



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년08월12일
(11) 등록번호 10-2143805
(24) 등록일자 2020년08월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/08 (2012.01) G06Q 10/04 (2012.01)
G06Q 50/26 (2012.01)
(52) CPC특허분류
G06Q 50/08 (2013.01)
G06Q 10/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0161086
(22) 출원일자 2018년12월13일
심사청구일자 2018년12월13일
(65) 공개번호 10-2020-0072944
(43) 공개일자 2020년06월23일
(56) 선행기술조사문헌
KR101880548 B1*
KR1020160035671 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
경남대학교 산학협력단
경상남도 창원시 마산합포구 경남대학로 7 (월영동, 경남대학교 내)
(72) 발명자
김승억
서울특별시 광진구 능동로 209 세종대학교 총무관 713호
김정중
경상남도 창원시 마산회원구 양덕로 120 금천빌딩 609호
(74) 대리인
특허법인(유)화우

전체 청구항 수 : 총 2 항

심사관 : 육성원

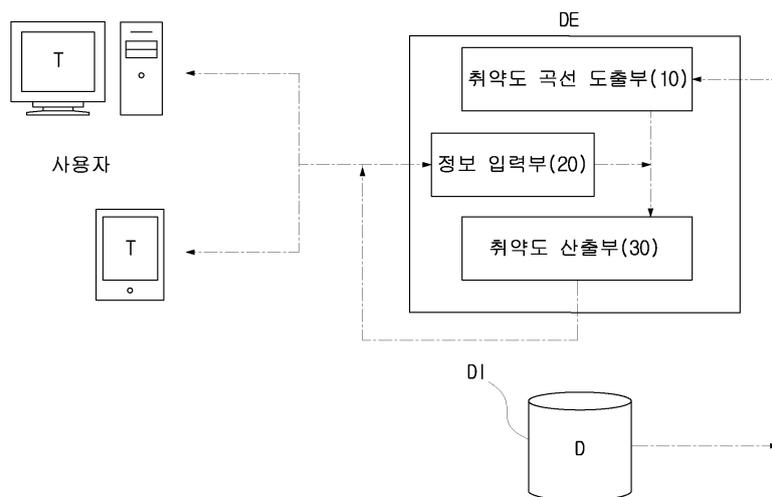
(54) 발명의 명칭 재난에 의한 구조물의 취약도 예측 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 재난에 의한 구조물의 취약도 예측 장치 및 방법에 관한 것이다.

이를 위하여 본 발명은 과거에 발생된 복수의 재난에 대하여 각각의 재난 크기와 상기 재난에 따른 각 구조물 손상도를 포함하는 재난 정보가 저장된 데이터베이스를 활용하여 특정 재난의 발생시 예측되는 특정 구조물의 취약도를 결정하는 장치에 있어서, 상기 데이터베이스의 재난 정보를 이용하여 재난 크기와 구조물 손상도에 대하여 구간별로 취약도 곡선을 도출하는 취약도 곡선 도출부; 예측하고자 하는 특정 재난 크기와 특정 구조물에 대한 정보를 입력하는 정보 입력부; 및 도출된 취약도 곡선에 기반하여 입력된 특정 재난 크기와 특정 구조물의 정보를 바탕으로 예측되는 취약도를 산출하는 취약도 산출부;를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류
G06Q 50/26 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1615009745
부처명	국토교통부
연구관리전문기관	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	국토교통기술촉진연구
연구과제명	나노압입을 이용한 강구조의 변형률 속도효과 분석 및 지진 취약도 진단기법 개발 연구
기여율	1/1
주관기관	세종대학교산학협력단
연구기간	2018.01.01 ~ 2018.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

과거에 발생된 복수의 재난에 대하여 각각의 재난 크기와 상기 재난에 따른 각 구조물 손상도를 포함하는 재난 정보(DI)가 저장된 데이터베이스(D)를 활용하여 특정 재난의 발생시 예측되는 특정 구조물의 취약도를 결정하는 장치(DE)에 있어서,

상기 데이터베이스(D)의 재난 정보(DI)를 이용하여 재난 크기에 대한 구간별로 구조물 손상도(“없음(None)”, “약함(Slight)”, “중간(Moderate)”, “심함(Extensive)”, “붕괴(Collapse)”를 포함)에 근거한 구간별 신뢰도(Degree of Belief, m)를 0 과 1 사이의 값으로 부여하되, 재난 크기에 대한 하나의 구간에 포함되는 구조물 손상도의 구간별 신뢰도의 합은 1이 되도록 산출하는 신뢰도 산출모듈(11); 산출된 신뢰도를 이용하여 재난 크기에 대한 구간별로 구조물 손상도에 대한 구간별 가능도(Possibility, π)를 0 과 1 사이의 값으로 산출하는 가능도 산출모듈(12); 산출된 가능도를 이용하여 재난의 크기에 대한 구간별로 구조물 손상도에 근거한 구간별 확실률(Certainty)를 0 과 1 사이의 값으로 산출하는 확실률 산출모듈(13); 및 산출된 확실률에 근거하여 재난 크기와 구조물 손상도에 대하여 구간별로 취약도 곡선을 도출하는 취약도 도출모듈(14);을 포함하는 취약도 곡선 도출부(10);

예측하고자 하는 특정 재난 크기와 특정 구조물에 대한 정보를 입력하는 정보 입력부(20); 및

도출된 취약도 곡선에 기반하여 입력된 특정 재난 크기와 특정 구조물의 정보를 바탕으로 예측되는 취약도를 산출하는 취약도 산출부(30);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 재난에 의한 구조물의 취약도 예측 장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

과거에 발생된 복수의 재난에 대하여 각각의 재난 크기와 상기 재난에 따른 각 구조물 손상도를 포함하는 재난 정보(DI)가 저장된 데이터베이스(D)를 활용하여 특정 재난의 발생시 예측되는 특정 구조물의 취약도를 결정하는 방법(ME)에 있어서,

취약도 곡선 도출부(10)가 상기 데이터베이스(D)의 재난 정보(DI)를 이용하여 재난 크기와 구조물 손상도(“없음(None)”, “약함(Slight)”, “중간(Moderate)”, “심함(Extensive)”, “붕괴(Collapse)”를 포함)에 근거한 구간별 신뢰도(Degree of Belief, m)를 0 과 1 사이의 값으로 부여하되, 재난 크기에 대한 하나의 구간에 포함되는 구조물 손상도의 구간별 신뢰도의 합은 1이 되도록 산출하는 신뢰도 산출단계(S11); 취약도 곡선 도출

부(10)가 산출한 신뢰도를 이용하여 재난 크기에 대한 구간별로 구조물 손상도에 대한 구간별 가능성도(Possibility, π)를 0 과 1 사이의 값으로 산출하는 가능성도 산출단계(S12); 취약도 곡선 도출부(10)가 산출한 가능성도를 이용하여 재난의 크기에 대한 구간별로 구조물 손상도에 근거한 구간별 확실률(Certainty)을 0 과 1 사이의 값으로 산출하는 확실률 산출단계(S13); 및 취약도 곡선 도출부(10)가 산출한 확실률에 근거하여 재난 크기와 구조물 손상도에 대하여 구간별로 취약도 곡선을 도출하는 취약도 도출단계(S14);를 포함하는 취약도 곡선 도출단계(S10); 및

취약도 산출부(30)가 도출된 취약도 곡선에 기반하여 정보 입력부(20)를 통해 입력된 특정 재난 크기와 특정 구조물의 정보를 바탕으로 예측되는 취약도를 산출하는 취약도 산출단계(S20);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 재난에 의한 구조물의 취약도 예측방법.

청구항 8

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 재난에 의한 구조물의 취약도 예측 장치 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 데이터베이스의 재난 정보를 이용하여 재난 크기와 구조물 손상도에 대하여 구간별로 취약도 곡선을 도출하고, 도출된 취약도 곡선에 기반하여 입력된 특정 재난 크기와 특정 구조물의 정보를 바탕으로 예측되는 취약도를 산출하는 재난에 의한 구조물의 취약도 예측 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 재난 중에서 자연현상으로 인하여 피해가 발생하거나 예상되는 경우를 자연재난이라 하며, 사회 시설물에 영향을 주는 재난으로는 태풍, 홍수, 해일, 지진 등이 있다. 다양한 분야에서 재난의 크기에 따른 시설물의 피해(재해)에 대하여 사전에 예측하기 위한 다양한 방법론이 제안되고 있다.

[0003] 그 중에서 취약도 곡선은 재난의 크기에 따른 피해에 대하여 통상적인 피해정도를 예측하기 위하여 기존의 피해 정보를 바탕으로 도출된 곡선이며, 이러한 취약도 곡선은 특히 지진 공학분야에서 지진의 규모에 따른 구조물의 손상정도를 산정하기 위하여 많이 활용되고 있다.

[0004] 한편, 전통적인 확률 이론은 구조 공학의 불확실성을 모델링하는데 활용되었으며, 특히 구조적 안전성에 대한 신뢰도를 다루기 위하여 사용되었다. 그러나, 확률 이론에서 다루어지는 불확실성(Uncertainty)은 무작위적이기 때문에 불명확성(Non-specificity), 모호성(Fuzziness) 및 충돌(Strife)과 같은 다른 유형의 불확실성을 모델링하는데 한계가 있었다.

[0005] 불명확성(Non-specificity)은 여러 모델링 대안 중에서 선택하기 어려움을 나타내고, 모호성(Fuzziness)은 모델링 매개 변수의 명확하지 않은 경계를 나타내며, 충돌(Strife)은 대안들 간의 갈등으로 인한 불확실성을 표현하며, 과거 이들 불확실성(Uncertainty)의 적절한 모델링을 위한 많은 이론들이 제안된 바 있다.

[0006] 다시 상기 취약도 곡선에 대하여 설명하면, 통상적으로 취약도 곡선은 확률 이론(Probability theory)에 기반한 확률 밀도 함수를 활용함에 따라 피해에 대하여 합리적인 예측을 제공할 수는 있으나, 상술한 불확실성(Uncertainty)을 고려하지 못함에 따라 비교적 지진의 규모가 작은 경우에 발생할 수 있는 낮은 가능성의 피해는 간과될 소지가 있었다.

[0007] 이와 관련된 선행기술문헌으로는 대한민국 공개특허 제10-2016-0116400호 '지진으로 인한 건축물 붕괴에 따른 손실평가방법'(2016. 10. 10. 공개, 이하 '선행기술문헌 1'이라 한다)이 있다.

[0008] 상기 선행기술문헌 1은 몬테카를로 시뮬레이션(Monte-Carlo Simulation)을 적용한 건축물의 손실을 산정하는 알고리즘으로 다양한 크기의 지진에 의해 발생할 수 있는 건축물의 붕괴를 예측하고자 하였다. 그러나, 건축물의 붕괴를 예측하는 방법론이 상술한 확률론적 접근방식에서 벗어나지 못하여, 여전히 모델링에 있어 불확실성을 고려하지 못하는 한계가 있다.

[0009] 한편, 증거이론에 기반한 산사태 예측방법에 관한 발명으로서, 대한민국 등록특허 제10-1280389호 '지반재해 발

생 예측 시스템 및 방법'(2013. 6. 25. 등록, 이하 '선행기술문헌 2'라 한다)이 제안된 바 있다.

[0010] 상기 선행기술문헌 2는 산사태 위험도 분석을 위해 산사태 발생의 위치정보와 지형, 지질, 임상, 토양, 토지이용 등의 자료를 이용하고 지반침하 위험도를 분석하기 위해 지반침하 발생의 위치정보와 지형, 지질, 시추공자료, 갱내도 및 토지이용 등의 자료를 이용하여 불확실성을 고려하기 위해 Evidential Belief Function 분석을 수행할 수 있는 분석부를 바탕으로, 정량적인 지반재해 발생 예측분석을 수행할 수 있는 예측시스템을 제공하고 자 하였다.

[0011] 그러나, 상기 선행기술문헌 2는 Evidential Belief Function 분석을 통한 Belief, Disbelief, Uncertainty, Plausibility 함수의 신뢰도에만 전적으로 의존함에 따라 종래의 확률 이론의 예측 결과와 비교하여 유의미한 차이를 확보하는데에 한계가 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명은 상기한 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 종래 취약도 곡선을 작성하기 위한 데이터에 존재하는 불확실성(Uncertainty)을 해소하기 위한 고유한 방법론을 제안함으로써, 재난의 규모와 무관하게 미약하게나마 발생할 가능성이 있는 피해를 종합적으로 고려할 수 있으며, 나아가 구조물의 속성을 추가적으로 고려하여 보다 정확도를 높일 수 있는 재난에 의한 구조물의 취약도 예측 장치 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0013] 본 발명의 재난에 의한 구조물의 취약도 예측 장치(DE)는, 과거에 발생된 복수의 재난에 대하여 각각의 재난 크기와 상기 재난에 따른 각 구조물 손상도를 포함하는 재난 정보(DI)가 저장된 데이터베이스(D)를 활용하여 특정 재난의 발생시 예측되는 특정 구조물의 취약도를 결정하는 장치(DE)에 있어서, 상기 데이터베이스(D)의 재난 정보(DI)를 이용하여 재난 크기에 대한 구간별로 구조물 손상도(“없음(None)”, “약함(Slight)”, “중간(Moderate)”, “심함(Extensive)”, “붕괴(Collapse)”)를 포함)에 근거한 구간별 신뢰도(Degree of Belief, m)를 0 과 1 사이의 값으로 부여하되, 재난 크기에 대한 하나의 구간에 포함되는 구조물 손상도의 구간별 신뢰도의 합은 1이 되도록 산출하는 신뢰도 산출모듈(11); 산출된 신뢰도를 이용하여 재난 크기에 대한 구간별로 구조물 손상도에 대한 구간별 가능성도(Possibility, π)를 0 과 1 사이의 값으로 산출하는 가능성도 산출모듈(12); 산출된 가능성도를 이용하여 재난의 크기에 대한 구간별로 구조물 손상도에 근거한 구간별 확실률(Certainty)을 0 과 1 사이의 값으로 산출하는 확실률 산출모듈(13); 및 산출된 확실률에 근거하여 재난 크기와 구조물 손상도에 대하여 구간별로 취약도 곡선을 도출하는 취약도 도출모듈(14);을 포함하는 취약도 곡선 도출부(10); 예측하고자 하는 특정 재난 크기와 특정 구조물에 대한 정보를 입력하는 정보 입력부(20); 및 도출된 취약도 곡선에 기반하여 입력된 특정 재난 크기와 특정 구조물의 정보를 바탕으로 예측되는 취약도를 산출하는 취약도 산출부(30);를 포함한다.

[0014] 삭제

[0015] 삭제

[0016] 삭제

[0017] 삭제

[0018] 삭제

[0019] 한편, 본 발명의 재난에 의한 구조물의 취약도 예측방법(ME)에 의하면, 과거에 발생된 복수의 재난에 대하여 각각의 재난 크기와 상기 재난에 따른 각 구조물 손상도를 포함하는 재난 정보(DI)가 저장된 데이터베이스(D)를

활용하여 특정 재난의 발생시 예측되는 특정 구조물의 취약도를 결정하는 방법(ME)에 있어서, 취약도 곡선 도출부(10)가 상기 데이터베이스(D)의 재난 정보(DI)를 이용하여 재난 크기와 구조물 손상도(“없음(None)”, “약함(Slight)”, “중간(Moderate)”, “심함(Extensive)”, “붕괴(Collapse)”를 포함)에 근거한 구간별 신뢰도(Degree of Belief, m)를 0 과 1 사이의 값으로 부여하되, 재난 크기에 대한 하나의 구간에 포함되는 구조물 손상도의 구간별 신뢰도의 합은 1이 되도록 산출하는 신뢰도 산출단계(S11); 취약도 곡선 도출부(10)가 산출한 신뢰도를 이용하여 재난 크기에 대한 구간별로 구조물 손상도에 대한 구간별 가능성도(Possibility, π)를 0 과 1 사이의 값으로 산출하는 가능성도 산출단계(S12); 취약도 곡선 도출부(10)가 산출한 가능성도를 이용하여 재난의 크기에 대한 구간별로 구조물 손상도에 근거한 구간별 확실률(Certainty)을 0 과 1 사이의 값으로 산출하는 확실률 산출단계(S13); 및 취약도 곡선 도출부(10)가 산출한 확실률에 근거하여 재난 크기와 구조물 손상도에 대하여 구간별로 취약도 곡선을 도출하는 취약도 도출단계(S14);를 포함하는 취약도 곡선 도출부(10); 및 취약도 산출부(30)가 도출된 취약도 곡선에 기반하여 정보 입력부(20)를 통해 입력된 특정 재난 크기와 특정 구조물의 정보를 바탕으로 예측되는 취약도를 산출하는 취약도 산출단계(S20);를 포함한다.

[0020] 삭제

발명의 효과

[0021] 상기한 본 발명의 재난에 의한 구조물의 취약도 예측 장치 및 방법에 의하면, 데이터베이스의 재난 정보를 이용하여 재난 크기와 구조물 손상도에 대한 구간별로 취약도 곡선을 도출하고, 이를 바탕으로 특정 재난 크기와 특정 구조물에 대한 취약도를 도출할 수 있으므로 임의적인 수학적 함수의 가정없이 빅데이터에 근거한 현실적인 결과를 기대할 수 있다.

[0022] 또한, 재난 크기에 대한 하나의 구간에 포함되는 구조물 손상도의 구간별 신뢰도를 산출하고, 재난 크기에 대한 구간별로 구조물 손상도에 대한 구간별 가능성도를 산출하며, 재난의 크기에 대한 구간별로 구조물 손상도에 근거한 구간별 확실률을 산출함으로써, 종래 취약도 곡선을 작성하기 위한 데이터에 존재하는 불확실성(Uncertainty)을 해소할 수 있다.

[0023] 이로써, 재난의 규모와 무관하게 미약하게나마 발생될 가능성이 있는 피해를 종합적으로 고려할 수 있다.

[0024] 나아가 구조물의 속성을 추가적으로 고려하여 가중치를 적용함으로써 보다 정확도를 높일 수 있는 재난에 의한 구조물의 취약도 예측 장치 및 방법을 제공할 수 있는 기술적 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 본 발명의 재난에 의한 구조물의 취약도 예측 시스템의 구성을 개략적으로 나타낸 개념도.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 예측 장치의 하드웨어 구성도를 나타낸 블록도.

도 3은 본 발명의 예측 장치에 구현되는 일 실시예에 따른 취약도 곡선 도출부를 도시한 블록도.

도 4는 본 발명의 재난에 의한 구조물의 취약도 예측 방법의 시계열적 순서를 도시한 블록도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 이하, 본 발명의 재난에 의한 구조물의 취약도 예측 장치(DE) 및 방법(ME)에 대하여 첨부한 도면을 바탕으로 상세하게 설명한다.

[0027] 도 1은 본 발명의 재난에 의한 구조물의 취약도 예측 시스템(ST)을 도시한 블록도로 과거에 발생된 복수의 재난에 대하여 각각의 재난 크기와 상기 재난에 따른 각 구조물 손상도를 포함하는 재난 정보(DI)가 저장된 데이터베이스(D)와, 취약도 곡선을 도출하는 취약도 곡선 도출부(10), 예측하고자 하는 특정 재난 크기와 특정 구조물에 대한 정보를 입력하는 정보 입력부(20) 및 예측되는 취약도를 산출하는 취약도 산출부(30)를 포함하는 취약도 예측 장치(DE), 그리고 필요에 따라 각종 정보를 취약도 예측 장치(DE)에 입력하거나 상기 취약도 예측 장치(DE)가 산출한 정보를 제공받는 단말기(T)를 포함할 수 있다.

[0028] 또한, 상기 데이터베이스(D), 예측 장치(DE) 및 단말기(T)는 상호 통신망을 통하여 정보를 송수신할 수 있다. 이 경우, 통신망은 유무선 인터넷, 인트라넷, LAN 등과 같은 다양한 방식의 통신망을 이용하여 통신할 수 있으며, 상기 단말기(T)는 태블릿 PC, 노트북 또는 데스크탑 등 다양한 기기가 이용될 수 있다.

- [0029] 한편, 본 발명에서 정의하는 "예측 장치(DE)"는 노트북, 컴퓨터, 스마트폰 또는 스마트패드(E-PAD)등과 같은 단말 상에서 구현되는 중앙처리장치를 의미하며, 서버의 형태로서 인터넷을 통해 소정의 서비스를 제공할 수 있는 형태일 수 있으며, 사용자는 자신의 컴퓨터나 스마트폰 또는 스마트패드 등과 같은 단말을 이용해 서버에 네트워크로 접속하여 제공하는 서비스를 이용할 수 있으며, 도 2에 도시된 바와 같이 하나 이상의 프로세서, 네트워크 인터페이스, 상기 프로세서에 의해 수행되는 컴퓨터 프로그램을 로드하는 메모리, 대용량 네트워크 데이터 및 컴퓨터 프로그램을 저장하는 스토리지 및 시스템 버스를 포함하도록 구현될 수 있다.
- [0030] 또한, 명세서에서 기술한 '부' 또는 '모듈'이란, "하드웨어 또는 소프트웨어의 시스템을 변경이나 플러그인 가능하도록 구성한 블록"을 의미하는 것으로서, 즉 하드웨어나 소프트웨어에 있어 특정 기능을 수행하는 하나의 단위 또는 블록을 의미한다.
- [0032] 도 1에 도시된 바와 같이 본 발명의 재난에 의한 구조물의 취약도 예측 시스템(ST)의 취약도 예측 장치(DE)는, 과거에 발생된 복수의 재난에 대하여 각각의 재난 크기와 상기 재난에 따른 각 구조물 손상도를 포함하는 재난 정보(DI)가 저장된 데이터베이스(D)를 활용하여 특정 재난의 발생시 예측되는 특정 구조물의 취약도를 결정한다.
- [0033] 본 발명은 각종 자연재난으로부터 발생되는 구조물의 피해(재해)를 최소화하기 위하여 사전에 이를 예측하고 대비하기 위하여 제안된 것으로, 본 발명의 구조물은 건축 구조물은 물론 각종 사회 기반시설물을 포괄할 수 있다. 이들 구조물은 사용연한에 따라 지속적으로 관리가 요구되며, 이에 따라 재난에 의한 구조물의 손상도는 주요한 측정의 대상이 된다. 다만, 본 발명에서 정의하는 재난은 지진, 해일, 태풍, 홍수 등 중에서 적어도 어느 하나일 수 있다.
- [0034] 상기 데이터베이스(D)에 저장되는 재난 정보(DI)로서 재난 크기는 재난의 종류에 따라 달라질 수 있으며, 예컨대 지진의 경우에는 최대지반가속도(peak ground acceleration, PGA)가 기준이 될 수 있다. 또한, 구조물 손상도는 재난의 종류나 구획하는 구간의 수에 따라 달라질 수 있으나, 적어도 “없음(None)”, “약함(Slight)”, “중간(Moderate)”, “심함(Extensive)”, “붕괴(Collapse)”를 포함하는 5개의 등급을 포함하도록 정의한다.
- [0035] 한편, 취약도 곡선 도출부(10)는 상기 데이터베이스(D)의 재난 정보(DI)를 이용하여 재난 크기와 구조물 손상도에 대하여 구간별로 취약도 곡선을 도출한다. 이로써, 데이터베이스(D)의 재난 정보를 이용하여 재난 크기와 구조물 손상도에 대한 구간별로 취약도 곡선을 도출할 수 있고, 이를 근거로 특정 재난 크기와 특정 구조물에 대한 취약도를 도출할 수 있으므로 임의적인 수학적 함수의 가정없이 빅데이터에 근거한 현실적인 결과를 기대할 수 있다.
- [0036] 보다 구체적으로, 도 3에 도시된 바와 같이 상기 취약도 곡선 도출부(10)는 신뢰도 산출모듈(11), 가능도 산출모듈(12), 확실히 산출모듈(13) 및 취약도 도출모듈(14)를 포함할 수 있다.
- [0037] 상기 신뢰도 산출모듈(11)은 재난 크기에 대한 구간별로 구조물 손상도에 근거한 구간별 신뢰도(Degree of Belief, m)를 0 과 1 사이의 값으로 부여하되, 재난 크기에 대한 하나의 구간에 포함되는 구조물 손상도의 구간별 신뢰도의 합은 1이 되도록 산출할 수 있다.
- [0038] 일 실시예로 상기 신뢰도 산출모듈(11)은 상기 구조물 손상도에 근거하여 하기한 수학적 1과 같은 집합을 도출한다.

수학적 1

$$\begin{aligned}
 N &= \{dN, dS, dM, dE, dC\} \\
 S &= \{dS, dM, dE, dC\} \\
 M &= \{dM, dE, dC\} \\
 E &= \{dE, dC\} \\
 C &= \{dC\}
 \end{aligned}$$

[0040]

[0041] (dN, dS, dM, dE, dC 는 각각 없음(None), 약함(Slight), 중간(Moderate), 심함(Extensive), 붕괴(Collapse)만의 사건)

[0043] 상기 수학적 1에서 집합 'N'이 의미하는 바는 단순히 손상이 없는 경우만을 의미하는 집합이 아니라, 손상이 없어 보이지만 실질적으로는 손상이 약하게(Slight) 발생하였거나, 중간정도(Moderate)이거나, 심하게

(Extensive) 발생하였거나, 심지어 붕괴(Collapse)된 상태일 수 있음을 전제하여 이를 모두 포함하는 집합으로 정의한다.

[0044] 마찬가지로, 집합 'S'가 의미하는 바는 손상이 없는 것은 아니지만, 약함(Slight)은 물론 중간(Moderate), 심함(Extensive), 붕괴(Collapse)를 포함할 수 있음 의미한다. 따라서, 집합 'M', 집합 'E', 집합 'C'에 대하여도 동일하게 집합을 정의한다. 이때, 상기 수학적 식 1에서 dN , dS , dM , dE , dC 는 각각 손상없음, 약한손상, 중간손상, 심한손상, 붕괴만의 사건을 나타낸다.

[0046] 이하에서는 재난으로서 지진의 예에 대하여 재난 크기로서 PGA를 적용한 사례를 바탕으로, 수학적 식 1에 근거하여 도출된 집합과, 재난 크기에 대한 구간별 구조물 손상도에 근거한 각 집합과 집합별 사건의 수를 정리한 표 1의 사례로 설명한다. 상기 표 1에서 각 재난 크기에 대한 구간별 사건의 총수는 모두 10건이며, 집합의 포함관계는 $N \supset S \supset M \supset E \supset C$ 가 된다.

[0047] 삭제

표 1

[0048] 지진에 의한 재난 크기(PGA) 구간별 구조물 손상도에 근거한 집합을 기반으로 사건 수를 정리한 표

PGA(g)	j	>None (N)	>Slight (S)	>Moderate (M)	>Extensive (E)	>Collapse (C)
0~0.1		10	1	0	0	0
0.1~0.2		10	2	0	0	0
0.2~0.3		10	3	2	0	0
0.3~0.4		10	6	4	0	0
0.4~0.5		10	7	5	0	0
0.5~0.6		10	8	6	1	0
0.6~0.7		10	10	7	2	1
0.7~0.8		10	10	8	3	1
0.8~0.9		10	10	9	5	3
0.9~1		10	10	10	6	5

[0050] 상기 신뢰도 산출모듈(11)은 상기 구조물 손상도에 근거하여 도출한 집합에 대한 구간별도 하기 수학적 식 2에 의하여 신뢰도를 산출한다.

수학적 식 2

$$m_{ij} = \frac{N_{ij}}{\sum_{j=N,S,M,E,C...} N_{ij}}$$

[0052]

[0053] (m 은 신뢰도, N 은 사건수, i 는 재난 크기별 구간, j 는 구조물 손상도에 근거한 집합)

[0055] 앞서 설명한 바와 같이 상기 수학적 식 2에 있어서, 구조물 손상도에 근거한 구간 j 는 손상도를 구간별로 구분한 것이 아니라 수학적 식 1에 의하여 도출된 집합 N , S , M , E , C 에 대한 신뢰도를 의미한다.

[0056] 상기 수학적 식 2에 의하면 재난 크기에 대한 구간별로 구조물 손상도에 근거한 구간별 신뢰도(Degree of Belief, m)는 0 과 1 사이의 값으로 산출하되, 재난 크기에 대한 하나의 구간에 포함되는 구조물 손상도의 구간별 신뢰도의 합은 1이 된다.

[0057] 수학적 식 2에 근거하여 표 1의 사례를 바탕으로 신뢰도를 산출하면 표 2와 같다.

표 2

[0059] 표 1의 지진에 의한 재난 크기(PGA) 구간별 구조물 손상도에 근거한 집합을 기반으로 신뢰도를 정리한 표

PGA(g)	<i>j</i>	>None (<i>N</i>)	>Slight (<i>S</i>)	>Moderate (<i>M</i>)	>Extensive (<i>E</i>)	>Collapse (<i>C</i>)
0~0.1		90.9%	9.1%	0.0%	0.0%	0.0%
0.1~0.2		83.3%	16.7%	0.0%	0.0%	0.0%
0.2~0.3		66.7%	20.0%	13.3%	0.0%	0.0%
0.3~0.4		50.0%	30.0%	20.0%	0.0%	0.0%
0.4~0.5		45.5%	31.8%	22.7%	0.0%	0.0%
0.5~0.6		40.0%	32.0%	24.0%	4.0%	0.0%
0.6~0.7		33.3%	33.3%	23.3%	6.7%	3.3%
0.7~0.8		31.3%	31.3%	25.0%	9.4%	3.1%
0.8~0.9		27.0%	27.0%	24.3%	13.5%	8.1%
0.9~1		24.4%	24.4%	24.4%	14.6%	12.2%

[0061] 상기 가능도 산출모듈(12)은, 산출된 신뢰도를 이용하여 재난 크기에 대한 구간별로 구조물 손상도에 대한 구간별 가능도(Possibility, π)를 0 과 1 사이의 값으로 산출한다. 일 실시예로 상기 가능도 산출모듈(12)은 하기의 수학식 3에 근거하여 가능도를 산출할 수 있다.

수학식 3

$$\pi(dk) = \sum_{dk \in A} m(A)$$

[0063]

[0064] (π 는 가능도, dk 는 dN , dS , dM , dE , dC , A 는 집합 N , S , M , E , C 를 의미)

[0066] 예를 들어 dM 의 가능도(π)는 dM 이 속한 집합인 N , S , M 의 신뢰도 m 을 더한 값으로 산출되며, 표 2의 신뢰도에 근거하여 가능도를 도출하면 표 3과 같다.

표 3

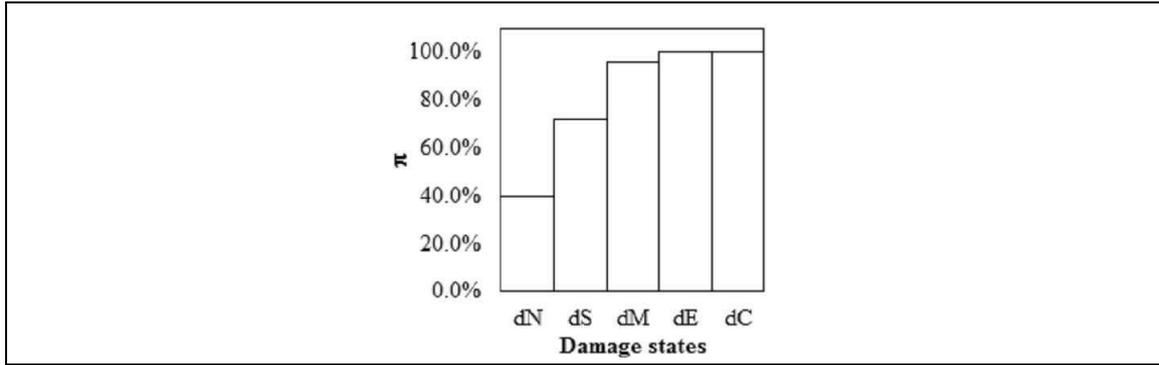
[0068] 표 1의 지진에 의한 재난 크기(PGA) 구간별 구조물 손상도 구간별 가능도를 정리한 표

PGA(g)	<i>j</i>	dN	dS	dM	dE	dC
0~0.1		90.9%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
0.1~0.2		83.3%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
0.2~0.3		66.7%	86.7%	100.0%	100.0%	100.0%
0.3~0.4		50.0%	80.0%	100.0%	100.0%	100.0%
0.4~0.5		45.5%	77.3%	100.0%	100.0%	100.0%
0.5~0.6		40.0%	72.0%	96.0%	100.0%	100.0%
0.6~0.7		33.3%	66.7%	90.0%	96.7%	100.0%
0.7~0.8		31.3%	62.5%	87.5%	96.9%	100.0%
0.8~0.9		27.0%	54.1%	78.4%	91.9%	100.0%
0.9~1		24.4%	48.8%	73.2%	87.8%	100.0%

[0070] 상기 표 3에서 재난 크기로서 PGA 0.5g 내지 0.6g에 대한 가능성 분포를 예를 들어 도시하면 아래의 그림과 같은 그래프로 표현될 수 있다.

표 4

[0072] 표 3의 PGA 0.5g 내지 0.6g 구간의 가능성 분포 그래프



[0074] 한편, 상기 확실률 산출모듈(13)은 산출된 가능도를 이용하여 재난의 크기에 대한 구간별로 구조물 손상도에 근거한 구간별 확실률(Certainty)를 0 과 1 사이의 값으로 산출할 수 있다.

[0075] 구체적으로, 상기 확실률 산출모듈(13)은 산출된 가능도(π)를 바탕으로 가능률(pos)을 산출하고, 산출된 가능률을 바탕으로 확실률(Certainty, cert)을 산출할 수 있다.

[0076] 일 실시예로, 상기 확실률 산출모듈(13)은 하기한 수학식 4에 기반하여 구조물 손상도에 근거한 집합별 가능률(pos)을 산출할 수 있다.

수학식 4

[0078]
$$pos(A) = \text{Max}\{\pi(dk) : dk \in A\}$$

[0080] 상기 수학식 4에서 집합 A에 대한 가능률은 집합 A에 속한 dk의 π 중 가장 큰 값으로 정의된다. 수학식 4에 근거하여 가능률(pos)이 산출되면, 상기 확실률 산출모듈(13)은 하기한 수학식 5에 기반하여 구조물 손상도에 근거한 집합별로 확실률(Certainty, cert)을 산출할 수 있다.

수학식 5

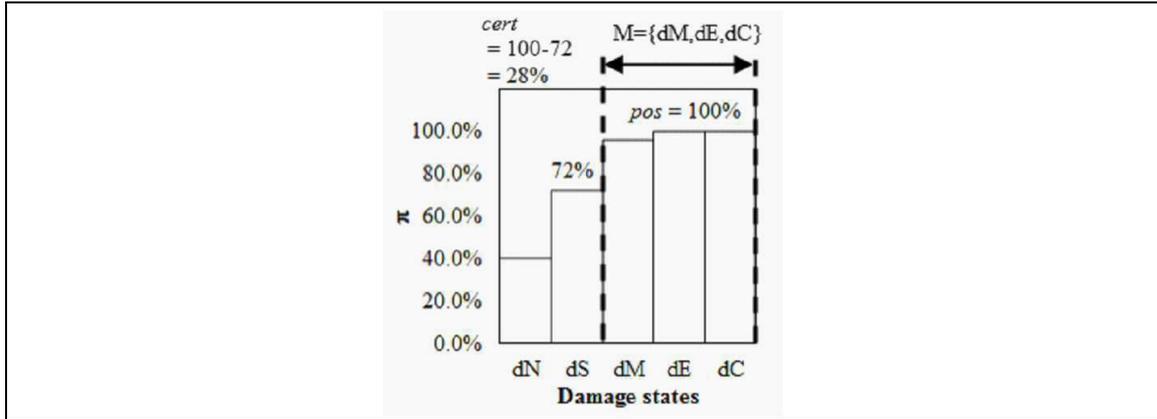
[0082]
$$cert(A) = 1 - pos(\bar{A})$$

[0084] 상기 수학식 5에서 확실률(cert)은 1에서 집합 A에 속하지 않는 dk의 π 중 가장 큰 값을 뺀 값으로 결정한다. 앞서 설명한 표 4의 재난 크기 PGA 구간 0.5g ~ 0.6g 가능도에 대한 그래프에서 측정된 $M = \{dM, dE, dC\}$ 의 가능률과 확실률을 구하는 방법을 도시하면 표 5와 같다.

표 5

[0086]

표 4의 PGA 0.5g 내지 0.6g 구간의 가능률과 확실률을 구하는 방법



[0088]

표 3에 정리된 구조물 손상도의 구간별 가능도를 바탕으로 집합별 가능률을 산출하고, 이에 근거하여 확실률 (*cert*)을 산출하면 표 6과 같이 정리할 수 있다.

표 6

[0090]

표 1의 지진에 의한 재난 크기(PGA) 구간별 구조물 손상도에 근거한 집합을 기반으로 확실률을 정리한 표

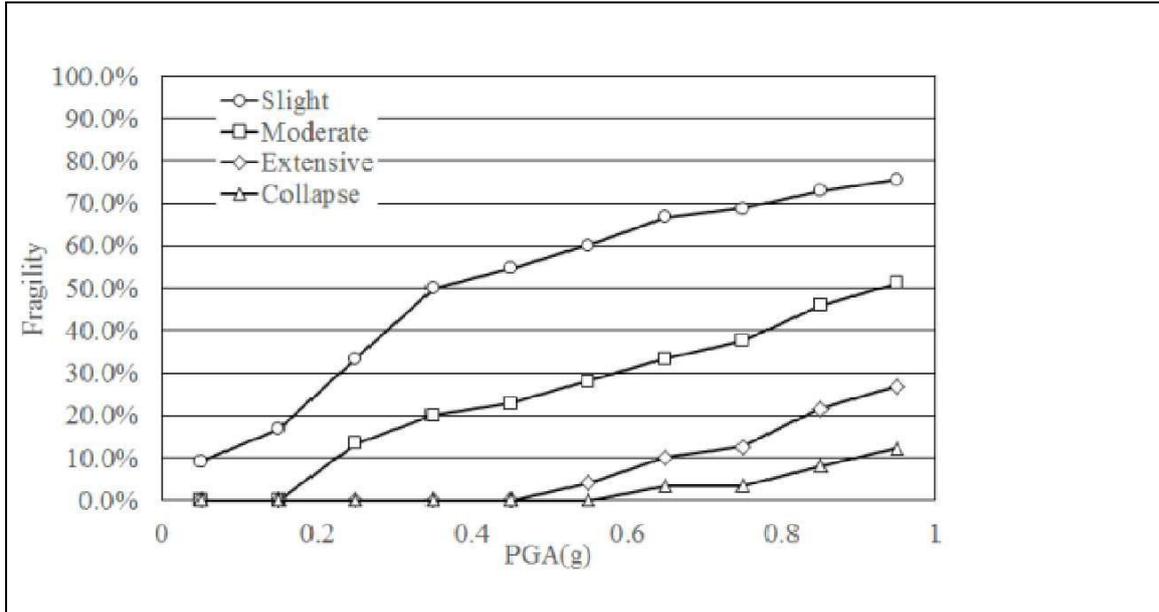
PGA(g)	<i>j</i>	<i>N</i>	<i>S</i>	<i>M</i>	<i>E</i>	<i>C</i>
0~0.1	<i>i</i>	100.0%	9.1%	0.0%	0.0%	0.0%
0.1~0.2		100.0%	16.7%	0.0%	0.0%	0.0%
0.2~0.3		100.0%	33.3%	13.3%	0.0%	0.0%
0.3~0.4		100.0%	50.0%	20.0%	0.0%	0.0%
0.4~0.5		100.0%	54.5%	22.7%	0.0%	0.0%
0.5~0.6		100.0%	60.0%	28.0%	4.0%	0.0%
0.6~0.7		100.0%	66.7%	33.3%	10.0%	3.3%
0.7~0.8		100.0%	68.8%	37.5%	12.5%	3.1%
0.8~0.9		100.0%	73.0%	45.9%	21.6%	8.1%
0.9~1		100.0%	75.6%	51.2%	26.8%	12.2%

[0092]

한편, 상기 취약도 도출모듈(14)은 산출된 확실률에 근거하여 재난 크기와 구조물 손상도에 대하여 구간별로 취약도 곡선을 도출할 수 있다. 상기 취약도 도출모듈(14)이 도출한 취약도 곡선의 일 예를 도시하면 표 7과 같다.

표 7

[0094] 표 6의 확실률을 기반으로 도출된 취약도 곡선



[0096] 본 발명의 재난에 의한 구조물의 취약도 예측 시스템(ST)의 취약도 예측 장치(DE)는 사용자가 별도의 입력을 하지 않더라도, 데이터베이스(D)에 저장된 재난 정보(DI)에 근거하여 단말기(T)의 디스플레이를 통하여 상기한 취약도 곡선을 표출할 수 있다.

[0097] 그러나, 사용자는 상기 정보 입력부(20)를 바탕으로, 예측하고자 하는 특정 재난 크기와 특정 구조물에 대한 정보를 입력할 수 있다. 물론 사용자는 단말기(T)를 바탕으로 취약도 예측 장치(DE)에 정보를 입력할 수 있으며, 상기 취약도 산출부(30)는 도출된 취약도 곡선에 기반하여 입력된 특정 재난 크기와 특정 구조물의 정보를 바탕으로 예측되는 취약도를 산출한다.

[0099] 한편, 본 발명의 상기 신뢰도 산출모듈(11)은, 구조물의 속성에 따른 가중치(w_j)를 고려함으로써, 수학적 6에 근거하여 신뢰도를 산출할 수 있다.

수학적 6

$$m_{ij} = \frac{w_j N_{ij}}{\sum_{j=N,S,M,E,C...} w_j N_{ij}}$$

[0101] 구체적으로 재난 규모에 따른 구조물 손상도를 고려함에 있어서 예측하고자 하는 특정 구조물의 노후도(O), 높이(H)/단면(SL), 구조방식(C)에 따라 그 결과값에 오차가 발생될 수 있으므로, 특정 구조물의 속성에 따른 가중치(w_j)에 대한 연산이 자동으로 수행될 수 있다.

[0104] 재난 크기에 대한 하나의 구간에 포함되는 구조물 손상도의 구간별 가중치의 합은 1이 되도록 한다. 가중치를 고려함에 있어서는 구간별로 적용되는 가중치(w_j)가 구조물 손상도가 높은 집합에 큰 가중치가 부여하되, 공차(α)값을 지니도록 부여될 수 있다.

[0105] 일 실시예로서, 상기 가중치(w_j)는 집합의 수가 n인 경우에 집합 N의 가중치(w_N)는 $(1/n - ((n-1)/2) \alpha)$ 이며, 순차적으로 $+\alpha$ 가 결합될 수 있으며, 상기 α (공차)는 다음의 수학적 7로 표현될 수 있으며, 상수에 따라 α (공차)는 음의 유리수를 지니도록 정의될 수 있다.

수학식 7

$$-1/n \leq \alpha = \frac{OHC}{SL} \leq 1/n$$

[0107]

[0108]

(O:노후도, H:높이, SL:단변, C:구조방식에 대한 사전에 정의된 상수)

[0110]

상기 신뢰도 산출모듈(11)이 수학식 7의 가중치를 고려하여 신뢰도를 산출함에 따른 실시예를 표로 정리하면 하기의 표 8 및 표 9와 같이 정리할 수 있다.

표 8

[0112]

가중치 {N, S, M, E, C}, α=-0.08 을 사용하여 작성된 취약도 곡선

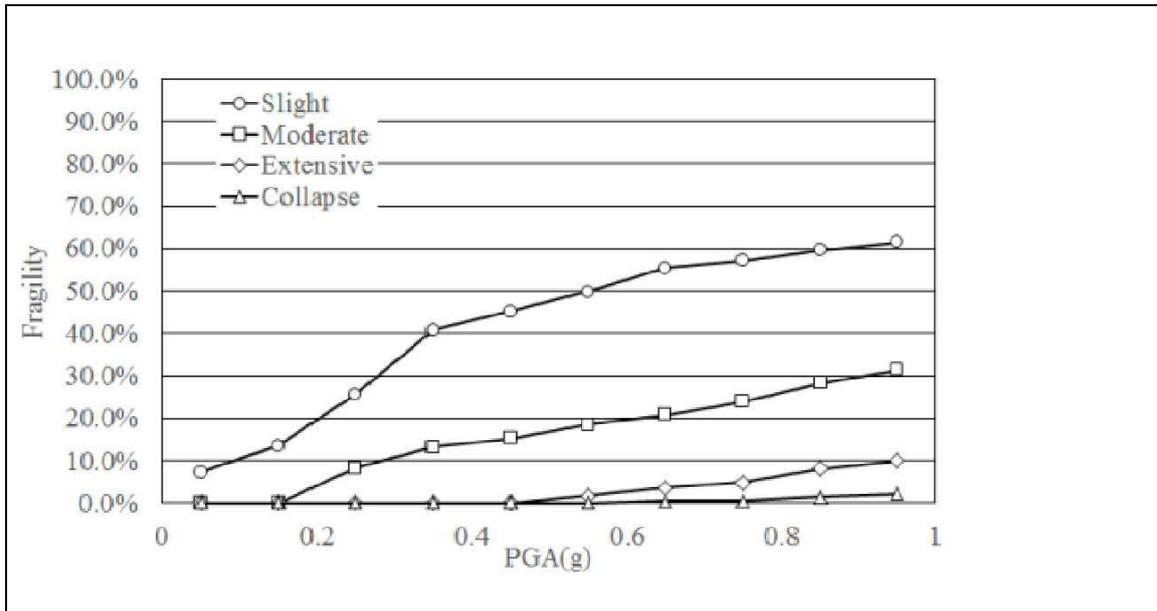
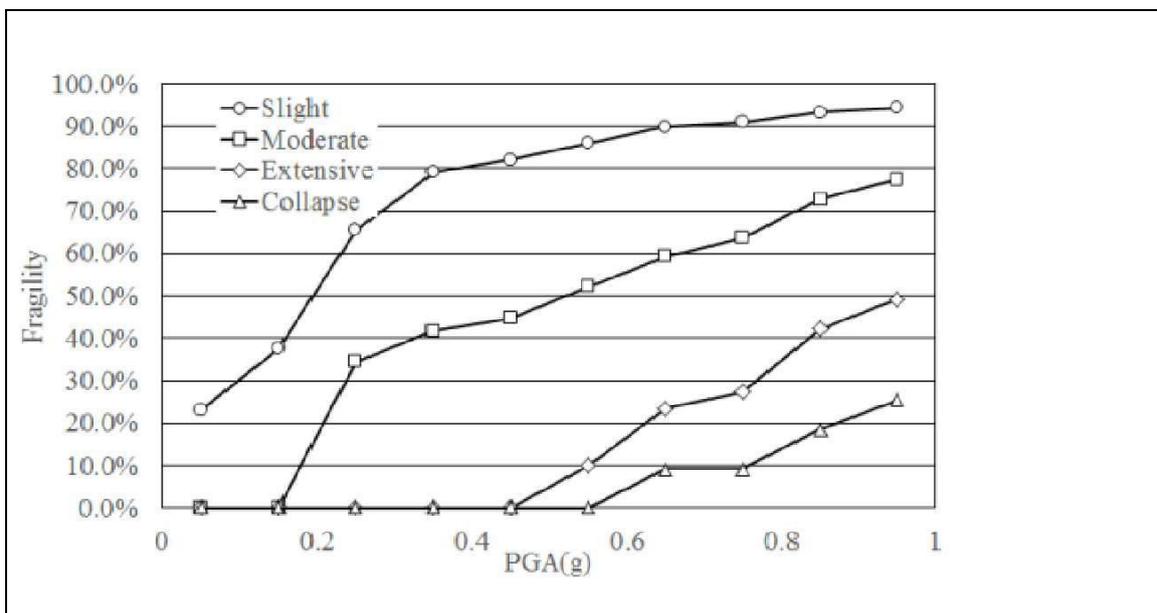


표 9

[0114]

가중치 {N, S, M, E, C}, α=0.08 을 사용하여 작성된 취약도 곡선을 사용하여 작성된 취약도 곡선

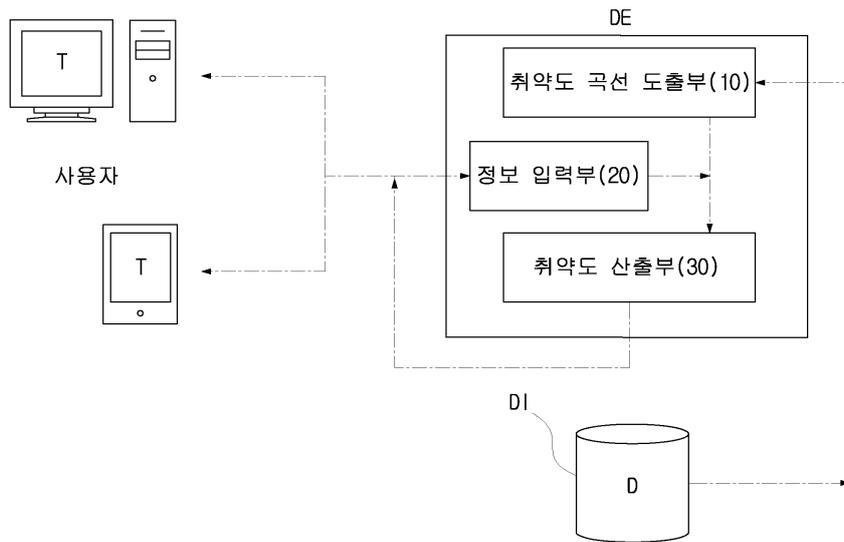


13: 확실히 산출모듈
 20: 정보 입력부
 ME: 취약도 예측 방법
 S11: 신뢰도 산출단계
 S13: 확실히 산출단계
 S20: 취약도 산출단계

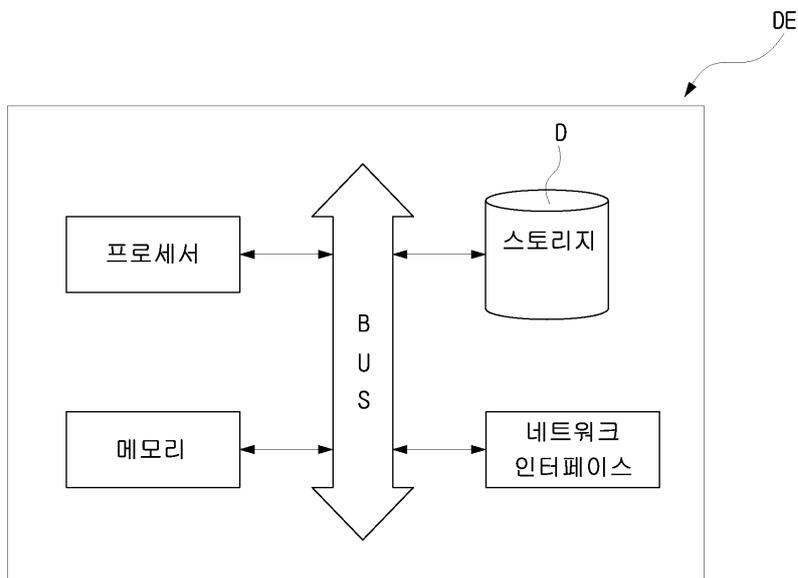
14: 취약도 도출모듈
 30: 취약도 산출부
 S10: 취약도 곡선 도출단계
 S12: 가능도 산출단계
 S14: 취약도 도출단계

도면

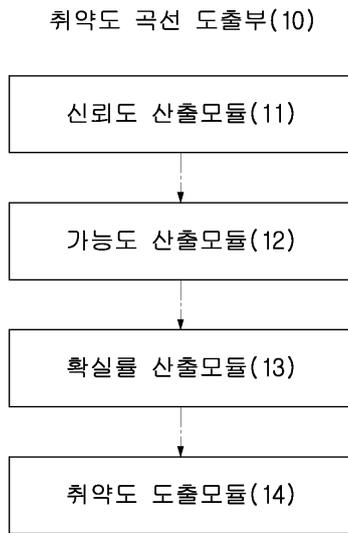
도면1



도면2



도면3



도면4

