

◆ 특집 ◆ 산업용 듀얼 암 로봇(AUTOMAN) 개발

OLP 기반의 듀얼 암 로봇 동기 모션 계획에 대한 연구

Study on Synchronized Motion Planning for Dual Arm Robot based on OLP

이승범¹, 김태욱¹, 백승환^{1,4}, 윤득선^{1,3}, 이영진², 부광석^{1,3,✉}
Seung beom Lee¹, Tae wook Kim¹, Seungh wan Baek^{1,4}, Duk sun Yun^{1,3}, Young Jin Lee²
and Kwang suck Boo^{1,3,✉}

1 인제대학교 기계공학과 (Department of Mechanical and Automotive Engineering, Inje Univ.)

2 ㈜오토파워 (AUTOPOWER Co. Ltd.)

3 고안전 차량 핵심기술 연구소 (High Safety Vehicle Core Technology Research Center)

4 수송기계부품기술혁신센터 (Inje University Technology Innovation Center for Automotive Parts)

✉ Corresponding author: mechboo@inje.ac.kr, Tel: 055-320-3186

Key Words: OLP (오프라인 프로그램), Dual Arm Robot (듀얼 암 로봇), D-H Method (Denavit Hartenberg 표현법), 3D MAX (3D 맥스), OpenGL (오픈지엘)

기호설명

- a : Distance from Z_i to Z_{i+1} measured along X_i
- α : Angle between from Z_i to Z_{i+1} measured about X_i
- d : Distance from X_{i-1} to X_i measured along Z_i
- θ : Angle between X_{i-1} and X_i measured about Z_i

1. 서론

OLP(Off-Line Program) 시스템은 컴퓨터 그래픽스 방법에 의하여 충분히 확장된 로봇 프로그래밍 언어로서 로봇에 직접 접근하지 않고도 로봇 프로그램을 개발할 수 있는 시스템을 지칭한다. 싱글 암이나 협조 제어 로봇에 대해서는 많은 상용의 OLP가 개발되었지만, 듀얼 암 로봇 OLP는 국내에서 개발이 이루어진 사례가 드물다. 대표적으로 알려진 싱글 암 로봇 OLP의 경우는 FANUC사의 Robot Guide와 ABB사의 Robot Studio가 있으며, 국내에서 적용된 싱글 암 로봇 OLP는 대형 저속 디젤 엔진을 위한 소조립 용접 로봇 시스템에 적용시킨 OLP 시스템이 있다.¹

로봇의 OLP 시스템에는 사용자 인터페이스

(user interface), 3차원 모델링(3D modeling), 기구학적 에뮬레이션(kinematic emulation), 동역학적 에뮬레이션(dynamic emulation), 경로계획 에뮬레이션(path planning emulation)이 고려되어야 한다. 또한, OLP의 동작을 파악하며, 로봇의 작업 스케줄을 적용하기 위한 메뉴 구성이 필요하다.

본 연구에서는 이와 같은 기능을 듀얼 암 로봇에 활용할 수 있도록 OLP를 개발하였고, 각 기능을 모듈로 정의하였다. 그리고 OLP의 구조는 로봇의 움직임을 조작하는 컨트롤 메뉴와 로봇의 움직임을 실시간으로 보여주는 로봇 모니터 메뉴, 그리고 로봇의 모션을 생성하는 모션 함수 부분으로 구성하였다. OLP의 로봇 기구적 구성은 듀얼 암 로봇용 중공형 서보 조립체 개발에 관한 연구에 적용된 7축 싱글 암 로봇을 사용하였으며, 7축 동적특성에 관한 해석은 5축 다관절 로봇을 바탕으로 하여 7축 싱글 암 로봇에 적용하였다.^{2,4}

일반적인 산업용 싱글 암 로봇은 각 산업현장에서 사용자에게 편의성을 제공하기 위하여 다양한 모션 함수를 제공한다. 본 연구에서는 산업현장에서 특화된 공정에 사용될 수 있도록 듀얼 암 로봇 전용 언어를 개발하였다. 개발된 듀얼 암 로

봇 언어는 비주얼 기반의 사용자 인터페이스 방식으로, 사용자에게 쉽고 빠르게, 그리고 문법 구문의 오류없이 경로를 프로그래밍할 수 있는 환경을 제공하며, 이는 OLP 환경에서의 시뮬레이션을 통해 구현되었다.

2. 듀얼 암 로봇의 기구학

OLP 는 로봇을 실제 구동하지 않고 시뮬레이션 환경에서 로봇을 구동함으로써, 작업을 수행할 대상 로봇이 나타내는 거동을 미리 알아보고, 공정에서 필요한 작업을 계획하기 위한 목적으로 쓰인다. 비주얼 기반 OLP 의 경우 로봇의 경로를 감시함으로써 로봇 팔끼리의 충돌을 미연에 방지할 수 있으며, 안전한 범위 안에서의 프로그래밍을 가능하게 한다. OLP 는 실제 모델과 동일한 외형적인 정보 및 기구학적 요소를 사용하며, 각 요소 부품간의 기구학적 연계성은 수학적으로 정의하여 OLP 에서 구현할 수 있다.

본 연구에서 작업을 수행할 대상은 총 15 축을 가지는 듀얼 암 로봇으로 7 개의 축으로 구성된 싱글 암은 1 개의 회전축을 가지는 몸통의 양 어깨에 장착되며, 최종적으로 듀얼 암은 인간과 유사한 구조를 가진다. 듀얼 암의 기구학적 해석을 위해서는 먼저 7 축에 대한 싱글 암에 대한 해석이 이루어져야 하고, 이 해석 결과는 듀얼 암 14 축에 대한 기구학적 해석으로 확장되어야 한다. 기구학적 해석은 D-H(Denavit-Hartenberg) 매개변수 표현법에 의해서 정의할 수 있다.⁵⁻⁷

2.1 D-H 매개변수

D-H 매개변수 표현법은 각 관절의 기준 좌표계에 상대 좌표계를 할당하고, 기준 관절에서 마지막 관절까지 좌표계를 연속적으로 변환하여 로봇 암의 기구적 거동을 행렬 기반으로 표현한다. D-H 매개변수 표현법은 로봇 암의 복잡성에 구애 받지 않고 모든 로봇 암의 링크와 관절에 대한 수학적 표현을 가능하게 한다.

Fig. 1 은 본 연구에서 사용된 듀얼 암 로봇의 싱글 암의 설계 요소를 나타내며, Fig. 2 에 나타낸 싱글 암의 기구학적 정보를 이용하여 D-H 매개변수를 설정할 수 있다. 설정된 D-H 매개변수는 OLP 에서 로봇의 상대좌표를 설정하는데 사용되며, 순기구학과 역기구학의 해석을 수행하기 위한 기본 매개변수가 된다. 본 연구에서 사용한 각 매개

변수 정보는 Table 1 에서 나타난 값과 같다. 이는 Fig. 1 에 나타낸 설계 제원을 바탕으로 설정된 값이다.

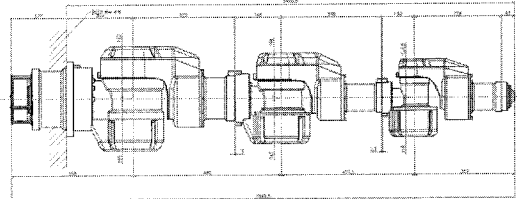


Fig. 1 Design element of single arm

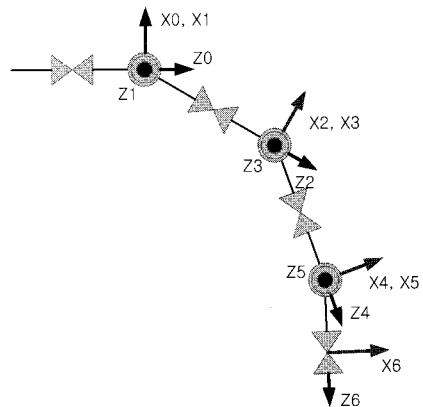


Fig. 2 Coordinates of single arm robot for D-H presentation

Table 1 D-H parameter of Single Arm

Axis	$a(mm)$	$\alpha(^{\circ})$	$d(mm)$	$\theta(^{\circ})$
1	0.0	-90.0°	386.0	$\theta_1 - 180^{\circ}$
2	0.0	+90.0°	0.0	θ_2
3	0.0	-90.0°	469.0	θ_3
4	0.0	+90.0°	0.0	θ_4
5	0.0	-90.0°	421.5	θ_5
6	0.0	+90.0°	0.0	θ_6
7	0.0	0.0°	274.0	θ_7

2.2 기구학 해석

순기구학과 역기구학을 해석하기 위해 D-H 매개변수를 바탕으로 로봇 기준 좌표계를 변환 행렬로 표현하여 각 관절의 상대 좌표를 정의해야 한다. 행렬로 표현된 각 관절의 상대좌표는 최종 변환 행렬 'T'로 조합될 수 있으며, 이 행렬 'T'를

이용하여 순기구학과 역기구학을 계산할 수 있다.

식 (1)~식 (8)은 D-H 매개변수 표현법에 의한 각 관절의 변환 행렬과 최종 변환 행렬을 나타내며, 각각 ‘A’와 ‘T’ 행렬로 나타내었다. ‘T’ 행렬은 로봇의 기저로부터 말단 장치까지의 거리 및 회전에 대한 모든 정보를 포함한다.

$$A_1 = \begin{pmatrix} \cos(\Theta_1) & 0 & -\sin(\Theta_1) & d_1 \cos(\Theta_1) \\ \sin(\Theta_1) & 0 & \cos(\Theta_1) & d_1 \sin(\Theta_1) \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$*\Theta_1 = \theta_1 + 180^\circ$$

$$A_2 = \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & 0 & \sin \theta_2 & 0 \\ \sin \theta_2 & 0 & -\cos \theta_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$A_3 = \begin{pmatrix} \cos \theta_3 & 0 & -\sin \theta_3 & d_3 \cos \theta_3 \\ \sin \theta_3 & 0 & \cos \theta_3 & d_3 \sin \theta_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$A_4 = \begin{pmatrix} \cos \theta_4 & 0 & \sin \theta_4 & 0 \\ \sin \theta_4 & 0 & -\cos \theta_4 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$A_5 = \begin{pmatrix} \cos \theta_5 & 0 & -\sin \theta_5 & d_5 \cos \theta_5 \\ \sin \theta_5 & 0 & \cos \theta_5 & d_5 \sin \theta_5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$A_6 = \begin{pmatrix} \cos \theta_6 & 0 & \sin \theta_6 & 0 \\ \sin \theta_6 & 0 & -\cos \theta_6 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$A_7 = \begin{pmatrix} \cos \theta_7 & -\sin \theta_7 & 0 & 0 \\ \sin \theta_7 & \cos \theta_7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$T = A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4 \times A_5 \times A_6 \times A_7 \quad (8)$$

본 연구에서 설계된 로봇은 병진운동은 없으며, 오직 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7$ 의 회전운동을 하는 관절로만 이루어져있다. ‘T’ 행렬은 순기구학의 행렬 형태를 가지고 있으며, 최종 연산된 행렬은 말단 장치의 좌표를 표현한다.

‘T’ 행렬에서 표현되는 말단장치의 위치 정보는 그 값이 알려졌을 때, 역기구학 해석을 위한 정보로 사용된다. 좌변의 ‘T’ 행렬에 우변의 ‘A’ 행렬의 역행렬을 순차적으로 곱하는 방법으로 각 관절의 회전변수 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7$ 을 계산할 수 있다.

3. 그래픽 정의

3.1 듀얼 암 모델

듀얼 암 로봇의 모델은 Fig. 1 에서 나타낸 7축의 싱글 암을 기본 요소로 사용하고 있으며, 이에 몸통 부분과 결합하여 전체 15 축의 회전 관절을 가지는 시스템이다. D-H 매개변수 표현법에 의해 설계된 3D CAD 데이터를 각 관절의 상대좌표계 원점에 위치하도록 하였으며, Fig. 3 은 설계된 3D CAD 데이터를 나타낸 것이다.

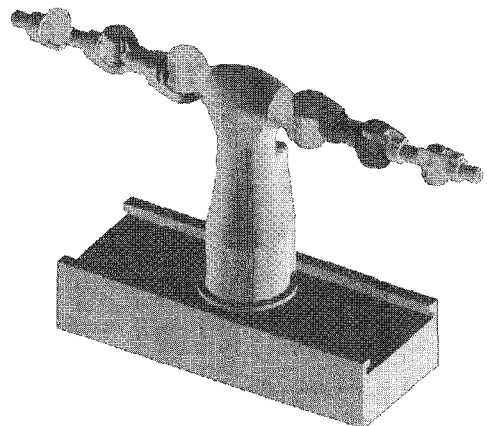


Fig. 3 Model of dual arm robot with 15 axes

3.2 3D CAD Data Interface

본 연구에서는 OLP 에서 로봇을 표현하기 위해 비주얼 환경을 구현하였으며, 로봇의 현실감을 높이기 위하여 3D CAD 프로그램에서 설계한 3D CAD 데이터를 직접 읽어 들일 수 있도록 하였다. 비주얼 환경은 OpenGL 을 사용하였으며, 읽어 들인 3D CAD 데이터 파일 형식은 3DS 파일 형식으로 정의하였다.⁸⁻¹⁰

3D CAD 프로그램을 사용하여 설계한 모델은 일반적으로 각 프로그램 배급사에서 정의한 파트나 어셈블리 파일로 저장하며, 범용의 3D CAD 데이터 형식으로는 IGES 와 STEP 파일 형식이 있다. 이와 같은 파일 형식을 OLP 로 불러들이기 위해서는 VRML (Virtual Reality Modeling Language)이라는 파일 형식으로 변환한다. 이와 같이 변경된 파일은 AutoDesk 사의 3D MAX 프로그램을 사용하여 3DS 파일 형식으로 변환할 수 있고, Open Source 인 OpenGL 을 통해서 OLP 로 읽어 들일 수 있다. 이와 같은 일련의 과정을 Fig. 4 에 나타내었다.

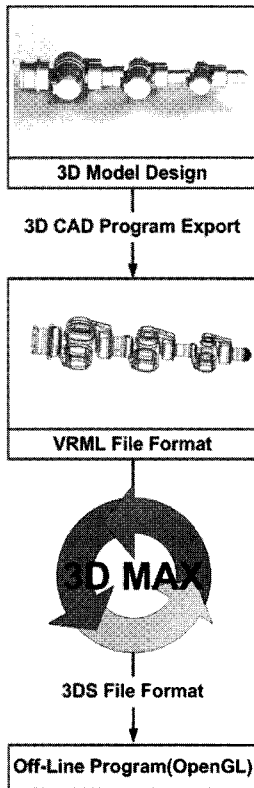


Fig. 4 CAD data converting process for OLP application

본 연구에서는 파일 변환 중 발생할 수 있는 오류를 없애기 위해서 3D CAD 데이터 생성 과정 이전에 Healing Processing 과정을 적용하고, 파일 용량을 줄이는 작업을 수행하였다.

4. OLP 구성

본 연구에서 구성한 OLP 는 듀얼 암 로봇에 대한 순기구학과 역기구학 해석을 수행할 수 있으며, 간단한 컨트롤 패널을 이용하여 구동할 수 있도록 구성되었고, 조작 결과로 로봇의 움직임을 나타내어 주는 로봇 모니터가 구성되어 있다. 또한 컨트롤 메뉴에는 순기구학과 역기구학에 대한 해석 모듈뿐만 아니라, 듀얼 암 로봇의 모션을 쉽게 생성할 수 있는 듀얼 암 로봇 언어 메뉴를 구성하였다.

Fig. 5 와 같이 OLP 구동화면의 Menu Bar 에서 Control Mode 를 클릭 한 후 Joint/Cartesian Mode 와 Robot Language Mode 를 선택하여 각각의 모드를 사용할 수 있다.

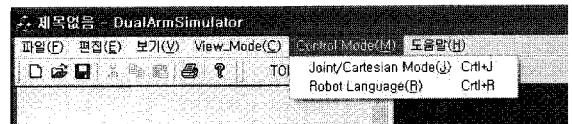


Fig. 5 Mode Select for OLP Control Mode

4.1 컨트롤 패널

컨트롤 패널은 듀얼 암 로봇의 관절 변수를 변화시켜 로봇을 동작할 수 있는 조인트 모드(joint mode)와 말단 장치의 좌표 변화에 따라 로봇을 동작시킬 수 있는 카테시안 모드(cartesian mode)로 구성된다. 조인트 모드에는 순기구학에 대한 해석 모듈이 포함되며, 카테시안 모드에는 역기구학 해석 모듈이 구성되어 있다. Fig. 6 는 조인트 모드와 카테시안 모드에서의 컨트롤 패널을 나타낸다.

조인트 모드를 동작시키면, 순기구학 해석을 통해 로봇의 말단 장치의 좌표 값이 변화하며, 카테시안 모드에서는 말단 장치의 변화에 대한 로봇의 각 관절의 변화가 나타내어진다. 이 두 가지 모드를 실행할 때, 로봇의 움직임은 로봇 모니터를 통해 즉각적으로 변화한다. Fig. 7 은 컨트롤 패널에서 카테시안 모드에 의해 구동된 로봇의 형상을 나타낸다.

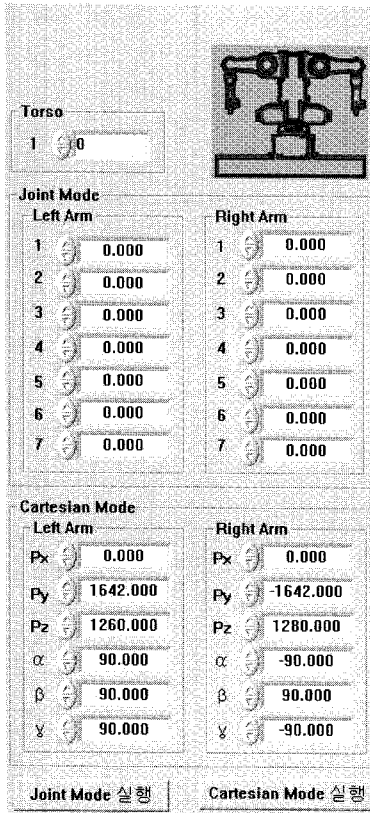


Fig. 6 Joint/Cartesian menu of OLP

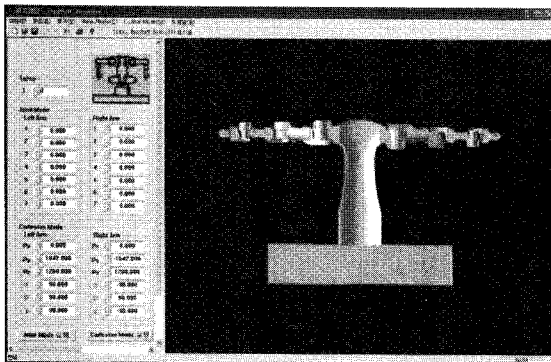


Fig. 7 User interface for OLP control menu

4.2 듀얼 암 로봇 언어

산업용 싱글 암 로봇의 경우, 상용화된 로봇 OLP 가 사용되며, 작업 공정에 필요한 몇 가지 간단한 모션을 전용 언어로 정의하여 제공하고 있다. 그러나 이러한 싱글 암 로봇으로는 더욱 복잡해지는 공정을 소화하기 힘들어 최근에는 싱글 암 로봇을 여러 대 사용하는 멀티 암 기반의 작업 공정

이 많이 적용되고 있다.

듀얼 암 로봇은 각 싱글 암 간의 협업으로 공정을 처리하는 멀티 암과는 달리, 하나의 원점 좌표를 가지고 두 싱글 암이 동기화되어 공정을 처리하므로 많은 응용이 가능하다. 그리고 듀얼 암 로봇은 하나의 몸체에 두 대의 로봇이 결합되어 있는 구조이므로 멀티 암 기반의 시스템보다 시스템 구성에 필요한 공간이 상당히 줄어들 수 있다. 듀얼 암 로봇은 비교적 협소한 공간에서 다양한 작업이 가능하며, 이와 같은 다양한 작업에 범용으로 쓰일 수 있는 듀얼 암 전용 로봇 언어가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 듀얼 암이 서로 동기화하여 동작해야 할 경우에 대하여 정의하였으며, 정의된 동작을 함수로 정의하여 로봇 언어로 구현하였다. 로봇 언어는 내부적으로 구현한 로봇 언어를 사용자가 보다 쉽게 그리고 구문 오류없이 사용할 수 있도록 Fig. 8 과 같이 메뉴화 하여 구현하였다.

OLP 를 구동한 후에는 듀얼 암 로봇의 위치를 초기화하여야 로봇의 작업 위치를 올바르게 적용할 수 있으므로, 먼저 초기화 과정(initial mode)을

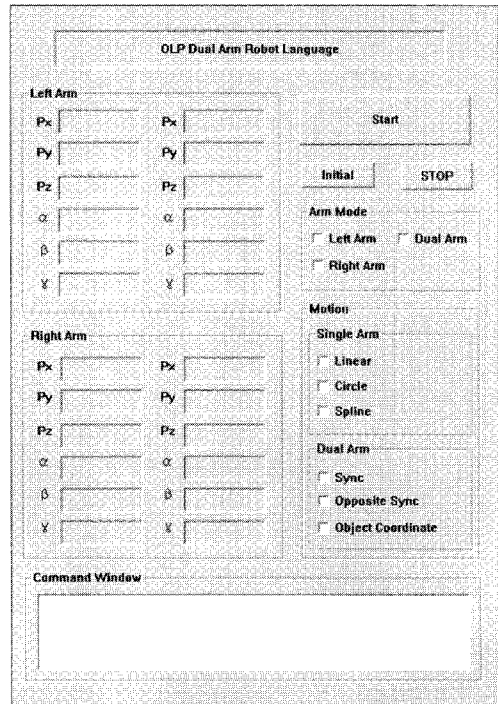


Fig. 8 Robot language menu

거친 후 로봇 언어를 적용하게 된다. 그리고 현재 산업 현장에서의 작업이 대부분 싱글 암 로봇의 환경으로 구축되어 있으므로 로봇 언어도 Single Arm Motion 과 Dual Arm Motion 두 가지 모두 지원하도록 구성하였다. Single Arm Motion 에서는 Linear, Circle, Spline 모션 기능을 선택하고, 모션을 수행할 암을 선택하는 것으로 사용이 가능하도록 구성하였다. Dual Arm Motion 에서는 듀얼 암 동기동작 (Sync), 듀얼 암 반전 동기동작(Opposite Sync), 그리고 물체 중심 좌표이동(Object Coordinate) 세가지 모드를 선택할 수 있도록 하였다. Fig. 9 는 로봇 언어 메뉴를 선택한 OLP 의 화면을 나타낸다.

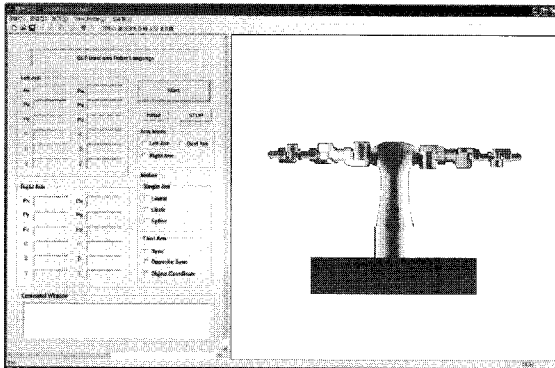


Fig. 9 User interface for OLP robot language menu

5. 듀얼 암 전용 로봇 언어

듀얼 암 전용 로봇 언어는 사용자가 편리하게 작업 계획을 할 수 있도록 하는데 주 목적이 있다. 주로 조립이나 분해와 같은 싱글 암 로봇이 단독으로 수행하기 힘든 듀얼 암 로봇만이 사용할 수 있는 모션을 함수화하여 로봇 언어로 정의하였다. 정의된 로봇 언어는 사용자가 간편히 사용할 수 있도록 표현하였다. Table 2 는 듀얼 암 전용 로봇 언어인 듀얼 암 동기동작(Sync), 듀얼 암 반전 동기동작(Opposite Sync), 그리고 물체 중심 좌표이동(Object Coordinate)에 대한 정의를 나타낸다.

5.1 동기동작

동기 동작(Sync)은 듀얼 암 로봇이 동시에 같은 모션으로 동작을 하는 것으로 동시에 두 가지 동일한 작업을 해야 할 때 사용한다. 두 개의 암 중, 모션을 입력할 하나의 암을 기준 암으로 선택하고, 나머지 하나의 암을 종속 암으로 선택한다.

기준 암에서 부여된 모션을 기준 암이 동작되는 동시에 종속 암으로 부여해줌으로써 동기동작 함수의 실행이 가능하다. 이 함수는 내부적으로 좌표계를 변환시켜 종속 암으로 계획된 말단 장치의 좌표를 전송한다. 또한 작업 조건에 따라서 같은 동작은 듀얼 암의 작업 회수가 다를 경우가 존재하기 때문에 기준 암이 선택된 모션동작을 1 회 동작할 때 종속 암이 n 회 동작하도록 구성하였다. Fig. 10 은 OLP 에서 동기동작을 선택하여 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타낸다. 시뮬레이션 조건은 기준 암으로 왼쪽 암을 선택하였으며, 기준 암의 동작을 선형모션으로 부여한 시뮬레이션 결과이다.

Table 2 Definition of motion function for dual arm robot

Dual arm motion function	
Definition	Function
Sync	Set up the Master arm and the Slave arm, and then Move the Master arm to the target point with the Slave arm in the same time
Opposite Sync	Set up the Master arm and the Slave arm, and then Move the Master arm to the target point, in the same time, Move the Slave arm to the target point which is opposite set up target point
Object coordinate	Generate object coordinate that is considered Dual arm

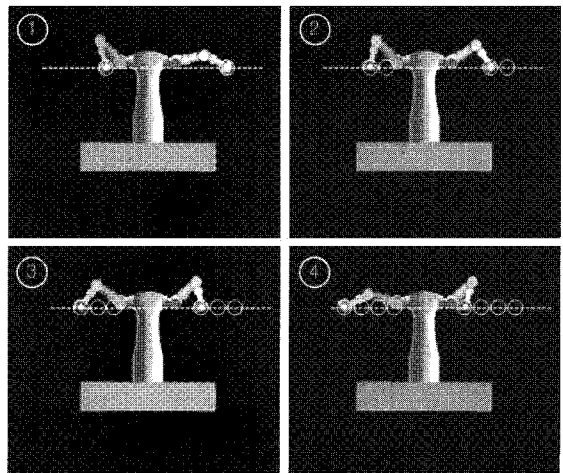


Fig. 10 Synchronized motion for Dual Arm Robot

5.2 반전 동기동작

반전 동기동작(Opposite Sync)은 동기동작과 달리 기준 압에 대한 동작과 반대의 동작을 종속 압이 행하는 것을 말한다. 본 연구에서 개발한 OLP 환경에서 반전 동기동작을 실행하기 위한 방법은 동기동작의 실행 방법과 동일하다. 동기동작과 마찬가지로 기준 압이 선택된 모션동작을 1 회 동작할 때 종속 압이 n 회 동작하도록 구성할 수 있다. Fig. 11 은 반전 동기동작을 OLP 에서 구현한 시물레이션 결과이다. 동기동작에서와 같이 기준 압을 왼쪽 압으로 하였으며, 동작은 선형모션을 부여하였다. 기준 압이 바깥쪽에서 안쪽 방향으로 움직일 때, 종속 압도 역시 바깥쪽에서 안쪽으로 동작한다. 두 압의 좌표계는 정 반대로 움직이도록 좌표계를 변환한 결과 Fig. 11 과 같은 시물레이션 결과를 보인다.

5.3 물체 중심 좌표이동

물체 중심 좌표이동(Object Coordinate)은 작업 대상 물체의 좌표를 기준으로 듀얼 압 로봇의 경로를 생성하고, 듀얼 압 로봇이 생성된 경로에 따라 물체를 이동시키는 동작이다. 공장에서의 작업 중, 대상 물체를 회전하거나 이송시킴으로써 작업 대상의 방향을 바꾸어 원활하고 빠르게 작업 공정을 진행할 경우에 적합하게 사용될 수 있다. Fig. 12 는 물체 중심 좌표이동을 OLP 에서 시물레이션한 결과이다. 두 개의 말단 장치가 작업 대상 물체를 일정한 간격을 유지하며 집어 들어서 회전하고 이동시키는 과정을 나타낸다.

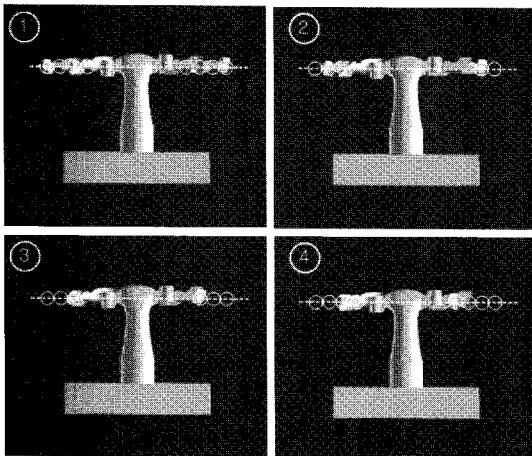


Fig. 11 Opposite synchronized motion for Dual Arm Robot

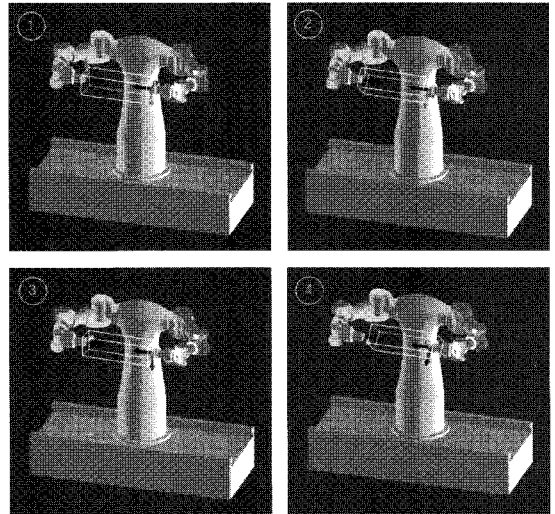


Fig. 12 Object coordinate motion for Dual Arm Robot

6. 결론

본 연구에서는 듀얼 압 로봇의 OLP 를 구성하였다. OLP 를 구성하기 위하여 7 축 싱글 압의 기구학적 해석을 바탕으로 15 축 듀얼 압의 기구학을 해석하였으며, 15 축 듀얼 압 로봇의 프로그래밍을 위한 OLP 를 개발하였다. 15 축 듀얼 압에 대한 기구모듈을 구성하였으며, 기구학적 해석의 결과는 듀얼 압 로봇 모니터를 통해 사용자가 즉각적으로 확인할 수 있도록 하였다. 듀얼 압 로봇의 경로를 계획하고 움직임을 구현하기 위하여 컨트롤 패널을 구현하였다. 로봇으로의 모션 입력은 컨트롤 패널에서 가능하도록 하였으며, 구동되고 있는 로봇은 로봇 모니터를 통하여 확인 가능하게 하였다. 또한 사용자의 편의를 위해 듀얼 압 로봇 전용 언어 메뉴를 구성하였다. 범용적으로 공장에서 사용될 수 있는 싱글 압 언어를 정의하고, 그것을 듀얼 압 로봇 전용 언어로 확장하였다.

후기

본 연구는 지역산업 중점기술 개발사업의 지원으로 이루어졌으므로, 지원기관에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Kim, J. K. and Lee, S. H., "The Welding/Welding

- History DB Construction of OLP System For the Multi-Layer Welding on the Thick Steel Plates In Low Speed Diesel Engines,” Proc. of the KSPE Autumn Conference, pp. 760-763, 2004.
2. Go, S. J., Han, H. G., Lee, Y. C., Jung, C. G., Shin, Y. S. and Lee, Y. J., “Study on Development of Hollow Shaft Servo Assembly for Dual Arm Robot,” Proc. of the KSPE Spring Conference, pp. 33-34, 2008.
 3. Lee, T. K., Kim, H. S., Jung, S. C., Choi, Y. J. and Ahn, T. Y., “Time Delay Controller Design for the High Speed Precision Servo-Control of the Direct Drive Multi-axis Manipulator,” Proc. of the KSPE Autumn Conference, pp. 1004-1011, 1996.
 4. Lee, S. B., Baek, S. H., Lee, Y. J. and Boo, K. S., “Development OLP for Dual Arm Robot Programming,” CAAS 2008 Control, Automation and Systems Symposium, pp. 415-420, 2008.
 5. Craig, J. J., “Introduction to Robotics mechanics and Control,” Addison Wesley, pp. 68-144, 1986.
 6. Niku, S. B., “Introduction to Robotics Analysis, System, Applications,” Prentice Hall, pp. 29-172, 2001.
 7. Spong, M. W. and Vidyasagar, M., “Robot Dynamics and Control,” Wiley, pp. 32-129, 1989.
 8. Wright, R. S. and Lipchak, Jr. B., “OpenGL Superbible,” SAMS, pp. 119-766, 2004.
 9. Kim, S. H., “Windows Application Programming Interface API Conquest,” Kanamsa, pp. 73-914, 2001.
 10. Kim, S. W. and Shin, H. S., “Window Programming Visual C++ MFC Programming,” Hanbit Media, pp. 27-462, 2006.