

## 용접자동화를 위한 아크용접로봇의 개발

박 명 환\*

### The Development of Arc Welding Robot For Welding Automation

M. H. Park\*

#### 1. 서 론

용접용 로봇은, 당초 선진국에서 자동차 보다 조립라인의 스폿 용접에 1970년 경부터 본격적으로 도입되어 현재에 이르고 있다. 그 배경으로서는, 용접법과 로봇 제어기술의 면에서 적용이 비교적 용이하고도 플렉시블하다는 점을 들 수 있고, 로봇을 응용함으로써 유해환경에서 용접 작업을 다루는 중노동의 작업으로 부터 인간을 해방시키는 데에도 큰 공헌을 할 수 있기 때문이었다.

한편, 아크용접 분야에서는 용접 토치의 자세제어나 위치결정 및 용접선의 궤적정밀도에 높은 정밀도가 요구되고 여러 용접 조건의 설정이 심플하여야 하며, 또 위빙이나 용접이상 검출 등의 특수기능에 고도의 기술이 요구되므로 그 보급 실용화가 더디게 진행되어 왔다.

그러나, 최근의 제어기술, 소프트웨어기술, 센서기술의 진보에 의해 이들 고도의 용접작업을 숙련용접공에 대신하여 로봇이 수행토록 하므로써 생산성과 품질의 향상·안정에 기여할 수 있게 되었다.

또한, 최근에는 용접에 관한 많은 기능 이외에도, 생산성을 높이기 위하여 로봇의 동작을 고속화하거나, 용접품질을 향상시키기 위하여 인간의 감각에 대

신하여 센서를 사용하여 상황을 판단하는 AI화への 대응이 점점 더 요구되고 있다.

이에 당사에서는 1984년 아크용접 로봇을 자체 개발한 이래 용접로봇의 응용에 많은 노력을 기울여 왔고 또한 많은 납품 실적을 가지고 있으나, 고객측의 다양한 요구를 만족시키고 하이테크 기술흡수를 위하여 1988년 12월에 일본의 FANUC사와 기술제휴를 하게 되었다. 그 대상기종으로서 아크용접 분야에서는 ARC Mate, ARC Mate Sr.를 전략기종으로 선정하여 국산화 생산을 실시하고 있다.

본고에서는 상기의 아크용접 로봇에 대한 특징, 용접기능, 용접을 위한 센서를 중심으로 소개키로 한다.

#### 2. 기구부의 특징

##### 2.1. 종래 모델의 1/3~1/2의 본체 중량을 실현시킨 기구부

운동제어 응답성과 경제성의 향상을 위하여 아래와 같은 기구부 중량의 대폭적인 경량화를 실현시켰다(그림 1).

1) 구조물 등의 강도를 필요로 하는 부품 이외에는 난연성의 플라스틱을 사용.

\* 정회원, 대우중공업(주) 공작기계·FA 제품기술부

- 2) 고장력 알루미늄 주물을 이용한 박육 암 구조의 채용.
- 3) 피로한도 및 하중밀도가 높은 밸런서를 채용.
- 4) 구조해석에 의거한 경량화 설계.

### 2.2. 감속기 직접 구동기구, 설치 스페이스의 삭감

모터와 감속기를 직결하여 구동하는, 감속기 직접 구동기구의 채용에 의한 컴팩트한 보디로 넓은 동작범위를 실현하였다. 그림 2에 나타낸바와 같이 종래의 볼나사를 사용한 평행 4절 링크기구로서는 위팔 회전각도, 앞팔 회전각도 및 양팔의 상대 각도에 제한이 있어, 동작범위를 확보하기 위하여 긴 암이 필요하였다. 그러나, 직접 구동기구의 채용으로 이러한 제약이 없어, 짧은 암으로도 큰 동작범위를 얻을 수 있게 되었다.

또한 위팔을 뒤쪽으로 후퇴시킨 때에 주변장치나 치구등과의 간섭으로 문제가 되는 백스페이스를 대폭 축소하였다. 이것은 직접 구동기구의 채용으로 후부에 볼나사 등으로 인한 간섭을 없애고, 더욱이 위팔의 회전중심을 앞으로 시프트 시킴으로서 이의 실현이 가능하게 되었다.

### 2.3. 컴팩트한 고속 손목

컴팩트한 손목에 의해, 교시시의 작업성이 개선됨과

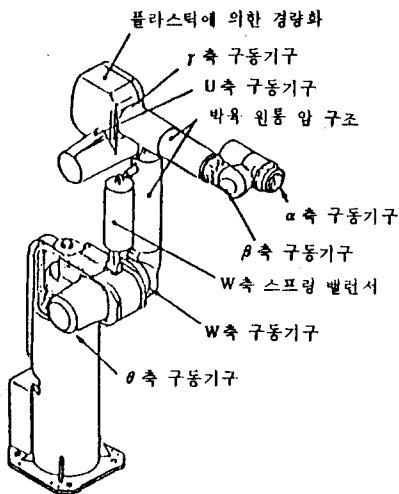


그림 1 경량화된 기구부

아울러 지금까지 적용이 곤란했던 소물부품의 내부에도 용접이 가능하게 되었으며, 손목을 고속화함으로써 워크의 코너부에서의 회전이나 손목자세바꿈이 신속하게 되어, 고능률의 용접작업이 가능하게 되었다. 아크용접 로봇 모델에서는 오프셋 손목구조를 채택하고 있다.

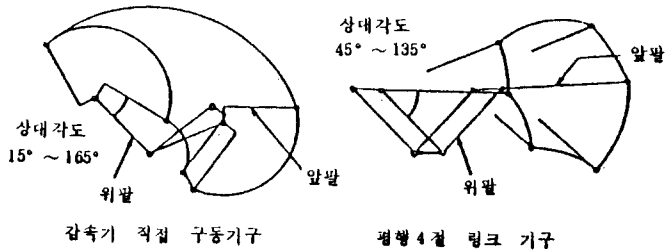
### 2.4. 메인テナンス 프리 구조

정기 보수가 최소한이 되도록 메인テナンス 프리 구조를 채용하고 있다.

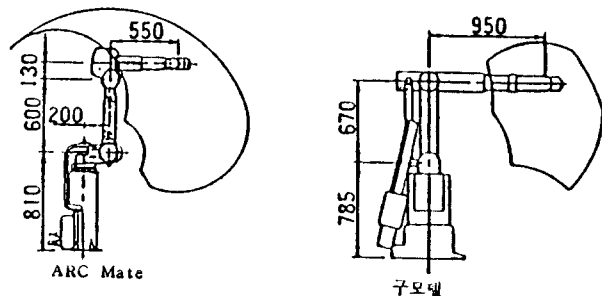
- 1) 브러시의 보수가 필요없는 밀봉구조의 AC서보모터를 채용.
- 2) 벨트, 체인등의 기구부 소모품을 배제하여 정기교환이나 장력조정이 불필요.
- 3) 독특한 선회 케이블 처리방식을 채용하여, 케이블의 수명을 대폭 향상.
- 4) 감속기, 기어박스등 윤활이 필요한 부분은 완전 밀봉의 그리스 베스 또는 오일 베스로 되어 있으므로 윤활제의 교환·보급은 3년에 1번정도로 충분하여, 먼지가 많은 환경에서도 안심하고 사용할 수 있음.
- 5) 부품 수가 적으므로 장해율이 대폭 낮아짐.

### 2.5. 마스터링 기능

원호제어, 직선제어 등에서, 정밀도가 좋은 동작 제어를 얻기 위하여서는 기구부가 가진 기하학적인 좌표



(a) 구동기구의 비교



(b) 의형 및 동작범위의 비교

그림 2 구동기구와 동작범위 비교

계와 소프트웨어로 인식하는 좌표계가 정확하게 일치하여야 한다. 모든 로봇트는 공장출하시에 마스터링이라고 불리는 기능에 의해, 양자의 좌표계를 정확히 일치시키고 있다. 마스터링을 위한 치구에는 5개의 다이얼 게이지를 0.01mm의 정밀도로 로봇트의 위치와 자세를 맞추고 있으므로, 로봇트 교시 테이터(프로그램)의 호환성이 유지되도록 되어 있다.

이 기능에 의해 로봇트 프로그램의 이식, 로봇트 기구부의 교환, 오프라인 프로그래밍 등을 고정밀도로 행하는데 있어서, 교시 작업의 공수를 대폭 단축시킬 수 있다.

### 3. 아크용접 기능

ARC Mate, ARC Mate Sr. 로봇트는 아크용접 전용의 로봇트로서 여러가지 뛰어난 용접 기능을 가지고 있다.

- 1) 용접조건은 용접전압 0.1V, 용접전류 1A의 단위로 직접 입력할 수 있으며, 또한 용접중에 리얼 타임으로 미세조정이 가능하므로 좋은 품질의 용접을 기대할 수 있다.
- 2) 용접조건 지정에는 상기의 직접지정과, 번호지정의 2가지 지정 방법이 가능하며 이들을 혼재시켜 사용할 수도 있다. 또 어느 방법이라도 용접중의 조건을 변경시킬 수 있다. 일례를 아래에 나타낸다.

직접 지정의 경우 프로그램 예...AS, 16V, 150A

번호 지정의 경우 프로그램 예...AS, 1(이 경우 00~31번의 32가지 조건 테이블을, 별도의 용접조건 화면에서 설정해 둔다)

- 3) 용접개시 미스 자동 복귀 기능 : 와이어 선단, 모재부의 슬래그 등으로 아크발생이 되지 않을 때도 있으나 본 기능으로 자동적으로 스파크시켜서 소정의 스타트점부터 용접할 수 있다(그림 3).

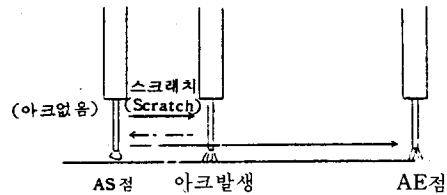


그림 3 용접개시 미스 자동 복귀 기능

- 4) 용접 재개 기능 : 용접중, 어떤 트러블 또는 점검 등으로 아크를 정지시킨 후 재스타트할 경우, 그 위치, 아크스타트 지령, 위빙지령 등을 기억하고 있으므로, 재개 조작에 의해 간단히 용접을 계속할 수 있다(그림 4).

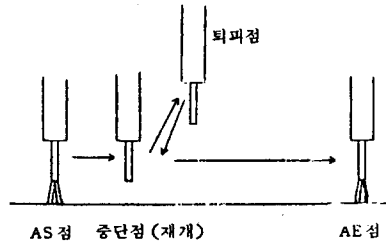


그림 4 용접 재개 기능

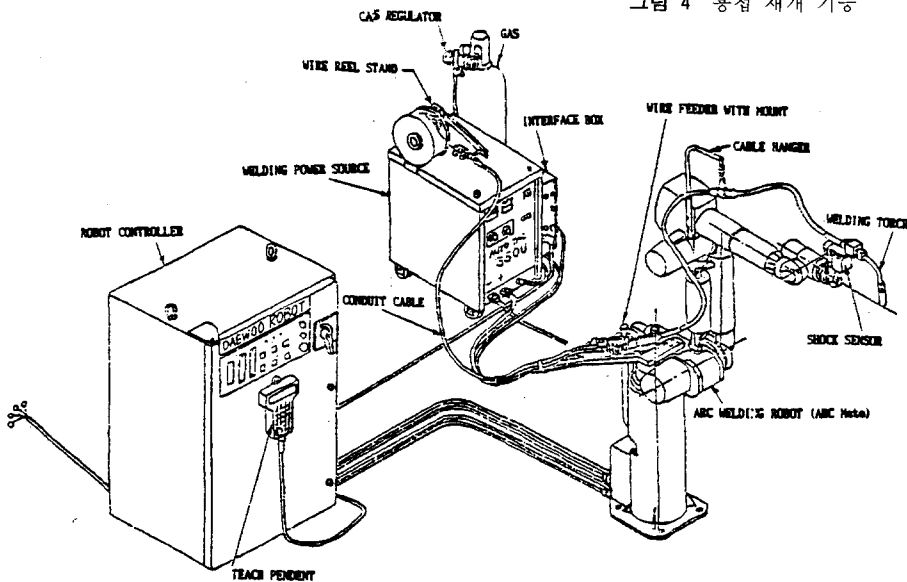


그림 5 아크용접 로봇트의 기본 시스템

5) 자동 용착해제 기능 : 용접 종료점에서 와이어가 모재에 용착되어도 이를 자동적으로 해제시킬 수 있다. 팁 용착, 스파터 퇴적 등으로 해제가 안될 경우에는 열람처리된다(그림 6).

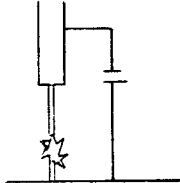
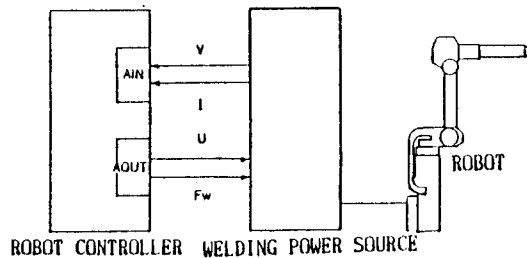


그림 6 자동 용착해제 기능

6) 용접중의 용접조건 미세 조정 기능 : 용접조건인 3요소인 용접전압, 용접전류, 용접속도를 용접중에 아크를 관찰하면서 혹은 소리를 들으면서 변경시킬 수 있다. 이때 용접 실행중인 그 시점에서의 각 조건 지령치, 피드백값이 액정 디스플레이의 화면에 표시된다.

7) 용접전류, 전압 피드백 제어기능 : 로봇제어장치에서는 프로그램된 전류, 전압에 대응하는 아날로그 출력을 용접기에 보내지만, 와이어 돌출길이 변화등으로, 반드시 지령치의 전류, 전압이 나오는 것은 아니다. 이 기능은 용접전류와 전압의 피드백 샘플링 값을 감시하여, 미리 결정된 허용 범위를 넘어서면 실제 용접전류, 전압이 본래의 지령치에 접근하도록 지령치를 보정하는 것이다.

지령치에서 벗어나는 허용 범위와 교정 계인은 파라미터에서 조절할 수 있다. CO<sub>2</sub>/MAG 용접의 경우는 용접전류와 전압을, TIG용접의 경우는 용접전류를 제어한다(그림 7).



$$\begin{aligned}
 u &\rightarrow u + du & du &= f(dI, dV) \\
 Fw &\rightarrow Fw + dFw & dFw &= g(dI) \\
 dI &: \text{용접전류 지령치에서의 벗어남} \\
 dV &: \text{용접전압 지령치에서의 벗어남}
 \end{aligned}$$

그림 7 용접전류, 전압 피드백 제어기능

8) 위빙기능

·단진동형 : 용접선이 직선 또는 원호의 경우에, 사용되며 지정된 주파수, 진폭 및 양단정지 시간으로 위빙한다. 또한, 위빙경로의 중앙값을 자유로이 지정할 수 있으므로 좁은 홈의 벽면에 따라 간이 L형 위빙도 가능하다(그림 8).

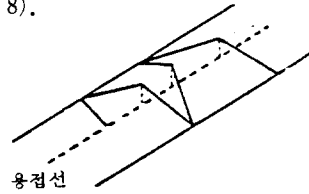


그림 8 단진동형 위빙

·진자형 : 로봇트는 이동하지 않고 포지셔너 등으로 워크를 회전시켜서, 동일 위치에서 단진동형의 위빙을 행한다. 외부로부터의 신호(디지털 입력신호 터미널 지정은 자유)에 의해 끝내는 방식이다(신호가 들어 오기까지 영구히 진자동작을 반복한다, 그림 9).

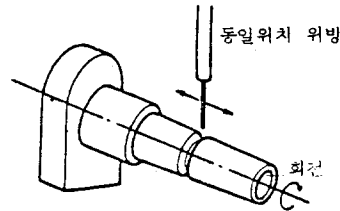


그림 9 진자형 위빙

·패턴작성형 : 사용자가 자유로이 패턴을 만들수 있는 타입으로서, 패턴을 파일해 두고 필요한 장소에서 호출하여 사용한다. 그림 10. 또, 6축동작에 의한 위빙으로서, 6Hz의 고속 위빙을 실현하여, 박판의 용접선 추적이 아크센서로도 가능하게 되었다(그림 10).

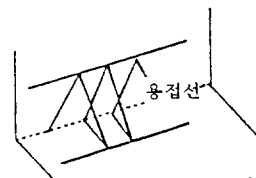


그림 10 패턴작성형 위빙

9) 다층쌓기 용접 : 초층 아크센서에 의한 보정테이터를 2층째 이후에 피드백하여, 용접선으로 부터의 어긋남에 대처하는 기능이다. 다층쌓기의 마지막 용접에서 큰 진폭의 위빙이 필요하기 때문에 최대 50mm의 진폭이 가능하도록 하였다(그림 11).

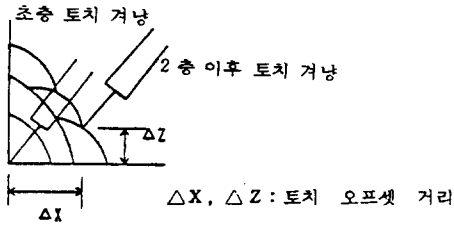


그림 11 다층쌓기 용접

10) 크레이터 처리 기능 : 용접 종료점에서 크레이터 용접조건(전류, 전압, 시간)을 임의로 설정할 수 있다. 또, 토치 위치는 교시로서 자유로이 결정할 수 있으므로 “토치 정지처리”외에 “토치 끌어올림 처리”나 “토치 끌어올림 후퇴처리”등의 여러 방법이 채용될 수 있다(그림 12).

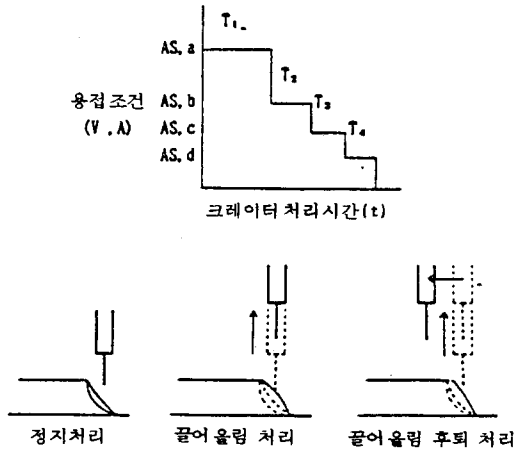


그림 12 크레이터 처리 기능

11) TIG용접기능 : TIG고주파발생장치(1~2MHz, 피크전압 10,000V)에서 나오는 노이즈가 아주 심하기 때문에 로봇의 위치가 이상해지거나, 제어 소자를 파괴시켜 로봇을 폭주시킬 수 있다. 이러한 TIG용접 노이즈를 차폐할 수 있는 기능으로서 스테인레스 스틸, 알루미늄을 용접할 수 있다.

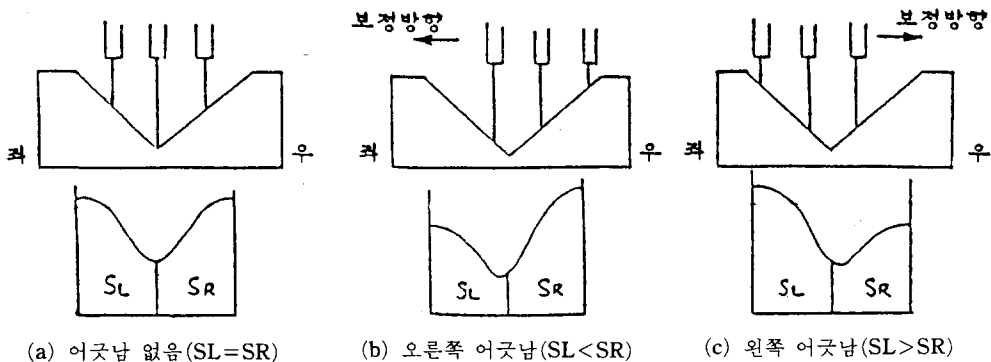
#### 4. 아크센서 및 터치센서

##### 4.1. 아크센서의 원리

용접전류 파형은 랜덤한 고주파 성분이나 리플을 포함하고 있으므로, 로패스 필터를 사용하여 평활화하고, 다시 샘플링 데이터(용접전류)를 적분처리하므로서 평활화 효과를 높이고 있다. 그림 13에 좌우방향, 즉 위빙방향의 보정을 행하여, 용범와이어 선단과 용접선과의 상대위치가 일정하게 되도록 하는 원리를 나타낸다.

(a), (b), (c)는 각각 용접선에 대하여 용접토치에, “어긋남 없음”, “오른쪽 어긋남”, “왼쪽 어긋남”이 생긴 경우에 대응되는 검출전류를 모식적으로 나타낸 것이다. 이 검출전류로부터 16msec 마다 데이터를 샘플링하여 적분처리를 행하고, 위빙 왼쪽 1/4주기에 1회씩 용접선 경로 보정을 행한다.

즉, (a)와 같이 좌우양쪽 위빙적분치에 편차가 없는 경우에는 경로보정을 행하지 않는다. (b)와 같이 오른쪽 적분치가 큰 경우에는 왼쪽으로 보정하고, 역으로 (c)와 같이 왼쪽 적분치가 큰 경우에는 오른쪽으로 보정하여서, (a)의 “어긋남 없음”의 상태가 되도록



(a) 어긋남 없음(SL=SR) (b) 오른쪽 어긋남(SL<SR) (c) 왼쪽 어긋남(SL>SR)

그림 13 좌우방향의 보정

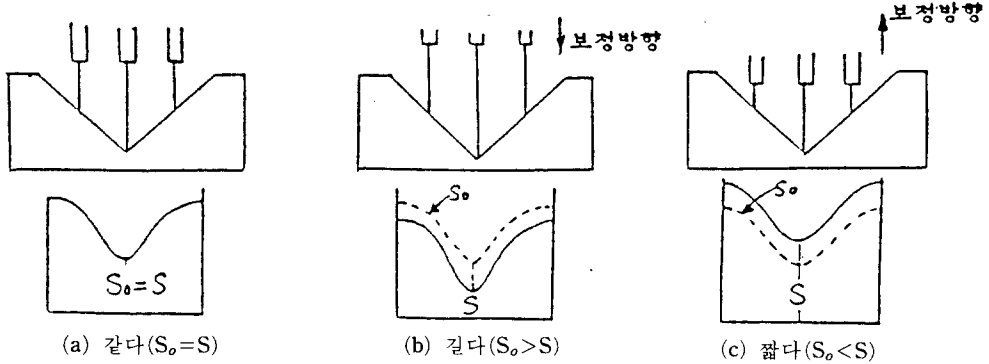


그림 14. 상하방향의 보정

경로보정을 행한다. 이 보정은 변동하는 “어긋남량”에 따라서 자동 수정된다.

그림 14에 상하방향의 보정, 즉 와이어 돌출길이가 일정하게 되도록 하는 원리를 나타낸다. (a), (b), (c)는 각각 기준이 되는 와이어 돌출길이에 대하여 “같다”, “길다”, “짧다”의 경우에 대응되는 검출전류를 모식적으로 나타낸 것이다. 이 검출전류로부터 좌우방향 추종의 경우와 마찬가지로 적분처리를 행하고, 용접개시 초기에 설정된 기준 적분치와 최신의 적분치를 비교하여, 기준치와 일치되도록 위빙 1/2주기에 1회씩 와이어 돌출길이의 보정을 행한다. 이 보정은 변동하는 “와이어 돌출길이”에 대응하여 위빙방향과 동시에 자동 수정된다.

#### 4.2. 아크센서의 특징

1) 전류필터유니트나 전류검출유니트 등의 특별한 하드웨어를 추가하지 않고, 표준 시스템 구성으로 아크센싱을 행할 수 있다. (용접기 및 로봇 제어장치에 내장)

2) 조작이 간편하고, 센싱파라미터의 설정과 아크센서 ON의 지령만으로 센싱을 할 수가 있다. 위치교시는 아크센서를 채용하지 않은 경우와 마찬가지로 감각으로 용접 개시점 및 종료점(필요에 따라 중간점을 추가)의 2점을 교시하면 되고, 위빙평면을 교시할 필요가 없다.

3) 테스트 용접에 의한 센싱조건이나 기준전류치등의 분할이 불필요하고, 아크센서를 채용하지 않은 경우와 마찬가지로 감각으로 적용할 수가 있다.

4) 용접선의 추종(좌우방향)과 와이어 돌출길이의 조정(상하방향)을 동시에 행하는 3차원 리얼타임 보정이 가능하다.

5) 독특한 알고리즘의 채용으로, 아래에 나타낸 여러가지의 외적 조건 변화에 대하여, 데이터 처리방식의 전환이나 센싱파라미터를 변경시키지 않고도 광범위한 조건에 대응할 수가 있다.

- a) 용접기의 제어방식(인버터/사이리스터 제어)
- b) 용접전류 영역(단락이행/글러블러이행/스프레이이행 영역)
- c) 실드가스의 종류(100% CO<sub>2</sub>/80%Ar+20%CO<sub>2</sub> 혼합가스)
- d) 용접와이어의 지름, 종류(각종 사이즈, 솔리드/플럭스 함유)
- e) 용접속도(저속도/고속도)
- f) 위빙조건(주파수/진폭/양단정지타이머), 위빙패턴(단진동형/진자형)

6) 아크가 안정된 고정류 글로블러이행, 스프레이이행 아크용접 및 외란이 많은 저전류 단락아크용접에서도 안정된 고정밀도의 센싱을 할 수 있다. 또한, 최저 용접전류는 용접기의 성능에 따라 다르지만, 약 55A부터 적용 가능하다.

7) 용접 대상물의 오차(용접대상물의 제작정밀도, 설치정밀도, 용접열변형, 교시정밀도 등)의 대소에 영향을 받지 않고, 항상 안정된 고정밀도의 센싱을 할 수 있다. 이것은 매회의 보정량이 일정한 값이 아니고, “어긋남량”의 증감에 대응하여 보정량이 자동적으로 가변되는 방식을 채용하고 있기 때문이다.

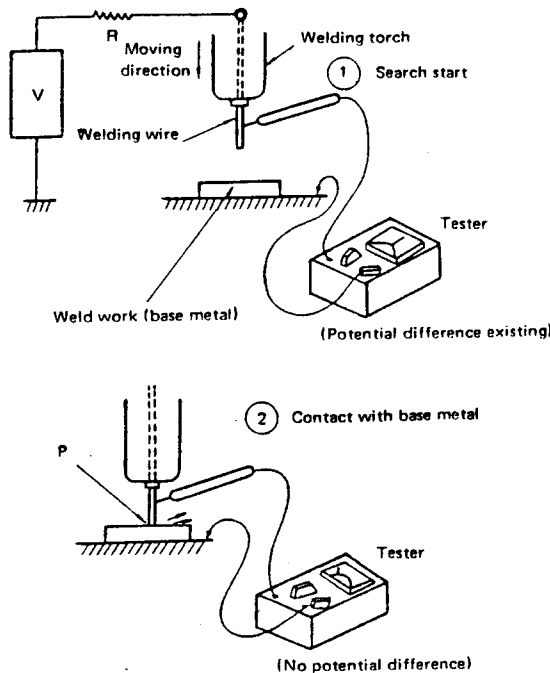
8) 홈의 벽을 따라 위빙하는 간이 V형 패턴에 의해, 단진동형으로서는 곤란한 대각장(저주파수/저속용접)의 초층 아크센서 용접이 가능하다. 이 설정 방법은 보통의 단진동형 패턴에서, 센싱파라미터(위빙 중앙 상하량)를 임의의 “마이너스 값”으로 설정해 두기만 하면 간편하게 조작된다.

9) 초층 아크센싱에 의한 보정테이터를 2층째 이후에 피드백하여 다층쌓기 용접을 할 수 있으며, 최대 지정 위빙폭 50mm(양진폭)의 폭이 넓은 마감용접도 가능하다.

10) 위빙의 중심을 용접선으로 부터 일정치 오프셋 시킴으로서, 부등각장의 용접이 가능하다. 이 방법은 센싱파라미터(좌우적분치의 바이어스)를 조정하여 실현한다.

### 4.3. 터치센서

용접개시점의 위치 어긋남을 검지·보정하는 이 기능은, 용접개시점의 좌표치 기준 테이터와 탐색 테이터를 비교하여 그 차이를 보정치로서 용접개시점의 위치 어긋남을 수정한다. 용접와이어와 모재간에 고전압(AC 350~400V)을 인가하는 터치센서 유니트와 터치센서 유니트의 검출 신호에 의해, 탐색보정지령을 하는 로봇트 제어장치로 구성된다.



Where V: Power source for wire touch sensor  
 R: Current limiting resistance  
 P: Search point by wire touch sensor

그림 15 터치센서의 동작원리도

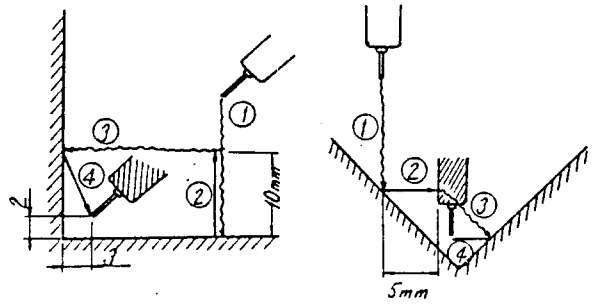


그림 16 터치 패턴

### 5. 맺 음 말

이상에서 아크용접 로봇트에 대한 특징과 용접 기능 및 아크센서·터치센서에 대하여 소개하였다. 최근 공장자동화의 추세에 따라, 용접분야에서 로봇트의 도입이 가장 활발하게 이루어 지고 있으나 로봇트에 의한 용접은 로봇트 제어기술, 센서기술, 용접기의 고성능화가 이루어 져야 하기 때문에 국내 기술력의 부족으로 외국 기술에 많이 의존하고 있다.

특히 국내 용접기 업체의 영세성으로 고기능화되어 가는 외국의 용접기에 경쟁이 되지 못하기 때문에 로봇트용 용접기는 모두 수입되고 있는 실정이다.

또, 외국의 경우 용접기술과 로봇트를 점목시키기 위하여 많은 연구가 이루어지고 있으나 아직 국내에서는 몇몇 로봇트 업체에 의해 초기 단계의 응용에 적용되고 있는 실정이므로 이에 대한 국내 용접 분야에서의 많은 연구가 요청된다.