

# DTV 송신 신호의 전계강도 예측에 대한 연구

\*서경환 \*\*이주환 \*\*\*정혁 \*\*최성웅

\*강남대학교, \*\*ETRI, \*\*\*강남대학교,

\*kwsuh@kangnam.ac.kr

## The Prediction of Electric Field Intensity from DTV Transmitting Signal

\*Suh, Kyoung-Whoan \*\*Lee, Joo-Hwan \*\*\*Jung, Hyuk \*\*Choi, Sung-Woong

\*Kangnam University, \*\* ETRI, \*\*\*Kangnam University,

### 요약

지상파 방송이 아날로그에서 디지털 방송으로 전환됨에 따라 아날로그 TV 방송신호와 디지털 TV(DTV) 방송신호간의 생성과 복조방식이 상이함에 따라 전파환경에 의한 방송품질의 변화가 예상된다. 따라서 DTV 방송신호의 수신을 위한 전파 음영지역 해소가 품질 확보에 필수적인 관심사로 대두되고 있으며, 이에 대한 대책으로 타당성 및 신뢰성 있는 전계강도 예측 방법에 근거하여 적정지역의 송신소 및 중계기 설치와 전파 품질 개선에 크게 기여할 것으로 여겨진다.

본 논문에서는 국제적으로 30 MHz ~ 3000 MHz 대역 지상파 방송서비스의 전파특성 예측에 활발히 이용되는 ITU-R 권고 P.1546 전파모델을 이용하여 점-대-지역 전계강도 예측을 위한 계산 방법을 제시하고, 수치 계산 결과를 비교 및 분석한다. 제시된 방법은 DTV 수신지역의 전계강도 예측을 통한 신호의 품질 분석은 물론, 양호한 전파환경 구축에 필요한 중계기 위치 설정, 인접대역에 의한 간섭 및 양립성 분석 등에 직접 활용이 가능하다.

### 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.

디지털 방송 전환은 방송신호 형태의 차이를 가져오므로 송신소에서 TV 수신기에 도달하기까지의 전파환경에 의해 방송 품질의 변화가 예상된다. 디지털 신호의 특성에 의해 양호한 전파환경에서는 보다 나은 품질의 서비스가 가능하나 오류 복원능력을 벗어난 불리한 전파환경에서는 상대적으로 난시청 지역이 발생할 수 있다.

이를 해소하기 위해서는 송신소 위치에 대한 이론적 전계강도 계산을 근거로 방송서비스 구역을 설계할 필요가 있으며, 나아가 실제 전파환경을 측정하여 이론과 실제의 차이를 보정할 수도 있다. 일반적으로 보다 많은 송신소를 설치하면 할수록 난시청 지역을 해소할 수가 있으나, 이는 경제적인 제한이 따를 수도 있다. 따라서 일부 지역에서는 송신소 설치보다는 송신 신호를 재전송하는 일종의 중계기를 두어 신호의 품질 개선을 확보할 수 있는 방안이 대두되고 있으며, 이에 대한 연구가 발표되기도 하였다[1,2].

본 논문에서는 ITU-R 권고 P.1546 전파모델을 이용하여 30 MHz ~ 3000MHz 범위의 주파수를 대상으로 지상파 방송 서비스를 위한 점-대-지역 전계강도 예측을 위한 계산 방법을 정립하고, 수치 계산 결과를 비교 및 분석한다. 제시된 방법은 DTV 수신지역의 전계강도 예측을 통한 신호의 품질 분석은 물론, 양호한 전파환경 구축에 필요한 중계기 위치 설정 등에 직접 활용할 수가 있다.

논문의 구성으로는 먼저, 본 연구에서 전파강도 예측의 근간이 되

는 ITU-R 권고 P.1546 모델을 설명하고, 둘째, DTV 수신 전계강도 계산을 위한 수식을 정립한다. 셋째, 전계강도 예측을 위한 변수 설정 및 계산 결과를 도출하고, 타 예측 방법과의 결과를 비교 및 분석을 하며, 끝으로 결론 및 향후 연구 과제를 제시한다.

### 2. ITU-R 권고 P.1546의 전파모델

#### 가. 권고의 개요

ITU-R 권고 P.1546은 지상 서비스의 점-대-지역 전파특성 예측 방법에 관한 권고서이다[3]. 적용 대상은 주파수 30 MHz ~ 3000 MHz, 거리 1 ~ 1000km (육상경로, 해상경로 또는 육상 지상의 혼합 경로), 유효 송신고도 3000 m 이하이다. 또한 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. 이러한 전파 모델을 이용하여 VHF 대역의 레이더 간섭에 의한 양립성 분석에 적용한 연구 결과가 제시된바가 있다[4].

적용하고자 하는 주파수, 시간율, 송신안테나 높이가 주어진 곡선 그래프와 일치하지 않는 경우, 보간법과 외삽법을 이용하여 전계강도를 산출한다. 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.

송신 및 중계국 안테나의 높이,  $h_1$ 이 10 m 와 3000 m 사이에 있는 경우, 그리고 만약  $h_1$ 이 전계강도 곡선에 제시된 10, 20, 37.7, 75, 150, 300, 600, 1200 m 중의 하나의 값과 일치하지 않는다면 다음 식을 이용하여 전계강도,  $E(dB(\mu V/m))$  보간법으로 구할 수 있다.

$$E = E_{lwr} + (E_{upr} - E_{lwr}) \log(h_1/h_{lwr}) / \log(h_{upr}/h_{lwr}) \quad (1)$$

여기서  $h_{lwr}$  은  $h_1 > 1200$  m 면 600 m, 그렇지 않으면  $h_1$  보다 작은 가장 근접한 평균 유효 높이이다.  $h_{upr}$  은  $h_1 > 1200$  m 면 1200 m, 그렇지 않으면  $h_1$  보다 큰 가장 근접한 평균 유효 높이이다.  $E_{lwr}$  는 요구되는 거리에서  $h_{lwr}$  에 대한 전계강도 값이다.  $E_{upr}$  는 요구되는 거리에서  $h_{upr}$  에 대한 전계강도 값이다.  $h_1 > 1200$  m 인 경우에는 외삽법을 적용하며,  $h_1 > 3000$  m 인 경우에는 이 권고는 타당하지 않다.

한편 거리에 따른 전계강도의 보간법은 식 (2)와 같다.

$$E = E_{lwr} + (E_{upr} - E_{lwr}) \log(d/d_{lwr}) / \log(d_{upr}/d_{lwr}) \quad (2)$$

여기서  $d$  는 예측하고자 하는 거리,  $d_{lwr}$  는 거리  $d$  보다 작은 가장 가까운 일람표 거리,  $d_{upr}$  은 거리  $d$  보다 큰 가장 가까운 일람표 거리,  $E_{lwr}$  는  $d_{lwr}$  에 대한 전계강도,  $E_{upr}$  는  $d_{upr}$  의 전계강도이다. 이 권고는 1 km 보다 작거나 1000 km 보다 큰  $d$  값에 대해서는 타당하지 않다.

끝으로 요구하는 주파수가 100 MHz 보다 큰 육상 경로 및 해상 경로에 대해 주파수 함수에 따른 전계강도의 보간법은 다음과 같다.

$$E = E_{lwr} + (E_{upr} - E_{lwr}) \log(f/f_{lwr}) / \log(f_{upr}/f_{lwr}) \quad (3)$$

$f$  는 예측하고자하는 주파수(MHz),  $f_{lwr}$  는 더 낮은 명목상의 주파수 ( $f < 600$  MHz, 100 MHz, 그렇지 않으면 600 MHz),  $f_{upr}$  는 더 높은 명목상의 주파수 ( $f < 600$  MHz, 600 MHz, 그렇지 않으면 2000 MHz),  $E_{lwr}$  는  $f_{lwr}$  에서 전계강도,  $E_{upr}$  는  $f_{upr}$  에서 전계강도이다. 주파수 2000 MHz 보다 큰 경우에 대한 외삽법으로 구한 전계강도는 최대값이 자유공간에서의 전계강도를 초과하지 않는 범위에서 제한된다.

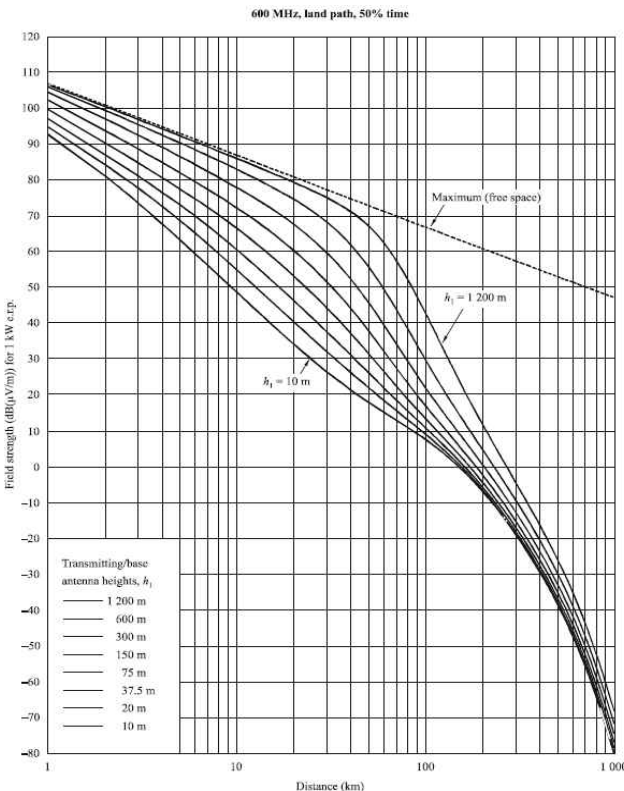


그림 1. 주파수 600 MHz 에 대한 전계 강도 특성

표 1. ITU-R 권고 P.1546 모델의 변수

Parameter	Units	Definition	Limits
$f$	MHz	Operating frequency	30-3 000 MHz
$d$	km	Path length	1-1 000 km
$p$	%	Percentage time. Defined in Annex 1, § 8	1-50%
$h_1$	m	Transmitting/base antenna height as referenced in curves. Defined by Annex 5, § 3, equations (4) to (7) Limits are defined in § 4.1	Land - No lower limit, upper limit of 3 000 m Sea - Not less than 1 m, upper limit of 3 000 m
$h_a$	m	Transmitter antenna height above ground. Defined in Annex 5, § 3.1.1. Limits are defined in Annex 5, § 3	Must be greater than local clutter height
$h_b$	m	Height of base antenna above terrain height averaged 0.2 $d$ and $d'$ km, where $d'$ is less than 15 km and where terrain information is available	None - But note this parameter only exists for land paths where $d < 15$ km
Clutter height surrounding transmitter	m	Representative clutter height (around transmitter)	None
$R$	m	Representative clutter height (around receiver)	None
$\theta_{ter}$	degrees	Terrain clearance angle	0.55-40 degrees
$\theta_{tr}$ , $\theta_{gr}$ , $\theta_{rr}$	degrees	Transmitter/base effective terrain clearance angles. Annex 5, § 9	Must be positive

#### 나. 전계강도의 보정

한편 방송송신 및 중계국 안테나 높이  $h_1$  에 대한 결정은 다음과 같다. 계산에 적용된  $h_1$  은 경로의 형태 및 길이, 그리고 높이 정보에 대한 다양한 항목에 의존하므로 이는 모든 것이 다 가능하지 않을 수 있다. 먼저 바다 경로에 대한  $h_1$  은 해수면 위의 안테나 높이이다. 육상 경로에 대해서는 방송송신 및 중계국 안테나의 유효 높이,  $h_{eff}$  는 방송송신 및 중계국 안테나가 방송송신 및 이동단말 안테나 방향으로 거리 3 km ~ 15 km 사이에서 지상 평균 레벨 위의 높이로 정의한다.  $h_{eff}$  를 모르는 경우에는 일반적인 지형 정보로부터 산출되어야 한다. 만약에 방송송신 및 중계국 안테나가 주변 클러터(clutter)의 높이 아래에 있다면 이 권고는 타당하지 않다. 단, 육상경로에서 거리가 15 km 보다 작은 경우에 대해서는  $h_1$  을 달리 정의하고 있다.

또한 방송송신 및 이동단말 안테나 높이에 대한 전계강도 보정은 다음과 같다. ITU-R 권고 P.1546에서 제시된 전계강도 곡선들은 기준 방송송신 및 이동단말 안테나 높이,  $R(m)$  에 대한 것이며, 이는 방송송신 및 이동단말 안테나를 둘러싼 지면 덮개의 높이를 대표하는 것으로 최소 10 m 이다. 예로 도심지역은 20 m, 밀도가 높은 도심지역은 30 m, 부 도심지역은 10 m 이며, 바다 경로는  $R=10$  m 이다.

방송송신 및 이동단말 안테나가 육지에 있는 경우, 도착하는 전파의 양각을 고려해야 하는데, 이는 수정된 대표적 클러터 높이  $R'(m)$  는

$$R' = (1000dR - 15h_1) / (1000d - 15) \quad (4)$$

이다. 여기서  $h_1$  와  $R$  은 m이며, 거리  $d$  는 km이다. 또한  $h_1 < 6.5d + R$  이면  $R' \approx R$  이다.

방송송신 및 이동단말 안테나가 도심 환경 속에 있을 때, 전계강도 보정은 다음과 같이 주어진다.

$$Correction = 6.03 - J(v), \quad h_2 < R' \quad (5-a)$$

$$= K_{h_2} \log(h_2/R'), h_2 \geq R' \quad (5-b)$$

여기서  $h_2$ (m)는 지면 위의 방송수신 및 이동단말 안테나의 높이이며, 이는 방송수신 및 이동단말 안테나가 위치한 둘레에 지표 덮개의 대표적 높이이다.

$$\mathcal{J}(\nu) = [6.9 + 20 \log(\sqrt{(\nu-0.1)^2 + 1} + \nu - 0.1)] \quad (6-a)$$

$$\nu = K_\nu \sqrt{h_{dif} \theta_{dut}} \quad (6-b)$$

$$h_{dif}(m) = R' - h_2 \quad (6-c)$$

$$\theta_{dut}(\text{degree}) = \arctan(h_{dif}/27) \quad (6-d)$$

$$K_{h_2} = 3.2 + 6.2 \log(f) \quad (6-e)$$

$$K_\nu = 0.0108 \sqrt{f} \quad (6-f)$$

여기서  $f$ (MHz)이다.

특히 방송수신 및 이동단말 안테나가 시골 또는 개방 환경에 있을 때, 보정은 수식 (5-b)로 주어진다. 이 때 모든  $h_2$  값에 대해  $R' = 10$  m로 고정한다. 그리고  $R' < 10$  m인 도심 환경에서는 수식 (5)로 주어지는 보정은  $K_{h_2} \log(10/R')$ 로 대체된다.

### 3. DTV 수신 시스템

먼저 DTV 수신 시스템의 수신 신호에 대해 살펴보자. 그림 2에서와 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].

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_t - L_r - L_p \quad (7)$$

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.

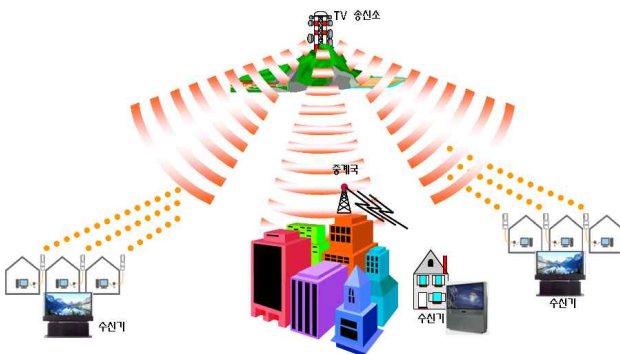


그림 2. DTV 송신소 및 수신기

다음은 수신 한계 레벨을 정의해보자. 어떤 비트오율  $BER = 10^{-y}$ 에서 DTV 수신기에 수신된 신호의 한계 레벨은 식 (8)로 표현되며, 상온에서 식 (9)와 같다.

$$P_{r-th} = 10 \log(kTB) + NF + S/N(BER = 10^{-y}) \quad (8)$$

$$P_{r-th}(dBm) = -174 + 10 \log_{10}(B) + NF + S/N(BER = 10^{-6}) \quad (9)$$

여기서  $k (= 1.38 \times 10^{-23} J/K)$ 는 Boltzmann의 상수,  $T$ 는 Kelvin 온도,  $B$ 는 수신기 대역폭(Hz),  $NF$ 는 수신기 잡음지수(dB),  $S/N$ 는 일반적으로  $BER = 10^{-6}$ 에서 선정된 변조방식별로 주어지는 값이다.

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

$$E_{P_{r-th}} = P_{r-th}(dBm) + 20 \log f_{MHz} + 77.2(dB) - G_r(dB) \quad (10)$$

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

본 논문의 시뮬레이션에서 사용한 전파 손실 모델은 ITU-R 권고 P.1546의 전파 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.

$$L_p = 139.3 - E_{p.1546} + 20 \log f_{MHz} \quad (11)$$

식 (8)~(11)를 이용하여 식 (7)에 대입한 전계강도  $E_{P_r}$ (dB( $\mu V/m$ ))는  $E_{p.1546}$ 로부터 다음과 같이 표현된다.

$$E_{P_r} = E_{p.1546} + P_t + G_t - L_t - L_r - 62.1 \quad (12)$$

### 4. 수치계산 및 분석

표 2는 본 연구에서 수치계산에 관련된 변수를 포함하는 DTV 수신기의 전기적 특성을 한 예로 나타내었다. 수치계산을 위해 첫째, 식 (9)을 이용하여 수신기 수신한계레벨(dBm)을 계산한다. 둘째, 식 (10)을 이용하여 수신기의 수신한계 전계강도를 계산한다. 셋째, 식 (12)을 이용하여 수신 한계 전계강도를 주는 거리, 주파수 등의 변수에 대해 권고 P.1546 모델에 제시된 절차를 이용하여 관련된 값을 구한다.

수신한계레벨 및 전계강도 계산을 위해 필요한 변수의 값들은 편의상 표 2와 같이 가정하였다. 또한 ITU-R 권고 P.1546 모델을 이용하여 수신 전계강도 한계에 따른 거리를 계산하기 위해 시간 확률은 50%, 공간 확률은 수신기 지역의 50% 영역, 그리고 육상 경로를 가정하였다.

표 2. 수치계산에 필요한 시스템 변수

$B$ (Hz)	$NF$ (dB)	$S/N(BER = 10^{-6})$	$G_r$ (dBi)
$6 \times 10^6$	2.0	22.0 dB	10

그림 3은 식 (10)을 이용하여 표 2의 변수 값으로부터 구한 수신한계 레벨의 전계강도,  $E_{P_{r-th}}$ (dB( $\mu V/m$ ))을 주파수에 대해 나타내었다. 주파수 500, 600, 700 MHz에서 수신한계 전계강도는 각각 약 39.0, 40.5, 41.9 dB( $\mu V/m$ ) 값을 갖는다.

그림 4는 방송수신 및 이동단말 안테나가 시골 또는 개방 환경에 있을 때, 전파의 손실을 알아보기 위한 것으로 식 (11)을 이용하여 주파수 600 MHz, 거리 50 km, 송신 안테나 높이에 따른 전파손실,  $L_p$ (dB)를 보여준다. 이때 수신 안테나의 높이( $h_2$ )는 편의상 10, 30, 60

m 로 하였다. 송신 안테나 높이( $h_1$ )는 10, 20, 37.5, 75, 150, 300 m 로 하였으며,  $h_1 = 50$  m 에서의 전파손실은  $h_2 = 10, 30, 60$  m 일때 각각 약 167, 157, 151 dB 가 되며, 수신 안테나의 높이가 높을수록 감쇠가 상대적으로 줄어들게 됨을 알 수 있다.

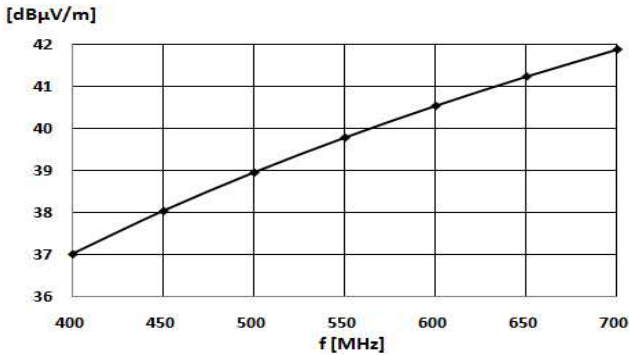


그림 3. 주파수에 따른 수신한계레벨의 전계강도

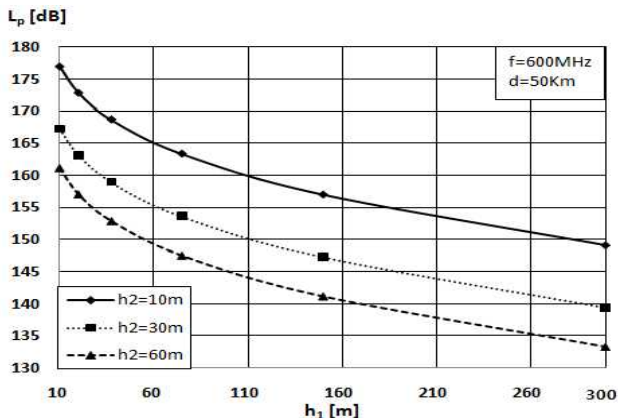


그림 4. 송신 안테나 높이에 따른 전파손실

그림 5는 그림 4와 동일한 전파환경에서 단지 수신 안테나 높이,  $h_2 = 10$  m로 한 경우, 식 (12)을 이용하여 임계 전계 강도 값을 주는 거리를 계산한 것이다. 선택한 DTV 채널의 중심 주파수는 600 MHz, 송신 출력  $P_t = 10$  kW (= 70 dBm),  $G_t = 20$  dBi, 그리고 편이상  $L_t = L_r = 0$  로 가정하였다. 송신 안테나의 높이  $h_1 = 70, 150$  m에 대해 수신한계 레벨에 도달하는 전송거리는 각각 약 107.6, 112.7 km 가 된다. 또한 동일한 조건에서 송신출력  $P_t = 1$  kW (= 60 dBm) 일때,  $h_1 = 70, 150$  m 에서는 각각 약 64.4, 82.5 km 가 된다.

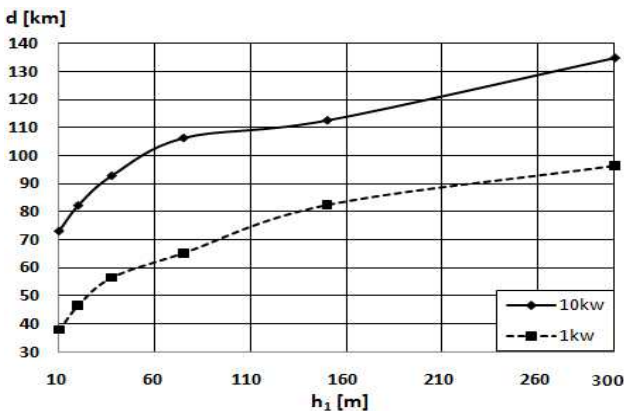


그림 5. 송신 안테나 높이에 따른 수신 임계전계강도를 주는 거리

끝으로 이상에서 도출된 결과를 타 방법과의 비교를 위해 오키무라-하타(Okumura-Hata)에 의한 비교를 표 3에 제시하였다. 표에서 기준이 되는 전계강도,  $E$  (dB(μV/m)) 는 ITU-R 권고 P.1546 모델에서 구한  $E_{p.1546}$  (dB(μV/m))의 결과인데, 이는 그림 5에서 10 kW 송신 출력 시 송신 안테나 높이  $h_1 = 37.5, 70, 150$  m 에 대해 얻은 거리에서의 전계강도이다. 동일한 거리에서 오키무라-하타 방법에 의해 구한 전계강도를 제시하였으며, 송신 안테나의 높이 선정은 오키무라-하타 방법은 안테나 높이가 30 ~ 200 m 있기 때문이다. 안테나 높이가 작을 수록 그리고 거리가 짧을수록 전계강도 오차가 상대적으로 줄게 됨을 알 수 있다. 이러한 오차는 측정에 의한 모델 방법의 정형화에 따른 근원적인 차이로 발생한 것으로 보이며, ITU-R 권고 P.1546 모델은  $h_2 = H_2 = 1.5$  m,  $R = 15$  m, 거리 10 km 까지 에는 오키무라-하타 방법과 유사한 결과를 준다고 기술되어 있다[3].

표 3. 오키무라-하타 방법과의 결과 비교

$H_1 = h_1$ (m)	37.5	70	150
거리, d(km)	93.1	107.6	112.7
전계강도, E (dB(μV/m))	ITU-R P.1546 <sup>a</sup>	12.7	12.7
	오키무라-하타 <sup>b</sup>	15.9	18.4
전계강도 오차(%)	$100 \times (b-a)/a$	25.2	44.9

## 5. 결론

본 논문에서는 ITU-R 권고 P.1546에서 제시된 주파수 30 MHz ~ 3000 MHz 대역에 지상 서비스를 위한 점-대-지역 전계강도 산출 절차를 이용하여 DTV 송신 신호의 전계강도 예측을 위한 방법을 정립하고, 관련 변수를 이용한 수치 계산 및 결과를 분석하였다. 송신소 시스템의 설정 변수에 대해 주파수에 따른 수신한계레벨의 전계강도, 송신 안테나 높이에 따른 전파손실 및 전파 도달 거리를 살펴보았으며, 또한 기존의 오키무라-하타 방법과의 비교 및 분석도 수행하였다.

제시된 분석 방법은 DTV 수신지역의 전계강도 예측을 통한 신호의 품질 분석은 물론, 양호한 전파환경 구축에 필요한 송신소 및 중계국 위치설정, 간섭에 대한 양립성 분석 등에 직접 활용할 수가 있다. 추후 연구로는 실제 지형정보를 이용한 다양한 변수에 대해 전계강도 도출 및 분석 등이 남아 있다.

## 참고 문헌

- [1] 목하균 외 5인, "DTV 분산중계망 필드 테스트 결과," *방송공학회 논문지*, 제14권, 제4호, pp. 518-536, 2009년.
- [2] 김홍목 외 7인, "분산중계기 part I: 분산중계기술," *방송공학회 논문지*, 제15권, 제1호, pp. 14-28, 2010년.
- [3] *Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz*, Recommendation ITU-R P.1546-3, 2007.
- [4] 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.
- [5] Roger L. Freeman, *Radio system design for telecommunication*, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc. 1997.