

# 서보 모터의 피드백 전류와 위치신호를 이용한 서보건의 가압력 제어에 관한 연구

## The study of force control by using feedback current and encoder signal of the servo-motor on the servo-gun system

이 종 구\*, 김태형\*\* 이 세 현\*\*\*

\* 전북인력개발원

\*\* 한양대학교 정밀기계공학과

\*\*\* 한양 대학교 기계공학부

**ABSTRACT** Because of simple principal and low cost, resistance spot welding has been used a lot for joining the sheet metal in automotive manufacturing process. Welding current, welding time, and force are the most important variables in resistance spot welding. Air guns have been still used widely. The requirement of synchronizing between robot and weld-gun has become bigger as the field has been automated. The number of servo-gun in the field is trending upward because there're advantages as like to synchronize with robot and to control the stroke path and force by programming on servo-gun system. But no cleared force control method is suggested on servo-gun system until now. In this study, we proved the feedback current of the servo-motor can be used to an excellent force measuring sensor and the force is controlled by the feedback current. And we also detected force lowering during welding cycle on the servo-gun system and solved by compensated force control.

### 1. 서 론

현재 자동차 생산라인에서 가장 많이 사용되고 있는 공압건의 단점을 보완하고 자동화와 생산성 및 용접 품질 향상, 소음 및 작업 환경 개선을 위해서는 로봇과 동기화하여 움직일 수 있고, 좀 더 빠르게 용접을 수행할 수 있는 저항 점 용접 건이 필요로 하여왔다. 따라서 국내·외 주요 자동차 제작사를 중심으로 공압건에서 서보건으로 대체하는 추세에 있다. 서보 모터를 이용하여 가압력을 주는 서보건은 프로그램을 통하여 로봇과의 동기성을 높여주고 짧은 스트로크 제어로 접근 시간을 단축할 수 있다. 또한 가압력을 제어하여 용접품질을 향상 시킬 수 가 있다. 하지만 저항 점 용접에서 매우 중요한 요소인 가압력 제어가 서보건 시스템에서의 명확하게 제안되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 서보 모터의 피드백 전류가 전극단의 가압력을 간접적으로 측정할 수 있는 방법임을 밝히고, 이를 이용하여 가압력 제어를 직접 구현하였다. 서보건을 이용한 저항 점 용접시 일어나는 가압력 변화의 특징을 분석하였고, 이 때의 가압력 변화의 특징이 용접 품질에 미치는 영향을 구하였으며, 아울러 가압력 제어 방법을 제시하였다.

### 2. 이론적 배경

Fig.1은 서보건의 자유 물체도(Free Body Diagram)이며, 서보 건에서 발생이 되는 토크와 힘을 보여주고 있다.

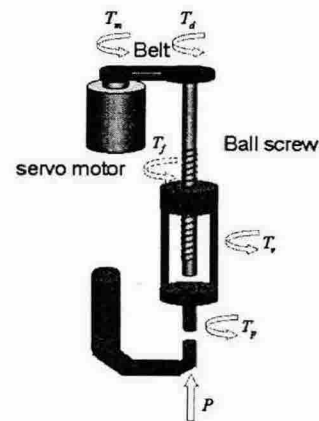


Fig. 1 Free body diagram of servo-gun

모터 총 토크( $T$ )는 모터가 가속을 하는데 필요한 토크  $T_v$ , 볼 스크류와 너트와의 마찰에 의한 토크  $T_f$ , 외란에 의한 토크  $T_d$ , 가압력에 의한 토크  $T_p$ 의 합으로 이루어진다. 단, 가압력에 의한 토크는 전극 단이 닿은 후부터 발생하게 된다. 가압력에 의한 토크를 구하기 위해서

는 다음과 같은 해석이 필요하다. 먼저, 전극 접촉 이전의 단계를 보면 서보모터에 걸리는 전체 토크  $T_m$ 은 식 (1)로 표현된다.

$$T_m = T_v + T_f + T_d \quad (1)$$

전극 접촉 이후의 전체 모터 토크를  $T_m'$ 라고 하고, 이 때 발생하는 가압력을  $P$ 라고 하면 식 (2)~(3)으로 표현된다.  $\alpha_p$ 는 가압 토크와 가압력과의 비례 상수이다.

$$T_m' = T_v + T_d + T_f' + T_p \quad (2)$$

$$P = \alpha_p \cdot T_p \quad (3)$$

식 (2)에서  $\Delta T_f$ 는 가압력  $P$ 의 증가에 따른 볼스크류와 전극 너트사이의 표면 항력 증가에 의해 변화한 마찰력에 의한 토크이다. 이 때, 표면 항력은 가압력에 비례하여 증가하므로  $\Delta T_f$ 는  $T_p$ 에 비례하므로 식 (4)과 같다.  $\beta$ 는 마찰 토크와 가압 토크와의 비례상수이다.

$$\Delta T_f = \beta \cdot T_p \quad (4)$$

전극 단이 닿기 전과 닿은 후의 모터 토크의 변화는 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta T_m = T_p + \Delta T_f = (1 + \beta)T_p \quad (5)$$

식 (3)과 식 (5)를 이용하여 가압력  $P$ 를 구하면 식 (6)과 같다.

$$P = \frac{\alpha_p}{1 + \beta} \cdot \Delta T_m \quad (6)$$

서보 모터의 전류를 이용하여 가압력을 측정하기 위해서는 가압력과 토크의 관계를 가압력과 전류에 대한 관계식으로 바꾸어야 한다. 가압력과 모터에 흐르는 전류는 비례관계를 가지고 있으므로, 가압력에 의한 전류를  $I_p$ , 마찰력에 의한 전류를  $\Delta I_f$ 라고 하면 식 (6)을 식 (7)로 바꿀 수 있다.

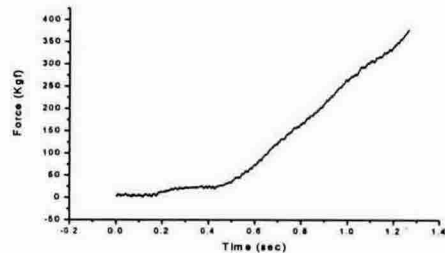
$$P = \frac{\alpha_p}{1 + \beta} k(I_p + \Delta I_f) \quad (7)$$

전극이 서로 닿지 않고 일정 속도로 접근할 때는 가속도와 마찰력, 외란에 의한 토크가 발생하여 이에 상응하는 전류 값으로 나온다. 전극이 닿은 후부터 서보건의 하부 전극 부의 탄성력에 의해서 가압력이 증가하기 시작하고 이에 상응하여 마찰력 또한 비례적으로 커진다. 이에 비례하여 서보 모터에 걸리는 토크도 커지게 된다. 증가한 토크는 전류 값의 증가로 나타나며, 접촉 후부터 증가한 전류 값을 계측함으로써 가압력의

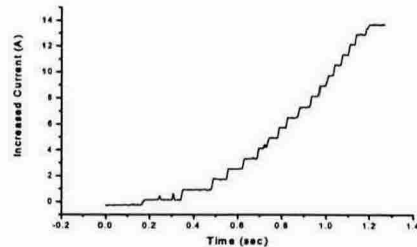
증가량을 알 수 있다.

### 3. 전류와 가압력 관계 모델

실제 실험 데이터를 계측하고, 이를 이용하여 모터 전류와 가압력 사이의 관계 모델을 구하였다. Fig. 2는 서보건 전극의 이동에 따른 전류의 변화와 가압력의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 접근 속도는 5.4736mm/s로 하였다. 위쪽의 그래프는 가압력의 변화를 나타내고 로드셀을 사용하여 측정하였다. 접근(approach) 단계에서 일정한 속도로 전극이 움직이면서 일정한 마찰과 외란을 가지므로 서보모터의 토크의 변화가 없게 된다. 따라서 전류의 변화도 이 단계에서는 일어나지 않고 일정하다. 0.18초 부근에서 두 전극단이 서로 시편에 닿으면서 가압력을 발생한다. 가압력이 증가함에 따라 서보 모터에 걸리는 총 토크가 증가하게 되고 이 토크의 증가에 비례하여 모터의 전류가 증가함을 볼 수 있다. Fig.2는 서보건의 가압력과 모터 전류의 변화의 그래프이다. Fig. 2(b)에서 나타나는 계단 형상은 모터 제어기 자체의 계인값과 DAC 특징으로 보인다.



(a) Force



(b) Increased motor current

Fig. 2 Force VS increased motor current

위의 실험 데이터를 바탕으로 모터의 전류와 가압력의 관계 모델을 다음과 같이 구하였다.  $P$ 는 가압력,  $\Delta I$ 는 전극단의 접촉 이후의 전류 변화량,  $I_p + \Delta I_f$ 이다. 가압력과 전류 변화량에 대한 실험식은 식 (8)와 같다.

$$P = 37.80\Delta I - 90.83 \quad (8)$$

#### 4. 저항 점 용접중의 서보건 가압제어

서보건 시스템에서 저항 점 용접을 하면, 서보건 시스템의 구조적 특징에 의해서 후반부의 가압력이 저하되고 이 저하된 가압력에 의해서 용접 품질의 저하가 일어난다. 저항 점 용접 공정에서 생긴 오목 자국의 깊이에 비례하여 가압력이 감소하게 되는데, 오목 자국 깊이는 용접 전류와 가압력의 크기에 따라서 일정하게 나오는 요소이므로, 용접 전류와 가압력을 고정하면 서보건 시스템에서 보상해 주어야 할 값이 결정되게 된다. 그리고 가압력 저하 현상이 서보건 시스템의 탄성영역(하부전극의 탄성력에 의하여 가압력이 작용하고 있는 영역) 내에서 일어나므로 위치제어를 통한 가압력을 제어하여 후반부의 가압력 저하를 보상해 준다.

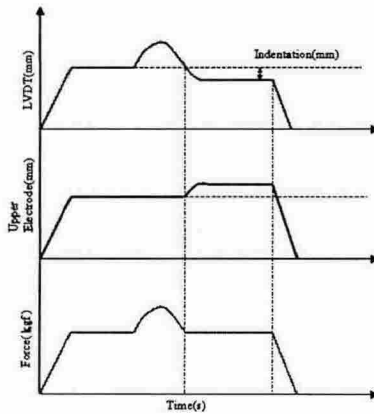


Fig. 3 Force control during resistance spot welding cycle on servo-gun system

보상 방법은 Fig. 3과 같은 위치 제어 프로파일에 의해서 이루어진다. 모재는 1.2mm 아연 도금 강판을 사용하였고, 그 외의 실험 조건은 Table 1와 같다.

Table 1 Test conditions for the compensated force control

Initial force(kgf)	Welding current(kA)	Welding Time(cycle)
300	6, 7, 8, 9, 10	15 cycle

위의 조건에서 보상 제어를 하지 않은 경우와 보상 제어를 한 경우의 용접 품질 비교를 Fig. 4에 나타내었다. 이를 살펴보면 적정 용접 조건에서 가압력 보상 제어를 할 때, 더 높은 전단 인장 강도를 가짐을 볼 수 있다. 여기서 적정 용접 조건은 1.2mm 아연 도금 강판의 기준 전단 인장 강도가 12kN 이상이고, 스파터(spatter)

가 발생하지 않는 조건을 말한다. 이와 같이 서보건 시스템에서 초기 가압력 제어를 한 후, 용접 시 생기는 가압력 저하의 문제점을 후반부의 가압력 보상 제어에 의해 해결할 수 있었다.

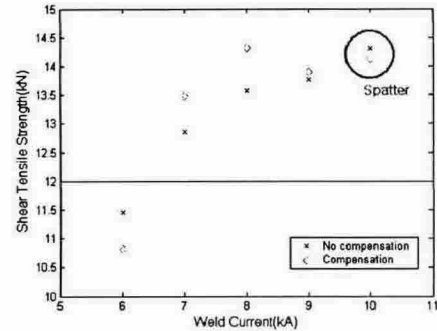


Fig. 4 Shear tensile strengths on various conditions

#### 5. 결 론

본 연구에서는 서보건 시스템에서 서보 모터에 걸리는 토크에 비례하는 모터 피드백 전류 값으로 서보건 전극단에 발생하는 가압력을 측정 가능하다는 것을 수식과 실험을 통하여 증명하고, 실험 모델을 구하였다. 구해진 모델을 이용한 가압력 제어를 만들고 이를 통하여 서보건 전극단의 초기 가압력을 제어하였다. 그리고 실제 서보건 시스템에서 저항 점 용접 공정중 초기 가압력 제어만으로 생기는 공정 후반부의 가압력 저하의 문제점을 파악하고 이를 서보건 탄성 영역 내의 위치 제어에 의해서 보상하였고, 이로 인하여 용접 품질을 향상시킬 수 있었다.

#### 참고문헌

1. Suita, K. et al.: Current Status of a Spot-welding Gun for Automobile Body Assembly Lines Incorporating a State of the Art Integrated Servo-motor, Journal-Society of Automotive Engineers of Japan, 1996, 50(12), 57-63
2. Hirsch, R.B.: Tip Force Control Equals Spot Weld Quality, Welding Journal, Vol. 72, No. 3(1993), pp 57-60
3. Slavick, Stephen A.: Using servoguns for automated resistance welding, Welding Journal, 1999, 78(7), pp29-33
4. Tang, He. et al. : Servo Guns for Resistance Spot Welding, Society of Automotive Engineers; SAE 2000 world congress, 2000, Mar; 2000, 2000-01-1289