



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년12월24일
(11) 등록번호 10-2058700
(24) 등록일자 2019년12월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01W 1/18 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01W 1/18 (2013.01)

G01W 1/14 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0097216

(22) 출원일자 2018년08월21일

심사청구일자 2018년08월21일

(56) 선행기술조사문헌

T. H. Raupach, et al., 'Correction of raindrop size distributions measured by Parsivel disdrometers, using a two-dimensional video disdrometer as a reference', Atmos. Meas. Tech., 8, 343-365, 2015.*

KR101846494 B1

KR1020180060286 A

KR101871315 B1

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

부경대학교 산학협력단

부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)

(72) 발명자

이동인

부산광역시 남구 용소로 45 부경대학교대연캠퍼스 4호관 4309호

서성호

부산광역시 부산진구 초읍천로43번가길 39

김근후

부산광역시 남구 진남로30번길 27 드림하이 404호

(74) 대리인

오위환, 나성곤, 정기택

전체 청구항 수 : 총 8 항

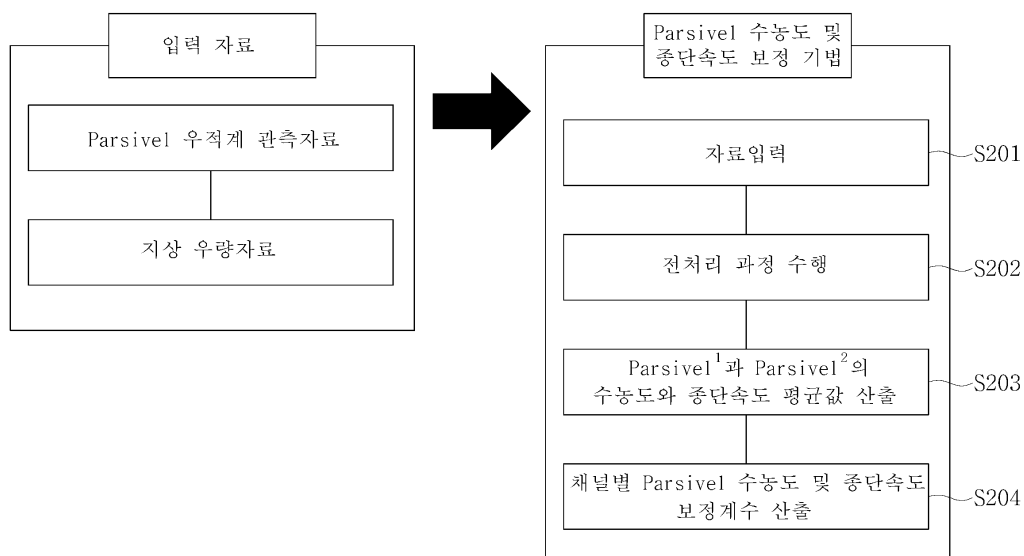
심사관 : 김홍래

(54) 발명의 명칭 강수입자 분석기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 현재 사용되고 있는 다양한 종류의 우적계에 대표성을 갖는 수농도 및 종단속도 보정계수를 적용하여 강수시스템 탐지 및 예측의 정확도를 높일 수 있도록 한 강수입자 분석기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 장치 및 방법에 관한 것으로, 우적계 관측 자료 및 지상 우량 자료를 입력하는 자료 생산부;우적계 장기자료 수집 및 전처리를 수행하고, 수농도 및 종단속도 보정계수 산출하여 산출된 보정계수의 적용 및 검증을 수행하는 수농도 및 종단속도 보정부;를 포함하는 것이다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G06F 17/18 (2013.01)

G01W 2201/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 KMI2018-06210

부처명 기상청

연구관리전문기관 한국기상산업기술원

연구사업명 기상·지진See-At기술개발연구

연구과제명 기상청 낙뢰 신관측장비 자료의 융합활용을 위한 기반 연구

기 여 율 1/1

주관기관 부경대학교 산학협력단

연구기간 2018.04.01 ~ 2019.12.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

우적계 관측 자료 및 기상 우량 자료를 입력하는 자료 생산부;

우적계 장기자료 수집을 하는 자료 수집부와, 액상의 강수입자만을 관측자료로 고려하기 위하여 설정된 조건의 비 강수입자를 제거하고 수상체 종단속도의 범위를 넘어서는 자료를 제거하는 전처리 및 품질보정을 통하여 장기간 강수자료를 선정하는 전처리부와, 수농도 보정을 위하여 서로 다른 버전의 기기에서 관측한 채널별 전체 자료에 대한 평균값을 구하고, 서로 다른 버전에서 수집된 평균 종단속도 값을 보정하여 수농도 및 종단속도 평균값을 산출하는 수농도 및 종단속도 평균값 산출부와, 상기 수농도 및 종단속도 평균값 산출부에서 산출된 수농도 및 종단속도 평균값을 이용하여 수농도 및 종단속도 보정계수를 산출하는 수농도 및 종단속도 보정계수 산출부를 포함하고, 산출된 보정계수의 적용 및 검증을 수행하는 수농도 및 종단속도 보정부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 강수입자 분석기기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

기상레이더 기반 정량적 강수량 추정(Quantitative Precipitation Estimations, QPE)의 정확도를 향상시키기 위하여,

우적계 장기자료 수집을 하는 자료 수집 단계;

액상의 강수입자만을 관측자료로 고려하기 위하여 설정된 조건의 비 강수입자를 제거하고 수상체 종단속도의 범위를 넘어서는 자료를 제거하는 전처리 및 품질보정을 통하여 장기간 강수자료를 선정하는 전처리 단계;

수농도 보정을 위하여 서로 다른 버전의 기기에서 관측한 채널별 전체 자료에 대한 평균값을 구하고, 서로 다른 버전에서 수집된 평균 종단속도 값을 보정하여 수농도 및 종단속도 평균값을 산출하는 수농도 및 종단속도 평균값 산출 단계;

수농도 및 종단속도 평균값 산출 단계에서 산출된 수농도 및 종단속도 평균값을 이용하여 수농도 및 종단속도 보정계수를 산출하는 수농도 및 종단속도 보정계수 산출 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 강수입자 분석기기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서, 전처리 및 품질보정을 통하여 장기간 강수자료를 선정하는 전처리 단계에서,

비 강수입자를 제거하기 위하여 $0.1 \text{ mm h}^{-1} < R < 200 \text{ mm h}^{-1}$ 을 만족하는 자료만 선정하고,

수상체 종단속도의 범위를 넘어서는 자료를 제거하기 위해

$$|v(D)_{Obs} - v(D)_{Ref}| < 0.6v(D)_{Ref} \text{ 에서 정의되는 종단속도-직경 관계식을 이용하고,}$$

여기서 $v(D)_{Obs}$ 는 우적계에서 관측된 종단속도이고 $v(D)_{Ref}$ 는 종단속도 관계식인 것을 특징으로 하는 강수입자 분석기기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 방법.

청구항 5

제 3 항에 있어서, 전처리 및 품질보정을 통하여 장기간 강수자료를 선정하는 전처리 단계에서,

액상의 강수입자를 고려하기 위하여 $D > 8\text{mm}$ 인 관측자료는 제외하고,

총 수농도(Total number concentration, N_T in m^{-3}) > 10 을 따르는 분 자료를 이용하고,

비현실적으로 강한 강우를 제외시키기 위하여 $0.1 \text{ mm h}^{-1} < R < 200 \text{ mm h}^{-1}$ 을 만족하는 자료 이외에는 제외하여 장기간 강수자료를 선정하는 것을 특징으로 하는 강수입자 분석기기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 방법.

청구항 6

제 3 항에 있어서, 수농도 및 종단속도 보정계수 산출 단계에서,

보정계수는 서로 다른 버전의 두 기기에서 관측한 수농도의 비로부터 계산되고,

$$F_{N,i} = \frac{N(D)_{2,i}}{N(D)_{1,i}} \text{ 으로 채널별 전체 자료에 대한 평균값을 이용하고,}$$

여기서 $N(D)_{n,i}$ 의 n 과 i 는 각각 기기 버전과 채널번호를 의미하며, $F_{N,i}$ 는 채널 i 에 대한 수농도 보정계수인 것을 특징으로 하는 강수입자 분석기기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서, 강수입자의 종단속도를

$$F_{V1,i} = \frac{V(D)_{2,i}}{V(D)_{1,i}} \quad F_{V2,i} = \frac{V(D)_{1,i}}{V(D)_{2,i}} \text{ 을 기준으로 하여 두 버전에서 수집된 평균 종단속도 값을 보정하고,}$$

여기서 $F_{Vn,i}$ 는 기기 버전 n 에 대한 종단속도 보정계수인 것을 특징으로 하는 강수입자 분석기기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 방법.

청구항 8

제 3 항에 있어서, 수농도 및 종단속도 보정계수 산출 단계에서 구해진 보정계수 적용 결과의 검증을 위하여,

보정된 수농도를 검증하기 위하여 최후 버전의 기기로부터 산출된 DSD변수 그리고 강우강도와 비교 및 검증 과정을 수행하고, 검증에 사용된 변수와 그에 따른 관계식은

$$D_m = \frac{\int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^4 N(D) dD}{\int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^3 N(D) dD} \text{ 이고,}$$

질량 가중 평균 직경은(Mass-weighted median diameter, D_m in mm) 4차와 3차 모멘트의 비로 계산하는 것을 특징으로 하는 강수입자 분석기기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서, 정규화된 절편 매개변수(Normalized intercept parameter, N_w in $mm^{-1} m^{-3}$)는

$$N_w = \frac{4^4}{\pi \rho_w} \left(\frac{LWC}{D_m^4} \right) \text{ 으로 정의되고,}$$

강우강도(R)는 추정된 DSD로부터

$$R = \frac{3.6}{10^3} \frac{\pi}{6} \int_0^{D_{\max}} v(D) D^3 N(D) dD$$

으로 계산되는 것을 특징으로 하는 강수입자 분석기기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 기상 관측에 관한 것으로, 구체적으로 현재 사용되고 있는 다양한 종류의 우적계에 대표성을 갖는 수농도 및 종단속도 보정계수를 적용하여 강수시스템 탐지 및 예측의 정확도를 높일 수 있도록 한 강수입자 분석기기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 기상청은 기상 방재를 위하여 레이더 관련 기술개발을 꾸준히 실행하고 있으며, 대국민 및 방재기관 서비스를 위한 사업을 실시하고 있다.

[0003] 고해상도의 기상 관측 자료를 생산하여 기후변화로 인해 증가하는 국지성 집중호우와 같은 악기상을 미연에 방지 하고자 강수시스템 탐지 및 예측에 많은 노력을 기울이고 있다.

[0004] 일반적으로 국토의 대부분이 산악지형인 우리나라에서는 산악에 의한 갑작스런 강수시스템의 발달로 인해 해마다 많은 비 피해가 발생하고 있다.

[0005] 특히 강수는 짧은 시간에 빠르게 변하기 때문에 정확한 측정이 쉽지 않고, 강수시스템은 국지적인 영역에서 비균질적인 공간분포를 보이기 때문에 시공간적으로 보다 빈번하게 강수를 관측해야 했다.

[0006] 이에 따라 지상강우계와 레이더가 강수 관측에 주로 사용되어왔으나, 적용범위가 충분하지 않을 뿐만 아니라, 불확실성으로 인하여 국내에서는 위성측정이나 레이더 측정과 같은 원격탐사방법에 의존하는 추세였다.

[0007] 기상레이더는 광범위한 영역에 존재하는 강수계를 단시간에 관측할 수 있는 첨단 기상관측장비이다. 레이더로부터 수신된 레이더 반사도(radar reflectivity, Z_h in dBZ)를 이용하여 대기 중에 존재하는 강수입자들을 관측하며 이로부터 지상 강우강도(rainfall rate, R in mm h^{-1})를 추정한다.

[0008] 기상레이더를 이용한 정확한 강수량 추정을 위하여 강수입자분포(raindrop size distribution, DSD)에 대한 이해가 요구되며, 이는 지상 우적계(disdrometer)로부터 관측된다.

[0009] 지상 우적계는 크게 충격식, 광학식 그리고 전자기식과 같이 다양한 관측전략을 통하여 기상정보를 수집하며, 관측기기 및 전략에 따라 상이한 관측값을 산출한다.

[0010] 독일 OTT사에서 개발한 Parsivel(Particle Size Velocity) 광학 우적계는 높은 안정성을 중심으로 다양한 국가에서 연구 및 현업 목적으로 사용 중이다.

[0011] 하지만 파시벨 등의 지상광학우적계나 rain gauge로 관측된 강수율은 강수입자의 크기분포 및 종단속도에 따라 크게 변동되는데, 특히 산악지역에서는 지형효과에 의한 강제력으로 인해 강수시스템이 통과하면서 강수역학과 미세물리 특성이 크게 변화하지만 이에 대한 분석과 이해가 제대로 이루어지지 않고 있었다.

[0012] 특히, Parsivel 우적계는 1995년 시험제작 원형 아이디어가 제안되어 2000년부터 본격적인 개발이 착수되었고, 2004년 공식적으로 1세대 모델(이하 Parsivel¹)이 출품되었다.

[0013] 이후 1세대 Parsivel는 정확한 수농도를 관측하지 못한다는 문제점이 여러 연구자로부터 확인 되었으며, 이를 극복하기 위하여 2009년 2세대 Parsivel(이하 Parsivel²)이 개발되었으나 현재 두 종류의 우적계를 모두 혼재하여 사용 중이다.

[0014] 현재 국내에서 장기간의 자료를 이용한 우적계 수농도 보정은 전무한 실정이다.

[0015] 최근 프랑스 몽페리마흐(Montelimar)에서 수행된 SOPs 2013 집중관측 중 $5 \times 5 \text{km}^2$ 의 관측영역 내에 9월 11일까지

약 3개월간 Parsivel1과 2로부터 관측된 수능도를 보정한 바 있다(Raupach and Berne, 2015).

- [0016] 이와 같은 선행 연구는 Parsivel¹의 수능도 보정 가능성을 제시한 가치 있는 결과이지만, 단기간의 수집자료와 기기 간의 수평거리가 약 4km 이상 이격된 문제점이 남아있다.
- [0017] 더욱이 수상체 분석/분류할 수 있는 종단속도의 보정은 제안하지 않았다.
- [0018] 장기간 자료를 이용한 지상 우적계 보정기법 개발을 통해 다양한 우적계 별 보정기법 개발이 필요할 것으로 판단되고 있다.
- [0019] 따라서, 기상레이더 기반 정량적 강수량 추정(Quantitative Precipitation Estimations, QPE)의 정확도 향상을 위하여 우적계의 수능도 및 종단속도 보정 기법의 개발이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0020] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1415362호
- (특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 제10-1846494호
- (특허문헌 0003) 대한민국 등록특허 제10-0922129호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0021] 본 발명은 종래 기술의 기상 관측 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 현재 사용되고 있는 다양한 종류의 우적계에 대표성을 갖는 수능도 및 종단속도 보정계수를 적용하여 강수시스템 탐지 및 예측의 정확도를 높일 수 있도록 한 강수입자 분석기기로부터 계산된 수능도 및 종단속도 보정을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0022] 본 발명은 장기간의 자료를 이용한 우적계 수능도 및 종단속도 보정으로 기상레이더 기반 정량적 강수량 추정(Quantitative Precipitation Estimations, QPE)의 정확도를 향상시킬 수 있도록 한 강수입자 분석기기로부터 계산된 수능도 및 종단속도 보정을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0023] 본 발명은 인접한 관측영역 내에 장기간의 강수 관측을 위한 기기설치를 하고, 장기간 강수입자분포 자료 수집을 하여 우적계 수능도 및 종단속도 보정계수가 대표성을 갖도록 하여 현재 사용되고 있는 다양한 종류의 우적계의 정밀도를 높일 수 있도록 한 강수입자 분석기기로부터 계산된 수능도 및 종단속도 보정을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0024] 본 발명은 비현실적으로 강한 강우를 제외시키기 위하여 $0.1 \text{ mm h}^{-1} < R < 200 \text{ mm h}^{-1}$ 을 만족하는 자료 이외에는 제외하고, 전처리 및 품질보정을 통하여 장기간 강수자료를 선정하여 우적계 수능도 및 종단속도 보정계수를 산출하여 현재 사용되고 있는 다양한 종류의 우적계의 정밀도를 높일 수 있도록 한 강수입자 분석기기로부터 계산된 수능도 및 종단속도 보정을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0025] 본 발명은 현재 사용되고 있는 다양한 종류의 우적계에 각 채널별 평균값의 차를 이용하여 개발한 보정계수를 각각 적용하여 강수시스템 탐지 및 예측의 정확도를 높일 수 있도록 한 강수입자 분석기기로부터 계산된 수능도 및 종단속도 보정을 위한 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0026] 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

- [0027] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 강수입자 분석기기로부터 계산된 수능도 및 종단속도 보정을 위한 장치는 우적계 관측 자료 및 지상 우량 자료를 입력하는 자료 생산부;우적계 장기자료 수집 및 전처리를 수행하고, 수능도 및 종단속도 보정계수 산출하여 산출된 보정계수의 적용 및 검증을 수행하는 수능도 및 종단

속도 보정부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0028] 여기서, 수농도 및 종단속도 보정부는, 우적계 장기자료 수집을 하는 자료 수집부와, 액상의 강수입자만을 관측 자료로 고려하기 위하여 설정된 조건의 비 강수입자를 제거하고 수상체 종단속도의 범위를 넘어서는 자료를 제거하는 전처리 및 품질보정을 통하여 장기간 강수자료를 선정하는 전처리부와, 수농도 보정을 위하여 서로 다른 버전의 기기에서 관측한 채널별 전체 자료에 대한 평균값을 구하고, 서로 다른 버전에서 수집된 평균 종단속도 값을 보정하여 수농도 및 종단속도 평균값을 산출하는 수농도 및 종단속도 평균값 산출부와, 상기 수농도 및 종단속도 평균값 산출부에서 산출된 수농도 및 종단속도 평균값을 이용하여 수농도 및 종단속도 보정계수를 산출하는 수농도 및 종단속도 보정계수 산출부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0029] 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 강수입자 분석기기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 방법은 기상레이더 기반 정량적 강수량 추정(Quantitative Precipitation Estimations, QPE)의 정확도를 향상시키기 위하여, 우적계 장기자료 수집을 하는 자료 수집 단계; 액상의 강수입자만을 관측자료로 고려하기 위하여 설정된 조건의 비 강수입자를 제거하고 수상체 종단속도의 범위를 넘어서는 자료를 제거하는 전처리 및 품질보정을 통하여 장기간 강수자료를 선정하는 전처리 단계; 수농도 보정을 위하여 서로 다른 버전의 기기에서 관측한 채널별 전체 자료에 대한 평균값을 구하고, 서로 다른 버전에서 수집된 평균 종단속도 값을 보정하여 수농도 및 종단속도 평균값을 산출하는 수농도 및 종단속도 평균값 산출 단계; 수농도 및 종단속도 평균값 산출 단계에서 산출된 수농도 및 종단속도 평균값을 이용하여 수농도 및 종단속도 보정계수를 산출하는 수농도 및 종단속도 보정계수 산출 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0030] 여기서, 전처리 및 품질보정을 통하여 장기간 강수자료를 선정하는 전처리 단계에서, 비 강수입자를 제거하기 위하여 $0.1 \text{ mm h}^{-1} < R < 200 \text{ mm h}^{-1}$ 을 만족하는 자료만 선정하고, 수상체 종단속도의 범위를 넘어서는 자료를 제거하기 위해

[0031] $|v(D)_{Obs} - v(D)_{Ref}| < 0.6v(D)_{Ref}$ 에서 정의되는 종단속도-직경 관계식을 이용하고, 여기서 $v(D)_{Obs}$ 는 우적계에서 관측된 종단속도이고 $v(D)_{Ref}$ 는 종단속도 관계식인 것을 특징으로 한다.

[0032] 그리고 전처리 및 품질보정을 통하여 장기간 강수자료를 선정하는 전처리 단계에서, 액상의 강수입자를 고려하기 위하여 $D > 8\text{mm}$ 인 관측자료는 제외하고, 총 수농도(Total number concentration, N_T in m^{-3}) > 10 을 따르는 분 자료를 이용하고, 비현실적으로 강한 강우를 제외시키기 위하여 $0.1 \text{ mm h}^{-1} < R < 200 \text{ mm h}^{-1}$ 을 만족하는 자료 이외에는 제외하여 장기간 강수자료를 선정하는 것을 특징으로 한다.

[0033] 그리고 수농도 및 종단속도 보정계수 산출 단계에서, 보정계수는 서로 다른 버전의 두 기기에서 관측한 수농도의 비로부터 계산되고,

[0034] $F_{N,i} = \frac{N(D)_{2,i}}{N(D)_{1,i}}$ 으로 채널별 전체 자료에 대한 평균값을 이용하고, 여기서 $N(D)_{n,i}$ 의 n과 i는 각각 기기 버전과 채널번호를 의미하며, $F_{N,i}$ 는 채널 i에 대한 수농도 보정계수인 것을 특징으로 한다.

[0035] 그리고 강수입자의 종단속도를

[0036] $F_{V1,i} = \frac{V(D)_{2,i}}{V(D)_{1,i}}$ $F_{V2,i} = \frac{V(D)_{1,i}}{V(D)_{2,i}}$ 을 기준으로 하여 두 버전에서 수집된 평균 종단속도 값을 보정하고, 여기서 $F_{Vn,i}$ 은 기기 버전 n에 대한 종단속도 보정계수인 것을 특징으로 한다.

[0037] 그리고 수농도 및 종단속도 보정계수 산출 단계에서 구해진 보정계수 적용 결과의 검증에 위하여, 보정된 수농도를 검증하기 위하여 최후 버전의 기기로부터 산출된 DSD변수 그리고 강우강도와 비교 및 검증 과정을 수행하고, 검증에 사용된 변수와 그에 따른 관계식은

$$D_m = \frac{\int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^4 N(D) dD}{\int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^3 N(D) dD}$$

[0038] 이고, 질량 가중 평균 직경은(Mass-weighted median diameter, D_m in mm) 4차와 3차 모멘트의 비로 계산하는 것을 특징으로 한다.

[0039] 그리고 정규화된 절편 매개변수(Normalized intercept parameter, N_w in $\text{mm}^{-1} \text{m}^{-3}$)는

$$N_w = \frac{4^4}{\pi \rho_w} \left(\frac{LWC}{D_m^4} \right)$$

[0040] 으로 정의되고, 강우강도(R)는 추정된 DSD로부터

$$R = \frac{3.6}{10^3} \frac{\pi}{6} \int_0^{D_{\max}} v(D) D^3 N(D) dD$$

[0041] 으로 계산되는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0042] 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명에 따른 강수입자 분석기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 장치 및 방법은 다음과 같은 효과가 있다.

[0043] 첫째, 현재 사용되고 있는 다양한 종류의 우적계에 대표성을 갖는 수농도 및 종단속도 보정계수를 적용하여 강수시스템 탐지 및 예측의 정확도를 높일 수 있도록 한다.

[0044] 둘째, 장기간의 자료를 이용한 우적계 수농도 및 종단속도 보정으로 기상레이더 기반 정량적 강수량 추정(Quantitative Precipitation Estimations, QPE)의 정확도를 향상시킬 수 있도록 한다.

[0045] 셋째, 인접한 관측영역 내에 장기간의 강수 관측을 위한 기기설치를 하고, 장기간 강수입자분포 자료 수집을 하여 우적계 수농도 및 종단속도 보정계수가 대표성을 갖도록 하여 현재 사용되고 있는 다양한 종류의 우적계의 정밀도를 높일 수 있도록 한다.

[0046] 넷째, 비현실적으로 강한 강우를 제외시키기 위하여 $0.1 \text{ mm h}^{-1} < R < 200 \text{ mm h}^{-1}$ 을 만족하는 자료 이외에는 제외하고, 전처리 및 품질보정을 통하여 장기간 강수자료를 선정하여 우적계 수농도 및 종단속도 보정계수를 산출하여 현재 사용되고 있는 다양한 종류의 우적계의 정밀도를 높일 수 있도록 한다.

[0047] 다섯째, 현재 사용되고 있는 다양한 종류의 우적계에 각 채널별 평균값의 차를 이용하여 개발한 보정계수를 각각 적용하여 강수시스템 탐지 및 예측의 정확도를 높일 수 있도록 한다.

도면의 간단한 설명

[0048] 도 1은 본 발명에 따른 강수입자 분석기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 장치를 나타낸 구성도

도 2는 본 발명에 따른 강수입자 분석기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 방법을 나타낸 플로우차트

도 3은 본 발명에 따른 장기간 관측자료 수집을 위한 광학 우적계 설치의 일 예를 나타낸 구성도

도 4는 수집된 채널별 수농도 보정 전후의 평균 수농도($N(D)$)와 종단속도($V(D)$) 분포를 나타낸 그래프

도 5는 수농도 보정 전후에 따른 우적계 버전 별 계산된 DSD 변수 및 강우강도 분포 및 선형 회귀선을 나타낸 구성도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0049] 이하, 본 발명에 따른 강수입자 분석기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 장치 및 방법의 바람직한 실시 예에 관하여 상세히 설명하면 다음과 같다.

- [0050] 본 발명에 따른 강수입자 분석기기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 장치 및 방법의 특징 및 이점들은 이하에서의 각 실시 예에 대한 상세한 설명을 통해 명백해질 것이다.
- [0051] 도 1은 본 발명에 따른 강수입자 분석기기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 장치를 나타낸 구성도이고, 도 2는 본 발명에 따른 강수입자 분석기기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 방법을 나타낸 플로우 차트이다.
- [0052] 본 발명은 지상 우적계 수농도 및 종단속도 보정을 위하여 ① 우적계 장기자료 수집 및 전처리 수행, ② 수농도 및 종단속도 보정계수 산출, ③ 보정계수 적용 결과, ④ 적용된 결과의 검증의 구성을 포함한다.
- [0053] 기상레이더는 광범위한 영역에 존재하는 강수계를 단시간에 관측할 수 있는 첨단 기상관측장비이다.
- [0054] 레이더로부터 수신된 레이더 반사도(radar reflectivity, Z_h in dBZ)를 이용하여 대기 중에 존재하는 강수입자들을 관측하며 이로부터 지상 강우강도(rainfall rate, R in mm h^{-1})를 추정한다.
- [0055] 기상레이더를 이용한 정확한 강수량 추정을 위하여 강수입자분포(raindrop size distribution, DSD)에 대한 이해가 요구되며, 이는 지상 우적계(Disdrometer)로부터 관측된다.
- [0056] 지상 우적계는 크게 충격식, 광학식 그리고 전자식과 같이 다양한 관측전략을 통하여 기상정보를 수집하며, 관측기기 및 전략에 따라 상이한 관측값을 산출한다.
- [0057] 이러한 문제점을 극복하기 위하여 관측기기별 보정을 하는 것이 필요하다.
- [0058] 본 발명에 따른 강수입자 분석기기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 장치 및 방법은 현재 사용되고 있는 다양한 종류의 우적계에 대표성을 갖는 수농도 및 종단속도 보정계수를 적용하여 강수시스템 탐지 및 예측의 정확도를 높일 수 있도록 한 것이다.
- [0059] 이를 위하여, 본 발명은 장기간의 자료를 이용한 우적계 수농도 및 종단속도 보정으로 기상레이더 기반 정량적 강수량 추정(Quantitative Precipitation Estimations, QPE)의 정확도를 향상시키기 위한 구성을 포함할 수 있다.
- [0060] 또한, 본 발명은 인접한 관측영역 내에 장기간의 강수 관측을 위한 기기설치를 하고, 장기간 강수입자분포 자료 수집을 하여 우적계 수농도 및 종단속도 보정계수가 대표성을 갖도록 하기 위한 구성을 포함할 수 있다.
- [0061] 본 발명은 비현실적으로 강한 강우를 제외시키기 위하여 $0.1 \text{ mm h}^{-1} < R < 200 \text{ mm h}^{-1}$ 을 만족하는 자료 이외에는 제외하고, 전처리 및 품질보정을 통하여 장기간 강수자료를 선정하여 우적계 수농도 및 종단속도 보정계수를 산출하는 구성을 포함할 수 있다.
- [0062] 본 발명은 현재 사용되고 있는 다양한 종류의 우적계에 각 채널별 평균값의 차를 이용하여 개발한 보정계수를 각각 적용하는 구성을 포함할 수 있다.
- [0063] 본 발명에 따른 강수입자 분석기기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 장치는 도 1에서와 같이, 우적계 관측 자료 및 지상 우량 자료를 입력하는 자료 생산부(100)와, 우적계 장기자료 수집 및 전처리를 수행하고, 수농도 및 종단속도 보정계수 산출하여 산출된 보정계수의 적용 및 검증을 수행하는 수농도 및 종단속도 보정부(200)를 포함한다.
- [0064] 수농도 및 종단속도 보정부(200)는 우적계 장기자료 수집을 하는 자료 수집부(10)와, 액상의 강수입자만을 관측 자료로 고려하기 위하여 설정된 조건의 비 강수입자를 제거하고 수상체 종단속도의 범위를 넘어서는 자료를 제거하는 전처리 및 품질보정을 통하여 장기간 강수자료를 선정하는 전처리부(20)와, 수농도 보정을 위하여 서로 다른 버전의 기기에서 관측한 채널별 전체 자료에 대한 평균값을 구하고, 서로 다른 버전에서 수집된 평균 종단속도 값을 보정하여 수농도 및 종단속도 평균값을 산출하는 수농도 및 종단속도 평균값 산출부(30)와, 수농도 및 종단속도 평균값 산출부(30)에서 산출된 수농도 및 종단속도 평균값을 이용하여 수농도 및 종단속도 보정계수를 산출하는 수농도 및 종단속도 보정계수 산출부(40)를 포함한다.
- [0065] 본 발명에 따른 강수입자 분석기기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 방법은 도 2에서와 같이, 우적계 장기자료 수집을 하는 자료 수집 단계(S201)와, 액상의 강수입자만을 관측자료로 고려하기 위하여 설정된 조건의 비 강수입자를 제거하고 수상체 종단속도의 범위를 넘어서는 자료를 제거하는 전처리 및 품질보정을 통하여 장기간 강수자료를 선정하는 전처리 단계(S202)와, 수농도 보정을 위하여 서로 다른 버전의 기기에서 관측

한 채널별 전체 자료에 대한 평균값을 구하고, 서로 다른 버전에서 수집된 평균 종단속도 값을 보정하여 수농도 및 종단속도 평균값을 산출하는 수농도 및 종단속도 평균값 산출 단계(S203)와, 수농도 및 종단속도 평균값 산출 단계에서 산출된 수농도 및 종단속도 평균값을 이용하여 수농도 및 종단속도 보정계수를 산출하는 수농도 및 종단속도 보정계수 산출 단계(S204)를 포함한다.

- [0066] 자료 수집 단계(S201) 및 전처리 단계(S202)를 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0067] 도 3은 본 발명에 따른 장기간 관측자료 수집을 위한 광학 우적계 설치의 일 예를 나타낸 구성도이다.
- [0068] 본 발명의 일 실시 예에서는 Parsivel 우적계를 이용하여 자료 수집 및 전처리를 수행하고, 본 발명이 적용되는 우적계가 이로 제한되지 않는다.
- [0069] 정량적 강수량 추정(Quantitative Precipitation Estimation, QPE)을 위하여 강수 DSD에 대한 이해가 반드시 요구되며, 이는 지상 우적계로 계산된다.
- [0070] 현재 다양한 관측전략을 갖는 우적계가 존재하지만 그 중, 독일 OTT사에서 개발한 Parsivel(Particle Size Velocity) 광학 우적계는 높은 안정성을 중심으로 다양한 국가에서 연구 및 현업 목적으로 사용 중이다.
- [0071] Parsivel 우적계는 1995년 시험제작 원형 아이디어가 제안되어 2000년부터 본격적인 개발이 착수되었으며, 2004년 공식적으로 1세대 모델(이하 Parsivel¹)이 출품되었다.
- [0072] 이후 1세대 Parsivel는 정확한 수농도를 관측하지 못한다는 문제점이 여러 연구자로부터 확인 되었으며, 이를 극복하기 위하여 2009년 2세대 Parsivel(이하 Parsivel²)이 개발되었으며 현재 두 종류의 우적계를 모두 혼재하여 사용 중이다.
- [0073] 표 1은 Parsivel 우적계의 버전별 제원을 나타낸 것이다.

표 1

Specifications	Parsivel ¹	Parsivel ²
Manufacturer	OTT Hydromet	
Measuring area	54 cm ²	
Measuring range	Particle size: 0.2 to 25 mm Particle fall velocity: 0.2 to 20 m s ⁻¹	
Rain rate	0.001 to 1200 mm h ⁻¹	
Particle classification	32 sizes class 32 fall velocity class (The lowest two classes are not used at all)	
Laser wavelength	Red-light laser (650 nm)	Infrared light laser (780 nm)
Physical dimension	560 × 370 × 120 (mm)	670 × 600 × 114 (mm)
Net weight	5.0 kg	6.430 kg

[0074]

- [0075] 개량된 Parsivel²은 보다 정확한 지상 강수입자분포 관측이 가능하나, 성능 향상으로 인하여 기존의 Parsivel과 관측 값의 차이가 발생하는 것이 주요한 문제점으로 대두되었다.
- [0076] 이러한 문제점을 극복하기 위하여 Raupach 과 Berne (2015)는 프랑스 몽펠리에(Montelimer)에서 수행된 Special Observation Periods(SOPs 2013 Sep. to Nov.) 집중관측 중 $5 \times 5 \text{ km}^2$ 의 관측영역 내에 설치된 두 버전의 Parsivel로부터 관측된 수농도(Number concentration, $N(D)$ in $\text{mm}^{-1} \text{ m}^{-3}$)를 보정한 바 있다.
- [0077] 이와 같은 연구에서 제시한 결과는 두 버전의 Parsivel을 보정할 수 있는 가능성을 제시한 가치 있는 연구이지만, 단기간의 관측자료를 사용했다는 점과 두 Parsivel의 거리가 무시할 수 없을 만큼 이격($> 4 \text{ km}$)되어 있다는 주요한 문제점이 여전히 존재한다.
- [0078] 이 문제를 해결하기 위하여, 본 발명에서는 Parsivel 우적계 수농도 및 종단속도 보정계수가 대표성을 갖도록 하기 위하여 인접한 관측영역 내에 장기간의 강수 관측을 위한 기기설치 하여 장기간 강수입자분포 자료를 수집한다.
- [0079] 본 발명의 일 실시 예에서는 도 3에서와 같이 약 3년간 (2012년 9월 - 2015년 6월) $10 \times 10 \text{ m}^2$ 관측영역 내에 존재하는 4기의 Parsivel 우적계(Parsivel¹ 2기, Parsivel² 2기)로부터 수집된 장기간 관측자료를 이용하여 수농도와 종단속도(Terminal velocity, $V(D)$ in m s^{-1}) 자료를 채널별로 보정하였다.
- [0080] 도 3에서 P1과 P2 그리고 P3과 P4는 각각 Parsivel²와 Parsivel¹을 의미한다.
- [0081] 본 발명에 따른 전처리 및 자료 품질보정의 수행은 다음과 같이 진행된다.
- [0082] 오직 액상의 강수입자만을 관측자료로 고려하기 위하여 다음의 자료 품질보정(Quality Control, QC)을 수행한다.
- [0083] (i) 비 강수입자를 제거하기 위하여 $R > 0.1 \text{ mm h}^{-1}$ 인 자료만 사용하였으며, (Tokay and Short, 1996; Jaffrain and Berne, 2011; You and Lee, 2015; Suh et al., 2016)
- [0084] (ii)수상체 종단속도의 범위를 넘어서는 자료를 제거하기 위해 수학적 1에서 정의되는 종단속도-직경 관계식을 고려한다.
- 수학적 1**
- $$|v(D)_{Obs} - v(D)_{Ref}| < 0.6v(D)_{Ref}$$
- [0085]
- [0086] 여기서 $v(D)_{obs}$ 는 Parsivel에서 관측된 종단속도이고 $v(D)_{ref}$ 는 Atlas et al. (1973)가 제안한 종단속도 관계식이다(Kruger and Krajewski, 2002; Thurai and Bringi, 2005).
- [0087] (iii)오직 액상의 강수입자를 고려하기 위하여 $D > 8\text{mm}$ 인 관측자료는 제외하였다(Friedrich et al., 2013; Raupach and Berne, 2015; Park et al., 2017).
- [0088] (iv)또한, 총 수농도(Total number concentration, N_T in m^{-3}) > 10 을 따르는 분 자료를 이용하였다.(Niu et al., 2010; You and Lee, 2015; Suh et al., 2016).
- [0089] (v)마지막으로, 비현실적으로 강한 강우를 제외시키기 위하여 $0.1 \text{ mm h}^{-1} < R < 200 \text{ mm h}^{-1}$ 을 만족하는 자료를 사용하고 그 이외에는 제외하였다.
- [0090] 이와 같은 전처리 및 품질보정을 통하여 표 2에서와 같이 40,000분 이상의 장기간 강수자료를 선정한다.

표 2

Instrument	Data size (min)
P1	43271
P2	44025
P3	40245
P4	40354

[0091]

[0092]

우적계 수농도 및 종단속도 보정계수 산출에 관하여 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

[0093]

본 발명의 일 실시 예에 따른 우적계 수농도 및 종단속도 보정계수 산출에서는 Parsivel²를 기준으로 하여 Parsivel¹의 수농도 보정을 수행한다.

[0094]

보정계수는 수학적 식 2와 같이 두 기기에서 관측한 수농도의 비로부터 계산되었으며, 이는 채널별 전체 자료에 대한 평균값을 이용한다.

수학적 식 2

$$F_{N,i} = \frac{N(D)_{2,i}}{N(D)_{1,i}}$$

[0095]

[0096]

여기서 $N(D)_{n,i}$ 의 n과 i는 각각 Parsivel 기기 버전과 채널번호를 의미하며, $F_{N,i}$ 는 채널 i에 대한 수농도 보정계수를 뜻한다.

[0097]

강수입자의 종단속도는 많은 선행연구를 통해 확인된 바 있으며, 현재 대표적으로 사용하는 관계식은 Atlas 등 (1973)이 제안하였다.

[0098]

따라서 종단속도의 경우, 본 관계식을 기준으로 하여 두 버전에서 수집된 평균 종단속도 값을 다음과 같은 방법으로 보정한다.

수학적 식 3

$$F_{V1,i} = \frac{V(D)_{2,i}}{V(D)_{1,i}} \quad F_{V2,i} = \frac{V(D)_{1,i}}{V(D)_{2,i}}$$

[0099]

[0100]

여기서 $F_{Vn,i}$ 는 Parsivel 버전 n에 대한 종단속도 보정계수를 뜻하며, 각 변수 별 채널에 따른 보정계수는 표 3에와 같다.

표 3

i	F _N	F _{V1}	F _{V2}	i	F _N	F _{V1}	F _{V2}
3	8.776	0.89	1	14	0.825	1	1.093
4	7.597	0.823	1	15	0.804	1	1.084
5	3.150	0.83	1	16	0.762	1	1.075
6	1.883	0.841	1	17	0.778	1	1.068
7	1.238	0.846	1	18	0.773	0.974	1
8	1.134	0.865	1	19	0.801	0.96	1
9	1.160	1	1.142	20	0.826	0.942	1
10	0.984	1	1.136	21	0.756	0.938	1
11	0.912	1	1.144	22	0.590	0.955	1
12	0.865	1	1.123	23	0.550	0.999	1
13	0.853	1	1.115				

[0101]

[0102]

이와 같이 구해진 우적계 수농도 및 종단속도 원시자료 및 보정계수 적용 결과를 설명하면 다음과 같다.

[0103]

도 4는 수집된 채널별 수농도 보정 전후의 평균 수농도(N(D))와 종단속도(V(D)) 분포를 나타낸 그래프이다.

[0104]

전처리 및 품질보정을 수행한 Parsivel¹과 Parsivel²의 수농도와 종단속도는 동일한 버전에서 평균 수농도 분포가 일치하였으며, 버전 별 채널에 따른 평균값의 차가 뚜렷하게 나타났다.

[0105]

이를 보완하기 위하여 각 채널별 평균값의 차를 이용하여 개발한 보정계수를 Parsivel¹과 Parsivel²에 각각 적용한다.

[0106]

도 4는 2012년 9월부터 2015년 6월까지 도 3에서와 같이 설치된 4대의 Parsivel 우적계로(Parsivel¹: 2대, Parsivel²: 2대)부터 수집된 채널별 수농도 보정 전후의 평균 수농도(N(D))와 종단속도(V(D)) 분포를 나타낸 것이다.

[0107]

본 발명은 이와 같은 보정계수 적용 결과의 검증을 위하여 다음과 같은 구성을 포함한다.

[0108]

수농도는 DSD변수를 계산하기 위하여 요구되는 변수이다.

[0109]

보정된 수농도를 검증하기 위하여 Parsivel²로부터 산출된 DSD변수 그리고 강우강도와 비교 및 검증 과정을 수행하였으며, 검증에 사용된 변수와 그에 따른 관계식은 다음과 같다.

[0110]

질량 가중 평균 직경은 (Mass-weighted median diameter, D_m in mm) 4차와 3차 모멘트의 비로 계산한다.

수학식 4

$$D_m = \frac{\int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^4 N(D) dD}{\int_{D_{\min}}^{D_{\max}} D^3 N(D) dD}$$

[0111]

[0112] 정규화된 절편 매개변수는(Normalized intercept parameter, N_w in $\text{mm}^{-1} \text{m}^{-3}$) 다음과 같다.

수학식 5

$$N_w = \frac{4^4}{\pi \rho_w} \left(\frac{LWC}{D_m^4} \right)$$

[0113]

[0114] 그리고 강우강도(R)는 추정된 DSD로부터 계산된다.

수학식 6

$$R = \frac{3.6}{10^3} \frac{\pi}{6} \int_0^{D_{\max}} v(D) D^3 N(D) dD$$

[0115]

[0116] 표 4는 수농도 보정계수 적용 전후 DSD 변수의 상관계수(CC)와 평균 제곱근 오차(RMSE)를 나타낸 것이다.

표 4

Site	Before the version correction		After the version correction	
	CC	RMSE	CC	RMSE
D_m	0.87	0.28	0.88	0.21
$\log_{10} N_w$	0.83	4.47	0.90	4.19
R	0.83	4.20	0.83	3.39

[0117]

[0118] 도 5는 수농도 보정 전후에 따른 우적계 버전 별 계산된 DSD 변수 및 강우강도 분포 및 선형 회귀선을 나타낸 구성도이다.

[0119] 선정된 기간에 대한 Parsivel 우적계에서 계산된 DSD 변수와 강우강도를 나타낸 산포도로 수농도 보정을 통한 자료개선여부를 정량적 그리고 정성적으로 판단하기 위하여 두 변수의 상관계수(Correlation Coefficient, CC)와 평균 제곱근 오차(Root Mean Square Error, RMSE)를 이용한다.

[0120] 수농도 보정 전, D_m 의 CC와 RMSE는 각각 0.87과 0.28mm가 계산되었으며, 수농도 보정 이후 각각 0.88과 0.21mm로 개선되었다.

[0121] N_w 의 경우 CC와 RMSE는 각각 0.83과 4.47에서 0.90과 4.19로 대폭 개선되었으며, 강우강도는 정성적으로 개선되지 않았지만 정량적으로 상당히 개선(RMSE = 3.39 mm h^{-1})되었다.

[0122] 이러한 이유는 DSD 변수인 D_m 과 N_w 와 달리 대부분의 1분 강우강도 자료가 30 mm h^{-1} 내에 집중되어있기 때문이다.

[0123] 이상에서 설명한 본 발명에 따른 강수입자 분석기로부터 계산된 수농도 및 종단속도 보정을 위한 장치 및 방법은 현재 사용되고 있는 다양한 종류의 우적계에 대표성을 갖는 수농도 및 종단속도 보정계수를 적용하여 강수 시스템 탐지 및 예측의 정확도를 높일 수 있도록 한 것이다.

[0124] 이와 같은 본 발명은 장기간의 자료를 이용한 우적계 수농도 및 종단속도 보정으로 기상레이더 기반 정량적 강수량 추정(Quantitative Precipitation Estimations, QPE)의 정확도를 향상시킬 수 있도록 한다.

[0125] 이상에서의 설명에서와 같이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 본 발명이 구현되어 있음을 이해할 수 있을 것이다.

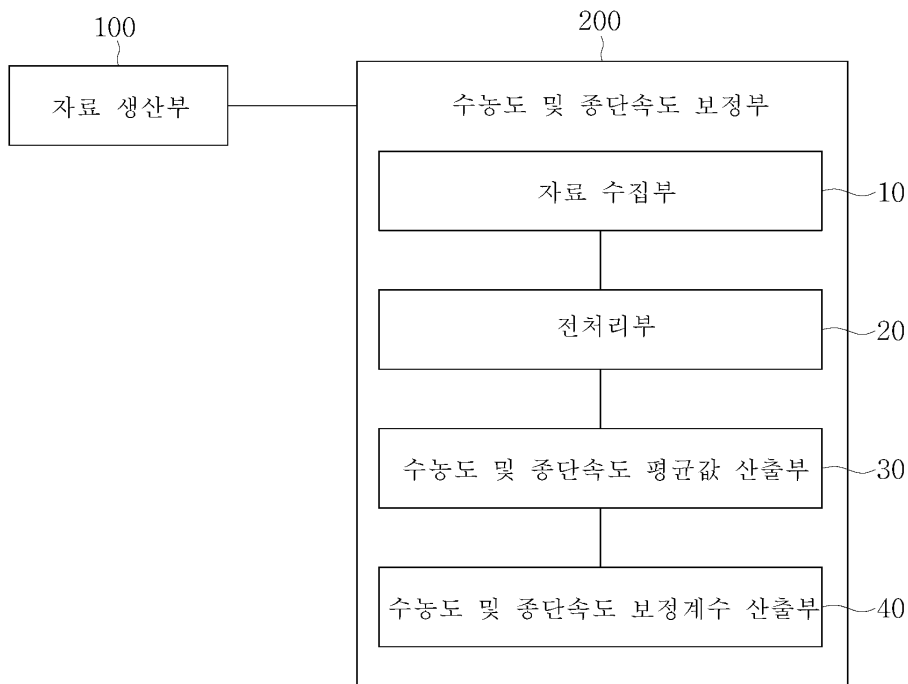
[0126] 그러므로 명시된 실시 예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 하고, 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구 범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

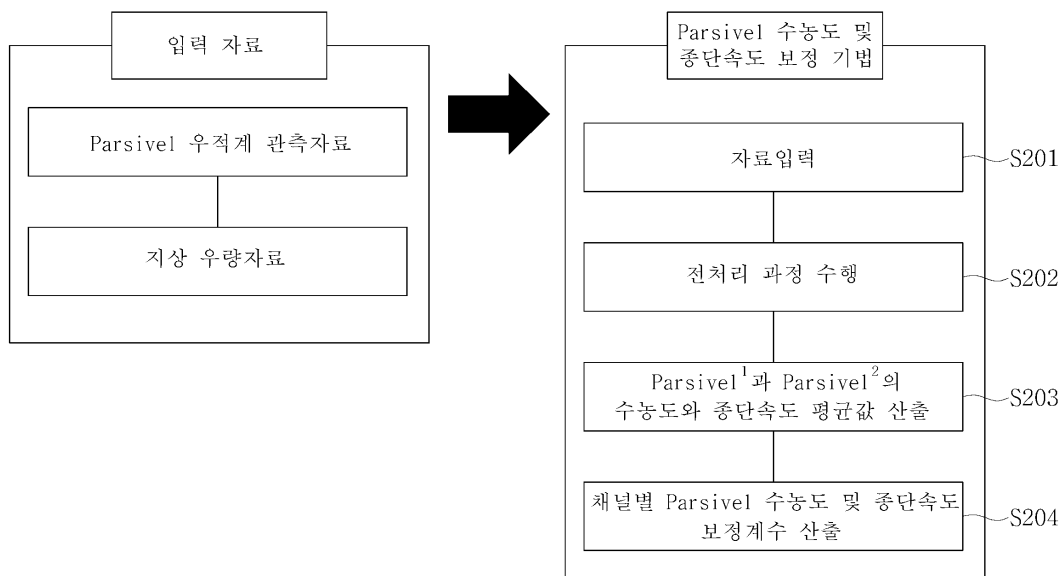
[0127] 100. 자료 생산부 200. 수농도 및 종단속도 보정부

도면

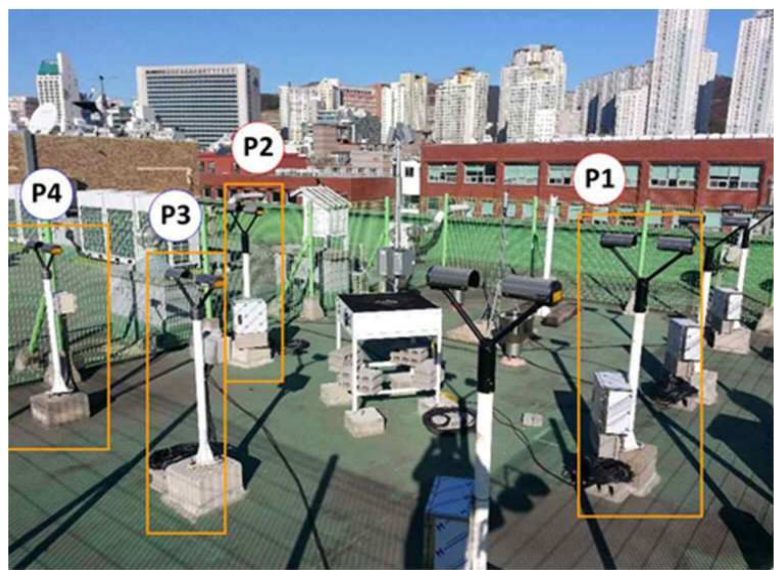
도면1



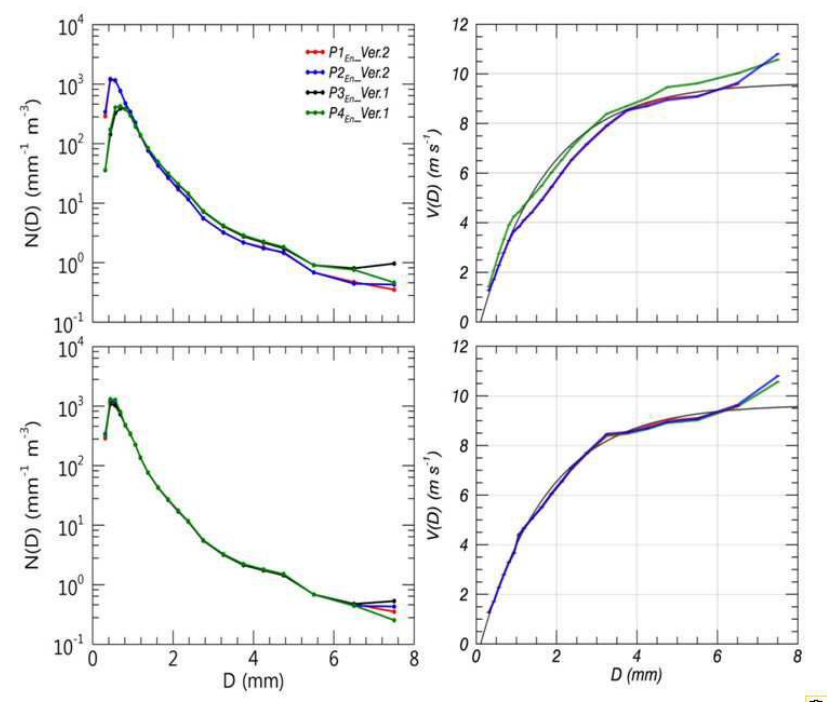
도면2



도면3



도면4



도면5

