

디지털위성통신시스템의 성능 목표 표준화 분석

오대섭*, 박종민*, 김수영^o

Analysis on the Standardization for Performance Objectives of Digital Satellite Communication Systems

Daesub Oh*, Jongmin Park*, Sooyoung Kim^o

요 약

국제전기통신연합-전파통신부문(International Telecommunication Union - Radiocommunication; ITU-R)에서는 최근 적응형 전송방식을 사용하는 위성통신시스템을 위한 성능 목표에 관한 신규 권고서(Recommendation)를 개발하였다. 적응형 전송방식을 사용하는 경우, 채널에서 발생하는 신호 감쇠 극복을 위해 가변비트율(variable bit rate)을 제공하여 요구되는 성능이 만족되도록 하기 때문에, 기존의 고정비트율 시스템에 적합하도록 제정된 성능 목표 권고서를 적용할 수 없다. 이러한 점을 고려하여 신규로 제정된 성능 목표는 신호대잡음비에 따른 스펙트럼 효율을 성능목표의 하나로 권고하고 있다. 따라서, 최신 디지털위성통신 기술을 적용한 위성망과 타 시스템간의 간섭 분석도 이와 같은 성능 목표를 적용하여 기존과는 다른 방식으로 접근할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 이와 관련된 표준화 동향을 분석하고, 신규 개발된 권고서에서 정의하고 있는 성능 목표의 의미를 분석하고자 한다.

Key Words : satellite communications, ITU-R, ACM, Recommendation, standardization, performance objectives

ABSTRACT

International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector (ITU-R) recently developed a new Recommendation on performance objectives for satellite communication systems using adaptive transmission techniques. Since the adaptive transmission technique regulates the transmission bit rate in order to compensate channel fading, the system will use variable bit rate schemes. In this case, we cannot apply the existing performance objective Recommendation which was developed for systems using fixed bit rate schemes. In the developed Recommendation, spectral efficiency as a function of signal to noise ratio is defined as a new performance objective. Therefore, interference analysis can be performed by utilizing the new performance objectives for inter and intra satellite networks equipped with recently developed digital satellite communication techniques. This paper provides investigation on the related standardization trend and analysis results on the performance objectives.

* 이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원(IITP)의 지원을 받아 수행된 연구임 (2018-0-01470, 위성망과 5G 이동통신시스템 간 주파수 간섭분석기술 기반 주파수 자원 확보 및 보호 국제 표준화 연구)

♦ First Author : Electronics and Telecommunication Research Institute, trap@etri.re.kr, 정회원

o Corresponding Author : Chonbuk National University, sookim@jbnu.ac.kr, 종신회원

* Electronics and Telecommunication Research Institute, jongmin@etri.re.kr, 정회원

논문번호 : 201910-219-A-RE, Received October 2, 2019; Revised October 22, 2019; Accepted October 22, 2019

I. 서 론

국제전기통신연합 (International Telecommunication Union)은 UN의 전기통신 분야 전문 기구로서, 세계 각국의 국가 대표(delegate) 및 산업계 전문가들이 모여 다양한 표준화 작업 및 관련 연구를 수행하는 국제 표준 기구이다. ITU 내에는 유선분야에 대한 연구를 통하여 국제 표준 업무를 담당하는 ITU-T, 전파통신(Radiocommunication) 분야에 대한 연구를 통한 국제 표준화 업무를 담당하는 ITU-R, 및 개발도상국 지원을 담당하는 ITU-D의 3개 섹터가 존재한다. ITU-R에는 연구 주제별로 구분된 연구반(Study Group: SG)들이 있으며, 위성과 관련된 연구는 SG 4에서 수행되고 있다. 또한, 각 SG 산하에는 다시 세부적인 연구 분야로 구분된 작업반(Working Party; WP)들이 있으며, SG 4 산하에는 WP 4A, WP 4B, 및 WP 4C의 3개 작업반이 있다. 본 논문에서는 2019년도 WP 4B에서 개발이 완료된 디지털위성통신 시스템의 성능 목표와 관련된 신규 권고서의 내용에 대한 의미와 분석 결과를 제시하고자 한다¹⁾.

ITU-R SG 4에서는 디지털위성통신서비스를 제공하는 시스템에서 만족해야 하는 성능 목표로 ITU-R 권고서 S.1062에 비트오류율(bit error rate; BER)과 관련된 파라미터를 제시하고 있다²⁾. 이 오류 성능 목표는 ISDN망을 이용하여 서비스가 제공되었던 1980년대 및 1990년대 기술을 기준으로 하여 개발된 것으로서, 제공되는 비트율(bit rate) 별로 만족해야 하는 값을 제시하고 있는데, 이는 BER과 오류버스트의 길이로 결정되는 값이다³⁾. 따라서, ITU-R 권고서 S.1062에서 제시하고 있는 성능 목표는 고정비트율(fixed bit rate; FBR) 서비스를 제공하는 시스템에만 적용이 가능하다.

최신 위성통신 시스템들은 UHD TV 등 고품질의 고속 멀티미디어 서비스 제공을 위하여 10 GHz 이상의 고주파수 대역의 활용이 필수적이다. 이 경우, 강우에 의한 감쇠가 무시할 수 없을 정도로 심각하게 발생하며, 주파수 대역이 높아질수록 감쇠 값은 더 증가하게 된다. 따라서, 단순한 전력 마진만으로는 감쇠를 보상할 수 없으며, 감쇠의 정도에 따라 적응적으로 변조 및 부호화 방식을 할당하여 정보를 전송하는 적응형 부호 및 변조(adaptive coding and modulation; ACM) 기법의 활용이 필수적이다^{4,5)}.

ACM 기법의 기본 개념은 감쇠의 양에 따라, 전송하는 정보의 양을 적응적으로 조절하고 변조 차수와 부호화율을 조정함으로써, 전력 효율과 스펙트럼 효율

간의 트레이드 오프 관계를 적절히 활용하는 것이다. 즉, 감쇠의 양이 클 경우에는 변조 차수 및 부호화율을 낮춤으로써 보내는 정보의 양을 줄이고 전력 효율을 최대한 높여 요구되는 오류 성능이 유지되도록 한다⁶⁾. 반면에 감쇠가 거의 없을 경우에는 변조 차수 및 부호화율을 높임으로써 보내는 정보의 양을 늘리고 스펙트럼 효율을 도모한다. 이와 같은 원리에 따라 요구되는 성능이 항상 유지될 수 있도록 하는 것이기 때문에 ACM 방식을 사용하는 시스템에서 BER과 같은 오류성능목표는 항상 유지될 수 있다는 것이 기본 전제조건이 된다. 대신, 감쇠의 양에 따라 전송되는 정보의 양이 가변되기 때문에, ACM을 활용하는 시스템에서는 가변비트율(variable bit rate; VBR) 서비스를 제공하게 된다.

위에서 설명한 바와 같이 위성통신시스템에서 강우 감쇠를 보상하기 위하여 ACM 방식을 사용할 경우에는, FBR 서비스를 제공하는 위성통신시스템에만 적용이 가능한 ITU-R 권고서 S.1062를 적용할 수 없다. 실제로 최근 개발된 위성방송 규격인 DVB-S2 및 DVB-S2X에서는 다양한 부호화율을 제공하는 저밀도 패리티체크(low density parity check; LDPC) 부호와 다양한 차원의 진폭 및 위상변조(amplitude and phase shift keying; APSK) 방식을 결합한 ACM 모드를 정의하고 있다^{7,8)}.

이처럼 ACM을 사용하는 최신 위성통신시스템에서는 기존의 권고서에 정의된 성능 목표를 준수할 수 없고, 새로운 성능목표의 개발이 필요하다는 요구 조건에 따라, ITU-R WP 4B에서는 2017년도부터 신규 권고서 개발이 시작되었다⁹⁾. 개발된 권고서에는 패킷 오류율에 따른 성능 목표 및 신호 대 잡음비에 따른 스펙트럼 효율 측면에서의 성능 목표를 정의하고 있다. 본 논문에서는 개발된 신규 권고서에서 정의하고 있는 성능 목표의 의미와 실제 계산 결과를 제시함으로써 권고서의 활용에 도움이 되는 내용을 제공하고자 한다. 본 서론에 이어, II장에서는 개발된 권고서에서 정의하고 있는 성능 목표의 개발 배경과 그 의미를 기술한다. III장에서는 정의된 성능 목표 중 스펙트럼 효율에 의한 성능목표를 실제 강우감쇠 모델을 적용하여 계산한 예시를 제시하고, 그 결과를 분석한다. 마지막으로 IV장에서는 결론을 맺는다.

II. ACM을 사용하는 위성시스템을 위한 성능 목표 표준 개발

2.1 표준 개발의 배경 및 필요성

1980년대 이후 지상망과 연동하여 위성통신서비스가 제공되기 시작하였고, 이 경우 지상 유선망에서 요구하는 성능 목표를 만족하도록 하기 위하여 위성 부문에서 충족해야 하는 성능 목표가 ITU-T 권고서 S.826에 정의되었다¹⁰⁾. 이에 근거하여 ITU-R SG 4에서는 위성 채널이 가지는 특성을 고려하여 ITU-R 권고서 S.1062을 1994년에 처음으로 제정하였다. ITU-R 권고서 S.1062에서는 전송율이 155 Mbps 이하이고 사용하는 주파수 대역이 15 GHz 이하인 FBR 위성시스템에 대하여 제공되는 전송비트율에 따라 오류성능 값으로 성능 목표를 권고하였고, 2007년까지 최신 위성기술의 특성을 반영하여 네 차례에 걸쳐 개정되었다. 그러나, 이는 모두 FBR로 서비스 되는 위성 시스템에 대한 것으로서, ACM 방식을 사용하는 시스템에는 적합하지 않다.

최신 개발되어 활용되고 있는 위성시스템 및 위성통신 및 방송 규격에서는 ACM 방식 및 전력 증폭기 선형화 기술 등을 적용하여 위성 스펙트럼 효율의 증대와 전송 성능의 개선을 도모하고 있다. ACM 방식을 적용하게 되면, 채널 페이딩 환경에서 전송율, 즉 처리율을 저하시키는 대신 수신단에서의 BER 성능이 거의 동일하게 유지되도록 함으로써 요구되는 BER 성능을 항상 만족시킬 수 있게 된다. 단, 이러한 상황은 ACM 방식에 사용되는 채널 예측 및 모드 할당 알고리즘이 거의 오류없이 동작한다는 가정 하에서 가능한 것이다. 즉, ACM 방식에서 가용할 수 있는 변조 및 부호(modulation and coding; MODCOD) 모드가 남아 있는 한 시스템에서는 요구 BER 성능을 만족시킬 수 있게 되기 때문에 BER에 근거한 오류성능 목표는 별 의미가 없을 수 있다.

대신 채널 페이딩에 따라 전송할 수 있는 정보의 양에 제한이 있기 때문에 스펙트럼 효율 또는 처리율의 저하에 근거한 성능 분석이 타당한 성능 지표가 될 수 있다. 실제로, 기존의 한 연구에서는 ACM 방식을 사용하는 위성시스템에 대한 유효 처리율(effective throughput) 또는 상대적 처리율 손실(relative loss of throughput)을 하나의 성능 지표로 사용할 수 있다는 아이디어가 제안된 바 있다¹¹⁾.

이와 같은 점들을 고려하여 신규 권고에는 성능 목표를 정의하는 파라미터로 두 가지가 정의되어 있다.

첫 번째 파라미터는 시간율에 따른 패킷오류율(packet error rate: PER) 성능이다. 이는 최근 서비스되고 있는 패킷 기반 전송 시스템의 특성을 고려하고, 기존 성능 목표 권고서에서 정의하고 있는 오류성능 목표의 특성을 병합하여 기존 지상망과 연동하여 서비스할 때의 성능 목표가 최소한 유지될 수 있도록 한 것이다. 두 번째는 신호대 잡음비의 함수로 표현되는 스펙트럼 효율이다. 이는 ACM 방식을 사용함으로써 오류성능목표가 항상 만족될 경우 처리율의 저하를 고려한 것이다. 다음 절에서는 두 번째 성능 목표 파라미터의 의미와 최신 위성방송규격인 DVB-S2(X) 규격에서 정의하고 있는 ACM 방식을 사용할 경우 성능 목표 파라미터가 어떻게 정의될 수 있는지에 대해 살펴보기로 한다.

2.2 신호대잡음비에 따른 스펙트럼 효율

가산성 백색 가우시안 잡음 (additive white Gaussian noise; AWGN) 채널에서 정보가 전송되는 채널의 용량, 즉 최대로 얻을 수 있는 스펙트럼 효율 $S(\text{bit/s/Hz})$ 는 샤논 바운드에 의해 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$S(\rho) = \log_2(10^{\rho/10} + 1), \quad (1)$$

여기서, ρ 는 dB 단위의 신호 대 잡음비이다. 또한, 그림 1에는 위 식 (1)에 따른 샤논 바운드와 함께 DVB-S2 및 DVB-S2X에서 사용하고 있는 모든 MODCOD를 비선형 위성채널에서 이용하였을 경우

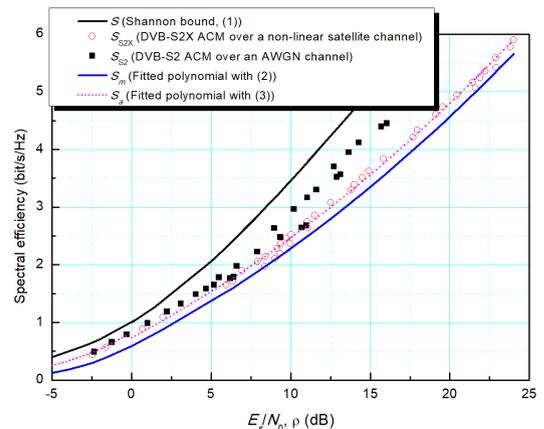


그림 1. DVB-S2/S2X에서 사용하고 있는 MODCOD에 대한 스펙트럼 효율 비교
Fig. 1. Comparison of spectral efficiency of MODCOD defined in the DVB-S2/S2X

언을 수 있는 스펙트럼 효율 S_{Ω} 와 $S_{\Omega X}$ 를 각각 함께 나타내었다^{7,8)}. 또한, 신규로 개발된 권고서에서는 최소평균자승(least mean squared; LMS) 오류를 최소화하는 방식을 이용하여 아래 식 (2)의 S_m 또는 (3)의 S_a 와 같이 두 가지 형태의 2차 다항식으로 표현할 수 있음을 제시하였다¹¹⁾.

$$S_m(\rho) = \begin{cases} 0.5933 + 0.1415\rho + 0.0096\rho^2, & -5 \geq \rho < 0, \\ 0.5933 + 0.1388\rho + 0.003\rho^2, & \rho \geq 0, \end{cases} \quad (2)$$

$$S_a(\rho) = \begin{cases} 0.8181 + 0.1607\rho + 0.0096\rho^2, & -5 \geq \rho < 0, \\ 0.7375 + 0.1433\rho + 0.003\rho^2, & \rho \geq 0, \end{cases} \quad (3)$$

여기서, 식 (2)는 S_{Ω} 및 $S_{\Omega X}$ 에 대한 LMS를 최소화하면서도 S_m 이 S_{Ω} 및 $S_{\Omega X}$ 보다 크지 않도록 피팅된 결과이며, 반면에 (3)은 S_{Ω} 및 $S_{\Omega X}$ 에 대한 LMS를 최소화할 수 있도록, 즉 S_a 가 평균에 맞도록 피팅된 결과이다.

위 수식 (2) 또는 (3)과 같이 ρ 를 변수로 하는 S_m 또는 S_a 값을 이용하면 시스템의 성능 목표를 주어진 ρ 값에서의 S_m 또는 S_a 값으로 설정할 수 있다. 단, ACM 방식에서 채널 예측 및 모드 할당 오류를 보상할 수 있는 어느 정도의 전력 마진이 필요하다. 기존의 여러 가지 연구에 따르면, 정지궤도(geostationary earth orbit; GEO) 위성시스템의 경우 전파지연이 약 0.5 초이고, Ku 및 Ka 대역을 사용하는 위성시스템에서 초당 감쇠량의 변화가 평균 1 dB 이내인 점을 감안하여^{4,5)}, ACM 방식의 모드 전환 주기를 약 1초로 지정하여 사용하는 것이 보편적이다. 또, 이와 같은 상황을 고려하여 개발된 성능 목표표, 스펙트럼효율이 주어진 ρ 값에서 $S_m(\rho-1)$ 또는 $S_a(\rho-1)$ 보다 크도록 설정할 수 있음이 제시되었다¹¹⁾.

III. 강우감쇠 모델을 적용한 스펙트럼 효율 계산

본 장에서는 II장에서 기술된 성능 목표 파라미터 중 스펙트럼 효율이 실제 전송 환경에서 장기간에 걸쳐 어느 정도의 저하가 발생하는지를 분석한 결과를 제시한다. 위성시스템에서 ACM이 활용되는 가장 큰 요인은 강우 감쇠이며, 강우 감쇠의 특징은 강우 지역과 주파수 대역에 따라 매우 다르게 나타난다. 따라서, 스펙트럼 효율이 강우로 인하여 저하되는 특성은

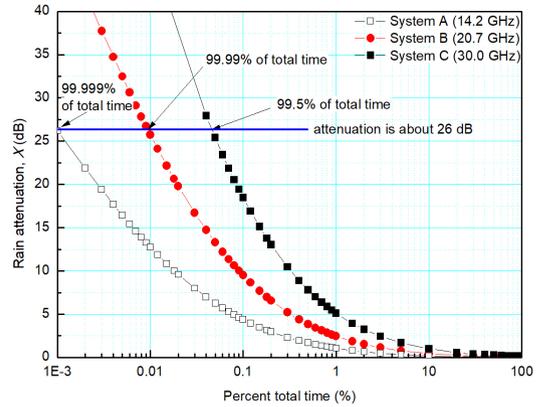


그림 2. 강우감쇠에 대한 CDF
Fig. 2. CDF of rain attenuation

ACM 방식에 사용되는 전송방식과 강우 지역 및 주파수 대역에 따라 다르게 나타난다.

본 논문에서는 DVB-S2X 규격의 ACM 방식에 정의되어 있는 스펙트럼 효율 값을 사용하였으며, 강우 모델로는 ITU-R 권고서 P.618에 정의된 강우 감쇠 예측 모델을 적용하였다¹²⁾. 또, 우리나라에서 대표적으로 강우감쇠에 영향을 받을 수 있는 Ku 및 Ka 대역에 해당하는 14.2 GHz, 20.7 GHz 및 30 GHz 대역을 사용하는 위성시스템에 대하여 성능 지표표를 분석한다. 이 후 결과분석에서, 14.2 GHz, 20.7 GHz 및 30 GHz 주파수 대역을 사용하는 시스템을 각각 시스템 A, B, 및 C로 지칭한다. 그림 2는 이 3가지 주파수 대역에서 시간율에 따른 강우감쇠 누적확률분포함수(cumulative probability distribution function; CDF)를 나타낸 것이다.

그림 1에 표기한 DVB-S2X에 정의된 모든 MODCOD들을 활용하게 되면 ACM 방식이 활용될 수 있는 ρ 의 범위는 약 27 dB이다. 여기서 채널 예측, 모드 할당 및 기타 다른 오류 및 채널 열화를 보상하기 위한 마진 1 dB를 감안하면, 26 dB 범위 내의 감쇠를 보상할 수 있게 된다. 즉, 26 dB 이상의 감쇠가 발생하게 되면, 시스템은 더 이상 보상이 불가능해지는 비가용(unavailable) 상태가 된다. 이를 각 시스템에 적용하게 되면, 시스템 A는 약 99.999%, 시스템 B는 약 99.990%, 및 시스템 C는 약 99.5%의 시간율로 가용도를 제공할 수 있게 된다. 시스템 C에서 가용도 값이 가장 낮은 이유는 사용하는 주파수 대역이 가장 높기 때문에 ACM 방식으로 보상이 가능한 감쇠량의 범위를 초과하는 과도한 감쇠가 발생하는 경우가 더 자주 발생하기 때문이다. 즉, 시스템 C의 경우 연 중

0.05% 시간을 동안에는 가장 낮은 스펙트럼 효율, 즉 전력 효율이 가장 높은 방식을 사용하여도 보상이 불가능한 수준의 감쇠가 발생한다.

이와 같은 감쇠 상황에서 어느 정도의 스펙트럼 효율 저하가 발생하는가는 감쇠의 양에 따라 달라지기 때문에, 스펙트럼 효율 저하의 정도도 감쇠의 양, X 에 대한 함수가 될 것이다. 또, 감쇠의 양은 시스템의 신호대 잡음비 즉, ρ 값에 일대일 대응 값이 되므로, 시스템에서 얻을 수 있는 최대 스펙트럼 효율에 대한 상대적인 스펙트럼 효율 저하 값, δ 는 ρ 의 함수로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta(\rho) = \frac{S_{\max} - S(\rho)}{S_{\max}} \quad (4)$$

여기서 S_{\max} 운용되고 있는 시스템에서 얻을 수 있는 최대 스펙트럼 효율 값이다.

이제 식 (4)에서 정의한 δ 값이 어떻게 계산되는지 그림 1에서 정의된 여러 가지 스펙트럼 효율을 여러 가지 시스템에 적용하여 계산해 본다. 그림 1의 DVB-S2X ACM 방식을 운용한다고 가정하면, 최대 스펙트럼 효율 값, 즉 S_{\max} 는 약 5.9가 되고, 해당되는 ρ 값은 약 24 dB 임을 알 수 있다. 시스템의 기본 ρ 값을 24 dB로 적용하게 되면, 감쇠의 양에 따라 수식 (2) 또는 (3)을 이용하여 $S_m(\rho)$ 또는 $S_a(\rho)$ 를 계산할 수 있게 된다. 이 결과를 수식 (4)의 $S(\rho)$ 에 대입하면 해당되는 $\delta(\rho)$ 를 계산할 수 있다.

또, 그림 2의 감쇠량과 시간율에 대한 일대일 대응 관계를 이용하면, 계산된 $\delta(\rho)$ 를 시간율에 일대일 대

응시킬 수 있다. 그림 3에는 운용 주파수 대역이 다른 세 개의 시스템별 $\delta(\rho)$ 를 계산한 결과가 나타나 있다. 그림에서 알 수 있듯이 운용되는 주파수 대역이 높을수록 신호 감쇠량이 크기 때문에 스펙트럼 효율의 저하량 또한 크게 나타남을 알 수 있다. 또, 사용되는 MODCOD에 대한 실제 스펙트럼 효율을 더 보수적으로 추정하여 수식 (2)를 적용하였을 경우가 수식 (3)을 적용한 경우보다 스펙트럼 저하량이 더 크게 나타난다는 것을 알 수 있다. 그러나, 그 차이 값은 그래프에서 무시할 수 있을 정도의 적은 값으로 나타난다.

이제 시간율에 따른 δ 를 이용하여 평균 스펙트럼 효율 저하량에 대한 기대 값, $E[\delta]$ 를 추정할 수 있다. 즉 그림 1의 시간율에 따른 감쇠량에 대한 그래프의 y 축 값을 나타내는 감쇠량을 랜덤 변수 X 로 정의하면, X 에 대한 CDF $F_X(x)$ 는 그림 1의 역함수로 구할 수 있고, X 에 대한 확률분포함수(probability density function; PDF), $f_X(x) = dF_X(x)/dx$ 로 구할 수 있다. 또, 랜덤변수 X 와 δ 는 1대1 대응이 되고, 이와 같은 성질을 이용하면 $E[\delta]$ 는 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[\delta] = \int_0^{\infty} \delta f_X(x) dx \quad (5)$$

아래 표 1은 위 수식에 따라 세 개의 서로 다른 시스템에서 수식 (2) 및 (3)에서 정의된 S_m 및 S_a 를 이용하여 계산된 평균 $E[\delta]$ 값을 나타낸 것이다. 표 1의 결과에 따르면 DVB-S2X에 정의된 ACM 방식과 같이 약 26 dB의 보상 범위를 가지는 위성시스템이 주어진 세 가지 주파수 대역에서 운용될 경우, 표 1에 제시된 바와 같은 연평균 스펙트럼 효율의 저하를 가져오게 된다는 의미이다. 쉽게 예상할 수 있듯이 운용되는 주파수 대역이 높아질수록 감쇠의 양이 더 많아지기 때문에 평균 스펙트럼 효율의 저하량도 더 증가된다는 것을 알 수 있다. 또, 보다 비관적으로 스펙트럼 효율을 추정한 $S_m(\rho)$ 를 적용한 결과가 평균값으로 추정된 $S_a(\rho)$ 를 적용한 것보다 더 큰 저하량을 초래한다는 것을 알 수 있다. 그러나, 그 차이는 0.05% 이내 범위에 있으며, 그 차이 값 또한 운용되는 주파수 대역이 높을수록 더 크다는 것을 알 수 있다.

한가지 염두해 두어야 할 사실은 식 (5)를 이용하여 평균 값을 계산할 때, 사용하는 감쇠에 대한 확률분포 함수 $f_X(x)$ 와 스펙트럼 효율 함수 $S(\rho)$ 에 따라 표 1의 값이 달라질 수 있다는 것이다. $f_X(x)$ 는 사용하는

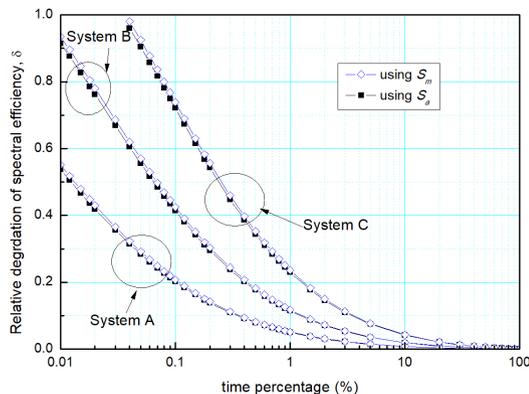


그림 3. 시간율에 따른 상대적 스펙트럼 효율 저하량
Fig. 3. Relative spectral efficiency degradation according to percentage of time

표 1. 평균 스펙트럼 효율 저하량 비교
Table 1. Comparison of average spectral efficiency degradation

	System A (14.2 GHz)	System B (20.7 GHz)	System C (30 GHz)
$S_m(\rho)$ 적용	0.50%	1.17%	2.39%
$S_a(\rho)$ 적용	0.49%	1.14%	2.33%

주파수 대역과 지리적 위치에 따라 달라질 뿐만 아니라, $F_X(x)$ 를 미분 또는 차분하여 $f_X(x)$ 를 구하는 과정에서 발생하는 오차도 계산에 영향을 미칠 수 있다. 또한, 위 표 1의 결과에서 살펴보았듯이 어떤 스펙트럼 효율 함수를 사용하는지, 즉 어떤 MODCOD를 구비한 ACM 방식을 적용하는지에 따라, $S(\rho)$ 함수가 달라질 수 있기 때문에 계산되는 저하량 결과도 달라질 수 있다. 이는 곧 주어진 감쇠 환경에서 가장 효율적인 ACM 방식을 설계하는 데에도 $E[\delta]$ 값에 대한 추정치를 적용할 수 있다는 의미가 된다.

현재 ITU-R WP 4A에서는 50/40 GHz 대역에서 운용되는 비정지궤도 위성망이 정지궤도 위성망으로 주는 간섭 허용치를 규정하는 권고서를 개발하고 있으며, 본 논문에서 분석된 방법으로 계산된 스펙트럼 효율에 대한 평균 저하량을 가지고 간섭 허용치를 결정하는 예비 초안 문서가 개발되어 있다¹³⁾. 위 표 1의 결과를 참조하면 주파수 대역이 40 GHz 이상 대역으로 증가하게 되면 강우감쇠를 보상하기 위한 ACM 방식의 활용으로 인한 스펙트럼 효율의 저하는 4% 이상이 될 것으로 예상되며, 강우감쇠 외에 타 위성망으로 부의 간섭과 같은 다른 감쇠 요인이 추가될 경우 저하 정도는 더 증가하게 될 것이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 ITU-R에서 최근에 개발 완료된 표준으로서, 디지털위성통신시스템의 성능 목표에 관련된 표준화 동향과 표준에서 명시된 성능 목표 파라미터의 의미를 분석해 보았다. 개발된 권고서는 최신 디지털 위성통신시스템에서 강우 감쇠로 인하여 ACM 방식을 채택하고 있다는 점과 이로 인하여 이제까지 기존의 시스템에서 적용되던 오류성능목표가 적합하지 않다는 것을 고려하여 스펙트럼 효율에 관련된 파라미터를 성능 목표로 규정했다는 것이 특징적이다. 본 논문에서는 이러한 의미를 분석하는 동시에, 국내 강우 환경에서 발생할 수 있는 세 가지 위성 주파수 대역에서의 강우 감쇠 예측 모델을 이용하여 권고에서

규정하고 있는 성능 목표 값이 어떻게 계산되는지에 대한 예제를 제시하고, 그 결과를 분석하였다. 본 논문에서 제시된 예제 및 그 결과는 향후 여러 가지 위성통신시스템, 특히 ACM 방식에 대한 효율적 설계와 운용 및 성능 분석과 간섭 분석에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Recommendation ITU-R S.2131 - *A method for the determination of performance objectives for satellite hypothetical reference digital paths using adaptive coding and modulation*, Sep. 2019
- [2] Recommendation ITU-R S.1062-4. *Allowable error performance for a satellite hypothetical reference digital path operating below 15 GHz. Recommendation ITU-R S.1062-4*, 2007.
- [3] S. Kim, S. Yeo, D. Shin, and S. Song. "Estimation of the error performance objectives for satellite communication systems," *Int. J. Satellite Commun. and Netw.*, vol. 26, no. 6, pp. 475-488, 2008.
- [4] S. K. Shin, K. Lim, K. Choi, and K. Kang, "Rain attenuation and Doppler shift compensation for satellite communications," *ETRI J.*, vol. 24, no. 1, pp. 31-42, Jan. 2002.
- [5] S. Chan and S. Kim, "Efficient application of rateless codes for satellite communication systems," *J. KICS*, vol. 44, no. 3, pp. 484-489, Mar. 2019.
- [6] M. S. Shin and D. G. Oh, "DRA design methodology for DVB-RCS2 ACM systems," in *Proc. Symp. KICS*, pp. 91-92, Jun. 2018.
- [7] ETSI EN 302 307 v1.2.1: *Second Generation Framing Structure, Channel Coding and Modulation Systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and Other Broadband Satellite Applications (DVB-S2)*, 2009.
- [8] DVB Document A83-2, *Digital Video Broadcasting (DVB); Second Generation Framing Structure, Channel Coding and Modulation Systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and*

other Broadband Satellite Applications, Part II: S2-Extensions (DVB-S2X) - (Optional), Mar. 2014.

- [9] Annex 4 to Document 4B/74, Report on the forty-first meeting of Working Party 4B (Geneva, 1-5 May 2017), Working document towards a preliminary draft new Recommendation / Report ITU-R S. [ACM-PERF] - Performance objectives for satellite connections using adaptive coding and modulation (ACM), 5 May 2017.
- [10] ITU-T Recommendation G.826, End-to-end error performance parameters and objectives for international constant bit-rate digital paths and connections, ITU-T Recommendation G.826, 2002.
- [11] G. Shewan, "Alternative measure of performance for satellite links employing adaptive coding and modulation," 30th AIAA Int. Commun. Satellite Syst. Conf. (ICSSC-2012), Ottawa, Canada, Sep. 2012.
- [12] Recommendation ITU-R P.618-13, Propagation data and prediction methods required for the design of earth-space telecommunication systems, Recommendation ITU-R P.618-12. 2017.
- [13] Annex 1 to Document 4A/912, Annex 1 to Working Party 4A Chairman's Report, PRELIMINARY DRAFT NEW RECOMMENDATION ITU-R S.[50/40 GHz FSS Sharing methodology] - Maximum permissible levels of interference in a satellite network in the fixed satellite service (GSO) in the broadcasting-satellite service (GSO) caused by other co-directional non-GSO FSS systems operating in the 50/40 GHz frequency bands, 11 Jul. 2019

오 대 섭 (Daesub Oh)



1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
 1998년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
 2014년 2월 : 전북대학교 전자공학과 박사
 2000년 7월 : LG정보통신 주임연구원

2000년 7월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
 <관심분야> 전파통신, 위성통신

박 중 민 (Jongmin Park)



1991년 2월 : 충남대학교 전자공학과 졸업
 1993년 2월 : 충남대학교 전자공학과 석사
 1993년 3월~2000년 9월 : 국방과학연구소 선임연구원
 2006년 3월~2010년 2월 : 충남대학교 전파공학과 박사

2000년 10월~현재 : 한국전자통신연구원 통신미디어 연구소 전파위성연구본부 책임연구원
 <관심분야> 위성통신, 스펙트럼공학, HAPS, 위성망 케도/주파수

김 수 영 (Sooyoung Kim)



1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사
 1990년 2월~1991년 9월 : ETRI 연구원
 1992년 10월 : Univ. of Surrey, U.K. 공학석사
 1995년 2월 : Univ. of Surrey, U.K. 공학박사

1994년 11월~1996년 6월 : Research Fellow, Univ. of Surrey, U.K.

1996년 8월~2004년 2월 : ETRI 광대역무선전송연구팀장

2004년 3월~현재 : 전북대학교 전자공학부 교수

<관심분야> 오류정정부호화방식, coded MMO, 이동/위성통신

[ORCID:0000-0003-0817-2790]