



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년03월16일
(11) 등록번호 10-2089541
(24) 등록일자 2020년03월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01S 7/40 (2006.01) G01S 13/02 (2006.01)

(73) 특허권자
한화시스템 주식회사

(52) CPC특허분류
G01S 7/4052 (2013.01)
G01S 13/0218 (2013.01)

(72) 발명자
고민호

(21) 출원번호 10-2019-0075140

(22) 출원일자 2019년06월24일

심사청구일자 2019년06월24일

고진원

(56) 선행기술조사문헌

KR1020180091372 A

JP2015194494 A

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

남승희

전체 청구항 수 : 총 9 항

심사관 : 정소연

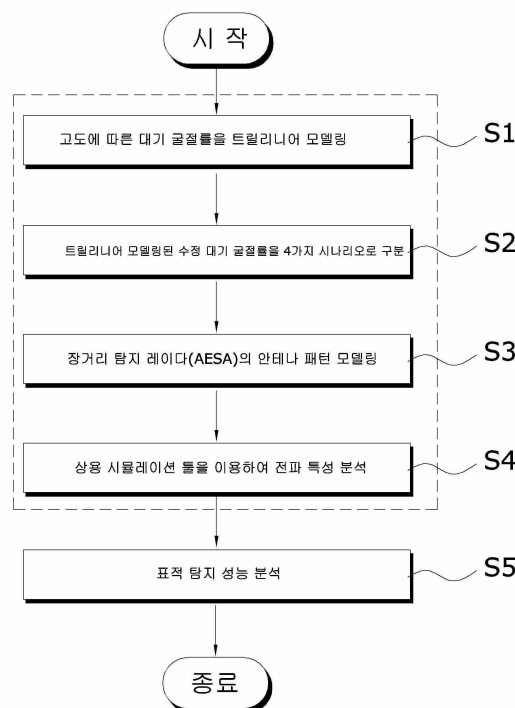
(54) 발명의 명칭 고층 기상 에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 방법 및 시스템

(57) 요약

본 발명은 고층 기상 에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 공대공 상황에서 국내 도심 지형과 대기 특성을 상용 시뮬레이션 툴에 반영하여 AESA(Active Electronically Scanned Array) 레이더의 전파 특성을 분석하는 방법에 관한 것이다.

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



본 발명에 따른 고층 기상 에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 방법에 의하면, 상용 시뮬레이션 툴인 AREPS(Advanced Refractive Effects Prediction System) 시뮬레이션 조건에 국내 도심지역의 지형정보와 기상 관측소에서 실제 측정된 실측 대기특성(기압, 온도 및 이슬점 온도 등)을 트릴리니어 모델(trilinear model)을 이용하여 근사화시킨 수정 대기 굴절률을 반영하여 다양한 대기 현상에 대한 장거리 탐지 레이더의 전파 특성을 분석하고, 분석된 장거리 탐지 레이더의 전파 특성을 이용하여 가장 심각한 조합 대기 조건(combined atmospheric condition)의 대기 상태에서 트랩(trap)의 높이와 두께를 변화시켜가면서 전면방향 표적 위치에 대한 경로 손실값을 분석하여 표적 탐지 성능을 분석할 수 있다.

(72) 발명자	추호성
임태홍	
	서철현
왕성식	

명세서

청구범위

청구항 1

측정하고자 하는 소정의 국내 특정 도심지역에서 실제 측정된 기압, 온도 및 이슬점 온도를 포함하는 상기 국내 특정 도심지역의 대기 상태에 따른 대기 굴절률을 3개의 선형라인을 이용하여 트릴리니어 모델(trilinear model)을 통해 모델링하는 단계;

상기 트릴리니어 모델을 통해 모델링된 수정 대기 굴절률을 4가지 시나리오로 구분하는 단계;

장거리 탐지 레이더용 안테나의 방사패턴을 모델링하는 단계; 및

상기 국내 특정 도심지역의 지형정보와, 상기 장거리 탐지 레이더용 안테나의 방사패턴과, 상기 4가지 시나리오에 대한 수정 대기 굴절률을 상용 시뮬레이션 툴에 입력하여 상기 장거리 탐지 레이더에 대한 전파 특성을 모델링하여 분석하는 단계;를 포함하고,

상기 장거리 탐지 레이더는 AESA(Active Electronically Scanned Array) 레이더인 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 트릴리니어 모델을 통해 모델링된 수정 대기 굴절률을 4가지 시나리오로 구분하는 단계에서는 상기 트릴리니어 모델을 통해 모델링된 수정 대기 굴절률을 정상 대기(normal), 지표면 덕트(surface duct), 상층 덕트(elevated duct) 및 조합 대기 조건(combined atmospheric condition)에 대해 4가지 시나리오로 구분하는 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 국내 특정 도심지역의 지형정보는 상기 국내 특정 도심지역에 대한 DTED(Digital Terrain Elevation Data)로부터 추출하여 상기 상용 시뮬레이션 툴의 입력으로 사용되는 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 상용 시뮬레이션 툴은 AREPS(Advanced Refractive Effects Prediction System) 시뮬레이션 툴을 사용하는 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 방법.

청구항 5

삭제

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 장거리 탐지 레이더용 안테나의 방사패턴을 모델링하는 단계에서는 32×32 AESA 레이더의 총 1024개 등방성 배열 소자를 사용하여 x 축의 간격 dx 는 0.475λ , y 축의 간격 dy 는 0.538λ 로 y -shift하여 고정하는 방법으로 상기 장거리 탐지 레이더용 안테나의 방사패턴을 도출하는 고충 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 방법.

청구항 7

기상 관측소에서 측정된 국내 특정 도심지역에서 측정된 기압, 온도 및 이슬점 온도를 포함하는 대기 상태를 이용하여 대기 굴절률을 계산하는 대기 굴절률 산출부;

상기 대기 굴절률 산출부를 통해 계산된 대기 상태에 따른 대기 굴절률을 3개의 선형라인을 이용하여 트릴리니어 모델을 통해 모델링하는 트릴리니어 모델링부;

상기 트릴리니어 모델링부에서 모델링된 수정 대기 굴절률을 정상 대기(normal), 지표면 덕트(surface duct), 상층 덕트(elevated duct) 및 조합 대기 조건(combined atmospheric condition)에 대해 4가지 시나리오로 모사하여 구분하는 시나리오 구분부;

장거리 탐지 레이더용 안테나의 방사패턴을 모델링하는 안테나 방사패턴 모델링부; 및

상기 국내 특정 도심지역의 지형정보와, 상기 안테나 방사패턴 모델링부로부터 모델링된 상기 장거리 탐지 레이더용 안테나의 방사패턴과, 상기 시나리오 구분부에서 구분된 4가지 시나리오 각각에 대한 수정 대기 굴절률을 상용 시뮬레이션 툴에 입력하여 상기 장거리 탐지 레이더에 대한 전파 특성을 모델링하는 전파 특성 분석부;를 포함하고,

상기 장거리 탐지 레이더는 AESA(Active Electronically Scanned Array) 레이더인 고충 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 시스템.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 상용 시뮬레이션 툴은 AREPS(Advanced Refractive Effects Prediction System) 시뮬레이션 툴을 사용하는 고충 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 시스템.

청구항 9

삭제

청구항 10

제 7 항에 있어서,

상기 안테나 방사패턴 모델링부는 32×32 AESA 레이더의 총 1024개 등방성 배열 소자를 사용하여 x 축의 간격 dx 는 0.475λ , y 축의 간격 dy 는 0.538λ 로 y -shift하여 고정하는 방법으로 상기 장거리 탐지 레이더용 안테나의 방사패턴을 도출하는 고충 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 시스템.

청구항 11

프로세서에 의해 실행되는 것을 통하여 제 1 항 내지 제 4 항 및 제 6 항 중 어느 한 항에 기재된 고충 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 방법을 실현하는 컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 고층 기상학에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 공대공 상황에서 국내 도심 지형과 대기 특성을 상용 시뮬레이션 틀에 반영하여 AESA(Active Electronically Scanned Array) 레이더의 전파 특성을 분석하는 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0003] 일반적으로, AESA(Active Electronically Scanned Array) 레이더, SAR(Synthetic Aperture Radar), DASR(Digital Airport Surveillance Radar) 등은 민수 및 군수 분야에서 관제용 레이더와 다기능 레이더로 사용되는 장거리 레이더로서, 장거리에 있는 표적을 정확하게 탐지하기 위해서 고성능 레이더를 필요로 한다.

[0004] 하지만 레이더의 특성과 관계없이 외부 노이즈, 클러터, 대기의 가스나 수증기에 의한 전파감쇄, 다중경로에 의한 편파 변화와 간섭, 온도, 기압, 이슬점 온도에 따른 대기 굴절률 등의 전파 환경이 표적 탐지 성능을 저하시키는 원인이 되고 있다.

[0005] 특히, 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. 이에 따라, 정확한 전파의 진행방향, 경로 손실 및 전파 계수 등을 예측하기 위해서는 고도에 따른 대기 굴절률의 모델링과 대기 굴절률을 반영한 계산을 필요로 한다.

[0006] 이러한 대기 굴절률 모델링을 위해 고도 1km 이하의 저고도에서 측정된 경로손실 값이나 클러터 전력 값으로부터 최적화 기법을 통해 다양한 덕트(duct) 현상에 대한 대기 굴절률을 예측한 방법들이 'M Wagner, P Gerstoft and T Rogers, "Estimating Refractivity from Propagation Loss in Turbulent Media," *Radio Sci*, Vol 51, no 12, pp 1876-1894, Nov 2016', ' H Benzon1 and P Hoegl, "Wave Propagation Simulation of Radio Occultations Based on ECMWF Refractivity Profiles," *Radio Sci*, Vol 50, no 8, pp 778-788, Aug 2015'에서 제안된 바 있었다.

[0007] 또한, 해외 또는 국내에서 특정 지역에서 통계적 해석이나 수식적으로 고도에 따른 대기 굴절률을 모델링하는 방법들이 'A Karimian, C Yardim, P Gerstoft, W S Hodgkiss and A E Barrios, "Refractivity Estimation from Sea Clutter: An Invited Review," *Radio Sci*, Vol 46, no 6, pp 1-16, Dec 2011'. 'H Moon, M Jeon, W Kim, S K Oh, J H Lee, S Kwon and Y J Yoon, "Development of Exponential Model of Korea for Improved Altitude Estimation Performance of High-Altitude Target at Radar System," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol 23, no 7, pp831-839, Jul 2012', 'ITU-R P453-9, The Radio Refractive Index: Its Formula and Refractivity Data, 2003', 'ITU-R P853-3, Reference Standard Atmospheres, 1999' 등에서 제안되었다.

[0008] 또한, 해외 지역의 대기 특성을 반영하여 지대공 및 지대지에서 전파 진행 변화에 관한 다양한 연구가 수행되어 왔다. 예를 들어, 미국, 유럽, 중국 등의 특정 해안지역에서 대기의 덕트(duct) 특성과 실질적인 저고도 기상 데이터를 반영한 경로손실 분석에 대한 여러 연구들이 'S M Doss-Hammel, C R Zeisse, A E Barrios, G Leeuw, M Moerman, A N Jong, P A Frederickson and K L Davidson, "Low-altitude Infrared Propagation in a Coastal Zone: Refraction and Scattering," *Appl Optics*, Vol 41, no 18, pp 3706-3724, June 2002', 'L T Rogers, "Effects of the Variability of Atmospheric Refractivity on Propagation Estimates," *IEEE Trans Antennas Propag*, Vol44, no 4, pp 460-465, Apr 2015', 'I Sirkova, "Brief Review on PE Method Application to Propagation Channel Modeling in Sea Environment," *Cent Eur J Eng*, Vol 2, no1, pp 19-38, Sep 2012', 'S Yang, Y Kun-De, Y Yi-Xin and M Yuan-Liang, "Experimental Verification of Effect of Horizontal Inhomogeneity of Evaporation Duct on Electromagnetic Wave Propagation," *Chin Phys B*, Vol 24, no 4, pp 19-38, Feb 2015'에서 진행되어 왔다.

[0009] 진술한 바와 같이, 정확한 전파의 진행방향, 경로손실 및 전파계수 등을 예측하기 위해 다양한 연구들이 제안되었으나, 이러한 연구들은 대부분 해외 해안지역에 대한 지형정보와 대기 굴절률 데이터에 국한하여 레이더 전파 특성에 대해 분석하였기 때문에, 국내 도심지역의 지형 정보와 대기 특성을 반영한 연구가 부족한 실정이었다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) KR 10-1954283 B1, 2019. 02. 26.
- (특허문헌 0002) KR 10-1902833 B1, 2018. 09. 20.
- (특허문헌 0003) KR 10-1868600 B1, 2018. 06. 11.
- (특허문헌 0004) KR 10-1779900 B1, 2017. 09. 13.
- (특허문헌 0005) KR 10-1979770 B1, 2019. 05. 13.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 본 발명은 시뮬레이션 조건에 국내 도심 지역의 지형정보와 실측 대기특성을 트릴리니어 모델(trilinear mode l)로 근사화시킨 수정 대기 굴절률을 반영하여 다양한 대기 현상에 대한 장거리 탐지 레이더의 전파 특성을 분석하고, 이를 이용하여 덕트(duct)에 대한 경로 손실값을 분석하여 표적 탐지 성능을 분석할 수 있도록 제공하는 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 방법 및 시스템을 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0014] 상기한 목적을 달성하기 위한 일 측면에 따른 본 발명은 측정하고자 하는 소정의 국내 특정 도심지역에서 실제 측정된 기압, 온도 및 이슬점 온도를 포함하는 상기 국내 특정 도심지역의 대기 상태에 따른 대기 굴절률을 3개의 선형라인을 이용하여 트릴리니어 모델(trilinear model)을 통해 모델링하는 단계; 장거리 탐지 레이더용 안테나의 방사패턴을 모델링하는 단계; 상기 트릴리니어 모델을 통해 모델링된 수정 대기 굴절률을 4가지 시나리오로 구분하는 단계; 및 상기 국내 특정 도심지역의 지형정보와, 상기 장거리 탐지 레이더용 안테나의 방사패턴과, 상기 4가지 시나리오에 대한 수정 대기 굴절률을 상용 시뮬레이션 툴에 입력하여 상기 장거리 탐지 레이더에 대한 전파 특성을 모델링하여 분석하는 단계를 포함하는 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 방법을 제공한다.
- [0015] 또한, 상기 트릴리니어 모델을 통해 모델링된 수정 대기 굴절률을 4가지 시나리오로 구분하는 단계에서는 상기 트릴리니어 모델을 통해 모델링된 수정 대기 굴절률을 정상 대기(normal), 지표면 덕트(surface duct), 상층 덕트(elevated duct) 및 조합 대기 조건(combined atmospheric condition)의 4가지 시나리오로 구분할 수 있다.
- [0016] 또한, 상기 국내 특정 도심지역의 지형정보는 상기 국내 특정 도심지역에 대한 DTED(Digital Terrain Elevation Data)로부터 추출하여 상기 상용 시뮬레이션 툴의 입력으로 사용될 수 있다.
- [0017] 또한, 상기 상용 시뮬레이션 툴은 AREPS(Advanced Refractive Effects Prediction System) 시뮬레이션 툴을 사용할 수 있다.
- [0018] 또한, 상기 장거리 탐지 레이더는 AESA(Active Electronically Scanned Array) 레이더일 수 있다.
- [0019] 또한, 상기 장거리 탐지 레이더용 안테나의 방사패턴을 모델링하는 단계에서는 32×32의 총 1024개 등방성 배열 소자를 사용하여 x축의 간격 dx는 0.475λ, y축의 간격 dy는 0.538λ로 y-shift하여 고정하는 방법으로 상기 장거리 탐지 레이더용 안테나의 방사패턴을 도출할 수 있다.
- [0020] 또한, 상기한 목적을 달성하기 위한 다른 측면에 따른 본 발명은 기상 관측소에서 측정된 국내 특정 도심지역에서 측정된 기압, 온도 및 이슬점 온도를 포함하는 대기 상태를 이용하여 대기 굴절률을 계산하는 대기 굴절률 산출부; 상기 대기 굴절률 산출부를 통해 계산된 대기 상태에 따른 대기 굴절률을 3개의 선형라인을 이용하여 트릴리니어 모델을 통해 모델링하는 트릴리니어 모델링부; 상기 트릴리니어 모델링부에서 모델링된 수정 대기 굴절률을 정상 대기(normal), 지표면 덕트(surface duct), 상층 덕트(elevated duct) 및 조합 대기 조건(combined atmospheric condition)에 대해 4가지 시나리오로 모사하여 구분하는 시나리오 구분부; 장거리 탐지 레이더용 안테나의 방사패턴을 모델링하는 안테나 방사패턴 모델링부; 및 상기 국내 특정 도심지역의 지형정보와, 상기 안테나 방사패턴 모델링부로부터 모델링된 상기 장거리 탐지 레이더용 안테나의 방사패턴과, 상기 시나리오 구분부에서 구분된 4가지 시나리오 각각에 대한 수정 대기 굴절률을 상용 시뮬레이션 툴에 입력하여 상

기 장거리 탐지 레이더에 대한 전파 특성을 모델링하는 전파 특성 분석부를 포함하는 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 시스템을 제공한다.

- [0021] 또한, 상기 상용 시뮬레이션 툴은 AREPS(Advanced Refractive Effects Prediction System) 시뮬레이션 툴을 사용할 수 있다.
- [0022] 또한, 상기 장거리 탐지 레이더는 AESA(Active Electronically Scanned Array) 레이더일 수 있다.
- [0023] 또한, 상기 안테나 방사패턴 모델링부는 32×32 AESA 레이더의 총 1024개 등방성 배열 소자를 사용하여 x 축의 간격 dx 는 0.475λ , y 축의 간격 dy 는 0.538λ 로 y -shift하여 고정하는 방법으로 상기 장거리 탐지 레이더용 안테나의 방사패턴을 도출할 수 있다.
- [0024] 또한, 상기한 목적을 달성하기 위한 또 다른 측면에 따른 본 발명은 프로세서에 의해 실행되는 것을 통하여 상기에서 기재된 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 방법을 실현하는 컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램을 제공한다. .

발명의 효과

- [0026] 본 발명의 실시예에 따른 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 방법에 의하면, 상용 시뮬레이션 툴인 AREPS(Advanced Refractive Effects Prediction System) 시뮬레이션 조건에 국내 도심지역의 지형정보와 기상 관측소에서 실제 측정된 실측 대기특성(기압, 온도 및 이슬점 온도 등)을 트릴리니어 모델(trilinear model)을 이용하여 근사화시킨 수정 대기 굴절률을 반영하여 다양한 대기 현상에 대한 장거리 탐지 레이더의 전파 특성을 분석할 수 있다.
- [0027] 더 나아가, 본 발명에 따른 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 방법에 의하면, 앞서 분석된 장거리 탐지 레이더의 전파 특성을 이용하여 가장 심각한 조합 대기 조건(combined atmospheric condition)의 대기 상태에서 트랩(trap)의 높이와 두께를 변화시켜가면서 레이더의 전면방향 표적 위치에 대한 경로 손실값을 분석하여 표적 탐지 성능을 간편하게 분석할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0029] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도.
- 도 2는 공대공 상황에서 대기 굴절률 기울기에 따라 진행되는 전파 전송의 변화와 송신 안테나 및 표적의 위치를 나타낸 도면.
- 도 3은 오산 기상 관측소에서 측정된 대기 특성을 이용하여 계산된 대기 굴절률을 나타낸 도면들.
- 도 4는 고도에 따른 대기 굴절률의 트릴리니어 모델링을 설명하기 위해 도시한 도면.
- 도 5는 32×32 AESA 안테나의 배열 형상 및 배열 간격을 설명하기 위해 도시한 도면.
- 도 6은 전면 방향에 대한 $u-v$ 도메인의 지향성(directionality) 패턴을 도시한 도면.
- 도 7은 θ 방향에 따른 전면 방향 지향 패턴($\phi=0^\circ$)으로 zx -plane에 따른 지향성을 나타낸 도면.
- 도 8은 공대공에서 다양한 상황을 확인하기 위해 최대 고도 h_{max} 는 100m로 고정하고, 해당 고도에 따른 수정 대기 굴절률의 4가지 시나리오로 묘사한 도면.
- 도 9는 4가지 대기 굴절률 시나리오에 따른 경로손실 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면.
- 도 10은 표적 높이 5000m에서 h_1 과 Δh 에 따른 경로 손실 시뮬레이션 결과를 도시한 도면.
- 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 시스템을 설명하기 위해 간략하게 도시한 구성도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0030] 본 발명은 국내 도심 지역의 지형정보와 기상 관측소에서 측정된 대기 특성이 반영된 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 방법을 제공하고, 이를 통해 레이더의 표적 탐지 성능을 분석할 수 있는 방법을

제안하고자 한다.

- [0031] 이를 위해, 본 발명은 상용 시뮬레이션 툴인 AREPS(Advanced Refractive Effects Prediction System) 시뮬레이션 조건에 국내 도심 지역의 지형정보와 실측 대기 특성을 트릴리니어 모델(trilinear model)로 근사화시킨 수정 대기 굴절률을 반영하여 다양한 대기 현상에 대한 장거리 탐지 레이더의 전파 특성을 분석하고, 이를 이용하여 덕트(duct)에 대한 경로 손실값을 분석하여 표적 탐지 성능을 분석한다.
- [0033] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예들을 상세히 설명하기로 한다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 발명의 실시 예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다. 도면상에서 동일 부호는 동일한 요소를 지칭한다.
- [0035] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다.
- [0036] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석방법은 고도에 따른 대기 굴절률을 트릴리니어(trilinear) 모델링하는 단계(S1)와, 트릴리니어 모델링을 통해 근사화된 수정 대기 굴절률을 4가지 시나리오로 구분하는 단계(S2)와, 장거리 탐지 레이더(AESA)의 안테나 패턴을 모델링하는 단계(S3)와, 상용 시뮬레이션 툴을 이용하여 전파 특성을 분석하는 단계(S4)를 포함한다. 그리고, 표적 탐지 성능을 분석하는 단계(S5)를 더 포함할 수 있다.
- [0038] 고도에 따른 대기 굴절률을 트릴리니어 모델링하는 단계(S1)
- [0040] 도 2는 본 발명에 따른 고도에 대한 대기 굴절률을 트릴리니어 모델링하는 단계를 설명하기 위해 도시한 도면으로서, 공대공 상황에서 대기 굴절률 기울기에 따라 진행되는 전파 전송의 변화와 송신 안테나 및 표적의 위치를 나타낸 도면이다.
- [0041] 도 2와 같은 공대공 상황에 대한 전파 진행 및 표적 탐지 시나리오에서, 송신 안테나의 높이는 ' h_s ' 이고, 표적의 높이와 표적의 거리는 각각 ' h_t ', ' r_t '로 정의한다. 이 경우, 대기의 굴절 기울기 ∇M 이 157보다 큰 경우에는 아굴절(sub refraction)의 대기 특성, 79에서 157 사이에는 정상 굴절(normal refraction)의 대기 특성, 0에서 79는 초굴절(super refraction)의 대기 특성, 그리고 ∇M 이 0미만인 경우에는 트랩(trap), 즉 덕트(duct) 현상이 일어날 때의 대기 특성을 나타낸다.
- [0042] 도 3은 오산 기상 관측소에서 측정된 기압, 온도 및 이슬점 온도를 이용하여 특정 일자에서 대기 굴절률을 계산한 그래프를 나타낸 도면들로서, 도 3에서, (a)는 2010년 1월 8일, (b)는 2013년 5월 6일, (c)는 2017년 12월 10일에 각각 관측한 기압, 온도 및 이슬점 온도를 이용하여 대기 굴절률을 계산한 그래프를 나타낸다. 도 3에서 측정된 대기 굴절률 데이터는 도 4와 같이, 선형라인의 조합으로 표현 할 수 있다.
- [0043] 도 4는 고도에 따른 대기 굴절률의 트릴리니어 모델링을 설명하기 위해 도시한 도면이다.
- [0044] 도 4를 참조하면, 도 3에서 측정된 기압, 온도 및 이슬점 온도를 이용하여 측정된 대기 굴절률 데이터는 3개의 선형라인으로 조합하여 트릴리니어 모델링할 수 있다.
- [0045] 예를 들어, 도 4에서, 첫 번째와 두 번째 선형라인이 가지는 높이와 기울기를 각각 h_1 , d_1 , h_2 , d_2 로 정의하고, 최대 고도와 세 번째 선형라인 기울기는 h_{max} 와 d_3 로 표현한다. 그리고, 두 번째 선형 라인 기울기가 음수인 경우는 트랩(trap)이 발생하는 것을 나타내고, 이때 트랩(trap)의 두께는 h_1 과 h_2 의 차이인 Δh 로 정의한다.
- [0046] 이러한 방법으로, 국내 오산 기상 관측소에서 확인한 대다수의 대기 굴절률을 트릴리니어 모델을 사용하여 모델링하여 근사화시킬 수 있으며, 다양한 기상 현상의 변화를 각 선형라인의 기울기와 높이를 변화함으로써 AREPS(Advanced Refractive Effects Prediction System)에 입력할 수정 대기 굴절률을 쉽게 도출할 수 있다.
- [0048] 수정 대기 굴절률을 4가지 시나리오로 구분하는 단계(S2)
- [0050] 도 5는 공대공에서 다양한 상황을 확인하기 위해 최대 고도 h_{max} 는 100m로 고정하고, 해당 고도에 따른 수정 대기 굴절률의 4가지 시나리오로 모사한 도면이다.
- [0051] 도 5와 같이, 본 발명에서는 정상 대기(normal), 지표면 덕트(surface duct), 상층 덕트(고공 대류권 덕트, elevated duct), 조합 대기 조건(combined atmospheric condition)을 포함하여 수정 대기 굴절률을 4가지 시나

리으로 구분한다.

- [0052] 도 5의 (a)는 수정 대기 굴절 기울기 $d1 = d2 = d3 = 90$ 인 정상 대기(normal)를 나타내고, 도 5의 (b)는 $h1 = 0m, h2 = 2000m, \Delta h = 2000m, d2 = -100, d3 = 90$ 인 지표면 덕트(surface duct)에 대한 대기를 나타낸다. 그리고, 도 5의 (c)는 $h1 = 4800m, h2 = 5800m, \Delta h = 1000m, d1 = 90, d2 = -100, d3 = 90$ 으로 AESA 레이다 근처에서의 상층 덕트(elevated duct)에 대한 대기를 나타내고, 도 5의 (d)는 $h1 = 4800m, h2 = 5800m, \Delta h = 1000m, d1 = 20, d2 = -100, d3 = 180$ 으로 고정하여 낮은 고도부터 초굴절(super refraction), 트랩(trap), 아굴절(sub refraction)의 3가지 대기 조건의 조합(combined atmospheric condition)으로 나타낸다.
- [0054] 장거리 탐지 레이다(AESA)의 안테나 패턴을 모델링하는 단계(S3)
- [0056] 공대공에서 전파 분석을 위해 중요한 입력 변수 중 하나인 안테나 방사패턴을 도출하기 위해 일레로 AESA(Active Electronically Scanned Array)의 배열 안테나를 사용하였다.
- [0057] 도 6은 32×32 AESA 안테나의 배열 형상 및 배열 간격을 설명하기 위해 도시한 도면으로서, 32×32 의 총 1024개 등방성 배열 소자를 사용한 AESA 평면형 배열 안테나를 보여준다. 도 6에서, 배열 소자의 위치는 그레이팅 로브 (grating lobe) 개선을 위해 x 축의 간격 dx 는 0.475λ , y 축 간격 dy 는 0.538λ 로 y -shift하여 고정하였다.
- [0058] 도 7은 전면 방향에 대한 $u-v$ 도메인의 지향성(directionality) 패턴을 도시한 도면이고, 도 8은 θ 방향에 따른 전면 방향 지향 패턴($\phi = 0^\circ$)으로 zx -plane에 따른 지향성을 나타낸 도면이다. 도 7 및 도 8에서와 같은 안테나에서 도출한 방사패턴은 4.4° HPBW(Half power beam width)와 $-35.7dB$ 의 SLL(Side lobe level)을 가진다. 이 방사패턴을 AREPS 시뮬레이션 툴에 입력하여 h_s 높이에서의 소스원으로 사용한다.
- [0060] 상용 시뮬레이션 툴을 이용하여 전파 특성을 분석하는 단계(S4)
- [0062] 도 6 내지 도 8을 통해 도출된 AESA 배열 안테나의 방사패턴과 4가지 시나리오에 대한 수정 대기 굴절률을 각각 AREPS 상용 시뮬레이션 툴에 입력하는 한편, 국내 오산 지역 200km의 DTED(Digital Terrain Elevation Data, 수치 지형 표고 데이터)를 추출하여 소스원 높이 $h_s = 5000m$ 와 함께 시뮬레이션 조건으로 사용하였다.
- [0063] 즉, AESA 배열 안테나의 방사패턴과, 4가지 시나리오에 대한 수정 대기 굴절률과, 국내 특정 도심지역의 지형정보, 예를 들면, 국내 오산 지역의 지형정보를 각각 AREPS 상용 시뮬레이션 툴에 입력하여 AESA 레이다의 전파 특성을 모델링하여 분석한다.
- [0065] 표적 탐지 성능을 분석하는 단계(S5)
- [0067] 도 9는 4가지 대기 굴절률 시나리오에 따른 경로손실 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.
- [0068] 도 9의 (a)는 정상 대기(normal)에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주는 도면으로서, (a)와 같이, 일반적인 대기 상태에서 지형 반사를 고려한 전파 손실을 보여준다.
- [0069] 도 9의 (b)은 지표면 덕트(surface duct) 대기에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주는 도면으로서, 소스원의 고도가 덕트(duct) 발생 지점에 비해 충분히 높을 때에는 정상 대기(normal)와 유사하게 시뮬레이션 결과가 도출되는 것을 확인할 수 있었다.
- [0070] 도 9의 (c)와 (d)는 4가지의 대기 굴절률 시나리오 중 상층 덕트(elevated duct)와 조합 대기 조건(combined atmospheric condition)과 관련한 시나리오에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주는 도면들로서, AESA 레이다에서 전면방향으로 빔 조향시 경로 손실값이 상승하여 표적 탐지 성능의 열화가 예상되는 시나리오 조건들에 해당한다.
- [0071] 도 9의 (c)와 같이, 상층 덕트(elevated duct)가 송신 안테나보다 약간 낮은 위치에 있을 경우에는 트랩(trap)에 의해 소스원(소스원 높이 $h_s = 5000m$)을 기준으로 아래 부분으로 전파가 진행하게 되어 전파의 진행이 두 갈래로 갈라져 진행되는 것처럼 보이게 된다. 이로 인해 AESA 레이다의 전면방향으로 큰 부분에 있어서 경로 손실이 발생하고, 결국 AESA 레이다의 전면방향에 있는 표적 탐지 성능이 열화될 수 있다.
- [0072] 도 9의 (d)와 같이, 조합 대기 조건(combined atmospheric condition)에 대한 대기에서는 덕트(duct) 발생 위치의 아래와 위에서 각각 초굴절(super refraction)과 아굴절(sub refraction)이 일어나기 때문에 전면방향에서 경로손실이 급격하게 증가하여 표적 탐지 성능이 열화되는 영역이 늘어나는 것을 확인할 수 있다.
- [0073] 공대공 상황에서 AESA 레이다의 전면방향 입사에 따른 표적 탐지 성능을 확인하기 위해 표적 거리 $r_t = 150km$,

표적 높이 $h_t = 1000/3000/5000/7000/9000\text{m}$ 에서 각 시나리오별(정상/지표면 덕트/상층 덕트/조합 대기 조건) 경로 손실값을 하기 [표 1]에 나타내었다.

표 1

		표적 높이 (m)				
		1000	3000	5000	7000	9000
		경로손실 (dB)				
시 나 리 오	Normal	161.4	157.1	156.5	160.1	158.7
	Surface duct	160.4	157.1	158.7	159.2	159.2
	Elevated duct	159.8	155.8	167.6	160.0	159.3
	Combined atmospheric condition	159.7	158.3	171.0	160.5	158.8

[0074]

[0075]

도 10은 표적 높이 5000m에서 h_1 과 Δh 에 따른 경로 손실 시뮬레이션 결과를 도시한 도면으로서, 4가지 시나리오 중 가장 심각한 상황인 조합 대기 조건(combined atmospheric condition)에서 트랩(trap)의 시작 높이($500\text{m} \leq h_1 \leq 6000\text{m}$)와 두께($50\text{m} \leq \Delta h \leq 2000\text{m}$)에 따른 경로 손실의 시뮬레이션 결과를 보여준다.

[0076]

도 10에서, 대기 굴절 기율기는 $d1 = 20$, $d2 = -100$, $d3 = 180$ 으로 하였고, 전면방향 표적의 높이는 $h_t = 5000\text{m}$ 로 고정하였다. 그래프에서 검은색 점선으로 나타낸 부분은 트랩(trap)의 높이 h_2 와 두께 Δh 가 각 $4800\text{m} \sim 5800\text{m}$, $50\text{m} \sim 2000\text{m}$ 로 경로 손실값이 크게 상승한 영역을 나타낸다. 해당영역에서는 전파 감쇄에 의해 수신 전력 값이 크게 감소하므로 표적 탐지 성능의 급격한 열화가 발생함을 확인하였다.

[0078]

전술한 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석방법에서는 트릴리니어 모델을 이용한 정상 대기(normal), 지표면 덕트(surface duct), 상층 덕트(elevated duct), 조합 대기 조건(combined atmospheric condition)에 대한 대기 굴절률과 국내 오산지형을 DTED로부터 추출한 후 AREPS 시뮬레이션 틀에 적용하여 공대공 AESA 레이더 전파 특성을 분석하는 한편, 이를 토대로 표적 위치에 따른 경로 손실값을 도출하였다. 이때, AESA 레이더의 배열 안테나는 32×32 의 y-shift 평면 배열 형상을 사용하였고, zx-plane에서 HPBW와 SLL이 44° 와 357dB 인 방사패턴을 해석에 적용하였다.

[0079]

조합 대기 조건(combined atmospheric condition)의 대기 상태에서 AREPS 시뮬레이션 결과 소스원으로부터 150km 떨어진 전면 방향 표적 위치에 대한 경로 손실값이 171dB 로 나타나 표적 탐지 성능이 크게 열화됨을 확인하였다. 그리고, 조합 대기 조건(combined atmospheric condition)의 대기 상태에서 트랩(trap)의 높이와 두께를 변화시켜 고도 5000m 의 전면방향 표적 위치에 대한 경로 손실값을 분석하였다. 이러한 결과로부터 트랩(trap)이 발생한 높이 h_2 가 AESA 레이더 위치와 유사한 $4,800\text{m}$ 부터 $5,200\text{m}$ 까지의 영역에서 표적 탐지 성능이 현저하게 저하됨을 확인하였다.

[0080]

도 11은 본 발명의 실시예에 따른 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 시스템을 설명하기 위해 간략하게 도시한 구성도이다.

[0081]

도 11을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 시스템은 기상 관측소(10)에서 측정된 국내 특정 도심지역, 예를 들면 오산 도심지역에서 측정된 기압, 온도 및 이슬점 온도를 포함하는 도심지역의 대기특성을 이용하여 대기 굴절률을 계산하는 대기 굴절률 산출부(20)를 포함한다.

[0082]

대기 굴절률 산출부(20)는 기상 관측소(10)에서 구현될 수도 있으며, 도 2와 같이, 공대공 상황에서 대기 굴절률 기율기에 따라 진행되는 전파 전송의 변화를 토대로 기상 관측소(10), 예를 들면 오산 기상 관측소에서 측정된 기압, 온도 및 이슬점 온도를 포함하는 대기특성을 이용하여 도 3과 같이 대기 굴절률을 계산할 수 있다.

- [0083] 또한, 대기 굴절률 산출부(20)를 통해 계산된 대기상태에 따른 대기 굴절률은 트릴리니어 모델링부(30)에 의해 모델링된다. 트릴리니어 모델링부(30)는 계산된 대기특성에 따른 대기 굴절률을 3개의 선형라인을 이용하여 도 4와 같이, 모델링한다.
- [0084] 국내 오산 기상 관측소에서 확인한 대다수의 대기 굴절률은 트릴리니어 모델을 사용하여 근사화시킬 수 있으며, 다양한 기상 현상의 변화를 각 선형 라인 of 기온기와 높이를 변화함으로써 AREPS에 입력할 수정 대기 굴절률을 쉽게 도출할 수 있다.
- [0085] 트릴리니어 모델링부(30)에서 모델링된 수정 대기 굴절률은 시나리오 구분부(40)에 의해 4가지 시나리오로 구분된다. 시나리오 구분부(40)는 도 5와 같이, 트릴리니어 모델링부(40)을 통해 모델링된 수정 대기 굴절률을 정상 대기(normal), 지표면 덕트(surface duct), 상층 덕트(elevated duct) 및 조합 대기 조건(combined atmospheric condition)의 대기와 같이 4가지 시나리오로 모사하여 구분한다.
- [0086] 전파 특성 분석부(50)는 특정 도심지역의 지형정보, 예컨대, DTED(Digital Terrain Elevation Data)로부터 추출된 오산 도심지역의 지형정보와, 안테나 방사패턴 모델링부(60)로부터 모델링된 장거리 탐지 레이더용 안테나의 방사패턴과, 시나리오 구분부(40)에서 구분된 4가지 시나리오에 대한 수정 대기 굴절률을 AREPS 상용 시뮬레이션 틀에 입력하여 장거리 탐지 레이더에 대한 전파 특성을 모델링하여 분석한다.
- [0087] 안테나 방사패턴 모델링부(60)는 AESA 레이더용 안테나의 패턴을 32×32의 총 1024개 등방성 배열 소자를 사용하여 x축의 간격 dx 는 0.475λ , y축의 간격 dy 는 0.538λ 로 y-shift하여 고정하는 방법으로 AESA 레이더용 안테나의 방사패턴을 도출한다.
- [0088] 한편, 발명의 실시예에 따른 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 시스템은 전파 특성 분석부(50)를 통해 모델링된 장거리 탐지 레이더의 전파 특성을 토대로 경로 손실을 분석하는 경로 손실 분석부(70)를 더 포함할 수 있다.
- [0089] 경로 손실 분석부(70)는 모델링된 장거리 탐지 레이더에 대한 전파 특성 모델링을 대기 굴절률의 트랩(trap)의 높이와 두께를 변화시켜가면서, 도 10과 같이, 고고도에서 전면방향 표적 위치에 대한 경로 손실값을 분석하여 표적 탐지 성능을 분석한다.
- [0091] 이상에서 설명된 본 발명의 실시예에 따른 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 방법은 도 11에 도시된 시스템에서 실행될 수 있다. 예를 들어, 컴퓨터에 의해 실행되는 프로그램 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행 가능한 기록 매체의 형태(또는 컴퓨터 프로그램 제품)로 구현될 수 있다. 여기에서, 컴퓨터 판독 가능 매체라 함은 컴퓨터 저장 매체(예를 들어, 메모리, 하드디스크, 자기/광학 매체 또는 SSD(Solid-State Drive) 등)를 포함할 수 있다. 그리고, 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있는데, 예를 들어, 휘발성 및 비휘발성 매체, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다.
- [0092] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 고층 기상에 따른 장거리 탐지 레이더의 전파 특성 분석 방법은 전체 또는 일부가 컴퓨터에 의해 실행 가능한 명령어를 포함하며, 컴퓨터 프로그램은 프로세서에 의해 처리되는 프로그래밍 가능한 기계 명령어를 포함하고, 고레벨 프로그래밍언어(High-level Programming Language), 객체 지향 프로그래밍 언어(Object-oriented Programming Language), 어셈블리 언어 또는 기계 언어 등으로 구현될 수 있다.
- [0094] 상기에서, 본 발명의 바람직한 실시 예가 특정 용어들을 사용하여 설명 및 도시되었지만 그러한 용어는 오로지 본 발명을 명확하게 설명하기 위한 것일 뿐이며, 본 발명의 실시 예 및 기술된 용어는 다음의 청구범위의 기술적 사상 및 범위로부터 이탈되지 않고서 여러 가지 변경 및 변화가 가해질 수 있는 것은 자명한 일이다. 이와 같이 변형된 실시 예들은 본 발명의 사상 및 범위로부터 개별적으로 이해되어져서는 안 되며, 본 발명의 청구범위 안에 속한다고 해야 할 것이다.

부호의 설명

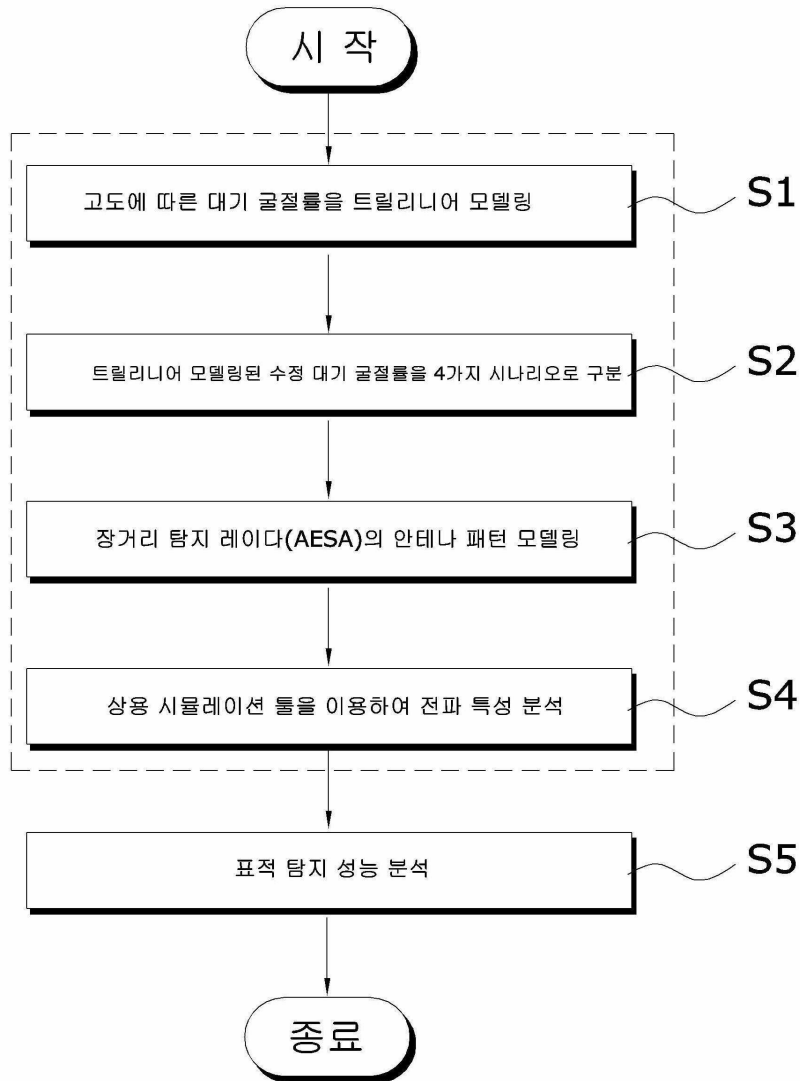
- [0096] 10 : 기상 관측소
- 20 : 대기 굴절률 산출부
- 30 : 트릴리니어 모델링부
- 40 : 시나리오 구분부
- 50 : 전파 특성 분석부

60 : 안테나 방사패턴 모델링부

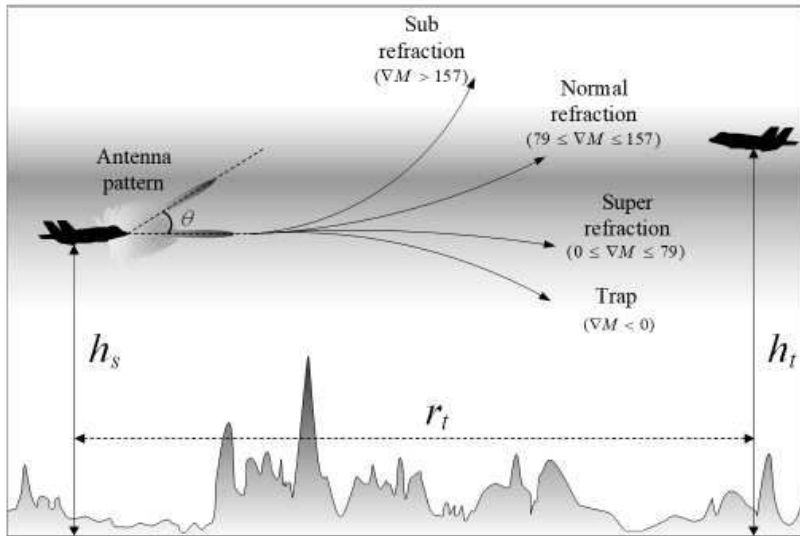
70 : 경로 손실 분석부

도면

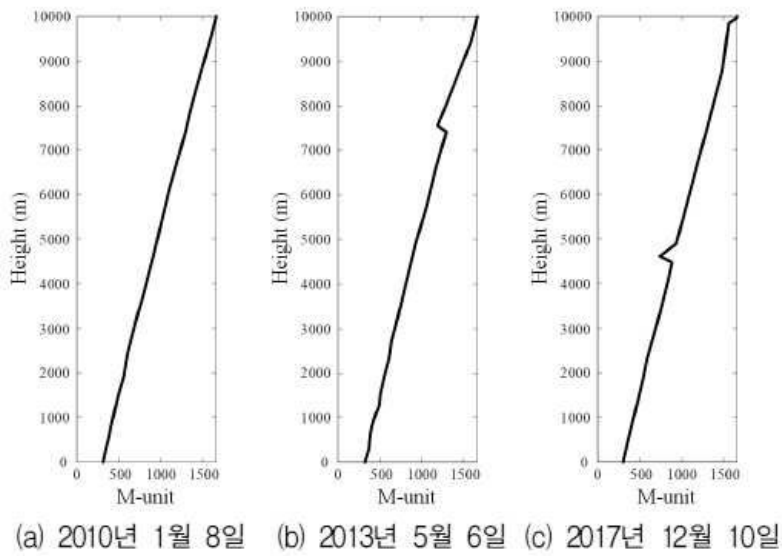
도면1



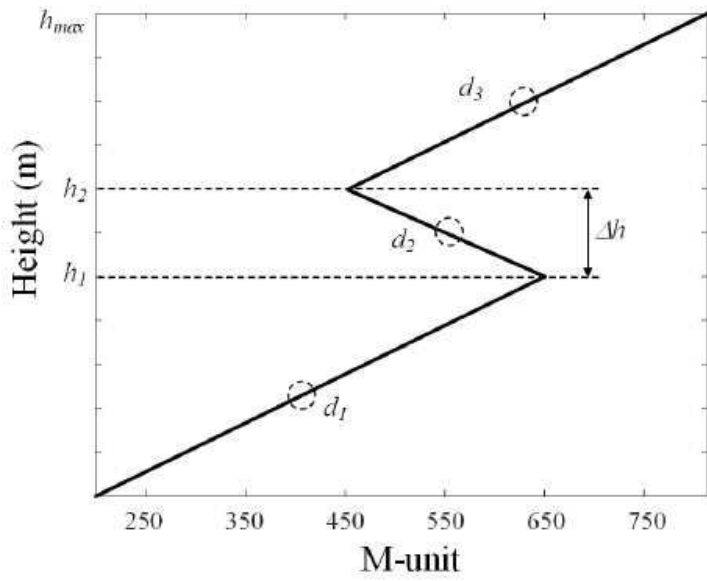
도면2



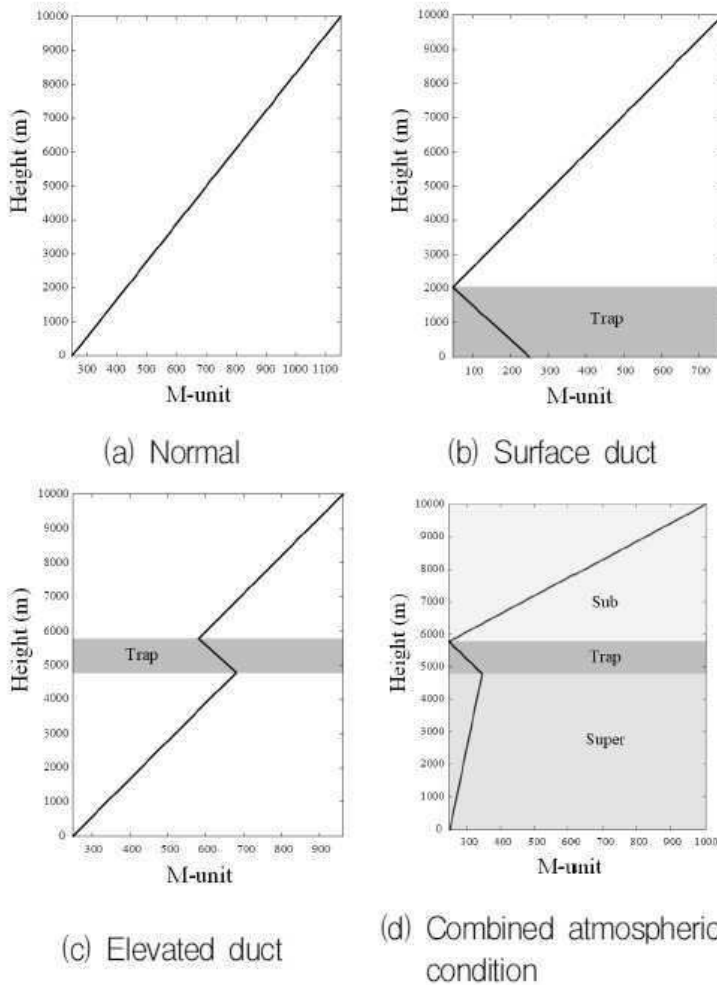
도면3



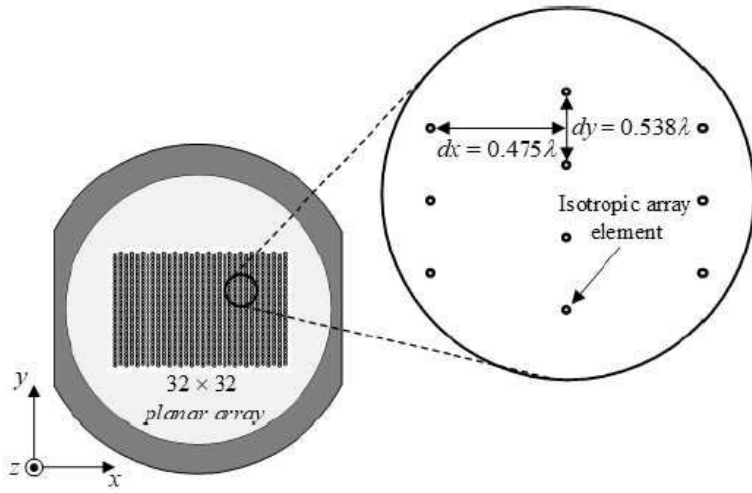
도면4



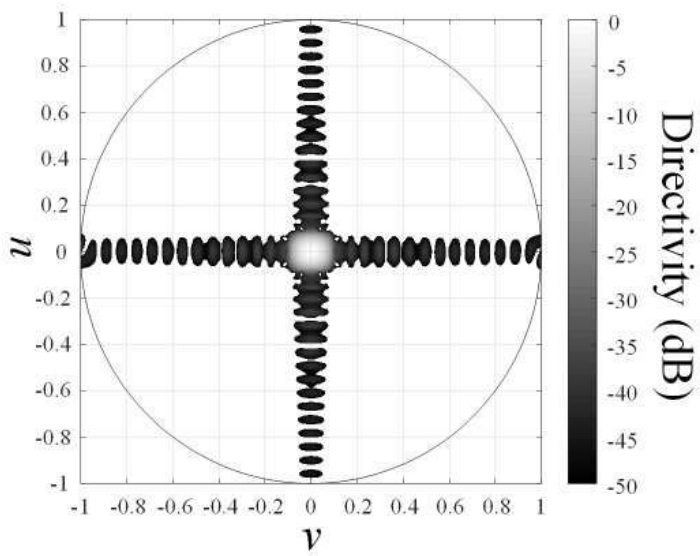
도면5



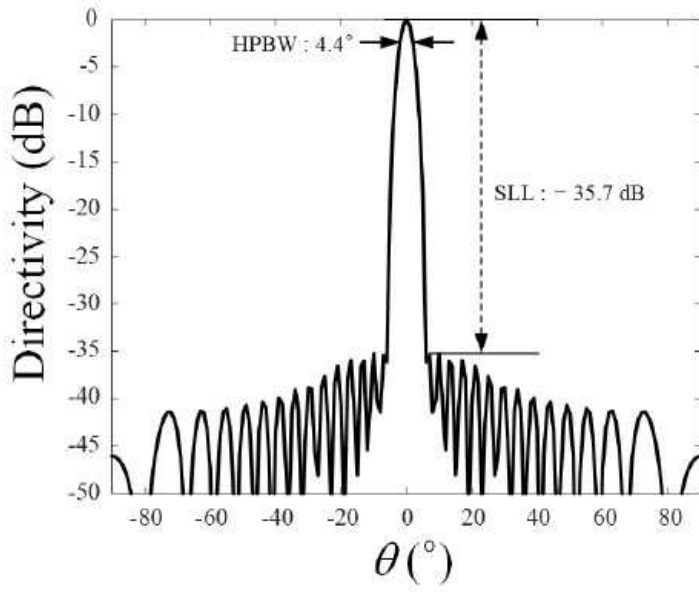
도면6



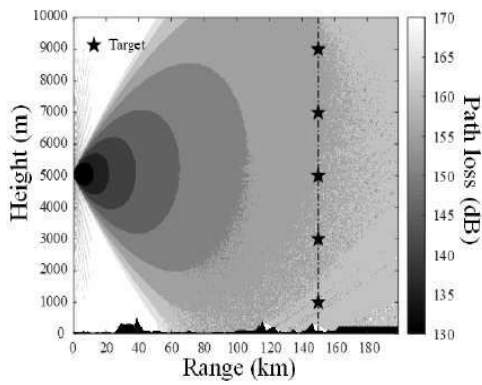
도면7



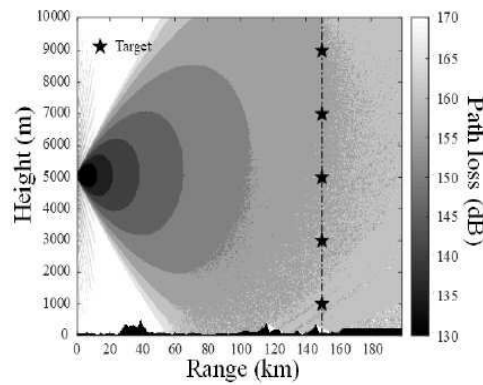
도면8



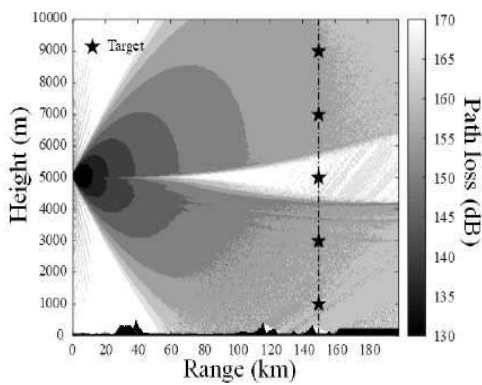
도면9



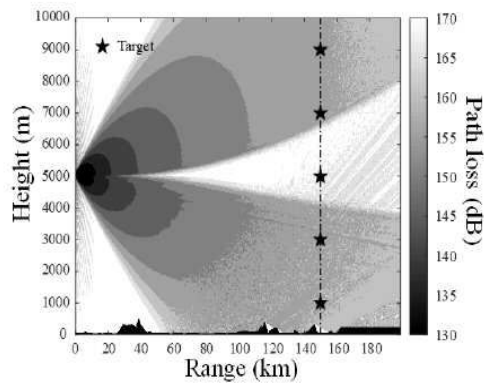
(a) Normal 대기 시뮬레이션 결과



(b) Surface duct 대기 시뮬레이션 결과

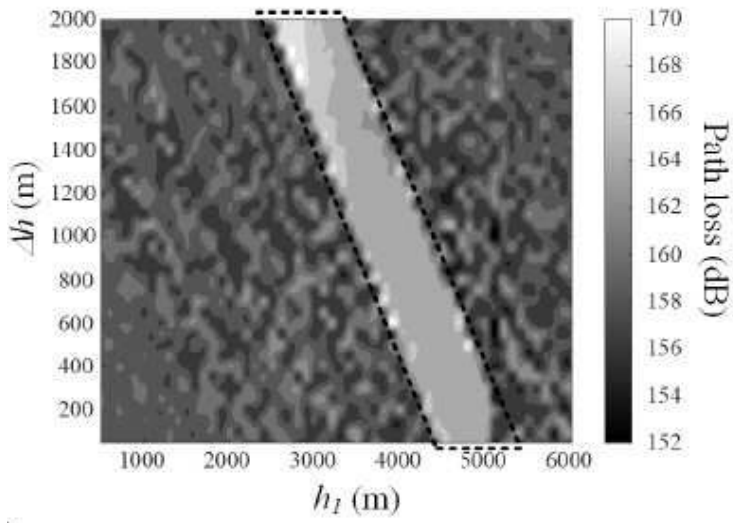


(c) Elevated duct 대기 시뮬레이션 결과



(d) Combined atmospheric condition 대기 시뮬레이션 결과

도면10



도면11

