

# 스테레오 비전을 이용한 싱킹 시트의 용접 품질 검사 시스템 개발

윤상환\*, 김한종<sup>+</sup>, 김성관<sup>++</sup>

(논문접수일 2008. 1. 4, 심사완료일 2008. 4. 20)

## Development of Stereo Vision Based Welding Quality Inspection System for RV Sinking Seat

Sang-Hwan Yun\*, Han-Jong Kim<sup>+</sup>, Sung-Gaun Kim<sup>++</sup>

### Abstract

This paper presents a stereo vision based autonomous inspection system for welding quality control of a RV (Recreational Vehicle) sinking seat. The three dimensional geometry of the welding bead, which is the welding quality criteria, is measured by using the captured stereo images with a median filter applied on it. The image processing software for the system was developed using the NI LabVIEW software with NI vision system. In the manufacturing process of a RV sinking seat, the developed system can be used for overcoming the precision error that arises from a visible inspection by an operator. The welding quality inspection system for RV sinking seat was verified using experimentation.

**Key Words** : sinking seat(싱킹 시트), welding quality inspection(용접 품질 검사), stereo vision system(스테레오 비전 시스템)

### 1. 서론

싱킹 시트(sinking seat)는 차량에 사람이 많이 탑승할 경우에는 펼쳐서 보통의 시트처럼 사용하다가 짐을 많이 실을 때와 같이 공간이 많이 필요한 경우에는 접어서 바닥 밑으로 완전히 접어 넣어서 필요에 따라 공간을 확보할 수 있는 기능성 시트이다(Fig. 1 참조).

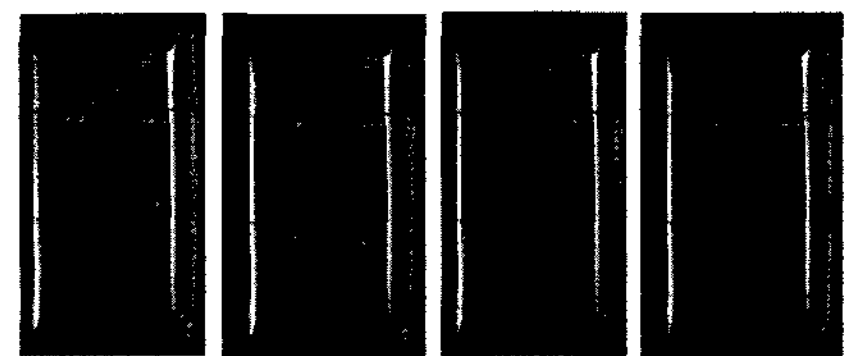


Fig. 1 Stow N Go system of Grand Voyager

이러한 싱킹 시트는 최근 여가를 활용하기 위하여 수요가

\* 공주대학교 기계공학과  
+ 한국기술교육대학교 정보기술공학부 교수  
++ 교신저자, 공주대학교 기계자동차공학부 교수 (kimsg@kongju.ac.kr)  
주소: 330-717 충청남도 천안시 부대동 275

증가하고 있는 RV 차량의 공간을 최대한 활용하기 위한 혁신적인 모델로 부상하고 있다.

그러나 싱킹 시트는 기존의 시트에 비해 부품수가 많아 조립공정이 복잡하고 자동차 경량화 추세에 따라 강성을 유지하면서 박판으로 제조해야 하는 어려움이 있다.

또한 용접개소가 많고 조립공정이 복잡하여 품질의 균질화를 위한 공정기술 개발 요구가 증대하고 있다.

그리고 용접 후에도 열변형 문제가 공정상의 문제로 남아 고장력강 적용 로봇용접기술이 필요하며 용접 후에도 열변형 문제가 공정상의 문제로 남아 고장력강 적용 로봇용접기술이 필요하며 용접 후 용접부의 치수를 자동으로 검사하는 기술의 확보가 시급하다.

머신 비전은 인간의 시각 시스템을 컴퓨터로 구현하려는 분야로써 산업 자동화를 위한 유용한 도구로 자리 잡고 있다. 이러한 머신 비전을 이용한 검사는 유연성, 신속성, 신뢰성, 생산성을 증가시키며 시각 검사(visual inspection), 부품 확인(parts identification), 로봇 안내(robot guidance)와 제어, 문서 이미징(document imaging) 등 많은 응용에서 장점을 가지고 있다<sup>(1~3)</sup>. 그러나 머신 비전을 용접부 검사에 활용한 기존의 연구들은 방사선 투과 필름을 영상 처리하여 결함을 검출하는 방법에 대한 연구가 대부분이며 용접부의 치수 측정을 통한 품질 검사에 적용한 예는 찾기 힘들다<sup>(4~9)</sup>. 싱글 카메라로 용접부의 품질검사를 통하여 용접비드의 폭과 길이를 측정하였으나<sup>(13)</sup>, 용접비드의 두께 방향의 용접부 품질을 측정하지 못하는 단점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 CMOS 방식의 두 대의 카메라와 독립형 비전 시스템으로 구성된 스테레오 비전(stereo vision) 시스템으로 용접부 품질검사를 위한 용접비드의 길이, 폭, 두께방향의 치수를 측정하였다. 이를 수동 측정 결과와 비교하여 오차율을 검토하였다. LabVIEW를 이용하여 그래픽컬한 용접부위 치수 측정프로그램을 작성 하였고, 이로부터 사용자는 쉽게 용접부의 합격/불합격 판정 할 수 있다. 또한 작성된 프로그램은 데이터 수집, 분석 그리고 디스플레이를 최적화를 쉽게 할 수 있어서 제품 불량 유무를 자동적으로 판단할 수 있고, 양불량 기준에 대한 파라미터 조정이 가능하다는 장점이 있다.

## 2. 기초 이론

### 2.1 영상 처리

Fig. 2는 LabVIEW로 작성된 프로그램의 순서도를 나타내고 있다. 이때 프로그램에 사용된 영상 처리 알고리즘은 중간값 필터(median filter), 이진화(thresholding), 팽창(dilation),

침식(erosion), 에지 검출(edge detection), 용접부위 치수측정 함수(NI clamp function)등이다.

### 2.2 스테레오 카메라의 기하학적 모델

일반적으로 스테레오 카메라의 기하학적인 모델은 두 대의 카메라가 하나의 물체를 바라보고 있는 구조를 가지며 응용분야에 따라 다양한 형태를 나타낸다. 기본적으로 두 카메라에서 획득한 영상들을 분석하여 3차원 깊이(depth) 정보를 얻을 수 있는데 Fig. 3과 같이 평행하게 배치되어 있는

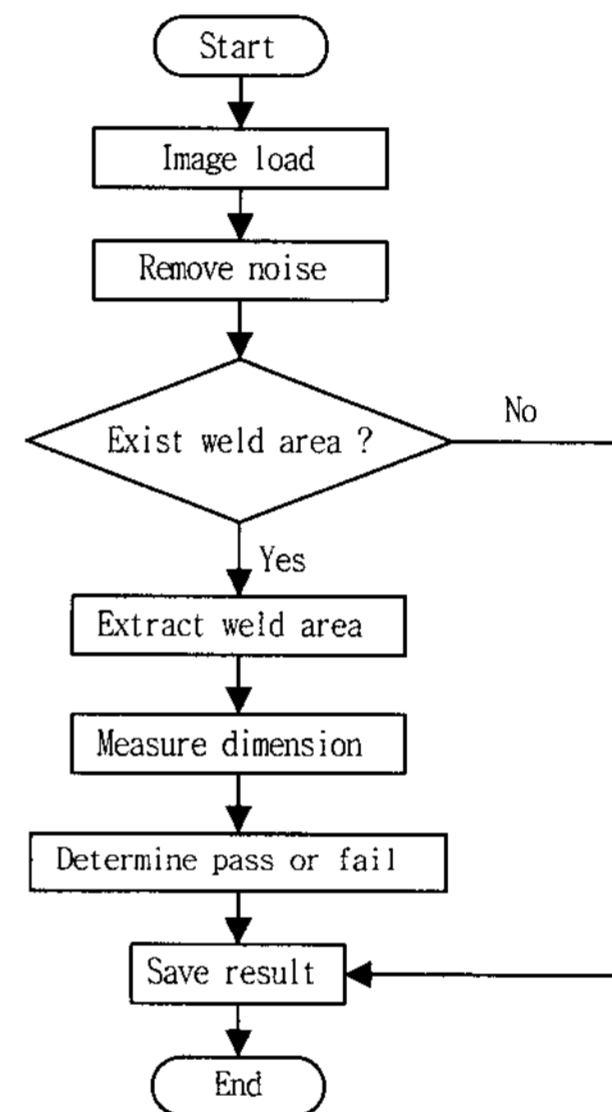


Fig. 2 Program flow chart

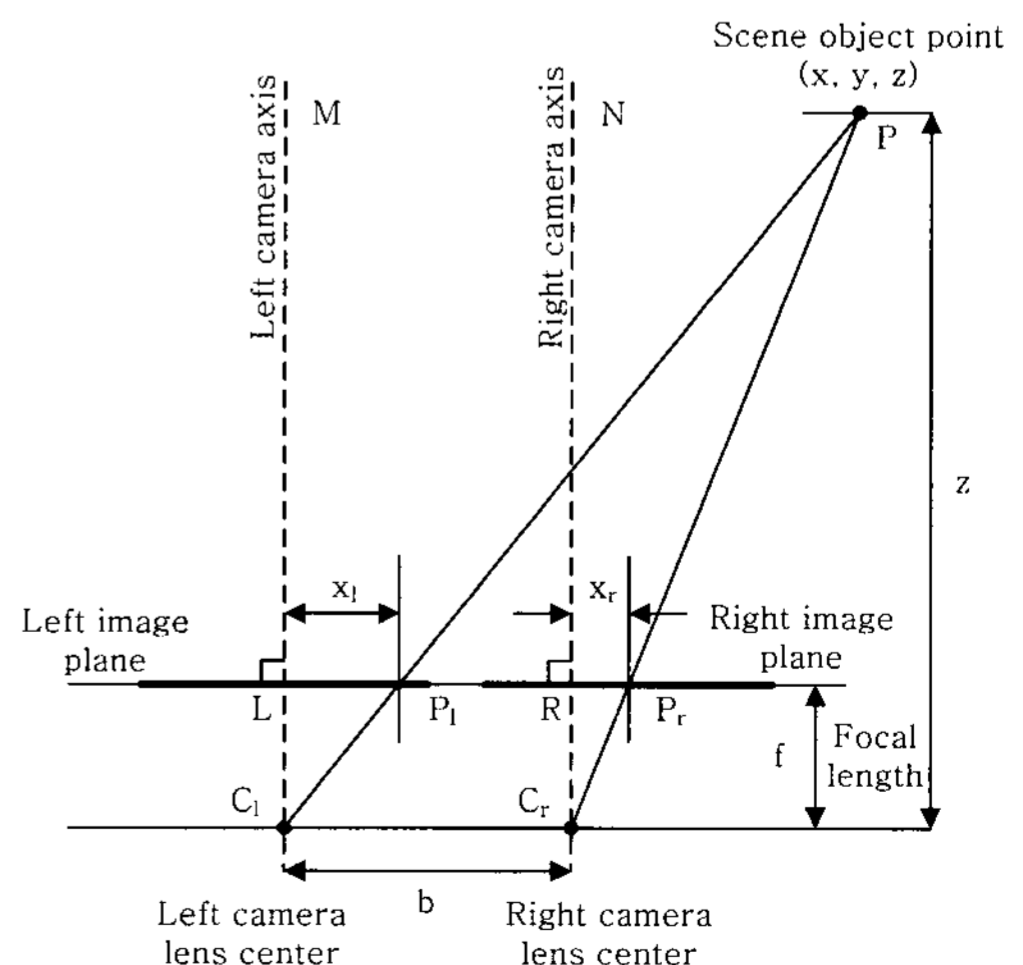


Fig. 3 Geometry of binocular stereo

카메라 모델로 설명할 수 있다.

$\Delta PGM$ 과  $\Delta PGL$ 의 닦음관계로부터 카메라와 물체와의 거리  $z$ 에 대한 식을 구할 수 있다.

$$z = \frac{b \cdot f}{x_l - x_r}$$

여기서  $b$ 는 카메라 중심 사이의 거리,  $f$ 는 초점 거리이고  $x_l - x_r$ 은 좌우 영상에서 서로 대응하는 픽셀의 위치 차이로써 거리를 결정하는 중요한 값이다<sup>(10)</sup>.

### 3. 시스템 구성

#### 3.1 하드웨어

영상 획득과 처리 등을 위하여 Compact Vision System (CVS-1456), CMOS 방식의 카메라, 조명 및 PC를 사용하였다. CVS-1456은 자체적으로 CPU, 메모리, 저장장치를 가지고 있으며 Digital I/O 포트를 사용하여 다른 장치와의 통신도 가능하다. 시스템의 사양과 전체 구성은 다음과 같다.

Table 1 Specification of stereo vision system

CPU	Intel Celeron 733MHz processor
SDRAM	128MB
Nonvolatile Storage	256MB
Sensor Size	659×493
Pixel Size	9.9 $\mu$ m×9.9 $\mu$ m
Focal Length	12mm
Baseline	92mm

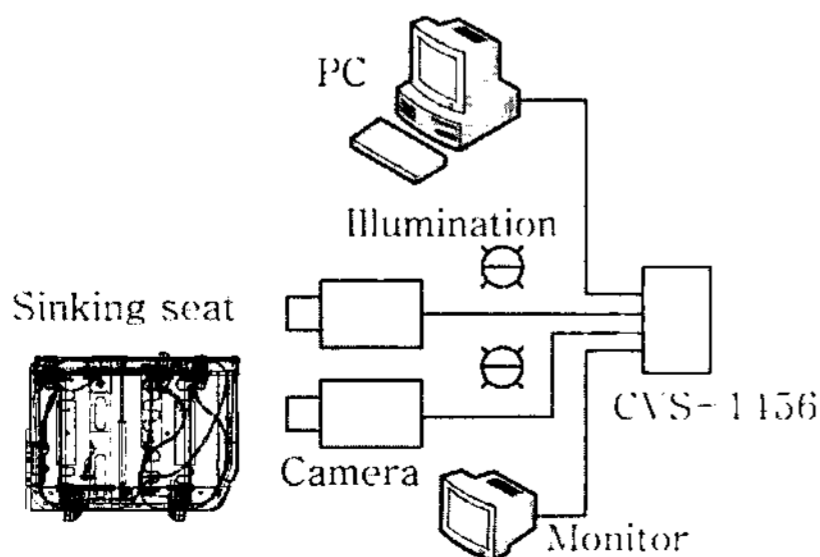
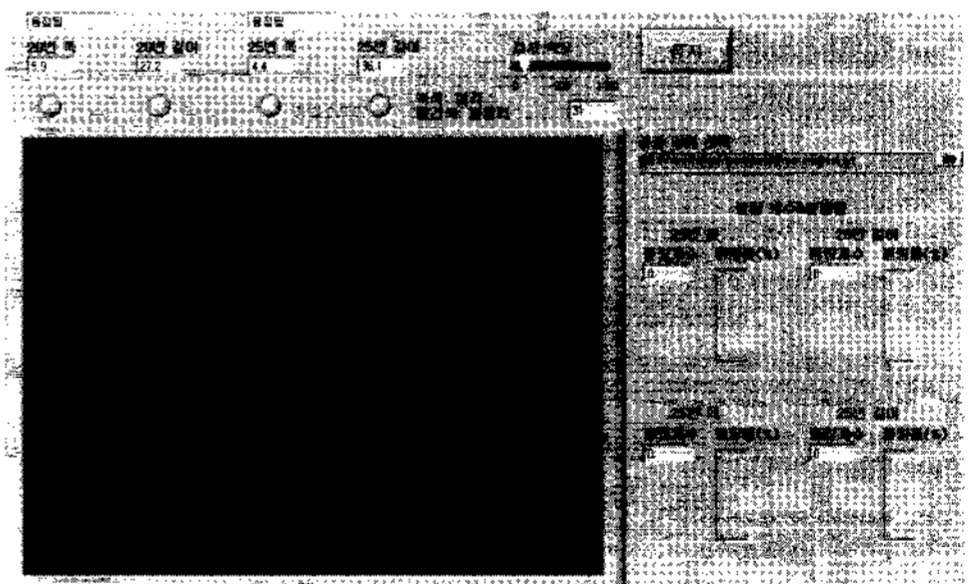


Fig. 4 System setup

#### 3.2 소프트웨어

용접부 검사 프로그램을 National Instruments의 LabVIEW와 Vision Development Module을 이용하여 제작하였다. 본 논문에서는 폭/길이를 검사하는 프로그램을 분리하여 제작하였다. 프로그램은 크게 영상을 불러오는 부분, 영상을 처리하는 부분, 치수를 측정하는 부분, 검사 결과를 저장하는 부분으로 구성되어 있다. 영상을 불러온 다음 중간값 필터를 적용시켜 잡음을 제거한 후에 용접부를 검색해서 용접부가 존재하지 않으면 결과를 파일로 저장한다. 용접부가 존재하면 폭과 길이를 측정하고 단위 변환 후 결과를 파일로 저장한다. 용접부를 검색할 때는 탐색 영역 안에서 지정한 임계값보다 어두운 부분(픽셀)을 검색한 다음 용접 품질 사양(welding quality SPEC)과 용접부의 모양을 고려하여 검색된 부분의 넓이가 42mm<sup>2</sup>미만이면 용접이 안 된 것으로 판단하도록 하였다. 제작된 프로그램은 각 용접부의 존재 유무, 폭과 길이, 용접 품질 사양(welding quality SPEC)을 만족하는지의 여부, 불량 개수와 불량률 등을 표시하며 검사 결과를 텍스트 파일로 지정한 경로에 저장한다. 제작한 프로그램은 Fig. 5, Fig. 6과 같다.



(a) Width/length inspection program



(b) Thickness inspection program

Fig. 5 Welding quality inspection program

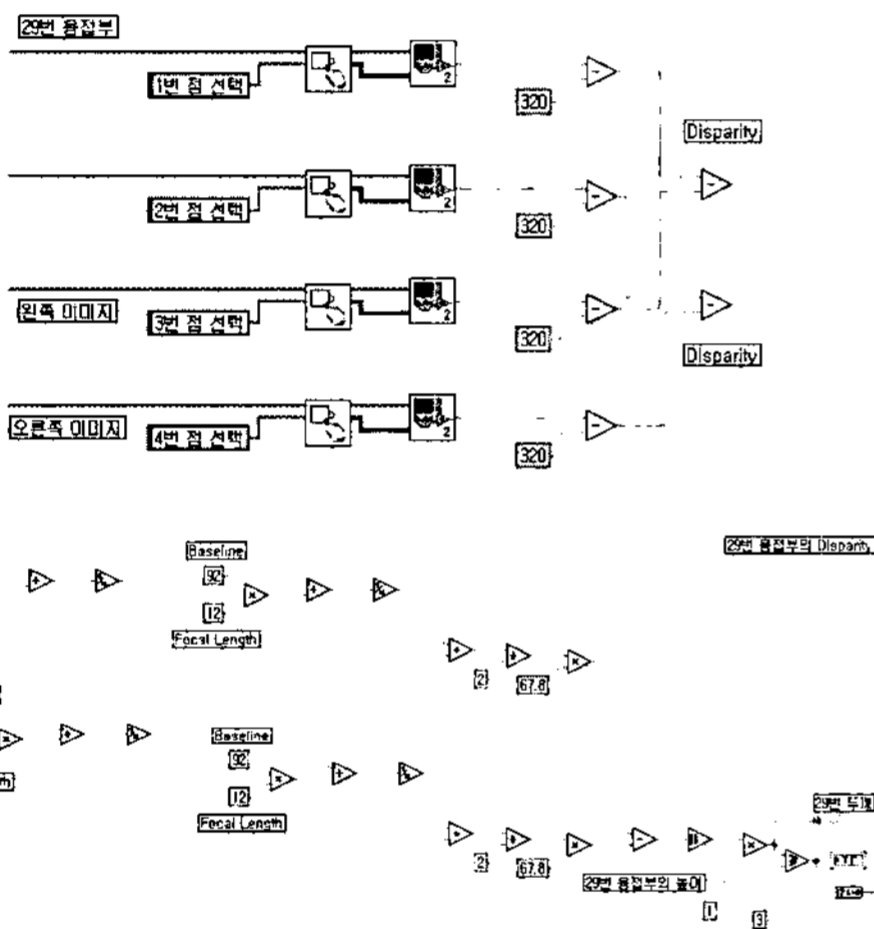
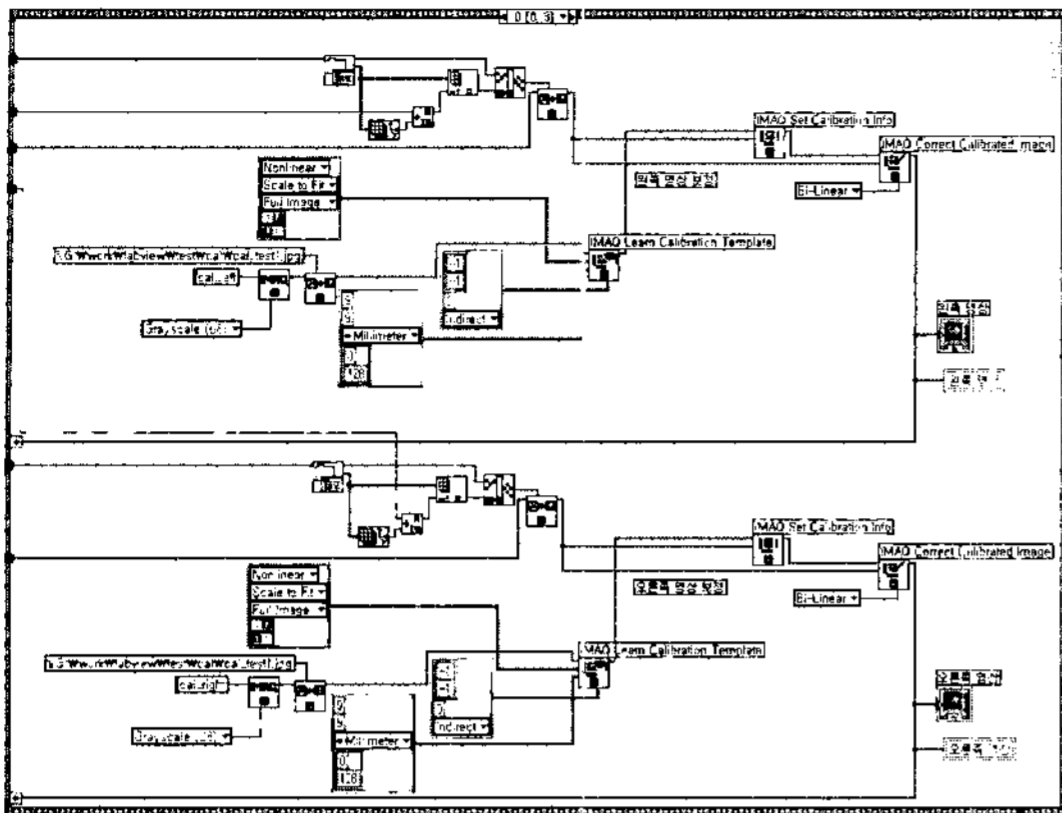


Fig. 6 Block diagram of inspection program

### 3.3 용접부 추출 및 폭/길이 측정 방법

폭/길이를 측정하기 전에 먼저 몇 가지 단계를 거쳐 용접부를 추출한다. 용접부 추출 알고리즘은 다음과 같다.

첫 번째, 카메라로 촬영한 영상과 다음의 두 영상을 차례대로 더한다.

두 번째, 덧셈 연산을 한 영상에 중간값 필터를 적용하여 잡음을 제거한다.

세 번째, 잡음을 제거한 이미지를 이진화한다. 이 때 그림자 등에 의해 그늘진 부분이 제거된다. 그늘진 곳은 용접부와 비교해서 상대적으로 덜 어둡게 나타나며 이진화를 통해 제거 가능하다.

네 번째, 파티클 필터(particle filter)를 사용하여 홀(hole) 등을 제거한다.

다섯 번째, 팽창과 침식 연산을 적용하고 다시 침식과 팽창 연산을 연속으로 적용하여 중간값 필터와 파티클 필터로

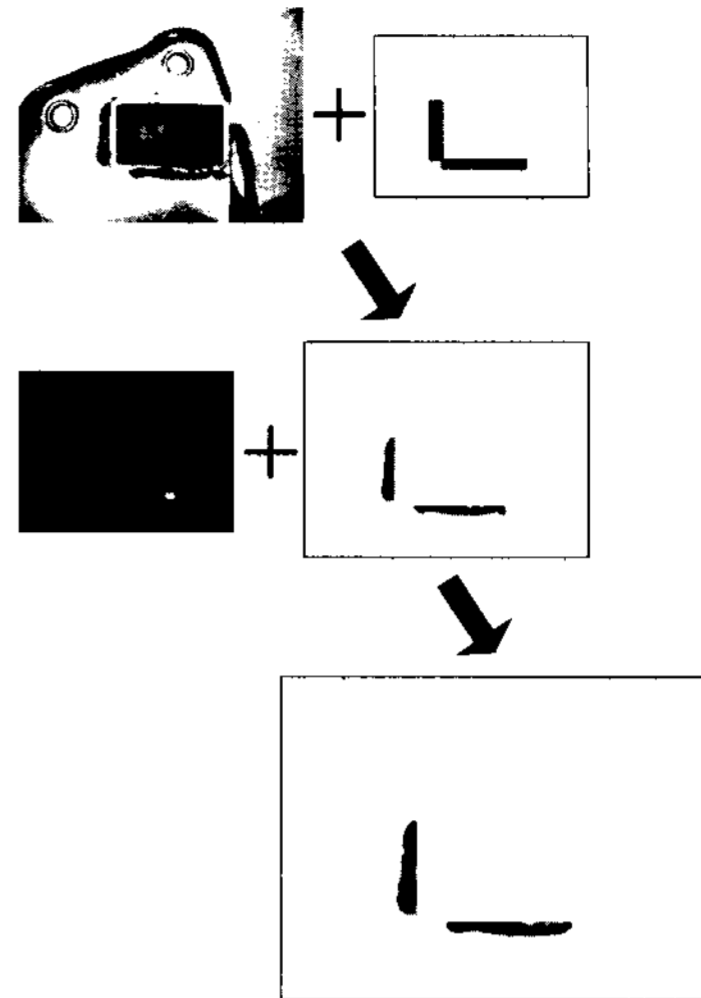


Fig. 7 Additional operation of three images



Fig. 8 Final image extracted from original image

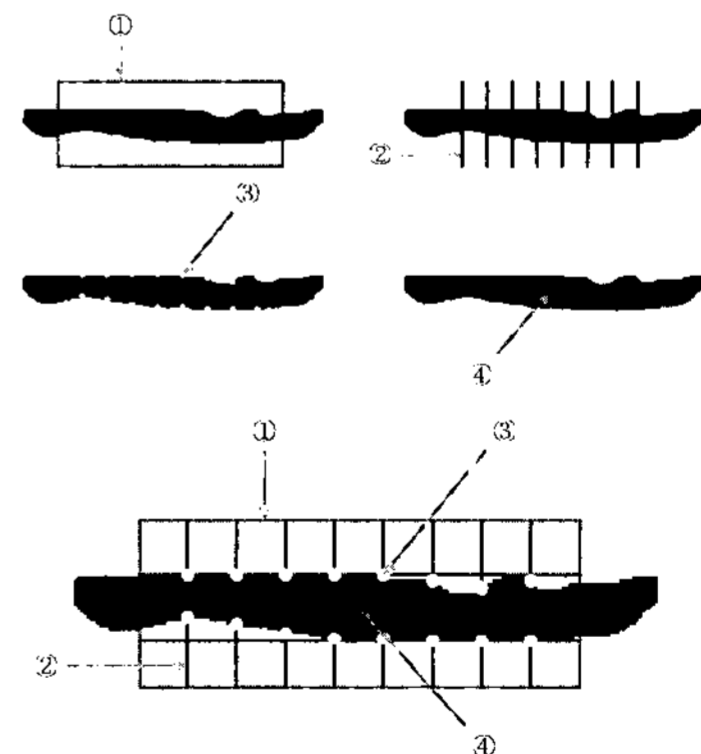


Fig. 9 IMAQ Clamp Vertical Max

는 제거할 수 없는 잡음이나 홀 등을 제거한다. Fig. 8은 최종적으로 추출된 용접부의 모습이다.

용접부 추출 후에 Vision Development Module에서 제공되는 IMAQ Clamp Horizontal/Vertical Max를 사용하여 용접부의 폭과 길이를 측정한다. IMAQ Clamp Horizontal/Vertical Max는 지정한 영역에서 두 에지 사이의 거리를 측정한다. Fig. 9는 IMAQ Clamp Horizontal/Vertical Max가 어떻게 거리를 측

정하는지 보여준다. 여기서 ① 직사각형의 탐색 영역, ②에 지 검출을 위한 탐색 라인, ③ 검출된 에지 점, ④ 측정된 거리(치수)이다<sup>9)</sup>. ①의 탐색 영역 안에서 ②의 탐색 라인을 따라서 에지 점을 검색한다. 각각의 탐색 라인을 따라 여러 개의 에지 점이 존재하는데 ③과 같이 가장 바깥쪽 두 개의 에지 점만 검색한다. 이렇게 하여 검색된 거리 중 가장 큰 값을 픽셀 단위로 반환한다<sup>11)</sup>.

### 3.4 싱킹 시트

VQ국내9P 차량의 CUSH FRM SUB ASSY LH에서 용접 불량률이 자주 발생하는 29번과 25번 부분을 검사하였다. 실험에 사용된 싱킹 시트는 5개이며 시트1부터 시트5까지 임의로 번호를 부여하였다. 시트2만 29번 용접부가 존재하지 않고 나머지는 29번 용접부와 25번 용접부 모두 존재한다. 합격/불합격 여부를 판정하는 용접 품질 사양(welding quality SPEC)은 두 용접부 모두에 대하여 폭/두께 3mm, 길이는 20mm이다. 싱킹 시트의 전체 모습 및 용접부의 모습은 Fig. 10, Fig. 11과 같다.

## 4. 실험 방법

### 4.1 용접부의 폭/길이 검사

싱킹 시트, 카메라, 조명을 적절하게 설치하면 Fig. 12와 같이 조명에 의해 싱킹 시트 부품(평평한 부분)과 용접부(울

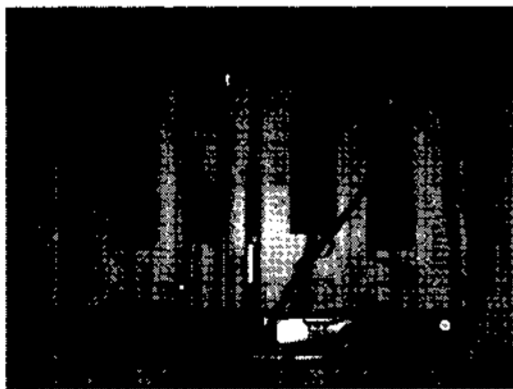


Fig. 10 Sinking seat(CUSH FRM SUB ASSY LH)

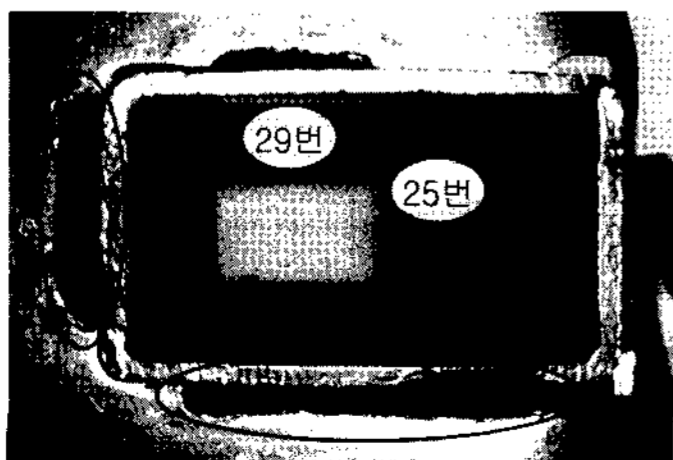


Fig. 11 No. 29 and no. 25 welding area

푹푹한 부분)가 뚜렷하게 구분되는 영상을 얻을 수 있다.

조명의 위치는 Fig. 13과 같다. 카메라 중심을 기준으로 상하좌우 3cm떨어진 모퉁이와 카메라 중심 뒤쪽에 조명을 위치시킨 다음 영상을 촬영하였다. 카메라와 시트와의 거리는 24cm이고 조명과 시트와의 거리는 50cm이다. 영상의 개수는 시트 하나에 5장(각각의 위치에서 한 장씩)이며 총 25장이다. 조명의 위치를 변화시켜 촬영한 영상을 저장한 다음 제작한 프로그램을 사용하여 검사를 하였다.

### 4.2 용접부의 두께 검사

두께는 2장에서 설명한 스테레오 비전을 이용한 프로그램으로 검사하였다. 이 때 조명은 Fig. 14와 같이 설치했다. 카메라와 시트 사이의 거리는 24cm이다. 시트 하나에 왼쪽 영상과 오른쪽 영상 하나씩 총 10장의 영상을 촬영한 다음 제작한 프로그램으로 검사를 하였다.

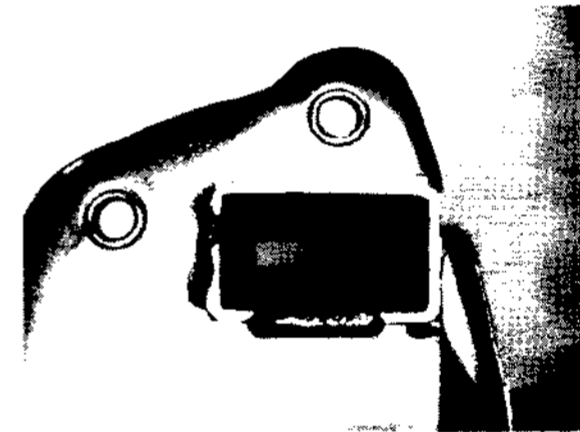


Fig. 12 Acquired image using camera

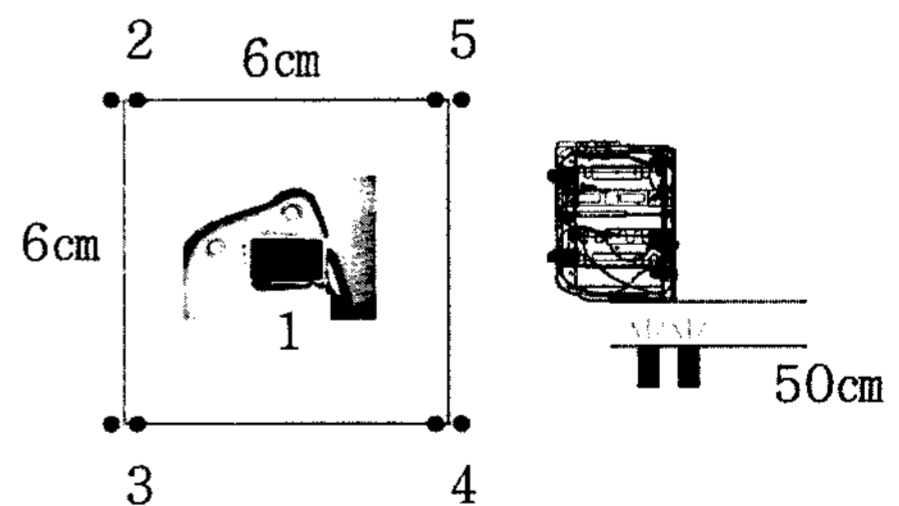


Fig. 13 Illumination setup for width/length of welding bead inspection

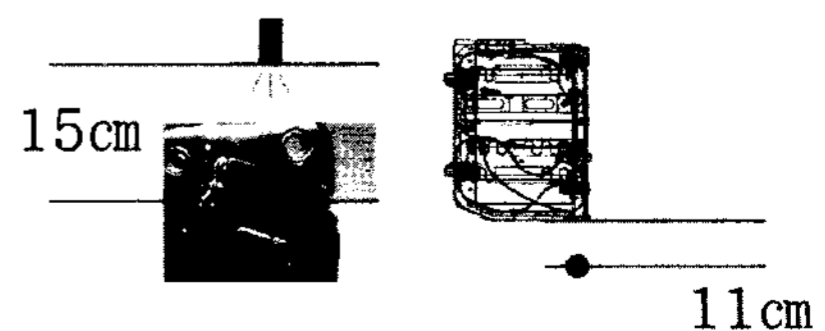


Fig. 14 Illumination setup for thickness of welding bead inspection

### 5. 실험 결과 및 고찰

프로그램으로 측정된 결과의 오차 범위는 Fig. 15~17과 같다. 그래프에서 큰 막대는 버니어 캘리퍼스로 측정된 값을 나타내고 큰 막대 위쪽의 작은 막대는 프로그램으로 측정된

값의 오차 범위를 나타낸다. 시트2의 29번 용접부를 제외하고 용접 품질 사양(welding quality SPEC)을 만족한다. 폭 측정 결과는 29번 용접부에서 -0.4~0.3mm, 25번 용접부에서는 -0.2~0.3mm의 오차를 보였다. 길이 측정 결과는 29번 용접부에서 -0.2~0.3mm, 25번 용접부에서는 -0.2~0.5mm의 오차를 보였다. 두께 측정 결과는 29번 용접부와 25번 용접부에서 모두 0.1mm의 오차를 보였다.

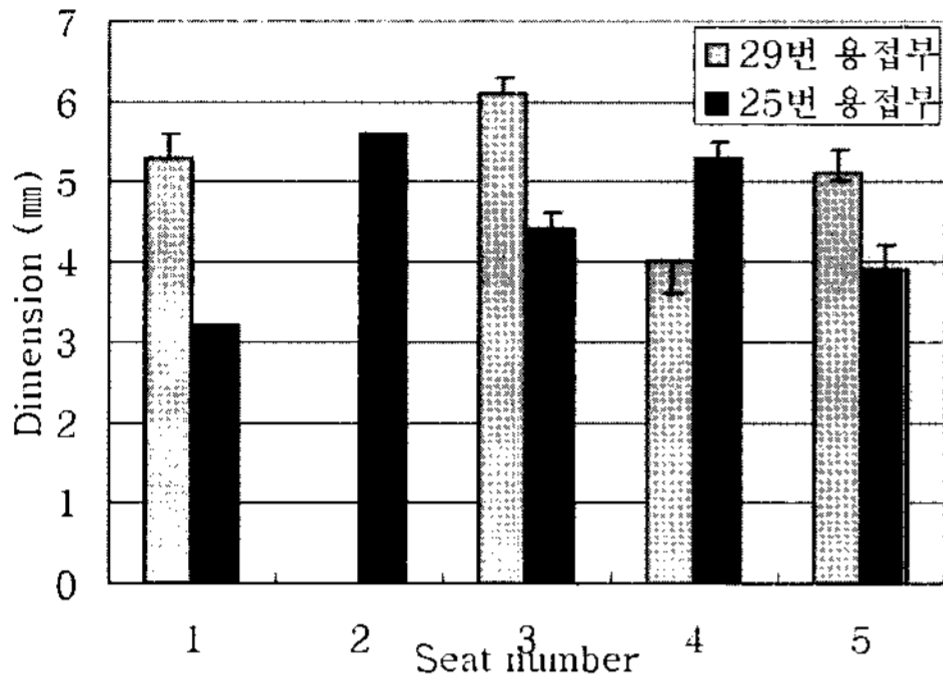


Fig. 15 Error range of width

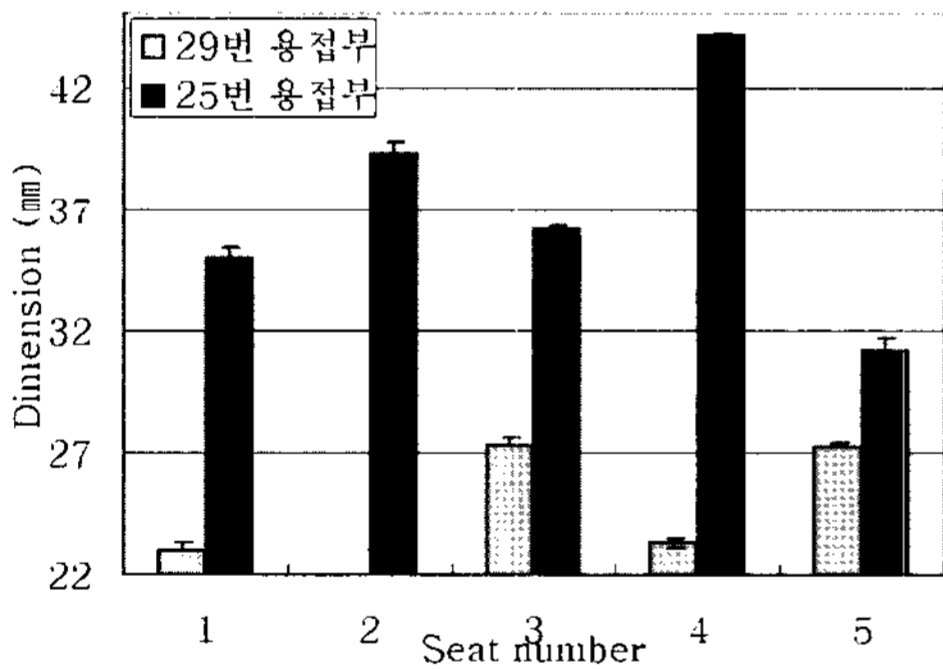


Fig. 16 Error range of length

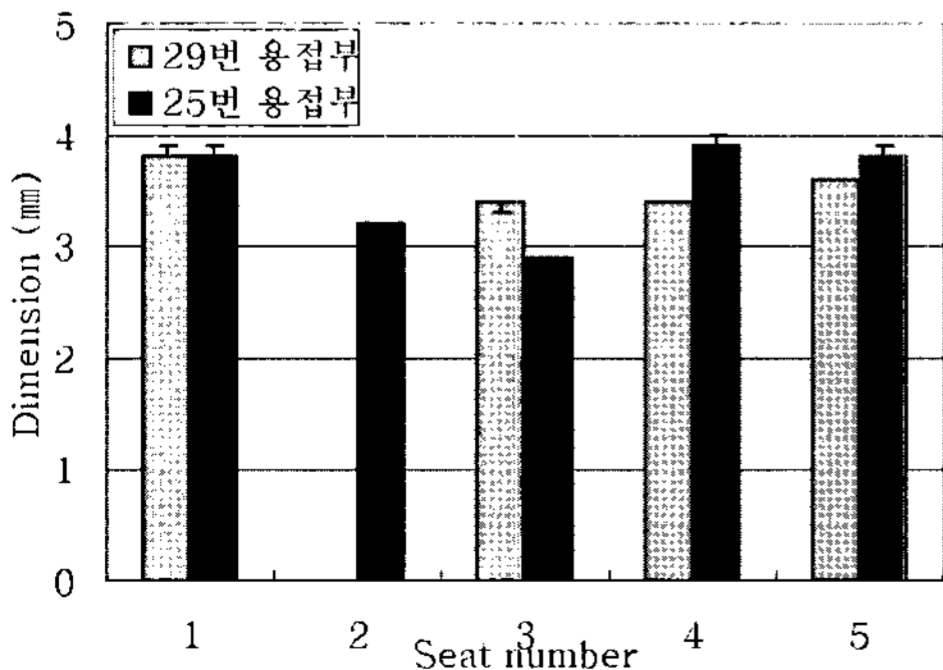


Fig. 17 Error range of thickness

조명의 위치에 따른 오차는 29번 용접부의 경우 폭은 Fig. 13의 1, 2, 5번 위치에서 0.2mm이었고 3번 위치에서는 0.4mm이었다. 길이는 1, 2, 3, 4번 위치에서 0.2mm이었고 5번 위치에서는 0.3mm이었다. 반면 25번 용접부의 경우 폭은 5번 위치에서 0.1mm이었고 2번 위치에서 0.3mm이었다. 길이는 2, 5번 위치에서 0.2mm이었고 4번 위치에서 0.5mm이었다. 이 결과로부터 본 논문에서 제안된 프로그램으로 강건하게 용접부위 양불량을 판단할 수 있음을 알 수 있다. 또한 본 논문에서는 용접 후에 검사하는 것이므로 용접시 발생하는 용접불꽃 등에 의한 영향이 없다. 또한 용접부의 영상을 획득하기 위한 조명을 용접부의 50cm 이내의 거리에서 비추므로 천정처럼 먼 곳에 설치된 다른 조명의 영향은 거의 받지 않을 것으로 생각된다. 따라서 실험실에서 사용한 조명은 생산 현장의 조명환경과 큰 차이가 없을 것으로 사료된다. 추후 열악한 조명 환경에서 문제가 생길 경우에는 잡광을 제거하기 위한 시스템을 도입하면 될 것으로 본다. 최종적인 검사 결과는 Table 2와 같다.

Table 2 Inspection result

(a) No. 29

	Width	Length	Thickness
seat1	Pass	Pass	Pass
seat2	Fail	Fail	Fail
seat3	Pass	Pass	Pass
seat4	Pass	Pass	Pass
seat5	Pass	Pass	Pass

(b) No. 25

	Width	Length	Thickness
seat1	Pass	Pass	Pass
seat2	Pass	Pass	Pass
seat3	Pass	Pass	Fail
seat4	Pass	Pass	Pass
seat5	Pass	Pass	Pass

## 6. 결론

본 논문에서는 RV 차량용 싱킹 시트 용접부위의 길이, 폭, 두께 방향의 3차원 정보를 측정하기 위하여 스테레오 비전 시스템을 구성 하였다. 그리고 용접부의 품질을 자동으로 검사하고 그 양불량을 판정하는 프로그램을 제작하였다.

싱킹 시트, 카메라, 조명을 설치하여 뚜렷한 용접부의 영상을 얻을 수 있었고 영상 처리 알고리즘의 조합으로 용접부를 추출해 내었다. 프로그램을 사용하여 측정한 용접부의 폭은 최대 오차 0.4mm(10%)이었고 길이는 최대 오차 0.5mm(1.3%)이었다. 또한 두께는 최대 오차 0.1mm(3.5%)를 나타냈다.

실험 결과는 싱킹 시트, 카메라, 조명의 배치로 용접부의 영상을 얻을 수 있고 이 영상으로부터 용접부의 폭, 길이, 두께를 측정하여 합격/불합격 판정을 할 수 있다는 것을 보여준다. 이 결과로부터 본 논문에서 제안된 프로그램으로 강건하게 용접부위 양불량을 판단할 수 있음을 알 수 있다. 또한 레이저 비전 센서, 자외선/적외선 센서 등과 같은 다른 센서 없이 카메라만으로 용접부의 치수 측정 및 품질 평가 가능하였다.

## 후 기

본 연구는 충남 자동차·부품산업 인력양성사업단 산학공동연구와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업의 지원으로 진행되었음.

## 참 고 문 헌

- (1) Prasanthi, G., Jin, C., Jeannine, G., and Ernest, L. H., 2000, *Machine Vision Fundamentals*, Marcel Dekker, New York, pp. 1~43.
- (2) Velasquez, J. D., and Shimon, Y. N., 2008, "Integration of Machine-Vision Inspection Information for Best-Matching of Distributed Components and Suppliers," *Computers in Industry*, Vol. 59, No. 1, pp. 69~81.
- (3) Golnabi, H., and Asadpour. A., 2007, "Design and Application of Industrial Machine Vision Systems," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 23, No. 6, pp. 630~637.
- (4) Shafeek, H.I., Gadelmawla, E.S., Abdel-Shafy, A.A., and Ellewa, I.M., 2004, "Automatic Inspection of Gas Pipeline Welding Defects Using an Expert Vision System," *NDT & E International*, Vol. 37, No. 4, pp. 301~307.
- (5) Alaknanda., Anand, R.S., and Pradeep, K., 2006, "Flaw Detection in Radiographic Weld Images Using Morphological Approach," *NDT & E International*, Vol. 39, No. 1, pp. 29~33.
- (6) Park, Y. W., Park, H., Rhee, S. H., and Kang, M. J., 2002, "Real Time Estimation of CO<sub>2</sub> Laser Weld Quality for Automotive Industry," *Optics & Laser Technology*, Vol. 34, No. 2, pp. 135~142.
- (7) Romeu, R. S., Luiz, C. P., Siqueira, M., and Rebello, J., 2004, "Pattern Recognition of Weld Defects Detected by Radiographic Test," *NDT & E International*, Vol. 37, No. 6, pp. 461~470.
- (8) Lashkia, V., 2001, "Defect Detection in X-ray Images Using Fuzzy Reasoning," *Image and Vision Computing*, Vol. 19, No. 5, pp. 261~269.
- (9) Kazantsev, I.G., Lemahieu, I., Salov, G.I., and Denys, R., 2002, "Statistical Detection of Defects in Radiographic Images in Nondestructive Testing," *Signal Processing*, Vol. 82, No. 5, pp. 791~801.
- (10) Jain, R., Kasturi, R., and Schunck, B.G., 1995, *Machine Vision*, McGRAW-HILL, Singapore, pp. 289~291.
- (11) National Instrument, NI Vision Concepts Manual., viewed July 2007, <<http://www.ni.com/pdf/manuals/372916f.pdf>>
- (12) Yun, S. H., Kim, H. J., and Kim, S. G., 2008, "Development of Welding Quality Inspection System for RV Sinking Seat," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol. 14, No. 1, pp. 75~80.