(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0100559
(43) 공개일자 2021년08월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*B29C 64/209* (2017.01) *B29C 64/227* (2017.01)
*B29C 64/30* (2017.01) *B33Y 30/00* (2015.01)
*B33Y 40/00* (2020.01)
(52) CPC특허분류
*B29C 64/209* (2017.08)
*B29C 64/227* (2021.08)
(21) 출원번호 10-2021-0017834
(22) 출원일자 2021년02월08일
심사청구일자 2021년02월08일
(30) 우선권주장
1020200014065 2020년02월06일 대한민국(KR)

(71) 출원인
**세종대학교산학협력단**
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
**곽관웅**
서울특별시 서초구 신반포로23길 41, 101동 502호(잠원동, 신반포2지구아파트)
**이창환**
서울특별시 광진구 아차산로25길 70, 205호 (화양동)
**박치홍**
서울특별시 도봉구 해등로 312-20, 402호(방학동, 북한산 팰리스 아파트)
(74) 대리인
**홍동우**

전체 청구항 수 : 총 10 항

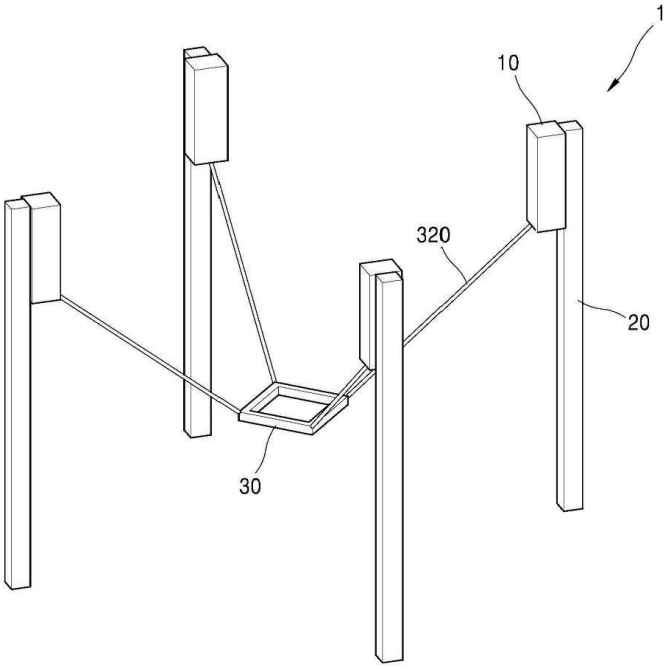
(54) 발명의 명칭 **케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 및 이의 제어 방법**

## (57) 요 약

본 발명은 건축물 프린팅 사이트의 외측에 수직 배치되는 버티컬 케이블 지지부(2v) 및 건축물 프린팅 사이트에 수평하며 상기 버티컬 케이블 지지부(2v)에 수직하게 연결 배치되는 호리즌탈 케이블 지지부(2h)를 포함하는 케이블 지지부(2c)와, 상기 케이블 지지부(2c) 측에 배치되는 유니트 하우징(100)과, 상기 유니트 하우징(100)에

(뒷면에 계속)

*대 표 도* - 도1



배치되는 유니트 구동부(200)와, 상기 유니트 구동부(200) 측과 연결되어 구동력을 전달하고 단부에 엔드이펙터(3c)가 연결되는 드럼 와이어(320)를 포함하는 유니트 드럼(300)과, 케이블 지지부(2) 측에 배치되는 하나 이상의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)와, 건축 프린팅 사이트에 프린팅되는 대상 건축물의 설계 정보 및 운영자의 운영 지시를 입력하는 입력부(50)와, 상기 입력부(50)를 통하여 입력되는 대상 건출물의 설계 정보 데이터 및 상기 드럼 와이어(320)에 인가되는 기준 장력 정보를 포함하는 사전 설정 데이터가 저장되는 저장부(30)와, 상기 드럼 와이어(320)에 인가되는 장력 및 길이를 감지하는 감지부(60)와, 상기 대상 건축물의 설계 정보 데이터 및 상기 감지부(60)의 상기 드럼 와이어 길이 정보에 기초하여, 상기 제어부(20)의 연산 제어 신호에 따라 상기 엔드이펙터(3c)의 위치를 산출하는 연산부(40)와, 상기 입력부(50)를 통하여 입력된 입력 정보, 상기 감지부(60)에서 감지되는 장력 정보와 길이 정보 및 상기 사전 설정 데이터에 기초하여 상기 장력 제어 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10) 중 장력 제어 실행하기 위한 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)을 선택하고, 다른 나머지 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)에 길이 제어를 실행하도록 제어 신호를 출력하는 제어부(20)를 포함하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 및 이의 제어 방법을 제공한다.

(52) CPC특허분류

*B29C 64/30* (2021.08)
*B33Y 30/00* (2013.01)
*B33Y 40/00* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

| | |
|---|---|
| 과제고유번호 | 1711086360 |
| 과제번호 | 2017R1A4A1015660 |
| 부처명 | 과학기술정보통신부 |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단 |
| 연구사업명 | 집단연구지원(R&D) |
| 연구과제명 | 병렬 케이블 로봇기반 건축물용 3D프린팅 기술 |
| 기 여 율 | 1/1 |
| 과제수행기관명 | 세종대학교 |
| 연구기간 | 2019.03.01 ~ 2020.02.29 |

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

건축물 프린팅 사이트의 외측에 수직 배치되는 버티컬 케이블 지지부(2v) 및 건축물 프린팅 사이트에 수평하며 상기 버티컬 케이블 지지부(2v)에 수직하게 연결 배치되는 호리즌탈 케이블 지지부(2h)를 포함하는 케이블 지지부(2c)와,

상기 케이블 지지부(2c) 측에 배치되는 유니트 하우징(100)과, 상기 유니트 하우징(100)에 배치되는 유니트 구동부(200)와, 상기 유니트 구동부(200) 측과 연결되어 구동력을 전달하고 단부에 엔드이펙터(3c)가 연결되는 드럼 와이어(320)를 포함하는 유니트 드럼(300)과, 케이블 지지부(2) 측에 배치되는 하나 이상의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)와,

건축 프린팅 사이트에 프린팅되는 대상 건축물의 설계 정보 및 운영자의 운영 지시를 입력하는 입력부(50)와,

상기 입력부(50)를 통하여 입력되는 대상 건출물의 설계 정보 데이터 및 상기 드럼 와이어(320)에 인가되는 기준 장력 정보를 포함하는 사전 설정 데이터가 저장되는 저장부(30)와,

상기 드럼 와이어(320)에 인가되는 장력 및 길이를 감지하는 감지부(60)와,

상기 대상 건축물의 설계 정보 데이터 및 상기 감지부(60)의 상기 드럼 와이어 길이 정보에 기초하여, 상기 제어부(20)의 연산 제어 신호에 따라 상기 엔드이펙터(3c)의 위치를 산출하는 연산부(40)와,

상기 입력부(50)를 통하여 입력된 입력 정보, 상기 감지부(60)에서 감지되는 장력 정보와 길이 정보 및 상기 사전 설정 데이터에 기초하여 상기 장력 제어 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10) 중 장력 제어 실행하기 위한 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)을 선택하고, 다른 나머지 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)에 길이 제어를 실행하도록 제어 신호를 출력하는 제어부(20)를 포함하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치.

### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 버티컬 케이블 지지부(2v)는 4개가 균등 이격 배치되고,

상기 호리즌탈 케이블 지지부(2h)는 상기 버티컬 케이블 지지부(2v)와 연결되는 구조를 취하고,

상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)는 상기 버티컬 케이블 지지부(2v) 측에 각각 1개씩, 그리고 호리즌탈 케이블 지지부(2h) 측에 1개 배치되는 것을 특징으로 하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치.

### 청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 제어부(20)는,

상기 5개의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10) 중 장력 제어 대상을 선택하는 장력 제어 셀렉션 제어부(21)와,

상기 장력 제어 선택된 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)의 드럼 와이어에 대한 장력 제어를 실행하는 장력 제어 실행 제어부(23)와,

상기 장력 제어 셀렉션 제어부(21)에서 선택되지 않는 다른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)의 드럼 와이어에 대한 길이 제어를 실행하는 길이 제어 실행 제어부(25)를 포함하는 것을 특징으로 하는 케이블 컨스트

럭션 프린팅 로봇 장치.

청구항 4

제 3항에 있어서,

케이블  컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)는, 상기 제어부(20)의 유니트 이송 제어 신호에 따라 상기 버티컬 케이블 지지부(2v)의 길이를 따라 상기 케이블  컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)를 가동시키는 유니트 무빙부(700)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 유니트 무빙부(700)는:

상기 버티컬 케이블 지지부(2v) 측에 배치되는 무빙 베이스(710)와,

상기 유니트 하우징(100) 측에 위치 고정되어 배치되고 상기 제어부(20)의 무빙 제어 신호에 따라 가동되는 무빙 구동부(720)와,

상기 무빙 구동부(720) 측에 연결되고, 상기 무빙 베이스(710)와 접촉하여 상기 무빙 구동부(720)의 가동시 상기 유니트 하우징(100) 측과 상기 버티컬 케이블 지지부(2v) 간에 상대 가동이 발생하도록 하는  것을 특징으로 하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 엔드 이펙터는 하나 이상의 노즐 구조의 프린팅 엔드 이펙터를 포함하는 것을 특징으로 하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치.

청구항 7

건축물 프린팅 사이트의 외측에 수직 배치되는 버티컬 케이블 지지부(2v) 및 건축물 프린팅 사이트에 수평하며 상기 버티컬 케이블 지지부(2v)에 수직하게 연결 배치되는 호리즌탈 케이블 지지부(2h)를 포함하는 케이블 지지부(2c)와, 상기 케이블 지지부(2c) 측에 배치되는 유니트 하우징(100)과, 상기 유니트 하우징(100)에 배치되는 유니트 구동부(200)와, 상기 유니트 구동부(200) 측과 연결되어 구동력을 전달하고 단부에 엔드이펙터(3c)가 연결되는 드럼 와이어(320)를 포함하는 유니트 드럼(300)과,  케이블 지지부(2) 측에 배치되는 하나 이상의 케이블  컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)와,  건축 프린팅 사이트에 프린팅되는 대상 건축물의 설계 정보 및 운영자의 운영 지시를 입력하는 입력부(50)와, 상기 입력부(50)를 통하여 입력되는 대상 건출물의 설계 정보 데이터 및 상기 드럼 와이어(320)에 인가되는 기준 장력 정보를 포함하는 사전 설정 데이터가 저장되는 저장부(30)와, 상기 드럼 와이어(320)에 인가되는 장력 및 길이를 감지하는 감지부(60)와, 상기 대상 건축물의 설계 정보 데이터 및 상기 감지부(60)의 상기 드럼 와이어 길이 정보에 기초하여, 상기 제어부(20)의 연산 제어 신호에 따라 상기 엔드이펙터(3c)의 위치를 산출하는 연산부(40)와, 상기 입력부(50)를 통하여 입력된 입력 정보, 상기 감지부(60)에서 감지되는 장력 정보와 길이 정보 및 상기 사전 설정 데이터에 기초하여 상기 장력 제어 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10) 중 장력 제어 실행하기 위한 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)을 선택하고, 다른 나머지 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)에 길이 제어를 실행하도록 제어 신호를 출력하는 제어부(20)를 포함하는 케이블  컨스트럭션 프린팅 로봇 장치를 제공하는 제공 단계(S1)와,

상기 감지부(60)가 상기 드럼 와이어(320)의 장력 및 길이를 감지하는 감지 단계(S10)와,

상기 제어부(20)가 상기 감지부(60)가 감지한 상기 드럼 와이어(320)의 장력 및 길이로부터 장력 제어 대상 드

럼 와이어(320)를 선택하는 장력 제어 셀렉션 단계(S20)와,

상기 장력 제어 셀렉션 단계(S20)에서의 셀렉션 결과에 따라 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)를 제어 실행하는 엔드 이펙터 제어 실행 단계(S30)를 포함하는 것을 특징으로 하는  케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 제어 방법.

**청구항 8**

제 7항에 있어서,

상기 엔드 이펙터 제어 실행 단계(S30)는:

상기 장력 제어 셀렉션 단계(S20)에서 선택된 장력 제어 대상 드럼 와이어(320)를 제어하는 장력 제어 실행 단계(S31)와,

상기 장력 제어 셀렉션 단계(S20)에서 선택된 장력 제어 대상 드럼 와이어(320) 이외 나머지 길이 제어 대상 드럼 와이어(320)를 길이 제어 실행하여 상기 엔드 이펙터(20)의 설계 위치 추종 제어를 실행하는 길이 제어 실행 단계(S33)를 포함하는 것을 특징으로 하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 제어 방법.

**청구항 9**

제 7항에 있어서,

상기 장력 제어 셀렉션 단계(S20)에서 선택되는 장력 제어 대상 드럼 와이어(320)는 2개인 것을 특징으로 하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 제어 방법.

**청구항 10**

제 9항에 있어서,

상기 장력 제어 셀렉션 단계(S20)에서는 감지된 장력값 중 하위 2개의 드럼 와이어(320)이 장력 제어 대상 드럼 와이어(320)로 선택되는 것을 특징으로 하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 제어 방법.

## *발명의 설명*

### *기 술 분 야*

[0001] 본 발명은 건설 로봇에 대한 것으로, 자중에 의한 중력 보상을 통한 End -Effector의 무게에 의해 발생하는 구동 토크의 보상과 케이블의 진동을 억제하는 케이블 로봇 구동부를 구비하는 중력 보상 구조와, 3차원 프린팅 공정을 통한 건축물 시공을 가능하게 하는 건축물 로봇 유니트, 건축물 로봇 장치 및 이의 제어 바법에 관한 것이다.

### *배 경 기 술*

[0002] 자동화된 건설은 컴퓨터로 제어되는 로봇을 이용하여 건축하는 방법이며, 20여 년 전에 연구가 시작되었다. 그리고 최근에는 자동화된 건설에 3D 프린팅과 같은 적층 공정을 적용하는 시도가 있었다. 3D프린터는 적층 공정의 대표적인 예로서 다양한 물질을 이용하여 복잡한 형상을 제작할 수 있다. 이러한 특성 덕분에 3D 프린터는 건물의 일부분을 자유롭게 제작하거나 복잡한 형상을 제작하는 도구로서 제안되었다. 그리고 건축물의 3D 프린팅을 위해서 갠트리 로봇, 로봇 매니퓰레이터, 그리고 케이블 로봇이 연구되고 있다. 하지만 갠트리 로봇과 로봇 매니퓰레이터는 큰 영역에 적용하기 어렵다는 문제점을 지니고 있다. 또한 두 로봇은 설치 및 해체가 어렵다는 어려움도 존재한다. 이를 극복하기 위해서 케이블 로봇이 건축물 3D 프린터가 제안되고 있다.

[0003] 케이블 로봇은 노즐이 부착된 말단 장치에 연결된 케이블의 길이를 제어하여 노즐의 위치 및 방위를 제어할 수 있다. 기존의 로봇과 달리 케이블 로봇은 무겁고 강인한 link들을 이용하는 대신에 작업공간의 확장이 쉽고 설

치 및 해체가 쉬운 케이블을 사용한다. 케이블 로봇은 케이블의 배치에 따라 다양한 형태로 제작될 수 있으며, 대표적으로 말단 장치가 공중에 매달린 형태로 케이블을 배치하는 suspended 타입과 말단 장치의 모든 자유도를 제어하기 위해서 6개 이상의 케이블을 사용하여 복잡하게 배치된 constrained 타입이 존재한다.

[0004] 케이블 로봇은 기존의 매니퓰레이터와 달리 강체로 이루어진 파트가 매우 적어 다양한 작업환경에 대응할 수 있다는 장점이 있다. 이를 이용하여 다양한 응용분야에 대한 연구가 진행 중이다. 특히 건축물과 같이 작업물의 크기가 일반적인 경우보다 매우 큰 경우 요구되는 작업공간의 크기가 커지므로 케이블 로봇의 적용 필요성이 증가하고 있다.

[0005] 케이블 로봇의 구동부는 구동 모터와 케이블이 감기는 드럼으로 구성된다. 구동 모터의 회전에 따라 드럼은 회전한다. 그리고 드럼의 회전에 따라 케이블의 길이가 조절된다. 케이블은 엔드이펙터에 연결되어 엔드이펙터의 위치를 결정한다.

[0006] 케이블은 케이블 로봇의 핵심 요소이며 로봇의 성능에 다양한 영향을 미친다. 케이블이 길어질수록 케이블의 탄성, 자중 그리고 외란에 의해서 케이블에 진동현상이 발생한다. 이 진동에 의해서 엔드이펙터도 진동하여 로봇의 정밀도에 악영향을 미친다. 이 진동 현상을 억제하기 위해서는 케이블의 장력을 증가시켜 강인함을 향상시키는 방법과 케이블의 진동을 직접적으로 감쇠하는 장치가 사용될 수 있다.

[0007] 진동 현상을 억제하기 위해서 케이블의 장력을 증가시킨다면 구동부에 요구되는 용량이 커지며, 구동부의 소모 동력이 증가한다. 따라서 강인함을 추가적으로 향상시키기 위해서는 모터의 용량 및 소모 동력을 증가시켜야 된다는 문제점이 발생한다. 케이블의 진동을 직접적으로 감쇠하는 장치가 사용된다면 이러한 문제점의 경감이 가능하다.

[0008] 진동억제를 위해 케이블의 장력을 증가시키는 것 이외에도 End-Effector의 무게에 의해서 구동 모터에 요구되는 용량 및 소모 동력이 증가할 수 있다. End-Effector의 무게에 의한 모터의 요구 용량 및 소모 동력을 감소시키기 위해서는 기존에 사용되는 중력보상 메커니즘이 매우 유효하다. 중력보상 메커니즘은 스프링을 사용하여 구조물의 자중을 경감하여 구동 모터의 용량 혹은 소모 동력을 감소시키는 효과를 지닌다. 주로 로봇 매니퓰레이터에 적용되며, 로봇의 자중을 스프링으로 지지하여 구동 모터의 부담을 경감하도록 도와주는데, 3차원 건축 시공을 위한  케이블 로봇에의 적용을 위해서 개량된 중력보상 메커니즘이 요구되고 있다.

[0009] 또한, 건축물의 3D 프린팅을 위해 연구되는 케이블 로봇의 대표적인 형태는 suspended 타입의 케이블 로봇이며, 노즐이 부착된 말단 장치를 4개 혹은 그 이상의 케이블로 공중에서 매달아서 케이블의 길이를 제어하여 말단 장치의 위치를 제어하는 형태이다. 이 형태는 구성이 쉽고 제어가 간단하다는 장점이 존재한다. 하지만 말단 장치가 공중에 매달린 형태이기에 외부의 바람과 같은 외란요소에 취약하다는 단점이 존재한다. 혹은 말단 장치의 6개의 모든 자유도를 케이블로 완벽히 제어하는 형태의 constrained 타입 케이블 로봇도 존재한다. 이 방법은 외란에 강인하며 말단 장치의 모든 자유도를 제어하기에 모든 위치 및 방위를 제어할 수 있다는 장점이 존재한다. 하지만 이 형태는 사용되는 케이블의 수가 많아 구조가 복잡하고 프린팅되는 건축물과 케이블간의 간섭이 발생하여 3D 프린팅이 불가능하다는 문제점이 있다.

## *발명의 내용*

### *해결하려는 과제*

[0010] 따라서, 본 발명은 케이블 로봇 내지 장치의 모터 용량을 최소화시키되 출력 동력을 최대화시키며 컴팩트한 구성을 가능하게 하는 카운터 밸런서를 구비하는 케이블 장치로서의 케이블  컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트 및 이를 구비하는 케이블  컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 및 이의 제어 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0011] 또한, 건축물의 3D 프린팅을 위해 연구되는 케이블 로봇의 대표적인 형태는 suspended 타입의 케이블 로봇이며, 노즐이 부착된 말단 장치를 4개 혹은 그 이상의 케이블로 공중에서 매달아서 케이블의 길이를 제어하여 말단 장치의 위치를 제어하는 형태이다. 이 형태는 구성이 쉽고 제어가 간단하다는 장점이 존재한다. 하지만 말단 장치가 공중에 매달린 형태이기에 외부의 바람과 같은 외란요소에 취약하다는 단점이 존재한다. 혹은 말단 장치의 6개의 모든 자유도를 케이블로 완벽히 제어하는 형태의 constrained 타입 케이블 로봇도 존재한다. 이 방법은 외란에 강인하며 말단 장치의 모든 자유도를 제어하기에 모든 위치 및 방위를 제어할 수 있다는 장점이 존재한다. 하지만 이 형태는 사용되는 케이블의 수가 많아 구조가 복잡하고 프린팅되는 건축물과 케이블간의 간섭이 발생하여 3D 프린팅이 불가능하다는 문제점을 해결하기 위하여 본 발명은 해결 수단을 제공하는 것을 목적으로 한다.

*과제의 해결 수단*

[0012] 전술한 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 유니트 하우징(100)과, 상기 유니트 하우징(100)에 배치되는 유니트 구동부(200)와, 상기 유니트 구동부(200) 측과 연결되어 구동력을 전달하는 드럼 와이어(320)를 포함하는 유니트 드럼(300)과, 상기 유니트 드럼(300)의 타측과 연결되는 밸런서 탄성부(410)의 초기 탄성력을 통하여 상기 드럼 와이어(320) 측에 초기 중력 보상력을 제공하는 유니트 카운터 밸런서(400)와, 일단이 상기 드럼 와이어(320)와 접촉하여 상기 드럼 와이어(320)의 가동을 안내하는 유니트 리스트레이너(500)를 포함하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)를 제공한다.

[0013] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트에 있어서, 상기 유니트 드럼(300)은, 일단은 상기 유니트 구동부(200)와 연결되고 외주에 상기 드럼 와이어(320)가 권취되는 드럼 바디(310)를 포함할 수도 있다.

[0014] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트에 있어서, 상기 유니트 카운터 밸런서(400)는: 상기 밸런서 탄성부(410)의 타측과 상기 유니트 드럼(310) 측 사이에 연결되는 밸런서 전달부(420)와, 상기 밸런서 탄성부(410)를 사이에 두고 상기 밸런서 전달부(420)와 대향 배치되고 상기 밸런서 탄성부(410)의 초기 탄성력을 조정하는 밸런서 모듈레이터(430)를 포함할 수도 있다.

[0015] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트에 있어서, 상기 밸런서 전달부(420)는 유성 기어 세트일 수도 있다.

[0016] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트에 있어서, 상기 밸런서 탄성부(410)는: 일단이 상기 밸런서 모듈레이터(430)와 연결되는 밸런서 탄성체(411)와, 일단은 상기 밸런서 탄성체(411)의 타단에, 그리고 타단은 상기 밸런서 전달부(420)에 연결되는 밸런서 탄성 플레이트(413)를 포함할 수도 있다.

[0017] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트에 있어서, 상기 밸런서 모듈레이터(430)는: 상기 밸런서 탄성부(410)와 연결되어 상기 밸런서 탄성부(410)의 초기 탄성력을 조정하는 밸런서 모듈레이터 전달 플레이트(435)와, 상기 밸런서 탄성부(410)의 초기 탄성력을 조정하기 위한 조정 구동력을 생성하는 밸런서 모듈레이터 구동부(431)와, 상기 밸런서 모듈레이터 구동부(431) 및 상기 밸런서 모듈레이터 전달 플레이트(435)의 사이에 배치되어 상기 밸런서 모듈레이터 구동부(431)의 조정 구동력을 상기 밸런서 모듈레이터 전달 플레이트(435)로 전달하는 밸런서 모듈레이터 전달부(433)를 포함할 수도 있다.

[0018] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트에 있어서, 상기 유니트 리스트레이너(500)는: 상기 드럼 와이어(320)와 상시 접촉 상태를 형성하는 리스트레이너 풀리(520)와, 상기 리스트레이너 풀리(520)의 회동을 지지하는 리스트레이너 바디(510)와, 일단이 상기 유니트 하우징(100)에 배치되고 타단은 상기 리스트레이너 바디(510)를 지지하는 리스트레이너 바디 서포터(530)를 포함할 수도 있다.

[0019] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트에 있어서, 상기 유니트 리스트레이너(500)는 회동을 디텐팅 동작시키는 리스트레이너 디텐트부(540)를 더 구비할 수도 있다.

[0020] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트에 있어서, 상기 리스트레이너 디텐트부(540)는: 상기 리스트레이너 풀리(520)의 외측면으로, 상기 리스트레이너 풀리(520)의 회동축의 길이 방향으로 연장 배치되는 부분의 회동 원주면 상에 요철 배치되는 리스트레이너 디텐트(541)와, 상기 리스트레이너 바디(510)의 단부의 내측면에 위치 고정되어 배치되고 상기 리스트레이너 디텐트(541)와 적어도 일부가 상시 접촉하는 리스트레이너 디텐트 탄성부(543)를 포함할 수도 있다.

[0021] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트에 있어서, 상기 리스트레이너 디텐트 탄성부(543)는: 상기 리스트레이너 바디(510)의 내측에 위치 고정되어 배치되는 리스트레이너 디텐트 탄성 지지부(5433)와, 상기 리스트레이너 디텐트 탄성 지지부(5433)에 연결되어 상기 리스트레이터 디텐트(541)를 향하여 돌출 배치되는 리스트레이너 디텐트 탄성 바디(5431)를 포함할 수도 있다.

[0022] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트에 있어서, 상기 리스트레이너 디텐트 탄성 바디(5431)와 상가 리스트레이너 디텐트 탄성 지지부(5433)는 일체형 구조를 취하고, 상기 리스트레이너 디텐트 탄성 바디(5431)의 양단에 상기 리스트레이너 디텐트 탄성 지지부(5433)가 배치될 수도 있다.

[0023] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트에 있어서, 상기 유니트 리스트레이너(500)는: 상기 드럼 와이어(320)와 상시 접촉 상태를 형성하는 리스트레이너 풀리(520)와, 적어도 일부가 상기 리스트레이너 풀리(520)의 회동을 지지하고, 적어도 다른 일부가 상기 유니트 하우징에 고정 배치되는 리스트레이너 바디(510;510a,510b)

와, 복수 개가 각각 이격되어 배치되되, 양단이 상기 리스트레이너 바디(510)에 연결되는 리스트레이너 바디 서포터(530)를 포함할 수도 있다.

[0024] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트에 있어서, 상기 리스트레이너 바디(510)는 이중 지지 구조를 취하되, 상기 리스트레이너 풀리(520)가 배치되는 리스트레이너 제 1 바디(510a)와, 상기 리스트레이너 제 1 바디(510a)에 이격되어 상기 유니트 하우징(100)에 위치 고정되어 배치되고, 상기 리스트레이너 바디 서포터(530;530a,530b,530c)를 통하여 상기 리스트레이너 제 1 바디(510a)를 지지하는 리스트레이너 제 2 바디(510b)를 포함할 수도 있다.

[0025] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트에 있어서, 상기 밸런서 전달부(420)와 상기 유니트 드럼(310) 사이에 배치되어, 상기 밸런서 전달부(420)의 회동축과 상기 유니트 드럼(310)의 회동축의 비동축선 상의 배치를 가능하게 하는 유니트 연결부(600)가 더 구비될 수도 있다.

[0026] 본 발명의 다른 일면에 따르면, 본 발명은 유니트 하우징(100)과, 상기 유니트 하우징(100)에 배치되는 유니트 구동부(200)와, 상기 유니트 구동부(200) 측과 연결되어 구동력을 전달하고 단부에 엔드이펙터(3,3a)가 연결되는 드럼 와이어(320)를 포함하는 유니트 드럼(300)과, 상기 유니트 드럼(300)의 타측과 연결되는 밸런서 탄성부(410)의 초기 탄성력을 통하여 상기 드럼 와이어(320) 측에 초기 중력 보상력을 제공하는 유니트 카운터 밸런서(400)와, 일단이 상기 드럼 와이어(320)와 접촉하여 상기 드럼 와이어(320)의 가동을 안내하는 유니트 리스트레이너(500)를 포함하고, 상기 유니트 카운터 밸런서(400)는: 상기 밸런서 탄성부(410)의 타측과 상기 유니트 드럼(310) 측 사이에 연결되는 밸런서 전달부(420)와, 상기 밸런서 탄성부(410)를 사이에 두고 상기 밸런서 전달부(420)와 대향 배치되고 상기 밸런서 탄성부(410)의 초기 탄성력을 조정하는 밸런서 모듈레이터(430)를 포함하고, 케이블 지지부(2) 측에 배치되는 하나 이상의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)와, 운영자의 운영 지시를 입력하는 입력부(50)와, 상기 유니트 탄성부(410)의 초기 탄성력에 대한 초기 탄성력 정보 및 상기 드럼 와이어(320)의 구동 정보를 포함하는 사전 설정 데이터가 저장되는 저장부(30)와, 상기 입력부(50)를 통하여 입력된 입력 정보 및 상기 사전 설정 데이터에 기초하여 상기 유니트 카운터 밸런서(400)의 초기 탄성력을 조정하거나 상기 드럼 와이어(320)의 가동을 제어하는 제어 신호를 출력하는 제어부(20)와, 상기 제어부(20)의 연산 제어 신호에 따라 상기 초기 탄성력 정보 및 상기 사전 설정 데이터에 기초하여 상기 유니트 카운터 밸런서(400)와 상기 유니트 구동부(200)에 인가되는 제어 신호를 산출하는 연산부(40)를 포함하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치를 제공한다,

[0027] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치에 있어서, 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)가 복수개일 수도 있다.

[0028] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치에 있어서, 상기 케이블 지지부(2,2a,2b)에는 상기 케이블 지지부(2;2a,2b)를 따라 가동 가능한 모션 블록(5)이 배치되고 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)는 상기 모션 블록(5)에 배치될 수도 있다.

[0029] 본 발명의 또 다른 일면에 따르면, 본 발명은 유니트 하우징(100)과, 상기 유니트 하우징(100)에 배치되는 유니트 구동부(200)와, 상기 유니트 구동부(200) 측과 연결되어 구동력을 전달하고 단부에 엔드이펙터(3,3a)가 연결되는 드럼 와이어(320)를 포함하는 유니트 드럼(300)과, 상기 유니트 드럼(300)의 타측과 연결되는 밸런서 탄성부(410)의 초기 탄성력을 통하여 상기 드럼 와이어(320) 측에 초기 중력 보상력을 제공하는 유니트 카운터 밸런서(400)와, 일단이 상기 드럼 와이어(320)와 접촉하여 상기 드럼 와이어(320)의 가동을 안내하는 유니트 리스트레이너(500)를 포함하고, 케이블 지지부(2) 측에 배치되는 하나 이상의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)와, 운영자의 운영 지시를 입력하는 입력부(50)와, 상기 유니트 탄성부(410)의 초기 탄성력에 대한 초기 탄성력 정보 및 상기 드럼 와이어(320)의 구동 정보를 포함하는 사전 설정 데이터가 저장되는 저장부(30)와, 상기 입력부(50)를 통하여 입력된 입력 정보 및 상기 사전 설정 데이터에 기초하여 상기 유니트 카운터 밸런서(400)의 초기 탄성력을 조정하거나 상기 드럼 와이어(320)의 가동을 제어하는 제어 신호를 출력하는 제어부(20)와, 상기 제어부(20)의 연산 제어 신호에 따라 상기 초기 탄성력 정보 및 상기 사전 설정 데이터에 기초하여 상기 유니트 카운터 밸런서(400)와 상기 유니트 구동부(200)에 인가되는 제어 신호를 산출하는 연산부(40)를 포함하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치를 제공하는 제공 단계(S10)와, 상기 제공 단계(S10)에서 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)의 드럼 와이어(320)에 형성되는 장력이 감지되고 감지 신호가 상기 제어부(20)로 전달되는 감지 단계(S20)와, 상기 제어부(20)가 감지된 장력 신호와 상기 저장부(30)에 저장되는 상기 사전 설정 데이터를 활용하여 상기 연산부(40)에 연산 제어 신호를 인가하고, 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)의 상기 드럼 와이어(320)에 형성되는 장력과, 상기 유니트 카운터 밸런서(400)에 의한 중력 보

상값을 포함하는 목적함수를 산출하는 목적 함수 산출 단계(S30)와, 상기 목적 함수 산출 단계(S30)에서 산출된 목적 함수 값을 사전 설정 데이터에 포함되는 사전 설정 기준값과 비교하여 목적 함수 값이 최적화되는 초기 중력보상값을 형성하도록 스프링의 최적화된 스프링의 초기 각도 값을 산출하는 최적 초기 각도 산출 단계(S40)와, 상기 제어부(20)가 상기 초기 각도 산출 단계(S40)에서 산출된 최적 초기 각도로 조정되도록 상기 밸런서 모듈레이터(430)에 조정 제어 신호를 인가하여 초기 중력 보상력을 조정하는 밸런서 조정 단계(S50)를 포함할 수도 있다.

[0030] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 제어 방법에 있어서, 상기 목적 함수(J)는:

[0031]

$$J=\sum_{i=1}^{t}\left\{F_i+\frac{\frac{k}{g}\left(\frac{b}{gr}-\theta_{ini}\right)^2}{r}\right\}^2$$

[0032] 여기서, $g,r,k>0$,

$F_i$ : 각 케이블의 장력
k : 스프링의 탄성 계수
g : 유성기어장치의 기어비
r : 드럼의 반지름
$b$ : 케이블의 길이
[0033] $\theta_{ini}$ : 스프링의 초기 각도,

[0034] 그리고, F는 각 드럼 와이어의 장력, t는 케이블 지지부(2)에 장착되는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)를 포함하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치로서의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치의 작업 공간을 메쉬(mesh)화하였을 때 각 메쉬의 고려된 모든 교점의 수일 수도 있다.

[0035] 본 발명의 다른 일면에 따르면, 본 발명은 3D 건설 프린팅 공정을 수행하는 노즐과, 상기 노즐을 지지하기 위한 수평 지지대 및 수직 지지대를 갖는 구조체와, 상기 수직 지지대의 길이를 따라 가동되는 수직 지지 무빙 유니트와, 상기 수직 지지 무빙 유니트에 구비되는 수직 드라이빙 유니트를 포함하는 드라이빙 유니트와, 상기 일단은 드라이빙 유니트에 권취 내지 풀림되고 타단에 상기 노즐이 배치되는 케이블을 포함하고, 상기 케이블은: 상기 수직 드라이빙 유니트에 권취 가능한 수직 드라이빙 케이블과, 상기 수평 지지대의 길이 상에 배치되고 수직 트라이빙 케이블이 이루는 평면에 수직하게 길이 배치되는 센터 드라이빙 케이블을 포함하는 3D 건설 프린팅 장치를 제공한다. 즉, 본 발명은 건축물 프린팅 사이트의 외측에 수직 배치되는 버티컬 케이블 지지부(2v) 및 건축물 프린팅 사이트에 수평하며 상기 버티컬 케이블 지지부(2v)에 수직하게 연결 배치되는 호리즌탈 케이블 지지부(2h)를 포함하는 케이블 지지부(2c)와, 상기 케이블 지지부(2c) 측에 배치되는 유니트 하우징(100)과, 상기 유니트 하우징(100)에 배치되는 유니트 구동부(200)와, 상기 유니트 구동부(200) 측과 연결되어 구동력을 전달하고 단부에 엔드이펙터(3c)가 연결되는 드럼 와이어(320)를 포함하는 유니트 드럼(300)과, 케이블 지지부(2) 측에 배치되는 하나 이상의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)와, 건축 프린팅 사이트에 프린팅되는 대상 건축물의 설계 정보 및 운영자의 운영 지시를 입력하는 입력부(50)와, 상기 입력부(50)를 통하여 입력되는 대상 건출물의 설계 정보 데이터 및 상기 드럼 와이어(320)에 인가되는 기준 장력 정보를 포함하는 사전 설정 데이터가 저장되는 저장부(30)와, 상기 드럼 와이어(320)에 인가되는 장력 및 길이를 감지하는 감지부(60)와, 상기 대상 건축물의 설계 정보 데이터 및 상기 감지부(60)의 상기 드럼 와이어 길이 정보에 기초하여, 상기 제어부(20)의 연산 제어 신호에 따라 상기 엔드이펙터(3c)의 위치를 산출하는 연산부(40)와, 상기 입력부(50)를 통하여 입력된 입력 정보, 상기 감지부(60)에서 감지되는 장력 정보와 길이 정보 및 상기 사전 설정 데이터에 기초하여 상기 장력 제어 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10) 중 장력 제어 실행하기 위한 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)을 선택하고, 다른 나머지 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)에 길이 제

어를 실행하도록 제어 신호를 출력하는 제어부(20)를 포함하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치를 제공한다.

[0036] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치에 있어서, 상기 버티컬 케이블 지지부(2v)는 4개가 균등 이격 배치되고, 상기 호리즌탈 케이블 지지부(2h)는 상기 버티컬 케이블 지지부(2v)와 연결되는 구조를 취하고, 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)는 상기 버티컬 케이블 지지부(2v) 측에 각각 1개씩, 그리고 호리즌탈 케이블 지지부(2h) 측에 1개 배치될 수도 있다.

[0037] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치에 있어서, 상기 제어부(20)는, 상기 5개의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10) 중 장력 제어 대상을 선택하는 장력 제어 셀렉션 제어부(21)와, 상기 장력 제어 선택된 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)의 드럼 와이어에 대한 장력 제어를 실행하는 장력 제어 실행 제어부(23)와, 상기 장력 제어 셀렉션 제어부(21)에서 선택되지 않는 다른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)의 드럼 와이어에 대한 길이 제어를 실행하는 길이 제어 실행 제어부(25)를 포함할 수도 있다.

[0038] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치에 있어서, 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)는, 상기 제어부(20)의 유니트 이송 제어 신호에 따라 상기 버티컬 케이블 지지부(2v)의 길이를 따라 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)를 가동시키는 유니트 무빙부(700)를 더 포함할 수도 있다.

[0039] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치에 있어서, 상기 유니트 무빙부(700)는: 상기 버티컬 케이블 지지부(2v) 측에 배치되는 무빙 베이스(710)와, 상기 유니트 하우징(100) 측에 위치 고정되어 배치되고 상기 제어부(20)의 무빙 제어 신호에 따라 가동되는 무빙 구동부(720)와, 상기 무빙 구동부(720) 측에 연결되고, 상기 무빙 베이스(710)와 접촉하여 상기 무빙 구동부(720)의 가동시 상기 유니트 하우징(100) 측과 상기 버티컬 케이블 지지부(2v) 간에 상대 가동이 발생하도록 할 수도 있다.

[0040] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치에 있어서, 상기 엔드 이펙터는 하나 이상의 노즐 구조의 프린팅 엔드 이펙터를 포함할 수도 있다.

[0041] 본 발명의 또 다른 일면에 따르면, 본 발명은 건축물 프린팅 사이트의 외측에 수직 배치되는 버티컬 케이블 지지부(2v) 및 건축물 프린팅 사이트에 수평하며 상기 버티컬 케이블 지지부(2v)에 수직하게 연결 배치되는 호리즌탈 케이블 지지부(2h)를 포함하는 케이블 지지부(2c)와, 상기 케이블 지지부(2c) 측에 배치되는 유니트 하우징(100)과, 상기 유니트 하우징(100)에 배치되는 유니트 구동부(200)와, 상기 유니트 구동부(200) 측과 연결되어 구동력을 전달하고 단부에 엔드이펙터(3c)가 연결되는 드럼 와이어(320)를 포함하는 유니트 드럼(300)과, 케이블 지지부(2) 측에 배치되는 하나 이상의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)와, 건축 프린팅 사이트에 프린팅되는 대상 건축물의 설계 정보 및 운영자의 운영 지시를 입력하는 입력부(50)와, 상기 입력부(50)를 통하여 입력되는 대상 건출물의 설계 정보 데이터 및 상기 드럼 와이어(320)에 인가되는 기준 장력 정보를 포함하는 사전 설정 데이터가 저장되는 저장부(30)와, 상기 드럼 와이어(320)에 인가되는 장력 및 길이를 감지하는 감지부(60)와, 상기 대상 건축물의 설계 정보 데이터 및 상기 감지부(60)의 상기 드럼 와이어 길이 정보에 기초하여, 상기 제어부(20)의 연산 제어 신호에 따라 상기 엔드이펙터(3c)의 위치를 산출하는 연산부(40)와, 상기 입력부(50)를 통하여 입력된 입력 정보, 상기 감지부(60)에서 감지되는 장력 정보와 길이 정보 및 상기 사전 설정 데이터에 기초하여 상기 장력 제어 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10) 중 장력 제어 실행하기 위한 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)을 선택하고, 다른 나머지 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)에 길이 제어를 실행하도록 제어 신호를 출력하는 제어부(20)를 포함하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치를 제공하는 제공 단계(S1)와, 상기 감지부(60)가 상기 드럼 와이어(320)의 장력 및 길이를 감지하는 감지 단계(S10)와, 상기 제어부(20)가 상기 감지부(60)가 감지한 상기 드럼 와이어(320)의 장력 및 길이로부터 장력 제어 대상 드럼 와이어(320)를 선택하는 장력 제어 셀렉션 단계(S20)와, 상기 장력 제어 셀렉션 단계(S20)에서의 셀렉션 결과에 따라 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)를 제어 실행하는 엔드 이펙터 제어 실행 단계(S30)를 포함하는 것을 특징으로 하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 제어 방법을 제공한다.

[0042] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 제어 방법에 있어서, 상기 엔드 이펙터 제어 실행 단계(S30)는: 상기 장력 제어 셀렉션 단계(S20)에서 선택된 장력 제어 대상 드럼 와이어(320)를 제어하는 장력 제어 실행 단계(S31)와, 상기 장력 제어 셀렉션 단계(S20)에서 선택된 장력 제어 대상 드럼 와이어(320) 이외 나머지 길이 제어 대상 드럼 와이어(320)를 길이 제어 실행하여 상기 엔드 이펙터(20)의 설계 위치 추종 제어를 실행하는 길이 제어 실행 단계(S33)를 포함할 수도 있다.

[0043] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 제어 방법에 있어서, 상기 장력 제어 셀렉션 단계(S20)에서 선택되

는 장력 제어 대상 드럼 와이어(320)는 2개일 수도 있다.

[0044] 상기 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 제어 방법에 있어서, 상기 장력 제어 셀렉션 단계(S20)에서는 감지된 장력값 중 하위 2개의 드럼 와이어(320)이 장력 제어 대상 드럼 와이어(320)로 선택될 수도 있다.

## *발명의 효과*

[0045] 상기한 바와 같은 구성을 갖는 본 발명에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트, 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 및 이의 제어 방법은 다음과 같은 효과를 갖는다.

[0046] 첫째, 본 발명에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트, 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 및 이의 제어 방법은, 구비되는 모터로 구현되는 구동부의 모터용량을 높이되 공간 및 중량을 최소화시켜 작동 성능을 극대화시키는 구조의 케이블 로봇의 구현을 가능하게 할 수 있다.

[0047] 둘째, 본 발명에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트, 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 및 이의 제어 방법은, 유니트 리스트레이너를 통한 드럼 와이어의 거동을 가이드 제한함으로써 진동 내지 원치 않는 거동을 인한 엔드이펙터 동작의 불안정성을 방지 내지 최소화시킬 수도 있다.

[0048] 셋째, 본 발명에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트, 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 및 이의 제어 방법은, 카운터 밸런서 모듈레이터를 통한 초기 중력 보상력을 조정함으로써 최적화된 동작 구현을 가능하게 할 수도 있다.

[0049] 넷째, 본 발명에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트, 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 및 이의 제어 방법은, 케이블을 통한 부하 저감으로 케이블을 구동시키는 구동 유니트의 출력을 경감시키고 하중 부담을 감소시켜 현장 적용성을 강화하고 비용 절감 구조를 이룰 수 있다.

[0050] 본 발명은 도면에 도시된 일실시예들을 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허 청구 범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

## *도면의 간단한 설명*

[0051] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트 및 이를 구비하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치의 개략적인 사시도이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트 및 이를 구비하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치의 개략적인 블록선도이다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트의 개략적인 사시도이다.

도 4 내지 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트 및 이를 구비하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치의 작동 조건에 따른 목적함수의 산출 선도이다.

도 7은 본 발명의 다른 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트의 개략적인 변형 구조이다.

도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트 및 이를 구비하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치의 제어 방법의 개략적인 흐름도이다.

도 9는 본 발명의 다른 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트 및 이를 구비하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치의 개략적인 사시도이다.

도 10은 본 발명의 다른 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트의 변형예의 개략적인 부분 투영 단면도이다.

도 11은 본 발명의 다른 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트의 유니트 리스트레이너의 변형예의 개략적인 부분 사시도이다.

도 12는 본 발명의 또 다른 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치의 개략적인 구성도이다.

도 13은 본 발명의 또 다른 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트의 개략적인 사시도이다.

도 14는 본 발명의 또 다른 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트 및 버티컬 케이블 지지부

의 배치 상태를 나타내는 사시도이다.

도 15는 본 발명의 또 다른 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트의 유니트 무빙부의 개략적인 구성도이다.

도 16은 본 발명의 또 다른 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트의 호리즌탈 케이블 지지부에 배치되는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트의 개략적인 사시도이다.

도 17은 본 발명의 또 다른 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치의 개략적인 구성도이다.

도 18은 본 발명의 또 다른 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치의 제어부에 대한 개략적인 구성도이다.

도 19는 본 발명의 또 다른 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치의 위치 궤적 추종을 위한 위치 궤적 경로의 선도이다.

도 20 내지 도 21은 본 발명의 또 다른 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치의 위치 궤적 추종 결과의 오차 선도이다.

도 23은 본 발명의 또 다른 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치의 노즐 타입으로 구현되는 엔드 이펙터의 구성도이다.

도 24 및 도 25는 본 발명의 또 다른 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치의 개략적인 제어 흐름도이다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0052] 이하에서는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트 및 이를 구비하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치에 대한 도면을 참조하여 설명하기로 한다. 본 발명의 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)는 자가 균형 탑승 로봇(M)을 안전성/안정성을 시험하기 위한 장치로서, 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)는 자가 균형 탑승 로봇(M)에 장착 탑재되어 테스트 실행되고, 해당 테스트 결과는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)를 통하여 확인될 수 있다.

[0053] 본 발명의 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)는 유니트 하우징(100)과, 유니트 구동부(200)와, 유니트 드럼(300)과, 유니트 카운터 밸런서(400)와, 유니트 리스트레이너(500)를 포함한다.

[0054] 유니트 하우징(100)은 다른 구성요소를 수용하기 위한 케이스 기능을 하는 구성요소로, 도 1에 도시된 바와 같이 유니트 하우징(100)은 본 실시예에서 장방형 사각 케이스로 구현된다.

[0055] 유니트 하우징(100)은 유니트 하우징 커버(도 1 참조)와 유니트 하우징 베이스(110)와 유니트 하우징 서포터(120)를 포함한다. 유니트 하우징 베이스(110)는 유니트 하우징 커버(미도시)와 맞물리어 내부 공간을 형성한다. 유니트 하우징 베이스(110)의 일면 상에는 유니트 하우징 서포터(120)가 배치되는데, 유니트 하우징 서포터(120)는 다른 회동 동작을 이루는 구성요소의 지지 내지 이들 회동축의 저널 베어링의 기능을 수행할 수도 있다.

[0056] 본 실시예에서 유니트 하우징 서포터(120)는 하기되는 유니트 카운터 밸런서(400)의 밸런서 탄성부(410)와 밸런서 전달부(420)의 사이에, 그리고 밸런서 전달부(420)와 유니트 드럼(300)의 사이에 배치되는 구성을 취하나, 이는 본 발명을 구현하기 위한 일예일 뿐, 본 발명의 유니트 하우징 서포터(120)의 배치 위치 및 개수는 설계 사양에 따라 다양한 구성을 취할 수 있다.

[0057] 유니트 하우징(100)의 내부에는 유니트 구동부(200)가 배치된다. 유니트 구동부(200)는 전기 모터로 구현되는데, 유니트 구동부(200)는 유니트 하우징 서포터(120)에 의하여 지지되고, 유니트 구동부(200)의 구동축(미도시)은 하기되는 유니트 드럼부(300) 측과 연결된다.

[0058] 유니트 구동부(200)는 하기되는 제어부(20)의 구동 제어 신호에 따라 가동되어 소정의 구동력을 생성하고, 생성된 구동력은 유니트 드럼부(300) 측으로 전달된다.

[0059] 유니트 드럼(300)는 유니트 구동부(200) 측과 연결되어 유니트 구동부(200)에서 생성된 구동력을 전달받아 외부로 출력하는데, 이러한 구동력의 출력은 유니트 드럼(300)의 드럼 와이어(320)를 통하여 이루어진다.

[0060] 보다 구체적으로, 유니트 드럼(300)은 드럼 와이어(320)와 드럼 바디(310)를 포함한다. 드럼 와이어(320)는 복

수 개의 스트랜드로 구성된 스틸 와이어어일 수도 있고, 탄소 섬유 내지 복합 강화섬유로 구성된 합성 와이어일 수도 있는 등 설계 사양에 따라 다양한 선택이 가능하다. 드럼 바디(310)는 회동축을 중심으로 드럼 와이어(320)가 권취될 수 있는 외주면을 갖는 원통형 구조로 형성된다.

[0061] 유니트 드럼(300)의 일단은 유니트 구동부(200)와 연결된다. 이들 구성요소간의 연결은 직결 방식을 취할 수도 있고, 경우에 따라 중심 축선을 달리하는 경우 커플러 등을 통하여 간접 연결되는 방식을 취할 수도 있는 등 설계 사양에 따라 다양한 변형이 가능하다.

[0062] 유니트 드럼(300)의 타단은 유니트 카운터 밸런서(400)의 밸런서 전달부(420)에 연결된다. 유니트 드럼(300)의 드럼 바디(310)는 앞서 기술한 바와 같이, 원통형 외주면 구조를 취하는데, 드럼 바디(310)는 드럼 메인 바디(311)와 드럼 사이드 바디(313)를 포함한다. 드럼 메인 바디(311)의 원통형 단면의 반경은 드럼 사이드 바디(313)의 반경보다 작은 값을 구비하여, 드럼 와이어(320)가 드럼 메인 바디(311)에 권취되는 경우 드럼 사이드 바디(313)를 통한 안내 동작을 이루어, 드럼 메인 바디(311) 외측으로의 이탈을 방지할 수 있다.

[0063] 유니트 카운터 밸런서(400)는 드럼 와이어(320) 측에 초기 중력 보상력을 제공하는데, 유니트 카운터 밸런서(400)는 밸런서 탄성부(410)를 포함하고, 밸런서 탄성부(410)는 이러한 초기 중력 보상력 제공을 이룬다.

[0064] 보다 구체적으로, 유니트 카운터 밸런서(400)는 초기 탄성력 제공을 통한 중력 보상 기능을 드럼 와이어(320)를 통하여 최종적으로 연결되는 구성물에 중력 보상력을 제공하는데, 유니트 카운터 밸런서(400)는 밸런서 탄성부(410)와 밸런서 전달부(420)와 그리고 밸런서 모듈레이터(430)를 포함한다.

[0065] 밸런서 탄성부(410)는 유니트 드럼(300)의 타측과 연결되고, 밸런서 탄성부(410)와 유니트 드럼(300) 사이에는 밸런서 전달부(420)가 배치되며, 밸런서 모듈레이터(430)는 밸런서 탄성부(410)의 단부로 유니트 드럼(300) 측과 연결되는 단부의 반대편 단부와 연결된다.

[0066] 본 실시예에서의 밸런서 탄성부(410)는 밸런서 탄성체(411)와 밸런서 탄성 플레이트(413)를 포함한다. 밸런서 탄성체(411)는 일단이 밸런서 모듈레이터(430)와 연결된다. 밸런서 탄성체(411)는 본 실시예에서 코일형 토션 스프링으로 구현되나, 유니트 드럼(300) 측 내지 유니트 드럼(300) 측과 연결되는 하기되는 밸런서 전달부(420)의 회동축에 대한 토션을 제공하는 범위에서 다양한 선택이 가능하다.

[0067] 밸런서 탄성 플레이트(413)는 일단이 밸런서 탄성체(411)의 타단에, 그리고 타단이 밸런서 전달부(420)에 연결된다. 밸런서 탄성 플레이트(413)는 본 실시예에서 원형 디스크 플레이트로 구현되는데, 이는 일예로서 토션 스프링으로 기능하는 밸런서 탄성체(411)와 회동축의 연결을 요하는 밸런서 전달부(420) 측의 연결을 이루는 범위에서 다양한 선택이 가능하다.

[0068] 밸런서 전달부(420)는 밸런서 탄성부(410)의 타측과 유니트 드럼(300) 측 사이에 연결되어 밸런서 탄성부(410) 측과 유니트 드럼(300) 측 사이에 변속 연결 상태를 형성할 수 있다. 즉, 유니트 드럼(300)의 축회동 속도와 밸런서 탄성부(410) 사이에 사전 설정 내지 조정 변속비로의 전달 상태를 형성하여 궁극적으로 양단에서의 사전 설정 내지 조정 토크비로의 토크 전달 내지 토크 전달 상태 형성을 이룰 수 있다. 본 실시예에서 유니트 드럼(300) 측의 회전 속도는 밸런서 탄성부(410) 측의 회전 속도보다 훨씬 큰 값을 갖고, 유니트 드럼(300) 측에 대한 밸런서 탄성부(410) 측의 토크비는 1보다 큰 값을 갖는다.

[0069] 따라서, 밸런서 전달부(420)는 양단에서의 속도비 내지 토크비의 변화를 이루는 범위에서 다양한 선택이 가능하나, 본 실시예에서의 밸런서 전달부(420)는 유전로 구현된다. 유성 기어 세트로 구현되는 밸런서 전달부(420)는 양단의 입력/출력 샤프트 사이에 유성 캐리어, 유성 선기어 내지 유성 플래네터리 기어등의 구성요소를 구비하는데, 이는 통성적인 유성 기어 세트의 구성을 취하는바 별도의 설명은 생략한다. 이와 같은 유성 기어 세트로 구현되는 밸런서 전달부(420)를 통하여 감속에 다른 토크비 변환 전달 구조를 통하여 안정적인 중력 보상 기능을 수행할수 있다.

[0070] 밸런서 모듈레이터(430)는 밸런서 탄성부(410)의 초기 탄성력을 조정한다. 즉, 밸런서 모듈레이터(430)는 밸런서 탄성부(410)를 사이에 두고 밸런서 전달부(420)와 대향 배치되는데, 밸런서 모듈레이터(430)는 소정의 동작을 통하여 밸런서 탄성부(410)의 초기 탄성력을 조정한다. 이와 같은 초기 탄성력의 조정 가능한 구성을 통하여 다양한 작동 환경에서의 적용을 가능하게 함으로서, 본 발명의 구성에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트 및 이를 구비하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치의 적용 범위 내지 범용성을 확장시킬 수도 있다.

[0071] 보다 구체적으로, 밸런서 모듈레이터(430)는 밸런서 모듈레이터 구동부(431)와 밸런서 모듈레이터 전달 플레이

트(435)와 밸런서 모듈레이터 전달부(433)를 포함한다.

[0072] 밸런서 모듈레이터 구동부(431)는 밸런서 탄성부(410)와 연결되는데, 밸런서 모듈레이터 구동부(431)는 전기모터로 구현되어 밸런서 탄성부(410)의 초기 탄성력을 조정하기 위한 조정 구동력을 생성한다.

[0073] 밸런서 모듈레이터 전달 플레이트(435)는 밸런서 탄성부(410)와 연결되어 밸런서 탄성부(410)의 초기 탄성력을 조정하는데, 밸런서 모듈레이터 전달 플레이트(435)는 단순 원형 디스크 플레이트로 구현되고, 일측이 밸런서 탄성부(410)의 밸런서 탄성체(411)와 연결되고, 타측은 밸런서 모듈레이터 구동부(431) 측, 보다 정확하게는 밸런서 모듈레이터 전달부(433) 측과 연결된다.

[0074] 밸런서 모듈레이터 전달부(433)는 밸런서 모듈레이터 구동부(431) 및 밸런서 모듈레이터 전달 플레이트(435)의 사이에 배치된다. 밸런서 모듈레이터 전달부(433)는 밸런서 모듈레이터 구동부(431)의 조정 구동력을 밸런서 모듈레이터 전달 플레이트(435)로 전달한다. 밸런서 모듈레이터 전달부(433)는 본 실시예에서 워엄 기어 세트로 구현되는데, 이는 일예일 뿐, 설계 사양에 따라 다양한 구성이 가능하다.

[0075] 한편, 본 발명의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)는 유니트 리스트레이너(500)를 포함한다. 유니트 리스트레이너(500)는 일단이 드럼 와이어(320)와 접촉하여 드럼 와이어(320)의 가동을 안내한다. 즉, 유니트 리스트레이너(500)는 드럼 바디(310)에 대하여 드럼 와이어(320)의 인출 내지 권취 동작이 이루어지는 경우 드럼 와이어(320)의 요동 내지 원치 않는 과도한 이동 동작 발생을 방지하는 접촉 가이드 요소로 구현된다.

[0076] 보다 구체적으로, 본 실시예에 따른 유니트 리스트레이너(500)는 리스트레이너 풀리(520)와 리스트레이너 바디(510)와 리스트레이너 바디 서포터(530)를 포함한다. 리스트레이너 풀리(520)는 드럼 와이어(320)와 상시 접촉 상태를 형성한다. 리스트레이너 풀리(520)는 스풀 타입 형상을 구비하는데, 길이 방향 상에서 중앙에서의 반경이 외측 단부 측에서의 반경보다 작은 값을 갖는 구성을 통하여 외면에 접촉하는 드럼 와이어(320)의 과도한 원치 않는 이탈을 방지할 수 있다.

[0077] 리스트레이너 바디(510)는 리스트레이너 풀리(520)의 회동을 지지하는데, 리스트레이너 풀리(520)는 본 실시예에서 'ㄷ'자 형상의 지지 구조를 형성한다. 'ㄷ'자 형상의 리스트레이너 바디(510)의 양단에 배치되는 부분에 리스트레이너 풀리(520)가 회동 가능 배치된다. 본 실시예에서의 리스트레이너 풀리(520)는 'ㄷ'자 형상의 리스트레이너 바디(510)의 양단에 배치되는 부분에 자유 회동 가능 배치되는 구성을 취하나, 본 발명이 이에 국한되는 것은 아니다.

[0078] 즉, 도 10에 도시된 바와 같이, 유니트 리스트레이너(500)는 회동을 디텐팅 동작시키는 리스트레이너 디텐트부(540)를 더 구비할 수도 있다. 리스트레이너 디텐트부(540)는 리스트레이너 디텐트(541)와 리스트레이너 디텐트 탄성부(543)를 포함한다.

[0079] 리스트레이너 디텐트(541)는 리스트레이너 풀리(520)의 외측면에 배치되는데, 리스트레이너 디텐트(541)는 리스트레이너 풀리(520)의 회동축의 길이 방향으로 연장 배치되는 부분의 회동 원주면 상에 요철 배치되는 구성을 취한다.

[0080] 리스트레이너 디텐트 탄성부(543)는 'ㄷ'자 형상의 리스트레이너 바디(510)의 단부의 내측면에 위치 고정되어 배치되는데, 리스트레이너 디텐트 탄성부(543)는 리스트레이너 디텐트 탄성 바디(5431)와 리스트레이너 디텐트 탄성 지지부(5433)를 포함하다.

[0081] 리스트레이너 디텐트 탄성 바디(5431)와 리스트레이너 디텐트 탄성 지지부(5433)는 일체형 구조를 취하는데, 단일의 스틸 편을 절곡시켜 제조하는 구조를 취할 수도 있고, 소정의 탄성 변형 가능한 플라스틱으로 사출 성형된 구조를 취할 수도 있는 등 다양한 변형이 가능하다.

[0082] 리스트레이너 디텐트 탄성 바디(5431)는 리스트레이너 디텐트 탄성 지지부(5433)의 사이에 배치되고 리스트레이터 디텐트(541)를 향하여 돌출 배치된다.

[0083] 리스트레이너 디텐트 탄성 바디(5431)는 양측에서 리스트레이너 디텐트 탄성 지지부(5433)에 의하여 리스트레이너 바디(510)의 내측에 위치 고정 장착된다. 리스트레이너 디텐트 탄성 지지부(5433)의 리스트레이너 바디(510)의 내측에 위치 고정 장착되는 구조는 삽입 구조일 수도 있고, 끼움 구조 내지 압입 구조일 수도 있는 등 설계 사양에 따라 변형이 가능하다.

[0084] 이와 같은 리스트레이너 디텐트 탄성 바디(5431)와 리스트레이너 디텐트(541)과의 접촉 구조를 통하여 리스트레이너 풀리(520)의 자유 회동을 인한 과도한 풀림 등을 최소화시키는 구성을 취할 수도 있는 등 다양한 구성이

가능하다.

[0085] 리스트레이너 바디 서포터(530)는 리스트레이너 바디(510)를 지지하는 구성을 취하는데, 리스트레이너 바디 서포터(530)는 일단이 유니트 하우징(100)에 배치되고 타단이 리스트레이너 바디(510)를 지지한다.

[0086] 리스트레이너 바디 서포터(530)는 본 실시예에서 소정의 강성 및 탄성을 갖는 토션 스프링 형태로 구현되는데, 리스트레이너 바디 서포터(530)는 드럼 와이어(320)에 대한 소정의 댐핑 기능을 제공하여 드럼 와이어(320)의 드럼 바디(310)에 대한 권취 내지 풀림 동작이 이루어지는 경우 원활한 가동을 안내하도록 할 수 있다.

[0087] 리스트레이너 바디 서포터(530)는 본 실시예에서 단일 토션 스프링으로 구현되나 리스트레이너 바디(510)를 소정의 변위 범위 내에서 가동 가능한 구조를 취하는 범위에서, 개수, 형상, 위치 등은 다양한 변형이 가능하다.

[0088] 즉, 도 11에 도시된 바와 같이, 리스트레이너 바디(510)는 이중 지지 구조를 취하되, 리스트레이너 제 1 바디(510a)는 리스트레이너 풀리(520)가 배치되고, 리스트레이너 제 2 바디(510b)는 리스트레이너 제 1 바디(510a)에 이격되어 유니트 하우징(100)에 위치 고정되어 배치되고 리스트레이너 바디 서포터(530;530a,530b,530c)를 통하여 리스트레이너 제 1 바디(510a)를 지지하는 구성을 취함으로써, 리스트레이너 풀리(520)와 접촉하는 드럼 와이어(320)의 3차원적 거동에 대한 소정의 강성을 갖는 탄성 변형 가능한 상태로서의 지지를 가능하게 함으로써 진동에 의한 드렁 와이어(320)에 연결되는 엔드이펙터(3,3a)의 동작 불안정성을 방지 내지 최소화시킬 수도 있다.

[0089] 상기 실시예에서 밸런서 전달부(420)와 유니트 드럼(310)은 직결되는 방식을 취하여 전체적 구성의 배치가 일축 장방형 배치 구성을 취하나, 본 발명이 이에 국한되는 것은 아니다. 즉, 컴팩트한 배치를 요하는 경우 본 발명의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)는 유니트 연결부(600)를 더 구비할 수 있는데, 도 7에 도시된 바와 같이, 유니트 연결부(600)는 밸런서 전달부(420)와 상기 유니트 드럼(310) 사이에 배치된다. 즉, 유니트 연결부(600)는 밸런서 전달부(420)의 회동축과 유니트 드럼(310)의 회동축의 비동축선 상의 배치를 가능하게 하는데, 유니트 연결부(600)는 본 실시예에서 베벨 기어 세트로 구현된다. 이러한 연결 구성요소인 유니트 연결부(600)의 배치 구조를 채택함으로써, 장방형 길이를 충족시키지 못하는 공간적 제약이 수반되는 경우 유니트 연결부(600)를 통한 배치 구성의 변화를 통하여 공간적 제약 조건을 극복하고 중력 보상 기능을 실행하도록 할 수도 있다.

[0090] 한편, 본 발명의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치(1)는 상기한 본 발명의 일실시예에 따른 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)를 포함하는데, 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)와 입력부(50)와 저장부(30)와 제어부(20)와 연산부(40)를 포함한다. 도 1에 도시된 바와 같이, 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)는 복수 개가 구비되어 복수 지점에 배치된다. 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치(1)는 케이블 지지부(2)를 포함하는데, 케이블 지지부(2)는 도 1에서 단순한 폴 샤프트로 구성되나 이는 단지 일예로서 다양한 변형이 가능하다.

[0091] 도 1에서 케이블 지지부(2)는 지면 상 4개의 지점에 각각 이격되어 독립 배치되는 폴 샤프트로 구현된다. 도면에서 도시되지는 않았으나, 케이블 지지부(2)는 연장 가능한 익스텐션 크레인 구조를 취할 수도 있고, 경우에 따라 별도의 지지 와이어(미도시)를 통하여 지지되는 구조를 취할 수도 있다.

[0092] 각각의 케이블 지지부(2)의 단부에는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)가 배치되고, 복수 개의 케이블 지지부(2)에 배치되는 각각의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)가 배치된다. 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)를 포함하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치(1)는 케이블 지지부(2)에 배치되는 하나 이상의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)와 더불어, 입력부(50)와 저장부(30)와 제어부(20)와 연산부(40)를 포함할 수 있다.

[0093] 입력부(50)는 운영자의 운영 지시를 입력하는 입력 수단으로 배치된다. 이러한 입력부(50)는 컴퓨터 장치의 입력 단말 장치로 구현될 수도 있고, 작업 현장에서 사용가능한 모바일 작업 가능 형태의 앱으로 구현될 수도 있는 등 설계 사양에 따라 다양한 구현이 가능하다.

[0094] 저장부(30)는 사전 설정 데이터 및 유니트 구동부의 작동 데이터가 저장될 수 있다. 여기서, 저장부(30)에 저장되는 사전 설정 데이터는 유니트 탄성부(410)의 초기 탄성력에 대한 초기 탄성력 정보 및 드럼 와이어(320)의 구동 정보를 포함한다.

[0095] 제어부(20)는 유니트 구동부(200)에 유니트 구동 제어 신호를 인가하거, 유니트 카운터 밸런서(400)에 조정 제어 신호를 인가한다. 즉, 제어부(20)는 입력부(50)를 통하여 입력된 입력 정보 및 사전 설정 데이터에 기초하

여 유니트 카운터 밸런서(400)의 초기 탄성력을 조정하는 조정 제어 신호를 인가하여 밸런서 모듈레이터 구동부(431)의 작동을 제어하거나 유니트 구동부(200)에 구동 제어 신호를 인가하여 유니트 구동부(200)와 연결되는 드럼 바디(310)에 권취되는 드럼 와이어(320)의 가동을 제어한다.

[0096] 연산부(40)는 제어부(20)와 연결되는데, 제어부(20)의 연산 제어 신호에 따라 초기 탄성력 정보 및 사전 설정 데이터에 기초하여 유니트 카운터 밸런서(400)와 유니트 구동부(200)에 인가되는 제어 신호를 산출한다.

[0097] 이러한 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치(1)는 입력부(50)를 통한 입력 신호를 받아 제어부(20)가 저장부(30)의 사전 설정 데이터 및 입력 신호에 따라 연산부(40)를 통한 소정의 연산 과정을 거쳐 구동 제어 신호를 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)의 유니트 구동부(200) 측으로 인가하여 드럼 와이어(320)의 작동 상태 제어가 가능하다.

[0098] 본 실시예에서 제어부(20), 연산부(40), 저장부(30) 등이 단수 개가 배치되는 구성을 취하였으나, 경우에 따라 이들도 복수 개가 각각의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트에 개별 배치되고 이들을 총합하여 제어하는 마스터 제어부의 기능을 별도의 제어부 내지 복수 개의 제어부 중 하나가 실행하는 방식을 취할 수도 있는 등 설계 사양에 따라 다양한 변형이 가능하다.

[0099] 한편, 본 발명의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치(1)는 밸런서 모듈레이터(430)의 동작 상태를 조정하는 조정 제어 방법을 구현할 수도 있다. 즉, 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치(1)의 제어 방법은, 제공 단계(S10)와, 감지 단계(S20)와, 목적 함수 산출 단계(S30)와, 최적 초기 각도 산출 단계(S40)와, 밸런서 조정 단계(S50)를 포함할 수 있다.

[0100] 먼저, 제공 단계(S10)에서 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)를 포함하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치(1)가 제공되는데, 앞선 기술 사항으로 대체하며, 중복된 기술은 생략한다. 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)를 포함하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치(1)가 제공된 후, 감지 단계(S20)가 실행된다. 감지 단계(S20)에서 제어부(20)는 드럼 와이어(320)에 형성되는 장력을 감지한다. 이러한 장력 감지는 별도의 인장 센서(미도시)를 통하여 이루어질 수도 있고, 드럼 와이어(320)가 권취되는 드럼 바디(310)에 연결되는 유니트 구동부(200)를 통하여 감지될 수도 있는 등 다양한 선택이 가능하다.

[0101] 그런 후, 제어부(20)는 목적 함수 산출 단계(S30)를 실행하는데, 목적 함수 산출 단계(S30)에서 제어부(20)는 감지된 장력 신호와 저장부(30)에 저장되는 사전 설정 데이터를 활용하여 연산부(40)에 연산 제어 신호를 인가하여 연산부(40)로 하여금 하나 이상의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)의 드럼 와이어(320)에 형성되는 장력과, 각각의 드럼 와이어(320)에 형성되는 유니트 카운터 밸런서(400)에 의한 중력 보상값으로 형성되는 목적함수를 산출한다.

[0102] 먼저, 장력 분석을 위해서 n은 드럼 와이어(케이블)의 수, F는 각 드럼 와이어의 장력, 그리고 J는 목적함수라고 하면, 목적 함수는 다음과 같이 표현될 수도 있다.

[0103]
$$J = \sum_{i=1}^{n} F_i$$
$$F_i \geq 0$$

[0104] 다만, 본 발명의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트는 유니트 카운터 밸런서를 통한 중력보상이 이루어지는바, 이를 방영하여 최적화를 통한 장력 분석 결과를 이용하여 중력 보상 메커니즘의 각 파라미터를 설계해야 한다. 즉, 이를 위해서 다음과 같은 목적 함수의 수정이 이루어진다.

[0105]

$$J=\sum_{i=1}^{t}\left\{F_i+\frac{\frac{k}{g}\left(\frac{b}{gr}-\theta_{ini}\right)^2}{r}\right\}^2$$

[0106]

[0107] 여기서, $g,r,k>0$,

$F_i$ : 각 케이블의 장력
k : 스프링의 탄성 계수
g : 유성기어장치의 기어비
r : 드럼의 반지름
$b$ : 케이블의 길이
$\theta_{ini}$ : 스프링의 초기 각도

[0108] ,

[0109] 여기서, 케이블 지지부(2)에 장착되는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)를 포함하는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치로서의 케이블 로봇으로서의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치의 작업 공간을 메쉬(mesh)화하여 각 메쉬의 교점에서의 평가함수를 모두 합산하게 되는데, t는 고려된 모든 교점의 수를 나타낸다.

[0110] 그런 후 목적 함수 값을 사전 설정 데이터에 포함되는 사전 설정 기준값과 비교하여 최적화되는 초기 중력보상값을 형성하도록 스프링의 최적화된 스프링의 초기 각도 값을 산출하는 최적 초기 각도 산출 단계(S40)가 실행되고, 제어부(20)는 산출된 최적 초기 각도로 조정되도록 밸런서 모듈레이터(430)에 조정 제어 신호를 인가하여 초기 중력 보상력을 조정하는 밸런서 조정 단계(S50)를 실행한다.

[0111] 도 4 내지 도 6은 작업 공간이 1.7m x 1.7 m x 2 m인 케이블 로봇에서 위 과정을 거쳐 중력보상 메커니즘을 설계했을 때의 효율을 시뮬레이션을 통해 나타낸 선도로서, x축과 y축은 각각 평면의 위치(단위 : 미터)이며, 높이가 0m, 1m, 그리고 2m 일 때의 효율을 나타낸다. 효율은 0~1로 표현하였으며, 효율이 1이면 100%의 효율(무동력)을 의미하는데, 본 실시예에서 중력 보상 메커니즘의 가동 범위는 300도에 달하며, 최대 90%의 고효율을 구현할 수 있고, 이러한 목적함수를 최적화시키는 최적 초기 각도 산출이 가능하다.

[0112] 한편, 앞선 실시예에서 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)가 복수 개가 구비되는 경우를 도시하였으나, 본 발명의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치(1)는 단일의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)를 구비하는 구성을 취할 수도 있다 즉, 도 10에 도시된 바와 같이, 케이블 지지부(2a,2b)에 배치되는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)가 가동 가능하게 배치되는 구성을 취할 수도 있는데, 이 경우 전체적 구조는 호이스트 타입으로 구현될 수도 있다. 모션 블록(5)은 케이블 지지부(2;2a,2b)를 따라 가동 가능하게 배치되고, 모션 블록(5)에 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)가 배치된다.

[0113] 모션 블록(5)에는 모션 블록 구동 모터(미도시) 및 모션 블록 구동 휠(미도시)이 배치되어, 모션 블록 구동 모터에서 인가되는 모션 블록 구동력은 모션 블록 구동 모터에 연결되는 모션 블록 구동 휠에 전달되고, 모션 블록 구동 휠의 회동 상태는 격자 내지 H자 형상으로 연결 배치되는 케이블 지지부(2a,2b)의 길이를 따라 마찰 구동되어 모션 블록(5)의 위치 이동을 발생시키고, 궁극적으로 모션 블록(5)에 배치되는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)의 위치 이동을 이룰 수도 있다.

[0114] 한편, 앞서 기술한 케이블 컨스트럭션 프린팅 유니트(10)는 건축물 공정을 위한 3차원 프린팅 공정에 사용되는데, 앞서 기술된 케이블 컨스트럭션 프린팅 유니트(10)의 카운터밸런서 등의 구성이 배제되는 등 일부 구성은 현장에서의 필요에 따라, 즉 설계 사양에 따라 다양한 변형이 가능하다. 또한, 본 발명의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치(10)는 앞서 기술된 4개 버티컬 지지 구조에서의 단순 케이블 지지 구조를 벗어나되 복잡한 제

어 구조를 배제한 간단하면서 파워풀한 케이블 제어 구조를 형성할 수도 있다.

[0115] 즉, 본 발명의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치(10)는 수평 및 수직 배치를 통한 보다 수월한 건축물 3차원 프린팅 공정이 가능하게 하는 구조를 취할 수도 있는데, 도 12에 도시된 바와 같이, 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치(10)는 케이블 지지부(2c)를 포함하는데, 케이블 지지부(2c)는 버티컬 케이블 지지부(2v)와 호리즌탈 케이블 지지부(2h)를 포함한다.

[0116] 버티컬 케이블 지지부(2v)는 건축물 프린팅 사이트의 외측에 수직 배치되고, 호리즌탈 케이블 지지부(2h)는 건축물 프린팅 사이트에 수평하며 버티컬 케이블 지지부(2v)에 수직하게 연결 배치되는데, 본 실시예에서, 호리즌탈 케이블 지지부(2h)는 십자 배치 구조를 형성하고 각각의 단부가 버티컬 케이블 지지부(2v)와 연결되는 구조를 취하는데, 이는 일예로서 수평/수직 배치 구조를 이루는 범위에서 다양한 선택이 가능하다.

[0117] 본 실시예에서의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)는 유니트 하우징(100)과, 유니트 구동부(200)와, 유니트 드럼(300)을 포함하고, 유니트 하우징(100)는 케이블 지지부(2c) 측에 배치되고, 유니트 구동부(200)는 유니트 하우징(100)에 배치되어 제어부(20)로부터의 구동 제어 신호에 따라 구동되어 유니트 드럼(300)의 가동을 단속한다. 유니트 드럼(300)는 유니트 구동부(200) 측과 연결되어 구동력을 전달하고 단부에 엔드이펙터(3c)가 연결되는 드럼 와이어(320)를 포함하며, 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)는 케이블 지지부(2) 측에 배치되는 하나 이상이 배치되는데, 본 실시예에서는 총 5개의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)가 배치된다.

[0118] 보다 구체적으로, 본 실시예에서 버티컬 케이블 지지부(2v)는 4개가 균등 이격 배치되고, 호리즌탈 케이블 지지부(2h)는 상기 버티컬 케이블 지지부(2v)와 연결되는 구조를 취한다. 즉, 지면에 수평한 방면에서 엔드 이펙터(20)의 외주에는 4곳이 각 분할되는 구조로 드럼 와이어(320)를 통하여 지지되고 각각의 드럼 와이어(320)는 버티컬 케이블 지지부(2v) 측에 배치되는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(100) 측과 연결된다.

[0119] 또한, 엔드 이펙터(20)의 상부는 호리즌탈 케이블 지지부(2h) 측에 배치되는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)과 드럼 와이어(320)를 통하여 연결된다.

[0120] 즉, 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10;10h,10v)는 버티컬 케이블 지지부(2v) 측에 각각 1개씩 총 4곳에서 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10;10v)가 배치되고, 그리고 호리즌탈 케이블 지지부(2h) 측에 1개의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10;10h)가 배치되어 총 5포인트 연결 구조를 취하여 최소한의 연결 구조로 바람, 충격 등과 같은 외부 교란 요소 들에 대한 원활한 제어를 통하여 엔드 이펙터(20)의 원활한 제어 구조를 형성할 수도 있다.

[0121] 한편, 본 발명의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치는 입력부(50)와, 저장부(30)와, 감지부(60)와, 연산부(40)와, 제어부(20)를 포함한다.

[0122] 입력부(50)는 건축 프린팅 사이트에 프린팅되는 대상 건축물의 설계 정보 및 운영자의 운영 지시가 입력되는데, 입력된 데이터들은 사전 설정 데이터 내지 운영 실시간 데이터로 전환되어 저장부(30)에 저장 가능하다.

[0123] 즉, 저장부(30)는 입력부(50)를 통하여 입력되는 대상 건출물의 설계 정보 데이터 및 드럼 와이어(320)에 인가되는 기준 장력 정보를 포함하는 사전 설정 데이터가 저장되며 제어부(20)와의 전기적 소통을 이룬다.

[0124] 감지부(60)는 드럼 와이어(320)에 인가되는 장력 및 길이를 감지하는데, 감지부(60)는 별도의 장력, 감지 길이를 개별적으로 감지하는 센서를 구비할 수도 있고, 경우에 따라 유니트 구동부(320) 자체의 동작 신호를 이용하여 길이 내지 장력의 연산 값을 활용할 수도 있으나, 본 실시에에서는 실제 감지부를 통하여 개별 물리 전기적 신호로 출력 되는 구조를 취한다.

[0125] 연산부(40)는 대상 건축물의 설계 정보 데이터 및 감지부(60)의 드럼 와이어 길이 정보에 기초하여, 제어부(20)의 연산 제어 신호에 따라 엔드이펙터(3c)의 위치를 산출하고, 이러한 산출 값을 통하여 제어부(20)는 현재 엔드 이펙터(3c)의 원활한 프린팅 공정 수행을 가능하게 한다.

[0126] 제어부(20)는 복수 개의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10), 즉 총 5개의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10) 중 사전 설정되는 개수로서의 2개의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)에 대하여 장력 제어를 실행하고, 나머지 3개의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)에 대하여 길이 제어를 실실행한다. 즉, 제어부(20)는 입력부(50)를 통하여 입력된 입력 정보, 감지부(60)에서 감지되는 장력 정보와 길이 정보 및 사전 설정 데이터에 기초하여, 장력 제어 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10) 중 장력 제어 실행하기 위한 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)을 선택하고, 다른 나머지 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니

트(10)에 길이 제어를 실행하도록 제어 신호를 출력한다.

[0127] 여기서, 제어부(20)는, 장력 제어 셀렉션 제어부(21)와, 장력 제어 실행 제어부(23)와, 길이 제어 실행 제어부(25)를 포함한다.

[0128] 장력 제어 셀렉션 제어부(21)는 5개의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10) 중 장력 제어 대상을 선택하는데, 장력 제어 셀렉션 제어부(21)는 본 실시예에서 장력 제어가 실행되는 2개의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)의 선정은 형성된 장력 중 하위 2개의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)에 대하여 실행되도록, 즉, 텐션이 상대적으로 낮은 두 개의 드럼 와이어(320)를 갖는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)에 대한 장력 제어를 실행하여 과도하지 않으면서 적절하면서 균형잡힌 제어 동작 구현을 가능하게 하도록 장력 감지 값의 하위 2개의 드럼 와이어(320)에 대한 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)를 선정하고, 나머지 드럼 와이어(320)에 대한 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)에 대하여는 길이 제어 실행 대상으로 분류한다. 여기서, 장력 제어 대상은 버티컬 지지 구조에 배치되는 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10v)에 대한 것으로 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10h)에 대하여는 본 실시예에서 상시 길이 제어 대상을 선정하는데, 경우에 따라 이에 국한되지 않고 다양한 설정이 가능하다.

[0129] 장력 제어 실행 제어부(23)는 장력 제어 선택된 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)의 드럼 와이어에 대한 장력 제어를 실행하는데, 본 실시예에서는 폐루프 구조를 통한 통상의 제어 구조, 예를 들어 PID 제어 구조를 취하였으나 이는 일예로서 설계 사양에 따라 다양한 변형이 가능하다.

[0130] 길이 제어 실행 제어부(25)는 길이 제어 선택된 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)의 드럼 와이어에 대한 길이 제어를 실행하는데, 대상 건축물의 설계 정보 데이터 및 현재의 엔드 이펙터(3c)의 위치 정보를 이용하여 역기구학을 통하여 산출된 위치 정보를 이용하여 폐루프 구조를 통한 통상의 제어 구조, 예를 들어 PID 제어 구조를 취할 수도 있는데, 앞서 장력 제어의 경우와 마찬가지로 이는 일예로서 설계 사양에 따라 다양한 변형이 가능하다.

[0131] 한편, 본 발명의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)는, 건축물 프린팅 사이트에서의 수직 가동을 보다 원활하게 하기 위한 구성요소를 더 구비할 수도 있다. 즉, 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)는 유니트 무빙부(700)를 더 포함할 수 있는데, 유니트 무빙부(700)는 제어부(20)의 유니트 이송 제어 신호에 따라 버티컬 케이블 지지부(2v)의 길이를 따라 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)의 유니트 하우징(100)을 가동시킨다.

[0132] 보다 구체적으로, 유니트 무빙부(700)는 무빙 베이스(710)와, 무빙 구동부(720)와, 무빙 전달부(730)를 포함한다.

[0133] 무빙 베이스(710)는 버티컬 케이블 지지부(2v) 측에 배치되고, 무빙 구동부(720)는 유니트 하우징(100) 측에 위치 고정되어 배치되고 제어부(20)의 무빙 제어 신호에 따라 가동되고, 무빙 전달부(730)는 무빙 구동부(720) 측에 연결되고, 무빙 베이스(710)와 접촉하여 무빙 구동부(720)의 가동시 유니트 하우징(100) 측과 버티컬 케이블 지지부(2v) 간에 상대 가동이 발생하도록 한다.

[0134] 본 실시예에서 무빙 베이스(710)는 랙 구조로, 그리고 무빙 전달부(730)는 무빙 구동부(720) 측에 연결되는 피니언 구조로 형성되는 구성을 취하는데, 경우에 따라 풀리 벨트 구조로 형성될 수도 있는 등 다양한 변형이 가능하다.

[0135] 또한, 이러한 건축물 프린팅 사이트에서 적용을 위하여 엔드 이펙터를 하나 이상의 노즐 구조의 프린팅 엔드 이펙터를 포함하는 구성을 취할 수 있는데, 프린팅 엔드 이펙터로 구현되는 엔드 이펙터(3c)는 단일 노즐 형태로 구현될 수도 있으나, 다중 노즐 형태로 구현될 수도 있다.

[0136] 도 23의 (a) 및 (b)로 도시된 바와 같이, 엔드 이펙터는 전체적으로 내지 부분적으로 노즐 형태를 취할 수 있고, 노즐은 단일 노즐, 또는 복수의 다중 노즐 형태를 취할 수도 있으며, 이를 통하여 프린팅 공정을 통한 건축물 형성을 위한 재료의 공급 토출 과정이 수행될 수 있으며, 이러한 엔드 이펙터 자체의 토출 공정 등은 제어부에서 위치 내지 장력 제어를 통한 위치 추종 후 내지 추종과 동시 엔드 이펙터 실행 제어 신호의 인가를 통하여 이루어질 수도 있다.

[0137] 또 한편, 본 발명의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치 제어 방법은 제공 단계(S1)와, 감지 단계(S10)와, 장력 제어 셀렉션 단계(S20)와, 엔드 이펙터 제어 실행 단계(S30)를 포함한다.

[0138] 먼저, 제공 단계(S1)에서 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치가 제공되는데, 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇

장치는 건축물 프린팅 사이트의 외측에 수직 배치되는 버티컬 케이블 지지부(2v) 및 건축물 프린팅 사이트에 수평하며 버티컬 케이블 지지부(2v)에 수직하게 연결 배치되는 호리즌탈 케이블 지지부(2h)를 포함하는 케이블 지지부(2c)와, 케이블 지지부(2c) 측에 배치되는 유니트 하우징(100)과, 유니트 하우징(100)에 배치되는 유니트 구동부(200)와, 유니트 구동부(200) 측과 연결되어 구동력을 전달하고 단부에 엔드이펙터(3c)가 연결되는 드럼 와이어(320)를 포함하는 유니트 드럼(300)과, 케이블 지지부(2) 측에 배치되는 하나 이상의 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)와, 건축 프린팅 사이트에 프린팅되는 대상 건축물의 설계 정보 및 운영자의 운영 지시를 입력하는 입력부(50)와, 입력부(50)를 통하여 입력되는 대상 건출물의 설계 정보 데이터 및 드럼 와이어(320)에 인가되는 기준 장력 정보를 포함하는 사전 설정 데이터가 저장되는 저장부(30)와, 드럼 와이어(320)에 인가되는 장력 및 길이를 감지하는 감지부(60)와, 대상 건축물의 설계 정보 데이터 및 감지부(60)의 드럼 와이어 길이 정보에 기초하여, 제어부(20)의 연산 제어 신호에 따라 엔드이펙터(3c)의 위치를 산출하는 연산부(40)와, 입력부(50)를 통하여 입력된 입력 정보, 감지부(60)에서 감지되는 장력 정보와 길이 정보 및 사전 설정 데이터에 기초하여 장력 제어 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10) 중 장력 제어 실행하기 위한 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)을 선택하고, 다른 나머지 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)에 길이 제어를 실행하도록 제어 신호를 출력하는 제어부(20)를 포함하는 구조임은 앞서 기술한 바와 동일한바 중복된 설명은 생략한다.

[0139] 제공 단계(S1)에서 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치가 제공된 후 감지 단계(S10)가 실행된다. 감지 단계(S10)에서 감지부(60)는 드럼 와이어(320)의 장력 및 길이를 감지한다. 감지 단계(S10)가 실행된 후, 장력 제어 셀렉션 단계(S20)가 실시되는데, 장력 제어 셀렉션 단계(S20)에서 제어부(20)는 감지부(60)가 감지한 드럼 와이어(320)의 장력 및 길이로부터 장력 제어 대상 드럼 와이어(320)를 선택한다.

[0140] 그런 후, 엔드 이펙터 제어 실행 단계(S30)가 실행되는데, 엔드 이펙터 제어 실행 단계(S30)에서 장력 제어 셀렉션 단계(S20)에서의 셀렉션 결과에 따라 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트(10)를 제어 실행한다.

[0141] 보다 구체적으로, 엔드 이펙터 제어 실행 단계(S30)는 장력 제어 실행 단계(S31)와, 길이 제어 실행 단계(S33)를 포함한다.

[0142] 장력 제어 실행 단계(S31)에서는 장력 제어 셀렉션 단계(S20)에서 선택된 장력 제어 대상 드럼 와이어(320)의 장력을 제어하고, 길이 제어 실행 단계(S33)에서는 장력 제어 셀렉션 단계(S20)에서 선택된 장력 제어 대상 드럼 와이어(320) 이외 나머지 길이 제어 대상 드럼 와이어(320)를 길이 제어 실행하여 엔드 이펙터(20)의 설계 위치 추종 제어를 실행한다.

[0143] 여기서, 앞서 기술한 바와 같이, 장력 제어 셀렉션 단계(S20)에서 선택되는 장력 제어 대상 드럼 와이어(320)는 2개이고, 장력 제어 셀렉션 단계(S20)에서 감지된 장력값 중 하위 2개의 드럼 와이어(320)이 장력 제어 대상 드럼 와이어(320)로 선택된다.

[0144] 이러한 과정 중, 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 장치의 엔드 이펙터(3c)의 위치를 제어하기 위해서는 엔드 이펙터(3c)와 드럼 케이블(320) 길이 사이의 관계를 도출하여 드럼 케이블(320)의 길이를 제어하여 엔드 이펙터(3c)의 위치를 결정하며, 이를 위해서 엔드 이펙터(3c)와 드럼 케이블(320) 길이 사이의 관계를 도출하는 기구학(Kinematics)를 적용한다면 아래의 3개의 식(식 1-3)이 도출되지만 기구학으로부터 도출된 식에 미지수는 총 6개(카테시안 좌표계의 3개의 축 방향 케이블 길이 벡터와 말단장치의 방위를 결정짓는 roll, pitch, 그리고 yaw)이므로 기구학 식을 풀 수 없는바, 엔드 이펙터(3c)의 위치를 제어하기 위해서는 케이블 길이(식 4)를 제어하여야 하므로 엔드 이펙터의 방위를 변화가 없다고 가정한다면 roll, pitch, 그리고 yaw를 0으로 입력하여 케이블의 길이 벡터를 계산해내고, 케이블 길이 벡터로부터 케이블 길이를 계산해낼 수 있는데, 실제로는 말단장치의 방위가 변화하므로 일반적인 말단 장치 위치 제어 방식으로는 말단장치의 방위 변화를 고려할 수 없으므로 말단장치의 정밀한 위치제어가 불가능하다.

[0145] $$q_x = x - d_x - \{R_{(roll,pitch,yaw)}r\}_x \quad (1)$$

[0146] $$q_y = y - d_y - \{R_{(roll,pitch,yaw)}r\}_y \quad (2)$$

[0147] $$q_z = z - d_z - \{R_{(roll,pitch,yaw)}r\}_z \quad (3)$$

[0148] $$length\,of\,cable = \sqrt{q_x^2 + q_y^2 + q_z^2} \quad (4)$$

[0149] 여기서,

[0150] 하첨자 x : 벡터의 x 성분

[0151] 하첨자 y : 벡터의 y 성분

[0152] 하첨자 z : 벡터의 z 성분

[0153] x : 말단장치의 x축 방향 위치

[0154] y : 말단장치의 y축 방향 위치

[0155] z : 말단장치의 z축 방향 위치

[0156] d : 케이블 로봇의 pole의 배치 및 크기와 관련된 설계변수 벡터

[0157] r : 말단장치 형상 및 크기와 관련된 설계변수 벡터

[0158] $R_{(roll, pitch, yaw)}$ : 좌표변환을 위한 회전행렬이며, 말단장치의 방위인 roll, pitch, yaw의 함수

[0159] q : 케이블의 길이 벡터

[0160] 본 발명의 경우 엔드 이펙터의 위치제어 문제를 해결하기 위해서 도 18에서와 같은 제어 알고리즘을 수행하는데, 수직한 배치 구조의 5번 케이블은 항상 케이블 길이 제어를 실시하고, 1~4번 케이블 중 2개의 케이블에는 케이블 길이 제어를, 나머지 케이블에는 케이블 장력 제어를 실시하는 하이브리드 제어 알고리즘으로 구현된다. 2개의 케이블에 장력제어를 실시하면 항상 당기는 힘을 생성하므로 기구학 해석에서 엔드 이펙터의 방위 변화가 없다고 가정하여 발생하는 케이블 길이 오차를 보상하게 되며, 만약 케이블 길이 오차가 보상되지 않는다면 엔드 이펙터의 위치 오차 뿐만이 아니라 케이블이 과도하게 당겨져 급격한 장력 증가가 발생하거나 케이블이 과도하게 풀어져 장력이 발생하지 않아서 케이블의 길이에 의한 제어가 불가능해지는바, 나머지 3개의 케이블은 길이 제어가 실시되어 기구학에서 방위 변화가 무시된 해석 결과대로 제어가 되므로 방위 변화가 없는 말단 장치의 위치 제어가 가능하다. 앞서 기술한 바와 같이, 장력 제어를 실시하는 케이블은 1~4번 케이블 중 장력이 가장 낮은 2개의 케이블이 선택된다.

[0161] 도 18에서와 같은 제어 알고리즘의 효과는 엔드 이펙터의 위치 제어 능력뿐만이 아니라 이와 연결된 드럼 케이블의 sagging effect(늘어짐 효과)의 보상을 통해 위치 제어 능력의 향상이 가능하다. 통상적으로 Sagging effect가 발생하면 케이블이 늘어지기에 엔드 이펙터를 원하는 위치에 이동시키기 위해 필요한 케이블의 길이에 변화가 발생하게 되며, 이 길이 변화를 정확히 예측하고 보상하는 것은 매우 어려운 일이며, 심지어 실시간 제어가 이루어지는 상황에서는 불가능한 일이다.

[0162] 따라서, 본 발명은 드럼 케이블에 일정 이상의 장력을 발생시켜 sagging effect를 보상하는 것으로, 케이블의 재질 및 길이에 따라 발생시켜야 되는 장력의 크기가 달라지지만, 대신 케이블의 길이 변화를 보상하는 가장 단순하고도 확실한 방법이며, 도 18에 도시된 제어 알고리즘은 장력 제어가 포함된 하이브리드 제어 알고리즘이며, 1~4번 케이블 중 가장 낮은 장력의 2개 케이블의 장력을 제어한다. 따라서 도 18로 제안된 제어 알고리즘을 사용한다면 케이블의 장력이 제어되어 sagging effect를 보상할 수 있으며, sagging effect의 보상을 통해 말단 장치의 위치 제어 능력 향상이 가능해진다.

[0163] 도 19 내지 도 22에는 본 발명의 장력, 길이 동시 하이드브리드 제어를 통하여 제어 과정의 수행 결과가 도시되는데, 도 19에 도시된 바와 같이, 엔드 이펙터의 기준 위치 궤적을 대략 1800초 동안 추종하도록 제어를 실시한 경우, 본 발명의 일실시예에 의한 장비는 엔드 이펙터의 작동영역이 가로 1m, 세로 1m, 그리고 높이 1m임에도 불구하고 도 20 내지 도 23에 도시된 바와 같이, 위치 오차가 1.5㎜를 넘지 않으며, 매우 낮은 수준을 유지함을 확인하였다.

[0164] 본 실시예에서 케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트는 3차원 건축물 프린트 공정에 대하여 적용되는 경우를 기술하였으나, 엔드 이펙터에 토출 노즐이 아닌 다른 구성이 배치되는 경우, 차량 외관 도색, 선박 외관 도색, 선박 외관 용접 등 다양한 분야에 적용 가능하다.

[0165] 상기 실시예들은 본 발명을 설명하기 위한 일예들로, 본 발명이 이에 국한되는 것은 아니고 다양한 변형이 가능하다.

## *부호의 설명*

[0166] 10...케이블 컨스트럭션 프린팅 로봇 유니트

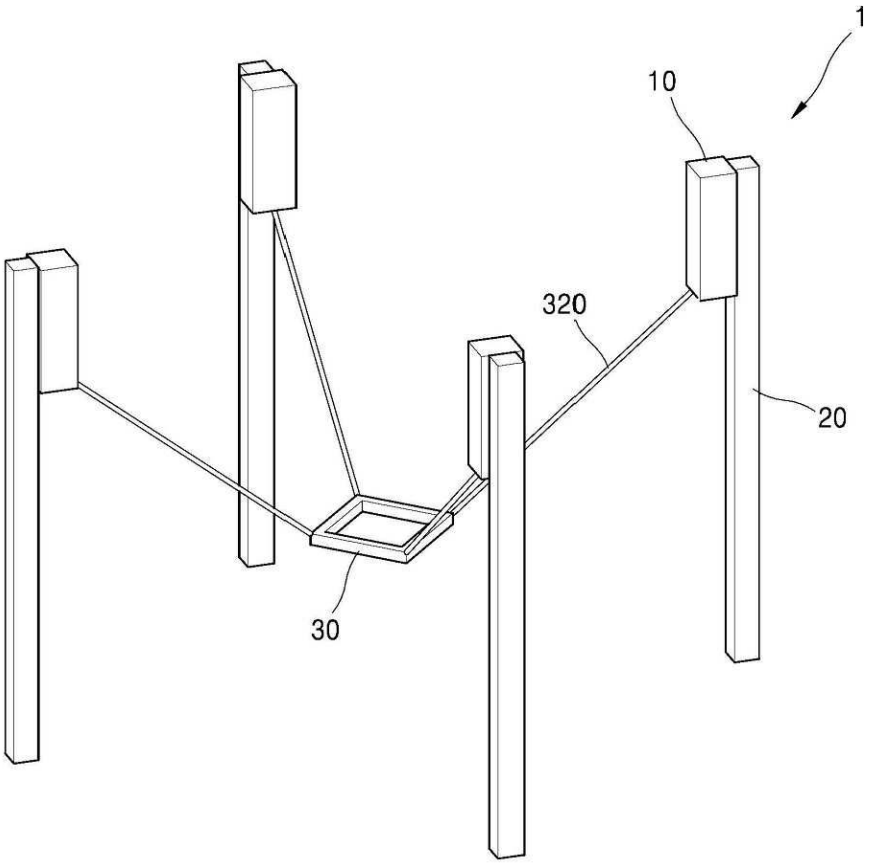
100...유니트 하우징

200…유니트 구동부 300…유니트 드럼

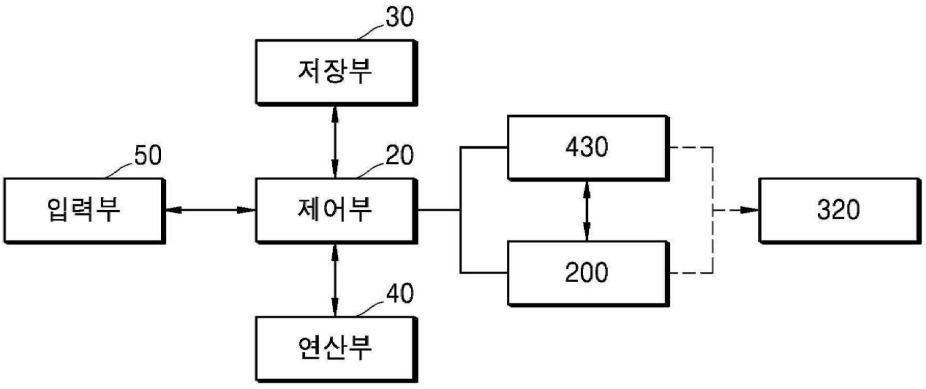
400…유니트 카운터 밸런서 500…유니트 리스트레이너

## 도면

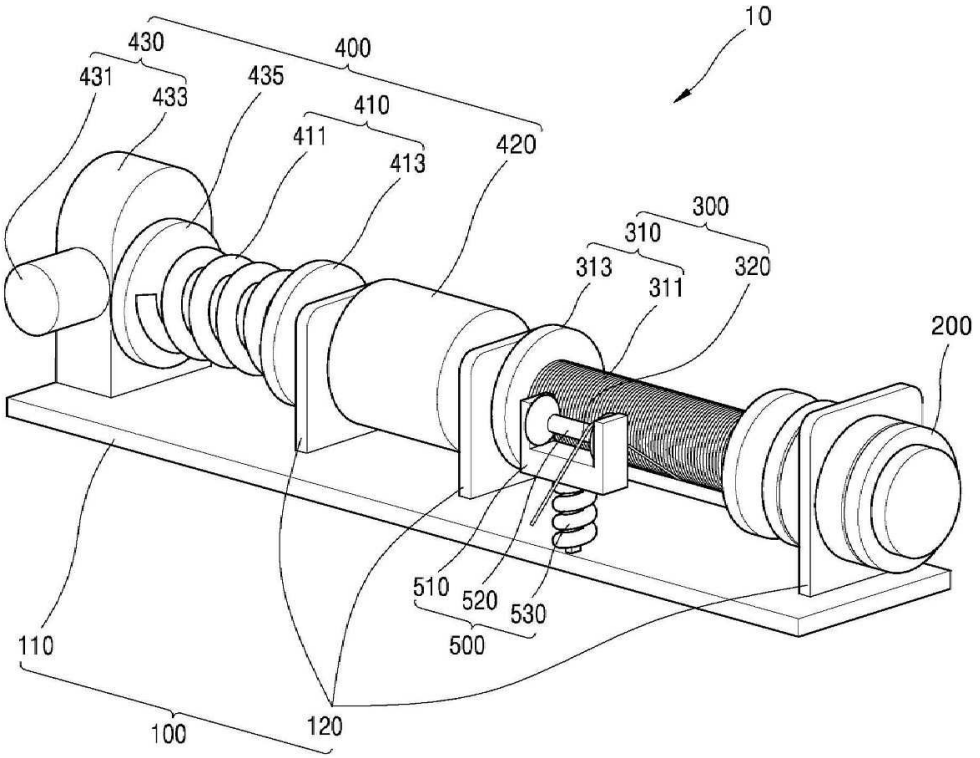
### 도면1



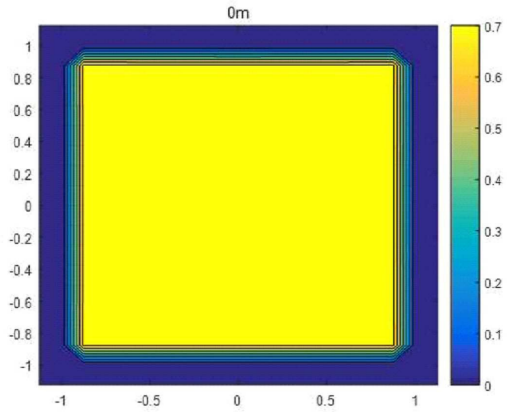

### 도면2



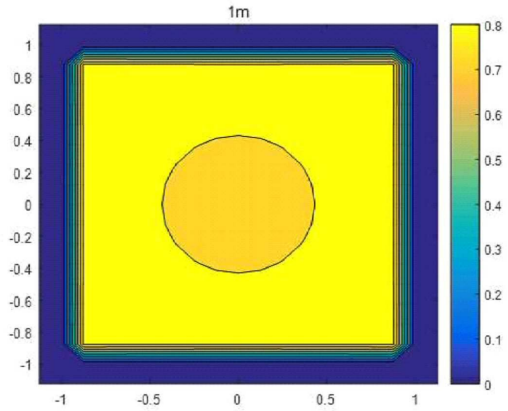
도면3


10
430
400
431
433
435
410
411
413
420
300
310
313
311
320
200
510
520
530
500
110
100
120

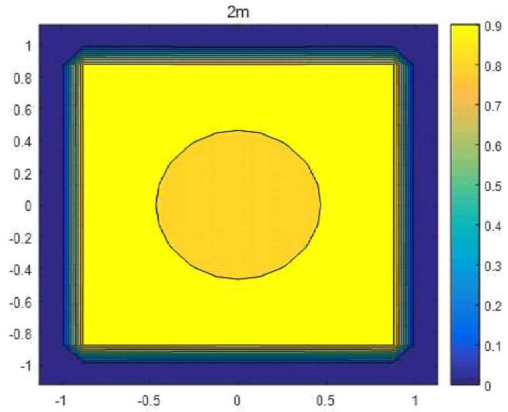
도면4


0m
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
-1
-0.5
0
0.5
1
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0

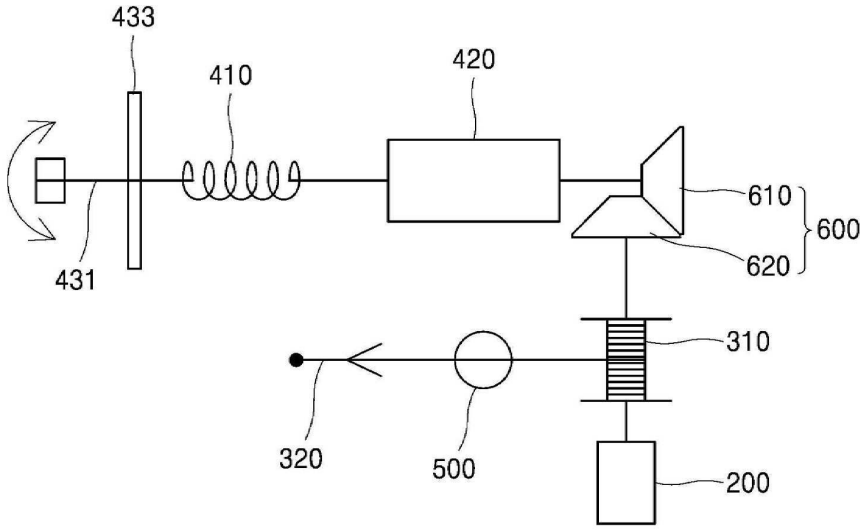
도면5


1m
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
-1
-0.5
0
0.5
1
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0

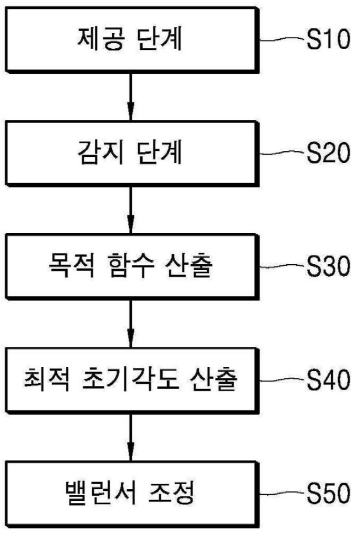
도면6


2m
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
-1
-0.5
0
0.5
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0

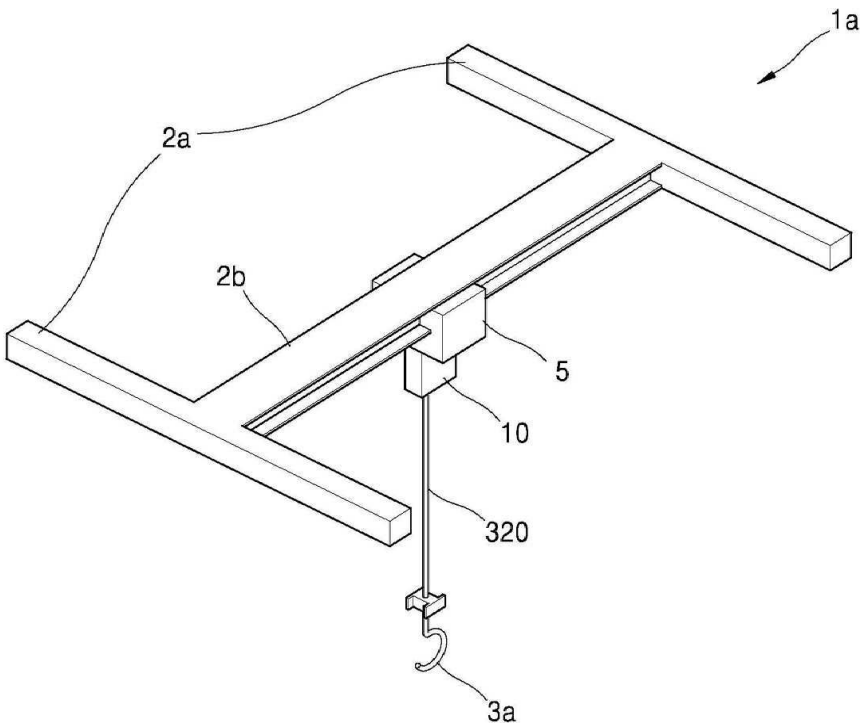
도면7


433
410
420
610
600
620
431
310
320
500
200

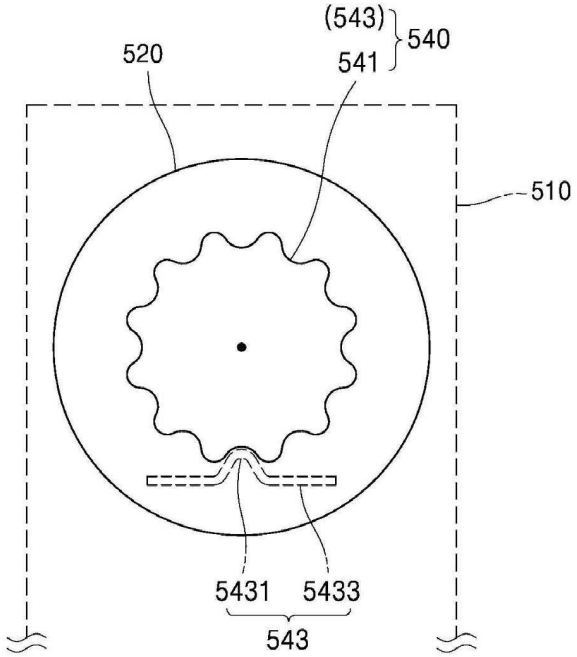
도면8


제공 단계
S10
감지 단계
S20
목적 함수 산출
S30
최적 초기각도 산출
S40
밸런서 조정
S50

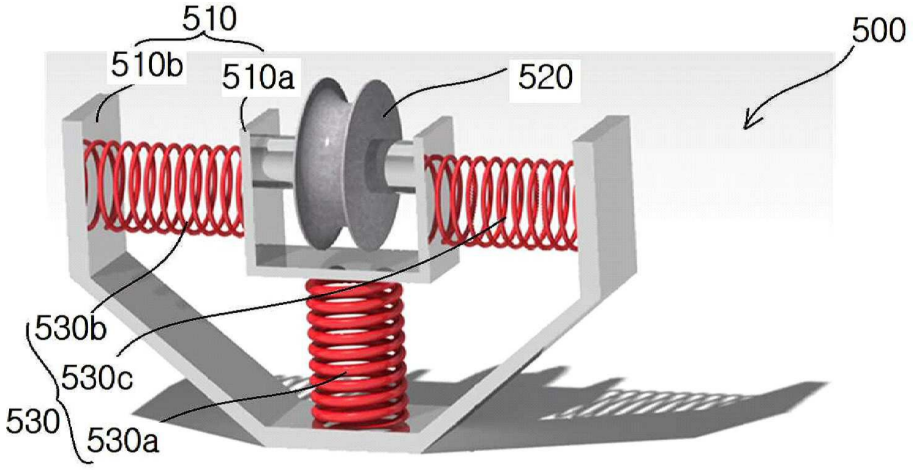
도면9


1a
2a
2b
5
10
320
3a

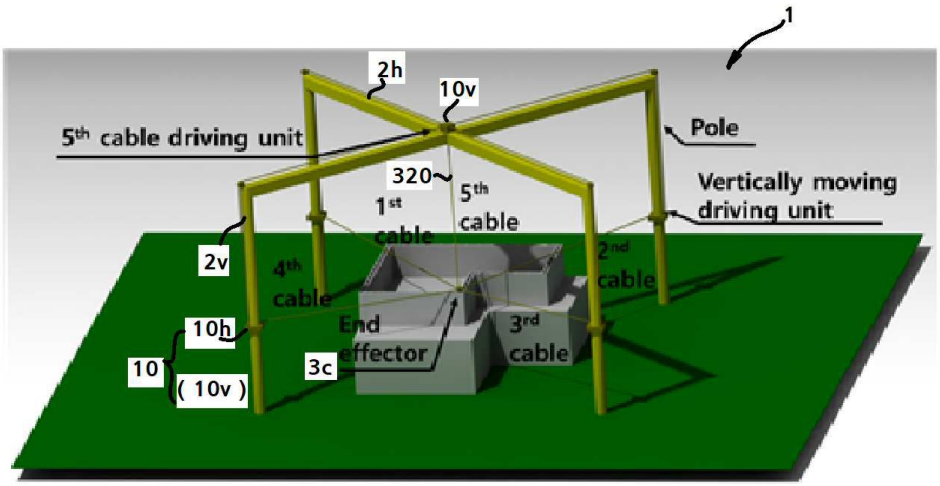
도면10


(543)
540
520
541
510
5431
5433
543

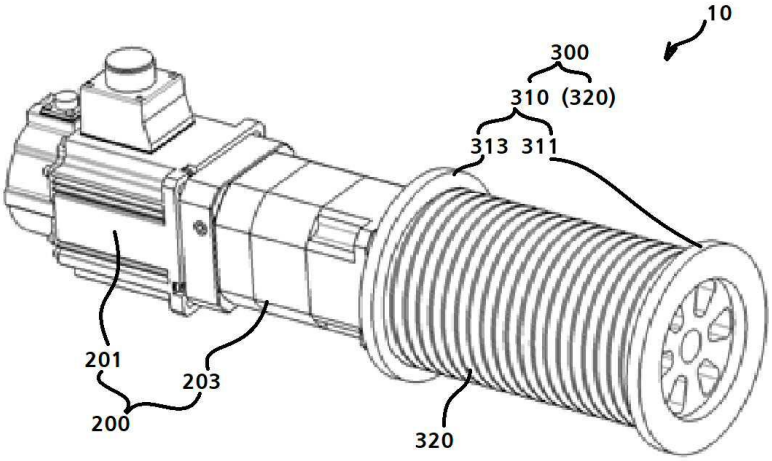
도면11


510
510b
510a
520
500
530b
530c
530
530a

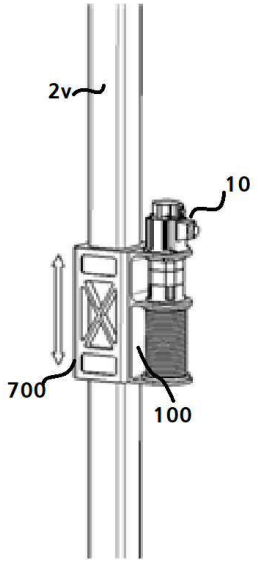
도면12


1
2h
10v
5th cable driving unit
Pole
320
5th cable
1st cable
Vertically moving driving unit
2v
4th cable
2nd cable
10h
End effector
3rd cable
10
3c
( 10v )

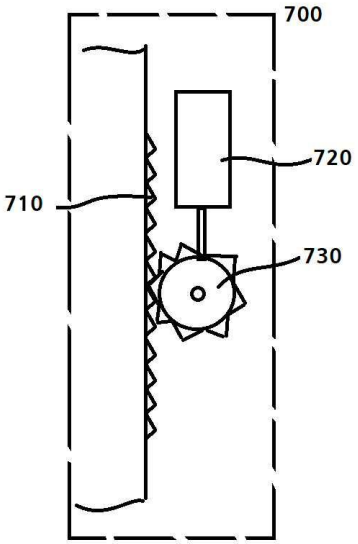
도면13


10
300
310 (320)
313 311
201
203
200
320

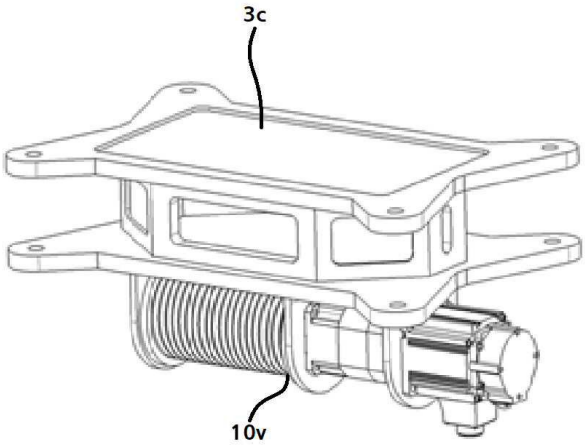
도면14



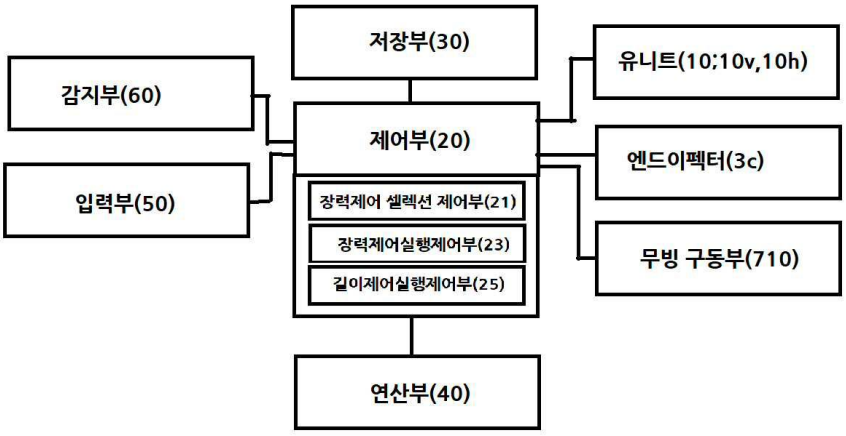

도면15



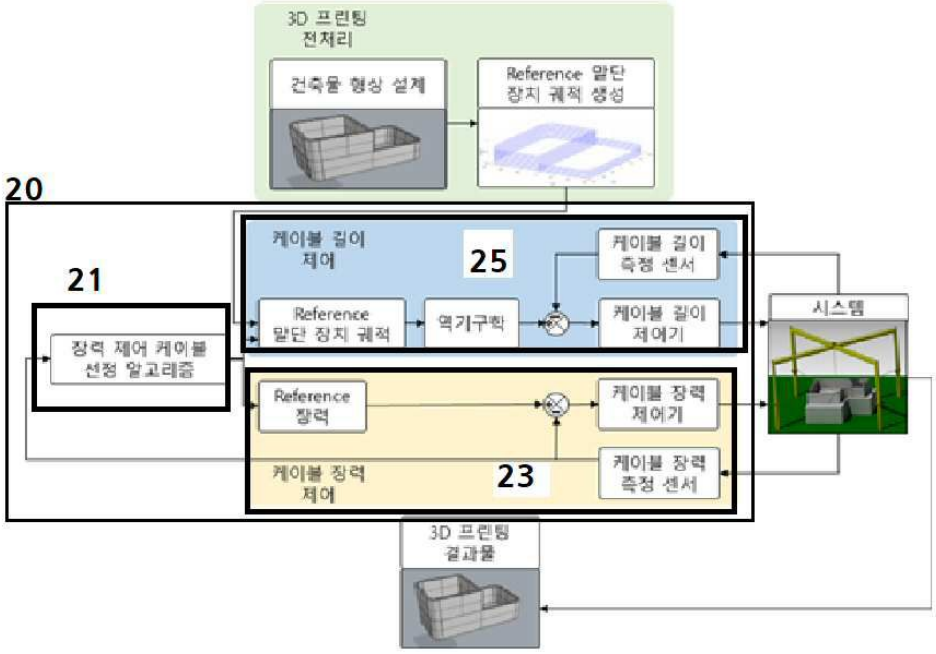
도면16


3c
10v

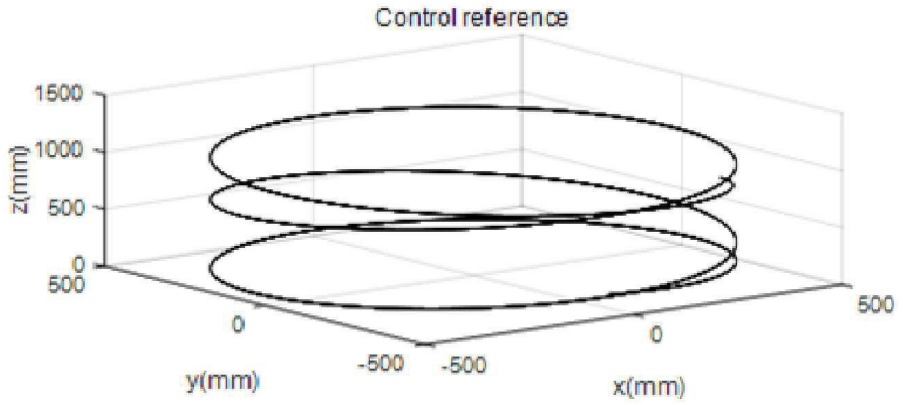
도면17


저장부(30)
감지부(60)
유니트(10;10v,10h)
제어부(20)
엔드이펙터(3c)
입력부(50)
장력제어 셀렉션 제어부(21)
장력제어실행제어부(23)
길이제어실행제어부(25)
무빙 구동부(710)
연산부(40)

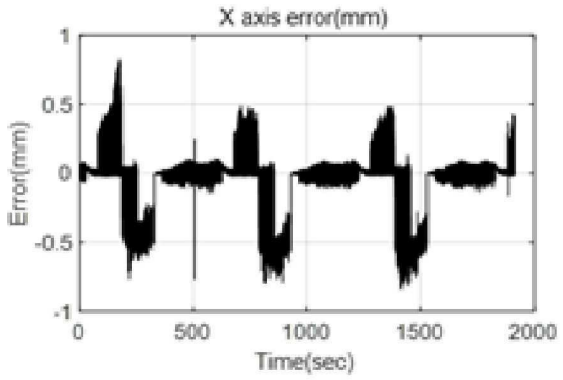
도면18



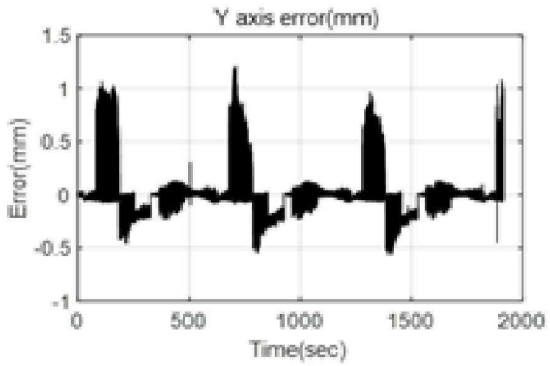

도면19



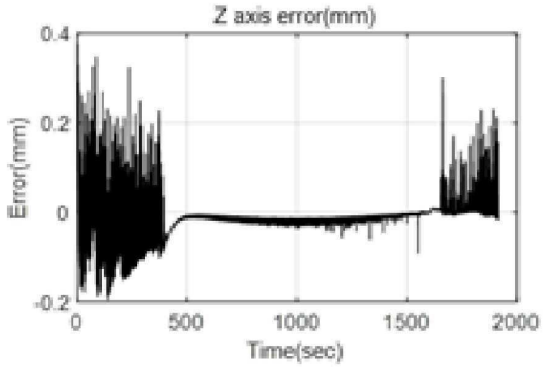

도면20



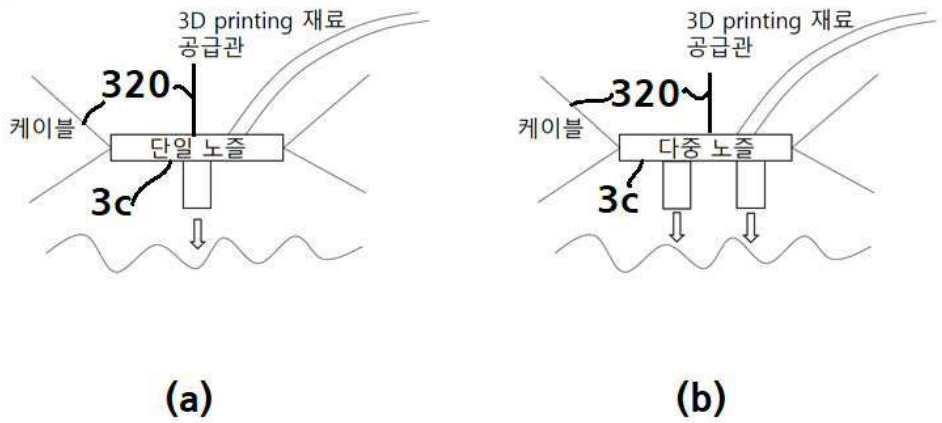
도면21




도면22




도면23



도면24

제공단계(S1)
감지단계(S10)
장력제어셀렉션단계(S20)
엔드이펙터제어실행단계(S30)

도면25

장력제어실행단계(S31)
길이제어실행단계(S33)