



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0051406
(43) 공개일자 2024년04월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01W 1/10 (2006.01) G01S 13/50 (2006.01)
G01S 13/95 (2006.01) G01W 1/00 (2006.01)
G06F 17/11 (2006.01) G06Q 50/26 (2024.01)
G08B 21/18 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01W 1/10 (2013.01)
G01S 13/505 (2021.01)

(21) 출원번호 10-2022-0131025

(22) 출원일자 2022년10월13일

심사청구일자 2022년10월13일

(71) 출원인

인천대학교 산학협력단

인천광역시 연수구 갯벌로 27, 인천대학교 이노베이션센터(송도동)

(72) 발명자

이종길

인천광역시 연수구 컨벤시아대로274번길 35, 220 2동 202호(송도동, 송도 더샵 마스터뷰 22BL)

(74) 대리인

특허법인충정

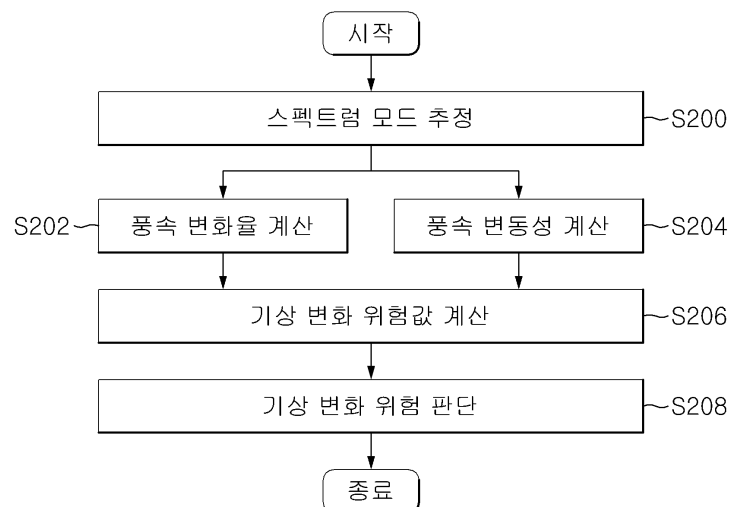
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법은, (A) 도플러 기상 레이더 수신 신호에 기반하여 도플러 스펙트럼 모드를 추정하는 단계; (B) 추정된 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 풍속의 변화율을 계산하는 단계; (C) 상기 추정된 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 풍속의 변동성을 계산하는 단계; 및 (D) 상기 풍속의 변화율 및 상기 풍속의 변동성에 기반하여 기상 변화 위험값을 계산하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G01S 13/95 (2013.01)

G06F 17/11 (2013.01)

G06Q 50/26 (2024.01)

G08B 21/182 (2013.01)

G01W 2001/003 (2013.01)

G01W 2201/00 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치에서 수행되는 방법으로서,

- (A) 도플러 기상 레이더 수신 신호에 기반하여 도플러 스펙트럼 모드를 추정하는 단계;
- (B) 추정된 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 풍속의 변화율을 계산하는 단계;
- (C) 상기 추정된 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 풍속의 변동성을 계산하는 단계; 및
- (D) 상기 풍속의 변화율 및 상기 풍속의 변동성에 기반하여 기상 변화 위험값을 계산하는 단계를 포함하는, 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 단계 (A)는,

- (A-1) 상기 도플러 기상 레이더 수신 신호의 도플러 전력 스펙트럼을 획득하는 단계; 및
- (A-2) 상기 도플러 전력 스펙트럼의 첨두치들 중 최댓값 및 두번째로 큰 첨두치들 각각에 해당하는 도플러 주파수들을 도플러 스펙트럼 모드로서 획득하는 단계를 포함하는, 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 단계 (B)에서 상기 풍속의 변화율(GR)은,

[수학식 4]

$$GR = \text{Gradient of wind speed} = \Delta V / \Delta R \quad \text{에 기반하여 계산되고,}$$

ΔR 은 거리 셀들 간의 거리를 나타내고, ΔV 는 해당 거리 셀들 간의 풍속의 차이를 나타내며, 상기 해당 거리 셀들 간의 풍속의 차이는 상기 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 계산되는, 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법.

청구항 4

청구항 2에 있어서,

상기 단계 (C)에서 상기 풍속의 변동성(FL)은,

[수학식 5]

$$FL = \sqrt{\sum_{l=1}^K (\hat{V}_l - \bar{V})^2 / K} \quad \text{에 기반하여 계산되고,}$$

$\hat{V}_l$ 은 거리 셀 l에서의 도플러 주파수 추정에 의한 풍속 추정치를 나타내고, $\bar{V}$ 는 K개의 해당 거리영역 셀들에서의 평균 풍속 값을 나타내며,

상기 풍속 추정치 및 상기 평균 풍속 값은 상기 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 계산되는, 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 단계 (D)에서, 상기 기상 변화 위험값(RV)은,

[수학식 6]

$$RV = \sqrt{(NFL)^2 + (NGR)^2}$$

에 기반하여 계산되고,

NFR 및 NGR은 각각 최대치를 1로 정규화한 상기 풍속의 변화율(GR) 및 상기 풍속의 변동성(FL)을 나타내는, 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 단계 (D) 이후에,

(E) 상기 기상 변화 위험값(RV)이 소정 값 이상인 경우, 기상 변화 위험이 발생한 것으로 판단하여 기상 위험 경보를 발생하는 단계를 더 포함하는, 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법.

청구항 7

도플러 기상 레이더 수신 신호에 기반하여 도플러 스펙트럼 모드를 추정하는 스펙트럼 모드 추정부;

추정된 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 풍속의 변화율을 계산하는 풍속 변화율 계산부;

상기 추정된 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 풍속의 변동성을 계산하는 풍속 변동성 계산부; 및

상기 풍속의 변화율 및 상기 풍속의 변동성에 기반하여 기상 변화 위험값을 계산하는 기상 변화 위험값 계산부를 포함하는, 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 스펙트럼 모드 추정부는,

(A-1) 상기 도플러 기상 레이더 수신 신호의 도플러 전력 스펙트럼을 획득하는 동작; 및

(A-2) 상기 도플러 전력 스펙트럼의 첨두치들 중 최댓값 및 두번째로 큰 첨두치들 각각에 해당하는 도플러 주파수들을 도플러 스펙트럼 모드로서 획득하는 동작을 수행하는, 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 풍속의 변화율(GR)은,

[수학식 4]

$$GR = \text{Gradient of wind speed} = \Delta V / \Delta R$$

에 기반하여 계산되고,

ΔR 은 거리 셀들 간의 거리를 나타내고, ΔV 는 해당 거리 셀들 간의 풍속의 차이를 나타내며, 상기 해당 거리 셀들 간의 풍속의 차이는 상기 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 계산되는, 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치.

청구항 10

청구항 8에 있어서,

상기 풍속의 변동성(FL)은,

[수학식 5]

$$FL = \sqrt{\sum_{l=1}^K (\hat{V}_l - \bar{V})^2 / K}$$

에 기반하여 계산되고,

$\hat{V}_l$ 은 거리 셀 l에서의 도플러 주파수 추정에 의한 풍속 추정치를 나타내고, $\bar{V}$ 는 K개의 해당 거리영역 셀들에서의 평균 풍속 값을 나타내며,

상기 풍속 추정치 및 상기 평균 풍속 값은 상기 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 계산되는, 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

상기 기상 변화 위험값(RV)은,

[수학식 6]

$$RV = \sqrt{(NFR)^2 + (NGR)^2}$$

에 기반하여 계산되고,

NFR 및 NGR은 각각 최대치를 1로 정규화한 상기 풍속의 변화율(GR) 및 상기 풍속의 변동성(FL)을 나타내는, 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 기상 변화 위험값(RV)이 소정 값 이상인 경우, 기상 변화 위험이 발생한 것으로 판단하여 기상 위험 경보를 발생하는 기상 변화 위험 판단부를 더 포함하는, 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 전자파를 활용한 민수용 기상 레이더 시스템은 지금까지 다양한 목적으로 널리 활용되어왔다. 현재 우리나라에서 운용되고 있는 대부분의 기상 레이더는 중장거리용으로 매우 넓은 영역에 걸친 기상 상황을 파악하는 목적으로 유용하게 활용되고 있다. 그러나 최근에 자주 발생되고 있는 국지적 기상이변 현상 등의 탐지 및 예보, 조기경보 등의 목적에는 적합하지 않다. 따라서 기존의 중장거리 기상 레이더로 파악하기 어려운 영역들을 국지적인 기상 레이더들을 이용하여 더 세밀하게 보완할 수 있는 방법들이 지속적으로 연구되고 있다.

[0003] 이러한 단거리 기상 레이더 시스템이 담당하는 영역은 기존의 중장거리 레이더로 관측이 어려운 저고도 및 매우 소규모로 발생하는 돌풍 등의 급변하는 기상 현상들이다. 따라서 빠른 기상신호 획득 및 처리뿐만 아니라 높은 해상도가 요구된다. 또한 저고도 탐지의 특성상 강력한 지표면 클러터(clutter)의 영향을 받게 된다. 특히 지역적으로 발생하는 돌풍 및 풍속의 급변 현상에 의하여 발생할 수 있는 헬기 및 항공기 등의 사고나 인명피해 및 재산손실 등을 방지하기 위해서는 이러한 풍속의 변화정도를 신속하게 탐지하여 조기에 위험 영역에 대한 정보

를 알려주는 것이 매우 중요하다. 따라서 이러한 목적의 기상 레이더에서는 탐지 영역의 공백을 메우기 위하여 저고도 탐지가 가능하여야 할뿐만 아니라 빠른 기상 변화 현상을 실시간으로 파악하여 급변하는 풍속 정보들에 의한 특징적인 현상을 추출하여 재난예보나 위험사항들을 사전에 알려줄 수 있어야 할 것이다.

[0004] 앞에서 언급한 바와 같이 이러한 목적의 국지적인 기상 레이더의 경우 저고도 탐지가 필수적인데 시스템 운용환경을 고려하여 보면 우리나라의 지형 특성상 강력한 지표면 반사에 의한 클러터가 기상정보를 왜곡시킬 가능성이 매우 높다. 또한 풍속 정보는 일반적으로 기상 반사 신호의 도플러 전력 스펙트럼에서의 평균 도플러 주파수값을 계산하여 해당 영역에서의 풍속으로 나타내고 있으나 잔존하는 강력한 클러터에 의해 매우 큰 오차가 발생할 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) KR 10-1330846 B1

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 강력한 지표면 클러터에 거의 영향을 받지 않으면서 돌풍 및 풍속 전단현상 등의 급변하는 기상 위험 등을 신속하게 탐지하여 조기에 풍속의 위험 현상들을 알려줄 수 있음으로써, 돌풍 및 풍속의 급변 현상에 의하여 발생할 수 있는 헬기 및 항공기 등의 사고나 인명피해 및 재산손실 등을 방지할 수 있는, 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

[0007] 또한, 본 발명이 해결하고자 하는 다른 과제는 빠른 기상 변화 현상을 실시간으로 파악하여 급변하는 풍속 정보들에 의한 특징적인 현상을 추출하여 재난 예보나 위험 사항들을 사전에 알려줄 수 있는, 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법은, 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치에서 수행되는 방법으로서,

[0009] (A) 도플러 기상 레이더 수신 신호에 기반하여 도플러 스펙트럼 모드를 추정하는 단계;

[0010] (B) 추정된 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 풍속의 변화율을 계산하는 단계;

[0011] (C) 상기 추정된 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 풍속의 변동성을 계산하는 단계; 및

[0012] (D) 상기 풍속의 변화율 및 상기 풍속의 변동성에 기반하여 기상 변화 위험값을 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법에 있어서, 상기 단계 (A)는,

[0014] (A-1) 상기 도플러 기상 레이더 수신 신호의 도플러 전력 스펙트럼을 획득하는 단계; 및

[0015] (A-2) 상기 도플러 전력 스펙트럼의 첨두치들 중 최댓값 및 두번째로 큰 첨두치들 각각에 해당하는 도플러 주파수들을 도플러 스펙트럼 모드로서 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법에 있어서, 상기 단계 (B)에서 상기 풍속의 변화율(GR)은,

[0017] [수학식 4]

[0018] $GR = \text{Gradient of wind speed} = \Delta V / \Delta R$ 에 기반하여 계산되고,

[0019] ΔR 은 거리 셀들 간의 거리를 나타내고, ΔV 는 해당 거리 셀들 간의 풍속의 차이를 나타내며, 상기 해당 거

리 셀들 간의 풍속의 차이는 상기 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 계산될 수 있다.

또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법에 있어서, 상기 단계 (C)에서 상기 풍속의 변동성(FL)은,

[수학식 5]

$$FL = \sqrt{\sum_{l=1}^K (\hat{V}_l - \bar{V})^2 / K}$$

에 기반하여 계산되고,

$\hat{V}_l$ 은 거리 셀 l에서의 도플러 주파수 추정치에 의한 풍속 추정치를 나타내고, $\bar{V}$ 는 K개의 해당 거리영역 셀들에서의 평균 풍속 값을 나타내며,

상기 풍속 추정치 및 상기 평균 풍속 값은 상기 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 계산될 수 있다.

또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법에 있어서, 상기 단계 (D)에서, 상기 기상 변화 위험값(RV)은,

[수학식 6]

$$RV = \sqrt{(NFL)^2 + (NGR)^2}$$

에 기반하여 계산되고,

NFR 및 NGR은 각각 최대치를 1로 정규화한 상기 풍속의 변화율(GR) 및 상기 풍속의 변동성(FL)을 나타낼 수 있다.

또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법은, 상기 단계 (D) 이후에,

(E) 상기 기상 변화 위험값(RV)이 소정 값 이상인 경우, 기상 변화 위험이 발생한 것으로 판단하여 기상 위험 경보를 발생하는 단계를 더 포함할 수 있다.

상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치는,

도플러 기상 레이더 수신 신호에 기반하여 도플러 스펙트럼 모드를 추정하는 스펙트럼 모드 추정부;

추정된 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 풍속의 변화율을 계산하는 풍속 변화율 계산부;

상기 추정된 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 풍속의 변동성을 계산하는 풍속 변동성 계산부; 및

상기 풍속의 변화율 및 상기 풍속의 변동성에 기반하여 기상 변화 위험값을 계산하는 기상 변화 위험값 계산부를 포함할 수 있다.

본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치에 있어서, 상기 스펙트럼 모드 추정부는,

(A-1) 상기 도플러 기상 레이더 수신 신호의 도플러 전력 스펙트럼을 획득하는 동작; 및

(A-2) 상기 도플러 전력 스펙트럼의 첨두치들 중 최댓값 및 두번째로 큰 첨두치들 각각에 해당하는 도플러 주파수들을 도플러 스펙트럼 모드로서 획득하는 동작을 수행할 수 있다.

또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치에 있어서, 상기 풍속의 변화율(GR)은,

[수학식 4]

$$GR = \text{Gradient of wind speed} = \Delta V / \Delta R$$

에 기반하여 계산되고,

ΔR 은 거리 셀들 간의 거리를 나타내고, ΔV 는 해당 거리 셀들 간의 풍속의 차이를 나타내며, 상기 해당 거

리 셀들 간의 풍속의 차이는 상기 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 계산될 수 있다.

[0043] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치에 있어서, 상기 풍속의 변동성(FL)은,

[0044] [수학식 5]

$$FL = \sqrt{\sum_{l=1}^K (\hat{V}_l - \bar{V})^2 / K}$$

[0045] 에 기반하여 계산되고,

[0046] $\hat{V}_l$ 은 거리 셀 l에서의 도플러 주파수 추정에 의한 풍속 추정치를 나타내고, $\bar{V}$ 는 K개의 해당 거리영역 셀들에서의 평균 풍속 값을 나타내며,

[0047] 상기 풍속 추정치 및 상기 평균 풍속 값은 상기 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 계산될 수 있다.

[0048] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치에 있어서, 상기 기상 변화 위험값(RV)은,

[0049] [수학식 6]

$$RV = \sqrt{(NFL)^2 + (NGR)^2}$$

[0050] 에 기반하여 계산되고,

[0051] NFR 및 NGR은 각각 최대치를 1로 정규화한 상기 풍속의 변화율(GR) 및 상기 풍속의 변동성(FL)을 나타낼 수 있다.

[0052] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치는, 상기 기상 변화 위험값(RV)이 소정 값 이상인 경우, 기상 변화 위험이 발생한 것으로 판단하여 기상 위험 경보를 발생하는 기상 변화 위험 판단부를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0053] 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법 및 장치에 의하면, 강력한 지표면 클러터에 거의 영향을 받지 않으면서 돌풍 및 풍속 전단현상 등의 급변하는 기상 위험 등을 신속하게 탐지하여 조기에 풍속의 위험 현상들을 알려줄 수 있음으로써, 돌풍 및 풍속의 급변 현상에 의하여 발생할 수 있는 헬기 및 항공기 등의 사고나 인명피해 및 재산손실 등을 방지할 수 있다

[0054] 또한, 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법 및 장치에 의하면, 빠른 기상 변화 현상을 실시간으로 파악하여 급변하는 풍속 정보들에 의한 특징적인 현상을 추출하여 재난 예보나 위험 사항들을 사전에 알려줄 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0055] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치의 블록도.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법의 흐름도.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법이 수행될 수 있는 장치의 블록도.

도 4는 SCR 값이 0dB인 경우 기상 도플러 스펙트럼의 모드 추정을 도시한 도면.

도 5는 SCR 값이 -10dB인 경우 기상 도플러 스펙트럼의 모드 추정을 도시한 도면.

도 6은 SCR 값이 0dB인 경우 25개의 거리 방 별 정확한 풍속 정보와 FFT 추정값들을 도시한 도면.

도 7은 SCR 값이 0dB인 경우 25개의 거리 방 별 강한 모드 추정값과 약한 모드 추정값을 도시한 도면.

도 8은 SCR 값이 -10dB인 경우 25개의 거리 방 별 정확한 풍속 정보와 FFT 추정값들을 도시한 도면.

도 9는 SCR 값이 -10dB인 경우 25개의 거리 방 별 강한 모드 추정값과 약한 모드 추정값을 도시한 도면.

도 10은 SCR 값이 10dB인 경우 상이한 절대 최대 풍속을 갖는 15개의 케이스들에 대한 20개의 거리 방의 모드 추정으로부터 계산된 변화율 및 변동값을 도시한 도면. 본 발명의 실시예에서, 거리 방 또는 거리 셀은 동일한 의미로 사용될 수 있으며, 병용하여 사용될 수 있다.

도 11은 SCR 값이 10dB인 경우 상이한 절대 최대 풍속을 갖는 15개의 케이스들에 대한 정규화된 변화율 및 변동값을 도시한 도면.

도 12는 SCR 값이 0dB인 경우 상이한 절대 최대 풍속을 갖는 15개의 케이스들에 대한 20개의 거리 방의 모드 추정으로부터 계산된 변화율 및 변동값을 도시한 도면.

도 13은 SCR 값이 0dB인 경우 상이한 절대 최대 풍속을 갖는 15개의 케이스들에 대한 정규화된 변화율 및 변동값을 도시한 도면.

도 14는 SCR 값이 -10dB인 경우 상이한 절대 최대 풍속을 갖는 15개의 케이스들에 대한 20개의 거리 방의 모드 추정으로부터 계산된 변화율 및 변동값을 도시한 도면.

도 15는 SCR 값이 -10dB인 경우 상이한 절대 최대 풍속을 갖는 15개의 케이스들에 대한 정규화된 변화율 및 변동값을 도시한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0056] 본 발명의 목적, 특정한 장점들 및 신규한 특징들은 첨부된 도면들과 연관되어지는 이하의 상세한 설명과 바람직한 실시예들로부터 더욱 명백해질 것이다.

[0057] 이에 앞서 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이고 사전적인 의미로 해석되어서는 아니되며, 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합되는 의미와 개념으로 해석되어야 한다.

[0058] 본 명세서에서 각 도면의 구성요소들에 참조번호를 부가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 한해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 번호를 가지도록 하고 있음에 유의하여야 한다.

[0059] 또한, "제1", "제2", "일면", "타면" 등의 용어는, 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로, 구성요소가 상기 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다.

[0060] 이하, 본 발명을 설명함에 있어, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 관련된 공지 기술에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0061] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시형태를 상세히 설명하기로 한다.

[0062] 대부분의 기상 레이더 시스템은 중장거리용으로 매우 넓은 지역의 전체적인 기상 현상을 파악하는 목적으로 사용된다. 그러나 최근에 와서는 국지적인 재난현상의 빈발 가능성이 높아짐에 따라 국지적인 기상 레이더를 활용한 기상이변 현상의 탐지가 매우 중요한 문제이다. 따라서 이러한 국지적인 기상 이변 탐지목적의 기상 레이더는 저고도 탐지 및 급변하는 기상상황의 빠른 탐지가 필요하다. 또한 상대적으로 지표면 클러터가 큰 영향을 미치게 된다.

[0063] 따라서 본 발명에서에서는 풍속의 변화정도 및 거리에 따른 풍속의 변화율을 이용하여 돌풍 및 풍속 전단현상 등의 급변하는 기상 위험 등을 탐지할 수 있는 방법을 제안하고 분석하였다. 제안한 방법은 탐지과정에서의 지표면 클러터에 의한 영향을 최소화할 수 있고 빠른 탐지를 위한 간단한 알고리즘 구현이 가능한 방식으로 하여 후 기상변화 탐지에 유용하게 활용될 수 있음을 보였다.

[0064] 실제로 풍속의 급변 현상 등을 파악하기 위해서는 해당영역의 도플러 스펙트럼의 모드(mode)인 첨두치를 추정하여 풍속의 변화 정도를 탐지하는 것이 효율적이기 때문에, 본 발명에서는 이러한 급변하는 풍속에 의한 기상 위험 또는 기상 변화 현상의 탐지를 위하여 저고도 탐지용 국지적 기상 레이더에서의 풍속 정보를 보여주는 도플러 전력 스펙트럼에서의 모드들을 추정함으로써 기상변화에 따른 위험 현상의 조기 탐지 방법을 제안하였다. 제안한 방법을 적용하면 강력한 지표면 또는 산악에 의한 클러터가 존재하는 경우에도 풍속의 변화 정도를 매우 정확하게 파악하여 기상 변화에 의한 위험 현상을 조기에 탐지할 수 있는 가능성을 제시하였다.

[0066] 기상 신호에서의 도플러 주파수 추정

[0067] 기상 신호에서의 도플러 주파수 추정 기상 레이더 시스템에 수신되는 전자파 반사 신호는 눈, 비, 우박 등의 강우입자 및 대기 중의 먼지 입자의 산란에 의하여 일어난다. 그러므로 이러한 기상신호로부터 풍속 정보를 추출하기 위해서는 일반적으로 수신 도플러 전력 스펙트럼의 평균 도플러 주파수를 다음과 같이 계산하여 추정한다.

수학식 1

$$\hat{f}_d = \frac{\sum_{i=1}^N f_i \hat{s}(f_i)}{\sum_{i=1}^N \hat{s}(f_i)}$$

[0068]

[0069] 수학식 1에서의 $\hat{s}(f_i)$ 는 추정된 도플러 전력 스펙트럼을 나타낸다. 이러한 풍속 정보는 전체적인 도플러 스펙트럼 추정을 하지 않더라도 펄스 페어(pulse pair) 추정이라 불리는 방법을 적용하여 샘플링 시각, T_s 에서의 자기상관(autocorrelation) 추정치를 이용하여 수학식 2와 같이 구할 수도 있는데 알고리즘이 간단하고 연산량이 작기 때문에 아직도 많은 기상 레이더에서 활용되고 있는 방법이다.

수학식 2

$$\hat{f}_{pp} = \frac{1}{2\pi T_s} \arg[\hat{R}(T_s)]$$

[0070]

[0071] 수학식 2에서의 $\arg$ 는 복소 자기상관 추정 값의 래디안으로 표시되는 위상을 의미하며 자기 상관 추정치, $\hat{R}$ 는 수신되는 시간 영역 기상 신호, S 의 펄스열들로부터 다음과 같이 추정할 수 있다.

수학식 3

$$\hat{R}(T_s) = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} S^*(iT) S(iT + T_s)$$

[0072]

[0073] 수학식 3에서의 $*$ 는 켈레 복소수를 의미하며 T 및 T_s 는 각각 펄스열들 및 펄스 간의 간격을 표시한다. 그러나 이러한 방법들을 저고도 기상 탐지가 주목적인 국지적 기상 레이더에 적용할 경우에는 잔존하는 강력한 지표면 클러터로 인하여 도플러 주파수 및 풍속정보 추정에 심각한 왜곡을 발생 시킬 수 있다.

[0074] 강력한 지표면이나 산악 클러터에 의한 반사파 전력이 기상 신호 전력에 비하여 커질수록 SCR(signal-to-clutter ratio)이 낮아지게 되며 이러한 경우 추정 오차는 더 커지게 된다. 그런데 눈, 비등의 강우입자들에 의한 기상신호의 반사전력이 나타나지 않고 대기 중의 먼지 입자 등에 의한 반사전력만을 얻을 수 있는 경우와 같은 맑은 날씨의 시스템 운용 상황에서는 매우 낮은 SCR 값이 나타날 수 있다.

[0075] 이러한 상황에서의 FFT(Fast Fourier Transform) 또는 펄스 페어 추정에 의한 풍속 정보는 거의 무의미한 값을 가지게 된다. 따라서 본 발명에서는 이러한 문제점을 극복하기 위하여 도플러 스펙트럼의 모드인 침두치 값의 도플러 주파수를 추정함으로써 풍속의 변화정도를 탐지할 수 있는 기법을 제안하였다.

[0076] 강력한 지표면 클러터가 존재하지 않는 경우에도 이러한 도플러 모드 추정은 매우 중요한 의미를 가지는데 이는 해당 영역의 풍속정보를 대표하는 값은 일반적으로 평균 도플러 주파수가 아닌 모드 도플러 주파수 값에 의해

결정된다고 보는 것이 보다 더 합리적이다.

- [0077] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치의 블록도이다.
- [0078] 도 1에 도시된 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치(100)는, 도플러 기상 레이더 수신 신호에 기반하여 도플러 스펙트럼 모드를 추정하는 스펙트럼 모드 추정부(102), 추정된 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 풍속의 변화율을 계산하는 풍속 변화율 계산부(104), 상기 추정된 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 풍속의 변동성을 계산하는 풍속 변동성 계산부(106), 상기 풍속의 변화율 및 상기 풍속의 변동성에 기반하여 기상 변화 위험값을 계산하는 기상 변화 위험값 계산부(108), 및 상기 기상 변화 위험값(RV)이 소정의 값 이상인 경우, 기상 변화 위험이 발생한 것으로 판단하여 기상 위험 경보를 발생시키는 기상 변화 위험 판단부(110)를 포함할 수 있다.
- [0079] 상기 스펙트럼 모드 추정부(102)는, 상기 도플러 기상 레이더 수신 신호의 도플러 전력 스펙트럼을 획득하는 동작 및 상기 도플러 전력 스펙트럼의 첨두치들 중 최대값 및 두번째로 큰 첨두치들 각각에 해당하는 도플러 주파수들을 도플러 스펙트럼 모드로서 획득하는 동작을 수행할 수 있다.
- [0080] 한편, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법의 흐름도이다.
- [0081] 도 1 및 도 2를 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치 및 방법에 대해 설명하기로 한다.
- [0082] 단계 S200에서, 스펙트럼 모드 추정부(102)는 도플러 기상 레이더 수신 신호에 기반하여 도플러 스펙트럼 모드를 추정할 수 있다.
- [0083] 단계 S202에서, 풍속 변화율 계산부(104)는 추정된 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 풍속의 변화율을 계산할 수 있다.
- [0084] 단계 S204에서, 풍속 변동성 계산부(106)는 상기 추정된 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 풍속의 변동성을 계산할 수 있다.
- [0085] 단계 S206에서, 기상 변화 위험값 계산부(108)는 상기 풍속의 변화율 및 상기 풍속의 변동성에 기반하여 기상 변화 위험값을 계산할 수 있다.
- [0086] 단계 S208에서, 기상 변화 위험 판단부(110)는 상기 기상 변화 위험값(RV)이 소정의 값 이상인 경우, 기상 변화 위험이 발생한 것으로 판단하여 기상 위험 경보를 발생시킬 수 있다.
- [0087] 한편, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법이 수행될 수 있는 본 발명의 다른 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치(300)를 도시한 것이다.
- [0088] 도 3에 도시된 다른 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치(300)는, 도플러 기상 레이더 수신 신호를 수신하는 인터페이스부(302), 상기 도플러 기상 레이더 수신 신호에 기반하여 도플러 스펙트럼 모드를 추정하는 동작, 추정된 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 풍속의 변화율을 계산하는 동작, 상기 추정된 도플러 스펙트럼 모드에 기반하여 풍속의 변동성을 계산하는 동작, 상기 풍속의 변화율 및 상기 풍속의 변동성에 기반하여 기상 변화 위험값을 계산하는 동작, 및 상기 기상 변화 위험값(RV)이 소정의 값 이상인 경우, 기상 변화 위험이 발생한 것으로 판단하여 기상 위험 경보를 발생시키는 동작을 수행하도록 구성된 프로세서(304) 및 도 2에 도시된 본 발명의 일 실시예에 의한 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 방법을 수행하기 위한 명령어들을 저장하고 있는 메모리(306)를 포함할 수 있다.
- [0089] 메모리(306)는 프로세서(304)와 동작 시 연결될 수 있고, 프로세서(304)의 처리 및 제어를 위한 프로그램 및/또는 명령어들을 저장할 수 있고, 본 발명에서 사용되는 데이터와 정보, 본 발명에 따른 데이터 및 정보 처리를 위해 필요한 제어 정보, 데이터 및 정보 처리 과정에서 발생하는 임시 데이터 등을 저장할 수 있다. 메모리(306)는 ROM(Read Only Memory), RAM(Random Access Memory), EPROM(Erasable Programmable Read Only Memory), EEPROM(Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory), 플래시(flash) 메모리, SRAM(Static RAM), HDD(Hard Disk Drive), SSD(Solid State Drive) 등과 같은 저장 장치로서 구현될 수 있다.
- [0090] 프로세서(304)는 메모리(306) 및/또는 인터페이스부(302)와 동작 시 연결(operatively connected)될 수 있고, 장치(300) 내 각 구성요소의 동작을 제어한다. 특히, 프로세서(304)는 본 발명의 제안 방법을 수행하기 위한 각종 제어 기능을 수행할 수 있다. 프로세서(304)는 컨트롤러(controller), 마이크로 컨트롤러(microcontroller), 마이크로 프로세서(microprocessor), 마이크로 컴퓨터(microcomputer) 등으로도 불릴 수

있다. 본 발명의 제안 방법은 하드웨어(hardware) 또는 펌웨어(firmware), 소프트웨어, 또는 이들의 결합에 의해 구현될 수 있다. 하드웨어를 이용하여 본 발명을 구현하는 경우에는, 본 발명을 수행하도록 구성된 ASIC(application specific integrated circuit) 또는 DSP(digital signal processor), DSPD(digital signal processing device), PLD(programmable logic device), FPGA(field programmable gate array) 등이 프로세서(304)에 구비될 수 있다. 한편, 펌웨어나 소프트웨어를 이용하여 본 발명의 제안 방법을 구현하는 경우에는 펌웨어나 소프트웨어는 본 발명의 제안 방법을 구현하는 데 필요한 기능 또는 동작들을 수행하는 모듈, 절차 또는 함수 등과 관련된 명령어(instruction)들을 포함할 수 있으며, 명령어들은 메모리(306)에 저장되거나 메모리(306)와 별도로 컴퓨터 판독가능한 기록 매체(미도시)에 저장되어 프로세서(304)에 의해 실행될 때 장치(300)가 본 발명의 제안 방법을 구현하도록 구성될 수 있다.

[0091] 또한, 장치(300)는 인터페이스부(302)를 포함할 수 있다. 인터페이스부(302)는 프로세서(304)와 동작 시 연결되며, 프로세서(304)는 인터페이스부(302)를 제어하여 무선/유선 네트워크를 통해 정보 및/또는 데이터, 신호, 메시지 등을 나르는 무선/유선 신호를 전송 또는 수신할 수 있다. 인터페이스부(302)는 예를 들어 IEEE 802 계열, 3GPP LTE(-A), 3GPP 5G 등과 같은 다양한 통신 규격을 지원하며, 해당 통신 규격에 따라 제어 정보 및/또는 데이터 신호를 송수신할 수 있다. 인터페이스부(302)는 필요에 따라 장치(300) 밖에 구현될 수도 있다.

[0092] 또한, 프로세서(304)는, 다양한 소프트웨어 프로그램과, 메모리(306)에 저장되어 있는 명령어 집합을 실행하여 여러 기능을 수행하고 데이터를 처리하는 기능을 수행할 수 있다.

[0093] 또한, 메모리(306)는 프로세서(304)로부터 떨어져 위치하는 저장장치나, 인터넷 등의 통신 네트워크를 통하여 액세스되는 네트워크 부착형 저장장치 등을 더 포함할 수 있다.

[0094] 상술한 바와 같이, 해당 영역의 풍속정보를 대표하는 값은 일반적으로 평균 도플러 주파수가 아닌 모드 도플러 주파수 값에 의해 결정되는 것이 더 합리적이기 때문에, 돌풍 등의 풍속의 변화도에 따른 위험현상을 탐지하기 위해서는 이러한 모드 값들에 의하여 대표되는 풍속들이 어느 정도로 급변하는지를 알 수 있는 것이 필요하다.

[0095] 풍속 변화율 계산부(104)에서는, 거리에 따른 풍속의 변화율을 나타내기 위하여 풍속 변화율(GR: gradient)을 다음과 같이 계산할 수 있다.

수학식 4

$$GR = \text{Gradient of wind speed} = \Delta V / \Delta R$$

[0096]

[0097] 수학식 4에서의 ΔR 은 거리 셀들 간의 거리를, ΔV 는 해당 거리 셀들 간의 풍속의 차이를 나타낸다. 따라서 이러한 풍속 변화에 따른 공간상의 GR 값이 클수록 풍속의 순간 변화가 해당 영역에서 크게 발생한다는 것을 의미한다. 따라서 돌풍 또는 풍속에 따른 전단 현상(wind shear)에 의하여 심각한 위험이 초래될 가능성이 높다고 할 수 있다.

[0098] 이러한 기상 현상을 예견할 수 있는 또 하나의 척도는 특정 지역에서의 평균 풍속에 대한 변동성 정도(degree of fluctuation)라고 할 수 있다. 국지적 기상 레이더의 경우 운영목적의 특성상 거리 해상도가 매우 높기 때문에 해당 영역에서의 평균 풍속을 중심으로 변동성 정도를 표시한다면 풍속의 급변에 따른 기상위험 현상을 탐지하는 유용한 지표가 될 수 있다.

[0099] 풍속 변동성 계산부(106)는, 이와 같은 변동성(FL: fluctuation) 정도를 해당 거리 셀 영역들에서의 평균 속도와의 차이의 제곱을 이용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

수학식 5

$$FL = \sqrt{\sum_{l=1}^K (\hat{V}_l - \bar{V})^2 / K}$$

[0100]

[0101] 수학식 5에서의 $\hat{V}_i$ 은 거리 셀, 1에서의 도플러 주파수 추정에 의한 풍속 추정치를 의미한다. 또한 $\bar{V}$ 는 K개의 해당 거리영역 셀들에서의 평균 풍속 값을 나타낸다. 이러한 FL-GR(fluctuation-gradient) 값들은 일반적인 경우에 대부분 선형적인 상관관계로 표시될 것으로 예상할 수 있으나 그렇지 않은 기상현상도 다수 발생할 수 있다. 따라서 위험 값을 계산할 때 이러한 파라미터 값들을 활용하여 정규화한 NFL-NGR(normalized fluctuation-gradient) 평면에서의 원점으로부터의 거리를 위험 값으로 결정하는 것이 가장 적절할 것이다.

[0102] 따라서 기상 변화 위험값 계산부(108)는, 기상변화나 급변현상의 위험 정도를 판단하기 위한 위험 값(RV: risk value)을 다음과 같이 계산할 수 있다.

수학식 6

[0103]
$$RV = \sqrt{(NFL)^2 + (NGR)^2}$$

[0104] 수학식 6에서의 NFL 및 NGR은 최대치를 1로 정규화한 FL 및 GR 값들을 의미한다. 그러므로 이러한 파라미터 값들을 이용하면 결정 평면(decision plane)에서의 원점에서부터의 거리를 기준 값으로 하여 기상변화나 급변에 따른 위험 정도를 용이하게 판단할 수 있을 것이다.

[0105] 하기에서는 이러한 기상위험이나 변화 현상을 나타내는 파라미터 값들을 얻기 위해서 먼저 침투치 추정을 통한 풍속정보 추출 방법에 대하여 고찰하였다.

[0107] 스펙트럼 모드 추정 및 분석

[0108] 스펙트럼 모드 추정부(102)는 도플러 기상 레이더 수신 신호에 기반하여 도플러 스펙트럼 모드를 추정할 수 있다.

[0109] 기상 신호의 침투치인 스펙트럼 모드를 추정할 수 있는 방법에는 몇 가지 종류가 있으나 여기에서는 AWGN(additive white Gaussian noise)으로 표시되는 일반적인 배경잡음에서 가장 탁월한 성능을 보일 수 있는 고유해석(eigen analysis) 기법을 적용하였다(V. F. Pisarenko, "The retrieval of harmonics from a covariance function," Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, vol. 33, no. 3, pp. 347-366, Sept. 1973.). 신호 부 공간 고유벡터(signal subspace eigenvectors)와 잡음 부 공간 벡터와는 직교한다는 특성을 이용하여 신호의 주파수 성분을 분리하여 추출하는 방식이다.

[0110] M개의 복소 정현파(complex sinusoids) 신호와 하나의 잡음 부 공간 고유벡터만을 고려한다면 수신된 기상 신호의 M+1개의 자기상관 추정치 (autocorrelation estimates) 행렬로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 7

[0111]
$$\hat{R}_{M+1} v_{M+1} = \rho v_{M+1}$$

[0112] 수학식 7에서 $\hat{R}$ 은 자기상관 추정치를, v 는 하나의 잡음 부 공간 벡터를, ρ 는 배경잡음 관련 고유 값(eigen value)을 나타낸다. 수학식 7의 고유 벡터를 구하면 다음과 같은 식의 근을 구하는 방법으로 기상 신호의 침투치 주파수를 추정할 수 있다.

수학식 8

$$s_i^H v_{M+1} = \sum_{k=1}^{M+1} v_{M+1}[k] \exp(-j2\pi f_i k T) = 0$$

[0113]

[0114]

수학식 8에서 s_i 는 dimension M+1을 갖는 신호벡터를, H는 conjugate transpose를 의미한다.

[0115]

이제 이러한 방법을 적용하여 전형적인 수신 기상 신호들의 모드 도플러 주파수를 추정하여 보았다. 국지적인 기상 레이더 수신 신호에는 강력한 지표면 클러터가 잔존하는 경우가 빈번하게 발생할 수 있으므로 잔존 클러터를 포함하는 다양한 기상 도플러 신호들의 모의 구현을 통하여, 클러터와 풍속을 나타내는 도플러 스펙트럼 모드 추정 값들을 표시하였다.

[0116]

도 4에서 SCR 값이 0dB로 기상신호 전력과 잔존 클러터 전력이 거의 유사하게 나타나는 경우를 나타내었다. 또한 도 5에서는 SCR 값이 -10 dB로 클러터 잔존 전력이 기상 신호에 비하여 높게 나타나는 경우를 표시하였다. 결과 그림들로부터 알 수 있는 바와 같이 모든 상황에서 지표면 잔존 클러터 및 기상 도플러 모드 추정치들이 정확하게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

[0117]

이제 이러한 방법을 이용하여 기상 스펙트럼 및 잔존 클러터의 모드를 추정함으로써 거리 별 풍속 정보 및 잔존 클러터 정보가 어떻게 나타나는지 살펴보았다. 도 6에서는 SCR이 0dB인 경우에 앞에서와 같이 각 거리 방(range cell) 별 모의 구현된 기상 스펙트럼에서의 정확한 풍속정보와 수학식 1의 FFT 방법을 이용하여 계산한 도플러 주파수 추정에 의한 평균 풍속 추정치들을 같이 표시하였다.

[0118]

도 6의 결과는 기상 신호전력이 상대적으로 약하여 잔존 클러터 전력과 동일하게 나타나는 경우이다. 따라서 결과 그림에서 보는 것처럼 FFT에 의한 풍속 추정치는 참값과는 큰 오차가 발생하고 있음을 알 수 있다.

[0119]

그러나 모드 추정의 경우에는 도 7의 결과에서처럼 거의 정확하게 잔존 클러터와 기상 도플러 스펙트럼의 모드들을 추정하고 있음을 확인할 수 있다. 도 7에서는 두 개의 모드 추정 값에서 강한 쪽과 약한 쪽이 번갈아서 나타나는데 잔존 클러터와 기상 신호전력이 동일하여 상대적인 추정 전력 값이 거의 유사하기 때문에 나타나는 현상으로 모드 추정치의 정확도에는 문제가 없음을 알 수 있다.

[0120]

모드 추정에 의한 풍속 추정치의 정확도에 대한 확실한 검증을 위하여 이제 잔존 클러터가 더 강력하게 나타나는 경우를 살펴보았다. 비, 구름 등을 동반하지 않는 기상 신호 전력은 매우 약하게 나타나는 경우가 빈번하게 발생하며 이러한 상황에서는 강력한 지표면 반사에 의한 잔존 클러터가 훨씬 크게 나타날 수 있다. 도 8에서의 경우와 같이 지표면 반사에 의한 잔존 클러터가 훨씬 크게 나타나는 경우에는 기존의 FFT에 의한 풍속 추정치는 도 8에서 보는 것처럼 실제 풍속 값과는 전혀 다른 거의 무의미한 추정치들을 나타낸다. 그러나 도 9의 풍속 모드 추정치들은 강력한 잔존 클러터에도 불구하고 클러터의 모드 추정치와 기상 도플러 모드 추정치들을 비교적 정확하게 보여준다.

[0121]

그러므로 이러한 모드 추정 방법을 이용하면 국지적 기상 레이더 운용환경에서와 같이 강력한 잔존 클러터가 존재하는 상황에서도 기상 도플러 스펙트럼 주파수의 추정에 의한 풍속 추정을 비교적 정확하게 할 수 있음을 알 수 있다.

[0122]

이제 이러한 모드 추정치들을 이용하여 앞에서 설명한 기상 변화나 기상 위험 탐지를 위한 파라미터 값 추출에 적용하여 그 결과 값들을 고찰하고자 한다. 따라서 이러한 분석을 위하여 거리 방에 따른 15개의 서로 다른 풍속 변화 현상을 SCR 값을 변화시키면서 모의구현 하였다.

[0124]

기상 변화 탐지 결과 분석 및 고찰

[0125]

앞에서 설명한 바와 같이 모드 추정을 통한 기상 급변 현상 등의 탐지를 위하여 수학식 4 및 수학식 5에서 정의한 풍속에서의 GR 과 FL 값들을 추출하여 기상 위험 현상 등을 분석하여 보았다. 국지적 기상 레이더의 특성상 강력한 지표면 반사에 의한 잔존 클러터가 존재하기 때문에 각 거리 방별 두 개의 모드 추정치들을 도출하였으며 이러한 추정치 값들을 이용하여 GR 과 FL 파라미터 값들을 계산하였다. 여기에서는 20개의 거리 방을 가정하

여 배경잡음을 포함하는 SCR 에 따라 각 거리 방 별 기상 신호를 모의 구현하였다.

- [0126] 모의실험에서의 SCR 파라미터 값은 각각 10dB, 0dB, -10dB 로 선정하였으며 20개의 거리 방에 따른 풍속은 최대 절대치 풍속에 따라 도 6이나 도 8과 같이 풍속의 변화정도가 사인과 형태로 반대 방향의 풍속이 거의 대칭적으로 표시되는 경우를 가정하였다. 또한 풍속의 최대 절대치를 2 m/sec에서 30 m/sec까지 2 m/sec 간격으로 증가시키면서 20개의 거리 방에 대한 FL과 GR을 추출하여 SCR에 따른 총 15개 경우의 기상 변화 현상에 대한 파라미터 값들을 도식하였다.
- [0127] 여기서 기상 신호에 대한 GR은 20개의 거리 방에서의 풍속의 최대차이를 거리구간으로 나누어서 표현하였으며 FL은 풍속의 평균값을 구한 후 계산하였다. 잔존 클러스터로 인하여 각 거리 방 별로 두 개의 모드 추정치가 얻어지나 잔존 클러스터에 의한 모드 추정치는 풍속이 거의 0으로 모두 나타나기 때문에 이러한 값들을 모두 포함하여도 GR과 FL 파라미터 값 추출에 미치는 영향은 거의 없다고 할 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 SCR 값을 변화시키면서 각각에 대한 최대 풍속 값을 다르게 하여 각 파라미터 값들을 추출함으로써 기상 변화 또는 급변 현상 등에 관련된 기상 위험 탐지 가능성을 검증하였다. 도 10은 SCR이 10dB 인 경우로 도 10에서 알 수 있는 것처럼 풍속의 최대치가 증가함에 따라 GR과 FL이 모두 선형적으로 증가하는 형태로 나타남을 볼 수 있다.
- [0128] 모의실험에서 가정한 풍속 변화정도의 특징적인 현상으로서 모든 기상위험 현상에서 GR과 FL 이 선형적으로 나타난다고 할 수는 없다. 때로는 GR과 FL 관계가 상반되게 나타나는 기상위험 현상도 발생할 수 있다. 따라서 두 개의 기상 위험 지표인 GR과 FL을 모두 감안하여 기상 급변 현상에 대한 결정 및 사전 경보를 제공하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 이러한 방식은 기상 변화 위험에 대한 탐지 확률 및 신뢰성을 높이고 불필요한 경보를 줄일 수 있을 것이다. 따라서 도 11에서는 NFL-NGR 평면상에서의 15개의 케이스에 대한 위험 값들을 표시하였다. 또한 위험 값, RV(risk values)들의 변화하는 양상을 확인하기 위하여 원점으로부터 같은 거리를 갖는 서클의 반경(radius)들을 수학적 6을 이용하여 계산한 후 동일 위험 값들을 나타내는 등고선(contour) 형태로 도 11에 같이 표시하였다.
- [0129] 도 11에서 알 수 있는 것처럼 결정 평면상의 원점과 위험 파라미터들에 의해 표시된 점과의 거리가 멀어질수록 위험 정도를 나타내는 위험 값이 증가한다는 것을 알 수 있다. 도 11에서는 케이스별로 표시되는 평면상에서의 점과 원점사이의 거리를 표시하는 위험 값들이 선형적으로 증가하고 있는 사례들을 보여주고 있음을 확인할 수 있다.
- [0130] 동일한 모의 기상현상에서 SCR 값이 0dB 인 경우에서의 15개의 케이스들에 대한 FL과 GR 값들을 도 12에 나타내었다. 도 12에서 확인할 수 있는 것처럼 잔존 클러스터와 기상 신호 전력이 거의 같은 열악한 SCR 값을 보이는 상황에서도 FL과 GR 값이 도 10의 결과 값들과 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 도 13의 결과에서 보는 것처럼 NFL-NGR 평면상에 표시한 위험 값인 RV 값들도 거의 동일하게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.
- [0131] 도 14에서는 강력한 잔존 클러스터 때문에 기상신호 수신 전력의 SCR 이 -10dB 로 나타나는 매우 열악한 경우를 살펴보았다. 주로 비구름을 동반하지 않는 맑은 날씨인 경우에 해당되나 이러한 상황에서도 풍속 급변 등의 기상변화에 의한 위험현상이 발생할 가능성이 상존하므로 이러한 현상의 탐지를 위한 파라미터 값들이 제대로 추출되고 있는지를 확인하였다.
- [0132] 도 14의 결과에서 보는 것처럼 매우 낮은 SCR 값에도 불구하고 FL 및 GR 값들이 도 10에서와 같이 제대로 추출되고 있음을 확인할 수 있다. 또한 도 15의 결과에서 알 수 있는 것처럼 두 개의 정규화 된 파라미터들을 이용한 NFL-NGR 평면상에 표시된 점들로부터의 각 경우 별 위험 값들도 SCR에 무관하게 거의 동일하게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.
- [0133] 국지적 기상 레이더는 저고도에서 자주 발생하는 돌풍이나 순간적인 폭우 등 위험을 초래하는 기상 변화 현상들을 탐지하고 감시 및 추적하여 재난 방지를 위한 조기 경보용으로 활용되어질 시스템이다. 그러나 국지적 기상 레이더의 가장 큰 문제점은 낮은 빔 고각으로 인한 강력한 지표면 클러스터의 잔존 가능성이 매우 높다는 것이다. 따라서 본 발명에서는 SCR 값에 거의 영향을 받지 않으면서도 풍속의 급변 현상이나 돌풍 등에 의해 발생하는 위험 현상들을 조기에 알려줄 수 있는 기상 변화 탐지 방법을 제안하였다. 그림의 결과들에서 알 수 있는 바와 같이 모드 추정에 의한 FL 및 GR 파라미터 추출 후 위험 값을 계산하는 방식은 SCR 값에 매우 강인한 특성을 가질 수 있음을 보였다.
- [0134] 이상 본 발명을 구체적인 실시예를 통하여 상세하게 설명하였으나, 이는 본 발명을 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 그 변형이나 개량이 가능함은 명백하다고 할 것이다.

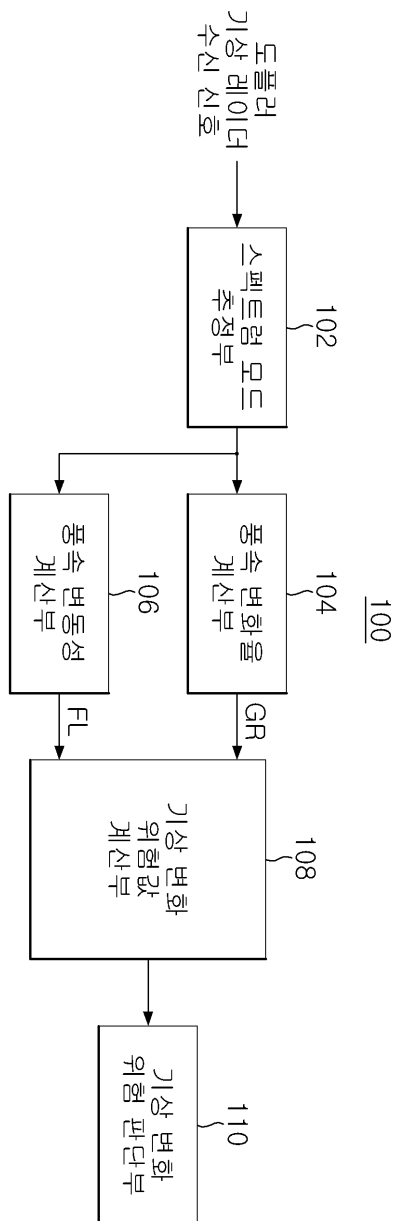
[0135] 본 발명의 단순한 변형 내지 변경은 모두 본 발명의 영역에 속하는 것으로, 본 발명의 구체적인 보호 범위는 첨부된 청구범위에 의하여 명확해질 것이다.

부호의 설명

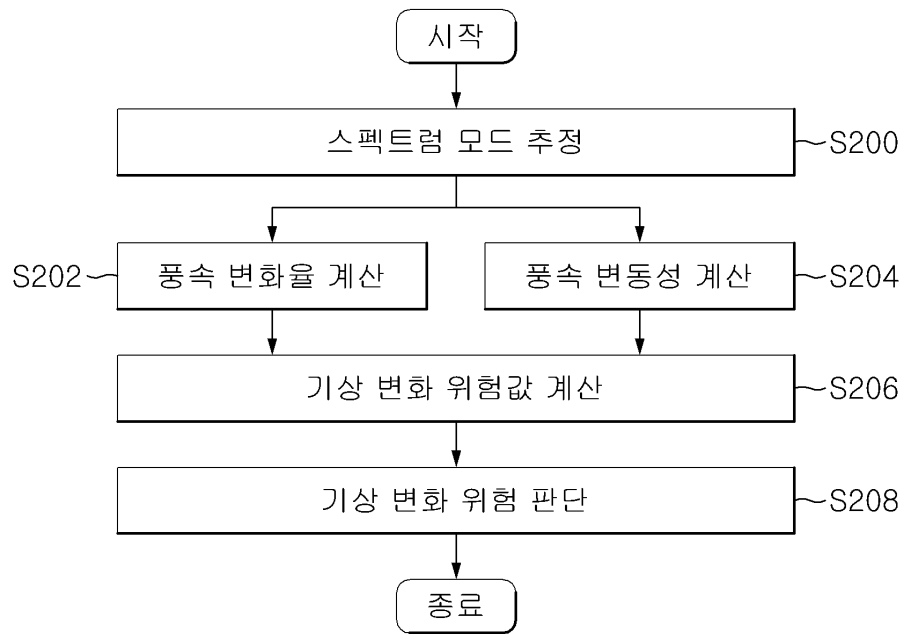
[0136] 100, 300 : 국지적 기상 레이더에서의 기상 변화 탐지 장치
 102 : 스펙트럼 모드 추정부 104 : 풍속 변화율 계산부
 106 : 풍속 변동성 계산부 108 : 기상 변화 위험값 계산부
 110 : 기상 변화 위험 판단부 302 : 인터페이스부
 304 : 프로세서 306 : 메모리

도면

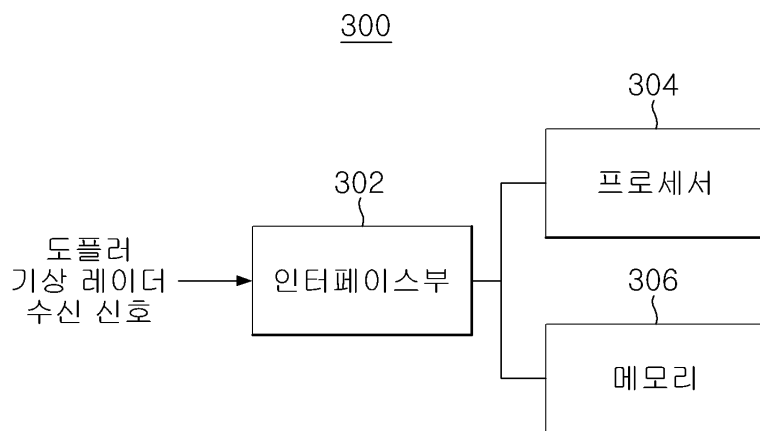
도면1



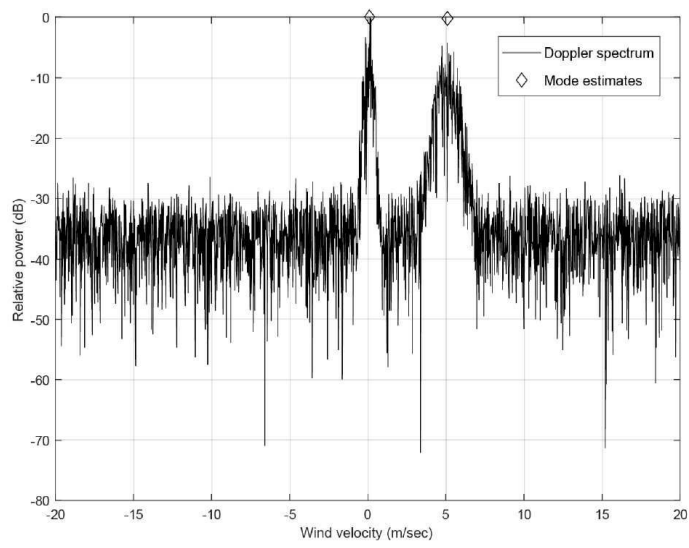
도면2



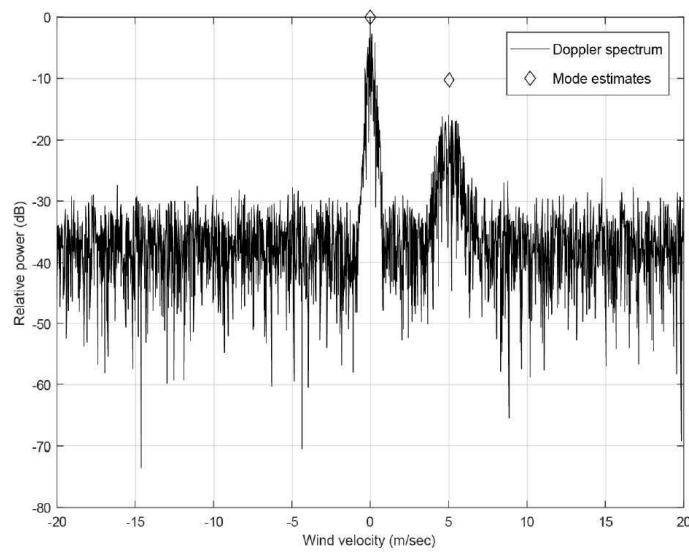
도면3



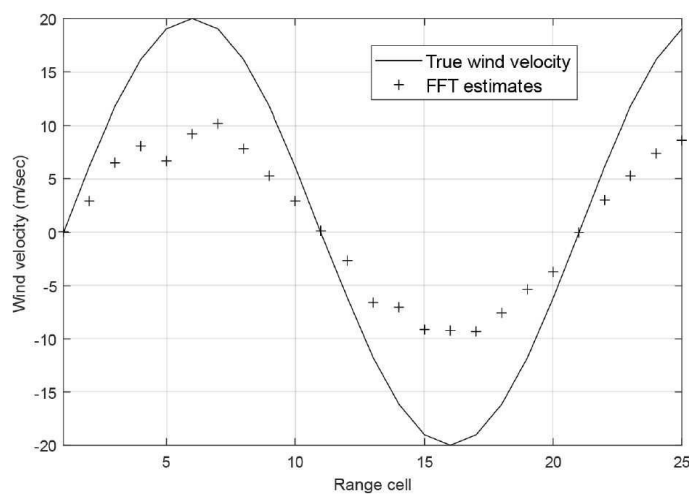
도면4



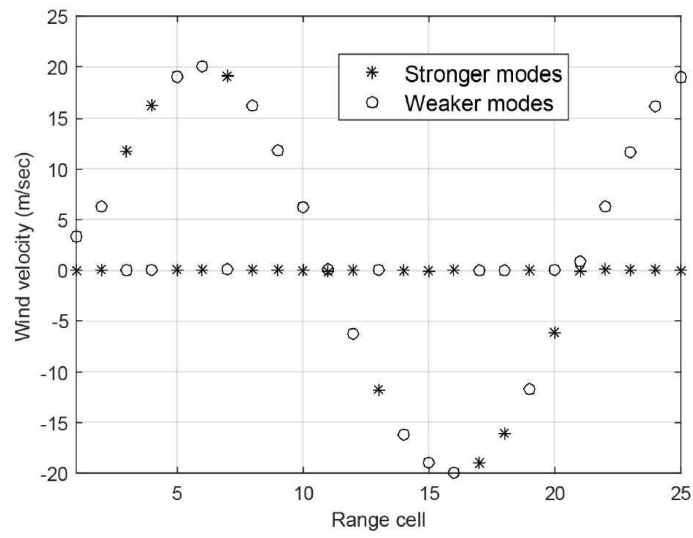
도면5



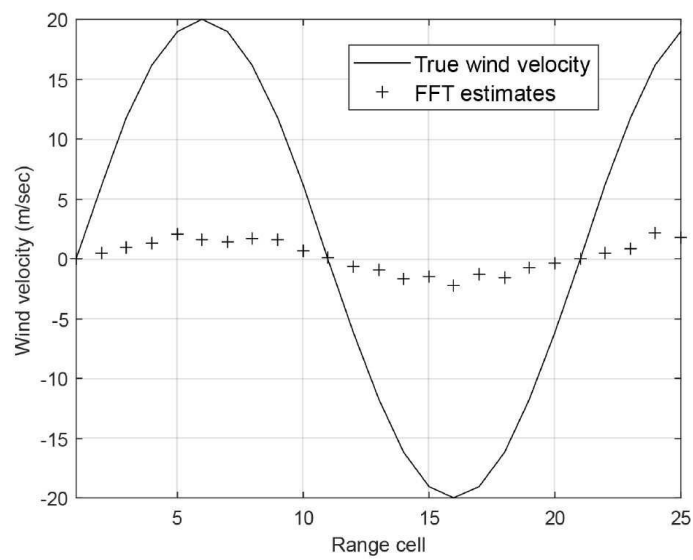
도면6



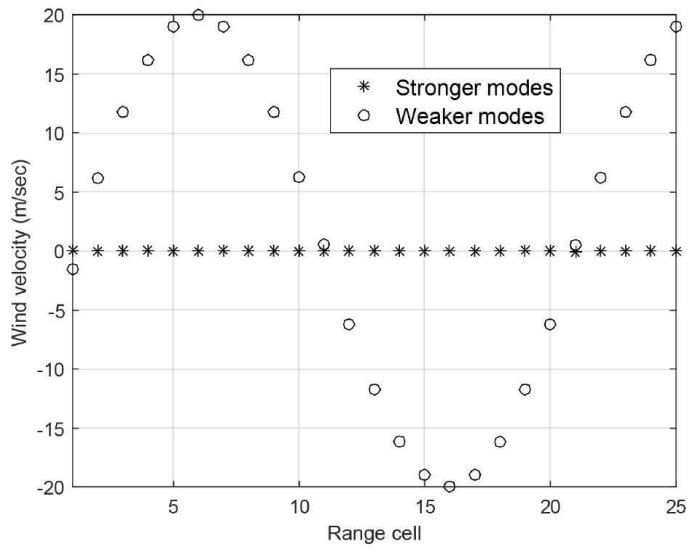
도면7



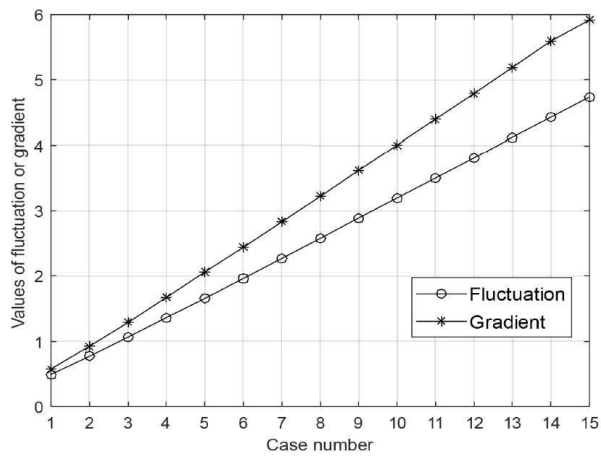
도면8



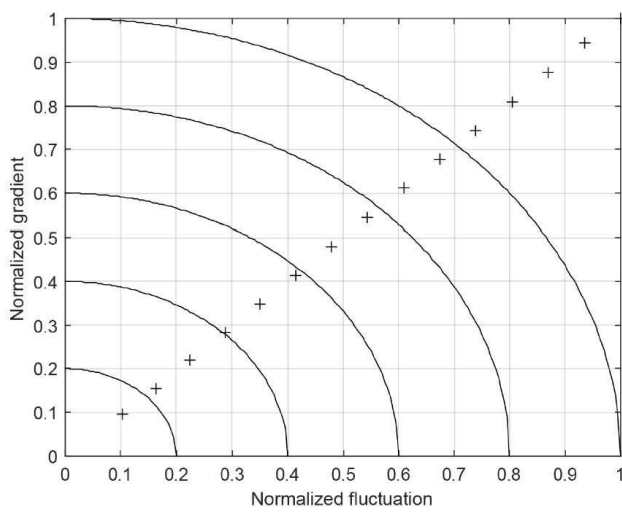
도면9



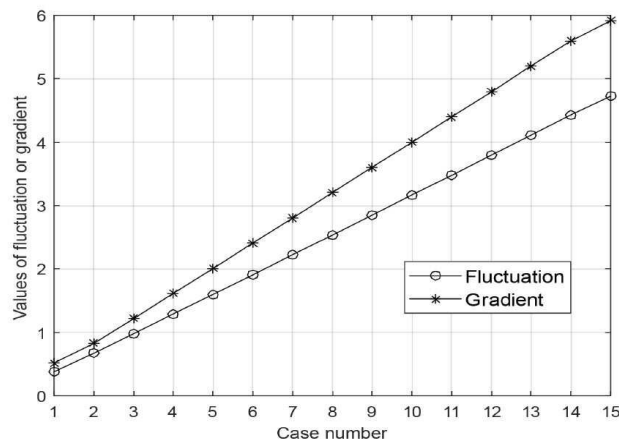
도면10



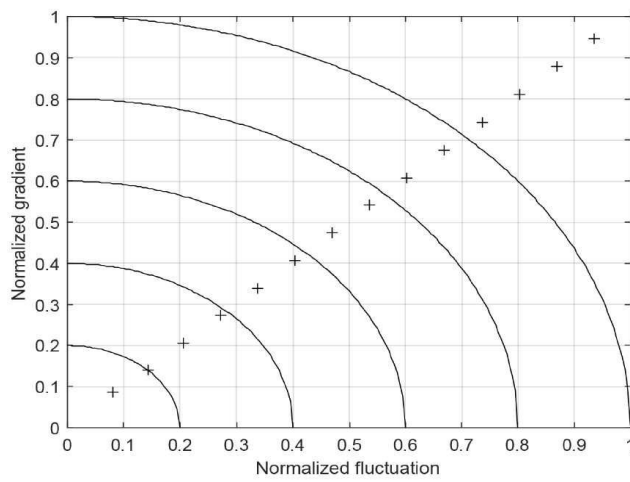
도면11



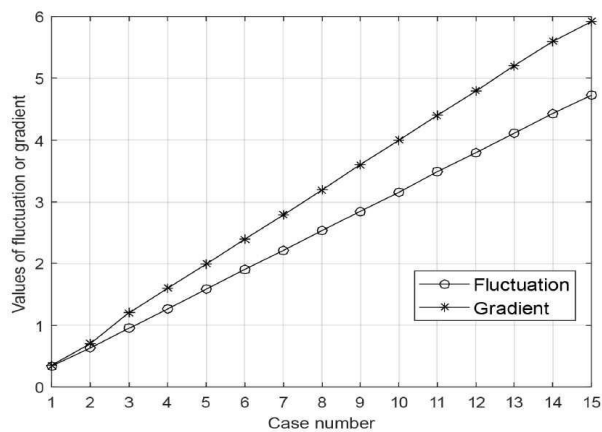
도면12



도면13



도면14



도면15

