



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0093307  
(43) 공개일자 2020년08월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G06F 30/00 (2020.01) E04F 15/20 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G06F 30/13 (2020.01)  
E04F 15/20 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2019-0010617  
(22) 출원일자 2019년01월28일  
심사청구일자 2019년01월28일

(71) 출원인  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
박효선  
서울특별시 강남구 영동대로 220, 8동 1108호(대치동, 쌍용아파트)  
오병관  
서울특별시 양천구 목동서로 280, 804동 902호(신정동, 목동신시가이아파트8단지)  
배상근  
서울특별시 서대문구 연희로14길 20-7, 101호(연희동)  
(74) 대리인  
김인철

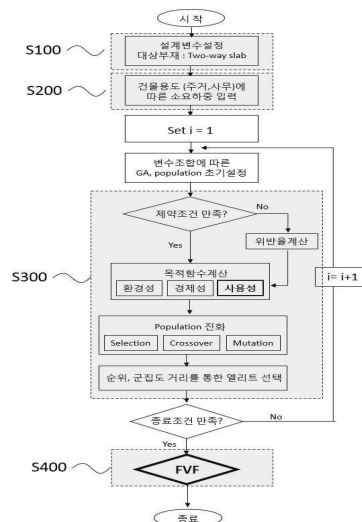
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법 및 설계시스템

### (57) 요약

본 발명은 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법으로서, 설계변수 설정부(100)에서 대상부재의 설계변수를 설정하는 S100 단계; 소요하중 산출부(200)에서 건물용도에 따른 소요하중을 산출하는 S200 단계; 유전자 알고리즘부(300)에서 최적해 탐색을 위해 유전자 알고리즘을 구동시키는 S300 단계; 및 필터링부(400)에서 상기 S300 단계에서 구해진 다수의 해를 허용가속도 기준치 설정을 통해 필터링하는 S400 단계를 포함한다.

### 대표도 - 도1



(52) CPC특허분류  
G06F 2119/18 (2020.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711065812
부처명	과학기술정보통신부
연구관리전문기관	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	유전학적 건축구조 자가진단 및 노화방지 기술
기 여 율	1/1
주관기관	연세대학교 산학협력단
연구기간	2018.03.01 ~ 2019.02.28

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

설계변수 설정부(100)에서 대상부재의 설계변수를 설정하는 S100 단계;

소요하중 산출부(200)에서 건물용도에 따른 소요하중을 산출하는 S200 단계;

유전자 알고리즘부(300)에서 환경성, 경제성 및 사용성을 동시에 고려하면서, 최적해 탐색을 위해 유전자 알고리즘을 구동시키는 S300 단계; 및

필터링부(400)에서 상기 S300 단계에서 구해진 다수의 해를 허용가속도 기준치 설정을 통해 필터링하는 S400 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서, S100 단계의 상기 설계변수는

대상부재의 재료가 콘크리트인 때에는 슬래브 두께 ( $h_c$ ) 및 콘크리트의 압축강도 ( $F_{ck}$ )를 포함하며, 대상부재의 재료가 철근인 때에는 철근의 직경 ( $D_b$ ), 배근간격 ( $S$ ) 및 항복강도 ( $F_y$ )를 하는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법.

#### 청구항 3

청구항 1에 있어서,

S200 단계의 상기 소요하중은 고정하중과 활하중의 조합으로 산출되며,

상기 고정하중은 상기 설계변수에 따라 산출되고, 상기 활하중은 건물 용도에 따라 산출되는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법.

#### 청구항 4

청구항 1에 있어서, 상기 S300 단계는

제약조건 만족 여부를 판단하는 S301 단계;

환경성, 경제성 및 사용성의 목적함수를 계산하는 S302 단계; 및

최적해 탐색을 위한 다목적 유전자 알고리즘을 적용하는 S303 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법.

#### 청구항 5

청구항 4에 있어서, 상기 S301 단계에서

설계 휨모멘트가 각 구간에서의 소요 모멘트 이상의 값을 갖는지 여부를 다음의 제약조건으로 평가하는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법.

[제1 제약조건]

$$kM_o \leq \Phi A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

(여기서,  $k$ 는 외/내부 경간 모멘트 분배 계수이며, 계수 모멘트  $M_o$ 와 곱하여 해당영역의 소요모멘트를 의미한다.  $\Phi$ 는 강도저감계수,  $A_s$ 는 철근단면적,  $f_y$ 는 철근의 항복강도,  $d$ 는 슬래브의 최외단으로 부터 철근중심까지의 거리,  $a$ 는 등가응력블록의 세로길이를 나타낸다.)

#### 청구항 6

청구항 4에 있어서, 상기 S301 단계에서

철근의 배근간격이 슬래브두께의 3배와 450mm중 작은 값보다 작은지 여부를 다음의 제약조건으로 평가하는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법.

[제2 제약조건]

$$S \leq \text{Min}(3 \times h_c, 450\text{mm})$$

(여기서,  $S$ 는 배근간격,  $h_c$ 는 슬래브 두께를 나타낸다.)

#### 청구항 7

청구항 4에 있어서, 상기 S301 단계에서

내부 보가 있는 슬래브에서 슬래브 휨강성에 대한 보 휨강성의 비가 2.0을 기준으로 슬래브의 최소두께는 다음의 제약조건으로 평가하는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법.

[제3 제약조건]

$$\frac{l_n (800 + f_y / 1.4)}{36,000 + 9,000\beta} \leq h_c$$

(여기서,  $l_n$ 은 슬래브 긴 변의 순경간이며,  $\beta$ 는 짧은 변에 대한 긴변 순경간의 비이다.)

#### 청구항 8

청구항 4에 있어서, 상기 S301 단계에서

주거용도의 건물에서 바닥충격음 적용기준으로 인하여 슬래브 최소두께가 210mm 보다 큰 값을 가지는지 여부는 다음의 제약조건으로 평가하는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법.

[제4 제약조건]

$$210\text{mm} \leq h_c$$

(여기서,  $h_c$ 는 슬래브 두께를 나타낸다.)

## 청구항 9

청구항 4에 있어서, 상기 S302 단계에서

환경성을 최대화하기 위하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 최소화하는 목적함수는 다음과 같이 계산되는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법.

[제1 목적함수]

$$\text{Minimize } f_{en} = (l_x l_y h_c) \rho_c E_c + \left( \frac{\pi D_b^2}{4} l_s N_s \right) \rho_s E_s$$

(여기서, 슬래브의 콘크리트 부피는 장단변방향의  $l_x, l_y$ 와 슬래브의 두께  $h_c$ 의 곱으로 나타내고,  $\rho_c$ 는 콘크리트의 밀도이고,  $E_c$ 는 단위 CO<sub>2</sub> 배출량이다. 철근의 부피는 철근단면적과 배근길이, 배근개수의 곱으로 나타내었다.  $D_b$ 는 철근 직경,  $l_s$ 은 배근 길이,  $N_s$ 는 배근 개수,  $\rho_s$ 는 철근의 밀도,  $E_s$ 는 단위 CO<sub>2</sub> 배출량이다.)

## 청구항 10

청구항 4에 있어서, 상기 S302 단계에서

경제성을 최대화하기 위하여 재료비용을 최소화하는 목적함수는 다음과 같이 계산되는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법.

[제2 목적함수]

$$\text{Minimize } f_{ec} = (l_x l_y h_c) \rho_c C_c + \left( \frac{\pi D_b^2}{4} l_s N_s \right) \rho_s C_s$$

(여기서, 슬래브의 콘크리트 부피는 장단변방향의  $l_x, l_y$ 와 슬래브의 두께  $h_c$ 의 곱으로 나타내고,  $\rho_c$ 는 콘크리트의 밀도이고,  $C_c$ 는 단위 비용이다. 철근의 부피는 철근단면적과 배근길이, 배근개수의 곱으로 나타내었다.  $D_b$ 는 철근 직경,  $l_s$ 은 배근 길이,  $N_s$ 는 배근 개수,  $\rho_s$ 는 철근의 밀도,  $C_s$ 는 단위 비용이다.)

## 청구항 11

청구항 4에 있어서, 상기 S302 단계에서

사용성을 최대화하기 위하여 수직진동을 최소화하는 목적함수는 다음과 같이 계산되는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법.

[제3 목적함수]

$$\text{Minimize } f_{us} = \text{Max}(\ddot{x}(t))$$

(여기서, 진동은 가속도 응답으로 설정하고, 시간에 따른 가속도 응답 중 최대값을 최소화하는 식으로 표현한다.)

## 청구항 12

청구항 4에 있어서, 상기 S303 단계에서

환경성, 경제성 및 사용성의 목적함수에 대한 파레토 최적해를 탐색하기 위하여 NSGA-II를 적용하는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법.

### 청구항 13

청구항 1에 있어서,

S400 단계는 하중의 종류와 건물의 용도를 구분하여, 수직진동에 대한 허용 가속도 기준치를 설정하고,

S300 단계에서 도출된 다수의 해들이 바닥진동필터링(FVF)을 만족하는지 여부를 판단하는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법.

### 청구항 14

청구항 13에 있어서,

상기 허용가속도 기준치는 하중의 종류와 건물의 용도를 구분하여 설정되는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법.

### 청구항 15

대상부재의 설계변수를 설정하는 설계변수 설정부(100);

건물용도에 따른 소요하중을 산출하는 소요하중 산출부(200);

환경성, 경제성 및 사용성을 동시에 고려하면서, 최적해 탐색을 위해 유전자 알고리즘을 구동시키는 유전자 알고리즘부(300); 및

상기 유전자 알고리즘부(300)에서 구해진 다수의 해를 허용가속도 기준치 설정을 통해 필터링하는 필터링부(400)를 포함하는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계시스템.

### 청구항 16

청구항 15에 있어서,

상기 소요하중 산출부(200)에서 상기 소요하중은 고정하중과 활하중의 조합으로 산출되며, 상기 고정하중은 상기 설계변수에 따라 산출되고, 상기 활하중은 건물 용도에 따라 산출되는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계시스템.

### 청구항 17

청구항 15에 있어서,

유전자 알고리즘부(300)는 제약조건 만족 여부를 판단하는 S301 단계;

환경성, 경제성 및 사용성의 목적함수를 계산하는 S302 단계; 및

최적해 탐색을 위한 다목적 유전자 알고리즘을 적용하는 S303 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계시스템.

### 청구항 18

청구항 15에 있어서,

상기 필터링부(400)는 하중의 종류와 건물의 용도를 구분하여, 수직진동에 대한 허용 가속도 기준치를 설정하고,

상기 유전자알고리즘부(300)에서 도출된 다수의 해들이 바닥진동필터링(FVF)을 만족하는지 여부를 판단하는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계시스템.

## 청구항 19

청구항 18에 있어서,

상기 허용가속도 기준치는 하중의 종류와 건물의 용도를 구분하여 설정되는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계시스템.

## 청구항 20

하드웨어와 결합되어, 청구항 1 내지 청구항 14 중 어느 한 항에 기재된 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법을 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 환경성, 경제성 및 사용성을 동시에 고려하는 슬래브 최적구조 설계방법에 관한 것이다. 구체적으로는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 정보화시대에 개인 프라이버시 침해는 심화되었고 이에 따라 주거 및 사무공간 내에 층간소음은 예민한 사회적 문제로서 이웃 간 분쟁을 증가시킨다. 세계의 각국은 층간소음에 대한 규제를 가지고 있음에도 불구하고 소음의 환경적 특성상 개개인의 주관적인 관점에서 판단되는 문제이다 보니 제도의 실효성이 인정받지 못하고 있다. 건물 내 바닥의 진동은 소음의 주요 원인으로 바닥판 두께, 사이 재료, 공간의 배치 등 다양한 요소에 결정되기 때문에 건물 내 구조형식의 개선은 필수적이다.

[0003] 2017년 세계 에너지 관련 CO<sub>2</sub> 배출량은 4억6천만톤이 증가하여(1.4% 증가) 역사상 최고치인 32.5Gt을 기록했다. 이는 3년간의 전 세계 CO<sub>2</sub> 배출량이 정체 상태를 유지한 후 증가한 것이다. 이처럼 세계적인 노력에도 불구하고, CO<sub>2</sub> 배출량의 문제는 지속되고 있다.

[0004] 건설 부문은 전 세계 최종 에너지 소비량의 3분의 1 이상을 차지하는 가장 큰 에너지 소비 부문이며, 핵심적인 CO<sub>2</sub> 배출원이다. 이처럼 환경저해의 중심적인 산업으로서, 건설 분야는 CO<sub>2</sub> 배출량을 저감시키기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔으며, 대부분의 연구는 CO<sub>2</sub> 배출량이 가장 많은 건물의 유지 및 관리단계에 초점을 두고 있다. 하지만, 기후 변화에 관한 정부간 패널(IPCC)은 배출되는 물량에 우선순위를 정하지 않고 건설의 전 단계에서 적극적으로 CO<sub>2</sub> 배출량을 저감시킬 노력이 필요함을 강조하였다.

[0005] 종래기술로서, 한국공개특허 제10-2014-0008577호의 “환경성을 고려한 합성기둥 열의 설계방법”은 건설과정 초기 구조설계에서 사용되는 매입형 합성기둥 부재의 구조비용과 CO<sub>2</sub> 발생량을 동시에 최소화 할 수 있는 환경성을 고려한 합성기둥 열의 설계방법에 관한 것이다.

[0006] 또 다른 종래 기술로서, 한국등록특허 제10-1641471호 “건설 전 과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 최소화 하는 건물 기둥 부재들의 최적 구조 설계 시스템 및 방법”은 건물 기둥 부재의 최적 구조 설계 기술에 관한 것으로 한국공개특허 제10-2014-0008577호와 달리 CO<sub>2</sub> 배출량만을 고려하였지만 재료생산, 운송 및 시공 단계에서의 건설 전 과정에 대한 설계안을 제시하였다.

[0007] 해당 종래기술들은 두 가지 이상의 구조 재료 조합으로 구성되는 RC(Reinforced Concrete) 구조 형식에 초점을 맞추었고, 다양한 RC 구조물의 부재중 기둥에 대하여 환경성을 고려하거나 환경성, 경제성을 모두 최소화하는 기술이다.

[0008] 본 특허의 대상 부재는 RC 구조물의 전체 물량에서 차지하는 비중이 상당히 큰 이방향 슬래브(two-way slab)이다. 강도 설계에 기반한 종래 기술들과 달리 슬래브와 같은 수평부재는 설계코드에서 과도한 처짐이 발생하지 않도록 사용성 설계 기준이 제시되어 있다. 나아가 처짐에 대한 사용성 측면의 기준에 부합할지라도, 수직진동으로 인한 거주자의 불편함은 사용성에 충분히 고려되지 않으므로 이는 필수적으로 고려되어야 한다.

- [0009] 하지만 층간소음에 대한 종래 기술로서, 한국공개특허 제10-2018-0056036호의 “건축물 층간소음 저감용 방음 패널”은 층간소음을 저감하기 위하여 상부 커버 패널과 일정 간격 이격되게 대면한 상태로 하부커버 패널을 배치하고 패널의 사이에 계란판 구조체로 이루어진 별도의 패널을 추가하는 방법에 관한 것이다.
- [0010] 또 다른 종래기술로서, 한국공개특허 제10-2018-0052041호의 “층간소음 차음재”는 콘크리트 슬라브와 바닥재 사이에 수직 충격파를 감쇄시키는 차음재가 바닥차음부와 바닥재의 측면에 구비시키는 방법에 관한 것이다.
- [0011] 해당 종래기술들은 층간소음을 저감시키기 위하여 패널, 차음재, 바닥재 등 별도의 재료를 구조체 내부에 설치한다.
- [0012] 본 특허는 이와 달리 별도의 장치 없이 RC 슬라브 내에 콘크리트와 철근의 이질 재료 간 구성으로 층간소음을 줄이는 방법을 포함하고 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

- [0013] (특허문헌 0001) (문헌 1) 한국공개특허 제10-2014-0008577호  
(특허문헌 0002) (문헌 2) 한국등록특허 제10-1641471호  
(특허문헌 0003) (문헌 3) 한국공개특허 제10-2018-0056036호  
(특허문헌 0004) (문헌 4) 한국공개특허 제10-2018-0052041호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0014] 본 발명에 따른 이방향 슬라브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬라브 최적구조 설계방법 및 설계시스템은 다음과 같은 해결과제를 가진다.
- [0015] 첫째, 종래기술에서 고려되지 않은 사용성을 고려하여 재료비용, 이산화탄소 배출량을 최소화하는 이방향 슬라브 부재의 최적 구조설계 모델을 제공하고, 거주자의 활동으로 인한 수직진동을 규제하는 필터링을 통해 환경성, 경제성, 사용성을 동시에 고려한다.
- [0016] 둘째, 환경성(Environmental)을 최대화하기 위하여 CO<sub>2</sub> 배출량의 최소화를 목적으로 하는 이방향 슬라브 최적단면 설계방법 및 설계시스템을 제공하고자 한다.
- [0017] 셋째, 경제성(Economics)을 최대화하기 위하여 재료비용의 최소화를 목적으로 하는 이방향 슬라브 최적단면 설계방법 및 설계시스템을 제공하고자 한다.
- [0018] 넷째, 환경성과 경제성을 동시에 만족하는 슬라브 단면 중 사용성(Usability)을 고려하기 위하여 인간 활동으로 인한 진동의 규제화를 통해 필터링된 다목적 이방향 슬라브 선정하고자 한다.
- [0019] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급한 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해되어질 수 있을 것이다.

### 과제의 해결 수단

- [0020] 본 발명은 이방향 슬라브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬라브 최적구조 설계방법으로서, 설계변수 설정부에서 대상부재의 설계변수를 설정하는 S100 단계; 소요하중 산출부에서 건물용도에 따른 소요하중을 산출하는 S200 단계; 유전자 알고리즘부에서 환경성, 경제성 및 사용성을 동시에 고려하면서, 최적해 탐색을 위해 유전자 알고리즘을 구동시키는 S300 단계; 및 필터링부에서 상기 S300 단계에서 구해진 다수의 해를 허용가속도 기준치 설정을 통해 필터링하는 S400 단계를 포함한다.
- [0021] 본 발명에 있어서, S200 단계의 상기 소요하중은 고정하중과 활하중의 조합으로 산출되며, 상기 고정하중은 상기 설계변수에 따라 산출되고, 상기 활하중은 건물 용도에 따라 산출될 수 있다.

[0022] 본 발명에 있어서, S300 단계는 제약조건 만족 여부를 판단하는 S301 단계; 환경성, 경제성 및 사용성의 목적함수를 계산하는 S302 단계; 및 최적해 탐색을 위한 다목적 유전자 알고리즘을 적용하는 S303 단계를 포함할 수 있다.

[0023] 본 발명에 있어서, S301 단계에서 설계 휨모멘트가 각 구간에서의 소요 모멘트 이상의 값을 갖는지 여부를 다음의 제약조건으로 평가할 수 있다.

[0024] [제1 제약조건]

$$kM_o \leq \Phi A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

[0025]

[0026] 본 발명에 있어서, S301 단계에서 철근의 배근간격이 슬래브두께의 3배와 450mm중 작은 값보다 작은지 여부를 다음의 제약조건으로 평가할 수 있다.

[0027] [제2 제약조건]

$$S \leq \text{Min}(3 \times h_c, 450\text{mm})$$

[0028]

[0029] 본 발명에 있어서, S301 단계에서 주거용도의 건물에서 바닥충격음 적용기준으로 인하여 슬래브 최소두께가 210mm 보다 큰 값을 가지는지 여부는 다음의 제약조건으로 평가할 수 있다.

[0030] [제4 제약조건]

$$210\text{mm} \leq h_c$$

[0031]

[0032] 본 발명에 있어서, S302 단계에서 환경성을 최대화하기 위하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 최소화하는 목적함수는 다음과 같이 계산될 수 있다.

[0033] [제1 목적함수]

$$\text{Minimize } f_{en} = (l_x l_y h_c) \rho_c E_c + \left( \frac{\pi D_b^2}{4} l_s N_s \right) \rho_s E_s$$

[0034]

[0035] 본 발명에 있어서, S302 단계에서 경제성을 최대화하기 위하여 재료비용을 최소화하는 목적함수는 다음과 같이 계산될 수 있다.

[0036] [제2 목적함수]

$$\text{Minimize } f_{ec} = (l_x l_y h_c) \rho_c C_c + \left( \frac{\pi D_b^2}{4} l_n N_s \right) \rho_s C_s$$

[0037]

[0038] 본 발명에 있어서, S302 단계에서 사용성을 최대화하기 위하여 수직진동을 최소화하는 목적함수는 다음과 같이 계산될 수 있다.

[0039] [제3 목적함수]

$$\text{Minimize } f_{us} = \text{Max}(\ddot{x}(t))$$

[0040]

[0041] 본 발명에 있어서, S303 단계에서 환경성, 경제성 및 사용성의 목적함수에 대한 파레토 최적해를 탐색하기 위하여 NSGA-II를 적용할 수 있다.

[0042] 본 발명에 있어서, S400 단계는 하중의 종류와 건물의 용도를 구분하여, 수직진동에 대한 허용 가속도 기준치를 설정하고, S300 단계에서 도출된 다수의 해들이 바닥진동필터링(FVF)을 만족하는지 여부를 판단할 수 있다.

[0043] 본 발명에 있어서, 허용가속도 기준치는 하중의 종류와 건물의 용도를 구분하여 설정할 수 있다.

- [0044] 본 발명은 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계시스템으로서, 대상부재의 설계변수를 설정하는 설계변수 설정부(100); 건물용도에 따른 소요하중을 산출하는 소요하중 산출부(200); 환경성, 경제성 및 사용성을 동시에 고려하면서, 최적해 탐색을 위해 유전자 알고리즘을 구동시키는 유전자 알고리즘부(300); 및 상기 유전자 알고리즘부(300)에서 구해진 다수의 해를 허용가속도 기준치 설정을 통해 필터링하는 필터링부(400)를 포함한다.
- [0045] 본 발명에 있어서, 소요하중 산출부(200)에서 상기 소요하중은 고정하중과 활하중의 조합으로 산출되며, 상기 고정하중은 상기 설계변수에 따라 산출되고, 상기 활하중은 건물 용도에 따라 산출될 수 있다.
- [0046] 본 발명에 있어서, 유전자 알고리즘부(300)는 제약조건 만족 여부를 판단하는 S301 단계; 환경성, 경제성 및 사용성의 목적함수를 계산하는 S302 단계; 및 최적해 탐색을 위한 다목적 유전자 알고리즘을 적용하는 S303 단계를 포함할 수 있다.
- [0047] 본 발명에 있어서, 필터링부(400)는 하중의 종류와 건물의 용도를 구분하여, 수직진동에 대한 허용 가속도 기준치를 설정하고, 유전자알고리즘부(300)에서 도출된 다수의 해들이 바닥진동필터링(FVF)을 만족하는지 여부를 판단하는 것을 특징으로 하는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함할 수 있다.
- [0048] 본 발명에 있어서, 허용가속도 기준치는 하중의 종류와 건물의 용도를 구분하여 설정될 수 있다.
- [0049] 본 발명은 컴퓨터 프로그램으로서, 하드웨어와 결합되어, 본 발명에 따른 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법을 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램인 것이 바람직하다.

### 발명의 효과

- [0050] 본 발명에 따른 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법 및 설계시스템은 다음과 같은 효과를 가진다.
- [0051] 첫째, 거주자의 활동으로 인한 수직진동을 규제하는 필터링을 통해 환경성, 경제성, 사용성을 동시에 고려하는 효과가 있다.
- [0052] 둘째, 부재 설계 시 공사비 절감이 목표인 현재 건설 초기 구조설계 단계에서 나아가 이산화탄소 배출량과 사용성 측면에서의 설계 또한 고려되었기 때문에 보다 환경적이고 경제적이고 실용적인 슬래브 설계 모델을 제시하는 효과가 있다.
- [0053] 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해되어 질 수 있을 것이다.

### 도면의 간단한 설명

- [0054] 도 1은 본 발명에서 이방향 슬래브의 다목적 최적화 알고리즘의 순서도이다.
- 도 2 및 도 3은 본 발명에서, 환경성, 경제성 및 사용성의 3가지 목적함수의 상관관계 그래프이다.
- 도 4는 본 발명에 따른 슬래브 최적구조 설계시스템의 구성도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0055] 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.
- [0056] 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.
- [0057] 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.

[0058] 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.

[0060] 본 발명은 패널, 차음재 등 별도의 장치 없이 RC 슬래브 내에 콘크리트와 철근의 이질 재료 간 구성으로 층간소음을 줄이는 방법에 관한 것이다.

[0061] 먼저, 건설 과정 중 구조설계 단계에서 발생 가능한 이산화탄소 배출량과 재료비용의 최소화를 목표로 하는 건물 내 이방향 슬래브(two-way slab) 부재의 최적구조설계 기법을 제시한다. 나아가 건물 내 인간 활동에 의해 야기되는 진동 저감을 고려하기 위하여 주거, 사무 용도의 건물에서 바닥판의 다양한 경간 길이의 각기 다른 소요하중에 대하여 이산화탄소 배출량과 재료비용 그리고 수직진동을 최소화시키는 다목적 최적 설계 기법을 제시한다.

[0062] 본 발명은 RC 슬래브에 대한 강도 설계 기준을 만족하면서, 최소의 CO<sub>2</sub> 배출량과 재료비용을 갖는 부재 내 설계변수들의 최적 값을 탐색한다. 이는 주거용도와 사무용도 내에 다양한 경간 길이를 갖는 이방향 슬래브(two-way slab)에 적용되며, 나아가 지속가능한 구조설계에서 건물 내 인간 활동에 의해 유발되는 진동 저감도 최소화한다. 이산화탄소의 배출량과 재료비용을 동시에 최소화면서 바닥진동필터링(FVF: Floor Vibration Filtering)을 통하여 별도의 부착 재료 및 장치 없이 층간소음을 줄이는 특징이 있다.

[0063] 이하에서는 도면을 참고하여 본 발명을 설명하고자 한다.

[0064] 도 1은 본 발명에서 이방향 슬래브의 다목적 최적화 알고리즘의 순서도이다.

[0065] 본 발명은 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법으로서, 설계변수 설정부(100)에서 대상부재의 설계변수 및 고정하중을 설정하는 S100 단계; 소요하중 산출부(200)에서 건물용도에 따른 소요하중을 산출하는 S200 단계; 유전자 알고리즘부(300)에서 환경성, 경제성 및 사용성을 동시에 고려하면서, 최적해 탐색을 위해 유전자 알고리즘을 구동시키는 S300 단계; 및 필터링부(400)에서 상기 S300 단계에서 구해진 다수의 해를 허용가속도 기준치 설정을 통해 필터링하는 S400 단계를 포함한다.

[0066] 본 발명에 따른 S100 단계는 설계변수 설정부(100)에서 대상부재의 설계변수 및 고정하중을 설정하는 단계이다. 이방향 슬래브의 CO<sub>2</sub> 배출량 및 재료비용의 최적화에 영향을 미치는 설계변수는 크게 슬래브 두께, 콘크리트 압축강도, 철근 직경, 철근 항복강도, 철근 배근 간격이다.

[0067] 이에, 본 발명에 따른 대상부재의 설계변수는 대상부재의 재료가 콘크리트인 때에는 슬래브 두께 ( $h_c$ ) 및 콘크리트의 압축강도 ( $F_{ck}$ )를 포함하며, 대상부재의 재료가 철근인 때에는 철근의 직경 ( $D_b$ ), 배근간격 ( $S$ ) 및 항복강도( $F_y$ )를 포함할 수 있다.

[0068] 이를 표 1로 정리하면 다음과 같다.

표 1

재료	설계 변수
콘크리트	슬래브 두께 $h_c$
	압축강도 $F_{ck}$
철 근	직경 $D_b$
	배근 간격 $S$
	항복강도 $F_y$

[0069]

[0071] 본 발명에 따른 S200 단계는 소요하중 산출부(200)에서 건물용도에 따른 소요하중을 산출하는 단계이다.

[0072] 바닥판의 자중은 강도설계에 있어 소요하중으로 적용된다. 소요하중은 고정하중과 활하중의 하중 조합으로 계산될 수 있다.

[0073] S200 단계의 고정하중은 설계변수에 따라 산출되고, 활하중은 건물 용도에 따라 산출될 수 있다.

[0074] 활하중은 다음의 표 2와 같이 건물의 용도에 따라 달리 계산될 수 있다. 표 2는 건물 용도에 따른 등분포 활하중(단위:  $\text{kN/m}^2$ )의 예시를 나타낸다.

표 2

용 도	등분포 활하중
주 택	주거용 건축물의 거실 2.0
	공동주택의 공용실 5.0
사무실	일반 사무실 2.5
	특수용도 사무실 5.0
	문서 보관실 5.0
	1층 외의 모든 층 복도 4.0

[0075]

[0077] 본 발명에 따른 S300 단계는 유전자 알고리즘부(300)에서 환경성, 경제성 및 사용성을 동시에 고려하면서, 최적해 탐색을 위해 유전자 알고리즘을 구동시키는 단계이다.

[0078] 본 발명에 따른 S300 단계는 제약조건 만족 여부를 판단하는 S301 단계; 환경성, 경제성 및 사용성의 목적함수를 계산하는 S302 단계; 및 최적해 탐색을 위한 다목적 유전자 알고리즘을 적용하는 S303 단계를 포함할 수 있다.

[0079] 경간의 위치와 단부의 조건에 따라 슬래브의 소요모멘트는 주열대와 중간대, 외부, 중앙부, 단부로 분배되어 계산될 수 있다.

[0080] 본 발명에 따른 S301 단계에 있어서, 설계 휨모멘트가 각 구간에서의 소요 모멘트 이상의 값을 갖는지 여부를 다음의 제약조건으로 평가될 수 있다.

[0081] [제1 제약조건]

$$[0082] \quad kM_o \leq \Phi A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

[0083] 여기서,  $k$ 는 외/내부 경간 모멘트 분배 계수이며, 계수 모멘트  $M_o$ 와 곱하여 해당영역의 소요모멘트를 의미한다.  $\Phi$ 는 강도저감계수,  $A_s$ 는 철근단면적,  $f_y$ 는 철근의 항복강도,  $d$ 는 슬래브의 최외단으로 부터 철근중심까지의 거리,  $a$ 는 등가응력블록의 세로길이를 나타낸다.

[0085] 본 발명에 따른 S301 단계에 있어서, 철근의 배근간격이 슬래브두께의 3배와 450mm중 작은 값보다 작은지 여부를 다음의 제약조건으로 평가할 수 있다.

[0086] [제2 제약조건]

$$[0087] \quad S \leq \text{Min}(3 \times h_c, 450\text{mm})$$

[0088] 여기서,  $S$ 는 배근간격,  $h_c$ 는 슬래브 두께를 나타낸다.

[0090] 본 발명에 따른 S301 단계에 있어서, 내부 보가 있는 슬래브에서 슬래브 휨강성에 대한 보 휨강성의 비가 2.0을 기준으로 슬래브의 최소두께는 다음의 제약조건으로 평가할 수 있다.

[0091] [제3 제약조건]

$$[0092] \quad \frac{l_n (800 + f_y / 1.4)}{36,000 + 9,000\beta} \leq h_c$$

[0093] 여기서,  $l_n$ 은 슬래브 긴 변의 순경간이며,  $\beta$ 는 짧은 변에 대한 긴변 순경간의 비이다.

[0095] 본 발명에 따른 S301 단계에 있어서, 주거용도의 건물에서 바닥충격음 적용기준으로 인하여 슬래브 최소두께가 210mm 보다 큰 값을 가지는지 여부는 다음의 제약조건으로 평가할 수 있다.

[0096] [제4 제약조건]

$$[0097] \quad 210\text{mm} \leq h_c$$

[0098] 여기서,  $h_c$ 는 슬래브 두께를 나타낸다.

[0100] 본 발명에 따른 S302 단계는 환경성, 경제성 및 사용성의 목적함수를 계산하는 단계이다.

[0101] 본 발명에서 제시하는 최적 설계기법은 CO<sub>2</sub> 배출량, 재료비용 그리고 진동을 각각 목적함수로 설정하여 NSGA-II 알고리즘을 통해 이를 동시에 최소화 시키는 최적해를 탐색한다. 각 목적함수는 환경성(e), 경제성(c), 사용성(s)을 상징하며 이는 목적함수 1,2,3 으로 표현된다.

[0103] 본 발명에 따른 S302 단계에 있어서, 환경성을 최대화하기 위하여 CO<sub>2</sub> 배출량을 최소화하는 목적함수는 다음과 같이 계산될 수 있다.

[제1 목적함수]

$$\text{Minimize } f_{en} = (l_x l_y h_c) \rho_c E_c + \left( \frac{\pi D_b^2}{4} l_s N_s \right) \rho_s E_s$$

[0106] 여기서, 슬래브의 콘크리트 부피는 장단변방향의  $l_x, l_y$ 와 슬래브의 두께  $h_c$ 의 곱으로 나타내고,  $\rho_c$ 는 콘크리트의 밀도이고,  $E_c$ 는 단위 CO<sub>2</sub> 배출량이다. 철근의 부피는 철근단면적과 배근길이, 배근개수의 곱으로 나타내었다.  $D_b$ 는 철근 직경,  $l_s$ 은 배근 길이,  $N_s$ 는 배근 개수,  $\rho_s$ 는 철근의 밀도,  $E_s$ 는 단위 CO<sub>2</sub> 배출량이다.

[0108] 본 발명에 따른 S302 단계에 있어서, 경제성을 최대화하기 위하여 재료비용을 최소화하는 목적함수는 다음과 같이 계산될 수 있다.

[제2 목적함수]

$$\text{Minimize } f_{ec} = (l_x l_y h_c) \rho_c C_c + \left( \frac{\pi D_b^2}{4} l_s N_s \right) \rho_s C_s$$

[0111] 여기서, 슬래브의 콘크리트 부피는 장단변방향의  $l_x, l_y$ 와 슬래브의 두께  $h_c$ 의 곱으로 나타내고,  $\rho_c$ 는 콘크리트의 밀도이고,  $C_s$ 는 단위 비용이다. 철근의 부피는 철근단면적과 배근길이, 배근개수의 곱으로 나타내었다.  $D_b$ 는 철근 직경,  $l_s$ 은 배근 길이,  $N_s$ 는 배근 개수,  $\rho_s$ 는 철근의 밀도,  $C_s$ 는 단위 비용이다.

[0113] 본 발명에 따른 S302 단계에 있어서, 사용성을 최대화하기 위하여 수직진동을 최소화하는 목적함수는 다음과 같이 계산될 수 있다.

[제3 목적함수]

$$\text{Minimize } f_{us} = \text{Max}(\ddot{x}(t))$$

[0116] 여기서, 진동은 가속도 응답으로 설정하고, 시간에 따른 가속도 응답 중 최대값을 최소화하는 식으로 표현한다.

[0118] 본 발명에 따른 S303 단계는 최적해 탐색을 위한 다목적 유전자 알고리즘을 적용하는 단계이다.

[0119] S303 단계에서는 환경성, 경제성 및 사용성의 목적함수에 대한 파레토 최적해를 탐색하기 위하여 NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm version II)를 적용할 수 있다.

[0120] 본 발명에서는 제시하는 최적설계법의 해 탐색을 위하여 유전자 알고리즘(GA:Genetic Algorithm)이 이용된다.

단목적 유전자 알고리즘을 통해 도출되는 결과는 경제성과 환경성 나아가 사용성을 동시에 고려하기에 부적합하므로, 본 발명에서는 다목적 유전자 알고리즘을 사용하였으며, 세가지 목적함수에 대한 파레토 최적해를 탐색하기 위하여 NSGA-II를 도 1과 같이 적용하였다. 비지배 해 집합을 찾아 비지배 정도에 따라 순위를 부여하고 같은 순위를 갖는 경우 군집도 거리 할당 방법을 이용하여 해들의 적합도를 결정하였다. 새 모집단을 형성 하는 과정에서 다음 세대 중 일부는 교배(Crossover)를 통하여 개체를 이루고, 후에 진화에 적응하게 될 위험을 방지하기 위해 돌연변이(Mutation) 지정은 필수적이다. 건물의 용도와 경간 길이에 따라 이산화탄소 배출량과 재료 비용 그리고 바닥진동의 최소화를 목표로 하는 최적 단면 슬래브를 모두 찾으면 최적화 알고리즘은 만족된다.

[0121] 한편, 위반율 계산과 관련하여, 새 모집단을 형성 하는 과정에서 ‘인원수’ ‘교배’ ‘돌연변이’ ‘세대수’ 지정이 필수적인데 NSGA-II는 먼저 랜덤으로 지정한 인원수 만큼의 해를 선택해야 한다. 하지만, 이 랜덤으로 선정된 해가 제약조건을 만족하지 못하여 인원수를 충족시키지 못할 때 위반율을 계산하여 덜 위반한 해들을 선정하여 인원수를 만족시킬 수 있다.

[0122] 또한, 종료조건 만족과 관련하여, set  $i = 1$ 에서  $i$ 가 세대수를 나타낸다. 초기 설정한 세대수 만큼 인원수(population)를 진화시켜 최적해를 탐색하고 해당 세대수(50)를 만족할 때 종료조건을 만족하였다고 한다. 본 발명의 예시에서는 50번의 세대 수를 반복하여 최적해를 탐색하였다.

[0124] 본 발명에 따른 S400 단계는 필터링부(400)에서 상기 S300 단계에서 구해진 다수의 해를 허용가속도 기준치 설정을 통해 필터링하는 단계이다.

[0125] S400 단계는 하중의 종류와 건물의 용도를 구분하여, 수직진동에 대한 허용 가속도 기준치를 설정하고, S300 단계에서는 도출된 다수의 해들이 바닥진동필터링(FVF)을 만족하는지 여부를 판단할 수 있다.

[0126] 참고로, 본 발명에서 바닥진동필터링(FVF)라고 명명한 이유는 이산화탄소 배출량과 재료비용 그리고 바닥진동을 동시에 고려하여 얻어낸 최적단면이 가지는 바닥판의 수직 진동 가속도가 ‘건물의용도’에 적절한 것인가를 판별하기 위함이다.

[0128] 바닥진동필터링(FVF)은 수직진동에 관해 기 설정한 기준에 근거하여 허용 가속도 기준치를 선정하며, 기준치를 만족하도록 도출된 다수의 해들이 최종적으로 선별될 수 있도록 한다.

[0129] 수직진동에 관한 기준의 일 예시로서, 일본 건축학회(AIJ)에서 하중의 종류와 건물의 용도를 구분하여 최대가속도의 제한값을 제안하는 기준은 다음 표 3과 같다.

표 3

	Continuous vibration	Impact vibration	
		Below 3% of damping	Between 3 ~ 6 % damping
Residential building	0.015 m/sec <sup>2</sup>	0.05 m/sec <sup>2</sup>	0.1 m/sec <sup>2</sup>
Office building (Conference room)	0.03 m/sec <sup>2</sup>	0.1 m/sec <sup>2</sup>	0.3 m/sec <sup>2</sup>
Office building (General room)	0.05 m/sec <sup>2</sup>	0.1 m/sec <sup>2</sup>	0.3 m/sec <sup>2</sup>

[0130]

[0131] 일본 건축학회(AIJ)에서 하중의 종류와 건물의 용도를 구분하여 최대가속도의 제한값을 제안하고 있는 것으로서, 수직진동에 대한 사용성 기준을 나타낸 것이다.

[0133] 본 발명에서 하중은 거주자의 뒤꿈치 충격이다. 보행이나 달리는 동작에서 뒤꿈치 충격의 영향을 반영한 일본건축학회 기준에 근거하여 최대값이 690N, 지속시간이 0.04초인 뒤꿈치 하중을 slab의 진동을 유발시키는 충격힘(impact force)으로 가정한다. 동적해석을 위한 감쇠비는 5%로 가정하였으며 따라서 허용 가속도는 표1에 따라

0.1m/sec<sup>2</sup> 이 된다.

[0134] 사용성을 고려한 최적해 탐색과정에서 설계 변수 값에 의해 슬래브의 질량, 감쇠, 강성이 결정하고 동적해석을 수행하게 되면, 슬래브의 가속도 응답을 구할 수 있다. 다양한 슬래브마다 시간이력 가속도 응답 최대값이 각 최적해들의 동적 사용성 평가를 위해 이용되었으며, 도출된 다수의 해들이 허용 가속도 기준치를 만족하는지 바닥진동필터링(FVF)을 통해 검토된다. 도 1의 S300 단계에서 선정된 다수의 해는 마지막으로 바닥진동필터링(FVF)을 통해 허용 가속도 기준치를 만족하는지 검토 후 최종 슬래브 설계안으로 선정된다.

[0136] 이하에서는 본 발명에 따른 슬래브 최적구조 설계방법을 적용하는 실시예를 살펴보고자 한다.

[0137] 도 3은 본 발명에서 제시하는 다목적 설계 기법을 장변길이 7.0m 단변길이 5.0m 인 이방향 슬래브(two-way slab)에 적용하였을 때 출력되는 세가지 목적함수 즉, 환경성, 경제성 및 사용성 목적함수에 대한 결과 그래프이다. 가로, 세로, 수직축은 각각 이산화탄소 배출량, 재료비용 그리고 동적해석을 통해 구한 바닥판의 가속도 응답을 나타낸다.

[0139] 도 1의 S100 단계에서 설계변수를 설정하여 총 34020개의 단면을 생성하고 S200 단계에서 용도는 주거용으로 설정하였다.

[0140] S300 단계에서는 이산화탄소 발생량과 구조생산단계에서 발생하는 재료비용, 거주자 활동으로 인한 바닥판의 진동을 동시에 최소화하기 위하여 다목적 최적화 과정을 수행한다. 출력된 다목적 파레토해가 도 2의 청색 원이며 'all pareto'라고 표기 하였다.

[0141] S400 단계는 바닥진동필터링(FVF)을 통하여 허용 가속도 기준치를 만족하면서 이산화탄소 배출량과 재료비용을 가장 적게 가지는 파레토(pareto)를 선정하는 과정이다. 선정된 해는 적색 원이며 'select pareto' 라고 표기 하였다.

[0142] all pareto 와 선정된 select pareto의 결과 값은 아래 표 4와 같다. 25번 26번 pareto는 이산화탄소 배출량과 재료비용이 각각 24번보다 적지만 허용가속도 0.1m/s<sup>2</sup> 를 초과하여 24번 pareto가 최종 선정된다.

표 4

All pareto	CO2 emmissions (ton)_환경성	COST (USD)_경제성	Acceleration (m/s <sup>2</sup> )_사용성
1	27.11867	8749.014	0.01
2	26.92072	8671.221	0.014
3	26.89778	8669.398	0.015
4	26.64629	8601.686	0.017
5	26.44835	8591.605	0.02
6	26.42541	8522.069	0.023
⋮	⋮	⋮	⋮
21	25.26769	6392.217	0.087
22	25.25736	6320.146	0.09
23	25.19949	6005.278	0.093
<b>24</b>	<b>25.07633</b>	<b>5984.361</b>	<b>0.098 (select)</b>
25	24.88561	5942.784	0.103
26	24.8639	5909.161	0.108

[0143]

- [0145] 이산화탄소 배출량과 재료비용의 발생량이 커진다는 것은 바닥판의 물량이 증가하고 물량은 바닥판의 두께와 정비례한다. 또한 바닥판이 두꺼워질수록 수직진동은 감소하게 된다.
- [0146] 랜덤으로 단면을 생성하면 이산화탄소 배출량은 적지만 재료비용이 큰 경우가 존재하지만 그 단면은 엘리트 집단으로 선택되지 못한다.
- [0147] All pareto는 NSGA-II의 최적해 탐색과정을 거쳐 얻어낸 엘리트 집단으로서, 이산화탄소 배출량과 재료비용의 발생을 각각 최소화하는 해 집단이다. 마지막 열은 그 해들이 가지는 수직 가속도 값을 나타낸다.
- [0148] 표 4의 마지막 열인 사용성 항목(Acceleration)은 바닥진동필터링(FVF)을 통해 허용치 이내이기만 하면 패스(pass)되는 동일한 취급을 받는다. 패스(pass)된 All pareto 24 가지중 24번의 pareto가 선택(select)된 이유는 다음과 같이, 파레토 해들의 최대값에 대한 각해들의 비율의 합이 가장 적은 것을 택한 것이기 때문이다.
- [0149] 24 pareto :  $25.07633/27.11867 + 5984.361/8749.014 = 1.609$
- [0150] 1 pareto :  $27.11867/27.11867 + 8749.014/8749.014 = 2.0$
- [0152] 한편, 본 발명에 따른 사용성은 층간소음 저감을 통해 거주자의 생활환경을 개선을 목표로 하기 위해 고려되는 것이다.
- [0153] S300 단계에서의 사용성의 경우, 사용성을 목적함수로 고려하여 계산한 것은 다목적 최적화 알고리즘에서 운동 방정식이 코드에 포함되어 이산화탄소 배출량과 재료비용과 함께 고려되어 표 4와 같이 결과값이 계산되는 것이다.
- [0154] S400 단계에서의 사용성의 경우, 그 계산된 26가지 값을 허용가속도 기준으로 걸러내는 것이다.
- [0156] 본 발명은 슬래브 최적구조 설계시스템으로 구현될 수 있다. 이에, 이하에서는 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계시스템에 대하여 설명하고자 한다. 다만, 슬래브 최적구조 설계방법과 중복되는 내용은 최대한 배제하고, 요지 위주로 설명하고자 한다.
- [0157] 본 발명은 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계시스템으로서, 대상부재의 설계변수를 설정하는 설계변수 설정부(100); 건물용도에 따른 소요하중을 산출하는 소요하중 산출부(200); 환경성, 경제성 및 사용성을 동시에 고려하면서, 최적해 탐색을 위해 유전자 알고리즘을 구동시키는 유전자 알고리즘부(300); 및 상기 유전자 알고리즘부(300)에서 구해진 다수의 해를 허용가속도 기준치 설정을 통해 필터링하는 필터링부(400)를 포함한다.
- [0158] 본 발명에 따른 소요하중 산출부(200)에서 소요하중은 고정하중과 활하중의 조합으로 산출되며, 상기 고정하중은 상기 설계변수에 따라 산출되고, 상기 활하중은 건물 용도에 따라 산출될 수 있다.
- [0159] 본 발명에 따른 유전자 알고리즘부(300)는 제약조건 만족 여부를 판단하는 S301 단계; 환경성, 경제성 및 사용성의 목적함수를 계산하는 S302 단계; 및 최적해 탐색을 위한 다목적 유전자 알고리즘을 적용하는 S303 단계를 포함할 수 있다.
- [0160] 본 발명에 따른 필터링부(400)는 하중의 종류와 건물의 용도를 구분하여, 수직진동에 대한 허용 가속도 기준치를 설정하고, 상기 유전자알고리즘부(300)에서 도출된 다수의 해들이 바닥진동필터링(FVF)을 만족하는지 여부를 판단할 수 있다.
- [0161] 본 발명에 있어서, 허용가속도 기준치는 하중의 종류와 건물의 용도를 구분하여 설정될 수 있다.
- [0163] 본 발명은 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수도 있다. 하드웨어와 결합되어, 본 발명에 따른 이방향 슬래브의 바닥진동필터링(FVF)을 포함하는 슬래브 최적구조 설계방법을 실행시키기 위하여 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램인 것이 바람직하다.

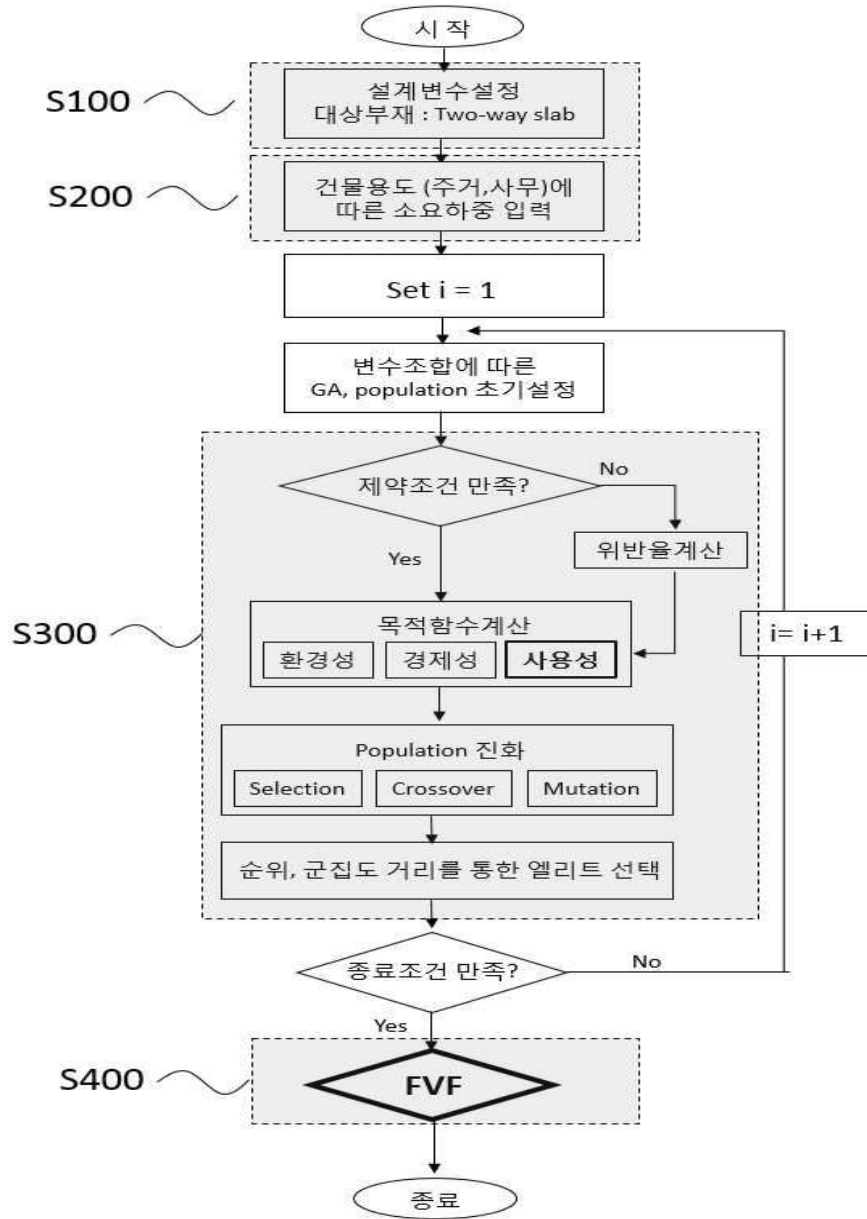
[0165] 본 명세서에서 설명되는 실시예와 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 예시적으로 설명하는 것에 불과하다. 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이므로, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아님은 자명하다. 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형예와 구체적인 실시 예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

### 부호의 설명

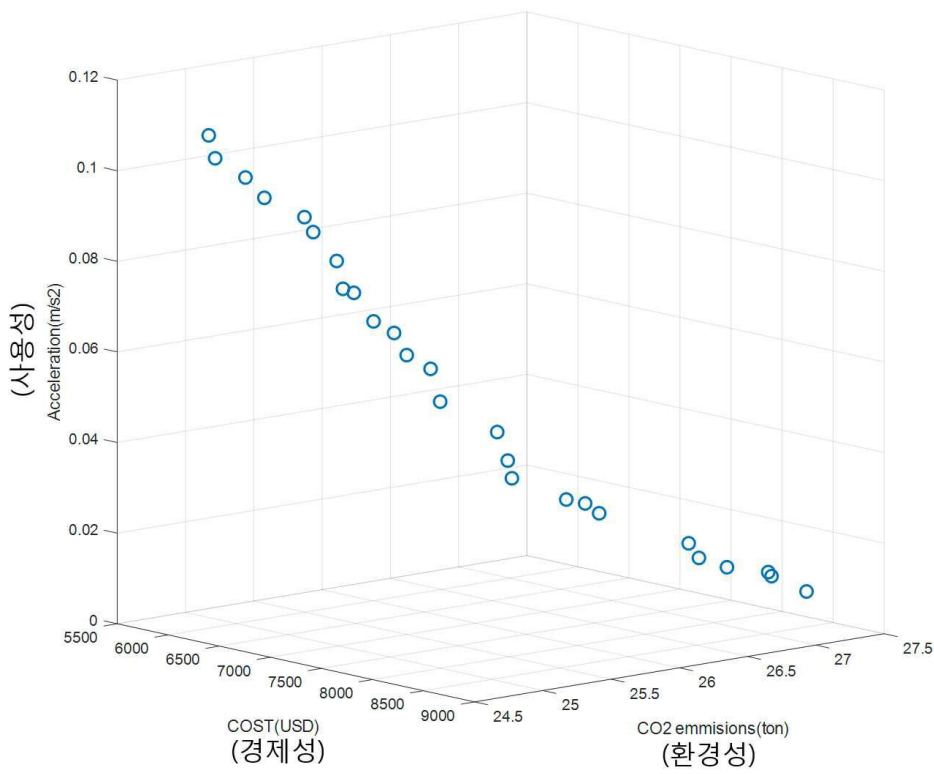
[0166] 100 : 설계변수 설정부  
200 : 소요하중 산출부  
300 : 유전자 알고리즘부  
400 : 필터링부

도면

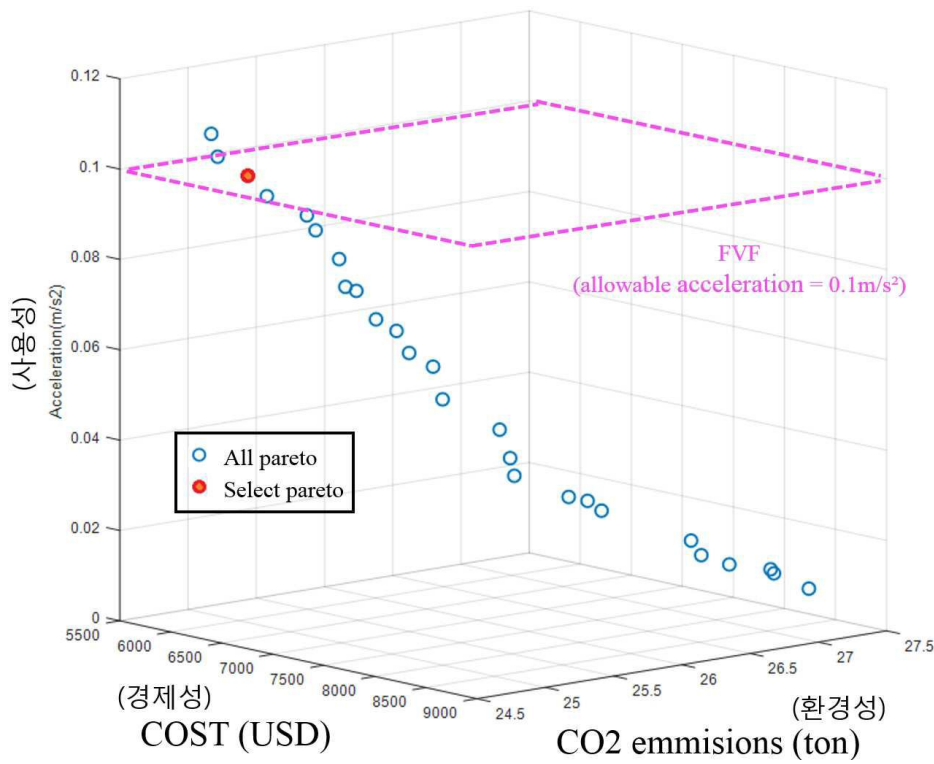
도면1



도면2



도면3



도면4

