

畫像處理 및 퍼지理論을 이용한 研削 作業用 로봇의 形象認識 追從에 관한 研究

유송민*, 윤성일**

A study of shape recognition and tracking of robot for grinding by using image processing and fuzzy theory

Song-Min Yoo*, Sung-Il Yun**

ABSTRACT

Many research in Robot control has effectively proceeded on the development of Artificial Intelligence Robot which is able to apply to the uncertain and monotonous operations which are repeated continuously in the industrial field. In this study, the precise shape recognition of base metal for welding was gained by mono CCD camera, and the gained data was transformed into Decimal code through Image Board in computer. And the Fuzzy Logic control system designed by use of Fuzzy rule was built to judge whether the base metals were precisely matched or not with Decimal code. Mechanically manipulated Robot system was linked to Fuzzy Control System through image information, and ultimately, these systems will be able to apply for production system.

제 1 장. 서 론

고도화되는 산업 현장에서의 인간에 대한 작업 영역은 그 이용범위가 위험성을 내포한 정밀도를 요구하는 반복작업이 증대되고 있다. 따라서, 작업 현장의 열악한 환경과 단순 작업이 계속적으로 이루어지는 곳에서의 로봇사용은 필수적으로 이루어지고 있으며 이에 지속적으로 정밀도를 요

구하는 로봇제어에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 인간의 팔에 해당되는 로봇의 매니플레이터와 눈에 해당하는 컴퓨터 비전을 이용한 지능화가 추진되고 있으며, 인간의 사고나 자연어의 특성과 많은 유사성을 가지고 있는 퍼지이론을 도입하여 제어기의 단점을 보완하고 있다. 본 연구에서는 화상처리용 CCD카메라를 통해 가공물의 영상을 받아 이를 컴퓨터비전의 전용 디지털 화상처리장치를 통해 정확한 형상인식을 추출하여 퍼지논리제어 이론을 바탕으로한 퍼지제어기를 설계하고 이에 로봇 운동위치 및 제어 방법을 제시 하고자 한다.

제 2 장. 실험방법 및 고찰

2-1. 실험장치의 구성

본 연구에 사용된 실험장치는 팔꿈치형 로봇에 정보를 얻기 위한 입력장치인 Mono CCD 카메라, 아날로그신호를 디지털신호로 변환 하는 화상처리장치, 카메라로부터 받은 신호의 영상을 화면에 나타내는 출력용 모니터, 화상정보를 처리하고 판단을 내리는 처리 및 판단부의 컴퓨터, 그밖의 조명부와 Board부로 이루어져 있으며, 실험장치의 개략도와 구성도는 Fig. 1과 Fig. 2이다. 실험대상물은 2차원 화상을 정확히 얻기위해 흑색 사포용지로 하였고, 크기와 모양은 Fig. 3과 같다.

* 경희대학교 기계·산업시스템공학부
** 경희대학교 대학원 기계공학과

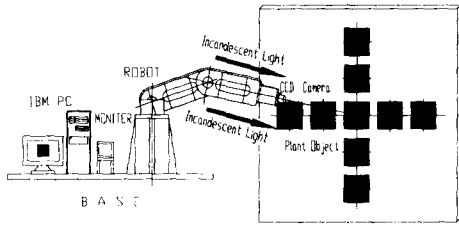


Fig. 1 Schematic diagram of an experimental apparatus

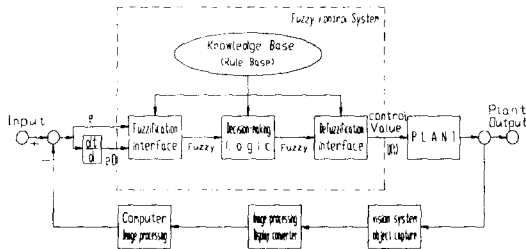


Fig. 2 Block diagram of an experimental apparatus

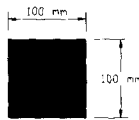


Fig. 3 Dimension of an experimental specimen

2-2. 화상시스템의 구성 및 화상데이터 획득

입력에서는 일반적인 CCD카메라를 사용하였으며 사양은 다음과 같다.

- 촬상소자 : 1/3 inch CCD image area sensor
- 촬상면적 : 4.9 mm [H] x 3.7 mm [V]
- 유효화소 : 514[H] x 489[V]
- 표준피사체조도 : 15 Lux [F 1.4]

최저피사체조도 : 0.1 Lux [F 1.4]

로봇의 끝단에 CCD 카메라를 고정시켜 대상물과의 일정거리를 유지하여 정면과 각각의 각도에서 화상정보를 눈금측정(Calibration)하였다. 화상정보처리에는 카메라에서 들어온 화상신호를 Data Translation社의 DT2851 board를 통하여 Hexa code로 화상정보가 컴퓨터로 저장되었다. 이것을 정량적으로 분석하기 위해서 십진법코드(Decimal code)로 변환하여 각 수치로 받아들였다. 저장된 화상정보수치는 각 픽셀에서의 명암 값을 나타낸다. 대상물의 명암이 뚜렷하게 나타나도록 로보

트 끝단을 기준으로 하여 4곳에서 각각의 광원을 비추어 대상물의 명암이 확연히 구분 될 수 있게 하였다. 조명에 민감한 영향을 보이는 대상물에 명암의 정도를 일정하게 고정시켜 얻어진 화상정보는 로봇의 움직임과 그 운행 각도에 의해 윤곽오차가 발생하는 것을 알 수 있었다. 윤곽 오차의 정도를 구별할 수 있도록 하기 위하여 명암도 별로 화상정보를 추출하여 Fig. 4 ~ Fig. 12에 재현하였다. 그림에서 보듯이 정면에서의 화상정보는 상면과 하면의 윤곽오차가 0이고 그 외의 상·하단과 좌·우측 단의 각도별 궤도 추종에서 얻어진 화상정보의 윤곽오차가 상·하면과 좌·우측면이 크게 변화함을 알 수 있다. Table 1은 로봇의 각도별 궤도에 따른 대상물의 윤곽에 대한 상대비를 나타낸 것이다.

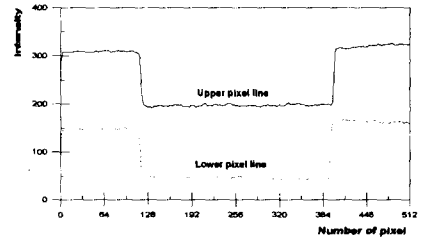


Fig. 4 Image processing pixel line for Front view

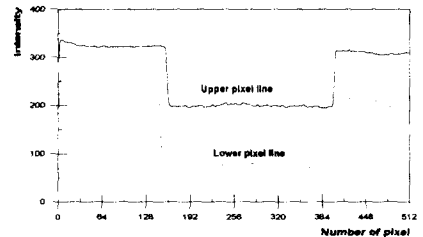


Fig. 5 Image processing pixel line for Upper 15 angle view

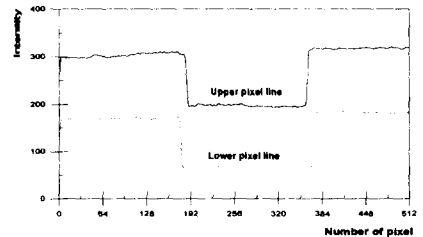


Fig. 6 Image processing pixel line for Upper 30 angle view

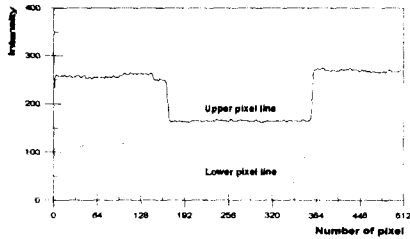


Fig. 7 Image processing pixel line for Lower 15 angle view

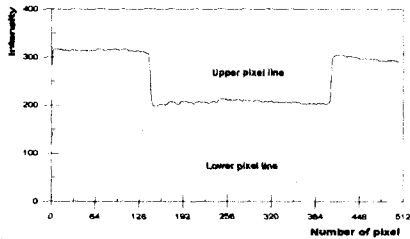


Fig. 8 Image processing pixel line for Lower 30 angle view

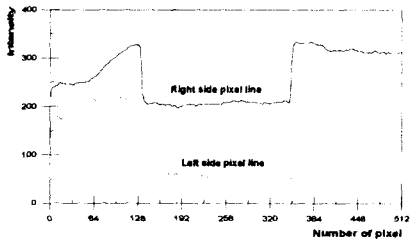


Fig. 9 Image processing pixel line for Right side 15 angle view

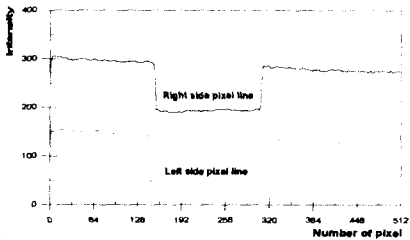


Fig. 10 Image processing pixel line for Right side 30 angle view

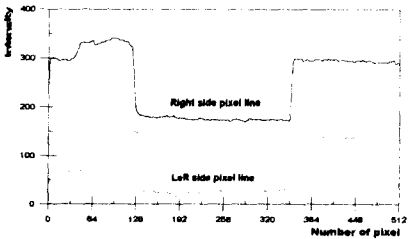


Fig. 11 Image processing pixel line for Left side 15 angle view

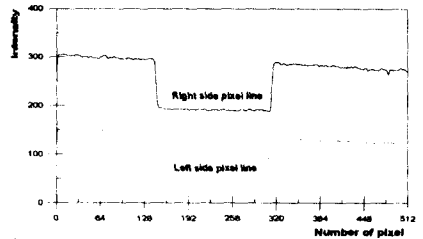
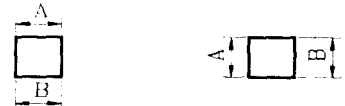


Fig. 12 Image processing pixel line for Left side 30 angle view

Table 1 Length ratio of target object observed with respect to various orientation of robot arm



(A/B)

Upper & Lower Right & Left	Left 30°	Left 20°	Left 15°	Front side	Right 15°	Right 20°	Right 30°
Upper 30°	0.91 / 0.90	0.91 / 0.924	0.91 / 0.94	0.91 / 1	0.91 / 0.96	0.91 / 0.943	0.91 / 0.91
Upper 20°	0.936 / 0.90	0.936 / 0.924	0.936 / 0.94	0.936 / 1	0.936 / 0.96	0.936 / 0.943	0.936 / 0.91
Upper 15°	0.95 / 0.90	0.95 / 0.924	0.95 / 0.94	0.95 / 1	0.95 / 0.96	0.95 / 0.943	0.95 / 0.91
Front side	0.90 / 1	0.924 / 1	0.94 / 1	1 / 1	0.96 / 0.96	0.943 / 0.943	0.91 / 0.91
Lower 15°	0.90 / 0.93	0.924 / 0.93	0.94 / 0.93	1 / 0.93	0.96 / 0.96	0.943 / 0.93	0.91 / 0.93
Lower 20°	0.90 / 0.919	0.924 / 0.919	0.94 / 0.919	1 / 0.919	0.96 / 0.919	0.943 / 0.919	0.91 / 0.919
Lower 30°	0.90 / 0.90	0.924 / 0.90	0.94 / 0.90	1 / 0.90	0.96 / 0.90	0.943 / 0.90	0.91 / 0.90

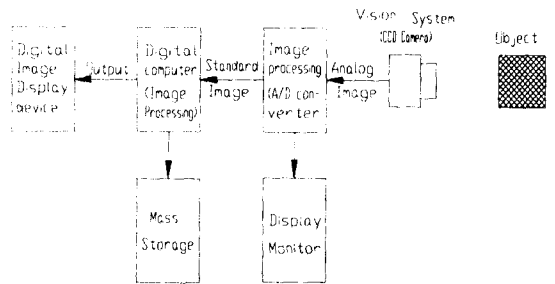


Fig. 13 Block diagram of image processing system

출력은 디스플레이를 하기 위한 화상모노모니터를 사용하였으며 그밖에 Data처리를 돕기 위한 IBM

PC 및 주변기기 등을 이용하여 정보전환을 하였다. 이러한 화상시스템 구성은 Fig. 13와 같고 여기서 나온 화상정보의 데이터를 받아, 본 실험에 적용하였다.

2-3. 퍼지제어기의 설계

퍼지제어규칙을 작성하기 위하여 Table 1를 참고하여 스텝응답의 특징점들을 각 부분에 대하여 관찰하였다. 본 연구에서는 합성에 의한 추론법을 채택하여 퍼지제어기를 설계 하였고, 각 특징점에서 발생되는 오차와 속도를 구하여 제어규칙에 적용하면 다음과 같다.

우측 If $e=PB$ and $\Delta e=ZE$ then $\Delta U=PB$

If $e=PM$ and $\Delta e=ZE$ then $\Delta U=PM$

If $e=PS$ and $\Delta e=ZE$ then $\Delta U=PS$

If $e=ZE$ and $\Delta e=ZE$ then $\Delta U=ZE$

상단 If $e=ZE$ and $\Delta e=MB$ then $\Delta U=NB$

If $e=ZE$ and $\Delta e=NM$ then $\Delta U=NM$

If $e=ZE$ and $\Delta e=NS$ then $\Delta U=NS$

If $e=ZE$ and $\Delta e=ZE$ then $\Delta U=ZE$

좌측 If $e=NB$ and $\Delta e=ZE$ then $\Delta U=NB$

If $e=NM$ and $\Delta e=NM$ then $\Delta U=NM$

If $e=NS$ and $\Delta e=NS$ then $\Delta U=NS$

If $e=ZE$ and $\Delta e=ZE$ then $\Delta U=ZE$

하단 If $e=ZE$ and $\Delta e=PB$ then $\Delta U=PB$

If $e=ZE$ and $\Delta e=PM$ then $\Delta U=PM$

If $e=ZE$ and $\Delta e=PS$ then $\Delta U=PS$

If $e=ZE$ and $\Delta e=ZE$ then $\Delta U=ZE$

Table 2 Fuzzy rule table

$\begin{matrix} e \\ \Delta e \end{matrix}$	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

where, P : Positive
N : Negative

이렇게 작성된 13개의 기본 퍼지제어규칙을 바탕으로 제어규칙이 없는 부분까지 제어규칙을 추가하면,

If $e=PB$ and $\Delta e=NS$ then $\Delta U=PU$

If $e=PS$ and $\Delta e=NB$ then $\Delta U=NM$

If $e=PS$ and $\Delta e=NS$ then $\Delta U=ZE$

따라서, $e-\Delta e$ 평면의 모든 영역에서 필요한 퍼지 제어규칙은 Table 2와 같으며 로봇트에 적용했을 때의 한 부분의 각도에 대한 오차, 입력, 출력의 퍼지제어 결과는 Fig. 14 ~ Fig. 16과 같다.

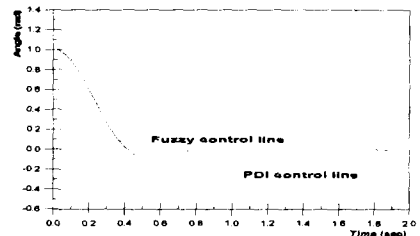


Fig. 14 Error signals of the PID and Fuzzy control

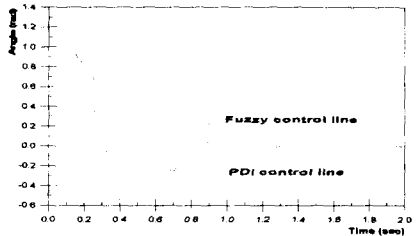


Fig. 15 Input signals of the PID and Fuzzy control

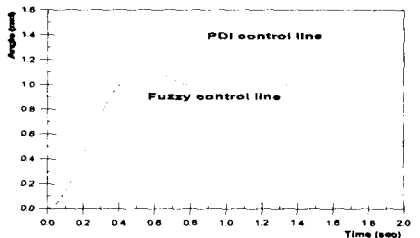


Fig. 16 Output signals of the PID and Fuzzy control

2-4. 로봇트(Robot System)의 구성 및 제어

로봇트 본체는 KIST에서 제작한 다관절형상의 팔꿈치형 매니플레이터이며, 연삭 등의 작업에 이용가능하도록 정밀하게 설계된 산업용 로봇트이다. 본 실험에서는 화상획득 및 작동으로 인한 오차를 줄이기 위해 수동으로 운행하였고, 로봇트의 끝단에는 영상정보를 얻기 위한 CCD 카

메라를 고정하였다. CCD 카메라로부터 받은 화상정보를 피지제어기로부터 제어하여 로봇트를 제어하게 된다. 연마선의 각 세그먼트간의 로봇트 운동은 직선운동으로 구성이 되며 화상정보로부터 추출된 피지정보는 각 세그먼트의 시작점과 끝점의 좌표를 로봇트가 진행하도록 로봇트의 기구학과 순기구학 또는 역기구학으로 풀어 제어하여야 한다. 본 논문에서는 팔꿈치형 로봇트의 기구학과 순기구학을 대수적으로 풀었고, 2축의 매니플레이터에 대하여 상하계도 추종을 하였다. Fig. 17은 로봇트의 관절 좌표계를 나타내었다. 관절 좌표계는 각 관절에 설정되며 링크 1의 하단부를 원점 O_0 라 하였다.

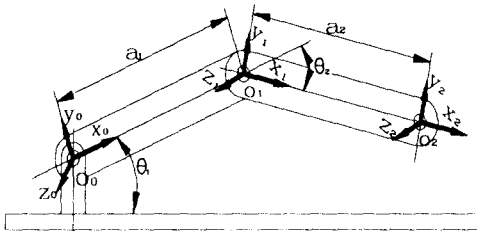


Fig. 17 The coordinate frames of robot manipulator in link

Table 3은 정면 및 상하 위치에 대한 각 링크의 변수를 구한 것이고, 이 링크변수는 관절간의 변환식과 행렬에 사용되었다.

Table 3 Link parameters of 2 axis robot manipulator

Link	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	a_1	0	0	θ_1
2	a_2	0	0	θ_2

로봇트가 시작점(0,0,0)이고, 정면의 화상을 캘리브레이션 할 때의 변환 행렬은 다음과 같다.

$$A_1 = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 & a_1 c_1 \\ 0 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A_2 = \begin{bmatrix} c_2 & 0 & 0 & a_2 c_2 \\ 0 & c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} c_{12} & 0 & 0 & a_1 c_1 + a_2 c_2 \\ 0 & c_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

기준좌표계로 부터 O_2 의 위치는

$$x = a_1 c_1 + a_2 c_2$$

$$y = 0$$

상단 30도 각도의 화상을 캘리브레이션 할때의 링크 1과 2가 동일 각도를 갖을 때의 변환행렬은 다음과 같다.

$$A_1 = \begin{bmatrix} c_1 & -s_1 & 0 & a_1 c_1 \\ s_1 & c_1 & 0 & a_1 s_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A_2 = \begin{bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & a_2 c_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & a_2 s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} c_{12} & -s_{12} & 0 & a_1 c_1 + a_2 c_2 \\ s_{12} & c_{12} & 0 & a_1 s_1 + a_2 s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

기준 좌표계로 부터 O_2 의 위치는

$$x = a_1 c_1 + a_2 c_2$$

$$y = a_1 s_1 + a_2 s_2$$

하단 30도 각도의 화상을 캘리브레이션 할때의 링크 1과 2가 각각의 각도를 갖을때의 변환 행렬은 다음과 같다.

$$A_1 = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 & a_1 \\ 0 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A_2 = \begin{bmatrix} -c_2 & -s_2 & 0 & -a_2 c_2 \\ -s_2 & -c_2 & 0 & -a_2 s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} 0 & s_2 & 0 & a_1 - a_2 c_2 \\ -s_2 & 0 & 0 & -a_2 s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

기준좌표계로 부터 O_2 의 위치는

$$x = a_1 - a_2 c_2$$

$$y = -a_2 s_2$$

where, $c_1 = \cos \theta_1$

$$s_1 = \sin \theta_1$$

$$c_{12} = \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

$$s_{12} = \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

이러한 순기구학에 의해 로봇트의 현위치를 파악하였고, 그 결과는 Table 4와 같다.

Table 4 Robot arm disposition for CCD camera calibration

Calibration angle	Position of link		
	X	Y	
Upper	30°	539.87	311.694
	20°	562.486	204.728
	15°	570.539	152.875
Front side	581	0	
Lower	15°	571.664	-70.916
	20°	564.476	-93.714
	30°	544.29	-137

또한, Fig. 18과 같이 화상 정보에 의해 로봇의 링크1과 2는 각각 모재의 형상에 따라 θ 각도 값이 변화하며, 이때 링크2는 모재에 항상 수직하여야 한다.

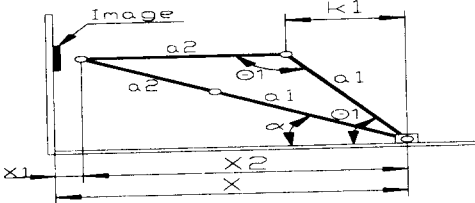


Fig. 18 Link 1 and Link 2 angle

따라서, θ_1 과 θ_2 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$x = (a_1 + a_2) \cos \alpha + x_1$$

$$y = (a_1 + a_2) \sin \alpha$$

$$K_1 = \sqrt{a^2 - y^2}$$

$$\theta_1 = \cos^{-1} \frac{K_1}{a_1}$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \frac{K_1}{a_1} + 90^\circ$$

이렇게 α 값의 변화에 따라 화상정보의 값도 변화되고 그 결과는 Table 5와 같다. 또한 화상정보에 의한 퍼지제어기의 산출 값도 변화하여 θ_1 과 θ_2 를 제어하여 연삭모재와 로봇사이에 정확한 작업을 수행하도록 추종하였다.

Table 5 Kinematic link angle of robot arm

Angle of link		θ_1	θ_2
α			
Upper	30°	71.421°	108.579°
	20°	40.407°	139.593°
	15°	29.249°	150.751°
Front side		0	0
Lower	15°	- 29.249°	- 150.751°
	20°	- 40.407°	- 139.593°
	30°	- 71.421°	- 108.579°

제 3 장. 결 론

본 논문에서는 사전에 연마선을 교시하고 교시된 궤적을 따라 적절한 연마 조건과 여러 센서를 이용한 기존 연마형태를 개선하여 모재의 형

상을 시각시스템에 의해 정확한 형상인식을 한후 컴퓨터의 장착된 화상처리장치에서 화상정보에 대한 각 부위를 수치로 표현할 수 있는 십진법코드로 전환하였다. 각 코드별 수치는 퍼지규칙에 의해 설계된 퍼지제어기에 의해 모재의 정확한 형상을 매칭 할 수 있도록 구현되었다.

1. 로봇의 위치에 따른 각 형상은 CCD 카메라로 인식되었고 이러한 화상정보를 이용하여 각 부분에 대한 위치 각도를 판단할 수 있는 시스템을 구축하였다.
2. 화상정보는 각 부분별 퍼지규칙표 작성에 활용되었다.
3. 화상정보를 활용할 수 있는 퍼지제어기를 구축하고 로봇제어에 활용 가능성을 타진할 수 있는 실 시험을 통하여 검증하였다.
4. 로봇의 기구학적인 좌표계를 계산하여 CCD 카메라로 눈금측정한 화상정보의 위치와 비교, 검증하였다. 추후 연구를 지속적으로 하여야 할 부분은 로봇의 관절을 2축에서 6축으로 변환하고 컴퓨터상에서 시뮬레이션(Simulation)운영한다면, 이러한 자료를 통한 로봇의 제어가 산업 현장에서의 무인 공장 자동화 생산에 기반이 될 수 있을 것이다.

< 참고 문헌 >

- 1) Spong, M.W. and Vidyasagar, M., Robot Dynamics and Control, John Wiley & Sons, 1989.
- 2) E.H.Mamdani, "Applications of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant", proc. IEE, Vol.12, pp.1585~1588. 1974.
- 3) Pedrcyz, Witold, "Fuzzy Control and Fuzzy System", JOHN WILEY & SONS INC., Rearch Studies press Lit., 1989.
- 4) C.C. Lee, "Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller-Part I, Part II, "IEEE Trans. on Syst., Man, and Cyb., Vol. 20, No.2, 1990.
- 5) Wang, K. and Lien, T.K., "Closed Form Solution for the Inverse Kinematics of A Puma Robot Manipulators", Robotics & Computer Ingegated Manufacturing, Vol.5, No.2/3, pp. 159~163, 1989.
- 6) 이광형, 오길록. "퍼지이론 및 응용, I권: 이론, II권: 응용", 홍릉과학출판사, 1991.
- 7) 金熙昇. "영상인식", 생능, 1993.