

머신 비전 시스템을 이용한 세탁기 밸런스 방향 인식에 관한 연구

김광호*, 김종태**, 김태호*, 박진완*, 김재상*, 정상화#

A study on the Recognition of Balance Direction in Washing Machine using Machine Vision System

Tae-Ho Kim*, Jong-Tae Kim**, Gwang-Ho Kim*, Jin-Wan Park*,
Jae-Sang Kim*, Sang-Hwa Jeong#

(Received 20 January 2009; received in revised form 11 May 2009; accepted 13 May 2009)

ABSTRACT

When washing machine is rotated in the laundry, it tends to lean toward one side. This tendency causes a serious vibration. The balance of washing machine plays an important role in order to reduce the vibration by injecting the sand or the salt water into the balance of washing machine. The hot plate welder is used to prevent from outflow of contents. The hot plate welder brings about many problems which is concerned with accidents. The direction recognition and location information of the balance are required in this system.

In this paper, the recognition direction of balance in washing machine using machine vision system is studied. The template matching algorithm compares sub-image with original image acquired in real-time to obtain a center point of balance image. The mid points and the edges of balance are estimated by the edge detection and gauging algorithms. The data acquired by these results is used for recognition direction of balance. The automation software for image processing is developed by using LabVIEW.

Key Words : Balance of Washing Machine(세탁기 밸런스), Machine Vision(머신 비전), Direction Recognition (방향 인식), Template Matching(템플릿 매칭), Edge Detection(에지 검출)

1. 서 론

세탁기는 세제와 물, 전기의 힘을 이용하여 기계

적인 충격을 발생시켜 의복에 묻어 있는 오물을 떼어내는 대표적인 가정용 기기이다. 이러한 세탁기는 크게 와권식(pulsator type)과 드럼식(cylinder type)으로 구분된다. 이 중에 와권식 세탁기는 1960년 일본에서 개발된 방식으로 원판 모양의 펄세이터를 회전시켜 생긴 물살로 세탁을 하는 방식이다. 와권식 세탁과정에서 세탁조의 균형을 잡아주는 밸런스(balance)는 세탁기 밸런스를 용착하는 방법에 따라

* 조선대학교 기계공학과

** 재영웬릭스(주)

교신저자 : 조선대학교 기계공학과

E-mail : shjeong@chosun.ac.kr

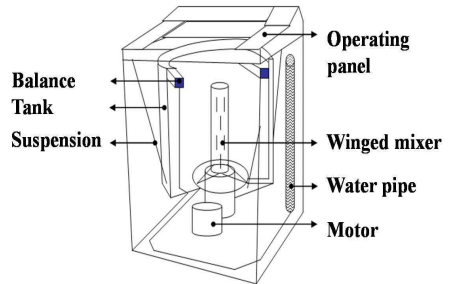
직접 가열 방식과 간접 가열 방식이 있다. 밸런스의 주재료는 폴리프로필렌(polypropylene)이고, 직접 가열 방식을 이용하여 열용착 공정을 진행한다. 세탁기 밸런스용 열용착기는 프레스 공정으로 안전사고의 발생 우려가 있고, 인건비 상승과 열악한 작업환경으로 인력 수급에 어려움이 있다. 따라서 공정 자동화를 통해 이러한 문제를 해결하기 위해서 세탁기 밸런스용 열용착기와 로딩/언로딩 시스템 사이의 매개체로 머신 비전을 이용하였다. 머신 비전은 로봇 가이드선(robot guidance)의 역할로 로봇에 인공눈의 기능을 부여함으로써 생산공정의 흐름에 있어서 중요한 역할을 한다. 가공물의 검사 및 측정 자동화를 추진함에 있어서 핵심 기술인 시각센서를 이용한 머신 비전 시스템에 관련된 하드웨어와 소프트웨어의 연구가 이루어지고 있다. 2차원 영상으로부터 추출된 경계선과 꼭지점 등의 영상특징을 이용하여 제품의 양, 불량률 판정하거나 부품의 위치와 종류를 자동으로 인식하는 영상인식기술을 예로 들 수 있다.^{[1][2][3]}

열용착 공정중 밸런스를 열용착기 지그에 로딩하는 과정에서 세탁기 밸런스가 상·하 지그에 각각 맞물리게 되는 방향성이 세탁기 밸런스의 자동화 생산에 중요하다. 본 논문에서는 CCD카메라를 이용해서 세탁기 밸런스의 방향을 인식하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 세탁기 밸런스 방향 인식 알고리즘을 산업현장에 적용할 때 영향을 주는 주요 인자에 대해 모형 실험 장치를 통해 적용 가능성을 검증하였다. 템플릿 매칭(template matching)을 통해 실시간으로 획득한 영상 데이터의 중심점을 구하고, 에지 검출 함수와 캘리퍼 함수를 이용하여 세탁기 밸런스의 정렬 불량 각도(misaligned angle)를 측정하였다.

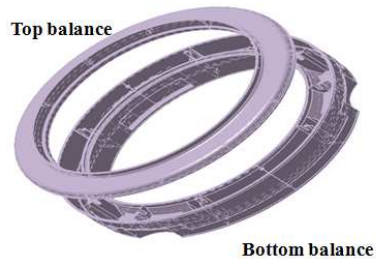
2. 세탁기 밸런스의 열용착 공정

세탁기 밸런스는 Fig. 1(a)와 같이 세탁조(tank)의 상단에 고정 설치하여 세탁물의 편중에 의해 발생하는 불평형을 보상하는 역할을 한다. 유동성과 부식성을 고려하여 세탁기 밸런스 상·하판 사이에 염수를 주입한다. 염수를 밸런스 내부에 주입하기 위해서 세탁기 밸런스의 초기 형상은 Fig. 1(b)에서와 같이 상판 밸런스와 하판 밸런스로 분리하여 생산한

다. 염수를 주입한 후에 내용물이 새지 않도록 열용착 공정을 통해 상판 밸런스와 하판 밸런스를 접합한다.



(a) Washing machine



(b) Balance

Fig. 1 Structure of washing machine

열용착기는 용착물이 크거나 용착 부위가 3차원 형상의 복잡하고 정밀한 제품을 용착하는데 적합하다. 또한 높은 인장 강도와 수밀, 기밀 등을 요구하는 제품에 사용된다. Fig. 2에 세탁기 밸런스의 용착 공정을 나타내었다. 열용착 공정은 상·하 지그에 의해서 용착물이 상·하로 나뉘고, 염수가 하판 밸런스에 주입된다. 열판이 삽입되고, 상·하 지그가 가압되면서 밸런스를 접촉시켜 용착에 필요한 용융층을 형성한다. 지그가 상·하로 분리되면서 열판이 제거되고, 상·하 지그에 의해 밸런스가 압착된다. 마지막으로 상지그가 열리면서 하지그에 남아있는 밸런스를 취출한다. 밸런스를 지그에 로딩하는 과정에서 각각 상·하 밸런스와 지그가 잘 결합될 수 있도록 밸런스의 방향이나 위치 등을 고려하여 삽입되어야 한다.

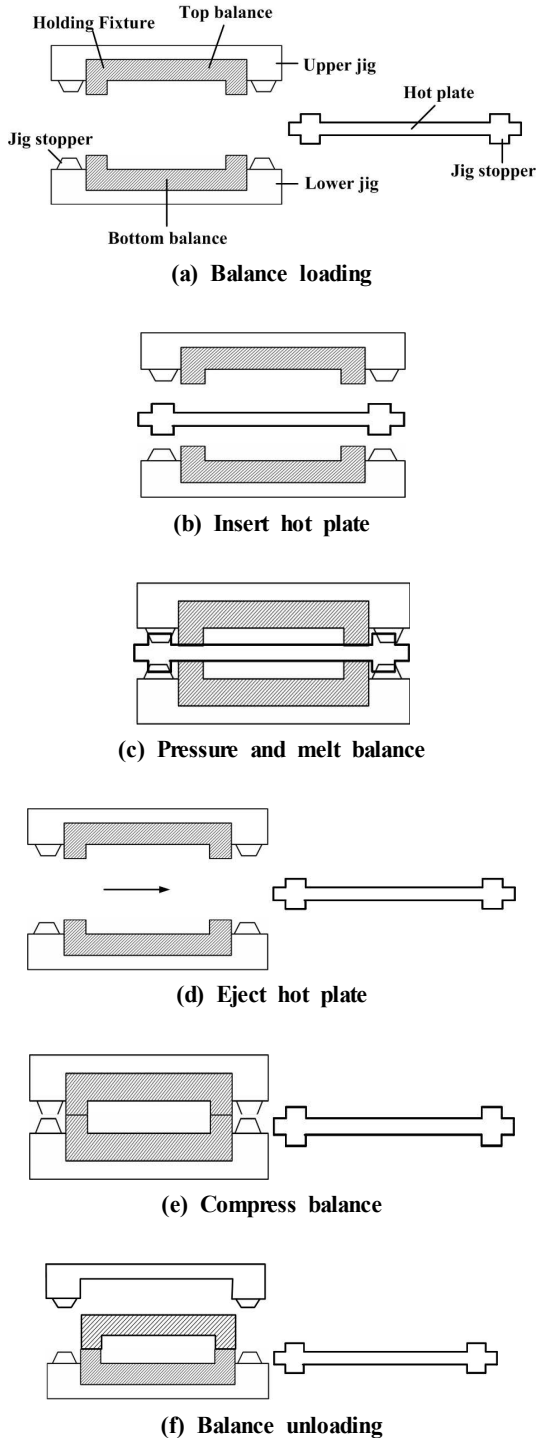


Fig. 2 Hot plate welding process

3. 정렬 불량 각도 검출

3.1 시스템 구성

머신 비전 시스템은 CCD 센서와 센서의 아날로그 신호를 수치화할 수 있는 비전 보드와 디지털화된 영상을 처리하는 컴퓨터 프로그램으로 구성된다. CCD 센서에서 획득된 영상신호는 프레임 그레버에 의해서 디지털 값으로 변경된다. 비전 보드에 의해 얻어진 영상은 이진화하여 편집 또는 저장하여 영상을 처리한다.^[4] Fig. 3과 Table 1은 머신 비전 시스템과 사양을 각각 나타내었다. 본 논문에서는 세탁기 밸런스의 템플릿을 인식하여 정렬 불량 각도를 측정하는 알고리즘을 개발하였다.

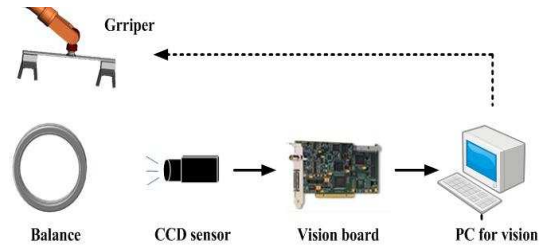


Fig. 3 Machine vision system

Table 1 Specifications of machine vision system

Camera	CCD sensor	SONY XC-ST50
	Lens	L-SV-0813: Focal length 25mm
H/W	Vision board	NI PCI-1410
PC	Intel core(TM)2 Quad	2.50GHz,
		3.25GB RAM
S/W	LabVIEW	

3.2 밸런스의 정렬 불량 검출 알고리즘

세탁기 밸런스의 영상 처리를 위해 Fig. 4와 같은 알고리즘을 이용하여 프로그래밍하였다. Fig. 4의 플로우차트에서 각 단계별 영상을 Fig. 5에 나타내었다. 정렬 불량 각도를 검출하기 위한 영상 처리 알고리즘은 밸런스의 특정 부위의 중심점을 얻기 위한 템플릿 매칭과 기준선을 얻기 위한 에지 검출 함수

를 사용하였다. 또한, 기준선과 템플릿 매칭을 통해 획득한 중심점과의 틀어진 각도를 측정하기 위해 캘리퍼(caliper) 함수를 이용하였다. Fig. 5(a)와 같이 세탁기 밸런스의 전체 영상 중에서 Fig. 5(b)와 같은 특정 부위(①)의 영상을 추출하고 저장하였다. 저장된 템플릿 영상을 이용하여 가운데 점(center point)을 추출한다. 밸런스 영상의 기준선을 결정하기 위해 Fig. 5(c)와 같이 밸런스의 가장자리를 검출한다. 밸런스의 놓인 위치가 고정되어 있지 않기 때문에 측정할 때 마다 밸런스의 크기와 위치가 조금씩 차이를 보인다. 따라서 영상의 중앙보다는 밸런스의 가장자리 검출을 통해 기준선을 결정한다. 에지 함수를 사용하여 좌·우 끝점(edge point 1~4)을 연결하는 평행한 선분(line 1, 2)을 긋고, 측정 함수를 이용하여 두 선분의 중간점(mid point 1, 2)을 추출하고 기준선을 결정하였다. 기준선과 가운데 점과의 각도를 측정하여 Fig. 5(d)와 같이 세탁기 밸런스의 정렬 불량 각도를 구한다. 밸런스가 잘 정렬되었을 때의 각도는 180°이다.

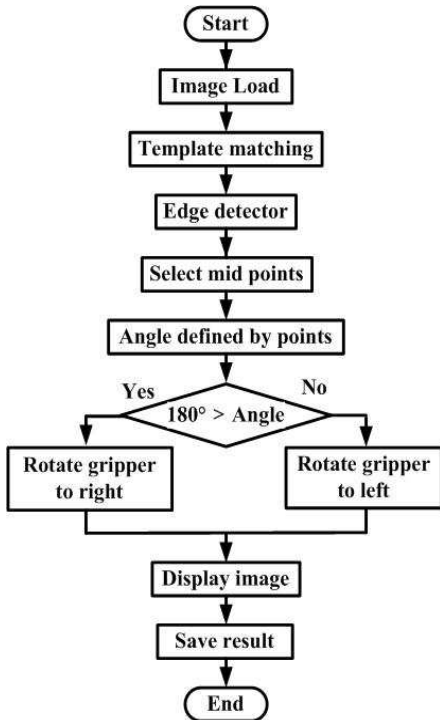


Fig. 4 Flow chart of image processing algorithm

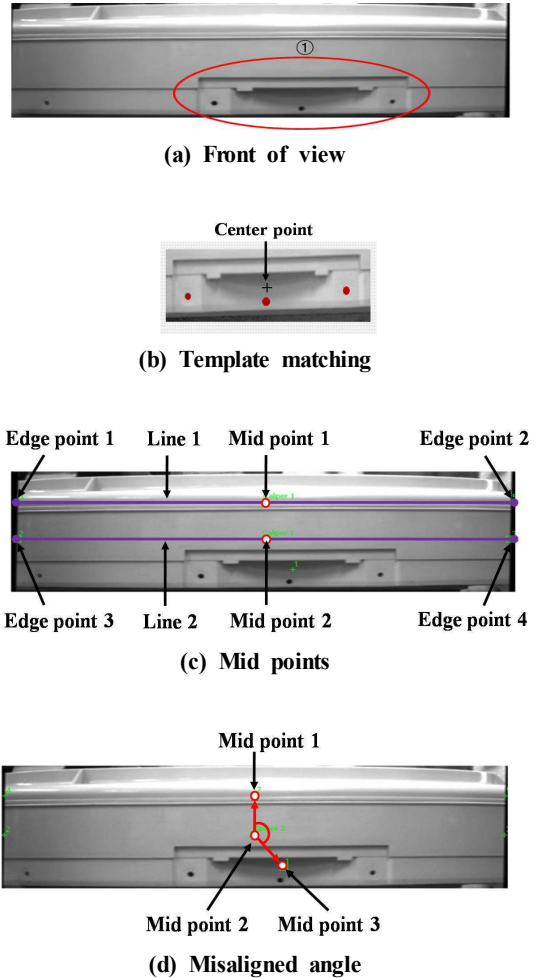


Fig. 5 Vision process for measuring misaligned angle

3.3 밸런스의 정렬 불량 측정

세탁기 밸런스의 각도를 변화시키면서 8번의 실험을 통해 밸런스의 정렬 불량 각도를 측정하여 Table 2에 나타내었다. 에지검출을 통해 밸런스의 정렬 불량 각도를 측정하기 위한 기준선을 획득하고 템플릿 매칭을 통해 획득한 정렬 불량 중심점(mid point3)과의 각도 측정을 통해 정렬 불량 각도를 측정하였다. 그리퍼를 이용해 정렬 불량 각도를 보정하기 위해서는 180°보다 크게 측정된 경우 그리퍼를 오른쪽으로 회전하여야 하고, 180°보다 작은 경우에는 그리퍼를 왼쪽으로 회전하여 정렬이 가능하다.

Table 2 Information acquired through image

No.	Position		Misaligned angle(°)	Rotating direction of gripper
	x(pixel)	y(pixel)		
1	249.50	341.50	251.65	right
2	340.83	340.42	243.40	right
3	392.01	340.33	205.80	right
4	398.89	339.55	199.57	right
5	456.00	339.45	141.98	left
6	480.12	339.40	128.07	left
7	521.23	338.55	114.70	left
8	562.32	337.59	107.67	left

4. 밸런스의 정렬

4.1 실험 장치

본 연구에서는 평면적인 영상을 이용하기 때문에 검출된 정렬 불량 각도는 상대적인 값으로 실제로 검사체를 회전해야 하는 각도와 차이가 있다. 따라서 오차 범위를 미리 설정하여 검사체를 회전하며 설정 값과 측정 값을 비교하여 세탁기 밸런스를 열용착기에 로딩하기 위한 정렬 위치를 찾는다. 세탁기 밸런스의 정렬 불량 각도를 측정하기 위한 알고리즘을 검증하고 이를 산업현장에 적용하기 위해 요구되는 중요 공정 변수를 선정하기 위해 Fig. 6과 같이 모의 실험 장치를 구성하였다. 초점 거리가 8mm 인 비전 센서를 사용하였고 검사체(test object)와 카메라의 작업거리는 200mm으로 구성하였다. 서보 모터의 회전 속도로 인한 검사체의 회전각 오차를 줄이기 위해 감속비를 17.5:1로 적용하였다. 세탁기 밸런스의 모형으로 직경 60mm, 두께 20mm의 검사체를 사용하였고, 3개의 점을 표시하여 템플릿 매칭이 가능하도록 하였다. 머신 비전을 통하여 획득한 영상 정보를 PC에서 영상 처리 및 해석하여 컨트롤러의 입력 단자로 신호를 보낸다. 컨트롤러는 입력 받은 신호를 처리하여 모터를 구동하고 검사체를 원하는 방향으로 회전한다.

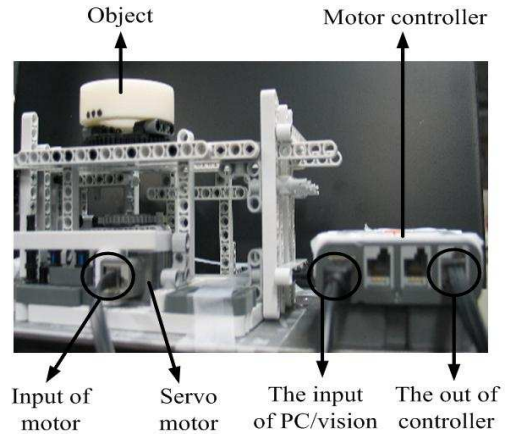


Fig. 6 Photograph of experimental apparatus

4.2 실험 조건

검사체의 영상을 비전 센서로 획득하고, 영상 처리 후 얻어지는 회전각 데이터를 이용하여 서보 모터를 회전하였다. 서보 모터는 검사체에 표시된 3점의 중심점이 화면의 중앙에 놓이도록 좌·우로 회전한다. 이때 비전 센서로 하여금 실시간으로 검사체의 영상 데이터를 획득하여 중앙의 위치를 찾게 하였다. 허용 오차 범위를 $\pm 0.2^\circ$ 로 설정하고 모터 전력의 변화에 따라 정렬에 소요되는 작업시간을 측정하고 최종 오차를 확인하였다. 모터 회전 방향을 모니터에 출력하여 작업자가 육안으로도 쉽게 확인할 수 있도록 하였다. Fig. 7은 머신 비전을 이용하여 검사체의 정렬 불량 각도를 측정하고 이를 보상하기 위한 자동화 프로그램을 나타내었다. 비전의 영상 데이터를 이용하여 서보 모터의 회전각과 방향을 제어하였다. 서보 모터의 전력 변화에 따른 모터 회전 속도를 Fig. 8에 나타내었다. 모터 전력이 20W일 때 0.143rad/s로 최소 속도를 보였고, 75W는 0.700rad/s의 모터 회전 속도를 보였다.

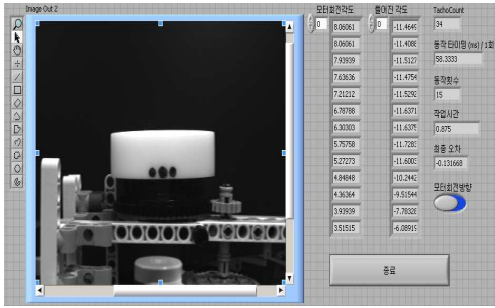


Fig. 7 Machine vision program for experiment

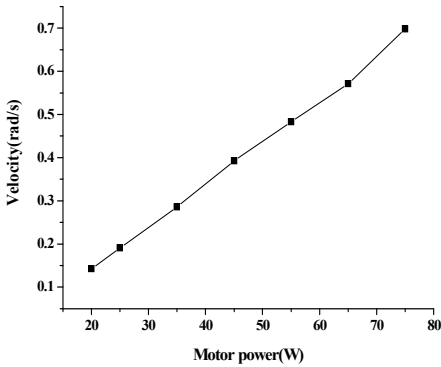


Fig. 8 Velocity of motor according to motor power

4.3 실험 결과

Fig. 9는 허용 오차 범위 $\pm 0.2^\circ$ 에서 모터 전력 변화에 따른 작업 시간을 나타내었다. 작업 시간은 서보 모터 전력이 증가함에 따라 감소하는 추세를 보이다가 55W이상에서는 최대 최소의 작업 시간의 차가 증가하여 전력이 낮을 때 보다 작업 시간이 증가하였다. 75W에서 최대 작업 시간이 19.52초, 최소 작업 시간은 1.23초로 확인되었다. 그 이유는 서보 모터의 전력이 어느 정도 이상이 되면 모터의 회전 속도가 머신 비전 프로그램의 영상 처리 속도보다 빨라지게 되어 오히려 작업 시간이 증가하였다. 이 실험에서는 서보 모터의 전력이 45W일 때 작업 시간이 일정하고 정렬에 소요되는 평균 시간이 3.05s로 최소임을 확인하였다. 영상 처리 속도와 모터의 회전 속도가 작업 시간에 미치는 영향을 측정하였다.

Fig. 10과 Fig. 11은 각각 허용오차범위를 $\pm 0.3^\circ$,

$\pm 0.4^\circ$ 설정하고 모터의 전력에 따른 작업 시간을 나타내었다. 허용오차범위가 $\pm 0.3^\circ$ 일 때 최소 작업 시간은 모터 전력이 55W에서 1.70초, 허용오차범위가 $\pm 0.4^\circ$ 일 때 최소 작업 시간은 모터 전력이 75W일 때 1.38초로 확인할 수 있었다. 모터의 회전 속도에 따른 작업 시간을 측정하고 허용오차범위에 따른 검사체의 방향 인식 작업 시간을 정리하였다. 이 결과로부터 머신 비전을 통해 모터를 제어함으로써 후에 세탁기 밸런스용 열용착기 로딩/언로딩 시스템의 자동화에 필요한 밸런스의 방향 인식 프로그램의 가능성을 확인하였다.

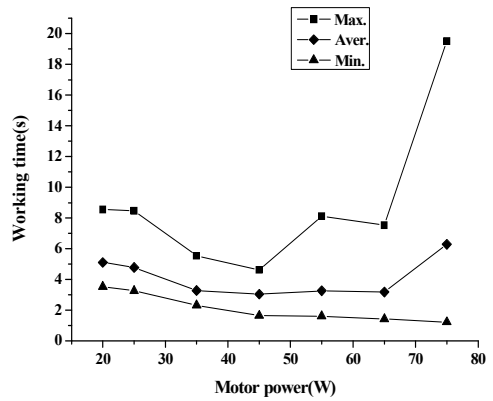


Fig. 9 Working time according to motor power in error $\pm 0.2^\circ$

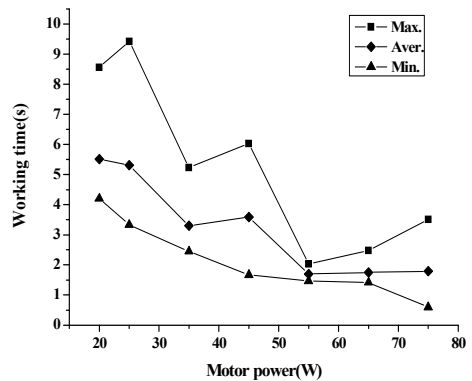


Fig. 10 Working time according to motor power in error $\pm 0.3^\circ$

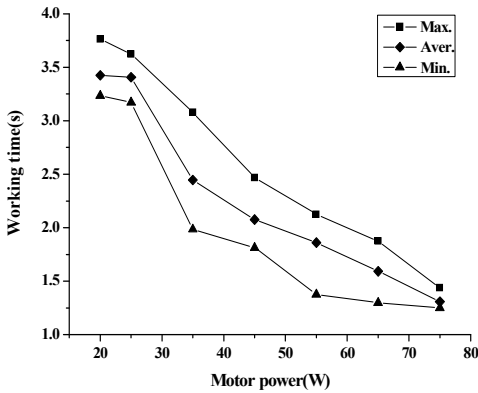


Fig. 11 Working time according to motor power in error $\pm 0.4^\circ$

5. 결론

열용착 공정의 삽입, 용융, 압착 공정은 세탁기 밸런스가 상·하 지그에 각각 맞물리게 되는 방향성이 세탁기 밸런스의 자동화 생산에 중요한 인자이다. 본 논문에서는 머신 비전 시스템을 적용하여 세탁기 밸런스의 방향 인식을 위한 알고리즘을 개발하였다. 세탁기 밸런스의 특정 부위를 템플릿 매칭하여 실시간 획득한 영상으로부터 밸런스의 중심점을 구하고, 에지 검출 함수와 캘리퍼 함수를 이용하여 세탁기 밸런스 영상의 기준선을 구할 수 있었다. 그 결과 세탁기 밸런스의 정렬 불량 각도를 구할 수 있었다. 또한 실제 시스템에 적용하기 전에 개발한 알고리즘을 검증하고 중요 공정 변수를 선정하기 위해 실험실 수준의 모형 실험 장치를 구성하였다. 실험 장치를 구성하여 모터 속도, 정렬 정밀도, 정렬 시간의 영향을 확인하였다. 세탁기 밸런스 방향 인식 프로그램으로 추후 세탁기 밸런스 열용착 공정과 로딩/언로딩 로봇에 대한 자동화시스템의 구축에 활용되어 생산현장에 적용 가능할 것으로 사료된다.

후기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참고문헌

1. Ikeuchi, K. and Kanade, T., "Automatic Generation of Object Recognition Programs," Proceedings of the IEEE, 76(8), pp. 1016-1036, 1988.
2. Katsuri, R. and Jain, R. C., "Computer Vision : Advances and Applications," IEEE Computer Society Press, Las Alamitios, California, 1991.
3. Lowe, D., "Three-dimensional Object Recognition from Single Two-dimensional images," Artificial Intelligence, 31(3), pp. 355-395, 1987.
4. Otsu, N., "A threshold selection method from gray-level histograms," IEEE Transactions on System Man Cybernet, Vol. 9, pp. 62-66, 1979.
5. Prasanthi, G. and Jin, C. and Jeannine, G. and Ernest, L. H., "Machine Vision Fundamentals," Marcel Dekker, New York, pp. 1~43, 2000.
6. Jain, R. and Kasturi, R. and Schunck, B. G., "Machine Vision," McGRAW-HILL, Singapore, pp. 289~291, 1995.