

인간의 신경학적 · 생태학적 모델에 기반한 로봇 팔 설계 기법

The Design of Robot Arm based on the Morphological · Neurological Model of Human

배영철, 최형윤*, 문용선*

Youngchul Bae, Hyeong-Yoon Choi, Yongseon Moon

전남대학교 공학대학 전기 · 전자통신 · 컴퓨터공학부

*순천대학교 공과대학 정보통신공학부

요 약

현재 휴머노이드 로봇기술은 로봇의 제작과 기술의 구현에만 초점이 맞추어져 있으며, 로봇 개발을 위한 분석, 설계, 구현, 통합 등의 개발 메커니즘들에 대한 개방화된 방법론은 개발되어 않았다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 현재까지 나타난 휴머노이드 로봇의 문제점을 극복하고, 미래형 로봇의 발전방향인 “개방화”, “네트워크화”, “모듈화” 개념을 만족하는 새로운 구조를 설계하기 위한 인간 팔의 형태학적 · 신경학적 모델을 제시하고 이를 기반으로 로봇의 각 관절 설계와 기구학적 모델에 의한 휴머노이드 로봇 팔의 설계 방법을 제시하였다.

Abstract

Current humanoid robot technology has a problem of lacking opened methodology about mechanisms of analysis, design, implementation, and integration for robot development but is focused only on manufacture robot and implementation of technology. In this paper, to overcome problems of humanoid robots that have been shown since and for construction of new structure which satisfy the concept of opening, networking, and modularization that is the development direction of future robot, we proposed morphological and neurological model of human arm and design method of humanoid robot arm based on the each joint design and kinematics model.

Key Words : Humanoid robot, Robot Arm, Morphological Analysis, Neurological Analysis

1. 서 론

1960년대에 산업용 로봇이 처음 출현했을 때 로봇은 단지 정해진 작업만을 반복하는 장치의 개념인 매니플레이터(manipulator)로서 사용이 되었다.

20년이 지난 1980년대 이후 마이크로프로세서의 등장과 함께 로봇에 대한 많은 연구들이 시작되면서 로봇은 단순 작업만을 반복하는 장치가 아닌 다양한 목적 및 용도를 가지고 있는 대상으로 인식되어 개발되기 시작했다.

로봇에 대한 기술 및 인식이 다양하게 변화하면서 인간은 점차 로봇과 인간을 연관시키기 시작하였으며, 이로부터 인간을 닮고 인간의 행위(behaviour)를 모방할 수 있는 로봇을 지칭하는 휴머노이드 로봇(humanoid robot)이 등장하게 되었다[1~3]. 현재 개발된 대표적인 휴머노이드형 로봇으로는 일본 혼다사(Honda)의 아시모(ASIMO)[4][5]와 한국과학기술원의 휴보(HUBO)[4][5]가

있다. 아시모는 현재까지 개발된 국내외 휴머노이드 로봇들 중 가장 우수한 것으로 알려져 있다.

현재 휴머노이드 로봇기술은 로봇의 제작과 기술의 구현

에만 초점이 맞추어져 있으며, 로봇 개발을 위한 분석, 설계, 구현, 통합 등의 개발 메커니즘들에 대한 개방화된 방법론은 개발되어 않았다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 현재까지 나타난 휴머노이드 로봇의 문제점을 극복하고, 미래형 로봇의 발전방향인 “개방화”, “네트워크화”, “모듈화” 개념을 만족하는 새로운 구조를 설계하기 위한 인간 팔의 형태학적 · 신경학적 모델을 제시하고 이를 기반으로 로봇의 각 관절 설계와 기구학적 모델에 의한 휴머노이드 로봇 팔의 설계 방법을 제시하였다.

2. 인간팔의 형태학적 · 신경학적 분석

2.1 형태학적 분석

본 논문에서는 휴머노이드 로봇 팔의 개발에 있어서, 인간 팔의 구조 및 동작과 유사한 로봇의 팔의 구현을 위하여 인간 팔의 형태학적 구조에 대한 로봇의 매핑 개념을 적용한다. 그림 1은 인간 팔의 형태학적 구조에 대한 인간 로봇 매핑 개념도이다[10-15].

접수일자 : 2007년 4월 1일

완료일자 : 2007년 7월 27일

감사의 글 : This research was supported by the "GRRC" project of Gyeonggi Provincial Government, Republic of Korea..

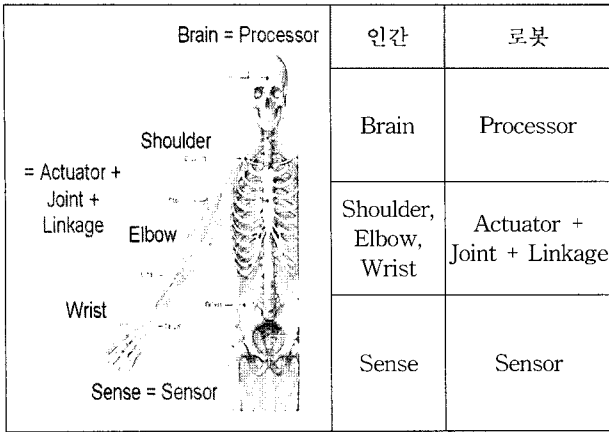


그림 1. 인간-로봇 형태학적 매핑 개념
Fig. 1. Human-robot morphological mapping

형태학적 관점에서의 인간의 팔은 크게 어깨관절, 팔꿈치 관절, 손목관절인 3개의 관절로서 정의된다. 어깨관절은 3가지 방향으로 움직이는 3자유도, 팔뚝을 포함한 팔꿈치관절은 2자유도, 손목관절은 2자유도로서 최종적인 인간의 팔은 7자유도로 구성되어 있다.

인간 팔의 관절들 중 가장 많은 움직임을 가지는 어깨관절은 Sterno-Clavicular (SC) 관절, Acromio-Clavicular(AC)관절, Scapulo-Thoracic(ST) 관절, Gleno-Humeral(GH) 관절로서 모두 4개의 어깨 관절들로 구성되어 있다. 어깨관절의 운동계 표현을 위한 자유도를 기술할 때는 Gleno-Humeral(GH) 관절만을 사용한다. Gleno-Humeral 관절은 Flexion/Extension 운동에 대한 1자유도, Adduction/Abduction 운동에 대한 1자유도, Internal Rotation/External Rotation 운동에 대한 1자유도로서 총 3자유도를 갖는다.

팔꿈치관절은 Extension/Flexion 운동을 실시하는 1자유도의 팔꿈치와, Pronation/Supination 운동인 1자유도의 팔뚝을 포함한 2자유도로 구성되어 있다. 물론 자유도 기술관점에 따라 팔뚝을 손목관절로 포함시켜서 팔꿈치 관절을 1자유도로 기술하기도 한다.

손목관절은 Flexion/Extension, Radial/Ulnar 정의되는 2자유도의 운동을 가지나 팔꿈치 관절처럼 팔뚝을 포함한 3자유로 사용하기도 한다.

인간 팔의 형태학적인 구조에 대한 분석 과정을 통하여 최종적으로 유도한 인간 팔의 자유도 및 운동 범위에 대한 분석 결과는 표 1과 같다.

2.2 신경학적 분석

인간 신경학적 구조에 대한 분석을 통해서 휴머노이드 로봇 팔의 구현을 위한 제어네트워크 및 프로세서의 구조 등을 정의한다. 인간은 로봇의 통신 네트워크에 비교되는 신경(Nerve)을 바탕으로 근육에 대한 움직임을 실시하고 각 기관을 통하여 내부 및 외부환경에 대한 정보를 받아드린다. 이러한 신경은 기능적인 면에서 로봇의 네트워크와 같은 관점으로 볼 수 있다. 또한 인간의 신경학적 분류에 따라 신경계는 뇌(Brain), 척수(Spinal cord), 감각 및 운동기(Sensoimotor)로 구분되는데 이것은 로봇의 제어를 담당하는 프로세서의 기능적인 모듈화와 매칭이 될 수 있다. 그림 2는 인간 신경계를 구조에 대한 로봇 매핑의 개념도이다.

표 1. 인간 팔에 대한 운동계 및 운동범위 최종 명세
Table 1. The final details for the motion system and the motion scope of human arms

	Joint name	Movement	Movable angle
Human Arm Internal rotation / External rotation Flexion / Extension Adduction / Abduction	Shoulder (3DOF)	Flexion/Extension	-180° / 50°
		Adduction/Abduction	-180° / 50°
		Internal/External rotation	-90° / 90°
	Elbow (2DOF)	Flexion/Extension	-145° / 0°
		Pronation/Supination	-70° / 85°
	Wrist (2DOF)	Flexion/Extension	-75° / 70°
	Radial/Ulnar	-20° / 35°	

2.2 신경학적 분석

인간 신경학적 구조에 대한 분석을 통해서 휴머노이드 로봇 팔의 구현을 위한 제어네트워크 및 프로세서의 구조 등을 정의한다. 인간은 로봇의 통신 네트워크에 비교되는 신경(Nerve)을 바탕으로 근육에 대한 움직임을 실시하고 각 기관을 통하여 내부 및 외부환경에 대한 정보를 받아드린다. 이러한 신경은 기능적인 면에서 로봇의 네트워크와 같은 관점으로 볼 수 있다. 또한 인간의 신경학적 분류에 따라 신경계는 뇌(Brain), 척수(Spinal cord), 감각 및 운동기(Sensoimotor)로 구분되는데 이것은 로봇의 제어를 담당하는 프로세서의 기능적인 모듈화와 매칭이 될 수 있다. 그림 2는 인간 신경계를 구조에 대한 로봇 매핑의 개념도이다.

인간의 뇌는 감각 신호인식, 운동명령, 기억저장, 사고과정에 대한 추론 등과 같은 인간의 모든 행동 및 행위에 대한 제어를 관장하는데 이러한 인간의 뇌 기능들은 로봇 프로세서의 구조 및 기능을 결정하는 기준으로서 사용된다.

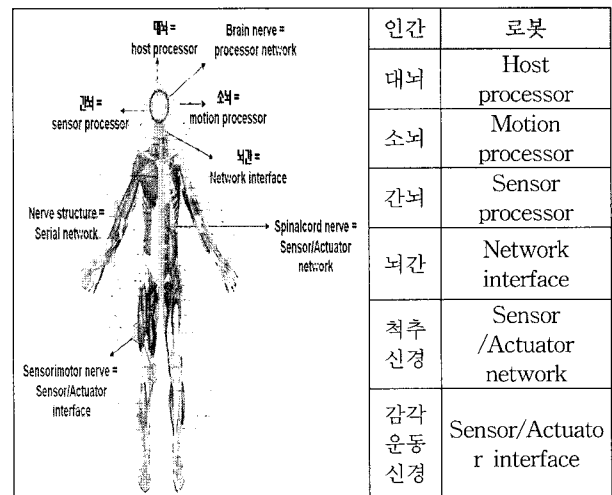


그림 2. 인간-로봇 신경학적 매핑
Fig. 2. Human-robot neurological mapping

인간의 뇌신경과 더불어 인체의 큰 신경의 한 영역을 구성하는 척추신경은 인간이 느끼고 행동하기 위하여 요구되는 신호를 가장 최상위 신경인 뇌로부터 정보를 입력받아 가장 하위신경으로 정보를 전달한다. 신경들 사이에 중계역할을

담당하는 인간의 척추신경계의 구조를 로봇의 통신 네트워크로서 정의한다. 운동 및 감각 기관을 담당하는 감각·운동신경은 뇌와 척추로 자극을 전달하거나 전달받으며, 이러한 구조는 로봇을 구성하는 센서 및 액추에이터의 구성 및 인터페이스로 정의한다.

3. 휴머노이드 로봇 팔 설계

3.1 각 관절 모듈 설계

각각의 관절들은 기구적인 모듈 형식으로 설계되며, 휴머노이드 로봇 팔 관절 설계를 위한 구성 컴포넌트로는 관절을 구동하는 AC 서보모터, 관절 토크 증가 및 속도 감속을 위한 유성치차 감속기, 관절 이동범위 제한을 위한 리미트용 포토 빔 센서, 인간 구조의 관절 위치고정을 위한 풀리 및 각종 베어링 등을 이용하여 설계를 하였다. 그림 3은 네트워크 기반 모듈 구조의 휴머노이드 로봇 팔의 각 관절 모듈별 설계 구조를 나타낸다.

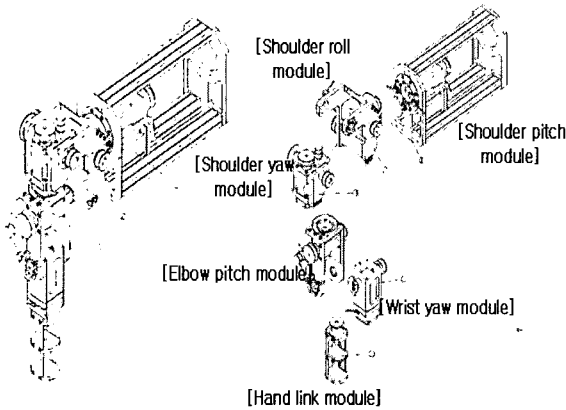


그림 3. 휴머노이드 로봇 팔의 조립(좌) 및 분해(우)
Fig. 3 The Composition(left) and decomposition(right) for Humanoid robot arm

그림 3과 같이 각각의 모듈별 조립이 최종적으로 완성된 휴머노이드 로봇 팔의 3D 렌더링 모델은 그림 4와 같다.

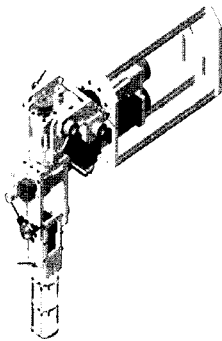


그림 4. 설계 완성된 모듈형 휴머노이드 로봇 팔 3D 렌더링 모델도
Fig. 4. The model drawing of the Module type Humanoid robot arms 3D rendering

표 2. 휴머노이드 로봇 팔의 설계 사양
Table 2 Design specification for Humanoid robot arm

구분	항목	사양	
Shoulder joint module	Pitch	Actuator	- Type : AC Servo motor - Rated speed : 8000 rpm - Rated power : 300 W - Rated torque : 0.48 Nm
		Sensor	- Type : photo beam - Resolution : 3mm
		Gear head	- Type : 유성치차 감속기 - Gear ratio : 100:1
	Yaw	Actuator	- Type : AC Servo motor - Rated speed : 8000 rpm - Rated power : 300 W - Rated torque : 0.48 Nm
		Sensor	- Type : photo beam - Resolution : 3mm
		Gear head	- Type : 유성치차 감속기 - Gear ratio : 100:1
	Roll	Actuator	- Type : AC Servo motor - Rated speed : 8000 rpm - Rated power : 140 W - Rated torque : 0.18 Nm
		Sensor	- Type : photo beam - Resolution : 3mm
		Gear head	- Type : 유성치차 감속기 - Gear ratio : 20:1
Elbow joint module	Pitch	Actuator	- Type : AC Servo motor - Rated speed : 8000 rpm - Rated power : 140 W - Rated torque : 0.18 Nm
		Sensor	- Type : photo beam - Resolution : 3mm
		Gear head	- Type : 유성치차 감속기 - Gear ratio : 10:1
Wrist joint module	Yaw	Actuator	- Type : AC Servo motor - Rated speed : 8000 rpm - Rated power : 140 W - Rated torque : 0.18 Nm
		Sensor	- Type : photo beam - Resolution : 3mm
		Gear head	- Type : 유성치차 감속기 - Gear ratio : 10:1

그림 4에서 설계된 휴머노이드 로봇 팔의 각 모듈들은 팔의 구동을 위한 AC 서보모터, 토크 증가 및 속도 감속을 위한 감속기, 운동에 대한 리미트 설정을 위한 포토 빔 센서, 힘의 방향 변환을 위한 풀리 등의 컴포넌트를 내장하는 형태로 설계되었으며 개별적으로는 탈 부착이 가능한 기구적인 모듈의 구조를 가지고 있다.

표 2은 본 논문에서 설계한 휴머노이드 로봇 팔의 각 관절

컴포넌트들에 대한 전체 설계 사양을 나타낸다.

3.2. 휴머노이드 로봇팔 기구학 분석[26]

로봇 팔에 대한 기구학 분석은 정기구학(Forward kinematics)과 역기구학(Invert kinematics)으로 구분된다. 정기구학은 로봇 팔의 각각의 조인트(joint)들에 대한 각도 및 변위 정보를 기반으로 로봇 팔의 최종 위치(End position)를 분석해내는 방법으로서 기구학 분석의 가장 기본이 되는 과정이다. 역기구학은 특정 위치 점을 추종하기 위한 로봇 팔 관절들의 각도 또는 위치 정보를 생성해내는 과정으로 정기구학에 비해 다소 복잡한 구조를 가지는 기구학 분석과정이다. 로봇의 기구학을 분석하기 위해서는 로봇의 링크를 구성하는 조인트들의 구동에 대한 기구학적인 해석이 필요하다. 일반적으로 분산된 링크를 연결하는 조인트를 기구학적관점에서 살펴보면 1차원적인 직선 운동을 실시하는 선형조인트(Prismatic joint), 2차원적인 회전 운동을 실시하는 회전조인트(Revolution joint), 3차원 회전 운동을 실시하는 구형조인트(Spherical joint)로 분류가 되는데 본 휴머노이드 로봇 팔에서는 가장 일반적으로 사용되는 회전조인트와 고정식 링크만을 사용하였다.

로봇의 기구학 분석은 해당 로봇 팔에 대한 기구학 모델에 대한 정의로부터 시작되며 이와 같은 기구학 모델은 로봇의 각 관절들에 대한 좌표시스템의 정의를 기반으로 하고 있다. 5자유도의 휴머노이드 로봇 팔의 경우 각각의 5관절에 대한 좌표 시스템이 적용되며, 추가적으로 전체 좌표의 기준이 되는 베이스 좌표계와 로봇 팔의 끝

위치 점에 대한 좌표계가 새롭게 정의된다. 본 논문을 통하여 설계된 휴머노이드 로봇 팔의 기본적인 기구학 모델은 그림 5와 같다[23~25].

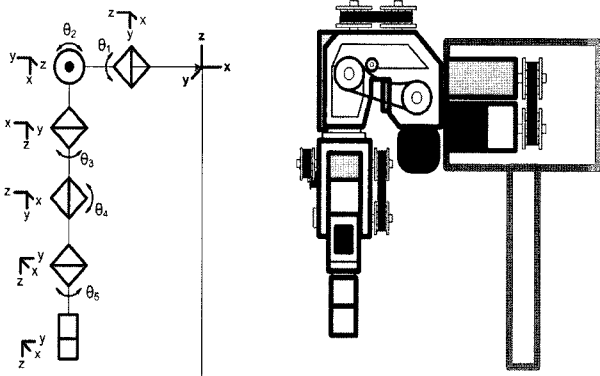


그림 5. 휴머노이드 로봇 팔에 대한 기구학 모델
Fig. 5 The Kinematics model for the humanoid robot arms

그림 5의 기구학 모델을 통하여 휴머노이드 로봇 팔의 최종 위치 및 조인트들의 위치 값 유도는 각각의 조인트별로 구성되는 해당 좌표계의 매핑을 통하여 이루어진다. 좌표계의 매핑은 기준이 되는 베이스 좌표계를 중심으로 시작되며, 베이스 좌표계와 연결된 좌표계 간의 회전 및 변위 행렬을 적용하여 원하는 지점을 좌표를 유도할 수 있다. 로봇 팔의 베이스 좌표계에서 로봇 팔 끝의 좌표계를 구하는 과정은 기구학 측면에서는 정기구학에 해당이 되며 연관된 변환은 식 (1)과 같다[26].

$$V^{x_0y_0z_0} = T \begin{pmatrix} V^{x_i} \\ V^{y_i} \\ V^{z_i} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

T는 로봇 팔 베이스 좌표계와 최종위치 점의 좌표계 사이의 좌표 변환 행렬로서 5자유도를 가지는 휴머노이드 로봇 팔의 경우의 식 (2)와 같이 각각의 팔 조인트 좌표 변환 행렬들의 곱으로서 기술된다[26].

$$T = ({}_0T)({}_1T)({}_2T)({}_3T)({}_4T)({}_5T) \quad (2)$$

각각의 팔 조인트 좌표 변환행렬(${}_0T, {}_1T, {}_2T, {}_3T, {}_4T, {}_5T$)들은 세부적인 변환 행렬들의 곱으로서 다시 표현되는데, 본 연구에서는 기본적으로 로봇 팔의 기구학 해석을 위한 조인트 좌표 변환 방법으로서 회전 및 변위행렬을 이용한 좌표 매핑 기법인 오일러 변환 법을 사용하였다. 변환방식에 대한 일반화된 표현은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$${}^nT_{n+1} = Rot(z, \theta_{n+1}) \times Trans(0, 0, d_{n+1}) \times Rot(x, \alpha_{n+1}) \times Trans(a_{n+1}, 0, 0) \times Rot(y, \beta_{n+1}) \times Trans(0, b_{n+1}, 0) \quad (3)$$

식(3)의 변환 법을 사용하여 각각의 조인트들에 대한 변환 행렬을 구한 후 유도된 행렬들의 곱의 조합을 이용하여 휴머노이드 로봇 팔의 베이스 좌표계로부터 원하는 조인트 좌표계에 대한 최종 변환행렬을 구할 수 있다. 실제 변환을 사용하기 위해서는 기본적인 링크 파라미터인 비틀림(Twist), 오프셋(Offset), 길이(Length), 회전(Rotation) 등에 대한 상수화된 값을 유도하는 것이 가장 중요하다[26]. 그림 5의 기구학 모델을 이용하여 휴머노이드 로봇 팔의 각각의 링크에 대한 파라미터를 유도하면 표 3과 같다.

본 논문에서는 실제 회전축이 되는 z의 경우에 회전(Rotation)과 길이(Length) 파라미터를 사용하였으며 나머지 좌변 변환만을 위한 x, y축의 경우 비틀림(Twist)과 오프셋(Offset) 파라미터를 적용하였다. 휴머노이드 로봇 팔의 기구학 파라미터인 표 3의 좌표 변환을 위한 회전행렬 및 변위행렬인 식 (3)에 관절 순으로 적용하면 원하는 관절에 대한 좌표 변환행렬이 유도된다[26]. 표 4는 유도된 휴머노이드 로봇 팔의 좌표 변환행렬이다.

표 3. 휴머노이드 로봇 팔의 기구학 파라미터 테이블
Table 3. The parameter table of the theory of the mechanism for the Humanoid robot arms

Joint No	Twist (α_{n-1}) or (β_{n-1})	Offset (a_{i-1}), (b_{i-1})	Length (d_i)	Rotation (Θ_i)
0	-90	0	0	90
1	90	0	L1	Θ_1+90
2	90	L2	0	Θ_2+90
3	90	0	L3	Θ_3+90
4	-90	0	L4	Θ_4
5	0	0	L5	Θ_5

표 4. 휴머노이드 5축 로봇 팔의 조인트 좌표 변환 행렬
Table 4. Joint coordinate translation matrix for Humanoid five axis robot arm

0T_1 변환 행렬	1T_2 변환 행렬
${}^0T_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	${}^1T_2 = \begin{pmatrix} -S\theta_1 & 0 & C\theta_1 & 0 \\ C\theta_1 & 0 & S\theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
2T_3 변환 행렬	3T_4 변환 행렬
${}^2T_3 = \begin{pmatrix} -S\theta_2 & 0 & C\theta_2 & L_2 C\theta_2 \\ C\theta_2 & 0 & S\theta_2 & L_2 S\theta_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	${}^3T_4 = \begin{pmatrix} -S\theta_3 & 0 & C\theta_3 & 0 \\ C\theta_3 & 0 & S\theta_3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
4T_5 변환 행렬	5T_6 변환 행렬
${}^4T_5 = \begin{pmatrix} C\theta_4 & 0 & -S\theta_4 - L_4 S\theta_4 \\ S\theta_4 & 0 & C\theta_4 + L_4 C\theta_4 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	${}^5T_6 = \begin{pmatrix} C\theta_5 - S\theta_5 & 0 & 0 \\ S\theta_5 & C\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

표 4의 조인트 변환 행렬을 이용하여 로봇 팔의 각 관절들의 좌표를 로봇 베이스 좌표계로부터 원하는 관절들에 대한 변환 행렬들의 곱을 통하여 표현할 수 있다. 최종적으로 나타낼 휴머노이드 로봇 팔의 끝점에 대한 좌표 행렬은 베이스 좌표변환 행렬, 0~5번 조인트 좌표 변환 행렬과 끝점의 좌표계의 곱을 통하여 식 (4)와 같이 유도된다.

$$V^{x,y,z} = {}^0T_1 \times {}^1T_2 \times {}^2T_3 \times {}^3T_4 \times {}^4T_5 \times {}^5T_6 \times V^{x_6, y_6, z_6}$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} -S\theta_1 & 0 & C\theta_1 & 0 \\ C\theta_1 & 0 & S\theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} -S\theta_2 & 0 & C\theta_2 & L_2 C\theta_2 \\ C\theta_2 & 0 & S\theta_2 & L_2 S\theta_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\times \begin{pmatrix} -S\theta_3 & 0 & C\theta_3 & 0 \\ C\theta_3 & 0 & S\theta_3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} C\theta_4 & 0 & -S\theta_4 - L_4 S\theta_4 \\ S\theta_4 & 0 & C\theta_4 + L_4 C\theta_4 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\times \begin{pmatrix} C\theta_5 - S\theta_5 & 0 & 0 \\ S\theta_5 & C\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} V^{x_6} \\ V^{y_6} \\ V^{z_6} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

기구학적으로 유도된 식 (4)의 휴머노이드 로봇 팔의 최종 위치점(End position)의 변환 좌표행렬은 추후의 휴머노이드 로봇 팔의 운동제어시 휴머노이드 로봇 팔의 실제 위치점 계산을 통한 궤적 형성을 위한 수식으로서 적용된다. 또한 원하는 위치 점에 대한 휴머노이드 로봇 팔의 입력 각도의 산출을 위한 수식으로도 사용된다.

4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 사람의 움직임과 유사하게 동작하도록 하기 위한 인간 팔의 형태학적·신경학적 분석 기법을 기반으로 한 휴머노이드 로봇 팔의 설계 기법을 각 관절 모듈 설계와 기구학 설계를 통하여 제시하고 그 타당성을 검증하였으며 구현된 로봇 팔이 형태학적·신경학적으로 인간 팔과 유

사하게 동작할 가능성을 열어 놓았다.

참 고 문 헌

- [1] Karl Williams, "Build Your Own Humanoid Robots", *Tab Books*, 2004.
- [2] 인간지능생활지능로봇기술개발사업단, "차세대지능로봇핵심기술" 진한엠앤비, 2006.
- [3] 유범재, 오상록, "네트워크 기반 휴머노이드", *주간 기술동향*, 통권 1158 호, pp. 11-22, 2004.
- [4] 오준호, "휴머노이드 로봇의 현황과 발전 방향", *대한기계학회 기계저널*, 제 44권 4호
- [5] 오정연, "u-Korea Case Service", 한국정보사회진흥원, 2005.
- [6] Frank H. Netter MD, "Atlas of Human Anatomy, Professional edition", W.B Saunders, 2006.
- [7] 정진웅, "기본 인체해부학", 탐구당, 2002.
- [8] Van De Graaff 저, 김연섭외 8 역, "Human Anatomy" 6판, 청문각, 2004.
- [9] David G. Amaral, "Anatomical organization of the central nervous system," in *Principles of Neural Science*, 4th ed., E.R. Kandel, J.H. Schwartz, and T.M. Jessell (eds.), NY: McGraw-Hill, 2000, pp. 317-336.
- [10] James P. Kelly, "The neural basis of perception and movement," in *Principles of Neural Science*, 3rd ed., E.R. Kandel, J.H. Schwartz, and T.M. Jessell (eds.), Norwalk, CN: Appleton & Lange, 1991, pp. 283-295. See especially pp. 292-293.
- [11] H.R. Wilson, "Simplified dynamics of human and mammalian neocortical neurons," *J. Theor. Biol.* 200, 375-388 1999.
- [12] ISO TC 184/SC 5, "ISO 156745 - Industrial automation system and integration Part1, 1999.
- [13] Ronald Larsen, Managing Director, "Introduction to the SERCOS interface, Instrumentation and Control System", USA, 1999.
- [14] Softsercans manual, "SoftSERCANS SERCOS interface Master Connection for PC Based Control Systems", www.SERCOSinterface.org, 2005.
- [15] Peter Lutz, "SERCOS Interface-Hard Real Time in Third Generation", *Interests Group SERCOS interface*, 2002.
- [16] "SERCOS Specification", www.SERCOSinterface.org, 2005.
- [17] Riichiro Tadakuma, Kiyohiro Sogen, Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami, and Susumu Tachi, "Development of Multi-D.O.F. Master-Slave Arm with Bilateral Impedance Control for Telexistence", ISMC, Tokyo, Japan, 2004.
- [18] G, Sen Gupta, S.C. Mukhopadhyay, C.H. Messom and S. Demidenko, "Master-Slave Control of a Teleoperated Anthropomorphic Robotic Arm with Gripping Force Sensing", *Extended paper for I&M Transactions*, 2005.
- [19] Snag Geon Park, "Fieldbus in IEC61158

Standard", *Proceedings on the 15th CISL Winter Workshop*, Kushu, Japan, February, 2002.

[20] Jeal-Pierre Thomesse, "Fieldbus Technology in Industrial Automation", *ETFA*, France, 2005.

[21] 권옥현, 김형석, 김동성 저, "산업용 필드버스 통신망", 성안당, 2004.

[22] 최형윤, "SERCOS 네트워크 기반 휴머노이드 모듈 로봇 팔 설계" 순천대학교대학원 박사학위 논문, 2006.

[23] D. Bechler, M. Schlosser and K.Kroschel, "Acoustic 3D Speaker Tracking for Humanoid Robots with a Microphone Array", *Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2003)*, Karlsruhe, Germany. 2003.

[24] S. Schulz and G. Bretthauer. "A Fluidic Humanoid Robot Hand. *Proceedings of the second IEEE International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2001)*", Tokyo, Japan, 2001.

[25] David and H. Alla. "Petri Nets for Modeling of Dynamic Systems", *Automatica*, vol. 30, pp. 175-202, 1994.

[26] John J. Craig, "Introduction to Robotics - Mechanics and Control 3rd Edition", Pearson Prentics hall.

[27] Howie Choset. Kevin M. Lynch. Seth Hutchinson, "Principles of Robot Motion", Masschusetts Institute of Technology, 2002.

[28] T. Yoshikawa, "Manipulability of robotic mechanisms", *International Journal of Robotics Research*, 1985.

저 자 소 개



배영철

1984년 : 광운대 전기공학과 졸업.
 1986년 : 동 대학원 석사
 1997년 : 동 대학원 박사
 1986년~1991년 : 한국전력공사
 1991년~1997년 : 한국과학기술정보연구원
 1997년~2006년 : 여수대학교 교수
 2001년~2002년 : Brigham Young

University 방문교수

2006년~현재 : 전남대학교 공학대학 전기·전자통신·컴퓨터 공학부 교수

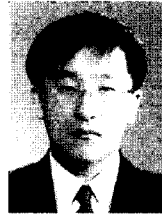
관심분야 : 로봇 제어, 카오스 제어 및 동기화, 비선형 제어



최형윤

1986년 : 조선대 전자공학과 졸업
 1990년 : 동 대학원 석사
 2007년 : 순천대학교 박사
 1986년~현재 : 순천 금당고등학교 교사

관심분야 : 산업통신망 및 로봇



문용선

1983년 : 조선대학교 전자공학과 졸업.
 1989년 : 동 대학원 석·박사.
 1992년~현재 : 순천대학교 정보통신공학 부교수

관심분야 : 산업통신망 및 로봇