

인버터 DC 저항 점 용접에서 지능형 알고리즘을 이용한 용접 품질 제어에 관한 연구

A Study on Intelligent Weld Quality Control of Inverter DC RSW Using a Fuzzy Algorithm

김태형*, 강문진**, 이철구***, 이세현****

* 한양대학교 대학원/기계공학과

** 한국생산기술연구원/정밀접합팀

*** 서울산업대학교/기계공학과

**** 한양대학교/기계공학부

1. 서 론

저항 점 용접은 자동차 차체와 같은 박판 조립 공정에 널리 사용되는 접합 공정이다. 그 원리는 접합하고자 하는 금속 사이에 존재하는 접촉저항과 금속의 고유저항을 이용하여 용접부에 대전류를 통전 시키면, 이때 발생하는 저항 줄 열로 접합한다. 저항 점 용접에는 사용하는 용접 전원 특성에 따라 교류(AC)와 직류(DC)로 나누어진다. 교류의 경우는 50~60Hz의 단상 전원을 사이리스터(SCR)로 ON/OFF하여 변압기 2차측에서 주전원과 동일한 50~60Hz 용접 전원을 만들어낸다. 직류는 주로 3상 교류 전원을 다이오드와 콘덴서를 이용하여 직류로 변환하고 다시 IGBT를 이용하여 사용자가 원하는 주파수의 교류를 생성한다. 변압기 2차측에서 다시 다이오드와 용접건에 존재하는 저항과 인덕턴스 성분을 이용하여 직류로 변환한다. 최근 IGBT, 다이오드 등과 같은 인버터 구성에 필요한 전력 소자의 소형화 및 가격 저하로 인해 용접기 제작에 소요되는 가격이 떨어졌고, 각 소자의 신뢰성이 향상되었기 때문에 자동차 산업과 같이 수많은 용접기가 필요한 공정에서도 그 사용이 확대되고 있다. 일반적으로 직류 전류를 저항 점 용접에 적용할 경우 교류 전류를 사용할 경우와 비교하여 적은 전류로 용접 공정을 수행하거나, 로브곡선에서 더 넓은 적정 용접 범위를 가지거나, 보다 적은 전류 마모를 가져오는 장점을 얻을 수 있다.

본 연구에서는 직류를 이용할 때 얻을 수 있는

장점을 이용하기 위해 인버터 DC 저항 점 용접 시스템 장치(hardware)를 구성하고, 정전류 제어를 위한 퍼지 제어 알고리즘(software)을 개발하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 인버터 DC 저항 점 용접 시스템을 모델링(modeling)하고, 얻어진 모델을 이용하여 퍼지 제어기(fuzzy controller)를 설계한 뒤, 유전 알고리즘(genetic algorithm)을 이용하여 퍼지 제어기의 환산계수(scaling factor)를 최적화 하였다.

2. 인버터 DC 저항 점 용접 시스템 회로 모델링

Fig 1은 본 연구에서 개발된 인버터 DC 저항 점 용접 시스템의 간략화 된 회로도 를 나타낸다. 용접 회로 모델링을 수학적 식으로 유도하기 위해서는 회로의 각 성분요소의 특징을 분석해야 한다. 그러나 복잡한 수학적 식을 얻어 선형화를 해도 용접기 회로에 존재하는 소자의 정확한 값을 계측하는 것은 어려운 일이므로 효율적인 용접 회로 모델링 기법이 필요하다. 본 연구에서는 시스템 식별(system identification) 기법을 이용하였다. Fig 2와 같이 식별하고자 하는 시스템에 대해 임의의 입력에 대한 출력의 응답을 얻는다. 인버터 DC 저항 점 용접 시스템에서는 입력으로 PWM 듀티비를 사용하고, 출력으로 전류를 적용하였다. 따라서 임의의 입력은 PWM 듀티비가 되고, 출력은 이에 해당하는 출력전류 응답이다.(Fig.3 참조) 얻어진 결과를 ARX 모델에 적용하여 식(1)에 나타내었다.

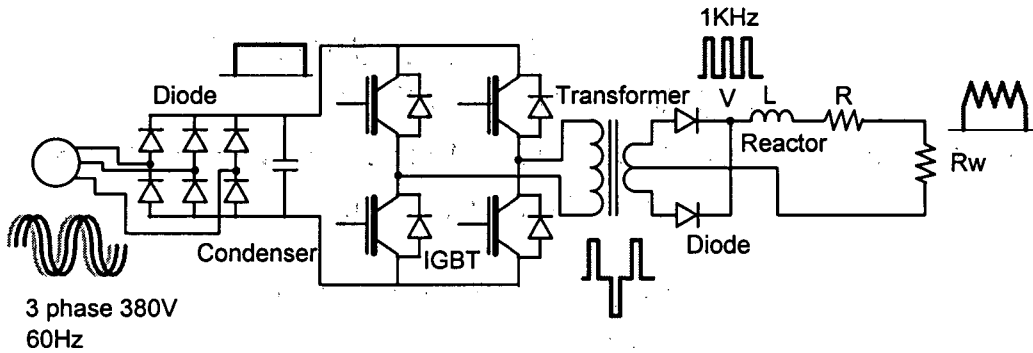


Fig 1. Schematic Diagram for Inverter Resistance Spot Welding Machine

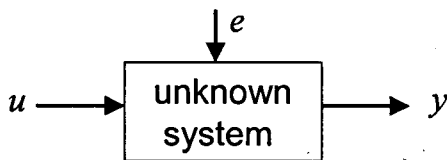


Fig 2. System Identification

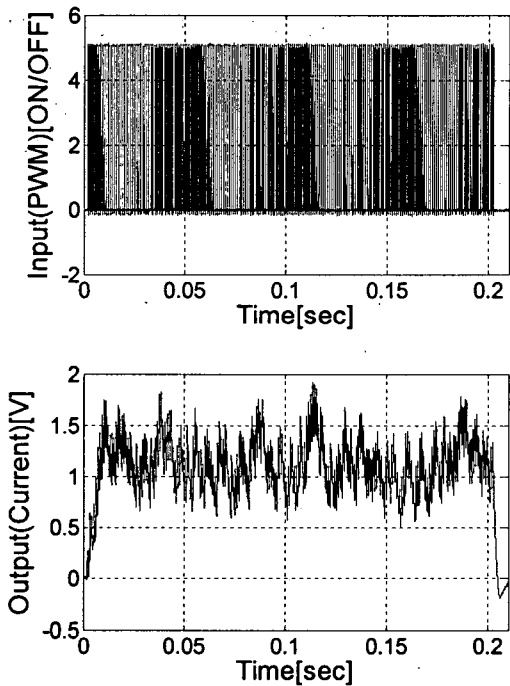


Fig 3. Input(PWM duty) vs. output(current)

$$y(t) - 1.17y(t-1) + 0.1744y(t-2) = -0.002045u(t) + 0.006167u(t-1) \quad (1)$$

3. 퍼지제어기설계 및 환산계수 최적화

앞장에서 얻은 모델식을 이용하여 정전류 제어에 적합한 제어기를 설계하기 위해서 본 연구에서는 퍼지 PI 제어기를 사용하였다. (Fig 4) 제어기 입력변수로 오차(e)와 오차의 변화량(Δe), 제어기 출력은 출력변화량(Δu)의 차이를 반영하였다. 입력변수를 나타내는 퍼지 집합은 NB/NS/ZO/PS/PB을, 출력변수는 NB/NM/NS/ZO/PS/PM/PB을 사용하였다. 비퍼지화는 무게중심법을 적용하였다.

$$e_k = y_k - r_k$$

$$\Delta e_k = e_k - e_{k-1} \quad (2)$$

$$u_k = u_{k-1} + defuzzifier(\Delta u_k)$$

퍼지 제어기의 성능을 향상시키는 방법으로는 제어 규칙구조를 변경하는 방법, 환산계수를 조정하는 방법, 제어 규칙을 조정하는 방법 등이 있다. 본 연구에서는 환산계수를 조정하는 방법을 선택하였다. 퍼지 소속 함수는 Table 1에 따라 설정하였다. 또한 제어 성능을 평가하기 위해 시간곱 절대오차(ITAE, 이하 ITAE)를 사용하여 환산계수값을 최적화하였다. 최적화 방법으로는 유전알고리즘(GA)을 사용하고, 유전 알고리즘의 목적함수로 ITAE 지수를 선정하였다. (식(3) 참조)

$$J = \sum_{t=0}^T (t |e(t)| \Delta t) \quad (3)$$

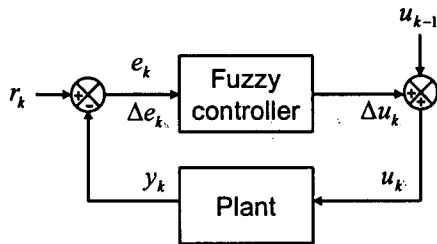
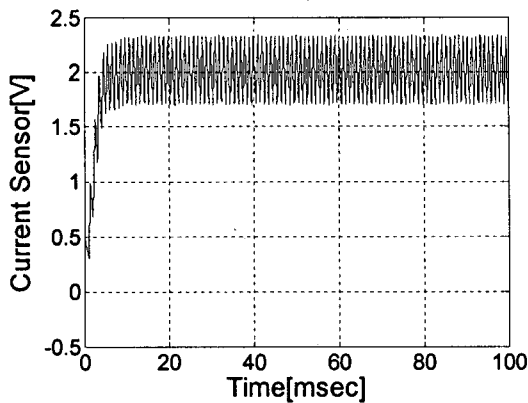


Fig 4. Closed-loop control.

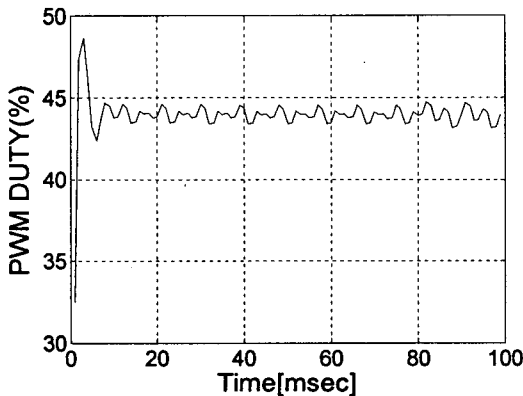
$e_k \backslash \Delta e_k$	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	PB	PB	PM	PS	ZO
NS	PB	PM	PS	ZO	NS
ZO	PM	PS	ZO	NS	NM
PS	PS	ZO	NS	NM	NB
PB	ZO	NS	NM	NB	NB

Table 1. Rule base for Inverter DC RSW

유전 알고리즘을 통해 최적화 된 환산계수값에 대한 제어 응답을 Fig 5에 나타내었다. Fig 5.(b)는 1[msec]마다 입력되는 PWM 듀티비에 대한 그래프이다.



(a) Step response with fuzzy logic controller



(b) PWM duty ratio with fuzzy logic controller

Fig 5. Response and PWM duty ratio

4. 결 론

본 연구에서는 인버터 DC 저항 점 용접 시스템 하드웨어를 개발하고, 고속 마이크로 컨트롤러에 내장하기 위해 정전류 제어 알고리즘을 퍼지 제어를 이용하여 구성하였다.

(1) 입력 PWM 듀티비에 따라 응답하는 출력 전류값을 모델링하기 위해서 시스템 식별 기법을 이용하여 ARX 모델을 얻었다.

(2) 모델을 바탕으로 퍼지 PI 제어를 구성하고, 제어기 성능 향상을 위해서 환산계수값을 조정하였다.

(3) 초기 응답에 대해 빠른 상승시간과 오버슈트에 민감한 ITAE 지수를 유전 알고리즘의 목적 함수로 적용하여 퍼지 제어 환산계수를 최적화 하였다.

참고문헌

1. Harry B. and Reno B.: Selecting the correct size inverter for DC welding, Sheet Metal Welding Conference XI(2004), Sterling Heights, MI
2. Brown, B. M.: A comparison of AC and DC current in the resistance spot welding, Welding Journal, (1987), pp.18
3. Wei L., Eugene F., and Daniel C.: Energy consumption in AC and MFDC resistance spot welding, Sheet Metal Welding Conference XI(2004), Sterling Heights, MI
4. Kim, D. and Rhee, S.: Design of an Optimal Fuzzy Logic Controller Using Response Surface Methodology, IEEE Tr. on Fuzzy Systems, (2001), pp.404-412
5. Mohan, Undeland, and Robbins: Power Electronics, 3rd Edition,(2003), John Wiley & Sons, Inc.
6. Chin-Teng, Lin and C. S. George: Neural Fuzzy Systems,(1996), Prentice Hall