

마이크로 프로세서를 이용한 용접전력 측정에 관한 연구

노 창 주 · 박 상 길

Microprocessor based Welding Power Meter

C. J. Noh, S. G. Park

Arc power is consumed energy per unit time between welding electrodes. The relations between consumed energy and electrode distance, current, voltage are nonlinear characteristics. Therefore commercial A. C. wattmeter cannot be used for measurement of the arc power.

Most of arc energy measuring systems are developed for relay contact arc measurement. Relay arc requires integrated instantaneous power because relay arc finishes in a short instant.

But most of welding powers are continually consumed powers, therefore instantaneous power must be continually indicated in the form of average value.

The author propose a new measurement method of power in which the current and voltage of welding electrode is multiplied and the resultant signal is passed to low pass filter in order to remove higher order frequency components.

After integrating, the signal is divided by the integral interval and the results are stored in a computer memory.

1. 서 론

아아크 전력은 전극사이에서 아아크가 발생할 때 소요되는 단위시간 당의 소요에너지이다. 이 에너지는 전극의 전압과 전류와 극간의 거리에 대해 비선형의 특성을 가지고 있다¹⁾. 따라서 아아크 전력의 측정에는 일반적으로 정현파에 통용되는 전력계를 이용할수 없다.

아아크 에너지의 측정은 주로 릴레이접점의 아아크 에너지 측정을 위해서 발달해 왔으며 이들 방법의 대부분이 접점간의 전류와 전압의 곱을 연산한 이후 이 신호를 전압—주파수 변환기를

통하여 펄스수로 변환하고 카운터에 의해 펄스를 세거나^{2), 3)} 적분기로 적분하여⁴⁾ 아아크 에너지를 측정하고 있다. 그러나 릴레이의 경우는 순간적인 전력소모 현상 이므로 순시전력의 적분치인 적산전력으로 만족하지만 아아크 용접 등과 같이 일반적인 피측정전력은 계속되는 전력소모현상 이므로 순시전력을 평균전력으로 환산하여 계속 지시할 필요가 있다.

본 연구에서는 아날로그 송산기를 이용하여 전류와 전압의 곱을 연산한 이후 이 신호를 저역통과필터(LPF)를 통하여 고주파성분을 차단한 이후 마이크로프로세서에 의해 전력원의 주

기동한 적분하고 이 적분치를 다시 적분구간으로 나뉠셈을 행하는 연산으로 처리하여서 메모리에 기록하는 전력측정 방식을 연구하였다.

2. 측정원리

전압과 전류가 $e \cdot i$ 인 부하에서 소모되는 순시 전력은 $p(t)$ 라 할때 $p(t)$ 는 식(1)과 같이 표시된다.

$$p(t) = e \cdot i \quad (1)$$

부하가 비선형 부하이며 전류 및 전압치가 불연속적이고 미분불능인 함수로 표시되더라도 푸리에 급수에 의해서 $p(t)$ 를 식(2)와 같이 표시할수 있다.

$$p(t) = p_0 + \lim_{q \rightarrow \infty} \sum_{m=1}^q a_m \cos m\omega_0 t + \lim_{q \rightarrow \infty} \sum_{m=1}^q b_m \sin m\omega_0 t \quad (2)$$

(ω_0 : 전력원의 각주파수)

그러나 $p(t)$ 는 순시치 이므로 평균치로 표시하기 위해 $p(t)$ 를 시간 t 에 대해 한주기 동안 적분한 이후 적분구간인 주기로 나뉠셈 하시면 식(3)과 같이 평균전력 P 를 나타낼수 있다.

$$P = \frac{\omega_0}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega_0}} p(t) dt = p_0 \quad (3)$$

식(3)에서 보는 바와 같이 식(2)에 있어서의 $a_m \cos m\omega_0 t$ 및 $b_m \sin m\omega_0 t$ 성분은 평균전력에 전혀 영향을 미치지 않는다. 아날로그 필터에 의해 이 정현파성분들을 완전히 제거하자면 p_0 의 값이 필연적으로 적산이 되게 되므로 시시각각 변화하는 평균전력을 관측하는데는 부적절하다. 따라서 한주기 동안 적분하고 이를 $2\pi/\omega_0$ 로 나누어서 한주기 마다 하나씩의 평균치를 연산할수 있도록 마이크로 프로세서를 이용하는것이 바람직 하다. 마이크로 프로세서를 이용하여 적분을 행할 경우에는 A/D 변환기를 이용하여 아날로그 신호인 $p(t)$ 를 디지털 신호로 변환할 필요가 있다. 그리고 A/D변환기에서는 유한한 샘플링 주기(sampling period)가 요구되므로 고주파 성분의 $p(t)$ 는 "aliasing" 현상의 원인이 되어 측정오차의 근원이 된다. 따라서 $p(t)$ 중의 비교

적 높은 주파수 성분은 LPF에 의해 차단하고 비교적 낮은 주파수 성분은 마이크로 프로세서에 의해 전력원의 주기로 적분하고 그 주기로 나뉠셈을 행하는 연산으로 처리 할수가 있다.

절점 주파수가 ω_0 이고 전달함수가 식(4)와 같이 표시되는 LPF에 $p(t)$ 를 통과시킨후의 전력을 $q(t)$, 이의 라플라스 변환을 $Q(s)$ 라 하면 이는 식(5)와 같이 표시 된다.

$$G(s) = \frac{\omega_0^2}{s^2 + 2\omega_0 s + \omega_0^2} \quad (4)$$

$$Q(s) = p(s) \cdot G(s) = \left(\frac{p_0}{s} + \lim_{q \rightarrow \infty} \sum_{m=1}^q a_m \frac{s}{s^2 + (m\omega_0)^2} + \lim_{q \rightarrow \infty} \sum_{m=1}^q b_m \frac{m\omega_0}{s^2 + (m\omega_0)^2} \right) \frac{\omega_0^2}{s^2 + 2\omega_0 s + \omega_0^2} \quad (5)$$

전원의 한 주기를 n 등분 하여 $2\pi/\omega_0 n$ 기간 마다 한번씩 순시치 전력을 샘플링하여 산술평균을 취할경우 그 알고리즘을 식(6)과 같이 표시할수 있다.

$$\overline{C(IT)} = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} q(kT) \quad (6)$$

(단, $l = n, 2n, \dots$)

실제로 $q(kT)$ 가 n 번 적분될때 마다 $C(IT)$ 가 하나씩 연산이 되므로 하나의 전원의 주기를만 생각하여 이 한 주기에만 통용되는 펄스 전달함수를 식(7)과 같이 유도될수 있다.

$$C(z) = \frac{1}{n} \{ Q(z) + z^{-1}Q(z) + z^{-2}Q(z) + \dots + z^{-(n-1)}Q(z) \}$$

$$D(z) = \frac{1}{n} \left(\frac{z}{z-1} - \frac{z^{-(n-1)}}{z-1} \right) \quad (7)$$

(단, $Q(z) = z[q(kT)]$)

실제로 계측치의 충분한 정도를 얻기 위해 $n \rightarrow \infty$ 로 하여야 하므로 식(7)은 식(8)과 같이 된다.

$$D(z) = \frac{z}{n(z-1)} \quad (8)$$

이때 평균전력은 식(9)와 같이 표시 될 수 있다.

$$\overline{C(z)} = Q(z) \cdot D(z) \quad (9-a)$$

$$\begin{aligned} \overline{C(IT)} &= z^{-1}[D(z) \cdot Q(z)] \\ &= \sum_{k=0}^{n-1} q(kT)d\{(n-1)T-kT\} \quad (9-b) \end{aligned}$$

(단, $d(kT) = z^{-1}D(z)$)

그러고

$$z^{-1}D(z) = \frac{1}{n}U(t)$$

이므로

$d\{(n-1)T-kT\}$ 는 0 부터 $(n-1)T$ 의 구간에서 1 이다.

따라서 식(10)이 성립한다.

$$\overline{C(IT)} = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} q(kT) \quad (10)$$

식(5)의 $Q(s)$ 를 라플라스 역변환 하게되면 $q(t)$ 는 식(11)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} q(t) &= l^{-1}Q(s) = l^{-1}[p(s) \cdot G(s)] \\ &= \int_0^t p(t-\tau) \cdot g(\tau) d\tau = p_0(1 + e^{-\omega_0 t} \\ &\quad - \omega_0 t e^{-\omega_0 t}) + \lim_{q \rightarrow \infty} \sum_{m=1}^q a_m \left\{ \frac{1}{1+m^2} \cos(m\omega_0 t \right. \\ &\quad \left. - 2\theta_m) + \frac{(1-m^2)e^{-\omega_0 t}}{(1+m^2)^2} - \frac{\omega_0 t e^{-\omega_0 t}}{1+m^2} \right\} \\ &\quad + \lim_{q \rightarrow \infty} \sum_{m=1}^q b_m \left\{ \frac{1}{1+m^2} \sin(m\omega_0 t - 2\theta_m) \right. \\ &\quad \left. + \frac{(1-m^2)e^{-\omega_0 t}}{(1+m^2)^2} - \frac{\omega_0 t e^{-\omega_0 t}}{1+m^2} \right\} \quad (11) \end{aligned}$$

(단, $\theta_m = \tan^{-1}m$)

여기서 $e^{-\omega_0 t}$, $t e^{-\omega_0 t}$ 의 항들은 과도현상에 의한 항들로서 계통이 안정되기 위한 충분한 시간이 경과한 이후에는 0에 수렴한다.

식(10)의 $q(kT)$ 는 식(11)의 $q(t)$ 를 샘플러에 의해 샘플링 한 형태의 신호이므로 식(11)의 과도현상에 의한 항들을 무시하고 샘플링을 행한 후에 식(10)에 대입하게 되면 식(12)를 얻을수 있다.

$$\begin{aligned} \overline{C(IT)} &= \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \left[p_0 + \lim_{q \rightarrow \infty} \sum_{m=1}^q a_m \left\{ \frac{1}{1+m^2} \cos \right. \right. \\ &\quad \left. \left. (m\omega_0 kT - 2\theta_m) \right\} \right. \\ &\quad \left. + \lim_{q \rightarrow \infty} \sum_{m=1}^q b_m \left\{ \frac{1}{1+m^2} \sin(m\omega_0 kT \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - 2\theta_m) \right\} \right] \quad (12) \end{aligned}$$

여기서 $m \gg 1$ 일때

$$\frac{a_m}{m^2+1} \doteq 0, \quad \frac{b_m}{m^2+1} \doteq 0$$

이 된다. 따라서 마이크로 프로세서로 적분할수 없을 정도의 높은 주파수 성분은 무시할수 있을 정도의 미소량으로 감쇠되며 비교적 기본파에 근접하는 무시할수 없는 량은 식(12)와 같이 $0 \sim 2\pi$ 의 구간에서 적분이 행해져서 상쇄된다.

따라서 식(12)는 식(13)과 같이 표시 할 수 있다.

$$\overline{C(IT)} = P_0 \quad (13)$$

이상과 같이 $2\pi/\omega_0$ 의 구간에서 적분하고 구간의 값으로 나눈셈 하게되면 P_0 의 값이 적산이 되지않고 시시각각으로 변화하는 비선형 전력을 측정할수 있다.

3. 회로구성 및 프로그래밍

부하측 전압과 전류를 증산하는 증산기와 LPF 부분은 Fig.1과 같이 구성하였다. 그리고 $e \cdot i$ 의 비례상수 조절을 위하여 "calibration potentiometer"를 설치하였다.

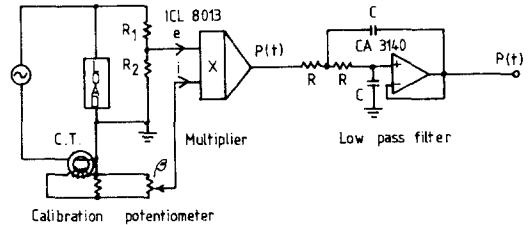
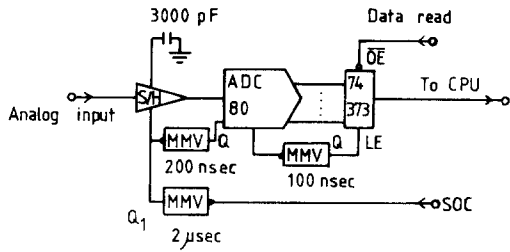
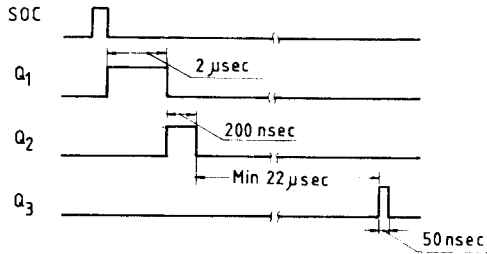


Fig. 1 Circuit diagram of the multiplier and the low pass filter

LPF를 통과한 신호를 디지털 신호로 변환하기 위하여 설계된 A/D변환회로는 Fig. 2a와 같다. 입력된 신호는 LF198에 의해서 $2\mu\text{sec}$ 동안 "acquisition" 된 이후 "holding"되어서 12 bit A/D변환기 AD-80을 통하여 12 bit의 디지털 신호로 변환된다. 이 과정을 타이밍 다이어그램(timing diagram)으로 표시해 보면 Fig. 2b와 같다. 디지털 신호로 변환된 $p'(k)$ 신호를 적분하고 그 적분구간으로 나누어서 평균치로 연산하기 위하여 Fig. 3과 같은 계측용 컴퓨터를 설계하였다. Fig. 3에서 수치표시 부분은 "seven



a) Circuit diagram of the A/D converter.



b) Timing diagram of the A/D converter

Fig. 2 Circuit diagram and timing diagram of the A/D converter.

segment LED”로서 애드레스(address)를 6자리 숫자로, 데이터를 4자리 숫자로 16진법에 의해 표시하도록 하였다. D/A변환기는 CPU에서 입력된 디지털 데이터를 아날로그 신호로 변환하여 X-Y 기록기로 출력하도록 하였다.

컴퓨터의 키이 보오드(key board)는 Fig.4와 같이 16진수를 사용하도록 하였다.

컴퓨터의 주회로 계통도는 Fig. 5와 같다. 사용된 마이크로 프로세서는 MC68000 LI2이었으며

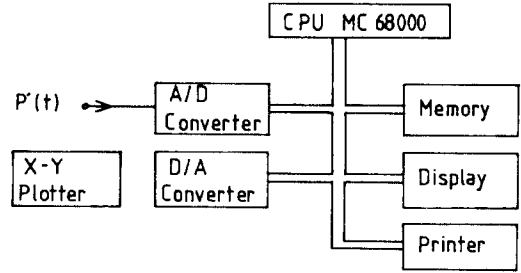


Fig. 3 Block diagram of the designed measuring computer

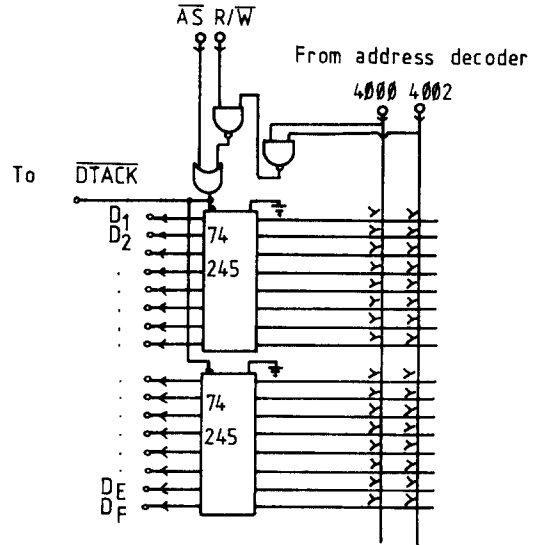


Fig. 4 Key board circuit diagram

Memory map

Element	Address	Capacity
ROM 1	000 - FFF	2 kb
ROM 2	000 - 7FF	2 kb
RAM 1	1000 - 1FFF	2 kb
RAM 2	1000 - 1FFF	2 kb
RAM 3	2000 - 2FFF	2 kb
RAM 4	2000 - 2FFF	2 kb
System stack	1000 - 103 B	40 Word
Initial system stack pointer	103 A	
Mode vector	103 F - 103 F	1 Word
Storage space of data	1000 - 2FFF	3 KW

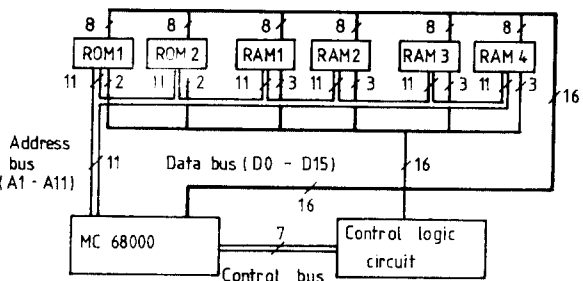


Fig.5 System diagram of the designed computer

클럭(clock) 주파수는 12MHz를 사용하였다⁵⁾.

사용된 ROM은 2716 이었으며 ROM1 및 ROM 2가 각각 CPU의 D0~D7, D8~D15에 연결되도록 하였다. ROM의 액세스 타임(access time)이 450nsec 이었으므로 CPU가 제어회로(control logic circuit)를 통하여 ROM을 선택하게 되면 450nsec의 지연회로를 통하여 시간지연을 행한 후 ROM의 각 데이터 포오프로 데이터가 확립(valid)되었을 때 CPU로 DTACK신호가 입력되도록 하였다. 범용의 컴퓨터는 주전원을 차단하게 되면 메모리내의 내용이 전부 지워지게 되므로 자기 디스크를 이용하여 프로그램이나 데이터를 저장하게 되어 복잡한 장치가 필연적으로 뒤따르게 된다.

본 연구에서는 보다 장치를 간단히 할 목적으로 "stand by current"가 2 μ A 미만이 되는 MCM6116을 메모리 IC로 사용하였다. 주전원이 차단되게 되면 릴레이에 의해 MCM6116의 "output enable" 및 "chip enable" 단자가 "0" level로 되고 메모리 IC에만 미소 전류(2 μ A)가 견전지에 의해(1.5V \times 3) 공급되도록 하여서 견전지의 교환없이 4개월간 프로그램이나 데이터가 메모리에 저장되도록 하였다.

제어논리회로는 마이크로 프로세서의 제어신호를 컨트롤 버스(control bus)를 통하여 입력시켜서 메모리 IC 및 입출력 포오프로 적절히 분할하여 출력시키게 된다. 이 신호들은 각 구성요소를 선택하게 되고 각 요소로부터 출력된 DTACK 신호는 제어논리회로를 통하여 마이크로프로세서로 전달된다.

프린터 구동을 위해서 프린터 전용의 인터페이스(interface)를 설계하였으며 병렬데이터 전송방식을 이용하여 데이터를 전송 하도록 하였다. 데이터와 데이터 사이에는 프린터로부터 ACKNG 신호가 확립된 이후 20msec의 시간간격을 두었다⁶⁾.

컴퓨터의 운영은 프로그램의 실행과 메모리 내용의 지시와 기체가 프로그램을 메모리에 기록하기 위해서 3F ϕ word에 해당하는 운영체제(operating system)를 제작하였으며 프로그램과 데이터를 프린터로 출력시키기 위해서 46 word

의 운영체제를 제작하여 운영하였다.

전력측정을 위해서 Fig. 6와 같이 τ 를 샘플링 주기(sampling period)로 하여 전력원의 주기 동안 $\sum P(k)$ 의 값을 낸 이후 "zero crossing detector"를 이용하여 전원의 값이 "0"이되고

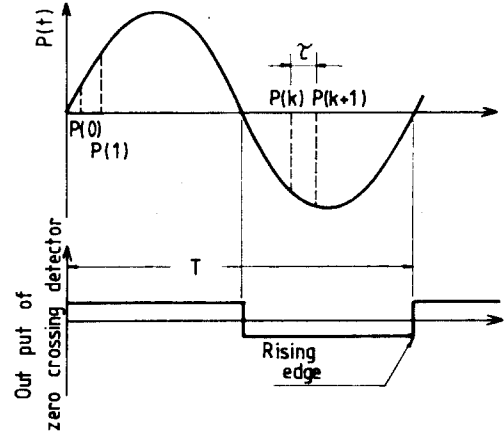
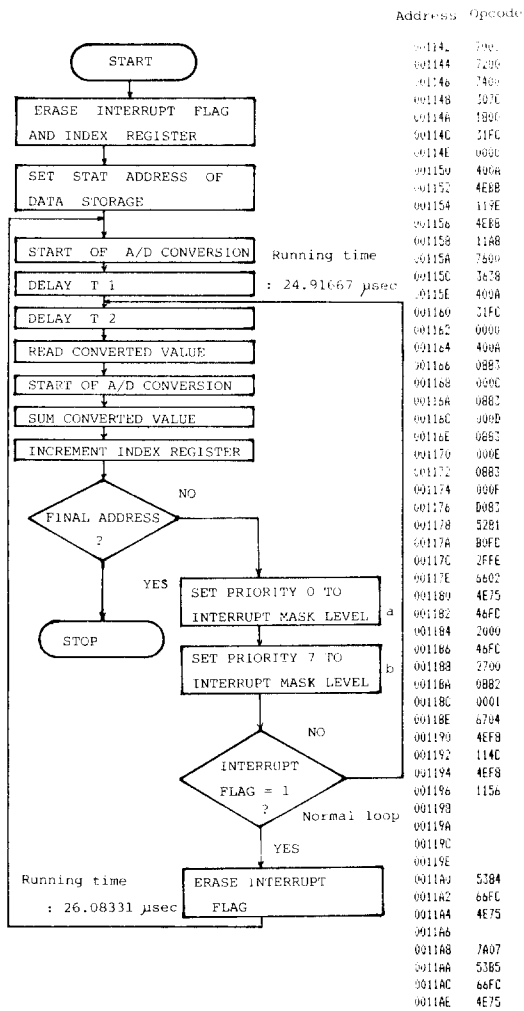


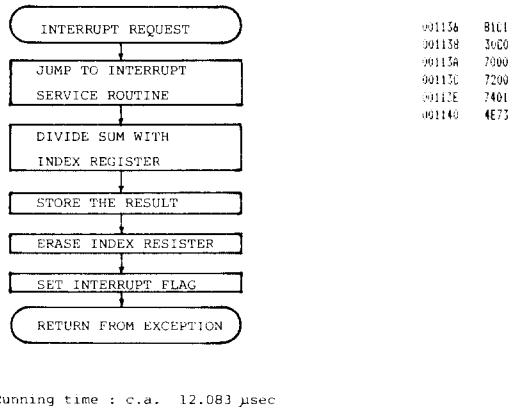
Fig. 6 Sampling period of the A/D converter

"zero crossing detector"의 출력이 상승엣지(edge)가 되는 순간 $\sum q(k)$ 를 CPU에 의해 전력원의 한 주기에 해당하는 시간으로 나뉠셈하여 P 를 얻도록 하였다. 이를실현하기 위해서 작성된 플로우 시이트는 Fig. 7과 같다. 상시에는 Fig. 7(a)에 표시된 바와 같이 프로그램이 진행되어서 순간전력의 합을 만든다. 이 정상 루우프의 1회 연산에 소요되는 시간은 24.91667 μ sec였다. 일단 "interrupt"가 걸리게 되면 "interrupt mask"의 순위가 낮은 우선순위를 허락하는 a, b사이의 부분에서 제어가 "interput service routine"으로 넘어가서 Fig. 7(b)와 같은 프로그램이 실행되게 된다. 이 프로그램의 소요시간은 12.083 μ sec였다. 그리고 이 프로그램에서 이미 연산된 순시전력의 합을 적산 루우프의 회전한 회수로 나뉠셈 하여 평균전력을 만들고 컴퓨터의 메모리에 기록하게 된다.

여기서 전압분압회로의 감쇄상수를 α , 전류량을 전압치로 환산하는 변류기 상수를 β , 샘플링 주기를 τ , 아날로그 승산기의 상수를 γ 라 하고 A/D변환기이 변환상수를 δ 라 할때 메모리에 격납되는 데이터 $\overline{P(I)}$ 는 식(1)와 같이 표시된다.



a) Flow sheet and program of summing loop



b) Interrupt exception service routine

Fig.7 Flow sheet and assembly language program of power measuring system

$$P(l) = \frac{1}{n\tau} \sum_{k=0}^{n-1} \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta \cdot p(k) \cdot \tau$$

$$= \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta \cdot p(k) \quad (14)$$

이때 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta = \varepsilon$ 이라 두면 평균전력 $P(l)$ 은 식(15)과 같이 표시된다.

$$P(l) = \frac{\varepsilon}{n} \sum_{k=0}^{n-1} p(k) \quad (15)$$

본 전력측정 시스템의 최대 측정공간은 3kw 였으며 최대 측정시간은 51.2sec였다.

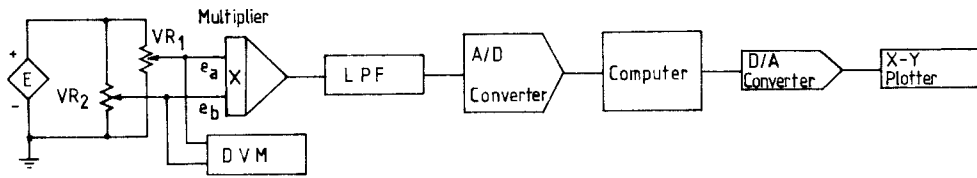
4. 실험

먼저 Fig.8(a)와 같이 장치를 구성하고 VR1 및 VR 2를 조절하여 a와 b의 각각의 전압치에 대한 DVM의 측정치와 컴퓨터의 측정치를 비교 측정 하였다. 이때 사용된 DVM은 YEW의 TY PE 2502 *Universal digital meter* 였으며 4자리 수 까지 측정할수 있었다. E는 정전압 IC를 사용하였으며 7805 및 7905를 사용하였다. VR 1 및 VR 2로는 헬리칼 포텐시오미터를 사용하였다. 그리고 Fig. 8(b)와 같이 분압기와 변류기를 사용하여서 전류치와 전압치가 아날로그 승산기로 입력되도록 장치 하여서 용접전력을 측정하였다. 이때 사용된 변류기는 YEW의 TYPE 2253으로서 전류치의 전압변환상수가 2.7V/300A 였다. 분압기의 상수는 11.4/50 이었다. 사용된 지역통과필터는 절점주파수가 60Hz였으며 “de-cade”당 40dB씩 감쇠되는 필터였다.

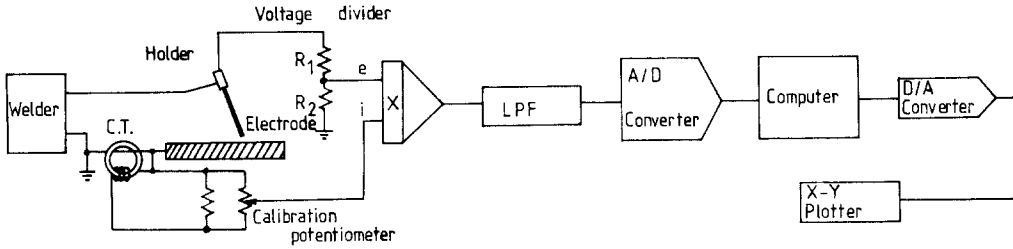
용접전력 측정시 용접기의 조절현들 위치를 100A위치로 위치시켰으며 측정 결과를 D/A변환기를 통하여 X-Y기록계에 출력시켰다.

5. 실험결과 및 고찰

“Calibration”결과 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta = 0.1712$ 이였으며 “calibration curve”는 Fig. 9과 같다. Fig. 9에서 $e_a \cdot e_b$ 의 값이 -2.485V일때 컴퓨터의 측정치는 FFE를 가리켰으며 $e_a \cdot e_b$ 의 값이 계속작아져도 측정치는 계속 FFE였다. +2.5V에서 컴퓨터의 측정치는 $\phi\phi\phi$ 이였으며 $e_a \cdot e_b$ 의 값이 상승



a) Calibration arrangement



b) Experimental arrangement

Fig. 8 Schematic circuit diagram of the designed system

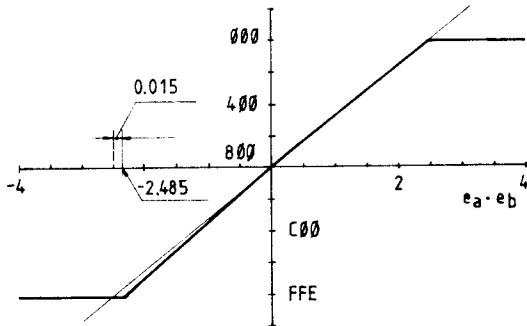


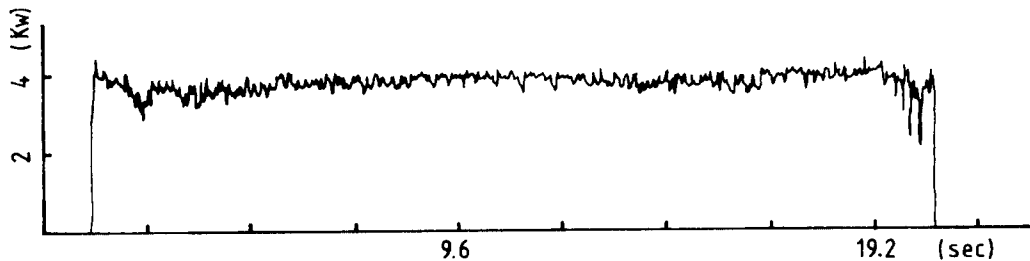
Fig. 9 Calibration curve of power measuring system

해도 계속 $\phi\phi$ 를 지시했다. 그 이유는 A/D변환기의 0점 조정을 $8\phi\phi$ 에서 실시했고 이득조절 (gain adjust)을 $+2.5$ 에서 $\phi\phi\phi$ 로 지시되도록

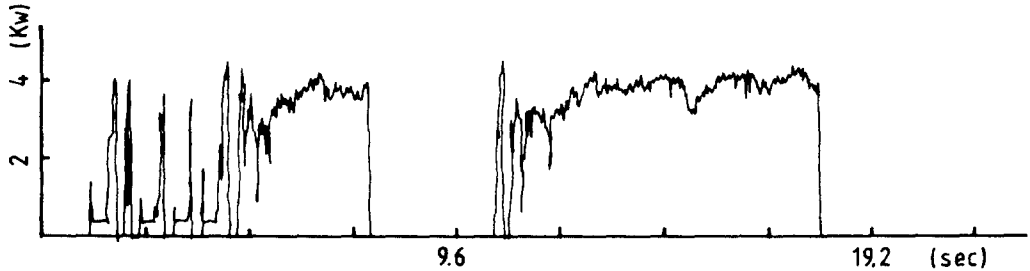
했기 때문인 것으로 보고있다.

최대의 오차는 FFE에서 발생했으며 이 부분의 입력치가 $-2.5V$ 가 되어야 하나 $-2.485V$ 로서 $0.15V$ 의 차이가 있었다. 따라서 최대의 오차는 0.6% 로서 이 오차의 최대의 근원은 아날로그 증산기에 기인한 것으로 보고있다. 그러므로 보다 정밀한 아날로그 증산기가 사용된다면 이 오차를 더욱 줄일수 있을것으로 보고있다. 그리고 컴퓨터의 지시차가 $\phi\phi\phi$ 일때 입력전력이 $15kw$ 가 되었다.

Fig. 10은 용접시의 소모전력을 도시한 것으로 이중 (a)는 비교적 숙련된 용접공의 소모전력으로 전체적으로 전력소모가 고르게 된것을 알수있다. 이에비해 (b)는 초보자의 경우로서



a) Example of skilled student



b) Example of unskilled student

Fig.10 Example of a welding power measurement

용접시 아아크가 발생하기까지 5번 용접봉을 모 제에 두드렸다. 일단 아아크가 발생한 이후에도 간격을 잘 맞추지 못해서 아아크가 멈추었다.

비교적 전력소모전도가 고르게 나타난 Fig. 10(a)에서 부하전력은 약 4kw였다.

6. 결 론

지금까지 마이크로 프로세서를 이용하여 측정치를 기억·재생 할수있는 전력측정장치를 설계·제작하고 이를 이용하여 교류 아아크 용접시에 복잡한 파형으로 변화하는 소모전력을 측정 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을수 있었다.

- 1) 본 전력측정장치에 의해 비선형 전력을 최대 0.6% 이내의 오차로 측정할수 있었다.
- 2) 오차의 주 근원은 아날로그 증산기 이므로 보다 정밀한 측정을 위해서는 오차가 적은 아날로그 증산기가 요구된다.
- 3) 본 전력측정 방식은 순간소모전력을 기억하여 필요시 이를 재확인 할수 있으므로 용접등과 같이 전력소모와 병행하여 일어나는 원인사항의 판단에 도움을 줄 수 있다.
- 4) 숙련공의 용접전력 변화곡선과 미숙한 용접공의 용접전력 변화 곡선과는 현저한 차가 있음을 알수 있으므로 용접기술의 숙련도와 용접상태의 판정에 새로운 평가방식을 제시할 가능성을 보이고 있다.

본 연구에서는 디지털증산과 디지털필터링에

대해서는 고려를 행하지 못하였으며 이는 차후로의 과제가 될것이다.

7. 참고 문헌

- 1) Harold N. Wagar, "Predicting the Erosion of Switching Contacts That Break Inductive Loads," IEEE Trans. Parts, Materids and Packaging, Vol. PMP-5, No.1pp.16~24, March 1969.
- 2) Takayoshi Kubono Uno "A Method of Measuring the Accumulated Arc Energy Using a Digital Counter," IEEE Trans. Instrum. Measurement, Vol.25, No.2, pp.96~99, June 1976.
- 3) Tomohiro Ito, Haruhiko Iwase and Kunio Mano "Experimental Study of Contact Arc Discharge and Contact Welding Phenomena," IEEE Trans. Compo. Hyb. Manufac. Tech., Vol. CHMT-5, No.1, pp.62~68, March 1982.
- 4) Kunio Mano, Haruhiko Iwase "Automated Measuring Methods for Discharge Durations and Energy in Electrical Contacts," IEEE Trans Compo. Hyb. Manufac. Tech., Vol. CHMT-2, No.1, pp.66~70, March 1979.
- 5) Motorola Inc. "16-BIT MICROPROCESSOR User's Manual," 3rd., Prentice-Hall, Inc., Englewood cliffs, N.J.07632, pp.1~43, 1982.
- 6) 삼보 컴퓨터, "TriGem Fx-80t Operating Manual," 삼보 컴퓨터, pp.159~171.