

研究論文

## 용접로봇을 위한 아크센서 및 인터페이스 시스템 개발에 관한 연구

배강열\* · 이지형\*\* · 정창욱\*\*

### A study on the development of an arc sensor and its interface system for a welding robot

K. Y. Bae\*, J. H. Lee\*\* and C. W. Jung\*\*

**Key Words** : Robot Control (로봇 제어), Weld Seam Tracking (용접선 추적), Arc Sensor (아크 센서), Fuzzy Inference (퍼지 추론), System Interface (시스템 접속), FCAW (플렉스 코어드 아크 용접), Serial Communication (직렬 통신)

#### Abstract

An interface system was developed to offer the welding capability to a robot controller which had not any embedded function for arc welding before, and also an arc sensor algorithm was proposed for weld seam tracking of the welding robot.

For the interface system between the robot controller and welding equipments, data communication software and interface connections were composed. The interface system was made to correspond welding condition, correction data, operation sequence and current status with the robot controller by mutual handshaking and digital signal transfer. Graphic user interface program developed under the environment of windows made it easy to monitor data communication and operation status, and to control welding and sensing sequence.

Arc sensing algorithm proposed in this study to compensate torch position error was based on a fuzzy logic with the variables of current difference and current difference change at torch weaving extremities.

The developed interface system could be successfully implemented in between welding equipments and the robot controller, and showed normal status and exact function in data and

※ 1998년 3월 3일 접수

\* 정회원, 진주산업대학교 산업자동화공학과

\*\* 비회원, 현대중공업(주) 산업기술연구소

signal communications between the systems.

The whole robot welding system was then examined to verify its welding and seam tracking capabilities in horizontal fillet, vertical fillet, and 3-dimensional fillet weldment. The experiments revealed sound weld bead shapes and also good seam tracking results.

## 1. 서 론

용접 공정의 열악한 환경을 개선하고 숙련자의 부족에 대처하기 위해서는 용접 자동화가 요구되고 있으나, 용접부재의 경우는 절단 가공 단계에서의 오차, 가조립시의 조립 오차, 용접시의 열변형으로 인한 오차 등으로 인해 자동화나 로봇의 적용이 용이하지 않게 된다. 따라서 용접공정의 자동화를 추구하기 위해서는 부재의 위치에 따라 용접 위치를 자동으로 보정해 나갈 수 있는 센서의 활용이 필수불가결한 사항이 되고 있다<sup>1)</sup>. 용접용 로봇 등의 자동화 장비에 센서기능을 탑재하여 부재의 용접선을 자동 추적하고자 하는 연구가 지속적으로 이루어지고 있고 선진국에서는 성공적으로 적용 단계에 이르고 있는 경우도 보고되고 있다<sup>2)</sup>.

용접 가공경로 오차를 검지하는 센서의 종류는 다수 있으나, 로봇용접의 경우에는, 측정하고자 하는 특성에 따라, 터치 센서, 아크센서, 시각센서 등의 3가지 종류의 센서가 주로 적용이 되고 있다. 터치센서는 용접회로에 병렬로 별도의 전압을 인가하여, 토치와 모재 사이에 폐회로(전류가 흐름)가 구성되는지의 여부를 판별하고, 일정이상의 전류가 통전되면 터치신호를 발생하는 센서로서, 로봇 말단부(End Effector)의 위치와 모재의 상대거리를 측정할 수 있어 부재의 초기 위치 감지에 이용되고 있다. 조선용 로봇의 경우 대강의 부재 인식은 터치센서를 이용하고, 용접선의 정확한 인식과 추적은 아크센서를 활용한다. 아크센서는 와이어의 돌출길이 변화에 따른 전류변화를 계속하여 토치와 모재사이의 거리를 환산하는 기본원리를 응용한 센서이다. 토치를 위방하게 되면, 토치 위치와 용접부 중앙과의 위치오차를 계산할 수 있고, 토치의 위치를 용접부 중앙으로 이동하게 함으로써 위치 오차를 보정할 수 있게 된다. 용접선 추적용의 시각센서는 대개 보조광원인 레이저 띠

(stripe)와 CCD카메라로 구성되어 있다. 레이저 띠를 모재에 투사하고, 이를 카메라로써 촬영하게 되면, 레이저 띠가 레이저 평면과 모재 상에 동시에 존재한다는 조건, 센서의 기하학적 조건 등을 이용하여, 레이저 띠를 반사하는 모재부분의 3차원 위치를 계산할 수 있다. 이를 처리하여 구동부에 추적 오차보정을 지령하면, 교시된 용접선을 보정, 실제 용접선을 추적할 수 있다. 시각센서는 대개 토치의 전면에 부착되어, 측정 위치와 용접 위치는 다소의 차이가 있게 된다. 현재 일부 상용화된 시각센서는 고가이고 센서가 토치에 부착되어 작업성에 지장이 초래되며 내구성과 신뢰성이 확보되지 않은 상태로 판단되나, 시각센서의 연구 추세나 필요성 그리고 응용처로 미루어 조만간에 기능과 성능이 매우 우수한 제품이 개발될 것으로 판단된다.

선진 외국의 용접 자동화 장비, 특히 로봇시스템의 경우, 주로 아크센서 기능을 용접선 추적용 센서로 내장하고 있다. 이는 용접선 추적용 센서로서 비 접촉식이고 아크, 스파터, 열 등에 둔감하여 높은 신뢰성을 갖고 있으며 특별한 하드웨어의 추가없이 실시간으로 위치를 보정하고 조작이 단순한 특징을 갖고 있어, 여전히 효과적으로 이용되고 있는 것으로 판단된다. 국내에서도 아크센서에 관한 연구가 지속적으로 수행되고 있으며, 각종 효율적 신호처리 알고리즘에 관한 적용 결과를 보고하고 있다<sup>3-6)</sup>. 아크센서는 용접공정, 적용 부재의 형상, 용접 조건 등에 따라 알고리즘이 수정되고 개선될 수 있어 지속적인 향상 연구가 이루어지고 있고, 다양한 알고리즘을 동시에 내장하고 있는 경우도 있다. 경우에 따라 센서의 각종 파라미터는 사용자가 재 설정해야 할 필요가 있다. 특히, 선진국에서 도입된 용접로봇에서, 공개되지 않은 로봇 용접용 아크센서를 독자적으로 구현하여 사용자의 환경에 적합하고 다양한 알고리즘을 유연하게 적용하고자, 로봇제어기에서 제공하고 있는 아크센서용 매개변수를 활용하여, 자체 개발

한 아크센서를 인터페이스한 결과가 보고된 바 있다<sup>7)</sup>. 로봇제어기 내부에서 규정하고 있는 데이터 사양 및 규칙이 파악되기 어려운 경우에는, 또한 로봇이 요구하는 보정방식과 계측된 추적오차와의 관계식을 정확하게 규명하지 못하는 경우에는, 사용자의 측면에서 아크센서시스템과 상용 로봇제어기의 인터페이스를 구축하는 것은 매우 어렵다.

본 연구는 오프라인 프로그램으로 수행되는 명령에 의해 선박의 판넬 블럭을 자동용접할 수 있는 조선 용접용 로봇시스템을 개발하고자 하는 일환으로, 로봇제어기와 용접주변장치와의 인터페이스 시스템 및 아크센서를 개발하고자 하였다. 본 연구에서는 로봇시스템에 용접기능, 용접선 자동 추적 기능을 구현하기 위하여, 아크센서 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어를 구성하였고, 이를 용접기 및 터치센서와 인터페이스하는 하드웨어, 또한 로봇 제어기와와의 실시간 신호전달이 가능한 통신 알고리즘 및 하드웨어 인터페이스 시스템을 설계, 개발하고자 하였다. 이들의 통합 기능시험을 통하여, 개발된 시스템의 적용 가능성을 평가하고자 하였다.

## 2. 아크센서의 개발

### 2.1 하드웨어 설계

아크센서의 기본 원리는 용접부재와 토치 콘택팁 간의 거리 차를 실시간으로 파악하고 이를 활용하는 것이다. FCA(Flux Cored Arc) 용접의 경우, 부재의 개선각도 등으로 인한 부재의 형상변화에 따라, 부재와 토치의 상대거리가 변화되면, 아크의 길이가 변화되고 이로써 용접전류가 변화된다. 결국, 용접전류를 계측함으로써 용접부재와 토치 콘택팁 간의 거리를 산출할 수 있다. 용접 중의 전류를 계측하기 위해 용접 토치 케이블에 셉트( $10^5 \Omega$ )를 두어 셉트 양단의 전압( $0 \sim 50mV$ )을 계측하고 증폭(100배)할 수 있는 하드웨어를 제작하였고, 신호에서의 전류 노이즈, 아크 불안정에 따른 고주파 성분을 제거하기 위해 절단 주파수의 가변이 가능한 저주파 통과 필터를 제작하였다. 본 연구의 제반 실험에서는 절단 주파수를 12Hz로 설정하였고, 계측된 전류값을 디지털 변환하기 위해 12bit 분해능의 상용 A/D 변환보드를 사용하였다.

### 2.2 알고리즘 설계

대부분의 아크센서의 경우 위빙 도중의 전류신호를 계측하며 또 이를 신호처리하여 용접선을 추적하는 사례<sup>2-4)</sup>이나, 본 연구에서는 필릿 용접부의 용접시 위빙 후 부재의 양단에서의 토치 dwell 기간에서 전류 신호를 계측하여 아크센서 알고리즘의 기반 정보로 활용하였다. 이와 같은 방법은 Hitachi 로봇시스템에서도 적용 사례를 찾을 수 있다<sup>8)</sup>. 이를 위해 용접 토치의 위빙은 좌우 dwell을 갖는 형태로 하고, dwell 시간에서 센싱 알고리즘을 처리하고, 위빙시간에 통신 주고받기를 수행하여 용접선 추적 위치를 보정하는 형태를 설정하였다.

위빙과 동시에 용접이 수행되는 필릿용접부의 용접선 추적용 아크센서에서의 알고리즘을 구성하기 위해, 먼저 토치의 dwell이 이뤄지는 용접선 양단의 각 전류를 10ms 간격으로 계측하고 이를 평균하였다. 계측된 결과에서 용접선의 추적오차를 판단하는 근거로써 토치와 모재 간 거리와 전류와의 관계를 수학적 계산에 의하지 않고, 퍼지로지과 추론을 이용하여 용접 전류차와 전류치의 변화량을 입력으로 상하방향, 좌우방향 각각의 용접선 오차량을 산출함으로써 용접선의 3차원 추적이 가능한 알고리즘을 구현하였다. 수학적 관계식은 용접 공정에 이용된 부재, 와이어, 가스 등의 변수에 따라 수정해야 하는 점에서, 즉 비선형적인 시스템의 선형적 간이화로써는 적용성이 유연하지 못하다고 판단하여, 용접경험에 기반한 현상을 언어의 표현으로 구축할 수 있는 퍼지로직을 이용한 알고리즘을 개발하고자 한 것이다. 퍼지 규칙 베이스 설정에서는 맞대기 용접에 적용된 사례<sup>9)</sup>를 참고하였으나, 전류치의 누적보다는 전류치의 순간 변화량을 퍼지로직에 적용하는 방법을 이용하였다<sup>9,10)</sup>. Fig. 1은 본 연구의 상하 및 좌우 용접선 추적에 공히 적용된 퍼지제어 로직을 보여 주고 있는 블럭선도로, 설정전류치와 계측전류치의 차이 및 전류치의 변화량이 퍼지 입력이 되어 퍼지값으로 사상(mapping)이 되고, 규칙베이스에 의거 퍼지추론을 수행하고, 퍼지연산을 하게 된다. 연산된 퍼지결과는 비퍼지(defuzzy)화 되어, 용접토치를 움직여 용접선 추적오차를 보정할 수 있는 위치보정량을 산출하게 된다. 아크센서의 경우, 과거 단계의 오차 누적치는 시편이 일정방향으로 방향성을 가지고

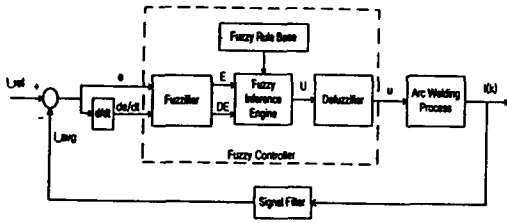


Fig. 1 Block diagram of fuzzy controller

기울어진 경우가 아니면 크게 효과적이지 못하다. 부재의 형상이 곡선이나 방향성이 일정치 않은 경우에는 현재의 전류차에 더욱 신뢰도를 높여야 한다. 그러나 선박 판넬 구조물의 경우, 부재의 용접 선은 직선의 경우가 대부분으로, 부재에 따라 기존의 오프라인 프로그램으로 교시된 위치로부터 회전 또는 병진 이동된 상태로 위치될 수 있기 때문에 일정방향의 방향성을 갖는 경우로 상정할 수 있다. 다만 이와 같은 경우에도 현재의 전류차에 가중치를 더 크게 두어야 한다. 아크 센서의 특성상, 과거의 데이터를 가지고 데이터를 필터링하는 것은 크게 효과적이지 못할 것으로 판단하여, 퍼지 규칙을 설정하면서는 현재의 전류차를 신뢰하되 부재의 방향성을 고려하기 위해 현재의 전류차가 연속적으로 나타나는 경우에 현재의 전류차를 크게 수용하여 추적 보정을 수행하게 하고, 전류차가 반대로 변화하는 경우에는 현재의 전류차에 대한 신뢰도를 다소 줄이는 로직으로 구성되게 하였다. 이를 위해 전류차의 변화량 산출에서 전류차에 가중치를 두어, 즉 전 단계보다 현재의 전류차에 크게 비중을 두었다(실험에서는 75%로 설정). 퍼지 규칙은 실험과 문헌을 통해 1mm의 추적오차 발생, 즉 토치 팁과 부재 간의 거리가 1mm 변화되는 경우 전류차가 5A 발생하는 결과를 근거하여 설정하였다<sup>1)</sup>. 전류 양단을 비교하여 좌우 방향 추적량을 산출하였고, 현재의 전류와 초기 설정치의 전류를 비교하여 상하 방향 추적량을 산출하였다.

퍼지 로직에서 좌우 전류차는 현 위빙 주기에서의 기준전류와 비교전류의 차이이다. 상하 전류차를 구하기 위해서는, 비교높이전류를 좌우 dwell 구간전류의 산술평균으로 설정하고, 기준높이전류는 용접 시작 후 5, 6, 7, 8번째 샘플링한 전류값을, 초기에는 높낮이 차가 없다고 가정하여, 산술 평균한 값으로 설정하여, 기준높이전류와 비교높

이전류의 차를 계산하였다.

전류차와 전류차의 변화량을 각각 퍼지화하고 퍼지 집합으로 사상하였고, 퍼지 변수의 애매도를 나타내는 멤버십 함수는 삼각형 형태를 사용하였다. 퍼지 규칙 베이스는 양단 또는 상하 용접 전류차 있음이면 양의 방향으로 토치를 움직이되, 전류차의 크기 정도와 전류차의 변화에 따라 토치의 움직임 크기가 설정되도록 하였다. 즉 전류의 차가 양의 방향으로 크게 나타나도 전류차의 변화량이 음방향으로 크게 나타나면 토치의 이동 크기는 매우 적게 나타나게 하였다. 퍼지 규칙에서 퍼지 집합은 전류차를 0, 2A, 4A, 6A를 두어 Fig. 2과 같이 각각 Zero(ZO), Small(S), Medium(M), Big(B)로 설정하였고, 차이 값이 양이면 Positive(P), 음이면 Negative(N)로 표기하였다. 전류차의 변화량도 현재의 전류차와 이전 단계에서의 전류차의 합성으로 정의하여, 0, 6A, 12A로 구분하고, 각각 Zero, Small, Big으로 두었다. 퍼지연산 결과, 공정의 입력은 5A의 전류차가 1mm의 오차를 가진다는 실험 결과를 기준하여, Zero, Small, Middle, Big, Very Big(VB)으로 구분하였다. 이때 Very Big의 값을 좌우 방향의 경우는 0.6mm, 상하 방향의 경우는 1.2mm로 두고 각각 4 등분하여 퍼지 집합으로 설정하였다. 즉 전류차와 전류차의 변화가 최대일 때, 0.2mm/A만큼 움직이게 하였다.

Change of Current Difference (DE)

		NB	NS	ZO	PS	PB
Current difference (E)	NB	PVB	PB	PB	PM	PS
	NM	PB	PB	PM	PS	ZO
	NS	PB	PM	PS	ZO	NS
	ZO	PM	PS	ZO	NS	NM
	PS	PS	ZO	NS	NM	NB
	PM	ZO	NS	NM	NB	NB
	PB	NS	NM	NB	NB	NVB

Fig. 2 Fuzzy rule base

퍼지 추론을 위한 연산자는 min-max 기법을 사용하였으며, 영역 중심법을 이용하여 퍼지 연산 결과를 비퍼지화하였고, 연산결과에 스케일 값을 곱해 현재 추적오차를 산출하였다. 추적오차의 보정

방향은, Fig. 3에서 보인 바와 같이, 위빙 컷 방향을 좌우 양의 방향(y), 토치의 후퇴방향을 상하 양의 방향(z)으로 설정하였다. 알고리즘의 처리 및 처리 결과의 통신을 위해 IBM 586 PC 호환기종을 사용하였고, 위치 보정값은 매 위빙 주기 후에 전송하였다.

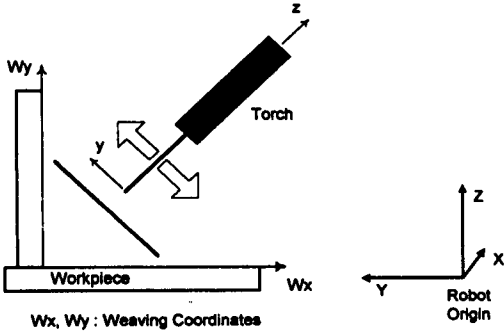


Fig. 3 Robot and weaving coordinate system

### 3. 로봇 제어기와 아크센서 인터페이스 개발

#### 3.1 하드웨어 인터페이스

로봇 매니플레이터는 마쯔시다 Pana-Robo AW-003B, 로봇제어기는 현대 HR300, 용접기는 Panasonic YM-500RF를 사용하였다. 로봇제어기와 로봇 간의 인터페이스 및 시스템 조율, 조선용 적용을 위한 오프라인 프로그램 개발과 이의 로봇제어기에서의 구현을 위한 인터프리터 개발 등은 본 연구와 동시에 별도의 연구를 통해 이루어 졌으나, 본 연구에서 다루고자 하는 내용의 범주를 벗어남으로 본 연구 결과에서는 언급하지 않았다. 본 연구는 상기의 시스템이 주어진 상태에서, 아크 용접을 구현하고자, 로봇제어기와 용접주변장치와의 인터페이스 시스템을 개발하고자 하였다.

로봇 제어기에서 위빙방향(Wx, Wy), 출력 용

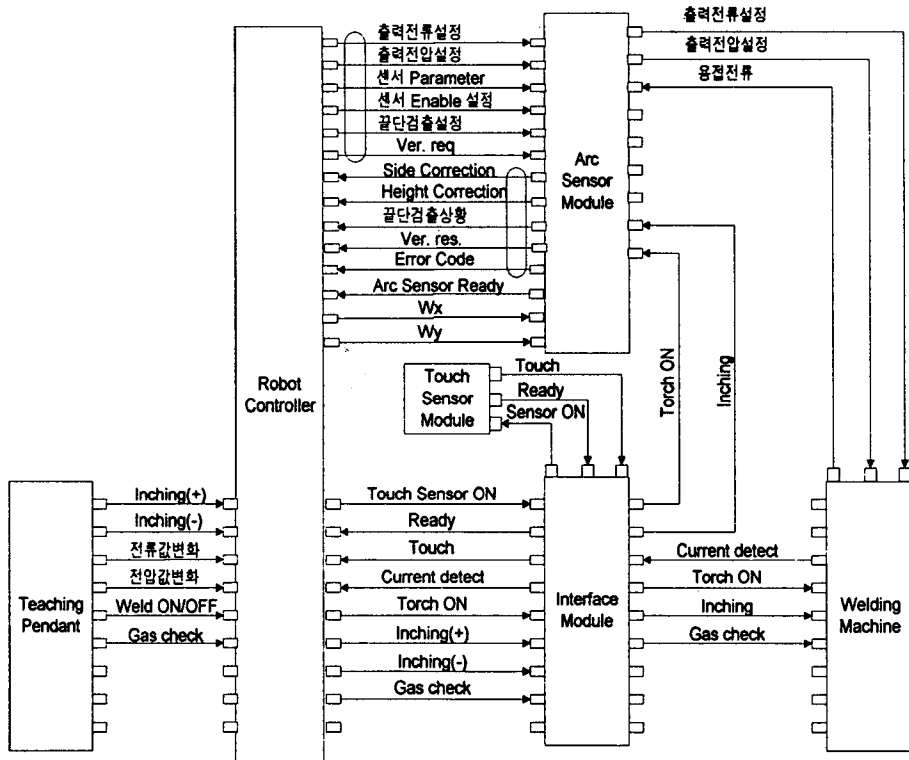


Fig. 4 Interface diagram between robot controller and arc sensor system

접전압, 출력 용접전류, Arc 센서 ON/OFF, 부재 검출, Inching, Arc ON/OFF 등의 명령을 전송하면, 아크센서 시스템은 전송 데이터를 해석하여 순차제어 및 용접선 추적 알고리즘 구동을 수행하고, 상하 좌우 추적오차, 종단검출 결과, 아크센서 준비상태, 에러상태 등을 로봇 제어기로 전송하게 하는 설계 사상을 가지고 이를 구현할 수 있는 시스템을 제작하였다.

개발된 시스템은 로봇 제어기, 로봇 조작반, 아크센서 모듈(PC 시스템), 터치센서 유닛, 인터페이스 모듈, 용접기 등으로 구성된다. Fig. 4는 로봇 제어기와 아크센서 시스템 간의 입출력 선도이다. 로봇과 아크센서 시스템과의 데이터 및 신호 접속은 RS232C 카드를 이용한 통신방식과 디지털 신호 접속방식으로 나누었다. 출력전류, 전압 설정, 센서 ON/OFF 등은 로봇에서 아크센서로의 송신 데이터이고, 상하/좌우 보정치, 아크센서 준비, 끝단검출, 에러검출 등은 아크센서에서 로봇 제어기로 전송되는 데이터이다. 터치센서 ON, 용접 토치 ON, 인칭, 가스점검 등은 로봇 제어기의 디지털 명령이고, 터치센서 준비, 터치, 전류검출 등은 아크센서 및 인터페이스 모듈에서 로봇 제어기로 인가되는 디지털 신호이다. 아크센서 모듈에서는 출력전류, 전압을 설정하고, 용접전류를 계측하게 된다.

Fig. 5는 로봇 제어기와 아크센서 모듈 간의 타이밍 선도이다. 아크센서시스템에서 센서 준비완료 신호를 보내면, 로봇 제어기는 위빙 형태에 의거 각각의 위빙 후 dwell 위치를 디지털 신호로써 아크센서 시스템에 인지도시키고, 위빙 시간 동안에 용접조건 데이터, 추적 데이터의 통신이 이루어진다. 한편, 용접 도중에도 사용자가 교시 조작반을 이용하여 용접전류, 용접전압을 수동으로 증감할 수 있게 하였다.

Fig. 6은 로봇 제어기와 인터페이스 모듈사이의 타이밍 선도를 나타내는 것으로 아크 ON/OFF, 터치센서 ON/OFF에 따라 터치센서 기능과 용접 기능이 분리된다. 터치센서 유닛은 센서 ON 신호가 발생되면 마그네틱 점접이 열리고 용접시에는 단락, 센서의 기능은 비용접 시간에 가능하도록 되어 있다. 인칭은 수동/자동 절환이 가능하고, 가스점검은 수동조작 시간만큼 수행된다. 로봇 제

어기는 24V 구동의 입·출력 기능이 제공되고 있어, 릴레이, 광 커플러를 이용한 신호변환 회로를 제작하여 인터페이스 모듈, 아크센서 모듈 등과의 신호 전달이 가능하게 할 수 있었다. 용접전류, 전압의 교시 출력을 위해 12bit 분해능의 상용 D/A

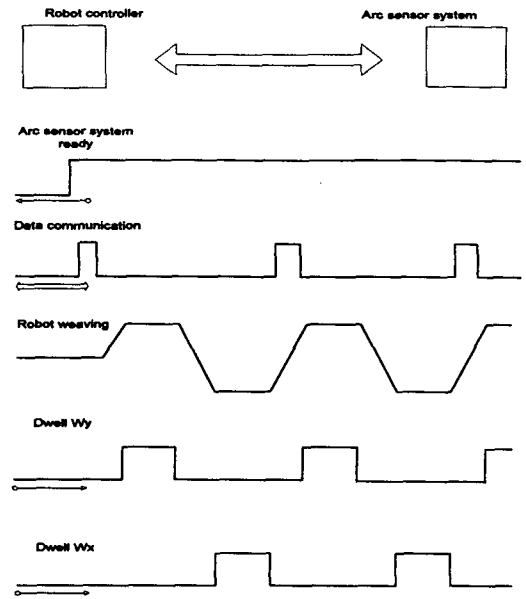


Fig. 5 Timing sequence between robot controller and arc sensor system

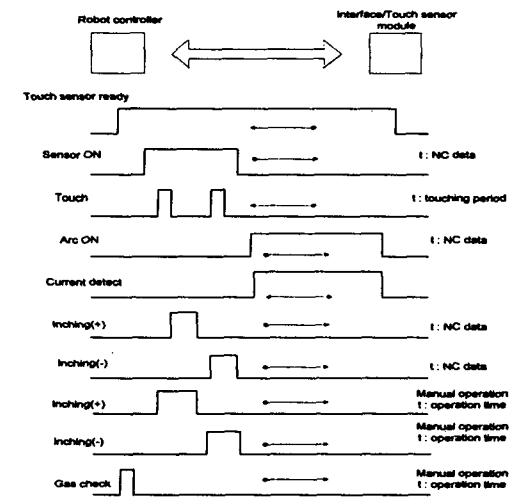


Fig. 6 Timing sequence between robot controller and interface system

변환보드를 이용하였다.

### 3.2 소프트웨어 및 그래픽 사용자 인터페이스

로봇동작의 시작 및 종료, 용접의 시작 및 종료, 용접상태, 센싱 여부 등의 명령과 모니터링을, 아크센서 모듈(PC)의 모니터 상에서, 사용자가 용이하게 조작하기 위한 사용자 인터페이스 프로그램을 Fig. 7과 같은 형태로 개발하였다. 그래픽 사용자 인터페이스 화면상에서는 송수신되는 파라미터의 값과 용접전류, 전압, 용접기 ON/OFF, 종단검출, 아크센서 에러 등이 실시간으로 모니터링되고, 용접 작업개시 및 작업 종료 명령을 낼 수 있게 하였다. 사용자 인터페이스를 위한 윈도우 프로그램은, 메뉴, I/O제어 모듈, 소프트웨어 모듈, 로봇제어기와 통신 모듈, 에러처리 모듈 등으로 나누었고, 각 모듈의 프로그램은 Visual C++™로 개발하였다.

데이터를 전송하기 위해 데이터 종류별 고유 ASCII 코드를 쓰고 연이어 파라미터의 ASCII를 사용하였다. 명령 구별코드와 파라미터 사이에는 자간이 없으며, 파라미터 끝에는 라인피더, 캐리지 리턴 값을 두어 식별이 가능하도록 하였다. 로봇 제어기는 위빙 기간 중 아크센서가 통신을 위해 대기하고 있는 시간에만 데이터를 송신한다. 이때의 전송속도는 4800bps로, 데이터의 통신 시간은 본 시스템에서 사용하는 최대 19개의 문자열을 주고 받는 경우, 40msec 이내에 이루어 지게 된다. 아크센서에서는 로봇 제어기로 추적오차의 100배 값을 전송하게 하여 데이터의 손실을 방지하고자 하였다.

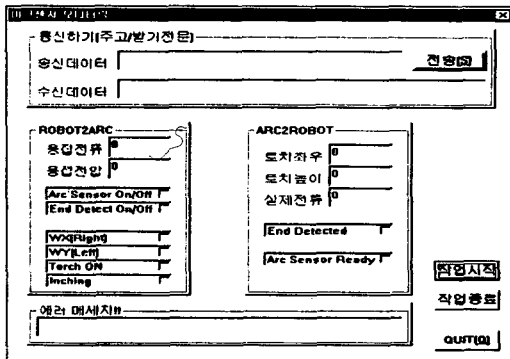


Fig. 7 GUI window for robot-arc sensor interface

### 3.3 인터페이스 구동 알고리즘

아크센서가 로봇으로부터 지령을 받은 후 센싱을 개시하는 과정은 Fig. 8 및 Fig. 9와 같은 절차로 수행된다. Fig. 8은 인터페이스 및 아크센서가 구동되는 알고리즘과 순차적 제어 흐름을 나타내고 있고, Fig. 9는 로봇제어기와 아크센서 간의 통신 프로그램에서 통신 절차를 보여주고 있다.

로봇 제어기로부터 수신한 일련의 명령어들이 통신 버퍼 내에 위치하고, 이들 명령어를 해석하여 대응되는 변수를 설정한다. 기준 전류값 및 좌우 양단의 초기 전류치는 제어 명령된 전류치로 설정하게 된다. 디지털 입력보드에서, 로봇에서 지령된 dwell 방향(Wx, Wy), 인칭, 용접토치(Torch) ON 상태를 읽고, 상황에 따라 달리 구현된 각각의 알고리즘으로 제어순서가 분기된다. 인칭 신호시는 인칭에 필요한 전류를 설정하고, 인칭신호가 유지되는 동안 와이어 인칭을 한다. 아크센서의 기능은 ON/OFF가 가능하며, 아크센서 기능이 요구되면, 첫 위빙시에는 위빙의 첫 방향을 감지하고 위빙의 방향을 결정하게 된다. 다음으로 아크센싱을 하고 첫 번째 위빙 방향이면 다시 디지털 입출력 보드 읽기 부분으로 제어위치가 옮겨지고, 현재 위빙 후 dwell한 위치가 두 번째 방향이라면 아크전류처리 알고리즘인 퍼지로지컬 루틴을

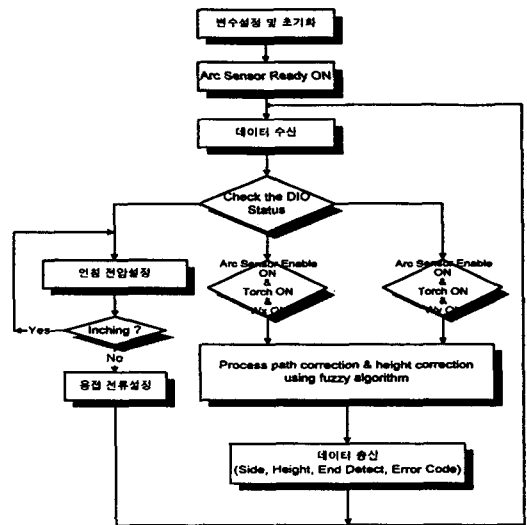


Fig. 8 Flowchart of interface program

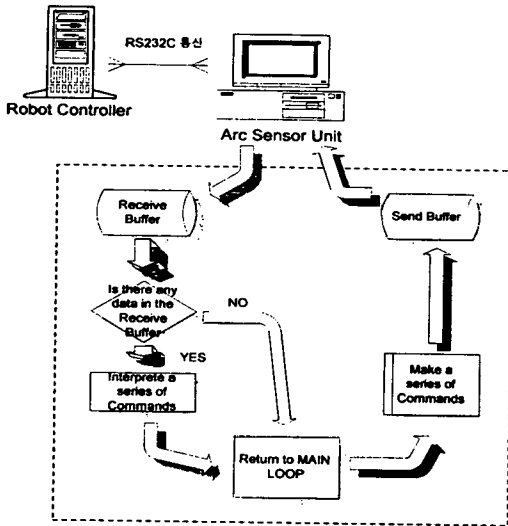


Fig. 9 Sequence of communication between robot controller and arc sensor system

수행하여 추적오차를 산출하고, 로봇 제어기로 데이터를 송신하기 위해 버퍼에 데이터를 기록한다. 이후에 디지털 입출력 보드 읽기 부분으로 제어위치가 옮겨진다. 아크센싱에서는, 타이머 보드의 타이머를 이용하여, 위빙 명령과 로봇 움직임 사이의 시간 지연이 90ms임을 고려하여 90ms 지연 시간 후에 용접전류를 샘플링하였다. 첫 번째 위빙방향에서 산출된 평균 전류값을 기준 전류치로 설정하고, 두 번째 위빙 방향에서 산출된 전류값을 비교 전류치로 설정하였다. 샘플링 회수는 dwell 명령이 끝나기 직전까지로, 300ms의 dwell 경우, 지연시간 90ms를 제외한 210ms 동안 10ms 간격으로 21회의 전류가 계측되고 이들 값이 단순 평균되어 평균 전류값이 산출된다. 로봇 제어기는 아크센서의 좌우 상하의 추적오차를 수신하고, 이를 벡터 합성하여 로봇경로에 반영하게 된다.

#### 4. 아크센서 및 인터페이스 시스템의 기능 실험

본 연구에서 개발된 로봇 인터페이스시스템 및 아크센서를 필릿 부재의 용접에 적용하여 인터페이스 기능 및 용접선 추적 성능을 판단하고자 하였다. 실험은 FCAW 공정으로 CO<sub>2</sub> 가스 100% 와 1.

2φ SF-1 wire를 사용하였고, 수평자세에서는 260A, 27V, 35cm/min, 수직 자세에서는 190A, 24V, 12cm/min의 용접 조건을 적용하였다. 용접토치는 45°의 용접각도를 갖게 하였고, 용접 초기의 와이어 돌출길이는 20mm로 두고 용접을 실시하였다. 로봇제어기에서 위빙형태를 용이하게 변경하여 설정할 수 있으나, 본 실험에서는 수평용접의 경우 위빙의 크기는 4.2mm, 위빙의 주기는 0.6초로, 여기서 dwell 시간을 좌우 각각 0.2초, 위빙시간을 0.1초로 각각 설정하였고, 수직 상향 용접의 경우는 위빙 크기를 4.2mm, 위빙 시간을 0.1초, 위빙 주기를 0.8초로 각각 설정하였다. 추적 각도는 아크센서의 성능 사양을 3° 오차추적 성능으로 설정하여, 수평, 수직 용접선 각각의 경우에 대해 추적각도를 3°로 설정하여 추적 성능을 조사하였다. 수직, 수평방향의 추적성 평가 방법은 실제 용접 부재의 면 외에 최종 로봇 교시점을 두고 용접을 실시하여 실제 용접선을 자동 추적할 수 있는 능력을 판단한 것이다. 3차원 형태의 용접선을 가진 부재의 경우는, 용접선의 시점과 종점만을 교시해 두고, 상하, 좌우로 교정이 이루어지면서 용접선이 추적 가능한 지의 여부를 평가하였다. 용접선 추적 개시 시점은 10번째 샘플링(5회 위빙주기) 이후에 개시토록 하였다. 이는 전류 계측값의 안정화와 나아가 상하 제어를 위한 기준 높이에서의 기준 전류를 설정해 두기 위해서였다. 용접 길이는 수직 및 수평 용접에서는 각각 230mm이었고, 3차원 시편의 경우는 460mm이었다.

#### 5. 결과 및 고찰

Fig. 10은 본 연구를 통해 구성한 로봇시스템으로, 로봇매니퓰레이터, 아크센서 모듈, 인터페이스 모듈, 로봇제어기, 용접기 등이 포함되어 있다. 로봇제어기 및 아크센서 간의 인터페이스시스템의 동작성 평가 결과, 터치시간과 용접시간의 분리, 인칭기능, 용접기 ON/OFF 등의 순차적 동작 기능이 정상적으로 이루어 졌고, 용접 중의 통신기능, 용접조건 변화, 추적오차 등의 데이터 주고받기도 실시간으로 동작되고 있음을 모니터로 확인할 수 있었다. 이로써 로봇제어기와 아크센서 및 인터페이스 시스템간의 통합된 동작기능이 정상적으로 운용됨을 확인하였다.



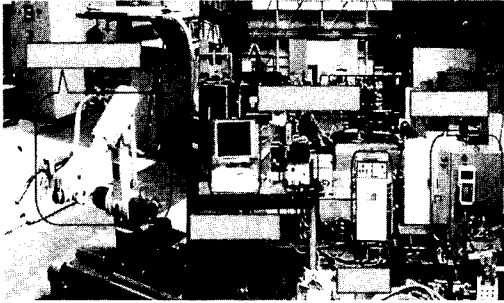
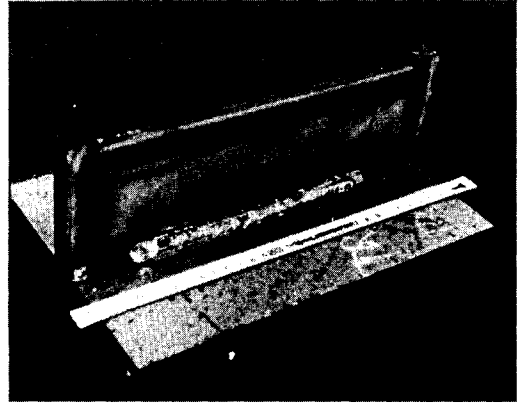


Fig. 10 Overall view of developed robot welding system

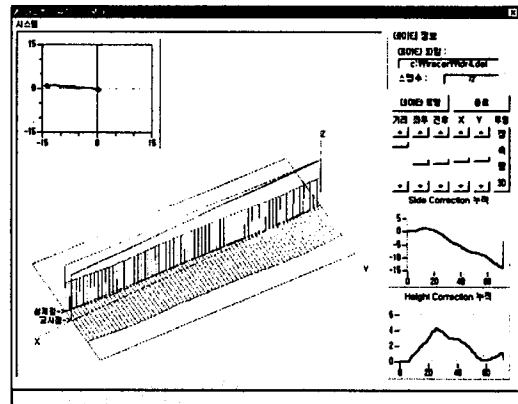
본 연구에서 개발된 인터페이스시스템과 아크센서의 모듈은, 로봇제어기와는 별도의, 컴퓨터로 구동되기 때문에 센싱 및 모니터링 프로그램의 개선과 확장이 용이하고, 로봇제어기에 부담을 가하지 않고 인터페이스시스템의 여러 동작상태를 사용자 인터페이스프로그램을 통해 실시간으로 감시할 수 있는 장점을 가지고 있다. 반면에 비록 센서용 모듈이기는 하나, 로봇제어기와 별개의 제어가 존재해야 함으로 가격, 공간, 강건성 등의 관점에서는 전용로봇제어기에 비해 다소 불리할 것으로 판단되었다.

Fig. 11(a)는 퍼지 로직에서 전류차의 누적치를 고려한 로직을 적용하고 y 방향으로 3°의 오프셋 각도를 주어, 용접선을 추적한 결과를 보여 주고 있다. 실제 용접된 부재의 외관에서도 확인할 수 있듯이 추적된 결과는 토치가 교시 방향을 따르지 않고 부재의 용접선을 양호하게 추적한 상태를 보이고 있고, 용접 초기 부분에서 언더컷이 다소 발생하는 현상이 나타났다.

Fig. 11(b)는 용접선 추적도중에 토치의 위빙 중앙위치를 저장하고, 용접종료 후 추적궤적을 중심으로 필릿용접부재를 재구성하여, 교시방향과 용접선을 추적하여 실제 용접이 이루어진 결과를 도식적으로 비교하여 보인 그래픽 프로그램으로, 이를 이용하여 다양한 각도와 크기로 추적결과를 분석할 수 있었다. 추적결과에서는, 용접 초기위치에서 z 방향으로 토치의 이동이 나타나고 있음을 보여 주고 있어, 실험에 적용된 제어 알고리즘이 용접 초기에 토치를 z방향으로 이동시키게 하는 보정명령을 산출함으로써, 위빙이 플랜지에 더 접근하여 이루어지게 되고 이로써 초기 부분에서의 추



(a) Photograph



(b) Graphic display of torch center trace

Fig. 11 Tracking result with current.. difference integration logic

적오차가 나타나 언더컷이 발생된 것으로 판단된다. 이로써 오차의 누적치를 반영하는 알고리즘은 초기에 추적오차의 발생이 가능하다는 사실을 알 수 있었고, 이를 보완할 필요가 있었다. 용접초기의 경우는 토치가 용접선의 정 중앙에 위치되고 또한 용접조건에 의해 설정된 와이어 스틱아웃이 아니기 때문에 이를 조정하는 기간을 필요로 하게 된다. 따라서 초기의 전류차를 누적하여 추적알고리즘에 적용하는 것은 다소의 오차를 수반하게 되는 결과를 보인 것이다.

이를 개선하면서도 용접선의 방향성은 계속 고려하고자, 전류차의 누적치를 대신하여 전류차의 변

화량을 퍼지변수로 적용하고, 또한 전류차의 변화량 설정에서 과거의 변화와 현재의 변화에 가중치를 두어 현재의 오차에 가중치를 더 높였다. 이로써, 언더컷이 발생되지 않는 용접결과를 얻을 수 있었고, 실험결과인 y방향의 추적위치를 Fig. 12에 전류차의 누적치를 고려한 알고리즘의 적용결과와 비교하여 나타내었다. 전류차의 차이, 즉 전류차의 변화량을 퍼지 입력으로 사용하는 경우는 초기 추적오차를 크게 줄일 수 있는 결과를 보였다. 그림에서 보인 위빙 중앙위치의 궤적은 직선과 다소 차이가 나타났으나, 용접외관에서는 차이를 식별할 수 없어 추적성의 관점에서도 개선된 알고리즘의 적용은 효과적인 것으로 판단되었다. 한편, 초기 부분의 추적은 출발점에서의 전류 샘플링 기간에는 추적이 되지 않은 결과로 이로 인해 다소 느리게 추적이 이루어지고 있음을 보이고 있다. 이는 초기 샘플링 기간을 줄여 개선할 수 있는 부분이나, 추적시편의 형태에서 초기 안정화 기간에 따른 비 추적기간은 초기 조건으로 간주가 가능하고, 용접선 추적 시작점에서의 초기 토치상태로 판단하여 실험결과를 해석할 수 있다.

용접선 추적에서 현재와 전 단계의 전류차로써만 다음 단계의 추적치를 내는 것은 용접부재의 방향성을 고려하지 못함으로 다소의 오차를 지속적으로 가지게 된다. 따라서 전류차의 경향, 즉 전류차의 변화량을 고려하여 추적성능을 양호하게 하기 위한 변수를 설정하는 것이 타당하다고 판단된다. 이러한 점은 다른 연구 결과에서도 나타나고 있다<sup>9)</sup>.

최종 용접 위치의 교시점과 실제 용접선의 y, z 방향의 오프셋 각도를 각각 3°로 설정하고 전류차

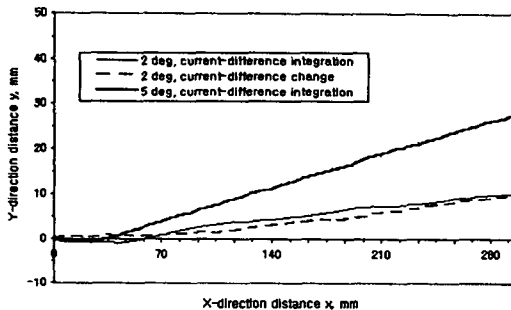
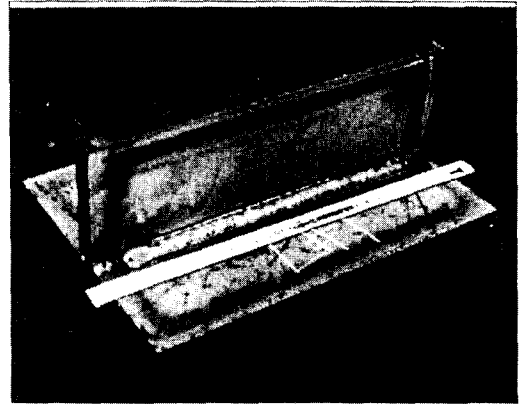
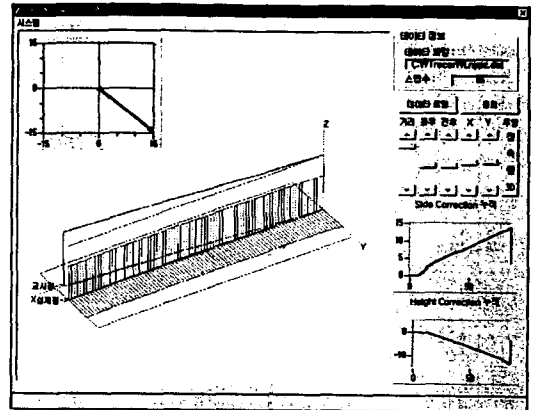


Fig. 12 Welding torch trace of weaving center for seam tracking

의 변화값을 고려한 퍼지로그를 적용하여 용접선을 추적한 결과의 외관을 Fig. 13에 보여 주고 있다. 외관적으로 용접초기 부분에 언더컷의 발생이 없고, 용접선이 양호하게 추적되었음을 알 수 있다. 상하방향의 용접선 추적에서는 초기설정 전류를 비교전류값으로 하는 경우보다 초기에 설정된 토치의 높이에서 계측된 전류의 평균값을 기준전류로 설정하여 추적성을 개선할 수 있었다. 이러한 경우에 좌우 측의 전류비교는 상하 기준전류의 설정치와는 무관하다. 추적결과와 분석 그래프에서도 교시위치와 실제 추적위치가 일정각도를 유지하고 정확하게 추적되었음을 보여 주고 있다.



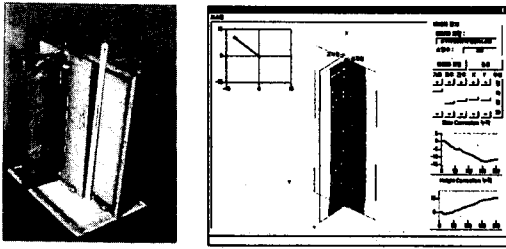
(a) Photograph



(b) Graphic display of torch center trace

Fig. 13 Tracking result with current difference change logic

Fig. 14는 최종 용접위치를 실제 용접선과 y, z 방향으로 각각 3°의 오프셋 각도를 갖도록 로봇이동을 교시한 후, 수직 상향 필릿 용접을 실시하고 나타난 용접선 추적결과이다. 추적결과의 용접 비드 외관과 추적결과 그래프에서, 수직 상향 용접선 추적 결과와 용접 비드의 모양 모두가 양호한 것으로 판단되었다. 이러한 결과에서, 개발된 아크센서 시스템은 조선 판넬 등에서 발생하는 수직 필릿 부재의 용접에도 효과적으로 적용이 가능함을 알 수 있었다.



(a) Photograph (b) Graphic display of torch center trace

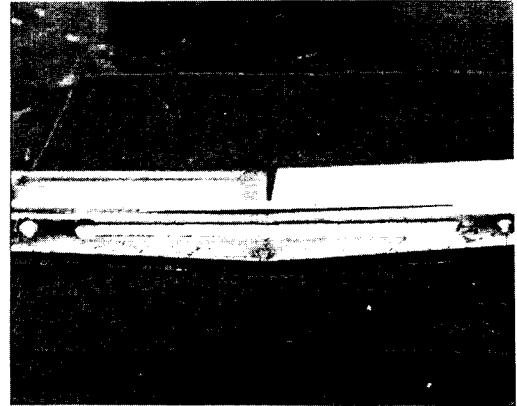
Fig. 14 Tracking result of vertical-up welding

Fig. 15는 상하, 좌우 각각 3°의 기울기를 가지고 있고 기울기의 방향이 갑자기 바뀌는 용접선을 가진 부재의 시작과 중단부만을 교시한 후, 용접한 결과를 보여 주고 있다. 용접선 추적 결과와 비드 외관이 양호하게 나타나고 있어, 개발된 아크센서가 3차원 추적과 용접선의 갑작스런 변화의 경우에도 대응하여 추적할 수 있음을 보여 주었다.

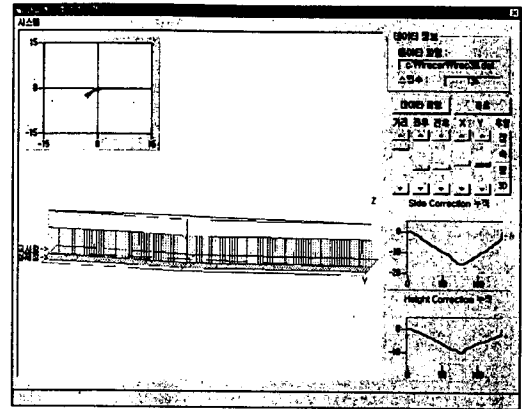
본 연구에서는 아크용접 및 용접선 추적기능이 없는 로봇제어기를 위해 센서 및 용접주변장치 제어 시스템을 별도의 매개 시스템으로 개발하였다. 향후 이를 로봇제어기에 내장하고자 하는 연구를 후속할 계획이나, 현재 로봇 제어기의 개발은 개방형 구조화되어 가고 있는 추세로, 센서의 기능은 별도의 시스템화하여 제어 시스템과의 인터페이스 형태로 발전되어 나갈 것으로 전망하면, 본 연구에서 행한 독립적인 인터페이스 시스템의 개발도 의의가 크다고 판단된다.

## 6. 결 론

용접로봇 제어용 아크센서를 설계, 개발하고,



(a) Photograph



(b) Graphic display of torch center trace

Fig. 15 Tracking result of 3-dimensional workpiece welding

로봇 제어기와 아크센서 시스템을 인터페이스한 개발 연구의 결과, 로봇 제어기와 아크센서 시스템 간의 인터페이스가 적절하게 이루어 졌고, 용접과 아크센서 기능이 양호한 특성을 나타내어 본 연구에서 제안한 인터페이스 방법과 아크센서 알고리즘이 효과적임을 입증하였고, 필릿 용접을 실시하여 용접선 추적 성능이 우수함을 검증하였다. 이를 종합하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 로봇제어기와 용접공정을 인터페이스하여 정상적인 기능을 나타내는 매개 인터페이스 시스템의 개발이 가능하였고, 로봇제어기와 아크센서 시스템 및 용접주변기기 간의 통합을 구현하여 용접

에 필요한 제반 기능이 효과적으로 제어될 수 있음을 보였다.

2) 로봇제어기가 가지는 오프라인 프로그램의 운용에 맞게 인터페이스 시스템을 설계하여 사용자가 용이하게 시스템을 활용할 수 있게 하였다.

3) Dwell 시간 동안 용접전류의 계측과 평균화하는 방법은 아크센서에 필요한 데이터로 안정적이었다.

4) 아크센서의 설계에서 용접 전류차의 변화량을 고려한 퍼지로직은 용접선 추적에서 효과적이었다.

5) 아크센서 시스템과 로봇과의 실시간 통신방법에 의해 데이터의 교환이 가능하였고, 로봇 이동에 따른 지연시간의 고려가 가능한 데이터 처리로직의 구성이 효과적이었다.

6) 필릿 용접부재의 상하, 좌우 추적방법이 가능하도록 알고리즘을 적용하여 3차원 형태의 용접선 추적이 가능하였다.

7) 개발된 인터페이스 시스템과 아크센서 시스템은 별도의 독립된 모듈로 두지 않고 제어기 내부의 전용 보드화하여 로봇제어기 내에서 구현이 가능할 수 있다.

### 감사의 글

본 연구의 한 과제로 아크 용접용 로봇 제어기 개발에 심혈을 기울여, 아크센서 인터페이스가 가능하도록 해 주신 현대중공업(주) 마복리 연구소의 여인택 책임연구원, 김성락 책임연구원, 강태선 선임연구원께 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

1. Nitin Nayak and Asok Ray : Intelligent Seam Tracking for Robotic Welding, SPRINGER-VERLAG, (1993), pp. 8-30
2. Yuji Sugitani, Naoyuki Gotoh, Ryoichi Shimizu and Kazutoki Mizutani : Multi-

- Robot Welding System for Sub-Assembly in Shipbuilding, NKK Review, No. 153, (1996), pp. 72-80
3. J. W. Kim and S. J. Na : A Study on an Arc Sensor for Gas Metal Arc Welding of Horizontal Fillets, Welding Journal, Vol. 70, No. 8, Aug. (1991), pp. 216s-221s
4. J. W. Kim and S. J. Na : A Self-Organizing Fuzzy Control Approach to Arc Sensor for Weld Joint Tracking in Gas Metal Arc Welding of Butt Joints, Welding Journal, Vol. 72, No. 2, Feb. (1993), pp. 60s-66s
5. 권순창, 최재성, 장락영 : FCA 수평 필릿용접용 용접선 추적을 위한 아크센싱 알고리즘 개발, 대한용접학회지, 제15권, 제2호, (1997), pp. 21-35
6. 김용래, 이세현, 엄기원 : 전류 면적차를 이용한 아크센서의 용접선 추적에 관한 연구, 대한용접학회지, 제14권, 제6호, (1996), pp. 131-139.
7. 이승영, 문형순, 나석주, 장영주, 안병규 : 소모성 전극을 사용하는 아크용접 로봇을 위한 아크센서 개발에 관한 연구, 대한용접학회지, 제11권, 제 3호, (1993), pp. 98-109.
8. Hirobo operation manual, Hitachi Zosen, V2, 5, Ch. 9, pp. 82-89.
9. Hiroshi Fujimura, Eizo Ide and Shuta Murakami : Arc Sensing using Fuzzy Control, Sensors and Control Systems in Arc Welding, CHAPMAN & HALL, Ch 27, (1994), pp. 238-246
10. 서영노 : 자기 학습구조를 가진 퍼지 제어기의 설계 및 응용, 광운대학교 석사학위 논문, (1993)
11. 김수영 : FCA용접용 아크센서의 개발 및 이를 이용한 로봇용접에 관한 연구, 과학기술원 석사학위논문, (1992)