



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0094171
(43) 공개일자 2022년07월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01V 1/30 (2006.01) G01V 1/38 (2006.01)
G01W 1/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01V 1/305 (2013.01)
G01V 1/38 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0189312
(22) 출원일자 2021년12월28일
심사청구일자 2021년12월28일
(30) 우선권주장
1020200184441 2020년12월28일 대한민국(KR)

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
손상영
서울특별시 동작구 남부순환로259길 10, 201호(사당동, 고합하이츠빌라)
(74) 대리인
특허법인남춘

전체 청구항 수 : 총 6 항

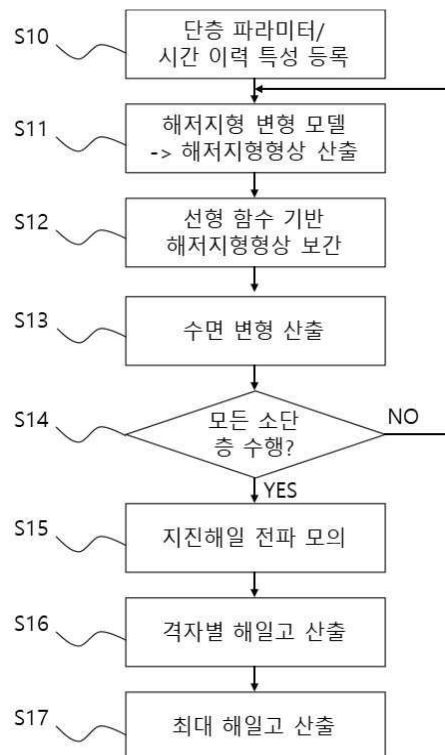
(54) 발명의 명칭 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법

(57) 요약

본 발명은 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법에 관한 것으로, (a) 복수의 소단층 각각에 대한 단층 파라미터와, 상기 소단층 각각에 대한 시간 이력 특성이 등록되는 단계와; (b) 상기 소단층 별로 상기 단층 파라미터가 기 등록된 해저지형 변형 모형에 적용되어, 각각의 상기 소단층 별로 단층 파괴에 따른 해저지형형상

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



을 산출하는 단계와; (c) 복수의 상기 소단층의 단층 파괴 순서를 기준으로 하여 상기 소단층별로 순차적으로, 상기 시간 이력 특성에 기반한 선형 함수에 기초하여 상기 해저지형형상을 보간하는 단계와; (d) 보간된 상기 해저지형형상에 기초하여 상기 소단층 별로 수면 변형을 산출하는 단계와; (e) 상기 수면 변형에 기초하여, 지진해일 전파가 모의되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다. 이를 통해, 해저지진활동에 의해 발생하는 지진해일의 예측 정확성을 향상시키기 위하여, 지진의 단층파괴 시간이력을 고려함과 동시에 해저지형에 의한 능동적 수면생성을 모의할 수 있다.

(52) CPC특허분류

G01W 1/06 (2013.01)

G01W 2201/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1816383
과제번호	PJ001272202001
부처명	기상청
과제관리(전문)기관명	한국기상산업진흥원
연구사업명	기상씨앗기술개발사업
연구과제명	단층파괴이력을 고려한 지진해일 예측 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교산학협력단
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법에 있어서,

- (a) 복수의 소단층 각각에 대한 단층 파라미터와, 상기 소단층 각각에 대한 시간 이력 특성이 등록되는 단계와;
- (b) 상기 소단층 별로 상기 단층 파라미터가 기 등록된 해저지형 변형 모형에 적용되어, 각각의 상기 소단층 별로 단층 파괴에 따른 해저지형형상을 산출하는 단계와;
- (c) 복수의 상기 소단층의 단층 파괴 순서를 기준으로 하여 상기 소단층별로 순차적으로, 상기 시간 이력 특성에 기반한 선형 함수에 기초하여 상기 해저지형형상을 보간하는 단계와;
- (d) 보간된 상기 해저지형형상에 기초하여 상기 소단층 별로 수면 변형을 산출하는 단계와;
- (e) 상기 수면 변형에 기초하여, 지진해일 전파가 모의되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 시간 이력 특성은 단층파괴 시작시간, 단층파괴 종료시간 및 파열 속도를 포함하며;

상기 단층파괴 시작시간과 상기 단층파괴 종료시간은 상기 파열 속도에 종속하여 결정되는 것을 특징으로 하는 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 해저지형 변형 모형은 Okada 모형을 포함하는 것을 특징으로 하는 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 (a) 단계에서는 측정 대상 지역에 대한 격자 정보가 포함되어 등록되며;

상기 (e) 단계에서는 시간에 따른 각 격자 단위로 지진해일 전파가 모의되는 것을 특징으로 하는 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 (e) 단계에서는 천수 방정식에 기초하여 지진해일 전파가 모의되는 것을 특징으로 하는 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법.

청구항 6

제4항에 있어서,

(f) 상기 (e) 단계에서 모의된 지진해일 전파에 기초하여 상기 각 격자별로 해안선에 도착하는 해일고를 산출하는 단계와;

(g) 상기 해일고에 기초하여 상기 각 격자별로 최대 해일고가 산출되는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 해양에서 발생하는 자연재해에 속하는 지진해일의 예측하는데 있어 단층 파괴의 시간이력이 반영되는 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일본 가나가와 현에서 규모 5.5의 지진이 발생하고, 캘리포니아에서 6.4, 로스앤젤레스 부근에서 7.1의 강진이 발생하는 등 환태평양 불의 고리 지역(Ring of Fire)에서 지진 활동이 빈번하게 발생하고 있다. 환태평양 조산대는 다수의 해양판과 대륙판이 접하고 있어 이들 사이의 충돌로 인하여 지진 및 화산 활동이 활발하게 발생하고 있다.

[0003] 한국의 경우, 불의 고리 지역에는 포함되지 않지만 판의 내부에서 단층 파괴가 빈번하게 발생하면서 지진 발생 빈도가 증가하고 있다. 2017년에서 2018년 동안 규모 3이상의 지진이 24차례 발생하였으며 2019년에도 5차례 발생하였다. 이렇듯 빈번하게 발생하는 지진으로 말미암아 한반도 주변에서 발생하는 지진과 관련하여 다양한 지진해일 연구가 수행되었다.

[0004] 해저 지형 아래에서 단층 파괴 또는 파열이 발생할 경우, 해저 지형의 변화를 가져오고, 이러한 변화는 지진해일을 야기시켜 해안 지역에 막대한 피해를 준다. 단층 파괴는 지각 내부의 특정 지점에서 응축되는 에너지가 한계값을 초과할 때 발생한다.

[0005] 이러한 파괴 현상은 국지적으로 발생하여 시간차를 가지며 한 방향 또는 양 방향으로 전파되면서 진행된다. [표 1]은 최근에 발생한 지진에서 단층들의 파괴 속도를 정리한 것이다.

[0006] [표 1]

Case	<i>M_w</i>	Rupture Time (sec.)	Rupture Velocity (km/s)
2004 Indian Ocean	9.1	1273	0.8-1.0
2010 Chile	8.8	120	2.0-2.5
2011 Tohoku, Japan	9.1	200	1.5
2014 Iquique, Chile	8.2	90	1.5
2015 Illapel, Chile	8.4	125	1.75

[0007]

[0008] 이러한 단층 파괴의 운동학적 특성은 해저 지형의 변형을 거쳐 지진해일의 초기 파형에 변화를 주며 최종적으로 지진해일의 전파 속도 및 연안에서의 처오름 높이 등에 영향을 주기 때문에, 단층 파괴와 관련하여 다양한 연구가 수행되었다.

[0009] 일 예로, Ammon 등의 논문 "Rupture process of the 2004 Sumatra-Andaman earthquake(Science, 308, 1133-1139.)", Fujii 및 Satake의 논문 "Tsunami source of the 2004 Sumatra-Andaman earthquake inferred from tide gauge and satellite data(Bulletin of the Seismological Society of America, 97(1A), S192-S207.)" 등에서는 2004년 Sumatra-Andaman 지진의 단층 파괴 과정에 대해, Maercklin 등의 논문 "Twin ruptures grew to build up the giant 2011 Tohoku, Japan, earthquake(Scientific Reports, 2, 709.)"과 Satake 등의 논문 "Time and space distribution of coseismic slip of the 2011 Tohoku earthquake as inferred from tsunami waveform data(Bulletin of the Seismological Society of America, 103(2B), 1473-1492.)" 등에서는 2011년 Tohoku-oki 지진의 단층 파괴 과정에 대해 기술하였다.

[0010] 이와는 별개로, 시간차에 따른 단층 파괴 현상이 지진 해일에 미치는 영향도 다양하게 검토되었다. 예를 들어, Grilli 등의 논문 "Source constraints and model simulation of the December 26, 2004, Indian Ocean tsunami(Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering, 133(6), 414-428.)"에서는 FUNWAVE를 이

용하여 단층의 파괴 속도를 감안한 2004 Indian Ocean 지진에 대하여 수치 모의를 수행한 바 있다.

[0011] 그러나, 단층 파괴 과정과 관련하여 단층 파괴 속도와 지진해일의 연관성에 대한 검토나, 단층 파괴의 시간 이력이 지진해일이 미치는 영향은 검토된 바 없다. 즉, 단층 파괴의 속도와 시간은 지진해일의 초기 파형에 영향을 미치고, 이는 결과적으로 지진해일의 전파 속도와, 해안선에서의 처오름 높이에 영향을 미치게 되는데, 시간 이력이 반영된 지진해일의 모의가 요구되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 이에, 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해소하기 위해 안출된 것으로서, 해저지진활동에 의해 발생하는 지진해일의 예측 정확성을 향상시키기 위하여, 지진의 단층파괴 시간이력을 고려함과 동시에 해저지형에 의한 능동적 수면생성을 모의할 수 있는 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0013] 상기 목적은 본 발명에 따라, 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법에 있어서, (a) 복수의 소단층 각각에 대한 단층 파라미터와, 상기 소단층 각각에 대한 시간 이력 특성이 등록되는 단계와; (b) 상기 소단층 별로 상기 단층 파라미터가 기 등록된 해저지형 변형 모형에 적용되어, 각각의 상기 소단층 별로 단층 파괴에 따른 해저지형형상을 산출하는 단계와; (c) 복수의 상기 소단층의 단층 파괴 순서를 기준으로 하여 상기 소단층 별로 순차적으로, 상기 시간 이력 특성에 기반한 선형 함수에 기초하여 상기 해저지형형상을 보간하는 단계와; (d) 보간된 상기 해저지형형상에 기초하여 상기 소단층 별로 수면 변형을 산출하는 단계와; (e) 상기 수면 변형에 기초하여, 지진해일 전파가 모의되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법에 의해서 달성된다.

[0014] 여기서, 상기 시간 이력 특성은 단층파괴 시작시간, 단층파괴 종료시간 및 파열 속도를 포함하며; 상기 단층파괴 시작시간과 상기 단층파괴 종료시간은 상기 파열 속도에 종속하여 결정될 수 있다.

[0015] 또한, 상기 해저지형 변형 모형은 Okada 모형을 포함할 수 있다.

[0016] 그리고, 상기 (a) 단계에서는 측정 대상 지역에 대한 격자 정보가 포함되어 등록되며; 상기 (e) 단계에서는 시간에 따른 각 격자 단위로 지진해일 전파가 모의될 수 있다.

[0017] 그리고, 상기 (e) 단계에서는 천수 방정식에 기초하여 지진해일 전파가 모의될 수 있다.

[0018] 그리고, (f) 상기 (e) 단계에서 모의된 지진해일 전파에 기초하여 상기 각 격자별로 해안선에 도착하는 해일고를 산출하는 단계와; (g) 상기 해일고에 기초하여 상기 각 격자별로 최대 해일고가 산출되는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0019] 상기와 같은 구성에 따라, 본 발명에 따르면 해저지진활동에 의해 발생하는 지진해일의 예측 정확성을 향상시키기 위하여, 지진의 단층파괴 시간이력을 고려함과 동시에 해저지형에 의한 능동적 수면생성을 모의할 수 있는 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법이 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법을 설명하기 위한 도면이고,

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법에 적용된 소단층의 단층 파라미터를 설명하기 위한 도면이고,

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법에서 시간이력을 지닌 단층 변형에 따른 수면의 능동적 변형을 도시화한 것이고,

도 4 내지 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법을 통한 시뮬레이션 결과를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0022] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예들을 상세히 설명한다.

[0023] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0024] 먼저, 복수의 소단층 각각에 대한 단층 파라미터와, 소단층 각각에 대한 시간 이력 특성이 등록된다(S10). [표 2]는 본 발명의 실시예에 따른 소단층 각각에 대한 단층 파라미터의 예를 나타낸 것이다.

[0025] [표 2]

Fault No.	위도, N(°)	경도, E(°)	H (km)	Θ (°)	δ (°)	λ (°)	L (km)	W (km)	U (cm)
1	42.10	139.30	5	163	60	105	24.5	25	1200
2	42.34	139.25	5	175	60	105	30	25	250
3	43.13	139.40	10	188	35	80	90	25	571

[0026]

[0027] 본 발명의 실시예에서는 3개의 소단층에 대해 적용하는 것을 예로 하는데, 소단층의 개수가 이에 국한되지 않은 물론이다.

[0028] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법에 적용된 소단층의 단층 파라미터를 설명하기 위한 도면이다. 도 2와 [표 2]를 참조하여 각각의 단층 파라미터를 설명하면 다음과 같다.

[0029] - H : 단층면의 상연(upper boundary) 깊이

[0030] - Θ : 진북과 이루는 단층의 주향

[0031] - δ : dip angle

[0032] - λ : slip angle

[0033] - W : 단층의 경사폭

[0034] - L : 단층의 길이

[0035] - U : 단층의 변위

[0036] 여기서, [표 2]에 나타난 단층 파라미터의 값들은 1993년 홋카이도 지진을 재현한 것으로, 앞서 설명한 바와 같이, 3개의 소단층이 적용되고 있다.

[0037] 한편, 본 발명의 실시예에 따른 지진해일 모의 방법은 단층 파괴의 시간 이력을 반영하기 위해, 시간 이력 특성을 사용한다.

[0038] [표 3]은 본 발명의 실시예에 따른 지진해일 모의 방법에 적용되는 시간 이력 특성의 예를 나타낸 것이다.

[0039] [표 3]

Fault No.	단층파괴시작시간	단층파괴종료시간	파열속도
1	ts1	te1	2.0km/s
2	ts2	te2	
3	ts3	te3	

[0040]

[0041] [표 3]에 나타난 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 지진해일 모사 방법에서는 시간 이력 특성으로 단층파괴 시작시간, 단층파괴 종료 시간, 그리고 파열 속도가 적용되는 것을 예로 한다. 여기서, 단층파괴 시작시간과 단층파괴 종료시간은 파열 속도에 종속되어 결정될 수 있다.

[0042] 상기와 같이 각각의 소단층에 대해 단층 파라미터와, 시간 이력 특성이 등록되면, 각각의 소단층에 의한 지진해일이 모의되는 과정이 수행된다.

[0043] 먼저, 각각의 소단층별로 단층 파괴에 따라 변형되는 해저지형형상이 산출된다(S11). 여기서, 소단층에 대한 지진해일 모의 과정은 복수의 소단층의 발생 시간 순서에 따라 수행됨으로써, 단층 파괴의 시간 이력이 반영 가능하게 된다.

[0044] 즉, 시간 순으로 첫 번째 소단층에 대해 이후에 설명할 수면 변형이 산출 과정이 수행되고, 시간 순으로 두 번째 소단층에 대해 동일한 과정을 통해 수면 변형이 산출되는 순으로, 마지막 소단층에 대해 수면 변형이 산출된다. 이하에서는 첫 번째 소단층에 대한 수면 변형이 산출되는 과정에 대해 설명한다.

[0045] 본 발명의 실시예에서는 해저지형형상의 산출에, 기 등록된 해저지형 변형 모형에 단층 파라미터가 적용되어 산출되는 것을 예로 한다. 본 발명에서는 해저지형 변형 모형으로 Okada 모형이 적용되는 것을 예로 한다.

[0046] Okada 모형은 소단층에 의한 해저지형 변형 모델로, 단층에 의한 지진발생시 해저 지형의 변형이 발생하는 과정을 설명하고 이를 토대로 해저지형의 형상을 계산하기 위한 모형이다.

[0047] 이와 같이, Okada 모형에 소단층의 단층 파라미터를 적용하게 되면, 해저지형형상이 산출 가능하게 된다.

[0048] 여기서, Okada 모형은 단층 파괴에 의한 지진발생시 해저지형의 변형이 발생하는 과정, 즉 최종적인 해저지형형상만을 산출하기 때문에, 단층 파괴의 시간이력이 반영되지 않는다.

[0049] 이에, 본 발명의 실시예에 따른 지진해일 모의 방법에서는 단층 파괴의 시간 이력 특성, 즉 앞서 설명한 단층파괴 시작시간, 단층파괴 종료시간 및 파열 속도를 반영함으로써, 해저지형형상에 시간이력을 반영하게 된다.

[0050] 본 발명에서는 단층파괴 시작시간과 단층파괴 종료시간을 기반으로 하는 선형 함수에 기초하여 해저지형형상을 보간하는 과정을 통해, 해저지형형상에 시간적 변화, 즉 해저 지형의 상승 또는 하강이 반영 가능하게 된다.

[0051] 그리고, 보간된 해저지형형상에 기초하여, 소단층에 대한 수면 변형이 산출된다(S13).

[0052] 상기와 같은 과정에 대해 모든 소단층에 대한 수면 변형이 산출되면, 모든 소단층에 대한 수면 변형에 기초하여, 지진해일 전파가 모의된다(S15).

[0053] 보다 구체적으로 설명하면, 본 발명의 실시예에 따른 지진해일 전파의 모의에는 천수 방정식이 적용되는 것을 예로 한다.

[0054] 일반적으로 원해에서는 파고가 수심에 비해 매우 작기 때문에 주로 선형 모델이 사용되며 대상 영역이 매우 광범위하기 때문에 코리올리(Coriolis) 효과가 포함되어 있다. 코리올리 효과란 위도에 따라 지구 자전의 속도가 달라서 발생하는 힘으로 [수학식 1]과 같은 코리올리 계수(f)를 이용하여 고려할 수 있다.

[0055] [수학식 1]

[0056]
$$f = 2\Omega \sin\phi$$

[0057] 여기서, Ω 와 ϕ 는 각각 지구의 자전 속도와 위도를 의미한다.

[0058] 반면, 지진해일이 근해로 접근하면서 파장은 짧아지고 파고는 증가하기 때문에 비선형 천수방정식이 이용된다.

아울러, 대상 영역이 협소해짐에 따라 코리올리 효과는 고려할 필요가 없지만 바닥의 영향력이 커짐에 따라 마찰력이 고려되어야 한다.

이를 정리하여 수학식으로 표현하면, [수학식 2] 내지 [수학식 4]와 같은 선형 모델과, [수학식 5] 내지 [수학식 7]과 같은 비선형 모델로 나타낼 수 있다.

[수학식 2]

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \left\{ \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} \right\} = - \frac{\partial h}{\partial t}$$

[수학식 3]

$$\frac{\partial P}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - fQ = 0$$

[수학식 4]

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} + fP = 0$$

여기서, η 는 자유 수면을 의미하며, $P(=hu)$ 와 $Q(=hv)$ 는 각각 x 및 y 방향으로의 유량을 의미한다.

[수학식 5]

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \left\{ \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} \right\} = - \frac{\partial h}{\partial t}$$

[수학식 6]

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{P^2}{H} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{PQ}{H} \right\} + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} + F_x = 0$$

[수학식 7]

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{PQ}{H} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{Q^2}{H} \right\} + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} + F_y = 0$$

여기서, H 는 전 수심인 $(h+\eta)$ 을 의미하며, F_x 와 F_y 는 각각 x 및 y 방향으로의 바닥 마찰력을 의미하며, [수학식 8] 및 [수학식 9]를 통해 산출될 수 있다.

[수학식 8]

$$F_x = \frac{gn^2}{H^{7/3}} P(P^2 + Q^2)^{1/2}$$

[수학식 9]

$$F_y = \frac{gn^2}{H^{7/3}} Q(P^2 + Q^2)^{1/2}$$

여기서, n 은 Manning의 조도계수를 의미한다.

- [0079] 본 발명의 실시예에서, [수학식 5]의 우변에 있는 수심의 시간적 변화량은 시간에 따른 해저지형형상에 의한 수면 변형이 반영되는 항으로, 이를 통해 시간이력이 반영된 능동적 수면변형의 산출이 가능하게 된다.
- [0080] 즉, S12 단계를 통해 계산된 해저지형형상을 시간별로 [수학식 5]의 우변항에 반영함으로써, 시간이력이 반영된 능동적 수면 변형이 계산될 수 있다. 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 지진해일 전파 모의 방법에서 시간이력을 지닌 단층 변형에 따른 수면의 능동적 변형을 도시화한 것이다.
- [0081] 한편, 본 발명의 실시예에서는 S10 단계에서 측정 대상 지역에 대한 격자 정보가 포함되어 등록되는 것을 예로 한다.
- [0082] 그리고, 지진해일 전파가 모의되는 과정(S15)에서는 각 격자별로 지진해일 전파가 모의되는 것을 예로 한다.
- [0083] 그리고, 본 발명의 실시예에서는 지진해일 전파의 모의 결과에 기초하여, 각 격자별로 해안선에 도착하는 해일고가 산출되는 과정(S16)과, 산출된 해일고에 기초하여, 각 격자별로 최대 해일고가 산출되는 과정(S17)을 더 포함하는 것을 예로 한다.
- [0084] 이하에서는, 도 4 내지 도 8을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 지진해일 모의 방법을 통해 시뮬레이션한 결과에 대해 상세히 설명한다.
- [0085] 시뮬레이션에는 [표 2] 및 [표 3]에 나타난 단층 파라미터 및 시간 이력 특성이 적용되었다. 앞서 설명한 바와 같이, 단층 파라미터는 1993년 홋카이도 지진을 재현한 것이다.
- [0086] 그리고, 격자는, 도 4에 도시된 바와 같이, 4단계 격자망을 구성하여 시뮬레이션이 진행되었다. 4단계의 격자망에 대한 정보는 [표 4]에 나타난 바와 같다.

[0087] [표 4]

Layer No.	경도 최소값	경도 최대값	위도 최소값	위도 최대값	격자크기
Layer1	117.00000	142.97760	30.00000	49.98720	0.0288
Layer2	127.33000	131.30440	35.00000	39.50000	0.0072
Layer3A	129.00000	130.82880	35.35000	37.29940	0.0018
Layer3B	127.80000	129.82860	37.25000	39.01940	0.0018
Layer4A	129.35000	129.65960	35.53500	36.40485	0.00045
Layer4B	129.30000	129.60960	36.41500	37.28485	0.00045
Layer4C	128.82000	129.34965	37.29500	37.87460	0.00045
Layer4D	128.40000	128.91975	37.88500	38.46460	0.00045

- [0088]
- [0089] [표 4]와 도 4를 참조하여, Layer1에 대해 설명하면, Layer1의 좌측 하단 및 우측 상단 지점 위치는 각각 (경도 117.0° , 위도 30.0°) 및 (경도 142.9776° , 위도 49.9872°)이며, 격자의 크기는 0.0288° 이다.
- [0090] 그리고, Layer 2, 3 및 4의 격자 크기는 상위 격자의 1/4로 감소하며 격자망을 구성하는데 필요한 수심 자료는 GEBCO(<http://www.gebco.net>)에서 제공하는 자료가 활용되었다.
- [0091] 그리고, 1993년 홋카이도 지진에 의한 지진해일의 전파와, 한국 동해안 연안의 처오름 높이, 즉 해일고에 끼치는 영향을 검토할 수 있도록 시뮬레이션이 진행되었다.
- [0092] 홋카이도 지진은 홋카이도 서쪽 오키시리 해령 바로 아래에서 발생한 규모 7.8의 지진으로, 울릉도에 0.89~1.19m 및 동해에 2.13~2.76m의 처오름을 형성한 바 있다.
- [0093] 그리고, 홋카이도 지진의 경우, 단층 파괴 과정이 명확하게 밝혀진 바가 없다. 따라서 본 발명에서는 가상의 단층 파괴 시나리오에 대하여 동해안에서의 처오름 높이를 계산하였다.
- [0094] 단층의 파괴는 소단층 1에서 3의 순으로 발생한다고 가정하였으며 단층 간의 시간차는 1분 간격으로 0분에서 60분까지 변화를 주면서 총 3721 경우에 대해 처오름 높이를 계산하였다.

[0095] 단층의 시간차를 고려한 경우에 대하여 해안선의 각 지점에서 최대 처오름 높이를 계산한 후에 [수학식 10]과 같이 정의되는 기하 평균값을 산출하였다.

[0096] [수학식 10]

$$\left(\prod_{i=1}^N H_{\max,i} \right)^{1/N}$$

[0097]

[0098] 여기서, $H_{\max,i}$ 는 i 번째 해안지점에서의 최대 처오름 높이를 의미하며, N 은 처오름 높이를 계산한 해안선의 측정 지점의 총 개수를 의미한다. 도 5는 본 발명의 실시예에서 시간차를 고려한 총 3721 경우에 대하여 기하평균값을 계산한 결과이다.

[0099] 도 5에서, y축은 소단층 1과 소단층 2 사이의 파괴발생 시간차, 즉, 파열 속도에 의한 시간차를 의미하며, x축은 소단층 2와 소단층 3사이의 시간차를 의미한다.

[0100] 전체적으로, 소단층 사이의 시간차가 클수록 기하 평균값은 감소하였다. 최대 기하평균값은 소단층 1과 2가 동시에 파괴가 발생하고, 4분 후에 단층 3이 파괴하는 경우에 발생하였으며 1.0310의 값을 가졌다.

[0101] 도 6은 본 발명의 실시예에서 해안선을 따라 최대 처오름 높이값을 계산한 결과이다. 시간차에 의한 단층 파괴 효과를 보기 위하여 y축의 값은 시간차를 고려한 경우의 최대 처오름 높이를 시간차를 고려하지 않은 경우의 최대 처오름 높이로 무차원화하였다.

[0102] 고위도로 갈수록 최대 처오름 높이의 증가가 나타나긴 하였으나 그 효과는 미미하였다. 시간차를 고려한 경우 일부 지역에서는 시간차를 고려하지 않은 경우보다 2배 이상의 증가를 보이는 지역도 발생하였다.

[0103] 다른 실험 예로, 본 발명의 실시예에 따른 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법을 2011년 동일본 지진해일을 대상으로 적용하였다.

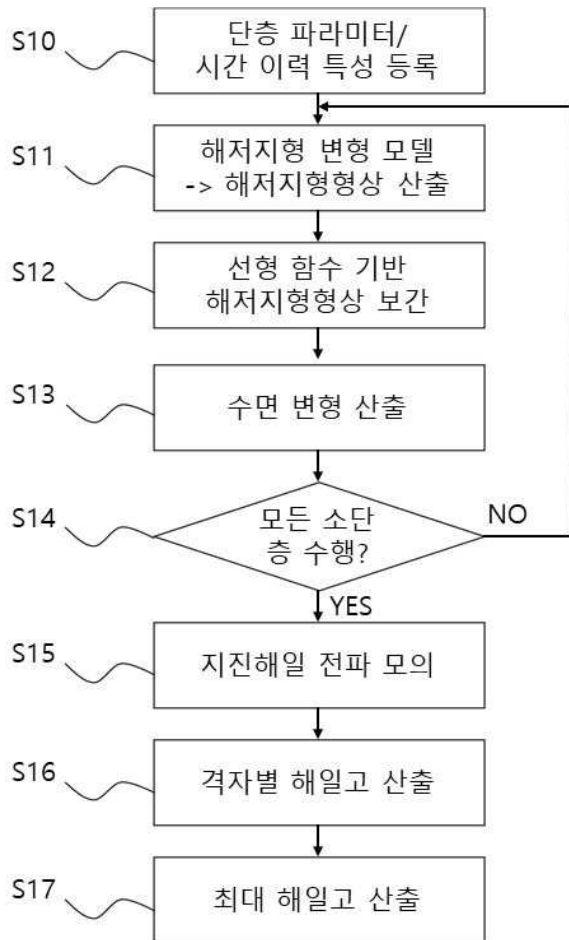
[0104] 도 7은 태평양에 실제 위치하는 관측점의 위치를 나타낸 도면이고, 도 8은 실제 관측점에서의 관측 결과와 본 발명에 따른 모델을 이용하여 산출된 결과를 비교한 도면이다.

[0105] 도 8에 도시된 바와 같이, 실제 관측점에서의 관측 결과와 본 발명에 따른 단층 파괴의 시간이력을 고려한 지진해일 모의 방법에 의해 산출된 수면 변위가 유사함을 확인할 수 있다.

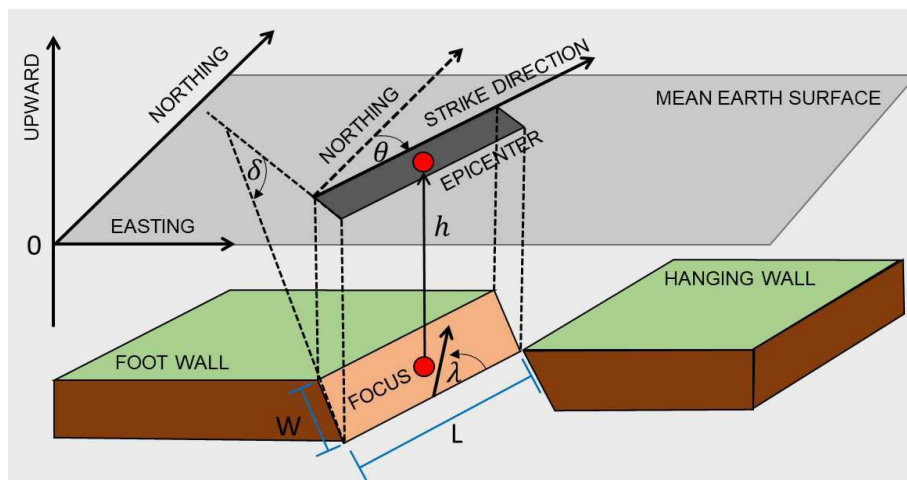
[0106] 비록 본 발명의 몇몇 실시예들이 도시되고 설명되었지만, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 당업자라면 본 발명의 원칙이나 정신에서 벗어나지 않으면서 본 실시예를 변형할 수 있음을 알 수 있을 것이다. 발명의 범위는 첨부된 청구항과 그 균등물에 의해 정해질 것이다.

도면

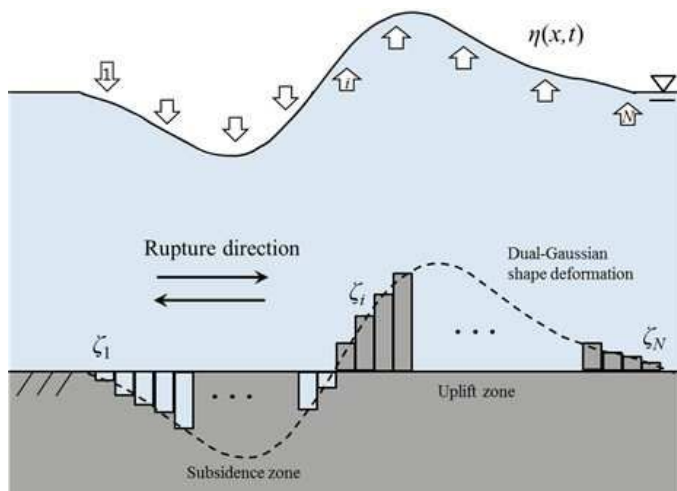
도면1



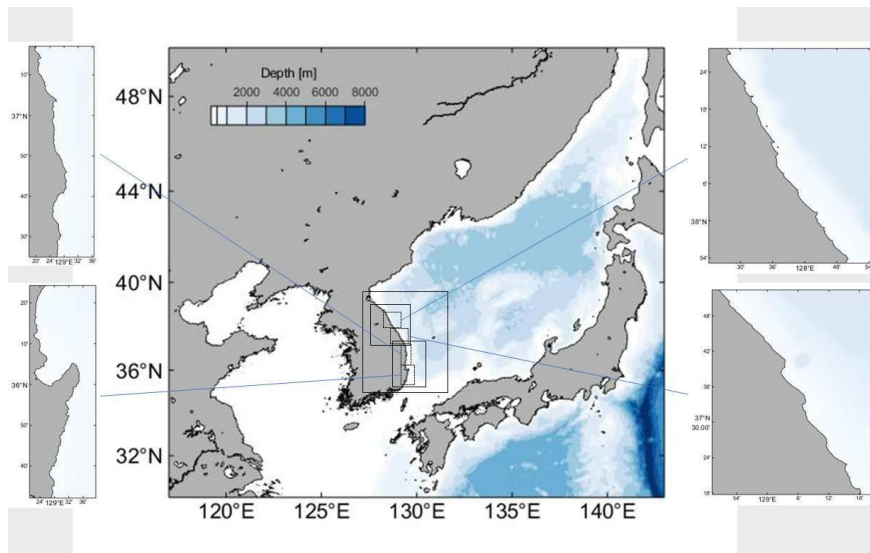
도면2



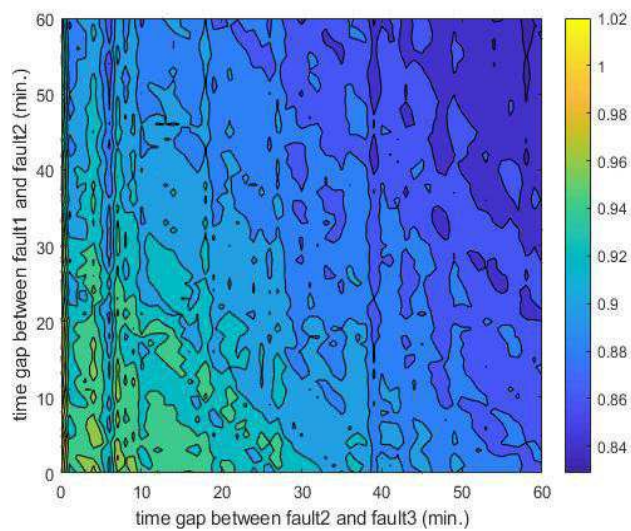
도면3



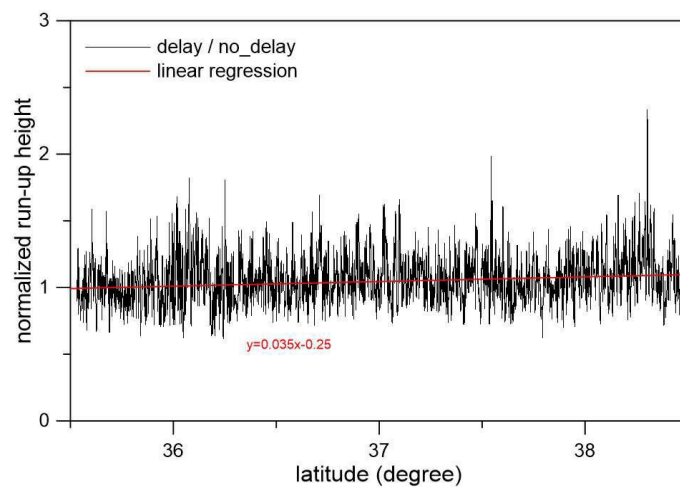
도면4



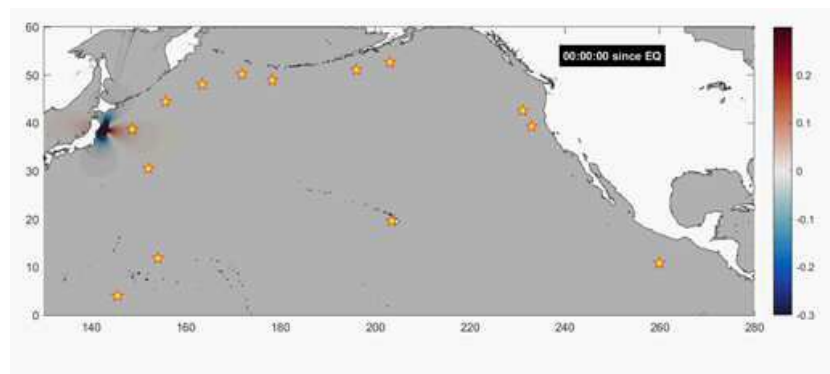
도면5



도면6



도면7



도면8

