

## 特輯 : 저항용접 기술의 개발 동향

# 저항 용접기의 종류와 신개발 동향

최민환 · 박은희

## Typical Resistance Welders and New Development Trend

Min Whan Choi and Eun Hee Park



최민환/태신지엔더블  
류/1955년생/인버터식  
저항 용접기 개발에 관  
심이 있음



박은희/태신지엔더블  
류/1973년생/모니터링  
시스템을 이용한 용접  
기 진단과 성능향상에  
관심이 있음

### 1. 서 론

저항 용접은 자동차 공업과 더불어 크게 발전하였으며 오늘날에는 저항 용접 생산의 약2/3를 자동차 공업이 점유하고 있다. 저항 용접은 압력을 가하여 접합하는 압접법의 일종으로서 각종 압접 방법 중에서 가장 많이 사용되고 있는 것이다. 접합하고자 하는 부분에 직접 고전류를 통전하고 그 전류에 의한 저항 발열로 용접부의 온도를 상승시켜 용접하는 것으로서 극히 짧은 시간에 용접이 가능하고 고속, 고능률이므로 특히 대량 생산에 적합하다.

최근에는 작업자의 숙련을 그다지 필요로 하지 않도록 자동화가 끊임없이 추진되고 있다. 저항 용접용 로봇이 생산 현장에 밀집하여 로봇 군단을 이룰 정도로 자동화가 진전되고 있으며, 운반 및 용접의 품질관리 등을 중앙 제어로 집중 관리하고 있다.

우리 나라는 1970년대부터 공업화에 따른 경제 성장과 더불어 저항 용접기의 수요가 확산되었고, 초기에는 수입에 의존하였다. 저항 용접기의 국산

화는 조금씩 성과를 거두고 있으며, 최근에는 저항 용접기 제조 분야에 많은 전문 업체가 출현하여 로봇을 제외한 많은 부분이 국내에서 생산되고 있다. 그러나 대형 인버터 저항 용접기나 저항 용접용 대형 로봇의 제어장치를 비롯하여 지능형 타이머, 각종 용접 변수의 모니터링 장치 및 고품질 용접 전극 소재등 아직까지 국내에서 개발하여야 할 대상은 산재해 있다. 본고에서는 각종 저항 용접기의 특징과 최근의 용접 장치 개발 현황에 대하여 기술하였다.

### 2. 저항 용접기의 기본 구성

저항 용접 방법은, 저항 발열을 이용하여 금속 재료를 용접하는 방법의 일종이다. 통상은 그림 1과 같이, 수냉 동전극으로 용접부를 상하로 가압하여, 이 상하 전극간에 집중하여 흐르는 1초 이내의 극히 단시간 전류로 집중 발열(Joule열)시키면서 판 표면과 뒷면의 전극에 의한 냉각 작용을 이용하여 접합부만을 용융시켜, 이곳에 용접 너깃(Nugget)을 생성시킨다.

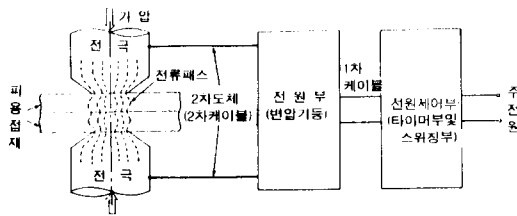


그림 1 저항 용접기의 기본 구성

발열원으로 줄열을 이용하는 점에 있어서는, 니크롬선을 이용한 일반의 전기 난로나 전기 다리미의 경우와 별로 다른 것은 아니나, 보통 양자의 저항치 크기에 큰 차이가 있다. 니크롬선의 저항치가 통상 10Ω 정도인데 비해, 저항 용접부의 저항치는 극히 적은, 겨우 100μΩ (10<sup>-4</sup>Ω) 정도밖에 되지 않는다. 이 때문에 저항 용접부에 충분히 집중 가열하여 양호한 용접부를 만들기 위해서는 수천~수만A라는 대전류를 필요로 한다. 그리고, 이 대전류를 공급하는 문제로 저항 용접기의 2차 케이블(용접 케이블)이 결국 커지므로, 전극을 고정하는 가압부도 강성이 높은 것이 요구된다.

또 저항 용접시 전압은 틱간 전압에서 1~2V 정도, 전극 틱부, 2차 케이블부를 포함해도 겨우 10V 정도밖에 되지 않는다. 이 때문에 용접에 필요한 대전류를 효율적으로 공급하기 위해 용접부와 주전원(공급 전압 220V 또는 440V) 간에는 적당한 변압기가 삽입된다. 통상, 이 변압기의 2차 전압은 수V~20수V로 설정되고 있다. 그리고 용접 전류치와 통전시간등은 전류치가 작은 1차 측에서 제어되는 것이 일반적이다.

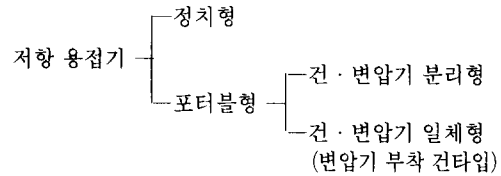
### 3. 저항 용접기의 구조적 형태에 의한 분류

저항 용접기는 변압기와 가압 장치등 각부를 구조적으로 조합하는 방법에 의해 다음과 같이 분류할 수 있다.

#### 3.1 정치형 저항 용접기

정치형은 그림2에 나타내는 바와 같이, 각부를 전부 일체화하고 가압 장치와 전원 장치를 고정하

표1 구조적 형태에 의한 저항 용접기의 분류



여 두는 형으로, 범용기로서 이용되고 있다. 자동차 부품 이외에도 박판의 조립 현장에서는 상당히 널리 이용되고 있다.

그림2에서 볼 수 있는 바와 같이 가압용 어어 실린더가 상부에 위치해 있어서 가압 및 용접시 수직 하강 운동을 함으로서 용접시 전극의 추종성을 우수하게 하고 있다.

그림 3은 대표적인 정치형 저항 용접기의 외관을 보인 것이다.

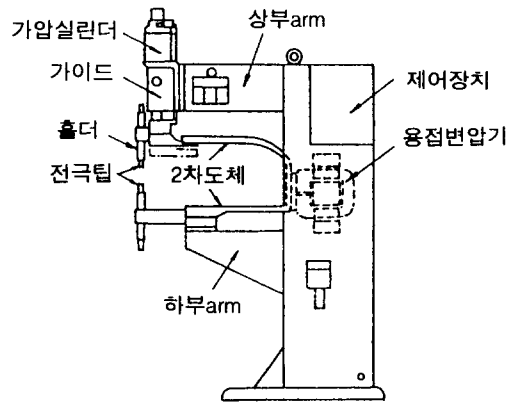


그림 2 정치형 저항 용접기의 각부 구성

#### 3.2 포터블형 저항 용접기

그림 4는 자동차 제조 공장 등에서 가장 많이 이용되고 있는 건·변압기 분리형 포터블 저항 용접기의 예이다.

저항 용접기 전체는, 가압통전부(신부)와 전원부(변압기부), 전력제어부(타이머·콘덕터부), 및 1차 케이블과 2차 케이블부(2차 도체부)로 나누어진다. 가압·통전부는 건프레임과 가압실린더, 전극홀더, 전극 및 기동 스위치로 구성된다. 전원

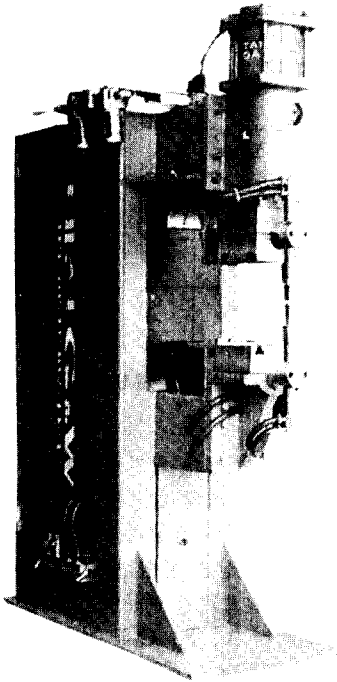


그림 3 정치형 저항 용접기의 외관

부는 용접 변압기와 가압실린더 제어용 공기기기, 냉각수의 입구 등에서 전력제어부는 통전시간과 용접전류치 등을 설정하기 때문에 타이머부와 이것을 직접 제어하는 대전류 스위칭소자로 구성된다.

변압기 부착 건타입은, 그림4에서의 가압·통전부와 전원부를 일체화하여 구성한 것으로, 기본적으로는 그림5의 형이 있다. 일체화 하는 것에 의해 소모품의 2차 케이블레스화가 도모되고 있다.

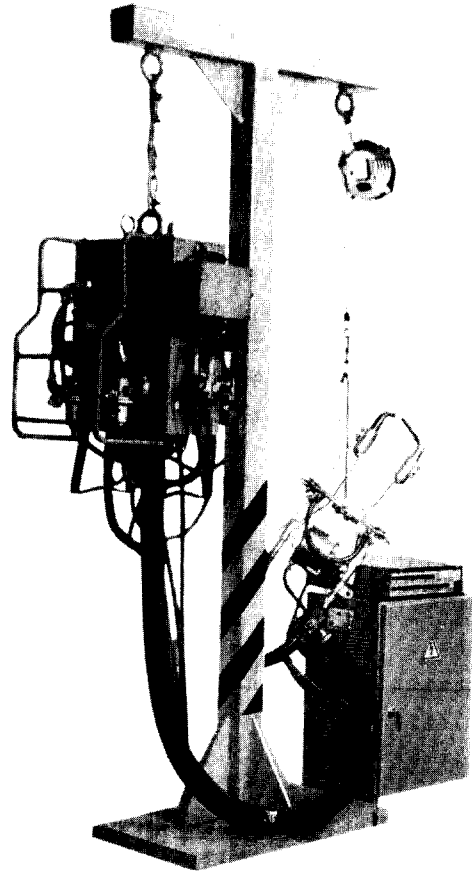


그림 4 건·변압기 분리형 포터블 저항 용접기

#### 4. 용접기의 전원 방식에 의한 분류

저항 용접기는 전원 방식에 따라 다음과 같이 나뉘어진다.

표 2 전원 방식에 의한 저항 용접기의 분류

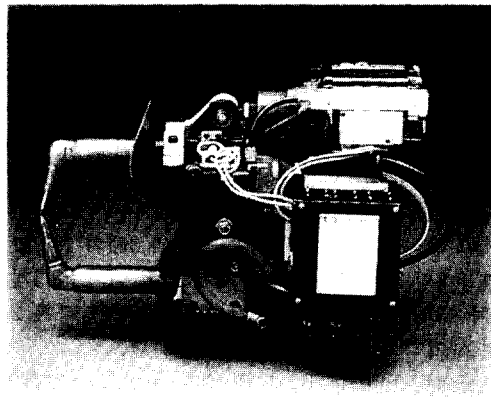
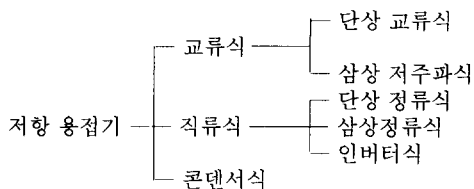


그림 5 건·변압기 일체형 포터블 저항용접기

### 4.1 교류식 저항 용접기

#### 4.1.1 단상 교류식 저항 용접기

단상 교류식은 가장 많이 쓰이고 있는 용접기로, 현재 저항 용접기의 90% 이상이 이 방식을 쓰고 있으며, 자동차 생산 현장이나 가전 등 박판 조립 공장에서 주역을 차지하는 전원 방식이다.

그림6은 그 원리도로, 단상전원에 있어서 위상각 제어를 위하여 사이리스터를 끼워서, 용접 변압기의 1차측에 접속하고 있다. 이와 같이, 일반 공장 동력으로서 쓰이고 있는 상용 주파수(60Hz)의 전원을 용접 변압기에 의해, 저전압·대전류로 변환하기만 하면 되므로, 구조가 간단하여 값이 저렴한 것이 특징이다. 다만, 60Hz의 상용 주파수를 그대로 이용하면, 리액턴스가 크게 되어, 입력 kVA가 크게 되고, 삼상전원 중에서 단상만에 부하가 걸리므로 불평형 부하로 되는 것과, 대출력화가 어려운 결점이 있다.

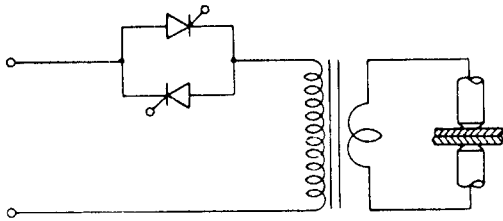


그림 6 단상 교류식 저항 용접기의 원리

#### 4.1.2 삼상 저주파식 저항 용접기

단상 교류기로는 리액턴스가 크게 되어 알루미늄 합금의 저항 용접과 같이, 대전류를 필요로 하는 것에서는 입력 kVA가 크게 되어 전원설비상 여러 가지 폐해가 나타난다. 이러한 결점을 해소하기 위해 삼상 저주파식 저항 용접기가 개발되었고, 그림 7은 그 원리를 나타낸다.

이 방식의 용접 변압기는 철심과 3개의 1차 코일과 1개의 2차 코일로 이루어져 있고, 1차 측 3개의 1차 코일은 삼상전원의 각상에, 방향이 다른 2개의 사이리스터를 끼워 접속되어 있다.

사이리스터 A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>의 점호 위상을 제어하여, 3개의 코일에 120° 씩의 위상 차가 있는 동방향의 전압을 가하면, 2차 코일에는 삼상 반파 정류의 전

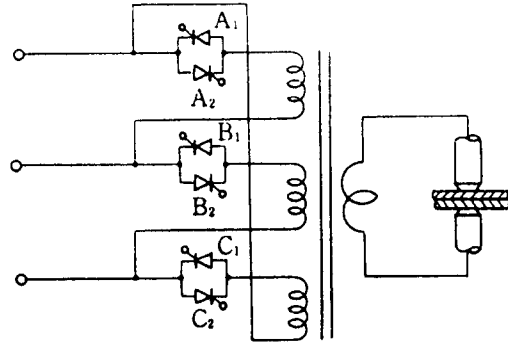


그림 7 삼상 저주파식 저항 용접기의 원리

압이 유기된다. 이 직류 기전력에 의해, 2차 전류는 회로의 L 과 R에 의해 결정된 시정수에 따라 점차 증가하여, 정상치에 달한다. 이 상태를 길게 유지하고 있으면, 철심은 동방향으로 계속 여자 되어 자기 포화를 일으키기 때문에, 그 전에 별도로 3개의 사이리스터 A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>를 점호하여, 역방향의 전압을 1차 코일에 가해, 여자 방향을 전환하여 역방향의 전류를 흘린다.

이 조작을 반복하는 것에 의해, 2차 회로에는 3~15Hz의 저주파 전류를 얻게 된다. 실제로는 정방향과 역방향 전류의 전환점에서 일시 전압을 가하지 않는 시간(cool time)을 둬므로, 용접 전류는 통전과 휴지를 반복하는 펄스통전으로 된다.

항공기와 전차등 대형 차량 제조에는 현재에도 이용되고 있지만, 자동차 제조업에서는 거의 이용하지 않고 있다.

### 4.2 직류식 저항 용접기

#### 4.2.1 정류식 저항 용접기

삼상 저주파식은 용접 변압기의 1차 측에서 정류하는 방식으로 하는 것이라면, 삼상 정류식 저항 용접기는 용접 변압기의 2차 회로에서 용접 전류를 직접 정류하는 방식이다.

그림 8에 삼상 정류식의 원리도를 나타내고 있다. 이 방식의 용접 변압기는, 삼상용 변압기를 써서, 1차 측 3개의 코일을 그림과 같이 접속하고, 그 중에서 2개의 상에 사이리스터(Thyristor)를 넣어 전류를 ON/OFF 한다. 용접 변압기의 2차 코일에 정류기를 접속해, 2차 전류를 직접 정류하여,

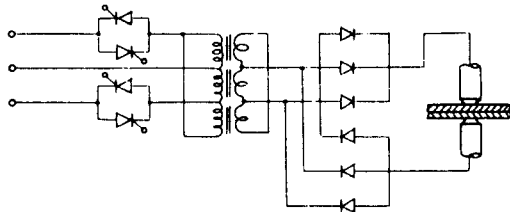


그림 8 삼상 정류식 저항 용접기의 원리

직류의 높은 용접 전류를 얻는다.

삼상 저주파 방식과 삼상 정류 방식의 장점은 다음과 같다.

- (1) 수만~십수만A와 같은 대전류가 비교적 용이하게 얻어진다.
- (2) 용접기의 아암(Arm)부에 강판 등의 자성 재료를 넣어도, 용접 전류는 거의 영향을 받지 않는다.
- (3) 전기 입력을 높이지 않고, 용접기의 아암을 크게 할 수 있다.
- (4) 삼상 평형 부하로 된다.
- (5) 역률이 좋다. (85%이상)

한편, 결점으로는, 장치가 복잡하고 고가이다. 또, 삼상 저주파식에 대한 특징으로는, 용접 변압기가 소형인 것과, 통전 시간을 길게 할 수 있는 것 등이 있고, 중용량 이하의 것으로는 단상 정류식이 이용되고 있는 것도 있다.

4.2.2 인버터식 저항 용접기

(1) 인버터식 용접기 전원의 제어 원리

인버터식 저항 용접기의 제어 원리는 그림9와 같은 원리에 의해 동작한다.

삼상 교류 전원을 삼상 브릿지다이오드(REC)에 의해 삼상 전파 정류한다. 전파 정류된 직류 전원을 4개의 스위칭소자(Power Transistor)를 사용하여 2개씩 ON-OFF를 반복한다. 우선 Tr1과 Tr4를 ON, Tr2와 Tr3을 OFF하는 경우, 용접 변압기 T의 단자 ①, ②에서는 ①:+, ②:-로 되고, ①에서 ②의 방향으로 전류가 흐른다. 다음에 Tr1~Tr4를 모두 OFF 하면, 전류는 OFF로 된다. 이어서 Tr2와 Tr3이 ON, Tr1과 Tr4가 OFF로 된 경우, 용접 변압기의 단자 ①, ②는 ①:-, ②:+로 되고 ②에서 ①의 방향으로 전류가 흐르게 된다. 이와 같이 용접 변압기 T의 1차 측에서는 1kHz 또는 2kHz의 스위칭

전류가 흐르고, 2차 측은 5V정도의 저전압·대전류로 변환되어, 다이오드 D를 통해 정류된 전류가 용접점 H로 흐르게 된다. 용접 전류는 스위칭 펄스 폭 Tw를 작게 하면 작게 되고, 크게 하면 크게 되는 PWM(Pulse Width Modulation) 방식에 의해 자유롭게 제어할 수 있다.

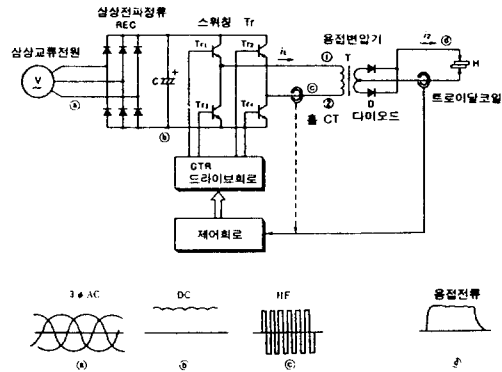


그림 9 인버터식 저항 용접기의 제어 원리

(2) 인버터식 용접기의 피드백 제어 원리

안정된 저항 용접을 하기 위해서는, 용접 전원 전압(AC 220V/440V)의 변동과, 용접할 금속 재료의 성형 산포등이 있더라도 항상 일정한 용접 전류를 흘리는 것을 필요로 한다. 이 때문에 용접 전류를 피드백하여 항상 일정 용접 전류를 흘리는 제어가 필요하다.

용접 전류는 수천A에서 수만A로 매우 고전류이므로, 일반적인 전류센서로는 검출되지 않기 때문에 트로이달 코일로 불리는 공심코일 또는 홀센서(hall sensor)를 사용하여 검출한다. 정전류제어는, 용접 변압기의 2차 측에 걸린 트로이달 코일에 의해 용접 전류를 검출하고, 항상 용접 전류가 일정하도록 파워 트랜지스터(Power Transistor)의 베이스 구동 펄스폭을 제어하는 것에 의해 행한다. 또는 용접 변압기의 1차 측에 넣은 홀센서에 의해 용접 전류를 검출하는 것도 있다.

(3) 인버터식 용접기용 변압기의 경량화

용접 전류는 저전압 대전류이기 때문에, 용접 변압기 T의 2차 측 리액턴스에 의해 주파수가 높을수록 흐르기 어렵게 된다.

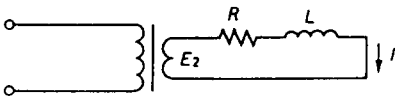
그림 10의 예를 보면, 교류의 경우 50Hz때 2차

전류 I는 19685A이지만, 제어 주파수가 1kHz인 경우는 1589A로 1/10이하로 낮게 된다. 그러나 2차 측을 정류한 경우는 f=0으로 되기 때문에 1kHz에서도 2차 전류 I는 17500A로 되어 전류는 그다지 저하하지 않는다. 그 때문에 인버터 제어 방식으로 하는 경우는, 용접 변압기의 2차 측을 정류할 필요가 있다. 그러나 2차 측을 정류하는 경우, 정류다이오드 D는 순전압강하 VF에 의해 발열한다. 이때 발생하는 열량 H(Joul)는

$$H = VF \cdot I \cdot t$$

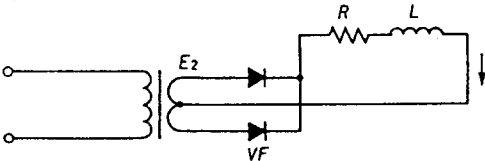
로 되고, 전류 I가 크기 때문에 용접 변압기 발열의 큰 비율을 차지한다. 따라서 정류다이오드 D는 순전압강하 VF가 낮은 것을 선택할 필요가 있다.

교류식



$$I = \frac{E_2}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}}$$

정류식



$$I = \frac{E_2 - VF}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}}$$

(예)  $E_2 = 5V$        $L = 0.5 \mu H$   
 $R = 200 \mu \Omega$      $VF = 1.5V$

그림 10 교류식과 정류식의 전류와 주파수의 비교

또, 용접 변압기의 중량은, 1차, 2차 코일 등 동선의 무게도 있지만 그 대부분은 철심이 차지한다. 그래서 이 철심 단면적의 최소치는, 필요한 2차 전압을 확보하면서 철심이 자기 포화하지 않는 조건에서 결정된다. 이 값은 이론적으로는 다음 식과 같다.

$$S \cdot f = \text{일정} (\propto I_m)$$

S : 철심의 단면적

f : 전원주파수

$I_m$  : 최대 용접 전류

이 결과는, 최대 용접 전류치가 일정한 경우 변압기에 공급되는 전원의 주파수를 높일수록 변압기의 소형·경량화가 도모되는 것을 의미한다.

예를 들면 같은 전압  $e_1$ 에서 60Hz의 주파수를 가할 때 철심 단면적을  $S_1$ , 1000Hz의 주파수를 가할 때의 철심 단면적을  $S_2$ 로 하면,  $S_1$ ,  $S_2$ 는 다음과 같은 관계로 된다.

$$S_2 = \frac{60Hz}{1000Hz} S_1$$

따라서, 변압기 1차측 전원 주파수를 1kHz로 할 때, 철심 단면적은 60Hz때의 0.06배로 되기 때문에, 용접 변압기는 소형 경량화가 가능하다.

표3에 가장 많이 이용되고 있는 인버터 전원 장치를 쓴 경우의 변압기 중량을 교류식의 경우와 대비하여 나타낸다. 아암치수가 클수록 양자의 중량차가 크게될 뿐만 아니라, 아암치수가 150mm \* 150mm로 극단적으로 작게한 경우에도 중량 면에서 인버터식이 단상 교류식에 비해 우수하게 된다.

이 특징을 이용하여 아암치수가 큰 용접건을 조합한 건·변압기 일체형을 제작하여, 이것을 로봇에 탑재하는 것도 가능하다. 인버터화 하는 것에 의하여, 800mm \* 380mm라든가 580mm \* 495mm와 같은 상당히 큰 아암치수를 지닌 용접건까지도 실용화 가능한 중량 범위 내에서 변압기와 일체화로 만들 수 있다.

표 3 인버터화에 의한 용접 변압기의 경량화

건치수	재 원	단상 교류식 (60Hz)	인버터식 (600Hz)
깊이	최대입력(kVA)	52	61
	정격용량(kVA)	23	27
간격	변압기중량(kg)	24	15
	건부중량(kg)	23	23
깊이	최대입력(kVA)	135	85
	정격용량(kVA)	60	35
간격	변압기중량(kg)	50	18
	건부중량(kg)	75	75

(4) 인버터화에 의한 역률 개선 효과

인버터식 직류 저항 용접기는 삼상 평형 부하로 되고, 전원 설비적으로도 유리하다. 그러나 이것 뿐만 아니라 1차 회로에 대용량의 콘덴서가 존재하고, 2차 회로도 전파 정류 방식으로 되어 있기 때문에 1차 측에서 본 역률(소비 전력/전류\*전압)은 현저하게 높은 값으로 된다.

그림 11에, 단상교류식과 단상정류식, 및 인버터식 용접기의 역률을 전력계와 전압계, 전류계로 측정한 결과를 대비하여 나타낸다. 횡축은 제어

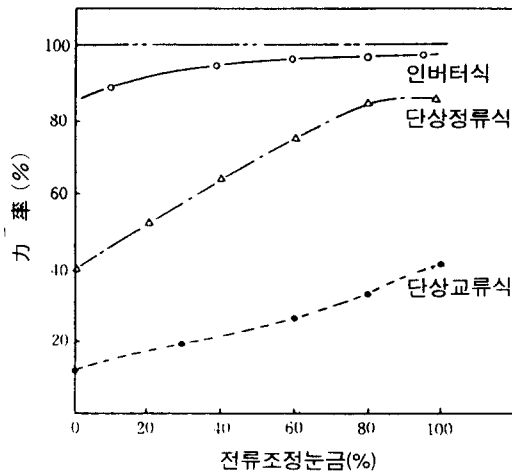


그림 11 각종 저항 용접기의 1차 측에서 본 겉보기 역률 치의 대비

$$\text{역률} = \frac{P}{V \cdot I}$$

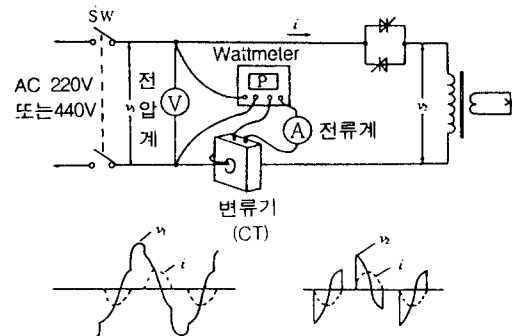


그림 12 단상 교류기 및 단상 직류기에서 역률치의 측정법과 각부 파형

장치의 전류 조정 다이얼 눈금으로 나타내고 있다. 계측은, 그림 12에 한 예를 나타내는 것과 같이 각부를 접속하여 행하여졌다.

인버터식 직류 저항 용접기에서는 용접 전류를 30%정도까지 줄여진 전류 조정 눈금 0% 부근에 있어서도 역률은 그다지 저하하지 않고, 전류의 전조정범위에 걸쳐서 80 ~ 95% 정도의 높은 역률치가 확보되고 있다.

이것에 대해, 단상 교류식과 단상 정류식의 용접기에서는 용접 전류치를 변압기의 1차 측에 삽입한 사이리스터의 점호위상각으로 조정하고 있는 관계로, 전류 조정 눈금을 줄여가면 각 반 사이클 통전마다 실전류 통전기간이 짧게 되고, 겉보기 역률이 저하한다.

용접기 명판 상에서는 역률이 80% 정도로 상당히 높은 값을 나타내는 단상 정류식 직류 저항 용접기의 경우에도 용접전류를 반에 가깝게 줄이면(그림의 전류 조정 눈금에서 20% 정도의 값으로 설정하면) 실측된 역률치는 50% 정도로 저하한다. 이것은 전류가 흐르지 않는 사이리스터의 점호 휴지기간에는 소비전력(순시 전력치)이 0으로 되어 있음에도 불구하고, 그림 12에 나타낸 것과 같이 사이리스터 보다도 주전원 측에 위치한 전압계에는 미통전 중에도 주전원의 전압이 계속 인가되어, 역률 계산을 위한 분모항(전압\*전류)이 상대적으로 높게 되고, 관측된 역률치를 떨어뜨리는 것으로 되기 때문이다.

따라서, 전류 특성적으로 볼 때 직류기 중에서도 인버터식 직류 저항 용접기는 극히 장점이 많다고 할 수 있다.

4.3 콘덴서식 저항 용접기

콘덴서식은, 대용량의 전해 콘덴서에 축적된 전기 에너지를 수ms ~ 수천ms 정도로 단시간에 방출하여 용접하는 방법으로 그림13에 그 원리도를 나타낸다.

단상 또는 삼상의 교류 전압을, 정류 회로에 의해 직류전압으로 바꿔, 콘덴서를 소요의 전압까지 충전한다. 콘덴서에 축적된 에너지E(W·sec)는, 콘덴서 용량을 C(F), 충전 전압을 V(V)로 하면, 다음과 같이 된다.

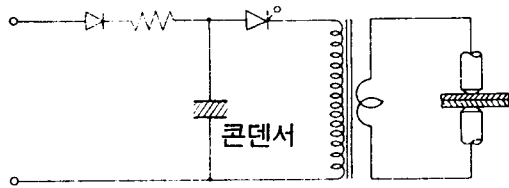


그림 13 콘덴서식 저항 용접기의 원리

$$E = \frac{C}{2} V^2$$

용접 전류는 보통, 충전 전압V를 변화하여 조정한다.

이 방식의 특징은 무엇보다도, 주전원의 전기용량을 대폭 줄이 수 있는 장점을 가진다. 그 외에, 전원 전압의 변동에 의해 용접 전류가 변화하지 않고, 단시간통전이 가능한 등의 장점이 있지만, 통전시간의 조정이 간단하지 않고, 후판 강판과 같이 긴 통전시간이 필요한 것에 사용할 수 없다. 또한 가격이 고가이고, 충전 시간을 필요로 하는 관계상 타점 속도(용접 속도)에 제한을 받는 결점이 있다. 프로젝션용접용으로 주로 적용되고 있지만, 저항 용접용에도 이용되고 있다.

## 5. 결 론

저항 용접기의 구성과 기본 원리에 대하여 설명

하였다. 구조적 형태에 의한 분류와 전원 방식에 의한 분류로 나누어 논하였다. 특히 저항 용접기의 고속 제어를 위한 인버터화, 직류화의 추세에 대해 논하였다.

미래에는 전자공업과 컴퓨터 기술을 비롯한 관련 기술의 발달로 고도의 자동화 및 신뢰성 있는 저항 용접기가 출현될 것으로 생각된다.

특히 소량 다품종 생산 체제에 적합한 저항 용접 시스템의 고급화·지능화는 끊임없이 추진되고 있으며, 이 분야의 장비 국산화가 무엇보다도 시급한 실정이다. 이를 위하여 각종 전력 전자 부품 산업, 고주파 교류용 변압기, 장시간 안정적으로 사용할 수 있는 전극 및 실시간 품질 보증 기술 등의 관련 기술 개발을 위하여 국가적인 지원과 인접 분야와의 협력 체제가 절실히 요구되는 바이다.

## 6. 참고문헌

1. 日本溶接協會電氣溶接機部會技術委員會：抵抗スポット溶接機の最近の發展, (平成元年)
2. インバータ技術マニュアル：インバータスポット溶接, オム社
3. 日本溶接協會監修：スポット溶接入門
4. 김명준：저항 용접, 기문사