

후판 자동용접을 위한 용접물의 갭 측정

이화조 *

Recognition of Gap between base Plates for Automated Welding of Thick Plates

Hwa-Cho Yi *

ABSTRACT

Many automated welding equipment are used in the industry. However, there are some problems to get quality welds because of the geometric error, thermal distortion, and incorrect joint fit-up. These factors can make the gap between base plates in case of a thick plate welding. The welding product with the quality welds can not be obtained without consideration of the gap. In this paper, the robot path and welding conditions are modified to get the quality weld by detecting the position and size of the gap. In this work, a low-priced laser range sensor is used. The 3-dimensional information is obtained using the motion of a robot, which holds a laser range sensor. The position and size of the gap is calculated using signal processing of the measured 3-dimensional information of joint profile geometry. The data measured by a laser range sensor is segmented by an iterative end point method. The segmented data is optimized by the least square method. The existence of gap is detected by comparing the data with the segmented shape of template. The effects of robot measuring speed and gap size are also tested. The recognizability of the gap is verified as good by comparing the real joint profile and the calculated joint profile using the signal processing.

Key Words : Range Sensor(레이저 센서), Welding Robot(용접용 로봇), Gap(갭), Recognition(인식)

1. 서론

용접은 대표적인 3D 작업으로서 작업자를 구하기 힘들고 높은 인건비를 유발하는 작업이나, 여러 분야에서 필수 불가결한 작업이다. 용접 공정도 대표적인 자동화 대상 분야로서 현재 많은 기계화된 용접장치들이 생산 현장에 투입되어 사용되고 있으나 경우에 따라서는 용접 대상물의 형상 오차, 부정확한 장착, 열변형 등에 따른 여러 가지 용접 조건의 변화로 인해 우수하고 균일한 품질의 용접물을 생산하는 데에는 아직도 문제점들을 안고 있는 실정이다. 특히 두께가 두꺼운 후

판의 경우 용접대상물의 절단오차 혹은 열변형 등에 의해서 용접물 사이에 갭(gap)이 발생하기도 한다. 이런 경우 갭을 고려하여 용접변수를 변화시켜 주지 않으면 용접불량이 발생하게 된다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해서 자동화된 용접공정에는 다양한 센서들이 사용되고 있다. 용접점의 시작위치를 찾아내는 방법으로는 터치센서(touch sensor)를 이용하는 방법이 이용되고 있다. 터치센서는 비용이 저렴하나 측정속도가 제한적이고 용접와이어가 변형될 경우 잘못된 결과를 보내주게 된다. 또한 갭의 인식도 불가능하다. 용접경로의 수정에 관해서는 레이저 비전(laser vision)과

* 영남대학교 기계공학부

아크센서(arc sensor)를 이용하는 방법이 주로 많이 이용되고 있다.^(1,2,3,4,5) 아크센서는 별도의 기계적 장치를 필요로 하지 않는 장점을 가지고 있으나 경로오차가 작을 때만 사용이 가능하며 초기점을 찾을 수가 없으며 갭의 인식도 불가능한 단점을 가지고 있다. 레이저 비전은 가장 지능적인 센서 시스템으로 간주되고 있으나 가격이 지나치게 높아 특별히 부가가치가 높은 분야에서만 적용이 가능한 실정이다.

본 연구에서는 로봇의 경로와 용접조건을 환경에 적용시켜 균일한 품질의 용접 접합부를 얻을 수 있도록 용접 대상물에 위치와 갭이 존재하는지의 여부 및 존재 시에는 갭의 크기를 검출하는 방법에 대하여 연구한다. 용접 대상물에서 발생한 갭을 인식하기 위한 센서로서는 크게 접촉식 센서와 비접촉식 센서의 적용을 고려할 수 있는데^(6,6) 본 연구에서는 다양한 용접 대상물의 형상에 잘 대처할 수 있으며 접촉식 센서에 비해 감지(sensing)시간과 정도를 높일 수 있는 레이저 변위 센서를 적용하였다. 필요한 3차원적인 정보는 레이저 변위센서를 장착한 로봇의 움직임을 사용하여 획득한다. 용접 대상물의 용접 경로를 감지한 후 신호처리의 과정을 거쳐 갭의 위치와 크기를 확인하고 결과를 로봇의 제어기에 제공한다.

2. 프로파일의 측정원리

프로파일(profile)의 측정방법은 접촉식과 비접촉식으로 나누어질 수 있다. 접촉식 측정법은 일반적으로 측정 시에 발생할 수 있는 마찰과 충돌의 위험 때문에 일반적으로 실험실에서 행하는 정밀 측정 등에 사용되며, 로봇의 응용분야에서는 잘 사용되지 않고 있다.

3차원 프로파일 측정원리는 일반적으로 거리 측정원리에 기초를 두고 있다. 비접촉식 거리측정 센서는 그 측정원리에 따라 전기, 음향 혹은 시각 센서로 분류된다. 전기식 센서는 측정거리가 비교적 적을 때만 사용 가능하여 거리 측정에는 잘 사용되지 않고 있다. 음향센서는 음향이 물체에 반사되어 오는 시간을 측정하여 거리로 환산한다. 이 방법에서는 음향의 반사각도가 상당히 크기 때문에 측정된 반사음이 원하는 측정물체가 아닌 다른 물체의 반사음일 수도 있다. 따라서 음향 센서에 의한 측정에서는 측정데이터의 분해도

(resolution)와 정확도가 상당히 낮다.

거리측정에 사용되는 시각센서는 송신부와 수신부로 나누어지며, 일반적으로 물체와의 거리가 삼각법에 의해 계산된다. 송신부로는 대부분의 경우 레이저광선이 낮은 간섭성(단일 파장)과 높은 강도 그리고 높은 직진도 때문에 널리 사용되고 있다. 삼각측정법에서는 직진도가 높은 광선이 측정물체에 비추어진다(Fig1). 빛의 진로에서 비스듬하게 놓여진 렌즈가 물체 표면에서 반사하는 광선을 수광부에 비치게 한다. 수광부에는 빛이 비치는 위치에 따라 입사각도가 계산되고, 물체와의 거리가 계산된다. 삼각측정법에 의한 거리 측정에서 측정범위는 시스템의 구조에 따라 몇 mm에서 몇 m 까지, 측정정밀도는 측정범위의 1/250에서 1/2000 정도이다. 따라서 비접촉식 프로파일 측정에서는 정밀도가 높고 해상도가 뛰어난 레이저를 이용한 삼각측정법을 이용하는 것이 보편화되어 있다.⁽⁷⁾

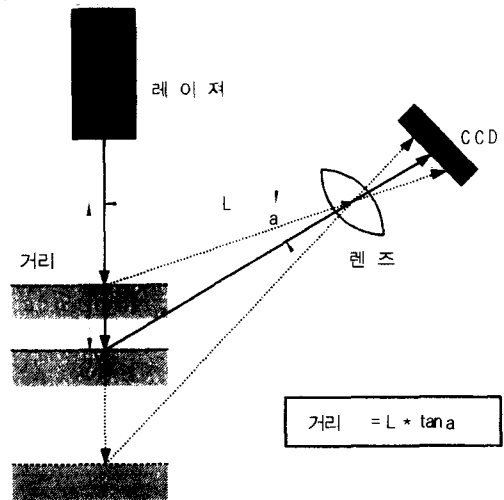


Fig. 1 Principle of triangulation

이 방법에 기초를 둔 프로파일 측정법으로는 측정면을 기계적으로 움직여서 하나하나의 거리를 합성하여 프로파일을 구성하는 스캐닝(scanning)방법과 실린더 렌즈를 이용하여 빛의 광선을 면으로 만들고 2D-CCD를 이용하는 구조광(structured lighting) 방법이 있다.

레이저 스캐너는 삼각측정법에 의한 거리측정법을 이용하는 프로파일 센서이다. 이 센서는 한 물체의 단면 위의 점들의 거리를 하나씩 측정하고,

이 점들의 위치를 직교 좌표계의 데이터로 변환시킨다. 한 단면의 점들의 측정은 측정광선과 반사광선으로 이루어지는 면, 즉 측정면을 회전시켜서 이루어진다. 측정각도(scan angle)와 측정속도(scan rate)는 센서에 따라서는 조정이 될 수도 있다.

삼각측정법의 원리를 이용하는 또 다른 형태의 프로파일 측정센서는 구조광 센서이다. 이 센서는 레이저 스캐너와는 달리 구동부분이 불필요하다. 하나 혹은 여러 개의 레이저로부터 발생하는 광선은 실린더 렌즈를 통과하여 빛의 면을 형성하여 측정물체의 표면에 투사된다. 빛의 진로에서 비스듬하게 놓여진 렌즈가 물체 표면에서 반사하는 광선을 수광부에 비치게 한다. 수광부는 2D의 CCD로 구성되어 있어 물체의 단면이 CCD상에 형성된다. 측정된 프로파일은 소프트웨어가 분리하여 단면상의 각 점의 위치를 계산한다.

이러한 센서들은 여러 가지의 장점을 가지고 있음에도 불구하고 지나치게 높은 가격으로 인하여 특별한 고 부가품의 생산이 아니면 거의 적용이 되지 않고 있다. 본 연구에서는 비교적 가격이 저렴한 거리센서(range sensor)와 로봇을 측정도구로 이용하는 시스템을 개발한다.

3. 로봇을 이용한 갭(gap) 측정

3.1 갭의 측정원리

본 연구에 사용된 레이저 변위센서는 OMRON사의 3Z4M-J1222 모델로서 광원으로는 780nm의 반도체 레이저를 사용하며 위치 검출 소자 PSD(Position Sensitive Device)를 통하여 센서로부터 측정물까지의 거리를 측정할 수 있다.

사용 센서의 측정범위는 센서 끝단에서 70-130mm이고 샘플링시간(sampling time)은 20ms와 1ms의 두 가지 모드를 사용할 수 있으며 분해능(resolution)은 50 μ m이다.

센서로부터 측정물까지의 거리와 출력 전압과의 비례관계를 통하여 용접 조인트의 중심과 갭을 인식하기 위하여, 로봇 끝단의 용접 토치에 센서를 장착하고 용접 조인트 근처를 센싱한 결과로서 나타나는 출력 전압을 신호처리하면 용접 조인트의 프로파일을 형성할 수 있는데 이러한 방법을 통해 획득한 프로파일로부터 용접 조인트의 중심과 갭을 인식할 수 있다.

3.2 실험장치 및 방법

레이저 변위센서의 작동을 위해서는 DC 24V의 입력전원을 공급해야 하는데 입력전원으로서 로봇의 I/O 커넥터(connector)단자에서 출력되는 DC 24V를 사용한 경우에는 용접을 위한 기본 장치에 부가되는 센서부를 단순화할 수 있는 장점을 가지나 출력 전압에 심한 노이즈(noise)성분이 동반되므로 데이터를 처리하는 시간이 상대적으로 많이 소요되며, 결과가 부정확해지는 단점이 있다. 따라서, 이러한 노이즈 성분을 줄여서 데이터의 처리를 용이하게 하기 위하여 외부의 독립된 DC 24V의 입력전원을 사용한 결과, 예상대로 현저히 노이즈 성분이 제거된 출력신호를 얻을 수 있었다. Fig. 3은 입력전원의 선정에 따른 출력신호를 상호 비교한 결과로서 외부의 독립된 입력전원을 사용한 경우, 훨씬 더 깨끗한 출력신호를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

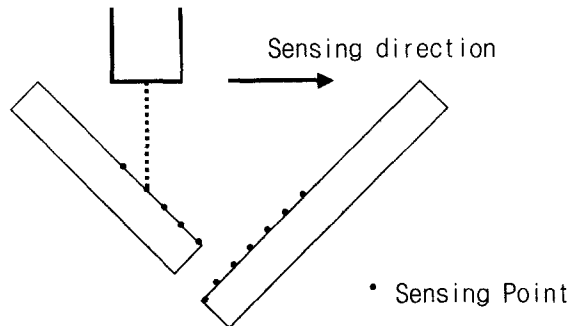
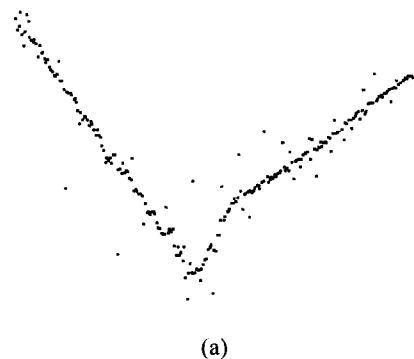


Fig. 2 Sensing for the recognition of gap



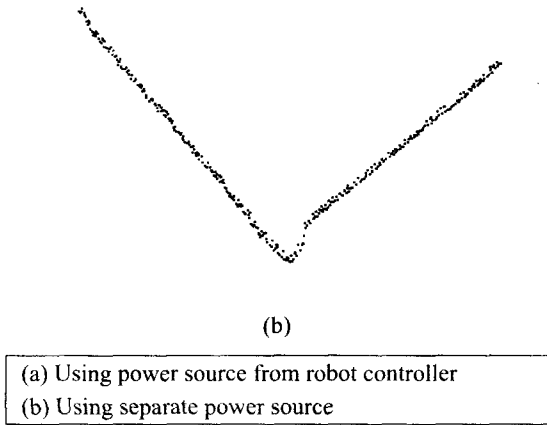


Fig. 3 Comparison of output signal depend on power source of sensor

본 실험에 사용된 실험장치는 토치의 구동을 위한 6축 로봇, 용접 조인트의 중심과 갭을 측정하기 위한 레이저 변위센서(OMRON 社의 3Z4M-J1222), 레이저 변위센서에서 출력되는 아날로그 값을 디지털 값으로 변환시키는 A/D 변환기로 구성되어 있다. A/D 변환기는 로봇제어기에 내장되어 있고, 획득된 데이터의 처리는 로봇제어기에 내장된 프로그램에서 수행된다.

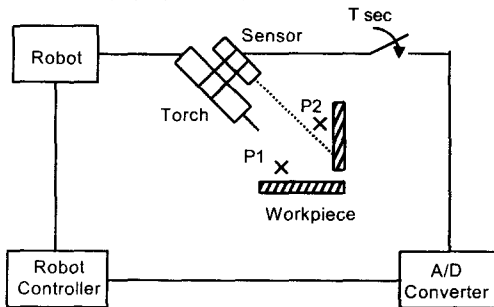


Fig. 4 Experimental setup

용접 조인트부의 단면을 획득하기 위하여 우선 필릿(fillet) 조인트상에 학습된 경로(P1-P2)의 시작점(P1)으로 토치를 이동시킨다. 토치의 구동에 따라 센서와 측정물간의 거리변화에 따른 전압값의 변화를 A/D 변환기를 통해 받아들인다.

A/D 변환기를 통해 받아들인 데이터들은 로봇의 측정위치와 이동속도를 이용하여 좌표로 변환되고 프로파일을 구성한다. 프로그램으로 구현된 알고리즘을 통하여 필터링(filtering), 세그멘테이션

(segmentation) 등의 신호처리 과정을 거치게 되면 소수의 세그먼트(segment)들로 이루어진 용접 조인트부의 정보를 획득할 수 있다. 이러한 단계를 통하여 획득한 용접 조인트부의 프로파일로부터 용접 조인트의 중심부와 갭의 크기를 검출하게 된다.

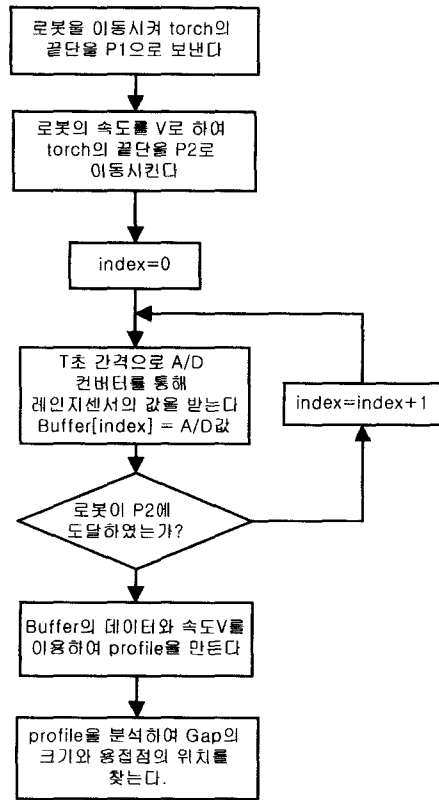


Fig. 5 Flow chart of profile measurement

4. Gap 및 용접위치 인식

4.1 데이터 세그멘테이션(segmentation)

센서가 측정한 프로파일(물체의 단면)의 데이터는 점들의 집합이다. 이 점들을 모두 선으로 이으면 측정한 물체의 단면의 형상에 해당해야 한다. 이 점들은 적은 수의 세그먼트들에 의해 대치될 수 있다. 이러한 과정은 세그멘테이션이라고 불리어진다. 세그멘테이션이 된 데이터는 후속 처리 과정이 간단해지고, 따라서 처리과정에서 발생할 수 있는 각종 문제점의 발견이 쉬워진다.

세그멘테이션의 주임무는 측정치와 근사한 단면을 형성할 수 있는 직선요소들의 시작과 끝점을

하는 것이다. 이때 근사직선들과 실제 측정된 점들의 간격은 주어진 공차보다 작아야 한다. 세그멘테이션 방법은 근본적으로 나누는 방법과 모으는 방법 그리고 이들의 혼합형이 있다.^(7,8,9) 대표적인 나누는 방법으로는 "iterative end point method"를 들 수 있으며 측정된 점들을 모으면서 세그멘테이션을 하는 대표적인 방법으로는 "scan along method"를 들 수 있다.

"Iterative end point method"에서는 먼저 첫번째 점과 마지막 점 사이에 하나의 직선을 형성하고, 중간에 놓인 점들이 이 직선으로부터 주어진 공차 안에 놓여 있는지의 여부를 검사한다(Fig. 6). 만약에 결과가 긍정적이면 세그멘테이션은 끝난다. 그렇지 않으면 이 직선으로부터 가장 먼 점에 새로운 세그멘트의 끝점이 형성된다. 이러한 과정은 모든 점들이 이들 세그멘트와 공차 안에 놓일 때까지 반복된다.⁽⁸⁾

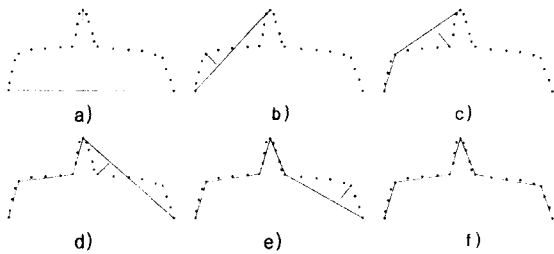


Fig. 6 Iterative end point method⁽⁷⁾

"Scan along method"의 장점은 계산시간이 점의 수에 거의 비례하며 직선 허용공차의 크기나 곡선의 복잡성은 거의 영향을 미치지 않는다. 따라서 계산시간을 사전에 개략적으로 추측할 수 있는 장점을 가지고 있다. 단점은 삼각함수(Arctangent)의 계산이 필수적이므로 보조프로세스를 장착한 컴퓨터에서만 효과적으로 이용할 수 있다. 또한 우리의 실험에서는 세그멘트를 찾더라도 오차가 커서 이의 사용에 무리가 있다. "Iterative end point method"의 장점은 계산 시간은 점의 수와 형상의 복잡도 그리고 공차의 크기에 따라 급격히 증가한다. 따라서 공차가 크고 형상이 간단 할 경우 효과적인 방법이다. 특히 삼각함수의 계산이 필요하지 않으므로 단일칩컴퓨터(one-chip computer)를 이용하는 시스템에서도 효율적으로 사용이 가능하다. 단점으로는 각 끝점을 연결하는 방식이므로 정확한 데이터를 사용하여 세그멘트를 찾는 경우에는

상관없으나 우리의 실험에서와 같이 노이즈가 고려되어야 하는 경우에는 이를 고려한 알고리즘이 필요하다. 필터링을 통하여 노이즈의 영향을 줄여도 필터내부의 불안정한 데이터에서는 정확한 값을 찾을 수 없다는 것이다. 우리의 연구에서는 비교적 간단한 형상에서 세그멘트를 구하는데 그 목적이 있으므로 간단한 알고리즘의 "Iterative end point method"를 채용하였다. "Iterative end point method"에도 데이터 검출시의 노이즈라든가 각 끝점만을 연결하는데서 발생하는 오차가 있으나, 데이터처리를 통하여 이를 해결할 수 있다.

세그멘테이션을 위해서 측정점과 세그멘트의 차이가 허용되는 범위 즉 공차를 지정해야 하는데 이때 공차가 너무 적으면 세그멘트의 수가 많아지고 각종 노이즈로부터 많은 영향을 받게 된다. 반면에 공차가 너무 크면 실제로 존재하는 크기가 작은 요소들의 특성이 무시되어버리는 단점이 있다. 본 연구에서는 초기의 공차를 작게(0.1mm) 설정하여 세그멘트를 찾기 시작한다. 데이터에는 노이즈가 다수가 들어있으므로 작은 공차에서는 너무 많은 세그멘트를 구하게 되어 갭을 찾을 수 없게 된다. 우리가 원하는 모재의 형상에서는 최소 3개(갭이 없는 경우), 최대 4개(갭이 있는 경우)의 세그멘트를 가지므로, 이 값에 도달할 때까지 일정한 간격(0.1mm)으로 공차를 증가하여 적당한 공차를 찾게 된다. 만약 공차가 1.2mm 될 때 까지 원하는 형상을 찾지 못하면 측정된 프로파일에 이상이 있는 것으로 인정하고 에러 메시지를 발생시킨다.

4.2 피팅(fitting)을 이용한 세그멘트의 최적화

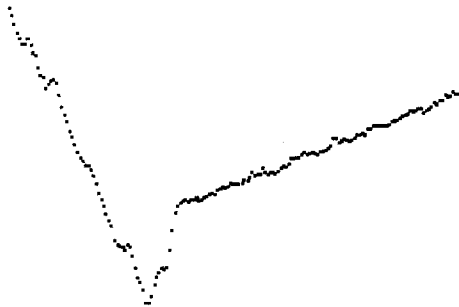
각 세그멘트를 단순히 연결한 직선은 본 모재의 형상과는 차이가 발생하여 이를 그대로 적용하기에는 무리가 있으며, 갭의 크기 역시 상당한 오차를 지니게 된다. 따라서 세그멘트를 사이의 점들을 직선으로 하되 그 오차를 최소로 하는 직선으로 피팅하여 로봇의 진동 및 노이즈로 인한 오차를 줄일 필요가 있다. 본 연구에서는 최적의 세그멘트를 찾기 위하여 아래식과 같은 최소자승법(least square method)을 사용하였다.

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \frac{1}{m \sum x_k^2 - (\sum x_k)^2} \begin{bmatrix} \sum x_k^2 & -\sum x_k \\ -\sum x_k & m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum y_k \\ \sum x_k y_k \end{bmatrix} \quad (1)$$

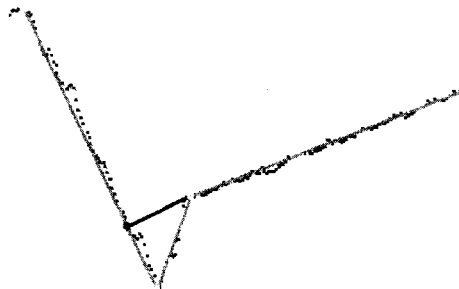
$$L(x)=a+bx \quad (2)$$

X_k = measured points ($k = 1.. m$)
 a, b : the least square linear parameters of $L(x)$

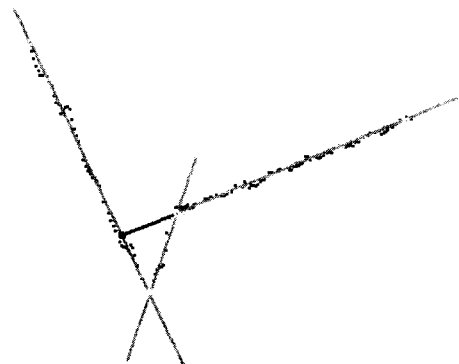
Fig. 7 은 최소자승법을 이용하여 세그먼트를 최적화 하는 과정을 나타낸다.



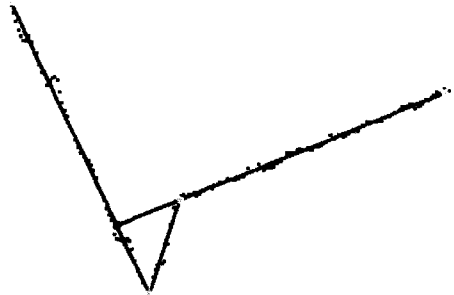
(a) Measured profile



(b) Segmentation



(c) Optimization of segments by fitting of lines



(d) Result of fitting

Fig. 7 Fitting of segments by least square method

4.3 갭 존재여부결정 및 위치계산

주어진 최대 공차내에서 찾은 세그먼트의 수가 3 개인 경우 갭은 존재하지 않는다고 한다. 세그먼트의 수가 4 개인 경우 갭은 존재한다. 세그먼트의 수가 2 개 이하 및 5 개 이상인 경우에는 갭을 찾을 수 없으며 에러 발생으로 처리한다. 이때 로봇은 사용자가 에러를 인식할 수 있도록 에러 메시지를 보여준다. 세그먼트의 수가 4 개인 경우 갭은 존재하며 식(3) - (7)에 의하여 용접위치(C_x, C_y) 및 갭의 크기를 구하게 된다.

$$L_1(x) = a_1 + b_1x \quad (3)$$

$$L_2(x) = a_2 + b_2x \quad (4)$$

$$L_3(x) = a_3 + b_3x \quad (5)$$

$$D_x = -\frac{(a_3 - a_2)}{(b_3 - b_2)}, \quad D_y = a_3 + b_3 \times D_x \quad (6)$$

$$C_x = -\frac{(a_3 - a_1)}{(b_3 - b_1)}, \quad C_y = a_3 + b_3 \times C_x \quad (7)$$

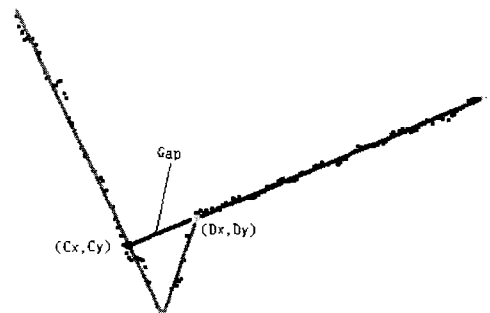


Fig. 8 Calculation of the gap size and the welding position

라인 2 와 라인 3 의 교점-점(Dx, Dy)-에서 라인 3 의 연장선이 라인 1 과 만나는 점이 용접위치점-(Cx, Cy)-이 되며 두 점 사이의 거리가 갭의 크기가 된다 (Fig. 8).

5. 갭 인식 실험 및 평가

5.1 실험방법

레이저 센서를 직접 로봇에 장착하여 데이터를 얻고, 얻어진 데이터에서 구한 갭의 크기와 실측한 데이터의 비교를 통하여 실제 작업에 적용시의 오차를 줄이는데 실험의 목적이 있다.

실험대상물은 실제조선에서 사용되는 것과 동일한 후판을 사용하였으며, 갭이 없을 경우와 갭의 크기가 2, 3, 4, 6(mm)의 5 단계로 나누어 각 단계별로 속도 7.5mm/s, 10.0mm/s, 12.5mm/s, 15mm/s 의 4 단계의 실험을 하였다. 이때 갭은 인위적으로 갭 게이지를 이용하여 만들어졌다. 총 20 가지의 실험들을 각각 다시 40 회를 반복하여 데이터를 얻었다. 이들 데이터에서 얻은 인식결과를 통계처리 하여 인식의 정확성과 특성 등을 분석하였다.

5.2 실험결과 및 평가

5.2.1 속도를 변화하여 구한 갭의 평균 및 표준편차

위에 주어진 각각의 조건으로 40 회씩 측정하여 실제 갭의 크기와 측정 및 인식결과에 의한 갭의 크기, 표준편차 그리고 실제 갭과의 차이를 Table 1-3 에 나타내었다.

갭이 없을 때는 모두 없는 것으로 인식이 되었다. 나머지 데이터들에서 실제보다 크게 인식이 되었으며, 측정속도가 증가함에 따라 더 크게 인식이 되었다. 이러한 현상은 사용된 센서의 모서리 부분의 측정 특성에 기인하며 측정속도에 따른 오차의 증가는 측정점과 측정점 사이의 간격의 증가에 기인하는 것으로 추정된다.

갭의 크기가 2mm 인 경우 측정속도 7.5mm/s 에서는 2.8mm, 그리고 15mm/s 에서는 3.2mm 로 인식되었으며 3mm, 4mm, 그리고 6mm 에서도 비슷한 경향을 보여주었다. 전체적으로 속도에 비례하여 갭의 크기가 크지는 경향을 보여준다.

실제의 갭 크기와 인식된 갭의 크기와의 차이는 측정속도 7.5mm/s 에서는 갭의 크기에 따라 약

0.8mm~1.3mm 사이에 분포되었으며, 그리고 15mm/s 에서는 1.2mm~2.0mm 사이에 분포되었다. 이때 갭의 크기가 3mm 일 때 오차가 크게 발생하였다. 이는 실험시의 갭의 크기가 0.4 ~0.5mm 정도 잘못 설정된 것으로 추정된다.

Table 1 Average size of gap by varying measuring speed

측정속도 [mm/s] \ Gap의 크기	7.5	10	12.5	15	평균 크기
2mm	2.813	2.816	3.162	3.189	2.995
3mm	4.340	4.343	4.458	5.055	4.549
4mm	4.949	5.067	5.181	5.556	5.188
6mm	6.898	6.954	7.082	7.691	7.156

Table 2 Standard deviation of gap size

측정속도 [mm/s] \ Gap의 크기	7.5	10	12.5	15
2mm	0.111	0.154	0.132	0.152
3mm	0.101	0.094	0.132	0.071
4mm	0.081	0.082	0.088	0.185
6mm	0.096	0.136	0.194	0.070

Table 3 Difference between real and estimated size of the gap

측정속도 [mm/s] \ Gap의 크기	7.5	10	12.5	15
2mm	0.813	0.816	1.162	1.189
3mm	1.340	1.343	1.458	2.055
4mm	0.949	1.067	1.181	1.556
6mm	0.898	0.954	1.082	1.691

따라서, 측정속도에 따라 7.5mm/s 에서는 1mm, 그리고 15mm/s 에서는 1.5mm 의 오프셋을 적용시키면 실제 갭과의 차이는 0.5mm 이내가 된다. 측정속도는 실험상의 최대 값인 15mm/s 를 사용하여 얻은 데이터 프로파일로도 충분한 신뢰성을 가질 수 있음을 알 수 있다.

5.2.2 측정거리에 대한 레이저센서의 신뢰성 실험

테이타의 절대정밀도의 확인이 필요하나 주어진 조건에서는 로봇의 정밀도 등을 고려하지 않아도 되게 갭이 없는 대상물과 갭이 3mm 있는 측정물의 위치를 5mm 와 10mm 이동하여 그 이동거리와 센서에서 측정결과로 나타난 위치를 비교하였다. 여기서 A는 처음 위치, B는 5mm 를 이동한 위치 그리고 C는 10mm 를 이동한 위치이다(Table 4). 갭이 없을 때는 오차가 거의 발생하지 않았으며, 갭이 있을 때는 최대 0.26mm 오차가 발생하였다. 그러나 센서의 측정정밀도와 모든 실험이 실험자의 손으로 이루어져서 약간의 오차가 개입되어 있다는 것을 감안하면 아주 좋은 결과를 보이는 것을 알 수 있다.

Table 4 Reliability test of measuring distance

	거리(mm)	Cx	Cy	거리	거리
gap0	위치 A(0)	7.218	102.260	A-B거리 4.974	A-C거리 10.011
	위치 B(5)	5.935	97.454	B-C거리	
	위치 C(10)	4.822	92.514	5.037	
gap3	위치 A(0)	7.132	102.480	A-B거리 5.092	A-C거리 10.266
	위치 B(5)	5.768	97.573	B-C거리	
	위치 C(10)	4.406	92.582	5.174	

5.3 경계조건 및 고려사항

발생 가능한 문제점으로 첫 번째 센싱 각도와 이동경로에 따른 갭 찾기의 용이성과 난이성을 고려해 볼 수 있다. Fig. 9 에서 θ 의 각이 작을수록 갭의 인식이 용이하나 너무 적으면 센서의 특성상 측정자체가 어려워지는 단점을 가지고 있다.

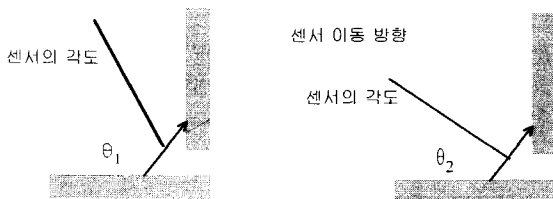


Fig. 9 Effect of sensing angle

센서의 측정시에는 이동경로가 용접선에 수직이 아닐 경우 경사각이 발생하며, 이로 인하여 실제값과 측정값 사이에 오차가 발생할 수 있다.

(Fig. 10).

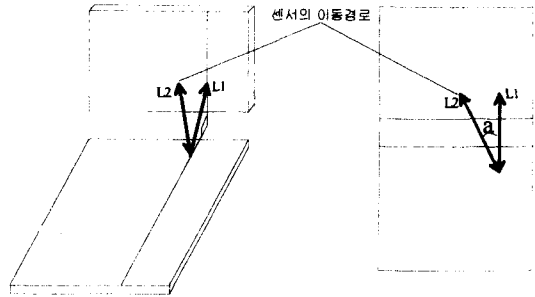


Fig. 10 Error by measuring path

Fig. 10 의 오차는 식 (8), (9)에서 계산되어진다.

$$L_1 = L_2 \cos \theta \tag{8}$$

$$L_2 - L_1 = L_2(1 - \cos \theta) \tag{9}$$

L1 : 실제 거리
L2 : 센서의 이동거리

이때 위치는 로봇의 현재좌표를 이용한 위치 계산에 의하여 자동으로 보정된다.

그러나 L1, L2 의 경로에 따라 데이터 프로파일에서 얻어지는 갭의 크기는 실제값과 차이가 나게 된다. 측정경로 오차로 인한 갭의 크기오차는 Table 5 와 같이 계산될 수 있다. 갭 크기는 경로 오차가 15° 이하이고 L2 가 20mm 정도라면 약 0.68mm 의 오차가 발생하게 된다. 물론 갭이 없을 경우는 문제가 되지 않는다.

Table 5 Gap size error due to the error of measuring path

각도오차 [°]	크기오차	[%]	L2=20mm때 오차
5	0.0038	0.38	0.08
10	0.015	1.5	0.30
15	0.034	3.4	0.68
20	0.06	6.0	1.20

6. 결론

용접시 발생할 수 있는 위치오차와 용접물 사이에 발생할 수 있는 갭은 레이저 비전 센서를 이용하면 측정이 가능하다. 획득된 데이터에 사용자 인터페이스가 있을 경우 이를 처리하면 갭의 크기와 위치의 확인도 가능할 수 있다. 이러한 센서로는 캐나다 “서보로봇”사의 “SPOT 3-D”를 들 수 있

다. 이 센서는 갭 크기 0.5 ~ 4.0 mm 까지 인식이 가능하며 범용으로 사용이 가능하다. 그러나 가격이 \$35,000 이상으로 실질적으로 특별한 경우를 제외하고는 적용이 어렵다.

본 연구는 가격이 비교적 저렴한 레이저 레인지 센서(사용된 센서의 경우 ₩145,000)와 로봇자재를 측정에 이용하는 방법을 연구하였다. 이 방법은 실시간 측정이 불가능한 단점이 있으나, 현재 많이 사용하고 있는 터치센서보다 측정속도가 빠르고 신뢰도도 높으며 특히 갭의 존재여부와 크기를 확인할 수 있다.

측정과 데이터처리 소프트웨어를 PC를 사용하여 개발하였고 측정결과를 그래픽화 하여 검정하였다. 개발된 소프트웨어를 로봇 제어기에 내장하여 로봇의 측정속도와 갭의 크기를 바꾸어가며 반복 실험하고 그 결과를 분석하여 보았다.

실제 조인트의 형상과 센서를 통하여 얻은 데이터를 신호처리의 과정을 통하여 최종적으로 얻은 조인트의 형상과 상호 비교한 결과 비교적 우수한 갭 인식 성능을 가질 수 있음을 확인하였다. 측정된 갭의 크기는 크기별로 오프셋이 발생하였다. 열악한 실험 환경에 의하여 오프셋의 정확함 경향성은 찾아내지 못 하였으나 차후 추가 실험에 의하여 알아낼 수 있을 것으로 생각된다. 측정위치의 정확도에 관한 실험에서는 실험조건을 고려하면 아주 우수한 결과로 평가 될 수 있다.

따라서 본 연구에서 개발된 센서를 이용하여 용접 대상물의 형상 정보를 정확하게 검출해 낼 수 있다면, 그 결과를 실제의 용접 공정에 직접 적용하여 우리가 원하는 균일한 품질의 우수한 용접 접합부를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 1996 학년도 영남대학교 학술연구조성비와 고등기술연구원의 연구비로 수행되었으며 관계자 여러분에게 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. H. Nomura et al. : "Automatic real-time bead height control with arc sensor in TIG welding," Trans. of Japan Welding Society, Vol.18. 1987.
2. 김수영, 이승영, 나석주 : "Flux-cored Arc 용접 용 아크센서의 개발 및 이를 이용한 용접선 추적에 관한 연구," 대한용접학회지, 제 10 권, 제 4 호, pp. 290-298, 1992.
3. H. Nomura : Sensors and Control Systems in Arc Welding, CHAPMAN & HALL, 1994.
4. 이화조, J. P. Boillot : "아크용접용 로봇을 위한 레이저비전 센서," 대한용접학회지, 제 14 권, 제 1 호, pp. 15-23, 1996.
5. G.E. Cook : Robotic arc welding "Research in sensory feedback control," IEE Trans. on Industrial Electronics, Vol30. 1993.
6. G.L. Oomen : "A real-time optical profile sensor for robot arc welding," in ROVISEC, Cambridge, MA, USA. 1983.
7. H. C. Yi : Sensordatenauswertung mit Fuzzy-Logik für das automatisierte Entgraten. Produktionstechnik-Berlin 128. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1993.
8. R.O. Duda ; P.E. Hart : Pattern Classification and scene Analysis. New-York, London, Sydney, Tronto : A Wiley-Interscience Publication, 1973.
9. H. Baessmann; P. W. Besslich : Konturorientierte Verfahren in der digitalen Bildverarbeitung. Berlin, etc : Springer-Verlag, 1989.