

# ATV의 DTV 전환에 따른 TV 수신 전계강도 및 방송 권역 예측에 대한 연구

서경환 정혁 \*이주환 \*\*박영민 \*\*곽경택  
강남대학교 \*한국전자통신연구원 \*\*한국전파진흥원  
kwsuh@kangnam.ac.kr

## A Study on Prediction for TV Receiver Field Strength and Broadcasting District Caused by ATV to DTV Conversion

Suh, Kyoung-Whoan Jung, Hyuk \*Lee, Joo-Hwan \*\*Park, Young-Min \*\*Kwak, Kyung-Taek  
Kangnam University, \*ETRI, \*\*Korea Radio Promotion Agency

### 요약

본 논문에서는 ATV에서 DTV 방송 전환에 따른 주파수 이전 및 채널 재배치 시, 시스템 및 전파환경의 변화에 따라 수신 한계전계강도도출과 동등한 수준의 서비스 제공에 대한 기술적 분석 방법론을 제시한다. 전파환경 분석을 위한 전계강도 예측 모델은 ITU-R 권고 P.1546 을 적용하였으며, 이를 기반으로 ATV 및 DTV의 수신한계전계강도 대한 수식을 정립하였다. 선정된 수신기의 특성에 대해 수치해석 및 결과를 고찰하였으며, 설정한 시스템에 대해 동등한 수준의 서비스 제공을 위한 시스템의 변수 보정도 방법도 제시하였다.

### 1. 서론

2000년 이후 세계적으로 지식정보화 사회의 추세에 따라 산업 전반에 디지털 혁명이 일어나고 있으며, 특히 정보통신기술의 급격한 발전은 방송과 통신의 융합 서비스를 창출하게 되었다. 이러한 변화는 지상파 방송 분야에서도 아날로그에서 디지털로의 전환을 촉진하고 있다.

이러한 추세에 부응하여 정부에서는 2013년 1월 1일부터 아날로그 TV(ATV)에서 DTV 방송 전환을 계획하고 있어, 기존의 아날로그 주파수를 디지털 TV(DTV) 전환에 따른 주파수 이전 및 채널 재배치에 대해 연구를 수행하고 있다. 이러한 정책들을 수행함에 있어서 가장 중요한 사항 중의 하나는 전파법에 명기된 주파수 이전 및 재배치 전후에 있어서 동등한 수준의 서비스 유지에 관한 것이다. 이러한 전제 조건을 충족시키기 위한 기술적 분석과 기준 마련이 시급한 실정이다.

최근에 이러한 필요성에 대해 DTV 수신 전계강도를 예측하는 방법의 하나로 지상파 방송 및 이동통신의 전계강도 예측에 적용되는 ITU-R 권고 P.1546 전파모델을 이용한 선행 연구가 발표되기도 하였다[1].

따라서 본 논문에서는 DTV를 위한 주파수 이전 및 재배치에 따른 전파 품질 및 동등한 수준의 서비스 제공을 위해 요구되는 기술적 분석 방법을 제시하며, 수치해석을 통해 ATV와 DTV의 수신한계전계 및 수신 권역에 분석하고 고찰한다. 논문의 구성으로는 먼저, 전파강도 예측 모델인 ITU-R 권고 P.1546 을 개괄적으로 설명하고, TV 수신 신호에 대한 수식을 정립한다. 둘째, ATV와 DTV의 동등한 수준의 서비스 제공을 위한 개념과 기술적 분석 방법을 제시한다. 셋째, 두 방송 방식의 수신전계강도 및 수신한계거리 도출을 위한 변수 설정과 계산결과를 도출하며, 동등한 수준의 서비스를 위한 시스템 변수 보정도 제시한다. 끝으로 결론 및 향후 과제를 제시한다.

### 2. 전파모델 및 수신 전계강도

#### 가. 전파모델 개요

ITU-R P. 시리즈에서는 서비스 대역마다 적절한 전파파의 전파모델을 제시하고 있다. 본 연구에서는 해당 주파수 및 서비스 용도에 적절한 ITU-R 권고 P.1546을 적용한다[2]. 이 권고서는 지상 서비스의 점-대-지역 전파특성 예측 방법에 것으로 적용 대상은 주파수 30 MHz ~ 3000 MHz, 거리 1 ~ 1000km (육상경로, 해상경로 또는 육상 지상의 혼합 경로), 유효 송신고도 3000 m 이하이다. 제시된 전계강도 곡선은 1 kW ERP 방사시 수신 고도 10 m 지점에서의 전계강도, 주파수 100, 600, 2000 MHz, 경로는 육상 및 해상 (cold/warm), 시간율은 1 %, 10 %, 50 % 이 적용된다.

또한 적용하고자 하는 주파수, 시간율, 송신안테나 높이가 주어지면 곡선 그래프와 일치하지 않는 경우, 보간법과 외삽법을 이용하여 전계강도를 산출한다. 뿐만 아니라, 송신 안테나 높이, 수신 안테나 높이 등에 대해서도 전계강도 보정을 할 수 있도록 하였다.

그림 1은 하나의 예로 ITU-R 권고 P.1546에 제시된 장소율 50%, 시간율 50%, 주파수 600 MHz에 대한 전계강도 특성곡선을 보여주며, 표 1은 관련 변수의 적용 한계를 나타낸다. 이러한 전파 모델을 이용하여 VHF 대역의 레이더 간섭에 의한 양립성 분석에 적용한 연구 결과가 제시된바가 있다[3].

#### 나. 수신 전계강도

그림 2는 전형적인 NTSC(ATV) 및 ATSC(DTV)의 규격을 만족하는 스펙트럼을 보여주며, 모두 대역폭을 6 MHz 을 적용한다. 현재 한국의 ATV는 NTSC 규격, 그리고 DTV는 ATSC 규격을 준수한다.

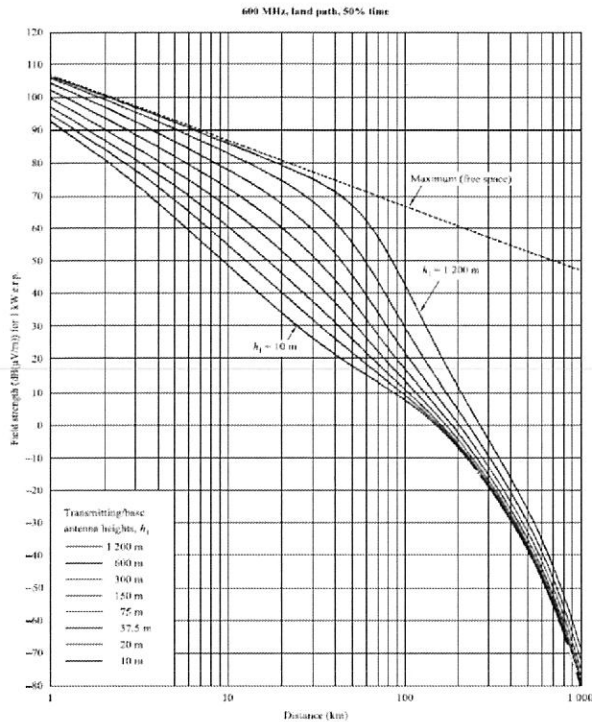


그림 1. 주파수 600 MHz 에 대한 전계 강도 특성

표 1. ITU-R 권고 P.1546 모델의 변수

변수	정의	한계
$f$ (MHz)	동작 주파수	30~ 3,000 MHz
$d$ (km)	경로 길이	1 ~ 1,000 km
$p$ (%)	퍼센트 시간 (부록 1-8)	1~ 50%
$h_1$ (m)	송신/기지 안테나 높이 (부록 5-3), 한계 (부록 5-4.1)	육상: 상한 3000m, 하한 없음 해상: 1m ~ 3000m
$h_a$ (m)	지상 송신기 안테나 높이 (부록 5-3.1.1), 한계 (부록 5-3)	지역의 클러터(clutter) 높이보다 커야 함
$h_b$ (m)	0.2d ~ d(km) 내에 지형평균 높이 위의 기지 안테나 높이 (단, d < 15 km, 지형정보 가능 경우)	제한은 없으며, 단지 d < 15 km 육상경로 한함
송신기 주변 클러터 높이	송신기 주변의 상대적 클러터 높이	없음
$R$ (m)	수신기 주변의 상대적 클러터 높이	없음
$\theta_{min}$ (도)	지형 정화(clearance) 각	0.55 ~ 40 도
$\theta_{eff1}, \theta_{eff2}$ (도)	송신기/기지 유효 지형 정화 각 (부록 5-9)	양(+)의 값

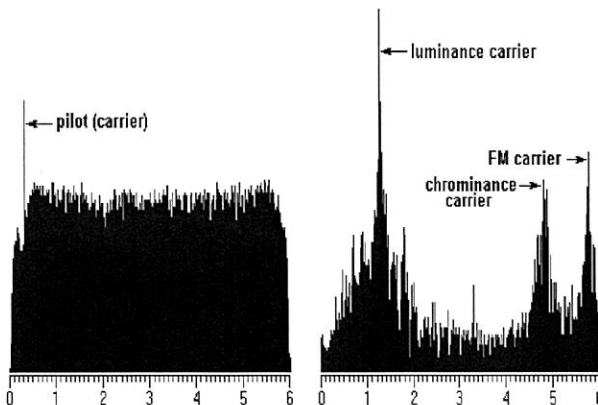


그림 2. 전형적 ATV(NTSC) 및 DTV(ATSC)의 스펙트럼

먼저 ATV의 수신한계레벨은 ITU-R 권고 BT.417-5 을 준용할 수 있으며, 간섭이 있는 경우와 없는 경우에 대해 표 2와 같이 제시하고 있다. 이는 간섭을 보호하기 위한 적절한 평균 전계강도를 의미하며, 모든 값들은 지상 10m 의 높이에서 전계강도를 언급한다[4].

표 2. 아날로그 영상 품질 보증하는 평균 전계강도

대역 명칭	I	III	IV	V	비고
주파수 대역(MHz)	41-68	162-230	470-582	582-960	
전계강도 (dB(μV/m))	+46	+49	+58	+64	간섭 유
전계강도 (dB(μV/m))	+40	+43	+52	+58	간섭 무

다음은 DTV 수신 시스템의 수신 신호에 대해 살펴보자. 그림 3에서와 같이 TV 송신소에서 송출된 신호는 TV 수신기가 있는 위치까지의 거리 및 전파환경에 따라 수신신호의 변화가 있으며, 수신신호의 레벨  $P_r$  (dBm)은 다음과 같이 표현된다[5].

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_t - L_r - L_p \quad (1)$$

여기서  $P_t$ 는 TV 송신소 송신기의 전력 (dBm),  $G_t$ 는 송신기 안테나 이득 (dBi),  $G_r$ 는 수신기 안테나 이득 (dBi),  $L_t$ 는 송신기에서 삽입손실 (dB),  $L_r$ 는 수신기의 삽입손실 (dB),  $L_p$ 는 송신소와 수신기 안테나 사이의 전파경로 손실 (dB)이다.

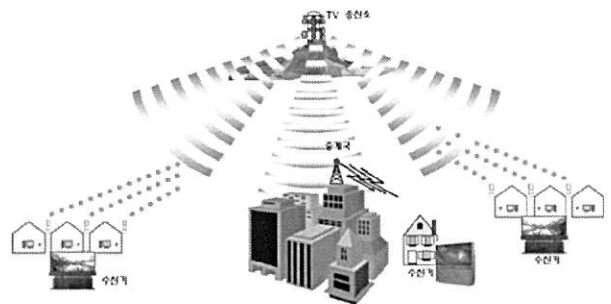


그림 3. DTV 송신소 및 수신기

다음은 수신 한계 레벨을 정의해보자. 어떤 비트오율  $BER = 10^{-4}$  을 갖는 신호 대 잡음 비,  $C/N$  에서 DTV 수신기에 수신된 신호의 한계 레벨은 상온에서 다음과 같이 주어진다.

$$P_{r-th} (dBm) = -174 + 10 \log_{10}(B) + NF + C/N \quad (2)$$

여기서  $k (= 1.38 \times 10^{-23} J/K)$ 는 Boltzmann 의 상수,  $T$ 는 Kelvin 온도,  $B$ 는 수신기 대역폭(Hz),  $NF$ 는 수신기 잡음지수(dB),  $S/N$ 는 일반적으로 선정된 변조방식의 함수이며, ATSC 에서는 SER (segmentation error rate) 을  $1.93 \times 10^{-4}$  기준으로 하였으며, 이는 초당 2.5 segmentation 오류가 있을 때이다. 이때 측정된  $C/N$ 은 14.9 dB 가 되며, 이 값을 시정한계(Threshold of Visibility: TOV)라 한다[6].

DTV 수신기의 수신한계 레벨의 전계강도,  $E_{P_{r-th}}$  (dB(μV/m))는

$$E_{P_{r-th}} = P_{r-th} (dBm) + 20 \log f_{MHz} + 77.2 (dB) - G_r (dB) + L_r \quad (3)$$

이 된다. 여기서  $G_r$ 은 수신기 안테나 이득 (dBi)이며,  $f_{MHz}$ 는 송신기의 중심 주파수(MHz),  $L_r$ 은 수신기 피더손실(dB)이다.

한편 본 논문의 시뮬레이션에서 사용한 전파 손실 모델은 ITU-R 권고 P.1546의 전계 곡선들인데, 이들은 1 kW 유효방사전력(ERP)에 대한 전계강도 값( $dB(\mu V/m)$ )이다. 1 kW ERP는 62.1 EIRP에 해당하므로 따라서 전파 손실,  $L_p$ (dB)는 ITU-R 권고 P.1546에서 1 kW ERP에 대한 전계강도,  $E_{p,1546}(dB(\mu V/m))$ 로부터 다음과 같이 계산된다.

$$L_p = 139.3 - E_{p,1546} + 20 \log f_{MHz} \quad (4)$$

식 (2)~ (4)를 이용하여 식 (1)에 대입한 전계강도  $E_p(dB(\mu V/m))$ 는  $E_{p,1546}$ 로부터 다음과 같이 표현된다[1].

$$E_p = E_{p,1546} + P_t + G_t - L_t - 62.1 \quad (5)$$

### 3. 동등 수준의 서비스 도출

#### 가. 동등 수준의 서비스 개념

앞에서 ATV 및 DTV의 수신 한계레벨을 도출은 근거로 주어진 송신소 및 전파 환경에 대해 거리에 따른 차이 분석을 해볼 수 있다. 이를 위해 그림 4에서는 편의상 약 4시 방향에 대해 거리를 고찰한다. 먼저 기존의 ATV 서비스에 대해 시스템 특성과 전파환경을 고려한 수신한계전계강도를 주는 거리를 계산하여 이를  $D_a$ 라 하자. 다음은 동일한 방향에 대해 DTV 서비스에 대한 수신한계전계강도를 주는 거리를 계산하여 이를  $D_d$ 라 하자. 이제 두 서비스 간에 발생하는 거리 차이를  $Dist_{diff} = D_d - D_a$ 가 된다. 동등한 수준의 서비스 제공을 위해서는 수신한계거리의 차이인  $Dist_{diff} = 0$ 가 되는 서비스 영역을 찾으려 한다. 따라서 수신한계전계강도의 차이가 발생하는 경우, 이에 대한 시스템의 변수를 보정하여 동일한 수신거리를 제공함으로써 동등한 수준의 서비스가 도출되었다고 볼 수 있다.

#### 나. 동등 수준의 시스템 보정

그림 5에서는 수신한계전계강도와 수신거리차이의 상관도를 나타낸 것이다. 그림 5에서 나타난 바와 같이 DTV와 ATV 간 또는 기존 DTV 채널과 채널 재배치 시의 DTV 간에 발생하는 수신한계전계강도의 차이에 따른 수신한계서비스의 거리가 달라진다. 그림 6에서 ATV의 수신한계거리를 주는  $E_{p,1546}$  모델의 전계강도를  $E_{p,1546}(ATV)$ 라 하고, DTV의 수신한계거리를 주는  $E_{p,1546}$  모델의 전계강도를  $E_{p,1546}(DTV)$ 라 하자. 이들 두 거리의 차이를 주는  $E_{p,1546}$ 의 전계강도 차이를  $\Delta E_{p,1546}(dB)$ 라 정의하고 이는 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta E_{p,1546}(dB) = E_{p,1546}(ATV) - E_{p,1546}(DTV) \quad (6)$$

식 (5)를 이용하여 식 (6)의  $\Delta E_{p,1546}(dB) = 0$ 가 될 때 송신기의 출력,  $P_t$ 와 안테나 이득,  $G_t$  값을 두 서비스 간에 조정을 하면 된다. 시스템 특성 변화는 수신기도 가능하나, 방송 시스템이 점-대-지역 서비스인 관계로 일반적으로 DTV 수신기 특성 조정에는 한계가 있다.

### 4. 수치계산 및 분석

ITU-R 권고 P.1546 모델을 이용하여 수신한계레벨 및 전계강도 계산을 위해 필요한 시스템의 변수 값들은 편의상 표 3과 같이 하였다. 수신 전계강도 한계에 따른 육상경로 거리를 계산하기 위해 시간 확률 및 공간 확률은 각각 50%, 그리고 기타는 아래와 같이 가정하였다.

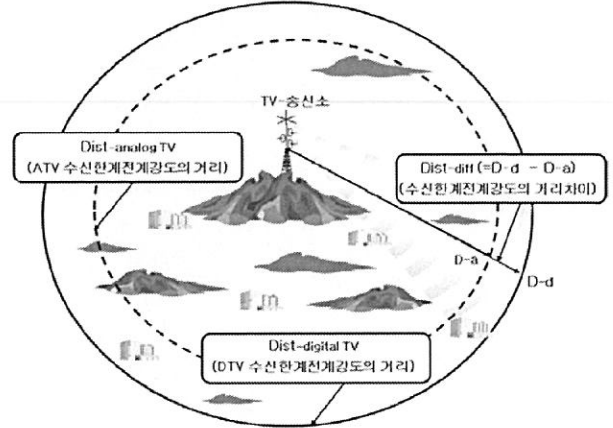


그림 4 동등 수준의 서비스를 위한 성능 분석의 개념도

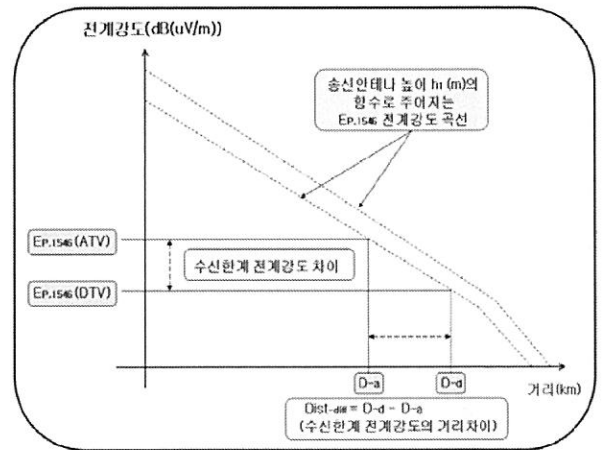


그림 5 수신한계전계강도와 수신거리차이의 상관도

표 3. 수치계산에 필요한 시스템 변수

$B(Hz)$	$NF(dB)$	$C/N(dB)$	$G_t(dBi)$	$G_r(dBi)$	$L_t = L_r(dB)$
$6 \times 10^6$	2.0	14.9	20	10	0

- . ATV(NTSC) 및 DTV의 채널 중심주파수: 600 MHz
- . DTV: 8-VSB (ATSC)
- . 송신기 출력: ATV 첨두전력( $P_{peak}$ ) 1, 10 kW, DTV 평균전력( $P_{ave}$ ) 1, 10 kW
- . 수신기 안테나 높이  $h_r = 10m$
- . ATV 및 DTV의 송신기/수신기 안테나 이득 및 손실은 동일
- . 수신한계전계강도:  $E_{p,*}(ATV) = 58 dB(\mu V/m)$ , 간섭 무 경우,  $E_{p,*}(DTV) = 33.4 dB(\mu V/m)$ , 식(3) 결정.

한편 ATSC 8-VSB 중폭기의 PAR(peak-to average ratio)을 6.5 ~ 7.0 dB 을 소개하고 있으나[7], WCDMA 또는 OFDM 에서는 경우에

는 이 보다 큰 10 ~ 12 dB 까지 언급하고 있다.

그림 6은 송신안테나 높이에 따라 ATV 및 DTV의 출력에 대해 산출된 수신한계거리의 개관을 보여주며, 이를 보다 상세히 나타낸 것은 그림 7과 같다. 여기서 ATV는 첨두전력, DTV는 평균전력을 의미한다. 도출된 결과에서 알 수 있듯이 주어진 송신 출력에 대해 ATV의 수신거리가 DTV보다 작음을 보여준다.

다음은 표 4를 이용하여 ATV 및 DTV의 송신전력 기준을 동일하게 한 경우를 비교해보자. 그림 8은 그림 6과 동일한 조건에서 단지 DTV의 송신 출력의 변화에 대해 수신한계거리를 살펴보았다.

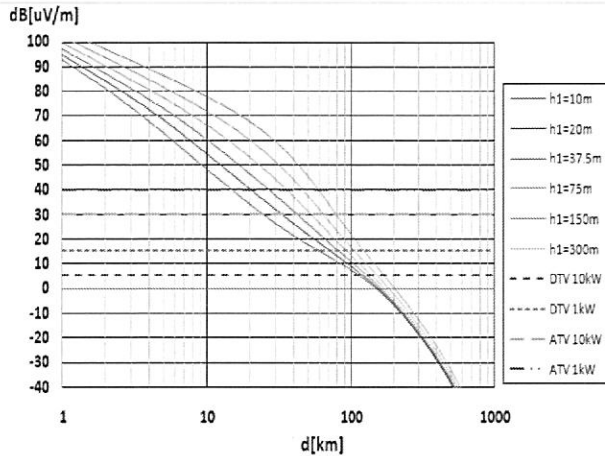


그림 6. ATV 및 DTV의 출력에 대한 수신한계거리의 개관

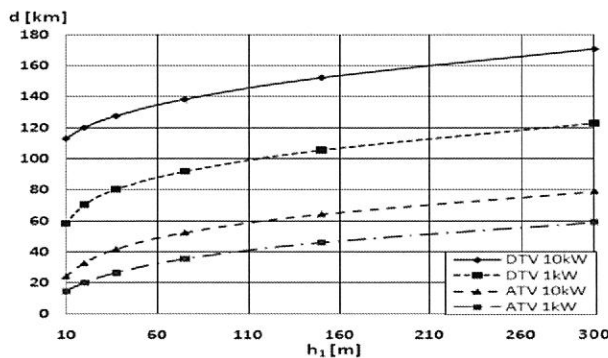


그림 7. 송신전력 및 안테나 높이에 따른 수신한계거리

다음은 동등한 수준의 서비스가 제공되는 경우, 송신시스템의 변수 보정에 대해 살펴보자. 그림 7 및 8로부터 알 수 있듯이 동일한 출력 및 송신 안테나 높이에 대해 ATV의 수신거리가 DTV보다 짧다. 따라서 동일한 수신거리를 주는 DTV 송신 출력,  $P_t(DTV)$ 을 구해보자. ATV의 첨두 출력이 1, 10 kW 경우에 대해 DTV의  $P_t(DTV)$ 는 평균 전력은 각각 3.5, 34.7 W가 됨을 알 수 있었다. 하지만 아날로그 신호의 증폭과 디지털 변조된 신호의 증폭에 대해 필요한 증폭기의 출력은 전자는 첨두전력을 요구하는 반면, 후자는 평균전력과 PAR로 표현되는 것이 일반적이다. 따라서 6 MHz 채널에 ATV의 첨두전력과 DTV의 평균전력과의 직접적인 비교에는 한계가 있다.

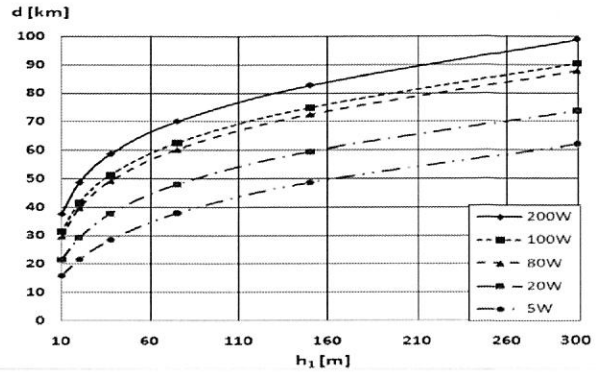


그림 8. DTV 출력 및 안테나 높이에 따른 수신한계거리

## 5. 결론

본 논문에서는 ATV에서 DTV 방송 전환에 따른 주파수 이전 및 채널 재배치 시, 시스템 및 전파환경의 변화에 따라 수신한계전계강도 도출과 동등한 수준의 서비스 제공에 대한 기술적 분석 방법론을 제시하였다. 선정된 수신기의 특성에 대해 수치해석 및 결과를 고찰하였다. 전계강도 예측 모델은 ITU-R 권고 P.1546 하였으며, 이를 기반으로 ATV 및 DTV의 수신한계전계에 대한 수식을 정립하고, 두 시스템 간의 동등한 수준의 서비스 제공을 위해 시스템의 변수 보정도 제시하였다. 추후 실측을 통한 거리 및 품질 및 전계강도 등을 고찰하는 것이 남아 있다.

## 감사의 글

본 연구는 한국전파진흥원의 위탁과제 지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

## 참고 문헌

- [1] 서경환, 이주환, 정혁, 최성용, "DTV 송신 신호의 전계강도 예측에 대한 연구", *한국방송공학회 2010 하계, 학술대회*, S14-1, 2010. 7. 8~10, 제주도, 대한민국.
- [2] *Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz*, Rec. ITU-R P.1546-3, 2007.
- [3] N.H. Jeong, J.H. Lee, K.W. Suh, "Analysis of frequency sharing between mobile systems and radiolocation radars in VHF band", *The 12th International Conference on Advanced Communication Technology*, Phoenix Park, Korea, pp.1179-1183, Feb. 7-10, 2010.
- [4] *Minimum field strengths for which protection may be sought in planning an analogue terrestrial television service*, Rec. ITU-R BT.417-5, 2002.
- [5] Roger L. Freeman, *Radio system design for telecommunication*, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc. 1997.
- [6] *Recommended Practice: Guide to the Use of the ATSC Digital Television Standard, including Corrigendum No. 1*, Doc. A/54A, 4 December 2003, Corrigendum No. 1 dated 20 Dec. 2006.
- [7] Special Rapporteur's Group "Guide for the use of Digital Television Terrestrial Broadcasting systems based on performance comparison of ATSC and DVB-T COFDM transmission systems". ITU Document 11A/65-E, May 1999.