

ATSC 3.0 기반 지상파 UHD 본방송을 위한 물리계층 필드테스트 결과

전성호¹, 이재권¹, 신유상¹, 최우식², 이현주², 장진영³, 오주봉³, 이재호¹, 강대갑¹

¹한국방송공사 미래기술연구소 미디어연구부

{jeonsh, breeze, sysmaster, jaeho, dkkang}@kbs.co.kr

²(주)문화방송 디지털기술국 기술연구소

{wschoi, hjlee}@mbc.co.kr

³SBS 기술국 기술인프라팀

{hydrian98, likeariver1}@sbs.co.kr

요약

지상파 방송 3사(KBS, MBC, SBS)는 2017년 5월 31일부터 지상파 UHD(Ultra High Definition Television) 본방송을 개시하였다. ATSC(Advanced Television Systems Committee) 3.0 표준방식으로 이루어진 세계 최초 지상파 UHD 본방송으로써, 국내뿐만 아니라 미국, 일본, 유럽의 DTV선진국에서도 많은 관심을 보이고 있다. 본 논문에서는 시험방송 기간에 방송사와 가전사가 공동으로 실시한 ATSC 3.0 기반 지상파 UHD 본방송을 위한 물리계층 필드테스트 결과에 대해 살펴보고자 한다.

1. 서론

2세대 지상파 방송시스템 표준인 ATSC 3.0 규격은 ‘Next Gen TV’ 라고도 불리는 데, 4K-UHD, 모바일 HD, 다채널/양방향/맞춤형 서비스, 재난재해 방송 등 다양한 고품질 방송 서비스를 IP기반 MMT, ROUTE, DASH 규격을 활용하여 전송해줌으로써 효율적인 방송통신 융합 서비스를 제공한다[1]. 미국에서는 2017년 12월까지 표준화 완료를 목표로 마무리 작업이 한창 진행 중에 있으며, 미국에서는 2017년 2월 23일 국가표준으로 ATSC 3.0을 채택한 반면에, 우리나라는 이에 앞서 ATSC 3.0 후보표준(Candidate Standard) 기반의 ‘TTA 지상파 UHD TV 방송 송수신 정합 표준’ 을 2016년 12월 국내 UHD 방송표준으로 채택하였다[2].

2017년 5월 31일, ATSC 3.0 표준 기반 세계최초 지상파 UHD 본방송이 우리나라에서 개시되었다. 2017년 2월 28일 새벽 5시, 시험방송 전파를 발사한 뒤 꼭 3달만이다. 미국보다도 앞서 세계 최초 본방송을 실시하기 위해서는 우리 스스로 방송 장비 전반에 걸친 송수신 정합을 실시해야만했고, TTA WG8027을 중심으로 하는 실험실 송수신정합을 통해 Broadcast Gateway, Exciter, 그리고 ATSC 3.0 수신기 일체에 대한 기능 검증에 이어, 이를 기반으로 시험방송 기간에는 필드테스트를 통해서 본방송용 후보 파라미터 도출에 필요한 송수신 정합 검증과 물리계층 수신 성능에 따른 기초자료 확보가 필수적이었다.

본 논문에서는 시험방송 기간 중인 2017년 4월 당시 송신기 구축 상황과 수신기 구현 상황을 바탕으로, 방송사와 가전사가 공동으로 실시한 물리계층 필드테스트 결과에 대해 공유하고, ATSC3.0 기반 지상파 UHD 본방송을 위한 물리계층 송수신정합 환경에 대해 살펴보고자 한다.

2. 필드테스트 ATSC3.0 온에어 송수신 환경

2.1. 시험방송 기간 중 송신 조건

[표 1]은 시험방송 기간 중 각 방송사별 온에어 송신소 구축 현황 및 제원을 나타낸다. 방송3사 모두, 수도권 1단계 송신소 허가 제원에 근거하여 ATSC 3.0 송신기 도입을 완료하였고, 최소 3군데 이상의 송신소를 ‘단일주파수방송망(SFN, Single Frequency Network)’ 형태로 구축하였다[3]. 다만, MBC와 SBS의 경우, 본방송용 송신기를 사용하였기 때문에 정격 출력으로 RF 신호를 발사 중이었던 반면, KBS의 경우1)에는 임시송신기 및 임시안테나를 사용하고 있어, 부득이 허가 제원보다 낮은 출력으로 신호를 발사 중이었다.

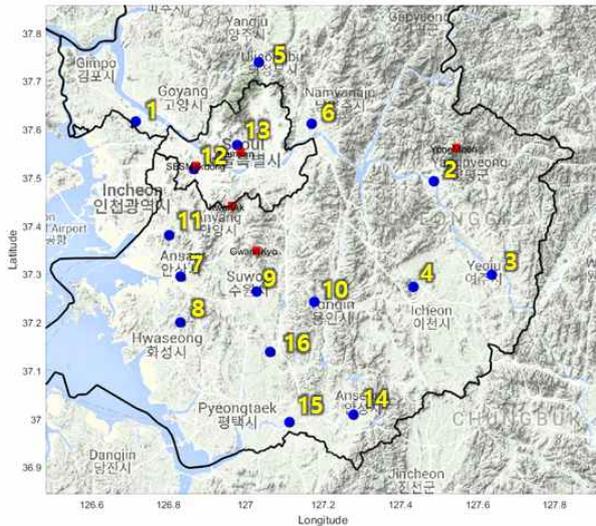
[표 1] 시험방송 기간 지상파 UHD 송신사이트 제원

2017.3.31 기준	KBS1 채널 52번	SBS 채널 53번	MBC 채널 55번	KBS2 채널 56번
관악 5kW	2.5 kW	5.0 kW	5.0 kW	1.0 kW
남산 5kW	1.0 kW	5.0 kW	5.0 kW	1.0 kW
광교 2kW	100 W	2.0 kW	2.0 kW	100 W
용문 2kW	-	2.0 kW	2.0 kW	-
목동 900W	-	900 W	-	-

[그림 1]은 필드테스트 수신 측정점 위치 및 측정 순서를 나타낸다. 수도권 1단계 송신소 구축을 통해서 서울과 경기 수도권 지역을 포함하는 방송구역 확보가 예상되었기 때문에, 방송구역 전반에 걸쳐서 최대한 고르게 고정 측정점이 분포하도록 수신점 15군데를 선정하였다. 넓은 수도권 방송구역을 15개 측정점만으로 실제 파악하기에는 오

1) 참고로, KBS 본방송용 송신 장비는 4월 마지막 주에 구축 완료하였다.

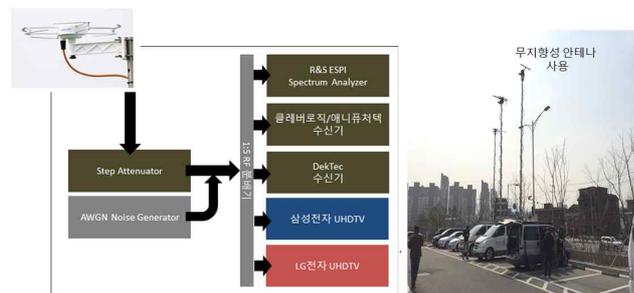
차가 클 수밖에 없기 때문에, 측정점 이동 간에 MBC 채널을 대상으로 수신레벨[dBm]에 대해서 이동 측정을 실시하여 부족한 데이터를 최대한 보충하였다.



[그림 1] 필드테스트 수신 측정점 위치 및 측정 순서

2.3. 필드테스트 수신 조건

TTA WG8027 실험실 송수신정합을 완료한 ATSC 3.0 전문 계측장비, ATSC 3.0 칩셋이 내장된 시제품 UHD TV를 사용하여, 필드테스트를 위한 ATSC 3.0 전용 측정차를 [그림 2]와 같이 구성하였다. 수신레벨[dBm] 측정과 RF 스펙트럼 확인을 위해서 Rohde&Schwarz社 ESPI 장비를 사용하였으며, 클레버로직/에니퓨터텍사와 Dektec社 ATSC 3.0 전문 계측 장비를 활용하여 A/322 표준 기반 전송파라미터 무결성을 확인하고, SFN 분석에 필수적인 CIR(Channel Impulse Response) 및 MER(Modulation Error Rate)를 계측하였다. 양시청 판별을 위해서 삼성전자, LG전자의 상용수신기로 UHD TV 수신 영상을 확인하였다. 무엇보다도, 각 사에서 파견된 전문 인력들이 직접 개별 장비를 운용하고 측정값을 수집함으로써, 장비 조작 미숙에서 발생할 수 있는 측정 오류를 차단하고 측정 결과에 대해 현장에서 즉각적인 분석 논의가 가능하였다.



[그림 2] (좌) 필드테스트 측정 차량 내부 구성도 (우) 차량 외부 모습

2.4. 물리계층 성능평가 지표 및 측정방법

o (수신 전계 측정) 측정점에서는 우선 각 채널별 수신레벨[dBm]을 측정하였다. 여러 송신기가 하나의 주파수를 사용하는 SFN 특성을

여러 방향에서 신호가 수신될 수밖에 없어 무지향성 Omni-Antenna를 사용하여 측정하였으며, 전계강도가 충분한 곳에서는 실내수신 여부를 가늠해보기 위해서 마스트를 올리지 않고 2m 측정을 기본으로 하였다. 다만, 수신 상태가 불량하거나 정밀 측정이 필요한 경우에는 마스트를 9m까지 올리고 측정을 실시하였다.

o (양시청 확인) 수신레벨 측정이 끝나면, UHD TV 수상이 화면을 통해서 20초 동안 화면 끊김이나 기타 시청 불편요소가 없이 안정적으로 시청 가능한지 확인하고 양시청 또는 난시청을 판별하였다.

o (CIR 채널 프로파일 측정) 수도권 권역별 SFN이 정상적으로 구성되어 있는지 파악하기 위해서, ATSC 3.0 프로세서널 수신기를 통해 모든 송신기 신호가 보호구간(Guard Interval) 내에 모두 도착하는지 여부를 채널 프로파일(CIR) 측정을 통해 확인하였다. 특히, 둘 이상의 송신기 신호가 중첩되는 지역에서 보호구간(GI, Guard Interval)을 벗어나는지 여부를 중점적으로 관찰하였다.

o (ToV C/N[dB]와 최소입력레벨[dBm] 측정) 본방송 전송파라미터 도출과 커버리지 추산에 필요한 기초자료 수집을 위해서 [4] 유사 전송률[Mbps]에서 변조차수-오류정정부호율(MODCOD) 조합에 따른 수신 성능을 분석하였다.

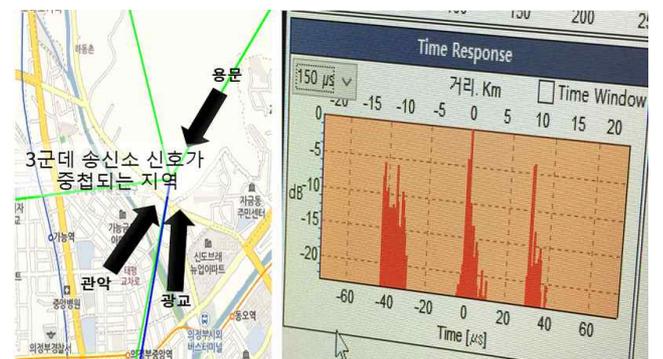
- . 신호감쇄기(Attenuator)를 사용하여, 수신신호를 낮춰가면서 양시청 최소 수신 전계 레벨 [dBm] 확인
- . 노이즈 발생기를 사용하여, 수신신호에 노이즈를 삽입한 뒤 양시청 신호대잡음비(ToV C/N[dB]와 이에 따른 변조오류율(MER)[dB] 확인

3. ATSC3.0 물리계층 필드테스트 결과

3.1. 수신측정점 예: 측정점 #5(의정부 경기도교육청) 경우

고정 측정점 중 측정점 #5의 사례를 [그림 3]에 나타내었다. 채널 프로파일 CIR 측정을 통해 확인한 결과, 관악/광고/용문 송신소로 추정되는 3개 그룹의 패턴이 확인되었다. 특히, 수신 신호 모두 GI 구간 내에 위치하고 있어 송신소 신호 간 간섭 없이 수신 가능한 상태로 파악되었으며, 해당 수신점을 기준으로 별도의 송신기 SFN Delay Offset 조정이 필요 없는 것으로 판단되었다[5].

다만, 측정 당시에는 TxID 기능이 지원되지 않아서 정확히 어떤 송신소로부터 수신된 신호인지 판별할 수는 없었고, 조만간 TxID(송신기 식별 부호) 채널분석기가 개발되면 정확히 어떤 송신기로부터 어떤 Multipath 경로를 거쳐서 수신되고 있는지 명확히 파악할 수 있을 것으로 예상된다.



[그림 3] (좌) 측정점#5 상서 위치와 송신소 방향 (우) CIR 상에 확인된 3군데 송신소 신호 중첩 지역

3.2. MODCOD 조합에 따른 성능 평가 결과

[표 3]은 변조차수와 오류정정부호율(MODCOD) 조합에 따른 ToV C/N(양시청 신호대잡음비) 측정값을 정리한 표이다. HD 전송을 위한 3Mbps 내외, UHD 전송을 위한 17Mbps 내외의 MODCOD 조합에 대해서 온에어를 실시하고 측정값을 수집하였다. 여기서 이론값은 ATSC 3.0 표준에서 제시된 이론적인 성능[6] 중 Rayleigh 채널에서의 ToV C/N을 의미하는 데 ±1dB 수준에서 실측값과 유사함을 확인할 수 있다. 결과적으로, 본방송용 전송파라미터를 선정함에 있어서, Rayleigh 채널 상황에서 제시된 이론값을 활용하더라도 필드테스트 없이도 실제 수신 상황과 유사한 성능 평가가 가능할 것으로 판단된다.

[표 3] MODCOD별 ToV C/N (단위 : dB)

번호	측정모드	측정 갯수	실측 ToV	이론값	차이
1	16-QAM R=7/15	1	5.8	7.21	-1.41
2	16-QAM R=8/15	20	10.05	8.63	1.42
3	16-QAM R=9/15	5	11.78	9.94	1.82
4	64-QAM R=5/15	7	8.84	7.74	1.1
5	64-QAM R=7/15	3	12.63	11.1	1.53
6	64-QAM R=8/15	6	13.2	12.75	0.45
7	64-QAM R=10/15	3	16.68	15.81	0.85
8	64-QAM R=11/15	9	18.01	17.44	0.57
9	256-QAM R=6/15	1	13.5	12.91	0.59
10	256-QAM R=8/15	6	17.05	16.54	0.51
11	256-QAM R=9/15	13	19.16	18.23	0.93
12	256-QAM R=10/15	2	20	20.06	-0.06

[표 4]는 MODCOD 조합에 따른 양시청을 위한 수신기 최소수신전력(Receiver Sensitivity) 측정값을 정리한 표이다. 여기서 이론값은 수식(1)을 바탕으로 계산된 값이며, 수신기 Noise Figure를 7dB로 가정할 경우 ±1dB 수준에서 필드테스트 실측값과 유사함을 확인할 수 있다.

이론값 = -106dBm + 이론적 ToV C/N[dB] + 수신기 Noise Figure (1) 단, -106dBm은 6MHz 대역폭에 대한 상온에서의 열잡음 (Thermal Noise).

[표 4] MODCOD별 수신기 최소수신전력 (단위 : dBm)

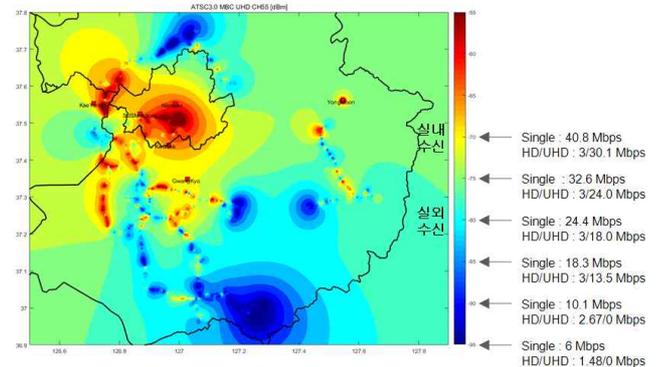
번호	측정모드	측정 갯수	수신 레벨	이론값	차이
1	16-QAM R=7/15	1	-91	-91.79	0.79
2	16-QAM R=8/15	20	-89.97	-90.37	0.4
3	16-QAM R=9/15	5	-88.34	-89.06	0.72
4	64-QAM R=5/15	7	-89.65	-91.26	1.61
5	64-QAM R=7/15	3	-88.47	-87.9	-0.57
6	64-QAM R=8/15	6	-85.9	-86.25	0.35
7	64-QAM R=10/15	3	-84.66	-83.19	-1.47
8	64-QAM R=11/15	9	-82.93	-81.56	-1.37
9	256-QAM R=6/15	1	-86.3	-86.09	-0.21
10	256-QAM R=8/15	6	-81.8	-82.46	0.66
11	256-QAM R=9/15	13	-81.18	-80.77	-0.41
12	256-QAM R=10/15	2	-79.3	-78.94	-0.36

3.3. 수신레벨 분포와 전송률에 따른 커버리지 추산

필드테스트 고정점에서 측정된 수신레벨[dBm]과 이동측정을 통해서 수집된 수신레벨을 바탕으로 [그림 4]와 같이 시험방송 기간 중 수신 레벨 분포를 나타내었다. 측정점 이외의 지역의 값은 IDW(Inverse Distance Weighting) 기법[7]을 사용하여 보간(Interpolation)하였고, 전계강도가 높을수록 붉은색으로, 낮을수록 푸른색으로 표시하였다.

우선, 수도권 1단계 송신소 구축 결과에 따라, 서울 지역에서의 수신레벨은 약 -40 ~ -70 dBm 사이의 우수한 수신전계가 나오는 것을 확인할 수 있다. 반면 경기도 외곽 지역으로 갈수록 약전계 상황이 발생하는 것을 실증적으로 확인할 수 있다.

나아가, [그림 4]와 앞서 분석된 [표 4]를 동시에 활용할 경우에는 서비스 전송률에 따른 방송구역 커버리지를 추정해 볼 수 있다. 가령, 3Mbps HD 채널과 18Mbps UHD 채널을 동시에 서비스한다고 했을 때는 -80dBm 수준의 서비스 커버리지를 확보할 수 있을 것으로 예상할 수 있다.



[그림 4] 수도권 1단계 송신소 구축 결과에 따른 수신 레벨 분포

결과적으로, 필드테스트를 통해 분석된 상기 결과는 각 방송사 상황에 맞는 본방송용 전송 파라미터 도출에 기초 자료로 활용되었을 것으로 판단된다. 2017년 6월 1일 11시 현재, 온에어 중인 MODCOD 조합을 정리하면 [표 5]와 같다.

[표 5] 2017년 6월 1일 11시 현재, 온에어 중인 MODCOD

2017.6.1 11시 기준	KBS1 채널 52번	SBS 채널 53번	MBC 채널 55번	KBS2 채널 56번
HD	16-QAM 7/15	16-QAM 7/15	16-QAM 8/15	16-QAM 7/15
UHD	256-QAM 9/15	256-QAM 9/15	256-QAM 9/15	256-QAM 9/15

4 결론

UHDTV는 국내외 산업 발전의 파급력이 큰 기술로써, 과거 여러 차례 실행되었던 UHD 실험방송과 달리 ATSC3.0 표준 규격으로 이루어진 세계 최초 지상파 UHD 본방송이기 때문에 차질 없는 본방송이 준비되도록 다각도에서 이슈 사항을 점검하였으며, 짧은 기간이지만

정부, 방송사, 제조사의 협조로 이루어 낸 차세대 지상파 방송으로 우리나라가 한 걸음 더 나아갈 수 있는 중요한 성과로 평가할 수 있다.

시험방송 기간 중에 UHD 본방송 필드테스트를 진행한 결과, -70 ~ -80dBm 수준의 수신 전력이 확보되어야 안정적인 UHD 수신이 가능해질 것으로 예상된다. 본방송 이후에도 각 방송사별로 송신망에 대한 지속적인 최적화 작업과 송신기 업그레이드가 진행될 것이고, 수신기도 하루가 다르게 성능이 개선될 것으로 예상된다. 따라서, 향후에도 지속적인 필드테스트 및 측정자료 확보를 통해 UHD 송신계통 전반에 걸친 조사가 필요하다고 판단된다.

Acknowledgment

필드테스트를 지원해주신 미래창조과학부 관계자 분들께 진심으로 감사드립니다. 또한, 필드테스트에 참가해주신 MBC, SBS, 삼성전자, LG 전자, 애니큐처텍/클레버로직 관계자 분들의 노고에 감사드립니다. 이 논문은 2017년도 미래창조과학부의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 [2017-0-00442, 지상파 UHD 송수신 환경 분석 및 망구축 기반기술 개발].

참고문헌

- [1] ATSC, "ATSC Standard : Physical Layer Protocol(A/322)," 2016. 9.
- [2] TTA, "지상파 UHD TV 방송 송수신 정합(TTAK.KO-07.0127)", 2016.12
- [3] 전성호, 경일수, "방송망 구축을 위한 ATSC 3.0 전송 기술, TTA 저널 2016년 09월 167호, 26-33.
- [4] 전성호, 김상훈, 함상진, 임중곤, 서영우 (2016.7). "HEVC over DVB-T2 기반 지상파 4K-UHDTV 방송을 위한 양시청 기준값 실험실 테스트 결과" 『방송공학회논문지』 <특집논문: IWAIT 2016>, 21(4), 506-514.
- [5] 전성호, "ATSC3.0 기반 UHD 표준과 SFN 구축 방안", 제27회 국제 방송·음향·조명기기 전시회 (KOBA 2017) Daily News, 2017.05.
- [6] ATSC 3.0, S32-4-031r6-ATSC_3_0_Use_Case_Calculations.xlsm
- [7] Sungho Jeon, Sanghun Kim, Jeong-Deok Kim, Zungkon Yim, and Jong-Soo Seo, "Field Trial Results of 4K-UHD over DVB-T2 Single Frequency Network in Republic of Korea," in The 11th IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB 2016), Nara, Japan, June 2016.