

저항용접 제어장치의 종류와 신제품 개발 동향

안기은

Trend of Resistance Welding Controller

Ki-Eun An



안기은/조흥전기산업 용접기술연구소/1947년생/INVERTER 용접제어장치, 저항용접 품질평가 장치

1. 서론

저항용접(Resistance Welding)은 1877년 Boston M.I.T 공대의 연구소장이 된 E.Thomson 박사가 발명한 것으로서 접합하려는 용접 모재(母材)에 압력을 가하고 전류를 흘려 두 모재의 접촉부에 발생하는 저항열(抵抗熱)을 이용하여 접합시키는 방법이고, 용접 후 열에 의한 용접모재의 변형이나 잔류응력이 작고, 가압에 의한 효과 때문에 용접부의 금속조직이 매우 양호하며, 작업속도가 빠르고 대량생산에 적합하며, 통전시간이나 그밖의 모든 용접조건 제어가 자동적으로 제어되기 때문에 작업자의 숙련에 의하여 용접품질이 좌우되지 않는다는 장점을 가지고 있어 일반 산업체의 박판(6t 이하) 용접공정 및 자동차 차체용접공정에 널리 사용된다.

따라서, 저항용접법이 개발된 후 120여년이 지나고 있는 시점에 즈음하여 저항용접 설비에 사용되는 저항용접제어장치의 변천사를 정리해 보고, 최근에 개발되고 있는 저항용접제어장치들의 발전방향을 알아 보자.

2. 저항용접 제어장치의 역할

두 금속을 접촉시켜 그 면에 수직으로 압력을 가해놓고 여기에 많은 전류를 흘리면 접촉부분은 급격히 온도가 올라가 용융(熔融) 상태가 되고, 가해지고 있는

기계적 압력에 의해 두 금속은 밀착된다. 이때 전류를 끊으면 이 부분이 응고되어 용접이 완료된다. 전류를 흘릴 때 두 금속의 접촉면에서 발생하는 열량 Q 는 식 (1)로 표현된다.

$$Q = I^2 RT \quad (1)$$

Q : 열량

I : 전류

R : 두 금속간의 접촉 저항

T : 전류를 흘리는 시간

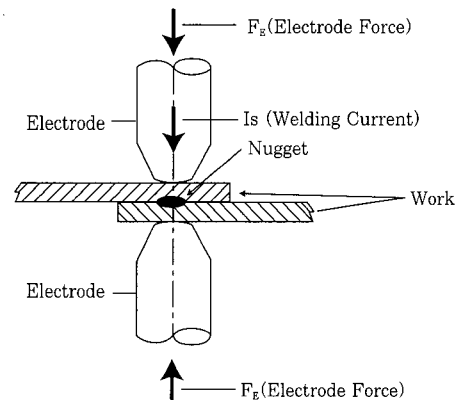


Fig. 1 저항용접부 명칭

위 식(1)에 표현된 '전류'와 '시간' 그리고, 두 금속의 접촉면에 수직으로 가해지는 '압력'을 이른바 저항용접의 3대 조건이라고 한다. 이 저항용접의 3대 조

건에 따라 너겟(Nugget)의 생성유무와 성장속도가 좌우되므로, 저항용접에서의 저항용접제어장치의 주된 역할은 기본적으로 이들 3대 조건 및 가압·용접(통전)·유지·개방 등의 저항용접 시퀀스(Sequence)를 제어하는 것이라고 할 수 있다. 그리고, 최근에 와서는 주변 저항용접설비의 동작상태나 이상(Error)감시 및 용접품질 판단/유지하는 부분까지 확대되고 있다.

3. 저항용접 제어장치 종류

일반적으로 많이 사용하고 있는 저항용접제어장치는 사용하는 용접전원(熔接電源)과 전류제어방식에 따라 주로 단상교류식, 단상 정류기식, 3상 정류기식, 3상 저주파식, 인버터식 등으로 나눌 수 있다.

일반적으로 소용량의 경우 단상교류식이나 단상 정류기식이 많이 사용되고, 대전류를 필요로 하는 대용량의 경우 3상 정류기식이나 3상 저주파식이 많이 사용된다.

3.1 단상교류식 저항용접 제어장치

아래의 Fig. 2는 전형적인 단상교류식 저항용접제어장치의 전기회로이고 전류제어용 소자가 가장 적게 소요되어 제작비가 저렴하기 때문에 가장 널리 사용되고 있다.

아래의 Fig. 2에서와 같이 용접제어장치와 스위칭부, 용접변압기, 전류검출용 C.T(Current Transformer) 부분으로 구성되고, 용접전류 제어에 사용되는 소자는 SCR(Silicon Controlled Rectifier)이고, 제어방법은 SCR에 의한 위상제어이다.

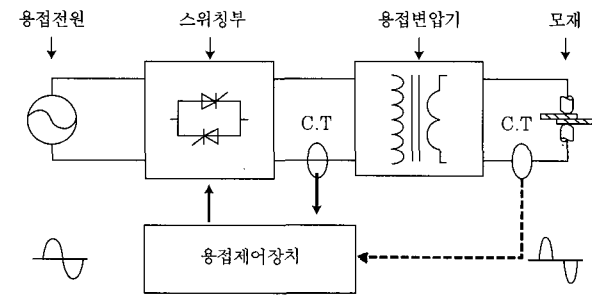


Fig. 2 단상 교류식 저항용접 제어장치

SCR은 게이트(Gate), 애노드(Anode), 캐소드(Cathode)를 갖고 있는 3단자 소자이고, 낮은 트리거(Trigger)전류로도 쉽게 ON 되고, OFF 시키기위해서는 애노드(Anode)와 캐소드(Cathode) 사이에 역전압을 인가하여 주어야하나 교류의 경우 반주기가 지나면 자동으로 역전압이 인가되므로 OFF가 용이하고, 대용량 소자 생산이 가능하므로 저항용접 분야의 교류식 위상제어에 널리 사용되는 소자이다.

3.2 단상 정류기식 저항용접 제어장치

위의 Fig. 3은 단상정류기식 저항용접제어장치의 전기회로이다. 단상 교류식에 비해 용접변압기 2차측에 정류용 다이오드가 부착되어 있는 점이 다르다. 변압기 2차측 회로가 같은 조건일 때 용접전류가 교류에 비해 직류를 사용하면 임피던스 요소중 리액티브 성분이 무시되고, 이에 따라 임피던스가 줄어드는 결과가 나타난다. 따라서, 단상정류기식 저항용접제어장치는 용접변압기 2차측 회로 임피던스가 비교적 큰 경우에 주로 사용된다.

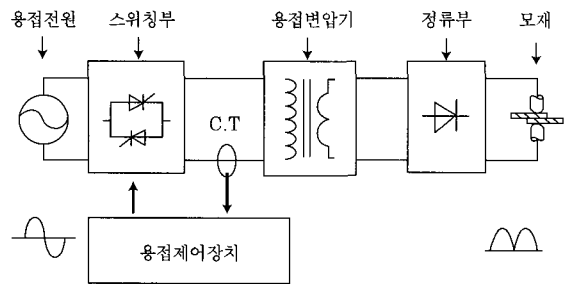


Fig. 3 단상 정류기식 저항용접제어장치

3.3 3상 정류기식 저항용접 제어장치

3상 정류기식 저항용접제어장치의 경우 용접변압기 2차측에 정류용 다이오드가 있기 때문에 일반적인 3상 교류식저항용접제어장치 보다 많은 용접전류를 흘릴 수 있는 장점이 있기때문에, 용접변압기 2차측에 접속되는 정류용 다이오드 모듈비용이 많이 든다는 단점이 있지만, 보통 40,000A 이상의 대전류(大電流)를 필요로 하는 부분에 주로 사용된다.

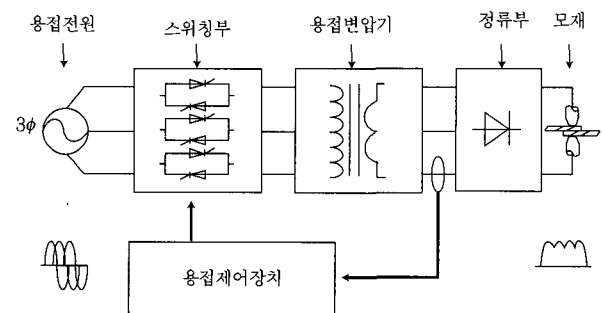


Fig. 4 3상 정류기식 저항용접 제어장치

3.4 3상 저주파식 저항용접 제어장치

보통 사용하는 용접전원 주파수는 50Hz 또는 60Hz이다. 따라서, 용접변압기 2차측 회로 길이가 길어 임피던스가 큰 경우에는 대전류(大電流) 대응이 매우 어

렵다. 따라서, 3상 저주파식 저항용접제어장치는 3상 50/60Hz 용접전원의 주파수를 4~20Hz 부근의 낮은 주파수로 변환시켜 리액턴스값을 줄여 대전류 대응이 가능하도록 해 준다.

일반적으로 리액턴스값은 식 (2)로 표현 할 수 있다.

$$X_L = 2\pi f L \quad (2)$$

X_L : 리액턴스

f : 주파수

L : 인덕턴스

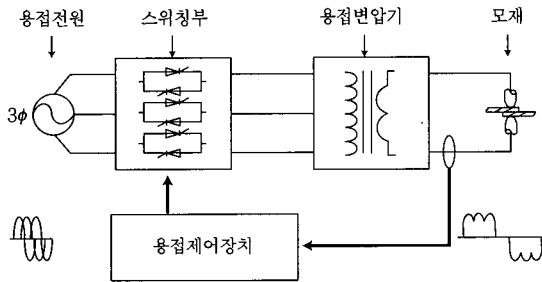


Fig. 5 3상 저주파식 저항용접 제어장치

3.5 인버터식 저항용접 제어장치

일반 교류식 저항용접제어장치는 위상제어로서 용접 전류를 제어하는 반면 인버터식 저항용접제어장치는 3상 교류(AC)전원을 다이오드 모듈로 정류하여 직류(DC)로 변환한 후 다시 트랜지스터나 IGBT 등의 스위칭 소자를 사용해 400~1.5KHz 정도로 스위칭하여 교류를 만든 후 정류하여 모재에 직류를 공급하는 방법으로 용접전류를 제어한다.

일반 교류식에 비해 용접변압기를 소형화할 수 있고 (교류식에 비해 약 $\frac{1}{10}$), 전원설비 용량을 줄일 수 있고, 용접전원 전압 변동에 따른 전류안정성이 우수해서 용접품질 편차를 줄일 수 있으며, 열효율이 좋고, 파형제어가 가능하여 최근에 그 사용량이 증가되고 있다.

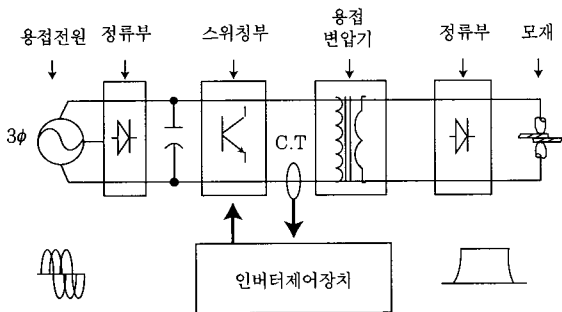


Fig. 6 인버터식 저항용접 제어장치

반면, 제어장치 제작비가 비싸 용접전원 변동이 심하거나, 용접용 ROBOT의 가반 중량이 작은 부분(용접용 대형 GUN), 용접품질 편차가 작아야 되는 부분이나 특수한 파형제어가 필요한 부분에 주로 사용되고 있다.

위의 Fig. 6은 전형적인 인버터식 저항용접 제어장치의 전기회로이다.

4. 저항용접 제어장치 발전 과정

저항용접제어장치의 변천사는 빠른 작업속도가 요구되는 자동차 차체용접 공정의 발전과 밀접한 관련을 갖고 있다.

자동차 차체 용접공정의 경우 자동차 차체 1대에 약 3000~4000점의 스폿(SPOT) 용접점이 있고, 스폿 용접법으로 1 점 용접하는데 용접용 ROBOT의 움직임은 속도를 감안하여 약 2~4초 정도의 시간이 소요된다. 보통의 차체 1대의 생산(용접) 시간이 약 1분인 점을 감안한다면 보통 약 260 여대 이상의 저항용접 제어장치가 필요하다. 그리고, 1일 작업시간을 18시간이라고 하다면 저항용접제어장치 1대당 1일 약 16,000점 이상 용접을 하는 셈이 된다. 따라서, 그동안의 저항용접제어장치 변천 과정에는 필연적으로 위의 자동차 차체공장의 여건이 고려 될 수밖에 없었다.

자동차 차체공장의 여건을 만족시키기 위해서는 여러 가지의 측면이 고려되어야 하지만, 그중 중요한 몇 가지만 간추린다면 첫째, 용접품질이 극히 안정되어야 할 것 둘째, 많은 수량의 저항용접제어장치의 관리가 용이하여야 할 것 셋째, 각종 시퀀스들과의 신호 인터페이스(Interface)가 용이 할 것 등이다. 따라서, 저항용접제어장치의 발전 과정을 위의 네가지 측면으로 설명하고자 한다.

4.1 용접품질 안정 측면의 발전

저항용접에서 용접품질과 밀접한 관련이 있는 것들 중 저항용접제어장치 와 관련이 있는 몇 가지를 간추린다면, 첫째, 적절한 용접조건 선정, 둘째, 용접전류의 안정성, 셋째, 전극(Electrode, Tip)선단경의 관리 등을 들 수 있다. 이중 "적절한 용접조건 선정"은 사용자 측면에서 고려되어야 하므로 이번 설명에서는 배제하였다.

초창기의 제어장치는 단순히 용접 시퀀스만 제어를 했고, 용접전류는 용접변압기의 탭(Tap)으로만 조정하는 형태였다. 본격적인 용접전류 제어는 SCR에 의한 위상제어 방법이 도입되면서부터 시작되었는데, 처

음에 시도된 것이 전원전압보상제어 방식이었다. 전원전압보상제어방식은 피드백제어를 행하지는 않고 설정전류에 따라 점호각이 고정된 고정점호각 제어방식이었다. 전원전압보상제어는 용접전원전압 변동에 따른 용접전류 변동폭이 컸다. 이 이후에 사용되는 방식이 본격적인 피드백제어인 정전류 제어방식이다. 정전류 제어방식은 실제로 용접용 건(Gun)에 흐르는 전류를 검출하여 전류 보상제어를 행하므로 전원전압이 기준치의 약±20% 이내의 변동에 대해 설정전류의 ±2% 이내로 용접전류를 안정시킬 수 있었다. 그러나, 정전류제어 방식도 전원전압이 기준치의 약±20% 이상의 급격한 용접전원전압 변동에는 효과가 미비하다. 따라서, 최근에는 인버터식 전류제어방법이 개발되게 되었다. 즉, 용접전류 안정측면의 발전은 “탭(Tap) 절환방식”→“전압보상제어”→“정전류”→“인버터식”이었다.

용접전류를 고정시켜 놓은 상태에서 계속적으로 용접을 행하면 이에 따라 전극선단경이 마모되어 확장된다. 전극선단경이 확장되면 전류밀도가 저하되고 결국에는 용접불량이 발생된다. 따라서, 전류밀도 저하를 방지하기 위한 방법이 모색되었다. 그 중 한가지 방법이 일정한 주기로 전극을 자주 연마하여 어느 범위이하로 전극선단경을 유지하는 방법이고 최근에는 ROBOT Controller 와 신호 인터페이스를 통해 자동으로 일정주기 마다 작동되는 Auto Tip Dressor 개발되었다. 다른 한 가지 방법은 전류밀도가 저하되는 만큼 전류를 보상하는 방법이다. 이 방법을 일컬어 메뉴얼(Manual) 스텝업(Step UP)방법이라고 한다. 메뉴얼 스텝업은 사용자가 설정 데이터를 설정하여야 하는 불편한 점이 있고, 전극연마 1 주기동안의 데이터를 확보하여야 한다. 이를 개선한 것이 “Auto-Step-Up”이나 “Fuzzy 추론”방법 등이 있다.

전극선단경 관리 측면에서의 저항용접제어장치의 발전은 “메뉴얼 스텝퍼”→“AutoStepper/Fuzzy 추론”이다.

4.2 제어장치 관리 측면의 발전

제어장치 관리 측면의 발전은 한 마디로 퍼스널 컴퓨터를 이용한 중앙집중관리 방법으로 대변될 수 있다. 이를 T/C NETWORK SYSTM 이라고 하는데, 초기에는 “용접조건설정” 및 “용접전류” 항목정도의 모니터링을 할 수 있는 수준이었으나, 네트워크 부분의 기술이 날로 발전을 거듭하고 있어 이 부분의 발전이 기대 된다.

4.3 시퀀서와의 신호 인터페이스 부분의 발전

대부분의 저항용접 제어장치들은 주변 시퀀서와 병렬 인터페이스 방법으로 신호를 주고 받는다. 그러나, 제어장치가 고급화되어 가면서 시퀀서와 주고받는 신호선 종류는 20여 가지 이상 증가되었고, 신호선 단선 등의 고장이 발생되었을 때 보수가 점점 어려워지고 있다.

이점을 개선한 것이 SIO 기능으로서 직렬 I/O 방식이다. 대개의 경우 3 선 정도의 통신 CABLE 만을 사용한다.

5. 신제품 개발 동향

현재 시판중인 제어장치들의 주요 기능을 먼저 살펴보면, 저항용접제어장치가 갖고 있어야 할 기본기능(2장 저항용접제어장치 역할 참조)과 가압력제어, 2차 케이블 단선/단락 검출, 전극용착검출, Auto Step Up 기능, Network 기능 등이다.

가압력 제어기능은 전공비레벨브(EPV)을 이용해 전극 가압력을 제어장치가 제어하는 것이고, 2차 케이블 단선/단락 검출 기능은 용접변압기 2차에 접속되는 KicklessCable, Jumper Cable 등의 단선이나 단락을 감지해 미리 경보해 주는 기능이다. 전극 용착검출은 전극이 용착되었을 때 이상(Error)를 발생시켜 Robot 의 무리한 이동을 방지함으로써 Gun 의 파손을 막기위한 기능이고, Auto Step Up 기능은 전극 마모에 따른 전류밀도 저하를 방지하기 위해 용접전류를 전극마모에 따라 자동으로 보상해 주는 기능이다. Network 기능은 여러대의 저항용접제어장치들을 하나의 Network 으로 접속해 중앙집중 관리하는 기능이다.

최근 자동차 차체용접라인에서 크게 대두가 되고 있는 것은 “스퍼터 저감”, “용접품질 확보”, “알루미늄 차체 대응” 등이다. 따라서, 각 저항용접제어장치 메이커들이 개발에 주안점을 두고 있는 것도 바로 이 분야이다. 그러나, 거의 모든 메이커들이 위의 기능을 가진 제어장치들을 개발하고 있으나, 아직 신뢰성을 갖춘 제품이 출시되지는 않고 있다. 그러나, 전반적인 신제품 개발현황을 정리하여 보면 대체적으로 “소형화”, “패키지(Package)화”, “고기능화”이다. 이들 각각에 대한 내용을 요약하면 다음과 같다.

5.1 소형화

단위 부품의 소형화나 수납형태를 개선하여 제어장

치의 외형크기를 작게 만드는 추세이다. 기존의 제어 장치는 외형크기가 커서 별도로 준비된 설치공간이 필요하였으나, 최근에는 외형크기가 작으므로 별도의 설치공간을 만들지않고 Robot Controller 내에 취부할 수 있도록 하고 있다.

5.2 패키지화

위에 기술한 내용의 기능들을 Option 별로 새로운 모델의 패키지로 만들어 그 특성별로 사용자가 쉽게 선택할 수 있도록 한 것이다. 즉 사용자가 사용하려는 현장여건에 맞고, 또한 경제적인 의미를 가미한 패키지로 구성하여 사용자의 입맛에 맞게끔 패키지를 구성한 것이다.

5.3 고 기능화

고기능화란 의미는 말 그대로 지금까지의 제어장치의 틀을 벗어나는 용접조건을 설정할 필요가 없고, 용접이 100% 될 수 있도록 용접전류나 시간, 가압력등

의 용접조건을 자동으로 조정해 주고, 스파터가 발생되지 않으면서 용접이 가능하도록 하는 기능을 의미한다.

일본의 N 사의 경우 1997년도에 "NPT" 라는 제품을 발매한 적이 있다. NPT란 No Program Timer의 약자로서 말 그대로의 고기능화가 실현된 제품이라 할 수 있다. 그러나, 이 제품은 정치식 스포트에서 일부 모재에 한해서만 제 기능을 발휘할 수 있다. 그러나, 저항용접제어장치의 고기능화 추세에 걸맞는 최초의 처녀작이고, 이 분야의 기술발전을 감히 예고하는 제품이라는 점에 그 의미를 부여하고 있다.

참 고 문 헌

- SLV Duisburg : Practical Course Resistance Welding, (1994)
- RWMA : Resistance Welding Manual, 4th Edition, (1995)
- AWS : Welding HandBook, 8th Edition, (1992)