

후판의 자동 다층용접을 위한 아크센서 시스템 개발에 관한 연구

문현준* · 김종희* · 최주호* · 김형식*

A Study on Development of Arc Sensor System for Automatic Multi-pass Welding of Thick Plate

H. J. Mun*, J. H. Kim*, J. H. Choi* and H. S. Kim*

Key Words : Multi-pass Welding(다층용접), Arc Sensor(아크센서), Seam Tracking(용접선추적),
Memory Play Back(기억재생), Contact-Tip-to-Work Distance(팁-모재간 거리),
Welding Condition(용접조건)

Abstract

An automatic welding equipment for thick plates requires the capability of the seam tracking of the weld line which often includes misalignment of the workpiece and variation of groove width.

In this study, an automatic welding equipment and control algorithms based on the arc sensor were proposed for the GMA welding of thick plates which had misalignment and gap variation. The developed system being constituted with 5 axis can be automatically controlled by computer and also automatically set the welding conditions such as welding current, and voltage. The proposed algorithms for the seam tracking in multi-pass welding of the thick plates were constituted as follows : the detection of weaving-end point for finding the variation of groove width, the control of welding velocity for acquiring a constant thickness deposition of weld metal, and the calculation of groove width and height of an arbitrary pass in the multi-pass weld. As results of the application of the system, it was revealed that the system had a good capability in seam tracking and made an excellent weld quality in V groove butt joint.

1. 서론

일반적으로 용접선을 추적하여 용접 대상물을

자동용접하는 것은 주로 1패스(pass)로 용접할 수 있는 곳에 많이 적용되어 왔다. 그러나 중공업 분야에서는 대부분 여러 패스로 용접해야 하는 후판을 사용하고 있으며, 용접작업은 대개 수동용접이

*정회원, 현대중공업(주) 산업기술연구소

나 반자동용접에 의존하고 있어서 생산성향상과 열악한 작업환경을 개선하기 위하여 자동화의 요구가 증가되어 왔다.

용접자동화에 있어서 용접선추적 기술을 위한 센서 적용의 기술은 여러 곳에서 활발히 연구되어져 왔었다. 크게 접촉식과 비접촉식의 센서로 분류되는 방식에서 용접선이 직선인 용접물의 용접선추적에는 접촉식 센서(stylus sensor)가 널리 사용되어 왔으나, 용접선 오차에 대응하여 보다 유연하게 적용할 수 있는 제어기술의 요구에 따라 비접촉식의 아크센서(arc sensor)나 광원을 이용한 비전센서(vision sensor)가 많이 사용되고 있다.

특히 아크센서는 별도의 장치없이 용접시의 아크특성을 센서로서 이용할 수 있고, 다른 센서와는 달리 아크 위치(arc point)와 토치 제어점이 일치되어 시간 지연없이 용접선추적이 이루어진다는 점에서, 용접선이 곡선이거나 기울기가 있는 용접물에 더 적합하게 적용할 수 있다는 이점을 가지고 있다. 아크센서를 이용하여 용접선을 추적하는 방식에는 1패스(pass) 용접으로 박판이나 필렛용접에 주로 적용되는 고정위빙에 의한 추적방법과, 가공오차나 취부오차에 대하여 개선폭의 변화에 대응하여 용접선을 추적할 수 있는 가변 위빙폭 제어^{1,2)}를 들 수 있다.

후판을 자동으로 용접하기 위해서는 다층용접에 따른 용접물의 열변형과 절단 작업조건외의 표준화 및 자동화의 미비로 인한 용접물의 가공오차와 취부오차를 기본적으로 고려해야 한다. 후자의 두 요소에 대해 대응하고 자동으로 용접선을 추적하기 위해서는 단순한 기계장치로는 대응이 불가능하며 지능화된 자동 용접시스템을 구축해야 한다. 이러한 시스템을 구축하기 위해서는 장치의 제작 뿐만 아니라 실시간으로 얻어진 용접전류의 분석과 처리기술, 개선형상 변화에 따라 적응제어할 수 있는 용접선추적 기술, 다층용접에 따른 각종의 용접조건을 용접기에 자동으로 설정할 수 있는 용접조건 제어기술, 그리고 다층용접을 위한 알고리즘 개발 및 프로그램 구성 등 종합적인 기술개발이 요구된다.

결국, 다층용접은 1패스로 용접선을 추적하면서 용접이 이루어지는 것과는 달리 다층으로 적층하여야 하기 때문에 개발에 어려움이 있으며, 현재까지 구현된 방법으로는 아크센서를 이용하여 개선폭의 변화에 대응하는 적응위빙제어 방식³⁾과 고

정위빙 방식을 이용한 적층제어법⁴⁻⁵⁾, 그리고 로봇의 교시방법을 이용한 PTP(point to point) 제어법⁶⁻⁷⁾이 있으며, 후자의 PTP제어는 제한된 용접형상 조건에 적용할 수 밖에 없는 제약이 있으나, 아크센서를 이용한 방식보다 구현이 비교적 쉬워 상품화가 이루어져 있는 상태이며 현장에서도 많이 적용되고 있다. 그밖에 비전센서⁸⁾(vision sensor)를 이용하여 구현한 것도 있다.

본 연구에서는 실시간으로 용접전류를 처리하는 아크센서를 이용하여 개선폭의 변화와 용접선의 직선도 편차에도 대응하여 용접선을 추적하는 방법과, 자동으로 다층용접을 할 수 있는 알고리즘의 구축, 이 알고리즘의 적용에 따른 용접선추적 성능과 다층용접에 대한 결과를 제시하였으며, 실제 용접에 있어서도 양호한 용접품질을 얻을 수 있었다.

2. 자동 다층용접을 위한 알고리즘 (Algorithm)

2.1 토치 높이제어

팁-모재사이의 거리는 용접전류의 변화에 직접적인 영향을 주는 중요한 변수이며, 보호가스(shielding gas)에 의한 용융지(weld pool) 보호와 아크 위치(arc point)의 이동에도 영향을 끼친다.

만일 팁-모재사이의 거리가 적정하지 않을 경우에는, 스패터(spatter)의 과다 발생 및 보호가스의 용융부 보호의 불안정 등으로 인하여 용접결함 뿐만 아니라, 이로 인한 안정된 용접전류를 얻을 수도 없다. 따라서 아크센싱을 위하여 가장 안정된 용접조건에서 용접전류를 검출하는 것이 중요하며, 최적의 아크 안정성이 얻어지는 모재와 팁사이의 거리를 유지하고 설정된 용접전류를 출력하기 위하여 토치 높이제어가 필요하게 된다.

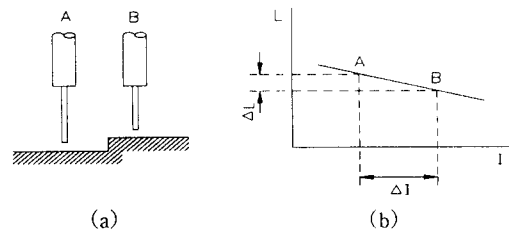


Fig. 1 Relation between contact tip-to-work distance and welding current

Fig. 1은 정전압 특성을 가지는 GMA 용접기에서 (a)의 팁-모재와의 거리변화가 있는 A, B지점에 대해 거리(L)에 따른 용접전류(I)의 변화를 (b)에서 나타내고 있으며, 이 그림에서와 같이 토치 높이 변화 L에 대한 용접전류의 변화 I는 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta I = -(K \times \Delta L) \quad (1)$$

여기서, K : 거리변화에 대한 용접전류 변환상수 [A/mm]

따라서 검출전류 I에 따른 토치 높이제어량 ΔH [mm]를 식(2)와 같이 제어함으로써 일정한 용접전류를 출력할 수 있다.

$$\Delta H = -(I_c - I) / K \quad (2)$$

여기서, I_c : 지령전류[A]
I : 검출전류[A]

2.2 위빙(weaving) 끝점 검출

용접물의 가공정밀도와 취부조건이 최적으로 되어 있어서 용접선의 방향이 직선이고 개선의 갭(gap)의 변화가 거의 없는 경우에는, 일정한 용접속도와 고정된 위빙폭의 위빙(weaving)으로 용접할 수 있다. 그러나 실제 현장조건에서는 용접물의 가공과 취부에 따른 오차가 있고, 이러한 오차에 의해서 발생하는 용접선의 직선오차와 개선폭의 변화에 대응하여 용접할 수 있는 기능이 요구된다. 이에 대한 방법으로는 단순한 알고리즘이나 기계장치로는 대응이 곤란하고 요구조건에 충족할 수 있는 시스템의 제작과 적합한 알고리즘이 사용되어야 한다.

그러므로 용접부에서 용접물의 갭의 변화나 용접선의 기울기에 대하여 용접선을 추적하기 위하여 위빙끝점 검출 알고리즘이 사용되며, 이것은 위빙시의 위빙끝단 개선면에서 얻어진 용접전류를 기준 용접전류와 비교하여 토치의 위빙끝점 이동량을 결정하는 것이다. 이렇게 계산되어진 용접선 추적 보정량은 다음 위빙주기(weaving cycle)에서 토치의 위빙지령 정보에 적용되고, 주어진 초층(root pass)의 용접부에서 검출과 보정을 반복함으로써

용접선을 추적해 나가는 것이다.

Fig. 2는 용접선추적에 사용된 위빙끝단 검출의 기본원리를 보여주고 있다.

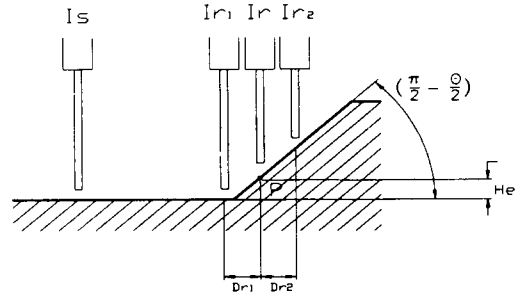


Fig. 2. Principle of weaving end point detection by arc sensor

개선면의 끝단에서 아크센서에 의하여 위빙의 끝점을 검출할 수 있도록 하기 위한 높이 He를 설정하면, 기준높이에서의 용접전류 Ie는 식(3)과 같이 설정된다.

$$I_e = I_s + (K \times H_e) \quad (3)$$

I_s : 개선중간에서의 평균 용접전류[A]
K : 거리변화에 대한 용접전류 변환상수[A/mm]
 H_e : 설정 높이값[mm]

위의 그림에서 위빙시 개선면의 끝단에서 검출한 검출전류 I_{r1} 은 표준 검출전류 I_r 을 기준으로 볼때 작은 수치값을 나타낸다. 이것은 토치가 표준 검출전류 I_r 의 위치보다 좌측에 위치해 있어서 위빙폭을 오른쪽으로 Dr_1 만큼 보상해 주어야 함을 의미하며, 같은 의미로 용접전류 I_{r2} 는 이와는 달리 반대의 경우를 나타내고 있다. 또한 P지점에서 검출전류 I_r 은 기준 용접전류 I_e 와 같다는 것을 나타낸다.

따라서 개선면에서 검출한 전류를 I_r 이라 하면, 토치의 위빙 보정량 Dr [mm]은 식(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$Dr = ((I_e - I_r) / K) \times \tan(\theta/2) \quad (4)$$

여기서, I_e : 기준전류[A]
 I_r : 위빙끝단에서의 검출전류[A]
 θ : 개선각[rad]

결국, 제안된 식(4)를 이용하면 위빙폭의 변화에 대응하여, 개선면에서 검출한 전류와 기준 용접전류 값의 차이에 따라, 이를 비례적으로 보정해 줄 수 있음을 나타내고 있다.

2.3 갭(gap) 변화에 따른 용접속도 제어

주행장치(carriage)의 속도는 용접부 개선내에서 용착되는 용착금속량의 두께에 중요한 변수로 작용한다. 용접부 양단의 개선폭의 변화가 있는 곳에 일정한 용접속도로 용접했을 때, 속도 범위가 맞지 않는 곳에서는 개선폭의 과대 과소에 따른 용접결함을 가져오게 된다.

그러므로 개선폭에 대해 최적의 용입과 용접을 위해, 적합한 용접속도를 설정해야 하고 용접진행시에 개선폭의 변화에 따른 용접속도를 제어해야 한다. 또한 다층용접을 위하여 용접부 각 부분에서 용접물의 갭이 변화하더라도 초층부터 두께를 일정한 높이로 적층하기 위한 용착량 일정제어는 필수적이며, 이 요구를 만족시킬 수 있는 여러가지 용접변수 중에서 주행장치의 속도를 변화시켜 용착량을 제어하였다.

Fig. 3은 초기 설정된 갭(gap) G_1 과 용접진행시의 변화된 갭 G_2 를 나타내고 있다.

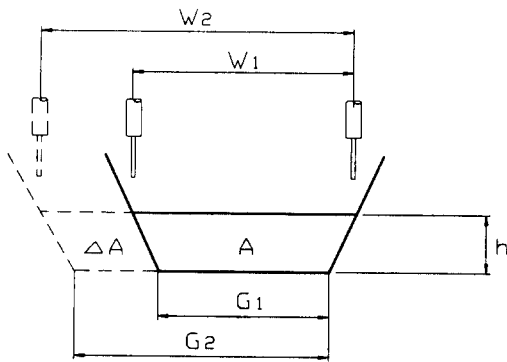


Fig. 3 Principle of velocity selection for constant deposition height

용착두께가 일정하게 용접되는 초기의 갭 G_1 에서 개선단면에서의 면적을 A_1 , 용접속도를 V_{c1} , 단위시간당의 용착량을 Q_1 이라 하고, 용접진행시 임의의 순간에 폭이 변화된 갭 G_2 에서 개선단면의 면적을 A_2 , 용접속도를 V_{c2} 라 하고, 단위시간당의

용착량을 Q_2 라 하면, 용착두께 h 를 일정하게 하기 위한 조건으로 단위시간당의 용착량 Q_1 과 Q_2 가 같아야 하므로 다음과 같은 등식을 얻을 수 있다.

$$A_1 \cdot V_{c1} = A_2 \cdot V_{c2} \quad (5)$$

여기서, 갭 변화에 따른 일정한 용착두께를 얻기 위하여 제어하는 가변속도 V_{c2} 는 다음과 같이 식(6)으로 나타낼 수 있으며, 용접물의 개선각도는 θ 이다.

$$V_{c2} = \frac{A_1}{A_2} \times V_{c1} = \frac{(G_1 + h \cdot \tan(\theta/2))}{(G_2 + h \cdot \tan(\theta/2))} \times V_{c1} \quad (6)$$

한편, 기하학적 조건에서 $G_i = W_i - 2h \cdot \tan(\theta/2)$ ($i=1,2$)와 같으므로 식(7)로 재정리 할 수 있다.

$$V_{c2} = \frac{(W_1 - h \cdot \tan(\theta/2))}{(W_2 - h \cdot \tan(\theta/2))} \times V_{c1}$$

2.4 다층의 위빙폭과 용착량 두께 결정

초층의 용접선추적에 대한 가변 속도정보와 위빙끝점의 위치정보는 컴퓨터 메모리에 순차적으로 저장되고, 이것은 다층용접시 기억재생(memory play back) 기능을 통해 다층용접의 기본정보로서 활용되며, 다층의 적층 알고리즘과 결합되어 다층용접에 이용되게 된다.

다층으로의 용접은 초층의 정보를 근거로 계산된 데이터를 이용하여 정해진 순서에 따라 연속적으로 이루어지나, 개선 양단의 갭이 변화하더라도 일정한 두께의 용착량을 적층해야 하고, 다층용접시에 아크의 안정성과 정확한 용접전류가 출력될 수 있도록 팁-모재간의 거리를 일정하게 유지하기 위한 토치높이가 제어되어야 한다.

그러므로 이러한 요구를 만족시키기 위해서는 임의의 n 번째 층 높이까지 용접된 용착량 높이와 위빙폭에 대한 정보를 알 수 있는 알고리즘이 필요하다.

Fig. 4에서 초층에서부터 임의의 n 층까지 용착된 개선(groove)의 형태를 보여주고 있다.

n 번째까지 전체 높이를 H_n 이라 하면, 식(8)과 같이 각 층의 높이 합으로 나타낼 수 있다.

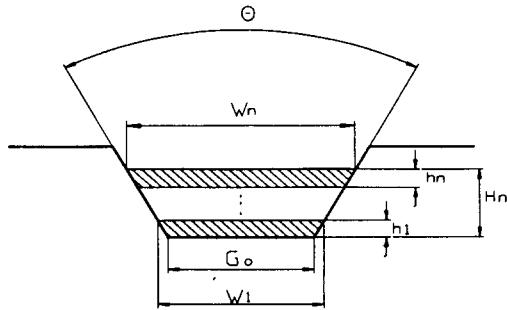


Fig. 4 Determination of W_n and H_n for n^{th} pass

$$H_n = h_1 + h_2 + \dots + h_{n-1} + h_n = \sum_{k=1}^n h_k \quad (8)$$

1번째 층의 비드폭을 수식으로 표현하면, 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$W_1 = G_o + 2h_1 \cdot \tan(\theta/2) \quad (9)$$

그러므로 n 층의 비드폭은 식(10)과 같이 표현할 수 있다.

$$W_n = G_o + 2 \sum_{k=1}^n h_k \cdot \tan(\theta/2) \quad (10)$$

$$= G_o + 2 H_n \cdot \tan(\theta/2)$$

n 층의 높이에서 h_n 을 구하기 위하여 단위시간에 모재에 용착되는 양은 단위시간에 와이어 송급장치에서 송급되는 양과 같다는 관계에서 용착면적 A , 초기용접속도 V_{zo} , 용착효율 K_w , 와이어면적 A_w , 와이어 송급속도 V_f 라 하면, 식(11)과 같이 표현된다.

$$A \cdot V_{zo} = K_w \cdot A_w \cdot V_f \quad (11)$$

여기서, K_w 는 실험을 통하여 얻은 용착효율이다. 식(11)로 부터 n 번째층의 면적 A 의 값을 $n-1$ 층의 폭 W_{n-1} 과 h_n 으로 치환하고 h_n 에 대해 풀면, 다음과 같이 식(12)로 나타낼 수 있다.

$$h_n = \frac{-W_{n-1} + \sqrt{(W_{n-1})^2 + 4(\tan(\theta/2))(K_w \cdot A_w \cdot V_f/V_{zo})}}{2 \tan(\theta/2)} \quad (12)$$

3. 자동 다층용접 시스템의 구성

3.1 장치 구성

자동 다층용접 장치는 Photo 1에 나타난 바와 같이 크게 용접주행장치, 제어장치, 용접장비 및 원격제어 박스로 구성된다.

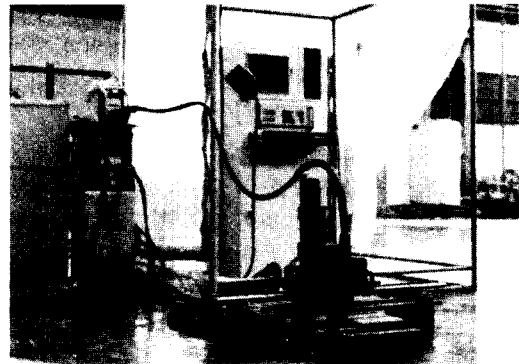


Photo. 1 Automatic multi-pass welding system

용접주행장치는 용접토치의 위치를 제어하기 위하여 X-Y 테이블과 토치 홀드부, 주행장치 및 레일(rail)로 이루어져 있고, 전체 5축을 제어할 수 있는 구조로 제작하였다. 토치 홀드부는 용접물의 형상에 따라 용접토치의 작업각도(working angle)와 진행각도(travel angle)를 조절할 수 있도록 하였으며, 이 장치의 좌우(X)측은 용접토치의 좌우 위치조정 기능과 함께 용접토치의 위빙기능도 수행한다.

제어장치는 Fig. 5에 보인 바와 같이 중앙제어장치인 컴퓨터를 중심으로 ADC(analog to digital converter)보드, DAC(digital to analog converter)보드, Motion controller보드로 구성되어 있고, 아크센서를 위한 용접전류의 검출을 위하여 증폭회로와 지역통과 필터회로, 보호회로를 포함하는 보드를 제작하여 외부의 신호를 처리하도록 하였다. 용접전압과 전류를 제어하는 용접조건제어를 위하여 DAC 보드의 채널(channel)을 사용하였으며, 주 제어기에서 용접기를 제어할 때 강전인 용접기측의 전원 노이즈(noise)가 주 제어기로 혼입하는 것을 막기 위하여 절연 트랜스포머(isolated transformer)를 사용하여, 주 제어기의 지령전원을 용접기측 전원과

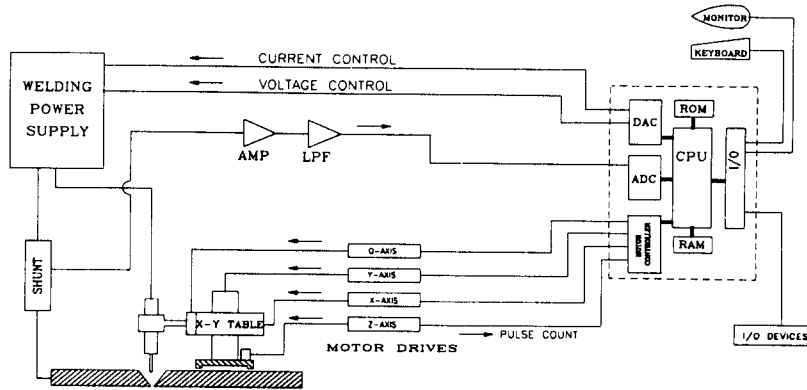


Fig. 5 Schematic diagram of developed control system

완전 분리하여 용접기가 제어될 수 있도록 하였다.

용접전원으로는 인버터제어 방식(inverter control type)의 정격 2차전류 500A, 정격사용률 100%인 용접기를 사용하였다.

3.2 제어 Software

장치의 프로그램 구성은 C언어를 사용하여 변수선언부와 알고리즘, 인터페이스 보드의 초기화, 초기작동 및 작동이상 검출, 시스템의 오동작을 방지하기 위한 인터럽터 처리, 초기점 검출, 수동조

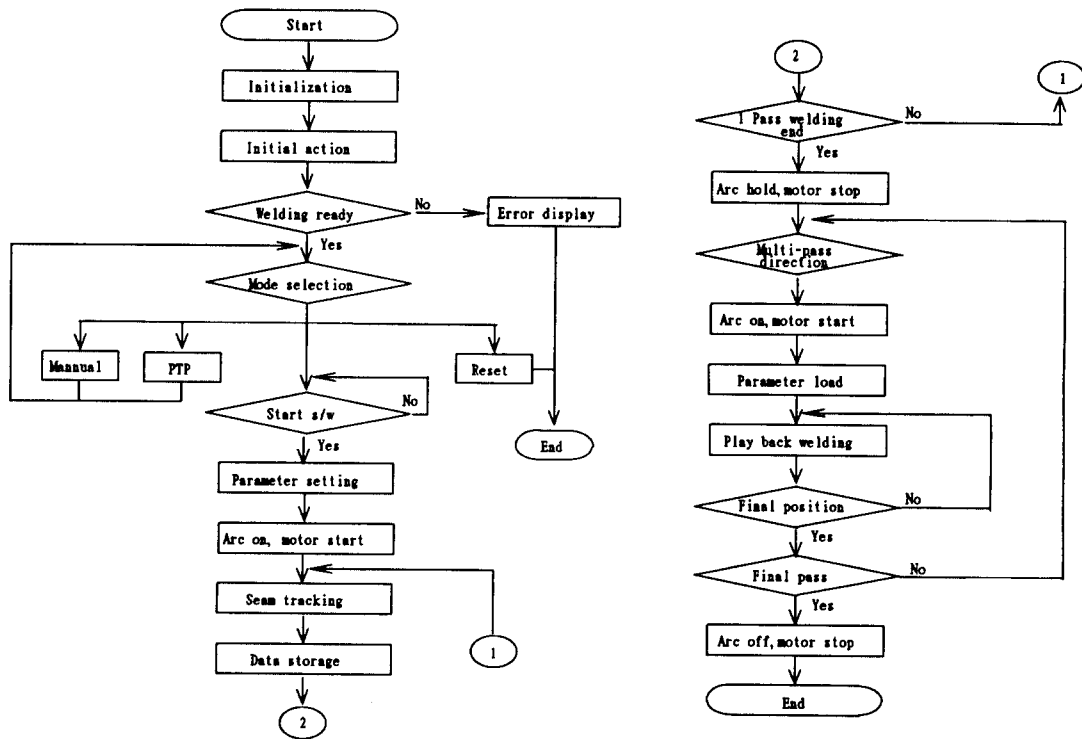


Fig. 6 Flow chart for multi-pass welding

작 루틴, 자동 용접선추적, 다층용접의 기억재생부 등으로 각 기능별 모듈화하여 구성하였다.

Fig. 6은 작동법에 대한 순서도를 나타내고 있다. 프로그램을 작동방법으로 구별하면 크게 3부분인 작동모드 선택, 용접선추적, 다층용접부로 나눌 수 있으며, 장치의 작동모드 선택에서는 시스템의 초기화와 운전준비를 위한 장치의 체크 및 토치가 용접할 수 있는 위치에 고정하는 수동조작이 주로 처리된다. 용접선추적 부분에서는 초기의 토치 높이 제어 및 위빙끝점 검출에 의한 용접선추적과 용접속도 제어에 대한 사항이 다루어지며, 다층용접 부분에서는 초층의 저장된 정보를 기억재생하여 다층용접을 위한 토치 높이제어와 다층으로 적층하기 위한 사항으로 되어 있다.

4. 용접선추적 및 다층용접 실험

4.1 용접시편과 용접조건

용접 시험편은 생산현장에서 많이 사용하는 용접물로 Fig. 7과 같이 두께 17 mm 판재와 개선각도 30°, 길이 500 mm, 폭 300 mm로 가공 제작하였다.

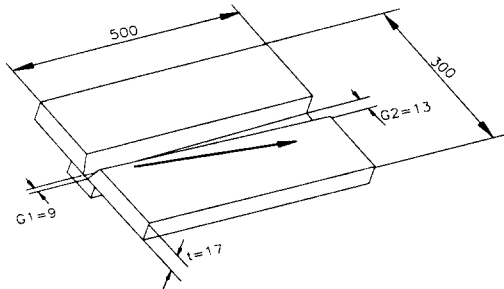


Fig. 7 Dimension of specimen

시험편의 갭 조건은 양단의 갭을 각각 9, 13 mm로 하고, 시편의 끝 13 mm 지점에서 용접선과 대차주행선의 편차를 25 mm가 되게 설치하여(약 2.8° 기울기) 용접선추적 성능과 개선폭의 변화에 대한 제어성능 등 다층용접의 종합적 성능평가 실험이 될 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 용접조건은 Table 1과 같으며, 사용된 용접 와이어는 $\phi 1.2$ 이었고, 개스는 Ar 80% - CO₂ 20%의 혼합가스를 사용하였다.

Table 1. Welding condition used for multi-pass welding

Welding Condition	Pass	Current(A)	Voltage(V)	Welding Velocity(cm/min)
	1	280	33	20
2	280	34	37	
3	280	34	31	
4	280	34	31	
Torch Angle	90°			
Weaving Speed	112.4 cm/min			

4.2 실험결과 및 검토

4.2.1 초층용접을 위한 토치 높이제어 실험

전체 용접공정에서 초층의 용접은 팁-모재사이의 적절한 거리를 유지하기 위하여 최초 3회의 고정위빙 구간에서 토치 높이제어가 이루어지고, 이어서 개선폭의 변화에 대응하기 위한 위빙끝점 검출에 의한 가변위빙의 용접선 추적이 실시된다.

용접물이 평판이고 용접주행장치가 용접물 위를 따라서 용접을 진행하기 때문에 최초로 설치된 토치높이에서 팁-모재사이의 거리에 따른 용접전류를 출력하게 된다. 그러므로 초층에서 지시된 용접전류를 출력하고 적절한 팁-모재사이의 거리를 유지하여 안정된 용접전류를 얻기 위해서 토치 높이제어가 사용된다.

토치 높이제어는 2가지 제어변수를 가지며, 그중 한 가지는 초당 지령되는 제어횟수이고, 또 하나는 토치 높이제어 비례상수 K_i 이다(여기서 $K_i = K * K_h$ 이며, K_h 는 토치 높이제어를 위한 데이터 지령 변환상수이다). 이 변수들은 개별적으로 결정되는 것이 아니라 서로 상관관계를 가지기 때문에 먼저 기본적인 변수값 하나를 설정하고 나머지 변수를 적절히 변화시켜 최적의 변수를 얻었다.

실험을 통하여 적절한 초당 제어횟수는 45회로 먼저 설정하고, 다른 변수인 토치 높이제어 비례상수 K_i 를 변화시켜 어느 값에서 토치가 안정적으로 반응하여 지시된 용접전류를 출력하는가를 검토하였다. 기초실험으로부터 거리변화에 대한 용접전류 변환상수 K 는 팁-모재의 거리 1 mm 변화에 용접전류 3.2A가 변하는 것을 알 수 있었으며, 토치 높이제어 비례상수가 $K_i = 1/20$ 일 때 안정적으로 반응하는 것으로 나타났다. 이렇게 설정된 제어횟수와 K_i 값에 대한 고정위빙 구간에서의 초기 토치

높이제어 반응도를 Fig. 8에 나타내었다.

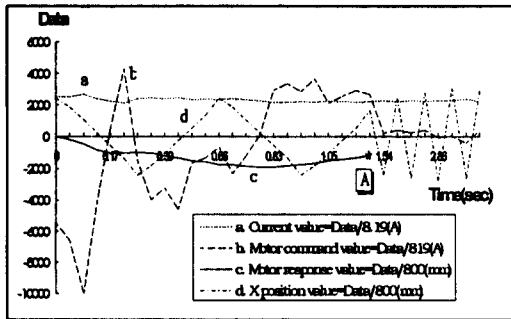


Fig. 8 Response of initial torch height control for root pass

그림은 최초 초층에 설정된 용접전류를 출력하기 위하여 위빙의 검출 전류값[Current value]에 따른 토치 높이축에 대한 높이제어 지령치[Motor command value]와 제어된 토치의 높이 반응[Motor response value]과 위빙폭 값[X position value]을 나타내고 있다.

그림에서 토치 높이방향을 하향이 (+)라 했을 경우 토치 높이는 데이터의 음의 방향으로 이동하였는데, 이것은 최초 용접이 개시될때 팁-모재와의 거리가 너무 가까워 설정된 전류보다 높은 전류가 출력되고 있어서, 지시된 용접전류를 출력하기 위하여 토치가 위쪽 (-)방향으로 이동하여 적정한 팁-모재의 거리가 유지된 것을 의미한다.

A점은 초기 고정위빙 구간내에서 토치 높이제어가 실행된후에 초층용접을 위해 토치 높이가 고정되고, 이후부터는 실시간으로 용접전류를 검출하여 개선폭의 위빙끝단을 검출하면서 용접선추적을 하는 것을 나타내고 있다.

4.2.2 용접선추적 및 다층용접 실험

실시간으로 용접전류를 검출하여 갭의 변화나 용접선의 변화에 대응해서 용접선을 추적하기 위해서는 여러가지 변수 중에서 기준이되는 제어변수의 설정이 중요하다. 적합한 주 제어변수를 찾는 데 여러가지 제어방법이 시도되었으며, 그 결과로 위빙시 개선면에서 검출하는 전류와 미리 설정한 기준전류와의 차이를 주 제어변수로 사용하여 위빙끝점을 결정하면서 용접선을 추적하는 방법을 사용하게 되었다.

초층에서는 이러한 실시간 제어에 의한 위빙끝점 결정에 대한 반응과, 위빙폭의 변화에 따른 일정한 두께의 용착량을 얻기 위하여 용접속도가 변 제어에 대한 반응을 실험하였으며, 다층용접에서는 초층의 기억재생된 용접선추적 정보에 2패스 이상의 다층 적층을 위한 n층의 높이와 위빙폭에 대한 알고리즘을 결합하여 다층용접의 기능과 용접성을 평가하는 실험을 하였다. 실험에 사용된 기준높이 He의 값은 4 mm이고, 위빙끝단 정보의 이동 평균화 처리를 위한 적용된 가중치는 0.7이며, 실험을 통하여 얻은 용착효율 Kw=0.95이었다.

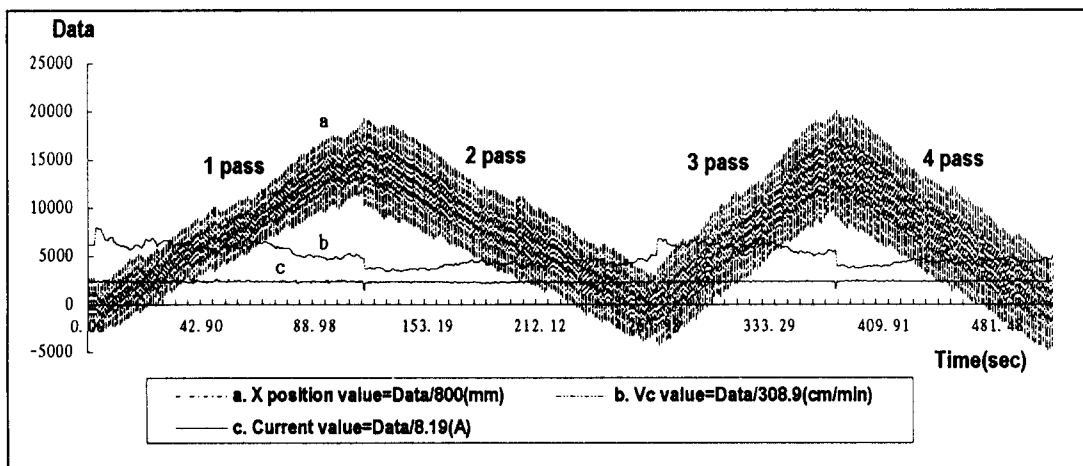


Fig. 9 Representation of multi-pass welding data

Fig. 9에는 용접시작에서 용접이 완료되기까지 용접선추적과 다층용접에 대한 정보들로서 진행시간에 대해 위빙폭, 용접속도, 용접전류, 용접선의 기울기 등에 대한 데이터들을 나타내고 있다.

전체 용접은 시편 두께 17mm와 개섩각 30°의 V개섩에 대하여 1 Layer 1 Pass 용접방식으로 4패스로 이루어졌다. 그림에서와 같이 초층은 용접물의 기울기와 같이 용접선추적이 이루어지고, 갱의 변화에 따라 위빙폭[X position value]의 증감 제어와, 용착량 일정제어를 위하여 위빙폭의 변화에 대해 용접속도[Vc value]가 제어되는 것을 나타내고 있다.

2패스 이상의 다층용접에서는 다층의 위빙폭이 초층의 위빙폭 데이터에 비례하여 얼마간 증가된 값을 나타내고 있으며, 다층용접의 토치 높이제어 알고리즘 적용으로 토치 높이가 제어되어 다층에서도 안정되고 지시된 용접전류[Current value]가 출력되고 있으며, 각 층의 전환점에서 용접전류 값[Current value]이 크레이터(crater) 처리를 위해 사용되는 전류와 같은 저전류 처리로 인하여 다른 데이터 보다는 낮은 값의 절곡점의 형태를 나타내고 있음을 알 수 있다.

한편, 실제 용접물의 개섩면은 직선상으로 가공되어 있지만 실시간 제어에 의해 얻어진 개섩의 위빙끝단 정보는 약간의 불규칙한 값을 나타내고 있다. 이것은 용융풀의 영향과 기타 용접현상의 영향으로 인하여 얼마간의 오차를 수반하고 있으며, 이 오차는 미소하여 용접품질에는 무시할 수 있는 것으로 판정되었다. 그러나 다층용접의 주요변수인 위빙끝단 검출을 보다 정밀하게 하기 위해서는 개섩면에서 기준 용접전류 데이터를 만드는 기준높이 값을 변경하거나, 위빙끝단 정보에 가중치를 여러가지로 변경하여 가중 이동평균화 처리를 하든지, 또는 용접조건을 적절히 변화시켜 다양한 용접실험을 실시한다면 보다 정밀한 추적성능을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

4.2.3 용접실험 결과

Photo 2는 본 연구에서 제안한 알고리즘을 다층용접에 적용한 결과로서 용접물 양단의 갱의 변화에 대하여 용착량의 폭이 대응하여 이루어졌고, 또한 일정한 용착두께가 유지된 결과, 비드(bead)의 고른 퍼짐과 용접형상이 얻어졌음을 보여주고 있

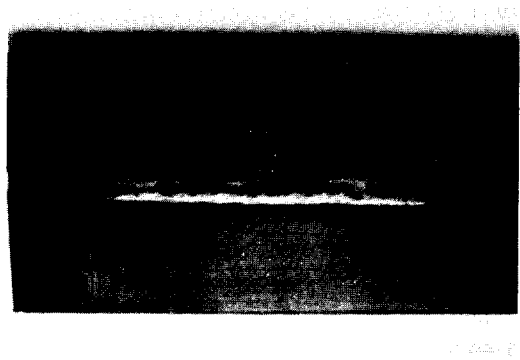


Photo. 2 Bead appearance of multi-pass welding

다.

5. 결 론

후판을 자동으로 용접할 수 있는 자동 다층용접 시스템의 개발을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 가공과 취부오차에 따른 개섩폭의 변화와 용접선의 직선도 오차에 대응하여 용접할 수 있는 용접선추적 알고리즘과 용접속도제어 알고리즘을 개발하여, 좋은 용접선추적 성능과 용착량 일정제어를 구현할 수 있었다.
- 2) 다층용접에서 임의의 층에 대한 높이 정보를 얻을 수 있는 알고리즘을 개발하여 다층의 적층을 위한 토치 높이제어를 실시로 팁-모재간의 거리가 적절하게 유지되어 안정된 용접전류가 출력되었다.
- 3) 다층용접을 위한 용접조건제어는 각 층에 대한 용접조건이 주 제어기에서 용접기에 자동으로 설정되도록 하였으며, 주 제어기에서 직접 용접기 2차출력을 제어할 수 있었다.
- 4) 다층용접을 위하여 다층의 임의의 층에 대한 개섩폭 알고리즘과 기억재생 기능에 의한 초층의 용접선추적 정보를 결합하여 다층용접에 적용한 결과, 다층의 적층제어가 잘 이루어져서 양호한 용접품질을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

1. T.Araya : Sensing Technology for in Process Control[1], Journal of the Japan Welding Society,

- Vol.60, No.2, (1991), pp. 41-46.
2. H.Fujimura, E.Ide, and H.Inore : Development of Intelligent Automatic Welding Machine, Mitsubishi Heavy Industry Technical Report, vol.22, No.4, (1985-7), pp. 60-64.
 3. H.Nomura, Y.Sugitani, and N.Tamaoki : Automatic Real-time Bead Height Control with Arc Sensor(Report 2), Quarterly Journal of the Japan Welding Society, Vol.4, No.3, (1988), pp. 24-30.
 4. T.Uno, S.Matsuura, T.Wada, D.Nagata, H.Futayaba, Y.Nakatsuchi, and N.Shimomura : Development of Thick Plate Welding Facilities for Arc-Welding Robot(-Multi-Layer Welding Facility and RTPM System-), Mitsubishi Heavy Industry Technical Report, Vol.111, No.10, (1991), pp. 63-69.
 5. K.Miyawaki : Control Facilities of Multi-Layer Welding Robot and Adaptive Control to Root-Gap by Using This Robot, Hitach Zosen Technical Review, vol.47, No.34, (1986), pp. 51-56.
 6. 魚田 滉一, 中村 雅俊 : 可搬式 多層 로봇とによる 厚板構造物の 溶接自動化, 溶接技術, No.12, (1990), pp. 110-113.
 7. T.Yada, U.Nakamura, S.Tomidokoro, M.Fukuzawa, and J.Asai : Development of a Multipass Arc Welding Robot for Joining Heavy Plate, Welding Journal, February, (1985), pp. 51-56.
 8. K.Fujita, T.Ishide, and M.Fujiwafa : Adaptive Control of Welding Condition using Visual Sensing, Welding Technique, No.2, (1992), pp. 89-93.