

# 6축 수직다관절 모듈형 매니플레이터 설계

고영준, 김상훈

\*한경대학교 전기전자제어공학과

gorhdudwns@naver.com, kimsh@hknu.ac.kr

## Design of an 6 axial vertical multi-joint modular manipulator

Young-Jun Ko\*, Sang-Hoon Kim\*

\*Dept of Electrical, Electronic and Control, Hankyong National University

### 요 약

본 논문은 산업현장이 아닌 카페등 생활현장에서의 폐기용 컵 처리를 목적으로, 사람을 대신해 지능적이고 기구학적으로 효율적인 다관절 매니플레이터의 설계 방법을 연구하였다. 다양한 장소에서 인간을 대신하여 임의의 위치에 있는 다양한 폐기 컵을 3D 카메라로 인식하여 알맞은 위치로 분리수거하는 6축 수직 다관절 모듈형 매니플레이터의 안정적인 동작을 위하여 기구부를 Yaw-Pitch-Pitch-Pitch-Yaw-Yaw의 6축 구조로 설계하고, 이를 구동하기 위한 관절 구동기의 용량을 분석하여 관절 구동기를 선정하며 전체적인 이해와 효율적인 분석을 위해 기구 전체의 외관을 3D 모델링 프로그램을 이용하여 구현하고 동작을 검증하였다.

### 1. 서론

매니플레이터란 산업 로봇의 주축이 되는 로봇으로 팔의 구조를 가지며, 정해진 위치에서의 작업 물체를 이송하는 반복 작업을 하는 로봇으로 본 논문에서는 다양한 장소에서 임의의 위치에 있는 다양한 작업물체를 이송하기 위해 공간상의 어떤 지점에도 도달할 수 있도록 3개의 회전운동을 하는 6 자유도를 가지는 수직다관절 매니플레이터를 설계하였으며 설계 조건에 맞는 관절 구동기 선정에 의해 각 축의 구동용량을 구하고 관절 구동기를 선정한다.

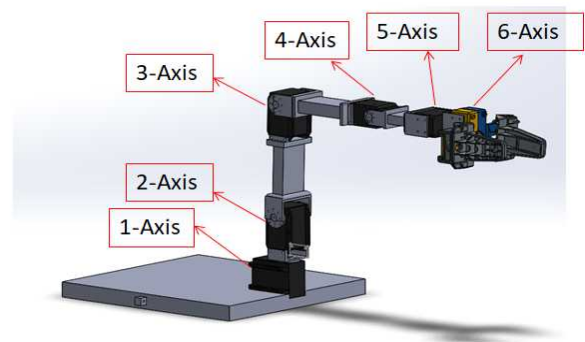
하여 설계하였다.

(그림 1)은 본 연구에서 설계 되어질 6축 매니플레이터의 자유도로 yaw-pitch-pitch-pitch-yaw-yaw 관절 구조로 설계되었다. 1축은 Yaw 운동을 하는 구조로써  $360^\circ$  회전하며 2축과 3축, 4축, Pitch 운동을 하는 구조로써  $\pm 90^\circ$  회전 운동이 가능하며 5축과 6축은 Yaw 운동을 하고 2축, 3축, 4축과 같이  $\pm 90^\circ$  회전하여 쓰레기에 음료가 담겨 있을 시에  $180^\circ$  회전하여 음료를 버릴 수 있도록 설계하였다.

### 2. 매니플레이터 기구부 구성

카페나 패스트푸드점에서 다양한 폐기를 분리수거하는 6축 수직다관절 매니플레이터의 설계 조건은 다음과 같다. 가반하중 0.5kgf, 총 무게 5kgf 내외의 6축 구조와 카페나 생활현장에서 사용하는 쟁반 위 임의의 위치에 있는 폐기를 분리수거 할 수 있도록 2축의 회전축 중심으로부터의 매니플레이터의 길이를 0.52m로 설정하였다.

본 논문에서는 위와 같은 설계사양을 만족하기 위한 설계를 수행하였으며, 설계한 매니플레이터의 그림과 외형은 ROBOTIS사의 Open Manipulator을 참고



(그림 1) 매니플레이터의 자유도

### 3. 관절구동기의 구동 용량

관절구동기의 구동 용량을 선정하기 위해 앞서 2절에서 설정한 제약 조건을 바탕으로 각 축에 필요한 관절구동기 선정을 위해 각 축의 구동용량을 산출하였으며 구동용량 산출을 위한 파라미터 값은 다음과 같다.

[2]<표 1>에서의 사용되는 파라미터 값들은 다음과 같은 값을 의미한다.  $a_i$  = 링크의 직경,  $b_i$  = 링크의 길이,  $d_i$  = 회전중심과 질량중심 거리,  $m_i$  = 회전하는 링크의 무게이다.

<표 1>

i	$a_i[m]$	$b_i[m]$	$d_i[m]$	$m_i[kg]$
1	0.051	0.58	0.267	1.176
2	0.051	0.51	0.242	1.036
3	0.051	0.37	0.167	0.917
4	0.051	0.2	0.091	0.849
5	0.051	0.12	0.04	0.632
6	0.051	0.08	0.02	0.579

<표 1>의 파라미터 값을 가지고 관성모멘트 값을 구하기 이전에 총 구동 시간을 10s, 가감속 시간은 0.15s, 마찰저항토크( $T_f$ )를  $0.5N \cdot m$  그리고 쓰레기의 무게를 0.5kg이라고 가정하고, [2] 아래와 같은 식을 이용하여 관성모멘트를 구하였다.

해당 링크 중심 주변의 관성모멘트  $I_z$

$$I_z = \frac{1}{12}m(a^2 + b^2) \quad (1)$$

회전축과 질량중심 사이의 거리가  $d_i$ 일 때 관성모멘트  $I_e$

$$I_e = I_z + md^2 \quad (2)$$

<표 2>는 식(1)과 식(2)를 이용하여 구한 각 링크의 관성모멘트를 나타낸 표이다.

<표 2>

i	운동	$I_{zi}[kg \cdot m^2]$	$I_{ei}[kg \cdot m^2]$
1	Yaw	0.033	0.1168
2	Pitch	0.0226	0.0832
3	Pitch	0.0106	0.0361
4	Pitch	0.00265	0.0088
5	Yaw	0.00089	0.0019
6	Yaw	0.0004	0.0006

[2] 각 관절의 회전각도를  $\theta(\text{rad})$ , 총 구동시간을  $t_t$  (s), 가감속 시간을  $t_a$ (s)라고 아래와 같은 식이 성립하고 이때  $\omega_c$ 는 각속도,  $\alpha$ 는 각가속도이다.

$$\omega_c = \frac{C}{t_t - t_a} [\text{rad/s}] \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\omega_c}{t_a} [\text{rad/s}^2] \quad (4)$$

<표 3>은 식(3)과 식(4)를 이용해 구한 각 축의 각속도 값과 각가속도 값을 나타낸 것이다.

<표 3>

i	C	$\omega_{ei}[\text{rad/s}]$	$a_{ei}[\text{rad/s}^2]$
1	6.282	0.6377	4.251
2	3.141	0.3188	2.125
3	3.141	0.3188	2.125
4	3.141	0.3188	2.125
5	3.141	0.3188	2.125
6	3.141	0.3188	2.125

[2] 위에서 구한 각가속도와 관성모멘트  $I_{ei}$ 를 이용하여 식(5)를 구할 수 있으며 관성력에 의한 토크:  $T_i = I_e \times \alpha$  (5)

[2] 관성력에 의한 토크와 마찰저항 토크를 이용하면 식(6)이 성립한다.

$$\text{가속에 필요한 토크: } T_\alpha = T_i + T_f \quad (6)$$

$$T_{\max} = T_\alpha + T_f \quad (7)$$

<표 4>는 식(8)을 이용하여 [2] 각 축의 최대 부하 토크를 나타낸 표이다.

$$\text{최대 부하 토크: } T_{wi} = m_i g \times d_i \times \sin \theta \quad (8)$$

&lt;표 4&gt;

i	$\theta$	$d_i[m]$	$m_i[kg]$	$T_w[Nm]$
1	0~360	0.267	1.176	3.077
2	$\pm 90$	0.242	1.036	2.456
3	$\pm 90$	0.167	0.917	1.500
4	$\pm 90$	0.091	0.849	0.667
5	$\pm 90$	0.04	0.632	0.247
6	$\pm 90$	0.02	0.579	0.113

식(7)에서 구한  $T_{max}$  와 식(8)을 이용해 구한 <표 4>의 각 축의 최대 부하 토크를 이용하여 [2] 식 (9)가 성립하며

$$\text{최대 토크: } T_{road} = T_{max} + T_{wmax} \quad (9)$$

<표 5>는 식(9)를 이용하여 각 축의 최대 토크를 나타낸 표이다.

&lt;표 5&gt;

i	운동	$T_{road}[Nm]$
1	Yaw	4.573
2	Pitch	3.632
3	Pitch	2.576
4	Pitch	1.685
5	Yaw	1.251
6	Yaw	1.1131

#### 4. 관절구동기 선정

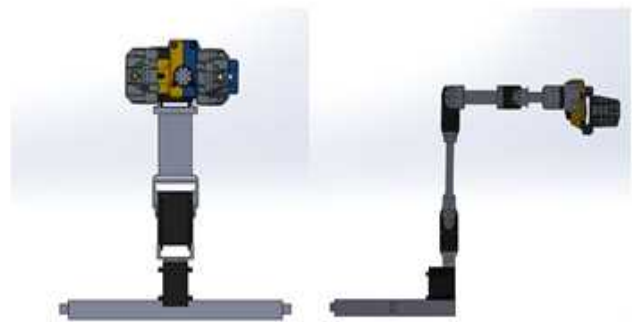
<표 6>은 <표 5>의 각 축의 최대 토크에 안전율 1.5를 곱한 값을 나타낸 것이며 관절구동기를 선정할 때에 최대 토크에 안전율 1.5를 곱한 값보다 큰 Stall Torque를 가진 관절 구동기를 선정하였고 선정된 관절 구동기의 사양은 <표 7>과 같다.

&lt;표 6&gt;

i	$T_{road}[Nm]$	$T_{road}[Nm] \times 1.5$
1	4.573	6.859
2	3.632	5.448
3	2.576	3.864
4	1.685	2.527
5	1.251	1.876
6	1.1131	1.669

&lt;표 7&gt;

i	Stall Torque[Nm]	Gear Ratio
1	8.4	225:1
2	6	200:1
3	6	200:1
4	4.1	353.5:1
5	4.1	353.5:1
6	4.1	353.5:1

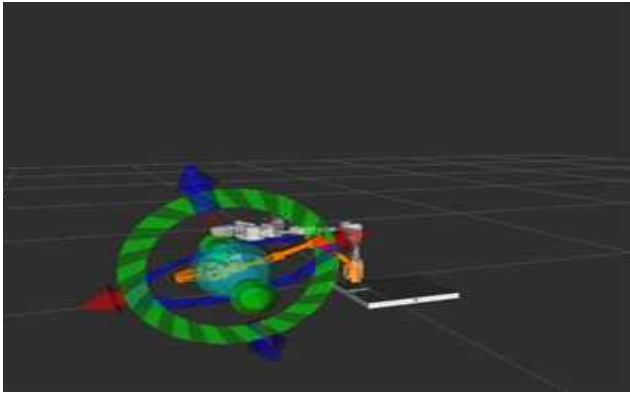


(그림 2) 매니퓰레이터 형상

#### 5. 실험 및 검토

위에서 선정된 관절 구동기를 이용하여 설계한 매니퓰레이터를 ROS(Robot Operating System)에서 설계한 모델을 불러오기 위해서 URDF(Universal Robotic Description Format)이라는 파일을 불러와서 ROS에서 제공하는 툴 중 하나인 RViz(ROS Visualizer)를 통해서 구현하고 동작을 검증하였다.

(그림 3)은 설계한 매니퓰레이터를 RViz에서 구현하고 동작하는 그림이다.



(그림 3) RViz 시뮬레이션

## 6. 결 론

본 논문에서는 카페나 패스트푸드점처럼 다양한 장소에서 다양한 폐기를 카메라로 인식하여 알맞은 위치에 분리수거 하는 6축 매니퓰레이터를 설계하였으며 추후 설계한 3D 모델을 바탕으로 실제 모델을 설계할 것이며 또 ROS를 기반으로 역기구학을 해석해 end effector의 위치에 따른 각 축의 각도 값을 얻어내 제어연구를 진행할 예정이다.

### 감사의 글

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2020R1F1A1067496)

### 참고문헌

- [1] 최형식, 고성능 유연작업 다관절 로봇 매니퓰레이터의 개발, 6, 2004.05.30.
- [2] 하지훈, 주영도, 김동희, 김준영, 최형식, 방수형 로봇팔의 설계, 실험 및 제어 연구, 10, 2014.06.18
- [3]조경식, 이동현, 김갑순, 소형 폭발물 처리 로봇을 위한 고성능 매니퓰레이터 설계, 한국정밀공학회지, 제 36권, 제 12호, 1125-1133, 2019.11.25.
- [4]강진일, 최형식, 전봉환, 지대형, 오지윤, 김준영, 재난 탐사 및 구조를 위한 로봇팔 설계 및 제어, 제어로봇시스템학회 논문지, 제 22권, 888-894, 2016.11
- [5] 김민수, 최병욱, ROS의 Gazebo를 이용한 Differential-Drive 시뮬레이션, 대한기계학회 IT융합 부문 춘계학술 논문집