

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구  
국제사무국



(10) 국제공개번호

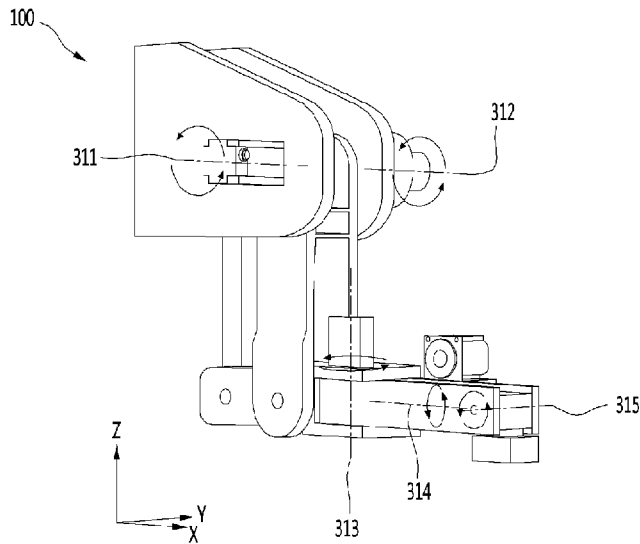
(43) 국제공개일  
2020년 12월 10일 (10.12.2020) WIPO | PCT

WO 2020/246808 A1

- (51) 국제특허분류: B25J 11/00 (2006.01) B25J 9/10 (2006.01)  
B25J 9/04 (2006.01) B25J 9/16 (2006.01)  
B25J 9/02 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2020/007224
- (22) 국제출원일: 2020년 6월 3일 (03.06.2020)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보: 10-2019-0065060 2019년 6월 3일 (03.06.2019) KR  
62/924,807 2019년 10월 23일 (23.10.2019) US
- (71) 출원인: 광주과학기술원 (GWANGJU INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [KR/KR]; 61005 광주 시 북구 첨단과기로 123 (오룡동), Gwangju (KR).
- (72) 발명자: 이선규 (LEE, Sun Kyu); 61005 광주 시 북구 첨단과기로 123(오룡동) 광주과학기술원 기계공학부, Gwangju (KR). 김종재 (KIM, Jong Jae); 61005 광주 시 북구 첨단과기로 123(오룡동) 광주과학기술원 기계공학부, Gwangju (KR). 박상기 (PARK, Sang Ki); 61005 광주 시 북구 첨단과기로 123(오룡동) 광주과학기술원 기계공학부, Gwangju (KR). 고대권 (KOH, Dae Gweon); 61005 광주 시 북구 첨단과기로 123(오룡동) 광주과학기술원 기계공학부, Gwangju (KR). 심재윤 (SIM, Jae Yun); 61005 광주 시 북구 첨단과기로 123(오룡동) 광주과학기술원 기계공학부, Gwangju (KR).
- (74) 대리인: 김기문 (KIM, Ki Moon); 06252 서울시 강남구 역삼로 114, 현죽빌딩 6층, Seoul (KR).
- (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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA,

(54) Title: MANIPULATOR FOR FINISHING WORK, AND CONTROL METHOD THEREFOR

(54) 발명의 명칭: 피니싱 작업을 위한 매니플레이터 및 그의 제어 방법



(57) Abstract: One embodiment of the present disclosure relates to a manipulator for finishing work, and provides a manipulator comprising: a base; an arm including a plurality of links, a plurality of joints for connecting the plurality of links, and a plurality of actuators for causing at least some of the plurality of joints to rotate; and a processor for determining the driving torque of each of the plurality of actuators in consideration of the effect of the own weight of the manipulator, and controlling the plurality of actuators on the basis of the determined driving torque.

(57) 요약서: 본 개시의 일 실시 예는 피니싱 작업을 위한 매니플레이터(manipulator)에 있어서, 베이스(base); 복수의 링크(link), 상기 복수의 링크를 연결하는 복수의 조인트(joint) 및 상기 복수의 조인트 중에서 적어도 일부의 조인트의 회전을 발생시키는 복수의 액츄에이터(actuator)를 포함하는 암(arm); 및 상기 매니플레이터의 자중 효과를 고려하여 상기 복수의 액츄에이터 각각의 구동 토크(driving torque)를 결정하고, 상기 결정된 구동 토크에 기초하여 상기 복수의 액츄에이터를 제어하는 프로세서를 포함하는, 매니플레이터를 제공한다.



WO 2020/246808 A1

PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**규칙 4.17에 의한 선언서:**

- 신규성을 해치지 아니하는 개시 또는 신규성 상실의 예외에 관한 선언 (규칙 4.17(v))

**공개:**

- 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

## 명세서

### 발명의 명칭: 피니싱 작업을 위한 매니플레이터 및 그의 제어 방법 기술분야

- [1] 본 개시(disclosure)는 피니싱 작업을 위한 매니플레이터 및 그의 제어 방법에 관한 것이다.

#### 배경기술

- [2] 지금까지 피니싱 작업(또는 표면 마감 작업)은 긴 생산 시간과 높은 비용이 필요한 유인 작업으로 간주됐다. 대형 금형 및 3D 인쇄 제품에 대한 수요가 증가함에 따라 자동 피니싱 공정이 더욱 중요해지고 있다. 그러나, 로봇 피니싱 작업은 기존의 산업용 로봇을 채용하는데 어려움을 겪고 있다. 산업용 로봇은 강성이 현저히 낮아, 특히 가공력(machining force) 하에서, 경로 편차를 상당히 초래한다는 결정적인 단점이 있다. 또한, 일부 산업용 로봇은 사용자의 접근성을 제한하는 폐쇄 서보(servo) 시스템을 채택하고 있기 때문에, 수동적 또는 능동적 메커니즘에서의 교란을 막기 위해 특수한 엔드 이펙터(end-effector)가 필요하다.

#### 발명의 상세한 설명

##### 기술적 과제

- [3] 본 개시는 안정적인 토크를 제공하여 안정적인 피니싱 작업을 수행하는 매니플레이터 및 그의 제어 방법을 제공한다.

##### 과제 해결 수단

- [4] 본 개시의 일 실시 예는, 피니싱 작업을 위한 매니플레이터(manipulator)에 있어서, 베이스(base); 복수의 링크(link), 상기 복수의 링크를 연결하는 복수의 조인트(joint) 및 상기 복수의 조인트 중에서 적어도 일부의 조인트의 회전을 발생시키는 복수의 액츄에이터(actuator)를 포함하는 암(arm); 및 상기 매니플레이터의 자중 효과를 고려하여 상기 복수의 액츄에이터 각각의 구동 토크(driving torque)를 결정하고, 상기 결정된 구동 토크에 기초하여 상기 복수의 액츄에이터를 제어하는 프로세서를 포함하는, 매니플레이터를 제공한다.
- [5] 또한, 본 개시의 일 실시 예는, 상기 암은 일 변이 상기 베이스에 고정되고 평행사변형 구조를 갖는 평행사변형 링크 세트를 더 포함하는, 매니플레이터를 제공한다.
- [6] 또한, 본 개시의 일 실시 예는, 상기 암은 제1 링크, 제2 링크, 제1 액츄에이터, 제2 액츄에이터, 제1 조인트 및 제2 조인트를 더 포함하고, 상기 평행사변형 링크 세트는 일 변이 이중 링크이고, 상기 이중 링크는 서로 평행한 상기 제1 링크와 상기 제2 링크를 포함하고, 상기 제1 링크는 상기 제1 액츄에이터에 의해 회전하는 상기 제1 조인트를 통해 상기 베이스와 연결되고, 상기 제2 링크는 상기 제2 액츄에이터에 의해 회전하는 상기 제2 조인트를 통해 상기 베이스와 연결되는, 매니플레이터를 제공한다.

- [7] 또한, 본 개시의 일 실시 예는, 상기 제1 조인트와 상기 제2 조인트는 각각의 회전 축이 작업면에 평행하고 동일한 일직선에 배치되고, 동역학적으로 디커플링되는(decoupled), 매니플레이터를 제공한다.
- [8] 또한, 본 개시의 일 실시 예는, 상기 제2 조인트는 상기 평행사변형 구조에 의해 상기 암에 대한 지렛대 효과를 제공하고, 상기 프로세서는 상기 제2 액추에이터를 통해 피드 포워드 토크 제어(feed forward torque control)를 수행하는, 매니플레이터를 제공한다.
- [9] 또한, 본 개시의 일 실시 예는, 상기 피드 포워드 토크 제어는 상기 암에 대한 위치 피드백과 상기 암에 대한 포스 피드백(force feedback)을 수반하지 않는, 매니플레이터를 제공한다.
- [10] 또한, 본 개시의 일 실시 예는, 상기 암은 제3 조인트, 제3 액추에이터 및 스윙 암 링크(swing arm link)를 더 포함하고, 상기 스윙 암 링크는 상기 평행사변형 링크 세트의 상기 베이스에 연결되지 않은 변의 말단에서 상기 제3 조인트를 통해 연결되고, 상기 제3 조인트는 상기 제3 액추에이터에 의해 상기 작업면에 수직한 방향의 회전 축을 따라 회전하는, 매니플레이터를 제공한다.
- [11] 또한, 본 개시의 일 실시 예는, 상기 암은 제4 조인트, 제5 조인트, 제4 액추에이터, 제5 액추에이터, 핸드 링크(hand link) 및 엔드 이펙터(end effector)를 더 포함하고, 상기 핸드 링크는 상기 스윙 암 링크의 말단에서 상기 제4 조인트를 통해 연결되고, 상기 제4 조인트는 상기 제4 액추에이터에 의해 상기 핸드 링크의 방향의 회전 축을 따라 회전하고, 상기 엔드 이펙터는 상기 핸드 링크의 말단에서 상기 제5 조인트를 통해 연결되고, 상기 제5 조인트는 상기 제5 액추에이터에 의해 상기 작업면과 평행하고 상기 핸드 링크의 방향과 수직한 회전 축을 따라 회전하는, 매니플레이터를 제공한다.
- [12] 또한, 본 개시의 일 실시 예는, 상기 제2 액추에이터의 피드 포워드 토크는

$$\tau_2 = g_2(q) + \lambda_z \frac{\partial h_z(q)}{\partial q_2} + \lambda_x \frac{\partial h_x(q)}{\partial q_2}$$

이고, 상기  $g_2$ 는 상기 제2

조인트에서의 상기 매니플레이터의 중력, 상기  $q$ 는 상기 제1 조인트 내지 상기 제5 조인트의 변위 벡터, 상기  $q_2$ 는 상기 제2 조인트의 변위, 상기  $h$ 는 상기 매니플레이터의 구속 조건 함수, 상기  $\lambda$ 는 상기 엔드 이펙터에서의 외력 벡터인, 매니플레이터를 제공한다.

- [13] 또한, 본 개시의 일 실시 예는, 상기 베이스는 갠트리 구조물(gantry structure)에 연결되는, 매니플레이터를 제공한다.

### 발명의 효과

- [14] 본 개시의 다양한 실시 예에 따르면, 평행사변형 구조의 링크를 포함하는 매니플레이터의 자중 효과를 이용하여 피드 포워드 토크 제어를 수행함으로써, 포스 피드백에 기초한 컴플라이언스 제어 방법에 비교하여 균일하고 부드러운

토크 제어가 가능하다.

- [15] 또한, 본 개시의 다양한 실시 예에 따르면, 매니플레이터가 스윙 암 구조를 채택함으로써 보다 넓은 작업 범위를 확보할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [16] 도 1은 본 개시의 일 실시 예에 따른 피니싱 머신(finishing machine)을 나타낸 도면이다.
- [17] 도 2는 본 개시의 일 실시 예에 따른 매니플레이터를 나타낸 블록도이다.
- [18] 도 3 내지 5는 본 개시의 일 실시 예에 따른 5축 매니플레이터를 나타낸 도면이다.
- [19] 도 6은 본 개시의 일 실시 예에 따른 역 기구학적 모델 기반의 매니플레이터의 제어 방법을 나타낸 도면이다.
- [20] 도 7은 본 개시의 일 실시 예에 따른 매니플레이터에 대한 시뮬레이션 과정을 나타낸 도면이다.
- [21] 도 8은 본 개시의 일 실시 예에 따른 매니플레이터의 구속된 동작(constrained motion)을 설명하는 도면이다.
- [22] 도 9은 본 개시의 일 실시 예에 따른 매니플레이터의 피드 포워드 토크 제어를 설명하는 도면이다.
- [23] 도 10은 본 개시의 일 실시 예에 따른 매니플레이터에 대한 제어 블록 다이어그램이다.
- [24] 도 11은 연마 휠이 없는 경우에 컴플라이언스 제어(compliance control)에 따른 힘 제어 결과를 나타낸 도면이다.
- [25] 도 12는 연마 휠이 없는 경우에 피드 포워드 토크 제어(feed-forward torque control)에 따른 힘 제어 결과를 나타낸 도면이다.
- [26] 도 13은 종래의 포스 피드백(force feedback) 제어와 본 개시에서 제안된 피드 포워드 제어를 비교한 도면이다.

### 발명의 실시를 위한 형태

- [27] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 명세서에 개시된 실시 예를 상세히 설명하되, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 유사한 구성요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 이하의 설명에서 사용되는 구성요소에 대한 접미사 '모듈' 및 '부'는 명세서 작성의 용이함만이 고려되어 부여되거나 혼용되는 것으로서, 그 자체로 서로 구별되는 의미 또는 역할을 갖는 것은 아니다. 또한, 본 명세서에 개시된 실시 예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 명세서에 개시된 실시 예의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 첨부된 도면은 본 명세서에 개시된 실시 예를 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위한 것일 뿐, 첨부된 도면에 의해 본 명세서에 개시된 기술적 사상이 제한되지 않으며, 본 개시의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는

것으로 이해되어야 한다.

- [28] 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않는다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [29] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 '연결되어' 있다거나 '접속되어' 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 '직접 연결되어' 있다거나 '직접 접속되어' 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [30]
- [31] 도 1은 본 개시의 일 실시 예에 따른 피니싱 머신(finishing machine, 1)을 나타낸 도면이다.
- [32] 도 1을 참조하면, 본 개시의 일 실시 예에 따른 피니싱 머신(1)은 매니플레이터(100), 갠트리 구조물(gantry structure, 200) 및 제1 슬라이드 테이블(slide table, 300) 등을 포함할 수 있다.
- [33] 도 1에 도시된 갠트리 구조물(200)에는 x축 방향으로 움직이는 이동부가 포함되지 않았고, 이를 대신하여 x축 방향으로 움직이며 작업물(workpiece)을 거치하는 제2 슬라이딩 테이블(400)이 구비될 수 있다. 그러나, 본 개시가 이에 한정되지 않는다. 예컨대, 다른 일 실시 예에서, 피니싱 머신(1)의 갠트리 구조물(200)은 x축 방향으로 움직이는 이동부(예컨대, 바퀴 등)를 포함할 수 있다.
- [34] 매니플레이터(100)는 제1 슬라이드 테이블(300)를 통해 갠트리 구조물(200)에 연결될 수 있고, 제1 슬라이드 테이블(300)의 움직임에 따라 높이 또는 z축 위치가 조절될 수 있다.
- [35] 제1 슬라이드 테이블(300)은 갠트리 구조물(200)에서 y축 방향으로 움직일 수 있다. 갠트리 구조물(200)을 이용한 병진 축(translational axes)은 중공업 로봇과 비교하여 높은 강성(stiffness)을 가지며, 더 넓은 작업 공간을 제공할 수 있다.
- [36] 매니플레이터(100)는 엔드 이펙터(end-effector)에 장착된 전기 스피들(electro-spindle)이나 공압 스피들(pneumatic-spindle)과 같은 회전 공구를 이용하여 작업물에 대한 표면 피니싱 작업을 수행할 수 있다. 매니플레이터(100)는 엔드 이펙터의 위치와 방향에 따라 서로 다른 컴플라이언스 특성(compliance characteristic)을 갖기 때문에, 피니싱 작업은 지정된 자세에서 허용 가능한 순응을 생성하는 제한된 영역에서만 수행될 수 있다.
- [37] 매니플레이터(100)는 허용 가능한 컴플라이언스 범위와 작업물의 작동 위치를 모두 만족시키기 위해, x, y, z 축에서 원하는 작업 영역에 위치할 수 있다.

- [38]
- [39] 도 2는 본 개시의 일 실시 예에 따른 매니플레이터(100)를 나타낸 블록도이다.
- [40] 도 2를 참조하면, 본 개시의 일 실시 예에 따른 매니플레이터(100)는 통신부(110), 메모리(120), 액츄에이터(130) 및 프로세서(190) 등을 포함할 수 있다.
- [41] 통신부(110)는 유무선 통신 기술을 이용하여 매니플레이터(100) 또는 피니싱 머신(1)을 제어하는 외부 장치(미도시)와 데이터를 송수신할 수 있다. 통신부(110)는 외부 장치(미도시)로부터 제어 신호 또는 제어 프로파일 등을 수신할 수 있다.
- [42] 통신부(110)가 이용하는 통신 기술에는 GSM(Global System for Mobile communication), CDMA(Code Division Multi Access), LTE(Long Term Evolution), 5G, WLAN(Wireless LAN), Wi-Fi(Wireless-Fidelity), 블루투스(Bluetooth), RFID(Radio Frequency Identification), 적외선 통신(Infrared Data Association; IrDA), ZigBee, NFC(Near Field Communication) 등이 있다.
- [43] 메모리(120)는 매니플레이터(100)의 다양한 기능을 지원하는 데이터를 저장할 수 있다. 또한, 메모리(120)는 매니플레이터(100)에서 구동되는 다양한 응용 프로그램(application program), 매니플레이터(100)의 동작을 위한 데이터와 명령어들을 저장할 수 있다.
- [44] 메모리(120)는 매니플레이터(100)의 구동에 이용되는 펌웨어나 액츄에이터(130)의 제어에 이용되는 응용 프로그램, 제어 프로파일 등을 저장할 수 있다.
- [45] 액츄에이터(130)는 매니플레이터(100)의 움직임을 발생시키며, 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다. 액츄에이터(130)는 모터라 칭할 수도 있다.
- [46] 액츄에이터(130)는 미리 정해진 축을 중심으로 회전하는 움직임을 발생시킬 수도 있고, 미리 정해진 경로를 따라 병진하는 움직임을 발생시킬 수도 있다.
- [47] 액츄에이터(130)는 매니플레이터(100)에 대한 자중 효과(self-weight effect)를 고려하여 동작될 수 있다. 즉, 액츄에이터(130)는 매니플레이터(100)의 자세와 그에 따른 무게를 고려하여 결정된 토크의 세기로 동작할 수 있다.
- [48] 일 실시 예에서, 액츄에이터(130)는 5개 포함되고, 이에 따라 매니플레이터(100)는 5축 매니플레이터일 수 있다. 일 실시 예에 따른 5축 매니플레이터(100)는 도 3 및 4에 도시된 구조를 가질 수 있다.
- [49] 센서부(140)는 다양한 센서들을 이용하여 매니플레이터(100)의 상태 정보, 액츄에이터(130)의 상태 정보(예컨대, 동작 정보, 힘 정보 등) 등을 획득할 수 있다. 예컨대, 센서부(140)는 액츄에이터(130)의 동작에 의한 각도, 회전 속도, 엔드 이펙터에 장착된 회전 공구의 회전 속도 등을 획득할 수 있다.
- [50] 센서부(140)는 다양한 센서들을 이용하여 작업물의 모양, 작업물의 위치, 작업물의 상태, 작업물의 표면 정보 등을 획득할 수 있다.
- [51] 센서부(140)에 포함되는 센서에는 근접 센서, 조도 센서, 가속도 센서, 자기

- 센서, 자이로 센서, 관성 센서, RGB 센서, IR 센서, 지문 인식 센서, 초음파 센서, 광 센서, 마이크로폰, 라이다, 레이더 등이 있다.
- [52] 프로세서(190)는 메모리(120)에 저장된 응용 프로그램을 구동하여 액츄에이터(130) 등을 제어할 수 있다.
- [53] 프로세서(190)는 제어 신호에 기초하여 액츄에이터(130)를 제어할 수 있다. 프로세서(190)는 통신부(110)를 통해 외부 장치로부터 제어 신호를 수신하거나, 입력부(미도시)를 통해 제어 신호를 입력받을 수 있다.
- [54] 프로세서(190)는 액츄에이터(130)의 상태 정보를 고려하여 액츄에이터(130)에 대한 제어 신호를 생성할 수 있다.
- [55] 프로세서(190)는 센서부(140)를 통해 획득한 센서 정보를 고려하여 설정된 제어 신호를 조정할 수도 있다.
- [56] 프로세서(190)는 컨트롤러 또는 모션 컨트롤러라 칭할 수도 있다.
- [57]
- [58] 도 3 내지 5는 본 개시의 일 실시 예에 따른 5축 매니플레이터(100)를 나타낸 도면이다.
- [59] 도 3 내지 5를 참조하면, 본 개시의 일 실시 예에 따른 5축 매니플레이터(100)는 5개의 모터 또는 액츄에이터를 포함할 수 있고, 이에 따라 5개 축(311, 312, 313, 314 및 315)에 따른 다양한 움직임이 가능할 수 있다. 이하에서, 용어 "모터"와 용어 "액츄에이터"는 혼용될 수 있다.
- [60] 제1 조인트(511)에 대한 회전을 발생시키는 모터 또는 액츄에이터는 제1 모터 또는 제1 액츄에이터라 칭할 수 있다. 마찬가지로, 제2 조인트(512)에 대한 회전을 발생시키는 모터 또는 액츄에이터는 제2 모터 또는 제2 액츄에이터, 제3 조인트(513)에 대한 회전을 발생시키는 모터 또는 액츄에이터는 제3 모터 또는 제3 액츄에이터, 제4 조인트(514)에 대한 회전을 발생시키는 모터 또는 액츄에이터는 제4 모터 또는 제4 액츄에이터, 제5 조인트(515)에 대한 회전을 발생시키는 모터 또는 액츄에이터는 제5 모터 또는 제5 액츄에이터라 칭할 수 있다. 그리고, 제1 조인트(511)의 회전 축을 제1 축(311), 제2 조인트(512)의 회전 축을 제2 축(312), 제3 조인트(513)의 회전 축을 제3 축(313), 제4 조인트(514)의 회전 축을 제4 축(314), 제5 조인트(515)의 회전 축을 제5 축(315)라 칭할 수 있다. 이하에서, 용어 축(311 내지 315)과 용어 조인트(511 내지 515)는 혼용될 수 있다.
- [61] 5축 매니플레이터(100)에서 제1 조인트(511), 제2 조인트(512), 제3 조인트(513), 제4 조인트(514) 및 제5 조인트(515)만이 액츄에이터가 구비되어 능동적으로 회전이 제어되는 능동 조인트(active joint)이고, 그 이외의 조인트(521, 522, 523)는 능동적으로 회전이 제어되지 않는 수동 조인트(passive joint)일 수 있다. 제1 수동 조인트(521), 제2 수동 조인트(522) 및 제3 수동 조인트(523)는 피니싱 작업 중 부하를 지지하고 정확한 자세를 유지하는데 중요한 역할을 수행한다.
- [62] 일 실시 예에서, 능동 조인트들(511, 512, 513, 514, 515) 및 수동 조인트들(521, 522, 523) 중에서 일부 또는 전부가 앵귤러 컨택트 볼 베어링(angular contact ball



bearing) 구조를 가질 수 있다. 여기서, 앵글러 컨택트 볼 베어링은 단일 앵글러 컨택트 볼 베어링, 복열 앵글러 컨택트 볼 베어링 등이 다양한 앵글러 컨택트 볼 베어링 구조를 가질 수 있으며, 두 개 이상의 앵글러 컨택트 볼 베어링이 하나의 쌍으로 조립된 구조를 가질 수도 있다. 앵글러 컨택트 볼 베어링은 축 방향 및 반경 방향에서 높은 강성을 가지며, 가공 작업시 발생하는 진동을 효과적으로 줄여줄 수 있다. 특히, 제1 조인트(511), 제2 조인트(512) 및 제3 수동 조인트(523)가 앵글러 컨택트 볼 베어링 구조를 가질 수 있다.

- [63] 5축 매니플레이터(100)는 평행사변형 구조를 갖는 링크들(이하, 평행사변형 링크 세트, 412)을 포함하며, 평행사변형 구조의 일 축(z축 방향)의 두 꼭지점(또는 평행사변형 구조의 일 변)은 5축 매니플레이터(100)의 베이스(411)의 미리 정해진 위치에 고정될 수 있다. 여기서, 베이스(411)에 고정된 평행사변형 링크 세트(412)의 두 꼭지점 중에서 암 방향(arm direction) 또는 x축 방향의 하나의 꼭지점에 대응하는 위치에는 제1 조인트(511)와 제2 조인트(512)가 배치될 수 있다. 여기서, 암 방향은 x축 방향일 수 있다. 제1 조인트(511)에 대응하는 제1 액츄에이터와 제2 조인트(512)에 대응하는 제2 액츄에이터는 디커플링되어(decoupled), 서로 기구학적으로 분리될 수 있다. 제1 축(311)과 제2 축(312)은 y축 방향과 평행할 수 있다. 또한, 제1 축(311)과 제2 축(312)은 동일한 일직선 상에 위치할 수 있다. 즉, 제1 축(311)과 제2 축(312)은 작업면에 평행한 방향일 수 있다.
- [64] xy평면은 작업면에 평행한 평면을 의미하고, z축은 작업면에 수직인 방향의 축 또는 상하 방향의 축을 의미할 수 있다. x축은 매니플레이터(100)의 중립 상태에서의 암 방향, 작업 방향 또는 정면 방향을 의미할 수 있다. 암 방향은 후술하는 핸드 링크(hand link, 414)의 방향을 의미할 수 있다.
- [65] 평행사변형 링크 세트(412)는 제1 조인트(511)와 연결된 제1 링크(531) 및 제2 조인트(512)와 연결된 제2 링크(532)를 포함하며, 제1 링크(531)와 제2 링크(532)는 평행하여 이중 링크 구조를 가지며, 평행사변형 링크 세트(412)에서 평행사변형의 동일한 변에 위치한다. 제1 링크(531)와 제2 링크(532) 각각은 서로 대응하는 제1 조인트(511)와 제2 조인트(512)에 의하여 일 끝단만이 베이스(411)와 연결된다.
- [66] 제2 조인트(512)에 대응하는 제2 액츄에이터는 5축 매니플레이터(100)의 베이스(411)에 연결 또는 배치될 수 있고, 이에 따라 제2 액츄에이터에 의한 암(arm)의 부하가 줄어들고 제2 조인트(512)의 구동 토크가 최대화될 수 있다.
- [67] 평행사변형 링크 세트(412)에 포함된 링크 중에서 베이스(411)에 연결되지 않는 링크는 암 방향 또는 x축 방향으로 연장된 방향에 돌출된 링크 구조를 가지며, 돌출된 링크에는 제3 조인트(513)가 배치될 수 있다. 즉, 평행사변형 링크 세트(412)에 포함된 링크 중에서 베이스(411)에 연결되지 않는 링크에는 제3 조인트(513), 제2 수동 조인트(522) 및 제3 수동 조인트(523)가 배치될 수 있다.
- [68] 스윙 암 링크(swing arm link, 413)는 제3 조인트(513)를 통해 평행사변형 링크

세트(412)와 연결될 수 있다. 제3 축(313)은 z축 방향과 평행할 수 있다. 즉, 제3 축(313)은 작업면에 수직인 방향일 수 있다.

[69] 스윙 암 링크(413)의 암 방향 말단에는 제4 조인트(514)가 배치될 수 있다. 핸드 링크(hand link, 414)는 제4 조인트(514)를 통해 스윙 암 링크(413)와 연결될 수 있다. 제4 축(314)은 스윙 암 링크(413)이 중립 상태일 때 y축 방향과 평행할 수 있다. 즉, 제4 축(314)은 핸드 링크(414)의 방향일 수 있다.

[70] 핸드 링크(414)에는 제5 조인트(515)가 배치될 수 있다. 엔드 이펙터는 제5 조인트(515)를 통해 핸드 링크(414)와 연결될 수 있다. 제5 축(315)은 스윙 암 링크(413)와 핸드 링크(414)가 중립 상태일 때 y축 방향과 평행할 수 있다. 즉, 제5 축(315)은 작업면과 평행하고 제4 축(314)과 수직인 방향일 수 있다.

[71] 즉, 엔드 이펙터는 제1 조인트(511)와 제2 조인트(512)에서의 회전에 의해 z축 방향의 위치(보다 구체적으로는 xz평면에서의 위치)가 조정될 수 있고, 제3 조인트(513)에서의 회전에 의해 xy평면에서의 위치가 조정될 수 있고, 제4 조인트(514) 및 제5 조인트(515)에서의 회전에 의해 방향이 결정될 수 있다.

[72] 하기 [표 1]은 5축 매니플레이터(100)의 링크의 수치의 예시를 나타내고, 하기 [표 2]는 5축 매니플레이터(100)의 모터의 특징을 나타낸다. [표 1]와 [표 2]에 도시된 수치는 하나의 예시에 불과하며, 다양한 실시 예에 따라 그 값들이 달라질 수 있다.

[73] [표1]

링크	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	$l_a$	$l_b$
길이(mm)	330	210	203.5	96.5	62.5	130	330
질량(kg)	5.67	3.55	1.57	2.05	-	0.85	1.53

[74] [표2]

모터	제1 모터	제2 모터	제3 모터	제4 모터	제5 모터
출력 (W)	600	200	400	200	100
질량 (kg)	5.4	1.8	2.25	1.8	1.1

[75] 5축 매니플레이터(100)는 평행사변형 매커니즘(parallelogram mechanism)을 채택함으로써 매니플레이터(100)의 베이스(411) 근처에 질량 중심(center of mass)이 배치될 수 있다. 이는 질량 중심이 액츄에이터의 성능에 직접적으로 관련되고, 질량 중심이 베이스(411)에 가까워짐으로써 각 관절에 부과되는 부하가 감소하기 때문이다. 또한, 이는 평행사변형 매커니즘은 운동학적으로 및 동적으로 분리된 구조를 갖기 때문이다. 상술한 바와 같이, 제1 조인트(511)와 제2 조인트(512)는 xz평면에서의 위치를 결정할 수 있다. 5축 매니플레이터(100)는 스윙 암 매커니즘(swing arm mechanism)을 채택함으로써

평면 동작(planar operation)에서 동적 응답을 향상시킬 수 있다. 제3 모터 또는 제3 액츄에이터는 평면 방향(xy평면)에 평행한 제3 축(313)에 대하여 회전하는 스윙 암 링크(413)를 회전시킬 수 있다.

[76] 5축 매니플레이터(100)는 자중 효과(self-weight effect)를 이용한 피드 포워드 토크 제어 기능을 채용할 수 있다. 피니싱 작업을 시작하면, 5축 매니플레이터(100)에서 제2 조인트(512)에 대응하는 제2 모터의 기능이 위치 제어 기능이 아닌 피드 포워드 토크 제어 기능으로 전환될 수 있다. 그리고, 링크의 무게, 설정된 토크 값에 따라 엔드 이펙터가 작업물을 누르는 힘(normal force)이 일정하게 유지될 수 있다. 이에 따라, 5축 매니플레이터(100)는 조인트 강성, 응답 속도, 대역폭 등 로봇 피드백 제어의 한계를 극복하고 피니싱 가공을 수행할 수 있다. 5축 매니플레이터(100)는 자중 효과를 이용함에 따라 링크 또는 암(arm)의 무게를 가공력에 대한 반력으로 활용할 수 있다.

[77] 일 실시 예에서, 베이스를 제외한 매니플레이터(100)의 총 무게는 약 25kg일 수 있다. 매니플레이터(100)의 베이스는 피니싱 머신(1)의 z축 슬라이드 또는 제1 슬라이딩 테이블(300)에 장착되며, 마운팅 지그를 포함할 수 있다.

[78] 매니플레이터(100)의 운동은 각 액츄에이터(130)의 구동 토크에 의해 결정되며, 이는 시스템의 운동 에너지 함수와 위치 에너지 함수에 의해 계산될 수 있다. 그리고, 선형화(linearization) 성능을 높이기 위해 동작 제어 프로세스에 매니플레이터(100)의 역 기구학적 모델(inverse kinematic model)이 적용될 수 있다.

[79] 매니플레이터(100)의 컴플라이언스는 하기 [수학식 1] 내지 [수학식 4]와 같이 주어질 수 있다.  $M$ 은 관성 모멘트 행렬,  $C$ 는 코리올리 및 원심력 행렬,  $G$ 는 중력 벡터,  $\lambda$ 는 매니플레이터(100)의 자코비안(Jacobian)을 포함하는 외력 벡터, 그리고  $\tau$ 는 특정 움직임을 생성하는데 필요한 일련의 액츄에이터들(130)의 토크 벡터를 의미할 수 있다.  $q$ 는 각 축 또는 각 조인트의 변위 벡터,  $K_q$ 는 조인트 회전 강성 행렬,  $\Delta q$ 는 조인트 강성으로 인한 각 조인트의 변형 값을 의미할 수 있다.

[80] [수식1]

$$\tau = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) - J^T(q)\lambda = K_q\Delta q$$

[81] [수식2]

$$\tau - \tau_0 = -J^T(\lambda - \lambda_0) = K_q(\Delta q - \Delta q_0)$$

[82] 상기 [수학식 1]은 매니플레이터 컴플라이언스가 조인트 토크에 의해 생성된 회전 변위에 의해 좌우됨을 의미하며, 상기 [수학식 2]는 외력의 유무에 의한 토크의 차이값을 의미할 수 있다.

[83] 조인트 좌표로부터 획득한 카르테시안 좌표는 하기 [수학식 3]과 같이 표현될 수 있다.  $\Delta X$ 는 엔드 이펙터의 변형 벡터,  $C_x$ 는 카르테시안 공간 컴플라이언스 행렬(Cartesian space compliance matrix)을 의미할 수 있다.

[84] [수식3]

$$\Delta \mathbf{x} - \Delta \mathbf{x}_0 = J(\Delta \mathbf{q} - \Delta \mathbf{q}_0) = JK_q^{-1} J^T (\lambda - \lambda_0)$$

[85] 결과적으로, 외력에 의한 엔드 이펙터의 변위는 하기 [수학식 4] 및 [수학식 5]와 같이 정의될 수 있다.

[86] [수식4]

$$\Delta \mathbf{x} = C_X \lambda$$

[87] [수식5]

$$C'_X = C_X + C_{wheel}$$

[88] 전체 컴플라이언스는 매니플레이터와 휠로 구성되어 있다. 만약 휠의 강성이 높으면 매니플레이터는 정확한 기계 깊이를 생성하는 위치 제어 방법에 의하여 제어될 수 있다. 규정된 휠은 사전에 가공된 원본 형상을 손상시키지 않도록 힘 제어가 이루어지면서 툴 마크(tool mark)를 제거할 때 권장될 수 있다. 하기 [표 3]은 각 휠 사용 사례에 대한 z축 전체 컴플라이언스(z-axis overall compliance)를 나타낸다.

[89] [표3]

Case	w/o wheel	#24	#80	#120	#180	#400
compliance $c_z$ ( $\mu\text{m}/\text{N}$ )	4.8	12.2	35.6	42.5	83.8	108.9

[90] 상기 [표 3]을 참조하면, 연마 휠이 없는 경우에 비하여 연마 휠이 있는 경우에 컴플라이언스 값이 높고, 메쉬 수(mesh number)가 증가할수록 컴플라이언스 값이 높음을 확인할 수 있다.

[91] 도 6은 본 개시의 일 실시 예에 따른 역 기구학적 모델(inverse kinematic model) 기반의 매니플레이터(100)의 제어 방법을 나타낸 도면이다.

[92] 구체적으로, 도 6은 피드 포워드(feedforward) 토크 제어를 수반하는 매니플레이터(100)의 제어 방법의 일 예를 나타낸다.

[93] 도 6을 참조하면, 본 개시의 일 실시 예에 따른 역 기구학적 모델 기반의 매니플레이터(100)의 제어 방법은 별도의 PC(610)가 모션 컨트롤러(620)에 대하여 위치 명령과 토크 명령을 전송할 수 있다. 모션 컨트롤러(620)는 도 2에 도시된 프로세서(190)를 의미할 수 있다.

[94] 도 6에서는 매니플레이터(100)가 별도의 PC(610)의 제어에 의하여 동작하는 실시 예를 도시하고 있으나, 본 개시가 이에 한정되지 않는다. 즉, 일 실시 예에서, 프로세서(180)가 도 6에 도시된 PC(610)의 역할과 모션 컨트롤러(620)의 역할을 모두 수행할 수 있다.

- [95] 모션 컨트롤러(620)는 로봇(650)의 모션 정보(또는 동작 정보, 661), 위치 명령과 토크 명령에 기초하여 실시간 토크 값을 서보(630)에 전달할 수 있다. 로봇(650)은 매니플레이터(100)의 엔드 이펙터 또는 엔드 이펙터에 장착된 회전 공구를 의미할 수 있다. 로봇(650)의 모션 정보(661)는 로봇(650)의 자세 정보를 의미할 수 있고, 로봇(650)의 자세 정보는 각 모터 또는 각 관절의 자세를 의미할 수 있다.
- [96] 서보(630)는 모션 컨트롤러(620)로부터 수신한 실시간 토크 값과 로봇(650)의 모션 정보(661)에 기초하여 모터(640)에 대하여 위치 제어 및 토크 제어를 수행할 수 있다. 그리고, 모터(640)의 동작에 의해 로봇(650)이 제어될 수 있다.
- [97] 일 실시 예에서, 모터 또는 액츄에이터는 서보(630)와 모터(640)를 통칭하는 용어로 이용될 수도 있다. 즉, 단순히 모터 또는 액츄에이터라 칭하더라도 이는 서보(630)를 포함하는 모터(640)를 의미할 수도 있다.
- [98] PC(610)는 로봇(650)의 모션 정보(661)와 힘 정보(671)를 이용하여 모터(640)의 제어에 대한 캘리브레이션(calibration, 681)을 수행할 수 있다. 모터(640)의 제어에 대한 캘리브레이션에는 위치 보정(position correction), 동역학적 보정(dynamics correction), 비틀림 컴플라이언스(torsional compliance), 베어링 컴플라이언스(bearing compliance) 등이 포함될 수 있다.
- [99] PC(610)는 캘리브레이션(681) 과정에서, 기구학적 모델(kinematic model), 동적 모델(dynamic mode), 피니싱 조건(finishing doncition), 컴플라이언스 모델(compliance model)을 이용하여 전처리(691)를 수행할 수 있다. 그리고, PC(610)는 캘리브레이션(681) 및 전처리(691)에 기초하여 매니플레이터(100)의 제어 과정을 개선할 수 있다.
- [100] 일 실시 예에서, PC(610)는 힘 정보(671)에 기초하여 K를 조정하고, 토크를 보정할 수 있다. K는 역 기구학적 모델에서 질량 및 길이 파라미터를 의미할 수 있다.
- [101] 비록 도 6에서는 매니플레이터(100)의 프로세서(180)가 액츄에이터(130)에 대한 제어 신호를 생성함으로써 매니플레이터(100)의 동작을 제어하는 방법을 도시하였지만, 본 개시가 이에 한정되지는 않는다. 즉, 다른 실시 예에서, 외부 장치, 예컨대 PC(610),가 매니플레이터(100)의 액츄에이터(130)에 대한 제어 신호 또는 제어 명령어를 생성하고, 매니플레이터(100)의 프로세서(180)가 외부 장치에서 생성된 제어 신호 또는 제어 명령어에 기초하여 액츄에이터(130)를 제어할 수도 있다.
- [102]
- [103] 도 7은 본 개시의 일 실시 예에 따른 매니플레이터(100)에 대한 시뮬레이션 과정을 나타낸 도면이다.
- [104] 도 7을 참조하면, 매니플레이터(100)에 대한 시뮬레이션은 온라인 계산(710)과 오프라인 계산(720)을 포함할 수 있다.
- [105] 매니플레이터(100)의 동적 성능은 가상 컨트롤러, 서보 드라이브 및

하드웨어를 채택함으로써 추정할 수 있다. 모션 컨트롤러 파트는 PID 제어 루프(PID control loop)와 주파수 응답에 대한 필터를 포함하고, 서보 드라이브 파트는 모터 메커니즘을 포함하고, 하드웨어 파트는 강성있는 매니플레이터(100)와 기어 비와 전송 효율을 갖는 전송 메커니즘을 포함할 수 있다.

[106] 온라인 계산(710)은 매니플레이터(100)와 컨트롤러 사이의 실제 통신을 엔코더 신호와 전류로 나타낼 수 있다. 오프라인 계산(720)은 가상 통신을 나타낼 수 있다.

[107]

[108] 도 8은 본 개시의 일 실시 예에 따른 매니플레이터(100)의 구속된 동작(constrained motion)을 설명하는 도면이다.

[109] 도 8을 참조하면, 매니플레이터(100)의 엔드 이펙터에 부착된 연마 휠은 주어진 작업 표면에 의해 구속(constraint)되어 움직이며, 절삭력(cutting force)에 의해 생성된 반발력(reaction force)의 영향을 받는다. 따라서, 표면 형상 데이터에 기반한 순 기구학 동작(forward kinematics motion)보다는 주어진 구속된 경로(constrained path)에 대처하기 위한 구동 토크(driving torque)의 계산이 필요하다.

[110] 표면 구속 조건은 하기 [수학식 6]과 같이 가정할 수 있다. 그리고, 도 8에 도시된 궤적  $\phi$ (811)과 매니플레이터(100)의 운동학적 요소 사이의 관계를 통해 하기 [수학식 7]과 같이 구속 조건을 정의할 수 있다.  $h$ 는 매니플레이터(100)에 대한 제약 조건을 나타내는 함수이고,  $h_j$ 는  $j$ 축 방향이 구속된 경우의 구속 조건을 나타내는 함수이다.

[111] [수식6]

$$h_j(q_1, \dots, q_n) = 0$$

[112] [수식7]

$$h_j(f_1(\phi), \dots, f_n(\phi)) = 0, \quad f(\phi) = q$$

[113] 나아가, 공칭 공구 궤적(nominal tool trajectory)와 실제 공구 궤적(actual tool trajectory) 사이의 편차로 인한 탄성 변형이 추가된 구속 조건은 하기 [수학식 8] 및 [수학식 9]와 같이 정의할 수 있다.

[114] [수식8]

$$h_j(q_1 + \Delta q_1, \dots, q_n + \Delta q_n) = 0$$

[115] [수식9]

$$h_j(f_1(\phi) + c_1(\Delta\phi), \dots, f_n(\phi) + c_n(\Delta\phi)) = 0, \quad c(\Delta q) = \Delta\phi$$

[116] 결국, x방향과 z방향의 구속 조건에 따른 구속된 동작은 하기 [수학식 10] 및 [수학식 11]과 같이 표현될 수 있다. T는 베이스에서 엔드 이펙터로의 변환 행렬, t는 엔드 이펙터의 접선 벡터(tangent vector), n은 엔드 이펙터의 법선 벡터(normal vector)를 의미할 수 있다.

[117] [수식10]

$$h_x(q + \Delta q) = [T_{tool}^{base}(1,2), T_{tool}^{base}(2,2), T_{tool}^{base}(3,2)] \cdot [t_x, t_y, t_z]^T$$

[118] [수식11]

$$h_z(q + \Delta q) = [T_{tool}^{base}(1,1), T_{tool}^{base}(2,1), T_{tool}^{base}(3,1)] \cdot [n_x, n_y, n_z]^T$$

[119]

[120] 도 9은 본 개시의 일 실시 예에 따른 매니플레이터(100)의 피드 포워드 토크 제어를 설명하는 도면이다.

[121] 도 9을 참조하면, 매니플레이터(100)의 평행사변형 구조에 의해 절삭력이 주로 제2 조인트(512)에 의존한다. 피드 포워드 토크 제어 방법은 구속된 동작에서 일정한 반발력을 유지하기 위해 채용될 수 있다. 이 경우, 힘 제어 규칙에 의한 각 조인트(511 내지 515)에 대한 추정 구동 토크(estimated driving torque)에 상응하여, 각 조인트(511 내지 515)의 위치와 힘이 동시에 제어될 수 있다. 이러한 제어 방법은 지연 시간 없는 힘 제어가 가능하고, 힘 오차가 표면에서 구속되지 않은 방향(non-constrained direction)으로의 동적 동작에 영향받지 않는다는 장점이 있다. 나아가, 랩핑이나 폴리싱과 같이 표면 거칠기(surface roughness)가 중요한 이러한 동작들은 액츄에이터로부터 부드럽고 균일한 토크를 생성하는 것이 센서 피드백에 의한 잦은 힘 제어 응답을 생성하는 것보다 더 적합하다.

[122] 결과적으로, 중력 피드의 형태의 피드 포워드 토크 제어는 간접적 힘 제어에 채용될 수 있으며, 엔드 이펙터의 힘은 툴을 포함하는 매니플레이터(100)의 중량(deadweight)과 제2 조인트(512)의 구동 토크에 의해 결정될 수 있다.

[123] 동작 구속 조건을 고려한 동적 관계는 하기 [수학식 12]와 같이 표현할 수 있다.  $\tau_\phi$ 는 구속되지 않은 매니플레이터의 구동 토크,  $\tau_h$ 는 오직 구속에 의한 구동 토크를 의미할 수 있다.

[124] [수식12]

$$\tau = \tau_\phi + \tau_h$$

[125] 구속되지 않은 매니플레이터의 구동 토크는 상기 [수학식 1]에 기초하여 하기 [수학식 13]과 같이 표현될 수 있고, 이는 조인트 동작이 매우 느리기 때문에 운동 에너지 항이 무시될 수 있기 때문이다.

[126]

[수식13]

$$\tau_{\phi} = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q)$$

[127] 따라서, 래핑 동작의 구동 토크는 하기 [수학식 14] 및 [수학식 15]과 같이 모델을 생성할 수 있으며, 구속 조건의 그래디언트 항은 상기 [수학식 10] 및 [수학식 11]에 의해 획득할 수 있다.

[128] [수식14]

$$\tau_h = \sum \lambda_j \nabla h_j(q)$$

[129] [수식15]

$$\tau = \tau_{\phi} + \tau_h = g(q) + \lambda_z \nabla h_z(q) + \lambda_x \nabla h_x(q)$$

[130] 본 개시의 일 실시 예에 따른 5축 매니플레이터(100)는 제2 조인트(512)가 지렛대 효과를 제공하도록 설계되었으며, 이에 따라 제2 조인트(512)가 매니플레이터(100)의 중량을 이용하여 평면에서의 반발력에 대응하는데 최적화된 구조를 갖는다. 따라서, 제2 조인트(512)만에 하기 [수학식 16]에 따른 피드 포워드 토크 제어 규칙을 적용할 수 있다. 즉, 제2 조인트(512) 또는 제2 조인트(512)에 대응하는 제2 액츄에이터만이 모션 컨트롤러 또는 프로세서(190)에 의한 변환된 제어 전압을 수신함으로써 피드 포워드 토크 제어를 수행할 수 있고, 이러한 피드 포워드 토크 제어는 위치 피드백과 포스 피드백(force feedback)을 수반하지 않는다.

[131] [수식16]

$$\tau_2 = g_2(q) + \lambda_z \frac{\partial h_z(q)}{\partial q_2} + \lambda_x \frac{\partial h_x(q)}{\partial q_2}$$

[132] 5축 매니플레이터(100)가 제1 축(311)과 제2 축(312)이 동적 디커플링된 평행사변형 구조를 가짐에 따라, 제2 조인트(512)에 의한 피드 포워드 토크는 하기 [수학식 17]과 같이 간략화할 수 있다.  $k_1$ 과  $k_2$ 는 제어 게인(control gain)이다. 게인이 높을수록 액츄에이터에서 더 큰 토크가 발생하고, 엔드 이펙터에서 발생하는 힘도 증가한다. 게인 값들은 엔드 이펙터 힘과 게인 값 사이의 관계를 정의하는 사전 실험에 의해 결정 및 조정될 수 있다.

[133] [수식17]

$$\tau_2 = k_1 \cos q_2 + k_2 \sin(q_2 - q_5) \quad (\lambda_x, q_3, q_4 = 0)$$

[134] 상기 [수학식 17]을 참조하면, x축 방향 또는 작업 방향의 외력  $\lambda_x$ 이 0이고, 제3 액츄에이터의 변위  $q_3$ 와 제4 액츄에이터의 변위  $q_4$ 가 0일 때, 제2 액츄에이터의



피드 포워드 토크  $\tau_2$ 는 제2 액츄에이터의 변위  $q_2$ 와 제5 액츄에이터의 변위  $q_5$ 에 기초하여 결정될 수 있다.

[135]

[136] 도 10은 본 개시의 일 실시 예에 따른 매니플레이터(100)에 대한 제어 블록 다이어그램이다.

[137] 도 10을 참조하면, 원하는 힘이 명령될 때, 제2 조인트(512)에 대응하는 제2 액츄에이터의 구동 토크는 피드 포워드 토크 모델을 통하여 생성되며, 피드백 제어 모드가 종료될 수 있다. 만약, 힘 제어가 종료되면, 피드 포워드 제어 모드가 종료되고, 목표 지점까지 이동하기 위하여 피드백 제어 모드로 전환될 수 있다. 제2 액츄에이터를 제외한 나머지 액츄에이터들은 제어 상황과 무관하게 위치 제어만을 유지할 수 있다.

[138]

[139] 도 11은 연마 휠이 없는 경우에 컴플라이언스 제어(compliance control)에 따른 힘 제어 결과를 나타낸 도면이다.

[140] 구체적으로, 도 11의 (a)는 엔드 이펙터 힘을 나타내고, 도 11의 (b)는 모터 제어 토크 전달을 위한 명령 전압을 나타낸다.

[141] 도 11의 (a)를 참조하면, 감속 기어 또는 컴플라이언스 연마 휠(compliant abrasive wheel)의 비틀림 강성에 의해 생성된 힘이 가해지기 때문에, 힘 명령 직후의 과도 상태(transient state)에서의 힘 응답이 갑자기 변경된다.

[142] 도 11의 (b)를 참조하면, 힘 제어의 성능은 수동 시스템의 물리적 강성(physical rigidity)에 의해 결정되므로, 로봇 역학에 기초하여 조정된 모터의 피드백은 불안정하다.

[143]

[144] 도 12는 연마 휠이 없는 경우에 피드 포워드 토크 제어(feed-forward torque control)에 따른 힘 제어 결과를 나타낸 도면이다.

[145] 구체적으로, 도 12의 (a)는 엔드 이펙터 힘을 나타내고, 도 12의 (b)는 모터 제어 토크 전달을 위한 명령 전압을 나타낸다.

[146] 도 12의 (a)를 참조하면, 피드 포워드 토크 제어에 따른 경우 엔드 이펙터 힘이 명령 값을 따라 잘 제어되고 유지된다.

[147] 도 12의 (b)를 참조하면, 모터의 구동 전압은 -6V에서 +6V 사이의 값을 가지며, 정격 토크의 100%를 생성한다. 상술한 바와 같이, 본 개시에서 제안하는 피드 포워드 토크 제어에 따라 가해지는 힘은 제2 액츄에이터의 구동 토크에 의해 결정되므로, 제1 액츄에이터 (또는 제1 모터)와 제5 액츄에이터 (또는 제5 모터)의 구동 토크는 매니플레이터(100)의 위치 제어에만 집중하여 일정하게 유지될 수 있다.

[148] 컴플라이언스 제어와 비교할 때, 피드 포워드 토크 제어는 급격한 동적 절삭력에 의한 매니플레이터(100)의 진동을 억제하는데 도움을 주는 이점이 있다.

[149]

[150] 도 13은 종래의 포스 피드백(force feedback) 제어와 본 개시에서 제안된 피드 포워드 제어를 비교한 도면이다.

[151] 도 13을 참조하면, 본 개시에서 제안된 피드 포워드 제어는 피드백 진동의 제한되지 않고 간접적인 힘 제어 양태를 보여준다. 매니플레이터(100)의 엔드 이펙터는 선형 보간법에 따라 x축에서 100mm의 위치에서 200mm의 위치로 이동했다.

[152] 피드 포워드 제어 사례에서, 두 번째 모터만 계산된 토크 명령을 따르고, 나머지 모터는 서보 제어 룰을 따를 수 있다. 이 경우, 매니플레이터(100)의 자세가 변경됨에 따른 컴플라이언스 에러로 인하여, 불안정한 자세에서 힘 에러가 발생할 수 있다.

[153] 힘 피드백 제어 사례에서, 모든 모터는 서보 제어 규칙을 따르고, 엔드 이펙터는 가상의 힘-제어 도구(force-controlled tool)라 가정하였다. 이 경우, 컴플라이언스 에러는 제거되지만, 엔드 이펙터와 반응 표면(reaction surface) 사이의 임피던스 조건으로 인하여, 피드백 진동이 발생하였음을 확인할 수 있다.

## 청구범위

- [청구항 1] 피니싱 작업을 위한 매니플레이터(manifulator)에 있어서,  
 베이스(base);  
 복수의 링크(link), 상기 복수의 링크를 연결하는 복수의 조인트(joint) 및  
 상기 복수의 조인트 중에서 적어도 일부의 조인트의 회전을 발생시키는  
 복수의 액츄에이터(actuator)를 포함하는 암(arm); 및  
 상기 매니플레이터의 자중 효과를 고려하여 상기 복수의 액츄에이터  
 각각의 구동 토크(driving torque)를 결정하고, 상기 결정된 구동 토크에  
 기초하여 상기 복수의 액츄에이터를 제어하는 프로세서  
 를 포함하는, 매니플레이터.
- [청구항 2] 청구항 1에 있어서,  
 상기 암은  
 일 변이 상기 베이스에 고정되고 평행사변형 구조를 갖는 평행사변형  
 링크 세트를 더 포함하는, 매니플레이터.
- [청구항 3] 청구항 2에 있어서,  
 상기 암은  
 제1 링크, 제2 링크, 제1 액츄에이터, 제2 액츄에이터, 제1 조인트 및 제2  
 조인트를 더 포함하고,  
 상기 평행사변형 링크 세트는  
 일 변이 이중 링크이고,  
 상기 이중 링크는  
 서로 평행한 상기 제1 링크와 상기 제2 링크를 포함하고,  
 상기 제1 링크는  
 상기 제1 액츄에이터에 의해 회전하는 상기 제1 조인트를 통해 상기  
 베이스와 연결되고,  
 상기 제2 링크는  
 상기 제2 액츄에이터에 의해 회전하는 상기 제2 조인트를 통해 상기  
 베이스와 연결되는, 매니플레이터.
- [청구항 4] 청구항 3에 있어서,  
 상기 제1 조인트와 상기 제2 조인트는  
 각각의 회전 축이 작업면에 평행하고 동일한 일직선에 배치되고,  
 동역학적으로 디커플링되는(decoupled), 매니플레이터.
- [청구항 5] 청구항 4에 있어서,  
 상기 제2 조인트는  
 상기 평행사변형 구조에 의해 상기 암에 대한 지렛대 효과를 제공하고,  
 상기 프로세서는  
 상기 제2 액츄에이터를 통해 피드 포워드 토크 제어(feed forward torque

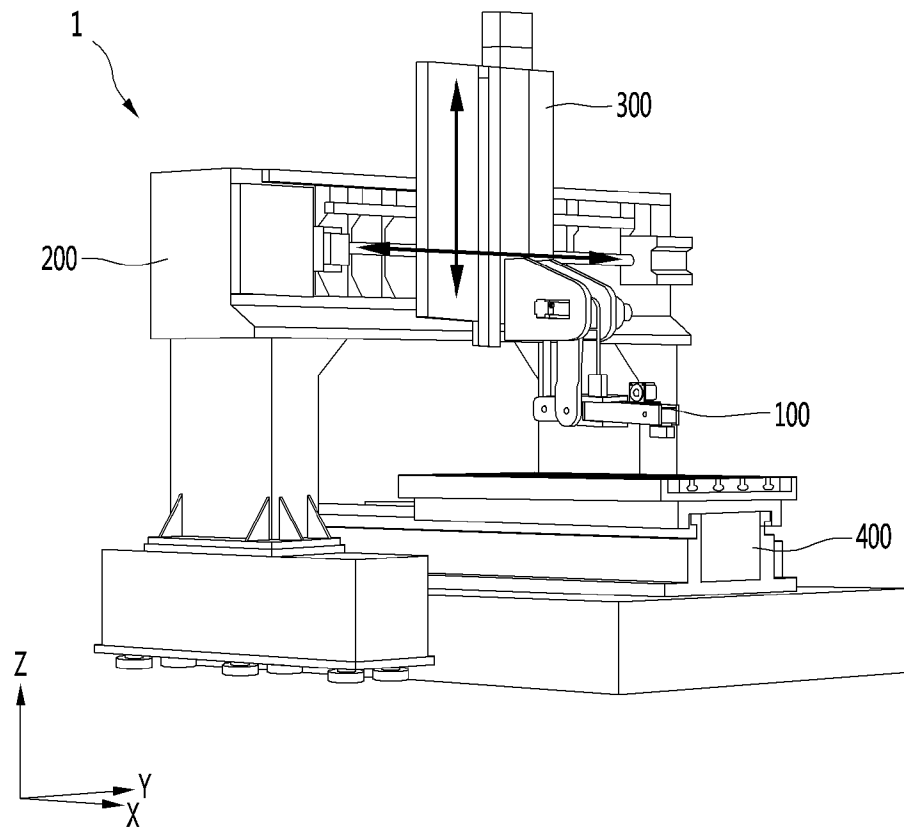
- control)를 수행하는, 매니플레이터.
- [청구항 6] 청구항 5에 있어서,  
상기 피드 포워드 토크 제어는  
상기 압에 대한 위치 피드백과 상기 압에 대한 포스 피드백(force feedback)을 수반하지 않는, 매니플레이터.
- [청구항 7] 청구항 5에 있어서,  
상기 압은  
제3 조인트, 제3 액츄에이터 및 스윙 암 링크(swing arm link)를 더 포함하고,  
상기 스윙 암 링크는  
상기 평행사변형 링크 세트의 상기 베이스에 연결되지 않은 변의 말단에서 상기 제3 조인트를 통해 연결되고,  
상기 제3 조인트는  
상기 제3 액츄에이터에 의해 상기 작업면에 수직인 방향의 회전 축을 따라 회전하는, 매니플레이터.
- [청구항 8] 청구항 7에 있어서,  
상기 압은  
제4 조인트, 제5 조인트, 제4 액츄에이터, 제5 액츄에이터, 핸드 링크(hand link) 및 엔드 이펙터(end effector)를 더 포함하고,  
상기 핸드 링크는  
상기 스윙 암 링크의 말단에서 상기 제4 조인트를 통해 연결되고,  
상기 제4 조인트는  
상기 제4 액츄에이터에 의해 상기 핸드 링크의 방향의 회전 축을 따라 회전하고,  
상기 엔드 이펙터는  
상기 핸드 링크의 말단에서 상기 제5 조인트를 통해 연결되고,  
상기 제5 조인트는  
상기 제5 액츄에이터에 의해 상기 작업면과 평행하고 상기 핸드 링크의 방향과 수직인 회전 축을 따라 회전하는, 매니플레이터.
- [청구항 9] 청구항 8에 있어서,  
상기 제2 액츄에이터의 피드 포워드 토크는

$$\tau_2 = g_2(q) + \lambda_z \frac{\partial h_z(q)}{\partial q_2} + \lambda_x \frac{\partial h_x(q)}{\partial q_2} \quad \text{이고,}$$

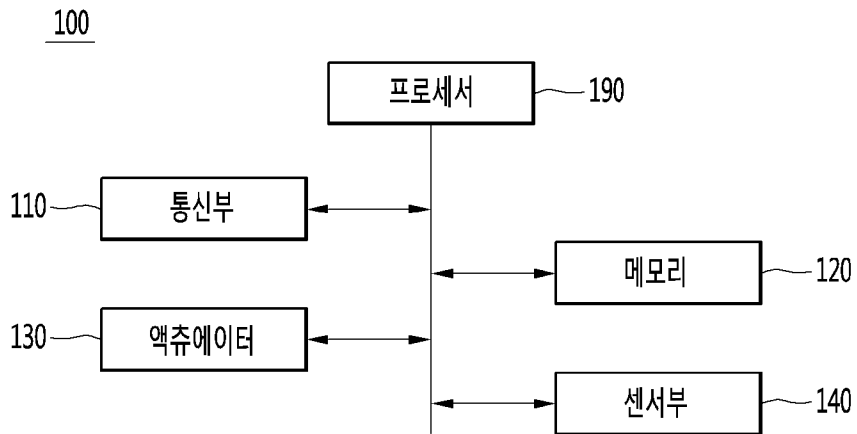
상기  $g_2$ 는 상기 제2 조인트에서의 상기 매니플레이터의 중력, 상기  $q$ 는 상기 제1 조인트 내지 상기 제5 조인트의 변위 벡터, 상기  $q_2$ 는 상기 제2 조인트의 변위, 상기  $h$ 는 상기 매니플레이터의 구속 조건 함수, 상기  $\lambda$ 는

- 상기 엔드 이펙터에서의 외력 벡터인, 매니플레이터.
- [청구항 10] 청구항 1에 있어서,  
상기 베이스는  
갠트리 구조물(gantry structure)에 연결되는, 매니플레이터.
- [청구항 11] 피니싱 작업을 위한 매니플레이터(manifulator)의 제어 방법에 있어서,  
상기 매니플레이터의 자중 효과를 고려하여 상기 매니플레이터에 포함된 복수의 액추에이터 각각의 구동 토크를 결정하는 단계; 및  
상기 결정된 구동 토크에 기초하여 상기 복수의 액추에이터를 제어하는 단계를 포함하는, 제어 방법.
- [청구항 12] 청구항 11에 있어서,  
상기 매니플레이터는  
베이스(base) 및 암(arm)을 포함하고,  
상기 암은  
일 변이 상기 베이스에 고정되고 평행사변형 구조를 갖는 평행 사변형 링크 세트를 포함하고,  
상기 평행사변형 링크 세트는  
일 변이 이중 링크이고,  
상기 이중 링크는  
서로 평행한 상기 제1 링크와 상기 제2 링크를 포함하고,  
상기 제1 링크는  
상기 제1 액추에이터에 의해 회전하는 상기 제1 조인트를 통해 상기 베이스와 연결되고,  
상기 제2 링크는  
상기 제2 액추에이터에 의해 회전하는 상기 제2 조인트를 통해 상기 베이스와 연결되고,  
상기 제1 조인트와 상기 제2 조인트는  
각각의 회전 축이 작업면에 평행하고 동일한 일직선에 배치되고,  
동역학적으로 디커플링되는(decoupled), 제어 방법.
- [청구항 13] 청구항 12에 있어서,  
상기 제2 조인트는  
상기 평행사변형 구조에 의해 상기 암에 대한 지렛대 효과를 제공하고,  
상기 복수의 액추에이터를 제어하는 단계는  
상기 제2 액추에이터를 통해 피드 포워드 토크 제어(feed forward torque control)를 수행하는 단계를 포함하는, 제어 방법.

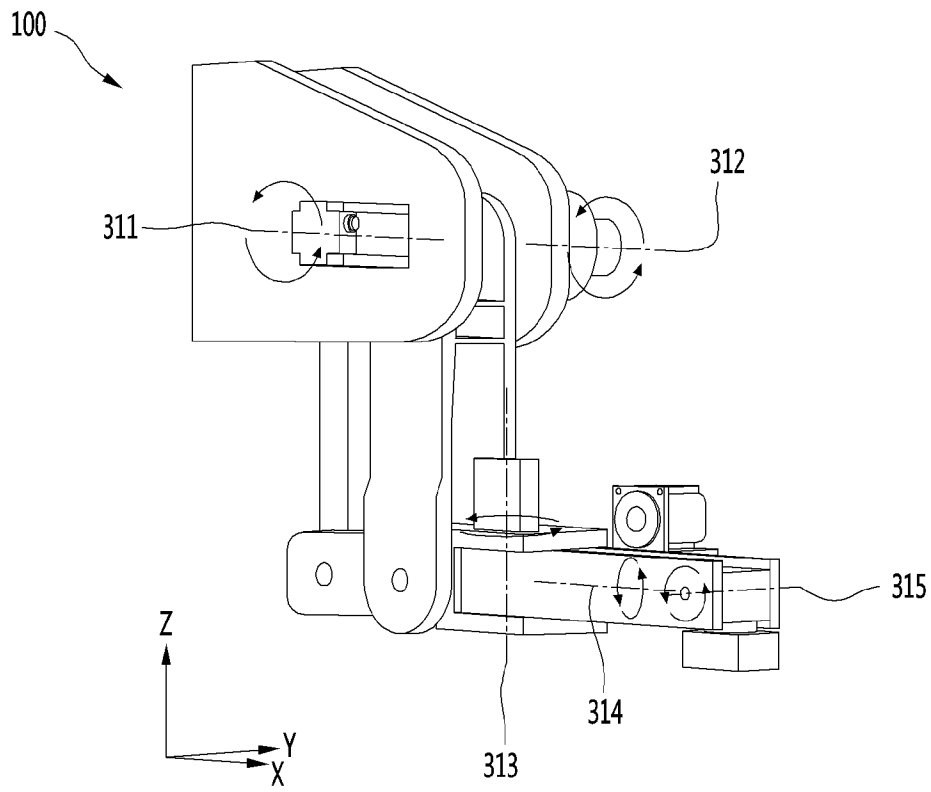
[도1]



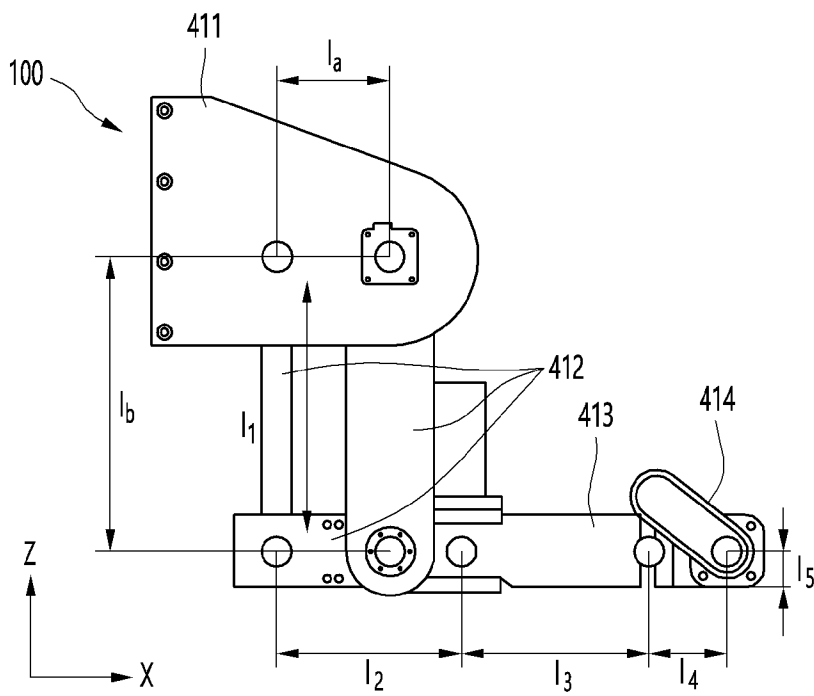
[도2]



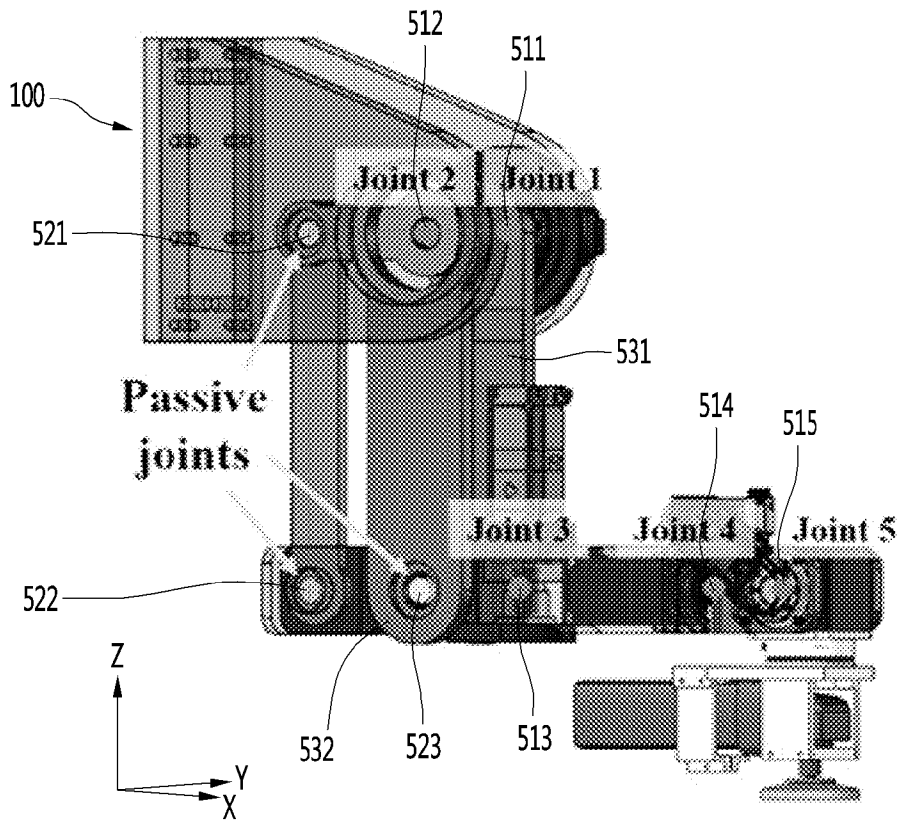
[도3]



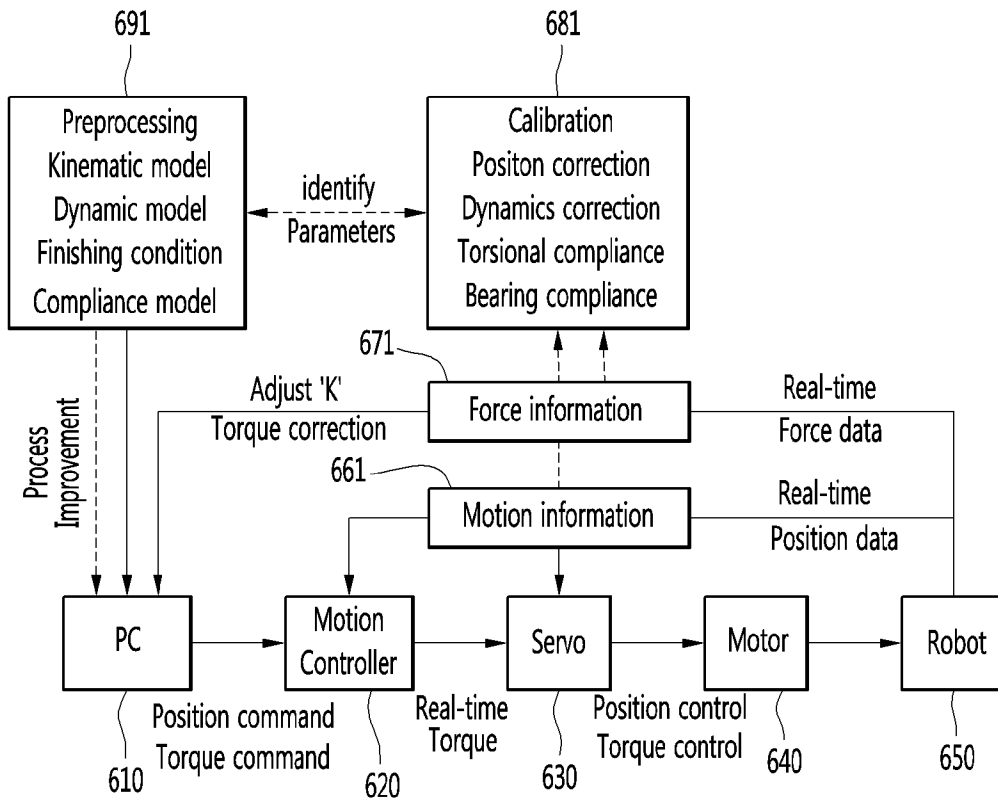
[도4]



[도5]

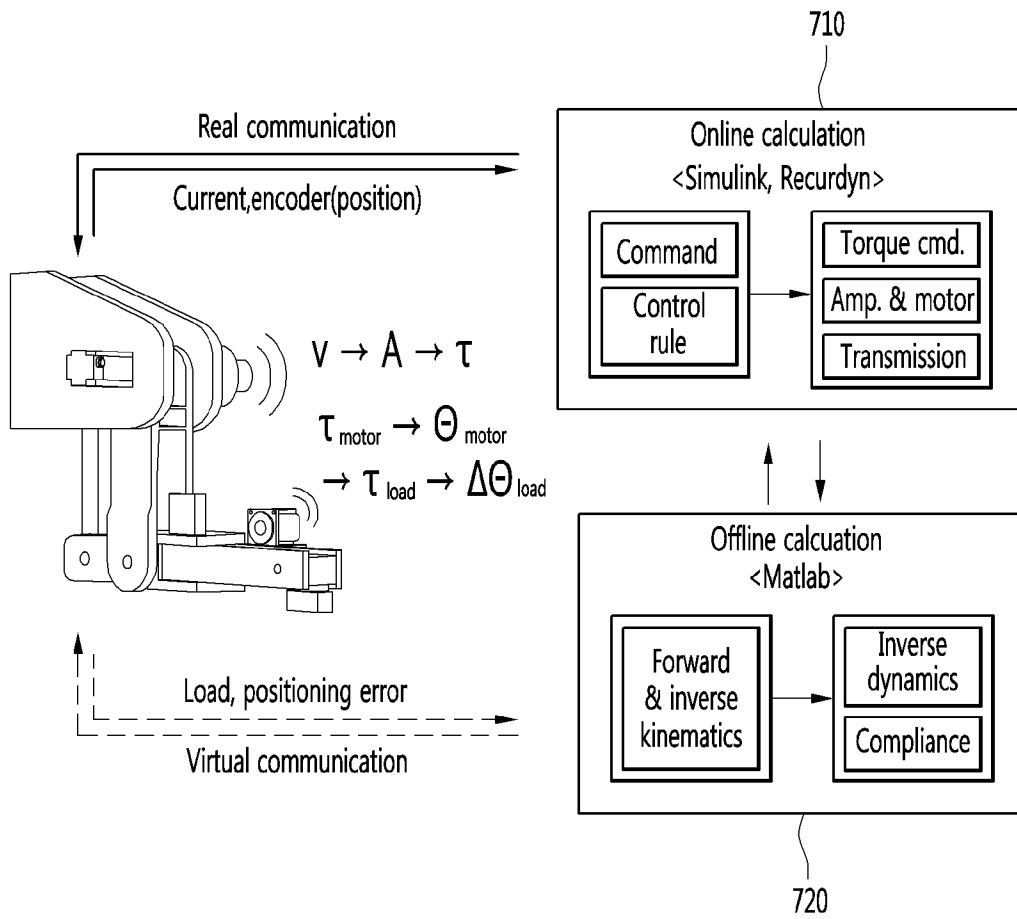


[도6]

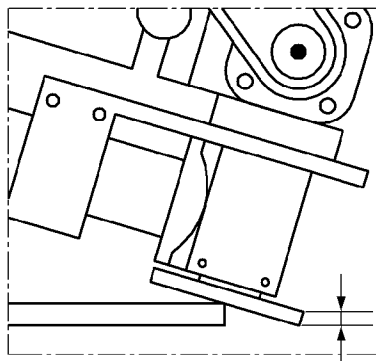
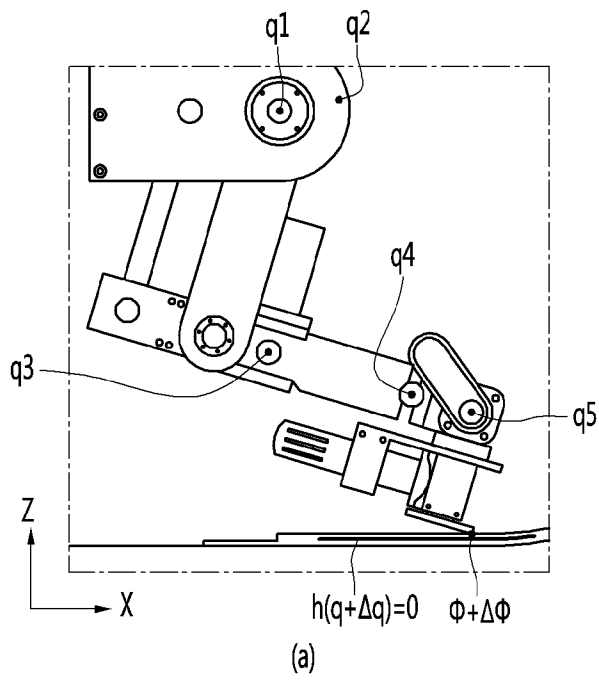
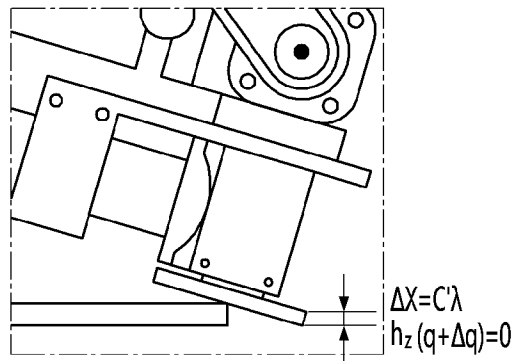




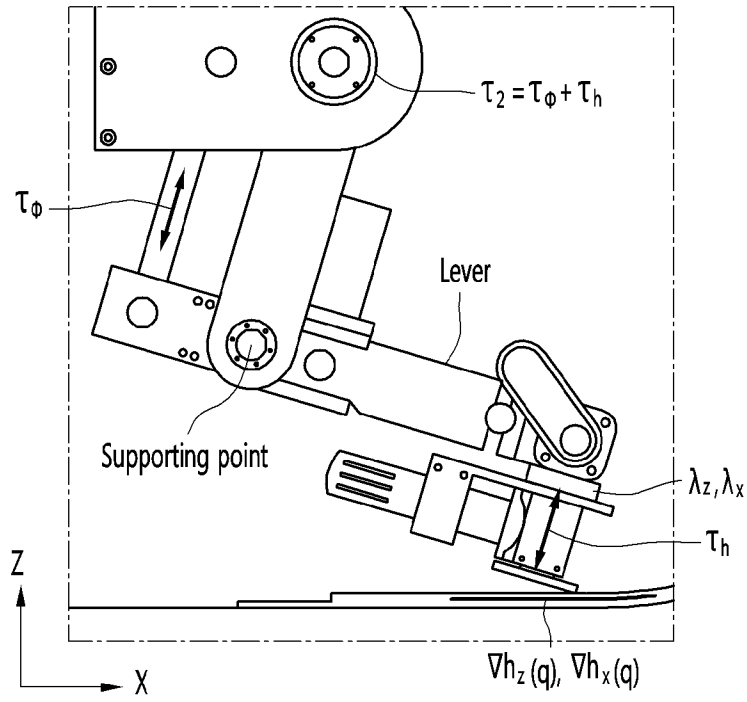
[도7]



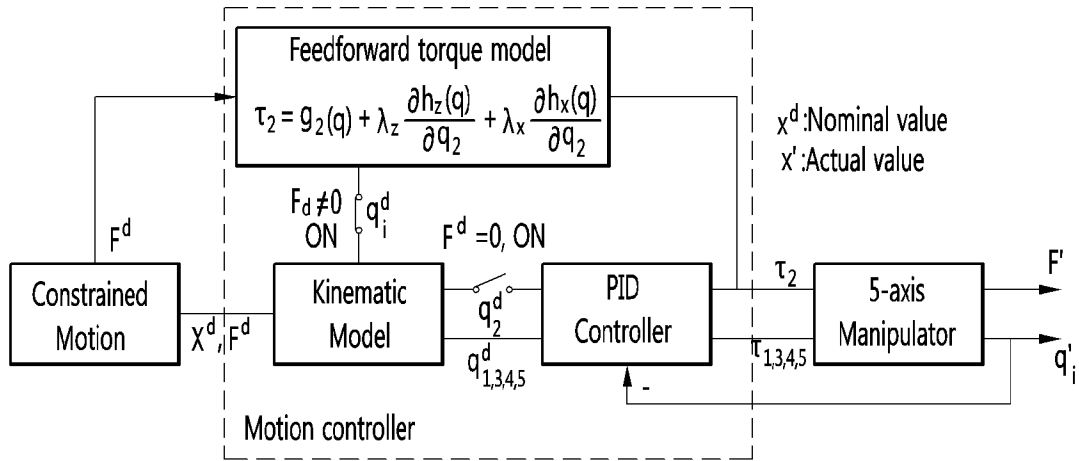
[도8]

(b)  $\lambda=0$ (c)  $\lambda \neq 0$

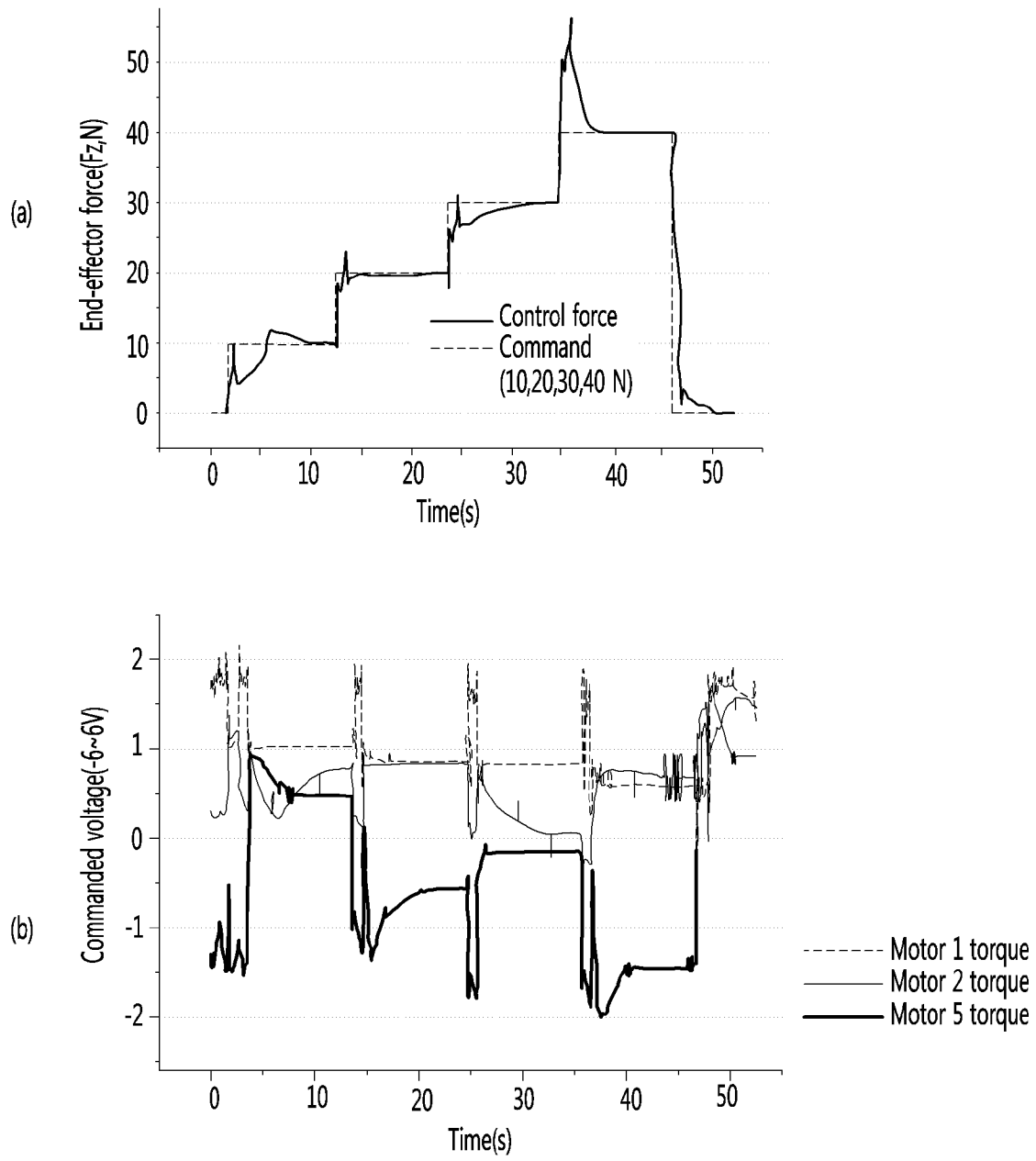
[도9]



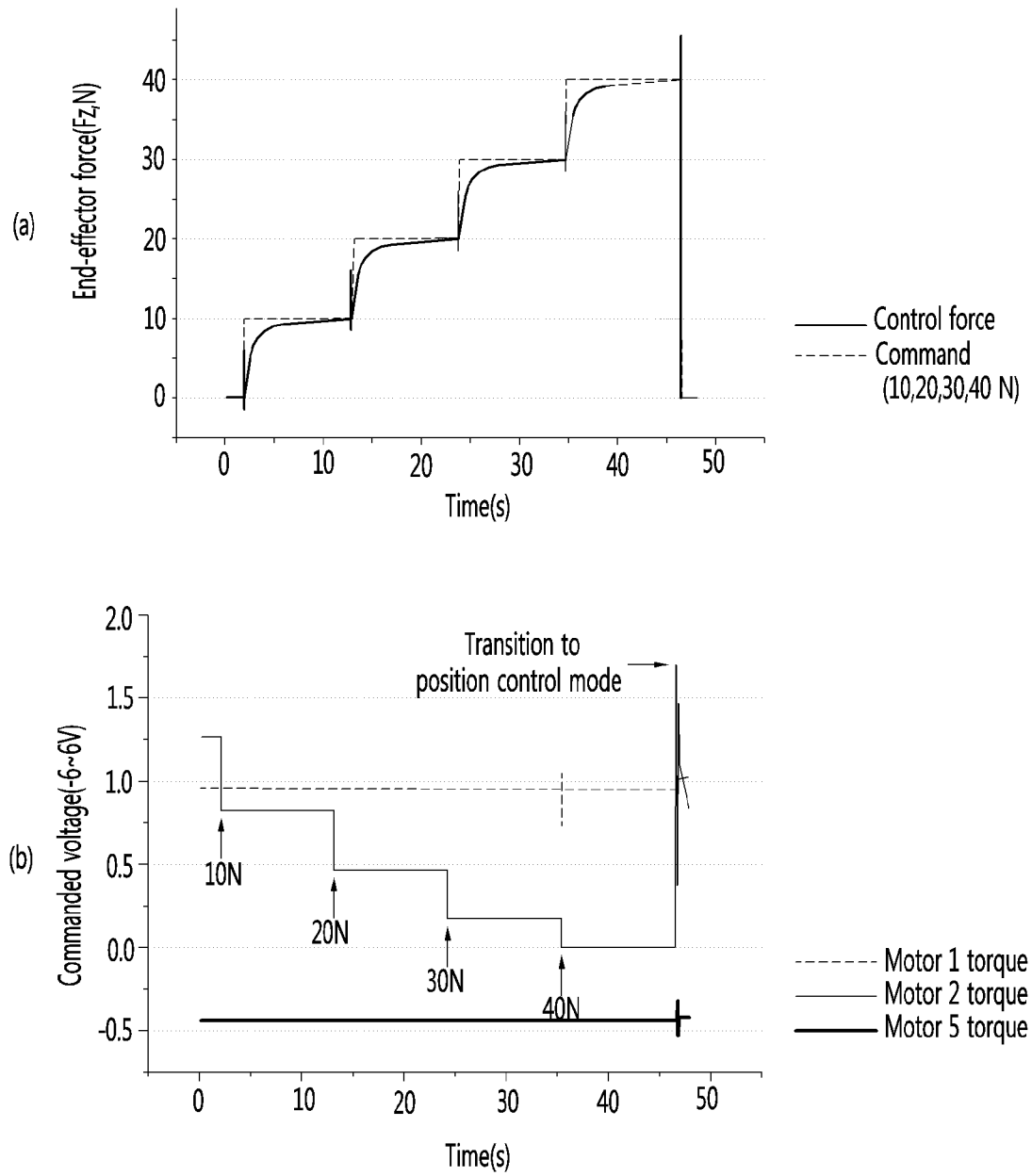
[도10]



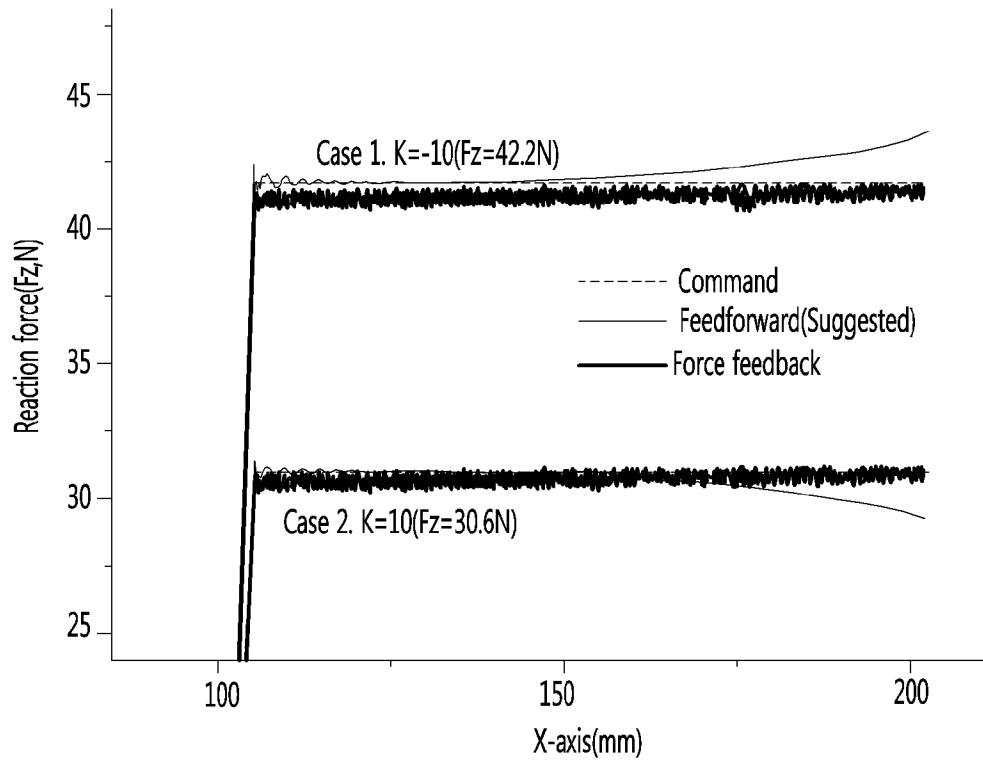
[도 11]



[도 12]



[도 13]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2020/007224

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

*B25J 11/00(2006.01)i, B25J 9/04(2006.01)i, B25J 9/02(2006.01)i, B25J 9/10(2006.01)i, B25J 9/16(2006.01)i*

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B25J 11/00; B25J 18/00; B25J 19/00; B25J 9/06; B25J 9/10; B62D 65/16; G05B 19/04; G05B 19/18; B25J 9/04; B25J 9/02; B25J 9/16

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Korean utility models and applications for utility models: IPC as above  
Japanese utility models and applications for utility models: IPC as aboveElectronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: manipulator, parallelogram, link, joint, actuator, self-weight and feed forward torque

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 10029369 B1 (PRECISE AUTOMATION, INC.) 24 July 2018 See column 9, line 56-column 12, line 38 and figure 2.	1,11
Y		2-8,10,12,13
A		9
Y	KIM, Jong-jac et al. Design of manipulator for gantry-type finishing machine. In: EUSPEN. 18th International Conference & Exhibition. Venice. June 2018. See pages 1-2 and figures 1 and 3.	2-8,10,12,13
A	KR 10-1683526 B1 (HYUNDAI MOTOR COMPANY et al.) 07 December 2016 See claim 1 and figure 1.	1-13
A	KR 10-1724490 B1 (KIA MOTORS CORPORATION) 07 April 2017 See paragraphs [0028]-[0044] and figures 1-3.	1-13
A	KR 10-0814185 B1 (SEIKO EPSON CORPORATION) 14 March 2008 See claim 1 and figure 1.	1-13

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

03 SEPTEMBER 2020 (03.09.2020)

Date of mailing of the international search report

04 SEPTEMBER 2020 (04.09.2020)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office  
Government Complex Daejeon Building 4, 189, Cheongsa-ro, Seo-gu,  
Daejeon, 35208, Republic of Korea

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.

**PCT/KR2020/007224**

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
US 10029369 B1	24/07/2018	CA 3064027 A1	13/12/2018
		US 10173323 B2	08/01/2019
		US 10252420 B2	09/04/2019
		US 2018-0354135 A1	13/12/2018
		US 2018-0354136 A1	13/12/2018
		WO 2018-227096 A1	13/12/2018
		KR 10-1683526 B1	07/12/2016
DE 102016202164 A1	18/08/2016		
KR 10-2016-0099301 A	22/08/2016		
US 10421198 B2	24/09/2019		
US 2016-0236359 A1	18/08/2016		
KR 10-1724490 B1	07/04/2017		
		US 10179408 B2	15/01/2019
		US 2017-0157778 A1	08/06/2017
		KR 10-0814185 B1	14/03/2008
CN 1951643 C	25/04/2007		
EP 1777044 A2	25/04/2007		
EP 1777044 A3	09/01/2008		
EP 1777044 B1	04/03/2009		
JP 2007-136657 A	07/06/2007		
JP 4148280 B2	10/09/2008		
KR 10-2007-0042468 A	23/04/2007		
TW 200730309 A	16/08/2007		
US 2007-0110554 A1	17/05/2007		
US 2010-0236351 A1	23/09/2010		
US 2013-0145892 A1	13/06/2013		
US 7752939 B2	13/07/2010		
US 8393243 B2	12/03/2013		



<b>A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))</b> B25J 11/00(2006.01)i, B25J 9/04(2006.01)i, B25J 9/02(2006.01)i, B25J 9/10(2006.01)i, B25J 9/16(2006.01)i		
<b>B. 조사된 분야</b> 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) B25J 11/00; B25J 18/00; B25J 19/00; B25J 9/06; B25J 9/10; B62D 65/16; G05B 19/04; G05B 19/18; B25J 9/04; B25J 9/02; B25J 9/16 조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC		
국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 매니플레이터(manipulator), 평행사변형(parallelogram), 링크(link), 조인트(joint), 액츄에이터(actuator), 자중(self-weight) 및 피드 포워드 토크(feed forward torque)		
<b>C. 관련 문헌</b>		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	US 10029369 B1 (PRECISE AUTOMATION, INC.) 2018.07.24 컬럼 9, 라인 56 - 컬럼 12, 라인 38 및 도면 2	1,11
Y A		2-8,10,12,13 9
Y	KIM, JONG-JAE et al. Design of manipulator for gantry-type finishing machine In: EUSPEN, 18th International Conference & Exhibition. Venice, June 2018. 페이지 1-2 및 도면 1, 3	2-8,10,12,13
A	KR 10-1683526 B1 (현대자동차 주식회사 등) 2016.12.07 청구항 1 및 도면 1	1-13
A	KR 10-1724490 B1 (기아자동차 주식회사) 2017.04.07 단락 [0028]-[0044] 및 도면 1-3	1-13
A	KR 10-0814185 B1 (세이코 엡슨 가부시카가이샤) 2008.03.14 청구항 1 및 도면 1	1-13
<input type="checkbox"/> 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. <input checked="" type="checkbox"/> 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.		
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: “A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 “D” 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌 “E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후 “X”에 공개된 선출원 또는 특허 문헌 “L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 “O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 “P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌 “T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌 “X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다. “Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다. “&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌		
국제조사의 실제 완료일 2020년 09월 03일 (03.09.2020)	국제조사보고서 발송일 2020년 09월 04일 (04.09.2020)	
ISA/KR의 명칭 및 우편주소  대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578	심사관 방승훈 전화번호 +82-42-481-5560 	

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
US 10029369 B1	2018/07/24	CA 3064027 A1 US 10173323 B2 US 10252420 B2 US 2018-0354135 A1 US 2018-0354136 A1 WO 2018-227096 A1	2018/12/13 2019/01/08 2019/04/09 2018/12/13 2018/12/13 2018/12/13
KR 10-1683526 B1	2016/12/07	CN 105881585 A DE 102016202164 A1 KR 10-2016-0099301 A US 10421198 B2 US 2016-0236359 A1	2016/08/24 2016/08/18 2016/08/22 2019/09/24 2016/08/18
KR 10-1724490 B1	2017/04/07	CN 106808464 A US 10179408 B2 US 2017-0157778 A1	2017/06/09 2019/01/15 2017/06/08
KR 10-0814185 B1	2008/03/14	CN 1951643 A CN 1951643 C EP 1777044 A2 EP 1777044 A3 EP 1777044 B1 JP 2007-136657 A JP 4148280 B2 KR 10-2007-0042468 A TW 200730309 A US 2007-0110554 A1 US 2010-0236351 A1 US 2013-0145892 A1 US 7752939 B2 US 8393243 B2	2007/04/25 2007/04/25 2007/04/25 2008/01/09 2009/03/04 2007/06/07 2008/09/10 2007/04/23 2007/08/16 2007/05/17 2010/09/23 2013/06/13 2010/07/13 2013/03/12