

## 特輯 : 제어계측 및 모니터링

# 아크 용접변수의 계측과 활용

## Measurements and Applications of Arc Welding Parameters

최 병 길 · 정 기 철

B. K. Choi and K. C. Chung



최병길/한국기계연구원/1947년생/용접기자재성능시험, 용접변수 측정, Si아크점 용접연구수행



정기철/충남전문대/1962년생/자동제어,  $\mu p$  공정제어 연구수행

### 1. 서 론

용접변수는 재현성을 보장하기 위하여 명시되어야 할 모든 변수라고 정의되어질 수 있다<sup>1)</sup>. 이러한 용접변수는 이음 설계, 용접부 청소, 흡가공, 예열, 후열처리, 용접법 변수(예, 용접속도, 전압, 전류) 등이다. 이러한 용접 변수는 용접절차서(welding procedure specification)에 그 내용과 측정값을 기술하도록 되어 있다.

본고에서는 좁은 의미에서 용접변수인 용접전류, 전압, 용접속도, 용접부의 온도 측정 방법을 설명하고 그 활용방법에 대하여 기술하고자 한다. 이러한 용접변수는 컴퓨터에 접속하여 측정이 이루어 지도록 하여 측정자료의 평가, 기록 및 공정제어에 이용될 수 있다.

### 2. 시스템의 구성과 측정소자

#### 2.1 시스템의 구성

컴퓨터 지원 용접변수 측정장치는 크게 2 종류로 구분할 수 있다. 그중 하나는 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꿔주는 기능을 갖는 ADC(analog to digital converter, ADC) board를 컴퓨터에 장착하는 것이고<sup>2)</sup>, 다른 하나는 microprocessor와 그 주변회로를 하나의 unit로 구성하고 컴퓨터에 link 시키거나 단독으로 사용하는 것이다<sup>3)</sup>. 그림1은 ADC를 활용하여 용접변수를 측정하는 장치를 개략적으로 나타낸 것으로 시스템 하드웨어 구성비가 비교적 적고 응용 프로그램을 개발하기에 용이한 이점이 있다. 반면에 용접현장에서 예상되는 각종 전기적 잡음차단을 위하여 특별한 노력이 필요하며 프로그램의 효율성이나 유연성이 떨어질 수 있다.

용접변수를 측정하기 위해서는 측정된 신호(주로 아날로그신호)를 디지털신호로 바꿔 주는 기능을 갖는 ADC(analogue to digital converter)가 필요하며, ADC의 주요 사양은 분해능과 빠르기이다. 8bit ADC를 채용하여 full scale 이 128V인 digital multi-meter를 제작한 경우 분해능은 128/256V 즉 0.5V이다. 10bit 인 경우는 0.125V의 신호 구분능력을 갖게 된다.

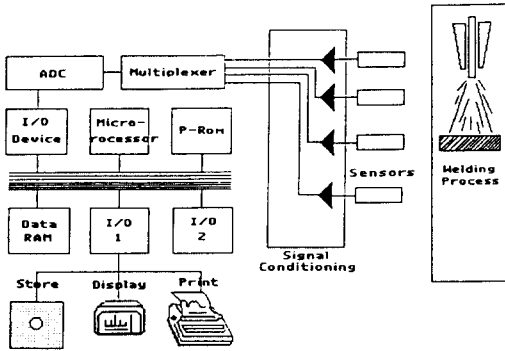


그림 1 ADC board를 이용한 용접변수 시스템의 구성

한편 ADC의 빠르기는 sampling rate로 나타내는데, 1개의 신호를 채취(sampling)하고 다음 신호 채취까지 걸리는 시간이다. Sampling rate는 주파수(예, 10kHz) 또는 주기(예, 100 $\mu$ s/micro-second)로 표시된다. 보통 sampling rate는 측정하고자 하는 신호주기의 10배 이상을 사용하여야 한다. 그림2는 주파수 60Hz인 상용 교류 전류를 서로 다른 sampling rate로 측정할 경우의 측정값을 나타내고 있다.

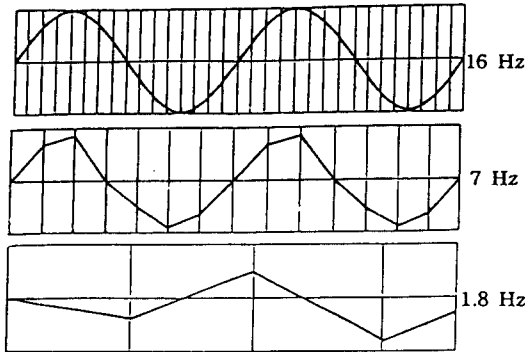


그림 2 60Hz 상용주파수를 서로 다른 sampling rate로 측정했을 경우 측정 파형

그림3은 microprocessor와 그 주변 회로를 하나의 unit로 구성하여 용접변수를 측정할 수 있음을 보여주고 있다. 제어나 측정에 사용되는 microprocessor는 CPU 외에도 AD 변환, Clock, 직렬통신, PWM 변조 그리고 메모리 등의 기능을 갖추고 있어서 주변회로를 크게 줄이고 동시에 잡음

내력(noise immunity)을 줄일 수 있다.

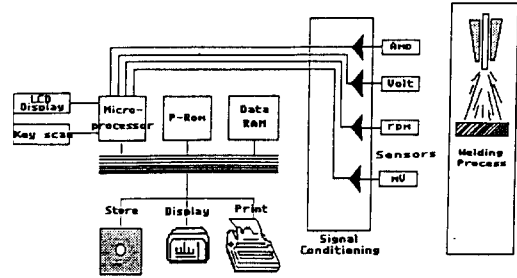


그림 3 microprocessor를 이용한 용접변수 시스템의 구성

### 가. 사용자 인터페이스 부

용접 측정장치의 유연성을 높이기 위하여 사용자 인터페이스 부를 첨가 하였다. 사용자 인터페이스 부는 용접 측정장치의 각 상태를 표시해 주는 LCD(40 by 20) 표시 부, 사용자 파라미터 및 용접 측정장치의 운영을 지시할 수 있는 키보드 부, 그리고 주변 기기와 통신할 수 있는 RS-232 통신부로 구성되어 있다.

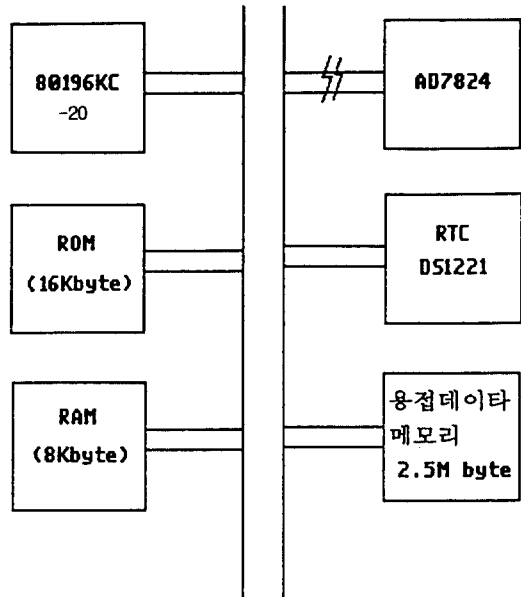


그림 4 사용자 인터페이스의 구성도

### ○ LCD 표시 부

ICD 표시부는 용접 측정장치의 상태 및 제어기 파라미터 등의 상태를 사용자에게 표시하여 준다. LCD 표시부에 나타나는 정보 기능은 다음과 같다.

- 각 용접 데이터 분류 표시.
- 용접 측정장치 상태 모드 표시기능 (운전 모드, 파라미터 지정 모드)
- 사용자 파라미터 표시기능
- 자기진단 기능 표시

### ○ 키보드 부

키보드 부는 용접 데이터 검출시 발생될 수 있는 외부 노이즈를 최소화하기 위하여 측정장치가 open collector부로 키 입력을 받도록 되어 있으며 50ms edge detected 키 스캔 알고리즘을 사용하여 측정장치의 software 부하를 최소화 하면서 정확한 키스캔을 하도록 되어 있다.

### ○ 통신 부

근래 공장 자동화의 일환으로 산업현장에서 사용되고 있는 각종 기기들은 자신의 상태에 대한 정보 및 외부 기기의 상태 등을 수시로 체크하고 외부 기기와 협력하여 각종 공정들을 이루어 간다. 따라서 이러한 목적으로 XON, XOFF 프로토콜을 이용한 RS-232C 통신을 사용하여 on-line으로 외부 기기와의 정보 및 상태를 교환할 수 있도록 하고, 또한 측정된 용접 데이터들을 분석하기 위하여 IBM-PC에 down-load 하는 기능을 갖도록 설계되어지는 것이 바람직하다.

### 나. 용접 데이터 저장 부

용접 데이터는 사용자 파라미터에 설정된 sampling rate에 따라 짧게는 50  $\mu$ sec부터 100msec 까지 가변되게 함으로서 탄산가스 용접처럼 빠른 sampling rate 그리고 DC TIG 용접에서는 느린 sampling rate를 선택할 수도 있다. 1번의 데이터 취득과정에서 저장될 수 있는 데이터 영역은 12비트 분해능으로 256Kbyte 까지 저장될 수 있으며 총 5번의 용접 데이터를 취득할 경우 데이터 저장용량은 실용적이라고 믿어진다. 취득된 용접데이터는 battery back-up이 되어 있는 SRAM에 저장되

어, 필요할 때 IBM-PC 및 기타 장비로 down-load 받을 수 있도록 설계 하는 것이 바람직하다. 또한 DS-1287 (RTC)를 이용하여 취득된 용접 데이터의 취득시간 및 용접데이터 고유 번호를 부여할 수 있도록 설계 하였다.

### 다. 노이즈 대책

용접변수 측정기는 용접이 실제로 이루어지는 현장에서 전원에 연결되고 또한 용접기로부터 발생하는 노이즈에 직접 노출되므로 외부 노이즈가 침투할 가능성이 높다. 따라서 잡음(noise)이란 전기적 측정회로에서 필요로 하는 신호 이외의 전기적 신호라고 정의 되어지는 바, 이러한 노이즈들을 적절하게 차폐하기 위하여 하드웨어적인 노이즈 대책과 소프트웨어적인 노이즈 대책을 적절하게 강구하므로써 용접변수 측정기가 산업현장에서 오동작을 일으킴없이 원활히 기능을 발휘하는 것이 중요하다<sup>4)</sup>.

### ○ 하드웨어적인 노이즈 대책

외래잡음은 도선을 통하는 것과 공중을 통하는 것이 있는 바, 공중을 통하는 잡음은 고주파 신호원에 의한 정전결합과 2회로간의 상호 유도에 의한 자기결합에 의해 발생한다. 도선을 통하는 것은 전원라인에서의 잡음과 신호라인에서의 잡음 그리고 측정기 리드선에서의 잡음으로 구분되어진다. 전원라인의 잡음은 전원의 바이패스 회로의 임피던스를 낮추는 방법이 있으며, 리드선에서의 잡음은 리드선을 최소화 하는 방법이 있다.

### - 전원 노이즈

일반적으로 common mode와 normal mode 노이즈로 구분 할 수 있는 바, common mode 노이즈는 전원(부하)의 양단에 공통으로 가해지는 노이즈이고, normal mode 노이즈는 전원(부하)의 양단에 차성분으로 가해지는 노이즈이다. 전원의 양단에 가해지는 common mode 노이즈를 제거하기 위하여 차동증폭기, 변압기 그리고 LC noise filter를 사용할 수 있고, normal mode noise를 제거하기 위해서는 바리스터를 사용하여 노이즈 차폐를 할 수 있으며, 또한 시스템의 리셋 감시회로(TL7705)를 첨가하여 전원 노이즈를 감시하도록 하면 전원 노이

즈에 대비할 수 있다. 이 때 리셋부에 차단 주파수가 1kHz인 LPF(Low Pass Filter)를 설치하여 외부 노이즈로 인하여 시스템이 리셋되는 경우를 미연에 방지 할 수 있다.

- 방사 노이즈

열악한 조건의 용접현장에서 가장 우려되는 것으로 용접기기 내부 회로에서 발생하는 노이즈, 아크부하의 변동에 의한 노이즈, 여러종류의 기기들을 동시에 운전할 때 많이 발생하는 노이즈이다. 일반적으로 방사노이즈를 제거하기 위하여 측정기와 외함과의 실드를 적절하게 시도함으로써 노이즈를 어느 정도 차폐할 수 있다.

- 입출력 침투 노이즈

측정기가 용접데이터를 취득하는 과정에서 측정기와 용접기간의 직접적인 연결로 발생할수 있는 것으로 노이즈에 가장 취약한 부분이라고 할 수 있다. 따라서 측정기와 용접기간의 직접적인 신호전달이 이루어지는 부분 즉, A/D 컨버터 입력부를 측정기 마이크로 프로세서와 포트 커플러로 전기적 절연을 가하여 외부노이즈가 측정기 마이크로 프로세서에 침투하지 못하도록 설계하는 것이 바람직하다. 그림5는 포토 커플러로 전기적 절연을 하여 A/D 컨버터 입력부로 침투하는 노이즈를 제거한 회로를 나타내고 있다.

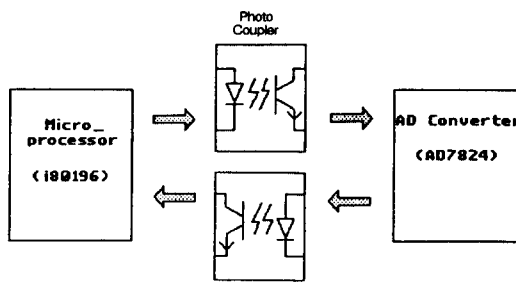


그림 5 Photo coupler를 이용한 전기적 절연

○ 노이즈 대책 알고리즘

하드웨어적인 신뢰성 뿐만 아니라 소프트웨어적으로도 노이즈 대책이 필요하다. 아무리 전기적인 절연을 하드웨어적으로 구현하여도 용접 데이

터를 A/D 컨버터에서 취득할 때 측정기 외부의 신호에서 노이즈가 발생하여 측정기가 측정 데이터를 잘못 읽거나 쓰게되면 신뢰성있는 용접데이터를 취득할 수 없게된다. 따라서 다음과 같은 노이즈 대책 알고리즘을 사용하는 것이 중요하다.

- 전원 노이즈

전원 노이즈의 발생으로 인하여 용접 데이터 취득도중 측정기가 리셋되어 연속적인 용접 데이터 취득이 불가능해지는 것들을 방지하기 위하여 매 샘플링 시간동안 발생하는 시스템 상태 정보를 battery back-up RAM에 저장하여 측정기가 운전도중 리셋되더라도 저장된 시스템 상태정보를 토대로 용접 데이터를 취득 하도록 하는 것이 중요하다.

- 측정기 입력 침투 노이즈

측정기가 용접 데이터 취득시 발생할수 있는 외부 노이즈를 제거하기 위하여 매 샘플링 시간마다 오차범위를 설정하여 측정된 데이터가 오차범위를 벗어나게 되면 오동작으로 규정하고 다시한번 용접 데이터를 취득하도록 하는 것이 바람직하다.

2.2 측정소자

가. 전류측정소자

(1) Shunt resistor

Shunt resistor의 구조는 그림6에서 보는 바와 같이 전류의 주회로에 연결할 수 있도록 체결구가 있으며, 전압 검출단자 PQ 및 단면적 축소부 ST로 이루어져 있다. Shunt resistor는 주전류의 회로상에 삽입되어 전류를 측정하는데 사용된다. 전류가 흐르는 도체의 2점(S-T) 간의 저항 R<sub>ST</sub>

$$R_{ST} = \rho \frac{l}{nA_s} \dots\dots\dots (1)$$

(ρ:비저항, l :2점간의 거리, A<sub>s</sub>:도체의 단면적)

한편 P-S 및 T-Q간의 저항 R<sub>PS</sub> 및 R<sub>TQ</sub> 는

$$R_{PS} = R_{TQ} = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots (2)$$

(A : Shunt resistor의 몸체 단면적)

2점 PQ간의 저항 R

$$R = R_{ST} + R_{PS} + R_{TQ} = \text{일정} \quad (3)$$

전류  $i$  가 shunt resistor를 통해 흐를 때 2점 PQ간의 전압 V

$$V = Ri \quad (4)$$

shunt resistor는 보통 100A당 전압 V가 100mV 수준이 되도록 비저항과 단면적이 설계되어져 있다. 이 경우 shunt resistor에서의 열손실은 1w 정도로서 전체 전력 손실에 비하여 무시할 수 있는 수준이다.

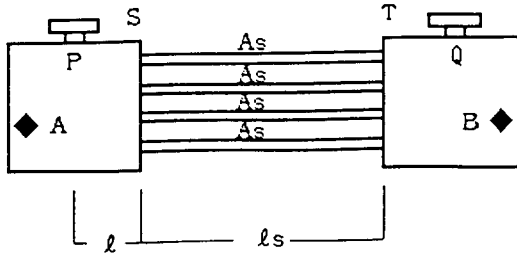


그림 6 전류측정을 위한 shunt

(2) Hall Current Transformer (HCT)

전류가 흐르는 도체에 자장이 작용하면 하전입자(전자)는 힘을 받게 된다. 그림7에서 도체에 control current ( $i_c$ ) 가 흐르면 자속밀도 B인 자장에 의하여 도체내의 자유전자는 오른쪽으로 쏠리는 힘을 받게 된다. 그 결과 도체의 오른쪽에는 자유전자의 밀도가 높고 왼쪽은 밀도가 낮다. 이 밀도차이에 의하여 전위차  $V_H$  가 발생하는 바, 이 현상을 hall effect라 하며, hall effect를 이용하여 전류를 측정할 수 있다.

$$V_H = K \cdot B \cdot i_c \quad (5)$$

(단, K는 hall 소자를 구성하는 재료의 크기와 물성에 따른 비례상수)

실제로 전류를 측정하기 위해서는 자심재료로 된 원형고리와 hall 소자(hall effect element) 그리고 측정하고자 하는 통전선이 그림8에서 보는 바

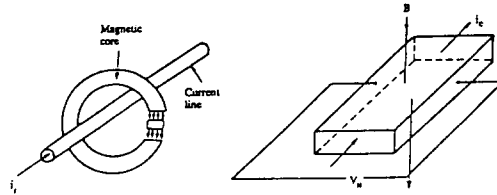


그림 7 Hall CT의 원리를 나타내는 개략도

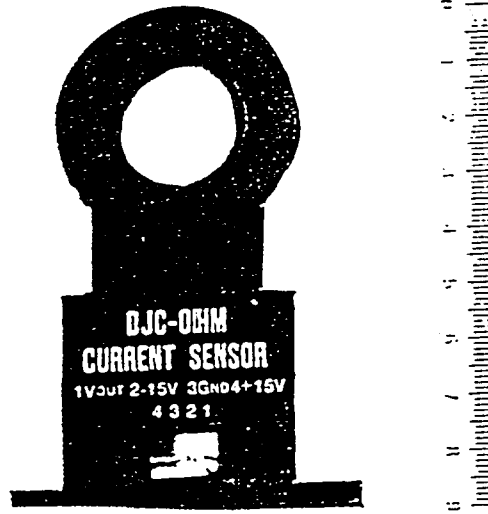


그림 8 용접전류 측정용 HCT

와 같이 구성된다. 이 때 원형고리의 내부를 통과하는 도선은 전류량에 따라 원형고리 자심(core)의 자로에 자속밀도 B인 자장을 형성한다. 한편 hall 소자는 원형고리의 틈새에 놓이게 되어 일정한 전류  $i_c$  를 hall 소자에 흘리면 식(5)에 의하여 전위차  $V_H$  가 발생한다. 자장과  $i_c$  의 방향이  $90^\circ$  인 경우

$$B = \frac{V_H}{ki_c} \quad (6)$$

$$B = Ki \quad (7)$$

$$i = \frac{V_H}{kk'i_c} \quad (8)$$

식(7)은 자심이 포화되는 범위내에서 자속밀도가 전류에 비례함을 나타내고 있다. 따라서 포화전류 범위내에서는 식(8)에 의하여 전류  $i$  를 측정할

수 있다. 실제로 사용되는 hall 소자와 원형고리로 된 hall 변류기(HCT)는  $V_H$ 를 50mV/100A로부터 4V/100A로 증폭하여 사용할 수 있도록 되어 있다. 또한 측정전류는 직류 및 교류 모두 가능하고 전류의 증가율이 100A/ $\mu$ sec 인 경우 response time 이 10 $\mu$ sec로서 교류에 대한 안정성이 대단히 높다. 그 밖에도 선형성과 온도 의존성이 대단히 양호하며 값도 싸기 때문에 용접전류 신호에 많이 이용된다.

나. 용접속도 측정소자

모터의 속도검출 및 위치검출을 위하여 인코더(encoder)가 사용된다. 인코더의 구성은 발광 다이오드, LED 광선을 통과시키기 위하여 원주방향으로 배열된 슬릿을 갖는 회전 디스크, 슬릿을 통과한 광선을 수광소자(보통 photo-transistor)에 전달하는 기능을 갖는 고정슬릿트, 수광소자 그리고 수광소자를 통과한 전기적 신호를 pulse 형태로 파형 정형하는 비교기등으로 되어 있다. 그림9는 incremental encorder의 구조를 나타낸 것으로 고정 슬릿판의 A 및 B 슬릿은 90° 위상차를 가지며, A 및 B 출력의 논리연산으로부터 회전각과 회전방향을 검출할 수 있도록 되어 있으며 Z 상은 1회전당 1 pulse를 출력하고 있다. encorder 출력은 pulse 이기 때문에 A/D 신호변환없이 microprocessor나 제어 PC에 직접 입력시킬 수 있다.

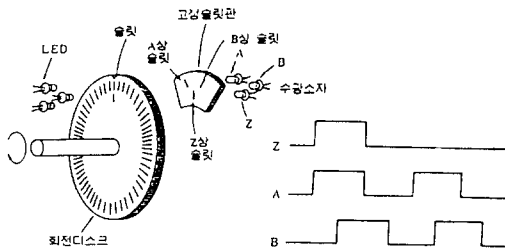


그림 9 인코더의 구조와 출력

그림10은 인코더와 감속기능을 갖는 roller로 이루어진 일종의 용접속도(조관속도) 측정기로서, 스텐레스 파이프 제조라인에서 조관속도를 측정하기 위하여 제작한 것이다.

용접기술 개발 또는 용접 공정에서 와이어 송급 속도 측정, 용접속도 측정 등은 인코더를 응용하여 할 수 있으며, 로봇이나 간이자동화 장비에서 위치 제어를 행하기 위한 위치검출은 대부분 인코더 신호를 검출함으로써 이루어진다.

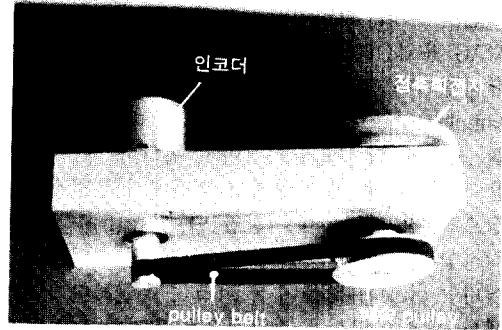


그림 10 용접속도 측정을 위한 인코더

다. 온도 측정소자 (Thermocouple)

온도 측정은 온도 변화에 따라 전기저항이 변하는 Thermistor, 그리고 가열온도에 따라 방사되는 적외선 파장이 달라지는 것을 이용한 적외선 온도계 그리고 열전대 (Thermocouple)에 의하여 이루어진다. 열전대는 seebeck 효과로 불리어지는 현상을 응용한 것으로, 2개의 서로 다른 금속도체가 접점을 이룬채 폐회로를 구성하여 그들의 양접점이 다른 온도상태에 놓이게 되면 회로상에 미소전류가 흐르고 기전력(electromotive force)이 발생한다. 기전력은 접점을 이루는 도체의 굵기나 접점의 모양과는 관계없이 도체의 재질과 접점부의 온도에 의해서만 변한다.

즉 그림11에서 보는 바와 같이 2개 도체 사이의 기전력 E 는 접점에서의 온도에 따른 기전력의 적분치로 나타나고 있다. 기전력은 열전대 재질에 따라 달라지나 수십mv~수백mv 수준이다.

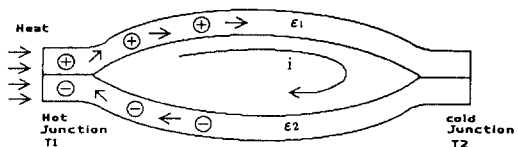


그림 11 Thermocouple의 원리

### 3. 측정된 용접변수의 활용

#### 3.1 아크 안정성 판정

용접 전류파형은 용접법, 용접재료 및 용접시공 조건에 따라 달라진다. 그림12는 bead-on-plate MAG 용접(100% CO<sub>2</sub> 아크용접)을 하였을 때 전류파형이다. 이 때 전류와 전압은 10kHz 빠르기의 sampling rate로 측정되었으며, 전압과 전류의 변화 진폭과 주기가 규칙적이지 못하다. 이러한 것은 결과적으로 아크 안정성 측면에서 부정적인 현상으로 작용하는 바, 전압(V)-전류(I)를 동시에 작성할 경우 ABCD로 표시되는 4각형 모양에서 벗어나는 cycle이 많을 수록 아크는 불안하다<sup>5)</sup>. 이외에도 아크 안정성을 정량적으로 평가하는 여러 가지 제안식이 나와 있으며<sup>6)</sup>, 이들 대부분 용접전류 파형의 측정으로부터 가능하다.

#### 3.2 용접 품질관리

용접전류, 전압 및 기타 용접변수가 연속적으로 측정될 경우, 미리 정해진 기준값을 벗어난 용접 변수의 회수를 계수함으로써 용접불량 및 용접결함의 잠재적 부위를 제시할 수 있다. 예를 들면 MAG(100% CO<sub>2</sub> 용접) 용접시 단락전류가 300A 이상인 경우가 1초에 10회이상 또는 전압과형중 라디오 주파수 성분의 변화량 등이 감지되면, 용접시공후에 검사작업 등을 발생부위에 집중시킬 수 있다.

한편 계측자료를 RS232 등 통신선로를 이용하여

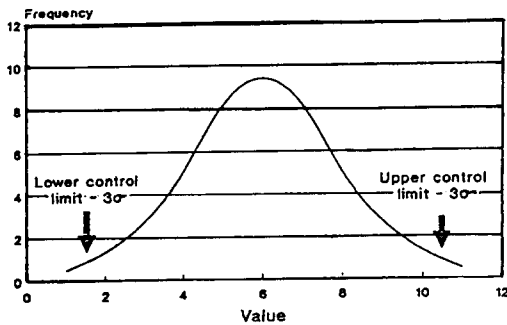


그림13 Normal 확률분포와 편차범위 3σ

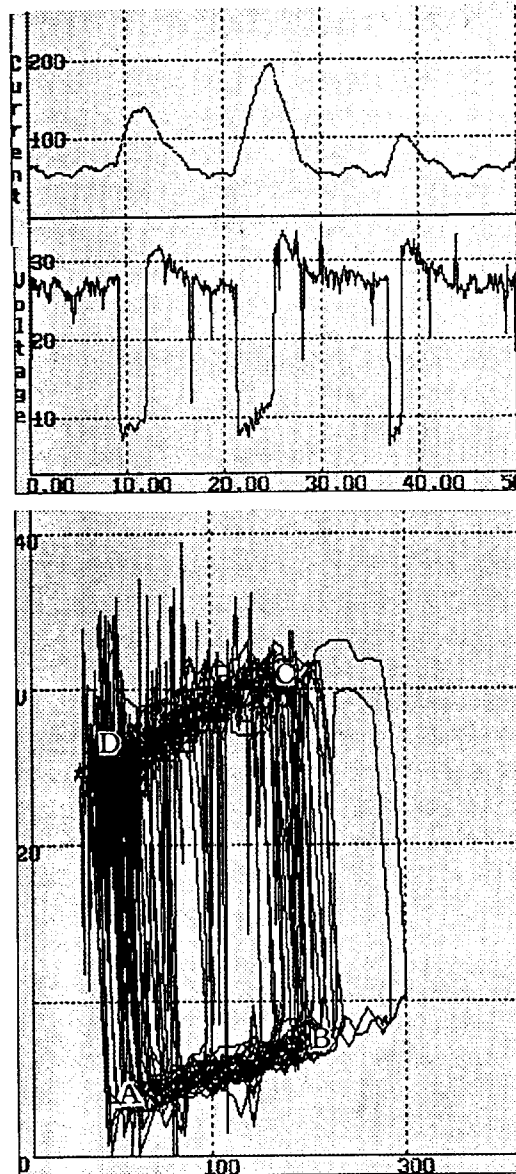


그림 12 용접파형(100% CO<sub>2</sub>용접, 단락이행)과 아크안정성을 평가하기 위한 V-I 곡선

PC에 download 할 경우 품질관리를 위한 통계적 기법이 응용될 수 있다. 계측된 자료는 용접변수 또는 용접변수로부터 연산된 변수(예, 아크저항, 아크안정성 지수) 등은 발생빈도별로 구성되고, 편차범위가 3σ 이상인 경우를 잠재적 품질불량으

로 지정할 수 있다<sup>7)</sup>. 또한 계속된 자료는 계속 축적되어 통계적 의미를 갖는 측정수를 보유할 수 있으며 나아가 최적 용접변수를 통계적으로 정의할 수 있다.

최근에는 ISO 9000 시리즈와 관련한 품질관리와 관련하여 용접 절차서에 의한 시공과 용접시공 기록의 관리가 대단히 중요한 의미를 갖게 되었다. 용접절차서의 용접법 등에 따른 또는 규정(예, ISO 9956) 등에 따른 양식이 PC에 저장되어 있고, 현재의 용접시공 변수와 승인받은 용접시공 변수의 비교 등이 용이하게 이루어질 수 있다. 또한 규정(예, ISO 9606)에 의한 용접사의 기량 시험시 용접변수의 기록을 자동적으로 할 수 있으며, 또한 용접기록의 컴퓨터 관리가 가능하다. 그림14는 ISO 9000 시리즈에 의한 품질관리를 지원하기 위하여 개발된 프로그램으로, 측정된 용접변수를 자료화하여 기록하는 기능을 갖고 있다<sup>8)</sup>.

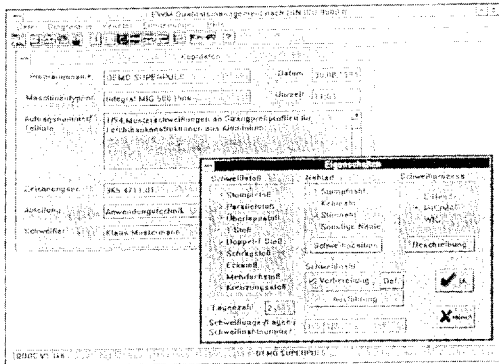


그림 14 용접품질관리 지원용 S/W(Q-Doc. 9000)

유럽등 선진국에서는 용접품질에 관련된 컴퓨터 활용에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며,

연구결과는 이제 실용화가 이루어지고 있다. 용접 품질은 용접시공업체의 관심사항은 물론 고객의 관심 사항이 되어 있고 이러한 관심사항을 체계적으로 지원하기 위하여 ISO 9000 과 ISO 3834 등의 규정이 제정되어져 있다. 이러한 규정을 준수하기 위하여 기록의 측정과 데이터의 가공 기록 등이 컴퓨터 활용에 의하여 가능하다. 앞으로 이러한 분야의 연구가 국내에서도 활발히 이루어질 것으로 기대되고 있다.

### 참 고 문 헌

1. John Norrish, Advanced Welding Processes, Institute of Physics Publishing, Bristol, Philadelphia and New York 1992, pp229
2. 예, Data Acquisition Systems - Strawberry
3. Intel, Embedded Microcontrollers - 1994
4. 오카무라 미찌오 저 / 정혜선 역, 노이즈 방지와 대책, 성안당, 1992
5. T. Shinoda, H. Kaneda and Y. Takeuchi, An evaluation of short circuiting in GMA welding, Welding and Metal Fabrication, Dec., 1989, pp522-525
6. 예, T. Mita, A. Sakabe and T. Yokoo, CO<sub>2</sub> 아크용접의 작업성 평가 정량화, 일본용접학회 논문집 제5권 (1987)
7. John Norrish, ibid, pp259
8. EWM/High-Tech Precision, Schweißdaten-Dokumentations-Software Q Doc 9000, 1995, Dr. -G nter-Henle-Str. 8 D-56271 M ndersbach