

궤적 기억이 가능한 용접선 추적장치의 개발

안병원* · 노창주* · 박상길**

*한국해양대학교, **부산수산대학교

(1995년 10월 2일 접수)

A Development of Seam Tracker By one chip microprocessor

B. W. Ahn*, C. J. Noh*, S. K. Park**

*Korean Maritime University, **National Fisheries University of pusan

(Received October 2, 1995)

Abstract

Recently, the fact that welding conditions are dangerous for men and the shapes of seams are complex enforced the welding system to be automatic.

In order to obtain this target, are chip Microprocessor controlled welding system is devised in this study.

The tracking of seam shape is achieved by applying a differential transformer and by using a program developed.

This welding system mainly consists of a sensor, the differential transformer, a servo power amplifier, a control system, and DC motors.

It is verified that the developed welding system is able to track three kinds of seam shapes.

Key Word ; Seam Tracker(심트랙커), Welding Seam Tracking(용접선 추적), Welding Trajectory(용접 궤적), One chip Microprocessor(원칩 마이크로프로세서), Differential Transformer (차동변압기)

1. 서 론

현재 산업체에서 요구되어지는 용접은 인력으로 용접을 할 경우 용접선의 복잡함과 작업의 조작성으로 인해서 점차로 자동화, 로봇화되어가고 있다. 그래서 동일 제품을 계속적으로 용접할 경우와 육성용접과 같은 용접에서 보다 고성능의 기능을 발휘하기 위해서는 복잡한 제어가 요구된다.

이러한 복잡한 제어를 행하기 위해서 마이크로 컴퓨터를 사용함으로써 신뢰성과 융통성을 개선할 수 있으므로 상업적으로도 바람직하다. 이런 이

점은 복잡한 제어회로를 마이크로컴퓨터의 소프트웨어로 대체함으로써 얻어진 것이다. 모든 마이크로컴퓨터를 사용한 제어방법의 목적은 보다 많은 기능을 소프트웨어로 처리해서 신뢰성을 향상시키고 하드웨어 생산단가를 낮추는데 있다. 그러므로 단일칩 마이크로컴퓨터를 이용한 제어방법은 전체시스템의 신뢰성과 상업성을 배가시킴으로 산업기계의 전용기에는 단일칩 컴퓨터를 많이 채택하고 있는 추세이다.

종래의 용접선 추적장치는 센서의 형태에 따라 온 오프식과 차동변압기식으로 나눌 수 있고, 이

두가지 모두 용접선의 형상에 따라 센싱된 신호를 아날로그형으로 서보 증폭하여 직류전동기를 구동한다. 이 두 장비의 단점은 아날로그 형태로 신호를 처리함으로써 궤적의 기억이나 다층용접, 또는 용접기와 인터페이스가 되어 있지 않는 전용기 형태를 취하고 있어 PLC나 마이크로 프로세서에 의한 자동화에 상당한 문제점을 갖고 있고, 토치와 센서의 거리에 의한 오차로 인하여 한계가 있다. 이에 비해 본 연구에서 개발된 장치는 용접기와 인터페이스 할 수 있는 포트를 마련했으며, 토치와 센서와의 간격도 보상할 수 있도록 함으로 토치와 센서의 거리를 2.5[mm]이내에서 100[mm]까지 보상할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 80c196kc를 이용하여 전용 컴퓨터를 설계하여, MIG, MAG 및 서버머지드 용접에서 용접 모재의 용접부위와 용접선을 직교좌표상의 디지털화된 값으로 변화하여 메모리에 기억시키므로써, 학습기능을 가진 진보된 형태의 용접선 추적장치를 개발하였다. 그 결과 용접여부와 용접선을 계속 조작하지 않더라도 다수개의 공작물을 계속 자동 용접할 수 있었으며, 다층용접을 실현할 수 있어서 높은 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

2. 용접추적장치의 구성

그림 1은 용접추적장치의 블록선도를 나타내고 있다.

조작키이보드는 용접로봇의 운전자가 직접 조작하는 조종간의 역할을 하며 설정키이보드는 로봇의 운전모드, 속도등의 수치와 모오드를 설정하는 역할을 한다.

x, z 가이더는 용접대상물의 용접선을 추적키 위한 추적자를 나타내며 용접기는 로봇에 장착된 용접기를 나타내며, x, y, z 앰프는 x, y, z 축의 서보 기구 가동을 위한 파워앰프를 나타내고, x, y, z 축은 각각 용접로봇의 x, y, z 축 운동서보 기구를 나타내고 있다. x, y, z 축의 위치는 로우터리 엔코더를 사용하여 검출하였으며 카운터를 이용하여 절대위치를 산정하였다.

용접선 추적센서는 2축 차동 변압기형이었다. 디퍼런셜 트랜스를 $\pm 4[V]$ 2[KHz]의 방형파로 여자하고 그 출력을 필터링하여 프리시즌 렉티파이어(Precision Rectifier)로 정류하여서 용접추적기가 용접선으로부터 이탈된 오차의 양을 검출하도록 구성하였다. 컨디셔닝 앰프에는 2[msec]의 시정수를 가진 RC저역필터를 설치하여서 평활된 수평및 수직편차를 컴퓨터의 A/D 컨버터 입력에 인가시켰다.

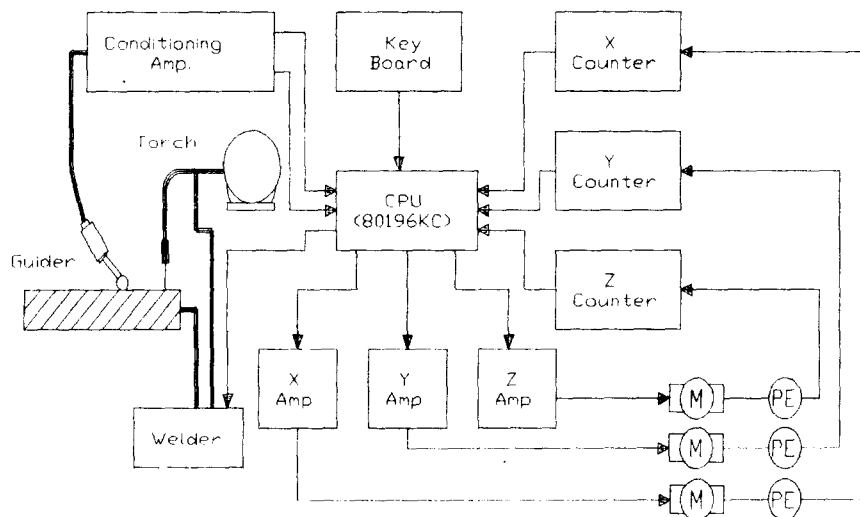


Fig.1 Schematic block diagram

CPU는 16MHz로 동작 80C196KC였으며, 사용된 ROM은 2764였으며 RAM은 KM68257 - 20이었으며 이 RAM은 데이터 리텐션이 가능하도록 하였다. 원칩 CPU로 x, y, z 축의 동시제어와 용접선 추적, 용접여부결정등을 실현하기 위하여 최초의 셋업시에 ROM의 내용을 RAM에 모두 백업하도록 하였고 전원 차단 시에는 현재의 로봇운전 상태를 모두 백업하였다가 다음 전원투입시 재생하도록 회로를 구성시켰다. 세팅 키보오드는 버튼으로 학습모드와 수동이동모드, 다중이동모드 등이 가능하도록 하였고, 조작 키보오드는 19개의 버튼으로 수동이동시 상 · 하 · 좌 · 우 · 전 · 후 등의 조향과 용접시험, 정지등의 운전을 행하도록 구성하였다. 필요시 각각의 수치는 7 - 세그먼트 LED에 의해 감시할 수 있도록 하였다.

ROM과 RAM은 어드레스를 0000 - 3FFFH영역에서 서로 공유되지만 ROM내용을 최초의 셋업시에 RAM으로 복제한 이후에 ROM은 어드레스 디코더로 디스에이블시키도록 하여 정상동작에서는 ROM영역은 존재치 않도록 하였다.

3. 용접궤적의 추적과 기억 및 재생

3.1 수동이동

용접궤적은 차동변압기형 가이드로 추적하였고, 현재 용접토오치 위치와의 편차를 증폭하여 y, z 축 서보모터에 출력시킴으로써 궤적을 추적하도록 하였다. 이때 차동변압기의 출력을 컨디셔닝앰프에 의해 직류치로 변화시켜 80C196KC의 A/D 컨버터 입력단자로 입력시켜서 y, z 축편차를 디지털값으로 변환하도록 하였다.

y, z 축 편차를 A/D 변환시간이 22[usec] 소요되므로 일단 y, z 축의 아날로그 신호를 디지털로 변환시작명령을 한 이후에는 CPU는 x, y, z 축의 이동지령처리를 하는데 할당하였다. 즉, y 축 아날로그 요소를 디지털로 변환할 때는 z 축 출력신호를 처리하고 나머지 시간은 CPU가 키보드신호를 펜딩하도록하여 사실상 프로그램이 아이들링하도록 하였으며 z 축 A/D 변환 시간 동안에는 y 축 출력신호를 처리하고 나머지 시간은 CPU가 키보드신호

를 펜딩하도록 시스템프로그램을 구성하였다.

3.2 용접궤적의 기억과 재생

용접궤적의 기억은 x, y, z 축상의 각 좌표를 16bits로 메모리에 그대로 기억시키는 방법을 생각해 볼 수 있으나, 이 경우 적절한 로봇의 정밀도를 유지하기 위해서는 한 좌표당 6byte의 메모리를 소요하게 된다.

그러나 인위적으로 결정된 용접속도에 의해 x 축이 이동될 경우 그림 2와 같이 x 축의 위치에 따라 적당한 x 축의 간격으로 y, z 의 값을 기억시킬 경우 x 축의 위치로 메모리에 일일이 기억시킬 필요가 없으므로 각 좌표당 4byte의 메모리만을 소요하게 된다. 본 연구에서는 x 축의 길이에 따른 메모리의 할당을, x 축의 0.1[mm]당 1단위로 4byte가 되도록 하였다. 즉, x 축은 어드레스번지로 대치하였다.

용접이 필요없는 부분에 대해서는 로봇트는 패속의 이송이 가능하므로 궤적과는 별도로 좌표메모리를 두어 한 좌표에서 다음 좌표까지의 패속여부와 용접여부를 좌표메모리의 LSB(Least Significant Bit, 최하위비트)로 판단되도록 하였다.

설계된 x 축의 최대 이송거리는 6553.5[mm]였으며 최소정도는 0.1[mm]였다. y, z 축은 3/1000[mm]의 설계정도로 204.6[mm]의 최대 이송거리로 설계되었다. 학습시킴 모드가 시행되며 x 축은 용접속도로 이동이 되고 용접선 가이드가 안내하는 궤적 대로 로봇트는 추적을 시작하게 된다.

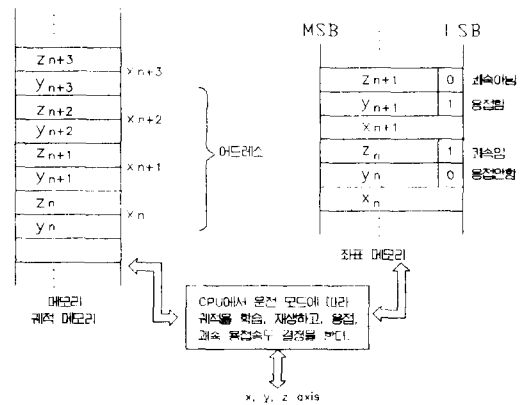


Fig. 2 Method for writing the data of welding trajectory to RAM

추적된 궤적은 x축의 간격으로 y, z축의 값이 3/1000[mm]의 정도로 메모리에 기억되게 된다. 일단 이동을 중간에 쉬게 될 때 그 지점을 좌표메모리에 기억시키게 되면 재생시에 이 좌표메모리에 기억된 지점을 중심으로 속도변동, 경로변경, 용접여부변경들을 행하게 된다.

학습이동모드가 될 경우 기억된 메모리값을 명령신호로 하여 엔코더의 위치 피이드백과 비교하

여 적절한 출력을 y, z축에 출력시키게 된다. 이때 x축의 이동은 지정된 좌표 기억메모리의 값과 풍부한 값이 될 때까지의 설정된 용접속도로 이송되며, 동일한 x위치에 로봇의 용접토오치가 이동되면 다시 증가된 좌표까지 학습시 기억된 대로 재생되게 된다.

다층용접을 할 경우 y축의 이송거리와 z축의 이송거리를 시작전에 입력을 해야하고 한 pass가 지난 후 고속으로 리턴한 다음 y, z축의 이송거리를 궤적과 연산하여 평행이동한 궤적을 생성하고 그 궤적을 추종하게 된다.

이상의 일련의 과정을 표시한 프로그램은 그림 3과 같았으며 80c196kc에 해당하는 기계어 프로그램으로 제작했을 때 시스템 프로그램은 3.7 Kbyte였다.

용접중간이나 정지시에 전원이 차단되게 되면 로봇가 전원정류장치내에 남아 있는 전력으로 불필요한 요동을 일으켜서 사고의 위험이 따르게 되므로 NMI(Non Maskable Interrupt)프로그램을 수행하도록 하여 모든 x, y, z축 출력 신호를 0[V]로 만든뒤 전원이 0[V]로 떨어지도록 하였다.

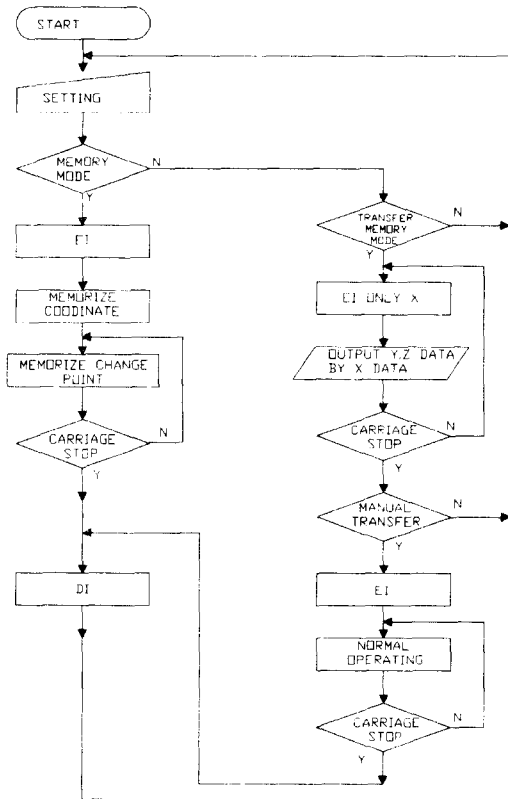


Fig. 3 Flowchart of the designed system program

3.3 용접속도의 재생

그림 4에서 X_n 위치에서 다음 명령위치인 $X_{n+\Delta X}$ 까지 이송하는데 ΔT 의 시간이 소모된 경우 매니플레이터의 X축 속도 V 는

$$V = \frac{\Delta X}{\Delta T} \quad (1)$$

의 관계가 성립한다.

업, 다운 카운터의 카운팅 주파수를 고정주파수

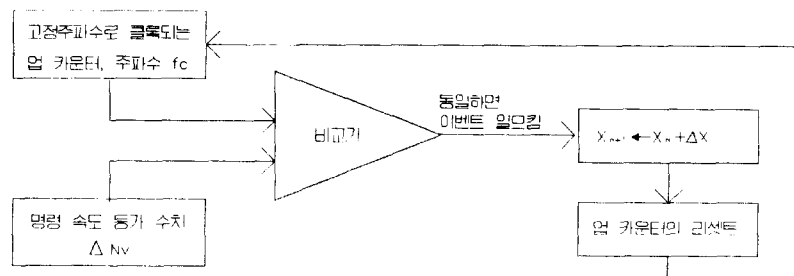


Fig.4 Reconstruction of welding speed

F_c 라고 하면

$$F_c = \frac{\Delta N v}{\Delta T} \quad (2)$$

의 관계가 성립한다.

이때 $\Delta N v$ 는 명령속도 증가 수치를 나타내며 이 식을 V 에 관해서 나타내면

$$V = \frac{\Delta X \times F_c}{\Delta N v} \quad (3)$$

의 관계가 성립한다.

즉 궤적 메모리가 한 번지 증가하는 동안 X 축이 ΔX 만큼 이송되도록 X 축을 캘리브레이션하게 되면, X 축 속도와 명령속도 증가수치는 정확히 역비례하여 캘리브레이션 되는 것이다.

따라서 용접속도를 입력시킬 때 입력되는 수치를 컴퓨터에서 역비례수치로 연산하여 메모리에 기억시켜서 사용하도록 하면, 조작자의 임의 대로 로봇의 X 축은 속도제어가 되게 된다.

그림 4의 경우는 속도 캘리브레이션치와 카운터의 값을 비교하여 동일치가 될 때마다 X 축명령위치를 ΔX 만큼 이송시키도록 명령한다. ΔX 만큼 이송되고 난 뒤, y 축과 z 축의 위치 및 속도 재생은 y 축과 z 축의 현재좌표값과 다음 좌표가 한 번지 증가된 좌표값을 비교하여, 각각 y 축, z 축에 차만큼의 전압 신호를 D/A컨버터에 보내어 y 축, z 축 서보앰프에 보낸다. 또 y 축 궤적좌표의 LSB에는 용접기

의 온 오프에 관한 정보가 들어있으며, 예를 들어 '1' 이면 용접을 하고, '0' 이면 용접을 하지 않게 한다. 마찬가지로 Z 축의 궤적 좌표의 LSB는 속도 제어를 할 것인가, 최대속도의 정보가 들어 있으며, 복귀시 최고 속도로 복귀하는 신호는 '1' 이고 용접속도의 속도제어를 할 필요가 있을 때는 '0' 이 기록된다. X 신호를 보내고, y 축, z 축 신호를 처리하는 시간은 메인 클럭이 16[MHz]로 한 스텝 처리 시간이 약 0.5[us] 정도이므로, 수[msA]의 시정수를 가진 전동기에서 수[us]의 제어 속도는 큰 문제가 없었고, 또 용접 속도도 초당 수 [mm]이므로 큰 영향이 없었다.

3.4 토치와 센서거리의 보정

종래의 용접된 추적장치는 용접토치와 차동 변압기 사이가 1인치 이내에 있도록 되어있으나 본 연구에서 개발된 용접된 추적장치는 그림 5도에 나타난 것과 같이 보정할 수 있는 기능을 갖고 있으나 토치가운데와 센서와의 거리를 용접시작전에 측정하여 키보드를 통해서 센서와 토치간의 거리 X_k 를 입력해 두면 용접시작점 X_{st} 는

$$X_{st} = X_0 - X_k \quad (4)$$

이다.

이 때 추적되는 용접 궤적과 용접 토치의 궤적을 그림 5(a)와 같이 같이 X 축으로 ΔX_{st} 만큼 전진시킨 후 X_k 에 대응하는 Y_k, Z_k 를 재생하여 이를 명령신

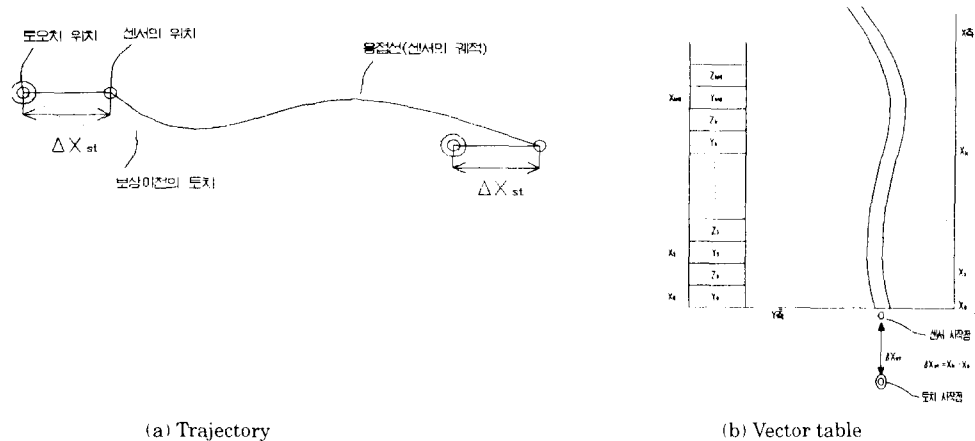


Fig. 5 Method for reproduction of welding trajectory

호로 y, z 축의 명령신호로 재생하고 $Y1, Z1 ; Y2, Z2 ; Y3, Z3 ; \dots$ 의 순으로 재생하게 된다. 이와 같은 방식으로 재생하면 정확히 용접토치가 ΔX_{sr} 만큼 전진하여 용접 궤적을 재생하게 되므로 센서가 추진한 용접선을 토치과 그대로 그 궤적을 재현하여 용접되어야 할 선과 용접되는 선이 일치하게 된다.

4. 실험 및 실험 결과, 고찰

4.1 실험

실험에 사용된 용접추적로봇은 직교좌표계였고, y 축과 z 축의 궤적을 측정하기 위해 y, z 축을 선형가변저항에 연결하고 그 출력을 $x-y$ 레코더로 측정하였다. x 축은 총 이송구간 $2000.0[\text{mm}]$ 이었고 $1.5[\text{Kw}]$, $200[\text{V}]$ D.C모터로 이송 구동시켰으며, SCR위상제어에 의한 서보 앰프를 시험제작하여 속도제어를 행하였다. y, z 축은 V-가이더와 V-캠 롤 베어링으로 지지되도록하여 볼 스크류로 구성하여 유격과 백래쉬가 $2/100[\text{mm}]$ 이하가 되도록 제작하였다. y, z 축은 D.C서보 모터로 구동하였으며 구동전압은 최대 $\pm 15[\text{V}]$ 였다.

용접 로봇의 정밀도를 파악하기 위하여 그림 6와 같은 Crank 코스와 S 코스를 주행하도록 하였고 구간의 중간에서 사이드 트랙의 방향이 정반대가 되도록 하여 사이드 트랙의 방향반전이 추종성에 미치는 영향을 조사하도록 하였다. 또한 용접

선이 스텝이 되도록 하여 스텝응답을 측정하였다. 실제의 용접성능을 판단기 위해 로봇에 CO_2 MAG용접기를 탑재하여 각종의 코스에서 용접을 실시한 결과이며, 그림 6의 (a)는 시편을 나타내고 있다. 시편에 따라 좌표를 메모리에 기억시킨 후 재생시킨 결과가 (b) 사진으로 크랭크 상단 좌측은 연속 용접을 한 상태이고 우측은 태크(Tack)용접기능의 결과를 보이고 있다. 아래 두가지도 각 코스에 따른 연속 용접의 결과이다.

4.2 실험결과 및 고찰

그림 7(a)는 y 축의 스텝응답의 결과를 나타내고 있다. 상승시간은 $1.5[\text{sec}]$, 지연시간은 $1[\text{sec}]$ 였다. 정상상태의 오차는 $2/100[\text{mm}]$ 이내였는데, 이는 선형가변저항의 분해능인 $2/100[\text{mm}]$ 한계내였으므로 현재의 실험장치로서는 측정이 불가능하였다.

크랭크 코스의 경우 그림 7(b)와 같이 직각 변곡시 x 축의 이동속도가 $2[\text{mm}/\text{sec}]$ 였으며, 이때 최대 오차가 y 축으로 약 $1[\text{mm}]$ 발생하였다. 이것은 y, z 축의 최대 이동속도가 $10.4[\text{mm}/\text{sec}]$ 이지만 이것은 최대이송속도이므로 y, z 축의 편차가 $5[\text{mm}]$ 였을 때이므로 미소한 편차에서는 y, z 축이 속도역시 미소하게 되므로, 이것을 감안한다면 오차가 발생하는 것은 당연하다.

그러나, 용접시의 x 축 이동속도가 $1[\text{mm}/\text{Sec}]$ 인 것을 감안한다면 오차 $1[\text{mm}]$ 는 문제시 될 것이

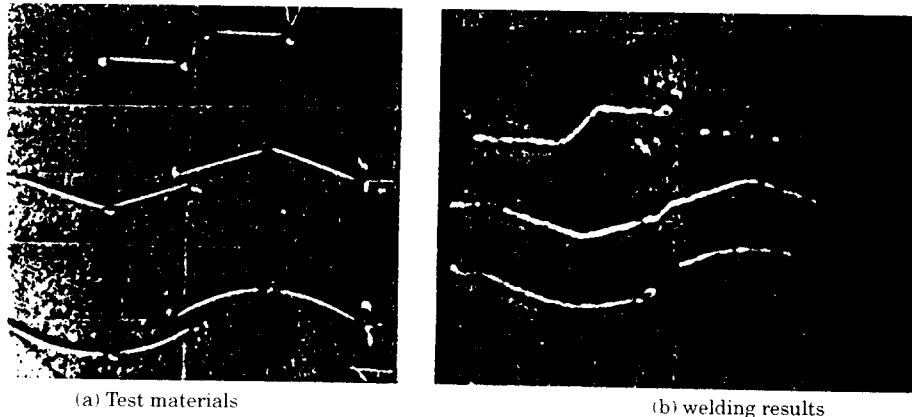


Fig.6 Test materials and welding results of tracking performance

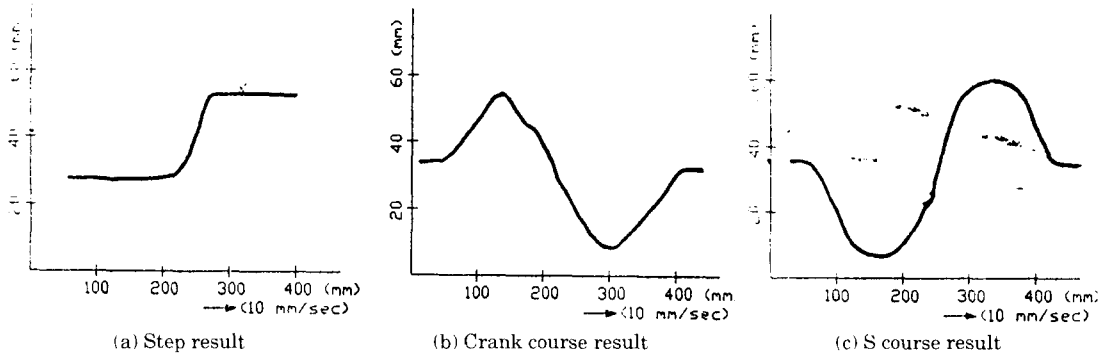


Fig. 7 Tracked results of the designed robot system

없으며 정밀한 용접의 경우라도 용접 비드의 두께가 최소 약2[mm]이상인 것을 감안 한다면 용접로 보트로서의 문제는 발생치 않을 것으로 판단된다.

그림 7(c)와 같이 S코스의 경우 각 변곡점에서는 거의 추적각도가 x축에 대해 90도에 달하므로 접촉식 용접선속력센서로서는 추적의 한계를 보이고 있다.

다중용접모드에서 육성용접등과 같이 모재에 심한 열이 계속 교환되어 가해지게 될 때 모재가 열변형을 하여, 모재의 길이 짧을 경우에는 영향이 그다지 없었으나 모재가 길 경우는 그 정도가 심각하여 용접토오치와 모재가 부딪쳐서 용접불능이 되는 경우가 있었다.따라서 다중모드에서는 z축의 경우 용접선가이더의 출력을 피이드백 시켜서 y축만 궤적이 기억된 대로 재생되도록 프로그램을 변경하였으며, 이와 같이 변경했을 경우 열변형은 전혀 문제가 되지 않았다.

5. 결 론

원칩 컴퓨터에 메모리를 부가한 형태와 직교좌표계 로봇매니플레이터를 이용한 용접추적기를 개발한 결과, 64Kbyte의 메모리로 0.1[mm]의 정도로 2500.0[mm]의 x축 구간에서 y, z의 모든 행정구간을 기억, 재생할 수 있었으며, 동적오차 0.8[mm]한계내에서 y, z축을 추적할 수 있었고, 상승시간은 1.5[sec]였으며,지연시간은 1[sec]였다. x축을 메모리 번지에 대응시키고 x축의 지령치가 시간에 따라 증가하는 것을 x축서보기구가 추종하

도록하여 x축속도제어를 행하는 방식을 도입한 결과 y, z축좌표만을 기억하여도 용접궤적의 기억과 재생이 가능하였으며, 이 방식으로 다중용접 또한 가능하였다.

그러나 육성용접등과 같이 용접모재에 강력한 열이 가해질 경우는 모재의 열변형을 고려하여 학습용접을 행하더라도 z축은 용접선 가이더를 사용하여 피이드백시키는 편이 결과가 좋았다.

참고문헌

- 1) Seam tracker system user manual, Pow Con Inc., San Diego CA.
- 2) 16Bit Embedded controllers,intel inc.
- 3) Yuji Sugitani, Naohiro Tamaoki,Shinichiro Eto,Kenichiro Yamashita and Hideaki Kannayama, "Arc welding robot system for building core blocks of stell column." NKK 技報, pp 97 - 102,1990
- 4) 안병원,노창주,박상길, "학습이 가능한 용접 추적장치의 개발" 94,대한전기학회 하계학술대회 논문집 B, 1994, pp. 1067 - 1069
- 5) T. J. Maloney and F. L. Alvarado l "A digital method for DC motor speed Control," IEEE Trans. Ind.Election. Contr.Instrum.,vol.IECI - 23, pp. 44 - 47, Feb. 1976
- 6) B. Plant,S. J. Jorna,and Y. T. Chan ; "Microprocessor control of position or speed of an SCR DC motor drive", IEEE Trans. Ind.Election. Contr. Instrum., Vol. IECI - 27, pp. 228 - 234, 1980