

◆ 특집 ◆ 산업용 듀얼 암 로봇(AUTOMAN) 개발

산업용 듀얼 암 로봇(AUTOMAN)의 기구해석 및 제어

Kinematic Analysis and Control of Industrial Dual Arm Robot(AUTOMAN)

박찬훈^{1,✉}, 유정민¹, 박경택¹, 이영진²
Chan hun Park^{1,✉}, Jung Min Yoo¹, Kyoung Taik Park¹ and Young Jin Lee²

¹ 한국기계연구원 로봇/지능기계연구실(Department of Robotics & Intelligent Machinery, Korea Institute of Machinery and Materials)
2(주)오토파워 (AUTOPOWER Co. Ltd)
✉ Corresponding author: chpark@kimm.re.kr, Tel: 042-868-7127

Key Words: Dual Arm Robot (듀얼 암 로봇), Cooperation (협조작업), Relative Kinematics (상대기구학), Control (제어), Real Time Control (실시간제어)

1. 서론

현대의 풍요로운 산업화는 자동화 장비를 통한 대량생산에 힘입은 바 크다. 이러한 산업 자동화의 중심에는 산업용 로봇이 있었으며 현재까지도 매우 중요한 역할을 차지하고 있고 향후에는 그 중요도가 점점 커질 것으로 예상된다. 현재의 산업용 로봇은 그 정밀도, 강성, 내구성이 과거의 그것에 비해 비약적인 발전을 이루었으나 최근까지도 그 외형의 측면에서는 큰 변화가 없었다. 즉 대부분의 생산 현장에서는 하나의 머니플레이터를 가진 형태의 산업용 로봇이 주류를 이루고 있으며 이는 산업용 로봇의 적용 범위를 제한하는 주된 이유 중의 하나임에 분명하다. 즉 인간 작업자가 주로 양팔을 이용해서 작업을 수행하는 생산라인 등과 같이 하나의 팔로는 작업이 불가능한 생산현장에는 하나의 팔을 가진 산업용 로봇이 인간 작업자를 대체하는 것이 매우 어렵다. 이러한 이유로 일본과 유럽을 중심으로 인간과 유사하게 양팔을 가진 산업용 로봇의 개발이 이루어 지고 있으며^{1,2} 일부 제품이 시장에 소개되기 시작하고 있다. 비록 아직까지는 아주 단순한 형태의 작업만이 가능하지만 기구학적 구성에 있어서 인간과 유사한 양팔구조를 가지고 있기 때문에 향후 매우 발달된

형태로 인간과 유사한 양팔 협조 작업을 수행하는 산업용 듀얼 암 로봇이 출현될 것으로 생각된다.

이러한 이유로 본 연구팀에서도 산업용 듀얼 암 로봇을 개발하였으며 본 논문에서는 개발된 로봇의 기구학적 구조 및 특징에 관하여 기술하고자 한다. 또한 양팔의 협조작업을 위해 연구된 로봇 양팔의 상대적인 위치/자세에 대한 기구학적 해석 결과를 소개한다. 마지막으로 개발된 로봇의 실시간 제어를 위한 PC 기반의 실시간 제어환경에 관해 소개한다.

2. 기구학적 구조

본 연구의 일차적인 적용 목표는 기계 부품의 조립작업에 적용하는 것이다. 감속기의 일부 부품의 조립, 실린더 헤드의 일부 부품의 조립 작업 등에 적용가능 하도록 로봇의 목표 시방을 Table 1 과 같이 결정하고 로봇이 적용되는 사업장의 구조를 Fig. 1 과 같이 결정하였다.³

이러한 시방을 만족할 수 있도록 Fig. 2 와 같이 1 차 프로토타입 산업용 듀얼 암 로봇이 개발된 바 있으며 문헌 [3]을 통해 소개된 바 있다.

이 로봇은 양팔이 각각 6 자유도를 가지며 별도의 2 자유도 허리를 가지고 있다. Fig. 3 은 개발

된 로봇의 기구학적 구조를 간략히 보여주고 있다. 허리는 독립적인 2 자유도를 가지고 있어서 양팔에 의해 획득되는 작업공간을 효과적으로 확장시킬 수 있다. 양팔은 각각 6 자유도를 가지고 있으며 특히 각각의 팔의 마지막 3 자유도가 구형손목 형태를 가지고 있어서 기구학의 연산이 단순해지는 장점이 있다.⁴ 그리고 독립적으로 6 자유도 모션을 수행하는 것이 가능하다. 그러나 6 자유도 관절이 일반적인 싱글 암 형태의 수직 다관절 로봇의 배치를 가지고 있어서(Fig. 3) 양팔을 사용하는 작업의 모션이 인간의 작업과 비교해서 어색한 문제가 있었다. 이러한 구조 하에서는 주어진 작업을 수행하는 것은 가능하지만 작업테이블 등 로봇의 전면과 좌우 주변에 비치된 장치들과의 간섭을 피하기가 어려운 문제가 있었다. 특히 대부분의 작업에 있어서 각각의 팔의 제 1 관절이 항상 많은 부하를 받는 문제가 있었기 때문에 관절의 배치의 개선이 필요하였다. 또한 로봇의 제작에 사용된 모터 및 감속기가 중앙이 밀폐된 중실형 부품들이었으며, 이러한 이유로 전장에 관련된 배선들이 로봇의 중앙을 통과하여 배치되도록 하는데 있어 제작상의 어려움이 있었다.

이러한 문제점들을 보완하면서 Table 1의 시방을 만족할 수 있도록 Fig. 4에서 보이는 바와 같은 산업용 듀얼 암 로봇을 개발하였다. 이 로봇은 1차 프로토타입과 달리 양팔이 각각 7 자유도를 가지며 별도의 1 자유도 허리를 가지고 있다. 또한 1차 프로토타입 로봇과 달리 중공형 모터, 중공형 감속기, 중공형 엔코더, 중공형 브레이크를 사용하여 제작되었다. 따라서 관련 배선들이 부품의 중공을 통하여 로봇의 중앙부를 관통하도록 로봇 링크가 설계될 수 있었으며 이 때문에 비교적 슬림한 형상을 가지게 되었다. Fig. 5는 개발된 로봇의 기구학적 구조를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 1차 프로토타입과 달리 관절의 배치가 인간과 유사한 배치를 가지고 있다. 이 때문에 각각의 팔의 움직임이 인간과 유사하게 구현될 수 있으며 동일한 이유로 작업테이블 및 주변에 비치된 장치들과의 간섭이 생기지 않도록 작업하는데 유리하다.

제작된 로봇의 간략한 기구학적 치수 및 작업공간이 Fig. 6에 그려져 있다. 허리를 숙이는 동작과 설치되는 관절에 지나치게 큰 부하가 작용하여 전체적인 로봇의 무게가 지나치게 커지는 것을 막기 위해서, 1차 프로토타입에서와 달리 허리는

몸통전체의 회전을 가능하게 하는 1 자유도만을 가지도록 개발되었다. 양팔의 최대 리치는 약 1200 mm이다. 허리의 움직임을 고려하지 않고 양팔의 독립적인 움직임에 대한 각각의 팔에 대한 작업공간이 Fig. 6에 표시되어 있다. 양팔의 협력작업이 가능한 공간은 양팔의 독립적인 작업공간이 서로 겹치는 부분이다.

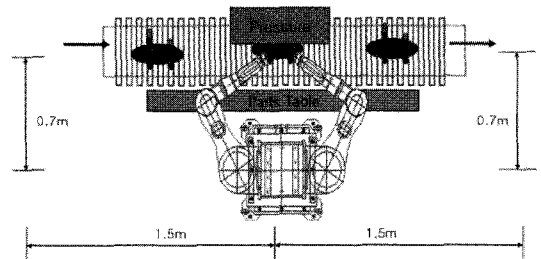


Fig. 1 Layout of the workplace for the developed dual arm robot manipulator

Table 1 Specification of developed dual arm robot

Out-reach	1.5 m
Payload	10 kg/arm
Max Speed	150 deg/s
Repeatability	0.1 mm
DOF	6/Arm, 2/Torso

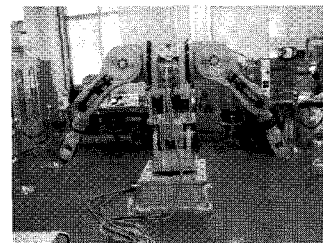


Fig. 2 1st prototype dual arm robot manipulator

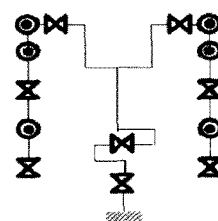


Fig. 3 1st prototype dual arm robot manipulator

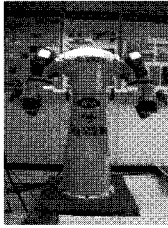


Fig. 4 The developed dual arm robot(AUTOMAN)

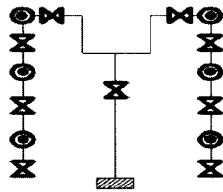


Fig. 5 The schematic diagram of AUTOMAN

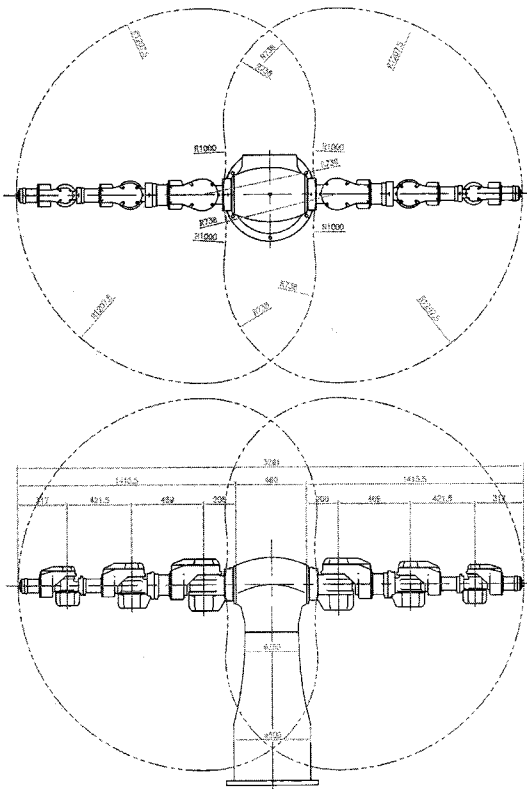
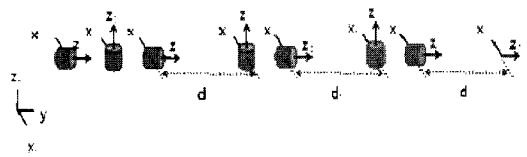


Fig. 6 Workspace and kinematic dimension

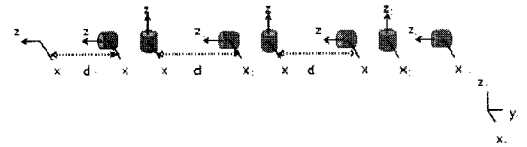
3. 허리 운동을 포함한 역기구학

로봇의 기구학 해석을 위하여 우선 Fig. 7, Fig. 8 과 같이 양팔과 허리에 좌표계를 배치한다. R0 좌

표계와 L0 좌표계는 각각 오른팔과 왼팔의 기준좌표계를 의미한다. 두 그림에서 좌표계 B 는 허리 링크의 말단에 부착된 좌표계이다. 본 논문에서는 좌표계간의 관계를 결정하기 위하여 DH 규약을 적용한다.⁴ 양팔은 기구학적으로 동일한 구조를 가지고 있으므로 양팔의 좌표계는 완전치 일치하도록 선정하였다. 따라서 양팔의 DH 파라미터(parameter)는 동일하며 Table 2 와 같다.



(a) Coordinates for the left arm



(b) Coordinates for the right arm

Fig. 7 Coordinates for the arms

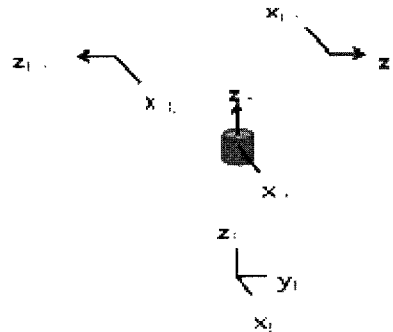


Fig. 8 Coordinates for the torso

Table 2 DH parameter for the left arm and the right arm

	a_i	d_i	α_i	θ_i
1	0	0	-90°	0°
2	0	0	90°	0°
3	0	d_3	-90°	0°
4	0	0	90°	0°
5	0	d_5	-90°	0°
6	0	0	90°	0°
7	0	d_7	0°	0°

양팔은 1 자유도의 허리에 부착되어 있어서 허리가 회전하면 양팔 전체가 동시에 회전한다. Fig. 8 은 허리에 부착된 좌표계를 보여주고 있다.

Fig. 7 의 R0, L0 좌표계와 Fig. 8 의 R0, L0 좌표계는 서로 일치되도록 설치된다. 허리의 회전축에 설치된 좌표계와 왼팔의 기준 좌표계 L0 좌표계 간의 관계를 정의하는 동차변환행렬은

$$\begin{bmatrix} -1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & +1.0 & +438 \\ 0.0 & +1.0 & 0.0 & +3055 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

이며 허리의 회전축에 설치된 좌표계와 오른팔의 기준 좌표계 R0 와의 관계를 정의하는 행렬은

$$\begin{bmatrix} +1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & -1.0 & -438 \\ 0.0 & +1.0 & 0.0 & +3055 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

이다. Fig. 8 에서는 허리에 부착된 좌표계들의 설치 상태를 보여주고 있다. 허리(Torso)에 부착된 좌표계 간의 관계는 DH 파라미터로 Table 3 에 정리되어 있다.

듀얼 암 로봇에 있어서 가장 기본적인 작업은 양팔이 별도의 싱글 암 로봇과 같이 서로 독립적인 작업을 수행하는 경우이다. 이때 허리가 없이 양팔만 가진 로봇의 경우에는 싱글 암 로봇이 2 대 설치된 것과 동일하다. 그러나 양팔이 별도의 허리 위에 설치된 경우에는 반드시 허리의 움직임이 고려되어야 한다. 각각의 팔이 특정한 작업을 수행하기 위해서는 허리의 움직임이 동반되어야 하므로 왼팔의 작업을 위해서는 식 (1)의 속도 역기구학이 사용된다. 하첨자 l 은 왼팔, b 는 허리를 의미하며, q 는 조인트 회전 변위를 의미한다. p, ω 는 각각 엔드 이펙터(end effector)의 선속도와 각속도를 의미한다. J_l 은 허리와 왼팔의 조인트의 움직임을 모두 포함하는 Jacobian 을 의미한다. 왼팔 말단의 선속도와 각속도가 주어질 때 식 (1)에 의해서 왼팔의 조인트의 궤적뿐만 아니라 허리의 조인트 궤적도 동시에 결정된다.

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_l \\ \dot{q}_b \end{bmatrix} = J_l^+ \begin{bmatrix} \dot{p}_l \\ \dot{\omega}_l \end{bmatrix} \quad (1)$$

오른팔의 작업을 위해서는 식 (2)의 속도 역기구학이 사용된다. J_r 은 허리와 오른팔의 조인트의 움직임을 모두 포함하는 Jacobian 을 의미한다. 오른팔 말단의 선속도와 각속도가 주어질 때는 식(2)에 의해서 오른팔의 조인트의 궤적뿐만 아니라 허리의 조인트의 궤적이 동시에 결정된다.

Table 3 DH parameter for the torso

	a_i	d_i	α_i	θ_i
1	0	0	0°	0°

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_r \\ \dot{q}_b \end{bmatrix} = J_r^+ \begin{bmatrix} \dot{p}_r \\ \dot{\omega}_r \end{bmatrix} \quad (2)$$

따라서 오른팔과 왼팔의 궤적을 수용하기 위해 결정된 허리 관절의 필요 궤적이 식 (1)과 식 (2)에서 서로 상이하게 된다. 즉 양팔이 독립적으로 운전하는 경우에도 허리가 포함된 움직임이 이루어 지기 때문에 한쪽 팔의 움직임이 다른 쪽 팔의 움직임에 영향을 미치게 된다. 따라서 먼저 한쪽 팔의 움직임을 결정하고 이 움직임의 영향을 고려하여 나머지 팔의 움직임을 결정해 주어야 한다. 우선 식 (1)에 의해서 왼팔의 움직임과 허리의 움직임을 결정할 수 있다. 오른팔 말단의 선/회전 속도 허리를 포함한 오른팔의 회전속도와와의 관계는 식 (3)에 의해서 결정된다.

$$\begin{bmatrix} \dot{p}_r \\ \dot{\omega}_r \end{bmatrix} = J_r \begin{bmatrix} \dot{q}_r \\ \dot{q}_b \end{bmatrix} \quad (3)$$

이때 허리의 움직임은 이미 식 (1)에 의해서 결정되어 있다. 따라서 식 (3)을 식 (4)와 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{p}_r \\ \dot{\omega}_r \end{bmatrix} &= J_r \begin{bmatrix} \dot{q}_r \\ \dot{q}_b \end{bmatrix} \\ &= [J_r]_r \mid [J_r]_b \begin{bmatrix} \dot{q}_r \\ \dot{q}_b \end{bmatrix} \\ &= [J_r]_r \dot{q}_r + [J_r]_b \dot{q}_b \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)에서 오직 오른팔 조인트의 궤적만이 변수 이므로 식 (5)와 같이 정리할 수 있다.

$$\dot{q}_r = [J_r]^+ \left[\begin{matrix} \dot{p}_r \\ \dot{\omega}_r \end{matrix} \right] - [J_r]_b \dot{q}_b \quad (5)$$

따라서 왼팔과 오른팔의 독립적인 목표 궤적이 주어질 경우 식 (1)에 의해서 왼팔과 허리의 필요 궤적을 얻고 여기에서 얻어진 허리 관절의 궤적을 식 (5)의 입력으로 사용하여 오른팔의 필요 궤적을 연산할 수 있다. 이를 Fig. 9 에 정리하였다.

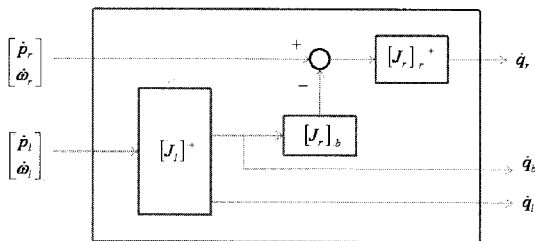


Fig. 9 Schematic diagram for Eq. 1 and Eq. 5

4. 협력작업을 위한 상대기구학

양팔은 별도의 싱글암 로봇과 같이 서로 독립적인 작업을 수행할 수 있으며 이때는 Fig. 10 과 같이 양팔의 엔드 이펙터의 위치와 자세가 절대좌표계를 기준으로 하여 표현된다. 양팔이 협조하여 특정 작업을 진행하기 위해서는 양팔의 목표 궤적을 서로 연관하여 지정하여야 한다. 그러나 Fig. 10 과 같이 양팔의 궤적을 전역좌표에 대하여 절대적으로 표현하는 것은 이러한 목적에는 적절하지 않다.

양팔이 상호 연관된 작업을 할 수 있도록 작업을 지정하기 위해서는 Fig. 11 과 같이 한쪽 팔을 기준으로 반대편 팔의 움직임을 지정하는 것이 유리하다. 이러한 원리는 팔의 자유도와 무관하게 성립하므로 Fig. 11 에서는 양팔이 각각 6 자유도인 로봇에 대하여 표현하였다.

Arm 1의 엔드 이펙터를 기준으로 Arm 2의 엔드 이펙터의 움직임을 기술하기 위해서는 우선 Arm 1에서 시작하여 Arm 2로 전방향 기구학을 풀어야 한다. 이를 위해서 식 (6)과 같은 동차변환행렬을 정의한다.

$$U_{1i} = \begin{bmatrix} n1_i & o1_i & a1_i & p1_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, U_{2i} = \begin{bmatrix} n2_i & o2_i & a2_i & p2_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 동차변환행렬 U_{1i} 는 Arm 1의 엔드 이펙터에서부터 Arm 1의 조인트에 설치된 좌표계 i 까지의 전방향 기구학을 표현한다. U_{2i} 는 Arm 1의 엔드 이펙터에서부터 Arm 2의 조인트에 설치된 좌표계 i 까지의 전방향 기구학을 표현한다. 각각의 동차변환은 Table 2에 기술된 DH 파라미터를 기반으로 쉽게 계산될 수 있다.

양팔의 상대적인 움직임은 위치의 수준에서 기술하는 것보다는 속도의 수준에서 기술되는 것이 유리하다. 이러한 속도 수준에서의 움직임은 식 (7)로 정의되는 Jacobian으로 표현될 수 있기 때문이다. 식 (7)에서 \dot{r} 은 Arm 1의 엔드 이펙터 좌표계에서 바라본 Arm 2의 엔드 이펙터 좌표계의 상대적인 선/회전 속도를 의미한다.

$$\dot{r} = {}^{tool1}J_{tool2}(q1, q2) \begin{bmatrix} \dot{q}1 \\ \dot{q}2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

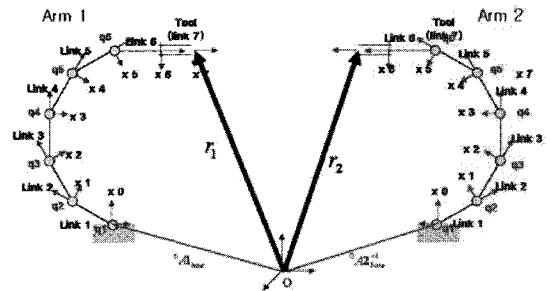


Fig. 10 Absolute definition of the position and orientation of end effector of arm 1 and arm 2

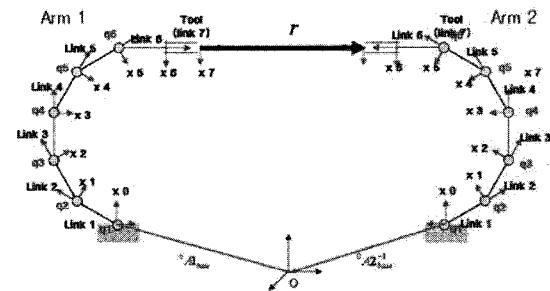


Fig. 11 Relative definition of the position and orientation of end-effector of Arm 2 with respect to Arm 1

각각의 조인트의 단위크기의 회전속도가 Arm 1

에서 바라본 Arm 2 의 상대적인 속도에 미치는 영향을 평가함으로써 식 (7)로 정의되는 Jacobian Matrix 를 얻을 수 있다. 이를 위해 우선 Arm 2 의 제 1 회전 조인트에 단위회전을 인가한다. 이때 Fig. 12 와 같이 Arm 1 은 고정되고 Arm 2 전체가 회전하게 된다. 이때 발생하는 Arm 2 의 엔드 이펙터의 선속도와 회전속도는 식 (6)의 컬럼벡터 a, p 를 이용해서 식 (8)의 컬럼벡터 (6x1)로 표현될 수 있다.

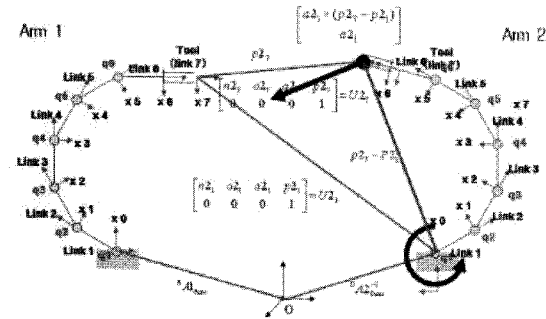


Fig. 12 Calculation of linear velocity due to unit angular velocity of Joint 1 of Arm 2

$$\begin{bmatrix} a_{21} \times (p_{27} - p_{21}) \\ a_{21} \end{bmatrix} \quad (8)$$

식 (6)의 모든 성분이 Arm 1 의 엔드 이펙터에 부착된 좌표계에 대해 표현된 것이다. 따라서 식 (8) 또한 Arm 1 의 엔드 이펙터에 부착된 좌표계에 대한 표현이다. 식 (8)은 해당 조인트의 단위 각속도 회전에 의한 Arm 2 의 엔드 이펙터의 절대 속도이지만 Arm 1 이 고정된 상태이므로 식 (8)은 또한 Arm 1 에서 바라본 Arm 2 엔드 이펙터의 상대적인 속도이기도 하다. Fig. 12 에는 식 (8)의 연산에 필요한 동차변환행렬을 함께 요약하여 두었다. 동일한 방법을 통해서, Arm 2 에 설치된 나머지 조인트의 단위회전에 의해 발생하는 Arm 1 에서 바라본 Arm 2 의 상대적인 속도를 계산할 수 있다.

Arm 1 에 설치된 조인트의 움직임에 의해 발생하는 상대속도의 연산은 좀더 복잡하다. 우선 Arm 1 의 첫 번째 조인트가 단위 크기의 회전을 하는 경우를 고려하면 Fig. 13 과 같이 표현된다. 이때는

Arm 2 가 움직이는 것이 아니라 Arm 1 이 움직이게 된다. 따라서 식 (8)과 같이 Arm 1 에서 바라본 Arm 2 의 상대적인 속도가 직관적으로 얻어지기 어렵다. 따라서 Arm 1 의 엔드 이펙터의 관점에서 Fig. 13 을 상대적으로 다시 표현하는 것이 편리하며 Fig. 14 와 같다. 이 그림에서는 Fig. 12 에서와 마찬가지로 Arm 2 가 움직이고 있다. 그러나 그 움직임의 방향은 반대임에 유의할 필요가 있다. 이것은 검은 화살표로 표현된 Fig. 13 의 단위회전과 붉은 화살표로 표현된 Fig. 14 의 단위회전이 서로 반대방향이기 때문이다.

Arm 1 의 첫 번째 조인트의 단위 회전에 의한 Arm 1 의 엔드 이펙터의 실제 움직임과 Arm 2 의 엔드 이펙터의 Arm 1 에 대한 상대적인 움직임은 Fig. 15 와 같이 표현될 수 있다. Fig. 15 에서 검은 화살표는 절대적인 움직임에 관한 것이며 붉은 화살표는 Arm 1 의 엔드 이펙터에서 바라본 상대적인 움직임에 관한 것이다.

이제 Arm 1 의 첫 번째 조인트의 단위회전에 의해 발생하는 Arm 2 의 상대적인 선속도와 회전속도는 식 (6)의 컬럼벡터 a, p 를 이용해서 식 (9)의 컬럼벡터 (6x1)로 표현될 수 있다. Fig. 15 에는 식 (9)의 연산에 필요한 동차변환행렬을 함께 요약하여 두었다. 동일한 방법을 통해서 Arm 1 에 설치된 나머지 조인트의 회전에 의해 발생하는 상대속도를 계산할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} a_{21} \times (p_{27} - p_{21}) \\ a_{21} \end{bmatrix} \quad (9)$$

이제 식 (8), (9)의 절차에 의해서 얻어진 컬럼 벡터를 이용하여 식 (7)로 정의되는 Jacobian 을 식 (10)과 같이 구성할 수 있다.

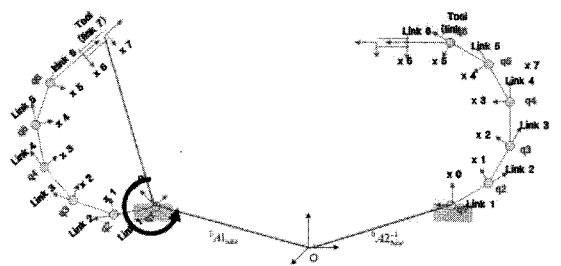


Fig. 13 Real movement of end effector of Arm 1

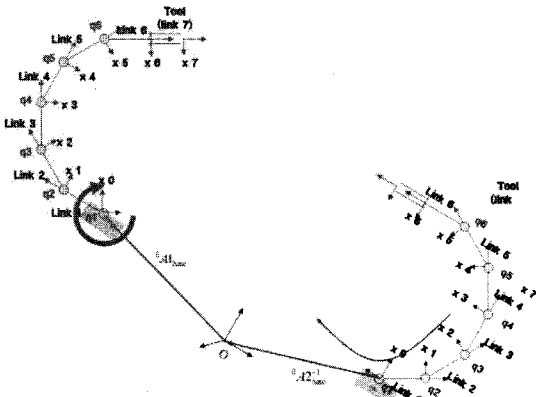


Fig. 14 Relative movement of end effector of Arm 2 with respect to end effector of Arm 1

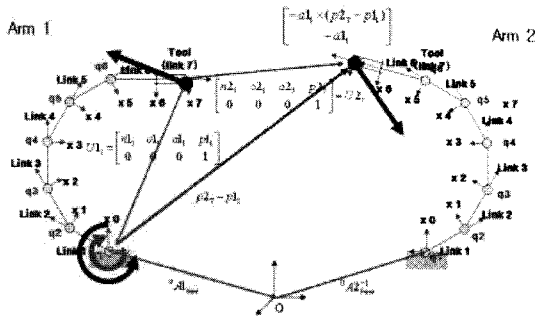


Fig. 15 Calculation of linear velocity of end effector of Arm 2 due to unit angular velocity of Joint 1 of Arm 1

$${}^{tool}J_{tool2} = \begin{bmatrix} -a_1 \times (P_{27} - P_{11}) & \dots & -a_6 \times (P_{27} - P_{16}) \\ -a_1 & \dots & -a_6 \\ a_2 \times (P_{27} - P_{21}) & \dots & a_6 \times (P_{27} - P_{26}) \\ a_2 & \dots & a_6 \end{bmatrix} \quad (10)$$

상대운동을 표현하는 Jacobian 이 식 (10)에 의해서 결정되었으므로 양팔의 협조작업이 상대적인 관점에서 정의되면 이러한 협조작업을 수행하기 위한 각 조인트의 필요 움직임이 식 (11)에 의해서 연산될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix} = {}^{tool}J_{tool2}^+ (q_1, q_2) \dot{r} \quad (11)$$

식 (11)에 의해서 각 조인트의 목표 회전속도 제적이 얻어지면 이를 시간에 대해 적분함으로써 조인트의 목표 각도제적을 결정할 수 있다. 이때 적분시의 연산에러의 누적을 피하기 위하여 Closed Inverse Kinematics⁴ 알고리즘을 사용하였다. 식 (11)에서 6x12(양팔 각각 6 자유도의 경우) 혹은 6x14(양팔 각각 7 자유도의 경우) 매트릭스의 인버스(inverse)를 연산하는데 걸리는 연산부하가 식 (5)의 경우에 비해 크다는 단점이 있다. 그러나 실험 결과 Intel 사의 Core2Duo CPU 를 사용하는 PC 를 기반으로 하는 제어시스템에서는 200Hz 로 연산하는데 문제가 없음을 알 수 있었다. 개발된 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 검증되었으며, Fig. 16 은 시뮬레이션 화면을 보여주고 있다.

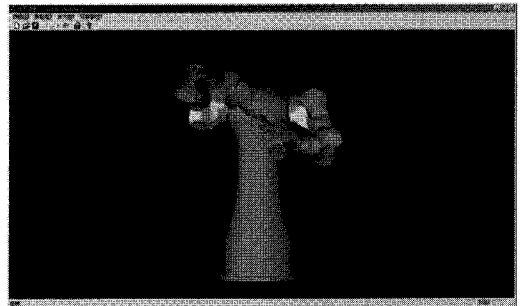


Fig. 16 Simulation of the relative motion

5. 실시간 제어

듀얼 암 로봇의 경우 싱글 암 로봇에 비해 필요 연산량이 상대적으로 많다. 특히 식 (11)을 기반으로 하여 협조작업을 제어할 경우 제어기의 연산능력은 매우 중요한 요소가 된다. 이러한 이유로 듀얼 암 로봇은 연산능력이 우수한 PC 기반으로 개발된 제어기에 의해서 제어된다. 이를 위해 IBM Compatible PC 가 사용되며 Intel 사의 Core2Duo CPU 가 장착된다. Microsoft 사의 Windows XP 가 기본 OS 로 탑재되며 로봇의 조인트 제어를 위해서 Motion Engineering 사의 MEI 보드가 PCI 슬롯에 장착된다. Window XP 는 관련 소프트웨어의 개발환경이 비교적 잘 갖추어져 있다는 장점이 있지만 실시간 제어에는 적합하지 않다. 이러한 이유로 Window XP 의 커널에 실시간 제어가 가능한 커널을 확장하는 방식이 선택되었으며 이를 위하여 Ardence 사의 Real Time Extension 이 설치되었다. 개발된 로봇 운전 프로그램은 크게 호스트 프로그램

램과 제어 프로그램으로 구성된다. 호스트 프로그램은 로봇 사용자와의 인터페이스를 제공하며 Windows XP 에서 실행된다. 반면 제어 프로그램은 로봇을 실시간으로 제어하기 위한 프로그램이며 RTX(Real Time Extension) 상에서 실행된다. Windows XP 의 실행 부하의 변화가 실시간 제어에 영향을 미치지 못하도록 하기 위하여 Intel 의 Core2Duo CPU 가 사용되었으며 이를 통해 Window XP 가 하나의 코어(core)를 사용하고 RTX 가 다른 하나의 코어를 독점하여 사용하게 하였다.⁵ 호스트 프로그램과 제어 프로그램 간에는 사용자 명령, 로봇 상태 정보 등 데이터 통신이 가능하다. 통신은 이벤트(event)를 호출하는 방식으로 구현하였으며 데이터의 교환은 공유메모리(shared memory)를 이용하였다. 개발된 제어기의 구조는 Fig. 17 과 같이 요약된다.

Fig. 18 은 개발된 호스트 프로그램을 보여주고 있다. 개발된 호스트 프로그램에서는 로봇을 직접 운전하기 전에 좌측 상단에 있는 그래픽 창에서 모의운전을 할 수 있는 3 차원 그래픽 윈도우가 갖추어져 있다. 따라서 잘못된 프로그램에 의한 운전 중에 발생할 수 있는 문제점을 미리 파악하는 것이 가능하다. 또한 우측 하단에는 로봇의 상태정보를 파악할 수 있는 창이 마련되어 있다. 실제 운전 시에는 이러한 정보들이 우측상단의 그래픽 창에 제공되어 현재 로봇의 자세정보가 3D 그래픽으로 표현된다. 3 차원 그래픽에 관련된 연산량의 증가로 호스트 프로그램 측에 큰 연산 부하가 걸리는 경우에도 실시간 제어 프로그램은 별도의 CPU 코어를 독점적으로 사용하므로 실시간 연산에 문제가 발생하지 않는다.

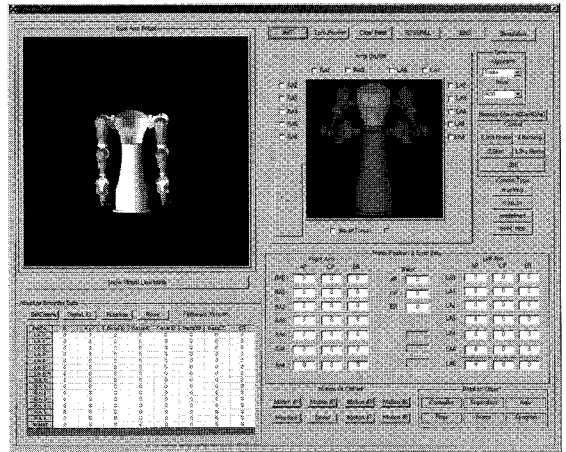


Fig. 18 Host program

6. 결론

본 논문에서는 새롭게 개발된 산업용 듀얼 암 로봇의 기구학적 구조 및 특징에 관하여 기술하였다. 또한 로봇의 제어를 위해서 개발된 허리가 포함된 듀얼 암 로봇의 기구학 알고리즘, 양팔의 협력작업을 위한 상대 기구학 알고리즘을 기술하였다. 마지막으로 듀얼 암 로봇의 실시간 제어를 위해 사용되는 실시간 제어환경에 관해 소개하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부 지역산업중점기술개발사업의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. <http://www.yaskawa.co.jp/Newsrelease/2005/15.htm>.
2. Albu-Shaffer, A., Haddadin, S., Ott, ch., Stemmer, A., Wimbock, T. and Hirzinger, G., "The DLR lightweight robot: Design and Control Concepts for Robots in Human Environments," Industrial Robot, Vol. 34, No. 5, pp. 376-385, 2007.
3. Park, C. H. and Park, K. T., "Design and Control of Industrial Dual Arm Robot," Journal of Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No. 11, pp. 58-65, 2008.
4. Sciacivco, L. and Siciliano, B., "Modeling and Control of Robot Manipulators," Springer, pp. 21-77,

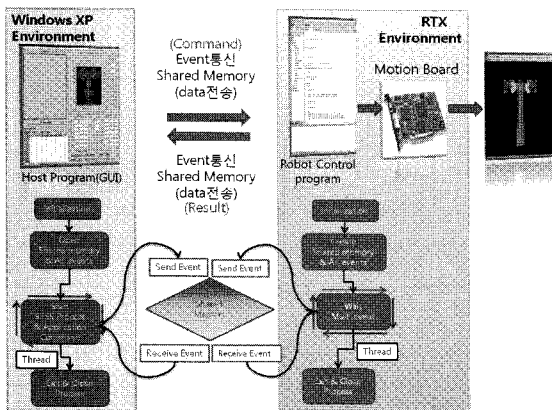


Fig. 17 Real-time control environment

1999.

5. RTX Datasheet, Ardence (www.ardence.com)