



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년10월28일  
(11) 등록번호 10-2171276  
(24) 등록일자 2020년10월22일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01S 7/40 (2006.01) G01S 13/02 (2006.01)  
G01S 13/95 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
G01S 7/4052 (2013.01)  
G01S 13/0218 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2020-0066293
- (22) 출원일자 2020년06월02일  
심사청구일자 2020년06월02일
- (56) 선행기술조사문헌  
KR102089539 B1  
논문(2019.03.31)  
보고서(2012.12.31)  
KR102089540 B1
- (73) 특허권자  
한화시스템(주)
- (72) 발명자  
고진원
- 임대홍
- (74) 대리인  
특허법인세원

전체 청구항 수 : 총 13 항

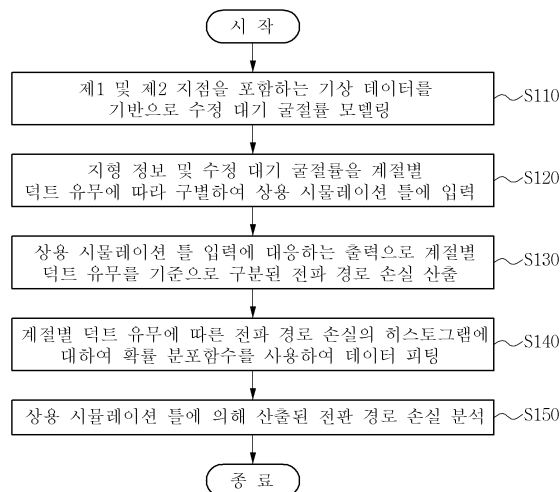
심사관 : 이세경

(54) 발명의 명칭 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 방법 및 시스템

(57) 요약

본 발명은 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 방법에 관한 것이다. 상기 방법은 제1 지점 및 상기 제1 지점과 소정의 거리가 이격되어 있는 제2 지점을 포함하는, 기상 데이터를 기반으로 수정 대기 굴절률을 모델링하는 단계; 상기 제1 및 제2 지점에 대응하는 지형 정보와, 상기 수정 대기 굴절률을 계절별 덕트의 유무에 따라 구별하여 상용 시뮬레이션 툴에 입력하는 단계; 상기 상용 시뮬레이션 툴의 입력에 대응하는 출력으로 상기 계절별 덕트의 유무를 기준으로 구분된 전파 경로 손실을 산출하는 단계; 상기 계절별 덕트의 유무에 따른 전파 경로 손실의 히스토그램에 대하여 확률 분포함수를 사용하여 데이터 피팅을 수행하는 단계; 및 상기 데이터 피팅된 결과에 따른 함수로부터 각 계절별 및 덕트의 유무에 따른 평균 및 분산 값을 도출하여, 상기 상용 시뮬레이션 툴에 의해 산출된 전파 경로 손실을 분석하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



- (52) CPC특허분류  
    *G01S 13/95* (2013.01)  
    *Y02A 90/10* (2020.08)  
(72) 발명자  
    왕성식

서철현

추호성

공지예외적용 : 있음

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 방법에 있어서,  
 제1 지점 및 상기 제1 지점과 소정의 거리가 이격되어 있는 제2 지점을 포함하는, 기상 데이터를 기반으로 수정 대기 굴절률을 모델링하는 단계;  
 상기 제1 및 제2 지점에 대응하는 지형 정보와, 상기 수정 대기 굴절률을 계절별 덕트의 유무에 따라 구별하여 상용 시뮬레이션 툴에 입력하는 단계;  
 상기 상용 시뮬레이션 툴의 입력에 대응하는 출력으로 상기 계절별 덕트의 유무를 기준으로 구분된 전파 경로 손실을 산출하는 단계;  
 상기 계절별 덕트의 유무에 따른 전파 경로 손실의 히스토그램에 대하여 확률 분포함수를 사용하여 데이터 피팅을 수행하는 단계; 및  
 상기 데이터 피팅된 결과에 따른 함수로부터 각 계절별 및 덕트의 유무에 따른 평균 및 분산 값을 도출하여, 상기 상용 시뮬레이션 툴에 의해 산출된 전파 경로 손실을 분석하는 단계를 포함하는,  
 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 방법.

**청구항 2**

제1항에 있어서,  
 상기 기상 데이터는 소정의 기간 동안의 실제 측정된 기압, 온도 및 상대 습도를 포함하는 것인,  
 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 방법.

**청구항 3**

제1항에 있어서,  
 상기 기상 데이터를 기반으로 수정 대기 굴절률을 모델링하는 단계는,  
 3개의 선형라인을 이용하는 트릴리니어 모델(trilinear model)을 통해 모델링되는 것인,  
 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 방법.

**청구항 4**

제1항에 있어서,  
 상기 기상 데이터가 고도에 따라 회소해지는 경우, 선형 보간법에 기초하여 상기 기상 데이터가 밀집되도록 보간하는 단계를 더 포함하는,  
 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 방법.

**청구항 5**

제1항에 있어서,

상기 상용 시뮬레이션 틀에 의해 산출된 전파 경로 손실을 분석하는 단계는,  
 상기 기상 데이터를 기반으로 측정된 전파 경로 손실과 상기 상용 시뮬레이션 틀에 대응하는 출력에 따른 전파 경로 손실을 비교하여, 상용 시뮬레이션 틀에 의해 산출된 전파 경로 손실을 분석하는 것인,  
 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 방법.

**청구항 6**

제1항에 있어서,  
 상기 상용 시뮬레이션 틀은 AREPS(Advanced Refractive Effects Prediction System) 시뮬레이션 틀을 사용하는,  
 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 방법.

**청구항 7**

하드웨어인 컴퓨터와 결합되어, 제1항 내지 제6항 중 어느 한 항의 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 방법을 실행시키기 위하여 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

**청구항 8**

제1 지점 및 상기 제1 지점과 소정의 거리가 이격되어 있는 제2 지점을 포함하는, 기상 데이터를 기반으로 수정 대기 굴절률을 모델링하는 수정 대기 굴절률 모델링부;  
 상기 제1 및 제2 지점에 대응하는 지형 정보와, 계절별 덕트의 유무에 따라 구별된 상기 수정 대기 굴절률을 입력으로 하여, 상기 계절별 덕트의 유무를 기준으로 구분된 전파 경로 손실을 산출하여 출력하는 상용 시뮬레이션부;  
 상기 계절별 덕트의 유무에 따른 전파 경로 손실의 히스토그램에 대하여 확률 분포함수를 사용하여 데이터 피팅을 수행하는 데이터 피팅부; 및  
 상기 데이터 피팅된 결과에 따른 함수로부터 각 계절별 및 덕트의 유무에 따른 평균 및 분산 값을 도출하여, 상기 상용 시뮬레이션부에 의해 산출된 전파 경로 손실을 분석하는 전파 경로 손실 분석부를 포함하는,  
 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 시스템.

**청구항 9**

제8항에 있어서,  
 상기 기상 데이터는 소정의 기간 동안의 실제 측정된 기압, 온도 및 상대 습도를 포함하는 것인,  
 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 시스템.

**청구항 10**

제8항에 있어서,  
 상기 수정 대기 굴절률 모델링부는,  
 3개의 선형라인을 이용하는 트릴리니어 모델(trilinear model)을 통해 상기 수정 대기 굴절률을 모델링하는 것인,

고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 시스템.

**청구항 11**

제8항에 있어서,

상기 기상 데이터가 고도에 따라 회소해지는 경우, 선형 보간법에 기초하여 상기 기상 데이터가 밀집되도록 보간하는 보간부를 더 포함하는,

고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 시스템.

**청구항 12**

제8항에 있어서,

상기 전파 경로 손실 분석부는,

상기 기상 데이터를 기반으로 측정된 전파 경로 손실과 상기 상용 시뮬레이션부에 대응하는 출력에 따른 전파 경로 손실을 비교하여, 상용 시뮬레이션부에 의해 산출된 전파 경로 손실을 분석하는 것인,

고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 시스템.

**청구항 13**

제8항에 있어서,

상기 상용 시뮬레이션부는 AREPS(Advanced Refractive Effects Prediction System) 시뮬레이션 툴을 사용하는,

고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 시스템.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 방법 및 시스템에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0003] 전자기파(Electromagnetic)를 사용하는 무선 통신 기술은 양방향 라디오, 휴대폰, 블루투스 및 와이파이와 같은 단거리 응용분야뿐만 장거리 마이크로파 통신, 위성 통신 등에도 사용된다.

[0004] 이때, 장거리 무선 통신 시스템의 경우 클러터(clutter), 열 잡음, 수증기 및 대기 굴절 변화와 같은 특이 전자 기파 특성으로 인해 통신 성능이 현저히 저하된다. 특히, 대기 굴절률의 경우에는 전자기파의 전파 진행에 있어 전파의 방향을 굴절시키는데 큰 영향을 미친다.

[0005] 대기 굴절률의 경우에는 고도에 따른 굴절 기울기 변화로 인해 아굴절(sub refraction), 초굴절(super refraction), 정상(normal), 덕팅(ducting) 등과 같은 상이한 전파 전송 특성을 보임에 따라 표적 위치 탐지에 어려움을 야기한다.

[0006] 이때, 대부분의 이상 대기에 의한 특이 전파 특성은 덕트 대기에서 관찰된다. 덕트는 따뜻하고 차가운 공기층 사이의 온도 역전에 의하여 고도에 따른 습도의 급격한 감소 또는 수증기 변화로 인해 해안 지역에서 자주 발생한다.

[0007] 한편, 최근 진행되고 있는 다양한 연구들은 전파 경로 손실 측정, 해면에 반사되는 클러터 신호의 측정, GPS의 대류권 시간 지연 특성을 관찰하여 대기 굴절률을 예측하고 있다. 또한, 미국, 유럽 및 중국과 같은 많은 국가의 해안지역의 덕트 대기 특성에 대한 연구들이 많이 발표되고 있다.

[0008] 이와 같이, 기존의 다양한 굴절률에 관한 연구들이 해외에서 진행되고 있었으나, 대다수의 연구들은 덕트 이상

기상현상의 굴절률을 예측하는 것을 중점으로 연구가 진행되어 왔다. 또한, 국내에서 발생하는 덕트 기상현상의 계절, 덕트 고도 및 덕트 두께에 따른 연구는 부족한 실정이다.

[0009] 특히, 한반도는 삼면이 바다로 둘러싸여 있기 때문에 기상현상이 덕트에 영향을 많이 주며, 전파 진행 또한 매우 심각한 영향이 있어, 이에 따른 연구가 필요한 실정이다.

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) KR 10-1779900 B1, 2017. 09. 13.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0012] 본 발명의 실시예는 기상 데이터를 기반으로 덕트의 특성에 대한 통계적 분석과 더불어, 상용 시뮬레이션 툴을 사용하여 국내 해안지역에서의 전파 경로 손실을 도출 및 분석할 수 있는 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 방법을 제공하고자 한다.

[0013] 다만, 본 실시예가 이루고자 하는 기술적 과제는 상기된 바와 같은 기술적 과제로 한정되지 않으며, 또 다른 기술적 과제들이 존재할 수 있다.

#### 과제의 해결 수단

[0015] 상술한 기술적 과제를 달성하기 위한 기술적 수단으로서, 본 발명의 제 1 측면에 따른 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 방법은 제1 지점 및 상기 제1 지점과 소정의 거리가 이격되어 있는 제2 지점을 포함하는, 기상 데이터를 기반으로 수정 대기 굴절률을 모델링하는 단계; 상기 제1 및 제2 지점에 대응하는 지형 정보와, 상기 수정 대기 굴절률을 계절별 덕트의 유무에 따라 구별하여 상용 시뮬레이션 툴에 입력하는 단계; 상기 상용 시뮬레이션 툴의 입력에 대응하는 출력으로 상기 계절별 덕트의 유무를 기준으로 구분된 전파 경로 손실을 산출하는 단계; 상기 계절별 덕트의 유무에 따른 전파 경로 손실의 히스토그램에 대하여 확률 분포함수를 사용하여 데이터 피팅을 수행하는 단계; 및 상기 데이터 피팅된 결과에 따른 함수로부터 각 계절별 및 덕트의 유무에 따른 평균 및 분산 값을 도출하여, 상기 상용 시뮬레이션 툴에 의해 산출된 전파 경로 손실을 분석하는 단계를 포함한다.

[0016] 본 발명의 일부 실시예에서, 상기 기상 데이터는 소정의 기간 동안의 실제 측정된 기압, 온도 및 상대 습도를 포함할 수 있다.

[0017] 본 발명의 일부 실시예에서, 상기 기상 데이터를 기반으로 수정 대기 굴절률을 모델링하는 단계는, 3개의 선형 라인을 이용하는 트릴리니어 모델(trilinear model)을 통해 모델링될 수 있다.

[0018] 본 발명의 일부 실시예는, 상기 기상 데이터가 고도에 따라 회소해지는 경우, 선형 보간법에 기초하여 상기 기상 데이터가 밀집되도록 보간하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0019] 본 발명의 일부 실시예에서, 상기 상용 시뮬레이션 툴에 의해 산출된 전파 경로 손실을 분석하는 단계는, 상기 기상 데이터를 기반으로 측정된 전파 경로 손실과 상기 상용 시뮬레이션 툴에 대응하는 출력에 따른 전파 경로 손실을 비교하여, 상용 시뮬레이션 툴에 의해 산출된 전파 경로 손실을 분석할 수 있다.

[0020] 본 발명의 일부 실시예에서, 상기 상용 시뮬레이션 툴은 AREPS(Advanced Refractive Effects Prediction System) 시뮬레이션 툴을 사용할 수 있다.

[0021] 또한, 본 발명의 제2 측면에 따른 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 시스템은 제1 지점 및 상기 제1 지점과 소정의 거리가 이격되어 있는 제2 지점을 포함하는, 기상 데이터를 기반으로 수정 대기 굴절률을 모델링하는 수정 대기 굴절률 모델링부; 상기 제1 및 제2 지점에 대응하는 지형 정보와, 계절별 덕트의 유무에 따라 구별된 상기 수정 대기 굴절률을 입력으로 하여, 상기 계절별 덕트의 유무를 기준으로 구분된 전파 경로 손실을 산출하여 출력하는 상용 시뮬레이션부; 상기 계절별 덕트의 유무에 따른 전파 경로 손실의 히스토그램에 대하여 확률 분포함수를 사용하여 데이터 피팅을 수행하는 데이터 피팅부; 및 상기 데이터 피팅된

결과에 따른 함수로부터 각 계절별 및 덕트의 유무에 따른 평균 및 분산 값을 도출하여, 상기 상용 시뮬레이션 부에 의해 산출된 전파 경로 손실을 분석하는 전파 경로 손실 분석부를 포함한다.

- [0022] 본 발명의 일부 실시예에서, 상기 기상 데이터는 소정의 기간 동안의 실제 측정된 기압, 온도 및 상대 습도를 포함할 수 있다.
- [0023] 본 발명의 일부 실시예에서, 상기 수정 대기 굴절률 모델링부는, 3개의 선형라인을 이용하는 트릴리니어 모델(trilinear model)을 통해 상기 수정 대기 굴절률을 모델링할 수 있다.
- [0024] 본 발명의 일부 실시예는, 상기 기상 데이터가 고도에 따라 회소해지는 경우, 선형 보간법에 기초하여 상기 기상 데이터가 밀집되도록 보간하는 보간부를 더 포함할 수 있다.
- [0025] 본 발명의 일부 실시예에서, 상기 전파 경로 손실 분석부는, 상기 기상 데이터를 기반으로 측정된 전파 경로 손실과 상기 상용 시뮬레이션부에 대응하는 출력에 따른 전파 경로 손실을 비교하여, 상용 시뮬레이션부에 의해 산출된 전파 경로 손실을 분석할 수 있다.
- [0026] 본 발명의 일부 실시예에서, 상기 상용 시뮬레이션부는 AREPS(Advanced Refractive Effects Prediction System) 시뮬레이션 툴을 사용할 수 있다.
- [0027] 이 외에도, 본 발명을 구현하기 위한 다른 방법, 다른 시스템 및 상기 방법을 실행하기 위한 컴퓨터 프로그램을 기록하는 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체가 더 제공될 수 있다.
- [0028] 본 발명의 기타 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 도면들에 포함되어 있다.

**발명의 효과**

- [0030] 전술한 본 발명의 과제 해결 수단 중 어느 하나에 의하면, 국내 해안지역에 대한 덕트 특성을 통계적으로 분석할 수 있는 프로세스를 구축 가능하며, 전파의 특이 현상에 대한 예측이 가능하다는 장점이 있다.
- [0031] 즉, 기존의 일별 수정 굴절률을 사용하여 한 번의 전파 경로 손실에 대한 특성을 관찰한 경우와는 다르게, 어느 기상청에서 제공하는 방대한 기상 데이터 셋트만 있으면 누구든지 덕트의 특성에 대한 부분을 통계적으로 분석할 수 있다는 장점이 있다.
- [0032] 또한, AREPS 시뮬레이션 툴을 사용하여 어느 계절, 더 나아가 월별로 특이 전파특성이 발생할 것인지 여부를 용이하게 예측이 가능하다는 장점이 있다.
- [0033] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급된 효과로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

**도면의 간단한 설명**

- [0035] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 방법의 순서도이다.
- 도 2는 수정 대기 굴절률을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3은 흑산도 기상 관측소의 2017년도 수정 굴절 데이터를 나타낸 것이다.
- 도 4는 지형 정보 및 파라미터를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5는 상용 시뮬레이션 툴에 의해 산출된 전파 경로 손실을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6은 흑산도 수신 안테나에서의 수정 대기 굴절률을 나타낸 도면이다.
- 도 7은 흑산도 수신 안테나에서의 전파 경로 손실을 나타낸 도면이다.
- 도 8은 종래의 삼선형 모델 및 본 발명에 따른 덕트 맵을 도시한 도면이다.
- 도 9는 수신 안테나에서의 전파 경로 손실을 나타내는 덕트 맵을 도시한 도면이다.
- 도10은 송수신기 사이의 거리 R에 따른 전파 경로 손실을 나타낸 도면이다.
- 도 11은 평균 정규화된 전파 경로 손실을 갖는 덕트 맵을 도시한 도면이다.

도 12는 DTED를 사용한 평균 정규화 경로 손실  $L_{MP}$ 의 덕트 맵을 도시한 도면이다.

도 13은 날짜 및 고도에 따른 수정 대기 굴절률을 도시한 도면이다.

도 14는 증도 및 흑산도에서의 케이스 A 내지 C에 대한 실제 대기 조건을 사용하여 범위에 따른 전파 경로 손실에 대한 AREPS의 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 전파 경로 손실 분석 시스템의 블록도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0036] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 제한되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 기술자에게 본 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.
- [0037] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소 외에 하나 이상의 다른 구성요소의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다. 명세서 전체에 걸쳐 동일한 도면 부호는 동일한 구성 요소를 지칭하며, "및/또는"은 언급된 구성요소들의 각각 및 하나 이상의 모든 조합을 포함한다. 비록 "제1", "제2" 등이 다양한 구성요소들을 서술하기 위해서 사용되나, 이들 구성요소들은 이들 용어에 의해 제한되지 않음은 물론이다. 이들 용어들은 단지 하나의 구성요소를 다른 구성요소와 구별하기 위하여 사용하는 것이다. 따라서, 이하에서 언급되는 제1 구성요소는 본 발명의 기술적 사상 내에서 제2 구성요소일 수도 있음은 물론이다.
- [0038] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 기술자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또한, 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.
- [0040] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명한다.
- [0041] 본 발명의 일 실시예에 따른 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 방법에 관한 것이다.
- [0042] 무선 통신 기술의 획기적인 개선으로 인해 제한된 주파수 대역에서의 무선 주파수 사용이 폭발적으로 증가하고 있다. 셀 간(cell-to-cell) 거리 조정 또는 셀 간 주파수 재조정과 같은 다양한 기술에도 불구하고, 제한된 대역폭에서의 고밀도 주파수 사용은 로컬 기지국, 장거리에 위치한 송수신기 및 일부 국가의 방송 사이에서 의도치 않는 무선 간섭을 증가시키게 된다.
- [0043] 일반적으로 비정상적인 무선 간섭은 종종 외부 노이즈, 클러터, 대기 가스, 증기, 다중 경로 분극, 산란 및 대기 굴절률의 변화와 같은 다양한 파동 전파 특성에 의해 발생된다. 무선 간섭을 야기하는 이러한 다양한 현상들 중에서, 대기 조건으로부터의 비정상적인 굴절률은 특히 장거리 통신에 의도하지 않은 간섭 효과를 가져올 수 있다. 이때, 대기에서의 굴절률은 방향 굽힘 정도를 나타내는데, 이러한 대류권의 위치와 높이에 따라 대기 가스 압력, 상대 습도 및 온도에 의해 결정되는 매질에서의 파동 전파 굴절의 수직 변동은 파동 전파에 영향을 미치는 주요 요인이 된다.
- [0044] 한편, 대기 굴절률은 기온기 값에 따라 아굴절(sub refraction), 초굴절(super refraction), 정상(normal), 덕팅(ducting) 등과 같은 4가지 유형으로 분류될 수 있다.
- [0045] 이 중에서 덕트는 장거리 무선 간섭에 가장 큰 영향을 미치는 요소이다. 덕트는 고도와 관련하여 음의 구배 굴절률(negative gradient refractivity index)로 인해 전자기파의 도파관으로 작용할 수 있다. 덕트는 일반적으로 마이크로파 범위에서 작동하는 레이더 및 통신 시스템에 큰 영향을 미치지 않지만, 안테나가 덕트의 특정 위치에 있을 경우 주요 무선 간섭의 요소가 되지 않는다. 예를 들어, 수신 안테나가 덕트의 외부에 있을 때보다 덕트의 내부에 있을 경우, 전파 경로 손실이 약 20-30dB 정도 낮다. 이는 덕트의 높이 및 두께에 대한 송신 안테나(Tx) 및 수신 안테나(Rx)의 상대 위치가 무선 간섭에 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다. 따라서, 덕트로 인한 전파 경로 손실 또는 전파 계수의 비정상적인 변화를 예측하기 위해서는 대기 굴절률, 송신 안테나 및 수신 안테나의



위치 파라미터를 신중하게 고려해야 한다.

- [0046] 한편, 일반적인 조건에서 나타나는 것과 유사한 대기 굴절률은 일반적으로 고도에 따른 지수 함수로 모델링되지만, 단시간 동안만 발생하는 비정상적인 대기 현상으로 인해 덕트 모델링에는 적합하지 않다. 따라서, 이를 위해 삼선형 모델링(trilinear modeling)이 덕트 모델링에 사용될 수 있다.
- [0047] 최근 Karimiam 등은 삼선형 모델링을 사용하여 주어진 전파 경로 손실을 측정하고 저고도 대기 굴절률을 추정하였으며, 이때 굴절률은 실제 로컬 기상 데이터로부터 모델링되었다.
- [0048] UAE에서의 일부 연구는 17년 동안 지역 라디오존데(radiosonde) 데이터를 사용하여 3가지 중요한 대기층에 대한 수직 굴절률 프로파일을 획득하기도 하였다. 또한, UAE, 북미, 중국 및 호주 연안 지역의 경우, 기상 예보 데이터베이스의 대기 굴절률과 경로 손실 분석을 위한 덕트에 대한 여러 연구를 진행한바 있었으며, 측정된 데이터의 해석을 위해 통계 분석을 적용하기도 하였다.
- [0049] 그러나 대부분의 이전 연구들은 파동 전파에 의한 덕트 굴절률의 영향에만 초점을 두었을뿐, 위치 매개변수(Tx 및 Rx의 높이)와 덕트 대기 조건에서의 비정상적인 전파 간의 관계는 아직 완전히 연구되고 있지 않다.
- [0050] 이러한 본 발명의 일 실시예는 미리 수집된 기상 데이터(예를 들어, 2010년부터 2017년까지의 기상 데이터)를 기상청 데이터로부터 추출하여 통계적으로 분석하였다. 이를 기반으로 덕트 발생 고도 및 두께를 통계적으로 산출하여 계절별 덕트 유무에 따른 특성을 분석하였다. 또한, 상용 시뮬레이션 툴인 AREPS(Advanced Refractive Effects Prediction System) 시뮬레이션 툴을 이용하여 국내 중도-혹산도의 전파 경로 손실을 도출하여 덕트의 유무에 따른 시뮬레이션 결과를 확보하였으며, 시뮬레이션 결과는 Burr Type XII 확률 분포 함수를 이용해 데이터 피팅 과정을 수행하여 평균과 분산 값을 도출한 후, 시뮬레이션 결과를 검증하였다.
- [0051] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 고층 기상예 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 방법의 순서도이다.
- [0052] 먼저, 서버는 제1 지점 및 제2 지점과 소정의 거리가 이격되어 있는 제2 지점을 포함하는, 기상 데이터를 기반으로 수정 대기 굴절률(M-unit)을 모델링한다(S110). 이때, 기상 데이터는 소정의 기간 동안의 실제 측정된 기압, 온도 및 상대 습도 정보를 포함할 수 있다.
- [0053] 일 실시예로, 서버는 3개의 선형 라인을 이용하는 트릴리니어 모델(trilinear model)을 통해 수정 대기 굴절률을 모델링할 수 있다.
- [0054] 이와 더불어, 본 발명의 일 실시예는 기상 데이터가 고도에 따라 희소해지는 경우, 선형 보간법에 기초하여 기상 데이터가 밀집되도록 보간할 수 있다. 즉, 기상청 제공 데이터는 고도에 따라 희소(sparse)한 문제가 있는바, 이를 보완하기 위하여 선형 보간법을 적용하여 수정 대기 굴절률을 위한 데이터가 보다 밀집되도록 보간할 수 있다.
- [0055] 도 2는 수정 대기 굴절률을 설명하기 위한 도면이다.
- [0056] 도 2는 고도와 관련한 수정 대기 굴절률 M의 구배에 따른 트랩(trap) 또는 덕팅(ducting)뿐만 아니라 아굴절(sub refraction), 초굴절(super refraction), 정상(normal) 굴절에서의 파동 전파를 설명하기 위한 것으로, 수정 대기 굴절률 M은 지구의 곡률에 대한 고도 h(m)의 비율로 정의된 식 1에 따라 결정된다.

**수학식 1**

$$M = (n - 1) \times 10^6 + 0.157h$$

- [0057]
- [0058] 본 발명의 일 실시예에서, 덕트 현상은 수정 대기 굴절률의 고도에 따른 기울기 값(gradient)이 음수가 될 때 발생하는 것을 검출 가능하다. 이러한 덕트 현상은 주로 해안지역에서 많이 발생하며, 전파의 진행에 큰 영향을 주어 전파 에너지가 덕트 발생 영역 내로 응집하는 문제가 발생한다.
- [0059] 이러한 문제점을 최소화하기 위하여 본 발명의 일 실시예는 덕트의 고도나 두께가 어느정도 발생하는지를 미리 예측하는 프로세스를 구축할 수 있다.
- [0060] 도 2를 참조하면, 아굴절( $\nabla M \geq 157$ )은 전파가 지표면과 반대 방향으로 극도로 구부러져 있으며, M의 기울기는

정상 굴절보다 더 크다( $78 \leq \nabla M \leq 157$ ). 한편, M의 기울기가 정상 굴절보다 작게 변하면, 파동은 지표면을 향해 구부러지는데 이를 초굴절( $0 \leq \nabla M \leq 78$ )이라 한다. 또한, M의 기울기가 음이 되면, 도파관에 전파가 걸리는 것과 같은 덕트 또는 트랩 현상이 발생한다.

[0061] 도 3은 흑산도 기상 관측소의 2017년도 수정 굴절 데이터를 나타낸 것이다.

[0062] 도 3은 흑산도 기상 관측소에서의 2017년 기상 데이터베이스에서 추출된 고도에 따른 아굴절, 초굴절, 정상 굴절 및 덕트 굴절의 수정 대기 굴절률을 나타낸다. 여기에서 실선은 8월 12일 최대 323m까지의 아굴절률( $141 \leq \nabla M \leq 315$ )을 나타내고, 파선은 9월 24일 정상 굴절률( $110 \leq \nabla M \leq 125$ )을 나타낸다. 또한, 점선은 10월 25일 230m까지의 초굴절률( $\nabla M \leq 42$ )을 나타내며, 또 다른 점선은 7월 13일 고도 225m 이상에서의 덕트 환경을 나타낸다. 이 중, 덕트 대기 데이터는 정상 대기 조건에 비해 수신 안테나에서 전파 경로 손실이 갑자기 감소하거나 증가하는 비정상적인 전파 현상을 검사하는데 필수적이다.

[0063] 이와 같은 수정 대기 굴절률에 대한 자세한 값은 표 1과 같다

표 1

날짜	대기 조건	구배 굴절률
July 13, 2017	Elevated duct	$\nabla M = 46 (0 \leq h \leq 225\text{m})$ $\nabla M = -86 (226\text{m} \leq h \leq 361\text{m})$ $\nabla M = 265 (362\text{m} \leq h)$
August 12, 2017	Sub	$\nabla M = 315 (0 \leq h \leq 95\text{m})$ $\nabla M = 236 (96\text{m} \leq h \leq 209\text{m})$ $\nabla M = 141 (210\text{m} \leq h)$
September 24, 2017	Normal	$\nabla M = 110 (0 \leq h \leq 148\text{m})$ $\nabla M = 120 (149\text{m} \leq h \leq 372\text{m})$ $\nabla M = 125 (373\text{m} \leq h)$
October 25, 2017	Super	$\nabla M = 42 (0 \leq h \leq 228\text{m})$ $\nabla M = 155 (229\text{m} \leq h)$

[0064]

[0065] 다시 도 1을 참조하면 다음으로, 서버는 제1 및 제2 지점에 대응하는 지형 정보와, 수정 대기 굴절률을 계절별 덕트의 유무에 따라 구별하여 상용 시뮬레이션 툴에 입력한다(S120). 본 발명에서는 실제 증도와 흑산도에 대한 지형 정보를 상용 시뮬레이션 툴에 입력하여 지형 및 지면에 반사되는 전파 경로 손실의 특성을 보다 정확하게 도출할 수 있다. 이와 더불어 S110 단계에 따라 산출된 수정 대기 굴절률을 계절별 및 덕트의 유무에 따라 구별하여 상용 시뮬레이션 툴에 입력한다.

[0066] 도 4는 지형 정보 및 파라미터를 설명하기 위한 도면이다.

[0067] 도 4의 (A)는 증도와 흑산도 지역의 대기 조건, 안테나 패턴, 주파수 및 지형 고도 정보를 포함한 파동 전파 모델을 도시한 것이다. 송신 안테나는 전방향(Omni-directional) 안테나로 hTx의 높이에 위치하고, 이때의 전파 경로 손실은 hRx의 고도에서 수신 안테나에서 관찰된다. 이때, 송신 안테나와 수신 안테나 간의 거리는 R0이다.

[0068] 만약, 지향성이 더 높은 안테나를 사용할 경우 지면 반사가 낮아 수신 전력이 높아지고(송수신 안테나의 이득이 증가함) 전파 경로 손실의 진폭이 낮아질 수 있다.

[0069] 실제 대기조건을 시뮬레이션하기 위해, 높이에 따른 대기압, 온도 및 상대습도 정보를 이용하여 흑산도 기상 관

측소의 2017년 기상 데이터베이스에서 굴절률을 추출하였으며, 이와 관련된 파라미터는 표 2와 같다.

표 2

Parameter	hRx	hTx	RO	Antenna Pattern	Frequency	Tool
Value	249m(특산도)	100m(중도)	78km	Ommi-directional  Vertical  Polarization	2.85GHz	AREPS

[0070]

[0071]

한편, 본 발명의 일 실시예에서 상용 시뮬레이션 툴은 AREPS를 이용하였으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, IREPS(Integrated Refraction Effects Prediction System), EREPS(Engineer's Refractive Effects Prediction System), (TESS)Tactical Electronic Support System, AREPS(Advanced Refractive Effects Prediction System), TEMPER(Tropospheric Electromagnetic Parabolic Equation Routine), TPEM(Terrain Parabolic Equation Mode) 및 PETOOL(Parabolic Equation Toolbox for matlab) 등과 같은 상용 시뮬레이션 툴을 이용할 수도 있다. 도 4의 (B)는 송수신 안테나를 설명하기 위한 도면으로, 송신 안테나는 신호 발생기(ROHDE&SCHWARZ R&S SMW200A, 0 dBm), 송수신 전환기를 구비한 전력 증폭기(45 dB), Tx-케이블(1.44 dB), 2.85GHz 주파수 대역에서 9880MHz 대역폭을 갖는 안테나(10 dBi)를 포함하여 구성된다.

[0072]

수신 안테나는 스펙트럼 분석기(ROHDE&SCHWARZ R&S FSVR), 송수신 전환기(0.8 dB), Rx-케이블(1.44 dB), 송신 안테나와 동일한 안테나로 구성된다. 송수신 안테나와 관련된 구체적인 파라미터는 표 3에 도시된 바와 같다.

표 3

System parameter	Rx antenna gain	Tx antenna gain	Total Tx power	Antenna bandwidth
Value	10dBi at 2.85G	10dBi at 2.85G	53.56dBm	980MHz (1710~2690MHz)

[0073]

[0074]

다시 도 1을 참조하면 다음으로, 서버는 상용 시뮬레이션 툴의 입력에 대응하는 출력으로 계절별 덕트의 유무를 기준으로 구분된 전파 경로 손실을 산출한다(S130). 일 실시예로, 서버는 상용 시뮬레이션 툴인 ARES 시뮬레이션 툴 내의 하이브리드 기법을 사용하여 전파 경로 손실을 산출할 수 있다. 이를 계절별 덕트의 유무에 따라 분류한 후, 후술하는 히스토그램을 도출하여 통계적 분석에 적용할 수 있다.

[0075]

도 5는 상용 시뮬레이션 툴에 의해 산출된 전파 경로 손실을 설명하기 위한 도면이다.

[0076]

도 5의 (A)를 참조하면, 수신 안테나(Rx) 지점 부근에서 파동 전파가 상향으로 구부러짐 때문에, 8월 12일의 대기압 상태에서 전파 경로 손실은 162.8dB로 산출된다. 도 5의 (B), (C)는 각각 9월 24일과 10월 25일의 대기 데이터에서의 정상 굴절 및 초굴절 상태에 대한 전파 경로 손실을 나타낸 것으로, 초굴절은 전파가 지면을 향해 구부러지도록 나타나며, 수신 안테나 지점에서 139.2dB의 전파 경로 손실을 초래하고 있어 정상 굴절보다 4.9dB가 낮게 나타났다. 상승된 덕트는 도 5의 (D)에 도시된 것처럼 강한 에너지가 덕트에 제한되어, 수신 안테나 지점에서는 133.6dB의 최저 전파 경로 손실을 발생시키는 음의  $\nabla M$ 에 의한 특수한 전파가 나타났다.

[0077]

다음으로, 서버는 계절별 덕트의 유무에 따른 전파 경로 손실의 히스토그램에 대하여 확률 분포함수를 사용하여 데이터 피팅을 수행하고(S140), 데이터 피팅된 결과에 따른 함수로부터 각 계절별 및 덕트의 유무에 따른 평균 및 분산 값을 도출하여, 상용 시뮬레이션 툴에 의해 산출된 전파 경로 손실을 분석한다(S150).

[0078]

일 실시예로, 서버는 전파 경로 손실 값의 히스토그램에 대하여 Burr Type XII의 확률 분포 함수를 사용하여 데이터 피팅을 수행할 수 있다. 여기에서 데이터 피팅은 서로 이격된 데이터들이 주어진 경우, 이를 잘 나타낼 수

있는 연속함수를 산출하는 과정으로서, 본 발명의 일 실시예에서는 전파 경로 손실의 히스토그램에 대하여 확률 분포함수를 적용함으로써 데이터 피팅을 수행할 수 있다.

- [0079] 서버는 데이터 피팅된 결과에 따른 함수로부터 각 계절별 덕트 유무에 따른 평균 및 분산 값을 도출하는데, 이 과정을 통해 겨울을 제외한 모든 계절에서 덕트가 발생하면, 경로 손실이 줄어들어 정상 대기에 비해 전파 에너지가 수신 안테나에 많이 도달하는 것을 확인할 수 있다.
- [0080] 이후, 서버는 기상 데이터를 기반으로 측정된 전파 경로 손실과 상용 시뮬레이션 틀에 대응하는 출력에 따른 전파 경로 손실을 비교함으로써, 상용 시뮬레이션 틀에 의해 산출된 전파 경로 손실을 분석할 수 있다. 즉, 본 발명의 일 실시예는 측정 프로세스와 시뮬레이션 결과를 비교 분석하여 통계적인 덕트 분석에 대한 정확도를 확인할 수 있다.
- [0081] 이때, 서버는 기상 데이터를 기반으로 덕트의 발생 고도와 두께를 계산하여, 국내 해안지역에서 발생하는 덕트 특성에 대해 분석 가능한 지표를 산출할 수 있다.
- [0082] 또한, 서버는 계산한 덕트 발생 고도와 두께를 계절별로 분류하여, 봄, 여름, 가을, 겨울 중 어느 기간 대에 어떤 높이에서 덕트가 발생하고 얼마만큼의 두께를 갖는지 3D 히스토그램을 도출하여 가시적으로 표현할 수 있게끔 할 수 있다.
- [0083] 일 예로, 봄의 경우 4671개의 봄 데이터 중 1063번의 덕트가 발생하였으며, 주로 표면 덕트가 많이 발생하고 덕트의 두께는 9m ~ 128.2m까지 발생하였었다. 여름의 경우 1639번의 덕트가 발생하였고, 이는 봄에 비해 약 600번 가량 더 발생한 것이다. 여름 기간의 덕트 두께는 163.8m이하로 두꺼운 편이며, 고도는 주로 189m 이하에서 발생하였다.
- [0084] 가을의 경우 1050번의 덕트가 발생하여 봄과 유사하지만, 표면에서부터 고고도까지 고루 덕트가 분포되어 있으며, 겨울의 경우 4468 데이터 중 612번 덕트가 발생하였는데, 겨울에는 기후가 안정하여 덕트가 많이 발생하지 않는 현상이 나타났다.
- [0085] 도 6은 흑산도 수신 안테나에서의 수정 대기 굴절률을 나타낸 도면이다. 도 7은 흑산도 수신 안테나에서의 전파 경로 손실을 나타낸 도면이다.
- [0086] 도 6의 (A)는 2017년 10월 24일부터 27일까지 흑산도 기상 관측소의 기상 데이터베이스에서 수집한 00시에서의 수정 대기 굴절률을 나타낸 것으로, PM 12시의 동일한 날짜의 수정 대기 굴절률은 도 6의 (B)에 도시되어 있다. 여기에서 실선, 점선들은 각각 24일부터 27일까지의 날짜 데이터를 의미한다.
- [0087] 대기 조건으로 인한 전파 경로 손실과 시뮬레이션의 정확성에 대한 영향을 확인하기 위하여, 2017년 10월 24일부터 27일까지 흑산도 수신 안테나에서 측정된 경로 손실을 도 7에 도시된 시뮬레이션 결과와 비교할 수 있다.
- [0088] 초굴절 또는 덕트에서의 대기 조건은 대부분의 측정 날짜에서 발생하였다. 도 7은 30초의 간격으로 측정한 실시간 측정 결과로, 9997개의 데이터 포인트는 검은 점으로 마커로 표시되었다. 빨간색 및 파란색 점선 마커는 각각 매일 오전 10시 및 오후 12시 전후 1시간 동안의 측정 결과를 나타낸다.
- [0089] 오전 10시와 오후 12시경에 2시간 동안 측정된 데이터를 시뮬레이션 결과와 비교하기 위하여 평균화하였으며, 그 결과 측정된 데이터의 평균은 139.7dB로 나타났고, 시뮬레이션에서의 전파 경로 손실은 138.1dB로 나타났다.
- [0090] 이때, 측정된 데이터와 시뮬레이션 결과의 차이는 시스템 노이즈, 전체 시스템 입력 전력 및 세부 범위 종속 굴절과 같은 시스템 파라미터를 지원하지 않는 AREPS 시뮬레이션 소프트웨어의 제한 때문에 기인된 것이다.
- [0091] 예상한 바와 같이, 초굴절 또는 덕트 대기 조건 하에서는 전파 경로 손실이 적되 높은 레벨의 신호 수신이 관찰됨을 확인할 수 있다.
- [0092] 도 8은 종래의 삼선형 모델 및 본 발명에 따른 덕트 맵을 도시한 도면이다.
- [0093] 도 8의 (A)는 덕트 대기 조건을 나타내는 종래의 수정 대기 굴절률에 대한 삼선형 모델을 도시한 것으로, 이를 통해 다양한 덕트 특성에 따른 전파 경로 손실에 대한 덕트의 영향을 관찰할 수 있다. 임의의 덕트 대기 조건을 생성하기 위해 두 번째 선형 라인의 기울기  $\nabla M2$ 는 두께  $h2$ 를 갖는  $h1$  높이에서 발생하는 트랩 대기 상태를 나타내는 음의 값을 갖는 반면, 첫 번째 및 세번째 선형 라인의 경사  $\nabla M1$  및  $\nabla M3$ 은 양의 값을 갖는다. 하지만, 종래 기술의 경우 송수신(Tx(hTx)와 Rx(hRx))의 안테나 고도 정보를 포함하지 않기 때문에 덕트 모양( $h1$ ,  $h2$ )과 안테나의 위치(hTx 및 hRx)와의 관계에 대한 영향을 조사하는데 무리가 있다.

[0094] 반면, 본 발명의 일 실시예는 도 8의 (B)에 도시된 바와 같은 안테나의 위치(hTx 및 hRx) 정보를 포함하는 새로운 덕트 맵을 통해 전파 특성을 효과적으로 추정할 수 있다. 이때, 도 8의 (B)에서 M1 및 ∇M3은 모두 정상 대기 조건을 만들기 위해 118의 값을 갖고, ∇M2는 덕트 대기를 모델링하기 위해 -118의 음의 값을 갖는다.

[0095] 도 9는 수신 안테나에서의 전파 경로 손실을 나타내는 덕트 맵을 도시한 도면이다. 도10은 송수신기 사이의 거리 R에 따른 전파 경로 손실을 나타낸 도면이다. 도 11은 평균 정규화된 전파 경로 손실을 갖는 덕트 맵을 도시한 도면이다.

[0096] 도 9는 평평한 지면을 갖는 수신 안테나 Rx에서 전파 경로 손실을 갖는 덕트 맵을 도시한 도면으로, 여기에서 hTx 및 hRx는 각각 250m와 500m이다. 덕트 맵은 덕트 모양(h1 및 h2)과 위치(hTx 및 hRx) 사이의 관계를 명확하게 표시하며, 점선으로 구분한 면적에 따라 전파 경로 손실은 크게 차이가 난다. 또한, 지면 반사 영향과 같은 전자기파의 특성으로 인해 h1과 h2에 따른 전파 경로 손실의 변동이 관찰될 수 있는데, 변동의 원인은 도 10에 도시된 바와 같이 송수신 안테나 사이의 거리 R로 전파 경로 손실을 관찰함으로써 더욱 명확하게 찾을 수 있다.

[0097] 지형 데이터가 없는 전파 경로 손실  $L_f$ (실선)은 거리의 제곱만큼 점차 감소하며 다음 식 2와 같이 Friis 방정식을 사용하여 산출할 수 있다.

**수학식 2**

$$L_f = \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2$$

[0098]

[0099] 식 2에서 R은 송신 안테나에서 수신 안테나까지의 거리를 의미하고,  $\lambda$ 는 파장을 의미한다.

[0100] 이와 달리, 지형 데이터를 이용한 시뮬레이션 전파 경로 손실은 지면에서의 반사에 의해 변동되지만 전파 경로 손실의 전체 범위는  $L_f$ 의 추세를 따른다. 따라서, 덕트 효과를 보다 명확하게 관찰하기 위해서는 식 3과 같이 정의된 평균 정규 경로 손실인  $L_{NP}$ 를 적용하는 것이 바람직하다.

**수학식 3**

$$L_{NP} = \frac{\int_{R_0 - \Delta R_0}^{R_0 + \Delta R_0} (L_{Rx}(R) - L_f(R)) dR}{2\Delta R_0}$$

[0101]

[0102] 식 3에서  $R_0$ 는 송수신 안테나 사이의 실제 거리이고,  $L_{Rx}(R)$ 은 거리 R에서 지형 데이터로의 전파 경로 손실을 나타낸다.

[0103] 그 다음, 정규화된 전파 경로 손실을  $L_{Rx}(R) - L_f(R)$ 로 표현할 수 있으며, 평균 정규화된 전파 경로 손실  $L_{NP}$ 는  $R_0 - \Delta R_0$ 에서  $R_0 + \Delta R_0$ 로 평균화하여 획득할 수 있다.  $L_{NP}$ 는 지형 반사 효과가 보상되는 자유 공간에서의 전파 경로 손실로부터 편차를 관찰할 수 있어 덕트 효과를 보다 정확하게 볼 수 있다.

[0104] 도 11은 평균 정규화된 전파 경로 손실  $L_{NP}$ 를 갖는 덕트 맵으로, h1 및 h2가 hTx 및 hRx와 유사할 때 비정상적인 파동 전파가 검사된다. 특히, h1=375m, h2=149.3m일 때, -7.35dB의 최저  $L_{NP}$ 가 관찰되는데, 여기에서 hTx는 덕트보다 약간 아래에 있고 hRx는 덕트 내에 있는 것을 확인할 수 있다. 다른 한편으로, 3.94dB의 최고  $L_{NP}$ 는 각각 h1=220m 및 h2=22m에서 나타나며, 여기서 hTx는 덕트 내에 있고 hRx는 덕트 외부에 있는 것을 확인할 수 있다. 이때, h1이 hTx 및 hRx보다 훨씬 낮거나 높으면, 정상적인 전파 특성이 관찰될 수 있다.

[0105] 도 12는 DTED(Digital Terrain Elevation Data)를 사용한 평균 정규화 경로 손실  $L_{NP}$ 의 덕트 맵을 도시한 도면



이다. 도 13은 날씨 및 고도에 따른 수정 대기 굴절률을 도시한 도면이다.

- [0106] 도 12를 참조하면, 평평한 지면과는 다른 증도-흑산도의 국내 해안 지역에 있는 DTED는 AREPS 시뮬레이션 소프트웨어에 포함되어 있으며, 도 12와 같이 측정을 위해 구성된 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 다양한 덕트 조건에서의 비정상적 파동 전파를 관찰할 수 있다. 여기에서 증도에서의 hTx는 100m이고, 흑산도에서 hRx가 249m이다.
- [0107] 덕트 맵은 평평한 지면에서의 결과와 함께, hTx, hRx, 그리고 h1과 h2 사이에 매우 유사한 관계를 나타낸다. 도 12에는 케이스 A 내지 C의 대표적인 덕트 조건이 도시되어 있다.
- [0108] 케이스 A의 경우 상승된 덕트는 h1=233m, h2=139m에서 발생하며, 이때 hTx는 h1보다 약간 아래에 있으며 hRx는 덕트 내에 있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 덕트 조건은 도 13의 흑산도 기상 관측소에서 2017년 7월 22일 기상 데이터베이스의 실제 대기 굴절률과 가장 유사하다는 것을 확인할 수 있다.
- [0109] 케이스 B의 경우 hTx는 덕트 내에 있고 hRx는 덕트 외부에 있는 다른 비정상적인 경우를 나타낸다. 이러한 덕트 상태는 도 13의 동일한 관측소에서 2017년 5월 20일의 날씨 데이터베이스와 유사함을 확인할 수 있다.
- [0110] 도 13에서 점선은 2017년 4월 28일 증도에서 72km 떨어진 광주의 가장 가까운 기상 관측소에서의 덕트 케이스로, 케이스 C와 유사함 수정 대기 굴절률을 나타냄을 확인할 수 있다. 케이스 C의 경우 hTx 및 hRx가 모두 덕트 외부에 있는 것을 확인할 수 있다.
- [0111] 도 14는 증도 및 흑산도에서의 케이스 A 내지 C에 대한 실제 대기 조건을 사용하여 범위에 따른 전파 경로 손실에 대한 AREPS의 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.
- [0112] 케이스 A의 전파 경로 손실은 실선으로 표시되며 수신 안테나 지점에서 132.3dB로 나타났다. 또한, 비정상적인 전파는 자유 공간(free space)에 비해 수신 안테나에 많은 양의 에너지를 전달한다.
- [0113] 반면, 케이스 B의 점선은 수신 안테나 지점에서 140.1dB의 높은 전파 경로 손실을 갖는 것으로 나타났으며, 이는 송신 안테나의 에너지 대부분이 덕트에 갇히고, 수신 안테나가 덕트 외부에 배치되어 전파로는 에너지를 수신하기 어렵기 때문이다.
- [0114] 마지막으로 케이스 C의 전파 경로 손실은 수신 안테나 지점에서 138.dB로 나타났으며, 이는 자유 공간에서의 전파 경로 손실과 유사하게 나타났다.
- [0115] 한편, 상술한 설명에서, 단계 S110 내지 S150은 본 발명의 구현예에 따라서, 추가적인 단계들로 더 분할되거나, 더 적은 단계들로 조합될 수 있다. 또한, 일부 단계는 필요에 따라 생략될 수도 있고, 단계 간의 순서가 변경될 수도 있다. 아울러, 기타 생략된 내용이라 하더라도 후술하는 도 15의 내용은 도 1 내지 도 14의 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 방법에도 적용될 수 있다.
- [0116] 이하에서는 도 15를 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분석 시스템(100, 이하 전파 경로 손실 분석 시스템)에 대하여 설명하도록 한다.
- [0117] 도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 전파 경로 손실 분석 시스템(100)의 블록도이다.
- [0118] 본 발명의 일 실시예에 따른 전파 경로 분석 시스템(100)은, 수정 대기 굴절률 모델링부(110), 상용 시뮬레이션 부(120), 데이터 피팅부(130) 및 전파 경로 손실 분석부(140)를 포함한다.
- [0119] 수정 대기 굴절률 모델링부(100)는 제1 지점 및 제1 지점과 소정의 거리가 이격되어 있는 제2 지점을 포함하는, 기상 데이터를 기반으로 수정 대기 굴절률을 모델링한다.
- [0120] 상용 시뮬레이션부(120)는 제1 및 제2 지점에 대응하는 지형 정보와, 계절별 덕트의 유무에 따라 구별된 수정 대기 굴절률을 입력으로 하여, 계절별 덕트의 유무를 기준으로 구분된 전파 경로 손실을 산출하여 출력한다.
- [0121] 데이터 피팅부(130)는 계절별 덕트의 유무에 따른 전파 경로 손실의 히스토그램에 대하여 확률 분포함수를 사용하여 데이터 피팅을 수행한다.
- [0122] 전파 경로 손실 분석부(140)는 데이터 피팅된 결과에 따른 함수로부터 각 계절별 및 덕트의 유무에 따른 평균 및 분산 값을 도출하여, 상용 시뮬레이션부에 의해 산출된 전파 경로 손실을 분석한다.
- [0123] 도 15를 참조하여 설명한 전파 경로 손실 분석 시스템(100)은 상술한 서버의 구성요소로 제공될 수 있다.
- [0124] 이상에서 전술한 본 발명의 일 실시예에 따른 고층 기상에 따른 AESA 레이더의 덕트에 대한 전파 경로 손실 분

석 방법은, 하드웨어인 컴퓨터와 결합되어 실행되기 위해 프로그램(또는 어플리케이션)으로 구현되어 매체에 저장될 수 있다.

[0125] 상기 전술한 프로그램은, 상기 컴퓨터가 프로그램을 읽어 들여 프로그램으로 구현된 상기 방법들을 실행시키기 위하여, 상기 컴퓨터의 프로세서(CPU)가 상기 컴퓨터의 장치 인터페이스를 통해 읽힐 수 있는 C, C++, JAVA, Ruby, 기계어 등의 컴퓨터 언어로 코드화된 코드(Code)를 포함할 수 있다. 이러한 코드는 상기 방법들을 실행하는 필요한 기능들을 정의한 함수 등과 관련된 기능적인 코드(Functional Code)를 포함할 수 있고, 상기 기능들을 상기 컴퓨터의 프로세서가 소정의 절차대로 실행시키는데 필요한 실행 절차 관련 제어 코드를 포함할 수 있다. 또한, 이러한 코드는 상기 기능들을 상기 컴퓨터의 프로세서가 실행시키는데 필요한 추가 정보나 미디어가 상기 컴퓨터의 내부 또는 외부 메모리의 어느 위치(주소 번지)에서 참조되어야 하는지에 대한 메모리 참조관련 코드를 더 포함할 수 있다. 또한, 상기 컴퓨터의 프로세서가 상기 기능들을 실행시키기 위하여 원격(Remote)에 있는 어떠한 다른 컴퓨터나 서버 등과 통신이 필요한 경우, 코드는 상기 컴퓨터의 통신 모듈을 이용하여 원격에 있는 어떠한 다른 컴퓨터나 서버 등과 어떻게 통신해야 하는지, 통신 시 어떠한 정보나 미디어를 송수신해야 하는지 등에 대한 통신 관련 코드를 더 포함할 수 있다.

[0126] 상기 저장되는 매체는, 레지스터, 캐쉬, 메모리 등과 같이 짧은 순간 동안 데이터를 저장하는 매체가 아니라 반영구적으로 데이터를 저장하며, 기기에 의해 판독(reading)이 가능한 매체를 의미한다. 구체적으로는, 상기 저장되는 매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크, 광 데이터 저장장치 등이 있지만, 이에 제한되지 않는다. 즉, 상기 프로그램은 상기 컴퓨터가 접속할 수 있는 다양한 서버 상의 다양한 기록매체 또는 사용자의 상기 컴퓨터상의 다양한 기록매체에 저장될 수 있다. 또한, 상기 매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어, 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장될 수 있다.

[0127] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

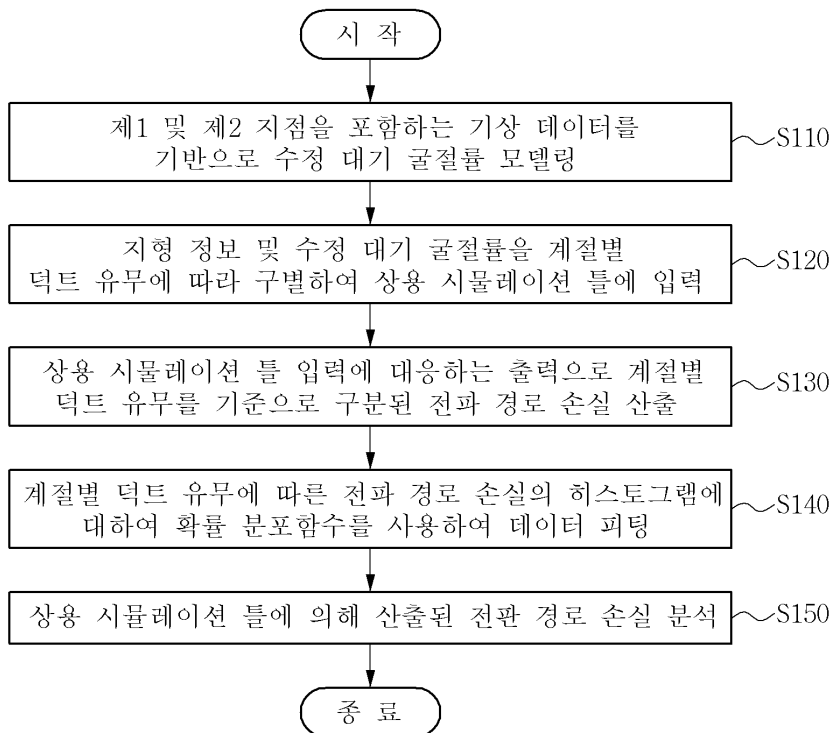
[0128] 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

**부호의 설명**

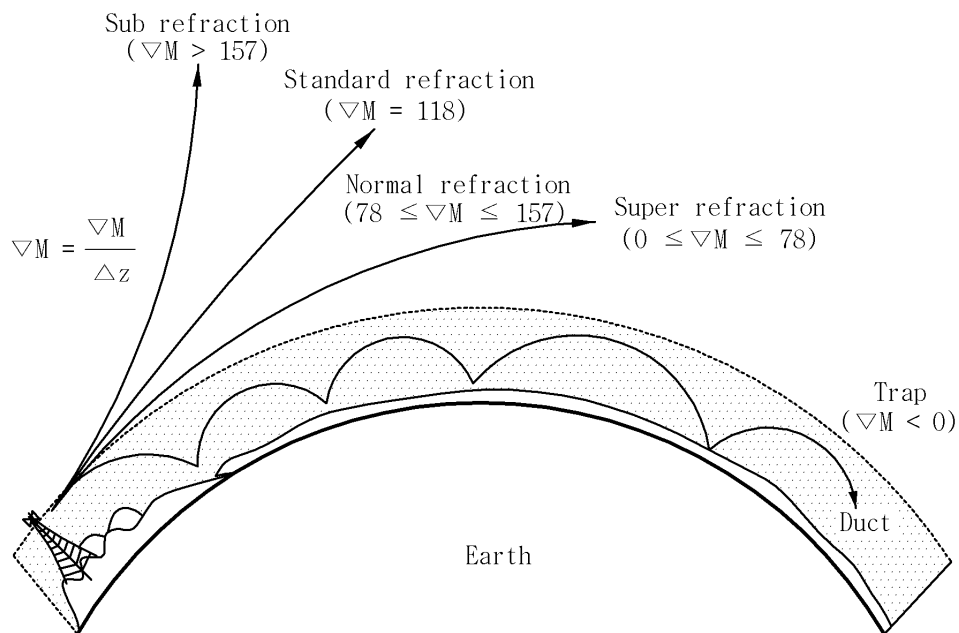
- [0130] 100: 전파 경로 손실 분석 시스템
- 110: 수정 대기 굴절률 모델링부
- 120: 상용 시뮬레이션부
- 130: 데이터 피팅부
- 140: 전파 경로 손실 분석부

도면

도면1

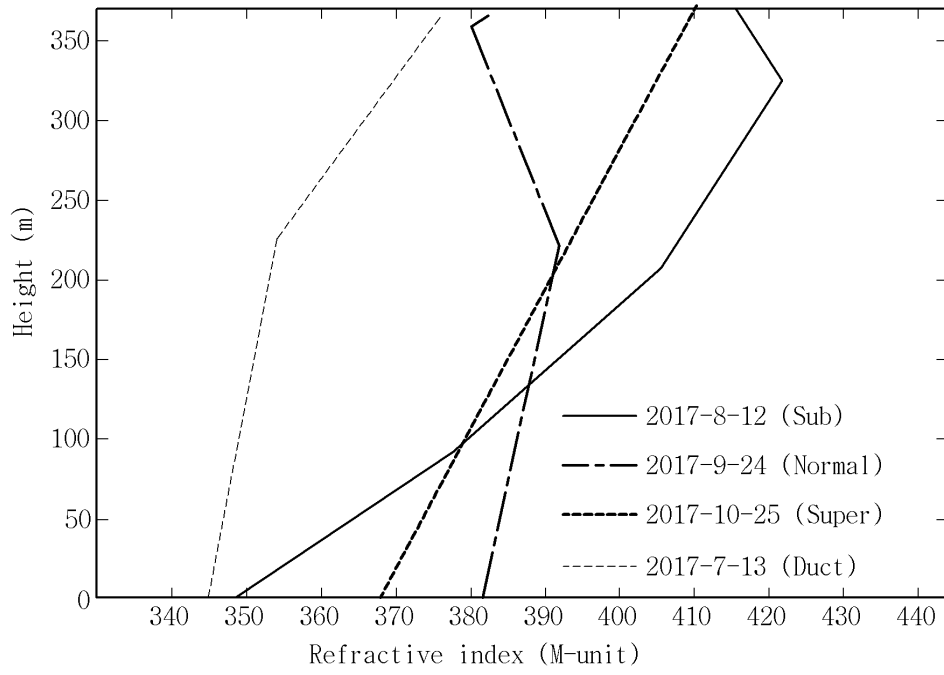


도면2

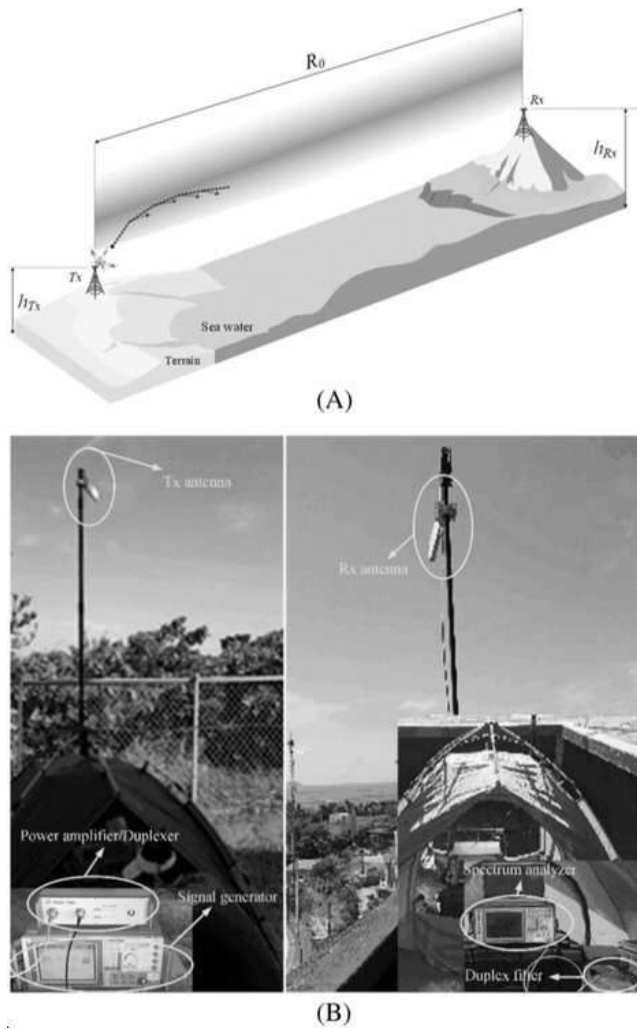




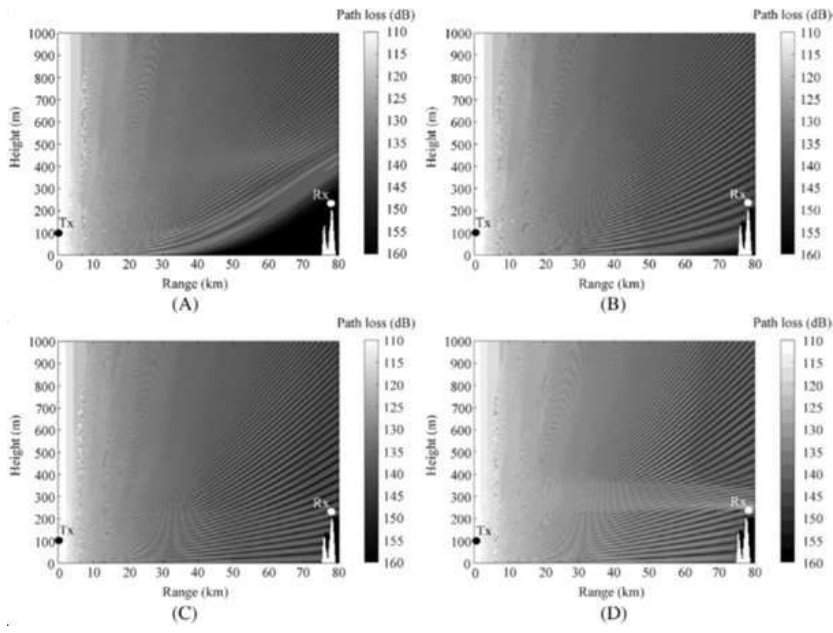
도면3



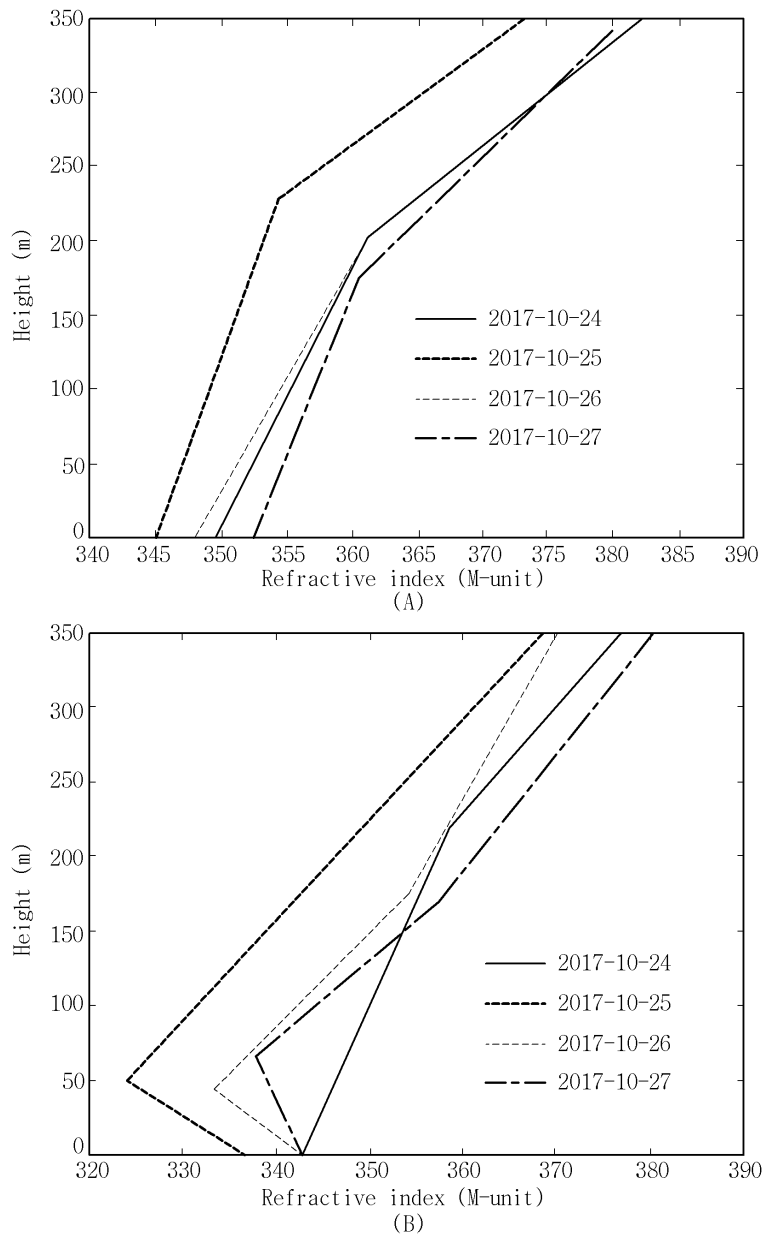
도면4



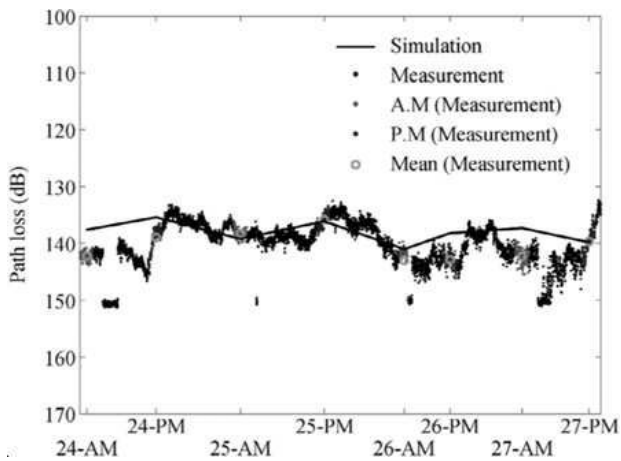
도면5



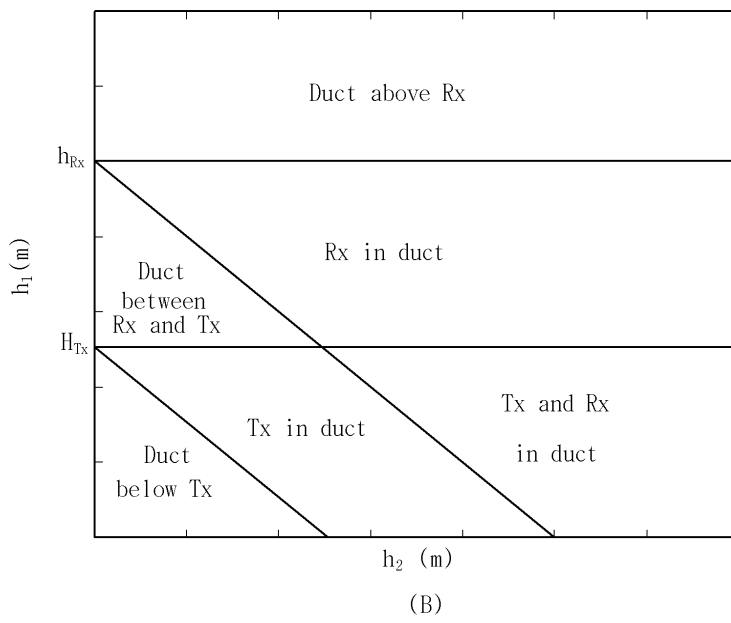
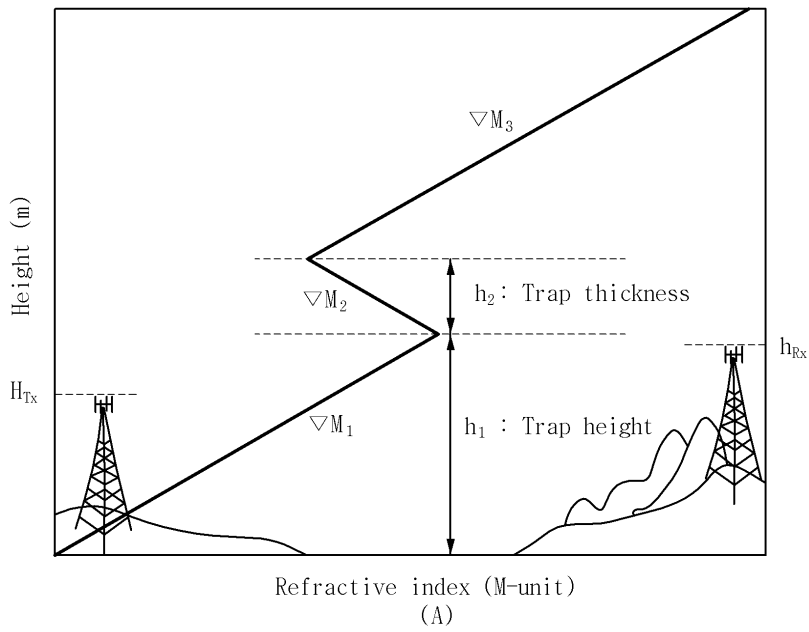
도면6



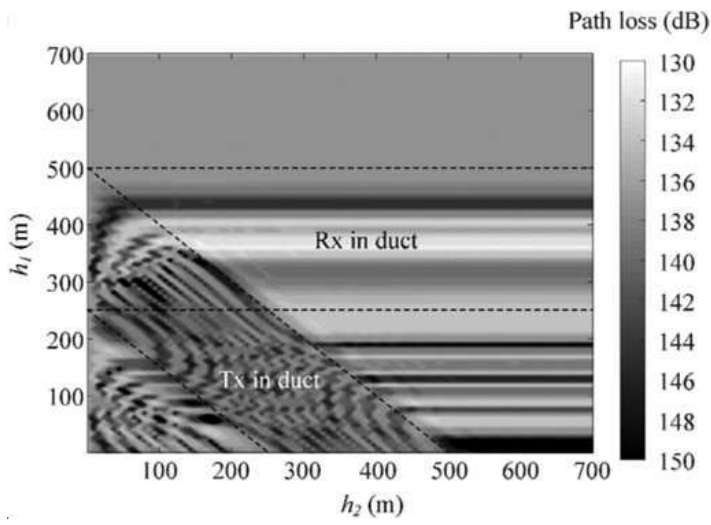
도면7



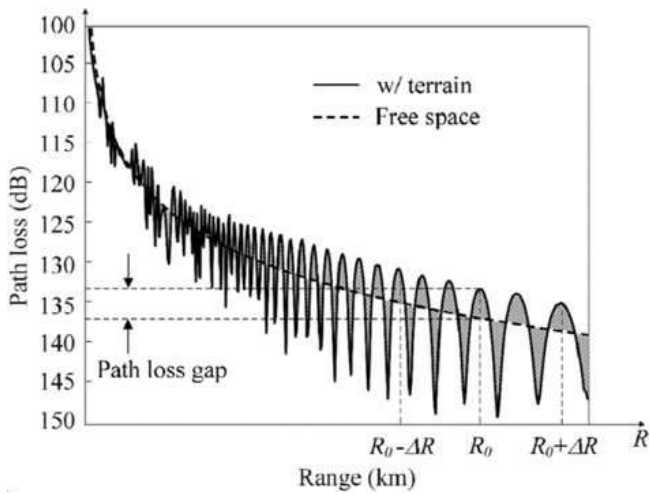
도면8



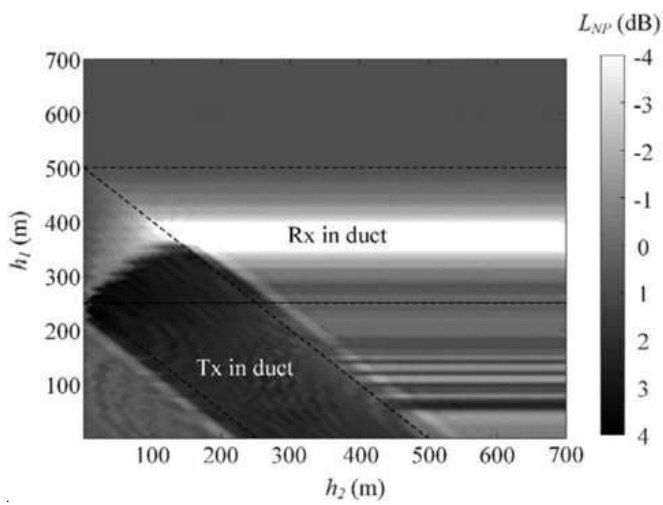
도면9



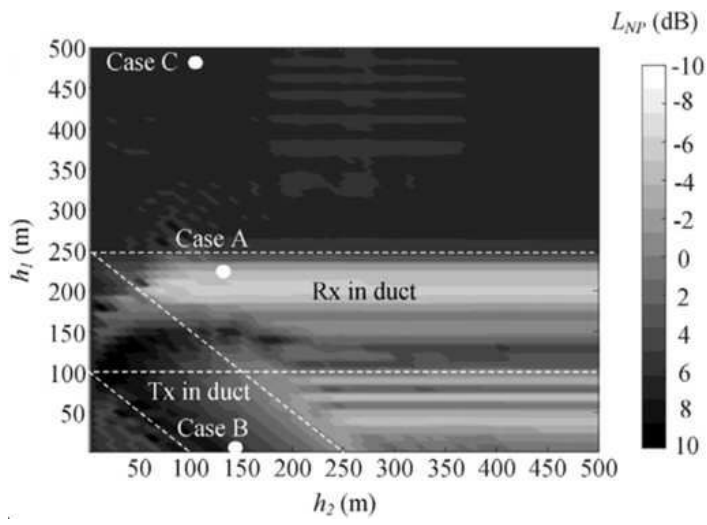
도면10



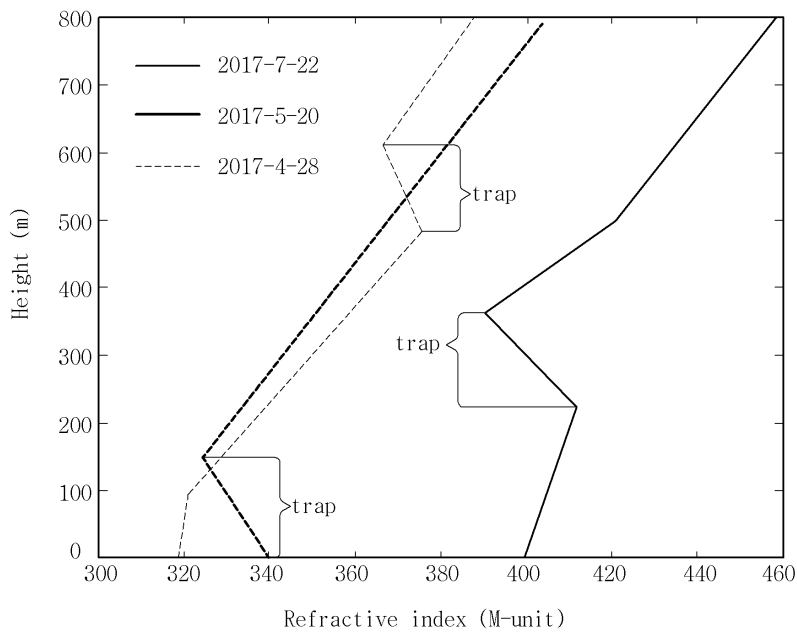
도면11



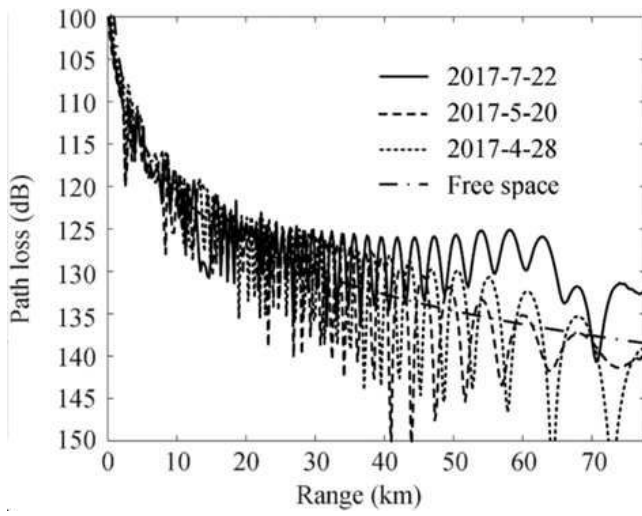
도면12



도면13



도면14



도면15

