

RV 차량용 싱킹 시트의 용접 품질 검사 시스템 개발

Development of Welding Quality Inspection System for RV Sinking Seat

윤상환*, 김한종, 김성관

(Sang-Hwan Yun, Han-Jong Kim, and Sung-Gaun Kim)

Abstract : This paper presents a vision based autonomous inspection system for welding quality control of a RV sinking seat. In order to overcome the precision error that arises from a visible inspection by an operator in the manufacturing process of a RV sinking seat, the machine vision based welding quality control system is proposed. It consists of the CMOS camera and the NI vision system. The geometry of the welding bead, which is the welding quality criteria, is measured by using the captured image with a median filter applied on it. The image processing software for the system was developed using the NI LabVIEW software. The proposed welding quality inspection system for RV sinking seat was verified using experimentation.

Keywords : sinking seat, welding quality inspection, vision system

I. 서론

소득이 늘어나고 토요일 휴무제가 증가됨에 따라 여가를 활용하기 위한 RV 자동차의 수요가 증가하는 추세이지만 짐을 실을 공간이 부족하여 이에 대한 요구도 증가하고 있다. 따라서 일반 승용차에 비해 편의성이 중시되어온 RV 자동차 시트의 변화가 필요하다. 싱킹 시트(sinking seat)는 공간을 최대한으로 활용하기 위해 RV 자동차의 혁신적인 모델로 부상하고 있다(그림 1 참조).

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 공정 기술 개발 요구가 증대하고 있다.

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

비전 시스템을 용접부 검사에 활용한 기존의 방법은 방사선 투과 필름을 영상 처리하여 검사하는 방법이 대부분이다[1-3].

그 외의 방법으로는, 강구조물의 용접부에 대해 서로 다른 각도로 설치한 조명을 이용하여 용접외부결함을 암부(dark part)로 나타내고 용접부에 수직하게 설치한 CCD 카메라를 이용하여 획득한 4장의 이미지를 Bit OR 연산을 수행한 후 이치화(binazation) 처리 및 영역분할 처리한 다음 도로교 시방서의 기준값을 기본으로 하여 용접외부결함인 피트, 균열, 언더컷 및 오버랩을 검출한 결과가 있다[4].

두 개의 시각센서를 사용하여 대형 강관의 접합부에 대하여 검사를 수행하기도 하였다. 선형 시각센서로 얻은 영상으



그림 1. 도요타 시에나 모델의 싱킹 시트.

Fig. 1. Sinking seat of Toyota sienna model.

로 용접선을 추적하고 간극의 크기를 측정하였다. 또한 후행 시각센서로 얻은 영상으로 ISO 기준을 참고하여 각종 결함 판정 및 필릿 면적 계산을 하였고 결함의 종류와 크기를 등급별로 측정했다[5].

한편, GMA 용접 비드의 3차원 형상 측정을 위해 한 대의 CCD 카메라와 바이프리즘으로 이루어진 바이프리즘 스테레오 시각 센서를 사용하여 용접 비드의 폭과 길이 및 높이를 측정했으며 프리즘과 카메라 인자를 결정하기 위한 선형 보정식을 제안하고 이를 적용하여 보정을 수행한 결과가 있다[6].

레이저 빔을 사용한 결과로는 용접부에 레이저 빔을 주사하고 2차원 레이저 카메라를 이동시키면서 얻은 용접부의 3차원 정보에 전처리를 수행한 다음 특징점을 추출한 후에 각 점을 선분으로 연결하는 과정을 거친 이미지 형상에 대해 ISO기준에 의거하여 용접품질을 판단하였고 평균거리 개념을 이용하여 결함이 집중된 곳과 산포한 곳을 구분한 결과가 있다[7].

이러한 연구들은 스테레오 비전이나 레이저 빔을 사용하여 용접 비드를 3차원적으로 재구성하여 결함 검출 및 치수 측정을 한 것이며 그러한 장치 없이 카메라와 조명만을 사용하여 획득한 2차원 이미지를 대상으로 치수 측정을 한 예는 찾기 힘들다.

본 논문에서는 하나의 CMOS카메라와 독립형 비전 시스템을 사용하여 용접부의 2차원 이미지를 획득한 후 폭과 길이를 측정하였고 수동 측정 결과와 비교하였다.

II. 시스템 구성

1. 하드웨어

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 10. 15., 채택확정 : 2007. 12. 11.

윤상환 : 공주대학교(kcccccys@kongju.ac.kr)

김한종 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 교수(hjkim@kut.ac.kr)

김성관 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수(kimsg@kongju.ac.kr)

※ 본 연구는 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업과 충남 자동차·부품산업 인력양성사업단의 산학공동연구 지원으로 진행되었음.

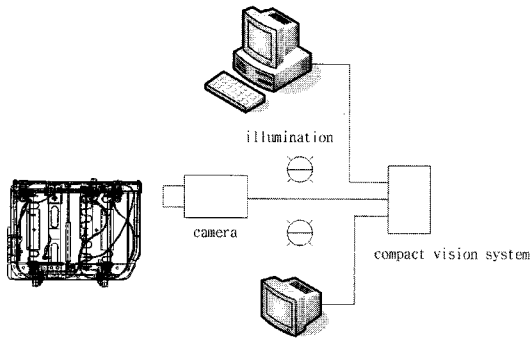


그림 2. 시스템 구성.
Fig. 2. System configuration.

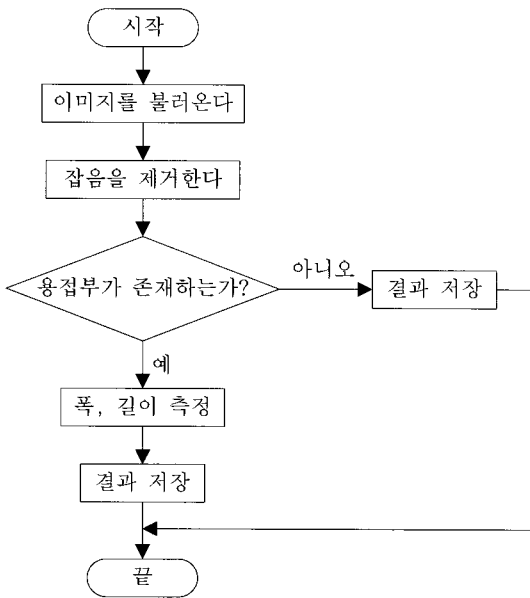


그림 3. 프로그램 흐름도.
Fig. 3. Program flow chart.

이미지 획득과 처리 등을 위하여 Compact Vision System (CVS-1456), CMOS방식의 카메라, 조명을 사용하였다.

2. 소프트웨어

카메라를 통해 획득한 이미지에 중간값 필터를 적용시켜 잡음을 제거한 다음 용접부를 검색해서 용접부가 존재하지 않으면 결과를 파일로 저장하고 용접부가 존재하면 폭과 길이를 측정하고 단위 변환 후 결과를 파일로 저장한다. 프로그램의 흐름도는 다음 그림과 같다.

3. 중간값 필터(median filter)

카메라로 획득한 이미지에는 잡음이 포함되어 있기 때문에 본 논문에서는 이미지의 잡음을 제거하기 위하여 중간값 필터를 사용하였다.

영상의 윈도우 내에 존재하는 픽셀들을 크기순으로 정렬했을 때 중간에 위치하는 값을 중간값이라고 한다. 중간값 필터는 픽셀들을 픽셀값에 따라 오름차순으로 정렬한 다음 픽셀값에 중간값을 할당한다. 중간값 필터는 임펄스 잡음 제거에 효과적이다[8].

$$P_{(i,j)} = \text{median value of the series } [P_{(n,m)}] \quad (1)$$

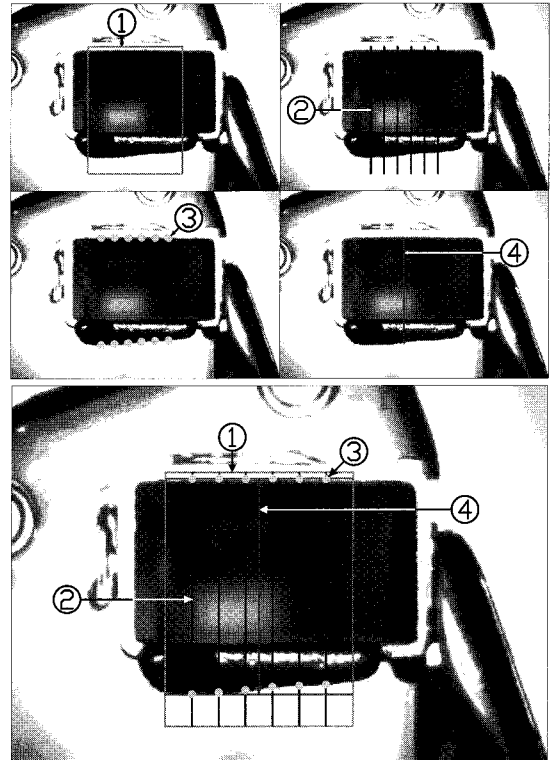


그림 4. 클램프 평선.
Fig. 4. Clamp function.

4. Clamp function

용접부의 폭과 길이를 측정하기 위하여 clamp function을 사용하였다. Clamp function은 지정한 영역에서 두 에지(edge) 사이의 거리를 측정한다.

Clamp function은 두 개의 에지를 따라 점들을 검색한 다음 검색된 점들 사이의 거리를 계산하고 반환한다. 다음 그림은 clamp function이 어떻게 거리를 측정하는지 보여준다. 여기서 ① 직사각형의 탐색 영역, ② 에지 검출을 위한 탐색 라인, ③ 검출된 에지 점, ④ 측정된 거리(치수)이다[9]. 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 반환하게 되며 필요한 단위로 변환하여 사용한다.

III. 실험

1. 싱킹 시트

VQ국내9P 차량의 CUSH FRM SUB ASSY LH에서 용접 불량률이 자주 발생하는 29번과 25번 부분을 선택하여 시험하였다. Welding quality SPEC과 싱킹 시트 및 용접부의 모습은 다음과 같다.

표 1. 용접 품질 스펙.

Table 1. Welding quality SPEC.

	29번		25번	
	폭(mm)	길이(mm)	폭(mm)	길이(mm)
시트	3	20	3	20

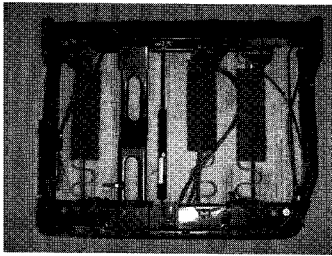


그림 5. 싱킹 시트.
Fig. 5. Sinking seat.

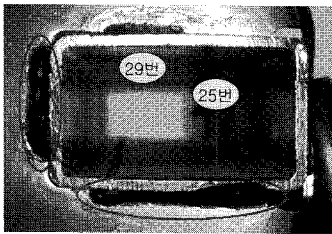


그림 6. 29번(세로)과 25(가로)번 용접부.
Fig. 6. 29(vertical) and 25(horizontal) welding area.

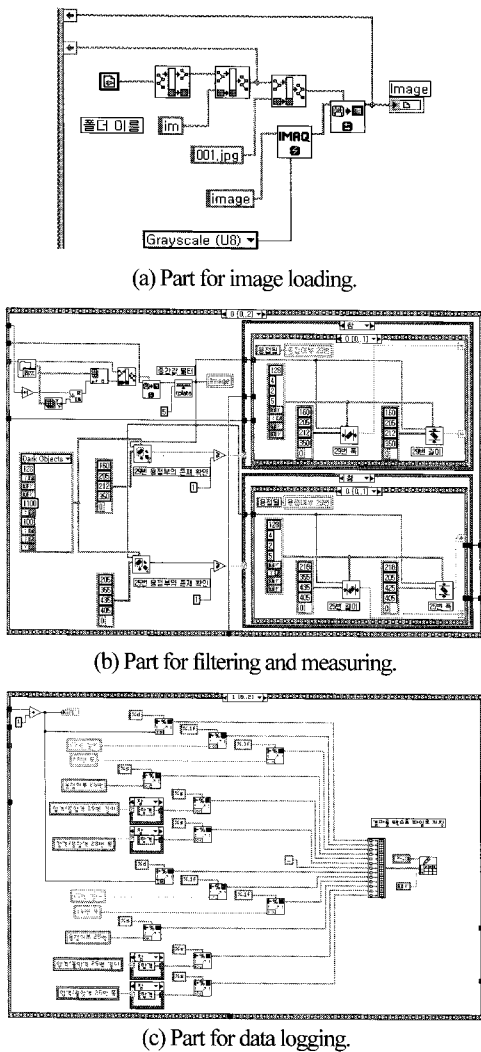


그림 7. 프로그램의 블록 다이어그램.
Fig. 7. Block diagram of constructed program.

2. LabVIEW 프로그래밍 작업

LabVIEW를 이용하여 용접부를 자동으로 검사하는 프로그램을 작성하였다. 프로그램은 크게 이미지를 불러오는 부분, 이미지를 처리하는 부분, 치수를 측정하는 부분, 검사 결과를 저장하는 부분으로 구성되어 있다. 작성된 프로그램은 각 용접부의 존재 유무, 폭과 길이, welding quality SPEC을 만족하는지의 여부, 불량 개수와 불량률 등을 표시하며 검사 결과를 텍스트 파일로 지정한 경로에 저장한다.

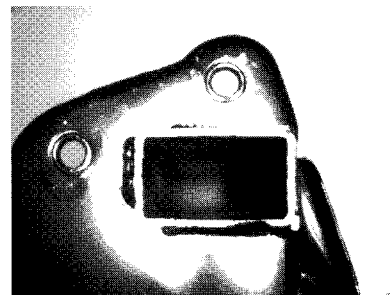
프로그램은 크게 세 부분으로 나누어진다. 그림 7(a)는 이미지를 불러오는 부분이며 이미지의 크기는 640×480픽셀이다. 그림 7(b)는 중간값 필터를 적용하고 용접부를 검색한 후에 용접부의 치수를 측정하는 부분이다. 용접부를 검색할 때는 탐색 영역 안에서 지정한 문턱값(threshold)보다 어두운 부분(픽셀)을 검색한 다음 welding quality SPEC과 용접부의 모양을 고려하여 검색된 부분의 넓이가 42mm²(1100 pixel²) 미만이면 용접이 안된 것으로 판단하도록 하였다. 그림 7(c)는 검사 결과를 텍스트 파일로 저장하는 부분이다.

3. 실험 방법

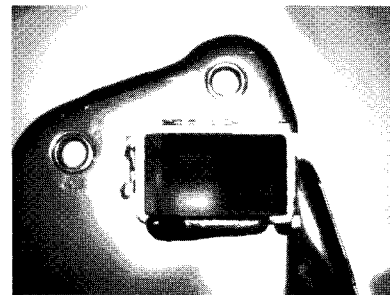
실험에 사용된 싱킹 시트는 시트1과 시트2이며 시트1은 29번과 25번 용접부 모두 존재하고 welding quality SPEC을 만족한다. 시트2는 29번 용접부가 용접이 되어 있지 않은 불량품이다.

싱킹 시트(CUSH FRM SUB ASSY RH), 카메라, 조명을 적절하게 설치하면 그림 8과 같이 조명에 의해 싱킹 시트 부품(평평한 부분)과 용접부(울퉁불퉁한 부분)가 뚜렷하게 구분되는 이미지를 얻을 수 있다.

조명의 위치와 각도를 변화시켜 획득한 이미지를 저장한 다음 작성한 프로그램을 사용하여 저장한 이미지에 대하여 검사를 수행함으로써 조명의 변화에 대한 측정값의 변화를



(a) Seat1.



(b) Seat2.

그림 8. 카메라로 획득한 이미지.
Fig. 8. Acquired image using camera.

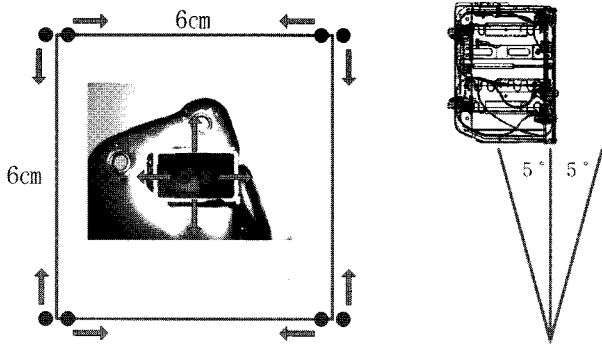


그림 9. 조명의 위치와 각도.
Fig. 9. Location and angle of illumination.

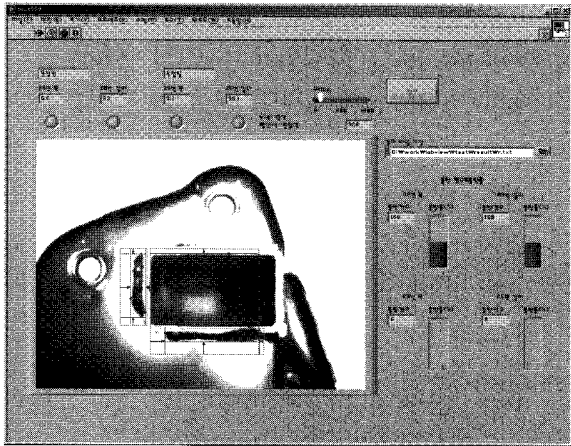


그림 10. 싱킹 시트 검사 예.
Fig. 10. Example of sinking seat inspection.

조사했으며 최종적으로는 합격/불합격 판정을 하였다. 조명의 위치와 각도는 그림 9와 같다. 카메라 중심을 기준으로 상하좌우 3cm 떨어진 모퉁이와 카메라 중심 뒤쪽에 조명을 위치시킨 다음 이미지를 획득하였고 또한 각 위치에서 화살표 방향으로 조명을 5° 회전시켜서 추가로 이미지를 획득하였다. 이미지의 개수는 모두 40장이다. 그림 10은 싱킹 시트를 검사하는 모습이다.

IV. 결과

실험에 사용한 싱킹 시트의 29번과 25번 용접부를 버니어 캘리퍼스로 측정된 값은 표 2와 같으며 시트1은 모두 표 1의 welding quality SPEC을 만족하지만 시트2는 25번 용접부만이 welding quality SPEC을 만족한다.

프로그램으로 측정된 결과는 그림 11~12와 같다. 측정되지 않은 경우는 없었으며 측정된 값들은 실제 치수에 매우 가까운 것을 알 수 있다. 시트2의 29번 용접부는 존재하지 않으므로 그림에 나타나지 않았다.

시트1의 경우 29번 용접부의 폭은 5.3~5.9, 길이는 22.7~23.6이었다. 25번 용접부의 폭은 3.2~3.6, 길이는 34.6~35.6이었다. 시트2의 경우 25번 용접부의 폭은 5.7~6.1, 길이는 39.2~40.5이었다. 이 값들은 표 2의 실제 치수에 근접하며 시트2의 29번 용접부를 제외하고 welding quality SPEC을 잘 만족한다. 평균 및 최대 오차는 표 3~4와 같다.

표 2. 용접부의 실제 치수.

Table 2. Actual dimensions of welding area.

	29번		25번	
	폭(mm)	길이(mm)	폭(mm)	길이(mm)
시트1	5.3	23	3.2	35.4
시트2	-	-	5.8	39.3

표 3. 시트1의 평균 치수와 최대오차.

Table 3. Mean dimension and maximum error of seat1.

	폭		길이	
	평균(mm)	최대오차(mm)	평균(mm)	최대오차(mm)
29번	5.5	0.6	23.2	0.6
25번	3.4	0.4	35	0.8

표 4. 시트2의 평균 치수와 최대오차.

Table 4. Mean dimension and maximum error of seat2.

	폭		길이	
	평균(mm)	최대오차(mm)	평균(mm)	최대오차(mm)
29번	-	-	-	-
25번	5.9	0.3	39.7	1.3

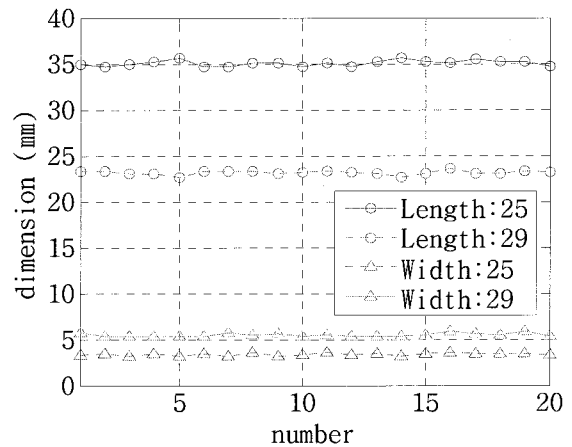


그림 11. 시트1의 측정 결과.

Fig. 11. Width and length measurement of seat1.

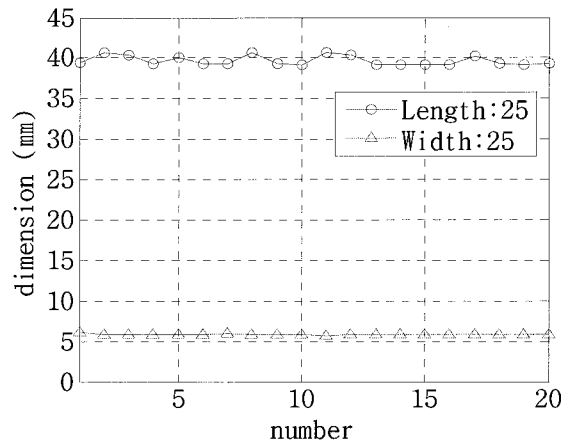


그림 12. 시트2의 측정 결과.

Fig. 12. Width and length measurement of seat2.

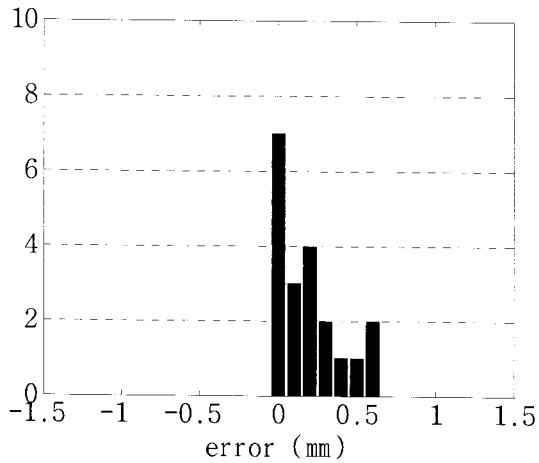


그림 13. 29번 폭의 오차 분포.

Fig. 13. Error distribution of width of 29.

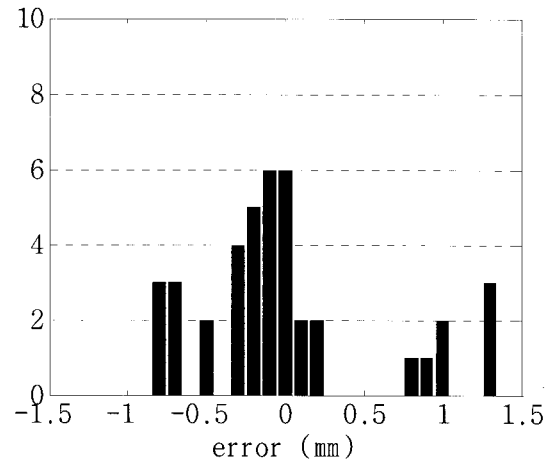


그림 16. 25번 길이의 오차 분포.

Fig. 16. Error distribution of length of 25.

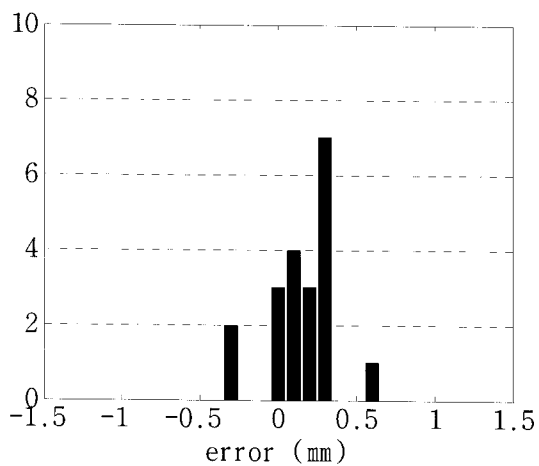


그림 14. 29번 길이의 오차 분포.

Fig. 14. Error distribution of length of 29.

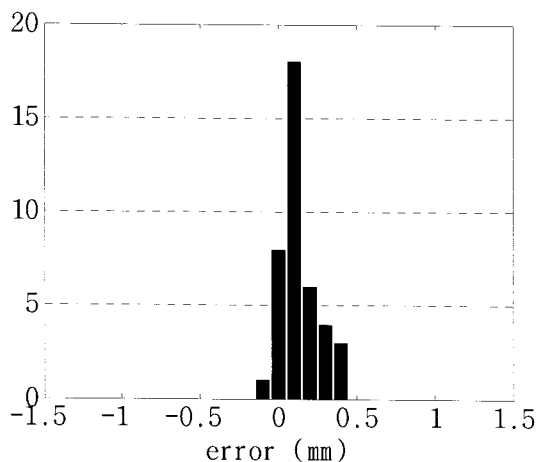


그림 15. 25번 폭의 오차 분포.

Fig. 15. Error distribution of width of 25.

또한 오차 분포는 그림 13~16과 같은데 그래프에서 알 수 있듯이 오차는 대부분 -0.3에서 0.3 사이에 있다. 이 값은 폭에 대해서는 9.4%, 길이에 대해서는 1.4%를 넘지 않는 수치이며 대부분의 측정값들이 크지 않은 오차를 가지고 정확하

게 측정되었다고 할 수 있다.

조명의 위치에 따른 오차는 조명이 카메라 뒤쪽에서 수직하게 용접부를 비출 때 최대 3.8%로 가장 작았으며 네 귀퉁이에서는 최대 9.4%이었다. 또한 같은 위치라도 기울어짐에 따라 최대 5.1%의 차이를 나타냈다. 그러나 전반적으로 그 차이는 2% 이하이며 크지 않다. 따라서 만들어진 시스템은 약간의 조명 변화에 상관없이 비교적 정확한 측정을 할 수 있고 신뢰할만하다고 할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 1개의 CMOS카메라와 독립형 비전 시스템을 사용하여 싱킹 시트의 용접부를 검사하는 프로그램을 제작하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 측정 결과를 한눈에 알 수 있고 다루기 쉬운 프로그램을 개발하였다. (2) 싱킹 시트, 카메라, 조명을 적절하게 설치하여 뚜렷한 용접부의 이미지를 얻을 수 있었다. (3) 제작된 프로그램을 사용하여 측정한 용접부의 치수는 버니어 캘리퍼스로 측정한 결과에 가까웠고(최대 9.4%) 조명의 변화에 큰 영향을 받지 않았다. (4) 폭은 길이보다 큰 오차를 보였지만 충분한 정확도를 가지고 있다.

실험 결과는 싱킹 시트, 카메라, 조명의 적절한 배치로 용접부가 주변과 뚜렷하게 대비되는 이미지를 얻을 수 있고 이렇게 획득한 2차원 이미지로 오차가 작은 치수 측정값을 얻을 수 있다는 것을 보여준다. 본 시스템은 3차원 정보를 획득하여 처리하는 시스템과는 달리 시스템 자체도 단순하고 영상처리 과정이 간단해서 계산 시간이 적게 걸리므로 실시간 처리에도 유리하다. 그러나 폭 측정의 정확도를 높이기 위한 연구가 더 요구되며 실제 싱킹 시트 생산 현장에서의 실험도 필요하다.

참고문헌

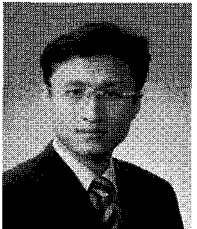
- [1] H. I. Shafeek, E. S. Gadelmawla, A. A. Abdel-Shafy, I. M. Ellewa, "Automatic inspection of gas pipeline welding defects using an expert vision system," *NDT & E International*, vol. 37, no. 4, pp. 301-307, 2004.
- [2] Alaknanda, R. S. Anand, P. Kumar, "Flaw detection in

- radiographic weld images using morphological approach," *NDT & E International*, vol. 39, no. 1, pp. 29-33, 2006.
- [3] Y. W. Park, H. S. Park, S. H. Rhee, M. J. Kang, "Real time estimation of CO2 laser weld quality for automotive industry," *Optics & Laser Technology*, vol. 34, no. 2, pp. 135-142, 2002.
- [4] 서원찬, 이동욱, "강구조물 용접이음부 외부결합의 자동 검출 알고리즘," 한국강구조학회논문집, 제 11권, 제 1호, pp. 2-6, 1999.
- [5] 송형진, 이승기, 강윤희, 나석주, "파이프 용접에서 다중 시각센서를 이용한 용접선 추적 및 용접결합 측정에 관한 연구," 대한용접학회지, 제 21 권, 제 1호, pp. 61-64, 2003.



윤상환

2006년 공주대학교 기계자동차공학부 졸업. 2006년~현재 공주대학교 대학원 기계공학과 석사과정 재학중.



김성관

1992년 KAIST 기계공학과(공학사). 1995년 KAIST 자동화 및 설계공학과(공학석사). 2003년 GIST 기전공학과(공학박사). 2005년~현재 공주대학교 기계자동차공학부 교수. 관심분야는 지능제어, 지능형기전시스템.

- [6] 이지혜, 이두현, 유중돈, "바이프리즘 스테레오 시각센서를 이용한 GMA 용접 비드의 3차원 형상 측정," 대한용접학회지, 제 19 권, 제 2 호, pp. 200-206, 2001.
- [7] 이정익, 이세현, "레이저 비전 센서를 이용한 용접비드의 외부결합 검출에 관한 연구," 대한용접학회지, 제 17 권, 제 2 호, pp. 54-59, 1999.
- [8] R. Jain, R. Kasturi and B. G. Schunck, *Machine Vision, McGRAW-HILL*, Singapore, 1995.
- [9] NI vision concepts manual.



김한종

1986년 한양대학교 전자공학과(공학사). 1988년 연세대학교 전자공학과(공학석사). 1994년 연세대학교 전자공학과(공학박사). 1994년~현재 한국기술교육대학교 정보기술공학부 교수. 관심분야는 신호처리, 방송 및 이동통신 변복조 (OFDM 등) 및 채널 부호(터보, 시공간 부호 등).