

정규논문 (Regular Paper)  
방송공학회논문지 제18권 제1호, 2013년 1월 (JBE Vol. 18, No. 1, January 2013)  
<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2013.18.1.59>  
ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

## ATSC DTV에서 동일채널간섭 커버리지에 대한 분석

류관웅<sup>a)†</sup>, 박성익<sup>a)</sup>, 김홍묵<sup>a)</sup>

### Analysis on Co-channel Interference Coverage of ATSC DTV

Kwanwoong Ryu<sup>a)†</sup>, Sung Ik Park<sup>a)</sup>, and Heung Mook Kim<sup>a)</sup>

#### 요약

최근 지상파 방송은 아날로그 TV방송에서 디지털 TV방송으로의 전환이 진행 중에 있다. 이러한 디지털 TV방송 전환 이후에 동일 채널 간섭으로 인한 TV White space (TVWS)의 재할당 및 배치가 필요하다. 본 논문에서는 방송서비스 전파모델로 가장 많이 사용되고 있는 Longley-Rice와 ITU-R P.1546 전파모델에서 동일채널간섭 (CCI; co-channel interference)으로 인해 발생하는 TVWS에 대해 연구한다. 또한 디지털 방송에서 송신 안테나 높이와 송신전력에 따른 서비스 커버리지 반경과 CCI 반경을 분석한다. 분석결과에 의하면, Longley-Rice와 ITU-R P.1546 전파모델의 평균적인 CCI 반경 대 서비스 커버리지 반경의 비는 각각 2.54, 2.07이었다.

#### Abstract

Recently, the digital television transition from analog television to digital television has been progressing in terrestrial broadcasting. As a result of the DTV transition, additional reassignments and deployments of TV White spaces (TVWS) caused by co-channel interference (CCI) were needed. In this paper, we investigate the TVWS caused by CCI using Longley-Rice and ITU-R P.1546 propagation model, which are the most widely-used propagation model. In addition, we analyze the service coverage radius and CCI radius according to the height of transmitter antenna and transmitting power. The results show that the ratios of CCI radius to service coverage radius in Longley-Rice and ITU-R P.1546 propagation model are about 2.54 and 2.07, respectively.

Keyword : Service coverage, co-channel interference coverage, ITU-R P.1546, Longley-Rice

a) 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 (Broadcasting Systems Research Department, ETRI)

† Corresponding Author : 류관웅 (Kwanwoong Ryu)

E-mail: Kwryu0730@etri.re.kr

Tel: +82-42-860-0737 Fax: +82-42-860-6465

※ 본 연구는 방송통신위원회의 방송통신기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [12-912-02-001, DTV를 활용한 Wake-up 긴급경보 방송시스템 개발]

Manuscript received September 26, 2012 Revised December 6, 2012

Accepted December 11, 2012

## 1. 서론

최근 무선통신 분야의 주파수 부족 문제를 해결하기 위해 아날로그 TV에서 디지털 TV 전환 이후 발생하는 TV White space (TVWS)에 대한 연구가 진행되고 있다. TVWS는 TV 방송국간 동일 채널 간섭 (CCI; co-channel interference)을 방지하기 위해 지역적으로 사용하지 않고 비어있는 대역이다. TVWS 주파수 대역은 전파의 도달거

리가 길고 투과율이 우수하여 다양한 분야에 활용 가능하다. 미국 FCC (Federal Communications Commission)는 2008년 11월 TVWS 대역에 대한 비면허 사용자의 사용을 허가하였다<sup>[1][2]</sup>. 미국은 TVWS 대역을 활용하여 2009년부터 Super WiFi, 교통정보, 스마트그리드 등 다양한 실험서비스를 실시중이며, 2010년 9월에는 TVWS 대역 활용기기에 대한 기술기준을 마련하였고, 2013년경에는 상용 서비스가 실시될 전망이다. 국내에서도 방송통신위원회가 2011년 12월 TVWS 대역 활용에 대한 기본계획을 확정했으며 2012년까지 기술기준을 정의하고 2014년 상용서비스를 실시할 예정이다<sup>[3]</sup>.

그러나 TVWS 대역 활용 이전에 TVWS 대역의 CCI 영향분석을 통한 동일채널 배치 방법에 대한 연구가 필요하다. ATSC (Advanced Television Systems Committee) RP (Recommended Practice) A/111에 의하면, 경험적으로 TVWS의 CCI 반경은 디지털 송신국 서비스 반경의 약 3배 되는 지점이며, 다른 디지털 송신국은 서로간의 CCI를 회피하기 위해서 기존 송신국 서비스 반경의 4배보다 큰 지점에 배치되어야 한다<sup>[4]</sup>. 하지만 TVWS를 활용하기 위해서는 다양한 전파모델을 사용하여 ATSC RP A/111의 내용을 검증하고, 송신 안테나 높이 및 전력에 따른 TVWS 대역의 CCI 반경 및 동일채널 배치에 대한 구체적인 연구결과가 필요하다.

본 논문에서는 Longley-Rice와 ITU-R P.1546 전파모델을 사용하여 ATSC RP A/111의 기술된 내용을 모의실험을 통해 검증한다. 또한, 다양한 송신 안테나 높이와 송신전력에서 서비스 커버리지 반경과 CCI 반경을 비교·분석하여 동일채널 배치를 위한 공간 커버리지 효율 (spatial coverage efficiency)을 계산한다.

## II. DTV 수신전계강도 및 간섭 기준

본 절에서는 서비스 커버리지 반경과 CCI 반경을 계산하기 위해 FCC와 국내 전파법에서 정의하고 있는 디지털 TV방송 수신 전계 기준과 주파수 할당 및 배치 기준에 대해 살펴본다.

### 1. 디지털 TV방송 수신 전계 강도 기준

전파법시행령 제2조 제12호 및 제36조 제2항의 규정에 의하면, 방송을 양호하게 수신할 수 있는 구역의 전계강도 기준과 방송구역 계산 기준이 방송환경 변화에 따라 제정 및 개정되어 왔다. 정보통신부고시 제 2005-35호 ‘방송구역 전계강도의 기준·작성요령 및 표시방법’에 의하면, 디지털지상파 TV 방송국의 전계강도 기준은 표 1과 같이 정의되어 있다<sup>[5][6]</sup>. 표 1에 의하면, UHF 대역 (DTV 채널 14-69)의 방송구역 전계강도 기준은 41 dBuV/m로 정하고 있으며 (수신 안테나 높이: 지상 9 m 기준), 표준 및 초단파 방송국은 잡음의 양에 따라 전계강도 기준을 고잡음, 중잡음, 저잡음과 같이 3개 지역으로 구분하고 있다. 또한 미국의 경우 FCC 규정에서 표 1과 동일한 방송구역 전계강도 기준을 명시하고 있다<sup>[7][8]</sup>.

표 1. 방송구역 전계강도 기준<sup>외)</sup>  
Table 1. Criteria for Field Strength in Broadcasting

방송국		방송구역전계강도 (dBuV/m)		
		고잡음지역	중잡음지역	저잡음지역
표준방송국		77	74	71
초단파방송국		70	60	48
아날로그지상파 TV방송국	VHF	74	68	54
	UHF	70		
디지털 지상파 TV방송국	Low VHF	28		
	High VHF	36		
	UHF	41		
지상파 이동멀티미디어 방송국		45		

### 2. 주파수 할당 및 배치 기준

표 2는 주파수 할당 및 배치를 위한 디지털 및 아날로그 방송에서의 동일 및 인접 채널의 간섭 기준을 보여준다<sup>[8][9]</sup>.

표 2에 의하면, DTV 채널에서 DTV 채널로의 동일채널 간섭 D/U(desired to undesired signal ratio)비는 15 dB이며, 이것은 DTV 신호의 전력이 간섭신호보다 최소 15 dB 커야 DTV 신호가 수신됨을 의미한다.

표 2. 동일 채널과 인접채널의 간섭기준  
 Table 2. Interference Criteria for Co- and Adjacent Channels

채널관계	D/U비 (dB)			
	DTV into DTV	Analog into Analog	DTV into Analog	Analog into DTV
하위인접	-28	-3	-14	-48
동일채널	+15	+28	+34	+2
상위인접	-26	-13	-17	-49

### III. 전파모델

본 절에서는 서비스 커버리지 반경과 CCI 반경을 예측하기 위한 전파모델로 Longley-Rice와 ITU-R P.1546에 관해서 살펴본다.

#### 1. Longley-Rice 전파모델<sup>[10]</sup>

Longley-Rice 모델은 측정된 전계강도의 통계 데이터 및 전파이론을 기초로 주파수 20 MHz~20 GHz 범위에서 불규칙한 지형에 대한 long-term 평균 전송손실, time fading, location variability 등을 계산할 수 있다. 현재까지 Longley-Rice 모델은 주어진 지형특성을 이용하여 보다 정확한 전계강도를 예측할 수 있는 방식으로 계속 개선되어왔다. 본 논문은 참고문헌<sup>[11]</sup>에서 사용된 FCC 규칙 Sections 73.333와 73.699의 FM과 TV 전파 그래프를 사용하여 서비스 커버리지 반경과 CCI 반경을 계산한다.

#### 2. ITU-R P.1546 전파모델<sup>[12]</sup>

ITU-R P.1546 전파모델은 주파수 대역 및 사용 지역에 따라 적절한 모델을 제시하고 있다. ITU-R P.1546 전파모델은 지상 서비스의 점-대-지역 전파 특성 예측 방법에 관한 것으로 적용 대상은 주파수 30~3,000 MHz, 거리 1~1,000 km (육상 경로, 해상 경로 또는 육상 지상의 혼합 경로), 유효 송신 고도 3,000 m 이하에서 적용가능하다. 이 모델에서는 100, 600, 2000 MHz의 주파수들에서 1 kW의 등가방사전력(equivalent radiated power) 출력인 경우, 다양

한 송신 안테나 높이에 따른 전계강도와 도달거리를 보여주고 있다. 또한 전파 커브는 시간을 1%, 10%, 50%를 초과하는 전계강도 값을 보여준다. 그 이외의 적용하고자 하는 주파수, 시간을, 송신 안테나 높이가 주어진 곡선 그래프와 일치하지 않는 경우, 보간법과 외삽법을 이용하여 전계 강도를 산출한다. 또한 송신 안테나 높이, 수신 안테나 높이 등에 대해서도 전계강도를 보정할 수 있도록 되어 있다.

### IV. 서비스 커버리지 반경과 CCI 반경 계산 방법

서비스 커버리지 반경과 CCI 반경을 계산하기 위해서는 각각의 기준 전계강도를 계산하고, 전파모델 그래프로부터 기준 전계강도에 해당하는 반경을 구해야 한다.

#### 1. 서비스 커버리지와 CCI의 기준 전계강도

디지털 TV의 전계강도 E(dBuV/m)는 식 (1)과 (2)로부터 계산할 수 있다<sup>[13][14]</sup>.

$$E(\text{dBuV/m}) = P_r(\text{dBm}) + 77.22 + 20 \log f_m - G_{r,\text{dBi}}(\text{dB}) + L_c \quad (1)$$

$$P_r(\text{dBm}) = -114 + \text{SNR}_{\text{req}} + 10 \log(B) + NF \quad (2)$$

여기서 Pr(dBm)은 안테나 입력 단에서의 수신전력, fm은 중심주파수, Gr,dBi는 수신안테나 이득, Lc는 케이블 손실, SNRreq는 요구되는 신호 대 잡음비, B는 대역폭, NF는 잡음지수를 의미한다. FCC에서 정의하고 있는 UHF 대역 기준 파라미터(fm = 615 MHz, Gr,dBi = 12.15 dBi, Lc = 4 dB, SNRreq = 15.2 dB, B = 6MHz, NF = 7dB)를 식 (1)과 (2)를 통해 계산하면, 디지털 TV의 수신전력 Pr(dBm)은 -84 dBm, 기준 전계강도 E(dBuV/m)는 41 dBuV/m이다 (표 1 참조)<sup>[8]</sup>.

한편 CCI 반경의 기준 전계강도는 디지털 TV의 수신 전계강도 (41 dBuV/m)에서 D/U비 (15 dB) (표 2 참조)를 차

감한 값으로 26 dBuV/m이다.

## 2. 서비스 커버리지 반경과 CCI 반경

FCC 파트 73.699에서는 아날로그 TV 서비스 커버리지 반경은 장소율 50%와 시간율 50%인 F(50,50) 그래프로부터, 디지털 TV 서비스 커버리지 반경은 장소율 50%와 시간율 90%인 F(50,90) 그래프로부터 계산한다고 정의되어 있다. F(50,90) 그래프의 값을 구하기 위해서는 주어진 F(50,50)와 F(50,10) 그래프의 값을 사용하여 식 (3)과 같이 계산한다<sup>[8]</sup>.

$$F(50,90) = F(50,50) - [F(50,10) - F(50,50)] \quad (3)$$

UHF 대역을 사용하는 DTV의 서비스 커버리지 반경은 식 (3)의 F(50,90) 그래프에서 전계강도 41 dBuV/m에 해당하는 값으로부터 획득한다. 한편, CCI 반경은 전계강도 26 dBuV/m에 해당하는 F(50,10) 그래프 값으로부터 구할 수 있다<sup>[8]</sup>.

결론적으로 Longley-Rice와 ITU-R P.1546 전파모델에서 서비스 커버리지 반경은 F(50,90) 그래프로부터, CCI 반경은 F(50,10) 그래프로부터 각각 획득하여 비를 계산한다.

## V. 모의실험 결과

본 절에서는 Longley-Rice와 ITU-R P.1546 전파모델에서 서비스 커버리지 반경과 CCI 반경을 모의실험을 통해 계산한 결과를 보여준다.

그림 1은 Longley-Rice 전파모델에서 85 및 365 m의 송신 안테나 높이(h1)와 1 kW (60 dBm), 10 kW (70 dBm), 100 kW (80 dBm), 1 MW (90 dBm)의 전력으로 송출할 때 서비스 커버리지 및 CCI 반경의 비를 보여준다. 그림 1에 의하면, 1 MW의 송신전력과 365 m 송신 안테나 높이에서 서비스 커버리지 및 CCI 반경은 각각 103 및 310 km이며, 이는 ATSC RP A/111에 기술된 결과와 같이 약 3배이다<sup>[4]</sup>. 그러나 1 MW의 송신전력과 76 m

송신 안테나 높이에서 서비스 커버리지 및 CCI 반경은 각각 76 및 272 km로, 이는 ATSC RP A/111에 기술된 약 3보다 큰 약 3.58이었다. 결론적으로 디지털 전환이후 TVWS 대역 활용을 위해서는 송신 안테나 높이와 송신전력에 따른 서비스 커버리지 및 CCI 반경의 비를 고려해야 함을 의미한다.

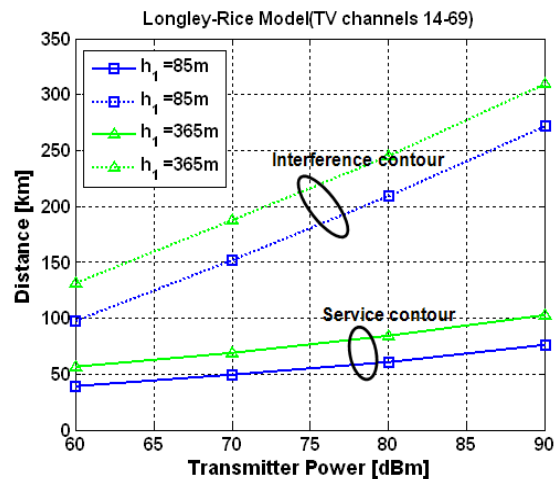


그림 1. Longley-Rice Model에서 송신전력에 따른 서비스 커버리지 반경과 CCI 반경 (ATSC RP A/111 Fig. A.6)

Fig. 1. Service coverage radius and co-channel interference radius ratio according to transmitter power in Longley-Rice propagation model (ATSC RP A/111 Fig. A.6)

그림 2와 3은 Longley-Rice 및 ITU-R P.1546 전파모델에서의 송신전력에 따른 서비스 커버리지 및 CCI 반경을 각각 보여준다. 송신 안테나 높이는 37.5 m에서 1000 m의 높이까지 고려했고, 송신전력은 100W (50 dBm)에서 10 kW (70 dBm)까지 고려하였다. 그림 4는 그림 2와 3의 결과를 CCI 반경 대 서비스 커버리지 반경의 비로 변환하여 보여주고 있다. Longley-Rice와 ITU-R P.1546 전파모델의 송신 안테나 높이 및 송신전력에 따른 CCI 반경 대 서비스 커버리지 반경의 비는 각각 약 2~3.5, 약 1.5~3이며, 평균적인 비는 각각 2.54, 2.07이다. 또한 송신전력이 높을수록 CCI 반경 대 서비스 커버리지 반경의 비가 크므로 송신국 간의 간섭을 회피하기 위해서 더 넓은 커버리지가 필요함을 알 수 있다.

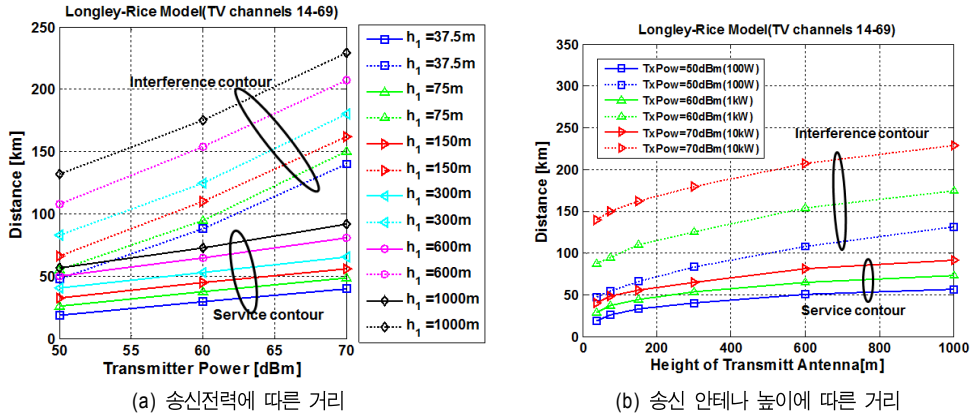


그림 2. Longley-Rice 전파모델에서 서비스 커버리지 반경과 CCI 반경  
 Fig. 2. Service coverage and co-channel interference radius in Longley-Rice propagation model

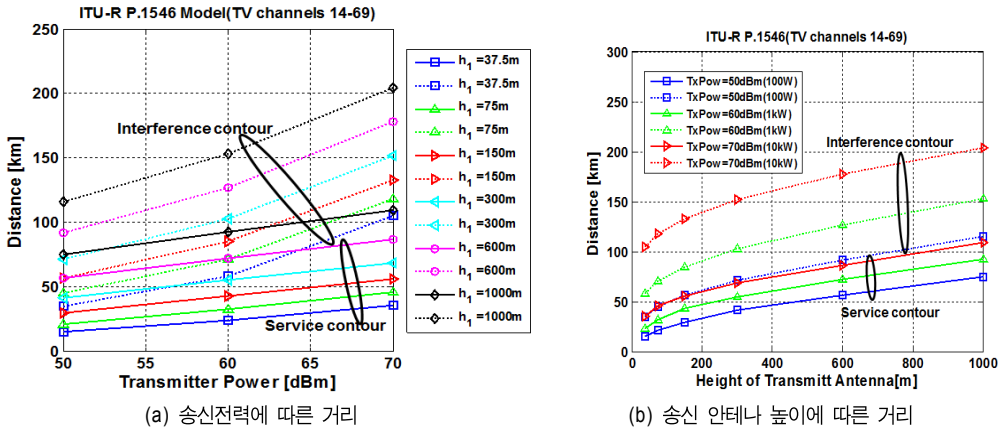


그림 3. ITU-R P.1546 전파모델에서 서비스 커버리지 반경과 CCI 반경  
 Fig. 3. Service coverage and co-channel interference radius in ITU-R P.1546 propagation model

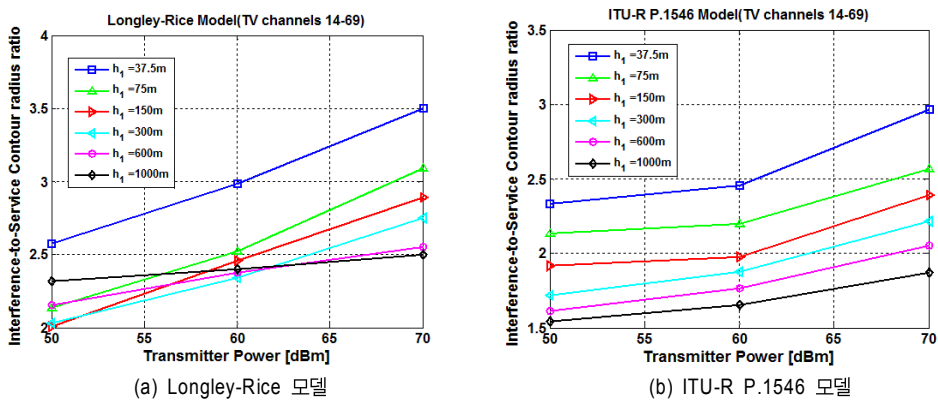


그림 4. Longley-Rice 전파모델과 ITU-R P.1546 전파모델에서 CCI 반경 대 서비스 커버리지 반경의 비  
 Fig. 4. Co-channel interference-to-Service coverage radius ratio according to transmitter power in Longley-Rice and ITU-R P.1546 propagation model

그림 5는 DTV 시스템에서 동일채널 배치 방법과 동일채널 배치 후 CCI로 인해 사용하지 않는 White space에 대한 하나의 예를 보여주고 있다. DTV 시스템의 공간 커버리지 효율은 전체 영역에서 동일채널 할당을 위해 사용된 영역의 비로 나타내고, 다음 식과 같이 표현한다.

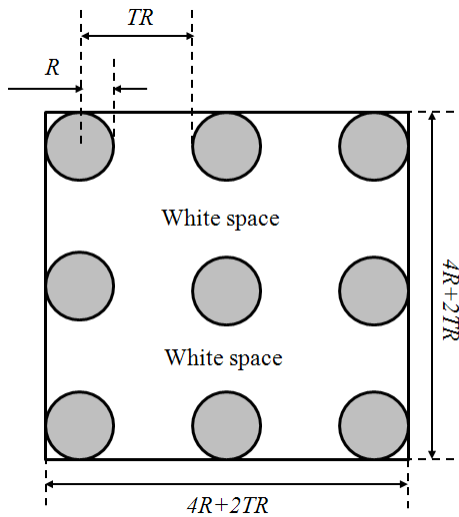


그림 5. DTV시스템에서 동일채널 배치 방법과 TVWS  
Fig. 5. DTV co-channel assignment and TVWS

$$\text{공간 커버리지 효율} = \frac{9\pi R^2}{(4R+2TR)^2} \times 100 (\%) \quad (4)$$

여기서 R은 서비스 커버리지 반경을 나타내고, T는 CCI 반경과 서비스 커버리지 반경의 비를 나타낸다. ATSC RP A/111에서는 T=3이므로 공간 커버리지 효율은 28%이다<sup>[4]</sup>. 그러나 모의실험 결과 Longley-Rice와 ITU-R P.1546 전파모델에서 평균적인 공간 커버리지 효율은 각각 34.29%, 42.68%가 된다 (표 3참조). 또한 송신 안테나 높이와 전력에 따라 CCI 반경 대 서비스 커버리지 반경의 비가 달라지고, 그에 따른 공간 커버리지 효율도 달라진다. 그러므로 디지털 전환 이후 동일채널 배치 및 TVWS 대역 활용을 위해서는 송신 안테나 높이 및 송신전력에 따른 공간 커버리지 효율을 고려해야 한다.

표 3. 전파모델에 따른 공간 커버리지 효율

Table 3. Space Coverage Efficiency according to Propagation Model

	서비스 커버리지 반경과 CCI 반경 비의 평균값(T)	공간 커버리지 효율(%)
Longley-Rice 전파모델	2.54	34.29
ITU-R P.1546 전파모델	2.07	42.68

## VI. 결 론

본 논문에서는 디지털 TV 방송 전환 이후 TVWS의 활용을 위해 Longley-Rice와 ITU-R P.1546 전파모델에서 TVWS를 비교·분석하였다. 분석결과, Longley-Rice와 ITU-R P.1546 전파모델의 평균적인 서비스 커버리지 반경에 대한 CCI 반경의 비는 각각 2.54, 2.07이었다. 하지만 송신 안테나 높이 및 송신전력에 따라 서비스 커버리지 반경에 대한 CCI 반경의 크기는 각각 Longley-Rice에서는 약 2~3.5, ITU-R P.1546에서는 약 1.5~3의 분포를 보였다. 따라서 디지털 전환 이후 동일 채널은 송신 안테나 높이 및 송신전력에 따른 공간 커버리지 효율을 고려하여 배치해야 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] FCC, ET Docket No. 08-260, "Second Report and Order and Memorandum Opinion and Order," Nov. 2008.
- [2] FCC, ET Docket No. 10-174, "Second Memorandum Opinion and Order," Sep. 2010.
- [3] "General Planning of TV White Space Usage", Korea Communications Commission, 2011.
- [4] "Design of Synchronized Multiple Transmitter Networks," ATSC Recommended Practice A/111, Sep.18, 2009.
- [5] "Notification No. 2008-17 of KCC", KCC, 2008.
- [6] "Notification No. 2005-35 of KCC", KCC, 2005.
- [7] "FCC CFR part73," FCC, 2009.
- [8] "Longley-Rice Methodology for Evaluating TV Coverage and Interference," FCC OET Bulletin No. 69, Feb. 2004.
- [9] "Planning criteria, including protection ratios, for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands," ITU-R Recommendation, 2011, ITU-R BT.1368-9
- [10] A. G. Longley and P.L. Rice, "Prediction of tropospheric radio transmission over irregular terrain. A computer method-1968," ESSA Tech. Rep. ERL79-ITS 67, U.S. Government Printing Office, Washington DC, Jul.1968.
- [11] <http://www.fcc.gov/encyclopedia/fm-and-tv-propagation-curves->

graphs-sections-73333-73525-and-73699  
[12] "Method for Point-to-Area Predictions for Terrestrial Services in the Frequency Range 30 MHz to 3000 MHz," Oct. 2009, ITU-R Recommendation P.1546-4.

[13] ATSC, "Standard A/54A: Guide to the Use the ATSC Digital Television Standard," Dec. 2003.  
[14] S. Haykin and M. Moher, Modern Wireless Communication, Prentice Hall, 2005.

---

저 자 소 개

---

류 관 웅



- 1997년 : 영남대학교 전자공학과 (공학사)
- 1999년 : 영남대학교 정보통신공학과 (공학석사)
- 2006년 : 영남대학교 정보통신공학과 (공학박사)
- 2004년 2월 ~ 2005년 1월 : NTT DoCoMo YRP 연구소 인턴십
- 2006년 7월 ~ 2009년 1월 : (주)XRONET 책임연구원
- 2009년 7월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 방송전송연구팀 선임연구원
- 주관심분야 : DTV 전송시스템, 통신시스템, 디지털신호처리

박 성 익



- 1996년 3월 ~ 2000년 2월 : 한양대학교 전자전기공학부 (공학사)
- 2000년 3월 ~ 2002년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 2008년 3월 ~ 2011년 2월 : 충남대학교 정보통신공학과 (공학박사)
- 2002년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템연구부 방송전송연구팀 선임연구원
- 주관심분야 : 오류정정부호, 디지털방송시스템, 디지털신호처리

김 흥 목



- 1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)
- 1993년 3월 ~ 1995년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 1995년 3월 ~ 2001년 12월 : 포스코 기술연구소 연구원
- 2002년 1월 ~ 2003년 10월 : (주)맥스웨이브 연구개발팀 팀장
- 2004년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 방송시스템 연구부 방송전송연구팀 팀장
- 주관심분야 : RF 신호처리, 디지털신호처리, DTV 전송시스템