



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년07월01일
(11) 등록번호 10-2272211
(24) 등록일자 2021년06월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 30/00 (2020.01) G06F 17/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06F 30/13 (2020.01)
G06F 17/10 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0170227
(22) 출원일자 2018년12월27일
심사청구일자 2018년12월27일
(65) 공개번호 10-2020-0080608
(43) 공개일자 2020년07월07일
(56) 선행기술조사문헌
JP2008009837 A*
KR1020180089598 A*
KR1020120088088 A*
Earthquake Spectra, Vol. 27, No. 3, p.
857~880(2011.8.)*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
김준희
서울특별시 서초구 고무래로 35, 102동 702호
최인섭
서울특별시 성북구 삼선교로16나길 16, 101호
(74) 대리인
김인철

전체 청구항 수 : 총 17 항

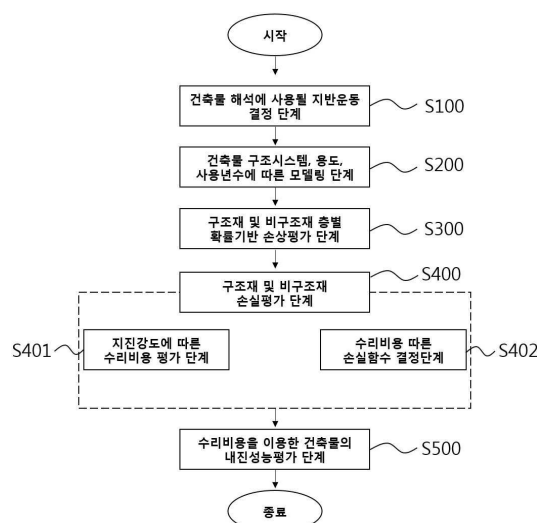
심사관 : 장지혜

(54) 발명의 명칭 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법 및 평가시스템

(57) 요약

본 발명은 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법으로서, 지반운동결정부(100)에서, 건축물 해석에 사용될 건축물의 위치 및 암반조건에 따른 지반운동을 결정하는 단계(S100); 모델링부(200)에서, 구조재에 대한 수학적 시뮬레이션 모델링과, 건축물의 용도에 따라 설치된 비구조재의 목록을 도출하는 모델링을 하는 단계(S200); 손상평가부(300)에서, 상기 S100 단계에서 결정된 지반운동을 S200 단계의 구조재 시뮬레이션 모델에 입력하여 도출되는 층별 직하층 변위비와 당해층 가속도로부터 구조재와 비구조재의 지진취약도를 평가하는 확률기반 손상평가 단계(S300); 및 손실평가부(400)에서, 구조재와 비구조재의 손상도에 따른 손실합수를 통해 지진강도에 따른 수리비용을 평가하는 구조재 및 비구조재의 손실평가단계(S400)를 포함한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

장학중

서울시 강남구 삼성로 150 미도아파트 209-1207

정범규

서울시 마포구 합정동 희우정로1길 21 삼성강변아파트 301호

손정훈

서울특별시 성동구 매봉길 50 옥수파크힐스 111동 203호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1615009749

부처명 국토교통부

과제관리(전문)기관명 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 국토교통기술촉진연구

연구과제명 지진재난대응력 강화를 위한 건축물 손상-손실 관계를 고려한 내진성능지수 개발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 연세대학교 산학협력단

연구기간 2018.01.01 ~ 2018.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

지반운동결정부에서, 건축물 해석에 사용될 건축물의 위치 및 암반조건에 따른 지반운동을 결정하는 단계(S100); 모델링부에서, 구조재에 대한 수학적 시뮬레이션 모델링과, 건축물의 용도에 따라 설치된 비구조재의 목록을 도출하는 모델링을 하는 단계(S200); 손상평가부에서, 상기 S100 단계에서 결정된 지반운동을 S200 단계의 구조재 시뮬레이션 모델에 입력하여 도출되는 층별 직하층 변위비와 당해층 가속도로부터 구조재와 비구조재의 지진취약도를 평가하는 확률기반 손상평가 단계(S300); 및 손실평가부에서, 구조재와 비구조재의 손상도에 따른 손실함수를 통해 지진강도에 따른 수리비용을 평가하는 구조재 및 비구조재의 손실평가단계(S400)를 포함하며,

상기 구조재는 지진에 의한 건축물의 응답 중 직하층 변위비를 사용하며,

비구조재의 경우, 가속도민감 비구조재는 당해층 가속도를 사용하고, 변위민감 비구조재는 직하층 변위비를 사용하며,

상기 손상평가부의 지진취약도는 다음의 수학적 식 4를 이용하여 평가하며, 지진취약도의 곡선은 건축물 구조재 또는 비구조재의 성능에 대한 중앙값(C)과 불확실성(β_c); 및 지진에 대한 구조재 또는 비구조재의 응답에 대한 중앙값(EDP_{IM})과 불확실성($\beta_{EDP_{IM}}$)으로 결정되며, 구조재의 성능에 대한 중앙값은 직하층 변위비로 결정되며, 비구조재의 성능에 대한 중앙값은 직하층 변위비 또는 당해층 가속도로 결정되는 것을 특징으로 하는 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법.

[수학적 식 4]

$$p_f = \Phi \left[\frac{\ln(EDP_{IM} / C)}{\sqrt{\beta_{EDP_{IM}}^2 + \beta_c^2}} \right]$$

(여기서 p_f 는 구조재 또는 비구조재(건축물요소)의 지진강도에 따른 손상확률을 나타내는 지진취약도이며, Φ []는 대수정규분포의 누적분포, EDP_{IM} 은 지진에 대한 건축물요소 응답의 중앙값(median), $\beta_{EDP_{IM}}$ 은 지진에 대한 건축물요소 응답의 불확실성(분산), C 는 건축물요소의 성능에 대한 중앙값, β_c 는 건축물요소 성능에 대한 불확실성이다.)

청구항 2

청구항 1에 있어서,

내진성능평가부에서, S400 단계에서 산출된 건축물의 수리비용을 건축물의 대체비용으로 나눈 손실함수를 이용해 지진강도에 따른 건축물의 내진성능을 평가하는 단계(S500)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 S100 단계의 지반운동은 다음 수학적 식 1 내지 3을 이용하여 결정되는 것을 특징으로 하는 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법.

[수학적 식 1]

$$F(x) = \frac{i - \alpha}{N + 1 - 2\alpha}$$

[수학식 2]

$$\alpha = \frac{N + (N + 1)\ln(1 - P)}{N + 2\ln(1 - P)}$$

[수학식 3]

$$F(V_0/2) = \exp \left[- \left(\frac{15 - (V_0/2)}{53.69(V_0/2)} \right)^{1.37} \right]$$

(여기서, i 는 건축물의 중요도이며, α 는 수학식 2로부터 계산되는 생애주기 중 가장 큰 지진의 초과확률을 $P(\%)$ 로 설정하였을 때의 계산되는 상수이며, N 은 지진기록의 총 연도를 나타낸다.)

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 지반운동은 인공지진파를 사용하거나, 실제지진파를 설계스펙트럼에 스케일링하여 사용되는 것을 특징으로 하는 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법.

청구항 5

청구항 3에 있어서,

수학식 1로부터 $F(x)$ 로 초과확률이 계산되게 되면, 수학식 3을 이용하여 초과확률에 대한 지반운동의 최대속도를 구하는 것을 특징으로 하는 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 지반운동은 수학식 1부터 3을 통해 지반운동의 최대속도로부터 도출된 인공지진파 또는 실제지진파를 이용하고, 건축물의 위치에 따른 감쇠효과와 암반에 의한 증폭을 반영하여 결정하는 것을 특징으로 하는 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 S200 단계의 구조재의 모델링은 건축물의 구조시스템, 층수 및 사용년수에 따른 구조재의 시뮬레이션 모델링이며, 구조재의 비선형 거동을 포함할 수 있는 요소가 포함되는 것을 특징으로 하는 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 S200 단계의 비구조재는 건축적 비구조 요소와 기계전기적 비구조 요소로 구분되며,

건축적 비구조 요소는 칸막이벽, 천장재 및 바닥마감을 포함하며, 기계전기적 비구조 요소는 배관설비 및 전기설비를 포함하는 것을 특징으로 하는 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법.

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

청구항 1에 있어서,

상기 S400 단계의 손실평가 단계는 지진강도에 따른 수리비용 평가단계(S401)와, 수리비용에 따른 손실함수 결정단계(S402)로 구분되는 것을 특징으로 하는 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법.

청구항 15

청구항 14에 있어서,

상기 S401 단계는 다음의 수학적식 5를 이용하여 건축물의 총 수리비용을 산출하는 것을 특징으로 하는 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법.

[수학적식 5]

$$RCBD = RCS + RCNS$$

(여기서, RCBD는 건축물의 수리비용이며, RCS는 구조재의 수리비용이며, RCNS는 비구조재의 수리비용이다.)

청구항 16

청구항 15에 있어서,

상기 구조재의 수리비용(RCS)은 수학적식 6 및 7을 이용하여 산출하는 것을 특징으로 하는 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법.

[수학적식 6]

$$RCS = \sum_{ds=1}^n RCS_{ds}$$

[수학적식 7]

$$RCS_{ds} = POSD_{ds} \times SMRC_{ds}$$

(여기서, RCS_{ds} 는 구조재의 각 손상상태에 대한 수리비용이며, $POSD_{ds}$ 는 구조재의 각 손상상태에 도달할 확률이며, $SMRC_{ds}$ 는 구조재의 각 손상상태에 따른 평균수리비용이다.)

청구항 17

청구항 15에 있어서,

상기 비구조재의 수리비용(RCNS)은 수학적식 8 및 9를 이용하여 산출하는 것을 특징으로 하는 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법.

[수학식 8]

$$RCNS = \sum_{dx=1}^n RCNS_{dx}$$

[수학식 9]

$$RCNS_{dx} = PONS_{dx} \times NSMRC_{dx}$$

(여기서, $RCNS_{dx}$ 는 비구조재의 각 손상상태에 대한 수리비용이며, $PONS_{dx}$ 는 비구조재의 각 손상상태에 도달할 확률이며, $NSMRC_{dx}$ 는 비구조재의 각 손상상태에 따른 평균수리비용을 의미한다.)

청구항 18

청구항 14에 있어서,

상기 S402 단계의 손실함수인 손실비용은 다음의 수학식 10을 이용하여 결정되는 것을 특징으로 하는 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법.

[수학식 10]

$$\text{Damage Ratio (손실비율)} = \frac{RCBD(\text{수리비용})}{RC(\text{대체비용})} \times 100(\%)$$

청구항 19

청구항 2에 있어서,

상기 S500 단계는

건축물의 도출된 손실함수로부터 내진성능을 복수의 등급으로 구분하여 평가하며,

손실비용에 따른 내진등급이 5%이하일 경우 5등급, 10%이하일 경우 4등급, 20%이하일 경우 3등급, 40%이하일 경우 2등급, 40%초과일 경우 1등급으로 구분하는 것을 특징으로 하는 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가 방법.

청구항 20

건축물 해석에 사용될 건축물의 위치 및 암반조건에 따른 지반운동을 결정하는 지반운동결정부; 구조재에 대한 수학적 시뮬레이션 모델링과, 건축물의 용도에 따라 설치된 비구조재의 목록을 도출하는 모델링을 하는 모델링부; 상기 지반운동결정부에서 결정된 지반운동을 상기 모델링부의 구조재 시뮬레이션 모델에 입력하여 도출되는 층별 직하층 변위비와 당해층 가속도로부터 구조재와 비구조재의 지진취약도를 확률기반으로 평가하는 손상평가부; 및 구조재와 비구조재의 손상도에 따른 손실함수를 통해 지진강도에 따른 수리비용을 평가하는 손실평가부를 포함하며,

상기 구조재는 지진에 의한 건축물의 응답 중 직하층 변위비를 사용하며,

비구조재의 경우, 가속도민감 비구조재는 당해층 가속도를 사용하고, 변위민감 비구조재는 직하층 변위비를 사용하며,

상기 손상평가부의 지진취약도는 다음의 수학식 4를 이용하여 평가하며, 지진취약도의 곡선은 건축물 구조재 또는 비구조재의 성능에 대한 중앙값(C)과 불확실성(β_c); 및 지진에 대한 구조재 또는 비구조재의 응답에 대한 중앙값(EDPIM)과 불확실성(β_{EDPIM})으로 결정되며, 구조재의 성능에 대한 중앙값은 직하층 변위비로 결정되며, 비구조재의 성능에 대한 중앙값은 직하층 변위비 또는 당해층 가속도로 결정되는 것을 특징으로 하는 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가시스템.

[수학식 4]

$$p_f = \Phi \left[\frac{\ln(EDP_{IM} / C)}{\sqrt{\beta_{EDP_{IM}}^2 + \beta_C^2}} \right]$$

(여기서 p_f 는 구조재 또는 비구조재(건축물요소)의 지진강도에 따른 손상확률을 나타내는 지진취약도이며, Φ []는 대수정규분포의 누적분포, EDP_{IM} 은 지진에 대한 건축물요소 응답의 중앙값(median), $\beta_{EDP_{IM}}$ 은 지진에 대한 건축물요소 응답의 불확실성(분산), C 는 건축물요소의 성능에 대한 중앙값, β_C 는 건축물요소 성능에 대한 불확실성이다.)

청구항 21

청구항 20에 있어서,

상기 손실편가부에서 산출된 건축물의 수리비용을 건축물의 대체비용으로 나눈 손실함수를 이용해 지진강도에 따른 건축물의 내진성능을 평가하는 내진성능평가부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가시스템.

청구항 22

하드웨어와 결합되어, 청구항 1 내지 청구항 8 또는 청구항 14 내지 청구항 19 중 어느 한 항에 따른 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법을 실행시키기 위하여 컴퓨터가 관독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 내진성능 평가방법 및 평가시스템에 관한 것이다. 구체적으로는 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법 및 평가시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 전 세계적으로 지진의 발생횟수가 증가하고 있으며, 최근 규모 5.0이상의 경주지진과 포항지진이 발생하면서 국내 건축물의 내진성능 확보 및 평가에 대한 기술적 수요가 많은 실정이다.

[0003] 건축물의 내진성능은 지진에 대한 저항능력을 정량적 또는 정성적으로 표현한 것으로, 일반적으로 건축물의 구조시스템을 구성하는 구조재를 모델링하고, 건축물에 지진에 의한 계측된 지반운동을 입력한 후, 시뮬레이션을 통해 얻어진 건축물의 층간변위비에 따라서, 건축물의 내진성능을 기능수행, 즉시거주, 인명안전, 붕괴방지의 4 단계로 평가한다.

[0004] 하지만, 기존 내진성능평가 방식은 구조재의 층간변위비를 통해 구조재 국한한 손상으로 평가하게 되므로, 실제 지진시 경제적 손실비율이 높은 천장재, 칸막이벽, 창호, 기계 및 전기설비 등과 같은 비구조재의 손실을 직접적으로 고려할 수 없다는 한계점을 가진다. 또한 구조재는 인접층의 수평변위를 층높이로 나눈 층간변위비로 손상 및 손실을 평가할 수 있지만, 비구조재는 층간 변위비, 당해층 가속도와 같이 변위민감 비구조재와 가속도민감 비구조재로 구분되므로, 비구조재의 손상 및 손실을 평가하기 위해선 지진강도에 따른 층별 층간변위비와 당해층 가속도를 도출할 수 있는 방법이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) (문헌 1) 대한민국 등록특허공보 제10-1750281호 (2017.06.19)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명에 따른 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법 및 평가시스템은 다음과 같은 해결과제를 가진다.
- [0007] 첫째, 건축물의 구조재뿐 아니라 비구조재의 손상 및 손실을 함께 고려하고자 한다.
- [0008] 둘째, 지진강도에 따른 취약도곡선으로부터 손상을 평가하고, 평가된 손상으로부터 지진강도에 따른 손실함수를 도출하고자 한다.
- [0009] 셋째, 지진강도에 따른 건축물의 손실에 근거한 내진성능평가를 하고자 한다.
- [0010] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급한 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해되어질 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0011] 본 발명은 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법으로서, 지반운동결정부(100)에서, 건축물 해석에 사용될 건축물의 위치 및 암반조건에 따른 지반운동을 결정하는 단계(S100); 모델링부(200)에서, 구조재에 대한 수학적 시뮬레이션 모델링과, 건축물의 용도에 따라 설치된 비구조재의 목록을 도출하는 모델링을 하는 단계(S200); 손상평가부(300)에서, 상기 S100 단계에서 결정된 지반운동을 S200 단계의 구조재 시뮬레이션 모델에 입력하여 도출되는 층별 직하층 변위비와 당해층 가속도로부터 구조재와 비구조재의 지진취약도를 평가하는 확률기반 손상평가 단계(S300); 및 손실평가부(400)에서, 구조재와 비구조재의 손상도에 따른 손실함수를 통해 지진강도에 따른 수리비용을 평가하는 구조재 및 비구조재의 손실평가단계(S400)를 포함한다.
- [0012] 본 발명에 있어서, 내진성능평가부(500)에서, S400 단계에서 산출된 건축물의 수리비용을 건축물의 대체비용으로 나눈 손실함수를 이용해 지진강도에 따른 건축물의 내진성능을 평가하는 단계(S500)를 더 포함할 수 있다.
- [0013] 본 발명에 있어서, 상기 S100 단계의 지반운동은 다음 수학적 식 1 내지 3을 이용하여 결정될 수 있다.

[0014] [수학적 식 1]

$$F(x) = \frac{i - \alpha}{N + 1 - 2\alpha}$$

[0016] [수학적 식 2]

$$\alpha = \frac{N + (N + 1)\ln(1 - P)}{N + 2\ln(1 - P)}$$

[0018] [수학적 식 3]

$$F(V_0/2) = \exp \left[- \left(\frac{15 - (V_0/2)}{53.69(V_0/2)} \right)^{1.37} \right]$$

- [0020] (여기서, i 는 건축물의 중요도이며, α 는 수학적 식 2로부터 계산되는 생애주기 중 가장 큰 지진의 초과확률을 $P(\%)$ 로 설정하였을 때의 계산되는 상수이며, N 은 지진기록의 총 연도를 나타낸다.)
- [0021] 본 발명에 있어서, 상기 지반운동은 인공지진파를 사용하거나, 실제지진파를 설계스펙트럼에 스케일링하여 사용될 수 있다.
- [0022] 본 발명에 있어서, 수학적 식 1로부터 $F(x)$ 로 초과확률이 계산되게 되면, 수학적 식 3을 이용하여 초과확률에 대한 지반운동의 최대속도를 구할 수 있다.
- [0023] 본 발명에 있어서, 상기 지반운동은 수학적 식 1부터 3을 통해 지반운동의 최대속도로부터 도출된 인공지진파 또는 실제지진파를 이용하고, 건축물의 위치에 따른 감쇠효과와 암반에 의한 증폭을 반영하여 결정할 수 있다.

[0024] 본 발명에 있어서, 상기 S200 단계의 구조재의 모델링은 건축물의 구조시스템, 층수 및 사용년수에 따른 구조재의 시뮬레이션 모델링이며, 구조재의 비선형 거동을 포함할 수 있는 요소가 포함될 수 있다.

[0025] 본 발명에 있어서, 상기 S200 단계의 비구조재는 건축적 비구조 요소와 기계전기적 비구조 요소로 구분되며, 건축적 비구조 요소는 칸막이벽, 천장재 및 바닥마감을 포함하며, 기계전기적 비구조 요소는 배관설비 및 전기설비를 포함할 수 있다.

[0026] 본 발명에 있어서, 상기 S300 단계의 지진취약도는 다음의 수학적 식 4를 이용하여 평가할 수 있다.

[0027] [수학적 식 4]

$$p_f = \Phi \left[\frac{\ln(EDP_{IM} / C)}{\sqrt{\beta_{EDP_{IM}}^2 + \beta_C^2}} \right]$$

[0028] (여기서 p_f 는 구조재 또는 비구조재(건축물요소)의 지진강도에 따른 손상확률을 나타내는 지진취약도이며, Φ [0029]]는 대수정규분포의 누적분포, EDP_{IM} 은 지진에 대한 건축물요소 응답의 중앙값(median), $\beta_{EDP_{IM}}$ 은 지진에 대한 건축물요소 응답의 불확실성(분산), C 는 건축물요소의 성능에 대한 중앙값, β_C 는 건축물요소 성능에 대한 불확실성이다.)

[0030] 본 발명에 있어서, 구조재는 지진에 의한 건축물의 응답 중 직하층 변위비를 사용할 수 있다.

[0031] 본 발명에 있어서, 비구조재의 경우, 가속도민감 비구조재는 당해층 가속도를 사용하고, 변위민감 비구조재는 직하층 변위비를 사용할 수 있다.

[0032] 본 발명에 있어서, 지진취약도의 곡선은 건축물 구조재 또는 비구조재의 성능에 대한 중앙값(C)과 불확실성(β_C); 및 지진에 대한 구조재 또는 비구조재의 응답에 대한 중앙값(EDP_{IM})과 불확실성($\beta_{EDP_{IM}}$)으로 결정될 수 있다.

[0033] 본 발명에 있어서, 구조재의 성능에 대한 중앙값은 직하층 변위비로 결정되며, 비구조재의 성능에 대한 중앙값은 직하층 변위비 또는 당해층 가속도로 결정될 수 있다.

[0034] 본 발명에 있어서, 상기 S400 단계의 손실평가 단계는 지진강도에 따른 수리비용 평가단계(S401)와, 수리비용에 따른 손실함수 결정단계(S402)로 구분될 수 있다.

[0035] 본 발명에 있어서, 상기 S401 단계는 다음의 수학적 식 5를 이용하여 건축물의 총 수리비용을 산출할 수 있다.

[0036] [수학적 식 5]

$$RCBD = RCS + RCNS$$

[0037] (여기서, RCBD는 건축물의 수리비용이며, RCS는 구조재의 수리비용이며, RCNS는 비구조재의 수리비용이다.)

[0038] 본 발명에 있어서, 상기 구조재의 수리비용(RCS)은 수학적 식 6 및 7을 이용하여 산출할 수 있다.

[0039] [수학적 식 6]

$$RCS = \sum_{ds=1}^n RCS_{ds}$$

[0040] [수학적 식 7]

$$RCS_{ds} = POSD_{ds} \times SMRC_{ds}$$

[0041] (여기서, RCS_{DS} 는 구조재의 각 손상상태에 대한 수리비용이며, $POSD_{DS}$ 는 구조재의 각 손상상태에 도달할 확률이며, $SMRC_{ds}$ 는 구조재의 각 손상상태에 따른 평균수리비용이다.)

[0042] 본 발명에 있어서, 상기 비구조재의 수리비용(RCNS)은 수학적 식 8 및 9를 이용하여 산출할 수 있다.

[0046] [수학식 8]

$$RCNS = \sum_{dx=1}^n RCNS_{dx}$$

[0047]

[0048] [수학식 9]

$$RCNS_{dx} = PONS_{dx} \times NSMRC_{dx}$$

[0049]

[0050] (여기서, $RCNS_{dx}$ 는 비구조재의 각 손상상태에 대한 수리비용이며, $PONS_{dx}$ 는 비구조재의 각 손상상태에 도달할 확률이며, $NSMRC_{dx}$ 는 비구조재의 각 손상상태에 따른 평균수리비용을 의미한다.)

[0051] 본 발명에 있어서, 상기 S402 단계의 손실함수인 손실비율은 다음의 수학식 10을 이용하여 결정될 수 있다.

[0052] [수학식 10]

$$\text{Damage Ratio (손실비율)} = \frac{RCBD(\text{수리비용})}{RC(\text{대체비용})} \times 100(\%)$$

[0053]

[0054] 본 발명에 있어서, 상기 S500 단계는 건축물의 도출된 손실함수로부터 내진성능을 복수의 등급으로 구분하여 평가하며, 손실비율에 따른 내진등급이 5%이하일 경우 5등급, 10%이하일 경우 4등급, 20%이하일 경우 3등급, 40%이하일 경우 2등급, 40%초과일 경우 1등급으로 구분될 수 있다.

[0055] 본 발명은 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가시스템으로서, 건축물 해석에 사용될 건축물의 위치 및 암반조건에 따른 지반운동을 결정하는 지반운동결정부(100); 구조재에 대한 수학적 시뮬레이션 모델링과, 건축물의 용도에 따라 설치된 비구조재의 목록을 도출하는 모델링을 하는 모델링부(200); 상기 지반운동결정부(100)에서 결정된 지반운동을 상기 모델링부(200)의 구조재 시뮬레이션 모델에 입력하여 도출되는 층별 직하층 변위비와 당해층 가속도로부터 구조재와 비구조재의 지진취약도를 확률기반으로 평가하는 손상평가부(300); 구조재와 비구조재의 손상도에 따른 손실함수를 통해 지진강도에 따른 수리비용을 평가하는 손실평가부(400)를 포함할 수 있다.

[0056] 본 발명에 있어서, 상기 손실평가부(400)에서 산출된 건축물의 수리비용을 건축물의 대체비용으로 나눈 손실함수를 이용해 지진강도에 따른 건축물의 내진성능을 평가하는 내진성능평가부(500)를 더 포함할 수 있다.

[0057] 본 발명은 컴퓨터 프로그램으로서, 하드웨어와 결합되어, 본 발명에 따른 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법을 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램인 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0058] 본 발명에 따른 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법 및 평가시스템은 다음과 같은 효과를 가진다.

[0059] 첫째, 건축물의 구조재뿐 아니라 비구조재의 손상 및 손실을 함께 고려하는 효과가 있다.

[0060] 둘째, 건축물 내진성능평가 방법을 통해, 건축물의 구조재 및 비구조재의 수리비용인 손실을 평가하는 효과가 있다.

[0061] 셋째, 건축물의 대체비용과 평가된 수리비용의 비율로 건축물의 내진성능을 등급별로 구분하여 현실적이고 객관적인 평가가 가능한 효과가 있다.

[0062] 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해되어 질 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0063] 도 1은 본 발명에 따른 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법의 순서도이다.

도 2는 본 발명에 따른 손실함수를 도출하기 위한 상세 순서도이다.

도 3 및 도 4는 본 발명에 있어서, 건축물의 구조재 및 비구조재의 지진취약도를 평가하는 과정을 설명하는 도

면이다.

도 5는 본 발명에 있어서, 건축물 구조재와 비구조재의 수리비용을 대체비용으로 나눈 손실비용을 지진강도에 따라 나타낸 손실함수를 나타낸다.

도 6은 본 발명에 따른 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가시스템의 개요도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0064] 이하, 첨부한 도면을 참조하여, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 설명한다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 이해할 수 있는 바와 같이, 후술하는 실시예는 본 발명의 개념과 범위를 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 형태로 변형될 수 있다. 가능한 한 동일하거나 유사한 부분은 도면에서 동일한 도면부호를 사용하여 나타낸다.
- [0065] 본 명세서에서 사용되는 전문용어는 단지 특정 실시예를 언급하기 위한 것이며, 본 발명을 한정하는 것을 의도하지는 않는다. 여기서 사용되는 단수 형태들은 문구들이 이와 명백히 반대의 의미를 나타내지 않는 한 복수 형태들도 포함한다.
- [0066] 본 명세서에서 사용되는 "포함하는"의 의미는 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분을 구체화하며, 다른 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소, 성분 및/또는 군의 존재나 부가를 제외시키는 것은 아니다.
- [0067] 본 명세서에서 사용되는 기술용어 및 과학용어를 포함하는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 일반적으로 이해하는 의미와 동일한 의미를 가진다. 사전에 정의된 용어들은 관련기술문헌과 현재 개시된 내용에 부합하는 의미를 가지는 것으로 추가 해석되고, 정의되지 않는 한 이상적이거나 매우 공식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0069] 본 발명은 건축물의 구조시스템을 구성하는 구조재와 건축물의 용도에 따라 설치되는 비구조재의 손실기반 해석방법을 이용한 수리비용에 따른 내진성능평가 방법에 관한 것이다. 더욱 상세하게는 지진강도에 따라 구조재와 비구조재의 손상을 평가하여, 지진강도에 따른 손실함수를 도출함으로써, 지진강도에 따른 건축물의 손실에 근거한 내진성능평가 방법에 관한 것이다.
- [0071] 이하에서는 도면을 참고하여 본 발명을 설명하고자 한다.
- [0072] 도 1은 본 발명에 따른 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법의 순서도이다.
- [0073] 본 발명에 따른 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법은 지반운동결정부(100)에서, 건축물 해석에 사용될 건축물의 위치 및 암반조건에 따른 지반운동을 결정하는 단계(S100); 모델링부(200)에서, 구조재에 대한 수학적 시뮬레이션 모델링과, 건축물의 용도에 따라 설치된 비구조재의 목록을 도출하는 모델링을 하는 단계(S200); 손상평가부(300)에서, 상기 S100 단계에서 결정된 지반운동을 S200 단계의 구조재 시뮬레이션 모델에 입력하여 도출되는 층별 직하층 변위비와 당해층 가속도로부터 구조재와 비구조재의 지진취약도를 평가하는 확률기반 손상평가 단계(S300); 및 손실평가부(400)에서, 구조재와 비구조재의 손상도에 따른 손실함수를 통해 지진강도에 따른 수리비용을 평가하는 구조재 및 비구조재의 손실평가단계(S400)를 포함한다.
- [0074] 본 발명은 내진성능평가부(500)에서, S400 단계에서 산출된 건축물의 수리비용을 건축물의 대체비용으로 나눈 손실함수를 이용해 지진강도에 따른 건축물의 내진성능을 평가하는 단계(S500)를 더 포함할 수 있다.
- [0076] 본 발명에 따른 S100 단계는 지반운동결정부(100)에서, 건축물 해석에 사용될 건축물의 위치 및 암반조건에 따른 지반운동을 결정하는 단계이다.
- [0077] 상기 S100 단계의 지반운동은 다음 수식식 1 내지 3을 이용하여 결정될 수 있다.

수식식 1

$$F(x) = \frac{i - \alpha}{N + 1 - 2\alpha}$$

[0078]

수학식 2

$$\alpha = \frac{N + (N + 1)\ln(1 - P)}{N + 2\ln(1 - P)}$$

수학식 3

$$F(V_0/2) = \exp \left[- \left(\frac{15 - (V_0/2)}{53.69(V_0/2)} \right)^{1.37} \right]$$

[0079]

[0080]

[0081]

[0083]

[0084]

[0085]

[0086]

[0087]

[0088]

[0089]

[0090]

[0092]

[0093]

[0094]

[0095]

[0097]

[0098]

[0099]

여기서, i 는 건축물의 중요도이며, α 는 수학식 2로부터 계산되는 생애주기 중 가장 큰 지진의 초과확률을 P (%)로 설정하였을 때의 계산되는 상수이며, N 은 지진기록의 총 연도를 나타낸다.

S100 단계에 있어서, 지반운동은 인공지진파를 사용하거나, 실제지진파를 설계스펙트럼에 스케일링하여 사용될 수 있다.

사용되는 지진파의 개수는 사용자가 결정할 수 있으나, 본 발명에서는 해석의 정밀도를 높이기 위해 최소 30개 이상의 지진파가 요구되는 것이 적절하다.

우리나라의 건축구조기준에서는 N 값을 50년, P 를 2%를 사용하여 재현주기 2475년에 해당하는 최대예상지진을 대상으로 설계스펙트럼을 산정한다.

수학식 1로부터 $F(x)$ 로 초과확률이 계산되게 되면, 수학식 3을 이용하여 초과확률에 대한 지반운동의 최대속도를 구할 수 있다.

지반운동의 최대속도로부터 설계스펙트럼에 해당하는 인공지진파를 생성하는 과정은 ‘건축구조기준 및 해설(2016)’ 등에 개시된 공지기술을 활용할 수 있다.

도 2는 본 발명에 따른 건축물 내진성능평가 방법에서 손실함수를 도출하기 위한 상세 순서도이다.

건축물에 해석에 사용될 지반운동은 수학식 1 내지 수학식 3을 통해 지반운동의 최대속도로부터 도출된 인공지진파 또는 실제지진파를 이용하며, 건축물의 위치에 따른 감쇠효과와 암반에 의한 증폭을 고려하여 결정한다.

여기서 건축물의 위치에 따른 감쇠효과와 암반에 의한 증폭은 ‘건축구조기준 및 해설(2016)’ 등에 개시된 공지기술을 활용하여 결정할 수 있다.

본 발명에 따른 S200 단계는 모델링부(200)에서, 구조재에 대한 수학적 시뮬레이션 모델링과, 건축물의 용도에 따라 설치된 비구조재의 목록을 도출하는 모델링을 하는 단계이다.

여기서 구조재에 대한 수학적 시뮬레이션 모델링은 기존 방식을 사용하고, 비구조재의 모델링은 건축물의 용도에 따라 고려되는 비구조재의 목록을 도출할 수 있다.

S200 단계에 있어서, 구조재의 모델링은 건축물의 구조시스템, 층수 및 사용년수에 따른 구조재의 시뮬레이션 모델링이며, 구조재의 비선형 거동을 포함할 수 있는 요소가 포함될 수 있다.

즉, 구조재의 모델링은 건축물의 구조시스템, 층수, 사용년수에 따른 기둥, 보, 벽과 같은 구조재를 중심으로 시뮬레이션에 사용될 모델을 작성하는 것을 의미한다. 여기서 시뮬레이션 모델은 기존 구조재에 대한 모델링 방법을 활용하여, 구조재의 비선형거동을 포함할 수 있는 요소가 포함되는 것이다.

S200 단계에 있어서, 비구조재의 모델링은 건축물의 용도에 따라 고려되는 비구조재의 목록을 도출하는 것을 의미한다.

상기 S200 단계의 비구조재는 건축적 비구조 요소와 기계전기적 비구조 요소로 구분될 수 있다.

여기서, 건축적 비구조 요소는 칸막이벽, 천장재, 바닥마감과 같은 요소를 의미하며, 기계전기적 비구조 요소는 배관설비, 전기설비와 같은 요소를 의미한다. 건축적 비구조 요소와 기계전기적 비구조 요소에 대한 분류는 ‘

건축구조기준 및 해석(2016)'의 분류를 따를 수도 있다.

[0100] 본 발명에 따른 S200 단계는 손상평가부(300)에서, S100 단계에서 결정된 지반운동을 S200 단계의 구조재 시물레이션 모델에 입력하여 도출되는 층별 직하층 변위비와 당해층 가속도로부터 구조재와 비구조재의 지진취약도를 평가하는 확률기반 손상평가 단계이다.

[0101] 층별 직하층 변위비와 당해층 가속도로부터 구조재와 비구조재의 지진취약도를 평가하는 확률기반 손상평가 단계(S300)에서는 수학적 4를 이용하여 구조재와 비구조재의 지진강도에 따른 지진취약도를 평가할 수 있다.

수학적 4

$$p_f = \Phi \left[\frac{\ln(EDP_{IM} / C)}{\sqrt{\beta_{EDP_{IM}}^2 + \beta_C^2}} \right]$$

[0102]

[0103] 여기서 p_f 는 구조재 또는 비구조재(건축물요소)의 지진강도에 따른 손상확률을 나타내는 지진취약도이며, $\Phi[]$ 는 대수정규분포의 누적분포, EDP_{IM} 은 지진에 대한 건축물요소 응답의 중앙값(median), $\beta_{EDP_{IM}}$ 은 지진에 대한 건축물요소 응답의 불확실성(분산), C 는 건축물요소의 성능에 대한 중앙값, β_C 는 건축물요소 성능에 대한 불확실성이다.

[0104] 지진취약도를 평가할 때, 구조재의 경우, 지진에 의한 건축물의 응답 중 직하층 변위비를 사용할 수 있다. 비구조재의 경우, 가속도민감 비구조재는 당해층 가속도를 사용하고, 변위민감 비구조재는 직하층 변위비를 사용할 수 있다.

[0105] 가속도민감 비구조재는 천장재와 같은 요소가 해당되며, 변위민감 비구조재는 칸막이벽과 같은 요소가 해당된다.

[0106] 만약 기계설비와 같은 속도에 민감한 비구조재를 고려한다면, 비구조재가 설치된 층의 최대층속도를 이용하여 속도에 민감한 비구조재의 지진취약도를 도출할 수 있으므로, 고려되는 구조재 및 비구조재의 요소에 대한 손상에 민감한 지진응답계수를 이용하여 지진취약도를 평가할 수 있다.

[0108] 수학적 4를 이용한 건축물을 구성하는 구조재와 비구조재에 대한 확률적 손상도를 평가하기 위한 지진취약도곡선은 건축물 구조재 또는 비구조재의 성능에 대한 중앙값(C)과 불확실성(β_C), 지진에 대한 구조재 또는 비구조재의 응답에 대한 중앙값(EDP_{IM})과 불확실성($\beta_{EDP_{IM}}$)으로 결정된다.

[0109] 구조재의 성능에 대한 중앙값은 직하층 변위비로 결정되며, 비구조재의 성능에 대한 중앙값은 직하층 변위비 또는 당해층 가속도로 결정된다.

[0111] 아래의 표 1은 건축물의 구조재와 비구조재의 성능에 대한 중앙값과 불확실성을 예제로 나타낸 표이다.

표 1

건축물 구성요소	지진응답계수	단위	DS1		DS2		DS3	
			C	β_C	C	β_C	C	β_C
구조재(기둥, 보)	직하층 변위비	Unit less	0.0035	0.40	0.0070	0.40	0.0120	0.40
외부치장벽돌	직하층 변위비	Unit less	0.0210	0.60	0.0071	0.45	0.0120	0.45
내벽(파티션)	직하층 변위비	Unit less	0.0064	0.30	-	-	-	-
내벽(타일)	직하층 변위비	Unit less	0.0021	0.60	0.0071	0.45	-	-
천장재	당해층 가속도	g	0.7	0.25	1.2	0.25	1.43	0.25
바닥마감	당해층 가속도	g	0.5	0.40	0.7	0.40	-	-

[0112]

[0113] 표 1에 정리된 바와 같이 구조재 및 비구조재는 각 손상상태에 따라 건축물요소의 성능에 대한 중앙값과 불확실성이 나누어질 수 있다.

- [0114] 본 발명에서는 손상상태는 DS1, DS2, DS3로 구분하였다. 여기서, DS는 Damage State(손상상태)를 의미한다. 종래의 내진성능기준과 비교하면, DS1는 즉시거주, DS2는 인명안전, DS3는 붕괴방지에 해당한다.
- [0115] 표 1에 나타난 바와 같이, 건축물의 구성요소 별로 지진응답계수가 직하층 변위비 또는 당해층 가속도로 다르고, 각 손상상태에 대한 성능에 대한 중앙값과 불확실성이 다르다.
- [0116] 구조재나 비구조재의 각 손상상태에 대한 성능에 대한 중앙값과 불확실성은 미국의 연방재난 관리청(FEMA; Federal Emergency Management Agency)의 HAZUS-MH나 FEMA P58을 참조하거나, 실험 또는 다른 기준 등을 사용하여 얻을 수 있을 것이다.
- [0118] 도 3 및 도 4는 지반운동을 시뮬레이션 모델에 입력하여 얻어진 지진강도에 따른 층별 직하층 변위비와 당해층 가속도를 이용하여 건축물의 구조재 및 비구조재의 지진취약도를 평가하는 과정을 설명하는 도면이다.
- [0119] 점선, 실선, 굵은선은 각각 DS1, DS2, DS3 곡선을 나타내며, 검정색, 파란색, 빨강색은 각각 1층, 2층, 3층의 지진취약도 곡선을 나타낸다. 이에 따라 지진강도에 따른 구조재와 비구조재의 층별 손상확률을 평가할 수 있다.
- [0121] 본 발명에 따른 S400 단계는 손실평가부(400)에서, 구조재와 비구조재의 손상도에 따른 손실함수를 통해 지진강도에 따른 수리비용을 평가하는 구조재 및 비구조재의 손실평가단계이다.
- [0122] 도 5는 본 발명에 있어서, 건축물 구조재와 비구조재의 수리비용을 대체비용으로 나눈 손실비용을 지진강도에 따라 나타난 손실함수를 나타낸다.
- [0123] 네모는 1층, 동그라미는 2층, 상향세모는 3층, 하향세모는 전체 손실함수를 나타낸다.
- [0124] 지진강도에 따른 손상확률로부터 수리비용을 산출하기 위해선, 건축물 구조재의 손상상태에 따른 평균수리비용(structural mean repair cost, $SMRC_{ds}$)와 비구조재의 손상상태에 따른 평균수리비용(nonstructural mean repair cost, $NSMRC_{ds}$)에 대한 정보가 필요하고, 이에 대한 정보는 FEMA P58을 참조하거나, 실험 또는 다른 기준 등을 사용하여 얻을 수 있을 것이다.
- [0126] 본 발명에 따른 S400 단계의 손실평가 단계는 지진강도에 따른 수리비용 평가단계(S401)와, 수리비용에 따른 손실함수 결정단계(S402)로 구분될 수 있다.
- [0127] 본 발명에 따른 S401 단계는 다음의 수학적 5를 이용하여 건축물의 총 수리비용을 산출할 수 있다.

수학적 5

[0128]
$$RCBD = RCS + RCNS$$

[0129] 여기서, RCBD(repair cost of building damage)는 건축물의 수리비용이며, RCS(repair cost of structural component)는 구조재의 수리비용이며, RCNS(repair cost of nonstructural component)는 비구조재의 수리비용이다.

[0131] 상기 구조재의 수리비용(RCS)은 수학적 6 및 7을 이용하여 산출할 수 있다.

수학적 6

[0132]
$$RCS = \sum_{ds=1}^n RCS_{ds}$$

수학적 7

[0133]
$$RCS_{ds} = POSD_{ds} \times SMRC_{ds}$$

[0134] 여기서, RCS_{DS} 는 구조재의 각 손상상태에 대한 수리비용이며, $POSD_{DS}$ (probability of being in structural component damage state)는 구조재의 각 손상상태에 도달할 확률이며, $SMRC_{ds}$ (structural mean repair cost)는 구조재의 각 손상상태에 따른 평균수리비용이다.

[0136] 상기 비구조재의 수리비용(RCNS)은 수학적식 8 및 9를 이용하여 산출할 수 있다.

수학적식 8

$$RCNS = \sum_{ds=1}^n RCNS_{ds}$$

[0137]

수학적식 9

$$RCNS_{ds} = PONS_{DS} \times NSMRC_{ds}$$

[0138]

[0139] 여기서, $RNCS_{DS}$ 는 비구조재의 각 손상상태에 대한 수리비용이며, $PONDS_{DS}$ (probability of being in nonstructural component damage state)는 비구조재의 각 손상상태에 도달할 확률이며, $NSMRC_{DS}$ (mean repair cost)는 비구조재의 각 손상상태에 따른 평균수리비용을 의미한다.

[0141] 수학적식 7과 수학적식 9로부터 특정한 손상상태에 대한 구조재와 비구조재의 수리비용을 계산할 수 있다. 또한, 수학적식 6과 수학적식 8로부터 전체 손상상태를 고려한 구조재와 비구조재의 수리비용을 계산할 수 있다. 그리고 수학적식 5로부터 건축물의 전체 수리비용을 계산할 수 있다.

[0143] 여기서, 비구조재의 수리비용을 계산하기 위한 수학적식 8 및 수학적식 9는 구조재의 수리비용을 계산하기 위한 수학적식 6 및 수학적식 7과 일견 유사한 형태로 보일 수도 있다.

[0144] 하지만, 비구조재의 수리비용을 계산하기 위해서는, 비구조재의 지진거동에 대한 특성을 고려한 손상확률($PONS_{DS}$)와 비구조재의 손상상태에 따른 수리비용($NSMRC_{ds}$)이 정량적으로 산출되어야만 한다.

[0145] 따라서, 구조재의 수리비용을 계산하기 위한 수학적식과 형태는 유사하나, 비구조재의 손상확률과 수리비용을 산출하기 위한 고려되는 요소가 전혀 다르므로 기존의 구조재의 수리비용 산출과는 큰 차이가 있다.

[0146] 예를 들면, 비구조재의 일 사례인 천장재의 경우 건축물의 당해층 가속도에 의한 손상확률과 이에 따른 수리비용이 고려되어야 할 것이다. 하지만, 구조재는 건축물의 직하층 변위비에 의한 손상확률과 이에 따른 수리비용이 고려되어야 한다. 따라서, 비구조재인 천장재의 수리비용을 산출하기 위해 고려해야 하는 건축물의 지진에 대한 응답이 구조재와는 큰 차이가 있다고 할 수 있다.

[0148] 본 발명에 따른 S402 단계의 손실함수인 손실비율은 다음의 수학적식 10을 이용하여 결정될 수 있다. 수학적식 10은 건축물의 지진강도에 따른 손실함수인 손실비율을 계산하기 위한 식으로, 건축물의 손실비율은 수리비용을 대체비용으로 나누어 백분율로 계산한다

수학적식 10

$$\text{Damage Ratio (손실비율)} = \frac{RCBD(\text{수리비용})}{RC(\text{대체비용})} \times 100(\%)$$

[0149]

[0151] 본 발명에 따른 S500 단계는 내진성능평가부(500)에서, S400 단계에서 산출된 건축물의 수리비용을 건축물의 대체비용으로 나눈 손실함수를 이용해 지진강도에 따른 건축물의 내진성능을 평가하는 단계이다.

[0152] 상기 S500 단계는 건축물의 도출된 손실함수로부터 내진성능을 복수의 등급으로 구분하여 평가할 수 있다.

- [0153] 즉, 산출된 건축물의 수리비용을 건축물의 대체비용으로 나눈 손실함수를 이용해 지진강도에 따른 건축물의 내진성능평가단계(S500)에서는 건축물의 도출된 손실함수로부터 내진성능을 예로, 5등급(5star)부터 1등급(1star)까지 평가하는 단계이다.
- [0154] 구조재 및 비구조재의 손실평가 단계로부터 얻은 지진강도에 따른 손실비율로부터 건축물의 내진성능을 평가하는데, 일 실시예로서, 다음의 표 2와 같이 구분될 수 있다.

표 2

USRC		본 발명	
내진등급	손실비율	내진등급	손실비율
5-stars	5% 이하	5-stars	3.5% 이하
4-stars	10% 이하	4-stars	7% 이하
3-stars	20% 이하	3-stars	15% 이하
2-stars	40% 이하	2-stars	25% 이하
1-stars	40% 초과	1-stars	25% 초과

- [0155]
- [0157] 표 2를 살펴 보면, USRC(United State Building Council)는 손실비율에 따른 내진등급을 5%이하일 경우 5star, 10%이하일 경우 4star, 20%이하일 경우 3star, 40%이하일 경우 2star, 40%초과일 경우 1star로 제시한다.
- [0159] 그런데 표 2를 살펴보면, 본 발명에서는 표 2와 같이 건축물 손실비율에 따른 내진등급을 3.5%이하일 경우 5star, 7%이하일 경우 4star, 15%이하일 경우 3star, 25%이하일 경우 2star, 25%초과일 경우 1star로 제시한다.
- [0160] 만약 고려하는 특정한 지진강도에서 건축물의 구조재와 비구조재를 고려한 손실비율이 5%이라면, 손실비율이 3.5%보다는 크고 7%보다는 작기 때문에, 해당 건축물의 내진성능은 4star로 평가할 수 있다.
- [0161] 위의 표 2로부터 건축물의 내진성능은 손실비율에 따라 5등급으로 구분될 수 있으며, 현실적인 지진피해를 고려할 수 있기 때문에 객관적으로 내진성능을 평가할 수 있다.
- [0163] 본 발명은 내진성능 평가시스템으로 구현될 수 있다. 전술한 내진성능 평가방법과 실질적으로 동일한 내용은 생략하고, 주요 구성요소를 위주로 설명하면 다음과 같다.
- [0164] 본 발명은 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가시스템으로서, 지반운동결정부(100), 모델링부(200), 손상평가부(300) 및 손실평가부(400)를 포함한다.
- [0165] 본 발명에 따른 지반운동결정부(100)는 건축물 해석에 사용될 건축물의 위치 및 암반조건에 따른 지반운동을 결정할 수 있다.
- [0166] 본 발명에 따른 모델링부(200)는 구조재에 대한 수학적 시뮬레이션 모델링과, 건축물의 용도에 따라 설치된 비구조재의 목록을 도출하는 모델링을 할 수 있다.
- [0167] 본 발명에 따른 손상평가부(300)는 상기 지반운동결정부(100)에서 결정된 지반운동을 상기 모델링부(200)의 구조재 시뮬레이션 모델에 입력하여 도출되는 층별 직하층 변위비와 당해층 가속도로부터 구조재와 비구조재의 지진취약도를 확률기반으로 평가할 수 있다.

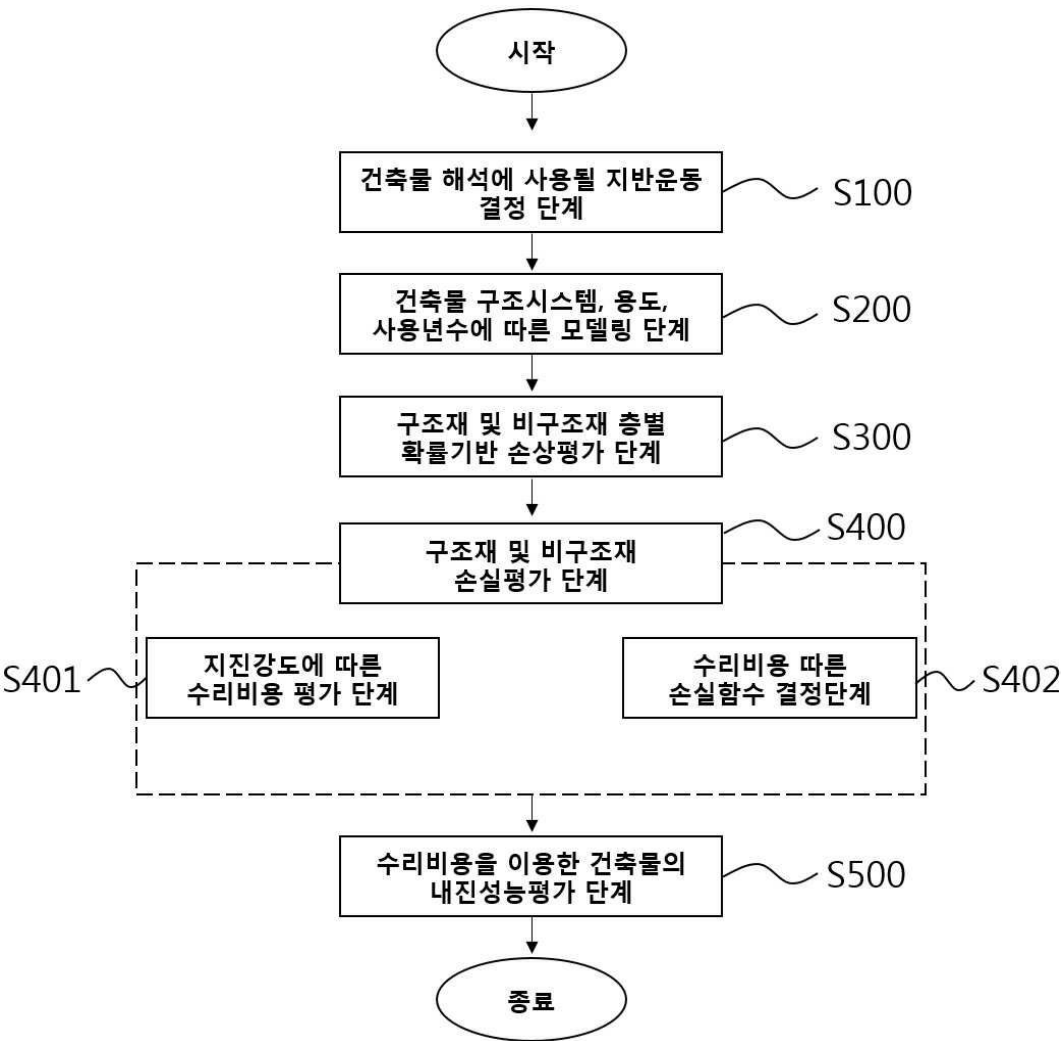
- [0168] 본 발명에 따른 손실평가부(400)는 구조재와 비구조재의 손상도에 따른 손실합수를 통해 지진강도에 따른 수리비용을 평가할 수 있다.
- [0169] 본 발명에 따른 내진성능 평가시스템은 손실평가부(400)에서 산출된 건축물의 수리비용을 건축물의 대체비용으로 나눈 손실합수를 이용해 지진강도에 따른 건축물의 내진성능을 평가하는 내진성능평가부(500)를 더 포함할 수 있다.
- [0171] 한편, 본 발명은 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 하드웨어와 결합되어, 본 발명에 따른 손실기반 해석방법을 이용한 내진성능 평가방법을 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램인 것이 바람직하다.
- [0173] 본 명세서에서 설명되는 실시예와 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 예시적으로 설명하는 것에 불과하다. 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이므로, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아님은 자명하다. 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형예와 구체적인 실시 예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

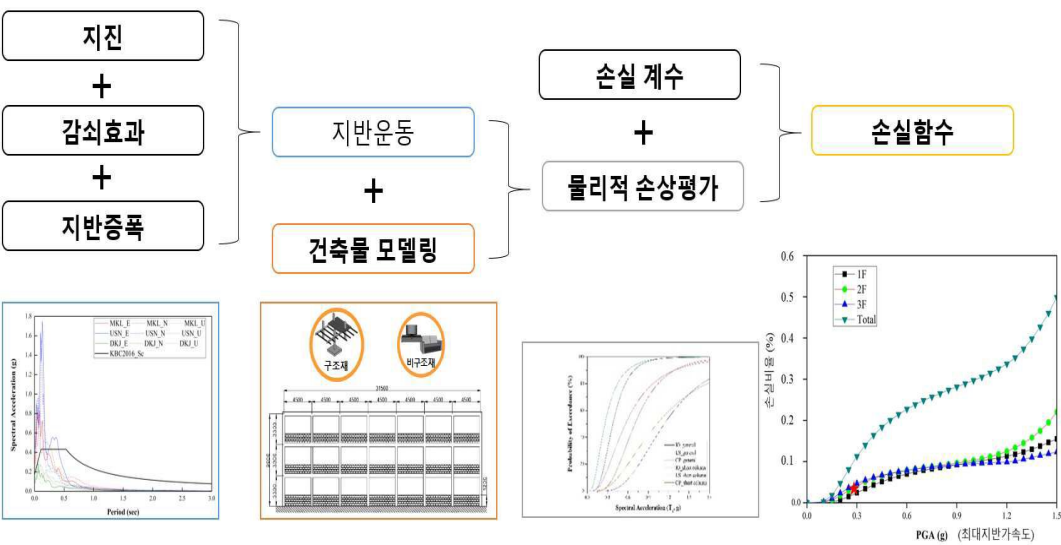
- [0174] 100 : 지반운동결정부
 200 : 모델링부
 300 : 손상평가부
 400 : 손실평가부
 500 : 내진성능평가부

도면

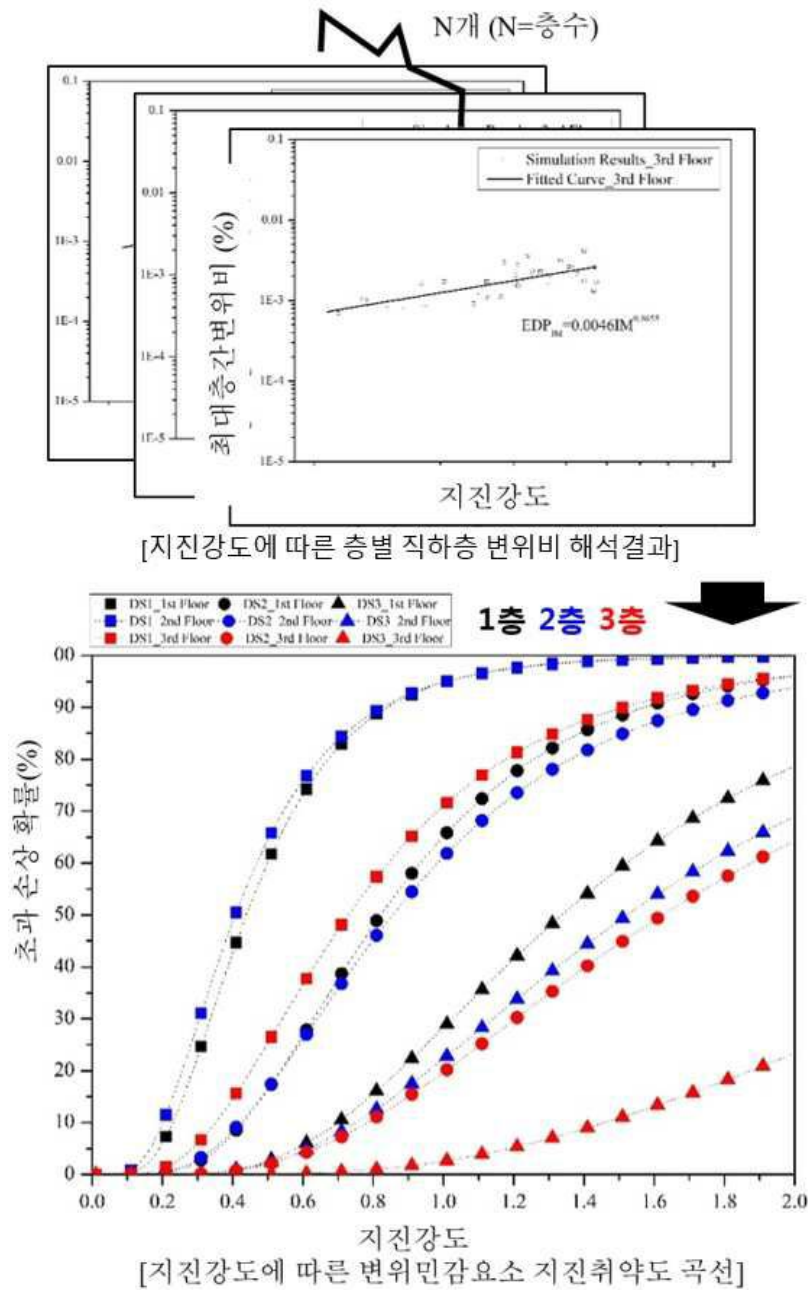
도면1



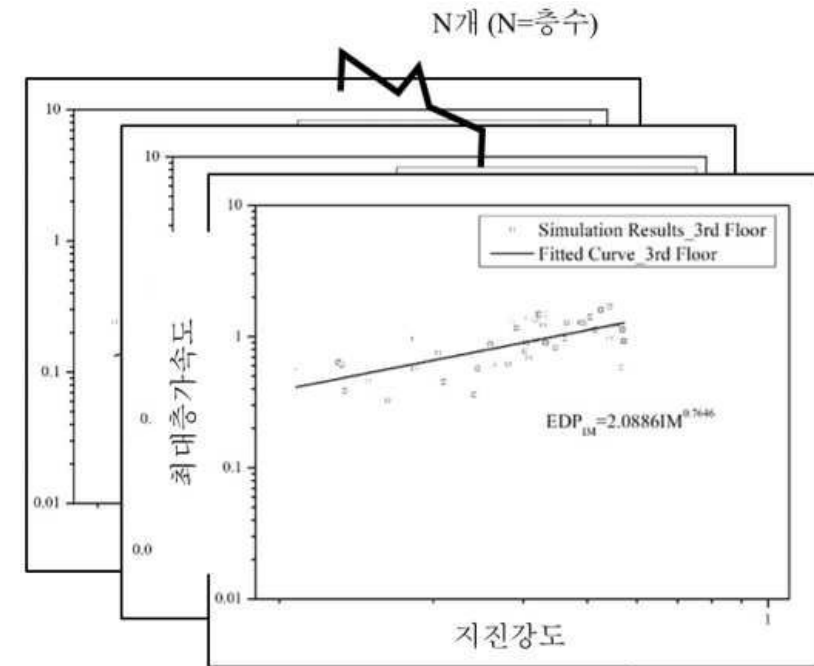
도면2



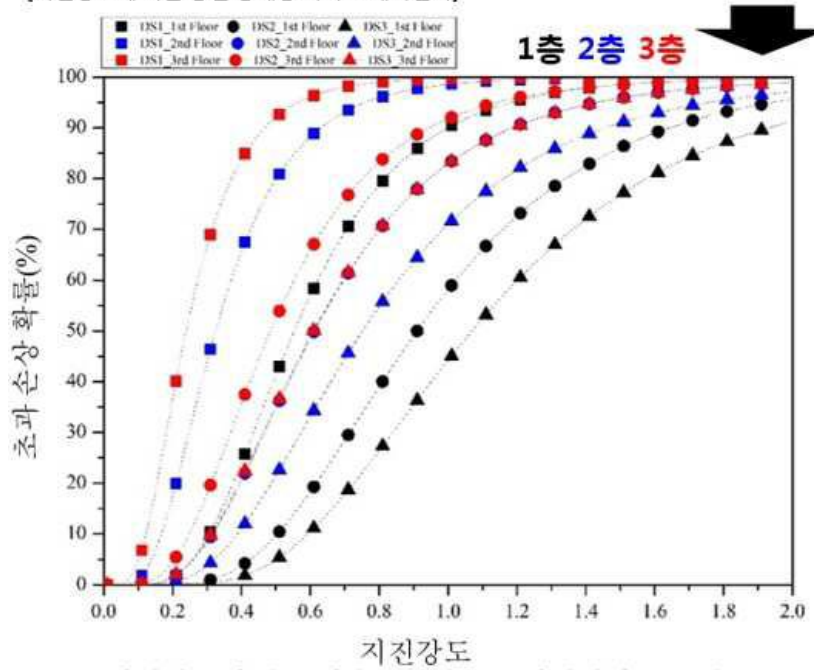
도면3



도면4

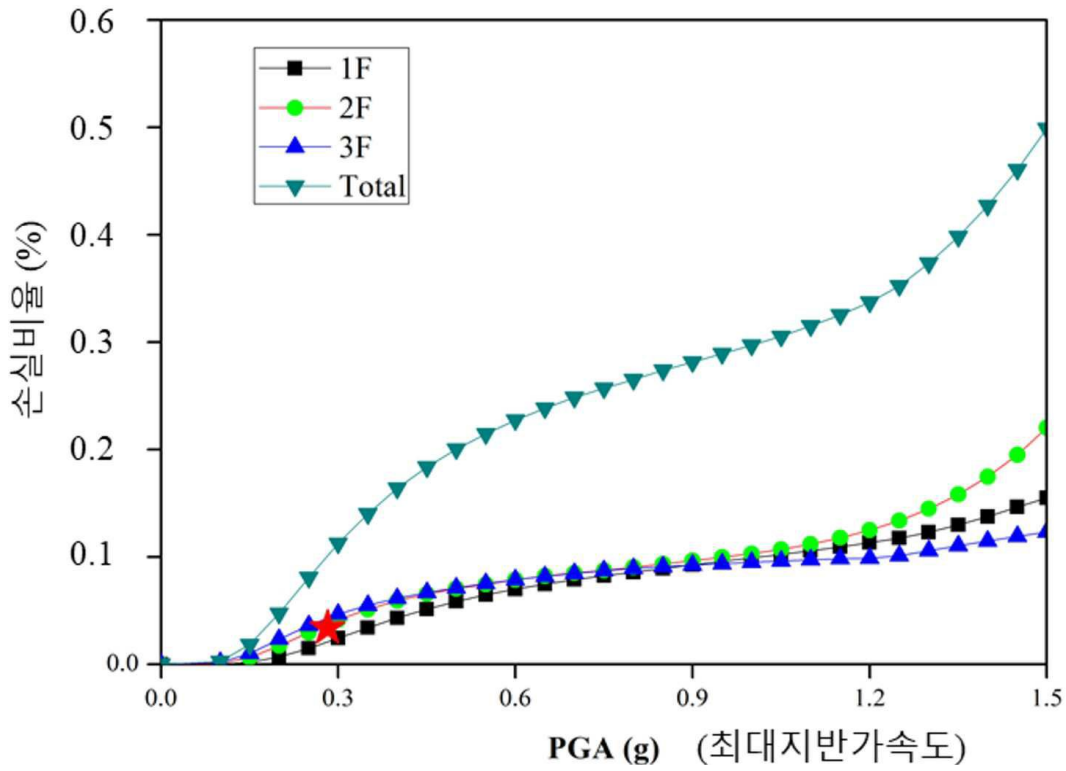


[지진강도에 따른 층별 당해층 가속도 해석결과]



[지진강도에 따른 가속도민감요소 지진취약도 곡선]

도면5



도면6

