研究論文

레이저 비전 센서를 이용한 용접비드의 외부결함 검출에 관한 연구

이 정 익* · 이 세 헌**

A Study of Inspection of Weld Bead Defects using Laser Vision Sensor

Jeong-ick Lee* and Se-hun Rhee**

Key Words : Laser Vision Sensor(레이저 비전 센서), Weld Bead Defects(용접 비드 결함), Inspection of Defects(결함 검출), Stripe(레이저 띠), Quality Levels(품질 등급), Segment Splitting Method(분할법), Mean Distance(평균거리)

Abstract

Conventionally, CCD camera and vision sensor using the projected pattern of light is generally used to inspect the weld bead defects But with this method, a lot of time is needed for image preprocessing, stripe extraction and thinning, etc. In this study, laser vision sensor using the scanning beam of light is used to shorten the time required for image preprocessing. The software for deciding whether the weld bead is in proper shape or not in real time is developed. The criteria are based upon the classification of imperfections in metallic fusion welds(ISO 6520) and limits for imperfections(ISO 5817).

1. 서 론

용접을 사용한 구조물은 이음의 형상이 자유롭고 그 구조가 간단하며, 이음의 두께에도 제한이 없다. 또한 균질하고 강도가 높으며, 절삭 칩이 적어 재료 중량을 절감할 수 있는 장점이 있다 반면, 일반적으로 용접부 및 그 근방의 금속은 단시간 내에 급속하게 온도 변화를 일으켜 이로 인해 금속의 내부 구조가 변하여 취성을 띄거나, 내부 잔류 응력, 기공(blow hole) 등을 유발하는 동시에 각종 균열을 동반하는 수가 많다. 이러한 변화는 용접재의 이음 성능을 열화시켜, 용접 구조물의 필요한 접합 성능과 용접 구조물의 사용성능을 만족시켜 주지 못하고, 용접 이음 파괴의 원인이 될 수 있다 이처럼 용접부에 발생한 외관상 및 성능상의 불만족으로 보이는 각종 결함을 용접결함이라고 한다 용접기술에 있어서 가장 어려운 문제점은 이러한 각종 용접결함의 방지라 할 수 있다 용접결함은 재료의 강도가 증가함에 따라 그 발생 가능성도 증가하므로 구조물의 안전성 확보를 위해서는 제작시에 발생을 최대한 억제할 수 있는 재료의 선택, 설계, 시공, 검사의 각 단계에서 충분한 검토가 필요하다

× 1998년 9월 7일 접수
* 학생회원, 한양대학교 정밀기계공학과 대학원
** 정회원, 한양대학교 기계공학부
• 이세헌 srhee@email hanyang ac.kr

잘 알려진 바와 같이 용접결함은 치수선 결함, 구조상 결함, 성질상 결함으로 대분되며, 이들 결함들이 용접물에 개별 또는 복합적으로 포함되어 용접전체 품질에 치명적인 효과를 가져다 줄 수도 있다 지금까지 용접결함의 평가방법으로는 초기에는 용접 전문가의 경험에 의존하였고, 그후, 용접성 평가의 경우 결함의 위치, 종류, 방향 등의 정량적 정보는 비파괴 시험 검사법을 통해 알 수 있었다 그러나, 최근, 생산성 및 비용의 개선과 고품질의 용접 자동화 수행을 위한 용접 품질 검사방법의 일환으로 레이저 비전의 사용이 부각되게 되었다 이미 레이저 비전 센서는 다층 용접 수행[1]을 위한 센서로서 그 적용성이 뛰어날 뿐 아니라 용접부 품질 검사에 이르기까지 그 실용성을 넓혀 가는 추세이다

지금까지의 용접 외부 결함 판별 방법으로는 CCD카메라를 통해 용접부의 2차원 정보를 얻어 이미지 처리(image processing) 과정을 거쳐, 화상을 보정(calibration)후에 결함을 판별하는 방법을 주로 사용하였다. Barnett, R J 등[2]은 CCD카메라를 이용하여 2차원 이미지를 획득하고, 용접 비드의 리플(ripple)의 횡단면과 종단면의 강도(intensity)를 계산하여 용접성을 판단하였다 단면 픽셀의 밝기를 이용하여 픽셀 강도의 적분값과 표준편차를 구하고, 조밀하고 규칙성있는 리플(ripple)을 가질 때 양호한 용접이라고 판단하여 비드의 용접성을 판단하였다 [3,4] 스위스의 Soudronic사에서는 박판 맞춤 용접(tailored blank welding)의 용접 부 형상을 판단하기 위해 레이저 비전 센서(laser vision sensor)를 이용하여 한번에 5개의 레이저를 투사하고, CCD 카메라로 2차원 이미지를 획득, 이미지 처리한 후 용접선 오목(seam concavity), 용접선 볼록(seam convexity), 용접선 불일치(misalignment), 비드폭(bead width), 용입부족(lack of penetration)등을 계산하여 용접 결함을 판단하였다 이처럼 기존의 CCD카메라와 투영된 패턴을 이용한 비전 센서는 2차원 영상에서 레이저 띠를 추출하고, 세선화(thinning) 등의 전처리(preprocessing) 과정을 거쳐 하나의 프로파일의 특징을 추출할 수 있다. 이에 반해 주사 빔(scanning beam)을 이용한 비전센서는 거리 이미지를 만들어 내고, 노이즈에 강하다는 장점 때문에 점차 그 사용이 증가하고 있다.

본 연구에서는 비파괴 검사 방법 중 외부 검사 법으로 주사 빔을 이용한 비전 센서를 이용하여 외관의 형상으로부터 용접 비드의 결함 검출 방법을 제시하였다 이를 이용하여 용접 비드의 외부 형상을 인식하고, 이 형상을 통하여 용접의 외부 결함을 검출하고자 하였다 이 비전 시스템은 고정밀도의 2차원 레이저 카메라를 사용한다 카메라는 용접 비드의 횡방향(y-axis)과 용접부의 깊이 방향(z-axis)의 정보를 픽셀 단위로 읽어들인다 또한, 용접 방향(x-axis)으로 이동하며 레이저 빔을 주사함으로써 용접 비드의 3차원 정보를 획득하게 된다. 이 때, 비전 카메라를 통해 들어오는 데이터(raw data)는 겹반사나 경면반사 등으로 인해 노이즈를 포함하거나 데이터 획득에 실패할 수 있다 그러므로 이 데이터를 다음 단계에 적용하기 위해 시스템 프로그램 상에 미디언 필터(median filter)와 최소 자승 보간 필터(least square smoothing filter)를 사용하여 데이터를 처리함으로서, 갭 충진(gap filling)과 필터링 등의 전처리 과정이 수행되어 손실된 데이터를 복구하고, 필요 없는 노이즈를 제거한다 그 후 이 형상을 간단, 명료하게 표현하기 위한 특징점 추출 단계를 거치고 각 점을 선분들로 연결한다 여기서 수행되는 특징점 추출은 분할법의 원리를 적용하였으며 특징점 설정 기준과 찾아내는 방법은 다음절에 기술하였다 이러한 화상처리 단계를 거친 최종적인 이미지 형상으로써 용접 결함을 판별하였다

2. 용접 결함의 분류 및 품질 등급 (ISO에 의한 기준)

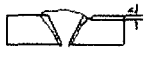
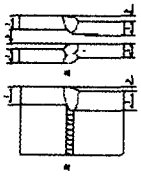
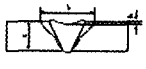
본 연구에 사용된 용융 용접의 결함 가운데 외관상의 결함은 ISO 65205)에서 참고하였다. 또한, 용접부에 요구되는 품질 등급에 따른 결함을 분류한 것이다 아래의 Table 1은 ISO 58175)에서 적용되는 외관상의 결함을 크게 4가지로 나누어 분류한 것으로 이를 기준으로 판별 프로그램을 설계하였다 이러한 국제적인 품질기준(ISO code)에 의거 기준 용접품질 판별 기준을 구성함으로서 용접 전문가의 시각적인 품질검사에 확신을 더해주며, 반복 또는 연속적인 작업에서 품질검사에 신뢰성을 높일 수 있다

용접부 품질 등급 중 B 등급은 고품질이 요구되는 정하중 구조물이나 피로하중을 받는 용접 구조물에 적용하는 품질 등급이며, C 등급은 정하중을 받는 보통의 용접구조물에 적용하는 품질 기준이고, D등급은 보통 용접구조물의 품질기준 이하의 경우 허용되는 등급으로 설명할 수 있다. D(moderate) -> C(intermediate) -> B(stringent)로 갈수록 같은 용접물에서도 품질평가 기준은 더욱 엄격해지는 것이다

Table 1에서 볼 수 있듯이 D, C, B의 기준은 시편두께(t)와 보강높이(reinforcement)(h)의 값의 크기

로 나누어짐을 알 수 있으며 D->C->B의 단계로 갈수록 t 및 h의 비(ratio)가 적어지면서 보강높이가 시편두께에 비해 안정되는 형태를 보이게 됨을 알 수 있고, 또한, 이러한 기준들(ISO기준)을 각 결함에 따라 규정되고 있다

Table 1. Limits for imperfections (ISO 5817 1992(E))

NO	Imperfection designation	ISO 6520 reference	Remarks	Limits for imperfections for quality levels		
				Moderate D	Intermediate C	Stringent B
11	Undercut	5011 5012		h≤1 5㎜	h≤1 0㎜	h≤0 5㎜
12	Excess weld metal	502		h≤1㎜+ 0 25b max 10㎜	h≤1㎜+ 0 15b max 7㎜	h≤1㎜+ 0 1b max 5㎜
18	Linear misalignment	507		(a) Plates and longitudinal welds		
				h≤0 25t max 5㎜	h≤0 15t max 4㎜	h≤0 1t max 3㎜
				(b) Circumferential weld		
				h≤0 5t		
				max 4㎜	max 3㎜	max 2㎜
19	Incomplete-ly filled groove	511		Long imperfections Not permitted		
				Short imperfections		
				h≤0 2t max 2㎜	h≤0 1t max 1㎜	h≤0 05t max 0 5㎜
	sagging	509				

3. 띠표현 (Stripe Representation)

3.1 디지털 곡선(Digital Curve)

레이저 비전 카메라를 통해 획득한 용접 비드의 형태는 Fig. 1과 같이 나타난다 그림의 레이저 띠는 일련의 점들(256개)로 이루어져 있다.

이것으로 비드 결함을 판별하기 위해 먼저 점들의 집합을 선 또는 곡선 성분들로 표현해야 한다. 프로파일

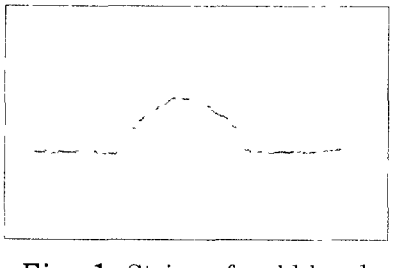


Fig. 1 Stripe of weld bead

을 표시하는 일련의 픽셀들 P_1, P_2, P_3, · , P_n이 주어진 경우 각 픽셀은 행과 열 번호에 의하여 좌표(x_i , y_i)로 나타낼 수 있다. 그러나, 이와 같이 디지털로 표현된 프로파일은 픽셀의 이산적인 성질에 의해 본래 형태의 윤곽을 잘 나타낸다고 볼 수 없다 보통 프로파일은 선분과 곡선을 포함하고 있다. 그러므로 주어진 픽셀의 정보를 이용해 본래 형태의 프로파일을 유연하게 표현하기 위해서 직선이나 곡선으로 근사화 시켜야 한다

평면 곡선은 크게 세 가지(explicit form, implicit form, parametric form)의 다른 방법으로 표현될 수 있으며, 레이저 비전 카메라에서는 대개 implicit form을 사용한다 매개변수형은 곡선을 따라 시작점(starting point) $P_1=(x(u_1),\ y(u_1))$에서 끝점 $P_2=(x(u_2),\ y(u_2))$까지 파라미터(parameter) u의 두 함수 $x(u)$, $y(u)$로 각 점을 나타낸다 이 곡선의 길이는 다음 식 (1)과 같이 쓸 수 있다.

$$\int_{u_1}^{u}\sqrt{(\frac{dx}{du})^2+(\frac{dy}{du})^2}\,du \tag{1}$$

디지털 곡선의 길이는 다음과 같이 구해진다. 만약 n개의 에지점 (x_1,y_1), (x_2,y_2), · ,(x_n,y_n)이 있을 때 디지털 곡선의 길이는 픽셀들간 각각의 세그먼트의 길이를 모두 합(S)함으로써 얻을 수 있다 즉,

$$S=\sum_{i=2}^{n}\sqrt{(x_i-x_{i1})^2+(y_i-y_{i1})^2} \tag{2}$$

로 쓸 수 있다 또한, 곡선의 두 끝점(end point)간의 직선거리(D)는

$$D=\sqrt{(x_n-x_1)^2+(y_n-y_1)^2}$$

이 된다. 또한 픽셀 영역에서 선분(line segment)으로 부터 한 점까지의 수직 거리(perpendicular distance)는 다음과 같이 구할 수 있다 첫 번째 에지점 $P_1(x_1,\ y_1)$과 마지막 에지점 $P_n(x_n,\ y_n)$ 을 연결한 선의 방정식은

$$\frac{y-y_1}{x-x_1}=\frac{y_n-y_1}{x_n-x_1} \tag{4}$$

이다. 이것을 정리하면 다음과 같은 선의 implicit form을 얻을 수 있다.

$$x(y_1-y_n)+y(x_n-x_1)+y_nx_1-y_1x_n=0 \tag{5}$$

선으로부터 임의의 점 (u,v) 까지의 거리 $d=\frac{r}{D}$ 이고, r은

$$r = u(y_1 - y_n) + u(x_n - x_1) + y_n x_1 - y_1 x_n \quad (6)$$

과 같다 여기에서 D 는 두 끝점간의 거리를 나타낸다 식 (6)에서 r 의 부호 변화의 개수는 근사화의 적절성을 판단하는 기준으로 사용된다. 표준화 거리(normalized distance)는 $\frac{d}{D}$이고, 표준화 최대 절대 오차(normalized maximum absolute error)ε은

$$\varepsilon = \frac{\max_i |d_i|}{D} \quad (7)$$

이다

3.2 분할법(Segment Splitting Method)

선분에 의한 윤곽선(contour)으로 근사화 시키려면 먼저 프로파일의 분할화가 필요하며, 이에 만족할 만한 다각형 선분을 얻기 위해서는 구석점(corner point) 또는 절점(break point)을 추출해야 하는데, 이들 방법 중 하나로 분할법(segment splitting method)이 있다. 분할법은 상하 분할법(top-down splitting)이라고도 하며, 이것의 기본 알고리즘 성격은 첫 곡선에서 시작해서, 절정점(vertices)을 찾아나가는 것이다. 분할화 방안은 선분이 어떤 조건을 만족시키지 못하면 계속 분할시키는 것이다. 이는 Duda와 Hart에 의하여 기본 알고리즘이 제시되기도 하였다[6]

본 연구에 사용된 곡선 근사화를 위한 분할법에 쓰인 알고리즘은 다음과 같은 4단계로 수행된다

1 주어진 곡선에 대하여 첫 번째 에지점 B_0와 마지막 에지점 B_6를 직선으로 연결한다

2 곡선의 모든 점에 대하여 1단계에서 연결한 직선으로부터의 수직거리를 계산한다 만일, 모든 점에 대한 직선거리가 경계치 보다 작으면 끝내고 그렇지 않으면 다음 단계를 시행한다

3 직선으로부터 가장 먼 수직거리인 점을 절점(break point)으로 삼고 절점과 앞의 성분의 끝점을 연결함으로써 새로운 근사화 선분을 얻는다 (에지점 B_3)

4 다시 2단계로 돌아가서 반복적으로 시행한다 이 반복적인 과정은 매우 효과적이며 이러한 분할법은 반복적 내부 분할(recursive subdivision)이라고도 불린다

이 알고리즘에 대한 예시를 Fig 2에 나타내었다 본 연구에서 사용된 분할법은 Fig 2와 같이 한 개의 stripe이 $B_0 \sim B_6$까지 7개의 절점과 6개의 분할선(segment)으로 나타나도록 프로그래밍 하였으며, 이는 비드의 형상이 매끄럽지 못한 경우에도 효과적으로 결함들을 검출할 수 있는 최적의 절점과 분할선으로 설정하였다 또한, 분할법을 통해 얻어진 절점의 값들은 비드의 형상정보를 얻기 위한 방법으로 사용된다

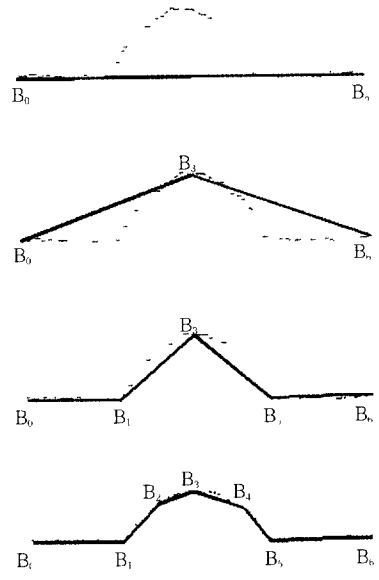


Fig. 2 Segment splitting method for a stripe representation

4. 용접품질 판단을 위한 사용자 중심 환경 (GUI Program)

본 프로그램은 Borland C++로 컴파일링(compiling)을 하고, DOS환경에서 프로그래밍하였다 GUI(Graphic User Interface)를 이용하여 파일관리(file load, file save), 모재의 두께(base metal thickness), 판정 등급(quality levels), 비전 카메라의 파라미터, 각 화면의 시작과 종료 기능 등을 프로그램 상에서 조작할 수 있도록 하였다 다음 Fig 3은 전체 프로그램의 구성도를 나타낸 것이다

Fig 4는 top menu의 구성도이고, Fig 5는 inspection module의 구성도이다.

Fig. 2의 네 번째는 하나의 프로파일(profile)을 분할법을 이용하여 선분들로 연결한 형상을 나타낸 것이며 Table 2는 이 형상에서 용접품질 판별에 필요한 성분들을 계산하는 방법에 관하여 설명한 것이다 여기서, 절점들의 좌표를 B_0 (y_0, z_0), B_1 (y_1, z_1), B_2 (y_2, z_2) · 라고 하자.

5. 실험 및 고찰

5.1 실험용 레이저 비전 시스템의 구성

결함 검출을 위한 비전 시스템은 레이저 비전 시스템

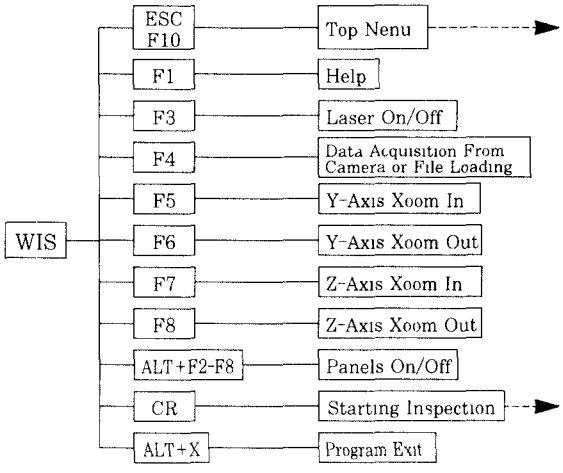


Fig. 3 Program configuration

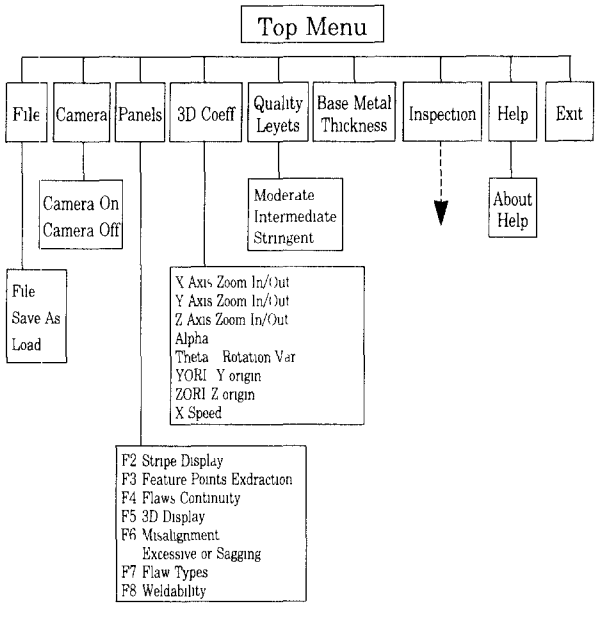


Fig. 4 Top menu configuration

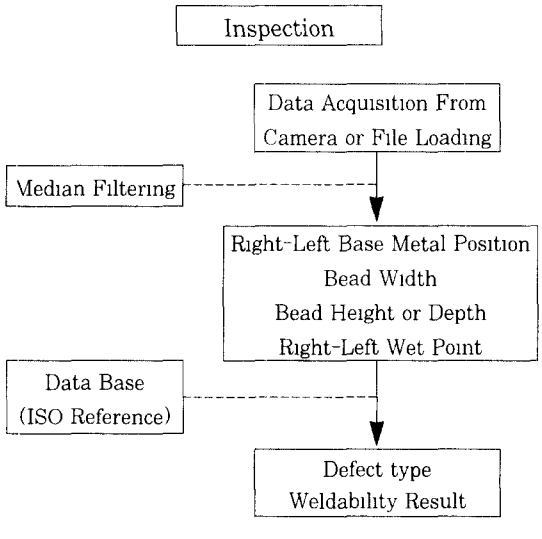


Fig. 5 Inspection module configuration

Table 2. Appellation and computation method

NO	Appellation	Computation method	Explanations
1	Left wet point	B_1	Point B_1
2	Right wet point	B_5	Point B_5
3	Bead width	$\lvert y_{B1} - y_{B5} \rvert$	Point B_5의 y값과 Point B_5의 y값의 차
4	Left base metal position	$lbmp = \frac{\sum_{i=B_0}^{B_1} z_i}{N_1}$	N Point B_0에서 Point B_1까지의 픽셀 수
5	Right base metal position	$rbmp = \frac{\sum_{i=B_5}^{B_6} z_i}{N_2}$	N_2 Point B_5에서 Point B_6까지의 픽셀 수
6	Misalignment	$\lvert lbmp - rbmp \rvert$	
7	Left excessive or Left agging	$\lvert lbmp - z_{B3} \rvert$	z_{B3} Point B_3의 z값
8	Right excessive or Right sagging	$\lvert rbmp - z_{B3} \rvert$	
9	Pit or Blowhole	$n(z_i < t) > c_n$ or $n(z_i = \text{SHADOW}) >$	t 모재의 두께 n 픽셀의 개수 c_n, SHADOW : 상수(constants)

을 사용하였다 이 비전 시스템은 컨트롤 장치와 레이저 비전 카메라 헤드로 구성되어 있다 용접 결함 판별 시스템은 PC, 비전 시스템, 모션 컨트롤러(motion controller), 2축 직교 로봇(2 axis cartesian robot)으로 구성되어지며, 그 구성도는 Fig. 6과 같다.

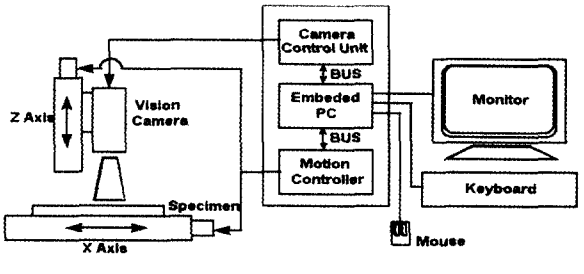


Fig. 6 System configuration for weld bead defects inspection

비전 시스템 컨트롤러는 적정 작동 상태로 카메라를 유지시키고, 변화하는 물체 표면 상태에 적응하기 위해 실시간 파워, 감도 등을 조절한다 또한, 카메라 비디오 신호를 디지털화하고, 그 기능을 제어하며, 저 수준 이미지 처리를 행한다. 이 비전 시스템 컨트롤 시스템은 AMD 5x86 CPU를 장착한 산업용 PC(Industrial PC), 비전 처리 및 레이저 파워와 스캐닝 컨트롤 등을 위한 DSP가 내장된 카메라 제어 장

치로 구성되어 있다 카메라 헤드는 깊이 측정을 위한 능동적 광학 삼각법을 응용한 거리 계측 장치로써 측정 분해능(resolution)은 0 05mm인 자동 동기 주사 방식을 사용한다 레이저에서 발생한 광선은 실린더 렌즈를 통해 빛의 면을 형성하여 측정 물체에 투사되고, 빛의 진로와 비스듬하게 위치한 렌즈가 물체 표면에서 반사되는 광선을 수광부에 비치게 한다 수광부는 2D의 CCD로 구성되어 있어서 물체의 단면이 CCD상에 형성된다 측정된 프로파일은 소프트웨어가 분리하여 단면상의 각 점의 위치를 계산한다. 광원으로는 출력 40 mW, 파장 680 nm의 레이저 다이오드를 사용하며, 또한 카메라의 렌즈 부에는 아크 용접시에 발생하는 아크 광, 스패터(spatter), 가스등에 의한 노이즈를 줄이기 위한 대역 통과 필터를 설치하고 있다 이 레이저 카메라는 한 개의 프로파일이 256개 점으로 이루어져 있으며, 초당 40개의 프로파일을 얻을 수 있다

5 2 실험 방법

실험에 사용된 시편은 180 ㎜×80 ㎜×6 ㎜ 크기의 탄소강 2장을 V홈 맞대기로 용접(V groove butt welding) 한 것이다 (Photo 1)

Photo 1. Specimen for weld defects inspection

이 시편은 과다 용입(excessive weld bead), 용입부족(incompletely filled groove), 언더컷(undercut), 용접선 불일치(misalignment), 피트(pit)의 결함을 가지고 있다 시편의 이동 속도(x-axis)는 6 mm/s이고, 초당 20개의 프로파일을 읽어서 판단하였다 (약 3profiles/mm) 또한 카메라의 깊이 측정 가능영역은 150 mm이다 본 연구에서는 80 mm의 용접구간(약 240profiles)을 관측하였다

5.3 실험 결과

Photo 1의 시편의 평가한 결과를 다음 Fig 7에 나타내었다 이 그림은 ISO D(moderate)일 때를 나타낸 것으로, 사용자의 편의에 따라 판정 등급을 D(moderate), C(intermediate), B(stringent)로 지정하여 용접품질을 판별할 수 있다

Fig 8은 세 가지의 판정 등급에 따른 용접품질의 결과를 비율로 나타낸 것이다

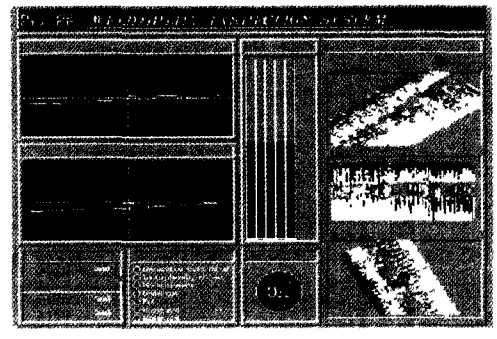


Fig. 7 Inspection result (moderate)

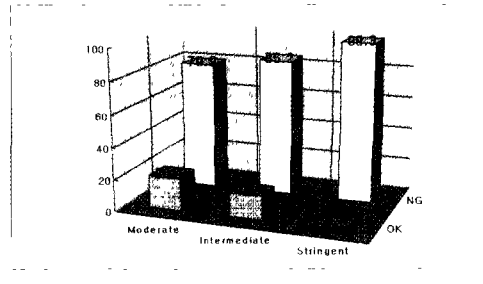


Fig. 8 Inspection results according to quality levels

5 4 용접품질 판단을 위한 평균 거리(Mean Distance) 개념의 도입

위의 실험에서는 결함 여부를 결함 집중성 표시자(flaws' continuity)의 패널에 연속적으로 표현된다 그런데 이곳에는 결함이 집중되어 있는 곳과 산포(散布)되어 있는 곳으로 구분되어진다 이러한 부분이 정말 결함이 있는지 혹은 계산상의 오차로 인하여 결함이라고 판단하여 발생한 것인지를 구분할 필요가 있다. 여기에서는 평균 거리(mean distance)라는 개념을 이용하여 결함이 집중적으로 발생한 곳을 수치적으로 표현하고, 검출해 보고자 하였다 평균 거리라는 의미는 결함 집중 지수(flaw intensity index)라 할 수 있다 Fig 9는 아크 용접성 판별기준 가운데 D(moderate)경우의 결함 집중성 표시자에 나타난 결함의 예를 보여준다 그림에서 5개의 그래픽 표시자가 있음을 알 수 있으며, 이때, 각각의 표시자는 과다 용입, 용입부족, 언더컷, 용접선 불일치, 피트이며 결함의 분포를 붉은색으로 표시한 것으로 결함이 없는 곳은 파란색으로, 결함이 집중된 곳은 붉은색으로 표시되도록 하였다. Fig 9의 지시자에 나타난 결과는 시

스템을 구동시 프로파일마다의 용접품질과 각 결함들이 파일로 DOS환경에 저장된 후, 시스템 내부에서 이들 각각의 결함에 평균거리의 개념을 도입하여 최종적으로 나타난 결과임을 보여주는 것이다. 이 지시자들의 평가는 특징점 추출, 분할화를 통해 얻어진 데이터들을 앞서 Table 1의 D, C, B등급의 지정 기준에 따라 각 결함들의 용접품질 평가결과를 보여주는 것이다

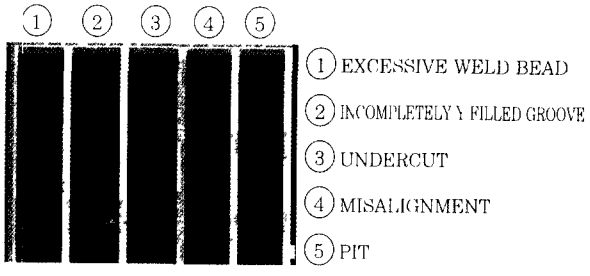


Fig. 9 Flaws' continuity of moderate

평균거리(M_d, mean distance)분포 식은 식 (8)과 같이 정의한다

$$M_d = \frac{\sum_{i=1}^{n-1}(F_{i+1}-F_i)}{n-1} \tag{8}$$

여기에서 F_i 는 결함 집중성 표시자에서 i번째 결함을 나타내고, $F_{i+1}-F_i$ 는 두 결함 사이의 거리를 나타낸다. 평균거리 값이 일정한 경계치(threshold)로 사용자가 간주하고, 실제 용접물과 평균거리의 경계치를 경험적으로 설정하면, 경계치 이하 값이면 결함이 집중된 것으로 간주하고, 그 이상이면 결함이 산포한 것으로 간주하게 된다 본 연구에서는 용접종류와 시편의 종류, 두께를 고려하여 결함의 집중도를 위한 경계치를 4로 하였다.

5.5 고찰

본 연구에서는 처음 1~10 프로파일의 용접품질을 판단하고, 그 다음 중첩을 고려하면서 1씩 증분시킨 평균거리를 구하였다 즉, 1씩 증분 시키면서 중첩시켜 구한 평균거리는 처리시간이 느린 단점은 있지만, 결함이 측정구간 사이에 걸쳐 존재하는 경우에도 효과적으로 검출할 수 있다는 장점이 있다 평균거리의 개념을 도입하여 품질등급 D(moderate)일 때, Fig 9의 검사길이에 대한 평균거리 결과(index of mean distance)와 각 프로파일들의 용접품질 결과(index of flaws)를 아래 Fig 10에 나타내었다

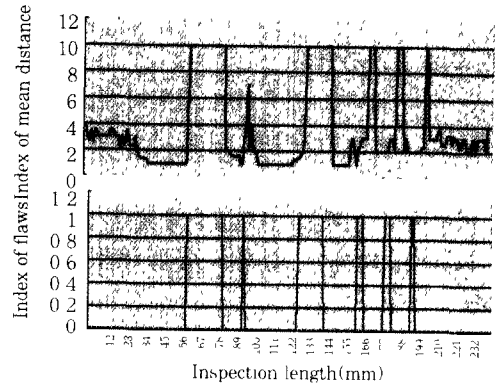


Fig. 10 Index of mean distance and flaws according to inspection length

Fig. 10의 상측 부는 평균거리의 변화 추이를 관측길이에 따라 나타낸 것으로 앞서 언급한 바와 같이 기준 10에서 4를 넘지 못하는 부분은 결함이 몰려 있는 곳으로 간주해야 할 것이다 본 연구에서 평균거리 경계치 기준 4는 사용자가 임의대로 설정한 것이고, 이 값은 결함이 전혀 없는 최대 10을 시작으로 그 보다 작은 값을 가질수록 결함이 몰려있는 정도가 큰 값을 표시하는 것이며, 이 수의 결정에는 용접결과에 대한 사용자 나름대로의 경험과 식견을 가지고 결정해야 할 것으로 생각된다 또한, 그래프의 하측 부는 관측 길이(inspection length)부분에 결함이 없는 곳은 시스템을 수행시 1로, 결함이 발생한 부분은 시스템을 수행시 0의 결과로 각 프로파일마다 표시되도록 하였다.

이 실험 결과에서 보듯이 ISO 기준자체가 실제 현장에서 사용되는 품질등급의 기준을 말해주는 것으로서 본 실험에 사용된 Fig 10과 같은 시편의 경우는 상당히 용접품질이 좋지 못한 용접물로 평가할 수 있다 실제 유용한 용접물로 사용되기 위해서는 본 연구의 B(stringent)등급을 사용할 경우에도 결함이 거의 표시되지 않아야 할 것으로 생각된다 이 실험 결과로 하나의 프로파일로 표현되는 결함들이 집중되어 있는 곳을 판단등급을 부여하여 구분할 수 있었고, 이를 이용하여 PC에서 결함인지 아닌지를 자동으로 구별 후 판별 가능했다

6. 결 론

주사 빔 방식의 레이저 비전 센서를 용접 결함 판별에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다

1) 판별등급을 선정(ISO 규정)하여, 실시간으로 결함을 판별하고, 전체적 용접품질과 함께 결함의 중첩성도 쉽게 확인할 수 있도록 하였다

2) GUI 환경의 프로그램을 개발하고, 환경 설정을 용

이하게 할 수 있도록 고안하여, 다른 분야의 용접에 적용 가능성을 제시하였다.

3) 평균 거리 개념을 이용하여 결함이 집중화된 부분을 구별하고, 자동 판별하여 전체 용접 품질을 판정할 수 있도록 하였다

4) 본 연구에서 수행된 3단계의 품질평가에서 결함이 거의 나타나지 않아야, 실제 유용한 용접물로 사용될 수 있을 것이다

참 고 문 헌

1. 이정익, 장인선, 이세헌, 엄기원: 비전센서를 이용한 다층 아크 용접에서 용접선 추적에 관한 연구, 대한용접학회집, 제 16권, 제 3호, (1998), pp. 85-94.
2. R. J. Barnett, G. E Cook, A. M Strauss, K. Andersen, and J. F. Springfield: A Vision-Based Weld Quality Evaluation System, Trends in Welding Research, Proceedings of the 4th international Conference, 5-8 June, Gatlinburg, Tennessee, USA, (1995), pp 689-694.
3. R. C. Anderson· Inspection of Metals Visual examination, American Society for Metals, Metals Park, OH, (1993)
4. K Anderson, R. J. Barnett, J. F Springfield, and G. E. Cook· Weldsmart: A Vision-Based System for Quality Control, Final Report, NASA Contract NAS837685, September, (1992)
5. 이보영· 용접 구조물 결함과 손상사례 및 그 방지책, 용접 하계대학 교재, (1997), pp. 249-295
6. R Jain, R. Kasturi, B. G Schunck: Machine Vision, MIT Press and McGraw-Hill, (1995), pp 186-200