



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년11월18일
(11) 등록번호 10-1330846
(24) 등록일자 2013년11월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01W 1/10 (2006.01) G01S 13/95 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0081643
(22) 출원일자 2013년07월11일
심사청구일자 2013년07월11일
(56) 선행기술조사문헌
비특허문헌.2002.10
KR101224258 B1
KR100921424 B1
KR101244544 B1

(73) 특허권자
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동,
부경대학교)
대한민국(기상청장)
서울특별시 동작구 여의대방로16길 61 (신대방동)
(72) 발명자
양진관
서울시 동작구 여의대방로16길 61
박종서
서울시 동작구 여의대방로16길 61
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
한치원

전체 청구항 수 : 총 17 항

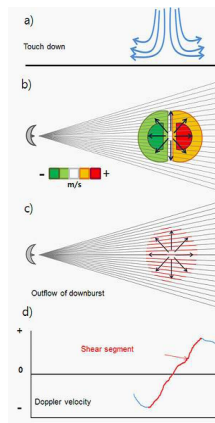
심사관 : 김홍래

(54) 발명의 명칭 기상레이더 네트워크를 이용한 다운버스트 탐지 방법

(57) 요약

본 발명은 도플러 기상레이더 네트워크의 시선속도 자료를 이용해 다운버스트(downburst)의 시선속도 발산 패턴을 정의한 시어 세그먼트(shear segment)를 탐지함으로써 다운버스트를 탐지할 수 있는 기상레이더 네트워크를 이용한 다운버스트 탐지 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

이동인

부산 남구 대연3동 부경대학교 대연캠퍼스 4호관
4309호

정성아

부산 남구 대연3동 부경대학교 대연캠퍼스 4호관
4309호

김수경

부산 남구 대연3동 부경대학교 대연캠퍼스 4호관
4309호

유철환

부산 남구 대연3동 부경대학교 대연캠퍼스 4호관
4309호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 C-D-2012-0624

부처명 기상청

연구사업명 레이더자료 공동활용 기술개발 및 시스템구축

연구과제명 레이더기반 지상풍 산출 및 다운버스트 산출 알고리즘 개발 강수량 예측시스템 개선 용역

기 여 율 1/1

주관기관 부경대학교

연구기간 2012.05.02 ~ 2012.11.30

특허청구의 범위

청구항 1

도플러 기상레이더 관측 자료를 수집하는 자료수집부-상기 관측 자료는 레이더 PPI(Plan-Position Indicator) 시선속도 자료 및 레이더 PPI 반사도 자료를 포함함-; 및

수집된 레이더 PPI 시선속도 자료를 이용해 음의 시선속도에서 양의 시선속도로 변화하는 시선속도의 발산 패턴을 찾아 시어 세그먼트로 탐지하고, 탐지된 시어 세그먼트들을 미리 설정된 임계값에 기초하여 유효 시어 세그먼트로 분류하고, 분류된 유효 시어 세그먼트를 그룹핑한 후 다운버스트로 분류하는 다운버스트 탐지부;를 포함하는 다운버스트 탐지 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 다운버스트 탐지부는, 수집된 레이더 PPI 시선속도 자료를 이용해 음의 시선속도에서 양의 시선속도로 변화하는 시선속도의 발산 패턴의 시작지점 및 종료지점을 찾고, 찾은 시작지점 및 종료지점으로 이루어진 영역을 시어 세그먼트로 탐지하는 시어 세그먼트 탐지부;

탐지된 시어 세그먼트들의 길이, 시어, 고도 및 반사도 각각을 미리 설정된 임계값과 비교하고, 비교 결과에 기초하여 유효 시어 세그먼트들로 분류하고, 분류된 유효 시어 세그먼트들 중 미리 설정된 방위각 집합 윈도우에 대한 분포 밀도 임계값을 만족하는 유효 시어 세그먼트들을 묶어 클러스터를 구성하는 클러스터링부; 및

구성된 클러스터들을 미리 설정된 면적 임계값과 비교하고, 비교 결과에 기초하여 다운버스트로 분류하는 다운버스트 분류부;를 포함하는 다운버스트 탐지 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 시어 세그먼트 탐지부는, 하나의 방위각에 대한 이웃하는 두 시선속도를 비교하고, 비교 결과로부터 시선속도가 증가하는 지점을 찾아 시어 세그먼트의 시작지점으로 지정하고, 상기 비교 결과로부터 시선속도가 감소하는 지점을 찾되, 시선속도의 감소 정도를 나타내는 변수(SD_i)가 미리 설정된 임계값보다 큰 지점을 종료지점으로 지정하는 것을 특징으로 하는 다운버스트 탐지 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 시어 세그먼트 탐지부는, 지정된 시작지점에서 상기 변수(SD_i)를 0으로 초기화하고, 시선속도의 감소가 시작되는 지점의 시선속도를 최대시선속도로 설정하고, 지정된 시작지점으로부터 시선속도의 감소가 탐지되면 이웃한 두 시선속도의 차를 변수(SD_i)에 합산하고, 합산한 값이 미리 설정된 임계값 이상이면 해당 지점을 종료지점으로 지정하는 것을 특징으로 하는 다운버스트 탐지 시스템.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 클러스터링부는, 탐지된 시어 세그먼트들에 대해 길이가 2 km 이상인지 여부, 시선속도의 최대값 및 최소값의 차를 나타내는 시어가 10 ms^{-1} 이상인지 여부, 고도가 2 km 이하인지 여부, 및 반사도가 35 dBZ 이상인 영역의 비율이 50 % 이상인지 여부를 확인하여 만족하는 시어 세그먼트들을 유효 시어 세그먼트로 분류하는 것을 특징으로 하는 다운버스트 탐지 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 클러스터링부는, 분류된 유효 시어 세그먼트들 중 방위각 집합 윈도우 내 하나의 방위각에서 서로 이웃하고 있는 두 유효 시어 세그먼트들의 분포 밀도가 50 %이상이면, 상기 두 유효 시어 세그먼트들을 하나의 그룹으로 묶어 클러스터를 구성하는 것을 특징으로 하는 다운버스트 탐지 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 클러스터링부는, 방위각 집합 윈도우에 포함되는 윈도우를 레이더 사이트에서는 11개로 설정하고, 상기 레이더 사이트로부터 반경 10 km이상인 지점에서는 3개로 설정하는 것을 특징으로 하는 다운버스트 탐지 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 다운버스트 분류부는, 구성된 클러스터의 면적이 미리 설정된 면적 임계값보다 크면 해당 클러스터를 다운버스트로 분류하되,

상기 미리 설정된 면적 임계값은 하기 수학식에 의해 구해지는 것을 특징으로 하는 다운버스트 탐지 시스템.

$$A_{th} = A_{min} + \Delta A_{range} + \Delta A_{shear}$$

$$\Delta A_{range} = R_{slope} [R - R_{min}]$$

$$\Delta A_{shear} = \frac{30}{(Shear + 2.5)} - 1.0$$

(여기서, $A_{min} = 0.5 \text{ km}^2$, $R_{slope} = 0.1 \text{ km km}^{-1}$, $R_{min} = 2 \text{ km}$, $R_{max} = 16 \text{ km}$, $Shear_{min} = 10.0 \text{ ms}^{-1}$, $Shear_{max} = 27.5$

ms^{-1}

일

때,

$$R = \begin{cases} R_r : R_{min} < R_r < R_{max} \\ R_{min} : R_r \leq R_{min} \\ R_{max} : R_r \geq R_{max} \end{cases} \text{ 이고,}$$

$$Shear = \begin{cases} Shear_r : Shear_{min} < Shear_r < Shear_{max} \\ Shear_{min} : Shear_r \leq Shear_{min} \\ Shear_{max} : Shear_r \geq Shear_{max} \end{cases} \text{ 이다.})$$

청구항 9

레이더 PPI 시선속도 자료 및 레이더 PPI 반사도 자료를 수집하는 자료 수집 단계;

수집된 레이더 PPI 시선속도 자료를 이용해 음의 시선속도에서 양의 시선속도로 변화하는 시선속도의 발산 패턴의 시작지점 및 종료지점을 찾고, 찾은 시작지점 및 종료지점으로 이루어진 영역을 시어 세그먼트로 탐지하는 시어 세그먼트 탐지 단계;

탐지된 시어 세그먼트들로부터 미리 설정된 임계값에 기초하여 유효 시어 세그먼트들을 분류하는 유효 시어 세그먼트 분류 단계;

분류된 유효 시어 세그먼트들을 미리 설정된 분포 밀도의 임계값에 기초하여 클러스터를 구성하는 클러스터 구성 단계; 및

구성된 클러스터를 미리 설정된 면적 임계값에 기초하여 다운버스트로 분류하는 다운버스트 분류 단계;를 포함하는 다운버스트 탐지 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 자료 수집 단계는, 11개 현업레이더로부터 최하층 PPI의 시선속도 자료 및 반사도 자료를 수집하는 단계인 것을 특징으로 하는 다운버스트 탐지 방법.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 시어 세그먼트 탐지 단계는, 수집된 레이더 PPI 시선속도 자료를 이용해 하나의 방위각에 대한 이웃하는 두 시선속도를 비교하는 단계;

비교 결과 시선속도의 증가로 판단되면 시선속도가 증가하는 지점을 시어 세그먼트의 시작 지점으로 지정하는 단계;

상기 비교 결과 시선속도의 감소로 판단되면 시선속도의 감소 정도를 나타내는 변수(SD_i)에 두 시선속도의 차를 더한 값을 미리 설정된 임계값과 비교하고, 상기 변수(SD_i)에 두 시선속도의 차를 더한 값이 상기 미리 설정된 임계값 이상이면 해당 지점을 시어 세그먼트의 종료 지점으로 지정하는 단계;로 이루어지는 것을 특징으로 하는 다운버스트 탐지 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 시어 세그먼트의 종료 지점으로 지정하는 단계는, 상기 변수(SD_i)에 두 시선속도의 차를 더한 값이 상기 미리 설정된 임계값 이하이면, 시선속도가 감소에서 다시 증가하는 것으로 판단하고, 증가된 시선속도의 값(V_{i+1})과 최대시선속도(V_M)를 비교하는 단계;

상기 증가한 시선속도의 값(V_{i+1})이 최대시선속도(V_M)보다 작을 경우, 두 시선속도의 차를 상기 변수(SD_i)에 더하고, 상기 변수(SD_i)에 두 시선속도의 차를 더한 값을 미리 설정된 임계값과 비교를 수행하여 시어 세그먼트의 종료지점을 계속 탐색하는 단계;

상기 증가한 시선속도의 값(V_{i+1})이 최대시선속도(V_M)보다 클 경우, 상기 변수(SD_i)를 1 ms^{-1} 만큼 감소시킨 후, 미리 설정된 임계값과 비교를 수행하는 단계; 및

비교 결과 1 ms^{-1} 만큼 감소시킨 변수(SD_i)가 미리 설정된 임계값 이상이면 해당 지점을 시어 세그먼트의 종료지점으로 지정하고, 이하이면 1 ms^{-1} 만큼 감소시킨 변수(SD_i)를 다시 1 ms^{-1} 만큼 감소하고, 1 ms^{-1} 만큼 감소시킨 변수(SD_i)가 음수가 되면 상기 변수(SD_i)를 0으로 초기화하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 다운버스트 탐지 방법.

청구항 13

제9항에 있어서,

상기 유효 시어 세그먼트 분류 단계는, 탐지된 시어 세그먼트들에 대해 길이가 2 km이상인지 여부, 발생 고도가 2 km이하인지 여부, 시선속도의 최대값과 최소값의 차인 시어가 10 ms^{-1} 이상인지 여부, 반사도가 35 dBZ이상인 비율이 50 %이상인지 여부를 확인하는 단계; 및

확인 결과 길이가 2 km이상이며, 발생 고도가 2 km이하이며, 시어가 10 ms^{-1} 이상이며, 반사도가 35 dBZ이상인 비율이 50 %이상인 시어 세그먼트를 유효 시어 세그먼트로 분류하는 단계;로 이루어지는 것을 특징으로 하는 다운버스트 탐지 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 클러스터 구성 단계는, 분류된 유효 시어 세그먼트들 중 레이더 사이트 지점에서 미리 설정된 방위각 집합 윈도우 안에 포함된 이웃한 두 유효 시어 세그먼트들의 분포 밀도와 미리 설정된 분포 밀도의 임계값을 비교하는 단계;

비교 결과, 이웃한 두 유효 시어 세그먼트들의 분포 밀도가 미리 설정된 분포 밀도의 임계값보다 클 경우 상기 이웃한 두 유효 시어 세그먼트들을 하나의 그룹으로 묶어 클러스터를 구성하는 단계; 및

상기 비교 결과, 이웃한 두 유효 시어 세그먼트들의 분포 밀도가 미리 설정된 분포 밀도의 임계값보다 작을 경우 클러스터 구성을 종료하는 단계;를 포함하되,

상기 클러스터 구성 단계는, 이웃한 두 유효 시어 세그먼트들의 분포 밀도가 미리 설정된 분포 밀도의 임계값보다 작아질 때까지 레이더 사이트로부터 거리를 증가시킨 지점에서 미리 설정된 방위각 집합 윈도우 안에 포함된 이웃한 두 유효 시어 세그먼트들의 분포 밀도와 미리 설정된 분포 밀도의 임계값을 비교하는 단계를 반복하는 것을 특징으로 하는 다운버스트 탐지 방법.

청구항 15

제9항에 있어서,

상기 다운버스트 분류 단계는, 구성된 클러스터의 면적과 미리 설정된 면적 임계값을 비교하는 단계; 및

비교 결과, 구성된 클러스터의 면적이 미리 설정된 면적 임계값보다 클 경우, 해당 클러스터를 다운버스트로 분류하는 단계;로 이루어지는 것을 특징으로 하는 다운버스트 탐지 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 미리 설정된 면적 임계값은 하기 수학식에 의해 구해지는 것을 특징으로 하는 다운버스트 탐지 방법.

$$\begin{aligned} A_{th} &= A_{min} + \Delta A_{range} + \Delta A_{shear} \\ \Delta A_{range} &= R_{slope} [R - R_{min}] \\ \Delta A_{shear} &= \frac{30}{(Shear + 2.5)} - 1.0 \end{aligned}$$

(여기서, $A_{min} = 0.5 \text{ km}$, $R_{slope} = 0.1 \text{ km}^2 \text{ km}^{-1}$, $R_{min} = 2 \text{ km}$, $R_{max} = 16 \text{ km}$, $Shear_{min} = 10.0 \text{ ms}^{-1}$, $Shear_{max} = 27.5$

$$R = \begin{cases} R_r : R_{min} < R_r < R_{max} \\ R_{min} : R_r \leq R_{min} \\ R_{max} : R_r \geq R_{max} \end{cases} \text{이고,}$$

ms^{-1}

일

때,

$$Shear = \begin{cases} Shear_r : Shear_{min} < Shear_r < Shear_{max} \\ Shear_{min} : Shear_r \leq Shear_{min} \\ Shear_{max} : Shear_r \geq Shear_{max} \end{cases} \text{이다.})$$

청구항 17

제9항 내지 제16항 중 어느 한 항에 기재된 방법을 수행하기 위해 디지털 신호 처리 장치에 의해 판독되고 실행될 수 있는 프로그램을 기록한 기록매체.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 기상레이더 자료를 활용한 기상 예측 기술에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 도플러 기상레이더 네트워크에서 생산되는 시선속도 자료를 이용해 다운버스트(downburst)의 시선속도 발산 패턴을 정의한 시어 세그먼트(shear segment)를 탐지함으로써 다운버스트를 탐지할 수 있는 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 다운버스트(downburst)는 국지적으로 단시간에 상공에서 불어오는 극단적인 하강기류로 적란운의 감쇠기에서 발생하는 강한 하강기류에 의해 중심에서 강한 발산이 생기고, 지표면에 부딪힌 공기는 돌풍이 되어 사방으로 불어나가는 현상을 말한다.

[0003] 이때, 지상에 부딪힌 강한 하강기류는 사방으로 불어나가며 평균 최대 풍속이 12 ms^{-1} 로 중앙에서부터 평균 1.5 km떨어진 곳의 고도 80 m에서 발생하며, 최대 시속 240 km가 넘는 강한 수평바람을 발생시키기 때문에 지상에서 강한 바람에 의한 건물, 농작물 등에 피해가 발생할 수 있고 또한 좁은 지역에서 수평-수직으로 풍속과 풍향이 급격하게 변하기 때문에 비행기의 이·착륙시 많은 사고를 유발시킬 수 있으므로 하강기류를 객관적으로 정확히 예측할 수 있는 기술 개발이 절실히 필요한 실정이다.

[0004] 한편, 현재 우리나라에 도입되어 운영되고 있는 저층 바람시어 경보시스템(Low Level Wind shear Alert System; LLWAS)은 미국의 UCAR(University Corporation for Atmospheric Research)에서 개발하고 FAA(Federal Aviation Administration)에서 인증된 장비로서 인천, 제주, 양양공항에 설치되어 항공기 안전운항을 위하여 기상정보를 제공하고 있다. 하지만 미국의 지형과 기상 특성에 맞게 개발된 LLWAS는 설치장소에 제약이 있고 우리나라의 지형 및 기상 특성과 같은 환경에 적합하지 않은 문제점이 있어 바람에 의한 저층악기상의 탐지범위가 제한적이다. 따라서 한반도 전 지역에서 다운버스트 등의 저층악기상 탐지에 대한 필요성이 대두되고 있고 우리나라의 환경에 적합하면서도 정확한 하강기류를 예측할 수 있는 다운버스트 탐지 기술의 개발이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 상술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 발명은, 다운버스트에서 발생하는 강한 하강기류에 의한 재해를 예방하고 강한 윈드시어(wind shear)에 의한 비행기 사고를 방지할 수 있도록, 도플러 기상레이더의 시선속도 자료를 이용하여 다운버스트를 탐지할 수 있는 도플러 기상레이더 네트워크를 이용한 다운버스트 탐지 시스템 및 방법을 제공하는 데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 상술한 목적을 이루기 위한 본 발명의 일 실시 형태는, 도플러 기상레이더 관측 자료를 수집하는 자료수집부-상기 관측 자료는 레이더 PPI(Plan-Position Indicator) 시선속도 자료 및 레이더 PPI 반사도 자료를 포함함-; 및 수집된 레이더 PPI 시선속도 자료를 이용해 음의 시선속도에서 양의 시선속도로 변화하는 시선속도의 발산 패턴을 찾아 시어 세그먼트로 탐지하고, 탐지된 시어 세그먼트들을 미리 설정된 임계값에 기초하여 유효 시어 세그먼트로 분류하고, 분류된 유효 시어 세그먼트를 그룹핑한 후 다운버스트로 분류하는 다운버스트 탐지부;를 포함하는 다운버스트 탐지 시스템을 포함한다.

[0007] 한편, 상술한 목적을 이루기 위한 본 발명의 다른 실시 형태는, 레이더 PPI 시선속도 자료 및 레이더 PPI 반사도 자료를 수집하는 자료 수집 단계; 수집된 레이더 PPI 시선속도 자료를 이용해 음의 시선속도에서 양의 시선속도로 변화하는 시선속도의 발산 패턴의 시작지점 및 종료지점을 찾고, 찾은 시작지점 및 종료지점으로 이루어진 영역을 시어 세그먼트로 탐지하는 시어 세그먼트 탐지 단계; 탐지된 시어 세그먼트들로부터 미리 설정된 임계값에 기초하여 유효 시어 세그먼트들을 분류하는 유효 시어 세그먼트 분류 단계; 분류된 유효 시어 세그먼트들을 미리 설정된 분포 밀도의 임계값에 기초하여 클러스터를 구성하는 클러스터 구성 단계; 및 구성된 클러스터를 미리 설정된 면적 임계값에 기초하여 다운버스트로 분류하는 다운버스트 분류 단계;를 포함하는 다운버스트 탐지 방법을 포함한다.

발명의 효과

[0008] 본 발명에 따르면, 도플러 기상레이더의 관측 자료로부터 지상 2 km이내에서 발생하는 다운버스트를 정확하게

탐지할 수 있다. 이를 통해 악기상의 방재가 가능해지는 효과가 있다.

[0009] 또한, 본 발명에 따르면, 도플러 기상레이더의 관측 자료로부터 항공기의 이·착륙에 중대한 영향을 줄 수 있는 다운버스트를 사전에 감지하여 실시간으로 제공함으로써 항공기의 안전 운항에 도움을 줄 수 있다. 이를 통해 비행기사고를 미연에 방지할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은, 본 발명의 일 실시 형태에 따른 다운버스트 탐지를 위한 전체 시스템의 네트워크를 간략히 나타낸 구성도이다.

도 2는 다운버스트의 발산 패턴을 설명하기 위한 예시도이다.

도 3은 다운버스트의 발산 패턴이 항공기 이·착륙시 미치는 영향을 나타낸 예시도이다.

도 4는, 도 1의 다운버스트 탐지 시스템에 대한 상세 구성을 나타낸 구성도이다.

도 5는, 도 1에 도시된 시어 세그먼트 탐지부에 있어서 미리 설정된 시선속도 및 반사도의 임계값에 기초한 시어 세그먼트의 분류 기능을 설명하기 위한 예시도이다.

도 6은, 도 1에 도시된 클러스터링부에 있어서 azimuthal association window에 기초한 시어 세그먼트의 클러스터링 기능을 설명하기 위한 예시도이다.

도 7은, 본 발명의 일 실시 형태에 따른 다운버스트 탐지 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 8은, 도 7의 다운버스트 탐지 방법에 있어서, 시어 세그먼트 탐지 과정을 상세하게 설명하기 위한 순서도이다.

도 9는, 도 7의 다운버스트 탐지 방법을 통해 탐지된 다운버스트 결과를 대류셀 관측 자료 및 AWS의 자료로 산출된 발산장과 비교한 예시도이다.

도 10은, 도 7의 다운버스트 탐지 방법을 통해 탐지된 다운버스트 결과를 실제 관측 자료와 비교한 예시도이다.

도 11은, 도 7의 다운버스트 탐지 방법에 의해 탐지된 다운버스트 결과를 AWS로 산출된 발산장과 지상 AWS 관측 자료와 비교한 예시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 이하 본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부된 도면의 참조와 함께 상세히 설명한다. 그리고, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단된 경우 그 상세한 설명은 생략한다.

[0012] 먼저, 도 1 내지 도 3을 참조하여 본 발명의 일 실시 형태에 따른 다운버스트 탐지 시스템을 설명하도록 한다.

[0013] 도 1은, 본 발명의 일 실시 형태에 따른 다운버스트 탐지를 위한 전체 시스템의 네트워크를 간략히 나타낸 구성도이다. 도 2는 다운버스트의 발산 패턴을 설명하기 위한 예시도이다. 도 3은 다운버스트의 발산 패턴이 항공기 이·착륙시 미치는 영향을 나타낸 예시도이다.

[0014] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 다운버스트 탐지 시스템을 이용한 전체 시스템은, 도플러 기상레이더 시스템(10) 및 다운버스트 탐지 시스템(20)을 적어도 포함한다.

[0015] 도플러 기상레이더 시스템(10)은, 일정한 위치에서 기상을 관측하고 관측된 자료를 무선이나 유선으로 다운버스트 탐지 시스템(20)으로 전송한다. 여기서, 관측 자료는 레이더 PPI(Plan-Position Indicator) 반사도 자료와 레이더 PPI 시선속도 자료를 포함한다.

[0016] 참고로, 도플러 기상레이더는, 움직이는 목표물에 전파가 부딪히면 반사전파주파수가 목표물의 속도에 따라 변동하는 도플러 효과를 응용한 레이더로 기류를 직접 파악할 수 있으므로 중규모 기상이나 태풍의 연구 및 구름 물리의 연구 분야에서도 활용되고, 항공기의 안전 운항에도 중요한 관측 기기이다.

[0017] 이러한 도플러 기상레이더에서 산출되는 시선속도는 레이더 방향으로 멀어지거나 다가오는 물체의 속도성분을 나타내기 때문에 단시간에 국지적으로 풍향·풍속의 변화가 큰 다운버스트의 탐지에 적절하다.

- [0018] 본 실시예에서는, 도플러 기상레이더 시스템(10)을 현재 기상청에서 운영 중인 11개 현업레이더로 구성할 있으며, 이를 통해 우리나라 지역에 대한 기상 관측 자료를 얻을 수 있다.
- [0019] 그리고, 다운버스트 탐지 시스템(20)은, 도플러 기상레이더 시스템(10)으로부터 수집한 관측 자료에 기초하여 다운버스트의 시선속도 발산 패턴을 정의한 시어 세그먼트(shear segment)를 이용해 다운버스트를 탐지한다.
- [0020] 여기서, 다운버스트는, 도 2의 (a) 내지 (c)에 도시된 바와 같이, 강한 하강기류에 의한 돌풍으로, 다운버스트가 발생하면 하강하는 바람이 지상에 부딪쳐 사방으로 퍼져나가게 되고, 도 2의 (d)에 도시된 바와 같이, 레이더 시선속도 장(field)에서 음의 시선속도에서 양의 시선속도로 변화하는 발산 패턴이 나타나는데, 이러한 시선속도의 패턴을 시어 세그먼트라 정의한다.
- [0021] 이러한 다운버스트의 발산 패턴에 의해, 도 3의 (a) 및 (b)에 도시된 바와 같이, 항공기의 이·착륙시 항공기가 다운버스트를 통과할 때 수평으로 이동하는 동안 하향하도록 강요하는 강한 하향돌풍을 만나게 되며 이때 항공기가 지면 쪽으로 하향하게 되는데 하향돌풍의 강도가 셀 경우 지면과 충돌이 일어날 수도 있다.
- [0022] 따라서 본 발명에 따른 다운버스트 탐지 시스템(20)은, 다운버스트의 발산 패턴을 정의한 시어 세그먼트를 탐지함으로써 최종적으로 다운버스트를 탐지할 수 있다.
- [0023] 이러한 다운버스트 탐지 시스템(20)은, 도플러 기상레이더 시스템(10), 즉, 현재 기상청에서 운영 중인 11개 현업레이더 네트워크에서 생성된 최하층 PPI의 시선속도 자료 및 반사도 자료를 수집하고, 노이즈 제거를 위해 품질 관리를 수행한 후 시어 세그먼트를 탐지하고, 탐지한 시어 세그먼트들을 길이, 고도, 시선속도 및 반사도 임계값에 기초하여 분류한다.
- [0024] 그리고, 다운버스트 탐지 시스템(20)은, 분류한 시어 세그먼트들을 방위각에 대한 분포 밀도에 기초하여 그룹핑하여 클러스터(cluster)를 구성하고, 구성된 클러스터들을 면적 임계값에 기초하여 다운버스트를 분류한다. 자세한 다운버스트 탐지 과정에 대해서는 아래에서 상세하게 설명하도록 한다.
- [0025] 이와 같이, 본 발명에 따른 다운버스트 탐지 시스템은, 우리나라 전역에 설치되어 운영되는 11개의 현업레이더 네트워크의 관측자료를 이용하여 다운버스트를 탐지함으로써 우리나라 환경에 적합할 뿐만 아니라 더욱 정확한 다운버스트를 탐지할 수 있다.
- [0026] 또한, 본 발명에 따른 다운버스트 탐지 시스템은, 다운버스트의 발산 패턴을 정의한 시어 세그먼트를, 시어 세그먼트 정의에 따른 임계값을 이용해 탐지함으로써 더욱 정확한 다운버스트를 탐지할 수 있다.
- [0027] 다음으로, 도 4 내지 도 6을 참조하여 다운버스트 탐지 시스템의 상세 구성을 설명하도록 한다.
- [0028] 도 4는, 도 1의 다운버스트 탐지 시스템에 대한 상세 구성을 나타낸 구성도이다. 도 5는, 도 1에 도시된 시어 세그먼트 탐지부에 있어서 미리 설정된 시선속도 및 반사도의 임계값에 기초한 시어 세그먼트의 분류 기능을 설명하기 위한 예시도이다. 도 6은, 도 1에 도시된 클러스터링부에 있어서 방위각 집합 윈도우(azimuthal association window)에 기초한 시어 세그먼트의 클러스터링 기능을 설명하기 위한 예시도이다.
- [0029] 도 4를 참조하면, 다운버스트 탐지 시스템(20)은, 자료수집부(21), 다운버스트 탐지부(22)를 적어도 포함하여 이루어진다.
- [0030] 구체적으로 각 부의 기능을 설명하면, 우선, 자료수집부(21)는, 도플러 기상레이더 시스템(10)으로부터 관측 자료를 수집한다. 여기서, 수집한 관측 자료는, 기상레이더 PPI(Plan-Position Indicator)의 반사도 자료 및 시선속도 자료이다.
- [0031] 또한, 자료수집부(21)는, 수집한 관측 자료의 품질 관리를 수행한다. 즉, 자료수집부(21)는, 시선속도의 관측 에러의 영향을 줄이기 위해서 3×3 평균 필터(average filter)를 사용하여 관측 자료에 대한 노이즈 제거를 수행한다.
- [0032] 또한, 자료수집부(21)는, 도플러 기상레이더 부근에서 지형에 의해 발생하는 시선속도 불연속 지점에 의한 시어 세그먼트 탐지 오차를 방지하기 위해서 도플러 기상레이더에서 5 km떨어진 지점의 데이터들을 관측 자료로부터 추출하는 작업을 수행할 수 있다.
- [0033] 그리고, 다운버스트 탐지부(22)는, 자료수집부(21)로부터 전달되는 관측 자료로부터 다운버스트를 탐지하기 위해, 시어 세그먼트 탐지부(221), 클러스터링부(222) 및 다운버스트 분류부(223)를 적어도 포함하여 이루어진다.

- [0034] 시어 세그먼트 탐지부(221)는, 수집된 관측 자료 중, 레이더 PPI 시선속도 자료로부터 임의의 하나의 방위각에서 이웃하는 두 개의 시선속도를 비교하고, 비교 결과 시선속도가 증가하는 지점을 탐색하여 시어 세그먼트의 시작지점으로 지정하고, 비교 결과 시선속도가 감소하는 지점을 탐색하여 시어 세그먼트의 종료지점으로 지정한다.
- [0035] 이때, 시어 세그먼트 탐지부(221)는, 시어 세그먼트의 시작지점 탐색 시 에러 자료의 영향을 줄이기 위해서 두 개의 시선속도 차가 5 ms^{-1} 이하인 지점으로 설정하고, 또한, 시어 세그먼트의 종료지점을 탐색하기 위해 시선속도의 감소 경향을 나타내는 `sum_decrease` 변수를 이용한다.
- [0036] 다시 말해, 시어 세그먼트 탐지부(221)는, 시선속도가 증가하는 지점을 시작지점으로 지정한 후, 지정된 시작지점에서 `sum_decrease` 변수를 '0'으로 초기화시키고, 종료지점 탐색 중 시선속도의 감소가 탐지되면 감소가 시작되는 지점의 시선속도를 최대시선속도(max_radial velocity)로 설정하고, 시선속도의 차이만큼 `sum_decrease` 변수에 가감하여 설정된 임계값(5 ms^{-1})을 넘는 지점을 시어 세그먼트의 종료지점으로 지정한다. 만약, 감소하던 시선속도의 경향이 다시 증가하면, 증가된 시선속도의 값과 최대시선속도의 비교를 수행하여 증가한 시선속도가 최대시선속도보다 작다면 시선속도의 차는 `sum_decrease` 변수에 더해져 시어 세그먼트의 종료지점 탐색을 계속 진행하고, 증가한 시선속도가 최대시선속도보다 더 크다면 `sum_decrease` 변수를 1 ms^{-1} 만큼 감소시킨다. 또한, 증가하는 시선속도의 경향이 계속된다면 `sum_decrease` 변수를 1 ms^{-1} 만큼 감소시키고 음수가 되는 시점에 '0'으로 초기화시킨다. 이때, 본 실시 예에서는, 증가한 시선속도가 최대시선속도보다 큰 경우, `sum_decrease` 변수의 감소폭을 1 ms^{-1} 로 일정하게 설정하는데, 그 이유는 에러 자료에 의한 시선속도 불연속 지점에서의 큰 증감의 영향을 줄이고, 감소하는 경향을 탐지하는데 더 큰 비중을 주기 위해서이다.
- [0037] 이러한 과정을 통해 시어 세그먼트 탐지부(221)는, 탐색된 시어 세그먼트의 시작지점과 종료지점을 통해 시어 세그먼트의 탐지를 수행하고, 탐색된 시어 세그먼트 정보를 클러스터링부(222)로 전달한다.
- [0038] 그리고, 클러스터링부(222)는, 우선, 탐색된 시어 세그먼트들을 미리 설정된 임계값에 기초하여 분류하는 작업을 수행한다. 여기서, 미리 설정된 임계값은 다운버스트 정의를 기반으로 설정된 값들로, 길이, 시어, 고도, 반사도 등이 포함되며, 구체적으로, 시어 세그먼트 내 시선속도의 최대값과 최소값의 차인 시어가 10 ms^{-1} 이상이어야 하고, 반사도가 35 dBZ 이상인 반사도 비율이 50% 이상이어야 하고, 길이는 2 km 이상이어야 하고, 고도는 2 km 이하여야 하며, 또한, 음의 시선속도에서 양의 시선속도로의 변화를 탐지하기 위해 시어 세그먼트 안에는 0 ms^{-1} 의 시선속도가 포함되어야 한다.
- [0039] 다시 말해, 클러스터링부(222)는, 탐색된 시어 세그먼트들에 대해 미리 설정된 임계값을 적용하여 해당하는 시어 세그먼트들을 분류한다. 즉, 클러스터링부(222)는, 각 시어 세그먼트 내에 0 ms^{-1} 의 시선속도가 포함되어 있는지 여부를 확인하고, 확인 결과에 기초하여 시어 세그먼트들을 분류할 수 있다. 또한, 클러스터링부(222)는, 시어 세그먼트의 길이가 2 km 이상인지, 고도가 2 km 이하인지 확인하고, 확인 결과에 기초하여 시어 세그먼트들을 분류할 수 있다. 또한, 클러스터링부(222)는, 도 5의 (a)에 도시된 바와 같이, 분류된 각 시어 세그먼트 내 시선속도의 최대값과 최소값의 차를 나타내는 시어가 10 ms^{-1} 이상인지 확인하고, 확인 결과에 기초하여 시어 세그먼트들을 분류할 수 있다. 즉, 시선속도의 최대값과 최소값의 차가 10 ms^{-1} 이상이면 유효 시어 세그먼트로 분류한다. 또한, 클러스터링부(222)는, 도 5의 (b)에 도시된 바와 같이, 시어 세그먼트들의 반사도가 35 dBZ 이상인 영역의 비율이 50% 이상인지 확인하고, 확인 결과에 기초하여 시어 세그먼트들을 분류할 수 있다. 즉, 반사도가 35 dBZ 이상인 영역의 비율이 50% 이상이면 유효 시어 세그먼트로 분류한다. 여기서, 임계값의 적용 순서는 임의적이며 모든 임계값을 만족하는 경우 최종적으로 유효 시어 세그먼트로 분류된다.
- [0040] 이러한 시어 세그먼트 분류 작업을 통해 클러스터링부(222)는, 유효한 시어 세그먼트들과 그렇지 않은 시어 세그먼트들을 분류한다.
- [0041] 다음으로, 클러스터링부(222)는, 분류된 유효 시어 세그먼트들에 대해 방위각 집합 윈도우(azimuthal association window)를 이용하여 클러스터링을 수행한다.
- [0042] 즉, 클러스터링부(222)는, 방위각 집합 윈도우(azimuthal association window)를 이용하여 임의의 방위각에서 서로 이웃하고 있는 유효 시어 세그먼트들을 하나의 그룹으로 묶어 클러스터를 구성하는데, 윈도우 안에 포함된 유효 시어 세그먼트가 50% 이상 존재하는지 확인하고, 확인 결과 50% 이상 존재하면 윈도우 안의 유효 시어 세

그먼트들(valid shear segments)은 하나의 그룹으로 묶어 클러스터를 구성한다. 이러한 클러스터링 과정은 시어 세그먼트가 50 %미만이 되는 윈도우가 생길 때까지 이루어지며 시어 세그먼트 그룹, 즉, 클러스터는 커지게 된다.

[0043] 이때, 본 실시 예에서는, 도 6에 도시된 바와 같이, 하나의 방위각에서 거리가 멀어짐에 따라 관측반경이 커짐을 고려하여 방위각 집합 윈도우(azimuthal association window)를 각각 레이더 사이트(0 km인 지점)에서는 11개의 윈도우(window)로 설정하고, 거리가 멀어질수록 윈도우의 개수를 점점 감소시켜 레이더 사이트로부터 10 km이상인 지점에서는 3개의 윈도우로 설정한다.

[0044] 그리고, 다운버스트 분류부(223)는, 유효 시어 세그먼트들의 그룹인 클러스터를 면적 임계값에 기초하여 다운버스트인지 아닌지 분류를 수행한다.

[0045] 즉, 다운버스트 분류부(223)는, 클러스터의 면적을 구하고, 구한 클러스터의 면적과 미리 설정된 면적 임계값을 비교하여 구한 클러스터의 면적이 면적 임계값 이상이면 해당 클러스터를 다운버스트로 분류한다. 이때, 다운버스트를 분류하기 위한 면적 임계값은 하기 수학적 식 1에 의해 구해진 값이다.

수학적 식 1

$$A_{th} = A_{min} + \Delta A_{range} + \Delta A_{shear}$$

$$\Delta A_{range} = R_{slope} [R - R_{min}]$$

$$\Delta A_{shear} = \frac{30}{(Shear + 2.5)} - 1.0$$

[0046]

[0047] 여기서, $A_{min} = 0.5 \text{ km}$, $R_{slope} = 0.1 \text{ km}^2 \text{ km}^{-1}$, $R_{min} = 2 \text{ km}$, $R_{max} = 16 \text{ km}$, $Shear_{min} = 10.0 \text{ ms}^{-1}$, $Shear_{max} = 27.5 \text{ ms}^{-1}$ 일 때,

[0048]

$$R = \begin{cases} R_r : R_{min} < R_r < R_{max} \\ R_{min} : R_r \leq R_{min} \\ R_{max} : R_r \geq R_{max} \end{cases} \text{ 이고,}$$

[0049]

$$Shear = \begin{cases} Shear_r : Shear_{min} < Shear_r < Shear_{max} \\ Shear_{min} : Shear_r \leq Shear_{min} \\ Shear_{max} : Shear_r \geq Shear_{max} \end{cases} \text{ 이다.}$$

[0050]

다시 말해, 다운버스트 분류부(223)는, 길이(R) 및 시어(Shear)의 함수인 수학적 식 1을 이용해 면적 임계값을 구하는데, 길이(R)는 최소 길이인 2 km이상, 16 km이하이면 실제 시어 세그먼트 클러스터의 길이를 사용하고, 시어(Shear)가 10.0 ms⁻¹이상, 27.5 ms⁻¹이하이면 실제 시어 세그먼트 클러스터의 시어값을 사용한다. 그런 다음, 다운버스트 분류부(223)는, 구한 면적 임계값을 이용해 클러스터에 대한 다운버스트 분류를 수행한다.

[0051]

다음으로, 도 7 내지 도 9를 참조하여 본 발명에 따른 다운버스트 탐지 방법을 설명하도록 한다.

[0052]

도 7은, 본 발명의 일 실시 형태에 따른 다운버스트 탐지 방법을 설명하기 위한 순서도이다. 도 8은, 도 7의 다운버스트 탐지 방법에 있어서, 시어 세그먼트 탐지 과정을 상세하게 설명하기 위한 순서도이다. 여기서, 본 다운버스트 탐지 방법은 도 1 내지 도 6을 참조하여 설명한 다운버스트 탐지 시스템에 의해 구현될 수 있다.

[0053]

그리고, 본 발명에서는 다운버스트를 탐지하기 위해 다운버스트의 시선속도 발산 패턴을 시어 세그먼트로 정의

한다. 즉, 다운버스트가 발생하면 하강하는 바람이 지상에 부딪히고 사방으로 퍼져나가게 되어 레이더 시선속도장에서 음의 시선속도에서 양의 시선속도로 변화하는 발산 패턴이 나타나는데, 이러한 다운버스트의 발산 패턴 특성에 따른 시선속도 패턴을 시어 세그먼트라 정의한다.

- [0054] 도 7을 참조하면, 본 발명에 따른 다운버스트 탐지 방법은, 관측자료 수집 및 품질 관리 수행 과정(S301), 시어 세그먼트 탐지 과정(S302), 시어 세그먼트의 분류 과정(S303), 시어 세그먼트의 클러스터링 과정(S304) 및 다운버스트의 분류 과정(S305)으로 이루어진다.
- [0055] 먼저, 관측자료 수집 및 품질 관리 수행 과정(S301)은, 11개 현업레이더 네트워크에서 생성된 최하층 PPI(Plan-Position Indicator)의 시선속도 자료 및 반사도 자료를 수집하고, 노이즈 제거를 위해 3×3 평균 필터를 사용하여 품질 관리를 수행하는 과정이다.
- [0056] 그런 다음, 시어 세그먼트 탐지 과정(S302)이 수행되는데, 이 과정(S302)은, 시어 세그먼트의 시작지점과 종료지점을 찾는 과정으로, 하나의 방위각에서 이웃하는 두 개의 시선속도를 비교 후 증가하는 지점을 탐색하여 시어 세그먼트의 시작지점으로 지정하고, 시선속도의 감소 경향을 나타내는 sum_decrease 변수를 이용하여 시어 세그먼트의 종료지점을 찾는다. 본 실시 예에서는, 시어 세그먼트의 시작지점을 예러 자료의 영향을 줄이기 위해서 두 개의 시선속도 차가 5 ms^{-1} 이하인 지점으로 설정한다.
- [0057] 자세하게는, 도 8을 참조하면, 하나의 방위각에서 이웃하는 두 개의 시선속도(V_i, V_{i+1})를 비교하여 시선속도가 증가하는 지점을 탐색하고(S401), 시선속도가 증가하는 지점이 탐색되면(S401, Y) 시작지점으로 지정한다. 이때, 시작지점에서 sum_decrease 변수(SD_i)는 ' 0 ms^{-1} '로 초기화된다.
- [0058] 그런 다음, 시선속도의 감소가 탐지되면(S401, N), 감소가 시작되는 지점의 시선속도가 최대시선속도(V_M ; $\text{max_radial velocity}$)로 설정되고 시선속도의 차(V_D)만큼 sum_decrease 변수(SD_i)에 더해져(S407, S408) 설정된 임계값(5 ms^{-1})을 넘는 지점(S409, Y)이 시어 세그먼트의 종료지점이 된다(S410).
- [0059] 만약 감소하던 시선속도의 경향이 다시 증가하면(S409, N, S401, Y) 증가된 시선속도의 값(V_{i+1})을 최대시선속도(V_M)와의 비교를 수행하여(S402) 증가한 시선속도의 값(V_{i+1})이 최대시선속도(V_M)보다 작다면(S402, N) 시선속도의 차(V_D)는 sum_decrease 변수(SD_i)에 더해져(S407) 시어 세그먼트의 종료지점을 계속해서 찾아가지만, 증가한 시선속도 값(V_{i+1})이 최대시선속도(V_M)보다 더 크다면(S402, Y) 이전의 sum_decrease 변수(SD_{i-1})가 0 ms^{-1} 인지 확인하여(S403) 아닐 경우 sum_decrease 변수(SD_i)를 1 ms^{-1} 만큼 감소시킨다(S405).
- [0060] 그리고 증가하는 시선속도의 경향이 계속된다면 sum_decrease 변수(SD_i)를 1 m/s 만큼 감소시키고 음수가 되는 지점(S406)에 sum_decrease 변수(SD_i)를 ' 0 '으로 초기화시킨다(S404).
- [0061] 여기서, 증가한 시선속도 값(V_{i+1})이 최대시선속도(V_M)보다 큰 경우 sum_decrease 변수(SD_i)의 감소폭을 1 ms^{-1} 로 일정하게 둔 이유는 예러 자료에 의한 시선속도 불연속 지점에서의 큰 증감의 영향을 줄이고, 감소하는 경향을 탐지하는데 더 큰 비중을 주기 위해서이다.
- [0062] 이어서, 시어 세그먼트의 분류 과정(S303)이 수행되는데, 이 과정(S303)은, 미리 설정된 시어 세그먼트의 길이, 고도, 시선속도 및 반사도에 관한 세그먼트 임계값들을 적용해 탐색된 시어 세그먼트들을 분류하는 과정이다. 이때, 시어 세그먼트의 분류를 위한 세그먼트 임계값 적용은, 시어 세그먼트 별로 모든 세그먼트 임계값들을 적용하거나 세그먼트 임계값별로 순차 시어 세그먼트를 분류할 수도 있으며, 세그먼트 임계값의 적용 순서는 임의적일 수 있다.
- [0063] 일 예로, 탐색된 시어 세그먼트들에 대해, 시선속도 ' 0 '을 포함하는지, 길이가 2 km 이상인지, 고도가 2 km 이하인지, 시선속도의 최대값과 최소값의 차이가 10 ms^{-1} 이상인지, 35 dBZ 이상인 반사도 영역의 비율이 50% 이상인지와 같이, 미리 설정된 세그먼트 임계값 조건들을 만족하는 시어 세그먼트들을 분류한다. 여기서, 시어 세그먼트가 ' 0 ms^{-1} '의 시선속도를 포함해야 하는 이유는 음의 시선속도에서 양의 시선속도로의 변화를 탐지하기 위해서이고, 시어 세그먼트의 고도는 레이더 사이트들의 고도를 고려할 때, 2 km 이하인 것이 바람직하다.

- [0064] 그런 다음, 시어 세그먼트의 클러스터링 과정(S304)이 수행되는데, 이 과정(S304)은, 방위각 집합 윈도우(azimuthal association window)를 이용하여 임의의 방위각에 대해 서로 이웃하고 있는 시어 세그먼트들을 하나의 그룹으로 묶어 클러스터를 생성하는 과정이다.
- [0065] 구체적으로, 즉, 방위각 집합 윈도우(azimuthal association window)를 이용해 이웃 반경에 존재하는 시어 세그먼트가 유효한 시어 세그먼트인지, 다시 말해 방위각 상에서 두 시어 세그먼트들이 충분히 가까운지를 확인하고, 확인 결과에 기초하여 이웃한 시어 세그먼트가 유효한 시어 세그먼트이면 하나의 클러스터로 묶는다. 이때, 시어 세그먼트의 분포 밀도를 임계값으로 사용하고, 시어 세그먼트의 분포 밀도가 50 %이상일 때 유효한 것으로 설정될 수 있다.
- [0066] 한편, 도 6에 도시된 바와 같이 하나의 방위각에서 거리가 멀어짐에 따라 관측반경이 커짐을 고려하여 방위각 집합 윈도우(azimuthal association window)의 윈도우 개수를 다르게 설정하는 것이 바람직하다. 이에 본 실시 예에서는, 방위각 집합 윈도우(azimuthal association window)에 포함되는 윈도우의 개수를 레이더 사이트에서는 11개로 설정하고, 거리가 멀어질수록 윈도우의 개수를 점점 감소시켜 레이더 사이트로부터 10 km 이상인 지점에서는 3개로 설정한다.
- [0067] 즉, 설정된 개수의 윈도우 안에 서로 이웃하고 있는 시어 세그먼트들이 50 %이상으로 존재한다면 해당하는 시어 세그먼트들을 하나의 그룹으로 묶어 클러스터를 구성하고, 거리를 늘려가면서 설정된 윈도우 안에 서로 이웃하고 있는 시어 세그먼트들이 50 %이상으로 존재하는지 확인하여 50 %이상으로 존재할 경우 해당하는 시어 세그먼트들을 하나의 그룹으로 묶어가는 과정을 윈도우 안에 시어 세그먼트들이 50 %미만으로 존재할 때까지 반복한다. 이러한 그룹핑 과정을 통해 시어 세그먼트 그룹에 대한 클러스터가 커지게 된다.
- [0068] 이어서, 다운버스트의 분류 과정(S305)이 수행되는데, 이 과정(S305)은, 미리 설정된 면적 임계값을 이용하여 클러스터들을 다운버스트로 분류하는 과정으로, 작은 사이즈로 인해 실제 다운버스트와 같은 현상을 일으키지 않는 클러스터들을 제거하기 위한 작업이다.
- [0069] 즉, 시어 세그먼트 클러스터링 과정(S304)에서 구성된 클러스터들 중 미리 설정된 면적 임계값(A_{th}) 이상인 클러스터를 다운버스트로 분류한다. 이때, 면적 임계값(A_{th})은 길이(R), 시어(Shear)의 함수로 수학식 1과 같으며, 본 실시 예에서는, 시어 세그먼트 그룹의 길이(R_r)가 2 km 이상이면 16 km 이하이면 실제 클러스터의 길이를 사용하고, 해당 범위를 만족하지 않을 경우에는 길이 최소값(R_{min}) 또는 길이 최대값(R_{max})을 사용한다. 또한, 클러스터의 시어($Shear_r$)가 10.0 ms^{-1} 이상이면 27.5 ms^{-1} 이하이면 실제 클러스터의 시어값을 사용하고, 해당 범위를 만족하지 않을 경우에는 시어 최소값($Shear_{min}$) 또는 시어 최대값($Shear_{max}$)을 사용한다.
- [0070] 그런 다음, 분류된 다운버스트는 발산계(divergence field) 및 AWS(Automatic Weather System; 자동기상관측장비)의 시계열 자료와의 비교를 통해 입증된다.
- [0071] 도 9는, 도 7의 다운버스트 탐지 방법을 통해 탐지된 다운버스트 결과를 대류셀 관측 자료 및 AWS의 자료로 산출된 발산장과 비교한 예시도이며, (a)는 2012년 7월 12일 21시 50분에 탐지된 다운버스트 결과를, (b) 및 (c)는 2012년 7월 12일 21시 50분에 탐지된 다운버스트 사례에 대한 단일 대류셀 관측 자료와 AWS로 산출된 발산장 자료를 각각 나타낸다.
- [0072] 도 9의 (a) 내지 (c)를 참조하면, 본 발명에 따른 다운버스트 탐지 방법을 적용한 결과, 2012년 7월 12일 21시 50분 군산 지역에서 다운버스트가 탐지되었고, 해당 시각에 관측된 단일 대류셀 및 AWS로 산출된 발산장 자료에 표시된 검은 원 표시와 같이 군산지역에서 다운버스트 특성이 나타남을 알 수 있다.
- [0073] 도 10은, 도 7의 다운버스트 탐지 방법을 통해 탐지된 다운버스트 결과를 실제 관측 자료와 비교한 예시도이며, (a) 및 (b)는 2012년 7월 12일 21시 50분에 관측된 실제 반사도 및 시선속도를, (d) 및 (e)는 2012년 7월 12일 21시 50분에 탐지된 다운버스트 결과를 각각 나타낸다.
- [0074] 도 10의 (a) 내지 (d)를 참조하면, 탐지된 다운버스트 영역은 반사도 50 dBZ 이상이며, -5 ms^{-1} 에서 10 ms^{-1} 로 변화하는 발산패턴 지역(검은 원 표시 지역)과 일치함을 알 수 있다.

[0075] 도 11은, 본 발명의 다운버스트 탐지 방법에 의해 탐지된 다운버스트 결과를 AWS로 산출된 발산장 자료과 지상 AWS 관측 자료와 비교한 예시도이며, (a)는 2012년 7월 12일 21시 50분에 탐지된 다운버스트 결과를, (b)는 탐지된 다운버스트 결과를 발산장으로 표출한 영상을, (c)는 지상 AWS의 바람벡터 자료를, (d)는 지상 AWS의 풍향, 풍속, 강수량, 온도 및 습도의 시계열 자료를 각각 나타낸다. 여기서, 본 발명에 사용된 데이터는 2012년 7월 12일자 관측 자료이다.

[0076] 도 12의 (a) 내지 (d)를 참조하면, 본 발명에 따라 탐지된 다운버스트 지역((a) 및 (b)의 검은 원으로 표시)에 대한 지상 AWS의 바람 벡터 자료에서 나타난 바와 같이 중심에서 바깥으로 방사형으로 불어나가는 것을 확인할 수 있고((c)의 검은 화살표로 표시), 지상 AWS의 시계열 자료에서 나타난 바와 같이 21시 30분에서 22시까지 풍속의 증가와 풍향의 급격한 변화가 관측되었음을 알 수 있다((d)의 검은 선 표시).

[0077] 이처럼 본 발명의 다운버스트 탐지 방법에 따르면 정확한 다운버스트의 탐지가 가능함을 알 수 있다.

[0078] 이제까지 본 발명에 대하여 그 바람직한 실시예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시 예들을 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 한다.

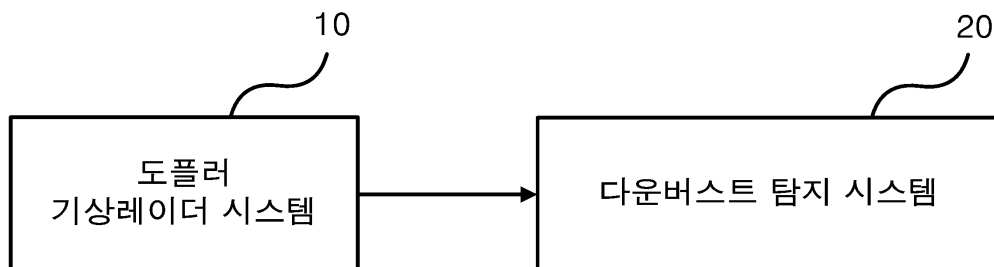
[0079] 또한, 본 발명에 따른 장치 및 방법은 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다. 기록매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광 데이터 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

부호의 설명

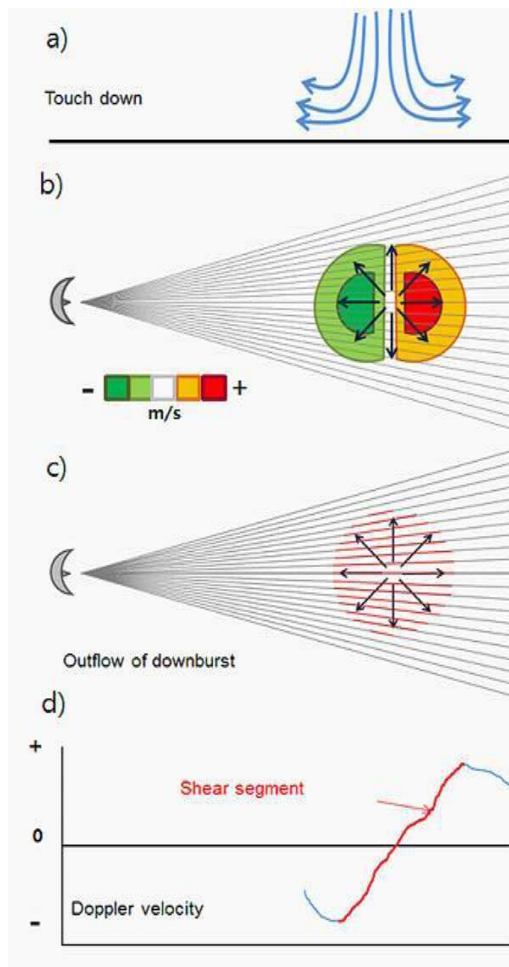
- | | | |
|--------|-------------------|------------------|
| [0080] | 10. 도플러 기상레이더 시스템 | 20. 다운버스트 탐지 시스템 |
| | 21. 자료수집부 | 22. 다운버스트 탐지부 |

도면

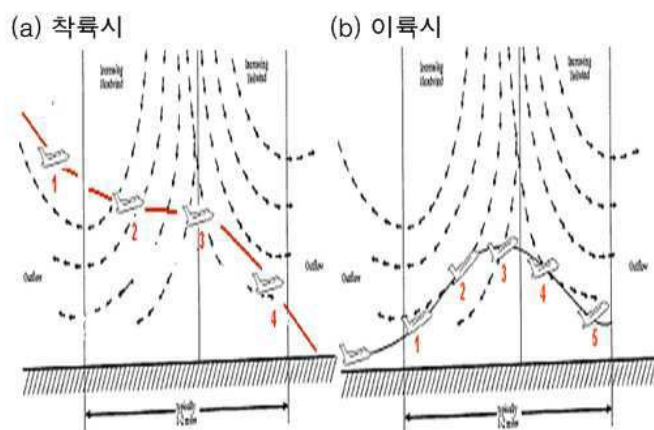
도면1



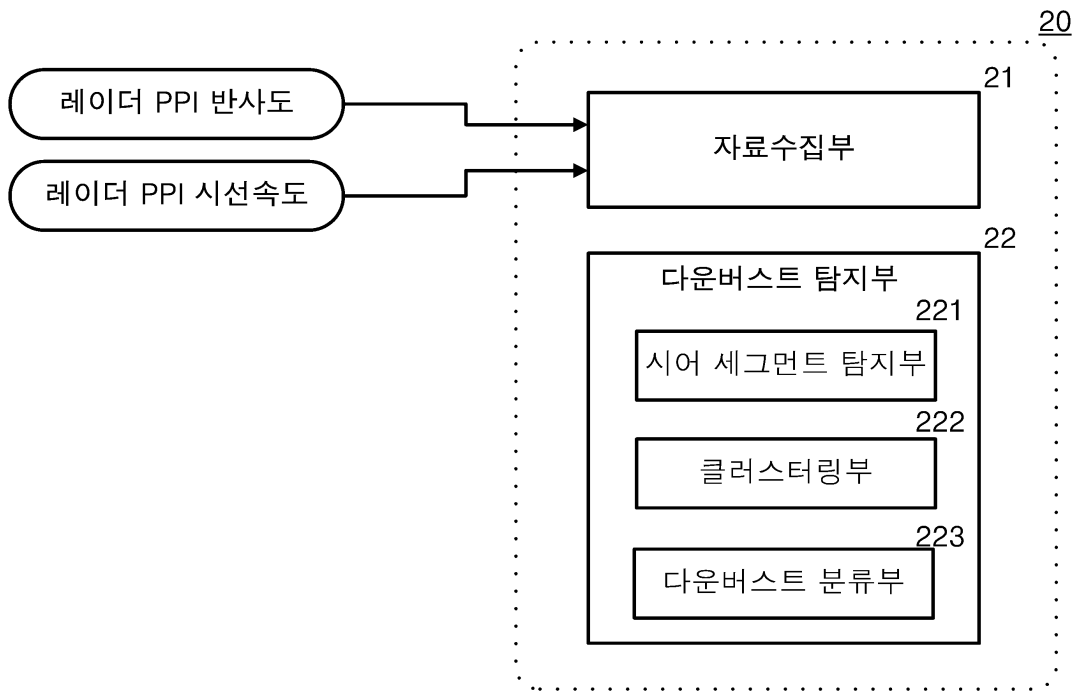
도면2



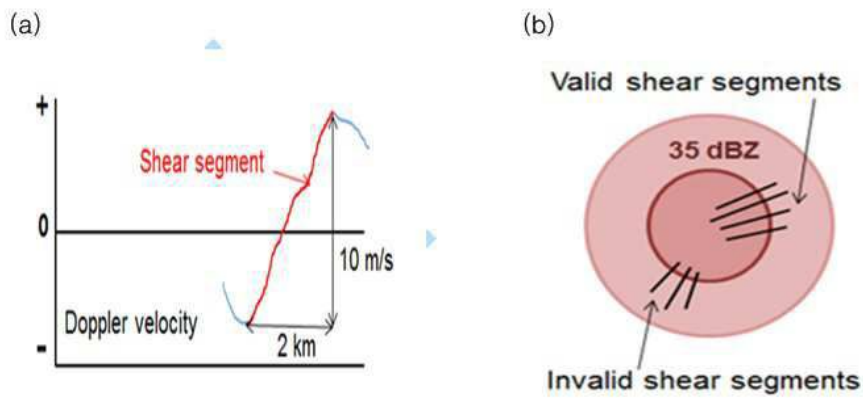
도면3



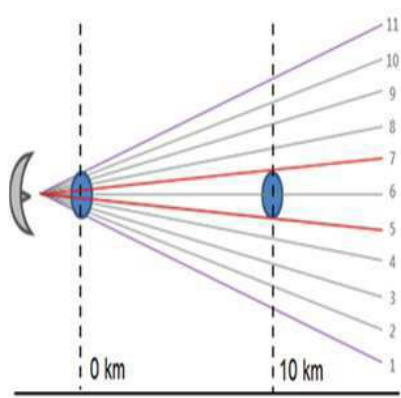
도면4



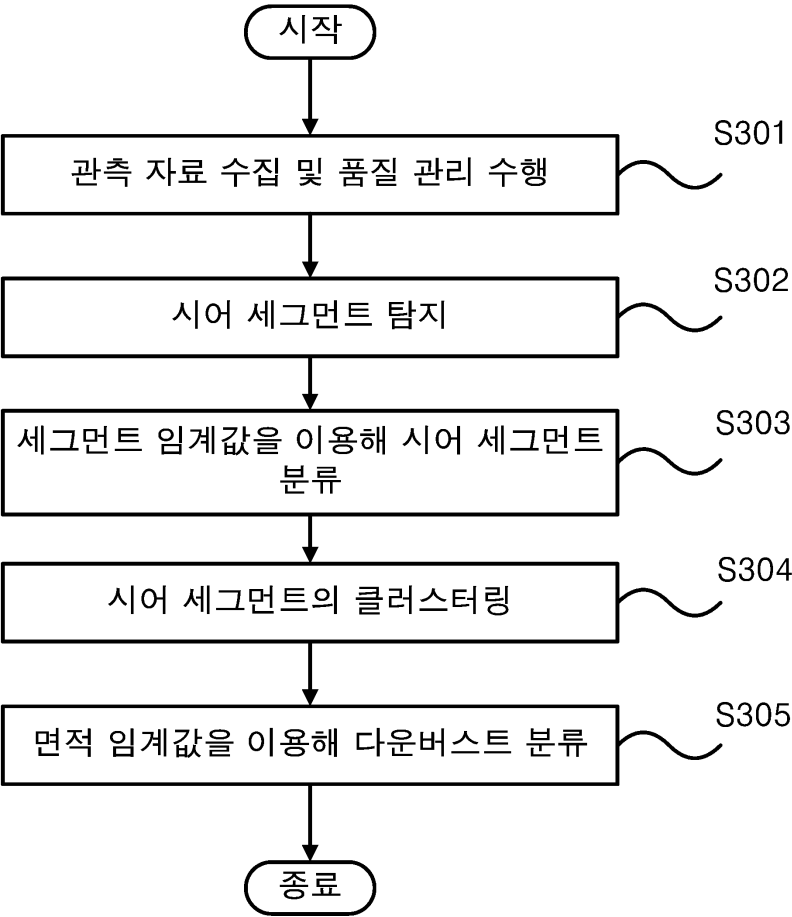
도면5



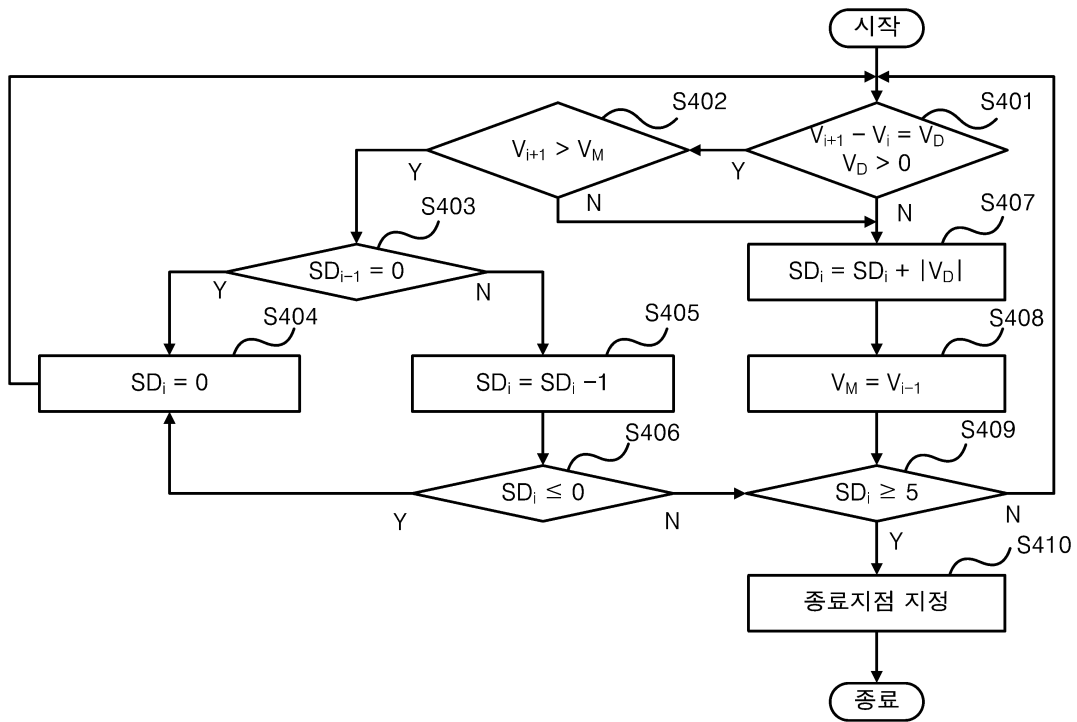
도면6



도면7

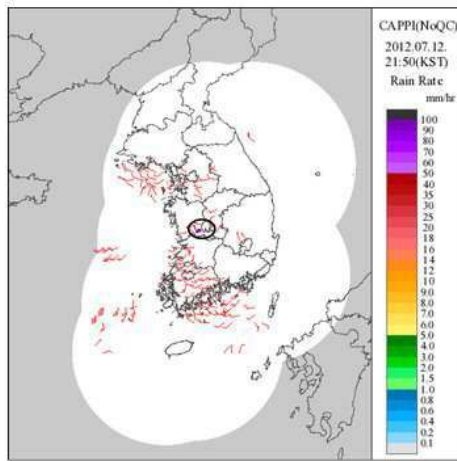


도면8

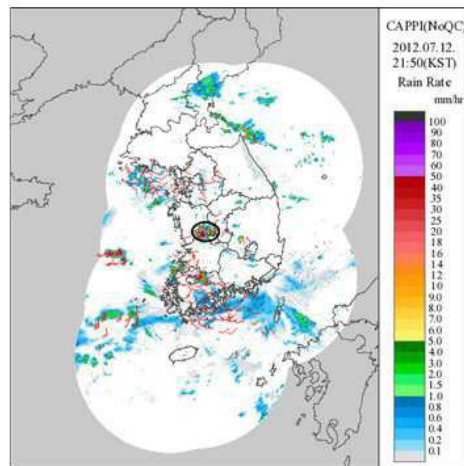


도면9

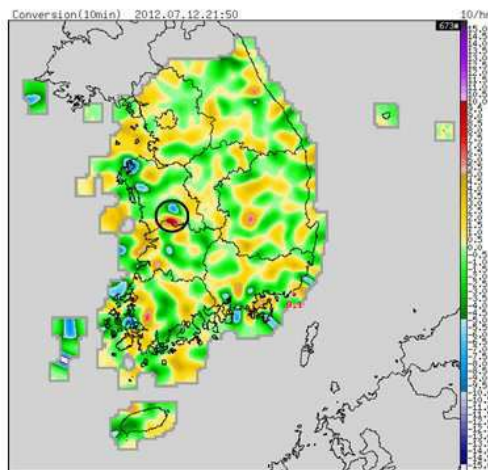
(a)



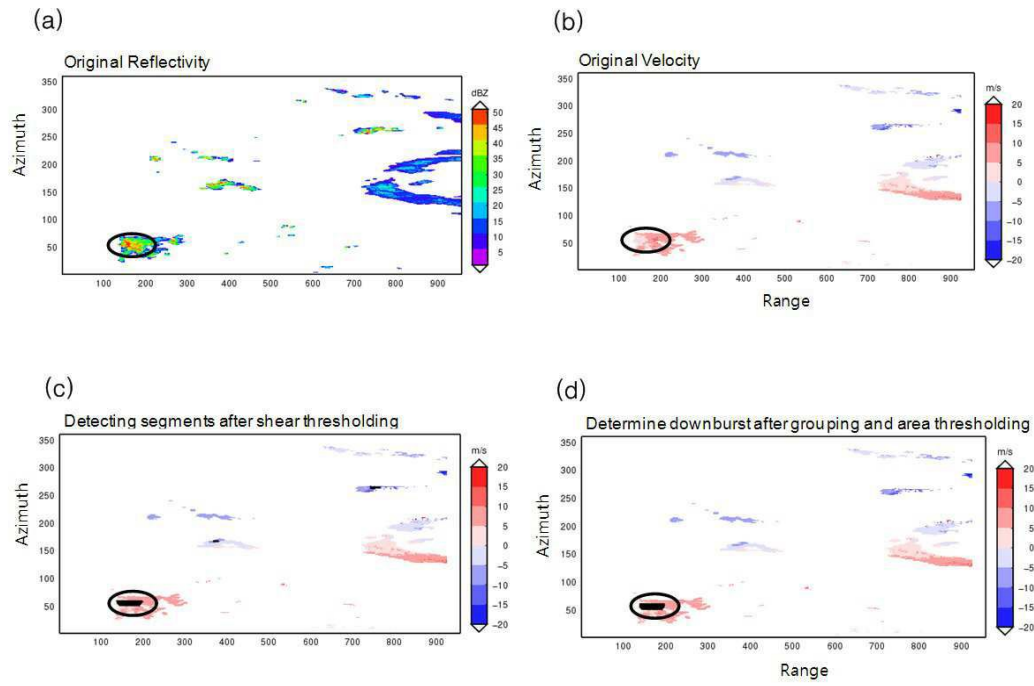
(b)



(c)



도면10



도면11

