

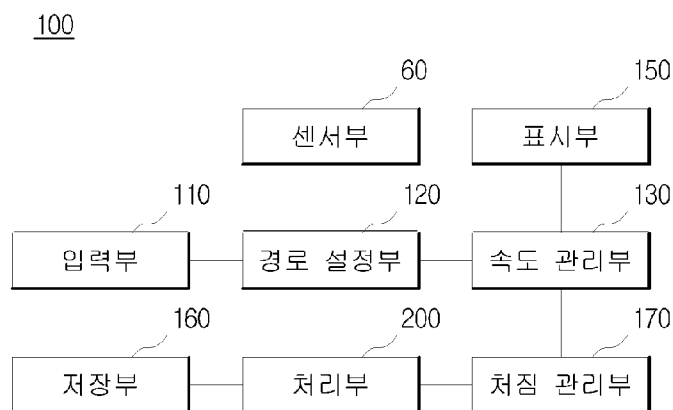


- | | |
|---|---|
| <p>(15) 국제특허분류:
 <i>B25J 11/00</i> (2006.01) <i>B63B 9/06</i> (2006.01)
 <i>B25J 9/10</i> (2006.01)</p> | <p>(74) 대리인: 특허법인이지 (EZ INTERNATIONAL PATENT & TRADEMARK LAW OFFICE); 서울 금천구 가산동 470-8 KCC 웰츠밸리 302~303 호, 153-803 Seoul (KR).</p> |
| <p>(21) 국제출원번호: PCT/KR2011/008983</p> | <p>(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.</p> |
| <p>(22) 국제출원일: 2011 년 11 월 23 일 (23.11.2011)</p> | <p>(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).</p> |
| <p>(25) 출원언어: 한국어</p> | |
| <p>(26) 공개언어: 한국어</p> | |
| <p>(30) 우선권정보:
 10-2010-0117504 2010 년 11 월 24 일 (24.11.2010) KR
 10-2010-0118173 2010 년 11 월 25 일 (25.11.2010) KR</p> | |
| <p>(71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): 삼성중공업 주식회사 (SAMSUNG HEAVY IND. CO., LTD.) [KR/KR]; 서울 서초구 서초동 1321-15, 137-857 Seoul (KR).</p> | |
| <p>(72) 발명자; 겸</p> | |
| <p>(75) 발명자/출원인 (US 에 한하여): 최윤서 (CHOI, Yun Seo) [KR/KR]; 서울 노원구 공릉 1 동 596-22 3 층, 139-240 Seoul (KR). 우갑주 (WOO, Gap Joo) [KR/KR]; 대전 유성구 전민동 세초아파트 108 동 101 호, 305-728 Daejeon (KR). 은종호 (EUN, Jong Ho) [KR/KR]; 대전 유성구 전민동 엑스포아파트 207 동 803 호, 305-761 Daejeon (KR).</p> | |

[다음 쪽 계속]

- (54) 발명의 명칭 : 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템 및 방법

[Fig. 1]



- | | |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 60 ... Sensor unit | 150 ... Display unit |
| 110 ... Input unit | 160 ... Storage unit |
| 120 ... Route setting unit | 170 ... Sagging management unit |
| 130 ... Speed management unit | 200 ... Processing unit |

(57) Abstract: Disclosed are a system and method for controlling an autonomous platform using a wire. According to one embodiment of the present invention, an autonomous platform control system for controlling an autonomous platform connected to a wire comprises: a route setting unit which generates movement control information of the autonomous platform using final position information and first position information; a speed management unit which moves the autonomous platform by controlling the speed of the autonomous platform using the movement control information; a processing unit which generates current position information by setting the position and posture of the autonomous platform using a measurement value of a rotation angle of the wire with respect to the moved autonomous platform, and generates wire operation length information by setting the length of the wire using the current position information; and a sagging management unit which determines the sagging of the wire using measurement information on a wire tension acting on the wire, and adjusts the wire using the measurement information on the wire tension when the wire sags.

(57) 요약서:

[다음 쪽 계속]

**공개:**

- 국제조사보고서 없이 공개하며 보고서 접수 후 이를 별도 공개함 (규칙 48.2(g))

와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템 및 방법이 개시된다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 와이어에 연결된 자율이동장치를 제어하는 자율이동장치 제어 시스템에 있어서, 최종 위치 정보 및 초기 위치 정보를 이용하여 자율이동장치의 이동 제어 정보를 생성하는 경로 설정부; 이동 제어 정보를 이용하여 자율이동장치의 속도를 제어해서 자율이동장치를 이동시키는 속도 관리부; 와이어와 이동한 자율이동장치에 대한 회전각 측정값을 이용하여 자율이동장치의 위치 및 자세를 설정해서 현재 위치 정보를 생성하고, 현재 위치 정보를 이용하여 와이어의 길이를 설정해서 와이어 연산 길이 정보를 생성하는 처리부; 및 와이어에 작용하는 와이어 장력 측정 정보를 이용하여 와이어의 처짐을 판단해서 와이어의 처짐이 발생하면 와이어 장력 측정 정보를 이용하여 와이어를 조절하는 처짐 관리부를 포함하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템이 제공된다.

명세서

발명의 명칭: 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템 및 방법 기술분야

- [1] 본 발명은 자율이동장치 제어 시스템에 관한 것으로, 구체적으로, 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템 및 방법에 관한 것이다.

[2]

배경기술

- [3] 선박의 대형화 추세에 따라 선체를 이루는 블록(block)도 대형화되고 있다. 일반적으로 대형 선박의 선체는 선체의 일부분을 구성하는 블록 단위로 제작된 후, 블록을 서로 조립하는 방식으로 제작되고 있다. 다시 말하면, 원자재 표면의 녹이나 이물질을 블라스팅(blasting) 등의 방법으로 제거한 후 부식 방지를 위한 도장을 한 다음, 원자재를 용접 등의 방법을 이용하여 블록을 제조하고, 이 블록들을 서로 조립하여 선체를 완성할 수 있다.
- [4] 이러한 블록의 내부 또한 용접, 블라스팅, 도장작업 등이 행해져야 한다. 따라서, 블라스팅에 사용된 그리트(grit)의 수거, 도장 후 도막의 건조 작업, 검사 작업 및 도막 측정 작업 등 다양한 작업들 또한 블록 내에서 행해지게 된다. 이러한 블록 내부에서의 작업 효율을 향상시키기 위해 용접, 도장 및 검사 등을 수행하는 각종 자동화 준비가 꾸준히 개발되어 오고 있다. 이에 따라, 블록 내부에서 수행되는 작업이 용이하게 이루어지도록 작업에 필요한 장치를 블록의 내부에서 원하는 위치로 자유롭게 이동시키는 장치가 필요하게 되었다. 블록의 내부에서 자유롭게 이동하는 장치로는 와이어를 이용한 자율이동장치가 대표적이다.
- [5] 기존 긴장재(Tendon)를 이용한 자율이동장치의 발명은 리니어 액추에이터(Linear actuator)를 이용한 스튜어트 플랫폼(Stewart platform)보다 작업반경이 넓을 뿐만 아니라 매우 큰 하중에 대해서도 강인한 특성을 가지고 있다.
- [6] 이러한 자율이동장치는 와이어가 늘어나는 것을 방지하기 위해 무중력 상태(즉, 하중이 작용하지 않은 상태)에서만 위치 및 자세의 제어가 가능하였다. 그러나, 자율이동장치는 중력 하에서의 와이어를 이용한 자율이동장치의 경우에는 자율이동장치의 무게로 인해 와이어가 늘어나게 되어 와이어 처짐이 발생한다. 이렇게 와이어 처짐이 발생한 상태에서 외란이 작용할 경우에는 자율이동장치의 위치 및 자세를 유지하기 어려워지는 문제가 발생한다.
- [7] 또한, 자율이동장치는 중력이 작용하고 있는 상태에서 무게를 가지고 있기 때문에 와이어가 늘어지게 되어 원하는 위치 및 자세로 자율이동장치를 이동하기 용이하지 않아 용접, 도장 및 검사 등을 수행하는데 오류가 발생했다.

[8]

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [9] 본 발명의 일 실시예는 자율이동장치에 연결된 와이어의 처짐을 방지하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템 및 방법을 제공하고자 한다.
- [10] 그리고, 본 발명의 일 실시예는 와이어에 발생하는 장력을 제어하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템 및 방법을 제공하고자 한다.
- [11] 그리고, 본 발명의 일 실시예는 자율이동장치 및 블록에 고정된 와이어의 길이를 정확하게 판단할 수 있는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템 및 방법을 제공하고자 한다.
- [12] 그리고, 본 발명의 일 실시예는 와이어에 작용하는 장력을 이용하여 블록 내에서 자율이동장치의 정확한 위치 및 자세를 판단할 수 있는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템 및 방법을 제공하고자 한다.

[13]

과제 해결 수단

- [14] 본 발명의 일 측면에 따르면, 와이어에 연결된 자율이동장치를 제어하는 자율이동장치 제어 시스템이 제공된다.
- [15] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 와이어에 연결된 자율이동장치를 제어하는 자율이동장치 제어 시스템에 있어서, 최종 위치 정보 및 초기 위치 정보를 이용하여 상기 자율이동장치의 이동 제어 정보를 생성하는 경로 설정부; 상기 이동 제어 정보를 이용하여 상기 자율이동장치의 속도를 제어해서 상기 자율이동장치를 이동시키는 속도 관리부; 상기 와이어와 상기 이동한 자율이동장치에 대한 회전각 측정값을 이용하여 현재 위치 정보를 생성하고, 상기 현재 위치 정보를 이용하여 와이어 연산 길이 정보를 생성하는 처리부; 및 상기 와이어 연산 길이 정보가 생성되면 상기 와이어에 작용하는 와이어 장력 측정 정보를 이용하여 상기 와이어의 처짐을 판단해서 와이어의 처짐이 발생하면 상기 와이어 장력 측정 정보를 이용하여 상기 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템이 제공된다.
- [16] 그리고, 상기 처짐 관리부는, 상기 와이어의 처짐을 판단하기 위해 기준이 되는 장력 기준 정보를 설정하며, 상기 와이어 장력 측정 정보가 상기 장력 기준 정보 미만이면 와이어의 처짐을 판단하고, 상기 와이어 장력 측정 정보를 이용하여 상기 와이어를 조절할 수 있다.
- [17] 이때, 상기 처짐 관리부는, 상기 와이어 장력 측정 정보와 상기 장력 기준 정보를 비교하여 장력 비교 정보를 생성하고, 상기 장력 비교 정보를 이용하여 상기 와이어를 잡아당길 수 있다.
- [18] 여기서, 상기 처리부는, 상기 회전각 측정값을 이용하여 와이어의 길이를 설정해서 와이어 현재 길이 정보를 생성하는 와이어 관리모듈; 상기 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 상기 현재 위치 정보를 생성하는 위치 관리모듈; 상기

현재 위치 정보 및 상기 이동 제어 정보의 이동 위치 정보를 이용하여 상기 와이어 연산 길이 정보를 생성하는 길이 관리모듈; 및 상기 와이어 연산 길이 정보를 이용하여 원치를 제어해서 와이어를 풀거나 감아서 상기 와이어의 처짐이 해결된 자율이동장치를 이동시키는 원치 제어모듈을 포함하되, 상기 이동 위치 정보는 단위 시간 별로 상기 자율이동장치가 이동해야 할 위치 및 자세를 나타낼 수 있다.

- [19] 또한, 상기 와이어 관리모듈은, 상기 와이어에 연결된 엔코더(encoder)를 통해 측정된 상기 회전각 측정값을 이용하여 상기 와이어 현재 길이 정보를 생성하는 회전각 분석모듈; 및 상기 와이어에 연결된 로드셀(load cell)을 통해 측정된 장력 측정값을 이용하여 상기 와이어 장력 측정 정보를 생성하는 장력 분석모듈을 포함할 수 있다.
- [20] 또한, 상기 위치 관리모듈은, 상기 자율이동장치가 위치한 블록 내의 임의의 위치를 나타내는 임의 위치 정보를 설정하고, 상기 임의 위치 정보를 이용하여 와이어 임의 길이 정보를 설정하는 예측모듈; 및 상기 와이어 임의 길이 정보와 상기 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 상기 현재 위치 정보를 생성하는 생성모듈을 포함할 수 있다.
- [21] 한편, 상기 생성모듈은, 상기 와이어 임의 길이 정보와 상기 와이어 현재 길이 정보를 비교하여 길이 차이값을 생성하고, 상기 길이 차이값이 길이 기준 정보 미만인지를 판단하여 상기 길이 차이값이 상기 길이 기준 정보 미만이면 상기 임의 위치 정보로 현재 위치 정보를 생성할 수 있다.
- [22] 그리고, 상기 생성모듈은, 상기 길이 차이값이 상기 길이 기준 정보 이상이면 상기 길이 차이값을 이용하여 상기 임의 위치 정보를 다시 설정할 수 있다.
- [23] 그리고, 본 발명의 일 측면에 따르면, 와이어에 연결된 자율이동장치를 제어하는 자율이동장치 제어 시스템이 제공된다.
- [24] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 와이어에 연결된 자율이동장치를 제어하는 자율이동장치 제어 시스템에 있어서, 최종 위치 정보 및 초기 위치 정보를 이용하여 이동 제어 정보를 설정하는 경로 설정부; 상기 이동 제어 정보를 이용하여 상기 자율이동장치의 속도를 제어해서 상기 자율이동장치를 이동시키는 속도 관리부; 상기 와이어와 이동한 자율이동장치에 대한 회전각 측정 정보 및 상기 와이어에 작용하는 와이어 장력 정보를 이용하여 와이어 현재 길이 정보를 생성하고, 상기 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 상기 이동한 자율이동장치의 현재 위치 정보를 생성하는 위치 관리부; 및 상기 현재 위치 정보 및 상기 이동 제어 정보를 이용하여 와이어 연산 길이 정보를 생성하고, 상기 와이어 연산 길이 정보 및 상기 회전각 측정 정보를 이용하여 회전각 제어 정보를 생성하는 처리부를 포함하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템이 제공된다.
- [25] 여기서, 상기 이동 제어 정보 단위 시간 별로 상기 자율이동장치가 이동해야 할 이동 속도 정보 및 이동 위치 정보 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

- [26] 그리고, 상기 처리부는, 상기 현재 위치 정보 및 상기 이동 위치 정보를 이용하여 상기 와이어 연산 길이 정보를 생성하는 길이 분석모듈; 상기 와이어 연산 길이 정보를 이용하여 회전각 예측 정보를 생성하는 예측모듈; 및 상기 회전각 예측 정보와 상기 회전각 측정 정보를 비교하여 상기 회전각 제어 정보를 생성하는 판단모듈을 포함할 수 있다.
- [27] 이때, 상기 예측모듈은, 상기 와이어 연산 길이 정보에 해당하는 장력 예측 정보를 생성하고, 상기 와이어 연산 길이 정보 및 상기 장력 예측 정보를 이용하여 상기 회전각 예측 정보를 생성할 수 있다.
- [28] 한편, 상기 위치 관리부는, 상기 와이어에 연결된 엔코더(encoder)를 통해 측정한 상기 회전각 측정 정보를 이용하여 와이어 기초 길이 정보를 생성하는 회전각 분석모듈; 상기 와이어에 연결된 로드셀(load cell)을 통해 측정한 장력 측정 정보를 이용하여 상기 와이어 장력 정보를 생성하는 장력 분석모듈; 및 상기 와이어 기초 길이 정보 및 상기 와이어 장력 정보를 이용하여 와이어의 길이를 설정해서 상기 와이어 현재 길이 정보를 생성하는 길이 설정모듈을 포함할 수 있다.
- [29] 여기서, 상기 위치 관리부는, 상기 자율이동장치가 블록 내에서 위치한 위치를 나타내는 임의 위치 정보를 설정하고, 상기 임의 위치 정보를 이용하여 임의 길이 정보를 설정하는 연산모듈; 및 상기 와이어 임의 길이 정보와 상기 와이어 현재 길이 정보를 비교하여 길이 차이값을 생성하고, 상기 길이 차이값이 길이 기준 정보 미만이면 상기 임의 위치 정보를 상기 현재 위치 정보로 설정하는 생성모듈을 더 포함할 수 있다.
- [30] 그리고, 상기 생성모듈은, 상기 길이 차이값이 상기 길이 기준 정보 이상이면 상기 길이 차이값을 이용하여 상기 임의 위치 정보를 다시 설정할 수 있다.
- [31] 그리고, 본 발명의 일 측면에 따르면, 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템이 자율이동장치를 제어하는 방법이 제공된다.
- [32] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템이 자율이동장치를 제어하는 방법에 있어서, (a) 최종 위치 정보 및 초기 위치 정보를 이용하여 상기 자율이동장치의 이동 제어 정보를 생성하고, 상기 이동 제어 정보를 이용하여 상기 자율이동장치를 이동시키는 단계; (b) 상기 와이어에 연결된 윈치(winch)의 회전각 측정값을 이용하여 상기 자율이동장치의 위치 및 자세를 설정해서 현재 위치 정보를 생성하는 단계; (c) 상기 현재 위치 정보를 이용하여 상기 와이어의 길이를 설정해서 와이어 연산 길이 정보를 생성하는 단계; (d) 상기 와이어에 작용하는 와이어 장력 측정 정보를 이용하여 상기 와이어의 처짐을 판단해서 와이어의 처짐이 발생하면 상기 와이어 장력 측정 정보를 이용하여 와이어를 조절하는 단계; 및 (e) 상기 이동 제어 정보를 이용하여 상기 자율이동장치의 속도를 제어해서 상기 와이어의 처짐이 해결된 자율이동장치를 이동시키는 단계를 포함하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 방법이 제공된다.

- [33] 여기서, 상기 (d) 단계는, 상기 자율이동장치에 연결된 와이어의 장력을 측정하여 와이어 장력 측정 정보를 생성하는 단계; 상기 와이어의 처짐을 판단하기 위해 기준이 되는 장력 기준 정보를 설정하는 단계; 및 상기 와이어 장력 측정 정보가 상기 장력 기준 정보 미만이면 와이어의 처짐을 판단하고 상기 와이어 장력 측정 정보를 이용하여 상기 와이어를 조절하는 단계를 포함할 수 있다.
- [34] 그리고, 상기 (b) 단계는, (b1) 상기 회전각 측정값을 이용하여 와이어의 길이를 설정해서 와이어 현재 길이 정보를 생성하는 단계; 및 (b2) 상기 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 순 기구학(forward kinematics)을 통해 상기 현재 위치 정보를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [35] 이때, 상기 (b2) 단계는, 상기 자율이동장치가 위치한 블록 내의 임의의 위치를 나타내는 임의 위치 정보를 설정하는 단계; 상기 임의 위치 정보를 이용하여 와이어 임의 길이 정보를 설정하는 단계; 및 상기 와이어 임의 길이 정보와 상기 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 상기 현재 위치 정보를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [36] 그리고, 상기 와이어 임의 길이 정보와 상기 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 상기 현재 위치 정보를 생성하는 단계는, 상기 와이어 임의 길이 정보와 상기 와이어 현재 길이 정보를 비교하여 길이 차이값을 생성하는 단계; 상기 길이 차이값이 길이 기준 정보 미만인지를 판단하여 길이 판단 결과 정보를 생성하는 단계; 및 상기 길이 판단 결과 정보가 상기 길이 차이값이 상기 길이 기준 정보 미만이면 상기 임의 위치 정보로 상기 현재 위치 정보를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [37] 또한, 상기 와이어 임의 길이 정보와 상기 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 상기 현재 위치 정보를 생성하는 단계는, 상기 길이 판단 결과가 상기 길이 차이값이 상기 기준 정보 이상이면 상기 길이 차이값을 이용하여 상기 임의 위치 정보를 다시 설정하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [38] 한편, 상기 (c) 단계는, 상기 현재 위치 정보를 이용하여 역 기구학(inverse kinematics)을 통해 상기 와이어 연산 길이 정보를 생성하는 단계일 수 있다.
- [39] 그리고, 본 발명의 일 측면에 따르면, 와이어를 이용한 자율이동 장치 제어 시스템이 자율이동장치를 제어하는 방법이 제공된다.
- [40] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 와이어를 이용한 자율이동 장치 제어 시스템이 자율이동장치를 제어하는 방법에 있어서, (a) 최종 위치 정보 및 초기 위치 정보를 이용하여 이동 제어 정보를 설정하고, 상기 이동 제어 정보를 이용하여 상기 자율이동장치를 이동시키는 단계; (b) 상기 와이어와 이동한 상기 자율이동장치에 대한 회전각 측정 정보 및 상기 와이어에 작용하는 와이어 장력 정보를 이용하여 와이어 현재 길이 정보를 생성하는 단계; (c) 상기 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 상기 이동한 자율이동장치의 현재 위치 정보를 생성하는 단계; (d) 상기 현재 위치 정보 및 상기 이동 제어 정보를 이용하여 와이어 연산

길이 정보를 생성하는 단계; 및 (e) 상기 와이어 연산 길이 정보 및 상기 회전각 측정 정보를 설정한 회전각 제어 정보를 이용하여 상기 자율이동장치를 이동시키는 단계를 포함하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템 방법이 제공된다.

- [41] 여기서, 상기 (a) 단계는, 상기 최종 위치 정보 및 상기 초기 위치 정보를 이용하여 단위 시간 별로 상기 자율이동장치가 이동해야 할 이동 속도 정보 및 위치 및 자세를 나타내는 이동 위치 정보 중 적어도 하나를 포함하는 상기 이동 제어 정보를 설정하는 단계; 및 상기 이동 제어 정보를 이용하여 상기 자율이동장치를 이동시키는 단계를 포함할 수 있다.
- [42] 그리고, 상기 (e) 단계는, 상기 와이어 연산 길이 정보에 해당하는 장력 예측 정보를 생성하는 단계; 상기 와이어 연산 길이 정보 및 상기 장력 예측 정보를 이용하여 회전각 예측 정보를 생성하는 단계; 및 상기 회전각 예측 정보 및 상기 회전각 측정 정보를 비교하여 상기 회전각 제어 정보를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [43] 또한, 상기 (d) 단계는, 상기 현재 위치 정보 및 상기 이동 위치 정보를 이용하여 역 기구학(inverse kinematics)을 통해 상기 와이어 연산 길이 정보를 생성하는 단계일 수 있다.
- [44] 한편, 상기 (b) 단계는, 상기 와이어에 연결된 엔코더를 통해 측정한 회전각 측정 정보를 이용하여 와이어 기초 길이 정보를 생성하는 단계; 상기 와이어에 연결된 로드셀을 통해 측정한 장력 측정 정보를 이용하여 와이어 장력 정보를 생성하는 단계; 및 상기 와이어 기초 길이 정보 및 상기 와이어 장력 정보를 이용하여 와이어의 길이를 설정해서 상기 와이어 현재 길이 정보를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [45] 그리고, 상기 (c) 단계는, 상기 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 순 기구학(forward kinematics)을 통해 상기 현재 위치 정보를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [46] 또한, 상기 (c) 단계는, 상기 자율이동장치가 블록 내에서 위치한 임의 위치 정보를 설정하는 단계; 상기 임의 위치 정보를 이용하여 와이어 임의 길이 정보를 설정하는 단계; 상기 와이어 임의 길이 정보와 상기 와이어 현재 길이 정보를 비교하여 길이 차이값을 생성하는 단계; 및 상기 길이 차이값이 길이 기준 정보 미만이면 상기 임의 위치 정보를 현재 위치 정보로 설정하는 단계를 포함할 수 있다.

[47]

도면의 간단한 설명

- [48] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템을 나타낸 블록도이다.

- [49] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어

시스템의 처리부를 상세하게 나타낸 블록도이다.

- [50] 도 3 및 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 방법을 상세하게 나타낸 순서도이다.
- [51] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템을 나타낸 블록도이다.
- [52] 도 6은 도 5에 나타낸 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템의 위치 관리부를 상세하게 나타낸 블록도이다.
- [53] 도 7은 도 5에 나타낸 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템의 처리부를 상세하게 나타낸 블록도이다.
- [54] 도 8 및 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 방법을 상세하게 나타낸 순서도이다.
- [55] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 방법 중 현재 위치 정보를 생성하는 방법을 설명하기 위해 나타낸 예시도이다.
- [56] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 방법 중 와이어 연산 길이 정보를 생성하는 방법을 설명하기 위해 나타낸 예시도이다.

[57]

발명의 실시를 위한 형태

- [58] 이하, 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템 및 방법은 첨부도면을 참조하여 상세히 설명하기로 하며, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 동일하거나 대응하는 구성 요소는 동일한 도면번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.

[59]

- [60] 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템은 도 1 및 도 2를 참조하여 설명하기로 한다.

- [61] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템을 나타낸 블록도이다.

- [62] 도 1을 참조하면, 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템(이하, '자율이동장치 제어 시스템'으로 통칭함, 100)은 와이어를 이용하여 자율이동장치를 블록 내에서 이동시키기 위해 제어한다. 이때, 자율이동장치(10)는 도 11에 도시된 바와 같이 블록(50) 내에 와이어(20)에 의해 고정되며, 복수의 와이어(20)가 연결되어 와이어(20)에 의해 이동 가능하다.

- [63] 이러한 자율이동장치(10)는 이동플랫폼 및 작업장치를 포함하며, 작업장치는 작업 로봇과 베이스를 포함할 수 있다. 이에 따라, 자율이동장치(10)는 작업 공간인 블록(50) 내부를 자유롭게 이동하면서 블록(50) 내부의 용접, 블라스팅, 도장 및 표면 등의 작업을 용이하게 수행할 수 있다. 여기서, 자율이동장치(10)에는 여덟 개의 와이어(20)가 연결될 수 있다.

- [64] 와이어(20)의 일 단은 블록(50)과 결합되고, 타 단은 자율이동장치(10)에 설치된

원치(도시하지 않음)에 결합된다. 이때, 원치는 와이어(20)를 감거나 풀어서 와이어(20)의 길이를 정밀하게 조절할 수 있다. 이에 따라, 자율이동장치(10)는 원치를 이용하여 와이어(20)의 길이를 조절해서 블록(50) 내의 원하는 위치로 정밀하게 이동하도록 작동할 수 있다.

- [65] 다시 도 1을 참조하면, 자율이동장치 제어 시스템(100)은 입력부(110), 경로 설정부(120), 속도 관리부(130), 처리부(200), 처짐 관리부(170), 표시부(150) 및 저장부(160)를 포함한다.
- [66] 입력부(110)는 사용자로부터 최종 위치 정보를 입력 받을 수 있다. 여기서, 최종 위치 정보는 자율이동장치(10)가 최종적으로 블록(50) 내에서 이동해야 할 위치 및 자세를 나타낸다.
- [67] 여기서, 자율이동장치(10)의 위치는 자율이동장치(10)가 블록(50) 내에 위치하는 곳을 x, y, z 를 포함하는 좌표값으로 표현될 수 있다.
- [68] 여기서, 자율이동장치(10)의 자세는 자율이동장치(10)가 블록(50) 내에서 위치를 기준으로 기울어진 각도를 ψ, θ, ϕ 를 포함하는 오일러 각으로 표현될 수 있다.
- [69] 즉, 최종 위치 정보는 최종적으로 블록(50) 내에서 자율이동장치(10)가 이동해야 할 위치 및 자세를 $x, y, z, \psi, \theta, \phi$ 으로 표현할 수 있다. 최종 위치 정보는 자율이동장치(10)를 기준으로 하는 지역 좌표값 및 블록(50) 내의 어느 하나의 지점을 기준으로 하는 전역 좌표값 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [70] 입력부(110)는 사용자로부터 각종 데이터를 입력 받기 위한 사용자 인터페이스(user interface : UI)로서, 그 구현 방식에는 특별한 제한이 없다. 예를 들어, 입력부(110)는 키보드(keyboard), 터치-패드(touch-pad), 마우스(mouse) 및 키-패드(key-pad) 등과 같이 데이터를 입력 받을 수 있는 수단이면 무관하다.
- [71] 한편, 입력부(110)는 CAD/CAM(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) 등을 이용해 생성된 매크로(macro)를 통해 최종 위치 정보를 입력 받을 수 있다. 이하, 최종 위치 정보는 사용자로부터 입력부(110)를 통해 입력 받은 것을 예를 들어 설명하기로 한다.
- [72] 경로 설정부(120)는 최종 위치 정보 및 초기 위치 정보를 이용하여 자율이동장치(10)의 이동 제어 정보를 생성한다. 이때, 이동 제어 정보는 자율이동장치(10)를 초기 위치 정보에서 최종 위치 정보까지 이동시키기 위해 필요한 제어 정보를 나타낸다.
- [73] 구체적으로, 경로 설정부(120)는 자율이동장치(10)가 이동하기 이전의 위치 및 자세를 나타내는 초기 위치 정보를 생성한다. 즉, 초기 위치 정보는 자율이동장치(10)가 이동하기 이전의 위치 및 자세를 나타내며, 위치는 자율이동장치(10)가 블록(50) 내에 위치하는 곳을 x, y, z 를 포함하는 좌표값으로 표현될 수 있으며, 자세는 자율이동장치(10)가 블록(50) 내에서 기울어진 각도를 ψ, θ, ϕ 를 포함하는 오일러 각으로 표현될 수 있다.
- [74] 경로 설정부(120)는 센서부(60)를 통해 입력 받은 센서값을 이용하여 초기 위치

- 정보를 생성하거나, 처리부(200)로부터 제공받은 와이어 초기 길이 정보를 이용하여 초기 위치 정보를 생성할 수 있다.
- [75] 여기서, 센서부(60)는 공간 상에서 위치 및 자세를 측정하여 센서값을 생성할 수 있는 장치이면 그 종류는 무관하다. 예를 들어, 센서부(60)는 위치 측정 시스템(Global Position System : GPS), 실내위치측정시스템(Indoor GPS : IGPS) 및 초음파 센서 중 적어도 하나일 수 있다.
- [76] 경로 설정부(120)는 최종 위치 정보 및 초기 위치 정보를 이용하여 자율이동장치(10)가 이동해야 하는 이동 경로를 판단한다. 이때, 이동 경로는 자율이동장치(10)가 블록(50) 내의 초기 위치 정보에서 최종 위치 정보까지 이동해야 하는 경로를 나타낸다.
- [77] 경로 설정부(120)는 단위 시간 별로 자율이동장치(10)가 이동 경로에 따라 이동해야 하는 속도를 나타내는 이동 속도 정보를 생성한다. 경로 설정부(120)는 가속 구간 정보, 등속 구간 정보 및 감속 구간 정보를 설정할 수 있다. 경로 설정부(120)는 가속 구간 정보, 등속 구간 정보 및 감속 구간 정보를 포함하는 이동 속도 정보를 생성한다. 이때, 경로 설정부(120)는 사용자로부터 입력부(110)를 통해 입력 받아 가속 구간 정보, 등속 구간 정보 및 감속 구간 정보를 설정하거나, 미리 지정된 알고리즘(예를 들어, 프로그램 및 확률 모델 등)을 이용하여 가속 구간 정보, 등속 구간 정보 및 감속 구간 정보를 설정할 수 있다.
- [78] 경로 설정부(120)는 단위 시간 별로 자율이동장치(10)가 이동해야 할 위치 및 자세를 나타내는 이동 위치 정보를 설정한다. 즉, 이동 위치 정보는 단위 시간 후에 자율이동장치(10)가 이동해야 하는 위치 및 자세를 나타낸다.
- [79] 경로 설정부(120)는 이동 속도 정보 및 이동 위치 정보 중 적어도 하나를 포함하는 이동 제어 정보를 생성한다. 또한, 경로 설정부(120)는 단위 시간 마다 자율이동장치(10)가 이동해야 할 위치 및 자세를 나타내는 위치 단위 정보를 설정하여 이동 제어 정보에 더 포함시킬 수 있다. 이때, 위치 단위 정보는 단위 시간 마다 이동 속도 정보에 따라 자율이동장치(10)가 얼마만큼 이동해야 하는지에 대한 정보를 나타낸다.
- [80] 속도 관리부(130)는 이동 제어 정보를 이용하여 자율이동장치(10)를 이동시키기 위하여 처리부(200)로 제공할 와이어 단위 길이 정보를 생성한다. 다시 말하면, 속도 관리부(130)는 이동 제어 정보를 바탕으로 단위 시간 별로 와이어(20)의 길이를 설정해서 와이어 단위 길이 정보를 생성한다. 속도 관리부(130)는 와이어 단위 길이 정보를 처리부(200)로 제공하고, 처리부(200)는 와이어 단위 길이 정보를 이용하여 원치(70)에 연결된 와이어(20)를 감거나 풀어서 자율이동장치(10)를 이동시킨다.
- [81] 또한, 속도 관리부(130)는 처짐 관리부(170)에서 와이어(20)의 처짐을 해결하거나 와이어(20)에 처짐이 발생하지 않았으면 이동 제어 정보를 이용하여 자율이동장치(10)를 최종 위치 정보를 향해 이동하도록 와이어 단위 길이 정보를

생성한다.

- [82] 처리부(200)는 원치(70, 도 2에 도시됨)의 회전각을 측정된 회전각 측정값을 이용하여 와이어 현재 길이 정보, 현재 위치 정보 및 와이어 연산 길이 정보를 생성한다. 이때, 회전각 측정값은 와이어(20)에 의해 원치(70)가 풀림 또는 감길 경우에 원치(70)의 각도를 나타낸다. 즉, 처리부(200)는 원치(70)의 회전각 측정값을 이용하여 원치(70)에서 풀린 와이어(20)의 길이를 설정해서 와이어 현재 길이 정보를 생성한다.
- [83] 여기서, 와이어 현재 길이 정보는 원치(70)에서 풀린 와이어(20)의 길이를 나타내며, 이동한 자율이동장치(10)와 블록(50) 사이를 연결하는 와이어(20)의 길이를 나타낸다. 와이어 현재 길이 정보는 자율이동장치(10)에 연결된 복수의 와이어(20) 각각에 대한 길이를 포함할 수 있다. 와이어 현재 길이 정보를 생성하는 처리부(200)는 도 2를 참조하여 상세하게 설명하기로 한다.
- [84] 그리고, 처리부(200)는 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 자율이동장치(10)의 위치 및 자세를 설정해서 현재 위치 정보를 생성한다. 여기서, 현재 위치 정보는 블록(50) 내에서 속도 관리부(130)에 의해 이동한 자율이동장치(10)의 위치 및 자세를 나타낸다. 현재 위치 정보는 자율이동장치(10)의 위치를 x, y, z 와 같이 좌표값으로 표현할 수 있고, 자율이동장치(10)의 자세를 ψ, θ, ϕ 와 같이 오일러 각으로 표현할 수 있다.
- [85] 처리부(200)는 현재 위치 정보 및 이동 제어 정보를 이용하여 와이어 연산 길이 정보를 생성한다. 여기서, 와이어 연산 길이 정보는 현재 위치 정보 및 이동 제어 정보를 바탕으로 자율이동장치(10)가 이동해야 할 위치 및 자세에 해당하는 와이어(20)의 길이를 나타낸다. 이러한, 처리부(200)는 도 2를 참조하여 더욱 구체적으로 설명하기로 한다.
- [86] 처짐 관리부(170)는 와이어 장력 측정 정보를 이용하여 와이어(20)의 처짐을 판단하고, 와이어(20)의 처짐이 발생하면 와이어 장력 측정 정보를 이용하여 와이어를 조절한다.
- [87] 구체적으로, 처짐 관리부(170)는 처리부(200)로부터 와이어 장력 측정 정보를 제공받는다. 이때, 와이어 장력 측정 정보는 와이어(20)에 작용하는 장력을 나타내며, 자율이동장치(10)에 연결된 복수의 와이어(20) 각각에 대한 장력 정보를 포함할 수 있다.
- [88] 처짐 관리부(170)는 와이어(20)의 처짐을 판단하기 위해 와이어(20)에 작용하는 장력의 기준이 되는 장력 기준 정보를 설정한다. 처짐 관리부(170)는 사용자로부터 입력부(110)를 통해 입력 받아 장력 기준 정보를 설정하거나, 미리 설정된 알고리즘을 이용하여 장력 기준 정보를 설정할 수 있다. 예를 들어, 처짐 관리부(170)는 블록 설계 정보를 이용하여 장력 기준 정보를 설정할 수 있다.
- [89] 이때, 블록 설계 정보는 자율이동장치(10)를 블록 내에 고정시키기 위해 블록(50)을 설계할 때 설정한 정보를 나타내며, 와이어(20)가 자율이동장치(10)에 고정되는 위치에 대한 와이어 고정 위치값, 와이어(20)가

블록(50)에 고정되는 위치에 대한 블록 고정 위치값 및 자율이동장치(10)의 크기와 같은 물성 정보 등을 포함할 수 있다. 블록 설계 정보는 사용자로부터 입력부(110)를 통해 입력 받아 설정되거나, 자율이동장치 제어 시스템(100)과 연결된 외부 장치(도시하지 않음)로부터 수신하여 처짐 관리부(170)에서 설정될 수 있다.

- [90] 처짐 관리부(170)는 와이어 장력 측정 정보 및 장력 기준 정보를 이용하여 와이어(20)의 처짐을 판단한다. 구체적으로, 처짐 관리부(170)는 와이어 장력 측정 정보가 장력 기준 정보 미만이면 와이어(20)에 처짐이 발생하였다는 것으로 판단한다. 장력 기준 정보는 와이어(20)의 처짐이 발생하지 않기 위해 와이어(20)에 가해져야 하는 최소의 장력을 나타내므로 와이어 장력 측정 정보가 장력 기준 정보 미만이면 와이어(20)에 처짐이 발생하였다는 것을 판단할 수 있다.
- [91] 처짐 관리부(170)는 와이어 장력 측정 정보와 장력 기준 정보를 비교하여 장력 비교 정보를 생성한다. 처짐 관리부(170)는 장력 비교 정보를 처리부(200)로 제공한다. 이때, 처리부(200)는 장력 비교 정보를 이용하여 와이어(20)를 잡아당겨서 와이어(20)의 처짐을 방지할 수 있다.
- [92] 표시부(150)는 입력부(110), 경로 설정부(120), 속도 관리부(130), 처리부(200) 및 처짐 관리부(170)에서 수행하는 과정 및 결과를 디스플레이(display)할 수 있고, 저장부(160)에 저장된 데이터들을 디스플레이할 수 있다.
- [93] 예를 들어, 표시부(150)는 사용자로부터 이동 초기 정보를 입력 받기 위해 사용자 인터페이스를 디스플레이할 수 있다. 이때, 사용자는 표시부(150)를 통해 표시된 표시 사항을 확인하고 입력부(110)를 통해 이동 초기 정보를 입력할 수 있다.
- [94] 예를 들어, 표시부(150)는 경로 설정부(120)에서 초기 위치 정보를 설정하고, 이동 제어 정보를 생성하는 과정 및 결과를 디스플레이할 수 있다.
- [95] 예를 들어, 표시부(150)는 처리부(200)에서 와이어 현재 길이 정보, 현재 위치 정보 및 와이어 연산 길이 정보를 생성하는 과정 및 결과를 디스플레이할 수 있다.
- [96] 예를 들어, 표시부(150)는 센서부(60)에서 측정한 센서값을 디스플레이할 수 있다.
- [97] 또한, 표시부(150)는 입력부(110), 경로 설정부(120), 속도 관리부(130), 처리부(200) 및 처짐 관리부(170)에서 오류가 발생하면 오류 발생 사항을 표시할 수 있다. 이에 따라, 사용자는 표시부(150)를 통해 표시된 오류 발생 사항을 확인하고 오류를 해결할 수 있다.
- [98] 표시부(150)는 음극선관, 액정 표시 장치(Liquid Crystal Display : LCD), 유기 발광 장치(Organic Light Emitting Display : OLED), 발광 다이오드(Light Emitted Diode : LED), 전기 영동 표시 장치(Electro Phoretic Display : EPD) 및 플라즈마 표시 패널(Plasma Display Panel : PDP) 등과 같이 표시하는 디스플레이 장치일 수

있고, 디스플레이 장치를 포함하는 컴퓨터일 수 있다. 또한, 표시부(150)는 터치 스크린 등을 이용하여 입력부(110)와 일체형으로 구현될 수 있다.

[99] 저장부(160)는 입력부(110), 경로 설정부(120), 속도 관리부(130), 처리부(200) 및 처짐 관리부(170)와 같이 자율이동장치 제어 시스템(100)에서 필요한 데이터 및 입력부(110), 경로 설정부(120), 속도 관리부(130), 처리부(200) 및 처짐 관리부(170)에서 생성한 데이터를 저장한다.

[100] 예를 들어, 저장부(160)는 입력부(110)로부터 입력 받은 최종 위치 정보를 저장할 수 있고, 경로 설정부(120)에서 설정한 초기 위치 정보 및 생성한 이동 제어 정보를 저장할 수 있다.

[101] 예를 들어, 저장부(160)는 센서부(60)에서 측정된 센서값을 저장할 수 있으며, 처리부(200)에서 생성한 와이어 현재 길이 정보, 현재 위치 정보 및 와이어 연산 길이 정보를 저장할 수 있다.

[102] 저장부(160)는 입력부(110), 경로 설정부(120), 속도 관리부(130), 처리부(200), 처짐 관리부(170) 및 표시부(150)의 요청에 따라 필요한 데이터를 제공할 수 있다. 저장부(160)는 통합 메모리로 이루어지거나 복수의 메모리들로 세분되어 이루어질 수 있다. 예를 들어, 저장부(160)는 롬(Read Only Memory : ROM), 램(Random Access Memory : RAM) 및 플래시 메모리(Flash memory) 등으로 이루어질 수 있다.

[103]

[104] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템의 처리부를 상세하게 나타낸 블록도이다.

[105] 도 2를 참조하면, 처리부(200)는 와이어 관리모듈(210), 위치 관리모듈(250) 및 길이 관리모듈(280)을 포함한다.

[106] 와이어 관리모듈(210)은 회전각 측정값을 이용하여 와이어(20)의 길이를 설정해서 와이어 현재 길이 정보를 생성한다. 이러한, 와이어 관리모듈(210)은 회전각 분석모듈(220), 장력 분석모듈(230) 및 원치 제어모듈(240)을 포함한다.

[107] 회전각 분석모듈(220)은 엔코더(encoder, 80)에서 측정된 원치(70)의 회전각 측정값을 이용하여 원치(70)에서 풀린 와이어(20)의 길이를 나타내는 와이어 현재 길이 정보를 생성한다.

[108] 예를 들어, 회전각 분석모듈(220)은 회전각 측정값과 와이어(20)의 길이 정보의 관계를 함수로 나타내고, 함수에 회전각 측정값을 대입하여 와이어 현재 길이 정보를 생성할 수 있다. 회전각 분석모듈(220)은 회전각 측정값에 와이어(20)의 길이를 매칭한 길이 테이블을 이용하여 와이어 현재 길이 정보를 생성할 수도 있다. 회전각 분석모듈(220)은 와이어 현재 길이 정보를 위치 관리모듈(250)로 제공한다.

[109] 이때, 엔코더(80)는 원치(70)에 연결되어 원치(70)의 회전을 통해 회전각 측정값을 생성한다. 또한, 엔코더(80)는 와이어(20)가 토출되는 풀리(pulley, 도시하지 않음)에 연결되어 풀리가 회전되는 양을 측정하거나, 반대로

- 와이어(20)가 토출되는 양을 측정하여 회전각 측정값을 생성할 수도 있다.
- [110] 또한, 회전각 분석모듈(220)은 경로 설정부(120)로부터 길이 요청 신호를 수신하면 이동하기 이전의 자율이동장치(10) 와이어(20)에 연결된 엔코더(80)의 회전각 측정값을 이용하여 와이어 초기 길이 정보를 생성한다. 그리고, 회전각 분석모듈(220)은 경로 설정부(120)로 와이어 초기 길이 정보를 제공한다.
- [111] 장력 분석모듈(230)은 로드셀(load cell, 90)에서 측정한 장력 측정값을 이용하여 와이어 장력 측정 정보를 생성한다.
- [112] 예를 들어, 장력 분석모듈(230)은 로드셀(90)에서 측정한 장력 측정값과 와이어(20)에 작용하는 와이어 장력의 관계를 선형 또는 비선형 함수로 나타내고, 함수에 장력 측정값을 대입하여 와이어 장력 측정 정보를 생성할 수 있다. 장력 분석모듈(230)은 장력 측정값에 와이어 장력을 매칭한 장력 테이블을 이용하여 와이어 장력 측정 정보를 생성할 수 있다.
- [113] 이때, 로드셀(90)은 와이어(20)에 연결되며 와이어(20)에 작용하는 장력을 측정하여 장력 측정값을 생성한다. 로드셀(90)은 처리부(200)와 접속하며, 처리부(200)의 장력 분석모듈(230)로 장력 측정값을 전송한다.
- [114] 윈치 제어모듈(240)은 윈치(70)와 접속하며, 와이어(20)가 감겨진 윈치(70)를 제어하여 와이어(20)의 길이를 조절해서 와이어(20)에 연결된 자율이동장치(10)를 이동시킨다. 예를 들어, 윈치 제어모듈(240)은 속도 관리부(130)로부터 제공받은 와이어 단위 길이 정보를 이용하여 윈치(70)를 제어해서 와이어(20)를 풀거나 감아서 자율이동장치(10)를 이동시킬 수 있다. 윈치 제어모듈(240)은 처짐 관리부(170)로부터 제공받은 장력 비교 정보를 이용하여 윈치(70)에 연결된 와이어(20)를 감거나 풀어서 와이어(20)에서 발생하는 처짐을 해결할 수 있다.
- [115] 위치 관리모듈(250)은 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 현재 위치 정보를 생성한다. 이를 위해, 위치 관리모듈(250)은 예측모듈(260) 및 생성모듈(270)을 포함한다.
- [116] 예측모듈(260)은 임의 위치 정보를 이용하여 와이어 임의 길이 정보를 설정한다. 즉, 예측모듈(260)은 자율이동장치(10)가 고정된 블록(50) 내에서 임의의 위치에 있다고 가정하기 위해 임의 위치 정보를 설정한다. 이때, 임의 위치 정보는 블록(50) 내에서 자율이동장치(10)가 가상으로 위치하는 임의의 곳을 좌표값으로 표현한 정보이다. 임의 위치 정보는 자율이동장치(10)가 블록(50) 내에서 이동할 수 있는 위치이면 블록(50) 내의 아무 곳이나 무관하다. 임의 위치 정보는 사용자가 입력부(110)를 통해 입력 받아 예측모듈(260)이 설정하거나 미리 설정된 알고리즘을 이용하여 예측모듈(260)이 설정할 수 있다.
- [117] 예측모듈(260)은 임의 위치 정보를 이용하여 역 기구학(inverse kinematics)을 통해 와이어 임의 길이 정보를 설정한다. 이때, 와이어 임의 길이 정보는 블록(50)과 임의 위치 정보에 위치한 자율이동장치(10) 사이를 연결하는 와이어(20)의 길이를 나타낸다. 와이어 임의 길이 정보는 자율이동장치(10)에

연결된 복수의 와이어(20)의 길이를 포함할 수 있다.

- [118] 생성모듈(270)은 와이어 임의 길이 정보와 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 순 기구학(forward kinematics)을 통해 현재 위치 정보를 생성한다. 다시 말하면, 생성모듈(270)은 와이어 임의 길이 정보와 와이어 현재 길이 정보를 비교하여 길이 차이값을 생성한다. 생성모듈(270)은 오차를 허용할 수 있는 기준이 되는 길이 기준 정보를 설정한다. 이때, 생성모듈(270)은 사용자로부터 입력부(110)를 통해 입력 받아 길이 기준 정보를 설정하거나 미리 설정된 알고리즘을 이용하여 길이 기준 정보를 설정할 수 있다.
- [119] 생성모듈(270)은 길이 차이값이 길이 기준 정보 미만인지를 판단하여 길이 판단 결과 정보를 생성할 수 있다. 생성모듈(270)은 길이 판단 결과 정보에 따라 길이 차이값이 길이 기준 정보 미만이면 임의 위치 정보로 현재 위치 정보를 생성한다.
- [120] 한편, 생성모듈(270)은 길이 판단 결과 정보에 따라 길이 차이값이 길이 기준 정보 이상이면 임의 위치 정보를 다시 설정하여 현재 위치 정보를 생성한다.
- [121] 길이 관리모듈(280)은 현재 위치 정보 및 이동 제어 정보를 이용하여 와이어 연산 길이 정보를 생성한다. 즉, 길이 관리모듈(280)은 경로 설정부(120)에서 설정한 이동 제어 정보를 바탕으로 자율이동장치(10)가 이동하였는지를 판단하기 위해 현재 위치 정보와 이동 제어 정보에 포함된 이동 위치 정보를 비교하여 위치 차이 정보를 생성한다.
- [122] 길이 관리모듈(280)은 현재 위치 정보, 위치 차이 정보 및 위치 단위 정보를 더하기 연산하여 와이어 고정 위치값을 생성한다. 또한, 길이 관리모듈(280)은 와이어 고정 위치값을 역 기구학에 대입하여 와이어 연산 길이 정보를 생성할 수 있다.
- [123] 한편, 길이 관리모듈(280)은 와이어 연산 길이 정보를 이용하여 회전각 예측 정보를 생성한다. 이때, 회전각 예측 정보는 자율이동장치(10)를 이동시키기 위해 원치(70)의 회전각을 나타낸다. 길이 관리모듈(280)은 블록(50) 내에서 현재 자율이동장치(10)가 위치하는 위치 및 자세에서 이동해야 할 위치 및 자세로 자율이동장치(10)를 이동시키기 위해 회전각 측정값과 회전각 예측 정보를 비교하여 이동 제어 정보를 생성한다.
- [124]
- [125] 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템이 자율이동장치를 제어하는 방법은 도 3 및 도 4를 참조하여 설명하기로 한다.
- [126] 도 3 및 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 방법을 상세하게 나타낸 순서도이다.
- [127] 도 3 및 도 4를 참조하면, 자율이동장치 제어 시스템(100)은 센서부(60)에서 측정된 센서값 또는 와이어 초기 길이 정보를 이용하여 초기 위치 정보를 생성한다(S310).
- [128] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 최종 위치 정보 및 초기 위치 정보를

이용하여 이동 속도 정보, 이동 위치 정보 및 위치 단위 정보 중 적어도 하나를 포함하는 이동 제어 정보를 생성한다(S320).

[129] 그리고, 자율이동장치 제어 시스템(100)은 이동 제어 정보를 이용하여 와이어 단위 길이 정보를 생성하고, 와이어 단위 길이 정보에 따라 자율이동장치(10)에 연결된 복수의 와이어(20)를 풀거나 당겨서 자율이동장치(10)를 이동시킨다.

[130] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 원치(70)의 회전각 측정값을 이용하여 와이어 현재 길이 정보를 생성한다(S330).

[131] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 자율이동장치(10)가 위치한 블록(50) 내에서 임의의 위치를 나타낸 임의 위치 정보를 설정한다(S340).

[132] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 역 기구학에 임의 위치 정보를 대입하여 와이어 임의 길이 정보를 설정한다(S350).

[133] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 와이어 현재 길이 정보와 와이어 임의 길이 정보를 비교하여 길이 차이값을 생성한다(S360). 즉, 생성모듈(270)은 길이 차이값을 [수학식 1]과 같이 정의할 수 있다.

[134]

[135] [수학식 1]

[136]

$$D = L_m - L_k$$

[137]

[138] 여기서, D는 길이 차이값이며, L_m 은 와이어 현재 길이 정보이고, L_k 는 와이어 임의 길이 정보이다. 따라서, 자율이동장치 제어 시스템(100)의 생성모듈(270)은 [수학식 1]의 L_m 에 회전각 분석모듈(220)에서 생성한 와이어 현재 길이 정보를 대입하고, L_k 에 예측모듈(260)에서 설정한 와이어 임의 길이 정보를 대입하여 길이 차이값을 생성한다. 이때, 생성모듈(270)은 자율이동장치(10)에 연결된 복수의 와이어(20) 각각에 대응되도록 길이 차이값을 생성할 수 있다.

[139] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 길이 차이값이 길이 기준 정보 미만인지를 판단한다(S370).

[140] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 판단한 결과에 따라 길이 차이값이 길이 기준 정보 이상이면 단계 S340으로 돌아가서 임의 위치 정보를 다시 설정할 수 있다(S380).

[141] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 판단한 결과에 따라 길이 차이값이 길이 기준 정보 미만이면 임의 위치 정보 및 길이 차이값을 이용하여 현재 위치 정보를 생성한다(S390).

[142] 즉, 자율이동장치 제어 시스템(100)의 생성모듈(270)은 [수학식 2]를 이용하여 현재 위치 정보를 생성할 수 있다.

[143]

[144] [수학식 2]

[145]

$$X_{k+1} = X_k + JM^{\#}[D]$$

[146]

[147] 여기서, X_{k+1} 은 임의 위치 정보인 X_k 를 기준으로 이동 제어 정보를 이용하여 자율이동장치(10)가 이동하는 위치 및 자세를 나타내며, X_k 는 임의 위치 정보이고, JM 은 Jacobian matrix로서 와이어(20)의 기구학적 형상에 의해 결정되며, D 는 길이 차이값이다.

[148]

생성모듈(270)은 [수학식 2]를 [수학식 3]로 변환할 수 있다.

[149]

[150] [수학식 3]

[151]

$$JM_x \dot{X} = JM_L \dot{L}$$

[152]

[153] 여기서, $JM_x \dot{X}$ 는 X_{k+1} 에서 X_k 를 빼기 연산한 값을 미분하는 것을

의미하며, $JM_L \dot{L}$ 는 L_m 에서 L_k 를 빼기 연산한 값을 미분하는 것을 의미이다.

이후, 생성모듈(270)은 현재 위치 정보를 생성하기 위해 [수학식 3]을 [수학식 4]로 변환할 수 있다.

[154]

[155] [수학식 4]

[156]

$$JM = JM_L^{-1} * JM_x = I^{-1} * \begin{bmatrix} s_1^T & (b_1 - s_1)^T \\ s_2^T & (b_2 - s_2)^T \\ \vdots & \vdots \\ s_n^T & (b_n - s_n)^T \end{bmatrix}$$

[157]

[158] 여기서, JM_L 은 단위 행렬(I)이며, s_n 은 도 5 및 도 6에 도시된 바와 같이 A_n 인 자율이동장치(10)에서 n 번째 와이어(20)가 고정되는 위치에서 B_n 인 n 번째 와이어(20)가 블록(50)에서 고정되는 위치까지의 단위 벡터이며, b_n 은 로봇 중심에서 A_n 까지의 벡터를 의미하고, N 은 자연수이다. 따라서, 생성모듈(270)은 길이 차이값 및 블록 설계 정보의 블록 고정 위치값을 이용하여 s_n 및 b_n 을 연산한다. 그리고, 생성모듈(270)은 [수학식 4]에 연산한 s_n 및 b_n 을 대입하여 현재 위치 정보를 생성한다.

[159]

자율이동장치 제어 시스템(100)은 현재 위치 정보와 이동 제어 정보의 이동

위치 정보를 비교하여 위치 차이 정보를 생성하고, 위치 차이 정보를 와이어 연산 길이 정보를 생성한다(S410).

[160] 즉, 자율이동장치 제어 시스템(100)의 길이 관리모듈(280)은 와이어 연산 길이 정보를 [수학식 5]와 같이 정의할 수 있다.

[161]

[162] [수학식 5]

[163]

$$L_n = \|A_n - B_n\| = \sqrt{({}^wX_n - {}^w x_n)^2 + ({}^wY_n - {}^w y_n)^2 + ({}^wZ_n - {}^w z_n)^2}$$

$$\text{이때, } A_n = ({}^w x_n, {}^w y_n, {}^w z_n), B_n = ({}^w X_n, {}^w Y_n, {}^w Z_n)$$

[164]

[165] 여기서, L 은 와이어 연산 길이 정보며, 도 6에 도시된 바와 같이 A_n 는 자율이동장치(10)에서 n 번째 와이어(20)가 고정되는 와이어 고정 위치값이고, B_n 는 n 번째 와이어(20)가 블록(50)에서 고정되는 블록 고정 위치값이며, N 은 자율이동장치(10)에 연결된 와이어(20)의 개수를 나타내며, 자연수이다.

${}^w X_n, {}^w Y_n, {}^w Z_n$ 은 전역 좌표계에서 정의된 n 번째 와이어(20)가

자율이동장치(10)에 고정된 와이어 고정 위치값이며, ${}^w X_n, {}^w Y_n, {}^w Z_n$ 은

전역 좌표계에서 정의된 n 번째 와이어(20)가 블록(50)에 고정된 블록 고정 위치값이다. 이때, B_n 는 블록(50)에서 n 번째 와이어(20)가 고정되는 위치이므로 자율이동장치(10)가 이동해도 변화하지 않기 때문에 블록 설계 정보의 블록 고정 위치값을 이용하여 확인할 수 있다.

[166] 길이 관리모듈(280)은 A_n 을 [수학식 6]과 같이 정의할 수 있다.

[167]

[168] [수학식 6]

[169]

$$\begin{bmatrix} w_{x_n} \\ w_{y_n} \\ w_{z_n} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & T_{3 \times 1} \\ 0_{1 \times 3} & 1_{1 \times 1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{x_n} \\ b_{y_n} \\ b_{z_n} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{이때, } R_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} c_z c_y & c_z s_y s_x - s_z c_x & c_z s_y c_x + s_z s_x \\ s_z c_y & s_z s_y s_x + c_z c_x & s_z s_y c_x - c_z s_x \\ -s_y & c_y s_x & c_y c_x \end{bmatrix}, T_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix}$$

[170]

[171] 여기서, R은 로테이션 매트릭스(rotation matrix)이며, T는 트랜스레이션 매트릭스(translation matrix)이다. $b_{x_n}, b_{y_n}, b_{z_n}$ 은 지역 좌표계에서

정의된 n번째 와이어(20)가 자율이동장치(10)에서 고정되는 장치 고정 위치값이다. 이때, $b_{x_n}, b_{y_n}, b_{z_n}$ 은 자율이동장치(10)를 기준으로

와이어(20)의 고정 위치점을 판단하므로 자율이동장치가 이동해도 변화하지 않기 때문에 블록 설계 정보에 포함된 장치 고정 위치값을 이용하여 확인한다. c_θ 및 s_θ 는 $\cos\theta$ 및 $\sin\theta$ 일 수 있다. 그리고, P_x, P_y, P_z 는 전역 좌표계에서 자율이동장치(10)의 위치 및 자세를 나타낸다.

[172] 따라서, 길이 관리모듈(280)은 [수학식 6]의 $b_{x_n}, b_{y_n}, b_{z_n}$ 에 블록

설계 정보의 장치 고정 위치값을 대입하고, P_x, P_y, P_z 에 현재 위치 정보, 위치 차이 정보 및 위치 단위 정보를 더하기 연산한 정보를 대입하여 와이어 고정 위치값인 A_n 을 생성한다.

[173] 그리고, 길이 관리모듈(280)은 [수학식 5]의 A_n 에 생성한 와이어 고정 위치값을 대입하고, B_n 에 블록 설계 정보의 블록 고정 위치값을 대입하여 와이어 연산 길이 정보를 생성한다.

[174] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 와이어(20)에 작용하는 장력을 나타내는 와이어 장력 측정 정보를 생성한다(S420).

[175] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 와이어(20)의 처짐을 판단하기 위해 기준이 되는 장력 기준 정보를 설정한다(S430).

[176] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 와이어 장력 측정 정보가 장력 기준 정보 미만인지를 판단한다(S440).

[177] 만약, 자율이동장치 제어 시스템(100)의 처짐 관리부(170)는 판단한 결과에 따라 와이어 장력 측정 정보가 장력 기준 정보 이상이면 와이어(20)에 처짐이 발생하지 않은 것으로 판단하고 자율이동장치(10)를 이동시키기 위해 와이어(20)의 길이를 조절한다(S450). 와이어(20)의 길이를 조절하는 방법은 단계 S470에서 상세하게 설명하기로 한다.

[178] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 장력 판단 결과에 따라 와이어 장력 측정 정보가 장력 기준 정보 미만이면 와이어 장력 측정 정보 및 장력 기준 정보를 비교하여 생성한 장력 비교 정보를 이용하여 와이어 장력 측정 정보를 이용하여 와이어(20)를 조절한다(S460). 예를 들어, 자율이동장치 제어 시스템(100)의 처짐 관리부(170)는 [수학식 7]과 같이 장력 비교 정보를 정의할 수 있다.

[179]

[180] [수학식 7]

$$[181] \quad TS = K_t * ((T_n)_t - (T_n)_c)$$

[182]

[183] 여기서, TS는 장력 비교 정보이며, K_t 는 장력 정보를 보상하기 위한 장력 비례 계인이고, $(T_n)_t$ 는 장력 기준 정보이며, $(T_n)_c$ 는 와이어 장력 측정 정보이다. 이때, 처짐 관리부(170)는 사용자로부터 입력 받아 장력 비례 계인을 설정하거나, 미리 설정된 알고리즘을 이용하여 장력 비례 계인을 설정할 수 있다.

[184] 처짐 관리부(170)는 [수학식 7]의 $(T_n)_t$ 에 장력 기준 정보를 대입하고, $(T_n)_c$ 에 와이어 장력 측정 정보를 대입하여 장력 비교 정보를 설정한다. 자율이동장치 제어 시스템(100)은 장력 비교 정보를 이용하여 와이어(20)에서 발생하는 처짐을 해결할 수 있다.

[185] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 와이어 연산 길이 정보를 이용하여 회전각 예측 정보를 생성하고, 회전각 예측 정보와 회전각 측정값을 비교하여 생성한 이동 제어 정보를 이용하여 와이어(20)의 길이를 조절한다(S470).

[186] 즉, 자율이동장치 제어 시스템(100)의 길이 관리모듈(280)은 이동 제어 정보를 [수학식 8]과 같이 정의할 수 있다.

[187]

[188] [수학식 8]

$$[189] \quad CL = K_p * ((J_n)_t - (J_n)_c)$$

[190]

[191] 여기서, CL은 이동 제어 정보이며, K_p 는 회전각 정보를 보상하기 위한 회전각 비례 계인이고, $(J_n)_t$ 는 회전각 예측 정보이며, $(J_n)_c$ 는 회전각 측정값이다. 이때, 길이 관리모듈(280)은 사용자로부터 입력 받아 길이 비례 계인을 설정하거나, 미리 설정된 알고리즘을 이용하여 길이 비례 계인을 설정할 수 있다.

- [192] 길이 관리모듈(280)은 [수학식 8]의 $(J_n)_t$ 에 회전각 예측 정보를 대입하며, $(J_n)_c$ 에 회전각 측정 정보를 대입하여 이동 제어 정보를 설정한다.
- [193] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 이동 제어 정보의 이동 속도 정보 및 이동 제어 정보를 이용하여 자율이동장치(10)의 속도를 제어해서 자율이동장치(10)를 이동시킨다(S480).
- [194] 이후, 자율이동장치 제어 시스템(100)의 속도 관리부(130)는 와이어 장력 측정 정보가 장력 기준 정보 보다 크고 현재 위치 정보와 최종 위치 정보의 비교값이 위치 기준 정보 미만이면 자율이동장치(10)의 이동을 종료한다. 이때, 위치 기준 정보는 이동해야 할 위치 및 자세와 현재 자율이동장치의 위치 및 자세를 비교하여 허용할 수 있는 오차를 판단하기 위해 기준이 되는 정보이며, 사용자로부터 입력 받아 속도 관리부(130)에서 설정하거나 미리 설정된 알고리즘을 이용하여 설정할 수 있다.
- [195]
- [196] 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템은 도 5 내지 도 7을 참조하여 설명하기로 한다.
- [197] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템을 나타낸 블록도이다.
- [198] 도 5를 참조하면, 자율이동장치 제어 시스템(100)은 입력부(110), 경로 설정부(120), 속도 관리부(130), 위치 제어부(140), 위치 관리부(300), 처리부(200), 표시부(150) 및 저장부(160)를 포함한다.
- [199] 입력부(110)는 사용자로부터 최종 위치 정보를 입력 받을 수 있다. 여기서, 최종 위치 정보는 자율이동장치(10)가 최종적으로 블록(50) 내에서 이동해야 할 위치 및 자세를 나타내며, x, y, z 를 포함하는 좌표값으로 표현될 수 있다. 이때, 자율이동장치(10)의 위치는 자율이동장치(10)가 블록(50) 내에 위치하는 곳을 나타낸다. 자율이동장치(10)의 자세는 자율이동장치(10)가 블록(50) 내에서 와이어(20)에 의해 위치를 기준으로 기울어진 각도를 나타낼 수 있다. 최종 위치 정보는 자율이동장치(10)를 기준으로 하는 지역 좌표값 및 블록 내의 어느 하나의 지점을 기준으로 하는 전역 좌표값 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [200] 또한, 입력부(110)는 사용자로부터 블록 설계 정보를 입력 받을 수 있다. 이때, 블록 설계 정보는 와이어(20)가 자율이동장치(10)에 고정되는 위치에 대한 와이어 고정 위치값, 와이어(20)가 블록(50)에 고정되는 위치에 대한 블록 고정 위치값 및 자율이동장치(10)의 크기와 같은 물성 정보 등을 포함할 수 있다. 한편, 블록 설계 정보는 자율이동장치 제어 시스템(100)과 연결된 외부 장치(도시하지 않음)로부터 수신할 수도 있다.
- [201] 경로 설정부(120)는 최종 위치 정보 및 초기 위치 정보를 이용하여 자율이동장치(10)의 이동 제어 정보를 설정한다. 여기서, 초기 위치 정보는 자율이동장치(10)가 이동하기 이전의 위치 및 자세를 나타내며, 최종 위치 정보와 같이 좌표값으로 나타낸다. 이동 제어 정보는 자율이동장치(10)를 초기

위치 정보에서 최종 위치 정보까지 이동시키기 위해 필요한 제어 정보를 나타낸다.

- [202] 구체적으로, 경로 설정부(120)는 자율이동장치(10)가 이동하기 이전의 위치 및 자세를 나타내는 초기 위치 정보를 설정한다. 경로 설정부(120)는 센서부(60)를 통해 입력 받은 센서값을 이용하여 초기 위치 정보를 설정하거나, 위치 관리부(300)로부터 제공받은 와이어 초기 길이 정보를 이용하여 초기 위치 정보를 설정할 수 있다. 이때, 와이어 초기 길이 정보는 자율이동장치(10)가 이동하기 이전인 상태에 원치(70)에서 풀린 와이어(20)의 길이를 나타낸다.
- [203] 경로 설정부(120)는 최종 위치 정보 및 초기 위치 정보를 이용하여 자율이동장치(10)가 이동해야 할 이동 경로를 판단한다. 이때, 이동 경로는 자율이동장치(10)가 블록(50) 내의 초기 위치 정보에서 최종 위치 정보까지 이동해야 하는 경로를 나타낸다.
- [204] 경로 설정부(120)는 단위 시간 별로 자율이동장치(10)가 이동 경로에 따라 이동해야 하는 속도를 나타내는 이동 속도 정보를 생성한다. 경로 설정부(120)는 가속 구간 정보, 등속 구간 정보 및 감속 구간 정보를 포함하는 이동 속도 정보를 설정한다. 이때, 경로 설정부(120)는 사용자로부터 입력부(110)를 통해 입력 받아 가속 구간 정보, 등속 구간 정보 및 감속 구간 정보를 설정하거나, 미리 지정된 알고리즘(예를 들어, 프로그램 및 확률 모델 등)을 이용하여 가속 구간 정보, 등속 구간 정보 및 감속 구간 정보를 설정할 수 있다.
- [205] 경로 설정부(120)는 단위 시간 별로 자율이동장치(10)가 이동해야 할 위치 및 자세를 나타내는 이동 위치 정보를 설정한다. 즉, 이동 위치 정보는 단위 시간 후에 자율이동장치(10)가 이동해야 하는 위치 및 자세를 나타낸다.
- [206] 경로 설정부(120)는 이동 속도 정보 및 이동 위치 정보 중 적어도 하나를 포함하는 이동 제어 정보를 설정한다. 또한, 경로 설정부(120)는 단위 시간 마다 자율이동장치(10)가 이동해야 할 위치 및 자세를 나타내는 위치 단위 정보를 설정하여 이동 제어 정보에 더 포함시킬 수 있다. 이때, 위치 단위 정보는 단위 시간 마다 이동 속도 정보에 따라 자율이동장치(10)가 얼마만큼 이동해야 하는지에 대한 정보를 나타낸다.
- [207] 경로 설정부(120)는 최종 위치 정보에 해당하는 회전각 처리 정보를 설정한다. 이때, 회전각 처리 정보는 단위 시간 별로 자율이동장치(10)가 이동해야 하는 위치 및 자세에 해당하는 원치(70)의 회전각을 나타낼 수 있다.
- [208] 속도 관리부(130)는 이동 제어 정보를 이용하여 자율이동장치(10)를 이동시킨다. 다시 말하면, 속도 관리부(130)는 이동 속도 정보를 바탕으로 단위 시간 별로 와이어(20)의 길이를 설정해서 와이어 단위 길이 정보를 생성할 수 있다. 속도 관리부(130)는 와이어 단위 길이 정보를 원치 제어부(140)에 제공한다.
- [209] 원치 제어부(140)는 원치(70)와 접촉하며, 와이어(20)가 감겨진 원치(70)를 제어하여 와이어(20)의 길이를 조절해서 와이어(20)에 연결된

자율이동장치(10)를 이동시킨다. 예를 들어, 원치 제어부(140)는 속도 관리부(130)로부터 제공받은 와이어 단위 길이 정보를 이용하여 원치(70)를 제어해서 와이어(20)를 풀거나 감아서 자율이동장치(10)를 이동시킬 수 있다.

[210] 위치 관리부(300)는 회전각 측정 정보 및 와이어 장력 정보를 이용하여 현재 위치 정보를 생성한다. 다시 말하면, 위치 관리부(300)는 와이어(20)와 자율이동장치(10)에 대한 회전각 측정 정보 및 와이어(20)에 작용하는 와이어 장력 정보를 이용하여 와이어 현재 길이 정보를 생성한다.

[211] 여기서, 회전각 측정 정보는 원치(70)가 풀림 또는 감길 경우에 원치(70)의 각도를 나타낸다. 와이어 장력 정보는 와이어(20)에 작용하는 장력을 나타내며, 자율이동장치(10)에 연결된 복수의 와이어(20) 각각에 대한 장력 정보를 포함할 수 있다. 와이어 현재 길이 정보는 원치(70)에서 풀린 와이어(20)의 길이를 나타내며, 이동한 자율이동장치(10)와 블록(50) 사이를 연결하는 와이어(20)의 길이를 나타낸다. 와이어 현재 길이 정보는 자율이동장치(10)에 연결된 복수의 와이어(20) 각각에 대한 길이를 포함할 수 있다.

[212] 그리고, 위치 관리부(300)는 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 현재 위치 정보를 생성한다. 이때, 현재 위치 정보는 블록(50) 내에서 자율이동장치(10)가 현재 위치하고 있는 위치 및 자세를 나타낼 수 있다. 이러한, 위치 관리부(300)는 도 2를 참조하여 더욱 구체적으로 설명하기로 한다.

[213] 처리부(200)는 현재 위치 정보를 이용하여 와이어 연산 길이 정보 및 회전각 제어 정보를 생성한다. 즉, 처리부(200)는 현재 위치 정보 및 이동 제어 정보의 이동 위치 정보를 이용하여 자율이동장치(10)가 이동해야 할 위치 및 자세에서 와이어(20)의 길이를 나타내는 와이어 연산 길이 정보를 생성한다. 처리부(200)는 와이어 연산 길이 정보 및 회전각 정보를 이용하여 회전각 제어 정보를 생성한다. 이때, 회전각 제어 정보는 자율이동장치(10)를 이동 위치 정보로 이동시키기 위해 원치(70)의 회전각을 나타낸다. 이러한, 처리부(200)는 도 3을 참조하여 더욱 상세하게 설명하기로 한다.

[214] 표시부(150)는 입력부(110), 경로 설정부(120), 속도 관리부(130), 원치 제어부(140), 위치 관리부(300) 및 처리부(200)에서 수행하는 과정 및 결과를 디스플레이(display)할 수 있고, 저장부(160)에 저장된 데이터들을 디스플레이할 수 있다.

[215] 예를 들어, 표시부(150)는 사용자로부터 이동 초기 정보를 입력 받기 위해 사용자 인터페이스를 디스플레이할 수 있다. 이때, 사용자는 표시부(150)를 통해 표시된 표시 사항을 확인하고 입력부(110)를 통해 이동 초기 정보를 입력할 수 있다.

[216] 예를 들어, 표시부(150)는 경로 설정부(120)에서 초기 위치 정보 및 이동 제어 정보를 설정하는 과정 및 결과를 디스플레이할 수 있고, 센서부(60)에서 측정된 센서값을 디스플레이할 수 있다.

[217] 예를 들어, 표시부(150)는 위치 관리부(300)에서 현재 길이 정보 및 현재 위치

정보를 생성하는 과정 및 결과를 디스플레이할 수 있으며, 처리부(200)에서 와이어 연산 길이 정보를 생성하는 과정 및 결과를 디스플레이할 수 있다.

[218] 또한, 표시부(150)는 입력부(110), 경로 설정부(120), 속도 관리부(130), 원치 제어부(140), 위치 관리부(300) 및 처리부(200)에서 오류가 발생하면 오류 발생 사항을 표시할 수 있다. 이에 따라, 사용자는 표시부(150)를 통해 표시된 오류 발생 사항을 확인하고 오류를 해결할 수 있다.

[219] 저장부(160)는 자율이동장치(10)를 이동시키기 위해서 필요한 데이터 및 생성한 데이터를 저장한다. 즉, 저장부(160)는 자율이동장치 제어 시스템(100)의 구성 요소인 입력부(110), 경로 설정부(120), 속도 관리부(130), 원치 제어부(140), 위치 관리부(300) 및 처리부(200)에서 필요한 데이터 및 생성한 데이터를 저장할 수 있다.

[220] 예를 들어, 저장부(160)는 입력부(110)를 통해 입력 받은 최종 위치 정보 및 센서부(60)를 통해 측정된 센서값을 저장할 수 있다.

[221] 예를 들어, 저장부(160)는 위치 관리부(300)에서 생성한 현재 길이 정보 및 현재 위치 정보를 저장할 수 있으며, 처리부(200)에서 생성한 와이어 연산 길이 정보를 저장할 수 있다.

[222] 또한, 저장부(160)는 입력부(110), 경로 설정부(120), 속도 관리부(130), 원치 제어부(140), 위치 관리부(300), 처리부(200) 및 표시부(150)의 요청에 따라 필요한 데이터를 제공할 수 있다.

[223]

[224] 도 6은 도 5에 나타낸 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템의 위치 관리부를 상세하게 나타낸 블록도이다.

[225] 도 6을 참조하면, 위치 관리부(300)는 회전각 분석모듈(220), 장력 분석모듈(230), 길이 설정모듈(310), 연산모듈(320) 및 생성모듈(330)을 포함한다.

[226] 회전각 분석모듈(220)은 엔코더(encoder, 80)에서 측정된 원치(70)의 회전각 측정 정보를 대응되는 와이어 기초 길이 정보를 생성한다. 이때, 와이어 기초 길이 정보는 원치(70)에서 풀린 와이어(20)의 길이를 나타낸다.

[227] 예를 들어, 회전각 분석모듈(220)은 회전각 측정 정보와 와이어(20)의 길이 정보의 관계를 함수로 나타내고, 함수에 회전각 측정 정보를 대입하여 와이어 기초 길이 정보를 생성할 수 있다. 또한, 회전각 분석모듈(220)은 회전각 정보에 와이어(20)의 길이를 매칭한 길이 테이블을 이용하여 와이어 기초 길이 정보를 생성할 수도 있다.

[228] 이때, 엔코더(80)는 원치(70)에 연결되어 원치(70)의 회전을 통해 회전각 측정 정보를 생성한다. 또한, 엔코더(80)는 와이어(20)가 토출되는 풀리(pulley, 도시하지 않음)에 연결되어 풀리가 회전되는 양을 측정하거나, 반대로 와이어(20)가 토출되는 양을 측정하여 회전각 측정 정보를 생성할 수도 있다.

[229] 회전각 분석모듈(220)은 경로 설정부(120)로부터 길이 요청 신호를 수신하면 이동하기 이전의 자율이동장치(10)에 장착된 원치(70)의 회전각 측정 정보를

원치(70) 축에 연결된 엔코더(80)를 통해 측정하여 와이어 초기 길이 정보를 생성한다. 그리고, 회전각 분석모듈(220)은 경로 설정부(120)로 와이어 초기 길이 정보를 제공한다.

- [230] 장력 분석모듈(230)은 로드셀(load cell, 90)에서 측정한 장력 측정 정보를 이용하여 와이어 장력 정보를 생성한다.
- [231] 예를 들어, 장력 분석모듈(230)은 로드셀(90)에서 측정한 장력 측정 정보와 와이어(20)에 작용하는 와이어 장력의 관계를 선형 또는 비선형 함수로 나타내고, 함수에 장력 측정 정보를 대입하여 와이어 장력 정보를 생성할 수 있다. 또한, 장력 분석모듈(230)은 장력 측정 정보에 와이어(20)에 작용하는 와이어 장력을 매칭한 장력 테이블을 이용하여 와이어 장력 정보를 생성할 수도 있다.
- [232] 이때, 로드셀(90)은 와이어(20)에 연결되며 와이어(20)에 작용하는 장력을 측정하여 장력 측정 정보를 생성한다. 로드셀(90)은 장력 분석모듈(230)과 접속하며, 장력 분석모듈(230)로 장력 측정 정보를 전송한다.
- [233] 길이 설정모듈(310)은 와이어 기초 길이 정보 및 와이어 장력 정보를 이용하여 와이어 현재 길이 정보를 생성한다. 다시 말하면, 길이 설정모듈(310)은 와이어 기초 길이 정보에 와이어 장력 정보를 반영하여 와이어 현재 길이 정보를 생성할 수 있다.
- [234] 따라서, 본 발명에 따른 와이어(20)를 이용한 자율이동장치 제어 시스템(100)은 와이어(20)에 작용하는 장력을 포함하여 와이어 현재 길이 정보를 생성하므로 정확하게 블록(50) 내에서 자율이동장치(10)의 위치 및 자세를 판단할 수 있다.
- [235] 연산모듈(320)은 자율이동장치(10)의 임의 위치 정보를 설정하고, 임의 위치 정보에 대한 임의 길이 정보를 설정한다. 구체적으로, 연산모듈(320)은 자율이동장치(10)가 고정된 블록(50) 내에서 임의의 위치에 있다고 가정하기 위해 임의 위치 정보를 설정한다. 이때, 임의 위치 정보는 블록(50) 내에서 자율이동장치(10)가 가상으로 위치하는 임의의 곳을 나타내며, 좌표값으로 표현할 수 있다. 임의 위치 정보는 자율이동장치(10)가 블록(50) 내에서 이동할 수 있는 위치이면 블록(50) 내의 아무 곳이나 무관하다. 임의 위치 정보는 사용자가 입력부(110)를 통해 입력 받아 연산모듈(320)에서 설정되거나, 미리 설정된 알고리즘을 이용하여 연산모듈(320)에서 설정될 수 있다.
- [236] 연산모듈(320)은 임의 위치 정보를 이용하여 역 기구학(inverse kinematics)을 통해 와이어 임의 길이 정보를 설정한다. 이때, 와이어 임의 길이 정보는 임의 위치 정보를 기준으로 원치(70)에서 풀린 와이어(20)의 길이를 나타낼 수 있으며, 자율이동장치(10)에 연결된 복수의 와이어(20)의 길이를 포함할 수 있다.
- [237] 생성모듈(330)은 와이어 임의 길이 정보 및 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 순 기구학(forward kinematics)을 통해 현재 위치 정보를 생성한다. 다시 말하면, 생성모듈(330)은 와이어 임의 길이 정보와 와이어 연산 길이 정보를 비교하여 길이 차이값을 생성한다. 생성모듈(330)은 와이어 임의 길이 정보와 와이어 현재

길이 정보를 비교하여 오차를 허용할 수 있는 기준이 되는 길이 기준 정보를 설정할 수 있다. 이때, 생성모듈(330)은 사용자로부터 입력부(110)를 통해 입력 받아 길이 기준 정보를 설정하거나, 미리 설정된 알고리즘을 이용하여 길이 기준 정보를 설정할 수 있다.

- [238] 생성모듈(330)은 길이 차이값이 길이 기준 정보 미만인지를 판단한다. 생성모듈(330)은 판단한 결과에 따라 길이 차이값이 길이 기준 정보 미만이면 임의의 위치 정보로 현재 위치 정보를 생성한다.
- [239] 한편, 생성모듈(330)은 길이 판단 결과 정보에 따라 길이 차이값이 길이 기준 정보 이상이면 길이 차이값을 이용하여 임의의 위치 정보를 다시 설정하여 현재 위치 정보를 생성할 수도 있다.
- [240]
- [241] 도 7은 도 5에 나타낸 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템의 처리부를 상세하게 나타낸 블록도이다.
- [242] 도 7을 참조하면, 처리부(200)는 길이 분석모듈(211), 예측모듈(212) 및 판단모듈(213)을 포함한다.
- [243] 길이 분석모듈(211)은 현재 위치 정보 및 이동 제어 정보를 이용하여 와이어 연산 길이 정보를 생성한다. 즉, 길이 분석모듈(211)은 경로 설정부(120)에서 설정한 이동 제어 정보를 바탕으로 자율이동장치(10)가 이동하였는지를 판단하기 위해 현재 위치 정보와 이동 제어 정보에 포함된 이동 위치 정보를 비교하여 위치 차이 정보를 생성한다.
- [244] 또한, 길이 분석모듈(211)은 현재 위치 정보, 위치 차이 정보 및 이동 제어 정보에 포함된 위치 단위 정보를 더하기 연산하여 와이어 연산 길이 정보를 생성한다. 이때, 와이어 연산 길이 정보는 자율이동장치(10)가 이동해야 할 단위 시간 별 위치 및 자세에 위치하는 자율이동장치(10)와 블록(50) 사이를 연결하는 와이어(20)의 길이를 나타낸다. 한편, 길이 분석모듈(211)은 현재 위치 정보, 위치 차이 정보 및 이동 제어 정보를 이용하여 역 기구학을 통해 와이어 연산 길이 정보를 생성할 수 있다.
- [245] 예측모듈(212)은 와이어 연산 길이 정보를 이용하여 회전각 예측 정보를 생성한다. 이때, 회전각 예측 정보는 자율이동장치(10)를 이동시키기 위해 자율이동장치(10)와 원치(70)의 회전각을 나타낸다.
- [246] 다시 말하면, 예측모듈(212)은 와이어 연산 길이 정보에 해당하는 장력 예측 정보를 생성할 수 있다. 예측모듈(212)은 와이어 연산 길이 정보 및 장력 예측 정보를 이용하여 회전각 예측 정보를 생성한다. 예를 들어, 예측모듈(212)은 회전각 정보와 와이어(20)의 길이 정보의 관계를 함수로 나타내고, 함수에 와이어 연산 길이 정보를 대입하여 회전각 예측 정보를 생성할 수 있다. 또한, 예측모듈(212)은 길이 테이블에서 와이어 연산 길이 정보에 매칭된 회전각 정보를 이용하여 회전각 예측 정보를 생성할 수도 있다.
- [247] 판단모듈(213)은 회전각 측정 정보 및 회전각 예측 정보를 이용하여 회전각

제어 정보를 생성한다. 즉, 판단모듈(213)은 블록(50) 내에서 현재 자율이동장치(10)가 위치하는 위치 및 자세에서 이동해야 할 위치 및 자세로 자율이동장치(10)를 이동시키기 위해 회전각 측정 정보와 회전각 예측 정보를 비교하여 회전각 제어 정보를 생성할 수 있다.

[248]

[249] 본 발명에 따른 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템이 자율이동장치를 제어하는 방법은 도 8 및 도 9를 참조하여 설명하기로 한다.

[250] 도 8 및 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 방법을 상세하게 나타낸 순서도이다.

[251] 도 8 및 도 9를 참조하면, 자율이동장치 제어 시스템(100)은 이동하기 이전의 자율이동장치(10)의 위치 및 자세를 나타내는 초기 위치 정보를 설정한다(S810).

[252] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 최종 위치 정보 및 초기 위치 정보를 이용하여 이동 속도 정보, 이동 위치 정보 및 위치 단위 정보 중 적어도 하나를 포함하는 이동 제어 정보를 설정한다(S820). 그리고, 자율이동장치 제어 시스템(100)은 이동 제어 정보의 이동 속도 정보를 이용하여 와이어 단위 길이 정보를 생성하고, 이동 속도 정보 및 와이어 단위 길이 정보를 이용하여 자율이동장치(10)에 연결된 복수의 와이어(20)를 풀거나 당겨서 자율이동장치(10)를 이동시킨다.

[253] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 원치(70)의 회전각 측정 정보를 이용하여 와이어 기초 길이 정보를 생성한다(S830).

[254] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 와이어(20)에 작용하는 와이어 장력 정보를 생성한다(S840).

[255] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 와이어 기초 길이 정보 및 와이어 장력 정보를 이용하여 와이어 현재 길이 정보를 생성한다(S850).

[256] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 자율이동장치(10)가 블록(50) 내에서 임의의 위치에 있다고 가정하기 위해 자율이동장치(10)의 임의 위치 정보를 설정한다(S860).

[257] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 역 기구학에 임의 위치 정보를 대입하여 와이어 임의 길이 정보를 설정한다(S870).

[258] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 와이어 현재 길이 정보와 와이어 임의 길이 정보를 비교하여 길이 차이값을 생성한다(S880).

[259] 즉, 자율이동장치 제어 시스템(100)의 생성모듈(330)은 길이 차이값을 [수학식 9]와 같이 정의할 수 있다.

[260]

[261] [수학식 9]

[262]

$$D = L_m - L_k$$

[263]

[264] 여기서, D 는 길이 차이값이며, L_m 은 와이어 현재 길이 정보이고, L_k 는 와이어 임의 길이 정보이다. 따라서, 생성모듈(330)은 [수학식 1]에 L_m 에 길이 설정모듈(310)에서 생성한 와이어 현재 길이 정보를 대입하고, L_k 에 연산모듈(320)에서 설정한 와이어 임의 길이 정보를 대입하여 길이 차이값을 생성한다. 이때, 생성모듈(330)은 자율이동장치(10)에 연결된 복수의 와이어(20) 각각에 대응되도록 길이 차이값을 생성할 수 있다.

[265] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 길이 차이값이 길이 기준 정보 미만인지를 판단한다(S890).

[266] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 판단한 결과에 따라 길이 차이값이 길이 기준 정보 이상이면 단계 S860으로 돌아가서 길이 차이값을 이용하여 임의 위치 정보를 다시 설정한다(S910).

[267] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 판단한 결과에 따라 길이 차이값이 길이 기준 정보 미만이면 순 기구학에 임의 위치 정보를 대입하여 현재 위치 정보를 생성한다(S920).

[268] 즉, 자율이동장치 제어 시스템(100)의 생성모듈(330)은 [수학식 10]을 이용하여 현재 위치 정보를 생성할 수 있다.

[269]

[270] [수학식 10]

$$[271] \quad X_{k+1} = X_k + JM^{\#}[D]$$

[272]

[273] 여기서, X_{k+1} 은 임의 위치 정보인 X_k 를 기준으로 이동 속도 정보를 이용하여 자율이동장치(10)가 이동하는 위치 및 자세를 나타내며, X_k 는 임의 위치 정보이고, JM 은 Jacobian matrix로서 와이어(20)의 기구학적 형상에 의해 결정되며, D 는 길이 차이값이다.

[274] 생성모듈(330)은 [수학식 10]을 [수학식 11]로 변환할 수 있다.

[275]

[276] [수학식 11]

$$[277] \quad JM_x \dot{X} = JM_L \dot{L}$$

[278]

[279] 여기서, $JM_x \dot{X}$ 는 X_{k+1} 에서 X_k 를 빼기 연산한 값을 미분하는 것을 의미하며, $JM_L \dot{L}$ 는 L_m 에서 L_k 를 빼기 연산한 값을 미분하는 것을 의미한다.

이후, 생성모듈(330)은 현재 위치 정보를 생성하기 위해 [수학식 11]을 [수학식

12]로 변환한다.

[280]

[281] [수학식 12]

[282]

$$JM = JM_L^{-1} * JM_X = I^{-1} * \begin{bmatrix} s_1^T & (b_1 - s_1)^T \\ s_2^T & (b_2 - s_2)^T \\ \vdots & \vdots \\ s_n^T & (b_n - s_n)^T \end{bmatrix}$$

[283]

[284] 여기서, JM_L 은 단위 행렬(I)이며, s_n 은 도 6 및 도 7에 도시된 바와 같이 A_n 인 자율이동장치(10)에서 와이어(20)가 고정되는 위치에서 B_n 인 와이어(20)가 블록(50)에서 고정되는 위치까지의 단위 벡터이며, b_n 은 로봇 중심에서 A_n 까지의 벡터를 의미하고, N 은 자연수이다.

[285] 따라서, 생성모듈(330)은 길이 차이값 및 블록(50) 설계 정보의 블록(50) 고정 위치값을 이용하여 s_n 및 b_n 을 연산한다. 그리고, 생성모듈(330)은 [수학식 12]에 연산한 s_n 및 b_n 을 대입하여 현재 위치 정보를 생성한다.

[286] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 현재 위치 정보, 위치 차이 정보, 이동 제어 정보의 위치 단위 정보를 더하기 연산하여 역 기구학에 대입해서 와이어 연산 길이 정보를 생성한다(S930).

[287] 즉, 자율이동장치 제어 시스템(100)의 길이 분석모듈(211)은 와이어 연산 길이 정보를 [수학식 13]과 같이 정의할 수 있다.

[288]

[289] [수학식 13]

[290]

$$L_n = \|A_n - B_n\| = \sqrt{(^wX_n - ^wX_n)^2 + (^wY_n - ^wY_n)^2 + (^wZ_n - ^wZ_n)^2}$$

$$\text{이때, } A_n = (^wX_n, ^wY_n, ^wZ_n), B_n = (^wX_n, ^wY_n, ^wZ_n)$$

[291]

[292] 여기서, L 은 와이어 연산 길이 정보며, 도 7에 도시된 바와 같이 A_n 는 자율이동장치(10)에서 와이어(20)가 고정되는 와이어 고정 위치값이고, B_n 는 와이어(20)가 블록(50)에서 고정되는 블록 고정 위치값이며, N 은 자율이동장치(10)에 연결된 와이어(20)의 개수를 나타내며, 자연수이다.

$^wX_n, ^wY_n, ^wZ_n$ 은 전역 좌표계에서 정의된 n 번째 와이어(20)가

자율이동장치(10)에 고정된 와이어 고정 위치값이며, $^wX_n, ^wY_n, ^wZ_n$ 은 전역

좌표계에서 정의된 n 번째 와이어(20)가 블록(50)에 고정된 블록 고정

위치값이다. 이때, B_n 는 블록(50)에서 와이어(20)가 고정되는 위치이므로 자율이동장치(10)가 이동해도 변화하지 않기 때문에 블록 설계 정보의 블록 고정 위치값을 이용하여 확인할 수 있다.

[293] 길이 분석모듈(211)은 A_n 을 [수학식 14]와 같이 정의할 수 있다.

[294]

[295] [수학식 14]

[296]

$$\begin{bmatrix} w_{x_n} \\ w_{y_n} \\ w_{z_n} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & T_{3 \times 1} \\ 0_{1 \times 3} & 1_{1 \times 1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{x_n} \\ b_{y_n} \\ b_{z_n} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{이 때, } R_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} c_z & c_y & c_z s_y s_x - s_z c_x & c_z s_y c_x + s_z s_x \\ s_z & c_y & s_z s_y s_x + c_z c_x & c_z s_y c_x - c_z s_x \\ -s_y & & c_y s_x & c_y c_x \end{bmatrix}, T_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix}$$

[297]

[298] 여기서, R 은 로테이션 매트릭스(rotation matrix)이며, T 는 트랜스레이션 매트릭스(translation matrix)일 수 있다. b_{x_n} , b_{y_n} , b_{z_n} 은 지역

좌표계에서 정의된 n 번째 와이어(20)가 자율이동장치(10)에서 고정되는 장치 고정 위치값이다. 이때, b_{x_n} , b_{y_n} , b_{z_n} 은 자율이동장치(10)를 기준으로

와이어(20)의 고정 위치점을 판단하므로 자율이동장치가 이동해도 변화하지 않기 때문에 블록 설계 정보에 포함된 장치 고정 위치값을 이용하여 확인할 수 있다. c_θ 및 s_θ 는 $\cos\theta$ 및 $\sin\theta$ 이다. 그리고, P_x , P_y , P_z 는 전역 좌표계에서 자율이동장치(10)의 위치 및 자세를 나타낸다.

[299] 따라서, 길이 분석모듈(211)은 [수학식 14]의 b_{x_n} , b_{y_n} , b_{z_n} 에

블록 설계 정보의 장치 고정 위치값을 대입하고, P_x , P_y , P_z 에 현재 위치 정보, 위치 차이 정보 및 위치 단위 정보를 더하기 연산한 정보를 대입하여 와이어 고정 위치값인 A_n 을 생성한다. 그리고, 길이 분석모듈(211)은 [수학식 13]의 A_n 에 생성한 와이어 고정 위치값을 대입하고, B_n 에 블록 설계 정보의 블록 고정 위치값을 대입하여 와이어 연산 길이 정보를 생성한다.

[300] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 와이어 연산 길이 정보에 해당하는 장력 예측 정보를 생성한다(S940).

[301] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 와이어 연산 길이 정보 및 장력 예측 정보를 이용하여 회전각 예측 정보를 생성한다(S950).

[302] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 회전각 측정 정보와 회전각 예측 정보를 비교하여 회전각 제어 정보를 생성한다(S960).

[303] 즉, 자율이동장치 제어 시스템(100)의 예측모듈(212)은 회전각 제어 정보를 [수학식 15]과 같이 정의할 수 있다.

[304]

[305] [수학식 15]

$$[306] \quad CL = K_p * ((J_n)_t - (J_n)_c)$$

[307]

[308] 여기서, 여기서, CL은 회전각 제어 정보며, K_p 는 회전각 정보를 보상하기 위한 회전각 비례 게인이고, $(J_n)_t$ 는 회전각 예측 정보이며, $(J_n)_c$ 는 회전각 측정 정보이다. 이때, 예측모듈(212)은 사용자로부터 입력 받아 회전각 비례 게인을 설정하거나, 미리 설정된 알고리즘을 이용하여 회전각 비례 게인을 설정할 수 있다.

[309] 예측모듈(212)은 [수학식 15]의 $(J_n)_t$ 에 회전각 예측 정보를 대입하며, $(J_n)_c$ 에 회전각 측정 정보를 대입하여 회전각 제어 정보를 설정한다.

[310] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 회전각 제어 정보 및 이동 제어 정보의 이동 속도 정보를 이용하여 최종 위치 정보를 향해 자율이동장치(10)를 이동시킨다(S970).

[311] 자율이동장치 제어 시스템(100)은 회전각 차이 정보가 회전각 기준 정보 미만인지를 판단한다(S980). 즉, 자율이동장치 제어 시스템(100)의 경로 설정부(120)는 자율이동장치(10)가 최종 위치 정보에 도착하였는지를 판단하기 위해 회전각 처리 정보에서 회전각 예측 정보를 빼기 연산한 회전각 차이 정보를 설정할 수 있다. 경로 설정부(120)는 회전각 차이 정보가 회전각 기준 정보 미만인지를 판단한다. 이때, 회전각 기준 정보는 자율이동장치(10)가 최종 위치 정보에 도착하였는지를 판단하기 위해 기준이 되는 정보이며, 사용자로부터 입력 받아 경로 설정부(120)에서 설정되거나, 미리 설정된 알고리즘을 이용하여 경로 설정부(120)에서 설정될 수 있다.

[312] 만약, 자율이동장치 제어 시스템(100)의 경로 설정부(120)는 판단한 결과에 따라 회전각 차이 정보가 회전각 기준 정보 미만이면 자율 이동 장치가 최종 위치 정보에 도착하였으므로 자율이동장치(10)의 이동을 종료한다(S990).

[313] 자율이동장치 제어 시스템(100)의 경로 설정부(120)는 판단한 결과에 따라 회전각 차이 정보가 회전각 기준 정보 이상이면 자율이동장치(10)가 아직 최종 위치 정보에 도착하지 않았으므로 단계 S830으로 돌아가서 자율이동장치(10)를 이동시키며 회전각 차이 정보가 회전각 기준 정보 보다 작아질 때까지 자율이동장치(10)를 이동시킬 수 있다(S1010).

[314]

[315] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

[316]

산업상 이용가능성

[317] 본 발명의 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템 및 방법은 자율이동장치에 연결된 와이어의 처짐을 방지할 수 있다.

[318] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템 및 방법은 와이어의 처짐이 발생하지 않도록 와이어에 작용하는 장력을 제어할 수 있다.

[319] 그리고, 본 발명의 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템 및 방법은 와이어의 속도를 제어하여 자율이동장치를 이동해야 할 위치 및 자세로 이동시킬 수 있다.

[320] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템 및 방법은 블록 내에서 고정된 와이어의 길이를 정확하게 판단할 수 있다.

[321] 그리고, 본 발명의 일 실시예에 따른 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템 및 방법은 와이어에 작용하는 장력을 이용하여 자율이동장치 및 블록에 고정된 와이어의 길이를 정확하게 판단할 수 있다.

[322]

[323]

[324]

[325]

청구범위

- [청구항 1] 와이어에 연결된 자율이동장치를 제어하는 자율이동장치 제어 시스템에 있어서,
 최종 위치 정보 및 초기 위치 정보를 이용하여 상기 자율이동장치의 이동 제어 정보를 생성하는 경로 설정부;
 상기 이동 제어 정보를 이용하여 상기 자율이동장치의 속도를 제어해서 상기 자율이동장치를 이동시키는 속도 관리부;
 상기 와이어와 상기 이동한 자율이동장치에 대한 회전각 측정값을 이용하여 현재 위치 정보를 생성하고, 상기 현재 위치 정보 및 상기 이동 제어 정보를 이용하여 와이어 연산 길이 정보를 생성하는 처리부; 및
 상기 와이어 연산 길이 정보가 생성되면 상기 와이어에 작용하는 와이어 장력 측정 정보를 이용하여 상기 와이어의 처짐을 판단해서 와이어의 처짐이 발생할 경우에 상기 와이어 장력 측정 정보를 이용하여 상기 와이어를 조절하는 처짐 관리부를 포함하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템.
- [청구항 2] 제 1항에 있어서,
 상기 처짐 관리부는,
 상기 와이어의 처짐을 판단하기 위해 기준이 되는 장력 기준 정보를 설정하며, 상기 와이어 장력 측정 정보가 상기 장력 기준 정보 미만이면 와이어의 처짐을 판단하고, 상기 와이어 장력 측정 정보를 이용하여 상기 와이어를 조절하는 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템.
- [청구항 3] 제 2항에 있어서,
 상기 처짐 관리부는,
 상기 와이어 장력 측정 정보와 상기 장력 기준 정보를 비교하여 장력 비교 정보를 생성하고, 상기 장력 비교 정보를 이용하여 상기 와이어를 잡아당기는 것을 특징으로 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템.
- [청구항 4] 제 1항 또는 제 2항에 있어서,
 상기 처리부는,
 상기 회전각 측정값을 이용하여 와이어의 길이를 설정해서 와이어 현재 길이 정보를 생성하는 와이어 관리모듈;
 상기 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 상기 현재 위치 정보를 생성하는 위치 관리모듈;
 상기 현재 위치 정보 및 상기 이동 제어 정보의 이동 위치 정보를 이용하여 상기 와이어 연산 길이 정보를 생성하는 길이 관리모듈;

및

상기 와이어 연산 길이 정보를 이용하여 원치를 제어해서
와이어를 풀거나 감아서 상기 와이어의 처짐이 해결된
자율이동장치를 이동시키는 원치 제어모듈을 포함하되,
상기 이동 위치 정보는 단위 시간 별로 상기 자율이동장치가
이동해야 할 위치 및 자세를 나타내는 것을 특징으로 하는
와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템.

[청구항 5]

제 4항에 있어서,
상기 와이어 관리모듈은,
상기 와이어에 연결된 엔코더(encoder)를 통해 측정된 상기 회전각
측정값을 이용하여 상기 와이어 현재 길이 정보를 생성하는
회전각 분석모듈; 및
상기 와이어에 연결된 로드셀(load cell)을 통해 측정된 장력
측정값을 이용하여 상기 와이어 장력 측정 정보를 생성하는 장력
분석모듈을 포함하는 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한
자율이동장치 제어 시스템.

[청구항 6]

제 4항에 있어서,
상기 위치 관리모듈은,
상기 자율이동장치가 위치한 블록 내의 임의의 위치를 나타내는
임의 위치 정보를 설정하고, 상기 임의 위치 정보를 이용하여
와이어 임의 길이 정보를 설정하는 예측모듈; 및
상기 와이어 임의 길이 정보와 상기 와이어 현재 길이 정보를
이용하여 상기 현재 위치 정보를 생성하는 생성모듈을 포함하는
것을 특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템.

[청구항 7]

제 6항에 있어서,
상기 생성모듈은,
상기 와이어 임의 길이 정보와 상기 와이어 현재 길이 정보를
비교하여 길이 차이값을 생성하고, 상기 길이 차이값이 길이 기준
정보 미만인지를 판단하여 상기 길이 차이값이 상기 길이 기준
정보 미만이면 상기 임의 위치 정보로 상기 현재 위치 정보를
생성하는 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어
시스템.

[청구항 8]

제 6항에 있어서,
상기 생성모듈은,
상기 길이 차이값이 상기 길이 기준 정보 이상이면 상기 길이
차이값을 이용하여 상기 임의 위치 정보를 다시 설정하는 것을
특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템.

[청구항 9]

와이어에 연결된 자율이동장치를 제어하는 자율이동장치 제어

- 시스템에 있어서,
 최종 위치 정보 및 초기 위치 정보를 이용하여 이동 제어 정보를
 설정하는 경로 설정부;
 상기 이동 제어 정보를 이용하여 상기 자율이동장치의 속도를
 제어해서 상기 자율이동장치를 이동시키는 속도 관리부;
 상기 와이어와 이동한 자율이동장치에 대한 회전각 측정 정보 및
 상기 와이어에 작용하는 와이어 장력 정보를 이용하여 와이어
 현재 길이 정보를 생성하고, 상기 와이어 현재 길이 정보를
 이용하여 상기 이동한 자율이동장치의 현재 위치 정보를 생성하는
 위치 관리부; 및
 상기 현재 위치 정보 및 상기 이동 제어 정보를 이용하여 와이어
 연산 길이 정보를 생성하고, 상기 와이어 연산 길이 정보 및 상기
 회전각 측정 정보를 이용하여 회전각 제어 정보를 생성하는
 처리부를 포함하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템.
- [청구항 10] 제 9항에 있어서,
 상기 이동 제어 정보는 단위 시간 별로 상기 자율이동장치가
 이동해야 할 이동 속도 정보 및 이동 위치 정보 중 적어도 하나를
 포함하는 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어
 시스템.
- [청구항 11] 제 10항에 있어서,
 상기 처리부는,
 상기 현재 위치 정보 및 상기 이동 위치 정보를 이용하여 상기
 와이어 연산 길이 정보를 생성하는 길이 분석모듈;
 상기 와이어 연산 길이 정보를 이용하여 회전각 예측 정보를
 생성하는 예측모듈; 및
 상기 회전각 예측 정보와 상기 회전각 측정 정보를 비교하여 상기
 회전각 제어 정보를 생성하는 판단모듈을 포함하는 것을 특징으로
 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템.
- [청구항 12] 제 11항에 있어서,
 상기 예측모듈은,
 상기 와이어 연산 길이 정보에 해당하는 장력 예측 정보를
 생성하고, 상기 와이어 연산 길이 정보 및 상기 장력 예측 정보를
 이용하여 상기 회전각 예측 정보를 생성하는 것을 특징으로 하는
 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템.
- [청구항 13] 제 9항에 있어서,
 상기 위치 관리부는,
 상기 와이어에 연결된 엔코더(encoder)를 통해 측정한 상기 회전각
 측정 정보를 이용하여 와이어 기초 길이 정보를 생성하는 회전각

분석모듈;

상기 와이어에 연결된 로드셀(load cell)을 통해 측정된 장력 측정 정보를 이용하여 상기 와이어 장력 정보를 생성하는 장력

분석모듈; 및

상기 와이어 기초 길이 정보 및 상기 와이어 장력 정보를 이용하여 와이어의 길이를 설정해서 상기 와이어 현재 길이 정보를 생성하는 길이 설정모듈을 포함하는 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템.

[청구항 14]

제 13항에 있어서,

상기 위치 관리부는,

상기 자율이동장치가 블록 내에서 위치한 위치를 나타내는 임의 위치 정보를 설정하고, 상기 임의 위치 정보를 이용하여 임의 길이 정보를 설정하는 연산모듈; 및

상기 와이어 임의 길이 정보와 상기 와이어 현재 길이 정보를 비교하여 길이 차이값을 생성하고, 상기 길이 차이값이 길이 기준 정보 미만이면 상기 임의 위치 정보를 상기 현재 위치 정보로 설정하는 생성모듈을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템.

[청구항 15]

제 14항에 있어서,

상기 생성모듈은,

상기 길이 차이값이 상기 길이 기준 정보 이상이면 상기 길이 차이값을 이용하여 상기 임의 위치 정보를 다시 설정하는 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템.

[청구항 16]

와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템이 자율이동장치를 제어하는 방법에 있어서,

(a) 최종 위치 정보 및 초기 위치 정보를 이용하여 상기 자율이동장치의 이동 제어 정보를 생성하고, 상기 이동 제어 정보를 이용하여 상기 자율이동장치를 이동시키는 단계;

(b) 상기 와이어에 연결된 윈치(winch)의 회전각 측정값을 이용하여 상기 자율이동장치의 위치 및 자세를 설정해서 현재 위치 정보를 생성하는 단계;

(c) 상기 현재 위치 정보를 이용하여 상기 와이어의 길이를 설정해서 와이어 연산 길이 정보를 생성하는 단계;

(d) 상기 와이어에 작용하는 와이어 장력 측정 정보를 이용하여 상기 와이어의 처짐을 판단해서 와이어의 처짐이 발생하면 상기 와이어 장력 측정 정보를 이용하여 와이어를 조절하는 단계; 및

(e) 상기 이동 제어 정보를 이용하여 상기 자율이동장치의 속도를 제어해서 상기 와이어의 처짐이 해결된 자율이동장치를

이동시키는 단계를 포함하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 방법.

[청구항 17]

제 16항에 있어서,

상기 (d) 단계는,

상기 자율이동장치에 연결된 와이어의 장력을 측정하여 와이어 장력 측정 정보를 생성하는 단계;

상기 와이어의 처짐을 판단하기 위해 기준이 되는 장력 기준 정보를 설정하는 단계; 및

상기 와이어 장력 측정 정보가 상기 장력 기준 정보 미만이면

와이어의 처짐을 판단하고 상기 와이어 장력 측정 정보를

이용하여 상기 와이어를 조절하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 방법.

[청구항 18]

제 17항에 있어서,

상기 (b) 단계는,

(b1) 상기 회전각 측정값을 이용하여 와이어의 길이를 설정해서 와이어 현재 길이 정보를 생성하는 단계; 및

(b2) 상기 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 순 기구학(forward kinematics)을 통해 상기 현재 위치 정보를 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 방법.

[청구항 19]

제 18항에 있어서,

상기 (b2) 단계는,

상기 자율이동장치가 위치한 블록 내의 임의의 위치를 나타내는 임의 위치 정보를 설정하는 단계;

상기 임의 위치 정보를 이용하여 와이어 임의 길이 정보를 설정하는 단계; 및

상기 와이어 임의 길이 정보와 상기 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 상기 현재 위치 정보를 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 방법.

[청구항 20]

제 19항에 있어서,

상기 와이어 임의 길이 정보와 상기 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 상기 현재 위치 정보를 생성하는 단계는,

상기 와이어 임의 길이 정보와 상기 와이어 현재 길이 정보를 비교하여 길이 차이값을 생성하는 단계;

상기 길이 차이값이 길이 기준 정보 미만인지를 판단하여 길이 판단 결과 정보를 생성하는 단계; 및

상기 길이 판단 결과 정보가 상기 길이 차이값이 상기 길이 기준 정보 미만이면 상기 임의 위치 정보로 상기 현재 위치 정보를

생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 방법.

[청구항 21]

제 19항에 있어서,

상기 와이어 임의 길이 정보와 상기 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 상기 현재 위치 정보를 생성하는 단계는,
상기 길이 판단 결과가 상기 길이 차이값이 상기 기준 정보 이상이면 상기 길이 차이값을 이용하여 상기 임의 위치 정보를 다시 설정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 방법.

[청구항 22]

제 17항에 있어서,

상기 (c) 단계는,
상기 현재 위치 정보를 이용하여 역 기구학(inverse kinematics)을 통해 상기 와이어 연산 길이 정보를 생성하는 단계인 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 방법.

[청구항 23]

와이어를 이용한 자율이동 장치 제어 시스템이 자율이동장치를 제어하는 방법에 있어서,

(a) 최종 위치 정보 및 초기 위치 정보를 이용하여 이동 제어 정보를 설정하고, 상기 이동 제어 정보를 이용하여 상기 자율이동장치를 이동시키는 단계;

(b) 상기 와이어와 이동한 상기 자율이동장치에 대한 회전각 측정 정보 및 상기 와이어에 작용하는 와이어 장력 정보를 이용하여 와이어 현재 길이 정보를 생성하는 단계;

(c) 상기 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 상기 이동한 자율이동장치의 현재 위치 정보를 생성하는 단계;

(d) 상기 현재 위치 정보 및 상기 이동 제어 정보를 이용하여 와이어 연산 길이 정보를 생성하는 단계; 및

(e) 상기 와이어 연산 길이 정보 및 상기 회전각 측정 정보를 설정한 회전각 제어 정보를 이용하여 상기 자율이동장치를 이동시키는 단계를 포함하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 시스템 방법.

[청구항 24]

제 23항에 있어서,

상기 (a) 단계는,

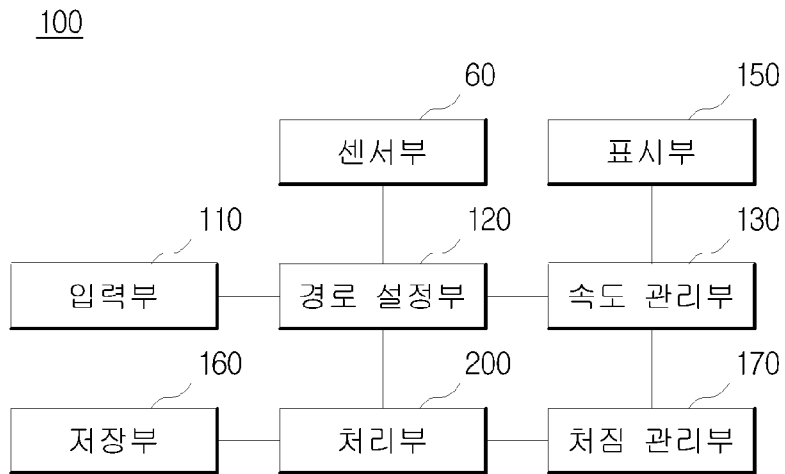
상기 최종 위치 정보 및 상기 초기 위치 정보를 이용하여 단위 시간 별로 상기 자율이동장치가 이동해야 할 이동 속도 정보 및 위치 및 자세를 나타내는 이동 위치 정보 중 적어도 하나를 포함하는 상기 이동 제어 정보를 설정하는 단계; 및

상기 이동 제어 정보를 이용하여 상기 자율이동장치를 이동시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한

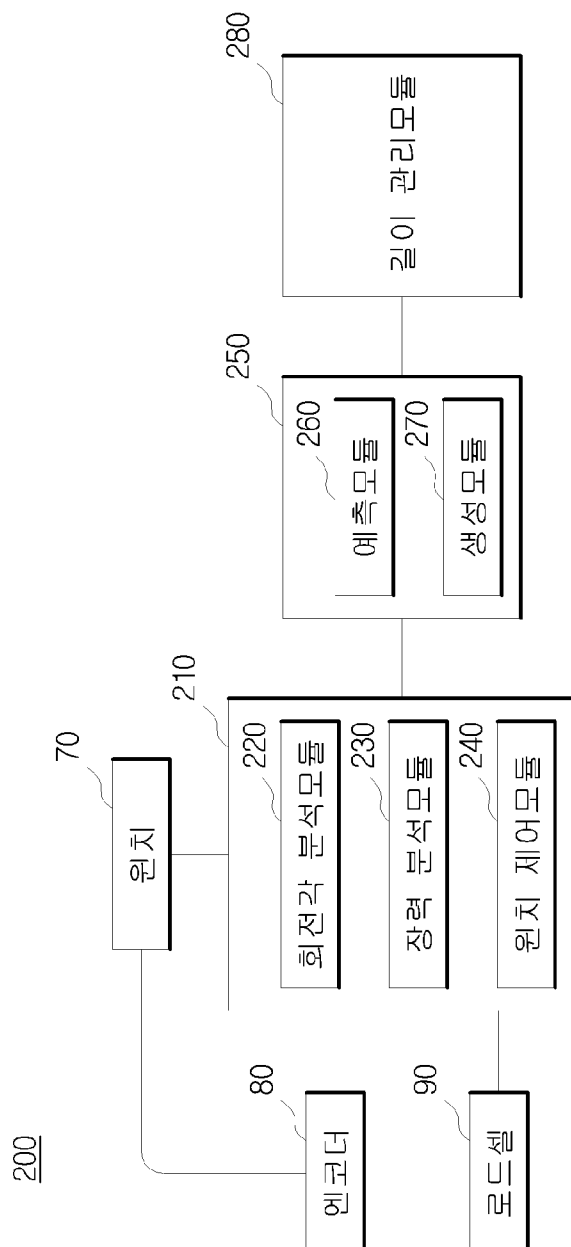
- 자율이동장치 제어 방법.
- [청구항 25] 제 24항에 있어서,
 상기 (e) 단계는,
 상기 와이어 연산 길이 정보에 해당하는 장력 예측 정보를 생성하는 단계;
 상기 와이어 연산 길이 정보 및 상기 장력 예측 정보를 이용하여 회전각 예측 정보를 생성하는 단계; 및
 상기 회전각 예측 정보 및 상기 회전각 측정 정보를 비교하여 상기 회전각 제어 정보를 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 방법.
- [청구항 26] 제 24항에 있어서,
 상기 (d) 단계는,
 상기 현재 위치 정보 및 상기 이동 위치 정보를 이용하여 역기구학(inverse kinematics)을 통해 상기 와이어 연산 길이 정보를 생성하는 단계인 것을 특징으로 하는 와이어를 이용하여 자율이동장치 제어 방법.
- [청구항 27] 제 23항에 있어서,
 상기 (b) 단계는,
 상기 와이어에 연결된 엔코더를 통해 측정된 회전각 측정 정보를 이용하여 와이어 기초 길이 정보를 생성하는 단계;
 상기 와이어에 연결된 로드셀을 통해 측정된 장력 측정 정보를 이용하여 와이어 장력 정보를 생성하는 단계; 및
 상기 와이어 기초 길이 정보 및 상기 와이어 장력 정보를 이용하여 와이어의 길이를 설정해서 상기 와이어 현재 길이 정보를 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 방법.
- [청구항 28] 제 23항에 있어서,
 상기 (c) 단계는,
 상기 와이어 현재 길이 정보를 이용하여 순기구학(forward kinematics)을 통해 상기 현재 위치 정보를 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어 방법.
- [청구항 29] 제 28항에 있어서,
 상기 (c) 단계는,
 상기 자율이동장치가 블록 내에서 위치한 임의 위치 정보를 설정하는 단계;
 상기 임의 위치 정보를 이용하여 와이어 임의 길이 정보를 설정하는 단계;

상기 와이어 임의 길이 정보와 상기 와이어 현재 길이 정보를
비교하여 길이 차이값을 생성하는 단계; 및
상기 길이 차이값이 길이 기준 정보 미만이면 상기 길이 차이값 및
상기 임의 위치 정보로 상기 현재 위치 정보를 생성하는 단계를
포함하는 것을 특징으로 하는 와이어를 이용한 자율이동장치 제어
방법.

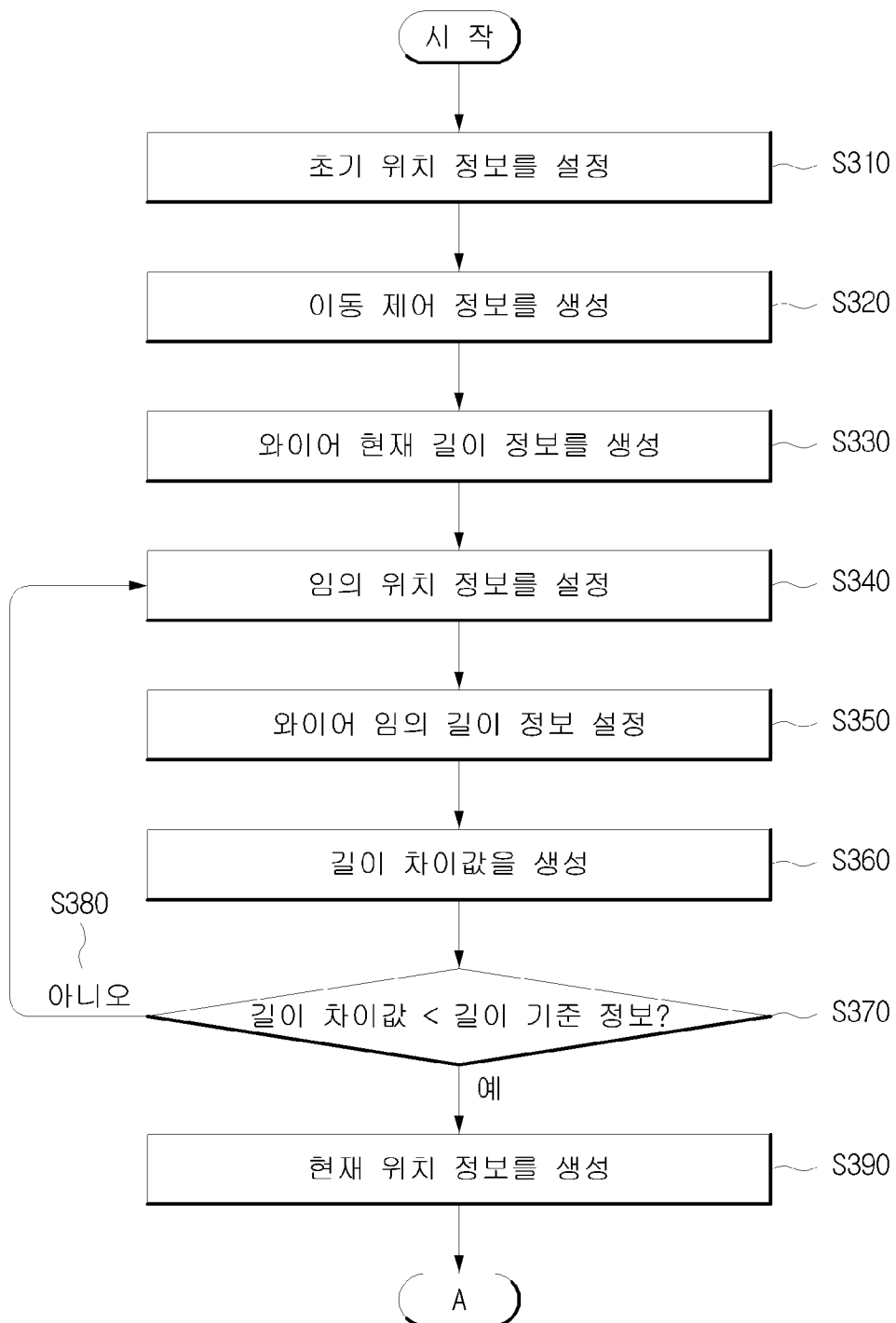
[Fig. 1]



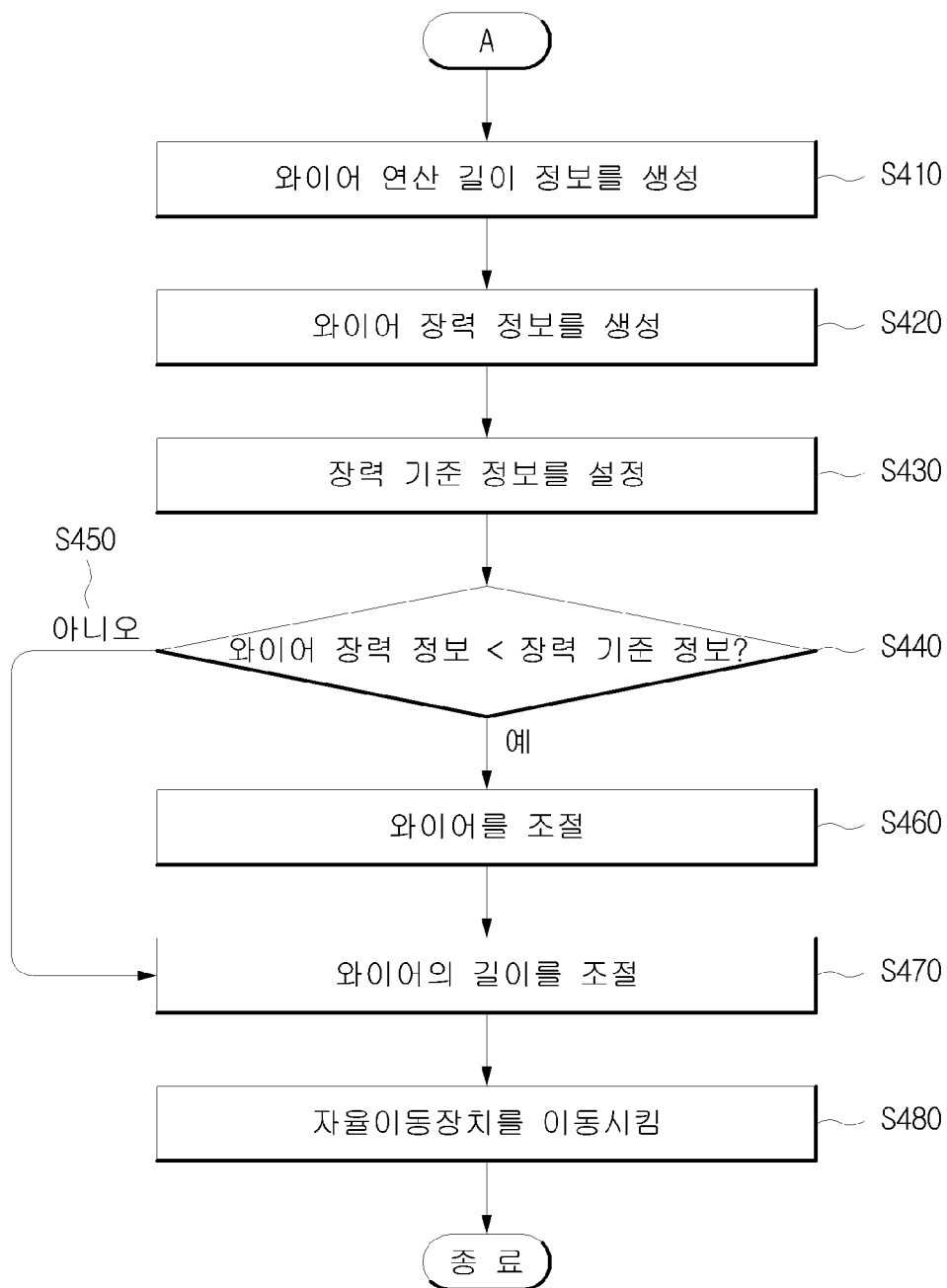
[Fig. 2]



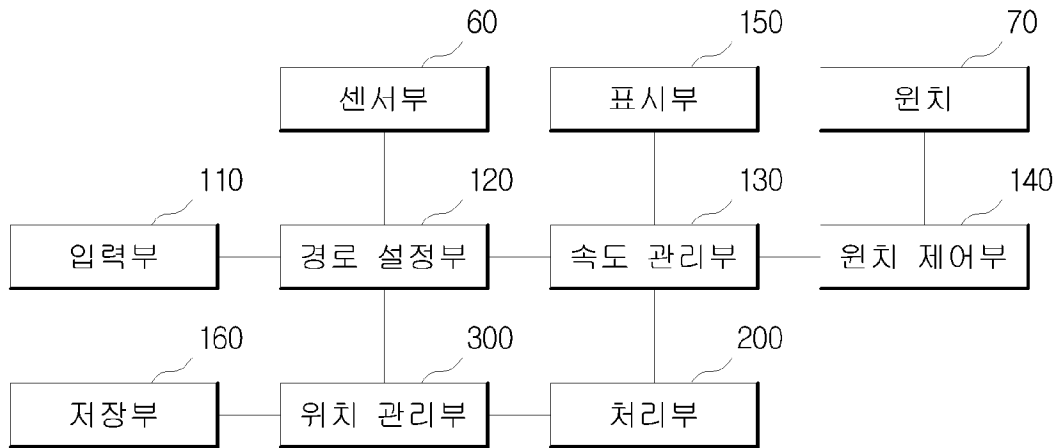
[Fig. 3]



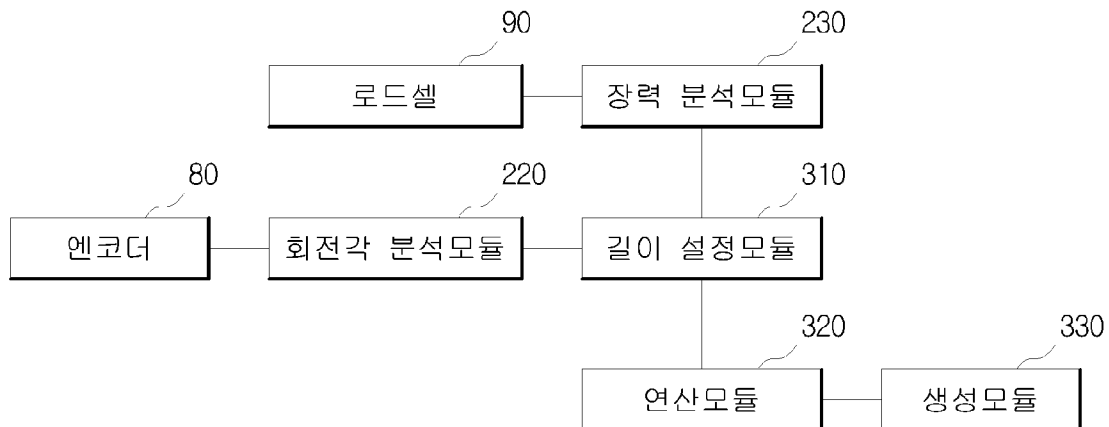
[Fig. 4]



[Fig. 5]

100

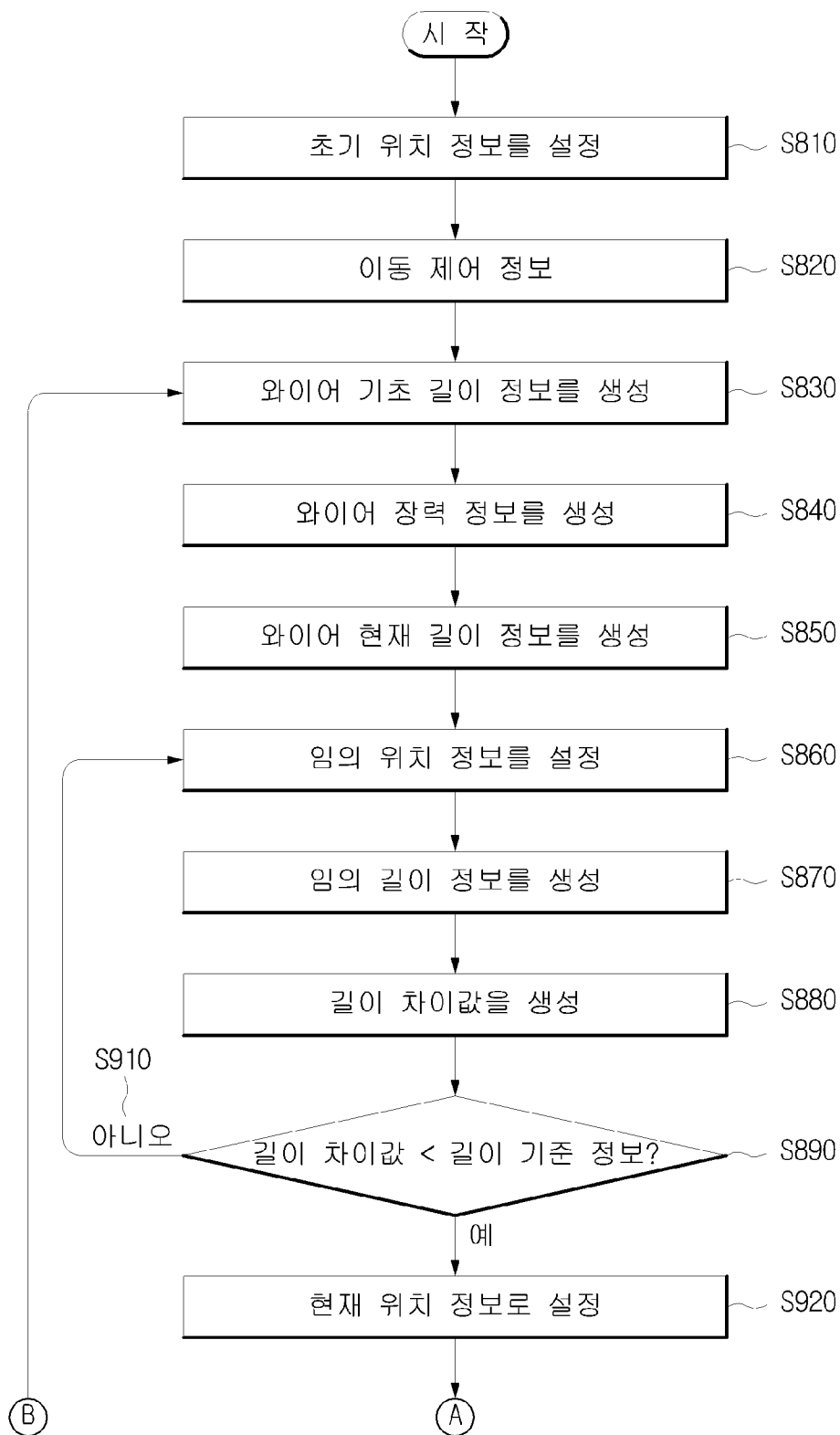
[Fig. 6]

300

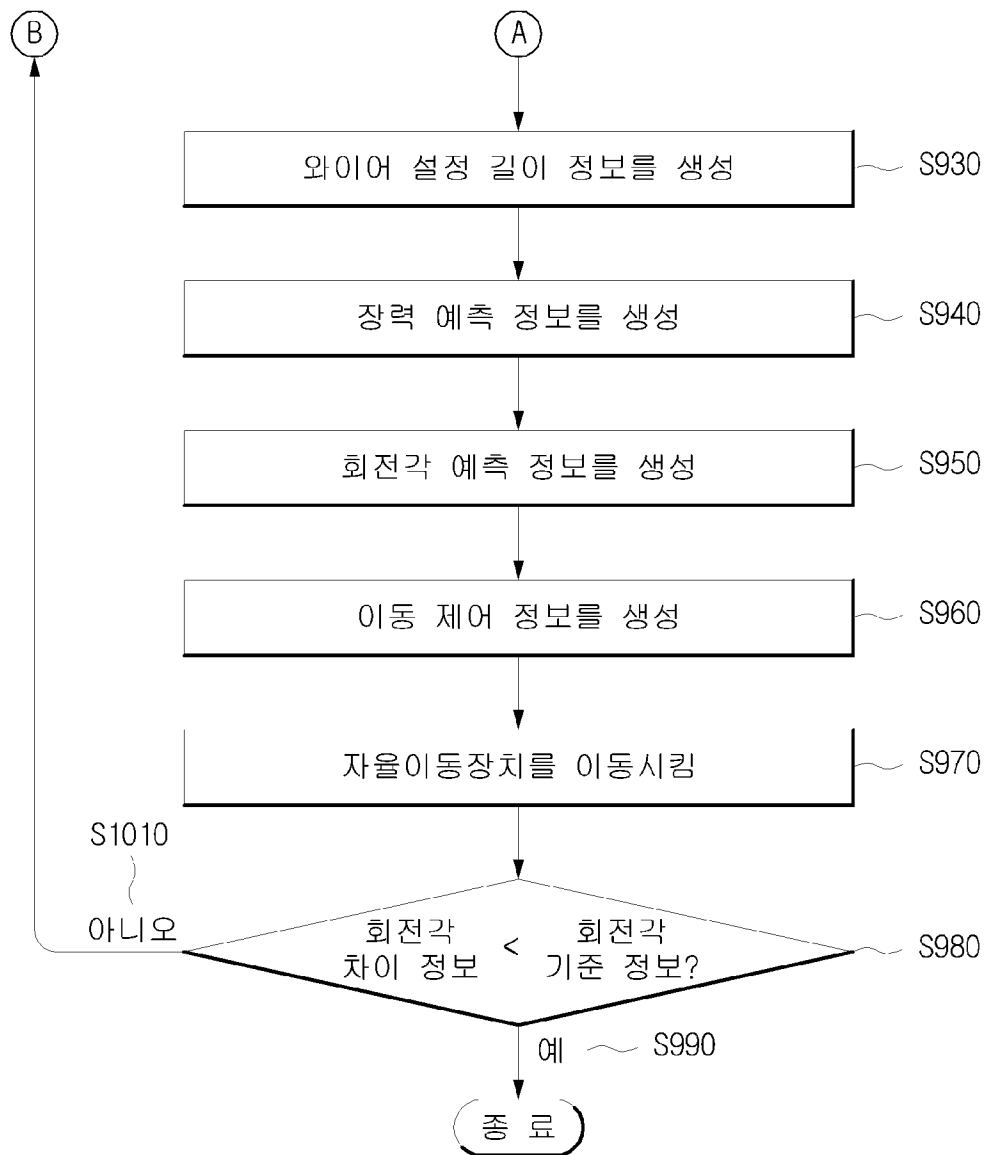
[Fig. 7]

200

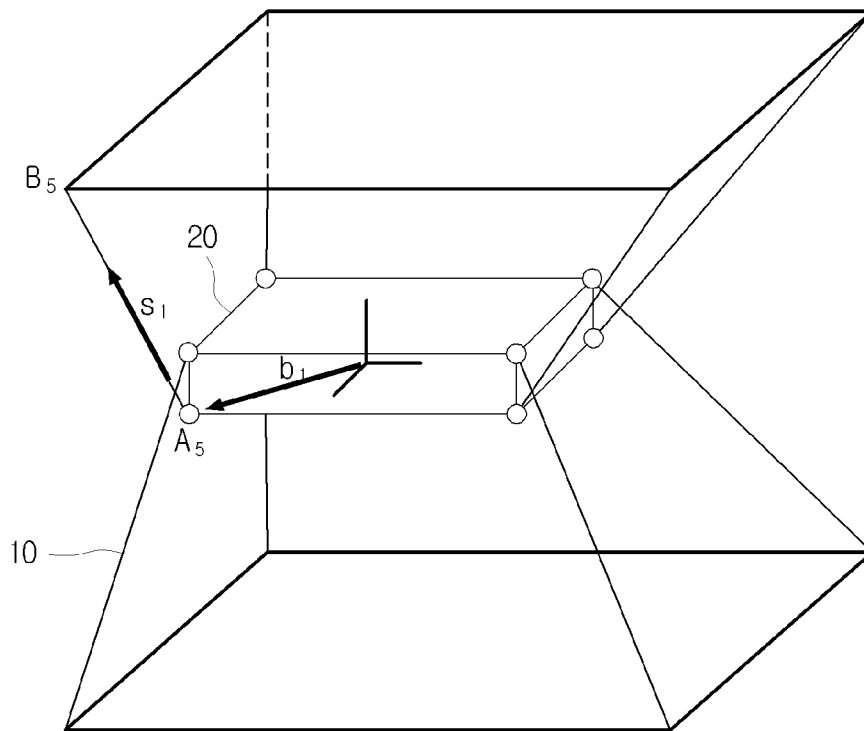
[Fig. 8]



[Fig. 9]



[Fig. 10]



[Fig. 11]

