

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2022-0000262
(43) 공개일자 2022년01월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01W 1/10 (2006.01) G01S 13/53 (2006.01)

G01S 13/95 (2006.01) G01W 1/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01W 1/10 (2013.01)

G01S 13/53 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0078002

(22) 출원일자 2020년06월25일

심사청구일자 2020년06월25일

(71) 출원인

부경대학교 산학협력단

부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)

(72) 발명자

이동인

부산광역시 남구 용소로 45 부경대학교대연캠퍼스 4호관 4309호

서성호

부산광역시 부산진구 초읍천로43번가길 39

(74) 대리인

오위환, 나성곤, 정기택

전체 청구항 수 : 총 18 항

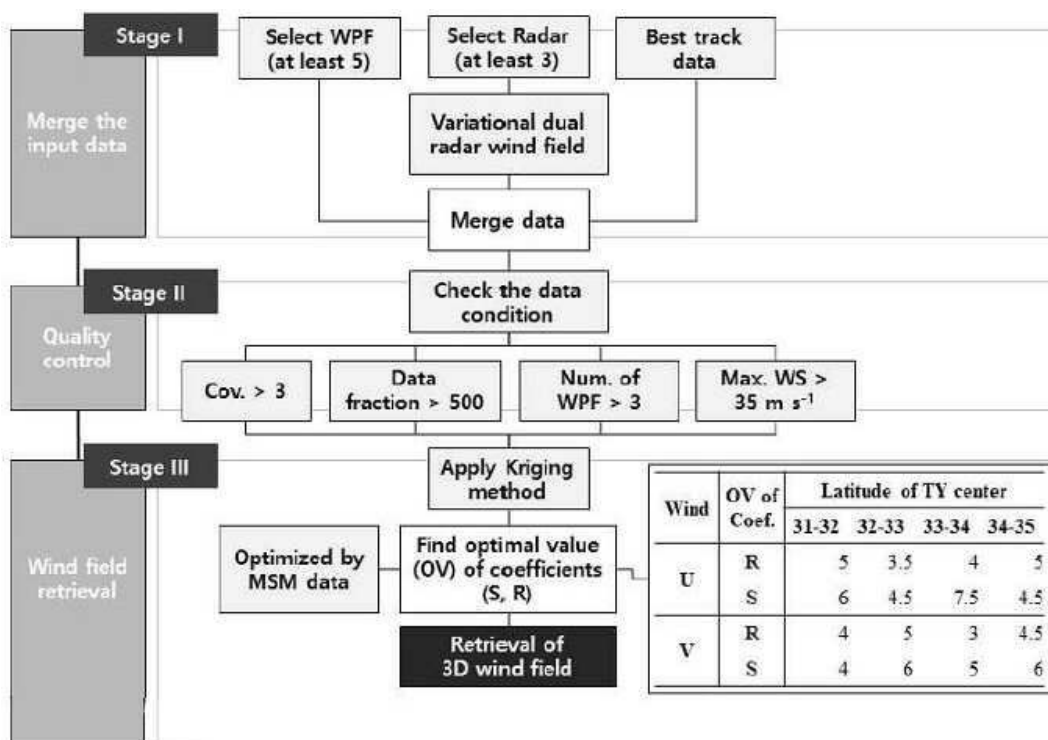
(54) 발명의 명칭 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 연직바람 관측장비(windprofiler)와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용하여 비관측영역에 대한 신뢰할 수 있는 바람장 회수가 가능하도록 한 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치 및 방법에 관한 것으로, 관측 자료 수집 및 병합을 하는 관측 자료 수집 및 병합부; 관측 자

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



료 수집 및 병합부에서 수집 및 병합된 데이터를 바람장 회수 알고리즘 실행에 적용하기 위한 전처리를 하는 데이터 전처리부;이중 바람장 영역을 산출하고, 크리깅 보간을 적용하여 바람장 회수 알고리즘 실행하는 바람장 회수 알고리즘 실행부;바람장 회수 알고리즘 실행부의 실행 결과를 분석하여 바람장 회수 결과를 검증하는 회수 결과 검증부;상기 회수 결과 검증부의 검증 결과를 바람장 회수 알고리즘 실행부로 전송하여 MSM 데이터 기준 최적화를 통하여 회수 알고리즘 보정을 하여 정확도를 개선하는 회수 알고리즘 보정부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류

G01S 13/95 (2013.01)

G01W 2001/006 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1365003002
과제번호	KMI2018-05410
부처명	기상청
과제관리(전문)기관명	한국기상산업기술원
연구사업명	기상·지진See-At 기술개발연구(R&D)
연구과제명	연안도시지역의 강수특성을 고려한 레이더 초단기 강수예측 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	부경대학교산학협력단
연구기간	2018.04.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

관측 자료 수집 및 병합을 하는 관측 자료 수집 및 병합부;

관측 자료 수집 및 병합부에서 수집 및 병합된 데이터를 바람장 회수 알고리즘 실행에 적용하기 위한 전처리를 하는 데이터 전처리부;

이중 바람장 영역을 산출하고, 크리깅 보간을 적용하여 바람장 회수 알고리즘 실행하는 바람장 회수 알고리즘 실행부;

바람장 회수 알고리즘 실행부의 실행 결과를 분석하여 바람장 회수 결과를 검증하는 회수 결과 검증부;

상기 회수 결과 검증부의 검증 결과를 바람장 회수 알고리즘 실행부로 전송하여 MSM 데이터 기준 최적화를 통하여 회수 알고리즘 보정을 하여 정확도를 개선하는 회수 알고리즘 보정부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 연직 바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 회수 결과 검증부에서의 실행 결과 분석은,

보정계수 기준 특성, 입력자료 수 기준 특성, 장비 가용 수 기준, 최대풍속 기준, 공분산 크기 기준의 특성 분석을 포함하는 것을 특징으로 하는 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 관측 자료 수집 및 병합부는,

크리깅 보간법(Kriging interpolation)을 이용하여 태풍 상륙 이전 태풍 강수밴드 관측 유무에 상관없이 내륙의 태풍 바람장을 회수할 수 있도록 하기 위하여,

제 1 영역에 위치하는 변분법 레이더 이중바람장과, 제 1 영역과 다른 제 2 영역에 존재하는 연직바람관측장비의 데이터를 수집 및 병합하는 것을 특징으로 하는 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 바람장 회수 알고리즘 실행부는,

수평 바람과 연직 바람을 하나의 비용함수(J)에 포함시켜 3차원 바람성분을 산출하여 이중 바람장 영역을 산출하는 이중 바람장 영역 산출부와,

제 1 영역에 위치하는 변분법 레이더 이중바람장과 제 1 영역과 다른 제 2 영역에 존재하는 연직바람관측장비의 데이터를 이용하여 크리깅 보간법(Kriging interpolation)을 적용하는 크리깅 보간 적용부와,

MSM(Meso Scale Model) 재분석 자료를 이용한 바람장 회수의 검증 결과를 반영하여 바람장 회수 알고리즘을 최적화하는 MSM 데이터 기준 최적화부와,

MSM 데이터 기준 최적화를 통하여 보정된 회수 알고리즘을 실행하여 중첩되지 않는 변분법 레이더 이중바람장과 연직바람 관측장비 관측 자료를 이용하여 바람장 회수를 하는 바람장 회수 실행부를 포함하는 것을 특징으로 하는 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치.

청구항 5

제 4 항에 있어서, 크리깅 보간 적용부는,

제 1 영역에 위치하는 변분법 레이더 이중바람장과 제 1 영역과 다른 제 2 영역에 존재하는 연직바람관측장비의 데이터를 이용하여 크리깅 보간법(Kriging interpolation)을 적용하여 태풍 상륙 이전 태풍 강수밴드 관측 유무에 상관없이 내륙의 태풍 바람장을 회수할 수 있도록 하는 것을 특징으로 하는 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치.

청구항 6

제 4 항에 있어서, 이중 바람장 영역 산출부는 수평 바람과 연직 바람을 하나의 비용함수(J)에 포함시켜 3차원 바람성분을 산출하여 이중 바람장 영역을 산출하기 위하여 비용함수를 $J = J_O + J_B + J_D + J_S$ 으로 정의하고,

$\frac{\partial J}{\partial u}, \frac{\partial J}{\partial v}, \frac{\partial J}{\partial w}$ 값을 모두가 최소값이 될 때까지 반복하여 u, v, w 를 도출하여 3차원 바람장을 구현하는 것을 특징으로 하는 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치.

청구항 7

제 6 항에 있어서, 비용함수 $J = J_O + J_B + J_D + J_S$ 의 각각은,

$$J_O = \frac{1}{2} \sum_m \lambda_m (c \cdot V r_m - u \cos A - v \cos B - (w + w_t) \cos C)^2$$

$$J_B = \frac{1}{2} \left[\sum_{ijk} \lambda_{ub} (u - u_b)^2 + \sum_{ijk} \lambda_{vb} (v - v_b)^2 + \sum_{ijk} \lambda_{wb} (w - w_b)^2 \right]$$

$$J_D = \frac{1}{2} \sum_{i,j,k} \lambda_D D^2$$

$$J_S = \frac{1}{2} \left[\sum_{ijk} \lambda_{us} (\nabla^2 u)^2 + \sum_{ijk} \lambda_{vs} (\nabla^2 v)^2 + \sum_{ijk} \lambda_{ws} (\nabla^2 w)^2 \right] \text{ 으로 정의되고,}$$

$D = \frac{\partial \bar{\rho} u}{\partial x} + \frac{\partial \bar{\rho} v}{\partial y} + \frac{\partial \bar{\rho} w}{\partial z}$ 인 것을 특징으로 하는 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치.

청구항 8

제 4 항에 있어서, 크리깅 보간 적용부는 관심변수의 표본 공간을 정의하고 입력자료의 공간적 상호관계 파악을 통해 추정하는 크리깅 분석을 위하여,

일정거리 h만큼 이격된 두 관측 자료 간의 차이를 제공한 것의 기댓값인 베리오그램(Variogram)을,

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} z(x_i) - z(x_i + h)^2 \text{ 으로 정의하고,}$$

여기서, N(h)는 이격 거리 h만큼 떨어진 샘플자료 쌍의 개수를 의미하며, h는 거리를 의미하는 것을 특징으로 하는 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치.

청구항 9

제 8 항에 있어서, 크리깅 보간으로 베리오그램으로부터 얻어지는 공간적 자기 상관관계를 가중치를 바탕으로 하여 이웃한 입력 자료들의 선형조합을 통해 미 측정된 지점에 대한 추정 값을 제시하는 것을 특징으로 하는 연

직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치.

청구항 10

제 9 항에 있어서, 분리거리가 증가하여 일정거리 이상이 되면 베리오그램이 일정한 값을 나타내고,

이때의 분리거리를 상관거리(Range, R)라 하고,

일정한 값을 문턱값(Sill or Scale, S)이라 하고,

너깃(Nugget, N)은 분리거리가 0 일 경우의 베리오그램값의 상수값이고 N의 크기는 변동이나 측정오차를 의미하는 것을 특징으로 하는 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치.

청구항 11

제 10 항에 있어서, 베리오그램은 선형(linear), 지수형(exponential), 가우스(Gaussian), 구형(spherical) 모델로 구분되고,

각각의 베리오그램은 $\lambda = S(1 - d/R)$, $\lambda = Sexp(-3d/R)$,

$\lambda = Sexp(-3d^2/R^2)$, $\lambda = S[1 - 1.5(d/R) + 0.5(d/R)^3]$ 으로 정의되는 것을 특징으로 하는 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치.

청구항 12

제 1 항에 있어서, 회수 결과 검증부는,

고도별 위도에 따른 크리깅 보정 계수와 그에 대한 MSM 재분석 자료와의 상관계수 특성을 분석하는 보정계수 기준 특성 분석부와,

태풍중심 위도와 상관없이 입력자료 수에 따른 바람장 회수 보정 계수와 그에 이를 적용한 바람장 회수 결과와 MSM 재분석자료와의 상관계수를 분석하는 입력자료 수 기준 특성 분석부와,

태풍 강수 에코가 존재하지 않는 내륙에서의 바람장 회수를 위해서 사용되는 연직바람 관측장비의 수에 따른 바람장 회수 결과와 이에 상응하는 MSM 재분석자료와의 상관계수 특성을 분석하는 장비 가용 수 기준 특성 분석부와,

태풍의 풍속에 따른 바람장 회수 결과를 분석하며 크리깅 보정 계수를 적용하였을 때의 풍속 계급별 상관계수 특성을 분석하는 최대풍속 기준 특성 분석부와,

입력자료의 공분산 크기에 따른 바람장 회수 결과와 이에 대한 MSM 재분석 자료와의 상관계수 특성을 분석하는 공분산 크기 기준 특성 분석부를 포함하는 것을 특징으로 하는 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치.

청구항 13

제 12 항에 있어서, 회수 결과 검증부는,

입력자료에 대한 최적의 크리깅 변수 거리(R)와 스케일(S)로부터 얻어진 바람장 회수 결과와 MSM 재분석자료와의 상관성이 최대가 될 때의 보정 계수를 제시하기 위하여,

관측자료의 표출고도 및 MSM 재분석자료의 관측 고도가 일치하는 1.5 km(850 hPa), 3.0 km(700 hPa), 그리고 5.5 km(500 hPa)인 3개의 고도별 특성을 분석하고, 정성적 비교 방법인 상관계수(correlation coefficient, CC)를 이용한 크리깅 보간 영역에 대한 최적의 보정 계수를 산출 및 적용을 하는 것을 특징으로 하는 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치.

청구항 14

관측 자료 수집 및 병합을 하여 데이터 전처리를 하는 단계;

이중 바람장 영역을 산출하고, 크리깅 보간을 적용하여 바람장 회수 알고리즘을 실행하여 바람장 회수를 하는 단계;

바람장 회수 알고리즘 실행 결과를 분석하여 바람장 회수 결과를 검증하는 바람장 회수 결과 검증 단계;

검증 결과를 바람장 회수 알고리즘 실행부로 전송하여 MSM 데이터 기준 최적화를 통하여 회수 알고리즘을 보정하여 정확도를 개선하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서, 관측 자료 수집 및 병합을 하여 데이터 전처리를 하는 단계에서,

크리깅 보간법(Kriging interpolation)을 이용하여 태풍 상륙 이전 태풍 강수밴드 관측 유무에 상관없이 내륙의 태풍 바람장을 회수할 수 있도록 하기 위하여,

제 1 영역에 위치하는 변분법 레이더 이중바람장과, 제 1 영역과 다른 제 2 영역에 존재하는 연직바람관측장비의 데이터를 수집 및 병합하는 것을 특징으로 하는 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 방법.

청구항 16

제 14 항에 있어서, 바람장 회수를 하는 단계에서,

수평 바람과 연직 바람을 하나의 비용함수(J)에 포함시켜 3차원 바람성분을 산출하여 이중 바람장 영역을 산출하는 이중 바람장 영역 산출 단계와,

제 1 영역에 위치하는 변분법 레이더 이중바람장과 제 1 영역과 다른 제 2 영역에 존재하는 연직바람관측장비의 데이터를 이용하여 크리깅 보간법(Kriging interpolation)을 적용하는 크리깅 보간 적용 단계와,

MSM(Meso Scale Model) 재분석 자료를 이용한 바람장 회수의 검증 결과를 반영하여 바람장 회수 알고리즘을 최적화하는 MSM 데이터 기준 최적화 단계와,

MSM 데이터 기준 최적화를 통하여 보정된 회수 알고리즘을 실행하여 중첩되지 않는 변분법 레이더 이중바람장과 연직바람 관측장비 관측 자료를 이용하여 바람장 회수를 하는 바람장 회수 실행 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 방법.

청구항 17

제 14 항에 있어서, 바람장 회수 결과 검증 단계는,

고도별 위도에 따른 크리깅 보정 계수와 그에 대한 MSM 재분석 자료와의 상관관계수 특성을 분석하는 보정계수 기준 특성 분석과,

태풍중심 위도와 상관없이 입력자료 수에 따른 바람장 회수 보정 계수와 그에 이를 적용한 바람장 회수 결과와 MSM 재분석자료와의 상관관계수를 분석하는 입력자료 수 기준 특성 분석과,

태풍 강수 에코가 존재하지 않는 내륙에서의 바람장 회수를 위해서 사용되는 연직바람 관측장비의 수에 따른 바람장 회수 결과와 이에 상응하는 MSM 재분석자료와의 상관관계수 특성을 분석하는 장비 가용 수 기준 특성 분석과,

태풍의 풍속에 따른 바람장 회수 결과를 분석하며 크리깅 보정 계수를 적용하였을 때의 풍속 계급별 상관관계수 특성을 분석하는 최대풍속 기준 특성 분석과,

입력자료의 공분산 크기에 따른 바람장 회수 결과와 이에 대한 MSM 재분석 자료와의 상관관계수 특성을 분석하는 공분산 크기 기준 특성 분석을 포함하는 것을 특징으로 하는 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 방법.

청구항 18

제 17 항에 있어서, 바람장 회수 결과 검증 단계는,

입력자료에 대한 최적의 크리깅 변수 거리(R)와 스케일(S)로부터 얻어진 바람장 회수 결과와 MSM 재분석자료와의 상관성이 최대가 될 때의 보정 계수를 제시하기 위하여,

관측자료의 표출고도 및 MSM 재분석자료의 관측 고도가 일치하는 1.5 km(850 hPa), 3.0 km(700 hPa), 그리고 5.5 km(500 hPa)인 3개의 고도별 특성을 분석하고, 정성적 비교 방법인 상관계수(correlation coefficient, CC)를 이용한 크리깅 보간 영역에 대한 최적의 보정 계수를 산출 및 적용을 하는 것을 특징으로 하는 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 기상 시스템에 관한 것으로, 구체적으로 연직바람 관측장비(windprofiler)와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용하여 비관측영역에 대한 신뢰할 수 있는 바람장 회수가 가능하도록 한 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 도플러 레이더(Doppler Weather Radar)는 움직이는 목표물에 전파가 부딪히면 반사전파주파수가 목표물의 속도에 따라 변동하는 전파의 도플러 효과를 응용한 것으로, 이는 목표물로 송신되는 송신파와 목표물에 부딪히면서 반사되는 반사파 간의 주파수 편차를 통해 목표물의 이동속도를 측정하는 레이더이다.

[0003] 레이더 안테나에 접근하는 목표물에 대한 반사파의 주파수는 커지고, 레이더 안테나에서 멀어지는 목표물에 대한 반사파의 주파수는 작아짐으로써, 이러한 반사파의 주파수 변화를 측정해서 목표물의 이동속도를 컴퓨터로 산출하고 풍속이나 연직 기류 속도를 나타내게 된다.

[0004] 여기서, 시선속도는 이동체가 관측자의 시선 방향에 가까워지거나 멀어지는 속도를 말한다. 즉, 시선속도 자료는 기상레이더의 빔을 따라 수상체가 도플러 레이더로부터 가까워지거나 멀어지는 속도를 나타내는 자료로서, 기상 시스템의 발달과 구조를 분석하는 대부분의 연구에서 이를 u , v , w 의 3차원 바람장 자료로 구현하여 사용하고 있다.

[0005] 기상레이더는 광범위한 영역에 존재하는 강수계의 실시간 강수량과 바람장을 관측할 수 있는 첨단 기상관측장비이다. 현업용 S-band 레이더의 경우, 약 240km의 관측반경으로부터 한반도 내륙과 연안지역에 대한 볼륨관측이 가능하다.

[0006] 바람성분의 경우, 관측과 배경장, 연속방정식과 스무딩에 대한 비용함수(J)들의 합이 최솟값 가지는 변분법 이중 도플러 레이더 바람장을 구현한다.

[0007] 이는 동일한 관측영역에서의 2개 이상의 레이더로부터 관측된 각각의 시선속도(V_R)로부터 3차원 바람성분(U , V , W)을 산출한다는 장점을 가지나, 이는 제한된 관측영역안에서 이루어진다.

[0008] 위험기상은 폭우와 더불어 돌풍에 의한 상당한 피해를 유발시키므로 바람장 관측이 중요하게 고려된다.

[0009] 태풍과 같은 자연재해는 강수에 의한 피해와 더불어 돌풍에 의한 피해도 상당하므로, 다중 기상관측장비 네트워크를 이용한 종관규모 바람장 추정이 요구된다.

[0010] 따라서, 비관측영역에 대한 신뢰할 수 있는 바람장 회수가 가능하도록 하는 새로운 기술의 개발이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1354522호

(특허문헌 0002) 대한민국 공개특허 제10-2020-0018127호

(특허문헌 0003) 대한민국 공개특허 제10-2015-0054146호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 본 발명은 종래 기술의 기상 관측 시스템의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 연직바람 관측장비(windprofiler)와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용하여 비관측영역에 대한 신뢰할 수 있는 바람장 회수가 가능하도록 한 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0013] 본 발명은 제한된 관측영역안에서만 3차원 바람성분(U, V, W)을 산출하는 문제를 극초단파(UHF)를 상층대기로 송신하여 난류신호를 수신하여 고정지점에 대한 고해상도의 청천대기 연직바람분포를 관측할 수 있는 연직바람 관측장비(windprofiler)를 이용하여 보완하여 신뢰할 수 있는 바람장 회수가 가능하도록 한 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0014] 본 발명은 태풍과 같은 연속적이며 태풍의 눈을 중심으로 대칭적 바람분포를 갖는 강수계의 경우, 연직바람 관측장비 네트워크와 변분법 이중 도플러 레이더 바람장으로부터 관측된 바람 자료를 이용하여 관측 불가 지역에 대해 신뢰할 수 있는 바람장 회수가 가능하도록 하여 위험기상 사전 예측 및 풍수해 대비에 기여를 할 수 있도록 한 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0015] 본 발명의 다른 목적들은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0016] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치는 관측 자료 수집 및 병합을 하는 관측 자료 수집 및 병합부;관측 자료 수집 및 병합부에서 수집 및 병합된 데이터를 바람장 회수 알고리즘 실행에 적용하기 위한 전처리를 하는 데이터 전처리부;이중 바람장 영역을 산출하고, 크리깅 보간을 적용하여 바람장 회수 알고리즘 실행하는 바람장 회수 알고리즘 실행부;바람장 회수 알고리즘 실행부의 실행 결과를 분석하여 바람장 회수 결과를 검증하는 회수 결과 검증부;상기 회수 결과 검증부의 검증 결과를 바람장 회수 알고리즘 실행부로 전송하여 MSM 데이터 기준 최적화를 통하여 회수 알고리즘 보정을 하여 정확도를 개선하는 회수 알고리즘 보정부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 방법은 관측 자료 수집 및 병합을 하여 데이터 전처리를 하는 단계;이중 바람장 영역을 산출하고, 크리깅 보간을 적용하여 바람장 회수 알고리즘을 실행하여 바람장 회수를 하는 단계;바람장 회수 알고리즘 실행 결과를 분석하여 바람장 회수 결과를 검증하는 바람장 회수 결과 검증 단계;검증 결과를 바람장 회수 알고리즘 실행부로 전송하여 MSM 데이터 기준 최적화를 통하여 회수 알고리즘을 보정하여 정확도를 개선하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0018] 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치 및 방법은 다음과 같은 효과가 있다.
- [0019] 첫째, 연직바람 관측장비(windprofiler)와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용하여 비관측영역에 대한 신뢰할 수 있는 바람장 회수가 가능하도록 한다.
- [0020] 둘째, 제한된 관측영역안에서만 3차원 바람성분(U, V, W)을 산출하는 문제를 극초단파(UHF)를 상층대기로 송신하여 난류신호를 수신하여 고정지점에 대한 고해상도의 청천대기 연직바람분포를 관측할 수 있는 연직바람 관측장비(windprofiler)를 이용하여 보완하여 신뢰할 수 있는 바람장 회수가 가능하도록 한다.

[0021] 셋째, 태풍과 같은 연속적이며 태풍의 눈을 중심으로 대칭적 바람분포를 갖는 강수계의 경우, 연직바람 관측장비 네트워크와 변분법 이중 도플러 레이더 바람장으로부터 관측된 바람 자료를 이용하여 관측 불가 지역에 대해 신뢰할 수 있는 바람장 회수가 가능하도록 하여 위험기상 사전 예측 및 풍수해 대비에 기여를 할 수 있도록 한다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치 및 방법의 전체 개념을 나타낸 구성도

도 2는 본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치의 전체 구성도

도 3은 본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 방법을 나타낸 플로우 차트

도 4는 레이더 바람장 보정에 사용된 10개의 태풍 사례 진로를 나타낸 구성도

도 5는 진도, 성산, 그리고 고산 기상레이더에 대한 고도 3km 레이더 변분법 이중바람장 표출영역을 나타낸 구성도

도 6은 크리깅 보간법의 공분산 함수의 예시를 나타낸 모식도

도 7은 MSM 재분석자료 분석영역을 나타낸 구성도

도 8은 입력자료로부터 산출된 바람장 회수 결과(좌)와 임의의 크리깅 보정 계수를 적용한 동서바람성분 바람장 회수 결과(우)

도 9는 입력자료로부터 산출된 바람장 회수 결과(좌)와 임의의 크리깅 보정 계수를 적용한 남북바람성분 바람장 회수 결과(우)

도 10은 관측 고도(적색:1.5km, 녹색:3.0km, 청색:5.5km)에 대한 위도별 동서바람성분의 최적의 크리깅 보정 계수(R, S)와 MSM 재분석자료와의 상관계수(CC)

도 11은 관측 고도(적색:1.5km, 녹색:3.0km, 청색:5.5km)에 대한 위도별 남북바람성분의 최적의 크리깅 보정 계수(R, S)와 MSM 재분석자료와의 상관계수(CC)

도 12는 관측 고도(적색:1.5km, 녹색:3.0km, 청색:5.5km)에 대한 관측자료 수별 동서바람성분의 최적의 크리깅 보정 계수(R, S)와 MSM 재분석자료와의 상관계수(CC)

도 13은 관측 고도(적색:1.5km, 녹색:3.0km, 청색:5.5km)에 대한 관측자료 수별 남북바람성분의 최적의 크리깅 보정 계수(R, S)와 MSM 재분석자료와의 상관계수(CC)

도 14는 관측 고도(적색:1.5km, 녹색:3.0km, 청색:5.5km)에 대한 연직바람 관측장비 가용 수별 동서바람성분의 최적의 크리깅 보정계수(R, S)와 MSM 재분석자료와의 상관계수(CC)

도 15는 관측 고도(적색:1.5km, 녹색:3.0km, 청색:5.5km)에 대한 연직바람 관측장비 가용 수별 남북바람성분의 최적의 크리깅 보정계수(R, S)와 MSM 재분석자료와의 상관계수(CC)

도 16은 관측 고도(적색:1.5km, 녹색:3.0km, 청색:5.5km)에 대한 최대 풍속별 동서바람성분의 최적의 크리깅 보정 계수(R, S)와 MSM 재분석자료와의 상관계수(CC)

도 17은 관측 고도(적색:1.5km, 녹색:3.0km, 청색:5.5km)에 대한 최대 풍속별 남북바람성분의 최적의 크리깅 보정 계수(R, S)와 MSM 재분석자료와의 상관계수(CC)

도 18은 관측 고도(적색:1.5km, 녹색:3.0km, 청색:5.5km)에 대한 공분산별 동서바람성분의 최적의 크리깅 보정 계수(R, S)와 MSM 재분석자료와의 상관계수(CC)

도 19는 관측 고도(적색:1.5km, 녹색:3.0km, 청색:5.5km)에 대한 공분산별 남북바람성분의 최적의 크리깅 보정 계수(R, S)와 MSM 재분석자료와의 상관계수(CC)

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하, 본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치 및 방법의 바람직한 실시 예에 관하여 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0024] 본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치 및 방법의 특징 및 이점들은 이하에서의 각 실시 예에 대한 상세한 설명을 통해 명백해질 것이다.
- [0025] 도 1은 본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치 및 방법의 전체 개념을 나타낸 구성도이다.
- [0026] 본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치 및 방법은 연직바람 관측장비(windprofiler)와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용하여 비관측영역에 대한 신뢰할 수 있는 바람장 회수가 가능하도록 하기 위한 것이다.
- [0027] 본 발명은 광범위한 영역에 존재하는 강수계의 강수량과 바람장을 단시간에 관측하는 기상레이더를 이용하는 시스템에서의 제한된 관측영역안에서만 3차원 바람성분(U, V, W)을 산출하는 문제를 해결하기 위하여, 극초단파(UHF)를 상층대기로 송신하여 난류신호를 수신하여 고정지점에 대한 고해상도의 청천대기 연직바람분포를 관측할 수 있는 연직바람 관측장비(windprofiler)를 이용하여 보완하는 구성을 포함할 수 있다.
- [0028] 도 1은 변분법 레이더 이중바람장과 연직바람관측장비 병합자료와 크리깅 보간법을 이용한 3차원 태풍 바람장 회수 알고리즘의 전체 흐름을 나타낸 것이다.
- [0029] 본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치 및 방법은 도 1에서와 같이, 변분법 이중 도플러 레이더 바람장과 연직바람 관측장비 네트워크를 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위하여, 크게 ①관측자료 수집 및 병합, ②전처리 수행, ③ 바람장 회수 알고리즘 구축, ④ 재분석 자료를 이용한 회수 결과 검증의 구성을 포함한다.
- [0030] 도 2는 본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치의 전체 구성도이다.
- [0031] 본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치는 도 2에서와 같이, 관측 자료 수집 및 병합을 하는 관측 자료 수집 및 병합부(10)와, 관측 자료 수집 및 병합부(10)에 수집 및 병합된 데이터를 바람장 회수 알고리즘 실행에 적용하기 위한 전처리를 하는 데이터 전처리부(20)와, 이중 바람장 영역을 산출하고, 크리깅 보간을 적용하여 바람장 회수 알고리즘 실행하는 바람장 회수 알고리즘 실행부(30)와, 바람장 회수 알고리즘 실행부(30)의 실행 결과를 분석하여 보정계수 기준 특성, 입력자료 수 기준 특성, 장비 가용 수 기준, 최대풍속 기준, 공분산 크기 기준의 특성 분석으로 바람장 회수 결과를 검증하는 회수 결과 검증부(40)와, 회수 결과 검증부(40)의 검증 결과를 바람장 회수 알고리즘 실행부(30)로 전송하여 MSM 데이터 기준 최적화를 통하여 회수 알고리즘 보정을 하여 정확도를 개선하는 회수 알고리즘 보정부(50)를 포함한다.
- [0032] 여기서, 바람장 회수 알고리즘 실행부(30)는 수평 바람과 연직 바람을 하나의 비용함수에 포함시켜 3차원 바람성분을 산출하여 이중 바람장 영역을 산출하는 이중 바람장 영역 산출부(31)와, 제 1 영역에 위치하는 변분법 레이더 이중바람장과 제 1 영역과 다른 제 2 영역에 존재하는 연직바람관측장비의 데이터를 이용하여 태풍 상륙 이전 태풍 강수밴드 관측 유무에 상관없이 내륙의 태풍 바람장을 회수할 수 있도록 하기 위하여 크리깅 보간법(Kriging interpolation)을 적용하는 크리깅 보간 적용부(32)와, MSM(Meso Scale Model) 재분석 자료를 이용한 바람장 회수의 검증 결과를 반영하여 바람장 회수 알고리즘을 최적화하는 MSM 데이터 기준 최적화부(33)와, MSM 데이터 기준 최적화를 통하여 보정된 회수 알고리즘을 실행하여 중첩되지 않는 변분법 레이더 이중바람장과 연직바람 관측장비 관측 자료를 이용하여 바람장 회수를 하는 바람장 회수 실행부(34)를 포함한다.
- [0033] 그리고 회수 결과 검증부(40)는 고도별 위도에 따른 크리깅 보정 계수와 그에 대한 MSM 재분석 자료와의 상관계수 특성을 분석하는 보정계수 기준 특성 분석부(41)와, 태풍중심 위도와 상관없이 입력자료 수에 따른 바람장 회수 보정 계수와 그에 이를 적용한 바람장 회수 결과와 MSM 재분석자료와의 상관계수를 분석하는 입력자료 수 기준 특성 분석부(42)와, 태풍 강수 에코가 존재하지 않는 내륙에서의 바람장 회수를 위해서 사용되는 연직바람 관측장비의 수에 따른 바람장 회수 결과와 이에 상응하는 MSM 재분석자료와의 상관계수 특성을 분석하는 장비 가용 수 기준 특성 분석부(43)와, 태풍의 풍속에 따른 바람장 회수 결과를 분석하며 크리깅 보정 계수를 적용하였을 때의 풍속 계급별 상관계수 특성을 분석하는 최대풍속 기준 특성 분석부(44)와, 입력자료의 공분산 크기에 따른 바람장 회수 결과와 이에 대한 MSM 재분석 자료와의 상관계수 특성을 분석하는 공분산 크기 기준 특성 분

석부(45)를 포함한다.

- [0034] 본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 방법을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0035] 도 3은 본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 방법을 나타낸 플로우 차트이다.
- [0036] 먼저, 관측 자료 수집 및 병합을 하여 데이터 전처리를 한다.(S301)
- [0037] 이어, 이중 바람장 영역을 산출하고, 크리깅 보간을 적용하여 바람장 회수 알고리즘을 실행하여 바람장 회수를 한다.(S302)
- [0038] 그리고 보정계수 기준 특성, 입력자료 수 기준 특성, 장비 가용 수 기준, 최대풍속 기준, 공분산 크기 기준의 특성 분석으로 바람장 회수 결과를 검증한다.(S303)
- [0039] 이어, 검증 결과를 바람장 회수 알고리즘 실행부(30)로 전송하여 MSM 데이터 기준 최적화를 통하여 회수 알고리즘을 보정하여 정확도를 개선한다.(S304)
- [0040] 여기서, 관측 자료 수집 및 병합을 하여 데이터 전처리를 하는 단계에서, 크리깅 보간법(Kriging interpolation)을 이용하여 태풍 상륙 이전 태풍 강수밴드 관측 유무에 상관없이 내륙의 태풍 바람장을 회수할 수 있도록 하기 위하여, 제 1 영역에 위치하는 변분법 레이더 이중바람장과, 제 1 영역과 다른 제 2 영역에 존재하는 연직바람관측장비의 데이터를 수집 및 병합을 한다.
- [0041] 그리고 바람장 회수를 하는 단계에서, 수평 바람과 연직 바람을 하나의 비용함수(J)에 포함시켜 3차원 바람성분을 산출하여 이중 바람장 영역을 산출하는 이중 바람장 영역 산출 단계와, 제 1 영역에 위치하는 변분법 레이더 이중바람장과 제 1 영역과 다른 제 2 영역에 존재하는 연직바람관측장비의 데이터를 이용하여 크리깅 보간법(Kriging interpolation)을 적용하는 크리깅 보간 적용 단계와, MSM(Meso Scale Model) 재분석 자료를 이용한 바람장 회수의 검증 결과를 반영하여 바람장 회수 알고리즘을 최적화하는 MSM 데이터 기준 최적화 단계와, MSM 데이터 기준 최적화를 통하여 보정된 회수 알고리즘을 실행하여 중첩되지 않는 변분법 레이더 이중바람장과 연직바람 관측장비 관측 자료를 이용하여 바람장 회수를 하는 바람장 회수 실행 단계를 포함한다.
- [0042] 그리고 바람장 회수 결과 검증 단계는, 고도별 위도에 따른 크리깅 보정 계수와 그에 대한 MSM 재분석 자료와의 상관계수 특성을 분석하는 보정계수 기준 특성 분석과, 태풍중심 위도와 상관없이 입력자료 수에 따른 바람장 회수 보정 계수와 그에 이를 적용한 바람장 회수 결과와 MSM 재분석자료와의 상관계수를 분석하는 입력자료 수 기준 특성 분석과, 태풍 강수 예고가 존재하지 않는 내륙에서의 바람장 회수를 위해서 사용되는 연직바람 관측장비의 수에 따른 바람장 회수 결과와 이에 상응하는 MSM 재분석자료와의 상관계수 특성을 분석하는 장비 가용 수 기준 특성 분석과, 태풍의 풍속에 따른 바람장 회수 결과를 분석하며 크리깅 보정 계수를 적용하였을 때의 풍속 계급별 상관계수 특성을 분석하는 최대풍속 기준 특성 분석과, 입력자료의 공분산 크기에 따른 바람장 회수 결과와 이에 대한 MSM 재분석 자료와의 상관계수 특성을 분석하는 공분산 크기 기준 특성 분석을 포함한다.
- [0043] 그리고 바람장 회수 결과 검증 단계는, 입력자료에 대한 최적의 크리깅 변수 거리(R)와 스케일(S)로부터 얻어진 바람장 회수 결과와 MSM 재분석자료와의 상관성이 최대가 될 때의 보정 계수를 제시하기 위하여, 관측자료의 표출고도 및 MSM 재분석자료의 관측 고도가 일치하는 1.5 km(850 hPa), 3.0 km(700 hPa), 그리고 5.5 km(500 hPa)인 3개의 고도별 특성을 분석하고, 정성적 비교 방법인 상관계수(correlation coefficient, CC)를 이용한 크리깅 보간 영역에 대한 최적의 보정 계수를 산출 및 적용을 한다.
- [0044] 본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치 및 방법을 위한 [영향 및 상륙태풍 사례 선정]에 관하여 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0045] 본 발명의 일 실시 예에서는 한반도를 통과한 과거 태풍사례를 선정하기 위하여 개활지이며, 연안선에 인접한 지리적 이점을 갖춘 보성 표준기상 관측소에 설치된 연직바람관측장비(Windprofiler)로부터 관측된 영향태풍을 선정한다.
- [0046] 대표성을 가지는 변분법 레이더 바람장 보정 기법 개발을 위하여 i) 다수의 영향 태풍 사례 고려가 요구되며 ii) 연직바람관측장비가 운영된 시기 내에 관측된 태풍 사례를 선정하는 것이 바람직하다.
- [0047] 선정된 태풍은 연직바람관측장비의 내구연한으로 인한 품질저하가 발생된 2013년 이전 태풍 사례를 선정하고, 다양한 진로 및 규모로 상륙하는 다수의 태풍 사례를 고려하여 개발된 바람장 보정식의 객관성을 위하여 2010년

부터 2012년까지 총 10개의 영향 및 상륙 태풍을 본 과제의 주요 분석사례로 선정한다.

도 4는 레이더 바람장 보정에 사용된 10개의 태풍 사례 진로를 나타낸 구성도이다.

선정된 태풍 중 태풍 담레이(Damrey)는 유일하게 북서진하였으며, 태풍 무이파(Muipa), 메아리(Meari), 그리고 태풍 볼라벤(Bolaven)은 북진하였다.

태풍 카눈(Khanun)과 산바(Sanba)는 북북동진하였으며, 태풍 덴무(Dianmu), 곤파스(Konpasu), 말로(Malou), 그리고 덴빈(Tembin)는 북동진하였다. 진로 기울기는 말로우(Malou), 덴무(Dianmu), 덴빈(Tembin), 곤파스(Konpasu), 카눈(Khanun), 산바(Sanba), 무이파(Muipa), 메아리(Meari), 볼라벤(Bolaven) 그리고 담레이(Damrey) 순서로 나타났으며, 태풍 중심이 위도 33° N를 통과할 당시의 경도는 담레이(Damrey), 무이파(Muipa), 메아리(Meari), 볼라벤(Bolaven), 덴무(Dianmu), 덴빈(Tembin), 카눈(Khanun), 말로(Malou), 그리고 산바(Sanba)의 순서로 보였다. 선정된 태풍의 자세한 상륙 소멸 시기는 표 1에서와 같다.

표 1

Case	Year	Time (LST)	
Dianmu	2010	08. 10. 09	12. 02
Kompasu		09. 01. 15	02. 02
Malou		09. 06. 07	08. 18
Meari		06. 26. 00	26. 09
Muipa	2011	08. 07. 08	08. 22
Khanun		07. 18. 12	19. 01
Damrey		08. 02. 15	02. 18
Bolaven		08. 27. 20	28. 04
Tembin	2012	08. 29. 00	31. 18
Sanba		09. 16. 19	18. 02

본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치 및 방법을 위한 [자료 및 방법론]에 관하여 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

먼저, 변분법 이중 도플러 레이더 바람장에 관하여 구체적으로 설명한다.

본 발명에서는 레이더 자료를 이용한 3차원 바람장 구현을 위해 변분법(variational method)을 이용한다.

변분법은 비용함수(J)를 정의하고 이를 최소화하는 과정을 말한다. 비용함수는 관측값과 질량보존에 대한 오차를 최소화하는 최적의 값을 구하는 과정을 말하며 본 발명에서 적용된 비용함수는 다음과 같다.

수학식 1

$$J = J_O + J_B + J_D + J_S$$

수학식 2

$$J_O = \frac{1}{2} \sum_m \lambda_m (c \cdot Vr_m - u \cos A - v \cos B - (w + w_t) \cos C)^2$$

수학식 3

$$J_B = \frac{1}{2} \left[\sum_{ijk} \lambda_{ub} (u - u_b)^2 + \sum_{ijk} \lambda_{vb} (v - v_b)^2 + \sum_{ijk} \lambda_{wb} (w - w_b)^2 \right]$$

수학식 4

$$J_D = \frac{1}{2} \sum_{i,j,k} \lambda_D D^2$$

수학식 5

$$J_S = \frac{1}{2} \left[\sum_{ijk} \lambda_{us} (\nabla^2 u)^2 + \sum_{ijk} \lambda_{vs} (\nabla^2 v)^2 + \sum_{ijk} \lambda_{ws} (\nabla^2 w)^2 \right]$$

수학식 6

$$D = \frac{\partial \bar{\rho} u}{\partial x} + \frac{\partial \bar{\rho} v}{\partial y} + \frac{\partial \bar{\rho} w}{\partial z}$$

위의 비용함수 합을 u, v, w 로 편미분하여 $\frac{\partial J}{\partial u}, \frac{\partial J}{\partial v}, \frac{\partial J}{\partial w}$ 값 모두가 0에 가깝다고 판단되거나 최소값이 될 때까지 반복하여 최적의 u, v, w 를 도출하여 이를 바탕으로 3차원 바람장을 구현한다.

계산된 바람장 영역은 도 5에서 점선으로 나타내었다.

도 5는 진도, 성산, 그리고 고산 기상레이더에 대한 고도 3km 레이더 변분법 이중바람장 표출영역을 나타낸 구성도이다.

바람장 산출시, 질량-연속방정식의 적분 과정에서 상,하층 경계조건의 설정, 레이더 자료의 불규칙적인 공간 분포와 지상에서 1 km 고도 사이의 레이더 자료 공백이 내삽 과정 중에서 발생한다.

이는 연직속도 산출을 위한 질량-연속방정식의 적분 오차를 증가시키는 주된 원인이며, 이러한 문제점은 변분법 활용을 통해 극복될 수 있다.

변분법을 이용한 바람장 산출기법은 수평 바람과 연직 바람을 하나의 비용함수에 포함시켜 최적의 3차원 바람성분을 산출하는 방법으로써 기존에 사용되고 있는 연직 적분법에 비해 작은 오차로 연직속도를 계산할 수 있는 장점이 있다.

본 발명에서는 변분법을 이용한 이중 바람장 영역을 산출하기 위하여 진도(JNI), 고산(GSN) 그리고 성산(SSP) 기상레이더를 이용한다.

- [0069] 산출영역은 보성을 비롯한 전라도 남해안 부근과 국가태풍센터가 위치한 제주도 전역이 포함된 도 5의 A 영역에 해당된다.
- [0070] 그리고 크리깅 보간법에 관하여 구체적으로 설명한다.
- [0071] 본 발명의 일 실시 예에서는 남해안에 위치하는 변분법 레이더 이중바람장(A영역, 도 5)과 내륙에 존재하는 연직바람관측장비(B 영역)와 크리깅 보간법(Kriging interpolation)을 이용하여 태풍 상륙 이전 태풍 강수밴드 관측 유무에 상관없이 한반도 내륙에서의 태풍 바람장을 회수하기 위한 것이다.
- [0072] 크리깅은 공간적 또는 시각적으로 분포하는 물리적 현상이나 자료의 분석에 적용할 수 있는 통계기법의 하나로 주어진 자료의 분포특성을 파악하고 이를 바탕으로 상관관계를 분석하여 미측정 지점의 값을 효과적으로 예측해 내는 것이다.
- [0073] 크리깅 분석은 관심변수의 표본 공간을 정의하고 이들 입력자료의 공간적 상호관계 파악을 통해 추정되며, 이에 대한 대표적 척도에는 공분산(covariance) 또는 베리오그램(Variogram)을 예로 들 수 있다.
- [0074] 대표적인 크리깅 방법으로는 일반 크리깅(Ordinary kriging), Co-kriging, KED 방법 등이 있으며, 단순 크리깅(Simple kriging)의 경우, 오차분산을 최소화 하여 선형 가중치를 구하는 방법이지만 평균 편향의 단점이 있다.
- [0075] 이를 극복하기 위해 크리깅 추정식이 편향되지 않으면서 오차 분산을 최소화 하는 일반 크리깅이 주로 사용된다. 편향(Bias)은 모집단의 인자 평균과 그 모집단의 인자를 예측하기 위한 추정식의 평균의 차로 정의되며 이들 차이가 0에 수렴할수록 편향되지 않았다고 할 수 있다.
- [0076] 베리오그램은 일정거리 h만큼 이격된 두 관측 자료 간의 차이를 제공한 것의 기댓값을 의미하며, 이는 다음과 같이 정의된다.

수학식 7

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} z(x_i) - z(x_i + h)^2$$

[0077]

- [0078] 여기서, N(h)는 이격 거리 h만큼 떨어진 샘플자료 쌍의 개수를 의미하며, h는 거리를 의미한다.
- [0079] 크리깅은 베리오그램으로부터 얻어지는 공간적 자기 상관관계를 가중치를 바탕으로 하여 이웃한 입력 자료들의 선형조합을 통해 미 측정된 지점에 대한 추정 값을 제시한다.
- [0080] 여기서 분리거리가 증가하여 일정거리 이상이 되면 베리오그램이 일정한 값을 나타낸다. 이때의 분리거리를 상관거리(Range, R)라 하고, 일정한 값을 문턱값(Sill or Scale, S)이라고 하며 너깃(Nugget, N)은 분리거리가 0 일 경우의 베리오그램값의 상수값을 의미한다. N의 크기는 미세규모의 변동이나 측정오차를 의미한다.
- [0081] 측정된 입력 자료로부터 계산된 베리오그램을 이용하여 미측정 지점의 대한 추정값을 예측하기 위해서는 이를 수학적으로 함수화한 이론적 베리오그램이 요구되며, 이론적 베리오그램은 대표적으로 도 6에서와 같이, 다음의 선형(linear), 지수형(exponential), 가우스(Gaussian), 그리고 구형(spherical) 모델로 구분된다. 각 베리오그램은 다음과 같이 표현된다.

수학식 8

$$\lambda = S(1 - d/R)$$

[0082]

수학식 9

$$\lambda = S \exp(-3d/R)$$

[0083]

수학식 10

$$\lambda = Sexp(-3d^2/R^2)$$

수학식 11

$$\lambda = S[1 - 1.5(d/R) + 0.5(d/R)^3]$$

- [0086] 여기서 구형 모델은 일반적으로 가장 많이 사용되는 함수모델로, 3차 다항식 형태로 표현되며 상관거리에서 베리로그래프 값이 문턱 값과 일치하는 특징이 있다.
- [0087] 지수형 모델은 문턱 값에 근사하게 보간되며, 주로 수문학 자료에 널리 이용된다. 가우시안 모델은 작은 분리거리에서 강한 자료들의 강한 상관성이 나타나거나 연속성이 강하게 나타나는 강수계에 대해 주로 사용된다.
- [0088] 따라서 본 발명에서는 중첩되지 않는 기상 레이더와 연직바람 관측장비 관측 자료를 입력 자료로 활용함에 따라 일반 크리깅을 채택하고, 태풍이라는 기상현상에 대한 바람장 회수가 목적이므로, 가우시안 모델을 적용한다.
- [0089] 본 발명에 적용되는 MSM(Meso Scale Model) 재분석자료에 관하여 설명하면 다음과 같다.
- [0090] 일본 기상청(JMA)은 대기 상태를 분석하기 위해 2002년 3월 19일부터 4 차원 VAR(4DVAR) 자료동화 기법이 채택된 Meso Scale Model(MSM)을 개발·배포하였다.
- [0091] MSM 재분석자료는 레이더-우량계 분석 예측자료이며, 기존 데이터와 함께 자료동화에 사용된다. 제어 변수로는 지표 기압, 온도, 난류, 그리고 비습 등이 있다.
- [0092] 계산 효율을 향상시키기 위해, 분석 증분이 더 낮은 수평 해상도(20 km)에서 평가된 다음 원래 해상도(10km)에서 첫 번째 추측 필드에 보간되어 추가되는 증분 방법이 채택되었다.
- [0093] JMA는 2007년 8월 부터 센다이, 니가타 및 나고야 도플러 레이더의 시선 속도를 자료동화에 활용하기 시작하였다.
- [0094] MSM 재분석 자료는 도 7에서와 같이, UM 또는 NCEP등의 재분석자료와 달리 시공간 고해상도(3 hr, 5 km)의 이점을 가지며, 일본에서 계산·산출함에 따라 결과 영역이 한반도를 포함한다.
- [0095] 따라서, 본 발명에서는 크리깅 기법 기반 태풍 바람장 회수결과 자료를 모두 활용한 검증을 위해 한반도 영역을 포함하는 MSM 재분석 자료를 이용한 바람장 회수 결과를 검증한다.
- [0096] 레이더 연직바람 관측장비 병합 자료와 크리깅 보간법을 이용한 태풍 바람장 회수 결과 분석을 설명하면 다음과 같다.
- [0097] 진도, 고산 그리고 성산 S-band 레이더를 합성한 변분법 이중 바람장 표출영역과 한반도 내륙에 설치된 5대의 연직바람 관측장비로부터 산출될 수 있는 크리깅 보간 영역은 입력자료가 존재하는 최대·최소 위경도 범위를 포함한다.
- [0098] 즉, 크리깅 보간영역과 비교하였을 때 상대적으로 입력자료 수가 부족하다.
- [0099] 그렇기 때문에 입력 자료만을 고려한 대표 거리(R)와 스케일(S)이 전체 크리깅 보간영역을 대표하기 어렵다.
- [0100] 도 8은 2010년 8월 10일 1800LST 태풍 Dianmu로부터 관측된 변분법레이더 이중바람장과 연직바람 관측장비에 대한 동서바람성분(U) 바람장 회수 결과이다.
- [0101] 바람장 회수 결과는 MSM 재분석 자료와 비교하였을 때 변분법 이중 도플러 레이더 바람장 표출영역을 제외한 영역에서는 양의 상관성을 보이지 않는다.
- [0102] 특히, 변분법 이중 도플러 레이더 바람장과 연직바람 관측장비의 관측자료가 존재하지 않는 한반도 남해 영역에는 상관성이 나타나지 않는다.
- [0103] 그러나, 입력자료로부터 산출된 최적의 R과 S에 대해 임의의 보정 계수인 5와 2를 곱한 결과는 MSM 재분석 자료

와 양의 상관성을 보임을 알 수 있다.

- [0104] 남북바람성분의 경우 또한, 도 9에서와 같이, 입력자료에서 제시한 최적의 R과 S에 대해 임의의 보정 계수인 3과 2를 곱한 바람장 회수 결과가 MSM 재분석 자료와 높은 상관성을 보임을 알 수 있다.
- [0105] 여기서 중요한 것은, 동일한 입력자료 수와 자료의 위치를 가진다 하더라도 바람 성분인 자료 종류에 따라서 최적의 S와 R이 달라지며, MSM 재분석 자료와 최대상관도를 가지기 위해서 고려되는 보정 계수의 크기 또한 다르다는 것을 알 수 있다.
- [0106] 이는 곧 크리깅 변수인 S와 R에 대한 보정 계수 입력자료의 크기와 수에 의존함을 의미한다.
- [0107] 태풍 중심위치에 따라 변분법 이중 도플러 레이더 바람장 표출영역내에서 얻어 질 수 있는 바람장 수가 결정되며, 태풍의 크기 또는 강도에 따라서 추정되는 수평바람성분의 크기와 분포가 결정될 수 있다.
- [0108] 따라서, 입력자료에 대한 최적의 R과 S로부터 얻어진 바람장 회수 결과와 MSM 재분석자료와의 상관성이 최대가 될 때의 보정 계수를 제시하고자 한다.
- [0109] 그러나 관측자료의 표출고도는 기하고도(km)가 기준인 반면, MSM 재분석자료는 기압고도(hPa)를 기준으로 갖는다.
- [0110] 이러한 문제로 ISA(International Standard Atmosphere)가 제안한 두 관측고도가 일치하는 1.5 km(850 hPa), 3.0 km(700 hPa), 그리고 5.5 km(500 hPa)인 3개의 고도에 한하여 고도별 특성을 분석하고자 하며, 두 고도 차는 대기 조건에 의존하므로 정성적 비교방법인 상관계수(correlation coefficient, CC)를 이용한 크리깅 보간 영역에 대한 최적의 보정 계수를 산출 및 적용한다.
- [0111] [위도별 최적의 크리깅 보간 보정계수 특성 분석]에 관하여 설명하면 다음과 같다.
- [0112] 연직바람 관측장비의 경우, 에코 유무에 상관없이 청천대기의 바람성분 관측이가능하나 기상레이더로부터 관측되는 변분법 레이더 이중바람장은 레이더 에코가 관측되는 자료 중, beta circle 영역 안에 포함되는 자료를 이용하여 바람장 산출이 가능하다.
- [0113] 즉, 레이더 바람장 산출을 위해서는 레이더 에코가 반드시 관측여야 하며, 이는 태풍의 위치에 대한 함수인 위도에 의존한다. 따라서, 고도별 위도에 따른 최적의 크리깅 보정 계수와 그에 대한 MSM 재분석 자료와의 상관계수 특성을 분석하는 것이 필요하다.
- [0114] 도 10과 도 11은 위도에 따른 동서·남북바람성분에 대한 R과 S의 최적의 보정 계수와 이를 반영하였을 때의 상관계수를 나타내는 산포도이다.
- [0115] 변분법 이중 도플러 레이더 바람장으로부터 태풍 관측이 시작되는 31° N를 시작으로 37° N 까지의 영역에 대한 동서바람성분의 최적의 R은 고도에 따라 양의 상관성을 보이며 눈에 띄는 차이를 보이지 않는다.
- [0116] 그러나 도 10에서와 같이, 연안선인 34~35° N를 시작으로 고도에 따른 최적의 R 보정 계수의 상관성이 저하되는 것을 알 수 있다.
- [0117] 1.5 km(850 hPa) 고도에 대한 최적의 보정계수는 점차 증가하는 경향을 보인 반면, 3.0 km(700 hPa)와 5.5 km(500 hPa)은 감소하는 경향을 보였다. 스케일의 경우, R과 달리 태풍상륙에 따른 최적의 보정계수가 3에서 8까지 큰 변동성을 보이는 것을 알 수 있다.
- [0118] 그러나 고도에 따른 이들 S의 보정계수는 R과 유사하게 매우 높은 상관성을 보이며, 이 또한, 연안선 위도인 34~35° N를 시작으로 이들 고도간의 상관성이 저하되는 특징을 보인다.
- [0119] MSM 재분석자료에 대한 동서바람에 대한 최적의 바람장 회수 결과와의 상관계수 분석결과는 태풍중심이 연안선을 상륙하기 이전 위도인 31~34° N에서 전 고도에 대해 0.8을 초과하는 우수한 보정 결과를 보였다.
- [0120] 그러나 태풍 중심의 연안상륙 이후에는 전 고도에서 상관계수가 0.8에서 최대 0.1(1.5 km)까지 감소하는 특징을 보였다.
- [0121] 여기서 눈에 띄는 특징은, 크리깅 보간법에서 최적의 보정 계수를 반영하였을 때 내륙에서의 상관계수 분포가 연속성을 갖는 다는 것이다.
- [0122] 가장 낮은 고도인 1.5 km에서 가장 낮은 상관계수인 0.1의 크기를 보인 반면, 3 km 고도에서는 0.4, 그리고 5.5 km 고도에서는 약 0.6로 고도가 증가함에 따라 지형효과, 지표 응력 또는 수증기 유입과 관련된 지상 영향으로

부터 영향이 적기 때문에 이와 같은 결과가 산출되는 것이다.

- [0123] 남북바람성분의 경우, 도 11에서와 같이, 위도에 따라 최적의 R 보정 계수가 변동성이 없는 선형분포를 보였다 (그림 9). 이 또한 동서바람성분과 마찬가지로 고도에 따른 차이를 보이지 않으며 매우 유사한 분포를 보인다.
- [0124] 눈에 띄는 특징은, 동서바람성분과 달리, 태풍중심이 내륙을 상륙한 이후에도 최적의 R 보정계수 값이 상륙 이전과의 크기와 유사하다는 것이다. 스케일의 경우, 동서바람성분과 달리 위도에 따라 S 보정계수의 크기가 지속적으로 상승한다는 것이 특징이다.
- [0125] 또한, 연안선 상륙이후에도 세 고도에 대한 S 보정 계수는 차이를 보이지 않았다. 특이사항으로는, 3 km 고도에 대한 최적의 보정계수가 1.5와 5.5 km와 약 2.5의 차이를 보였으나, 33° N부터는 다시 수렴하는 특징을 보인다.
- [0126] 태풍 중심 연안선 상륙이후에도 S와 R의 보정계수가 위도와 고도별로 큰 변동성을 보이지 않은 특징은 MSM 재분석자료와의 상관계수로부터 확인할 수 있다.
- [0127] 남북바람성분에 대한 크리깅 보간법 보정 계수를 적용한 바람장 회수 결과와 MSM 재분석 자료와의 상관계수 분석 결과는 동서바람 성분과 마찬가지로 태풍 중심이 해안에 위치할 때 0.8이상의 높은 상관성을 보이며, 고도에 따라서도 아주 유사한 크기를 보인다.
- [0128] 태풍 중심이 연안선을 상륙한 이후에도 MSM 재분석 자료와의 상관성이 크게 감소되지 않으며, 점진적으로 약 $CC = 0.9$ 에서 0.6까지 감소하는 특징을 보였다.
- [0129] 이를 통해 태풍 상륙으로 인한 동서바람 성분의 쇠퇴 또는 변동에 비해 남북바람성분의 구조가 상대적으로 잘 유지됨을 알 수 있다.
- [0130] [입력자료 수에 따른 태풍 바람장 회수 특성 분석]에 관하여 설명하면 다음과 같다.
- [0131] 태풍 중심 위도는 고정지점에서 표출되는 변분법 이중 도플러 레이더 바람장 표출 영역 내에서의 자료 수와 관련된다.
- [0132] 그러나 레이더 관측 오류 또는 계산 에러 등의 문제로 인하여 동일한 태풍 규모와 강도 그리고 중심위도를 가진 다 하더라도 표출문제로 인한 변분법 레이더 바람장 자료 수가 달라질 수 있다.
- [0133] 따라서, 본 발명에서는 태풍중심 위도와 상관없이 입력자료 수에 따른 최적의 바람장 회수 보정 계수와 그에 이를 적용한 바람장 회수 결과와 MSM 재분석자료와의 상관계수를 분석한다.
- [0134] 도 12는 자료 수 크기에 따른 동서·남북바람성분에 대한 R와 S의 최적의 보정계수와 이를 반영하였을 때의 상관계수를 나타내는 산포도이다.
- [0135] R의 보정 계수는 0과 300개 사이의 자료 수에서 큰 변동성을 보이거나 고도에 따른 차이는 위도와 마찬가지로 나타나지 않았다.
- [0136] 자료수가 400개 이상 증가하면 자료수 증가에 따른 R의 보정계수의 변동성이 매우 미비하게 나타났다. 즉, 자료수에 따른 R의 보정계수가 상관성을 가지며, 자료수가 증가함에 따라 R의 보정 계수가 5로 수렴하였다.
- [0137] 스케일은 자료수와 양의 상관성을 보이지 않는 분포를 보였다.
- [0138] 자료 수에 따라 S의 보정 계수는 3에서 6까지 변동성을 보이며, 고도에 따른 차이 또한 나타났다.
- [0139] 자료 수에 따른 최적의 보정계수를 반영한 바람장 회수 결과에 대한 MSM 재분석자료와의 상관성은 자료수가 0에서 400까지 꾸준히 증가하는 경향을 보이며, 500이상의 자료 수에서는 전체고도에 대해 0.9의 상관계수를 보이는 결과를 보였다.
- [0140] 남북바람성분의 경우, 도 13에서와 같이, 위도에 대한 결과와 달리 자료 수 크기에 따른 R과 S의 보정 계수에 대한 상관성을 보이지 않았다.
- [0141] 그럼에도 불구하고, 이들 자료수에 따른 최적의 보정계수를 반영한 바람장 회수 결과와 MSM 재분석자료와의 상관 계수는 동서바람성분과 마찬가지로 자료수가 0에서 400까지 0.6에서 0.9까지 꾸준히 상관계수가 증가하는 경향을 보이며, 500이상의 자료 수에서는 전체고도에 대해 1에 가까운 상관계수를 보이는 우수한 결과를 보였다.
- [0142] [연직바람 관측장비 가용 수에 따른 바람장 회수 특성 분석]에 관하여 설명하면 다음과 같다.

- [0143] 태풍 강수 에코가 존재하지 않는 한반도 내륙에서의 바람장 회수를 위해서 사용되는 연직바람 관측장비의 수에 따른 바람장 회수 결과와 이에 상응하는 MSM 재분석자료와의 상관계수 특성을 분석한다.
- [0144] 본 발명에서는 5대의 연직바람 관측장비를 모두 입력자료로 활용하였으나, 관측에러 또는 관측중지에 따른 일부 장비의 결측값을 반영된 실제 관측에 사용된 연직바람 관측장비의 자료수를 가용장비 수로 고려하였다.
- [0145] 도 14는 가용된 연직바람 관측장비 수에 따른 동서바람성분에 대한 R와 S의 최적의 보정 계수와 이를 반영하였을 때의 상관계수를 나타내는 산포도이다.
- [0146] 연직바람 관측장비 가용 수에 따른 R과 S의 보정계수는 본 발명에서 고려되는 바람장 회수 결과에 영향을 주는 요소들 중 가장 변동성이 적은 특성을 보였다.
- [0147] 그럼에도 불구하고, R의 보정계수는 장비수가 2대 미만일 때에는 6에서 8까지 증가된 값이 장비수가 3대 이상일 때에는 4의 크기로 감소 및 수렴하는 특성을 보였으며, 이는 자료 수에 대한 R의 보정계수의 분포와 정성적으로 유사하다.
- [0148] 이러한 이유는 관측 자료 수가 적을수록 관측 자료들에 대한 대표 거리 R이 증가하기 때문이다.
- [0149] S는 장비 수에 따른 큰 차이를 보이지 않으며, 고도에 따른 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 연직바람 관측장비 가용 수에 따른 R과 S의 보정 계수 분포가 뚜렷한 특징을 보이지 않음에도 불구하고, 이들 보정계수를 반영한 바람장 회수 결과와 MSM 재분석자료와의 상관계수 분석 결과 연직바람 관측장비 수와 양의 상관성을 보임을 알 수 있다.
- [0150] 연직바람 관측장비의 수가 3대 이상이 되었을 때 상관계수가 0.7 이상 증가하는 특징을 보였다. 특이사항으로는, 상대적으로 저층인 1.5km 고도에 대한 연직바람 관측장비 관측률이 중, 고층인 3.0, 5.5 km에 비해 상대적으로 낮음에 따라 2대 이상에 대한 1.5 km 고도 결과가 표출되지 않았다.
- [0151] 남북바람성분은 동서바람성분과 유사한 결과를 보였다.
- [0152] 도 15에서와 같이, 연직바람 관측장비 가용수에 따른 R의 보정 계수 분포는 매우 안정적인 패턴을 보였다.
- [0153] 그러나 S의 경우, 연직바람 관측장비 가용 수에 따른 상관성이 나타나지 않았다. 그럼에도 불구하고, 이들 최적의 R과 S의 보정 계수를 반영한 바람장 회수 결과는 MSM 재분석 자료와 비교하였을 때, 3대 이상의 가용자료가 존재할 경우 상관계수가 0.8까지 증가하는 양의 상관성을 보였다.
- [0154] [최대 풍속에 따른 태풍 바람장 회수 특성 분석에 관하여 설명하면 다음과 같다.
- [0155] 크리깅 보간법은 개발 목적에 따라 지역에 따른 연속적인 특성이 나타나는 조건에서 효과적인 내삽(interpolation)이 적용될 수 있다.
- [0156] 이는 즉, 태풍 중심으로 바람성분 분포가 위치에 따라 뚜렷한 분포를 보일수록 양의 바람장 회수 결과를 기대할 수 있다.
- [0157] 뚜렷한 바람성분 분포를 다르게 설명하면 태풍중심으로 바람성분의 크기 증감이 뚜렷하게 나타나야 하며, 이는 곧 태풍의 규모 또는 강도와 직결된다.
- [0158] 따라서, 태풍의 풍속에 따른 바람장 회수 결과를 분석하며 최적의 크리깅 보정 계수를 적용하였을 때의 풍속 계급별 상관계수 특성을 분석하였다.
- [0159] 도 16은 최대 풍속에 따른 동서바람성분에 대한 R와 S의 최적의 보정 계수와 이를 반영하였을 때의 상관계수를 나타내는 산포도이다.
- [0160] 최대풍속크기가 증가할수록 R의 보정계수의 크기가 고도에 상관없이 3에서 5까지 변동성을 가지며 점진적으로 증가하는 분포를 보였다. 이에 반해 S의 보정계수는 최대풍속이 증가함에 따라 8에서 3까지 변동성을 가지며 점차 감소하는 경향을 보였다.
- [0161] 고도에 따른 보정 계수의 차이가 나타나기는 하나 유의미한 차이는 나타나지 않았다. 최대풍속에 따른 바람장 회수 결과는 위도에 따른 결과와 함께 가장 뚜렷한 특징을 보였다. 최대 풍속이 0에서 35 m s^{-1} 까지 증가하면서 이들에 대한 상관계수가 0.2에서 0.9까지 연속적으로 증가하였으며, 35 m s^{-1} 이상에서는 0.8과 0.9의 높은 상관계수를 보였다.

- [0162] 남북바람성분의 경우, 도 17에서와 같이, R의 보정 계수는 최대풍속의 크기에 상관없이 4를 중심으로 수렴하는 분포를 보이며, 고도에 따른 뚜렷한 차이는 보이지 않았다.
- [0163] 이에 반해 S의 보정계수는 최대 풍속이 증가함에 따라 감소하는 특징을 보이며 이는 동서바람성분에 대한 S의 보정계수와 정성적으로 유사하다.
- [0164] 그러나 동서바람성분과 비교하였을 때 최대풍속이 증가함에 따라 나타나는 변동성의 폭이 최대 5까지 상대적으로 더 크게 분포하였다.
- [0165] 최적의 R과 S의 보정 계수를 적용한 바람장 회수 결과는 MSM 재분석자료와 비교하였을 때 동서바람성분과 마찬가지로 35 m s^{-1} 이상의 구간에서 0.8의 상관계수를 초과하는 양의 상관성을 보였다. 여기서 눈에 띄는 특징으로는 최대풍속이 0 과 25 m s^{-1} 의 구간에서 고도에 따른 상관계수 결과가 연속적으로 분류되었다는 것이다.
- [0166] 이는 즉, 풍속이 상대적으로 약할 경우, 저층 고도에 대한 바람장 회수 결과가 중·고층에 비해서 우수함을 설명한다.
- [0167] [공분산 크기에 따른 태풍 바람장 회수 특성 분석]에 관하여 설명하면 다음과 같다.
- [0168] 태풍으로부터 관측된 입력자료에 대한 연속적이며 뚜렷한 바람성분 분포는 공분산의 크기를 결정한다. 이는 자료의 연속성을 충분히 표현할 수 있는 입력자료 수와 풍속의 크기에 결정된다.
- [0169] 따라서, 본 단계에서는 입력자료의 공분산 크기에 따른 최적의 바람장 회수 결과와 이에 대한 MSM 재분석 자료와의 상관계수 특성을 분석하였다.
- [0170] 도 18은 입력 자료의 공분산 크기에 따른 동서바람성분에 대한 R과 S의 최적의 보정 계수와 이를 반영하였을 때의 상관계수를 나타내는 산포도이다.
- [0171] 공분산에 대한 R과 S의 보정 계수는 연직바람 관측장비 수에 따른 분포와 유사하게 공분산 크기에 따른 변동성이 상대적으로 미비하였다. R의 보정계수는 공분산의 크기와 상관없이 3에서 6사이의 보정 계수 크기 내에서 연속적으로 분포하였으나, S의 보정계수는 공분산의 크기에 따른 약 2~3의 변동성을 보였다.
- [0172] 이들 최적의 R과 S의 보정계수를 적용한 바람장 회수 결과와 MSM 재분석 자료와의 상관계수 분석 결과는 공분산의 크기와 양의 상관성을 보였다.
- [0173] 공분산이 3보다 클 경우, 0.8 이상의 상관계수를 3.0와 5.5 km의 두 고도에서 나타났으며, 상대적으로 공분산의 크기가 3보다 작은 1.5 km 고도에서는 이러한 특징이 나타나지 않았다. 이러한 주 이유는 지상과 가까워질수록 지표 및 지형 영향으로 인하여 태풍 중심을 기준으로 대칭성의 바람분포의 형태가 비대칭성으로 나타나기 때문이다.
- [0174] 남북바람성분의 경우, 도 19에서와 같이, 동서바람과 유사하게 R의 보정계수는 공분산 크기에 따라 큰 변동성을 보이지 않으며, S의 보정계수는 점진적으로 감소하는 경향을 보이긴하나, 최대 6의 큰 변동성을 보이는 공분산과의 관계를 보였다.
- [0175] 최적의 R과 S의 보정계수가 적용된 바람장 회수결과는 동서바람성분에서 나타난 결과보다 상대적으로 더욱 더 우수한 특징을 보였다.
- [0176] 남북바람성분도 공분산의 크기가 3보다 클 경우 상관계수가 0.8을 초과하는 양의 상관성을 보이며, 공분산의 크기가 증가함에 따라 0.8에서 최대 1의 상관계수까지 지속적으로 상관성이 증가하는 경향을 보였다. 본 상관성은 고도에 상관없이 유사한 특징을 보였다.
- [0177] 이상에서 설명한 본 발명에 따른 연직바람 관측장비와 이중 도플러 레이더 바람장을 이용한 태풍 수평 바람장 회수를 위한 장치 및 방법은 태풍과 같은 연속적이며 태풍의 눈을 중심으로 대칭적 바람분포를 갖는 강수계의 경우, 연직바람 관측장비 네트워크와 변분법 이중 도플러 레이더 바람장으로부터 관측된 바람 자료를 이용하여 관측 불가 지역에 대해 신뢰할 수 있는 바람장 회수가 가능하도록 하여 위험기상 사전 예측 및 풍수해 대비에 기여를 할 수 있도록 한 것이다.
- [0178] 이상에서의 설명에서와 같이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 본 발명이 구현되어 있음을 이해할 수 있을 것이다.
- [0179] 그러므로 명시된 실시 예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 하고, 본 발명의 범위는

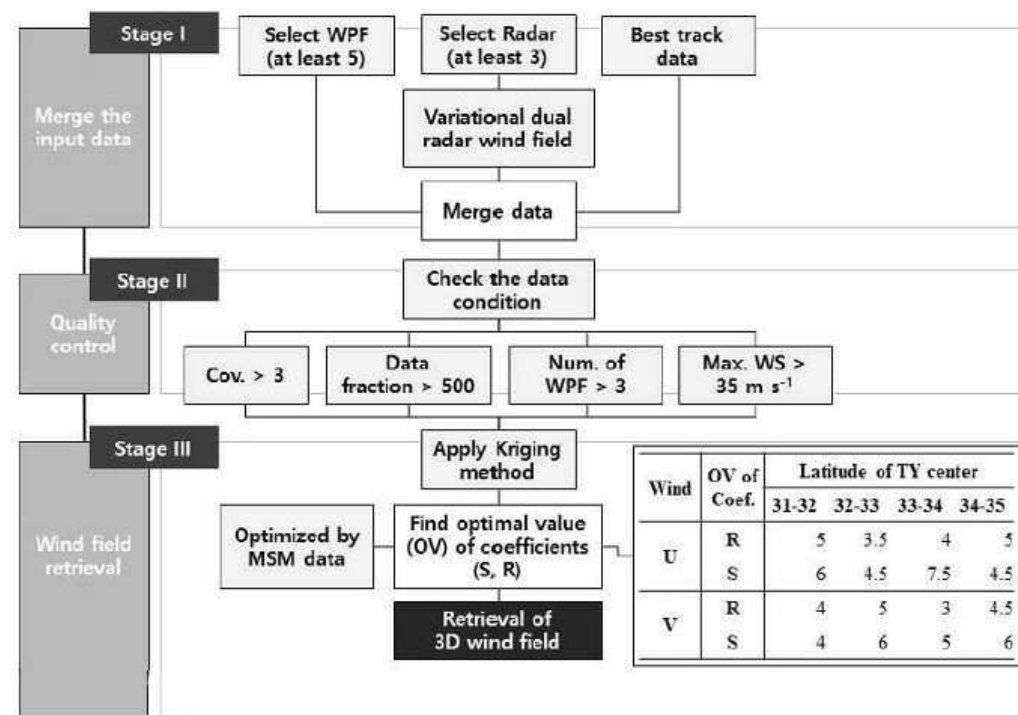
전술한 설명이 아니라 특허청구 범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

- 10. 관측 자료 수집 및 병합부
- 20. 데이터 전처리부
- 30. 바람장 회수 알고리즘 실행부
- 40. 회수 결과 검증부
- 50. 회수 알고리즘 보정부

도면

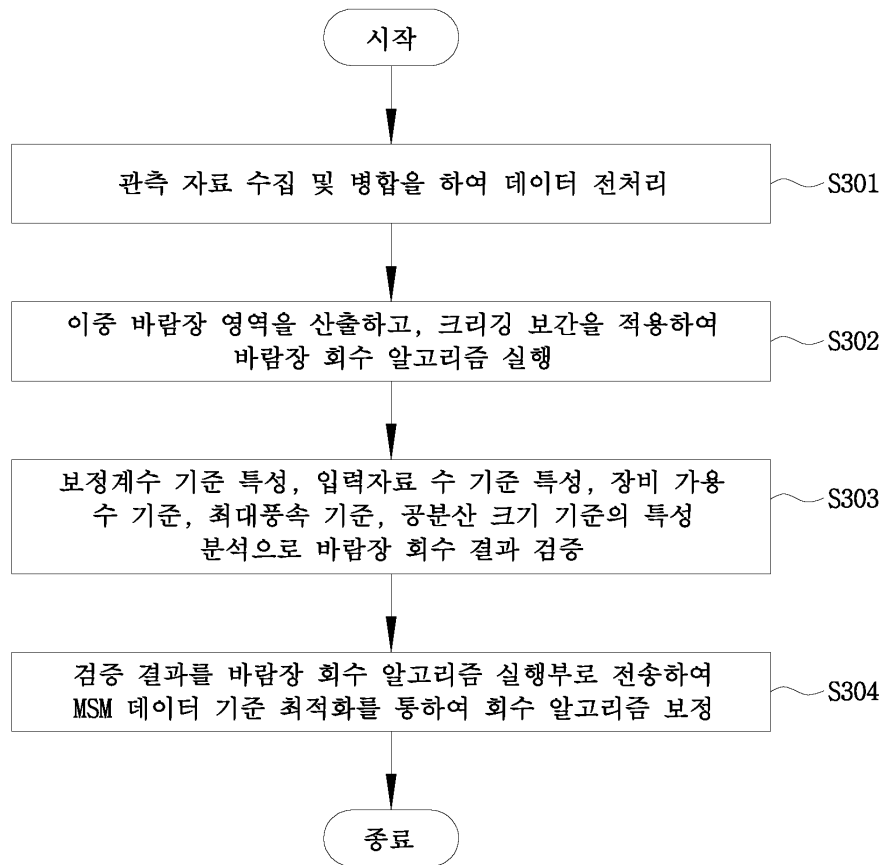
도면1



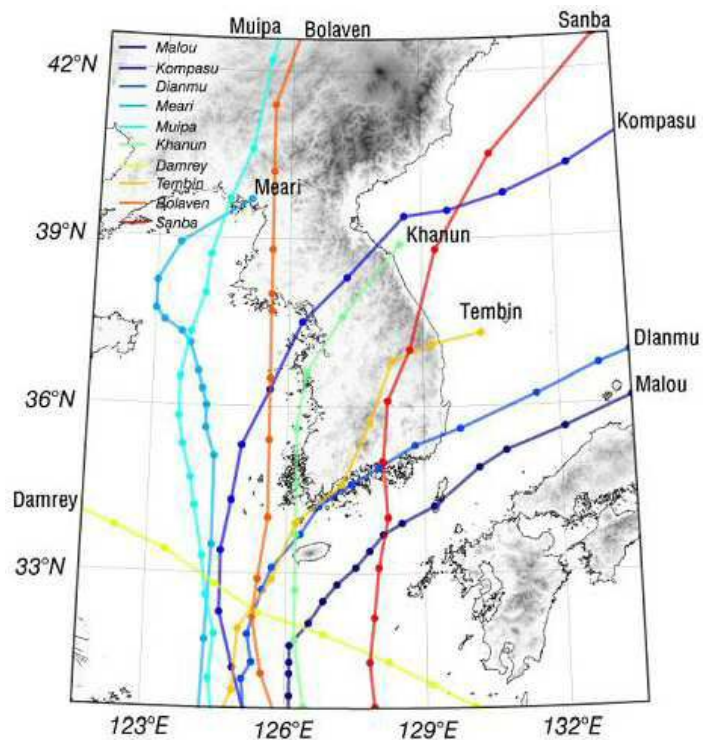
도면2



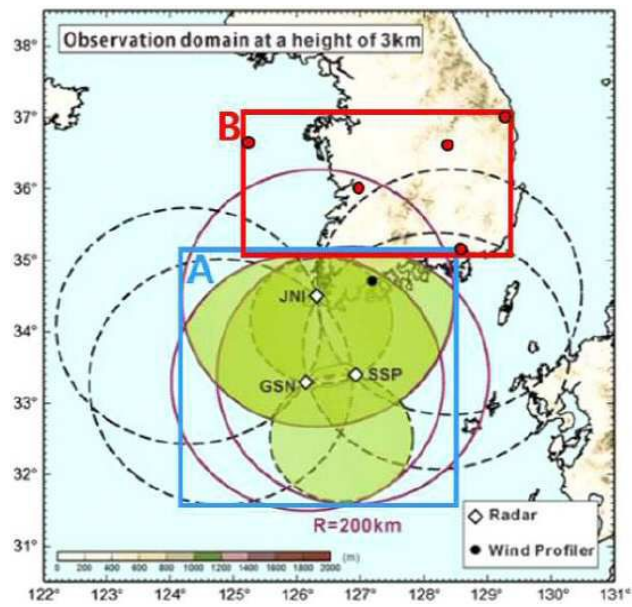
도면3



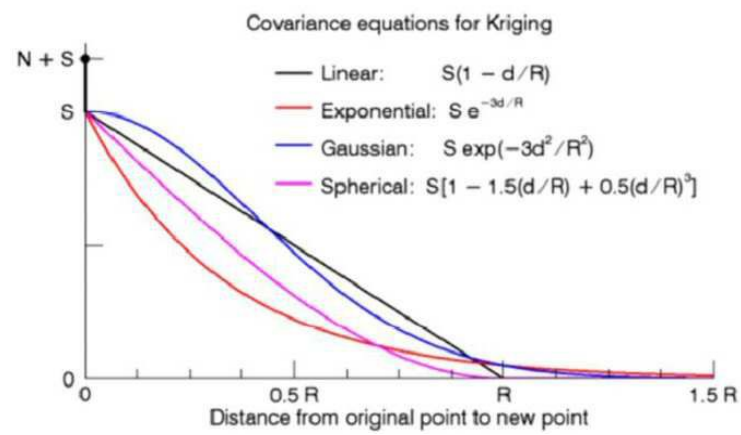
도면4



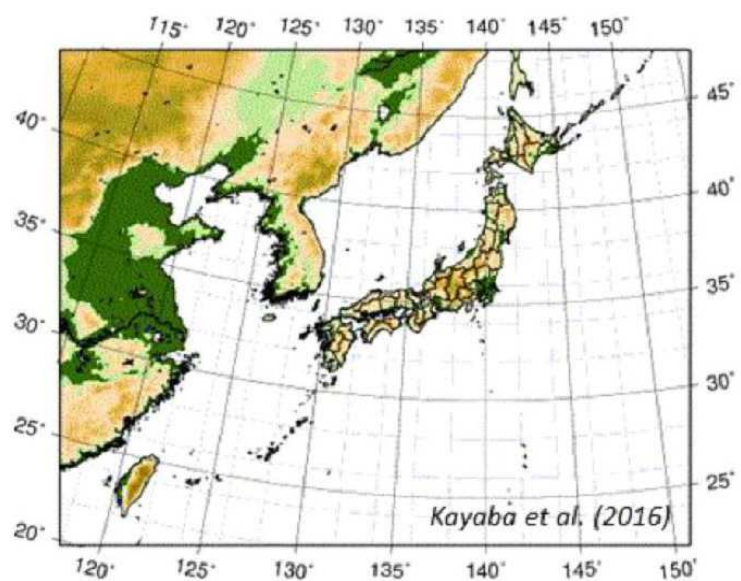
도면5



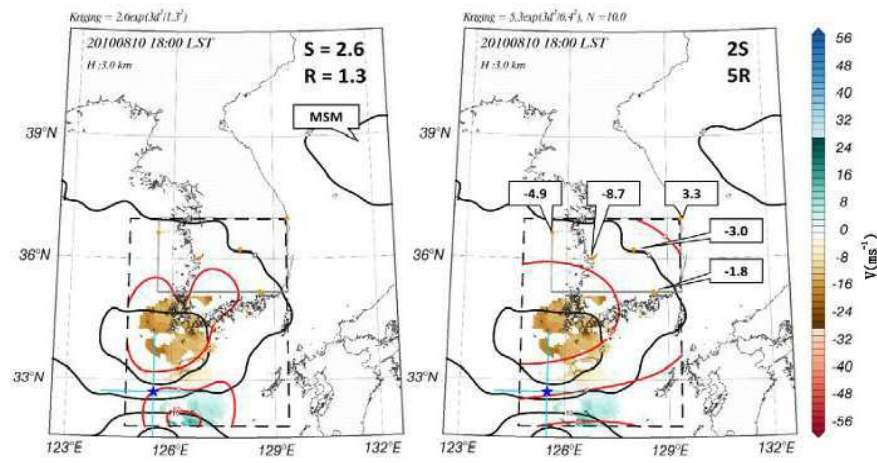
도면6



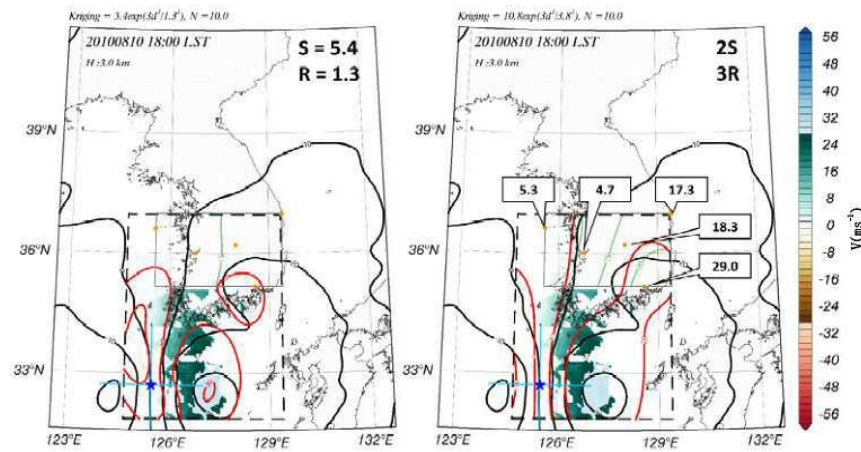
도면7



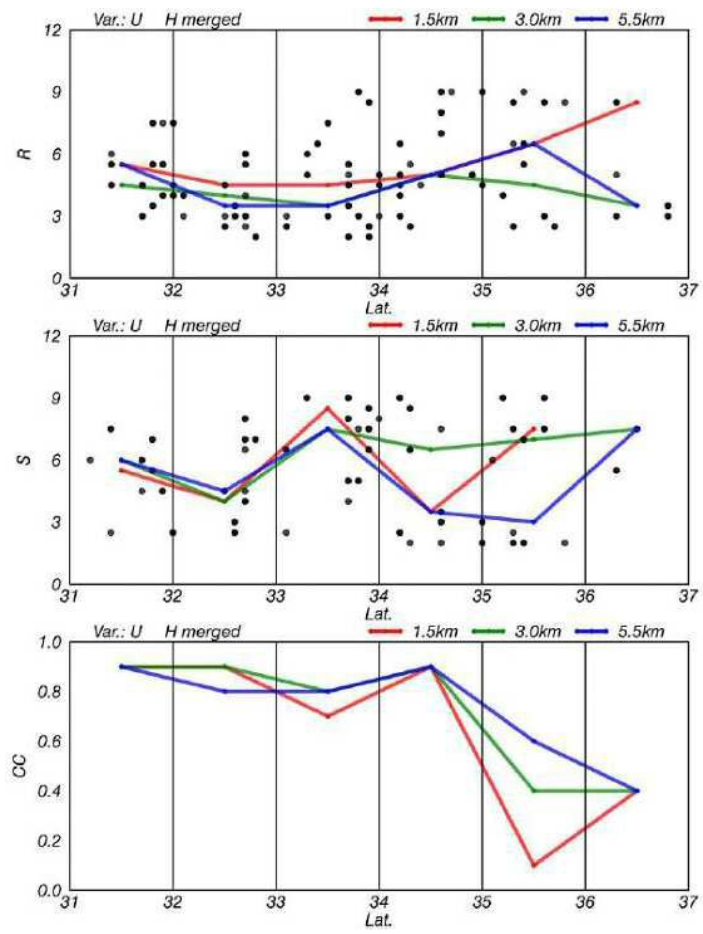
도면8



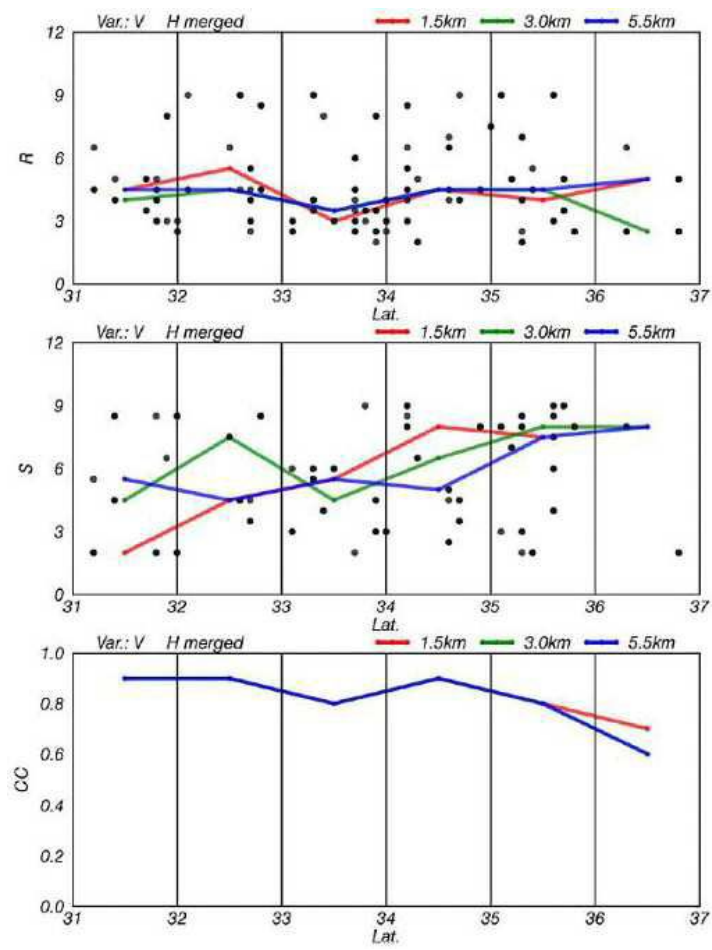
도면9



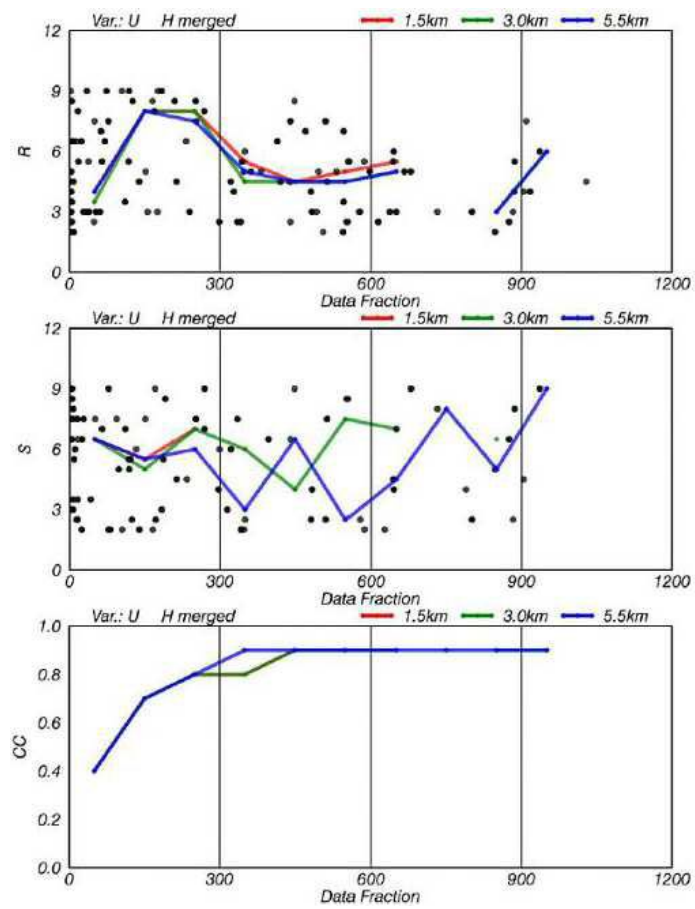
도면10



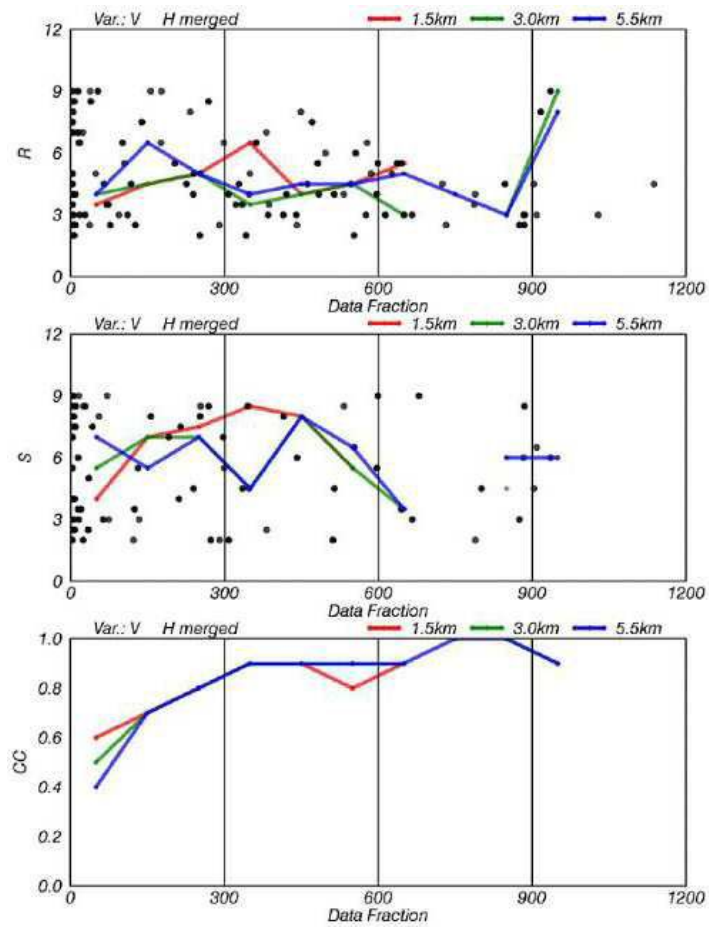
도면11



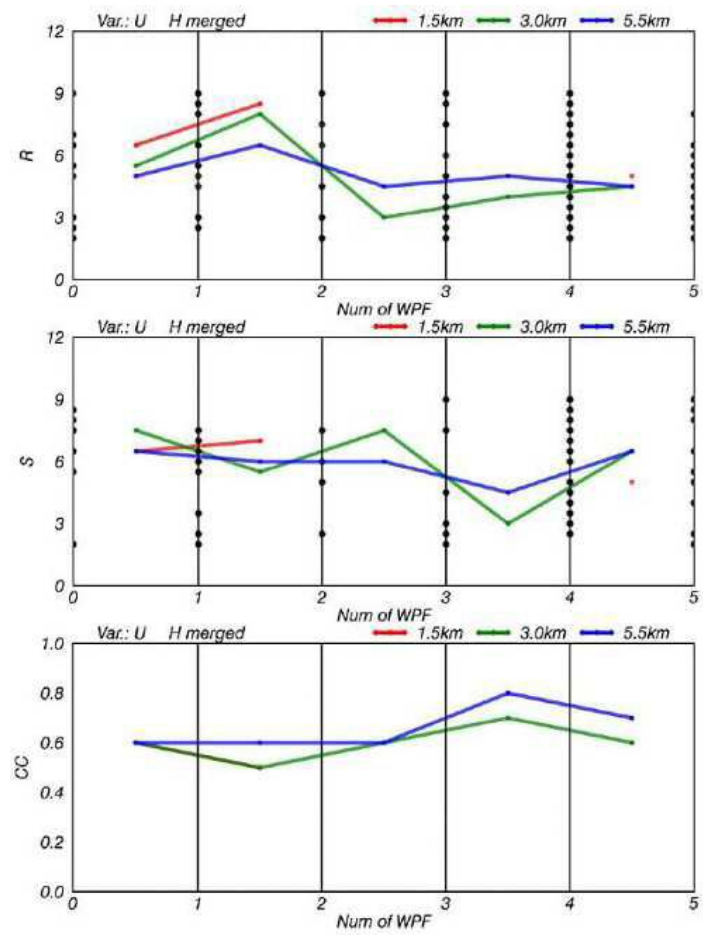
도면12



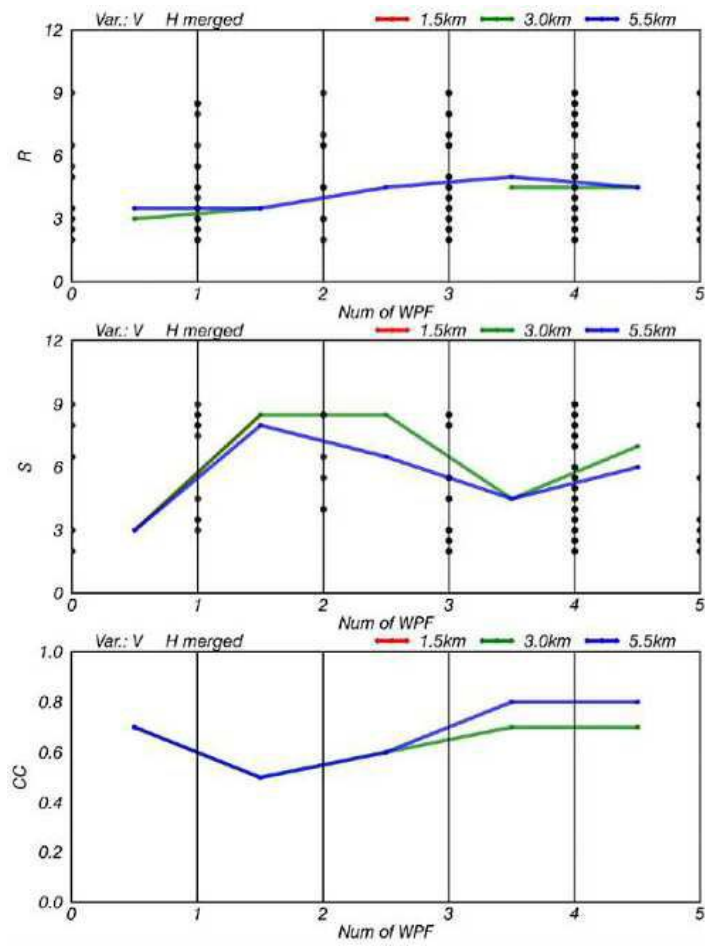
도면13



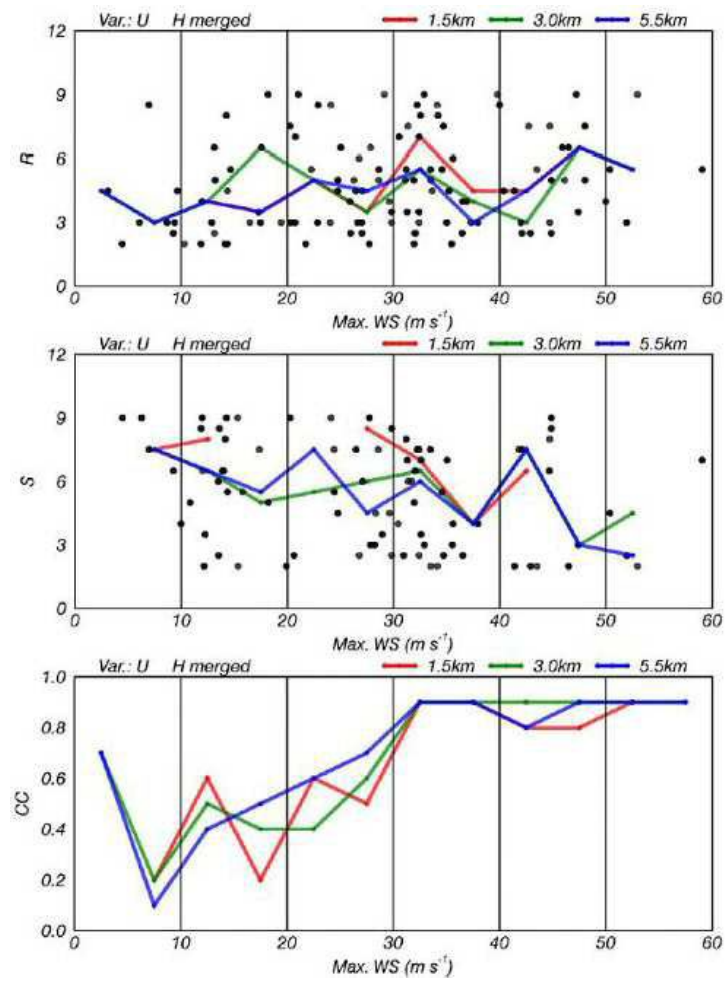
도면14



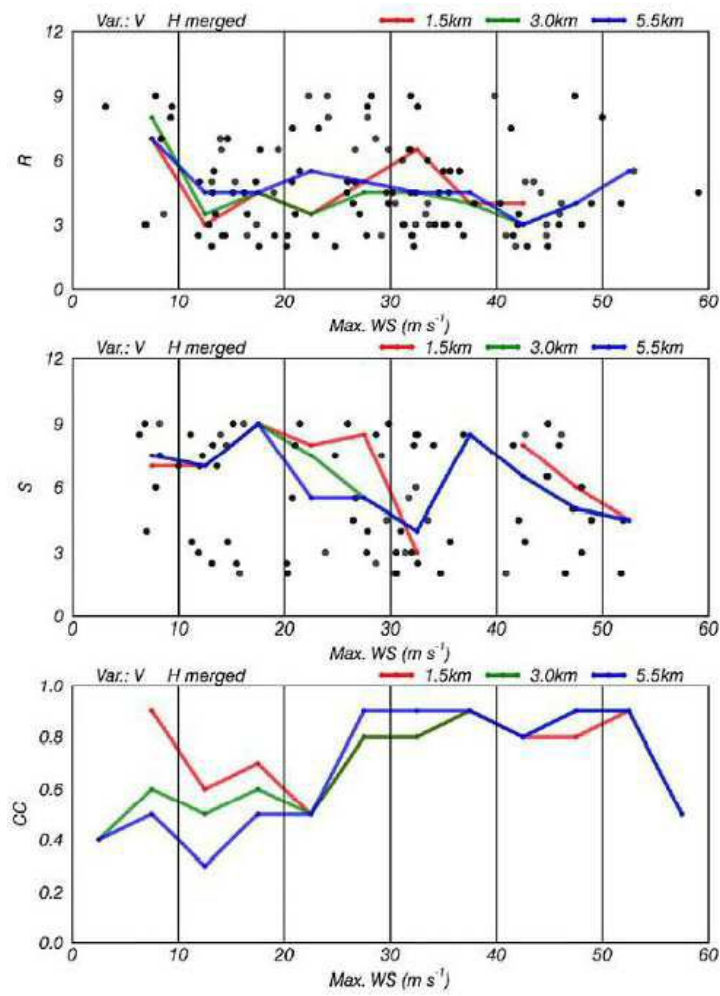
도면15



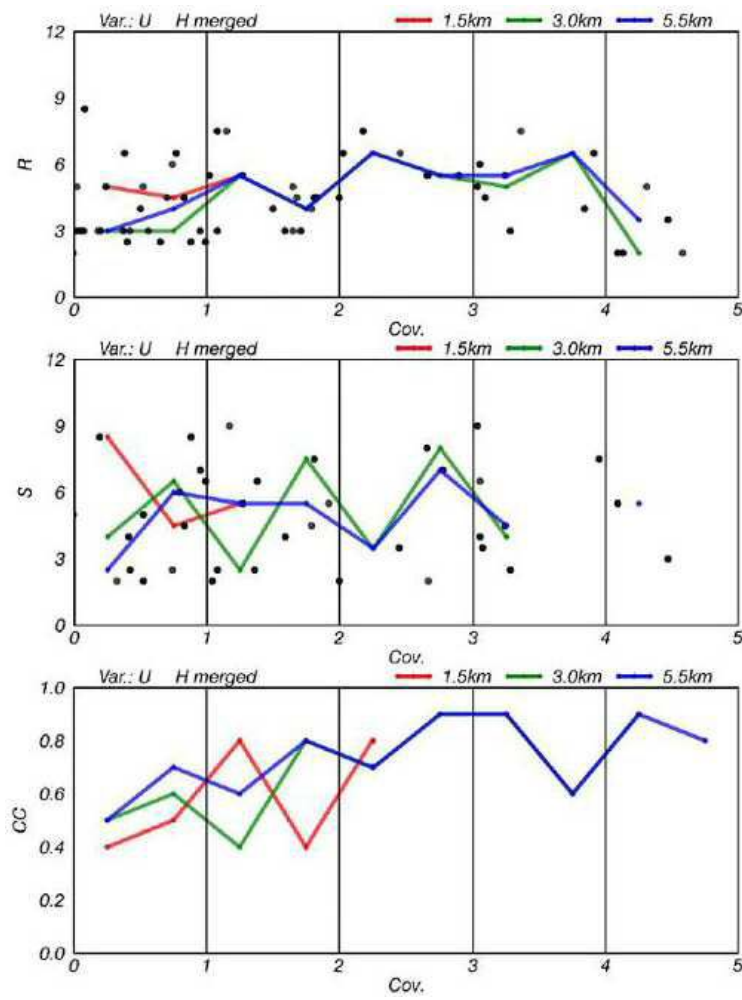
도면16



도면17



도면18



도면19

