

최 신 용 접 기 술

**** 목 차 ****

- I. 레이저 용접 (LASER Welding)
- II. 전자빔 용접 (Electron Beam Welding)
- III. Hot-TIG 용접
- IV. 협개선 오피탈 TIG 용접
- V. 일렉트로슬래그 오브레이 용접
- VI. 인버터 MIG/MAG 용접
- VII. TIME 용접
- VIII. 비전센서 (Vision Sensor) 용접
- IX. 폭발 (Explosive) 접합
- X. 마찰교반용접 (FSW)
- XI. A-TIG 기법
- XII. Hybrid 용접

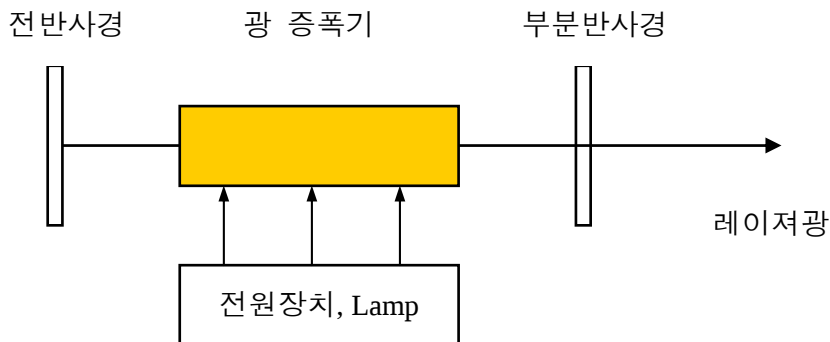
용접기술연구팀

I. 레이저 용접 (LASER Welding)

1. 레이저 빔의 발생 원리

- ① 레이저 (LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)는 ‘방사선의 유도방출에 의한 빛의 증폭’의 의미이다.
- ② 원자핵 주위에서 정하여진 궤도를 돌고 있는 전자들은 고유의 에너지 준위를 갖고 있으므로 외부로부터 에너지가 주어진다면 전자는 에너지를 흡수하여 더 높은 준위의 궤도로 이동하면서 불완전한 상태로 된다. 이 상태를 여기상태 (Excited State)라고 하며 원래상태로 돌아가면서 이 때 두 준위 사이의 에너지 차이 만큼 방출하게 된다.
- ③ 이러한 방출에는 자발적 방출(Spontaneous Emmision)과 자극방출(Stimulated Emmision) 두가지가 있으며, 자극방출은 원자가 높은 에너지 상태에 있다가 외부의 빛에 자극을 받아서 빛을 방출하는 것으로서, 이때 자극을 시킬 수 있는 빛은 방출될 빛과 파장이 같아야 한다. 이를 유도방출(induced emidion)이라고도 한다.
- ④ 이 빛의 유도방출이 레이저 빔의 발생기구로서 이렇게 유도 방출된 광자(Photon)를 거울을 이용하여 증폭시켜 강도가 큰 레이저빔을 얻게 된다.

2. 레이저 구성요소

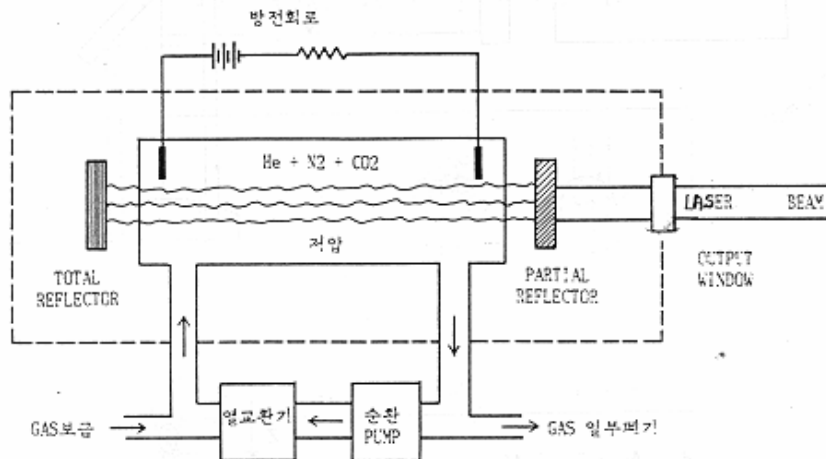


- ① 두 거울이 정면으로 마주보고 있으면 그 중 하나는 100%에 가까운 반사율을 가진 거울로써 입사하는 광을 전부 반사시키는 전반사경이고 다른 하나는 입사광 중 일부는 통과시키고 나머지는 반사시키는 거울로써 부분 반사경이라 한다. 이 두 거울을 공진기 (resonator)라 한다.
- ② 마주한 두 거울 사이에 특별한 원자(또는 분자)로 채워진 물체가 있다. 이것은 두 거울 사이를 왕복하는 빛이 유도과정으로 증폭되어 센 빛이 되도록 하는 광 증폭기 (optical amplifier)이다.
- ③ 증폭기가 광의 증폭이 가능하도록 외부에서 에너지를 가하는 장치인 전원장치가 있다.

3. 레이저의 종류

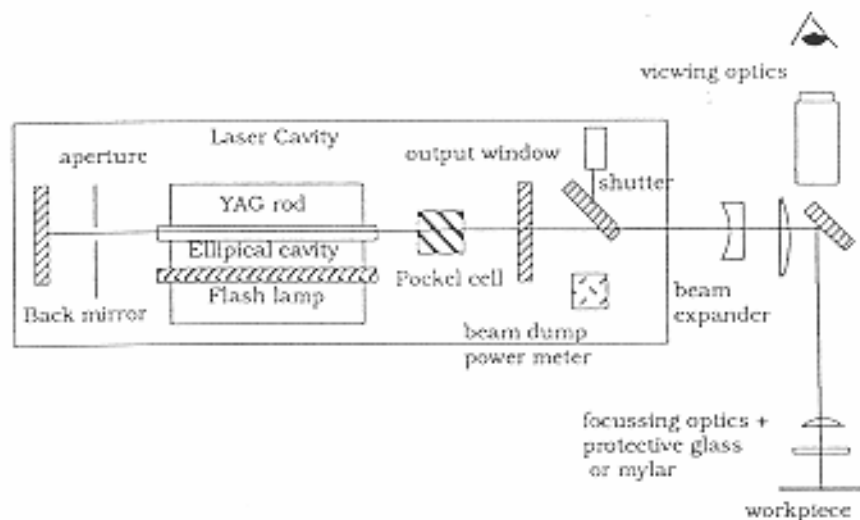
(1) CO₂ 레이저

- ① 적외선 구역인 10.6 μm 파장의 레이저로써 고출력 펄스 혹은 연속파의 빔 모두를 방출시킬 수 있으며, 15% 이상의 높은 효율을 가진다.
- ② 매질로써 CO₂ 분자들을 사용하여 이들의 진동 및 회전준위들 사이의 전이에 의해서 레이저가 발생한다. 약 1m 길이의 유리(pyrex)관에 CO₂, He, N₂ 가스를 일정비로 흘리면서 10kV 정도의 직류전압을 가하면 글로우 방전이 일어난다. N₂, He 가스를 혼합하면 순수 CO₂ 가스만 있을 때의 출력에 비해 큰 출력을 얻을 수 있다.



(2) Nd:YAG 레이저

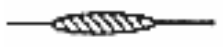
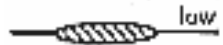
- ① 레이저 매질로써 YAG(Y₃Al₅O₁₂)에 Nd를 약 0.5% 내외 정도 첨가시킨 단결정을 사용하며 레이저빔의 파장은 1.06 μm 이다.
- ② 발진기의 구성은 레이저 매질은 Nd:YAG Rod, Rod 를 여기시키는 에너지를 공급하는 플래쉬 램프와 전원장치, 레이저빔을 증폭시키는 공진기 미러로 이루어진다.
- ③ Nd:YAG 레이저는 파장이 1.06 μm 로서 미세하여 광파이버를 이용한 원거리 전송이 가능하다. 광파이버는 일반적으로 지름이 200~1,500 μm 인 'Glass' 코어로 되어 있다.



4. 레이저 용접의 특성

- ① 레이저 용접은 열영향부가 좁으며, 용접부 주위 금속은 과도한 열에 노출되어 있지 않다.
- ② 우수한 용접 재현성과 자동화가 용이하며 컴퓨터 제어가 가능하여 작업 생산성을 향상시킬 수 있어서 비용 절감이 가능하다.
- ③ 레이저빔은 전자빔 다음으로 가장 높은 출력밀도(Power Density)를 가지고 있다.
- ④ 레이저 용접은 재료의 증발에 의해서 생긴 홀(Hole)의 발생과 용접이 진행함에 따라서 홀이 진행함과 동시에 용융상태의 금속이 그 홀을 채우게 되는 “키홀(Key-Hole)” 용접이다. 키홀의 직경은 CO₂ 레이저의 경우 약 0.2~1mm 정도이며, 키홀이 형성됨에 따라 용입깊이가 폭에 비해 커진다.
- ⑤ 용접메커니즘은 전도용접(Conduction Welding)과 심용입용접(Deep Penetration Welding)이 있으며, 전도용접은 금속을 기화시켜서 키홀을 형성할 만큼 충분한 출력밀도를 가지지 못했을 경우 금속 표면에 흡수된 레이저 에너지의 열전도에 의한 용융으로 이루어지므로 레이저 에너지의 효율은 크지 못하다. 심용입용접은 두꺼운 금속의 용접에 적용되며 가로 세로비가 2~10 정도의 깊은 용접층을 얻을 수 있다.

[각 용접 프로세스의 파워밀도의 비교]

프로세스	Heat Source Intensity(W/m ²)	용융 영역의 형상
Flux Shielded Arc Welding	$5 \times 10^6 \sim 10^8$	
Gas Shielded Arc Welding	$5 \times 10^6 \sim 10^8$	
Plasma	$5 \times 10^6 \sim 10^{10}$	 low
		 high
Laser or Electron Beam	$10^{10} \sim 10^{12}$	 low
		 high
		 defocus
		 focus

5. 레이저용접의 변수

(1) 출력(Power)

펄스형 레이저빔의 출력에서는 펄스반복율이 중요하며 펄스폭이 너무 크거나 펄스 하나의 침투 출력이 너무 클 때에는 “천공”과 같은 현상이 일어날 수 있다.

침투출력은 단 하나의 펄스에서 측정되는 레이저빔의 세기로서, 침투출력밀도는 가공대상의 표면에 레이저빔이 집광되었을 때 이 빔의 세기를 나타낸다.

일반적으로 용접직경은 주변으로의 열적확산 때문에 약간 크지는 것이 보통이다. 열을 매우 짧은 시간에 조사시킴으로서 이 영향을 줄일 수 있다. 이를 위해서는 용접헤드 최종단의 렌즈를 적절히 선택함으로써 침투출력을 적절히 조절할 수 있다.

(2) 에너지와 펄스폭

하나의 펄스에 대하여 빛의 양으로 고려될 수 있는 것이 에너지인데, 용융되어야 할 재료의 체적에 의하여 결정되는 변수이다. 펄스폭은 ms 단위로 측정되는 펄스의 지속시간(duration)으로서 [에너지= 침투출력 x 펄스폭] 으로 나타낼 수 있다.

(3) 용접속도

용접속도는 용접비드의 형상에 영향을 미칠 수 있다. 용접속도에 따라서 용융지의 유동양상과 크기가 변하게 된다. 용접속도가 낮을수록 용접비드는 크고 넓으며 Drop-Out 이 발생할 수 있다. 더 큰 용접속도에서는 키홀 중심부로 유체가 흘러갈 시간이 부족하여 언드컷이 발생할 수 있다.

(4) 보호가스

레이저용접시에 과도한 플라즈마의 발생은 레이저빔을 차단함으로써 키홀이 닫히게 된다. 플라즈마가 확산됨에 따라서 다시 키홀이 열리게 되고 - 플라즈마의 과도 발생, 키홀의 닫힘, 플라즈마 확산이 반복해서 일어나게 된다. 이로 인하여 용접깊이의 변화가 현저하게 나타나게 되는데, 이 같은 불량 요인을 없애기 위해서는 플라즈마가 과도하게 생성되는 것을 방지해야 하는데, 이 때 주로 불활성 가스를 키홀 주위에 불어줌으로서 플라즈마를 감소시킬 수 있다. 레이저용접에서 보호가스의 효율은 He, N₂, Ar의 순서이다.

6. 레이저 용접 접합체의 설계

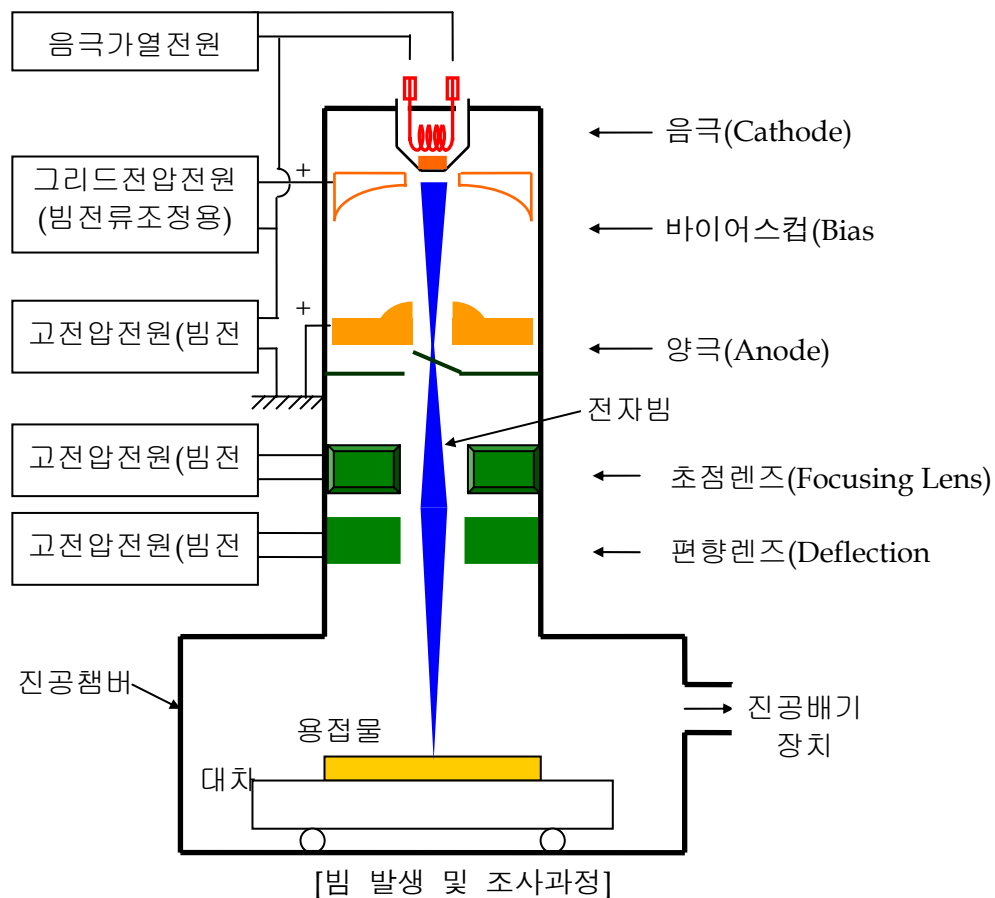
레이저용접은 매우 작은 구역에 열을 집중시키고 용가재를 사용하지 않기 때문에 용접시킬 부품의 배치가 매우 중요하다. 용접시킬 부품의 모양과 용접을 위한 접합체의 배치에는 맞대기 용접(Butt Welding)과 겹침용접(Lap Welding)으로 나눌 수 있다. 맞대기 용접에서의 배치에서는 접합시킬 부품이 평평하며, 양측 부품 간에 틈이 없어야 하며, 그 간격의 최대 허용치는 두께의 15% 이내로 하여야 한다. 그리고 두 부품 사이의 높이 차이도 25% 이내로 하여야 한다.

II. 전자빔 용접 (Electron beam Welding)

1. 전자빔 용접의 특성

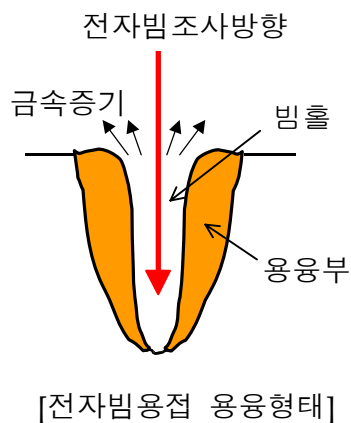
- ① 전자빔 용접(Electron Beam Welding, EBW)은 진공중에 음극을 가열하여 방출된 전자를 고전압으로 가속하고, 전자코일의 자력으로 집속 및 편향시켜 형성된 전자빔을 작업물에 조사하여 용접부를 가열 및 용융시켜 접합하는 방법이다.
- ② 즉, 고밀도 에너지를 갖는 전자의 운동에너지를 열에너지로 변환시켜 순간적인 용접을 함으로서 열변형을 극소화할 수 있고 용가재(Filler Metal)없이 고품질의 후판용접이 가능한 가장 진보된 용접 방법이라 할 수 있다.
- ③ 따라서 자동차, 항공기, 및 원자력 기기 등 정밀 고부가가치 또는 특수 소재의 제품용접에 주로 사용되며, 특히 용접변형에 취약한 기어류, 특수 모터케이싱 등 기계부품의 접합에도 크게 활용되고 있다.
- ④ 전자빔 용접은 일반 아크의 1000 배 이상인 약 $10^8 \sim 10^9 \text{ W/cm}^2$ 정도의 고에너지 밀도를 가지며, 질량이 작은 전자를 고속 고정밀도로 전기적 제어가 가능함에 따라 수십 미크론 단위까지의 높은 제어성을 갖고 있다.

2. 전자빔의 발생과정



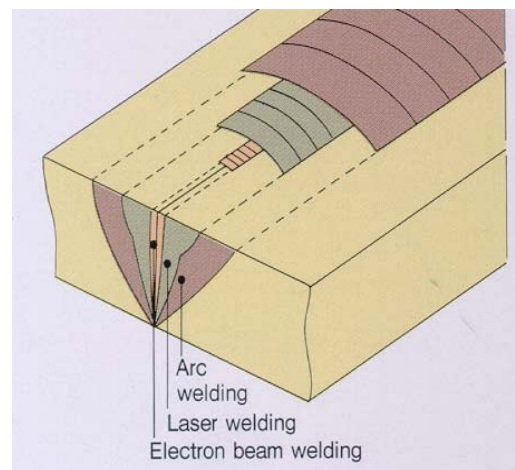
3. 전자빔 용접 접합메카니즘

- ① 고전력밀도의 전자빔을 금속에 조사하면 조사부위는 국부적으로 용융되며 이 경우 급속한 가열로 인하여 모재부로의 열확산은 작게 되고 대부분의 에너지가 용융에 이용되어 용융부는 과열상태로 되며 내부에는 금속증기로 인해 기공이 발생된다.
- ② 이 기공의 폭발이나 비등현상으로 인해 용융금속이 분출하고 홀이 형성된다. 이러한 현상이 지속되면 매우 깊은 홀(케비티)이 형성된다. 그것을 천공작용이라 하며 천공의 속도는 전력밀도나 금속의 증기에 크게 의존하며 통상 전자빔은 1m/s 이상에 달한다.



4. 전자빔 용접특징

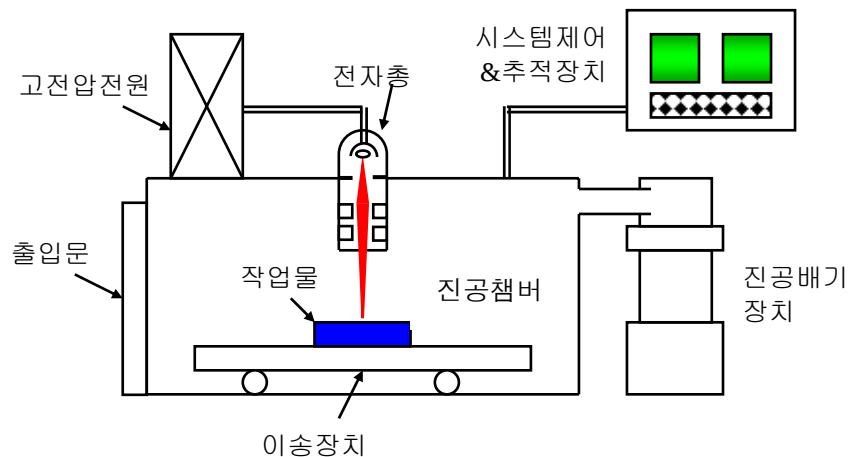
- ① 후판에 대해 1 Pass 용접이 가능하다.
- ② 용접폭이 협소하며 열영향부를 최소화할 수 있다.
- ③ 용접변형이 적게 되며 정밀한 용접이 가능하다.
- ④ 고온 용융금속을 용이하게 용접할 수 있다.
- ⑤ 진공분위기하에서 용접되므로 주위 가스에 의한 오염이 감소된다.
- ⑥ 전자의 힘을 이용하므로 제어가 용이하다.



[용접방법별 용융부비교]

5. 전자빔 용접장치의 구성

- ① 전자총, 고전압전원 및 부속장치, 시스템 제어 및 추적장치, 이송장치, 진공챔버 및 진공배기 장치 등으로 구성된다.
- ② 고전압 전원 또는 전자총의 용량은 보통 용접 접합부의 침투깊이 즉, 용접부 두께에 따라 결정된다.
- ③ 진공 사용형태에 따라서 전체 진공형 장치, He 분위기하 대기압형 장치, 국부 진공 장치 등으로 구분되나 실용적으로 전체 진공방식이 주로 적용된다.



[전자빔 용접장치 전체 구성도]

* 전자총 (Electron Beam Gun)

- 전자빔을 발생시키는 장치로서 자유전자 발생, 전자 가속화, 빔의 형성, 빔 흐름 조정, 빔 집중, 및 정적 동적 굴절 등의 기능을 가지고 있다.
- 전자빔 자체는 음극형태의 전자 방출기에 의해 진공하에서 발생되며, 가속전압으로 가속된 전자는 양극을 통과하면서 한 점으로 집적된다.

* 고전압 전원 및 부속장치

- Electronics 의 진보로 인버터에 의해 고전압 전원회로의 고주파화, 광 화이버를 사용한 고 전위부 회로의 원격 고속제어, 및 고전압의 가스 절연화가 가능하다.

* 시스템 제어 및 심 추적장치

- 전자총의 그리드 전압, 집속렌즈의 여자전류, 편향코일 전류에 해당하는 전기량, 빔출력, 에너지 밀도, 빔 위치 등의 주요한 용접변수는 Computer 나 Programmable controller 에 의해 고속, 고정밀도로 제어 자동화가 되고 있다.

*** 기계구동 및 이송장치**

- 전자빔을 조사하는 전자총은 진공챔버 상부에 설치되는 고정형(Fixed Gun)과 진공 챔버 내부의 이송장치에 부착하는 이동형(Moving Gun)이 있다.
- 고정형은 고전압부분의 설치는 용이하나 이송테이블의 이동으로 용접부위를 조정하여야 하므로 용접물을 고정시키기 위한 준비작업시간이 과다하게 소요되며 고정용 지그가 많이 소요된다.
- 이동형은 챔버내부에서 전자총이 임의의 위치로 자유롭게 이동가능토록 한 것으로 일반 CNC 절단장치 또는 레이저 이송장치와 유사한 형태로 설치된다. 보통 진공 챔버의 측면 상부벽의 부양빔에 마운팅(Mounting)하거나 행거(Hanger)로 지지하는 형태가 있고, 이동 갠트리(Gantry)에 탑재하여 설치하는 방법이 있다.

*** 진공챔버(Vacuum Chamber)**

- 전자빔용 진공챔버는 연강재질로 외측공기압에 의한 변형에 견디도록 스틱프너를 적절히 붙힌 사각통 또는 원통형으로 보통 제작된다.
- 진공챔버는 작업대와 전자총 이동장치를 지지하므로 전자빔 경로가 용접선과 일치하기 위해서는 용기벽의 변형을 최소화하여야 한다.
- 용접물 표면에 충돌하는 전자빔에 의해 발생하는 X-ray는 용기설계, 벽 두께, 투시창 유리의 납성분, 문 및 창문부위에 미로(Labyrinth)형 조인트 처리로써 충분히 차단되어야 한다. 보통 가속전압이 60KV인 경우에는 32mm두께의 철판이 필요하며, 150KV일 때는 75mm이상 또는 고밀도 라이닝형의 차단용기가 요구된다.

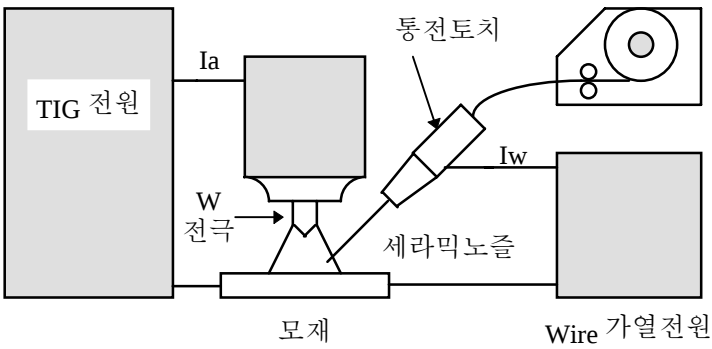


[전자빔 용접장치 전체 형태]

III. Hot-TIG 용접

1. Hot-TIG 용접의 특성

- TIG 용접으로 용착속도를 증가하는 방법으로서, 공급와이어에 전류를 연결하여 저항 가열로써 와이어를 예열하여 와이어를 용융지에 투입한다.
- 스파터나 슬래그의 발생이 없고 흡도 적어지고 저수소로 지연균열의 염려가 적어지므로 예열온도를 낮게 할 수 있는 등의 TIG 용접의 특징을 그대로 이용할 수 있다.



[Hot-Wire TIG 용접장치의 구조]

2. 와이어 가열 전원

- 종래는 그림 (A), (B)와 같이 직류 또는 교류의 연속적인 전류로 와이어를 가열하였다. 여기에 반하여 최근에는 그림 (C), (D)와 같이 펄스전류로 와이어를 가열하는 방법이 실용화되고 있다.

와이어		연속통전		펄스통전	
아크		펄스 무		펄스 무	펄스아크
전류파형	아크	(A) DC 가열	(B) AC 가열	(C) PH 법	(D) HST 법
	와이어			50-150 Hz	50-150 Hz

[Hot-Wire TIG 용접의 전류파형]

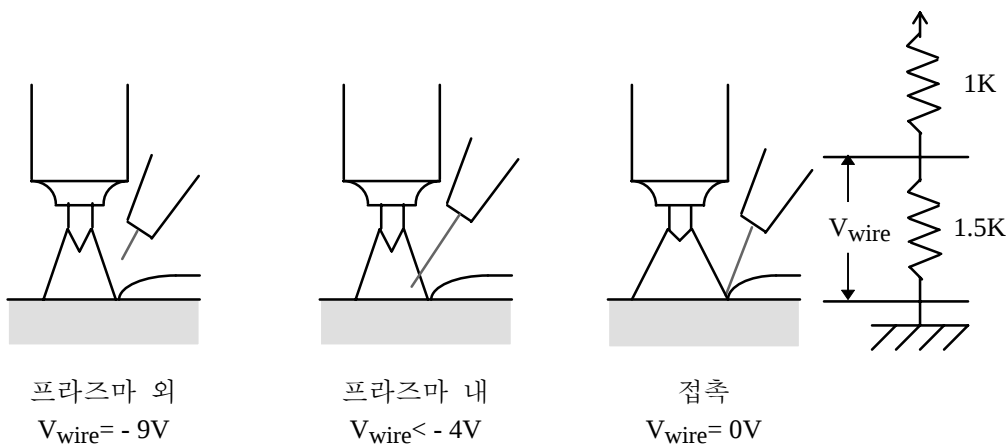
- 아크의 자기블로우 문제해결

와이어 통전에 의해 아크의 자기블로우는 펄스전류의 통전 중지기간중에 발생하지 않는다. 그 기간 (전체기간의 70~80%) 간에 아크는 목표하는 곳에 위치하여 통상과 같이 모재를 용융시킨다. 예를 들어 PH 법의 경우 통전기간이 3 ms 인 동안에는 자기블로우가 생기다가 비 통전기간이 7 ms 인 경우 이 기간동안 다시 아크가 안정화된다.

- 와이어에서의 아크발생 문제

펄스전류의 통전休止 기간중에 와이어 전압으로, 와이어는 모재와 접촉되었는지를 탐지한다. 그림은 그러한 원리를 도시한 것으로 와이어 선단이 모재와 접촉했을 때만이 와이어 전압은 0 V 가 된다.

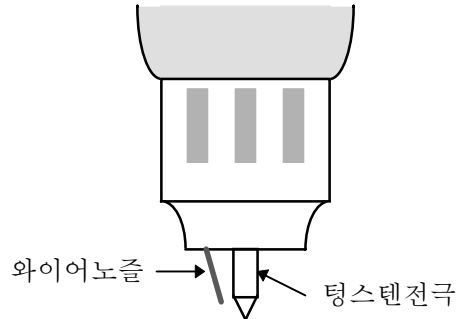
그 신호로 부터 와이어와 모재간의 접촉상태를 탐지하며, 와이어가 모재로 부터 떨어져 있을 때에는 와이어를 전원에서 분리하여 통전을 정지하고 접촉되어 있을 경우에만 통전하도록 제어(접촉 검출방식)한다. 이로 인하여 와이어와 텅스텐 전극간, 또는 와이어와 모재간의 아크가 발생하는 경우가 없다.



[와이어 비통전 기간중의 와이어 전압]

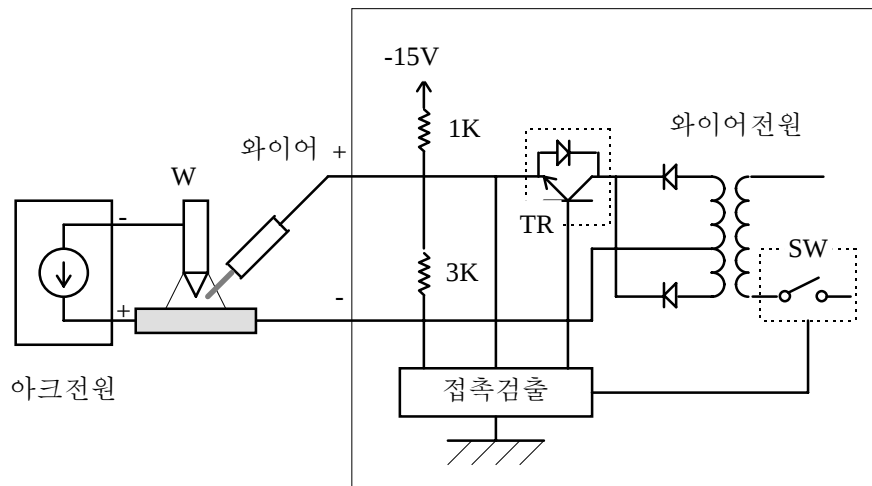
3. 한손 반자동 TIG 용접

- 실드노즐내 텅스텐 전극봉전극에 가까이 삽입와이어를 두는 형태로, 한손으로 반자동 Hot-Wire TIG 용접을 할 수 있다.
- 대전류 TIG 로 큰 용융지를 형성하고 Hot-Wire 법으로 양호하게 와이어를 용융하게 한다.



[한손 반자동 TIG 용접토치 끝부분]

- (1) 텅스텐 전극과 삽입하는 와이어간의 각도를 8° 정도로 하고 아크 길이변화에 따른 와이어 삽입위치 변화를 작게 한다.
- (2) 와이어를 텅스텐 전극에 가능한 가까이 하기 위하여 와이어 통전중에는 아크가 와이어에서 떨어지도록 하는 와이어 +극에 접속한다. 와이어가 모재에서 떨어질 시에는 와이어 전원의 2차측에 있는 트랜지스터로 와이어 전원에서 와이어를 끊어 떨어지게 한다.



[와이어+와이어 가열전원]

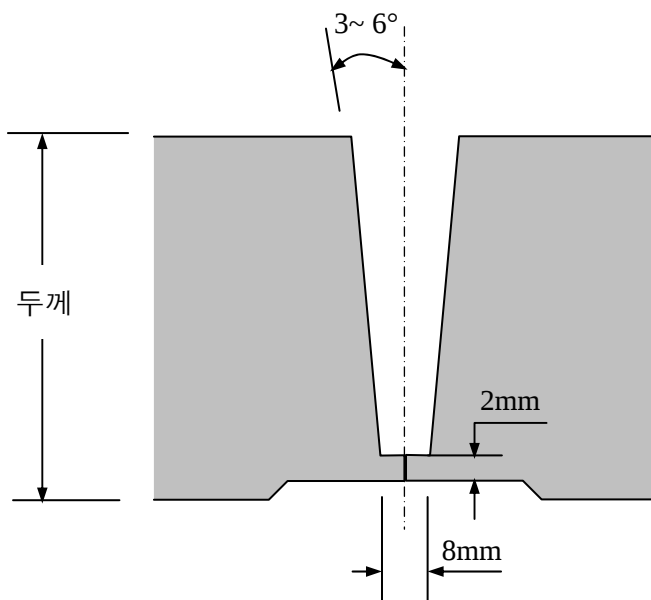
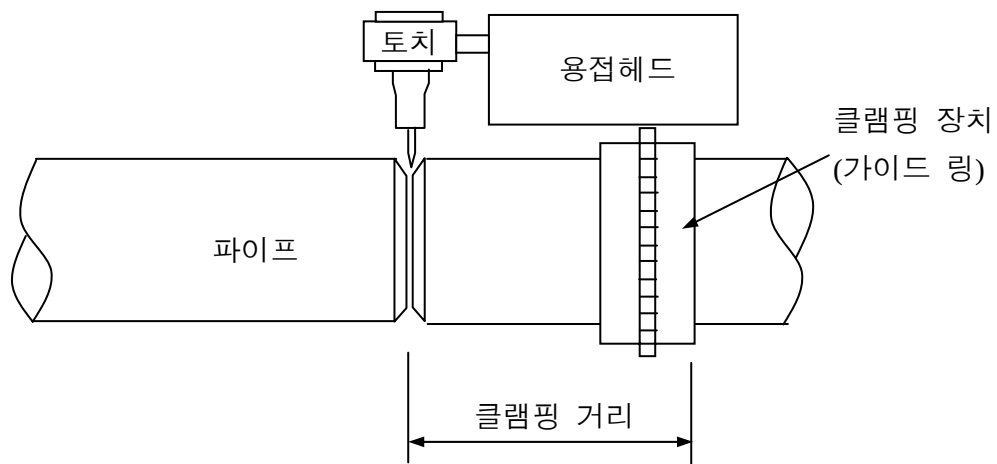
- (3) 1 개의 토치스위치로 아크와 와이어를 제어한다. 0.5 초 이하로 누를 경우에는 와이어 송급 정지용이며, 0.5 초 이상 누를 때는 아크전원의 스위치의 신호 제어용으로 한다.

이러한 토치와 전원의 사용으로 아크길이 변화에 대해 상당히 둔감하고 토치조작이 용이하여 한손 반자동 TIG 용접이 가능하게 하나, 수동 TIG 용접과 같이 미세한 용접제어는 어렵다.

IV. 협개선 오피탈 TIG 용접

1. 협개선 TIG 특성

- 약 $3\sim6^\circ$ 미만의 협소 개선부에 얇은 두께의 용접 토치를 사용하며, 증기발생기 Primary piping 등의 대구경 파이프 조건하에서 원주 용접하는데 주로 적용한다.
- 100mm의 두께에서는 약 60%까지 용접단면적 축소로 용착량이 감소된다.
- 열영향부가 좁아 향상된 금속조직을 나타내며, 용접 후 수축과 뒤틀림이 감소되어 치수변형이 최소화할 수 있다.
- 장치구성은 용접헤드와 협개선 토치, Power source, 클램핑 장치, 제어부분, 냉각장치 등으로 구성한다.



[협개선 TIG 장치 및 용접부의 개선형상]

2. 장치 제어기능

(1) 자동전압제어 (Arc Voltage Control, AVC) 장치

- 용접헤드가 파이프 원주를 회전하는 동안 AVC 는 파이프 원주의 변화(Ovality)와 파이프의 핏업(Fit-up)으로 인해 변경되는 아크길이를 자동적으로 일정하게 유지한다.
- 본 기능의 원리는 아크 스타트시 셋팅된 전압과 실제 아크에서 발생하는 전압을 측정하고 그 차이를 상호 비교하여 초기에 셋팅된 전압값에 일치할 때까지 전기신호를 피드백(Feed Back)하여 보조 시스템 (Servo System)의 형태로서 토치의 높낮이를 조정하는 것이다.
- AVC 의 감도(Sensitivity)는 전압차에 대한 반응도를 나타내며, 성능에 따라 차이는 있으나 평균적으로 $\pm 0.1V$ 의 전압차이를 감지하며 측정할 수 있는 실제전압범위는 5 ~ 50V 정도이다. 제작업체에 따라 ALC (Arc Length Control)방식이라고도 한다.

(2) 아크간격제어 (Arc Gap Control, AGC) 장치

- AGC 방식은 실제 모재와 텅스텐봉사이의 아크간격을 자동적으로 일정하게 유지하는 역할을 한다.
- AVC 는 오직 아크전압의 변화에만 응답을 하기 때문에 아크전압의 변화 원인이 아크길이의 변화인지 용접전류의 변경으로 발생되었는지 구별하지 못하는 문제점이 있어 전류의 상승시에는 적정 아크전압의 유지를 위해 미세하지만 아크길이가 짧아지게 된다. 그러나 AGC 방식은 용접전류 조정으로 인한 아크전압의 변화에 영향을 받지 않고서 초기상태의 아크 간격을 고정되게 유지함으로 AVC 방식보다 한층 우수한 기능을 나타낸다. AGC 의 아크길이 정밀도(Accuracy)는 약 $\pm 0.127mm(0.005in.)$ 정도의 범위를 가진다.

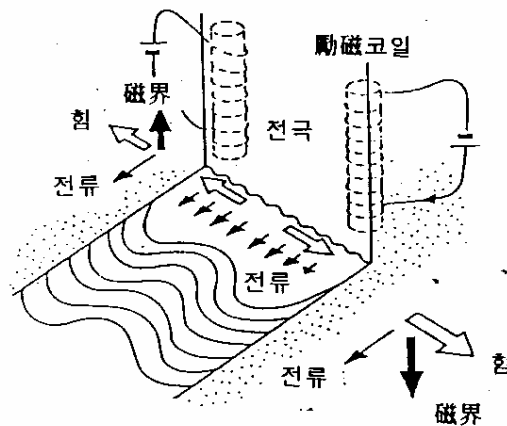
3. 주요 입력 변수

- ① 용접전 차폐가스 (Pre-purge Time)
: 용접전 차폐가스를 개선부 전표면에 주입하는 시간을 조정하는 기능
- ② 용접 펄스전류 (Welding Pulse Current)
: 펄스전류의 형태의 용접전류값을 조정하는 기능
- ③ 펄스 시간 (High Pulse & Low Pulse Time)
: 고펄스 및 저펄스 전류의 유지시간을 조정할 수 있는 기능
- ④ 업슬로프 및 다운슬로프 (Up-slope & Down-slope)
: 아크를 스타트하여 셋팅된 용접전류 값에 이르는 시간 및 아크 종료신호로부터 완전하게 아크가 꺼지는 시간을 조정하는 기능
- ⑤ 포스트퍼지 타임 (Post-purge Time)
: 아크가 종료된 후 산화 방지를 위해 용접부 차폐되는 시간을 조정하는 기능

V. 일렉트로슬래그 오브레이용접

1. 용접 원리

- 아크용접과는 달리 용융 슬래그의 저항 발열을 이용하여 용가재 및 모재를 용융시키는 방법으로, 최대 300mm 광폭의 스트립을 사용할 수 있다.
- 용접 시작시에는 순간적으로 아크가 발생하여 플럭스가 녹아 용융슬래그를 형성하게 된 후 지속적으로 용접이 진행된다.
 - * 플럭스 주요 성분: CaF_2 (50%) + SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO
- Strip 을 이용한 크래딩 용접시 용융풀의 물결무늬 모양을 보고 적절한 용접상태 여부를 확인할 수 있다.



2. 용접 특성

- ① 스트립의 후면에서 용융풀 확인 가능하다.
- ② 아크가 없으므로 자외선이 발생되지 않는다.
- ③ 적절한 용접비드 형상을 위해 자기제어 장치가 필요하다.
- ④ 동일단면적의 Strip 경우 : 1.5 배 x SAW 전원용량
- ⑤ 보통 7~10%의 낮은 희석률 (Low Dilution) 을 갖는다.
- ⑥ 화학성분의 균일성(Homogeneity)이 양호하게 유지된다.

⑦ VI. 인버터 MIG/MAG 용접

1. 인버터 용접 원리

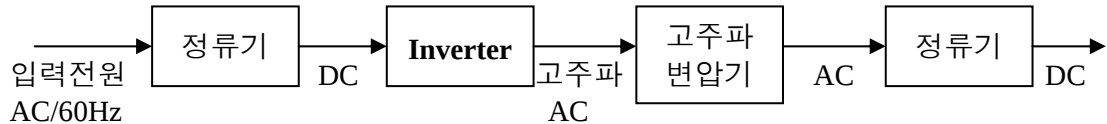
- 용접장비의 특성을 현저히 개선시키는 데 중요한 역할을 갖는 직류→교류 전력변환기를 갖고 있는 용접장치를 사용

- 전력변환의 정의

정변환 (Converter): 교류 → 직류, 역변환 (Inverter): 직류 → 교류

- 인버터 제어방식

제어주파수가 높고 1차측 제어



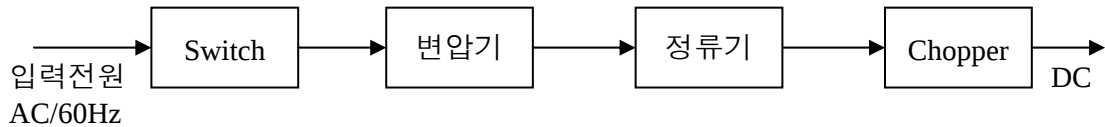
- Thyristor 위상제어방식

상용전원 전압의 점호 위상각 제어만으로 출력전류, 전압을 제어



- Chopper 제어방식

2 차측 전류를 반도체 소자로 스위칭하여 출력을 제어, 펄스제어에 사용



2. 인버터 용접 특성

- 소형, 경량화 가능

- * 제어주파수가 높으면 철심단면적과 권선수가 적게되어 변압기 소형화
- * 최종 평활회로의 인덕턴스가 적게 되므로 직류 리액터의 소형화 및 경량화 가능

- 10 -50 kHz 의 고속제어 가능

- * 아크 안정성 개선: 1/1000 초 정도의 단락현상을 동반한 용접현상을 직접제어
- * 아크 Start 개선: 아크 시작전류를 정밀 제어
- * 아크 추종성 향상: 용접전류의 고속, 고정밀도 제어

- 변압기 소형화로 절전, 무부하 손실 감소

- 출력의 펄스 제어가 가능 -1 펄스 1 용적이행, 스패터 격감

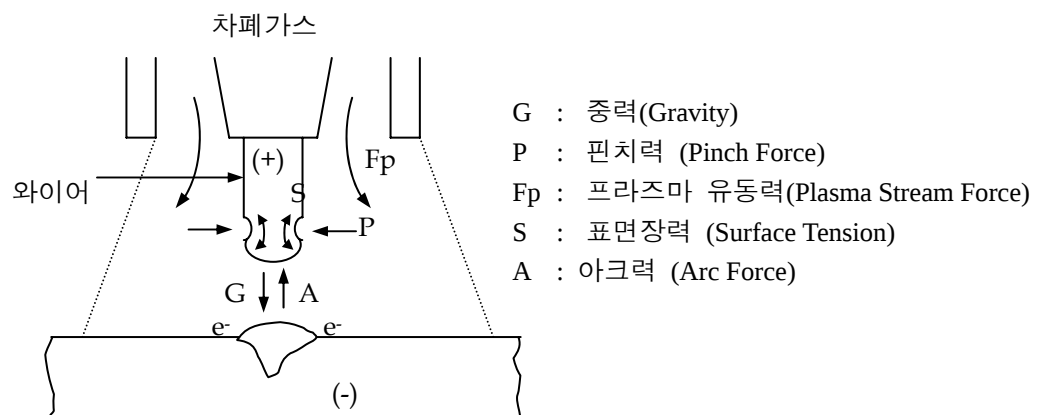
VII. TIME 용접

1. TIME (Transferred Ionized Molten Energy) 용접 원리

- 혼합가스를 사용하여 용적이행이 이온화된 안정한 Gas Plasma Column 내에서 높은 용융에너지를 갖고 이행하여 고용착 효율을 갖는 용접방법
- 혼합된 각각의 가스가 용적이행을 촉진하는 효과를 갖고 특정전류 이상에서 Arc 가 회전하는 **Rotating Spray Arc** 현상이 일어나 아무리 높은 전류의 조건하에서도 용접 Arc 가 안정되고 Spatter 도 적으며 양호한 비드 형상을 가짐.

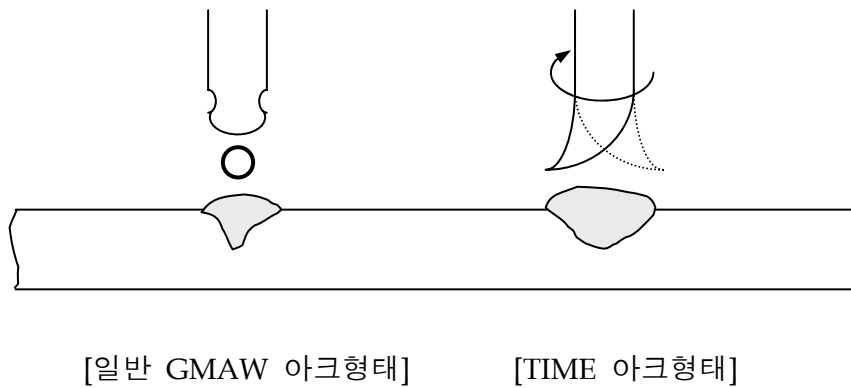
2. 금속이행 (Metal Transfer)의 물리력

- 용적의 중력: 용적크기에 결정, 낮은 전류하에서는 구형의 큰 입자로 중력 크다
- 핀치력: 용접전류에 의해 와이어 선단 용융부에 전자력이 발생하여 자기수축 효과 생김
- 프라즈마 유동력: 용접전류와 전압이 높은 상태에서는 이온화된 프라즈마 유동력이 크며, 특히 He 등 전위차 (potential gradient) 가 큰 경우 높음
- 표면장력: 용접크기 증가시 표면장력 상승, 스프레이 이행시는 핀치효과가 증대되고 표면장력이 작아짐
- 아크력: 용적이행을 방해하는 힘으로 작용, O₂가스를 0.5 - 3% 혼합하면 모재표면에 전자방출이 용이하므로 아크력이 감소



3. TIME 용접 혼합가스 조성

- Ar (Bal), He 26.5 % , O₂ 8.0% , CO₂ 0.5%, 로 구성
- He : 플라즈마 유동력(Plasma Stream Force), 핀치력 (Pinch Force) 향상
- O₂: 혼합가스의 이온화 용이, 아크력 감소
- CO₂: 아크의 경직성(Rigidity) 증대하여 용입깊이 증대



4. TIME 용접 특성

- 용입이 깊고 (약 5-6mm) 용착량이 많다 (10kg/hr)
- 스파터 발생 감소, 자동 및 반자동 용접에 적합
- 충분한 용량의 Power Source (약 700A 이상)와 안정된 와이어 공급

VIII. 비전센서(Vision Sensor) 용접

1. 센서 검출 목적

- ◆ 용접환경의 측정, 검출로 용접 대상물의 형상, 용접선의 위치와 변동, 단면형상 등 용접이 진행해 나갈 환경조건을 사전에 측정, 검출
- ◆ 용접과정의 검사로 용접공정의 진행이 적정한가를 감시, 검사하므로 형성된 비드의 불량 및 적합, 용융풀 발생 유무 등의 사후 검사를 수행

2. 용접용 센서의 구분

용접선을 추적하기 위한 방법으로는 기계 접촉식 방법, 아크 현상을 이용하는 방법, 초음파 또는 적외선을 이용하는 방법, 전자기 특성을 이용하는 방법 등이 개발되어 있다.

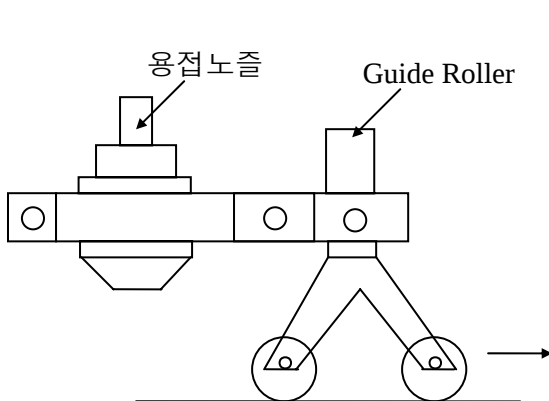
접촉식 센서는 동작이 기계적으로 이루어지며 간단한 기계적 메카니즘으로 구성되어 있지만 정확성과 동작시간 등에서 그 적용에 많은 제한을 가지고 있다. 이에 반해 비접촉식 센서는 전자기술의 발달에 따라 동작속도 및 신뢰도 등이 생산에 적용할 수 있을 정도로 향상되었다. 이러한 비접촉식 센서로서는 크게 아크센서와 비전센서 두가지 형태가 있다.

2.1 기계적 가이드 롤러(Guide Roller)

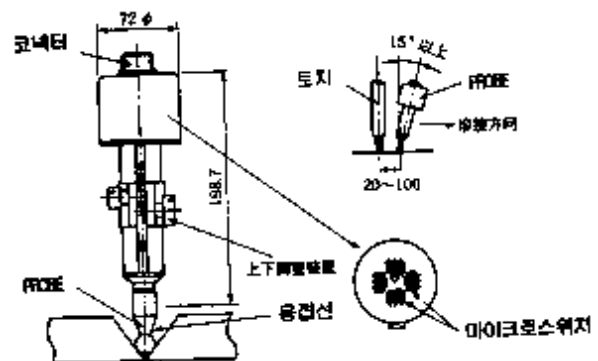
용접선 또는 기준이 되는 판을 기계적으로 추적하는 방식으로 가장 간단하기 때문에 일찍부터 사용되어 왔다. 그러나 검출위치와 토치와의 거리가 떨어져 있기 때문에 용접선이 거의 일직선이거나 일정한 곡률이 아니면 안되고 용접선이나 기준면에 돌출물이 있을 경우는 그대로 오차로 나타난다. 또 기구가 고장나기 쉬워서 대체적으로 신뢰성이 떨어진다.

2.2 전기신호 검출 프루브(Probe)

용접선 Probe 를 접촉시키고 용접선과 프루브와 상대적인 위치변화를 전기신호로 출력하는 센서이다. 그림은 전기접점이 내장되어 있는 기계 접촉식 방식인 용접선 추적센서이다. 기계식과 마찬가지로 토치와 센서가 떨어져 있기때문에 이를 개선하기 위하여 PLC의 메모리를 사용하여 센서와 토치사이의 용접선 정보를 기억했다가 재생 사용하는 방법을 사용하고 있다.



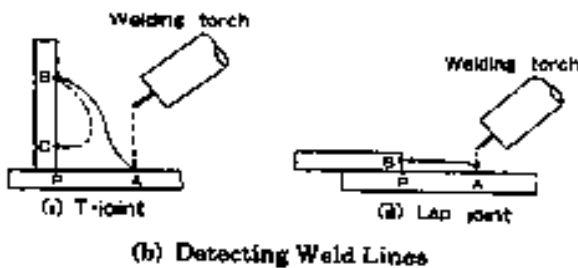
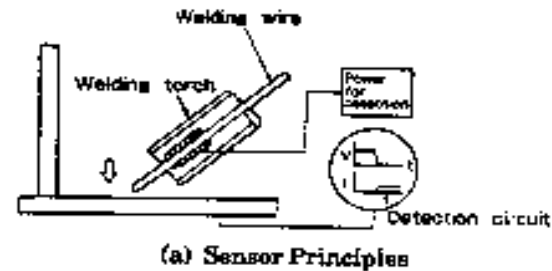
[심 트래킹 롤러]



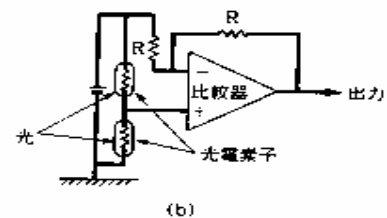
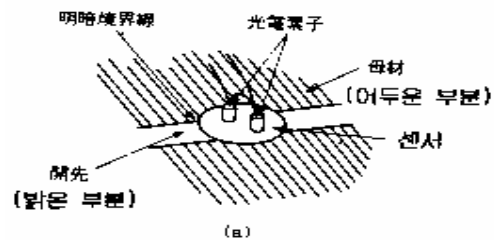
[전기적 접촉 프루브]

2.3 기계적 접촉식(Touch) 센서

접촉식 센서들은 공구의 끝에 장착된 기계적이나 전자적인 기구, 용접봉 자체 혹은 용접 토치의 노즐을 이용하는 방식이다. 이들은 용접 시작전에 용접에 필요한 로봇의 프로그램된 경로를 측정결과에 따라 실지경로에 맞게 변형한다. 여기에서 가장 큰 문제점은 접촉식 측정의 속도제한에 따른 사이클타임이 길어지는 것이다. 그리고 용접시 발생하는 열에 의한 여러부분의 변형이 측정에 고려되지 못하는 단점을 가지고 있다.



[전기적 접촉 센서]



[광학식 센서]

2.4 광학식 센서

초기의 광학식 센서로는 가스 절단기에 많이 사용되고 있는 Eye Tracer의 원리를 용접선 추적에 응용한 것이 있다. 그림은 추적할 용접선과 평행으로 하안선을 그리고 이 선을 토치에 연결한 Eye Tracer로 하여금 추적하도록 한 것이다. 광학식 센서는 수광면 광전소자의 배열에 따라 Point 센서, Liner 센서, Area 센서로 나뉘어진다.

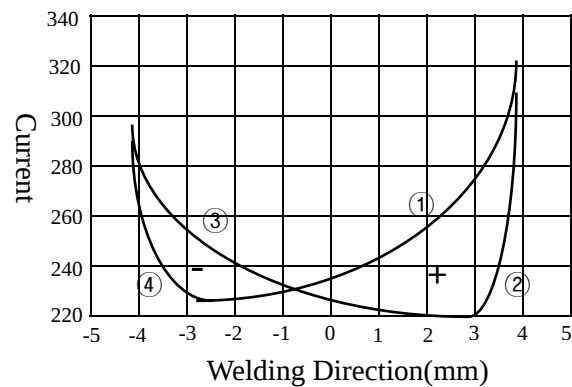
2.5 아크 센서

용접의 아크현상에 따라 그 파라메타(용접전류, 아크전압, Wire와 용접 대상물과의 거리 등)의 변화를 검출, 연산하여 용접선을 추적하거나 용접조건을 제어하는 방식이다.

위빙(Weaving)이 필수적이기 때문에 용접조건에 제약을 받으며 용접공정이 달라지면 용접전류 전압의 특성이 바뀌므로 신호처리 방법이 달라져야 하는 단점이 있다. 이 센서는 비접촉식이므로 토치주위에 다른 부수적인 장치가 필요없고 아크의 길이 변화가 2~3mm 이상 일때 잘 작동되며 이보다 짧으면 신뢰도가 떨어진다.

그림에서 좌우의 전류 면적차이가 생기며 1/4 주기 간격으로 그 구간의 전류값을 더해 이를 계산할수 있다. 여기서 ①과②의 적분값의 차이에서 ③과 ④의 적분값 차이를 뺀값이 전류면적 차이이며 [+]는 오른쪽 전류면 적을 [-]는 왼쪽 전류면적으로 나타낸다

이 경우에 오른쪽 면적과 왼쪽 면적의 차이를 구하면 용접선과 토치 위빙 중심선 사이의 치우침 정도를 알 수 있다.



[아크 센싱의 전류면적 차이]

2.6 레이저 비전센서

광학식 센서인 레이저를 이용하여 용접부위를 포착하는 방법은 빛, 스패터, 전자기 등의 열악한 용접환경에 적용이 가능하며 기존의 지극히 제한적인 센서들의 장점에 여러가지 장점을 가지고 있다.

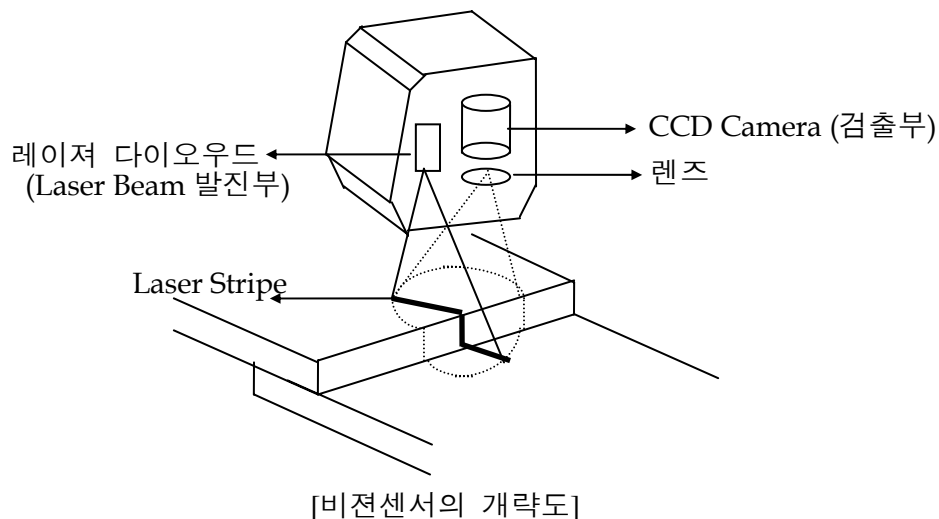
※ 레이저 비전센서와 비교

센서 형태	원 리	기 능	특 성
접촉식센서	와이어 또는 토치의 기계적 접촉 방식	용접선 추적기능	간단한 메카니즘 동작속도 제한
유도감응식	와류 전류	용접선 추적기능	On-line 상대적 저비용
아크센서	토치 위빙동안 아크변수 측정	용접선 추적기능	저비용 용접방법 및 조인트 제한
비전센서	광학 삼각측정	용접선 추적기능 적응 용접기능	모든 조인트 적용 가능 높은 해상도, 실시간 처리

3. 레이저 비전센서 (Laser Vision Sensor)

3.1 원리

레이저 비전센서는 레이저 빔 발진부, 광학계, 검출부의 세부분으로 구성되어 있다. 발진된 레이저 빔은 광학계를 통하여 물체에 주사되며 이때 반사된 빔은 광학렌즈를 통하여 CCD(전하결합소자) Detector 로 입사한다. 입사된 빔은 화상처리 소프트웨어로 처리하기 위하여 콘트롤러로 전송된다.



3.2 비전센서 분류

용접에 적용되는 비전센서는 대부분 아크, 스파터 등의 노이즈에 대처하여 특별한 조명을 사용하며 광원으로는 레이저 등의 단색광을 이용한다. 비전센서를 이용한 화상 포착기법에는 광학 삼각법을 이용한 방식과 광 위상차를 이용한 방식으로 나눌 수 있다.

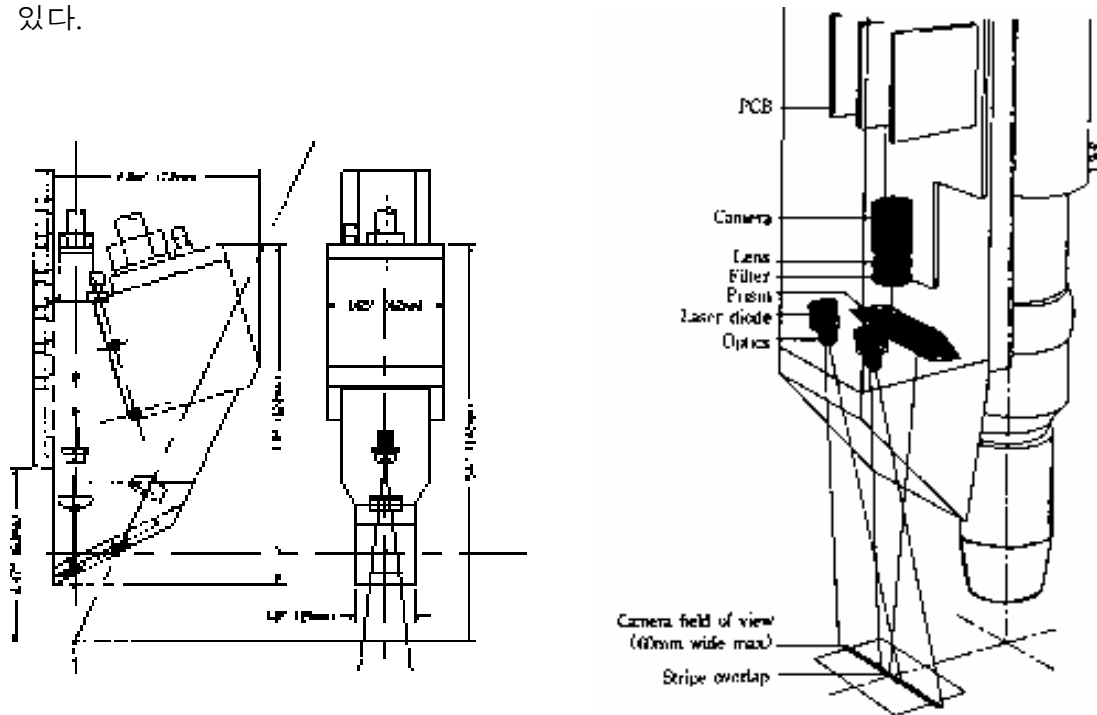
광학 삼각법은 광원과 이미지 센서를 기준선으로 하여 이미지 센서에 상이 맺히는 위치에 따라 삼각법에 의해 물체까지의 거리를 구하는 방식이고 광 위상차 방식은 기준광과 물체에 반사된 광의 위상차를 이용하여 물체까지의 거리를 측정하는 방식이다. 이중 광학 삼각법을 이용한 방식은 측정점의 좌표가 3 차원 공간의 절대좌표이며 처리시간이 짧고 구조가 간단하여 널리 쓰이고 있으며 광원의 형태에 따라 투영된 패턴을 이용한 방식과 주사빔을 이용한 방식으로 나눌 수 있다.

* 비전센서의 유의점

- 그림자 효과(Shadow Effect)
- 경면반사와 겹반사
- 노이즈 : 전원 노이즈, 아크 및 스파터 등의 노이즈, 측정기 입력 침투 노이즈

(1) 투영된 패턴을 이용한 비전센서

시스템은 카메라, 레이저, 제어기, 사용자 인터페이스로 구성되어 있고 센서의 냉각기능과 보호기능이 있으며 TIG, MIG, PLASMA, SAW, FCAW 용접기법에 적용되어 사용되고 있다.

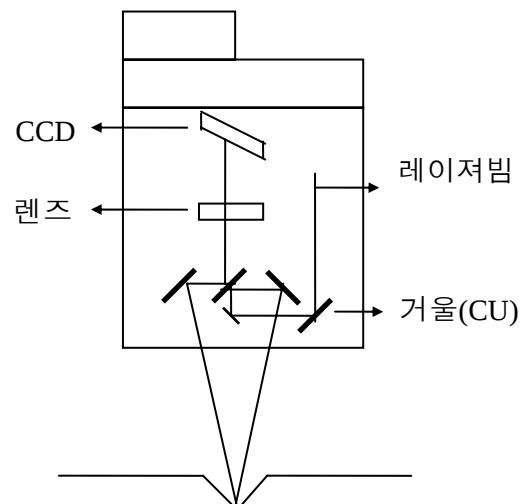


[투영된 패턴을 이용한 비전센서]

(2) 동기주사빔을 이용한 비전센서

이 센서는 1mV 소형 He-Ne 레이저를 광원으로 사용하였고 고열과 스파터에 대비하여 설계되었다.

이 센서는 동기 주사형 센서로서 초당 2,500 개의 점을 측정하고 주사각과 주사횟수를 사용자가 지정할 수 있게 제작되었다 주사효율이 80%이므로 초당 10 번 주사한다면 단면에 대해 200 개의 점의 거리 정보를 얻게 된다.

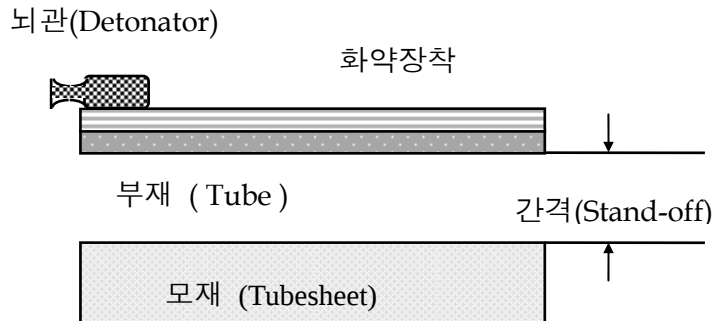


[동기주사빔을 이용한 비전센서]

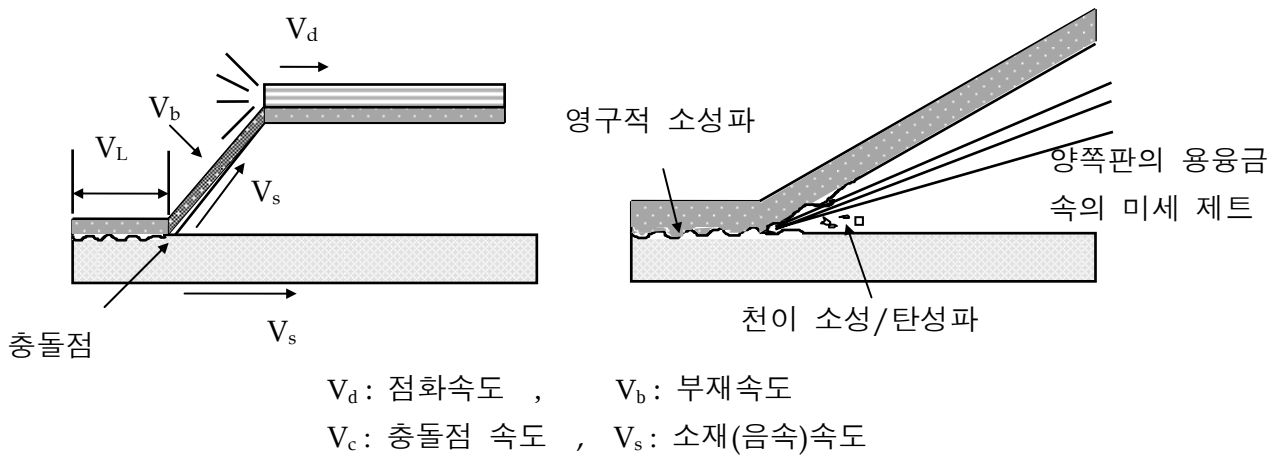
IX. 폭발(Explosive) 접합

1. 폭발접합 원리

- 화약의 폭발력에 의해 발생하는 순간 초 고압이 부재(Flyer Plate)에 인가되어 모재(Support Plate)와 충돌하여 두 재질간에 순간 유체적으로 거동하여 제트 파(Jet Wave)를 형성 두 재질간에 파 용접(Wave Welding)을 시키는 공정
- 접합 메카니즘
용접시키고자 하는 부재(Flyer Plate)와 모재(Base Plate)를 평행(또는 경사)하게 배열한 후 부재에 화약의 폭발압력을 가함으로서 부재의 소성변형이 일어나 모재와 충돌하면서 충돌면에 순간 초 고압이 걸리므로 두 재질간의 접경면에서 유체처럼 거동하는 제트 파가 발생하여 화약의 폭발방향에 따라 용접이 발생



(a) 폭발접합 전



(b) 초기 폭발 직후

(c) $V_c < V_s$ 일때 상세거동

2. 폭발접합인자 (Explosive Bonding Parameters)

(1) 초기조건

- ① 충돌압력 (Impact Pressure , P)
- ② 충돌점 속도(Collision Point Velocity, V_C) : V_C 가 아음속 (Subsonic)

(2) 제한조건

- ① 부재와 모재간 간격 거리
- ② 부재와 모재의 표면 거칠기
- ③ 부재와 모재간 표면 청정도
- ④ 밀도, 용점, 경도, 두께
- ⑤ 화약의 종류 및 점화속도
- ⑥ 완충재 형태, 종류, 접착력

3. 폭발접합의 특성

(1) 조인트 형태

- 폭발용접면 형상 : 랩 조인트 형상 (단일, 이중, 스카핑 등)
- 폭발용접의 특성은 용접형상에 무관하고, 충돌 인자에 의존

2. 접합면 형상

(1) 용융없는 접합 (Melt-Free Interface)

- 편평한 접합면으로서 직접적인 접합을 의미 $\Rightarrow$ 제팅(Jetting) 과정 발생되지 않음
- 소성변형 유동은 용접 방향으로 진행
- 직접적인 접합은 큰 간격 거리를 요구하기 때문에 대형 부품은 용접을 형성하기 어려움

(2) 연속 용융 접합

- 형성 조건 : 충격이 매우 높은 속도와 작은 충돌각에서 발생
 $\Rightarrow$ 제팅(Jetting) 과정이 불완전하고 제트가 Trap
- 운동에너지에서 열로의 변환으로 폭발에 의한 진동으로 용융이 형성

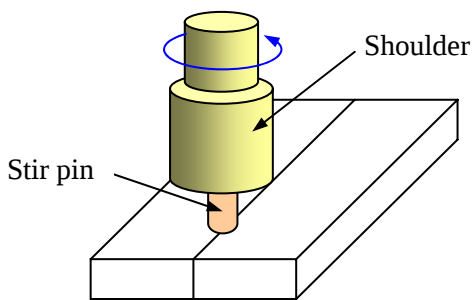
(3) 리플 접합 (파 접합)

- 용융없는 접합과 와 연속용융 접합의 혼합 접경면
- 강한 접경면을 형성하고, 금속간 화합물이 불연속적으로 존재
- 용융과 파 형상의 비율은 부재와 모재의 밀도, V_c , V 에 의존
- 유사한 밀도의 부재와 모재를 사용시 용접 접경면은 거의 대칭적으로 사인형태의 파 형태를 가짐.
- 밀도차가 존재시 접경면의 대칭성 상실

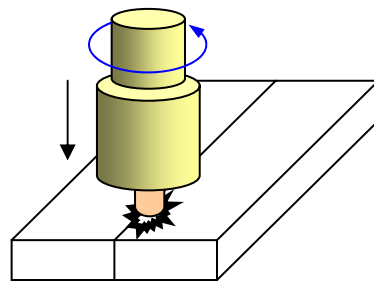
X. 마찰교반용접 (FSW)

1. FSW 원리

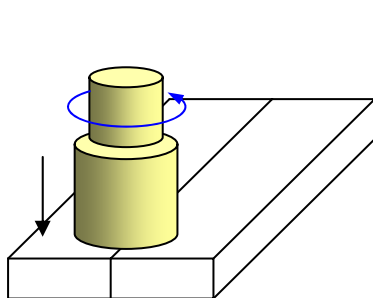
- ① 마찰교반용접 (Friction Stir Welding)은 접합모재를 고정시킨 후 이음부의 맞대기 면을 따라 접합모재에 비해 경한 재료의 비소모식 회전기구를 모재면에 대해 회전운동을 시켜 발생된 마찰열로써 연화된 모재를 접합시킨다.
- ② 용융이 없음에 따라 기공, 응고균열, 잔류응력 등의 문제점이 없으며, 용입깊이는 Stir pin 의 길이로서 조절한다.
- ③ 영국 TWI(용접연구소)에서 개발한 고상접합공정기술로서 Al 에 주로 적용되며 Mg, Cu 합금 등에 적용이 고려되고 있다.



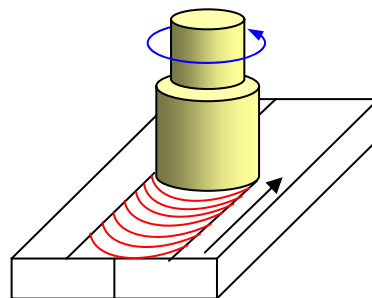
(a) 초기 회전운동



(b) Stir pin 을 모재에 삽입



(c) Shoulder 접촉으로 가열영역 확대



(d) 조인트선상 이동

2. FSW 특징

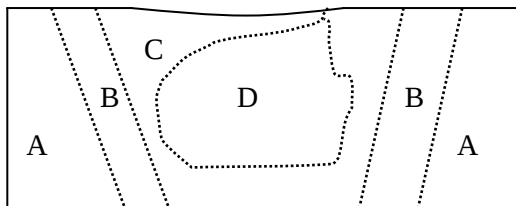
- ① 차폐가스가 필요없고 용가재가 요구되지 않는다.
- ② 접합에 따른 변형이 거의 없고(MIG 의 1/20 ~ 1/30), 접합중 흠, 적외선, 자외선 발생이 없다.
- ③ 기계적 에너지 효율이 높아서 두께 12.5mm 의 6000 계 Al 경우 3 KW 의 에너지이면 충분하다.
- ④ 접합부 종단에 Pin 돌기부의 구멍이 남기 때문에 End tab 이 필요하다
- ⑤ 비소모식 tool 을 사용하므로 여성을 형성할 수 없다.

⑥ 접합인자 및 조건

접합인자		내 용
1. Tool 형상		재질, 형상, 두께
2. Tool 삽입깊이	Pin	접합재 두께와 동일하게 삽입
	Shoulder	접합재 표면에서 약간 삽입
3. Tilting 각도		전진각 적용
4. Tool 회전수		재질, 두께, 핀 형상
5. 접합속도 (약 100 ~ 1000mm)		Tool 회전수와 조합하여 결정
6. 구속		이음부 정도 보증을 위해 구속부재의 Jig 설계

3. 접합부 조직 및 기계적 성질

① 접합부 조직 (Al 6061 재질, 용접단면)



- A: 모재부
- B: 열영향부 – 변형은 없음
- C: TMAZ (thermomechanically affected zone)
열-기계적 영향역
- D: Stir Zone – 동적 재결정 영역

② 기계적 성질

- 2000 계, 5000 계, 7000 계 Al 의 정적 강도특성은 모재와 동등 수준이거나 경우에 따라서는 40% 정도를 나타낸다.
- 피로강도, 충격치, 파괴인성값은 GMAW 에 비해 높은 값을 가지며, 특히 극저온 환경에서 우수하다. 이것은 조직 미세화와 합금원소의 편석 저감에 기인하는 것으로 보인다.

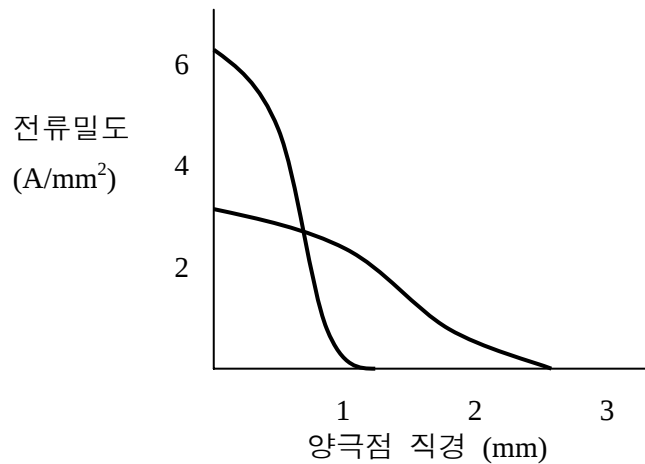
4. FSW 응용

- ① 항공우주 동체
- ② 철도차량 판넬

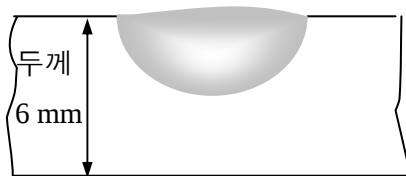
XI. A-TIG 기법

1. A-TIG 용접 특징

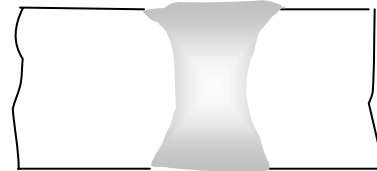
- ① TIG 용접시 활성 플럭스 (Activating flux)를 모재표면에 도포하여 아크의 집중도를 높여 용입깊이를 증가시키는 용접기법으로 Paton 연구소에서 최초로 개발하였다.
- ② 플럭스를 아세톤과 혼합하여 사용하며, 플럭스의 특성으로 전류밀도가 증가함에 따라 용융물의 용입이 증가한다.



- ③ 기존 TIG 에 비해 1.5 ~2.5 배의 용입깊이 증가를 나타내며, SUS 의 경우 6mm 의 용입을 가져올 수 있다.



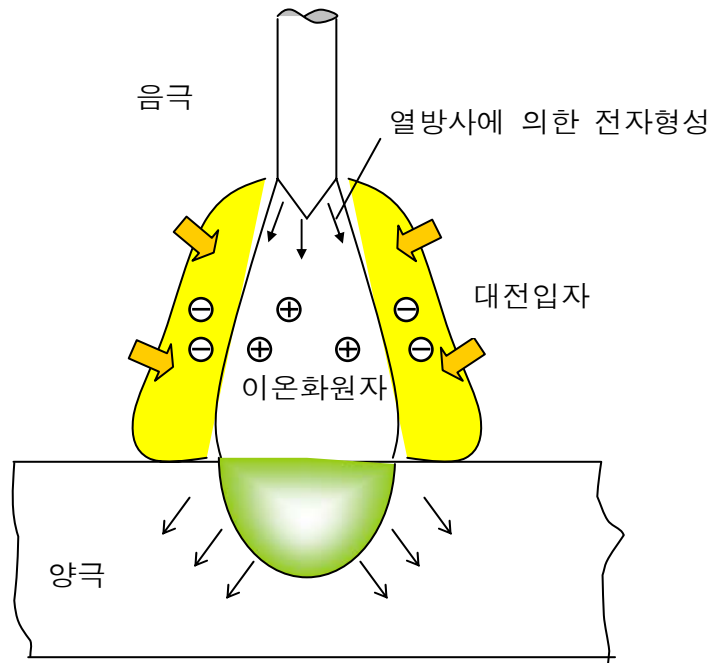
[일반 TIG 용접부 단면]



[A-TIG 용접부 단면]

2. A-TIG 플럭스

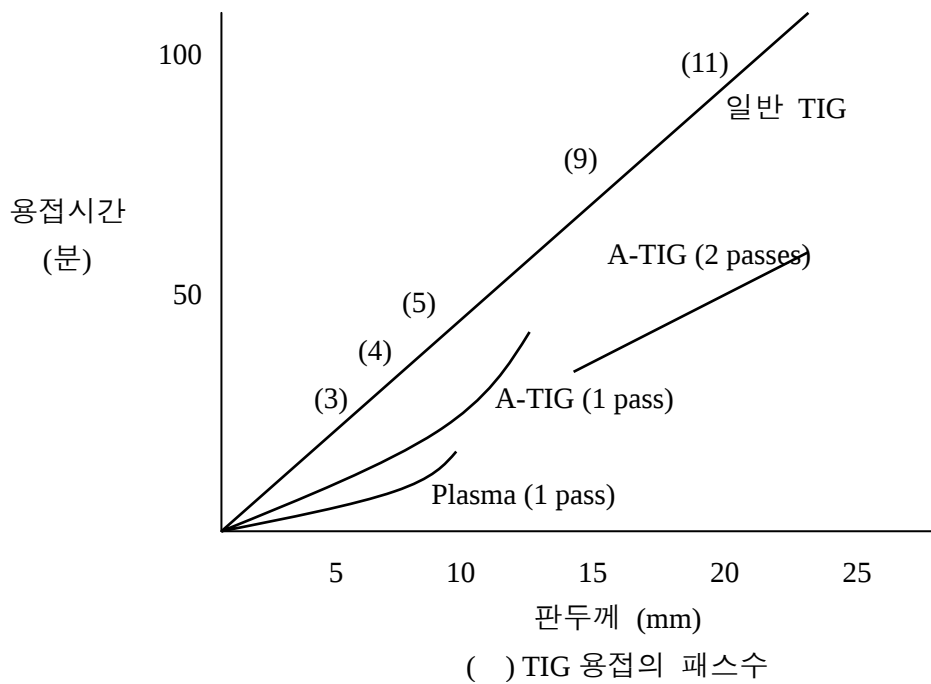
- ① 플럭스 구성요소 : Milled Silica (SiO_2 , 57.3%), Sodium fluoride(NaF , 6.4%), Titania(TiO_2 , 13.6%), Titanium power(13.6%), Chromium oxide(Cr_2O_3 , 9.1%)
- ② Halogen, Ca, F 등 성분이 아크의 집적(Construction)시키는 역할을 하며, Steel 용, SUS 용, Ti 용 등이 있다.
- ③ 플럭스는 용접시 아크 외부구역에서 분자가 증발하여 전자를 집중하는 형태로 둘러싸게 되며, 플라즈마 용접시 Construction nozzle 의 역할과 유사하다.



[A-TIG 메커니즘]

3. A-TIG 적용

- ① 플렉스는 미세한 파우더 형태로 아세톤과 혼합하여 사용하며, 용접부에 바르면 아세톤 성분은 증발되고 플렉스 성분만 금속표면에 부착된다.
- ② 단일 패스로 I-형 맞대기 용접에 적용하며, 용가재 없이 12mm 까지 용접할 수 있다.
- ③ A-TIG 는 프라즈마 용접시 용입 형태를 유리잔형에서 일정폭형으로 개선시킨다.



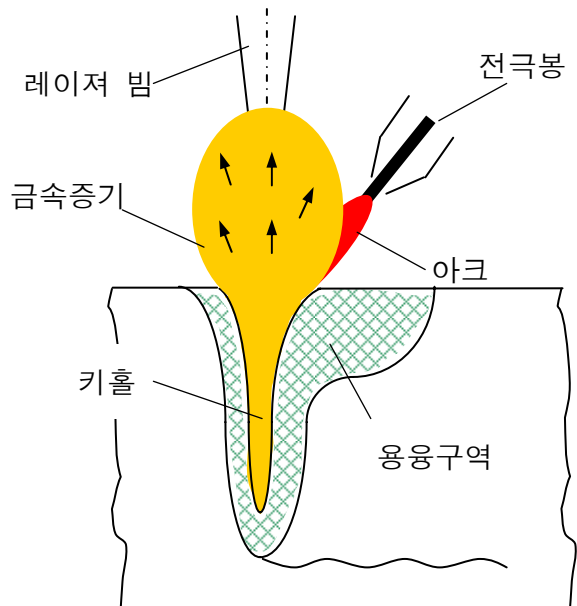
XII. Hybrid 용접

1. Hybrid 용접의 의미

두 종류의 용접방법을 병행하여 적용하는 용접방법으로, 주로 레이저 용접 시 기존의 아크용접 등을 부가적으로 적용하여 레이저 용접의 단점을 보완하고 효율적인 용접 수행을 목적으로 한다

2. Hybrid 용접 적용형태

- ✓ 레이저 + 프라즈마
- ✓ 레이저 + SAW
- ✓ 레이저 + TIG
- ✓ 레이저 + MIG



[Hybrid 레이저+MIG 용접 형태]

① MIG+CO₂레이저 용접과 CO₂레이저 용접의 비교

용접변수	MIG+CO ₂ 레이저	CO ₂ 레이저(용가재사용)
판두께 (mm)	6.0	6.0
전극봉 (mm)	1.2	1.2
Gap (mm)	1.0	0.5
용접속도 (m/분)	2.6	1.0
Wire feed 율 (m/분)	13.8	2.7
전원출력 (KV)	7.9	-
입열 (KJ/m)	321	360

② 각 용접방법별 용접속도

용접방법	용접속도 (m/분)
SAW	0.8
CO ₂ 레이저 용접	2.3
SAW+CO ₂ 레이저 용접 (레이저 출력 12KW)	3.2