

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제21권 제4호, 2016년 7월 (JBE Vol. 21, No. 4, July 2016)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2016.21.4.506>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

HEVC over DVB-T2 기반 지상파 4K-UHDTV 방송을 위한 양시청 기준값 실험실 테스트 결과

전 성 호^{a)‡}, 김 상 훈^{a)}, 함 상 진^{a)}, 임 중 곤^{a)}, 서 영 우^{a)}

Laboratory Measurement to Provide Threshold of Visibility for Terrestrial 4K-UHDTV Broadcasting based on HEVC over DVB-T2

Sungho Jeon^{a)‡}, Sanghoon Kim^{a)}, Sangjin Hahm^{a)}, Zungkon Yim^{a)}, and Young-Woo Suh^{a)}

요 약

본 연구에서는 HEVC로 인코딩된 스트림을 6MHz 대역폭 DVB-T2 시스템을 통해서 전송하는 우리나라 지상파 4K-UHD 실험방송 환경에서, 상용 수신기 3종에 대해서 양시청 최소 신호 대 잡음비(ToV C/N)와 양시청 수신기 최소 입력 전계 레벨(Sensitivity)을 실험실 테스트를 통해서 측정하였다. 26.37Mbps 전송률을 기준으로, ToV 평균 C/N=18.8dB 정도로 측정되었고, 수신기 Sensitivity는 최소 -84.2dBm에서 최대 -80.0dBm으로 측정되었다. 이로부터, 수신기 노이즈 바닥(Floor)은 평균 -100dBm 가량으로 계산되었다.

Abstract

In this study, HEVC over DVB-T2 systems with a bandwidth of 6 MHz is considered, particularly for the terrestrial 4K-UHDTV broadcasting service in the Republic of Korea. The threshold of visibility carrier-to-noise power ratio (ToV C/N) and the receiver minimum required input level (sensitivity) for satisfying the subjective picture failure (SPF) condition are measured in the laboratory. It is observed, for transmitting 26.37 Mbps data stream correctly, that ToV C/N is 18.8 dB on average, and the receiver sensitivity is varied from minimum -84.2 dBm to maximum -80.0 dBm. Based on the results, the receiver noise floor is calculated by -100 dBm on average.

Keyword : HEVC over DVB-T2, Threshold of Visibility, Receiver Sensitivity, Laboratory Measurement, Subjective Picture Failure, Physical Layer Performance Metric

a) KBS 미래기술연구소(Future Technology Research Institute, KBS)

‡ Corresponding Author : 전성호(Sungho Jeon)

E-mail: jeonsh@kbs.co.kr

Tel: +82-2-781-5259

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0417-6906>

※ 이 논문의 연구결과 중 일부는 “IWAIT 2016”에서 발표한 바 있음.

※ 본 연구는 미래창조과학부 국책과제 ‘FTN기반 유무선 방송시스템 고도화 기술 개발[B0101-15-1362]’ 지원 사업의 결과로 수행되었음.

· Manuscript received March 15, 2016; Revised May 9, 2016; Accepted July 12, 2016.

I. 서론

2012년 10월, 우리나라에서 세계 최초로 DVB-T2 기반 4K-UHD(Ultra-High Definition) 지상파 실험방송에 성공한 이래로^{[1][2]}, 그 동안의 실험방송 성과들을 정리하여 ITU-R 보고서 BT.2343에 등재함으로써 국제적으로 공인받았고^[3], 2017년 2월 지상파UHD 본방송을 700MHz 주파수 대역에서 세계 최초로 실시할 계획이다^{[4][6]}. 하지만, DVB-T2 표준 문서상에서는 6MHz 대역폭을 정의하고 있음에도 불구하고, 유럽 지역에서 7MHz 또는 8MHz 대역폭만을 사용하기 때문에^{[7][8]}, 6MHz 대역폭을 사용하는 우리나라 실정을 고려한 양시청 최소 신호 대 잡음비(ToV C/N; Threshold of Visibility Carrier-to-Noise Power Ratio), 수신기 최소 입력 전계 강도 (Sensitivity) 등 물리 계층 성능 지표들에 대한 기준값들이 공식문서에서 제시되어 있지 않아^{[9][10]}, 자체적인 실험을 통해서 그 값을 수집할 수밖에 없는 실정이다. 특히, 수신기 Noise Figure는 동시대 수신기의 실제 구현 상황에 따라 그 값이 천차만별이기 때문에, 이론적으로 특정 값을 대푯값으로 선정하기 어렵고, 실험을 통한 실태 조사를 통해서만 그 수준을 파악할 수 있다. 현재 ATSC 전송방식에 기반을 둔 DTV의 경우, 미국 연방 방송통신위원회 FCC에서 양시청 방

송구역 산정을 위해서 UHF 대역 수신기 Noise Figure를 7dB로 가정한 뒤^[11], 28종 수신기에 대해서 실험실 테스트를 실시하고 가정한 값이 타당함을 확인한 바 있다^[12].

본 논문에서는 우리나라 지상파 UHDTV용 양시청 방송 구역 산정 시 필수적으로 요구되는 Noise Figure 값을 실측 실태 조사를 통해 확인하였다. 실험실 테스트를 위해, HEVC(High Efficiency Video Coding) 코덱으로 인코딩된 4K-UHD 스트림을 DVB-T2 시스템을 통해서 온에어 전송하는 우리나라 실험방송 환경 조건을 기준 송신기와 기준 수신기, 시판 중인 3종류의 상용 수신기를 바탕으로 실험실 테스트 환경을 만들고, 양시청을 위한 ToV C/N, 수신기 Sensitivity, 그리고 이로부터 도출되는 수신기 Noise Floor (노이즈 바닥) 등을 측정하였다.

II. 실험실 환경 구축 및 실험 절차

1. 테스트 장비 설치

실험실 테스트를 위해서 [그림 1]과 같이 장비를 설치·연결하였다.

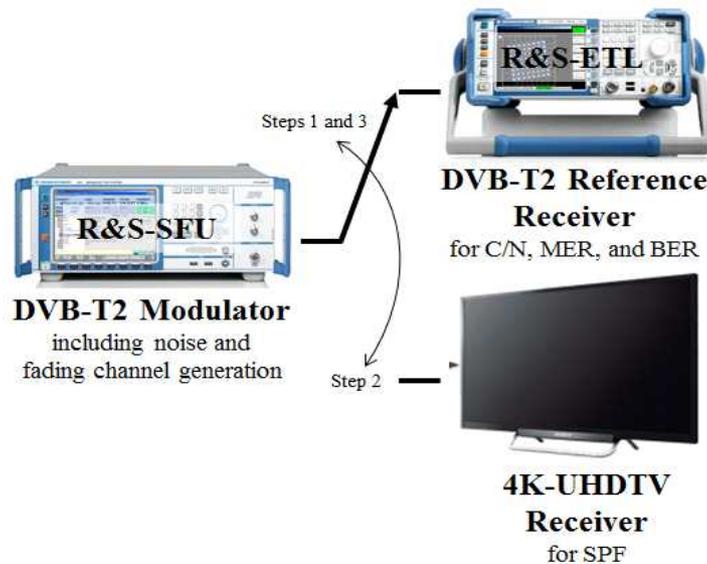


그림 1. 실험실 테스트를 위한 장치 연결도
Fig. 1. Block diagram of test equipment setup

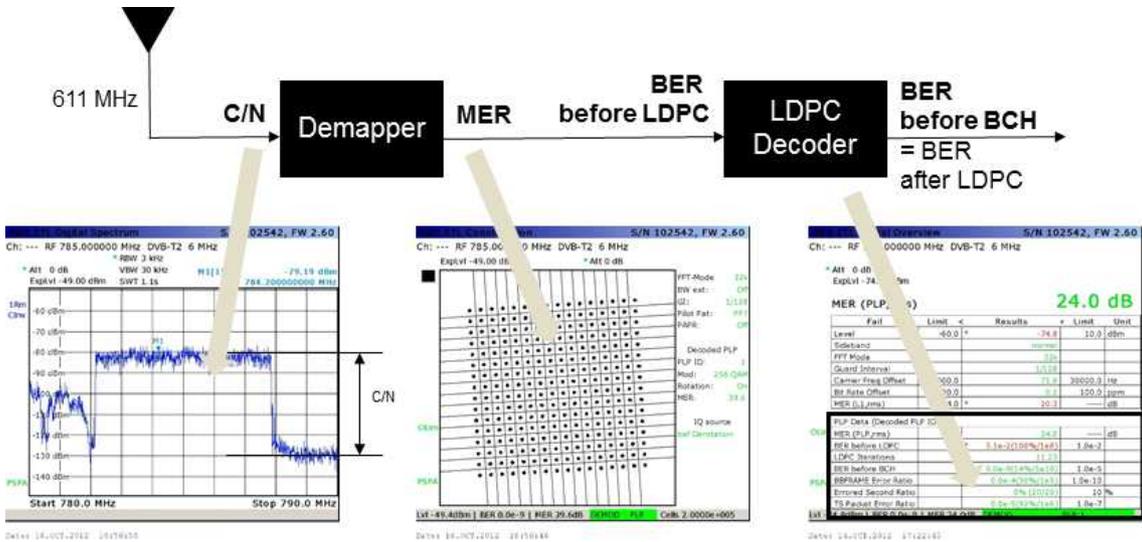


그림 2. 실험실 테스트를 위한 물리 계층 성능 지표
Fig. 2. Physical layer performance metrics

DVB-T2 기준신호 발생을 위해서 R&S SFU 장비를 사용하였다. C/N 조절을 위한 노이즈 삽입이나 Rician 및 Rayleigh 채널, 단일 주파수 방송망(SFN; Single Frequency Network) 수신 상황을 가정한 0dB Echo 채널 생성은 SFU 장치의 내장 기능을 활용하였다. 또한, 테스트 스트림의 재생은 SFU 장치에 내장된 TS Player를 사용하였다.

C/N, MER(Modulation Error Ratio), BER(Bit Error Rate)과 같이 물리 계층 지표들을 측정하기 위해 DVB-T2 수신 모듈이 장착된 R&S ETL 기준수신기를 사용하였고, 측정 지표별로 [그림 2]와 같이 해당되는 위치에 표시되는 실측값을 눈으로 읽었다.

DVB-T2 수신기를 사용하여 양시청 여부를 판단하였는

표 1. 양시청 확인을 위해서 사용된 3가지 종류 수신기
Table 1. Three different types of receivers for confirming SPF threshold

Receiver A (Rx A) Tuner-embedded 4K-UHDTV	Receiver B (Rx B) Dongle tuner for smartphones	Receiver C (Rx C) Dongle tuner for laptops
		

데, [표 1]과 같이 서로 다른 3가지 종류의 시판 중인 수신기들을 사용하여 현재 수준을 파악할 수 있게 하였다. 양시청 여부를 판단하기 위해서 ITU-R 권고 BT.2033 Annex 5에 따라, 임의의 20초 측정 시간 동안에 1개 이하의 시청각적인 오류가 발견되지 않는 지점, 즉 SPF(Subjective Picture Failure)를 그 기준으로 삼았다.

2. 테스트 스트림 규격

비디오는 ITU-R BT.2020 4K-UHD 규격에 따라 화소수 3,840×2,160 픽셀, 초당 59.94프레임을 지원하는 순차주사(Progress) 방식으로, MPEG-H/HEVC 코덱 Main Profile로 전송률 25Mbps로 인코딩되었다. 오디오는 Dolby AC-3 스테레오(최대 5.1채널)이며 전송률은 256kbps이다. 최종적으로, 비디오와 오디오 출력 스트림은 MPEG-2 Transport Stream으로 다중화 되어 26Mbps의 전송률을 가진다.

3. DVB-T2 송신 파라미터 설정

우리나라 지상파 UHDTV 실험방송에서 사용 중인 송신 파라미터를 기본으로 [표 2]와 같이 설정하였다. 단, 온에어 전파와의 혼신을 피하기 위해서 서울특별시 여의도동 기준

표 2. 실험에 사용된 DVB-T2 시스템 파라미터 설정값
 Table 2. DVB-T2 System Parameters in the Experiment

Bandwidth (occupied)	6MHz (5.82MHz)		
FFT Size (carrier spacing)	32K Extended (209Hz)		
Guard Interval (duration)	1/16 (298.666 μ s)		
Pilot Pattern	PP2		
PAPR Reduction	No		
Physical Layer Pipe	Single		
Modulation	256-QAM		
Code Rate	2/3	3/4	4/5
Data Rate [Mbps]	26.372905	29.668290	31.657308
Raw C/N [dB]	17.8	20.0	21.3

으로 비어 있는 채널, UHF 37번, 중심주파수 611MHz로 설정하였다.

4. 측정 절차

- ToV C/N 측정 (NorDig Unified Test Plan [13] Task 3-57 참조)
 - 1) SFU 출력을 -50dBm으로 설정한 뒤, 양시청 확인을 위해서 SFU 출력을 수신기에 연결
 - 2) C/N 값을 0.1dB 간격으로 증감시켜가면서, 화면이 깨지는 지점을 확인
 - 3) 화면을 20초 동안 지켜보면서 영상이나 소리에 오류가 발생하지 않는지 관찰
 - 4) 수신기 쪽에 연결된 케이블을 절체하여 ETL에 연결. ToV C/N 측정
- 수신기 Sensitivity 측정 (NorDig Unified Test Plan [13] Task 3-59 참조)
 - 1) SFU C/N 기능은 OFF 시킨 뒤, 양시청 확인을 위해서 SFU 출력을 수신기에 연결
 - 2) SFU 출력을 0.1dB 간격으로 감쇄시키면서, 화면이 깨지는 지점을 확인
 - 3)-4) 상기 3)-4) 과정과 동일

III. 실험실 테스트 결과

1. 2세대 방송 시스템에서 BER 측정의 어려움

ATSC1.0이나 DVB-T와 같이 1세대 방송시스템¹⁾에는 Convolutional Code와 Reed-Solomon (RS) Code를 연결하여 사용하는데 반해, DVB-T2에서는 LDPC (Low-Density Parity-Check) Code와 BCH Code을 연결하여 사용하여 수신 성능을 크게 향상시켰다.

[그림 3]은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 얻은 LDPC 디

1) 방송 표준의 세대 구분은 ITU-R 권고에 정의하고 있는데, 1세대 방송 표준은 ITU-R 권고 BT.1306 문서에, 2세대 방송 표준은 ITU-R 권고 BT.1877에 정의된 시스템을 말한다. 2016년 3월 현재, DVB-T2 시스템만 2세대 방송 표준으로 정의되어 있다.

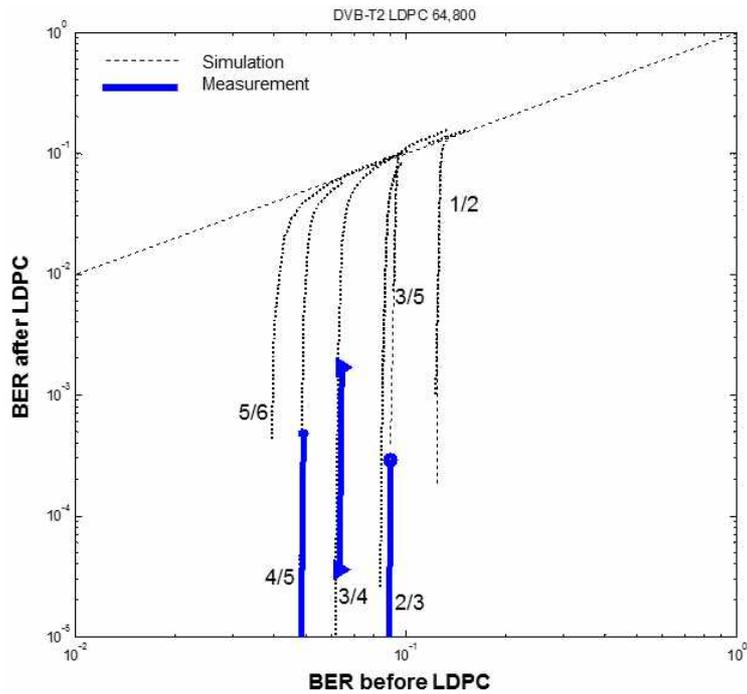


그림 3. 오류 정정 부호율에 따른 LDPC 디코더 입력 BER과 출력 BER 관계 곡선
 Fig. 3. BER before BCH decoding according to BER before LDPC decoding as a function of code rate

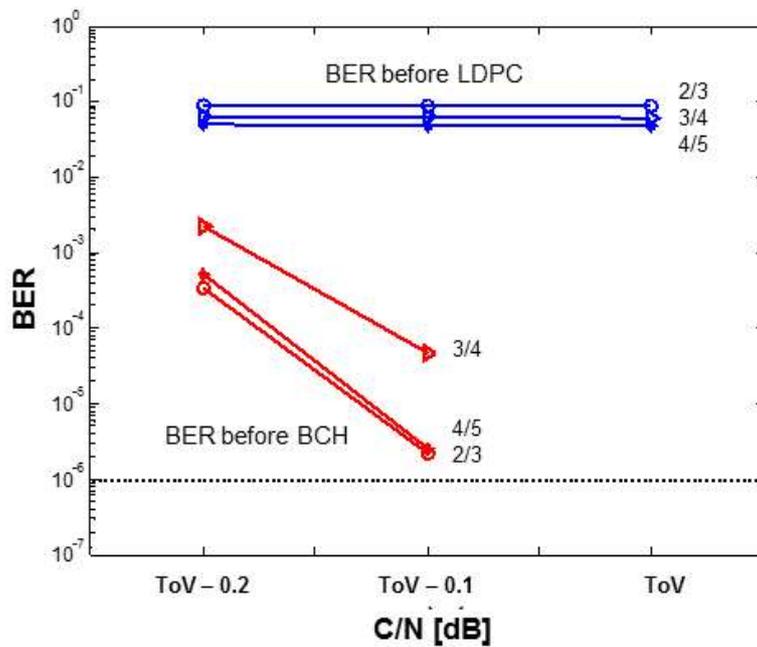


그림 4. ToV C/N 변화에 따른 BCH 디코딩 직전 BER 곡선과 LDPC 디코딩 직전 BER 곡선
 Fig. 4. BER before BCH decoding and BER before LDPC decoding according to ToV C/N

코딩 이전과 이후의 BER 곡선 위에 실험실 테스트를 통해 측정된 BER을 함께 그린 그래프이다. 부호율 3/4의 경우, LDPC 디코더 입력 BER=0.05가 되면 LDPC 디코더 출력 BER이 Quasi-Error Free 조건인 10⁻¹¹을 만족하는 것을 확인할 수 있다. 즉, DVB-T2에 정의된 오류 정정 능력이 매우 우수하다는 것을 의미한다.

그 결과, [그림 4]와 같이 ToV C/N에서는 BER=0을 만족하여 양시청이 보장되지만, 불과 0.1dB 미달하는 C/N, ToV-0.1dB 지점에서는 BER이 크게 증가하여 [그림 5]와 같이 급격히 시청 상태가 불량해진다. ITU-R 보고서 BT.2341[14]에서도 이러한 현상을 동일하게 지적하고 있다. 즉, AWGN 환경에서는 0.1dB 단위의 정밀한 C/N 조절이 가능하고 수신 신호 세기의 변동이 없어서 BER 값을 특정할 수 있으나, 실제 미세한 채널 변화로 0.1dB 이상의 수신 신호 레벨의 변화가 발생할 경우에는 BER을 특정한 값으로 정하기 어렵다. 결과적으로 측정된 ToV C/N 지점과 시청자가 느끼는 양시청 간의 차이가 0.1dB 이내로 차이가 없기 때문에, 별도의 BER 측정 없이 ToV C/N 값을 정하더라도 무리가 없다고 판단된다.

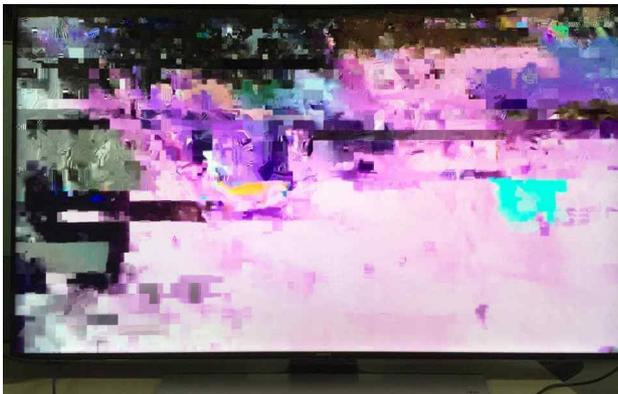


그림 5. 입력 레벨이 ToV-0.1dB 지점에서 시청 상태
 Fig. 5. Symptom when the input level is ToV-0.1 dB

2. AWGN 환경에서 ToV C/N 값과 수신기 Sensitivity 측정 결과

[그림 6]은 3종류의 수신기 각각의 ToV C/N과 Sensitivity 측정값과, 이로부터 계산되는 수신기 노이즈 바닥(Floor)을 나타내는 그래프이다. 개별 측정값은 [표 3]에 정리하였다. 노이즈를 삽입해가면서 측정하는 ToV C/N의 경우, [표 2]에서 정의하고 있는 이론적 C/N값과 최대 0.8dB 이내로 구현되었음을 확인하였다. 이는, 통상적인 구현 손실 범위 1dB 이내로, 실제 양시청 방송 커버리지 산정에 영향을 미치지 않는 수준으로 판단된다.2)

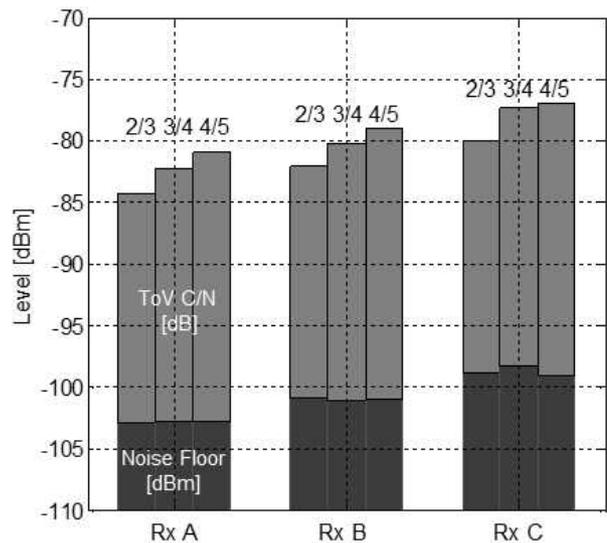


그림 6. 수신기 종류별 오류 정정 부호율에 따른 최소 수신기 신호 입력 레벨, 노이즈 바닥

Fig. 6. Minimum receiver signal input level and noise floor as a function of code rate according to three different types of receivers

노이즈 삽입 없이 수신 신호 레벨을 감쇄시켜가면서 측정하는 수신기 최소 입력 레벨, 즉 Sensitivity의 경우, DVB-T2 튜너와 HEVC 디코더가 내장된 일체형 UHDTV 수신기 Rx A의 성능이 가장 우수한 것으로 측정되었으며, 수신기 간에 최대 5dB 가량의 편차가 존재하는 것으로 측정되었다.

수신기 노이즈 바닥(Floor)은 하드웨어 공통의 열잡음에 구현된 수신기의 Noise Figure, 그리고 구현 손실(Implementation Loss)에 의해 결정되는데, 측정값인 수신기

2) DVB-T2와 같이 OFDM 방식을 사용하는 국내 방송규격 T-DMB의 경우, 미래부고시 '무선설비규칙 제23조제1항제8호바목'에 신호대잡음비(C/N) 편차를 1 dB 이내로 규정하고 있음.

표 3. 수신기 종류별로 측정된 ToV C/N, 수신기 Sensitivity, 이로부터 계산된 수신기 노이즈 바닥
Table 3. Measured ToV C/N, Sensitivity, and the corresponding noise floor of each receiver

	Rx A			Rx B			Rx C		
	Code Rate	2/3	3/4	4/5	2/3	3/4	4/5	2/3	3/4
Sensitivity [dBm]	-84.2	-82.2	-80.9	-82.0	-80.2	-79.0	-80.0	-77.3	-76.9
ToV C/N [dB]	18.7	20.6	21.9	18.9	20.9	22.0	18.9	21.0	22.1
Rx Noise Floor [dBm]	-102.9	-102.8	-102.8	-100.9	-101.1	-101.0	-98.9	-98.3	-99.0

Sensitivity에서 ToV C/N값을 빼서 계산할 수 있다. 평균적으로, Rx A의 경우 -102.8dBm, Rx C의 경우 -98.7dBm 수준임을 확인하였다. 상온 20°C에서 열잡음이 -106.28B m³) 임을 고려해보면, 수신기 Noise Figure는 최소 3.47dB에서 최대 7.57dB 수준임을 알 수 있었다.

3. 다양한 채널 환경에서 ToV C/N 값과 수신기 Sensitivity 측정 결과

[그림 7]은 3종류의 수신기 중 우수한 특성을 보인 Rx A를 대상으로 다양한 채널 환경, 즉 Rician, Rayleigh, 그리고 SFN 0dB Echo 채널에서 각각의 ToV C/N과 Sensitivity 측정값과, 이로부터 계산되는 수신기 노이즈 바닥(Floor)을 나타내는 그래프이다. 개별 측정값은 [표 4]에 정리하였다. Rician 채널은 RC20 ANX B 모델을[15], Rayleigh 채널은 TU-6 모델을 사용하되 각 Path별 Static 환경으로 적용하였다. SFN 0dB Echo 채널의 경우[16], 두 Path 간 신호 지연은 Guard Interval인 Cyclic Prefix 시간의 90% 지점인 268μs로 설정하였다.

결과적으로, 다양한 페이딩 상황에 관계없이 AWGN 채널에서 측정된 결과와 동일함을 확인할 수 있으며, 이로부터

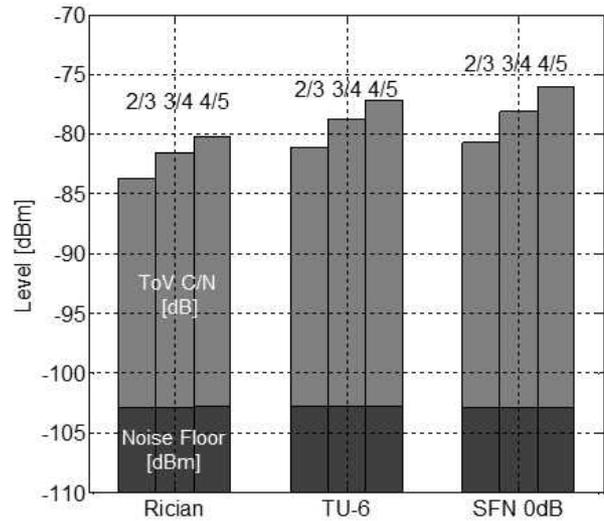


그림 7. 다양한 페이딩 채널 환경에서 오류 정정 부호화에 따른 최소 수신기 신호 입력 레벨, 노이즈 바닥
Fig. 7. Minimum receiver signal input level and noise floor as a function of code rate in various fading channels

표 4. 다양한 채널 환경에서 측정된 ToV C/N, 수신기 Sensitivity, 이로부터 계산된 수신기 노이즈 바닥
Table 4. Measured ToV C/N, Sensitivity, and the corresponding noise floor of each receiver

	Rician Channel (RC20 ANX B)			TU-6 Channel (Static)			SFN 0dB Echo Channel		
	Code Rate	2/3	3/4	4/5	2/3	3/4	4/5	2/3	3/4
Sensitivity [dBm]	-83.7	-81.6	-80.2	-81.1	-78.7	-77.1	-80.7	-78.1	-76.1
ToV C/N [dB]	19.2	21.3	22.6	21.7	24.1	25.7	22.2	24.8	26.8
Rx Noise Floor [dBm]	-102.9	-102.9	-102.8	-102.8	-102.8	-102.8	-102.9	-102.9	-102.9

3) 상온 20°C에서의 열잡음(Thermal Noise)을 계산해보면 아래와 같다.
 $No [W] = kTB = (1.3807 \times 10^{-23})(273.15 + 20)(5.82 \times 10^6) = 2.3557 \times 10^{-14}$
 여기서, k는 Boltzmann constant [J/K], T는 절대온도 [K], B는 Bandwidth [Hz] 이다.
 단위를 환산하면, $No [dBm] = 10 \log_{10}(No) + 30 = -106.2789$ 을 얻는다.

터 수신기 노이즈 바닥값은 페이딩 채널에 무관한 수신기 고유값임을 알 수 있다. 따라서, 양시청 방송 커버리지 산정 시, 수신기 Noise Figure는 기준으로 삼는 채널과 무관하게 상수값으로 처리할 수 있다.

IV. 결론 및 의의

본 논문에서는 우리나라 6MHz 대역폭에서 HEVC 코덱 규격으로 인코딩 된 4K-UHD 콘텐츠를 DVB-T2 전송 표준으로 송수신하는 경우, 이를 지원하는 상용 수신기들의 물리 계층 성능 수준을 파악해보았다는 데 의의가 크다. ToV C/N과 수신기 Sensitivity 등은 실험방송 필드테스트 결과를 분석하는 데 기준값으로 활용 가능하며, 추후 ATSC3.0 물리 계층 비교 성능 평가에도 본 논문에서 실측한 결과값들이 참고가 될 것으로 판단된다. 나아가, 이를 바탕으로 ‘지상파 4K-UHDTV 양시청 방송 커버리지’ 산정을 위한 논의 자료로도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] Z. Yim, S. Jeon, S. Kim, S. Hahm, and B. Kim, "Experimental Broadcasting of 4K UHDTV via Terrestrial Network in Korea," ABU Technical Review, no. 255, pp. 3-8, July-September 2013.
- [2] I. Cho, B. Kim, S. Hahm, S. Kim, and S. Jeon, "Terrestrial 4K UHD Live Broadcasting of Sports Events," ABU Technical Review, vol. 261, no. 1, pp.2-8, January-March 2015.
- [3] ITU-R Report BT.2343, "Collection of field trials of UHDTV over DTT networks," ITU-R SG6 WP6A, February 2015.
- [4] S.-K. Park, Y.-J. Jo, D.-W. Kim, and G.-M. Park, "A Study on Terrestrial UHDTV Broadcasting and Construction of Direct Reception Environment by DVB-T2," Journal of Broadcast Engineering, vol. 18, no. 4, pp. 572-588, July 2013.
- [5] J. Oh, Y. Won, J. Lee, Y. Kim, J. Paik, and J. Kim, "A Study of Development of Transmission Systems for Next-generation Terrestrial 4K UHD & HD Convergence Broadcasting," Journal of Broadcast Engineering, vol. 19, no. 6, pp. 767-788, November 2014.
- [6] S. W. Lee, "A Study on the Frequency Allocation of Terrestrial UHDTV Broadcasting in 700MHz Band," Journal of Broadcast Engineering, vol. 20, no. 1, pp. 82-91, January 2015.
- [7] Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television, ETSI EN 300 744 V1.6.1 (2009-01).
- [8] Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), ETSI TS 102 831 V1.2.1 (2012-08).
- [9] Digital Video Broadcasting (DVB); Frequency and Planning of DVB-T2, Report TECH 3348 Version 4.1.1 (2014-10).
- [10] ITU-R Recommendation BT.2033, "Planning criteria, including protection ratios, for second generation of digital terrestrial television broadcasting systems in the VHF/UHF bands," ITU-R SG6 WP6A, February 2015.
- [11] Federal Communications Commission (FCC), "Longley-Rice Methodology for Evaluating TV Coverage and Interference," OET BULLETIN No. 69, February 06, 2004
- [12] Federal Communications Commission (FCC), "Tests of ATSC 8-VSB Reception Performance of Consumer Digital Television Receivers Available in 2005," OET Report FCC/OET TR 05-1017, November 2005.
- [13] NorDig Specification; Unified Test Plan v2.4, February 2014.
- [14] ITU-R Report BT.2341, "TV receiver subjective picture failure thresholds and the associated minimum quasi error free levels for good quality reception," ITU-R SG6 WP6A, November 2014.
- [15] Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for DTT. ETSI EN 300 744 V1.4.1 (2001-01)
- [16] S. Jeon, J. Lee, J.-M. Choi, and J.-S. Seo, "Definition and Properties of the Erasure Effect in Single Frequency Network with Two Synchronized Transmitters," IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, vol. 13, pp. 439-442, March 2014.

저 자 소 개



전 성 호

- 2007년 2월 : 연세대학교 일반대학원 전기전자공학과(공학석사)
- 2016년 2월 : 연세대학교 일반대학원 전기전자공학과(공학박사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : KBS 미래기술연구소
- 2014년 1월 ~ 현재 : 한국ITU연구위원회 ITU-R SG6(방송업무) 연구반원
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-0417-6906>
- 주관심분야 : UHDTV 지상파 전송시스템, 지상파 방송용 MIMO-OFDM 테스트베드



김 상 훈

- 1998년 8월 : 고려대학교 전자공학과(공학사)
- 2001년 8월 : KAIST 전기 및 전자공학과(공학석사)
- 2001년 12월 ~ 현재 : KBS 미래기술연구소
- 2011년 10월 ~ 2013년 5월 : KBS 정책기획부 미래전략팀
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0001-6336-4109>
- 주관심분야 : 모바일방송, UHDTV, 융합네트워크



함 상 진

- 1998년 8월 : 연세대학교 전자공학과(공학석사)
- 2001년 7월 ~ 현재 : KBS 미래기술연구소
- 2010년 1월 ~ 현재 : TTA 디지털방송 PG(PG802) 표준화위원
- 2014년 1월 ~ 현재 : 한국ITU연구위원회 ITU-R SG6(방송업무) 연구반원
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-0448-4068>
- 주관심분야 : 영상부호화, UHDTV 제작기술



임 중 곤

- 1996년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학석사)
- 1996년 1월 ~ 2015년 12월 : KBS 미래기술연구소 UHDTV전송기술연구팀장
- 2016년 1월 ~ 현재 : KBS 전략기획실 UHD추진단
- 2000년 6월 : NHK 방송기술연구소 초빙연구원 (1년)
- 2013년 10월 ~ 2016년 6월 : TTA PG802산하 WG8027 (UHDTV RF 송수신정합표준실무반) 의장
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-7341-6977>
- 주관심분야 : UHD 지상파 전송 시스템 연구, 직접수신 환경 개선 방송망 구축



서 영 우

- 1991년 3월 ~ 1995년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과(공학사)
- 1995년 3월 ~ 1997년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과(공학석사)
- 2007년 3월 ~ 2011년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : KBS 미래기술연구소 창의융합팀장
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-7423-8885>
- 주관심분야 : 디지털 신호처리, RF 신호처리, DTV 전송시스템