(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0045303
(43) 공개일자 2023년04월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01W 1/10 (2006.01) *G01W 1/00* (2006.01)
G01W 1/14 (2006.01) *G06F 17/18* (2006.01)
G06F 17/40 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01W 1/10 (2013.01)
G01W 1/14 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0128001
(22) 출원일자 2021년09월28일
심사청구일자 2021년09월28일

(71) 출원인
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
김종호
울산광역시 남구 대학로 93, 23호관 415호 (무거동)
도이 반 만
울산광역시 남구 대학로 93 (무거동)
(74) 대리인
특허법인 무한

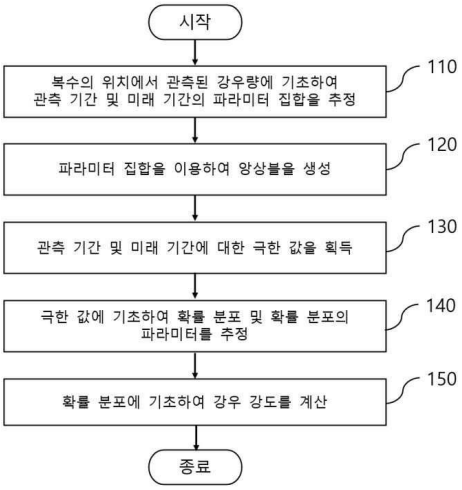
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 발명의 명칭 **기후 내적 변동성에 기초하여 극한 강우를 예측하기 위한 장치의 동작 방법 및 그 장치**

(57) 요 약

실시예는, 기후 내적 변동성에 기초하여 현재와 미래의 극한 강우를 예측하기 위한 장치의 동작 방법에 대한 것이다. 실시예에 따른 장치의 동작 방법은, 다양한 미래 시나리오에 대해 복수의 위치에서의 기후변화 정보를 다운스케일링 하는 단계; 복수의 위치에서 관측된 강우량에 기초하여 관측 기간 및 미래 기간에 해당하는 기후 내적 변동성 파라미터 집합을 추정하는 단계; 파라미터 집합을 이용하여 강우 앙상블을 생성하는 단계; 관측 기간 및 미래 기간에 대한 극한 값을 획득하는 단계; 극한 값에 기초하여 확률 분포 및 확률 분포의 파라미터를 추정하는 단계; 및 확률 분포에 기초하여 강우 강도를 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G06F 17/18 (2013.01)
G06F 17/40 (2020.08)
G01W 2001/006 (2013.01)
G01W 2201/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711106244
과제번호 2019R1C1C1004833
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 우수신진연구
연구과제명 물리기반 모형을 이용한 Small-Data 기반 메타모형 개발 및 강우유출 내적변동인자 계산
기 여 율 1/1
과제수행기관명 울산대학교 산학협력단
연구기간 2019.03.01 ~ 2022.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

장치의 동작 방법에 있어서,

복수의 위치에서 관측된 강우량에 기초하여 관측 기간 및 미래 기간에 해당하는 파라미터 집합을 추정하는 단계;

상기 파라미터 집합을 이용하여 앙상블을 생성하는 단계;

상기 관측 기간 및 상기 미래 기간에 대한 극한 값을 획득하는 단계;

상기 극한 값에 기초하여 확률 분포 및 상기 확률 분포의 파라미터를 추정하는 단계; 및

상기 확률 분포에 기초하여 강우 강도를 계산하는 단계

를 포함하는,

장치의 동작 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 파라미터 집합을 추정하는 단계는,

상기 관측 기간 및 상기 미래 기간에 대응하여 AWE-GEN(Advanced Weather GENerator)의 파라미터를 각각 추정하는 단계

를 포함하는,

장치의 동작 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 파라미터 집합을 추정하는 단계는,

상기 복수의 위치들에 대해서 상기 관측 기간에 해당하는 시간당 강우량의 데이터를 획득하는 단계; 및

상기 데이터에 대한 잠재적 오류를 분석하는 단계

를 포함하는,

장치의 동작 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 파라미터 집합을 추정하는 단계는,

복수 개의 RCP 시나리오에 기초하여 상기 미래 기간에 해당하는 파라미터를 획득하는 단계

를 포함하는,

장치의 동작 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 파라미터 집합을 이용하여 앙상블을 생성하는 단계는,

상기 파라미터 집합에 기초하여 동일한 파라미터를 가지는 데이터로부터 상기 앙상블을 생성하는 단계

를 포함하는,

장치의 동작 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 파라미터 집합을 이용하여 앙상블을 생성하는 단계는,

상기 관측 기간에 해당하는 데이터를 다른 지속 시간을 가지는 시계열 데이터로 재구성하는 단계

를 포함하는,

장치의 동작 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 관측 기간 및 상기 미래 기간에 대한 극한 값을 획득하는 단계는,

상기 관측 기간 및 상기 미래 기간에 대해서 연도 별 최대 값을 추출하여 강우 강도-지속 시간- 주파수(IDF) 곡선을 구성하는 단계

를 포함하는,

장치의 동작 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 확률 분포에 기초하여 강우 강도를 계산하는 단계는,

상기 앙상블을 구축하는 복수 개의 기간 및 반환 기간의 수, 상기 앙상블 멤버의 수 및 상기 복수의 위치의 수에 대해 상기 강우 강도를 계산하는 단계

를 포함하는,

장치의 동작 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 관측 기간 및 상기 미래 기간에 해당하는 앙상블의 평균에 기초하여 강우 강도의 비율을 계산하는 단계;

및

상기 비율에 기초하여 상기 미래 기간의 강우 빈도 추정치를 평가하는 단계

를 더 포함하는,

장치의 동작 방법.

청구항 10

하드웨어와 결합되어 제1항 내지 제9항 중 어느 하나의 항의 방법을 실행시키기 위하여 컴퓨터 판독 가능 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

청구항 11

장치에 있어서,

하나 이상의 프로세서;

메모리; 및

상기 메모리에 저장되어 있으며 상기 하나 이상의 프로세서에 의하여 실행되도록 구성되는 하나 이상의 프로그램을 포함하고,

상기 프로그램은,

복수의 위치에서 관측된 강우량에 기초하여 관측 기간 및 미래 기간에 해당하는 파라미터 집합을 추정하는 단계;

상기 파라미터 집합을 이용하여 앙상블을 생성하는 단계;

상기 관측 기간 및 상기 미래 기간에 대한 극한 값을 획득하는 단계;

상기 극한 값에 기초하여 확률 분포 및 상기 확률 분포의 파라미터를 추정하는 단계; 및

상기 확률 분포에 기초하여 강우 강도를 계산하는 단계

를 포함하는,

장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 파라미터 집합을 추정하는 단계는,

상기 관측 기간 및 상기 미래 기간에 대응하여 AWE-GEN(Advanced Weather GENerator)의 파라미터를 각각 추정하는 단계

를 포함하는,

장치.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 파라미터 집합을 추정하는 단계는,

상기 복수의 위치들에 대해서 상기 관측 기간에 해당하는 시간당 강우량의 데이터를 획득하는 단계; 및

상기 데이터에 대한 잠재적 오류를 분석하는 단계

를 포함하는,

장치.

청구항 14

제11항에 있어서,

상기 파라미터 집합을 추정하는 단계는,

복수 개의 RCP 시나리오에 기초하여 상기 미래 기간에 해당하는 파라미터를 획득하는 단계

를 포함하는,

장치.

청구항 15

제11항에 있어서,

상기 파라미터 집합을 이용하여 앙상블을 생성하는 단계는,

상기 파라미터 집합에 기초하여 동일한 파라미터를 가지는 데이터로부터 상기 앙상블을 생성하는 단계

를 포함하는,

장치.

청구항 16

제11항에 있어서,

상기 파라미터 집합을 이용하여 앙상블을 생성하는 단계는,

상기 관측 기간에 해당하는 데이터를 다른 지속 시간을 가지는 시계열 데이터로 재구성하는 단계

를 포함하는,

장치.

청구항 17

제11항에 있어서,

상기 관측 기간 및 상기 미래 기간에 대한 극한 값을 획득하는 단계는,

상기 관측 기간 및 상기 미래 기간에 대해서 연도 별 최대 값을 추출하여 강우 강도-지속 시간- 주파수(IDF) 곡선을 구성하는 단계

를 포함하는,

장치.

청구항 18

제11항에 있어서,

상기 확률 분포에 기초하여 강우 강도를 계산하는 단계는,

상기 앙상블을 구축하는 복수 개의 기간 및 반환 기간의 수, 상기 앙상블 멤버의 수 및 상기 복수의 위치의 수에 대해 상기 강우 강도를 계산하는 단계

를 포함하는,

장치.

청구항 19

제11항에 있어서,

상기 관측 기간 및 상기 미래 기간에 해당하는 앙상블의 평균에 기초하여 강우 강도의 비율을 계산하는 단계; 및

상기 비율에 기초하여 상기 미래 기간의 강우 빈도 추정치를 평가하는 단계

를 더 포함하는,

장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 실시예는, 기후 내적 변동성에 기초하여 극한 강우를 예측하기 위한 장치의 동작 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 일반적인 수자원 관리를 위한 시설을 설계하기 위해서 intensity-duration-frequency(IDF) 곡선으로부터 강도, 빈도, 등의 강우 강도 정보를 획득할 수 있다. 현재의 IDF는 미래에 극단적인 변화가 없음을 가정하는 고정적 가정과 함께 과거의 데이터를 통해 개발되었으므로, 미래에 나타날 수 있는 기후적 변경 상황에 대해서는 고려하지 않는다. 이러한 가정을 통한 분석은 기후 변화의 맥락에서 극한 현상의 규모와 빈도를 예측하기에 어려움이 있으며, 이러한 IDF 곡선 기반의 설계를 이용하는 수자원 관리의 인프라도 영향을 미칠 수 있다.

[0004] 기후 시스템의 많은 구성 요소 간의 비선형 상호 작용 및 피드백에 의해 야기되는 기후 내적 변동성(Climate Internal Variability, CIV)의 영향을 정량화는 것은 도전적인 문제이다. 특히, 기후 변화의 영향을 동시에 고려해야 하는 경우, 기후 변화로 인한 시그널(Climatological Mean, CM)의 변화와 내적 변동성에 의한 자연적인 변동성을 구분하고, 극한 강우 사상에 대한 각각의 영향을 정량화할 필요가 있다.

[0005] 그러나 이러한 CM/CIV 연구는 상대적으로 더 큰 공간 및 시간 스케일에서 몇 가지 대표적인 기후 변수의 1 차 모멘트에만 수행되었으며, 더 세밀한 공간(점단위) 및 시간(시단위) 스케일에서의 고차 모멘트(극한강우사상) 영향 평가 및 공간 패턴 조사는 미흡하다.

[0006] 이에, 수자원 기반 시설의 설계의 위험을 줄일 수 있도록 기후 변화 영향을 수용할 수 있도록 IDF 곡선을 수정할 필요가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 실시예에 따른 발명은, IDF 곡선을 업데이트하고 기후 변화 시나리오에서 미래의 변화를 평가할 수 있도록 기후

내적 변동성(Climate Internal Variability, CIV)의 영향을 정량화하는 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0010] 장치의 동작 방법에 있어서, 복수의 위치에서 관측된 강우량에 기초하여 관측 기간 및 미래 기간에 해당하는 파라미터 집합을 추정하는 단계; 상기 파라미터 집합을 이용하여 앙상블을 생성하는 단계; 상기 관측 기간 및 상기 미래 기간에 대한 극한 값을 획득하는 단계; 상기 극한 값에 기초하여 확률 분포 및 상기 확률 분포의 파라미터를 추정하는 단계; 및 상기 확률 분포에 기초하여 강우 강도를 계산하는 단계를 포함하는 장치의 동작 방법이 제공될 수 있다.

[0011] 상기 파라미터 집합을 추정하는 단계는, 상기 관측 기간 및 상기 미래 기간에 대응하여 AWE-GEN(Advanced Weather GENerator)의 파라미터를 각각 추정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 파라미터 집합을 추정하는 단계는, 상기 복수의 위치들에 대해서 상기 관측 기간에 해당하는 시간당 강우량의 데이터를 획득하는 단계; 및 상기 데이터에 대한 잠재적 오류를 분석하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 상기 파라미터 집합을 추정하는 단계는, 복수 개의 RCP 시나리오에 기초하여 상기 미래 기간에 해당하는 파라미터를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 파라미터 집합을 이용하여 앙상블을 생성하는 단계는, 상기 파라미터 집합에 기초하여 동일한 파라미터를 가지는 데이터로부터 상기 앙상블을 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 상기 파라미터 집합을 이용하여 앙상블을 생성하는 단계는, 상기 관측 기간에 해당하는 데이터를 다른 지속 시간을 가지는 시계열 데이터로 재구성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 상기 관측 기간 및 상기 미래 기간에 대한 극한 값을 획득하는 단계는, 상기 관측 기간 및 상기 미래 기간에 대해서 연도 별 최대 값을 추출하여 강우 강도-지속 시간- 주파수(IDF) 곡선을 구성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0017] 상기 확률 분포에 기초하여 강우 강도를 계산하는 단계는, 상기 앙상블을 구축하는 복수 개의 기간 및 반환 기간의 수, 상기 앙상블 멤버의 수 및 상기 복수의 위치의 수에 대해 상기 강우 강도를 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 상기 관측 기간 및 상기 미래 기간에 해당하는 앙상블의 평균에 기초하여 강우 강도의 비율을 계산하는 단계; 및 상기 비율에 기초하여 상기 미래 기간의 강우 빈도 추정치를 평가하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0020] 실시예에 따른 발명을 통해, IDF 곡선을 업데이트하고 기후 변화 시나리오에서 미래의 변화를 평가할 수 있도록 기후 내적 변동성(Climate Internal Variability, CIV)의 영향을 정량화하는 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 실시예에서, 강우 빈도 추정치를 추정하기 위한 장치의 동작 방법을 설명하는 흐름도이다.

도 2는 실시예에서, 적합도 검증 방법에 대해 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 실시예에서, 실제 관측된 강우 빈도 추정치와 참조 추정치에 대한 비교를 위한 도면이다.

도 4는 실시예에서, 극한 강우와 강우 빈도 추정치와의 관계를 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 실시예에서, 미래 기간에 대한 FOC를 도시한 것이다.

도 6은 실시예에서, 기후 내적 변동성이 극한 강우 강도에 미치는 불확실성의 정도를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 실시예들을 상세하게 설명한다. 그러나, 실시예들에는 다양한 변경이 가해

질 수 있어서 특허출원의 권리 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 실시예들에 대한 모든 변경, 균등물 내지 대체물이 권리 범위에 포함되는 것으로 이해되어야 한다.

[0024] 실시예에서 사용한 용어는 단지 설명을 목적으로 사용된 것으로, 한정하려는 의도로 해석되어서는 안된다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0025] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 실시예가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0027] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 실시예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0028] 또한, 실시예의 구성 요소를 설명하는 데 있어서, 제1, 제2, A, B, (a), (b) 등의 용어를 사용할 수 있다. 이러한 용어는 그 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하기 위한 것일 뿐, 그 용어에 의해 해당 구성 요소의 본질이나 차례 또는 순서 등이 한정되지 않는다. 어떤 구성 요소가 다른 구성요소에 "연결", "결합" 또는 "접속"된다고 기재된 경우, 그 구성 요소는 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되거나 접속될 수 있지만, 각 구성 요소 사이에 또 다른 구성 요소가 "연결", "결합" 또는 "접속"될 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.

[0029] 어느 하나의 실시예에 포함된 구성요소와, 공통적인 기능을 포함하는 구성요소는, 다른 실시 예에서 동일한 명칭을 사용하여 설명하기로 한다. 반대되는 기재가 없는 이상, 어느 하나의 실시 예에 기재한 설명은 다른 실시예에도 적용될 수 있으며, 중복되는 범위에서 구체적인 설명은 생략하기로 한다.

[0031] 실시예에 따른 방법은, 해당 위치에 대한 강우 빈도 추정치의 미래 변화에 대해 추정하고, 추정하고자 하는 기간에 대한 극한 강수량의 꼬리 특성을 분석한 후 대조 기간의 특성과 비교하며, 강우 빈도 추정치의 데이터 길이에 대한 영향을 분석하고, 강우 빈도 추정치의 미래 변화와 기후학적 평균(CM) 간의 관계를 분석할 수 있다.

[0032] 실시예에서, AWE-GEN(Advanced Weather GENerator)을 사용하여 기후 내부 변동성을 포함하는 시단위 앙상블 시계열을 생성하고, 현재 및 미래에 대한 강우 빈도 추정치를 평가할 수 있다. 예를 들어, 현재(1981~2010년)와 미래(2011~2040년, 2041~2070년 및 2071~2100년) 등 4개의 기간으로 적용될 수 있다.

[0033] 강수 시계열 데이터의 시간대 별 앙상블 멤버가 현재 및 미래 기간에 대해 생성되는 방법 및 나누어진 기간들 및 반환 기간에 대한 강우 빈도 추정치를 추정하는 방법에 대해서 아래에서 자세히 설명하도록 한다.

[0035] 도 1은 실시예에서, 강우 빈도 추정치를 추정하기 위한 장치의 동작 방법을 설명하는 흐름도이다.

[0036] 실시예에서, 기후 내적 변동성으로 인한 미래 기간의 극한 강우 분포의 꼬리(tail) 특성을 분석하여 관련된 불확실성을 제시할 수 있다.

[0037] 단계(110)에서 장치는, 미리 정해진 위치에서 관측된 강우량에 기초하여 관측 기간 및 미래 기간에 해당하는 파라미터 집합을 추정한다.

[0038] 실시예에서, 먼저 미리 정해진 위치에서 관측된 강우량을 사용하여 관측 기간에 해당하는 AWE-GEN의 파라미터를 추정할 수 있다.

[0039] 실시예에서, 국내에서 관측된 시간당 강우량을 이용하여 관측 기간에 해당하는 AWE-GEN의 파라미터를 추정할 수 있다. 예를 들어, 1981년부터 2010년까지30년 기간 동안에 대해서 시간당 강우량이 기록되어 있는 40개의 관측소의 시계열 데이터를 수집할 수 있고, 해당 데이터에 대한 잠재적 오류가 분석될 수 있다. 이후, AWE-GEN에서

Neyman-Scott Rectangular Pulse(NSRP) 모델의 파라미터를 추정할 수 있도록 시간당 강우량 데이터가 사용될 수 있다.

[0040] 이후, 미리 정해진 위치에서 미래 기간에 대한 AWE-GEN의 파라미터를 추정할 수 있다.

[0041] 실시예에서, 관측된 강우량을 획득한 위치들과 동일한 위치에 대해서 2개의 RCP(Representative Concentration Pathways) 시나리오로 미래 기간에 대한 AWE-GEN의 파라미터를 추정할 수 있다. 예를 들어, 2011~2040년, 2041~2070년 및 2071~2100년 등 30년 기간 단위에 대해서 Global Climate Model(GCM)을 통해 일일 강우량을 예측한 후, 두 개의 RCP 시나리오에 대해 미래 기간에 해당하는 새로운 파라미터를 추정할 수 있다.

[0042] 예를 들어, 일일 강우량의 예측을 위해 CMIP5(Coupled Model Inter-comparison Project) 5단계의 18개 GCM을 이용할 수 있고, 관측 기간 및 미래 기간에 대한 일일 강우량을 통해 강우량의 평균, 분산, 비틀림 및 빈도 등의 강우 통계가 계산되고 비교될 수 있다. 모든 기간에 대해 일일 강우량의 데이터량이 일관되도록 할 수 있다.

[0043] 실시예에서, 24시간, 48시간, 72시간 및 96시간 집계 간격으로 통계적 출력이 식별될 수 있고, 해당 출력은 이론적인 파생 및 선형성 가정에 기초하여 NSRP 프로세스의 보다 미세한 파라미터로 축소될 수 있다.

[0044] 단계(120)에서 장치는, 파라미터 집합을 이용하여 앙상블을 생성한다.

[0045] 실시예에서, 획득한 파라미터 집합을 AWE-GEN에 적용하여 앙상블을 생성할 수 있다.

[0046] 실시예에서, 획득한 파라미터 집합을 AWE-GEN에 적용하여 30년 단위의 시계열 데이터에 대해서 100개의 멤버들로(예컨대, 3000년에 해당되는) 구성되는 앙상블을 생성할 수 있다. 여기서, 각 앙상블 멤버는 동일한 확률적 강수의 특성을 나타내고, 3000년에 걸쳐 발생했던 기후 내적 변동성을 나타내는 반복 중 하나에 해당할 수 있다. 예를 들어, 관측 기간이 주어지면 정상 기후 조건을 가정할 수 있다. 각 앙상블 세트는 동일한 기후 정보, 즉 동일한 AWE-GEN 파라미터를 가진 데이터로부터 획득할 수 있다.

[0047] 여기서 앙상블의 평균은 아래의 수학식 1과 같이 계산될 수 있다.

[0048] [수학식 1]

$$CM = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{1}{T}\sum_{j=1}^{T}X_{ij}\right)$$

[0049]

[0050] 여기서, i 및 j는 앙상블 멤버와 개별 연도를 나타내고, N과 T는 각각 앙상블 멤버 수와 연도를 나타낸다. X는 연간 시계열 데이터를 의미한다.

[0051] 또한, 기후 내적 변동성은 아래의 수학식 2와 같이 정의될 수 있다.

[0052] [수학식 2]

$$CIV = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\sqrt{\frac{1}{T-1}\sum_{j=1}^{T}\left(Re_{ij}-\overline{Re_{i}}\right)^{2}}\right)$$

$$Re_{ij} = X_{ij} - Fit_{ij}$$

$$Re_{ij} = X_{ij} - \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}X_{ij}$$

$$\overline{Re_{i}} = \frac{1}{T}\sum_{j=1}^{T}Re_{ij}$$

[0053]

[0054] 여기서, Fit은 연간 시계열 데이터에 대한 적합선(fitted linear)의 값을 나타내며, Re는 CIV 산정에 필요한 잔여 성분(Residual)을 의미한다.

[0055] 실시예에서, 장치는 생성된 앙상블 시계열을 재구성할 수 있다.

[0056] 예를 들어, 30년의 강수 시간이 주어졌을 때, 해당 시계열을 1, 2, 3, 5, 12, 24, 48, 72시간 등의 다른 지속 시간을 가지는 시계열로 재구성할 수 있다. 이를 위해, 시계열 데이터의 시간 및 간격을 시간만큼 이동시킴으로써 새로운 앙상블 시계열 데이터가 구축될 수 있다.

[0057] 단계(130)에서 장치는, 관측 기간 및 미래 기간에 대한 극한 값을 획득한다.

[0058] 실시예에서 장치는, 해당 기간 동안 극한 값들을 획득할 수 있다.

[0059] 실시예에서, 빈도 분석을 위해 최대 강수량을 샘플링하여 극한 값들을 획득하는 두 가지의 방식이 있다. 첫 번째로는, 연도 별 최대 값을 추출하는 annual maximum precipitation(AMP) 방식과 두 번째로는 최대 강수량 중 가장 큰 부분만을 오름차순으로 선택하는 peak over threshold(POT) 방식이 이에 해당할 수 있다.

[0060] 실시예에서는 PoT 사용하는 것보다 AMP를 사용하여 강우 강도-지속 시간- 주파수(IDF) 곡선을 구성하는 방식으로 동작할 수 있다. 이를 위해, 주어진 기간에 따라 구축된 앙상블 각각에 대해 앙상블 멤버 및 해당 위치에 대응하는 연간 극한 값이 추출될 수 있다.

[0061] 단계(140)에서 장치는, 확률 분포를 결정하고 해당 확률 분포의 파라미터를 추정한다.

[0062] 실시예에서, 연간 최대 강수량에 대한 시계열 데이터를 획득하면, 해당 데이터에 적합한 확률 분포를 선택하고 파라미터를 추정할 수 있다. 이를 위해 Generalized Extreme Value(GEV) 분포 또는 Gumbel 분포가 적용될 수 있다.

[0063] 해당 분포 유형에 기초하여 파라미터를 추정하기 위해 최대 가능도 추정(maximum likelihood estimation, MLH) 및 확률적 가중 모멘트(probabilistic weighted moment, PWM)를 사용할 수 있다.

[0064] 추정된 파라미터에 대해서 적합도를 검증하기 위해 Anderson-Darling(AD) 검증 및 Kolmogorov-Smirnov(KS) 검증을 이용하며, 주어진 표본이 가정된 분포로부터 나오는지 여부를 결정하기 위해 2x2조합에 대해 검증을 적용할 수 있다. 예를 들어, 이러한 동작은 분포의 수(예컨대, 2), 파라미터 추정 방법의 수(예컨대, 2), 앙상블을 구축하는 기간의 수(예컨대 8) 및 관측, 예측되는 위치들의 수(예컨대 40) 각각의 경우에 대해 수행될 수 있다.

[0066] 도 2는 실시예에서, 적합도 검증 방법에 대해 설명하기 위한 도면이다.

[0067] 실시예에서, 도 2(a)는 Anderson-Darling(AD) 검증에 관한 것이며, 도 2(b)는 Gumbel에 대한 Kolmogorov-Smirnov(KS) 검증에 관한 것이다.

[0068] 각 도면은 최대 가능도 추정에 의한 모수 추정이 포함된 GEV 분포 및 PWM 방법에 대해 도시한다. 각 그래프에서 중앙 표시는 중앙값을 나타내고 상자의 아래쪽 및 위쪽 가장자리는 각각 25번째 백분위수와 75번째 백분위수를 나타내며, '+' 기호는 이상 값을 나타낸다.

[0069] 실시예에 따른 4개의 방법, 즉 2개의 확률분포형(Gumbel or GEV) × 2개의 매개변수 추정기법(MLE or PWM)에 따른 2개의 Goodness of fit(AD and KS) 검정 결과, 국내 지역 40개 위치에서는 GEV 분포와 PWM 매개변수 추정법이 적절하게 적용될 수 있다.

[0071] 도 3은 실시예에서, 실제 관측된 강우 빈도 추정치와 참조 추정치에 대한 비교를 위한 도면이다.

[0072] 실시예에서, 도 3(a) 내지 도 3(j)는 각각 반환 기간에 따라 8개의 기간에 대해 비교한 값을 나타낸다. 각 그래프의 데이터 포인트 수는 관측 위치의 수x 앙상블을 구축하는 8개의 기간으로 나타날 수 있다.

[0074] 다시 돌아가, 단계(150)에서 장치는, 확률 분포에 기초하여 강우 강도를 계산한다.

[0075] 실시예에서, 다양한 기간 및 반환 기간에 대한 강우 강도를 계산할 수 있다.

[0076] 다양한 기간 및 반환 기간에 대한 강우 빈도 추정치는 추정된 파라미터를 사용하여 누적 분포 함수에서 계산될 수 있다. 실시예에 따라서는 5년, 10년, 20년, 30년, 50년, 70년, 80년, 100년, 200년 및 500년의 10회의 반환 기간을 고려할 수 있다. 이에, 강우 빈도 추정치는 10회의 반환 기간과 앙상블을 구축하는 기간의 수(예컨

대 8), 앙상블 멤버 수(예컨대 100) 및 관측, 예측되는 위치들의 수(예컨대 40)의 경우 각각에 대해서 계산될 수 있다.

[0077] 실시예에 따른 장치는 미래 기간의 강우 빈도 추정치의 변화를 평가하기 위해 각 미래 기간 및 RCP 시나리오에 대해 상기의 단계(120) 내지 단계(150)를 반복할 수 있다.

[0079] 도 4는 실시예에서, 극한 강우와 강우 빈도 추정치와의 관계를 설명하기 위한 도면이다.

[0080] 실시예에서, 미래 기간에 대한 1시간 지속 기간 동안의 강우 빈도 추정치의 증가 정도의 변화를 나타낸다.

[0081] 도 4(a)는 관측을 위한 40개의 위치에 대한 반환 기간 동안의 강우 빈도 추정치를 도시하고, 도 4(b)는 도 4(a)의 40개의 라인에 대한 기울기의 커널 분포를 나타낸다. 도 4(a)의 빨간색(녹색) 선은 기울기가 평균값보다 큰(작은) 위치를 나타낸다(도 4(b)의 어두운 점선).

[0082] 도 4(c)은 기울기의 공간적 분포를 나타내고, 색원은 도 4(a)의 색 라인에 해당하며 흰 원 근처의 숫자는 경사면의 상대적 크기를 나타내는 범례를 표시한다.

[0083] 극한 강우와 강우 빈도 추정치와의 관계는 아래 수학식 3과 같이 log-linear한 관계를 갖으나, 도 4(a)와 같이 선형의 기울기는 항상 양수이며 그 크기는 위치에 따라서 다르다. 이는 극한 강우 분포의 tail 특성이 위치에 따라서 다름을 의미한다.

[0084] [수학식 3]

$$RI_{CTL} = c_{CTL}T^{m_{CTL}}$$

[0085] $$RI_{FUT} = c_{FUT}T^{m_{FUT}}$$

[0086] 여기서, c_{CTL} 및 c_{FUT}는 계수이고 m_{CTL} 및 m_{FUT}는 각각 대수 규모의 관측 기간 및 미래 기간의 기울기를 의미한다.

[0088] 실시예에서, factor of change(FOC) 100 앙상블 멤버 이상을 포함하는 앙상블의 평균을 사용하여 미래 기간 및 관측 기간의 강우 빈도 추정치의 차이를 비율로 계산할 수 있다.

[0089] 주어진 특정 기간 및 반환 기간 동안 관측 기간 및 미래 기간들 사이의 강우 빈도 추정치의 변화를 평가하기 위해 제품 유형에서 FOC라는 변경 계수가 계산될 수 있다. 예를 들어, 100개 이상의 앙상블 멤버를 포함하는 앙상블의 평균을 사용하여 대조군인 미래 기간에 대한 강우 강도의 비율을 계산할 수 있다.

[0090] 실시예에 따른 FOC는 특정 기간 및 반환 기간 동안 미래 기간에 강우 빈도 추정치가 얼마나 증가하거나 감소하는지를 나타낼 수 있다. FOC의 총 수는 6개의 비교 페어(pair) × 10개의 반환 기간 × 앙상블을 구축하는 기간의 수 × 관측 위치의 수로 계산될 수 있다.

[0092] 도 5는 실시예에서, 미래 기간에 대한 FOC를 도시한 것이다.

[0093] 도 5(a)은 40개 위치에 대한 반환 기간 동안의 강우 빈도 추정치의 FOC를 도시하고, 도 5(b)은 도 5(a)의 40개 라인에 대한 FOC(m_{FOC}) 기울기의 커널 분포를 도시한다.

[0094] 회색 선은 0에 대한 표준 편차의 절반 범위 내에 있는 기울기 값을 갖는 것을 확인할 수 있다. 40개의 기울기는 도 5(b)에서 어두운 대시선에 해당한다. 빨간색(녹색) 색상의 선은 0에 대한 표준 편차의 절반보다 큰(작은) 기울기 값을 갖는다.

[0095] 도 5(c)은 기울기의 공간적 분포를 나타내고, 색 원은 도 5(a)의 컬러 라인에 해당할 수 있고, 흰 원 근처의 숫자는 경사면의 상대적 크기를 나타내는 범례에 해당할 수 있다.

[0097] 실시예에서, 계산된 두 분포 간의 평균 차이를 검증할 수 있다.

[0098] 실시예에서, 특정 기간 및 반환 기간에 대한 강우 추정치의 100개의 값으로 분포가 형성되므로, 두 분포 간의 평균 차이를 테스트하기 위해 유의성 테스트를 수행할 수 있다. 관측 기간과 미래 기간에 해당하는 두 분포를 조사하여 서로 어떻게 다른지 확인할 수 있다. 이와 관련하여, 귀무 가설은 분포의 평균에 변화가 없다는 것이고 대립 가설은 유의한 차이가 있음을 의미한다.

[0099] 실시예에서, 극한 강우 강도의 미래와 현재의 차이(ratio)를 의미하는 FOC는 수학식 4와 같이 빈도에 따라서 log-linear하게 나타나지만, 수학식 3과는 다르게 선형의 기울기가 항상 양수이지 않으며 음수이거나 0에 가까울 수도 있다. 만약, 기울기가 0에 가까우면, 현재와 미래의 극한 강우 강도의 tail 특성이 유사하다는 의미이며, 기울기가 0에서 먼 값을 갖으면 현재와 미래의 tail 특성이 상당히 변화한다는 의미를 가진다.

[0100] [수학식 4]

[0101] $$FOC = \frac{RI_{FUT}}{RI_{CTL}} = c_{FOC}T^{m_{FOC}}$$

[0102] 여기서, c_{FOC}는 $c_{FOC}=c_{FUT}/c_{CTL}$로 계산된 계수이고 m_{FOC}는 $m_{FOC}=m_{FUT}-m_{CTL}$로 계산된 로그 스케일 상의 기울기를 나타낸다.

[0104] 도 6은 실시예에서, 기후 내적 변동성이 극한 강우 강도에 미치는 불확실성의 정도를 설명하기 위한 도면이다.

[0105] 실시예에서, 강우 빈도 추정치는 서울 위치에서 CTL 기간의 8개 기간 및 10개 반환 기간 동안 서로 다른 레코드 길이의 데이터에 대한 앙상블 평균(normRI)으로 정규화되었으며, 아래 라인과 위 라인은 각각 normRI 앙상블의 5번째 백분위수와 95번째 백분위수를 나타낸다.

[0106] 만약 기후 내적 변동성을 충분히 반영하지 못하는(길이가 짧은) 자료를 이용하여 극한 강우를 예측한다면 그 불확실성의 정도가 상당할 것이라는 것을 예측할 수 있다.

[0108] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0110] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치, 또는 전송되는 신호 파(signal wave)에 영구적으로, 또는 일시적으로 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

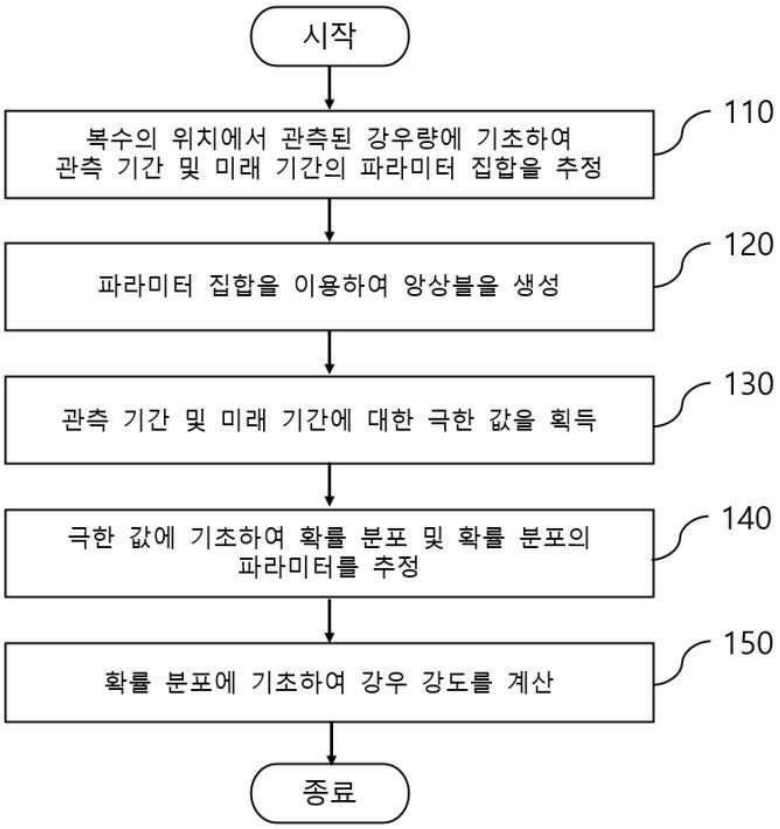
[0112] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기를 기초로 다양한 기술적 수정 및 변형을 적용할 수 있다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다

른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

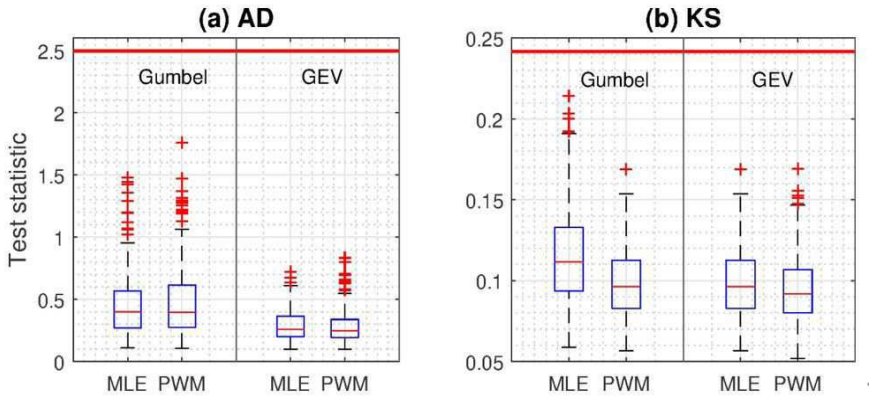
[0113] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 청구범위의 범위에 속한다.

도면

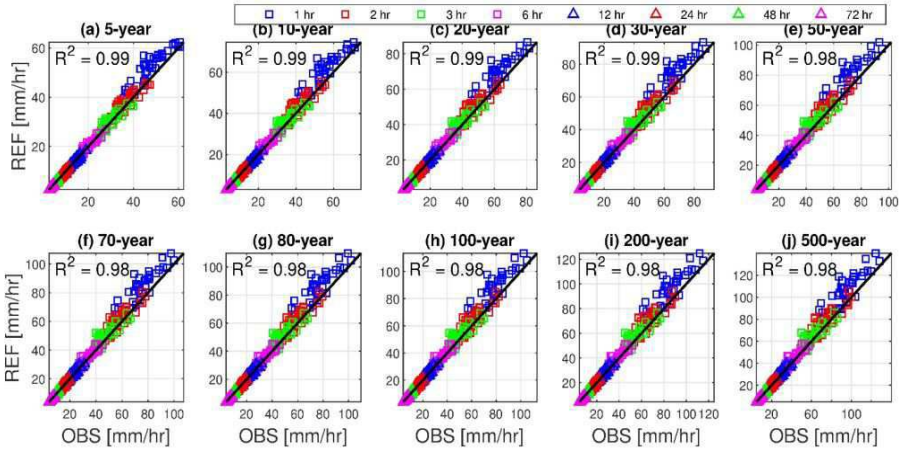
도면1



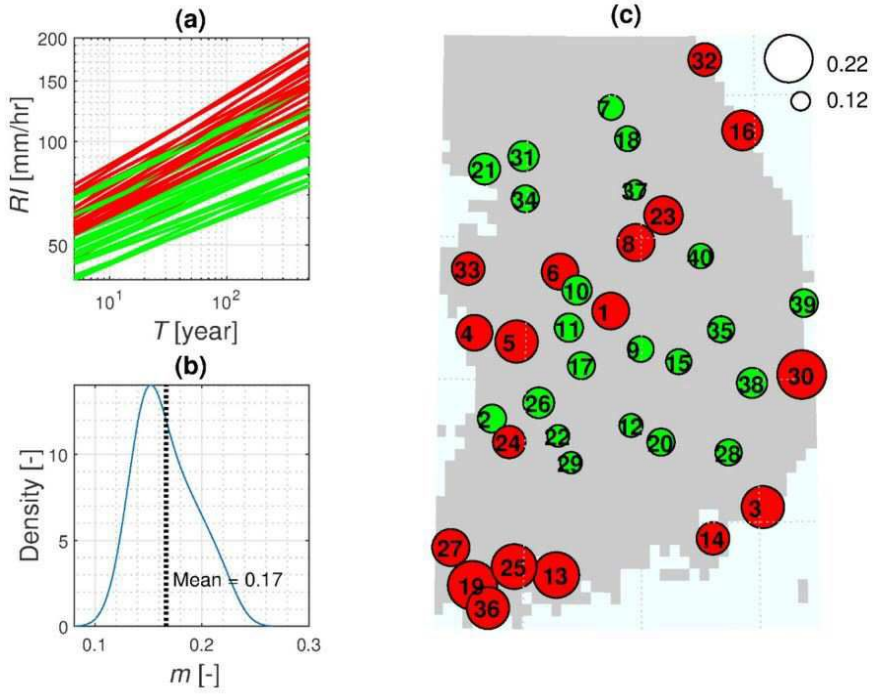
도면2



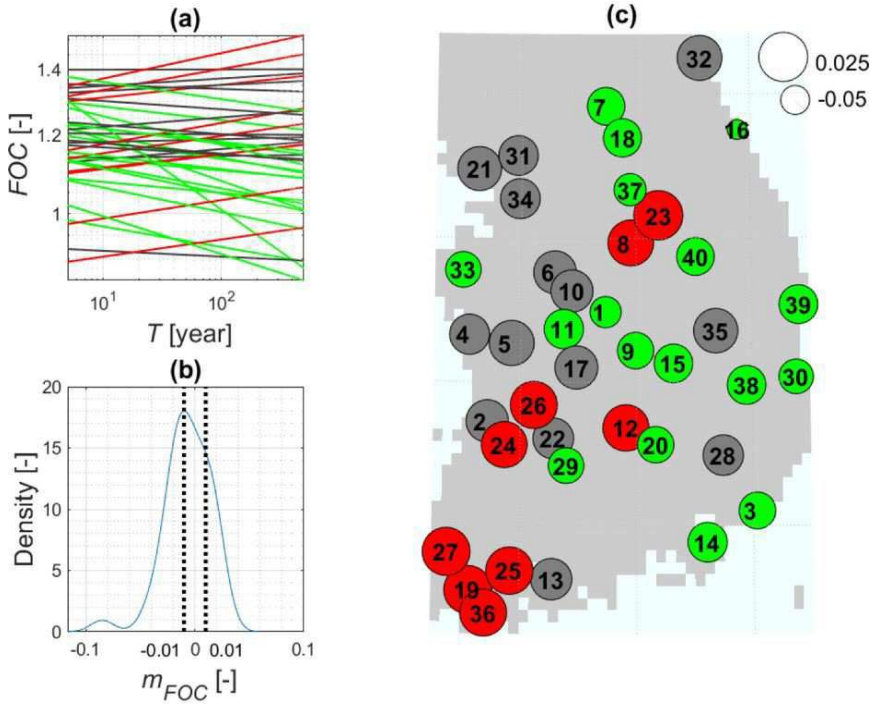
도면3


1 hr
2 hr
3 hr
6 hr
12 hr
24 hr
48 hr
72 hr
(a) 5-year
(b) 10-year
(c) 20-year
(d) 30-year
(e) 50-year
(f) 70-year
(g) 80-year
(h) 100-year
(i) 200-year
(j) 500-year
R2 = 0.99
R2 = 0.98
REF [mm/hr]
OBS [mm/hr]

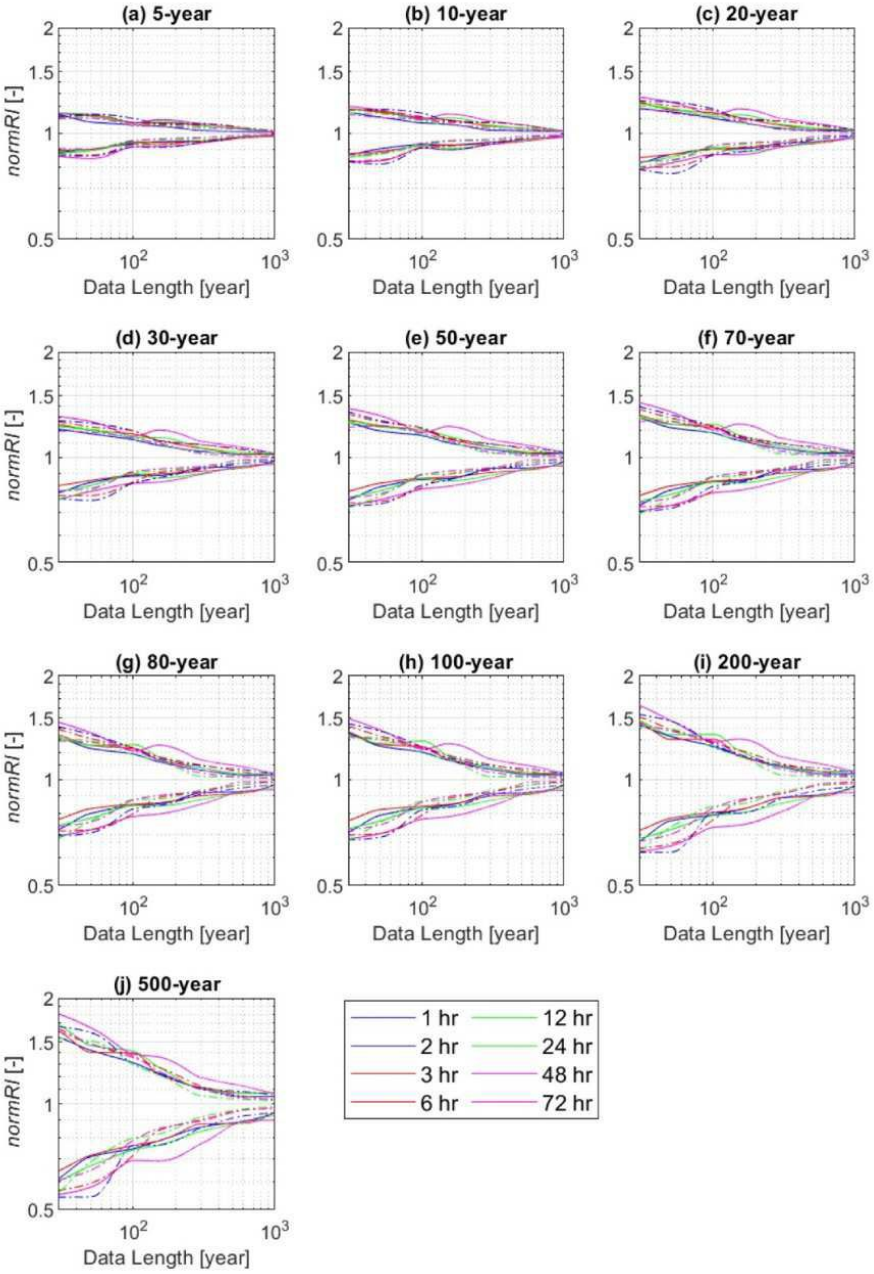
도면4


(a)
RI [mm/hr]
T [year]
(b)
Density [-]
Mean = 0.17
m [-]
(c)
0.22
0.12

도면5


(a)
FOC [-]
1.4
1.2
1
10^1
10^2
T [year]
(b)
Density [-]
20
15
10
5
0
-0.1
-0.01
0
0.01
0.1
m_{FOC} [-]
(c)
0.025
-0.05
32
7
18
16
21
31
34
37
23
8
40
33
6
10
1
39
4
5
11
35
9
15
38
30
17
26
2
24
22
12
20
28
29
3
14
27
25
19
36
13

도면6


(a) 5-year
(b) 10-year
(c) 20-year
(d) 30-year
(e) 50-year
(f) 70-year
(g) 80-year
(h) 100-year
(i) 200-year
(j) 500-year
normRI [-]
Data Length [year]
1 hr
2 hr
3 hr
6 hr
12 hr
24 hr
48 hr
72 hr