

## 2축 부가 축을 이용한 6축 수직 다관절로봇의 용접공정 효율 증대를 위한 연구

홍준락\*, 조현민\*, 정원지\*, 박승규\*\*, 노성훈\*\*\*,#

\*국립창원대학교 기계공학부, \*\*국립창원대학교 전기공학부, \*\*\* (주)영창로보테크

### Implementation of a 2-axis Additional Axes Strategy on a 6-axis Articulated Robot for Improving Welding Process Efficiency

Jun-Rak Hong\*, Hyeon-Min Jo\*, Won-Jee Chung\*, Seung-Kyu Park\*\*, Seong-Hoon Noh\*\*\*,#

\*Department of Mechanical Engineering, Changwon National Univ.,

\*\*Department of Electrical Engineering, Changwon National Univ., \*\*\*Youngchang Robo-tech

(Received 18 October 2017; received in revised form 31 October 2017; accepted 16 November 2017)

#### ABSTRACT

This paper aims to realize additional axes, which increase the processing efficiency of a robot by controlling in harmful environments. Ultimately, this is to create time and energy savings in industrial sites with 6-axis articulated welding robots (RS2). Using RecurDyn<sup>®</sup>, a simulation technique is applied. The motion paths of the welding rod are compared for two cases in order to verify the necessity of the additional axes: 1) when there are no additional axes and 2) when there are additional axes during welding using the RS2. For this purpose, the angle variations of the RS2 axes required for the simulation are compared, on the assumption that each of the four points of the welding bed installed on the additional axes of the welding rod in Solidworks<sup>®</sup> is point-welded. Then, actual additional axes equipment is grafted on to the RS2 and the process times compared using LabVIEW<sup>®</sup>.

**Key Words** : 6-axis Articulated Robot(6축 수직다관절로봇), 2-axis Additional Axes(2축 부가 축), Welding Process Route and Time(용접 공정경로와 시간), RecurDyn<sup>®</sup>(리커다인), LabVIEW<sup>®</sup>(랩뷰)

#### 1. 서 론

현재 산업현장에서는 단순 반복 작업용 로봇, 용접용 로봇뿐만 아니라 공작기계에 결합하여 다양한 기능을 수행할 수 있는 산업용 로봇을 필요로 하고 있다. 산업용 로봇들이 산업현장에서 널리 보급됨에 따라 산업용 로봇 기술이 급속도로

발전하고 있으며 그와 관련된 로봇들의 공정 효율을 높이기 위한 기술들이 크게 발전하고 있다. 특히, 용접, 조립과 같은 분야에 사용되는 로봇들은 인간의 능력을 뛰어넘어 이제는 인간의 능력으로 범접하지 못하는 영역까지도 공정하고 있는 것이 실상이다.<sup>[1]</sup> 이런 용접, 조립작업에는 로봇의 부드럽고 정확한 경로의 움직임이 필요한데, 이러한 세밀한 움직임이 필요한 공정에는 부가적인 축이 추가되어야 하는 것은 필수적이라고 해도 과언이 아니다. 이에 따라 인간의 손이 닿지 못하는 곳이

# Corresponding Author : giosugo@naver.com

Tel: +82-55-723-3570, Fax: +82-55-723-3571

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.

나 유해한 환경, 설계현장에 직접 투입되어 상하 좌우, 앞뒤, 높낮이 등을 자유자재로 제어하여 로봇의 가공 효율을 증대시키는 2축 부가 축을 제작함으로써 6축 다관절 로봇의 용접, 조립 등 산업 가공현장에서 시간적, 효율적 이익을 창출하며 나아가 로봇의 역할을 한 층 더 확장하고자 한다.

실제 산업 현장에서 많이 쓰이는 부가 축은 축이 하나로 구성되어 있는 것이 대부분이기 때문에 6축 다관절 로봇의 동선이 길어지고, 그것으로 인한 6축 다관절 로봇의 장애물 간섭체크가 필요하며, 로봇의 위치제어와 정밀도를 올리는데 있어서 현장 실무자들에게 큰 어려움이 따르게 된다.

이러한 단점을 제거하기 위하여 종래에는 쿼터니언을 이용한 6축 수직 다관절 로봇의 방위 보간법에 관한 연구<sup>[2]</sup>, 6축 다관절 로봇의 이중 모션블랜딩 연구<sup>[3]</sup>, 개인튜닝 연구<sup>[4]</sup> 등 여러 연구 등이 실시되었지만, 이러한 연구로의 개선으로는 현장 실무자들의 고충을 덜어내기에는 많이 부족하였다. 결국 2축 부가축 개발은 필연적인 것이라고 생각하며, 이는 6축 다관절 로봇의 동선의 효율성과 정밀도를 향상시키게 되고, 결국 로봇의 제어와 구동에 있어서 획기적인 개선을 이루어 실무자들의 만족도를 높일 것이라 생각된다.

또한 부가 축은 AGV와 연동하여 이용할 수 있다. 부가 축을 무인자동이동 시스템인 AGV에 장착하여 무인가능시간을 더욱 연장시킴으로써 인력 절감의 효과를 볼 수 있을뿐더러 AGV는 그 성능에 있어서 여러 가지 자동화공정에 필수적인 요소가 되어가고 있다. 특히, AGV는 제품 그 자체와 더불어 자동화 솔루션이 함께 제공되는 것이 효과적이기 때문에 로봇자동화 사업에 부가 축과 연동된 AGV기술이 더해진다면 산업화 측면에서 볼 때 매우 효율적이라고 할 수 있다.[5] 만약 부가 축이 설치된 AGV가 개발된다면 AGV시스템은 솔루션과 함께 범용성을 가지면서 뛰어난 성능을 충분히 활용할 수 있을 것이며 로봇제어와 어우러질 때 그 효율성이 극대화 될 것이다.

본 연구에서는 2축 부가 축이 설치됨에 따른 6축 다관절 로봇의 공정경로, 공정시간을 비교 시험 및 시뮬레이션을 진행하고 효율성을 검증할 것이다.

로봇의 제어는 NI PXI-7350의 모션 컨트롤러를 이용하며 본 논문에서는 6축 다관절 로봇을 제어 프로그램인 LabVIEW<sup>®</sup>를 이용하여 동작제어를 실시하고 Solidworks<sup>®</sup>, RecurDyn<sup>®</sup>을 이용하여 시뮬레이션 기반 기법을 적용한다.

## 2. 6축 수직 다관절 로봇과 2축 부가 축

### 2.1 6축 수직 다관절 로봇의 특성

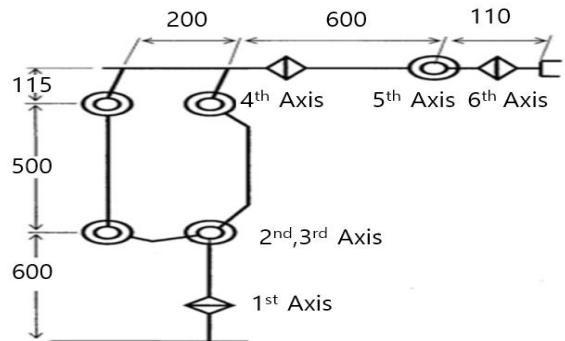


Fig. 1 Basic structure of 6-axis articulated manipulator

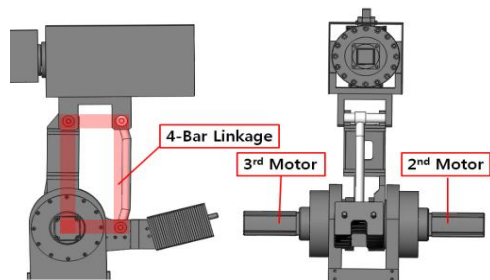


Fig. 2 4-bar linkage structure

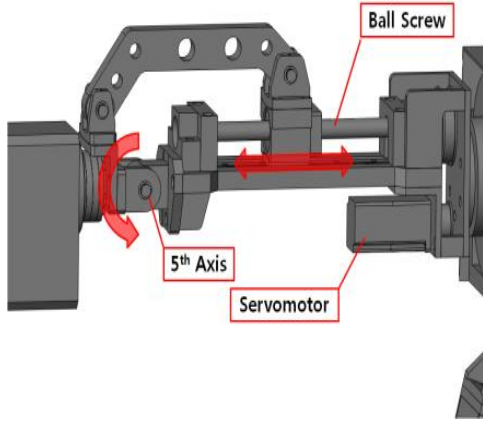


Fig. 3 Sliding Mechanism of the 5<sup>th</sup>axis

본 논문에서는 실험실에서 제작된 6축 다관절 로봇(이하 RS2)을 설계하고 제작한 다음 시뮬레이션 기술을 적용하였다.

로봇 매니퓰레이터의 구조적 특징은 Fig. 1과 같이 서보 모터 및 감속기(특히 하모닉 드라이브)의 부하를 분산시키고 매니퓰레이터의 구조의 강성을 높이기 위해 4-bar링크를 사용하였다. 특히 2번, 3번 서보 모터와 감속기는 Fig. 2에 나타나 있는 것처럼 직렬로 나란히 배치되어 있다.

이 매니퓰레이터의 구조의 다른 특징으로는 축의 구조적 강성을 향상시키기 위해 Fig. 3에 나와 있는 것처럼 볼 스크류에 의해 구동되는 5축 슬라이딩 메커니즘이 설치되어 있다는 것이다.

위에서 설명한 구조를 바탕으로 RS2의 하드웨어 구조를 포함한 프로토타입으로 1축에서 4축의 각 축은 모멘트 하중을 받기 위한 감속기를 사용하고 있다. 특히 이 감속기는 토크 대비 큰 강성을 가지는 특징이 있는 것으로 잘 알려져 있다. 특히, 5축과 6축을 위한 벨트 감소 메커니즘은 감속 기어 비가 1/2이다.

모든 서보 모터는 Mitsubishi J2-Super series에 의해 제어된다. RS2의 높은 성능의 제어 시스템을 위해 NI PXI-7350 장비의 모션 컨트롤러는 범용 제어/측정 프로그램인 LabVIEW<sup>®</sup>가 사용되었으며 RS2의 프로토타입은 Fig. 4에 나타나 있다.

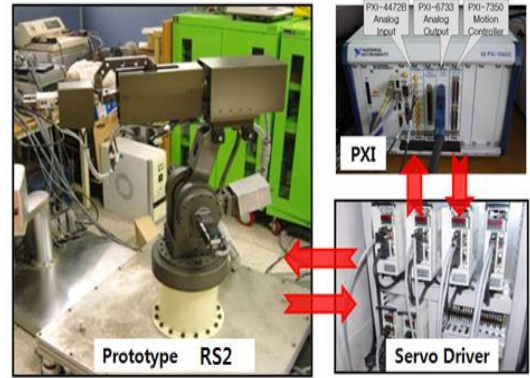


Fig. 4 Prototype of RS2 with LabVIEW<sup>®</sup> control system

## 2.2 6축 수직 다관절 로봇의 순기구학 특성

본 논문에서는 Denavit-Hartenberg(D-H법)에 기초하여 RS2의 Joint-linear 모션 블랜딩에 대한 순기구학 해석을 진행하였다.<sup>[6]</sup> Fig. 5에서는 RS2의 링크프레임이 Table 1에 나타나 있는 D-H 파라미터에 의해<sup>[7]</sup>  $I$ ,  $e$ ,  $\theta$  (joint angle),  $d$  (link offset),  $a$  (link length),  $\alpha$  (twist angle)로 나열되어 있다.<sup>[8]</sup>

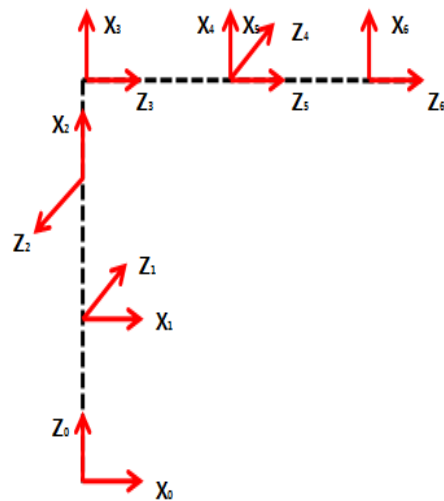


Fig. 5 Link frames of RS2

Table 1 D-H Parameters of RS2

| Joint | $\theta$         | $d$   | $a$   | $A$      |
|-------|------------------|-------|-------|----------|
| 1     | $\theta_1$       | $d_1$ | 0     | $-\pi/2$ |
| 2     | $\theta_2-\pi/2$ | 0     | $a_2$ | $\Pi$    |
| 3     | $\theta_3$       | 0     | $a_3$ | $\pi/2$  |
| 4     | $\theta_4$       | $d_4$ | 0     | $\pi/2$  |
| 5     | $\theta_5$       | 0     | 0     | $-\pi/2$ |
| 6     | $\theta_6$       | $d_6$ | 0     | 0        |

Table 1의 D-H 파라미터에 기초한 링크 프레임  $\{i-1\}$ 과 링크 프레임  $\{i\}$  사이의 관계의 Homogeneous transformation matrix를 다음과 같이 구할 수 있다.

$${}_{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,  $\theta_i$ ,  $d_i$ ,  $a_i$  와  $\alpha_i$  는 링크 프레임  $\{i\}$ 의 D-H 파라미터이다. 따라서 전체적인 RS2의 순기 구함은 다음과 같이 주어진다.

$${}^0T_6 = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 {}^3T_4 {}^4T_5 {}^5T_6 \quad (2)$$

서보 모터에 의해 구동되는 조인트 각이 주어지면 (2)식으로 End-effector의 위치와 방향을 줄 수 있다.

### 2.3 2축 부가 축의 특성

본 논문에서는 실험실에서 제작된 부가 축 또한 설계 후 시뮬레이션을 진행하였다. 이 부가 축의 구조는 2축으로 구성된 Tilting 및 Rolling방식이 적용된 장치로 0~90 까지 자유로운 앵글 작업을 할 수 있고, 수직 및 수평 작업까지도 가능하다. 특징으로는 짧은 세팅 시간과 스프링 제동식 안전브레이크 기능도 장착 되어있어 보다 정밀하고 안전한 작업이 가능하다는 점이 있다.

부가 축에 동력을 담당하는 서보 모터는 정격 출력 용량 200W 표준 모터, Mitsubishi HC-MFS23

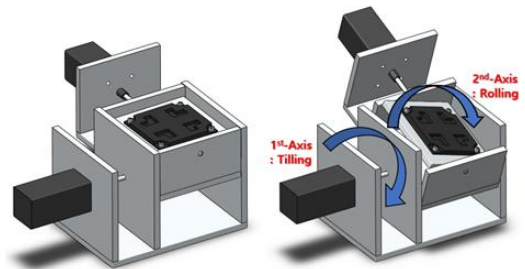


Fig. 6 2-axis additional axes prototype

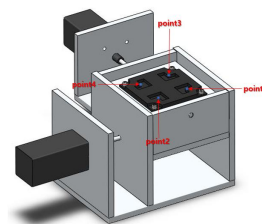


Fig. 7 2-axis additional axes welding point

200W 서보 모터로 크기 대비 1.9[Nm]로 높은 정격 토크를 가지고 있다. 정격 회전 속도 3000[r/min], 최대 회전 속도 4500[r/min]으로 고속 위치결정이 가능한 장점이 있다. 그리고 131,072 [pulse/rev](17bit)의 고분해능 엔코더에 의한 고정밀 운전이 가능한 특징이 있다. 일반 산업 기계에 최적인 모터인만큼 소용량 저관성으로 구동과 정지가 특히 안정적이다.

장치의 모든 Board, Plate의 재질은 AISI 1060 alloy aluminium이며 소성가공이 수월하고 절삭가공성이 뛰어난 비교적 가벼운 소재를 이용하여 제작하였다. 모터의 동력전달에 필요한 Shaft는 내마모성과 큰 강도를 요구하는 부품으로 AISI 1040 steel을 사용하였다. 장치의 총 무게는 약 27,981b이다.

### 3. RecurDyn®을 이용한 부가 축 유무에 따른 공정경로 비교

본 연구에서는 6축 수직 다관절로봇을 이용한 용접 공정 시 부가 축이 없을 때(부가 축이 작동하지 않음)와 부가 축이 있을 때(부가 축이 작동

함)의 용접봉의 공정경로를 비교하여 부가 축의 필요성을 검증하였다.

먼저, Solidworks®내에서 RS2 End-effector에 장착된 welding rod를 부가 축에 설치된 welding bed의 각 4지점을 포인트 용접으로 공정하는 것으로 가정하고 공정에 필요한 RS2 각 축의 각도변화량을 비교하였다.

Table 2에서 부가 축이 없는 경우(부가 축의 각도 변화량이 없음) RS2를 이용한 용접 공정에서 RS2가 공정을 시작하기 위한 준비 단계에서 6개의 각 축의 각도 변화량이 상당히 많다는 것을 볼 수 있다.

특히 End-effector가 부착되어 있는 6<sup>th</sup> axis의 경우는 RS2로부터 먼 쪽에 있는 Point3, Point4로의 공정에서 각도 변화량이 72°로 로봇의 움직임이 매우 커서 잉여 작동범위가 커 공정의 효율이 떨어진다.

하지만 부가 축을 설치한 경우(각도의 절대값: 30°), RS2의 각도 변화량이 상대적으로 많이 적어 졌다는 것을 볼 수 있다. 이처럼 부가 축의 단순한 움직임만으로도 Point1, Point2를 용접할 때 4<sup>th</sup> axis, 5<sup>th</sup> axis, 6<sup>th</sup> axis의 각도 변화량은 0°로 보다 쉬운 로봇제어가 가능하다.

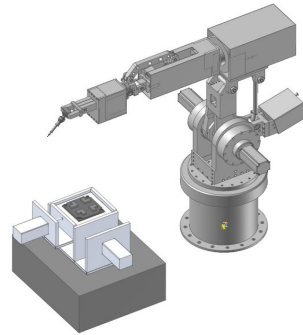


Fig. 8 Welding preparation stages of RS2 and 2-axis additional axes in RecurDyn®

Table 2 Angle variations of RS2 2-axis additional axes during point welding

|                 |                      | Angle when there is no additional axis |        |         |         |
|-----------------|----------------------|--|--------|---------|---------|
|                 |                      | Point1                                 | Point2 | Point3  | Point4  |
| RS2             | 1 <sup>st</sup> axis | -8.31°                                 | 8.31°  | -24.09° | 24.09°  |
|                 | 2 <sup>nd</sup> axis | 14.54°                                 | 14.54° | -44.59° | -44.59° |
|                 | 3 <sup>rd</sup> axis | 28.45°                                 | 28.45° | 16.82°  | 16.82°  |
|                 | 4 <sup>th</sup> axis | -19.97°                                | 19.97° | -49.26° | 49.26°  |
|                 | 5 <sup>th</sup> axis | 12.24°                                 | 12.24° | 70.04°  | 70.04°  |
|                 | 6 <sup>th</sup> axis | 0.46°                                  | -0.46° | -72.06° | 72.06°  |
| Additional axis | 1 <sup>st</sup> axis | 0°                                     | 0°     | 0°      | 0°      |
|                 | 2 <sup>nd</sup> axis | 0°                                     | 0°     | 0°      | 0°      |

Table 3 Angle variations of RS2 2-axis additional axes during point welding

|                 |                      | Angle when there is an additional axis |        |         |        |
|-----------------|----------------------|--|--------|---------|--------|
|                 |                      | Point1                                 | Point2 | Point3  | Point4 |
| RS2             | 1 <sup>st</sup> axis | -1.54°                                 | 1.54°  | 0°      | 0°     |
|                 | 2 <sup>nd</sup> axis | 11.9°                                  | 11.9°  | 0°      | 0°     |
|                 | 3 <sup>rd</sup> axis | 31.68°                                 | 31.68° | 21.72°  | 21.72° |
|                 | 4 <sup>th</sup> axis | 0°                                     | 0°     | 0°      | 0°     |
|                 | 5 <sup>th</sup> axis | 0°                                     | 0°     | 28.03°  | 28.03° |
|                 | 6 <sup>th</sup> axis | 0°                                     | 0°     | -11.29° | 11.29° |
| Additional axis | 1 <sup>st</sup> axis | 30°                                    | 30°    | -30°    | -30°   |
|                 | 2 <sup>nd</sup> axis | -30°                                   | 30°    | -30°    | 30°    |



Fig. 9 Point1 welding process route graph in RecurDyn® when there are no 2-axis additional axes

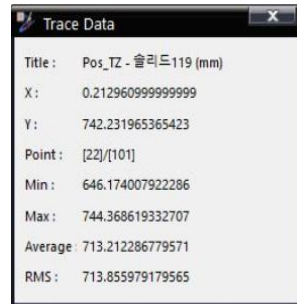


Fig. 10 Point1 welding process route graph in RecurDyn® when there are 2-axis additional axes

위 그림과 같이 Point1을 용접할 때 로봇 끝단에 달려있는 용접봉의 공정의 절대경로를 비교해 보았을 때, y축 좌표 상 부가 축을 이용하지 않았을 때는 용접봉의 위치가 최초 735mm에서 603mm까지 약 132mm 정도의 움직임이 있는 것을 볼 수 있다. 하지만 부가 축을 이용했을 경우 최초 744mm에서 646mm까지 약 98mm 정도로 움직임이 적어진 것을 볼 수 있었다. 이처럼 RecurDyn® 상에서는 부가 축이 없을 때보다 부가 축이 있을 때 공정의 절대경로가 짧아지고 로봇의 각도 제어가 보다 쉬운 것으로 나타났다.<sup>[9]</sup>

### 3. LabVIEW®를 이용한 RS2 용접 공정 제어 시뮬레이션

본 논문에서는 RS2를 제어하기 위해 PC기반 로봇 제어 시스템을 꾸렸다. 미쓰비시 서보 드라이버와 NI PXI-7350 Motion Controller를 직접 연결하여 로봇을 제어하도록 하며 그래픽컬 프로그래밍 프로그램인 LabVIEW®를 사용하여 로봇을 제어하도록 하였다.

최초 6개의 축에 모두 Set Operation Mode 함수를 사용하여 모션 보드의 운 전 모드를 Absolute Position으로 설정 한 뒤 시스템의 안전을 위하여 Load Velocity 함수로 속도를 지정하였다. 각 축의 속도 값은 Stepping Motor 29127steps에 1°씩 회전하도록 설정하였고, Acceleration 및 Deceleration 또한 같은 방법으로 설정하였다. 그리고 공정의 정밀도를 향상시키기 위하여 S-Curve Time 함수 값을 1로 지정하여 개별 Axis별 가감속을 부드럽게 구현하였다. 그 다음 While 루프를 위치시키고, 100ms에 한 번씩 실행하도록 설정하고 구동을 시작하였다.<sup>[10]</sup>

2축 부가 축이 작동하지 않는 용접 공정에서 6개의 각 축의 속도는 29127steps/s이고 RS2의 총 공정 시간은 Table 4와 Table 5에 비교되어 있다. Fig. 12에서 볼 수 있듯이 2축 부가 축이 작동하지 않을 때 LabVIEW®에 의해 Point1의 용접 공정이 제어되고 각 축의 공정 시간이 측정된다. Table 4에서는 2축 부가 축이 작동되지 않는다면 RS2의 모든 축이 움직여야 되므로 상대적으로 공

정시간이 긴 것을 볼 수 있다. 하지만 Fig. 13에서 볼 수 있듯이 2축 부가 축이 작동하여 부가 축의 1축이 30°, 2축이 30° 기울어졌을 때 Table 5에서 나타나있는 것처럼 RS2의 1~3축만 움직이는 것을 볼 수 있다.

즉, 2축 부가 축이 작동할 때 RS2의 4~6축은 움직이지 않고도 용접 공정이 가능하므로 총 공정 시간이 절대적으로 단축됨을 알 수 있었다.

**Table 4 Process time of RS2 during point1 welding when there are no 2-axis additional axes**

|                    |                      | Process time when there are no 2-axis additional axes |
|--------------------|----------------------|---|
|                    |                      | Point1  |
| RS2                | 1 <sup>st</sup> axis | 0.831s  |
|                    | 2 <sup>nd</sup> axis | 1.454s  |
|                    | 3 <sup>rd</sup> axis | 2.845s  |
|                    | 4 <sup>th</sup> axis | 1.97s   |
|                    | 5 <sup>th</sup> axis | 1.224s  |
|                    | 6 <sup>th</sup> axis | 0.046s  |
| Total process time |                      | 8.37s   |

**Table 5 Process time of RS2 during point1 welding when there are 2-axis additional axes**

|                    |                      | Process time when there are 2-axis additional axes |
|--------------------|----------------------|--|
|                    |                      | Point1   |
| RS2                | 1 <sup>st</sup> axis | 0.154s   |
|                    | 2 <sup>nd</sup> axis | 1.19s  |
|                    | 3 <sup>rd</sup> axis | 3.168s   |
|                    | 4 <sup>th</sup> axis | 0s   |
|                    | 5 <sup>th</sup> axis | 0s   |
|                    | 6 <sup>th</sup> axis | 0s   |
| Total process time |                      | 4.512s   |

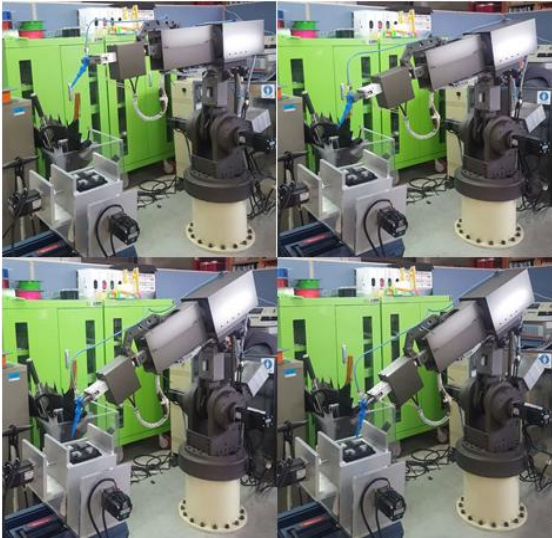


Fig. 11 RS2 point1 welding process implementation when 2-axis additional axes do not work

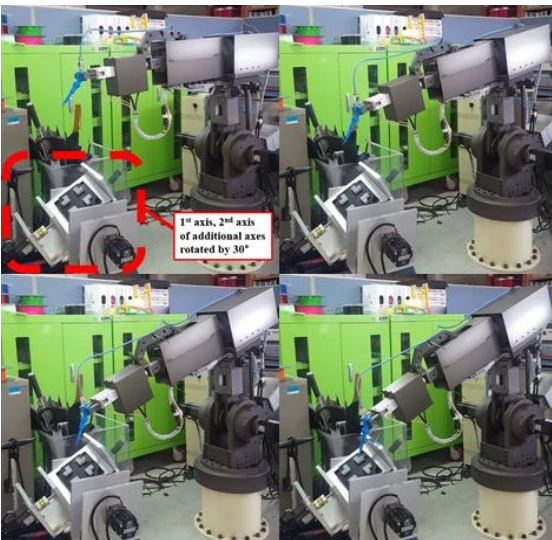


Fig. 12 RS2 point1 welding process implementation when 2-axis additional axes work

#### 4. 결론

본 논문에서는 6축 다관절 로봇 공정에서 용접 등 세밀한 작업이 이루어져야 하는 곳에 2축 부가

축을 접목시킴으로써 로봇공정의 효율성을 높여 산업가공현장에서의 시간적, 효율적 이익을 창출하며 나아가 로봇의 역할을 한 층 더 확장하고자 하였다. 실제로 부가 축을 설계 제작하고 6축 다관절 로봇(RS2)에 접목하여 부가 축에 설치된 welding bed에 point용접 시뮬레이션을 진행하였다.

먼저 SolidWorks®에서 부가 축이 작동할 때와 작동하지 않을 때의 RS2의 용접 공정 간 각 축의 각도 변화량을 확인하였다. 부가 축이 작동하지 않을 때는 6개의 모든 축이 큰 각도변화가 있음을 볼 수 있었고, 부가 축이 작동할 때에는 각 point 별로 3개의 축만 움직여도 공정이 가능하다는 것을 확인하였다.

다음, 용접 공정 시 RecurDyn®을 통해 end-effector에 부착 되어있는 용접봉의 공정경로를 확인하였다. point1을 용접할 때 부가 축이 작동하지 않을 때의 절대경로는 132mm, 작동할 때의 절대경로는 98mm로 상대적으로 부가 축이 작동할 때의 경로가 상대적으로 짧은 것으로 나타났다. 즉, 부가 축을 RS2에 접목하면 충돌 및 간섭에 의한 잉여 작동범위가 작다는 뜻이다.

마지막으로 실제 부가 축을 RS2에 접목하여 PC기반 로봇 제어 프로그램인 LabVIEW®를 이용하여 부가 축의 유무에 따른 공정시간을 비교하였다. 역시 부가 축이 작동하지 않는 경우 용접 공정 시 RS2의 6개의 모든 축이 모두 움직여야 하므로 공정시간이 부가 축이 작동하는 경우에 비해 길다는 것을 확인할 수 있었다.

결론적으로 부가 축을 6축 다관절 로봇에 접목할 경우 상대적으로 쉬운 로봇제어를 할 수 있을 뿐더러 용접 시 공정경로, 공정시간이 절대적으로 줄어들게 되며 로봇의 효율이 극대화 되는 것을 알 수 있었다.

#### 후 기

“이 논문은 2017년도 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지역신산업선도인력양성사업의 성과임.”

## REFERENCES

1. Ahn, J. S. and Chung, W. J., "A Study on 6-axis Articulated Robot Using a Quaternion Interpolation," KSMTE of Spring Conference, Vol.2010, pp. 294-300, 2010.
2. Ahn, J. S. and Chung, W. J., "Application of Quaternion Interpolation for 6-axis Articulated Robot using LabVIEW<sup>®</sup>," Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference, pp. 321-333, 2011.
3. Lee, D. S. and Chung, W. J. and Kim, S. B. and Kim, M. S., "A Study on LabVIEW<sup>®</sup>-based Hybrid Motion Blending for 6-axis Articulated Robot," Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference, pp. 477-478, 2013.
4. Lee, D. S. and Chung, W. J. and Jung, C. D. and Jang, J. H., "Implementation of LabVIEW<sup>®</sup>-based Joint-linear Motion Blending on a Lab-manufactured 6-axis Articulated Robot," Mechatronics and Automation (ICMA), 2012 International Conference, Vol. 1, No. 3, pp. 2423-2428, 2012.
5. Woo, S. B. and Jung, K. H., "Velocity Control Method of AGV for Heavy Material Transport," Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 20, No. 3, pp. 394-399, 2010
6. Spong, M. and M. Vidyasagar, "Robot Dynamics and Control," Robot dynamics and control, John Wiley and Sons, 2008, ISBN 047161243X
7. Chung, Y. O. and Jung, K. H., "A new method for Solving the Inverse Kinematics for 6 D.O.F. Manipulator," Korean Automatic Control Conference, Vol. 1, No. 2, pp. 557-562, 1991.
8. Fu, K. S and Gonzalez, R. C. and Lee, C. G., "Robotics: Control Sensing. Vis," McGraw-Hill, pp. 163-189, 1987
9. Jung, W. J. and Oh, J. S. and Park, Y. N. and Kim, D. C. and Park, Y. J., "Optimization of the Suspension Design to Reduce the Ride Vibration of 90kW-Class Tractor Cabin," Journal of Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 5, pp. 91-98, 2017.
10. Kang, S. J. and Chung, W. J. and Park, S. K. and Noh, S. H., "A Study on Gain Scheduling Programming with the Fuzzy Logic Controller of a 6-axis Articulated Robot using LabVIEW<sup>®</sup>," Journal of Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 4, pp. 113-118, 2017.