



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년03월20일

(11) 등록번호 10-2091780

(24) 등록일자 2020년03월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G01W 1/10 (2006.01) G06F 17/14 (2006.01)
 G06F 17/16 (2006.01) G06F 17/18 (2006.01)

(52) CPC특허분류
 G01W 1/10 (2013.01)
 G06F 17/14 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0101836

(22) 출원일자 2019년08월20일

심사청구일자 2019년08월20일

(56) 선행기술조사문헌

KR101285803 B1

JP2005164490 A

이충희, ‘모조 소용돌이 기반 WRF 모델을 이용한
 열대 저기압의 지향류 분석’, 부경대학원, 석사
 학위논문, 온라인 서비스 게시일: 2019.08.08.

(73) 특허권자

부경대학교 산학협력단

부산광역시 남구 신선로 365 (용당동,
 부경대학교)

(72) 발명자

이충희

부산광역시 남구 용소로 45, 4308B (대연동)

정형빈

부산광역시 남구 용소로 45, 4308B (대연동)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

오위환, 나성곤, 정기택

전체 청구항 수 : 총 16 항

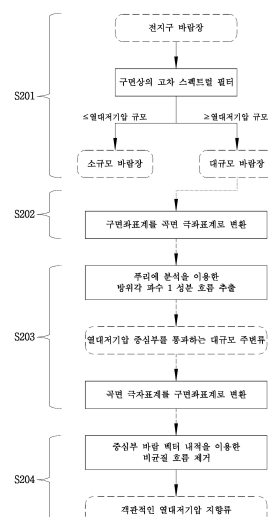
심사관 : 김홍래

(54) 발명의 명칭 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 열대저기압 지향류를 전지구 격자 자료로부터 객관적으로 분석하여 열대저기압의 진로 예측의 신뢰성을 높일 수 있도록 한 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치 및 방법에 관한 것으로, 구면상의 고차 스펙트럼 필터를 이용하여 전지구 격자점 기상자료를 분리하여 열대저기압보다 규모가 큰 대규모 흐름을 추출하는 대규모 흐름 추출부; 곡면 극좌표계를 설정하여 전지구 격자점 기상자료를 곡면 극좌표계의 자료로 변환하는 곡면 극좌표계 변환부; 방위각 푸리에 분석을 이용하여 열대저기압의 중심을 통과하는 바람장을 추출하는 관통류 추출부; 상기 관통류 추출부에서 추출된 관통류로부터 중심부의 바람 벡터를 내적하여 직선류를 계산하고, 설정 반경 이내인 격자점 자료를 평균하여 지향류를 산출하는 지향류 산출부;를 포함하는 것이다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G06F 17/16 (2013.01)

G06F 17/18 (2013.01)

G01W 2201/00 (2013.01)

(72) 발명자

강현규

부산광역시 남구 용소로 45, 4308B (대연동)

김현주

부산광역시 남구 용소로 45, 4308B (대연동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 KMI2018-07310

부처명 기상청

연구관리전문기관 한국기상산업기술원

연구사업명 기상기술개발 사업

연구과제명 최적 모조 소용돌이와 해양플렉스를 이용한 태풍의 예측

기 여 율 1/1

주관기관 부경대학교 산학협력단

연구기간 2019.01.01 ~ 2019.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

구면상의 고차 필터를 이용하여 전지구 격자점 기상자료를 분리하여 열대저기압보다 규모가 큰 대규모 흐름을 추출하는 대규모 흐름 추출부;

곡면 극좌표계를 설정하여 전지구 격자점 기상자료를 곡면 극좌표계의 자료로 변환하는 곡면 극좌표계 변환부;

방위각 푸리에 분석을 이용하여 열대저기압의 중심을 통과하는 바람장을 추출하는 관통류 추출부;

상기 관통류 추출부에서 추출된 관통류로부터 중심부의 바람 벡터를 내적하여 직선류를 계산하고, 설정 반경 이내인 격자점 자료를 평균하여 지향류를 산출하는 지향류 산출부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 곡면 극좌표계 변환부에 입력되는 자료는,

위도-경도 좌표계(λ, θ)의 격자점 자료로서 정해진 등압면에서 정의되고 경도 및 위도 간격이 Δ_s 인 격자점 자료는 (λ_i, θ_j)의 좌표값을 갖고,

$$\lambda_i = \Delta_s \times (i-1), i=1, 2, \dots, N$$

$$\theta_j = \Delta_s \times (j-1) - 90^\circ, j=1, 2, \dots, (N/2)+1$$

$$\Delta_s = 360^\circ / N$$

N : 동서방향의 격자점의 수 으로 정의되는 것을 특징으로 하는 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 열대저기압 중심(λ_c, θ_c)을 원점으로 하는 곡면 극좌표계를 설정하고, 곡면 극좌표계는 반경(r)과 방위각(φ)으로 나타내고,

반경 r 은 원점(λ_c, θ_c)과 각 격자점(λ_i, θ_j)까지의 호의 길이로 정의하며, 방위각 φ 는 원점에서 동쪽으로 향하는 방향을 0으로 설정하고 시계 반대 방향으로 측정한 각을 나타내고, 호의 길이는 지구의 평균 반경을 반경으로 하는 구의 표면을 따라 계산하는 것을 특징으로 하는 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치.

청구항 4

제 2 항에 있어서, 상기 곡면 극좌표계 변환부는,

위/경도 좌표계의 바람벡터(u, v)를 곡면 극좌표계의 격자점 바람벡터($\hat{u}, \hat{v}$)로 변환하고, 이 과정에서 2차원 선형 내삽법을 적용하는 것을 특징으로 하는 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치.

청구항 5

제 4 항에 있어서, 곡면 극좌표계 격자점으로 내삽된 위/경도 좌표계 바람벡터 ($\hat{u}, \hat{v}$)는 곡면 극좌표계에서의 바람 벡터 (u_r, u_θ)로,

$$u_r = \hat{u} \sin(\varphi) - \hat{v} \cos(\varphi)$$

$u_\theta = \hat{u} \cos(\varphi) + \hat{v} \sin(\varphi)$ 으로 변환되는 것을 특징으로 하는 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치.

청구항 6

제 1 항에 있어서, 상기 관통류 추출부는 열대저기압 중심부를 통과하는 흐름을 추출하기 위하여 열대저기압을 중심으로 한 방위각 파수 1성분을 추출을 하고,

방위각 방향의 푸리에 계수를 계산하는 푸리에 변환식은

$$f(p, q) = a_0(q) + \sum_{n=1}^{M/2} \left\{ a_n(q) \cos\left(\frac{2\pi n}{M} p\right) + b_n(q) \sin\left(\frac{2\pi n}{M} p\right) \right\}$$

$$a_0(q) = \frac{1}{M} \sum_{p=0}^{M-1} f(p, q)$$

$$a_n(q) = \frac{2}{M} \sum_{p=0}^{M-1} f(p, q) \cos\left(\frac{2\pi n}{M} p\right)$$

$$b_n(q) = \frac{2}{M} \sum_{p=0}^{M-1} f(p, q) \sin\left(\frac{2\pi n}{M} p\right)$$

$$p = 1, 2, 3, \dots, M$$

으로 정의되고,

여기서, ℓ 는 방위각 방향의 격자점 색인(index), q 는 반경 방향의 격자점 색인(index), $f(p, q) = f(\varphi_p, r_q)$ 는 곡

면 극좌표계의 격자점 자료, M 는 방위각 방향의 격자점의 수, $\varphi_p = \frac{2\pi}{N} \ell$, $r_q = \Delta_r q$, $\Delta_r = 5 \text{ km}$, a_n 는 파수 n 의 푸리에-코사인 계수, b_n 는 파수 n 의 푸리에-사인 계수인 것을 특징으로 하는 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치.

청구항 7

제 6 항에 있어서, 계수 a_n 는 대규모 바람장의 축대칭 성분에 해당되고, 방위각 파수 0을 제외한 다른 모든 파수의 흐름은 비대칭 성분에 해당되고, 방위각 파수가 n 인 바람 성분 $f_n(p, q)$ 은,

$$f_n(p, q) = a_n(q) \cos \frac{2\pi n}{M} p + b_n(q) \sin \frac{2\pi n}{M} p \quad (n = 1, 2, 3, \dots, M/2)$$

으로 푸리에 역변환으로 유도되는 것을 특징으로 하는 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치.

청구항 8

제 7 항에 있어서, 곡면 극좌표계에서 바람 벡터의 파수가 1인 격자점 자료는 열대저기압 중심부를 통과하는 지향류를 포함하는 것을 이용하여,

곡면 극좌표계의 격자점 바람벡터 $(\hat{u})_1, (\hat{v})_1$ 를 유도하고 위/경도 좌표계의 격자점 자료 $u_1(i, j)$ 와 $v_1(i, j)$ 를,

$$(\hat{u})_1 = (u_r)_1 \sin(\varphi) + (u_\theta)_1 \cos(\varphi)$$

$$(\hat{v})_1 = -(u_r)_1 \cos(\varphi) + (u_\theta)_1 \sin(\varphi)$$

으로 산출하는 것을 특징으로 하는 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치.

청구항 9

제 8 항에 있어서, 지향류 산출을 위하여 중심부 바람벡터 내적을 이용한 비균질 흐름 제거하고,

각 격자점의 방위각 파수 1성분 대규모 바람벡터($\mathbf{V}_{i,j}$), 중심부 바람벡터($\mathbf{V}_c$), 비균질 흐름이 제거된 객관적인

열대저기압 지향류 벡터($\mathbf{V}_{i,j}^*$)라 할때,

중심으로부터 가장 가까운 격자점을 검색하여 격자점의 바람 벡터를 $\mathbf{V}_c$ 로 정의하고, 벡터 $\mathbf{V}_c$ 를 각 격자점 바람 벡터($\mathbf{V}_{i,j}$)에 내적하여, 비균질 흐름을 제거하고 태풍 이동에 직접적으로 관계된 균질 흐름 $\mathbf{V}_{i,j}^*$ 을 추출하는 것을 특징으로 하는 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치.

청구항 10

제 9 항에 있어서, 지향류 산출을 위하여 중심부 바람벡터 내적을 이용한 비균질 흐름 제거하는 과정은,

$$\begin{aligned}\mathbf{V}_{i,j}^* &= (\mathbf{V}_{i,j} \cdot \mathbf{V}_c^*) \mathbf{V}_c^* \\ &= \left(\frac{u_{i,j}u_c + v_{i,j}v_c}{u_c^2 + v_c^2} \right) \times (u_c \hat{\mathbf{i}} + v_c \hat{\mathbf{j}}) \\ \mathbf{V}_c &\equiv (u_c, v_c) \\ \mathbf{V}_{i,j} &\equiv (u_{i,j}, v_{i,j}) \\ \mathbf{V}_c^* &\equiv \frac{\mathbf{V}_c}{|\mathbf{V}_c|} = \frac{u_c \hat{\mathbf{i}} + v_c \hat{\mathbf{j}}}{\sqrt{u_c^2 + v_c^2}}\end{aligned}$$

으로 정의되고,

여기서, u 와 v 는 각각 구면상의 동서, 남북 방향 바람성분을 의미하며, $\hat{\mathbf{i}}$ 와 $\hat{\mathbf{j}}$ 는 각각 동서, 남북 방향의 단위벡터인 것을 특징으로 하는 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치.

청구항 11

구면상의 고차 필터를 이용하여 전지구 격자점 기상자료를 두 부분으로 분리하여 열대저기압보다 규모가 큰 흐름을 추출하는 단계;

곡면 극좌표계를 설정하여 전지구 격자점 기상자료를 곡면 극좌표계의 자료로 변환하는 단계;

방위각 푸리에 분석을 이용하여 열대저기압의 중심을 통과하는 바람장인 관통류를 추출하는 단계;

관통류로부터 중심부의 바람 벡터를 내적하여 직선류를 계산하고, 설정 반경 이내인 격자점 자료를 평균하여 지향류를 산출하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서, 상기 관통류를 추출하는 단계에서,

열대저기압 중심부를 통과하는 흐름을 추출하기 위하여 열대저기압을 중심으로 한 방위각 파수 1성분을 추출을 하고,

방위각 방향의 푸리에 계수를 계산하는 푸리에 변환식은

$$f(p, q) = a_0(q) + \sum_{n=1}^{M/2} \left\{ a_n(q) \cos\left(\frac{2\pi n}{M} p\right) + b_n(q) \sin\left(\frac{2\pi n}{M} p\right) \right\}$$

$$a_0(q) = \frac{1}{M} \sum_{p=0}^{M-1} f(p, q)$$

$$a_n(q) = \frac{2}{M} \sum_{p=0}^{M-1} f(p, q) \cos\left(\frac{2\pi n}{M} p\right)$$

$$b_n(q) = \frac{2}{M} \sum_{p=0}^{M-1} f(p, q) \sin\left(\frac{2\pi n}{M} p\right)$$

$$p = 1, 2, 3, \dots, M$$

으로 정의되고,

여기서, p 는 방위각 방향의 격자점 색인(index), q 는 반경 방향의 격자점 색인(index), $f(p, q) = f(\varphi_p, r_q)$ 는 곡면 극좌표계의 격자점 자료, M 는 방위각 방향의 격자점의 수, $\varphi_p = \frac{2\pi}{M} p$, $r_q = \Delta_r q$, $\Delta_r = 5 \text{ km}$, a_n 는 파수 n 의 푸리에-코사인 계수, b_n 는 파수 n 의 푸리에-사인 계수인 것을 특징으로 하는 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서, 계수 a_n 는 대규모 바람장의 축대칭 성분에 해당되고, 방위각 파수 0을 제외한 다른 모든 파수의 흐름은 비대칭 성분에 해당되고, 방위각 파수가 n 인 바람 성분 $f_n(p, q)$ 은,

$$f_n(p, q) = a_n(q) \cos\left(\frac{2\pi n}{M} p\right) + b_n(q) \sin\left(\frac{2\pi n}{M} p\right) \quad (n = 1, 2, 3, \dots, M/2)$$

으로 푸리에 역변환으로 유도되는 것을 특징으로 하는 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 방법.

청구항 14

제 13 항에 있어서, 곡면 극좌표계에서 바람 벡터의 파수가 1인 격자점 자료는 열대저기압 중심부를 통과하는 지향류를 포함하는 것을 이용하여,

곡면 극좌표계의 격자점 바람벡터 $(\hat{u})_1, (\hat{v})_1$ 를 유도하고 위/경도 좌표계의 격자점 자료 $u_1(i, j)$ 와 $v_1(i, j)$ 를,

$$(\hat{u})_1 = (u_r)_1 \sin(\varphi) + (u_\theta)_1 \cos(\varphi)$$

$$(\hat{v})_1 = -(u_r)_1 \cos(\varphi) + (u_\theta)_1 \sin(\varphi)$$

으로 산출하는 것을 특징으로 하는 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서, 지향류를 산출하는 단계에서 지향류 산출을 위하여 중심부 바람벡터 내적을 이용한 비균질 흐름 제거하고,

각 격자점의 방위각 파수 1성분 대규모 바람벡터($\mathbf{V}_{i,j}$), 중심부 바람벡터($\mathbf{V}_c$), 비균질 흐름이 제거된 객관적인 열대저기압 지향류 벡터($\mathbf{V}_{i,j}^*$)라 할때,

중심으로부터 가장 가까운 격자점을 검색하여 격자점의 바람 벡터를 $\mathbf{V}_c$ 로 정의하고, 벡터 $\mathbf{V}_c$ 를 각 격자점 바람 벡터($\mathbf{V}_{i,j}$)에 내적하여, 비균질 흐름을 제거하고 태풍 이동에 직접적으로 관계된 균질 흐름 $\mathbf{V}_{i,j}^*$ 을 추출하는 것을 특징으로 하는 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 방법.

청구항 16

제 15 항에 있어서, 지향류 산출을 위하여 중심부 바람벡터 내적을 이용한 비균질 흐름 제거하는 과정은,

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_{i,j}^* &= (\mathbf{V}_{i,j} \cdot \mathbf{V}_c^*) \mathbf{V}_c^* \\ &= \left(\frac{u_{i,j}u_c + v_{i,j}v_c}{u_c^2 + v_c^2} \right) \times (u_c \hat{\mathbf{i}} + v_c \hat{\mathbf{j}}) \\ \mathbf{V}_c &\equiv (u_c, v_c) \\ \mathbf{V}_{i,j} &\equiv (u_{i,j}, v_{i,j}) \\ \mathbf{V}_c^* &\equiv \frac{\mathbf{V}_c}{|\mathbf{V}_c|} = \frac{u_c \hat{\mathbf{i}} + v_c \hat{\mathbf{j}}}{\sqrt{u_c^2 + v_c^2}} \end{aligned}$$

으로 정의되고,

여기서, u 와 v 는 각각 구면상의 동서, 남북 방향 바람성분을 의미하며, $\hat{\mathbf{i}}$ 와 $\hat{\mathbf{j}}$ 는 각각 동서, 남북 방향의 단위벡터인 것을 특징으로 하는 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 열대저기압 예측에 관한 것으로, 구체적으로 열대저기압 지향류를 전지구 격자 자료로부터 객관적으로 분석하여 열대저기압의 진로 예측의 신뢰성을 높일 수 있도록 한 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 열대저기압(熱帶低氣壓, 열대성 저기압, tropical cyclone)은 지구의 열대 지역에서 발생하는 저기압으로, 발생 지역에 따라 '태풍', '허리케인', '사이클론' 으로 불린다

[0003] 열대저기압은 17m/s 이상의 강한 바람과 비를 동반하는 소용돌이 운동으로써, 베타 이류효과와 편서풍과 같은 큰 규모의 이류효과에 의해 이동한다.

[0004] 이러한 열대저기압으로부터 발생하는 재산 및 인명피해를 최소화하기 위해서는 수치모델을 통한 열대저기압의 정확한 예측이 필요하다.

[0005] 그러나 대부분 수치모델의 초기자료로 사용되는 저해상도의 전구자료에서는 열대저기압의 최저중심기압과 최대 풍속 등과 같은 요소가 관측값과 큰 차이를 보이기 때문에, 이는 열대저기압의 예측에 대한 불확실성을 증가시키는 주요한 원인이 된다.

[0006] 특히, 전지구 격자점 기상자료로부터 큰 규모의 바람장을 객관적으로 설정하는 방법을 지향류 분석에 적용한 분석 기술은 아직 연구되지 않고 있다.

[0007] 이와 같이 종래 기술의 분석 기술에서는 단순히 태풍 주변의 바람장을 단순 평균함으로써 지향류를 산출하였기 때문에 태풍의 이동 속도와 방향을 잘 나타내지 못한다.

[0008] 따라서, 전지구 격자점 기상자료에 새로운 수치해석 방법을 적용하여 객관적으로 지향류를 산출할 수 있도록 하는 새로운 기술의 개발이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1285803호
(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 제10-1041520호

(특허문헌 0003) 대한민국 등록특허 제10-1491022호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명은 종래 기술의 열대저기압 예측 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 열대저기압 지향류를 전지구 격자 자료로부터 객관적으로 분석하여 열대저기압의 진로 예측의 신뢰성을 높일 수 있도록 한 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0011] 본 발명은 전지구 격자점 기상자료에 새로운 수치해석 방법을 적용하여 객관적으로 지향류를 산출할 수 있도록 한 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0012] 본 발명은 열대저기압 중심부 바람벡터를 각 격자점 바람벡터에 투영하여 열대저기압 지향에 영향을 미치지 않는 비균질 흐름들을 제거하고 객관적인 지향류를 추출할 수 있도록 한 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0013] 본 발명은 기상 자료의 격자점 자료(위/경도 자료 및 그 외의 자료 형식도 포함)에 적용하기 위한 분석기술을 제공하고 열대저기압 공간 규모를 바탕으로 구면상의 고차 필터를 이용하여 열대저기압 규모 이상의 대규모 흐름을 정교하게 분리할 수 있도록 한 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0014] 본 발명은 등압면상에서 태풍의 중심을 기준으로 하는 곡면 극좌표계를 설정하고, 방위각 방향으로 푸리에 분석을 통해 파수가 1인 성분을 선택하여, 이를 바탕으로 열대저기압 중심을 통과하는 대규모 흐름 산출이 가능하도록 한 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 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 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치는 구면상의 고차 필터를 이용하여 전지구 격자점 기상자료를 분리하여 열대저기압보다 규모가 큰 대규모 흐름을 추출하는 대규모 흐름 추출부;곡면 극좌표계를 설정하여 전지구 격자점 기상자료를 곡면 극좌표계의 자료로 변환하는 곡면 극좌표계 변환부;방위각 푸리에 분석을 이용하여 열대저기압의 중심을 통과하는 바람장을 추출하는 관통류 추출부;상기 관통류 추출부에서 추출된 관통류로부터 중심부의 바람 벡터를 내적하여 직선류를 계산하고, 설정 반경 이내인 격자점 자료를 평균하여 지향류를 산출하는 지향류 산출부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 방법은 구면상의 고차 필터를 이용하여 전지구 격자점 기상자료를 두 부분으로 분리하여 열대저기압보다 규모가 큰 흐름을 추출하는 단계;곡면 극좌표계를 설정하여 전지구 격자점 기상자료를 곡면 극좌표계의 자료로 변환하는 단계;방위각 푸리에 분석을 이용하여 열대저기압의 중심을 통과하는 바람장인 관통류를 추출하는 단계;관통류로부터 중심부의 바람 벡터를 내적하여 직선류를 계산하고, 설정 반경 이내인 격자점 자료를 평균하여 지향류를 산출하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0018] 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명에 따른 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치 및 방법은 다음과 같은 효과가 있다.
- [0019] 첫째, 전지구 격자점 기상자료에 새로운 수치해석 방법을 적용하여 객관적으로 지향류를 산출할 수 있도록 한다.

- [0020] 둘째, 열대저기압 지향류를 전지구 격자 자료로부터 객관적으로 분석하여 열대저기압의 진로 예측의 신뢰성을 높일 수 있도록 한다.
- [0021] 셋째, 열대저기압 중심부 바람벡터를 각 격자점 바람벡터에 투영하여 열대저기압 지향에 영향을 미치지 않는 비균질 흐름들을 제거하고 객관적인 지향류를 추출할 수 있도록 한다.
- [0022] 넷째, 기상 자료의 격자점 자료(위/경도 자료 및 그 외의 자료 형식도 포함)에 적용하기 위한 분석 기술을 제공하고 열대저기압 공간 규모를 바탕으로 구면상의 고차 필터를 이용하여 열대저기압 규모 이상의 대규모 흐름을 정교하게 분리할 수 있도록 한다.
- [0023] 다섯째, 등압면상에서 태풍의 중심을 기준점으로 하는 곡면 극좌표계를 설정하고, 방위각 방향으로 푸리에 분석을 통해 파수가 1인 성분을 선택하여, 이를 바탕으로 열대저기압 중심을 통과하는 대규모 흐름 산출이 가능하도록 한다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 본 발명에 따른 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치의 구성도
- 도 2는 본 발명에 따른 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 방법을 나타낸 플로우 차트
- 도 3은 반경(r)과 방위각(φ)으로 나타낸 곡면 극좌표계
- 도 4a와 도 4b는 대규모 바람장 및 대규모 방위각 파수 1성분 바람장을 나타낸 구성도
- 도 5는 방위각 파수 1성분 대규모 바람장의 중심부 바람벡터 내적 모식도
- 도 6은 태풍 SONGDA(2016년 20호)의 WRF 지역 수치 모델 예측 결과에 따른 태풍 진로와 예측 시간별($t = 0, 24, 48$) 지향류 추출 결과를 나타낸 구성도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 이하, 본 발명에 따른 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치 및 방법의 바람직한 실시 예에 관하여 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0026] 본 발명에 따른 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치 및 방법의 특징 및 이점들은 이하에서의 각 실시 예에 대한 상세한 설명을 통해 명백해질 것이다.
- [0027] 도 1은 본 발명에 따른 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치의 구성도이다.
- [0028] 본 발명은 열대저기압의 진로 예측에 매우 중요한 역할을 하는 열대저기압 지향류를 전지구 격자 자료로부터 객관적으로 분석하기 위한 것으로, 열대저기압 규모보다 큰 대규모 흐름을 고려한 객관적인 열대저기압 지향류 추출 방법에 관한 것이다.
- [0029] 본 발명에 따른 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치 및 방법은 전지구 바람장 자료로부터 열대저기압보다 규모가 큰 대규모 흐름을 분리하고, 국지적인 곡면 극좌표계를 설정하는 구성 및 설정된 곡면 극좌표계를 이용하여 방위각 방향 푸리에 분석을 통해 파수가 1인 성분을 선택하는 구성을 포함할 수 있다.
- [0030] 본 발명은 열대저기압 중심을 통과하는 대규모 흐름을 산출하는 구성 및, 열대저기압 중심부 바람벡터를 각 격자점 바람벡터에 투영함으로써, 열대저기압 지향에 영향을 미치지 않는 비균질 흐름들을 제거하고 객관적인 지향류를 추출하는 구성을 포함할 수 있다.
- [0031] 본 발명에 따른 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치는 도 1에서와 같이, 구면상의 고차 필터를 이용하여 전지구 격자점 기상자료를 분리하여 열대저기압보다 규모가 큰 대규모 흐름을 추출하는 대규모 흐름 추출부(10)와, 곡면 극좌표계를 설정하여 전지구 격자점 기상자료를 곡면 극좌표계의 자료로 변환하는 곡면 극좌표계 변환부(20)와, 방위각 푸리에 분석을 이용하여 열대저기압의 중심을 통과하는 바람장(관통류)을 추출하는 관통류 추출부(30)와, 관통류 추출부(30)에서 추출된 관통류로부터 중심부의 바람 벡터를 내적함으로써 직선류를 계산하고, 설정 반경 이내인 격자점 자료를 평균하여 지향류를 산출하는 지향류 산출부(40)를 포함한다.

- [0032] 이와 같은 구성을 갖는 본 발명에 따른 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치에서의 객관적인 열대저기압의 지향류 추출 과정을 단계별로 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0033] 도 2는 본 발명에 따른 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 방법을 나타낸 플로우 차트이다.
- [0034] 본 발명에 따른 객관적인 열대저기압 지향류 산출은 도 2에서와 같이, 구면상의 고차 필터를 이용하여 전지구 격자점 기상자료를 두 부분으로 분리하여 열대저기압보다 규모가 큰 대규모 흐름을 추출하는 단계(S201)를 먼저 수행한다.
- [0035] 분리되는 하나는 태풍 규모이며, 또 다른 하나는 태풍보다 규모가 큰 규모의 기상장이다.
- [0036] 그리고 곡면 극좌표계를 설정하여 전지구 격자점 기상자료를 곡면 극좌표계의 자료로 변환하는 단계(S202)를 수행한다.
- [0037] 이어, 방위각 푸리에 분석을 이용하여 열대저기압의 중심을 통과하는 바람장(관통류)을 추출하는 단계(S203)를 수행한다.
- [0038] 그리고 관통류로부터 중심부의 바람 벡터를 내적함으로써 직선류를 계산하고, 반경이 500 km 이내인 격자점 자료를 평균하여 지향류를 산출하는 단계(S204)를 수행한다.
- [0039] 이하에서 각 단계를 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0040] 열대저기압보다 규모가 큰 대규모 흐름을 추출하는 단계(S201)는 전지구 격자점 기상 자료로부터 열대저기압의 규모와 그보다 큰 규모로 분리하는 과정으로, Kwon and Cheong (2010)의 방법에 기초하여 수행할 수 있다.
- [0041] 이 과정에서는 태풍 경보 기관인 RSMC(Regional Specialized Meteorological Center) Tokyo에서 제공하는 태풍 최적화 자료 best track의 열대저기압 30-kts 반경과 최대 풍속을 활용한다.
- [0042] 그리고 곡면 극좌표계의 설정 및 격자점 자료의 좌표변환 단계(S202)를 설명하면 다음과 같다.
- [0043] 입력 자료는 위도-경도 좌표계(λ, θ)의 격자점 자료로서 정해진 등압면에서 정의되는데, 각 격자점 자료는 일정한 경도 간격과 위도 간격을 가진다.
- [0044] 예를 들어, 경도 및 위도 간격이 Δ_s 인 격자점 자료는 (λ_i, θ_j) 의 좌표값을 가진다.

수학식 1

$$\begin{aligned}\lambda_i &= \Delta_s \times (i-1), i=1, 2, \dots, N \\ \theta_j &= \Delta_s \times (j-1) - 90^\circ, j=1, 2, \dots, (N/2)+1 \\ \Delta_s &= 360^\circ / N\end{aligned}$$

N : 동서방향의 격자점의 수

- [0045]
- [0046] 3차원으로 자료를 표현하면, 예를 들어, 기온 자료는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$\begin{aligned}T(\lambda_i, \theta_j, p_k), k=1, 2, 3, \dots, K \\ 50\text{hPa} < p_k \leq 1000\text{hPa}\end{aligned}$$

- [0047]
- [0048] 태풍의 중심(λ_c, θ_c)을 원점으로 하는 곡면 극좌표계를 설정한다.
- [0049] 곡면 극좌표계는 도 3과 같이 반경(r)과 방위각(φ)으로 나타낸다.
- [0050] 도 3의 왼쪽 도면은 위/경도 좌표계의 격자점과 태풍 중심(λ_c, θ_c)을 원점으로 하는 곡면 극좌표계(붉은색)를 나

타낸 것이고, r 과 φ 는 곡면 극좌표계의 반경과 방위각을 각각 의미한다.

[0051] 오른쪽 도면은 곡면 극좌표계의 자오선 단면이고, 점은 반경상의 격자점을 나타낸다. 원점으로부터 격자점까지의 반경은 측지선의 거리(두 점간의 최단 거리)로 정의된다.

[0052] 즉, 반경 r 은 원점(λ_0, θ_0)과 각 격자점(λ_i, θ_i)까지의 호의 길이로 정의하며, 방위각 φ 는 원점에서 동쪽으로 향하는 방향을 0으로 설정하고 시계 반대 방향으로 측정한 각을 나타낸다.

[0053] 호의 길이는 지구의 평균 반경을 반경으로 하는 구의 표면을 따라 계산한다.

[0054] 지향류 추출을 위한 분석을 위하여, 먼저 위/경도 좌표계의 바람벡터(u, v)를 곡면 극좌표계의 격자점 바람벡터($\hat{u}, \hat{v}$)로 변환한다. 이 과정에서는 2차원 선형 내삽법을 적용한다.

[0055] 그리고 위/경도 좌표계의 바람벡터의 곡면 극좌표계 변환 단계를 설명하면 다음과 같다.

[0056] 곡면 극좌표계 격자점으로 내삽된 위/경도 좌표계 바람벡터 ($\hat{u}, \hat{v}$)는 곡면 극좌표계에서의 바람 벡터 (u_r, u_θ)로 다음과 같이 변환된다.

수학식 3

$$u_r = \hat{u} \sin(\varphi) - \hat{v} \cos(\varphi)$$

$$u_\theta = \hat{u} \cos(\varphi) + \hat{v} \sin(\varphi)$$

[0057]

[0058] 그리고 푸리에 분석을 이용한 열대저기압 중심부 통과 흐름 추출 단계(S203)를 설명하면 다음과 같다.

[0059] 대규모 주변류로부터 열대저기압 중심부를 통과하는 흐름을 추출하기 위해서는 열대저기압을 중심으로 한 방위각 파수 1성분을 추출이 필요하다.

[0060] 방위각 방향의 푸리에 계수를 계산하는 푸리에 변환 식은 다음과 같다.

수학식 4

$$f(p, q) = a_0(q) + \sum_{n=1}^{M/2} \left\{ a_n(q) \cos\left(\frac{2\pi n}{M} p\right) + b_n(q) \sin\left(\frac{2\pi n}{M} p\right) \right\}$$

$$a_0(q) = \frac{1}{M} \sum_{p=0}^{M-1} f(p, q)$$

$$a_n(q) = \frac{2}{M} \sum_{p=0}^{M-1} f(p, q) \cos\left(\frac{2\pi n}{M} p\right)$$

$$b_n(q) = \frac{2}{M} \sum_{p=0}^{M-1} f(p, q) \sin\left(\frac{2\pi n}{M} p\right)$$

$$p = 1, 2, 3, \dots, M$$

[0062] 여기서, 기호의 의미는 아래와 같다.

[0063] p : 방위각 방향의 격자점 색인(index)

[0064] q : 반경 방향의 격자점 색인(index)

[0065] $f(p, q) = f(\varphi_p, r_q)$: 곡면 극좌표계의 격자점 자료

[0066] M : 방위각 방향의 격자점의 수

[0067] $\varphi_p = \frac{2\pi}{N} p, \quad r_q = \Delta_r q, \quad \Delta_r = 5 \text{ km}$

[0068] a_n : 파수 n 의 푸리에-코사인 계수

[0069] b_n : 파수 n 의 푸리에-사인 계수

[0070] 계수 a_n 는 대규모 바람장의 축대칭 성분에 해당된다. 방위각 파수 0을 제외한 다른 모든 파수의 흐름은 비대칭 성분에 해당한다. 방위각 파수가 n 인 바람 성분 $f_n(p, q)$ 은 다음과 같이 푸리에 역변환으로 유도될 수 있다.

수학식 5

[0071]
$$f_n(p, q) = a_n(q) \cos \frac{2\pi n}{M} p + b_n(q) \sin \frac{2\pi n}{M} p \quad (n = 1, 2, 3, \dots, M/2)$$

[0072] 대규모 주변류에서 추출된 방위각 파수 1성분 바람장은 도 4b에서와 같다.

[0073] 도 4a와 도 4b는 대규모 바람장 및 대규모 방위각 파수 1성분 바람장을 나타낸 구성도이다.

[0074] 열대저기압 위치(적색 태풍 기호)와 이동 벡터(분홍색 화살표)에 따른 대규모 바람장 및 대규모 방위각 파수 1성분 바람장을 나타낸 것이다.

[0075] 곡면 극좌표계에서 바람 벡터의 파수가 1인 격자점 자료는 열대저기압 중심부를 통과하는 지향류를 포함하게 된다. 따라서 지향류의 산출은 파수가 1인 격자점 자료의 처리를 통하여 이루어진다.

[0076] 곡면 극좌표계의 파수1의 성분은 다음과 같이, 위에서 변환한 과정을 역으로 처리하여, 곡면 극좌표계의 격자점 바람벡터 $(\hat{u})_1, (\hat{v})_1$ 를 유도하고 위/경도 좌표계의 격자점 자료 $u_1(i, j)$ 와 $v_1(i, j)$ 를 산출한다.

수학식 6

[0077]
$$\begin{aligned} (\hat{u})_1 &= (u_r)_1 \sin(\varphi) + (u_\theta)_1 \cos(\varphi) \\ (\hat{v})_1 &= -(u_r)_1 \cos(\varphi) + (u_\theta)_1 \sin(\varphi) \end{aligned}$$

[0078] 그리고 중심부 바람벡터 내적을 이용한 비균질 흐름 제거 단계(S204)를 설명하면 다음과 같다.

[0079] 도 4b의 방위각 파수 1성분 바람장은 열대저기압 중심부에서는 대체로 풍향이 같은 흐름으로 나타나지만, 열대저기압 주변부로 갈수록 열대저기압 중심부의 풍향과 다르게 나타난다.

[0080] 본 발명에서는 방향이 다른 흐름을 제거하기 위하여, 다음의 두 단계의 자료처리를 수행한다.

[0081] 도 5는 방위각 파수 1성분 대규모 바람장의 중심부 바람벡터 내적 모식도이다.

[0082] 적색 화살표는 각 격자점의 방위각 파수 1성분 대규모 바람벡터($\mathbf{V}_{i,j}$), 흑색 화살표는 중심부 바람벡터($\mathbf{V}_c$), 청색 화살표는 비균질 흐름이 제거된 객관적인 열대저기압 지향류 벡터($\mathbf{V}_{i,j}^*$)를 나타낸다.

[0083] 태풍 중심으로부터 가장 가까운 격자점을 검색한다. 그 격자점의 바람 벡터를 $\mathbf{V}_c$ 로 정의한다.

[0084] 벡터 $\mathbf{V}_c$ 를 각 격자점 바람벡터($\mathbf{V}_{i,j}$)에 내적하여, 비균질 흐름을 제거하고 태풍 이동에 직접적으로 관계된 균질 흐름 $\mathbf{V}_{i,j}^*$ 을 추출한다.

[0085] 이 과정은 도 5의 모식도에 제시되며 유도 과정은 아래와 같다.

수학식 7

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_{i,j}^* &= (\mathbf{V}_{i,j} \cdot \mathbf{V}_c^*) \mathbf{V}_c^* \\ &= \left(\frac{u_{i,j} u_c + v_{i,j} v_c}{u_c^2 + v_c^2} \right) \times (u_c \hat{\mathbf{i}} + v_c \hat{\mathbf{j}}) \\ \mathbf{V}_c &\equiv (u_c, v_c) \\ \mathbf{V}_{i,j} &\equiv (u_{i,j}, v_{i,j}) \\ \mathbf{V}_c^* &\equiv \frac{\mathbf{V}_c}{|\mathbf{V}_c|} = \frac{u_c \hat{\mathbf{i}} + v_c \hat{\mathbf{j}}}{\sqrt{u_c^2 + v_c^2}} \end{aligned}$$

[0086]

[0087] 여기서, u 와 v 는 각각 구면상의 동서, 남북 방향 바람성분을 의미하며, $\hat{\mathbf{i}}$ 와 $\hat{\mathbf{j}}$ 는 각각 동서, 남북 방향의 단위벡터이다.

[0088] 이상에서 설명한 본 발명에 따른 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치 및 방법을 통해 객관적인 지향류를 산출하고 이를 태풍 이동 벡터와 비교하였다.

[0089] 또한, 경험적인 방법으로 지향류를 추출하는 선행연구의 방법과 성능을 비교하여, 본 발명의 지향류의 신뢰성을 검증하였다.

[0090] 도 6은 태풍 SONGDA(2016년 20호)의 WRF 지역 수치 모델 예측 결과에 따른 태풍 진로와 예측 시간별($t = 0, 24, 48$) 지향류 추출 결과를 나타낸 구성도이다.

[0091] 여기서, 예측 시간 $t = 0$ 는 초기 시간을 의미하고, 적색 태풍 기호는 태풍의 위치, 분홍색 화살표는 태풍 이동 벡터, 흑색 화살표는 연직 기압고도 700 hPa에서의 열대저기압의 지향류, 각 상단의 시간은 WRF 예측 시간을 의미한다.

[0092] 본 발명에 따른 객관적인 열대저기압 지향류 추출 시스템을 이용하여, 태풍 태풍 SONGDA(2016년 20호)에 적용한 결과는 도 6 및 표 1에서와 같다.

[0093] 데이터는 위/경도 격자점 데이터인 WRF (Weather Research and Forecasting model, Skamarock et al., 2008)

[0094] 지역 수치 모델 예측 바람장을 사용하였다. 그 결과, 도 6과 같이 태풍의 이동 방향과 이동 속도가 본 발명에서의 지향류와 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.

[0095] 또한, 표 1에 제시된 바와 같이 대표적인 선행연구인 Chan and Gray (1982)와 Wu and Wang (2000)의 지향류보다 본 발명에 따른 지향류가 방향 오차에 대해 각각 34.7%, 71.5% 더 향상되었으며 속도 오차에 대해서도 각각 11.1%, 75.4% 개선되었다.

[0096] 따라서, 본 발명에 따른 새로운 열대저기압 지향류가 선행연구의 지향류보다 신뢰성이 있음을 알 수 있다.

[0097] 표 1은 태풍 SONGDA (2016년 20호)에 대한 선행 연구 지향류와의 방향 및 속도 오차 비교 결과를 나타낸 것이다.

표 1

	Chan and Gray (1982)	Wu and Wang (2000)	본 특허 지향류	개선율(%)	
				Chan and Gray (1982)	Wu and Wang (2000)
방향오차(°)	16.7	38.3	10.9	+ 34.7	+ 71.5
속력오차(%)	18.0	65.0	16.0	+ 11.1	+ 75.4

[0098]

[0099]

이상에서 설명한 본 발명에 따른 곡면 극좌표계를 이용한 객관적인 열대저기압 지향류 추출을 위한 장치 및 방법은 열대저기압 지향류를 전지구 격자 자료로부터 객관적으로 분석하여 열대저기압의 진로 예측의 신뢰성을 높일 수 있도록 한 것이다.

[0100]

이상에서의 설명에서와 같이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 본 발명이 구현되어 있음을 이해할 수 있을 것이다.

[0101]

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.

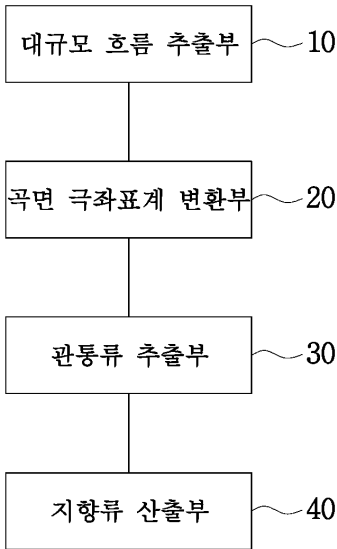
부호의 설명

[0102]

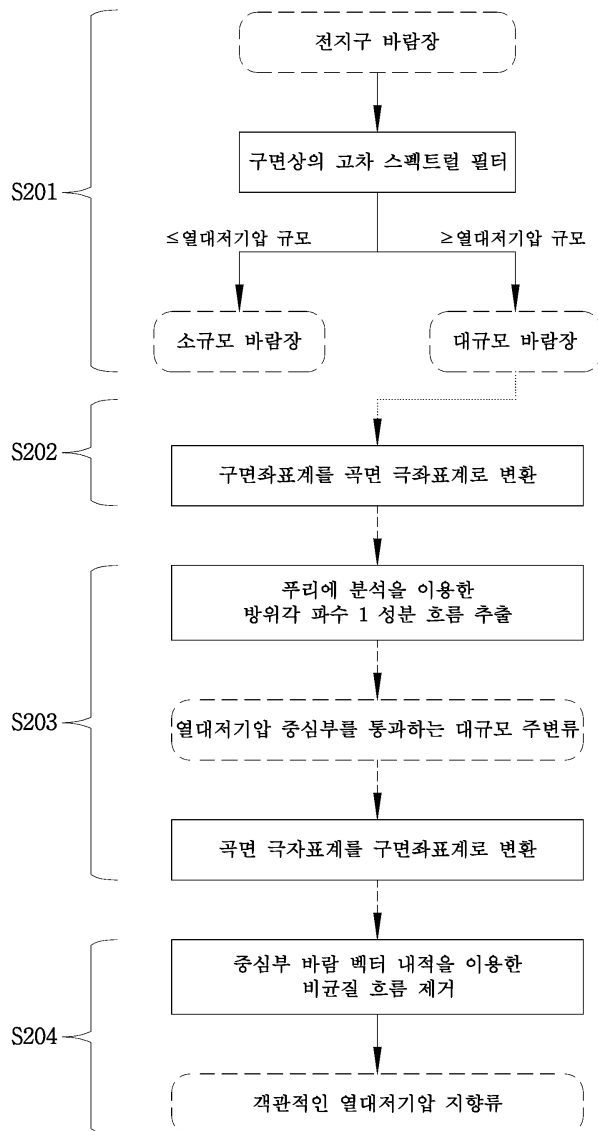
- 10. 대규모 흐름 추출부
- 20. 곡면 극좌표계 변환부
- 30. 관통류 추출부
- 40. 지향류 산출부

도면

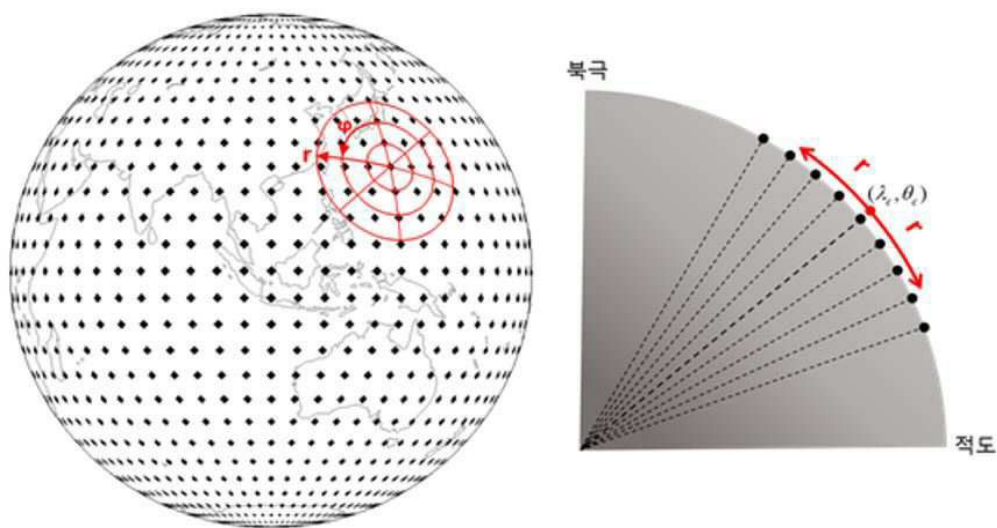
도면1



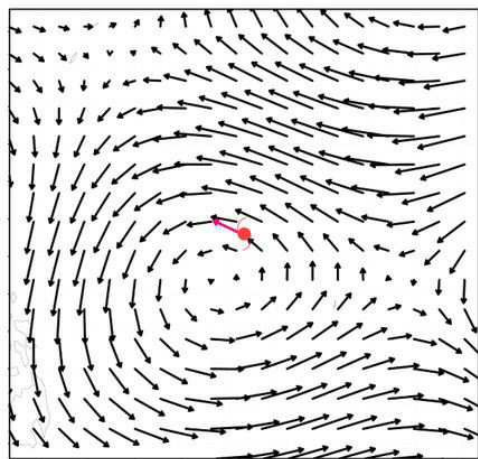
도면2



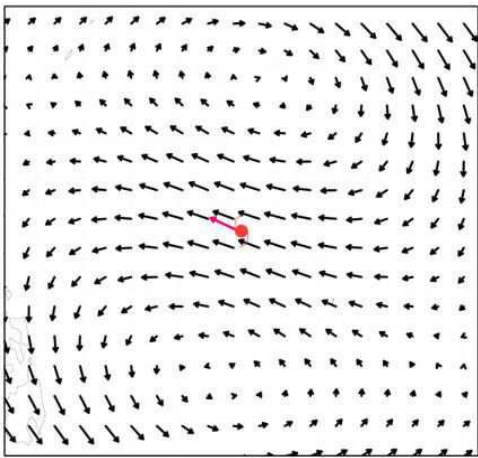
도면3



도면4a

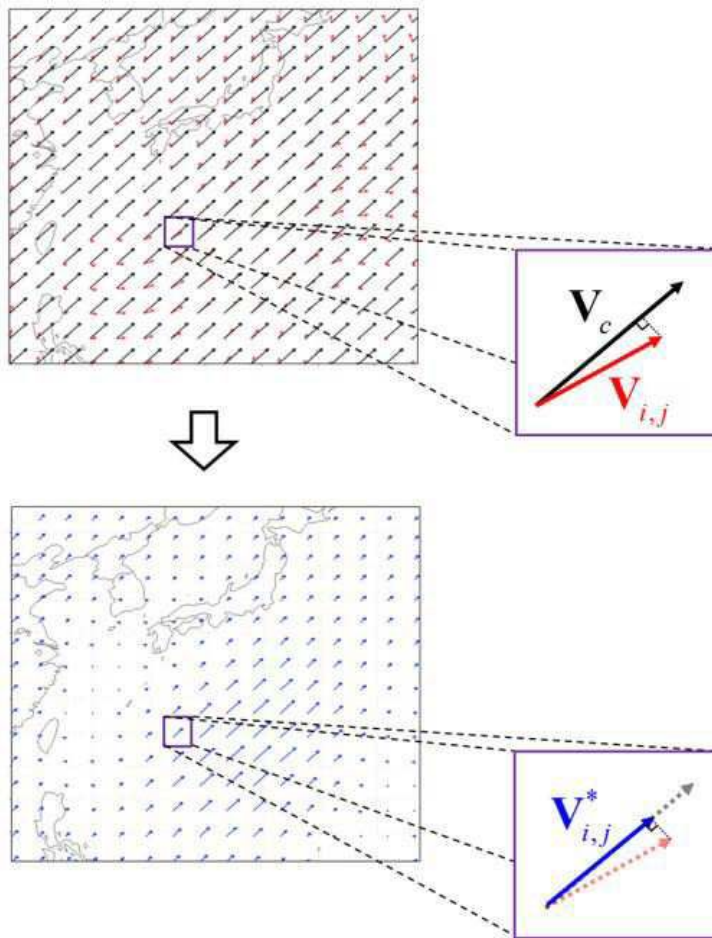


도면4b



도면5

Azimuthal wavenumber-one wind field



도면6

