

저항점용접 1차 공정변수를 이용한 지능형 용접품질 판단 시스템

Intelligent quality estimation system using primary circuit variables of RSW

조용준*, 이세현**, 신현일***, 배경민***, 권태용***

* 한양대학교 정밀기계공학과 대학원

** 한양대학교 기계공학부

*** 현대자동차 울산공장 차체기술 계획팀

Abstract

The dynamic resistance monitoring is one of the important issues in that in-process and real time quality assurance of resistance spot weld is needed to increase the product reliability. Secondary dynamic resistance patterns, as a real manner, are hard to adapt those factors in real time and in-plant system. In the present study, a new dynamic resistance detecting method is presented as a practical manner of weld quality assurance at the primary circuit. By the correlation analysis, it is found that the primary dynamic resistance patterns are basically similar to those of the secondary. Various dynamic resistance indices are characterized with the primary curve. And quality of the weld, like the tensile shear strength, is estimated using adaptive neuro-fuzzy estimation system which is consisted of the Sugeno fuzzy algorithm. Through the fuzzy clustering and parameter optimization, real time weld quality assurance system with less efforts is proposed.

1. 서론

앞선 연구들에서는 용접이 완료됨과 동시에 용접부의 품질을 예측할 수 있는 여러 가지 인자들에 대한 연구가 수행되었다. 초기의 연구에서는¹⁾ 2차 회로에 장치한 션트(shunt)에서 계측한 용접 전류와 클립을 사용하여 모재의 전극에서 직접 계측한 용접 전압을 오실로스코프를 이용하여 측정하였으며, 기록된 그래프로부터 동저항을 구하였다. 그 이후 홀(Hall) 센서와 전압 측정 장치를 이용하여 계측된 신호의 실효값을 아날로그(analog) 회로에 적용시켜 보다 간단히 동저항을 구하는 연구가 계속되었다.²⁾ 이 연구에서는 동저항이 너겟 형성에 미치는 영향과 이에 따른 동저항 패턴등이 고찰되었다. 한편, 접촉 저항의 변화에 따른 너겟 형성의 고찰은 Kaiser등³⁾의 연구에 의해 시도되었으며, 동저항과 초기 저항이 로브 곡선(lobe curve)에 미치는 영향을 서술하였다. 최근의 연구에서는 계측 장비와 하드웨어의 발달로 인하여, 여러 가지 방법의 동적 인자 계측법이 제안되었다.⁴⁾ 또한, 마이크로프로세서를 이용하여 동저항을 계측하는 시스템⁵⁾과 다중회귀분석을 이용한 너겟 품질 예측 시스템⁶⁾이 제안되기도 하였다. 한편, 국내의 연구에서 조등⁷⁾은 용접 전압의 변동 패턴을 이용하여 얻은 용접 공정 변수와 용접 품질과의 관계를 퍼지 알고리즘에 적용하여, 용접부의 강도와 오목자국 크기에 대한 용접부 품질을 실시간적으로 판단할 수 있는 시스템을 개발하기도 하였다. 그러나 2차 회로에서 검출한 결과를 바탕으로 한 이러한 연구들은 실시간 용접 품질 예측은 가능하지만, 전압 측정 장치의 설치 위치나, 부가적인 측정장치 부착에 따른 비용 증가 등으로 인해 현장에서의 응용에는 여러 가지 제한 조건들을 갖고 있다.

이에 본 연구에서는 현장 적용과 실시간 용접 품질 예측이 가능할 수 있도록, 용접기 1차 회로 동저항 모니터링에 대한 결과를 이용하여 1차 회로 계측 동저항이 2차 동저항과 직접적인 관계가 있음을 밝히고, 이를 지능형 뉴로-퍼지 알고리즘에 적용하여 매우 효과적인 품

질 판단 알고리즘을 작성하였다. 또한, 이 알고리즘을 이용하여 실시간 품질 모니터링 시스템을 개발하였다.

2. 동저항과 용접 품질

용접기 제어 회로 및 2차 회로의 인덕티브 노이즈를 효과적으로 처리하는 한 가지 방법은 용접 전류가 매 사이클의 최고값에 도달한 순간의 1차 회로 전압과 전류를 이용하여 동저항을 구하는 것이다. 이 방법은 저항-코일 회로 방정식,

$$V = RI + L \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

에서 전류의 변화량이 0인 순간에는 유도 리액턴스를 무시한 순수 저항 요소만이 회로의 임피던스에 영향을 미친다는 원리에^{1),4),5)} 기초를 둔 것이다. 여기서, V 는 전압, I 는 전류, R 은 저항, L 은 인덕턴스 그리고 t 는 시간을 나타낸다. 1차 회로에서 검출된 전류의 변화량이 0인 순간에 계산한 저항에는 회로 내부의 인덕티브 노이즈가 포함되지 않았다고 볼 수 있기 때문에 이 때 얻어진 저항값을 적절히 변환하면 용접기 T/C(timer-and-contactor)의 1차 회로에서도 2차 회로의 저항 변화를 효과적으로 관찰할 수 있다.

용접부의 용접 품질과 밀접한 관계를 갖고 있는²⁾ 용접기 회로 1차 및 2차 동저항을 측정하기 위하여 본 연구에서 사용한 실험 장치를 그림 1에 나타내었다. 2차 회로의 실효값들은 반 사이클당 평균제공근을 이용하였으며, 각각의 실효 전압과 실효 전류를 이용하여 실효 동저항을 계산하였다.

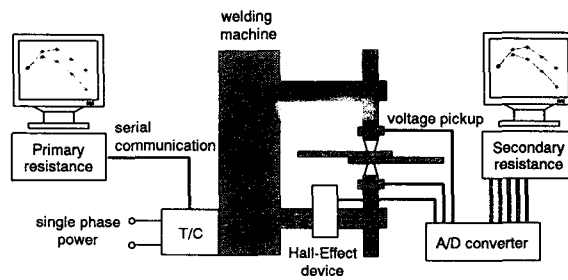


Fig. 1 Schematic diagram of secondary dynamic resistance measurement system

3. 지능형 판단 알고리즘

1차 회로에서 얻은 동저항 패턴을 이용하여 용접 품질을 예측하기 위하여 용접부의 품질, 특히, 전단 강도(tensile shear strength)와 직접적인 관계가 있는 두 가지 인자를 추출하였다. 한가지는 동저항 패턴의 최고값과 최소값의 차이($R_{max-min}$)이고 다른 한가지는 베타 피크^{1) 3)}라고 알려진 동저항의 최대값의 위치이다. 전류를 변화하여 가며 얻은 이 두 가지 인자에 대한 관계를 그림 2에 나타내었다.

용접부의 품질을 효과적으로 예측하기 위하여, 위의 두 가지 인자를 뉴로 퍼지 시스템에 적용하였다. 퍼지 추론 알고리즘에 적용하기 위한 소속함수는 가감법을 이용하여 입력에 대해 적절한 범위로 자동적으로 클러스터링 초기화를 할 수 있게 하였다. 이 때 얻은 각각의 입력에 대한 초기 클러스터링 결과는 그림 3에 나타내었다. 퍼지 추론 알고리즘은 입력 패턴에 따른 퍼지 연산 결과를 1차 선형화 관계로 표현할 수 있는 Sugeno 퍼지 모델을 이용하였다. 퍼지 추론에 의해서 결정된 출력과 실제 출력과의 차이를 이용하여 이 때 발생한 오차를 역전파 시킴으로써 초기 클러스터링에 의한 입력 파라메타를 변화시켰다. 이러한

오류 역전과 알고리즘에 의해 학습된 입력 및 출력 파라메타를 이용하여 용접부의 강도를 예측하고자 하였다.

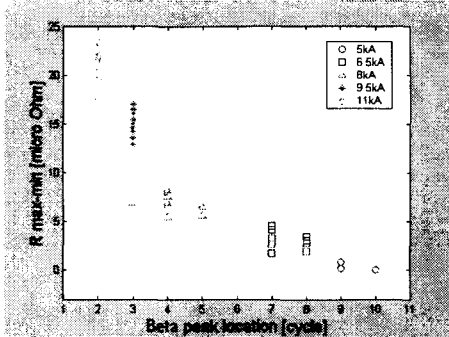


Fig. 2 Primary dynamic resistance pattern indices plot

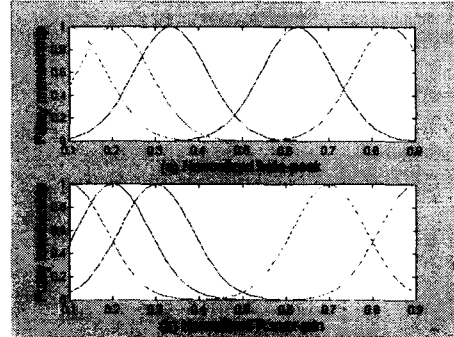


Fig. 3 Initial fuzzy input clustering by subtractive clustering method

4. 결과 및 고찰

용접기 1차 회로에서 검출한 동저항과 2차 회로의 전극 사이에 계측한 동저항 사이의 관계를 관찰하기 위하여 실험에서 얻은 1차 동저항과 2차 동저항과의 상관 관계를 그림 4에 나타내었다. x-축은 용접기의 전극 사이에서 계측한 동저항을 나타내고 있으며, y-축은 용접기 T/C에서 계측한 1차 동저항을 바탕으로 환산한 동저항을 나타내고 있다. 점선은 $y=x$ 에 대한 일대일 대응점을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 낮은 저항과 높은 저항에서 고루 선형성을 유지하고 있다.

그림 5는 앞에서 기술한 뉴로 퍼지 시스템에 의해 학습된 퍼지 입력 파라메타들의 변화 모습을 보여주고 있다. 그림 3과 비교해 볼 때, 소속 함수들의 중심과 표준편차들이 여러 가지 형상으로 변환되어있음을 알 수 있다. 그림 6은 이러한 입력 퍼지 소속 함수를 이용하여 학습에 적용된 용접품질 판단 인자를 예측 시스템에 적용하였을 때 얻을 수 있는 결과를 그림으로 나타낸 것이다. 점으로 표현된 것은 실험에서 얻은 입력 인자에 따른 용접 강도이고 원으로 표시된 것은 예측 시스템에 의해서 얻은 예측 결과이다. 이 때 얻은 전체 두 가지 출력은 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

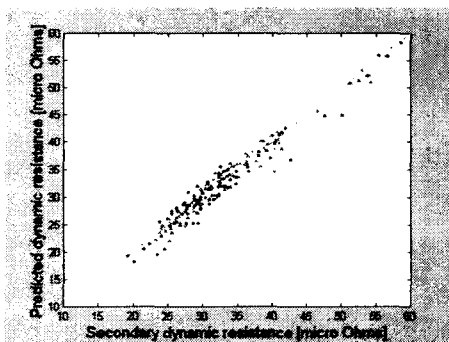


Fig. 4 Relationship between primary and secondary dynamic resistance

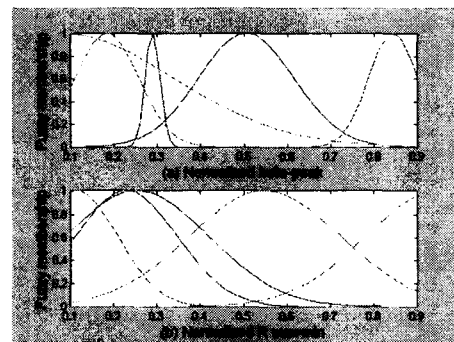


Fig. 5 Trained fuzzy input clustering by neural network

5. 결론

저항 점 용접기 회로에서 발생하는 인덕티브 노이즈를 효과적으로 제거하기 위하여, 전류의

변화율이 0인 순간의 전압과 전류를 계측하여 1차 회로 동저항을 계산하였다. 이 동저항과 2차 회로 전극 사이에서 계측한 공정 변수를 이용하여 1차 회로에서 예측한 동저항과 전극 간 2차 동저항은 서로 잘 일치함을 알 수 있었다. 이에 따라 용접부의 너겟 형성 거동 정보를 지니고 있는 동저항 패턴을 용접기 제어 회로에서도 효과적으로 파악할 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 뉴로-퍼지 알고리즘을 이용하여 1차 동저항 패턴에서 얻은 판단 인자를 효과적으로 클러스터링하였고, 이를 신경회로망적 학습 알고리즘이 도입된 퍼지 알고리즘에 적용하여 수행 능력이 우수한 판단 시스템을 개발하였다. 제안된 알고리즘을 그대로 용접기 T/C에 적용시킨다면 현장에서 실시간적으로 용접부의 품질은 판단할 수 있는 시스템 구성이 가능하다.

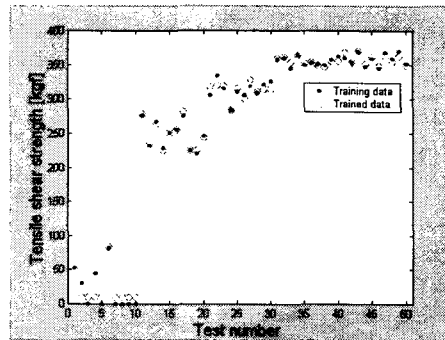


Fig. 6 Comparison of the training data and predicted strength

참고문헌

1. W. F. Savage, E. F. Nippes and F. A. Wassell : Dynamic contact resistance of series spot welds, *Welding Journal*, Vol. 57, No. 2, (1978), pp. 43s-50s
2. D. W. Dickinson, J. E. Franklin, and A. Stanya : Characterization of spot welding behavior by dynamic electrical parameter monitoring, *Welding Journal*, Vol. 59, No. 6, (1980), pp. 170s-176s
3. J. G. Kaiser, G. J. Dunn and T. W. Eager : The effect of electrical resistance of nugget formation during spot welding, *Welding Journal*, Vol. 61, No. 6, (1982), pp. 167s-174s
4. S. A. Gedeon, C. D. Sorensen, K. T. Ulrich and T. W. Eagar : Measurement of dynamic electrical and mechanical properties of resistance spot welds, *Welding Journal*, Vol. 66, No. 12, (1987), pp. 378s-385s
5. S. R. Patange, T. Anjaneyulu and G. P. Reddy : Microprocessor-based Resistance Welding Monitor, *Welding Journal*, Vol. 64, No. 12, (1985), pp. 33-38
6. M. Hao, K. A. Osman, D. R. Boomer, and C. J. Newton : Developments in characterization of resistance spot welding of aluminum, *Welding Journal*, Vol. 75, No. 1, (1996), pp. 1s-8s
7. 조용준, 이세현, 엄기원 : 퍼지 알고리즘을 이용한 저항 점 용접의 실시간 품질 평가 기술 개발에 관한 연구, *대한용접학회지*, 제16권, 제5호, (1998), pp. 76-85