



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년08월07일

(11) 등록번호 10-2692988

(24) 등록일자 2024년08월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01W 1/10 (2006.01) **G06F 17/18** (2006.01)
G06Q 50/26 (2024.01)

(52) CPC특허분류
G01W 1/10 (2013.01)
G06F 17/18 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2024-0018565

(22) 출원일자 2024년02월07일

심사청구일자 2024년02월07일

(56) 선행기술조사문헌

Md. Khaemul Islam Molla 외 2명. Bivariate EMD-Based Data Adaptive Approach to the Analysis of Climate Variability. Discrete Dynamics in Nature and Society. 2011. 06. 25., Vol. 2011, Article ID 935034. 1부.*

Taesam Lee 외 1명. Multivariate Nonstationary Oscillation Simulation of Climate Indices With Empirical Mode Decomposition. Water Resources Research. 2019. 06. 03., Vol. 55, Issue. 6, pp. 5033-5052. 1부.*

KR101330181 B1

CN101852871 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

중부대학교 산학협력단

충청남도 금산군 추부면 대학로 201

경상국립대학교산학협력단

경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)

(72) 발명자

이주현

경기도 고양시 덕양구 동현로 305 중부대학교

이태삼

경상남도 진주시 진주대로 501 경상국립대학교

(74) 대리인

특허법인 이노

전체 청구항 수 : 총 3 항

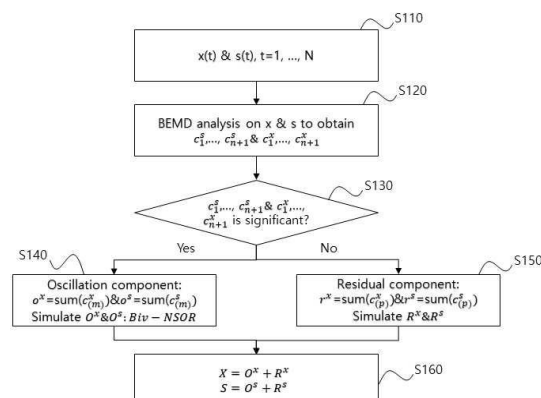
심사관 : 김수현

(54) 발명의 명칭 미래 홍수 위험 관리를 위한 기후 원격 연결 기반 확률론적 모사 방법

(57) 요약

본 발명은 기후 신호와의 원격 연결을 고려한 수문학 변수에 대한 확률론적 모사를 통해 기후의 장기 변동성을 모사하여 미래의 홍수 위험을 예측하기 위한 미래 홍수 위험 관리를 위한 기후 원격 연결 기반 확률론적 모사 방법을 제공한다.

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1

본 발명에 따른 미래 홍수 위험 관리를 위한 기후 원격 연결 기반 확률론적 모사 방법은, CSHS 모델을 이용한 BEMD 방법을 적용하기 위해 기후 인자와 수문 인자를 각각 소정 변수로 설정하는 단계; 상기 기후 인자와 수문 인자 모두에 대한 고유 모드 함수의 매칭된 공통 모드와 나머지 요소 데이터를 추출하는 단계; 유의성 테스트를 통해 상기 고유 모드 함수의 매칭된 공통 모드와 나머지 요소 데이터 중 중요 요소를 선택하는 단계; 상기 기후 인자와 수문 인자 데이터 가운데 중요 요소로 선택된 고유 모드 함수의 합에 대하여 이변량 NSOR 모델을 사용하여 모사하는 단계; 상기 중요 요소로 선택되지 않은 나머지 요소 데이터는 특성에 따라 두 데이터 세트 모두에 대하여 모사하는 단계; 및 모사된 기후 인자들 및 수문 인자들의 고유 모드 함수와 나머지 요소 데이터를 각각 합산하는 단계를 포함한다.

(52) CPC특허분류

G06Q 50/26 (2024.01)

G01W 2201/00 (2013.01)

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

CSHS 모델을 이용한 BEMD 방법을 적용하기 위해 기후 인자와 수문 인자를 각각 소정 변수로 설정하는 단계;

상기 기후 인자와 수문 인자 모두에 대한 고유 모드 함수의 매칭된 공통 모드와 나머지 요소 데이터를 추출하는 단계;

유의성 테스트를 통해 상기 고유 모드 함수의 매칭된 공통 모드와 나머지 요소 데이터 중 중요 요소를 선택하는 단계;

상기 기후 인자와 수문 인자 데이터 가운데 중요 요소로 선택된 고유 모드 함수의 합에 대하여 이변량 NSOR 모델을 사용하여 모사하는 단계;

상기 중요 요소로 선택되지 않은 나머지 요소 데이터는 특성에 따라 두 데이터 세트 모두에 대하여 모사하는 단계; 및

모사된 기후 인자들 및 수문 인자들의 고유 모드 함수와 나머지 요소 데이터를 각각 합산하는 단계를 포함하고, 고유 모드 함수의 매칭된 공통 모드와 나머지 요소 데이터를 추출하는 단계는,

상기 기후 인자와 수문 인자를 복소 신호로 변환하는 제1 단계;

투영 방향을 계산하는 제2 단계;

상기 복소 신호를 다른 방향으로 투영하고, 상기 다른 방향의 국부 최대치를 추출하는 제3 단계;

추출된 상기 국부 최대치를 스플라인 보간을 통해 보간하여 상기 투영 방향을 따라는 부분 포락선 곡선을 획득하는 제4 단계;

모든 부분 포락선 곡선의 포락선 곡선 평균치를 계산하는 제5 단계;

상기 복소 신호에서 상기 포락선 곡선 평균치를 감산하여 복소 감산 신호를 생성하는 제6 단계;

상기 복소 감산 신호가 고유 모드 함수이면 다음 단계로 진행하는 제7 단계;

상기 복소 감산 신호가 고유 모드 함수가 아니면, 상기 복소 신호를 상기 복소 감산 신호로 대체하고 상기 제3 단계 내지 제7 단계를 반복하는 제8 단계;

상기 복소 신호에서 상기 복소 감산 신호를 감산하여 나머지 신호를 계산하고, 상기 나머지 신호를 상기 복소 신호로 대체하는 제9 단계;

종료 조건을 만족하면 다음 고유 모드 함수를 획득하는 제10 단계;

상기 복소 감산 신호를 가산하되, 상기 나머지 신호를 마지막 요소로 하여 원 신호를 표현하는 제11 단계;

상기 복소 감산 신호의 Real Part와 Imaginary Part를 각각 기후 신호용 고유 모드 함수와 수문학 변수로 추출하는 제12 단계를 포함하고,

상기 이변량 NSOR 모델을 사용하여 모사하는 단계는,

상기 중요 요소로 선택된 기후 인자들($C_{(m)}^s$)과 수문 인자들($C_{(m)}^x$)을 각각 가산하여 기후 인자 고유 모드 함수($O^s = \text{sum}(C_{(m)}^s)$)와 수문 인자 고유 모드 함수($O^x = \text{sum}(C_{(m)}^x)$)를 생성하는 단계;

상기 기후 인자 고유 모드 함수($O^s = \text{sum}(C_{(m)}^s)$)와 수문 인자 고유 모드 함수($O^x = \text{sum}(C_{(m)}^x)$)를 가산한 값에 대하여 상기 이변량 NSOR 모델을 사용하여 모사하는 단계

를 포함하는 미래 홍수 위험 관리를 위한 기후 원격 연결 기반 확률론적 모사 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

청구항 1에 있어서, 상기 두 데이터 세트 모두에 대하여 모사하는 단계는,

중요 요소로 선택되지 않은 나머지 기후 인자들($C^s(p)$)과 수문 인자들($C^x(p)$)을 각각 가산하여 기후 인자 나머지($r^s = \text{sum}(C^s(p))$)와 수문 인자 나머지($r^x = \text{sum}(C^x(p))$)를 생성하고, 상기 기후 인자 나머지와 상기 수문 인자 나머지에 대하여 각각 모사하는 것을 특징으로 하는 미래 홍수 위험 관리를 위한 기후 원격 연결 기반 확률론적 모사 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서, 상기 제10 단계는,

상기 종료 조건을 만족하고, 나머지가 소정의 문턱값을 만족하거나 단조로운 함수가 되고, 제로 크로싱 수와 극값이 이전 단계의 그것과 동일할 때까지 상기 제2 단계 및 제7 단계를 반복하는 것을 특징으로 하는 미래 홍수 위험 관리를 위한 기후 원격 연결 기반 확률론적 모사 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 미래 홍수 위험의 관리를 위한 기술로, 더욱 상세하게는 미래 홍수 위험의 관리를 위하여 기후 신호와의 원격 연결을 고려한 수문학 변수에 대한 확률론적 모사 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 전 세계적으로 도시화와 기후변화로 인하여 홍수피해가 커지고 있다. 따라서 호우와 태풍이 야기하는 홍수피해를 줄이기 위하여 많은 예산과 노력이 필요하다. 홍수피해를 줄이기 위한 방법에는 댐, 제방, 저류조 등의 구조물을 건설하는 구조적 대비책과 홍수예·경보 시스템과 같은 비구조적 대비책이 있다. 많은 건설비용과 시간이 필요한 구조적 대비책과는 달리 비구조적 대비책은 홍수의 예·경보를 통하여 인명 피해 방지에 신속한 효과를 볼 수 있다. 홍수 예·경보 시스템은 피해 예상지역 주민들이 대피할 시간을 확보하는데 목적이 있다. 이로 인하여 피해 예상지역의 인명피해 및 재산피해를 줄일 수 있게 되며, 구조적 대비책을 보완하는 역할을 한다.

[0004] 따라서 점차 기후변화가 심화되고 있는 현실에서 기후의 장기 변동성을 모사함으로써 미래의 홍수 위험을 예측하는 기술이 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 등록특허 10-0922373호 지아이에스를 이용한 홍수재해 예측시스템
(특허문헌 0002) 등록특허 10-0993684호 매든-줄리안 진동의 예측 방법

(특허문헌 0003) 등록특허 10-2354616호 유량 예측 방법 및 장치

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명은 기후 신호와의 원격 연결을 고려한 수문학 변수에 대한 확률론적 모사를 통해 기후의 장기 변동성을 모사하여 미래의 홍수 위험을 예측하기 위한 미래 홍수 위험 관리를 위한 기후 원격 연결 기반 확률론적 모사 방법을 제공함에 목적이 있다.
- [0008] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급한 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0009] 본 발명에 따른 미래 홍수 위험 관리를 위한 기후 원격 연결 기반 확률론적 모사 방법은, CSHS 모델을 이용한 BEMD 방법을 적용하기 위해 기후 인자와 수문 인자를 각각 소정 변수로 설정하는 단계; 상기 기후 인자와 수문 인자 모두에 대한 고유 모드 함수의 매칭된 공통 모드와 나머지 요소 데이터를 추출하는 단계; 유의성 테스트를 통해 상기 고유 모드 함수의 매칭된 공통 모드와 나머지 요소 데이터 중 중요 요소를 선택하는 단계; 상기 기후 인자와 수문 인자 데이터 가운데 중요 요소로 선택된 고유 모드 함수의 합에 대하여 이변량 NSOR 모델을 사용하여 모사하는 단계; 상기 중요 요소로 선택되지 않은 나머지 요소 데이터는 특성에 따라 두 데이터 세트 모두에 대하여 모사하는 단계; 및 모사된 기후 인자들 및 수문 인자들의 고유 모드 함수와 나머지 요소 데이터를 각각 합산하는 단계를 포함한다.
- [0010] 바람직하게는, 고유 모드 함수의 매칭된 공통 모드와 나머지 요소 데이터를 추출하는 단계는, 상기 기후 인자와 수문 인자를 복소 신호로 변환하는 제1 단계; 투영 방향을 계산하는 제2 단계; 상기 복소 신호를 다른 방향으로 투영하고, 상기 다른 방향의 국부 최대치를 추출하는 제3 단계; 추출된 상기 국부 최대치를 스플라인 보간을 통해 보간하여 상기 투영 방향을 따라는 부분 포락선 곡선을 획득하는 제4 단계; 모든 부분 포락선 곡선의 포락선 곡선 평균치를 계산하는 제5 단계; 상기 복소 신호에서 상기 포락선 곡선 평균치를 감산하여 복소 감산 신호를 생성하는 제6 단계; 상기 복소 감산 신호가 고유 모드 함수이면 다음 단계로 진행하는 제7 단계; 상기 복소 감산 신호가 고유 모드 함수가 아니면, 상기 복소 신호를 상기 복소 감산 신호로 대체하고 상기 제3 단계 내지 제7 단계를 반복하는 제8 단계; 상기 복소 신호에서 상기 복소 감산 신호를 감산하여 나머지 신호를 계산하고, 상기 나머지 신호를 상기 복소 신호로 대체하는 제9 단계; 종료 조건을 만족하면 다음 고유 모드 함수를 획득하는 제10 단계; 상기 복소 감산 신호를 가산하되, 상기 나머지 신호를 마지막 요소로 하여 원 신호를 표현하는 제11 단계; 및 상기 복소 감산 신호의 Real Part와 Imaginary Part를 각각 기후 신호용 고유 모드 함수와 수문학 변수로 추출하는 제12 단계를 포함한다.
- [0011] 바람직하게는, 상기 이변량 NSOR 모델을 사용하여 모사하는 단계는, 상기 중요 요소로 선택된 기후 인자들($C^s_{(m)}$)과 수문 인자들($c^x_{(m)}$)을 각각 가산하여 기후 인자 고유 모드 함수($O^s = \text{sum}(c^s_{(m)})$)와 수문 인자 고유 모드 함수($O^x = \text{sum}(c^x_{(m)})$)를 생성하는 단계; 상기 기후 인자 고유 모드 함수($O^s = \text{sum}(c^s_{(m)})$)와 수문 인자 고유 모드 함수($O^x = \text{sum}(c^x_{(m)})$)를 가산한 값에 대하여 상기 이변량 NSOR 모델을 사용하여 모사하는 단계를 포함한다.
- [0012] 바람직하게는, 상기 두 데이터 세트 모두에 대하여 모사하는 단계는, 중요 요소로 선택되지 않은 나머지 기후 인자들($C^s_{(p)}$)과 수문 인자들($c^x_{(p)}$)을 각각 가산하여 기후 인자 나머지($r^s = \text{sum}(c^s_{(p)})$)와 수문 인자 나머지($r^x = \text{sum}(c^x_{(p)})$)를 생성하고, 상기 기후 인자 나머지와 상기 수문 인자 나머지에 대하여 각각 모사하는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 바람직하게는, 상기 제10 단계는, 상기 종료 조건을 만족하고, 나머지가 소정의 문턱값을 만족하거나 단조로운 함수가 되고, 제로 크로싱 수와 극값이 이전 단계의 그것과 동일할 때까지 상기 제2 단계 및 제7 단계를 반복한

다.

발명의 효과

[0015] 본 발명의 미래 홍수 위험 관리를 위한 기후 원격 연결 기반 확률론적 모사 방법에 따르면, 기후 신호와의 원격 연결을 고려한 수문학 변수에 대한 확률론적 모사를 통해 기후의 장기 변동성을 모사하여 미래의 홍수 위험을 예측할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 기후 신호 주도 수문학적 확률적 시뮬레이션 모델을 이용한 BEMD 방법의 모사 흐름도,
 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 고유 모드 함수의 매칭된 공통 모드와 나머지를 추출하기 위한 흐름도,
 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 NBS 인자와 기후 인자의 시계열 표,
 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 표준화된 NBS 및 AO 데이터의 BEMD 방법으로부터 추출된 요소들을 시계열로 나타낸 도표,
 도 5a는 본 발명의 일실시예에 따른 특정 지역에 대한 AO의 중요도 테스트 그래프,
 도 5b는 본 발명의 일실시예에 따른 특정 지역에 대한 S의 중요도 테스트 그래프,
 도 6a는 본 발명의 일실시예에 따른 CSHS 모델을 이용하여 특정 유역의 NBS를 시계열로 예측한 도표,
 도 6b는 종래기술에 따른 SML 모델을 이용하여 당해 유역에서의 NBS를 시계열로 예측한 도표, 및
 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 기후 신호 주도 수문학적 확률적 모사 장치의 전체 블록 구성도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 본 발명의 추가적인 목적들, 특징들 및 장점들은 다음의 상세한 설명 및 첨부도면으로부터 보다 명료하게 이해될 수 있다.

[0019] 본 발명의 상세한 설명에 앞서, 본 발명은 다양한 변경을 도모할 수 있고, 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는바, 아래에서 설명되고 도면에 도시된 예시들은 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0020] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.

[0021] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도는 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 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.

[0022] 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...유닛", "...모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0023] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0025] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 기후 신호 주도 수문학적 확률적 시뮬레이션 모델(CSHS model: Climate signal-led hydrological stochastic simulation model)을 이용한 BEMD 방법의 모사 흐름도이다.

[0026] 본 발명의 일실시예에 따른 CSHS 모델을 이용한 BEMD 방법을 적용하기 위해 기후 신호에 대한 시계열 변수(기후

인자)와 반응 수문학에 대한 시계열 변수(수문 인자)를 각각 $S(t)$ 와 $X(t)$ 로 놓는다(S110). 여기서 $t=1, 2, \dots, N$ 이고, N 은 레코드 길이이다. 그리고 기후 인자와 수문 인자는 원격 연결된 것으로 가정되므로 이변량 신호 분해를 사용하여 고유 모드 함수에서 종속 진동 동작을 동기식으로 포착할 수 있다. 또한 이변량 데이터의 포락선은 서로 다른 방향을 따른 신호 투영 측면에서 주어진 신호를 포함하는 3차원 튜브로 간주된다.

[0027] 관측된 이변량 데이터, 즉, $t=1, 2, \dots, N$ 에서의 기후 인자($S(t)$)와 수문 인자($X(t)$)가 주어지면, 고유 모드 함수의 매칭된 공통 모드($c_s^1, \dots, c_s^n, c_x^1, \dots, c_x^n$, n 은 기후 인자와 수문 인자 모두에 대한 고유 모드 함수의 수)와 나머지(c_s^{n+1}, c_x^{n+1})를 추출한다(S120). 고유 모드 함수의 매칭된 공통 모드와 나머지를 추출하는 방법은 도 2에 제시된다.

[0028] 유의성 테스트를 통해 고유 모드 함수의 매칭된 공통 모드와 나머지 중 중요 요소를 선택한다(S130). 중요 요소를 선택하는 기준은 도 4a 기후 인자와 도 4b 수문 인자 모두 95% 또는 99% 평균 정규화 에너지 곡선보다 위에 놓이는 관측점이 대상이다. 도 4a 및 도 4b는 모두 가로축은 평균 기간의 로그값이고, 세로축은 평균 정규화 에너지의 로그값이다. 즉, 랜덤하게 모사한 동일 길이의 자료에서 에너지 값을 비교하여 95% 또는 99% 평균 정규화 에너지 곡선보다 에너지가 크면 랜덤하게 나온 것이 아닌 실제 현상에서 온 것으로 판단하게 된다.

[0029] 중요 요소로 선택되면, 기후 인자 및 수문 인자 데이터 가운데 중요 요소로 선택된 고유 모드 함수의 합에 대하여 이변량 NSOR(Biv-NSOR: Bivariate Nonstationary Oscillations Resampling) 모델을 사용하여 모사한다(S140). 즉, 중요 요소로 선택된 기후 인자들($C^s(m)$)과 수문 인자들($C^x(m)$)을 각각 가산하여 기후 인자 고유 모드 함수($O^s = \text{sum}(C^s(m))$)와 수문 인자 고유 모드 함수($O^x = \text{sum}(C^x(m))$)를 생성하고, 기후 인자 고유 모드 함수($O^s = \text{sum}(C^s(m))$)와 수문 인자 고유 모드 함수($O^x = \text{sum}(C^x(m))$)를 가산한 값에 대하여 이변량 NSOR 모델을 사용하여 모사한다.

[0030] 중요 요소로 선택되지 않으면, 나머지 요소는 특성에 따라 두 데이터 세트 모두에 대하여 모사한다(S150). 즉, 중요 요소로 선택되지 않은 나머지 기후 인자들($C^s(p)$)과 수문 인자들($C^x(p)$)을 각각 가산하여 기후 인자 나머지($r^s = \text{sum}(C^s(p))$)와 수문 인자 나머지($r^x = \text{sum}(C^x(p))$)를 생성하고, 각각에 대하여 모사한다.

[0031] 마지막으로, 모사된 기후 인자들 및 수문 인자들의 고유 모드 함수와 나머지를 각각 합산한다(S160). 그리고 모사된 수문 인자들을 도 3 상부의 Sim값으로 나타내고, 모사된 기후 인자들을 도 3 하부의 Sim값으로 나타낸다.

[0033] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 고유 모드 함수의 매칭된 공통 모드와 나머지를 추출하기 위한 흐름도이다.

[0034] (1) 기후 인자 $s(t)$ 와 수문 인자 $x(t)$ 를 수학식1과 같이 복소 신호 $z(t)$ 로 변환한다(S201).

수학식 1

[0035] $z(t)=s(t)+x(t)*i$, 여기서 $i=\sqrt{-1}$

[0036] (2) 투영 방향을 계산한다(S202).

[0037] $\phi_k = \frac{2k\pi}{K} \ (k=1, \dots, K)$, 여기서 K 는 투영 방향 수임.

[0038] (3) 복소 신호 $z(t)$ 를 다른 방향 $p_{\phi_k}(t) = \text{Re}[e^{-i\phi_k} z(t)]$ 으로 투영하고, $p_{\phi_k}(t)$ 의 국부 최대치를 추출한다(S203).

[0039] (4) 추출된 국부 최대치를 스플라인 보간을 통해 보간하여 $k=1, \dots, K$ 동안 투영 방향 ϕ_k 을 따르는 부분 포

락선 곡선($q_{\phi_k}(t)$)을 획득한다(S204).

[0040] 여기서, $p_{\phi_k}(t)$ 는 수문 인자에서 추출된 진동성을 가진 인자이고, $q_{\phi_k}(t)$ 는 기후 인자에서 추출된 진동성을 가진 인자이다. $q_{\phi_k}(t)$ 도 $p_{\phi_k}(t)$ 와 동일한 방식으로 얻을 수 있다.

[0041] (5) 모든 부분 포락선 곡선의 평균치를 수학식2와 같이 계산한다(S205).

수학식 2

[0042]
$$m(t) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K q_{\phi_k}(t)$$

[0043] (6) 수학식3과 같이 복소 신호 $z(t)$ 로부터 모든 부분 포락선 평균치를 감산하여 복소 감산 신호 $h(t)$ 를 추출한다(S206).

수학식 3

[0044]
$$h(t) = z(t) - m(t)$$

[0045] (7) 복소 감산 신호 $h(t)$ 가 고유 모드 함수이면 다음 단계로 진행한다(S207). 아니면, 복소 신호 $z(t)$ 를 복소 감산 신호 $h(t)$ 로 대체하고 단계 S203 내지 S207을 반복한다. 고유 모드 함수로 식별되기 위해서는 다음 조건들을 만족해야 한다. (a) 극값의 갯수가 제로 크로싱 수와 같거나 1만큼 차이가 나야 한다. 그리고 (b) 국부 최대 및 최소에 의해 결정된 두 포락선의 평균치가 0이어야 한다.

[0046] (8) 나머지 신호 $r(t) = z(t) - h(t)$ 를 계산하고, 나머지 신호 $r(t)$ 를 복소 신호 $z(t)$ 로 대체한다(S208). 여기서, 나머지 신호 $r(t)$ 는 더 이상 프로세스를 진행하지 않기 때문에 모든 부분 포락선 평균치 $m(t)$ 와 다르다고 가정한다.

[0047] (9) 종료 조건을 만족하고 나머지가 소정의 문턱값(예, 고유 모드 함수의 갯수 n 이 고정)을 만족하거나 단조로운 함수(예, 진동이 없음)가 되고 제로 크로싱 수와 극값이 이전 단계의 그것과 동일할 때까지 단계 S202 및 S207을 반복하여 다음 고유 모드 함수를 획득한다(S209).

[0048] (10) 복소 감산 신호 $h(t)$ 를 가산하되, 나머지 신호 $r(t)$ 를 마지막 요소로 하여 원 신호를 수학식 4로 표현한다(S210).

수학식 4

[0049]
$$z(t) = \sum_{l=1}^{n+1} h_l(t)$$

[0050] 여기서, 마지막 신호 요소는 고유 모드 함수가 아니라 나머지, 즉, $h_{n+1}(t) = r(t)$ 입.

[0051] (11) 상기 복소 감산 신호의 Real Part와 Imaginary Part를 각각 기후 신호용 고유 모드 함수 $c_l^s(t) = \text{Re}[h_l(t)]$ 와 수문학 변수 $c_l^x(t) = \text{Im}[h_l(t)]$, for $l=1, \dots, n+1$ 로 추출한다(S211).

[0053] 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 NBS 인자와 기후 인자의 시계열 표이다. 구체적으로, 도 3의 상단 도표는 특정유역의 시기별 순 유역 유입량(NBS: Net Basin Supply)에 대하여 관측값(Obs), 모사값(Sim), 및 모사값 중 예시값(Example)을 나타낸 것이고, 도 3의 하단 도표는 해당유역의 시기별 북극 진동(AO: Arctic Oscillation)에 대하여 관측값(Obs), 모사값(Sim), 및 모사값 중 예시값(Example)을 나타낸 것이다. 이에 따르면, 북극 진

동의 장기간 신호는 순 유역 유입량 데이터의 장기간 패턴과 관련성이 높은 것으로 나타난다.

- [0055] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 표준화된 NBS 및 A0 데이터의 BEMD(이변량 경험적 모드 분해, Bivariate Empirical Mode Decomposition) 방법으로부터 추출된 요소들(c1 ~ c5)을 시계열로 나타낸 도표이다. 장기간 진동 패턴이 c5에서 관측됨을 알 수 있고, 각각의 y축은 각 요소의 가변성을 나타내도록 다른 스케일을 가짐을 알 수 있다.
- [0057] 도 5a는 본 발명의 일실시예에 따른 특정 지역에 대한 A0의 중요도 테스트 그래프이고, 도 5b는 본 발명의 일실시예에 따른 특정 지역에 대한 NBS의 중요도 테스트 그래프이다. 95% 평균 정규화 에너지 곡선 또는 99% 평균 정규화 에너지 곡선보다 위 그리고 멀리 있는 점(*)은 상응하는 고유 모드 함수가 무작위 잡음 계열의 고유 모드 함수와 다르다는 것을 나타낸다. 즉, c5는 중요 요소이고, c1, c2, c3, c4는 비중요 요소이다.
- [0059] 도 6a는 본 발명의 일실시예에 따른 CSHS 모델을 이용하여 특정 유역의 NBS를 시계열로 예측한 도표이고, 도 6b는 종래기술에 따른 SML 모델을 이용하여 당해 유역에서의 NBS를 시계열로 예측한 도표이다. 종래기술의 SML 모델에 따르면, 시간에 전혀 의존하지 않는 무작위로 생성된 계열에 압도되어 단 하나의 예만 제시되고 향후 확장 변동성이 고려되지 않기 때문에 CSHS 모델보다 훨씬 낮은 수량을 보인다. 반면, 본 발명의 CSHS 모델에 따르면, NBS는 2040년까지 감소한 다음 2080년까지 증가한다. 특히 높은 변조 시간(예: 2070년)에서 NBS값이 높다. 높은 변조 시간에서 NBS의 높은 변동성은 1920년부터 1960년 사이 NBS의 낮은 단계가 1970년부터 2010년 사이의 높은 단계의 변동성보다 낮은 변동성을 나타낸다는 일련의 관측치에서 비롯된다. 홍수 관리 관점에서 보면, 해당 유역은 홍수 보호 측면에서 추가 개선이 필요하기 때문에 높은 NBS 값이 도움이 될 수 있다.
- [0061] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 기후 신호 주도 수문학적 확률적 모사 장치의 전체 블록 구성도이다.
- [0062] 도 7을 참조하면, 일 실시예에 따른 미래 홍수 위험 관리를 위한 기후 원격 연결 기반 확률론적 모사 장치는 프로세서(710), 메모리(730), 통신 인터페이스(750), 및 센서들(770)을 포함할 수 있다. 프로세서(710), 메모리(730), 통신 인터페이스(750), 및 센서들(770)은 통신 버스(705)를 통해 서로 통신할 수 있다.
- [0063] 프로세서(710)는 CSHS 모델을 이용한 BEMD 방법을 적용하여 고유 모드 함수의 매칭된 공통 모드와 나머지를 추출한다. 프로세서(710)는 유의성 테스트를 통해 고유 모드 함수의 매칭된 공통 모드와 나머지 중 중요 요소를 선택한다. 프로세서(710)는 기후 인자 및 수문 인자 데이터 가운데 중요 요소로 선택된 고유 모드 함수의 합에 대하여 이변량 NSOR 모델을 사용하여 모사한다. 프로세서(710)는 중요 요소로 선택되지 않으면, 나머지 요소는 특성에 따라 두 데이터 세트 모두에 대하여 모사한다. 프로세서(710)는 모사된 기후 인자 및 수문 인자들의 고유 모드 함수와 나머지를 각각 합산한다. 이를 통해 홍수를 예측할 수 있다.
- [0064] 메모리(730)는 관측된 이변량 데이터, 반응 데이터 집합 등을 저장할 수 있다. 메모리(730)는 휘발성 메모리 또는 비 휘발성 메모리일 수 있다.
- [0065] 이 밖에도, 프로세서(710)는 도 1 내지 도 6을 통해 전술한 적어도 하나의 방법 또는 적어도 하나의 방법에 대응되는 알고리즘을 수행할 수 있다. 프로세서(710)는 프로그램을 실행할 수 있다. 프로세서(710)에 의하여 실행되는 프로그램 코드는 메모리(730)에 저장될 수 있다. 미래 홍수 위험 관리를 위한 기후 원격 연결 기반 확률론적 모사 장치(700)는 입출력 장치(미도시)를 통하여 외부 장치(예를 들어, 퍼스널 컴퓨터 또는 네트워크)에 연결되고, 데이터를 교환할 수 있다. 미래 홍수 위험 관리를 위한 기후 원격 연결 기반 확률론적 모사 장치(700)는 스마트 폰, 태블릿 컴퓨터, 랩톱 컴퓨터, 데스크톱 컴퓨터, 텔레비전, 웨어러블 장치 등 다양한 컴퓨팅 장치 및/또는 시스템에 탑재될 수 있다.
- [0066] 이상에서 설명된 실시예들은 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치, 방법 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서

(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[0067] 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.

[0068] 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.

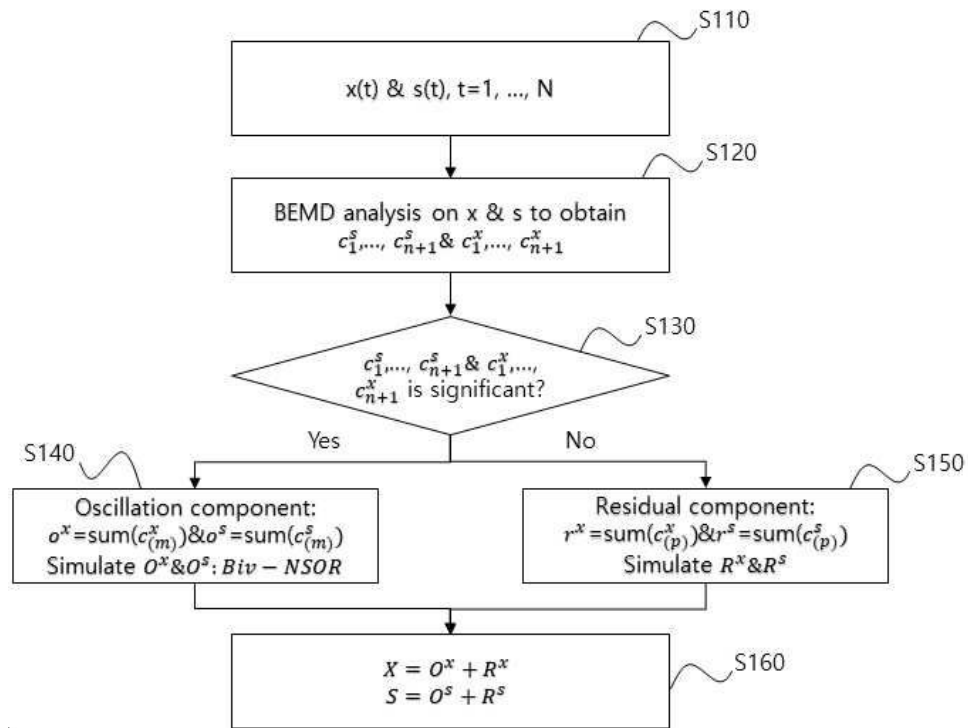
[0070] 본 명세서에서 설명되는 실시 예와 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 예시적으로 설명하는 것에 불과하다. 따라서, 본 명세서에 개시된 실시 예는 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이므로, 이러한 실시 예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아님은 자명하다. 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형 예와 구체적인 실시 예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

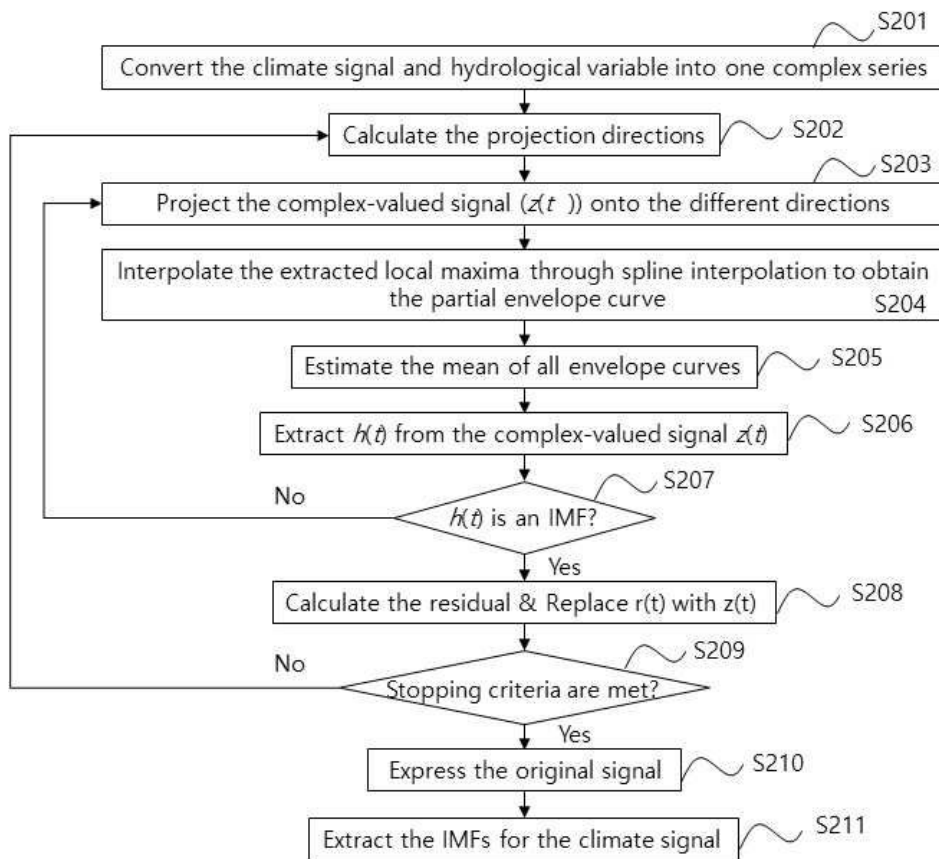
[0072] 710: 프로세서
730: 메모리
750: 통신 인터페이스
770: 센서(들)

도면

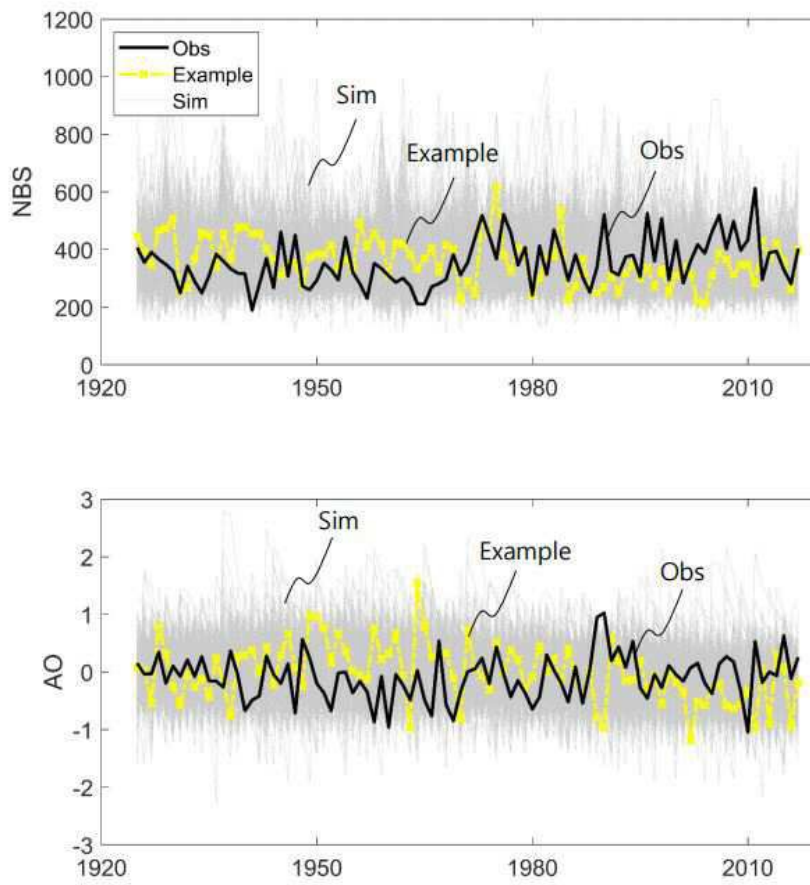
도면1



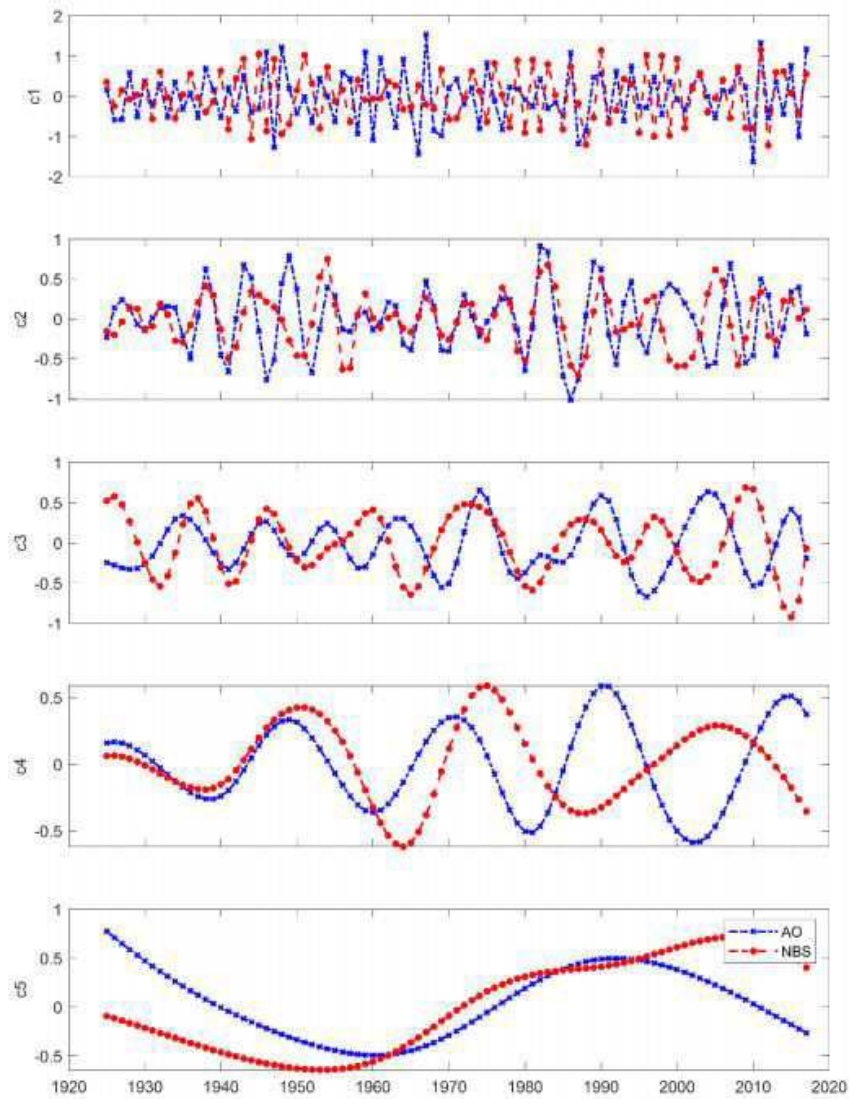
도면2



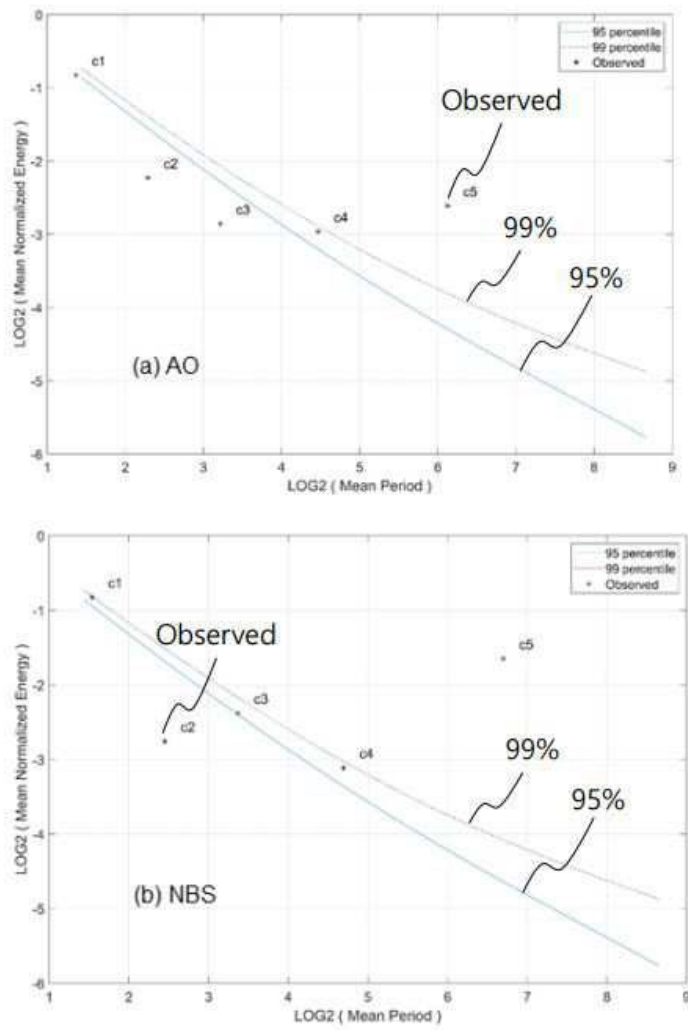
도면3



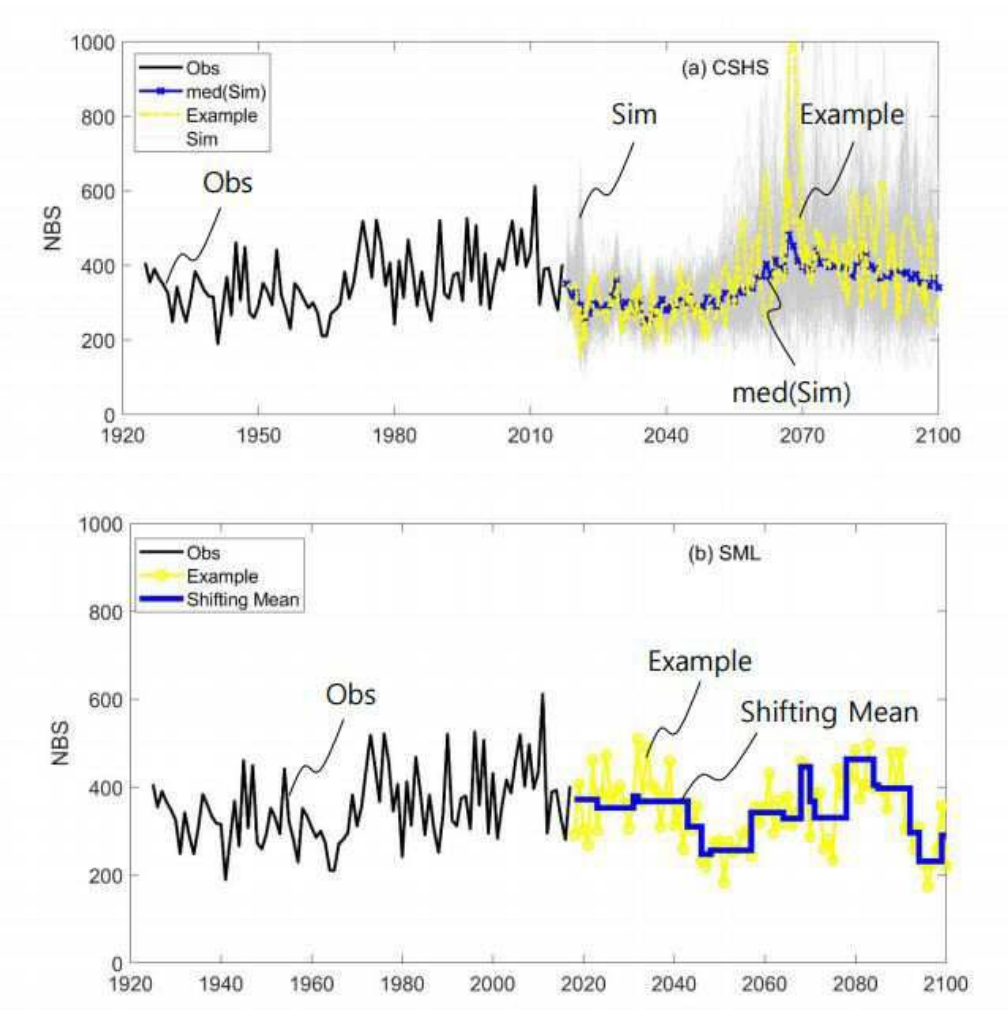
도면4



도면5



도면6



도면7

