

## 고중량 이송 가능한 초경량 로봇 팔의 설계

최형식† · 조종래\* · 임근화\*\* · 이종훈\*\*\* · 김영환\*\*\*\*

(원고접수일 : 2007년 11월 27일, 심사완료일 : 2008년 1월 30일)

### Design of Ultra-light Robot-arm Capable of Carrying Heavy Weight

Hyeung-Sik Choi†, Jong-Rae Cho\*, Kun-Wha Leem\*\*, Jong-Hoon Lee\*\*\*, Young-Hwan Kim\*\*\*\*

**Abstract :** In this paper, a six degree-of-freedom robot arm which is very light but capable of delivering heavy loads was studied. The proposed robot arm has much higher load capacity than conventional robot arms actuated by motors with speed reducers such as the harmonic drive since a new type of robot actuator based on a closed chain mechanism driven by the ball screw was adopted. Analysis on the design scheme and on the mechanism of the joint actuator of the robot arm were made. Since the robot arm was designed very light, it has deflection in the links. To analyze this, a finite element analysis on the structure of the designed robot links was made using ANSYS software. Verifying experiments on the performance of high load capacity of the robot arm was performed by loading heavy weights on the robot arm. Through experiments, the correctness of the numerical analysis was also verified.

**Key words :** Ultra-light Robot-arm(초경량 로봇 팔), Closed chain mechanism(폐쇄인 구조), Microprocessor (마이크로프로세서), Finite element analysis(유한요소해석)

### 1. 서 론

현재 가장 발전된 휴머노이드 로봇은 인간의 동작에 유사하게 걷거나 심지어 뛰는 동작이 가능하며 이들은 바퀴로 이동하는 모바일 로봇들과 더불어 인간환경 및 생산환경에 사용되기 시작하고 있다. 이러한 휴머노이드 로봇과 모바일 로봇들은 일정 위치에 고정되어 사용되고 있는 기존의 산업용

로봇 팔과 달리 이동 동작을 하므로 부피와 중량에 있어서 중소형이며 작업에 소형 경량의 로봇 팔을 부착하고 있다<sup>(1)-(3)</sup>. 이들 중에서 휴머노이드 로봇들은 50[kg] 내외의 경량으로 개발되었다. 특히, ASIMO<sup>(1)</sup>와 HUBO<sup>(2)</sup>의 로봇 팔은 작업물체 이송능력이 거의 없다. 그러나 모바일 로봇은 단순 작업에 필요한 로봇 팔을 달고 있으며 HRPII 로봇<sup>(3)</sup>은 8[Kg]의 작업물체를 양팔로 잡고 일어설 수 있

† 교신저자 (한국해양대학교 기계정보 공학부), E-mail : hchoi@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4969

\* 한국해양대학교 기계정보 공학부

\*\* 한국해양대학교 대학원 기계공학과

\*\*\* 한국해양대학교 대학원 기계공학과

\*\*\*\* 한국해양대학교 대학원 기계공학과

는 성능만 보유하고 있는 것이 현실이다. 이는 기존의 휴머노이드 로봇 및 모바일 로봇이 고가이고 기능은 매우 제한되는 것이 실용성을 제한하는 주된 요인이 된다.

따라서 향후 인간환경이나 생산환경에서 필수적으로 자리매김할 휴머노이드 로봇과 모바일 로봇들은 고중량물 이송과 같은 실용적인 작업을 할 수 있는 기능을 구비하는 것이 매우 중요하다.

경량이나 토크 성능을 높인 로봇 팔에서 기존의 구동 모터와 하모닉드라이버 감속기의 체결을 이용한 관절 구동방식은 한계성이 있어서 연구결과가 많지 않다. 기존의 구동 모터 및 하모닉드라이버 감속기 구조를 탈피하여 고성능을 추구한 구동기 연구로는 공압식 러버 액츄에이터를 로봇의 관절구동기에 적용한 공압식 로봇 팔에 대한 연구<sup>[4]</sup>, 휴머노이드 로봇이나 모바일 로봇에 부착하여 섬세한 작업을 가능하게 하는 경량 로봇 팔의 구조설계에 대한 연구<sup>[5]</sup>, 휴머노이드 로봇의 구동기를 적용한 5 자유도 로봇 팔에 대한 연구<sup>[6]</sup> 등이 있었다.

본 연구는 휴머노이드 로봇이나 모바일 로봇에 적용하기 적합한 새로운 구조의 초경량 6 자유도 로봇 팔의 개발에 대한 것이다. 또한, 초경량이면서도 큰 하중을 이송할 수 있도록 관절 구동시스템을 설계하고 이의 메커니즘을 해석하였다. 하지만, 로봇의 경량화를 위하여 경량의 로봇링크를 설계하였으나 이로 인한 링크의 변형이 발생하여 이에 대한 해석을 하였다. 링크의 변형을 해석하기 위하여 CATIA 프로그램을 사용하여 로봇 팔을 모델링 하였고, ANSYS를 이용하여 FEM 구조해석을 하였다. FEM 구조해석의 정확성을 검증하기 위하여 로봇의 제어시스템을 제작하여 로봇 팔의 제어 시험 및 처짐 시험을 하였다. 제어 및 링크의 변형 시험과 FEM 해석의 결과를 비교하여 FEM 해석의 정확성을 검증하였다.

## 2. 초경량 양팔로봇의 기구부 설계

### 2.1 로봇 팔의 구성

개발한 로봇 팔은 전체적으로 Fig. 1 과 같이 6 개의 관절로 구성되어있고 그림과 같이 물체를 집을

수 있는 그리퍼 외에 2 자유도의 손목 관절, 1 자유도의 팔꿈치 관절, 그리고 2 자유도의 어깨 관절의 총 6 자유도로 구성되어 있다. 이 로봇 팔의 전체 길이는 75[Cm] 이고 이중에서 손목과 팔목간의 링크 길이는 24[Cm], 팔목과 어깨 관절간의 링크 길이는 46[Cm] 이며 그리퍼의 길이는 5[Cm] 로 설계 제작되었다.

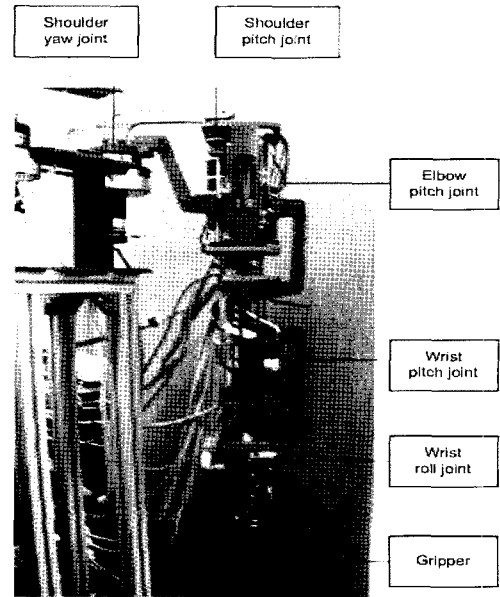


Fig. 1 Appearance of the developed robot arm

Fig. 1의 로봇 팔 구조를 이해하기 쉽도록 CATIA 프로그램을 이용하여 Fig. 2와 같이 3D 모델로 표현하였다. 개발한 로봇 팔의 구조에서 특기할 만한 것은 관절구동기이다. 2개의 어깨관절 중에서 yaw 동작을 하는 어깨관절과 roll 동작을 하는 손목관절을 제외한 3개의 pitch 관절과 그리퍼는 큰 토크 출력을 생성할 수 있도록 폐쇄인 구조의 4절 링크구조를 이용하였다. 이는 종래의 로봇 관절이 구동모터에 감속기를 직결한 종래의 방법과 달리 모터의 회전을 불나사의 직선운동으로 변환시키고 이를 회전관절을 중심으로 모멘트를 발생시키는 새로운 관절구동 구조이다. 이는 로봇 관절이 구동 방법에 비해서 구동 속도가 늦을 수 있으나 모멘트 구동 방식으로 큰 토크를 생성할 수 있는 것과 불나사의 구조적인 단순 교체로 관절 회전 속도를

개선할 수 있는 장점들이 있다. 구체적인 예로 폐쇄인 구조를 적용한 관절 중의 하나인 로봇 팔의 그리퍼 관절에 18(W)의 소형 DC 모터를 사용함에도 불구하고 최대 10(kg)의 중량을 지지하는 성능을 본 연구에서 시험을 통하여 입증하였다.

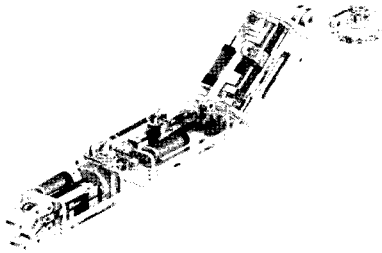


Fig. 2 Modeling of robot arm using CATIA

본 연구에서는 이러한 폐쇄인 구조를 6개의 관절 중에서 중력의 영향을 받아 상대적으로 큰 토크가 걸리는 4개의 관절에 적용하였고 중력이 작용하지 않는 어깨 yaw 및 손목 roll 관절에는 종래의 로봇 관절과 같은 모터와 하모닉드라이버를 직결한 관절 구동 방법을 사용하였다.

2.2 로봇 팔의 기구학적 해석

개발한 로봇 팔의 위치 제어를 위해서 로봇 팔의 기구부 해석을 행하였다. D-H 좌표 설정방법을 활용하여 Fig. 3 와 같이 로봇의 모든 관절에 좌표계를 설정하였다<sup>[7]</sup>. Table 1 은 D-H 좌표 설정방법에 따라 정의한 로봇 팔의 파라미터 이고 아래의 파라미터 값들은 제작한 로봇 팔의 실제 치수들이다.

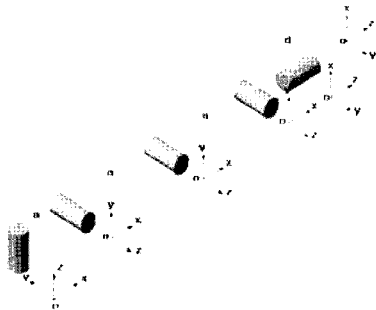


Fig. 3 The structure of robot arm and 6 joint

Table 1 The parameters of robot arm

Link	$a_i$ (mm)	$\alpha_i$	$d_i$ (mm)	$\theta_i$
1	141	90	0	$\theta_1$
2	240.35	0	0	$\theta_2$
3	231	0	0	$\theta_3$
4	0	90	0	$\theta_4$
5	0	0	235.06	$\theta_5$

Cartesian 좌표계에서의 로봇 팔의 원점에 대한 그리퍼의 상대적 위치는 Table 1의 파라미터들을 식 (1)에 대입해서 구해낼 수 있다.  $i$  번째 관절과 링크의 동차변환행렬  $A_i$  는 다음과 같이 표현된다.

$$A_i = R_{z,\theta} \cdot T_{z,d} \cdot T_{x,\alpha} \cdot R_{x,\alpha} \tag{1}$$

$$= \begin{bmatrix} c_i & 0 & -s_i & 0 \\ s_i & 0 & c_i & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

로봇 팔의 기저에 대한 말단효과장치의 상대 각과 위치를 나타내는 변환행렬에  $i=1 \sim 5$  에 대해 Table 1의 수치를 대입하면 그리퍼와 로봇의 기저부와의 관계식을 구할 수 있다.

2.3 로봇관절의 기구부

6 개의 로봇 관절 중에서 어깨 yaw 관절과 손목 roll 관절을 제외한 4 개의 관절은 폐쇄인 구동 방식을 채택하였다. 로봇의 사절링크 구조는 볼 나사의 직선운동에 따라 로봇 관절이 회전하는 형태로 하모닉 드라이버와 같은 감속기를 적용하는 것보다 상대적으로 가벼우나 높은 토크를 발생하는 장점이 있다. 로봇의 관절운동과 볼나사 구동기의 직선운동 간의 관계는 다음과 같이 표현된다. 그리퍼를 제외한 세 관절의 구조가 유사하므로 본 논문에서는 팔목관절의 경우만 해석하였다.

팔꿈치관절의 관절각과 볼나사의 직선운동 거리와의 기하학적 관계는 Fig. 4 과 같이 표현될 수 있으며, 관절각  $q = 180^\circ - (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$  로 나타낼 수 있다. 볼나사 구동의 직선운동 변위는  $d$  이고 팔

꿈치관절의 각을 결정하는  $q$  와  $d$  는 다음과 같이 구할 수 있다. 우선 Fig. 4 에서  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, P_2, d_2, b_2, b_1$  는 모두 알고 있는 값이다.

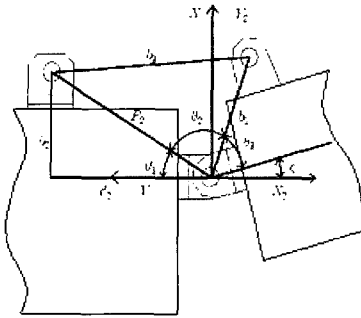


Fig. 4 Four-bar-link structure for elbow joint

$$P_2 = \sqrt{b_2^2 + d_2^2} \quad (2)$$

이고  $\theta_1$  은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{b_2}{d_2} \quad (3)$$

코사인 법칙을 이용하면 다음의 관계식을 구할 수 있다.

$$P_2^2 + b_1^2 - 2b_1 P_2 \cos \theta_2 = b_2^2 \quad (4)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \frac{b_1^2 - (P_2^2 + b_2^2)}{2b_1 P_2} \quad (5)$$

$\theta_3$  는 로봇 팔의 설계에서 결정된다.

본 연구에서 제안한 관절구동기는 폐체인 구조로 불나사에 엔코더가 직결된 모터가 부착된 구조이다. 관절구동 시스템은 관절의 고속 회전보다는 소형경량이나 고토크 성능을 갖도록 설계하였다. 폐체인 구조의 고토크 성능을 바탕으로 로봇 팔의 경량화를 위하여 용량이 작은 모터들을 사용하여 관절구동기를 설계하였다. 로봇 몸체에 지지되는 어깨의 yaw 관절은 종래의 로봇 관절 구동방법과 같아서 150[W] 모터를 적용하였고, 폐체인 구동 방식의 팔목 및 손목 관절에는 모두 60[W] 및 18[W] 의 DC 모터들을 사용하였다. 로봇 팔 구동기의 구체적인 제원은 Table 2 에 구체적으로 나타

내었다.

Table 2 Properties of joint actuator of robot arm

axis	joint shape	motion	motor power (W)	pully ratio	reducer ration	lead of ball screw (mm)
0	directly connected	yaw	60	-	1:160	-
1	4bar link	pitch	150	1:1	1:4.3	2
2	4bar link	pitch	60	1:2	-	1
3	4bar link	pitch	60	1:2	-	1
4	directly connected	yaw	60	-	1:100	-
5	4bar link	roll	18	1:2	-	1

### 3. 로봇 팔의 제어 시스템

#### 3.1 제어 시스템의 구성

연구에서는 로봇 관절 구동기의 제어를 위한 모터드라이버, 모터의 위치 및 속도 제어시스템을 개발하였다. Fig. 5 는 로봇 팔의 구동을 위해 직접 제작한 모션 제어시스템의 구성이며 Fig. 6 는 전체 제어흐름도이다. Fig. 6 의 전체 제어시스템을 구체적으로 살펴보면, 로봇 팔의 주제어기는 Table 3 의 제원을 갖는 ARM 마이크로프로세서를 사용하여 각 로봇 관절을 제어하는 축 제어기들을 제어하며 로봇 팔의 경로 계획에 따른 명령을 내린다. 축 제어기는 각 로봇 관절을 제어하는 DSP 프로세서의 일종인 TMS320LF2407 마이크로프로세서를 이용하여 구성하였고<sup>(7)</sup> 구동기의 구체적인 제원은 Table 3 에 나타내었다.

Table 3 Specification of microprocessors

	TMS320LF2407	ARM chip
Bit	16bit	32bit
speed	40MHz	400MHz
I/O	40channel	120channel
Memory	32K Word*16Bits Flash. 2.5K Word*16Bits RAM	64M SDRAM 32M Flash

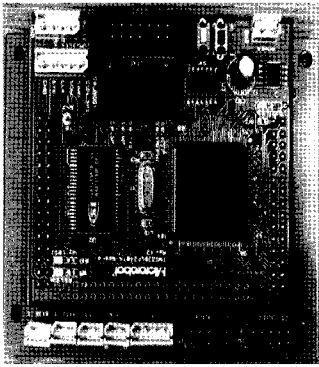


Fig. 5 Composition of motion controller and Outlook of motion controller

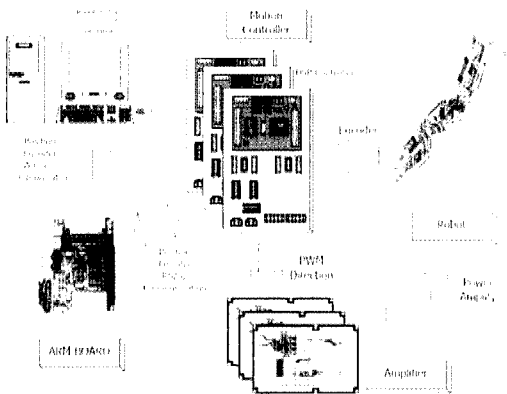


Fig. 6 Composition of motion controller

3.2 로봇 팔의 성능시험

구성한 제어 시스템에 PID 제어 알고리즘을 적용하여 부하를 지지하는 성능 시험을 수행하였다. 시험 방법은 로봇 팔을 수평으로 펴서 그 끝단의 그리퍼에 1[kg]씩 부하를 증가하여 10[kg]까지 지지하는 성능 시험을 수행하였다. PID 제어 알고리즘을 적용한 위치제어를 하였고 그 결과를 Table 4 에 나타내었다.

성능 시험 결과에 의하면 10[kg]의 자체하중을 갖는 로봇 팔이 최대 10[kg]의 부하를 지지하는 가만하중의 성능을 보여주었다. 로봇의 성능을 나타내는 핵심적인 방법의 하나로 로봇의 중량 대비 가만하중을 나타내는 방법이 있다. 일반적으로 산업체에서 사용하는 우수한 성능의 산업용 로봇 팔은 0.05 이다<sup>(9)</sup>. 따라서 개발한 로봇 팔은 1.0 정

도로 산업용 로봇 팔에 비하여 20 배의 우수한 성능을 지님을 알 수 있다. 반면, 일반 위치 오차가 0.1[mm] 임에 비해 위치오차가 많은 것을 알 수 있다. 이는 로봇 팔을 경량으로 제작하여 로봇 링크의 변형과 작은 용량의 모터를 적용한 서보 오차에 기인한다. 본 로봇의 개발은 휴머노이드나 모바일 로봇에 적용하기 위한 것으로 정밀도보다는 경량이며 고가반하중을 갖는 것을 목표로 하고 있다. 하지만, 로봇의 변형인원을 분석하기 위하여 ANSYS 를 이용한 유한요소 해석을 수행하였다.

Table 4 Position control error of servo motor

Load(kg)	deformation of end point(mm)
1	1.53
6	6.84
10	11.00

4. 로봇 팔 변형의 유한요소 해석 및 실험

4.1 유한요소 해석을 위한 모델링

본 연구에서는 ANSYS 를 사용하여 로봇 팔의 유한요소 모델을 구하였다. ANSYS를 이용한 유한요소 모델에서 로봇의 기구부는 SOLID 요소를 사용하였으며 각 관절을 연결하는 링크와 그리퍼는 BEAM 요소를 사용하였다.

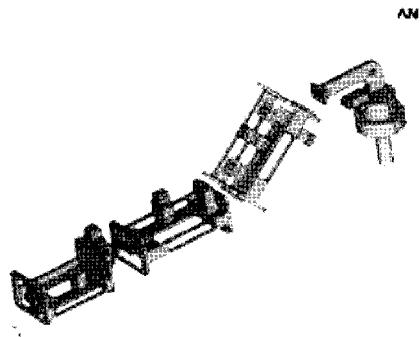


Fig. 7 Modeling of robot arm using ANSYS

로봇 팔의 관절 구동부가 폐쇄인 구조로 유한요소 모델을 세우기가 매우 복잡하여 링크의 지지 영향이 상대적으로 적은 볼스크류와 모터는 모델링에서 생략하였고 이에 따라 구성한 ANSYS 모델은 Fig. 7과 같다.

로봇팔의 기구부 및 구성부품의 재질은 알루미늄(AL6061)을 사용하여 해석을 수행하였다. 재료에 적용한 물성치는 Table 5와 같으며, 요소의 개수 및 절점수는 Table 6과 같다.

Table 5 Property of aluminum

	modulus of elasticity [GPa]	tensile strength [MPa]	density [kg/m <sup>3</sup> ]
AL6061	68.9	225	2710

Table 6 Elements and nodes of model

	Element Type	No. of elements	No. of nodes
structure	SOLID	104642	283229
Link	BEAM	360	691

그리퍼의 중앙 부분에 1, 6 및 10[kg]의 부하 하중을 가하고 이에 대한 수치해석 알고리즘을 사용하여 로봇 팔의 그리퍼 중간 위치의 변형에 대하여 해석하였다. Fig. 8은 유한요소 해석을 위한 모델이다.

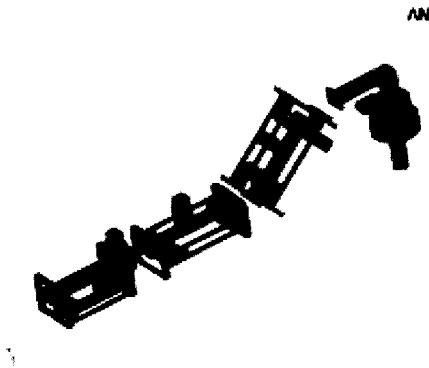


Fig. 8 FEM model for robot arm

4.2 유한요소 해석 결과

로봇 팔의 변형에 대한 유한요소 해석의 결과는 Table 7과 Fig. 9와 같다.

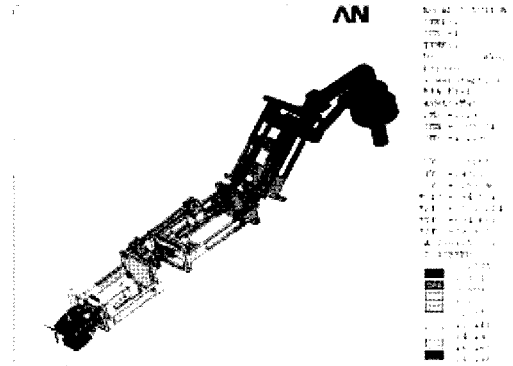


Fig. 9 Result of ANSYS analysis with respect to 10Kg load

Table 7 Displacements of arm with loads

Load [kg]	Displacement [mm]
1	1.47
6	8.92
10	14.90

4.3 로봇 팔의 변형 시험

FEM 해석의 검증을 위해서 로봇 팔의 그리퍼 중간 부분에 1, 6 및 10[kg]의 하중을 증가하여 각 하중에 대한 변형량을 실험적으로 확인하였다.



Fig. 10 Load test of robot arm

Fig. 10은 수평으로 제어되는 로봇 팔에 부하를 그리퍼의 중간 부분에 가하여 변형량의 계측실험을 수행하는 모습이다.

4.4 실험결과 및 고찰

그리퍼에 가한 1, 6 및 10[kg]의 각 부하에 대한 그리퍼의 중간 부분의 처짐을 계측한 결과는 Table 8 과 같다.

Table 8 Load test result of robot arm

Load [kg]	Displacement[mm]
1	3.1
6	16.5
10	26.8

해석결과와 실험결과를 비교하면 10[kg]의 부하 시에 Table 8의 부하 시험에서 Table 4의 서보오차 11(mm)를 뺀 실제의 측정에 의한 처짐 오차는 15.8[mm] 이고 이를 Table 5의 FEM 해석에 의한 처짐오차 인 14.9[mm]와 비교하면 약 6% 오차가 발생하는 것을 알 수 있다. 실험 및 해석 결과를 비교해보면 대체로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에 적용한 로봇 팔의 모델링과 해석방법은 신뢰성이 있음을 알 수 있다. 이러한 처짐을 줄이기 위해서는 서보모터의 용량이 보다 큰 것을 사용하거나 볼나사의 리드가 더 적은 것을 사용하면 서보오차를 줄이게 되어 궁극적으로 처짐오차를 줄일 수 있을 것이다. 또한, 링크의 처짐은 구조적 보강을 통하여 보완할 수 있을 것이며 이를 위해 개발한 시뮬레이션 방법을 이용하여 원하는 처짐에 대해 보강의 정도를 예측할 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 휴머노이드 로봇이나 모바일 로봇에 적용할 수 있는 폐쇄인 관절 구동방식을 채택하여 초경량이면서도 큰 하중을 이송할 수 있는 로봇 팔을 설계 제작하였다. 시험을 통하여 자체 중량에

비하여 큰 하중을 이송할 수 있음을 확인할 수 있었다. 반면, 로봇 팔이 경량화로 무거운 물체를 들었을 때, 처짐이 많이 발생하여 위치오차를 야기하는 문제가 발생하였다. 이러한 문제를 설계 단계에서 해결하기 위해 로봇 팔의 모델을 구하고 ANSYS를 이용하여 링크의 변형을 FEM 해석하였다. 해석을 검증하기 위하여 제작한 로봇 팔의 1, 6 및 10[kg]의 부하 시험을 하여 결과를 비교하였다. 해석과 서보오차를 포함하는 실험 결과가 거의 일치됨으로써 해석의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 향후 이를 이용한 로봇 팔의 설계로 원하는 오차범위 내의 로봇 팔을 제작할 수 있을 것이며, 설계에 따라 실제 로봇 팔을 제작하여 성능을 검증할 계획이다.

후 기

이 논문 또는 저서는 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2005-D00065)

참고문헌

[1] <http://asimo.honda.com/>  
 [2] J. H Kim, S. W Park, I. W Park, and J. H. Oh, "Development of a Humanoid Biped Walking Robot Platform KHR-1 - Initial Design and Its Performance Evaluation", in Proc. of 3rd IARP Int. Workshop on Humanoid and Human Friendly Robotics, pp. 14-21, Japan, 2003.  
 [3] K. Harada, et al, "A Humanoid Robot Carrying a Heavy Object", Proc. IEEE International Conf. on Robotics and Automation, pp. 1724-1729, 2005.  
 [4] 김연호, 정명진, "공압식 러버 액츄에이터를 사용한 경량 로봇 팔의 제작에 관한 연구", 대한기계학회 논문집 제15권 제2호, pp. 523-536, 1991.

- [5] G. Hirzinger, J. Batterfag, M. Fischer, M. Grebenstein, M. Hahnle, H. Liu, I. Schaefer, and N. Sporer, "A Mechatronics Approach to the Design of Light Weight Arms and Multi-Fingered Hands", ICRA, pp. 46-54, 2000.
- [6] H. S. Choi and J. Oh, A New Revolute Robot manipulator Adapting the Closed-chain Mecahnism, Jan. of Robotic Systems, Vol. 22, No. 2, pp. 99-109, Jan. 2005.
- [7] M.W.Spong, M. Vidyasagar, John Wiley & Sons, "Robot Dynamics and Control," 1989.
- [8] H. S. Choi, C. M. Lee and H. Chun, Develop of a New 5 DOF Mobile Robot Arm and its Motion Control System, Journal of Mechanical and Technology, Vol. 20, No. 8, pp.1159~1168, 2006.
- [9] J. P. Merlet, "Parallel Robots," Kluwer Academic Publishers, 2000.



**임근화**

1981년생, 2005 한국해양대학교 기계시스템공학과 졸업(학사), 동대학원 기계공학과졸업(석사), 2007. 3~현재 (주)빅솔론 근무



**이종훈**

1982년생, 2006 한국해양대학교 기계시스템공학과 졸업(학사), 2008.2 동대학원 기계공학과졸업(석사), 2008. 3~현재 (주)TSPS 메카트로닉스 사업부 근무



**김영환(金映煥)**

1982년생, 2006 한국해양대학교 기계시스템공학과 졸업(학사), 현재 동대학원 기계공학과졸업(석사), 2008. 3~현재 (주)두산중공업 주단BG

**저 자 소 개**



**최형식(崔炯植)**

1986년 미국 University of South Carolina 기계공학과에서 석사, North Carolina State University 기계 및 항공공학과 박사로 협조로봇의 제어, 보행 로봇 개발, 수중 운동체 시스템 연구 및 공장자동화에 대한 연구를 수행



**조종래(趙琮來)**

1959년 3월생, 1982년 부산대학교 기계공학 졸업(학사), 1984년 한국과학기술원 대학원 기계공학과 졸업(석사), 1993년 한국과학기술원 대학원 정밀공학과 졸업(박사), 1984년 1995년 한국중공업 기술연구소, 1999년 Post-Doc. (영국-Birmingham Univ.), 1995년 ~ 현재 한국해양대학교 기계정보공학부