

<論 文>

마이크로 컴퓨터를 이용한 온라인 점용접 품질 감시체제 개발에 관한 연구

김 교 형*

(1986년 1월 24일 접수)

Development of Microcomputer-Based On-Line Monitoring System of Spot Weld Quality

Kyo-Hyoung Kim

Key Words: Spot Weld(점용접), Monitoring System(감시체제), Dispersion Analysis(분산 해석), Autoregressive Model(자아회귀모델)

Abstract

A new method of on-line monitoring of spot weld quality is proposed by analysing weld voltage signal. Weld voltage signal has been modeled by autoregressive model which is suitable for on-line modeling scheme, and order of the model is determined by F-test. From the chosen model, dispersion of the fundamental frequency is calculated and correlated with weld tensile shear strength. Upon experimental results, it has been shown that fundamental frequency dispersion of weld voltage can be used as a good parameter like maximum thermal expansion in on-line monitoring of spot weld quality. Microcomputer implementation of the proposed monitoring method is also developed and presented.

1. 서 론

점용접은 두개의 용접 모재 사이의 접촉 저항에서 생기는 열을 이용하여 접촉 부분이 녹으면서 두 금속을 결합시키는 공정이다. 이때 접촉 부분에서 발생하는 열량은 접촉 저항의 크기와 전류의 제곱값과 용접

시간에 비례하게 된다. 일반적으로 접촉 저항값은 용접 모재의 접촉 상태, 표면조도 및 경도와 전극의 형상 및 가압력등에 좌우되기 때문에 점용접시 발생하는 실제 열량을 정확히 계산하는 것은 매우 어려우며, 만약 발생 열량을 정확히 계산할 수 있으면 양호한 용접이 될 수 있도록 용접 변수들을 적절히 조절하여 균일한 품질의 점용접을 얻을 수 있을 것이다.

점용접 품질 검사에 있어서는, 지금까지 용접후 수행하는 파괴 검사에 의존해 왔으나, 이러한 오프-라인

* 정회원, 영남대학교 공과대학 기계공학과

검사 방식을 채택할 경우는 용접후 검사까지 소요되는 시간차로 인해서 만약 용접 공정이 잘못되면, 많은 양의 불량 제품이 생겨 손해를 입게 된다. 그러므로 파괴시험과 같이 오프라인으로 품질을 검사할 경우에는 양질의 제품을 지속적으로 생산할 수 없게 된다. 따라서 용접 품질을 용접중에 효과적으로 관측 할 수 있는 방법이 연구되면 용접 품질 향상에 큰 도움이 될 것이다. 현재 비파괴 검사로서 이용 할 수 있는 초음파(ultrasonic)와 방사선(radiographic) 검사등은 산업 현장에 적용하기에는 어려운 점이 많으며, 또한 많은 경비가 소요된다.

지금까지의 온라인 점용접 품질 관측 및 제어에 관한 연구들^(1~5)은 용접 품질을 대변하는 용접 변수들을 측정하고자 하였으며, 이러한 용접 변수들 중에서 품질을 가장 잘 대변하는 것으로 알려진 변수들은 접촉부 동 저항 폭선과 전극의 변위 폭선에서 구할 수 있다. 동 저항 모니터링 방법은 용접부의 접촉 전압 값을 전류값으로 나누어 줌으로써 계산에 의해서 구하며 이로부터 최대 저항 강하값 혹은 최대치까지 걸린 시간을 용접 변수로 택하고 이들 변수들과 용접 강도와 상관을 실험적으로 구하여서 용접 품질의 양호성을 판단하는 것이다. 전극의 변위 폭선 모니터링 방법은 용접시 발생하는 열량에 의한 용접부의 팽창 폭선을 변위 센서로 측정하고 최대 팽창 길이 및 팽창을 변수로 하여 용접 강도와 상관 관계를 실험적으로 구하여서 용접 품질의 양호성을 판단하는 것이다. 일반적으로 변위 폭선 용접 변수들이 동 저항 폭선 변수들보다 용접 강도와 상관 관계가 더욱 밀접한 관계에 있다는 것이 실험적으로 입증된 바 있다⁽⁶⁾. 동 저항 관측법은 전류측정에 있어서 전류 파형을 찌그러짐 없이 측정할 수 있는 전류 변환기(toroid)의 제작 및 설치가 간단하지 않으며, 전극 변위 관측법은 정밀 변위센서(최소 측정단위가 0.001mm 정도)가 요구되며, 또한 용접 모재의 형상과 크기에 따라 설치가 어려움이 있다. 따라서 동 저항 및 전극변위 관측법은 실제로 산업 현장에 적용하기에는 곤란하다.

본 연구에서는 산업 현장에 쉽게 적용할 수 있도록 측정과 설치가 용이한 용접 모재간에 가해지는 전압(weld voltage)파형에서 용접 변수를 구하고, 실험적으로 구한 용접 강도와 상관 관계로부터, 점용접 품질 감시체제를 개발하고자 한다. 전압 파형에서 용접 변수를 구하기 위하여 추계 모델링 기법을 적용하고, 구해진 모델로부터 분산 해석(dispersion analysis)을 통하여 용접 변수를 찾으며, 동시에 전극 변위 폭선을 실험적으로 구하여서, 분산 해석 방법의 신뢰도를 검

사 하고자 한다.

2. 추계 모델링

일반적으로 정상 추계 프로세스는 식 (1)과 같이 추계 차분 방정식으로 나타내어 질 수 있다⁽⁶⁾.

$$(1-\phi_1B-\phi_2B^2-\dots-\phi_nB^n)X_t = (1-\theta_1B-\theta_2B^2-\dots-\theta_mB^m)a_t \quad (1)$$

$$E[a_t]=0; E[a_t a_{t-k}]=\delta_k \sigma_a^2$$

여기에서,

$a_t = NID(0, \sigma_a^2)$ 즉 평균값이 0 이고 분산값이 σ_a^2 인 독립분포 프로세스

$B =$ 뒤 이동 연산자

$\sigma_a^2 =$ 분산(variance)

$X_t =$ 시간 t 에서의 프로세스 변수 측정값

$\delta_k =$ 델타 함수

$E =$ 기대치 연산자

$\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n =$ 자아회귀 매개변수

$\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m =$ 이동평균 매개변수 ($n > m$)

식 (1)은 잘 알려져 있는 자아회귀 이동평균(autoregressive moving average) 모델로서 $ARMA(n, m)$ 으로 표현된다. 모델 계수들은 계산 시간이 많이 소요되는 프로그램 규모가 큰 비선형 추정 과정에 의해 구해져야 되기 때문에, $ARMA$ 모델은 마이크로 컴퓨터를 이용한 온라인 적용에는 적합하지 않다.

또한 정상 추계 프로세스는 근사적으로 식 (2)와 같이 자아 회귀(autoregressive) 모델로 나타낼 수 있으며, 표현식은 $AR(n)$ 이다⁽⁷⁾.

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_n X_{t-n} + a_t \quad (2)$$

모델 차수는 F -test에 의해 결정되며, F 값은 식 (3)에 의해 구해지며 계산된 F 값이 F 분포표에 나타난 값보다 작을때의 n 값이 구하고자 하는 모델의 차수가 된다.

$$F = \frac{A_1 - A_0}{s} / \frac{A_0}{N-r} \sim F(s, N-r) \quad (3)$$

여기에서,

$A_1 = AR(n)$ 모델의 잔류오차 제품의 값

$A_0 = AR(n-2)$ 모델의 잔류오차 제품의 합

$s = AR(n)$ 와 $AR(n-2)$ 모델의 매개변수 수의 차

$r = AR(n)$ 모델의 매개변수 수의 차

$N =$ 샘플링의 수

$F(s, N-r) = F$ 분포표에 의하 F 값

AR 모델은 선형 최소 제곱법에 의해 계수가 추정되므로, $ARMA$ 모델보다 마이크로 컴퓨터 적용이 용이하다. 따라서 용접 전압은 AR 모델로 근사화 시켰으

며, 자아회귀 매개변수는 Cholesky 소거법을 사용하여 다음과 같이 구하였다.

$$Ax = LUx = b \quad (4)$$

여기에서,

A =자기 공분산 행렬 (autocovariance matrix)

x =자아 회귀 계수 벡터

L =하 삼각 행렬

U =상 삼각 행렬

b =자기 공분산 행렬

행렬 L 과 U 의 성분들은 식 (5)와 같이 표현되며, 계수를 구하기 위한 이러한 과정들은 모두 어셈블리어로 프로그램되었다.

$$l_{pr} = (a_{pr} - l_{ps}u_{sr})/u_{rr} \text{ for } r < p$$

$$u_{pr} = a_{pr} - l_{ps}u_{rr} \text{ for } r > p \quad (5)$$

모델 계수가 구해지면, 시스템의 동적 모드를 나타내는 AR 모델의 근은 식 (6)에 의해 구해지며, 특정 모드의 고유 진동수는 식 (7)에 의해 구할 수 있다.

$$\lambda^n - \sum_{j=1}^n \phi_j \lambda^{n-j} = 0 \quad (6)$$

$$\omega_n = \frac{1}{\Delta} \left[\frac{[\ln(\lambda \lambda^*)]^2}{4} + \left(\cos^{-1} \frac{\lambda + \lambda^*}{2\lambda \lambda^*} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

여기에서, Δ 는 샘플링 간격을 나타내고, λ^* 는 λ 의 공액 복소수이다. 모델 분산(variance)은 식 (8)에 의해 표현되며, 이 식에 의해 특정 모드의 시스템 전체 분산에 대한 백분율을 구할 수 있다.

$$r_0 = \sum_{i,j=1}^n g_i g_j \sigma_a^2 \frac{1}{1 - \lambda_i \lambda_j} \quad (8)$$

여기에서,

$$g_i = \frac{m}{\sum_{k=1}^n (1 - \lambda_k \lambda_k^{-1})} \quad (9)$$

3. 실험장치 및 방법

실험에 사용된 용접기는 Miller Electric사의 MPS-20 모델로 용량은 20KVA이다. 전극의 가압력, 예압 시간 및 용접시간은 임의로 조절할 수 있으며 최대 전류는 14,500 암페어이다. 전극은 수냉식이고, 크기는 표준 6인치이며, 전극의 형상은 C형을 사용하였다.

실험에 사용된 시편은 0.8mm 두께의 냉간 압연한 연강판을 사용하였으며, 크기는 JIS 규격에 준하였다.

용접 조건은 다음과 같으며,

용접시간=18 사이클

지압시간=36 사이클

가압력=180 Kgf

이 조건들은 실험에서 일정한 값이 되도록 하였으며, 전류값을 조정 함으로서 용접 상태에 변화를 주었다.

Fig. 1은 실험 장치의 개괄도를 나타낸다.

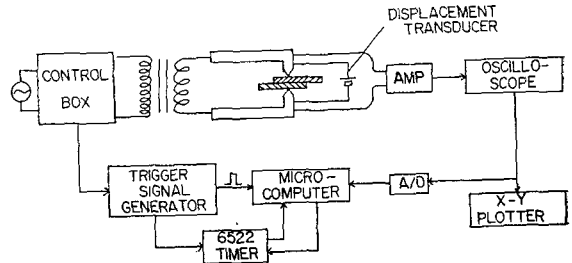


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up

전극의 미소변위는 비접촉 유도 변환기 (inductive transducer)를 사용하여 측정하였으며, 게이지 블록을 이용하여 검정하였다. 검정 결과 변위 측정기는 전극 변위 측정 범위에서 선형관계를 나타내었으며, 출력은 700mV/0.05mm이었다. 애널로그-디지털 (A/D) 변환기는 8비트를 사용하였으며, 전압파형의 샘플링은 6522 타이머를 이용하였고, 마이크로 컴퓨터의 중앙처리 장치는 6502이며, 주기억 용량은 64킬로 바이트이다. Fig. 2는 실험장치를 나타낸다.

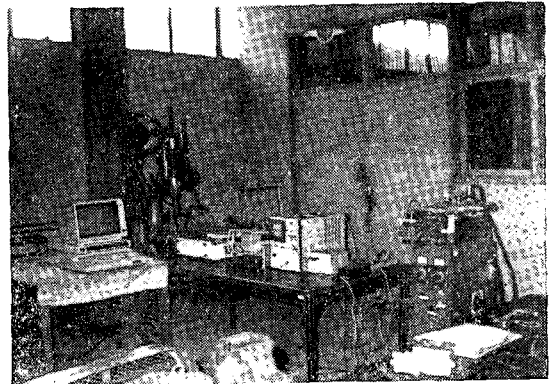


Fig. 2 Experimental set-up

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 3는 실험에서 얻은 전형적인 측정결과로서 Fig. 3(a)는 전극변위 곡선을 Fig. 3(b)는 용접모재에 가해지는 전압파형을 나타내며, 이는 메모리 오실로스코프에서 용접기 푸트 스위치에서 발생된 트리거 신호를 이용하여 화면에 잡은후 X-Y 플로터에서 그린 것

이다.

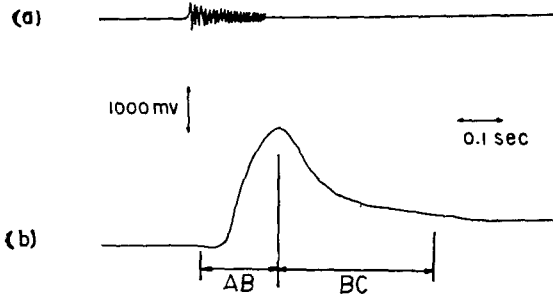


Fig. 3 Typical measurement results; (a) Weld voltage wave form (b) Electrode movement curve

Fig. 3의 전극변위 곡선에서 AB 구간이 용접전류가 흐르는 시간이고, BC 구간이 지압시간이 되며, 전압 파형에서 용접 시간은 용접조건에서 정한바와 같이 18 싸이클(0.3초)이 됨을 알 수 있다. Fig. 4는 Fig. 3(a)에 나타난 전압 파형의 AR 모델에 대한 잔류오차 제곱의 합(SSR)을 나타내며, 여기에서 샘플링 간격은 1msec 샘플링 수는 300 개로 하였다.

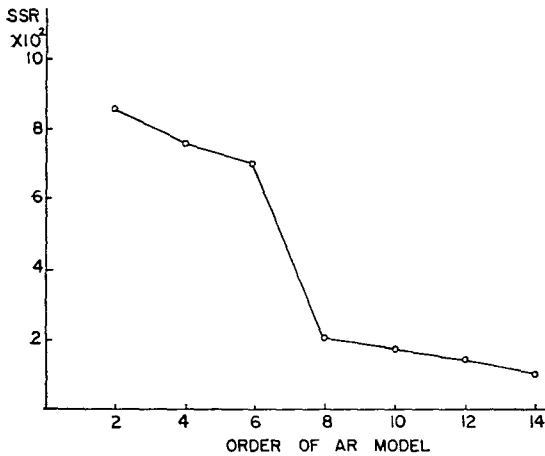


Fig. 4 Sum of squares of residuals of AR model

오프-라인 F-test 에 의해 AR(8)이 최적 모델이 됨을 알 수 있다. Cholesky 소거법에 의한 AR 매개변수는 Table 1에 나타나 있으며, Table 2는 특성방정식 근들과 분산해석 결과를 나타낸다.

Table 2에서 나타난 바와 같이 본 용접 전압에서는 기본 주파수(60 Hz)가 98.5%를 구성하고, 다른 주파

Table 1 Autoregressive parameters

$\phi_1=1.203$	$\phi_2=-0.612$	$\phi_3=0.736$	$\phi_4=0.527$
$\phi_5=-1.725$	$\phi_6=-0.807$	$\phi_7=1.325$	$\phi_8=0.146$

Table 2 Dispersion analysis

Roots	Value	Freq.(Hz)	Di. (%)
λ_1, λ_2	$-0.65+0.43i$	180	1.2
λ_3, λ_4	$0.83+0.47i$	60	98.5
λ_5, λ_6	$0.27+0.95i$	250	0.1
λ_7, λ_8	$-0.32+0.91i$	327	0.2

수 성분들은 1.5%를 차지함을 알 수 있다. 기본 주파수 외의 다른 주파수 성분들은 용접조건 변화에 따른 전압파형의 일그러짐 정도를 나타내며, 기본 주파수의 분산 백분율을 용접품질의 양호성을 대변하는 용접변수로 정하였다.

Fig. 5는 최대 팽창길이와 용접 인장 전단강도와의 관계를 보여주며, 최대 팽창길이가 증가 할수록 용접 인장 전단강도는 선형적으로 증가한다. Fig. 5에서 각 점들은 동일 용접조건에서 3개의 시편에 대한 측정값을 평균한 것이며 모두 90개의 시편에 대하여 실험을 행하였다.

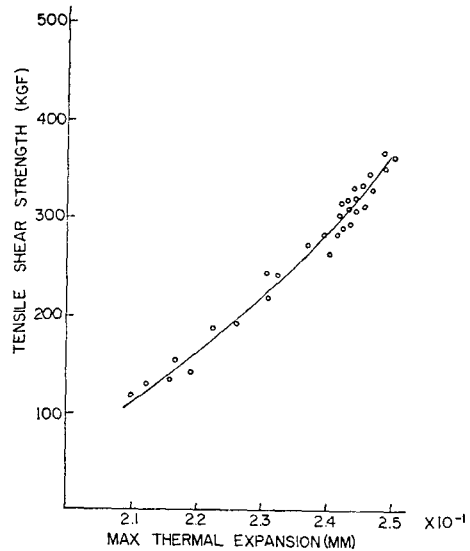


Fig. 5 Relationship between tensile shear strength and maximum thermal expansion

Fig. 6은 Fig. 5의 실험에서 90개의 시편 각 경우에 대해서 기본 주파수의 분산율과 전단 인장강도와의

관계를 도식한 것으로, 최대 평균거리와 같은 경향을 나타내며, 용접 전압파형에 대한 분산해석을 통해서 용접품질의 양호성을 관측할 수 있음을 알 수 있다.

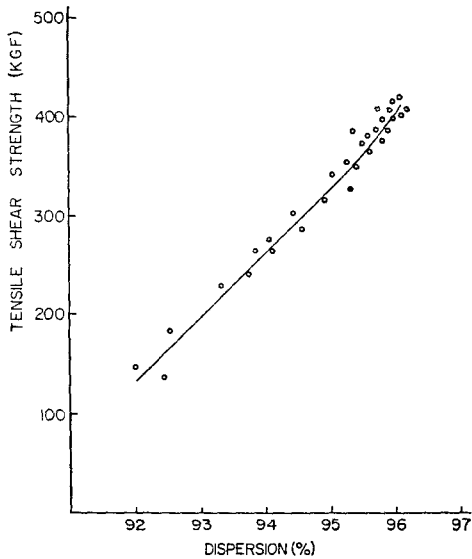


Fig. 6 Relationship between tensile shear strength and fundamental frequency dispersion

5. 온라인 관측

실험결과 및 고찰에서 토의된 바와 같이 점용접 품질의 양호성을 용접전압 파형의 기본주파수 백분율에 의해 온라인으로 관측하기 위한 하드웨어 부분 블록 선도는 Fig. 7 과 같으며, 측정된 전압파형은 필터와 샘플 및 호울더 (sample and hold)를 통해 애널로그 및 디지털 변환기에서 디지털 신호로 바뀐후 6522 PIO를 통해 메모리에 저장된다.

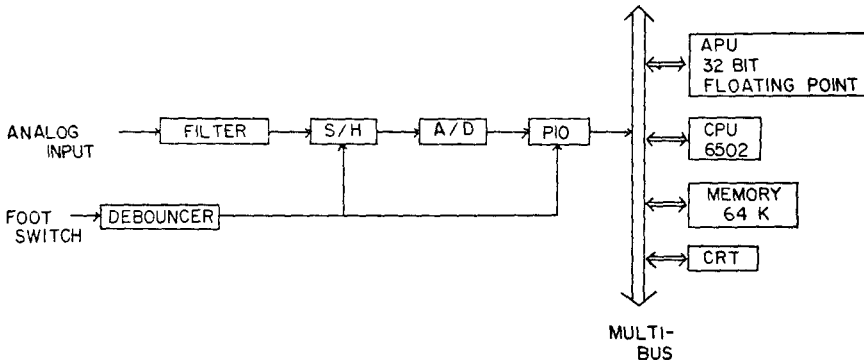


Fig. 7 Schematic representation of the microcomputer system

소숫점 계산은 9511 APU(arithmetic processing unit)를 사용하였으며, 9511 프로세서는 32 비트 소숫점 가감승제 계산을 할 수 있다. 온라인 관측의 모든 제어는 CRT 터미널을 통해 이루어지며, 샘플링수와 시간간격 및 상수값들은 터미널과의 문답 형식으로 주어진다. 모든 과정들은 어셈블리어로 프로그램 되었으며, 총괄 유통도는 Fig. 8과 같다. 프로그램은 주 프로그램과 데이터를 샘플하고 메모리에 저장시키는 ADCON 서브루틴, 지정된 데이터로부터 자기공분산 행렬을 만드는 AUTOCOV 서브루틴, Cholesky 소거법

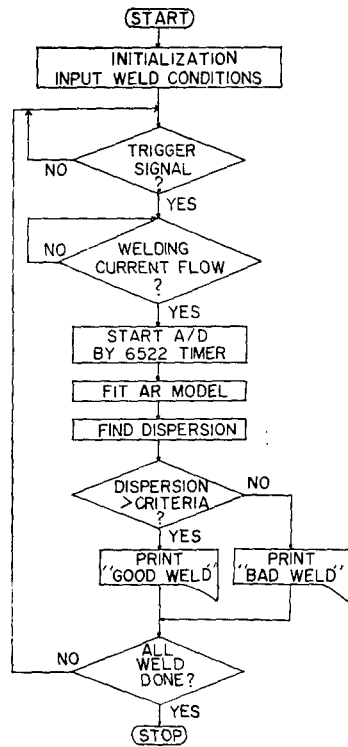


Fig. 8 General flow chart

에 의해 자아회귀 매개변수를 계산하는 CHOLES 서브루틴 및 구해진 자아회귀 매개변수에서 각각의 모드를 구하고 이의 분산 백분율을 계산하는 DISPER 서브루틴으로 이루어져 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 용접전압의 자아회귀 모델에서 분산 해석을 통하여, 기본주파수의 분산율이 용접품질의 양호성을 대변하는 용접변수가 될 수 있음을 실험적으로 입증하였으며, 이 결과를 바탕으로 마이크로 컴퓨터를 이용한 온라인 점용접 감시체제를 개발하였다. 실험결과에 의한 결론은 다음과 같다.

- (1) 용접전압의 기본주파수 분산율이 증가할수록 용접 전단인장강도는 선형적으로 증가한다.
- (2) 기본주파수 분산율과 전단인장강도와의 상관관계는 최대 열팽창 변위량과 전단 인장강도와의 상관관계와 동일한 경향을 나타낸다.
- (3) 용접전압의 기본주파수 분산율을 구함으로 점용접 품질을 온라인으로 관측할 수 있다.

후 기

이 논문은 아산사회복지사업재단의 1984년 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 대하여 많은 감사의 뜻을 표한다.

참 고 문 헌

- (1) D.R. Andrews, Resistance-Weld Monitoring for Production, Metal Construction and British Welding Journal, pp.172~175, 1973
- (2) M. Jonots, Adaptive System of Resistance Welding Control, Advances in Welding Process, pp. 239~243, 4th Int. Conf., Cambridge, England, Jan. 1980
- (3) K.I. Johnson, Resistance Welding Quality-Control Techniques, Metal Const. and British Welding Journal, pp.176~181, May 1973
- (4) W.F. Savage, E.F. Nippes and F.A. Wassell, Dynamic Contact Resistance of Series Spot Welds Welding Research Supplement, pp.43~50, Feb. 1978
- (5) H.S. Cho and D.W. Chun, Correlations between Process Variables and Weld Quality in Resistance Spot Welding Process, Trans. of KSME, Vol. 8, No. 3, pp.257~263, 1984
- (6) S.M. Wu, Dynamic Data System: A New Approach, Trans. ASME J. of Engr. for Industry, Vol. 99, 1977
- (7) S.M. Pandit and S.M. Wu, Time Series and System Analysis with Applications, John Wiley and Sons. 1983