

저항 점용접의 모니터링 -전극팽창신호와 서보전 응용기법에 대하여-

장 희 석 · 이 종 엽

Monitoring of Resistance Spot Welding Processes

Hee Seok Chang and Jong Yub Lee

1. 서 언

저항 점용접은 다른 용접공정에 비하여 가장 높은 생산성이 보장되고 용접부의 열변형 및 물성 변화가 작은 장점으로 인하여 자동차, 철도, 항공기 및 일반 산업현장에서 널리 사용되어왔고 최근 IT산업의 비약적 발전에 따라 초소형 전자기·통신관련 전자 부품 수요가 증가하며 마이크로 저항용접도 지속적으로 확대 적용되고 있다.

특히 공기압 실린더와 스프링을 사용하던 종래의 가압방식에 대비되는 서보가압 방식의 장점이 널리 인식되며 자동차 차체공정에서는 신설 용접라인에 99% 서보건을 사용할 정도이다. 또한 차량 공조관련 부품산업이나 일반 산업현장에서 실린저, 튜브 형상 부품으로 butt joint를 형성하며 밀봉하는 공정에서, 예전에는 브레이징이나 마이크로 티그용접이 사용되어 낮은 생산성 한계를 극복할 수 없었으나 높은 정밀도의 불나사와 리니어 가이드가 사용되고 soft touch, 다단 가압, profile 가압을 실현할 수 있는 서보가압식 저항용접기가 출현하여 이를 혁신적으로 대체하고 있다.

2. 저항 점용접의 모니터링 변수에 대한 개괄적 고찰

미국은 이미 1999년에 Auto Body 컨소시엄을 구성하였고 이에 자동차 업계 및 각종 용접재료 생산 업체, 저항용접 장비 업체와 연구소 등을 총망라하여 차세대 자동차 산업 및 기타 산업에 사용·응용될 저항 점용접기 개발 방향을 제시하고 새로운 연구 과제 방향을 설정하였다. 이 컨소시엄에서 제시한 프로그램이 IRW (Intelligent Resistance Welding)이며 그 내용을 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 저항 점용접 품질의 정의
- 2) 연강, 도금 강판 및 알루미늄 합금에서 너깃 성장 메카니즘 모델링 및 해석
- 3) 저항 점 용접 공정 모델링 - 공정 모니터링과 피드백 알고리즘 개발
- 4) 센서 및 공정 모니터링
- 5) 용접 장비 특성 파악 및 최고 성능의 장비 개발
- 6) 연강, 도금강판 및 알루미늄 합금 재료에서 공정 모니터링과 피드백 제어기 개발
- 7) 시스템 통합과 증장기 개발 및 연구 인력 교육 계획

이상의 사례에서 알 수 있듯이 저항용접 품질을 관리하는 첫 번째 과정이 모니터링 단계이다. 모니터링 수단이 확실해야 이를 근거로 피드백 제어가 가능하다¹⁻³⁾. 모니터링에 이용되는 공정 변수는 용접 전류, 용접 시간, 전극 가압력 등이다. 여기서 용접 전류, 용접 전압은 제어기 내부에서 전류 제어 알고리즘에 이용되므로 손쉽게 저항값을 계산할 수 있고 이를 활용한 기법이 전통적으로 많이 사용된 동저항(dynamic resistance) 모니터링이다. 동저항 모니터링에 대해서는 그동안 수없이 많은 문헌에서 보고되어 여기서는 기술을 생략하기로 한다. 한편 전극 가압력은 고전류가 흐르는 측정환경이므로 정밀측정이 쉽지 않아 동저항 만큼 널리 이용되지는 못하였다. 로드셀(load cell)을 전류가 흐르지 않을 때 상·하부 전극팁 사이에 설치하여 측정할 수 있는데, 실시간으로 통전 중에 측정하려면 전극 홀더부에 스트레인 게이지를 full bridge로 부착하면서 편심으로 인한 굽힘 효과를 상쇄시킬 수 있고 전기적 절연 상태를 유지할 수 있는 특수 로드셀을 제작해야하는 기술적 어려움이 있다(Fig. 1 참조). 이러한 이유로 전극 가압력을 공정변수로 하는 상용 모니터링 시스템은 아직 시장에 나온 바 없다.

전극 가압력 대신 전극 팽창/수축 변위를 측정하는

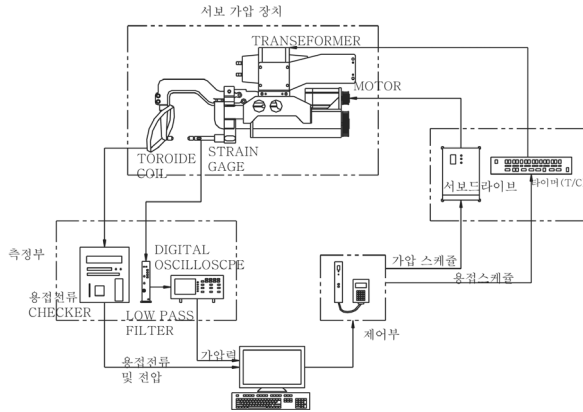


Fig. 1 Typical monitoring system for resistance spot welding

것도 훌륭한 대안이다⁴⁻⁵⁾. 왜냐하면, 큰 오차 없이 가압력은 전극 변위에 가압부의 강성(stiffness)을 곱해주면 구할 수 있기 때문이다. 전극 변위 측정에는 주로 LVDT가 사용되었으나 동특성, 정밀도, 전기적 절연 등에 문제가 있다. 비접촉식 변위측정기 캡센서(gap sensor)는 동특성이 우수하고 높은 정밀도를 보이나 캡센서와 측정 target 사이에 확보되어야 하는 간극(gap)이 그리 크지 않아서 저항용접의 전체 행정을 포함하는 전극변위를 측정하기 어렵다. 구체적 예를 들면 일본 O사의 캡센서 모델에서 측정가능 범위는 0.05mm~2.05mm 로 매우 좁은 구간이다. 특수 지그를 설계하여 전극홀더에 부착해야 하는 번거로움이 따른다(Fig. 3 참조). 이와 같이 복잡하게 구성된 전극 변위 측정법이라도 적용될 수 없는 경우가 마이크로 점용접 공정이다. 전극 홀더에 캡센서를 부착할 공간이 없고 전극자체의 직경이 3mm 내외이며 전극 팽창량이 최대 10 μ m 정도 이므로 비접촉식 변위측정기 사용이 거의 불가능하다. 최근 초소형 가속도계를 사용하여 미세한 전극팽창량을 성공적으로 측정하는 기법이 소개되었다⁷⁾. 연료전지 stack cell의 용접이나 전기차용 배터리 터미널 용접 등 최근 지대한 관심을 끌고 있는 마이크로 점용접 적용 공정을 살펴보면 실시간 용접품질 관리기준이 한층 강화되는 추세이므로 전극 팽창 신호를 통한 모니터링 기법이 유력한 해결책이라고 생각한다.

3. 전극팽창신호-저항 점용접의 가장 신뢰할 만한 모니터링 변수

저항 점용접 공정변수는 크게 두 가지로 전기적 변수(electrical measure)와 기계적 변수(mechanical measure)로 구별된다¹⁾. 전기적 변수는 전술한 바와 같이 용접도중 측정되는 용접 전압, 용접 전류이다. 용

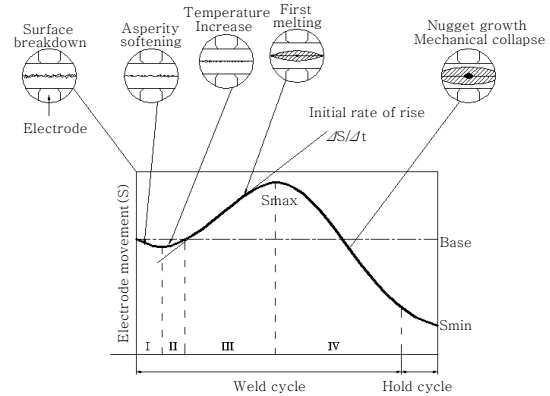


Fig. 2 Typical waveform of electrode expansion

접 전류제어의 내부에서 이미 측정된 전압값과 전류값이 제어로직에 사용되므로 간편하게 이를 이용 모니터링 시스템을 구축할 수 있고 동저항(dynamic resistance)도 간단히 계산된다. 이와 대비되는 기계적 변수로는 전극 가압력, 전극 팽창신호가 있다. 여기서 전극팽창신호는 저항용접부의 열팽창, 용융, 소성변형 및 열변형 현상이 모두 반영되어 있는 신호라는 관점에서 전기적 변수 즉, 동저항 보다 기계적으로 적당한 공정변수라 할 수 있다. Fig. 2 에서 전극으로 눌러있던 용접시편 판재에서 용접전류가 흐르기 시작하면 Joule 열($Q = i^2Rt$)에 의해 가열된다. 가열되어 강성이 감소된 판재의 표면에서 초기 함몰이 일어나 두 전극의 상대위치가 약간 가까워졌다가 판재의 열팽창에 의하여 두 전극이 서로 멀어지는 방향으로 전극팽창신호가 나타난다. 여기서 초기 기울기($\frac{\Delta S}{\Delta t}$)가 클수록 열입력이 커서 열팽창이 커짐을 알 수 있다. 그러다가 판재의 중심부터 용융이 일어나며 용융부 주위로 소성역이 확장되면 전극가압력이 판재를 누르는 힘 판재가 지탱하지 못하여 판재가 함몰되기 시작한다. 이 함몰량과 팽창량이 평형을 이루는 시기가 전극팽창신호(S)의 최대값을 보이는 시점이다. 이 최대점을 지나면 함몰량이 팽창량보다 커지므로 두 전극은 계속 가까워지며 전극팽창신호는 계속 감소한다. 용접이 끝나는 시점에서 최대값에서 약 15%~20% 정도 감소하면 양호한 용융부가 형성된다. 유지시간(hold time)에 측정된 전극팽창신호는 Fig. 2 에 도시된 보와 같이 초기값 보다 감소하여 음(-)의 값을 보이는데 이 값이 전극함몰자극(indentation)이며 육안으로 용접결과를 확인하는 중요한 기준이 됨은 널리 알려진 사실이다.

동저항(dynamic resistance)은 Fig. 2 에 나타난 열물리적 현상이 전기적 신호인 전압, 전류에 반영되어 나타나는 간접측정치(indirect measure)이기 때문에

너깃 형성과정에서 발생한 피용접물 변위가 직접 측정 (direct measure)된 전극팽창신호 보다는 효용가치가 떨어진다고 할 수 있다. 그러나 저항용접제어기(T/C) 메이커들은 전극팽창신호를 거의 사용하지 않고 동저항만 모니터변수로 사용한다. 이는 전극팽창신호를 측정하기가 쉽지 않기 때문이고 현장에 편리하게 적용할 수 있는 수단을 아직 찾지 못했기 때문이다. 동저항 등의 전기적 변수만 사용하여 외국 T/C 메이커들은 정전류 제어, 정전압 제어, 지능 제어 및 적응제어 등 현란한 미사령구를 동원하여 국내 지동차 메이커를 공략하고 있는데 그들이 주장하는 성능을 철저히 검증해 볼 필요가 있다.

3.1 비접촉식 변위측정기로 측정한 전극팽창신호

비접촉식 변위측정기(gap sensor)로 저항 점용접에서 전극팽창신호를 측정하려면 Fig. 3 에 도시된 바와 같이 시스템을 구성해야 한다. 상부전극과 하부 전극의 상대운동 변위가 측정되어야 하므로 전기적 절연에 유의하여 상부전극에는 철제 sensing(target) plate를 설치해야 여기에 와류(eddy current)가 유도되어 하부 전극에 설치한 갭센서가 동작한다. 그런데 2절에 기술한 바와 같이 갭센서가 측정할 수 있는 범위가 상부전극의 전체 행정(stroke)에 비하여 상당히 작으므로 이를 기술적으로 해결해야 한다. Fig. 3 에서 clipper를 사용하여 불필요한 DC 레벨을 처리하지 않으면 측정기가 손상될 가능성이 있다.

Fig. 4 에 도시된 전극가압력은 Fig. 1처럼 전극팁 홀더에 설치된 full bridge strain gauge로 측정된 것이다. 동시에 측정된 전극팽창신호는 Fig. 3 의 장치로 측정하였다. 여기서 유의할 점은 상부전극의 전체 행정 이 상당히 커서 경험이 많지 않은 실험자는 신호파형을 잘 못 해석할 가능성이 있다는 것이다. 즉 squeeze

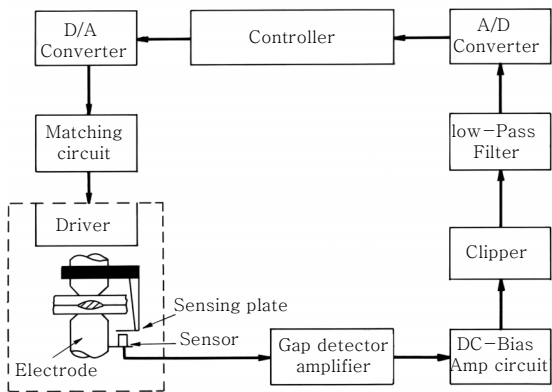


Fig. 3 Electrode expansion(movement)monitoring and control system

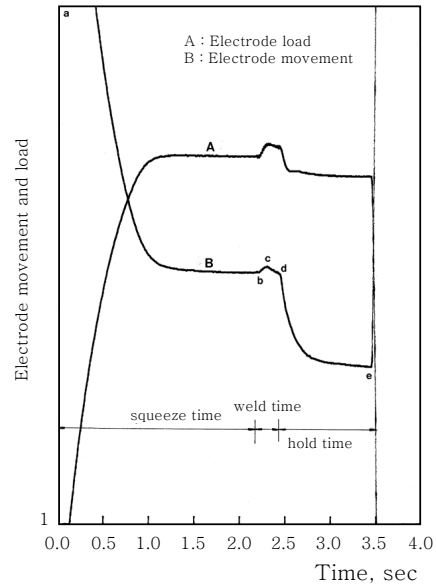
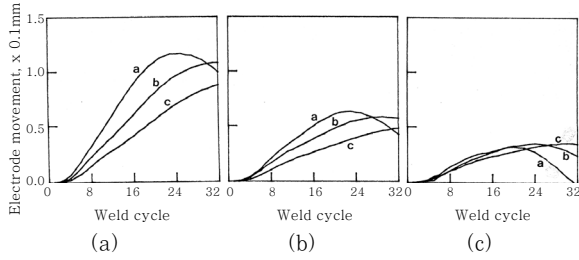


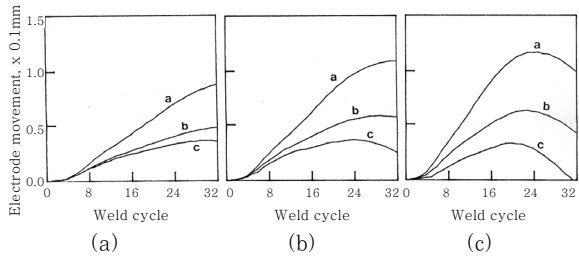
Fig. 4 Typical traces of electrode movement and electrode load

time 이 끝나갈 시점에 전극이 시편을 누르고 전극표면의 함몰도 안정화 되므로 Fig. 4에서 전극가압력은 A 파형으로, 전극팽창신호는 B 파형으로 관찰된다. 여기서 통전이 시작되면 아주 작은 전극팽창파형이 bcd 파형으로 나오고 통전이 끝나면 hold time 동안 indentation이 d 점에서 e 점까지 계속됨을 알 수 있다. 이상의 전극팽창파형에 대한 고찰에서 유의할 점은 보통 문헌에 소개된 파형이 통전시간 동안 측정된 파형만을 다룬다는 점이다. 이 점을 독자들은 유의해야 한다. 통전시간동안 측정된 전극팽창파형을 여러 가지 용접조건에서 측정한 결과가 Fig. 5와 Fig. 6 에 도시되어 있다. 연강판재가 두 가지 두께로 점용접 될 때 전극팽창신호를 비교한 것이다. 가압력은 240 kgf, 360 kgf, 480 kgf 세 조건으로 변화하였고 입열량도 세 가지로 변화시킨 경우이다. 이 전극팽창신호 파형을 자세히 관찰하면 용접시편이 서로 다른 두 경우라도 용접상태에 따라 나타나는 전극팽창신호 파형이 놀랄 만큼 유사하다는 점을 알 수 있다. Fig. 5-1의 (a) 파형에서 입열량이 불충분한 경우가 c 파형이고 입열량이 증가함에 따라 b 파형에서 a 파형으로 변하여 Fig. 2의 전형적인 전극팽창신호를 보인다. 그런데 Fig. 6-1에서도 시편 두께가 작은 경우이지만 입열량 증가에 따른 경향은 아주 똑같은 경향을 보임을 확인할 수 있다. 전극가압력이 480 kgf로 큰 경우는 240 kgf로 적당한 경우보다 전체적인 전극팽창량은 억제된다. 그러나 입열량에 따른 팽창신호의 패턴은 동일함을 알 수 있다. Fig. 5-2와 Fig. 6-2를 비교 관찰하여도 위와 동일한



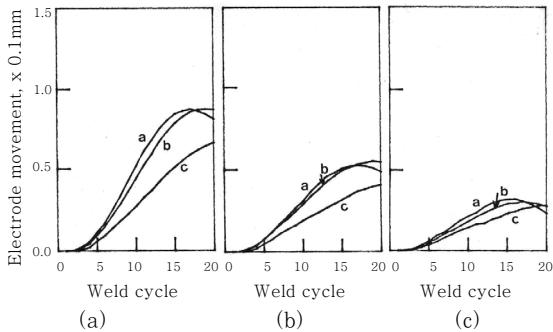
Heat input: a: 5kW b: 4kW c: 3kW
Electrode force: (a) 240kgf (b) 360kgf (c) 480kgf

Fig. 5-1 Electrode movement for various weld conditions(mild steel : 2 mm + 2 mm)



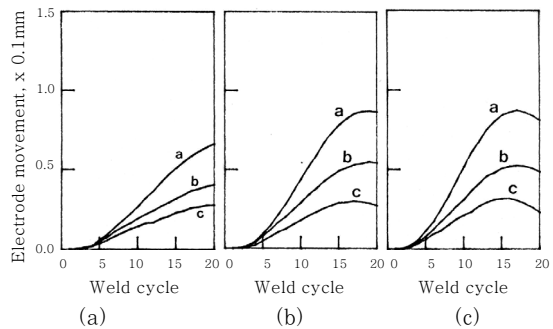
Heat input: (a) 3kW (b) 4kW (c) 5kW
Electrode force : a: 240kgf b: 360kgf c: 480kgf

Fig. 5-2 Electrode movement for various weld conditions(mild steel : 2 mm + 2 mm)



Heat input: a: 4.5kW b: 4kW c: 3kW
Electrode force: (a) 240kgf (b) 360kgf (c) 480kgf

Fig. 6-1 Electrode movement for various weld conditions(mild steel : 1 mm + 1 mm)



Heat input: (a) 3kW (b) 4kW (c) 4.5kW
Electrode force : a: 240kgf b: 360kgf c: 480kgf

Fig. 6-2 Electrode movement for various weld conditions(mild steel : 1 mm + 1 mm)

경향을 확인 할 수 있다.

이상의 결과에서 전극팽창신호는 너깃 형성과정을 반영하는 아주 훌륭한 모니터링 변수이며 이를 잘 활용하면 너깃 크기 추정을 포함한 용접품질 관리시스템을 성공적으로 구성할 수 있다⁸⁾.

3.2 가속도계를 이용하여 측정한 전극팽창신호

최근 IT산업이 비약적으로 발전함에 따라 초소형 전자·통신관련 전장 부품 수요가 꾸준히 증가하여 마이크로 저항용접도 지속적으로 확대 적용되고 있다. 그런데 마이크로 점용접기는 전극홀더를 비롯한 전극팁(tip) 크기가 직경 2~4 mm로 작고 피용접물 자체도 0.2mm 내외의 박판재이므로 전극팽창량을 측정하기가 거의 불가능하다고 생각하기 쉽다. 그러나 감도(sensitivity)가 높은 초소형 가속도계(pick up)를 가동전극(보통 상부전극) 홀더에 Fig. 7 과 같이 간단히 설치하면 Fig. 8과 Fig. 9에 도시된 것처럼 통전중 발생하는 전극의 미세팽창량(보통 10 μm 내외)을 가속도를 통하여 측정할 수 있다⁷⁾.

4. 서보건(servogun) 개요

서보모터의 회전토크와 리니어 가이드, 볼 나사를 이용해서 가압력을 발생시키는 서보건은 일본에서 최초로 출시되었고 유럽에서도 여러 회사가 각축을 벌이고 있다. 우리나라에서는 (주)나우테크가 유일하게 순수 국산기술로 서보건을 제작하여 차량제조사에 공급하고 있다.

자동차 차체공정에서 서보건과 로봇의 연계동작은 생산성을 결정하는 아주 중요한 인자이다. 기존의 실린더 타입의 공기압 건은 스트로크가 일정하므로 공정시간을 불필요하게 길게 소모 하였으며 또한 가압력의 실시간 제어가 불가능하기 때문에 용접품질 면에서 많은 문제가 발생하였다. 이에 비하여 서보건은 가변 스트로크로 동작하므로 복잡한 용접 구조물에서의 간섭의 효과를 상당히 줄일 수가 있어 생산성을 획기적으로 높일 수 있다.

이와 같이 많은 장점을 지닌 서보건은 여러 가지 우수한 기능과 특징을 가지고 있으므로 자동차 생산 라인

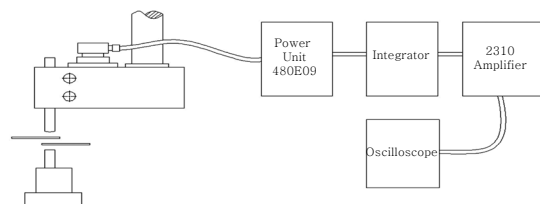


Fig. 7 Accelerometer mounting and system configuration

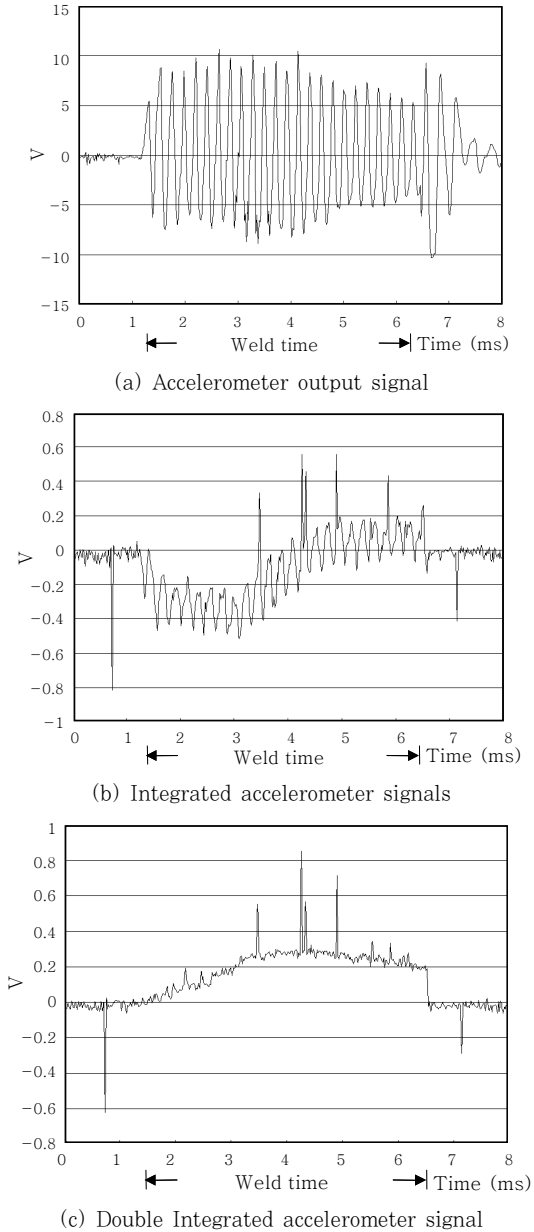


Fig. 8 Original, integrated and double integrated signals(Weld current=1.5 kA, electrode force=4 kgf, weld time=5 ms)

에서의 적용 범위의 확대가 기대되고 있고 공기압과 스프링으로 전극가압력을 발생시키는 저항 점용접기는 차체 용접현장에서는 점차 사라지고 있고 일반 산업현장에서도 높은 품질이 요구되는 경우는 서보건으로 대체되고 있다.

현재 차체 용접현장에서 서보건 제어기는 주로 범용 로봇 제어기를 프로그램 하여 사용하고 있다. 이 범용 로봇제어기를 일반 사용자들이 프로그램 하며 사용하기가 쉽지 않으므로 일반 산업현장에서 서보건급 성능이 필요한 사용자들에게는 서보건 전용제어기를 권유하고 싶다. 서보건 전용제어기는 범용 로봇제어기가 아니고

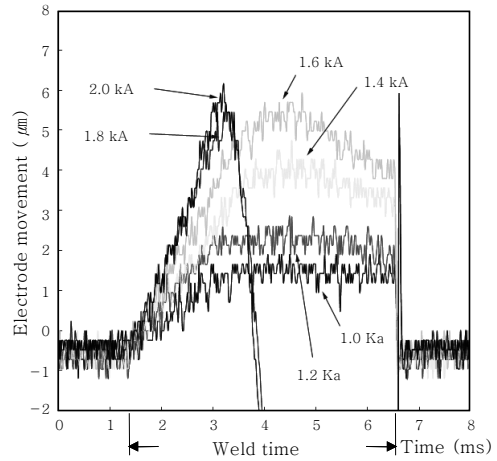


Fig. 9 Dynamic electrode expansion curves for various weld current

저항 점용접공정에 맞게 설계된 embedded system을 기반으로 하는 서보가압력 제어장치이다. 사용자가 몇가지 파라미터를 입력만 하면 간편하게 사용할 수 있다.

여기서는 서보건을 구동시키는 서보건 전용제어기에서 서보모터 encoder 출력을 이용하여 서보건 전극변위를 모니터링 하는 예를 소개함으로써 독자들이 장차 서보건 제어기를 저항 점용접공정에 적용할 경우 전극변위 모니터링 시스템을 고안하는데 도움이 되기를 바란다.

4.1 서보건 전용제어기에서 encoder 펄스를 이용한 전극변위 측정

서보건 전극 양단에 시편을 물리지 않고 가압동작을 하는 것이 원점 동작(zero operation)이다. 이 원점동작시 서보모터 출력인 엔코더 펄스를 환산하여 나온 수치가 '두께가 0'에 해당하는 값이다. 아래에서 Fig. 10의 C형 서보건과 Fig. 11의 X형 서보건에 대하여 원점동작을 수행시키며 모니터링한 수치값이 아래 Fig. 12와 Fig. 13에 도시되어 있다. Fig. 12에서는 C건에 대한 값으로 512회 평균값이 -0.007 mm로 나왔



Fig. 10 C-type servogun(Courtesy NAWOOTEC Co.,Ltd. Incheon)

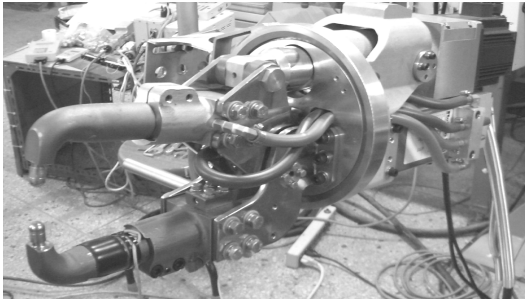


Fig. 11 X-type servogun(Courtesy NAWOOTEC Co.,Ltd., Incheon)

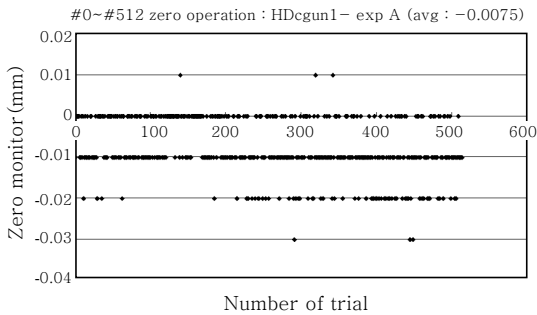


Fig. 12 Repeatability in zero operation for C-type servogun

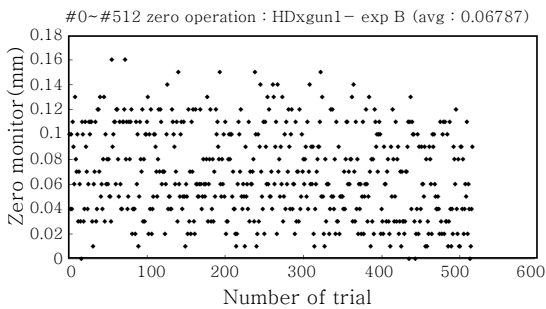


Fig. 13 Repeatability in zero operation for X-type servogun

고 Fig. 13 에서는 X건에 대한 512회 평균값이 0.068mm 가 구해졌다. 여기서 C 건은 X 건에 비하여 기구부가 간단하므로 볼나사와 리니어 가이드 등 틈새, 흔들림 등에 의한 오차가 작게 나옴을 알 수 있다. 특히 C 건에서 반복정밀도가 $\pm 0.01\text{mm}$ 정도이므로 이 서보건 자체가 정밀한 시편두께 및 전극팁 변위 측정장치로 사용될 수 있다⁶⁾.

이러한 특성을 응용하여 전극 양단에 물리는 시편의 두께를 자동감지 하여 적당한 용접전류를 흘려줄 수 있는 '두께 자동감지식 서보 저항 점용접시스템'을 실현한 예가 Fig. 14에 도시되어 있다⁶⁾. 차체 용접공정에서 적용되는 두 겹 또는 세 겹의 박판 판재 조합에 따라 달라지는 총 용접 두께를 측정하는 예가 Fig. 15와 Fig.

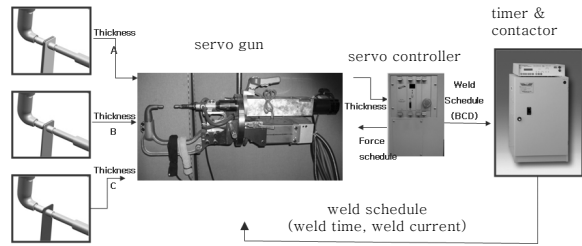


Fig. 14 Automatic weld schedule generation system by auto thickness detection

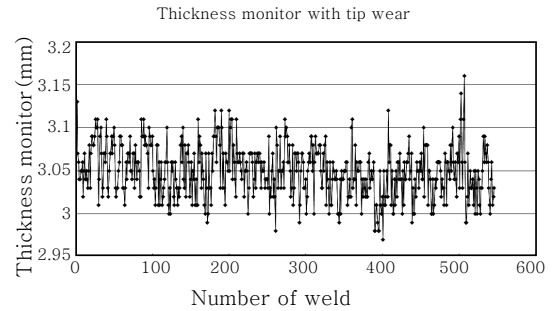


Fig. 15 Weldment thickness monitoring by encoder pulse count

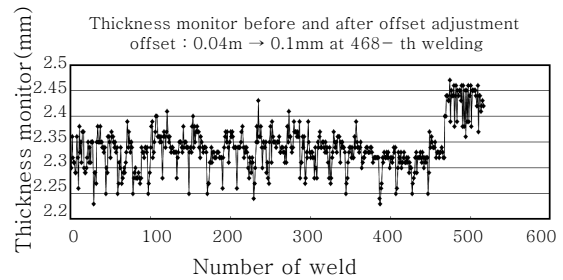


Fig. 16 Weldment thickness monitoring by encoder pulse count (Intensional offset adjustment was made(from 0.04mm to 0.1mm at the 468th welding) to simulate electrode tip wear

16에 나와 있다. 각 Fig.에서 총 512회 실제 용접을 수행하며 매 타점에서 시편두께를 모니터 한 정밀도와 정확도를 그래프가 보여준다. 여기서 모니터 된 두께 값에서 20회 용접횟수 마다 반복되는 주기성을 보이는 이유는 시편 한 판재 당 총 20회 용접한 후 새로운 판재를 사용하였기 때문이다. 용접자극에 인접한 곳을 서보건으로 가압하면 강성이 새로운 판재보다 크므로 측정두께가 작게 나오는 경향이 있다. Fig. 16 에는 시편 두께 조합을 변경하며 동일한 시험을 반복하였고 Fig. 15와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 여기서 468회 째 시험 직전에 서보건 offset을 0.04mm에서 0.1mm로 인위적으로 증가시킨 이유는, 그 증가된

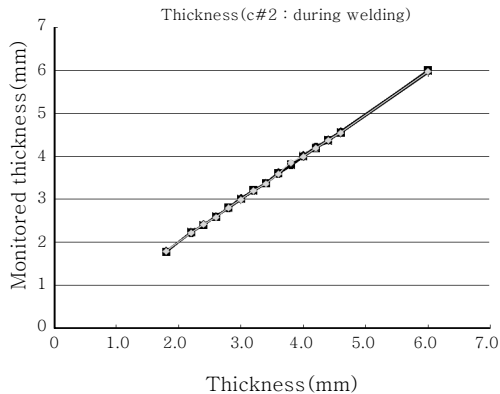


Fig. 17 Performance of thickness monitoring servogun system

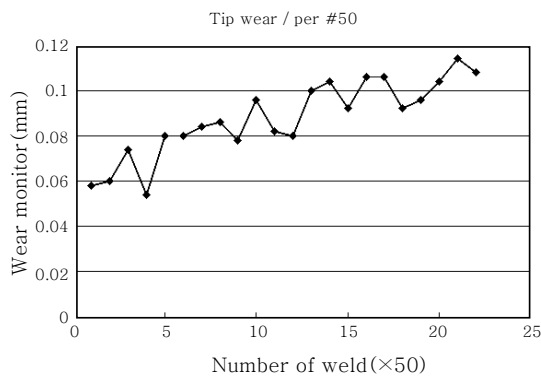


Fig. 18 Measured value of electrode tip wear using encoder pulse count (X-type servogun)

offset 값이 두께 모니터 값에 반영되는지 확인하기 위해서였으며 반영된 두께 증가값을 확인하였다. 이 기능은 이 장치에서 전극 팁 마모가 발생하여 실제 두께보다 작게 모니터 되는 것을 방지하기 위한 기능이다.

이상과 같이 모든 시편 두께 조합(1.8 mm ~ 6.0 mm, Fig. 17 참조)에 대하여 ± 0.1 mm 오차 범위에서 훌륭하게 시편두께를 모니터 했으며 이에 따라 자동으로 용접 조건을 찾아가며 자동용접을 수행할 수 있었다⁶⁾.

4.2 서보컨 전용제어기에서 encoder 펄스를 이용한 전극 tip 마모량 측정

에어컨과 대비되는 서보컨의 대표적 장점은 서보모터 encoder 출력을 변위로 환산하는 소프트웨어를 이용하여 전극 팁의 마모량을 측정할 수 있어 이를 보정하는 기능을 실현할 수 있다는 점이다. 이는 가압에 의하여 발생하는 건의 암(arm) 처짐을 보정하여 전체 용접행정을 일정하게 유지할 수 있는 기능처럼 서보컨 제어기에서는 일반화된 기능이다.

Fig. 11에 도시된 X 건에서 실제 용접을 수행하며 모니터링 한 전극 팁의 마모량을 도시한 결과가 Fig. 18에 나와 있다. 이와 같이 서보모터 encoder출력 펄스를 잘 활용하면 실시간으로 전극변위에 대한 유용한 정보를 얻을 수 있어 저항 점용접 품질 모니터링에 사용할 수 있다.

현재 외국 T/C 메이커들은 서보컨 제어기와 이러한 유용한 데이터를 공유하는 기능이 탑재되어 있지 않기 때문에 팁마모를 보상하기 위하여 단순히 auto stepper라는 원시적 방안을 고수하고 있고 이 기능이 유용하다고 주장하고 있다. 그러나 용접타점 몇 회당 몇 % 용접전류를 자동 증가시키는 식으로 전극 팁 마모를 보정하려다가 오히려 전극 마모를 촉진시키는 결과가 초래될 가능성이 상당히 높다.

5. 결 론

전통적 계측이론에 의하여 간접측정으로 해석될 수 있는 전기적 측정변수(용접전압, 용접전류, 동저항 등) 보다는 너깃 형성과정에서 직접적으로 측정되는 기계적 측정변수(전극팽창신호, 전극 가압력 신호)가 더 용접현상을 정확히 반영한다.

서보컨에서 서보모터 encoder 펄스가 서보컨 제어기 내부에서 위치기준 데이터로 이미 활용되고 있는 바, 이를 잘 활용하면 전극변위 및 전극마모량을 산출하여 모니터링 및 제어에 활용할 수 있음을 보였다.

국내의 T/C메이커들과 저항용접 공정 개발자들은 전극팽창신호 측정방법과 그 활용방안에 대하여 더 많은 관심을 가져야 할 것이다. 저항 점용접공정에서 혁신적인 모니터링 기법이 개발되지 않고서는 혁신적인 저항 점용접 제어기의 출현도 기대하기 힘들다.

차체 용접용 건(gun)과 T/C로 통칭하는 용접제어기로 대표되는 국내 저항용접 장비산업은 자동차 생산량 5대 강국에 걸맞게 급속히 팽창 해왔으나 국내 업체가 보유하고 있는 저항용접 제어기 관련 기술력은, 조웰과 효성에서 꾸준히 개발에 매진 해 왔음에도 불구하고, 아직 많이 부족하다. 용접장비를 대기업에 납품하는 일부 기업에서는 계속 업그레이드 되는 용접제어기 관련 요구사항을 만족시킬 개발능력이 부족하여 자체기술개발 보다는 외국기술 도입(주로 완제품 수입으로 대응함)에 의존하는 악순환을 반복하고 있다. 대부분의 저항용접 제어기 공급업체가 외국계 한국법인인 사실이 이를 반증한다. 토종 국내기업들이 열악한 환경임에도 불구하고 기술개발 노력을 경주해 왔지만 아직도 외제 T/C가 차체 용접현장 대부분을 점유하고 있는 부인할 수 없

는 현실을 보면 학계와 연구계가 책임을 통감해야 한다.

차체 용접현장의 생산기술을 책임지고 있는 분들에게 한마디 당부하고자 한다. 1차, 2차 측 또는 전극 팁까지 측정선(lead)을 설치하더라도 용접전압과 용접전류만 측정하는 외제 T/C의 모니터링 기법으로는 도저히 해결할 수 없는 생산기술적 문제가 있다는 사실을 주지해야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Hee Seok Chang. : In-process Monitoring and Control of Weld Nugget Geometry for Resistance Spot Welding Process, *Ph.D. Thesis*, KAIST (1989) 10-19
2. Resistance Welder Manufacturers Association : Resistance Welding Manual, 4th ed., RWMA, Philadelphia. (1989)
3. Tang H, Hou W, Hu S, Zhang H, Feng Z and Kimchi M : Influence of welding machine mechanical

characteristics on the resistance spot welding process and weld quality. *Welding Journal*, **82-5** (2003) 116s-224s

4. C.T.Ji and Y.Zhou : Dynamic Electrode Force and Displacement in Resistance Spot Welding of Aluminum, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, **126** (2004) 591-598
5. P. Wu, W. Zhang and N. Bay : Characterization of Dynamic Mechanical Properties of Resistance Welding Machines. *Welding Journal*. **84-1**(2005) 17s-21s
6. Hee Seok Chang and Jong Yeup Lee : Automatic weld schedule generation system for servogun. Honda Project Report. NAWOOTEC CO., LTD. (2006)
7. Hee Seok Chang and Hyo Chul Kwon : In-process monitoring of micro resistance spot weld quality using accelerometer. *J. of KWJS* **29-1** (2011) 115-122
8. T.G. Lim, H.S. Cho and H. S. Chang : The use of artificial neural networks in the monitoring of spot weld quality. *J. of KWJS* **11-2** (1993) 39-53



- 장희석
- 1956년생
- 명지대학교 기계공학과 교수
- 저항 점용접 계측 및 제어, 서보건 전용제어기
- e-mail : hschang@mju.ac.kr



- 이종엽
- 1959년생
- (주)나우테크 용접기사업부장
- 저항 점용접 제어기(T/C), 서보건
- e-mail : jylee@nawootec.com