



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년07월24일  
(11) 등록번호 10-2137247  
(24) 등록일자 2020년07월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B28B 1/00 (2006.01) B33Y 30/00 (2015.01)  
B33Y 50/02 (2015.01) E01D 21/00 (2006.01)  
E01D 101/26 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
B28B 1/001 (2013.01)  
B33Y 30/00 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2019-0175759  
(22) 출원일자 2019년12월26일  
심사청구일자 2019년12월26일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020190057078 A  
KR101706473 B1  
JP2013507679 A

(73) 특허권자  
연세대학교산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
주식회사 대한콘설탄트  
서울특별시 중로구 필운대로 9(필운동)  
(72) 발명자  
한동석  
서울특별시 서초구 잠원로8길 20 신반포한신 19차APT 331-1010  
김지수  
서울특별시 영등포구 당산로4길 12 101-1901  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
송세근

전체 청구항 수 : 총 11 항

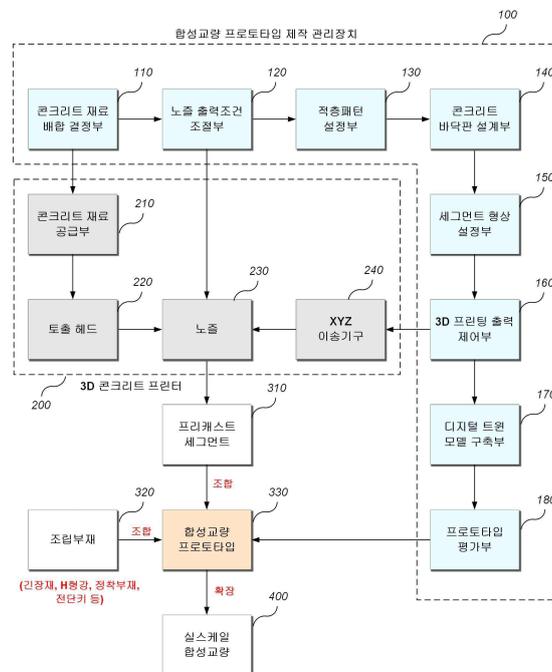
심사관 : 이수재

(54) 발명의 명칭 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템 및 그 제작 방법

(57) 요약

교량 상부구조의 프리캐스트 세그먼트 공법에 적용될 수 있도록 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 제작하고, H형 강 등의 조립부재를 조합한 형태로 합성교량 프로토타입을 제작할 수 있고, 또한, 3D 프린팅을 이용하여 프리캐스트 세그먼트를 무철근 형식의 섬유보강 콘크리트 재료로 제작함으로써, 기존 콘크리트에 비해 내구성이 높고, (뒷면에 계속)

대표도 - 도3



시공성과 성능에 있어서 높은 효율을 갖는 조립형 합성교량 프로토타입을 제작할 수 있으며, 또한, 3D 프린팅 콘크리트를 사용함으로써, 건설현장 근처에 3D 프린터를 설치할 수 있는 좁은 공간을 확보하여 거푸집 조립-탈형 작업 없이 목적에 맞는 프리캐스트 세그먼트를 제작 및 조립함으로써 실스케일 합성교량을 용이하게 제작할 수 있고, 또한, 프리캐스트 세그먼트와 조립부재를 조합한 합성교량 프로토타입에 대해 디지털 트윈 모델을 활용하여 국부적 형상결함을 분석함으로써 실스케일 합성교량으로 용이하게 확장할 수 있는, 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템 및 그 제작 방법이 제공된다.

(52) CPC특허분류

**B33Y 50/02** (2013.01)

**E01D 21/00** (2013.01)

**E01D 2101/268** (2013.01)

**이중수**

경기도 성남시 수정구 위례광장로 36, 405동 1202호 (창곡동, 위례역 푸르지오 4단지)

(72) 발명자

**김세윤**

서울특별시 은평구 응암로 142-32 남청과인힐아파트 101-902

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2019R1A2C2086314

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원사업

연구과제명 (통합Ezbaro) 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성 교량 프로토타입 개발(1/4)

기 여 율 1/1

주관기관 연세대학교

연구기간 2019.09.01 ~ 2020.02.29

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

3D 프린팅 콘크리트 재료 및 출력 최적조건을 결정하고, 3D 프린팅 적층패턴을 최적화하고 프리캐스트 세그먼트(310)의 단면 형상을 최적으로 설계하며, 상기 프리캐스트 세그먼트(310)의 3D 프린팅 및 조립부재(320)의 구조/부재 스케일 거동을 평가한 후, 디지털 트윈 모델을 활용하여 합성교량 프로토타입의 확장 설계에 따른 안정성을 평가 및 모니터링하는 합성교량 프로토타입 제작 관리장치(100);

콘크리트 재료 공급부(210), 토출헤드(220), 노즐(230) 및 XYZ 이송기구(240)로 이루어지며, 상기 합성교량 프로토타입 제작 관리장치(100)의 3D 프린팅 제어에 따라 합성교량 프로토타입의 프리캐스트 세그먼트(310)를 출력하는 3D 콘크리트 프린터(200);

상기 3D 콘크리트 프린터(200)의 3D 프린팅을 통해 제작되는 프리캐스트 세그먼트로서, 합성교량의 콘크리트 바닥판 형성을 위해 서로 연결되는 프리캐스트 세그먼트(310);

H형강(321), 전단연결재(322), 긴장재(323) 및 정착부재(324)로 이루어지며, 각각 상기 프리캐스트 세그먼트(310)와 각각 조립되는 조립부재(320); 및

상기 프리캐스트 세그먼트(310)와 조립부재(320)를 조합하여 형성되는 합성교량 프로토타입(330)을 포함하되,

상기 합성교량 프로토타입 제작 관리장치(100)는 상기 조립부재(320)와 프리캐스트 세그먼트(310)가 조립된 합성교량 프로토타입(330)에 대한 긴장력 평가 및 스케일 실험을 위해 디지털 트윈 모델을 구축하며, 상기 디지털 트윈 모델은 상기 합성교량 프로토타입 형성을 위한 3D 프린팅 적층하중으로 인한 국부적 형상결함을 분석하여 실스케일 합성교량에 대한 실스케일 응답을 예측하는 것을 특징으로 하는 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 합성교량 프로토타입 제작 관리장치(100)는,

합성교량 프로토타입(330)의 3D 프린팅을 위한 콘크리트 재료의 최적 배합을 결정하는 콘크리트 재료 배합 결정부(110);

상기 콘크리트 재료의 최적 배합에 대응하는 3D 콘크리트 프린터(200)의 최적 출력이 가능한 노즐 출력조건을 조절하는 노즐 출력조건 조절부(120);

3D 프린팅 적층기법에 따른 적층패턴을 최적화하는 적층패턴 설정부(130);

상기 합성교량 프로토타입(330)의 콘크리트 바닥판 최적 단면을 유한요소모델링 및 구조해석 기반으로 설계하는 콘크리트 바닥판 설계부(140);

상기 콘크리트 바닥판 형성을 위한 프리캐스트 세그먼트(310)의 단면 형상을 최적화하는 세그먼트 형상 설정부(150);

상기 콘크리트 바닥판 형성을 위한 프리캐스트 세그먼트(310)의 3D 프린팅 출력을 제어하는 3D 프린팅 출력 제어부(160);

상기 조립부재(320)와 프리캐스트 세그먼트(310)가 조립된 합성교량 프로토타입(330)에 대한 긴장력 평가 및 스케일 실험을 위해 구축하는 디지털 트윈 모델 구축부(170); 및

상기 디지털 트윈 모델을 활용하여 상기 합성교량 프로토타입(330)을 실스케일 합성교량(400)으로 확장하기 위한 안정성 평가 및 모니터링을 수행하는 프로토타입 평가부(180)를 포함하는 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템.

#### 청구항 3

삭제

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

제2항에 있어서,

상기 콘크리트 재료는 상기 프리캐스트 세그먼트(310)를 무철근 형식으로 제작하기 위해 시멘트, 잔골재, 물, 혼화제 및 보강섬유로 이루어지는 섬유보강 콘크리트 재료로서, 상기 콘크리트 재료 배합 결정부(110)는 상기 보강섬유의 종류 및 형태에 따른 최적 배합을 결정하고, 굳지 않은 콘크리트의 성능 평가를 통해 응결지연제, 조강제 및 증점제를 포함하는 상기 혼화제의 최적 배합을 결정하는 것을 특징으로 하는 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템.

**청구항 6**

제2항에 있어서,

상기 노즐 출력조건 조절부(120)의 노즐 출력조건은 노즐 형태, 노즐 이동속도 및 재료 분사속도를 포함하는 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템.

**청구항 7**

제1항에 있어서, 상기 조립부재(320)는,

H 형태의 강재로서, 적어도 하나 이상의 프리캐스트 세그먼트(310)를 서로 연결하도록 측면에 조립되는 H형강(321);

리브전단연결재(Perfobond) 형태의 전단키로서, 콘크리트 부재인 상기 프리캐스트 세그먼트(310)와 강재인 상기 H형강(321)을 전단 연결하는 전단연결재(322);

상기 합성교량 프로토타입(330)의 길이방향으로 프리스트레싱 긴장력을 인가하기 위해 조립되는 긴장재(323); 및

상기 합성교량 프로토타입(330)의 양단부에서 상기 긴장재(323)를 정착시키는 정착부재(324)를 포함하는 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템.

**청구항 8**

제1항에 있어서, 상기 3D 콘크리트 프린터(200)는,

시멘트, 잔골재, 물, 혼화제 및 보강섬유로 이루어지는 콘크리트 재료를 공급하는 콘크리트 재료 공급부(210);

상기 콘크리트 재료 공급부(210)에서 공급되는 콘크리트 재료를 배합하여 토출하는 토출헤드(220);

상기 토출헤드(220)의 체결되어 상기 배합된 콘크리트 재료를 분사하는 노즐(230); 및

상기 토출헤드(220)를 X축, Y축 및 Z축으로 각각 이송하는 XYZ 이송기구(240)를 포함하는 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템.

**청구항 9**

- a) 합성교량 프로토타입(330)의 3D 프린팅을 위한 콘크리트 재료의 최적 배합을 결정하는 단계;
- b) 상기 콘크리트 재료의 최적 배합에 대응하는 3D 콘크리트 프린터(200)의 최적 출력이 가능한 노즐 출력조건을 조절하는 단계;
- c) 3D 프린팅 적층기법에 따른 적층패턴을 최적화하는 단계;
- d) 합성교량 프로토타입(330)의 콘크리트 바닥판 최적 단면을 유한요소모델링 및 구조해석 기반으로 설계하는 단계;

e) 3D 콘크리트 프린터(200)를 사용하여 상기 콘크리트 바닥판 형성을 위한 프리캐스트 세그먼트(310)를 3D 프린팅 출력하는 단계;

f) 상기 출력된 프리캐스트 세그먼트(310)에 대응하는 조립부재(320)를 조합하여 합성교량 프로토타입(330)을 형성하는 단계;

g) 상기 조립부재(320)와 프리캐스트 세그먼트(310)가 조합된 합성교량 프로토타입(330)에 대한 디지털 트윈 모델을 구축하는 단계; 및

h) 상기 디지털 트윈 모델을 활용하여 상기 합성교량 프로토타입(330)을 실스케일 합성교량(400)으로 확장하기 위한 안정성 평가 및 모니터링을 수행하는 단계를 포함하되,

상기 합성교량 프로토타입(330)을 실스케일 합성교량(400)으로 확장하기 위해 상기 디지털 트윈 모델을 활용하여 상기 합성교량 프로토타입(330)에 대한 긴장력 평가 및 스케일 실험을 수행하며; 상기 디지털 트윈 모델은 상기 합성교량 프로토타입 형성을 위한 3D 프린팅 적층하중으로 인한 국부적 형상결함을 분석하여 실스케일 합성교량에 대한 실스케일 응답을 예측하는 것을 특징으로 하는 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 방법.

**청구항 10**

삭제

**청구항 11**

삭제

**청구항 12**

제9항에 있어서,

상기 a) 단계의 콘크리트 재료는 상기 프리캐스트 세그먼트(310)를 무철근 형식으로 제작하기 위해 시멘트, 잔골재, 물, 혼화제 및 보강섬유로 이루어지는 섬유보강 콘크리트 재료로서, 상기 a) 단계에서 보강섬유의 종류 및 형태에 따른 최적 배합을 결정하고, 굳지 않은 콘크리트의 성능 평가를 통해 응결지연제, 조강제 및 증점제를 포함하는 상기 혼화제의 최적 배합을 결정하는 것을 특징으로 하는 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 방법.

**청구항 13**

제9항에 있어서,

상기 b) 단계의 노즐 출력조건은 노즐 형태, 노즐 이동속도 및 재료 분사속도를 포함하는 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 방법.

**청구항 14**

제9항에 있어서, 상기 f) 단계의 조립부재(320)는,

H 형태의 강재로서, 적어도 하나 이상의 프리캐스트 세그먼트(310)를 서로 연결하도록 측면에 조립되는 H형강(321);

리브전단연결재(Perfobond) 형태의 전단키로서, 콘크리트 부재인 상기 프리캐스트 세그먼트(310)와 강재인 상기 H형강(321)을 전단 연결하는 전단연결재(322);

상기 합성교량 프로토타입(330)의 길이방향으로 프리스트레싱 긴장력을 인가하기 위해 조립되는 긴장재(323); 및

상기 합성교량 프로토타입(330)의 양단부에서 상기 긴장재(323)를 정착시키는 정착부재(324)를 포함하는 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 방법.

**청구항 15**

제9항에 있어서, 상기 b) 단계의 3D 콘크리트 프린터(200)는,  
 시멘트, 잔골재, 물, 혼화제 및 보강섬유로 이루어지는 콘크리트 재료를 공급하는 콘크리트 재료 공급부(210);  
 상기 콘크리트 재료 공급부(210)에서 공급되는 콘크리트 재료를 배합하여 토출하는 토출헤드(220);  
 상기 토출헤드(220)의 체결되어 상기 배합된 콘크리트 재료를 분사하는 노즐(230); 및  
 상기 토출헤드(220)를 X축, Y축 및 Z축으로 각각 이송하는 XYZ 이송기구(240)를 포함하는 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 교량 상부구조의 프리캐스트 세그먼트 공법(Precast Segment Method)에 적용될 수 있도록 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 제작하고, H형강 등의 조립부재를 조합한 형태로 합성교량 프로토타입(Composite Bridge Prototype)을 제작하는, 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템 및 그 제작 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 일반적으로, 3D 프린팅(3D printing)은 3D 입체 모델을 플라스틱 액체 또는 기타 원료를 사출하거나 적층 및 응고시켜 3D 형태의 고체 제품을 제작하는 기술을 말하며, 전통적인 재료가공 기술에 비해 속도, 가격, 사용 편리성 등 다양한 측면에서 우위를 나타내고 있다.

[0003] 이러한 3D 프린팅은 원료에 따라 액체, 파우더 및 고체로 구분하며, 레이저, 열, 빛 등의 소스를 기반으로 응고 또는 적층하는 다양한 방식이 존재하며, 이러한 3D 프린팅 방식은 현재까지 다양하게 개발되어 왔으며, 각각의 방식은 제품 제작에 있어 장단점을 갖고 있다. 예를 들면, 3D 프린팅 방식은 각각의 분야마다 다른 형태의 방식이 사용될 수 있으며, 크게 FDM(Fused Deposition Modelling), DLP(Digital Light Processing), SLA(Stereolithography), SLS(Selective Laser Sintering), PolyJet(Photopolymer Jetting Technology), DMT(Direct Metal Tooling), PBP(Powder Bed & inkjet head 3d printing), LOM(Laminated Object Manufacturing) 등의 방식으로 구분될 수 있다.

[0004] 도 1a는 일반적인 3D 프린팅 장치를 나타내는 도면이다.

[0005] 일반적인 3D 프린팅 장치는, 도 1에 도시된 바와 같이, 열가소성 플라스틱으로 형성된 와이어 또는 필라멘트를 공급릴과 이송릴을 통해 공급하고, 공급된 필라멘트를 프린트 베드에 대하여 상대적으로 X축, Y축 및 Z축의 세 방향으로 위치가 조절되는 3차원 이송기구에 장착된 히터노즐에서 용융시켜 배출함으로써, 2차원 평면 형태를 만들면서 이를 프린트 베드 상에 한 층씩 적층하여 3차원으로 성형하는 용융수지 압출 조형 방법(FDM)이 널리 사용되고 있다.

[0006] 이와 같이 현재까지의 3D 프린팅 기술은 일정한 틀을 가진 3D 프린터 카트리지가 속의 열가소성 플라스틱 재료를 필라멘트 형태로 사출하고, 노즐에서 성형한 후 압출시켜 한 층씩 적층함으로써, 각종 제조업 제품이나 인공장기 등 소형 제품을 압출 성형하였다. 그러나 빌딩이나 주택, 교량, 터널 등과 같이 불특정 크기의 건축 구조물을 제작하기 어려웠다.

[0007] 하지만, 근래에는 건축분야에도 3차원 프린터 기술이 적용되어 소규모의 주택이나 인테리어 벽체 또는 비정형 패널 등과 같은 건축부재를 3D 프린터로 제작하고 있다. 예를 들면, 중국의 윈선 장식설계공정회사의 경우, 3D 프린터 기술과 산업용 로봇의 기술을 접목한 대형의 3차원 프린터 장치로 주택과 같은 건축물을 제작하여 소개하였으며, 그 외에도 다양한 건축사에서 3D 프린터 기술을 이용한 건축물 시공 연구를 진행하고 있다.

[0008] 구체적으로, 3D 프린터를 이용하여 건축물 등의 구조물을 만드는 방법은 우선 구현하고자 하는 구조물의 형상 데이터를 만든 후에, 사전에 구조물에 필요한 구조재료를 구성하고 배합하여 3차원 프린터 내에 충분히 충전하고, 충전된 구조재료가 3D 프린터의 노즐에서 외부의 타겟 표면에 도달하도록 토출한다. 이때, 구현하고자 하는 구조물의 형상데이터의 길이방향으로 여러 패스(path)를 거쳐 적층하면서 두께를 이루고, 이러한 일련의 과정을 거치면서 전체적으로 구조물을 실제로 구현하게 된다.

- [0009] 도 1b는 종래의 기술에 따른 건축용 3차원 프린터를 예시하는 사시도이다.
- [0010] 종래의 기술에 따른 건축용 3차원 프린터(10)는, 도 1b에 도시된 바와 같이, 상하 방향으로 설치된 Z축 가이드(11); 상기 Z축 가이드(11)를 따라 상하 방향으로 움직일 수 있는 Y축 가이드(12); 상기 Y축 가이드(12)를 따라 전후 방향(Y축 방향)으로 움직일 수 있는 X축 가이드(13); 상기 X축 가이드(13)를 따라 좌우 방향(X축 방향)으로 움직일 수 있는 토출헤드(14); 및 상기 토출헤드(14)의 하단에 형성되어 구조재료(20)를 토출시키는 노즐(15)을 포함할 수 있다.
- [0011] 이러한 3차원 프린터 기술을 이용하여 건축물을 제작하는 방식으로서, 적층형 건설기술로 알려진 컨투어 크래프팅(Contour Crafting) 방식이 주로 사용되고 있다. 이러한 컨투어 크래프팅 방식은 시멘트 등과 같은 건설 재료를 얇게 발라서 계속 적층하는 방식이다.
- [0012] 한편, 선행기술로서, 대한민국 등록특허번호 제10-2016686호에는 "건설 소재용 3D 프린터"라는 명칭의 발명이 개시되어 있는데, 도 2a 및 도 2b를 참조하여 설명한다.
- [0013] 도 2a는 종래의 기술에 따른 건설 소재용 3D 프린터를 나타내는 사시도이고, 및 도 2b는 종래의 기술에 따른 건설 소재용 3D 프린터의 시스템 구성도이다.
- [0014] 도 2a 및 도 2b를 참조하면, 종래의 기술에 따른 건설 소재용 3D 프린터는, 복수의 레이어를 적층하여 입체물을 형성하는 건설 소재용 3D 프린터에 있어서, 건설 소재를 토출하는 헤드(35); 상기 헤드(35)에 건설 소재를 공급하는 소재 공급부(36); 및 상기 헤드(35)의 위치 및 소재 공급부(36)의 구동을 제어하는 제어부(37)를 포함한다.
- [0015] 건설 소재용 3D 프린터는 X축, Y축 및 Z축 방향으로 헤드(35)를 이송시킬 수 있는 X축 이송부(32), Y축 이송부(33) 및 Z축 이송부(34)를 포함한다. 이러한 X축 이송부(32), Y축 이송부(33) 및 Z축 이송부(34)의 지지를 위해 건설 소재용 3D 프린터의 외주면에는 각 구성들을 지지하는 프레임(31b)이 세워진다.
- [0016] 또한, 건설 소재용 3D 프린터의 하부에는 프레임(31b)을 지지하는 하우징(31)이 배치되고, 하우징(31)상에는 헤드(35)를 이용하여 제조된 건축물(40)을 하우징(31)의 외측으로 이송시킬 수 있는 테이블(31a)이 설치될 수 있다.
- [0017] 이러한 건설 소재용 3D 프린터는 비교적 대형의 건축을 제조하는 장치이므로 그 부피가 제조되는 건축물(40)보다 더 크게 형성될 수 있다. 예를 들면, 건설 소재용 3D 프린터에서 제조되는 건축물(40)은 소형의 주택, 모듈러 건축을 위한 건축물 모듈 등이 될 수 있다.
- [0018] 이러한 건설 소재용 3D 프린터는 별도로 연결된 컴퓨터 장치로부터 건축물(40)에 대한 설계 정보를, 도 2b에 도시된 바와 같이, 입력부(38)를 통해 입력받는다. 이러한 입력부(38)는 컴퓨터 장치와 유선 또는 무선으로 연결될 수 있다. 입력부(38)로 설계정보가 입력되면, 제어부(37)가 설계정보를 이용하여 건축물(40)을 제작할 수 있는 헤드(35)의 이송 방향, 이송량, 이송 속도, 건축재료의 토출량 등을 설정한다. 헤드(35)의 이송 방향, 이송량, 이송 속도, 건축재료의 토출량 등의 정보가 설정되면, 제어부(37)는 X축 이송부(32), Y축 이송부(33), Z축 이송부(34), 소재 공급부(36), 구동기(35c), 히터(35d) 등의 구성들을 제어하여 테이블(31a) 상에 건설 소재를 레이어로 적층하며 건축물(40)을 제작한다.
- [0019] 건설 소재는 혼합되었을 때 경화가 시작되는 복수의 이종 재료들로 구성될 수 있다. 예를 들어, 건설 소재는 콘크리트가 될 수 있고, 건설 소재를 구성하는 요소 소재는 콘크리트 분말, 물, 모래, 자갈이 될 수 있다. 이 밖에도, 건설 소재에는 섬유보강 콘크리트, 고강도 콘크리트 등으로 구성될 수 있다.
- [0020] 또한, 혼합되었을 때 경화가 시작되는 건설 소재는 소재 공급부(36)에서 이미 혼합된 상태에서 헤드(35)로 공급되면, 헤드(35)로 이송되는 과정에서 경화가 발생되거나, 3D 프린터의 운행이 중단되었을 때 소재 공급부(36), 소재 공급부(36)의 건설 소재를 헤드(35)로 이송시키는 공급관 및 헤드(35) 등에서 경화되어 헤드(35)의 내부가 완전히 폐쇄될 수 있다. 이러한 문제를 방지하기 위해서 건설 소재는 헤드(35)에서 혼합되며, 이에 따라, 소재 공급부(36)는 건설 소재를 구성하는 요소 소재들을 소재 공급부(36)에 별도로 격리 수용되며, 각각 별도의 공급관을 통해 헤드(35)로 이송된다.
- [0021] 종래의 기술에 따른 건설 소재용 3D 프린터의 경우, 건설 소재를 구성하는 요소 소재들이 헤드에서 혼합됨에 따라, 건설 소재의 경화로 인해 헤드 등의 구성이 폐쇄되는 문제를 해소할 수 있고, 헤드에 결합된 믹서가 건축물 제작 완료 후 헤드의 챔버에 수용된 건설 소재를 배출시킴으로써 헤드 내에서 건설 소재가 경화되는 것을 방지

할 수 있다.

- [0022] 최근 3D 프린팅의 건설산업 적용에 대한 관심이 증대되고 있으나, 현재까지 국내에서는 타 분야에 비해 연구 단계나 현장 도입 등과 같은 실제 적용 사례는 매우 미비한 수준이다. 예를 들면, 국내의 경우, 3D 프린팅 기반 시설물의 연구가 아직까지는 대체적으로 진술한 종래의 기술에 따른 건설 소재용 3D 프린터와 같이 3D 프린터 관련 기계공학적 접근에 머물러 있는 상황이다.
- [0023] 한편, 일반적으로 사용하는 철근 콘크리트 바닥판의 경우, 철근을 콘크리트 내부의 보강재로 사용하는데, 이러한 철근콘크리트 바닥판은 거의 대부분 인장 균열이 발생하며, 이러한 균열의 발생은 내부 철근의 부식으로 이어지고, 이로 인해 철근 콘크리트 바닥판의 강도와 내구성을 저하시키는 중요한 원인이 된다.
- [0024] 또한, 종래의 기술에 따른 교량 제작시, 현장타설 공법을 통해 현장에 거푸집을 설치하고 콘크리트를 양생시킨 후, 거푸집을 해체하여 제작하는 일련의 과정으로 이루어졌다. 현장에서 거푸집을 설치하고 콘크리트를 타설하는 것은 실외에서 이루어지는 작업이므로, 기상상황과 날씨의 영향을 받기도 하며, 콘크리트의 품질을 일정하게 관리하는 것도 힘들뿐만 아니라, 거푸집을 탈착 및 철거해야 하므로 작업효율이 낮다는 단점이 있다.
- [0025] 이에 대한 대안으로 프리캐스트 콘크리트 공법을 통하여, 공장 실내에서 미리 운반 가능한 모양 및 크기로 제작함으로써, 날씨의 영향을 받지 않으며, 거푸집을 필요로 하지도 않고, 또한, 일정한 품질이 보장되면서 대량생산이 가능해졌다. 또한, 교량 건설시 공기를 감소시키고 건설환경의 영향을 최소화하기 위해 프리캐스트 콘크리트를 사용해 조립하는 경우가 많지만, 현장 특성에 따라 종래의 프리캐스트 콘크리트 사용이 불가능한 상황에 대응할 수 있는 기술이 요구되는 상황이다.
- [0026] 특히, 프리캐스트 콘크리트 운송이 불가능한 지역일 경우, 이러한 프리캐스트 콘크리트 공법을 이용할 수 없고, 또한, 현장타설 콘크리트방식에 비해 구조가 복잡한 형태의 디자인을 구현하는데 있어 제한이 따른다.
- [0027] 이에 따라, 공장에서 미리 성형된 후 건설현장으로 운송되는 프리캐스트 콘크리트는 건설현장 특성에 따라 세그먼트 운송이 불가능할 시에는 결국 현장 타설을 수행해야 하고, 이때 거푸집을 조립하고 탈형하는 등의 작업이 요구되어, 시공성을 저하시킨다는 문제점이 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

- [0028] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허번호 제10-2016686호(등록일: 2019년 8월 26일), 발명의 명칭: "건설 소재용 3D 프린터"
- (특허문헌 0002) 대한민국 등록특허번호 제10-1948547호(등록일: 2019년 2월 11일), 발명의 명칭: "시멘트계 재료의 상하층 결합 강화 및 형상 제어 기능을 가지는 건설구조물 구축용 3D 프린팅 노즐 및 이를 구비한 3D 프린팅 장치"
- (특허문헌 0003) 대한민국 등록특허번호 제10-1706473호(등록일: 2017년 2월 7일), 발명의 명칭: "구조물 건설을 위한 3D 프린팅 장치"
- (특허문헌 0004) 대한민국 등록특허번호 제10-1616308호(등록일: 2016년 4월 22일), 발명의 명칭: "3차원 프린팅을 이용한 콘크리트 구조물 및 그의 제조 방법"
- (특허문헌 0005) 대한민국 등록특허번호 제10-1526827호(등록일: 2015년 6월 1일), 발명의 명칭: "3D 프린팅 장치 및 이를 이용한 철골 콘크리트 구조물 시공방법"

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0029] 진술한 문제점을 해결하기 위한 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는, 교량 상부구조의 프리캐스트 세그먼트 공법에 적용될 수 있도록 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 제작하고, H형강 등의 조립부재를 조합한 형태로 합성교량 프로토타입을 제작할 수 있는, 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템 및 그 제작 방법을 제공하기 위한 것이다.

[0030] 본 발명이 이루고자 하는 다른 기술적 과제는, 프리캐스트 세그먼트의 공장-현장간 이동이 어려울 경우, 현장 제작을 위한 거푸집 등의 설비 구축 없이 3D 프린터의 현장 설치만으로도 합성교량을 제작할 수 있는, 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템 및 그 제작 방법을 제공하기 위한 것이다.

[0031] 본 발명이 이루고자 하는 또 다른 기술적 과제는, 3D 프린팅을 이용하여 프리캐스트 세그먼트를 무철근 형식의 섬유보강 콘크리트 재료로 제작할 수 있는, 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템 및 그 제작 방법을 제공하기 위한 것이다.

[0032] 본 발명이 이루고자 하는 또 다른 기술적 과제는, 프리캐스트 세그먼트와 조립부재를 조합한 합성교량 프로토타입에 대해 디지털 트윈 모델을 활용하여 국부적 형상결함을 분석함으로써 실스케일 합성교량으로 용이하게 확장할 수 있는, 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템 및 그 제작 방법을 제공하기 위한 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0033] 전술한 기술적 과제를 달성하기 위한 수단으로서, 본 발명에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템은, 3D 프린팅 콘크리트 재료 및 출력 최적조건을 결정하고, 3D 프린팅 적층패턴을 최적화하고 프리캐스트 세그먼트의 단면 형상을 최적으로 설계하며, 상기 프리캐스트 세그먼트의 3D 프린팅 및 조립부재의 구조/부재 스케일 거동을 평가한 후, 디지털 트윈 모델을 활용하여 합성교량 프로토타입의 확장 설계에 따른 안정성을 평가 및 모니터링하는 합성교량 프로토타입 제작 관리장치; 콘크리트 재료 공급부, 토출 헤드, 노즐 및 XYZ 이송기구로 이루어지며, 상기 합성교량 프로토타입 제작 관리장치의 3D 프린팅 제어에 따라 합성교량 프로토타입의 프리캐스트 세그먼트를 출력하는 3D 콘크리트 프린터; 상기 3D 콘크리트 프린터의 3D 프린팅을 통해 제작되는 프리캐스트 세그먼트로서, 합성교량의 콘크리트 바닥판 형성을 위해 서로 연결되는 프리캐스트 세그먼트; H형강, 전단연결재, 긴장재 및 정착부재로 이루어지며, 각각 상기 프리캐스트 세그먼트와 각각 조립되는 조립부재; 및 상기 프리캐스트 세그먼트와 조립부재를 조합하여 형성되는 합성교량 프로토타입을 포함하되, 상기 합성교량 프로토타입 제작 관리장치는 상기 조립부재와 프리캐스트 세그먼트가 조립된 합성교량 프로토타입에 대한 긴장력 평가 및 스케일 실험을 위해 디지털 트윈 모델을 구축하며, 상기 디지털 트윈 모델은 상기 합성교량 프로토타입 형성을 위한 3D 프린팅 적층하중으로 인한 국부적 형상결함을 분석하여 실스케일 합성교량에 대한 실스케일 응답을 예측하는 것을 특징으로 한다.

[0034] 여기서, 상기 합성교량 프로토타입 제작 관리장치는, 합성교량 프로토타입의 3D 프린팅을 위한 콘크리트 재료의 최적 배합을 결정하는 콘크리트 재료 배합 결정부; 상기 콘크리트 재료의 최적 배합에 대응하는 3D 콘크리트 프린터의 최적 출력이 가능한 노즐 출력조건을 조절하는 노즐 출력조건 조절부; 3D 프린팅 적층기법에 따른 적층패턴을 최적화하는 적층패턴 설정부; 상기 합성교량 프로토타입의 콘크리트 바닥판 최적 단면을 유한요소모델링 및 구조해석 기반으로 설계하는 콘크리트 바닥판 설계부; 상기 콘크리트 바닥판 형성을 위한 프리캐스트 세그먼트의 단면 형상을 최적화하는 세그먼트 형상 설정부; 상기 콘크리트 바닥판 형성을 위한 프리캐스트 세그먼트의 3D 프린팅 출력을 제어하는 3D 프린팅 출력 제어부; 상기 조립부재와 프리캐스트 세그먼트가 조립된 합성교량 프로토타입에 대한 긴장력 평가 및 스케일 실험을 위해 구축하는 디지털 트윈 모델 구축부; 및 상기 합성교량 프로토타입 제작 관리장치는, 상기 디지털 트윈 모델을 활용하여 상기 합성교량 프로토타입을 실스케일 합성교량으로 확장하기 위한 안정성 평가 및 모니터링을 수행하는 프로토타입 평가부를 포함할 수 있다.

[0035] 삭제

[0036] 삭제

[0037] 여기서, 상기 콘크리트 재료는 상기 프리캐스트 세그먼트를 무철근 형식으로 제작하기 위해 시멘트, 잔골재, 물, 혼화제 및 보강섬유로 이루어지는 섬유보강 콘크리트 재료로서, 상기 콘크리트 재료 배합 결정부는 상기 보강섬유의 종류 및 형태에 따른 최적 배합을 결정하고, 굳지 않은 콘크리트의 성능 평가를 통해 응결지연제, 조강제 및 증점제를 포함하는 상기 혼화제의 최적 배합을 결정하는 것을 특징으로 한다.

[0038] 여기서, 상기 노즐 출력조건 조절부의 노즐 출력조건은 노즐 형태, 노즐 이동속도 및 재료 분사속도를 포함할 수 있다.

[0039] 여기서, 상기 조립부재는, H 형태의 강재로서, 적어도 하나 이상의 프리캐스트 세그먼트를 서로 연결하도록 측면에 조립되는 H형강; 리브전단연결재 형태의 전단키로서, 콘크리트 부재인 상기 프리캐스트 세그먼트와 강재인 상기 H형강을 전단 연결하는 전단연결재; 상기 합성교량 프로토타입의 길이방향으로 프리스트레싱 긴장력을 인가하기 위해 조립되는 긴장재; 및 상기 합성교량 프로토타입의 양단부에서 상기 긴장재를 정착시키는 정착부재를 포함할 수 있다.

[0040] 여기서, 상기 3D 콘크리트 프린터는, 시멘트, 잔골재, 물, 혼화제 및 보강섬유로 이루어지는 콘크리트 재료를 공급하는 콘크리트 재료 공급부; 상기 콘크리트 재료 공급부에서 공급되는 콘크리트 재료를 배합하여 토출하는 토출헤드; 상기 토출헤드의 체결되어 상기 배합된 콘크리트 재료를 분사하는 노즐; 및 상기 토출헤드를 X축, Y축 및 Z축으로 각각 이동하는 XYZ 이송기구를 포함할 수 있다.

[0041] 한편, 전술한 기술적 과제를 달성하기 위한 다른 수단으로서, 본 발명에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 방법은, a) 합성교량 프로토타입의 3D 프린팅을 위한 콘크리트 재료의 최적 배합을 결정하는 단계; b) 상기 콘크리트 재료의 최적 배합에 대응하는 3D 콘크리트 프린터의 최적 출력이 가능한 노즐 출력조건을 조절하는 단계; c) 3D 프린팅 적층기법에 따른 적층패턴을 최적화하는 단계; d) 합성교량 프로토타입의 콘크리트 바닥판 최적 단면을 유한요소모델링 및 구조해석 기반으로 설계하는 단계; e) 3D 콘크리트 프린터를 사용하여 상기 콘크리트 바닥판 형성을 위한 프리캐스트 세그먼트를 3D 프린팅 출력하는 단계; f) 상기 출력된 프리캐스트 세그먼트에 대응하는 조립부재를 조합하여 합성교량 프로토타입을 형성하는 단계; g) 상기 조립부재와 프리캐스트 세그먼트가 조합된 합성교량 프로토타입에 대한 디지털 트윈 모델을 구축하는 단계; 및 h) 상기 디지털 트윈 모델을 활용하여 상기 합성교량 프로토타입을 실스케일 합성교량으로 확장하기 위한 안정성 평가 및 모니터링을 수행하는 단계를 포함하되, 상기 합성교량 프로토타입을 실스케일 합성교량으로 확장하기 위해 상기 디지털 트윈 모델을 활용하여 상기 합성교량 프로토타입에 대한 긴장력 평가 및 스케일 실험을 수행하며; 상기 디지털 트윈 모델은 상기 합성교량 프로토타입 형성을 위한 3D 프린팅 적층하중으로 인한 국부적 형상결함을 분석하여 실스케일 합성교량에 대한 실스케일 응답을 예측하는 것을 특징으로 한다.

[0042] 삭제

**발명의 효과**

[0043] 본 발명에 따르면, 교량 상부구조의 프리캐스트 세그먼트 공법에 적용될 수 있도록 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 제작하고, H형강 등의 조립부재를 조합한 형태로 합성교량 프로토타입을 제작할 수 있다.

[0044] 본 발명에 따르면, 프리캐스팅 세그먼트의 공장-현장간 이동이 어려운 경우, 현장 제작을 위한 거푸집 등의 설비 구축 없이 3D 프린터의 현장 설치만으로도 합성교량을 제작할 수 있다. 즉, 3D 프린팅 콘크리트를 사용할 경우 건설현장 근처에 3D 프린터를 설치할 수 있는 좁은 공간을 확보하여 거푸집 조립-탈형 작업 없이 목적에 맞는 프리캐스트 세그먼트를 제작 및 조립함으로써 실스케일 합성교량을 용이하게 제작할 수 있다.

[0045] 본 발명에 따르면, 3D 프린팅을 이용하여 프리캐스트 세그먼트를 무철근 형식의 섬유보강 콘크리트 재료로 제작함으로써, 기존 콘크리트에 비해 내구성이 높고, 시공성과 성능에 있어서 높은 효율을 갖는 조립형 합성교량 프로토타입을 제작할 수 있다.

[0046] 본 발명에 따르면, 프리캐스트 세그먼트와 조립부재를 조합한 합성교량 프로토타입에 대해 디지털 트윈 모델을 활용하여 국부적 형상결함을 분석함으로써 실스케일 합성교량으로 용이하게 확장할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0047] 도 1a는 일반적인 3D 프린팅 장치를 나타내는 도면이고, 도 1b는 종래의 기술에 따른 건축용 3차원 프린터를 예시하는 사시도이다.

도 2a는 종래의 기술에 따른 건설 소재용 3D 프린터를 나타내는 사시도이고, 및 도 2b는 종래의 기술에 따른 건설 소재용 3D 프린터의 시스템 구성도이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템의 구성도이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에

서 콘크리트 재료 배합을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 노즐 출력조건을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 적층패턴의 설정을 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 프리캐스트 세그먼트의 최적 단면 형상 결정을 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 3D 콘크리트 프린터를 예시하는 도면이다.

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 출력된 프리캐스트 세그먼트를 나타내는 사시도이다.

도 10은 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 프리캐스트 세그먼트와 조립부재를 나타내는 사시도이다.

도 11은 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 프리캐스트 세그먼트와 조립부재가 조립된 합성교량 프로토타입을 나타내는 사시도이다.

도 12는 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 프리캐스트 세그먼트의 연결을 위한 전단연결재를 구체적으로 나타내는 도면이다.

도 13은 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 디지털 트윈모델을 설명하기 위한 도면이다.

도 14는 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 방법의 동작흐름도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0048] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0049] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0050] [3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템]
- [0051] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템의 구성도이다.
- [0052] 도 3을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템은, 합성교량 프로토타입 제작 관리장치(100), 3D 콘크리트 프린터(200), 프리캐스트 세그먼트(310), 조립부재(320) 및 합성교량 프로토타입(330)을 포함하고, 이때, 상기 합성교량 프로토타입 제작 관리장치(100)는 콘크리트 재료 배합 결정부(110), 노즐 출력조건 조절부(120), 적층패턴 설정부(130), 콘크리트 바닥판 설계부(140), 세그먼트 형상 설정부(150), 3D 프린팅 출력 제어부(160), 디지털 트윈 모델 구축부(170) 및 프로토타입 평가부(180)를 포함한다.
- [0053] 합성교량 프로토타입 제작 관리장치(100)는 3D 프린팅 콘크리트 재료 및 출력 최적조건을 결정하고, 3D 프린팅 적층패턴을 최적화하고 프리캐스트 세그먼트(310)의 단면 형상을 최적으로 설계하며, 상기 프리캐스트 세그먼트(310)의 3D 프린팅 및 조립부재(320)의 구조/부재 스케일 거동을 평가한 후, 디지털 트윈 모델을 활용하여 합성교량 프로토타입의 확장 설계에 따른 안정성을 평가 및 모니터링한다.

- [0054] 구체적으로, 상기 합성교량 프로토타입 제작 관리장치(100)의 콘크리트 재료 배합 결정부(110)는 합성교량 프로토타입(330)의 3D 프린팅을 위한 콘크리트 재료의 최적 배합을 결정한다. 예를 들면, 상기 콘크리트 재료 배합 결정부(110)는 상기 보강섬유의 종류 및 형태에 따른 최적 배합을 결정하고, 굳지 않은 콘크리트의 성능 평가를 통해 응결지연제, 조강제 및 증점제를 포함하는 상기 혼화제의 최적 배합을 결정할 수 있다.
- [0055] 상기 합성교량 프로토타입 제작 관리장치(100)의 노즐 출력조건 조절부(120)는 상기 콘크리트 재료의 최적 배합에 대응하는 3D 콘크리트 프린터(200)의 최적 출력이 가능한 노즐 출력조건을 조절한다. 예를 들면, 상기 노즐 출력조건 조절부(120)의 노즐 출력조건은 노즐 형태, 노즐 이동속도 및 재료 분사속도를 포함할 수 있다.
- [0056] 상기 합성교량 프로토타입 제작 관리장치(100)의 적층패턴 설정부(130)는 3D 프린팅 적층기법에 따른 적층패턴을 최적화한다.
- [0057] 상기 합성교량 프로토타입 제작 관리장치(100)의 콘크리트 바닥판 설계부(140)는 상기 합성교량 프로토타입(330)의 콘크리트 바닥판 최적 단면을 유한요소모델링 및 구조해석 기반으로 설계한다.
- [0058] 상기 합성교량 프로토타입 제작 관리장치(100)의 세그먼트 형상 설정부(150)는 상기 콘크리트 바닥판 형성을 위한 프리캐스트 세그먼트(310)의 단면 형상을 최적화한다.
- [0059] 상기 합성교량 프로토타입 제작 관리장치(100)의 3D 프린팅 출력 제어부(160)는 상기 콘크리트 바닥판 형성을 위한 프리캐스트 세그먼트(310)의 3D 프린팅 출력을 제어한다.
- [0060] 상기 합성교량 프로토타입 제작 관리장치(100)의 디지털 트윈 모델 구축부(170)는 상기 조립부재(320)와 프리캐스트 세그먼트(310)가 조립된 합성교량 프로토타입(330)에 대한 긴장력 평가 및 스케일 실험을 위해 구축한다. 여기서, 상기 디지털 트윈 모델은 상기 합성교량 프로토타입 형성을 위한 3D 프린팅 적층하중으로 인한 국부적 형상결함을 분석하여 실스케일 합성교량에 대한 실스케일 응답을 예측할 수 있다. 예를 들면, 장기적으로 적층하중이 가해졌을 때의 국부적 형상결함 및 그에 따른 특성 변화에 대한 분석을 수행할 수 있다.
- [0061] 상기 합성교량 프로토타입 제작 관리장치(100)의 프로토타입 평가부(180)는 상기 디지털 트윈 모델을 활용하여 상기 합성교량 프로토타입(330)을 실스케일 합성교량(400)으로 확장하기 위한 안정성 평가 및 모니터링을 수행한다.
- [0062] 도 3을 다시 참조하면, 3D 콘크리트 프린터(200)는 콘크리트 재료 공급부(210), 토출헤드(220), 노즐(230) 및 XYZ 이송기구(240)로 이루어지며, 상기 합성교량 프로토타입 제작 관리장치(100)의 3D 프린팅 제어에 따라 합성교량 프로토타입의 프리캐스트 세그먼트(310)를 출력한다. 구체적으로, 상기 3D 콘크리트 프린터(200)는, 시멘트, 잔골재, 물, 혼화제 및 보강섬유로 이루어지는 콘크리트 재료를 공급하는 콘크리트 재료 공급부(210); 상기 콘크리트 재료 공급부(210)에서 공급되는 콘크리트 재료를 배합하여 토출하는 토출헤드(220); 상기 토출헤드(220)의 체결되어 상기 배합된 콘크리트 재료를 분사하는 노즐(230); 및 상기 토출헤드(220)를 X축, Y축 및 Z축으로 각각 이송하는 XYZ 이송기구(240)를 포함할 수 있지만, 이에 국한되는 것은 아니다.
- [0063] 프리캐스트 세그먼트(310)는 상기 3D 콘크리트 프린터(200)의 3D 프린팅을 통해 제작되는 프리캐스트 세그먼트로서, 합성교량의 콘크리트 바닥판 형성을 위해 서로 연결된다.
- [0064] 조립부재(320)는 H형강(321), 전단연결재(322), 긴장재(323) 및 정착부재(324)로 이루어지며, 각각 상기 프리캐스트 세그먼트(310)와 각각 조립된다.
- [0065] 합성교량 프로토타입(330)은 상기 프리캐스트 세그먼트(310)와 조립부재(320)를 조합하여 형성된다.
- [0066] 한편, 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 콘크리트 재료 배합을 설명하기 위한 도면이다.
- [0067] 도 4에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 콘크리트 재료는 상기 프리캐스트 세그먼트(310)를 무철근 형식으로 제작하기 위해 시멘트, 잔골재, 물, 혼화제 및 보강섬유로 이루어지는 섬유보강 콘크리트 재료로서, 상기 콘크리트 재료 배합 결정부(110)는 상기 보강섬유의 종류 및 형태에 따른 최적 배합을 결정하고, 또한, 굳지 않은 콘크리트의 성능 평가를 통해 응결지연제, 조강제 및 증점제를 포함하는 상기 혼화제의 최적 배합을 결정한다. 여기서, 혼입되는 보강섬유는 PVA 또는 탄소섬유일 수 있지만, 이에 국한되는 것은 아니다.
- [0068] 이에 따라, 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템의 경우, 3D 프린팅을 이용하여 프리캐스트 세그먼트를 무철근 형식의 탄소섬유로 보강된 섬유보강 콘크리트

재료로 제작함으로써, 기존의 철근 보강을 하지 않고도 탄소섬유로 보강한 3D 프린팅 모르타르의 휨 강도를 섬유 배열에 따라 100 MPa 이상까지 발현시킬 수 있다.

- [0069] 한편, 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 노즐 출력조건을 설명하기 위한 도면이다.
- [0070] 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템의 경우, 도 5에 도시된 바와 같이, 노즐(230) 부위의 크기와 형태가 3D 프린팅 재료의 적층에 영향을 주며, 상기 노즐 출력조건은, 예를 들면, 노즐 형태, 노즐 이동속도 및 재료 분사속도를 포함할 수 있고, 노즐 출력속도를 조절하여 최적 배합을 선정하는 것이 바람직하다.
- [0071] 한편, 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 적층패턴의 설정을 구체적으로 설명하기 위한 도면이고, 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 프리캐스트 세그먼트의 최적 단면 형상 결정을 구체적으로 설명하기 위한 도면이다.
- [0072] 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템의 경우, 도 6에 도시된 바와 같이, 최적의 적층패턴 및 합성교량 프로토타입에 사용될 3D 프린팅 프리캐스트세그먼트(310)의 단면 형상의 최적화 설계를 수행한다. 예를 들면, 3D 프린팅 패턴의 압축강도는 적층패턴에 따라 80MPa 이상의 성능 발현이 가능하며, 패턴별 재료의 압축강도 및 휨 강도를 실험적으로 측정하고, 해석 모델에 따라 실험결과를 모사할 수 있다.
- [0073] 다시 말하면, 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템의 경우, 도 6에 도시된 바와 같이, 적층 패턴을 설계하고, 시편을 제작한 후, 적층패턴 시편의 성능을 평가함으로써, 최적의 적층패턴을 설계할 수 있다.
- [0074] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템의 경우, 도 7에 도시된 바와 같이, 프리캐스트 세그먼트 단면에 대응하는 최적화된 적층패턴에 따라 단면 형상을 최적화하고, 최적 단면 형상을 결정하게 된다. 이후, 3D 프린팅으로 제작될 콘크리트 바닥판의 단면 형상을 다양하게 제작하여 실제 부재 스케일 실험을 수행하고, 유한요소해석 모델을 제작하여 최적설계를 수행하였다. 이후, 실험 기반으로 검증된 해석 모델은 후술하는 바와 같이, 조립형 합성교량 프로토타입(330)의 디지털 트윈 모델로 확장시킬 수 있다.
- [0075] 한편, 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 3D 콘크리트 프린터를 예시하는 도면이고, 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 출력된 프리캐스트 세그먼트를 나타내는 사시도이다.
- [0076] 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템의 경우, 3D 프린터로서, 도 8에 도시된 바와 같이, 3D 콘크리트 프린터(200)을 사용하여, 도 9에 도시된 바와 같은 프리캐스트 세그먼트(310)를 출력할 수 있다.
- [0077] 한편, 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 프리캐스트 세그먼트와 조립부재를 나타내는 사시도이고, 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 프리캐스트 세그먼트와 조립부재가 조립된 합성교량 프로토타입을 나타내는 사시도이고, 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 프리캐스트 세그먼트의 연결을 위한 전단연결재를 구체적으로 나타내는 도면이다.
- [0078] 도 10에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서, 상기 조립부재(320)는, H 형태의 강재로서, 적어도 하나 이상의 프리캐스트 세그먼트(310)를 서로 연결하도록 측면에 조립되는 H형강(321); 리브전단연결재(Perfobond) 형태의 전단기로서, 콘크리트 부재인 상기 프리캐스트 세그먼트(310)와 강재인 상기 H형강(321)을 전단 연결하는 전단연결재(322); 상기 합성교량 프로토타입(330)의 길이방향으로 프리스트레싱 긴장력을 인가하기 위해 조립되는 긴장재(323); 및 상기 합성교량 프로토타입(330)의 양단부에서 상기 긴장재(323)를 정착시키는 정착부재(324)를 포함할 수 있지만, 이에 국한되는 것은 아니다
- [0079] 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템의 경우,

조립형 합성교량 프로토타입(330)을 형성하기 위한 프리캐스트 세그먼트(310)의 3D 프린팅을 수행하고, 길이 방향으로 프리스트레싱 긴장재를 설계 및 조립한다. 이때, 긴장력을 도입하여 프리캐스트 세그먼트(310)들을 조립함으로써, 3D 프린팅 공법으로 제작한 프리캐스트 세그먼트(310)의 하부 인장력을 상쇄시킬 수 있도록 적절한 긴장력을 구조 해석 기반으로 결정한다.

[0080] 이때, 도 11에 도시된 바와 같이, H형강(321) 단면과 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트(310)와의 합성 거동이 최적화될 수 있도록 긴장재(323)의 단부 정착부재(324) 상세를 결정한다.

[0081] 또한, 합성교량 프로토타입(330)을 형성하기 위한 프리캐스트 세그먼트(310)를 3D 프린팅하고, 다수의 프리캐스트 세그먼트(310)를 조합하여 제작한 합성교량 프로토타입(330)의 긴장력을 평가하고 구조/부재 스케일 실험을 수행한다. 예를 들면, 다수의 프리캐스트 세그먼트(310)와 조립부재(320)로 조립된 강합성부재인 합성교량 프로토타입(330)에 대한 스케일 실험으로서, 예를 들면, 긴장력 평가 및 3-point bending 실험을 수행할 수 있다.

[0082] 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템의 경우, 프리캐스트 세그먼트 공법을 적용할 수 있는 합성교량의 콘크리트부재인 프리캐스트 세그먼트(310)를 3D 프린팅으로 제작함으로써, 보강철근을 일체 사용하지 않고 섬유보강 및 프리스트레싱 도입을 통해 인장력을 확보할 수 있다.

[0083] 또한, 3D 프린팅한 콘크리트 부재와 H형강(321)을 합성한 형태로 설계하여 교량 상부구조의 축소형, 예를 들면, 1:3 스케일의 360 x 200 x 2,000mm의 크기를 갖는 합성교량 프로토타입(330)을 제작하고, 이를 실스케일 합성교량(400)로 확장할 수 있다. 이때, 원활한 3D 프린팅을 위해서 합성교량 프로토타입(330)을 보 길이 방향으로 다수의 세그먼트, 예를 들면, 5개의 프리캐스트 세그먼트(310)로 나누고, 외부 긴장재(323)로 프리스트레싱을 도입하여 프리캐스트 세그먼트(310)들을 조립한 후, 도 12에 도시된 바와 같이, H형강(321)와 프리캐스트 세그먼트(310)를 리브 전단연결재(Perfobond) 형태의 전단키인 전단연결재(322)로 합성할 수 있다.

[0084] 또한, 합성교량 프로토타입(330) 형성을 위한 프리캐스트 세그먼트(310)의 3D 프린팅 시 적층하중에 의해 발생하는 콘크리트 내 공극 발생, 접합면간의 수화 반응 차이 등에 의한 재료특성 변화에 대한 분석을 수행하고, 또한, 후술하는 바와 같이 디지털 트윈 모델을 이용하여 영향을 주는 변수 분석 및 실험 검증을 수행함으로써 최적의 3D 프린팅 설계 기법을 제공할 수 있다.

[0085] 한편, 도 13은 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템에서 디지털 트윈모델을 설명하기 위한 도면이다.

[0086] 도 13에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 시스템의 경우, 디지털 트윈 모델을 활용하여 실스케일 교량 최적설계 및 성능 예측이 가능하게 된다. 이러한 디지털 트윈 모델은 상기 합성교량 프로토타입 형성을 위한 3D 프린팅 적층하중으로 인한 국부적 형상결함을 분석하여 실스케일 합성교량에 대한 실스케일 응답을 예측할 수 있다.

[0087] 구체적으로, 이러한 디지털 트윈 모델은 교량의 응력, 변위 및 진동을 검출하여 센싱 데이터를 제공함으로써 높은 정확도로 실시간 구조물의 안전진단이 가능하고, 이에 따라 스마트 기반시설물(SOC)로서의 기능 수행 및 구조물의 안전성이 확보될 수 있다.

[0088] 이러한 디지털 트윈 모델을 활용함으로써 합성교량 프로토타입의 수정/보완 설계를 제시할 수 있으며, 실제 모니터링 데이터 기반의 높은 신뢰도를 갖는 검증된 모델을 활용하여 실스케일 구조물 설계의 방향성을 제시하고 실스케일 교량을 제작할 수 있다. 이에 따라, 이러한 디지털 트윈 모델은 실험을 수행할 시에 필요한 시간과 비용을 획기적으로 줄일 수 있고, 실시간 교량의 점검이나 적절한 유지, 보수 방법 결정, 장기적인 관점에서 응답변화 예측 등 다양한 분야에 적용될 수 있다.

[0089] 결국, 본 발명의 실시예에 따르면, 교량 상부구조의 프리캐스트 세그먼트 공법에 적용될 수 있도록 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 제작하고, H형강 등의 조립부재를 조합한 형태로 합성교량 프로토타입을 제작할 수 있다. 또한, 3D 프린팅을 이용하여 프리캐스트 세그먼트를 무철근 형식의 섬유보강 콘크리트 재료로 제작함으로써, 기존 콘크리트에 비해 내구성이 높고, 시공성과 성능에 있어서 높은 효율을 갖는 조립형 합성교량 프로토타입을 제작할 수 있다.

[0090] [3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 방법]

[0091] 도 14는 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 방법의

동작흐름도이다.

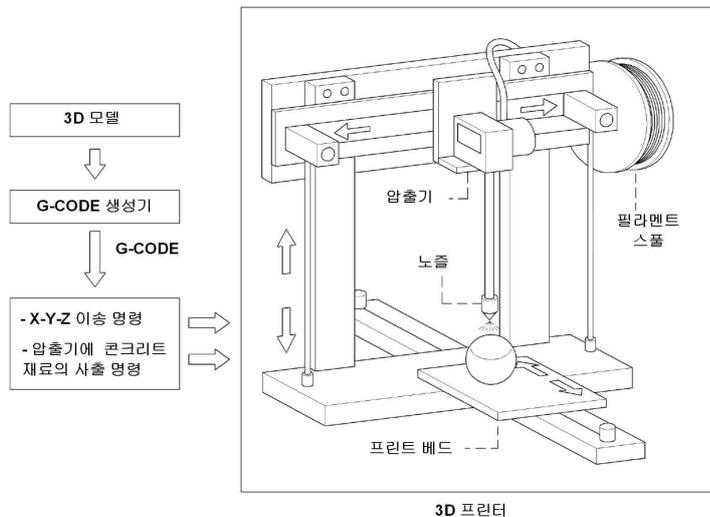
- [0092] 도 14에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 3D 프린팅 프리캐스트 세그먼트를 활용한 합성교량 프로토타입 제작 방법은, 먼저, 합성교량 프로토타입(330)의 3D 프린팅을 위한 콘크리트 재료의 최적 배합을 결정한다(S110). 예를 들면, 상기 콘크리트 재료는 상기 프리캐스트 세그먼트(310)를 무철근 형식으로 제작하기 위해 시멘트, 잔골재, 물, 혼화제 및 보강섬유로 이루어지는 섬유보강 콘크리트 재료로서, 상기 보강섬유의 종류 및 형태에 따른 최적 배합을 결정하고, 굳지 않은 콘크리트의 성능 평가를 통해 응결지연제, 조강제 및 증점제를 포함할 수 있지만, 이에 국한되는 것은 아니다.
- [0093] 다음으로, 상기 콘크리트 재료의 최적 배합에 대응하는 3D 콘크리트 프린터(200)의 최적 출력이 가능한 노즐 출력조건을 조절한다(S120). 여기서, 상기 노즐 출력조건은 노즐 형태, 노즐 이동속도 및 재료 분사속도를 포함할 수 있지만, 이에 국한되는 것은 아니다. 구체적으로, 상기 3D 콘크리트 프린터(200)는, 시멘트, 잔골재, 물, 혼화제 및 보강섬유로 이루어지는 콘크리트 재료를 공급하는 콘크리트 재료 공급부(210); 상기 콘크리트 재료 공급부(210)에서 공급되는 콘크리트 재료를 배합하여 토출하는 토출헤드(220); 상기 토출헤드(220)의 체결되어 상기 배합된 콘크리트 재료를 분사하는 노즐(230); 및 상기 토출헤드(220)를 X축, Y축 및 Z축으로 각각 이동하는 XYZ 이송기구(240)를 포함할 수 있지만, 이에 국한되는 것은 아니다.
- [0094] 다음으로, 3D 프린팅 적층기법에 따른 적층패턴을 최적화한다(S130).
- [0095] 다음으로, 합성교량 프로토타입(330)의 콘크리트 바닥판 최적 단면을 유한요소모델링 및 구조해석 기반으로 설계한다(S140).
- [0096] 다음으로, 3D 콘크리트 프린터(200)를 사용하여 상기 콘크리트 바닥판 형성을 위한 프리캐스트 세그먼트(310)를 3D 프린팅 출력한다(S150).
- [0097] 다음으로, 상기 출력된 프리캐스트 세그먼트(310)에 대응하는 조립부재(320)를 조합하여 합성교량 프로토타입(330)을 형성한다(S160). 구체적으로, 상기 조립부재(320)는, H 형태의 강재로서, 적어도 하나 이상의 프리캐스트 세그먼트(310)를 서로 연결하도록 측면에 조립되는 H형강(321); 리브전단연결재(Perfobond) 형태의 전단키로서, 콘크리트 부재인 상기 프리캐스트 세그먼트(310)와 강재인 상기 H형강(321)을 전단 연결하는 전단연결재(322); 상기 합성교량 프로토타입(330)의 길이방향으로 프리스트레싱 긴장력을 인가하기 위해 조립되는 긴장재(323); 및 상기 합성교량 프로토타입(330)의 양단부에서 상기 긴장재(323)를 정착시키는 정착부재(324)를 포함할 수 있지만, 이에 국한되는 것은 아니다.
- [0098] 다음으로, 상기 조립부재(320)와 프리캐스트 세그먼트(310)가 조합된 합성교량 프로토타입(330)에 대한 긴장력 평가 및 스케일 실험을 위해 디지털 트윈 모델을 구축한다(S170). 여기서, 상기 디지털 트윈 모델은 상기 합성교량 프로토타입 형성을 위한 3D 프린팅 적층하중으로 인한 국부적 형상결함을 분석하여 실스케일 합성교량에 대한 실스케일 응답을 예측할 수 있다.
- [0099] 다음으로, 상기 디지털 트윈 모델을 활용하여 상기 합성교량 프로토타입(330)을 실스케일 합성교량(400)으로 확장하기 위한 안정성 평가 및 모니터링을 수행한다(S180).
- [0100] 결국, 본 발명의 실시예에 따르면, 프리캐스팅 세그먼트의 공장-현장간 이동이 어려울 경우, 현장 제작을 위한 거푸집 등의 설비 구축 없이 3D 프린터의 현장 설치만으로도 합성교량을 제작할 수 있다. 즉, 3D 프린팅 콘크리트를 사용할 경우 건설현장 근처에 3D 프린터를 설치할 수 있는 좁은 공간을 확보하여 거푸집 조립-탈형 작업 없이 목적에 맞는 프리캐스트 세그먼트를 제작 및 조립함으로써 실스케일 합성교량을 용이하게 제작할 수 있다. 또한, 프리캐스트 세그먼트와 조립부재를 조합한 합성교량 프로토타입에 대해 디지털 트윈 모델을 활용하여 국부적 형상결함을 분석함으로써 실스케일 합성교량으로 용이하게 확장할 수 있다.
- [0101] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.
- [0102] 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

**부호의 설명**

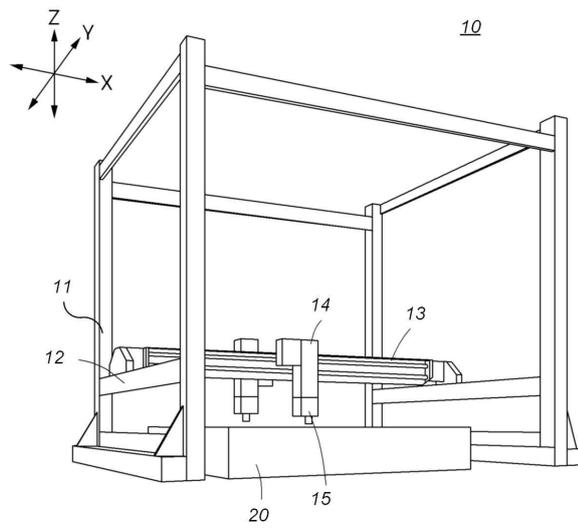
- [0103]
- 100: 합성교량 프로토타입 제작 관리장치
  - 110: 콘크리트 재료 배합 결정부
  - 120: 노즐 출력조건 조절부
  - 130: 적층패턴 설정부
  - 140: 콘크리트 바닥판 설계부
  - 150: 세그먼트 형상 설정부
  - 160: 3D 프린팅 출력 제어부
  - 170: 디지털 트윈 모델 구축부
  - 180: 프로토타입 평가부
  - 200: 3D 콘크리트 프린터
  - 210: 콘크리트 재료 공급부
  - 220: 토출헤드
  - 230: 노즐
  - 240: XYZ 이송기구
  - 310: 프리캐스트 세그먼트
  - 320: 조립부재
  - 330: 합성교량 프로토타입
  - 400: 실스케일 합성교량
  - 321: H형강
  - 322: 전단연결재
  - 323: 긴장재
  - 324: 정착부재

**도면**

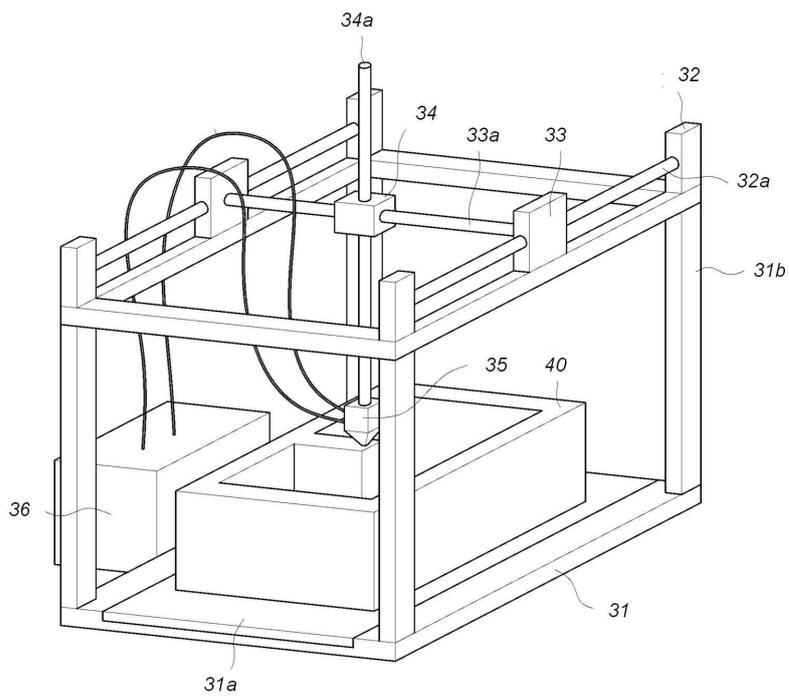
**도면1a**



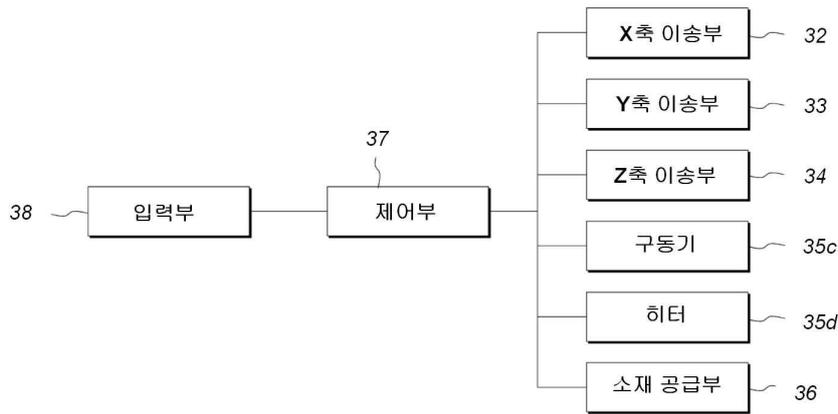
도면1b



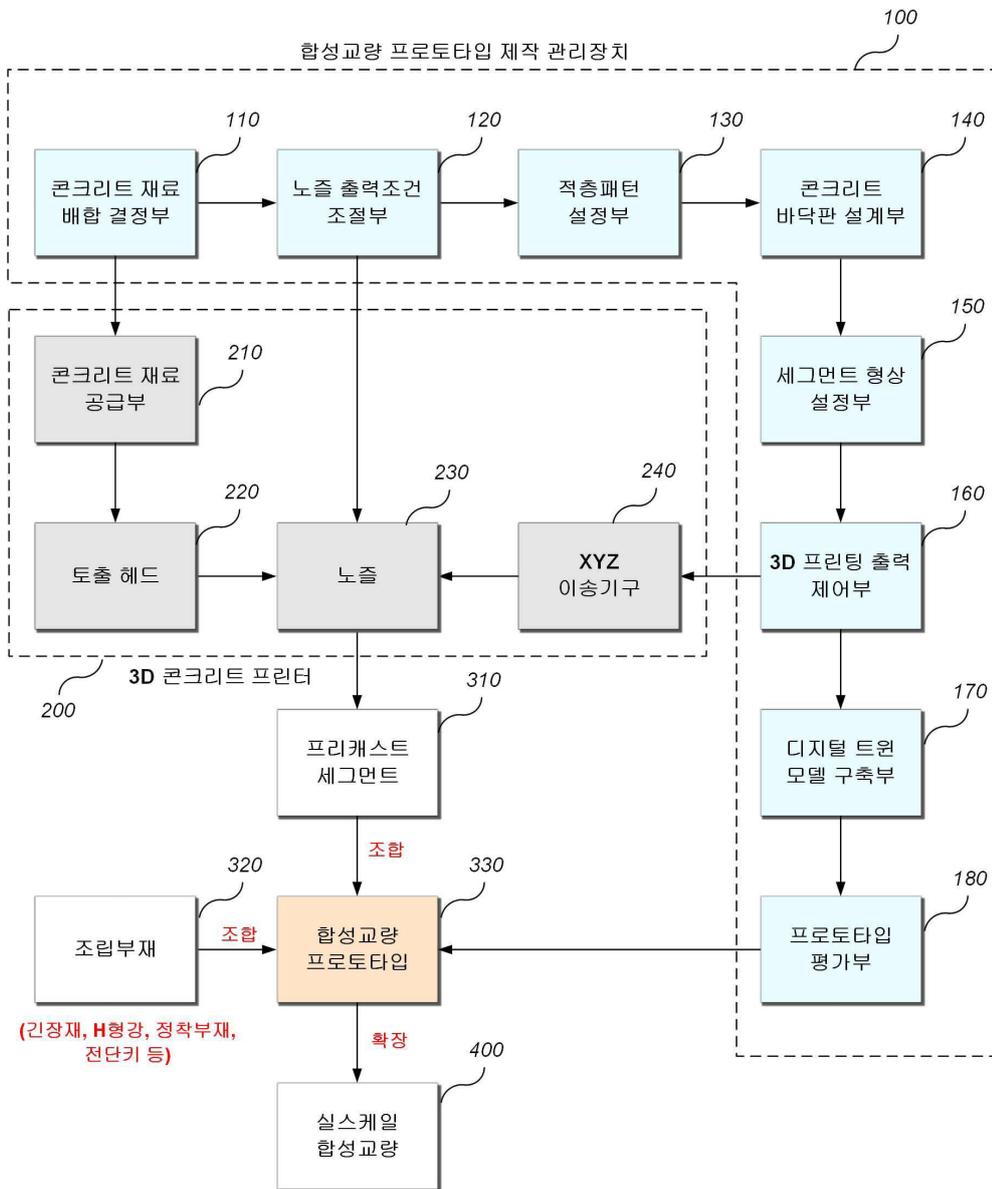
도면2a



도면2b



도면3



도면4

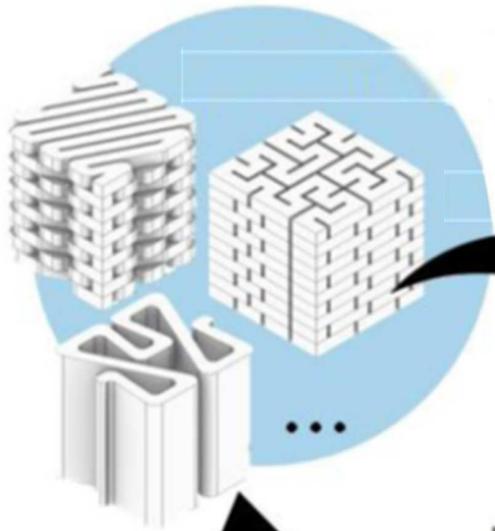


도면5

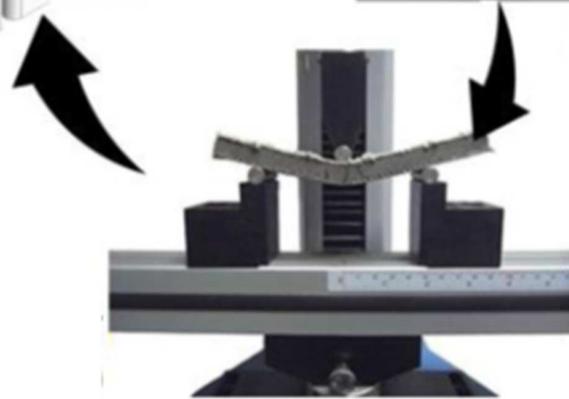


도면6

적층패턴 설계

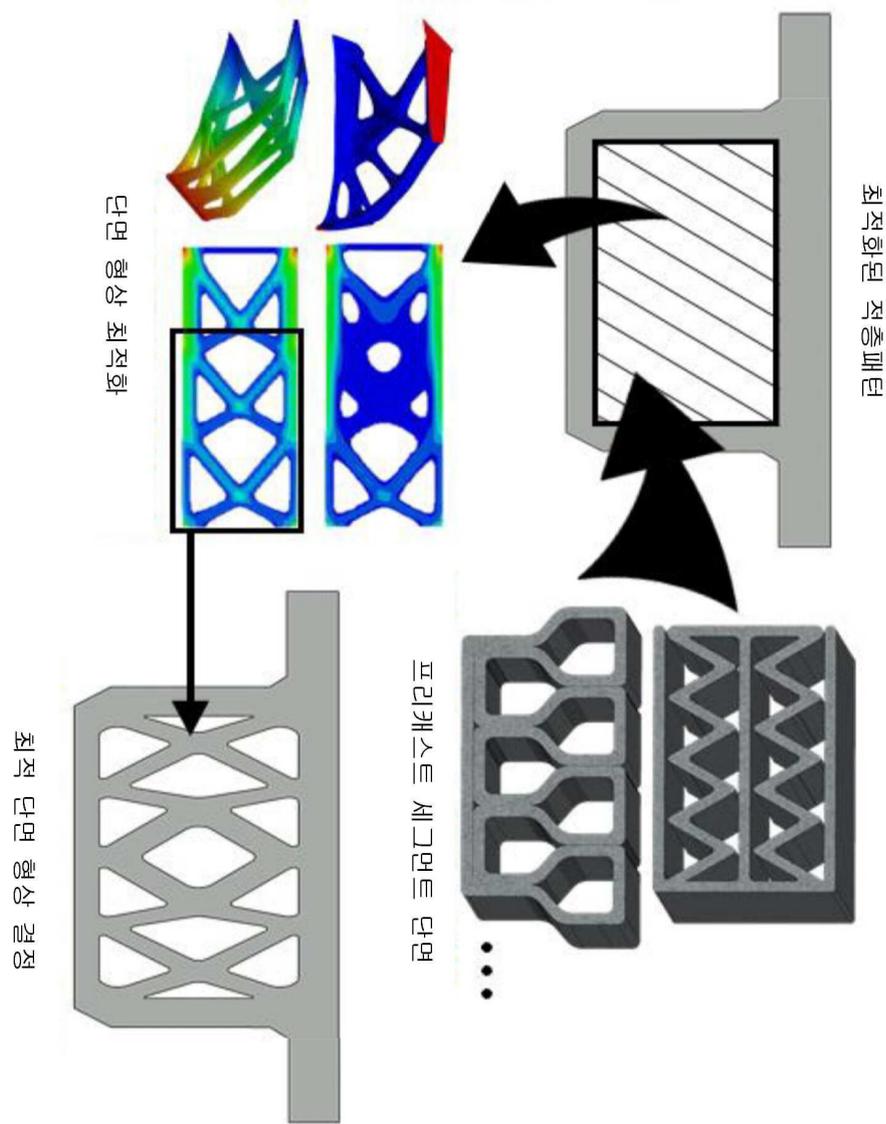


시편 제작

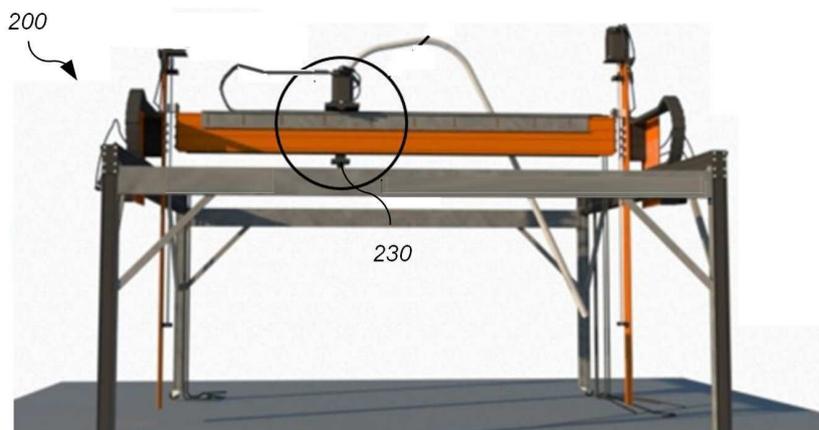


적층패턴 시편 성능평가

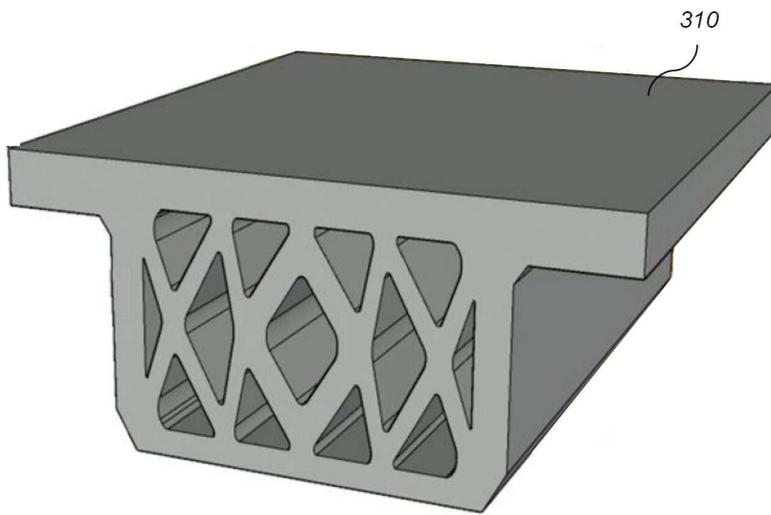
도면7



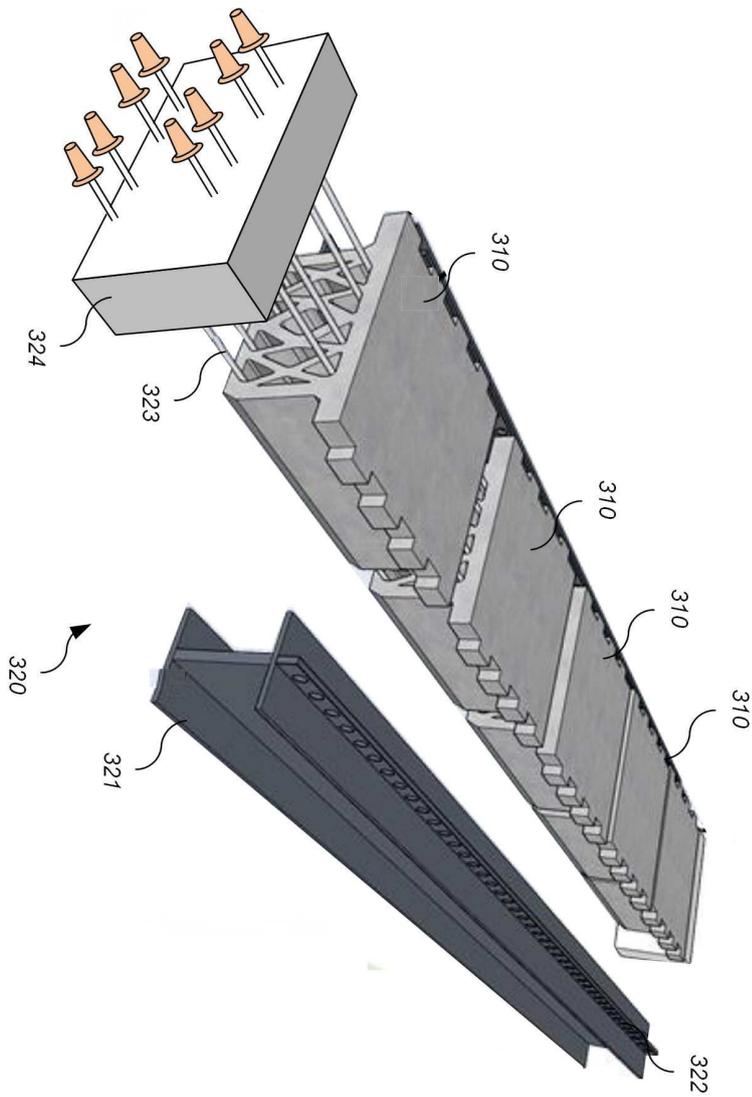
도면8



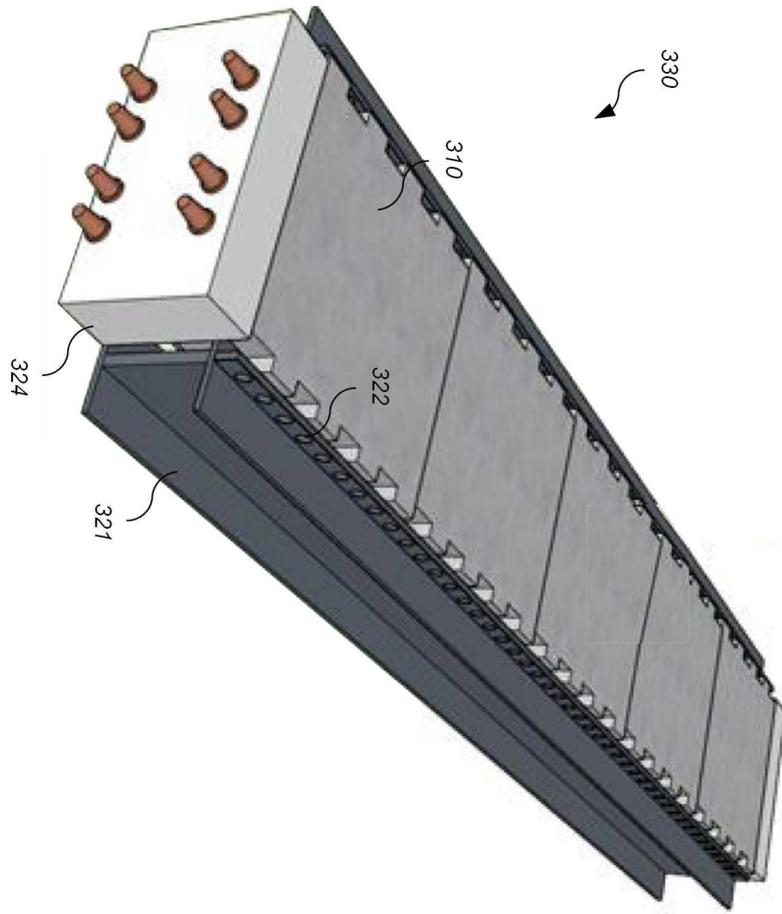
도면9



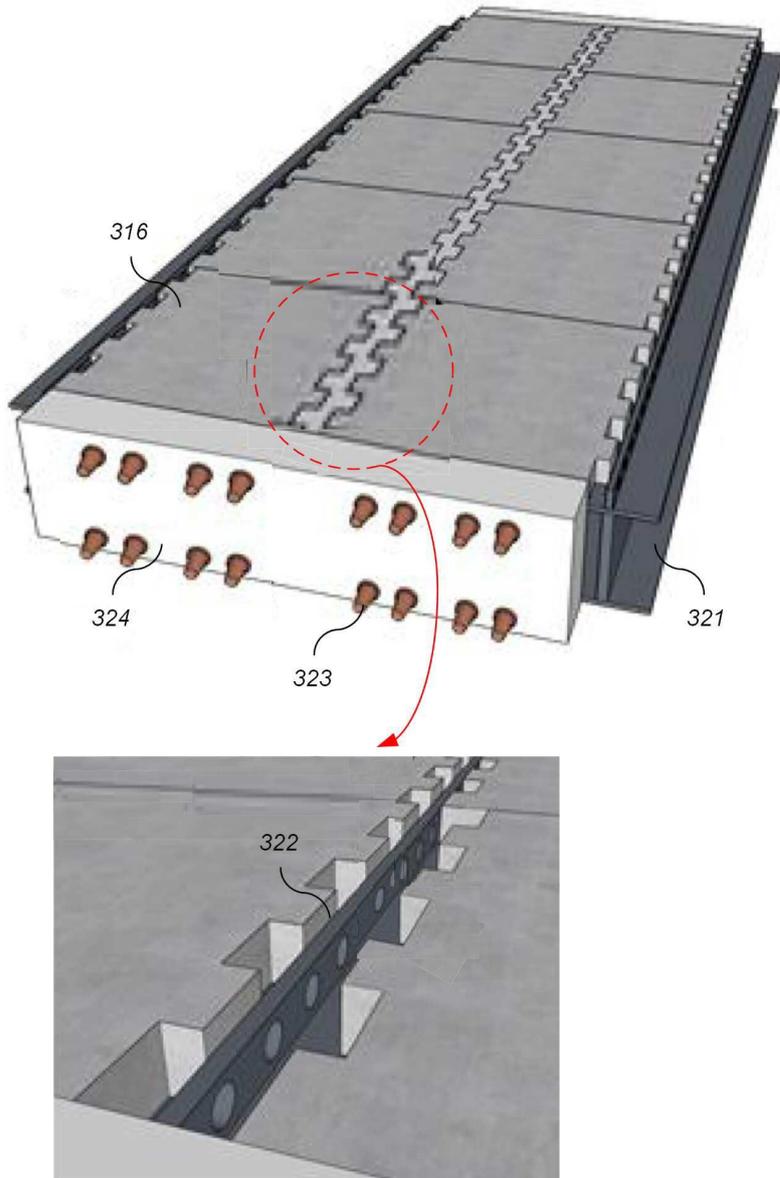
도면10



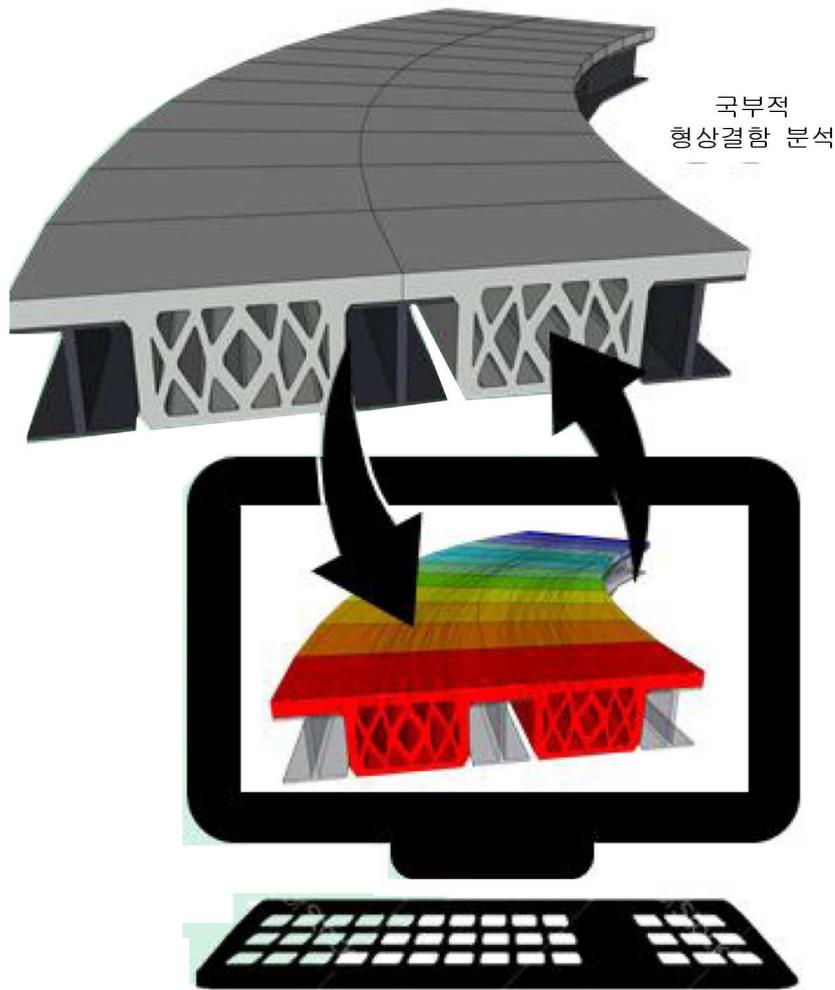
도면11



도면12



도면13



국부적  
형상결함 분석

디지털 트윈 모델 합성교량

도면14

