

# 다관절 고소 작업 장치의 개발

김 면 희\* · 이 상 룡\*\*

## Design of Multi-Linked Lifter

Myun-Hee Kim and Sang-Ryong Lee

**Key Words:** robotics(로봇공학), inverse kinematics(역기구학), direct kinematics(정기구학)

### Abstract

For solving problems of manpower and improving working environment, Robot System have been introduced. In the past, Robot System was adopted mass production, indoor factory condition, but present, Robot System is applied to many other fields.

This applied field is Robot System was adopted fruit harvest, maintenance, and so on. The developed Multi-Linked Lifter is applied to eminent multi-purpose working.

The purpose of this study is to develop control algorithm for this equipment composed of multi-linked manipulator.

작업장치가 개발에 관련된 연구를 시도하였다.

### 1. 서 론

반복적인 작업에 대하여 노동자의 높은 작업 강도가 요구되어지는 소규모 고소작업에 있어서, 작업자의 안전도모와 작업능률 향상을 피하는, 고소작업장치에 관련한 국내연구 및 제품 개발은 매우 미진한 상황이다. 현재 시판되어지고 있는 고소작업장치 또한 대형이며 대부분의 물량을 수입에 의존하고 있으며, 개발목적도 또한 물류관리에 적용하도록 되어 있어서 옥외의 소규모작업에는 적합하지 못하다. 따라서 국내의 소규모 고소작업에 적합한 장비의 개발이 필요하다. 그리고 현존하는 대부분의 고소작업장비들을 살펴보면 조작자가 각각의 액츄에이터를 직접 조작하여 움직이므로 숙련된 조작자가 아니면, 협소한 작업영역 내에서의 조작이 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는 경로제어장치가 부착되어 있는 고소

### 2. 다관절고소작업장치

#### 2.1 사양

설계되어진 고소작업장치가 가지는 운동영역은 다음의 Fig. 1에 보이는 바와 같으며, 작업능력은 150kg의 용량을 0.083m/s 로 이동시키는 능력을 가진다. 액츄에이터는 유압실린더를 이용한다. 이를 위한 각각의 관절각의 전개능력은 Table 1에 보이는 바와 같다.

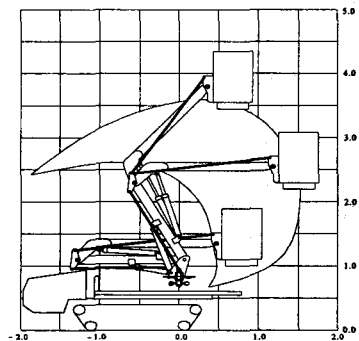


Fig.1 Diagram of Moving Area

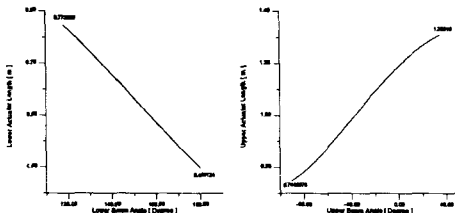
\* 경북대학교 대학원 기계공학과  
 \*\* 회원, 경북대학교 기계공학과

**Table 1 Arm Angle Range**

	Min.	Max
Base Angle	-180°	180°
Lower Angle	118°	180°
Upper Angle	-90°	22.4°
Tilt Angle	-10°	10°

**2.2 유압실린더**

유압실린더는 가장 길게 전개되었을 때의 길이가 가장 축소되었을 때의 길이의 2배가 될 수 없다. 그리고 관절각과 유압실린더의 길이도 선형적인 관계를 가지는 것이 아니다. 다음에 유압실린더길이와 관절각 사이의 상관관계를 보인다.



**Fig.2 Relation of length and angle**

다음에 하부관절에 대한 길이와 각도의 상관관계이다.

$$l = 0.00006\theta_d^2 - 0.00497\theta_d + 1.12318$$

$$\theta_d = 359.31214l^4 - 1469.62742l^3 + 1898.75453l^2 - 1217.06949l + 474.85158$$

(1)

다음에 상부관절에 대한 길이와 각도의 상관관계이다.

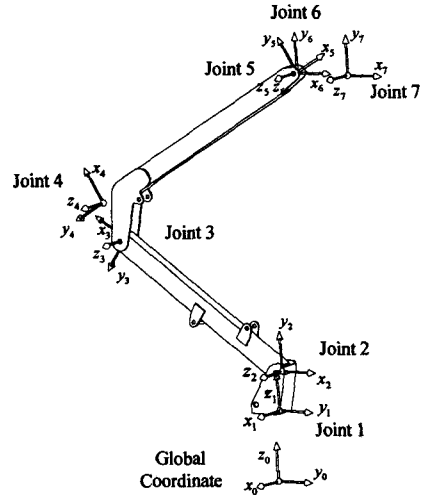
$$l = -0.00002\theta_u^2 + 0.00443 \times 10^{-3}\theta_u + 1.18877$$

$$\theta_u = 231.68723l^4 - 422.86487l^3 - 129.10696l^2 + 776.13975l - 492.57142$$

(2)

**2.3 기구학적 파라미터**

작업장치의 운동을 기술하기 위한 좌표계는 다음의 Fig. 3에서 보여지는 바와 같다. 여기서 채택되어진 좌표계는 Denavit-Hartenberg의 방식을 따르고 있으며, 운동을 기술하기 위한 파라미터는 Table 2에 명시한 바와 같다.



**Fig.3 Coordinator of Multi-Linked Lifter**

**Table 2 Parameter of Multi-Linked Lifter**

Joint 번호	$\theta$	$d$	$a$	$\alpha$
1	$\frac{\pi}{2} + \theta_{RB}$	0.26	0.07	$\frac{\pi}{2}$
2	$\theta_{LB}$	0	1.35	0
3	$\theta_{UB}$	0	0.25	0
4	$-\frac{\pi}{2}$	0	1.75	0
5	$-\theta_{LB} - \theta_{UB} + \frac{\pi}{2}$	0	0	0
6	0	0	0	$\theta_N$
7	0	0	$0.32 + Ext$	0

**2.4 정기구학**

여기에서는 작업장치 끝단에 장착되어 있는 작업장치부에 있어서, parallel bar를 이용하여 그 자세가 항상 연직이 되도록 고정이 되어있다. 따라서 정기구학에서 주목할 점은 끝점의 좌표만을 주의하면 된다. 링크장치 전체의 동차변환행렬에서 변위벡터의 부분을 이용하여 정기구학 식을 풀어보면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$X_{Act} = \left\{ \begin{array}{l} (\cos \theta_B \cos \theta_L \sin \theta_U + \cos \theta_B \sin \theta_L \cos \theta_U) \cos \theta_N \\ + (\cos \theta_B \cos \theta_L \cos \theta_U - \cos \theta_B \sin \theta_L \sin \theta_U) \sin \theta_N \end{array} \right\} \times Ext$$

$$+ 1.75 \times (\cos \theta_B \cos \theta_L \sin \theta_U + \cos \theta_B \sin \theta_L \cos \theta_U)$$

$$+ 0.25 \times (\cos \theta_B \cos \theta_L \cos \theta_U - \cos \theta_B \sin \theta_L \sin \theta_U)$$

$$+ 1.35 \times \cos \theta_B \cos \theta_L$$

$$+ 0.07 \times \cos \theta_B$$

$$\begin{aligned}
Y_{pos} &= \left\{ \begin{array}{l} (\sin \theta_B \cos \theta_L \sin \theta_U + \sin \theta_B \sin \theta_L \cos \theta_U) \cos \theta_N \\ + (\sin \theta_B \cos \theta_L \cos \theta_U - \sin \theta_B \sin \theta_L \sin \theta_U) \sin \theta_N \end{array} \right\} \times Ext \\
&+ 1.75 \times (\sin \theta_B \cos \theta_L \sin \theta_U + \sin \theta_B \sin \theta_L \cos \theta_U) \\
&+ 0.25 \times (\sin \theta_B \cos \theta_L \cos \theta_U - \sin \theta_B \sin \theta_L \sin \theta_U) \\
&+ 1.35 \times \sin \theta_B \cos \theta_L \\
&+ 0.07 \times \sin \theta_B \\
Z_{pos} &= \left\{ \begin{array}{l} (\sin \theta_L \sin \theta_U - \cos \theta_L \cos \theta_U) \cos \theta_N \\ + (\sin \theta_L \cos \theta_U + \cos \theta_L \sin \theta_U) \sin \theta_N \end{array} \right\} \times Ext \\
&+ 1.75 \times (\sin \theta_L \sin \theta_U - \cos \theta_L \cos \theta_U) \\
&+ 0.25 \times (\sin \theta_L \cos \theta_U + \cos \theta_L \sin \theta_U) \\
&+ 1.35 \times \sin \theta_L \\
&+ 0.26
\end{aligned} \quad (3)$$

### 2.5 역기구학

역기구학 조건을 계산하기 위하여 해석하려고 하는 작업장치의 움직임을 살펴보면, 가장 아랫부분의 Joint 1 이 회전함에 따라, 반경방향의 평면이 회전하며, Upper Beam 과 Lower Beam 은 그 평면 내부에서 작동하게 된다. 따라서 작업장치를 비롯한, 다른 링크들은 반경방향의 평면내부에서 해를 가지게 된다. 따라서 반경방향의 R 값에 대한 수식을 유도하고, 나머지 파라미터들은 그 반경방향의 평면 내부에 들어가서 찾아내는 방법을 이용하였다.

먼저 반경방향의 평면의 위치를 찾아내는 수식을 구하여 보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
R &= \sqrt{X_{pos}^2 + Y_{pos}^2} \\
\theta_{RB} &= \tan^{-1} \frac{Y_{pos}}{X_{pos}} - \frac{\pi}{2} \quad (4)
\end{aligned}$$

다음으로 평면내부로 들어와서의 파라미터를 해석해 보면 다음과 같다.

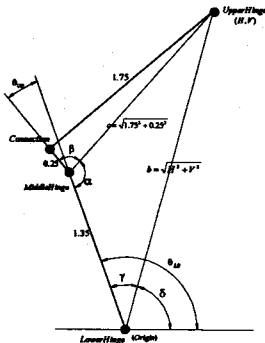


Fig.4 Inverse Kinematics

$$\begin{aligned}
\alpha &= \cos^{-1} \frac{1.35^2 + c^2 - b^2}{2 \times 1.35 \times c} \\
\beta &= \tan^{-1} \frac{1.75}{0.25} = 1.4288992 \\
\gamma &= \cos^{-1} \frac{1.35^2 + b^2 - c^2}{2 \times 1.35 \times b} \\
\delta &= \tan^{-1} \frac{V}{H} \quad (5)
\end{aligned}$$

### 2.6 제어기

실시간적인 작업장치의 컨트롤을 위하여서는, 작업장치가 작동하는 동안에도 Sensor System을 통하여 관절각을 읽고, 정기구학과 역기구학을 이용하여 현재자세를 계산하고, 목표점의 위치를 파악하는 등, 대단히 많은 계산량을 극복해야만 한다. 그리고, 지속되는 Firm-Ware 의 업그레이드를 생각한다면, 프로그램의 수정 및 탑재가 용이하여야 하며, 장비가 바뀌어도 프로그램의 일부와 하드웨어의 일부만 수정하여 재사용할 수 있도록 하기위하여 Controller 자체가 Open-Architecture를 가지도록 구성하였다.

많은 계산량을 극복하기 위하여 일본의 Hitachi사에서 제작한 32-bit RISC 형식의 SH7032/34 CPU를 채택하여 Controller의 핵심으로 이용하였다.

제어기는 사용자의 입력을 받으면 목표점까지 이동하는 기준 경로를 사다리꼴 속도프로파일을 가지고 생성하며, 이를 추종하는 형식으로 작동한다. 탑재된 제어알고리즘의 계인값은 상부링크 제어기에 대하여, 비례 1.025, 미분 0.025, 적분 0.0098, 하부링크제어기에 대하여, 비례 1.005, 미분 0.035, 적분 0.005 이다.

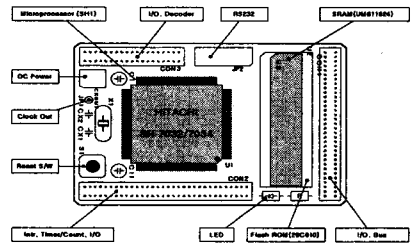


Fig.5 SH7032/34 Add-on Board

### 3. 결론

다음에 상하방향으로의 운동의 결과를 보이고

있다. 이것은 작업대에서의 전체 기준점의 좌표 (회전에서 중심점)으로부터 반경방향으로 1.0 m 떨어진 지점에서, 높이 1.0m에서 3.0m 까지 작업대를 인양했다가 다시 내리는 작업에 대한 결과이다. 결과로서는 작업대의 위치 결과의 궤적을 보이고 있다. 이때의 움직임은 정속구간에 대하여는 속도가  $0.07 \text{ m/s}$  이며, 가·감속구간에 있어서는 가속(혹은 감속)의 크기가  $0.005 \text{ m/s}^2$  으로 하였다.

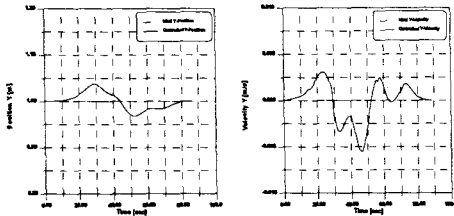


Fig.6 Trajectory of Y-direction

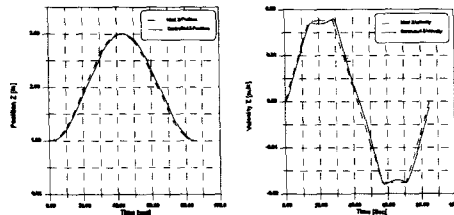


Fig.7 Trajectory of Z-direction

옥외의 소규모 고소 작업의 특징은 노동자들에게 반복적인 작업에 대하여 대단히 높은 노동강도가 요구된다는 것이다. 여기에 작업자의 안전 및 편의를 도모하기 위한 경로제어기가 부착되어진 다관절 고소 작업 장치를 설계, 제작한 후 제어기를 탑재하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 완성하고자 하는 작업영역을 만족하는 고소 작업장치의 팔(arm)형상을 정하였으며, 이를 가동하기 위한 유압실린더의 위치를 결정하였다.
2. 다관절 고소 작업 장치의 정기구학 및 역기구학식을 정립하여 관절각과 작업대의 좌표간의 관계를 수식적으로 정립하였다.
3. 전체작업영역( $3.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ )내에서 최대 위치 오차가 5cm 이내가 되는 제어기의 이득값을 확정하였다.

## 참고문헌

- (1) Richard D. Klafter, Tomas A. Shmielewski, Michael Negin, *Robotic Engineering : An Integrated Approach*, Prentice-Hall, Inc. 1989
- (2) Wolfram Stadler, *ANALITICAL ROBOTIC AND MECHATRONICS*, McGraw-Hill, Inc. 1995
- (3) Jadran Lenarčič, Vincenzo Parenti-Castelli, "Recent Advances In Robot Kinematics", Kluwer Academic Publishers, 1996
- (4) Francis N-Nagy, Andras Siegler, *Engineering Foundations of Robotics*, Prentice-Hall International (UK) Ltd, 1987
- (5) Robert E. Parkin, *Applied Robotic Analysis*, Prentice-Hall, Inc., 1991
- (6) F. L. Lewis, C. T. Abdallah, D. M. Dawson, *Control of Robot Manipulators*, Macmillan Publishing Company, 1993
- (7) Richard C. Dorf, Robert H. Bishop, *Modern Control Theory* 7th Edition, Addison-Wesley Publishing Company, 1995
- (8) Katsuhiko Ogata, *Modern Control Theory Third Edition*, Prentice-Hall International, Inc., 1997
- (9) B.Padmanabhan, V.Arun, C.F.Reinholdt, "Close-Form Inverse Kinematic Analysis of Variable-Geometry Truss Manipulators," *Trans. of the ASME J, of Mechanical Design*, Vol. 114, September, pp. 438-443, 1992.