

디지털 화상처리를 이용한 차축 Casing Nut 용접부 치수 검사 프로그램 개발에 관한 연구

김재열*, 차용훈*, 윤성운*, 김영석*, 정상화*, 유신**, 송경석***, 박경옥****

A study on the development of dimension inspect Program for the vehicle axle casing nut welding part using digital image processing

Kim Jea yeol *, Cha Young hun*, Youn Sung yoon*, Kim Young seok*, Jeong Sang Hwa*, You sin**, Song Kyung seok***, Park Kyung Ok****

Abstract

The vision system is easy to use the exclusive vision use as a independent computer system but it is not much popularization by reason of expensive and difficult to adapt to the various fields, because it is easy to the existed computer system, the price is cheap and also it can use to the various measurement purpose which user wanted and programed.

The measurement method of the vehicle axle casing nut welding part is that measure the value of the welding part to adapt the actual operation program from using the ratio between the actual length of the standard specimen and the length of image, to measure the ratio between the actual product and the camera image. A defect is found by the assembled visual inspection system. The inspection algorithm which estimates the quality of welded product is developed and also, the software program which processes the automatic test function of the inspection system.

we make the foundation of the inspection automatic system and we will help to apply other welding machine.

Key Words : Image compression(화상압축), Image compare method(화상비교법), Binary image expansion(이치화상확대), Binary image contraction(이치화상축소), Visual inspection system(시각검사시스템)

1. 서 론

접부의 외관 검사는 작업의 단순성으로 인하여 자동화된 시각 검사 시스템을 이용하는 것이 훨씬 효율적이거나 시각 검사 시스템은 결함 검출의 분류가 어렵고 용접 치

수를 측정하기 위한 알고리즘 부재로 아직 실용화되지 못하고 있는 실정이다.

지금까지 화상처리를 이용한 검사 시스템에 관한 연구 결과들을 살펴보면 원화상에서 이치화 후 형상인식과 형상의 특징량을 추출하여 표준 형상과 비교하여 검출하는

* 조선대학교 기계공학부
** 목포과학대학
*** 조선대학교 대학원 정밀기계공학과
**** 삼성전자(주)프린팅(사)

비교법을 주로 사용하였고 양·부 판정을 실시하여 좋은 결과를 얻어내고 있다.

용접부 외관 검사의 경우 주로 3차원 시각 센서를 이용하여 맞대기 용접의 외관 검사를 통해 용접 검사 자동화를 위한 시도를 꾀하고 있다. 그러나 2차원적 시각센서와 저가인 비전보드 이용하여 화상에서의 화소 길이와 실제 길이에 대한 보정값을 설정하고 용접부 치수를 검사하는 시스템은 찾아보기 어려웠다.

따라서 본 연구에서는 숙련자나 전문가의 육안과 경험에 의한 판단 대신 용접부 외관을 검사를 할 수 있는 시각 검사 시스템과 알고리즘을 디지털 화상 처리 기법을 이용하여 개발하고 검사 자동화를 위한 토대를 마련 하고자 한다.

또한, 화상데이터의 처리속도와 프로그램 알고리즘의 간소화 등의 문제가 해결되면 화상처리를 이용한 시각 검사 시스템의 응용분야는 용접부 뿐만 아니라 다른 여러 곳의 치수 측정에도 사용될 것이고 그 범위는 더욱 더 확대될 것이다.

2. 본 론

본 연구에서는 용접부의 외관 결함 검출을 위해 카메라로부터 용접된 시편의 화상을 취득한후 이치화 화상을 얻기 위해 문턱값 결정을 해야한다.⁽¹⁻²⁾

문턱값 결정을 위해 화상의 히스토그램을 얻고 히스토그램을 얻은 다음 Mode법을 이용하여 문턱값에 의해 화상을 이치화 시키고 이치화된 화상은 3 * 3 Mexican hat filter를 사용하여 평활화 처리를 한다.⁽³⁾ 고주파 성분(잡음)이 제거된 화상은 Laplacian Filter를 통해 용접부위의 윤곽선 추출이 행해진다.⁽⁴⁻⁶⁾ 실제 용접부위 검사에는 기준 시편을 사용한 화상의 비율을 측정해서 카메라와 실제 용접부위와의 거리 때문에 나타날 수 있는 오차를 배제하였다. 카메라 렌즈의 중심으로부터 용접된 대상 물체까지의 정밀한 측정이 어렵기 때문에 화상 취득시 TRIMOS사의 길이 측정기 위에 카메라를 고정 대상물체와 카메라 거리를 70mm ~ 95mm까지 5mm씩 용접부위를 검사한다. 또한 디지털 화상처리를 이용하여 전용 용접기에서 용접된 용접부의 높이를 카메라 거리를 조절(70mm~95mm)하여 가로 세로 배율을 조절함으로써 실제 길이 값으로 측정하였고 카메라 거리에 따른 높이의 오차가 거의 없는 것으로 확인되었으며 카메라 거리를 고정시키고 24등분된 회전 테이블을 회전시킨 후 용접부 치수를 검사하여

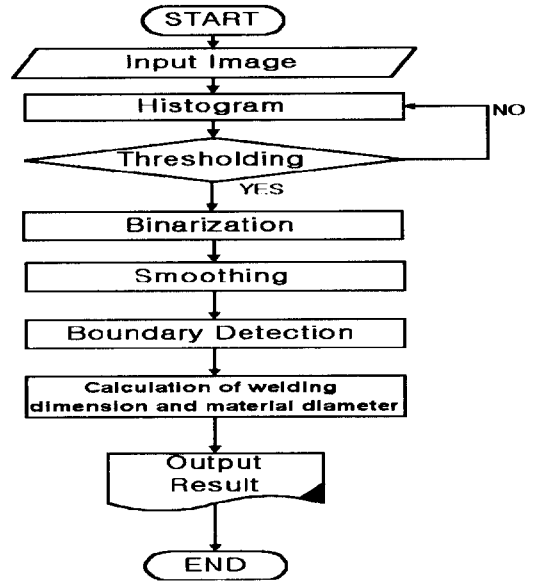


Fig. 1 Flowchart of program

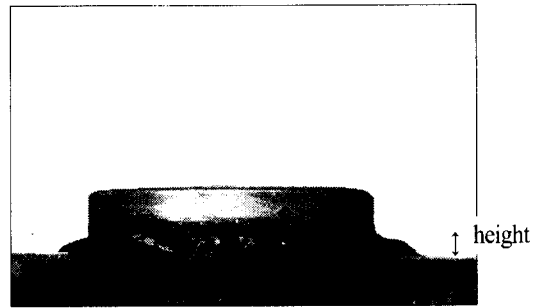


Photo. 1 Specimen of Welding

그래픽 사용자 프로그램(GUI Program)을 이용하여 결과를 화면에 출력(Display)할 수 있게 하였다

Fig. 1은 본 논문에서 사용된 용접부 치수검사프로그램의 순서도를 나타낸다

Photo. 1은 용접부 비이드 높이 치수검출을 위한 용접 시험편을 나타내고 있다.

Fig. 2는 이치화 화상을 얻기 위한 히스토그램을 나타낸다. 이 히스토그램은 모드법을 이용하여 문턱값에 의해 화상을 이치화 시키고 이치화된 화상은 평활화 필터를 사용하여 평활화 처리를 한다.⁽⁷⁻⁹⁾ 잡음 성분이 제거된 화상은 용접부위의 경계선 추출이 행해진다. 경계선 추출이 행해

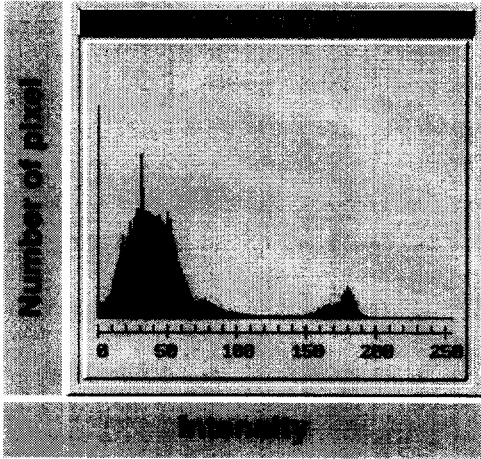


Fig. 2 Histogram of a welded

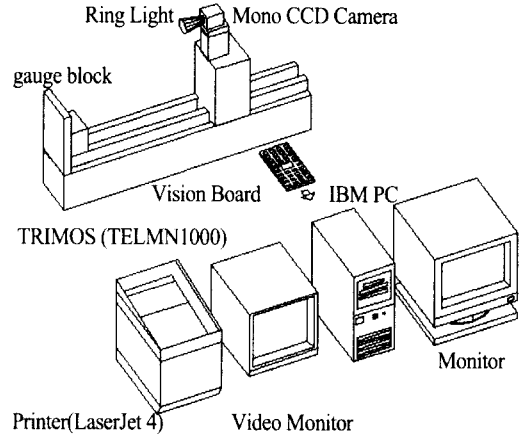


Fig. 3 Construction of a visual inspection system

진 화상은 기준시편을 이용한 용접부 화상의 길이비율을 측정한다.⁽¹⁰⁻¹¹⁾

2.1 실험장치 및 실험방법

본 연구에서 사용된 시각검사시스템은 조명장치, 화상 입력장치, 화상처리장치, 출력장치, 측정장치로 구성된다. 조명장치는 링 조명 형광램프를 이용하여 간단하게 구성한다. 화상입력장치로 이미지 센서인 Mono CCD Camera를 사용하고 화상처리장치는 흑백 화상 처리 보드인 FARA MVB-02를 사용하여 화상입력장치로부터 입력받은 화상을 처리한다. 출력장치는 처리 화상을 출력해주는 비디오 모니터와 운용 프로그램을 처리해주는 CRT Monitor, 화상의 하드카피를 위해 LaserJet 4 프린터를 사용하였다.

또한 카메라와 측정 대상물간의 거리 측정 장치로는 분해능이 1 μ m이고 측정범위가 1,050mm인 TRIMOS사의 길이측정기를 사용하여 카메라의 Calibration을 실시하였다. Fig. 3은 시각검사시스템의 개략도를 나타내고 있다.

화상에서 구한 길이 값을 실제 길이 값으로 구하기 위해서는 반드시 화상과의 비율값을 적용하여야 한다. 그래서 신뢰성이 비교적 높은 Mitutoyo사의 게이지 블록 (Gauge block)을 사용하여 길이 비율값을 구하고자 한다. 먼저 실제 용접부위와 화상에 잡힌 길이는 카메라와 실제 대상물체와의 거리, 카메라의 분해능 등에 의해 서로 다르게 나타나므로 카메라 렌즈 중심에서 대상물체까지의 거리측정이 어렵기 때문에 길이 측정기를 사용하였으며 기

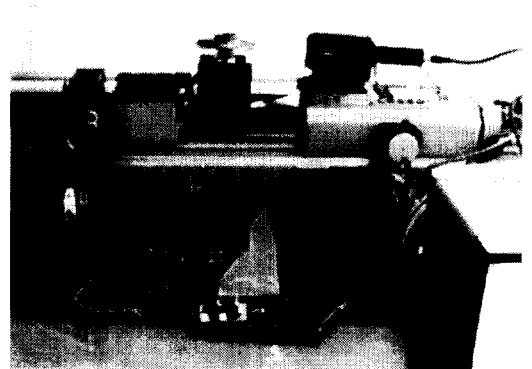


Photo. 2 Welding object used Rotate table visual inspection system

준시편을 사용하여 화상과 용접부 길이 비율을 구해 실제 용접부의 치수 측정에 응용하고자 한다.

기준시편으로는 Mitutoyo사의 게이지 블록 세트 중에서 10mm의 게이지 블록을 사용하였으며 카메라와 기준시편과의 거리를 70mm ~ 95mm까지 5mm씩 변화시키면서 가로 및 세로의 길이비율을 측정하여 카메라 Calibration을 하였고 회전 테이블을 제작하여 같은 방법으로 용접부위를 측정하였다.

즉, 용접시편을 회전하는 테이블(Rotate table)위에 놓고 회전 시켜서 카메라가 화상을 얻어 연산하게 되는데 이치 화 화상 중 결함이 있으면 컴퓨터와 연결된 인터페이스

카드(Interface card)를 통해 스테핑 모터 드라이브에 신호가 가해져 모터를 구동시키고 테이블이 15°만큼 회전하여 다음 용접부위를 검사하고 연산이 끝나면 역시 위와 동일한 방법으로 모터에 의해 테이블이 회전하여 24 등분된 용접시편을 검사하게 된다.

Photo. 2는 회전테이블 방식을 이용한 전체 시각검사 시스템을 보여준다.

2.2 선을 이용한 치수검사 알고리즘

용접된 높이의 실제 길이를 계산하기 위해 경계선 추출이 된 화상의 점들을 인식하여 그 점들을 지나는 직선의 방정식을 구한다. 두 직선이 교차하는 새로운 점을 인식하여 그 점을 기준으로 구하고자 하는 곳(화소)까지의 거리를 구하여 가로 세로 비율값이 적용된 실제 길이로 계산된다.

경계선 추출이 된 화상에서 임의의 점을 인식하고 그 인식된 두 점 $(x_1, y_1)(x_2, y_2)$ 을 지나는 직선의 방정식은 아래 식 (1)과 같다.

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) \quad (1)$$

또한 두 개의 직선은 한 점을 지나게 된다. 한 교차점의 좌표를 인식하고 두 점 사이의 거리를 구하게 된다. Fig. 4는 용접부의 높이를 구하는 화소 점 인식과 직선의 알고리즘을 나타내었다.

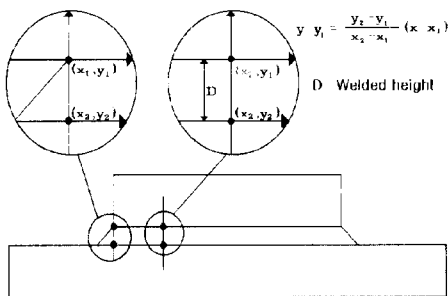


Fig. 4 Pixel algorithm of welded height

2.3 결함 검출을 위한 알고리즘

현재 일반적으로 많이 사용되고 있는 화상처리 알고리즘은 이진화상에서 확대 (Binary Image Expansion) 화상을 한 화소 두께로 확대하기 위한 3×3 템플레트를 화

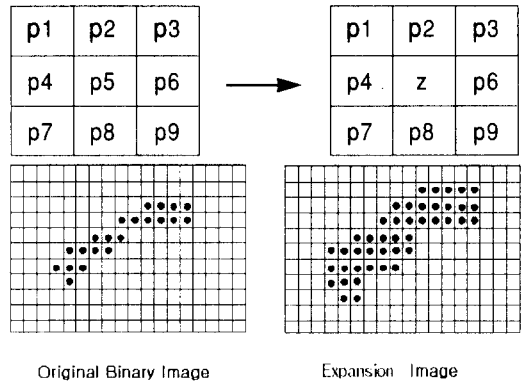


Fig. 5 Binary image expansion

상에 대해 래스터스캔 하면서 템플레트 내의 9개의 화소값 중 255 값이 하나라도 있으면 템플레트 중심에 해당하는 화소값을 255로 설정한다.

확대를 여러 화소 두께로 하고자 할 때는 전 화상에 대해 원하는 두께의 횟수만큼 수행한다.

Fig. 5는 이미지 화상의 확대를 나타낸다.

이진화상 수축 (Binary image contraction)은 화상을 한 화소 두께로 수축하는 3×3 템플레트를 화상에 대해 래스터 스캔 하면서 템플레트 내의 9개의 화소값 중 0 값이 하나라도 있으면 템플레트 중심에 해당하는 화소값을 0으로 설정한다.

수축을 여러 화소 두께로 하고자할 때는 전 화상에 대해 원하는 두께의 횟수만큼 수행한다. Fig. 6은 화상의 수축을 나타낸다.

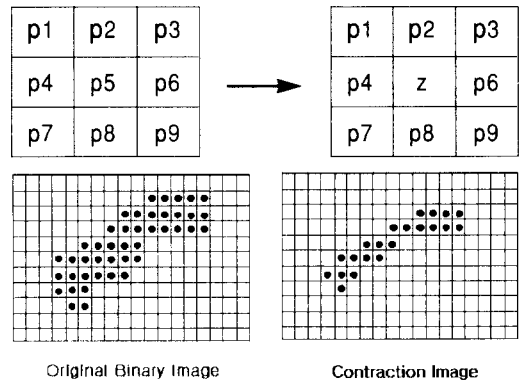


Fig. 6 Binary image contraction

그러나 이런 알고리즘은 항상 균일한 제품, 예를 들면 PCB기판과 같은 일률적으로 같은 치수나 형상을 지녔을 때 다른 치수나 형상으로 생산된 제품의 결함을 판별하고 결함의 종류까지도 판별이 가능한 아주 유용한 알고리즘이지만 용접 부위는 항상 같은 곳에 결함이 항상 존재하는 것이 아니고 조건이나 상황에 따라 변화하므로 사용하기 매우 곤란하다. 따라서 기본적으로 화소를 인식하는 것은 같은 원리이지만 본 논문에서는 결함의 유·무만을 판정하는데 사용하고 용접 부위와 같은 실제 용접된 치수가 필요하면서도 사실상 실제 측정이 곤란한 부분을 실제 치수로 표현할 수 있는 알고리즘으로 계속 하고자 한다.

2.4 화상 압축 (Image compression)

용접부위를 컴퓨터 상에서 연산할 때는 사실상 화소의 화상 크기이므로 화상 크기를 줄여서 저장하는 것이 검사 시간을 줄일 수 있다. 화상의 크기는 $640 \times 480 \times 8\text{Bit} = 307200 \text{ Byte}$ 로 매우 크다. 따라서 데이터의 전송 시에 많은 시간을 요한다. 본 연구에서는 X축 방향으로만 8개의 화소를 한 단위로 하여 1 Byte로 저장하였다. 따라서 640×480 의 화상의 크기를 80×480 의 크기로 줄였다. 즉 1/8의 Data를 감소시킬 수 있다. 마지막으로 압축된 각각의 Image를 메모리에 저장되는데 결함이 있는 부위는 치수계산을 하지 않고 지나가고 결함이 없었을 때만 치수계산을 하므로써 결함 검출된 횟수와 계산 값을 화면에 내놓게 된다.

2.5 화상 비교법 (Image compare method)

결함의 유·무 판정에 있어서 화상 비교 (Image compare method)는 상당히 중요한 부분을 차지한다. 컴퓨터가 연산하고 저장하는 것이 화상이므로 결함이 없는 용접부위를 표준 화상(Reference image)이라 하고 이 화상을 미리 입력시킨 후에 검사대상 화상(Test image)을 직접 비교할 수 있는 화상 비교법인 Exclusive OR(Image XOR)을 사용하여 표준화상과 같지 않고 화소가 검출되는 부분을 결함으로 인식한다. Hara⁹⁾는 전체화상을 모두 비교하지 않고 윤곽선만을 추출하여 비교하였다. 화상 비교 방법은 결점을 잘 찾아내는 장점이 있고 빠른 속도로 검사할 수 있으며 원리가 간단하다는 점을 이용하였다. 본 논문에서는 이치화 화상의 화상 비교 방법의 하나로 화소를 하나씩 직접 비교하는 대신 표준 화상과 검사 대상화상에서 결함을 추출하고 비교한다. 비교 할 때는 미리 결함검출이 되지 않은 양호한 화상을 미리 저장 한 다음 비교 판정한다.

Fig. 7은 비교 화상을 나타내고 있고 Fig. 8은 결함 검출 진행 순서도 이다.

실제물체와 화상과의 값의 오차를 배제하기 위해 기준시편을 이용하여 가로, 세로 길이비율 70mm에서 95mm까지 5mm씩 변화시켜 각 거리마다 정리하여 비율값을 나타내

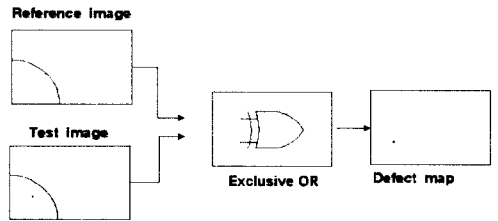


Fig. 7 Image compare method

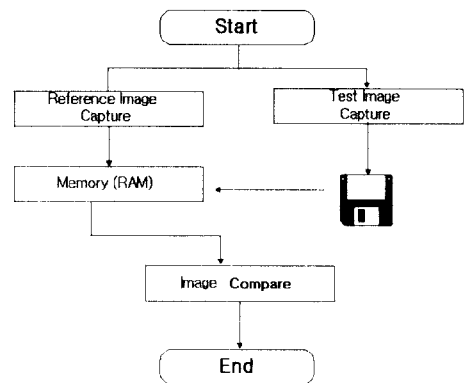


Fig. 8 Flowchart of defect inspection

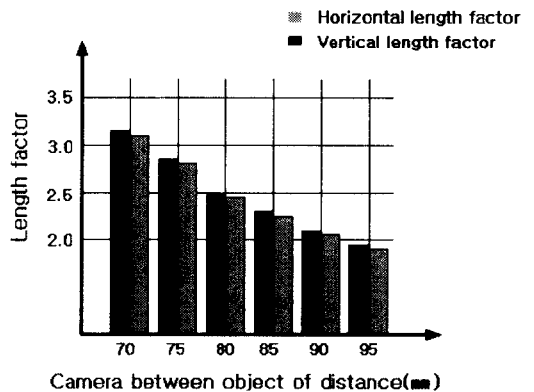


Fig. 9 Length factor

었고 Fig. 9는 가로, 세로 길이비율을 거리에 따라 막대그래프로 나타냈다. 이 가로·세로 길이 비율값은 실제 길이를 화상으로부터 구하기 위한 값으로 카메라와의 거리가 멀어질수록 점차 감소함을 알 수 있다. 이 감소의 형상이 불규칙하게 형성되는 것이 아니고 어느 정도의 비율을 갖고 점차 감소됨으로써 화면에서의 화상 길이 값을 비율값으로 나누어줄 수 있고 실제 길이 값을 구할 수 있다.

2.6 측정방법

기준시편(Gauge block 10mm)을 이용한 가로·세로 길이 비율값을 적용하여 화상에서의 용접부 높이를 측정하고, 카메라와 대상물간의 거리에 의한 화상 길이 값과 실제 길이 값의 오차를 줄이고 개발된 알고리즘을 사용하여 용접부 높이의 실제 길이 값으로 계산한다. 본 연구에서는 용접조건을 솔리드 와이어(Solid Wire) - ϕ 1.2(mm) 용접 속도 50(cm/min), 와이어 공급속도는 3(m/min), 사용전압은 30(V)으로 하였다.

실험 방법은 기준시편(Gauge block 10mm)을 측정하였을 때와 동일한 실험방법을 통해 용접부 높이를 측정하고 프로그램(boland c⁺⁺)에 의해 계산된 값을 화면에 출력하게 되어있다

일례로 Fig. 10은 용접부 전체에 대한 원화상을, Fig. 11은 히스토그램을 보여주고 있다. 그리고 모드법을 이용하여 가장 굴곡진 계곡을 통해 문턱값을 정하여 이치화상을 Fig. 12의 (a)는 평활화 처리후 화상을 나타내고 있으며 Fig. 12의 (b)는 경계선 추출 후 화상을 보여준다.

Fig. 13은 기준시편에서의 실험 결과로부터 얻은 세로 길이 비율값을 적용하여 용접부의 높이를 측정하고 거리

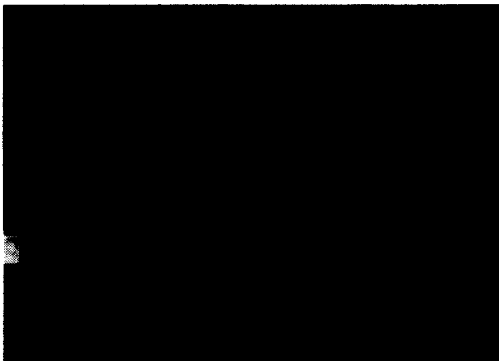


Fig. 10 Original image of a welding part

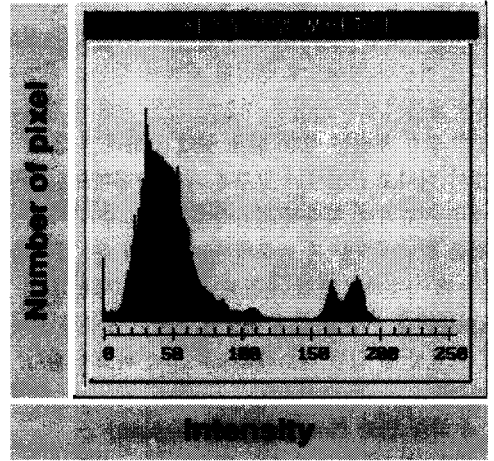
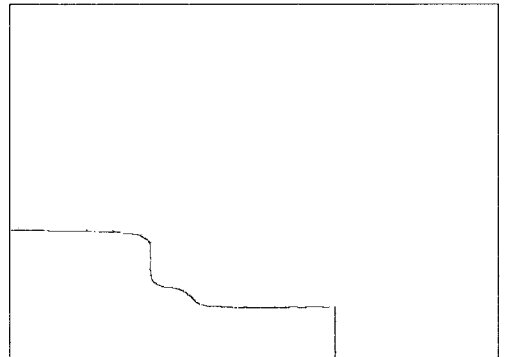


Fig. 11 Histogram of a welding part



(a) Smoothing of a welding part



(b) Boundary detection of a welding part

Fig. 12 Image processing of a welding part

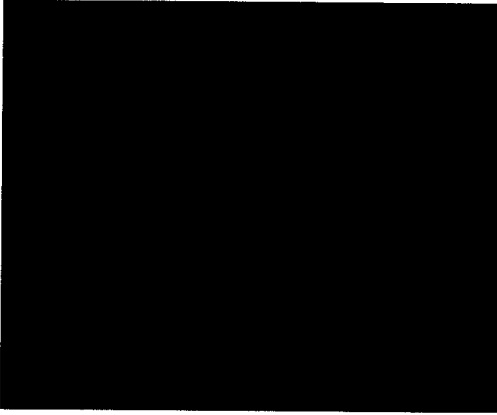


Fig. 13 A result screen of X axis factor

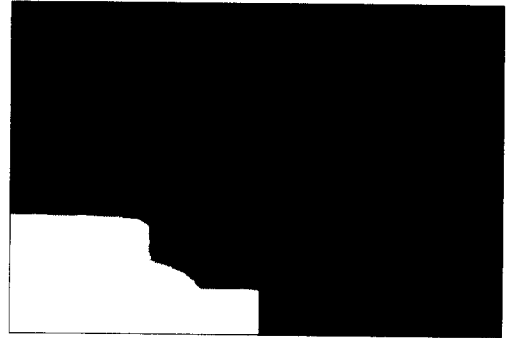


Fig. 14 Reference image

에 따른 평균치를 일례로 컴퓨터 모니터에 출력시켰다.

2.7 용접 결함

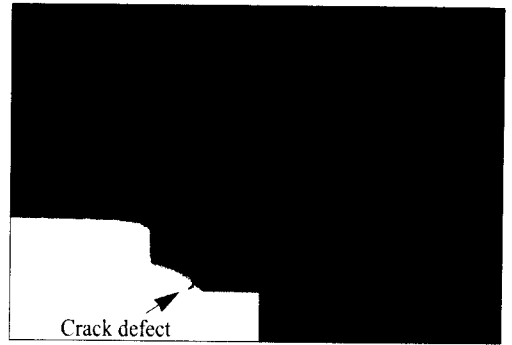
용접결함은 경계선이 추출되었을 때 루트에서 최단거리 를 측정할 경우 우연히도 결함이 검출되면 그 화소 점까 지의 길이로 잘못 판단하여 계산될 수 있으므로 용접 결 함이 있을 때는 이치화상에서 암부로 검출되므로 표준 화 상과 비교하여 프로그램 연산을 생각하고 다음 용접 부위 를 다시 검사 할 수 있도록 프로그램화하였다.

Fig. 14는 화상에서 표준화상을 나타내고 Fig. 15는 화 상에서 검출된 기공과 오버랩 결함을 나타낸다.

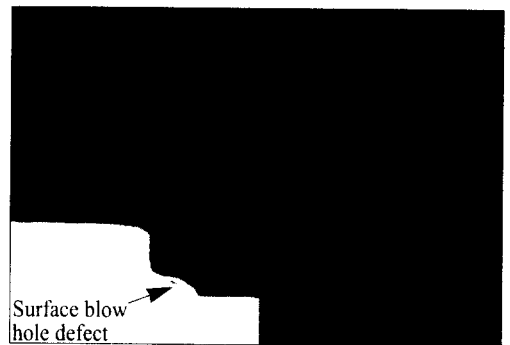
용접결함은 용접부에서 발생하는 표면 및 내부의 균열, 용입불량, 기공, 치수 불량 등이 있으나 본 논문에서는 외 관만을 검사 할 수 있다. 용접 치수를 측정하는데 방해되 는 결함으로는 피트(Pit), 표면균열(Surface Cracking), 표 면기공(Surface Blow hole) 등이다. 피트는 용접부 표면에 생기는 작고 오목한 구멍으로 형성된다. 이치화상에서는 원형의 암부로 관찰된다.

기공은 주로 용접부 내부에서 일어나고 화상으로 나타 나는 결함은 피트 크기보다 약간 크고 오목한 구멍으로 나타난다.

표면균열은 용접부에 수소, 황, 인 등이 많을 때 일어나 며 강도의 중요한 부분을 차지하고 표면균열 보다는 오히 려 내부균열을 검출하는 것이 더 올바른 판단이 된다. 특 히 화상에서의 검출은 2차원적 카메라의 사용으로는 피 트와 기공 그리고 균열을 종류별로 분류한다는 것은 어려 운 일이다. 다시 말해서 결함의 종류까지는 판별이 불가능



(a) Crack defect



(b) Surface blow hole defect

Fig. 15 Defect image

하고 오직 결함만을 검출 할 수 있다.

이런 과정을 통해서 결함의 종류까지는 판별이 불가능

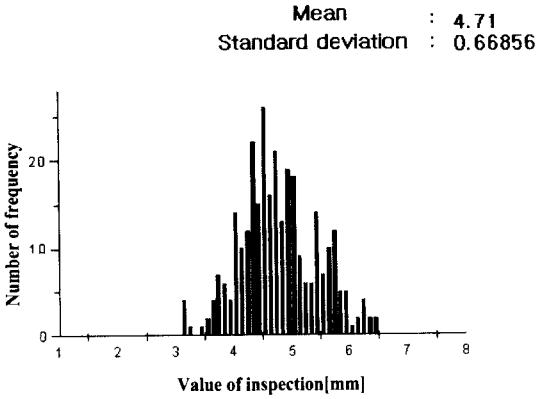


Fig. 16 Height of a welding (Distance 70mm)

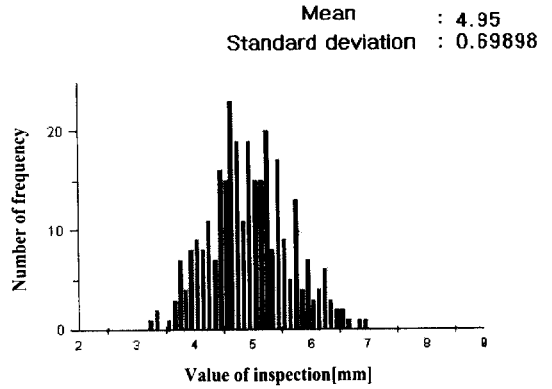


Fig. 19 Height of a welding (Distance 85mm)

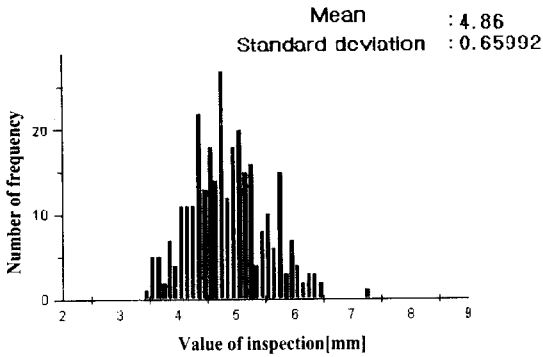


Fig. 17 Height of a welding (Distance 75mm)

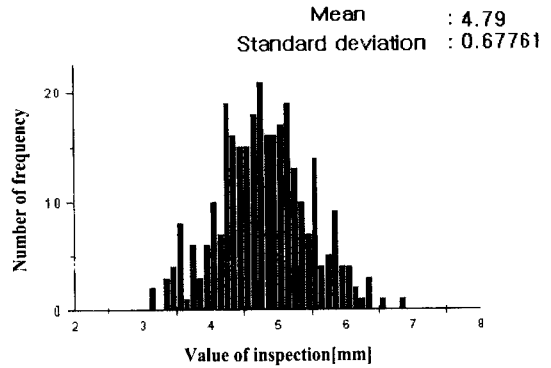


Fig. 20 Height of a welding (Distance 90mm)

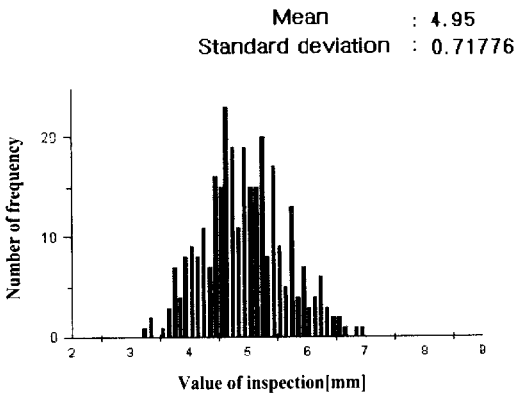


Fig. 18 Height of a welding (Distance 80mm)

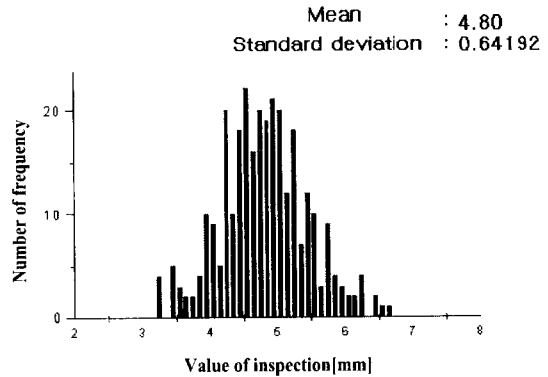


Fig. 21 Height of a welding (Distance 95mm)

하지만 결함을 이미지 화상에서 찾을 수 있었고 결함을 갖은 용접 시편은 길이 측정을 하지 않고 결함이 없는 용접시편만 높이 치수를 측정하여 출력하게 된다.

Fig. 16 ~ Fig. 21은 카메라 거리를 70 mm에서 95 mm 까지 5mm씩 변화시켜 용접 시편 30개의 높이를 시편 1개 당 10회 측정된 값을 평균값으로 정리하여 막대 그래프로 나타내었다

3. 결 론

디지털 화상처리를 이용하여 전용 용접기에서 용접된 용접부의 높이를 카메라 거리를 조절(70mm~95mm)하여 가로 세로 배율을 조절함으로써

실제 길이 값으로 측정하였고 카메라 거리에 따른 높이와 직경 오차가 거의 없는 것으로 확인되었으며 카메라 거리를 고정시키고 24등분된 회전 테이블을 회전시킨 후 용접부 치수를 검사하여 그래픽 사용자 프로그램을 이용하여 결과를 화면에 출력(Display)할 수 있게 하였다. 그 과정에서 결함의 종류까지는 판별이 불가능하지만 결함을 이미지 화상에서 찾을 수 있었다. 위와 같은 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 디지털 화상처리를 이용하여 용접부의 높이를 기준 시편의 가로·세로 길이 비율값을 적용한 길이 측정 방법을 사용하여 화소의 길이 값이 아닌 실제 길이 값으로 계산하여 용접부의 외관 치수 검사 시스템을 개발하였다.
- (2) 개발된 시각검사시스템은 용접부와 카메라의 거리에 따라 달라지는 화상의 길이 값을 기준시편을 이용하여 가로 및 세로의길이 비율값을 적용함으로써 카메라 거리에 따른 화상의 길이 값과 실제의 값에서 생길 수 있는 오차를 배제하였다.
- (3) 육안으로 이루어지던 용접부의 치수를 개발된 알고리즘 사용으로 좋은 효과를 얻을 수 있었으며 실시간으로 화상을 통해 검사할 수 있도록 하였다.
- (4) 시각검사 시스템에서의 조명장치는 매우 큰 비중을 차지하므로 광원의 특성과 대상물의 특성에 대한 연구가 이루어져야 하고 평활화 필터값에 대한 연구와 새로운 필터에 대한 연구가 더 필요할 것이다.
- (5) 결함검출의 신뢰성을 높이기 위해서는 카메라의 위치를 현 위치에서 45°에 카메라를 설치하거나 3차원 시각 센서를 사용해야한다.
- (6) 본 논문의 용접부위 검사용 시각검사시스템은 화상처

리 라이브러리를 이용하여 C++언어로 구성되어 있어 간단한 변환으로 직선 용접된 용접부위의 폭과 깊이, 단차 등을 쉽게 구할 수 있게 프로그램화하였다.

후 기

본 연구는 한국과학기술부와 과학재단지정 지역협력 연구센터인 조선대학교 수송기계부품공장화면연구센터의 1999학년도 연구비에 의해 지원되었음.

참 고 문 헌

- (1) Adrian Low, "Introductory Computer Vision and Image Processing" McGraw-Hill, 1991, pp.68~69, pp. 88~94.
- (2) Craig A. Lindley, "Practical Image Processing in C" John Wiley & Sons, 1991, pp. 351~421.
- (3) Ioannis Pitas, " Digital Image Processing Algorithms" Prentice Hall, 1993, pp. 223~230.
- (4) M. A. Sid-Ahmed, "Image Processing" McGraw-Hill, 1995, pp. 87~98.
- (5) R. C. Gonzalez, R. E. Woods, "Digital Image Processing" Addison-Wesley, 1992, pp.162~163, pp. 191~195, pp. 202~203, pp. 413~414, pp. 416~423.
- (6) R. M. Haralick, L. G. Shapiro, "Computer and Robot Vision I, II" Addison-Wesley, 1993, pp.13~15, pp.346~351.
- (7) J. M. S. Prewitt, M. L. Mendelsohn, "The analysis of cell image" Ann. N.Y. Acad. Sci., 128, pp. 1035~1053, 1966.
- (8) J. S. Weszka, "A survey of threshold selection techniques" CGIP, 7, 2, pp. 259~256, 1978.
- (9) 画像処理ハンドブック編執委員會, "画像処理ハンドブック" 晃堂, 1988, pp. 62~69.
- (10) Hara, "Automatic Inspection System for Printed Circuit Boards" IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-5, No. 6, Nov. 1983
- (11) 박정보, 김민루, 전언찬, "레이저를 이용한 테이블 처짐 측정과 시뮬레이션에 관한 연구" 한국공작기계학회지, 제8권, 제6호, pp. 55~63, 1999.