

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0107044

(43) 공개일자 2024년07월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01W 1/10 (2006.01) G06F 111/04 (2020.01)
G06F 111/10 (2020.01) G06F 16/901 (2019.01)
G06F 16/904 (2019.01) G06F 30/20 (2020.01)

(52) CPC특허분류

G01W 1/10 (2013.01)
G06F 16/901 (2019.01)

(21) 출원번호 10-2023-0196992

(22) 출원일자 2023년12월29일

심사청구일자 2023년12월29일

(30) 우선권주장

1020220189942 2022년12월29일 대한민국(KR)

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

양정아

서울특별시 성동구 마장로42길 16, 2동 401호(마장동, 세립아파트)

(74) 대리인

박상열, 최내윤

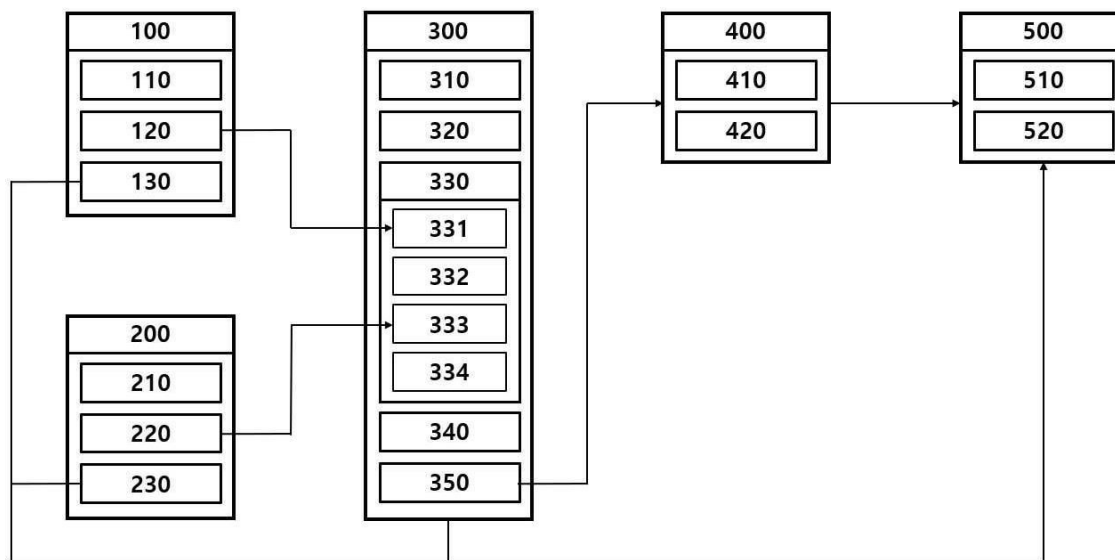
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 기후변화의 영향을 고려한 폭풍해일의 기후학적 특성 예측 시스템 및 그 방법

(57) 요약

본 발명의 실시 예에 따른 폭풍해일 예측 시스템은 기상 정보를 수집하여 데이터 베이스로 구축하는 기상 정보 처리 모듈, 지형 정보를 수집하여 데이터 베이스로 구축하는 지형 정보 처리 모듈, 상기 기상 정보 처리 모듈의 데이터 베이스로부터 추출된 상기 기상 정보 및 상기 지형 정보 처리 모듈의 데이터 베이스로부터 추출된 상기 지형 정보를 폭풍해일 정보를 산출하기 위한 수치모델의 입력 정보로 사용하여 폭풍해일 정보를 산출하는 폭풍해일 정보 계산 모듈, 상기 폭풍해일 정보 계산 모듈로부터 산출된 상기 폭풍해일 정보를 제공받아, 통계치에 대한 폭풍해일고의 특성을 산정하는 폭풍해일 정보 분석 모듈, 및 상기 기상 정보, 상기 지형 정보, 및 상기 폭풍해일 정보를 시각적으로 표시하는 정보 출력 모듈을 포함할 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

G06F 16/904 (2019.01)

G06F 30/20 (2020.01)

G01W 2201/00 (2013.01)

G06F 2111/04 (2020.01)

G06F 2111/10 (2020.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1365003609
과제번호	KMI2021-01514
부처명	기상청
과제관리(전문)기관명	한국기상산업기술원
연구사업명	기후 및 기후변화 감시 예측정보 응용 기술개발
연구과제명	AR6 시나리오에 기반한 동아시아 상세 해양기상 정보 생산기술 개발
기 여 율	50/100
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2021.04.01 ~ 2023.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711155195
과제번호	2022R1C1C2009205
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	(이공) 세종과학펠로우십
연구과제명	장래 폭풍해일고 예측을 위한 빅데이터 기반의 융합 프레임워크 개발
기 여 율	50/100
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2022.03.01 ~ 2027.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

기상 정보를 수집하여 데이터 베이스로 구축하는 기상 정보 처리 모듈;

지형 정보를 수집하여 데이터 베이스로 구축하는 지형 정보 처리 모듈;

상기 기상 정보 처리 모듈의 데이터 베이스로부터 추출된 상기 기상 정보 및 상기 지형 정보 처리 모듈의 데이터 베이스로부터 추출된 상기 지형 정보를 폭풍해일 정보를 산출하기 위한 수치모델의 입력 정보로 사용하여 폭풍해일 정보를 산출하는 폭풍해일 정보 계산 모듈;

상기 폭풍해일 정보 계산 모듈로부터 산출된 상기 폭풍해일 정보를 제공받아, 통계치에 대한 폭풍해일고의 특성을 산정하는 폭풍해일 정보 분석 모듈; 및

상기 기상 정보, 상기 지형 정보, 및 상기 폭풍해일 정보를 시각적으로 표시하는 정보 출력 모듈을 포함하는 폭풍해일 예측 시스템.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 기상 정보 처리 모듈은,

대기-해양 결합모델들(Atmospheric-Oceanic General Circulation Models, AOGCMs)이 기후변화 시나리오별로 산출해낸 기상 정보를 수집하는 기상 정보 수집부;

상기 기상 정보 수집부로부터 수집된 상기 기상 정보를 데이터 베이스로 구축하는 기상 정보 DB 구축부; 및

상기 기상 정보의 장래 변화량을 산정하는 기상 정보 분석부를 포함하는 폭풍해일 예측 시스템.

청구항 3

제2 항에 있어서,

상기 기상 정보는, 해면기압 정보 및 해상풍 정보를 포함하는 폭풍해일 예측 시스템.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 지형 정보 처리 모듈은,

다양한 출처로부터 생성된 지형 정보를 수집하는 지형 정보 수집부;

상기 지형 정보 수집부로부터 수집된 상기 지형 정보를 데이터 베이스로 구축하는 지형 정보 DB 구축부; 및

상기 지형 정보 DB 구축부에 저장된 복수의 상기 지형 정보들을 비교하여 타겟 지형 정보를 산출하는 지형 정보 분석부를 포함하는 폭풍해일 예측 시스템.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 폭풍해일 정보 계산 모듈은,

상기 폭풍해일 정보를 산출하고자 하는 영역을 설정하는 계산 영역 설정부;

상기 폭풍해일 정보를 산출하고자 하는 기간을 설정하는 계산 기간 설정부;

상기 수치모델의 입력 정보를 추출하고, 상기 수치모델의 내부에서 선언된 변수들에 대한 초기값 또는 고정값을 설정하는 초기 조건 설정부;

천수방정식을 이산화하여 구축된 상기 수치모델을 이용하여 상기 폭풍해일 정보를 산출하는 계산부; 및

상기 계산부를 통해 산출된 상기 폭풍해일 정보를 저장하여 데이터 베이스로 구축하는 폭풍해일 정보 DB 구축부를 포함하는 폭풍해일 예측 시스템.

청구항 6

제5 항에 있어서,

상기 계산부는 동일한 외력을 적용하였을 때 최외곽 계산영역 내에 있는 연안역 지점의 수위가 평형상태에 도달하는데 걸리는 시간을 적용하는 계산을 상기 수치모델에 적용하여 상기 폭풍해일 정보를 산출하는 것을 포함하는 폭풍해일 예측 시스템.

청구항 7

제5 항에 있어서,

상기 계산부는 다중둥지기법(multi-nesting grid method)를 상기 수치모델에 적용하여 상기 폭풍해일 정보를 산출하는 것을 포함하는 폭풍해일 예측 시스템.

청구항 8

제1 항에 있어서,

상기 폭풍해일 정보 분석 모듈은,

서로 다른 기후변화 시나리오에 대한 통계치별 폭풍해일고를 산정하는 제1 폭풍해일 분석부; 및

미래 기후변화 시나리오에 대한 통계치별 폭풍해일고의 장래 변화량을 산정하는 제2 폭풍해일 분석부를 포함하는 폭풍해일 예측 시스템.

청구항 9

제1 항에 있어서,

상기 출력 모듈은,

상기 기상 정보, 상기 지형 정보, 및 상기 폭풍해일 정보를 이미지 형식 및 동영상 형식으로 출력하는 정보 가시화부; 및

상기 기상 정보, 상기 지형 정보, 및 상기 폭풍해일 정보를 바이너리(binary) 형식 및 텍스트(text) 형식으로 출력하는 정보 출력부를 포함하는 폭풍해일 예측 시스템.

청구항 10

기상 정보를 수집하여 기상 데이터 베이스를 구축하는 단계;

지형 정보를 수집하여 지형 데이터 베이스를 구축하는 단계;

상기 기상 데이터 베이스로부터 추출된 기상 정보 및 상기 지형 데이터 베이스로부터 추출된 지형 정보를 폭풍해일 정보를 산출하기 위한 수치모델의 입력 정보로 사용하여 폭풍해일 정보를 산출하는 단계;

상기 폭풍해일 정보를 분석하여 통계치에 대한 폭풍해일고의 특성을 산정하는 단계; 및

상기 기상 정보, 상기 지형 정보, 및 상기 폭풍해일 정보를 시각적으로 표시하는 단계를 포함하는 폭풍해일 예측 방법.

청구항 11

제10 항에 있어서,

상기 기상 정보를 수집하여 기상 데이터 베이스로 구축하는 단계는,

대기-해양 결합모델들(Atmospheric-Oceanic General Circulation Models, AOGCMs)이 기후변화 시나리오별로 산출해낸 기상 정보를 수집하여 상기 기상 데이터 베이스로 구축하는 것을 포함하는 폭풍해일 예측 방법.

청구항 12

제10 항에 있어서,

상기 지형 정보를 수집하여 지형 데이터 베이스로 구축하는 단계는,

다양한 출처로부터 생성된 지형 정보를 수집하여 상기 지형 데이터 베이스로 구축하는 것을 포함하는 폭풍해일 예측 방법.

청구항 13

제10 항에 있어서,

상기 폭풍해일 정보를 산출하는 단계는,

천수방정식을 이산화하여 구축된 상기 수치모델을 이용하여 계산 영역 및 계산 기간에 대해 상기 폭풍해일 정보를 산출하는 것을 포함하는 폭풍해일 예측 방법.

청구항 14

제10 항에 있어서,

상기 폭풍해일 정보는, 계산 영역에 대한 폭풍해일고의 시계열 정보와 계산 기간 중 계산 격자 내의 각각의 격자점에서 발생한 폭풍해일고의 최대값과 최소값에 대한 정보를 산출하는 것을 포함하는 폭풍해일 예측 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 장래 발생 가능한 폭풍해일고를 예측하는 시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 특히 기후변화 시나리오 정보를 입력자료로 활용하여 연안역에서 발생 가능한 해일고를 고해상도로 산출하는 기후변화의 영향을 고려한 장래 폭풍해일고 예측 시스템 및 그 방법에 대한 것이다.

배경 기술

[0002] 폭풍해일은 저기압과 강한 바람이라는 기상학적 요인으로 인해 발생하는 해수면의 이상(異相)적인 상승 현상을

의미한다. 폭풍해일에 의한 연안역의 침수는 연안 재해로 인해 발생하는 피해들 중 가장 큰 원인을 차지하며, 폭풍해일의 통계학적 특성은 연안역의 피해저감을 위해 설치하는 해안구조물의 설계 시 해당 구조물의 천단고를 산정하는데 중요한 지표로 활용된다.

- [0003] 우리나라는 국토의 3면이 폭풍해일의 영향을 증폭시킬 수 있는 서로 다른 특성을 가진 바다로 둘러싸여 있다는 지형적인 특성으로 인해, 과거에도 폭풍해일로 인해 연안역이 침수되거나 연안역에 설치되어 있는 구조물의 파괴와 같은 피해들이 빈번하게 발생하였다. 이에 더해 최근의 연구 결과들은 전지구적 지구온난화 및 기상이변으로 인해, 미래에 한국에 발생 가능한 폭풍해일의 규모 또한 증가할 것으로 예상하고 있다.
- [0004] 따라서 폭풍해일에 의한 재해로부터 인명피해와 재산피해를 최소화하기 위해서는, 보다 과학적이고 체계적으로 기후변화의 영향을 고려한 폭풍해일의 기후학적인 (통계학적인) 특성을 예측할 수 있는 방안이 필요하다. 폭풍해일 예측을 위한 시스템과 방법과 관련해서는 아래의 선행연구들이 수행된 바 있다.
- [0005] 선행연구 1(대한민국 특허 공개 공보 10-2009-0101057)은 해상풍 모델을 이용하여 태풍조건과 비태풍 조건에 대해 각각 해상풍과 해면기압을 계산하고, 이를 해일모델의 입력자료로 사용하여 연안역에서의 폭풍해일고를 예측하는 시스템에 관한 것이다. 선행연구 1은 폭풍해일의 정확한 도달시간과 그 높이를 빠른 시간 내에 예측할 수 있는 시스템으로, 현업 폭풍해일 예보 모델로 사용하기에 적합하며, 기후학적인 관점에서 폭풍해일의 특성을 분석하기 위해 사용하기에는 적합하지 않다.
- [0006] 선행연구 2(대한민국 특허 공개 공보 10-2014-0009503)는 서로 다른 격자 구조를 가지고 있는 GIS 기반의 대기 모델 정보와 폭풍해일 모델 정보 및 DEM 정보를 이용하여, 이들 사이의 관계로부터 폭풍해일 지수를 산출하고, 이로 부터 미래의 폭풍해일 발생 가능성을 예측하여 예보하는 폭풍해일 예보 시스템에 관한 것이다. 폭풍해일은 대기조건 뿐만 아니라, 지형조건 (예. 해안선의 복잡도, 수심 등)에 의해서도 영향을 받는 자연현상임에도 불구하고, 본 발명은 대기조건과 폭풍해일고 사이의 관계만을 고려하였으며, 이 과정에서 서로에게 미치는 상호 영향에 대한 과학적인 분석 없이 폭풍 해일 지수라는 것을 정의하였기에 비과학적 분석이라는 한계를 가진다. 또한 본 발명은 임의 시점의 특정 대기 조건에 대해 폭풍해일의 발생 여부를 판단하는 시스템이므로, 폭풍해일 예보에 적합하며, 기후학적인 관점에서 폭풍해일의 특성을 분석하기 위해 사용하기에는 적합하지 않다.
- [0007] 선행연구 3(대한민국 특허 공개 공보 10-2015-0100908)은 가상 태풍 시나리오를 작성하고, 이를 폭풍해일 수치 모델의 입력자료로 사용하여 폭풍해일고를 산정한 후, 상기 태풍 정보와 폭풍해일고 정보를 바탕으로 해서 예보된 태풍 정보로부터 발생 가능한 폭풍해일고를 예측하는 인공지능 시스템 개발에 관한 것이다. 태풍에 의해 발생 가능한 해일고 예측을 목적으로 개발된 것이므로, 현업 폭풍해일 예보모델로 사용하기에 적합하고, 기후학적인 관점에서 폭풍해일의 특성을 분석하기 위해 사용하기에는 적합하지 않다.
- [0008] 선행연구 4(대한민국 특허 공개 공보 제10-2019-0168630)는 관측 태풍 자료를 기반으로 하여 가상 태풍을 무작위로 생성하고, 생산된 관측 기반 가상 태풍 시나리오를 ADCIRC라고 하는 폭풍해일 수치모델에 입력자료로 사용하여 연안에서의 해일고를 산출한 후, 상기 태풍 정보와 폭풍해일고 정보를 바탕으로 해서 예보된 태풍 정보로부터 발생 가능한 폭풍해일고를 예측하는 딥러닝 모델 개발에 관한 것이다. 선행연구 4는 태풍 내습 시 신속하게 실시간으로 폭풍해일고를 예측하는 것을 목적으로 개발된 것이므로, 현업 폭풍해일 예보모델로 사용하기에 적합하고, 기후학적인 관점에서 폭풍해일의 특성을 분석하기 위해 사용하기에는 적합하지 않다. 또한 미래에는 기후변화의 영향으로 인해 과거에 비해 고강도 태풍의 발생 빈도가 증가할 것으로 예측되는데 반해, 본 발명에서는 과거기후에 대한 태풍자료를 기반으로하여 폭풍해일 예측시스템을 발명하였기 때문에 기후변화의 영향이 반영되었다고 할 수 없다.
- [0009] 선행연구 5(대한민국 특허 공개 공보 제10-2014-0142942)는 태풍 발생 시, 태풍 예경보 기관으로부터 제공되는 예측 태풍 정보를 해수유동모델의 입력자료로 사용하여, 폭풍해일고를 예측하는 방법에 관한 것이다. 선행연구 5는 소기의 시점 및 지점의 폭풍해일고를 예측할 수 있는 방법으로, 현업 폭풍해일 예보 모델로 사용하기에 적합하며, 기후학적인 관점에서 폭풍해일의 특성을 분석하기 위해 사용하기에는 적합하지 않다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 대한민국 특허 공개 공보 10-2009-0101057
(특허문헌 0002) 대한민국 특허 공개 공보 10-2014-0009503

(특허문헌 0003) 대한민국 특허 공개 공보 10-2015-0100908

(특허문헌 0004) 대한민국 특허 공개 공보 제10-2019-0168630

(특허문헌 0005) 대한민국 특허 공개 공보 제10-2014-0142942

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 지금까지 폭풍해일에 의한 재해로부터 인명피해와 재산피해를 최소화하기 위해 다양한 폭풍해일 예측 방법과 시스템이 개발되었지만, 종래의 연구들은 다음과 같은 한계점을 가지고 있다.
- [0012] 가장 먼저 특정 시점의 대기 조건에 대해 폭풍해일고를 예측하는 방법과 시스템은 현업 폭풍해일 예보모델로 사용하기에는 적합하지만, 기후학적(통계학적)인 관점에서 폭풍해일의 특성을 분석하기 위해 사용하기에는 적합하지 않다. 이로 인해 연안역 구조물 설계 시 필요한 재현 빈도별 폭풍해일고 값을 산출할 수 없다.
- [0013] 다음으로 폭풍해일이 대기조건 뿐만 아니라 지형조건 (예. 해저지형, 해안지형, 해안선의 복잡도, 수심, 조석의 영향, 파랑의 영향 등)에 의해서도 영향을 받는 자연현상임에도 불구하고, 폭풍해일 지수로부터 폭풍해일고의 발생 가능성을 예측하는 시스템은 지형조건이 폭풍해일에 미치는 영향에 대한 고려 없이, 대기조건과 폭풍해일고 사이의 관계만을 고려하였으며, 이 과정에서 서로에게 미치는 상호 영향에 대한 과학적인 분석 없이 폭풍해일 지수를 정의하였기에 비과학적 분석이라는 한계를 가진다.
- [0014] 또한 저기압과 강한 바람을 동시에 동반하는 극단 기상 조건인 태풍 정보를 활용하여 폭풍해일고를 산출하는 방법과 시스템은 일상적인 대기 상태에서 발생할 수 있는 폭풍해일고의 예측에 적용하기에는 한계가 있다. 이로 인해 평균적인 관점에서의 폭풍해일 기후 특성을 분석하기 위해서는 별도의 방법이 필요하다.
- [0015] 마지막으로 수치모델을 이용한 폭풍해일 산정 시, 기후변화의 영향을 반영한 대기 조건을 입력자료로 사용하지 않고, 과거에 발생했던 대기 조건을 기반으로 폭풍해일 모델의 입력자료를 구축하였기에, 기후변화의 영향을 고려하여 장래 발생 가능한 폭풍해일고를 예측했다고 할 수 없다.
- [0016] 본 발명은 이와 같은 종래 기술의 폭풍해일 예측 방법의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 과학적이고 체계적으로 기후변화의 영향을 고려한 폭풍해일의 기후학적인 (통계학적인) 특성을 예측할 수 있는 방법과 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다. 보다 구체적으로 미래 기후변화 시나리오에 대해 전지구 기후 예측 모델 (General Circulation Model; GCM)이 생산한 대기 정보를 폭풍해일 수치모델의 입력자료로 활용하여 미래에 연안역에서 발생 가능한 폭풍해일의 기후학적인 정보를 고해상도로 제공함에 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0017] 상기 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 폭풍해일 예측 시스템을 제공한다.
- [0018] 일 실시 예에 따르면, 상기 폭풍해일 예측 시스템은 기상 정보를 수집하여 데이터 베이스로 구축하는 기상 정보 처리 모듈, 지형 정보를 수집하여 데이터 베이스로 구축하는 지형 정보 처리 모듈, 상기 기상 정보 처리 모듈의 데이터 베이스로부터 추출된 상기 기상 정보 및 상기 지형 정보 처리 모듈의 데이터 베이스로부터 추출된 상기 지형 정보를 폭풍해일 정보를 산출하기 위한 수치모델의 입력 정보로 사용하여 폭풍해일 정보를 산출하는 폭풍해일 정보 계산 모듈, 상기 폭풍해일 정보 계산 모듈로부터 산출된 상기 폭풍해일 정보를 제공받아, 통계치에 대한 폭풍해일고의 특성을 산정하는 폭풍해일 정보 분석 모듈, 및 상기 기상 정보, 상기 지형 정보, 및 상기 폭풍해일 정보를 시각적으로 표시하는 정보 출력 모듈을 포함할 수 있다.
- [0019] 일 실시 예에 따르면, 상기 기상 정보 처리 모듈은, 대기-해양 결합모델들(Atmospheric-Oceanic General Circulation Models, AOGCMs)이 기후변화 시나리오별로 산출해낸 기상 정보를 수집하는 기상 정보 수집부, 상기 기상 정보 수집부로부터 수집된 상기 기상 정보를 데이터 베이스로 구축하는 기상 정보 DB 구축부, 및 상기 기상 정보의 장래 변화량을 산정하는 기상 정보 분석부를 포함할 수 있다.
- [0020] 일 실시 예에 따르면, 상기 기상 정보는, 해면기압 정보 및 해상풍 정보를 포함할 수 있다.
- [0021] 일 실시 예에 따르면, 상기 지형 정보 처리 모듈은, 다양한 출처로부터 생성된 지형 정보를 수집하는 지형 정보

수집부, 상기 지형 정보 수집부로부터 수집된 상기 지형 정보를 데이터 베이스로 구축하는 지형 정보 DB 구축부, 및 상기 지형 정보 DB 구축부에 저장된 복수의 상기 지형 정보들을 비교하여 타겟 지형 정보를 산출하는 지형 정보 분석부를 포함할 수 있다.

[0022] 일 실시 예에 따르면, 상기 폭풍해일 정보 계산 모듈은, 상기 폭풍해일 정보를 산출하고자 하는 영역을 설정하는 계산 영역 설정부, 상기 폭풍해일 정보를 산출하고자 하는 기간을 설정하는 계산 기간 설정부, 상기 수치모델의 입력 정보를 추출하고, 상기 수치모델의 내부에서 선언된 변수들에 대한 초기값 또는 고정값을 설정하는 초기 조건 설정부, 천수방정식을 이산화하여 구축된 상기 수치모델을 이용하여 상기 폭풍해일 정보를 산출하는 계산부, 및 상기 계산부를 통해 산출된 상기 폭풍해일 정보를 저장하여 데이터 베이스로 구축하는 폭풍해일 정보 DB 구축부를 포함할 수 있다.

[0023] 일 실시 예에 따르면, 상기 계산부는 동일한 외력을 적용하였을 때 최외곽 계산영역 내에 있는 연안역 지점의 수위가 평형상태에 도달하는데 걸리는 시간을 적용하는 계산을 상기 수치모델에 적용하여 상기 폭풍해일 정보를 산출하는 것을 포함할 수 있다.

[0024] 일 실시 예에 따르면, 상기 계산부는 다중중지기법(multi-nesting grid method)를 상기 수치모델에 적용하여 상기 폭풍해일 정보를 산출하는 것을 포함할 수 있다.

[0025] 일 실시 예에 따르면, 상기 폭풍해일 정보 분석 모듈은, 서로 다른 기후변화 시나리오에 대한 통계치별 폭풍해일고를 산정하는 제1 폭풍해일 분석부, 및 미래 기후변화 시나리오에 대한 통계치별 폭풍해일고의 장래 변화량을 산정하는 제2 폭풍해일 분석부를 포함할 수 있다.

[0026] 일 실시 예에 따르면, 상기 출력 모듈은, 상기 기상 정보, 상기 지형 정보, 및 상기 폭풍해일 정보를 이미지 형식 및 동영상 형식으로 출력하는 정보 가시화부, 및 상기 기상 정보, 상기 지형 정보, 및 상기 폭풍해일 정보를 바이너리(binary) 형식 및 텍스트(text) 형식으로 출력하는 정보 출력부를 포함할 수 있다.

[0027] 상기 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명은 폭풍해일 예측 방법을 제공한다.

[0028] 일 실시 예에 따르면, 상기 폭풍해일 예측 방법은 기상 정보를 수집하여 기상 데이터 베이스로 구축하는 단계, 지형 정보를 수집하여 지형 데이터 베이스로 구축하는 단계, 상기 기상 데이터 베이스로부터 추출된 기상 정보 및 상기 지형 데이터 베이스로부터 추출된 지형 데이터 베이스를 폭풍해일 정보를 산출하기 위한 수치모델의 입력 정보로 사용하여 폭풍해일 정보를 산출하는 단계, 상기 폭풍해일 정보를 분석하여 통계치에 대한 폭풍해일고의 특성을 산정하는 단계, 및 상기 기상 정보, 상기 지형 정보, 및 상기 폭풍해일 정보를 시각적으로 표시하는 단계를 포함할 수 있다.

[0029] 일 실시 예에 따르면, 상기 기상 정보를 수집하여 기상 데이터 베이스로 구축하는 단계는, 대기-해양 결합모델들(Atmospheric-Oceanic General Circulation Models, AOGCMs)이 기후변화 시나리오별로 산출해낸 기상 정보를 수집하여 상기 기상 데이터 베이스로 구축하는 것을 포함할 수 있다.

[0030] 일 실시 예에 따르면, 상기 지형 정보를 수집하여 지형 데이터 베이스로 구축하는 단계는, 다양한 출처로부터 생성된 지형 정보를 수집하여 상기 지형 데이터 베이스로 구축하는 것을 포함할 수 있다.

[0031] 일 실시 예에 따르면, 상기 폭풍해일 정보를 산출하는 단계는, 천수방정식을 이산화하여 구축된 상기 수치모델을 이용하여 계산 영역 및 계산 기간에 대해 상기 폭풍해일 정보를 산출하는 것을 포함할 수 있다.

[0032] 일 실시 예에 따르면, 상기 폭풍해일 정보는, 계산 영역에 대한 폭풍해일고의 시계열 정보와 계산 기간 중 계산 격자 내의 각각의 격자점에서 발생한 폭풍해일고의 최대값과 최소값에 대한 정보를 산출하는 것을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0033] 본 발명은 미래 기후변화 시나리오에 대해 전지구 기후 예측 모델이 생산한 대기 정보를 폭풍해일 수치모델의 입력자료로 활용하여 과학적이고 체계적으로 미래에 연안역에서 발생 가능한 폭풍해일의 기후학적인 특성을 예측할 수 있는 기후변화의 영향을 고려한 폭풍해일의 기후학적 특성 예측 시스템과 방법을 제공할 수 있다.

[0034] 또한 본 발명은 폭풍해일고 계산 시 다중중지기법(multi-nesting grid method)을 적용하여 대양 규모(basinal scale)와 지역 규모(national and regional scale)에 대해 기후 시나리오에 따른 대기장과 폭풍해일고의 정보를 고해상도로 출력할 수 있는 기후변화의 영향을 고려한 폭풍해일의 기후학적 특성 예측 시스템과 방법을 제공할

수 있다.

[0035] 또한, 본 발명은 입력정보 수집, 입력정보의 변경, 수치모델의 변수 초기값 변경 등 수치모델의 운용 전반을 스크립트 기반 프로그램을 통하여 수행하는 준자동화 시스템으로 수치모델 운용에 필요한 인력을 최소화할 수 있으므로 운용의 편의성을 증대시킬 수 있는 기후변화의 영향을 고려한 폭풍해일의 기후학적 특성 예측 시스템과 방법을 제공할 수 있다.

[0036] 폭풍해일에 의한 연안역 침수 피해의 저감 대책 수립 시, 우선적으로 고려해야 할 대상지를 선정하기 위한 참고 자료로 활용하여, 효율적인 예산 집행을 도모할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0037] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 폭풍해일 예측 시스템의 각 구성을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 폭풍해일 예측 시스템을 통한 기상 정보 분석을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 폭풍해일 예측 시스템을 통한 지형 정보 비교를 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 폭풍해일 예측 시스템을 통한 계산 영역 설정을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 도 4에 대한 최적 스핀업 시간 산정을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 도 4의 임의의 지점에 대한 스핀업 적용 시간에 따른 폭풍해일 정보 계산 결과를 비교한 그래프이다.

도 7은 도 4의 D1 영역에 대한 외력 정보 생성을 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 본 발명의 실시 예에 따른 폭풍해일 예측 시스템을 통한 폭풍해일 정보 계산 결과(폭풍해일고)를 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 본 발명의 실시 예에 따른 폭풍해일 예측 시스템을 통해 기후 시나리오에 대한 폭풍해일고의 최대값 산정을 설명하기 위한 도면이다.

도 10은 본 발명의 실시 예에 따른 폭풍해일 예측 시스템을 통해 미래 기후 시나리오에 대한 폭풍해일고 최대값의 장래 변화량 산정을 설명하기 위한 도면이다.

도 11은 본 발명의 실시 예에 따른 폭풍해일 예측 시스템을 통해 폭풍해일고를 텍스트 형식으로 출력한 상태를 나타내는 도면이다.

도 12는 본 발명의 실시 예에 따른 폭풍해일 예측 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0038] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예를 상세히 설명할 것이다. 그러나 본 발명의 기술적 사상은 여기서 설명되는 실시 예에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화 될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시 예는 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다.

[0039] 본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소 상에 있다고 언급되는 경우에 그것은 다른 구성요소 상에 직접 형성될 수 있거나 또는 그들 사이에 제 3의 구성요소가 개재될 수도 있다는 것을 의미한다. 또한, 도면들에 있어서, 막 및 영역들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다.

[0040] 또한, 본 명세서의 다양한 실시 예들에서 제1, 제2, 제3 등의 용어가 다양한 구성요소들을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 구성요소들이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 구성요소를 다른 구성요소와 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 따라서, 어느 한 실시 예에 제 1 구성요소로 언급된 것이 다른 실시 예에서는 제 2 구성요소로 언급될 수도 있다. 여기에 설명되고 예시되는 각 실시 예는 그것의 상보적인 실시 예도 포함한다. 또한, 본 명세서에서 '및/또는'은 전후에 나열한 구성요소들 중 적어도 하나를 포함하는 의미로 사용되었다.

[0041] 명세서에서 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다. 또한, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징이나 숫자, 단계, 구성요소 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 배제하는 것으로 이해되어서는 안 된다. 또한, 본 명세서에서 "연결"은 복수의 구성 요소들

간접적으로 연결하는 것, 및 직접적으로 연결하는 것을 모두 포함하는 의미로 사용된다.

[0042] 또한, 하기에서 본 발명을 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 것이다.

[0044] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 폭풍해일 예측 시스템의 각 구성을 설명하기 위한 도면이다.

[0045] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시 예에 따른 폭풍해일 예측 시스템은 기상 정보 처리 모듈(100), 지형 정보 처리 모듈(200), 폭풍해일 정보 계산 모듈(300), 폭풍해일 정보 분석 모듈(400), 및 정보 출력 모듈(500)을 포함할 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 폭풍해일 예측 시스템이 포함하는 각 모듈들(100, 200, 300, 400, 500)은 각각 다른 장치를 통해 구현될 수 있다. 이와 달리, 다른 실시 예에 따르면, 상기 폭풍해일 예측 시스템이 포함하는 각 모듈들(100, 200, 300, 400, 500)은 모두 같은 장치를 통해 구현될 수 있다. 상기 폭풍해일 예측 시스템이 포함하는 각 모듈들(100, 200, 300, 400, 500)의 구체적인 구현 방법은 제한되지 않는다. 이하, 각 구성에 대해 설명된다.

[0046] **기상 정보 처리 모듈(100)**

[0047] 상기 기상 정보 처리 모듈(100)은 대기-해양 결합모델들(Atmospheric-Oceanic General Circulation Models, AOGCMs)이 기후변화 시나리오별로 산출해낸 기상 정보를 수집하는 기상 정보 수집부(110), 상기 기상 정보 수집부(110)로부터 수집된 상기 기상 정보를 데이터 베이스로 구축하는 기상 정보 DB 구축부(120), 및 상기 기상 정보의 장래 변화량을 산정하는 기상 정보 분석부(130)를 포함할 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 기상 정보는, 해면기압 정보 및 해상풍 정보를 포함할 수 있다.

[0048] 기후변화 시나리오는 온실가스, 에어로졸, 토지이용 변화 등 인위적인 원인으로 발생한 복사강제력 변화를 지구 시스템 모델에 적용하여 산출한 미래 기후 전망정보로, 기온, 강수량, 바람, 습도 등의 정보를 포함할 수 있다.

[0049] 기후변화 시나리오의 목표는 단순히 미래를 예측하는 것이 아니라, '광범위하게 발생할 수 있는 범위의 미래'를 고려하여 신뢰할 수 있는 의사결정을 위해 불확실성을 이해하는 것으로, 상기 기후변화 시나리오는 미래에 기후 변화가 미칠 영향을 평가하고, 그 피해를 최소화하는데 활용할 수 있는 선제적인 정보로 활용되며, 국가의 세부 지역별 상세 기후변화 전망은 지자체별 기후변화 대응과 적응대책 수립을 위한 필수적인 정보이다.

[0050] 기후변화에 관한 정부 간 협의체인 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 잠재적인 미래 기후변화 시나리오를 산출하여 평가보고서에 활용하는데, 지금까지 SRES(Special Report on Emission Scenarios), RCP(Representative Concentration Pathways) 시나리오, SSP(Shared Socioeconomic Pathways) 시나리오가 작성되었다. 가장 최근에 고려된 SSP 시나리오는 공통사회 경제 경로 시나리오로, IPCC 6차 평가보고서를 위해 2100년 기준 복사강제력 강도(기존 RCP개념)와 함께 미래 사회경제변화를 기준으로 인구통계, 경제발달, 복지, 생태계 요소, 지원, 제도, 기술발달, 사회적 인자, 정부정책을 고려하여 기후변화에 대한 미래의 완화와 적응 노력에 따라 5개의 시나리오(SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5)로 구별하였다.

[0051] IPCC 평가보고서는 기후위기에 대응하는 여러 정책 결정을 위한 중요한 도구로 사용되어 기후변화 대응 전략을 평가하므로, 많은 국가들이 대기-해양 결합모델(AOGCM)을 이용하여 IPCC 평가보고서 작성을 위한 기후변화 시나리오 개발에 참여하고 있다.

[0052] 기후변화 시나리오는 세계 기후 연구 프로그램(World Climate Research Programme)의 결합 모델 상호비교 프로젝트(Coupled Model Intercomparison Project; CMIP)를 통해 산출되며, 현재 수행되고 있는 CMIP은 6번째 단계로(CMIP6) 40여개의 기관에서 100개 이상의 대기-해양 결합모델(AOGCM)을 가지고 참여하고 있다.

[0053] CMIP6에 참가한 모델링 그룹들은 각각의 대기-해양 결합모델(AOGCM)을 이용하여 SSP시나리오에 대한 대기 관련 변수(예를 들어, 기온, 습도, 바람, 기압, 강우 등)와 해양 관련 변수(예를 들어, 해수 온도, 염분 등)들의 기후변화 시나리오를 생산하며, 대기-해양 결합 모델들(AOGCMs)이 생산해 낸 대기 및 해양 관련 변수들의 기후변화 시나리오 자료는 각 모델링 그룹이 운영하는 웹사이트, 또는 CMIP6 웹사이트에 접속하여 필요한 자료만을 선별하여 다운로드 할 수 있다.

[0054] 상기 기상 정보 수집부(110)는 CMIP6의 홈페이지에 접속하여 AOGCM별, 기후 시나리오별, 대기 관련 변수 자료들을 각각 다운로드 받아, 이들을 상기 기상 정보 DB 구축부(120)에 저장하고, 상기 기상 정보 분석부(130)는 상기 기상 정보 DB 구축부(120)로부터 관심 있는 대기 관련 변수 자료에 접근하여 해당 변수의 통계량별(예, 평균

값, 95-percentile 값, 최대값) 기후특성을 산정할 수 있다. 이와 같은 일련의 작업들은 프로그래밍 언어 기반의 스크립트를 통해 기술되어 있어 사용자는 해당 스크립트만을 실행해주면 되므로 상기 과정들은 준자동적으로 수행될 수 있다.

[0055] CMIP에 참가한 다양한 대기-해양 결합모델(AOGCM)이 생산해 낸 대기 및 해양 관련 변수에 대한 기후변화 시나리오 자료를 제공하고 있는 웹페이지들은 그 URL(Uniform Resource Locator)은 물론, 웹페이지에 수록되는 변수별 기후변화 시나리오의 형식 역시 일정하게 유지되므로, 스크립트 작성 시 접속 대상 웹페이지와 수집할 변수명과 자료의 수집 기간을 설정해주면, 별도의 사용자 조작 없이도 스크립트에 지정된 웹페이지에 자동으로 접속하여 필요한 정보를 자동으로 다운로드할 수 있다.

[0056] 상기 기상 정보 분석부(130)는 대기-해양 결합모델들이 기후변화 시나리오별로 산출해낸 기상 정보(해면기압 정보 및 해상풍 정보)의 장래 변화량을 산정할 수 있다. 구체적으로, 상기 기상 정보 분석부(130)는 대기-해양 결합모델들이 기후변화 시나리오별로 산출해낸 기상 정보(해면기압 정보 및 해상풍 정보)를 <수학식 1>에 적용함으로써, 장래 변화량을 산정할 수 있다.

[0057] <수학식 1>

$$ATMOS_{statistics} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (atmos_{statistics})$$

[0058]

[0059] <수학식 1>은 계산 영역 내의 격자점에 대해 각각 적용될 수 있다. $ATMOS_{statistics}$ 는 기후조건별 대기정보의 통계치로 기호의 아래첨자로 사용된 통계치(statistics)는 평균값(mean), 95-percentile, 최대값(max)을 포괄하며, N은 계산기간(년)을 의미하고 $atmos_{statistics}$ 는 해당 격자점에서의 년도별 대기정보의 통계치 값을 의미한다.

[0060] 도 2는 상기 기상 정보 분석부(130)를 통해 CMIP6에 참여한 대기-해양 결합 모델들(AOGCMs) 중 한국 기상청이 개발하여 운용하고 있는 기상청 지구시스템 모델(KMA's Advanced Climate Earth System Model; K-ACE)이 SSP5-8.5 시나리오에 대해 생산해 낸 해면기압의 기후변화 시나리오와 해상풍의 기후변화 시나리오 정보를 상기 <수학식 1>에 적용하여 근미래에 대한 동아시아 영역 해면기압의 장래 변화량 및 해상풍의 장래 변화량을 산정하고, 이를 후술되는 정보 출력 모듈(500)의 정보 가시화부(510)를 통해 이미지 형식으로 출력한 상태를 나타낸다.

[0061] **지형 정보 처리 모듈(200)**

[0062] 상기 지형 정보 처리 모듈(200)은, 다양한 출처로부터 생성된 지형 정보를 수집하는 지형 정보 수집부(210), 상기 지형 정보 수집부로부터 수집된 상기 지형 정보를 데이터 베이스로 구축하는 지형 정보 DB 구축부(220), 및 상기 지형 정보 DB 구축부에 저장된 복수의 상기 지형 정보들을 비교하여 타겟 지형 정보를 산출하는 지형 정보 분석부(230)를 포함할 수 있다.

[0063] 수치모델을 이용하여 폭풍해일의 연구를 수행하는 경우 모델의 정확도와 정밀도 향상을 위해 외해역 및 연안에 대한 해저 지형 정보(수심 정보)와 해안선 정보가 매우 중요하다.

[0064] 수치모델을 이용한 연구에 사용할 수 있는 지형 정보로는 SKKU 1m, SKKU 1s, KorBathy 30s, GEBCO, ETOPO1 등이 있다. SKKU 1m와 SKKU 1s는 한반도 인근 해역과 황해와 동해 전역에 대한 1분과 1초 수평격자 간격의 표고와 수심자료를 결합한 수심 dataset이고, KorBathy 30s는 한국 주변해역(30° N~40° N, 117° E~143° E)에 대한 수평방향으로 30초 간격의 수심자료이고, GEBCO(GENERAL Bathymetric Chart of the Oceans)는 전지구에 대한 수심자료로 구축시기에 따라 그 해상도에 차이가 있는데 GEBCO 2014 이후부터는 수평방향 30초 간격으로 구축한 수심자료를 제공하고 있으며, ETOPO1(1 Arc-Minute Global Relief Model)는 전지구에 대해 수평방향 1분 간격으로 구축한 수심자료이다.

[0065] 이 중 GEBCO와 ETOPO1은 관련기관에서 운용하고 있는 웹페이지에 접속하여 다운로드 받을 수 있고, SKKU 1m 및 SKKU 1s와 KorBathy 30s는 개발자에게 개별적으로 연락하여 제공받을 수 있다.

- [0066] 상기 지형 정보 수집부(210)는 GEBCO와 ETOPO1에서 운영하고 있는 웹사이트에 접속하여 각각의 웹사이트에서 제공하고 있는 수집자료를 다운로드 받아, 상기 지형 정보 DB 구축부(220)에 저장할 수 있다. 이와 달리, SSKU 1m 및 SSKU 1s와 KorBathy 30s는 개발자로부터 직접 제공받아 수동으로 상기 지형 정보 DB 구축부(220)에 저장할 수 있다.
- [0067] 상술된 바와 같이, 상기 지형 정보 분석부(230)는 상기 지형 정보 DB 구축부(220)에 저장된 다양한 지형 정보들을 비교하여 타겟 지형 정보를 산출할 수 있다. 상기 타겟 지형 정보는, 연구자가 연구 목적에 따라 취사 선택하는 지형 정보로 정의될 수 있다.
- [0068] 지형 정보를 개발한 연구자에게 직접 자료를 제공받아야 하는 경우를 제외하고, 상기 지형 정보 처리 모듈(200) 내에서 이뤄지는 일련의 작업들은 프로그래밍 언어 기반의 스크립트로 작성되어 있어, 해당 스크립트의 기재 사항 수정 및 실행을 통해 준자동적으로 수행할 수 있다.
- [0069] 도 3은 상기 지형 정보 분석부(230)에서 한국의 북서해안에 대해 KorBathy 30s(좌측도면)와 GEBCO 2014(우측도면)의 특징을 상호 비교한 결과를 후술되는 정보 출력 모듈(500)의 정보 가시화부(510)을 통해 이미지 형식으로 출력한 상태를 나타낸다.
- [0070] 일 실시 예에 따르면, 다양한 지형 정보 중 특정 지형을 선택하는 기준으로, 연안역에 대한 수심값의 존재 여부, 및 내륙 주변부에 있는 소규모 섬들이 섬으로 잘 재현 되어있는지 여부 등이 적용될 수 있다.
- [0071] 예를 들어, 도 3의 좌측도면인 Korbathy 30s는 한강 아래 지역의 연안역들을 육지로 표현하고, 우측도면인 GEBCO 2014는 전체 해안에 걸쳐 연안역이 잘 재현되어 있음으로 Korbathy 30s와 GEBCO 2014 중에서는 GEBCO 2014가 선택될 수 있다.
- [0072] 또한, 네이버 지도 및 구글 어스와 같은 지도 정보에서 섬들의 위치와 크기를 파악하고, 이 부분이 GEBCO 2014에 잘 재현되어 있는 지를 확인하여, 계산 격자보다 큰 크기의 섬이 재현되어 있지 않다면 이 부분에 대해서는 별도의 수정을 통해 수심 자료를 개선할 수 있다.
- [0073] **폭풍해일 정보 계산 모듈(300)**
- [0074] 상기 폭풍해일 정보 계산 모듈(300)은, 계산 영역 설정부(310), 계산 기간 설정부(320), 초기 조건 설정부(330), 계산부(340), 및 폭풍해일 정보 DB 구축부(350)를 포함할 수 있다.
- [0075] 상기 계산 영역 설정부(310)는 폭풍해일 정보를 산출하고자 하는 영역을 설정할 수 있다. 상기 폭풍해일 정보를 산출하고자 하는 영역은 계산 영역으로 정의될 수 있다. 또한, 상기 계산 영역 설정부(310)는 상기 계산 영역에 대한 공간 해상도를 설정할 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 공간 해상도는 상기 계산 영역을 격자망 형식으로 표현할 때 적용할 격자망의 크기를 의미할 수 있다.
- [0076] 상기 계산 기간 설정부(320)는 폭풍해일 정보를 산출하고자 하는 기간을 설정할 수 있다. 상기 폭풍해일 정보를 산출하고자 하는 기간은 계산 기간으로 정의될 수 있다. 또한, 상기 계산 기간 설정부(320)는 상기 계산 기간뿐만 아니라 시간 해상도를 설정할 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 시간 해상도는 상기 계산 기간을 몇 시간 또는 몇 일 간격으로 구분할지에 대한 시간 간격을 의미할 수 있다.
- [0077] 일 실시 예에 따르면, 수치모델을 이용한 폭풍해일 정보 산출 시, 본 계산 시작 전에 일정 기간의 스핀업(spin-up)을 적용하면 폭풍해일고 산정의 정확성이 개선될 수 있다. 스핀업 시간이란 동일한 외력을 적용하였을 때 최외곽 계산영역 내에 있는 연안역 지점의 수위가 평형상태에 도달하는데 걸리는 시간으로, 계산영역별 최적 스핀업 시간은 최외곽 영역의 규모와 폭풍해일 모의 시 적용한 시간 해상도에 따라 다를 수 있다. 도 4의 D1→D2→D3→D41 영역에 대해 1일 간격의 기상장 정보를 외력으로 적용하여 폭풍해일 정보를 계산하는 경우, 도 5에 도시된 바와 같이, 최적 스핀업 시간은 9일 정도인 것으로 확인할 수 있다.
- [0078] 도 6은 스핀업 적용 시간에 따른 폭풍해일 정보 계산 결과의 차이를 비교하기 위해, 도 4와 동일한 계산 영역에 대해 전지구 기상장 재해석 자료인 ERA5를 외력조건으로 적용하여 1시간 간격으로 폭풍해일 정보를 모의한 결과이다.
- [0079] 본 계산은 1995년 1월 1일 0시부터 1995년 1월 30일 23시까지의 1달 간으로, 해당 기간에 대한 폭풍해일 정보를 계산하기 위해 스핀업 시간을 7일 (회색선), 3일 (주황선) 적용한 결과와 스핀업 시간을 적용하지 않은 결과 (파랑선)를 비교한 결과, 최적 스핀업 시간보다 스핀업 시간이 짧게 적용되거나 미적용 된 경우, 본 계산의 초기 부분에서 급격한 수위변화가 발생하며 이로 인해 폭풍해일의 기후치 산정 시 큰 오차를 초래할 수도 있다는

것을 확인할 수 있다. 결론적으로, 스핀업 시간의 설정을 통해, 폭풍해일의 계산 결과와 이를 바탕으로 산정되는 폭풍해일의 기후치 정보의 정확도를 현저하게 개선할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0080] 상기 초기 조건 설정부(330)는, 외력 정보 생성부(331), 계산 격자 생성부(332), 지형 정보 생성부(333), 및 변수 값 설정부(334)를 포함할 수 있다.

[0081] 상기 외력 정보 생성부(331)는 후술되는 계산부(340)의 수치모델에 입력 정보로 사용될 기상 정보를 생성할 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 외력 정보 생성부(331)는 상기 기상 정보 DB 구축부(120)로부터 상기 계산 영역 설정부(310)에서 선언된 최외곽 계산 영역과 상기 계산 기간 설정부(320)에서 선언된 계산 기간과 시간 해상도에 대해 해면기압 정보와 해상풍 정보를 추출(도 6의 좌측 및 중앙 참조)함으로써, 후술되는 수치모델에 입력 정보로 사용될 기상 정보를 생성할 수 있다.

[0082] 일 실시 예에 따르면, 상기 기상 정보 DB 구축부(120)에 저장된 기상 정보(해면기압 정보 및 해상풍 정보)의 공간 해상도가 상기 계산 영역 설정부(310)에서 설정된 최외곽 계산 영역의 공간 해상도보다 낮을 경우, <수학식 2>와 같은 선형보간법을 적용하여, 상기 계산 영역 설정부(310)에서 설정된 최외곽 계산 영역의 공간 해상도와 동일한 해상도를 갖는 기상 정보(해면기압 정보 및 해상풍 정보)를 생성하고(도 6의 중앙 및 우측 참조), 이들 정보를 폭풍해일 정보 산정시 외력 조건으로 적용할 수 있다.

[0083] <수학식 2>

$$f(x) = \frac{d_2}{d_1 + d_2} f(x_1) + \frac{d_1}{d_1 + d_2} f(x_2)$$

[0084]

[0085] $f(x_1)$ 과 $f(x_2)$ 는 각각 지점 x_1 과 x_2 에서의 기상 정보 값이고, d_1 과 d_2 는 각각 x 에서 x_1 과 x_2 까지의 거리를 의미하며, $f(x)$ 는 x_1 과 x_2 사이의 임의의 지점 $x(x_1 < x < x_2)$ 에 대해 선형보간법을 적용하여 산출한 기상 정보 값을 의미한다.

[0086] 또한, 상기 외력 정보 생성부(331)는 스핀업을 적용한 폭풍해일 모의 시, 스핀업 시간에 적용할 해면기압 정보와 해상풍 정보를 추가로 생성하여 폭풍해일 정보 산정 시 외력 조건으로 사용할 수 있다.

[0087] 상기 계산 격자 생성부(332)는 상기 계산 영역 설정부(330)에서 설정된 최외곽 계산 영역과 계산 영역에 대한 공간 해상도 정보를 이용하여 계산 영역에 대한 격자망 형태의 계산 격자를 생성할 수 있다.

[0088] 상기 지형 정보 생성부(333)는 후술되는 계산부(340)의 수치모델에 입력 정보로 사용될 지형 정보를 생성할 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 지형 정보 생성부(333)는 상기 지형 정보 DB 구축부(220)로부터 상기 계산 영역 설정부(310)에서 선언된 계산 영역에 대한 지형 정보를 추출하고, 내삽과 외삽 기법 등을 적용하여 계산 영역에 대한 공간 해상도를 갖는 지형 정보를 생성하고, 이를 계산 격자의 절점별 수심값으로 적용함으로써, 후술되는 수치모델에 입력 정보로 사용될 지형 정보를 생성할 수 있다.

[0089] 상기 변수 값 설정부(334)는 후술되는 계산부(340)에서 수치모델을 이용하여 폭풍해일 정보를 산출할 때 수치모델의 지배방정식을 풀기 위해 수치모델 내부에서 선언된 변수들에 대한 초기값 또는 고정값을 설정할 수 있다.

[0090] 상기 계산부(340)는 수치모델을 이용하여 폭풍해일 정보를 산출할 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 수치모델은 천수방정식(shallow water equations)을 이산화하여 구축된 수치모형으로서 수치모형의 종류에 따라 입출력 자료의 형식상 미차가 있으나, 공간 이산화된 절점별 수심 및 해저면 마찰계수와 면기압과 해상풍 등의 기상 정보가 입력되어 폭풍해일 현상을 모의한다.

[0091] 상기 계산부(340)에서 이용 가능한 수치모형으로는 ADCIRC 모형(ADvanced CIRCulation model for oceanic, coastal and estuarine water), FVCOM 모형(Finite-Volume Coastal Ocean Model), SuWAT 모형(Surge, Wave and Tide) 등이 있는데, 이들 모형들은 천수방정식을 지배방정식으로 한다는 것은 동일하나, 천수방정식을 푸는 수치기법에 차이점을 갖고 있다.

[0092] 일 실시 예에 따르면, 상기 계산부(340)는 다중중지기법(multi-nesting grid method)를 상기 수치모델에 적용하여 상기 폭풍해일 정보를 산출함으로써, 폭풍해일고 산정의 정확성을 증가시킬 수 있다. 구체적으로, 수치모형을 이용한 폭풍해일 정보 산출 시 다중중지기법(multi-nesting grid method)을 이용하면 역학적 다운스케일링을 통해 개발경계조건의 오류를 최소화시켜 최종 계산 결과인 폭풍해일고 산정의 정확성을 증가시킬 수 있으며, 상

세역에 대한 고해상도를 정보를 얻을 수 있다. 본 발명은 사용자가 스크립트에 원하는 계산 영역(예를 들어, 도 4의 D1에서부터 D4#)을 작성해주면, 다중중시기법을 적용하여 각 계산영역별 폭풍해일을 모의하는 것이 가능하다.

[0093] 도 4는 SuWAT 모델에 다중중시기법을 적용하여 동아시아 영역(D1)에서부터 한반도 상세영역(D4#, #: 1~5)까지를 계산 영역으로 설정하고, 각 계산 영역에 대한 공간 해상도 정보를 나타낸다.

[0094] 또한, 일 실시 예에 따르면, 상기 계산부(340)는 동일한 외력을 적용하였을 때 최외곽 계산영역 내에 있는 연안역 지점의 수위가 평형상태에 도달하는데 걸리는 시간을 적용하는 계산을 상기 수치모델에 적용하여 상기 폭풍해일 정보를 산출함으로써, 폭풍해일고 산정의 정확성을 증가시킬 수 있다. 즉, 상기 계산부(340)는 스핀업(spin-up) 계산을 상기 수치모델에 적용함으로써, 폭풍해일고 산정의 정확성을 증가시킬 수 있다.

[0095] 구체적으로, 수치모델을 이용한 폭풍해일 정보 산출 시 본 계산 시작 전에 일정 기간의 스핀업(spin-up)을 적용하면 폭풍해일고 산정의 정확성을 높일 수 있는데, 스핀업 시간이란 동일한 외력을 적용하였을 때 최외곽 계산영역 내에 있는 연안역 지점의 수위가 평형상태에 도달하는데 걸리는 시간으로, 계산영역별 최적 스핀업 시간은 최외곽 영역의 규모에 따라 다르며, 도 4의 D1→D2→D3→D41 영역에 대한 계산 결과, 도 5에 도시된 바와 같이 최적 스핀업 시간은 9일 정도인 것으로 확인되었다.

[0096] 구체적으로, 도 5의 우측도면에 도시된 y축은 수위(m)를 의미하고 x축은 계산시간(day)를 의미하며, 붉은 색으로 표시된 영역은 스핀업으로 30일을 적용하여 계산한 수위를 의미한다. 계산 시작일부터 계산 시작 8일 후까지는 수위에 변동이 있다가 계산 시작 9일 후부터는 수위의 변동이 거의 없는 것을 확인할 수 있으므로, 본 계산영역에 대한 최적의 스핀업 시간은 9일인 것으로 확인할 수 있다.

[0097] 도 7은 도 4에서 설정한 계산 영역에 대해 본 계산 시작 전에 9일 간의 스핀업을 적용하여 1995년 1월 1일 00시부터 2014년 12월 30일 00시까지 24시간 간격으로 폭풍해일고를 계산한 결과 중에서, 1995년 1월 1일 00시 기점의 한반도 영역(D3)에 대한 폭풍해일고 계산결과를 보여준다.

[0098] 상기 폭풍해일 정보 DB 구축부(350)는 다양한 기상 조건에 대해 상기 계산부(340)에서 산출된 상기 폭풍해일 정보를 데이터 베이스로 구축하여 저장할 수 있다.

[0099] 상기 폭풍해일 정보 계산 모듈(300)이 포함하는 각 구성들, 다시 말해 상기 계산 영역 설정부(310), 상기 계산 기간 설정부(320), 상기 초기 조건 설정부(330), 상기 계산부(340), 및 상기 폭풍해일 정보 DB 구축부(350)에서 수행되는 일련의 작업들과 각 구성들 사이의 필요한 정보 교환은 프로그래밍 언어 기반의 스크립트를 통해 기술되어 있어 사용자는 해당 스트립트만을 실행해주면 되므로 상기 과정들은 준자동적으로 수행될 수 있다.

[0100] 폭풍해일 정보 분석 모듈(400)

[0101] 상기 폭풍해일 정보 분석 모듈(400)은 상기 폭풍해일 정보 계산 모듈(300)로부터 산출된 상기 폭풍해일 정보를 제공받아 다양한 통계치에 대한 폭풍해일고의 특성을 산출할 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 폭풍해일 정보 분석 모듈(400)은 서로 다른 기후변화 시나리오(과거 기후변화 시나리오, 미래 기후변화 시나리오 등)에 대한 통계치별 폭풍해일고를 산정하는 제1 폭풍해일 분석부(410), 및 미래 기후변화 시나리오에 대한 통계치별 폭풍해일고의 장래 변화량을 산정하는 제2 폭풍해일 분석부(420)를 포함할 수 있다.

[0102] 상기 통계치는 평균값(mean), 95-percentile, 최대값(max)등을 의미할 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 평균값(mean)은 평균기상에 대한 분석 시 활용되고, 상기 95-percentile과 상기 최대값(max)은 극단기상에 대한 분석에 활용될 수 있다.

[0103] 또한, 상기 통계치는 소정의 재현주기, 예를 들어 1년, 10년, 20년, 50년, 100년 등에 대한 최대값이 적용될 수 있다.

[0104] 임의의 기후조건에 대한 폭풍해일고의 통계치는 <수학식 3>에 의해 산출되며, <수학식 3>은 계산 영역 내의 각 격자점에 대해 각각 적용될 수 있다.

[0105] <수학식 3>

$$SSH_{statistics} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (ssh_{statistics})$$

[0106]

$SSH_{statistics}$

[0107]

는 기후조건에 대한 폭풍해일고(Storm Surge Height)의 통계치(단위: m)로 기호의 아래첨자로 사용된 통계치(statistics)는 평균값(mean), 95-percentile, 최대값(max)을 포괄하며, N은 계산기간(년)을

의미하고, $ssh_{statistics}$ 는 해당 격자점에서의 년도별 통계치 값을 의미한다.

[0108]

상술한 미래 기후조건에 대한 통계치별 폭풍해일고의 장래 변화량은 <수학식 4>에 의해 산출되며, <수학식 4>는 계산 영역 내의 각 격자점에 대해 각각 적용될 수 있다.

[0109]

<수학식 4>

$$\Delta SSH_{statistics} = \frac{SSH_{statistics, future} - SSH_{statistics, past}}{SSH_{statistics, past}} \times 100$$

[0110]

$\Delta SSH_{statistics}$

[0111]

는 미래 기후조건에 대한 폭풍해일고(Storm Surge Height) 통계치의 장래 변화량(단위: %)으로 기호의 아래첨자로 사용된 통계치(statiscs)는 평균값(mean), 95-percentile, 최대값(max)을 포괄하며,

$SSH_{statistics, future}$

는 미래 기후조건에 대한 폭풍해일고 산정 결과에 <수학식 1> 또는 후술되는 <수

$SSH_{statistics, past}$

학식 5>를 적용하여 산정한 폭풍해일고의 통계치 값을 의미하고, 는 과거 기후에 대한 폭풍해일고 산정 결과에 <수학식 1> 또는 후술되는 <수학식 5>를 적용하여 산정한 폭풍해일고의 통계치 값을 의미한다.

[0112]

상기 폭풍해일 정보 분석 모듈(400)의 각 구성인 상기 제1 폭풍해일 분석부(410) 및 상기 제2 폭풍해일 분석부(420)에서 수행되는 각각의 작업들은 프로그래밍 언어 기반의 스크립트를 통해 기술되어 있어 사용자는 해당 스크립트만을 실행해주면 되므로 상기 과정들은 준자동적으로 수행될 수 있다.

[0113]

도 8은 상기 제1 폭풍해일 분석부(410)에서 과거기후 시나리오(HPA; 1984년부터 2003년까지의 기후조건)와 3개의 미래기후 시나리오(HFA-RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5; 2080년부터 2099년까지의 기후조건)에 대해 산정한 폭풍해일 정보 중, 한반도 영역(D3) 내에 있는 각각의 계산 격자점에서 <수학식 5>를 적용하여 계산된 폭풍해일고 최대값의 공간분포를 후술되는 정보 출력 모듈(500)의 정보 가시화부(510)을 통해 이미지 형식으로 출력한 상태를 나타낸다.

[0114]

<수학식 5>

$$SSH_{x, y, max} = \max(ssh_{x, y})$$

[0115]

$ssh_{x, y}$

[0116]

는 계산 격자점(x, y)에서 계산된 폭풍해일고 값을 의미하고, 점(x, y)에서 계산된 폭풍해일고 값의 최대값을 의미한다.

$SSH_{x, y, max}$

는 계산 격자

[0117]

도 9는 도 8의 기후 시나리오에 대해 계산된 폭풍해일 산출 결과에 <수학식 2>를 적용하여, 3개의 미래 기후 시나리오에 대한 폭풍해일고 최대값의 장래 변화량을 산정한 도면이다.

[0118] 정보 출력 모듈(500)

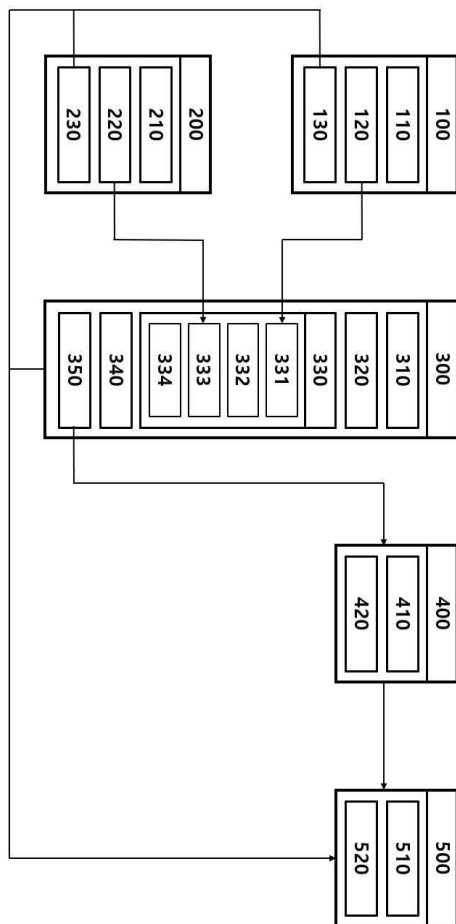
- [0119] 상기 정보 출력 모듈(500)은 상기 기상 정보, 상기 지형 정보, 및 상기 폭풍해일 정보를 시각적으로 표시할 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 상기 정보 출력 모듈을 통해 시각적으로 표시되는 상기 기상 정보는 상기 기상 정보 처리 모듈(100)의 상기 기상 정보 분석부(130)로부터 생성될 수 있다. 또한, 상기 정보 출력 모듈을 통해 시각적으로 표시되는 상기 지형 정보는 상기 지형 정보 처리 모듈(200)의 상기 지형 정보 분석부(230)로부터 생성될 수 있다. 또한, 상기 정보 출력 모듈을 통해 시각적으로 표시되는 상기 폭풍해일 정보는 상기 폭풍해일 정보 계산 모듈(300) 및 상기 폭풍해일 정보 분석 모듈(400)로부터 생성될 수 있다.
- [0120] 일 실시 예에 따르면, 상기 정보 출력 모듈(500)은 상기 기상 정보, 상기 지형 정보, 및 상기 폭풍해일 정보를 이미지 형식 및 동영상 형식으로 출력하는 정보 가시화부(510), 및 상기 기상 정보, 상기 지형 정보, 및 상기 폭풍해일 정보를 바이너리(binary) 형식 및 텍스트(text) 형식으로 출력하는 정보 출력부(520)를 포함할 수 있다.
- [0121] 구체적으로, 상기 정보 가시화부(510)는 특정 시각(timestep)에 대한 기상 정보, 지형 정보, 및 폭풍해일 정보를 jpg, png, gif 등과 같은 이미지 형식으로 출력할 수 있고, 특정 기간(period)에 기상 정보, 지형 정보, 및 폭풍해일 정보는 avi, mp4 등과 같은 동영상 형식으로도 출력할 수 있다.
- [0122] 상기 정보 출력부(520)는 특정 지점(point)에 대해 예측된 기상 정보, 지형 정보, 및 폭풍해일 정보의 시점 자료 및 시계열 자료와 특정 영역(area)에 대해 예측된 기상 정보와 지형 정보와 폭풍해일 정보의 시점 자료 및 시계열 자료를 netCDF와 같은 바이너리(binary) 형식으로 출력할 수 있고, dat, csv 등과 같은 텍스트(text) 형식으로도 출력할 수 있다.
- [0123] 도 11은 1994년 1월 기간에 대해 한국 연안에 위치한 여수와 부산 지점에 대해 산정된 1시간 간격의 폭풍해일고의 시계열 자료를 dat format의 텍스트 형식으로 출력한 화면을 캡처한 자료이다. 자료의 첫 번째 열은 시각 정보를 나타내고, 두 번째 열은 여수 지점에 대한 폭풍해일고 정보를 나타내고, 세 번째 열은 부산 지점에 대한 폭풍해일고 정보를 나타낸다.
- [0124] 일 실시 예에 따르면, 상기 폭풍해일 예측 시스템은, 폭풍해일에 대한 장래 변화량을 더 산출할 수 있다. 또한, 상기 폭풍해일 예측 시스템은, 산출된 폭풍해일의 장래 변화량 정보, 해변기압의 장래 변화량 정보, 및 해상풍의 장래 변화량 정보를 비교 분석하여 해변기압과 해상풍을 독립변수로 하고, 폭풍해일 정보를 종속변수로 하는 통계모델을 구축하여, 통계적 방법으로 폭풍해일의 장래 변화량을 예측하는데 사용될 수 있다.
- [0126] 이상, 본 발명의 실시 예에 따른 폭풍해일고 예측 시스템이 설명되었다. 이하, 본 발명의 실시 예에 따른 폭풍해일고 예측 방법이 설명된다.
- [0127] 도 12는 본 발명의 실시 예에 따른 폭풍해일고 예측 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
- [0128] 본 발명의 실시 예에 따른 폭풍해일고 예측 방법은, 도 1을 참조하여 설명된 상기 실시 예에 따른 폭풍해일고 예측 시스템을 통해 이루어질 수 있다.
- [0129] 도 12를 참조하면, 기상 정보를 수집하여 기상 데이터 베이스가 구축되고(S100), 지형 정보를 수집하여 지형 데이터 베이스 구축될 수 있다(S200).
- [0130] 일 실시 예에 따르면, 상기 S100 단계에서는, 대기-해양 결합모델들(Atmospheric-Oceanic General Circulation Models, AOGCMs)이 기후변화 시나리오별로 산출해낸 기상 정보를 수집하여 이를 기상 데이터 베이스로 구축하고, 상기 기상 데이터 베이스로부터 기상 정보들의 기후학적 특성을 분석할 수 있다.
- [0131] 상기 S200 단계에서는, 다양한 출처로부터 생성된 지형 정보들을 수집하여 이를 지형 데이터 베이스로 구축하고, 상기 지형 데이터 베이스에 저장된 지형 정보들을 비교 분석함으로써 보다 적합한 지형 정보를 제시할 수 있다.
- [0132] 상기 S100 단계 및 S200 단계 이후, 상기 기상 데이터 베이스로부터 추출된 기상 정보 및 상기 지형 데이터 베이스로부터 추출된 지형 정보를 폭풍해일 정보를 산출하기 위한 수치모델의 입력 정보로 사용하여 폭풍해일 정보를 산출할 수 있다(S300).
- [0133] 상기 폭풍해일 정보는, 계산 영역에 대한 폭풍해일고의 시계열 정보와 계산 기간 중 계산 격자 내의 각각의 격

자점에서 발생한 폭풍해일고의 최대값과 최소값에 대한 정보를 산출하는 것을 포함할 수 있다.

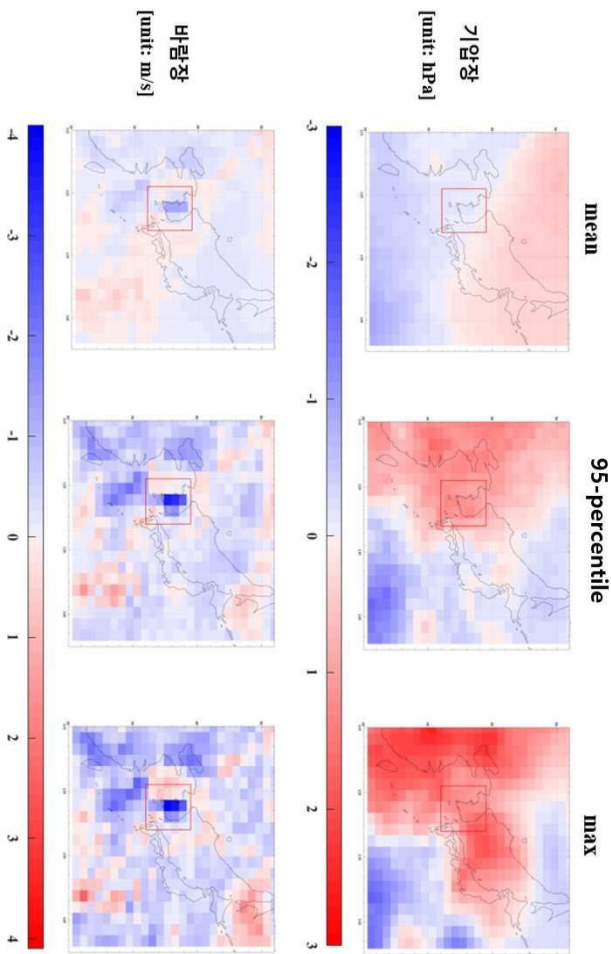
- [0134] 일 실시 예에 따르면, 상기 S300 단계에서는 천수방정식을 이산화하여 구축된 수치모델을 이용하여 사용자가 설정한 계산 영역 및 계산 기간에 대한 폭풍해일 정보를 산출할 수 있다. 또한, 상기 S300 단계에서는 다중둥지기법(multi-nesting grid method) 및 스핀업(spin-up) 계산을 수치모델에 적용할 수 있다. 이에 따라, 폭풍해일고 산정의 정확성을 증가시킬 수 있다.
- [0135] 상기 S300 단계 이후, 상기 폭풍해일 정보를 분석하여 통계치에 대한 폭풍해일고의 특성을 산정할 수 있다(S400). 구체적으로, 각 기후조건에 대한 통계치별 폭풍해일고와 미래 기후조건에 대한 통계치별 폭풍해일고의 장래 변화량을 산정할 수 있다.
- [0136] 상기 기상 정보, 상기 지형 정보, 및 상기 폭풍해일 정보는 시각적으로 표시될 수 있다(S500). 일 실시 예에 따르면, 상기 기상 정보, 상기 지형 정보, 및 상기 폭풍해일 정보를 이미지 형식 및 동영상 형식으로 출력될 수 있다. 또한, 상기 기상 정보, 상기 지형 정보, 및 상기 폭풍해일 정보를 바이너리(binary) 형식 및 텍스트(text) 형식으로 출력될 수 있다.
- [0138] 이상, 본 발명을 바람직한 실시 예를 사용하여 상세히 설명하였으나, 본 발명의 범위는 특정 실시 예에 한정되는 것은 아니며, 첨부된 특허청구범위에 의하여 해석되어야 할 것이다. 또한, 이 기술분야에서 통상의 지식을 습득한 자라면, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않으면서도 많은 수정과 변형이 가능함을 이해하여야 할 것이다.

도면

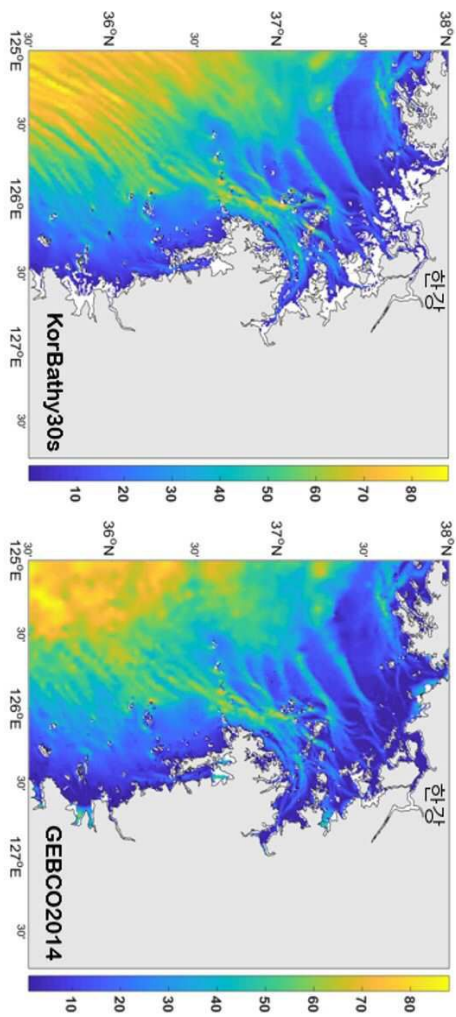
도면1



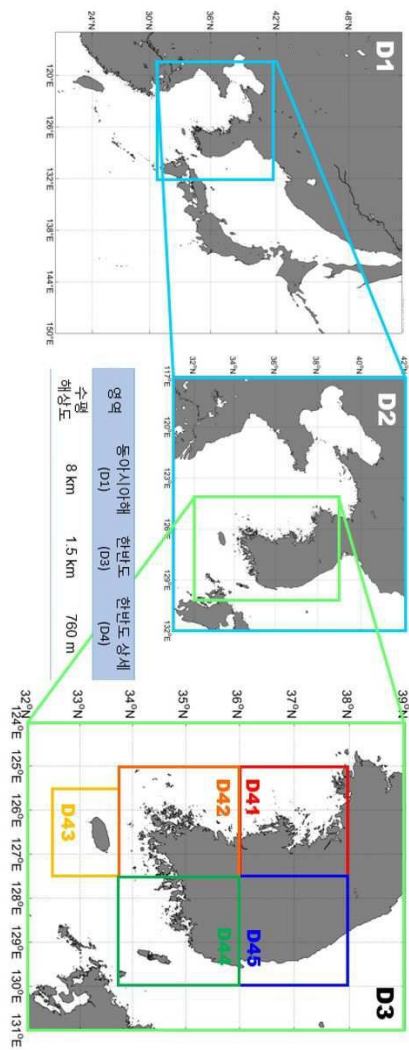
도면2



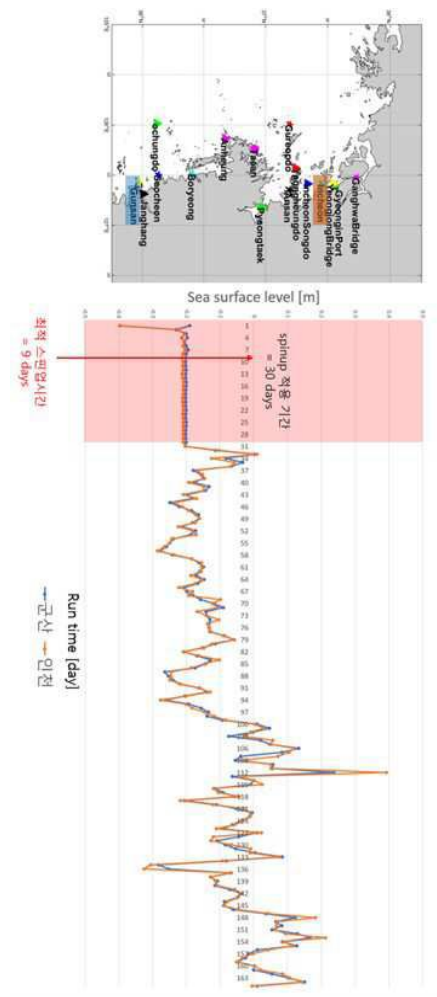
도면3



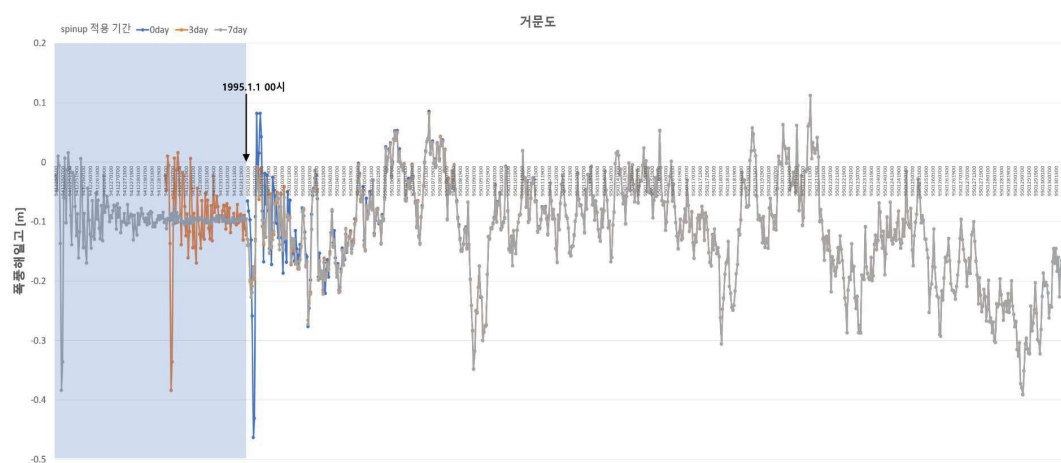
도면4



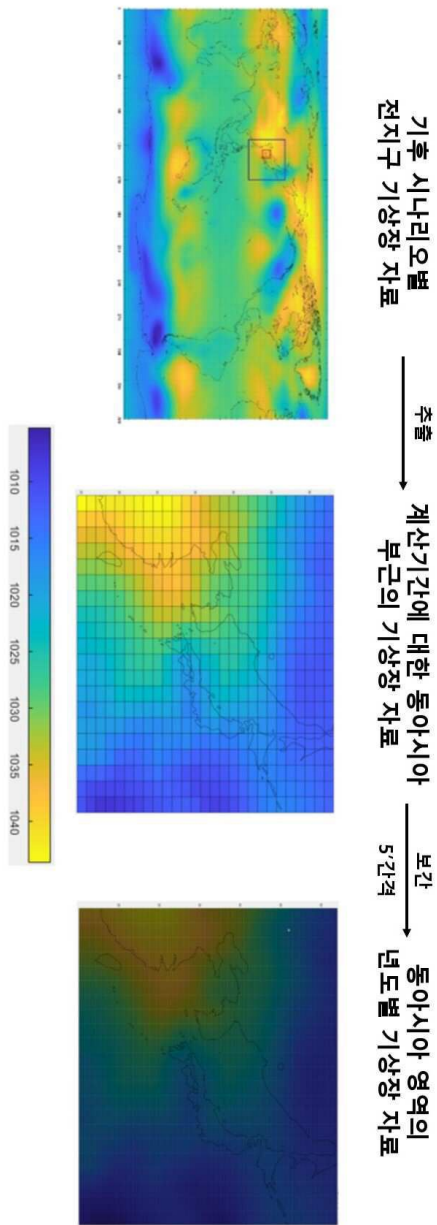
도면5



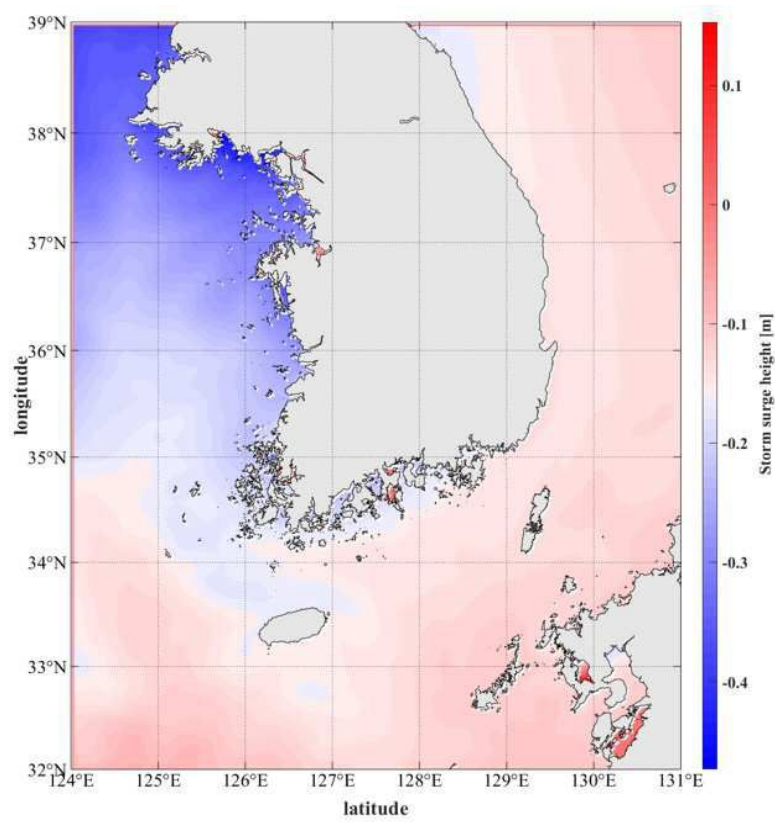
도면6



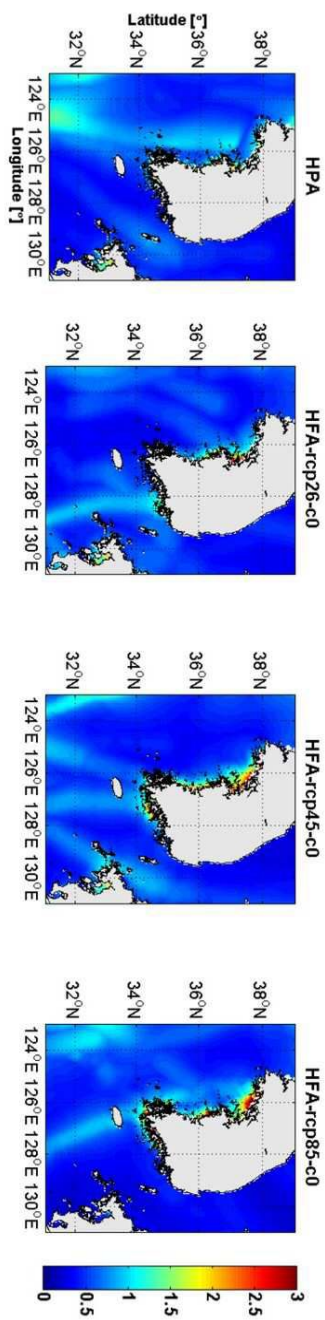
도면7



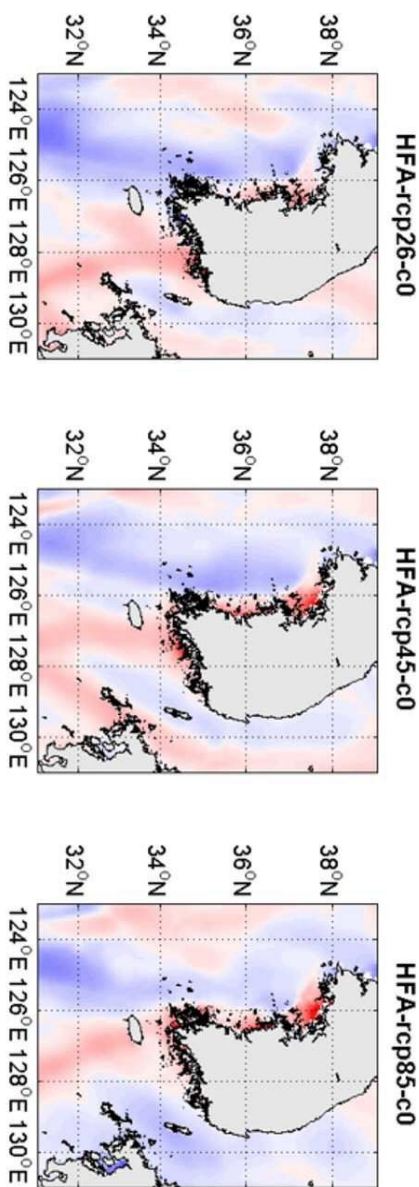
도면8



도면9



도면10



도면11

AcroEdit - [C:\Users\WYang\Desktop\Wtimeserial_d04.txt]

파일(F) 편집(E) 찾기(S) 매크로(M) 프로젝트(P) 도구(T) 보기(V) 창(W) 도움말(H)

timeserial_d04.txt

0	10	20	30	40
1	950400	9501010000	-0.1466	-0.1780
2	1036800	9501020000	-0.0974	-0.1305
3	1123200	9501030000	-0.0472	-0.1468
4	1209600	9501040000	-0.0171	-0.1179
5	1296000	9501050000	-0.0065	-0.0499
6	1382400	9501060000	-0.0258	-0.0307
7	1468800	9501070000	-0.1049	-0.1368
8	1555200	9501080000	-0.1266	-0.1704
9	1641600	9501090000	-0.1210	-0.1836
10	1728000	9501100000	-0.1286	-0.1711
11	1814400	9501110000	-0.1156	-0.1241
12	1900800	9501120000	-0.1076	-0.1041
13	1987200	9501130000	-0.1104	-0.0943
14	2073600	9501140000	-0.1331	-0.1163
15	2160000	9501150000	-0.2048	-0.2366
16	2246400	9501160000	-0.2336	-0.2854
17	2332800	9501170000	-0.1846	-0.1888
18	2419200	9501180000	-0.1414	-0.1304
19	2505600	9501190000	-0.1311	-0.1454
20	2592000	9501200000	-0.1632	-0.1778
21	2678400	9501210000	-0.1811	-0.1865
22	2764800	9501220000	-0.1503	-0.1531
23	2851200	9501230000	-0.1822	-0.1982
24	2937600	9501240000	-0.1921	-0.1954
25	3024000	9501250000	-0.1988	-0.2066
26	3110400	9501260000	-0.2062	-0.2160
27	3196800	9501270000	-0.2330	-0.2286
28	3283200	9501280000	-0.2001	-0.2042
29	3369600	9501290000	-0.1527	-0.1606
30	3456000	9501300000	-0.1544	-0.1798
31	3542400	9501310000	-0.1187	-0.1380
32				

도면12

