



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0133111
(43) 공개일자 2023년09월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01W 1/18 (2006.01) G01S 13/95 (2006.01)
G01W 1/10 (2006.01) G01W 1/14 (2006.01)
G06F 17/10 (2006.01) G06F 17/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01W 1/18 (2013.01)
G01S 13/95 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0030221
(22) 출원일자 2022년03월10일
심사청구일자 2022년03월10일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
한국항공우주연구원
대전광역시 유성구 과학로 169-84 (어은동)
(72) 발명자
이동인
부산광역시 남구 용소로 45 부경대학교대연캠퍼스 4호관 4310호
김현준
경상남도 고성군 삼산면 두포1길 159
서성호
전라남도 고흥군 봉래면 하반로 508 한국항공우주연구원 나로우주센터 비행안전기술부
(74) 대리인
오위환, 나성곤, 정기택

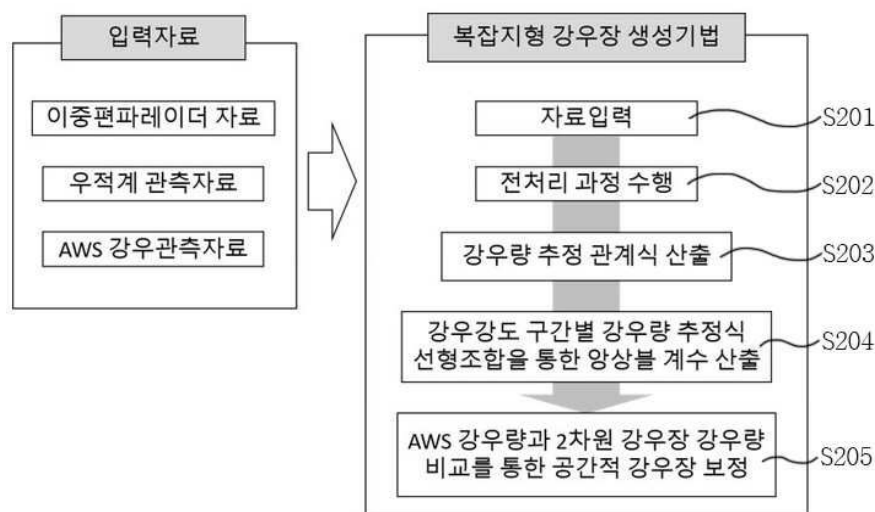
전체 청구항 수 : 총 24 항

(54) 발명의 명칭 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은 다수의 광학 우적계 관측장비를 이용하여 강우의 공간적 오차를 보정함으로써 복잡지형의 강우 정확도를 향상시킨 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템 및 방법에 관한 것으로, 이중편파 레이더 자료, 우적계 관측 자료, AWS 강우 관측 자료를 포함하는 관측자료를 수집하는 관측 자료 수집부; 관측 자료 수집부에서 수집된 관측 자료를 전처리하는 자료 전처리부; 복수 개의 관측지점으로부터 수집된 강우입자 분포 자료를 이용하여 이중편파변수를 회수하고, 회수된 이중편파변수와 강우강도와와의 회귀를 통해 강우량 추정 관계식을 산출하는 강우량 추정 관계식 산출부; 강우강도 구간별 강우량 추정식 선형조합을 통한 앙상블 계수 산출을 하는 앙상블 계수 산출부; AWS 강우량과 2차원 강우장 강우량 비교를 통하여 2차원 강우장의 공간적 보정 및 검증을 하는 공간적 강우장 보정 및 검증부;를 포함하는 것이다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G01W 1/10 (2013.01)

G01W 1/14 (2013.01)

G06F 17/10 (2013.01)

G06F 17/18 (2013.01)

G01W 2201/00 (2013.01)

G01W 2203/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711141327
과제번호	2021K1A5A2079610
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	국가간협력기반조성(R&D)
연구과제명	S밴드 이중편파레이더를 이용한 북한지역 위험 강수시스템 예측 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	부경대학교
연구기간	2021.06.07 ~ 2022.06.06

명세서

청구범위

청구항 1

이중편파 레이더 자료, 우적계 관측 자료, AWS 강우 관측 자료를 포함하는 관측자료를 수집하는 관측 자료 수집부;

관측 자료 수집부에서 수집된 관측 자료를 전처리하는 자료 전처리부;

복수 개의 관측지점으로부터 수집된 강우입자분포 자료를 이용하여 이중편파변수를 회수하고, 회수된 이중편파변수와 강우강도와와의 회귀를 통해 강우량 추정 관계식을 산출하는 강우량 추정 관계식 산출부;

강우강도 구간별 강우량 추정식 조합을 통한 앙상블 계수 산출을 하는 앙상블 계수 산출부;

AWS 강우량과 2차원 강우장 강우량 비교를 통하여 2차원 강우장의 공간적 보정 및 검증을 하는 공간적 강우장 보정 및 검증부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 관측 자료 수집부는 여름 장마철 기간 동안의 복수 개의 파시벨 광학 우적계 관측자료를 사용하고,

복잡지형에 설치된 파시벨 광학 우적계는 강수를 포함한 입자가 레이저 관측 영역을 통과하게 되면, 통과 중에 나타나는 수신부에서 도달한 레이저의 감소한 세기 차이와 감소한 시간을 계산하여 입자의 직경 정보와 낙하속도 정보를 얻는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 파시벨 광학우적계 관측자료를 통해 산출한 강우량 추정 관계식의 적용 및 2차원 강우장 생성을 위해 이중편파레이더 관측자료를 사용하는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 자료 전처리부는 파시벨 광학 우적계를 통해 관측된 강우입자 이외 비기상 자료 제거를 위해 전처리 작업을 진행하여,

낮은 시그널 세기를 가지는 첫 번째와 두 번째 직경 채널을 제거하고, 파시벨 광학우적계 관측자료에서 계산되는 강우강도 값이 0.1 mm h^{-1} 미만인 시간대에 대한 자료를 제외하고, 액체 강우입자로 보기 어려운 직경이 8 mm 이상인 자료를 제외하고, 강우입자 낙하 중 바람 등의 외부요인에 대한 영향을 받지 않는 강우입자의 직경별 종단속도 관계식을 이용하여, 입자 직경별 낙하속도 유효범위에 포함되는 관측 값만을 사용할 수 있도록 하는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템.

청구항 5

제 4 항에 있어서, 자료 전처리부는,

이중편파변수(Z_H , Z_{DR} , K_{DP})가 고려된 강우량 추정 관계식 산출을 위해 파시벨 광학우적계 관측을 통해 획득한 수농도 분포 자료를 이용하여 이중편파변수 값 회수를 하고,

강수입자 직경별 수농도값을 포함한 강수입자분포 자료를 T-매트릭스 산란시뮬레이션에 적용시켜 이중편파변수 산출을 하는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서, 강우량 추정 관계식 산출부는,

복잡지형을 지나가는 강우시스템에 대한 강우강도가 고려된 최적의 강우량 추정 관계식 산출을 위해 이중편파변수가 고려된 강우량 추정 관계식들의 선형 조합을 통한 최적의 강우량 추정 관계식 산출을 하는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템.

청구항 7

제 6 항에 있어서, 강우량 추정 관계식 산출부는 최저고도각 반사도자료 추출 및 강우강도 변환을 하여,

고도에 따른 강우량 추정 오차를 최소화하기 위해 지상 고도와 가장 근접한 하층 고도의 강수 관측자료를 이용한 강우장 자료 생성을 하고, 지형에 의한 빔 차폐 영향을 최소화 하기 위해, HSR(Hybrid Scan Reflectivity)기술을 적용하여 레이더의 각 관측 방위각에 대해 지형고도보다 높은 고도층 관측이 가능한 고도각을 구하고, 산출된 고도각에 대한 반사도 값을 강우량 산출에 사용할 수 있도록 하는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템.

청구항 8

제 1 항에 있어서, 앙상블 계수 산출부는,

강우강도 세기에 따른 강우 특성차이를 고려하기 위해 총 6개의 강우강도 구간(R1: $0.1 \leq R < 1.0$, R2: $1.0 \leq R < 5.0$, R3: $5.0 \leq R < 10.0$, R4: $10.0 \leq R < 20.0$, R5: $20.0 \leq R < 30.0$, R6: $30.0 \leq R$)을 구분하여 앙상블 계수를 산출을 하고,

강우량 추정 관계식들의 선형 조합 가중치 설정을 위해 하모니서치 기법(HSA, Harmony Search Algorithm)을 사용하는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템.

청구항 9

제 1 항에 있어서, 공간적 강우장 보정 및 검증부는,

레이더 자료가 포함하고 있는 불확실성을 추가한 앙상블을 통해 공간적 불확실성에 의한 오차를 줄이는 2차원 강우장의 공간적 보정을 하고,

레이더 강우장의 공간적 앙상블은 레이더 강우장에 공간적 섭동장을 더해줌으로서 표현 가능한 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템.

청구항 10

제 9 항에 있어서, 공간적 강우장 보정 및 검증부는,

특정 지역에서 얻은 강우량 추정식을 이용하여 생성한 강우장이 지역별 강우 정확도 오차를 발생시키는 문제를 해결하기 위하여 지상 AWS 관측자료를 이용한 공간적 보정 검증을 하는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템.

청구항 11

이중편파 레이더 자료, 우적계 관측 자료, AWS 강우 관측 자료를 포함하는 관측자료를 수집하는 관측 자료 수집 단계;

관측 자료 수집 단계에서 수집된 관측 자료를 전처리하는 자료 전처리 단계;

복수 개의 관측지점으로부터 수집된 강우입자분포 자료를 이용하여 이중편파변수를 회수하고, 회수된 이중편파변수와 강우강도와의 회귀를 통해 강우량 추정 관계식을 산출하는 강우량 추정 관계식 산출 단계;

강우강도 구간별 강우량 추정식 조합을 통한 앙상블 계수 산출을 하는 앙상블 계수 산출 단계;

AWS 강우량과 2차원 강우장 강우량 비교를 통하여 2차원 강우장의 공간적 보정 및 검증을 하는 공간적 강우장 보정 및 검증 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서, 관측 자료 수집 단계는,

여름 장마철 기간 동안의 복수 개의 파시벨 광학 우적계 관측자료를 사용하고,

파시벨 광학우적계 관측자료를 통해 산출한 강우량 추정 관계식의 적용 및 2차원 강우장 생성을 위해 이중편파 레이더 관측자료를 사용하는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법.

청구항 13

제 11 항에 있어서, 자료 전처리 단계는 파시벨 광학 우적계를 통해 관측된 강우입자 이외 비기상 자료 제거를 위해 전처리 작업을 진행하여,

낮은 시그널 세기를 가지는 첫 번째와 두 번째 직경 채널을 제거하고, 파시벨 광학우적계 관측자료에서 계산되는 강우강도 값이 0.1 mm h^{-1} 미만인 시간대에 대한 자료를 제외하고, 액체 강우입자로 보기 어려운 직경이 8 mm 이상인 자료를 제외하고, 강우입자 낙하 중 바람 등의 외부요인에 대한 영향을 받지 않는 강우입자의 직경별 중단속도 관계식을 이용하여, 입자 직경별 낙하속도 유효범위에 포함되는 관측 값만을 사용할 수 있도록 하는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법.

청구항 14

제 13 항에 있어서, 자료 전처리 단계는,

이중편파변수(Z_H , Z_{DR} , K_{DP})가 고려된 강우량 추정 관계식 산출을 위해 파시벨 광학우적계 관측을 통해 획득한 수농도 분포 자료를 이용하여 이중편파변수 값 회수를 하고,

강수입자 직경별 수농도값을 포함한 강수입자분포 자료를 T-매트릭스 산란시뮬레이션에 적용시켜 이중편파변수 산출을 하는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법.

청구항 15

제 11 항에 있어서, 강우량 추정 관계식 산출 단계는,

복합지형을 지나가는 강우시스템에 대한 강우강도가 고려된 최적의 강우량 추정 관계식 산출을 위해 이중편파변수가 고려된 강우량 추정 관계식들의 선형 조합을 통한 최적의 강우량 추정 관계식 산출을 하는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법.

청구항 16

제 15 항에 있어서, 강우량 추정 관계식 산출 단계에서 최저고도각 반사도자료 추출 및 강우강도 변환을 하여,

고도에 따른 강우량 추정 오차를 최소화하기 위해 지상 고도와 가장 근접한 하층 고도의 강수 관측자료를 이용한 강우장 자료 생성을 하고, 지형에 의한 빔 차폐 영향을 최소화 하기 위해, HSR(Hybrid Scan Reflectivity)기술을 적용하여 레이더의 각 관측 방위각에 대해 지형고도보다 높은 고도층 관측이 가능한 고도각을 구하고, 산출된 고도각에 대한 반사도 값을 강우량 산출에 사용할 수 있도록 하는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법.

청구항 17

제 11 항에 있어서, 양상블 계수 산출 단계는,

강우강도 세기에 따른 강우 특성차이를 고려하기 위해 총 6개의 강우강도 구간($R1: 0.1 \leq R < 1.0$, $R2: 1.0 \leq R < 5.0$, $R3: 5.0 \leq R < 10.0$, $R4: 10.0 \leq R < 20.0$, $R5: 20.0 \leq R < 30.0$, $R6: 30.0 \leq R$)을 구분하여 양상블 계수를 산출을 하고,

강우량 추정 관계식들의 선형 조합 가중치 설정을 위해 하모니서치 기법(HSA, Harmony Search Algorithm)을 사용하는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법.

청구항 18

제 11 항에 있어서, 공간적 강우장 보정 및 검증 단계는,

레이더 자료가 포함하고 있는 불확실성을 추가한 앙상블을 통해 공간적 불확실성에 의한 오차를 줄이는 2차원 강우장의 공간적 보정을 하고,

레이더 강우장의 공간적 앙상블은 레이더 강우장에 공간적 섭동장을 더해주어,

$$\Phi_{t,i} = R_t + \delta_{t,i} \quad \text{으로 표현하고,}$$

여기서, $\Phi_{t,i}$ 는 확률적 앙상블된 강우장을 나타내고, R_t 는 t시간에 대한 레이더 강우장을 나타내고, $\delta_{t,i}$ 는 t시간에 대한 레이더 강우의 시공간적 오차를 기반으로한 I번째 확률적 섭동장을 나타낸 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법.

청구항 19

제 18 항에 있어서, 레이더 자료의 공간적 오차를 나타내는 $\delta_{t,i}$ 는 레이더 강우와 지상 강우의 평균 관측오차에 t 시점의 지상 관측지점 값의 상관성과 관련있는 $Ly_{t,i}$ 변수의 합으로 생성되고,

$$\delta_{t,i} = \mu_{t,k} + Ly_{t,i}$$

여기서, $\mu_{t,k}$ 는 관측지점 k에서 강우 시작시간으로부터 t 시간까지의 평균오차를 나타내고, 지상관측 강우값과 레이더 강우값의 차이를 고려하여 계산되는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법.

청구항 20

제 19 항에 있어서, 관측지점 k에서 강우 시작시간으로부터 t 시간까지의 평균오차 $\mu_{t,k}$ 는,

$$\mu_{t,k} = \frac{1}{\sum_{t=1}^t \omega_{t,x_k}} \omega_{t,x_k} \epsilon_{t,x_k} \quad \text{으로 계산되고,}$$

여기서, x_k 는 관측지점 k에 해당하는 레이더 격자, ϵ_{t,x_k} , ω_{t,x_k} 는 관측지점 x_k , t 시점에서의 관측오차와 관측오차의 가중치를 나타내는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법.

청구항 21

제 20 항에 있어서, 관측오차의 가중치에 레이더 강우강도 값을 적용시키고 ϵ_{t,x_k} 는,

$$\epsilon_t = 10 \log_{10} \left(\frac{G_t}{R_t} \right) \quad \text{으로 정의되고,}$$

G_t 와 R_t 는 t 시점에서의 지상 강우값과 레이더 강우값을 나타내고, 비교값을 로그화하여 기존 mm h^{-1} 이었던 단위를 dBR로 변환시킨 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법.

청구항 22

제 19 항에 있어서, L을 구하기 위해서는 레이더 강우의 공간적 변동성을 고려한 관측지점별 공분산을,

$C = LL^T$ 으로 산출하고,

C는 관측지점 사이의 공분산 매트릭스를 나타내고, L과 L^T 는 Cholesky 알고리즘을 통해 분해된 상,하단 삼각 매트릭스를 각각 나타내는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법.

청구항 23

제 22 항에 있어서, 관측지점 별 공분산 매트릭스는,

$$C_{kl} = \frac{1}{\sum_{t=1}^Q \omega_{t,x_k}} \sum_{t=1}^Q \omega_{t,x_k} (\epsilon_{t,x_k} - \mu_k)(\epsilon_{t,x_l} - \mu_l)$$

으로 산출하고,

C_{kl} 은 k와 l 관측지점 사이의 공분산값이고, Q는 시간스텝을 나타내는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법.

청구항 24

제 11 항에 있어서, 공간적 강우장 보정 및 검증 단계에서,

특정 지역에서 얻은 강우량 추정식을 이용하여 생성한 강우장이 지역별 강우 정확도 오차를 발생시키는 문제를 해결하기 위하여 지상 AWS 관측자료를 이용한 공간적 보정 검증을 하는 것을 특징으로 하는 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 복잡지형 강우장 생성에 관한 것으로, 구체적으로 다수의 광학 우적계 관측장비를 이용하여 강우의 공간적 오차를 보정함으로써 복잡지형의 강우 정확도를 향상시킨 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 산악 및 연안지역과 같은 복잡지형에서의 지상 AWS(Automatic Weather System, 자동기상관측장비) 관측 기반 강우정보 제공은 지상관측지점의 공백 및 관측자료의 낮은 공간 해상도로 인해 정확한 강우량 정보 제공에 있어 한계가 있다.
- [0003] 기상레이더 원격 관측장비를 활용한 강우 관측은 반경 200 km 이상의 광범위한 영역을 동시간 관측이 가능할 수 있다는 장점이 있다.
- [0004] 최근에는 이중편파레이더 관측자료를 통한 강우량 추정 및 강우장 생성이 가능하여 강수계 특성이 반영된 결과물 산출이 가능하다는 장점이 있다.
- [0005] 그러나 이중편파레이더 관측을 통해 획득 가능한 반사도 변수로부터 강우강도의 변환에 의한 오차, 지형 등 물리적 요인으로부터 발생하는 오차 등으로 인해 공간적 강우량 정확도에 대한 불확실성은 여전히 존재한다.
- [0006] 이러한 문제점은 원격탐사 관측자료를 활용한 초단기 강우예측에 있어, 초기자료의 낮은 정확도에 의한 예측 정확도가 낮아지는 결과를 가져올 수 있다.
- [0007] 한편, 복잡지형을 지나가는 강수계는 위치 및 고도에 따라 강수발달 차이가 발생하고, 강수발달 차이로 인해 지역적 강우량 차이를 가지게 된다.
- [0008] 산악지역에서 산사태 등의 자연재해를 야기시키는 국지성 돌발홍수와 같은 위험기상은 수 분에서 수십 분 사이

의 짧은 시간동안 매우 좁은 지역에서 단시간에 발달하여 피해를 발생시키기 때문에, 고 시공간 해상도의 강우 관측을 통한 강우 발달 파악이 필수적이다.

[0009] 따라서, 지형성 강우에 대한 새로운 공간적 강우장 생성 기술을 개발하여 자연재해에 의한 피해를 저감시킬 수 있도록 하는 것이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제10-2017-0058132호
(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 제10-1871316호
(특허문헌 0003) 대한민국 등록특허 제10-1431707호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 종래 기술의 복잡지형 강우장 생성 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 다수의 광학 우적계 관측 장비를 이용하여 강우의 공간적 오차를 보정함으로써 복잡지형의 강우 정확도를 향상시킨 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0012] 본 발명은 지형성 강우에 대한 고해상도 이중편파 레이더 관측자료 기반의 공간적 강우장 생성 기법 개발을 통해 자연재해에 의한 피해를 저감시키는데 기여할 수 있도록 한 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0013] 본 발명은 강우강도 세기를 고려한 강우량 추정 관계식의 조합 및 복잡지형에서 관측한 우적계 관측장비를 활용한 공간적 강우장 보정을 통해 복잡지형에서 나타날 수 있는 강우장의 정확도 향상이 가능하도록 한 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0014] 본 발명은 강우강도에 따른 강우량 추정 보정을 위해 복잡지형에서 관측한 우적계 관측자료를 이용하여 이중편파변수(Z_{H} , Z_{DR} , K_{DP})가 고려된 강우량 추정 관계식을 도출하고, 도출된 추정 관계식들의 강우강도 구간별 선형조합을 통한 가중치 함수 생성 및 계수 산출이 고려된 앙상블적 접근을 통해 최적의 강우량 추정 관계를 도출할 수 있도록 한 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0015] 본 발명은 우적계 관측지점의 강우특성이 반영된 2차원 강우장의 공간적 보정을 통해 복잡지형의 지역별 강우 특성차이를 고려한 강우장 생성이 가능하도록 한 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0016] 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

[0017] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템은 이중편파 레이더 자료, 우적계 관측 자료, AWS 강우 관측 자료를 포함하는 관측자료를 수집하는 관측 자료 수집부; 관측 자료 수집부에서 수집된 관측 자료를 전처리하는 자료 전처리부; 복수 개의 관측지점으로부터 수집된 강우입자분포 자료를 이용하여 이중편파변수를 회수하고, 회수된 이중편파변수와 강우강도와의 회귀를 통해 강우량 추정 관계식을 산출하는 강우량 추정 관계식 산출부; 강우강도 구간별 강우량 추정식 조합을 통한 앙상블 계수 산출을 하는 앙상블 계수 산출부; AWS 강우량과 2차원 강우장 강우량 비교를 통하여 2차원 강우장의 공간적 보정 및 검증하는 공간적 강우장 보정 및 검증부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0018] 여기서, 관측 자료 수집부는 여름 장마철 기간 동안의 복수 개의 파시벨 광학 우적계 관측자료를 사용하고, 복잡지형에 설치된 파시벨 광학 우적계는 강수를 포함한 입자가 레이저 관측 영역을 통과하게 되면, 통과 중에 나

타나는 수신부에서 도달한 레이저의 감소한 세기 차이와 감소한 시간을 계산하여 입자의 직경 정보와 낙하속도 정보를 얻는 것을 특징으로 한다.

[0019] 그리고 파시벨 광학우적계 관측자료를 통해 산출한 강우량 추정 관계식의 적용 및 2차원 강우장 생성을 위해 이중편파레이더 관측자료를 사용하는 것을 특징으로 한다.

[0020] 그리고 자료 전처리부는 파시벨 광학 우적계를 통해 관측된 강우입자 이외 비기상 자료 제거를 위해 전처리 작업을 진행하여, 낮은 시그널 세기를 가지는 첫 번째와 두 번째 직경 채널을 제거하고, 파시벨 광학우적계 관측 자료에서 계산되는 강우강도 값이 0.1 mm h^{-1} 미만인 시간대에 대한 자료를 제외하고, 액체 강우입자로 보기 어려운 직경이 8 mm 이상인 자료를 제외하고, 강우입자 낙하 중 바람 등의 외부요인에 대한 영향을 받지 않는 강우입자의 직경별 종단속도 관계식을 이용하여, 입자 직경별 낙하속도 유효범위에 포함되는 관측 값만을 사용할 수 있도록 하는 것을 특징으로 한다.

[0021] 그리고 자료 전처리부는, 이중편파변수(Z_H , Z_{DR} , K_{DP})가 고려된 강우량 추정 관계식 산출을 위해 파시벨 광학우적계 관측을 통해 획득한 수농도 분포 자료를 이용하여 이중편파변수 값 회수를 하고, 강수입자 직경별 수농도값을 포함한 강수입자분포 자료를 T-매트릭스 산란시뮬레이션에 적용시켜 이중편파변수 산출을 하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 그리고 강우량 추정 관계식 산출부는, 복합지형을 지나가는 강우시스템에 대한 강우강도가 고려된 최적의 강우량 추정 관계식 산출을 위해 이중편파변수가 고려된 강우량 추정 관계식들의 선형 조합을 통한 최적의 강우량 추정 관계식 산출을 하는 것을 특징으로 한다.

[0023] 그리고 강우량 추정 관계식 산출부는 최저고도각 반사도자료 추출 및 강우강도 변환을 하여, 고도에 따른 강우량 추정 오차를 최소화하기 위해 지상 고도와 가장 근접한 하층 고도의 강수 관측자료를 이용한 강우장 자료 생성을 하고, 지형에 의한 빔 차폐 영향을 최소화 하기 위해, HSR(Hybrid Scan Reflectivity)기술을 적용하여 레이더의 각 관측 방위각에 대해 지형고도보다 높은 고도층 관측이 가능한 고도각을 구하고, 산출된 고도각에 대한 반사도 값을 강우량 산출에 사용할 수 있도록 하는 것을 특징으로 한다.

[0024] 그리고 앙상블 계수 산출부는, 강우강도 세기에 따른 강우 특성차이를 고려하기 위해 총 6개의 강우강도 구간($R1: 0.1 \leq R < 1.0$, $R2: 1.0 \leq R < 5.0$, $R3: 5.0 \leq R < 10.0$, $R4: 10.0 \leq R < 20.0$, $R5: 20.0 \leq R < 30.0$, $R6: 30.0 \leq R$)을 구분하여 앙상블 계수를 산출을 하고, 강우량 추정 관계식들의 선형 조합 가중치 설정을 위해 하모니서치 기법(HSA, Harmony Search Algorithm)을 사용하는 것을 특징으로 한다.

[0025] 그리고 공간적 강우장 보정 및 검증부는, 레이더 자료가 포함하고 있는 불확실성을 추가한 앙상블을 통해 공간적 불확실성에 의한 오차를 줄이는 2차원 강우장의 공간적 보정을 하고, 레이더 강우장의 공간적 앙상블은 레이더 강우장에 공간적 섭동장을 더해줌으로서 표현 가능한 것을 특징으로 한다.

[0026] 그리고 공간적 강우장 보정 및 검증부는, 특정 지역에서 얻은 강우량 추정식을 이용하여 생성한 강우장이 지역별 강우 정확도 오차를 발생시키는 문제를 해결하기 위하여 지상 AWS 관측자료를 이용한 공간적 보정 검증을 하는 것을 특징으로 한다.

[0027] 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법은 이중편파 레이더 자료, 우적계 관측 자료, AWS 강우 관측 자료를 포함하는 관측자료를 수집하는 관측 자료 수집 단계;관측 자료 수집 단계에서 수집된 관측 자료를 전처리하는 자료 전처리 단계;복수 개의 관측지점으로 부터 수집된 강우입자분포 자료를 이용하여 이중편파변수를 회수하고, 회수된 이중편파변수와 강우강도와의 회귀를 통해 강우량 추정 관계식을 산출하는 강우량 추정 관계식 산출 단계;강우강도 구간별 강우량 추정식 조합을 통한 앙상블 계수 산출을 하는 앙상블 계수 산출 단계;AWS 강우량과 2차원 강우장 강우량 비교를 통하여 2차원 강우장의 공간적 보정 및 검증을 하는 공간적 강우장 보정 및 검증 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0028] 여기서, 관측 자료 수집 단계는, 여름 장마철 기간 동안의 복수 개의 파시벨 광학 우적계 관측자료를 사용하고, 파시벨 광학우적계 관측자료를 통해 산출한 강우량 추정 관계식의 적용 및 2차원 강우장 생성을 위해 이중편파레이더 관측자료를 사용하는 것을 특징으로 한다.

[0029] 그리고 자료 전처리 단계는 파시벨 광학 우적계를 통해 관측된 강우입자 이외 비기상 자료 제거를 위해 전처리 작업을 진행하여, 낮은 시그널 세기를 가지는 첫 번째와 두 번째 직경 채널을 제거하고, 파시벨 광학우적계 관측자료에서 계산되는 강우강도 값이 0.1 mm h^{-1} 미만인 시간대에 대한 자료를 제외하고, 액체 강우입자로 보기 어

려운 직경이 8 mm 이상인 자료를 제외하고, 강우입자 낙하 중 바람 등의 외부요인에 대한 영향을 받지 않는 강우입자의 직경별 종단속도 관계식을 이용하여, 입자 직경별 낙하속도 유효범위에 포함되는 관측 값을 사용할 수 있도록 하는 것을 특징으로 한다.

[0030] 그리고 자료 전처리 단계는, 이중편파변수(Z_{H} , Z_{DR} , K_{DP})가 고려된 강우량 추정 관계식 산출을 위해 파시벨 광학 우적계 관측을 통해 획득한 수농도 분포 자료를 이용하여 이중편파변수 값 회수를 하고, 강수입자 직경별 수농도값을 포함한 강수입자분포 자료를 T-매트릭스 산란시뮬레이션에 적용시켜 이중편파변수 산출을 하는 것을 특징으로 한다.

[0031] 그리고 강우량 추정 관계식 산출 단계는, 복합지형을 지나가는 강우시스템에 대한 강우강도가 고려된 최적의 강우량 추정 관계식 산출을 위해 이중편파변수가 고려된 강우량 추정 관계식들의 선형 조합을 통한 최적의 강우량 추정 관계식 산출을 하는 것을 특징으로 한다.

[0032] 그리고 강우량 추정 관계식 산출 단계에서 최저고도각 반사도자료 추출 및 강우강도 변환을 하여, 고도에 따른 강우량 추정 오차를 최소화하기 위해 지상 고도와 가장 근접한 하층 고도의 강수 관측자료를 이용한 강우장 자료 생성을 하고, 지형에 의한 빔 차폐 영향을 최소화 하기 위해, HSR(Hybrid Scan Reflectivity)기술을 적용하여 레이더의 각 관측 방위각에 대해 지형고도보다 높은 고도층 관측이 가능한 고도각을 구하고, 산출된 고도각에 대한 반사도 값을 강우량 산출에 사용할 수 있도록 하는 것을 특징으로 한다.

[0033] 그리고 앙상블 계수 산출 단계는, 강우강도 세기에 따른 강우 특성차이를 고려하기 위해 총 6개의 강우강도 구간($R1: 0.1 \leq R < 1.0$, $R2: 1.0 \leq R < 5.0$, $R3: 5.0 \leq R < 10.0$, $R4: 10.0 \leq R < 20.0$, $R5: 20.0 \leq R < 30.0$, $R6: 30.0 \leq R$)을 구분하여 앙상블 계수를 산출을 하고, 강우량 추정 관계식들의 선형 조합 가중치 설정을 위해 하모니서치 기법(HSA, Harmony Search Algorithm)을 사용하는 것을 특징으로 한다.

[0034] 그리고 공간적 강우장 보정 및 검증 단계는, 레이더 자료가 포함하고 있는 불확실성을 추가한 앙상블을 통해 공간적 불확실성에 의한 오차를 줄이는 2차원 강우장의 공간적 보정을 하고, 레이더 강우장의 공간적 앙상블은 레

이더 강우장에 공간적 섭동장을 더해주어, $\Phi_{t,i} = R_t + \delta_{t,i}$ 으로 표현하고, 여기서, $\Phi_{t,i}$ 는 확률적 앙상블된 강우장을 나타내고, R_t 는 t시간에 대한 레이더 강우장을 나타내고, $\delta_{t,i}$ 는 t시간에 대한 레이더 강우의 시공간적 오차를 기반으로한 I번째 확률적 섭동장을 나타낸 것을 특징으로 한다.

[0035] 그리고 레이더 자료의 공간적 오차를 나타내는 $\delta_{t,i}$ 는 레이더 강우와 지상 강우의 평균 관측오차에 t 시점의 지

상 관측지점 값의 상관성과 관련있는 $Ly_{t,i}$ 변수의 합으로 생성되고, $\delta_{t,i} = \mu_{t,k} + Ly_{t,i}$ 여기서, $\mu_{t,k}$ 는 관측지점 k에서 강우 시작시간으로부터 t 시간까지의 평균오차를 나타내고, 지상관측 강우값과 레이더 강우값의 차이를 고려하여 계산되는 것을 특징으로 한다.

[0036] 그리고 관측지점 k에서 강우 시작시간으로부터 t 시간까지의 평균오차 $\mu_{t,k}$ 는,
$$\mu_{t,k} = \frac{1}{\sum_{i=1}^t \omega_{t,x_k}} \omega_{t,x_k} \epsilon_{t,x_k}$$
 으로 계산되고, 여기서, x_k 는 관측지점 k에 해당하는 레이더 격자, ϵ_{t,x_k} , ω_{t,x_k} 는 관측지점 x_k , t 시점에서 관측오차와 관측오차의 가중치를 나타내는 것을 특징으로 한다.

[0037] 그리고 관측오차의 가중치에 레이더 강우강도 값을 적용시키고 ϵ_{t,x_k} 는,
$$\epsilon_t = 10 \log_{10} \left(\frac{G_t}{R_t} \right)$$
 으로 정의되고, G_t 와 R_t 는 t 시점에서의 지상 강우값과 레이더 강우값을 나타내고, 비교값을 로그화하여 기존 mm h⁻¹이었던 단위를 dBR로 변환시킨 것을 특징으로 한다.

[0038] 그리고 L을 구하기 위해서는 레이더 강우의 공간적 변동성을 고려한 관측지점별 공분산을, $C = LL^T$ 으로

산출하고, C는 관측지점 사이의 공분산 매트릭스를 나타내고, L과 L^T 는 Cholesky 알고리즘을 통해 분해된 상, 하 단 삼각 매트릭스를 각각 나타내는 것을 특징으로 한다.

[0039] 그리고 관측지점 별 공분산 매트릭스는,

$$C_{kl} = \frac{1}{\sum_{t=1}^Q \omega_{t,x_k}} \sum_{t=1}^Q \omega_{t,x_k} (\epsilon_{t,x_k} - \mu_k)(\epsilon_{t,x_l} - \mu_l)$$

[0040] 으로 산출하고, C_{kl} 은 k와 l 관측지점 사이의 공분산값이고, Q는 시간스텝을 나타내는 것을 특징으로 한다.

[0041] 그리고 공간적 강우장 보정 및 검증 단계에서, 특정 지역에서 얻은 강우량 추정식을 이용하여 생성한 강우장이 지역별 강우 정확도 오차를 발생시키는 문제를 해결하기 위하여 지상 AWS 관측자료를 이용한 공간적 보정 검증을 하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0042] 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명에 따른 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템 및 방법은 다음과 같은 효과가 있다.

[0043] 첫째, 다수의 광학 우적계 관측장비를 이용하여 강우의 공간적 오차를 보정함으로써 복잡지형의 강우 정확도를 향상시킬 수 있다.

[0044] 둘째, 지형성 강우에 대한 고해상도 이중편파 레이더 관측자료 기반의 공간적 강우장 생성 기법 개발을 통해 자연재해에 의한 피해를 저감시키는데 기여할 수 있도록 한다.

[0045] 셋째, 강우강도 세기를 고려한 강우량 추정 관계식의 조합 및 복잡지형에서 관측한 우적계 관측장비를 활용한 공간적 강우장 보정을 통해 복잡지형에서 나타날 수 있는 강우장의 정확도 향상이 가능하도록 한다.

[0046] 넷째, 강우강도에 따른 강우량 추정 보정을 위해 복잡지형에서 관측한 우적계 관측자료를 이용하여 이중편파변수(Z_{H} , Z_{DR} , K_{DP})가 고려된 강우량 추정 관계식을 도출하고, 도출된 추정 관계식들의 강우강도 구간별 선형조합을 통한 가중치 함수 생성 및 계수 산출이 고려된 앙상블적 접근을 통해 최적의 강우량 추정 관계를 도출할 수 있도록 한다.

[0047] 다섯째, 우적계 관측지점의 강우특성이 반영된 2차원 강우장의 공간적 보정을 통해 복잡지형의 지역별 강우 특성차이를 고려한 강우장 생성이 가능하도록 한다.

도면의 간단한 설명

[0048] 도 1은 본 발명에 따른 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템의 구성도

도 2는 본 발명에 따른 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법을 나타낸 플로우 차트

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 지상 우적계, 우량계, 이중편파레이더 관측위치를 나타낸 구성도

도 4는 파시벨 광학 우적계에서 송·수신되는 레이저에 강수입자가 통과할 때의 일 예를 나타낸 구성도

도 5는 강수입자가 파시벨 레이저를 통과할때의 신호 변화의 일 예를 나타낸 구성도

도 6은 파시벨 우적계 관측자료를 통해 얻은 이중편파변수가 고려된 강우량 추정 관계식, 관측 강우강도와 추정된 강우강도의 산포도

도 7은 이중편파레이더 관측자료를 통해 얻은 이중편파변수별 PPI(Plan Position Indicator) 영상의 일 예를 나타낸 구성도

도 8은 (a)고산과 (b)성산 S밴드 이중편파레이더의 각 방위각의 지형고도 이상의 빔 고도를 가지는 최저고도각을 나타낸 구성도

도 9는 하모니서치 알고리즘의 반복 횟수에 따른 RMSE 감소 변화 그래프

도 10은 강우강도 구간별 강우량 추정 관계식별 앙상블 가중치 계수를 나타낸 그래프

도 11은 지상 우량계 관측자료와의 비교를 통해 구한 이중편파변수가 고려된 강우량 추정식 및 앙상블된 강우량 추정식의 (a) RMSE, (b) ME, (c) CORR

도 12는 이중편파변수가 고려된 강우량 추정식 및 앙상블된 강우량 추정식을 통해 얻은 강우강도와 우량계 관측 강우강도와의 시계열 분포도

도 13은 지상 우량계 관측자료를 통해 얻은 관측지점별 공분산 매트릭스 및 LU 분해 결과 구성도

도 14는 관측지점별 앙상블된 강우량 추정 관계식으로 추정된 강우장의 공간적 섭동분포도

도 15는 우적계 관측지점마다 산출된 강우량 추정관계식을 고려하여 산출된 2차원 강우장에 대한 RMSE 분포도

도 16은 강우의 공간보정이 적용된 2차원 강우장에 대한 RMSE 값 분포도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0049] 이하, 본 발명에 따른 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템 및 방법의 바람직한 실시 예에 관하여 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0050] 본 발명에 따른 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템 및 방법의 특징 및 이점들은 이하에서의 각 실시 예에 대한 상세한 설명을 통해 명백해질 것이다.
- [0051] 도 1은 본 발명에 따른 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템의 구성도이다.
- [0052] 본 발명에 따른 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템 및 방법은 다수의 광학 우적계 관측장비를 이용하여 강우의 공간적 오차를 보정함으로써 복잡지형의 강우 정확도를 향상시킨 것이다.
- [0053] 이를 위하여, 본 발명은 강우강도 세기를 고려한 강우량 추정 관계식의 조합 및 복잡지형에서 관측한 우적계 관측장비를 활용한 공간적 강우장 보정을 통해 복잡지형에서 나타날 수 있는 강우장의 정확도 향상을 위한 구성을 포함할 수 있다.
- [0054] 본 발명은 강우강도에 따른 강우량 추정 보정을 위해 복잡지형에서 관측한 우적계 관측자료를 이용하여 이중편파변수(Z_{H} , Z_{DR} , K_{DP})가 고려된 강우량 추정 관계식을 도출하고, 도출된 추정 관계식들의 강우강도 구간별 선형조합을 통한 가중치 함수 생성 및 계수 산출이 고려된 앙상블적 접근을 통해 최적의 강우량 추정 관계를 도출하는 구성을 포함할 수 있다.
- [0055] 본 발명은 우적계 관측지점의 강우특성이 반영된 2차원 강우장의 공간적 보정을 통해 복잡지형의 지역별 강우 특성차이를 고려한 강우장 생성이 가능하도록 하는 구성을 포함할 수 있다.
- [0056] 본 발명에 따른 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템은 도 1에서와 같이, 이중편파 레이다 자료, 우적계 관측 자료, AWS 강우 관측 자료를 포함하는 관측자료를 수집하는 관측 자료 수집부(10)와, 관측 자료 수집부(10)에서 수집된 관측 자료를 전처리하고 수농도 자료 산출 및 수농도 자료를 이용한 이중편파변수값 회수를 수행하는 자료 전처리부(20)와, 복수 개의 관측지점으로부터 수집된 강우입자분포 자료를 이용하여 T-매트릭스 산란시뮬레이션을 통해 이중편파변수를 회수하고, 회수된 이중편파변수와 강우강도와의 회귀를 통해 6개의 강우량 추정 관계식을 산출하는 강우량 추정 관계식 산출부(30)와, 강우강도 구간별 강우량 추정식 조합을 통한 앙상블 계수 산출을 하는 앙상블 계수 산출부(40)와, AWS 강우량과 2차원 강우장 강우량 비교를 통한 공간적 강우장 보정을 하는 2차원 강우장의 공간적 보정 및 검증하는 공간적 강우장 보정 및 검증부(50)를 포함한다.
- [0057] 여기서, 관측 자료 수집부(10)는 여름 장마철 기간 동안의 복수 개의 시벨 광학 우적계 관측자료를 사용할 수 있다.
- [0058] 복잡지형에 설치된 파시벨 광학 우적계는 강수를 포함한 입자가 레이저 관측 영역을 통과하게 되면, 통과 중에 나타나는 수신부에서 도달한 레이저의 감소한 세기 차이와 감소한 시간을 계산하여 입자의 직경 정보와 낙하속도 정보를 얻을 수 있도록 한다.
- [0059] 그리고 파시벨 광학우적계 관측자료를 통해 산출한 강우량 추정 관계식의 적용 및 2차원 강우장 생성을 위해 이

중편파레이더 관측자료를 사용할 수 있다.

- [0060] 그리고 자료 전처리부(20)는 파시벨 광학 우적계를 통해 관측된 강우입자 이외 비기상 자료 제거를 위해 전처리 작업을 진행하여, 낮은 시그널 세기를 가지는 첫 번째와 두 번째 직경 채널을 제거하고, 파시벨 광학우적계 관측자료에서 계산되는 강우강도 값이 0.1 mm h^{-1} 미만인 시간대에 대한 자료를 제외하고, 액체 강우입자로 보기 어려운 직경이 8 mm 이상인 자료를 제외하고, 강우입자 낙하 중 바람 등의 외부요인에 대한 영향을 받지 않는 강우입자의 직경별 종단속도 관계식을 이용하여, 입자 직경별 낙하속도 유효범위에 포함되는 관측 값만을 사용한다.
- [0061] 그리고 자료 전처리부(20)는 이중편파변수(Z_H , Z_{DR} , K_{DP})가 고려된 강우량 추정 관계식 산출을 위해 파시벨 광학 우적계 관측을 통해 획득한 수농도 분포 자료를 이용하여 이중편파변수 값 회수를 한다. 강수입자 직경별 수농도값을 포함한 강수입자분포 자료를 T-매트릭스 산란시뮬레이션에 적용시켜 이중편파변수 산출을 한다.
- [0062] 그리고 강우량 추정 관계식 산출부(30)는 복합지형을 지나가는 강우시스템에 대한 강우강도가 고려된 최적의 강우량 추정 관계식 산출을 위해 이중편파변수가 고려된 강우량 추정 관계식들의 선형 조합을 통한 최적의 강우량 추정 관계식 산출을 한다.
- [0063] 강우량 추정 관계식 산출부(30)는 최저고도각 반사도자료 추출 및 강우강도 변환을 한다.
- [0064] 즉, 고도에 따른 강우량 추정 오차를 최소화하기 위해 지상 고도와 가장 근접한 하층 고도의 강수 관측자료를 이용한 강우장 자료 생성을 하고, 지형에 의한 빖 차폐 영향을 최소화 하기 위해, HSR(Hybrid Scan Reflectivity)기술을 적용하여 레이더의 각 관측 방위각에 대해 지형고도보다 높은 고도층 관측이 가능한 고도각을 구하고, 산출된 고도각에 대한 반사도 값을 강우량 산출에 사용할 수 있도록 한다.
- [0065] 그리고 앙상블 계수 산출부(40)는 강우강도 세기에 따른 강우 특성차이를 고려하기 위해 총 6개의 강우강도 구간($R1: 0.1 \leq R < 1.0$, $R2: 1.0 \leq R < 5.0$, $R3: 5.0 \leq R < 10.0$, $R4: 10.0 \leq R < 20.0$, $R5: 20.0 \leq R < 30.0$, $R6: 30.0 \leq R$)을 구분하여 앙상블 계수를 산출한다.
- [0066] 강우량 추정 관계식들의 선형 조합 가중치 설정을 위해 사용된 최적화 기법은 하모니서치 기법(HSA, Harmony Search Algorithm)이다.
- [0067] 그리고 공간적 강우장 보정 및 검증부(50)는 레이더 자료가 포함하고 있는 불확실성을 추가한 앙상블을 통해 공간적 불확실성에 의한 오차를 줄이는 2차원 강우장의 공간적 보정을 하고, 레이더 강우장의 공간적 앙상블은 레이더 강우장에 공간적 섭동장을 더해줌으로서 표현 가능하다.
- [0068] 그리고 공간적 강우장 보정 및 검증부(50)는 특정 지역에서 얻은 강우량 추정식을 이용하여 생성한 강우장이 지역별 강우 정확도 오차를 발생시키는 문제를 해결하기 위하여 지상 AWS 관측자료를 이용한 공간적 보정 검증을 한다.
- [0069] 본 발명에 따른 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0070] 도 2는 본 발명에 따른 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법을 나타낸 플로우 차트이다.
- [0071] 본 발명에 따른 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 방법은 이중편파 레이더 자료, 우적계 관측 자료, AWS 강우 관측 자료를 포함하는 관측자료 수집 단계(S201)와, 자료 전처리 수행 단계(S202)와, 강우량 추정 관계식 산출 단계(S203)와, 강우강도 구간별 강우량 추정식 조합을 통한 앙상블 계수 산출 단계(S204)와, AWS 강우량과 2차원 강우장 강우량 비교를 통한 공간적 강우장 보정을 하는 2차원 강우장의 공간적 보정 및 검증 단계(S205)를 포함한다.
- [0072] 먼저, 관측자료 수집 단계를 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0073] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 지상 우적계, 우량계, 이중편파레이더 관측위치를 나타낸 구성도이다.
- [0074] 본 발명의 일 실시예에서는 지형성 강우의 강우장 생성을 위한 강우량 추정 관계식 산출을 위해 2012년부터 2014년까지 여름 장마철 기간 동안 한라산 장축에 따라 설치된 10대의 파시벨 광학 우적계 관측자료를 사용한다.

[0075] 표 1은 2012년부터 2014년 여름 장마철 기간 동안의 파시벨 광학 우적계, 우량계 기반 지형성 강우 관측 기간을 나타낸 것이다.

표 1

관측년도	관측기간
2012	6월 27일 ~ 7월 13일
2013	6월 18일 ~ 7월 14일
2014	6월 19일 ~ 7월 14일

[0076]

[0077] 파시벨 광학우적계 설치 위치는 편서풍의 영향을 주로 받는 한라산 지형성 강우의 지형 위치 및 고도에 따른 강우 보정을 위해 제주도 남서쪽 연안지역으로부터 북동쪽 연안지역까지 한라산 산사면을 따라 구축된 관측자료를 사용한다.

[0078] 표 2는 제주도에 설치한 파시벨 관측지점의 위치 및 고도 정보를 나타낸 것이다.

표 2

지점명	위도 (°, N)	경도 (°, E)	고도 (m)
S1	33.3000	126.2056	37
S2	33.3194	126.2717	140
S3	33.3450	126.3214	324
S4	33.3469	126.3883	551
S5	33.4250	126.4036	330
S6	33.3919	126.4939	975
S7	33.4253	126.5303	571
S8	33.4303	126.5978	590
S9	33.4594	126.7033	332
S10	33.5172	126.8869	57

[0079]

[0080] 파시벨 광학우적계 관측자료를 통해 산출한 강우량 추정 관계식의 적용 및 2차원 강우장 생성을 위해 제주 서쪽 (GSN)과 동쪽 연안(SSP)에 설치되어 기상청에서 운용중인 이중편파레이더 관측자료를 사용한다.

[0081] 본 발명에서 사용되는 자료 및 처리 방법을 설명하면 다음과 같다.

[0082] 먼저, 파시벨 광학 우적계 자료에 관하여 설명하면 다음과 같다.

[0083] 도 4는 파시벨 광학 우적계에서 송수신되는 레이저에 강수입자가 통과할 때의 일 예를 나타낸 구성도이고, 도 5는 강수입자가 파시벨 레이저를 통과할때의 신호 변화의 일 예를 나타낸 구성도이다.

[0084] 복잡지형에 설치된 파시벨 광학 우적계는 대기중 낙하하는 강수입자의 직경 및 낙하속도를 관측하는 기기로서, 강수입자 관측에 매우 유리한 지상 기상관측기기이다.

[0085] 파시벨 광학우적계는 도 4에서와 같이, 레이저를 기반으로 한 광학 센서를 이용하여 송신부에서 레이저를 보내 수신부에서 연속적으로 받게 된다.

[0086] 강수를 포함한 입자가 레이저 관측 영역을 통과하게 되면, 도 5에서와 같이 통과 중에 나타나는 수신부에서 도달한 레이저의 감소한 세기 차이와 감소한 시간을 계산하여 입자의 직경 정보와 낙하속도 정보를 얻을 수 있다.

[0087] 파시벨 광학우적계 관측을 통해 얻은 강수입자의 직경과 낙하속도 정보를 이용하여 설정된 시간 해상도에 대한 강우강도, 반사도 등의 정보 산출이 가능하다.

[0088] 본 발명의 일 실시 예에서는 시간변화에 따른 급격한 강우발달을 고려하기 위해 1분 시간해상도로 설정한 관측자료를 사용한다.

[0089] 파시벨 광학우적계를 통해 최소 0.2 mm부터 최대 25 mm까지의 입자직경과 최소 0.2 m s^{-1} 부터 최대 20 m s^{-1} 까지

의 낙하속도를 관측할 수 있다.

[0090] 강우입자의 직경과 낙하속도는 각 32개의 관측 채널을 가지고 있어 총 1024개 채널에 관측된 입자수가 기록되고, 채널별로 관측된 입자수를 기반으로 채널별 수농도 값이 산출된다.

[0091] 직경정보와 낙하속도 정보에 대한 32개의 채널 중 첫 번째와 두 번째 채널은 최소한의 관측 가능한 범위에 충족되지 못하여 잡음으로 처리되기 때문에 실제 관측을 통해 얻을 수 있는 자료에는 수치가 기록되지 않는다.

[0092] 자세한 파시벨 광학우적계의 제원 정보는 표 3과 같다.

표 3

		Technical data
Wavelength of optical sensor		780 nm
Measuring area		180 × 30 (54 cm ²)
Measuring range	Particle size	0.2 ~ 25 mm (32 channel)
	Particle velocity	0.2 ~ 20 m s ⁻¹ (32 channel)
Precipitation intensity		0.001 ~ 1200 mm hr ⁻¹
Measurement interval		10 seconds to 60 minutes
Dimension (H×W×D)		670 × 600 × 114 mm

[0093]

[0094] 그리고 이중편파레이더에 관하여 설명하면 다음과 같다.

[0095] 제주도에 설치된 고산, 성산 S밴드 이중도플러 레이더는 기상청에서 운용중인 현업 레이더로서, 제주도내 고산과 성산에 설치되어 있다.

[0096] 표 4는 제주도에 설치된 S밴드 이중도플러 레이더 제원이다.

표 4

		GSN	SSP
위치	위도	N 33.2942°	N 33.3869°
	경도	E 126.1628°	E 126.8797°
고도		103 m	68 m
관측반경		240 km	
주파수		2825 MHz	2755 MHz
관측변수		Z _H , Z _{DR} , Φ _{DP} , V _r 등	
고도각 수		9(0.2° ~ 15.0°)	

[0097]

[0098] 각 레이더는 240 km 반경 내 진입한 강수계 관측이 가능하고, 시간해상도는 5분, 연직 고도각은 총 9개 층(0.2°, 0.5°, 1.0°, 1.6°, 2.4°, 3.5°, 5.2°, 7.6°, 15.0°)으로 구성되어 있다. 관측 공간해상도는 250 m로서 한 방위각에 대한 관측영역의 관측 격자수는 960개이다.

[0099] 본 발명에 따른 자료 데이터 처리 방법을 설명하면 다음과 같다.

[0100] 먼저, 파시벨 광학우적계 전처리 및 수농도 자료 산출을 설명하면 다음과 같다.

[0101] 파시벨 광학 우적계를 통해 관측된 강우입자 이외 낙엽, 벌레 등의 비기상 자료 제거를 위해 전처리 작업을 진행한다.

[0102] (i) 낮은 시그널 세기를 가지는 첫 번째와 두 번째 직경 채널을 제거한다.

[0103] (ii) 파시벨 광학우적계 관측자료에서 계산되는 강우강도 값이 0.1 mm h⁻¹ 미만인 시간대에 대한 자료를 제외한다.

[0104] (iii) 액체 강우입자로 보기 어려운 직경이 8 mm 이상인 자료를 제외한다.

[0105] (iv) 강우입자 낙하 중 바람 등의 외부요인에 대한 영향을 받지 않는 강우입자의 직경별 종단속도 관계식(수학적

1)을 이용하여, 입자 직경별 낙하속도 유효범위에 포함되는 관측 값만을 사용한다.(수학식 2)

본 발명의 일 실시 예에서는 식 1의 상수 C값을 0.6을 사용한다.

수학식 1

$$V(D) = 9.65 - 10.3 \exp(-0.6D)$$

수학식 2

$$|V_{measured} - V_{ideal}| < CV_{ideal}$$

수학식 1과 2에서 D와 V는 강우입자의 직경과 입자 직경 채널별 낙하속도값을 나타낸다.

파시벨 광학 전처리과정을 거친 후, 매 1분 간격의 자료를 이용하여 입자 직경 채널별 입자수를 누적 함으로서 수농도 자료를 산출한다.

수농도 자료를 이용한 이중편파변수값 회수에 관하여 설명하면 다음과 같다.

이중편파변수(Z_H , Z_{DR} , K_{DP})가 고려된 강우량 추정 관계식 산출을 위해 파시벨 광학우적계 관측을 통해 획득한 수농도 분포 자료를 이용하여 이중편파변수 값 회수를 한다.

1분 시간 해상도의 강수입자 직경별 수농도값을 포함한 강수입자분포 자료를 T-매트릭스 산란시뮬레이션에 적용시켜 이중편파변수 산출이 가능하고, 본 발명의 일 실시 예에서는 T-매트릭스 산란시뮬레이션 프로그램을 통해 반사도 변수를 산출한다.

T-매트릭스 산란시뮬레이션을 통한 이중편파변수 추정을 위해서는 강우입자의 형태, 기울기 및 기온 등의 조건이 주어져야 한다.

강우입자 직경별 편평도 관계식(수학식 3-5)을 사용한다.

설정된 기온변수는 20 °C로 가정하여 결과를 산출한다. 강우입자의 평균 기울기 각도는 0° 이고 경사각의 분포의 폭이 20° 인 가우시안 분포를 가정하여 적용한다.

수학식 3

$$\frac{b}{a} = 1.0 \text{ for } D_{eq} < 0.7 \text{ mm}$$

수학식 4

$$\frac{b}{a} = 1.173 - 0.5165D_{eq} + 0.4698D_{eq}^2 - 0.1317D_{eq}^3 - 8.5 \times 10^{-3}D_{eq}^4 \text{ for } 0.7 \leq D_{eq} \leq 1.5 \text{ mm}$$

수학식 5

$$\frac{b}{a} = 1.065 - 6.25 \times 10^{-2} D_{eq} - 3.99 \times 10^{-3} D_{eq}^2 + 7.66 \times 10^{-4} D_{eq}^3 - 4.095 \times 10^{-5} D_{eq}^4$$

for $1.5 \text{ mm} < D_{eq}$

[0119]

[0120]

관계식 내 a와 b는 강우입자의 가로축과 세로축 길이를 의미하고, D_{eq} 는 강우입자의 직경을 나타낸다. 회수된 이중편파변수 Z_H 와 K_{DP} 의 단위는 mm m^{-3} 과 degree km^{-1} 이고, Z_{DR} 의 경우 dB 단위를 무차원수로 변환시켜 관계식을 산출한다.

[0121]

그리고 강우량 추정 관계식 산출 및 추정식 앙상블 계수 산출 및 검증에 관하여 설명하면 다음과 같다.

[0122]

강우량 추정 관계식 산출을 설명하면 다음과 같다.

[0123]

10개의 관측지점으로부터 수집된 강우입자분포 자료를 이용하여 T-매트릭스 산란시뮬레이션을 통해 이중편파변수를 회수하고, 회수된 이중편파변수와 강우강도와의 회귀를 통해 6개의 강우량 추정 관계식을 산출한다.

[0124]

도 6은 파시벨 우적계 관측자료를 통해 얻은 이중편파변수가 고려된 강우량 추정 관계식, 관측 강우강도와 추정된 강우강도의 산포도이다.

[0125]

(a) $R(Z_H, Z_{DR}, K_{DP})$, (b) $R(K_{DP})$, (c) $R(Z_H, Z_{DR})$, (d) $R(Z_H, K_{DP})$, (e) $R(Z_{DR}, K_{DP})$, (f) $R(Z_H, Z_{DR}, K_{DP})$ 이다.

[0126]

도 6은 S1 지점(도 3)에서 획득한 관측자료를 통해 구한 강우량 추정 관계식들을 이용하여 계산된 강우강도와 관측된 강우강도 산포도 그림 및 강우량 추정 관계식을 나타낸다.

[0127]

최저고도각 반사도자료 추출 및 강우강도 변환에 관하여 설명하면 다음과 같다.

[0128]

기상레이더는 전자기파의 송수신을 통한 전파세기 감소정도를 통해 강우세기를 산출하는 원격탐사기기이다.

[0129]

따라서, 레이더 안테나와 강수구름 등의 목표물 사이에 지형 등의 전자파 차단요소가 존재할 경우 강우의 세기 감소 및 빔 차폐현상이 발생한다.

[0130]

본 발명의 일 실시 예에서 고려된 제주도는 약 2 km의 높은 고도를 가지는 산악지형으로서 제주도에 위치한 이중편파레이더 관측 시 지형에 의한 빔 차폐 현상이 강하게 발생하는 지역이다.

[0131]

강우입자는 낙하 중 증발, 깨짐 등의 영향을 받아 레이더 관측 지역인 상층 고도와 지상 우량계 관측고도인 지상과의 강우량 차이가 발생할 수 있다. 고도에 따른 강우량 추정 오차를 최소화하기 위해 지상 고도와 가장 근접한 하층 고도의 강수 관측자료를 이용한 강우장 자료 생성이 필요하다.

[0132]

지형에 의한 빔 차폐 영향을 최소화 하기 위해, 레이더의 각 관측 방위각에 대해 지형고도보다 높은 고도층 관측이 가능한 고도각을 구하고, 산출된 고도각에 대한 반사도 값을 강우량 산출에 사용한다.

[0133]

도 7은 이중편파레이더 관측자료를 통해 얻은 이중편파변수별 PPI(Plan Position Indicator) 영상의 일 예를 나타낸 구성도이다.

[0134]

강우장 자료 생성시 강우에코만을 고려하기 위해 0.85 이상의 ρ_{HV} 값을 가지는 격자자료만을 사용한다.

[0135]

기상레이더에서 획득한 원통좌표계(고도각, 방위각, 거리)로 구성된 최저고도층의 강우량 분포 자료를 직교 카테시안 좌표계 (x, y)로 변환하고, 두 레이더의 중첩 관측영역은 강한 강우강도 값을 사용한다.

[0136]

도 8은 고산과 성산 이중편파레이더의 빔 차폐 영향을 고려한 최저고도각을 나타낸다.

[0137]

하모니서치 알고리즘을 통한 강우량 추정관계식 앙상블에 관하여 설명하면 다음과 같다.

[0138]

지상 우적계 관측자료를 기반으로한 강우량 추정 관계식은 강우특성에 따라 오차 차이가 있고, 강우의 미세물리 특성에 따른 최적의 이중편파변수 조합을 통한 강우량 추정 관계식이 생성되어야 보다 정확한 지상 강우량 정보 제공이 가능하다.

[0139]

지금까지의 제안된 강우량 추정 관계식들은 관계식 산출에 선정된 강우사례 및 관측기기 등의 차이로 인해, 다

양한 강우사례에 적용하기에는 한계가 있다.

[0140] 따라서, 본 발명에서는 복합지형을 지나가는 강우시스템에 대한 강우강도가 고려된 최적의 강우량 추정 관계식 산출을 위해 이중편파변수가 고려된 강우량 추정 관계식들의 선형 조합을 통한 최적의 강우량 추정 관계식 산출을 한다.

수학식 6

$$R_{ENS} = C_1 R(Z_H) + C_2 R(K_{DP}) + C_3 R(Z_H Z_{DR}) + C_4 R(Z_H K_{DP}) + C_5 R(Z_{DR} K_{DP}) + C_6 R(Z_H Z_{DR} K_{DP})$$

[0141]

[0142] 강우강도 세기에 따른 강우 특성차이를 고려하기 위해 총 6개의 강우강도 구간(R1: $0.1 \leq R < 1.0$, R2: $1.0 \leq R < 5.0$, R3: $5.0 \leq R < 10.0$, R4: $10.0 \leq R < 20.0$, R5: $20.0 \leq R < 30.0$, R6: $30.0 \leq R$)을 구분하여 앙상블 계수를 산출한다.

[0143] 강우량 추정 관계식들의 선형 조합 가중치 설정을 위해 사용된 최적화 기법은 하모니서치 기법(HSA, Harmony Search Algorithm)이다.

[0144] 분석에 사용된 최적화 기법은 최적화를 위해 사용되는 초기값들의 상관성이 없거나 변수 값의 변화에 따른 방정식의 해가 비선형적인 패턴을 보일 때 유용한 방법으로, 다수의 변수값에 대한 수학적 이론에 의한 최적화 방법을 사용하지 않고 자연현상적 조합을 모방한 반복연산을 통해 최적의 해를 구하는 메타-휴리스틱 최적화 알고리즘 중 하나이다.

[0145] 하모니서치 알고리즘은 임의로 부여된 강우량 추정관계식들의 선형 가중치 값을 부여하고, 부여된 가중치 값 배열을 다수로 설정한다.

[0146] 설정된 다수의 가중치 배열이 적용된 레이더 강우량 값과 지상 자동기상관측기기를 통해 수집된 강우량 값과의 RMSE(Root Mean Square Error, 평균제곱근오차)값을 구한다. 이때 산출된 RMSE 값 또한 앞에서 설정된 배열 수와 같다.

[0147] RMSE 값 배열 중 가장 큰 가중치 행을 제거하고 새로운 임의의 가중치 값을 부여하여 새로운 RMSE 값을 구한다.

[0148] 임의의 가중치 값 생성 및 RMSE 최소화를 반복하여 최적의 가중치를 산출한다.

[0149] 본 발명의 일 실시 예에서는 총 20000번의 반복횟수로 설정하고 20세트로 반복된 값을 평균하여 최적의 가중치 값을 구한다.

[0150] 도 9는 하모니서치 알고리즘의 반복 횟수에 따른 RMSE 감소 변화 그래프이다.

[0151] 하모니서치 알고리즘은 관계식에 임의의 값을 적용시키는 과정을 반복하여 최적의 계수를 찾는 방법으로서, 실제 레이더 자료를 이용한 강우량 추정 관계식의 반복횟수에 따른 RMSE 감소결과는 도 9에서와 같다.

[0152] 반복횟수가 약 250회 이상일 때 RMSE의 감소 폭은 급격히 줄어들었고, 반복횟수가 약 600 이상일때는 RMSE 값이 약 17 mm h^{-1} 에 수렴하는 결과를 보였다. 결과적으로 초기 약 60 mm h^{-1} 이상의 RMSE 값이 20 mm h^{-1} 이하로 크게 감소하는 결과를 보여준다.

[0153] 도 10은 하모니서치 알고리즘을 통한 강우강도 구간별 강우량 추정 관계식별 가중치 값을 보여준다.

[0154] R1과 R2 ($0.1 \leq R < 5 \text{ mm h}^{-1}$) 구간에서 K_{DP} 변수가 고려되지 않은 $R(Z_H)$, $R(Z_H, Z_{DR})$ 관계식들의 가중이 KDP 변수가 고려된 $R(K_{DP})$, $R(Z_{DR}, K_{DP})$ 관계식들의 가중보다 월등히 높게 나타났다.

[0155] 반면 10 mm h^{-1} 이상의 강우강도 구간에서는 $R(K_{DP})$, $R(Z_{DR}, K_{DP})$ 의 가중치 계수 값이 최대 0.8 이상으로 높은 비중을 차지하였다.

[0156] 강우강도 세기에 따라 강우량 추정 관계식들의 가중치 값을 조절함으로서 최종적인 강우장을 산출한다.

[0157] 도 11은 지상 우량계 관측자료와의 비교를 통해 구한 이중편파변수가 고려된 강우량 추정식 및 앙상블된 강우량

추정식의 (a) RMSE, (b) ME, (c) CORR이다.

- [0158] 강우량 추정 관계식들의 앙상블을 통해 얻은 R_{ENS} 와 각 강우량 추정 관계식들의 RMSE, NE(Normalized Error), CC(Correlation Coefficient) 결과는 도 11에서와 같다.
- [0159] 앙상블된 강우량 추정 관계식의 에러값(RMSE, NE)값은 독립적인 강우량 추정 관계식들에 비해 낮은 값을 가지며, 지상 관측값과의 상관성은 높게 나타났다.
- [0160] 모든 관측지점들에서 정확도가 높은 관계식은 R_{ENS} , $R(Z_H, K_{DP})$, $R(Z_H)$, $R(Z_H, Z_{DR})$, $R(Z_H, Z_{DR}, K_{DP})$, $R(Z_{DR}, K_{DP})$, $R(K_{DP})$ 순으로 나타났다. AWS 관측값과의 상관성은 오차 정확도의 반대 순서로 나타났다. 보다 상세한 비교를 위해 2020년 6월 13일 제주를 지나간 강우사례에 대한 강우강도 시계열 분석을 수행하였고, 비교 결과는 도 11에서와 같다.
- [0161] 선정된 강우사례는 제주지역 일누적 강우량이 최대 100 mm를 기록한 강우사례이다.
- [0162] K_{DP} 가 포함된 강우량 추정 관계식들은 전반적으로 과대추정하는 경향을 보였고, 5 mm h^{-1} 이하의 약한 강우강도 구간에서도 최대 20 mm h^{-1} 정도의 큰 폭으로 과대 추정하는 결과가 나타났다.
- [0163] 단시간에 매우 강한 강도의 강수셀이 지나간 시간대인 0640 LST에 S1 지점에서는 독립적인 강우량 추정 관계식을 통해 추정된 강우강도가 실제 관측 강우강도에 비해 최대 80 mm h^{-1} 이상의 차이를 보였지만, 앙상블 결과 강우강도 차이를 약 10 mm h^{-1} 이하로 감소시킬 수 있었다.
- [0164] 도 12는 이중편파변수가 고려된 강우량 추정식 및 앙상블된 강우량 추정식을 통해 얻은 강우강도와 우량계 관측 강우강도와의 시계열 분포도이다.
- [0165] S4~S10지점에서는 특히 앙상블된 강우강도 값이 실제 관측값과 비교하여 매우 유사한 값을 기록하였고 단시간에 증가 및 감소하는 강우강도 변화를 높은 정확도로 추정하였다.
- [0166] 2차원 강우장의 공간적 보정 및 검증에 관하여 설명하면 다음과 같다.
- [0167] 먼저, 2차원 강우장의 공간적 보정에 관하여 설명하면 다음과 같다.
- [0168] 레이더 강우량 추정 관계식을 통해 변환된 강우장은 특정 지점에서 획득한 추정 관계식의 의존성이 높기 때문에, 공간적 불확실성에 의한 오차를 줄이기 위해서는 레이더 자료가 포함하고 있는 불확실성을 추가한 앙상블을 통해 오차를 줄일 수 있다.
- [0169] 레이더 강우장의 공간적 앙상블은 레이더 강우장에 공간적 섭동장을 더해줌으로서 표현 가능하다.

수학식 7

$$\Phi_{t,i} = R_t + \delta_{t,i}$$

- [0170]
- [0171] 여기서, $\Phi_{t,i}$ 는 확률적 앙상블된 강우장을 나타내고, R_t 는 t시간에 대한 레이더 강우장을 나타낸다. $\delta_{t,i}$ 는 t시간에 대한 레이더 강우의 시공간적 오차를 기반으로한 I번째 확률적 섭동장을 나타낸다.
- [0172] 충분한 섭동을 적용시킨 앙상블 결과들을 고려함으로써 레이더 강우의 공간적 특성을 고려할 수 있다. 레이더 자료의 공간적 오차를 나타내는 $\delta_{t,i}$ 는 레이더 강우와 지상 강우의 평균 관측오차에 t 시점의 지상 관측지점 값의 상관성과 관련있는 $Ly_{t,i}$ 변수의 합으로 생성된다.

수학식 8

[0173]

$$\delta_{t,i} = \mu_{t,k} + Ly_{t,i}$$

[0174]

여기서, $\mu_{t,k}$ 는 관측지점 k 에서 강우 시작시간으로부터 t 시간까지의 평균오차를 나타내고, 지상관측 강우값과 레이더 강우값의 차이를 고려하여 계산된다.

수학식 9

[0175]

$$\mu_{t,k} = \frac{1}{\sum_{t=1}^t \omega_{t,x_k}} \omega_{t,x_k} \epsilon_{t,x_k}$$

[0176]

여기서, x_k 는 관측지점 k 에 해당하는 레이더 격자, ϵ_{t,x_k} , ω_{t,x_k} 는 관측지점 x_k , t 시점에서의 관측오차와 관측오차의 가중치를 나타낸다. 관측오차의 가중치에 레이더 강우강도 값을 적용시켰다.

[0177]

ϵ_{t,x_k} 는 수학식 10과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 10

[0178]

$$\epsilon_t = 10 \log_{10} \left(\frac{G_t}{R_t} \right)$$

[0179]

G_t 와 R_t 는 t 시점에서의 지상 강우값과 레이더 강우값을 나타내고, 비교값을 로그화하여 기존 mm h^{-1} 이었던 단위를 dBR로 변환시켰다.

[0180]

수학식 8의 L 을 구하기 위해서는 레이더 강우의 공간적 변동성을 고려한 관측지점별 공분산을 산출이 필요하다.

수학식 11

[0181]

$$C = LL^T$$

[0182]

C 는 관측지점 사이의 공분산 매트릭스를 나타내고, L 과 L^T 는 Cholesky 알고리즘을 통해 분해된 상,하단 삼각 매트릭스를 각각 나타낸다. 관측지점 별 공분산 매트릭스는 식 12를 통해 산출할 수 있다.

수학식 12

[0183]

$$C_{kl} = \frac{1}{\sum_{t=1}^Q \omega_{t,x_k}} \sum_{t=1}^Q \omega_{t,x_k} (\epsilon_{t,x_k} - \mu_k)(\epsilon_{t,x_l} - \mu_l)$$

- [0184] C_{kl} 은 k 와 l 관측지점 사이의 공분산값이고, Q 는 시간스텝을 나타낸다.
- [0185] 그리고 지상 AWS 관측자료를 이용한 공간적 보정 검증에 관하여 설명하면 다음과 같다.
- [0186] 특정 지역에서 얻은 강우량 추정식을 이용하여 생성한 강우장은 지역별 강우 정확도 오차를 발생시키기 때문에, 공간적 오차보정이 필요하다.
- [0187] 도 13은 지상 우량계 관측자료를 통해 얻은 관측지점별 공분산 매트릭스 및 LU 분해 결과 구성도이다.
- [0188] 도 13의 좌측 그림은 S1지점에서 얻은 강우량 추정관계식을 통해 산출한 레이더 강우와 지상 AWS 관측을 통해 얻은 강우의 오차에 대한 AWS 관측지점별 공분산 매트릭스를 나타낸다.
- [0189] 공분산이 클수록 비교한 두 자료가 높은 양의 상관성을 가지고 있다고 볼 수 있고, 관측값과의 오차 상관성이 높다는 것을 의미한다.
- [0190] 도 14는 관측지점별 앙상블된 강우량 추정 관계식으로 추정된 강우장의 공간적 섭동분포도이다.
- [0191] 도 14는 각 파시벨 광학우적계 관측지점별 강우량 추정 관계식들의 앙상블을 통해 얻은 강우장의 공간적 섭동 분포를 보여준다.
- [0192] 연안지역(S1과 S10)에서 얻은 강우량 추정 관계식을 통한 강우장은 산악지역에서의 섭동값이 약 2 dBR 이상의 높은 값을 기록하였다. 관측지점들 중 가장 고도가 높은 지점인 S6의 관계식이 적용된 강우장의 섭동값은 산 봉우리 지역에서는 약 0.5 dBR 정도의 낮은 수치를 기록하였지만, 연안에 근접한 고도가 낮은 지역에서는 음의 섭동 값을 가져 실제 관측값에 비해 과소 추정하는 결과를 보였다.
- [0193] 섭동에 대한 공간적 분포 특성은 고도 차이에 따라 유사한 결과를 가졌다.
- [0194] 풍하측 산사면에 위치한 S5와 S9 지점의 섭동분포는 산 봉우리에서 오는 양의 값을 가져 과대추정하는 결과를 보였고, 이와 반대로 50 m 이하의 낮은 고도를 가지는 지역에서는 음의 섭동 값을 가져 과소추정하는 결과를 보였다.
- [0195] 산사면 중턱에 위치한 지점(S2, S4, S5, S7, S8, S9)에서 얻은 강우장들은 산악지역의 상대적인 위치(풍상/풍하측)보다는 고도에 따른 섭동값 차이가 뚜렷히 나타났다.
- [0196] 도 14의 산악 고도에 따른 섭동 분포 특징은 각 지점별 앙상블된 강우량 추정관계식을 통해 얻은 강우장에서 얻은 강우량 값과 지상 AWS 강우량과의 비교 결과에서도 나타난다.
- [0197] 도 15는 우적계 관측지점마다 산출된 강우량 추정관계식을 고려하여 산출된 2차원 강우장에 대한 RMSE 분포도이고, 도 16은 강우의 공간보정이 적용된 2차원 강우장에 대한 RMSE 값 분포도이다.
- [0198] 연안지역에서 얻은 강우량 추정관계식은 산악지역에서 7 mm h^{-1} 이상의 매우 높은 RMSE를 가지는데 반해, 연안지역에서는 3 mm h^{-1} 정도의 낮은 오차값을 가졌다.
- [0199] S6 지점에서 얻은 강우량 추정 관계식은 산 정상과 비교적 가까운 높은 고도에서 RMSE 값이 약 7 mm h^{-1} 로 상대적으로 감소하는 결과를 보였지만, 연안지역과 산사면 지역에서의 RMSE 값은 산사면과 연안지역에서 구한 강우량 추정관계식의 비교결과보다 약 3 mm h^{-1} 정도가 증가하는 결과를 보였다.
- [0200] S1부터 S10 지점에서 얻은 공간적 오차가 보정된 강우장을 동일한 격자점마다 평균을 해줌으로서 최종적인 강우장을 얻을 수 있었고, 지상 AWS 강우량과의 비교 결과는 도 16에서와 같다.
- [0201] 산악 지역 및 고도에 따른 과소 및 과대 추정된 오차를 보정해줌으로서 산 정상에 가까운 지역의 RMSE값은 8 mm h^{-1} 이상에서 약 6 mm h^{-1} 으로 감소하였고, 연안지역의 RMSE 값은 약 3 mm h^{-1} 이하의 낮은 값을 유지시켰다.
- [0202] 이상에서 설명한 본 발명에 따른 다중 우적계 관측장비를 이용한 복잡지형 강우장 생성을 위한 시스템 및 방법은 다수의 광학 우적계 관측장비를 이용하여 강우의 공간적 오차를 보정함으로써 복잡지형의 강우 정확도를 향상시킨 것이다.
- [0203] 본 발명은 강우강도 세기를 고려한 강우량 추정 관계식의 조합 및 복잡지형에서 관측한 우적계 관측장비를 활용한 공간적 강우장 보정을 통해 복잡지형에서 나타날 수 있는 강우장의 정확도 향상이 가능하도록 한 것이다.

[0204] 이상에서의 설명에서와 같이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 본 발명이 구현되어 있음을 이해할 수 있을 것이다.

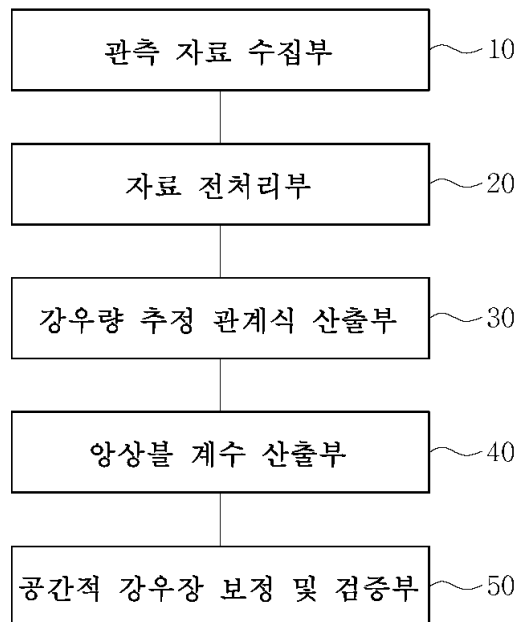
[0205] 그러므로 명시된 실시 예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 하고, 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구 범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

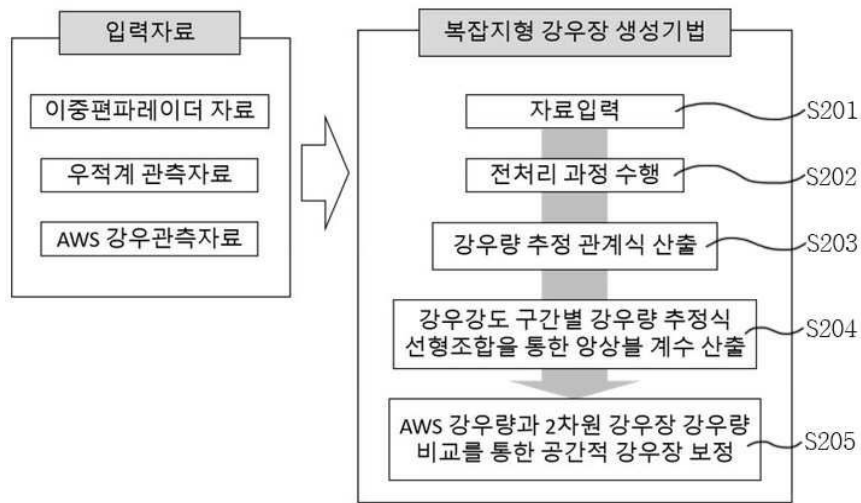
- [0206]
- 10. 관측 자료 수집부
 - 20. 자료 전처리부
 - 30. 강우량 추정 관계식 산출부
 - 40. 앙상블 계수 산출부
 - 50. 공간적 강우장 보정 및 검증부

도면

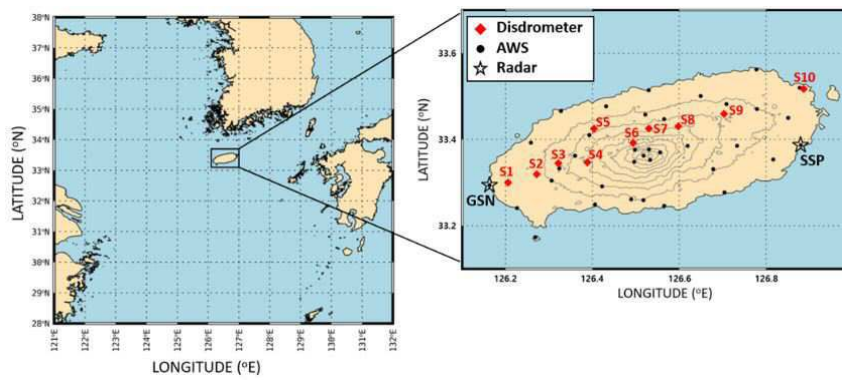
도면1



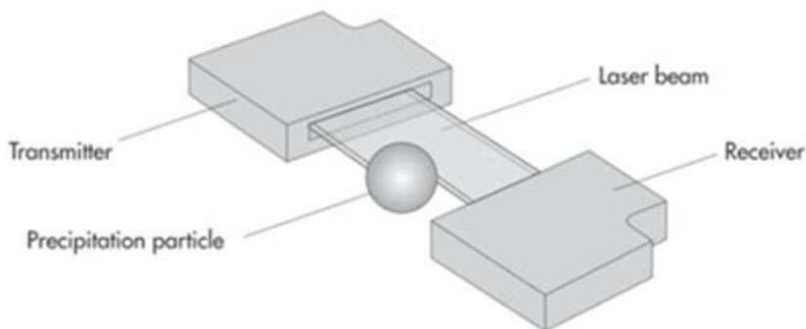
도면2



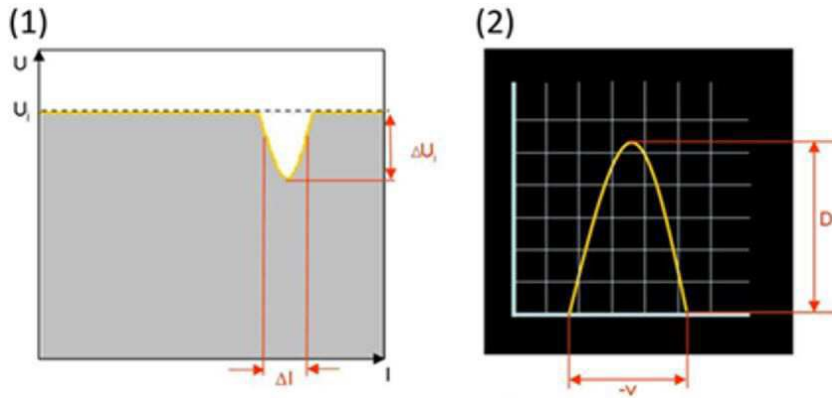
도면3



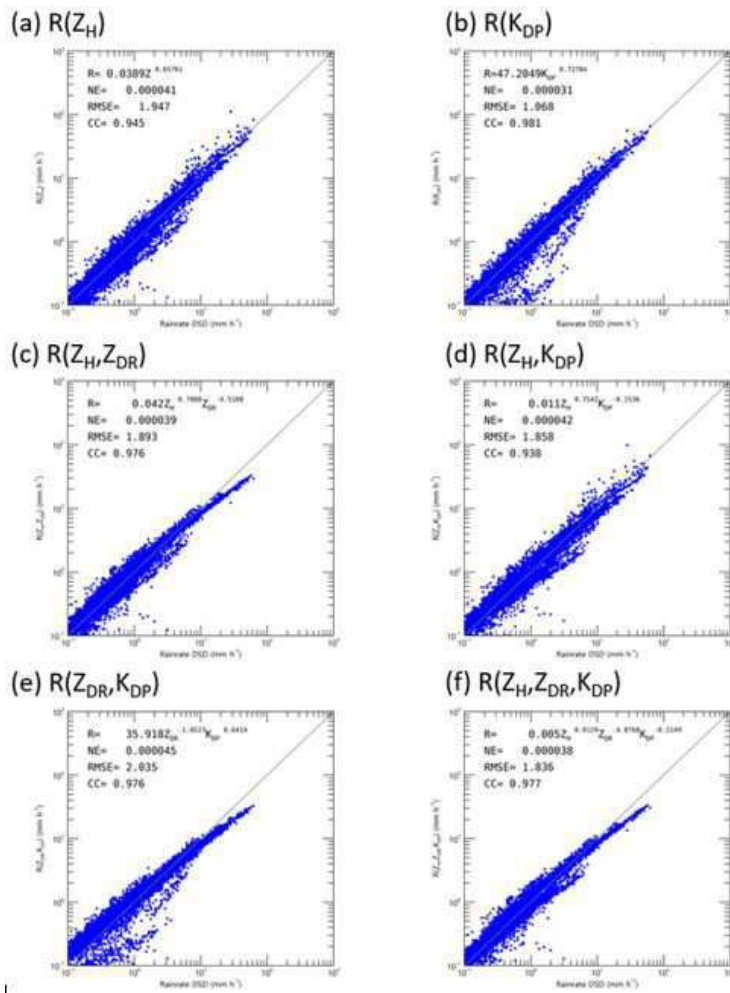
도면4



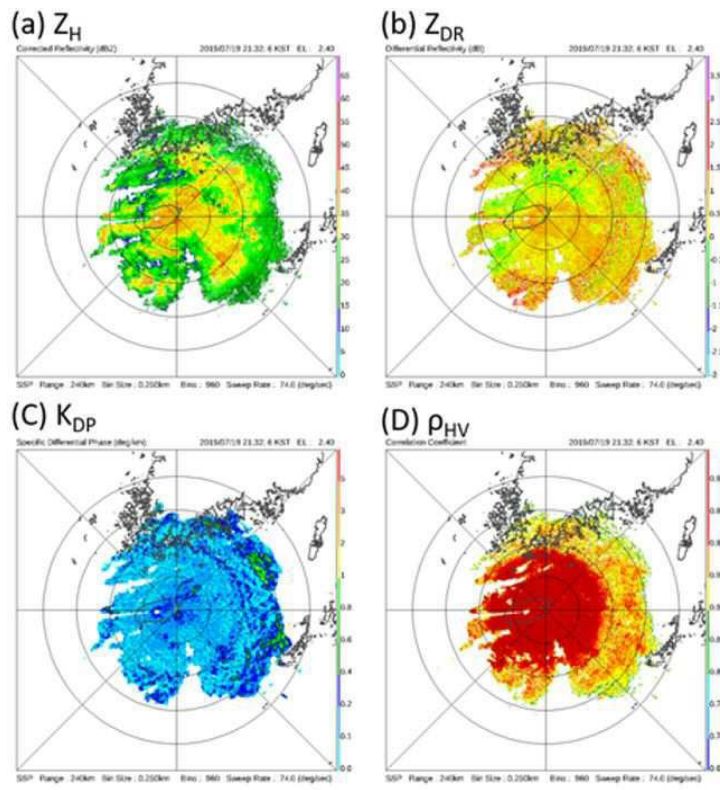
도면5



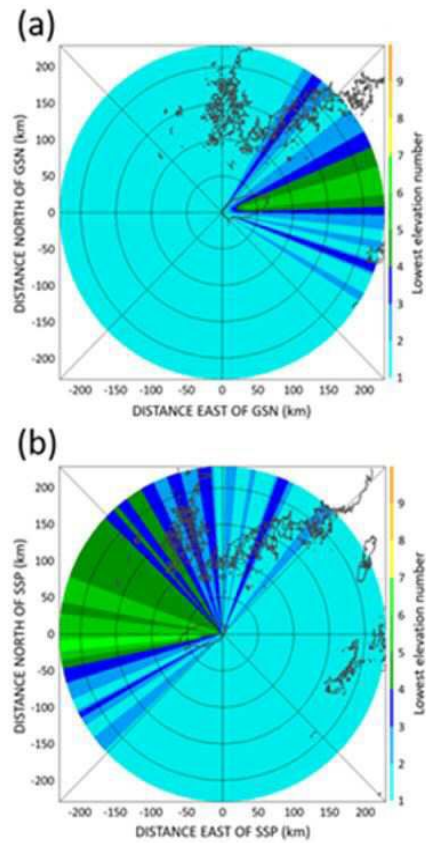
도면6



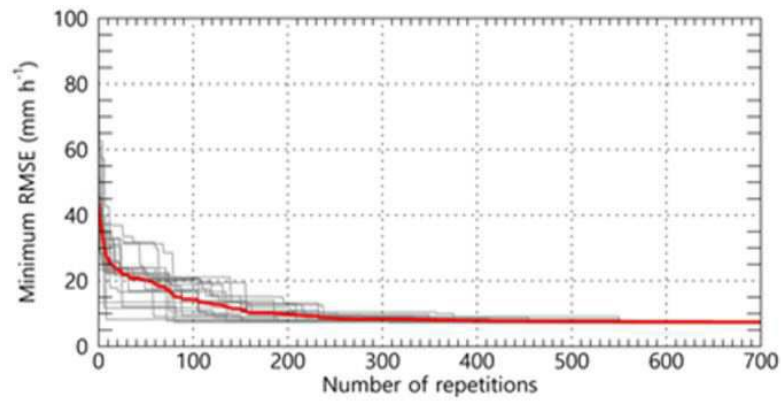
도면7



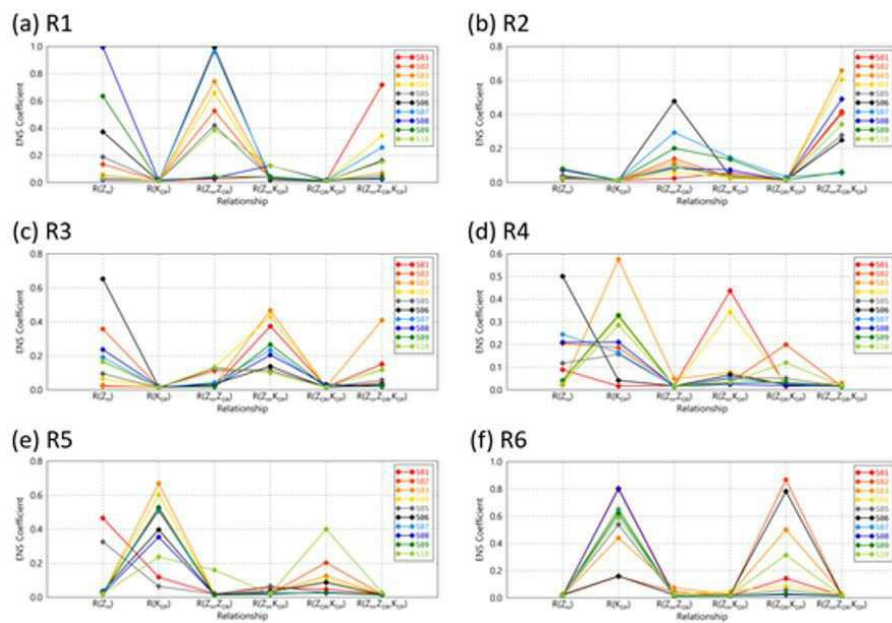
도면8



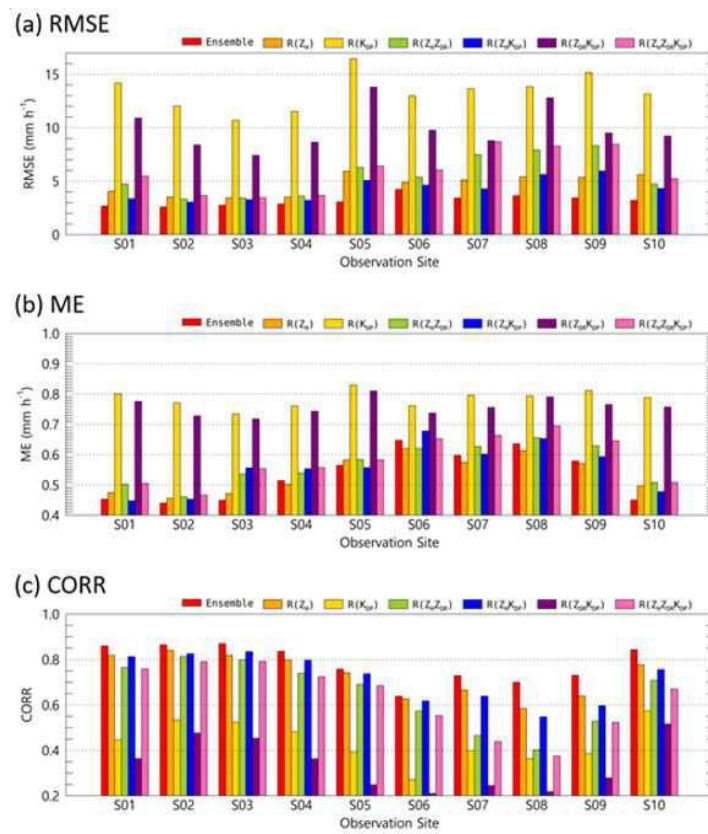
도면9



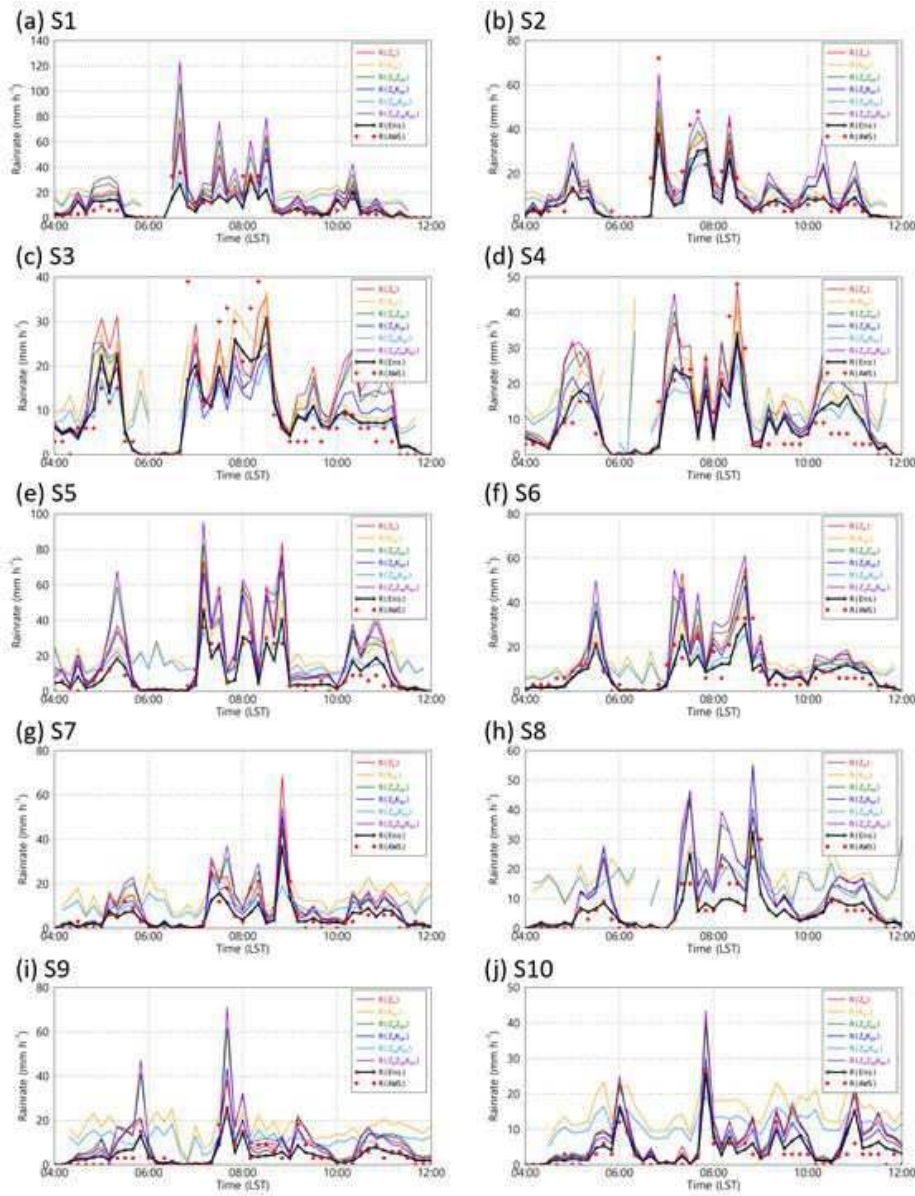
도면10



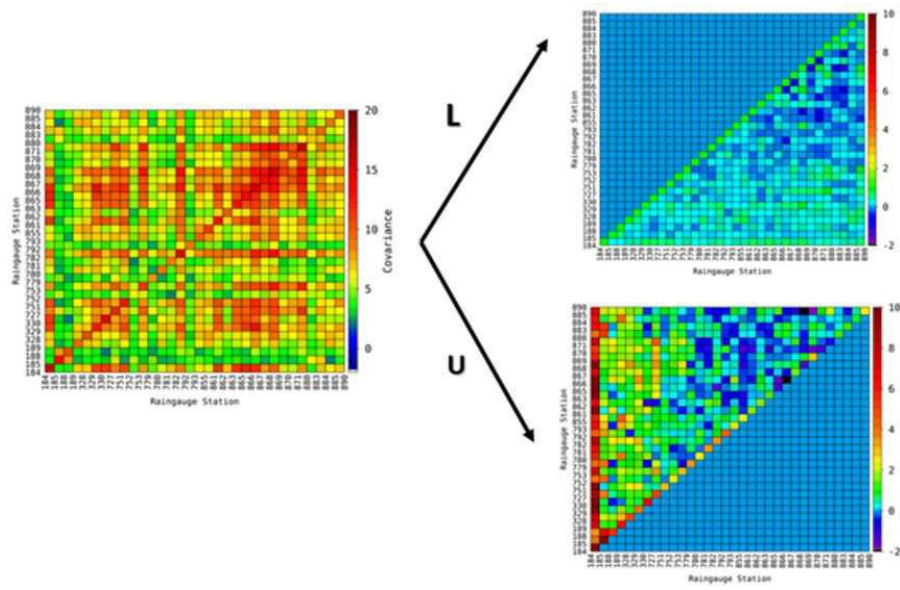
도면11



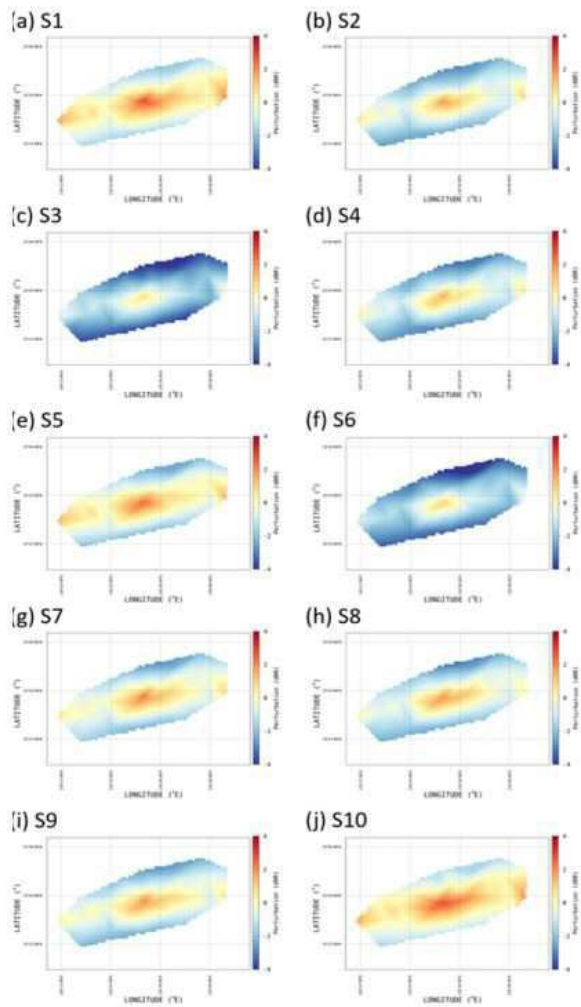
도면12



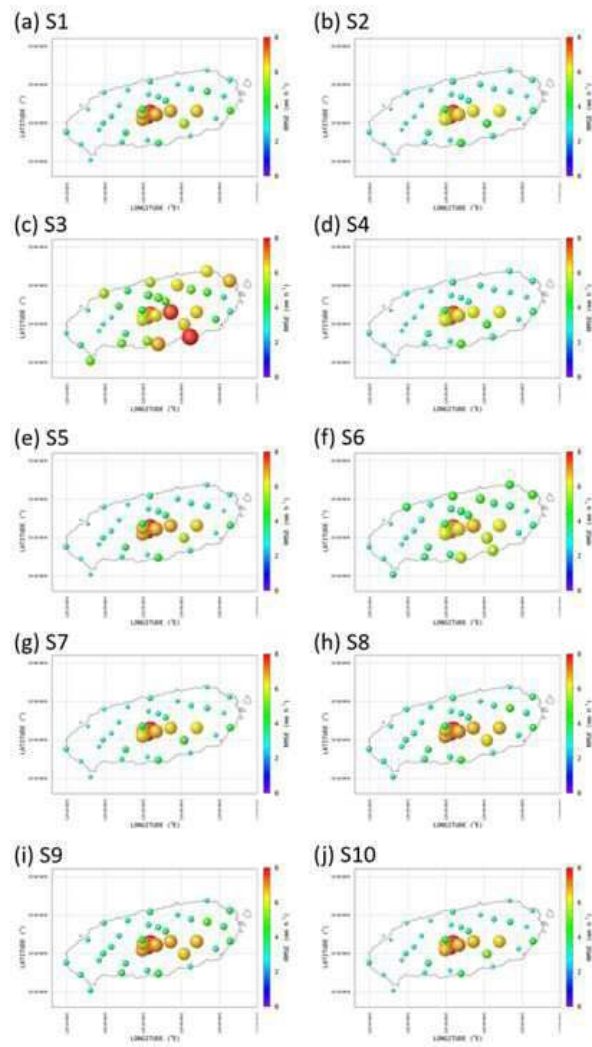
도면13



도면14



도면15



도면16

