간 강우 시간을 0.01%) 동안 통신 서비스를 받기가 힘들 것으로 분석되었다.

이러한 결과를 토대로 높은 주파수를 이용하는 위성 방송 및 위성 통신 시스템 설계 과정에서는 적응 변조 기법이 반드시 적용하여야 하며 심각한 강우 감쇠에도 100% 통신 서비스를 위해서는 여러 가지 보상 기법을 병행하여 적용하여야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 방송위원회, "DMB데이터방송 및 DMC등 디지털 방송에 관한 종합계획," *디지털 방송추진위원회 종합보고서*, 2003년 2월.
- [2] G. Maral and M. Bousquet, *Satellite Communications Systems*, 2004.
- [3] 최용석, *위성통신*, 성안당, 1999년.
- [4] ITU, *Handbook on Satellite Communications*, Wiley, Third Edition, 2002.
- [5] 우병훈, 강희조, "Ka 대역 위성 RF 안테나를 이용한 강우환경 측정 및 운용방안 연구," *ETRI 연보고서*, 2002년 12월.
- [6] A. Nejat Ince, *Digital Satellite Communications Systems and Technologies*, Kluwer Academic, 1992.
- [7] R.L.Olsen, D.V.Rogers, and D.B. Hodge, "The Relation in the Calculation of Rain Attenuation," *IEEE Trans. on Antenna and Propagation*, vol. AP-26, no. 2, pp. 318-329, Mar. 1978.
- [8] 이주환, "강우 감쇠량 예측 모델별 비교 분석," *ETRI 기술문서*, 위성-RATT-971018- 2831, 1997년.

- [9] ITU, Acquisition, presentation and analysis of data in studies of tropospheric propagation," *ITU-R Recommendations PN Series*, Rec. ITU-R PN.311-7, pp. 10-52, 1993.
- [10] 최용석, 이주환, 고지환, "국내 강우 감쇠량 측정 시스템 구현 방안," *ETRI 기술문서*, 위성-WAVE-970312-2670, 1997년.
- [11] 우병훈, 강희조, "Ka-대역 위성 통신을 위한 강우에 의한 전파감쇠 예측 모델," *한국해양정보통신학회 논문지*, 6권 7호, pp. 1038-1044, 2002년 11월.

강희조 (姜熙照)



1994년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학박사)
 1996년 8월 ~ 1997년 8월 : 오사카대학교 공학부 통신공학과 객원교수
 1990년 3월 ~ 2003년 2월 : 동신대학교 전자정보통신 공학부 교수
 2003년 3월 ~ 현재 : 목원대학교

컴퓨터공학부 교수

관심분야 : 멀티미디어통신, 유비쿼터스, 텔레매틱스, 무선통신, 가시광통신, 이동통신 및 위성통신, 환경전자공학, 무선광통신, 디지털콘텐츠, RFID 등