



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년12월28일
(11) 등록번호 10-2344814
(24) 등록일자 2021년12월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 30/20 (2020.01) G06F 30/13 (2020.01)
(52) CPC특허분류
G06F 30/20 (2020.01)
G06F 30/13 (2020.01)
(21) 출원번호 10-2020-0004123
(22) 출원일자 2020년01월13일
심사청구일자 2020년01월13일
(65) 공개번호 10-2021-0090866
(43) 공개일자 2021년07월21일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020140008577 A*
KR101781969 B1*
이설호 외 2명, "CO2 배출량을 고려한 슬래브의
구조 최적 설계", 대한건축학회 학술발표대회 논
문집 제37권 제2호, pp 720-721*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대
학교)
(72) 발명자
박효선
서울특별시 강남구 영동대로 220, 8동 1108호(대
치동, 쌍용아파트)
이승형
서울특별시 서대문구 서소문로 45, 1410호 (합동,
SK리첼블)
(74) 대리인
김인철

전체 청구항 수 : 총 11 항

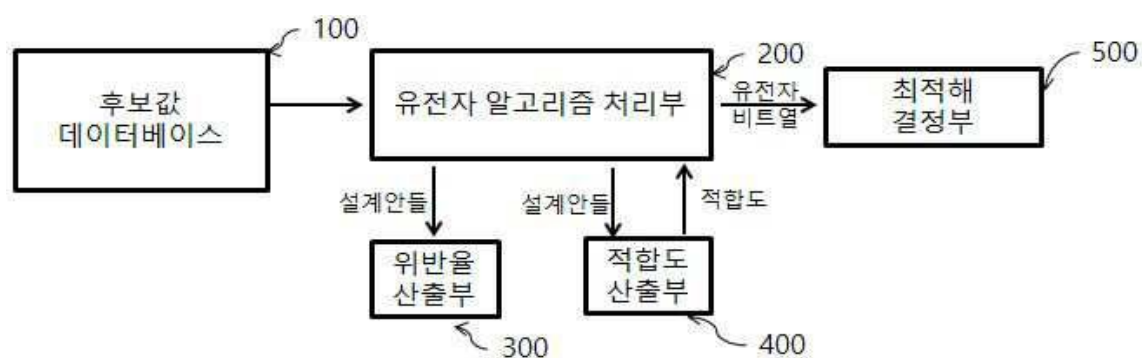
심사관 : 장지혜

(54) 발명의 명칭 **와플 슬래브 최적 설계 장치 및 최적 설계 방법****(57) 요약**

본 발명은 대형 건물에서 사용되는 장스팬 구조의 일종인, 와플 슬래브에 소요되는 소요 비용과 이산화탄소 배출
량을 최적화할 수 있는 와플 슬래브 최적 설계 장치 및 최적 설계 방법에 관한 것으로,

본 발명의 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 장치는,

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1

건물에 사용되는 와플 슬래브의 설계변수들, 후보값들 및 후보값 인덱스들이 저장된 후보값 데이터베이스; 기설정된 종료 조건이 만족될 때까지, 상기 설계변수들의 후보값 인덱스들을 조합하여 생성되는 유전자 비트열들에 대해 유전자 선택, 교배, 돌연변이, 대체 연산 중 적어도 어느 하나를 수행하여 매 세대마다 유전자 비트열들을 생성하고, 상기 종료 조건을 만족하는 복수의 유전자 비트열을 도출하는 유전자 알고리즘 처리부; 매 세대의 유전자 비트열들에 대하여, 기설정된 소요하중과 설계기준에 따른 제약조건들을 모두 만족하는지 여부를 판정하고, 상기 제약조건들 중 적어도 어느 하나를 만족하지 못한 경우, 위반율을 산출하는 위반율 산출부; 매 세대의 유전자 비트열들에 대하여 CO₂ 배출량을 산출하기 위한 제1 목적함수의 제1 산출값들과, 소요 비용을 산출하기 위한 제2 목적함수의 제2 산출값들과, 상기 위반율 산출부에서 산출된 위반율 값들을 이용하여 적합도 값들을 산출하는 적합도 산출부; 및, 상기 종료 조건을 만족하는 복수개의 유전자 비트열들 중 적합도 값이 큰 순으로 기설정된 복수개의 유전자 비트열에 대응하는 와플 슬래브의 설계안들을 도출하고, 도출된 복수개의 와플 슬래브 설계안에 대해 기설정된 최적화 비율을 이용하여 최적의 와플 슬래브 설계안을 결정하는 최적해 결정부;를 포함한다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711091372
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원(R&D)
연구과제명	지능형 건설자동화 연구센터
기 여 율	1/1
과제수행기관명	경북대학교
연구기간	2019.03.01 ~ 2020.02.29

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

건물에 사용되는 와플 슬래브의 설계변수들, 후보값들 및 후보값 인덱스들이 저장된 후보값 데이터베이스; 기설정된 종료 조건이 만족될 때까지, 상기 설계변수들의 후보값 인덱스들을 조합하여 생성되는 유전자 비트열들에 대해 유전자 선택, 교배, 돌연변이, 대체 연산 중 적어도 어느 하나를 수행하여 매 세대마다 유전자 비트열들을 생성하고, 상기 종료 조건을 만족하는 복수의 유전자 비트열을 도출하는 유전자 알고리즘 처리부; 매 세대의 유전자 비트열들에 대하여, 기설정된 소요하중과 설계기준에 따른 제약조건들을 모두 만족하는지 여부를 판정하고, 상기 제약조건들 중 적어도 어느 하나를 만족하지 못한 경우, 위반율을 산출하는 위반율 산출부; 매 세대의 유전자 비트열들에 대하여 CO₂ 배출량을 산출하기 위한 제1 목적함수의 제1 산출값들과, 소요 비용을 산출하기 위한 제2 목적함수의 제2 산출값들과, 상기 위반율 산출부에서 산출된 위반율 값들을 이용하여 적합도 값들을 산출하는 적합도 산출부; 및 상기 종료 조건을 만족하는 복수개의 유전자 비트열들 중 적합도 값이 큰 순으로 기설정된 복수개의 유전자 비트열에 대응하는 와플 슬래브의 설계안들을 도출하고, 도출된 복수개의 와플 슬래브 설계안에 대해 기설정된 최적화 비율을 이용하여 최적의 와플 슬래브 설계안을 결정하는 최적해 결정부;를 포함하며,

상기 최적해 결정부는, 기제조된 와플 슬래브에 관한 제1 와플폼 규격을 기초로 제1 최적해를 결정하는 제1 최적해 결정모듈과, 사용자 맞춤형 와플 슬래브에 관한 제2 와플폼 규격을 기초로 제2 최적해를 결정하는 제2 최적해 결정모듈과, 건물 크기에 따른 와플폼 재사용 횟수와 맞춤형 와플폼 제조 비용을 고려하여 상기 제1 최적해와 상기 제2 최적해 중에서 최종 최적해를 결정하는 최종 최적해 결정모듈을 포함하며,

상기 최종 최적해 결정모듈은 다음 수학적식에 의해 최적해를 결정하는 것을 특징으로 하는 와플 슬래브 최적 설계 장치.

[수학적식1] $y = a + bt$

[수학적식2] $y = ct$

[수학적식3] $t \geq a/(c-b)$

(여기서, 수학적식1의 y는 맞춤형 와플폼을 사용할 때, 재사용 횟수(t)에 따른 소요 비용, 수학적식2의 y는 기 제조된 일반 와플폼을 사용할 때, 재사용 횟수(t)에 따른 소요 비용, t는 와플폼 재사용 횟수, a는 맞춤형 와플폼 제조 비용, b는 맞춤형 와플폼에 의한 와플 슬래브 제조 비용, c는 기 제조된 일반 와플폼에 의한 와플 슬래브 제조 비용이다)

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 후보값 데이터베이스는,

기제조된 와플 슬래브에 관한 제1 와플폼 규격을 포함하며,

상기 제1 와플폼 규격은, 기제조된 와플 슬래브의 상부 리브 길이, 하부 리브 길이, 리브간 간격, 그리고 리브 높이가 하나의 세트(set)를 이루어 하나의 후보값을 형성하는 것

을 특징으로 하는 와플 슬래브 최적 설계 장치.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 기설정된 최적화 비율은, 상기 CO₂ 배출량을 상기 소요 비용으로 나누거나 또는 상기 소요 비용을 상기 CO₂

배출량으로 나누어서 산출되는 것
을 특징으로 하는 와플 슬래브 최적 설계 장치.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 최적해 결정부는, 상기 CO₂ 배출량을 제1 축으로 하고, 상기 소요 비용을 상기 제1 축과 수직한 제2 축으로 한 좌표 공간에서, 상기 기설정된 최적화 비율을 기울기로 하는 직선과 상기 복수개의 와플 슬래브 설계안에 의해 도출된 소요 비용과 CO₂ 배출량의 순서쌍 좌표들 중에서 상기 직선과의 수직 거리가 가장 짧은 순서쌍 좌표를 최적해로 결정하는 것

을 특징으로 하는 와플 슬래브 최적 설계 장치.

청구항 5

청구항 2에 있어서, 상기 후보값 데이터베이스는,

사용자 맞춤형 와플 슬래브에 관한 제2 와플폼 규격을 더 포함하며,

상기 제2 와플폼 규격은, 사용자 맞춤형 와플 슬래브의 상부 리브 길이, 하부 리브 길이, 리브간 간격, 리브 높이 각각 하나의 후보값을 형성하는 것

을 특징으로 하는 와플 슬래브 최적 설계 장치.

청구항 6

삭제

청구항 7

컴퓨팅 장치에 의해 수행되는 와플 슬래브 최적 설계 방법으로서,

데이터베이스가 건물에 사용되는 와플 슬래브의 설계변수들, 후보값들 및 후보값 인덱스들이 저장된 후보값 데이터베이스를 구축하는 제1 단계; 유전자 알고리즘 처리부가 기설정된 종료 조건이 만족될 때까지, 상기 설계변수들의 후보값 인덱스들을 조합하여 생성되는 유전자 비트열들에 대해 유전자 선택, 교배, 돌연변이, 대체 연산 중 적어도 어느 하나를 수행하여 매 세대마다 유전자 비트열들을 생성하고, 상기 종료 조건을 만족하는 복수의 유전자 비트열을 도출하는 제2 단계; 위반율 산출부가 세대의 유전자 비트열들에 대하여, 기설정된 소요하중과 설계기준에 따른 제약조건들을 모두 만족하는지 여부를 판정하고, 상기 제약조건들 중 적어도 어느 하나를 만족하지 못한 경우, 위반율을 산출하는 제3 단계; 적합도 산출부가 매 세대의 유전자 비트열들에 대하여 CO₂ 배출량을 산출하기 위한 제1 목적함수의 제1 산출값들과, 소요 비용을 산출하기 위한 제2 목적함수의 제2 산출값들과, 상기 위반율 산출부에서 산출된 위반율 값들을 이용하여 적합도 값들을 산출하는 제4 단계; 및 최적해 결정부가 상기 종료 조건을 만족하는 복수개의 유전자 비트열들 중 적합도 값이 큰 순으로 기설정된 복수개의 유전자 비트열에 대응하는 와플 슬래브의 설계안들을 도출하고, 도출된 복수개의 와플 슬래브 설계안에 대해 기설정된 최적화 비율을 이용하여 최적의 와플 슬래브 설계안을 결정하는 제5 단계;를 포함하며,

상기 제5 단계는, 기제조된 와플 슬래브에 관한 제1 와플폼 규격을 기초로 제1 최적해를 결정하는 제1 최적해 결정단계와, 사용자 맞춤형 와플 슬래브에 관한 제2 와플폼 규격을 기초로 제2 최적해를 결정하는 제2 최적해 결정단계와, 건물 크기에 따른 와플폼 제사용 횟수와 맞춤형 와플폼 제조 비용을 고려하여 상기 제1 최적해와 상기 제2 최적해 중에서 최종 최적해를 결정하는 최종 최적해 결정단계를 포함하며,

상기 최종 최적해 결정단계는 다음 수확식에 의해 최적해를 결정하는 것을 특징으로 하는 와플 슬래브 최적 설계 방법.

[수학식1] $y = a + bt$

[수학식2] $y = ct$

[수학식3] $t \geq a/(c-b)$

(여기서, 수학식1의 y 는 맞춤형 와플폼을 사용할 때, 재사용 횟수(t)에 따른 소요 비용, 수학식2의 y 는 기 제조된 일반 와플폼을 사용할 때, 재사용 횟수(t)에 따른 소요 비용, t 는 와플폼 재사용 횟수, a 는 맞춤형 와플폼 제조 비용, b 는 맞춤형 와플폼에 의한 와플 슬래브 제조 비용, c 는 기 제조된 일반 와플폼에 의한 와플 슬래브 제조 비용이다)

청구항 8

청구항 7에 있어서, 상기 후보값 데이터베이스는,

기제조된 와플 슬래브에 관한 제1 와플폼 규격을 포함하며,

상기 제1 와플폼 규격은, 기제조된 와플 슬래브의 상부 리브 길이, 하부 리브 길이, 리브간 간격, 그리고 리브 높이가 하나의 세트(set)를 이루어 하나의 후보값을 형성하는 것

을 특징으로 하는 와플 슬래브 최적 설계 방법.

청구항 9

청구항 7에 있어서,

상기 기설정된 최적화 비율은, 상기 CO₂ 배출량을 상기 소요 비용으로 나누거나 또는 상기 소요 비용을 상기 CO₂ 배출량으로 나누어서 산출되는 것

을 특징으로 하는 와플 슬래브 최적 설계 방법.

청구항 10

청구항 7에 있어서,

상기 제5 단계는, 상기 CO₂ 배출량을 제1 축으로 하고, 상기 소요 비용을 상기 제1 축과 수직인 제2 축으로 한 좌표 공간에서, 상기 기설정된 최적화 비율을 기울기로 하는 직선과 상기 복수개의 와플 슬래브 설계안에 의해 도출된 소요 비용과 CO₂ 배출량의 순서쌍 좌표들 중에서 상기 직선과의 수직 거리가 가장 짧은 순서쌍 좌표를 최적해로 결정하는 것

을 특징으로 하는 와플 슬래브 최적 설계 방법.

청구항 11

청구항 8에 있어서, 상기 후보값 데이터베이스는,

사용자 맞춤형 와플 슬래브에 관한 제2 와플폼 규격을 더 포함하며,

상기 제2 와플폼 규격은, 사용자 맞춤형 와플 슬래브의 상부 리브 길이, 하부 리브 길이, 리브간 간격, 리브 높이가 각각 하나의 후보값을 형성하는 것

을 특징으로 하는 와플 슬래브 최적 설계 방법.

청구항 12

삭제

청구항 13

컴퓨팅 장치에 의해 수행되며, 청구항 7에 따른 와플 슬래브 최적 설계 방법을 실행시키기 위하여, 컴퓨터가 관독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 대형 건물에서 사용되는 장스팬 구조의 일종인, 와플 슬래브에 소요되는 소요 비용과 이산화탄소 배출량을 최적화할 수 있는 와플 슬래브 최적 설계 장치 및 최적 설계 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 기상청이 공개한 미국 국립해양대기구 (NOAA) 국립기후자료센터 (NDCC)의 자료에 따르면, 지구 표면 온도는 1976년 이후 약 40년간 20세기 평균 기온을 웃돌았다고 한다. 이에 따라 지구온난화에 대한 우려와 관심은 점점 커지고 있다. 그에 대한 대안으로 교토 의정서(1977)나 파리 협약(2015)과 같은 세계적인 노력이 이어져 오고 있지만, 아직 지구 온난화는 계속되고 있고 그에 대한 노력 역시 끊임없이 필요하다.

[0004] IEA(International Energy Agency)에 따르면, 건물에서 소비되는 에너지로 인한 이산화탄소 배출량이 전체의 약 24%라고 한다. 국내 역시 이와 비슷하다. 환경부에 따르면, 건물 부문의 에너지 소비량은 국가 전체 에너지 소비량의 약 17%, 온실가스 배출량은 전체의 약 20%를 차지한다고 한다.

[0005] 따라서, 건물의 제작 및 시공에서 발생하는 에너지 및 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있도록 설계 과정에서 환경성에 대한 고려가 필요하다.

[0007] 한국공개특허 제10-2015-0016424호 “환경성을 고려한 기둥 단면 최적 설계 방법 및 장치”와 제10-2014-0008577호 “환경성을 고려한 합성기둥 열의 설계방법”와 같이 기둥 부재에 대해서 환경성을 고려한 종래기술은 몇 있으나, 슬래브에 대해서 환경성을 고려한 종래기술은 찾아보기 힘들다.

[0008] 또한, 앞서 말한 두 기술 중 제10-2015-0016424호 “환경성을 고려한 기둥 단면 최적 설계 방법 및 장치”의 경우 초기설계단계에서 기둥 부재의 이산화탄소 배출량만을 고려했을 뿐, 배출량을 최소화하기 위해서 드는 추가적인 비용을 고려하지 않았다는 한계를 가지고 있다.

[0009] 뿐만 아니라, 제10-2014-0008577호 “환경성을 고려한 합성기둥 열의 설계방법”의 경우, 비용과 환경성을 모두 고려하고 있기는 하지만, 입력되는 각각 다른 소요하중에 대해서 여러 가지의 최적단면이 가능할 경우 이를 하나씩 직접 선택해야 한다는 한계점이 있다.

[0010] 무엇보다도 두 기술 모두 건물의 기둥을 대상으로 한 기술이기 때문에, 슬래브 부재를 비롯한 다른 요소에 적용하기 힘들다는 명확한 문제를 가지고 있다.

[0011] 이 외에 슬래브에 대한 종래 기술들은 대부분 단열이나 방수, 층간소음 저감 등에 관한 기술들이 대부분이며, 일부 환경성을 고려한 제10-2017-0100992호 “친환경 성능과 항균 및 항 곰팡이 효율을 갖는 공동주택 층간소음 저감용 점탄성 조성물 및 이를 포함하는 점탄성 감쇠재”와 같은 종래 기술들도 있으나, 슬래브 자체에 관한 기술이 아니라 슬래브에 적용되는 친환경성 재료에 관한 기술이 전부이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0013] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2015-0016424호
(특허문헌 0002) 한국공개특허 제10-2014-0008577호
(특허문헌 0003) 한국공개특허 제10-2017-0100992호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0014] 본 발명은 와플 슬래브의 초기 설계 단계에서 사용되는 각 재료의 생산 과정에서 배출되는 이산화탄소 배출량과 소요 비용을 동시에 최적화할 수 있는 와플 슬래브 최적 설계 장치 및 최적 설계 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0015] 또한, 대형 건물의 설계 단계에서 사용자가 우선시하는 이산화탄소 배출 감소와 비용 감소 비율에 따라, 최적의 와플 슬래브 설계 단면을 제공할 수 있는 와플 슬래브 최적 설계 장치 및 최적 설계 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0017] 본 발명의 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 장치는,
- [0018] 건물에 사용되는 와플 슬래브의 설계변수들, 후보값들 및 후보값 인덱스들이 저장된 후보값 데이터베이스; 기설정된 종료 조건이 만족될 때까지, 상기 설계변수들의 후보값 인덱스들을 조합하여 생성되는 유전자 비트열들에 대해 유전자 선택, 교배, 돌연변이, 대체 연산 중 적어도 어느 하나를 수행하여 매 세대마다 유전자 비트열들을 생성하고, 상기 종료 조건을 만족하는 복수의 유전자 비트열을 도출하는 유전자 알고리즘 처리부; 매 세대의 유전자 비트열들에 대하여, 기설정된 소요하중과 설계기준에 따른 제약조건들을 모두 만족하는지 여부를 판정하고, 상기 제약조건들 중 적어도 어느 하나를 만족하지 못한 경우, 위반율을 산출하는 위반율 산출부; 매 세대의 유전자 비트열들에 대하여 CO₂ 배출량을 산출하기 위한 제1 목적함수의 제1 산출값들과, 소요 비용을 산출하기 위한 제2 목적함수의 제2 산출값들과, 상기 위반율 산출부에서 산출된 위반율 값들을 이용하여 적합도 값들을 산출하는 적합도 산출부; 및, 상기 종료 조건을 만족하는 복수개의 유전자 비트열들 중 적합도 값이 큰 순으로 기설정된 복수개의 유전자 비트열에 대응하는 와플 슬래브의 설계안들을 도출하고, 도출된 복수개의 와플 슬래브 설계안에 대해 기설정된 최적화 비율을 이용하여 최적의 와플 슬래브 설계안을 결정하는 최적해 결정부;를 포함한다.
- [0019] 본 발명의 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 장치에 있어서, 상기 후보값 데이터베이스는, 기제조된 와플 슬래브에 관한 제1 와플폼 규격을 포함하며, 상기 제1 와플폼 규격은, 기제조된 와플 슬래브의 상부 리브 길이, 하부 리브 길이, 리브간 간격, 그리고 리브 높이가 하나의 세트(set)를 이루어 하나의 후보값을 형성할 수 있다.
- [0020] 본 발명의 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 장치에 있어서, 상기 기설정된 최적화 비율은, 상기 CO₂ 배출량을 상기 소요 비용으로 나누거나 또는 상기 소요 비용을 상기 CO₂ 배출량으로 나누어서 산출될 수 있다.
- [0021] 본 발명의 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 장치에 있어서, 상기 최적해 결정부는, 상기 CO₂ 배출량을 제1 축으로 하고, 상기 소요 비용을 상기 제1 축과 수직인 제2 축으로 한 좌표 공간에서, 상기 기설정된 최적화 비율을 기울기로 하는 직선과 상기 복수개의 와플 슬래브 설계안에 의해 도출된 소요 비용과 CO₂ 배출량의 순서쌍 좌표들 중에서 상기 직선과의 수직 거리가 가장 짧은 순서쌍 좌표를 최적해로 결정할 수 있다.
- [0022] 본 발명의 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 장치에 있어서, 상기 후보값 데이터베이스는, 사용자 맞춤형 와플 슬래브에 관한 제2 와플폼 규격을 더 포함하며, 상기 제2 와플폼 규격은, 사용자 맞춤형 와플 슬래브의 상부 리브 길이, 하부 리브 길이, 리브간 간격, 리브 높이가 각각 하나의 후보값을 형성할 수 있다.
- [0023] 본 발명의 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 장치에 있어서, 상기 최적해 결정부는, 상기 기제조된 와플 슬래브에 관한 제1 와플폼 규격을 기초로 제1 최적해를 결정하는 제1 최적해 결정모듈과, 상기 사용자 맞춤형 와플 슬래브에 관한 제2 와플폼 규격을 기초로 제2 최적해를 결정하는 제2 최적해 결정모듈과, 건물 크기에 따른 와플폼 재사용 횟수와 맞춤형 와플폼 제조 비용을 고려하여 상기 제1 최적해와 상기 제2 최적해 중에서 최종 최적해를 결정하는 최종 최적해 결정모듈을 포함할 수 있다.
- [0025] 본 발명의 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 방법은,
- [0026] 건물에 사용되는 와플 슬래브의 설계변수들, 후보값들 및 후보값 인덱스들이 저장된 후보값 데이터베이스를 구축하는 제1 단계; 기설정된 종료 조건이 만족될 때까지, 상기 설계변수들의 후보값 인덱스들을 조합하여 생성되

는 유전자 비트열들에 대해 유전자 선택, 교배, 돌연변이, 대체 연산 중 적어도 어느 하나를 수행하여 매 세대마다 유전자 비트열들을 생성하고, 상기 종료 조건을 만족하는 복수의 유전자 비트열을 도출하는 제2 단계; 매 세대의 유전자 비트열들에 대하여, 기설정된 소요하중과 설계기준에 따른 제약조건들을 모두 만족하는지 여부를 판정하고, 상기 제약조건들 중 적어도 어느 하나를 만족하지 못한 경우, 위반율을 산출하는 제3 단계; 매 세대의 유전자 비트열들에 대하여 CO₂ 배출량을 산출하기 위한 제1 목적함수의 제1 산출값들과, 소요 비용을 산출하기 위한 제2 목적함수의 제2 산출값들과, 상기 위반율 산출부에서 산출된 위반율 값들을 이용하여 적합도 값들을 산출하는 제4 단계; 및, 상기 종료 조건을 만족하는 복수개의 유전자 비트열들 중 적합도 값이 큰 순으로 기설정된 복수개의 유전자 비트열에 대응하는 와플 슬래브의 설계안들을 도출하고, 도출된 복수개의 와플 슬래브 설계안에 대해 기설정된 최적화 비율을 이용하여 최적의 와플 슬래브 설계안을 결정하는 제5 단계;를 포함한다.

[0027] 본 발명의 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 방법에 있어서, 상기 후보값 데이터베이스는, 기제조된 와플 슬래브에 관한 제1 와플폼 규격을 포함하며, 상기 제1 와플폼 규격은, 기제조된 와플 슬래브의 상부 리브 길이, 하부 리브 길이, 리브간 간격, 그리고 리브 높이가 하나의 세트(set)를 이루어 하나의 후보값을 형성할 수 있다.

[0028] 본 발명의 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 방법에 있어서, 상기 기설정된 최적화 비율은, 상기 CO₂ 배출량을 상기 소요 비용으로 나누거나 또는 상기 소요 비용을 상기 CO₂ 배출량으로 나누어서 산출될 수 있다.

[0029] 본 발명의 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 방법에 있어서, 상기 제5 단계는, 상기 CO₂ 배출량을 제1 축으로 하고, 상기 소요 비용을 상기 제1 축과 수직인 제2 축으로 한 좌표 공간에서, 상기 기설정된 최적화 비율을 기울기로 하는 직선과 상기 복수개의 와플 슬래브 설계안에 의해 도출된 소요 비용과 CO₂ 배출량의 순서쌍 좌표들 중에서 상기 직선과의 수직 거리가 가장 짧은 순서쌍 좌표를 최적해로 결정할 수 있다.

[0030] 본 발명의 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 방법에 있어서, 상기 후보값 데이터베이스는, 사용자 맞춤형 와플 슬래브에 관한 제2 와플폼 규격을 더 포함하며, 상기 제2 와플폼 규격은, 사용자 맞춤형 와플 슬래브의 상부 리브 길이, 하부 리브 길이, 리브간 간격, 리브 높이가 각각 하나의 후보값을 형성할 수 있다.

[0031] 본 발명의 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 방법에 있어서, 상기 제5 단계는, 상기 기제조된 와플 슬래브에 관한 제1 와플폼 규격을 기초로 제1 최적해를 결정하는 제1 최적해 결정단계와, 상기 사용자 맞춤형 와플 슬래브에 관한 제2 와플폼 규격을 기초로 제2 최적해를 결정하는 제2 최적해 결정단계와, 건물 크기에 따른 와플폼 제사용 횟수와 맞춤형 와플폼 제조 비용을 고려하여 상기 제1 최적해와 상기 제2 최적해 중에서 최종 최적해를 결정하는 최종 최적해 결정단계를 포함할 수 있다.

[0033] 본 발명의 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 방법은, 컴퓨팅 장치에 의해 수행되며, 건물에 사용되는 와플 슬래브의 설계변수들, 후보값들 및 후보값 인덱스들이 저장된 후보값 데이터베이스를 구축하는 제1 단계; 기설정된 종료 조건이 만족될 때까지, 상기 설계변수들의 후보값 인덱스들을 조합하여 생성되는 유전자 비트열들에 대해 유전자 선택, 교배, 돌연변이, 대체 연산 중 적어도 어느 하나를 수행하여 매 세대마다 유전자 비트열들을 생성하고, 상기 종료 조건을 만족하는 복수의 유전자 비트열을 도출하는 제2 단계; 매 세대의 유전자 비트열들에 대하여, 기설정된 소요하중과 설계기준에 따른 제약조건들을 모두 만족하는지 여부를 판정하고, 상기 제약조건들 중 적어도 어느 하나를 만족하지 못한 경우, 위반율을 산출하는 제3 단계; 매 세대의 유전자 비트열들에 대하여 CO₂ 배출량을 산출하기 위한 제1 목적함수의 제1 산출값들과, 소요 비용을 산출하기 위한 제2 목적함수의 제2 산출값들과, 상기 위반율 산출부에서 산출된 위반율 값들을 이용하여 적합도 값들을 산출하는 제4 단계; 및, 상기 종료 조건을 만족하는 복수개의 유전자 비트열들 중 적합도 값이 큰 순으로 기설정된 복수개의 유전자 비트열에 대응하는 와플 슬래브의 설계안들을 도출하고, 도출된 복수개의 와플 슬래브 설계안에 대해 기설정된 최적화 비율을 이용하여 최적의 와플 슬래브 설계안을 결정하는 제5 단계;를 실행시키기 위하여, 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램에 의해 실행될 수 있다.

[0034]

[0035] 기타 본 발명의 다양한 측면에 따른 구현예들의 구체적인 사항은 이하의 상세한 설명에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0037] 본 발명의 실시 형태에 따르면,

[0038] 와플 슬래브의 초기 설계 단계에서 사용되는 각 재료의 생산 과정에서 배출되는 이산화탄소 배출량과 소요 비용을 동시에 최적화할 수 있다.

[0039] 또한, 대형 건물의 설계 단계에서 사용자가 우선시하는 이산화탄소 배출 감소와 비용 감소 비율에 따라, 최적의 와플 슬래브 설계 단면을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0041] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 장치가 도시된 블록도이다.

도 2는 일반적인 와플 슬래브의 단면 구조가 도시된 단면도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 장치의 최적해 결정부가 최적해를 결정하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 장치가 도시된 블록도이다.

도 5 및 도 6은 본 발명의 다른 실시예에서 맞춤형 와플폼 결정모듈이 최적해를 결정하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시예들에 따른 와플 슬래브 최적 설계 방법 도시된 순서도이다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따른, 컴퓨팅 장치가 도시된 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0042] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예를 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0044] 본 발명에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 발명에서, '포함하다' 또는 '가지다' 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다. 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 장치를 설명한다.

[0046] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 장치가 도시된 블록도이다.

[0047] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 장치는, 후보값 데이터베이스(100), 유전자 알고리즘 처리부(200), 위반율 산출부(300), 적합도 산출부(400) 및 최적해 결정부(500)를 포함할 수 있다.

[0049] 와플 슬래브는 대형 건물에서 사용되는 장스팬 구조의 대표적인 공법으로, 대형 마트나 백화점에서는 스펠 길이가 짧아 기둥이 많아질 경우, 상품을 진열하는데 어려움이 있으므로 장스팬 구조를 선호한다. 이에, 최근 대형 건물이 늘어남에 따라 장스팬 구조 또한 늘어나고 있는 추세이다.

[0050] 와플 슬래브는 주로, 콘크리트와 철근으로 구성되며 와플폼이라는 특수한 거푸집을 이용하여 와플 슬래브를 제조한다. 와플 슬래브를 구성하는 각각의 구성 재료(콘크리트, 철근 등)는 다양한 크기와 강도를 가질 수 있으며, 같은 강도에 대한 저항 성능을 가지는 단면이라 할지라도 각각의 구성 재료의 설계변수에 따라 상이한 비용과 CO₂ 배출량을 가지게 된다.

[0052] 도 2를 참조하여, 와플 슬래브의 설계변수들에 대해 설명한다. 도 2는 일반적인 와플 슬래브의 단면 구조가 도시된 단면도이다.

[0053] 와플 슬래브는 크게 슬래브(10)와 리브(20)를 포함하며, 슬래브(10) 상부에는 피복층(C)이 형성될 수 있다. 슬래브(10)에는 복수개의 철근(S2, S3, S4)이 격자 형태로 매설되어 슬래브의 강성을 보완한다. 피복층(C)은 거푸집을 이용하여 와플 슬래브 제조시에, 콘크리트와 철근이 상호 견고하게 접촉 고정될 수 있도록 한다. 슬래브(10)에서 철근(S2, S3, S4)과 피복층(C)을 제외한 나머지 부분은 콘크리트로 형성된다.

[0054] 슬래브(10)의 하면에는 소정 형상의 리브(20)가 하방향으로 연장 형성된다. 리브(20)는 사다리꼴 형상으로 형성

될 수 있다. 리브(20)의 하단부 측에는 복수개의 철근(S1)이 매설되어 리브의 강성을 보완한다. 리브(20)와 리브(20)는 소정 거리로 이격 형성된다. 리브(20)에서 철근(S1)을 제외한 나머지 부분은 콘크리트로 형성된다. 그리고, 리브(20)에 형성된 철근(S1)과, 리브(20) 상부의 슬래브(10) 부분에 형성된 철근(S2)과, 리브(20)와 리브(20) 사이의 슬래브(10) 부분에 형성된 철근(S3)은 단면 치수(직경)와 철근의 항복강도(F_y)가 다르게 형성될 수 있다.

[0055] 그리고, 리브(20) 하단의 길이(r_1)와, 리브 상단의 길이(r_2)와, 리브(20) 하단 간의 간격($D_{r,clear}$, 이하, D_r 로 표시함)과, 리브의 높이(H_r)은 와플폼의 규격을 형성한다. 여기서, 와플폼이란 와플 슬래브에 사용되는 특수한 거푸집을 의미한다. 와플 슬래브 제조시, 와플폼을 배열하고 사이사이 철근을 배근한 다음, 그 위에 콘크리트를 타설한 후, 콘크리트가 다 굳으면 와플폼을 제거하여 와플 슬래브를 제조한다.

[0056] 한편, 도시되어 있지는 않지만, 슬래브(10)와 리브(20) 사이에는 기둥 주위의 슬래브를 보강하는 소정 형상의 드롭패널이 형성될 수 있다. 드롭패널은 직육면체 형상으로 형성될 수 있다.

[0058] 도 2에 도시된 와플 슬래브의 단면 구조에서, 슬래브(10)의 두께인 T, 피복층(C)의 두께인 C_c , 리브(20)에 형성된 철근(S1)의 배근 간격인 D_{s1} , 리브(20) 상부의 슬래브(10) 부분에 형성된 철근(S2)의 배근 간격인 D_{s2} , 리브(20)와 리브(20) 사이의 슬래브(10) 부분에 형성된 철근(S3)의 배근 간격인 D_{s3} , 각각의 철근(S1, S2, S3)의 단면 치수(직경)인 S_{s1} , S_{s2} , S_{s3} , 그리고 와플폼의 규격(r_1 , r_2 , D_r , H_r)은 와플 슬래브의 치수와 관련된 설계변수(치수 설계변수)이고, 콘크리트의 압축강도인 f_c , 철근(S1, S2, S3)의 항복강도인 F_y 는 와플 슬래브의 강도와 관련된 설계변수(강도 설계변수)이다.

[0060] 본 발명의 일 실시예에서, 후보값 데이터베이스(100)에는 도 2에 도시된 바와 같은 와플 슬래브의 설계변수들이 저장될 수 있다. 그리고, 해당 설계변수들의 구체적인 후보값들이 저장될 수 있다.

[0061] 여기서, 설계변수의 후보값은 기제조되어 현재 사용되고 있는 와플 슬래브의 각종 치수들일 수 있다. 따라서, 설계변수의 후보값은 불연속적인 값일 수 있다. 특히, 기제조된 와플 슬래브의 각종 치수들에서 와플폼의 규격을 의미하는 r_1 , r_2 , D_r , H_r 은 하나의 세트를 이루어 하나의 후보값으로 처리되어 저장될 수 있다.

[0062] 또한, 설계변수의 후보값은 현재 제조되어 있지 않은 와플폼의 규격일 수 있다. 따라서, 건물 설계시, 기제조된 와플폼 규격과 미제조된 와플폼 규격을 비교하여, 소요 비용과 CO₂ 배출량이 최적화된 와플폼 규격을 추천 또는 제시할 수 있다. 본 명세서에서 “현재 제조되어 있지 않은 와플폼의 규격”을 “맞춤형 와플폼 규격”이라 한다. 와플폼 규격 이외의 설계변수 후보값도 현재 제조되어 있지 않은 와플 슬래브의 각종 치수들일 수 있다.

[0063] 설계변수 후보값들은 건물 설계시 현실적으로 부여될 수 있는 값들이고, 후보값 인덱스는 각 후보값을 고유하게 구별할 수 있는 코드이다. 유전자 알고리즘을 위한 유전자 비트열에는 후보값 대신에 후보값 인덱스가 탑재될 수 있다.

[0065] 본 발명의 와플 슬래브 최적 설계 장치는, 소요 비용 및 CO₂ 배출량을 최적화하면서 각종 설계기준(예를 들어, 제약조건)을 만족하는 와플 슬래브를 제시할 수 있도록 유전자 알고리즘을 이용한다.

[0066] 유전자 알고리즘은 해결할 문제에 대한 해들을 소정 형태의 자료 구조로 표현하고, 해들을 선택을 통해 가려내고 교배를 통해 진화시킴으로써 해를 구하는 기법으로서 문제가 복잡할 경우에도 최적해에 가까운 해를 얻을 수 있다.

[0067] 유전자 알고리즘 처리부(200)는 설계변수 후보값들을 입력값으로 하여 복수개의 유전자 비트열을 제시할 수 있다. 유전자 알고리즘 처리부(200)는 소정의 개체수, 최대 세대수, 유전자 비트열을 먼저 설정한 다음, 설계변수들의 후보값 인덱스들을 조합하여 매 세대마다 유전자 비트열들을 생성할 수 있다. 세대수는 유전자 알고리즘의 반복 수행 횟수이며, 개체수는 최종적으로 도출되는 유전자 비트열의 개수일 수 있다.

[0068] 유전자 알고리즘 처리부(200)는 현 세대의 유전자 비트열들을 유전자 선택, 교배, 돌연변이 및 대체 연산하여, 다음 세대의 유전자 비트열들을 생성하는 동작을 종료 조건이 만족할 때까지 반복하며, 최종적으로 소정의 종료 조건을 만족하는 복수개의 유전자 비트열을 도출할 수 있다.

[0069] 각 세대마다 도출된 유전자 비트열들은 각 유전자 위치에 상응하는 설계변수들과 각 유전자 위치에 탑재된 후보값 인덱스들에 상응하는 후보값들에 따라 특정한 설계안의 와플 슬래브들을 의미한다.

[0070] 이들 와플 슬래브들의 설계안들은 현실적이고 물리적인 설계를 통해 도출된 것들이 아니라 유전자 비트들의 조합으로 도출된 것이므로 얼마나 현실적인지 조사해보아야 한다.

[0071] 이를 위해, 위반율 산출부(300)는 매 세대의 유전자 비트열들, 즉 설계안들에 대해, 와플 슬래브의 구조 안정성을 위한 제약조건들을 모두 만족하는지 여부를 판정하고, 제약조건들 중 하나라도 만족하지 못할 경우에 위반율을 산출한다.

[0072] 제약조건들은 이미 알려진 여러 제약조건을 이용할 수 있다. 예를 들어, ACI 318-14(Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI : American Concrete Institute), 철근콘크리트구조계산규준 및 해설(일본건축학회 발행), AISC Design Guide NO.11 (AISC : American Institute of Steel Construction) 등에서 제시한 제약조건들을 이용할 수 있으며, 본 명세서에서는 이들이 제시한 제약조건들을 일 예로 설명한다.

[0074] 제약조건 1 (슬래브 규격)

$$\begin{aligned} r_1 &\geq 10.16 \text{ cm} \\ H_r &< 3.5 \times r_1 \\ D_{r, \text{clear}} &< 76.2 \text{ cm} \\ T &> \max \left\{ \frac{1}{12} D_{r, \text{clear}} \right. \\ &\quad \left. 5.08 \text{ cm} \right\} \end{aligned}$$

[0075]

[0077] 제약조건 2 (드롭패널 치수)

$$H_d > \frac{1}{4} H_{MI}$$

[0078]

[0079] 여기서, H_{MI} 는 와플 슬래브와 동일한 성능을 가지는 일반 슬래브의 높이를 의미한다. 또한, 드롭패널은 지지대의 중심선에서 각 방향으로 스패ん 길이의 1/6 이상 떨어져 있어야 한다.

[0081] 제약조건 3 (처짐에 대한 슬래브 두께 제한)

fy(MPa)	Without drop panels			with drop panels		
	Exterior panels		interior panels	Exterior panels		interior panels
	Without edge beams	With edge beams		Without edge beams	With edge beams	
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

[0082]

[0083] 여기서 l_n 은 스패ん의 순 경간을 의미한다.

[0085] 제약조건 4. (철근비 제한)

Reinforcement type	F_y , psi	$A_{s, \min}$, in ²	
Deformed bars	< 60,000	$0.0020 A_g$	
Deformed bars or welded wire reinforcement	>=60,000	Greater of	$\frac{0.0018 \times 60000}{F_y} A_g$
			$0.0014 A_g$

[0086]

[0087] 여기서, $A_{s, \min}$ 는 최소 철근비, A_g 는 와플 슬래브 단면 전체의 면적을 의미한다.

[0089] 제약조건 5. (전단 제한)

$$V_u = q_n \times A_{\text{tributary}}, \quad V_c = 2\lambda \sqrt{f_c} b_w d \rightarrow \phi V_c > V_u \quad \text{for one-way slab}$$

[0090]

$$V_u = q_n \times A_{\text{tributary}}, \quad V_c = 4\lambda \sqrt{f_c} b_w d \rightarrow \phi V_c > V_u \quad \text{for two-way slab}$$

[0091]

여기서, V_u 는 위험단면에서의 전단력을, V_c 는 전단강도를 의미한다. q_n 은 단위면적당 하중, $A_{\text{tributary}}$ 은 단면적, λ 는 보정계수, f_c 는 콘크리트의 압축강도, b_w 은 슬래브 단면의 폭, d 는 슬래브 단면의 유효깊이, ϕ 는 강도저감계수를 의미한다.

[0093]

제약조건 6. (휨모멘트)

$$\frac{M_u^i}{\phi M_o^i} = \frac{K M_o^i}{\phi A_c f_c \left(d - \frac{a}{2}\right)} \leq 1.0$$

[0094]

[0095]

M_o 는 소요모멘트를, M_o^i 는 설계 휨 모멘트를, M_o^i 는 계수모멘트를 의미한다. K 는 외/내부 경간 모멘트 분배 계수, M_o 는 계수모멘트를, A_c 는 단면적을, d 는 슬래브 외단으로부터 철근중심까지의 거리, a 는 등가응력블록의 세로길이, ϕ 는 강도저감계수를 의미하며, i 는 각 구역의 번호를 해당한 것이다.

[0097]

제약조건 7. (사용성 : 바닥진동)

$$f_n = \frac{\pi}{2L_l^2} \left(1 + \frac{L_l^2}{L_{sh}^2}\right) \sqrt{\frac{Et^2}{12\rho(1-\nu^2)t}}$$

$$\rightarrow \frac{a_p}{g} = \frac{p_o \exp(-0.35f_n)}{\beta W}$$

[0098]

[0099]

f_n 는 고유 진동수를 의미하며, E 는 탄성계수, ν 는 프와송비를 나타낸다. ρ 는 슬래브의 밀도, t 는 슬래브 두께, p_o 는 슬래브에 가해지는 등가하중, β 는 모드감쇠 비율, g 는 중력가속도, a_p 는 최대가속도, W 는 와플슬래브의 유효중량을 의미한다.

[0101]

만약 유전자 비트열이 상기 제약조건들을 모두 만족한다면 바람직하지만, 그렇지 않을 경우에는 얼마나 제약조건을 위반하는지 위반율을 산출할 수 있다. 예를 들어, 위반율은 설계값과 기준값(예를 들어, 슬래브 규격 중에서 r_1 의 기준값인 10.16cm)의 차이를 정규화하여 산출될 수 있다. 여러 제약조건들의 위반율들은 소정의 가중치들을 이용하여 가중 합산될 수 있다.

[0103]

본 발명의 와플 슬래브 최적 설계 장치는, 설계안에 따라 건물을 건축할 때, 와플 슬래브 제조를 위한 소요 비용과 제조된 와플 슬래브에 의해 배출되는 CO₂ 배출량을, 매 세대의 유전자 비트열들에 관하여 산출하기 위한 목적함수들을 포함한다.

[0105]

1. 소요 비용 산출 목적함수

[0106]

단위 와플 슬래브 제조시 소요되는 비용 산출을 위한 목적함수는 하기 식 (1)과 같다.

$$f_{\text{cost}} = (A_w(N_{w,l}L_l + N_{w,sh}L_{sh}) - A_{w,i}N_{w,i}L_l + 4A_dH_d)\rho_c C_c$$

$$+ (A_{s1}N_{s1} + A_{s2}N_{s2} + A_{s3}N_{s3})(L_l + L_{sh})\rho_s C_s$$

[0108]

식 (1) :

[0110]

f_{cost} 는 장변길이 L_l , 단변길이 L_{sh} 인 스펜에서 와플 슬래브 생산단계에서 발생하는 총 비용이다. A_w 는 와플 슬래브 단위 섹션의 면적을 의미하고, $A_{w,i}$ 는 와플 슬래브 단위 섹션의 면적과 장변과 단변 방향 섹션이 겹치는 면적을 의미한다. 스펜은 건물에서 기둥 4개에 의해 형성되는 바닥 또는 천장 공간을 의미한다.

[0111]

$N_{w,l}$, $N_{w,sh}$, $N_{w,i}$ 는 각각 장변길이 방향, 단변길이 방향, 겹치는 부분에서의 와플 슬래브 단위 섹션의 개수이다.

A_d 는 드롭패널의 단면적을 의미하고, H_d 는 드롭패널의 높이를 나타낸다. $A_{s1} \sim A_{s3}$ 은 각각 리브 하단부 철근, 리브 상단부 기둥부근 및 중앙부근 철근의 단면적을 의미한다.

[0112] $N_{s1} \sim N_{s3}$ 은 각 철근의 개수를, ρ_c 는 콘크리트의 밀도(ton/mm^3)를, ρ_s 는 강재의 밀도(ton/mm^3)를 의미하고, C_c 와 C_s 는 각각 단위 부피의 콘크리트를 생산하는데 발생하는 비용(won/ton)과 단위 부피의 철근을 생산하는데 발생하는 비용(won/ton)을 의미한다.

[0114] 2. CO_2 배출량 산출 목적함수

[0115] 어느 하나의 설계안에 따라 제조된 와플 슬래브에 의해 배출되는 CO_2 배출량 산출을 위한 목적함수는 하기 식 (2)와 같다.

$$f_{\text{CO}_2} = (A_w(N_{w,l}L_l + N_{w,sh}L_{sh}) - A_{w,i}N_{w,i}L_l + 4A_dH_d)\rho_cE_c + (A_{s1}N_{s1} + A_{s2}N_{s2} + A_{s3}N_{s3})(L_l + L_{sh})\rho_sE_s$$

[0117] 식 (2) :

[0118] f_{CO_2} 는 장변길이 L_l , 단변길이 L_{sh} 인 스펜에서 와플 슬래브 생산 단계에서 발생하는 CO_2 배출량(ton)이다. E_c 는 단위 부피의 콘크리트를 생산하는데 발생하는 CO_2 배출량(ton/ton), E_s 는 단위 부피의 철근을 생산하는데 발생하는 CO_2 배출량(ton/ton)을 의미한다.

[0120] 적합도 산출부(400)는 매 세대의 유전자 비트열들, 즉 설계안들의 각각에 대해 목적함수들의 산출값들과 위반율 값들을 이용하여 적합도 값들을 산출한다. 이때, 소요 비용 산출 목적함수에 의해 산출된 값은 비용이므로 낮을 수록 바람직하다. 또한, CO_2 배출량 산출 목적함수에 의해 산출된 값은 CO_2 배출량이므로 낮을 수록 바람직하다. 또한, 위반율 값들은 제약조건들을 만족하지 못하는 정도이므로 역시 낮을수록 바람직하다.

[0121] 따라서, 적합도 산출부(400)에서 사용되는 적합도 함수는 목적함수 산출 값들과 위반율 값들의 가중 합산이 작을수록 큰 값을 가지도록 설정될 수 있다.

[0122] 한편, 종료 조건은 설정한 세대수에 도달하는 것을 의미한다.

[0123] 최적해 결정부(500)는 종료 조건을 만족하는 복수개의 유전자 비트열들을 도출한다. 이때, 도출되는 복수개의 유전자 비트열들의 개수는 설계 변수 등의 상황에 따라 달라지게 된다. 다만, 최적해를 결정하기 위해 사용되는 유전자 비트열의 개수는 사용자가 임의로 선택 또는 설정할 수 있다. 도출되는 유전자 비트열은 와플 슬래브 설계안이다.

[0124] 최적해 결정부(500)는 도출된 복수개의 유전자 비트열(와플 슬래브 설계안)에 대해 기설정된 최적화 비율을 이용하여 최적의 와플 슬래브 설계안(최적해)을 결정할 수 있다.

[0125] 최적화 비율이란, 어느 하나의 설계안에 의한 CO_2 배출량을 소요 비용으로 나누거나 또는 소요 비용을 CO_2 배출량으로 나누어서 산출되는 비율로, 해당 설계안에 의한 소요 비용과 CO_2 배출량의 상대 비율이다. 예를 들어, 최적화 비율은 $(\text{CO}_2 \text{ 배출량})/(\text{소요 비용})$ 일 수 있다.

[0126] 최적화 비율은 사용자에게 의해 선택적으로 설정될 수 있다. 예를 들어, 사용자는 최적화 비율을 “1”로 설정할 수 있다.

[0127] 최적해 결정부(500)는 최적화 비율, CO_2 배출량, 소요 비용을 이용하여 최적해를 결정한다. 이에 대해, 도 3을 참조하여 설명한다.

[0128] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 장치의 최적해 결정부가 최적해를 결정하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

[0129] 최적해 결정부(500)는 도출된 복수개의 유전자 비트열을 소요 비용 산출 목적함수와, CO_2 배출량 산출 목적함수에 적용하여 소요 비용과 CO_2 배출량의 순서쌍을 도출한다. 즉, $(\text{CO}_2 \text{ 배출량}, \text{소요 비용})$ 으로 이루어지는 좌표를 도출한다.

[0130] 최적해 결정부(500)는 CO_2 배출량을 제1 축(예를 들어, x축)으로 하고, 소요 비용을 제2 축(예를 들어, y축)으로

로 하는 좌표 공간을 생성한다. 최적해 결정부(500)는, 생성된 좌표 공간에서, 도출된 복수개의 유전자 비트열에 의한 순서쌍(CO₂ 배출량, 소요 비용)의 좌표를 설정한다. 그리고, 사용자에게 의해 설정된 최적화 비율을 기율기로 하며 원점을 지나는 직선을 설정한다.

[0131] 그 다음, 최적해 결정부(500)는 최적화 비율을 나타내는 직선과 수직 거리가 가장 가까운 순서쌍을 최적해로 결정하여 저장할 수 있다. 도 3의 예시에서 순서쌍 3을 최적해로 결정할 수 있다. 만약, 사용자가 소요 비용을 더 줄이고 싶은 경우(경제성에 가중치를 둘 경우), 기율기는 1보다 더 큰 값으로 변경되고, 순서쌍 2가 최적해로 결정될 수 있다. 만약, 사용자가 CO₂ 배출량을 더 줄이고 싶은 경우(환경성에 가중치를 둘 경우), 기율기는 1보다 더 작은 값으로 변경되고, 순서쌍 4가 최적해로 결정될 수 있다.

[0132] 최적해 결정부(500)는 최적해로 결정된 순서쌍에 의한 수직거리를 기준으로, 차순위 순서쌍에 의한 수직거리가 기설정된 범위 이내인 경우, 차순위 순서쌍을 후보 최적해로 결정할 수 있다. 예를 들어, 기설정된 범위가 10%이고, 최적해에 의한 수직거리를 1로 할때, 차순위 순서쌍에 의한 수직거리가 1.1이면 차순위 순서쌍을 후보 최적해로 결정하여 저장할 수 있다.

[0133] 최적해 설계안에 의한 와플 슬래브 설계변수값은 기준 단위 면적에 대해서만 적용된 것이며, 건물 전체에 대한 최적해는 아니다. 따라서, 최적해 설계안으로 와플 슬래브를 제조하더라도 건물 전체에 적용할 경우, 소요 비용과 CO₂ 배출량 최적화 비율이 달라질 수 있다. 이러한 점을 고려하여 최적해 결정부(500)는 최적해 설계안과 차순위 설계안을 함께 결정하여 저장할 수 있다.

[0135] 상기의 과정에서, 설계변수의 후보값은 기제조되어 현재 사용되고 있는 와플 슬래브의 각종 치수들일 수 있으며, 기제조된 와플 슬래브들 중에서 사용자가 원하는 CO₂ 배출량과 소요 비용의 최적화 비율과 가장 가까운 와플 슬래브를 결정할 수 있게 된다. 특히, 가장 적합한 와플폼 규격을 결정할 수 있게 되어, 이를 위한 거푸집 선택을 용이하게 결정할 수 있게 된다.

[0137] 다음, 도 4를 참조하여 본 발명의 다른 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 장치를 설명한다. 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 장치가 도시된 블록도이다.

[0138] 도 4에 도시된 바와 같이, 본 발명의 다른 실시예에 따른 와플 슬래브 최적 설계 장치는, 후보값 데이터베이스(100), 유전자 알고리즘 처리부(200), 위반율 산출부(300), 적합도 산출부(400) 및 최적해 결정부(500)를 포함할 수 있다.

[0139] 본 실시예의 와플 슬래브 최적 설계 장치는, 최적해 결정부(500)가 제1 최적해 결정모듈(510), 제2 최적해 결정모듈(520), 최종 최적해 결정모듈(530)을 포함하는 점에서 전술한 일 실시예와 상이하며, 다른 구성은 실질적으로 동일하므로 반복 설명은 생략한다.

[0140] 전술한 일 실시예의 와플 슬래브 최적 설계 장치는, 기제조되어 현재 사용되고 있는 와플 슬래브의 각종 치수들을 설계변수 후보값으로 하여 기제조된 와플 슬래브들 중에서 사용자가 원하는 CO₂ 배출량과 소요 비용의 최적화 비율과 가장 가까운 와플 슬래브 및 와플폼 규격을 결정하는 데 유리한 반면, 기존의 와플 슬래브 및 와플폼 규격보다 더 적합한 설계변수가 있음에도 이를 반영할 수 없는 단점이 있다.

[0141] 이에, 본 실시예에서는 기존 와플폼 규격과 맞춤형 와플폼 규격을 경제성(비용)의 관점에서 대비하여 맞춤형 와플폼 규격을 사용하는 것이 유리할 경우, 맞춤형 와플폼 규격을 최적해로 결정할 수 있다. 이하, 이에 대해 설명한다.

[0143] 제1 최적해 결정모듈(510)은 실질적으로 전술한 일 실시예와 동일한 방식으로 제1 최적해를 결정한다. 즉, 유전자 알고리즘 처리부(200), 위반율 산출부(300), 적합도 산출부(400)를 거쳐 도출된 복수개의 유전자 비트열을 소요 비용 산출 목적함수와, CO₂ 배출량 산출 목적함수에 적용하여 소요 비용과 CO₂ 배출량의 순서쌍을 도출하고, 최적화 비율을 나타내는 직선과 수직 거리가 가장 가까운 순서쌍을 제1 최적해로 결정한다. 이때, 유전자 알고리즘 처리부(200) 등을 통해 처리되는 설계변수 후보값은 기제조되어 현재 사용되고 있는 와플 슬래브의 각종 치수들이다. 특히, 기제조된 와플 슬래브의 와플폼의 규격을 의미하는 (r_1 , r_2 , D_r , H_r)은 하나의 세트를 이루어 하나의 설계변수 후보값으로 처리된다. 즉, 하나의 독립적인 설계변수 후보값으로 처리된다.

[0145] 제2 최적해 결정모듈(520)은 유전자 알고리즘 처리부(200), 위반율 산출부(300), 적합도 산출부(400)를 거쳐 도출된 복수개의 유전자 비트열을 소요 비용 산출 목적함수와, CO₂ 배출량 산출 목적함수에 적용하여 소요 비용과

CO₂ 배출량의 순서쌍을 도출하고, 최적화 비율을 나타내는 직선과 수직 거리가 가장 가까운 순서쌍을 제2 최적해로 결정하는 점에서 제1 최적해 결정모듈(510)과 유사하다. 다만, 전자 알고리즘 처리부(200) 등을 통해 처리되는 설계변수 후보값은 현재 제조되어 있지 않은 와플 슬래브의 각종 치수들이다. 바람직하게는, 설계변수 후보값은 현재 제조되어 있지 않은 와플폼의 규격일 수 있다. 와플폼의 규격은 와플 슬래브 제조를 위한 거푸집의 규격일 수 있다. 와플폼의 규격을 제외한 나머지 설계변수 후보값은 실질적으로 설계 자유도가 없는 편이며, 와플폼 규격과 관련된 설계변수 후보값은 사용자가 원하는 규격으로 할 수 있는 설계 자유도가 크므로, 최적해 결정부(500)에 의해 결정되는 최적해는 현재 제조되어 있지 않은 와플폼의 규격(맞춤형 와플폼 규격)인 것이 바람직하다. 이때, 맞춤형 와플폼 규격을 이루는 치수들(r_1 , r_2 , D_r , H_r) 각각이 하나의 설계변수 후보값으로 처리된다. 즉, 독립적인 4개의 설계변수 후보값으로 처리된다. 따라서, 기존 제품의 와플폼 규격과는 다른 규격을 최적해로 제시할 수 있게 된다.

- [0147] 상기의 설명에서, 제1 최적해 결정모듈(510)과 제2 최적해 결정모듈(520)을 구분하여 설명하였으나, 유전자 알고리즘 처리부(200), 위반율 산출부(300), 적합도 산출부(400)를 거쳐 처리되는 설계변수 후보값이 일부 상이할 뿐, 최적해 결정모듈(510, 520)의 동작 과정, 기능은 실질적으로 동일하므로, 하나의 모듈에서 처리될 수 있다.
- [0149] 최종 최적해 결정모듈(530)은 기존 와플폼 규격과 맞춤형 와플폼 규격을 경제성(비용)의 관점에서 대비하여 어느 와플폼 규격을 사용할 지를 최종 최적해로 결정할 수 있다.
- [0150] 최종 최적해 결정모듈(530)은 건물 크기에 따른 와플폼 재사용 횟수와 맞춤형 와플폼 제조 비용을 고려하여 최적해를 결정한다. 이에 대해, 도 5 및 도 6을 참조하여 설명한다. 도 5 및 도 6은 본 발명의 다른 실시예에서 최종 최적해 결정모듈이 최적해를 결정하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- [0151] 도 5의 (a)는 제1 최적해 결정모듈(510)에 의해 순서쌍 3이 최적해로 결정되는 것을 예시하고, 도 5의 (b)는 제2 최적해 결정모듈(520)에 의해 순서쌍 4가 최적해로 결정되는 것을 예시하고 있다. 즉, 도 5의 (a)는 기존 와플폼 규격, 도 5의 (b)는 맞춤형 와플폼 규격을 결정하며, 이들은 서로 상이한 값으로 결정될 수 있다.
- [0153] 일반적으로, 특정 물건을 맞춤 제작할 경우, 시중 판매되는 제품을 구매할 때에 비해 추가 비용이 들기 때문에, 비용 측면에서는 맞춤 제작의 성능이 더 떨어진다. 하지만 와플 슬래브의 경우, 다음과 같은 이유로 추가적인 비교가 필요하다.
- [0154] 첫째, 본 발명의 기술이 비용만을 고려하고 있지 않다는 점이다. 비록 비용이 좀 더 들더라도, 맞춤 제작한 와플폼에 의한 와플 슬래브의 CO₂ 배출량과 소요 비용의 비율이 사용자가 설정한 최적화 비율에 더 근접하다면 맞춤형 와플폼을 제조하는 것이 더 적합하다고 할 수 있다.
- [0155] 둘째, 맞춤 제작하는 부재인 와플폼(거푸집)이 일회성 부재가 아니라 여러번 재활용되는 부재이기 때문이다. 와플폼은 철근과 같이 건물의 재료로 소모되는 게 아니라 콘크리트의 거푸집으로 수십회(대략 평균 50회) 사용될 수 있다. 따라서, 하나의 와플폼을 맞춤 제조하는데 소요되는 비용 보다 맞춤형 와플폼을 반복 사용함으로써 절감되는 비용이 더 커질 수 있다.
- [0156] 도 6은 이를 도식화하여 보여주고 있다. 도 6의 예시를 설명한다. 예를 들어, 와플폼을 하나 맞춤 제조하는 비용이 100이고, 일반 와플폼(기제조 와플폼)의 가격은 10이라고 가정한다. 또한, 일반 와플폼을 사용할 때는 다른 비용이 10이 소요되고, 맞춤형 와플폼을 사용할 때는 다른 재료 사용량 감소로 비용이 7이 소요된다고 가정할 때, 맞춤형 와플폼의 경우 초기 비용은 더 많이 소요되지만 와플폼 재사용 횟수 30을 기점으로 상황이 역전된다. 특히, 와플폼을 사용하는 와플 슬래브는 대형 건물에서 주로 사용되므로 공법이므로 대형 건물 건축시, 이러한 경향이 더 잘 나타난다.
- [0157] 맞춤형 와플폼을 사용할 때, 재사용 횟수(t)에 따른 소요 비용은, $y = a + bt$ 이고, 일반 와플폼을 사용할 때, 재사용 횟수(t)에 따른 소요 비용은, $y = ct$ 인 점을 고려하면, 최종 최적해 결정모듈(530)은 다음 식 (3)에 의해 최적해를 결정할 수 있다.
- [0159] 식 (3) : $t \geq a/(c-b)$
- [0160] 여기서, t 는 와플폼 재사용 횟수, a 는 맞춤형 와플폼 제조 비용, b 는 맞춤형 와플폼에 의한 와플 슬래브 제조 비용, c 는 일반 와플폼(기제조된 와플폼)에 의한 와플 슬래브 제조 비용이다.
- [0162] 즉, 최종 최적해 결정모듈(530)은 맞춤형 와플폼 제조 비용(a), 맞춤형 와플폼에 의한 와플 슬래브 제조 비용(b), 일반 와플폼에 의한 와플 슬래브 제조 비용(c)를 고려하여, 와플폼 재사용 횟수가 t 보다 크면, 제2 최적해

결정모듈(520)에서 결정된 제2 최적해를 최종 최적해로 결정하고, 와플폼 재사용 횟수가 t 보다 작으면, 제1 최적해 결정모듈(510)에서 결정된 제1 최적해를 최종 최적해로 결정한다.

- [0164] 다음으로, 도 7을 참조하여 본 발명의 실시예들에 따른 와플 슬래브 최적 설계 방법을 설명한다. 도 7은 본 발명의 실시예들에 따른 와플 슬래브 최적 설계 방법 도시된 순서도이다.
- [0165] 도 7에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예들에 따른 와플 슬래브 최적 설계 방법은, 후보값 데이터베이스 구축 단계(S100), 유전자 비트열 도출 단계(S200), 위반율 산출 단계(S300), 적합도 산출 단계(S400), 최적해 결정 단계(S500)를 포함한다. 이들 단계들은 컴퓨팅 장치에 의해 수행된다.
- [0167] 후보값 데이터베이스 구축 단계(S100)에서, 컴퓨팅 장치는 와플 슬래브의 설계변수들, 후보값들 및 후보값 인덱스들을 후보값 데이터베이스에 저장하여 구축한다. 여기서, 설계변수의 후보값은 기제조되어 현재 사용되고 있는 와플 슬래브의 각종 치수들 또는 현재 제조되어 있지 않은 와플 슬래브의 각종 치수들일 수 있다.
- [0168] 기제조된 와플 슬래브의 각종 치수들에서 와플폼의 규격을 의미하는 (r_1 , r_2 , D_r , H_r)은 하나의 세트를 이루어 하나의 후보값으로 처리되어 저장될 수 있다.
- [0169] 현재 제조되어 있지 않은 와플 슬래브의 와플폼 규격을 이루는 치수들(r_1 , r_2 , D_r , H_r) 각각은 하나의 설계변수 후보값으로 처리되어 저장될 수 있다. 즉, 독립적인 4개의 설계변수 후보값으로 처리될 수 있다. 따라서, 기제조된 와플 슬래브의 와플폼 규격과는 다른 규격을 최적해로 제시할 수 있게 된다.
- [0170] 유전자 비트열 도출 단계(S200)에서, 컴퓨팅 장치는 소정의 종료 조건이 만족할 때까지, 설계변수들의 후보값 인덱스들을 조합하여 생성되는 유전자 비트열들을 유전자 선택, 교배, 돌연변이 및 대체 연산함으로써 매 세대마다 유전자 비트열들을 생성하고, 종료 조건을 만족하는 복수개의 유전자 비트열을 도출할 수 있다.
- [0171] 위반율 산출 단계(S300)에서, 컴퓨팅 장치는 매 세대의 유전자 비트열들에 관하여, 주어진 소요하중과 설계기준에 따른 하나 이상의 제약조건들을 모두 만족하는지 여부를 판정하고, 제약조건들 중 하나라도 만족하지 못할 경우에 위반율을 산출할 수 있다. 제약조건들은 전술한 바와 같다.
- [0172] 적합도 산출 단계(S400)에서, 컴퓨팅 장치는 매 세대의 유전자 비트열들 각각에 대해 목적함수들의 산출값들과 위반율값들을 이용하여 적합도 값들을 산출한다. 이때, 소요 비용 산출 목적함수에 의해 산출된 값은 비용이므로 낮을 수록 바람직하다. 또한, CO₂ 배출량 산출 목적함수에 의해 산출된 값은 CO₂ 배출량이므로 낮을 수록 바람직하다. 또한, 위반율 값들은 제약조건들을 만족하지 못하는 정도이므로 역시 낮을수록 바람직하다. 목적함수들은 전술한 바와 같다.
- [0173] 최적해 결정 단계(S500)에서, 컴퓨팅 장치는 종료 조건을 만족하는 복수개의 유전자 비트열들 중 적합도 값이 큰 순으로 기설정된 복수개의 유전자 비트열에 대응하는 와플 슬래브의 설계안들을 도출하고, 도출된 복수개의 와플 슬래브 설계안에 대해 기설정된 최적화 비율을 이용하여 최적의 와플 슬래브 설계안을 결정한다. 컴퓨팅 장치는 도출된 복수개의 유전자 비트열을 소요 비용 산출 목적함수와, CO₂ 배출량 산출 목적함수에 적용하여 소요 비용과 CO₂ 배출량의 순서쌍을 도출하고, 최적화 비율을 나타내는 직선과 수직 거리가 가장 가까운 순서쌍을 최적해로 결정한다.
- [0175] 또는, 최적해 결정 단계(S500)에서, 컴퓨팅 장치는 제1 최적해와 제2 최적해를 결정(S510, S520)하고, 제1 최적해와 제2 최적해 중에서 최종 최적해를 결정(S530)할 수 있다.
- [0176] 제1 최적해 결정 단계(S510)에서, 컴퓨팅 장치는 기제조되어 현재 사용되고 있는 와플 슬래브의 각종 치수들을 설계변수 후보값으로 하여 전술한 단계들(S100 ~ S500)을 거쳐 제1 최적해를 결정한다. 이때, 기제조된 와플 슬래브의 와플폼 규격을 의미하는 (r_1 , r_2 , D_r , H_r)은 하나의 세트를 이루어 하나의 설계변수 후보값으로 처리된다.
- [0177] 제2 최적해 결정 단계(S520)에서, 컴퓨팅 장치는 현재 제조되어 있지 않은 와플 슬래브의 각종 치수들을 설계변수 후보값으로 하여 전술한 단계들(S100 ~ S500)을 거쳐 제2 최적해를 결정한다. 바람직하게는, 설계변수 후보값은 현재 제조되어 있지 않은 와플폼의 규격(맞춤형 와플폼 규격)일 수 있다. 이때, 맞춤형 와플폼 규격을 이루는 치수들(r_1 , r_2 , D_r , H_r) 각각이 하나의 설계변수 후보값으로 처리된다.
- [0178] 최종 최적해 결정 단계(S530)에서, 컴퓨팅 장치는 기존 와플폼 규격과 맞춤형 와플폼 규격을 경제성(비용)의 관

점에서 대비하여 어느 와플폼 규격을 사용할 지를 최종 최적해로 결정할 수 있다. 컴퓨팅 장치는 건물 크기에 따른 와플폼 재사용 횟수와 맞춤형 와플폼 제조 비용을 고려하여 최적해를 결정한다. 컴퓨팅 장치는 맞춤형 와플폼 제조 비용(a), 맞춤형 와플폼에 의한 와플 슬래브 제조 비용(b), 일반 와플폼에 의한 와플 슬래브 제조 비용(c)를 고려하여, 와플폼 재사용 횟수가 t보다 크면, 제2 최적해 결정모듈(520)에서 결정된 제2 최적해를 최종 최적해로 결정하고, 와플폼 재사용 횟수가 t보다 작으면, 제1 최적해 결정모듈(510)에서 결정된 제1 최적해를 최종 최적해로 결정한다.

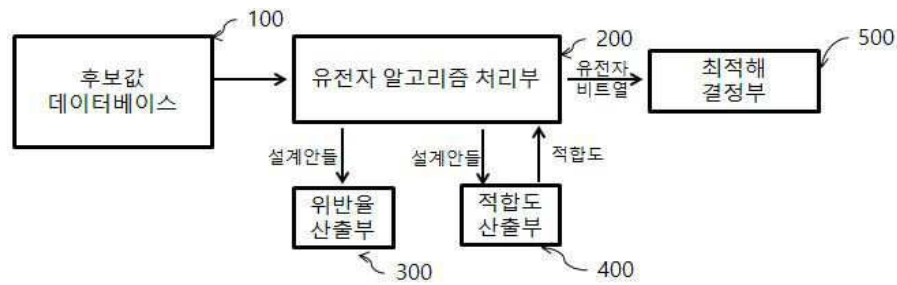
- [0180] 다음으로, 도 8를 참조하여 본 발명의 실시예에 따른, 컴퓨팅 장치를 설명한다. 도 8는 본 발명의 실시예에 따른, 컴퓨팅 장치가 도시된 도면이다.
- [0181] 도 8의 컴퓨팅 장치(TN100)는 본 명세서에서 기술된 장치를 구성하는 유전자 알고리즘 처리부(200), 위반율 산출부(300), 적합도 산출부(400), 최적해 결정부(500)일 수 있다.
- [0182] 도 8의 실시예에서, 컴퓨팅 장치(TN100)는 적어도 하나의 프로세서(TN110), 송수신 장치(TN120), 및 메모리(TN130)를 포함할 수 있다. 또한, 컴퓨팅 장치(TN100)는 저장 장치(TN140), 입력 인터페이스 장치(TN150), 출력 인터페이스 장치(TN160) 등을 더 포함할 수 있다. 컴퓨팅 장치(TN100)에 포함된 구성 요소들은 버스(bus)(TN170)에 의해 연결되어 서로 통신을 수행할 수 있다.
- [0183] 프로세서(TN110)는 메모리(TN130) 및 저장 장치(TN140) 중에서 적어도 하나에 저장된 프로그램 명령(program command)을 실행할 수 있다. 프로세서(TN110)는 중앙 처리 장치(CPU: central processing unit), 그래픽 처리 장치(GPU: graphics processing unit), 또는 본 발명의 실시예에 따른 방법들이 수행되는 전용의 프로세서를 의미할 수 있다. 프로세서(TN110)는 본 발명의 실시예와 관련하여 기술된 절차, 기능, 및 방법 등을 구현하도록 구성될 수 있다. 프로세서(TN110)는 컴퓨팅 장치(TN100)의 각 구성 요소를 제어할 수 있다.
- [0184] 메모리(TN130) 및 저장 장치(TN140) 각각은 프로세서(TN110)의 동작과 관련된 다양한 정보를 저장할 수 있다. 메모리(TN130) 및 저장 장치(TN140) 각각은 휘발성 저장 매체 및 비휘발성 저장 매체 중에서 적어도 하나로 구성될 수 있다. 예를 들어, 메모리(TN130)는 읽기 전용 메모리(ROM: read only memory) 및 랜덤 액세스 메모리(RAM: random access memory) 중에서 적어도 하나로 구성될 수 있다.
- [0185] 송수신 장치(TN120)는 유선 신호 또는 무선 신호를 송신 또는 수신할 수 있다. 송수신 장치(TN120)는 네트워크에 연결되어 통신을 수행할 수 있다.
- [0187] 한편, 본 발명은 컴퓨터프로그램으로 구현될 수도 있다. 본 발명은 하드웨어와 결합되어, 본 발명에 따른 와플 슬래브 최적 설계 방법을 실행시키기 위하여, 컴퓨터가 판독 가능한 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다.
- [0188] 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.
- [0189] 기록매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다.
- [0190] 예컨대 기록매체는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CDROM, DVD와 같은 광 기록 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 장치를 포함한다.
- [0191] 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어를 포함할 수 있다.
- [0192] 이러한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0194] 이상, 본 발명의 일 실시예에 대하여 설명하였으나, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서, 구성 요소의 부가, 변경, 삭제 또는 추가 등에 의해 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있을 것이며, 이 또한 본 발명의 권리범위 내에 포함된다 할 것이다.

부호의 설명

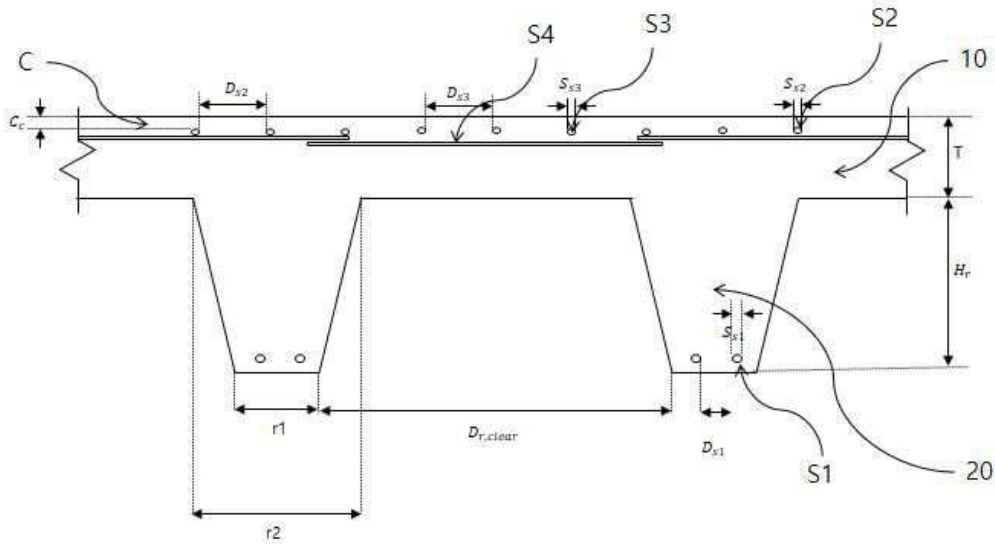
[0196]	10 : 슬래브	20 : 리브
	100 : 후보값 데이터베이스	200 : 유전자 알고리즘 처리부
	300 : 위반율 산출부	400 : 적합도 산출부
	500 : 최적해 결정부	
	510 : 제1 최적해 결정모듈	
	520 : 제2 최적해 결정모듈	
	530 : 최종 최적해 결정모듈	

도면

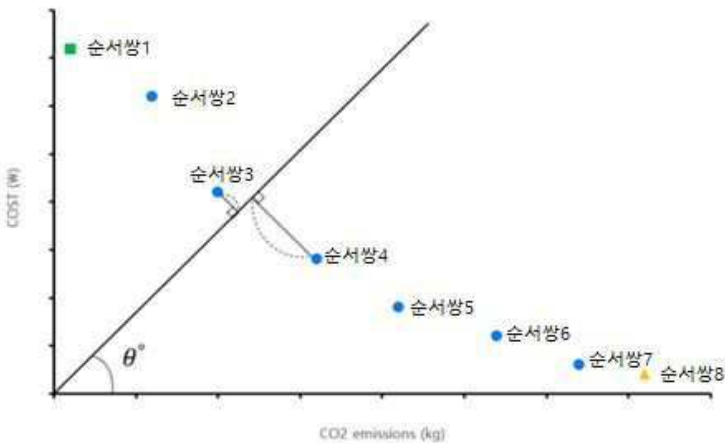
도면1



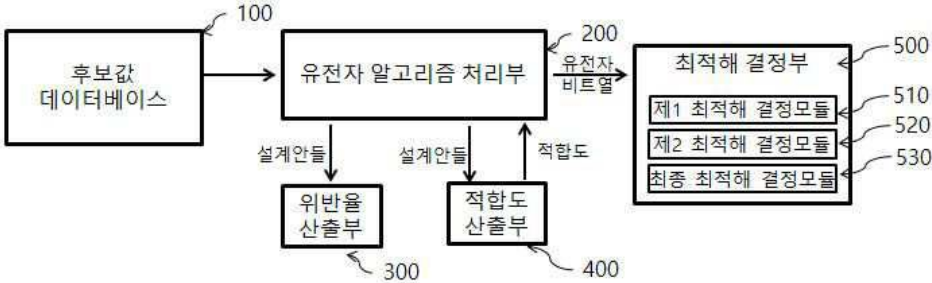
도면2



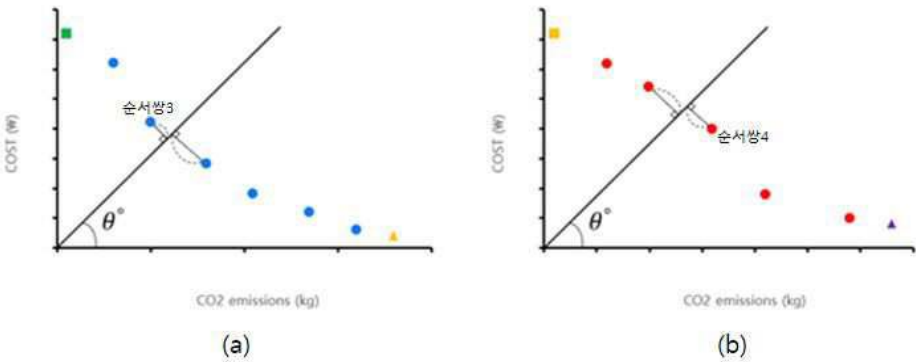
도면3



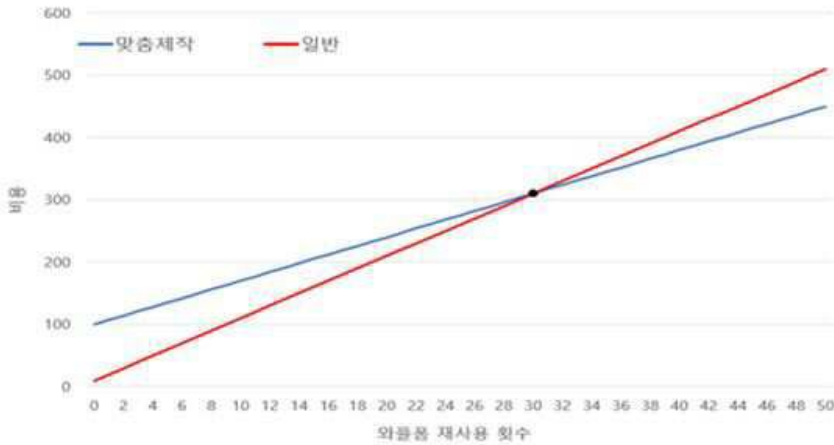
도면4



도면5



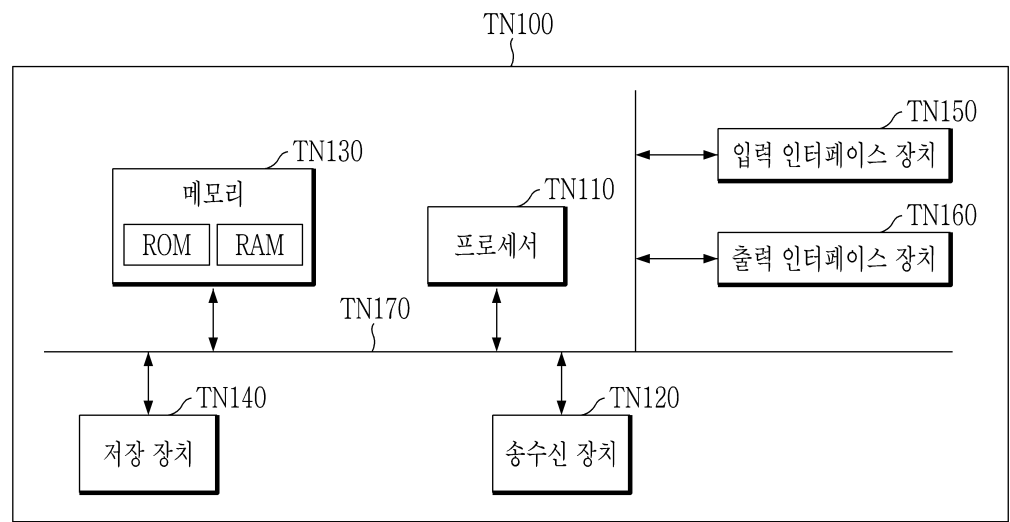
도면6



도면7



도면8



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 7

【변경전】

컴퓨팅 장치에 의해 수행되는 와플 슬래브 최적 설계 방법으로서,

데이터베이스가 건물에 사용되는 와플 슬래브의 설계변수들, 후보값들 및 후보값 인덱스들이 저장된 후보값 데이터베이스를 구축하는 제1 단계; 유전자 알고리즘 처리부가 기설정된 종료 조건이 만족될 때까지, 상기 설계변수들의 후보값 인덱스들을 조합하여 생성되는 유전자 비트열들에 대해 유전자 선택, 교배, 돌연변이, 대체 연산 중 적어도 어느 하나를 수행하여 매 세대마다 유전자 비트열들을 생성하고, 상기 종료 조건을 만족하는 복수의 유전자 비트열을 도출하는 제2 단계; 위반율 산출부가 세대의 유전자 비트열들에 대하여, 기설정된 소요하중과 설계기준에 따른 제약조건들을 모두 만족하는지 여부를 판정하고, 상기 제약조건들 중 적어도 어느 하나를 만족하지 못한 경우, 위반율을 산출하는 제3 단계; 적합도 산출부가 매 세대의 유전자 비트열들에 대하여 CO₂ 배출량을 산출하기 위한 제1 목적함수의 제1 산출값들과, 소요 비용을 산출하기 위한 제2 목적함수의 제2 산출값들과, 상기 위반율 산출부에서 산출된 위반율 값들을 이용하여 적합도 값들을 산출하는 제4 단계; 및 최적해 결정부가 상기 종료 조건을 만족하는 복수개의 유전자 비트열들 중 적합도 값이 큰 순으로 기설정된 복수개의 유전자 비트열에 대응하는 와플 슬래브의 설계안들을 도출하고, 도출된 복수개의 와플 슬래브 설계안에 대해 기설정된 최적화 비율을 이용하여 최적의 와플 슬래브 설계안을 결정하는 제5 단계;를 포함하며,

상기 제5 단계는, 기제조된 와플 슬래브에 관한 제1 와플폼 규격을 기초로 제1 최적해를 결정하는 제1 최적해 결정단계와, 사용자 맞춤형 와플 슬래브에 관한 제2 와플폼 규격을 기초로 제2 최적해를 결정하는 제2 최적해 결정단계와, 건물 크기에 따른 와플폼 재사용 횟수와 맞춤형 와플폼 제조 비용을 고려하여 상기 제1 최적해와 상기 제2 최적해 중에서 최종 최적해를 결정하는 최종 최적해 결정단계를 포함하며,

상기 최종 최적해 결정모듈은 다음 수학식에 의해 최적해를 결정하는 것을 특징으로 하는 와플 슬래브 최적 설계 방법.

[수학식1] $y = a + bt$

[수학식2] $y = ct$

[수학식3] $t \geq a/(c-b)$

(여기서, 수학식1의 y는 맞춤형 와플폼을 사용할 때, 재사용 횟수(t)에 따른 소요 비용, 수학식2의 y는 기 제조된 일반 와플폼을 사용할 때, 재사용 횟수(t)에 따른 소요 비용, t는 와플폼 재사용 횟수, a는 맞춤형 와플폼 제조 비용, b는 맞춤형 와플폼에 의한 와플 슬래브 제조 비용, c는 기 제조된 일반 와플폼에 의한 와플 슬래브 제조 비용이다)

【변경후】

컴퓨팅 장치에 의해 수행되는 와플 슬래브 최적 설계 방법으로서,

데이터베이스가 건물에 사용되는 와플 슬래브의 설계변수들, 후보값들 및 후보값 인덱스들이 저장된 후보값 데이터베이스를 구축하는 제1 단계; 유전자 알고리즘 처리부가 기설정된 종료 조건이 만족될 때까지, 상기 설계변수들의 후보값 인덱스들을 조합하여 생성되는 유전자 비트열들에 대해 유전자 선택, 교배, 돌연변이, 대체 연산 중 적어도 어느 하나를 수행하여 매 세대마다 유전자 비트열들을 생성하고, 상기 종료 조건을 만족하는 복수의 유전자 비트열을 도출하는 제2 단계; 위반율 산출부가 세대의 유전자 비트열들에 대하여, 기설정된 소요하중과 설계기준에 따른 제약조건들을 모두 만족하는지 여부를 판정하고, 상기 제약조건들 중 적어도 어느 하나를 만족하지 못한 경우, 위반율을 산출하는 제3 단계; 적합도 산출부가 매 세대의 유전자 비트열들에 대하여 CO₂ 배출량을 산출하기 위한 제1 목적함수의 제1 산출값들과, 소요 비용을 산출하기 위한 제2 목적함수의 제2 산출값들과, 상기 위반율 산출부에서 산출된 위반율 값들을 이용하여 적합도 값들을 산출하는 제4 단계; 및 최적해 결정부가 상기 종료 조건을 만족하는 복수개의 유전자 비트열들 중 적합도 값이 큰 순으로 기설정된 복수개의 유전자 비트열에 대응하는 와플 슬래브의 설계안들을 도출하고, 도출된 복수개의 와플 슬래브 설계안에 대해 기설정된 최적화 비율을 이용하여 최적의 와플 슬래브 설계안을 결정하는 제5 단계;를 포함하며,

상기 제5 단계는, 기제조된 와플 슬래브에 관한 제1 와플폼 규격을 기초로 제1 최적해를 결정하는 제1 최적해 결정단계와, 사용자 맞춤형 와플 슬래브에 관한 제2 와플폼 규격을 기초로 제2 최적해를 결정하는 제2 최적해 결정단계와, 건물 크기에 따른 와플폼 재사용 횟수와 맞춤형 와플폼 제조 비용을 고려하여 상기 제1 최적해와 상기 제2 최적해 중에서 최종 최적해를 결정하는 최종 최적해 결정단계를 포함하며,

상기 최종 최적해 결정단계는 다음 수학식에 의해 최적해를 결정하는 것을 특징으로 하는 와플 슬래브 최적 설계 방법.

[수학식1] $y = a + bt$

[수학식2] $y = ct$

[수학식3] $t \geq a/(c-b)$

(여기서, 수학식1의 y는 맞춤형 와플폼을 사용할 때, 재사용 횟수(t)에 따른 소요 비용, 수학식2의 y는 기 제조된 일반 와플폼을 사용할 때, 재사용 횟수(t)에 따른 소요 비용, t는 와플폼 재사용 횟수, a는 맞춤형 와플폼 제조 비용, b는 맞춤형 와플폼에 의한 와플 슬래브 제조 비용, c는 기 제조된 일반 와플폼에 의한 와플 슬래브 제조 비용이다)