

## 경량화를 위한 수직다관절로봇 매니플레이터의 해석

최원흥\*, 김태기\*, 이의훈\*, 최만수\*

### Analysis of Articulated Robot Manipulator to Reduce Body's Weight

W.H. Choi\*, T.K. Kim\*, E.H. Lee\*, M.S. Choi\*

#### ABSTRACT

This paper deals with analysis of articulated robot manipulator used for Arc welding and Material handling. Compared with present robot of which weight holding capacity is 6kg, this robot shows wider and symmetric working range for it's serial type mechanism. The link length is determined to have widest working range by using optimal simulation. To reduce body's weight, small AC servo motor is adopted and driving peak torque exerted at each joint is reduced by using dynamic analysis. Several examples of robot arm is introduced to reduce arm's weight with preserving stiffness of manipulator. So it is possible to reduce body's weight by 40% compared with the same class's robot and get wider working range. And by adopting modular design concept, each axis is designed to be changed easily for user's special need and repair.

**Key Words :** Articulated Robot(수직다관절로봇), Serial Type(시리얼타입), Symmetric Working Range(양면 대칭작업영역), Modular Design(모듈화설계)

#### 1. 서 론

로봇은 공장자동화에 있어서 생산성향상 및 생산기술혁신을 위한 중요한 역할을 하고 있다. 향후 지속적으로 전개될 무인공장을 위해서는 최신 메카트로닉스 기기의 하드웨어 및 소프트웨어로부터 얻어진 기술을 집약하여 생산공정의 시스템화와 무인화의 선행이 필수적이다.

인간다운 생활에의 욕구증대, 위험작업의 기피, 고난이도 작업의 한계 및 생산성혁신의 필요성은 자동화에 의한 생산성향상을 넘어서 소수 선진기술국에 의해 극한용 및 지능화의 첨단로봇개발 경쟁을 더욱 가속시키고 있는 실정이다. 특히 로봇제조 선진국에서는 자동차산업에 이용되고 있는 아크 및 스폿용접용은 그 생산공정의 안정과 적용범위의 확대를 많은 주변

기기와 연계하여 이미 정착단계라 볼 수 있으며, 이제는 자동화된 제조설비의 가격을 낮추므로써 시장경쟁력을 한층 높이고 있다. 그러나 국내실정은 아직 자동화시스템의 기술력이 뒤질 뿐만 아니라 로봇 본체에 대한 기술력도 매우 취약한 편이다.<sup>[1][2]</sup>

따라서 아크 및 스폿용접용에 주로 사용되어지는 6축 수직다관절로봇을 대상으로 연구개발을 시작하게 되었으며 기존의 로봇과 차동화된 로봇의 개발의 필요성이 대두되던 바 경량화와 모듈화에 중점을 두게 되었다. 또한 작업영역에서도 가능한 넓게하며, 또한 기존의 작업영역과는 다른 양면대칭영역이 되는 구조로 몸체 구조를 고안하여 용접작업 및 자재취급시의 사이클시간을 최소화하며 작업공간의 효율적인 이용으로 생산성의 향상을 극대화하고자 하였다.

본 고에서는 주 작업대상이 아크용접과 자재취급에 적용되는 6축 수직다관절로봇에 관하여 작업영역에 따른 구조결정 및 동적해석에 의하여 최소 용량의 구동원을 선정함으로써 로봇매니플레이터의 중량을 줄이며, 모듈화한 기술을 제시하고자 한다.

\* 삼성중공업(주) 중앙연구소 CAE팀

## 2. 로봇구조결정

### 2.1 로봇의 구조

로봇 구조를 결정하는데 있어서, 특히 수직다관절의 경우에는 일반적으로 주 3관절과 손목 3관절로 나눌 수 있으며 먼저 주 3관절은 로봇의 작업점의 위치를 결정짓는 중요한 관절이며 그 대표적인 2가지의 경우는 4절평행 링크기구를 이용한 것과 외팔보 형태의 기구로 나눌 수 있는데, 이는 기본적으로 선회부(제 1축)와 제 1요동부(제 2축)는 동일하나 제 2요동부(제 3축)의 동력전달구조 및 방식의 차이이다.

4절 평행링크구조의 특징은 제 2축 링크와 제 3축 링크와의 간섭에 의해 제 3축의 회전각은 작아지나 강성을 높일 수 있으며, 제 3축의 구동원이 하부에 위치하게 되어 안정적이나 전달기구의 복잡성을 가질 수 있다.<sup>[3][4][5][6]</sup>

외팔보형태는 구동원 및 핵심부품등을 소형, 경량화하여 구동원을 제 3축 링크상부에 장착시킴으로써 동력전달 구조의 간단성을 확보하여 최근 많은 로봇에 적용되고 있는 추세이다. 그 특징은 제 3축의 회전각도를 크게 할 수 있으므로 작업영역의 확장이 가능하고, 제 1, 2축 부하의 무게중심이 다소 상부쪽으로 치우치게 되나 간단한 구조를 이룰 수 있다. 따라서 외팔보형태의 주 3관절 구조는 로봇몸체의 경량화 및 작업영역의 확장과 대칭구조가 가능하게 된다.

또한 손목 3관절은 핸드의 자세제어가 용이하고 작동이 원활하도록 해야하므로 다음의 사항을 고려하여 설계한다. 즉 백래시, 관성, 컴팩트화, 작업영역, 카운터밸런싱효과, 강성등이며 그 구조분류는 전동구조방식에 따른 구조로 치차전동식, 중공축방식, 벨트방식, 혼합식(직결식+벨트식)등으로 나눌 수 있다.

각 방식의 특징은 전동기구의 특성에 따른 것이며 무엇보다도 컴팩트화 된 구조에 주안점을 두어 혼합식을 결정하게 되었는데 이는 소형, 경량화 및 모듈화를 도모할 수 있으며, 아크용접 및 자재취급시 협소한 작업공간에서도 원활한 작업을 수행할 수 있기 때문이다. 또한 손목 3관절의 경량화는 연쇄적으로 주 3관절의 각축 구동원의 부하를 낮출 수 있으므로 소용량의 구동원을 선정하며 로봇몸체 전체의 중량을 줄일 수 있다.

Fig. 1은 외팔보 형태의 로봇 외형도와 작업영역을 나타낸 그림으로 전체의 형상을 단순화하여 협소공간의 작업을 용이하게 하며 전체 중량을 줄여 축별 모듈화가 가능하게 된다. Fig. 1에서 나타난 작업영역은

제 1축의 회전축을 중심으로 양면 대칭의 구조를 보이고 있다. 양면대칭의 작업영역은 제 1축의 선회없이 로봇 작업을 전후 동등하게 하게 할 수 있으며, 이는 제 1축의 선회시 제 2, 3축의 암이 펼쳐있을 때 주변 시설물등에 간섭을 배제할 수 있어 효율적인 작업공간의 확보에 유리하다.

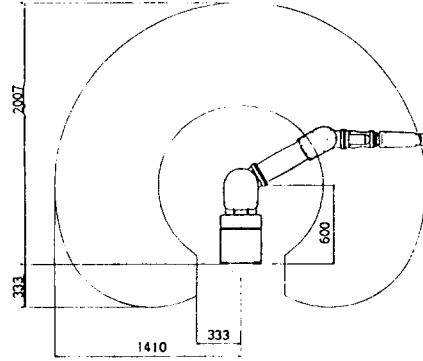


Fig.1 외팔보 형태의 로봇 외형도 및 작업영역

### 2.2 경량화 구조 및 사양

로봇몸체의 경량화의 시작은 손목 3관절로서 구동원의 선정과 동력전달방식에 의해 경량화가 이루어져 주 3관절의, 특히 제 2축의 부하를 최대한 줄이는 데 유의해야 한다.

치차전동방식은 치차의 자중에 의해 무게를 줄이는데는 효과적이지 못하므로 손목 3관절의 경우 표준감속기를 사용하여 손목부(제 5, 6축)의 중량을 줄이며 구동원인 AC Servo 모터의 용량을 최소화하기 위해 모터와 감속기 및 부하사이에는 거의 직결이거나 타이밍벨트 및 풀리에 의해 동력을 감속, 전달하는 구조로 수차레에 걸친 설계작업을 반복하여 소형의 구조를 결정하게 되었으며, 동일부품의 사용 및 사용 부품수를 억제하여 제 4축의 구동부하를 줄이게 되었다.

이에 따른 제 2, 3축의 구동부하 또한 연쇄효과로 줄어들게 됨으로 실제 사용되는 모터의 용량을 최초 선정된 용량의 거의 절반까지 줄이며 모터중량 및 기구 구조의 중량이 줄어들게 됨으로써 전체중량의 절감을 가능하게 하였다. 마찬가지로 주 3관절의 전동구조를 직결방식으로 하여서 감속기와 부하사이의 부품수를 줄였다.<sup>[7][8][9]</sup>

작업영역의 길이는 제 2, 3축의 암 길이에 의해 결정되는데, 모터부하를 최소화하며 최대한 그 영역을

넓힐 수 있는 길이로서 로봇구조를 수차례 반복해서 설계하여 제 2축과 제 3축의 링크길이를 결정하였으며, 제 2축과 제 3축 암의 길이비는 약 1:1로서 전후, 상하모든 방향의 영역을 최대한 활용할 수 있도록 하였다. 또한 로봇동작에 대한 시뮬레이션을 통하여 각 축의 링크길이나 회전각도를 변경하여 로봇의 작업영역을 전후, 상하 모두 최대값을 가질 수 있도록 하였다. Fig. 2에서 자유도의 조인트 기구에서 제 2, 3축 암 길이의 회전각에 따른  $x, y$  각 변위는 식(2.1)로 나타낼 수 있다.<sup>[10]</sup>

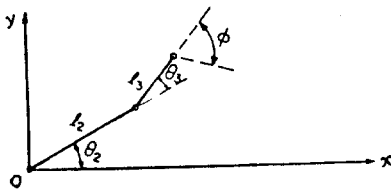


Fig. 2 2자유도의 조인트 기구

$$\begin{aligned} x &= l_2 \cdot \cos\theta_2 + l_3 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) \\ y &= l_2 \cdot \sin\theta_2 + l_3 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3) \\ \phi &= \theta_2 + \theta_3 \end{aligned} \quad (2.1)$$

여기서  $l_2, l_3$  는 제 2, 3축의 암길이이고  $\theta_2, \theta_3$ 은 제 2, 3축의 회전각도를 나타낸다. 식 (2.1)의  $x, y$  각 변위에 대한 최대값과 최소값은 식(2.2)와 식(2.3)에 의해 되며,  $x$  변위인 전후영역과  $y$  변위인 상하영역으로 구분하여 각 축의 회전범위의 영향은  $x$  변위의 경우 제 2축의 회전각인  $\theta_2$ 가  $0^\circ$ 인 경우에는 영향이 없고, 제 3축의 회전각인  $\theta_3$ 에 영향으로  $x_{\min}$ 이 결정되므로 구동축 부위의 구조적인 간섭과 제 2, 3축의 암 운동시 로봇 자신의 몸체에 간섭이 없는 범위의 회전각을 정할 수 있으며,  $y$  변위의 경우에는  $\theta_2$ 가  $-90^\circ \sim 90^\circ$  범위에서  $\theta_3$ 이  $0^\circ$ 가 되면 제 2, 3축의 암길이인  $l_2$ 와  $l_3$ 를 합한 길이가 된다. 제 3축과 마찬가지로 구조적인 간섭을 없애는 범위에서  $\theta_2$ 의 회전각을 제한한다.

$$\begin{aligned} x_{\max} &= l_2 + l_3 & (\theta_2 = 0, \theta_3 = 0 \text{ 일때}) \\ x_{\min} &= l_2 + (-l_3) & (\theta_2 = 0, \theta_3 = -180 \text{ 일때}) \\ & & \text{단 } l_2 > l_3 \text{의 경우} \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} y_{\max} &= l_2 + l_3 & (\theta_2 = 90, \theta_3 = 0 \text{ 일때}) \\ y_{\min} &= l_2 + l_3 & (\theta_2 = -90, \theta_3 = 0 \text{ 일때}) \end{aligned} \quad (2.3)$$

각 축의 암길이 및 회전범위로 결정되는 작업길이 등의 로봇 제 사양은 반복정밀도와 경량화를 목적으로 한다. 이에 따른 주요사양을 Table 1.에 나타냈으며 로봇 몸체에 대한 경량화 방법 및 모듈화 설계에 대하여 동적해석에 의한 구동원의 선정에 주안점을 두어 살펴 보고자 한다.<sup>[11]</sup>

주요 사양	
자유도 및 형상	6축 수직다관절
가 반 중 량	6 kg
반 복 정 도	$\pm 0.1$ mm
작 업 반 경	1410 mm
몸 체 중 량	110 kg내외

Table 1. 경량화된 로봇의 주요사양

### 2.3 모듈화 설계

구조결정시 축별 모듈 개념을 도입하여 사용자의 특별사양 요구에 신속히 대응할 수 있도록 하였으며, 유지보수를 용이하게 하였다. 각축의 기계구조는 완전히 서로 독립되도록 하고 연결부의 크기만을 일치하도록 설계함으로써 사용자의 요구에 따라 임의의 축을 변경할 수 있으며, 고장발생시 고장난 축부분을 즉시 교체하여 고장보수시간을 줄일 수 있는 장점을 가지도록 하였다. 이는 사용자의 손실을 최소화하여 높은 생산성을 유지할 수 있도록 한다.

로봇 몸체를 5개 부분으로 나누어 모듈화하였으며 로봇구조에 따라 주 3관절과 손목 3관절을 분리하고, 주 3관절은 손목 3관절보다는 중량물이므로 각축을 각각 분리되도록 고안하였고 손목 3관절은 각 축의 동작 특성상 제4축과 제 5, 6의 2개 부분으로 분리하였다.

이에 따라 표준사양인 가반중량 6kg를 경우에 따라 한축을 변경하여 작업영역을 늘리면서 다양한 가반중으로 변경할 수 있으며, 또한 고장난 축을 아주 짧은 시간에 교체할 수 있도록 각축의 연결을 기계적인 분리와 전기적인 분리가 용이하게 구조를 단순화하였다. Fig 2는 제 4축의 교환 예를 보인 것이다.

이와같은 축 모듈별 변경이 가능하게 함으로써 여러경우의 용도에 적용이 가능하고 보수시간을 줄임으로써 생산성 향상에 기여할 수 있다.

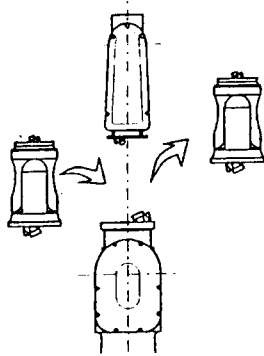


Fig.2 고장축에 대한 교체 작업

### 3. 동적해석과 구동원

#### 3.1 구동원의 선정

경량화를 위한 최선의 방법은 구동원의 부하를 줄이며 구동원의 용량을 낮춤으로써 연쇄적인 효과에 의하여 로봇 몸체중량을 줄일 수 있으므로, 구동원을 선정하는데 있어 기구적인 구조고안과 더불어 반복되는 계산으로 구동원의 최소용량을 결정하여야 한다.

그러나 수계산에 의한 모터용량계산은 6축이 동시에 구동될 시의 토크 및 힘의 계산은 상당히 어려운 작업이 된다. 따라서 해석 S/W를 이용하여 로봇의 여러 동작을 사전에 실시함으로써 로봇 각축에 걸리는 최대토크를 미리 예측하여 적절한 용량의 구동원을 선정할 수 있다. 구동원의 선정은,

- 단계 1 : 전동구조를 고안하고 가부품을 설계
- 단계 2 : 각 축의 부하를 계산하여 모터를 가선평, S/W를 이용한 동적해석을 실시
- 단계 3 : 가선평 모터에 의한 제 토크를 산정하여 모터용량을 계산한 후, 동적해석의 결과와 비교 (특히 동시동작시의 최대토크)
- 단계 4 : 모터선정 결정요인을 비교하여 부적합시에는 단계 2 에서 반복하고, 적합한 경우 모터용량 및 모델을 결정
- 단계 5 : 선정된 모터에 의해 기계구조를 확정하여 상세부품을 설계하는 과정을 가진다.

최종구조에서 다시 부하를 계산하여 최대토크를 점검함으로써 모터 용량을 최적화할 수 있다.

모터의 선정에 있어서의 결정요인은 정격토크, 최대토크, 실효토크이며, 최고회전수와 모터허용부하Inertia를 계산된 부하의 조건과 비교하여 결정해야 한다.<sup>[12]</sup>

$$T_{RATED} = T_l = \frac{M \cdot K \cdot g}{R \cdot \eta} \quad (3.1)$$

$$T_{PEAK} = T_p = J \cdot \alpha + T_l = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot (J_m + J_l)}{60 \cdot t_a} + T_l \quad (3.2)$$

여기서  $J$  는 부하 및 모터Inertia,  $\alpha$ 는 가속도를 나타내며,  $N$ 은 모터의 회전수,  $J_m$  과  $J_l$  은 각각 모터와 부하의 Inertia를 나타낸다.  $t_a$ ,  $t_c$ ,  $t_d$ ,  $t_r$ 은 부하 속도선도에서 각각 가속시간, 등속시간, 감속시간 및 전체 운전시간을 나타내고 있다.

$$T_s = J \cdot \alpha - T_l = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot (J_m + J_l)}{60 \cdot t_a} - T_l \quad (3.3a)$$

(중력에 영향을 받지 않는 경우)

$$T_s = -(T_p) \quad (3.3b)$$

(중력의 영향을 받는 경우)

$$T_{RMS} = \sqrt{\frac{T_p^2 \cdot t_a + T_l^2 \cdot t_c + T_s^2 \cdot t_d}{t_r}} \quad (3.4a)$$

(중력의 영향을 받지 않는 경우)

$$T_{RMS} = \sqrt{\frac{T_p^2 \cdot t_a + (T_l \frac{2}{\pi})^2 t_c + T_s^2 \cdot t_d}{t_r}} \quad (3.4b)$$

(중력의 영향을 받는 경우)

식(3.1), (3.2), (3.3), (3.4)등은 부하의 제토크를 계산하는 식으로서 토크의 단위는  $N \cdot m$ 이며 질량  $M$ 과 각축 부하의 무게중심  $K$ 를 사용감속기의 감속비  $R$ 과 기계효율  $\eta$ 로 나누어 식(3.1)과 같이 정격토크를 계산하고 식(3.2)와 식(3.3)의 기동 및 감속시의 최대토크를 계산하는 것으로 이에 따른 실효토크가 중력의 영향에 따라 적용되는 식에 차이를 둘 수 있다. 이는 이미 알려진 1 자유도 조인트 기구 모델에 의해 알 수 있다. 대표적인 식은 식(3.5) 및 식(3.6) 나타난다.<sup>[13][14]</sup>

$$L = KE - PE = \frac{1}{2} [I\dot{\phi}^2 + mr^2\dot{\phi}^2] + mgr\sin\phi \quad (3.5)$$

$$T = mgr\cos\phi + mr^2\ddot{\phi} + I\ddot{\phi} \quad (3.6)$$

여기서,  $I$ 는 관성모멘트,  $m$ 는 질량,  $g$ 는 중력,  $r$ 는 질량중심거리,  $\phi$ 는 각도를 의미한다.

식(3.5)에 표현되는 운동에너지  $KE$ 와 위치에너지  $PE$ 를 라그랑지(L)운동방정식으로 유도하면 식(3.6)과 같이 토크  $T$ 를 구할 수 있는데 위치에너지항의  $\cosine$ 함수는 회전각에 따라 토크가 변화하게 된다.<sup>[15]</sup>

축별 구동시의 토크는 1 자유도기구의 상태이므로 식(3.6)과 같이 라그랑지운동방정식을 이용하여 운동

방정식이 유도되고 수작업 및 간단한 전산 프로그램으로도 계산이 가능하나 여섯축 동시동작인 경우에는 운동방정식도 복잡해지며 계산량이 방대해지므로 컴퓨터의 사용이 불가피하게 된다. 단일동작 해석시  $0^\circ \sim 180^\circ$  까지를 1사이클로 했는데 이는 위의 운동방정식에 *Cosine*함수가 포함되어 있으므로  $0^\circ$  에서 기동시 최대토크가 발생하기 때문이다. 식(3.4a)와 식(3.4b)의 차이는 이로 인한 것이다.<sup>[16][17]</sup>

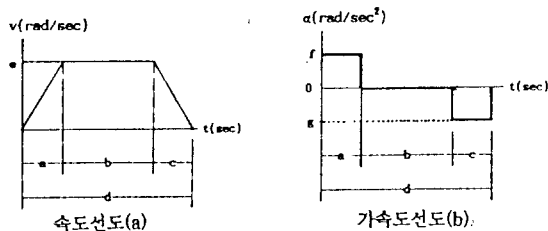
따라서 최적용량의 모터를 선정하기 위하여 수계산 및 C언어를 이용한 단축 계산 프로그램등을 이용한 계산을 병행하였고 아울러 6축 동시에 구동될 때의 각 축의 토크변화를 보기 위하여 *Mechanica Applied Motion*이라는 해석S/W를 사용하여 각 축별 단일동작과 6축 전축에 대한 동시동작시의 상태에 대해 동적 해석을 수행하였다.<sup>[18]</sup>

### 3.2 동적해석

Fig. 3에 제 1축과 제 2축의 토크선도를 보였는데 제 2축의 경우 등속구간에서 가속도가 0(Zero)이므로 식(3.6)에 의한 것처럼 *Cosine Curve*가 형성됨을 알 수 있다. 제 1축은 중력의 영향을 받지 않으므로 등속구간에서는 0의 값이 나오게 된다.

동시동작시의 초기자세는 각 축별로 최대의 토크가 걸리도록 여러번의 자세를 취한 후 최대값이 나오는 자세를 채택하였다.

Fig.4는 해석시 사용한 속도선도 및 가속도선도를 보였으며 가속시간 및 감속시간은 동일한 시간으로 0.3초로 하였다. 이는 수차례의 해석을 통해 식(3.2) 및 식(3.4)의 최대토크 및 실효토크가 최소일 때의 적절한 가속시간으로 결정한 것이다.



Axis	Time (sec)				Vel. (rad/s)			Acceleration (rad/s <sup>2</sup> )		
	a(ta)	b(tc)	c(td)	d(tr)	e	f	g			
1	0.3	1.63	0.3	2.23	1.63	5.42	-5.42			
2	0.3	1.22	0.3	1.82	2.07	6.90	-6.90			
3	0.3	0.90	0.3	1.50	2.62	8.73	-8.73			
4	0.3	0.71	0.3	1.31	3.11	10.37	-10.37			
5	0.3	0.70	0.3	1.30	3.14	10.47	-10.47			
6	0.3	0.20	0.3	0.80	6.28	20.93	-20.93			

Fig.4 부하 속도선도(a) 및 가속도선도(b)

Fig.5은 동시동작시에 제 2축의 시간에 따른 토크값과 실효토크(RMS:Root Mean Square)값을 나타내는데, 가속시간이 짧을수록 최대토크는 증가하게 되어 사용될 모터의 용량도 크게되므로 제토크를 감안하여 적정가속도를 유지해야 한다. 이는 로봇의 운전조건인 최대이동속도 및 속도패턴에 따라 다르게 되며 안정적인 로봇의 운전을 위한 기본요소이기도 하다.

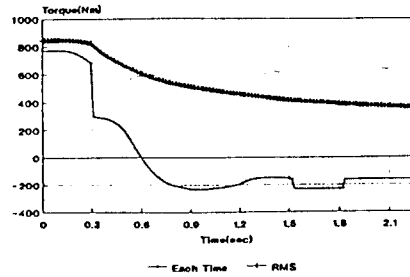


Fig.5 동시동작시 제 2축 토크선도 및 RMS

동적해석시 최대토크는 각 축별동작(Single Motion)시와 동시동작(Simultaneous Motion)시에 발생하는 경우가 모두 존재하였다. 제 3축의 경우 동시동작시의 최대토크는 축별동작시 값의 150% 정도로 높은 값을 보임으로써 축별 단축동작시에는 예측할 수 없는 동시동작시의 최대토크를 확인할 필요가 있으며, Fig.6과 같이 제 1축, 제 4축의 경우를 제외하고다른 축은 동시동작시에 최대토크가 발생되고 있다.

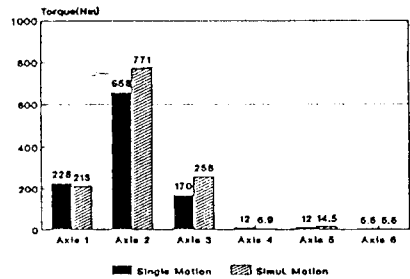


Fig. 6 축별과 동시동작 해석시의 최대토크비교

실제 Fig.6의 최대토크를 근거로 하여 시작품을 제작한 후 각 축에 걸리는 최대토크를 측정하고 결과와 해석시의 값을 비교한 것을 Fig.7에 나타내었다. 토크의 측정<sup>[19]</sup>은 모터의 전압을 측정하는 방법으로 입력축의 토크값이 측정되므로 출력축에 작용하는 토크를 구하기 위해서는 감속기의 효율을 감안하여야 한다.

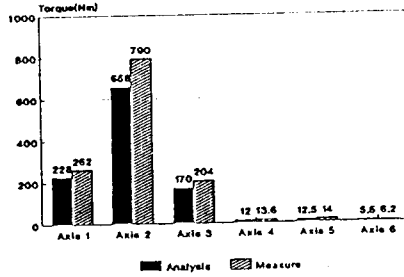


Fig.7 해석값과 및 측정값의 최대토크비교

### 3.3 구동원의 선정

이와 같은 해석시의 최대토크를 수계산과 비교하여 최종 선정된 각축의 모터용량은 Table 2에 나타내었다. 선정된 모터는 소형모터이며 소용량이기 때문에 모터 6개의 중량이 14kg이며 이는 로봇 전체 중량의 약 12%를 차지하게 된다.

항목 및 단위		적용축					
		1축	2축	3축	4축	5축	6축
정격용량	W	800	800	400	100	50	50
모터중량	kg	4.3	4.3	2.2	0.8	0.7	0.7

Table 2. 경량화를 위한 모터의 용량

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 경량화와 모듈화

구동원의 선정과 각 축의 기본구조를 결정하여 로봇 몸체에 대한 경량화의 결과를 타 로봇과 비교하여 보면 Table 3과 같으며, 모듈화에 대한 몸체조립, 운반, 보수, 작업영역등의 사양변경들은 로봇 몸체의 중량이 줄어들었기 때문에 더욱 유리하게 된다.

Table 3에서 나타난 바와 같이 본 연구결과의 로봇은 가반중량당 몸체중량비(Weight / Payload) 뿐만 아니라, 작업길이당 몸체중량비(Weight / Reach)에서도 월등한 경량화가 이루어졌고, 구조형태가 유사한 C社에 비해 작업길이 길면서도 경량화로 설계 되었다.

이와같은 경량화의 장점은 모듈화에 의해 분리이동이 용이하고, 천정부착 및 측면부착에서도 유리하며, 전체중량의 감소로 로봇제조원가의 절감이 가능하게 되어 생산공정에서의 제조원가 절감으로 생산 제품의 경쟁력을 높일 수 있다.

항목	단위	당사	A사	B사	C사
가 반 중 량	kg	6	5	6	6
W/P	kg/kg	18.3	43	30	23.3
몸 체 중 량	kg	110	215	180	140
리 치 (Offset)	mm	1410 (0)	1445 (150)	1332 (200)	1350 (100)
W/R	kg/mm	78	166	159	112

Table 3 타 로봇과의 사양비교

Table 3에서 비교한 경량화의 의미는 등급모델로 동일한 적용인 용접용과 수직다관절 형태인 로봇의 경우로 작업길이(Reach)가 1400mm전후이며, 가반하중(Payload)이 5~6kg의 경우에 몸체중량을 최소화한 것이다. 이는 향후 로봇 몸체를 한사람이 쉽게 운반할 수 있는 경량화된 로봇개발이 가능한 것을 보여주는 것이다.

### 4.2 동적해석 결과의 분석

실제 시작품을 제작하여 최대 및 정격토크를 측정 한 결과는 해석시의 토크보다 대체로 높게 나왔는데, 이는 해석시 고려하지 않은 마찰토크등의 기타 여러 요인이 작용한 것이며, Fig.8는 해석과 측정시의 정격 토크를 비교한 것으로 그 측정값은 해석값의 113%~120%로 나타났는데 여기서 모터사양에 의한 모터 Cogging토크 5%를 감안하면 8%~15%까지는 각종 마찰에 의한 토크로 작용하였음을 알 수 있다.

마찰토크는 베어링의 예압, 케이블요동, 기계 조립시 발생한 조립오차에 의한 토크등이 있으며, 이러한 예측이 어려운 토크로 인해 구동원의 선정시 최대토크의 정확한 계산이 불가능하지만 동적해석을 통한 동시동작시의 최대토크의 판별은 매우 중요한 과정이라 할 수 있다. 각 축별동작시와 동시동작시의 최대토크 중에서 값이 큰 토크를 각 축의 최대토크로 정하고 측정된 토크와 비교한 것을 Fig.9에 나타내었다.

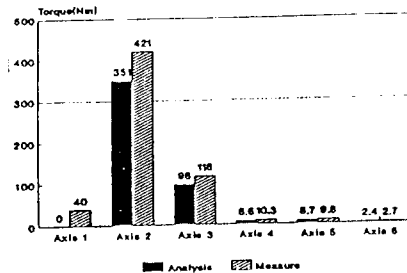


Fig.8 해석 및 측정시의 정격토크비교

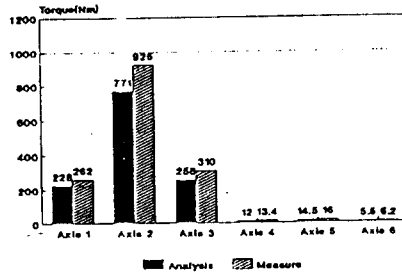


Fig.9 해석시의 최대토크와 측정값과의 비교

지금까지의 해석결과로 실제 측정값은 마찰이 없다고 가정된 해석값보다 크게 나오며 또한 마찰 토크값은 일정한 값으로 나타나는 것이 아니라 토크에 대한 비율로 나타나는 것을 알 수 있었다. 그 비는 해석한 값의 112%~120% 이고 따라서 모터선정시 수계산에 의한 최대토크값의 120%를 취해야 실제 부하에 작용하는 토크를 얻을 수 있다는 것이다. 그리고 모터의 힘을 떨어뜨리는 가장 큰 요인은 감속기의 효율이며, 예측하기 힘든 마찰토크에 대한 일정한 비율을 정할 수 있게 되었다.

참고로 이번에 사용된 감속기의 효율은 RV감속기의 경우 82%가 최고이며 Harmonic Drive의 경우는 50%까지 떨어진다.<sup>[7]</sup> 그러나 감속기의 효율 외에 베어링 및 기타 부품의 조립오차, 베어링에압 조정등의 요인을 감안할 때 최종적으로 적용될 값은 해석결과의 130%~150%로 하여 안전한 설계가 되도록 한다.

## 5. 결 론

동적해석 및 검증을 통하여 적합한 로봇 각 축의 구동원 용량을 최소화하고 로봇의 구조를 선정하여, 동력전달구조를 컴팩트화 시키는 물론, 로봇 본체의 경량화와 모듈화를 적용한 결과는 다음과 같다.

- (1) 동적해석과 본 고에서 언급이 없었던 구조해석 및 시뮬레이션 기술의 확보로 설계전단계에서 임의모델분석이 가능하게 되었다.
- (2) 모터선정에 필요한 토크의 계산시 수계산에 의한 최대토크값에 최대 50%를 추가함으로써 모터정격 토크에 대한 부하의 실효토크 비율을 100%까지 허용할 수 있게 되었다.
- (3) 동적해석에 의한 소용량 구동원을 선정함으로써 동급모델의 타로봇과 대비하여 약 60%의 무게중량인 로봇으로 경량화할 수 있었다.

- (4) 축별 모듈화에 대한 효과가 로봇몸체 경량화와 연계되며 이는 로봇성능에 큰 비중을 가질 수 있다.

## 참고문헌

- [ 1 ] Richard D. Klafter, Tomase A. Chmielewski and Michael Negin, "Robot Engineering ; An Integrated Approach", Prentice-Hall, pp40-43, 1989
- [ 2 ] 김태운, 김홍복, "메카트로닉스 산업용 로봇", 생능, pp312-315, 1991
- [ 3 ] Richard D. Klafter, Tomase A. Chmielewski and Michael Negin, "Robot Engineering ; An Integrated Approach", Prentice-Hall, pp84-86, 1989
- [ 4 ] Eugene I. Rivin, "Mechanical Design of Robots", McGraw-Hill, pp13-32,284-302, 1988
- [ 5 ] Wesley E. Snyder, "Industrial Robots ; Computer Interfacing and Control", Prentice-Hall, pp2-9, 1985
- [ 6 ] [ 8 ] 김태운, 김홍복, "메카트로닉스 산업용 로봇", 생능, pp36-41,85-92, 1991
- [ 7 ] Gerry B. Andeen, "Robot Design Handbook", McGraw-Hill, pp11.1-11.29, 1988
- [ 9 ] [11] Richard D. Klafter, Tomase A. Chmielewski and Michael Negin, "Robot Engineering ; An Integrated Approach", Prentice-Hall, pp168-180,97-99, 1989
- [10] [16] Eugene I. Rivin, "Mechanical Design of Robots", McGraw-Hill, pp42-50,167-187, 1988
- [12] 이근철, "메카트로닉스를 위한 서보기술입문", 기전연구소, pp163-168, 1989
- [13] Richard D. Klafter, Tomase A. Chmielewski and Michael Negin, "Robot Engineering ; An Integrated Approach", Prentice-Hall, pp106-119, 712-728, 1989
- [14] Gerry B. Andeen, "Robot Design Handbook", McGraw-Hill, pp10.22-10.28, 1988
- [15] Eugene I. Rivin, "Mechanical Design of Robots", McGraw-Hill, pp77-80,316, 1988
- [17] Richard D. Klafter, Tomase A. Chmielewski and Michael Negin, "Robot Engineering ; An Integrated Approach", Prentice-Hall, pp191-195, 1989
- [18] "Mechanica V 5.0 Manual", RASNA, 1993
- [19] H.J.Warnecke, "Industrial Robots ; Application Experience", I.F.S Publications, pp65-74, 1982