

서보건을 이용한 인버터 저항 스폿용접기의 제어기 개발

고강일, 김규식
서울시립대학교 전자전기공학부

Development of Inverter Resistance Spot Welding Controller

Kang-Il Ko, Gyu-Sik Kim
Dept. of Electrical Engineering, The Univ. of Seoul

Abstract

Resistance spot welding is widely employed in a manufacturing process. In recent years, the requirement for more sophisticated quality control procedures has been in the mass production industries. The requirements for high productivity and good welding qualities have lead to the development of more widely available microprocessor or computer based control. In this paper, the inverter-type power source and welding servo gun are developed.

1. 서론

용접기술은 우리나라의 산업발전과 더불어 발달되어 왔으며, 조선, 항공, 자동차, 전기전자 제품분야 등 그 쓰이는 용도가 다양하다. 특히, 국내 자동차 산업 및 가전업계의 성장과 더불어 저항용접기의 수요가 늘고 있다. 그러나 기존의 공압식 용접기는 용접과정 중에 있어서 피용접물에 변형을 가져오며, 임의의 가압력 조절이 어려운 단점을 가지고 있다. 이에 서보건은 전극이 가볍게 접촉되므로 피용접물의 변형이 적고, 전극벌림의 임의 조정이 가능하며, 임의의 가압력 조절도 가능한 장점을 가지고 있다. 서보건에 대한 연구는 일본에서 최근에 연구되고 있고 로봇의 컨트롤러와 용접건의 서보화로써 일체형 컨트롤러를 구축하는 것이 가장 큰 특징이다. 본 논문에서는 서보건을 이용한 저항 점 용접기의 특성과 용접성능에 대하여 용접기의 가압 특성과 용접 시편의 인장강도 실험을 통하여 알아보았다.

2. 서보건 저항용접기의 구성

스폿용접건의 기술은 초기 실린더타입에서 서보모터 제어방식으로 전환됨에 따라 스폿용접의 고속화가 진전되고 있다. 서보건은 모터를 이용해서 전극의 위치를 제어할

수 있기 때문에 실시간으로 가압력을 변화시킬 수 있다. 기존 공압건의 경우에는 접근단계에서 시편과의 접촉시 충돌이 크게 발생하였으나 서보건의 경우는 정확한 위치제어로써 충돌을 극소할 수 있기 때문에 용접건의 내구성과 마모에 있어서 상당한 장점이 있다. 또한, 기존의 공압건은 일정한 거리로 인하여 작업 대상물과의 간섭현상이 존재하는 반면에 서보건은 가변적인 거리가 가능하므로 작업 대상물에 대한 접근이 용이하여 작업의 유연성이 커진다. 공정시간의 측면에서는 서보건은 작업 대상물에 접근시간의 획기적인 단축과 용접공정중의 유지시간을 단축시킬 수 있다. 용접이 끝난 후에 일정한 거리로 회귀할 필요성이 없으므로 연속적인 타점인 경우 빠른 공정 특성을 지닌다. 6축 로봇과 더불어 서보건 모터의 동기적인 7축 제어를 하기 때문에 다른 용접타점으로 이동시에 용접건의 거리를 제어하여 위치 도달 즉시 용접이 가능하며 진동문제 등으로 인해서 긴 가압시간이 필요한 공압건과 달리 서보 모터의 제어에 의한 서보건은 빠른 응답특성으로 가압력을 줄 수가 있다. 서보건 용접기에서는 서보 모터에 의한 가압력의 실시간 변화가 가능하므로 기존의 공압건을 이용한 저항 점 용접에 비해 더 나은 용접품질을 얻을 수 있다. 그림 1과 같이 서보건을 이용한 저항 점 용접기는 크게 서보건(servo-gun), 타이머(timer), 용접전원(welding power)으로 구성된다. 서보건은 가압력을 생성하기 위한 서보 모터와 모터의 회전운동을 타이밍 벨트(timing belt)에 의해 평행축으로 힘을 전달하고 볼 스크류(ball screw)에 의해 회전운동을 전극의 직선운동으로 변환한다. 이때 LM 가이드(linear motion guide)는 직선운동의 축을 잡아주는 역할을 한다. 모터에 의한 토크 명령은 회전운동을 직선운동으로 전환하는 타이밍 벨트와 볼 스크류에 의해 가압력을 생성하는데 토크를 전달하기 위한 기계적인 특성에 의해 볼 스크류와 LM 가이드의 마찰력(friction)이라는 외란(disturbance)과 하부전극의 휨

현상이 있다.^{[1][5][6]} 이와 같은 외란을 보상해 주기 위한 적절한 제어기에 대한 연구가 있어야 한다. 본 논문에서는 힘 센서(force sensor)나 위치 센서(gap sensor)를 전극 주위에 부착하지 않고 순수 모터의 토크와 위치만을 제어하고자 하기 때문에 적절한 보상 알고리즘이 필요하다.^{[7][8]} 타이머의 기능은 스폿 용접시 패널의 조건에 따라 가압시간, 전류의 지속시간, 용접전류의 크기, 타점수 등의 용접조건을 설정하고 제어하는 기본장치이다. 이외에도 패널에 용접건의 팁이 용착되어 떨어지지 않을 경우, 이를 검출하는 용착검출기능, 전력 공급용 케이블 단락이나 단선을 검출하는 기능, 가압의 정도를 제어할 수 있는 가압력 제어기능과 용접전류를 균일하도록 만들어 양질의 용접조건을 확보하기 위한 전류 자동제어기능 등을 갖추고 있다. 타이머는 서보모터를 제어하기 위해 엔코더(encoder)를 이용해 전극의 위치, 토크값을 피드백 받고 명령을 내린다. 용접전류를 공급하는 전원부는 기존에는 SCR을 사용하였으나 현재 인버터형으로 대체하기 위한 연구를 하고 있다. 용접 전원부는 용접단계에서 타이머의 명령에 따라 전류를 공급하고 전류 피드백을 통해 정전류 제어를 행한다. 용접전류는 용접 품질에 가장 큰 영향을 끼친다.

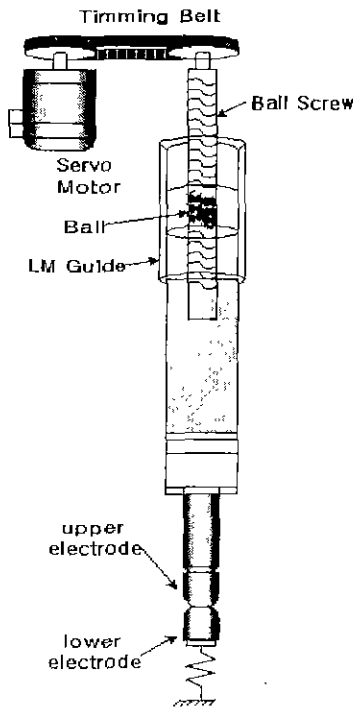


그림1. 서보건의 내부구조

본 연구 개발에서 인버터 저항 용접기의 전원장치 사양은 표1과 같고 서보건에 장착되는 서보모터의 사양은 표2와 같다.

표1. 인버터 전원장치 사양

정격입력전압	3상 440V, 50/60Hz
정격용량	75KVA
스위칭 주파수	600, 800, 1000Hz
제어방식	IGBT를 이용한 PWM제어, 정전류/정전력 제어기 선택 가능
냉각방식	수냉방식

표2. 서보모터 구동기 사양

입력전원	100V 계	단상 100~115V + 10%~-15% , 50/60Hz
	200V 계	3상 200~230V + 10%~-15% , 50/60Hz
제어방식	IGBT PWM 방식 (정현파 구동)	
Feedback	Absolute Encoder	
제어모드	① Analog 속도제어 ② 위치 제어 ③ 토크 제어 ④ 위치, 속도제어 ⑤ 위치, 토크 제어 ⑥ 속도, 토크 제어 위의 6개의 모드를 파라미터 설정으로 전환가능	

3. 실험 결과

서보 모터의 토크명령을 이용해 용접공작중에 설정된 가압을 생성하는 데있어 선형적인 관계를 가지는지 보기 위해 실험을 하였다. 실험장치는 그림2처럼 80C196KC원칩 마이크로프로세서를 제어기로 하고, 서보모터 드라이버, 서보모터, 그리고 서보건으로 구성하였고 개루프 상태에서 80C196KC에 의해 모터의 최대 토크까지 명령하고 전극과 모재사이에 아날로그 가압계를 넣고 측정하였다.

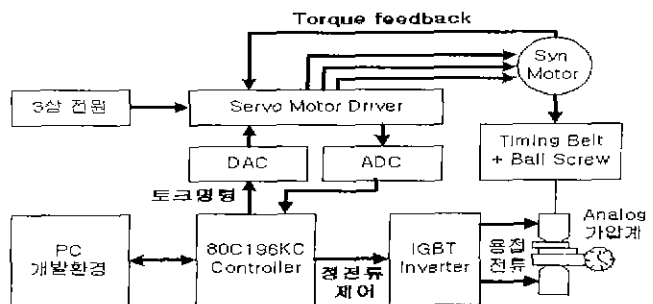


그림2. 실험 장치의 구성

3.1 용접 전류 실험

판두께 0.7mm 전기아연도강판재에 직경 16mm D형 전극을 사용하고 최소의 너켓지름 $d=5\sqrt{t}$ (t 는 0.7mm의 판두께에서는 $d=4.18\text{mm}$ 가 된다)를 얻을 수 있는 최저전류에서 불꽃발생까지의 용접전류를 상한으로 한 전류의값의 범위를 찾아 그 결과를 표3에 나타내었다. 서보용접건과 공압식용접건의 양호한 용접범위에서의 차이는 가압력이나 통전시간을 변화시켜도 0.1-0.8kA이고, 평균치는 0.28kA정도로 파악되었다.

표3. 가압력 및 통전시간의 변화에 따른 용접전류

통전시간 (cycle)	가압기구	가압력 (kN)	너켓지름 ($5\sqrt{t}$)		전류범위 (kA)
			최저 전류 (kA)	최고 전류 (kA)	
6	전동식	3.0	9.0	10.8	1.8
	공압식	3.0	8.6	10.8	1.7
	전동식	2.5	7.6	9.1	1.5
	공압식	2.5	7.8	8.8	1.0
	전동식	2.0	7.2	8.0	0.8
	공압식	2.0	7.2	8.1	0.9
12	전동식	3.0	7.8	10.1	2.3
	공압식	3.0	7.5	10.0	2.5
	전동식	2.5	7.4	9.1	1.7
	공압식	2.5	7.5	9.3	1.8
	전동식	2.0	6.5	8.5	2.0
	공압식	2.0	6.4	8.3	1.9
20	전동식	3.0	7.5	10.5	3.0
	공압식	3.0	7.2	10.3	3.1
	전동식	2.5	6.8	9.0	2.2
	공압식	2.5	6.4	9.4	3.0
	전동식	2.0	6.5	7.8	1.3
	공압식	2.0	6.2	8.0	1.6

3.2 서보건 용접기의 연속타점 실험

연속타점의 용접전류는 최소의 너켓지름이 $5\sqrt{t}$ 를 형성시키기 위한 최소전류치의 1.4배로 했다. 0.7mm의 아연도강판을 사용하여 그 전류를 얻었다. 서보가압식은 10.9kA이고, 공압전은 10.7kA이므로 가압기구의 차이는 약간 있는 것 같았다. 2초에 1점 용접하는 사이클로 너켓지름이 $5\sqrt{t}$ 이하가 되는 타점을 최대 연속타점으로 하고 100타점마다 전극끝의 지름을 체크하여 그 결과를 그림3에 나타냈다. 연속타점의 평가시험에서는 서보가압방식이 공기가압방식의 약1.3배가 되었다.

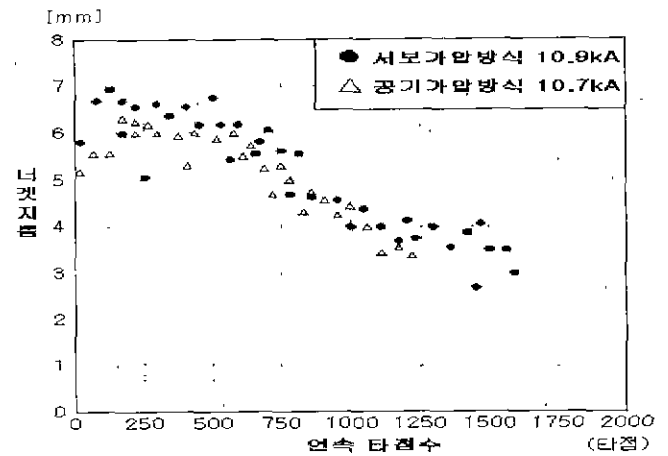
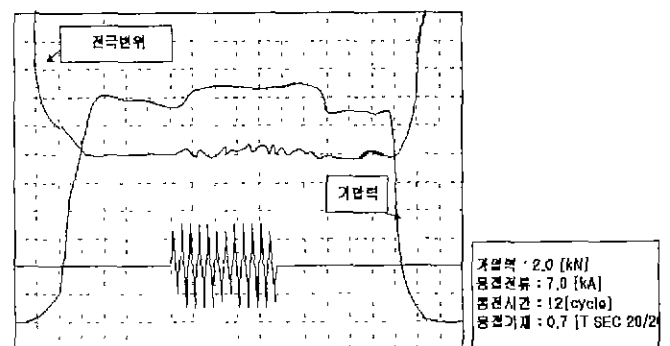


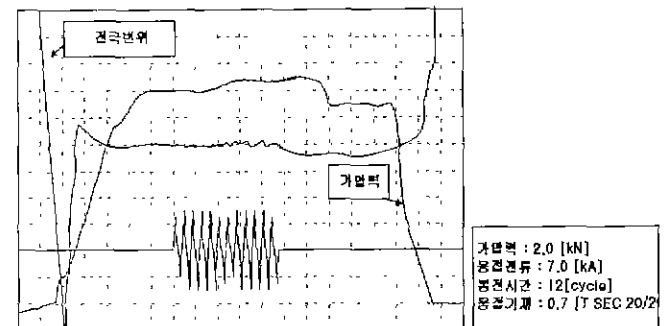
그림3. 서보가압·공기가압방식의 전극수명 비교

3.3 가압력 변동과 전극 변위량 실험

가압력을 설정한 후, 용접건의 전극이 피용접물 사이에 두고 접촉하여 설정압력에 도달하는 시간이 공압전에서는 실린더의 크기에 따라 다르겠지만 air cushion으로 인하여 250-800ms정도 인 것에 대해 서보용접건에서는 거의 발생하지 않는 것을 알 수 있었다. 용접중 용접모재의 열팽창에 의한 가압력의 변화와 전극의 변위량(0.08-0.1mm)는 거의 비슷하였다고 볼 수 있다. (그림 4 참조)



(a) 서보가압방식의 파형



(b) 공압방식의 파형

그림4. 용접중 가압력 변동과 전극의 변위

3.4 서보전 용접기의 인장 강도 실험

인장 강도 시험을 하기 위해 연강판을 가운데를 저항 용접한 뒤 그림 5와 같이 양쪽으로 접은 뒤 당기면서 인장 강도 시험을 행하였다. 시험 기관은 국가 공인 시험·검사 기관인 한국생활용품시험연구원에 의뢰하였다. 용접전류는 9,000A, 10,000A, 11,000A 등으로 시험하였으며 연강판은 0.5t, 0.8t 두 종류를 선정하였으며 공압전/싸이리스터 전원 장치와 서보전/인버터 전원 장치에 대한 인장 강도 시험 결과가 표4와 표5에 있다. 이는 시편 두께별로 정리하고 전류용량별로 평균한 값으로 표4와 표5에서 알 수 있듯이 0.8t에 대해서는 대체적으로 서보전/인버터 타입이 인장강도가 크지만 0.5t에서는 그렇지 못하다. 그이유는 공압전/싸이리스터 타입에 비해 서보전/인버터 타입은 가압력, 전류용량, 용접시간등 설정이 최적의 용접조건을 맞추지 못했던 것으로 생각되는 바, 향후 이 최적의 용접조건을 찾기 위한 많은 실험이 뒷받침 되어야 하겠다.

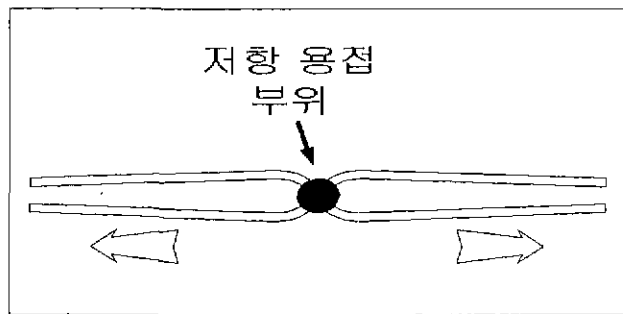


그림5. 용접시편의 인장강도 실험

표4. 0.8t 연강판 인장강도 결과

전류 \ 타입	서보전/인버터	공압전/싸이리스터
9,000A	273 kgf	265 kgf
10,000A	275 kgf	198 kgf
11,000A	302 kgf	290 kgf

표5. 0.5t 연강판 인장강도 결과

전류 \ 타입	서보전/인버터	공압전/싸이리스터
9,000A	141 kgf	161 kgf
10,000A	128 kgf	246 kgf
11,000A	146 kgf	121 kgf

4. 결 론

서보전을 이용한 저항 점 용접기에서 가압력에 따른

전극 변위량과 용접결과로써 용접시편의 인장강도를 측정하여 공압전과 서보전의 성능을 비교하였다. 실제 서보전의 기계적인 동역학 특성을 모델링하여 기계적 마찰에 의한 손실현상을 보여야 했으나 아직 연구중에 있고, 마찰이나 하부전극의 휨 정도에 따른 오차를 적절히 보상해 주는 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 1997년도 에너지 관리공단 에너지 절약 기술 개발과제 결과의 일부분입니다.

[참고문헌]

- [1] 박지환, "저항 점 용접 공정에서 품질 향상을 위한 가압력 제어", KAIST 석사졸업논문, 1999.
- [2] 이인옥, "'스팟용접용 로봇시스템 적용사례", 기계기술, pp. 68-75, June, 1998.
- [3] H. Oberle, C. Commaret, R. Magnaud, C. Minier and G. Pradere, "Optimizing Resistance Spot Welding Parameters for Vibration Damping Steel Sheets", *Welding Journal*, pp. 8-13, Jan, 1998
- [4] A. G. Livshits, "Universal Quality Assurance Method for Resistance Spot Welding Based on Dynamic Resistance", *Welding Journal*, pp. 383-390, 1997
- [5] Makoto Iwasaki, Yoshiaki Kitoh, Nobuyuki Matsui, "Disturbance Observer-based Nonlinear Friction Compensation in Servo Drive System", *Transactions IEE Japan*, Vol. 117-D, No. 4, pp. 456-462, 1997
- [6] Hual-Te T. Huang, B. Ravani, "Contact Stress Analysis in Ball Screw Mechanism Using the Tubular Medial Axis Representation of Contacting Surfaces", *Transactions of the ASME*, Vol. 119, pp. 8-14, March, 1997
- [7] Ping Liu, Toshiyuki Asakura, and Takahiro Nakamoto, "H ∞ Control and Torque Compensation for AC Servo System with Coloured Noise", *Third International Conference on Motion and Vibration Control*, Chiba, pp. 213-218, Sept., 1996