



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년01월20일
(11) 등록번호 10-2491085
(24) 등록일자 2023년01월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

F03D 7/04 (2006.01)

(52) CPC특허분류

F03D 7/046 (2013.01)

F03D 7/045 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0067092

(22) 출원일자 2021년05월25일

심사청구일자 2021년05월25일

(65) 공개번호 10-2022-0159122

(43) 공개일자 2022년12월02일

(56) 선행기술조사문헌

KR101177435 B1

JP2005163608 A

JP2009138523 A

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

주식회사 지에스풍력발전

경상북도 영양군 영양읍 석영로 1419

(72) 발명자

홍진규

서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 과학관(신촌동)

이준홍

대전광역시 동구 산내로 1375, 103동 1402호(낭월동, 오투그란데 아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

민영준

전체 청구항 수 : 총 20 항

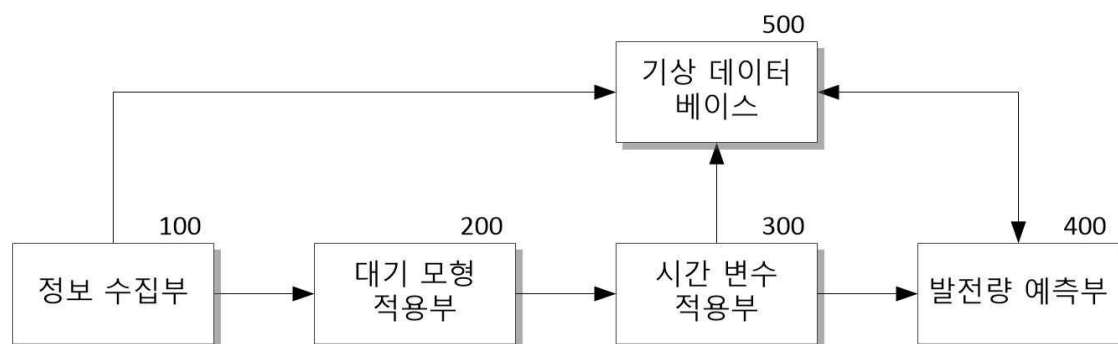
심사관 : 박종오

(54) 발명의 명칭 대기모형 예보 기반 풍력 발전량 예측 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 기상 예보를 포함하는 기상 정보를 수집하는 기상 정보 수집부, 시공간적으로 저해상도의 기상 예보를 인가받아 풍력 발전기가 설치된 설치 위치에 따른 지형 고도와 주변 환경 요인을 수치 해석적으로 난류 확산에 반영하는 대기 모형을 적용하여 고해상도화하는 대기 모형 적용부, 각각 기지정된 주기로 연속적으로 반복하여 증감하는 다수의 시간 변수를 생성하고, 생성된 다수의 시간 변수에 따른 시간 변수값을 다수의 고해상도화된 기상 예보를 포함한 기상 정보와 매칭하여 입력 데이터를 생성하는 시간 변수 적용부 및 이전 획득된 입력 데이터와 실제 생성된 발전량이 매칭된 학습 데이터를 기반으로 미리 학습되어, 학습된 방식에 따라 현재 인가되는 입력 데이터로부터 발전량을 추정하여 출력하는 발전량 예측부를 포함하여, 높은 정확도로 풍력 발전량을 예측할 수 있는 풍력 발전량 예측 장치 및 방법을 제공한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

F05B 2260/84 (2013.01)

F05B 2270/709 (2013.01)

Y02E 10/72 (2020.08)

(72) 발명자

김정원

서울특별시 서대문구 연희로14길 63-36, 302호(연희동)

김정민

서울특별시 서대문구 성산로18길 9, 203호(연희동)

위진

서울특별시 강남구 학동로68길 29, 108동 401호(삼성동, 삼성동힐스테이트1단지아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1365003450
과제번호	KMI2021-01611
부처명	기상청
과제관리(전문)기관명	한국기상산업기술원
연구사업명	기후및기후변화감시·예측정보응용기술개발(R&D)
연구과제명	관측 기반의 지역규모 하향식 온실가스 배출량 감시 시스템 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2021.04.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

기상 예보를 포함하는 기상 정보를 수집하는 기상 정보 수집부;

시공간적으로 저해상도의 상기 기상 예보를 인가받아 풍력 발전기가 설치된 설치 위치에 따른 지형 고도와 주변 환경 요인을 수치 해석적으로 난류 확산에 반영하는 대기 모형을 적용하여 고해상도화하는 대기 모형 적용부;

각각 기지정된 주기로 연속적으로 반복하여 증감하는 다수의 시간 변수를 생성하고, 생성된 다수의 시간 변수에 따른 시간 변수값을 다수의 고해상도화된 기상 예보를 포함한 기상 정보와 매칭하여 입력 데이터를 생성하는 시간 변수 적용부; 및

이전 획득된 입력 데이터와 실제 생성된 발전량이 매칭된 학습 데이터를 기반으로 미리 학습되어, 학습된 방식에 따라 현재 인가되는 입력 데이터로부터 발전량을 추정하여 출력하는 발전량 예측부를 포함하는 풍력 발전량 예측 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 시간 변수 적용부는

1년을 주기로 연속적으로 반복하여 증감하며 서로 다른 오프셋을 갖는 2개의 날짜 변수와 1일을 주기로 연속적으로 반복하여 증감하며 서로 다른 오프셋을 갖는 2개의 시간 변수를 생성하며, 발전량을 예측하고자 하는 시간에 대한 시간 변수값을 상기 기상 정보에 매칭하는 풍력 발전량 예측 장치.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 대기 모형 적용부는

대기의 동적 안정도를 나타내는 지표인 벌크 리차드슨 수(Bi_b)를 계산하고, 상기 벌크 리차드슨 수(Bi_b)를 이용하여 대기 안정도(z_r/L)를 계산하는 대기 안정도 계산부;

안정도 변수(β)를 계산하고, 측정으로 획득되는 지면 상의 장애물 높이인 캐노피 높이(h)를 기반으로 대기 모델에서 새롭게 정의하는 지면 높이인 영면 변위 높이(d_r)를 계산하는 영면 변위 계산부;

바람이 로그 프로파일을 따른다고 가정할 때, 0이 되는 높이를 나타내는 거칠기 길이(z_0)를 계산하는 거칠기 길이 계산부; 및

계산된 대기 안정도(z_r/L)와 거칠기 길이(z_0)를 이용하여 마찰 속도(u_*)를 계산하고, 캐노피 높이(h) 이상에서의 풍속(C_*)과 캐노피 높이(h) 이하에서의 풍속(C_*)하여 연직 풍속 프로파일을 획득하는 연직 풍속 결정부를 포함하는 풍력 발전량 예측 장치.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 대기 안정도 계산부는

대기의 동적 안정도를 나타내는 지표로서 난류 발생 여부를 판단하기 위해 사용되는 벌크 리차드슨 수(Bi_b)를 수학적

$$Bi_b = \frac{g}{\theta_a} \frac{\theta_{va} - \theta_{vg}}{[u(z_r)]^2} z$$

(여기서 g 는 중력 가속도이고, θ_a 는 수치해석 모델의 기준 WRF 모델(MM5 SL)의 좌표계에서 모델의 최하 계층

(lowest model layer)(여기서는 RSL)의 높이(z_r)에서 온위(Potential temperature)를 나타내고, θ_{va} 와 θ_{vg} 는 각각 SL과 지표면에서의 가온위(virtual potential temperature)를 나타낸다. 그리고 $u(z_r)$ 은 최하 모델층 높이(z_r)에서의 풍속을 나타내고, z 는 기존의 WRF 모델(MM5 SL)에서 정의된 영면 변위 높이(d_0)를 원점으로 하는 수직 좌표값이다.)

에 따라 계산하고,

상기 대기 안정도(z_r/L)를 수학식

$$\frac{z_r}{L} = Bi_b \frac{\left[\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right) - \psi_m\left(\frac{z_r}{L}\right) + \psi_m\left(\frac{z_0}{L}\right) + \hat{\psi}_m \right]^2}{\left[\ln\left(\frac{\rho c_p k u_*^{n-1} z_r}{c_s} + \frac{z_r}{z_l}\right) - \psi_h\left(\frac{z_r}{L}\right) + \psi_h\left(\frac{z_l}{L}\right) + \hat{\psi}_h \right]}$$

여기서 u_*^{n-1} 은 이전 스텝(n-1)에서 획득된 마찰 속도(friction velocity)를 나타내고, ψ_m , ψ_h 는 각각 운동량과 열에 관한 적분된 상사 함수(similarity function)를 나타내며, $\hat{\psi}_m$, $\hat{\psi}_h$ 는 각각 운동량과 열에 관한 적분된 RSL 함수를 나타낸다. 그리고 ρ 는 공기 밀도이고, c_p 는 공기에 대한 정압비열(Specific heat for air)이며, c_s 는 열 전달 효율 계수(Effective heat transfer coefficient)를 나타낸다. z_0 , z_l 은 각각 거칠기 길이와 비스커스 아층 깊이(Viscous sublayer depth)이고, k 는 본 카르만 상수(von Karman constant)(여기서는 0.4)이다.

에 따라 계산하는 풍력 발전량 예측 장치.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 영면 변위 계산부는

상기 영면 변위 높이(d_t)를 수학식

$$d_t = h - d_0 = \frac{l_m}{2\beta} = \beta^2 L_c$$

(여기서 l_m 은 운동량에 관한 혼합 길이(Mixing length for momentum)이고 β 는 안정도 변수이며, L_c 는 캐노피 투과 깊이(canopy penetration depth)이다.)

$$L_c = (c_d a)^{-1} = \frac{4h}{LAI}$$

(여기서 c_d 는 잎 스케일에서의 공기 저항 계수(drag coefficient at the leaf scale)이고, a 는 잎 면적 밀도이며, LAI는 잎 면적 지수(Lear Area Index)이다.)

$$\beta = \begin{cases} \frac{\beta_N}{\phi_m(z=d_t)} & \frac{L_c}{L} > -0.15 \\ \frac{k}{2\phi_m(z=d_t)} + \frac{\frac{\beta_N}{\phi_m(z=d_t)} - \frac{k}{2\phi_m(z=d_t)}}{1+2\left|\frac{L_c}{L}+0.15\right|^{1.5}} & \frac{L_c}{L} \leq -0.15 \end{cases}$$

(여기서 ϕ_m 은 운동량에 관한 상사 함수, β_N 은 자연 상태에서의 안정도값(=0.374)을 나타낸다.)

에 따라 계산하는 풍력 발전량 예측 장치.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 거칠기 길이 계산부는

상기 거칠기 길이(z_0)를 수학식

$$z_0 = d_t \exp \left[-\frac{k}{\beta} \right] \exp \left[-\psi_m \left(\frac{d_t}{L} \right) + \psi_m \left(\frac{z_0}{L} \right) \right] \exp \left[\int_{d_t}^{\infty} \frac{\phi_m (1 - \hat{\phi}_m)}{z'} dz' \right].$$

(여기서 $\hat{\phi}_m$ 은 운동량에 관한 RSL 상사 함수를 나타낸다.)

에 따라 계산하는 풍력 발전량 예측 장치.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 연직 풍속 결정부는

상기 마찰 속도(u_*)를 수학식

$$u_* = \frac{ku(z_r)}{\left[\ln \left(\frac{z_r}{z_0} \right) - \psi_m \left(\frac{z_r}{L} \right) + \psi_m \left(\frac{z_0}{L} \right) + \hat{\psi}_m \right]}$$

에 따라 계산하고,

상기 캐노피 높이(h) 이상에서의 풍속(C)을 수학식

$$\frac{k}{C_*} (C(z) - C_0) = \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) - \psi_c \left(\frac{z}{L} \right) + \psi_c \left(\frac{z_0}{L} \right) + \int_z^{\infty} \frac{\phi_c (1 - \hat{\phi}_c)}{z'} dz',$$

(여기서 C_* 은 풍속(C)의 스케일 값이고, C_0 는 거칠기 길이(z_0)에서의 변수(c)의 값이고, ψ_c 는 풍속(C)의 적분 상사 함수(integrated similarity function)이며, $\hat{\phi}_c$ 는 변수(C)의 RSL 함수이다.)

에 따라 계산하며,

상기 캐노피 높이(h) 미만에서의 풍속(C)을 수학식

$$C(z) - C_0 = (C_h - C_0) \exp \left(f \frac{z - d_t}{2d_t} \right)$$

(여기서 C_h 는 캐노피 높이(h)에서의 변수(c)의 값이고, f는 스칼라 프로파일의 깊이 스케일과 관련된 매개 변수

이다.)

에 따라 계산하여 지면 고도에 따른 연직 풍속 프로파일을 획득하는 풍력 발전량 예측 장치.

청구항 8

제3항에 있어서, 상기 대기 모형 적용부는

상기 풍력 발전기가 설치된 위치를 기준으로 기지정된 크기의 아격자 규모의 산악(subgrid-scale orography) 형상에 대한 표준 편차를 획득하고, 특정 아격자를 중심으로 가로 및 세로 방향에 위치하는 주변 4개의 아격자와의 높이 관계에 기초하여 지형 고도의 라플라시안값을 획득하여, 아격자 규모의 산악 형상에 대한 표준 편차와 주변 지형과의 관계에 따른 지형 고도의 라플라시안값에 따라 서로 상이한 바람의 소산 수준을 상기 연직 풍속 결정부에서 획득된 연직 풍속 프로파일에 추가로 반영하는 지형 기반 풍속 교정부를 더 포함하는 풍력 발전량 예측 장치.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 기상 정보 수집부는

상기 풍력 발전기가 설치된 위치를 기준으로, 이후 기지정된 시간 간격의 기상 상태를 예측한 예보장을 수집하는 예보장 수집부;

상기 풍력 발전기의 나셀에 설치된 측정 장치를 이용하여 측정된 실시간 기상 정보를 수집하는 나셀 데이터 수집부를 포함하는 풍력 발전량 예측 장치.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 나셀 데이터 수집부는

상기 학습 데이터를 획득하기 위해, 상기 풍력 발전기에서 현재 생산되는 발전량을 추가로 수집하는 풍력 발전량 예측 장치.

청구항 11

기상 예보를 포함하는 기상 정보를 수집하는 단계;

시공간적으로 저해상도의 상기 기상 예보를 인가받아 풍력 발전기가 설치된 설치 위치에 따른 지형 고도와 주변 환경 요인을 수치 해석적으로 난류 확산에 반영하는 대기 모형을 적용하여 고해상도화하는 단계;

각각 기지정된 주기로 연속적으로 반복하여 증감하는 다수의 시간 변수를 생성하고, 생성된 다수의 시간 변수에 따른 시간 변수값을 다수의 고해상도화된 기상 예보를 포함한 기상 정보와 매칭하여 입력 데이터를 생성하는 단계; 및

이전 획득된 입력 데이터와 실제 생성된 발전량이 매칭된 학습 데이터를 기반으로 미리 학습되어, 학습된 방식에 따라 현재 인가되는 입력 데이터로부터 발전량을 추정하여 출력하는 단계를 포함하는 풍력 발전량 예측 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 입력 데이터를 생성하는 단계는

1년을 주기로 연속적으로 반복하여 증감하며 서로 다른 오프셋을 갖는 2개의 날짜 변수와 1일을 주기로 연속적으로 반복하여 증감하며 서로 다른 오프셋을 갖는 2개의 시간 변수를 생성하는 단계; 및

발전량을 예측하고자 하는 시간에 대한 시간 변수값을 상기 기상 정보에 매칭하는 단계를 포함하는 풍력 발전량 예측 방법.

청구항 13

제11항에 있어서, 상기 고해상도화하는 단계는

대기의 동적 안정도를 나타내는 지표인 벌크 리차드슨 수(Bi_b)를 계산하고, 상기 벌크 리차드슨 수(Bi_b)를 이용

하여 대기 안정도(z_r/L)를 계산하는 단계;

안정도 변수(β)를 계산하고, 측정으로 획득되는 지면 상의 장애물 높이인 캐노피 높이(h)를 기반으로 대기 모델에서 새롭게 정의하는 지면 높이인 영면 변위 높이(d_t)를 계산하는 단계;

바람이 로그 프로파일을 따른다고 가정할 때, 0이 되는 높이를 나타내는 거칠기 길이(z_0)를 계산하는 단계; 및

계산된 대기 안정도(z_r/L)와 거칠기 길이(z_0)를 이용하여 마찰 속도(u_*)를 계산하고, 캐노피 높이(h) 이상에서의 풍속(C_*)과 캐노피 높이(h) 이하에서의 풍속(C_*)하여 연직 풍속 프로파일을 획득하는 단계를 포함하는 풍력 발전량 예측 방법.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 대기 안정도(z_r/L)를 계산하는 단계는

대기의 동적 안정도를 나타내는 지표로서 난류 발생 여부를 판단하기 위해 사용되는 벌크 리차드슨 수(Bi_b)를 수학식

$$Bi_b = \frac{g}{\theta_a} \frac{\theta_{va} - \theta_{vg}}{[u(z_r)]^2} z$$

(여기서 g 는 중력 가속도이고, θ_a 는 수치해석 모델의 기존 WRF 모델(MM5 SL)의 좌표계에서 모델의 최하 계층(lowest model layer)(여기서는 RSL)의 높이(z_r)에서 온위(Potential temperature)를 나타내고, θ_{va} 와 θ_{vg} 는 각각 SL과 지표면에서의 가온위(virtual potential temperature)를 나타낸다. 그리고 $u(z_r)$ 은 최하 모델층 높이(z_r)에서의 풍속을 나타내고, z 는 기존의 WRF 모델(MM5 SL)에서 정의된 영면 변위 높이(d_0)를 원점으로 하는 수직 좌표값이다.)

에 따라 계산하는 단계; 및

상기 대기 안정도(z_r/L)를 수학식

$$\frac{z_r}{L} = Bi_b \frac{\left[\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right) - \psi_m\left(\frac{z_r}{L}\right) + \psi_m\left(\frac{z_0}{L}\right) + \hat{\psi}_m \right]^2}{\left[\ln\left(\frac{\rho c_p k u_*^{n-1} z_r}{c_s} + \frac{z_r}{z_l}\right) - \psi_h\left(\frac{z_r}{L}\right) + \psi_h\left(\frac{z_l}{L}\right) + \hat{\psi}_h \right]}$$

여기서 u_*^{n-1} 은 이전 스텝(n-1)에서 획득된 마찰 속도(friction velocity)를 나타내고, ψ_m , ψ_h 는 각각 운동량과 열에 관한 적분된 유사 함수(similarity function)를 나타내며, $\hat{\psi}_m$, $\hat{\psi}_h$ 는 각각 운동량과 열에 관한 적분된 RSL 함수를 나타낸다. 그리고 ρ 는 공기 밀도이고, c_p 는 공기에 대한 정압비열(Specific heat for air)이며, c_s 는 열 전달 효율 계수(Effective heat transfer coefficient)를 나타낸다. z_0 , z_l 은 각각 거칠기 길이와 비스커스 아층 깊이(Viscous sublayer depth)이고, k 는 본 카르만 상수(von Kármán constant)(여기서는 0.4)이다.

에 따라 계산하는 단계를 포함하는 풍력 발전량 예측 방법.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 영면 변위 높이(d_t)를 계산하는 단계는

상기 영면 변위 높이(d_t)를 수학적식

$$d_t = h - d_0 = \frac{l_m}{2\beta} = \beta^2 L_c$$

(여기서 l_m 은 운동량에 관한 혼합 길이(Mixing length for momentum)이고 β 는 안정도 변수이며, L_c 는 캐노피 투과 깊이(canopy penetration depth)이다.)

$$L_c = (c_d a)^{-1} = \frac{4h}{LAI}$$

(여기서 c_d 는 잎 스케일에서의 공기 저항 계수(drag coefficient at the leaf scale)이고, a 는 잎 면적 밀도이며, LAI는 잎 면적 지수(Lear Area Index)이다.)

$$\beta = \begin{cases} \frac{\beta_N}{\phi_m(z=d_t)} & \frac{L_c}{L} > -0.15 \\ \frac{k}{2\phi_m(z=d_t)} + \frac{\beta_N}{1+2\left|\frac{L_c}{L}+0.15\right|^{1.5}} - \frac{k}{2\phi_m(z=d_t)} & \frac{L_c}{L} \leq -0.15 \end{cases}$$

(여기서 ϕ_m 은 운동량에 관한 상사 함수, β_N 은 자연 상태에서의 안정도값(=0.374)을 나타낸다.)

에 따라 계산하는 풍력 발전량 예측 방법.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 거칠기 길이(z_0)를 계산하는 단계는

상기 거칠기 길이(z_0)를 수학적식

$$z_0 = d_t \exp\left[-\frac{k}{\beta}\right] \exp\left[-\psi_m\left(\frac{d_t}{L}\right) + \psi_m\left(\frac{z_0}{L}\right)\right] \exp\left[\int_{d_t}^{\infty} \frac{\phi_m(1-\hat{\phi}_m)}{z'} dz'\right].$$

(여기서 $\hat{\phi}_m$ 은 운동량에 관한 RSL 상사 함수를 나타낸다.)

에 따라 계산하는 풍력 발전량 예측 방법.

청구항 17

제16항에 있어서, 상기 연직 풍속 프로파일을 획득하는 단계는

상기 마찰 속도(u_*)를 수학적식

$$u_* = \frac{ku(z_r)}{\left[\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right) - \psi_m\left(\frac{z_r}{L}\right) + \psi_m\left(\frac{z_0}{L}\right) + \hat{\psi}_m\right]}$$

에 따라 계산하는 단계;

상기 캐노피 높이(h) 이상에서의 풍속(C)을 수학식

$$\frac{k}{C_*} (C(z) - C_0) = \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \psi_c\left(\frac{z}{L}\right) + \psi_c\left(\frac{z_0}{L}\right) + \int_z^\infty \frac{\phi_c(1 - \hat{\phi}_c)}{z'} dz',$$

(여기서 C_* 은 풍속(C)의 스케일 값이고, C_0 는 거칠기 길이(z_0)에서의 변수(c)의 값이고, ψ_c 는 풍속(C)의 적분 유사 함수(integrated similarity function)이며, $\hat{\phi}_c$ 는 변수(C)의 RSL 함수이다.)

에 따라 계산하는 단계; 및

상기 캐노피 높이(h) 미만에서의 풍속(C)을 수학식

$$C(z) - C_0 = (C_h - C_0) \exp\left(f \frac{z - d_t}{2d_t}\right)$$

(여기서 C_h 는 캐노피 높이(h)에서의 변수(c)의 값이고, f는 스칼라 프로파일의 깊이 스케일과 관련된 매개 변수이다.)

에 따라 계산하는 단계를 포함하는 풍력 발전량 예측 방법.

청구항 18

제13항에 있어서, 상기 고해상도화하는 단계는

상기 풍력 발전기가 설치된 위치를 기준으로 기 지정된 크기의 아격자 규모의 산악(subgrid-scale orography) 형상에 대한 표준 편차를 획득하는 단계;

특정 아격자를 중심으로 가로 및 세로 방향에 위치하는 주변 4개의 아격자와의 높이 관계에 기초하여 지형 고도의 라플라시안값을 획득하는 단계;

아격자 규모의 산악 형상에 대한 표준 편차와 주변 지형과의 관계에 따른 지형 고도의 라플라시안값에 따라 서로 상이한 바람의 소산 수준을 상기 연직 풍속 프로파일에 추가로 반영하는 단계를 더 포함하는 풍력 발전량 예측 방법.

청구항 19

제11항에 있어서, 상기 기상 정보를 수집하는 단계는

상기 풍력 발전기가 설치된 위치를 기준으로, 이후 기 지정된 시간 간격의 기상 상태를 예측한 예보장을 수집하는 단계; 및

상기 풍력 발전기의 나셀에 설치된 측정 방법을 이용하여 측정된 실시간 기상 정보를 수집하는 단계를 포함하는 풍력 발전량 예측 방법.

청구항 20

제11항에 있어서, 상기 풍력 발전량 예측 방법은

상기 학습 데이터를 획득하기 위해, 상기 풍력 발전기에서 현재 생산되는 발전량을 추가로 수집하는 풍력 발전량 예측 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 풍력 발전량 예측 장치 및 방법에 관한 것으로, 인공 신경망을 이용한 대기모형 예보 기반 풍력 발전량 예측 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 세계적인 저탄소화 흐름에 따라 친환경 에너지원에 대한 요구가 급증하고 있으며, 이로 인해 풍력이나 태양광 발전과 같은 친환경 신재생 에너지에 대한 관심 또한 크게 높아지고 있다. 이러한 신재생 에너지 중 풍력 발전은 소규모로도 설치가 가능하고 발전 단가가 저렴하다는 장점이 있다. 다만 풍력 발전은 바람을 이용하여 전력을 생산하는 발전 방식이므로 바람의 세기, 즉 풍속에 따라 발전량이 상이하다.

[0003] 이와 같은 풍력 발전의 특성은 화력이나 원자력과 같이 발전량의 조절이 용이한 발전 방식에 비해, 발전량을 예측하거나 조절하기 어려워 전력을 효율적으로 운용하기 어렵게 하는 요인이 된다. 이에 기상 예보를 기반으로 풍력 발전량을 예측하기 위한 여러가지 연구가 수행된 바 있다. 그러나 기상 예보로 제공되는 풍향 및 풍속은 긴 시간 주기와 광범위한 영역에 대한 예측값으로 시공간 해상도가 낮아 풍력 발전기가 설치된 장소의 풍속을 대표하기 어려우며, 이로 인해 풍력 발전량 예측 시에 큰 오차를 유발한다는 한계가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 한국 등록 특허 제10-1844044호 (2018.03.26 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 목적은 인공 신경망에 입력되는 기상 예보 데이터에 입력 데이터에 시간적 연속성을 부여하기 위한 시간 변수를 적용하여 풍력 발전기의 발전량을 정확하게 예측할 수 있는 풍력 발전량 예측 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

[0006] 본 발명의 다른 목적은 낮은 시공간 해상도로 제공되는 다양한 기상 예보 데이터로부터 대기모형을 이용하여 높은 시공간 해상도의 풍속 정보를 획득하여 풍력 발전기의 발전량을 더욱 정확하게 예측할 수 있는 풍력 발전량 예측 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전량 예측 장치는 기상 예보를 포함하는 기상 정보를 수집하는 기상 정보 수집부; 시공간적으로 저해상도의 상기 기상 예보를 인가받아 풍력 발전기가 설치된 설치 위치에 따른 지형 고도와 주변 환경 요인을 수치 해석적으로 난류 확산에 반영하는 대기 모형을 적용하여 고해상도화하는 대기 모형 적용부; 각각 기지정된 주기로 연속적으로 반복하여 증감하는 다수의 시간 변수를 생성하고, 생성된 다수의 시간 변수에 따른 시간 변수값을 다수의 고해상도화된 기상 예보를 포함한 기상 정보와 매칭하여 입력 데이터를 생성하는 시간 변수 적용부; 및 이전 획득된 입력 데이터와 실제 생성된 발전량이 매칭된 학습 데이터를 기반으로 미리 학습되어, 학습된 방식에 따라 현재 인가되는 입력 데이터로부터 발전량을 추정하여 출력하는 발전량 예측부를 포함한다.

[0008] 상기 시간 변수 적용부는 1년을 주기로 연속적으로 반복하여 증감하며 서로 다른 오프셋을 갖는 2개의 날짜 변수와 1일을 주기로 연속적으로 반복하여 증감하며 서로 다른 오프셋을 갖는 2개의 시간 변수를 생성하며, 발전량을 예측하고자 하는 시간에 대한 시간 변수값을 상기 기상 정보에 매칭할 수 있다.

[0009] 상기 대기 모형 적용부는 대기의 동적 안정도를 나타내는 지표인 벌크 리차드슨 수(Bi_b)를 계산하고, 상기 벌크 리차드슨 수(Bi_b)를 이용하여 대기 안정도(z_r/L)를 계산하는 대기 안정도 계산부; 안정도 변수(β)를 계산하고,

측정으로 획득되는 지면 상의 장애물 높이인 캐노피 높이(h)를 기반으로 대기 모델에서 새롭게 정의하는 지면 높이인 영면 변위 높이(d_t)를 계산하는 영면 변위 계산부; 바람이 로그 프로파일을 따른다고 가정할 때, 0이 되는 높이를 나타내는 거칠기 길이(z_0)를 계산하는 거칠기 길이 계산부; 및 계산된 대기 안정도(z_r/L)와 거칠기 길이(z_0)를 이용하여 마찰 속도(u_*)를 계산하고, 캐노피 높이(h) 이상에서의 풍속(C_*)과 캐노피 높이(h) 이하에서의 풍속(C_*)을 계산하여 연직 풍속 프로파일을 획득하는 연직 풍속 결정부를 포함할 수 있다.

[0010] 상기 대기 모델 적용부는 상기 풍력 발전기가 설치된 위치를 기준으로 기지정된 크기의 아격자 규모의 산악(subgrid-scale orography) 형상에 대한 표준 편차를 획득하고, 특정 아격자를 중심으로 가로 및 세로 방향에 위치하는 주변 4개의 아격자와의 높이 관계에 기초하여 지형 고도의 라플라시안값을 획득하여, 아격자 규모의 산악 형상에 대한 표준 편차와 주변 지형과의 관계에 따른 지형 고도의 라플라시안값에 따라 서로 상이한 바람의 소산 수준을 상기 연직 풍속 결정부에서 획득된 연직 풍속 프로파일에 추가로 반영하는 지형 기반 풍속 교정부를 더 포함할 수 있다.

[0011] 상기 기상 정보 수집부는 상기 풍력 발전기가 설치된 위치를 기준으로, 이후 기지정된 시간 간격의 기상 상태를 예측한 예보장을 수집하는 예보장 수집부; 상기 풍력 발전기의 나셀에 설치된 측정 장치를 이용하여 측정된 실시간 기상 정보를 수집하는 나셀 데이터 수집부를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 풍력 발전량 예측 방법은 기상 예보를 포함하는 기상 정보를 수집하는 단계; 시공간적으로 저해상도의 상기 기상 예보를 인가받아 풍력 발전기가 설치된 설치 위치에 따른 지형 고도와 주변 환경 요인을 수치 해석적으로 난류 확산에 반영하는 대기 모델을 적용하여 고해상도화하는 단계; 각각 기지정된 주기로 연속적으로 반복하여 증감하는 다수의 시간 변수를 생성하고, 생성된 다수의 시간 변수에 따른 시간 변수값을 다수의 고해상도화된 기상 예보를 포함한 기상 정보와 매칭하여 입력 데이터를 생성하는 단계; 및 이전 획득된 입력 데이터와 실제 생성된 발전량이 매칭된 학습 데이터를 기반으로 미리 학습되어, 학습된 방식에 따라 현재 인가되는 입력 데이터로부터 발전량을 추정하여 출력하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0013] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 풍력 발전량 예측 장치 및 방법은 낮은 시공간 해상도로 제공되는 다양한 기상 예보 데이터로부터 대기모형을 이용하여 높은 시공간 해상도의 풍속 정보를 획득하고, 획득된 고해상도의 풍속 정보에 시간적 연속성을 부여하기 위한 시간 변수를 적용하여 인공 신경망에 입력함으로써 높은 정확도로 풍력 발전량을 예측할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전량 예측 장치의 개략적 구성을 나타낸다.

도 2는 도 1의 기상 예보 수집부의 상세 구성의 일 예를 나타낸다.

도 3은 고도에 따른 행성 경계층을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 도 1의 대기 모델 적용부에서 이용하는 수직 좌표계를 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 도 1의 대기 모델 적용부의 상세 구성의 일 예를 나타낸다.

도 6은 대기 모형에 따른 연직 바람 프로파일의 일 예를 나타낸다.

도 7은 풍속에 영향을 미치는 지형 효과를 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 대기 모형 적용부에서 획득되는 고해상도 예보의 일 예를 나타낸다.

도 9는 도 1의 시간 변수 생성부에서 생성되는 시간 변수의 일 예를 나타낸다.

도 10은 발전량 예측부에 입력되는 입력 데이터의 일 예를 나타낸다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전량 예측 방법을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시예에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본

발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.

- [0016] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써, 본 발명을 상세히 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.
- [0017] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "블록" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전량 예측 장치의 개략적 구성을 나타내고, 도 2는 도 1의 기상 예보 수집부의 상세 구성의 일 예를 나타낸다.
- [0019] 도 1을 참조하면, 본 실시예에 따른 풍력 발전량 예측 장치는 정보 수집부(100), 대기 모형 적용부(200), 시간 변수 적용부(300) 및 발전량 예측부(400)를 포함할 수 있다.
- [0020] 정보 수집부(100)는 풍력 발전기가 설치된 위치에 대한 수집 가능한 각종 기상 정보를 수집한다. 본 실시예에서 정보 수집부(100)는 풍력 발전기의 위치 정보에 따른 기상 예보를 수집하여 획득할 뿐만 아니라, 추가적으로 현재 풍력 발전기에서 측정되는 기상 상태에 대한 정보 및 주변에서 이전 측정된 기상 상태에 대한 정보를 함께 수집할 수 있다.
- [0021] 정보 수집부(100)는 풍력 발전량을 예측하기 위한 정보로서 기본적으로 기상 예보를 수집한다. 그러나 기상 정보가 더 많을수록 예측의 정확도를 향상시킬 수 있음은 자명하다. 이에 정보 수집부(100)는 현재 실측되는 기상 정보와 과거 실측된 기상 정보를 더 수집할 수 있다. 즉 미래 예측으로 획득된 기상 예보뿐만 아니라, 현재 및 과거 실측된 기상 정보를 추가로 수집하여 풍력 발전량 예측의 정확도를 향상시킬 수 있다.
- [0022] 또한 정보 수집부(100)는 기상 정보와 더불어 현재 풍력 발전기에서 발전되는 발전량을 함께 수집한다.
- [0023] 도 2를 참조하면, 정보 수집부(100)는 예보장 수집부(110), 나셀 데이터 수집부(120) 및 AWS 데이터 수집부(130)를 포함할 수 있다.
- [0024] 예보장 수집부(110)는 기지정된 방식으로 제공되는 기상 예보를 수집한다. 예보장 수집부(110)는 일 예로 국립 환경 예측 센터(National Centers for Environmental Prediction: NCEP)의 글로벌 예측 시스템(Global Forecast System: GFS)에서 제공되는 예보장(이하 GFS 예보장)을 수집하여 획득할 수 있다.
- [0025] 나셀 데이터 수집부(120)는 풍력 발전기의 나셀(nacelle)에서 측정되는 기상 정보를 수집한다. 풍력 발전기에서 바람에 의해 회전하는 로터(Rotor)가 결합되고, 내부에 로터의 회전축에 연결되어 전력을 생산하는 발전기가 배치되는 나셀에는 일반적으로 측정 장치로서 풍속계 및 풍향계 등이 구비되며, 이는 실제 풍력 발전기로 불어오는 바람의 세기 및 방향, 즉 풍속과 풍향을 가장 정확하게 실시간으로 측정할 수 있는 수단으로 이용된다. 따라서 나셀 데이터 수집부(120)는 발전량을 예측하고자 하는 풍력 발전기의 나셀에서 실시간으로 측정되는 기상 정보를 수집한다. 또한 나셀 데이터 수집부(120)는 풍력 발전기에서 실제로 생성되는 발전량을 감지하여 함께 수집한다.
- [0026] 즉 나셀 데이터 수집부(120)는 풍력 발전기에 실제로 불어오는 풍속과 이에 따라 풍력 발전기에서 생성되는 발전량에 대한 정보를 수집할 수 있다.
- [0027] 한편, AWS 데이터 수집부(130)는 풍력 발전기로부터 가까운 거리에 위치하는 자동 기상 관측 장비(Automatic Weather Station: 이하 AWS)에서 측정된 기상 정보를 수집하여 획득한다. AWS는 미리 지정된 위치에 설치되어 해당 위치에서의 기상 변화를 상시적으로 관측하는 장치이다. 즉 AWS는 풍력 발전기 주변에서 실제 관측된 기상 정보를 획득할 수 있다. 다만 AWS에서 수집된 기상 정보는 실시간으로 제공되지 않고, 통상적으로 하루 전 날 획득한 정보로 제공되므로, AWS 데이터 수집부(130)는 전날 획득된 주변의 기상 정보를 수집할 수 있다. 여기서 AWS 데이터 수집부(130)는 발전량 예측의 정확도를 향상시키기 위해 추가되는 구성으로 경우에 따라서는 생략될 수도 있다.
- [0028] 한편 대기 모형 적용부(200)는 정보 수집부(100)에서 수집된 기상 정보 중 기상 예보를 시공간적으로 고해상도화한다. 통상적으로 기상 예보는 넓은 지역에 대해 긴 시간 간격 단위로 제공된다. 일 예로 상기한 GFS 예보

장은 00, 06, 12, 18 UTC (09, 15, 21, 03 KST)에 예보가 제공되고, 3시간 간격의 이후 384시간까지 16일치의 기상 예보가 제공된다. 또한 GFS 예보장에서 제공하는 기상 예보의 공간 해상도는 대략 25Km 수준이다. 즉 GFS 예보장은 3시간의 시간 간격으로 25km 규모의 기상 정보를 제공하며, 이는 기상 예보가 시간적으로나 공간적으로 저해상도를 갖는 것으로 볼 수 있다.

[0029] 따라서 기상 예보는 풍력 발전기의 위치 및 발전량을 예측하는 시간에서의 실제 기상 상태와 상당한 오차를 갖게 되며, 이로 인해 풍력 발전량 예측 또한 매우 큰 오차를 나타내게 된다. 특히 풍력 발전기의 경우 대부분 산악 또는 해양 지역에 밀집하여 설치되므로, 예보의 오차가 더욱 크게 나타난다. 이에 대기 모형 적용부(200)는 기상 예보의 저해상도에 따른 예측 오차를 저감시키기 위해, 풍력 발전기가 설치된 위치 및 발전량을 예측하고자 하는 시간에 적합한 기상 예보를 획득할 수 있도록 대기 모형을 구성하여 저해상도의 기상 예보를 고해상도화한다.

[0030] 이때 대기 모형 적용부(200)는 풍력 발전기가 설치되는 높이에 따른 대기 상태와 주변 지형 등을 반영하는 대기 모형을 적용하여 저해상도의 기상 예보를 고해상도화할 수 있다. 일 예로 대기 모형 적용부(200)는 3시간의 시간 간격과 25km 규모 공간 간격을 갖는 기상 정보를 10분 간격 및 500m 수준의 공간 간격을 갖도록 고해상도화할 수 있다.

[0031] 도 3은 고도에 따른 행성 경계층을 설명하기 위한 도면이고, 도 4는 도 1의 대기 모형 적용부에서 이용하는 수직 좌표계를 설명하기 위한 도면이며, 도 5는 도 1의 대기 모형 적용부의 상세 구성의 일 예를 나타낸다. 그리고 도 6은 대기 모형에 따른 연직 바람 프로파일의 일 예를 나타낸다.

[0032] 도 3을 참조하면, 지표면으로부터 약 1 ~ 2Km 높이로 대기권의 최하층을 이루어 기류가 지면과의 마찰로 인해 상호 작용하는 대기층을 행성 경계층(Planetary Boundary Layer: 이하 PBL)이라 하고, PBL에서도 하부 10% 정도(약 100 ~ 200m)의 높이는 지면과 직접적으로 상호 작용을 하는 지표면 경계층(Surface layer: 이하 SL)(또는 표층이라고 함)이라고 한다. SL은 마찰력, 대기 가열 및 수분 공급 등과 같은 지면의 영향력이 직접 가해지는 대기 모델링에서 매우 중요한 영역으로, PBL이나 SL에 대한 대기 모델은 기존에도 제안된 바가 있다.

[0033] 그리고 SL은 다시 도 3에 도시된 바와 같이, 상부의 관성 아층(Inertial Sublayer: 이하 ISL)과 하부의 거칠기 아층(Roughness Sublayer: 이하 RSL)으로 구분된다. 이중 상부에 위치하는 ISL의 경우, SL에서 정상(stationary) 난류 상태에 있는 바람과 기온의 연직 분포를 기술하는 경험적 유사 관계식(similarity relation)을 나타내는 MOST 이론(Monin-Obukhov Similarity Theory)이 적용되어 난류의 영향이 고려된 대기 상태가 용이하게 모델링될 수 있다. 그에 반해, 하부에 위치하는 RSL의 경우, 지면의 장애물에 의한 영향을 직접적으로 받으므로, 기존의 MOST 이론만으로는 대기 상태, 즉 풍속을 정밀하게 모델링할 수 없다. 그러나 실제 풍력 발전기는 RSL에 위치하므로, 기존의 방식으로는 풍력 발전기에 가해지는 풍속을 모의할 수 없다는 한계가 있다.

[0034] 이에 본 실시예의 대기 모형 적용부(200)는 RSL에서의 대기 상태, 즉 난류 확산을 새로운 모델링 기법으로 모수화(parameterization)함으로써, 실제 풍력 발전기에 가해지는 풍속을 시공간적으로 고해상도로 정확하게 모의할 수 있도록 한다. 본 실시예의 대기 모형 적용부(200)는 기존에 NCAR(National Center for Atmospheric Research)에서 대기를 수치적으로 해석하기 위해 개발한 중규모 모델인 WRF(Weather Research and Forecasting) 모델이 더욱 정확한 풍속을 나타낼 수 있도록 수정하여 대기 모형으로 이용한다.

[0035] 도 4를 참조하면, 본 실시예의 대기 모형 적용부(200)는 RSL의 대기 상태를 수치 해석하기 위해 (b)와 같이 제안한 수직 좌표계를 (a)와 같이 재수정한 수직 좌표계를 사용한다.

[0036] 도 4에서 지표면은 $\tilde{z} = 0$ 로 표현되고 d_0 는 기존에 WRF 모델 내부의 MM5 SL 체계에서 정의된 영면 변위 높이(zero-plane displacement height)를 나타내며, z_0 는 장애물에 의한 거칠기 길이(roughness length), h 는 장애물 높이를 나타내는 캐노피 높이(canopy height), z_r 는 기존 WRF 모델의 좌표계에서 최하 계층(여기서는 RSL)의 길이로서, 영면 변위 높이(d_0)로부터의 거칠기 길이를 나타낸다.

[0037] (a)와 (b)를 비교하면, 본 실시예에 따른 대기 모형 적용부(200)는 (a)에 도시된 바와 같이, 기존의 수직 좌표계(\tilde{z})에서 영면 변위 높이($\tilde{z} = d_0$)를 수직 좌표계(z)의 원점으로 설정하여 대기 모형을 적용한다. 따라서 영면 변위 높이($\tilde{z} = d_0$)가 수직 좌표계(z)의 원점으로 적용됨에 따라, 본 실시예에서 수직 좌표계(z)는 $z = \tilde{z} - d_0$ 이다. 그리고 수정된 수직 좌표계(z)를 기반으로 하만 및 피니간(Harman and Finnigan(2007): 이하 HF)에

의해 제정의된 영면 변위 높이(d_t)는 캐노피 높이(h)에서 기존 영면 변위 높이(d_0)를 차감한 값($d_t = h - d_0$)으로 계산될 수 있다. 이하에서는 도 4에서 (a)의 수직 좌표계를 이용하는 것으로 가정한다.

[0038] 도 5를 참조하면 대기 모형 적용부(200)는 대기 안정도 계산부(210), 영면 변위 계산부(220), 나무 높이 측정부(230), 거칠기 길이 계산부(240), 연직 풍속 결정부(250) 및 지형 기반 풍속 교정부(260)를 포함할 수 있다.

[0039] 대기 안정도 계산부(210)는 연직 풍속 계산에 필요한 변수 중 하나로 대기 안정도(z_r/L)를 계산한다. 대기 안정도 계산부(210)는 대기 안정도(z_r/L)를 계산하기에 앞서 벌크 리차드슨 수(Bulk Richardson Number)(Bi_b)를 계산한다. 벌크 리차드슨 수(Bi_b)는 대기의 동적 안정도를 나타내는 지표로서 난류 발생 여부를 판단하기 위해 사용되며, 연직 풍속 차이에 의한 난류 손실량 대비 부력에 의한 난류 손실량을 나타낸다. 벌크 리차드슨 수는 수학적 식 1에 따라 계산될 수 있다.

수학적 식 1

$$Bi_b = \frac{g}{\theta_a} \frac{\theta_{va} - \theta_{vg}}{[u(z_r)]^2} z$$

[0040]

[0041] 여기서 g 는 중력 가속도이고, θ_a 는 수치해석 모델의 기존 WRF 모델(MM5 SL)의 좌표계에서 모델의 최하 계층(lowest model layer)(여기서는 RSL)의 높이(z_r)에서 온위(Potential temperature)를 나타내고, θ_{va} 와 θ_{vg} 는 각각 SL과 지표면에서의 가온위(virtual potential temperature)를 나타낸다. 그리고 $u(z_r)$ 은 최하 모델층 높이(z_r)에서의 풍속을 나타내고, z 는 기존의 WRF 모델(MM5 SL)에서 정의된 영면 변위 높이(d_0)를 원점으로 하는 수직 좌표값이다.

[0042] 벌크 리차드슨 수가 계산되면, 대기 안정도 계산부(210)는 계산된 벌크 리차드슨 수를 적용하여 대기 안정도(z_r/L)를 계산한다. 대기 안정도(z_r/L)는 모델 최하층 높이(z_r)와 오부코프 길이(L)의 비로서, 오부코프 길이(L) 자체가 안정도를 나타내지만, 여기서는 모델 최하층 높이(z_r)를 반영하여 무차원으로 스케일링하며, 수학적 식 2에 따라 계산된다.

수학적 식 2

$$\frac{z_r}{L} = Bi_b \frac{\left[\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right) - \psi_m\left(\frac{z_r}{L}\right) + \psi_m\left(\frac{z_0}{L}\right) + \hat{\psi}_m \right]^2}{\left[\ln\left(\frac{\rho c_p k u_*^{n-1} z_r}{c_s} + \frac{z_r}{z_l}\right) - \psi_h\left(\frac{z_r}{L}\right) + \psi_h\left(\frac{z_l}{L}\right) + \hat{\psi}_h \right]}$$

[0043]

[0044] 여기서 u_*^{n-1} 은 이전 스텝(n-1)에서 획득된 마찰 속도(friction velocity)를 나타내고, ψ_m , ψ_h 는 각각 운동량과 열에 관한 적분된 상사 함수(similarity function)를 나타내며, $\hat{\psi}_m$, $\hat{\psi}_h$ 는 각각 운동량과 열에 관한 적분된 RSL 함수를 나타낸다. 그리고 ρ 는 공기 밀도이고, c_p 는 공기에 대한 정압비열(Specific heat for air)이며, c_s 는 열 전달 효율 계수(Effective heat transfer coefficient)를 나타낸다. z_0 , z_l 은 각각 거칠기 길이와 비스커스 아층 깊이(Viscous sublayer depth)이고, k 는 본 카르만 상수(von Kármán constant)(여기서는 0.4)이다.

[0045] 수학적 식 2는 기존의 MOST 이론을 RSL에 적용하기 위해 RSL 함수($\hat{\psi}_m$, $\hat{\psi}_h$)를 추가한 구성으로, RSL 함수($\hat{\psi}_m$,

$\hat{\psi}_h$)는 HF에 의해 관측을 기반으로 경험적으로 획득된 알려진 함수이다.

[0046] 영면 변위 계산부(220)는 지면상의 장애물 요소를 고려하여 새로이 정의하는 지면 높이인 영면 변위 높이(d_t)를 계산한다.

[0047] 이때 영면 변위 계산부(220)는 나무 높이 측정부(230)가 라이다(Lidar) 등을 이용하여 측정한 나무 높이를 캐노피 높이(h)로 인가받아 획득할 수 있다. 일반적으로 풍력 발전기는 바람이 상시적으로 불어올 수 있어야 하므로, 고지대나 해상에 설치되므로, 주변 장애물로는 건축물보다는 나무가 대부분이다. 따라서 여기서는 나무 높이 측정부(230)에서 측정된 나무 높이를 캐노피 높이(h)로 이용하는 것으로 가정한다. 경우에 따라서 주변 나무 높이가 이미 측정되어 영면 변위 계산부(220)에 미리 저장될 수도 있으며, 이 경우, 나무 높이 측정부(230)는 생략될 수도 있다.

[0048] 영면 변위 계산부(220)는 수학식 3에 따라 영면 변위 높이(d_t)를 계산할 수 있다.

수학식 3

$$d_t = h - d_0 = \frac{l_m}{2\beta} = \beta^2 L_c$$

[0049]

[0050] 여기서 l_m 은 운동량에 관한 혼합 길이(Mixing length for momentum)이고 β 는 안정도 변수이며, L_c 는 캐노피 투과 깊이(canopy penetration depth)이다.

[0051] 수학식 3에서 캐노피 투과 깊이(L_c)와 안정도 변수(β)는 각각 수학식 4 및 5에 따라 계산된다.

수학식 4

$$L_c = (c_d a)^{-1} = \frac{4h}{LAI}$$

[0052]

[0053] 여기서 c_d 는 잎 스케일에서의 공기 저항 계수(drag coefficient at the leaf scale)이고, a 는 잎 면적 밀도이며, LAI는 잎 면적 지수(Lear Area Index)이다.

수학식 5

$$\beta = \begin{cases} \frac{\beta_N}{\phi_m(z=d_t)} & \frac{L_c}{L} > -0.15 \\ \frac{k}{2\phi_m(z=d_t)} + \frac{\frac{\beta_N}{\phi_m(z=d_t)} - \frac{k}{2\phi_m(z=d_t)}}{1+2\left|\frac{L_c}{L}+0.15\right|^{1.5}} & \frac{L_c}{L} \leq -0.15 \end{cases}$$

[0054]

[0055] 여기서 ϕ_m 은 운동량에 관한 상사 함수, β_N 은 자연 상태에서의 안정도값(=0.374)을 나타낸다.

[0056] 즉 영면 변위 계산부(220)는 지표면의 장애물 요소인 나무 높이를 고려하여 대기 모델에서 새롭게 정의하는 지면 높이인 영면 변위 높이(d_t)를 계산하여 획득한다.

[0057] 다만 안정도 변수(β)는 RSL 함수($\hat{\psi}_m$, $\hat{\psi}_h$)에도 영향을 미치는 변수이다. 따라서 대기 안정도 계산부(210)와 영면 변위 계산부(220)는 안정도 변수(β)와 RSL 함수($\hat{\psi}_m$, $\hat{\psi}_h$)의 변화가 기지정된 기준값 이하가 될 때까지

상호 반복하여 대기 안정도(z_r/L)와 안정도 변수(β)를 교대로 계산한 후, 영면 변위 높이(d_t)를 계산할 수 있다.

[0058] 거칠기 길이 계산부(240)는 바람이 도 6과 같은 로그 프로파일을 따른다고 가정할때, 0이 되는 높이를 나타내는 거칠기 길이(z_0)를 계산한다. 도 4에 도시된 거칠기 길이(z_0)는 수학적 식 6에 따라 계산될 수 있다.

수학적 식 6

$$z_0 = d_t \exp \left[-\frac{k}{\beta} \right] \exp \left[-\psi_m \left(\frac{d_t}{L} \right) + \psi_m \left(\frac{z_0}{L} \right) \right] \exp \left[\int_{d_t}^{\infty} \frac{\phi_m (1 - \hat{\phi}_m)}{z'} dz' \right].$$

[0059]

여기서 $\hat{\phi}_m$ 은 운동량에 관한 RSL 상사 함수를 나타낸다.

[0060]

[0061] 연직 풍속 결정부(250)는 수직 좌표값(z)에 따른 마찰 속도(Friction velocity)(u_*)를 수학적 식 7에 따라 계산하여 연직 바람 프로파일을 결정한다.

수학적 식 7

$$u_* = \frac{k u(z_r)}{\left[\ln \left(\frac{z_r}{z_0} \right) - \psi_m \left(\frac{z_r}{L} \right) + \psi_m \left(\frac{z_0}{L} \right) + \hat{\psi}_m \right]}$$

[0062]

[0063] 풍속(u)이나 온도(T) 등은 연직 프로파일로 계산 시 변수(C)로 치환되어 계산될 수 있다. 다만 변수(C)에 대한 연직 프로파일은 캐노피 높이(h)와 HF에 의해 재정의된 영면 변위 높이($d_t = h - d_0$) 사이의 상대 거리에 따라 캐노피 높이(h)를 기준으로 위와 아래를 구분되어 캐노피 높이(h) 이상은 수학적 식 8로 계산되고, 캐노피 높이(h) 미만은 수학적 식 9로 계산될 수 있다.

수학적 식 8

$$\frac{k}{C_*} (C(z) - C_0) = \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) - \psi_c \left(\frac{z}{L} \right) + \psi_c \left(\frac{z_0}{L} \right) + \int_z^{\infty} \frac{\phi_c (1 - \hat{\phi}_c)}{z'} dz',$$

[0064]

[0065] 여기서 C_* 은 변수(C)의 스케일 값이고, C_0 는 거칠기 길이(z_0)에서의 변수(c)의 값이고, ψ_c 는 변수(c)의 적분 상사 함수(integrated similarity function)이며, $\hat{\phi}_c$ 는 변수(C)의 RSL 함수이다.

수학식 9

$$C(z) - C_0 = (C_h - C_0) \exp\left(f \frac{z - d_t}{2d_t}\right)$$

[0066]

[0067] 여기서 C_h 는 캐노피 높이(h)에서의 변수(c)의 값이고, f는 스칼라 프로파일의 깊이 스케일과 관련된 매개 변수이다.

[0068] 본 실시예에서 변수(C)가 풍속일 때, 연직 풍속 프로파일은 도 6에 도시된 바와 같이, 캐노피 높이(h)를 기준으로 위와 아래로 서로 다르게 구분된 패턴의 연직 풍속 프로파일을 획득할 수 있다.

[0069] 이는 기존의 MOST 이론을 적용하는 경우에 비해, 풍력 발전기가 위치하는 RSL에서 지형 고도에 따른 풍속을 더욱 정확하게 표현할 수 있다.

[0070] 수학식 8 및 9에 따라 연직 풍속 프로파일이 획득되면, 지형 기반 풍속 교정부(260)는 풍력 발전기가 설치된 위치의 지형 특성을 반영하여 풍속을 추가 보정한다. 연직 풍속 프로파일에 따른 풍속은 지형에 따라 경향성을 나타낸다. 일반적으로 산악 정상에서는 풍속이 과소 모의되는 경향성을 나타내는 반면, 평야나 계곡에서는 과대 모의되는 경향성을 나타낸다.

[0071] 따라서 풍력 발전기에 가해지는 바람의 풍속을 더욱 정확하게 계산하기 위해 지형 기반 풍속 교정부(260)는 지형 특성에 따라 연직 풍속 프로파일에서 획득되는 풍속을 추가로 보정한다.

[0072] 여기서 풍속 보정은 기지정된 크기의 아격자 규모의 산악(subgrid-scale orography) 형상에 대한 표준 편차(σ_{ss0})를 획득하고, 특정 아격자를 중심으로 가로 및 세로 방향에 위치하는 주변 4개의 아격자와의 높이 관계를 수학적 식 10에 따라 계산하여 지형 고도의 라플라시안값($\Delta^2 h_{i,j}$)을 획득한다.

수학식 10

$$\Delta^2 h_{i,j} = 0.25(h_{i+1,j} + h_{i,j+1} + h_{i-1,j} + h_{i,j-1} - 4h_{i,j})$$

[0073]

[0074] 그리고 지면의 마찰에 의한 풍속, 즉 연직 풍속 프로파일에 따른 풍속에 수학적 식 11과 같이 소산 수준을 반영하여 보정한다.

수학식 11

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \dots - c_t \frac{u_*^2}{\Delta z} \frac{u}{V}$$

[0075]

[0076] 이때, 소산 수준을 나타내는 소산 팩터(c_t)는 아격자 규모의 산악 형상에 대한 표준 편차(σ_{ss0})와 주변 지형과의 관계에 따른 지형 고도의 라플라시안값($\Delta^2 h$)을 기반으로 수학적 식 12에 따라 획득된다.

수학식 12

$$c_t = \begin{cases} 1 & \text{if } \Delta^2 h > -20 \text{ and } \sigma_{\text{SSO}} < e \\ \ln \sigma_{\text{SSO}} & \text{if } \Delta^2 h > -10 \text{ and } \sigma_{\text{SSO}} > e \\ \alpha \ln \sigma_{\text{SSO}} + (1 - \alpha) & \text{if } -10 > \Delta^2 h > -20 \text{ and } \sigma_{\text{SSO}} > e \\ \frac{\Delta^2 h + 30}{10} & \text{if } -20 > \Delta^2 h > -30 \\ 0 & \text{if } -30 > \Delta^2 h \end{cases}$$

[0077]

[0078]

수학식 12에서 소산 팩터(c_t)는 평야 위치일수록 위쪽의 1의 값을 갖게 되어 풍속이 크게 줄도록 함으로써 과도 모의된 풍속을 감소시키는 반면, 산악 정상인 경우에는 0이 되어 풍속이 줄어들지 않도록 하여 과소 모의되는 것을 방지한다.

[0079]

또한 산악 지형에서 산 정상이나 햇빛이 도달하는 경사면은 태양열로 인해 가열되는 반면, 산의 그림자에 의해 평야나 계곡에서는 음지가 형성되어 상대적으로 낮은 온도를 유지하게 되며, 이로 인해 지형에 따른 바람의 변화가 추가로 발생한다.

[0080]

도 7은 풍속에 영향을 미치는 지형 효과를 설명하기 위한 도면이다.

[0081]

지형 기반 풍속 교정부(260)는 도 7에 도시된 바와 같이, 시간에 따른 태양의 위치와 산악 지형을 기반으로 그림자 영역에는 태양 복사가 0이 되도록 하고, 태양이 비치는 경사 영역에서는 지형 기울기에 따른 태양 복사량이 수학식 1의 가운데위(θ_{va} , θ_{vg}) 각각에 반영되도록 한다.

[0082]

지형 기반 풍속 교정부(260)는 경사 영역에서의 가운데위(θ_{va} , θ_{vg}) 각각에 경사 대비 태양 고도에 의한 각도(θ)에 따른 태양 복사량이 반영되도록 수학식 13을 가중할 수 있다.

수학식 13

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega$$

[0083]

[0084]

여기서 ϕ 는 지구 위도, δ 는 적위(편각), β 는 지표 경사, γ 는 방위각, ω 는 자오선과 천체가 이루는 각도인 시각 및 θ 는 입사각을 나타낸다.

[0085]

상기한 바와 같이, 대기 모형 적용부(200)는 수치 해석 모델인 대기 모형을 이용하여 시공간적으로 저해상도를 갖는 기상 예보로부터 고해상도의 기상 예보를 추출할 수 있다.

[0086]

도 8은 대기 모형 적용부에서 획득되는 고해상도 예보의 일 예를 나타낸다.

[0087]

도 8에서는 (a)와 (b)는 각각 1월과 2월에 수집된 예보장(GFS)과 대기 모형 적용부(200)가 대기 모형을 적용하여 예보장(GFS)을 풍력 발전소의 위치에 기반으로 고해상도화한 결과(WRF-GFS) 및 예보된 시간에 실제 측정된 풍속(observed)을 비교한 결과를 나타낸다. 도 8에 도시된 바와 같이, 본 실시예에 따른 대기 모형 적용부(200)에 의해 고해상도화된 풍속(WRF-GFS)은 예보장(GFS)에 비해 실제 측정된 풍속에 매우 가까운 패턴으로 나타남을 알 수 있다.

[0088]

한편 시간 변수 적용부(300)는 정보 수집부(100)에서 수집된 기상 정보와 대기 모형 적용부(200)에서 고해상도화된 기상 예보에 연속하는 시간의 변화를 반영하기 위한 시간 변수를 기지정된 방식으로 생성하여 적용하여 입력 데이터를 생성한다. 시간 변수 적용부(300)에 대한 상세한 설명은 후술하도록 한다.

[0089]

발전량 예측부(400)는 미리 학습된 인공 신경망으로 구현되어, 시간 변수가 적용된 기상 정보인 입력 데이터를 인가받고, 학습된 방식에 따라 발전량을 추정하여 출력한다.

[0090]

기상 데이터 베이스(500)는 발전량 예측부(400)를 학습하기 위한 학습 데이터가 저장된다. 기상 데이터 베이스(500)는 정보 수집부(100)에서 이전 획득되어 시간 변수 적용부(300)에 시간 변수가 적용된 입력 데이터와 시간

변수에 따른 시간에 실제 발전량이 학습 데이터로서 미리 누적 저장된다.

- [0091] 이에 발전량 예측부(400)는 기상 데이터 베이스(500)에 누적 저장된 입력 데이터를 인가받아 발전량을 추정하고, 추정된 발전량과 기상 데이터 베이스(500)에 입력 데이터에 대응하여 저장된 실제 발전량 사이의 차이가 손실로서 역전과됨으로써 입력 데이터에 대응하는 발전량을 정확하게 추정하도록 학습될 수 있다.
- [0092] 도 9는 도 1의 시간 변수 생성부에서 생성되는 시간 변수의 일 예를 나타내고, 도 10은 발전량 예측부에 입력되는 입력 데이터의 일 예를 나타낸다.
- [0093] 시간 변수 적용부(300)는 도 9에 도시된 바와 같이, 월과 일의 날짜를 나타내는 2개의 날짜 변수(var1, var2)와 시와 분의 시간을 나타내는 2개의 시간 변수(var3, var4)를 생성할 수 있다.
- [0094] 각종 기상 정보는 수집되는 시간이 존재하며 기상 예보의 경우, 예보되는 시간 또한 존재한다. 상기한 바와 같이, 예보장 수집부(110)에서 수집되는 S 예보장의 경우, 00, 06, 12, 18 UTC에 3시간 간격의 이후 384시간까지 16일치의 기상 예보가 제공된다. 그러나 기상 예보는 더 먼 미래를 예측할수록 오차가 커지게 되므로, 대기 모형 적용부(200)가 제공되는 전체 예보를 고해상도화하는 것은 무의미하다. 이에 대기 모형 적용부(200)는 기지정된 기간(이후 24시간)까지의 예보에 대해서만 고해상도화할 수도 있다.
- [0095] 한편 기상 예보와 달리 나셀 데이터 수집부(120) 및 AWS 데이터 수집부(130)에서 수집되는 측정값은 지정된 시간 간격으로 현재 또는 이전 측정된 풍속 데이터를 주기적으로 수집할 수 있다. 따라서 예보장 수집부(110)에서 수집되는 기상 정보와 나셀 데이터 수집부(120)에서 수집되는 기상 정보 및 AWS 데이터 수집부(130)에서 수집되는 기상 정보가 서로 다른 시간에 대한 기상 정보를 나타낼 수 있다.
- [0096] 그러나 본 실시예에서 시간 변수 적용부(300)는 도 9와 같은 시간 변수를 생성하여 서로 대응하는 시점에 수집된 기상 정보들을 발전량을 예측하고자 하는 시간에 매칭시켜 도 10과 같은 입력 데이터를 생성할 수 있다. 즉 수집된 기상 정보에 포함된 기상 정보가 나타내는 시간에 무관하게, 현재 수집되는 기상 정보를 발전량을 예측하고자 하는 시간 변수에 매칭시켜 입력데이터를 생성할 수 있다. 이때 저해상도의 기상 예보의 경우, 대기 모형 적용부(200)에 의해 고해상도화된 기상 예보를 시간 변수에 매칭시켜 입력 데이터를 생성한다.
- [0097] 다만, 실제 사람들이 이용하는 시간 정보로 시간 변수로 그대로 이용하는 경우, 발전량 예측부(400)의 학습이 용이하게 수행되지 않을 뿐만 아니라, 학습된 이후에도 발전량 예측에 오차가 발생할 가능성이 높게 나타난다. 이는 일반적으로 사용되는 시간 표시 체계에 따른 시간 정보가 불연속적으로 표현되기 때문인 것으로 확인되었다. 즉 년 단위에서 12월 이후 1월, 그리고 월 단위에서 30일 또는 31일 이후 1일이 되고, 시간 및 분단위에서도 각각 12시 이후 1시, 60분 이후 1분으로 불연속하게 반복되어 인공 신경망이 시간에 대한 정보를 용이하게 처리하지 못하여 오차가 발생할 수 있다.
- [0098] 이에 본 실시예에서 시간 변수 적용부(300)는 도 9에 도시된 바와 같이, 1년을 주기로 반복적으로 증감하는 날짜 변수와 하루를 주기로 반복적으로 증감하는 시간 변수를 생성하여 입력 데이터에 매칭시킴으로써, 인공 신경망으로 구현되는 발전량 예측부(400)가 용이하게 시간 정보를 수용할 수 있도록 한다. 다만, 날짜 변수와 시간 변수를 각각 하나씩의 변수로 구현하는 경우, 날짜와 시간의 연속성은 제공할 수 있으나, 증감하는 과정에서 중복되는 값을 가지게 됨에 따라 날짜나 시간을 정확하게 구분하지 못하는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 방지하기 위해 시간 변수 적용부(300)는 동일한 주기로 증감되는 2개의 날짜 변수(var1, var2)와 2개의 시간 변수(var3, var4)를 생성하고, 2개의 날짜 변수(var1, var2)가 서로 다른 오프셋 값을 가지고 2개의 시간 변수(var3, var4) 또한 서로 다른 오프셋 값을 갖도록 함으로써, 시간의 연속성을 보장하면서도 날짜와 시간을 용이하게 구분할 수 있도록 한다.
- [0099] 따라서 도 10에 도시된 바와 같이, 발전량 예측부(400)에 입력되는 입력 데이터는 기상 정보에 발전량을 예측할 날짜 및 시간을 나타내는 시간 변수((var1, var2), (var3, var4))가 매칭되어 획득되고, 이때 기상 정보에는 고해상도 예보 데이터와 함께 나셀 데이터 및 AWS 데이터 중 적어도 하나가 포함될 수 있다.
- [0100] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 풍력 발전량 예측 방법을 나타낸다.
- [0101] 도 1 내지 도 10을 참조하여, 본 실시예에 따른 풍력 발전량 예측 방법을 설명하면, 우선 각종 기상 정보와 발전량 정보를 수집한다(S10). 이때 기상 정보는 풍력 발전기가 설치된 위치를 기준으로 기상 예보와 이외 수집 가능한 다양한 기상 정보를 수집한다. 기상 예보는 이후 기지정된 기간(여기서는 일 예로 24시간)까지의 예보장을 수집할 수 있으며, 이외 기상 정보로는 풍력 발전기의 나셀에 설치된 측정 장치에서 현재 측정된 풍속과 인접한 ASW가 이전 측정한 풍속 등이 포함될 수 있다.

- [0102] 그리고 수집된 기상 정보 중 시공간적으로 저해상도의 기상 예보에 풍력 발전기의 설치 위치에 따른 지형 고도와 주변 환경 요인을 수치 해석적으로 난류 확산에 반영하는 대기 모형을 적용하여 고해상도화한다(S20).
- [0103] 고해상도화하는 단계에서는 우선 대기의 동적 안정도를 나타내는 지표인 벨크 리처드슨 수(Bi_b)를 수학적 식 1에 따라 계산하고, 계산된 벨크 리처드슨 수(Bi_b)를 이용하여 대기 안정도(z_r/L)를 수학적 식 2에 따라 계산한다(S21).
- [0104] 안정도 변수(β)와 라이다 등을 이용하여 측정된 나무 높이인 캐노피 높이(h)를 기반으로 대기 모델에서 새롭게 정의하는 지면 높이인 영면 변위 높이(d_t)를 수학적 식 3에 따라 계산한다(S22). 그리고 대기 안정도(z_r/L)의 RSL 함수($\hat{\psi}_m$, $\hat{\psi}_h$) 또는 안정도 변수(β)의 변화가 기지정된 기준값 이하인지 판별한다(S23). 만일 대기 안정도(z_r/L)의 RSL 함수($\hat{\psi}_m$, $\hat{\psi}_h$) 또는 안정도 변수(β)의 변화가 기준값을 초과하는 것으로 판별되면, 계산된 안정도 변수(β)를 기반으로 RSL 함수($\hat{\psi}_m$, $\hat{\psi}_h$)를 업데이트하여 대기 안정도(z_r/L)를 다시 계산하고(S21), 영면 변위 높이(d_t)를 업데이트한다(S22).
- [0105] 그러나 대기 안정도(z_r/L)의 RSL 함수($\hat{\psi}_m$, $\hat{\psi}_h$) 또는 안정도 변수(β)의 변화가 기준값 이하이면, 바람이 로그 프로파일을 따른다고 가정할때, 0이 되는 높이를 나타내는 거칠기 길이(z_0)를 수학적 식 6에 따라 계산한다(S24). 그리고 계산된 대기 안정도(z_r/L)와 거칠기 길이(z_0)를 이용하여 마찰 속도(u_*)를 수학적 식 7에 따라 계산한다(S25).
- [0106] 이후, 캐노피 높이(h)를 기준으로 캐노피 높이(h) 이상에서의 풍속(C_*)과 캐노피 높이(h) 이하에서의 풍속(C_*)을 각각 수학적 식 8 및 9에 따라 계산하여 연직 풍속 프로파일을 획득한다(S26). 그리고 계산된 연직 프로파일의 지형 고도에 따른 풍속을 풍력 발전기가 설치된 지형의 효과에 따라 보정한다(S27). 여기서 지형 효과에 따른 보정은 아격자 규모의 산악 형상에 대한 표준 편차(σ_{ss0})와 주변 지형 고도의 라플라시안값($\Delta^2 h_{i,j}$)을 획득하여, 지형에 따른 풍속의 소산 수준을 수학적 식 11과 같이 반영하여 보상할 수 있다.
- [0107] 경우에 따라서는 풍력 발전기가 설치된 지형의 경사도와 양지인지 음지인지에 따른 태양 복사량의 가중치를 벨크 리처드슨 수(Bi_b)를 계산할 때, 사전에 반영하여 풍속을 보상할 수도 있다.
- [0108] 한편, 기상 정보가 획득되고 저해상도의 기상 예보를 대기 모델에 적용하여 고해상도화하면, 고해상도화 된 기상 예보와 나머지 기상 정보를 발전량을 예측하고자 하는 시간에 대응하여 생성된 시간 변수와 매칭하여 입력 데이터를 획득한다(S30). 이때 시간 변수는 1년을 주기로 증감하며 서로 다른 오프셋을 갖는 2개의 날짜 변수(var1, var2)와 1일을 주기로 증감하며 서로 다른 오프셋을 갖는 2개의 시간 변수(var3, var4)로 생성될 수 있다.
- [0109] 그리고 획득된 입력 데이터를 미리 학습된 인공 신경망에 입력하여, 시간 변수로 지정된 시간에서 풍력 발전기의 발전량을 예측한다. 여기서 인공 신경망은 이전 누적 획득된 기상 정보에 시간 변수가 매칭된 입력 데이터와 이에 대응하여 실제로 풍력 발전기에서 생성되어 측정된 발전량을 포함하는 학습 데이터를 기반으로 미리 학습된다. 인공 신경망은 학습 데이터의 입력 데이터를 인가받아 추정한 발전량과 실제 풍력 발전기에서 생성되어 측정된 발전량 사이의 오차를 손실로 역전파되어 학습될 수 있다.
- [0110] 본 발명에 따른 방법은 컴퓨터에서 실행시키기 위한 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 여기서 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스 될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 또한 컴퓨터 저장 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함하며, ROM(판독 전용 메모리), RAM(랜덤 액세스 메모리), CD(컴팩트 디스크)-ROM, DVD(디지털 비디오 디스크)-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광데이터 저장장치 등을 포함할 수 있다.
- [0111] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.
- [0112] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

- [0113]
- 100: 정보 수집부

200: 대기 모형 적용부

210: 대기 안정도 계산부

220: 영면 변위 계산부

230: 나무 높이 측정부

240: 거칠기 길이 계산부

250: 연직 풍속 결정부

260: 지형 기반 풍속 교정부

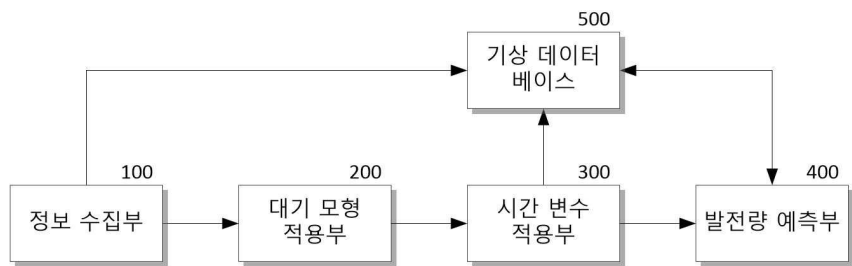
300: 시간 변수 적용부

400: 발전량 예측부

500: 기상 데이터 베이스

도면

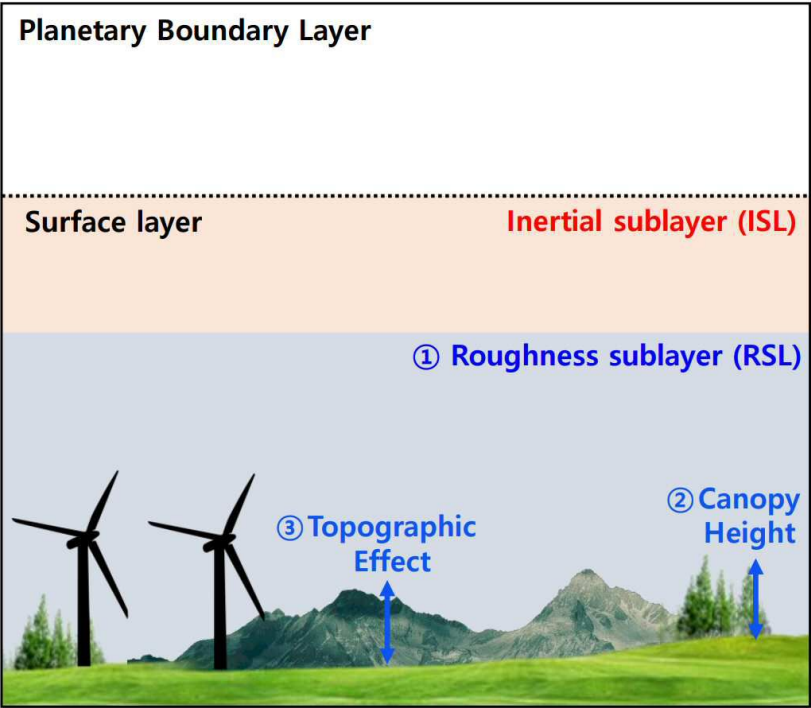
도면1



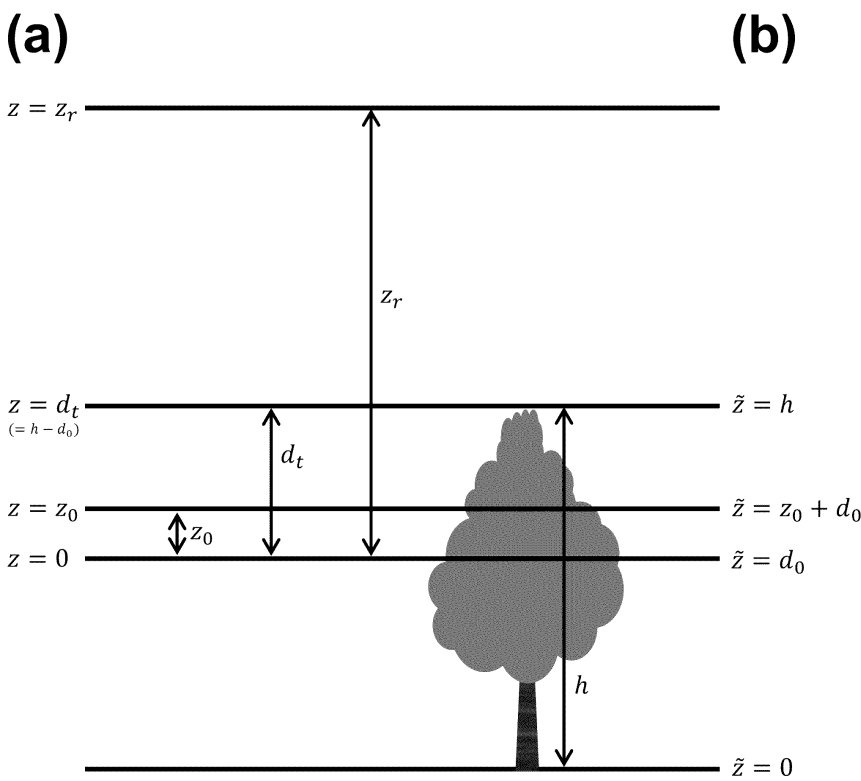
도면2



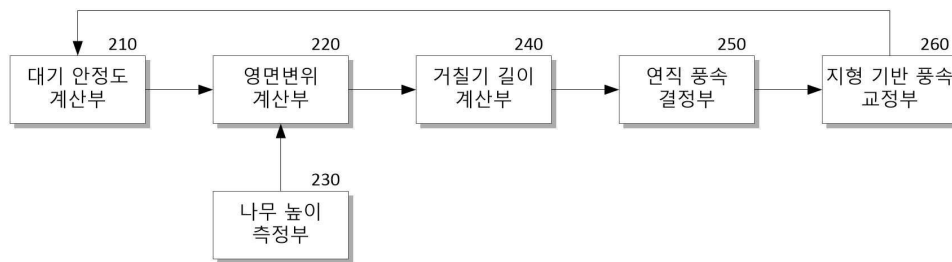
도면3



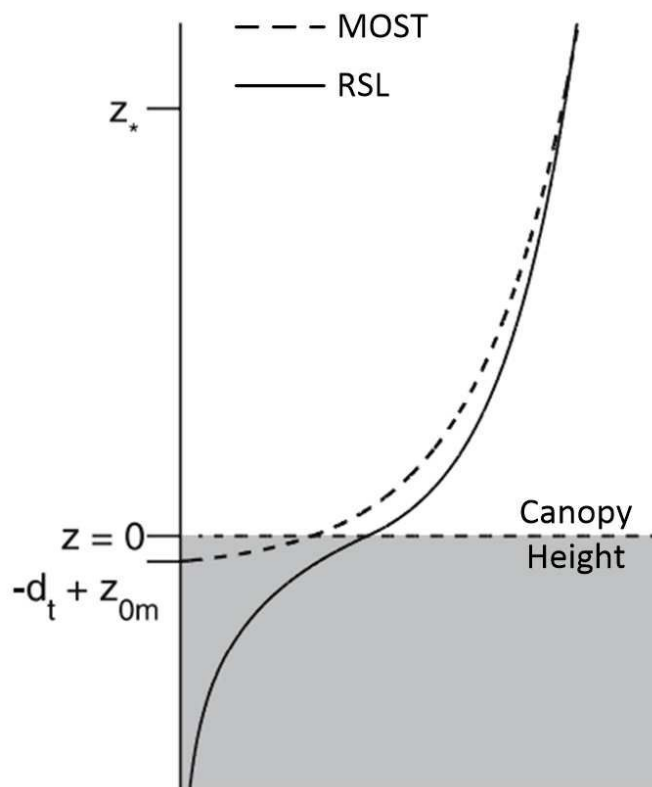
도면4



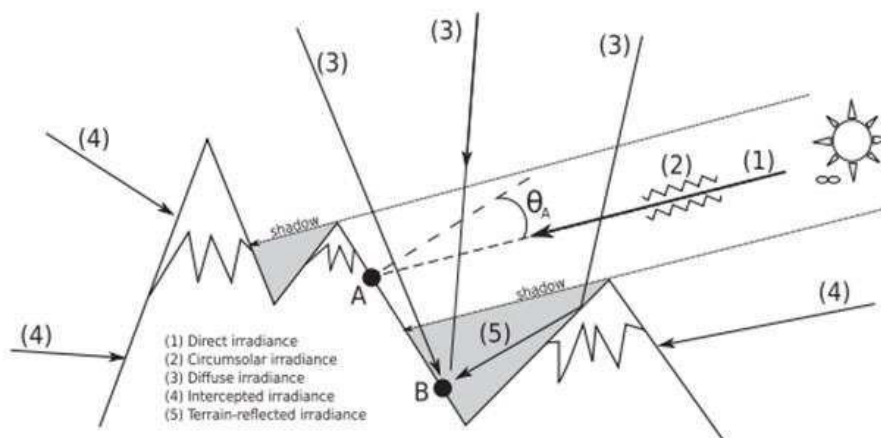
도면5



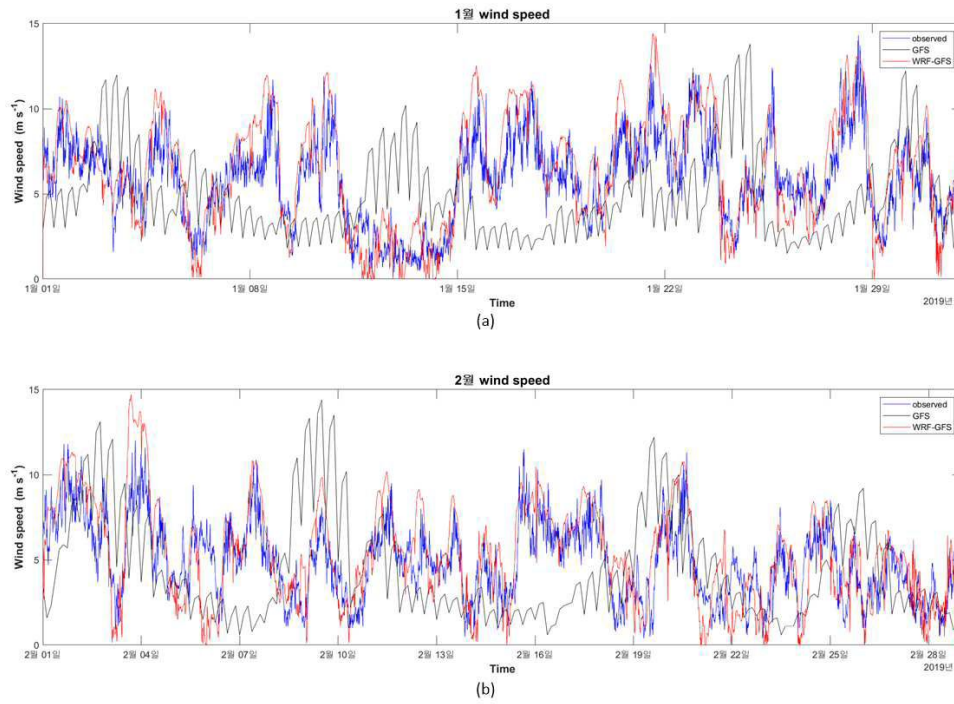
도면6



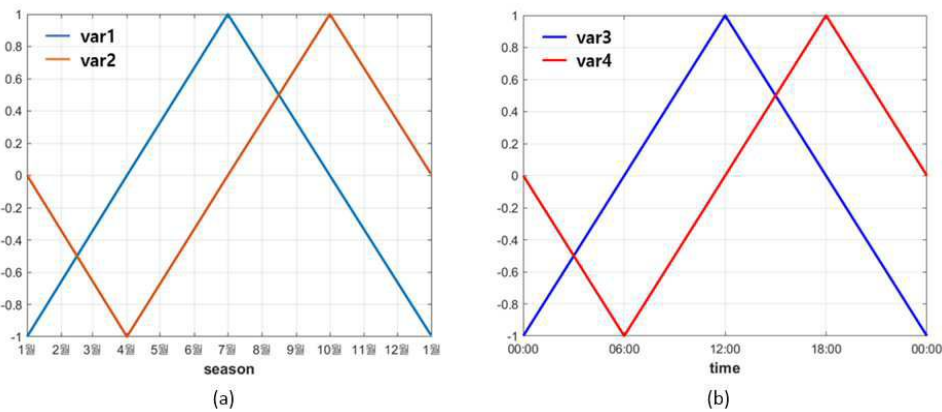
도면7



도면8



도면9



도면10

	시간변수				풍속 데이터 [m/s]		
	Var1	Var2	Var3	Var4	고해상도 예보 데이터	나셀 데이터	AWS 데이터
2021/01/01/ 00:00	-1.0000	0	-1.0000	0	4.7074	7.5000	3.7000
2021/01/01/ 00:10	-1.0000	0	-0.9722	-0.0278	5.7723	7.2000	4.3000
2021/01/01/ 00:20	-1.0000	0	-0.9444	-0.0556	5.8464	7.1000	3.8000

도면11

