



## 저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

2009 년 2 월  
석사학위논문

세탁기 밸런스의 열용착 시스템에  
관한 연구

조선대학교 대학원

기계공학과

김태호

세탁기 밸런스의 열용착 시스템에  
관한 연구

A study on hot plate welding system of balance  
for washing machine

2009 年 2 月 25日

조선대학교대학원

기계공학과

김태호

세탁기 밸런스의 열용착 시스템에  
관한 연구

지도교수 정 상 화

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함.

2008 年 10 月 日

조 선 대 학 교 대 학 원

기 계 공 학 과

김 태 호

# 김태호의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 이 규 태 印

위 원 조선대학교 교수 장 완 식 印

위 원 조선대학교 교수 정 상 화 印

2008 年 11 月 日

조선대학교 대학원

# 목 차

LIST OF TABLE .....	IV
LIST OF FIGURES .....	V
ABSTRACT .....	VIII
제 1 장 서 론 .....	1
제1절 연구배경 및 목적 .....	1
제2절 연구 동향 .....	4
제3절 연구내용 및 방법 .....	6
제 2 장 세탁기 밸런스용 열용착 공정 열해석 .....	8
제1절 세탁기 밸런스 열용착 공정 .....	8
제2절 열용착 공정 열해석 .....	12
1. 열접촉 저항 이론 .....	15
2. 열해석 조건 .....	16
3. 열해석 결과 .....	18

## 제 3 장 세탁기 밸런스용 열용착 시스템 설계

및 동특성 해석 .....	22
제1절 ADAMS .....	22
제2절 ADAMS를 이용한 열용착 시스템 모델링 .....	25
1. 모델링 과정 .....	25
2. 작업 공간 확보를 위한 시뮬레이션 .....	29
제3절 열용착 시스템 동특성 해석 .....	31

## 제 4 장 세탁기 밸런스 방향 인식을 위한

머신 비전 시스템 적용 .....	40
제1절 머신 비전 시스템 구성 .....	40
제2절 영상 처리 .....	44
제3절 영상 처리 알고리즘 적용 .....	52
1. 프로그래밍 환경 .....	52
2. 시뮬레이션 결과 .....	55
제4절 실험 장치 구성 및 결과 .....	57

1. 실험 장치 구성 .....	57
2. 실험 조건 .....	60
3. 실험 결과 .....	64
제 5 장 결 론 .....	68
참 고 문 헌 .....	70



# LIST OF TABLES

Table 2-1 Measurement temperature .....	16
Table 2-2 Input conditions for thermal analysis in hot plate and balance .....	17
Table 2-3 Temperature distribution according to thermal conductance between hot plates .....	20
Table 2-4 Temperature distribution according to thermal conductance between hot plate and balance .....	20
Table 2-5 Thermal strain expected in each part by thermal analysis .....	21
Table 3-1 Specification of robot arm and hot plate welder .....	30
Table 4-1 Specification of machine vision system .....	41
Table 4-2 Information acquired through image .....	55
Table 4-3 Specification of machine vision apparatus .....	58
Table 4-4 Calibration chart .....	61

# LIST OF FIGURES

Fig. 1-1 Contents of study .....	7
Fig. 2-1 Washing machine .....	9
Fig. 2-2 Hot plate welding process .....	11
Fig. 2-3 Error generated in unloading process of balance .....	12
Fig. 2-4 Modeling of hot plate .....	13
Fig. 2-5 Modeling of balance used in washing machine .....	14
Fig. 2-6 Thermal contact resistance .....	15
Fig. 2-7 Temperature distribution without thermal contact resistance of hot plate .....	17
Fig. 2-8 Temperature distribution in case of considering thermal contact resistance .....	19
Fig. 2-9 Thermal strain in hot plate welding process .....	21
Fig. 3-1 CAE by ADAMS .....	23
Fig. 3-2 Flow chart of design process .....	24
Fig. 3-3 Structure of hot plate welder .....	26
Fig. 3-4 Components of hot plate welder .....	26
Fig. 3-5 Draft drawing of hot plate welder .....	27
Fig. 3-6 Kawasaki-FS series .....	29
Fig. 3-7 Modeling of robot arm .....	29
Fig. 3-8 Hot plate welder .....	30
Fig. 3-9 Modeling of hot plate welder .....	30
Fig. 3-10 Modeling of hot plate welder in ADAMS .....	31

Fig. 3-11 Hot plate welding process by ADAMS .....	34
Fig. 3-12 Dynamic states of hot plate welder system .....	39
Fig. 4-1 Machine vision system .....	41
Fig. 4-2 Flow chart of machine vision system .....	43
Fig. 4-3 Histogram plot .....	44
Fig. 4-4 $M \times N$ image array in pixels .....	46
Fig. 4-5 Thresholding .....	46
Fig. 4-6 Distribution of correct and incorrect matching scores .....	49
Fig. 4-7 Edge detection of object .....	50
Fig. 4-8 Edge detection .....	51
Fig. 4-9 Gauging of object .....	51
Fig. 4-10 Image acquired in balance .....	53
Fig. 4-11 Mid points in balance .....	54
Fig. 4-12 Misaligned angle .....	54
Fig. 4-13 Alignment program of balance using machine vision .....	56
Fig. 4-14 Process for recognition direction of object by machine vision .....	57
Fig. 4-15 Structure of object .....	58
Fig. 4-16 Photograph of experimental apparatus .....	59
Fig. 4-17 Control of servo motor using machine vision data .....	60
Fig. 4-18 Velocity of motor according to motor power .....	61
Fig. 4-19 Machine vision program for experiment .....	62
Fig. 4-20 Flow chart of experimental apparatus .....	63
Fig. 4-21 Working time according to motor power in error $\pm 0.2^\circ$ .....	65

Fig. 4-22 Working time according to motor power in error  $\pm 0.3^\circ$  66

Fig. 4-23 Working time according to motor power in error  $\pm 0.4^\circ$  67

# ABSTRACT

## A study on hot plate welding system of balance for washing machine

Kim Tae Ho

Advisor : Prof. Jeong, Sang-Hwa, Ph.D.

Department of Mechanical Engineering,

Graduate School of Chosun University

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 thermal characteristics of the hot plate and the balance have to be considered for reducing defects of plastic welding. The hot plate welder brings about many problems which is concerned with accident. The workers are protected by loading/unloading system for balance of washing machine in hot plate welder. The direction recognition and location information in the balance is required in this system.

In this thesis, hot plate welding system of balance for the washing machine is studied. The major researches are as follows.

Thermal analysis in the hot plate welder for balance of the washing

machine is studied. The heat source in hot plate welder plays a really important role for welding of washing machine balance. The temperature distributions of the hot plate and the balance of washing machine are obtained by finite element analysis. The temperatures of the hot plate are measured by the infrared temperature sensor in order to find the thermal contact resistance. The thermal strain of the plastic balance is predicted by thermal-structural coupled analysis.

The hot plate welding process is simulated by using ADAMS software. The process scheduling and the working space of hot plate system are predicted through the results of the simulation.

The machine vision system is applied to the recognition direction of balance in washing machine. The template is sub-image which expresses the geometric characteristics of balance for the washing machine. 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 using LabVIEW.

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구배경 및 목적

세탁기는 주로 전동기를 주력으로 하며, 세제와 물을 이용하여 의복에 묻어 있는 오물을 떼어 내도록 세탁과 행굼, 탈수의 과정을 진행한다. 백색 가전 중 하나로써 국민 소득의 증가와 함께 수급이 동반된다. 백색 가전의 여러 품목 중 생산 측면에서 투자 비중이 높은 것이 세탁기이다. 또한 가정용 냉장고와 더불어 상품 단가가 높은 특징이 있다. 산업적 측면에서 세탁기 산업은 장치 산업이고 금형, 자재, 전기, 전자 분야를 부품산업으로 갖는 종합적 성격을 띠고 있다. 예를 들어 금형설계기술, 전자제어기술, 환경보호기술, 에너지절약기술, 저소음진동 구현기술 등 원천 기술을 포함한 첨단 기술이 제품에 반영되어 있다. 18세기 후반에 미국 James T. King이 발명한 실린더식(cylinder type)으로 이것이 오늘날 사용되는 드럼식(drum type) 세탁기의 원조이다. 세탁기는 유럽지역에서 주로 사용되는 드럼식과 아메리카 지역의 교반식(agitator type), 그리고 한국과 일본 등 동아시아 지역에서 사용되는 와권식(pulsator type)으로 크게 세 가지로 분류된다. 이 중에 와권식 세탁기는 1960년 일본에서 개발된 방식으로 원판 모양의 펄세이터를 회전시켜 생긴 물살로 세탁을 하는 방식이다. 그리고 세탁조의 균형을 잡아주는 밸런스(balance)는 진동과 소음에 깊숙이 연관되어 있다. 이러한 밸런스는 세탁기 밸런스를 용착하는 방법에 따라 직접 가열 방식과 간접 가열 방식이 있다. 밸런스의 주재료는 폴리프로필렌(polypropylene)이고, 밸런스의 용착에 적합한 방법은 직접 가열 방식이다. 열용착기는 직접 가열 방식을 이용하여 열용착 공정을 진행한다.

현재 세탁기 밸런스용 열용착기는 열용착 시스템만으로 구성되어 있어 산업 현장의 욕구를 충족하기 어렵다. 인건비 상승과 열용착 공정의 열악한 작업환경으로 인해 인력 수급의 어려움이 있고, 안전사고의 발생 위험성이 높다. 또한 세탁기 밸런스 전용 열용착 시스템이 아니므로 산업현장의 작업여건과 수행 업무를 충분히 고려하지 못하고 있다. 열용착기는 상하 지그에 고정된 용착물을 재질의 용융 온도보다 약간 높은 온도로 가열된 열판으로 가열, 연화, 용융시킨 후 용착부위가 충분히 녹았을 때 열판을 제거하고 상호 가압한 후 굳을 때까지 냉각하여 용착을 이루는 방법으로 작업자의 부주의나 기기의 오작동으로 인해 안전사고가 발생할 우려가 있다. 따라서 열용착기에 세탁기 밸런스

를 로딩/언로딩하는 작업은 단순 반복 작업으로 작업자에게 지루함과 피로감을 유발한다. 여러 대의 열용착기를 가동할 경우 기기 한 대 당 한 명의 작업자를 필요로 하기 때문에 인력 활용적인 면에서 비효율적이다.

2004년 세계 자동화 산업 시장 규모는 2,050억 유로이며, 매년 3-8%의 지속적인 성장세를 보이고 있다. 국내 기계산업은 그동안 만성적인 무역적자에 시달렸지만 2004년을 기점으로 흑자로 전환돼 지난해에는 221억 달러 수출을 통해 43억 달러 흑자를 기록하며 주요 수출산업으로 성장하고 있다. 최근 기계 산업의 추이는 선진국을 중심으로 기계기술과 전자기술이 융합된 메카트로닉스 기술을 통해 자동화 산업으로 발전하고 있으며, 우리나라의 기계산업 또한 앞선 IT 기술력을 바탕으로 새로운 도약을 추진 중에 있다. 자동화 기술은 중소기업의 인력난을 해소하고 제품의 품질과 생산성 향상을 위해 필요한 산업핵심 기술로서 일본, 독일, 미국 등 선진국이 주도하고 있는 고부가가치의 분야이며, 최근에는 IT와 접목되면서 서비스, 의료등 산업전반에 걸쳐 자동화가 확산되고 있어 연간 8억 달러에 이르는 자동화 설비를 수입에 의존하고 있다. 또한 자동화 기술은 생산 공정에 따라 적합한 형태와 구동이 이루어져야 하므로, 산업 현장에서 필요로 하는 수요보다 공급이 충족되지 못하고 있다. 자동화 기술에 대한 인력의 부족과 산업 현장의 생산라인의 여건에 따른 맞춤형 기술 개발이 이루어져야 하므로 현장에서 자동화의 필요성을 느끼면서도 공정의 자동화가 이루어지지 않고 있다. 따라서 산업 현장에서 생산품을 제조하고, 그 요구에 맞추어 대학에서 자동화를 지원함으로써 기업의 매출 증대를 꾀하고 인력의 활용 범위를 넓힐 수 있다.

세탁기 밸런스 생산에 적합한 직접 가열 방식은 용착물과 열판이 직접 맞물려서 열을 전달하여 용융시키는데 열판의 온도에 따라 밸런스의 품질과 전체 공정의 자동화에 많은 영향을 미친다. 세탁기 밸런스 열용착시 문제점을 미리 알고 대응하는 것은 제품의 품질과 생산성 향상에 있어서 매우 중요한 일이다. 용착물 결과물을 예측하는 과정에서 숙련된 경험에 의해 문제점을 파악하고 적용하는 것이 효과적일 수도 있으나 최근 동향으로 제품의 형상과 기능이 복잡해지며 제품의 품질과 생산성의 향상에 따라 과거의 경험에 의존하는 방법은 더 이상 효과적일 수 없게 되었다. 따라서 열용착 공정의 열해석을 수행하여 그 결과를 데이터화하고 가상 모델의 컴퓨터 시뮬레이션을 수행함으로써 열전달 현상을 보다 체계적으로 해석함으로써 열용착 공정에서 문제점을 파악하여 비용 절감과 시간 단축 등 유형의 이익은 물론 설계자들의 능력 개발과 기술 축적 효과도 얻을 수 있다.



자동화 산업의 중심에 자리 잡고 있는 산업용 로봇을 도입함으로써 작업환경을 개선하고 단순 반복 작업으로부터 작업자를 해방시키고 또한 고부가가치 창출이 가능하다. 산업용 로봇의 도입을 위한 시스템 구성의 일환으로 세탁기 밸런스용 열용착기와 로딩/언로딩 시스템 사이의 매개체가 필요하다. 로봇 비전(robot vision) 또는 머신 비전(machine vision)은 로봇 가이드스(robot guidance)의 역할로 로봇에 인공눈의 기능을 부여함으로써 생산공정의 흐름에 있어서 중요한 역할을 한다. 머신 비전이란 2차원 화상 자료로부터 여러 가지 유용한 정보들을 얻는 것으로서, 사물 또는 제품의 육안검사를 대신하여 카메라와 컨트롤러로 자동 검출하는 방식을 말한다. 이미 여러 분야에서 머신 비전은 그 빛을 발하고 있다. 의료 분야에서는 컴퓨터 단층 촬영(computed tomography), 위성자료에 대한 기상 예측시각과 산업 분야의 검사(visual inspection), 부품 확인(parts identification), 문서 이미징(document imaging)등에 걸쳐 응용되고 있다. 과거에는 단순히 유무검사나 제품형태의 구별 등 간단한 기능을 수행하였으나 최근에는 고해상도와 고기능을 저가로 실현하기 위해 소형화가 진행되고 있다. 그리고 산업 자동화에 대한 유연성, 신속성, 신뢰성, 생산성을 증가시키는 장점을 가진다. 그러므로 인력 절감과 생산성 증가, 시스템의 안전성 확보를 위해 세탁기 밸런스용 열용착기의 로딩/언로딩 시스템의 공정 자동화가 필요하다.

## 제 2 절 연구 동향

### 1. 열접촉 저항

이론적인 열전도계수 예측모델이 나와 있긴 하지만 실제 실험적인 자료와는 많은 차이를 보이고 있다. 실험을 통해 측정된 자료 역시 오차를 많이 포함하고 있는데, 대표적인 실험 오차로서 열접촉저항이 있다.

Rhee와 Narh는 사출성형 고정에 적용할 수 있는 열접촉저항을 측정해 낼 수 있는 실험적 방법을 제안하였다. Rhee는 종래의 열전도계수 측정 방법의 기본원리를 사용하여, 플라스틱 재료의 열접촉저항 측정을 위한 장치를 고안하였다. 두께가 다른 시편을 사용하여 각 시편에 대한 총 열저항을 직선 근사하여 열접촉저항과 열전도계수를 구하였다.<sup>[1][2]</sup> Hall은 표준화된 실험 장치로서 플라스틱 재료의 열전도계수를 측정하였다. 간접적으로 폴리스타이렌(PS)과 구리 사이의 열접촉저항을 근사적으로 유도하였다.<sup>[3]</sup> Kwak은 접촉하는 두 물체사이의 접촉면의 틈새 형상 및 비접촉면적비의 크기에 따른 접촉 열저항의 크기를 구하였다.<sup>[4]</sup>

### 2. 머신 비전

머신 비전은 인간의 시각을 대체하는 역할을 수행함으로써 생산 공정 부분에서 자동화 검사 시스템이나 산업용 로봇에 적용되고 시각 센서를 통하여 획득한 정보로부터 2차원이나 3차원 정보에 대하여 스스로 판단을 내려 원하는 목적을 달성하도록 한다. 이러한 머신 비전 시스템의 도입으로 생산 공정의 자동화를 구축하여 생산 시간을 단축하고 오랜 시간 작업에 누적되는 작업자의 피로에 무관한 효율적인 생산 체제를 가능케 한다. 이와 같은 지능적인 처리를 위해 영상의 밝기 정보만을 갖고 있는 입력 자료로부터 정보를 추출하기 위하여 여러 가지 전처리를 하게 된다. 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.<sup>[5][6][7]</sup>

로봇에 전용된 비전 시스템으로 Makhlin은 카메라를 수직으로 설치해 이진 영상(binary image)으로 원형 형상의 위치를 알아내어 전기 모터의 조립을 수행하였다.<sup>[8]</sup>

Moshe Shoham은 4개의 요소로 구성된 스폿(spot)감지기로 2차원 상에서 방향과 속도 정보를 이용하여 용접선을 추적하는 작업을 수행하였다.<sup>[9]</sup>

검사 시스템(inspection system)의 적용으로 Ligangyu Lei는 머신비전을 이용하고 적절한 이미지 프로세싱을 통하여 베어링의 내부 및 외부 직경을 표준편차  $15\mu\text{m}$  정도로 판단할 수 있도록 하였다.<sup>[10]</sup>

그 밖에 여러 분야에서 적용된 비전 시스템은 항공기엔진 금속표면의 흠집 유·무의 존재여부를 검사하는 시스템<sup>[11]</sup>, 가공된 금속면을 자동으로 검사하는 시스템<sup>[12]</sup>, 위성사진에서 도로나 공화 활주로를 판별하는 시스템<sup>[13]</sup>, 영상에 겹친 두물체를 판별하는 시스템<sup>[19]</sup>, 주조된 고무제품의 검사<sup>[14]</sup>등이 있다.

### 제 3 절 연구내용 및 방법

본 논문에서는 세탁기 밸런스용 열용착기 로딩/언로딩 시스템의 자동화에 필요한 설계 인자들을 Fig. 1-1과 같이 크게 세 가지로 나누어 연구를 진행하였다.

1. 세탁기 밸런스용 열용착 공정 열해석
2. 자동화 로봇의 로딩/언로딩에 필요한 열용착기의 작업 공간 및 동특성 해석
3. 자동화 로봇의 세탁기 밸런스 방향 인식에 필요한 머신 비전 시스템

첫 번째로, 열용착기의 열판(hot plate)과 세탁기 밸런스를 3차원 모델링하여 유한요소해석을 수행하였고, 열판과 용착물의 온도분포를 예측하였다. 적외선 온도센서를 이용하여 열판과 용착물의 온도를 측정하고, 열해석에 측정 온도를 적용하여 열접촉저항을 구하였다. 이를 바탕으로 측정한 온도 분포와 해석 결과를 비교하였다. 직접 가열 방식의 열용착 공정의 열적특성을 파악하여 용착물의 온도 분포를 해석하고, 열하중에 의해 발생하는 열변형량을 예측하였다.

두 번째는, 세탁기 밸런스용 열용착기 설계에 있어서 밸런스의 무게(3.5kg)를 고려하여 시중에 상용화되고 있는 산업용 로봇을 임의로 선정하고 열용착기에 필요한 작업 공간을 확보하기 위해 ADAMS를 이용하여 가상 시뮬레이션을 하였다. 또한 열용착 시스템의 구동 영역을 해석하여 로딩/언로딩 자동화 시스템에 필요한 공정 시간 데이터를 정리하였다.

세 번째로는, 열용착 공정의 삽입, 용융, 압착 공정은 세탁기 밸런스가 상·하 지그에 각각 맞물리게 되는 방향성이 세탁기 밸런스의 자동화 생산에 중요한 인자이므로 머신 비전 시스템을 적용하여 세탁기 밸런스의 방향 인식을 위한 위치, 회전각 등의 정보를 획득하고 LabVIEW를 이용하여 프로그래밍하였다. 세탁기 밸런스의 특정 부위를 템플릿 매칭(template matching)하여 실시간으로 획득되는 영상 데이터의 중심점을 구하고, 에지 검출 함수와 측정 함수를 이용하여 세탁기 밸런스 영상의 기준선을 도출하였다. 위의 결과를 바탕으로 획득 영상의 회전각을 구할 수 있었다. 또한 자동화 로봇의 그리퍼(gripper)의 회전 운동을 서보 모터로 장치를 구성하여 실험한 결과로 머신 비전 시스템의 적용 가능성을 확인하였다.

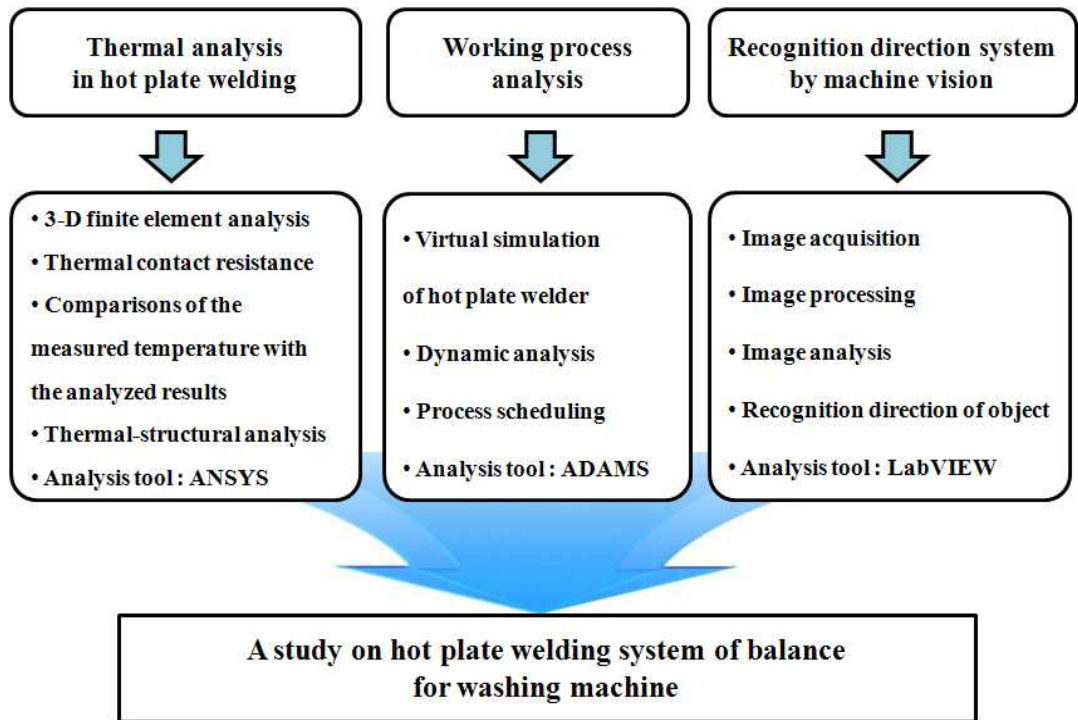


Fig. 1-1 Contents of study

## 제 2 장 세탁기 밸런스용 열용착 공정 열해석

### 제 1 절 세탁기 밸런스 열용착 공정

세탁하는 과정에서 세탁봉의 회전에 의해 세탁물이 한쪽으로 치우치는 현상이 발생하고 이로 인해 진동과 소음이 발생한다. 세탁기 밸런스는 Fig. 2-1과 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. 밸런스 내부에 주입되는 염수가 새지 않도록 용착하기 위해 열용착기를 사용한다. 열용착기는 용착물이 크거나 용착 부위가 3차원 형상의 복잡하고 정밀한 제품을 용착하는데 적합하다. 또한 높은 인장 강도와 수밀, 기밀 등을 요구하는 제품에 사용된다. 용착 방법에 따라 다음과 같이 분류된다. 첫째 일반적으로 널리 사용되는 열판에 제품을 직접 가열하는 직접 가열 방식이 있다. 직접 가열 용착 방법에는 낮은 온도를 이용하며 적합한 재료로는 PP, PE, PVC, ABS 등 용점이 낮은 제품과 플라스틱 재료에서 열을 오래 보존하고 있는 특성을 가진 제품에 주로 사용된다. 둘째로 간접 가열 용착 방법이 있다. 이 방법은 높은 온도를 이용하여 Nylon, Acetal, Acrylic 그리고 Filter 등이 함유된 제품에 이용하고 있다. 셋째로 두 가지 방법을 혼용한 용착 방법으로 용점이 서로 다른 부품을 서로 다른 온도를 유지하며 용착할 때 사용한다. 세탁기 밸런스의 용착에 적합한 용착 방법은 직접 가열 용착이다.

세탁기 밸런스 열용착 공정은 Fig. 2-2와 같이 6단계로 이루어진다. 낮은 온도를 직접 가열하는 용착 방법으로 용융되고 취출하는 과정을 나타내었다. 열용착 공정은 상·하 지그(jig)에 의해서 용착물이 상·하로 나뉘고, 열판이 삽입된다. 상·하 지그가 가압되면서 용착물을 접촉시켜 용착에 필요한 용융층을 형성한다. 지그가 상·하로 분리되면서 열판이 제거되고, 상·하 지그에 의해 용착물이 압착된다. 마지막으로 상지그가 열리면서 하지그에 남아있는 밸런스를 취출한다.

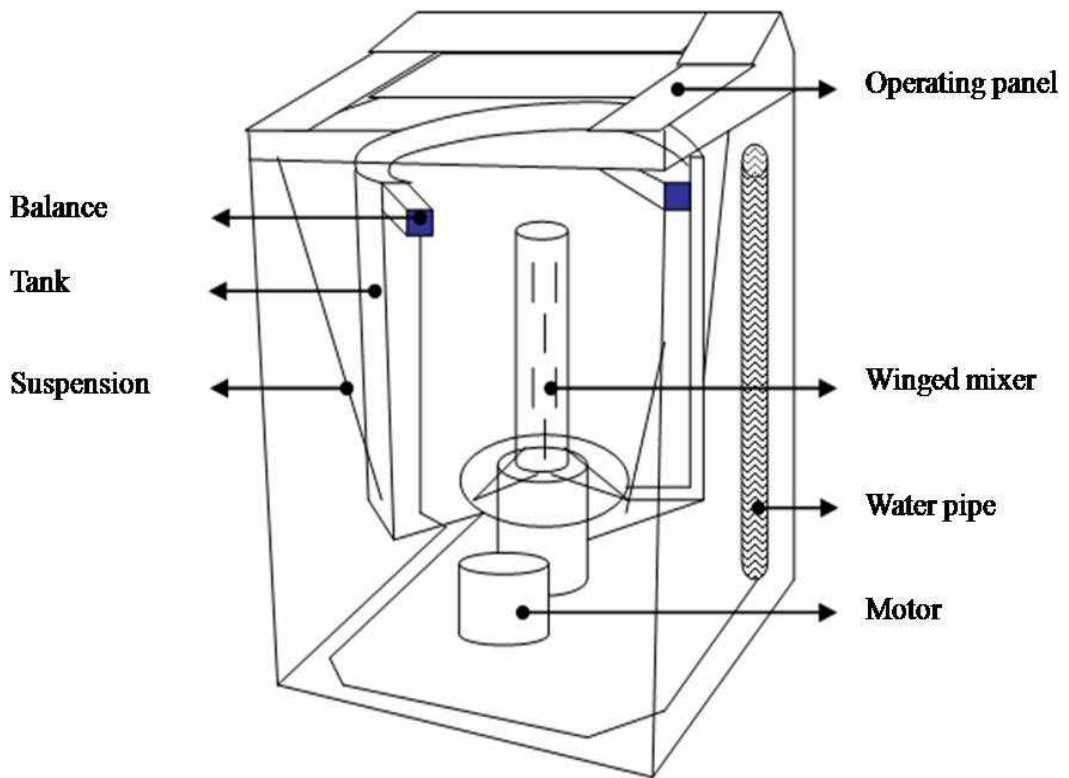
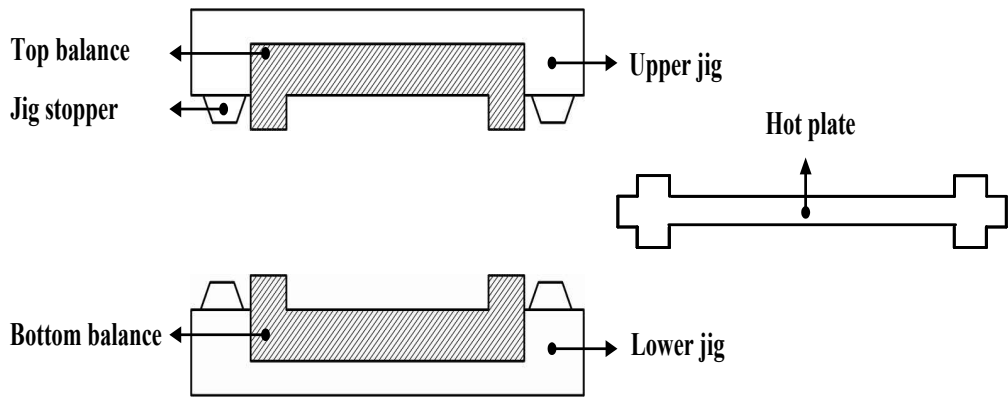
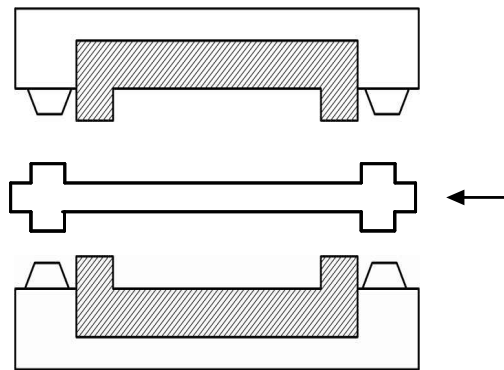


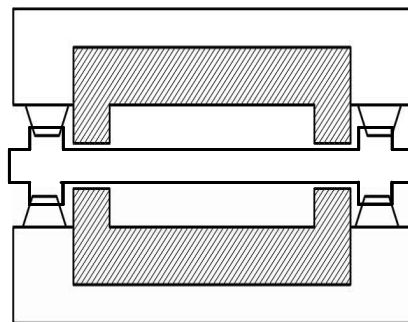
Fig. 2-1 Washing machine



(a) Loading balance

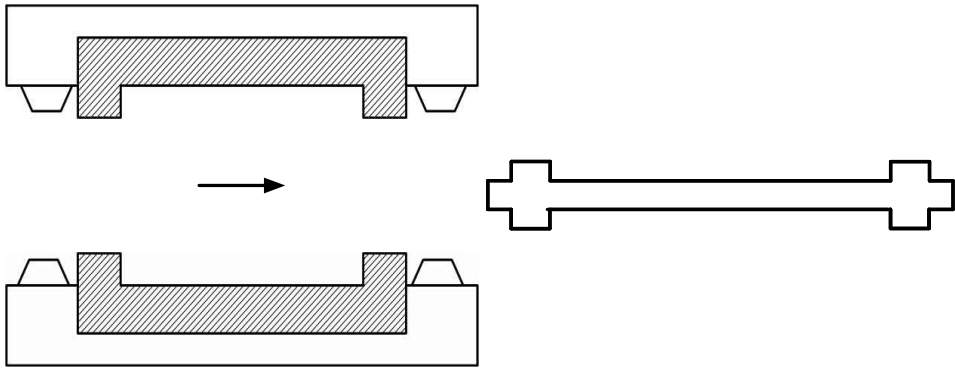


(b) Put in hot plate

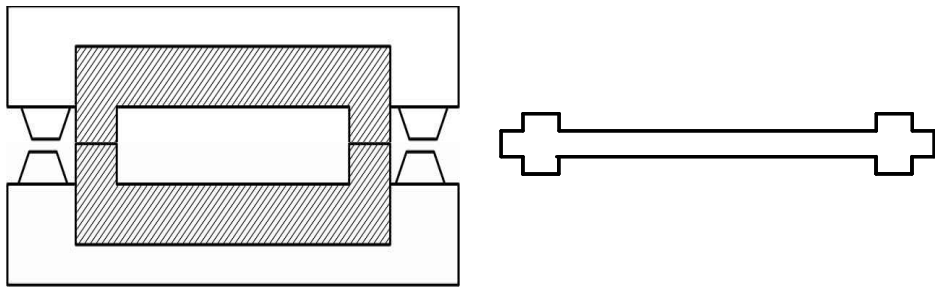


(c) Press

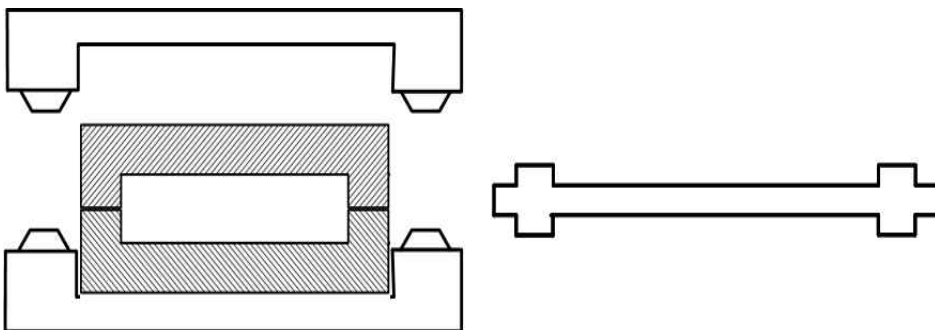




(d) Put out hot plate



(e) Welding



(f) Molding balance

Fig. 2-2 Hot plate welding process

## 제 2 절 열용착 공정 열해석

세탁물의 편중에 의한 진동을 최소화하기 위하여 세탁기 밸런스 내부에 모래를 주입하였으나 최근에는 모래에 비해 유동성이 뛰어나고, 부패의 염려가 적은 염수를 주로 사용한다. 세탁기 밸런스를 잘 용착하지 못하면 내부 물질이 새어 나오게 된다. 따라서 열용착 공정에서 밸런스를 가열하는 열판의 온도가 열용착 공정의 중요한 설계 인자이다. 열용착기의 열판의 온도가 적정선의 그 이상 또는 이하가 되면 세탁기 밸런스의 취출 과정에 문제가 발생한다. Fig. 2-3과 같이 세탁기 밸런스가 필요 이상으로 팽창되어 열용착기 상·하판 지그에서 취출이 쉽지 않고, 적정 온도 이하일 경우 세탁기 밸런스의 압착 시간이 오래 걸리게 된다. 열용착 공정에서 열판의 온도 분포와 열판 가열로 인해 세탁기 밸런스에 발생하는 온도 분포를 파악하기 위하여 열용착 공정의 열해석을 수행하였다. Fig. 2-4와 같이 열판과 세탁기 밸런스를 모델링하였다. Fig. 2-4(a)와 같이 중간열판(center plate)의 중심부에 열이 고르게 퍼지게 하기 위해 8개의 열선을 삽입하여 열판을 가열하고 4개의 온도센서를 이용하여 열판의 온도를 조절한다. 열판은 열원이 되는 중간 열판과 용착물이 직접적으로 맞물리는 상·하 열판(upper and lower plate)으로 이루어져 있고, 알루미늄-6061을 사용하여 제작하였다. Fig. 2-4(b)의 A, B, C, D는 열판의 실제 온도를 측정된 지점들이다. 세탁기 밸런스는 Fig. 2-5와 같이 상·하 밸런스로 분리되어 있고, 재질은 폴리프로필렌을 사용한다. Fig. 2-5(b)에 용착물의 용융되는 범위를 나타내었고, 용융 두께는 상·하 4mm이다.

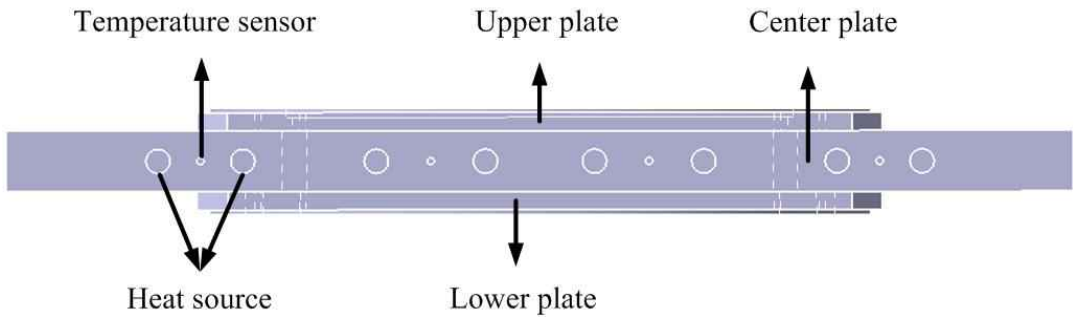


(a) Expansion of balance

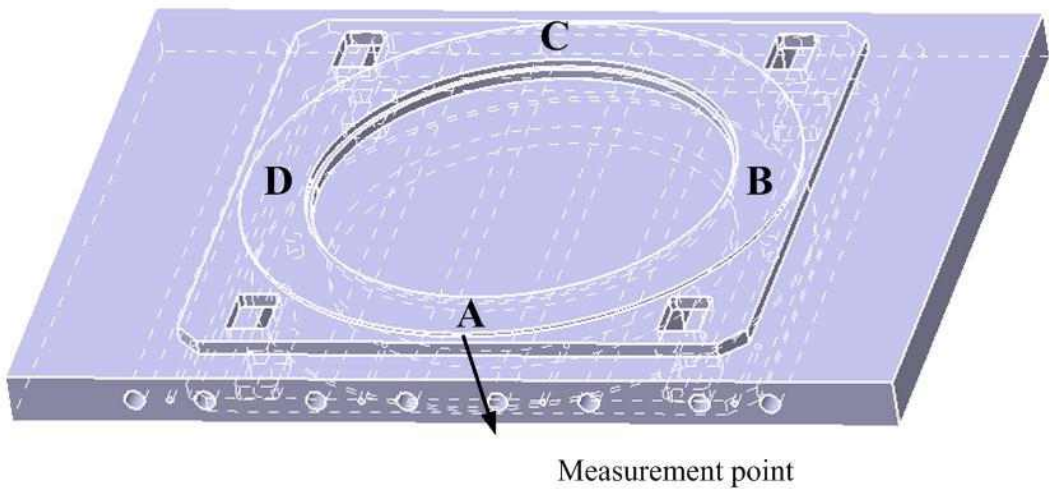


(b) Balance attached in upper jig

Fig. 2-3 Error generated in unloading process of balance

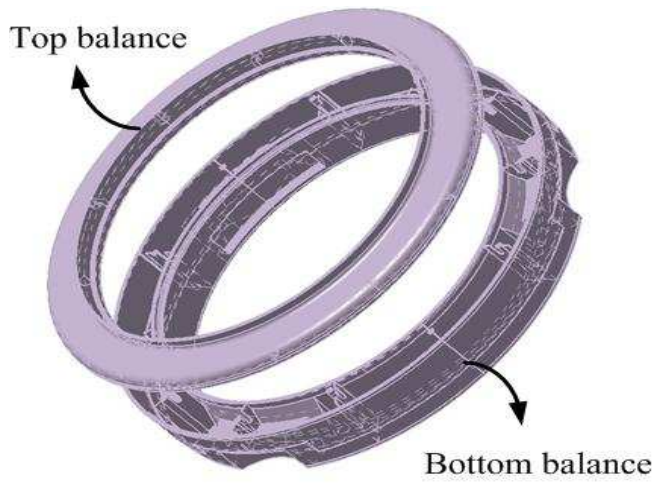


(a) Front view

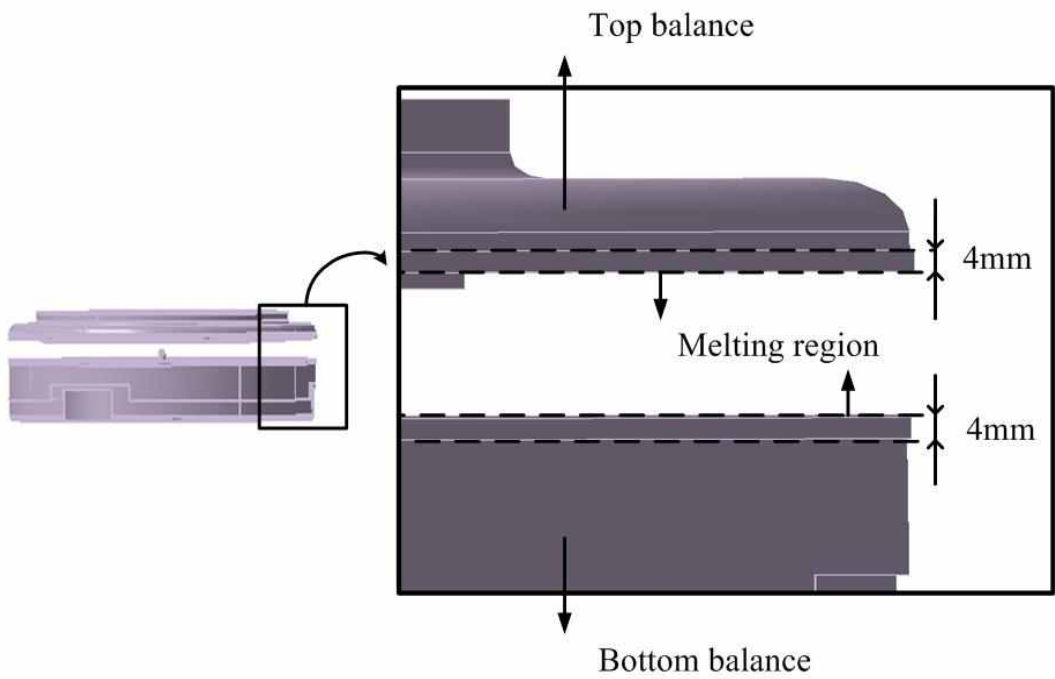


(b) Isometric view

Fig. 2-4 Modeling of hot plate



(a) Isometric view



(b) Front view

Fig. 2-5 Modeling of balance used in washing machine

## 1. 열접촉저항 이론

열접촉저항은 서로 다른 전도표면이 접촉해 있을 때 두 고체 표면 사이에서 발생하고, 두 개의 물질이 꼭 맞지 않거나, 중간에 얇은 유체층이 존재할 때 발생한다. Fig. 2-6과 같이 두 개의 표면이 서로 압착될 때 접촉면은 공기로 채워진 공극(void)을 형성한다. 이 접촉면은 공기의 작은 열전도도로 인해 단열 작용을 하는 여러 크기의 많은 공극을 가진다. 그러므로 접촉면은 열전달에 열저항을 제공하고 이러한 접촉면의 단위면적당 열저항을 열접촉저항 ( $R_c$ )이라 하고 식 (2-1)과 같다.<sup>[15]</sup>

$$R_c = \frac{\Delta T_i}{q/A} = \frac{1}{h_c} \quad (2-1)$$

여기에서,  $q/A$ 는 두 고체 표면을 통한 열유속이고,  $\Delta T_i$ 는 두 고체 표면에 의한 유체 간극사이의 온도차,  $h_c$ 는 열접촉전도(thermal contact conductance)를 나타낸다. 열접촉저항은 두 표면이 완벽하게 접촉해 있으면 0이 되고, 접촉압력이 증가하면 접촉저항이 감소한다.

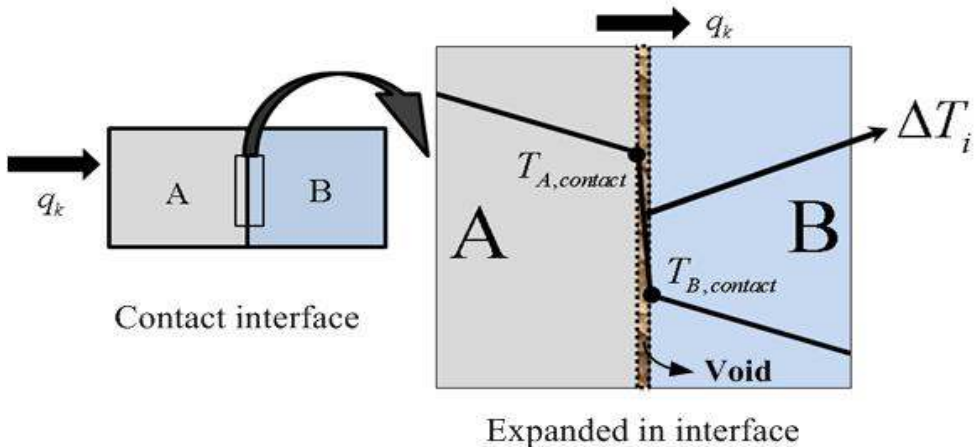


Fig. 2-6 Thermal contact resistance

## 2. 열해석 조건

열접촉전도를 구하여 해석과정에 적용하기 위해 열용착 공정에서의 온도 변화를 측정하였다. 열판은 320~340℃의 열원을 사용한다. 적외선 온도 센서를 사용하여 용착물과 맞닿는 상·하 열판의 온도를 측정하였다. Fig. 2-4(b)의 측정점(measurement point)들과 용착물의 용융 지역을 측정한 결과를 Table 2-1에 정리하였다. 열판의 온도는 약 270℃, 용착물의 온도는 약100℃가 측정되었다. 열판사이의 열접촉전도 값을 예측하기 위해서 유한요소해석을 이용하여 정상 상태 열해석을 수행하였다. Table 2-2는 열판과 용착물의 유한요소해석을 위한 입력 조건을 나타내었다. 열판의 물성치는 알루미늄-6061, 용착물은 폴리프로필렌을 사용하였다. 정상 상태 열해석의 경계조건은 대기 온도를 22℃, 열판의 가열 온도를 340℃, 대류열전달계수는 자연대류인 10W/m<sup>2</sup>℃으로 설정하였다. CFX-메쉬를 사용하여 일반메쉬보다 정밀한 메쉬분할을 하였고, 열판보다 복잡한 형상을 갖는 용착물을 세밀하게 요소분할하였다.

Table 2-1 Measurement temperature

Measurement Point	A	B	C	D
(a) Upper plate temperature	272℃	272℃	271℃	270℃
(b) Lower plate temperature	271℃	270℃	270℃	269℃
(c) Balance temperature	110±5℃			

Table 2-2 Input conditions for thermal analysis in hot plate and balance

<b>Mesh</b>	<b>Mesh method</b>		CFX-mesh
	<b>Nodes</b>	<b>Balance</b>	198830
		<b>Hot plate</b>	84181
	<b>Elements</b>	<b>Balance</b>	95695
<b>Hot plate</b>		45633	
<b>Aluminium -6061</b>	<b>Density</b>		2700kg/m <sup>3</sup>
	<b>Thermal conductivity</b>		180W/m·°C
	<b>Specific Heat</b>		896J/kg·°C
<b>Polypropylene</b>	<b>Density</b>		900kg/m <sup>3</sup>
	<b>Thermal conductivity</b>		1.39W/m·°C
	<b>Specific Heat</b>		1925.9J/kg·°C
<b>Steady-state thermal</b>	<b>Ambient Temperature</b>		22°C
	<b>Temperature</b>		340°C
	<b>Convection</b>		10W/m <sup>2</sup> °C

### 3. 열해석 결과

#### 가. 열접촉전도를 고려한 온도분포

Fig. 2-7과 같이 열판사이의 열접촉전도를 고려하지 않은 열판의 온도는 335.54 ~ 340°C의 분포를 보였고, 실제 측정된 온도보다 높은 온도분포를 보였다. 측정된 결과와 해석 결과의 온도차로 보아 열접촉저항이 작용함을 확인할 수 있었다. 실제조건과 유사한 환경으로 열해석을 수행하기 위해 각 부품간에 열접촉저항을 고려하였다. 임의의 열접촉전도에 따른 열판의 온도 분포를 해석하고 그 결과를 Table 2-3에 나타내었다. 열판의 온도 측정과 열해석 결과를 비교한 결과, 열접촉전도를 95W/m<sup>2</sup>°C로 선정했을 때 열판의 온도 해석 결과가 측정 온도와 가장 유사하였다. 열판과 용착물 사이의 열접촉전도를 구하기 위해 열해석을 수행한 결과를 Table 2-4에 나타내었다. 열판과 용착물의 적정 열접촉전도는 190W/m<sup>2</sup>°C이다. 폴리프로필렌의 용융점(melting point)은 134 ~ 174°C이고 용착물의 용착두께변화는 상·하 밸런스에서 각각 2mm이다. Fig. 2-8은 열판사이의 열접촉전도를 95W/m<sup>2</sup>°C, 열판과 용착물의 열접촉도를 190W/m<sup>2</sup>°C일 때의 온도 분포를 해석한 결과이다. Fig. 2-8(b)는 폴리프로필렌의 용융점 134°C이상의 온도 분포 영역을 나타내었다. 해석 결과 용착물은 열판과 맞닿는 부위로부터 약 2mm까지 용융됨을 확인하였다. 실제 세탁기 밸런스의 용착 두께 변화와 열해석 결과가 잘 일치하였다.

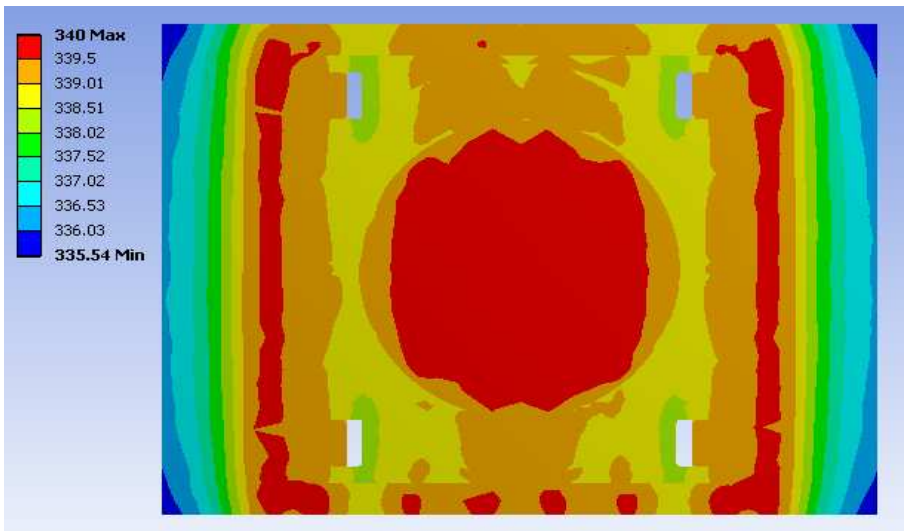
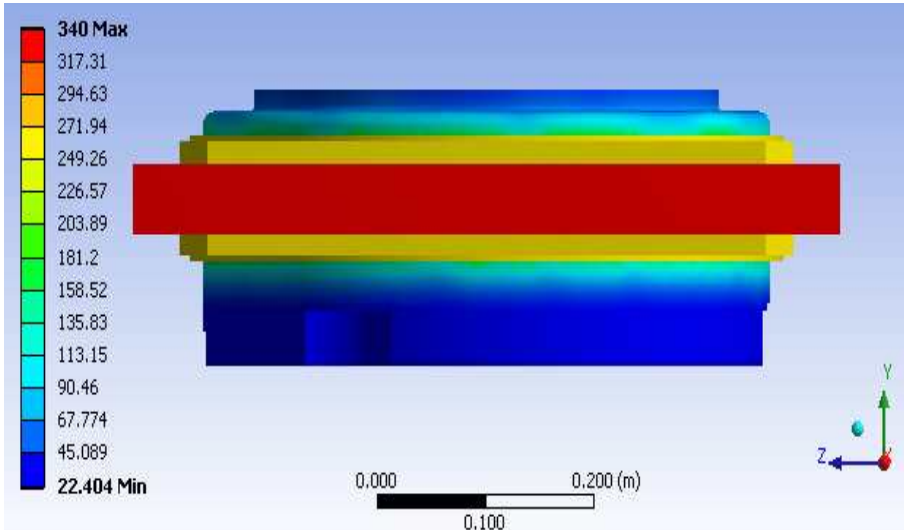
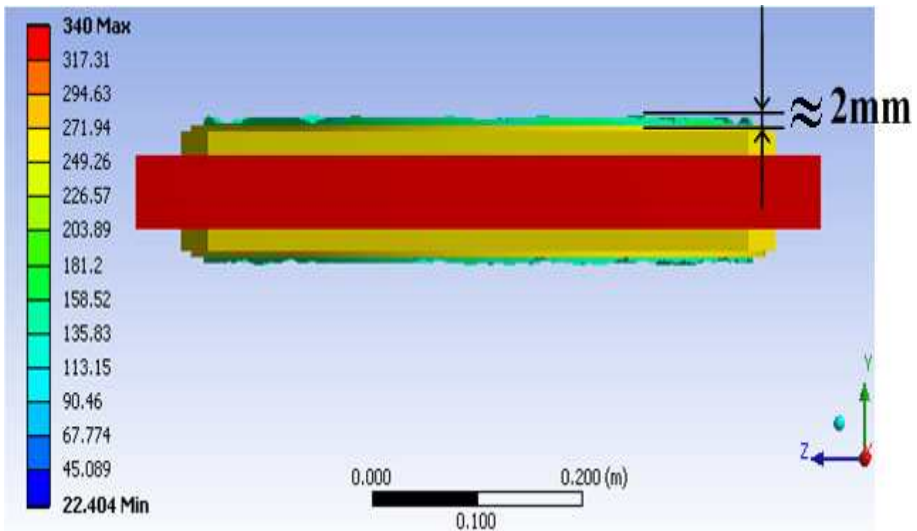


Fig. 2-7 Temperature distribution without thermal contact resistance of hot plate





(a) Temperature distribution of hot plate and balance



(b) Region over 134°C

Fig. 2-8 Temperature distribution in case of considering thermal contact resistance

Table 2-3 Temperature distribution according to thermal conductance  
between hot plates

Thermal conductance (W/m <sup>2</sup> °C)	Upper plate temp. (°C)	Lower plate temp. (°C)
1000	330.14~327.61	330.24~327.74
300	300.93~309.84	312.99~310.35
200	271.41~298.41	301.85~299.17
100	207.87~269.06	272.97~270.38
<b>95</b>	<b>268.66~266.33</b>	<b>270.27~267.70</b>
91	266.29~263.98	267.95~265.38

Table 2-4 Temperature distribution according to thermal conductance  
between hot plate and balance

Thermal conductance (W/m <sup>2</sup> °C)	Top balance (°C)	Bottom balance (°C)
230	245.44~44.21	259.24~22.46
210	244.29~43.51	256.87~22.42
<b>190</b>	<b>242.84~42.69</b>	<b>253.91~22.40</b>
170	240.99~14.76	250.20~22.38
150	238.58~40.71	245.46~22.36
100	228.09~37.28	230.62~22.30

## 나. 열변형률 해석

열해석 결과를 열하중으로 적용하여 열변형 해석을 수행하였고 용착물과 열판의 열변형률을 나타내었다. Fig. 2-9와 같이 최대열변형률은 용착물에서 약 0.021mm/mm 가 발생하였다. Table 2-5는 열용착 공정에서 용착물과 열판의 열변형률을 정리하였다.

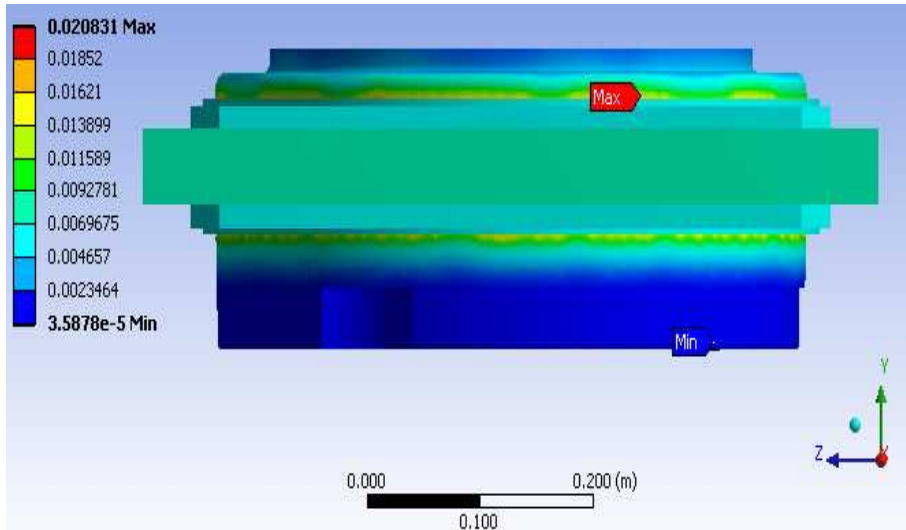


Fig. 2-9 Thermal strain in hot plate welding process

Table 2-5 Thermal strain expected in each part by thermal analysis

Parts	Thermal strain(mm/mm)
Top balance	2.08e-002~1.89e-003
Bottom balance	2.08e-002~3.59e-005
Hot plate	2.08e-003~5.91e-003

## 제 3 장 세탁기 밸런스용 열용착 시스템 설계 및 동특성 해석

전체적인 세탁기 밸런스용 열용착기 로딩/언로딩 시스템의 동적 거동을 이해하고 시스템 동적 특성을 분석하기 위하여 ADAMS를 이용하여 모델링하고 시뮬레이션을 통해 컴퓨터 화면에서 가시화함으로써 가상시제품(virtual prototype)을 제작하여 실험하였다. 이러한 가상시제품의 개발로 인하여 세탁기 밸런스용 열용착 시스템의 거동을 미리 파악할 수 있고 기계를 제작하기 이전에 설계상의 문제점들을 발견함으로써 제작 후 오차수정 등의 손실을 줄여 보다 효율적이고 정확한 설계가 가능하다. 또한 세탁기 밸런스용 열용착 시스템을 기초 설계하기 위해 기존에 시판되고 있는 로봇암을 임의로 선택하여 모델링하고 작업 공간 확보를 위한 시뮬레이션을 수행하였다.

### 제 1 절 ADAMS

ADAMS는 복잡한 기계적인 시스템을 시제품을 만들지 않고 시뮬레이션 함으로써 동적인 거동을 컴퓨터 화면에서 가시화하여 가상시제품을 만들기 위한 프로그램으로 자동차공학, 항공학 및 일반적인 기계공학분야에서 널리 사용되고 있다.

가상시제품이란 실제적인 시제품을 제작하기 이전에 설계한 시스템을 모델링하고 실제와 같은 상황하에서 시뮬레이션하여 3차원적인 시스템의 동적 거동을 컴퓨터 화면 상에서 가시화하는 것을 말한다. 가상시제품을 완성함으로써 시스템 개발의 초기단계에서부터 설계상의 문제를 발견하여 개발시간을 단축할 수 있고, 하드웨어적인 시제품을 만들지 않음으로써 비용을 절감할 수 있고, 여러 가지 설계 사양을 변화시켜 시스템 성능을 쉽게 테스트할 수 있으므로 제품의 질을 향상할 수 있다.

동적 모델링과 가상시제품을 CAD(Computer Aided Design), CATIA (Computer Aided Three dimensional Interactive Application)프로그램과 FEM(Finite Element Method)을 연계하여 Fig. 3-1에서 보는 것과 같이 일련의 CAE(Computer Aided Engineering)을 실현할 수 있다. Fig. 3-2는 ADAMS를 이용하여 모델링하는 과정을 순서도로 나타낸 그림이다. 본 연구에서의 ADAMS를 이용한 모델링과정은 이 순서도

에 준하여 이루어 졌다.

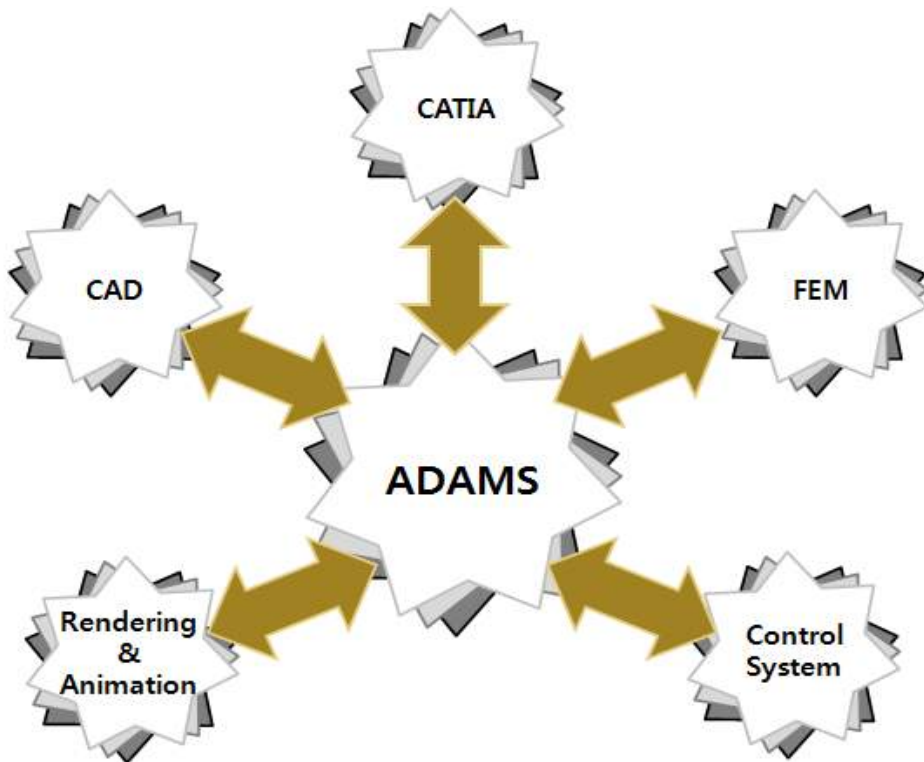


Fig. 3-1 CAE by ADAMS

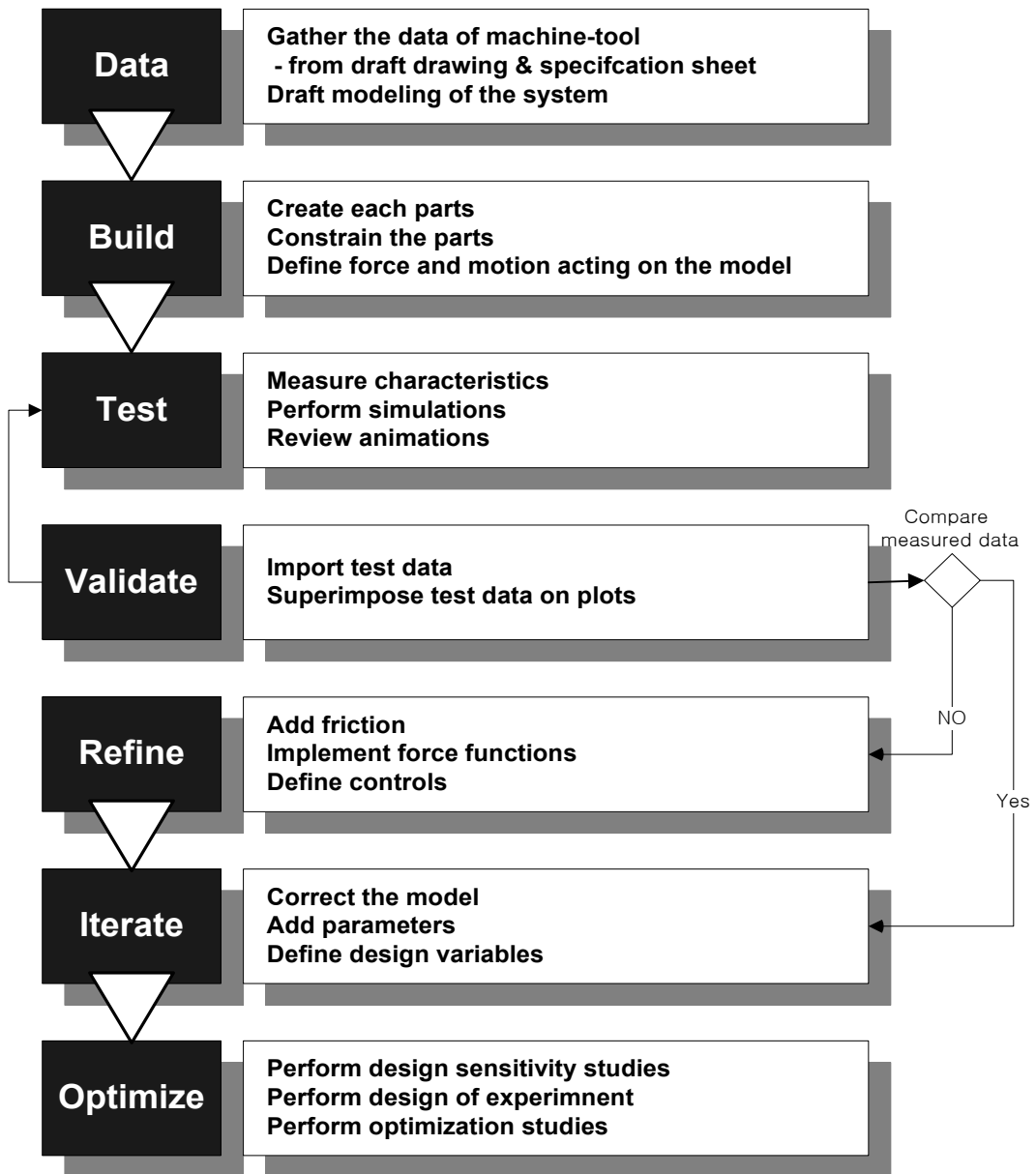


Fig. 3-2 Flow chart of design process

## 제 2 절 ADAMS를 이용한 열용착 시스템 모델링

### 1. 모델링 과정

세탁기 밸런스용 열용착 시스템은 두 가지의 기본 원리로 작업이 진행된다.

1. 상하지그에 고정된 용착물이 재질의 용융온도보다 약간 높은 온도로 가열된 열판에 의해 가열, 연화 용융됨
2. 용착부위가 충분히 녹았을 때 열판이 제거되고 고화될 때까지 가압하여 냉각

간단한 원리에도 불구하고 용착조건과 시스템의 신뢰도가 중요하며, 주위 환경조건에 따라 용착강도가 영향을 많이 받으므로 시스템을 제작할 때 충분히 고려를 하여야 한다.

열용착 시스템의 구조는 Fig. 3-3과 같이 지그부(jig part), 열판부(hot plate part), 구동부, 제어부로 크게 네 부분으로 나뉜다. 지그부는 용착물인 세탁기 밸런스를 고정하는 상·하 지그로 구성되고, 열판부는 용착물의 용착부위를 가열하는 부분으로 중간열판과 상·하 열판으로 나뉜다. 그리고 중간열판에는 6개의 열원이 삽입된다. 구동부는 지그부와 열판부를 움직이는 부분으로 상·하 지그를 지탱하고 열용착시 용착물을 압착하는 프레스와 열판을 고정하고 삽입하는 가이드 레일, 용착물 내부에 내용물을 공급하는 염수 주입 장치 등이 있다. 제어부는 용착물 압착이나 용융 등의 공정에서 상·하판 프레스의 높낮이를 조절하는 조절나사와 열판의 온도를 조정하는 센서 그리고 전체 기계의 동작을 제어하는 컨트롤박스로 구성된다. Fig. 3-4는 열용착 시스템의 구성 요소를 나타내었다.

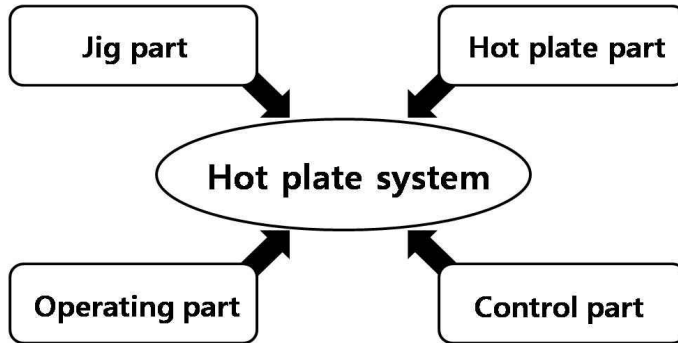


Fig. 3-3 Structure of hot plate welder

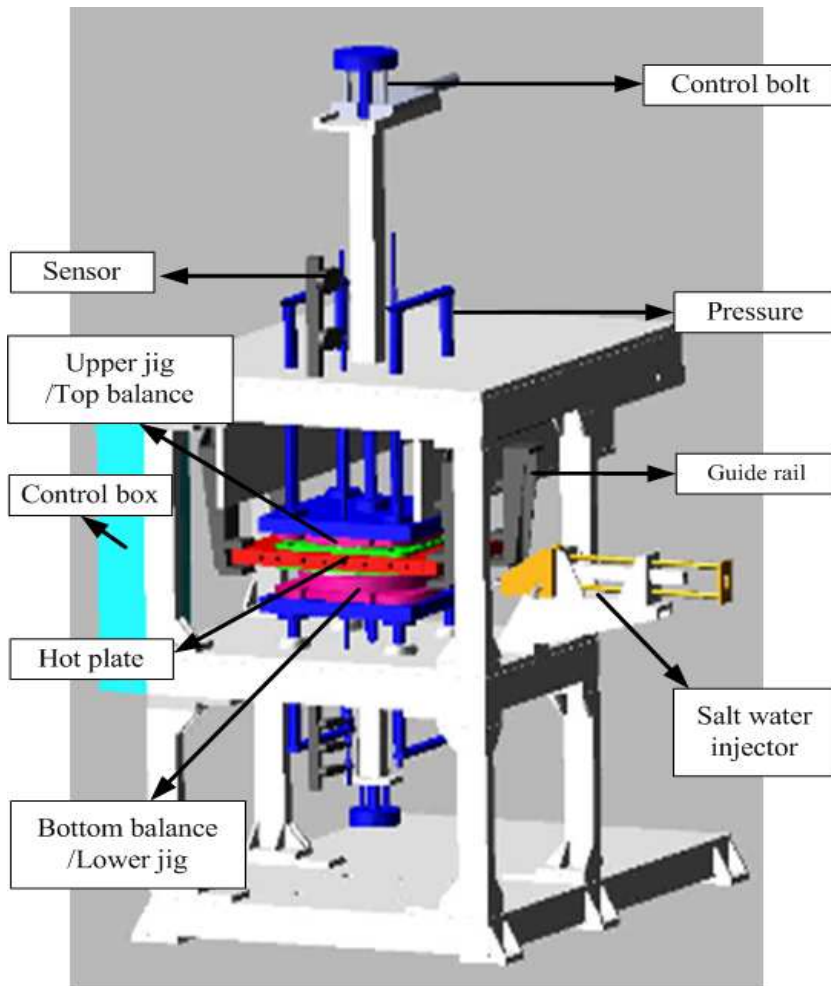


Fig. 3-4 Components of hot plate welder



○ DATA 수집

열용착 시스템의 모델링은 Fig. 3-5와 같이 세탁기 밸런스용 열용착기 설계도면을 참조하여 데이터를 수집한 후 ADAMS를 이용하여 모델링하였다. 본 연구에서는 자동화 로봇의 작업공간 확보를 위한 기초 모델링을 하여 기구학적 운동상태 등을 확인하는 테스트과정을 마친 후 각각의 구성 요소 별로 모델링하고 전체 시스템의 구동 상태를 확인하였다.

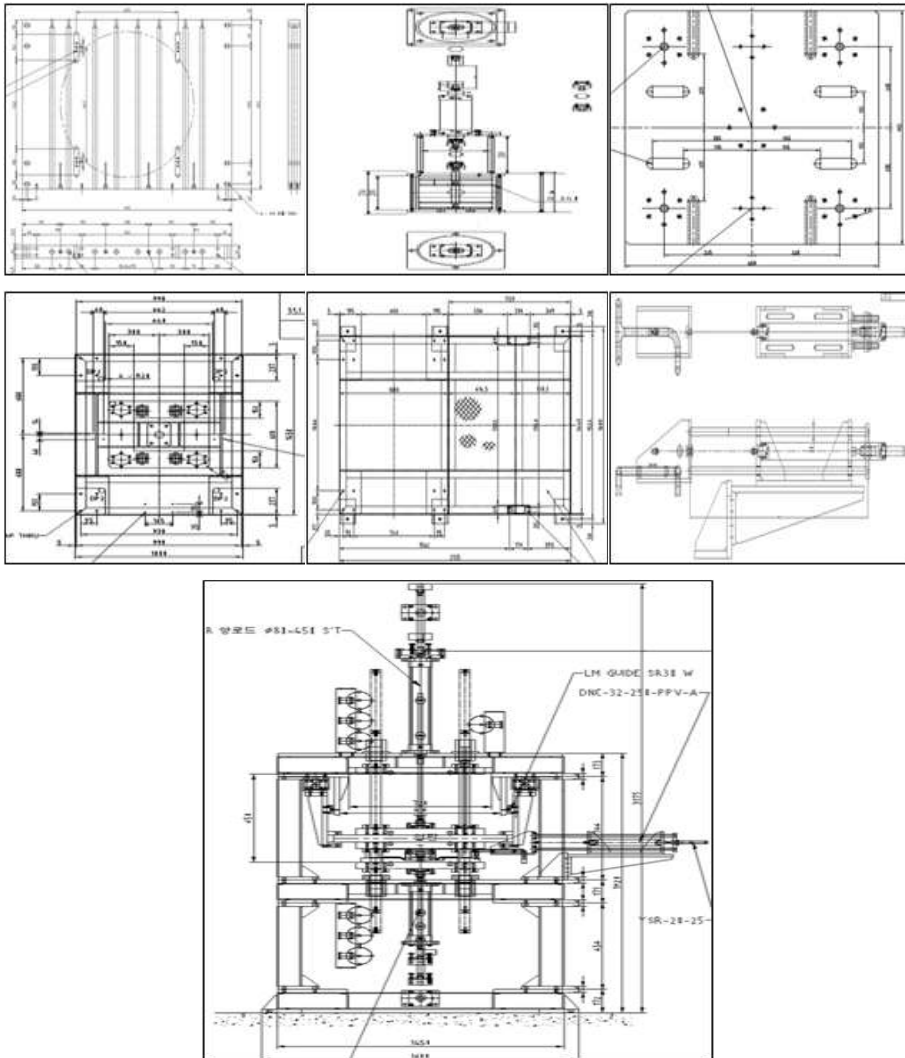


Fig. 3-5 Draft drawing of hot plate welder

## ○ BUILD SYSTEM

세탁기 밸런스용 열용착 시스템의 주요구성 요소들을 CATIA를 이용하여 모델링하고 ADAMS plant로 Import하였다. 그리고 모델링된 각각 맞물리는 요소에 Fixed Joint를 주어 고정하고 동적인 요소인 상·하판 프레셔와 가이드레일, 염수 주입기, 조절나사에 Translational Joint를 주어 직선운동이 가능하도록 구속(constraint)하였다. 그리고 Motion을 부가함으로써 동적 특성을 이상화하였다.

## ○ TEST of MODEL

모델링이 끝나면 시뮬레이션을 수행하고 모델링의 타당성을 검증하기 위해 테스트 과정을 거친다. 테스트 과정에서는 모델링에 대한 자유도를 점검하고 시뮬레이션이 올바르게 실행되는지 검사한다. 시뮬레이션이 끝나면 데이터들을 산출하고 열용착 시스템의 동적 거동을 가시화한다.

## ○ VALIDATE

산출된 데이터를 그래프로 표현하여 실측 데이터들의 비교 분석을 통해 세탁기 밸런스용 열용착기 로딩/언로딩 시스템의 구축 후에 데이터를 비교 분석한다.

## ○ REFINE

시뮬레이션을 통해 획득한 결과를 기준으로 모델링의 결함유무를 확인하고 부적절하게 설계된 부분을 수정하고 구속조건, 힘, 운동조건 등을 재정의한다.

## ○ ITERATE AND OPTIMIZE

REFINE 후 다시 시뮬레이션이 끝나면 기본적인 모델링이 올바르게 됐는지를 점검하고 새로운 조건들을 첨가함으로써 모델링과 테스트 과정을 반복하여 모델링을 최적화한다.

## 2. 작업공간 확보를 위한 시뮬레이션

세탁기 밸런스용 열용착 시스템에 적합한 자동화 로봇을 선정하기 위해 열용착기의 작업 공간을 확보하는 가상 시뮬레이션을 수행하였다. 세탁기 밸런스의 하중을 고려하여 5kg 이상의 허용 하중을 갖는 로봇팔을 기준으로 자동화 로봇의 개략적 사양을 설정하였다. Fig. 3-6의 Kawasaki-FS 로봇의 치수를 참고하여 Fig. 3-7과 같이 단순화하여 모델링하였다. Fig. 3-8과 같이 열용착 시스템의 설계 데이터를 이용하여 Fig. 3-9와 같이 개략적으로 설계하여 충돌 시뮬레이션을 수행하였다. Table 3-1은 로봇팔과 열용착 시스템의 설계 데이터를 정리하였다. 시뮬레이션 결과 로봇팔의 로딩/언로딩에 필요한 최소 작업 공간의 높이가 550mm임을 확인하였다.



Fig. 3-6 Kawasaki-FS series

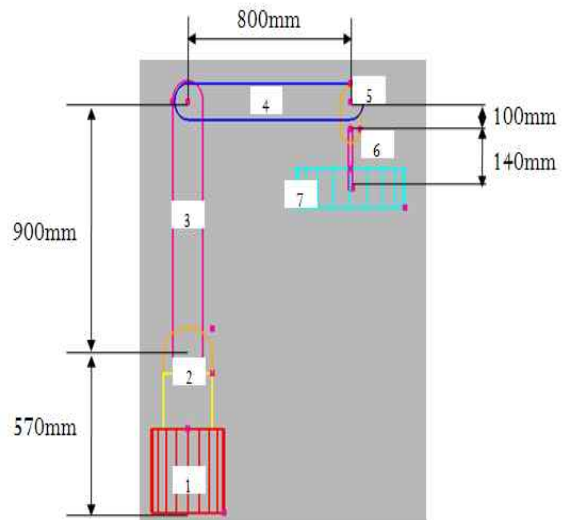


Fig. 3-7 Modeling of robot arm

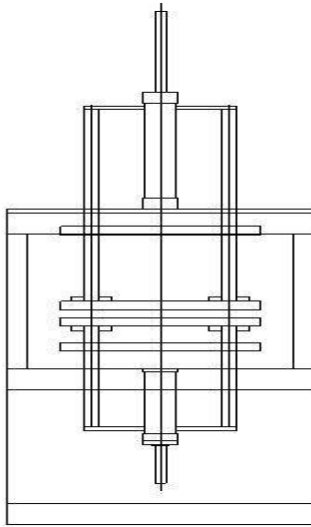


Fig. 3-8 Hot plate welder

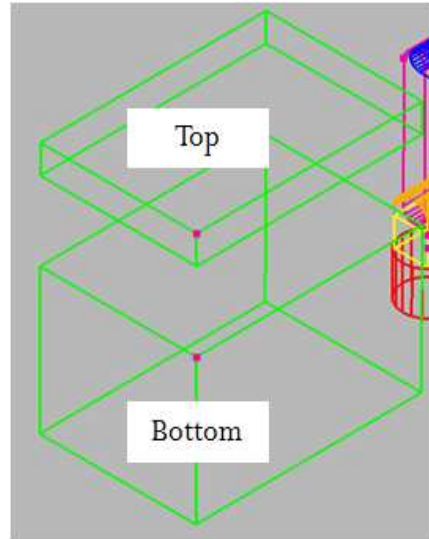


Fig. 3-9 Modeling of hot plate welder

Table 3-1 Specification of robot arm and hot plate welder

	Name		Length	Radius	Height	Width	Depth
Robot arm	1	Axis 1	300mm	180mm			
	2	Axis 2	240mm		200mm		240mm
	3	Axis 3	900mm			150mm	200mm
	4	Axis 4	800mm			130mm	180mm
	5	Axis 5	100mm			100mm	100mm
	6	Gripper	140mm				
	7	Balance	140mm	270mm			
Hot plate welder	Top		1100mm		300mm		1600mm
	Bottom		1100mm		1020mm		1600mm

### 제 3 절 열용착 시스템 동특성 해석

세탁기 밸런스용 열용착 시스템의 동특성을 파악하기 위해서 Fig. 3-10과 같이 3차원 모델링한 파일을 ADAMS에 import하여 구동 영역 시뮬레이션을 수행하였다. 열용착 시스템의 구동 방식은 열용착 공정에 따라 이루어지고 Fig. 3-11에 각각 나타내었다. Fig. 3-11(a)는 밸런스가 삽입되고 상·하 지그에 고정되어 프레스에 의해 밸런스가 나뉜다. Fig. 3-11(b) 단계에서 세탁기의 불평형을 보상하기 위해 하판 밸런스 내부에 소금물을 주입한다. Fig. 3-11(c), (d)에서는 열판이 밸런스 사이로 삽입되어 표면에 온도를 가한다. Fig. 3-11(e)에선 열판이 후퇴하고 상·하 밸런스가 맞물려 용착을 한다. 그리고 마지막 단계인 Fig. 3-11(f)에서는 하판 지그에 밸런스가 남아 있게 되고 냉각하여 세탁기 밸런스의 용착과정이 완료된다.

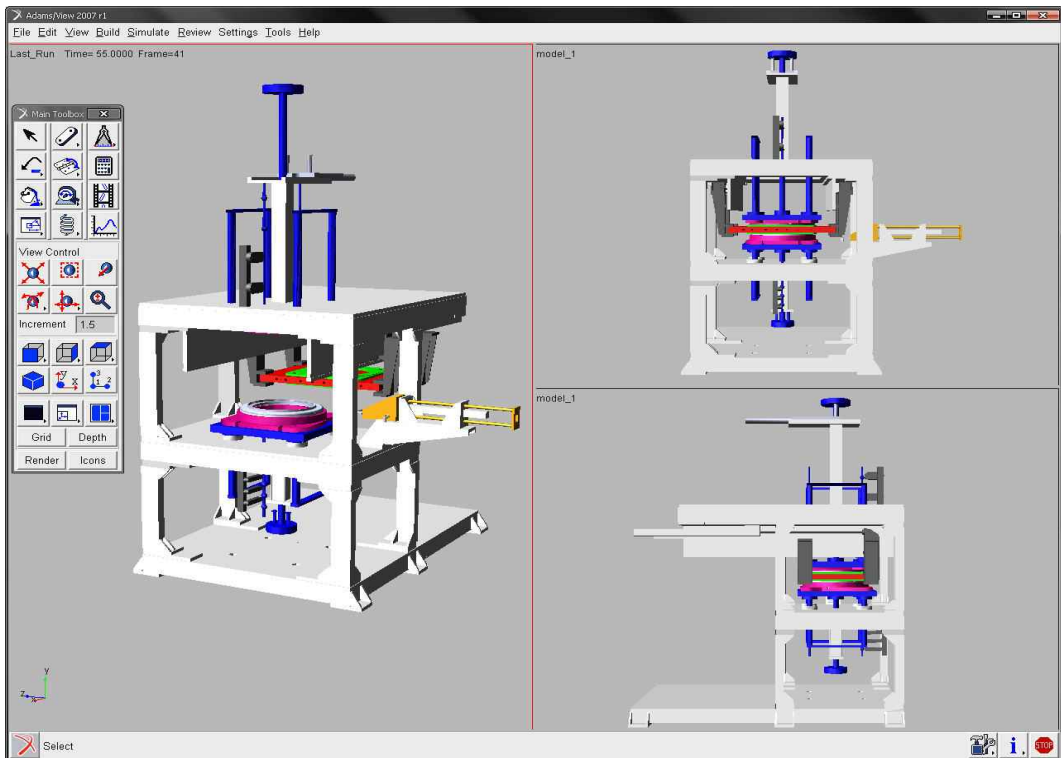
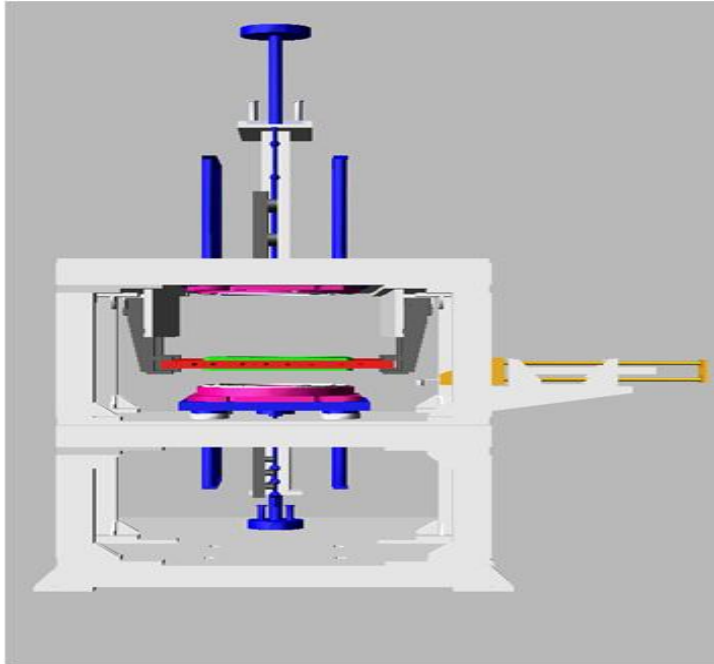
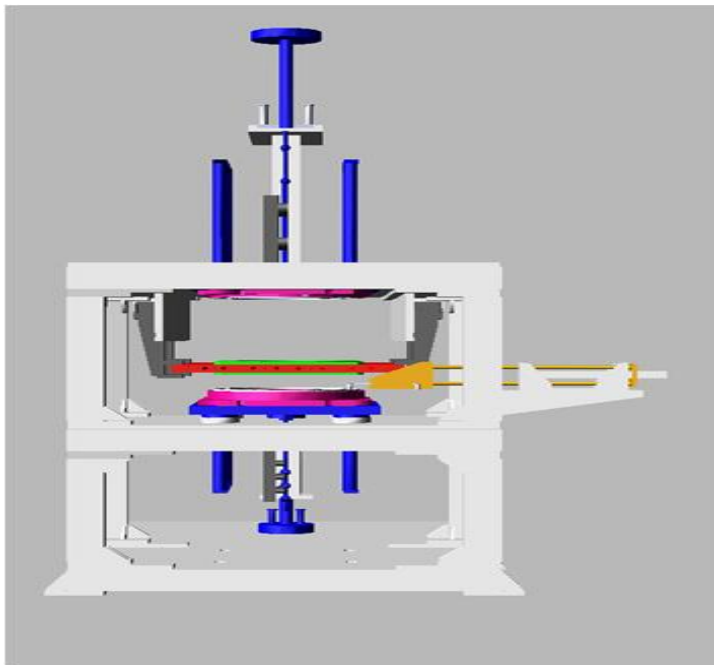


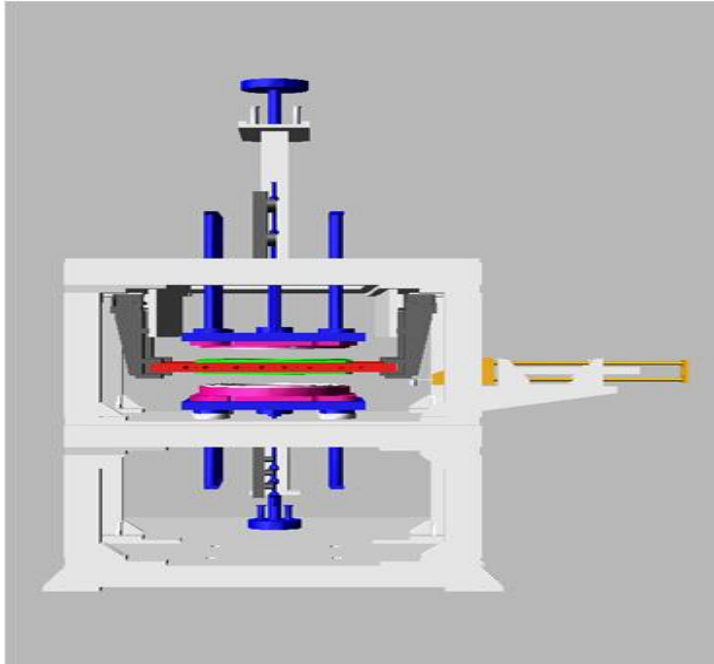
Fig. 3-10 Modeling of hot plate welder in ADAMS



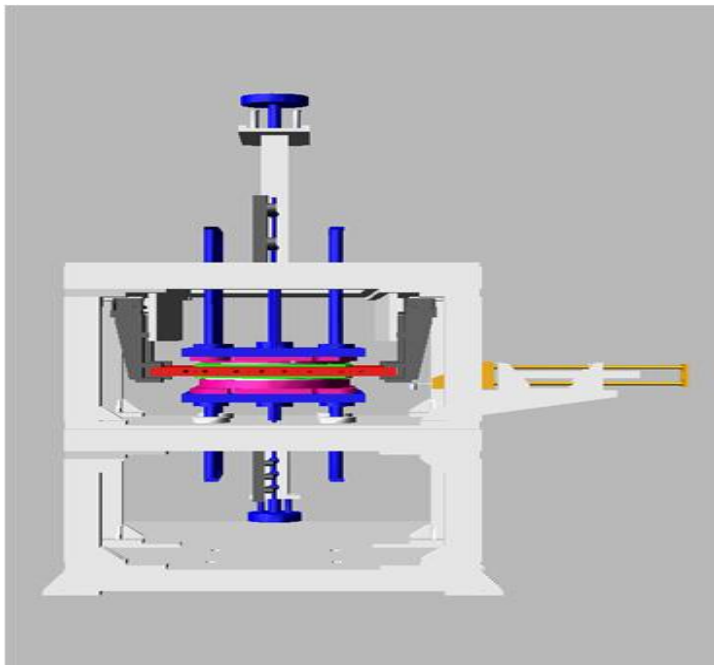
(a) Loading a balance



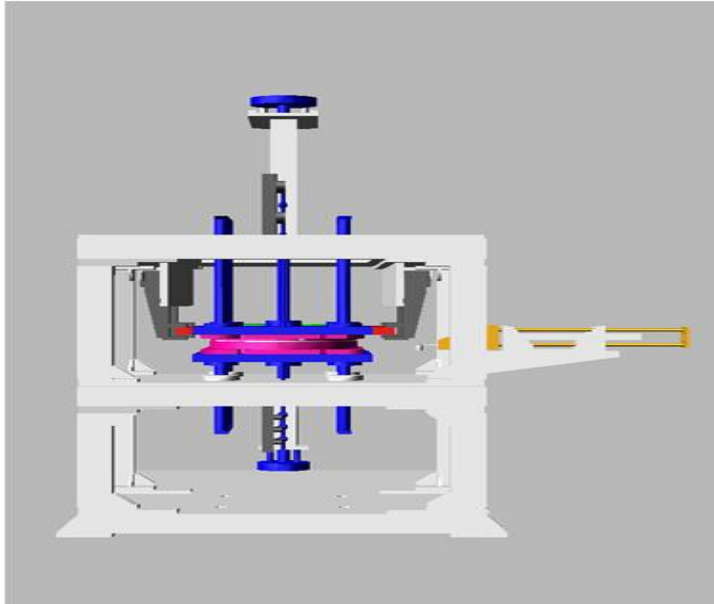
(b) Salt water injection



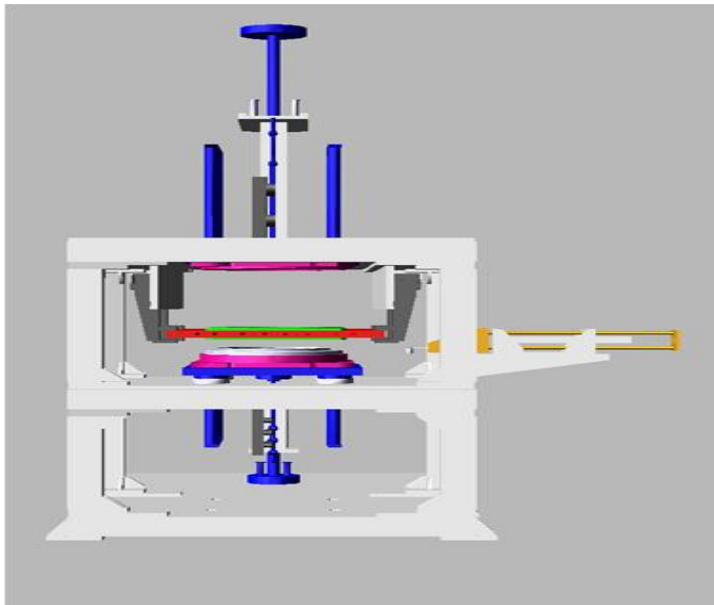
(c) Put in hot plate



(d) Press



(e) Welding



(f) Molding balance

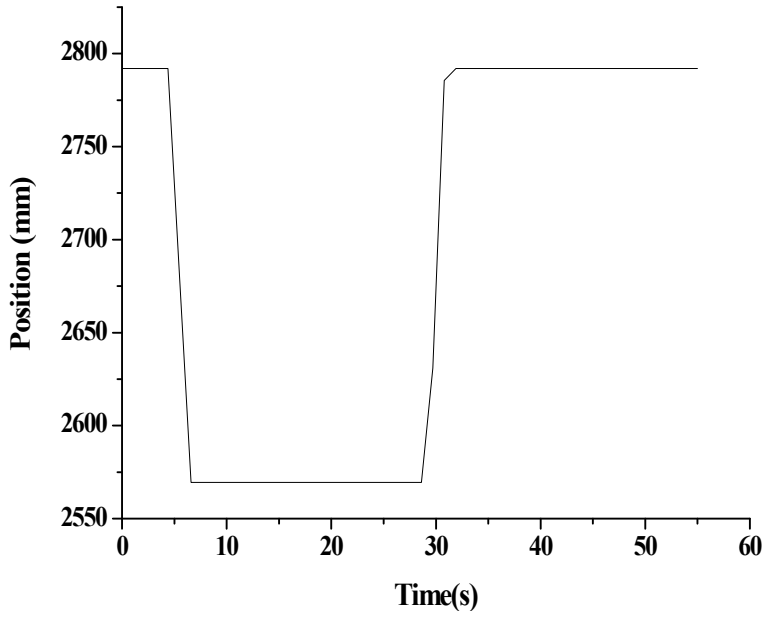
Fig. 3-11 Hot plate welding process by ADAMS



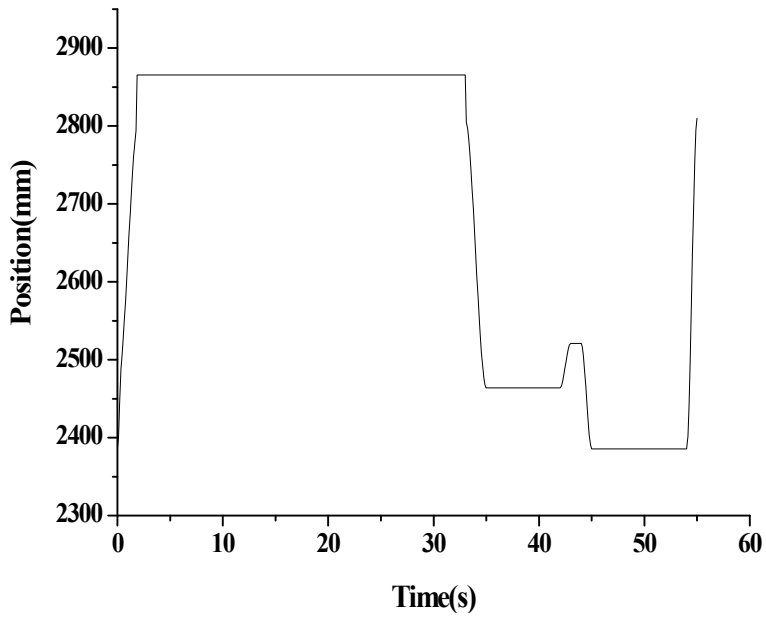
세탁기 밸런스용 열용착 시스템을 모델링한 후 0초에서 55초까지 시뮬레이션을 통해 동적 거동을 확인하였다. Fig. 3-12에 시뮬레이션 수행 후의 각각의 동적 상태량들을 그래프로 나타내었다. Fig. 3-12(a)는 소금물 주입기의 X축 공정 변위를 나타내었고, 상·하 지그의 Y축 공정 변위는 Fig. 3-12(b), (c)에 나타내었다. Fig. 3-12(d),(e)에는 상·하 밸런스의 Y축 공정 변위를 나타내었고, Fig. 3-12(f), (g)는 조절 나사와 열판의 각각의 Z축 공정 변위를 나타내었다.

열용착 공정을 시작하게 되면 상·하 지그 의해 용착물이 나뉘게 되고 480mm와 70mm의 공정 거리를 갖는다. Fig. 3-12(a)와 같이 5초 후에 염수 주입기가 X축 방향으로 222.5mm 이송하여 하판 용착물 내부에 25초간 소금물을 주입한다. 그리고 30초대에 열판이 151mm 이송하여 용착물 사이에 삽입된다. 33초대에 상·하 지그는 각각 430mm, 70mm의 이송하여 용착물이 열판과 맞물리고 6초 동안 가압된다. 이 때 조절나사가 Z축 방향으로 전진하여 상 지그의 변위를 고정시키고 용융 두께를 조절한다. 42~45초 사이에 열판과 조절나사가 Z축 방향으로 후퇴되고 상·하 용착물이 맞물려 9초간 용착된다. 마지막으로 하 지그에 용착물이 남게 되고 냉각 후 공정이 완료된다.

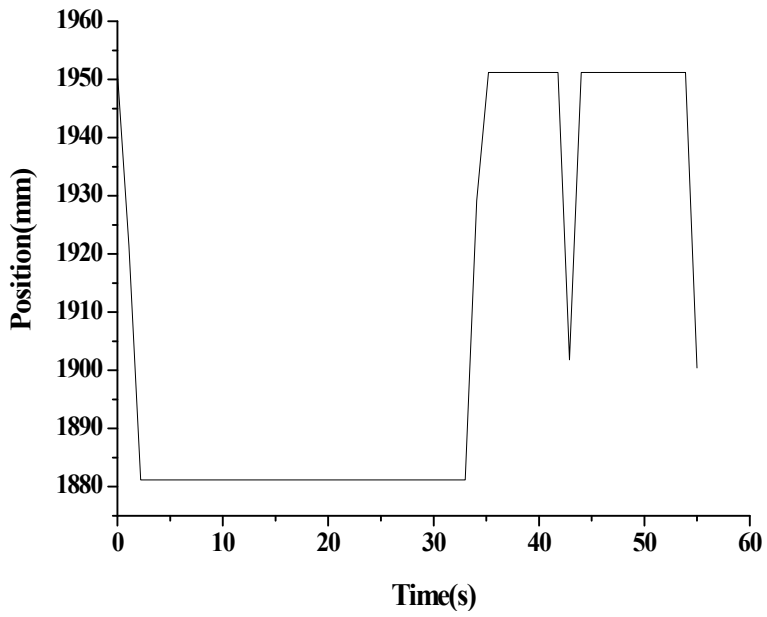
이 결과를 바탕으로 세탁기 밸런스용 열용착기 로딩/언로딩의 구성 요소의 공정 가능 시간대를 도출할 수 있다. 로딩/언로딩 시스템의 공정 시간대는 열용착 공정의 전·후반대에 이루어지고, 머신 비전 시스템의 공정 가능한 시간대는 염수가 주입되는 공정에서 가능하리라 사료된다.



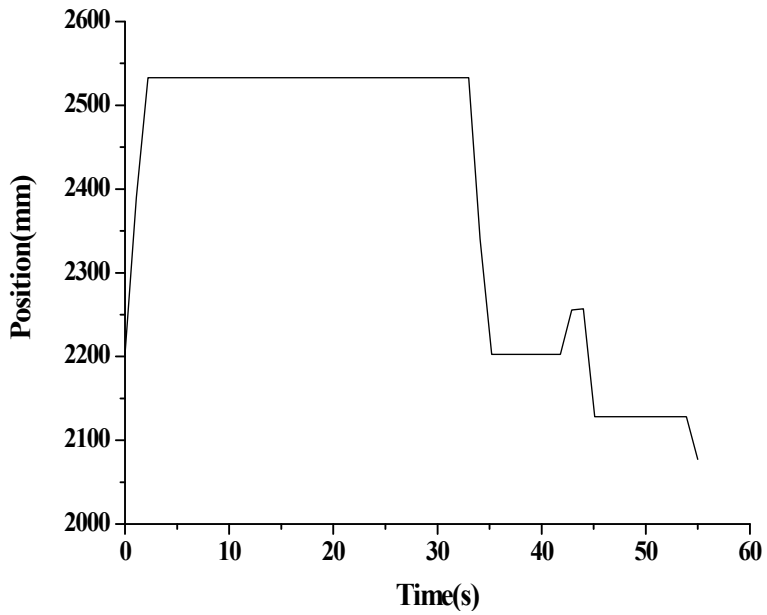
(a) Position in X direction of salt water injector



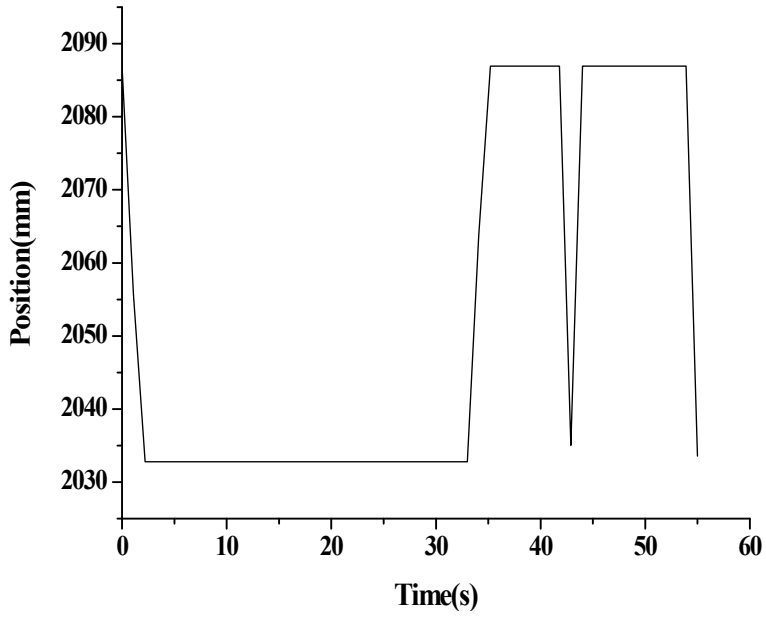
(b) Position in Y direction of upper jig



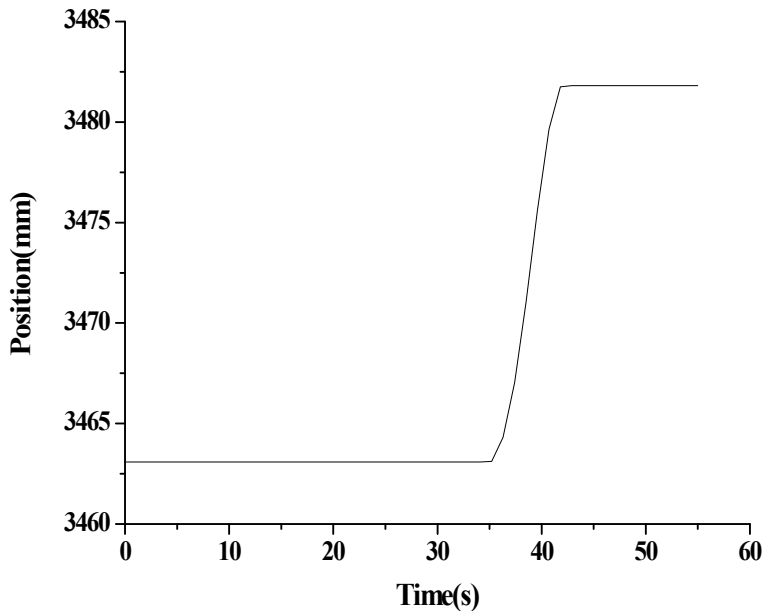
(c) Position in Y direction of lower jig



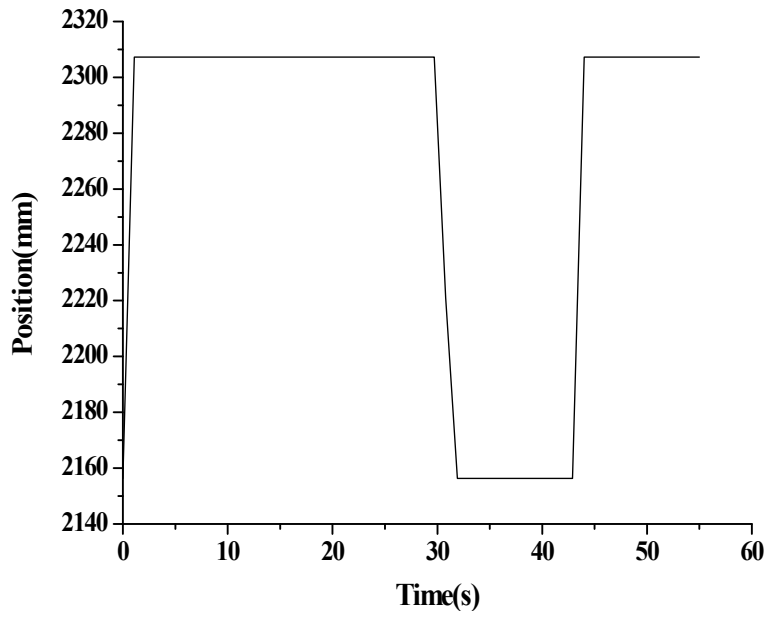
(d) Position in Y direction of top balance



(e) Position in Y direction of bottom balance



(f) Position in Z direction of control bolt



(g) Position in Z direction of hot plate

Fig. 3-12 Dynamic states of hot plate welder system

## 제 4 장 세탁기 밸런스 방향 인식을 위한 머신 비전 시스템 적용

### 제 1 절 머신 비전 시스템 구성

머신 비전 시스템은 CCD 센서와 센서의 아날로그 신호를 수치화할 수 있는 프레임 그레버(frame grabber)와 디지털화된 영상을 처리하는 컴퓨터 프로그램으로 구성된다. CCD 센서에서 획득된 영상신호는 프레임 그레버에 의해서 디지털 값으로 변경된다. 이때, 센서의 성능에 따라 이미지 정보를 대응되는 화소(pixel) 사이즈로 변환하게 되며, 각 화소는 1byte 메모리를 사용하여 음영의 값을 256개로 구분하여 메모리 버퍼(memory buffer)에 저장한다. 해상도는 카메라의 성능과 카메라의 영역 확대의 성능에 의해 좌우되며, 같은 성능의 카메라를 사용하더라도 고배율 렌즈의 사용여부에 따라 수치화되는 영역의 해상도가 결정된다. 카메라의 성능에 따라 화소의 수가 증가하여 고성능의 카메라일수록 연산에 필요한 메모리 사이즈가 증가하므로 검사기능과 해상도의 관계를 고려하여, 카메라의 성능과 프레임 영역의 크기를 결정한다. 프레임 그레버에 의해 얻어진 영상은 이진화하여 편집 또는 저장하여 영상을 처리한다. Fig. 4-1과 Table 4-1은 머신 비전 시스템의 사양과 구성도를 각각 나타내었다.

본 논문에서는 세탁기 밸런스 옆면의 템플릿을 인식하여 영상 처리하기 위해 CCD 센서로 영상을 획득하여 프레임 그레버로 A/D 변환하고 LabVIEW로 프로그래밍하여 시스템을 구성하였다. 이 결과를 바탕으로 세탁기 밸런스의 기준위치가 중앙에 위치하도록 그리퍼를 회전한다.

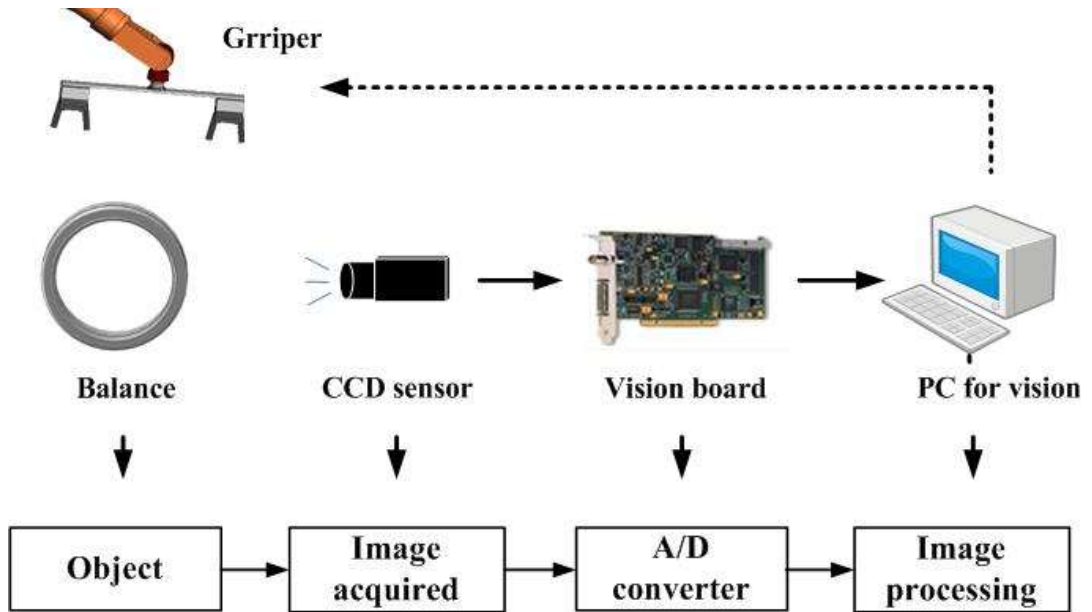


Fig. 4-1 Machine vision system

Table 4-1 Specification of machine vision system

H/W	Camera	CCD sensor	SONY XC-ST50
		Lens	L-SV-0813 : Focal length 25mm
	Vision board	NI PCI-1410	
	PC	Intel core(TM)2 Quad 2.50GHz, 3.25GB RAM	
S/W	NI LabVIEW 8.6		

세탁기 밸런스 방향 인식을 위한 머신 비전 시스템 순서도는 Fig. 4-2와 같다.

#### 1. 제품 진입

검사체가 컨베이어 벨트에 의해 이송되고 검사를 받기 위해 머신 비전 시스템에 로딩(loading)되는 단계이다. 전체 시스템의 자동화를 위한 기초 단계이다.

#### 2. 영상 획득

카메라 등의 입력 장치를 통해 영상을 획득하고 프레임 그래버를 통해 영상의 아날로그 신호를 디지털화하는 과정을 거쳐 컴퓨터로 보낸다.

#### 3. 영상 처리

디지털 영상에 계산적인 처리기법을 시행하여 원래의 영상과 다른 모습의 영상을 만들어 내거나 바꾸는 과정으로 영상 처리 알고리즘을 적용한다. 그리고 영상 처리는 전처리 과정(pre-processing)과 분리 과정(segmentation) 그리고 영상 표현(image representation)과정으로 세분화된다. 전처리 과정은 대표적으로 가장자리(edge)를 선명하게 표현하기 위한 하이패스 필터링(high pass filtering) 과정과 잡음을 제거하기 위한 로우패스 필터링(low pass filtering) 과정이 있다. 그리고 근래에 산업체와 자동화 공정에 널리 쓰이는 기법중의 하나로 패턴 매칭(pattern matching)이 있다. 본 연구에서는 패턴 매칭의 일부인 템플릿 매칭을 통하여 알고리즘을 구성하였다. 끝으로 영상 분리 과정은 영상내의 관심 영역(region of interest)을 설정하고 영상 해석을 위해 데이터화하는 과정이다.

#### 4. 영상 해석

영상 처리 결과를 분석하고 측정하여 물리적인 정보를 수집하는 단계이다. 검사체의 형태, 검사 목적에 따라 다양한 방법들이 있고, 자동화 공정에서는 검사체의 Edge 검사, 원의 직경 비교 검사, 패턴 검사, RGB color 비교 검사 등이 있다. 본 연구에서는 Caliper tool을 이용하여 Edge를 측정하여 검사체의 중심을 구하였다.

#### 5. 검사체 방향 인식 및 회전

위의 데이터를 바탕으로 검사체의 회전각이 수집되고 회전 방향과 회전될 각도 등의 정보를 출력한다. 이 신호로 그리퍼를 제어하고 적절한 방향으로 검사체를 회전한다. 본 논문에서는 그리퍼의 회전을 대체하는 1축의 서보 모터를 구성하여 실험하였다.



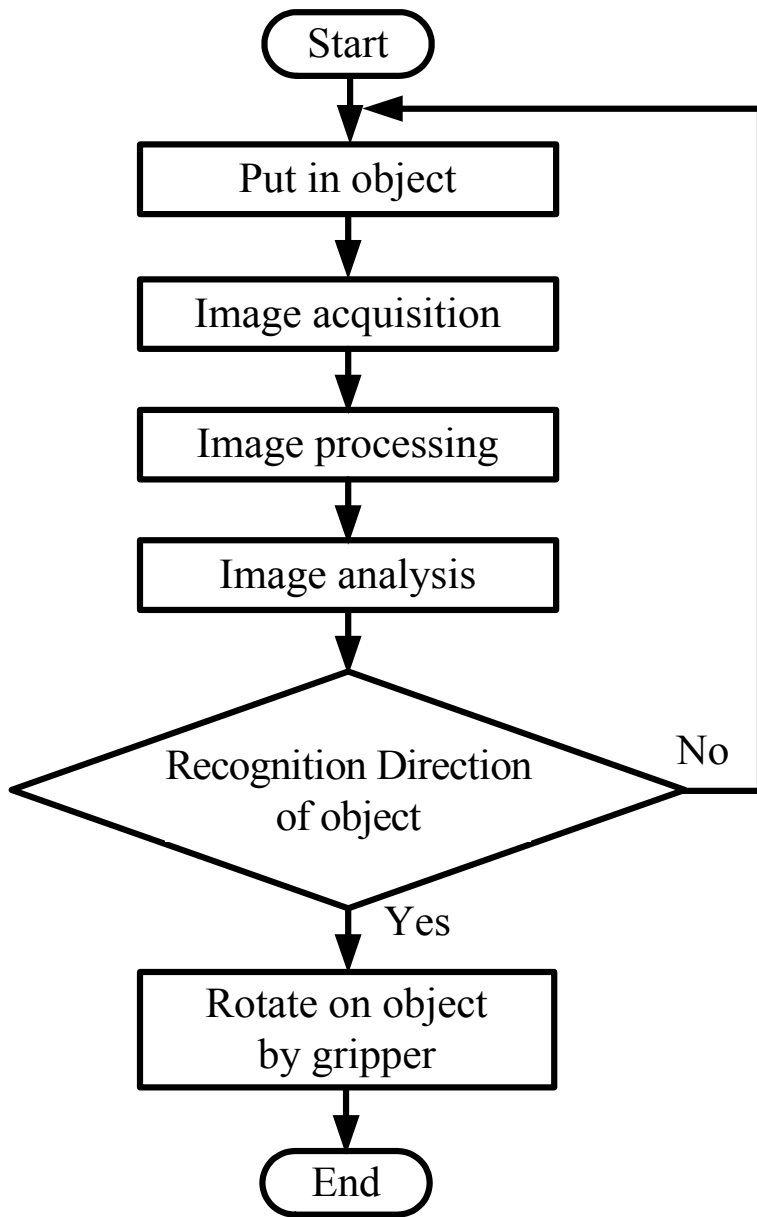


Fig. 4-2 Flow chart of machine vision system

## 제 2 절 영상 처리

### 1. 히스토그램(Histogram)

영상 처리에서 가장 간단하면서 유용한 도구 중의 하나가 히스토그램이다. 히스토그램이란 영상 안에서 화소들에 대한 명암도 값의 분포를 나타낸 것으로 한 영상에서 밝은 점과 어두운 점이 분포할 때 그 분포의 범위와 값을 표현한 것이다. 히스토그램은 보통 막대그래프로 나타내는데 256 명암도(gray level) 영상에서 명암 값의 범위는 0 ~ 255 값을 가지고 있으며 각 명암도 값의 빈도 수를 조사하여 그래프의 높이로 나타낸다. 히스토그램의 명암도 값이 0으로 치우치면 어두운 영상을 얻으며, 명암도 값이 255쪽으로 치우치면 밝은 영상을 얻을 수 있다. 히스토그램은 명암도 값이 고르게 퍼져있는지 아니면 한쪽으로 치우쳐 있는지를 직관적으로 관찰할 수 있도록 해주며 한쪽으로 치우친 명암도 값을 넓게 분포시켜 준다. Fig. 4-3은 256개의 명암도 영역에서의 히스토그램을 나타낸 예이다. 명암도 영역에서 히스토그램 함수를  $H$ 라 한다면 명암도 값  $k$ 는 식 (4-1)과 같이 정의된다.

$$H(k) = n_k \quad (4-1)$$

여기서  $n_k$ 는 명암도 값  $k$ 에서의 화소 값이다.

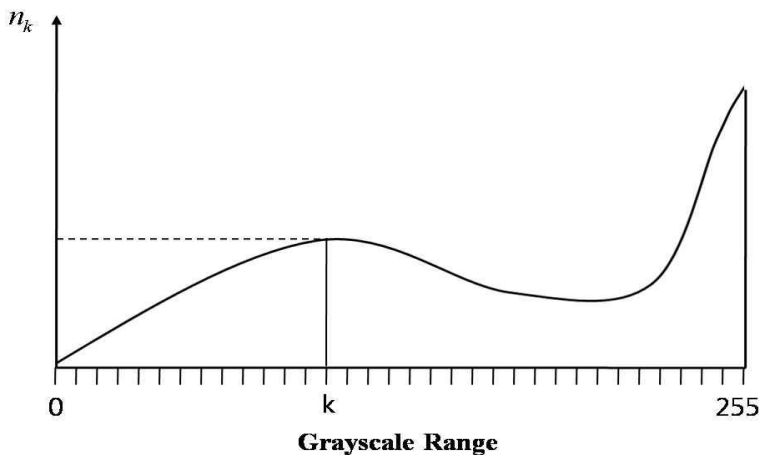


Fig. 4-3 Histogram plot

## 2. 임계값 처리(Thresholding)

실제 물리적 영상은 연속적이지만 컴퓨터에서 이러한 영상을 다루기 위해서는 Fig. 4-4와 같이 2차원 화상을 바둑판 모양으로 나누어 유한개( $M \times N$ )의 격자(grid)를 만들고 각 격자의 중심에서 그 격자의 명도를 취하고, 표본화(sampling)와 양자화(quantization)의 과정을 필요로 한다. 공간에서 연속적인 화상을 이산적으로 유한개의 격자로 분할하는 것을 표본화라 하며, 이를 통해 얻어진 각각의 격자를 화소라 한다. 그리고 양자화는 각 화소의 명암도가 본래 연속적이므로 컴퓨터에서는 이산적인 정수값으로 나타내는데 필요하다.

양자화 과정을 통해 얻어진 각 화소는 주어진 범위의 정수 값을 갖게 되는데 특정 임계값 범위 내에 있는 화소값은 1, 그 밖에 있는 것은 0으로 이진화하는 것을 임계값 처리라 한다. 이진화상은 명암도가 0 또는 1로서, 256개의 명암도를 갖는 화상에 비해 그 데이터 양이 적으므로 빠른 계산 시간과 적은 메모리 비용의 효과를 얻을 수 있다.

$F[i, j]$ 는 원래 화상의  $i$ 행,  $j$ 열 화소의 명암도 값을 나타내고, 임계값 처리한 명암도 값을  $F_T[i, j]$ 으로 나타낸다.  $T$ 는 식(4-2)과 같이  $F_T[i, j]$ 에 의해 정의되고 Fig. 4-5로 나타낸다.<sup>[16]</sup>

$$F_T[i, j] = \begin{cases} 1 & \text{if } F[i, j] \geq T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4-2)$$

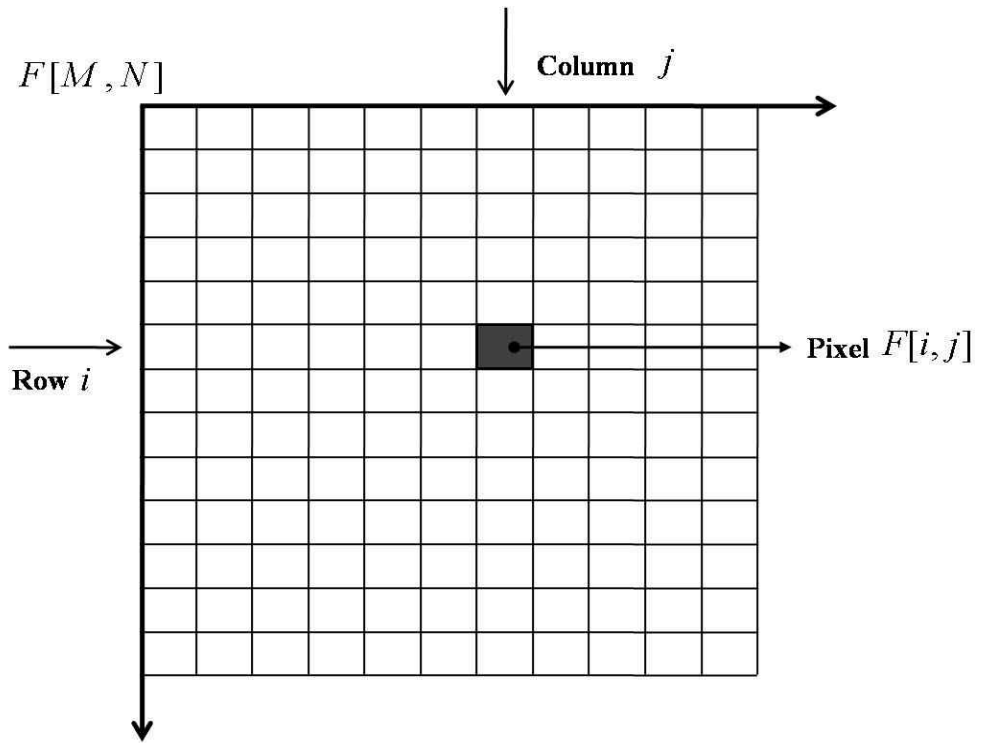


Fig. 4-4  $M \times N$  image array in pixels

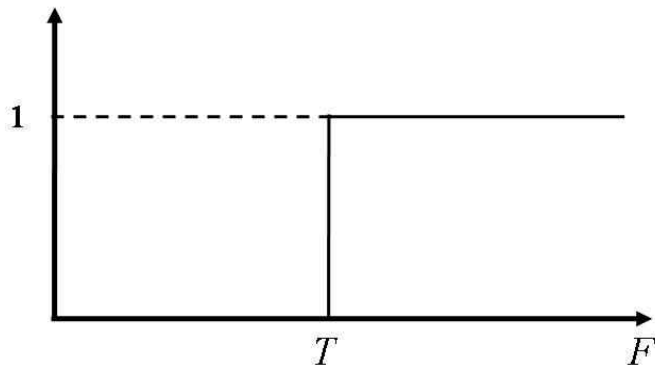


Fig. 4-5 Thresholding

### 3. 템플릿 매칭

머신 비전을 이용한 많은 어플리케이션 중에서 미리 정의된 하위영상(sub-image)이 원시영상(original image)의 어느 위치에 있는지에 대하여 인식하는 방식을 많이 사용되고 있다. 이러한 미리 정의된 하위영상을 템플릿(template)이라고 부르며, 검색하고자 하는 객체 혹은 추출하고자 하는 특성을 포함하는 부분영상을 선택하여 템플릿으로 선정한다. 템플릿 매칭 방법은 템플릿 영상이 원시 영상 위에서 이동마스크로 작용하여 원시영상 내 모든 가능한 위치로의 이동을 수반하고, 이동된 위치에서 원시영상과 템플릿 간 유사도를 평가한다. 만일 유사척도(similarity measure)가 충분히 크다면, 물체가 그 위치에 있다고 가정할 수 있다.

#### 가. 유사척도(Measures of similarity)

유사척도는 원시영상과 설정된 템플릿 간에 영상의 차이점들의 합에 의해 기초되어 있으며, 그 외에는 교차 상관함수(cross-correlation function)에 의해 기초되어 있다. 두 개의 영상, 템플릿  $T(i,j)$ 과, 원시영상  $G(i,j)$ 을 비교할 때 사용되는 일반적인 척도는 표준 유클리디안 거리(standard Euclidean distance)에 기초한 기하학을 이용하고 식 (4-3)과 같이 정의한다.

$$E(m,n) = \sqrt{\sum_i \sum_j [G(i,j) - T(i-m, j-n)]^2} \quad (4-3)$$

합(summation)은 모든  $i, j$ 에 의해 계산되고  $(i-m, j-n)$ 은 템플릿 영상의 유효 좌표이다. 이 정의는 원시영상을 따라 위치  $(m,n)$ 으로 이동하는 템플릿  $T(i,j)$ 가 이르는 정도를 나타내며, 그 위치에서의 유사척도를 평가하는 것이다. 여기에서 유클리디안 정의에서의 제곱근을  $E(m,n)$ 식의 양단을 제곱함으로 제거할 수 있고 이는 식 (4-4)와 같다.

$$E^2(m,n) = \sum_i \sum_j [G(i,j)^2 - 2G(i,j)T(i-m, j-n) + T(i-m, j-n)^2] \quad (4-4)$$

우항의 마지막 항은 단지 템플릿의 함수로만 이루어져 있기 때문에 상수가 되고, 이는 템플릿의 전 영역에 걸쳐서 계산되는 값이다. 만일 우항의 첫째항이 다시  $i, j$ 의

범위에 걸쳐 더해진다면  $R(m,n)$ 은 상관함수가 된다. 상관함수 값이 커질 때, 템플릿  $T(i-m, j-n)$ 과 좌표  $(m,n)$ 의 근접한 곳에 있는 원시 영상의  $G(i,j)$ 의 부분은 유사해진다. 상관함수는 식 (4-5)과 같다.

$$R(m,n) = \sum_i \sum_j G(i,j) T(i-m, j-n) \quad (4-5)$$

그러나 식 (4-3)의 함수는  $G$ 와  $T$ 의 진폭변화에 민감한 단점을 가지고 있으며,  $G(i,j)$ 의 합이  $m, n$ 에 무관하다면, 원시영상의 테두리 부분에서는 정확도를 잃게 되므로 식 (4-5)는 유효하지 않다. 따라서  $R$ 을 계산하는 다른 방법은 정규화된 교차 상관(normalized cross-correlation) 방법이 있고 식 (4-6)과 같다. 이 방법은 입력 영상의 특징점과 템플릿 영상의 특징점들을 크기와 방향을 가지는 벡터성분으로 해석하여 두 벡터의 일치도를 벡터의 내적을 이용하여 구한다.<sup>[17]</sup>

$$N(m,n) = \frac{R(m,n)}{\sqrt{\left[ \sum_i \sum_j G(i,j)^2 \right]} \sqrt{\left[ \sum_i \sum_j T(i-m, j-n)^2 \right]}} \quad (4-6)$$

#### 나. 정합 임계치(Matching threshold)

템플릿 매칭을 이용하여 양부를 판별할 때 가장 중요한 것의 하나가 최소정합도(minimum matching score)를 결정하는 것이다. 정확하게 정합된 이미지, 그리고 부정확하게 정합된 이미지로부터 계산된 정합도의 분포를 이용하여 최소정합도를 결정하는 것이다. Fig. 4-6은 정확한 정합 및 부정확한 정합에 대한 정합도(matching score)의 분포를 나타내고 있다. Fig. 4-6의 점선은 정합의 정도를 나타내는 임계값이고, ①은 false rejection과 ②는 false acceptance를 각각 나타낸다.

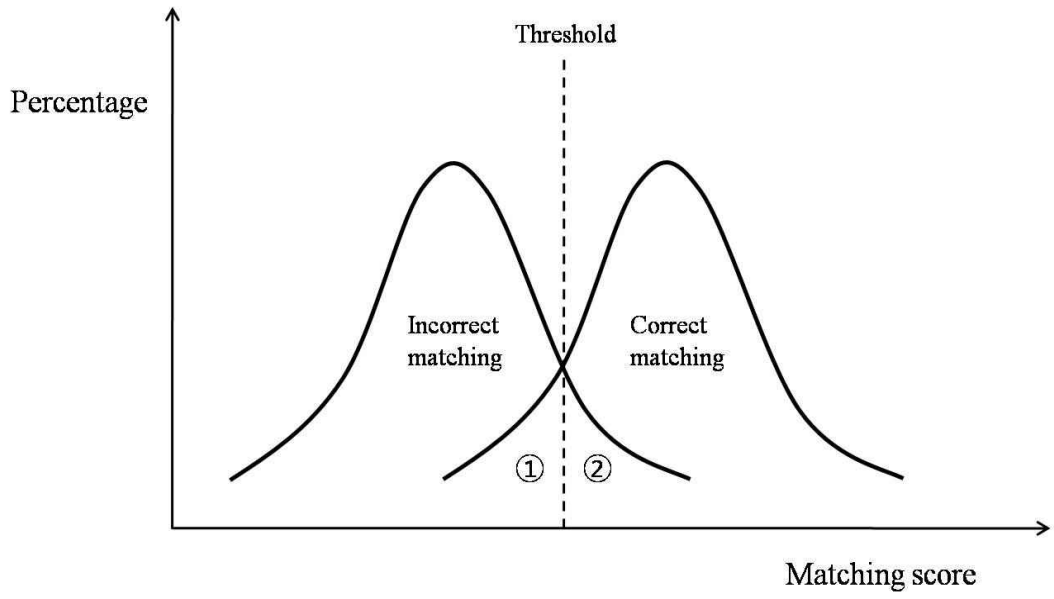


Fig. 4-6 Distribution of correct and incorrect matching scores

## 4. Caliper Tool

Caliper tool은 영상으로부터 검사 및 검사체의 폭을 측정하거나, 에지(edge) 위치 결정, 에지 쌍(pair) 위치 결정 및 거리 등을 측정하기 위한 것이다. 기본 원리는 영상을 탐색하여 에지를 찾고, 이들 간에 거리를 정밀 측정한다. 주로 부품의 길이 측정용으로 쓰인다.

### 가. Edge Detection

Fig. 4-7과 같이 획득한 영상에서 line profile을 긋고, 유효 명암도(significant intensity)의 위치를 찾아 검사체의 경계를 찾는다. Fig. 4-8에 Edge Detection의 원리를 나타내었다. Contrast는 화소 값의 변화를 나타내고, Width은 Edge 근처의 화소 값, Steepness는 Edge의 기울기를 나타낸다. 화소의 명암도에 설정에 따라 Steepness 값이 달라지게 된다.

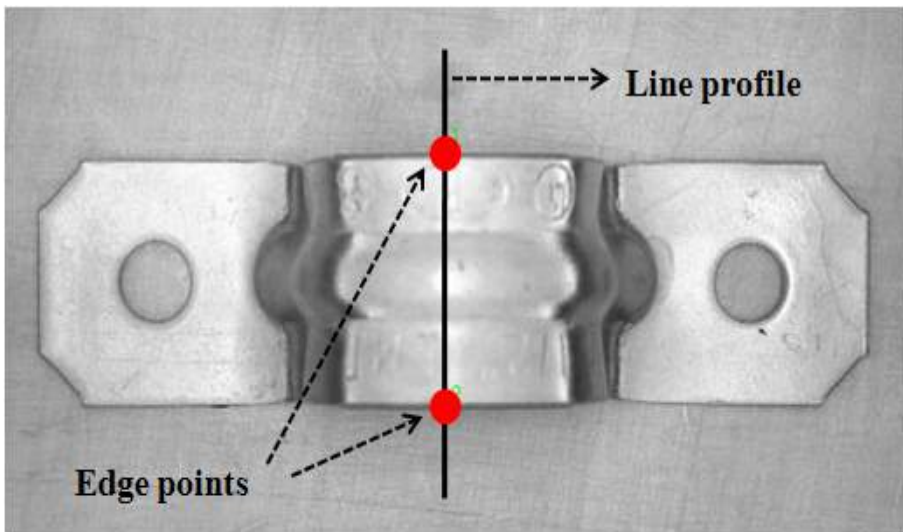


Fig. 4-7 Edge detection of object



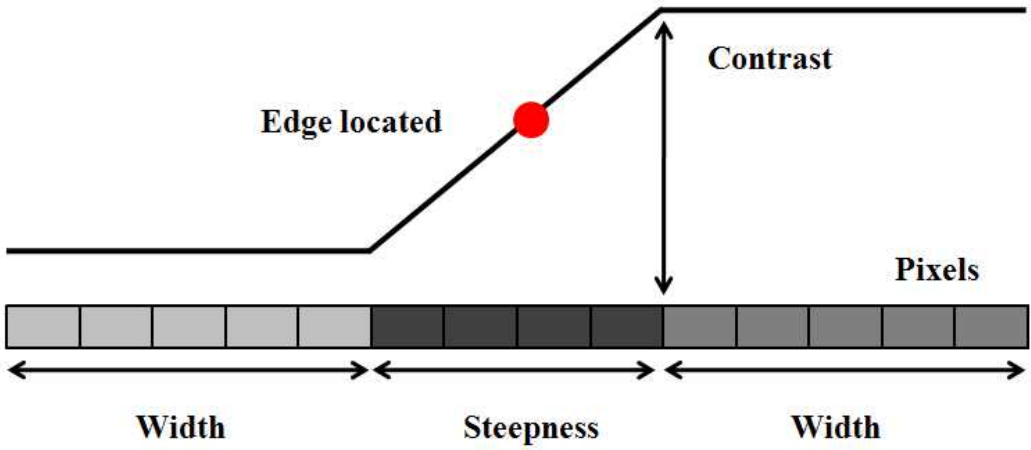


Fig. 4-8 Edge detection

#### 나. Gauging

Gauging은 검사체의 길이, 거리 그리고 직경 등의 치수를 측정할 때 쓰이고, Fig. 4-9에 Gauging의 예를 나타내었다.

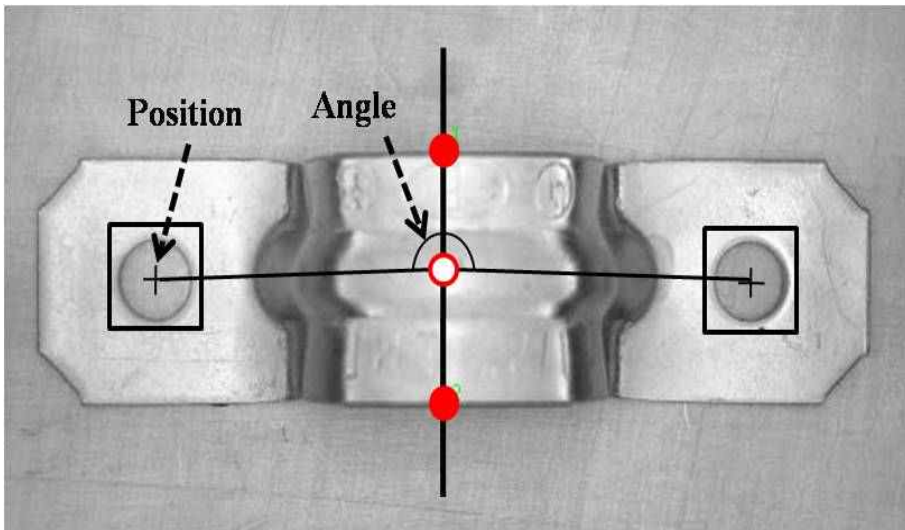


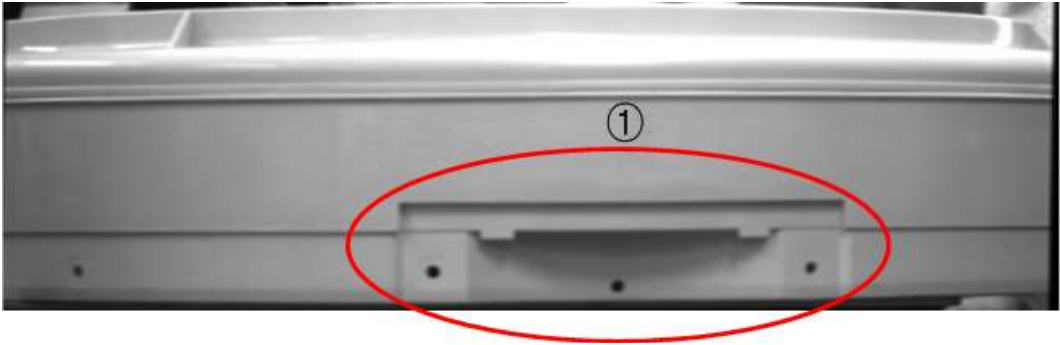
Fig. 4-9 Gauging of object

## 제 3 절 영상 처리 알고리즘 적용

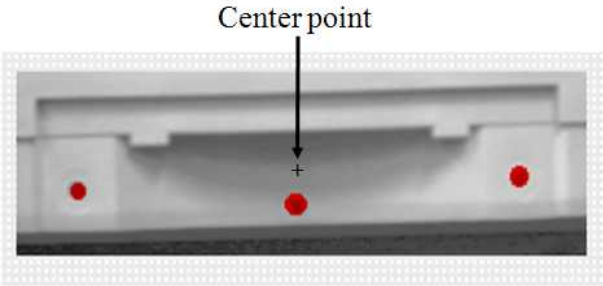
프로그래밍에 사용된 영상 처리 알고리즘은 밸런스의 특정 부위의 중심점을 얻기 위한 템플릿 매칭, 기준선을 얻기 위한 에지 검출 함수를 사용하였다. 위의 결과 데이터를 바탕으로 측정(caliper) 함수를 이용하여 밸런스 회전각을 측정하였다.

### 1. 프로그래밍 환경

LabVIEW와 비전개발모듈(vision development module)을 이용하여 세탁기 밸런스의 방향 인식을 위한 자동화 프로그램을 개발하였다. Fig. 4-10(a)와 같이 세탁기 밸런스의 정면에서 CCD 센서로부터 획득되는 영상에서 특정 부위(①)를 기준으로 Fig. 4-10(b)와 같이 템플릿을 추출하고 저장하였다. 저장된 템플릿 영상의 데이터를 기준으로 새롭게 획득되는 밸런스 영상의 중심점(center point)을 구하였다. 밸런스 영상의 기준선을 결정하기 위해 Fig. 4-11과 같이 밸런스의 가장자리에 에지 검출 함수를 사용하여 좌·우 끝점(edge point 1~4)을 연결하는 평행한 선분(line 1, 2)을 나타내었다. 측정 함수를 이용하여 두 선분의 중간점 Mid point 1, 2를 추출하고 중심축을 결정하였다. 템플릿 매칭하여 얻은 중심점과 측정함수로 얻은 중심축을 이용하여 Fig. 4-12와 같이 세탁기 밸런스의 회전각을 구하였다. 밸런스의 정위치의 각도를 180° 기준으로 좌·우 방향으로의 불균형 각도를 측정한다.



(a) Front of view



(b) Template matching

Fig. 4-10 Image acquired in balance

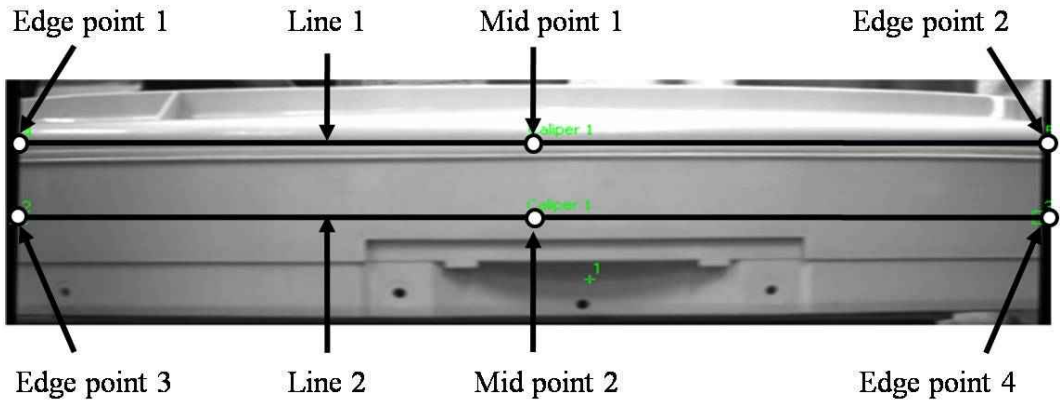


Fig. 4-11 Mid points in balance

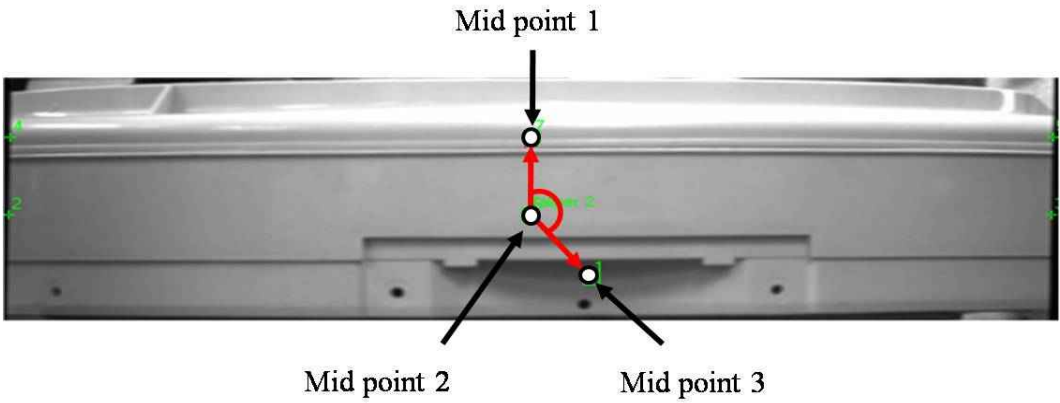


Fig. 4-12 Misaligned angle

## 2. 시물레이션 결과

세탁기 밸런스의 각도를 변화시키면서 8장의 획득 영상에서 밸런스의 중심점 위치와 회전각을 Table 4-2에 정리하였다. 저장되어 있는 세탁기 밸런스의 템플릿을 활용하여 새롭게 측정된 영상들에 템플릿 매칭하여 밸런스의 특정 부위의 중심점을 얻을 수 있었다. 이 데이터를 바탕으로 에지 검출 함수로 획득된 밸런스 영상의 중심선과 연결하여 밸런스의 회전각을 얻을 수 있었다. Fig. 4-13은 LabVIEW를 이용하여 프로그래밍한 세탁기 밸런스 방향 인식 프로그램이다. 그리고 Table 4-2의 No. 4의 세탁기 밸런스 방향 정보를 나타내었다. ①은 템플릿 매칭한 이미지에 대한 위치 정보, ②는 밸런스의 중심점 추출한 다음의 회전각 정보, ③은 그리퍼의 회전 방향을 나타낸다.

Table 4-2 Information acquired through image

No.	Position		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

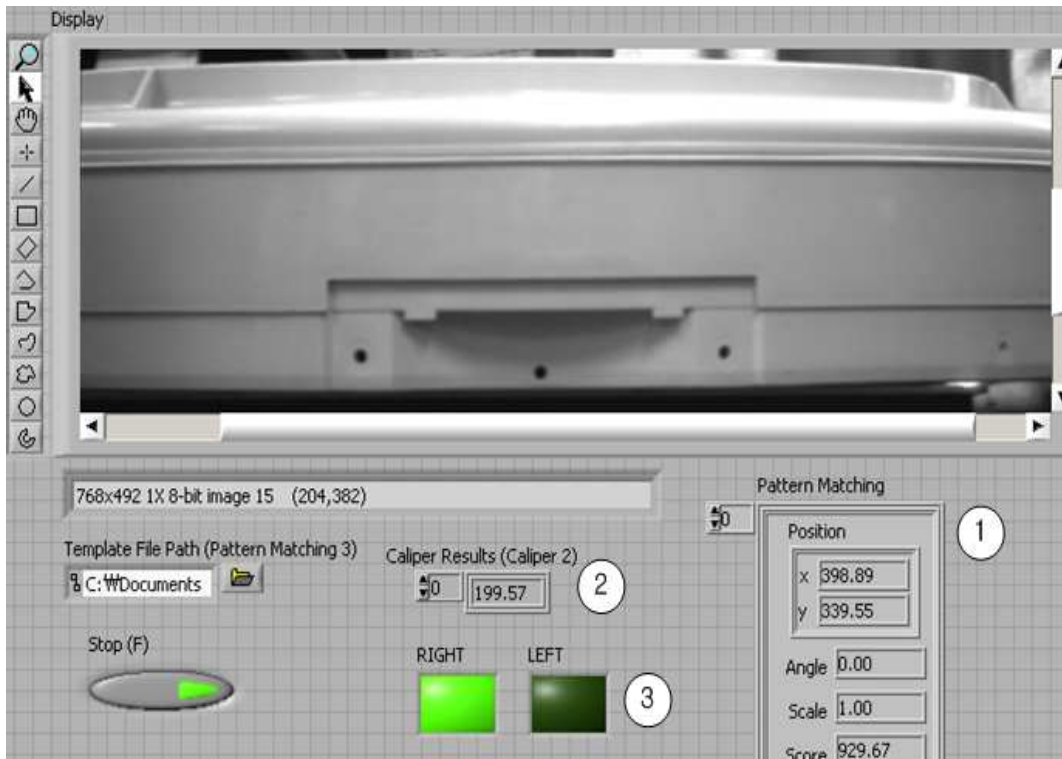


Fig. 4-13 Alignment program of balance using machine vision

## 제 4 절 실험 장치 구성 및 결과

### 1. 실험 장치 구성

세탁기 밸런스 방향 인식을 위한 머신 비전 프로그램의 적용 가능성과 서보 모터의 전력 변화에 따른 작업 시간을 구하기 위해 실험 장치를 다음과 같이 구성하였고 Fig. 4-14, Table 4-3에 나타내었다. 초점 거리가 8mm인 비전 센서를 사용하였고 검사체의 작업거리는 200mm으로 구성하였다. NXT MINDSTROM의 서보 모터를 이용하여 검사체를 회전하고 서보 모터의 컨트롤러는 NXT를 사용하였다. NXT는 32bit 프로세서를 내장하고 있고 서보 모터는 물론, 빛, 소리, 거리, 터치(touch)센서의 신호를 처리 할 수 있다. 서보 모터의 회전 속도로 인한 검사체의 회전각 오차를 줄이기 위해 감속비를 1:17.5로 적용하였다. Fig. 4-15과 같이 세탁기 밸런스의 모형으로 직경 60mm, 두께 20mm의 검사체를 사용하였고, 3개의 점들을 표시하여 템플릿 매칭이 가능하도록 하였다.

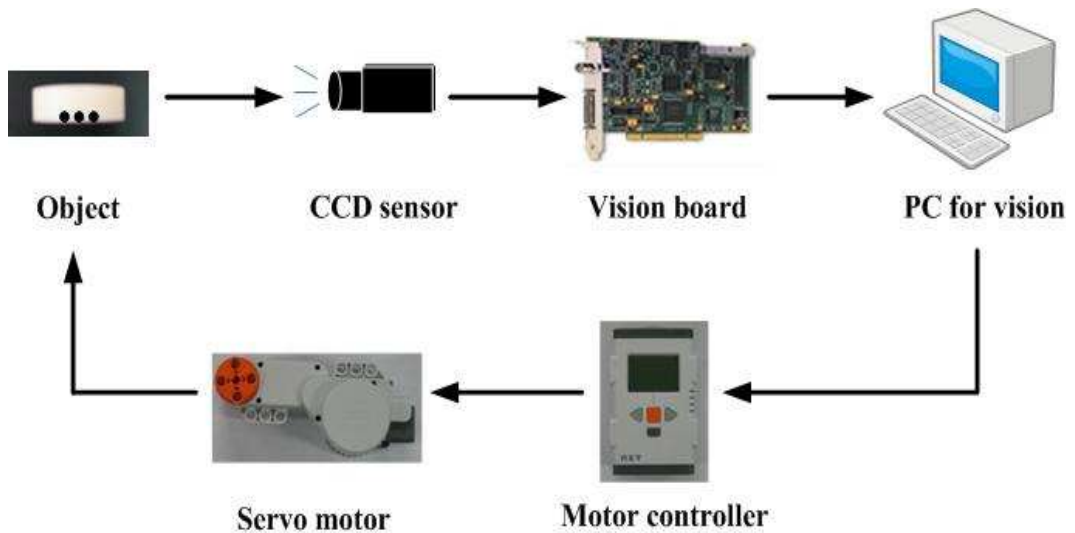


Fig. 4-14 Process for recognition direction of object by machine vision

Table 4-3 Specification of machine vision apparatus

H/W	Camera	CCD sensor	SONY XC-ST50
		Lens	L-SV-0813 : Focal length 8mm
	Vision board	NI PCI-1410	
	PC	Intel core(TM)2 Quad 2.50GHz, 3.25GB RAM	
	Motor	NXT MINDSTORMS Interactive Servo Motors	
	Motor controller	NXT : 32-bit processor, LCD display	
	Reduction gear ratio	1 : 17.5	

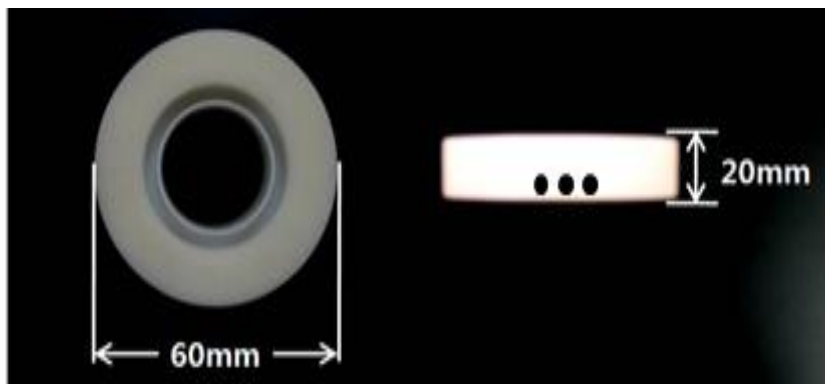


Fig. 4-15 Structure of object



Fig. 4-16은 검사체 방향 인식을 위한 실험 장치 모습이다. 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.

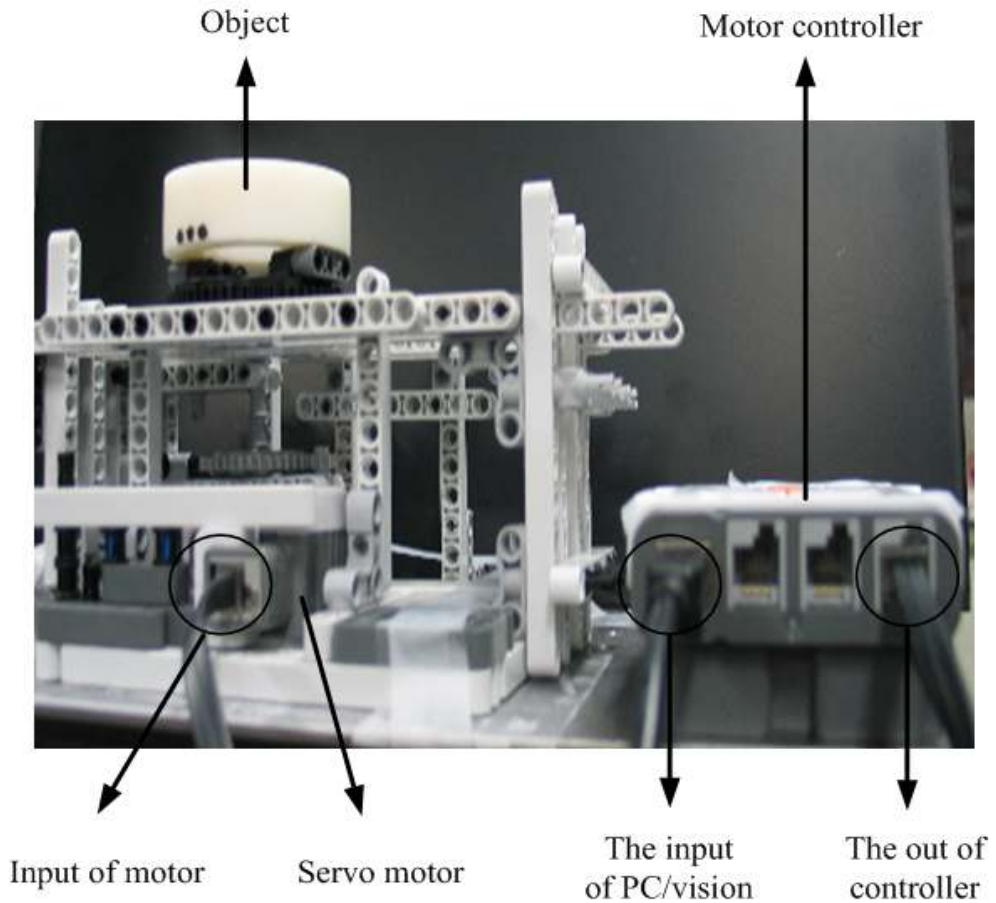


Fig. 4-16 Photograph of experimental apparatus

## 2. 실험 조건

검사체의 영상을 비전 센서로 획득하고, 영상 처리 후 얻어지는 회전각 데이터를 이용하여 서보 모터를 회전하였다. 검사체에 정면을 기준으로 3개의 점을 표시하고 서보 모터는 3점의 중심점이 화면의 중앙에 놓이도록 좌·우로 회전한다. 이때 비전 센서로 하여금 실시간으로 검사체의 영상 데이터를 획득하여 중앙의 위치를 찾게 하였다. 비전 센서로 획득되는 영상 데이터를 기준으로 검사체의 회전각을 임의로 설정하고, 허용 오차 범위를  $\pm 0.2^\circ$  로 설정하였다. 그리고 모터 전력의 변화에 따라 얻어지는 총 작업 시간을 측정하고 최종 오차를 수집하였다. 모터 회전 방향을 모니터에 출력하여 작업자가 육안으로도 쉽게 확인할 수 있도록 하였다. Fig. 4-17은 실험 조건에서 머신 비전을 이용하여 일정한 회전각을 주기 위한 프로그램이고 실험에 필요한 모터 회전 속도를 측정하였다. 비전의 영상 데이터를 이용하여 서보 모터의 회전각과 방향을 제어하였다. 서보 모터의 전력 변화에 따른 모터 회전 속도를 Fig. 4-18에 나타내었고 Table 4-4에 정리하였다. 모터 전력이 20일 때  $0.142727\text{rad/s}$ 로 최소 속도를 보였고, 75는  $0.697778\text{rad/s}$ 의 모터 회전 속도를 의미한다.

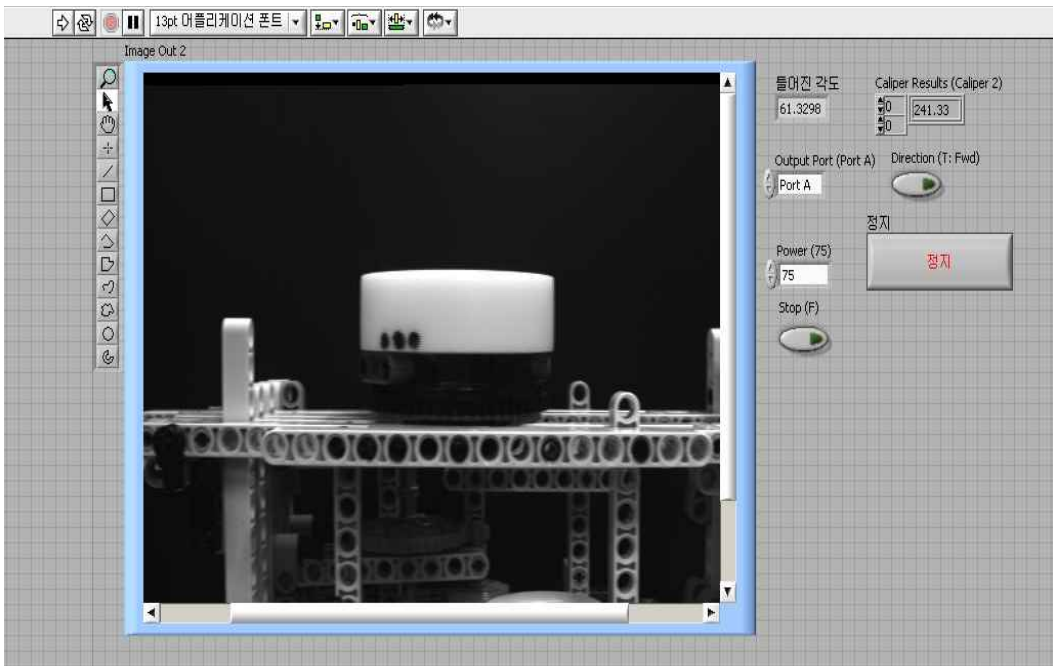


Fig. 4-17 Control of servo motor using machine vision data

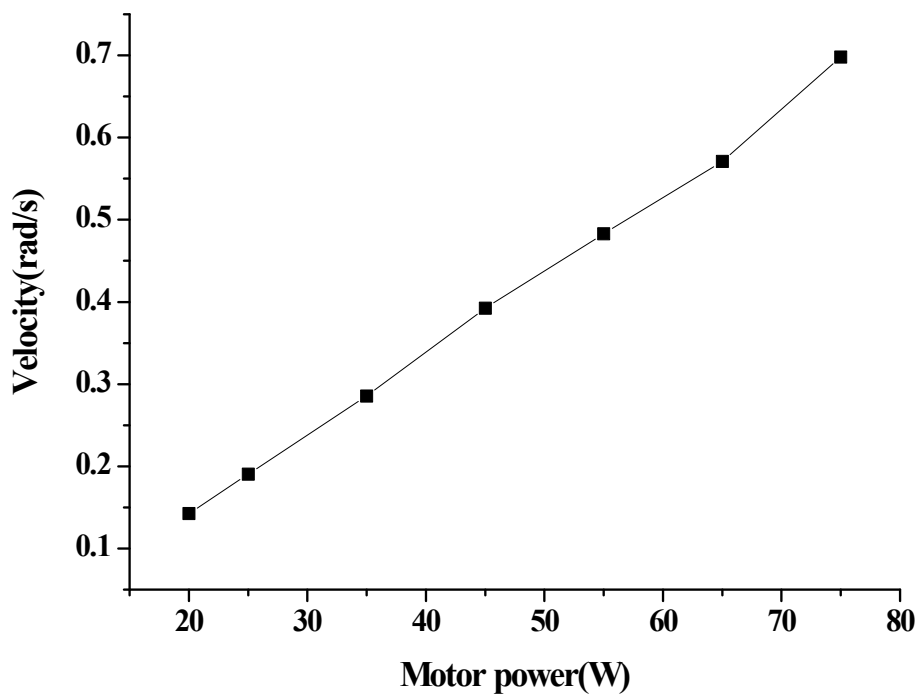


Fig. 4-18 Velocity of motor according to motor power

Table 4-4 Calibration chart

Servo motor power	20	25	35	45	55	65	75
Time	44	33	22	16	13	11	9
Velocity (rad/s)	0.142727	0.190303	0.285455	0.3925	0.483077	0.570909	0.697778

Fig. 4-19는 머신 비전을 이용하여 검사체의 방향 인식을 수행하는 실험 장치 프로그램을 나타내었고, 실험 장치의 순서도는 Fig. 4-20과 같다. 프로그램 실행 후 실시간으로 얻어지는 영상 정보를 통해 검사체의 틀어진 각을 측정하고 정면 기준( $180^\circ \pm 0.2$ )에서 서보 모터는 정지하게 된다. 시스템의 작업 시간과 모터의 동작 회수 및 회전 방향, 검사체의 최종 오차 각을 모니터링할 수 있고, 데이터 수집도 가능하다.

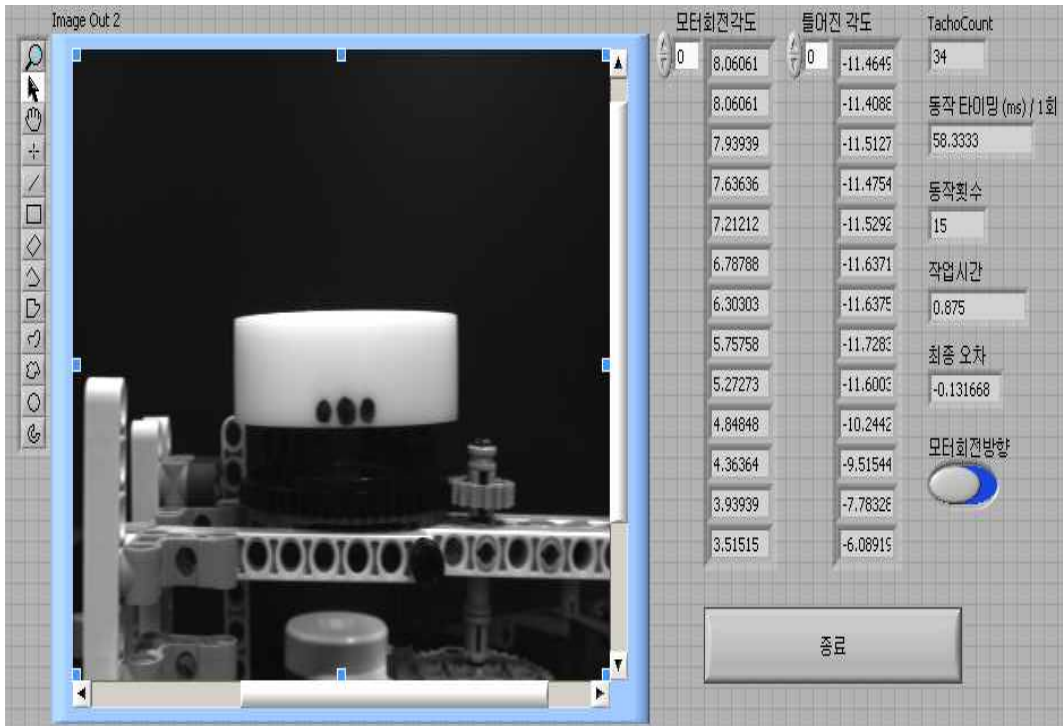


Fig. 4-19 Machine vision program for experiment

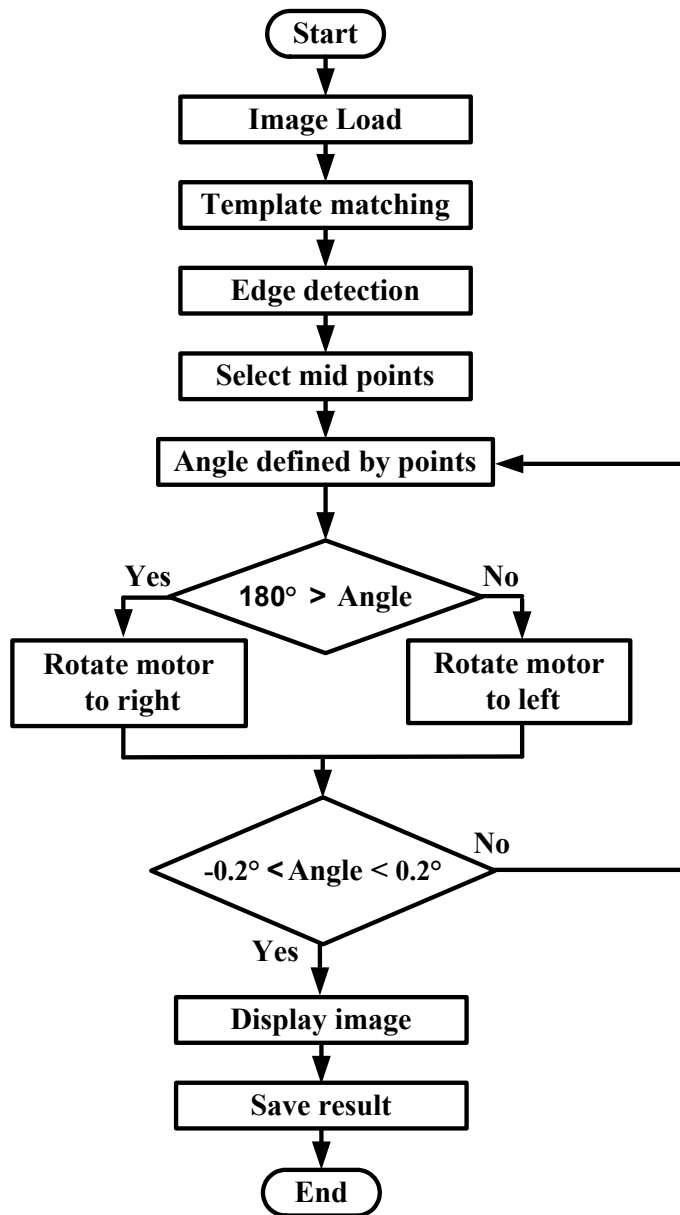


Fig. 4-20 Flow chart of experimental apparatus

### 3. 실험 결과

일정한 회전각과 허용오차범위에서 서보 모터의 전력을 변화하였을 때 걸리는 작업 시간을 파악하기 위한 실험을 수행하였다. 실험조건은 허용오차범위는  $\pm 0.2^\circ$  로 일정하게 설정하고 검사체의 회전각은 비전 영상 정보 기준으로  $130^\circ$  에서  $180^\circ$  까지의 각변위를  $0.872\text{rad}$ 으로 일정하게 주었다. 서보 모터의 전력을 20에서 시작하여 25 ~ 75까지는 10씩 증가 시키면서 실험하였다. 서보 모터의 전력이 20미만일 때는 모터의 회전력이 미세하여 검사체의 각속도가 감소하여 정지하거나, 작업 시간이 오래 걸리고 방향 전환이 불가능한 경우가 발생하여 실험에서 배제하였다.

Fig. 4-21에 모터 전력 변화에 따른 작업 시간을 나타내었다. 작업 시간은 서보 모터의 증가에 따라 감소하는 추세를 보이다가 55이상에서는 최대 최소의 작업 시간의 차가 증가하여 전력이 낮을 때 보다 작업 시간이 증가하였고 75에서 최대 작업 시간이 19.515s, 최소 작업 시간은 1.234s로 확인되었다. 그 이유는 서보 모터의 전력이 어느 정도 이상이 되면 모터의 회전 속도가 머신 비전 프로그램의 영상 처리 속도보다 빨라지게 되어 작업 시간이 오래 걸리게 된다. 또한 서보 모터의 각변위가 증가하여 허용오차범위  $\pm 0.2^\circ$  를 넘어서게 된다. 이 실험에서는 서보 모터의 전력이 45일 때 작업 시간이 일정하고 정렬에 소요되는 평균 시간이 3.05s로 최소임을 확인하였다.

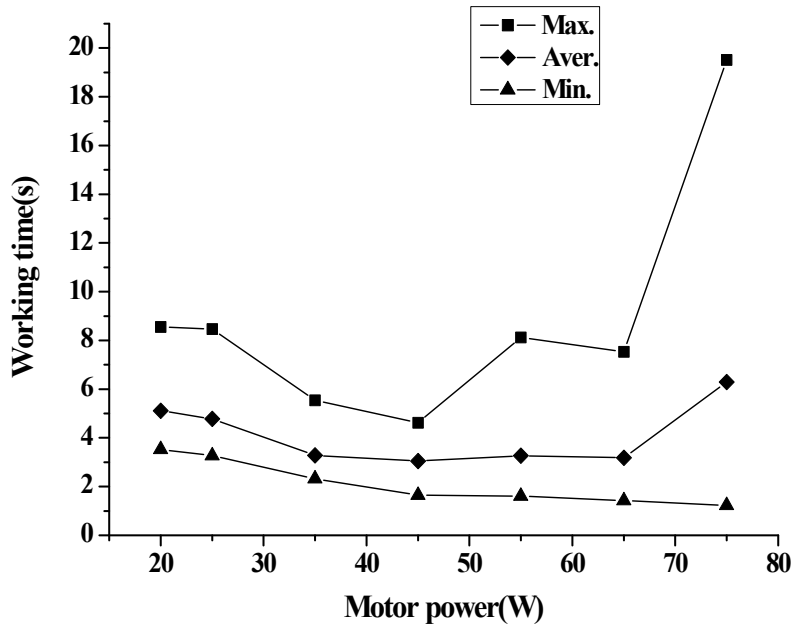


Fig. 4-21 Working time according to motor power in error  $\pm 0.2^\circ$

Fig. 4-22와 Fig. 4-23은 각각 허용오차범위를  $\pm 0.3^\circ$ ,  $\pm 0.4^\circ$  설정하고 모터의 전력에 대한 작업 시간을 나타내었다. 허용오차범위  $\pm 0.3^\circ$  일 때 작업 시간의 평균이 최소이고 일정할 때는 모터 전력이 55에서 1.70s를 보였고,  $\pm 0.4^\circ$  일 때는 모터 전력이 75일 때 1.38s를 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.

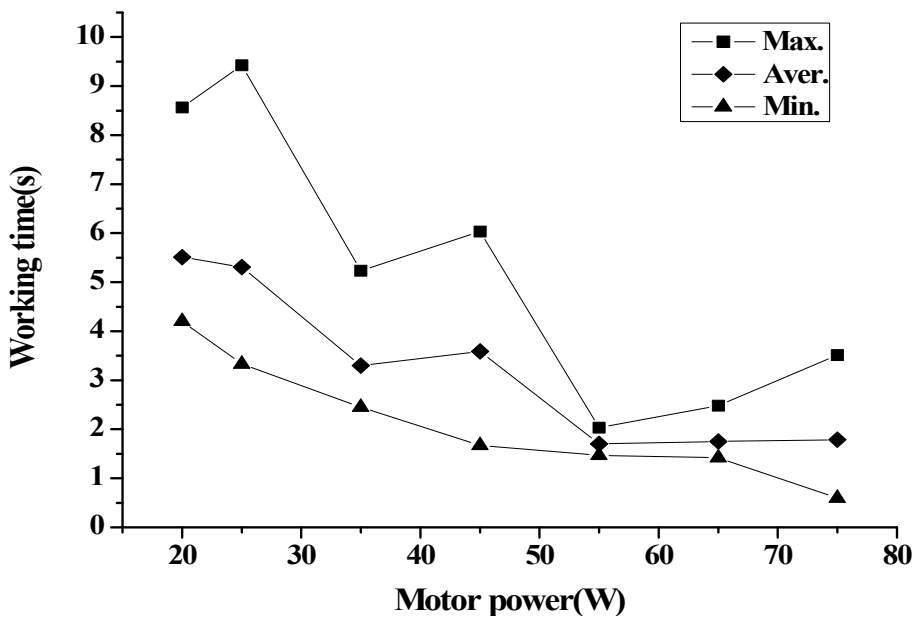


Fig. 4-22 Working time according to motor power in error  $\pm 0.3^\circ$



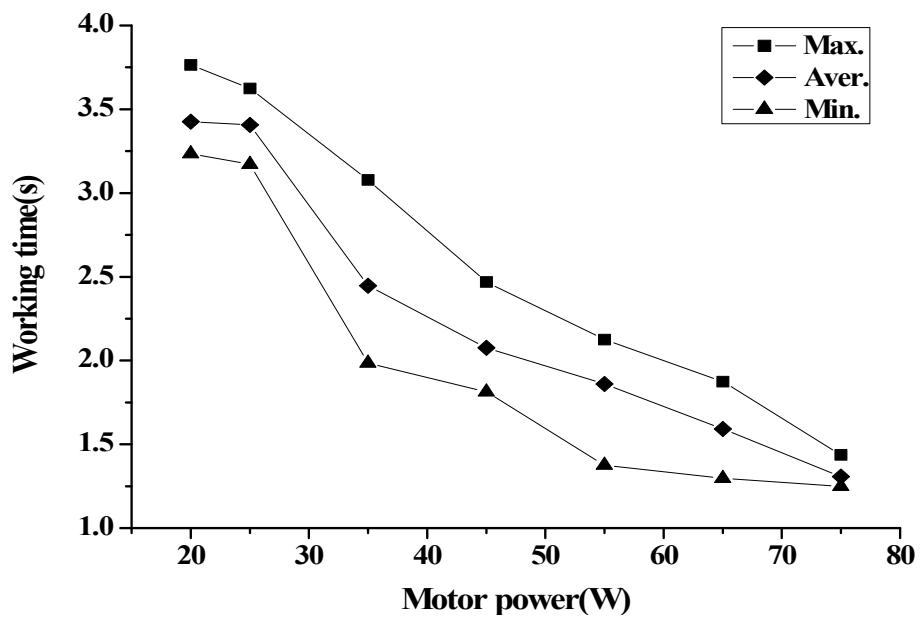


Fig. 4-23 Working time according to motor power in error  $\pm 0.4^\circ$

## 제 5 장 결 론

본 논문에서는 세탁기 밸런스용 열용착기 로딩/언로딩 시스템의 공정 자동화를 위한 설계 인자들을 분류하여 다음과 같이 진행하였다. 세탁기 밸런스의 용융 두께에 영향을 미치는 열용착 공정의 열해석을 수행하고, 로딩/언로딩 시스템을 적용하기 위해 열용착기의 작업 공간과 동특성을 해석하였다. 그리고 머신 비전을 적용하여 세탁기 밸런스의 방향 인식 가능성 여부를 확인하였다.

### 1. 세탁기 밸런스용 열용착 공정 열해석

측정한 온도 값을 기준으로 접촉면에 발생하는 열접촉저항을 유한 요소 해석 프로그램에 적용하여 열해석을 수행하였다. 열용착 공정에서 필요한 열판과 용착물을 실제의 형상과 일치하도록 유한요소 모델링을 하였다. 각 부품의 온도를 측정하고 열해석 결과와 비교하여 부품간의 열접촉전도 값을 구할 수 있었다. 정상상태 해석을 통해서 세탁기 밸런스를 용착하기 위한 열판 가열 온도를 찾을 수 있었다. 설계 데이터에 의한 세탁기 밸런스 열용착의 두께는 약 4mm이다. 열해석을 통해 예측된 세탁기 밸런스의 용융부위 두께와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 열변형 해석 결과 용착물의 최대 열변형률은 0.021mm/mm이다.

### 2. 세탁기 밸런스용 열용착 시스템 동특성 해석

세탁기 밸런스용 열용착 시스템의 동적 거동을 가시화함으로써 가상시제품을 제작하여 컴퓨터를 이용한 가상 실험에 의하여 시제품을 만들지 않고도 설계 타당성을 검토할 수 있는 설계방법을 제시하였다.

세탁기 밸런스용 열용착 시스템의 최적 설계와 시스템 간에 간섭 유·무의 확인을 위해 ADAMS를 이용해 각각의 요소들을 모델링하였고 시물레이션을 통해 시스템의 신뢰성을 평가하였다. 시스템에 적합한 자동화 로봇을 선정하기 위해 열용착기의 작업 공간을 확보하는 가상 시물레이션을 수행하였다. 그 결과 자동화 로봇의 로딩/언로딩에

필요한 최소 작업 공간의 높이가 550mm임 확인하였다. 열용착 시스템의 동특성 해석을 통해 구성 요소들의 동적 거동을 파악하였다. 그리고 설계된 시스템의 동적 거동을 제작 이전에 가상화함으로써 가상실험을 통해 문제점을 보완하여 시제품 개발비가 크게 절감되리라 기대된다.

### 3. 세탁기 밸런스 방향 인식을 위한 머신 비전 적용

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 위치, 회전각 등의 정보를 획득하였다. 세탁기 밸런스의 특정 부위를 템플릿 매칭하여 계속해서 획득되는 영상 데이터의 중심점을 구하고, 에지 검출 함수와 측정 함수를 이용하여 세탁기 밸런스 영상의 기준선을 구할 수 있었다. 그 결과 획득 영상의 회전각을 구할 수 있었다. 또한 실험 장치를 구성하여 모터 속도에 따른 방향 인식의 작업 시간과 적용 가능성에 대해 확인하였다. 세탁기 밸런스 방향 인식 프로그램으로 추후 세탁기 밸런스 열용착 공정과 로딩/언로딩 로봇에 대한 자동화시스템의 기반이 마련될 것이라 사료된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Rhee, B. O., Hieber, C. A., and K. K. Wang, 1994, "Experimental Investigation of Thermal Contact Resistance in Injection Molding," ANTEC' 94, pp 496-500.
- [2] Kwabena, A. Narh, and L. Sridhar, 1997, "Measurement and Modeling of Thermal Contact Resistance at a Plastic Metal Interface," ANTEC' 97.
- [3] HALL, J. A., CECKLER, W. H., and THOMPSON, E. V., 1987 "Thermal Properties of Rigid Polymers. I. Measurement of Thermal Conductivity and Questions Concerning Contact Resistance," Journal of Applied Polymer Science, Vol. 33, pp. 2029-2039.
- [4] Kwak, H. S., and Jeong, J. T., 2004, "Thermal Contact Resistance of Two Bodies in Contact," Korean Society of Computational Fluids Engineering, Vol. 9, No. 3, pp. 66~72.
- [5] Ikeuchi, K., and Kanade, T., 1988, "Automatic Generation of Object Recognition Programs," Proceedings of the IEEE, 76(8), pp. 1016-1036.
- [6] Katsuri, R., and Jain, R. C., 1991, "Computer Vision : Advances and Applications," IEEE Computer Society Press, Las Alamitios, California.
- [7] Lowe, D., 1987, "Three-dimensional Object Recognition from Single Two-dimensional images," Artificial Intelligence, 31(3), pp. 355-395.
- [8] Markhlin, 1981, "Robot control and inspection by multiple camera vision," 11th ISIR, pp, 121-128.
- [9] Moshe Shoham, 1984, "An optical sensor for real time positioning tracking and teaching of industrial robots," IEEE Trans, Vol IE-31, NO. 2, May.
- [10] Liangyu Lei, 2004, "A Machine Vision system for Inspecting Bearing-diameter," Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation, pp.3904-3906.
- [11] Al-kind, G. A., Baul R. M., and Gil, K. F., 1992, "An Application of Machine Vision in the Automated Inspection of Engineering Surface," International Journal of Production Research, Vol. 30, No.2, pp. 241-253.

- [12] Tang, Y., Niu, A., Wee, W. G., and Han, C. Y., 1995, "An Automated Inspection System for Detecting Metal Surface Cracks from Fluorescent Penetrant Images," Proceedings of SPIE of Machine Vision Applications in industrial Inspection III, Wu, F., Y and Wilson, S. S., Vol. 2423, pp. 278-291.
- [13] Nevatia, R., and Babu, K. R., 1980, "Linear Feature Extraction and Description," Computer Graphics and Image Processing, Vol. 13, pp. 257-269.
- [14] Gibson, D., and Gaydecki, P. A., 1995, "Parameter Search as A Simple Computer Vision Methodology," International Journal of Production Research, Vol. 33, No. 12, pp. 3455-3463.
- [15] Madhusudana, C. V., 1996, "Thermal Contact Conductance," Springer, pp. 9~21.
- [16] Otsu, N., 1979, "A threshold selection method from gray-level histograms," IEEE Transactions on System Man Cybernet, Vol.9, pp. 62~66.
- [17] Rafael, C. G., and Richard. E. W., 2007 "Digital Image Processing 3/E," Prentice Hall.
- [18] Jain, R., and Kasturi, R., and Schunck, B. G., 1995, "Machine Vision," McGRAW-HILL, Singapore, pp. 289~291.
- [19] Newman, T. S., and Jain, A. K., 1995, "A Survey of Automated Visual Inspection," Computer Vision and Image Understanding, Vol. 61, pp. 231-262.
- [20] Tio, K. K., and Sadhal, S. S., 1991, "Analysis of thermal constriction resistance with adiabatic circular gaps", Journal of Thermophysics and Heat Transfer, Vol. 5, No. 5, pp. 550~559.
- [21] Incropera, F. P., 2006, "Introduction to Heat Transfer 5/E," Wiley.
- [22] Snaith, B., and Probert, S. D., and O'Callaghan, P. W., 1986, "Thermal Resistance of Pressed Contact," Applied Energy, Vol. 22, pp. 31~84.
- [23] Yovanovich, M. M., 1986, "Recent Developments in Thermal Contact, Gap and Joint onductance Theories and Experiment," Proceedings of the Eighth International Heat Transfer Conference, Hemisphere, Washington, DC, Vol. 1, pp. 35~45.
- [24] ANSYS Software, <http://www.ansys.com>.

[25] National Instrument, 2007, "NI Vision Concepts Manual", <http://sine.ni.com/manuals/>.

# 저작물 이용 허락서

학 과	기계공학과	학 번	20077074	과 정	석사
성 명	한글 김 태 호	한문 金 泰 滯	영문 Kim Tae Ho		
주 소	광주광역시 남구 방림동 531-2				
연락 처	E-mail : kimgarino@naver.com				
논문 제목	한글 세탁기 밸런스의 열용착 시스템에 관한 연구				
	영문 A study on hot plate welding system of balance for washing machine				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음.
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의( ○ )    반대(    )

2009년 2월

저작자: 김 태 호    (인)

## 조선대학교 총장 귀하