

서보건을 이용한 저항 점 용접 공정의 가압력 제어

오우석*, 김규식*, 강윤배**
 서울시립대학교*, 삼흥공업(주)**

A Study on the Force Control in Resistance Spot Welding Process Using a Servo-Gun

Woo Seok Oh*, Gyu Sik Kim*, Youn Bae Kang**
 The Univ. of Seoul*, Sam Hung Co. Ltd**

Abstract

In this paper, we attempt to control the pressure between two specimens using a servo gun in the resistance spot welding process. Servo guns have some advantages over pneumatic guns in that the fast response, the precise position control, and the accurate torque control are assured by virtue of the servo motor control. To demonstrate the practical significance of our results, we present some experimental results.

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. 저항 스폿 용접(Resistance spot welding)은 1877년 미국의 Elihu Thomson에 의해 발명된 용접공정으로 두 금속판을 전극 사이에 놓고 압력을 가하면서 0.3초 내외의 짧은 시간에 수천 암페어의 대전류를 흘려서 금속판 사이의 접촉저항으로 주울(joule)열을 발생시켜 너케트(nugget)가 형성되도록 하는 전기저항용접의 일종이다. 서보건에 대한 연구는 일본에서 최근에 연구되고 있고 로봇의 컨트롤러와 용접건의 서보화로써 일체형 컨트롤러를 구축하는 것이 가장 큰 특징이다.^[1-3] 본 논문에서는 서보건을 이용한 저항 점 용접기의 특성을 알아보기 위해 토크 명령에 따른 실제 두 모재사이에 발생하는 가압력의 관계와 용접전류를 흘렸을 때 피드백 되는 토크의 특성을 실험을 통해 고찰한다.

2. 본론

2.1 서보건의 특성

스포트용접건의 기술은 초기 실린더타입에서 서보모

터 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 위치제어으로써 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 용접 타점으로 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. 한편, 저항 점용접의 공정에 따른 서보건의 특성을 살펴보면 다음과 같다. 그림1에서와 같이 「접근」 단계에서는 용접할 부위로 전극이 이동하는 순간이며 이 때에는 정확한 위치제어가 필요하다. 서보건 용접기는 모재에 거의 완벽하게 접근을 할 수가 있어 시편에 거의 맞붙은 상태에서 가압을 행사할 수가 있으므로 충격에 의한 모재의 변형도 거의 줄일 수가 있다. 「가압」 단계에서는 용접 되는 시편과 시편사이가 금속접촉을 일으키게 하며 저항을 원하는 수준으로 끌어내리는 역할을 한다. 가압이 설정가압보다 낮은 경우는 시편과 시편이 금속접촉이 안되므로 불순물이 많이 포함되어서 용융이 발생하며 큰 저

항 값에 의해서 전극과 전극사이에서도 결합이 발생하는 등 좋지 못한 용접 질을 발생시킨다. 기존의 공압건에서는 이러한 가압단계에서 시편의 함몰현상을 가중시키는 역할을 한다. 반대로 금속접촉 이상의 불필요한 가압력일 경우에는 저항이 줄어들게 되므로 줄(Joule)열을 감소시켜 충분한 너겟이 형성되지 않는다. 서보건에서는 가압의 실시간 변화가 가능하므로 가압제어를 통해 위와 같은 문제를 해결하고 기존의 공압건에 비해 우수한 용접품질을 얻을 수 있다. 「용접」 단계는 설정된 용접전류를 용접시간동안 흐르게 하면서 용융이 발생하는 실제 용접공정중 용접 품질을 결정하는 가장 중요한 부분이다. 이 시간은 보통 0.3초 안팎의 짧은 시간으로서 아주 빠른 공정이다. 이 구간 중에서는 용접부위가 용융이 되면서 팽창하고 팽창력이 압력을 이기지 못하게 되면 함몰의 현상이 발생하게 된다. 아주 빠른 시간내의 공정이므로 이 구간에서는 다른 노이즈 성분이 많이 포함이 되어 있으며 또한 열에 의한 상태변화를 일으키는 부분이므로 상당히 복잡한 공정단계이다. 「유지」 단계에서는 금속 재결합이 일어나서 서서히 식을 수 있도록 압력을 유지시켜주는 부분이다. 필요 이상의 압력으로 인해서 함몰현상이 발생하므로 가압을 용접단계보다 줄여준다. 가압력을 제거시키고 다음 용접 목표를 향해서 움직이는 「휴지」 단계로 이어진다. 여기에서 다시 「접근」 단계로 이어지는 데 이 부분은 용접의 품질과는 관계없는 부분이지만 전체 용접 공정시간의 대부분을 소요하는 시간이다. 서보건 용접기의 경우는, 공압건처럼 항상 일정거리로 회귀할 필요가 없으므로 연속타점일 경우 시간절약 효과를 볼 수 있다. 그림1은 용접공정별 전극의 위치와 가압의 방향을 나타내고 있다.

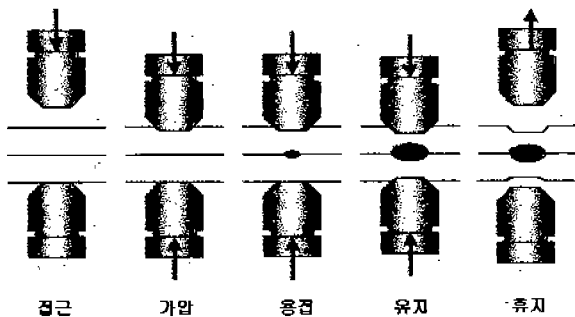


그림. 1 저항 용접 공정

2.2 서보건 용접기의 구성

서보건을 이용한 저항 점 용접기는 크게 서보건(servo-gun), 타이머(timer), 용접전원(welding power)으로 구성된다. 서보건은 가압력을 생성하기 위한 서보모터와 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 틈이 음착되어 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. 그림2에서 볼 수 있듯이, 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.

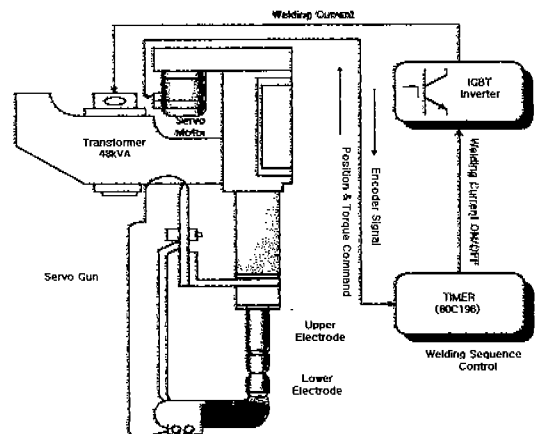


그림. 2 서보건을 이용한 저항 점 용접

2.3 서보전 용접기의 가압 특성 실험

서보 모터의 토크 명령을 이용해 용접공정중에 설정된 가압을 생성하는 데 있어 선형적인 관계를 가지는지 보기 위해 실험을 하였다. 실험장치는 그림3처럼 80c196원칩 마이크로프로세서를 제어기로 하고, 서보모터 드라이버, 모터, 그리고 서보전으로 구성하였고 개루프 상태에서 80c196에 의해 모터의 최대 토크까지 명령하고 전극과 모재사이에 아날로그 가압계를 넣고 측정하였다. 실험에 사용된 서보모터의 사양과 모재(base metal)의 선택은 다음과 같다.

- 서보모터 : 3상 AC Synchronous Servo motor
- 정격 파워 : 750 [W]
- 극(Pole)수 : 8
- 정격속도 : 3000 [rpm]
- 최대속도 : 4500 [rpm]
- 정격 토크 : 2.4 [N·m]
- 최대 토크 : 7.1 [N·m]
- 모재 : 알루미늄 1.2T, 2.4T, 3.6T
강판 2T, 4T, 6T

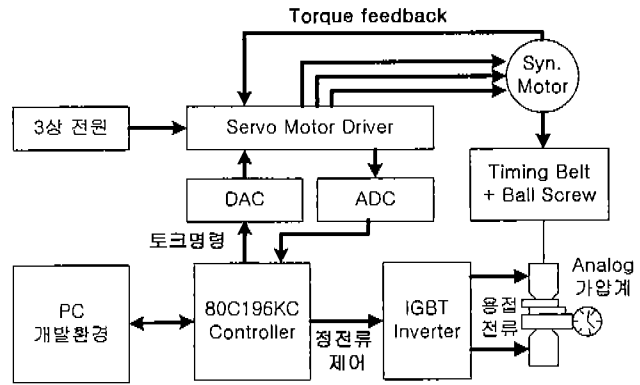
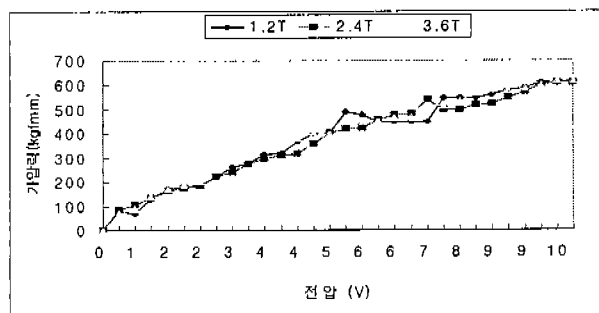
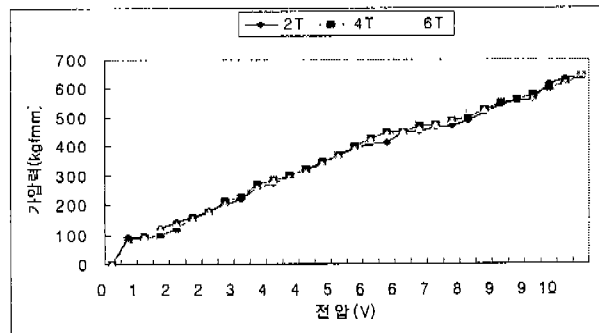


그림. 3 실험 장치의 구성



(a) 알루미늄의 경우



(b) 강판의 경우

그림. 4 토크 명령에 따른 가압의 선형특성 실험

이 서보모터의 정격은 2.4[Nm]로 약 3[V]에서 정격 토크를 내게 되는데 알루미늄의 경우 225[kgf]를 내며 강판의 경우는 230[kgf]의 값을 갖는다. 실제 용접에 쓰이는 가압의 크기는 150~300[kgf]을 요구하므로 이 구간에서 기울기를 구하면 토크 명령에 대해 가압의 크기가 그림4에서와 같이 선형적(기울기 : 알루미늄;66.2, 강판;65.7)으로 나타남을 알 수 있었다. 실험 결과에서 보면 모재나 두께에 따른 오차는 아날로그 가압계를 사람의 눈에 의해 측정하여 이에 따른 관측 오차이며 더욱 고려해야 할 사항은 서보전의 힘의 전달구조에 따른 오차이다. 실제 토크 명령은 타이밍벨트를 지나 볼스크류를 거쳐 전극에 전달되기 때문에 타이밍 벨트와 볼스크류에 의한 마찰성분에 의한 감소가 크며 다른 하나는 하부전극의 휨에 의한 강성(stiffness)성분에 따른 오차이다. 앞으로 이러한 마찰이 있는 부하의 토크 보상과 디지털 제어기를 이용한 서보전제어기 관해 연구를 할 것이다.

2.4 용접공정중 토크 특성 실험

다음으로 실제 용접공정중에 피드백 되는 토크의 특성을 알아보았다. 알루미늄 모재의 두께 1.2T에 적절한 가압을 내기 위해 정격 토크 (243kgf/3V)를 모터의 입력으로 해서 그림1의 용접 공정중 가압, 용접, 유지단계까지 동일한 토크 명령을 계속 가하고 피드백 되는 토크 값을 측정하였다. 그림5에서 보듯이 0.2 V 가량의 오프셋을 가지고 226kgf/2.8V를 유지하였

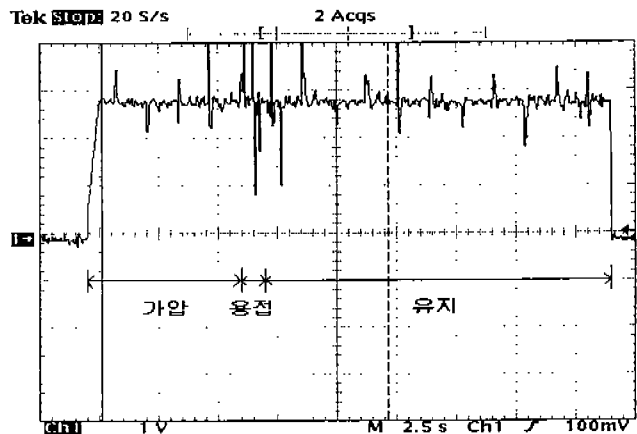


그림. 5 용접공정중의 토크의 특성

다. 이러한 오프셋의 발생은 타이밍 벨트와 볼스크류에 의한 기계적인 힘 전달 메카니즘에 의해 발생하는 마찰에 의한 손실로 보인다. 그러므로 적절한 제어기법을 적용해야 하며 용접단계에서도 확연하게 토크가 감소하지 않음은 용접시 순간적으로 모재가 녹을 때 전극이 이동하면서 동일한 가압을 유지해주기 때문이며 이는 모재의 함몰을 가중시키는 결과를 낳기 때문에 더 나은 용접품질을 얻기 위해서는 가압크기를 줄여줘서 함몰현상을 방지할 수 있어야 한다.

3. 결 론

서보건을 이용한 저항 점 용접기에서 모터의 토크 명령에 대한 가압력의 크기가 선형적인 관계를 실험을 통해 알아 보았고 용접공정중의 토크의 특성을 실험하였다. 실제 서보건의 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. 그리고 인버터에 대해서는 정전류형과 정전력형을 에 따른 용접 품질에 관한 비교에 대해서도 연구할 것이다.

감사의 글

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

[참고문헌]

- [1] 박지환, "저항 점 용접 공정에서 품질 향상을 위한 가압력 제어", KAIST 석사졸업논문, 1999.
- [2] 이인옥, "'스폿용접용 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
- [8] Youping Q. Xiang, Syed A. Nasar, "A Fully Digital Control Strategy for Synchronous Reluctance Motor Servo Drives", *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 33, No. 3, pp. 705-713, May/June, 1997