

동저항 특성을 이용한 저항 스폿 용접기의 정전력과 정전류의 혼합모드 제어

Mixed Mode Control of Constant Power and Constant Current for Resistance Spot Welder using Dynamic Resistance Characteristics

강성관* · 정재현† · 노의철*
(Sung-Kwan Kang · Jae-Hun Jung · Eui-Cheol Nho)

Abstract - A new mixed mode control of constant power and constant current for resistance spot welding inverter is proposed to improve the weld quality. The conventional control scheme adopts constant current or constant power control mode, however, it is not easy to guarantee the high weld quality because of the nonlinear resistance characteristics of the welding point. The proposed method utilizes the nonlinear characteristics by measuring the dynamic resistance in real time. Therefore, it is possible for the welder to be controlled adaptively depending on the welding state. Experimental results show that the proposed control scheme improves the weld quality by 6.8 times compared with the conventional constant current mode control.

Key Words : Dynamic resistance characteristics, Weld quality, Constant current and power control

1. 서 론

저항 스폿 용접 시 용접품질은 너깃의 상태에 많은 영향을 받는다. 모재 사이를 용접용 전극으로 가압 후 대전류를 흘리면 용접부의 접촉저항에 의해 발열이 되고 그 열에 의해 용융부인 너깃이 발생하는데 이 너깃의 크기가 용접부의 접합강도를 결정하는 중요한 기준이 된다. 이 너깃의 형성에 관여하는 3대 요소로는 용접전류, 용접시간, 전극의 가압력을 들 수 있다[1]. 용접부를 순간적으로 녹인 후 접합이 양호하게 이루어지도록 하기 위해서는 이들 3대 요소를 적절히 설정할 필요가 있다. 그런데 이러한 용접의 3대 조건 설정을 잘해두었다 하더라도 실제 산업 현장에서는 모재의 표면 변형, 물성 변화, 전극 마모 등의 발생으로 인하여 용접부의 접촉저항이 변하는 경우가 많다. 이렇게 되면 용접 시 발생하는 너깃의 크기와 상태가 달라져서 균일한 양질의 용접상태를 확보하기 어렵다[2, 3].

이러한 문제를 해결하기 위하여 다양한 제어 기법들이 제시되었다. 제어를 하기 위해서는 우선 용접부의 상태 변화를 실시간으로 검출해야 하는데, 모재를 가압하기 위한 상부전극과 하부전극 사이의 변위량의 변화를 측정하거나[3], 용접부의 저항값의

변화를 측정[4, 5]하는 방법이 있다. 참고문헌 [3]의 방법은 기계적인 위치를 파악하기 위해 위치 센서와 이들을 고정하기 위한 기계적 장치들이 부가적으로 설치되어야 하므로 비용과 내구성 측면에서 문제가 있다. 용접저항 측정방법은 용접용 전원장치에 기본적으로 설치되는 전류계와 전압계를 이용할 수 있으므로 추가비용 없이 용이하게 구성할 수 있어서 주로 사용되는 방법이다.

용접은 기본적으로 금속을 녹이는 과정을 포함하는데, 이때 용접부의 저항값은 비선형적으로 가변하기 마련이다. 그림 1은 용접 중 변화하는 접촉부 저항값의 일반적인 형태를 나타내는 동저항 (dynamic resistance) 특성이다.

I-구간에서는 용접전류가 흐르기 시작하면서 모재가 연화되어 접촉부의 저항값이 급속히 감소한다. II-구간에서는 모재의 온

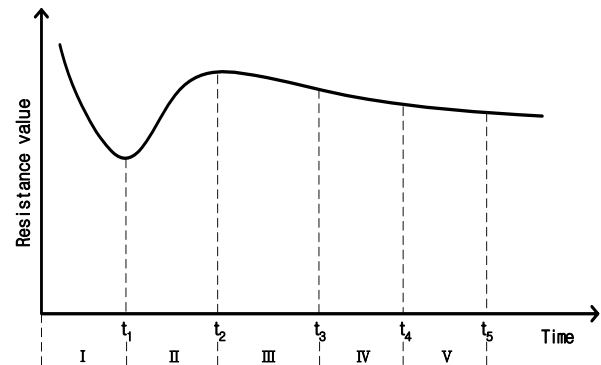


그림 1 전형적인 동저항 파형

Fig. 1 Typical dynamic resistance waveform

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University, Korea

E-mail : jaehunjung1981@outlook.com

* Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University, Korea

Received : October 13, 2015; Accepted : October 30, 2015

도 상승에 따라 접촉부의 저항값이 증가하며 t_2 시점은 접촉면의 용융 시작점을 의미한다. III-구간에서는 t_2 시점부터 생성하기 시작한 너깃이 활발히 성장하면서 통전 면적이 증가하여 저항이 감소한다. IV-구간에서는 너깃 성장이 약화되어 저항의 감소가 완만해진다. V-구간에서는 너깃 성장은 정지되지만 가압력에 의해 압접부분이 커지면서 저항이 다소 감소한다. 용접부의 이러한 동 저항 특성을 잘 활용하면 양질의 용접상태를 확보하기가 용이한데 동저항 특성을 이용한 용접기의 제어기법에 대한 연구결과는 별로 없다. 참고문헌 [7]과 [8]은 각각 진화전략에 의한 PI제어기와 퍼지제어기를 제시하여 용접품질을 개선하려고는 하였으나 용접부의 품질을 실시간으로 판단하면서 제어하지는 못하여 안정된 용접품질을 확보하기에는 미흡하다.

본 논문에서는 그림 1의 동저항 특성을 실시간으로 검출하면서 양질의 용접품질을 확보하기 위한 제어기법을 제시하고자 한다. 기존에는 정전류 또는 정전력으로 용접을 하였지만 제안하는 방법에서는 동저항값을 관찰하면서 너깃이 발생 및 성장하기 시작하는 이전과 이후를 구분하여 전반부에는 정전력 제어를 하고 후반부에는 정전류 제어를 함으로써 최적의 용접 상태를 얻고자 한다. 0.5 [mm] 두께의 강판 시편을 용접대상으로 하여 5 [kA]급 용접 시스템을 제작하여 실험하였다. 실제 작업 현장에서 빈번히 발생하는 접촉부 저항값의 변화를 만들어 주기 위하여 500 [kg]급 가압장치를 제작하여 가압력을 다양하게 변화시켰다. 실험결과 접촉 저항의 변화에도 불구하고 용접부의 용접 상태를 균일하게 얻을 수 있어서 제안한 용접기법의 타당성을 입증하였다.

2. 저항 스팟 용접 시스템 구성

그림 2의 A부분은 본 논문에서 사용한 저항 스팟 용접 인버터 전원장치를 나타낸다. 입력은 3상 전원인데 3상 다이오드 정

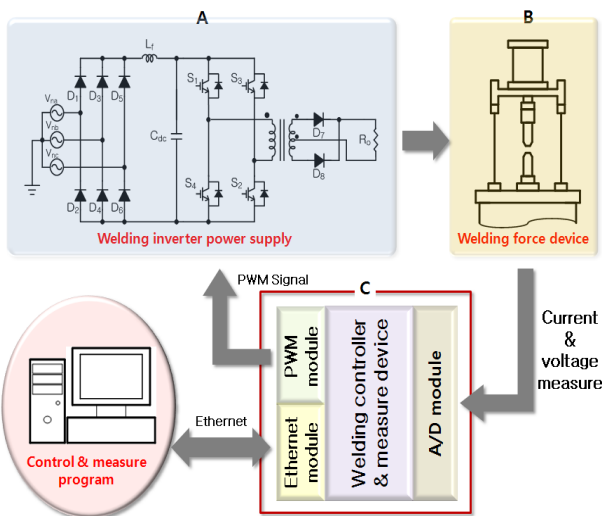


그림 2 제안하는 용접 시스템의 구성도

Fig. 2 Schematic diagram of the proposed weld system

표 1 용접 시스템의 소자 사양

Table 1 Specification of components for weld system

Component	Specification
3-phase diode rectifier	1600 [V], 205 [A]
L_r	1 [mH]
C_{dc}	400 [V], 3300 [uF]
IGBT (S1 - S4)	1200 [V], 240 [A]
Transformer	50 : 1
Diode (D7 - D8)	100 [V], 160 [A] × 16 P
Welding force device	500 [kg]

류기로 직류전원을 얻고 이 직류전원을 단상 IGBT 인버터로 교류로 변환한 다음 용접에 필요한 대전류를 얻기 위하여 강압변압기를 사용하였다. 각각의 부품 사양은 표 1과 같으며 그림 2에서 R_s 는 용접 모재의 등가 저항을 의미한다.

그림 2의 B부분은 용접할 모재를 충분히 가압하기 위한 장치이며 모재에 흐르는 용접전류와 모재 사이에 걸리는 용접전압을 계속하는 센서가 이곳에 설치된다. 가압장치는 압력을 임의로 조절 가능하도록 직접 제작하였다.

그림 2의 C부분은 제어부를 나타낸다. 제어용 MPU인 Cortex M3의 PWM 모듈을 사용하여 저항 스팟 용접 인버터 전원장치의 출력을 제어하기 위한 프로그램을 수행한다. A/D 모듈을 사용하여 용접전류와 용접전압을 읽어 들이고 동저항을 계산한 후 데이터를 이더넷 통신을 통해 제어 및 계측 프로그램이 실행되고 있는 컴퓨터로 전송한다.

3. 제안된 제어기법

저항 스팟 용접에 사용되고 있는 기존의 정전력 제어나 정전류 제어는 모재에 인가되는 전력이나 전류를 통전시간 동안 일정하게 유지하도록 제어하는 것이다. 그러나 용접이 진행되는 과정에는 너깃의 성장이라는 중요한 단계가 발생해서 일정전류나 일정전력으로 제어하는 경우에는 다음과 같은 문제가 있다.

정전류 제어는 용접작업 중에 모재 사이의 접촉저항이 변하여도 일정하게 전류를 제어하기 때문에 접촉저항이 변하게 되면 발열량이 변하게 되어 안정된 용접품질을 얻을 수 없다. 반면에 정전력 제어는 용접작업 중에 모재 사이의 접촉저항이 변하여도 일정한 발열량을 유지하도록 전력을 제어해서 안정되게 용접되도록 한다. 그러나 정전력 제어는 통전 후반부에 저항이 감소하면서 전류를 상승시켜 안정된 용접이 어렵게 된다.

이러한 단점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 이들을 결합한 새로운 형태의 제어기법을 제안하고자 한다. 제안된 제어기법은 너깃이 생성되기 전인 통전 전반부에는 접촉저항이 변하여도 일정한 발열량을 유지할 수 있는 정전력 제어를 하고 통전 후반에는 너깃 성장으로 인해 저항이 감소하므로 발열량을 서서히 감소시켜 안정되게 너깃이 성장할 수 있는 정전류 제어를 함으로써 양질의 용접품질을 확보하고자 하는 것이다.

위의 제어기법을 적용하려면 무엇보다도 먼저 너깃이 생성되는 시점을 정확히 파악하는 것이 매우 중요하다. 또한 주어진 시편에 대하여 최적의 용접상태를 얻을 수 있는 용접조건을 찾은 후 그 조건에서 용접된 용접 파형을 얻어야 한다. 본 논문에서는 0.5 [mm] 두께의 냉간압연 강판을 소재로 사용하여 최적의 용접상태를 찾기 위해 용접전류는 50 [A], 통전시간은 10 [ms], 가압력은 5 [kg] 단계로 변화시켜가면서 용접상태를 확인하였다. 최적의 용접조건을 찾기 위해 반복 용접한 결과 각각 3750 [A], 100 [ms], 75 [kg]일 경우 최적임을 확인하였다.

그림 3은 용접전류 3750 [A], 통전시간 100 [ms], 가압력 75 [kg]으로 용접하여 얻은 최적의 용접상태에서 통전시간 중 용접전류, 용접전압, 동저항 파형을 나타낸다. 용접전류 파형을 보면 단시간에 3750 [A]에 도달하는 것을 볼 수 있고 용접전압 파형은 통전 초기에 높은 접촉저항으로 인해 일시적으로 튀는 현상을 볼 수 있다. 맨 아래 그림은 동저항 값을 나타내는데 너깃이 성장하기 시작하는 시점을 쉽게 찾기 위해 저항의 표시범위를 0.2~0.3 [mΩ] 구간만 확대하여 나타내었다. 그림에서 화살표가 가리키는 시점이 너깃의 성장이 시작되는 시점이 된다.

제안된 제어기법을 적용하기 위해 최적의 용접 파형에서 인가될 전력과 너깃이 성장하기 시작하는 시점을 계산한 후 용접 전 반부에는 접촉저항이 변하여도 일정한 발열량을 유지하도록 전력을 제어하고 너깃이 성장하기 시작하는 시점 이후에는 이 시점에서 흐르는 전류가 일정하게 유지되도록 제어하여 정전력 제어시 발생하는 후반부 용접 불량을 최소화하도록 하였다.

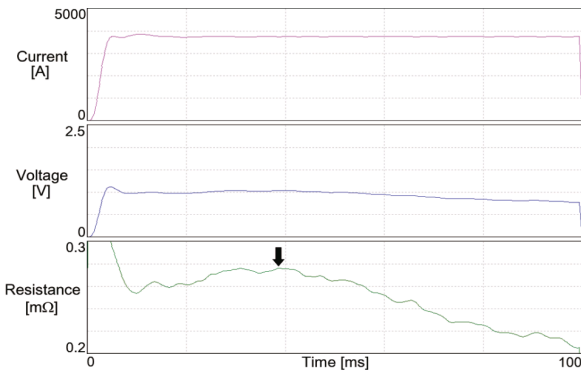


그림 3 최적의 용접 시 전압과 전류 파형
Fig. 3 Voltage and current in optimal welding state

4. 실험 결과 및 분석

본 논문에 사용된 시편은 0.5 [mm] 두께의 냉간압연 강판이며 KS B 8051에 있는 시편의 모양과 치수규정에 따라 제작하였다. 구체적인 모양과 치수는 그림 4에 나타내었으며 시편의 화학적 조성은 표 2에 나타낸 것과 같다. 전극의 재료는 도전율 75 [%] 이상인 크롬동을 사용하였으며 전극의 형상은 직경이 13 [mm], 선단경이 6 [mm]인 DR형 전극을 사용하였다. 용접 중 형성된 너깃의 크기는 KS B 8050의 규정에 따라 최

적의 용접상태인 B등급(강도를 필요로 하는 용접부에 적용되는 등급)의 평균인 3.2 [mm]로 정하였다. 저항 용접의 3대 조건인 용접전류, 통전시간, 가압력을 가변해가면서 너깃 크기가 3.2 [mm]일 경우를 찾았으며 이때의 용접 파형을 최적의 파형으로 결정하였다.

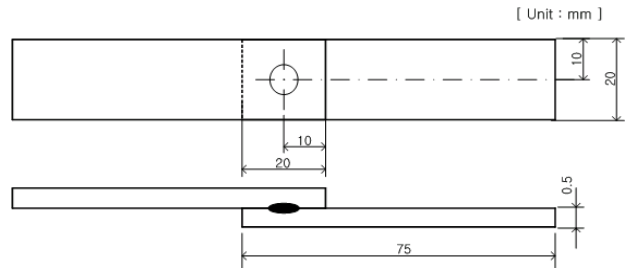


그림 4 저항 용접 시편
Fig. 4 Specimen for resistance welding

표 2 냉연 강판의 화학 성분

Table 2 Chemical composition of cold rolled steel sheets

Chemical composition [%]					
C	Si	Mn	P	S	Al
0.04	0.01	0.24	0.012	0.005	0.035

전류와 전압 파형으로부터 인가될 전력과 동저항 파형을 계산하였고 아울러 너깃이 성장하기 시작하는 시점을 계산한 후 실험하였다.

실험은 기존의 정전류 제어와 제안된 제어기법 두 가지 경우로 구분한 후 용접품질에 영향을 미치는 다양한 외부 요인을 임의로 발생시키기 위해 가압력을 변화시켜 접촉저항이 변하도록 하였으며 접촉저항의 변화는 최적의 접촉저항일 경우에는 가압력을 75 [kg], 접촉저항을 감소시킨 경우에는 95 [kg], 접촉저항을 증가시킨 경우에는 60 [kg]으로 변화시켜 총 여섯 가지 경우로 나누어 실험하였다. 반복 재현성을 확인하기 위해 각각 3번씩 용접하였으며 형성된 너깃 크기는 시편을 분리해 버니어캘리퍼스로 측정된 후 용접부를 사진촬영 하였고 용접 파형으로는 전류, 전압, 동저항 파형을 나타내었다.

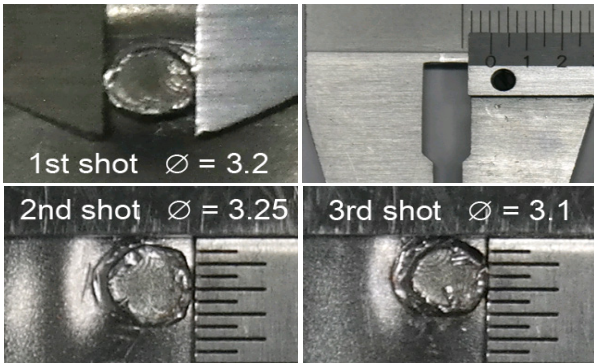
그림 5는 직접 제작한 가압장치로서 500 [kg]까지 가압 가능하다.

그림 6은 정전류 제어로 최적의 용접조건인 용접전류 3750 [A], 통전시간 100 [ms], 가압력 75 [kg]으로 3번 반복 용접했을 경우의 용접부 너깃 사진과 용접 파형을 나타낸 것이다. 너깃 크기의 평균은 3.183 [mm]이며 이것은 최적의 용접상태를 판단하는 기준으로 정한 너깃 크기의 평균인 3.2 [mm]에 거의 근접한 값이다.

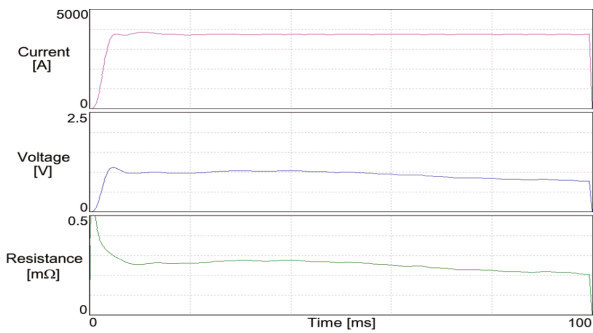
그림 7은 정전류 제어로 용접전류는 3750 [A], 통전시간은 100 [ms]로 하고 접촉저항을 감소시키기 위해 가압력을 95 [kg]으로 증가시켜 3번 반복 용접했을 경우의 용접부 너깃 사진과 용



그림 5 가압 장치
Fig. 5 Welding force device



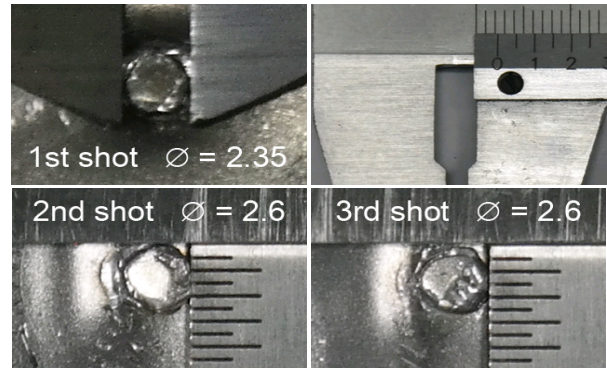
(a) Nugget size



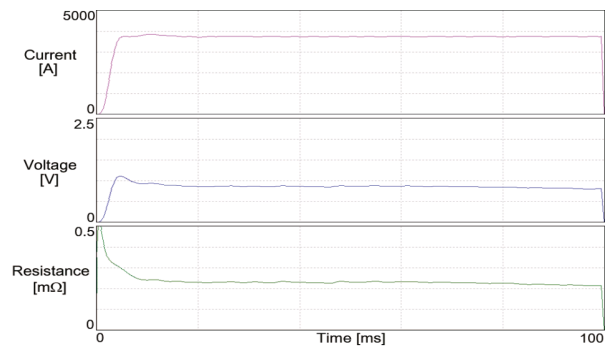
(b) Voltage, current, and resistance waveforms

그림 6 3750 [A], 100 [ms], 75 [kg] 조건에서 정전류 제어 모드
Fig. 6 Constant current control mode under 3750 [A], 100 [ms], 75 [kg]

접 파형을 나타냈으며 너깃 크기의 평균은 2.517 [mm]이다.
접촉저항의 감소가 발열량을 감소시켜 너깃 크기가 감소하였



(a) Nugget size

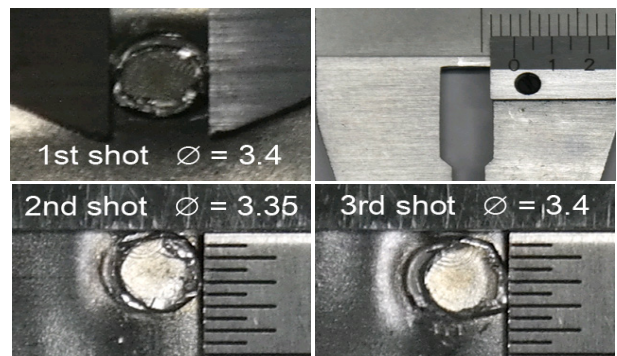


(b) Voltage, current, and resistance waveforms

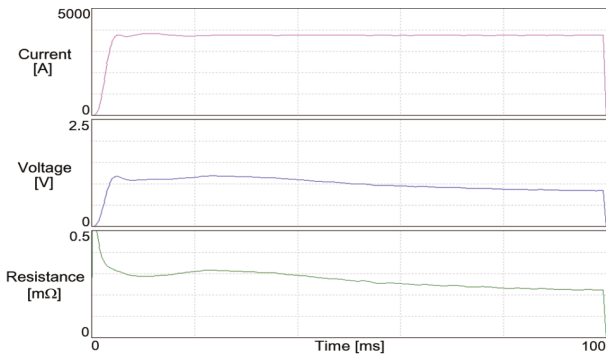
그림 7 3750 [A], 100 [ms], 95 [kg] 조건에서 정전류 제어 모드
Fig. 7 Constant current control mode under 3750 [A], 100 [ms], 95 [kg]

으며 통전 전반에 걸쳐 동저항 파형의 변화가 거의 없는 것으로 보아 너깃이 충분히 성장하지 못한 것을 알 수 있다.

그림 8은 정전류 제어로 용접전류는 3750 [A], 통전시간은 100 [ms]로 하고 접촉저항을 증가시키기 위해 가압력을 60 [kg]으로 감소시켜 3번 반복 용접했을 경우의 용접부 너깃 사진과 용접 파형을 나타낸 것으로서 너깃 크기의 평균은 3.383 [mm]이다.



(a) Nugget size



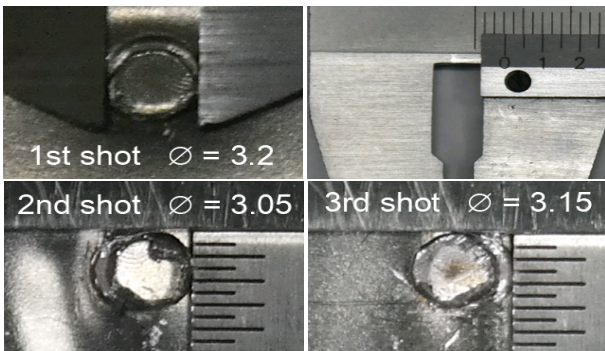
(b) Voltage, current, and resistance waveforms

그림 8 3750 [A], 100 [ms], 60 [kg] 조건에서 정전류 제어 모드

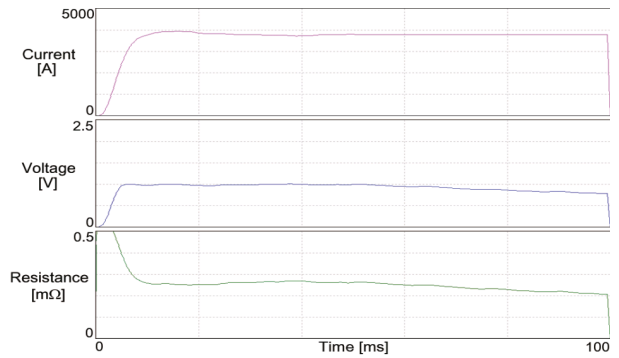
Fig. 8 Constant current control mode under 3750 [A], 100 [ms], 60 [kg]

전류는 일정하데 접촉저항이 증가하였으므로 발열량이 증가하였으며 따라서 너جت 크기가 증가하였다. 통전 전반부에 동저항 파형의 변화가 심하게 일어났고 너جت이 성장하기 시작하는 시점도 최적의 동저항 파형보다 앞으로 당겨진 것을 알 수 있으며 통전 종료 부분에 동저항 파형의 변화가 거의 없는 것으로 보아 너جت이 더 이상 성장하지 않았음을 알 수 있다. 그림 7과 8을 통해 정전류 제어는 용접 중 외부 요인으로 접촉저항이 변하면 발열량이 변하게 되고 이 발열량의 변화가 너جت 크기를 변화시켜 안정된 용접품질을 확보하기 어렵다는 것을 알 수 있다.

그림 9는 제안된 제어기법으로 실험한 결과를 나타낸 것이다. 너جت이 성장하기 시작하는 시점까지는 3750 [W]의 전력으로 정전력 제어를 하고 이후에는 이 시점에서 흐르는 전류가 일정하게 유지되도록 제어하였다. 통전시간은 100 [ms], 가압력은 75 [kg]으로 하여 3번 반복 용접했을 경우의 용접부 너جت 사진과 용접 파형을 나타내었다. 실험결과 너جت 크기의 평균은 3.133 [mm]이며 정전류 제어에서 최적의 용접조건일 경우에 해당하는 너جت 크기의 평균인 3.183 [mm]와 0.05 [mm] 차이로 비슷한 너جت 크기를 알 수 있다.



(a) Nugget size

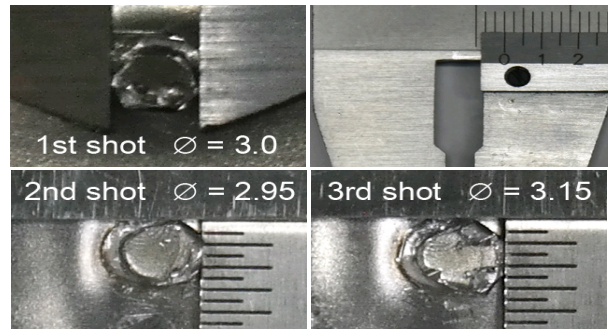


(b) Voltage, current, and resistance waveforms

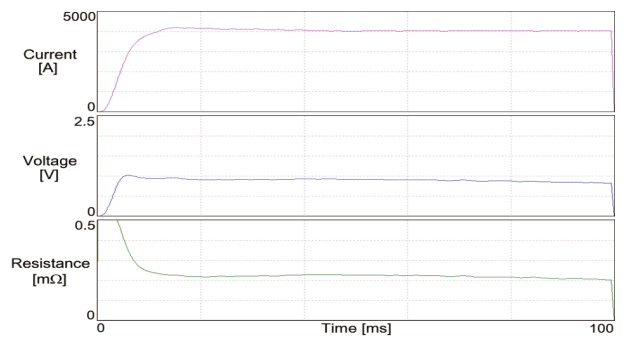
그림 9 3750 [W], 100 [ms], 75 [kg] 조건에서 제안한 제어 모드

Fig. 9 Proposed control mode under 3750 [W], 100 [ms], 75 [kg]

그림 10은 제안된 제어기법으로 너جت이 성장하기 시작하는 시점까지는 3750 [W]의 전력으로 정전력 제어를 하고 그 이후에는 이 시점에서 흐르는 전류가 일정하게 유지되도록 제어한 경우를 나타낸 것이다.



(a) Nugget size



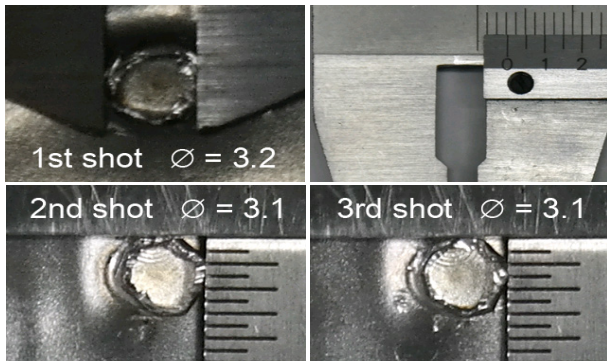
(b) Voltage, current, and resistance waveforms

그림 10 3750 [W], 100 [ms], 95 [kg] 조건에서 제안한 제어 모드

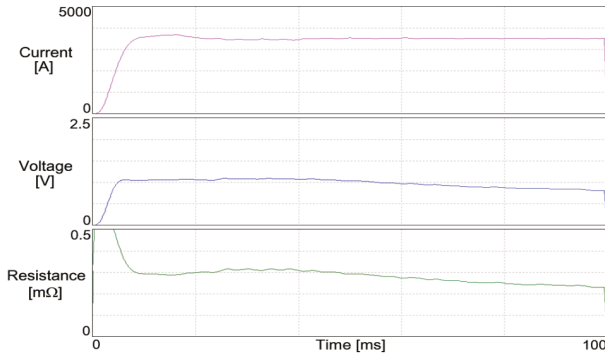
Fig. 10 Proposed control mode under 3750 [W], 100 [ms], 95 [kg]

통전시간은 100 [ms]로 하고 접촉저항을 감소시키기 위해 가압력을 95 [kg]으로 증가시켜 3번 반복 용접했을 경우의 용접부 너깃 사진과 용접 파형을 나타내었다. 너깃 크기의 평균은 3.033 [mm]이며 정전류 제어에서 접촉저항을 감소시킨 경우에 해당하는 너깃 크기의 평균인 2.517 [mm]와 비교해서 접촉저항이 감소하여도 안정된 용접부의 접합강도가 확보됨을 알 수 있다.

그림 11은 제안된 제어기법으로 전력은 일정하게 3750 [W]로, 통전시간은 100 [ms]로 하고 접촉저항을 증가시키기 위해 가압력을 60 [kg]으로 감소시켜 3번 반복 용접했을 경우의 용접부 너깃 사진과 용접 파형을 나타낸 것이다. 3번의 실험결과 측정된 너깃 크기의 평균은 3.133 [mm]이다.



(a) Nugget size



(b) Voltage, current, and resistance waveforms

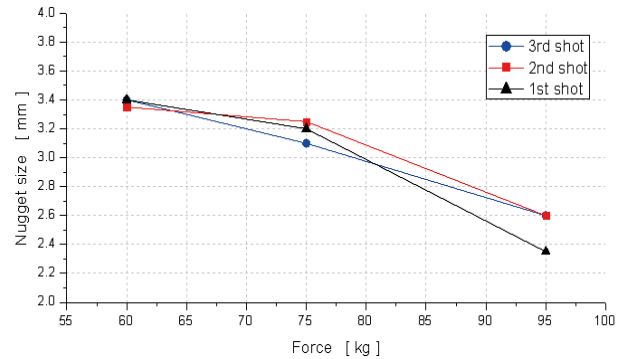
그림 11 3750 [W], 100 [ms], 60 [kg] 조건에서 제안한 제어 모드

Fig. 11 Proposed control mode under 3750 [W], 100 [ms], 60 [kg]

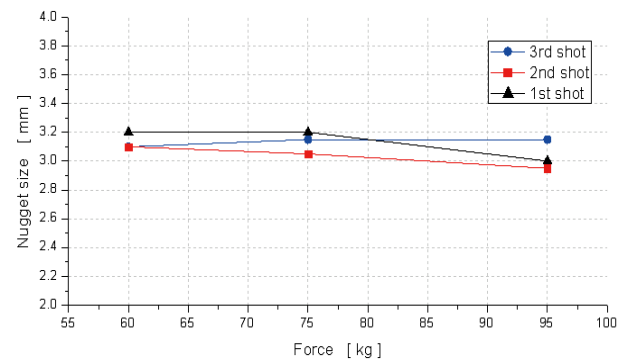
정전류 제어에서 접촉저항을 증가시킨 경우에 해당하는 너깃 크기의 평균인 3.383 [mm]와 비교해서 0.25 [mm] 줄어 들었음을 알 수 있다. 따라서 접촉저항이 증가한 경우에도 최적의 용접 상태를 판단하는 기준으로 정한 너깃 크기의 평균인 3.2 [mm]에 거의 근접함을 알 수 있다.

그림 12는 용접품질에 영향을 미치는 다양한 외부 요인을 인 의로 발생시키기 위해 가압력을 변화시켜 접촉저항이 변화하도록

해서 기존의 정전류 제어와 제안된 제어기법으로 실험한 용접부 너깃 크기의 변화를 그래프로 나타낸 것이다.



(a) Nugget size in the constant current control mode



(b) Nugget size in the proposed control

그림 12 각 제어모드에서의 너깃 크기

Fig. 12 Nugget size in each control mode

정전류 제어가 제안된 제어기법에 비해 접촉저항의 변화에 따라 너깃 크기가 심하게 변하는 것을 알 수 있다. 따라서 제안된 제어기법이 용접 중에 발생하는 다양한 외부 요인의 영향을 덜 받고 용접부의 접합강도를 안정되게 확보할 수 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

저항 스폿 용접은 용접품질에 영향을 미치는 다양한 인자들의 변화에 민감하게 반응한다. 특히 모재 사이의 접촉저항이 변하는 현상은 실제 용접 현장에서 다양한 원인에 의해 흔히 발생한다. 따라서 저항 스폿 용접에서 가장 많이 사용되는 정전류 제어는 접촉저항이 변하면 발열량이 변하게 되어 용접품질에 악영향을 가져온다. 본 논문에서는 다양한 외부 원인에 의해 모재 사이의 접촉저항이 변하여도 안정된 용접품질을 확보할 수 있는 제어기법을 제안하였으며 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 정전류 제어는 통전 초기 높은 접촉저항 때문에 모재가 심하게 발열하여 용접 불량이나 자주 발생하는데 반하여 제안된 제어기법은 일정한 발열량을 발생시키기 위해 통전 초기에 정전력 제어하므로 초기 용접 불량을 최소화할 수 있었다.

(2) 통전 후반부에는 너깃의 성장으로 인해 저항이 감소하는데 이때에도 계속 정전력 제어를 하면 전류가 상승하게 되어 안정된 용접품질을 확보하기 힘들데, 제안된 제어기법은 후반부에는 정전류 제어 모드로 변환하여 너깃의 성장에 따라 서서히 발열량을 감소시켜 통전 후반부에도 안정된 용접품질을 확보할 수 있었다.

(3) 기존의 정전류 제어와 제안된 제어기법으로 모재 사이의 접촉저항에 변화를 주어 용접한 후 너깃 크기를 비교한 결과 기존 방식의 경우 너깃 크기의 변화가 30.8 [%]에 달하였으나 제안한 방식에서는 불과 4.5 [%]에 지나지 않아 제안된 제어기법이 정전류 제어보다 훨씬 안정된 용접부의 접합강도를 확보 한다는 것을 확인하였다.

References

- [1] S. M. Cho, "Principle of resistance welding and analysis of monitoring results," *Journal of the Korean Welding & Joining Society*, Vol. 15, No. 2, pp. 7-11, Apr. 1997.
- [2] Hyungsuck Cho, "Welding quality supervision and control resistance welding processes," *Journal of the Korean Welding & Joining Society*, Vol. 18, No. 4, pp. 2-7, Aug. 2000.
- [3] S.A. Gedeon, C.D. Sorensen, K.T. Ullrich, and T.W. Eagar, "Measurement of dynamic electrical and mechanical properties of resistance spot welds," *Weld journal*, pp. 185-378, Dec. 1987.
- [4] D.W. Dickinson, J.E. Franklin and A. Stantya, "Characterization of spot welding behavior by dynamic electrical parameter monitoring," *Welding research supplement*, pp. 170-176, Jun. 1980.
- [5] J.M. Kim, L.H. Kim, B.G. Min, C.Y. Won, G.S. Kim, and S.W. Choi, "Variable Power Control of Inverter Spot Welding Machine using Evolution Algorithm," *The Transactions of The Korean Institute of Power Electronics*, Vol. 7, No. 4, pp. 384-394, Aug. 2002.
- [6] Yongjoon Cho, Sehun Rhee, Hyun Shin, and Kyungmin Bae, "Characterization primary dynamic resistance in spot welding," *Journal of the Korean welding & joining society*, Vol. 17, No. 2, pp. 159-164, Apr. 1999.
- [7] J.M. Kim, Y.C. Kim, C.Y. Won, G.S. Kim, "A study on spot welder of PI controller using evolution strategy," *Proceedings of the KIEE EMECS Annual Autumn conference 1997*, pp. 531-533, 1997.
- [8] M.K. Park and J.W. Lee, "Fuzzy-PID gain scheduling algorithm of resistive welder for electronic parts," 2004

conference on information and control systems, pp. 114-116, 2004.

저 자 소 개



강성관 (Sung-Kwan Kang)

1973년 2월 19일생. 1999년 부경대 공대 생산가공공학과 졸업. 2002년 부경대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년~현재 동 대학원 박사과정. 2002년~현재 웰텍 시스템 대표.

Tel : 051-621-4322

Fax : 051-621-4323

E-mail : zamti@hanmail.net



정재헌 (Jae-Hun Jung)

1981년 10월 19일생. 2007년 부경대 공대 전기제어공학부 졸업. 2009년 부경대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2015년 동대학원 졸업(박사).

Tel : 051-643-3212

Fax : 051-629-6305

E-mail : jaehunjung1981@outlook.com



노의철 (Eui-Cheol Nho)

1960년 8월 2일생. 1984년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 졸업(박사). 1997년~1998년 미국 University of Wisconsin-Madison 방문교수. 2005년~2006년 미국 University of California-Irvine 방문교수. 1995년~현재 부경대 전기공학과 교수.

Tel : 051-629-6317

Fax : 051-629-6305

E-mail : nhoec@pknu.ac.kr