

## 덕트맵을 이용한 제주해안지역 이상 전파특성 분석

### Analysis of Abnormal Path Loss in Jeju Coastal Area Using Duct Map

왕성식 · 임태흥 · 정영준\* · 고민호\*\* · 박용배\*\*\* · 추호성

Sungsik Wang · Tae-Heung Lim · Young Jun Chong\* · Minhoo Go\*\* · Yong Bae Park\*\*\* · Hosung Choo

#### 요약

본 논문에서는 국내 해안지역인 제주도-진도에서의 실제 기상데이터와 지형정보를 이용하여 각 대기 굴절 기울기에 따른 전파 경로손실을 분석하고, 실측결과와 비교하여 결과가 유사함을 확인하였다. 시뮬레이션 결과를 토대로 하여 트랩의 위치와 두께에 따라 덕트맵을 구성하고, 송·수신 안테나의 고도에 따라 영역을 분할하여, 제주 해안지역에서 자주 발생하는 덕트에 대해 분석을 진행하였다. 이러한 덕트맵의 유효성을 확인하기 위해 실제 2018년 5월의 기상데이터 중 대표적인 2개 날짜의 데이터를 선택하여 덕트맵 상에서 해당되는 위치를 확인하고, 전파 경로손실을 계산한 후, 실측데이터와 비교하였다. 시뮬레이션을 통해 얻어진 경로손실 값은 각각 167.7 dB, 192.3 dB로서 측정 결과 164.4 dB, 194.9 dB와 유사함을 확인할 수 있다.

#### Abstract

This study analyzes the propagation of the path losses between Jeju-do and Jin-do transceivers located in the coastal areas of Korea using the Advanced Refractive Prediction System(AREPS) simulation software based on the actual coastal weather database. The simulated data is used to construct a duct map according to the altitude and thickness of the trap. The duct map is then divided into several regions depending on the altitude parameters of Tx and Rx, which can be used to effectively estimate the abnormal wave propagation characteristics due to duct occurrence in the Jeju-do coastal area. To validate the proposed duct map, two representative atmospheric index samples of the weather database in May 2018 are selected, and the simulated path losses using these atmospheric indices are compared with the measured data. The simulated path losses for abnormal conditions at the Rx point at Jeju-do are 167.7 dB and 192.3 dB, respectively, which are in good agreement with the measured data of 164.4 dB and 194.9 dB, respectively.

Key words: Jeju Coastal Area, Duct, Propagation Interference, Refractive Index, Trilinear Modeling

#### I. 서론

최근 전 세계적으로 정보화 기술이 급속히 발전하면

「이 연구는 2018년도 한화시스템(주)의 재원을 지원받아 수행된 연구이며, 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017-0-00066, 선제적 주파수 이용을 위한 시공간적 스펙트럼 엔지니어링 기술개발). 또한 기상청의 지원을 받아 측정 결과를 활용하였음.」

홍익대학교 전자전기공학과(School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University)

\*한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

\*\*한화시스템(주)(Hanwha Systems Co., Ltd.)

\*\*\*아주대학교 전자공학부(School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

· Manuscript received January 22, 2019 ; Revised March 12, 2019 ; Accepted March 18, 2019. (ID No. 20190122-009)

· Corresponding Author: Hosung Choo (e-mail: hschoo@hongik.ac.kr)

서, 전파를 이용한 방송 및 통신 서비스에 대한 응용분야가 다양해지고 있으며, 이에 따라 무선 주파수의 사용량도 폭발적으로 증가하고 있다<sup>[1]</sup>. 또한 무선 채널의 사용량 상승으로 인해 기지국 간 의도하지 않는 전파간섭이 증가하고 있으며, 원거리지역 간, 국가간의 전파간섭에 대한 보고도 늘어나는 추세이다<sup>[2]</sup>. 이러한 전파 간섭은 다양한 요인에 의해서 발생하게 되는데, 환경적인 요인의 경우 외부 노이즈, 클러터, 대기의 가스나 수증기로 의한 전파특성변화, 다중경로에 의한 편파 변화와 이상 대기 굴절률 발생 등이 그 원인이 된다<sup>[3]</sup>. 이상 대기 굴절률의 경우, 대표적으로 덕트와 같은 상황에서 발생하는데, 이때, 전자파는 도파관을 따라 이동하는 것과 같이 진행하며, 송수신 안테나의 고도에 따라 전파간섭에 영향이 크게 달라진다<sup>[4]</sup>. 따라서 전파의 경로손실(path loss), 전파계수(propagation factor) 등을 좀 더 정확히 예측하기 위해서는 고도에 따른 대기 굴절률과 송·수신 안테나의 고도 파라미터를 포함하는 모델링이 필요하다. 대기 굴절률 모델링의 경우, 고도 1 km 이하의 저고도에서 측정된 경로손실 값이나 클러터 전력값으로부터 최적화 기법을 통해 다양한 덕트현상에 대한 대기 굴절률을 예측한 연구가 있다<sup>[5]</sup>. 또한 과거 기상데이터를 사용하여 특정 지역에서 통계적 해석이나 수식적으로 고도에 따른 대기 굴절률을 모델링하는 연구들도 활발하게 진행되어왔다<sup>[6]</sup>. 미국, 호주, 중국, 중동 등의 해외 지역에 경우, 해당 지역의 해안 지역에서 실질적인 저고도 기상데이터를 반영한 대기의 덕트 특성과 경로손실 분석에 대한 여러 연구들이 진행되어왔다<sup>[7]</sup>. 앞서 언급한 연구들은 해외 해안지역에 대한 지형정보와 대기 굴절률 데이터에 국한하여 전파특성에 대해 분석하였기 때문에, 국내 해안 지역에 대해, 실제 지형정보와 대기 특성을 토대로, 송수신 안테나의 고도까지 고려하여 분석을 진행한 연구는 부족한 실정이다.

본 논문에서는 국내 제주 해안지역에서의 덕트의 유형에 따른 전파간섭을 분석하기 위해서, 덕트 발생 시 수정굴절률을 trilinear model을 이용하여 근사하였다. 트랩이 발생하는 위치와 두께에 따라 덕트맵을 구성한 뒤 송·수신 안테나 고도에 따라 영역을 나누었으며, 송·수신 안테나 간 경로손실은 AREPS(Advanced Refractive Effects Prediction System) 상용 소프트웨어를 사용하여 계산하였

다. 이를 통해 주어진 송·수신 시스템에 가장 많이 혹은 적게 전파간섭을 일으킬 수 있는 덕트의 형태를 도출하였다. 결과의 유효성을 확인하기 위해 2018년 제주 해안 지역 실제 기상데이터와 지형정보를 이용하여 2018년 5월 기상중 가장 빈번하게 발생하는 대표적인 2개의 날짜를 선택하여 실제 지형의 DTED(Digital Terrain Elevation Data) 조건을 추가하여 시뮬레이션을 진행하였고, 이를 실측결과와 비교하여 결과가 유사함을 확인하였다.

## II. 본 론

제주 지역은 사면이 해안으로 둘러싸여 이상대기 현상이 빈번히 관측되며, 따라서 제주 해안지역의 이상대기 현상과 전파 전송 특성 간의 상관성을 조사하는 것은 전파 전송 특성을 이해하기 위한 중요한 연구이다. 일반적으로 대기 상태는 수정굴절률을 통해 모델링할 수 있고<sup>[4]</sup>, 수정굴절률의 기울기가 음수가 되는 부분에서 대기상태 역전이 일어나며, 이를 덕트 현상이라고 한다. 덕트가 발생하면 대기상태 역전으로 인해 전자파는 도파관을 따라 이동하는 것과 같이 전파되는데, 덕트는 수정굴절률의 기울기가 음수가 되는 트랩의 위치와 두께로 나누어 모델링할 수 있다.

그림 1은 일반적인 대기 수정굴절률의 덕트 trilinear model 모델링을 나타낸다.  $h_1$ 은 트랩이 시작되는 위치를

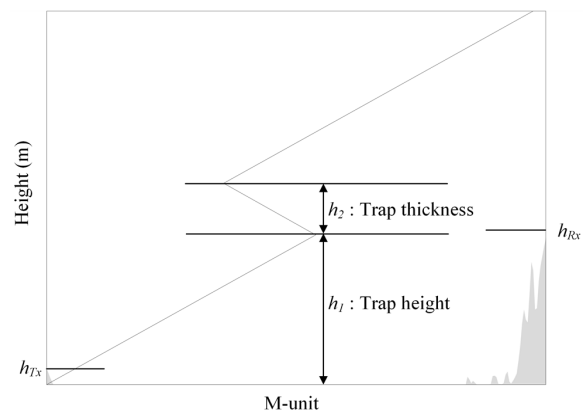


그림 1. 일반적인 대기 수정굴절률의 덕트 trilinear model 모델링

Fig. 1. Duct trilinear modeling for the conventional modified refractive indices.

나타내고,  $h_2$ 는 트랩의 두께를 의미한다. 이러한 trilinear 모델링을 이용하면, 덕트를 단순화하여 유형별로 나누어 분석할 수 있다. 하지만 전파 전달의 주요한 요소 중의 하나인 송·수신 안테나의 위치에 대한 파라미터가 모델링에 포함되어 있지 않다.

그림 2는 송·수신 안테나의 높이 정보를 추가한 이상 전파 특성을 관찰하는 덕트맵을 나타낸다. 덕트맵은 트랩이 시작되는 위치  $h_1$ 와 트랩의 두께  $h_2$ 로 분류하고 그로부터 얻어지는 경로손실 값을 맵의 형태로 구성한 후 송·수신 안테나의 위치  $h_{Tx}$ ,  $h_{Rx}$ 와 덕트 파라미터  $h_1$ ,  $h_2$ 의 관계에 따라 영역을 나누어 모델링하게 된다. 이를 통해 주어진 송·수신 안테나의 위치에 대해 어떤 형태의 덕트가 전파간섭에 많은 영향을 미치는지를 확인할 수 있다.

그림 3은 국내 해안 지역인 제주도와 진도 간의 실제 지형을 적용한 덕트맵을 나타낸다. 모델링을 진행한 지형은 제주도-진도 지형이며, 송·수신 안테나의 높이는 각각 71 m, 479 m이다. 송·수신기간의 거리는 132 km, 주파수는 2.58 GHz로 모델링하여 AREPS 시뮬레이션을 통해 경로손실 값을 분석하였다.

덕트맵을 통해 수신 영역에 트랩이 걸쳐 있을 때(Rx in duct) 전파 간섭이 심하게 발생하고, 송신 영역에 트랩이 걸쳐 있을 때(Tx in duct)는 전파감쇄가 심하게 발생함을 알 수 있다. 2018년 5월 기상인 경우, 한 달 중 71%가 지표면 덕트가 발생하였고, 21%가 서브타입의 굴절률을

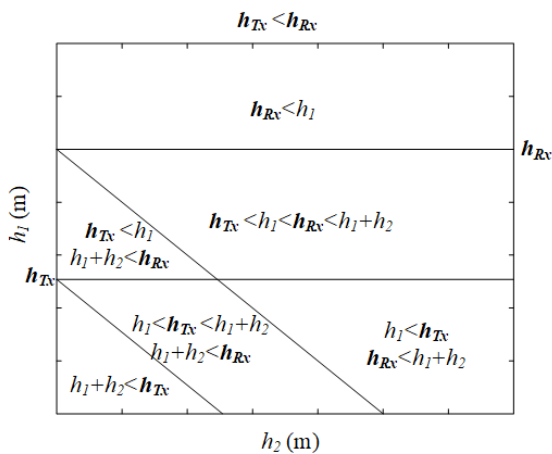


그림 2. 제안된 덕트맵 모델링과 영역분할  
Fig. 2. The proposed duct map for the various duct types.

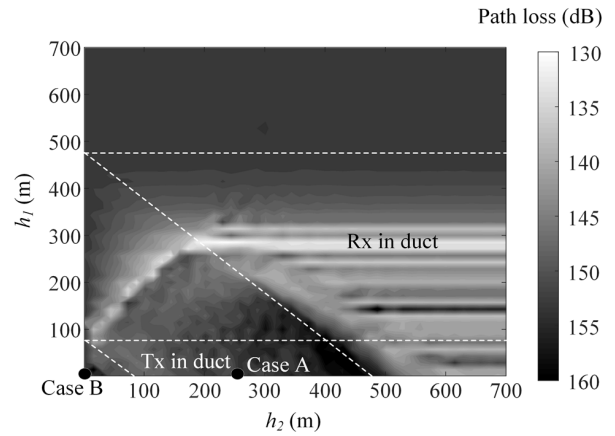


그림 3. 제주-진도 해안 지형을 포함한 덕트맵  
Fig. 3. The duct map including the Jeju-Jindo coastal area.

나타내었다. 지표면 덕트 중에서 대부분의 덕트가 송신영역 내에 존재함을 확인하였으며, 덕트맵을 측정 데이터와 비교하여 덕트맵에 대한 유효성을 확인하기 위해, 2018년 5월 9일(Case A)과 2018년 5월 16일(Case B)을 선택하여 전파경로손실을 계산하고 확인하였다.

그림 4는 Case A와 Case B에 대한 수정굴절률을 나타낸다. Case A의 경우, 해면에서 시작되어 약 260 m의 두께를 가지는 지표면 덕트 특성을 보여주며, Case B는 덕트가 없는 서브타입의 수정굴절률 특성을 가진다.

그림 5와 그림 6은 Case A와 Case B에 대한 전파 경로

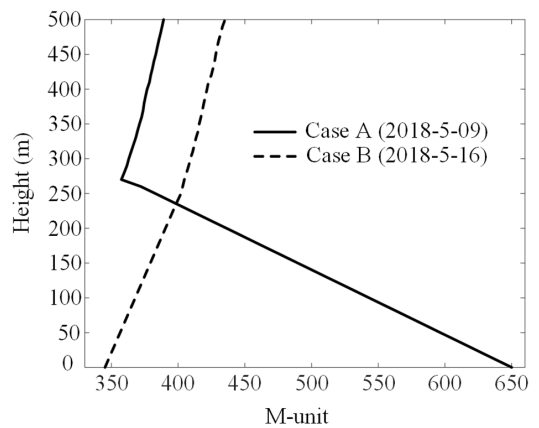


그림 4. Case A와 Case B에 대한 수정굴절률  
Fig. 4. The modified refractive indices for Case A and Case B.

손실 AREPS 시뮬레이션 결과를 보여준다. Case A의 경우, 덕트 전파특성이 발생하는 것을 확인할 수 있지만, 수신 위치보다 아래쪽에서 발생하여 전파 감쇄가 심해져 경로 손실 값이 커지는 것을 볼 수 있다. Case B의 경우는 서브타입의 굴절률로 인해 수신 위치에 음영이 발생하여 전파감쇄가 심해짐을 알 수 있다.

그림 7은 2018년 5월 4일부터 20일까지 제주도-진도 지형에 대한 기상데이터를 적용한 AREPS 시뮬레이션과 실측-데이터를 비교 분석한 결과를 보여준다. Case A와

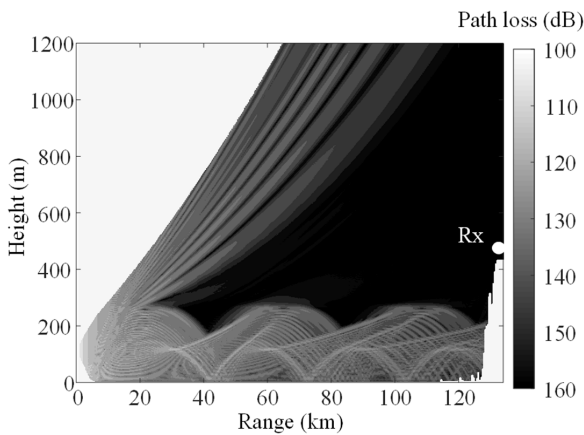


그림 5. Case A의 거리에 따른 전파 경로손실 시뮬레이션 결과  
Fig. 5. The simulated result of the path loss for Case A.

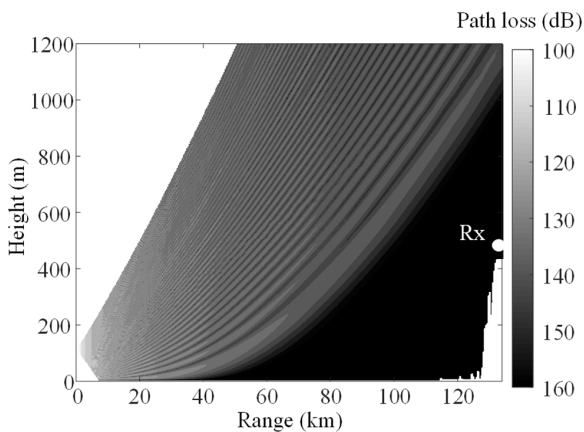


그림 6. Case B의 거리에 따른 전파 경로손실 시뮬레이션 결과  
Fig. 6. The simulated result of the path loss for Case B.

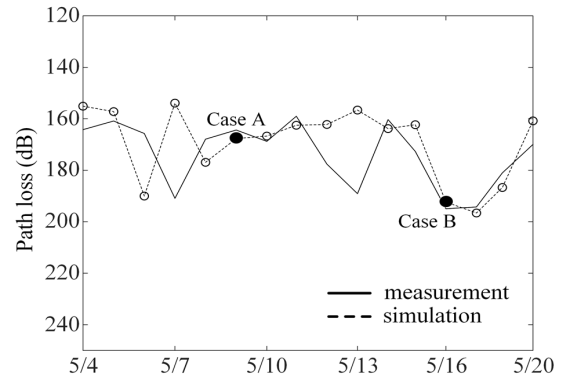


그림 7. 경로손실에 대한 측정과 시뮬레이션 결과비교  
Fig. 7. The comparison between the measured and simulated results for the path losses.

Case B에 대한 시뮬레이션 결과가 각각 167.7 dB, 192.3 dB로서 측정 결과 164.4 dB, 194.9 dB와 유사함을 확인할 수 있다.

### III. 결 론

본 논문에서는 덕트의 유형에 따라 덕트맵을 구성하고, 송수신 안테나 고도에 따라 영역을 나누어 모델링을 진행하였다. 이를 통해 제주 해안지역에서 자주 발생하는 덕트의 형태에 대해 분석을 진행하였다. 결과의 유효성을 확인하기 위해 2018년 제주 해안지역 실제 기상데이터와 지형정보를 이용하여 2018년 5월 기상 중 가장 빈번하게 발생하는 대표적인 2개의 날짜를 선택하여 전파 경로손실을 계산한 후, 실측 데이터와 비교하였다. 시뮬레이션을 통해 얻어진 경로손실 값은 각각 167.7 dB, 192.3 dB로서 측정결과 164.4 dB, 194.9 dB와 유사함을 확인할 수 있었다.

### References

- [1] J. Y. Kim, D. W. Chun, C. J. Ryu, and H. Y. Lee, "Optimization methodology of multiple air hole effects in substrate integrated waveguide applications," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 18, no. 3, pp. 160-168, Jul. 2018.
- [2] H. G. Jeon, S. M. Shin, T. Hwang, and C. E. Kang, "Re-

verse link capacity analysis of a CDMA cellular system with mixed cell sizes," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 49, no. 6, pp. 2158-2163, Nov. 2000.

- [3] P. Valtr, P. Pechac, "The influence of horizontally variable refractive index height profile on radio horizon range," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 4, pp. 489-491, Dec. 2005.
- [4] C. Kim, Y. B. Park, "Prediction of electromagnetic wave propagation in space environments based on geometrical optics," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 17, no. 3, pp. 165-167, Jul. 2017.
- [5] M. Wagner, P. Gerstoft, and T. Rogers, "Estimating re-

fractivity from propagation loss in turbulent media," *Radio Science*, vol. 51, no. 12, pp. 1876-1894, Nov. 2016.

- [6] A. Karimian, C. Yardim, P. Gerstoft, W. S. Hodgkiss, and A. E. Barrios, "Refractivity estimation from sea clutter: An invited review," *Radio Science*, vol. 46, no. 6, pp. 1-16, Dec. 2011.
- [7] J. Pozderac, J. Johnson, C. Yardim, C. Merrill, T. Paolo, and E. Terrill, et al., "X-band beacon-receiver array evaporation duct height estimation," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 66, no. 5, pp. 2545-2556, Mar. 2018.

왕 성 식 [홍익대학교/박사과정]



1997년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)  
 1999년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학석사)  
 2018년 3월~현재: 홍익대학교 전자전기공학과 박사과정  
 [주 관심분야] 안테나, GPS, 배열안테나, Propagation, Optimization, Passive Radar

정 영 준 [한국전자통신연구원/책임연구원]



1992년 2월: 제주대학교 전자공학과 (공학사)  
 1994년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2005년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1994년~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원, PL

2006년 2월~2008년 2월: RF모듈설계팀 팀장  
 2012년 3월~2014년 2월: 스펙트럼공학연구실 실장  
 2016년 3월~2016년 12월: 스펙트럼공학연구실 실장  
 [주 관심분야] RF Circuit and System, Spectrum Engineering(Radio Interference, Propagation Modeling) Mobile Communication

임 태 흥 [홍익대학교/박사과정]



2016년 8월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)  
 2018년 8월: 홍익대학교 전자전기공학과 (공학석사)  
 2018년 9월~2019년 2월: 홍익대학교 과학기술연구소 연구원  
 2019년 3월~현재: 홍익대학교 전자전기공학과 박사과정

[주 관심분야] 배열안테나, TMA 안테나, GPS 안테나, Antenna Propagation

고 민 호 [한화시스템/수석연구원]



2009년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학박사)  
 2010년 2월: 차세대 항공전자통신 인력양성사업단 연구원  
 2010년 7월~현재: 한화시스템 수석연구원  
 [주 관심분야] 광대역 송수신 시스템, MMIC/RFIC, 레이더 시스템

박 용 배 [아주대학교/교수]



1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자  
공학과 (공학사)  
2000년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자  
공학과 (공학석사)  
2003년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자  
공학과 (공학박사)  
2003년 2월~2006년 8월: KT 인프라연구

소 선임연구원

2006년 9월~현재: 아주대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 전자장 해석, EMI/EMC

추 호 성 [홍익대학교/교수]



1998년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학  
사)  
2000년 8월: 미국 University of Texas at Austin  
전자전기공학부 (공학석사)  
2003년 5월: 미국 University of Texas at Austin  
전자전기공학부 (공학박사)  
2003년 9월~현재: 홍익대학교 전자전기

공학부 교수

[주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테  
나 설계, 차량 및 항공기 안테나