

장거리전파모델 P.452와 P.2001 비교 연구

이 경 규*, 오 대 섭*, 이 인 석**, 오 성 준°

Comparison Study of Wide Range Propagation Model P.452
and P.2001

Kyung-Gyu Lee*, Dae-Sub Oh*, In-Seok Lee**, Seong-Jun Oh°

요 약

국제전기통신연합 권고서 P.452는 간섭평가를 위한 전파모델이고, P.2001은 일반적인 장거리 전파모델이다. 두 권고서는 목적은 다르지만, 경로 감쇠 모델이 같거나 거의 비슷하여, 결과가 비슷하게 나온다. 그래서 차이점을 분석하여 활용도가 타당한지 확인하려고 한다. 본 논문에서는 P.452와 P.2001의 차이점을 경로별 전파모델 간의 수식 비교와 지형 프로파일을 사용한 시뮬레이션을 통하여 분석하였다.

Key Words : Propagation Model, time-percentage, terrain-profile, P.452, P.2001

ABSTRACT

The objective of ITU-R recommendation P.452 is evaluation for interference between stations on the surface and that of P.2001 is general wide range propagation model. Although the objectives are different, the propagation model of the two recommendations are almost same and it leads to similar results. Therefore, the application problem of the two recommendations are required to be clear by analyzing the difference. In this paper the difference between P.452 and P.2001 are analyzed through the comparison of the propagation model for each path and the simulation using a terrain profile.

I. 서 론

무선통신에서 전파를 전송할 때 전방향 전파 특성으로 인하여 의도치 않게 간섭이 발생할 수 있다. 이러한 간섭은 시스템의 성능에 영향을 주므로 국제전기통신연합 (ITU-R)의 전파규칙에 따라서 전파모델과 간섭 예측모델 등이 권고되고 있다. 특히 위성 지

스템의 경우 넓은 커버리지로 인하여 간섭에 대해서 민감하다. 넓은 커버리지는 스마트폰, Internet of Things^[1] 등 수많은 기기가 사용하는 전파에 그대로 노출이 된다. 그뿐만 아니라 위성 지구국 또한 큰 전력과 큰 안테나 이득으로 인하여 타 시스템에 간섭을 주거나 받기도 쉽다.

위성 시스템과의 간섭분석은 커버리지가 워낙 넓어

※ 본 연구는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. B0719-17-1006, 국가 위성통신 주파수 자원 확보 및 이용을 위한 위성 스펙트럼 활용 기술 개발)

• First Author : (ORCID:0000-0001-9917-9845)Korea University Graduate School of Computer and Information Technology, dgmstt@korea.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-0235-9987)Korea University Graduate School of Information Security, seongjun@korea.ac.kr, 종신회원

* Electronics and Telecommunications Research Institute, trao@etri.re.kr 정회원

** (ORCID:0000-0002-5939-6930)Korea University Graduate School of Computer and Information Technology, insukee@korea.ac.kr, 학생회원

논문번호 : 201810-326-A-RN, Received October 15, 2018; Revised November 23, 2018; Accepted January 7, 2019

서 거리가 짧으면 수 킬로미터, 길면 수천 킬로미터까지 나오게 된다. 수천 킬로미터와 같이 장거리 전파모델은 지형, 대기, 날씨 등에 의해서 변동 폭이 크고 고려해야 할 변수가 많다. 이러한 장거리 간섭에 대해서 ITU-R에서 만든 권고서는 P.452^[21]다. P.452는 지표면의 간섭평가를 위한 목적으로 만들어진 권고서다. 1970년에 처음 만들어져서 여러 번 개정을 거쳐서 현재까지 꾸준히 사용됐다. P.452는 50GHz 이하에서 사용할 수 있고, 거리 제한은 따로 두지 않았다. 간섭평가라는 목적에 맞게 최악의 상황 (worst-case)를 고려한 경로 감쇠 모델을 사용하였다.

2012년에는 ITU-R에서 장거리 전파모델에 관한 권고서인 P.2001^[31]이 새롭게 등록되었다. P.2001은 일반적인 장거리 전파모델을 위한 권고서이기 때문에 모든 시간율의 사용을 가능하게 하였다. 그뿐만 아니라 경로 감쇠 수식을 독립적인 서브 모델을 통해 모듈화하여 몬테카를로 방법 등의 컴퓨터 시뮬레이션에 적합하게 만들었다. P.2001은 모든 시간율이 가능하고, 일반적인 경로 감쇠 모델을 사용하기 때문에 오직 간섭평가에만 사용할 수 있는 P.452와는 다르게 범용적으로 사용할 수 있다. 그뿐만 아니라 권고서에 명시되어 있는 권고에 따르면 P.2001은 잠재적으로 간섭이 발생할 수 있는 환경에서의 신호 연구도 지원할 수 있다고 명시하고 있다.

P.452와 P.2001 목적은 서로 다르지만 여러 부분에 유사한 부분이 있다. 두 권고서는 모두 간섭 신호에 관해 분석할 수 있고, 경로 감쇠 모델이 같거나 거의 비슷하며 장거리에 대한 간섭분석을 수행할 수 있다. 두 권고서는 비슷한 부분이 많지만 P.2001이 더 일반적인 모델이기 때문에 P.452는 P.2001의 특수한 경우처럼 보인다.

본 논문에서는 P.452와 P.2001의 특성을 분석하고 차이점과 유사점을 확인하여 제시된 활용도에 관해서 확인하고자 한다. 이를 위하여 P.452와 P.2001의 경로별 전파모델 간의 수식 비교를 통해서 차이점을 확인하고, 지형 프로파일을 통한 시뮬레이션으로 분석하였다. 시뮬레이션은 구글 어스 (Google Earth)를 통하여 내륙, 해안, 대양의 지형 프로파일을 만들어 기본 전송 감쇠량 (Basic Transmission loss), 지표면 회절, 덕팅, 대류권 산란에 대해서 비교하였다.

II. P.452와 P.2001의 비교 분석

2.1 시간율 (time-percentage) 비교

P.2001은 P.452등 기존의 ITU-R 전파모델 권고서

들이 전파신호 세기의 강화 또는 감쇠 둘 중 하나만을 표현하기 때문에 이것을 개선했다. P.452는 간섭을 평가하기 위한 목적으로 신호가 지표면, 날씨 등 여러 요인으로 인해서 강화되는 상황 (worst-case)을 시간율로 표현을 하고 0에서 50%까지 설정을 하였다. 시간율이 0에서 50%까지밖에 설정이 되지 않아서 결정론적 분석에는 알맞지만, 통계적인 분석에는 사용하기가 힘들다. 현재 시뮬레이션에 자주 사용되는 통계적인 분석법인 몬테카를로 방법을 사용할 때 편향이 생길 수밖에 없다. 이와 다르게 P.2001은 신호의 강화와 감쇠를 모두 표현하였다. 시간율이 0에서 100%로 모두 표현되어있어서 통계적인 방법에도 이용할 수 있다.

2.2 경로에 따른 전파모델 비교

장거리전파모델의 경로에 따른 모델은 지표면 회절, 덕팅, 대류권 산란, 강우·대기 손실, 전리층 반사·회절, 클러터 모델 등이 있다. 지표면 회절과 강우 손실이 이어져 있고, 덕팅과 대기손실이 이어져 있으므로 실질적으로 모델은 지표면 회절, 덕팅, 대류권 산란, 전리층 반사 그리고 클러터 모델이라고 볼 수 있다. P.452와 P.2001의 지표면 회절 모델과 덕팅 모델은 같은 모델을 사용하고 있으며, 대류권 산란모델과 전리층 반사 모델은 서로 다른 모델을 사용하고 있다.

2.2.1 지표면 회절 모델

P.452와 P.2001은 같은 지표면 회절 모델을 사용한 Bullington 모델^[41]을 더 발전시킨 delta-Bullington 모델을 사용하였다. delta-Bullington 모델은 실제 경로 프로파일, 높이가 0인 프로파일 그리고 지구 구체 회절 모델을 결합한 모델이다. delta-Bullington 모델은 장거리에서도 추가적인 보정이 필요 없고, 지구 구체 회절도 잘 표현할 수 있다.

P.452와 P.2001의 모델은 같지만 P.452는 최악의 상황을 가정하기 위해 전파 경로 감쇠를 낮추는 수식이 추가되어있다. 다음은 P.452^[21]에 있는 (41)과 (42) 식이다.

$$F_i = \begin{cases} \frac{I(p/100)}{I(\beta_0/100)} & \text{for } 50\% > p > \beta_0\% \\ 1 & \text{for } \beta_0\% \end{cases} \quad (1)$$

$$L_{dp} = L_{d50} + F_i(L_{d\beta} - L_{d50}) \quad (2)$$

p는 시간율이고, β_0 는 첫 번째 100m 대기에서 100 N-unit을 넘어가는 굴절 기온저하율의 시간율이다. F_i 는 보간법 비율이다. L_{dp} 는 시간율 p가 넘어가지 않는

회절 감쇠량이고, L_{d50} 은 시간율이 50%일 때 회절 감쇠량이다. $L_{d\beta}$ 는 시간율이 β_0 일 때 회절 감쇠량이다. 식 (2)에서 볼수 있듯이 P.452는 L_{d50} 과 $L_{d\beta}$ 사이에서 시간 p 의 비율로 보간법을 통해서 회절 감쇠량을 구한다. 보통 $L_{d\beta}$ 의 값이 작고 L_{d50} 의 값이 더 크기 때문에 이 방식을 사용하면 회절 감쇠량이 적어지는 효과를 볼 수 있다. P.2001은 (1), (2)식을 사용하지 않고, L_{d50} 만을 회절 감쇠량으로 사용하고 있다.

2.2.2 덕팅과 층 반사 모델

P.452와 P.2001의 덕팅과 층 반사 모델은 거의 같고, P.2001에 조금 더 추가된 부분이 있다. P.2001에 각도-거리 의존 감쇠 함수와 시간-거리 의존 감쇠 함수에 식이 추가되었다. 추가된 부분의 영향은 크지 않다. 그러므로 P.452와 P.2001의 덕팅과 층 반사 모델은 거의 같다고 볼 수 있다.

2.2.3 대류권 산란 모델

P.452의 대류권 산란모델은 거리, 주파수, 바다 표면의 굴절률, 대기손실에 대한 선형적인 식으로 구할 수 있다. P.2001은 P.452의 대류권 산란모델을 더 확장했다. P.2001은 기후 구역 테이블 (Climate Zone Table)과 송수신단의 위도, 경도에 따른 common-volume height 감쇠를 집어넣었고, Y 파라미터를 추가해서 보정했다. 다음은 P.2001^[5]에 나오는 식 (E.2)와 (E.13)이다.

$$L_N = 20\log(5 + \gamma H) + 4.34\gamma h_{trop} \quad (3)$$

$$L_{dist} = \max [10\log(d) + 30\log(\theta) + L_N, 20\log(d) + 0.573\theta + 20] \quad (4)$$

L_N 은 common-volume height 감쇠이고, γ 는 기후 구역 테이블에서 얻을 수 있는 파라미터이다. H 와 h_{trop} 은 각각 거리에 대한 함수와 산란 각도에 대한 함수다. L_{dist} 는 거리에 대한 감쇠이고, d 는 거리, θ 는 산란 각도이다. P.452는 max 함수의 오른쪽 값만을 사용한다. 반면에 P.2001은 왼쪽 값을 새로 추가하고 둘 중에 큰 것을 사용한다.

식 (4)를 보면 max 함수의 오른쪽과 왼쪽의 식들은 거리와 산란 각도에 대한 함수이다. 먼저 오른쪽 식은 거리가 로그함수로 되어있고, 산란 각도는 0.573이 곱해져 있어서 커진다고 해도 L_{dist} 는 급격하게 커지지 않는다. 반면에 왼쪽 식은 L_N 의 h_{trop} 이 4.34의 기울기를 가지고 있어서 거리나 산란 각도가 커지면 L_{dist} 가 급격하게 커질 가능성이 있다. 그러므로 P.452와

P.2001은 일정한 거리까지 대류권 산란 감쇠가 비슷하지만, 일정 거리를 지나면 P.2001의 감쇠가 급격히 커지는 것을 알 수 있다.

2.2.4 전리층 반사·회절 모델

전리층 반사·회절 모델은 P.452에는 없고, P.2001에만 존재한다. P.2001의 전리층 반사·회절 모델은 P.534^[5]를 바탕으로 한 것을 추가하였다. 전리층은 단거리보다 장거리에서 더 영향을 많이 미친다. 그러므로 수백 수천 킬로미터의 장거리에서는 전리층 모델로 인한 P.452와 P.2001의 차이가 발생할 수 있다.

2.2.5 클러터 모델

클러터 모델은 P.452에만 있고, P.2001에는 존재하지 않는다. P.452의 클러터 모델은 최대 20dB로 제한된다. 클러터 모델은 전파 거리가 짧은 경우 크게 영향을 주지만, 거리가 멀어지는 경우 영향을 거의 주지 않기 때문에 P.2001에서 제외되었다.

2.3 결합 구조 비교

P.452와 P.2001은 여러 개의 감쇠 경로들을 결합하는 방식을 사용했다. P.452가 자유 공간손실, 회절, 덕팅, 강우 손실 등의 결합으로 이루어져 있고, 이와 비슷하게 P.2001은 4개의 서브 모델이 결합하여 최종적으로 기본 전송 감쇠를 결정한다. P.452가 감쇠 경로들이 복잡하게 얽혀있는 것에 비해서 P.2001의 서브 모델들은 독립적으로 작용한다. 그리고 P.2001은 각각의 서브 모델에 서로 다른 시간율을 적용할 수 있다. 그래서 항상 하나의 시간율을 적용할 수밖에 없는 P.452보다 더 현실적이고 몬테카를로 방법에 더 적합하다.

III. 시뮬레이션 결과

3.1 시뮬레이션 파라미터

3.1.1 지형 프로파일 설정

P.452와 P.2001은 지형 프로파일을 입력변수로 받아서 결과를 도출한다. 지형 프로파일은 거리, 높이 그리고 지형 인덱스로 구성된 수많은 점의 집합으로 송신기에서 거리가 0m이고, 수신기에서 거리가 최대 값을 가질 수 있도록 하여 구할 수 있다. 지형 프로파일은 구글 어스의 고도 프로필을 사용하여 제작하였다. 구글 어스의 고도 프로필에서 해수면의 고도를 0m로 두고, 일정한 거리마다 고도를 기록하였다. 바다 속에 깊은 골짜기가 있어서 높이가 음수 값으로 나

와 있는 경우는 모두 고도 0m로 계산을 하였다. 그뿐만 아니라 지형 프로파일에는 거리와 고도 외에도 지형 인덱스가 들어가서, 현재 그 지점이 육지인지 바다인지 해안인지를 표시할 수 있다. 그래서 지형 프로파일의 시나리오를 선택할 때 육지와 바다의 비율을 다르도록 선택했다.

첫 번째는 산지가 많은 내륙을 선택했다. 구글 어스를 사용해서 만든 서울-부산 지형 프로파일은 그림 1에 나와 있다. 그림 1의 서울-부산 지형 프로파일을 보면 고도의 높낮이 차이가 매우 심해서 지표면 회절로 인한 전파가 주를 이룰 것으로 보인다. 경로의 거리가 322 km 정도로 길지 않기 때문에 덕팅이나 전리층 반사의 영향은 크지 않으리라고 기대된다.

두 번째는 바다와 육지의 비율이 같은 경로를 선택했다. 구글 어스를 사용해서 만든 서울-베이징 지형 프로파일은 그림 2에 나와 있다. 서울-베이징의 경로

의 50%는 육지고 50%는 바다여서 양쪽의 영향을 다 받을 것으로 기대한다.

세 번째는 태평양을 가로지르는 경로이다. 구글 어스를 사용해서 만든 도쿄-LA 지형 프로파일은 그림 3에 나와 있다. 두 도시의 거리는 8824km이며 경로에서 지구의 곡률이 크게 나타난다. 대부분이 바다이고, 장거리일 때 앞의 두 시나리오와 다르게 두 권고서 모델의 변화를 볼 수 있을 것으로 기대한다.

3.1.2 파라미터 설정

P.452와 P.2001은 같은 환경에서 비교하기 위해 되도록 파라미터를 같게 설정하였다. P.452와 P.2001에 공통으로 들어가는 파라미터들은 모두 같게 하였고, P.452에만 나와 있는 파라미터들은 각각의 권고서의 권고에 따라서 설정하였다. 표 1, 2, 3들은 모두 시뮬레이션에 필요한 파라미터들을 나타낸다. 라디오 굴절

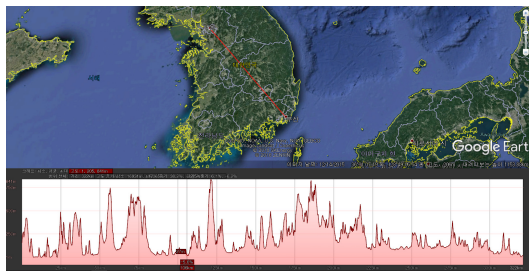


그림 1. 구글 어스를 이용한 서울-부산 지형 프로파일
Fig. 1. Seoul-Busan terrain profile using Google Earth

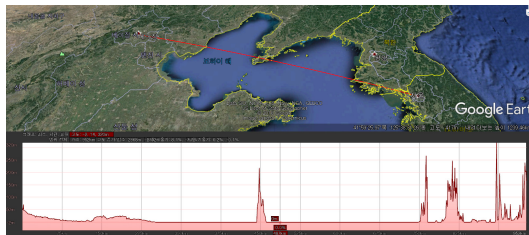


그림 2. 구글 어스를 이용한 서울-베이징 지형 프로파일
Fig. 2. Seoul-Beijing terrain profile using Google Earth

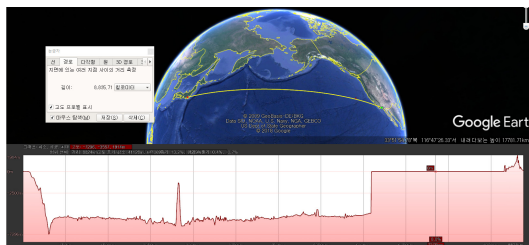


그림 3. 구글 어스를 이용한 도쿄-LA 지형 프로파일
Fig. 3. Tokyo-LA terrain profile using Google Earth

표 1. P.452와 P.2001의 공통 파라미터
Table 1. Common-parameters of P.452 and P.2001

Parameter	Value
Frequency (GHz)	2.1
Tx antenna gain (dBi)	23
Rx antenna gain (dBi)	23
Tx antenna height (m)	30
Rx antenna height (m)	30
Antenna polarization	horizontal
Seoul-Beijing distance (km)	952
Seoul-Busan distance (km)	322
Tokyo-LA distance (km)	8824

표 2. P.452에만 사용된 파라미터
Table 2. Parameters only used for P.452

Parameter	Value	Note
ΔN	50	Average radio refractive index lapse-rate through the lowest 1km of the atmosphere
N_0	330	sea-level surface refractivity
Air pressure (hPa)	1013.25	Air pressure of dry air
Temperature (°C)	15	
dct (km)	500	Distance from Tx/Rx to coastal-areas over land
dcr (km)	500	
hat (m)	20	Tx clutter height
har (m)	20	Rx clutter height
dkt (km)	0.02	Tx clutter distance
dkt (km)	0.02	Rx clutter distance

표 3. 지형 프로파일에 사용된 도시의 위도와 경도
Table 3. Longitude and latitude of the city used for the terrain profile

	Latitude (°)	Longitude (°)
Seoul	37.556262	126.968731
Busan	39.950463	116.435041
Beijing	35.17944	129.07556
Tokyo	35.6894875	139.6917064
LA	34.0450624	-118.2450863

인덱스(ΔN)와 해수면 굴절률(N_0)은 ITU-R에서 측정된 등고선 지도를 바탕으로 각 도시의 위도와 경도에 따라 값을 구했다. 5개 도시가 같은 등고선에 있었기 때문에 라디오 굴절 인덱스와 해수면 굴절률은 모두 값으로 통일하였다.

3.2 시뮬레이션 결과 및 분석

P.452와 P.2001에 대한 시뮬레이션은 ITU-R의 Software and Databanks에 공개되어있는 시뮬레이터를 활용하였다. 시뮬레이터는 Matlab으로 작성되어있고, t_{l_p452} 와 t_{l_p2001} 함수로 P.452와 P.2001의 기본 전송 감쇠 (Basic Transmission Loss)를 얻을 수 있다. t_{l_p452} 와 t_{l_p2001} 함수에 파라미터값과 지형 프로파일을 적용하고, 시간율의 경우 P.452는 0.01-49.99%, P.2001은 0.01-99.99%을 적용하여 비교하였다.

시뮬레이션의 결과는 그림 4, 5, 6, 7에 나와 있다. 그래프의 상단 왼쪽 및 오른쪽은 각각 서울-부산 및 서울-베이징 구간에서의 결과를 보여주며 그래프의 하단은 도쿄-LA 구간에서의 결과를 보여준다. 각 그래프에서 실선은 P.2001의 결과를 나타내고, 점선은 P.452의 결과를 나타낸다. 시뮬레이션 결과 그래프의 x축은 지표면 회절 감쇠 (L_{dp}), 대류권 산란 감쇠 (L_{bs}), 덕팅과 층 반사 감쇠 (L_{ba}) 및 기본 전송 감쇠 (L_b)를 나타내며 y축은 시간율을 나타낸다. P.2001의 전리층 반사 모델은 모든 시나리오에서 감쇠 값이 아주 크게 나와서 무시했다.

그림 4에는 지표면 회절 감쇠 시뮬레이션 결과가 나와 있다. 그 결과를 보면 P.452의 지표면 회절 감쇠가 특정 시간율 이상에서 항상 P.2001보다 값이 작다. 그리고 P.452의 값은 시간율이 작아지면 특정 값에 고정되는 것을 볼 수 있다. 이것은 식 (1), (2)에서 시간율이 β 보다 작아지면 $F_i = 1$ 이 되어서 $L_{dp} = L_{d\beta}$ 로 고정되는 것을 볼 수 있다. β 는 첫 번째 100m 대지에서 100 N-unit을 넘어가는 굴절 기온저하율의 시

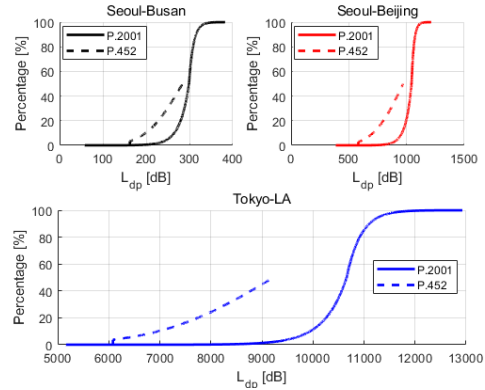


그림 4. 지표면 회절 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Simulation result of diffraction loss not exceeded for p% time

간율로서 각각 시나리오에서 2.84, 3.35, 3.72% 값을 가진다. P.452의 지표면 회절 감쇠 값은 β 보다 낮은 시간율에서 항상 같은 값에 고정되기 때문에 최악의 상황을 가정하는 경우 P.2001의 값이 더 작아지는 것이 관찰된다.

그림 5에는 대류권 산란 감쇠 시뮬레이션 결과가 나와 있다. 서울-부산과 서울-베이징 구간의 감쇠 결과는 P.452의 결과가 P.2001보다 조금 더 작다. 반면에 도쿄-LA 구간의 감쇠 결과는 P.2001과 P.452의 결과의 차이가 크다. 그 이유는 P.2001에만 적용되는 식 (4)의 max 함수의 왼쪽 식의 L_N 의 거리에 따른 증가량이 더 크기 때문이다. 대류권 산란 감쇠식만 따로 계산한 결과 3200km까지는 P.2001과 P.452의 차이가 작지만, 그 이상의 거리에서는 차이가 점점 커지는 것을 확인했다. 도쿄와 LA 사이의 8824km 거리에 의해

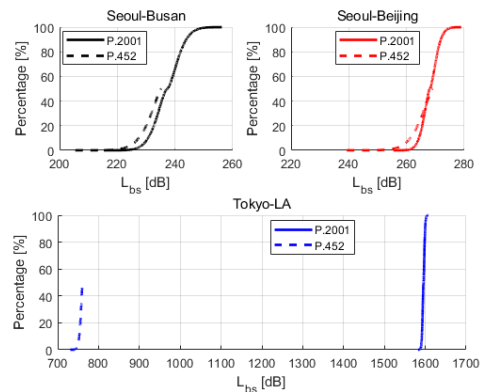


그림 5. 대류권 산란 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulation result of troposcatter loss not exceeded for p% time

P.2001과 P.452의 대류권 회절 감쇠량은 차이가 크게 나는 것을 볼 수 있다.

그림 6은 덕팅과 층 반사 감쇠 시뮬레이션 결과이다. 서울-부산과 서울-베이징 구간의 감쇠 결과는 P.452와 P.2001의 차이가 나지 않는다. 반면 도쿄-LA 구간의 감쇠 결과는 P.2001의 감쇠량이 P.452보다 더 작은 것이 관찰된다. P.2001에 추가된 각도-거리 의존 감쇠 함수와 시간-거리 의존 감쇠 함수가 경로의 길이가 길어지면 P.452와의 차이를 증가시키기 때문이다.

그림 7은 기본 전송 감쇠 시뮬레이션 결과가 나와 있다. 기본 전송 감쇠는 모든 경로 감쇠 모델들을 조합해서 나온 최종적인 결과다. 서울-부산 구간의 감쇠 결과는 높은 시간율에서 P.452의 감쇠량이 더 낮지만, 최악의 상황을 가정하면 P.2001의 감쇠량이 더 낮다. 이 이유는 낮은 시간율에서 지표면 회절의 영향이 대류권 산란보다 큰 것에서 찾을 수 있다. 그림 4과 5을 보면 최악의 상황에서 지표면 회절의 감쇠량이 100dB

보다 작지만, 대류권 산란 감쇠량은 200-220 dB이다. 반대로 높은 시간율에서 대류권 산란의 영향이 지표면 회절보다 크다. 그 결과, 그림 7의 서울-부산 구간의 기본 전송 감쇠 그래프가 나오게 되었다. 서울-베이징도 서울-부산 그래프와는 다르게 모든 시간율에서 P.452가 낮은 것을 볼 수 있다. 이 이유는 모든 시간율에서 대류권 산란의 영향이 지표면 회절보다 크기 때문에 대류권 산란 감쇠가 작은 P.452의 값이 더 작아진 것이다. 마지막으로 도쿄-LA는 P.2001과 P.452의 차이가 매우 큰 것을 알 수 있다. 서로 다른 경로 중에서 P.452는 대류권 산란 감쇠의 영향이 가장 크고, P.2001은 덕팅과 층 반사 감쇠의 영향이 가장 크다. 그래서 도쿄-LA의 기본 전송 감쇠 그래프는 P.452의 대류권 산란 감쇠 그래프와 P.2001의 덕팅과 층 반사 감쇠 그래프와 같게 되었다.

IV. 결론

본 논문에서는 장거리 전파모델인 ITU-R 권고 P.452와 P.2001을 비교 분석하였다. P.452는 간접분석을 위해 최악의 상황을 가정하기 때문에 전반적으로 감쇠량이 작게 나온다. 그럼에도 불구하고 서울-부산, 서울-베이징의 감쇠량은 P.452와 P.2001이 큰 차이가 없다. 그러나 도쿄-LA는 감쇠량의 차이가 매우 크고, 이것은 대류권 산란 감쇠에 의한 차이이다. 대류권 산란 감쇠는 송수신기의 거리가 멀어질수록 영향력이 커지고, 약 3000km에서 P.452와 P.2001이 서로 다른 감쇠 값을 가지기 시작한다. 그러므로 서울-부산, 서울-베이징과 같은 3000km 이하의 환경에서는 P.2001과 P.452가 큰 차이가 없고, 도쿄-LA와 같은 3000km 이상의 환경에서는 P.452와 P.2001의 차이가 크게 벌어진다.

결론적으로 거리가 3000km 이하에는 P.2001이 간접분석과 같은 특정한 상황에서도 사용이 가능할 것으로 보인다. 다만 3000km 이상의 거리에서 간접분석을 할 때는 P.452를 사용해야 한다.

References

- [1] Y. Kim, Y. Jeon, and I. Chong, "Device objectification and orchestration mechanism for IoT intelligent service," *J. KICS*, vol. 38C, no. 1, pp. 19-32, Jan. 2013.
- [2] ITU-R Rec. P.452-16, "Prediction procedure for the evaluation of interference between

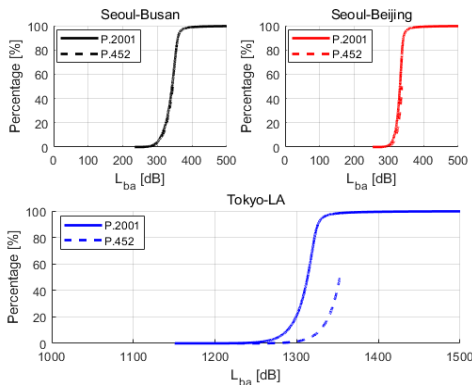


그림 6. 덕팅과 층 반사 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulation result of ducting and layer reflection not exceeded for p% time

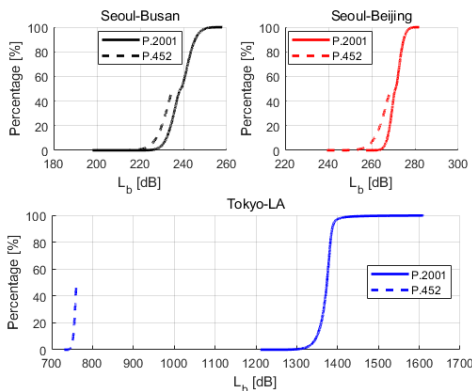


그림 7. 기본 전송 감쇠 시뮬레이션 결과
Fig. 7. Simulation result of basic transmission loss

stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz,” Jul. 2015.

- [3] ITU-R Rec. P.2001-2, “A general purpose wide-range terrestrial propagation model in the frequency range 30 MHz to 50 GHz,” Jul. 2015.
- [4] K. Bullington, “Radio propagation at frequencies above 30 megacycles,” in *Proc. IEEE IRE*, vol. 35, no. 10, pp. 1122-1136, Oct. 1947.
- [5] ITU-R Rec. P.534-5, “Method for calculating sporadic-E field strength,” Feb. 2012.

이 경 규 (Kyung-Gyu Lee)



2015년 2월 : 고려대학교 정보통신대학 컴퓨터·통신공학부 학사

2015년 3월~현재 : 고려대학교 일반대학원 컴퓨터·전파통신공학과 석·박사통합과정

<관심분야> 채널 모델, Ray-tracing, 공유 연구, 물리계층보안

오 대 섭 (Dae-Sub Oh)



1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사 졸업

1998년 2월 : 경북대학교 컴퓨터통신공학과 박사 졸업

1998년 3월~2000년 7월 : LG 정보통신 주임연구원

2000년 7월~현재 : 한국전자통신연구원 전문위원(책임연구원)

<관심분야> 위성통신, 주파수 공유, 전파 특성

이 인 석 (In-Seok Lee)



2014년 2월 : 고려대학교 정보통신대학 컴퓨터·통신공학부 졸업

2014년 3월~현재 : 고려대학교 일반대학원 전파통신공학전공 석·박사통합과정

<관심분야> 무선통신, 네트워크

오 성 준 (Seong-Jun Oh)



1991년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사

1994년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사

2000년 9월 : University of Michigan, Ann Arbor, EE:Systems PhD

2000년 9월~2007년 8월 : Ericsson Wireless Communications와 Qualcomm CDMA Technologies 근무.

2007년 9월~현재 : 고려대학교 정보보호대학원 교수
<관심분야> 무선네트워크, 통신 표준화, 모델 구현 디러닝