

**(19) 대한민국특허청(KR)**
(12) 공개특허공보(A)**(11) 공개번호** 10-2022-0090612
(43) 공개일자 2022년06월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06F 7/02 (2006.01) G01M 7/08 (2006.01)
G01M 99/00 (2011.01) G01V 1/00 (2006.01)
G06F 30/13 (2020.01)

(52) CPC특허분류

G06F 7/02 (2021.08)
G01M 7/08 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0180517

(22) 출원일자 2020년12월22일

심사청구일자 2020년12월22일

(71) 출원인

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

김준희

서울특별시 서초구 고무래로 35, 102동 702호

최인섭

서울특별시 성북구 종암로32길 13-3, 킨즈빌2차 202호

(뒷면에 계속)

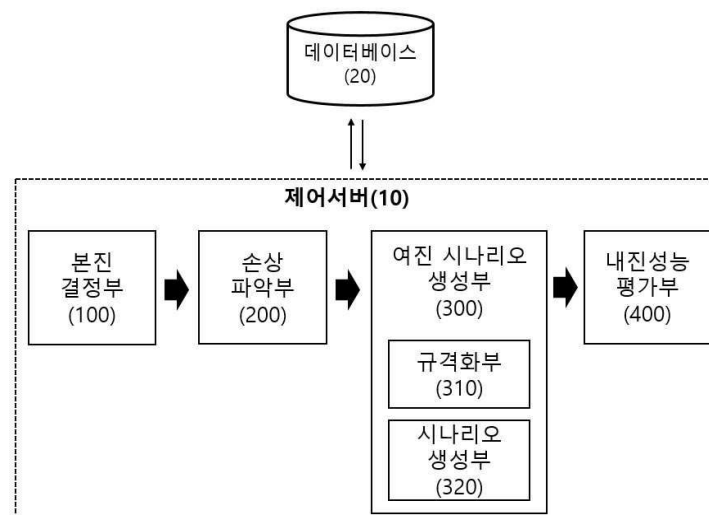
(74) 대리인

김인철

전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가시스템 및 평가방법**(57) 요약**

본 발명은 연산기능을 가진 제어서버(10) 및 구조물정보 및 지진정보를 포함하는 정보데이터가 저장된 데이터베이스(20)가 네트워크로 연결되고, 컴퓨터에 의해 실행되는 연속지진 내진성능 평가시스템으로서, 제어서버(10)는 건축물 해석에 사용될 본진을 결정하는 본진 결정부(100); 상기 본진 결정부(100)에서 결정된 본진에 따른 건축물의 보-기둥 접합부의 손상을 파악하는 손상 파악부(200); 본진에 의해 손상된 구조물이 반영된 여진 시나리오를 생성하는 여진 시나리오 생성부(300); 및 생성된 여진 시나리오를 통해 연속지진 내진성능을 평가하는 내진성능 평가부(400)를 포함하는 것을 특징으로 하는 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가시스템이다.

대표도 - 도1

(52) CPC특허분류

G01M 99/00 (2013.01)

G01V 1/003 (2013.01)

G06F 30/13 (2020.01)

(72) 발명자

장학중

서울시 강남구 삼성로 150, 미도아파트 209-1209

이주희

경기도 화성시 동탄공원로 21-11, 푸른마을모아미
래도 946동 1602호

김현수

서울특별시 서대문구 신촌로 127 르메이에르타운3
1409호

최재혁

서울특별시 강남구 삼성로 151, 2동 506호

김동원

서울특별시 서대문구 연희로10길 19 (연희동)

김강산

서울특별시 광진구 아차산로 522, 801동 2205호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711114753

과제번호 2018R1A2B6006958

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원사업

연구과제명 (통합Ezbaro)연속지진에 의한 누적손상을 고려한 재난대응필수시설의 하이브리드 내
진성능평가 기법개발(3/3)

기 여 율 1/1

과제수행기관명 연세대학교

연구기간 2018.03.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

연산기능을 가진 제어서버 및 구조물정보 및 지진정보를 포함하는 정보데이터가 저장된 데이터베이스가 네트워크로 연결되고, 컴퓨터에 의해 실행되는 연속지진 내진성능 평가시스템으로서, 제어서버는

건축물 해석에 사용될 본진을 결정하는 본진 결정부;

상기 본진 결정부에서 결정된 본진에 따른 건축물의 보-기둥 접합부의 손상을 파악하는 손상 파악부;

본진에 의해 손상된 구조물이 반영된 여진 시나리오를 생성하는 여진 시나리오 생성부; 및

생성된 여진 시나리오를 통해 연속지진 내진성능을 평가하는 내진성능 평가부를 포함하는 것을 특징으로 하는 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 본진 결정부는

접합부의 강성저감을 일으키는 지진파를 본진으로 결정하는 것을 특징으로 하는 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가시스템.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 손상 파악부는

손상된 구조물의 보-기둥 접합부의 강성 저감량을 도출하고,

도출된 강성 저감량을 통해 손상된 구조물의 증가된 고유주기를 도출하는 것을 특징으로 하는 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가시스템.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 여진 시나리오 생성부는

여진 데이터를 스케일링하는 규격화부 및

스케일링된 여진 데이터를 이용하여 여진 시나리오를 생성하는 시나리오 생성부로 구비되는 것을 특징으로 하는 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가시스템.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 규격화부는 다음의 수학적식 1을 통해 지진파를 스케일링하는 것을 특징으로 하는 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가시스템.

[수학적식 1]

$$S_{aT=1(Record)} = S_{aT=1(Design)}$$

(여기서, $S_{aT=1(Record)}$ 는 주기가 1에서의 지진파 종류별 응답스펙트럼 가속도이며, $S_{aT=1(Design)}$ 는 주기가

1인 구조물별 설계스펙트럼가속도 값이며, 구조물의 손상여부와 무관한 값이다.)

청구항 6

청구항 4에 있어서,

상기 시나리오 생성부는 다음의 수학적 2를 통해 여진 시나리오를 선정하는 것을 특징으로 하는 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가시스템.

[수학적 2]

$$S_{aT=n(Record)} \geq S_{aT=n(Design)}$$

(여기서, $S_{aT=n(Record)}$ 는 손상된 구조물의 고유주기(n초)에서의 응답스펙트럼 가속도이며, $S_{aT=n(Design)}$ 는 손상된 구조물의 고유주기(n초)에서의 설계스펙트럼가속도 값이다.)

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 내진성능 평가부는 다음의 수학적 3을 통해 지진취약도를 산출하는 것을 특징으로 하는 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가시스템.

[수학적 3]

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

(여기서, p_f 는 구조물의 지진강도에 따른 손상확률을 나타내는 지진취약도이며, $\Phi[]$ 는 대수정규분포의 누적분포, EDP_{IM} 은 지진에 대한 구조물 응답의 중앙값(median), C 는 구조물의 성능에 대한 중앙값, β 는 구조물 성능에 대한 불확실성이다.)

청구항 8

연산기능을 가진 제어서버 및 구조물정보 및 지진정보를 포함하는 정보데이터가 저장된 데이터베이스가 네트워크로 연결되고, 컴퓨터에 의해 실행되는 연속지진 내진성능평가방법으로서, 제어서버는

본진 결정부가 건축물 해석에 사용될 본진을 결정하는 S100 단계;

손상 파악부가 S100 단계 결정된 본진에 따른 건축물의 보-기둥 접합부의 손상을 파악하는 S200 단계;

여진 시나리오 생성부가 본진에 의해 손상된 구조물이 반영된 여진 시나리오를 생성하는 S300 단계; 및

내진성능 평가부가 생성된 여진 시나리오를 통해 연속지진 내진성능을 평가하는 S400 단계를 수행하는 것을 특징으로 하는 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가방법.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

S100 단계의 본진 결정부는 접합부의 강성저감을 일으키는 지진파를 본진으로 결정하는 것을 특징으로 하는 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가방법.

청구항 10

청구항 8에 있어서,

S200 단계의 손상 파악부는 손상된 구조물의 보-기둥 접합부의 강성 저감량을 도출하고, 도출된 강성 저감량을 통해 손상된 구조물의 증가된 고유주기를 도출하는 것을 특징으로 하는 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가방법.

청구항 11

청구항 8에 있어서,

S300 단계는

규격화부가 여진 데이터를 스케일링하는 S310 단계; 및

시나리오 생성부가 스케일링된 여진 데이터를 이용하여 여진 시나리오를 생성하는 S320 단계로 구비되는 것을 특징으로 하는 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가방법.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

S310 단계의 규격화부는 다음의 수학식 1을 통해 지진파를 스케일링하는 것을 특징으로 하는 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가방법.

[수학식 1]

$$S_{a_{T=1}(Record)} = S_{a_{T=1}(Design)}$$

(여기서, $S_{a_{T=1}(Record)}$ 는 주기가 1에서의 지진파 종류별 응답스펙트럼 가속도이며, $S_{a_{T=1}(Design)}$ 는 주기가 1인 구조물 별 설계스펙트럼가속도 값이며, 구조물의 손상여부와 무관한 값이다.)

청구항 13

청구항 11에 있어서,

S320 단계의 시나리오 생성부는 다음의 수학식 2를 통해 여진 시나리오를 선정하는 것을 특징으로 하는 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가방법.

[수학식 2]

$$S_{a_{T=n}(Record)} \geq S_{a_{T=n}(Design)}$$

(여기서, $S_{a_{T=n}(Record)}$ 는 손상된 구조물의 고유주기(n초)에서의 응답스펙트럼 가속도이며, $S_{a_{T=n}(Design)}$ 는 손상된 구조물의 고유주기(n초)에서의 설계스펙트럼가속도 값이다.)

청구항 14

청구항 8에 있어서,

S400 단계의 내진성능 평가부는 다음의 수학식 3을 통해 지진취약도를 산출하는 것을 특징으로 하는 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가방법.

[수학식 3]

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

(여기서, p_f 는 구조물의 지진강도에 따른 손상확률을 나타내는 지진취약도이며, $\Phi[]$ 는 대수정규분포의 누적분포, EDP_{IM} 은 지진에 대한 구조물 응답의 중앙값(median), C 는 구조물의 성능에 대한 중앙값, β 는 구조물 성능에 대한 불확실성이다.)

청구항 15

하드웨어와 결합되어, 청구항 8에 따른 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성

능 평가방법을 컴퓨터에 의해 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 연속지진 내진성능 평가시스템 및 평가방법에 관한 것이다. 구체적으로는 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가시스템 및 평가방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 지진의 빈도는 전 세계적으로 증가하고 있으며, 여진(aftershock)으로 2차 피해가 발생하고 있다. 여진은 본진으로 인해 손상된 구조물에 추가 손상을 줄 수 있다.

[0003] 따라서 구조물의 내진성능을 평가할 때 본진(本震, mainshock)과 여진(餘震, aftershock)을 모두 고려하면 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있다. 본진과 여진을 반영한 연속지진에 대한 연구는 다양하게 진행되고 있다.

[0004] 단일자유도 시스템(SDOF 시스템)에서 연속지진 시나리오의 구조적 반응이 단일 지진시나리오보다 더 높은 가치를 가지고 있다.

[0005] 연속지진 성능평가는 연속지진 시나리오에 따라 다양한 결과를 보여준다.

[0006] 기존 연구결과 본진과 여진의 주파수 특성의 상관관계가 높지 않을 것을 확인하였고, 현재 연속지진 시나리오 생성방법은 1) 실제 발생한 본진과 여진의 조합, 2) 본진의 연속 조합, 3) 본진과 인공지진과의 조합, 크게 3가지로 정의된다

[0007] 하지만 기존에 정의된 3가지 타입의 시나리오 선정방법은 지진파를 임의로 조합하기 때문에, 지진파 선정에 따라서 내진성능평가결과가 크게 좌우될 수 있다.

[0008] 또한, 구조물의 거동에 민감하지 않은 지진파가 선정될 경우, 내진성능평가 결과가 부정확하게 도출될 수 있는 한계점을 가진다.

[0009] 따라서, 보다 정확하고 일관되는 내진성능평가결과 도출을 위해, 본진에 의해 손상된 구조물의 특성을 파악하고, 이를 고려할 수 있는 여진시나리오 생성방법, 연속지진 내진성능평가 방법이 필요하다.

[0010] 선행기술로서, 한국등록특허공보 제10-1880548호는 최상층과 최하층 지진가속도 계측을 통해 건축물의 성능평가 방법을 제안하며, 건축물의 최상층 및 최하층에서 계측된 가속도 데이터를 통해 건축물의 손상계수를 산출하고, 성능수준을 평가하고 있다.

[0011] 하지만, 단일지진에 의한 손상만을 고려하고 여진에 의한 추가적인 2차피해를 고려하지 못하는 문제점이 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0012] (특허문헌 0001) (문헌 1) 한국등록특허공보 제10-1880548호 (2018.07.16)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 본 발명에 따른 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가시스템 및 평가방법은 다음과 같은 해결과제를 가진다.

[0014] 첫째, 지진의 본진 뿐 아니라 여진에 의한 손상을 반영하고자 한다.

[0015] 둘째, 본진에 의한 건축물의 예상되는 손상을 고려하여, 여진시나리오를 생성하고, 건축물의 연속지진에 대한 내진성능을 제공하고자 한다.

[0016] 셋째, 건축물의 구조재와 비구조재의 지진강도에 따른 취약도곡선으로부터 손상을 평가하고, 평가된 손상으로부터 지진강도에 따른 손실함수를 도출함으로써, 지진강도에 따른 건축물의 손실에 근거한 내진성능평가 방법을 제공하고자 한다.

[0017] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급한 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0018] 연산기능을 가진 제어서버 및 구조물정보 및 지진정보를 포함하는 정보데이터가 저장된 데이터베이스가 네트워크로 연결되고, 컴퓨터에 의해 실행되는 연속지진 내진성능 평가시스템으로서, 제어서버는 건축물 해석에 사용될 본진을 결정하는 본진 결정부; 상기 본진 결정부에서 결정된 본진에 따른 건축물의 보-기둥 접합부의 손상을 파악하는 손상 파악부; 본진에 의해 손상된 구조물이 반영된 여진 시나리오를 생성하는 여진 시나리오 생성부; 및 생성된 여진 시나리오를 통해 연속지진 내진성능을 평가하는 내진성능 평가부를 포함할 수 있다.

[0019] 본 발명에 있어서, 상기 본진 결정부는 접합부의 강성저감을 일으키는 지진파를 본진으로 결정할 수 있다.

[0020] 본 발명에 있어서, 상기 손상 파악부는 손상된 구조물의 보-기둥 접합부의 강성 저감량을 도출하고, 도출된 강성 저감량을 통해 손상된 구조물의 증가된 고유주기를 도출할 수 있다.

[0021] 본 발명에 있어서, 상기 여진 시나리오 생성부는 여진 데이터를 스케일링하는 규격화부 및 스케일링된 여진 데이터를 이용하여 여진 시나리오를 생성하는 시나리오 생성부로 구비될 수 있다.

[0022] 본 발명에 있어서, 상기 규격화부는 다음의 수학적 식 1을 통해 지진파를 스케일링할 수 있다.

[0023] [수학적 식 1]

$$S_{aT=1(Record)} = S_{aT=1(Design)}$$

[0025] (여기서, $S_{aT=1(Record)}$ 는 주기가 1에서의 지진파 종류별 응답스펙트럼 가속도이며, $S_{aT=1(Design)}$ 는 주기가 1인 구조물별 설계스펙트럼가속도 값이며, 구조물의 손상여부와 무관한 값이다.)

[0026] 본 발명에 있어서, 상기 시나리오 생성부는 다음의 수학적 식 2를 통해 여진 시나리오를 선정할 수 있다.

[0027] [수학적 식 2]

$$S_{aT=n(Record)} \geq S_{aT=n(Design)}$$

[0029] (여기서, $S_{aT=n(Record)}$ 는 손상된 구조물의 고유주기(n초)에서의 응답스펙트럼 가속도이며, $S_{aT=n(Design)}$ 는 손상된 구조물의 고유주기(n초)에서의 설계스펙트럼가속도 값이다.)

[0030] 본 발명에 있어서, 상기 내진성능 평가부는 다음의 수학적 식 3을 통해 지진취약도를 산출할 수 있다.

[0031] [수학적 식 3]

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

[0033] (여기서, p_f 는 구조물의 지진강도에 따른 손상확률을 나타내는 지진취약도이며, $\Phi[]$ 는 대수정규분포의 누적분포, EDP_{IM} 은 지진에 대한 구조물 응답의 중앙값(median), C 는 구조물의 성능에 대한 중앙값, β 는 구조물 성능에 대한 불확실성이다.)

[0034] 본 발명은 연산기능을 가진 제어서버 및 구조물정보 및 지진정보를 포함하는 정보데이터가 저장된 데이터베이스가 네트워크로 연결되고, 컴퓨터에 의해 실행되는 연속지진 내진성능평가방법으로서, 제어서버는 본진 결정부가 건축물 해석에 사용될 본진을 결정하는 S100 단계; 손상 파악부가 S100 단계 결정된 본진에 따른 건축물의 보-기둥 접합부의 손상을 파악하는 S200 단계; 여진 시나리오 생성부가 본진에 의해 손상된 구조물이 반영된 여진

시나리오를 생성하는 S300 단계; 및 내진성능 평가부가 생성된 여진 시나리오를 통해 연속지진 내진성능을 평가하는 S400 단계를 수행할 수 있다.

[0035] 본 발명에 있어서, S100 단계의 본진 결정부는 접합부의 강성저감을 일으키는 지진파를 본진으로 결정할 수 있다.

[0036] 본 발명에 있어서, S200 단계의 손상 파악부는 손상된 구조물의 보-기둥 접합부의 강성 저감량을 도출하고, 도출된 강성 저감량을 통해 손상된 구조물의 증가된 고유주기를 도출할 수 있다.

[0037] 본 발명에 있어서, S300 단계는 격화부가 여진 데이터를 스케일링하는 S310 단계; 및 시나리오 생성부가 스케일링된 여진 데이터를 이용하여 여진 시나리오를 생성하는 S320 단계로 구비될 수 있다.

[0038] 본 발명에 있어서, S310 단계의 규격화부는 다음의 수학적 식 1을 통해 지진파를 스케일링할 수 있다.

[0039] [수학적 식 1]

$$S_{aT=1(Record)} = S_{aT=1(Design)}$$

[0041] (여기서, $S_{aT=1(Record)}$ 는 주기가 1에서의 지진파 종류별 응답스펙트럼 가속도이며, $S_{aT=1(Design)}$ 는 주기가 1인 구조물별 설계스펙트럼가속도 값이며, 구조물의 손상여부와 무관한 값이다.)

[0042] 본 발명에 있어서, S320 단계의 시나리오 생성부는 다음의 수학적 식 2를 통해 여진 시나리오를 선정할 수 있다.

[0043] [수학적 식 2]

$$S_{aT=n(Record)} \geq S_{aT=n(Design)}$$

[0045] (여기서, $S_{aT=n(Record)}$ 는 손상된 구조물의 고유주기(n초)에서의 응답스펙트럼 가속도이며, $S_{aT=n(Design)}$ 는 손상된 구조물의 고유주기(n초)에서의 설계스펙트럼가속도 값이다.)

[0046] 본 발명에 있어서, S400 단계의 내진성능 평가부는 다음의 수학적 식 3을 통해 지진취약도를 산출할 수 있다.

[0047] [수학적 식 3]

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

[0049] (여기서, p_f 는 구조물의 지진강도에 따른 손상확률을 나타내는 지진취약도이며, $\Phi[]$ 는 대수정규분포의 누적분포, EDP_{IM} 은 지진에 대한 구조물 응답의 중앙값(median), C 는 구조물의 성능에 대한 중앙값, $\hat{\sigma}$ 는 구조물 성능에 대한 불확실성이다.)

[0050] 본 발명은 하드웨어와 결합되어, 청구항 8에 따른 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가방법을 컴퓨터에 의해 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다.

발명의 효과

[0051] 본 발명에 따른 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진 시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가시스템 및 평가방법은 다음과 같은 효과를 가진다.

[0052] 첫째, 여진 시나리오를 생성함으로써, 지진의 본진 뿐 아니라 여진에 의한 손상을 포함하여, 건축물의 연속지진에 대한 내진 성능을 보다 정확하게 평가하는 효과가 있다.

[0053] 둘째, 건축물의 구조재와 비구조재의 지진강도에 따른 취약도곡선으로부터 손상을 평가하고, 평가된 손상으로부터 지진강도에 따른 손실함수를 도출함으로써, 지진강도에 따른 건축물의 손실에 근거하여 내진성능을 평가하는 효과가 있다.

[0054] 셋째, 건축물 연속지진 내진성능 평가 방법을 통해, 연속지진 시나리오에 따른 구조물의 내진성능평가 결과를

도출한 후, 여진 강도에 따른 손상정도에 따른 구조물의 손상확률을 평가할 수 있다.

[0055] 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0056] 도 1은 본 발명에 따른 연속지진 내진성능 평가시스템의 구성도이다.
- 도 2는 본 발명에 따른 연속지진 내진성능 평가방법의 단계별 설명도이다.
- 도 3은 본 발명에 따른 연속지진 내진성능 평가방법의 순서도이다.
- 도 4는 본 발명에 따른 손상된 구조물을 반영한 연속지진내진성능평가 방법의 상세 순서도이다.
- 도 5는 본 발명에 따른 실시예에 적용되는 4층 2경간 철골구조물의 모식도를 나낸다.
- 도 6 및 도 7은 44개의 여진데이터를 스케일링하기 전 후의 주기-응답스펙트럼가속도 그래프를 비교한 그래프이다.
- 도 8은 본 발명에 건축물의 연속지진 내진성능평가 결과 도출된 취약도곡선의 예제도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0057] 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.
- [0058] 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.
- [0059] 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.
- [0060] 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.
- [0062] 본 발명은 건축물의 본진에 따른 구조물의 손상 파악하고, 이를 통해 생성된 연속지진시나리오를 이용한 연속지진 내진성능평가 방법에 관한 것으로, 본진에 의해 손상된 구조물의 동적특성을 도출하고, 구조물의 손상을 반영한 연속지진 시나리오를 생성함으로써, 손상된 구조물을 반영한 연속지진 내진성능평가 방법`에 관한 것이다.
- [0064] 이하에서는 도면을 참고하여 본 발명을 설명하고자 한다. 참고로, 도면은 본 발명의 특징을 설명하기 위하여, 일부 과장되게 표현될 수도 있다. 이 경우, 본 명세서의 전 취지에 비추어 해석되는 것이 바람직하다.
- [0066] 도 1은 본 발명에 따른 연속지진 내진성능 평가시스템의 구성도이다.
- [0067] 본 발명에 따른 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가시스템은 연산 기능을 가진 제어서버(10) 및 구조물정보 및 지진정보를 포함하는 정보데이터가 저장된 데이터베이스(20)가 네트워크로 연결되고, 컴퓨터에 의해 실행되는 연속지진 내진성능 평가시스템에 관한 것이다,
- [0068] 본 발명에 따른 제어서버(10)는 건축물 해석에 사용될 본진을 결정하는 본진 결정부(100); 상기 본진 결정부(100)에서 결정된 본진에 따른 건축물의 보-기둥 접합부의 손상을 파악하는 손상 파악부(200); 본진에 의해 손

상된 구조물이 반영된 여진 시나리오를 생성하는 여진 시나리오 생성부(300); 및 생성된 여진 시나리오를 통해 연속지진 내진성능을 평가하는 내진성능 평가부(400)를 포함할 수 있다.

[0070]

이하에서는, 본진 결정부(100)를 설명하고자 한다.

[0071]

본 발명에 따른 본진 결정부(100)는 건축물 해석에 사용될 본진을 결정할 수 있다. 구체적으로, 본진 결정부(100)는 접합부의 강성저감을 일으키는 지진파를 본진으로 결정할 수 있다.

[0073]

철골구조물이 본진에 받는 손상은 여진에 의해 발생하는 손상을 더 심화시킬 수 있다. 만약 본진에 의한 지진손상이 없다면, 여진에 의한 손상량은 본진의 여부와 관계없이 일정할 것이다. 따라서 대상구조물에 사용될 본진은 구조물에 손상을 발생시킬만한 지진으로 선정되어야한다.

[0074]

접합부의 거동이 선형거동을 벗어나지 않는다면 손상이 발생하지 않은 구조물이다. 그러나 접합부의 거동이 연성거동에 도달한다면, 접합부의 강성은 저감될 것이고, 접합부는 손상을 입게된다. 따라서, 본진을 결정할 때 접합부의 강성저감을 일으킬 수 있는 지진파를 선정해야한다.

[0076]

이하에서는, 손상 파악부(200)를 설명하고자 한다.

[0077]

본 발명에 따른 손상 파악부(200)는 본진 결정부(100)에서 결정된 본진에 따른 건축물의 보-기둥 접합부의 손상을 파악할 수 있다. 구체적으로, 손상 파악부(200)는 손상된 구조물의 보-기둥 접합부의 강성 저감량을 도출하고, 도출된 강성 저감량을 통해 손상된 구조물의 증가된 고유주기를 도출할 수 있다.

[0079]

도 5는 본 발명에 따른 실시예에 적용되는 4층 2경간 철골구조물의 모식도를 나타낸다.

[0080]

아래의 표 1은 본진에 의해 손상된 도 5 예시 철골구조물의 보-기둥 접합부 강성과 증가된 고유주기를 나타낸 표이다.

표 1

	지반 접합부 (kips-in/rad)	1층 접합부 (kips-in/rad)	2층 접합부 (kips-in/rad)	3층접합부 (kips-in/rad)	4층 접합부 (kips-in/rad)	고유 주기 (sec)
구조물	2200000	2196000	2196000	1200000	1200000	1.32
손상된 구조물	1432760	1121030	1178000	1200000	1200000	1.52
손상정도	36%	49%	47%	0%	0%	

[0081]

[0082]

표 1에 나타난 바와 같이 본진에 의해 발생된 보-기둥 접합부의 강성저감량은 각 층마다 다르고, 이는 구조물의 고유주기를 증가시키는 것을 확인할 수 있다.

[0084]

이하에서는, 여진 시나리오 생성부(300)를 설명하고자 한다.

[0085]

본 발명에 따른 여진 시나리오 생성부(300)는 본진에 의해 손상된 구조물이 반영된 여진 시나리오를 생성할 수 있다.

[0086]

여진 시나리오 생성부(300)는 여진 데이터를 스케일링하는 규격화부(310) 및 스케일링된 여진 데이터를 이용하여 여진 시나리오를 생성하는 시나리오 생성부(320)로 구비될 수 있다.

[0088] 본 발명에 있어서, 본진에 의해 손상된 구조물을 반영한 여진 시나리오 생성은 1) 여진데이터의 스케일링 단계, 2) 여진 시나리오 생성 단계로 구분될 수 있다.

[0089] 건축구조기준에서는 내진성능평가를 위해 7개 이상의 지진파에 대한 비선형동적해석을 진행하도록 제시하고 있다.

[0090] 본 발명의 실시예에 사용된 여진데이터는 미국 연방재난 관리청(Federal Emergency Management Agency; FEMA)의 FEMA P-695에서 제공하는 44개의 원단층 지반 데이터를 사용하였다. 44개 지진파에 대한 선정방법은 FEMA P-695에 자세한 설명이 있으므로 생략하고자 한다.

[0091] 정리하면, 44개의 지진파의 선정은 FEMA 방법에 따라 선정할 수 있고, 44개의 지진파 중 본진을 결정하기 위해서, 접합부의 강성저감을 일으키는 지진파를 선정할 수 있다. 즉 44개의 대상 지진파 중에서 강성저감을 일으키는 지진파를 본진으로 선정하는 것이다.

[0093] 본 발명에 따른 규격화부(310)는 다음의 1을 통해 지진파를 스케일링하는 것을 특징으로 하는 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가시스템.

수학식 1

$$S_{aT=1(Record)} = S_{aT=1(Design)}$$

[0095] 여기서, $S_{aT=1(Record)}$ 는 주기가 1에서의 지진파 종류별 응답스펙트럼 가속도이며, $S_{aT=1(Design)}$ 는 주기가 1인 구조물별 설계스펙트럼가속도 값이며, 구조물의 손상여부와 무관한 값이다.

[0097] 44개의 지진파는 서로 다른 최대지반가속도와 지진 특성을 가지고 있기 때문에 지진파를 수학식 1을 통해 스케일링 하였다.

[0098] 44개의 Background 지진파의 응답스펙트럼 가속도(주기가 1일 때)와 건축물의 주기가 1일때의 설계스펙트럼 가속도 값이 동일하도록 지진파를 스케일링한다.

[0099] 도 6 및 도 7은 44개의 여진데이터를 스케일링하기 전 후의 주기-응답스펙트럼가속도 그래프를 비교한 그래프이다. 스케일링 후 주기가 1인 시점에서 설계스펙트럼 가속도와 지진데이터의 응답스펙트럼 가속도가 동일함을 확인할 수 있다.

[0101] 본 발명에 따른 시나리오 생성부(320)는 다음의 수학식 2를 통해 여진 시나리오를 선정할 수 있다.

수학식 2

$$S_{aT=n(Record)} \geq S_{aT=n(Design)}$$

[0103] 여기서, $S_{aT=n(Record)}$ 는 손상된 구조물의 고유주기(n초)에서의 응답스펙트럼 가속도이며, $S_{aT=n(Design)}$ 는 손상된 구조물의 고유주기(n초)에서의 설계스펙트럼가속도 값이다.

[0105] 연속지진은 본진과 여진의 조합으로 이루어져 있다. 여진시나리오는 수학식 2를 통해 선정될 수 있다. 본진 결

정부(100)에서 결정된 본진과 선정된 여진시나리오를 합치면 연속지진 시나리오를 만들 수 있다.

(연속지진 시나리오) = (본진) + (여진시나리오)

스케일링 된 여진 데이터 중 손상된 구조물의 고유주기에서 높은 응답스펙트럼 가속도를 나타내는 지진파를 여진 시나리오로 선정하여, 보수적인 여진 지진과 선정을 할 수 있다.

이하에서는, 본 발명에서 제안하는 여진 시나리오 선정방법을 검증하고자 제안하는 여진 시나리오와 다른 여진 시나리오의 내진성능평가결과를 비교한 결과를 설명한다.

표 2는 본 발명에 따른 여진시나리오 선정 방법과 다른 여진 시나리오 선정방법을 나타낸다.

표 2

여진 시나리오	본진	여진시나리오 선정 방법	비교
본 발명	Elcentro	$S_{aT=n(Record)} \geq S_{aT=n(Design)}$	손상된 구조물의 고유주기 사용($T=n$)
비교예 1	Elcentro	$S_{aT=n(Record)} < S_{aT=n(Design)}$	
비교예 2	Elcentro	44개 지진파 모두 사용	모든 지진파
비교예 3	Elcentro	$S_{aT=n2(Record)} \geq S_{aT=n2(Design)}$	손상되기 전 구조물의 고유주기 사용($T=n2$)

참고로, 비교예 1,2,3은 구조물의 손상을 고려하지 않은 방법이다.

표 2에 따르면 실시예를 통해 총 4가지 종류의 여진시나리오에 대한 철골 구조물의 내진성능평가를 진행하였다.

본 발명에서 제안하는 방안은 본진에 의해 손상된 구조물의 고유주기를 통해 여진시나리오를 선정하였다.

비교예 1은 제안하는 방안과 반대로 $S_{aT=n(Record)} < S_{aT=n(Design)}$ 를 만족하는 여진시나리오를 선정하였다.

비교예 2는 44개의 지진파를 모두 사용한 여진시나리오를 선정하였다.

비교예 3은 본진에 의해 손상되기 전 구조물의 고유주기를 통해 $S_{aT=n2(Record)} \geq S_{aT=n2(Design)}$ 를 만족하는 여진시나리오를 선정하였다.

표 3은 FEMA 356에서 제안하는 구조물의 성능수준에 따른 최대충간변위비이다.

표 3

구조물 성능 수준	인명안전(Life Safety)
최대충간변위비	2.5%

[0123] 본 발명에서 제안하는 여진시나리오 선정방식을 검증하고자 표 3의 구조물 성능수준으로 취약도곡선을 통한 연속지진내진선능평가를 진행하였다.

[0124] 구조물에 대한 확률적 손상도를 평가하기 위한 지진취약도 곡선은 구조물의 성능에 대한 중앙값(C)과 불확실성(β)을 통해 결정된다. 구조물의 성능에 대한 중앙값은 최대충간변위비로 결정된다.

[0126] 이하에서는, 내진성능 평가부(400)를 설명한다.

[0127] 본 발명에 따른 내진성능 평가부(400)는 생성된 여진 시나리오를 통해 연속지진 내진성능을 평가할 수 있다.

[0128] 내진성능 평가부(400)는 다음의 수학적 식 3을 통해 지진취약도를 산출할 수 있다.

수학적 식 3

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

[0130] 여기서, p_f 는 구조물의 지진강도에 따른 손상확률을 나타내는 지진취약도이며, $\Phi[\cdot]$ 는 대수정규분포의 누적분포, EDP_{IM} 은 지진에 대한 구조물 응답의 중앙값(median), C 는 구조물의 성능에 대한 중앙값, β 는 구조물 성능에 대한 불확실성이다.

[0132] 도 8은 본 발명에 건축물의 연속지진 내진성능평가 결과 도출된 취약도곡선의 예제도이다.

[0133] 총 4가지 여진시나리오에 따른 연속지진내진성능평가결과를 그래프로 나타냈다.

[0134] 본진과 동일한 최대지반가속도(=0.34g)를 가지는 여진이 발생할 경우, 본 발명에 따른 시나리오생성방법(Propose)는 LS level 손상에 도달할 확률이 74%였다.

[0135] 그러나 손상된 구조물을 고려하지 않고, 원 구조물의 동적특성을 고려하였을 경우(비교예 3)는 48%로, 제안된 방법에 비해 26% 낮은 손상확률을 확인할 수 있었다.

[0136] 모든 지진파를 여진시나리오로 사용한 경우(비교예 2)는 38%, 가장 영향력이 적을 것 같은 여진시나리오(비교예 2)는 33%의 LS 레벨 손상 확률이 도출되었다.

[0137] 위 과정으로부터 본 발명에서 제안하는 연속지진 내진성능평가 방법은 안전하고 보수적인 내진성능평가 결과를 이끌어 낼 수 있다.

[0138] 또한 손상된 구조물의 동특성(고유주기)를 고려하여 여진시나리오를 생성함으로써, 보다 안정적인 내진성능평가 결과를 보여주었다.

[0141] 한편, 본 발명은 연속지진 내진성능 평가방법으로 구현될 수 있다. 평가방법은 전술한 평가 시스템과 실질적으로 동일한 기술구성을 공통으로 포함한다. 이에 중복되는 설명은 생략하고, 주요 내용을 중심으로 설명하고자 한다.

[0143] 본 발명에 따른 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가방법은 연산기능을 가진 제어서버(10) 및 구조물정보 및 지진정보를 포함하는 정보데이터가 저장된 데이터베이스(20)가 네트워크로 연결되고, 컴퓨터에 의해 실행되는 연속지진 내진성능평가방법으로서, 제어서버(10)는 본진 결정부(100)가

건축물 해석에 사용될 본진을 결정하는 S100 단계; 손상 파악부(200)가 S100 단계 결정된 본진에 따른 건축물의 보-기둥 접합부의 손상을 파악하는 S200 단계; 여진 시나리오 생성부(300)가 본진에 의해 손상된 구조물이 반영된 여진 시나리오를 생성하는 S300 단계; 및 내진성능 평가부(400)가 생성된 여진 시나리오를 통해 연속지진 내진성능을 평가하는 S400 단계를 수행할 수 있다.

- [0145] S100 단계의 본진 결정부(100)는 접합부의 강성저감을 일으키는 지진파를 본진으로 결정할 수 있다.
- [0146] S200 단계의 손상파악부(200)는 손상된 구조물의 보-기둥 접합부의 강성 저감량을 도출하고, 도출된 강성 저감량을 통해 손상된 구조물의 증가된 고유주기를 도출할 수 있다.
- [0147] S300 단계는 규격화부(310)가 여진 데이터를 스케일링하는 S310 단계; 및 시나리오 생성부(320)가 스케일링된 여진 데이터를 이용하여 여진 시나리오를 생성하는 S320 단계로 구비될 수 있다.
- [0148] S310 단계의 규격화부(310)는 상기 수학식 1을 통해 지진파를 스케일링할 수 있다.
- [0149] S320 단계의 시나리오 생성부(320)는 상기 수학식 2를 통해 여진 시나리오를 선정할 수 있다.
- [0150] S400 단계의 내진성능 평가부(400)는 상기 수학식 3을 통해 지진취약도를 산출할 수 있다.

[0152] 한편, 본 발명은 컴퓨터프로그램으로 구현될 수도 있다. 구체적으로, 하드웨어와 결합되어, 본 발명에 따른 손상된 구조물의 동특성이 반영된 여진시나리오를 통한 연속지진 내진성능 평가방법을 컴퓨터에 의해 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다.

[0154] 본 발명의 실시예에 따른 방법들은 다양한 컴퓨터수단을 통하여 판독 가능한 프로그램 형태로 구현되어 컴퓨터로 판독 가능한 기록매체에 기록될 수 있다. 여기서, 기록매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 기록매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 예컨대 기록매체는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CDROM, DVD와 같은 광 기록매체(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 장치를 포함한다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어를 포함할 수 있다. 이러한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0156] 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

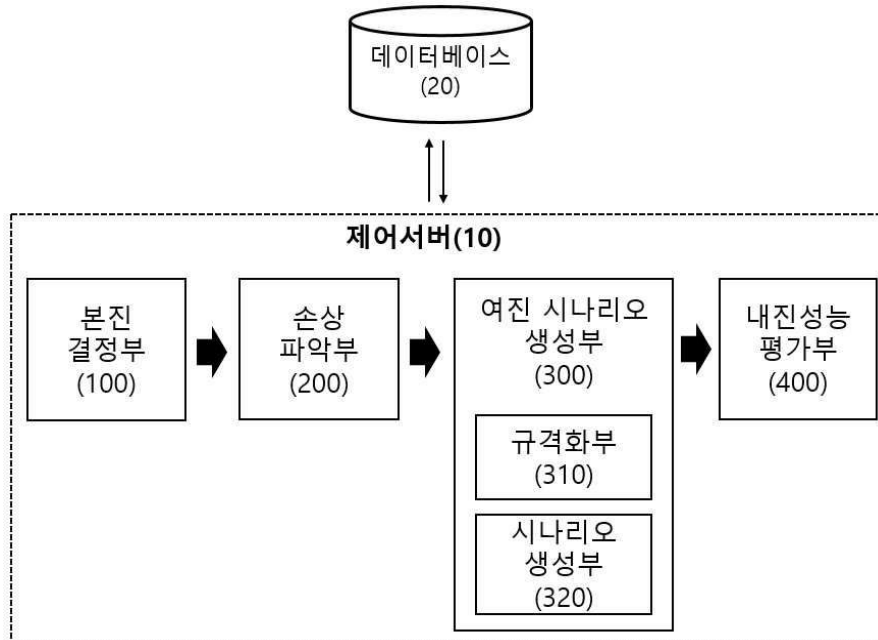
- [0157] 10 : 제어서버
- 20 : 데이터베이스
- 100 : 본진 결정부
- 200 : 손상 파악부
- 300 : 여진 시나리오 생성부
- 310 : 규격화부

320 : 시나리오 생성부

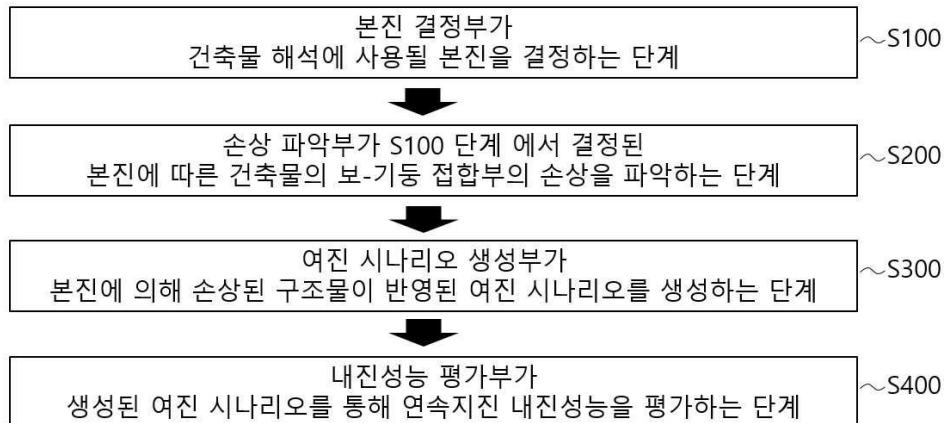
400 : 내진성능 평가부

도면

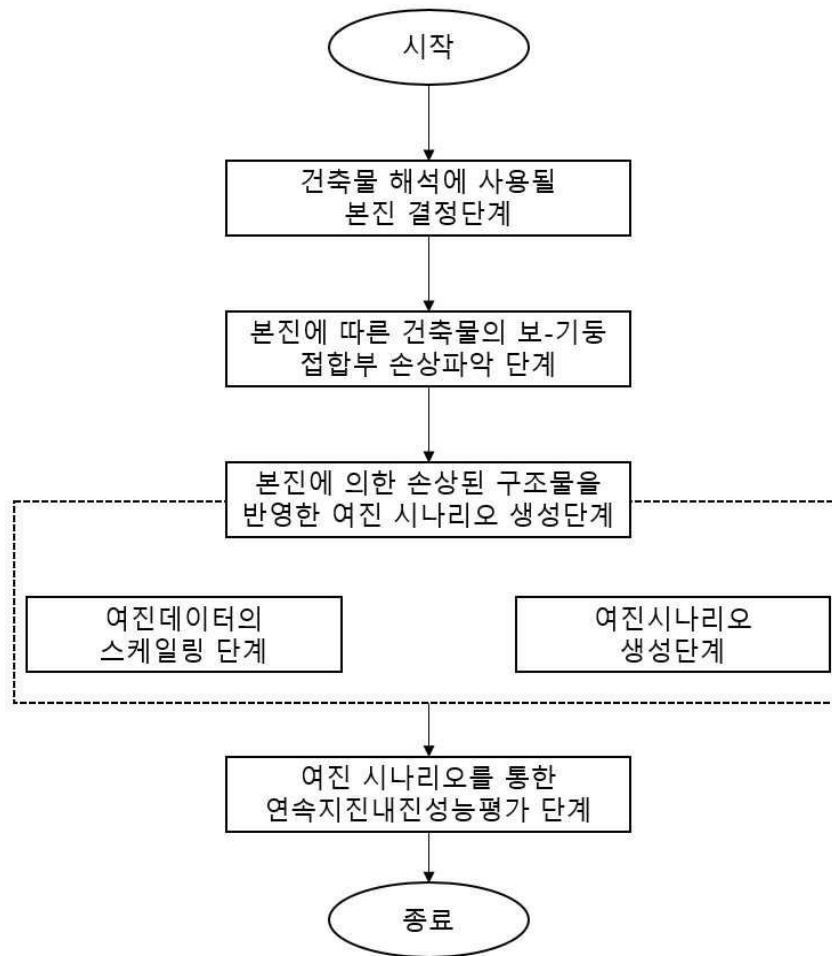
도면1



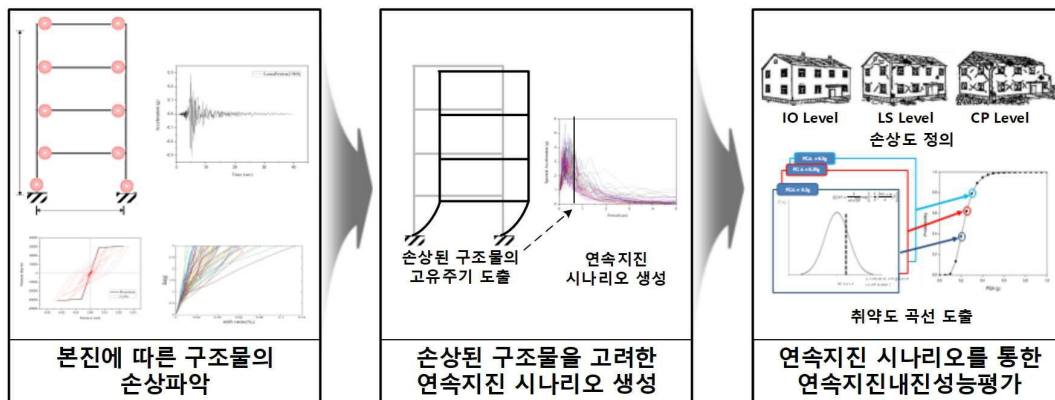
도면2



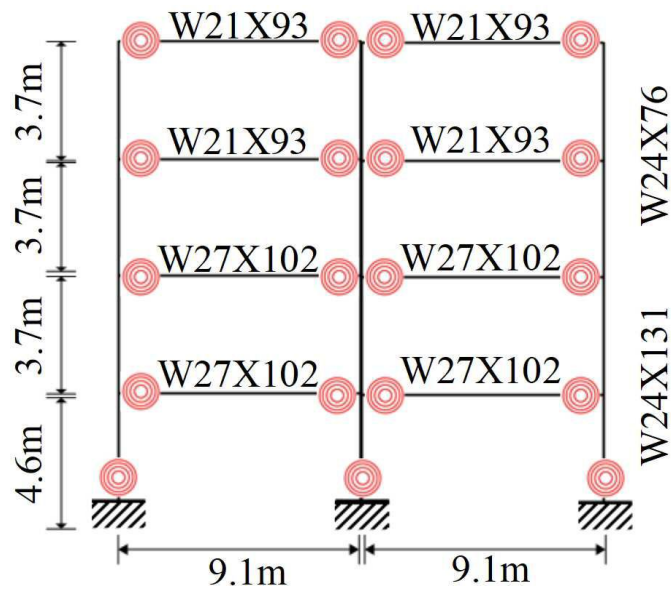
도면3



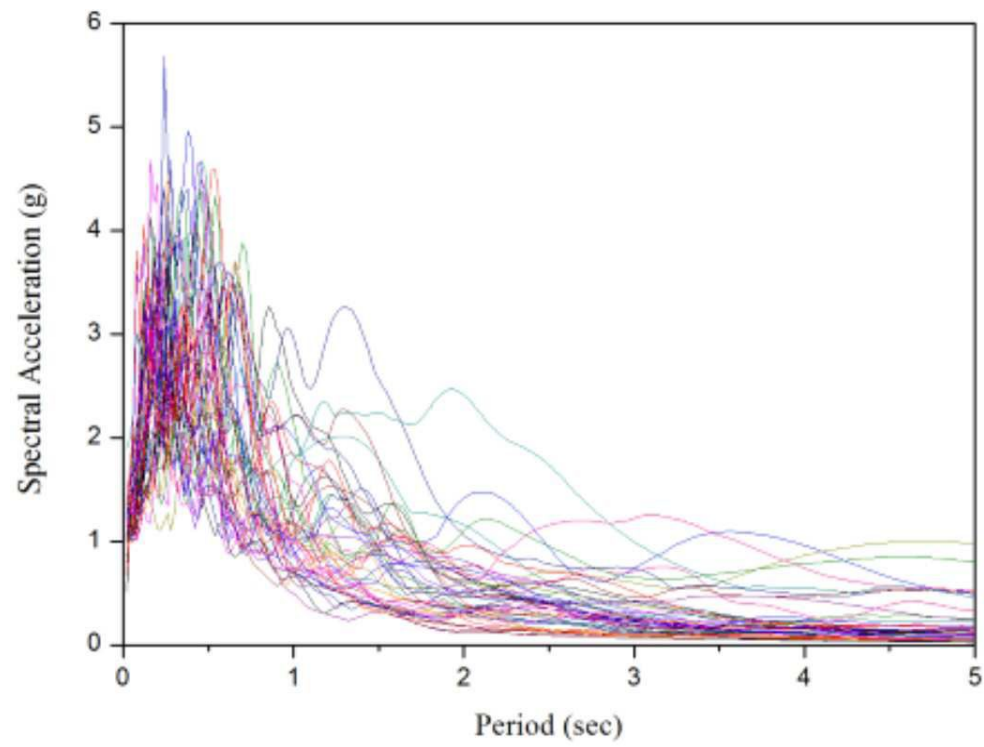
도면4



도면5

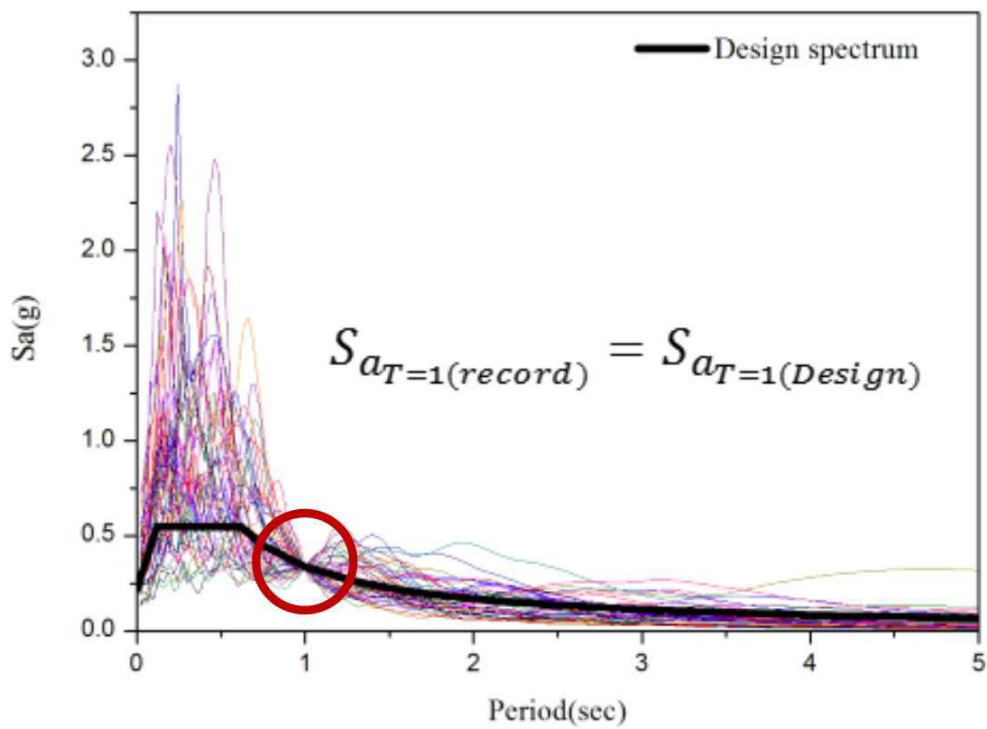


도면6



Collect 44 far-field records

도면7



Scaling 44 far-field records

도면8

