(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0104099
(43) 공개일자 2017년09월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01W 1/08 (2006.01) *G01W 1/02* (2006.01)
G01W 1/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01W 1/08 (2013.01)
G01W 1/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0026637
(22) 출원일자 2016년03월04일
심사청구일자 2016년03월04일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)
(72) 발명자
권병혁
부산광역시 수영구 광안해변로15번길 68 505동 1402호 (남천동,남천삼익뉴비치아파트)
김박사
부산광역시 동래구 석사로33번길 25 202호 (사직동,임페리얼빌리지)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 대아

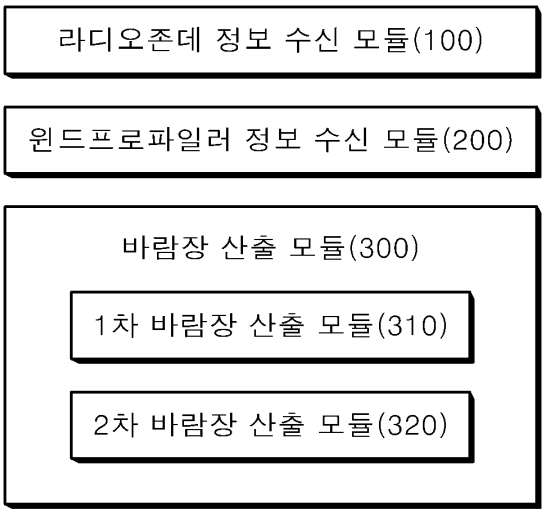
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **윈드프로파일러 자료를 이용한 CALMET의 바람장 생성 시스템 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 라디오존데의 자료만을 이용하지 않고, 윈드프로파일러의 풍향 및 풍속 정보를 수신하여 CALMET에서 바람장을 생성하는 것으로, 본 발명은 라디오존데에서 기온, 습도 및 기압의 정보를 수신하는 라디오존데 정보 수신 모듈과 윈드프로파일러에서 풍향 및 풍속의 정보를 수신하는 윈드프로파일러 정보 수신 모듈 및 라디오존데 정보 수신 모듈과 윈드프로파일러 정보 수신 모듈에서 수신한 정보를 상층 기상자료로 사용하여 모델링을 통해 바람장을 산출하는 바람장 산출 모듈을 포함하여, 라디오존데의 정보를 이용하여 생성된 CALEMT의 바람장보다 정확도를 향상시키는, 윈드프로파일러 자료를 이용한 CALMET의 바람장 생성 시스템 및 방법을 제공한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01W 1/10 (2013.01)
(72) 발명자
김광호
부산광역시 동구 망양로685번길 11 (수정동)
김민성
부산시 남구 황령대로 319번길 26 103-1501

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1365002137
부처명 기상청
연구관리전문기관 기상청
연구사업명 기상기술개발사업
연구과제명 윈드프로파일러 자료의 정확도 개선 기술 개발
기 여 율 1/1
주관기관 부경대학교 산학협력단
연구기간 2015.05.01 ~ 2016.04.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

라디오존데에서 기온, 습도 및 기압의 정보를 수신하는 라디오존데 정보 수신 모듈;

윈드프로파일러에서 풍향 및 풍속의 정보를 수신하는 윈드프로파일러 정보 수신 모듈; 및

상기 라디오존데 정보 수신 모듈과 상기 윈드프로파일러 정보 수신 모듈에서 수신한 정보를 상층 기상자료로 사용하여 모델링을 통해 바람장을 산출하는 바람장 산출 모듈;

을 포함하는 윈드프로파일러 자료를 이용한 CALMET의 바람장 생성 시스템.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 바람장 산출 모듈은

지형효과에 의한 운동학적 변화, 산사면 흐름, 대기정체, 골과 골 사이의 가속된 바람에 의한 변화를 반영하여 1차 바람장을 산출하는 1차 바람장 산출 모듈;

을 포함하는 윈드프로파일러 자료를 이용한 CALMET의 바람장 생성 시스템.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 바람장 산출 모듈은

상기 1차 바람장 산출 모듈에서 산출된 상기 1차 바람장을 이용하여, 거리의 가중치를 고려한 객관 분석으로 2차 바람장을 산출하는 2차 바람장 산출 모듈;

을 포함하는 윈드프로파일러 자료를 이용한 CALMET의 바람장 생성 시스템.

청구항 4

라디오존데 정보 수신 모듈에서 수신한 라디오존데의 기온, 습도 및 기압 정보를 수신하는 라디오존데 정보 수신 단계;

윈드프로파일러 정보 수신 모듈에서 수신한 윈드프로파일러의 풍향 및 풍속 정보를 수신하는 윈드프로파일러 정보 수신 단계; 및

상기 라디오존데 정보 수신 단계와 상기 윈드프로파일러 정보 수신 단계에서 수신한 정보를 상층 기상자료로 사용하여 바람장 산출 모듈에서 모델링을 통해 바람장을 산출하는 바람장 산출 단계;

를 포함하는 윈드프로파일러 자료를 이용한 CALMET의 바람장 생성 방법.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 바람장 산출 단계는

지형효과에 의한 운동학적 변화, 산사면 흐름, 대기정체, 골과 골 사이의 가속된 바람에 의한 변화를 반영하여 1차 바람장 산출 모듈에서 1차 바람장을 산출하는 1차 바람장 산출 단계; 를 포함하는 윈드프로파일러 자료를 이용한 CALMET의 바람장 생성 방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 바람장 산출 단계는

상기 1차 바람장 산출 단계에서 산출된 상기 1차 바람장을 이용하여, 거리의 가중치를 고려한 객관 분석을 통해 2차 바람장 산출 모듈에서 2차 바람장을 산출하는 2차 바람장 산출 단계;

를 포함하는 윈드프로파일러 자료를 이용한 CALMET의 바람장 생성 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 라디오존데의 자료만을 이용하지 않고, 윈드프로파일러의 풍향 및 풍속 정보를 수신하여 CALMET에서 바람장을 생성하는 것으로, 윈드프로파일러 자료를 이용한 CALMET의 바람장 생성 시스템 및 그 방법이다.

배 경 기 술

[0002] 컴퓨터 성능의 발달과 함께 종관규모 대기운동을 고려할 수 있는 중규모 기상 예측 모델과, 상세 영역에서 지표 구조물과 지형에 의한 대기경계층 내의 3차원 바람장을 정확하게 모의할 수 있는 진단 모델이 개발되어 3차원 바람장을 산출하는 연구가 활발히 진행되었다. 한반도는 동북고, 남서저의 큰 산맥들이 북부와 동부에 치우쳐 있고, 삼면이 바다로 둘러싸여 있으며, 해안선이 길고 복잡하며 굴곡이 심한 지형으로 이루어져 있다. 특히 해안가에는 육지-바다 간의 온도차에 의한 해륙풍의 효과로 매우 복잡한 바람장이 나타나기 때문에 정확한 대기확산 모델링을 수행하기 위해서 3차원 바람장의 입력 자료가 필요하다.

[0003] 또한, 모델링 전체 영역에서 단일 지점의 기상자료를 사용하면 지형에 따른 공간적 바람장의 변화에 의한 오염물질의 확산을 고려할 수 없다. 따라서 수직, 수평적으로 지형 변화를 고려할 수 있는 진단 및 예측 바람장 모델을 이용하여 3차원 바람장을 만들 필요가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제 2012-0101949호(2012.09.17. 공개)

(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허공보 제 2012-0101952호(2012.09.17. 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 목적은 윈드프로파일러의 풍향 및 풍속 정보를 이용하여 CALMET에서 바람장을 생성하는 것이다. 기존 라디오존데를 이용하여 생성된 바람장보다 정확도를 향상시키는, 윈드프로파일러 자료를 이용한 CALMET의 바람장 생성 시스템 및 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 상술한 목적을 달성하기 위해, 본 발명은 라디오존데에서 기온, 습도 및 기압의 정보를 수신하는 라디오존데 정보 수신 모듈과 윈드프로파일러에서 풍향 및 풍속의 정보를 수신하는 윈드프로파일러 정보 수신 모듈 및 라디오존데 정보 수신 모듈과 윈드프로파일러 정보 수신 모듈에서 수신한 정보를 상층 기상자료로 사용하여 모델링을 통해 바람장을 산출하는 바람장 산출 모듈을 포함한다.

[0007] 바람장 산출 모듈은 지형효과에 의한 운동학적 변화, 산사면 흐름, 대기정체, 골과 골 사이의 가속된 바람에 의한 변화를 반영하여 1차 바람장을 산출하는 1차 바람장 산출 모듈을 포함한다.

[0008] 바람장 산출 모듈은 1차 바람장 산출 모듈에서 산출된 1차 바람장을 분석하여 2차 바람장을 산출하는 2차 바람장 산출 모듈을 포함한다.

[0009] 라디오존데 정보 수신 모듈에서 수신한 라디오존데의 기온, 습도 및 기압 정보를 수신하는 라디오존데 정보 수신 단계와 윈드프로파일러 정보 수신 모듈에서 수신한 윈드프로파일러의 풍향 및 풍속 정보를 수신하는 윈드프로파일러 정보 수신 단계 및 라디오존데 정보 수신 단계와 윈드프로일러 정보 수신 단계에서 수신한 정보를 상층 기상자료로 사용하여 바람장 산출 모듈에서 모델링을 통해 바람장을 산출하는 바람장 산출 단계를 포함한다.

[0010] 바람장 산출 단계는 지형효과에 의한 운동학적 변화, 산사면 흐름, 대기정체, 골과 골 사이의 가속된 바람에 의한 변화를 반영하여 1차 바람장 산출 모듈에서 1차 바람장을 산출하는 1차 바람장 산출 단계를 포함한다.

[0011] 바람장 산출 단계는 1차 바람장 산출 단계에서 산출된 1차 바람장을 분석하여 2차 바람장 산출 모듈에서 2차 바람장을 산출하는 2차 바람장 산출 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0012] 본 발명은 윈드프로파일러의 풍향 및 풍속 정보를 이용하여 CALMET에서 바람장을 생성하는 것으로, 라디오 존데의 정보를 이용하여 생성된 CALEMT의 바람장보다 정확도를 향상시키는, 윈드프로파일러 자료를 이용한 CALMET의 바람장 생성 시스템 및 방법을 제공한다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 본 발명에 따른 CALMET의 바람장 생성 시스템의 개념도.

도 2는 본 발명에 따른 CALMET의 바람장 생성 방법의 순서도.

도 3 내지 도 10은 본 발명의 검증을 위한 비교도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명하기로 한다.

[0015] 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다. 도면상의 동일 부호는 동일한 요소를 지칭한다.

[0016] 도 1은 본 발명에 따른, CALMET의 바람장 생성 시스템의 개념도이다.

[0017] 본 발명에 따른 윈드프로파일러 자료를 이용한 CALMET의 바람장 생성 시스템은 라디오존데에서 기온, 습도 및 기압의 정보를 수신하는 라디오존데 정보 수신 모듈(100)과 윈드프로파일러에서 풍향 및 풍속의 정보를 수신하는 윈드프로파일러 정보 수신 모듈(200)과 라디오존데 정보 수신 모듈과 윈드프로파일러 정보 수신 모듈에서 수신한 정보를 상층 기상자료로 사용하여 모델링을 통해 바람장을 산출하는 바람장 산출 모듈(300)을 포함한다.

[0018] 바람장 산출 모듈(300)은 지형효과에 의한 운동학적 변화, 산사면 흐름, 대기정체, 골과 골 사이의 가속된 바람에 의한 변화를 반영하여 1차 바람장을 산출하는 1차 바람장 산출 모듈(310)과, 1차 바람장 산출 모듈(310)에서 산출된 1차 바람장을 이용하여, 거리의 가중치를 고려한 객관 분석으로 2차 바람장을 산출하는 2차 바람장 산출 모듈(320)을 포함한다.

[0019] 도 2는 본 발명에 따른, CALMET의 바람장 생성 방법의 순서도이다.

[0020] 본 발명에 따른 윈드프로파일러 자료를 이용한 CALMET의 바람장 생성 시스템은 라디오존데 정보 수신 모듈에서 수신한 라디오존데의 기온, 습도 및 기압 정보를 수신하는 라디오존데 정보 수신 단계(S1-1)와 윈드프로파일러 정보 수신 모듈에서 수신한 윈드프로파일러의 풍향 및 풍속 정보를 수신하는 윈드프로파일러 정보 수신 단계(S1-2)와 라디오존데 정보 수신 단계와 상기 윈드프로파일러 정보 수신 단계에서 수신한 정보를 상층 기상자료로 사용하여 바람장 산출 모듈에서 모델링을 통해 바람장을 산출하는 바람장 산출 단계(S2)를 포함한다.

[0021] 바람장 산출 단계(S2)는 지형효과에 의한 운동학적 변화, 산사면 흐름, 대기정체, 골과 골 사이의 가속된 바람에 의한 변화를 반영하여 1차 바람장 산출 모듈에서 1차 바람장을 산출하는 1차 바람장 산출 단계(S2-1)와 1차 바람장 산출 단계에서 산출된 1차 바람장을 분석하여 2차 바람장 산출 모듈에서 2차 바람장을 산출하는 2차 바람장 산출 단계(S2-2)를 포함한다.

[0022] 본 발명의 검증을 위해, CALMET으로 모의한 바람장의 정확성을 평가하기 위한, 라디오존데 관측 변수는 고도별 수평 풍속과 풍향이다.CALMET으로 모의한 바람장의 정확도는 라디오존데 자료와의 고도별 평균 편차(Mean Bias,

MB), 고도별 제곱근평균제곱오차(Root Mean Square Error, RMSE), 고도별 정규화된 제곱근평균제곱오차(Normailzed RMSE, NRMSE)와 같은 통계적 방법을 통하여 산출하였다. 평균편차는 CALMET 오차의 방향성을 나타낸다. 평균 편차의 부호가 음(-)일 경우, CALMET으로 모의한 풍속이 라디오존데로 관측한 풍속에 비해 과대모의된 것을 의미한다. 제곱근평균제곱오차는 CALMET과 라디오존데 오차의 크기를 의미한다. 정규화된 제곱근평균제곱오차는 수평풍속에 대한 영향으로부터 CALMET 오차의 크기를 정규화한 것을 의미한다. 통계적 검증은 CALMET 모의 높이(20m, 40m, 80m, 160m, 300m, 600m, 1000m, 1500m, 2200m, 3000m, 4000m, 5000m)에 가장 근접한 라디오존데 자료를 선택하여 수행한다. 강릉 지점에서 비양한 라디오존데 자료와 교차검증을 수행할 때는 강릉 지점을 제외한 9개의 윈드프로파일러 풍향·풍속 자료가 사용되었고, 군산 지점에서 비양한 라디오존데 자료와 교차검증을 수행할 때는 군산 지점을 제외한 9개의 윈드프로파일러 풍향·풍속 자료가 사용되었다.

[0023] 도 3 내지 도 10은 본 발명의 검증을 위한 비교도이다.

[0024] 도 3은 강릉 기상대 윈드프로파일러의 시계열(a), 강릉 기상대에서 비양한 라디오존데의 시계열(b), Omd로 모의한 CALMET 바람장에서 강릉 지점에 해당하는 바람의 시계열(c) 및 NOmd로 모의한 CALMET 바람장에서 강릉 지점에 해당하는 바람의 시계열(d)를 비교한 것이다.

[0025] 도 4는 군산 기상대 윈드프로파일러의 시계열(a), 군산 기상대에서 비양한 라디오존데의 시계열(b), Omd로 모의한 CALMET 바람장에서 군산 지점에 해당하는 바람의 시계열(c) 및 NOmd로 모의한 CALMET 바람장에서 군산 지점에 해당하는 바람의 시계열(d)를 비교한 것이다.

[0026] 도 5는 강릉 기상대에서 해풍이 불기 전(검정 실선)의 온위 프로파일과 해풍이 불고난 후(회색 실선)의 온위 프로파일(a), 및 강릉 기상대에서 해풍이 불기 전(검정 실선)의 비습 프로파일과 해풍이 불고난 후(회색 실선)의 비습 프로파일(b)를 비교한 것이다.

[0027] 도 6은 강릉에서 해풍이 불기 시작한 10시에 라디오존데(회색 실선)와 NOmd(*) 및 Omd(□)로 모의하여 산출한 동서 성분 바람벡터(U), 남북 성분 바람벡터(V) 바람자료와 풍속, 풍향을 비교한 것이다.

[0028] 도 7은 강릉에서 다시 해풍이 불기 시작한 13시에 라디오존데(회색 실선)와 NOmd(*) 및 Omd(□)로 모의하여 산출한 동서 성분 바람벡터(U), 남북 성분 바람벡터(V) 바람자료와 풍속, 풍향을 비교한 것이다.

[0029] 도 8은 군산에서 해풍이 불었던 13시에 라디오존데(회색 실선)와 NOmd(*) 및 Omd(□)로 모의하여 산출한 동서 성분 바람벡터(U), 남북 성분 바람벡터(V) 바람자료와 풍속, 풍향을 비교한 것이다.

[0030] 도 9는 군산에서 다시 해풍이 불기 시작한 16시에 라디오존데(회색 실선)와 NOmd(*) 및 Omd(□)로 모의하여 산출한 동서 성분 바람벡터(U), 남북 성분 바람벡터(V) 바람자료와 풍속, 풍향을 비교한 것이다.

[0031] 도 10은 강릉에서 비양한 라디오존데 자료 중 해륙풍이 불었던 10시, 13시 및 15시의 자료와 그 시간에 해당하는 CALMET의 고도별 수평 평균 풍속의 MB, RMSE, NRMSE와 수평 풍향에 대한 RMSE를 나타낸다.

[0032] 도 3을 참조하면, 전곡리, 속초, 흑산도, 광주 지점에서 NOmd로 산출한 풍속은 라디오존데에 비해 하층 수평풍속이 과대모의 되었고, 상층 수평풍속은 과소모의 되었다. 동일한 지점에 Omd로 산출한 수평 풍속은 대체적으로 과소모의 되었으나, NOmd에 비해 라디오존데와 상대적으로 잘 일치하였다. 포항, 오산 지점에서 NOmd와 Omd로 산출한 수평 풍속은 라디오존데에 비해 과소 모의되는 경향을 보였으나 상대적으로 Omd로 산출한 풍속이 라디오존데와 더 가까웠다.

[0033] 도 4를 참조하면, 6 지역에서 두 방법으로 산출한 풍향은 라디오존데로 관측한 풍향과 상대적으로 잘 일치한다. 전곡리(도 4a)에서 하층의 동풍 계열 바람을 Omd는 잘 모의하였으나, NOmd는 남풍 계열의 바람으로 모의하였다. 오산(도 4c)에서는 하층의 남서풍 계열의 바람을, Omd는 남서풍 계열로 잘 모의하였고, NOmd는 북동풍 계열의 바람으로 모의하였다. 흑산도(도 4f)에서는 하층의 서풍 계열 바람을, NOmd는 남풍계열의 바람으로 모의하였고, Omd는 서풍계열의 바람으로 잘 모의하였다. Omd로 산출한 수평 풍속과 풍향은 NOmd로 산출한 수평풍속과 풍향에 비해 라디오존데와 상대적으로 잘 일치함을 알 수 있다.

[0034] 도 3a는 2013년 6월 18일에 강릉기상대에 설치된 윈드프로파일러로 관측된 바람시계열이며, 도 3b는 강릉기상대 인근에서 6월 18일에 라디오존데를 총 12회 비양하여 관측한 바람 시계열이다. 강릉기상대는 동해안에 인접해있다. 바람 시계열 그림을 보면 강릉에서는 13시 이후로 육풍에서 해풍으로 바람이 변화하는 것으로 나타나며, 군산에서는 당일 내내 서풍 계열의 해풍이 부는 것으로 나타난다. Omd와 Nomd로 각각 산출한 바람이 이러한 국지적인 바람 변화를 제대로 모의하는지, 윈드프로파일러 자료와 라디오존데 자료로 각각 비교하였다. 비교지점의 윈드프로파일러 자료를 제외한 9개 지점의 윈드프로파일러 자료를 이용하여 Omd로 라디오존데를 비양한 지점의

바람을 모의하였다. 도 3c는 원주, 철원, 문산, 군산, 창원, 서해종합기지, 추풍령, 울진, 보성에 설치된 9개 지점의 윈드프로파일러 자료를 이용하여 Omd로 모의한 강릉기상대 지점에서의 바람 시계열 자료이다. 도 3d는 Nomd로 산출한 강릉기상대 지점에서의 바람 시계열 자료이다.

[0035] 먼저 강릉의 프로파일러로 관측한 바람 시계열을 살펴보면, 13시 이후부터 서풍 계열의 바람이 동풍 계열의 해풍으로 약 1.3km 고도 이하의 모든 고도에서 부는 것으로 나타나고, 해풍은 약 21시까지 지속되었다. NOmd와 달리 Omd는 11시 이후부터 300m와 600m에서 동풍 계열의 바람을 적절하게 모의한 것으로 나타난다. 동풍 계열의 바람은 일출 이후로 지표면이 바다에 비해 빨리 가열되어 발생한 해풍으로 판단된다.

[0036] 도 4a는 6월 18일에 군산기상대에 설치되어 있는 윈드프로파일러로 관측한 바람 시계열이며, 도 4b는 군산기상대 인근에서 6월 18일에 라디오존데를 총 11회 비양하여 관측한 바람시계열이다. 군산 윈드프로파일러로 관측한 바람은 일몰 전까지 대체적으로 서풍계열의 바람이었으나 일몰 후 동풍계열의 바람이 관측되었다. 이 것은 강릉 윈드프로파일러와 달리, 군산 윈드프로파일러가 한반도의 서해안에 설치되었기 때문이다. 도 4c는 강릉, 원주, 철원, 문산, 창원, 서해종합기지, 추풍령, 울진, 보성에 설치된 9개 지점의 윈드프로파일러 자료를 이용하여 Omd로 산출한 군산기상대 지점에서의 바람 시계열 자료이다. 도 4d는 NOmd로 산출한 군산기상대 지점에서의 바람 시계열 자료이다. 하층(71m~1km 이하)에서 강한 해풍이 들어온 것을 확인할 수 있다. Omd로 산출한 바람 시계열은 군산 윈드프로파일러로 관측한 바람 시계열과 같이 모든 고도에서 서풍 계열의 바람을 잘 모의하였으나, NOmd로 산출한 바람 시계열은 12시 이후로 약 1.2km 모든 고도에서 강한 동풍 계열의 육풍을 모의한 것으로 나타난다.

[0037] 도 5를 참조하면, 해풍이 불기 시작했을 때의 라디오존데 관측 자료 중 기온, 기압, 이슬점 온도 자료를 이용하여 계산한 온위와 비습의 변화를 나타낸 것이다. 그림 5a는 강릉기상대 지점에서 온위 변화를 나타낸 것이다. 검은색 실선은 해풍이 불기 전인 오전 10시의 온위 프로파일이고, 회색 점선은 해풍이 13시 이후로 불기 시작하여 3시간이 지난 17시의 온위 프로파일이다. 하층의 온위 변화량은 최고 20k 정도 감소하였다. 그림 5b는 강릉기상대 지점에서의 비습 변화를 나타낸 것이다. 마찬가지로 검은색 실선은 해풍이 불기 전인 오전 10시의 비습 프로파일이고, 회색 점선은 해풍이 침입한 시간으로부터 3시간 뒤인 17시의 비습 프로파일이다. 하층의 비습 변화량은 약 1.5km 고도 이하에서 3g/kg 증가한 것을 확인할 수 있다.

[0038] 해풍이 불기 시작한 시간에 NOmd와 Omd로 각각 모의한 바람을 라디오존데 자료와 비교하였다. 도 6을 참조하면, 강릉에서 해풍이 불기 시작한 10시에 라디오존데와 NOmd 및 Omd로 모의하여 산출한 U성분, V성분 바람자료와 풍속, 풍향을 비교한 것이다. (도 6a, 도 6b, 도 6c, 도 6d) NOmd로 산출한 수평 풍속은 전체적으로 과대 모의하는 경향이 있지만, Omd로 산출한 수평풍속은 대체적으로 라디오존데로 관측한 수평 풍속에 가깝게 모의하였다. 라디오존데로 관측한 풍향을 살펴보면 해풍이 불기 시작하면서, 하층에서부터 약 1.5km 고도까지 바람이 순전하는 것으로 관측되었는데, NOmd와 달리 Omd는 이를 잘 모의하는 것을 도 6d를 통해 확인할 수 있다. 도 7 역시, 강릉에서 해풍이 불었던 13시의 라디오존데와 NOmd 및 Omd로 모의하여 산출한 U성분, V성분 바람 자료와 풍속, 풍향을 비교한 것이다. 도 6과 동일하게 NOmd에 비해 Omd로 산출한 풍속, 풍향이 해륙풍과 같은 국지풍을 잘 모의한 것으로 나타난다. 이 것은 시간 해상도가 높은 윈드프로파일러 자료가 사용되었기 때문으로 판단된다. 윈드프로파일러 자료를 이용하여 3차원 변분 자료 동화를 수행하였더니, 육지 내에서의 전체적인 강한 바람을 부분적으로 약하게 모의함으로써 지형에 의한 상세 바람장 산출에, 보다 효과적으로 작용함을 알 수 있다. 강릉기상대와 달리 군산기상대 지점에서는 서풍 계열의 해풍이 당일 내내 불었음을 알 수 있다. 또한, 종관바람이 있는 경우에는 한반도의 국지 순환 형태, 대기경계층의 높이, 해륙풍의 강도, 육지로의 진입거리 등이 많은 영향을 받는다고 보고하였고, 태백산맥 동쪽경사면에서 이른 아침 가열로 인해 지표면 온도가 먼저 승온하여 서해안보다 국지 순환이 더 일찍 발달하고, 종관규모 운동이 존재하여도 그 특성이 유지된다.

[0039] 도 8은 군산에서 해풍이 불었던, 14시의 라디오존데와 NOmd 및 Omd로 모의하여 산출한 U성분, V성분 바람 자료와 풍속, 풍향을 비교한 것이다. NOmd와 Omd로 모의한 수평 풍속은 모두 상층에서 과소모의 하는 경향이 있었고, NOmd로 산출한 하층 풍속은 라디오존데로 관측한 풍속에 가깝게 모의하는 것 같이 보였지만, U성분, V성분 바람으로 분해하여 비교하면 Omd로 산출한 풍속에 비해 더 과소모의 하는 경향을 보임을 알 수 있다. Omd로 산출한 바람의 방향은 라디오존데로 관측한 풍향과 동일하게 상하층 모두 서풍으로 잘 모의하였으나, NOmd로 산출한 하층의 풍향은 동풍 계열로 잘못 모의한 것을 도 8d를 통해 알 수 있다.

[0040] 도 9를 참조하면, 군산에서 해풍이 불었던 16시의 라디오존데 자료와 NOmd 및 Omd로 모의하여 산출한 U성분, V성분 바람 자료와 풍속, 풍향을 비교한 것이다. 도 8과 동일하게 하층 풍속은 라디오존데로 관측한 풍속에 비해 과소모의하는 경향을 도 9a, 도 9b 및 도 9c를 통해 보였고, 풍향은 NOmd와 달리 Omd에서는 서풍 계열의 바람으

로 모의하는 것으로 도 9d를 통해 나타난다.

[0041] 위의 정확도를 평가하면, 도 10은 6월 18일에 강릉에서 12회 비양한 라디오존데 자료 중 해륙풍이 불었던 10시, 13시, 15시에 비양한 라디오존데 자료와 그 시간에 해당하는 CALMET의 고도별 수평 평균 풍속의 MB, RMSE, NRMSE와 수평 풍향에 대한 RMSE를 나타낸다. 먼저 6월 강릉지역에서 NOmd로 산출한 CALMET의 고도별 수평 풍속 MB는 약 1km까지 -2.18 ~ -0.03m/s로 라디오존데에 비해 과대모의 되었다. 1km부터 5km까지의 수평 풍속에 대한 MB는 3km에서 -7.53m/s로 크게 과대모의 되었다. Omd로 산출한 CALMEt의 고도별 수평풍속 MB는 약 1km까지 -0.04 ~ -1.2m/s로 라디오존데와 큰 차이가 없었고, 1km부터 5km까지의 수평풍속에 대한 MB도 5km를 제외하고 -0.14 ~ -1.7m/s로 라디오존데 자료와 큰 차이가 없었다는 것을 도 12a를 통해 알 수 있다. NOmd로 산출한 CALMET의 수평풍속에 대한 고도별 제곱근 평균 제곱오차(Root Mean Square Error, RMSE)는 약 1km까지 2.3,/s 이하였으나 2.2km와 3km에서 각각 7.7m/s와 10.2m/s였다. Omd로 산출한 CALMET의 수평 풍속에 대한 고도별 RMSE는 약 1k까지 1.6m/s 이하였고, 5k에서 6.6m/s이었으나, 대체적으로 낮은 RMSE를 보였는 것을 도 12b를 통해 알 수 있다. NOmd로 산출한 CALMET의 수평풍속에 대한 RMSE는 고도 2.2km까지 증감이 나타났고, 그 이상의 고도에서는 감소하였다. Omd로 산출한 CALMET의 수평풍속에 대한 NRMSE는 고도 2.2km까지 증감이 나타났지만, 상대적으로 낮은 NRMSE를 보였다는 것을 도 10c를 통해 알 수 있다. Omd로 산출한 CALMET의 수평풍속은 NOmd로 산출한 하층 수평풍속에 비해 대부분 관측값에 가깝게 모의하는 것을 확인할 수 있다. NOmd로 산출한 CALMET의 수평 풍향에 대한 RMSE는 고도 600m에서 171° 로 가장 높게 나타났고, 고도가 증가하면서 급격하게 감소하였다. Omd로 산출한 CALMET의 수평 풍향에 대한 RMSE는 고도300m에서 198° 로 가장 높게 나타났고, 고도가 증가하면서 급격하게 감소하였다. NOmd와 OBS mode롯 산출한 CALMET의 수평 풍향에 대한 RMSE는 공통적으로 하층으로 갈수록 증가하는 경향을 보인다는 것을 도 10d를 통해 알 수 있다. NOmd로 산출한 CALMET의 수평 풍향에 대한 RMSE는 1.5km 고도까지 60° 이상이었고, 600m 고도에서 170° 로 가장 높게 나타났으며, 고도가 증가하면서 급격하게 감소하였다. Omd로 산출한 CALMET의 수평 풍향에 대한 RMSE는 300m 고도에서 약 105° 로 가장 높았고, 대체적으로 NOmd로 산출한 수평 풍향에 대한 RMSE에 비해 낮았다. 해륙풍 발달 고도인 1.5km 이하에서 Omd로 산출한 CALMET의 수평 풍향에 대한 RMSE가 낮은 것을 통해 해륙풍을 잘 모의하는 것을 알 수 있다.

[0042] 이상에서는 도면 및 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허청구범위에 기재된 본 발명의 기술적 사상으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

[0043] 100 : 라디오존데 정보 수신 모듈

200 : 윈드프로파일러 정보 수신 모듈

300 : 바람장 산출 모듈

310 : 1차 바람장 산출 모듈

320 : 2차 바람장 산출 모듈

S1-1 : 라디오존데 정보 수신 단계

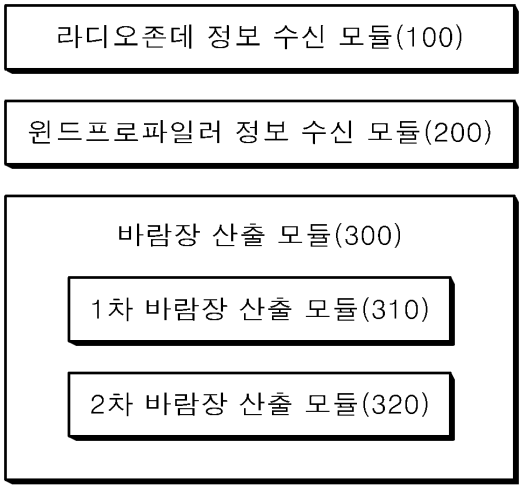
S1-2 : 윈드프로파일러 정보 수신 단계

S2 : 1차 바람장 생성 단계

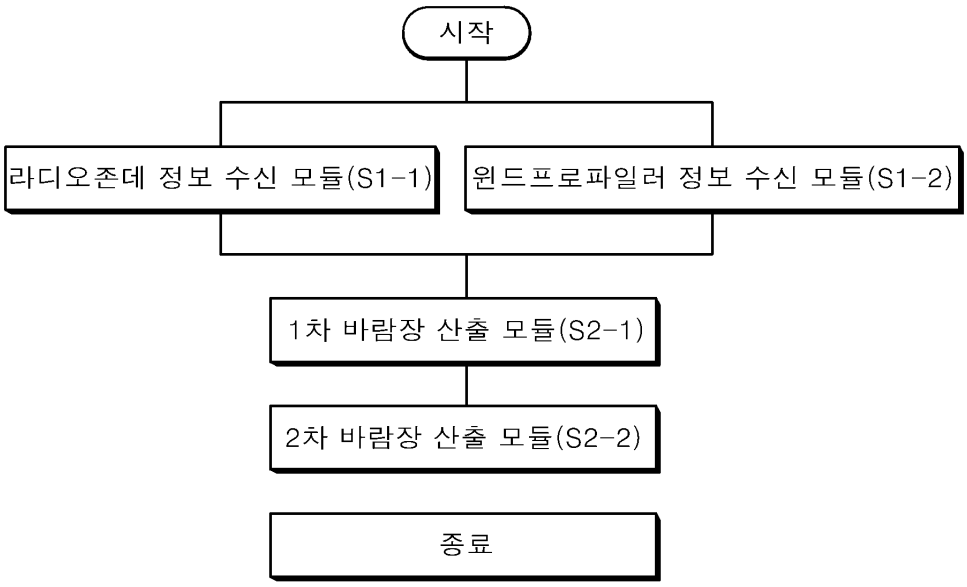
S3 : 2차 바람장 생성 단계

도면

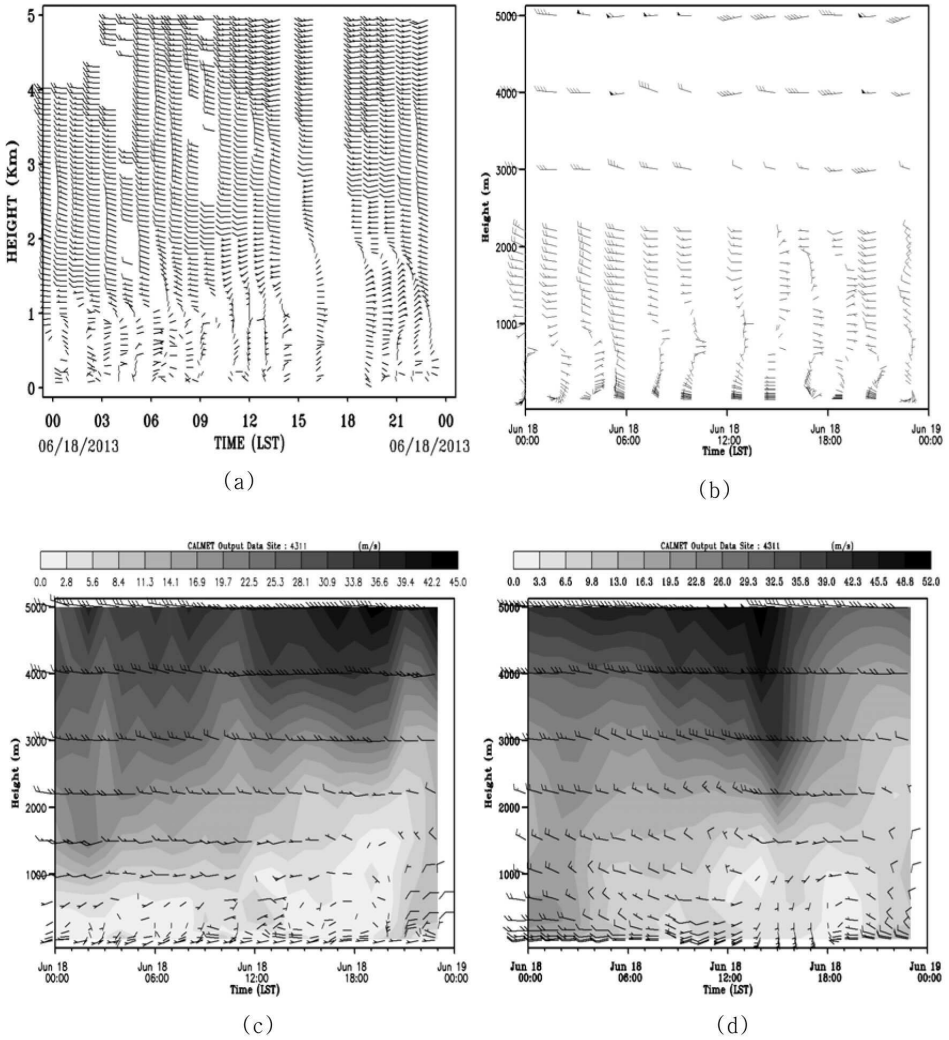
도면1


라디오존데 정보 수신 모듈(100)
윈드프로파일러 정보 수신 모듈(200)
바람장 산출 모듈(300)
1차 바람장 산출 모듈(310)
2차 바람장 산출 모듈(320)

도면2


시작
라디오존데 정보 수신 모듈(S1-1)
윈드프로파일러 정보 수신 모듈(S1-2)
1차 바람장 산출 모듈(S2-1)
2차 바람장 산출 모듈(S2-2)
종료

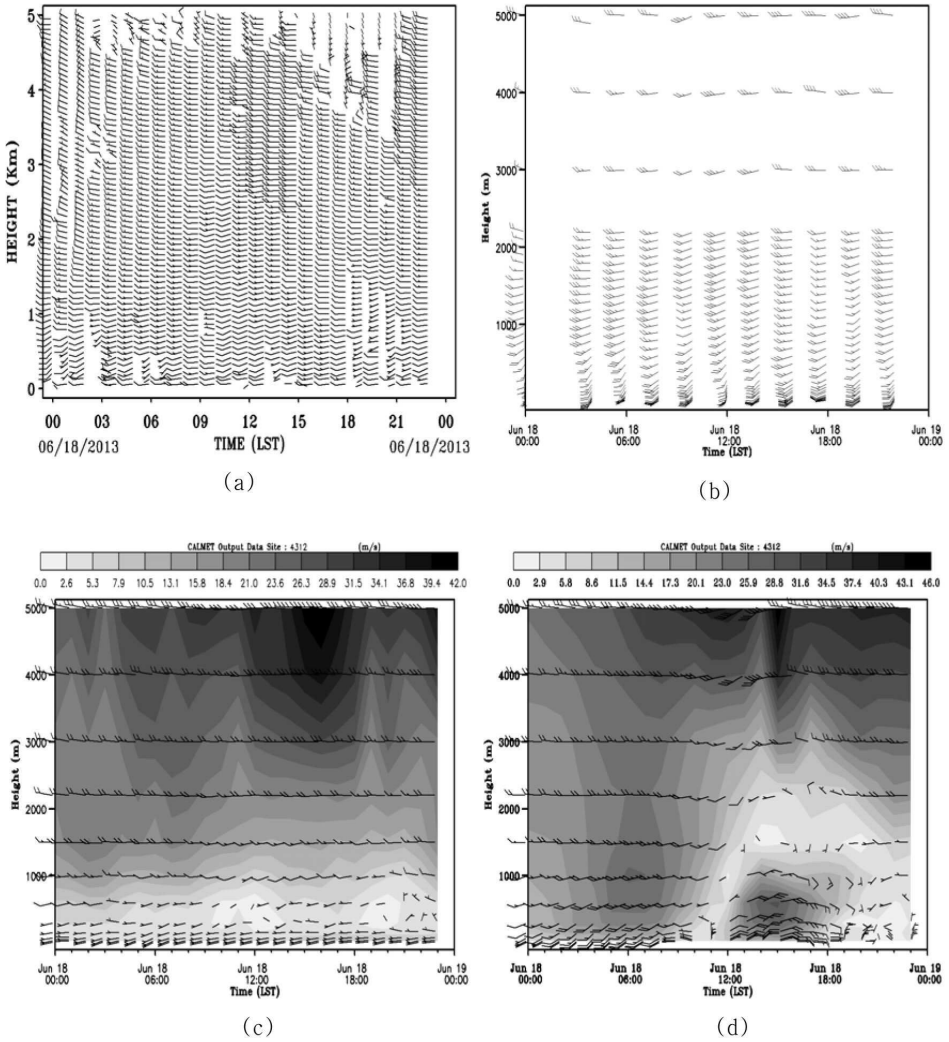
도면3


HEIGHT (Km)
TIME (LST)
06/18/2013
06/18/2013
Height (m)
Time (LST)
CALMET Output Data Site : 4311
(m/s)

(a) (b)

(c) (d)

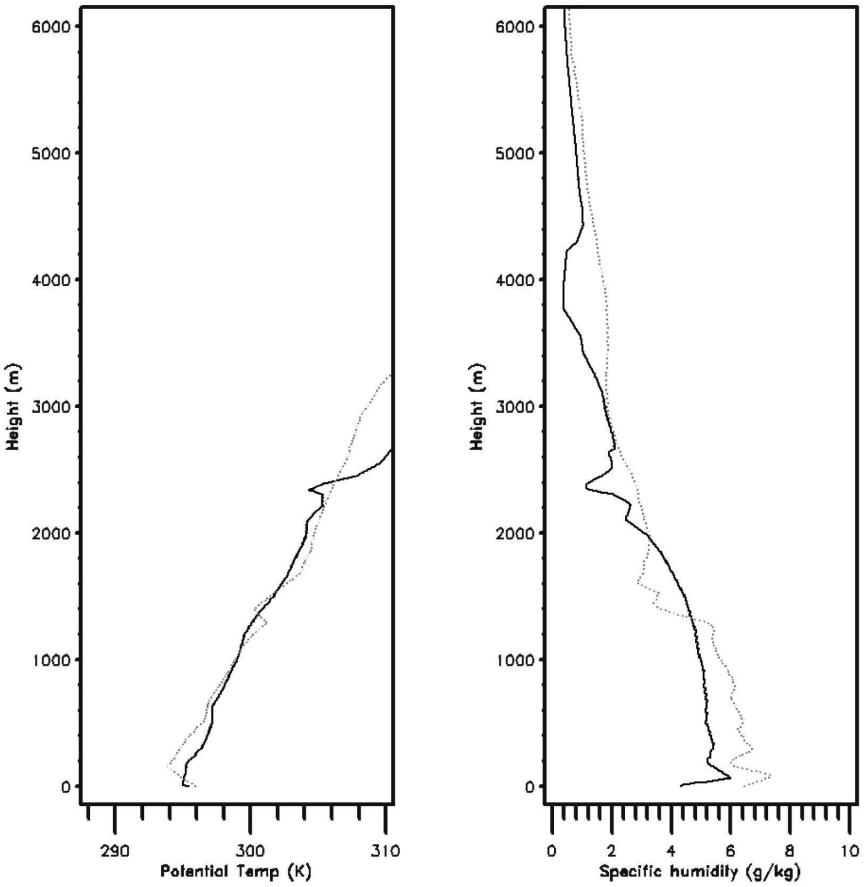
도면4


HEIGHT (Km)
TIME (LST)
06/18/2013
06/18/2013
Height (m)
Time (LST)
CALMET Output Data Site : 4312
(m/s)

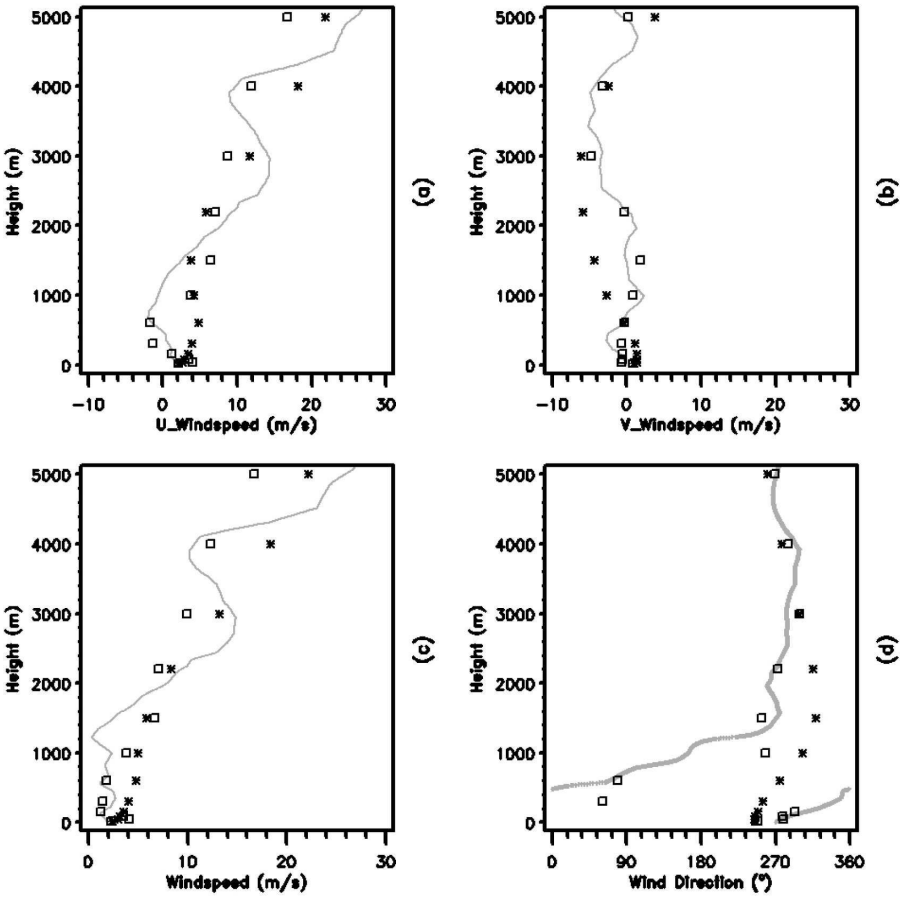
(a) (b)

(c) (d)

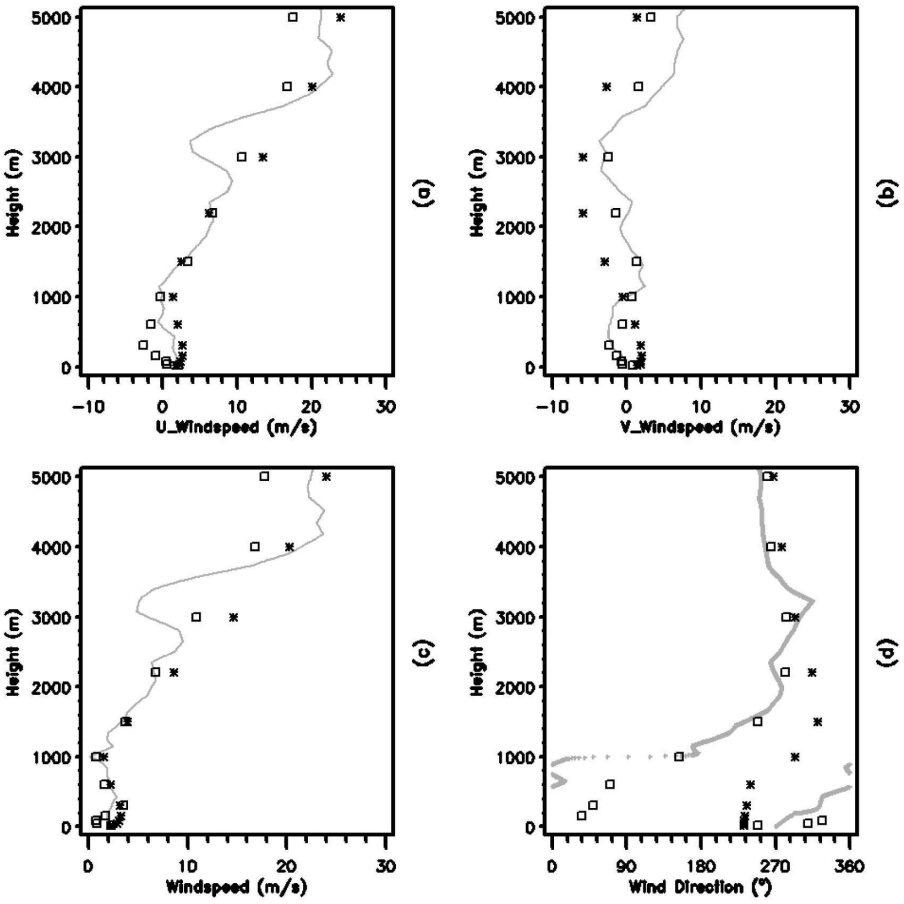
도면5


6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
Height (m)
290
300
310
Potential Temp (K)
0
2
4
6
8
10
Specific humidity (g/kg)

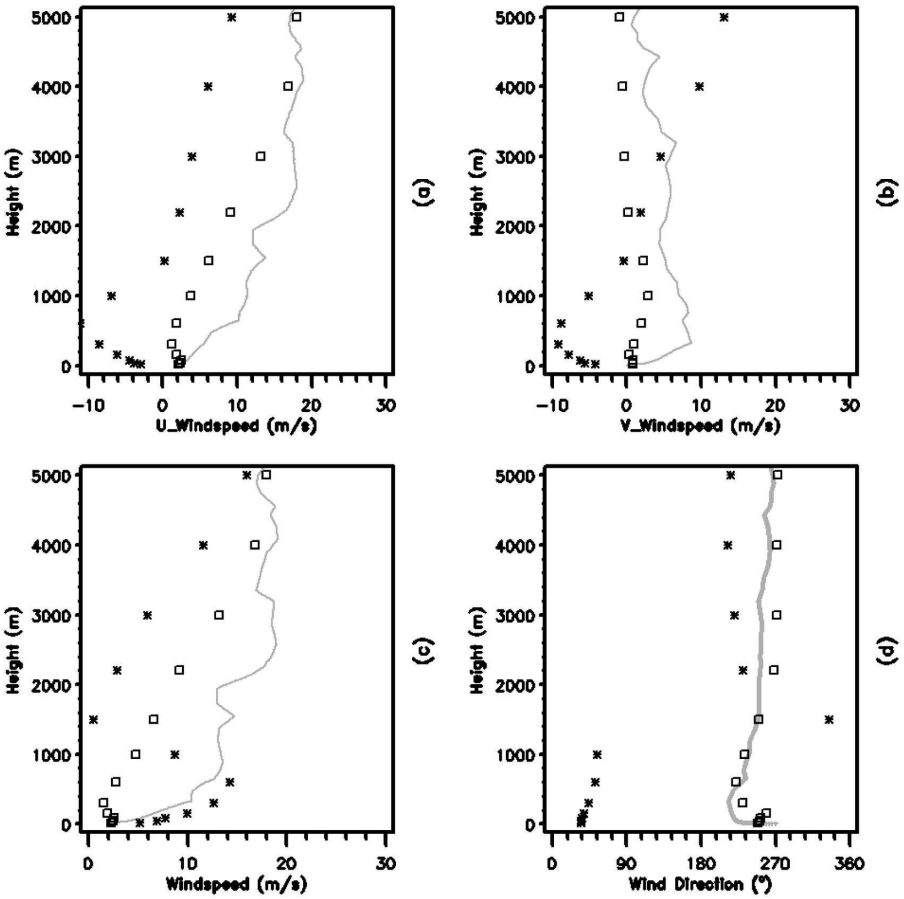
도면6


Height (m)
5000
4000
3000
2000
1000
0
−10
0
10
20
30
U_Windspeed (m/s)
(a)
V_Windspeed (m/s)
(b)
Windspeed (m/s)
(c)
0
90
180
270
360
Wind Direction (°)
(d)

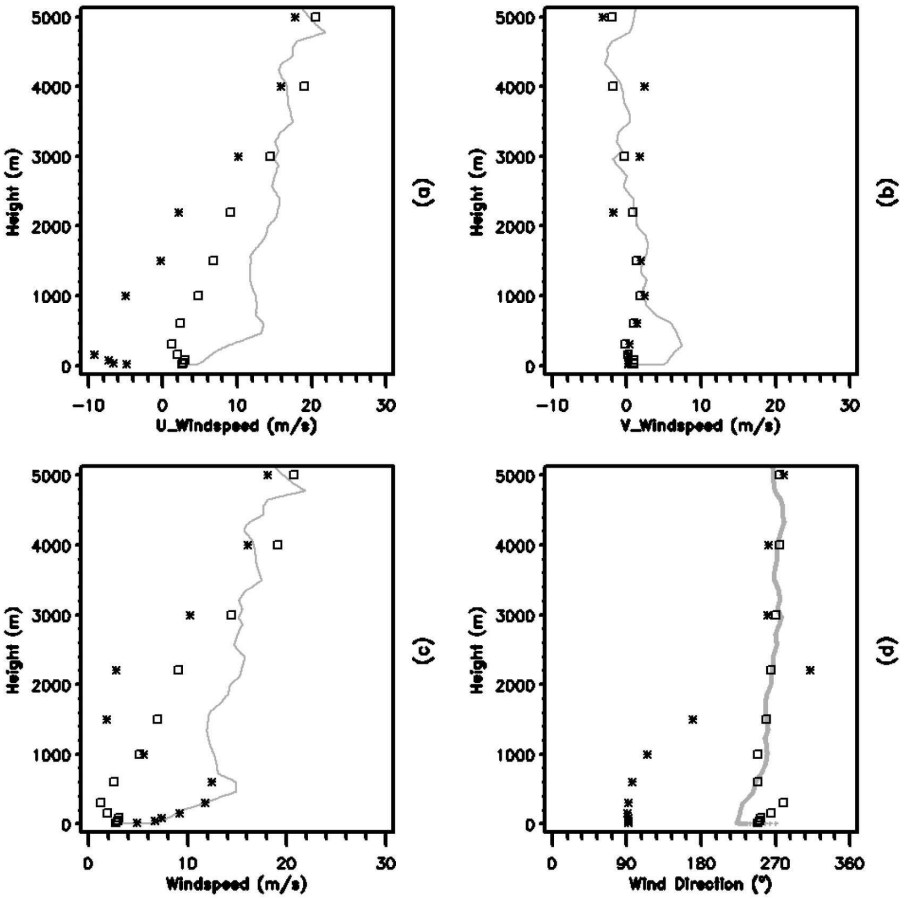
도면7


Height (m)
5000
4000
3000
2000
1000
0
−10
0
10
20
30
U_Windspeed (m/s)
(a)
V_Windspeed (m/s)
(b)
Windspeed (m/s)
(c)
0
90
180
270
360
Wind Direction (°)
(d)

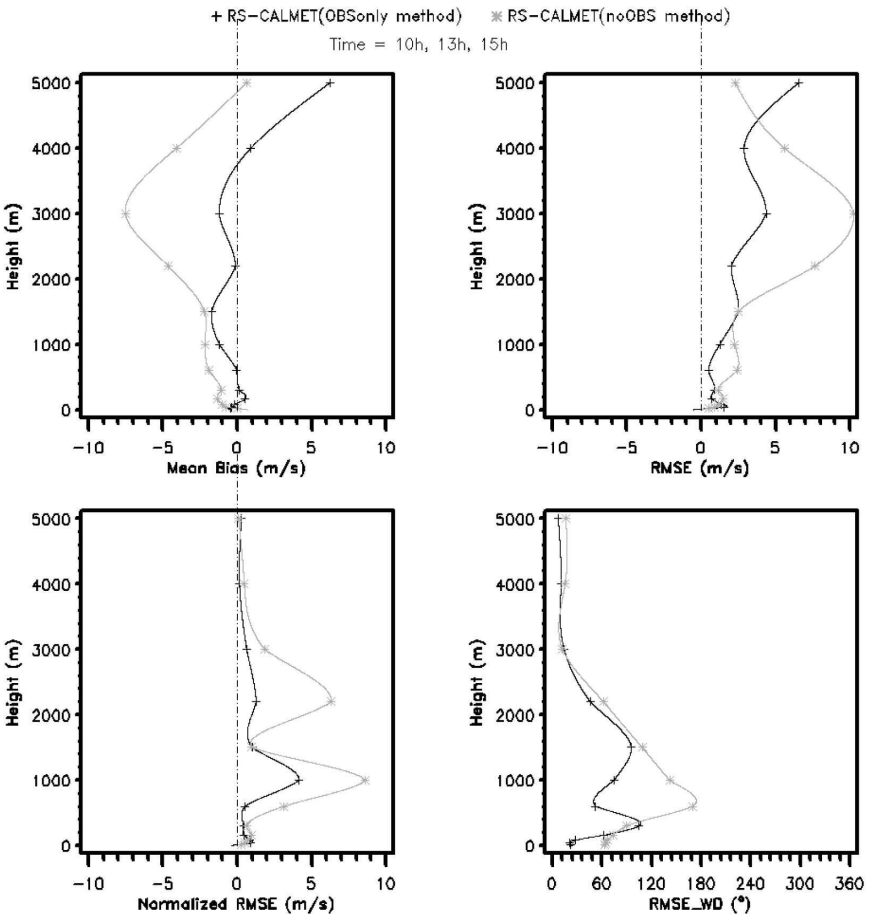
도면8


Height (m)
5000
4000
3000
2000
1000
0
−10
0
10
20
30
U_Windspeed (m/s)
(a)
V_Windspeed (m/s)
(b)
Windspeed (m/s)
(c)
0
90
180
270
360
Wind Direction (°)
(d)

도면9


Height (m)
U_Windspeed (m/s)
(a)
V_Windspeed (m/s)
(b)
Windspeed (m/s)
(c)
Wind Direction (°)
(d)

도면10


+ RS-CALMET(OBSonly method)
RS-CALMET(noOBS method)
Time = 10h, 13h, 15h
Height (m)
Mean Bias (m/s)
RMSE (m/s)
Normalized RMSE (m/s)
RMSE_WD (°)