(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년11월15일
(11) 등록번호 10-1788104
(24) 등록일자 2017년10월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G08B 31/00 (2006.01) *G01W 1/14* (2006.01)
G08B 21/10 (2014.01) *G08B 21/18* (2006.01)
G08B 25/14 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G08B 31/00 (2013.01)
G01W 1/14 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0069565
(22) 출원일자 2016년06월03일
심사청구일자 2016년06월03일
(56) 선행기술조사문헌
KR101580062 B1*
KR1020080002092 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국과학기술원
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)
(72) 발명자
이승래
대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원)
박준영
대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
양성보

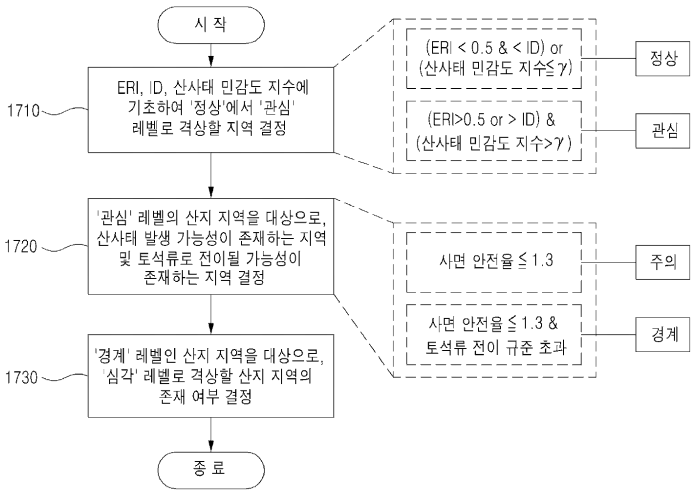
전체 청구항 수 : 총 13 항 심사관 : 이종경

(54) 발명의 명칭 **극한 강우를 고려한 실시간 산사태 예보 및 경보 시스템 및 방법**

(57) 요 약

극한 강우를 고려한 실시간 산사태 예보 및 경보 시스템 및 방법이 개시된다. 실시간 산사태 예보 및 경보 시스템은 기상청 서버로부터 복수의 산지 지역들과 관련된 기상 자료 정보를 수신하는 단계, 상기 산지 지역들 각각에 설치된 기상관측장비로부터 해당 산지 지역과 관련하여 실시간으로 계측된 강우량 정보를 수신하는 단계, 상기 기상 자료 정보, 계측된 강우량 정보, 지오 데이터베이스로부터 읽어드린 해당 산지 지역과 관련된 사면안정 해석을 위한 정보, 및 복수의 규준들에 기초하여 해당 산지 지역의 예경보 레벨을 결정하는 단계를 포함하고, 상기 복수의 규준들은, 극한강우지수(ERI), 강우강도-지속시간(ID) 규준, 산사태 민감도 지수, 침투기반 사면안정 규준, 토석류 거동관련 규준, 토석류 리스크 지수, 및 모니터링 기반 사면안정 규준을 포함할 수 있다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
G08B 21/10 (2013.01)
G08B 21/182 (2013.01)
G08B 25/14 (2013.01)

(72) 발명자
강신항
대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원)
이득환
대전광역시 유성구 대학로 291 (구성동, 한국과학기술원)
김윤태
부산 남구 수영로 345번길(대연힐스테이트푸르지오)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2015046437
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 원천기술개발사업
연구과제명 극한강우 산사태 D/B 구축 및 통합관리시스템 개발(1차)
기 여 율 1/1
주관기관 한국과학기술원
연구기간 2015.08.01 ~ 2016.07.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

기상청 서버로부터 복수의 산지 지역들과 관련된 기상 자료 정보를 수신하는 단계;

상기 산지 지역들 각각에 설치된 기상관측장비로부터 해당 산지 지역과 관련하여 실시간으로 계측된 강우량 정보를 수신하는 단계;

상기 기상 자료 정보, 계측된 강우량 정보, 지오 데이터베이스로부터 읽어드린 해당 산지 지역과 관련된 사면안정 해석을 위한 정보, 및 복수의 규준들에 기초하여 해당 산지 지역의 예경보 레벨을 결정하는 단계

를 포함하고,

상기 복수의 규준들은,

극한강우지수(ERI), 강우강도-지속시간(ID) 규준, 산사태 민감도 지수, 침투기반 사면안정 규준, 토석류 거동관련 규준, 토석류 리스크 지수, 및 모니터링 기반 사면안정 규준을 포함하고,

상기 산지 지역들의 예경보 레벨을 결정하는 단계는,

상기 복수의 산지 지역들 중 산지 지역의 산사태 민감도 지수, 극한강우지수(ERI) 및 강우강도-지속시간(ID) 규준에 기초하여 산사태 및 토석류 예측 분석 수행을 위한 대상 영역을 나타내는 산지 지역을 결정하는 단계;

상기 대상 영역으로 결정된 산지 지역을 대상으로, 상기 침투기반 사면안정 규준 또는 모니터링 기반 사면안정 규준에 기초하여 산사태가 발생할 가능성이 존재하는 지역을 결정하는 단계;

상기 산사태가 발생할 가능성이 존재하는 지역으로 결정된 산지 지역을 대상으로, 해당 산지 지역의 토석류 전이 규준에 기초하여 산사태 발생 시 토석류로 전이될 가능성이 존재하는 산지 지역을 결정하는 단계; 및

상기 토석류로 전이될 가능성이 존재하는 산지 지역의 토석류 리스크 지수에 기초하여 해당 산지 지역의 예경보 레벨을 복수의 레벨들 중 최상위 레벨로 결정하는 단계

를 포함하는 극한 강우를 고려한 실시간 산사태 예보 및 경보 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 대상 영역을 나타내는 산지 지역을 결정하는 단계는,

상기 복수의 산지 지역들 중 특정 산지 지역의 산사태 민감도 지수가 기정의된 민감도 관련 특정 규준을 초과하는 특정 산지 지역들을 대상으로, 특정 산지 지역의 예경보 레벨을 현재 레벨에서 한 단계 격상시키는 것

을 특징으로 하는 극한 강우를 고려한 실시간 산사태 예보 및 경보 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 대상 영역을 나타내는 산지 지역을 결정하는 단계는,

상기 복수의 산지 지역들 각각의 극한강우지수(ERI), 강우강도-지속시간(ID) 규준, 산사태 민감도 지수에 기초하여, 복수의 산지 지역들 중에서 예경보 레벨이 정상 레벨에서 관심 레벨로 격상되어야 할 산지 지역을 상기 대상 영역을 나타내는 산지 지역으로 결정하고, 결정된 산지 지역의 예경보 레벨을 관심 레벨로 결정하는 것

을 특징으로 하는 극한 강우를 고려한 실시간 산사태 예보 및 경보 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 산사태가 발생할 가능성이 존재하는 지역을 결정하는 단계는,

상기 복수의 산지 지역들 중 예경보 레벨이 관심 레벨인 산지 지역을 대상으로, 해당 산지 지역의 침투기반 사면안정 규준에 기초하여 산사태가 발생할 가능성이 존재하는 지역을 결정하는 것

을 특징으로 하는 극한 강우를 고려한 실시간 산사태 예보 및 경보 방법.

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 산사태가 발생할 가능성이 존재하는 지역을 결정하는 단계는,

상기 산사태가 발생할 가능성이 존재하는 지역으로 결정된 산지 지역의 예경보 레벨을 관심 레벨에서 격상된 주의 레벨로 결정하고,

상기 토석류로 전이될 가능성이 존재하는 산지 지역을 결정하는 단계는,

상기 산사태가 발생할 가능성이 존재하는 지역으로 결정된 산지 지역 중 토석류 전이 가능성이 존재하는 산지 지역의 예경보 레벨을 경계 레벨로 격상 결정하는 것

을 특징으로 하는 극한 강우를 고려한 실시간 산사태 예보 및 경보 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 예경보 레벨을 복수의 레벨들 중 최상위 레벨로 결정하는 단계는,

상기 토석류 전이 가능성이 존재하는 산지 지역의 토석류 리스크 지수가 기정의된 특정 규준(δ)을초과하는 경우, 해당 산지 지역의 예경보 레벨을 심각 레벨로 결정하는 것

을 특징으로 하는 극한 강우를 고려한 실시간 산사태 예보 및 경보 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 모니터링 기반 사면안정 규준을 기반으로 하여, 산지 지역에 해당하는 지반의 포화 깊이비와 흡입 응력 변화가 실시간으로 모니터링되어 업데이트되고,

업데이트된 포화 깊이비와 흡입 응력에 기초하여 해당 산지 지역의 예경보 레벨이 주의 레벨로 격상할지 여부가 결정되는 것

을 특징으로 하는 극한 강우를 고려한 실시간 산사태 예보 및 경보 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 예경보 레벨은, 국가의 재난경보 단계 별 대응체계와 동일한 명칭에 해당하는 정상, 관심, 주의, 경계, 심각 레벨을 포함하는 것

을 특징으로 하는 극한 강우를 고려한 실시간 산사태 예보 및 경보 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

결정된 상기 예경보 레벨이 기정의된 레벨 이상에 해당하는 지역 속하는 사용자 단말로 경보 알림 정보를 제공하는 단계

를 더 포함하는 극한 강우를 고려한 실시간 산사태 예보 및 경보 방법.

청구항 11

기상청 서버로부터 복수의 산지 지역들과 관련된 기상 자료 정보를 수신하고, 상기 산지 지역들 각각에 설치된 기상관측장비로부터 해당 산지 지역과 관련하여 실시간으로 계측된 강우량 정보를 수신하는 정보 송수신 제어부; 및

상기 기상 자료 정보, 계측된 강우량 정보, 지오 데이터베이스로부터 읽어드린 해당 산지 지역과 관련된 사면안정 해석을 위한 정보, 및 복수의 규준들에 기초하여 해당 산지 지역의 예경보 레벨을 결정하는 레벨 결정부

를 포함하고,

상기 복수의 규준들은,

극한강우지수(ERI), 강우강도-지속시간(ID) 규준, 산사태 민감도 지수, 침투기반 사면안정 규준, 토석류 거동관련 규준, 토석류 리스크 지수, 및 모니터링 기반 사면안정 규준을 포함하고,

상기 레벨 결정부는,

상기 복수의 산지 지역들 중 산지 지역의 산사태 민감도 지수, 극한강우지수(ERI) 및 강우강도-지속시간(ID) 규준에 기초하여 산사태 및 토석류 예측 분석 수행을 위한 대상 영역을 나타내는 산지 지역을 결정하고,

상기 대상 영역으로 결정된 산지 지역을 대상으로, 상기 침투기반 사면안정 규준 또는 모니터링 기반 사면안정 규준에 기초하여 산사태가 발생할 가능성이 존재하는 지역을 결정하고,

상기 산사태가 발생할 가능성이 존재하는 지역으로 결정된 산지 지역을 대상으로, 해당 산지 지역의 토석류 전이 규준에 기초하여 산사태 발생 시 토석류로 전이될 가능성이 존재하는 산지 지역을 결정하고,

상기 토석류로 전이될 가능성이 존재하는 산지 지역의 토석류 리스크 지수에 기초하여 해당 산지 지역의 예경보 레벨을 복수의 레벨들 중 최상위 레벨로 결정하는 것

을 특징으로 하는 극한 강우를 고려한 실시간 산사태 예보 및 경보 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 레벨 결정부는,

상기 복수의 산지 지역들 중 특정 산지 지역의 산사태 민감도 지수가 기정의된 민감도 관련 특정 규준을 초과하는 특정 산지 지역들을 대상으로, 특정 산지 지역의 예경보 레벨을 정상 레벨에서 격상된 관심 레벨로 결정하는 것

을 특징으로 하는 극한 강우를 고려한 실시간 산사태 예보 및 경보 시스템.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 레벨 결정부는,

상기 복수의 산지 지역들 각각의 극한강우지수(ERI), 강우강도-지속시간(ID) 규준, 산사태 민감도 지수에 기초하여, 복수의 산지 지역들 중에서 예경보 레벨이 정상 레벨에서 관심 레벨로 격상되어야 할 산지 지역을 상기 대상 영역을 나타내는 산지 지역으로 결정하고, 결정된 산지 지역의 예경보 레벨을 관심 레벨로 결정하고,

상기 산사태가 발생할 가능성이 존재하는 산지 지역의 예경보 레벨을 관심 레벨에서 격상된 주의 레벨로 결정하고,

상기 토석류로 전이될 가능성이 존재하는 산지 지역의 예경보 레벨을 경계 레벨로 결정하고,

상기 토석류로 전이될 가능성이 존재하는 산지 지역을 대상으로, 토석류 리스크 지수가 기정의된 특정 규준(δ)을 초과하는 산지 지역의 예경보 레벨을 심각 레벨로 결정하는 것

을 특징으로 하는 극한 강우를 고려한 실시간 산사태 예보 및 경보 시스템.

청구항 14

제11항에 있어서,

상기 모니터링 기반 사면안정 규준을 기반으로 하여, 산지 지역에 해당하는 지반의 포화 깊이비와 흡입 응력 변화가 실시간으로 모니터링되어 업데이트되고,

상기 레벨 결정부는,

업데이트된 포화 깊이비와 흡입 응력에 기초하여 해당 산지 지역의 예경보 레벨을 주의 레벨로 격상할지 여부를 결정하는 것

을 특징으로 하는 극한 강우를 고려한 실시간 산사태 예보 및 경보 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명의 실시예들은 한반도 기후 변화에 대처하여 실시간 산사태 예보 및 경보를 제공하는 기술에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 산업 혁명 이래 전 세계적으로 급속한 산업 발달이 이루어졌으며, 이로 인해 수증기, 이산화탄소, 메탄 등 온실가스 배출량이 증가하였다. 온실가스는 지구 온난화 현상의 주 원인이며, 19세기 후반부터 지구의 기온이 점차 상승하고 있다. 1900년대부터 100년 동안 지구 표면의 평균 기온은 대략 0.8° C 상승하였고, 특히 1970년대부터 2000년대까지 30년 동안 0.6° C 상승하였다(Board on Atmospheric Sciences and Climate(BASC), 2011). 이와 같은 지속적인 기온의 상승으로 인한 전지구적 기후변화 양상은 평균값 이외에도 연중분포의 양극단을 차지하는 한파, 열파, 집중호우, 폭설, 폭풍, 가뭄 등의 극한기후현상의 발생 빈도 증가 및 강도에 영향을 끼친다(IPCC, 2007; 2013). 우리나라는 동아시아 지역에 위치하고 있으며, 동아시아 지역은 복잡한 지리적 특성으로 인해 기후 변동성이 크다.

[0003] 최근에는 기후변화로 인해 이상(극한)기후 발생 빈도 및 강도가 증가하고 있으며, 강수량 또한 점진적으로 증가하는 경향을 보이고 있다(국립기상연구소, 2012). 특히, 우리나라는 최근 10년간(2001년~2010년)연평균강수량이 지난 30년 평균 연강수량에 비하여 약 7.4% 증가하였으며, 이 중 여름철 증가가 가장 큰 부분을 차지하며, 특히도 1과 같이, 장마기간인 7월의 증가가 가장 큰 부분을 차지하고 있다(이경미 등, 2011). Choi et al.(2010)은도 2와 같이, 1990년대 후반 이후 여름철 강수량이 뚜렷하게 증가하였음을 보였으며, 이러한 증가가 호우의 증가와 관련이 있고 이는 우리나라를 지나가는 태풍 수의 증가와 관련이 있음을 밝혔다. 도 2에서, 두꺼운 실선(210), 점선(220), 얇은 실선(230), 그리고 나머지 점선(240)은 각각 기간 평균, 50년 평균, 변화시점 분석에 대한 t-값, 그리고 선형 경향을 의미할 수 있다.

[0004] 또한, 여러 연구들에 의해 지난 20세기 후반 이래 우리나라에서 집중호우의 발생빈도와 강도가 증가함에 따라 전체강수에서 극한강수가 차지하는 비율이 증가함을 밝혔는데, Choi et al. (2008)은 도 3과 같이, 과거 15년 평균과 최근 15년 평균을 강수 강도 별로 비교하여 최근 강수강도의 증가는 주로 극한강수 영역에서 나타나고 있음을 밝혔다. 또한 1973년 이래 우리나라의 5일 최대 누적강수량은 16㎜/10년, 연중 95퍼센트 이상의 호우사상의 누적 강수량은 85㎜/10년씩 증가하고 있다고 보고하였다. 최영은 등(2011)도 20세기 중반 이후의 일강수량을 분석하여 95% 백분위수 값 기준 미우와 호우를 분석하여 미우는 강도가 약해져 연강수량에서 차지하는 비율이 감소하고, 호우의 빈도와 강도가 증가하여 연강수량에서 차지하는 비율이 높아졌음을 밝혔다. 기상청(2011)에서는 1시간 50㎜ 이상의 집중호우의 발생 빈도는 70년대에 평균 5.1회, 2000년대에 들어서는 평균 12.3회로 2.4배 증가함을 보고하였다.

[0005] 지구온난화에 따른 극한기후의 변화를 조사하기 위해 최근 고해상도의 지역기후모델을 활용한 연구가 활발히 진

행되고 있으며, 우리나라의 극한기후 변화 또한 많은 연구자들에 의해 예측 및 전망되고 있다. Kim et al. (2013)은 단기 미래(2029~2061년)에 100㎜/일 이상의 호우가 더 크게 증가할 것으로 전망하였으며, 기후변화에 관한 정부간 패널(약칭 IPCC) 4차 평가보고서에 기반을 둔 대부분의 연구 결과들은 미래 기후변화 시나리오에 따른 기온과 강수의 극한기후가 증가함을 제시하였다. 기상청(2014)에 따르면, 도 4와 같이 21세기 전반기의 강수량 증가는 6~9 %, 후반기의 강수량 증가는 9~16 %이며, 이는 전 지구적인 강수증가 전망치를 웃도는 것으로 분석된다. 또한, 도 5a 및 도 5b를 참고하면, 기후변화모델을 사용하여 우리나라의 기온과 강수량의 미래 전망을 분석한 결과, 향후 현재까지의 기온 및 강수량 증가보다 더 가파른 속도로 상승할 것으로 예측된다.

[0006] 이하에서는 산사태 재해 저감을 위한 실시간 예·경보 시스템의 필요성에 대해 설명하고자 한다.

[0007] 우리나라는 전체 국토 면적의 약 70%가 산지로 이루어져 있고 강우가 집중되는 여름철 기간에 전국 곳곳에서 산사태가 발생한다. 1998년부터 2012년까지 우리나라의 산사태 발생 건수를 분석한 결과 산사태는 6월에서 10월 사이에 발생하고, 8월(4,810건)에 가장 많은 산사태가 발생하였으며, 그 다음은 7월(3337건), 9월(2118건), 6월(80건), 10월(5건) 순이다. 국내의 산사태 재해로 인한 막대한 사회적·인적 재산 손실은 최근에 들어서도 해결되지 않고 지속적으로 발생하는 미제로 남아있으며, 2000년대 들어 전지구적 온난화에 따른 단시간 내의 집중호우 발생 빈도와 강도의 증가로 인해, 산사태로 인한 피해 규모 또한 대형화, 빈발화되고 있는 추세다. 2011년 서울 우면산 산사태가 그 대표적인 예이며, 도 6 및 도 7에서와 같이, 연평균 국내 산사태 피해 면적과 피해 복구액이 2000년대 들어 급증하였음을 확인할 수 있다. 한국 기후변화 평가보고서(2014)에서도 극한강수현상의 증가경향에 따라 여름철 집중호우에 의한 산사태 위험도가 높게 나타나고 있음을 보고하였다.

[0008] 따라서, 대형화되는 산사태 재해를 예측하고 인명 및 재산을 보호하기 위한 연구의 중요성이 더욱 커지고 있으며, 특히 국내의 증가하는 극한강우 조건을 고려한 효율적이고 신뢰성 있는 실시간 산사태 예·경보 시스템 구축이 시급한 실정이다.

[0009] 이하에서는 국내 및 국외의 산사태 예·경보 시스템의 기술 동향에 대해 간단히 설명하고자 한다.

[0010] 산사태가 큰 규모로 빈번하게 발생하는 국외의 선진국들은 효과적인 산사태 재난 관리를 위해 산사태 예·경보와 관련하여 국가 주도의 대규모 연구 프로젝트를 지속적으로 수행 중이다. 미국, 캐나다, 일본, 대만, 홍콩, 이탈리아 등은 산사태 관리 원천기술 및 예·경보 시스템 구축을 선도적으로 해나가고 있으며, 이 국가들은 도 8과 같이 산사태 및 토석류 예·경보 모델을 개발하여 통합관리 시스템을 구축하였고, 시스템의 실질적 활용을 위한 전국적인 DB 통합 구축이 확보되어 있다.

[0011] 이탈리아에서는 국토 전역에서 산사태 유발 강우 자료를 이용하여 제작된 경험적 강우 임계 기준과 강우 예보 및 측정 자료를 비교하여 산사태 발생을 예측하는 시스템을 운영 중이다. 강우 예보 자료를 얻기 위해 기상 예보 수치 모델이 사용되며, 관측 자료는 전국에 분포된 강우 관측소로부터 획득하고 있다. 강우 임계 기준은 강우강도-강우기간 관계 기반으로 제작되었으며, 이를 이용하여 다섯 개로 분류된 임계 수준을 결정하게 되고 임계 수준 분석을 통해 산사태 발생 가능 정도를 판단하고 있다. 도 9를 참고하면, 결정된 임계 수준은 웹-GIS 인터페이스 기반으로 제공되고 있다.

[0012] 국내에서는 국제적 수준에 비하여 산사태 재난 관리 및 대응을 위한 예·경보 시스템 관련 원천기술의 확보가 미비한 실정이다. 산사태 발생 가능성 및 토석류로의 전환과 파급효과를 예측할 수 있는 핵심원천기술이 실용화 단계까지 발전되지 않아, 예방 및 대응 위주의 관리보다는 사후복구 위주의 관리 체계로 산사태 관리가 운영되어 왔다. 산림청의 산사태 정보 서비스인 '산사태 예측정보'는 지질분포와 과거 평균 강우량을 바탕으로 전국을 10개 권역으로 구분한 후, 강우예측 정보를 활용하여 토양 내 빗물의 양을 토양함수지수로 산정(Tank 모델 적용)한 결과를 토대로 행정구역별 산사태 예측정보를 제공하는 서비스로서, 실질적으로 활용되고 있는 국내의 대표 산사태 예·경보 서비스이다. 그러나 특정 구역단위보다 더 구체적인 위치 및 일시에 대한 정보를 알 수 없으며, 구체적이고 정량적인 산사태 예측정보를 제공할 수 없다.

[0013] 미국은 1960년대 후반 산사태로 인해 수많은 인명 피해를 겪으면서, 본격적인 산사태 연구가 시작되었고, 인구 및 각종 사회기반시설들이 점차적으로 산지 인접 지역들로 확장됨에 따라 산사태로 인한 인명 및 사회적 재산 피해가 증가하면서, 1985년 미국지질조사소(USGS)가 San Francisco Bay Area에서 산사태 예·경보 시스템을 실험적으로 운영하기 시작한 것을 비롯하여 몇몇 주들은 각자의 산사태 예·경보 시스템의 기초 또는 원형을 운영하기 시작하였다. 도 10과 같이 현재 미국 내에서 몇 개 주에 한해서 산사태 예·경보 시스템을 실질적으로 운영하거나 운영한 경험이 있으나 그나마 이러한 시스템들도 대부분 아직까지 프로토타입 형태들이다. 그 중, 워싱턴 주의 시애틀은 과거부터 지속적으로 산사태 및 이로 인한 각종 피해가 빈번하게 발생해왔고, 1897년부터

지금까지 지속적으로 현장 조사 및 자료수집을 통해 방대한 산사태 발생 이력 데이터베이스를 아래의 표 1과 같이 구축하고 있다. 따라서, 본 지역은 미국지질조사소를 비롯한 많은 연구자들의 산사태 예·경보 시스템 개발 및 시범운영을 위한 활발한 연구에 이상적인 장소로서 기능을 해온 지역이다.

표 1

[0014]

Name	Number of entries	Time period	Description and reference
Seattle Landslide Database	~1400	1897–2003	Landslides that caused damage to property or infrastructure in the city of Seattle, compiled from city records and other sources (Laprade et al., 2000; City of Seattle, 2001–2003, unpub. data).
Chleborad Landslide Database #1	187	1933–1997	Landslides for which the date of occurrence is known precisely (includes a subset of the Seattle Landslide Database). A subset of this database consisting of 91 landslides that were part of 3 d events of three or more landslides was used to derive a preliminary threshold (Chleborad, 2000).
Chleborad Landslide Database #2	108	1950–1990	Landslides for which the date of occurrence is known precisely (includes a subset of the Seattle Landslide Database). This database (#2) was combined with the Chleborad database #1 to further define the threshold and define the CT (Chleborad, 2003).
Chleborad Landslide Database #3	66	2001–2003	Landslides for which the date of occurrence is known precisely, compiled from city, newspaper sources, and personal knowledge. This database was used in a preliminary evaluation of the CT (Chleborad, 2003).
Godt Landslide Database	104	1978–2003	Landslides for which the date of occurrence is known precisely (includes a subset of the Seattle Landslide Database, and the Chleborad databases). Dates of landslides in the period indicated were selected if (1) at least two landslides were recorded on the same date in different geographic areas of the city; (2) available information indicated the landslides were not deep-seated; and (3) the landslides were not directly caused by excavation or other construction activities. This database was used to develop (1978–1997) and evaluate (1997–2003) the ID (Godt, 2004; Godt et al., 2006).
Landslide Probability Database	577	1978–2003	Landslides with known dates of occurrence during period when hourly rainfall data were available for the Seattle Rain-Gauge Network. This database includes subsets of the other three landslide databases and was used to determine exceedance probabilities for the CT and ID (Chleborad et al., 2006).

Note: CT denotes the cumulative 3 d and previous 15 d rainfall threshold; ID denotes the rainfall intensity-duration threshold.

[0015] 시애틀의 전체 면적은 369.2 ㎢로, 서울 전체 면적의 약 61%에 해당하는 크기이다. 시애틀 자체 강우관측소는 전 지역에 총 17개가 분포되어 있으며, 시애틀은 각 강우관측소의 관측자료를 기준으로 활용하는 총 17개의 독립적인 Thiessen 도메인 영역으로 구분될 수 있다. 도 11을 참고하면, 과거 발생한 산사태 발생지점들과 해당 영역의 강우관측소와의 거리의 통계는 평균 4.6 km, 표준편차 3.5km이다.

[0016] 시애틀의 산사태 예·경보 시스템은 누적 강우량 규준(Cumulative Rainfall Threshold, CT), 강우강도-지속시간 규준(Rainfall Intensity-Duration Threshold, ID), 선행 토양 함수지수(Antecedent Water Index, AWI) 이 세 가지 규준이 순서대로, 때로는 일부가 동시에 사용되면서 예·경보 단계가 결정된다. 누적 강우량 규준 CT는 3일 연속 누적강우량, 즉 산사태가 발생한 시각까지 3일 동안 누적된 강우량과 15일 선행 누적강우량, 즉 '3일 연속 누적강우량' 이전 15일 동안 누적된 강우량 이 두 가지 자료를 활용한다. 강우강도-지속시간 규준 ID는 평균 강우강도와 지속시간의 자료를 이용하여 산사태 발생을 유발하는 강우를 판단하는 규준이다. 선행 토양 함수지수 AWI는 현장 데이터와 수분 평형 모델을 기반으로 토양 습윤상태를 추정하는 모델이다. 그 외에 시애틀 산사태 예·경보 시스템의 운영을 위해서 필요 시 되는 요소들은 크게 다음과 같다. 실시간의 강우, 지반 함수비, 간극수압 계측자료들과 NWS(National Weather Service)에서 제공하는 정량적 강우예보, 두 개의 강우 규준들과의 비교를 위한 실시간 강우의 트레킹 시스템, 도 12와 같이 예·경보 수준을 결정하기 위한 각 규준들의 적용을 관장하는 의사결정 나무 모형 등이다. 여기서, 실시간 지반 함수비 및 간극수압 계측자료는 선행 토양 수분 지수(AWI)로 대체될 수 있다.

[0017] 예·경보 수준은 아래의 표 2와 같이, Null, Outlook, Watch, Warning으로 총 4개 등급으로 정의되어 있다.

표 2

[0018]

Hazard or warning level	Action	Interpretation	Lead time (h)	Cancellation	Tools
Null	None	Landslides very unlikely, isolated slides may occur even during dry weather	Not applicable	Not applicable	CT, QPF; daily or hourly rainfall data
Outlook	Monitor soil and weather conditions and forecasts, activate ID, notify local officials and general public	CT exceeded or forecast amounts of rainfall and estimated snowmelt expected to exceed thresholds; landslides might occur	24–48	When CT no longer exceeded, not raining and no forecast precipitation for 24 h	CT, QPF; daily or hourly rainfall data
Watch	Continue monitoring soil and weather conditions and forecasts relative to ID, notify local officials and general public	The probability of landslides has increased significantly because the CT has been exceeded and the ground is wet enough to produce landslides with additional (forecast or ongoing) heavy rainfall; isolated landslides may occur even without additional rainfall	1–12	After forecast for heavy rainfall cancelled or 24 h after end of heavy rainfall	CT, field instrumentation or AWI; daily or hourly rainfall data, ID
Warning	Continue monitoring soil and weather conditions and forecasts relative to ID, notify local officials and general public	ID and AWI (or observed soil wetness) exceeded; CT probably exceeded (see Fig. 6 for known exception), widespread, shallow landslides are occurring or have a very high probability of occurring	1–3	24 h after end of ID-exceeding rainfall	CT, field instrumentation or AWI, ID; hourly rainfall data

QPF quantitative precipitation forecast, *CT* cumulative rainfall threshold, *ID* rainfall intensity–duration threshold, *AWI* antecedent water index

[0019] 표 2에 따르면, 평상시나 예측 또는 관측된 강우로 인해 시스템 구성 규준들 중 어떤 것도 초과되지 않을 때는 Null 상태가 유지된다. 그리고 예측 또는 관측된 강우로 인해 CT 규준이 초과된 경우, 또는 예측된 강우에 의해 ID규준이 초과된 경우가 되면 예·경보 수준은 Outlook으로 격상된다. 이 단계로 들어서면 강우, 지반함수, 간극수압 등에 대한 집중적인 모니터링을 활성화시킨다. 이 단계에서, 관측된 현재 강우는 ID규준이 초과되지 않은 상태이나, 예보된 강우량이 큰 경우이고 AWI>-0.1인 경우 Watch 단계로 올라가며, 최종적으로 관측 강우량에 의해 ID 규준이 초과되고 지반의 함수상태가 충분히 높아진 상태(AWI>0.02 또는 포화도>60-80%)가 되면 가장 높은 수준인 Warning 단계로 격상된다. 미국지질조사소(USGS)에서는 도 11에 도시된 바와 같이 시애틀에 분포한 각 강우관측소들에서의 강우에 따른 예·경보 레벨들을 계산하여 웹사이트에 실시간으로 업데이트하며, NWS(National Weather Service)는 Watch 레벨이 되었을 때 해당 구역 국가(자치) 공무원들과 대중들에게 경보를 발령하여 필요한 대응 조치를 권고한다.

[0020] 그러나, 기존의 산사태 예·경보 시스템의 경우 몇 가지 문제점이 존재하며, 기존의 국내·외에서 구축 및 운영된 시스템들의 기술 및 특징들을 요약하면 아래의 표 3과 같을 수 있다. 대부분의 시스템들에서의 예·경보 발령 기준은 과거 산사태 이력에 기반한 경험적 강우규준들 또는 모니터링 자료에 의존하고 있다. 반면, 학계에서 활발히 연구되고 있는 물리적 해석 및 수치해석 기반의 모델들은 아직까지 예·경보를 위한 실용화 단계까지 진행된 사례는 드물기 때문에 기존 시스템들의 예·경보 등급 결정 체계에서 물리적 근거는 다소 취약하다.

[0021] 둘째, 기존의 강우 규준들은 강우변동인자만을 고려함으로써 지역특성(고정인자)을 반영하지 않으며, 반면에 산림청에서 제공하는 '산사태 위험지도'와 같이 고정인자만을 고려하는 산사태 민감도 지도(susceptibility map)는 공간에 따른 상대적인 산사태 발생 가능성 평가 외에 강우인자에 따른 산사태 발생 가능성의 실시간 변화는 고려할 수 없다는 한계점이 있다.

[0022] 셋째, 산사태로 인한 피해 규모는 산지 비탈면에서의 단순 사면파괴보다는 파괴된 토사물질이 많은 물을 머금고 토석류로 전이되어 유하부를 따라 빠른 속도와 충격압으로 산 지하부까지 흘러내려오는 경우가 더욱 크다. 그러나 기존의 국내외 산사태 예·경보 시스템은 사면파괴와 토석류의 경우를 구분하여 정보를 제공하고 있지 않다.

[0023] 마지막으로, 예측된 토석류로 인한 산지하부의 시설물 또는 인명의 취약성을 고려하여 정량적인 피해규모를 평가하는 것은 해당 지자체의 지역 재난 관리를 위해 필요로 하는 중요한 정보이다. 하지만, 아직까지 기존의 예·경보 시스템들에서 강우에 따른 토석류에 대한 정량적인 리스크 정보를 제공한 사례는 없다.

표 3

	국가 / 기관명	요소기술	적용된 규준	시스템 특징	위험 단계
국외	미국 시애틀	· 산사태 관리 기준강우량 설정 · 지반습윤화 추정 기술	· 강우규준(CT / ID 규준) · 지반습윤화지수(AWI)	· 강우를 활용한 모델들을 순차적으로사용하여예·경보결정 · 수치해석 및 물리기반의 모델은 활용되지 않음	· Null · Outlook · Watch · Warning
	이탈리아	· 산사태 관리 기준강우량 설정 · 강우 예측 모델활용	· 통계기법을 활용한 5 구역으로 구분된 강우규준(ID 규준)	· 예보 강우를이용한 1 ~ 2 일 예·경보와 예보 및 관측 강우를 이용한 현시점 예·경보로 구성	· Well below · Below · On thethreshold · Above · Well above
	대만	· 산사태 유발 누적 강우량 및강우강도 설정 · 유발강우지수 산정 기술	· 강우 규준(I-R 규준) · 유발강우지수(RTI)	· 누적강우량, 강우강도,강우지속시간을 등시에 고려 · 지역별 차등규준 적용	· Safe · Yellow · Red · Warning
국내	산림청	· 지역특성(고정인자) 별가중치 산정 · 산사태 관리 기준강우량 설정	· 산사태 위험지도 · 권역별 투양함수지수 및 탱크모델을 활용한 '산사태 예측정보'	· 두개의 규준들은 독립적으로 활용됨 · 산사태 위험지도는 강우인자를 고려하지 않으므로 실질적인 예·경보에는 사용되지 않음	· 산사태위험등급(1~5 등급)
	국민안전처	· 지역특성(고정인자) 별 가중치 산정	· SINMAP 을 활용한 재해위험지도	· 물리기반의 산사태 발생위험모델 SINMAP 과 토석류 유동해석 모델 FLO-2D 사용 · 실시간 강우인자를 고려하지 않으므로 예·경보를 위한 실용화 작업을 필요로 함	· 붕괴위험등급(3 또는 4 개 등급)

[0024]

[0025] 따라서, 한반도 기후 변화에 대처하고 종래의 국내외 실시간 산사태 예·경보 시스템 및 구성 기술들의 한계점들을 개선 및 보완하기 위한 새로운 개념의 실시간 산사태 예·경보 시스템이 요구된다. 즉, 산사태 재난 관리 시 실질적으로 활용 가능한 일련의 원천기술들을 조합하여 재난관리 주체가 필요로 하는 실시간 산사태 예·경보를 제공하는 기술이 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0026] 산사태 재난 관리 시 활용 가능한 일련의 원천 기술들을 조합하여 재난 관리 주체가 필요로 하는 실시간 산사태 예보 및 경보 시스템을 제공한다.

[0027] 경험론적 기반의 강우규준인 극한 강우 지수(ERI)를 이용하여 강우 요인뿐만 아니라 산지 지역에 해당하는 지반의 투수계수, 토양 함수능(storage capacity)과 같은 침투 특성의 지역에 따른 변화가 산사태 발생에 줄 수 있는 영향을 고려하는 실시간 산사태 예보 및 경보 시스템을 제공하고자 한다.

[0028] 토석류 전이규준을 초과하는 지역에 따라 예·경보 레벨을 다르게 설정함으로써, 예측된 산사태 발생 지역으로부터 토석류를 구분하여 정보를 제공하는 실시간 산사태 예보 및 경보 시스템을 제공하고자 한다.

[0029] 실용적 측면에서 전반적인 산사태 관리를 위한 용도로만 사용된 물리기반의 위험도(hazard) 모델들 및 리스크(risk) 평가 개념들을 적용하여 예·경보 레벨을 결정하는 실시간 산사태 예보 및 경보 시스템을 제공하고자 한

다.

[0030] 특별시, 광역 시 등의 특정 지역 전역을 포함하는 광역 범위의 예보 및 경보 시스템을 제공함과 동시에 광역 범위 내 임의의 단일 사면 또는 국부적인 현장에서의 잠재적으로 발생 가능한 산사태와 이로 인한 피해 규모에 대한 정량적인 예측정보를 제공하는 실시간 산사태 예보 및 경보 시스템을 제공하고자 한다.

[0031] 각각 독립적으로 활용되어온 산사태 해석 기술 영역과 모니터링 기술 영역을 하나의 시스템 안에 포함시킴으로써, 예·경보를 위한 기존의 한계점들을 서로 보완하고 신뢰성을 향상시키는 실시간 산사태 예보 및 경보 시스템을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0032] 극한 강우를 고려한 실시간 산사태 예보 및 경보 방법은, 기상청 서버로부터 복수의 산지 지역들과 관련된 기상 자료 정보를 수신하는 단계, 상기 산지 지역들 각각에 설치된 기상관측장비로부터 해당 산지 지역과 관련하여 실시간으로 계측된 강우량 정보를 수신하는 단계, 상기 기상 자료 정보, 계측된 강우량 정보, 지오 데이터베이스로부터 읽어드린 해당 산지 지역과 관련된 사면안정 해석을 위한 정보, 및 복수의 규준들에 기초하여 해당 산지 지역의 예경보 레벨을 결정하는 단계를 포함하고, 상기 복수의 규준들은, 극한강우지수(ERI), 강우강도-지속시간(ID) 규준, 산사태 민감도 지수, 침투기반 사면안정 규준, 토석류 거동관련 규준, 토석류 리스크 지수, 및 모니터링 기반 사면안정 규준을 포함할 수 있다.

[0033] 일측면에 따르면, 상기 산지 지역들의 예경보 레벨을 결정하는 단계는, 상기 복수의 산지 지역들 중 특정 산지 지역의 산사태 민감도 지수가 기정의된 민감도 관련 특정 규준을 초과함에 따라, 상기 특정 산지 지역의 예경보 레벨을 현재 레벨에서 한 단계 격상시킬 수 있다.

[0034] 다른 측면에 따르면, 상기 산지 지역들의 예경보 레벨을 결정하는 단계는, 상기 복수의 산지 지역들 각각의 극한강우지수(ERI), 강우강도-지속시간(ID) 규준, 산사태 민감도 지수에 기초하여, 복수의 산지 지역들 중에서 예경보 레벨이 정상 레벨에서 관심 레벨로 격상되어야 할 산지 지역을 결정하고, 결정된 산지 지역의 예경보 레벨을 관심 레벨로 결정할 수 있다.

[0035] 또 다른 측면에 따르면, 상기 산지 지역들의 예경보 레벨을 결정하는 단계는, 상기 복수의 산지 지역들 중 예경보 레벨이 관심 레벨인 산지 지역을 대상으로, 해당 산지 지역의 침투기반 사면안정 규준에 기초하여 산사태가 발생할 가능성이 존재하는 지역을 결정할 수 있다.

[0036] 또 다른 측면에 따르면, 상기 산지 지역들의 예경보 레벨을 결정하는 단계는, 상기 산사태가 발생할 가능성이 존재하는 지역으로 결정된 산지 지역을 대상으로, 해당 산지 지역의 토석류 전이 규준에 기초하여 산사태 발생 시 토석류로 전이될 가능성이 존재하는 지역을 결정할 수 있다.

[0037] 또 다른 측면에 따르면, 상기 산지 지역들의 예경보 레벨을 결정하는 단계는, 상기 산사태가 발생할 가능성이 존재하는 지역으로 결정된 산지 지역의 예경보 레벨을 관심 레벨에서 격상된 주의 레벨로 결정하고, 상기 산사태가 발생할 가능성이 존재하는 지역으로 결정된 산지 지역 중 토석류 전이 가능성이 존재하는 산지 지역의 예경보 레벨을 경계 레벨로 격상 결정할 수 있다.

[0038] 또 다른 측면에 따르면, 상기 산지 지역들의 예경보 레벨을 결정하는 단계는, 상기 산사태가 발생할 가능성이 존재하는 지역으로 결정된 산지 지역 중 토석류 전이 가능성이 존재하는 산지 지역의 토석류 리스크 지수에 기초하여 해당 산지 지역의 예경보 레벨을 심각 레벨로 결정할 수 있다.

[0039] 또 다른 측면에 따르면, 상기 모니터링 기반 사면안정 규준을 기반으로 하여, 산지 지역에 해당하는 지반의 포화 깊이비와 흡입 응력 변화가 실시간으로 모니터링되어 업데이트될 수 있다. 그리고, 상기 산지 지역들의 예경보 레벨을 결정하는 단계는, 업데이트된 포화 깊이비와 흡입 응력에 기초하여 해당 산지 지역의 예경보 레벨을 최상위 레벨인 심각 레벨로 격상할지 여부를 결정할 수 있다.

[0040] 또 다른 측면에 따르면, 상기 산지 지역들의 예경보 레벨을 결정하는 단계는, 상기 예경보 레벨을 국가의 재난 경보 단계 별 대응체계와 동일한 명칭에 해당하는 정상, 관심, 주의, 경계, 심각 레벨 중 어느 하나의 레벨로 결정할 수 있다.

[0041] 또 다른 측면에 따르면, 결정된 상기 예경보 레벨이 기정의된 레벨 이상에 해당하는 지역 속하는 사용자 단말로 경보 알림 정보를 제공하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0042] 실시간 산사태 예보 및 경보 시스템은, 기상청 서버로부터 복수의 산지 지역들과 관련된 기상 자료 정보를 수신

하고, 상기 산지 지역들 각각에 설치된 기상관측장비로부터 해당 산지 지역과 관련하여 실시간으로 계측된 강우량 정보를 수신하는 정보 송수신 제어부, 및 상기 기상 자료 정보, 계측된 강우량 정보, 지오 데이터베이스로부터 읽어드린 해당 산지 지역과 관련된 사면안정 해석을 위한 정보, 및 복수의 규준들에 기초하여 해당 산지 지역의 예경보 레벨을 결정하는 레벨 결정부를 포함하고, 상기 복수의 규준들은, 극한강우지수(ERI), 강우강도-지속시간(ID) 규준, 산사태 민감도 지수, 침투기반 사면안정 규준, 토석류 거동관련 규준, 토석류 리스크 지수, 및 모니터링 기반 사면안정 규준을 포함할 수 있다.

[0043] 일측면에 따르면, 상기 레벨 결정부는, 상기 복수의 산지 지역들 중 특정 산지 지역의 산사태 민감도 지수가 기정의된 민감도 관련 특정 규준을 초과함에 따라, 상기 특정 산지 지역의 예경보 레벨을 정상 레벨에서 격상된 관심 레벨로 결정할 수 있다.

[0044] 다른 측면에 따르면, 상기 레벨 결정부는, 상기 복수의 산지 지역들 각각의 극한강우지수(ERI), 강우강도-지속시간(ID) 규준, 산사태 민감도 지수에 기초하여, 복수의 산지 지역들 중에서 예경보 레벨이 정상 레벨에서 관심 레벨로 격상되어야 할 산지 지역을 결정하고, 결정된 산지 지역의 예경보 레벨을 관심 레벨로 결정하고, 상기 예경보 레벨이 관심 레벨인 산지 지역을 대상으로, 해당 산지 지역의 침투기반 사면안정 규준에 기초하여 산사태가 발생할 가능성이 존재하는 지역을 결정하고, 결정된 산지 지역의 예경보 레벨을 관심 레벨에서 격상된 주의 레벨로 결정하고, 상기 예경보 레벨이 주의 레벨인 산지 지역을 대상으로 토석류 전이 가능성이 존재하는 산지 지역의 예경보 레벨을 경계 레벨로 결정하고, 상기 토석류 전이 가능성이 존재하는 산지 지역의 토석류 리스크 지수에 기초하여 해당 산지 지역의 예경보 레벨을 심각 레벨로 결정할 수 있다.

[0045] 또 다른 측면에 따르면, 상기 모니터링 기반 사면안정 규준을 기반으로 하여, 산지 지역에 해당하는 지반의 포화 깊이비와 흡입 응력 변화가 실시간으로 모니터링되어 업데이트되고, 상기 레벨 결정부는, 업데이트된 포화 깊이비와 흡입 응력에 기초하여 해당 산지 지역의 예경보 레벨을 최상위 레벨인 심각 레벨로 격상할지 여부를 결정할 수 있다.

발명의 효과

[0046] 경험론적 기반의 강우규준인 극한 강우 지수(ERI)를 이용하여 강우 요인뿐만 아니라 산지 지역에 해당하는 지반의 투수계수, 토양 함수능(storage capacity)과 같은 침투 특성의 지역에 따른 변화가 산사태 발생에 줄 수 있는 영향을 고려하고, 토석류 전이규준을 초과하는 지역에 따라 예·경보 레벨을 다르게 설정함으로써, 예측된 산사태 발생 지역으로부터 토석류를 구분하여 정보를 제공하고, 실용적 측면에서 전반적인 산사태 관리를 위한 용도로만 사용된 물리기반의 위험도(hazard) 모델들 및 리스크(risk) 평가 개념들을 적용하여 예·경보 레벨을 결정함으로써, 실시간으로 산사태 예보 및 경보를 발령할 뿐만 아니라, 산사태 예측의 정확성과 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

[0047] 또한, 특별시, 광역 시 등의 특정 지역 전역을 포함하는 광역 범위의 예보 및 경보 시스템을 제공함과 동시에 광역 범위 내 임의의 단일 사면 또는 국부적인 현장에서의 잠재적으로 발생 가능한 산사태와 이로 인한 피해 규모에 대한 정량적인 예측정보를 제공할 수 있다.

[0048] 각각 독립적으로 활용되어온 산사태 해석 기술 영역과 모니터링 기술 영역을 하나의 시스템 안에 포함시킴으로써, 예·경보를 위한 기존의 한계점들을 서로 보완하고 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0049] 도 1은 최근 10년(2001~2010년)과 과거 30년(1971~2000년) 평균 강수량의 차이를 도시한 그래프이다.

도 2는 6월부터 9월까지의 한반도 12개 관측소 강수량의 경년 변동성을 도시한 그래프이다.

도 3은 한반도의 pre-1988(1973-1987) 기간과 post-1987(1988-2002) 기간 간의 동일 분위수 일강수량을 비교한 그래프이다.

도 4는 전지구 및 한반도 기온과 강수 미래 전망 요약한 자료를 도시한 도면이다.

도 5a 및 도 5b는 기후변화모델링을 통한 기온과 강수량 변화를 각각 예측한 도면이다.

도 6은 연평균 국내 산사태 피해면적을 도시한 그래프이다.

도 7은 연대 별 국내 산사태 피해면적 및 피해복구액 추이를 도시한 그래프이다.

도 8은 대만 산사태 예경보 통합 관리 시스템과 일본 산사태 예경보 통합관리 시스템을 도시한 도면이다.

도 9는 이탈리아 산사태 예경보 시스템의 웹-GIS 기반 인터페이스를 도시한 도면이다.

도 10은 미국 내 강우-산사태 한계선 또는 예경보 시스템 형태가 제공되고 있는 지역을 도시한 도면이다.

도 11은 시애틀에 분포한 17개의 강우관측소와 그에 따른 Thiessen 도메인 영역, 그리고 과거에 발생한 일부 산사태 발생 지점들을 도시한 도면이다.

도 12는 시애틀의 산사태 예경보 시스템의 의사결정 흐름도를 도시한 도면이다.

도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 네트워크 환경의 예를 도시한 도면이다.

도 14는 산사태 예보 및 경보 시스템의 구축을 위한 유닛(Unit)들을 도시한 도면이다.

도 15는 본 발명의 일실시예에 있어서, 산사태 예보 및 경보 시스템의 내부 구성을 설명하기 위한 블록도이다.

도 16은 본 발명의 일실시예에 있어서, 산사태 예보 및 경보 레벨을 결정하는 방법을 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다.

도 17은 본 발명의 일실시예에 있어서, 복수의 규준들에 기초하여 단계적으로 산사태 예보 및 경보 레벨을 결정하는 방법을 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다.

도 18은 본 발명의 일실시예에 있어서, 토석류 거동 연계해석 모델 결과의 단계별 동작을 도시한 도면이다.

도 19는 본 발명의 일실시예에 있어서, 사용자 단말의 화면에 표시되는 예측강우 자료의 제공 형태를 도시한 예시도이다.

도 20은 특정 지역에 분포한 AWS를 중심으로 한 티센망(Thiessen Network)을 도시한 도면이다.

도 21은 본 발명의 일실시예에 있어서, 실시간으로 예측된 산사태 예경보 레벨 결과가 제공되는 화면의 예시도이다.

도 22와 도 23은 본 발명의 일실시예에 있어서, 사면 안전율을 계산하는 동작을 설명하기 위해 제공되는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0050] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0052] 본 실시예들은 기상청, 현장에 설치된 관측 장비와 산사태 예보 및 경보 시스템이 연동하여 해당 지역의 산사태 관련 예·경보 레벨을 결정하고, 결정된 예·경보 및 해당 지역과 관련된 기상 정보, 산사태 정보 등을 사용자 단말로 제공하는 기술에 관한 것이다. 특히, 본원발명은 극한 강우 지수 등 6개의 규준들을 이용하여 산사태 관련 예·경보 레벨을 결정하는 기술에 관한 것으로서, 6개의 규준들은, 극한강우지수(ERI), 강우강도-지속시간(ID) 규준, 산사태 민감도 지수, 침투기반 사면안정 규준, 토석류 거동관련 규준, 토석류 리스크 지수를 포함할 수 있다. 그리고, 본원발명은 예·경보 레벨을 결정함에 있어서, 상기 6개의 규준들에 모니터링기반 사면안정 규준을 더 이용할 수 있다.

[0053] 본 실시예들에서, 예·경보 레벨은 정상, 관심, 주의, 경계, 심각과 같은 5개의 레벨로 구분되며, 최하위 레벨인 정상을 시작으로 최상위 레벨인 심각으로 갈수록 점차 위급한 상황을 나타내는 상위 레벨을 나타낼 수 있다.

[0055] 도 13은 본 발명의 일실시예에 따른 네트워크 환경의 예를 도시한 도면이다. 도 13의 네트워크 환경은 산사태 예보 및 경보 시스템(1300), 기상청 서버(1310), 기상관측장비(1320), 마스터 로거(mater logger, 1330), 및 사용자 단말(1340)를 포함할 수 있다. 이러한 도 13은 발명의 설명을 위한 일례로 사용자 단말의 수나 서버의 수, 기상관측장비의 수가 도 13과 같이 한정되는 것은 아니다. 예컨대, 기상관련 정보, 산사태 관련 정보 등을 제공받고자 하는 복수개의 사용자 단말들이 상기 네트워크 환경에 포함될 수 있다.

[0056] 기상청 서버(1310)는 각 지역(예컨대, 산지지역)의 과거부터 현재까지 관측된 강우량 정보, 이미 지나간 태풍관련 정보, 발생할 태풍관련 정보, 날씨 정보 등 기상과 관련된 다양한 정보들을 각 지역의 식별자 정보와 매칭하는 저장 및 관리할 수 있다.

[0057] 기상관측장비(1320)는 해당 지역에 설치되어 해당 지역에서의 현재 기상 상태를 실시간으로 관측하여 마스터 로

거(1330)를 통해 기상청 서버(1310)와 산사태 예보 및 경보 시스템(1300) 중 적어도 하나로 전송하는 장치를 나타낼 수 있다. 예컨대, 강우량계(1321), 체적 함수비 센서(1322), 모관 흡수력 센서(즉, 흡수 응력관련 센서, 1323), 틸트미터(1324), 와이어 센서(wire sensor, 1325) 등을 포함할 수 있다.

[0058] 산사태 예보 및 경보 시스템(1300)은 강우량계(1321), 체적 함수비 센서(1322), 모관 흡수력 센서(즉, 흡수 응력관련 센서, 1323), 틸트미터(1324), 와이어 센서(wire sensor, 1325) 등으로부터 제공받은 정보에 기초하여 기상관측장비(1320)가 설치된 특정 사면에 대하여 지반의 포화 깊이비와 흡입응력 변화를 실시간으로 계측 및 모니터링할 수 있다.

[0059] 예를 들어, 마스터 로거(1330)는 강우량계(1321), 체적 함수비 센서(1322), 모관 흡수력 센서(즉, 흡수 응력관련 센서, 1323), 틸트미터(1324), 와이어 센서(wire sensor, 1325) 등의 기상관측장비(1320)에서 계측된 정보들을 수집할 수 있으며, 수집된 계측 기상 정보를 기상청 서버(131)와 산사태 예보 및 경보 시스템(1300) 중 적어도 하나로 전송할 수 있다. 그러면, 산사태 예보 및 경보 시스템(1300)은 마스터 로거(1330)에서 수집된 정보들에 기초하여 특정 산지 지역에 해당하는 지반의 포화 깊이비와 흡입응력 변화를 실시간으로 모니터링할 수 있다.

[0060] 산사태 예보 및 경보 시스템(1300)은 기상청 서버(1310), 마스터 로거(1330)를통해 기상관측장비(1320), 사용자 단말(1340)과 네트워크를 통해 통신하여 명령, 코드, 파일, 컨텐츠, 서비스 등을 제공하는 컴퓨터 장치로 구현될 수 있다. 산사태 예보 및 경보 시스템(1300)은 특정 지역의 산사태를 예측하고 경보를 발령하는 기상청 서버일 수도 있고, 기상청 서버와는 별도로 네트워크로 연결된 서버일 수도 있다.

[0061] 그리고, 산사태 예보 및 경보 시스템(1300)은 어플리케이션이 설치된 클라이언트들에게 기상관련 정보를 제공하는 시스템일 수 있다. 예를 들어, 사용자 단말(1340)의 사용자는 사용자 단말(1340)에 설치된 어플리케이션을 이용하여 네트워크를 통해 산사태 예보 및 경보 시스템(1300)에 접속할 수 있고, 산사태 예보 및 경보 시스템(1300)으로 특정 지역과 관련된 기상관련정보(온습도 등의 날씨, 강우량, 산사태 여부, 적설량, 태풍여부 등)를 요청할 수 있다. 그러면, 산사태 예보 및 경보 시스템(1300)은 상기 어플리케이션을 통해 요청된 기상관련 정보를 사용자 단말(1340)에 제공할 수 있다.

[0062] 이때, 산사태 예보 및 경보 시스템(1300)은 사용자 단말(1340)의 요청이 없더라도 기상관련 정보를 사용자 단말(1340)로 제공할 수도 있다. 예컨대, 산사태관련 예·경보 레벨(즉, 예경보 레벨)이 기정의된 일정 수준 이상인 경우(예컨대, 경계, 심각 등인 경우), 해당 지역에 거주하는 사용자 단말, 해당 지역의 재난, 기상 등을 관리하는 공공 기간이나 공공 업체의 단말로 예·경보 레벨, 경보 발령 등의 기상관련 정보를 제공할 수도 있다.

[0063] 그리고, 산사태 예보 및 경보 시스템(1300)과 기상청 서버(1310)는 컴퓨터 장치로 구현되는 고정형 단말일 수 있다. 예를 들면, 산사태 예보 및 경보 시스템(1300)과 기상청 서버(1310)는 데스크탑 컴퓨터 등일 수 있다. 이때, 산사태 예보 및 경보 시스템(1300)은 기상청 서버(1310)와 하나로 통합된 형태로 구현될 수도 있다.

[0064] 사용자 단말(1340)은 산사태 예보 및 경보 시스템(1300) 및 기상청 서버(1310)로부터 원하는 지역에 해당하는 기상관련 정보를 제공받을 수 있다. 여기서, 사용자 단말(1340)은 컴퓨터로 구현되는 고정형 단말이거나, 이동형 단말일 수 있다. 사용자 단말(1340)의 예를 들면, 스마트폰(smart phone), 휴대폰, 네비게이션, 컴퓨터, 노트북, 디지털방송용 단말, PDA(Personal Digital Assistants), PMP(Portable Multimedia Player), 태블릿 PC 등이 있다. 본 발명의 실시예들에서는 실질적으로 무선 또는 유선 통신 방식을 이용하여 네트워크(도 13의 화살표)를 통해 기상청 서버(1310), 산사태 예보 및 경보 시스템(1300)과 통신할 수 있는 다양한 기기들 중 하나를 의미할 수 있다.

[0065] 통신 방식은 제한되지 않으며, 네트워크가 포함할 수 있는 통신망(일례로, 이동통신망, 유선 인터넷, 무선 인터넷, 방송망)을 활용하는 통신 방식뿐만 아니라 기기들간의 근거리 무선 통신 역시 포함될 수 있다.

[0067] 도 14는 산사태 예보 및 경보 시스템의 구축을 위한 유닛(Unit)들을 도시한 도면이다.

[0068] 도 14를 참고하면, 산사태 예보 및 경보 시스템(1300)은 특정 산지 지역과 관련하여 산사태 예보 및 경보를 실시간으로 제공하기 위해서는 아래의 핵심 요소를 가짐을 알 수 있다.

[0069] 1) 강우 자료

[0070] 2) 산사태 예·경보 모델 알고리즘 및 규준들

[0071] 3) 실시간으로 업데이트되는 강우자료의 규준 적용에서부터 최종적인 해석결과 및 예·경보 레벨 정보 전

송에 이르는 과정을 관장하는 프로그램화를 위한 전산 및 통신망

[0073] 도 14에 따르면, 산사태 예보 및 경보 시스템을 위한 유닛들은 산지 지역에서의 산사태 예경보 레벨을 결정함에 있어서 7개의 규준들을 적용하기 위한 입력 자료(기상 자료, 현장 계측 자료, 지도 데이터베이스관련 자료) 정보를 관장하는 3개의 유닛, 7개의 규준들 각각의 원천기술 영역들에 해당하는 7개의 규준 관련 유닛(1420), 7개의 규준을 적용하여 해석된 결과를 예·경보 레벨에 따라 시각화시켜 결과를 사용자 단말로 제공하는 1개의 유닛(1430)으로 구성될 수 있다. 여기서, 7개의 규준들은 극한강우지수(ERI), 강우강도-지속시간(ID) 규준, 산사태 민감도 지수, 침투기반 사면안정 규준, 토석류 거동관련 규준(즉, 토석류 거동 연계 해석), 토석류 리스크 지수, 모니터링기반 사면안정 규준을 포함할 수 있다. 여기서, 7개의 각 규준들의 개념 및 각 규준들을 적용하여 예·경보 레벨을 결정하는 자세한 설명은 도 15 및 도 16을 참고하여 후술하기로 한다.

[0074] 도 14에서, 기상 자료 유닛(1411)은 기상청 서버(1310)로부터 실시간으로 제공받은 기상 자료 정보를 7개의 각 규준들이 필요로 하는 강우 특성 및 형태에 맞게 가공하여 각 규준들에 해당하는 유닛으로 전달할 수 있다. 여기서, 기상 자료 정보는 기상청 API를 통해 활용할 수 있는 자료들로서, 강우 예측 자료들과 각 기상청 강우관측소(AWS)들로부터 얻어지는 실시간 현시점 강우 관측자료들, 그리고 과거 강우데이터들을 나타낼 수 있다. 예컨대, 기상 자료 정보는, 최대 72시간 이후까지의 예측 강우량 정보, 현시점부터 필요 과거 시점(예컨대, 현시점을 기준으로 기정의된 기준일, 기준년도, 기준시간 등의 이전시점)까지의 관측 강우량 기록 정보를 나타내는 강우량 정보를 의미할 수 있다. 예측 강우량 정보는 기정의된 업데이트 시간(6시간 등)마다 업데이트될 수 있으며, 관측 강우량 기록 정보는 현재가 2016년5월1일인 경우, 현재부터 10년 전까지의 관측되어 기록된 해당 지역의 강우량 정보(예컨대, 2006년 5월 1일부터 2016년 5월 1일 현재시점까지 관측되어 기록된 강우량 정보)를 나타낼 수 있다.

[0075] 도 14에서, 현장 계측 자료(1412)는 산지 지역에 설치된 기상 및 지반 계측 장비(1320)에서 현시점에 실시간으로 관측/계측된 강우량 정보를 나타낼 수 있다. 그리고, 예측 강우량 정보, 과거 강우량 기록 정보, 상기 실시간으로 관측된 강우량 정보를 7개의 각 규준에 대한 입력 파라미터로 이용하여 해당 산지지역의 예·경보 레벨이 결정될 수 있다. 이때, 입력 파라미터(즉, 입력 자료)로 활용하는 강우 자료(기상 자료 정보 및 계측된 강우량 정보)의 유형에 따라 시스템 내에 주의환기 예보 모듈 및 현시점 예·경보 모듈과 같은 두 가지 예·경보 모듈이 존재할 수 있으며, 두 모듈의 기능에 대한 자세한 설명은 도 20을 참고하여 후술하기로 한다.

[0076] 예컨대, 현장 계측 장비는 특정 사면들에 대하여 설치된 지반 및 모니터링 장비들이고, 상기 현장 계측 장비에서 실시간으로 계측된 자료들을 이용하여 예·경보 레벨이 결정될 수 있다. 즉, 현장에 설치된 자체 강우량계로부터 얻어지는 강우관측치들, 지반에 설치된 센서들로부터 얻어지는 간극수압, 체적함수비 등의 값들이 현장 계측 장비로부터 획득된 자료들을 의미할 수 있다.

[0078] 도 15는 본 발명의 일실시예에 있어서, 산사태 예보 및 경보 시스템의 내부 구성을 설명하기 위한 블록도이다.

[0079] 실시예에 따른 산사태 예보 및 경보 시스템(1500)는 프로세서(1510), 버스(1520), 네트워크 인터페이스(1530) 및 메모리(1540)를 포함할 수 있다. 메모리(1540)는 운영체제(1541) 및 서비스 제공 루틴(1542)를 포함할 수 있다. 프로세서(1510)는 정보 송수신 제어부(1511) 및 레벨 결정부(1512)를 포함할 수 있다. 다른 실시예들에서 산사태 예보 및 경보 시스템(1500)는 도 15의 구성요소들보다 더 많은 구성요소들을 포함할 수도 있다. 그러나, 대부분의 종래기술적 구성요소들을 명확하게 도시할 필요성은 없다.

[0080] 메모리(1540)는 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체로서, RAM(random access memory), ROM(read only memory) 및 디스크 드라이브와 같은 비소멸성 대용량 기록장치(permanent mass storage device)를 포함할 수 있다. 또한, 메모리(1540)에는 운영체제(1541)와 서비스 제공 루틴(1542)을 위한 프로그램 코드가 저장될 수 있다. 이러한 소프트웨어 구성요소들은 드라이브 메커니즘(drive mechanism, 미도시)을 이용하여 메모리(1540)와는 별도의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체로부터 로딩될 수 있다. 이러한 별도의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체는 플로피 드라이브, 디스크, 테이프, DVD/CD-ROM 드라이브, 메모리 카드 등의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체(미도시)를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서 소프트웨어 구성요소들은 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체가 아닌 네트워크 인터페이스(1530)를 통해 메모리(1540)에 로딩될 수도 있다.

[0081] 버스(1520)는 산사태 예보 및 경보 시스템(1500)의 구성요소들간의 통신 및 데이터 전송을 가능하게 할 수 있다. 버스(1520)는 고속 시리얼 버스(high-speed serial bus), 병렬 버스(parallel bus), SAN(Storage Area Network) 및/또는 다른 적절한 통신 기술을 이용하여 구성될 수 있다.

[0082] 네트워크 인터페이스(1530)는 산사태 예보 및 경보 시스템(1500)를 컴퓨터 네트워크에 연결하기 위한 컴퓨터 하

드웨어 구성요소일 수 있다. 네트워크 인터페이스(1530)는, 이더넷 카드와 같은 네트워크 인터페이스 카드, 광학 송수신기, 무선 주파수 송수신기, 혹은 정보를 송수신할 수 있는 임의의 다른 타입의 디바이스일 수 있다. 이러한 네트워크 인터페이스들의 다른 예들은 모바일 컴퓨팅 디바이스들 및 USB 내의 블루투스(Bluetooth), 3G 및 WiFi 등을 포함하는 무선기기일 수 있다. 일부 예들에서, 컴퓨팅 디바이스는, 서버, 모바일 폰, 혹은 다른 네트워크화된 컴퓨팅 디바이스와 같은 외부 디바이스와 무선으로 통신하기 위해 네트워크 인터페이스(1530)를 사용할 수 있다. 네트워크 인터페이스(1530)는 산사태 예보 및 경보 시스템(1500)을 무선 또는 유선 커넥션을 통해 컴퓨터 네트워크에 연결시킬 수 있다.

[0083] 프로세서(1510)는 기본적인 산술, 로직 및 산사태 예보 및 경보 시스템(1500)의 입출력 연산을 수행함으로써, 컴퓨터 프로그램의 명령을 처리하도록 구성될 수 있다. 명령은 메모리(1540) 또는 네트워크 인터페이스(1530)에 의해, 그리고 버스(1520)를 통해 프로세서(1510)로 제공될 수 있다. 프로세서(1510)는 정보 송수신 제어부(1511) 및 레벨 결정부(1512)를 위한 프로그램 코드를 실행하도록 구성될 수 있다. 이러한 프로그램 코드는 메모리(1540)와 같은 기록 장치에 저장될 수 있다.

[0085] 도 16은 본 발명의 일실시예에 있어서, 산사태 예보 및 경보 레벨을 결정하는 방법을 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다.

[0086] 도 16의 각 단계들(1610 단계 내지 1630 단계)은 도 15에 도시된 산사태 예보 및 경보 시스템(1500)의 구성요소인 정보 송수신 제어부(1511) 및 레벨 결정부(1512)에 의해 수행될 수 있다.

[0087] 1610 단계에서, 정보 송수신 제어부(1511)는 기상청 서버(1310)로부터 기상 자료 정보를 수신하고, 기상관측장비(1320)에서 실시간으로 계측된 강우량 정보를 수신할 수 있다. 예컨대, 기상 자료 정보는 최대 72시간 이후까지의 예측 강우량 정보, 현시점부터 기정의된 필요 과거 시점까지의 관측 강우량 기록 정보를 포함할 수 있다.

[0088] 1620 단계에서, 레벨 결정부(1512)는 기상 자료 정보, 상기 계측된 강우량 정보, 지도 데이터베이스로부터 읽어드린 해당 산지 지역과 관련된 사면안정 해석을 위한 정보, 그리고 기정의된 복수의 규준들에 기초하여 해당 산지 지역의 예경보 레벨을 결정할 수 있다. 여기서, 사면안정 해석을 위한 정보는, 불포화 침투해석을 실시하여 획득된 간극 수압 및 흡수 응력 결과값을 포함할 수 있다.

[0089] 그리고, 복수의 규준들은, 강우에 따른 산사태 및 토석류 현상을 예측하기 위해 이용되는 7가지 유형을 요소 기술로서, 이들은 경험적 또는 물리적 근거에 기반하여 개발된 규준 및 모델들을 나타낼 수 있다. 예컨대, 복수의 규준들은, 극한강우지수(ERI), 강우강도-지속시간(ID) 규준, 산사태 민감도 지수, 침투기반 사면안정 규준, 토석류 거동관련 규준(즉, 토석류 거동 연계 해석), 토석류 리스크 지수, 모니터링기반 사면안정 규준을 포함할 수 있다.

[0090] 1630 단계에서, 정보 송수신 제어부(1511)는 결정된 예경보 레벨에 기초하여 경보 알림 정보를 사용자 단말에 제공할 수 있다. 예컨대, 예경보 레벨에 따른 매칭되어 미리 정해진 색상과 해당 예경보 레벨을 나타내는 정보가 사용자 단말에 제공될 수 있다. 현재 예경보 레벨이 관심이고, 관심에 해당하는 색상이 하늘색인 경우, '관심'을 포함하는 레벨 정보(예컨대, 레벨 2)와 관심 레벨에 매칭된 색상 식별자 정보가 사용자 단말로 전송되어, 어플리케이션의 제어 하에 해당 산지 지역의 산사태 관련 예경보 레벨이 '관심'임이 단말의 화면에 표시될 수 있다. 이때, '관심' 레벨은 미리 매칭된 하늘색으로 표시될 수 있다.

[0091] 이하에서는 복수의 규준들에 대해 상세히 설명하기로 한다.

[0093] **극한강우지수(Extreme Rainfall Index; ERI)**

[0094] 극한강우지수는 산사태를 유발하는 강우뿐만 아니라 지반 상태의 지역적 특성의 효과를 함께 고려하는 규준으로서, 지반이 침투 특성 및 불포화 특성을 포함하는 투수계수와 토양 함수능(storage capacity)에 기초하여 계산되어 미리 정의될 수 있다. 여기서, 토양 함수능은 함수특성곡선 자료에 기초하여 획득될 수 있다. 이때, 극한강우지수는 전국의 모든 산지지역을 대상으로 예경보 레벨을 결정하기 위해 최초 단계에서 적용될 수 있다. 그리고, 극한강우지수는 산사태 발생에 대한 장기적인 누적 강우의 영향을 고려하기 위하여 20일 선행강우량 및 연속강우량에 기초하여 계산될 수도 있다.

[0095] 기존의 강우정보만을 활용하여 잠재적 산사태 발생 가능성을 판단하는 경험적 강우 한계선들은 제한적으로 분포한 강우 관측소의 주변 지역에 대한 발생 위험을 판단하기 이한 정보를 제공해 주지만, 구체적인 공간에 따른 발생 가능성을 변화를 고려하기는 어려웠다. 이때, 극한강우지수를 산사태 예보 및 경보 레벨을 결정하기 위한

규준으로 이용함으로써, 해당 지역의 강우량뿐만 아니라 지반 상태(또는 지반 특성)까지 고려하여 보다 정확히 산사태 예보 및 경보 레벨을 결정할 수 있다.

[0097] **강우강도-지속시간(ID) 규준**

[0098] 강우강도-지속시간(ID) 규준은 과거의 특정 시점부터 현재의 특정 시점(예컨대, 1999년부터 2012년)까지 발생한 전국의 198개 토사재해 자료를 바탕으로 통계적 기법(quantile-regression)을 이용하여 위험수준 별로 강우규준을 4단계(None, Alert, Warning, Evacuation)로 구분하는 강우규준으로 미리 계산되어 저장될 수 있다.

[0099] 예를 들어, 부산 지역에서 1999년부터 2014년까지 산사태를 유발시킨 총 35개의 유발 강우들을 분석하여 부산 지역에 특화된 강우강도-지속시간(ID) 규준이 미리 설정될 수 있다. 산사태 예보 및 경보 시스템(1500)은 단일 규준이 아닌, 다수의 규준들을 교차적으로 사용하여 예·경보(위험) 레벨(level)을 결정하므로 산사태 예보 및 경보 시스템(1500)에서 사용될 '강우강도-지속시간 규준'은 하나의 경계선, 즉 2%의 분위 회귀식 만으로 정의될 수 있다.

[0101] **산사태 민감도 지수(Landslide Susceptibility Index; LSI)**

[0102] 산사태 민감도(Landslide Susceptibility)란 고정인자만을 고려하여 산사태가 어디에서 상대적으로 발생할 가능성이 큰가를 나타내는 공간적 확률을 의미할 수 있다. 그리고, 공간적으로 이 민감도 지수 값의 분포현황을 지도상에 나타낸 것이 민감도 지도일 수 있다.

[0103] 산사태 민감도 지수는 모델 개발의 접근법에 따라 크게 통계적 기법(REM, SME 방법 등)과 물리적 기법(SINMAP, SHALSTAB, TRIGRS 등)을 이용하여 계산될 수 있으며, NRF(Normalized Frequency Ratio) 기법을 사용하여 최종 통합된 하나의 민감도 지도를 제작하여 민감도 지수가 획득될 수도 있다.

[0104] 산사태 민감도 지수는 복수의 산지 지역들(즉, 전체 지역들) 중 안정성이 매우 높아 산사태 발생에 대한 관리가 필요치 않는 영역을 걸러내는 역할을 수행하기 위해 이용될 수 있다. 이때, 산사태 예보 및 경보 시스템(1500)에서 이루어지는 모든 산사태 예측 분석은 산사태 민감도 지수가 기정의된 민감도 관련 특정 규준(γ)을 초과하는 고정된 영역 내에서만 실시될 수 있다. 즉, 산사태 민감도 지수는 전국의 모든 산지지역들을 대상으로 평가된 극한강우지수(ERI) 및 강우강도-지속시간(ID) 규준이 기정의된 ERI 및 ID를 초과하는 지역들을 대상으로, 예경보 레벨을 '정상'에서 '관심'으로 한 단계 격상시킬지 여부를 결정하기 위해 이용될 수 있다.

[0105] 예를 들어, 레벨 결정부(1512)는 복수의 산지지역들 중 ERI 또는 ID 규준이 초과되는 산지지역을 추출하고, 추출된 산지 지역들을 대상으로 산사태 민감도지수가 민감도 관련 특정 규준 γ를 초과하는 산지 지역들을 다시 한번 추출할 수 있다. 그리고, 레벨 결정부(1512)는 다시 한번 추출된 산지 지역의 예경보 레벨을 '정상'에서 한 단계 격상된 '관심'으로 결정할 수 있다. 이처럼, 예경보 레벨이 관심으로 결정됨에 따라, 해당 산지 지역은 심화된 산사태 및 토석류 예측 분석 수행을 위한 대상 영역으로 결정될 수 있다.

[0107] **침투기반 사면안정 규준**

[0108] 침투기반 사면안정 규준은 광역적 불포화 침투 및 사면안정 해석 모델에 기초하여 계산 또는 평가될 수 있다. 여기서, 광역적 불포화 침투 및 사면안정 해석 모델은 광역 지역을 대상으로 강우에 따른 불포화도의 부정류 침투 효과에 의한 유효응력(즉, 흡수응력) 변화에 기초하여 GIS(Geographic Information System) 기반의 산사태 역학적 안정성을 평가하는 모델을 의미할 수 있다. 즉, 침투해석 및 역학적 사면안정 해석에 필요한 수리학적, 지반공학적, 지형학적 특성에 기초하여 미리 구축된 GIS 기반 공간데이터베이스(즉, 지오 데이터베이스)를 참조하여, 권역들 별로 강우에 따른 1차원 불포화 침투해석이 실시될 수 있다. 침투해석에 의한 간극수압 및 흡수응력(Suction Stress) 결과는 역학적 사면안정 해석을 위한 입력값으로 사용될 수 있다. 여기서, 침투 해석은 레벨 결정부(1512)에서 수행될 수도 있고, 지오 데이터베이스와 연결된 기상청 서버(1310)에서 수행되어, 수행 결과가 지오 데이터베이스에 저장될 수도 있다.

[0109] 국립방재연구원의 분석에 따르면 국내의 산사태 유형은 2000년대 이후 주로 낮은 깊이의 산사태나 토석류 형태의 산사태가 발생하고 있어, 무한사면 모델을 이용하여 국내 산지지역에 대한 산사태 분석이 수행될 수도 있다. 무한사면 모델은 원래 단일사면에서의 안정성을 파악하기 위하여 이용되었으나 대량의 공간자료와 광역적인 자료를 손쉽게 획득, 가공 및 분석할 수 있는 GIS 기법과 결합된 분석을 수행함으로써 특정 강우에 따른 광역 지역에 대한 사면 안정성 분포, 즉, 잠재적 산사태 발생 예측 해석 결과를 도출하기 위해 이용될 수도 있다.

[0110] 산사태 예보 및 경보 시스템(1500)은 예경보 레벨이 관심 레벨인 산지 지역을 대상으로, 무한사면 모델에 기초하여 해당 지역의 침투기반 사면안정 규준을 평가하고, 평가된 침투기반 사면안정 규준이 기정의된 사면안정 관

련 규준을 초과하는지 여부에 기초하여 해당 지역의 예경보 레벨을 '관심' 레벨에서 '주의' 레벨로 한 단계 격상할지 또는 현재 레벨(관심)을 그대로 유지할지 여부를 결정할 수 있다.

[0111] 이처럼, 침투기반 사면안정 규준은 실시간 관측강우에 따라 '관심'으로 격상된 지역들 중 물리적인 근거에 기반하여 어느 지점이 잠재적인 산사태 발생 가능성이 높은지를 판단하기 위해 이용될 수 있다. 예를 들어, 레벨 결정부(1513)는 현시점의 강우특성에 해당하는 해석 결과 지도에서 사면 안전율(Factor of Safety)이 기정의된 사면안정 관련 규준(예컨대, 1.3) 이하인 지역들을 산사태가 발생할 가능성이 큰 불안정한 지역들로 판단할 수 있다. 이에 따라, 예경보 레벨이 '관심'인 산지지역들 중 상기 사면 안전율이 1.3 이하인 산지지역들을 결정하고, 결정된 산지지역들의 레벨을 '관심'에서 '주의'로 격상 결정할 수 있다. 이처럼, 레벨이 '주의'로 결정된 산지지역들은 토석류 거동관련 규준(즉, 토석류 거동 연계 해석)에 기초하여 예경보 레벨을 결정하기 위한 대상 영역이 될 수 있다.

[0113] **토석류 거동관련 규준**

[0114] 토석류 거동관련 규준(즉, 토석류 거동 연계 해석 모델)은 산지지역의 사면에서의 토사물질이 파괴된 시점 이후부터 토석류로 전이된 경우, 유하부 아래에 도착하는 시점까지를 예측하는 모델에 기반하는 규준을 의미할 수 있다. 토석류 거동 연계 해석 모델은 산지지역의 사면이 토석류로의 발전 여부, 흐름 및 거동을 정량적으로 산정하는 역할을 수행할 수 있다. '광역적 불포화 침투 및 사면안정 해석 모델'을 통해 도출된 잠재적 산사태 발생 예측 해석 결과에 순차적으로 적용되는 상기 연계해석 모델은 도 18와 같이 총 세 단계로 구성될 수 있다.

[0115] 도 18를 참고하면, 첫 번째 단계(1810)에 적용되는 '토석류 전이규준'은, 특정 지점에서 산사태가 발생될 것으로 예측된 경우 파괴된 토사체가 유동성이 없는 슬럼프 형태일지 유동성을 띠는 흐름 형태의 토석류로 발전될 것인지를 판단하는 규준을 나타낼 수 있다. 예를 들어, 서울, 경기, 강원 지역에서의 산사태 DB 500개(산사태: 250건, 토석류 전환: 250건)와 이를 기반으로 수집된 지형학적 인자들 및 인공신경망을 활용하여 산사태가 토석류로 전환되는 지점을 예측하기 위한 규준이 토석류 전이규준으로 이용될 수 있다.

[0116] 상기 산사태가 토석류로 전환되는 지점을 예측하는 토석류 전이규준의 결과에 연계하여 두 번째 단계(1820)에서 '광역적 토석류 흐름 분석' 기법이 적용될 수 있다. '광역적 토석류 흐름 분석' 기법은, 발생된 토석류의 흐름 방향과 확산 정도를 예측하기 위해 이용될 수 있다. 이를 위해서, 에너지 및 확률론적 기반의 토석류 흐름 방향 및 거리 분석 모델인 Flow-R이 이용될 수 있으며, 이는 물리적, 수치해석 기반 토석류 해석 모델에 비해 간단한 알고리즘을 통해 분석 시간이 짧게 소요되고 넓은 지역에 적용 가능하다. 분석을 통해 도출된 토석류 흐름 결과를 토대로 세 번째 단계(1830)인 토석류 거동 정량적 해석을 수행할 국부적(site-specific) 위험 유역이 선별될 수 있다. 선별된 국부적 위험 유역을 대상으로 마지막 단계(네 번째 단계)에서 '토석류 거동 정량적 해석' 기법이 적용될 수 있다. '토석류 거동 정량적 해석' 기법은, 잠재적으로 발생 가능한 토석류에 대하여 수치해석 모델을 사용하여 바닥물질의 연행작용으로 인한 토석류의 부피 증가 및 속도, 두께 등의 토석류 거동을 모사(예측)하여 궁극적으로 '토석류 리스크 평가'를 위한 정량적인 정보를 생성할 수 있다. 예를 들어, 토석류의 유하 과정에서 연행작용으로 인한 부피증가 및 유변학적 특성을 모두 예측할 수 있는 3차원 연속체 동적 수치모형인 DAN3D(Mcdougall and Hungr, 2004)를 활용하여 해당 지역의 토석류 리스크가 평가될 수 있다.

[0118] **토석류 리스크 지수**

[0119] 토석류 리스크 지수는 토석류 리스크 정량적 평가 기법에 기반하여 산출될 수 있다. 즉, 토석류 발생으로 인해 예상되는 인적, 또는 물적 피해량을 의미하는 리스크가 정량적으로 산정될 수 있다. 리스크 평가를 위한 리스크 요소는 직/간접적으로 영향 받을 수 있는 인구, 건물, 공공서비스를 포함한 경제활동 또는 특정지역에서 위험에 노출된 가치로 나타낼 수 있으며, 리스크 요소는 공간적 또는 비공간적 특성을 지니고 있고 연구국가와 연구자에 따라 종류와 분류방법이 다양할 수 있다.

[0120] 일례로, 리스크 평가를 위해서는 재해 평가, 취약성 평가, 리스크 요소(인구, 건물, 사회기반 시설, 경제활동 등) 평가 등 세 개 부문의 분석 결과가 종합적으로 고려될 수 있다. 이때, 재해 평가 부문에서 토석류 강도, 즉, 충격압 계산을 위해 필요한 토석류 거동의 정량적 정보(속도, 두께 등)들은 '토석류 거동 연계 해석모델 '의 해석 결과로부터 얻을 수 있다. 그리고. 취약성 평가는 평가 대상의 종류(인구, 건물 등)에 따라 취약성 산정방법이 달라질 수 있으며, 건물손상의 취약지수는 토사재해 유발인자에 대한 물리적 특성(충격압 등) 및 건물 구조형식(보강 콘크리트 또는 비 콘크리트 등)에 따라 달라질 수 있다. 예컨대, 토석류 영향범위 내의 시설물 및 지역사회의 다른 영향 요소들에 대한 취약도 및 리스크 평가가 수행될 수 있다.

[0122] **모니터링 기반 사면안정 규준**

[0123] 모니터링 기반 사면안정 규준은 강우량 및 지반 상태 모니터링하기 위해 산지 지역에 설치된 강우량계, 체적함수비 센서, 모관 흡수력 센서, 틸트미터 등의 기상관측장비에서 측정된 정보들에 기반할 수 있다. 예컨대, 산사태 예보 및 경보 시스템(1500)은 강우량계, 체적함수비 센서, 모관 흡수력 센서, 틸트미터 등으로부터 실시간으로 수신된 정보에 기초하여 상기 장비들이 설치된 특정 사면에 대한 지반의 포화 깊이비, 흡입응력의 변화를 실시간으로 모니터링할 수 있다.

[0124] 이때, 모니터링 기반 사면안정 규준은 해당 사면의 역학적 불안정성을 나타내는 특정 포화 깊이비가 기정의된 기준 깊이비를 초과하거나, 또는 해당 사면의 흡입응력이 기정의된 기준 흡입응력을 초과하는지 여부에 기초하여 해당 사면의 지반에 변위가 발생하거나 또는 발생 가능한지를 예측하거나, 또는 해당 사변의 지반에 직접적으로 변위가 발생했는지 여부를 판단하기 위해 이용될 수 있다. 이에 따라, 해당 사면들에 대해, '광역적 불포화 침투 및 사면안정 해석 모델' 의 적용없이 직접적으로 지반의 체적 함수비 및 이에 따른 흡입응력 변화를 관측함으로써 잠재적인 산사태 발생위험 여부가 판단될 수 있다

[0126] 도 17은 본 발명의 일실시예에 있어서, 복수의 규준들에 기초하여 단계적으로 산사태 예보 및 경보 레벨을 결정하는 방법을 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다.

[0127] 예·경보 레벨은 정상, 관심, 주의, 경계, 심각 순서로 산사태 위험도가 높아지는 5단계로 구분될 수 있으며, 국가 재난 경보 단계 별 대응체계와 동일한 명칭을 사용할 수 있다. 그리고, 결정된 예·경보 레벨은 GIS 기반의 지도 상에서 산지 지역 별로 결정된 예·경보 레벨에 해당하는 고유 색상들로 표현될 수 있다. 예컨대, 정상은 그린(green), 관심은 하늘색(sky), 주의는 노란색(yellow), 경계는 주황색(orange), 심각은 빨간색(red)으로 미리 매칭되어 관리될 수 있으며, 산지 지역 별로 결정된 예·경보 레벨에 해당하는 색상이 사용자 단말의 화면에 표시될 수 있다. 예컨대, 예·경보 레벨이 경계인 경우, 주황색 바탕에 '경계' 글자가 표시될 수 있다.

[0128] 도 17에 따르면, 산사태 예보 및 경보 결정 시스템(1500)에서 예·경보 레벨을 결정하기 위해서는 3개의 의사결정과정을 수행할 수 있다.

[0129] 먼저, 기상관측장비로부터 실시간으로 관측된 현시점 강우량 정보(즉, 계측된강우량 정보)를 수신하고, 기상청 서버로부터 일정시간 간격으로 업데이트되는 최대 72시간 이후의 예측 강우량 정보를 수신할 수 있다.

[0130] 1710 단계에서, 레벨 결정부(1512)는 수신된 정보(예컨대, 실시간으로 업데이트된 강우강도(Intensity) 및 강우지속시간(Duration) 등)에 기초하여 정상에서 관심으로 레벨을 격상할 필요가 있는 산지 지역을 결정할 수 있다. 이처럼, 예·경보 레벨을 정상에서 관심으로 격상할 산지 지역을 결정하는 단계가 첫 번째 의사결정 단계에 해당할 수 있다. 이때, 레벨 결정부(1512)는 극한강우지수(ERI), 강우강도-지속시간(ID) 규준, 산사태 민감도 지수, 즉 두 개의 강우 규준 및 하나의 지반 공학적 규준에 기초하여 관심 레벨로 격상할 산지 지역을 결정할 수 있다.

[0131] 예컨대, 수신된 현시점 강우량 정보와 예측 강우량 정보에 해당하는 값이 기정의된 극한강우지수 및 ID를 초과하는 산지 지역들을 대상으로, 레벨 결정부(1512)는 상기 초과하는 산지 지역들의 산사태 민감도 지수가 기정의된 특정 규준(γ)을 초과하는 산지 지역을 결정할 수 있다. 그리고, 결정된 산지 지역의 예·경보 레벨을 정상에서 관심으로 격상 결정할 수 있다. 즉, 산사태 민감도 지수가 상기 특정 규준(γ)을 초과하면서 실시간 강우가 ERI, 또는 ID 규준을 초과하는 지역의 예·경보 레벨이 관심 레벨로 격상될 수 있다.

[0132] 이때, 수신된 현시점 강우량 정보와 예측 강우량 정보에 해당하는 값이 기정의된 극한강우지수 및 ID를 초과하지 않거나, 또는 산사태 민감도 지수가 상기 특정 규준(γ)을 초과하지 않으면, 레벨 결정부(1512)는 해당 지역의 예·경보 레벨을 정상으로 그대로 유지하는 것으로 결정할 수 있다.

[0133] 1720 단계에서, 레벨 결정부(1512)는 예·경보 레벨이 관심인 지역들을 대상으로, 레벨을 주의 또는 경계로 격상할지 여부를 결정할 수 있다. 즉, 레벨 결정부(1512)는 예·경보 레벨이 관심인 지역들을 대상으로, 물리적인 근거에 기반하여 어느 지점이 잠재적인 산사태 발성 가능성이 높은지 그리고 토석류로 전이될 가능성이 높은지 여부를 결정할 수 있으며, 이것이 두 번째 의사결정 단계에 해당할 수 있다.

[0134] 이때, 레벨 결정부(1512)는 '침투기반 사면안정 규준'에 기초하여 잠재적인 산사태 발생 위험이 존재하는 지역을 결정할 수 있다. 즉, '광역적 불포화 침투 및 사면안정 해석 모델'의 해석 결과에 기초하여 잠재적으로 산사태 발생 가능성이 높은 것으로 계측되는 지역이 결정될 수 있다.

[0135] 일례로, 사면 안전율은 아래의 수학식 1에 따른 무한사면 정의에 기초하여 계산될 수 있다.

수학식 1

[0136]
$$FOS = \frac{\tan\phi'}{\tan\beta} + \frac{c - \sigma^{s}\tan\phi'}{z_{w}(r \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta)}$$

[0137] 수학식 1에서, 내부마찰각(ϕ), 점착력(c), 사면경사(β)와 같은 정보(값)은 도 22와 같이 GIS 지오데이터베이스들로부터 획득될 수 있으며, 흡수응력(σ^{s}), 파괴깊이(Z_w), 습윤단위중량(γ) 정보(값)는 강우특성(즉, 강우강도 및 지속시간)에 따른 침투해석 결과에 기초하여 계산될 수 있다. 예컨대, 도 23은 10㎜/hr 강우강도, 33시간 강우지속 시간일 때의 침투해석결과를 바탕으로 흡수응력(σ^{s}), 파괴깊이(Z_w), 습윤단위중량(γ) 값을 결정하고 5m×5m 크기의 셀 별로 사면안전율 계산을 수행하여 부산 전역에 대한 해석결과 맵을 제작한 결과를 나타낼 수 있다.

[0138] 이처럼, 수학식 1에 기초하여 계산된 사면 안전율이 기정의된 사면안정 규준(예컨대, 1.3) 이하이면, 즉 해당 산지 지역이 침투기반 사면안정 규준을 초과하면, 레벨 결정부(1512)는 해당 지역의 예·경보 레벨을 '관심'에서 한 단계 격상한 '주의' 레벨로 결정할 수 있다. 이때, 사면 안전율이 1.3 이하인 지역들 중에서 해당 지역의 토석류 전이 값이 기정의된 토석류 전이 규준을 초과하는 경우, 레벨 결정부(1512)는 해당 지역의 예·경보 레벨을 '주의'에서 한 단계 격상한 '경계' 레벨로 결정할 수 있다.

[0139] '주의' 레벨은 강우예보 취소 도는 강우 종료 24시간 이후 '관심' 또는 '정상' 레벨로 단계적으로 하향 결정될 수 있다.

[0140] 2000년대 들어 증가하는 극한강우 특성에 의해 산지 사면의 단순파괴보다는 토석류에 의한 인적, 물적 재산 피해 규모가 더욱 커짐을 감안했을 때, 잠재적 산사태 발생 위험 지역들 중 토석류로 발전할 수 있는 영역들을 더욱 관리해야 할 필요성이 존재한다. 이에 따라, 1730 단계(즉, 마지막 의사 결정 단계)에서, 실시간 강우량 정보에 기초하여 '경계' 레벨까지 격상된 산지 지역들 만을 대상으로, 레벨 결정부(1512)는 레벨을 심각으로 한 단계 격상할 지역을 결정할 수 있다. 즉, 레벨 결정부(1512)는 토석류가 발생했을 때 해당 지역의 유역 하부에 발생 가능한 피해규모를 산정하여 피해규모가 일정 수준 이상인 유역들을 판단할 수 있다.

[0141] 이때, 레벨 결정부(1512)는 잠재적 토석류 대규모 피해 예상 유역은 '토석류 리스크 지수'를 사용하여 판별할 수 있으며, 토석류 리스크 지수는 '토석류 거동 연계 해석 모델'을 통해 도출된 속도 및 두께 등의 거동 정보를 기반으로 '토석류 리스크 정량적 평가 기법'에 기초하여 계산될 수 있다. 예컨대, 거동 정보를 활용한 토석류 리스크 정량적 평가 기법에 기초하여 각각의 토석류 영향 범위 구역 별로 토석류 리스크 지수에 해당하는 값이 계산될 수 있다. 그리고, 레벨 결정부(1512)는 각 지역 별로 계산된 토석류 리스크 지수 f가 대규모 피해를 구분하기 위해 기정의된 특정 규준(δ)을 초과하는지 여부에 기초하여 해당 지역의 예경보 레벨을 경계로 유지하거나 또는 경계에서 심각으로 격상 결정할 수 있다.

[0142] 예컨대, 해당 지역의 토석류 리스크 지수 f가 기정의된 특정 규준 (?)을 초과하는 경우, 레벨 결정부(1512)는 해당 지역의 예경보 레벨을 '심각'으로 격상 결정할 수 있다. 그리고, 상기 토석류 리스크 지수가 상기 특정 규준(δ)을 초과하지 않는 경우, 레벨 결정부(1512)는 해당 지역의 예경보 레벨을 '경계'로 그대로 유지할 수 있다.

[0143] 한 편, 도 17에서, 1720 및 1730 단계에서, 예·경보 레벨을 결정하기 위해 이용되는 '광역적 불포화 침투 및 사면안정 해석 모델', '토석류 거동 연계해석 모델', 그리고 '토석류 리스크 정량적 평가 기법'으로 이어지는 일련의 연계해석은 광역 지역(예컨대, 부산 전역 산지, 서울 전역 산지, 대구 전역 산지 등)을 대상으로 실제 한 번의 해석을 위해 몇 가지 공학적 판단에 의한 설정들과 컴퓨터 성능의 한계로 인한 일정 시간을 필요로 하기 때문에, 실시간으로 변하는 실제 강우에 맞춰 계속적으로 짧은 시간 간격으로 해석을 반복하여 결과들을 실시간에 가깝게 업데이트되는 데에 어려움이 존재할 수 있다. 이에 따라, 본 산사태 예보 및 경보 시스템은 미래에 발생 가능한 다양한 산사태 유발 강우 특성(강우강도, 지속시간)들에 따라 산사태 발생 시점부터 토석류

리스크 단계에 이르기까지의 일련의 연계해석들을 사전에 수행하여 최종 해석 결과 지도들을 축적시킨 후, 현시점에서 관측되는 강우와 가장 유사하며 보수적인 특정 강우 특성에 대응하는 최종 해석 결과 지도를 출력하는 방식으로 운영될 수도 있다. 즉, 현시점에 관측되는 강우의 특성에 따라 '주의', '경계', ' 심각' 레벨에 해당하는 산지 지역들의 분포가 한 번에 표시된 결과 지도들이 사용자 단말에 즉시 출력될 수 있고, 업데이트될 수 있다.

[0144] 그리고, 현장 계측 장비가 설치된 사면들에서는, 해당 사면을 포함하는 지역의 예·경보 레벨이 '관심'으로 격상되었을 때부터 모니터링 장비 및 데이터 수집이 활성화되어 '모니터링 기반 사면안정 규준'을 사용한 별도의 예·경보 레벨 결정 흐름을 가질 수 있다. 예컨대, 포화 깊이비, 흡입응력 규준들 중 1개 규준이 초과되는 경우 '주의', 2개 규준들 모두 초과되는 경우 '경계'로 격상될 수 있으며, 사면의 자체 강우량계에서 관측되는 현시점의 강우량에 해당되는 토사 리스크 지수(f)에 따라 가장 높은 단계인 '심각'으로 격상될 수 있다.

[0145] 도 19는 본 발명의 일실시예에 있어서, 예측 강우 자료가 사용자 단말에 제공되는 화면의 예를 도시한 도면이다.

[0146] 도 19과 같이, 전국지도는 147×251 개의 격자 수로 나누어 격자 단위 구역 별로 예측된 강우 자료 정보를 제공할 수 있다. 예컨대, 격자 단위 별로 해당하는 산지 지역에 대해 예측된 예경보 레벨에 해당하는 색상을 지도상에 표시(1910)하여 제공할 수 있다. 이때, 현시점부터 3~4시간 이후까지는 1시간 강수량 형태로, 그 이후부터 2일 후 자정까지는 6시간 강수량 형태로 제공될 수 있다.

[0148] 도 20은 특정 지역에 분포한 AWS를 중심으로 한 티센망(Thiessen Network)을 도시한 도면이다.

[0149] 도 20을 참고하면, 실시간 예보 및 경보 시스템을 운영하기 위한 테스트 베드(test-bed)인 A 지역(예컨대, 서울시, 부산시, 대구광역시 등)에는 총 14개의 기상청 무인자동기상관측장비(AWS)가 설치될 수 있으며, AWS 설치 지점을 중심으로 티센망(Thiessen Network)이 도 19와 같이 구축될 수 있다. 구축된 각 티센 영역 별로 해당 AWS에서 관측되는 현 시점의 강우량 정보가 수신될 수 있다. 이외에, 관악산, 북한산 등의 현장에 설치된 자체 강우량계에서 계측되는 현시점의 강우량 정보가 수신되어 실시간으로 예경보 레벨을 결정하기 위해 이용될 수 있다.

[0150] 그리고, 도 21과 같이, 산사태 예보 및 경보 시스템(1500)은 광역시 전역을 포함할 수 있는 광역 범위의 시스템인 동시에 한편으로는 광역 범위 내 임의의 단일 사면 또는 국부적인 현장에서의 잠재적으로 발생 가능한 산사태와 이로 인한 피해 규모에 대한 정량적인 예측정보를 제공할 수 있다.

[0151] 본 발명의 실시예에 따른 방법들은 다양한 컴퓨터 시스템을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령(instruction) 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다.

[0152] 본 실시예에 따른 프로그램은 PC 기반의 프로그램 또는 모바일 단말 전용의 어플리케이션으로 구성될 수 있다. 본 실시예에서의 서비스 전용 어플리케이션은 독립적으로 동작하는 프로그램 형태로 구현되거나, 혹은 특정 어플리케이션의 인-앱(in-app) 형태로 구성되어 상기 특정 어플리케이션 상에서 동작이 가능하도록 구현될 수 있다.

[0153] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPA(field programmable 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.

[0154] 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.

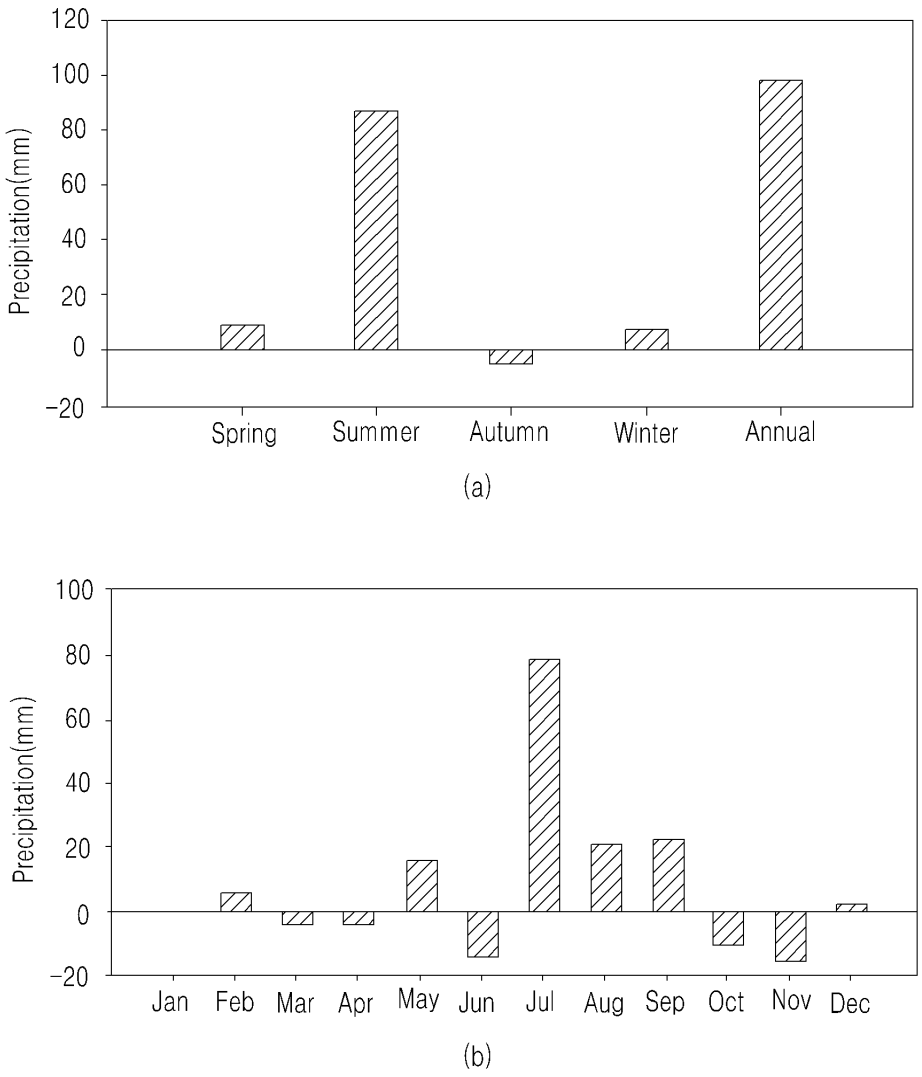
[0155] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic 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.

[0156] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 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.

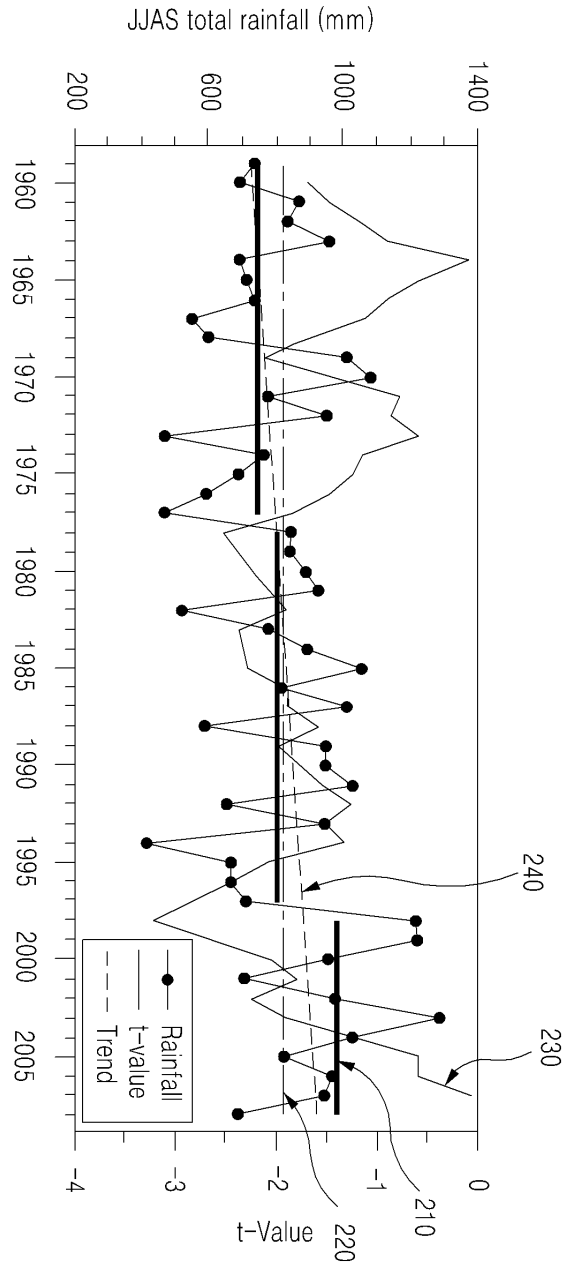
[0157] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

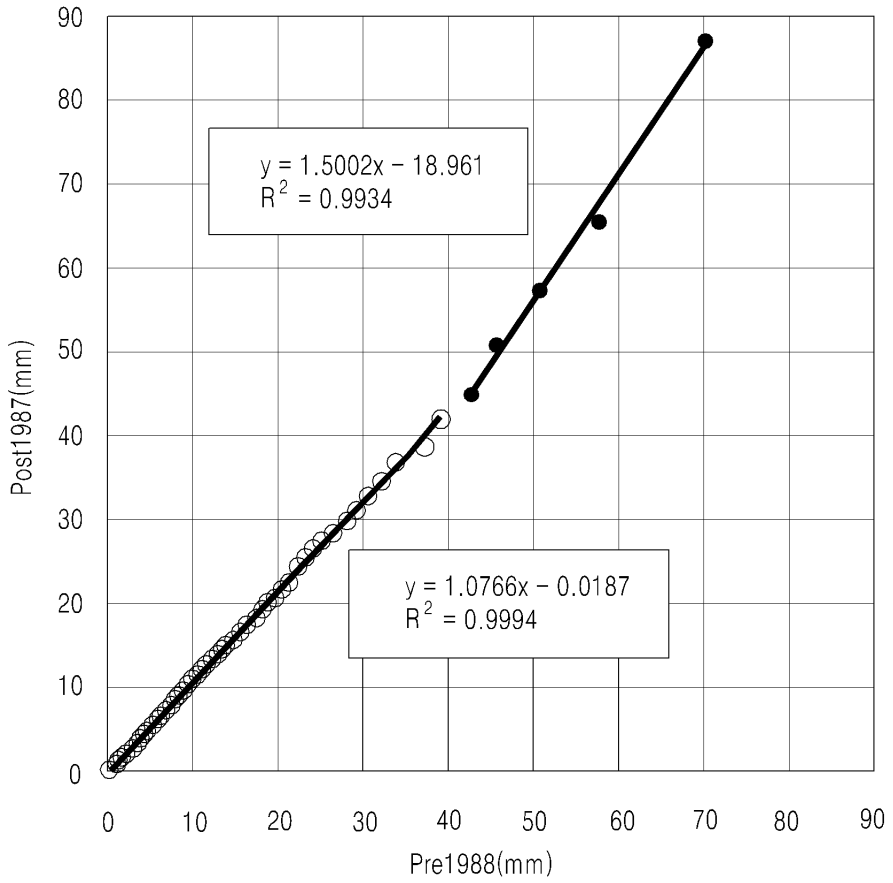
도면1


120
100
80
60
40
20
0
-20
Precipitation(mm)
Spring
Summer
Autumn
Winter
Annual
(a)
100
80
60
40
20
0
-20
Precipitation(mm)
Jan
Feb
Mar
Apr
May
Jun
Jul
Aug
Sep
Oct
Nov
Dec
(b)

도면2


JJAS total rainfall (mm)
200
600
1000
1400
1960
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005
Rainfall
t-value
Trend
-4
-3
-2
-1
0
t-Value
210
220
230
240

도면3



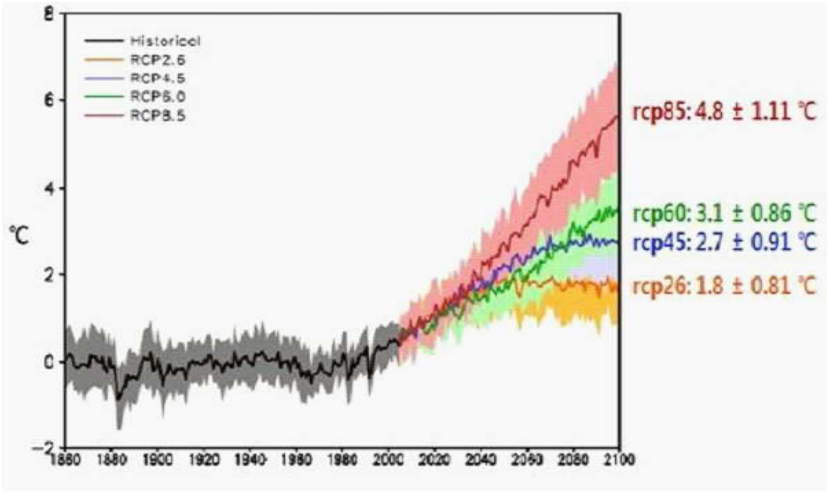
도면4



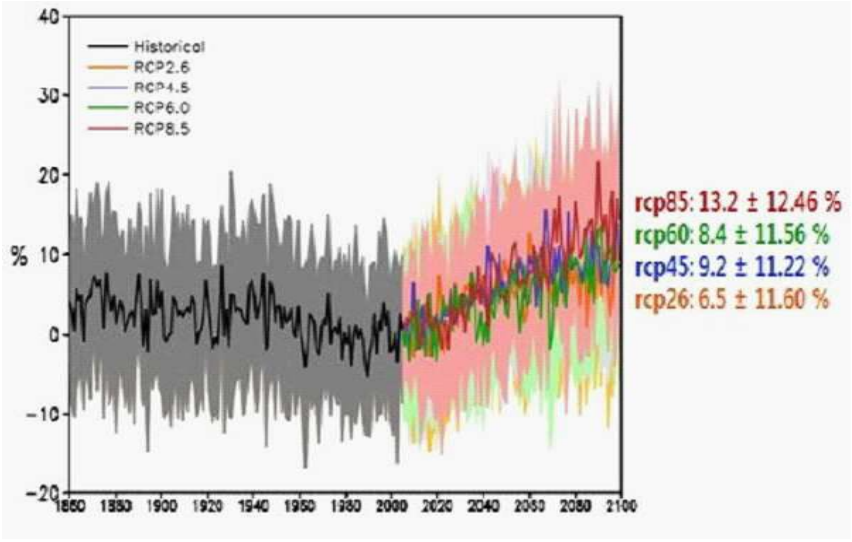
(a)

시나리오		A1B (1차 보고서)	한반도 기후변화 보고서 (기상청, 2012)	
			RCP4.5	RCP8.5
분석시기		전 지구 : (1980-1999년) 대비 (2080-2099년) 한반도 : (1971-2000년) 대비 (2071-2100년)	(1981년-2010년) 대비 (2071-2100년)	
전 지구	기온	1.8~3.0℃ 증가	2.5℃ 증가	4.6℃ 증가
	강수	2.3~3.0% 증가	4.1% 증가	5.9% 증가
한반도	기온	4℃ 증가	3℃ 증가	5.7℃ 증가
	강수	17% 증가	16% 증가	17.6% 증가

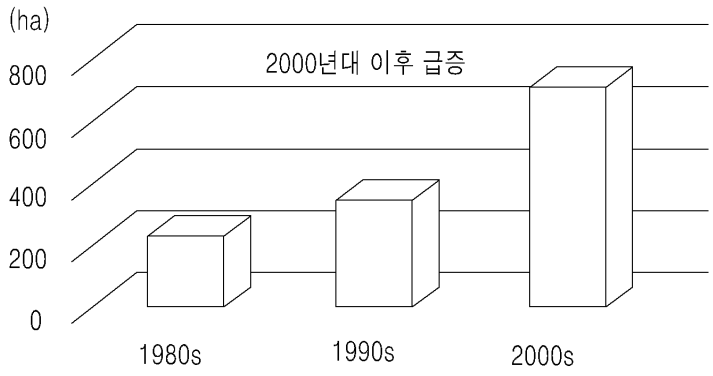
도면5a



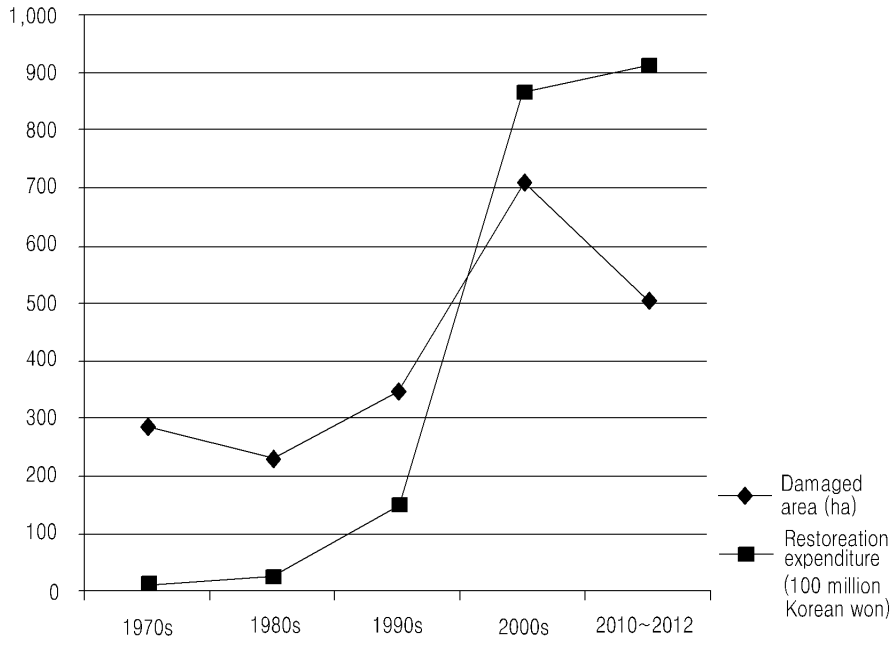
도면5b



도면6



도면7


1,000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
1970s
1980s
1990s
2000s
2010~2012
Damaged area (ha)
Restoreation expenditure (100 million Korean won)

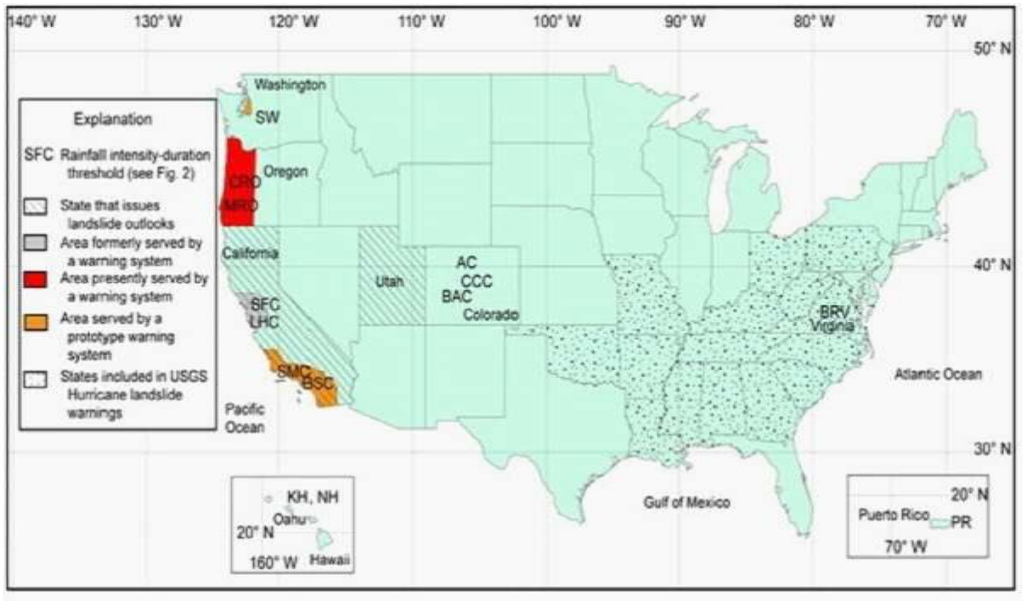
도면8


広域地盤モデル解析によるハザードマップ
どのくらい危険？
地形・地質・水理地盤モデル
降雨・地震を考慮
詳細地盤モデル解析によるハザードマップ
どのくらい危険？
地盤モデル解析によるハザードマップと
監視センサーによる警戒情報
いつ危険？
急傾斜地危険箇所
地すべり地形分布
多くの危険箇所
雨の時、地震の時
どのくらい・いつ危険？
(a)
(b)

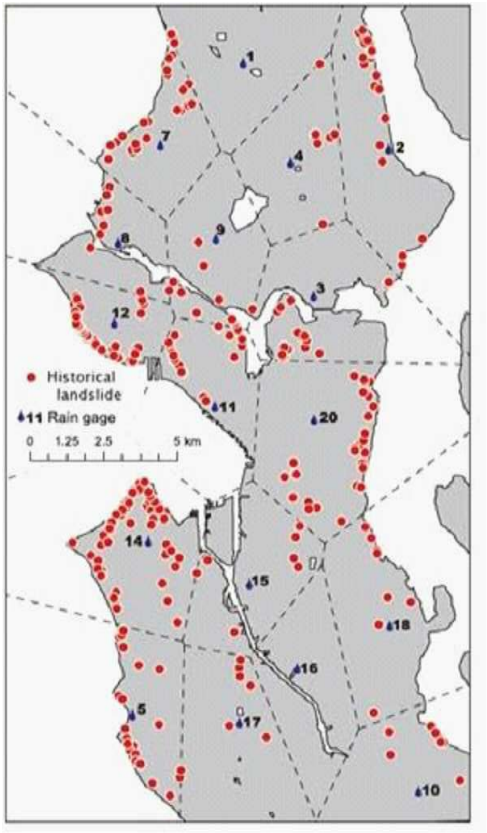
도면9


Franco
Suisse
Svizzera
Hrvatska
(Croatia)
Bosna i
Hercegovina
(Bosnia and
Herzegovina)
Magyarország
(Hungary)
Србија
(Serbia)
Shqipëria
(Albania)

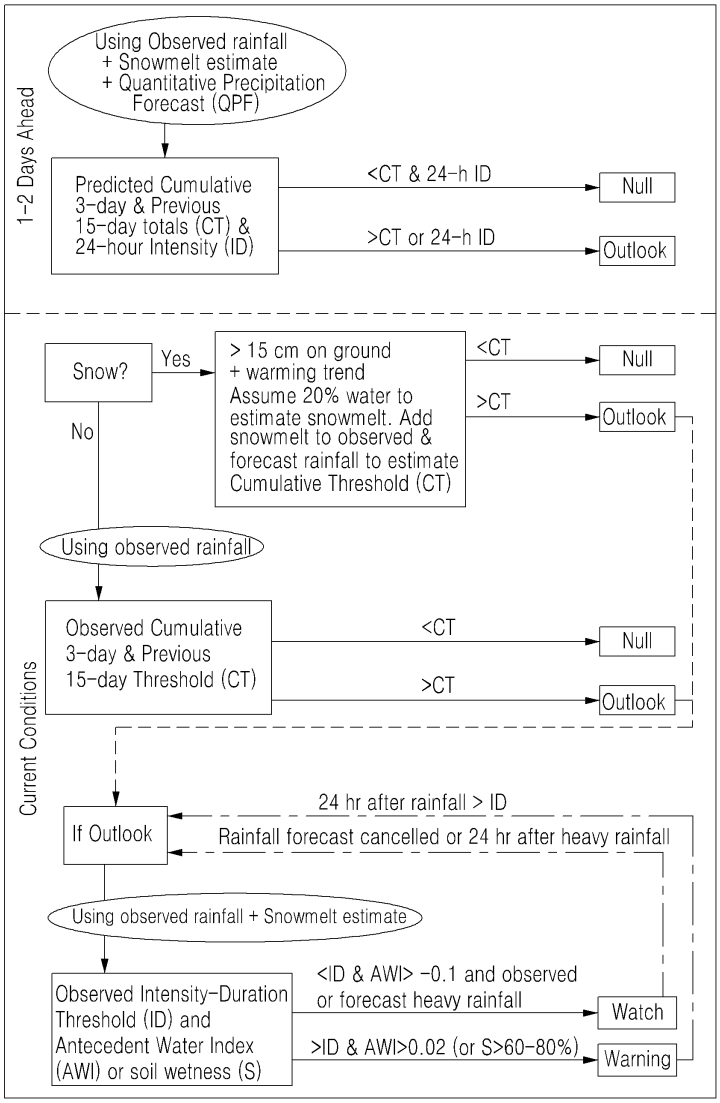
도면10


140° W
130° W
120° W
110° W
100° W
90° W
80° W
70° W
50° N
40° N
30° N
Explanation
SFC Rainfall intensity-duration threshold (see Fig. 2)
State that issues landslide outlooks
Area formerly served by a warning system
Area presently served by a warning system
Area served by a prototype warning system
States included in USGS Hurricane landslide warnings
Washington
SW
Oregon
CRO
MRO
California
Utah
AC
CCC
BAC
Colorado
SFC
LHC
SMC
BSC
Pacific Ocean
BRV
Virginia
Atlantic Ocean
Gulf of Mexico
KH, NH
Oahu
20° N
160° W
Hawaii
20° N
Puerto Rico
PR
70° W

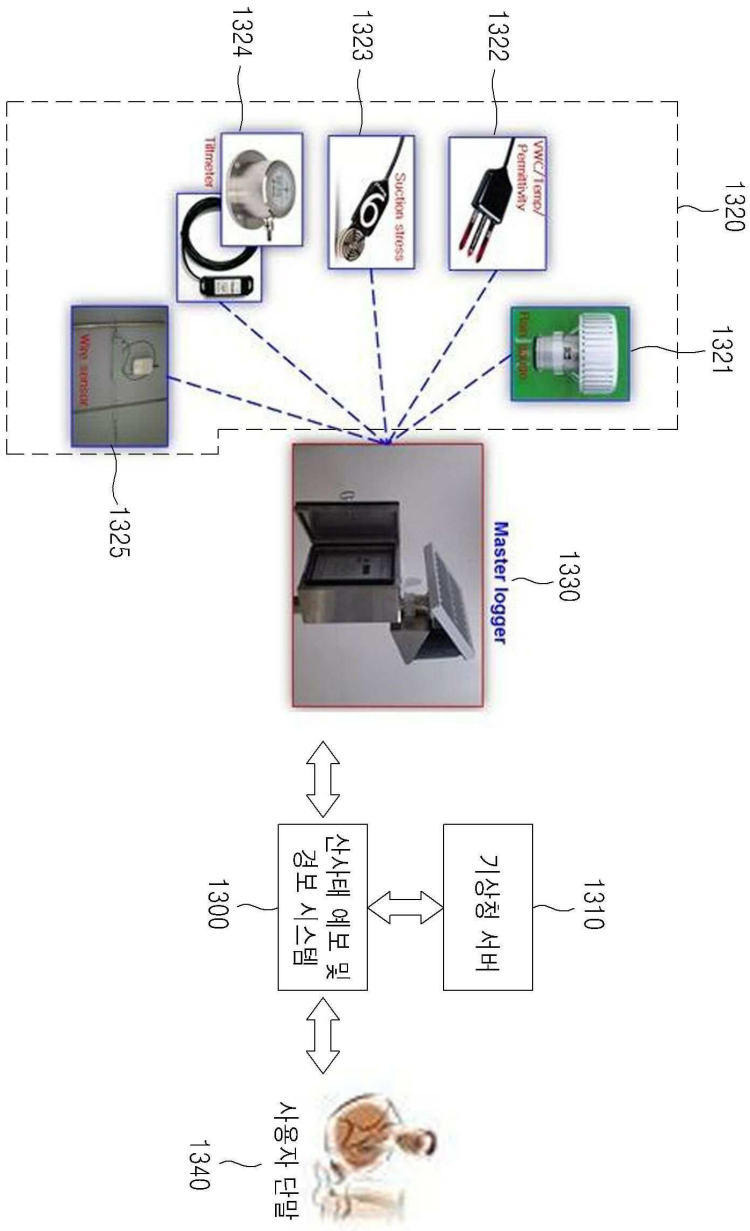
도면11


Historical landslide
11 Rain gage
0 1.25 2.5 5 km
1
2
3
4
5
7
8
9
10
11
12
14
15
16
17
18
20

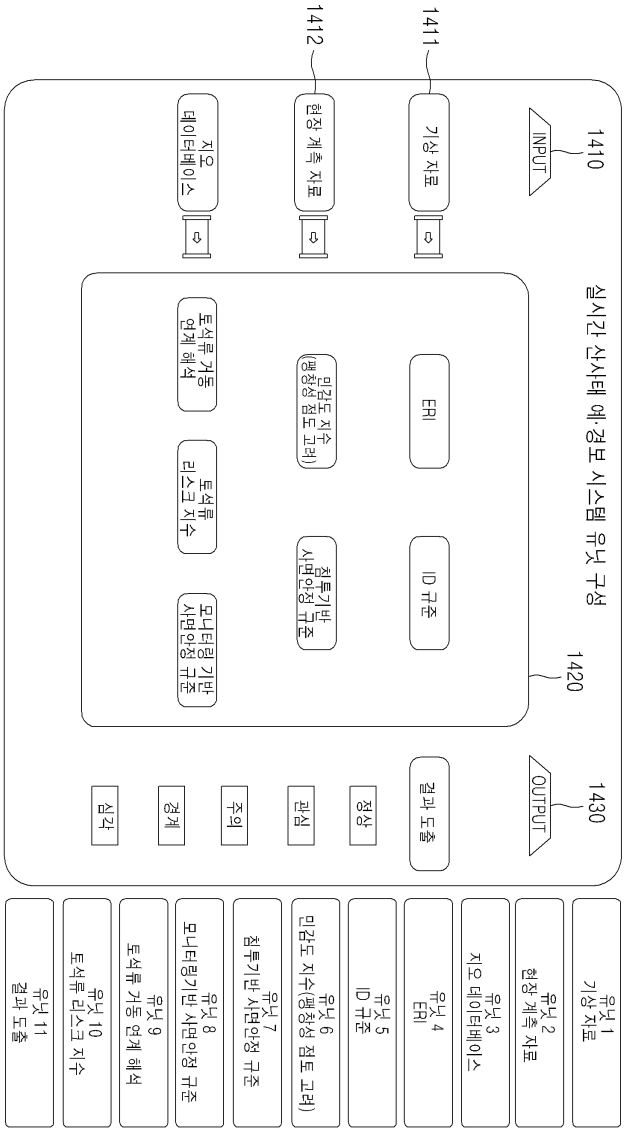
도면12


1-2 Days Ahead
Using Observed rainfall
+ Snowmelt estimate
+ Quantitative Precipitation
Forecast (QPF)
Predicted Cumulative
3-day & Previous
15-day totals (CT) &
24-hour Intensity (ID)
<CT & 24-h ID
Null
>CT or 24-h ID
Outlook
Current Conditions
Snow?
Yes
No
> 15 cm on ground
+ warming trend
Assume 20% water to
estimate snowmelt. Add
snowmelt to observed &
forecast rainfall to estimate
Cumulative Threshold (CT)
<CT
Null
>CT
Outlook
Using observed rainfall
Observed Cumulative
3-day & Previous
15-day Threshold (CT)
<CT
Null
>CT
Outlook
24 hr after rainfall > ID
If Outlook
Rainfall forecast cancelled or 24 hr after heavy rainfall
Using observed rainfall + Snowmelt estimate
Observed Intensity-Duration
Threshold (ID) and
Antecedent Water Index
(AWI) or soil wetness (S)
<ID & AWI> -0.1 and observed
or forecast heavy rainfall
Watch
>ID & AWI>0.02 (or S>60-80%)
Warning

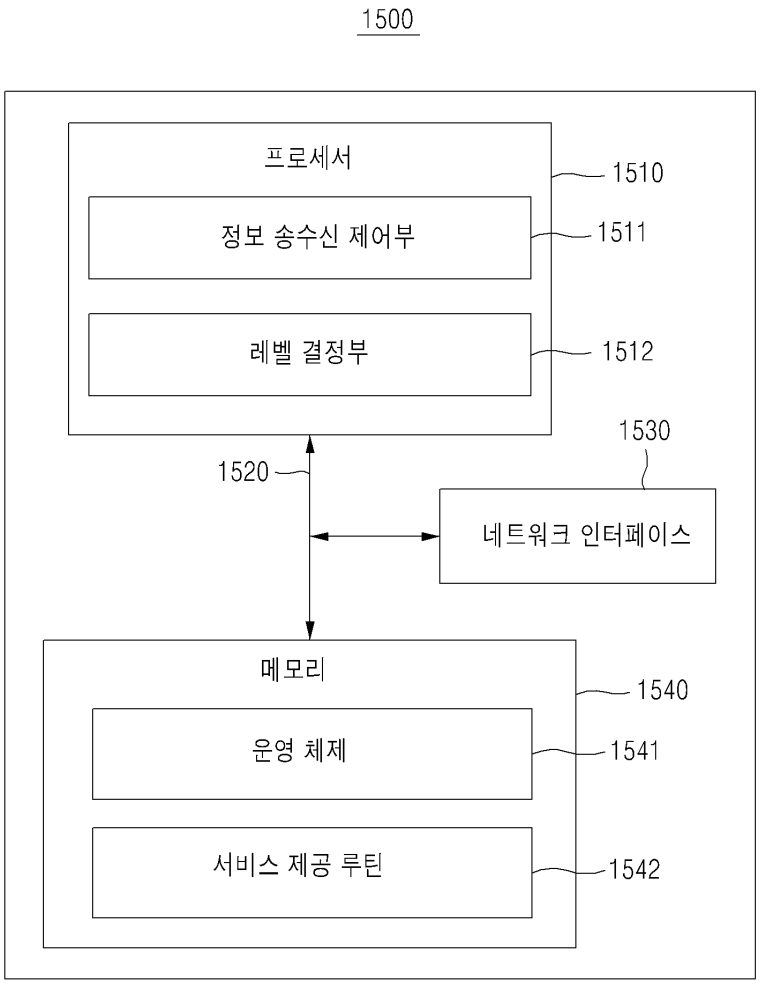
도면13


1324
1323
1322
1320
1321
1325
1330
Master logger
1300
산사태 예보 및 경보 시스템
1310
기상청 서버
1340
사용자 단말

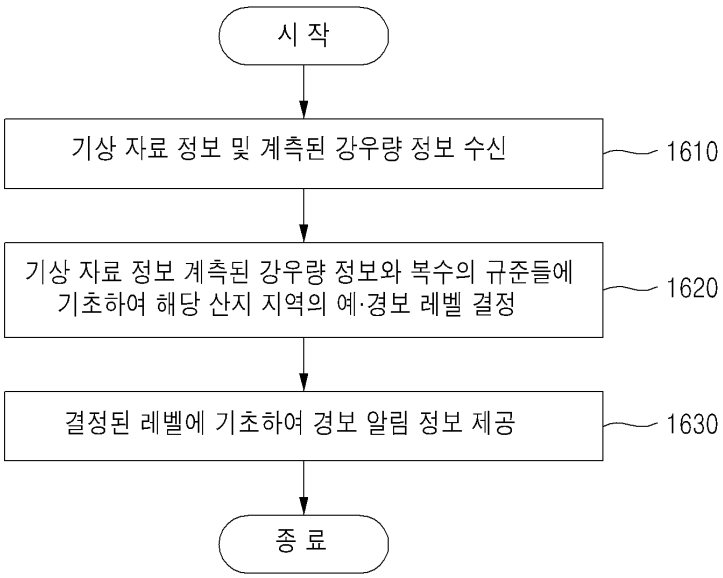
도면14


1410
INPUT
기상 자료
현장 계측 자료
지오 데이터베이스
1411
1412
실시간 산사태 예·경보 시스템 유닛 구성
1420
ERI
ID 규준
밀감도 지수 (평창 점도 고려)
침투기반 사면안정 규준
모니터링 기반 사면안정 규준
토석류 거동 연계 해석
토석류 리스크 지수
1430
OUTPUT
결과 도출
정상
관심
주의
경계
심각
유닛 1 기상 자료
유닛 2 현장 계측 자료
유닛 3 지오 데이터베이스
유닛 4 ERI
유닛 5 ID 규준
유닛 6 밀감도 지수(평창성 점도 고려)
유닛 7 침투기반 사면안정 규준
유닛 8 모니터링기반 사면안정 규준
유닛 9 토석류 거동 연계 해석
유닛 10 토석류 리스크 지수
유닛 11 결과 도출

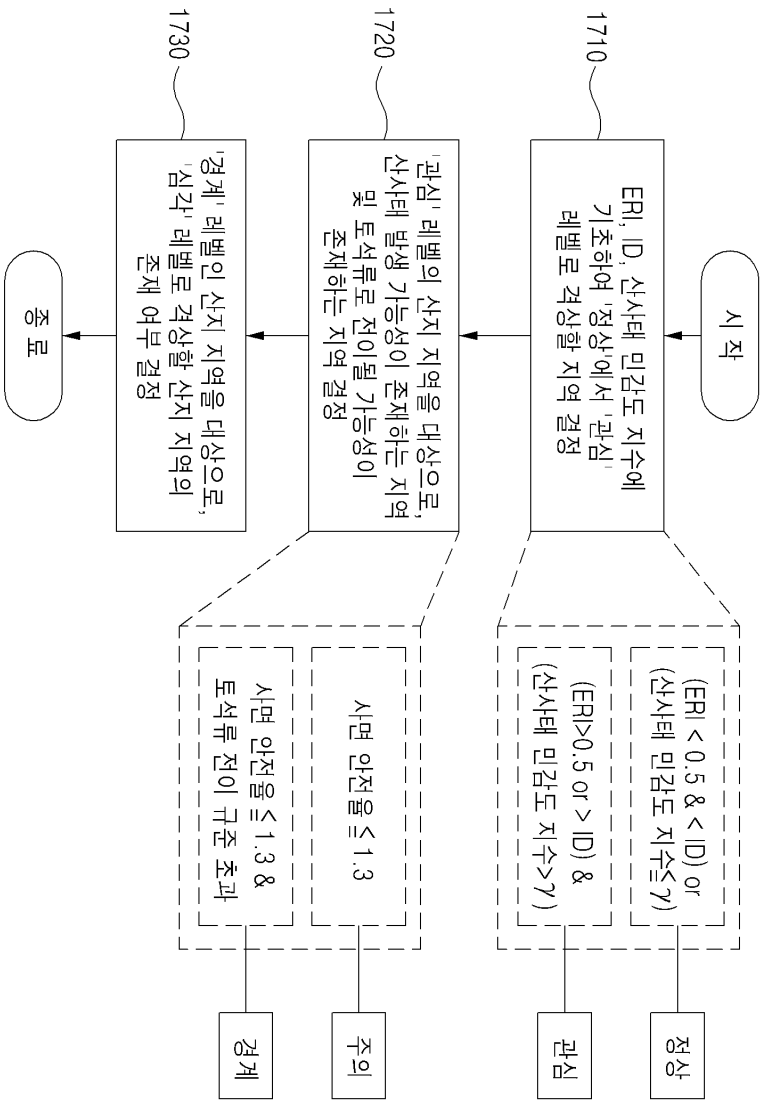
도면15


1500
프로세서
1510
정보 송수신 제어부
1511
레벨 결정부
1512
1530
1520
네트워크 인터페이스
메모리
1540
운영 체제
1541
서비스 제공 루틴
1542

도면16


시 작
기상 자료 정보 및 계측된 강우량 정보 수신
1610
기상 자료 정보 계측된 강우량 정보와 복수의 규준들에 기초하여 해당 산지 지역의 예·경보 레벨 결정
1620
결정된 레벨에 기초하여 경보 알림 정보 제공
1630
종 료

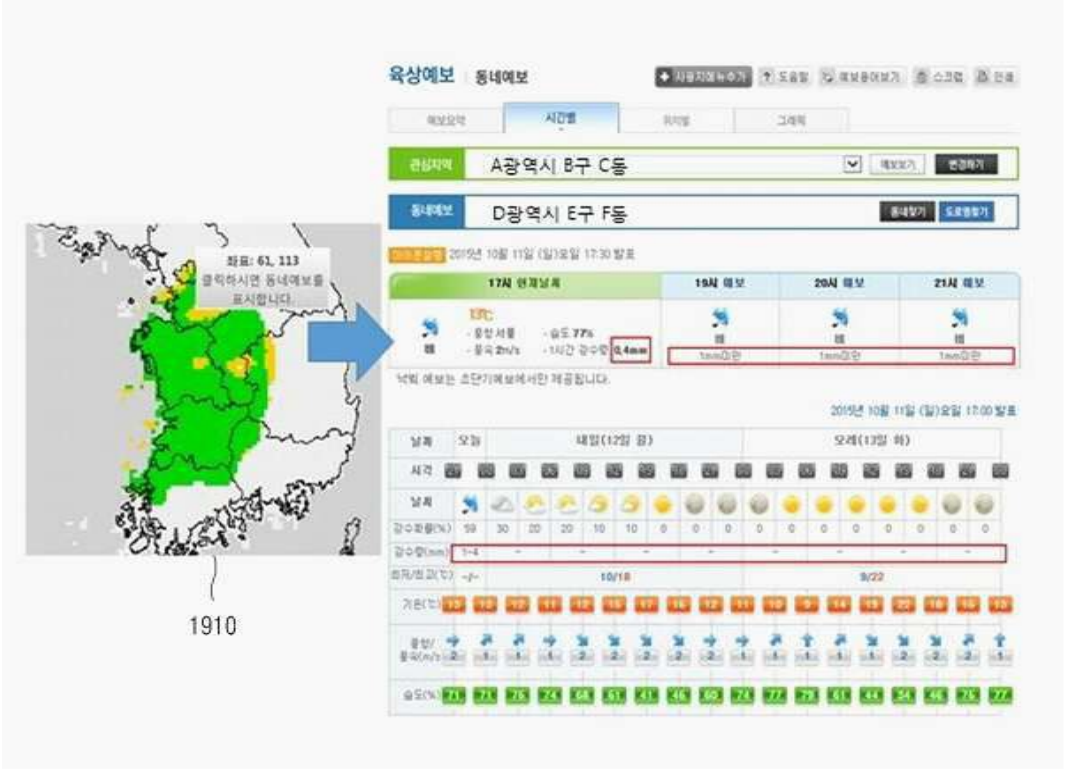
도면17


시 작
1710
ERI, ID, 산사태 민감도 지수에
기초하여 '정상'에서 '관심'
레벨로 격상할 지역 결정
1720
'관심' 레벨의 산지 지역을 대상으로,
산사태 발생 가능성이 존재하는 지역
및 토석류로 전이될 가능성이
존재하는 지역 결정
1730
'경계' 레벨인 산지 지역을 대상으로,
'심각' 레벨로 격상할 산지 지역의
존재 여부 결정
종 료
(ERI < 0.5 & < ID) or
(산사태 민감도 지수≤γ)
(ERI>0.5 or > ID) &
(산사태 민감도 지수>γ)
사면 안전율≤1.3
사면 안전율≤1.3 &
토석류 전이 규준 초과
정상
관심
주의
경계

도면18


1810
토석류 전이규준
전이규준 적용을 통한
토석류 발생지점 예측
1820
광역적 토석류 흐름 분석
Flow-R을 통한 토석류
영향 경로 및 범위 해석
1830
토석류 거동 정량적 해석
Expected Volume
3500
Expected Velocity
12 m/s
Expected Time
DAN3D를 통한 예측해석을 위한
주요 입력변수 산정기술 활용

도면19


육상예보
동네예보
A광역시 B구 C동
D광역시 E구 F동
1910

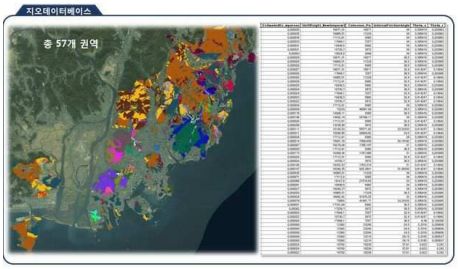
도면20


기상청 AWS 설치 지점
AWS기점 티센망

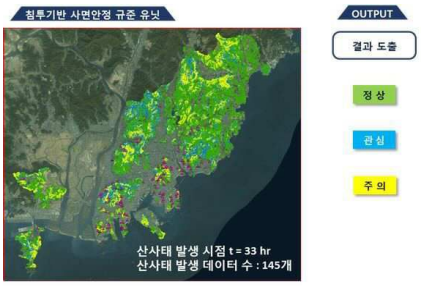
도면21


A광역시
산사태 예 · 경보 시스템
1-2일 예보
연 시점 예 · 경보
MENU
Map
기상 정보
시뮬레이션 정보
특별관리대상지역

도면22



도면23



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 7

【변경전】

상기 예경보 레벨을 복수의 레벨들 중 최고 레벨로 결정하는 단계는,

【변경후】

상기 예경보 레벨을 복수의 레벨들 중 최상위 레벨로 결정하는 단계는,