



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0080459
(43) 공개일자 2024년06월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01W 1/06 (2006.01) G01C 5/00 (2006.01)
G01W 1/00 (2006.01) G01W 1/08 (2006.01)
G01W 1/10 (2006.01) G06F 17/10 (2006.01)
G06Q 50/26 (2024.01)

(52) CPC특허분류

G01W 1/06 (2013.01)
G01C 5/00 (2019.08)

(21) 출원번호 10-2022-0163836

(22) 출원일자 2022년11월30일

심사청구일자 2022년11월30일

(71) 출원인

대한민국(기상청 국립기상과학원장)
제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33, 1층 (서호동)
국립부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)

(72) 발명자

권병혁
부산광역시 남구 용소로 45(대연동, 부경대학교 환경대기과학과)
김민성
제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33(서호동, 국립기상과학원)
(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인(유한) 대아

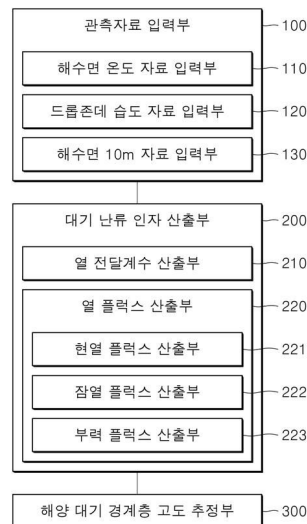
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 한반도 주변 바다에서의 드롭존데 기반 관측 자료를 이용한 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 장치와 이를 이용한 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 방법

(57) 요약

본 발명은 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 장치와 방법에 대한 것으로서, 특히 한반도 주변 바다에서의 드롭존데 기반 관측 자료를 이용한 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 장치와 방법에 관한 것이다. 본 발명은 국내 최초로 기상 항공기를 이용하여 드롭존데 자료를 관측하고 이를 통해 열 전달계수 및 열 플럭스를 산출함으로써 해양 대기 경계층 고도를 보다 정확하게 추정할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01W 1/08 (2013.01)
G01W 1/10 (2013.01)
G06F 17/10 (2013.01)
G06Q 50/26 (2024.01)
G01W 2001/003 (2013.01)
G01W 2201/00 (2013.01)

(72) 발명자

구태영

제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33(서호동, 국립기상과학원)

정승필

제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33(서호동, 국립기상과학원)

강덕두

제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33(서호동, 국립기상과학원)

한승범

제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33(서호동, 국립기상과학원)

이광재

제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33(서호동, 국립기상과학원)

강명훈

제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33(서호동, 국립기상과학원)

명세서

청구범위

청구항 1

해수면 온도 자료와 드롭존데 습도 자료, 해수면 10m 높이에서 측정된 기온 자료와 습도 자료 및 풍속 자료를 포함하는 관측자료를 입력받는 관측자료 입력부와,

상기 관측자료를 기반으로 열 전달계수를 산출하고, 산출된 열 전달계수로 열 플럭스를 산출하는 대기 난류 인자 산출부, 및

상기 열 플럭스와 해양 대기 경계층 고도와 산포도를 기반으로 해양 대기 경계층 고도를 추정하는 해양 대기 경계층 고도 추정부를 포함하는 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 대기 난류 인자 산출부는, 열 전달계수를 산출하는 열 전달계수 산출부와, 열 전달계수를 기반으로 총체 전달 방법으로 열 플럭스를 산출하는 열 플럭스 산출부를 포함하고,

상기 열 플럭스 산출부는, 현열 플럭스를 산출하는 현열 플럭스 산출부와, 잠열 플럭스를 산출하는 잠열 플럭스 산출부, 및 현열 플럭스와 잠열 플럭스로 부력 플럭스를 산출하는 부력 플럭스 산출부를 포함하는 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

$$h = 4.5f + 320.6524$$

상기 해양 대기 경계층 고도 추정부에서 추정된 상기 해양 대기 경계층 고도()는 ,

f

상기 는 부력 플럭스인 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 장치..

청구항 4

제3항에 있어서,

$$dBF = dSHF + 0.07dLHF$$

상기 부력 플럭스()는 ,

$$dLHF = \rho L_v c_h u_r (q_0 - q_r)$$

상기 는 잠열 플럭스로서, ,

$$dSHF = \rho c_p c_h u_r (t_0 - t_r)$$

상기 는 현열 플럭스로서, ,

ρ

상기 ρ 는 공기의 밀도로서 1.25kgm^{-3} ,

u_r

상기 u_r 은 관측 기준 높이 10m에서 측정된 풍속(ms^{-1}),

c_p

상기 c_p 는 정압 비열로서 $1004\text{JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$,

t_0

상기 t_0 는 해수면 온도,

t_r

상기 t_r 은 드롭존데 10m 높이에서 측정된 기온,

L_v

상기 L_v 는 기화열,

q_0

상기 q_0 는 드롭존데 해수면 근처에서 측정된 습도 자료,

q_r

상기 q_r 은 드롭존데 10m 높이에서 측정된 습도인 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 장치..

청구항 5

제4항에 있어서,

c_h

상기 잠열 플럭스 산출부와 상기 현열 플럭스 산출부는 열 전달 계수()를 이용하여 총체 전달 방법으로 잠열

$dLHF$

$dSHF$

플럭스()와 현열 플럭스()를 각각 산출하며,

c_h

상기 열 전달 계수()는,

$$c_h = k^2 \left[\ln \left(\frac{z_r}{z_{\text{rough}}} \right) - \psi_m \left(\frac{z_r}{L} \right) \right]^{-1} \left[\ln \left(\frac{z_r}{z_{\text{rough}}} \right) - \psi_h \left(\frac{z_r}{L} \right) \right]^{-1}$$

이고,

k

상기 k 는 본-카르만 상수로서 0.4,

z_r

상기 z_r 은 관측 기준 높이로서 10m,

z_{rough}

상기 z_{rough} 는 거칠기 길이로서 해상에서의 값 0.00001,

$$\psi_m$$

상기 는 운동량 플럭스에 대한 안정도 보정 함수,

$$\psi_h$$

상기 는 현열 플럭스에 대한 안정도 보정 함수,

$$\psi_e$$

상기 는 잠열 플럭스에 대한 안정도 보정 함수,

$$\psi_m = \psi_h = \psi_e = -\frac{5(z_r)}{L}, \frac{z_r}{L} \geq 0$$

상기 ,

$$\psi_m = \ln \left[\left(\frac{1+x^2}{2} \right) \left(\frac{1+x}{2} \right)^2 \right] - 2 \tan^{-1} x + \frac{\pi}{2}, \frac{z_r}{L} < 0$$

상기 ,

$$\psi_h = \psi_e = 2 \ln \left(\frac{1+x^2}{2} \right), \frac{z_r}{L} < 0$$

상기 ,

$$x = \left(1 - 15 \left(\frac{z_r}{L} \right) \right)^{0.25}$$

상기 는 ,

$$L = \frac{-u_r^3 \rho_a T_{av}}{\text{kg} \left[\frac{dSHF}{c_p} + 0.61 \frac{(T_a + 273.16) dLHF}{L_v} \right]}$$

상기 은 모닝-오브코프 길이로서 ,

$$g$$

상기 는 중력 가속도(ms^{-2})

$$T_{av}$$

상기 는 해수면 가운데(K),

$$T_a$$

상기 는 드롭존데 10m 높이에서의 기온($^{\circ}\text{C}$),

$$u_* = \frac{k(u_r - u_0)}{\ln \left(\frac{z_r}{z_{rough}} \right) - \psi_m \left(\frac{z_r}{L} \right)}$$

상기 는 마찰 속도(ms^{-1})로서

인 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정

장치..

청구항 6

관측자료 입력부가 해수면 온도 자료와 드롭존데 습도 자료, 해수 10m 높이에서 측정된 기온 자료와 습도 자료 및 풍속 자료를 포함하는 관측자료를 입력받는 단계와,

상기 관측자료를 기반으로 대기 난류 인자 산출부가 열 전달계수를 산출하고, 산출된 열 전달계수로 열 플럭스를 산출하는 단계, 및

상기 열 플럭스와 해양 대기 경계층 고도와의 산포도를 기반으로 해양 대기 경계층 고도 추정부가 해양 대기 경계층 고도를 추정하는 단계를 포함하는 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 관측자료를 기반으로 대기 난류 인자 산출부가 열 전달계수를 산출하고, 산출된 열 전달계수로 열 플럭스를 산출하는 단계는, 열 전달계수 산출부가 열 전달계수를 산출하는 단계와, 상기 열 전달계수를 기반으로 열 플럭스 산출부가 총체 전달 방법으로 열 플럭스를 산출하는 단계를 포함하고,

상기 열 전달계수를 기반으로 열 플럭스 산출부가 총체 전달 방법으로 열 플럭스를 산출하는 단계는, 현열 플럭스 산출부가 현열 플럭스를 산출하는 단계와, 잠열 플럭스 산출부가 잠열 플럭스를 산출하는 단계, 및 부력 플럭스 산출부가 현열 플럭스와 잠열 플럭스로 부력 플럭스를 산출하는 단계를 포함하는 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

$$h = 4.5f + 320.6524$$

상기 해양 대기 경계층 고도 추정부에서 추정된 상기 해양 대기 경계층 고도()는

f

상기 는 부력 플럭스인 열 플럭스 산출 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

$$dBF = dSHF + 0.07dLHF$$

상기 부력 플럭스()는

이고,

$$dLHF = \rho L_v c_h u_r (q_0 - q_r)$$

상기 는 잠열 플럭스로서,

이며,

$$dSHF = \rho c_p c_h u_r (t_0 - t_r)$$

상기 는 현열 플럭스로서,

이고,

ρ

상기 는 공기의 밀도로서 1.25kgm^{-3} ,

u_r

상기 은 관측 기준 높이 10m에서 측정한 풍속(ms^{-1}),

c_p

상기 는 정압 비열로서 $1004\text{JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$,

t_0

상기 는 해수면 온도,

t_r

상기 은 드롭존데 10m 높이에서 측정한 기온,

L_v

상기 는 기화열,

q_0

상기 는 드롭존데 해수면 근처에서 측정된 습도 자료,

q_r

상기 은 드롭존데 10m 높이에서 측정된 습도인 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

c_h

상기 잠열 플럭스 산출부와 상기 현열 플럭스 산출부는 열 전달 계수()를 이용하여 총체 전달 방법으로 잠열

$dLHF$

$dSHF$

플럭스()와 현열 플럭스()를 각각 산출하며,

c_h

상기 열 전달 계수()는,

$$c_h = k^2 \left[\ln \left(\frac{z_r}{z_{rough}} \right) - \psi_m \left(\frac{z_r}{L} \right) \right]^{-1} \left[\ln \left(\frac{z_r}{z_{rough}} \right) - \psi_h \left(\frac{z_r}{L} \right) \right]^{-1}$$

이고,

k

상기 는 본-카르만 상수로서 0.4,

z_r

상기 은 관측 기준 높이로서 10m,

z_{rough}

상기 는 거칠기 길이로서 해상에서의 값 0.00001,

ψ_m

상기 는 운동량 플럭스에 대한 안정도 보정 함수,

ψ_h

상기 는 현열 플럭스에 대한 안정도 보정 함수,

ψ_e

상기 는 잠열 플럭스에 대한 안정도 보정 함수,

$$\psi_m = \psi_h = \psi_e = -\frac{5(z_r)}{L}, \frac{z_r}{L} \geq 0$$

상기

$$\psi_m = \ln \left[\left(\frac{1+x^2}{2} \right) \left(\frac{1+x}{2} \right)^2 \right] - 2 \tan^{-1} x + \frac{\pi}{2}, \frac{z_r}{L} < 0$$

상기

$$\psi_h = \psi_e = 2 \ln \left(\frac{1+x^2}{2} \right), \frac{z_r}{L} < 0$$

상기

$$x = \left(1 - 15 \left(\frac{z_r}{L} \right) \right)^{0.25}$$

상기 는

$$L = \frac{-u_*^3 \rho_a T_{av}}{\text{kg} \left[\frac{dSHF}{c_p} + 0.61 \frac{(T_a + 273.16) dLHF}{L_v} \right]}$$

상기 은 모닝-오브코프 길이로서

$$g$$

상기 는 중력 가속도(ms^{-2})

$$T_{av}$$

상기 는 해수면 가운데(K),

$$T_a$$

상기 는 드롭존데 10m 높이에서의 기온($^{\circ}\text{C}$),

$$u_* = \frac{k(u_r - u_0)}{\ln \left(\frac{z_r}{z_{rough}} \right) - \psi_m \left(\frac{z_r}{L} \right)}$$

상기 는 마찰 속도(ms^{-1})로서
방법.

인 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 장치와 방법에 대한 것으로서, 특히 한반도 주변 바다에서의 드롭존데 기반 관측 자료를 이용한 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 장치와 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003]

해양과 대기 사이의 에너지 교환 과정은 태양 복사 및 장파 복사의 흡수/방출 그리고 난류에 의한 열 플럭스로 구성되며, 복사에 의한 열교환과 더불어 현열 및 잠열의 플럭스 변화가 열 수지를 조절하는데 있어 상당한 중요성을 갖는다(Hong et al., 2005). 해양에서의 현열과 잠열에 의한 플럭스는 대기와 해수면의 에너지 및 물질이 교환되는 난류를 직접 관측해서 측정하는 에디 공분산 방법을 통해 구해질 수 있다(Businger, 1986; Kaimal and Finnigan, 1994). 그러나, 해상에서의 열 플럭스 직접 관측은 기상 관측선이나 이어도 해양 관측 기지와 같은

특정 지점에서 수행되기 때문에 시공간적으로 관측에 한계가 있다(Gleckler and Weare, 1997). 직접적으로 열 플럭스를 관측하는 방법 이외에 총체 전달 방법을 이용하여 간접적으로 계산하는 방법이 있으며(Pond et al., 1974; Schulz et al., 1997), 이때 해상에서의 대기-해양 기상 조건(해수면 온도, 기온, 풍속, 습도 등)의 측정 값을 이용하게 된다. 해상에서의 열 플럭스는 위험 기상 현상인 태풍의 에너지원이며 이러한 태풍의 강도 및 진로를 예측하는 수치 모델의 입력 자료로 활용될 수 있다. 하지만, 기존에는 이러한 관측 공백 지역 중 하나인 해상에서의 열 플럭스를 산출하지 못하는 문제가 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국등록특허공보 제10-2200282호(2021.01.07 공고)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목적은 국내에 처음으로 도입한 기상 항공기 기반으로 수행한 드롭존데 관측 자료를 이용하여 관측 공백 지역인 해상에서의 열 플럭스를 산출할 수 있는 방법과 이를 이용한 해양대기경계층 고도를 추정하는 방법을 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명의 목적은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 본 발명의 다른 목적 및 장점들은 하기의 설명에 의해서 이해될 수 있고, 본 발명의 실시예에 의해 보다 분명하게 이해될 것이다. 또한, 본 발명의 목적 및 장점들은 특허 청구 범위에 나타난 수단 및 그 조합에 의해 실현될 수 있음을 쉽게 알 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명에 따른 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 장치는, 해수면 온도 자료와 드롭존데 습도 자료, 해수면 10m 높이에서 측정된 기온 자료와 습도 자료 및 풍속 자료를 포함하는 관측자료를 입력받는 관측자료 입력부와, 관측자료를 기반으로 열 전달계수를 산출하고, 산출된 열 전달계수로 열 플럭스를 산출하는 대기 난류 인자 산출부, 및 열 플럭스와 해양 대기 경계층 고도와의 산포도를 기반으로 해양 대기 경계층 고도를 추정하는 해양 대기 경계층 고도 추정부를 포함한다.

[0009] 대기 난류 인자 산출부는, 열 전달계수를 산출하는 열 전달계수 산출부와, 열 전달계수를 기반으로 총체 전달 방법으로 열 플럭스를 산출하는 열 플럭스 산출부를 포함하고, 열 플럭스 산출부는, 현열 플럭스를 산출하는 현열 플럭스 산출부와, 잠열 플럭스를 산출하는 잠열 플럭스 산출부, 및 현열 플럭스와 잠열 플럭스로 부력 플럭스를 산출하는 부력 플럭스 산출부를 포함한다.

[0010] 또한, 본 발명에 따른 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 방법은, 관측자료 입력부가 해수면 온도 자료와 드롭존데 습도 자료, 해수 10m 높이에서 측정된 기온 자료와 습도 자료 및 풍속 자료를 포함하는 관측자료를 입력받는 단계와, 관측자료를 기반으로 대기 난류 인자 산출부가 열 전달계수를 산출하고, 산출된 열 전달계수로 열 플럭스를 산출하는 단계, 및 열 플럭스와 해양 대기 경계층 고도와의 산포도를 기반으로 해양 대기 경계층 고도 추정부가 해양 대기 경계층 고도를 추정하는 단계를 포함한다.

[0011] 관측자료를 기반으로 대기 난류 인자 산출부가 열 전달계수를 산출하고, 산출된 열 전달계수로 열 플럭스를 산출하는 단계는, 열 전달계수 산출부가 열 전달계수를 산출하는 단계와, 열 전달계수를 기반으로 열 플럭스 산출부가 총체 전달 방법으로 열 플럭스를 산출하는 단계를 포함하고, 열 전달계수를 기반으로 열 플럭스 산출부가 총체 전달 방법으로 열 플럭스를 산출하는 단계는, 현열 플럭스 산출부가 현열 플럭스를 산출하는 단계와, 잠열 플럭스 산출부가 잠열 플럭스를 산출하는 단계, 및 부력 플럭스 산출부가 현열 플럭스와 잠열 플럭스로 부력 플럭스를 산출하는 단계를 포함한다.

$$h = 4.5f + 320.6524$$

[0012] 여기서, 해양 대기 경계층 고도 추정부에서 추정된 해양 대기 경계층 고도()는 f 이며, f 는 부력 플럭스이다.

[0013] dBF $dBF = dSHF + 0.07dLHF$ $dLHF$ 부력 플럭스()는 이고, 는 잠열 플럭스로서, $dLHF = \rho L_v c_h u_r (q_0 - q_r)$ $dSHF = \rho c_p c_h u_r (t_0 - t_r)$ ρ 이며, 는 현열 플럭스로서, 이고, 는 공기 u_r c_p 의 밀도로서 1.25kgm^{-3} , 은 관측 기준 높이 10m에서 측정한 풍속(ms^{-1}), 는 정압 비열로서 $1004 \text{JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$, t_0 t_r L_v q_0 는 해수면 온도, 은 드롭존데 10m 높이에서 측정한 기온, 는 기화열, 는 드롭존데 해수면 근처에서 측 q_r 정된 습도 자료, 은 드롭존데 10m 높이에서 측정된 습도이다.

[0014] c_h 잠열 플럭스 산출부와 현열 플럭스 산출부는 열 전달 계수()를 이용하여 총체 전달 방법으로 잠열 플럭스 $dLHF$ $dSHF$ c_h ()와 현열 플럭스()를 각각 산출하며, 열 전달 계수()는,

$$c_h = k^2 \left[\ln \left(\frac{z_r}{z_{\text{rough}}} \right) - \psi_m \left(\frac{z_r}{L} \right) \right]^{-1} \left[\ln \left(\frac{z_r}{z_{\text{rough}}} \right) - \psi_h \left(\frac{z_r}{L} \right) \right]^{-1}$$

[0015] 이고,

$$k \quad z_r \quad z_{\text{rough}}$$

[0016] 는 본-카르만 상수로서 0.4, 은 관측 기준 높이로서 10m, 는 거칠기 길이로서 해상에서의 값 ψ_m ψ_h ψ_e 0.00001, 는 운동량 플럭스에 대한 안정도 보정 함수, 는 현열 플럭스에 대한 안정도 보정 함수, 는

$$\psi_m = \psi_h = \psi_e = -\frac{5(z_r)}{L}, \frac{z_r}{L} \geq 0$$

잠열 플럭스에 대한 안정도 보정 함수, ,

$$\psi_m = \ln \left[\left(\frac{1+x^2}{2} \right) \left(\frac{1+x}{2} \right)^2 \right] - 2 \tan^{-1} x + \frac{\pi}{2}, \frac{z_r}{L} < 0$$

[0017] ,

$$\psi_h = \psi_e = 2 \ln \left(\frac{1+x^2}{2} \right), \frac{z_r}{L} < 0$$

[0018] ,

$$x \quad \left(1 - 15 \left(\frac{z_r}{L} \right) \right)^{0.25} \quad L = \frac{-u_*^3 \rho_a T_{av}}{\text{kg} \left[\frac{dSHF}{c_p} + 0.61 \frac{(T_a + 273.16) dLHF}{L_v} \right]} \quad g$$

[0019] 는 , 은 모닝-오브코프 길이로서 , 는 중력 가속도(ms^{-2}), T_{av} T_a u_* 는 해수면 가온도(K), 는 드롭존데 10m 높이에서의 기온($^{\circ}\text{C}$), 는 마찰 속도(ms^{-1})로서

$$u_* = \frac{k(u_r - u_0)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_{rough}}\right) - \psi_m\left(\frac{z_r}{L}\right)}$$

이다.

발명의 효과

[0020] 본 발명에 따른 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 장치 및 방법은 국내 최초로 기상 항공기를 이용하여 드롭존데 자료를 관측하고 이를 통해 열 전달계수 및 열 플럭스를 산출함으로써 해양 대기 경계층 고도를 보다 정확하게 추정할 수 있다.

[0021] 상술한 효과와 더불어 본 발명의 구체적인 효과는 이하 발명을 실시하기 위한 구체적인 사항을 설명하면서 함께 기술한다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 본 발명에 따른 한반도 주변 바다에서의 드롭존데 기반 관측 자료를 이용한 열 플럭스 산출 장치의 개념도이다.

도 2는 2021년에 수행된 드롭존데 관측 시간(253회)에 기상청이 한반도 주변 바다에서 운영하고 있는 15개의 해양 기상 부이의 해수면 온도 자료(SST_buoy)와 미국 해양대기청의 해수면 온도 자료(OISST)에서 각 해양 기상 부이에 가장 근접한 지점을 추출한 해수면 온도(SST_OISST) 간의 산포도를 나타낸 것이다.

도 3은 2021년 2월 3일의 일 평균 해수면 온도(OISST) 분포를 나타낸 것이다.

도 4는 미국 해양 대기청에서 제공하는 현열 플럭스(nSHF) 분포(왼쪽)와 잠열 플럭스(LHF) 분포(오른쪽)를 나타낸 것이다.

도 4는 미국 해양 대기청에서 제공하는 2021년 2월 3일 15시의 현열 플럭스(nSHF) 분포(왼쪽)와 잠열 플럭스(LHF) 분포(오른쪽)를 나타낸 것이다.

도 5는 미국 해양 대기청에서 제공하는 2021년 8월 2일 15시의 현열 플럭스(nSHF) 분포(왼쪽)와 잠열 플럭스(LHF) 분포(오른쪽)를 나타낸 것이다.

도 6은 대기 난류 인자 산출 시스템에서 2021년에 수행된 253회의 드롭존데 10m 근처 높이에서 관측된 풍속과 기온 그리고 해수면 온도를 이용하여 (수학적 1에 따라) 대기 안정도 변화에 따른 열 전달계수(ch) 변화를 나타낸 것이다.

도 7은 본 발명에서 열 전달계수(ch)를 총체전달방법에 적용하여 추정된 현열 플럭스(dSHF)와 미국 해양 대기청의 현열 플럭스(nSHF)간의 산포도(왼쪽)와, 잠열 플럭스(dLHF)와 미국 해양 대기청의 잠열 플럭스(nLHF)간의 산포도(오른쪽)를 나타낸 것이다.

도 8은 대기 난류 인자 산출 시스템에서 2021년에 수행된 253회의 드롭존데 10m 근처 높이에서 관측된 풍속, 기온, 해수면 온도 그리고 대기 안정도 변화를 고려한 열 전달계수(ch)를 총체전달방법에 적용하여 추정된 현열 플럭스(dSHF)와 드롭존데 10m 근처 높이에서 관측된 기온과 해수면 온도 차이간(ΔT)의 산포도를 나타낸 것이다.

도 9는 대기 난류 인자 산출 시스템에서 2021년에 수행된 253회의 드롭존데 10m 근처 높이에서 관측된 풍속, 기온, 해수면 온도 그리고 대기 안정도 변화를 고려한 열 전달계수(ch)를 총체전달방법에 적용하여 추정된 잠열 플럭스(dLHF)와 드롭존데 10m 근처 높이에서 관측된 습도와 해수면 근처에서 관측된 습도 차이간(ΔQ)의 산포도를 나타낸 것이다.

도 10은 대기 난류 인자 산출 시스템에서 2021년에 수행된 253회의 드롭존데 10m 근처 높이에서 관측된 풍속, 기온, 해수면 온도 그리고 대기 안정도 변화를 고려한 열 전달계수(ch)를 총체전달방법에 적용하여 추정된 현열 플럭스(dSHF), 잠열 플럭스(dLHF)와 드롭존데 10m 근처 높이에서 관측된 풍속 간의 산포도를 나타낸 것이다.

도 11은 연직 가온위 프로파일(검정색 실선)과 혼합비 프로파일(회색 파선)을 나타낸 것이다.

도 12는 부력 플렉스(dBF)와 해양 대기 경계층(MABL) 고도와 산포도를 나타낸 것이다.

도 13은 본 발명에 따른 열 플렉스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 방법의 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 전술한 목적, 특징 및 장점은 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 후술되며, 이에 따라 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있을 것이다. 본 발명을 설명함에 있어서 본 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 상세한 설명을 생략한다. 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 도면에서 동일한 참조부호는 동일 또는 유사한 구성요소를 가리키는 것으로 사용된다.
- [0024] 비록 제1, 제2등이 다양한 구성요소들을 서술하기 위해서 사용되나, 이들 구성요소들은 이들 용어에 의해 제한되지 않음은 물론이다. 이들 용어들은 단지 하나의 구성요소를 다른 구성요소와 구별하기 위하여 사용하는 것으로, 특별히 반대되는 기재가 없는 한, 제1구성요소는 제2구성요소일 수도 있음은 물론이다.
- [0025] 명세서 전체에서, 특별히 반대되는 기재가 없는 한, 각 구성요소는 단수일 수도 있고 복수일 수도 있다.
- [0026] 이하에서 구성요소의 "상부 (또는 하부)" 또는 구성요소의 "상 (또는 하)"에 임의의 구성이 배치된다는 것은, 임의의 구성이 상기 구성요소의 상면 (또는 하면)에 접하여 배치되는 것뿐만 아니라, 상기 구성요소와 상기 구성요소 상에 (또는 하에) 배치된 임의의 구성 사이에 다른 구성이 개재될 수 있음을 의미할 수 있다.
- [0027] 또한 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결", "결합" 또는 "접속"된다고 기재된 경우, 상기 구성요소들은 서로 직접적으로 연결되거나 또는 접속될 수 있지만, 각 구성요소 사이에 다른 구성요소가 "개재"되거나, 각 구성요소가 다른 구성요소를 통해 "연결", "결합" 또는 "접속"될 수도 있는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0028] 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다.
- [0029] 또한, 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다.
- [0030] 명세서 전체에서, "A 및/또는 B" 라고 할 때, 이는 특별한 반대되는 기재가 없는 한, A, B 또는 A 및 B를 의미하며, "C 내지 D" 라고 할 때, 이는 특별한 반대되는 기재가 없는 한, C 이상이고 D 이하인 것을 의미한다.
- [0031] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부한 도면을 참조로 하여 설명한다.
- [0032] 도 1은 본 발명에 따른 한반도 주변 바다에서의 드롭존데 기반 관측 자료를 이용한 열 플렉스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 장치의 개념도이다.
- [0033] 본 발명에 따른 한반도 주변 바다에서의 드롭존데 기반 관측 자료를 이용한 열 플렉스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 장치는 도 1에 도시된 바와 같이, 관측 자료를 입력 받는 관측자료 입력부(100)와, 관측자료를 입력 값으로 하여 총체전달방법으로 결정된 열 전달계수와 열 플렉스를 포함하는 대기 난류 인자를 산출하는 대기 난류 인자 산출부(200), 및 열 플렉스를 기반으로 해양 대기 경계층 고도를 추정하는 해양 대기 경계층 고도 추정부(300)를 포함한다.
- [0034] 관측자료 입력부(100)는 드롭존데에 의해 측정된 10m 근처의 기온과 습도, 풍속 및 해수면 온도(OISST)를 포함하는 관측자료를 입력받는다. 드롭존데 관측 자료를 총체 전달 방법에 적용하여 현열 플렉스와 잠열 플렉스를 산출하기 위해서는 해수면 온도 자료와 해수면 높이 근처에서 측정된 드롭존데 습도 자료, 해수면으로부터 10m 높이 근처에서 측정된 기온, 해수면으로부터 10m 높이 근처에서 측정된 습도 자료, 및 해수면으로부터 10m 높이에서 측정된 풍속 자료가 필요하다. 따라서, 관측자료 입력부(100)는, 해수면 온도 자료를 입력받는 해수면 온도 자료 입력부와, 드롭존데 습도 자료를 입력받는 드롭존데 습도 자료 입력부(120), 해수면으로부터 10m 높이

근처에서 측정한 기온과 습도 및 풍속 자료를 입력받는 해수면 10m 자료 입력부(130)를 포함한다. 여기서, 본 실시예는 2021년에 한반도 주변 바다에서 기상청 기상항공기 고도부터 해수면 고도까지 낙하하면서 측정한 254개의 바이살라(Vaisala)의 드롭존데(RD-94) 관측자료, 미국 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)에서 제공하는 해수면 온도 자료(Optimal Interpolation Sea Surface Temperature, OISST)를 이용하는 것을 예시한다.

[0035] 대기 난류 인자 산출부(200)는 관측자료 입력부(100)가 입력받은 관측자료를 기반으로 대기 난류 인자를 산출한다. 이를 위해서, 대기 난류 인자 산출부(200)는 열 전달계수를 산출하는 열 전달계수 산출부(210)와, 열 전달계수를 기반으로 열 플럭스를 산출하는 열 플럭스 산출부(220)를 포함한다.

[0036] 열 전달계수 산출부(210)는 관측자료 입력부(100)가 입력받은 관측자료를 기반으로 열 전달계수를 산출한다. 열

$$C_h$$

전달계수 산출부(210)에서 산출되는 열 전달계수()는 아래의 수학식 1과 같다.

수학식 1

$$C_h = k^2 \left[\ln \left(\frac{z_r}{z_{rough}} \right) - \psi_m \left(\frac{z_r}{L} \right) \right]^{-1} \left[\ln \left(\frac{z_r}{z_{rough}} \right) - \psi_h \left(\frac{z_r}{L} \right) \right]^{-1}$$

[0037]

$$k(=0.4)$$

$$z_r$$

$$z_{rough}$$

[0038] 수학식 1에서, 는 본-카르만 상수, 은 관측 기준 높이(10 m), 는 거칠기 길이이며 해상에서

$$C_h$$

의 값(=0.00001)을 적용하였다. 본 발명은 반복법을 이용하여 열 전달계수()를 산출하였고, 이를 열 플럭스

$$\psi_m, \psi_h, \psi_e$$

산출에 적용하였다. , 는 각각 운동량 플럭스, 현열 플럭스 그리고 잠열 플럭스에 대한 안정도 보정 함수로써, 안정도에 따라 다음의 수학식 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$\frac{z_r}{L} \geq 0, \psi_m = \psi_h = \psi_e = -\frac{5(z_r)}{L}$$

[0039]

$$\frac{z_r}{L} < 0, \psi_m = \ln \left[\left(\frac{1+x^2}{2} \right) \left(\frac{1+x}{2} \right)^2 \right] - 2 \tan^{-1} x + \frac{\pi}{2}$$

[0040]

$$\frac{z_r}{L} < 0, \psi_h = \psi_e = 2 \ln \left(\frac{1+x^2}{2} \right)$$

[0041]

$$x \left(1 - 15 \left(\frac{z_r}{L} \right) \right)^{0.25} L$$

[0042] 수학식 2에서, 는 이다. 모닝-오브코프 길이 은 아래의 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$L = \frac{-u_*^3 \rho_a T_{av}}{kg \left[\frac{dSHF}{c_p} + 0.61 \frac{(T_a + 273.16) dLHF}{L_v} \right]}$$

[0043]

수학식 3에서, $k(=0.4)$ 는 본-카르만 상수이며, g 는 중력 가속도(ms^{-2}), T_{av} 는 해수면 가온도(K), T_a 는 10m 근처 높이에서의 기온($^{\circ}\text{C}$), u_* 는 마찰 속도(ms^{-1})로 아래의 수학식 4와 같고, $dSHF$ 는 총체 전달 방법으로 산출한 현열 플럭스(Wm^{-2}), $dLHF$ 는 총체 전달 방법으로 산출한 잠열 플럭스(Wm^{-2})이다.

수학식 4

$$u_* = \frac{k(u_r - u_0)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_{rough}}\right) - \psi_m\left(\frac{z_r}{L}\right)}$$

[0045]

열 플럭스 산출부(220)는 열 전달계수를 기반으로 하되 총체 전달 방법으로 열 플럭스를 산출한다. 이를 위해서, 열 플럭스 산출부(220)는 현열 플럭스 산출부(221)와, 잠열 플럭스 산출부(222), 및 부력 플럭스 산출부(223)를 포함한다.

현열 플럭스 산출부(221)은 열 전달 계수(c_h)를 이용하여 총체 전달 방법으로 현열 플럭스($dSHF$)를 산출하며 아래의 수학식 5와 같다.

수학식 5

$$dSHF = \rho c_p c_h u_r (t_0 - t_r)$$

[0048]

수학식 5에서, ρ 는 공기의 밀도($=1.25\text{kgm}^{-3}$)이며, u_r 은 관측 기준 높이 10m에서 측정된 풍속(ms^{-1})이다. 또한 c_p ($=1004 \text{ JK}^{-1} \text{ kg}^{-1}$)는 정압 비열, t_0 는 해수면 온도, t_r 은 드롭존데 10m 근처 높이에서 측정된 기온이다.

잠열 플럭스 산출부(222)는 열 전달 계수(c_h)를 이용하여 총체 전달 방법으로 잠열 플럭스($dLHF$)를 산출한다. 이는 아래의 수학식 6과 같다.

수학식 6

$$dLHF = \rho L_v c_h u_r (q_0 - q_r)$$

[0051]

[0052]

수학식 6에서, ρ 는 공기의 밀도($=1.25\text{kgm}^{-3}$)이며, u_r 은 관측 기준 높이 10m에서 측정된 풍속(ms^{-1})이다. 상기 L_v q_0 q_r 는 기화열, 상기 q_0 는 드롭존데 해수면 근처에서 측정된 습도 자료, 상기 q_r 은 드롭존데 10m 근처에서 측정된 습도이다.

[0053]

부력 플럭스 산출부(223)는 현열 플럭스와 잠열 플럭스를 이용하여 부력 플럭스(dBF)를 산출한다. 이는 아래의 수학식 7과 같다.

수학식 7

$$dBF = dSHF + 0.07dLHF$$

[0054]

[0055]

본 발명은 드롭존데 관측자료와 해수면 온도 자료를 총체 전달 방법에 입력 자료로 적용하여 수학식 1에서 수학식 7을 반복적으로 수행한다. 중립 안정도를 고려한 마찰 속도, 열 플럭스, 모닌-오브코프 길이, 열 전달 계수 L_{n-1} L_n 는 인접 모닌-오브코프 길이 L_{n-1} 와 L_n 의 차이 비율이 1% 미만일 때까지 반복 연산한다.

[0056]

해양 대기 경계층 고도 추정부(300)는 부력 플럭스 산출부(223)에서 산출된 부력 플럭스와 해양 대기 경계층 고도와 산포도를 기반으로 부력 플럭스와 해양 대기 경계층 고도의 관계를 산출하고, 이를 통해 해양 대기 경계층 고도를 추정한다. 여기서, 해양 대기 경계층(h)과 부력 플럭스(dBF)와의 관계식은 아래의 수학식 8과 같다.

수학식 8

$$h = 4.5f + 320.6524$$

[0057]

[0059]

다음은 본 발명에 따른 한반도 주변 바다에서의 드롭존데 기반 관측 자료를 이용한 열 플럭스 산출 장치의 성능을 검증하였다.

[0060]

도 2는 2021년에 수행된 드롭존데 관측 시간(253회)에 기상청이 한반도 주변 바다에서 운영하고 있는 15개의 해양 기상 부이의 해수면 온도 자료(SST_buoy)와 미국 해양대기청의 해수면 온도 자료(OISST)에서 각 해양 기상 부이에 가장 근접한 지점을 추출한 해수면 온도(SST_OISST) 간의 산포도를 나타낸 것이다. 각각의 기상청 해양 기상 부이 자료는 품질 관리 기술이 적용되어 이상치가 제거된 자료이며 시간 해상도는 1시간이다. 미국 해양대기청의 해수면 온도(SST_OISST)를 해양 기상 부이의 해수면 온도 자료(SST_buoy)와 통계적 방법(상관 계수, 평균 제공근 오차, 평균 편이)을 이용하여 정량적 비교 평가하였다.

[0061] 전술된 통계적 방법 중 상관 계수는 아래의 수학적식 9와 같다.

수학적식 9

$$\text{상관 계수(Correlation Coefficient, CC)} = \frac{\sum_{i=1}^N (\text{Var1}(i) - \overline{\text{Var1}})(\text{Var2}(i) - \overline{\text{Var2}})}{\{(N-1)\sqrt{(\text{Var1}(i) - \overline{\text{Var1}})^2} \sqrt{(\text{Var2}(i) - \overline{\text{Var2}})^2}\}}$$

[0062]

[0063] 수학적식 9에서, Var1는 미국 해양대기청의 해수면 온도(SST_OISST)가 될 수 있으며, Var2는 비교평가 대상인 해양 기상 부이의 해수면 온도 자료(SST_buoy)가 될 수 있다. N은 일치점 자료의 개수이다. Var1와 Var2는 해수면 온도 자료뿐만 아니라 특정 다른 변수가 적용될 수 있다.

[0064] 전술된 통계적 방법 중 평균 제곱근 편차는 아래의 수학적식 10과 같다.

수학적식 10

$$\text{평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{(\text{Var1}(i) - \text{Var2}(i))^2}$$

[0065]

[0066] 수학적식 9에서, Var1는 미국 해양대기청의 해수면 온도(SST_OISST)가 될 수 있으며 Var2는 비교평가 대상인 해양 기상 부이의 해수면 온도 자료(SST_buoy)가 될 수 있으며, N은 일치점 자료의 개수이다. 또한, 평균 편이는 아래의 수학적식 11과 같다.

수학적식 11

$$\text{평균 편이(Mean Bias, MB)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{Var1}(i) - \text{Var2}(i))$$

[0067]

[0068] 수학적식 11에서, Var1는 미국 해양대기청의 해수면 온도(SST_OISST)가 될 수 있으며 Var2는 비교평가 대상인 해양 기상 부이의 해수면 온도 자료(SST_buoy)가 될 수 있으며, N은 일치점 자료의 개수이다.

[0069] 미국 해양대기청의 해수면 온도(SST_OISST)와 해양 기상 부이의 해수면 온도 자료(SST_buoy)간의 정량적인 검증 결과로 평균 CC는 약 1.0, RMSE는 1.4℃ 그리고 MB는 -0.3℃를 보였기 때문에 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.

[0070] 도 3(왼쪽)은 2021년 2월 3일의 일 평균 해수면 온도(OISST) 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 흰색 실선은 2월 3일의 기상항공기 운항 경로를 나타낸 것이고 검정 삼각형은 2월 3일 13시 51분 41초에 드롭존데를 투하한 지점을 표시한 것이다. 드롭존데는 4,160m 고도에서 투하되었고 투하 지점에 가장 근접한 일 평균 해수면 온도(OISST)는 7.3℃이었다. 도 3(오른쪽)은 2021년 8월 2일의 일 평균 해수면 온도(OISST) 분포를 나타낸 것이다. 마찬가지로 그림에서 흰색 실선은 8월 2일의 기상항공기 운항 경로를 나타낸 것이고 검정 삼각형은 8월 2일 14시 16분 59초에 드롭존데를 투하한 지점을 표시한 것이다. 드롭존데는 약 4,412m 고도에서 투하되었고 투하 지점에 가장 근접한 일 평균 해수면 온도(OISST)는 26.4℃이었다. 전체적으로 해수면 온도 경도는 겨울철이 컸고 여름철이 상대적으로 작은 것을 확인할 수 있다.

[0071] 도 4는 미국 해양 대기청에서 제공하는 2021년 2월 3일 15시의 현열 플럭스(nSHF) 분포(왼쪽)와 잠열 플럭스(LHF) 분포(오른쪽)를 나타낸 것이다. 그래프에서 검은색 실선은 기상항공기 운항 경로를 나타낸 것이고 검정 삼각형은 2월 3일 14시 50분 36초에 드롭존데를 투하한 지점을 표시한 것이다. 드롭존데는 약 4,262m 고도에서 투하되었고 투하 지점에 가장 근접한 현열 플럭스는 54.8 Wm⁻²이었다. 도 3(오른쪽)은 2021년 2월 3일 15시의 잠열 플럭스(nLHF) 분포를 나타낸 것이다. 투하 지점에 가장 근접한 잠열 플럭스는 133.2 Wm⁻²이었다. 겨울철의 현

열 플럭스 경도는 잠열 플럭스 경도에 비해 작은 것을 확인할 수 있다.

- [0072] 도 5는 미국 해양 대기청에서 제공하는 2021년 8월 2일 15시의 현열 플럭스(nSHF) 분포(왼쪽)와 잠열 플럭스(LHF) 분포(오른쪽)를 나타낸 것이다. 그래프에서 검은색 실선은 기상항공기 운항 경로를 나타낸 것이고 검정 삼각형은 8월 2일 13시 56분 19초에 드롭존데를 투하한 지점을 표시한 것이다. 드롭존데는 약 4,420 m 고도에서 투하되었고 투하 지점에 가장 근접한 현열 플럭스는 1.4 Wm^{-2} 이었다. 도 3(오른쪽)은 2021년 8월 2일 15시의 잠열 플럭스(nLHF) 분포를 나타낸 것이다. 투하 지점에 가장 근접한 잠열 플럭스는 37.0 Wm^{-2} 이었다. 겨울철과 마찬가지로 여름철의 현열 플럭스 경도는 잠열 플럭스 경도에 비해 작은 것을 확인할 수 있다.
- [0073] 도 6은 대기 난류 인자 산출 시스템에서 2021년에 수행된 253회의 드롭존데 10m 근처 높이에서 관측된 풍속과 기온 그리고 해수면 온도를 이용하여 (수학적식 1에 따라) 대기 안정도 변화에 따른 열 전달계수(ch) 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 +기호는 봄철, ○ 기호는 여름철, □ 기호는 가을철, ☆기호는 겨울철 자료를 나타낸 것이다.
- [0074] 도 7은 본 발명에서 열 전달계수(ch)를 총체전달방법에 적용하여 추정된 현열 플럭스(dSHF)와 미국 해양 대기청의 현열 플럭스(nSHF)간의 산포도(왼쪽)와, 잠열 플럭스(dLHF)와 미국 해양 대기청의 잠열 플럭스(nLHF)간의 산포도(오른쪽)를 나타낸 것이다.
- [0075] 도 7 중 왼쪽 그래프는 대기 난류 인자 산출 시스템에서 2021년에 수행된 253회의 드롭존데 10m 근처 높이에서 관측된 풍속, 기온, 해수면 온도 그리고 대기 안정도 변화를 고려한 열 전달계수(ch)를 총체전달방법에 적용하여 추정된 현열 플럭스(dSHF)와 미국 해양 대기청의 현열 플럭스(nSHF)간의 산포도를 나타낸 것이다. 정량적인 검증 결과로 CC는 약 0.6, MB는 -3.9 Wm^{-2} 그리고 RMSE는 19.4 Wm^{-2} 를 보였고 이는 현열 플럭스(dSHF) 최대값의 10% 이하의 값이므로 높은 정확도를 확인할 수 있었다.
- [0076] 도 7 중 오른쪽 그래프는 대기 난류 인자 산출 시스템에서 2021년에 수행된 253회의 드롭존데 10m 근처 높이에서 관측된 풍속, 습도, 해수면 근처에서 관측된 습도 그리고 대기 안정도 변화를 고려한 열 전달계수(ch)를 총체전달방법에 적용하여 추정된 잠열 플럭스(dLHF)와 미국 해양 대기청의 잠열 플럭스(nLHF)간의 산포도를 나타낸 것이다. 정량적인 검증 결과로 CC는 약 0.7, MB는 5.0 Wm^{-2} 그리고 RMSE는 36.1 Wm^{-2} 를 보였고 이는 잠열 플럭스(dLHF) 최대값의 10% 이하의 값이므로 현열 플럭스와 마찬가지로 높은 정확도를 확인할 수 있었다.
- [0077] 도 8은 대기 난류 인자 산출 시스템에서 2021년에 수행된 253회의 드롭존데 10m 근처 높이에서 관측된 풍속, 기온, 해수면 온도 그리고 대기 안정도 변화를 고려한 열 전달계수(ch)를 총체전달방법에 적용하여 추정된 현열 플럭스(dSHF)와 드롭존데 10m 근처 높이에서 관측된 기온과 해수면 온도 차이(T)의 산포도를 나타낸 것이다. 그림에서 +기호는 봄철, ○ 기호는 여름철, □ 기호는 가을철, ☆기호는 겨울철 자료를 나타낸 것이다. 드롭존
- △
- 데 10m 근처 높이에서 관측된 기온과 해수면 온도 차이(T)가 커질수록 현열 플럭스(dSHF)가 증가하는 것을 확인할 수 있다.
- [0078] 도 9는 대기 난류 인자 산출 시스템에서 2021년에 수행된 253회의 드롭존데 10m 근처 높이에서 관측된 풍속, 기온, 해수면 온도 그리고 대기 안정도 변화를 고려한 열 전달계수(ch)를 총체전달방법에 적용하여 추정된 잠열 플럭스(dLHF)와 드롭존데 10m 근처 높이에서 관측된 습도와 해수면 근처에서 관측된 습도 차이()의 산포도를 나타낸 것이다. 그림에서 +기호는 봄철, ○ 기호는 여름철, □ 기호는 가을철, ☆기호는 겨울철 자료를 나타
- △Q
- △Q
- 낸 것이다. 드롭존데 10m 근처 높이에서 관측된 습도와 해수면 높이 근처에서 측정된 습도 차이()가 커질수록 잠열 플럭스(dLHF)가 증가하는 것을 확인할 수 있다.
- [0079] 도 10은 대기 난류 인자 산출 시스템에서 2021년에 수행된 253회의 드롭존데 10m 근처 높이에서 관측된 풍속, 기온, 해수면 온도 그리고 대기 안정도 변화를 고려한 열 전달계수(ch)를 총체전달방법에 적용하여 추정된 현열 플럭스(dSHF), 잠열 플럭스(dLHF)와 드롭존데 10m 근처 높이에서 관측된 풍속 간의 산포도를 나타낸 것이다. 풍속이 증가할수록 현열 플럭스와 잠열 플럭스는 증가하는 경향을 보였으나 상대적으로 현열 플럭스보다 잠열 플럭스의 증가 경향이 더욱 뚜렷하였다.

- [0080] 도 11은 연직 가운데위 프로파일(검정색 실선)과 혼합비 프로파일(회색 파선)을 나타낸 것이다.
- [0081] 도 11 중 왼쪽 그래프는 2021년 2월 3일 13시 51분 41초에 서해상에서 드롭존데를 투하하여 얻은 연직 가운데위 프로파일(검정색 실선)과 혼합비 프로파일(회색 파선)을 나타낸 것이다. 가운데위와 혼합비 크기가 약 1,250m까지 일정한 값을 보였기 때문에 해양 대기 경계층(MABL) 고도는 약 1,250m까지 발달한 것을 확인할 수 있다.
- [0082] 도 12 중 오른쪽 그래프는 2021년 8월 2일 14시 16분 59초에 서해상에서 드롭존데를 투하하여 얻은 연직 가운데위 프로파일(검정색 실선)과 혼합비 프로파일(회색 파선)을 나타낸 것이다. 가운데위와 혼합비 크기가 약 250m까지 일정한 값을 보였기 때문에 해양 대기 경계층(MABL) 고도는 약 250m까지 발달한 것을 확인할 수 있다. 겨울철과 달리 여름철에는 해양 대기 경계층(MABL) 고도는 상대적으로 낮게 발달한 것을 확인할 수 있다.
- [0083] 도 12는 부력 플럭스(dBF)와 해양 대기 경계층(MABL) 고도와의 산포도를 나타낸 것이다.
- [0084] 도 12 중 왼쪽 그래프는 2021년에 수행된 253회의 드롭존데 중 해양 대기경계층 고도가 발달했던 일자(80회)에서 부력 플럭스(dBF)와 해양 대기 경계층(MABL) 고도와의 산포도를 나타낸 것이다. 두 변수간의 관계식은 $h=4.5f+320.6524$ 이었고 이를 통해 부력 플럭스(dBF) 자료만으로 해양 대기 경계층(MABL) 고도를 추정할 수 있다. 그림에서 +기호는 봄철, ○ 기호는 여름철, □ 기호는 가을철, ☆기호는 겨울철 자료를 나타낸 것이다. 봄철과 겨울철에 부력 플럭스가 높았고 이에 해양 경계층 고도도 높게 발달하였으나 여름철과 가을철에는 상대적으로 그 값이 작았다.
- [0085] 도 12 중 오른쪽 그래프는 부력 플럭스 최대값으로 정규화한 부력 플럭스(Nomalized dBF)와 해양 대기 경계층 고도 최대값으로 정규화한 해양 대기 경계층(MABL) 고도간의 산포도를 나타낸 것이다. 정규화한 부력 플럭스(dBF)가 감소함에 따라 정규화한 해양 대기 경계층(MABL)이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 각각의 기온기 평균은 -19.3을 보였다.
- [0087] 다음은 본 발명에 따른 한반도 주변 바다에서의 드롭존데 기반 관측 자료를 이용한 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 방법에 대해 도면을 참조하여 설명한다. 후술될 내용 중 전술된 본 발명에 따른 한반도 주변 바다에서의 드롭존데 기반 관측 자료를 이용한 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 장치의 설명과 중복되는 내용은 생략하거나 간략히 설명한다.
- [0088] 도 13은 본 발명에 따른 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 방법의 순서도이다.
- [0089] 본 발명에 따른 열 플럭스 산출 및 해양 대기 경계층 고도 추정 방법은 도 13에 도시된 바와 같이, 관측자료를 입력받는 단계(S1)와, 대기 난류 인자를 산출하는 단계(S2), 및 해양 대기 경계층 고도를 추정하는 단계(S4)를 포함한다.
- [0090] 관측자료를 입력받는 단계(S1)는 관측자료 입력부가 해수면 온도 자료와 드롭존데 습도 자료, 해수 10m 높이에서 측정된 기온 자료와 습도 자료 및 풍속 자료를 포함하는 관측자료를 입력받는다.
- [0091] 대기 난류 인자를 산출하는 단계(S2)는 관측자료를 입력받는 단계(S1)에서 입력받은 관측자료를 기반으로 대기 난류 인자 산출부가 대기 난류 인자를 산출한다. 여기서, 대기 난류 인자를 산출하는 단계(S2)는 열 전달계수를 산출하는 단계(S2-1)와 열 플럭스를 산출하는 단계(S2-2)를 포함한다.
- [0092] 열 전달계수를 산출하는 단계(S2-1)는 관측자료를 기반으로 열 전달계수 산출부가 열 전달계수를 산출한다. 여기서, 산출되는 열 전달계수는 전술된 수학적 식 1과 같다.
- [0093] 열 플럭스를 산출하는 단계(S2-2)는 열 전달계수를 산출하는 단계(S2-1)에서 산출된 열 전달계수로 열 플럭스를 산출한다. 이때, 열 플럭스를 산출하는 단계(S2-2)에서 산출되는 열 플럭스는 현열 플럭스와 잠열 플럭스 및 부력 플럭스를 포함한다. 또한, 이에 따라, 열 플럭스를 산출하는 단계(S2-2)는 현열 플럭스 산출부가 현열 플럭스를 산출하는 단계와, 잠열 플럭스 산출부가 잠열 플럭스를 산출하는 단계, 및 부력 플럭스 산출부가 부력 플럭스를 산출하는 단계를 포함한다. 또한, 현열 플럭스는 전술된 수학적 식 5와 같이 산출할 수 있으며, 잠열 플럭스는 전술된 수학적 식 6과 같이 산출할 수 있다. 또한, 부력 플럭스는 전술된 수학적 식 7과 같이 산출할 수 있다.
- [0094] 해양 대기 경계층 고도를 추정하는 단계(S4)는 열 플럭스를 산출하는 단계(S2-2)에서 산출된 부력 플럭스를 기반으로 해양 대기 경계층 고도 추정부가 해양 대기 경계층 고도를 추정하며, 이는 전술된 수학적 식 8과 같이 추정할 수 있다.

- [0095] 상술한 바와 같이, 본 발명은 국내 최초로 기상 항공기를 이용하여 드롭존데 자료를 관측하고 이를 통해 열 전달계수 및 열 플럭스를 산출함으로써 해양 대기 경계층 고도를 보다 정확하게 추정할 수 있다.
- [0096] 전술된 실시예는 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적인 것이 아닌 것으로 이해되어야 하며, 본 발명의 범위는 전술된 상세한 설명보다는 후술될 특허청구범위에 의해 나타내어질 것이다. 그리고 후술될 특허청구범위의 의미 및 범위는 물론, 그 등가개념으로부터 도출되는 모든 변경 및 변형 가능한 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.
- [0097] 이상과 같이 본 발명에 대해서 예시한 도면을 참조로 하여 설명하였으나, 본 명세서에 개시된 실시 예와 도면에 의해 본 발명이 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술사상의 범위 내에서 통상의 기술자에 의해 다양한 변형이 이루어질 수 있음은 자명하다. 아울러 앞서 본 발명의 실시 예를 설명하면서 본 발명의 구성에 따른 작용 효과를 명시적으로 기재하여 설명하지 않았을 지라도, 해당 구성에 의해 예측 가능한 효과 또한 인정되어야 함은 당연하다.

부호의 설명

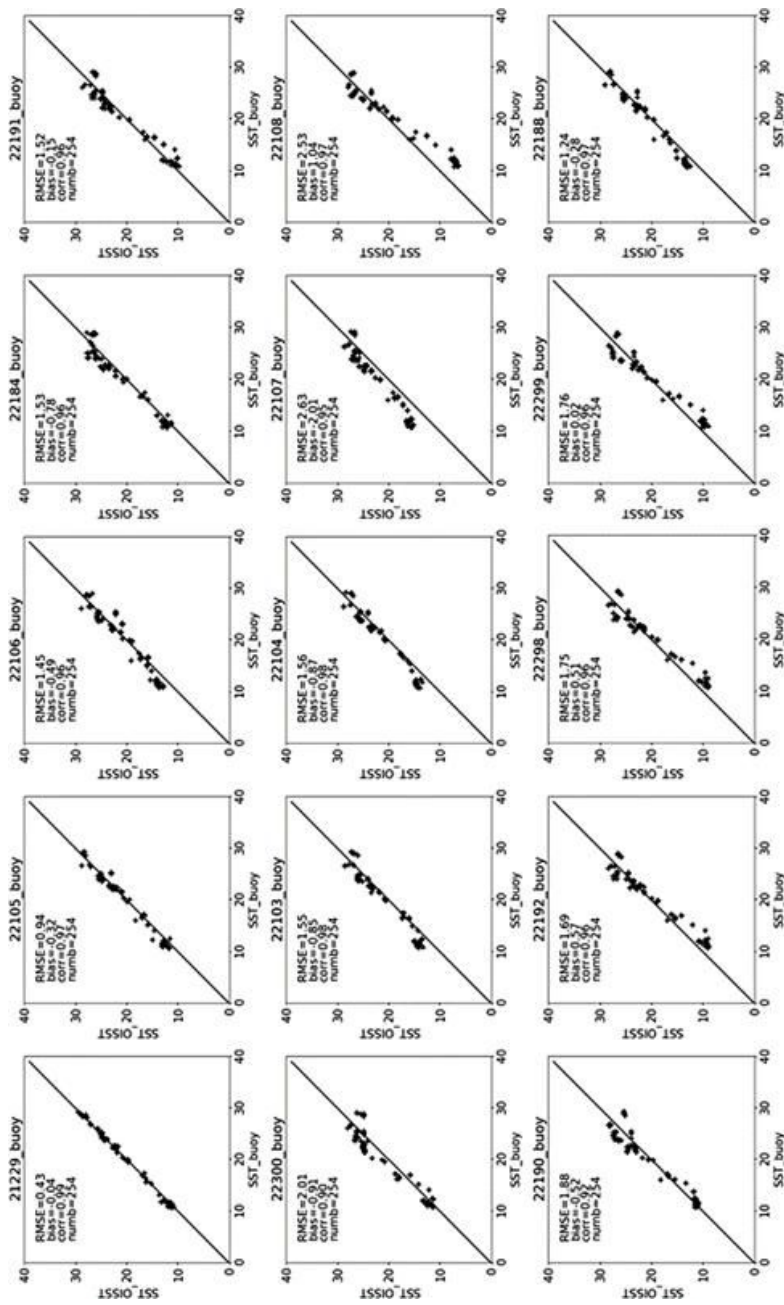
- [0099] 100: 관측자료 입력부 110: 해수면 온도 자료 입력부
120: 드롭존데 습도 자료 입력부 130: 해수면 10m 자료 입력부
200: 대기 난류 인자 산출부 210: 열 전달계수 산출부
220: 열 플럭스 산출부 221: 현열 플럭스 산출부
222: 잠열 플럭스 산출부 223: 부력 플럭스 산출부
300: 해양 대기 경계층 고도 추정부

도면

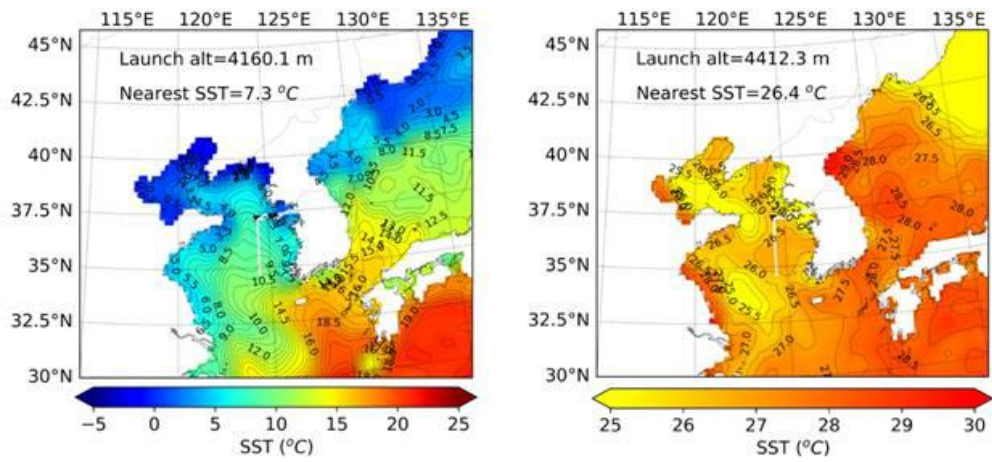
도면1



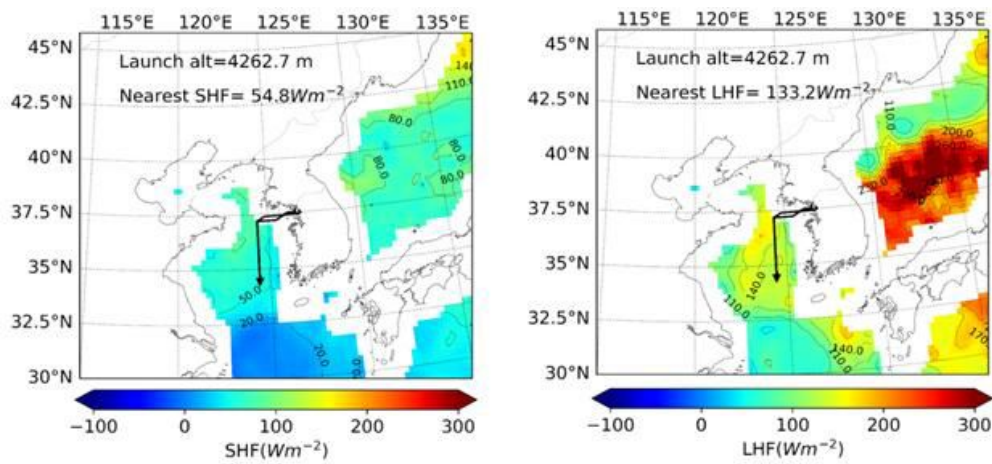
도면2



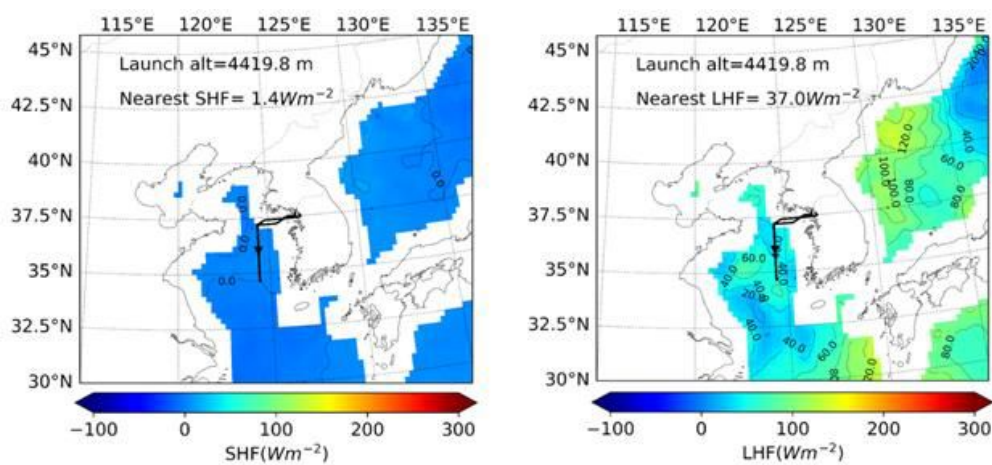
도면3



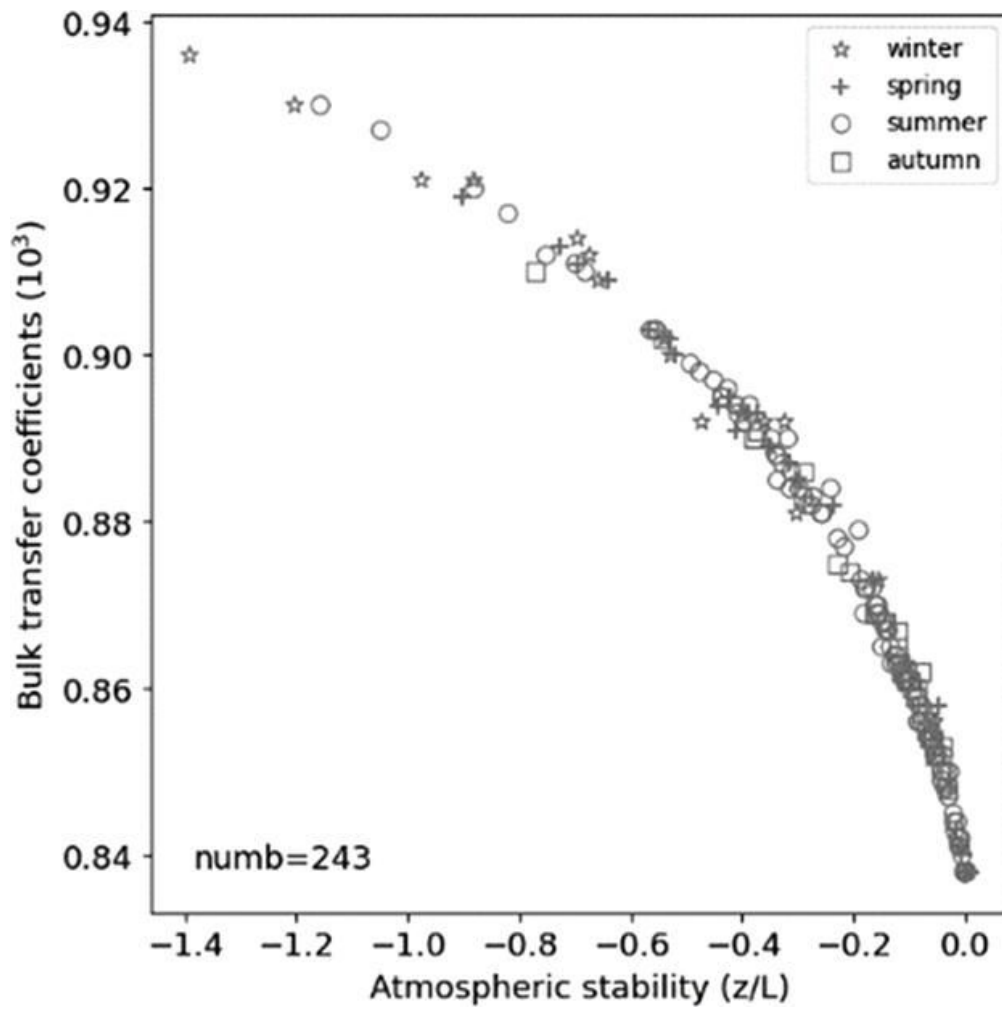
도면4



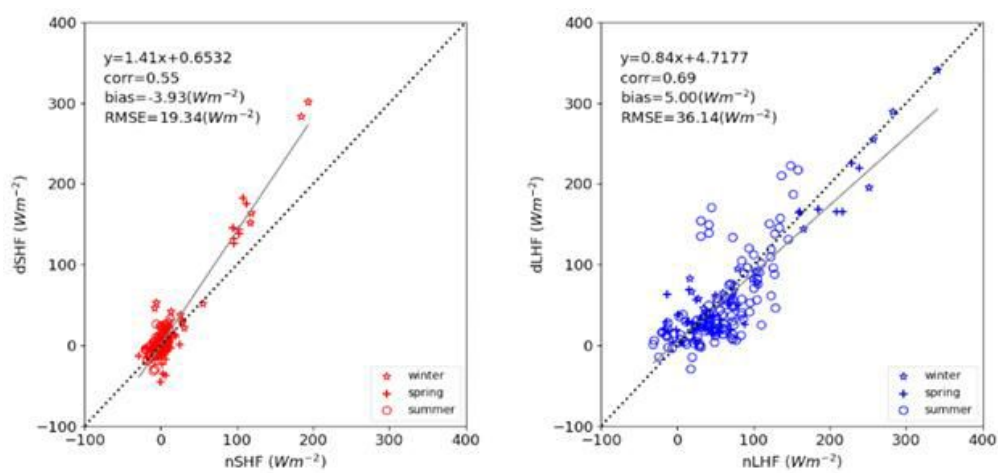
도면5



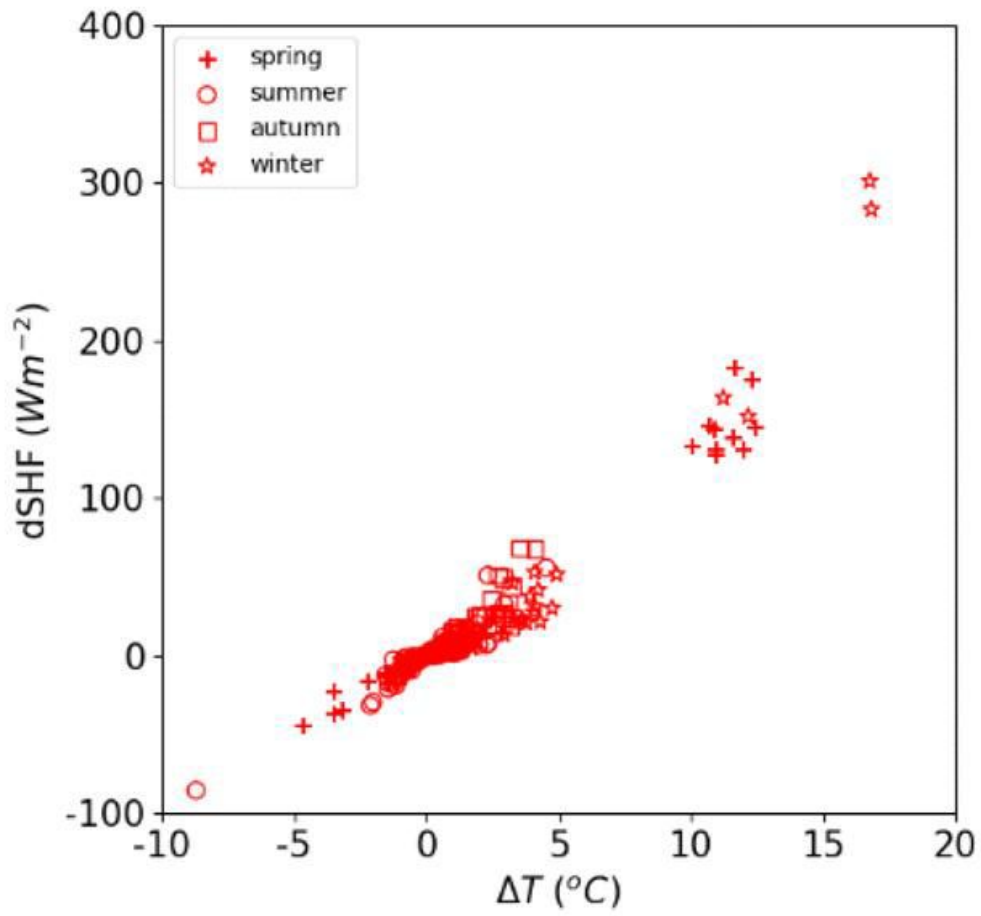
도면6



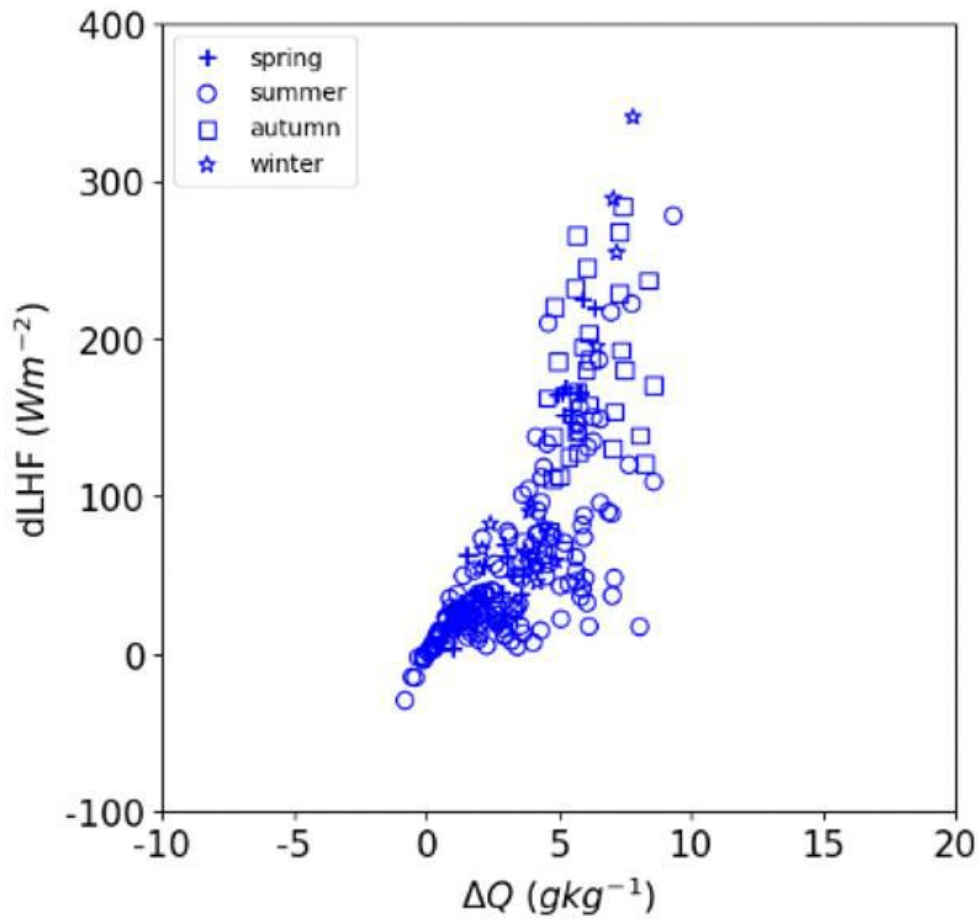
도면7



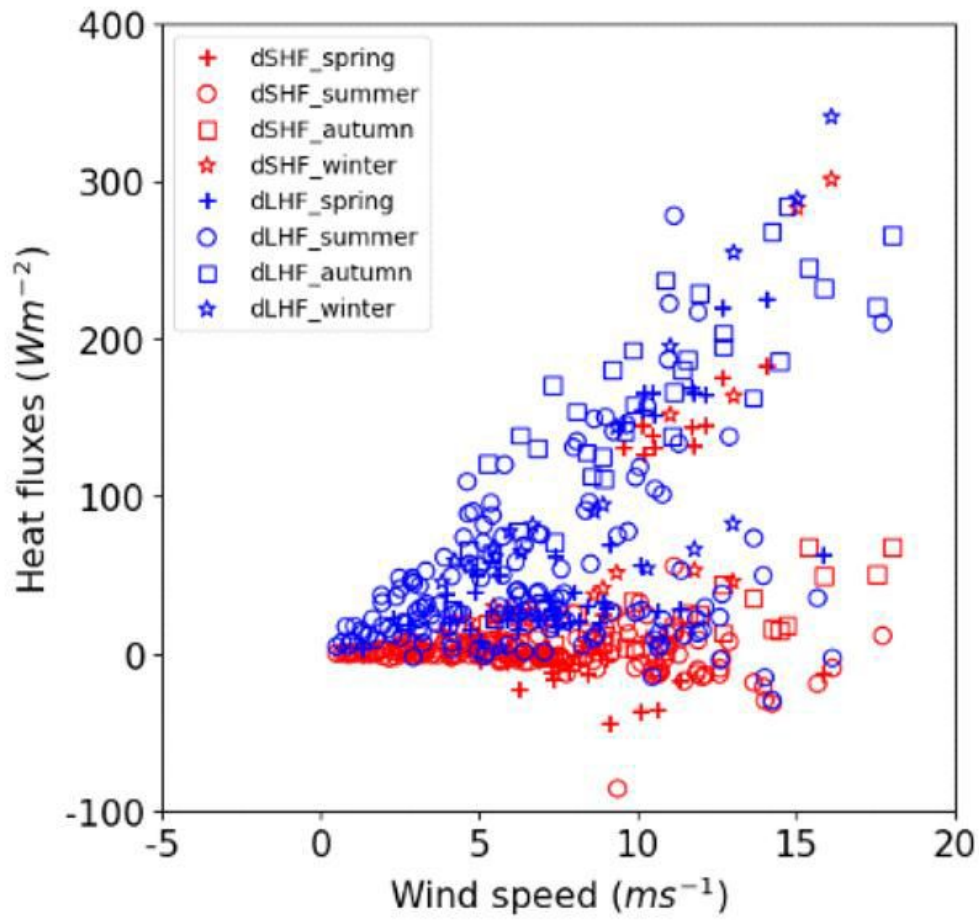
도면8



도면9



도면10



도면11

