한국기계가공학회지, 제20권, 제4호, pp. 16~23(2021.04) ISSN 1598-6721(Print)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 20, No. 4, pp. 16~23(2021.04) ISSN 2288-0771(Online)

https://doi.org/10.14775/ksmpe.2021.20.04.016

MATLAB®과 Recurdyn®의 Simulink를 활용한 2축 부가 축과 6축 수직 다관절로봇의 기구적 연동에 관한 연구

배승민*, 정원지*,#, 노성훈**
*창원대학교 기계공학부, **(주)영창로보테크

A Study on the Cooperative Kinematic Inter-operation of 2-Axis (Tilting/Rolling) Additional Axes with a 6-Axis Articulated Robot Using Simulink of MATLAB® and Recurdyn®

Seung-Min Bae*, Won-Jee Chung*,#, Seong-Hoon Noh**
*Changwon National University, **Youngchang Robo-tech

(Received 23 November 2020; received in revised form 15 January 2021; accepted 22 January 2021)

ABSTRACT

Currently, 6-axis articulated robots are used throughout the industry because of their 6-dof (degrees of freedom) and usability. However, 6-axis articulated robots have a fixed base and their movements are limited by the rotational operating range of each axis. If the angle of the 2-axis additional axes can be adjusted according to the position and orientation of the end-effector of the 6-axis articulated robot, the effectiveness of the 6-axis articulated robot can be further increased in areas where the angle is important, such as welding. Therefore, in this paper, we proposed a cooperative kinematic inter-operation strategy. The strategy will be verified using the Simulink of MATLAB®, an engineering program, and Recurdyn®, a dynamic simulation program.

Key Words : 6-Axis Articulated Robot(6축 수직 다관절 로봇), 2-Axis Additional Axes(2축 부가 축), Cooperative Kinematic Inter-operation Strategy(기구학적 연동 전략), Angle(각도), Simulink(시뮬링크)

1. 서 론

오늘날의 산업현장에서는 로봇은 단순 반복 작업을 넘어서 용접, 도장, 조립과 같은 공정에도 사용되고 있으며 자동화를 위해 산업현장 내에서 전반적으로 사용되고 있다. 로봇 기술력은 빠른 속도로 발전하고 있으며, 로봇의 작업 공정 간의 효율을 증대시키기 위한 기술들이 많이 발전하고 있다. 수직 다관절 로봇은 사람에 가까운 유연한 팔의 움직임과 적은 설치 공간에 비해 넓은 작업영역을 가지고 있어 소재 운반(Transport), 조립(Assembling), 실링(Sealing), 디버링(Deburring), 검사(Inspection) 등 다양한 공정에 적용이 가능해 산업현장에서 많이 쓰이고 있다.

6축 수직 다관절 로봇은 공간 상의 3차원 직각 좌표계에서 각 축의 병진(Translation) 운동 Surge, Sway, Heave와 각 축의 회전(Rotation) 운동 Roll,

Corresponding Author : wjchung@changwon.ac.kr
Tel: +82-55-213-3624, Fax:+82-55-263-5221

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Pitch, Yaw의 총 6개의 자유도를 가지고 있어 이론상으로 범위 내의 공간상의 모든 움직임을 취할 수 있다. 수직 다관절 로봇의 작업 영역은 로봇의 Base 부를 중심으로 팔을 일직선으로 뻗은 길이를 반경으로 하는 구와 팔을 가장 안쪽으로 구부렸을 때의 끝의 중심과의 거리를 반경으로 하는 구로 둘러싸인 부분이다.[1] 그러나 실제로는 로봇의 각 축의 회전 가동 범위에 의해 제한되어 진다.

용접 분야에 있어 용접 로봇의 최대 수요처는 자동차 산업으로 자동차 관련 시장은 점점 신차의 개발 주기가 빨라지고 있으며 자동차의 생산 공정에서의 재활용 비율이 높아지며 인건비 절감 및 용접 품질 향상을 위해 용접 자동화를 위한 용접 로봇의 중요도가 커지고 있다.[2]

6축 수직 다관절 로봇에 용접 토치를 설치할 경우 용접을 위한 용접 케이블이 있으며 용접 케이블이 꼬일 경우 용접의 질에 악영향을 줄 수 있다. 따라서 이를 방지하기 위해 용접 로봇의 움직임은 제한된다. 이러한 단점을 보완하기 위해 용접 케이블 내장형 중공 로봇이 개발되어 사용되고 있다.[3] 또한 조선소에서의 용접은 부재들의 크기가 크고 용접 위치가 고정되어 있지 않기 때문에 Base가 고정되며 각 축의 가동 범위가 정해져 있는 다관절 용접 로봇으로는 한계가 있어 겐트리와 결합하여 용접 로봇의 동선을 증가시켜 사용하고 있다.

6축 수직 다관절 로봇의 End-effector의 위치와 방향에 맞추어 2축 부가 축이 작동을 하게 된다면 상대적으로 움직임의 제한이 있는 6축 수직 다관절 로봇의 움직임이 줄어들며 로봇의 효용성을 증대시킬 수 있을 것이다. 2축 부가 축을 이용한 6축 수직 다관절 로봇의 용접 공정 효율 증대를 위한 연구[4]는 6축 수직 다관절 로봇에 2축 부가 축을 접목하여 부가 축이 작동을 할 경우와 작동을 하지 않을 경우에 대해 실험을 통해 용접의 공정 효율을 검증하였다. 본 논문에서는 6축 수직 다관절 로봇과 2축 부가 축에 대한 역기구학 해석을 통해 6축 수직 다관절 로봇과 2축 부가 축의 연동을 위한 구체적인 방법을 제시한다. 연동을 위한 역기구학 식은 공학용 프로그램 MATLAB®을 이용해 계산을 하고 동적 시뮬레이션 프로그램 Recurdyn®을 MATLAB®과 연동하는 Simulink를 이용한 시뮬레이션 기반 기법을 통해 6축 수직 다관절 로봇과 2축 부가 축의 연동 방법을 검증한다.

2. 6축 수직 다관절 로봇과 2축 부가 축

본 논문에서는 6축 수직 다관절 로봇과 2축 부가 축의 관계에 대한 역기구학 해석을 통해 연동에 대한 식을 제시한다. 따라서 논문에서 사용될 6축 수직 다관절 로봇(RS2)과 2축 부가 축의 구조적 특성과 기구학 해석을 위한 Link frame 및 D-H (Denavit – Hartenberg) 파라미터는 2.1장과 2.2장에서 정의한다.

2.1 6축 수직 다관절 로봇의 구조와 D-H 파라미터

본 논문에서 사용되는 로봇은 실험실에서 연구 목적으로 자체 설계하여 개발된 6축 수직 다관절 로봇(RS2)으로 형상은 Fig. 1과 같고 구조적 특징은 Fig. 2와 같이 서보 모터 및 감속기의 부하를 분산시키고 매니퓰레이터의 구조의 강성을 높이기 위해 4-bar link 구조이며, 2nd축과 3rd축이 나란히 배치되어 있다. 또, 구조적 강성을 향상시키기 위해 Fig. 3와 같이 5th축이 볼 스크류에 의해 구동되는 슬라이딩 Link 구조로 되어 있다. 6축 수직 다관절 로봇의 Link frame은 Fig. 4와 같고 6축 수직 다관절 로봇의 D-H 파라미터는 Table. 1과 같다. D-H 파라미터 요소는 Joint angle(θ_i), Link offset(d_i), Link length(a_i), Twist angle(α_i)와 같다.

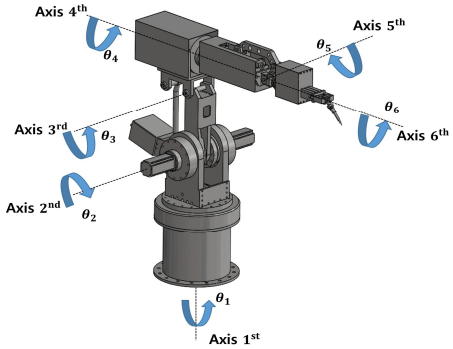

Fig. 1 Shape of 6-axis articulated robot(RS2)

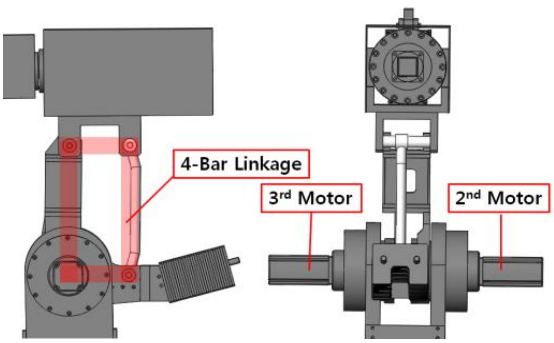

Fig. 2 4-bar link structure

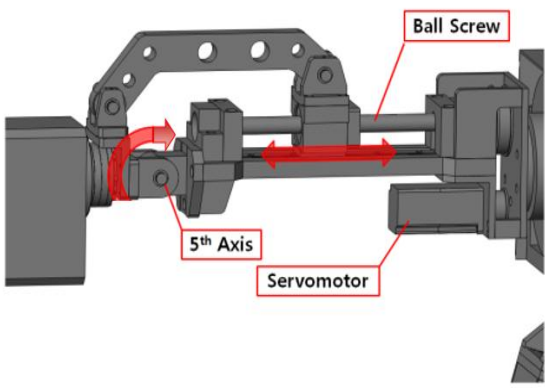

Fig. 3 Sliding Mechanism of the 5-axis

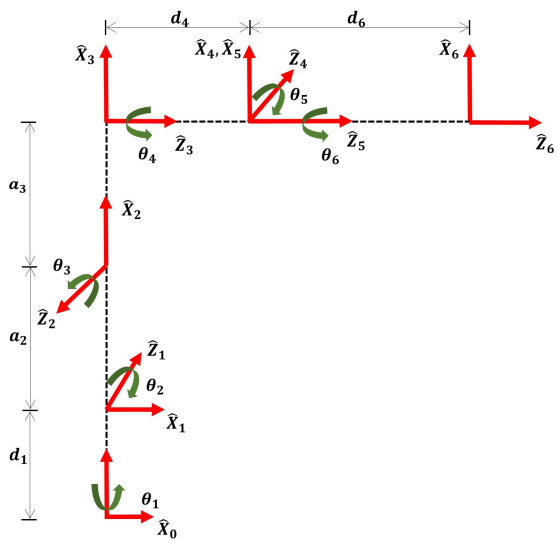

Fig. 4 Link frames of RS2

Table 1 D-H Parmeters of RS2

Joint	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	d_1	0	-π/2
2	θ_2-π/2	0	a_2	π
3	θ_3	0	a_3	π/2
4	θ_4	d_4	0	π/2
5	θ_5	0	0	-π/2
6	θ_6	d_6	0	0

2.2 2축 부가 축의 구조와 D-H 파라미터

본 논문에서 사용되는 2축 부가 축 또한 연구를 위해 실험실에서 제작을 하였으며 형상은 Fig. 5과 같다. 1st축은 Tilting 축, 2nd축은 Rolling 축이다. Tilting과 Rolling은 0 ° ~360 ° 까지 자유로운 회전이 가능하다. 부가 축에 Welding plate가 부착되어 있다. 2축 부가 축의 Link frame은 Fig. 6과 같고 2축 부가 축의 D-H 파라미터는 Table. 2와 같다. 부가 축의 Base frame을 {S}, Tilting 축을 $\{\hat{Z}_S\}$, Rolling 축을 $\{\hat{Z}_t\}$, 용접이 일어나는 Plate는 {wp}라고 정의한다.

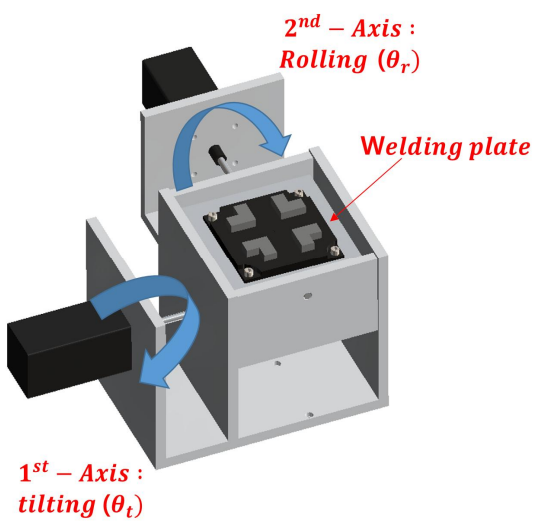

Fig. 5 Shape of the 2-axis additional axes

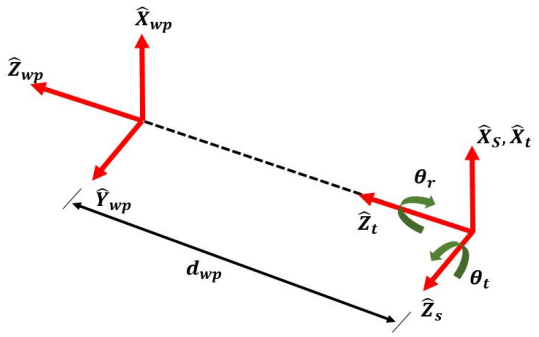

Fig. 6 Link frames of 2-axis additional axes

Table 2 D-H Parmeters of 2-axis additional axes

Joint	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_t	0	0	-π/2
2	θ_r	d_{wp}	0	0

3. 6축 수직 다관절 로봇과 2축 부가 축의 연동

본 논문에서 제시하는 연동이란 로봇의 End-effector의 위치와 방향에 맞추어 부가 축이 Tilting 동작과 Rolling 동작을 하여 각도를 조절하여 로봇의 End-effector와 Welding plate 간의 서로 마주보는 자세에 대한 각도를 유지하게 하는 것이다. 연동에 대한 기구적 해석은 3.1장에서 정의하며 2축 부가 축의 Tilting 동작과 Rolling 동작의 각도를 구하는 방법은 3.2장에서 정의한다.

3.1 6축 수직 다관절 로봇과 2축 부가 축의 연동을 위한 기구적 해석

6축 수직 다관절 로봇의 End-effector와 2축 부가 축의 Welding plate가 서로 마주보는 자세를 취하면 Fig. 7과 같다. 이를 위해서는 로봇의 End-effector의 Frame {6}와 부가 축의 Welding plate의 Frame {wp}의 Approach vector와 Sliding vector가 반대 방향이 되어야 한다. 즉, Frame {6}와 Frame {wp}의 방향벡터들 간의 관계가 식 (1)과 같으면 마주보는 자세라고 볼 수 있다.

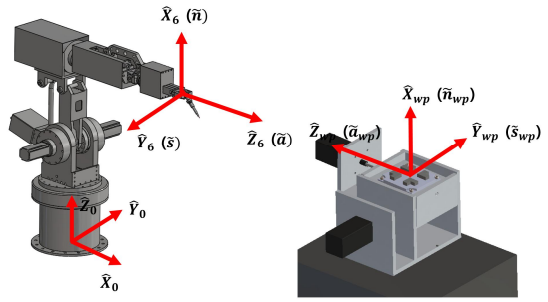

Fig. 7 Shape of RS2 and 2-axis additional axes for inter-operation

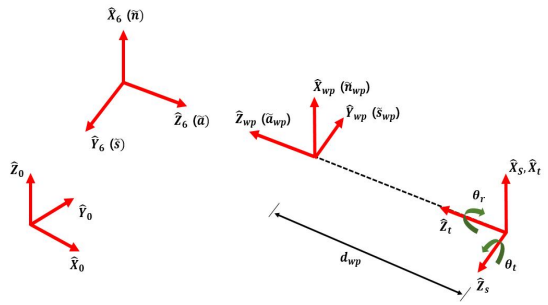

Fig. 8 Link frames of RS2 and 2-axis additional axes for inter-operation

$$\widetilde{a_{wp}} = -\tilde{a}\,,\ \widetilde{s_{wp}} = -\tilde{s} \qquad (1)$$

3.2 부가 축의 각도 계산

연동을 위한 부가 축의 Tilting 동작과 Rolling 동작의 각도를 구하기 위해서는 먼저 동차변환을 이용해 로봇의 End-effector frame {6}와 2축 부가 축의 Welding plate frame {wp}의 기준 좌표계를 로봇의 Base frame {0}로 일치시킨다. 그 후 6축 수직 다관절 로봇의 Base frame {0}과 2축 부가 축의 Base frame {S}의 위치를 정의하고 로봇의 End-effector에 대한 위치와 방향을 정의하면 식(1)의 관계식을 이용하여 End-effector의 임의의 방향에 대해 부가 축의 Welding plate가 마주보는 자세를 유지할 수 있도록 Tilting 동작과 Rolling 동작의 각도를 구할 수 있다. 2.1장과 2.2장에서 정의한 6축 수직 다관절 로봇과 2축 부가 축의 D-H

파라미터를 이용하면 로봇의 Base frame {0}와 End-effector frame {6}의 관계와 부가 축의 Base frame {S}와 Welding plate frame {wp} 간의 동차 변환 행렬을 구할 수 있고 각각 식(2-3)과 같다. 식(3)을 이용해 Welding plate frame {wp}을 로봇의 Base frame {0}와 일치시키면 식(4)와 같다. 로봇과 부가 축의 초기 위치를 정의한다면 식 (4)의 ${}^{0}_{S}T$의 모든 성분을 알 수 있으며 용접 Point의 위치와 로봇의 End-effector의 방향이 주어질 경우 로봇의 역기구학을 이용해 ${}^{0}_{6}T$의 성분을 알 수 있다. 따라서 연동조건 식(1)을 만족시키기 위한 부가 축의 각도는 식(2)와 식(4)을 비교하여 구할 수 있으며 Tilting 동작의 각도는 식(5), Rolling 동작의 각도는 식(11)을 계산하여 얻을 수 있다. 식(6)의 행렬 A와 식(12)의 행렬 B는 정사각형 행렬이 아니기 때문에 계산을 위해서 의사역행렬(Pseudoinverse)과 같은 특수한 방법을 사용해야 한다.[5] 계산의 편의를 위해서 $\cos\theta_t$와 $\sin\theta_t$는 c_{θ_t},s_{θ_t}으로 $\cos\theta_r$, $\sin\theta_r$는 c_{θ_r},s_{θ_r}으로 축약하여 표현하였다.

$$ {}^{0}_{6}T = {}^{0}_{1}T\,{}^{1}_{2}T\,{}^{2}_{3}T\,{}^{3}_{4}T\,{}^{4}_{5}T\,{}^{5}_{6}T = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & x \\ n_y & s_y & a_y & y \\ n_z & s_z & a_z & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2} $$

$$ {}^{S}_{wp}T = {}^{S}_{t}T\,{}^{t}_{wp}T $$

$$ = \begin{bmatrix} c_{\theta_t}c_{\theta_r} & -c_{\theta_t}s_{\theta_r} & -s_{\theta_t} & -d_{wp}s_{\theta_t} \\ s_{\theta_t}c_{\theta_r} & -s_{\theta_t}s_{\theta_r} & c_{\theta_t} & d_{wp}c_{\theta_t} \\ -s_{\theta_r} & -c_{\theta_r} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3} $$

$$ {}^{0}_{wp}T = {}^{0}_{S}T\,{}^{S}_{wp}T $$

$$ = \begin{bmatrix} n_{sx} & s_{sx} & a_{sx} & p_{sx} \\ n_{sy} & s_{sy} & a_{sy} & p_{sy} \\ n_{sz} & s_{sz} & a_{sz} & p_{sz} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{\theta_t}c_{\theta_r} & -c_{\theta_t}s_{\theta_r} & -s_{\theta_t} & -d_{wp}s_{\theta_t} \\ s_{\theta_t}c_{\theta_r} & -s_{\theta_t}s_{\theta_r} & c_{\theta_t} & d_{wp}c_{\theta_t} \\ -s_{\theta_r} & -c_{\theta_r} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{4} $$

$$ \widetilde{a_{wp}} = -\tilde{a} = \begin{bmatrix} -n_{sx}s_{\theta_t} + s_{sx}c_{\theta_t} \\ -n_{sy}s_{\theta_t} + s_{sy}c_{\theta_t} \\ -n_{sz}s_{\theta_t} + s_{sz}c_{\theta_t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_x \\ -a_y \\ -a_z \end{bmatrix} $$

$$ = \begin{bmatrix} -n_{sx} & s_{sx} \\ -n_{sy} & s_{sy} \\ -n_{sz} & s_{sz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_{\theta_t} \\ c_{\theta_t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_x \\ -a_y \\ -a_z \end{bmatrix} \tag{5} $$

$$ A \triangleq \begin{bmatrix} -n_{sx} & s_{sx} \\ -n_{sy} & s_{sy} \\ -n_{sz} & s_{sz} \end{bmatrix} \in R^{3\times 2} \tag{6} $$

$$ A \begin{bmatrix} s_{\theta_t} \\ c_{\theta_t} \end{bmatrix} = -\tilde{a} \tag{7} $$

$$ \begin{bmatrix} s_{\theta_t} \\ c_{\theta_t} \end{bmatrix} = -A^{+}\tilde{a} \tag{8} $$

$$ \begin{bmatrix} s_{\theta_t} \\ c_{\theta_t} \end{bmatrix} = -(A^{T}A)^{-1}A^{T}\tilde{a} = -A^{+}\tilde{a} \tag{9} $$

$$ \therefore \theta_t = \operatorname{atan2}(s_{\theta_t}, c_{\theta_t}) \tag{10} $$

$$ \widetilde{s_{wp}} = -\tilde{s} = \begin{bmatrix} -n_{sx}c_{\theta_t}s_{\theta_r} - s_{sx}s_{\theta_t}s_{\theta_r} - a_{sx}c_{\theta_r} \\ -n_{sy}c_{\theta_t}s_{\theta_r} - s_{sy}s_{\theta_t}s_{\theta_r} - a_{sy}c_{\theta_r} \\ -n_{sz}c_{\theta_t}s_{\theta_r} - s_{sz}s_{\theta_t}s_{\theta_r} - a_{sz}c_{\theta_r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -s_x \\ -s_y \\ -s_z \end{bmatrix} $$

$$ = \begin{bmatrix} -n_{sx}c_{\theta_t} - s_{sx}s_{\theta_t} & -a_{sx} \\ -n_{sy}c_{\theta_t} - s_{sy}s_{\theta_t} & -a_{sy} \\ -n_{sz}c_{\theta_t} - s_{sz}s_{\theta_t} & -a_{sz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_{\theta_r} \\ c_{\theta_r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -s_x \\ -s_y \\ -s_z \end{bmatrix} \tag{11} $$

$$ B \triangleq \begin{bmatrix} -n_{sx}c_{\theta_t} - s_{sx}s_{\theta_t} & -a_{sx} \\ -n_{sy}c_{\theta_t} - s_{sy}s_{\theta_t} & -a_{sy} \\ -n_{sz}c_{\theta_t} - s_{sz}s_{\theta_t} & -a_{sz} \end{bmatrix} \in R^{3\times 2} \tag{12} $$

$$ B \begin{bmatrix} s_{\theta_r} \\ c_{\theta_r} \end{bmatrix} = -\tilde{s} \tag{13} $$

$$ \begin{bmatrix} s_{\theta_r} \\ c_{\theta_r} \end{bmatrix} = -B^{+}\tilde{s} \tag{14} $$

$$\begin{bmatrix} s_{\theta_r} \\ c_{\theta_r} \end{bmatrix} = -(B^T B)^{-1} B^T \tilde{s} = -B^+ \tilde{s} \qquad (15)$$

$$\therefore \theta_r = \text{atan2}(s_{\theta_r}, c_{\theta_r}) \qquad (16)$$

4. 6축 수직 다관절 로봇과 2축 부가 축의 연동 방법에 대한 검증

3장에서 연동을 위한 기구적 해석을 하여 식을 제시하였다. 연동을 검증하기 위해 공학용 프로그램 MATLAB®과 동적 시뮬레이션 프로그램 Recurdyn®을 연동하는 Simulink를 이용하였다. 역기구학 계산은 MATLAB®을 통해 각도 값을 계산하고 계산된 각도 값이 Recurdyn®의 6축 수직 다관절 로봇과 2축 부가 축의 각 축에 입력이 되어 시뮬레이션 기반 기법을 통해 6축 수직 다관절 로봇의 End-effector frame {6}와 2축 부가 축의 Welding plate frame {wp}가 3장의 식 (1)의 관계를 만족하는지 확인하여 연동을 검증하였다. 6축 수직 다관절 로봇과 2축 부가 축의 초기 위치는 Fig. 9와 같고 해석에 사용된 모델의 D-H 파라미터 길이와 계산에 사용된 D-H 파라미터 길이는 Table. 3과 같다. 임의의 용접 Point에 대해 6축 수직 다관절 로봇의 End-effector의 방향에 대한 역기구학을 계산하여 얻은 6축 수직 다관절 로봇의 각 축의 관절 각도 값은 Table. 4와 같고 2축 부가 축의 Tilting 동작의 각도 값과 Rolling 동작의 각도 값은 Table. 5와 같다. MATLAB®을 통해 계산된 각도는 Recurdyn®의 6축 수직 다관절 로봇과 2축 부가 축의 각 축에 입력이 되며 Simulink의 과정은 Fig. 10과 같으며 Recurdyn®의 Simulink 결과는 Fig. 11과 같다. 연동 동작 전과 후의 6축 수직 다관절 로봇의 End-effector의 좌표계 {6}과 2축 부가 축의 Welding plate의 좌표계 {wp}의 X, Y, Z축 각도 차이를 비교하였고 결과는 Table. 6와 같다. 3장에서 정의한 연동조건 식(1)과 비교하면 X축 각도 차이는 0.01°, Y축 각도 차이는 0.05°, Z축 각도 차이는 0.02°가 발생했다. 최대 오차는 0.05°이며 그 오차는 Table. 3의 시뮬레이션에서 사용된 6축 수직 다관절 로봇의 모델의 손목부의 길이가 소수점 아래 값으로 표현되어 계산을 위한 D-H 파라미터 길이는 소수 자리 수를 생략하였기에 발생한 오차라고 볼 수 있다.

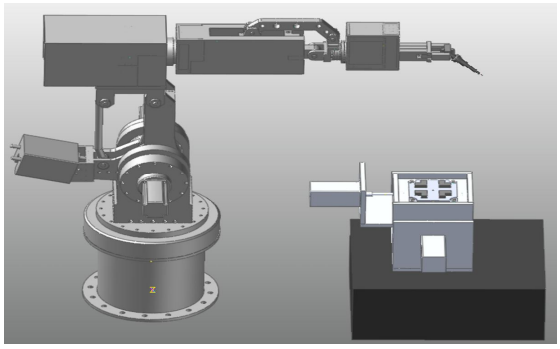

Fig. 9 Initial position of RS2 and 2-Axis additional axes

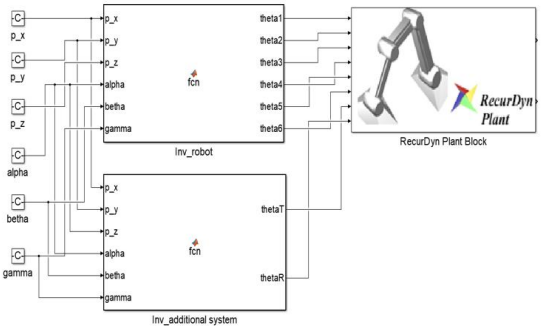

Fig. 10 Simulink with MATLAB® and Recurdyn®

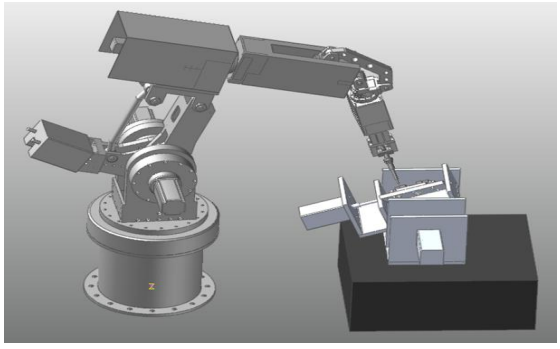

Fig. 11 Result of Simulink with MATLAB® and Recurdyn®

Table 3 Length for modeling and used for calculation of D-H parameters

	Length used for analytical modeling	Length used for calculation
d_1	600mm	600mm
a_2	500mm	500mm
a_3	115mm	115mm
d_4	200.55mm	200mm
d_6	710.085mm	710mm
d_{wp}	10mm	10mm

Table 4 Calculated result for inter-operation of RS2

Axis	θ_i
1	21.2°
2	27.9°
3	42.5°
4	10.6°
5	99.8°
6	176.7°

Table 5 Calculated result for inter-operation of 2-axis additional axes

Axis	θ_i
1	64.1°
2	40.9°

Table 6 Angle difference after simulink in X, Y, Z axis between end-effector and welding plate

Angle	$X_{\{6\}}$-$X_{\{wp\}}$	$Y_{\{6\}}$-$Y_{\{wp\}}$	$Z_{\{6\}}$-$Z_{\{wp\}}$
Experiment	0.01°	180.05°	180.02°
Ideal	0°	180°	180°
Error	0.01°	0.05°	0.02°

5. 결 론

6축 수직 다관절 로봇은 인간의 팔과 같은 높은 자유도를 가지며 그 장점으로 산업현장에서 다양한 현장에서 사용되고 있다. 용접 분야에 있어서 용접 자동화를 위해 용접 로봇의 중요도가 커지고 있다. 그러나 6축 수직 다관절 로봇은 Base가 고정되어 있고 각 축의 회전 가동 범위에 의해 움직임이 제한된다. 따라서 로봇의 End-effector의 위치와 방향에 맞추어 부가 축이 각도를 조절할 수 있을 경우 수직 다관절 로봇의 움직임이 상대적으로 줄어들며 용접과 같이 각도가 중요한 분야에 로봇의 효용성은 더욱 커질 수 있을 것이다. 본 논문에서는 6축 수직 다관절 로봇과 2축 부가 축이 서로 마주보는 자세를 초기 위치로 하여 로봇의 End-effector의 위치와 방향이 바뀌어도 부가 축이 각도를 조절하여 마주보는 자세를 유지할 수 있도록 하는 연동에 대한 방법을 기구학적 방식으로 제시한다. 부가 축에서 용접이 발생하는 Welding plate frame {wp}와 로봇의 End-effector frame {6} 사이의 방향 벡터의 관계를 정의하여 연동을 위한 부가 축의 Tilting 동작의 각도와 Rolling 동작의 각도를 계산하였고 계산 과정에서 정사각형 행렬이 아닌 행렬의 역행렬을 구하기 위해서 의사역행렬(Pseudoinverse)을 사용하였다. 연동의 검증은 MATLAB®과 Recurdyn®을 연동한 Simulink를 이용하였다. 역기구학 계산은 MATLAB®을 통해 이루어지고 계산된 각도 값들은 Recurdyn®의 6축 수직다관절 로봇과 2축 부가 축 모델의 각 축에 입력되어 시뮬레이션을 진행하였다. Simulink의 결과 End-effector frame {6}와 Welding plate frame {wp}의 X, Y, Z축 각도 차이가 연동을 위해 제시했던 이상적인 각도 차이와 최대 0.05°로 시뮬레이션에서 사용된 6축 수직 다관절 로봇의 D-H 파라미터의 길이와 계산에서 사용된 D-H 파라미터의 길이 사이에 소수점 아래 값들의 차이로 발생한 오차라고 볼 수 있다. 따라서 기구학적 해석을 통해 제시한 연동 방법으로 로봇의 End-effector와 부가 축의 연동을 확인

하였기에 본 논문의 연동 방법으로 실제 6축 수직 다관절 로봇(RS2)과 2축 부가 축의 연동을 제어 및 계측용 소프트웨어 Labview®를 사용한 연구를 진행할 것이다.

후 기

"이 논문은 2020년도 창원대학교 교내 연구지원사업 지원에 의하여 연구되었음."

REFERENCES

1. Klafter, R. D., Robotics Engineering, Prentice-Hall, 1989.
2. Kim, G. A., "The Role and Prospect of Welding Robots, Metal & Welding Journal for Monthly, Vol. 2014, No. 2, pp. 1-2, 2014.
3. J, Iqbal., "Automating Industrial Tasks Through Mechatronic Systems–A Review of Robotics In Industrial Perspective," Hrčak., Vol. 23, No. 3, pp. 917-924, 2016.
4. Hong, J. R., Chung, W. J., Park, S. K., Noh, S. H., "Implementation of a Recurdyn® and Labview® –based Additional Axes Strategy on a 6-Axis Articulated Robot for Improving Process Efficiency of Welding", KSME of Spring Conference, Vol. 2017, No. 11, pp. 3059-3062, 2017.
5. Gilbert, S., "Linear algebra and its applications", Harcourt Brace Jovanovich, the third edition, pp 90-98, 1988.