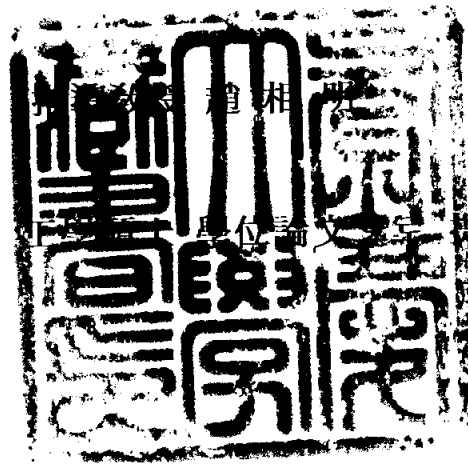


714
1114-2
9
12

工學碩士 學位論文

6σ에 의한 용접기 출력 특성의 평가기법 개발에 관한 연구

이 論文을 學位論文으로 提出함



2003年 2月

釜慶大學校 大學院

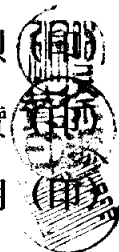
生産加工工學科

尹 熏 晟

尹熏晟의 工學碩士 學位論文으로 認准함

2002年 12月 26日

主	審	工學博士 金 雨 烈
委	員	工學博士 徐 源 贊
委	員	工學博士 趙 相 明



목 차

Abstract	1
제 1 장 서 론	2
1.1 연구배경 및 필요성	2
1.2 연구목적	3
제 2 장 이론적 배경	4
2.1 GMAW의 원리와 이행현상	4
2.1.1 원리	4
2.1.2 용적의 이행 현상	6
2.2 용접전원의 특성	10
2.2.1 사이리스터 용접전원의 특성	10
2.2.2 인버터 용접전원의 특성	10
2.3 파형제어	12
2.3.1 단락전류 상승 지연시간	12
2.3.2 장기단락 방지전류	13
2.4 6σ 의 정의 및 개요	14
제 3 장 아크 안정성 지수의 유도	18
3.1 서 언	18
3.2 실험재료 및 방법	19

3.2.1 실험 재료	19
3.2.2 실험 방법	20
3.3 실험결과 및 고찰	22
3.3.1 기존의 연구	22
3.3.2 저항 변동 계수(C_{RV})의 평가	24
3.4 결 언	32
 제 4 장 용접기 종류에 따른 출력 특성의 평가	 33
4.1 서 언	33
4.2 실험 방법	33
4.2.1 용접 실험	33
4.2.2 스펙터 포집 실험	36
4.2.3 비드 형상의 측정	37
4.3 실험 결과 및 고찰	38
4.3.1 용접 전원별 출력 특성의 평가	38
4.3.2 와이어 송급기별 출력 특성의 평가	58
4.4 결 언	72
 제 5 장 결 론	 73
 참고 문헌	 74

A Study on the Development of Evaluation Method for the Output Characteristics of Welding Machine by 6σ

Hun Sung Yoon

*Department of Production & Joining Engineering, Graduate School
Pukyong National University*

Abstract

Arc welding process has indicated that it suffers from many flaws. It's because requirement of products is diverse and factors which affects the quality is also various. Therefore, in order to stabilize the welding process, it is important to choose a proper welding machine for the each process, and to evaluate the welding process capability of each machine.

In this study, rational and simple index to evaluate the welding machine was set the coefficient of resistance variation through the arc stability examination such as spatter generation weight and bead configuration uniformity etc. And the method to evaluate the process capability index was developed by application of 6σ.

Key words : Welding power source, Wire feeder, Waveform control, Arc stability, Coefficient of resistance variation, Metal transfer, Spatter, Bead uniformity, 6σ

제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 필요성

아크용접 공정은 제품의 요구 품질 사양이 다양하고 그 품질에 영향을 미치는 변수 또한 아주 다양하므로 상당히 많은 불량이 존재하는 공정으로 지적되고 있다. 특히 CO₂ 용접은 다른 아크 용접에 비해 품질이 떨어지고 스파터 발생이 많아 이를 제거하기 위해 추가 공정이 필요하게 되어 자동화 공정에 있어 다른 공정에 시간과 효율을 저하시키는 요인이 되고 있다. 따라서 안정된 품질을 연속적으로 얻을 수 있는 용접 공정을 형성하기 위해서는 용접재료의 측면¹⁻²⁾ 등 여러 변수가 있겠지만 무엇보다도 각각의 공정에 적합한 용접기의 선택이 중요하다. 하지만 일반적인 용접 현장에서는 용접 숙련자의 감에 의한 방법으로 용접기를 선택하고 있는 실정이다.

따라서 보다 합리적이고 신뢰적인 평가 방법이 필요하게 되었고 이에 따라 아크 안정성(Arc stability)이라는 인자로 용접기의 특성을 평가하는 것이 일반적으로 사용되고 있다. 이러한 아크 안정성은 용접 품질을 결정하는 중요한 요인으로서 종래의 연구들은 이러한 아크 안정성을 평가하기 위해 단순히 용접전원의 특성이 스파터 발생량에 미치는 영향에 대한 연구가 주로 다루어져 왔다³⁻⁷⁾. 즉, 아크 응답성이 빠르고 파형제어가 가능한 인버터(Inverter)용접전원의 경우에는 일정한 조건에서 아크가 안정되고 스파터 발생이 적으며, 아크 응답성이 인버터에 비해 상대적으로 늦은 사이리스터(Thyristor)용접전원의 경우에는 일정한 조건에서 아크가 불안정하여 스파터 발생이 많아진다는 것이다. 그러나 이러한 평가는 외부 환경 및 용접 조건에 따라 달라지게 되므로 보다 정량적인 파라미터 및 평가 수법에 의한 합리적이면서 간단하게 용접기를 평가할 수 있는 기법의 개발이 필요하다.

1.2 연구 목적

본 연구의 목적은 CO₂ 용접에 있어서 용접저항의 변동계수를 아크 안정성 지수로 설정하고 이를 합리적으로 평가하는 방법을 확립하여 용접기를 구성하는 용접전원(Welding power source)과 와이어 송급기(Wire feeder)의 출력특성에 따른 아크 안정성의 변화를 정량적으로 비교할 수 있는 기법을 60에 의한 용접공정능력 지수(Welding process capability index)를 활용하여 개발하는 것이다.

제 2 장 이론적 배경

2.1 가스 메탈 아크 용접(GMAW)의 원리와 이행현상

2.1.1 원리

GMAW(Gas Metal Arc Welding)는 소모전극 와이어를 일정한 속도(Wire Feeding Rate)로 용융지에 송급하면서 전류를 통하여 와이어와 모재 사이에서 아크가 발생되도록 하는 용접법이다.

Fig. 2.1에서처럼 연속적으로 송급되는 와이어는 아크열에 의해 용융되어 아크 기둥을 거쳐 용융지로 이행되게 되며, 아크 주(柱)와 용융지는 가스노즐을 통해 공급되는 보호가스(Shielded Gas)에 의해 주위의 대기로부터 보호된다. Table 2.1에 GMAW에 사용하는 보호 가스의 종류를 나타내었다.

본 연구에서는 CO₂ 100%를 사용하는 CO₂ 용접을 사용하였다.

Table 2.1 Shield gas of GMAW

재 료	보호가스
탄 소 강	Ar+O ₂ (2~5%), Ar-CO ₂
	CO ₂
스테인리스강	Ar-O ₂ (1%)
	Ar-O ₂ (2%)
알루미늄	Ar
	Ar(35%)-He(65%)
	Ar(25%)-He(75%)

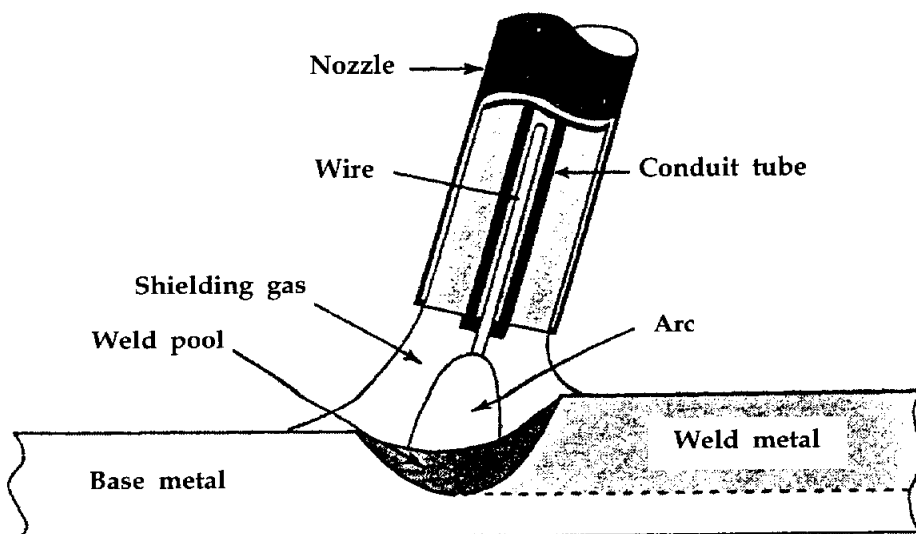
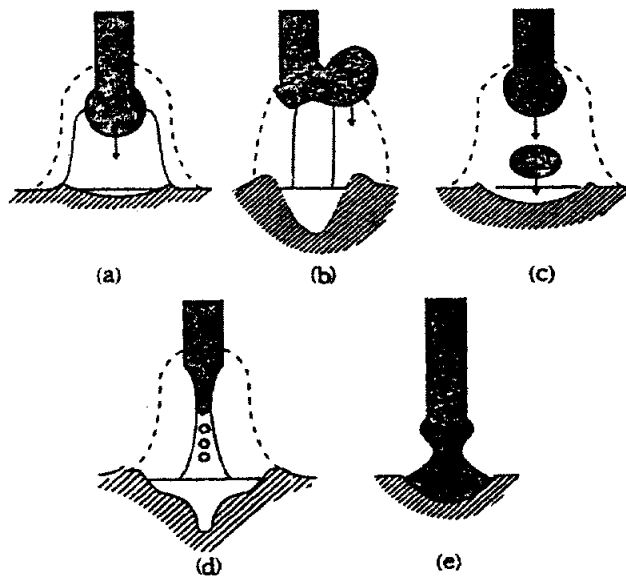


Fig. 2.1 Arc principle of GMAW

2.1.2 용적의 이행현상

GMAW에 있어서 용적이행 현상은 용접재료, 보호가스, 용접조건 등에 따라 여러 가지 형태로 나타난다. Fig. 2.2는 GMAW에서의 용적 이행 현상을 개략적으로 나타낸 것이다. 본 연구에서는 이러한 이행 현상 중 CO₂ 용접시에 나타날 수 있는 단락이행이 발생하는 영역과 단락이행과 반발이행이 혼재하여 나타나는 천이 영역에 대해 검토하였다. 단락이행 영역에서는 정상단락과 순간단락 두 종류의 단락 현상이 나타나게 된다. 정상단락은 와이어 끝 용적이 성장하여 중력, 아크 핀치력, 표면장력등에 의해 용융지로 이행되는데 이때 용융지와 접촉하게 되면 아크가 일시적으로 소멸하게 되고, 용적이 이탈되는 순간 아크는 재 점화된다. 재점화 순간 아크력 (Arc force)은 전류 (I)제곱에 비례하고 전압에 비례하여 증가한다. 이 힘이 용융지에 영향을 주어 스파터를 발생시킨다. 이를 아크 재점화 스파터라 한다. 순간단락은 와이어 끝에 달려있는 용적이 모재에 유동하는 용융풀과 순간적으로 닿으면서 단락이 생기는 현상이다. 이때 정상단락의 경우 와이어 끝의 용적이 용융지로 이행되어야 하지만, 용적이 달려있는 상태에서 아크 재점화가 발생하여 와이어 끝의 용적이 아크력에 의해 튕겨져 나가면서 대립의 스파터를 발생시킨다. 반발이행은 아크가 용적의 하단부에만 집중되어 있어 용적에는 전기적인 반발력이 작용하게 된다. 따라서 용적이 매우 불규칙한 형상을 가질 뿐만 아니라 이행과정에서 큰 스파터가 다량 발생한다. Fig. 2.3과 2.4에 각각 단락 이행과 반발 이행일 때의 아크 현상과 용적의 이행에 대해서 나타냈으며, Fig. 2.5에 단락이행 과정과 전류, 전압의 일반적인 변화를 나타내었다.



(a) Globular transfer (b) Repelled transfer (c) Projected transfer

(d) Streaming transfer (e) Short circuit transfer

Fig. 2.2 Various type of metal transfer in GMAW

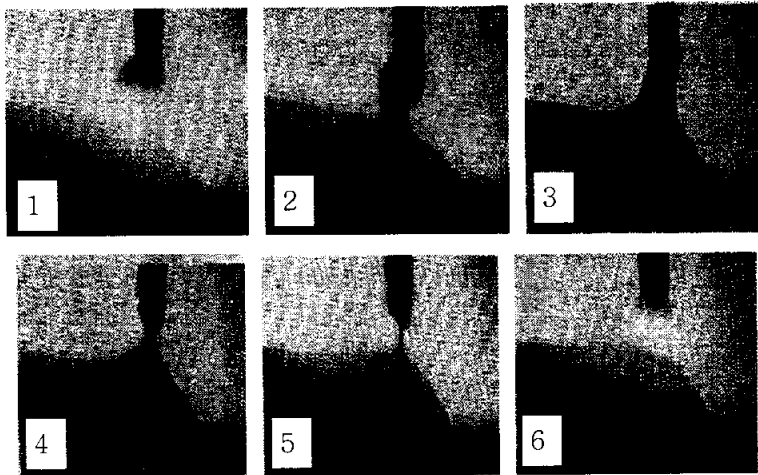


Fig. 2.3 Short circuit transfer mode at CO₂ welding

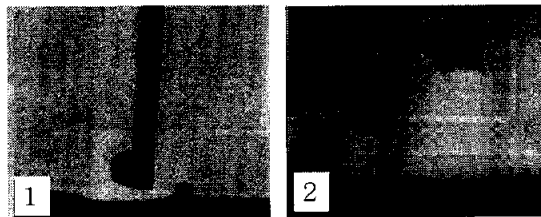


Fig. 2.4 Repelled transfer mode at CO₂ welding

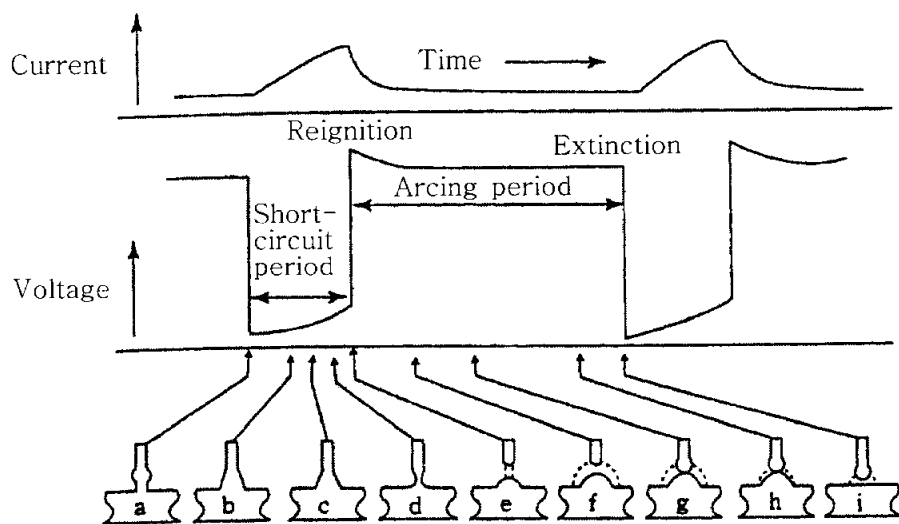


Fig. 2.5 Transform of welding current and voltage
by short circuit transfer

2.2 용접전원의 특성

2.2.1 사이리스터 용접전원의 특성

사이리스터 용접전원은 전압을 주전력 변압기로 강압시킨 다음 위상제어를 하므로써 용접전력을 제어한다는 원리를 이용한 장치이다. 이렇게 위상제어된 전압은 2차 회로에서 정류 및 평활되어 용접부에 맥동 전류 파형(ripple)을 가지는 직류의 형태로서 공급된다. 단점으로서의 출력 전류의 ripple량이 크고 용접 출력의 제어 및 응답속도에 한계가 있어서 사실상 용접현상의 제어는 곤란하며, 주전력 변압기가 대형이고, 무거워서 작업장에서의 이동등 기동성이 문제가 된다.

2.2.2 인버터 용접전원의 특성

Power transistor의 고내압화, 고속화 및 모듈화가 가능해짐에 따라 수십 kHz이상의 고속제어가 가능하다. 용접출력의 제어속도는 사용하는 전력제어 소자의 성능에 의해 좌우된다. Fig. 2.6은 인버터 용접전원의 구성도를 나타낸 것으로서 입력된 교류 전류는 먼저 정류기와 평활회로에 의해서 직류로 만들어진 다음, 전력제어 소자에 의해서 고속제어되어 펄스형 교류 파형을 만든 다음 주전력 변압기로 용접에 필요한 전압까지 강압시키게 된다. 강압된 고주파 전류는 2차측 정류기에 의해서 다시 정류된 다음 reactor를 거쳐 용접부에 안정된 직류 전력의 형태로 공급하게 된다.

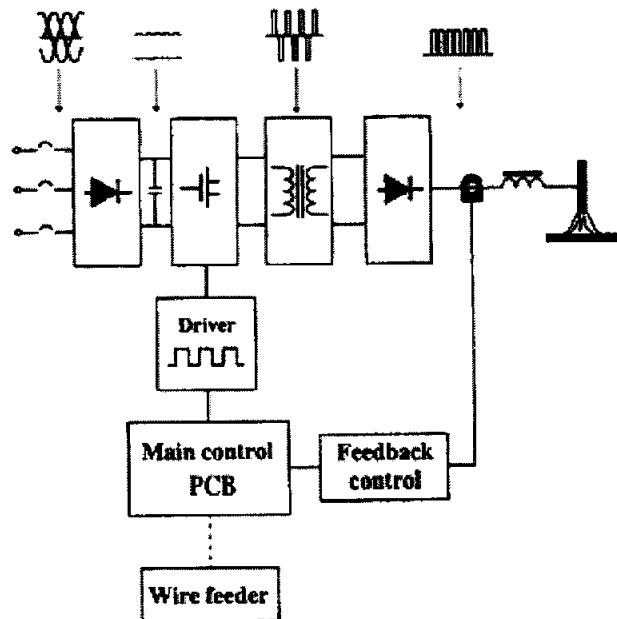


Fig. 2.6 Usual composition of inverter power source

2.3 파형 제어

2.3.1 단락전류 상승 지연시간 (T_d)

순간단락에 의한 스파터를 저감 시키기 위한 파형 제어로써, 단락 순간에 전류를 급격히 감소시킨 다음 일정시간 동안 저전류 상태에서 유지 시킨 후 전류를 상승시키는 방법이 있다. Fig 2.7에 단락 전류 상승 지연시간의 기본 개념도를 나타내었다.

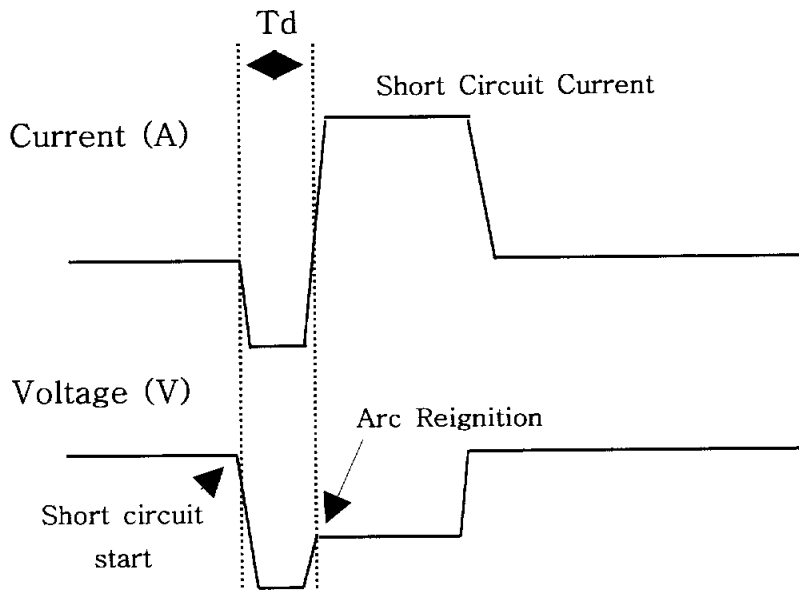


Fig. 2.7 Waveform of rise delay time of short circuit current

2.3.2 장기단락 방지전류

Fig. 2.8는 단락이행에서 장기단락이 발생할 경우 전류를 급격히 상승시켜 아크 펀치력을 크게하여 단락을 해소시켜주기 위한 파형이다.

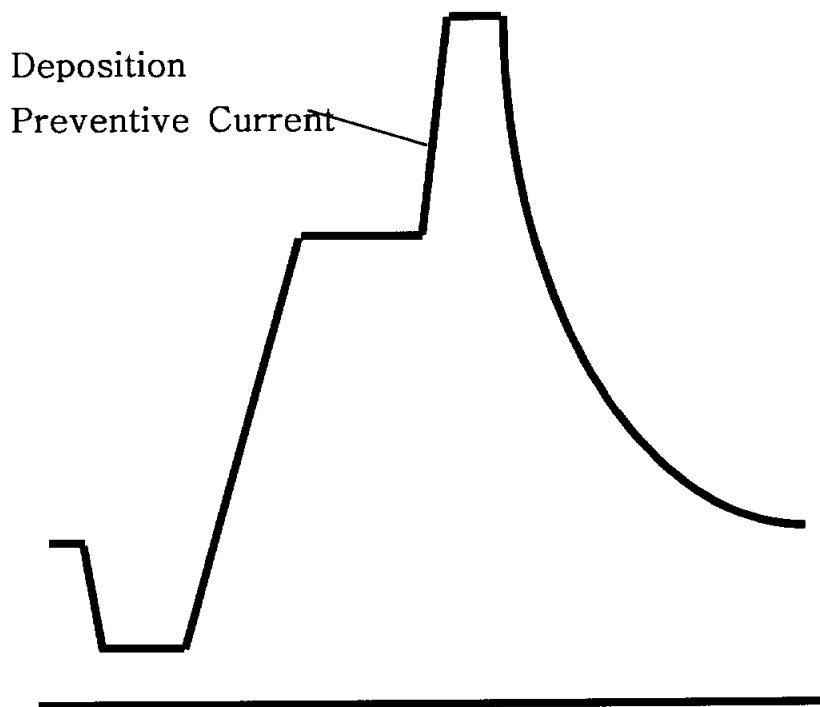


Fig. 2.8 Waveform control by DPC

2.4 6σ의 정의 및 개요

6σ(sigma)의 σ는 통계학에서 변동을 나타내는 여러 척도 중 하나인 표준편차(Standard deviation)를 나타낸다. 일반적으로, 몇 σ 수준이라고 하는 것은 업무 프로세스 또는 제조 프로세스의 품질 성능을 동일한 척도로 바꾸어 비교할 수 있는 기준을 제공해 주는 것이다. 이 개념은 통계적 품질관리에서 기존의 3σ수준에 비해 σ 수준을 올려 공정의 품질관리를 보다 정교하게 하자는데 그 목적이 있다. Fig. 2.9에 6σ의 개념도를 나타내었다.

6σ기법에서 공정능력을 판단하는 기준으로서 공정능력지수(Process capability index)를 사용하고 있다. 이는 크게 이론적인 공정능력지수 Cp, 실제적인 공정능력지수 Cpk, 보다 실제적인 공정능력지수인 Cpm, 그리고 규격상한만 존재하는 경우의 공정능력지수인 Cpu 등으로 표현이 가능하다.

$$Cp = \frac{(USL - LSL)}{6\sigma}, Cpk = Cp(1 - k), k = \frac{|T - \mu|}{(USL - LSL)/2}$$

$$Cpm = \frac{(USL - LSL)}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, Cpu = \frac{(USL - \mu)}{3\sigma}$$

여기서, USL : 규격 상한치, LSL : 규격 하한치, k는 목표치(T)와 표본평균(μ)의 차이를 나타내는 치우침도를 나타낸다. 이 때 k는 0.25보다 작은 값을 가지게 된다. Fig. 2.10은 Cp와 Cpk의 의미를 나타낸 것으로서 Cp는 목표값과 표본평균이 같다고 보는 것이고 Cpk는 목표값과 표본평균의 차를 고려한 공정능력지수를 나타내는 것이다. Fig. 2.11은 Cpm의 의미를 나타내는 것으로서 목표값이 규격범위의 중앙에 위치하지 않을 경우 목표값과 표본평균의 차를 고려한 것이며, Fig. 2.12는 Cpu의 의미를 보여주는 것으로서 규격하한이 존재하지 않을 경우의 공정능력지수를 나타내는 것이다.

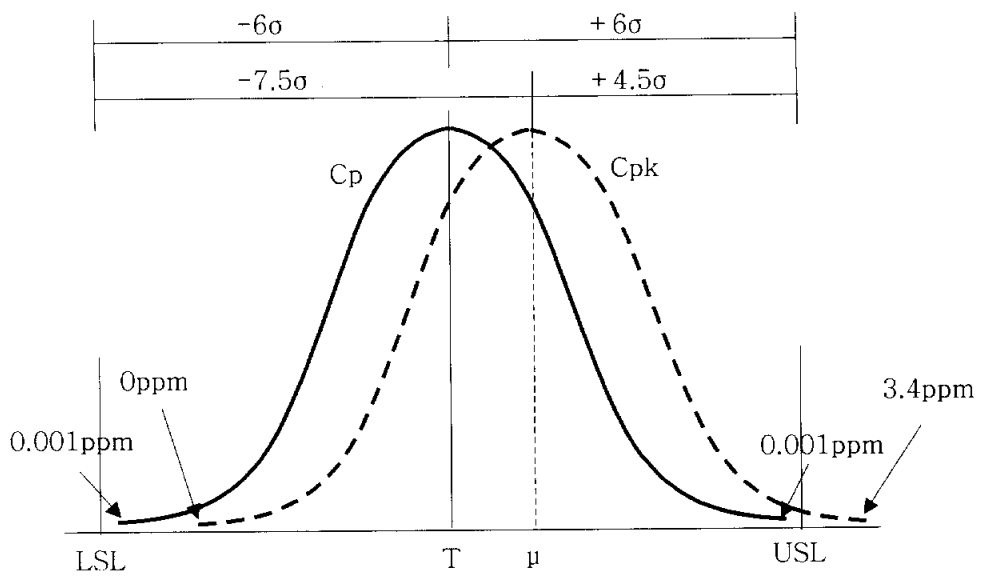


Fig. 2.10 Concept of Cp and Cpk

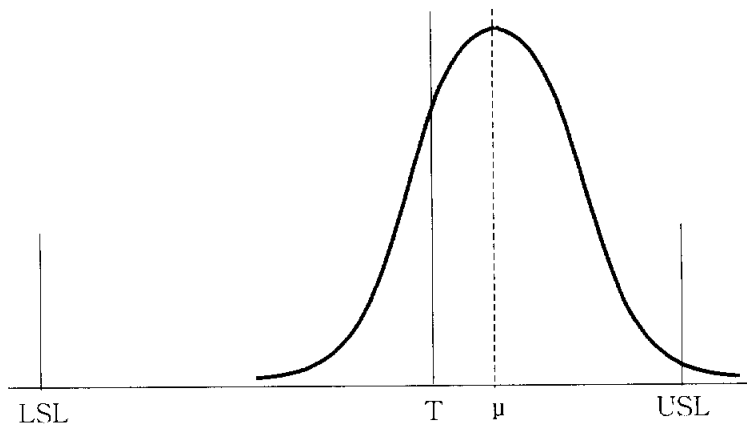


Fig. 2.11 Concept of Cpm

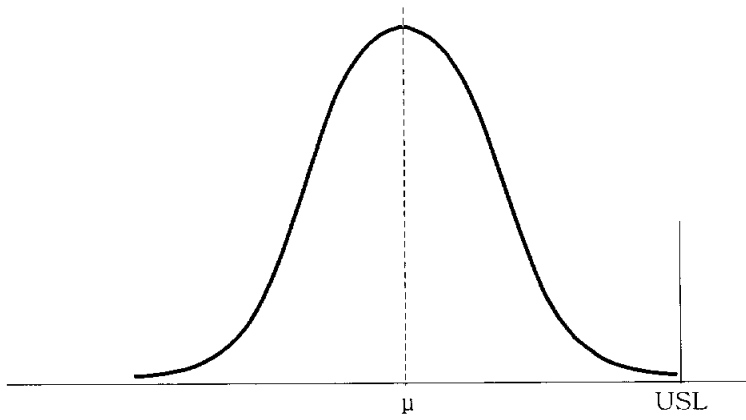


Fig. 2.12 Concept of Cpu

제 3 장 아크 안정성 지수의 유도

3.1 서 언

용접기의 출력특성을 평가하는데 6σ 를 적용하기 위해서는 우선 대상 공정의 품질에 핵심적인 영향을 끼치는 Critical To Quality 즉, CTQ를 설정해야 한다. 그리고 이러한 CTQ에 영향을 미치는 핵심 공정 인자인 CTP를 개발하여 이러한 CTP로 공정능력지수(Process capability index)를 평가하는 것이다.

본 장에서는 용접기의 출력특성 평가를 아크 안정성이라는 관점으로 논하기 위하여 아크 안정성 지수를 유도해 보았으며 이렇게 개발된 지수가 CTP로써 적용이 되는 것이다.

3.2 실험재료 및 방법

3.2.1 실험재료

본 실험에 사용된 시편은 SS400 연강판을 사용하였고, 시편 형상을 Fig 3.1에 나타내었다. 사용된 와이어의 종류는 KS YCW14(JIS YGW 14) 직경 1.2mm 솔리드 와이어를 사용하였고, 보호가스로는 100% CO₂ 가스를 사용하였다.

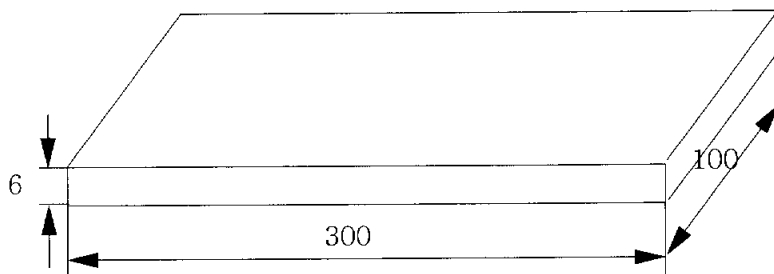


Fig. 3.1 Configuration of base metal

3.2.2 실험방법

본 실험에 사용된 용접법은 가스 메탈 아크 용접법(GMAW) 중 CO₂용접법을 사용하여 Bead on plate 용접하였다.

용접 실험을 위한 장치 구성도를 Fig 3.2에 나타내었다. 용접전원은 정격 용량 350A의 CO₂/MAG 인버터 용접전원을 사용하였으며, 용접 전류, 전압 및 저항 파형을 계측하기 위해서 아크 용접 모니터링 시스템(WAM4000N)을 활용하였다.

Table 3.1은 용접 조건을 나타내는 것으로서 와이어 송급속도(wire feeding rate)는 150A에 해당하는 372cm/min로 하였으며, 용접속도는 50cm/min, 컨택팁과 모재사이의 거리(CTWD)는 17mm, 진행각은 전진 3°로 일정하게 설정하였다.

전압은 출력 전압으로서 18~23V에서 약 1V 간격으로 변화시켜가며 실험하였다.

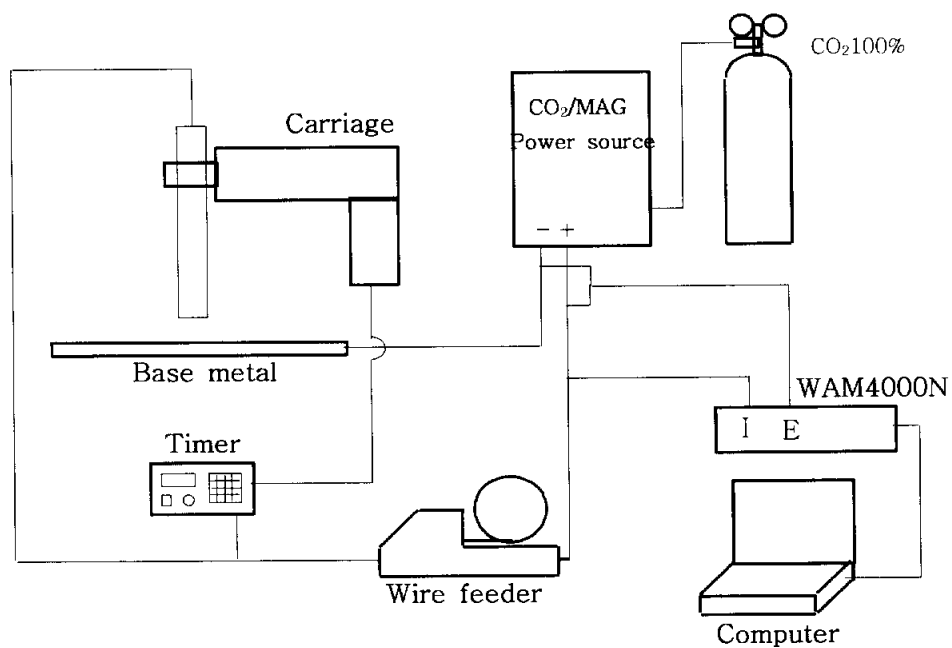


Fig. 3.2 Equipment for experiment

Table 3.1 Experimental conditions

Power source	W.F.R. (cm/min)	Output voltage (V)	Traveling speed (cm/min)	CTWD (mm)	Progress angle of torch(°)	Shield gas	Wire
Inverter	372	18~23	50	17	Forehand 3°	CO ₂ 100% 20 l/min	YCW 14

3.3 실험결과 및 고찰

3.3.1 기존의 연구

아크 안정성을 평가할 수 있는 아크 안정성 지수의 개발은 여러 방면에서 다양한 연구가 이루어져 왔다. 그 중에서 대표적으로 꼽을 수 있는 것이 Mita 등의 연구^{3,4)}로 볼 수 있다. Mita 등은 용접 전류 파형에서 스파터 발생량에 영향을 미치는 여러 인자를 Fig. 3.3과 같이 개발하여 각각의 인자들을 회귀분석하여 식 (3.1)과 같은 아크 안정성 지수를 개발하였다.

$$\begin{aligned} W &= W_a + W_R + W_p \\ W_a &= \ln(s[Ts]/1.3 \times s[Ta]/3.8 \times s[Is]/24 \times s[Ia]/23.6) \\ W_R &= 2\ln(R_a/R_i) \\ W_p &= \ln(P_a/P_i) \end{aligned} \quad (3.1)$$

하지만 이와 같은 지수는 매우 복잡하여 실제로 적용하기에는 상당히 까다로울 뿐만 아니라 단지 스파터 발생량에만 의존하여 아크 안정성을 논하였다. 즉, 스파터 발생량이 많으면 아크가 불안정하고 스파터 발생량이 적으면 아크가 안정하다는 논리로써 이는 아크 안정성을 직접적으로 평가하기에는 무리가 있다고 판단된다. 또한, Fig. 3.4는 Shinoda 등⁸⁾이 아크 안정성에 대하여 연구한 것으로서 용접시간에 따른 전압과 전류의 변화를 V-I loop로 나타낸 것이다. 그리고 이러한 V-I loop로 아크 안정성을 판별한 것으로서 V-I loop의 면적이 적으면 적을수록, 궤적이 일정하면 일정할수록 아크 안정성이 우수하다는 것을 나타낸 것이다. Fig. 3.5는 Cho의 연구⁹⁾에 관한 것으로서 여기에서는 아크 안정성 지수로써 용접저항의 변동계수(Coefficient of Resistance Variation, C_{RV})를 사용하였다. 이는 다음의 식 (3.2)로 계산되어진다.

$$\text{저항변동계수}(C_{RV}) = \text{용접저항의 표준편차} / \text{용접저항의 평균} \quad (3.2)$$

이는 매우 간단하면서도 합리적으로 아크 안정성을 평가할 수 있는 인자

로 평가되었으나 이 연구에서는 단지 교류피복아크 용접에만 적용하였다. 따라서 본 연구에서는 이러한 저항변동계수를 아크 안정성 지수로 설정하고 이의 GMAW에 있어서의 적용 가능성을 평가해 보았다.

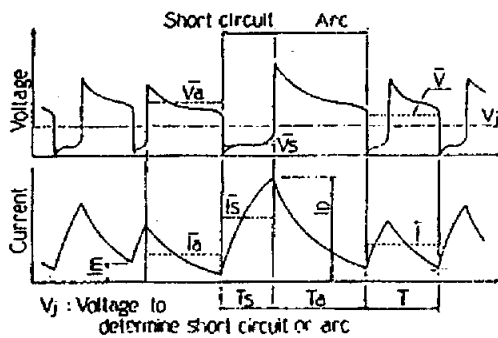


Fig. 3.3 waveform factors selected for analysis³⁻⁴⁾

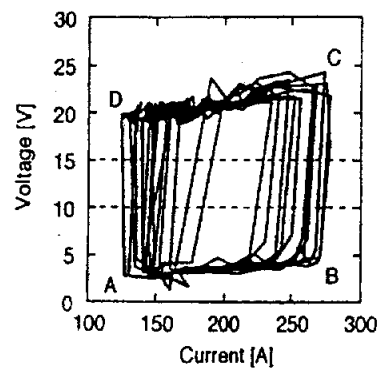


Fig. 3.4 V-I line diagram⁸⁾

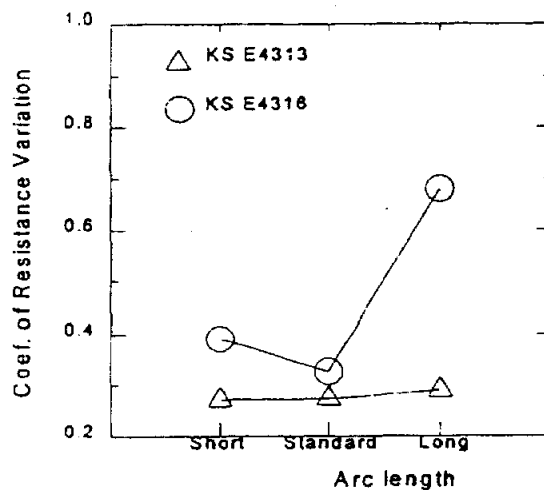


Fig. 3.5 Relation of arc length and coefficient of resistance variation⁹⁾

3.3.2 저항변동계수(C_RV)의 평가

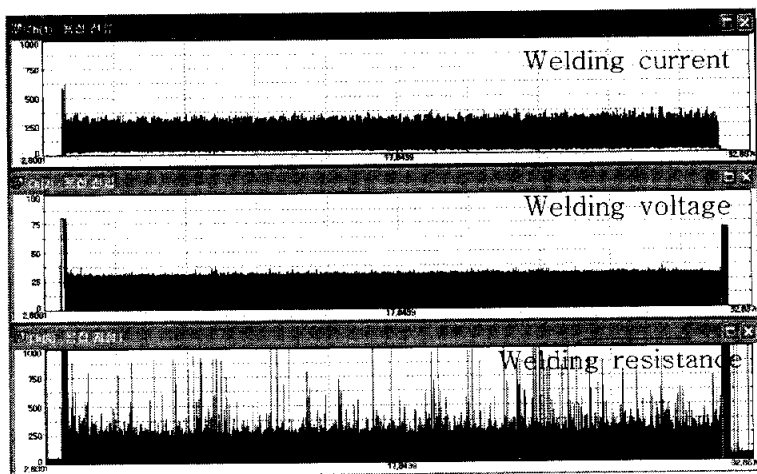
Fig 3.6은 출력전압 19.5V의 용접조건으로 용접했을 때의 용접 전류, 전압 및 저항 파형을 나타내는 것으로서 C_RV 는 0.65를 나타내었다. 이 조건에서는 아크길이가 적절할 뿐만 아니라 아크 불안정도 일어나지 않아 단락이 매우 규칙적으로 나타났음을 알 수 있다. 이 때의 비드 외관을 Fig 3.7에 나타내었는데 비드 균일성이 우수함을 알 수 있다.

Fig. 3.8은 출력전압 17.8V에서의 용접 전류, 전압 및 저항 파형을 나타내는 것으로서 C_RV 는 0.96을 나타내었다. 이 조건에서는 아크길이가 정상수준 이하로 짧아져서 장기단락 및 Sticking으로 인한 아크 끊김이 빈번히 나타났고, 이 때의 비드 외관 또한 불균일하게 생성되었다.(Fig. 3.9)

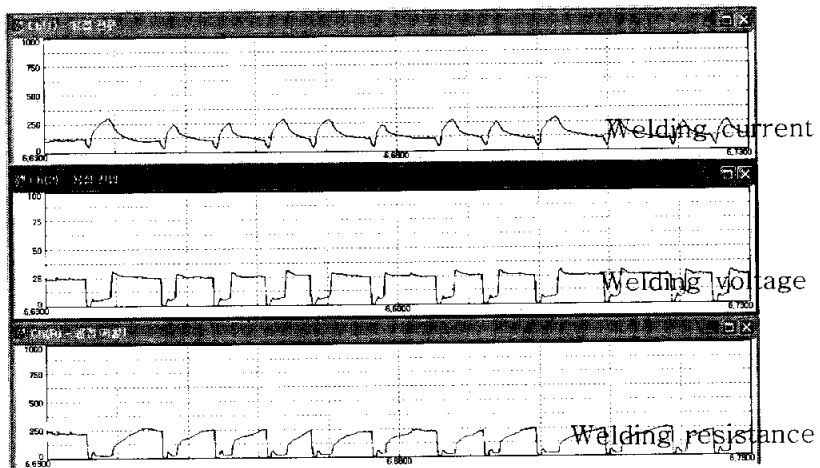
Fig. 3.10은 출력전압 22.8V에서의 용접 전류, 전압 및 저항 파형을 나타내는 것으로서 C_RV 는 0.50을 나타내었다. 이 조건에서는 아크길이가 정상수준 이상으로 지나치게 길어져서 단락이 매우 불규칙하게 일어났음을 알 수 있다. 이에 의해 Fig. 3.11에서 보여지듯이 언더컷 및 토우(toe)부 근처에 대립의 스파터가 부착되는 등 불량한 비드외관을 나타내었다.

Fig. 3.12는 C_RV 의 변화에 따른 V-I loop를 보여주는 것으로서 C_RV 가 0.65일 때 그 면적이 가장 작으며 궤적 또한 일정하다는 것을 알 수 있다. 그리고 C_RV 가 0.96, 0.50일 경우에는 면적이 0.65에 비해 넓은 것을 알 수 있고, 아크 끊김에 의해서 궤적이 매우 불규칙함을 알 수 있다. 이는 Shinoda 등의 연구와 같은 경향을 보였다.

이상과 같은 실험 결과 저항변동계수(C_RV)는 GMAW에 있어서 아크 안정성 지수로 사용하기에 적합하다고 판단되었다. 따라서, 이러한 C_RV 를 CTP로 선정하였다.



(a) Total welding period



(b) 0.1sec welding period

Fig 3.6 Waveforms for C_{RV} 0.65

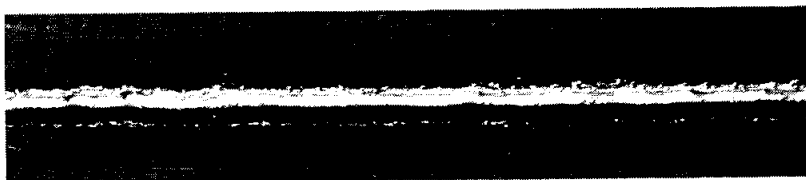
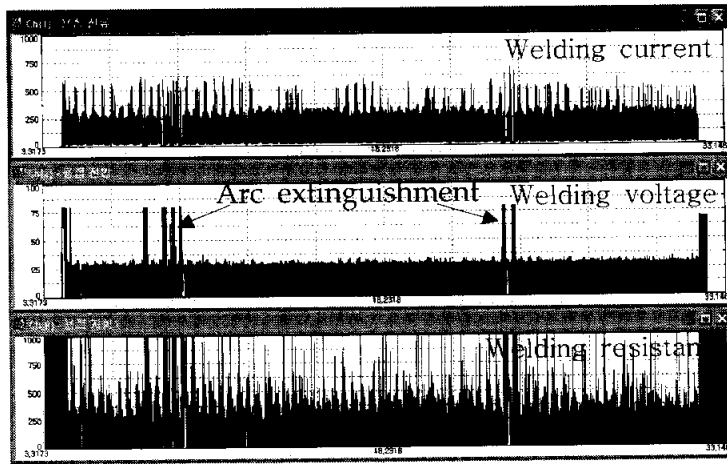
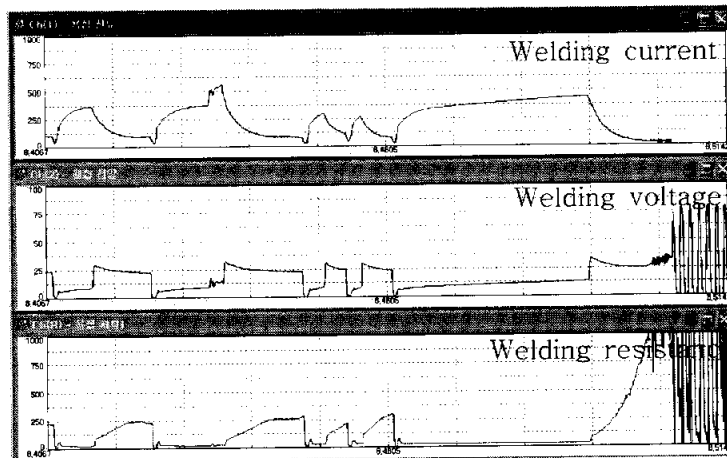


Fig. 3.7 Bead shape for C_{RV} 0.65



(a) Total welding period



(b) 0.1sec welding period

Fig. 3.8 Waveforms for C_{RV} 0.96

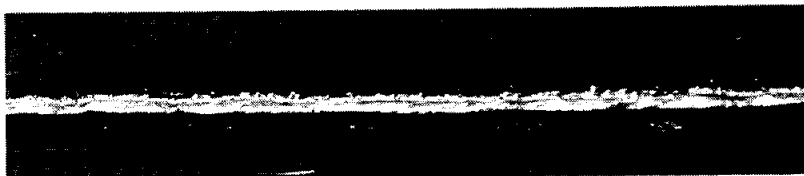
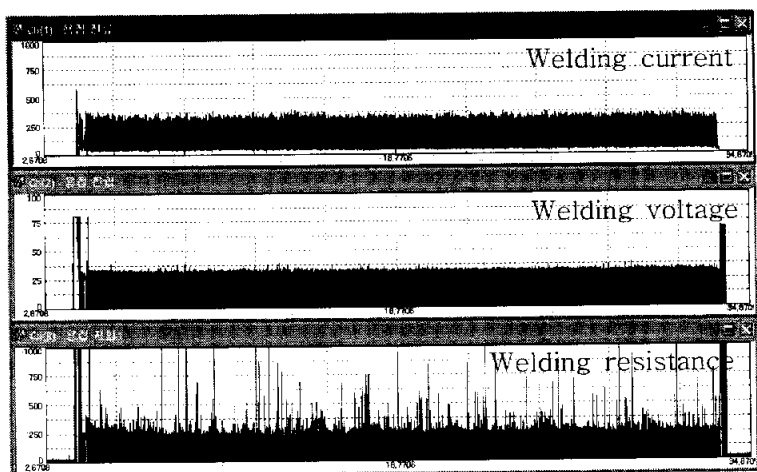
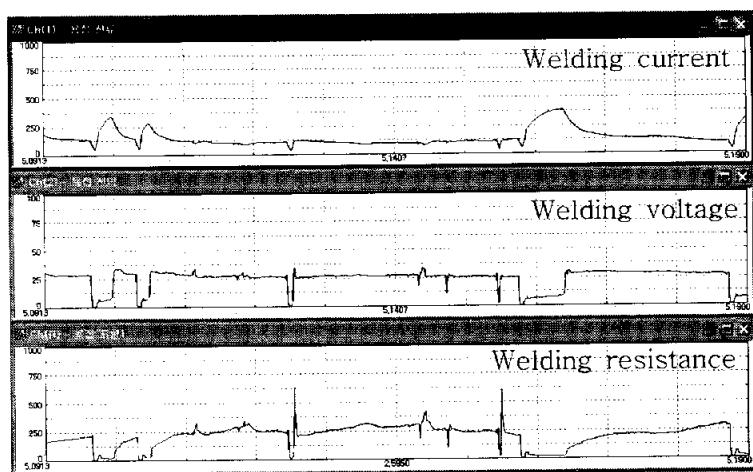


Fig. 3.9 Bead shape for C_{RV} 0.96



(a) Total welding period



(b) 0.1sec welding period

Fig. 3.10 Waveforms for C_{RV} 0.50

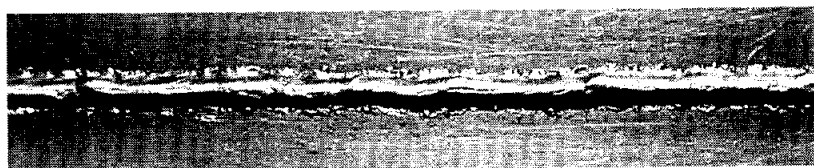
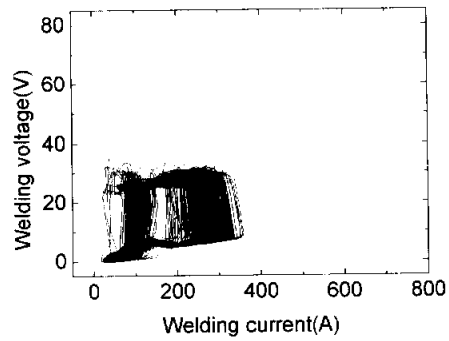
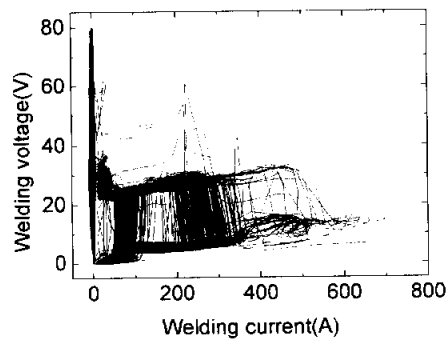


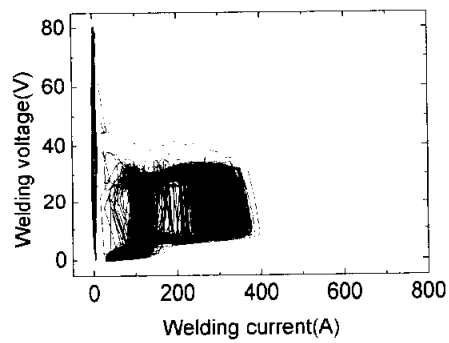
Fig. 3.11 Bead shape for C_{RV} 0.50



(a) $C_R V$ 0.65



(b) $C_R V$ 0.96



(c) $C_R V$ 0.50

Fig. 3.12 V-I loops by $C_R V$

Fig. 3.13은 출력 전압의 변화에 따른 단락 시간비의 변화를 나타낸 것으로서 출력 전압이 증가할수록 단락 시간비가 직선적으로 감소함을 알 수 있다. 여기서 단락 시간비는 단락 시간의 합을 총 용접시간으로 나눈 후 100%를 곱한 값으로서 이는 아크 길이의 척도로 볼 수 있다. 즉, 단락 시간비가 작을 때는 긴 아크 길이를 나타내고 단락 시간비가 클 때에는 아크 길이가 짧다는 것을 의미한다. 따라서 이 단락 시간비라는 인자는 단순히 아크 길이에만 의존하는 것이고 아크 끊김 등을 포함한 아크 불안정의 척도로는 불합리하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 3.14는 출력 전압의 변화에 따른 저항변동계수의 변화를 나타낸 것으로서 출력 전압이 증가할수록 저항변동계수는 일정 구간에서 직선적으로 감소하지 않는다는 것을 알 수 있다. 즉, 이 저항변동계수는 아크길이 뿐만 아니라 아크의 불안정도 포함하는 인자라는 것을 알 수 있다.

이상과 같이 저항변동계수는 아크 안정성 지수로서 사용이 가능할 것으로 판단되며, 이러한 저항변동계수가 CTP로 적용이 되는 것이다.

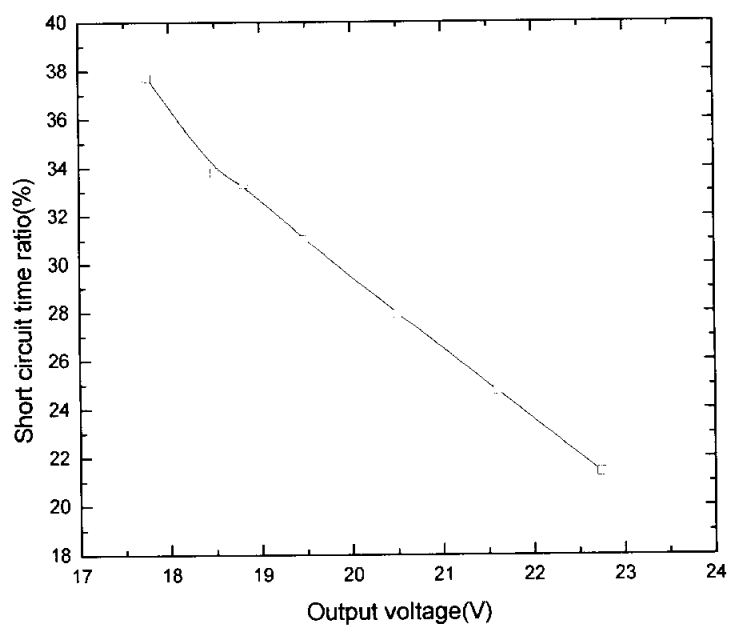


Fig. 3.13 Variation of short circuit ratio by out voltage

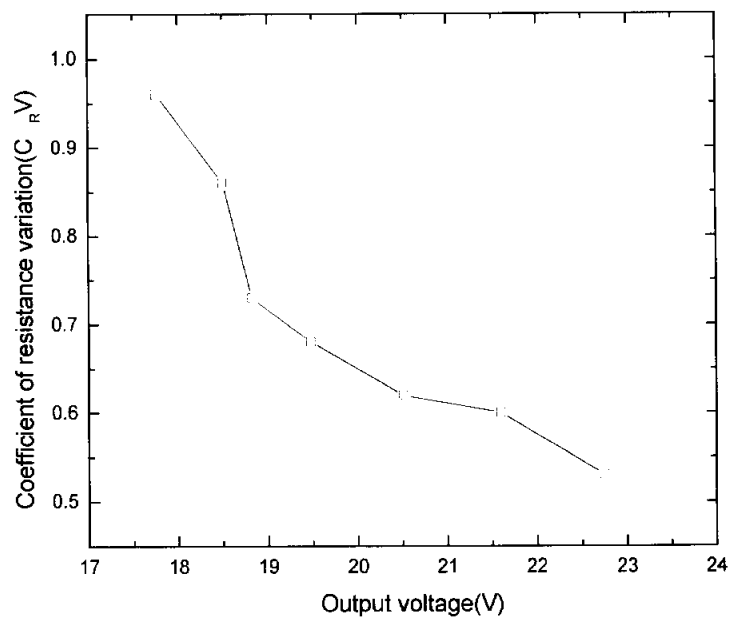


Fig. 3.14 Variation of $C_R V$ in out voltage

3.4 결 언

이상과 같이 용접기를 평가하기 위한 CTP로서 저항변동계수를 설정하고 이의 타당성에 대한 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 저항변동계수가 정상 수준보다 낮을 경우 아크길이가 지나치게 짧아져서 장기단락 및 Sticking으로 인한 아크 끊김이 동반되는 심한 아크 불안정 을 보였다.
- 2) 저항변동계수가 정상 수준보다 높을 경우 아크길이가 지나치게 길어져서 가끔씩 Burnback으로 인한 아크 끊김이 보이며 단락이 일정하지 않게 나타나서 아크 불안정 현상을 보였다.
- 3) 단락 시간비는 아크 길이의 척도로만 사용 가능하고, 저항변동계수는 아크 길이 및 아크 불안정성도 함께 평가하는 것이 가능하여 아크 안정성 지수로 사용 가능하다고 판단되었다.

제 4 장 용접기 종류에 따른 출력특성의 평가

4.1 서 언

3장에서 평가된 CTP인 저항변동계수를 이용하여 용접전원별, 와이어 송급기별 출력특성을 평가하기 위해 6σ에서의 공정능력지수를 이용하였다. 이를 위해 스패터 발생량(CTQ₁)과 비드 형상의 산포(CTQ₂)를 측정하고 합리적인 specification을 설정하여 6σ 분석툴인 minitab을 이용하여 공정능력지수를 평가해 보았다.

4.2 실험방법

4.2.1 용접실험

본 실험에 사용된 용접법은 가스 메탈 아크 용접법(GMAW) 중 CO₂용접법을 사용하여 Bead on plate 용접하였다. 용접 실험을 위한 장치 구성도를 Fig 4.1에 나타내었다. 용접전원은 정격용량 350A의 CO₂/MAG 사이리스터 용접전원과 인버터 용접전원을 사용하였으며, 용접 전류, 전압 및 저항 파형을 계측하기 위해서 아크 용접 모니터링 시스템(WAM4000N)을 활용하였다. 또한 와이어 송급 속도를 계측하기 위해서 와이어 송급기에 엔코더(Encoder)를 부착하였다. Table 4.1은 용접 조건을 나타내는 것으로서 와이어 송급속도(Wire feeding rate)는 각각 단락이행 영역인 150A와 혼합이행 영역인 250A에 해당하는 372cm/min와 915cm/min로 하였으며, 용접속도는 50cm/min, 컨택팁과 모재사이의 거리(CTWD)는 17mm, 진행각은 전진 3°로 일정하게 설정하였다. 전압은 출력 전압으로서 각 용접전원의 특성에 맞추어 사이리스터 용접전원은 20~23V(W.F.R. 372cpm), 23~30V(W.F.R. 915cpm), 인버터 용접전원은 18~23V(W.F.R. 372cpm), 23~30V(W.F.R. 915cpm)영역에서 약 1V 간격으로 변화시켜가며 실험하였다. 그리고 본 실험에 사용한 와이어 송급기는 Fig. 4.2와 같이 소결합금으로 제조된 유성기어를 사용하는 Feeder A와 일반 플라스틱으로 제조된 감속기어를 사용하는 Feeder B를 사용하였다.

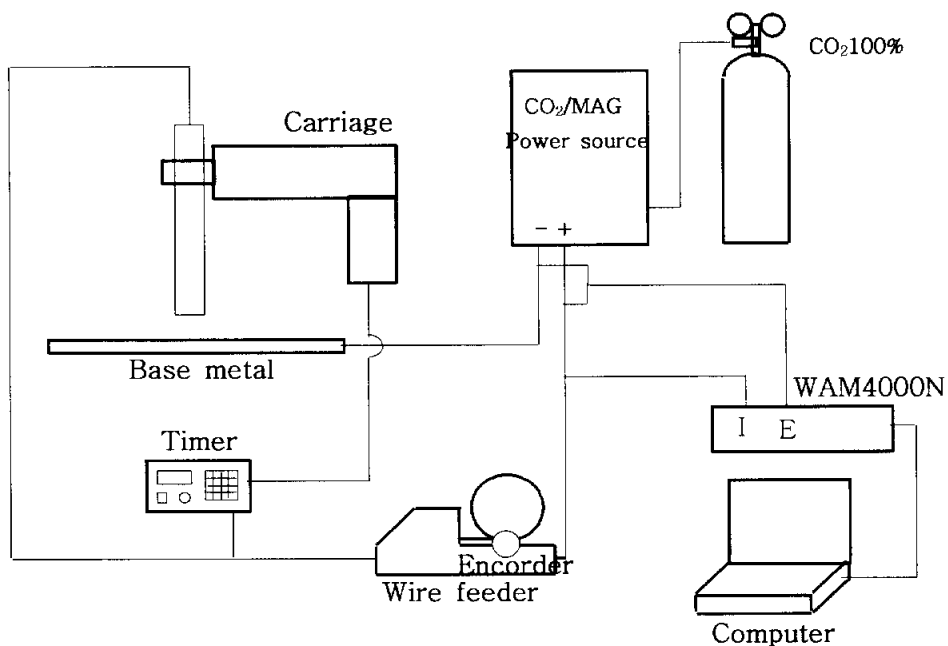


Fig. 4.1 Equipment for experiment

Table 4.1 Experimental conditions

Power source	W.F.R. (cm/min)	Output voltage (V)	Traveling speed (cm/min)	CTWD (mm)	Progress angle of torch(°)	Shield gas	Wire
Thyristor	372	20~23	50	17	Forehand 3°	CO ₂ 100% 20 l/min	YCW 14
	915	23~30					
Inverter	372	18~23					
	915	23~30					

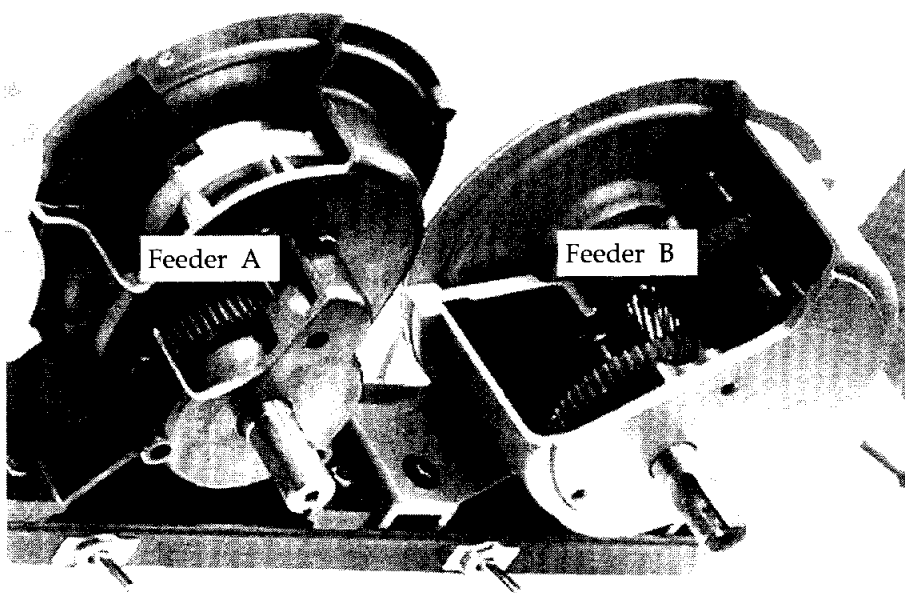


Fig. 4.2 Inside structure of wire feeder

4.2.2 스패터 포집 실험

스패터 포집을 위하여 WES 2807규격을 참고로 하여 스패터 포집기를 Fig. 4.3과 같이 두께 2mm 동판으로 제작하여 비산되는 스패터를 막았으며, 모재에 부착한 스패터와 토치 및 컨택팁에 부착한 스패터도 같이 포집하여 100mesh(200 μ m) 채와 전자석을 이용해 스패터의 분진 및 슬래그(slag)를 제거한 후 resolution 0.001g의 미세저울을 사용하여 스패터의 무게를 측정하였다.

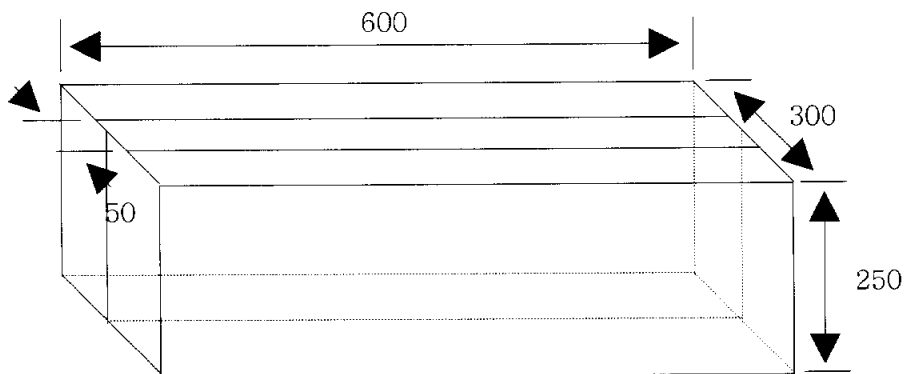


Fig. 4.3 Appearance of spatter gathering chamber

4.2.3 비드 형상의 측정

비드의 폭과 높이를 측정하기 위해서 resolution 0.01mm의 레이저 슬릿 센서(laser slit sensor)에 의한 이미지 프로세싱(image processing)을 이용하였다. Fig. 4.4는 이미지 프로세싱 장치를 보여주는 것으로서 용접부의 길이 방향으로 150mm 구간을 일정하게 지정하여 1mm간격으로 총 150점에서의 비드 폭과 높이를 측정하였다.

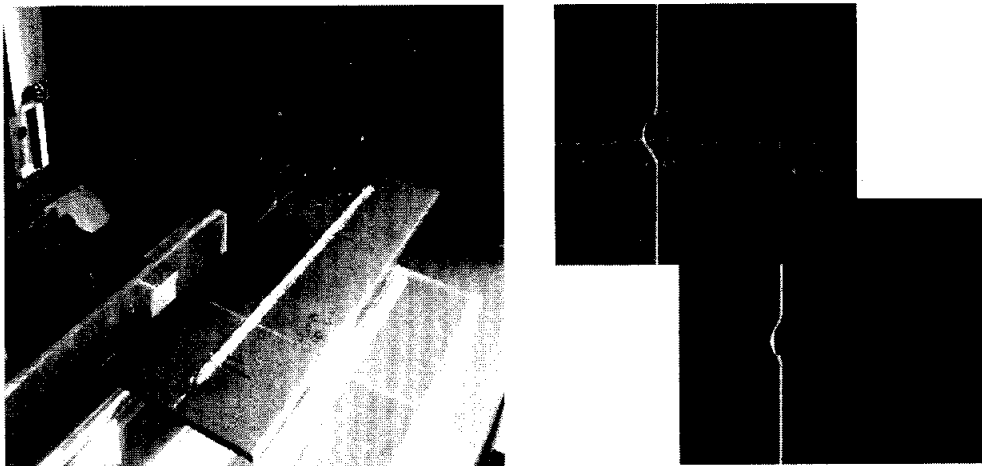


Fig. 4.4 Image processing for bead configuration

4.3 실험결과 및 고찰

4.3.1 용접전원별 출력특성의 평가

(1) 스파터 발생 특성(CTQ₁)의 평가

W.F.R. 372cm/min에서 인버터 용접전원과 사이리스터용접전원으로 용접 실험을 행한 결과 금속이행은 C_RV 변화에 관계 없이 단락이행만을 보여주고 있다. 이와 같이 단락이행 구간에서의 스파터 발생량은 Fig. 4.5에서 보여주고 있다. 본 그림에서 알 수 있듯이 스파터 발생량은 C_RV 가 증가함에 따라 서서히 감소하다가 증가하는 경향을 보여 주고 있다. 다시 말하면 이 구간에서는 스파터 발생량이 최소가 되는 C_RV 가 존재한다는 것을 의미하는데, 이 구간에서는 인버터 용접전원이 사이리스터 용접전원에 비해 0.2g/min 정도 낮음을 알 수 있다. 즉, 실험값으로 인버터 용접전원의 경우에는 C_RV 가 0.65일 때 스파터 발생량(0.76g/min)이 최저로 나타났으며, 사이리스터 용접전원은 C_RV 가 0.66일 때 최저의 스파터 발생량(0.94g/min)을 보였다. 또한 규격상한(USL)을 1.0g/min으로 설정했을 경우 범위 내에 속하는 C_RV 의 범위가 사이리스터에 비해 인버터 용접전원이 확연히 넓음을 알 수 있다. 이는 규격범위가 인버터가 넓다는 것을 의미한다.

이렇듯 스파터 발생량에서 차이를 보이는 것은 Fig. 4.6(a)에서 보여지듯이 사이리스터용접전원은 모든 파형에서 ripple이 나타나고 있다. 이러한 ripple은 3상 전류를 정류하여 출력되기 때문에 1초에 360개가 생성되는데, 이는 결국 1/360초보다 짧은 시간에 이루어지는 현상에 대해서는 적절히 대응하지 못하게 된다는 것을 의미한다. 따라서 아크 현상변화에 따른 전류의 변화가 다소 지연되어 아크응답성이 낮게 됨에 따라 스파터 발생량이 상당히 많아지는 것이다⁷⁾. 반면에 Fig. 4.6(b)의 인버터 용접전원은 주파수가 높기 때문에 ripple이 매우 미세하게 나타나고, 아크 응답성이 향상되어 단락순간과 아크재점호 순간이 전류 파형에서도 명확히 나타난다. 또한 순간단락 시의 대립의 스파터를 방지하는 단락전류 상승 지연시간(T_d)와 장기단락 방지 전류(DPC)라는 파형제어가 도입되어 있기 때문에 스파터 발생량은 사이리스터 용접전원에 비해 현저히 저감되는 것이다.

Fig. 4.7은 출력전압의 변화에 따른 $C_R V$ 의 변화를 나타내는 것으로서 인버터 용접전원이 사이리스터 용접전원에 비해 $C_R V$ 가 비교적 일정하게 나타나는 영역이 18.5~22V(사이리스터 20.5~22.5V) 정도로 넓다는 것을 알 수 있다. 즉, 이는 인버터 용접전원이 사이리스터 용접전원에 비해 안정된 용접을 할 수 있는 영역이 크다는 것을 의미한다.

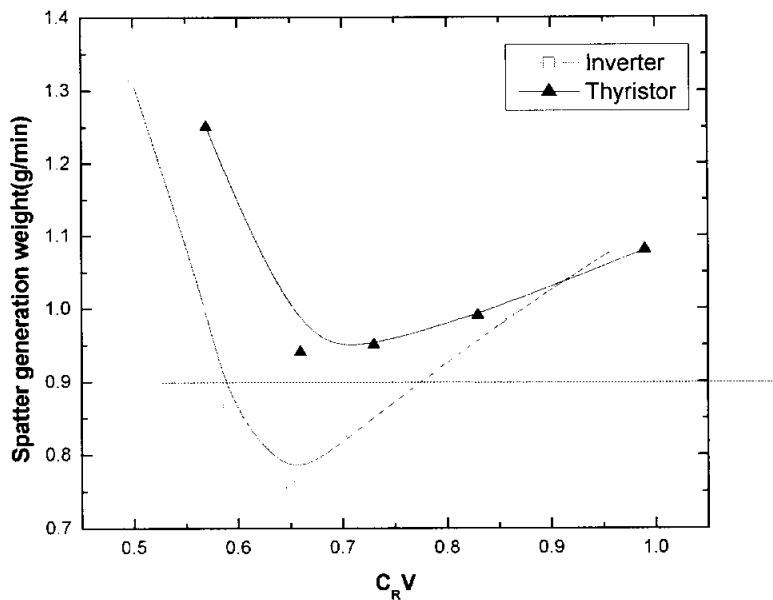
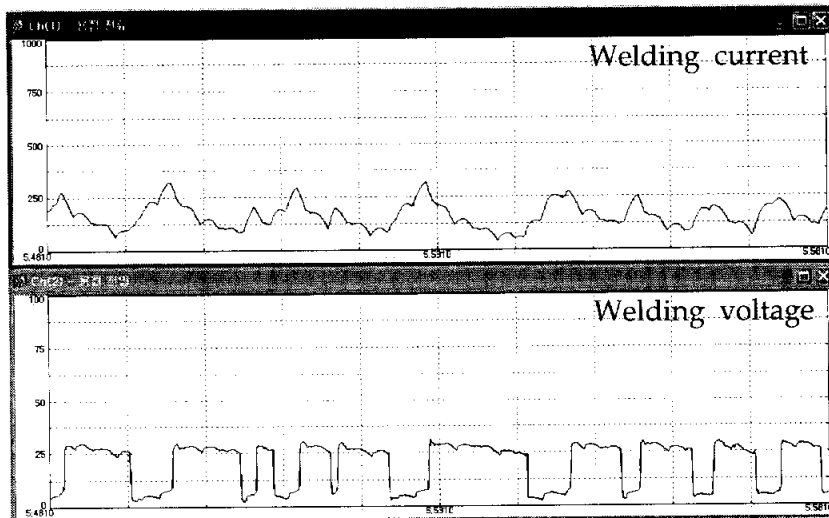
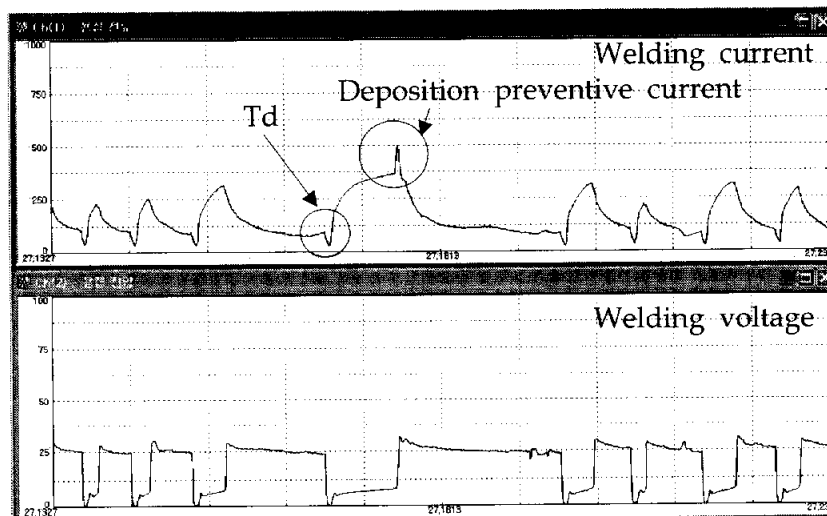


Fig. 4.5 Variation of spatter generation weight with $C_R V$ (372cpm)



(a) Waveforms of thyristor power source



(b) Waveforms of thyristor power source

Fig. 4.6 Difference of waveforms in power source type

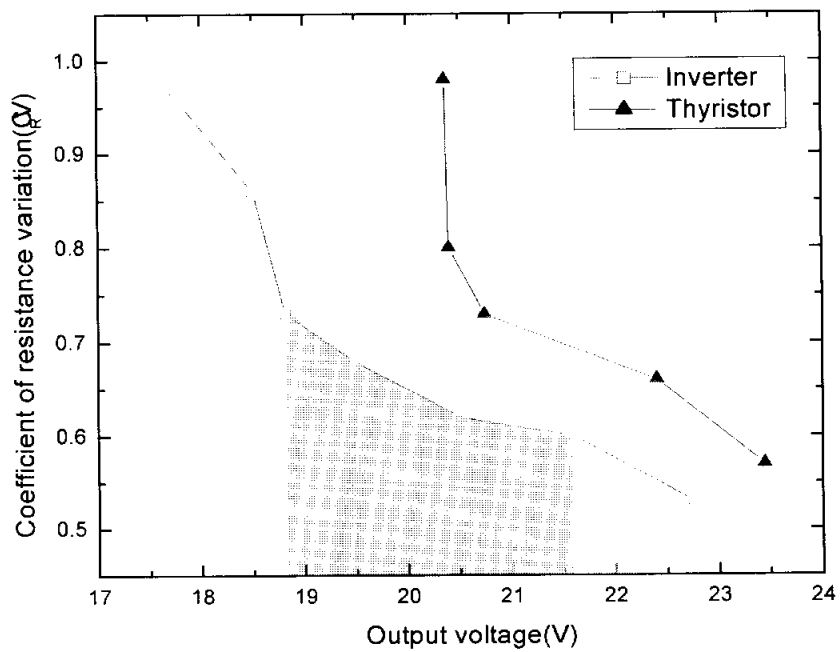


Fig. 4.7 Variation of $C_R V$ with output voltage

W.F.R. 915cm/min에서 인버터 용접전원과 사이리스터용접전원으로 용접 실험을 행한 결과 금속이행은 단락이행에서 입상용적이행으로 천이하는 혼합 이행이었다. 이러한 혼합 이행영역에서는 Fig. 4.8과 같이 단락 시간이 1msec이하로 되는 순간단락의 횟수가 단락이행 영역에 비해 현저히 증가함을 알 수 있다. 이러한 순간단락에 의해 스파터 발생량은 Fig. 4.9에서 보여지듯이 인버터 용접전원과 사이리스터 용접전원 모두 Fig. 4.5에 비해 현저히 증가했다. 이는 순간단락에 의한 대립의 스파터의 발생이 현저히 증가했기 때문이다. 하지만 스파터 발생량이 최저로 되는 조건에서는 인버터 용접전원의 스파터 발생량이 상대적으로 적게 나타났는데 이는 인버터 용접전원의 단락전류 상승지연시간(T_d)의 영향으로 대립의 스파터를 현저히 줄일 수 있었기 때문이었다.(Fig. 4.8) C_RV 가 0.35이하로 낮은 영역에서는 아크 길이가 심하게 짧아져서 Sticking으로 인한 아크 끊김이 빈번히 발생하여 스파터 발생량이 증가하였고, C_RV 가 높은 영역(인버터 0.90, 사이리스터 0.60 이상)에서는 순간단락이 급증하고 금속이행도 입상 용적이행으로 바뀌어 가서 스파터 발생량도 급증하게 되었다.

이상과 같이 천이 영역에서 스파터 발생량이 최저가 되는 최적의 C_RV 는 실험값으로 평가했을 때 인버터 용접전원의 경우 0.41, 사이리스터 용접전원의 경우 0.50으로 나타났고, 스파터 발생량에 대한 USL을 2.5g/min로 설정하였을 경우 이를 만족하는 C_RV 의 영역은 인버터 용접전원이 상대적으로 넓게 나타났다.

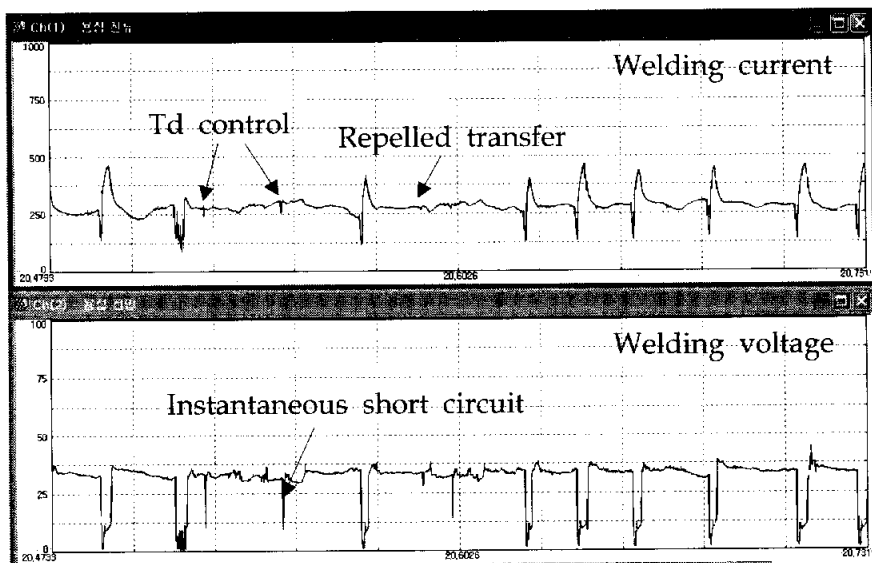


Fig. 4.8 Waveforms of mixed metal transfer(W.F.R. 915cm/min)

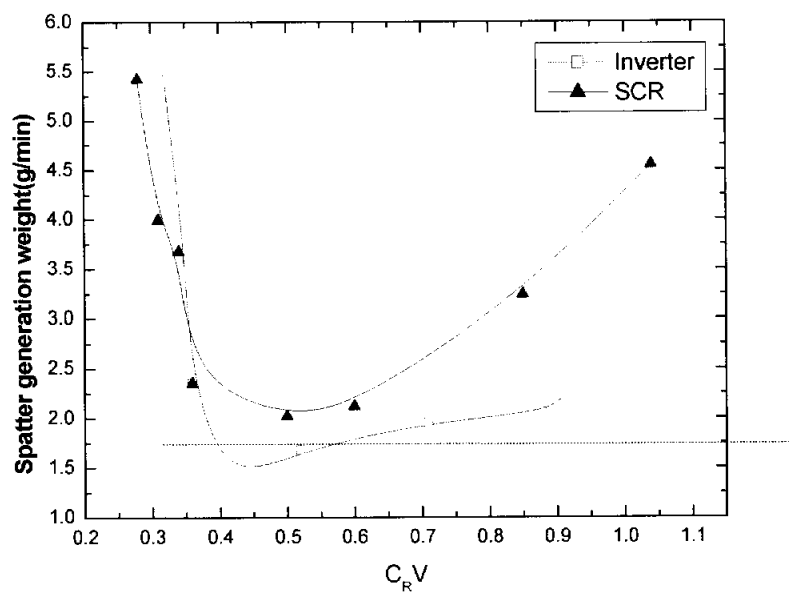


Fig. 4.9 Variation of spatter generation weight with $C_R V(915\text{cpm})$

(2) 비드 균일성(CTQ₂)의 평가

Fig. 4.10은 W.F.R. 372cm/min에서의 C_RV 의 변화에 따른 비드의 폭과 높이의 표준편차, 즉 비드 균일성을 나타낸 것으로서 인버터 용접전원의 경우 비드 폭과 높이의 표준편차가 최소로 되는 최적 C_RV 는 0.65였다. C_RV 가 정상수준 이상으로 커지면 아크길이가 감소하고 단락도 비정상적으로 일어나서 비드의 균일성이 상당히 떨어지고, C_RV 가 정상수준 이하일 때에는 아크길이가 지나치게 길어져서 아크가 불안정해져서 비드의 형상이 매우 불균일하게 나타났다. 사이리스터 용접전원의 경우 비드 폭과 높이의 표준편차가 최소로 되는 최적 C_RV 는 0.73이었다. 두 용접전원을 비교해 보았을 때 인버터 용접전원이 최적 C_RV 에서의 비드 균일성이 사이리스터 용접전원보다 우수한 것을 알 수 있었으며, 비드 폭에 대한 USL을 0.5mm로 설정하였을 경우 인버터 용접전원의 C_RV 범위가 월등히 넓었고, 비드 높이에 대한 USL을 0.2mm로 설정하였을 경우에도 인버터 용접전원의 C_RV 범위가 비교적 넓게 나타났다.

Fig. 4.11은 W.F.R. 915cm/min에서의 C_RV 변화에 따른 비드의 폭과 높이의 표준편차를 보여주는 것으로서 Fig. 4.10과 비슷한 경향을 나타내었다. 인버터 용접전원의 경우 최적 C_RV 는 0.41을 나타내었고, 사이리스터 용접전원은 0.50을 나타내었다.

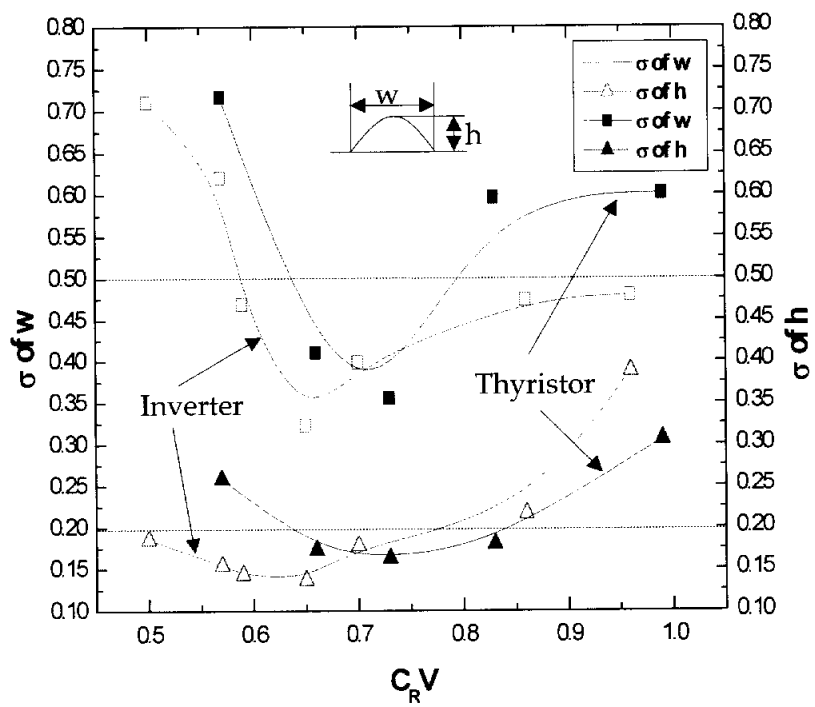


Fig. 4.10 Variation of bead configuration with $C_R V$ (372cpm)

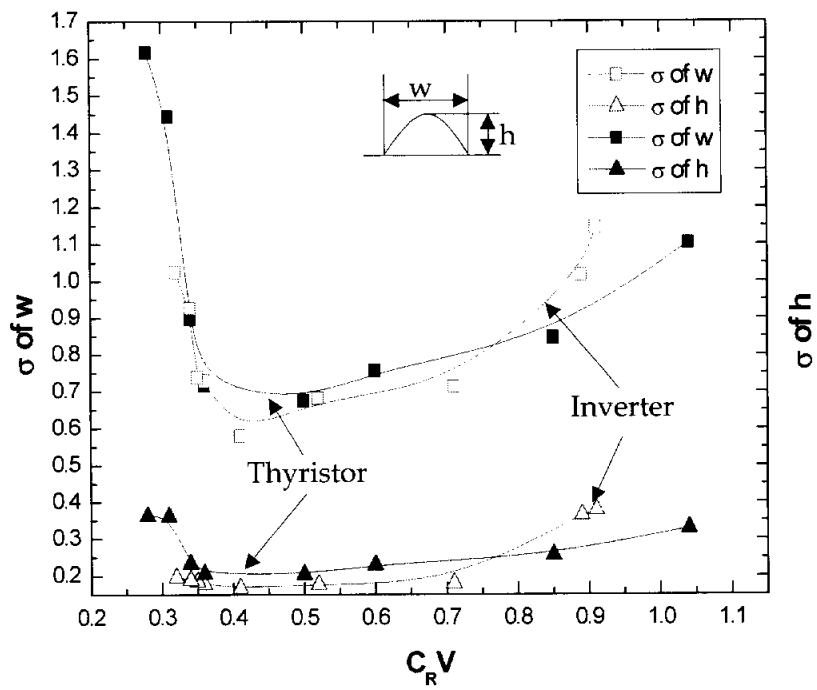


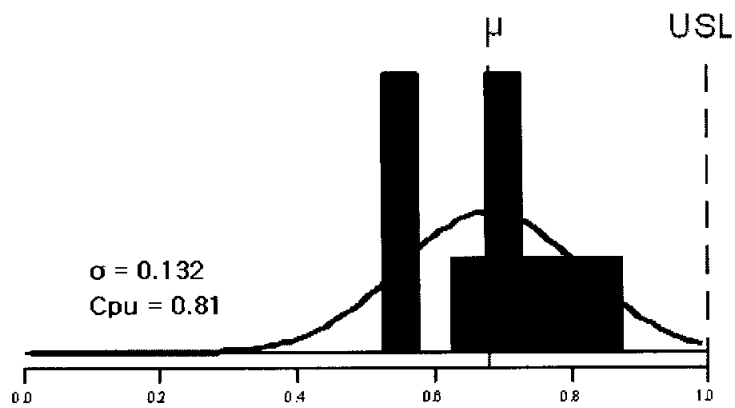
Fig. 4.11 Variation of bead configuration with $C_R V$ (915cpm)

(3) 공정능력지수의 평가

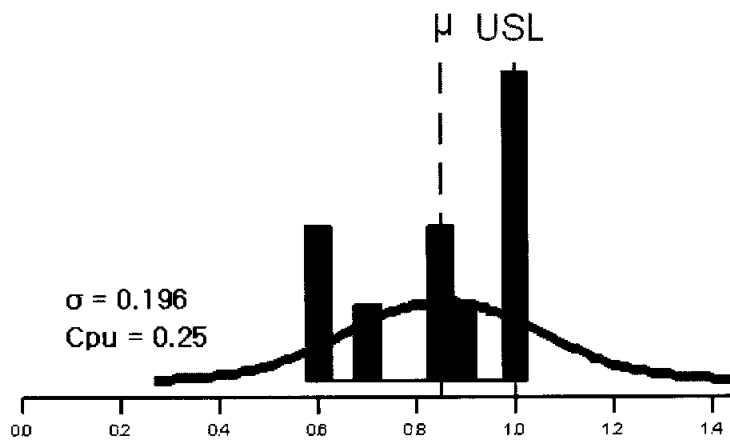
CTQ₁(스패터 발생량)과 CTQ₂(비드 균일성)에 대한 최적의 CTP 즉, Target 이 되는 C_RV를 설정할 수 있었다. 공정능력지수의 평가를 위해서는 Target 의 설정 뿐만아니라 각 공정 특성상의 USL(Upper spec. limit)과 LSL(Lower spec. limit)이 필요하다. 따라서 상위 CTQ와 하위 CTQ에 따른 USL 및 LSL 의 설정이 달라지게 된다.

본 연구에서는 와이어 송급 속도 372cm/min에 대한 공정능력지수만을 평가해 보았다. 스패터 발생량은 LSL이 존재하지 않기 때문에 공정능력지수를 계산하기 위한 범위는 (USL - μ)가 되고 이 때의 공정능력지수는 Cpu로서 계산된다. W.F.R 372cpm의 조건에서 USL을 1.0g/min으로 정하고, 최적 CTP 즉, Target이 되는 C_RV에서 10번 반복 실험하여 인버터 용접전원과 사이리스터 용접전원의 Cpu를 평가하였다.

Fig. 4.12는 각각 인버터 용접전원과 사이리스터 용접전원의 CTQ₁(스패터 발생량)에 대한 Cpu를 USL을 1.0g/min으로 설정한 후 minitab으로 통계처리하여 계산한 것으로서 인버터 용접전원의 경우 표준편차(σ)가 사이리스터에 비해 적을 뿐 아니라 규격의 범위가 넓어서 Cpu(0.81)가 사이리스터 용접전원(0.25)에 비해 3배이상으로 높게 형성되었다.



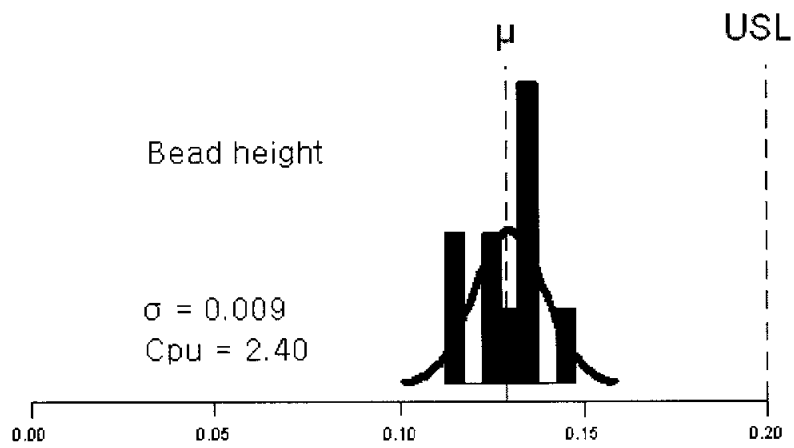
(a) Inverter power source



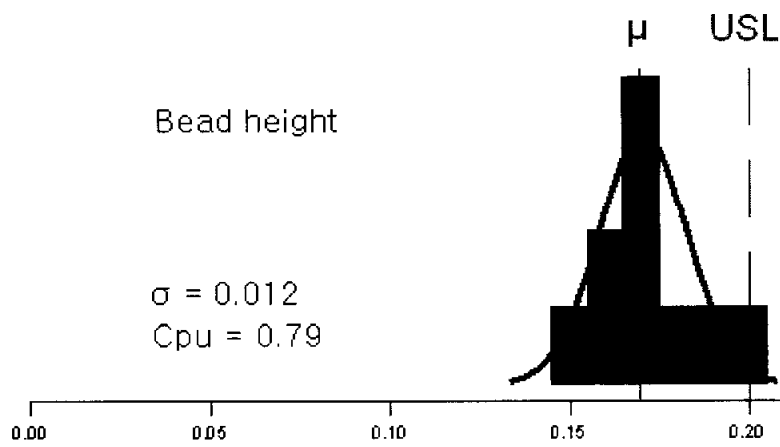
(b) Thyristor power source

Fig. 4.12 Evaluation of Cpu as the power source type by 6σ analysis (scatter generation weight)

Fig. 4.13과 4.14는 비드 균일성(CTQ_2)에 대하여 minitab으로 통계처리 한 것으로서 비드 균일성 또한 LSL이 존재하지 않기 때문에 Cpu로서 공정능력 지수를 평가하였다. 우선 비드 높이에 대한 USL은 표준편차 0.2mm로 설정하였고, 비드 폭에 대한 USL은 표준편차 0.5mm로 설정한 후 최적 C_RV 에서 10번 반복 실험하였다. Fig. 4.13에서는 비드 높이에 대해서 Cpu를 평가한 것으로서 인버터의 경우 사이리스터에 비해 표준편차가 적고, 규격범위($USL - \mu$)가 월등히 넓음을 알 수 있다. 따라서, Cpu도 인버터가 넓게 나왔다. Fig. 4.14는 비드 폭에 관한 것으로서 이 경우에는 Anderson-Darling 테스트 결과 정규분포(Normal distribution)보다 와이블 분포(Weibull distribution)에 가까웠으므로 이 분포로 Cpu를 평가하였다. 그 결과 규격범위는 큰 유의차를 나타내지는 않았지만 형상모수(Shape parameter)에서 큰 차이를 나타내어 Cpu는 인버터가 높게 나왔다.

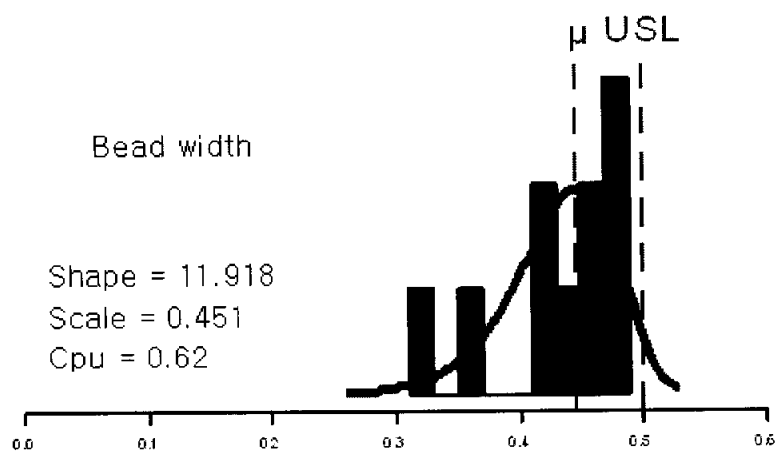


(a) Inverter power source

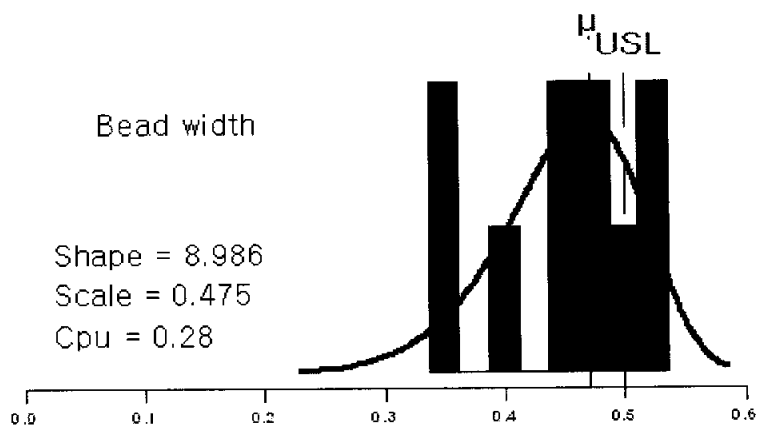


(b) Thyristor power source

Fig. 4.13 Evaluation of C_{pu} as the power source type by 6 σ analysis (bead height)



(a) Inverter power source

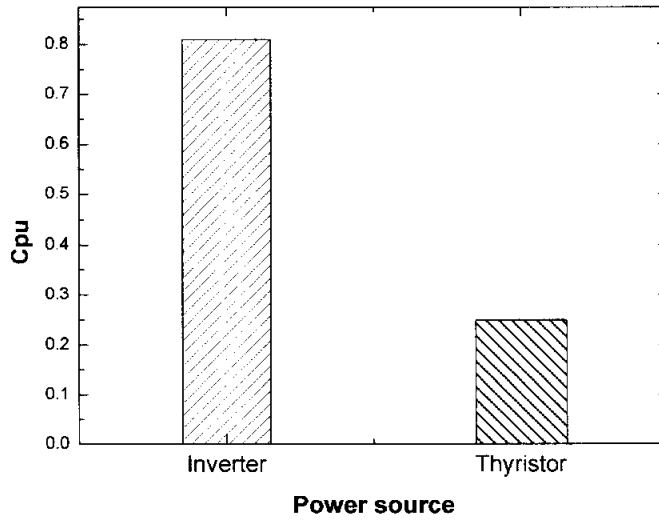


(b) Thyristor power source

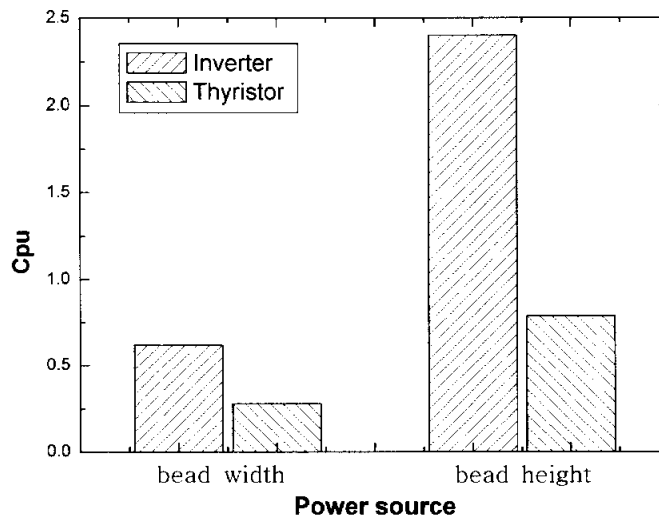
Fig. 4.14 Evaluation of Cpu as the power source type by 6σ analysis(bead width)

Fig. 4.15(a)는 스패터 발생량이라는 CTQ(CTQ₁)에 대한 용접전원별 공정능력지수(Cpu)를 나타내는 것으로서 인버터 용접전원이 사이리스터에 비해 3배이상 높음을 알 수 있다. 또한 Fig. 4.15(b)는 비드 균일성이라는 CTQ(CTQ₂)에 대한 것으로서 인버터가 사이리스터에 비해 공정능력지수가 높음을 알 수 있으며, 특히 비드 높이에 관해서는 인버터가 월등히 높음을 알 수 있다.

이상과 같이 각각의 CTQ에 대한 공정능력을 평가하기 위해서는 스패터 발생량 및 비드 형상을 각각 계측해야 하는 번거로움이 따르므로 이러한 CTQ들을 하나의 통합된 CTQ로 C_RV를 이용하여 공정능력지수(Cpm)를 평가해 보았다. Fig. 4.16은 Cpm을 계산하기 위한 C_RV의 범위, 즉 규격 범위를 나타내는 것으로서 상부의 가로막대는 스패터 발생량의 USL을 1.0g/min로 설정했을 경우 만족하는 C_RV의 범위를 나타낸 것이고, 중앙 및 하부의 막대는 각각 비드 높이와 비드 폭에 대한 USL을 0.2mm, 0.5mm로 설정하였을 경우의 만족하는 C_RV의 범위를 나타낸 것으로서 각각의 조건을 만족하는 C_RV의 범위가 인버터가 사이리스터에 비해 월등히 넓음을 알 수 있다. 즉, 인버터 용접전원의 경우 USL과 LSL은 각각 0.785, 0.580이 되고, 사이리스터 용접전원의 경우에는 각각 0.784, 0.654가 된다. 이렇게 규격의 범위를 정하고 Target이 되는 최적 C_RV를 지정하기 위해서 각각의 CTQ(CTQ₁, CTQ₂)에서의 최적 C_RV를 비교해본 결과 인버터에서는 CTQ₁과 CTQ₂의 최적 C_RV가 0.65로 동일하여 Target을 0.65로 설정하였다. 반면 사이리스터 전원의 경우에는 CTQ₁과 CTQ₂에서의 최적 C_RV가 달랐다. CTQ₁에서의 최적 C_RV는 0.66을 나타내었고, CTQ₂에서는 0.73을 나타내었으나 CTQ₁에서 C_RV 0.66과 0.73은 스패터 발생량이 근소한 차이를 보였고, CTQ₂에서 0.66과 0.73은 0.73이 월등히 우수하였으므로 사이리스터에서의 Target은 0.73이 보다 합리적이라고 판단되었다. Fig. 4.17은 각각의 용접전원의 Target이 되는 조건에서 10번 반복실험하여 Cpm을 평가한 것으로서 인버터의 경우 사이리스터에 비해 규격범위가 넓을 뿐만 아니라 표준편차도 적게 나와 Fig. 4.18과 같이 인버터의 Cpm이 보다 높게 나왔다.

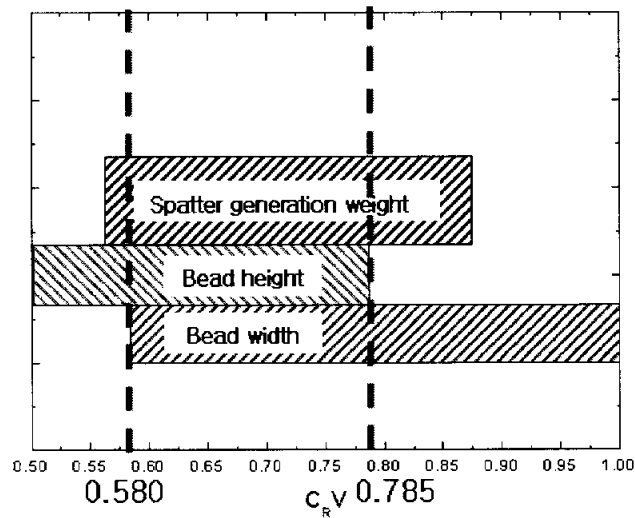


(a) Spatter generation weight

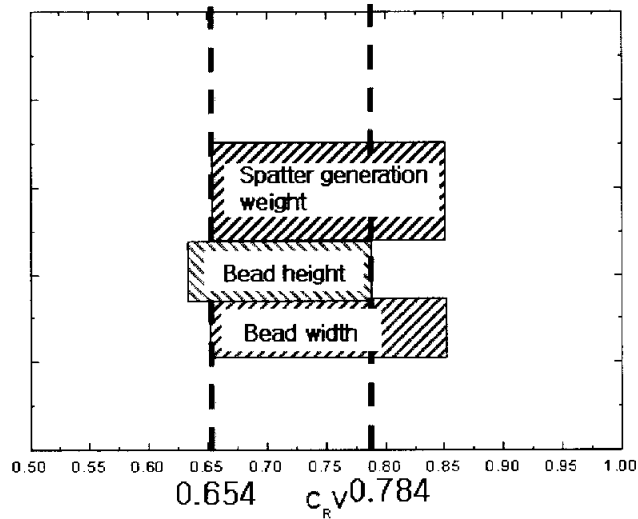


(b) Bead uniformity

Fig. 4.15 Evaluate of Cpu by power source type

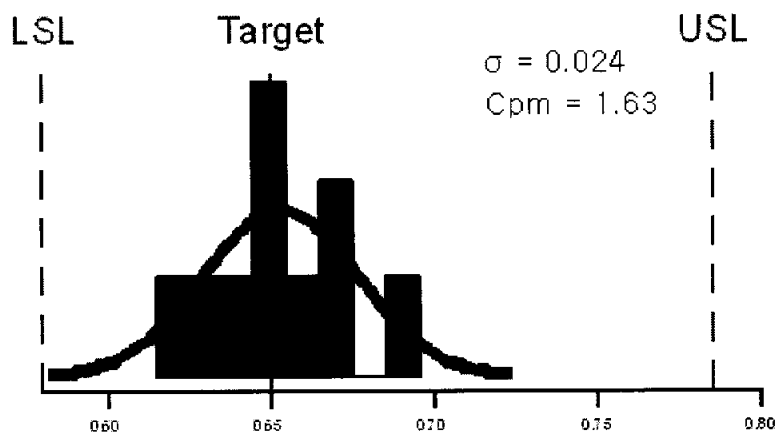


(a) Inverter power source

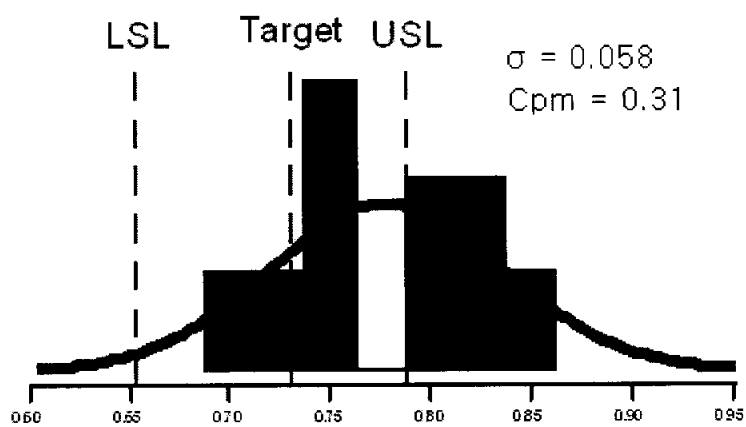


(b) Thyristor power source

Fig. 4.16 Range of $C_R V$ by power source type



(a) Inverter power source



(b) Thyristor power source

Fig. 4.17 Evaluation of Cpm as the power source type by 6 σ analysis

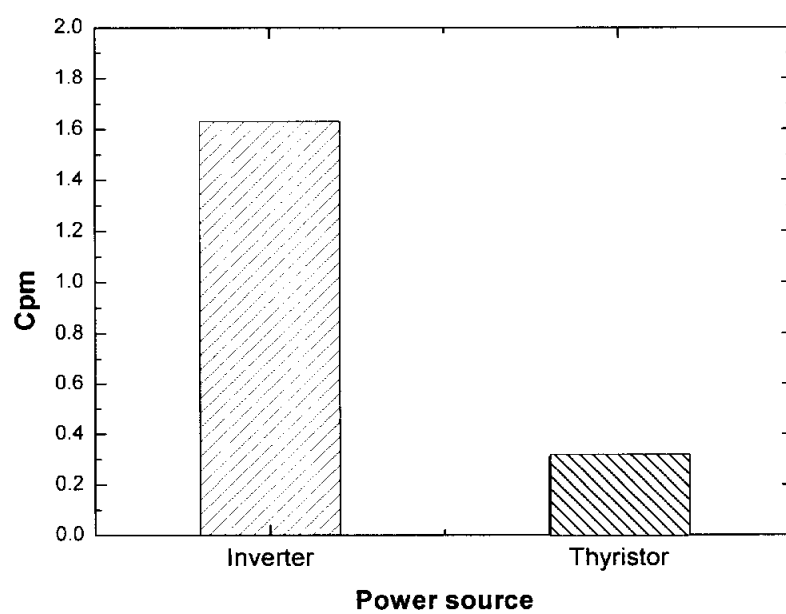


Fig. 4.18 Evaluate of Cpm with power source type

4.3.2 와이어 송급기별 출력특성의 평가

동일 인버터 용접전원에서 W.F.R. 372cm/min으로 고정하고 C_RV 의 변화에 따른 와이어 송급기별(A, B type) 출력특성을 평가하였다.

(1) 와이어 송급성의 평가

Fig. 4.19는 송급기의 프린트 모터에 인가된 전압의 변화에 따른 와이어 송급속도의 표준편차를 보여주는 것이다. 인가 전압 1V당 와이어 송급속도는 약 100cm/min를 나타내는 것으로서 Feeder A가 상대적으로 표준편차가 적다는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 4.20에서 동일 단락 시간비에서 C_RV 는 Feeder A가 적게 나왔음을 알 수 있고, C_RV 가 급증하는 단락 시간비가 Feeder A는 약 39%로서 Feeder B의 약 33%에 비해 보다 높음을 알 수 있다. 이는 아크 불안정으로 인한 C_RV 가 적다는 것을 의미하며, 짧은 아크길이에서도 아크 안정성이 우수하다는 것을 보여주는 것이다. 이러한 점으로 유추해 볼때 Feeder A는 Feeder B에 비해 와이어 송급성이 우수하다고 판단되며, 이는 고속 용접시 아크력(Arc force)를 낮출 수 있어 언더컷(Undercut), 험핑비드(Humping bead)와 같은 결함에 비교적 둔감할 것이라고 예상된다. Fig. 4.21은 C_RV 0.75 조건에서 용접시간에 따른 단락 주기를 나타낸 것으로서 Feeder A가 B에 비해 단락이 규칙적으로 일어났음을 알 수 있다.

이상과 같은 실험 결과 와이어 송급성은 소결 합금으로 제조된 유성기어를 쓰는 Feeder A가 Feeder B에 비해 우수하는 것을 알 수 있었다.

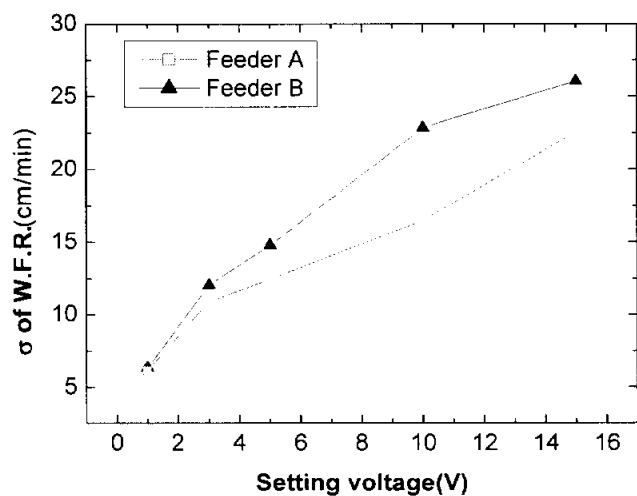


Fig. 4.19 Variation of Standard deviation of W.F.R. with setting voltage

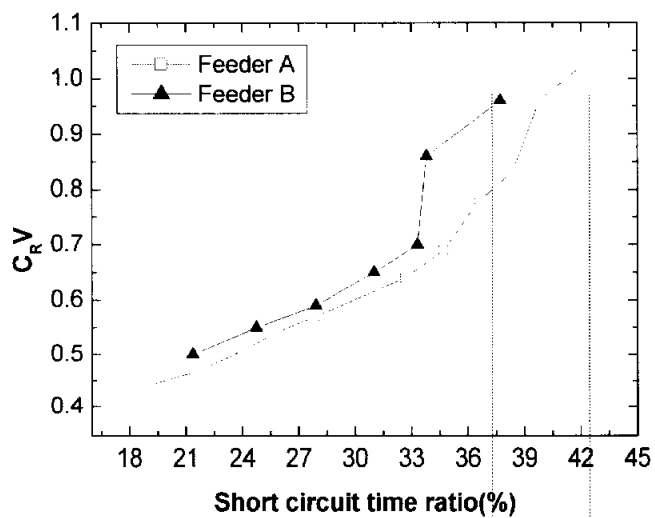
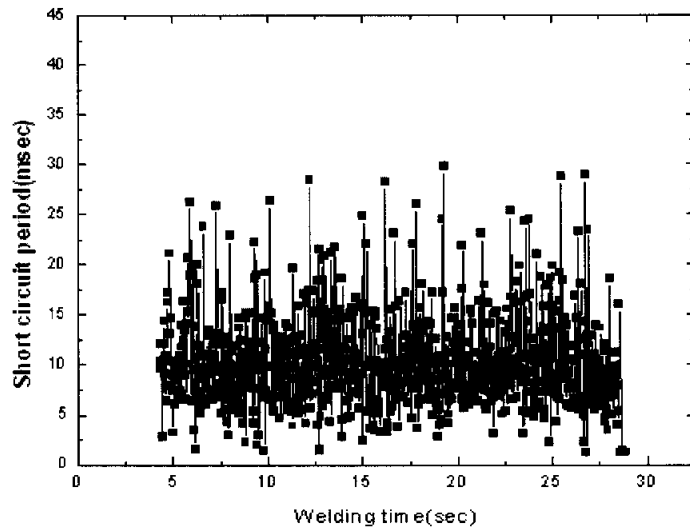
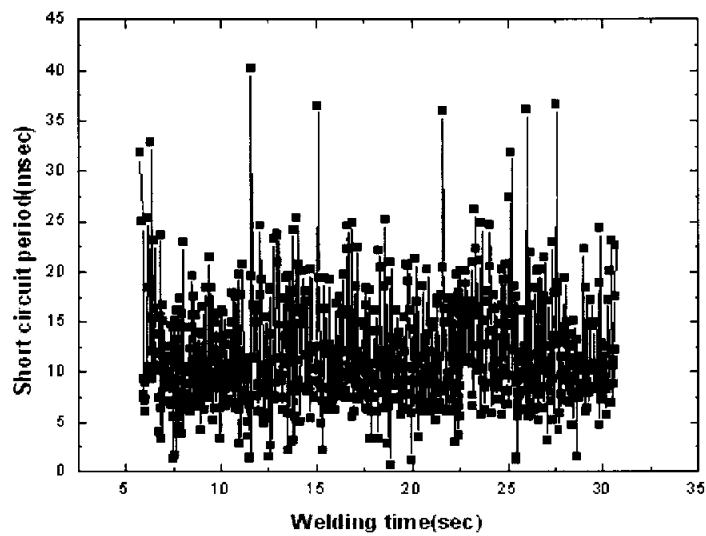


Fig. 4.20 Variation of C_R V with setting voltage



(a) Feeder A



(b) Feeder B

Fig. 4.21 Variation of short circuit period with welding time ($C_R V$ 0.75)

(2) 스패터 발생 특성(CTQ₁)의 평가

Fig. 4.22는 와이어 송급기의 종류에 따른 스패터 발생량을 보여주는 것으로 Feeder A가 상대적으로 스패터량이 적게 나왔으며, USL을 1.0g/min으로 설정하였을 때 규격범위가 Feeder A가 넓음을 알 수 있다. 또한 이렇게 스패터가 적게 생기는 안정된 C_RV 구간이 전반적으로 낮은 쪽으로 치우쳐 있다. 그리고 스패터 발생량이 최저로 되는 최적 C_RV 는 Feeder A의 경우 0.64를 나타내었고, B의 경우 0.65를 보였다. 이는 와이어 송급성의 차이에 기인하는 것으로 Fig 4.19-21에서 설명하였다.

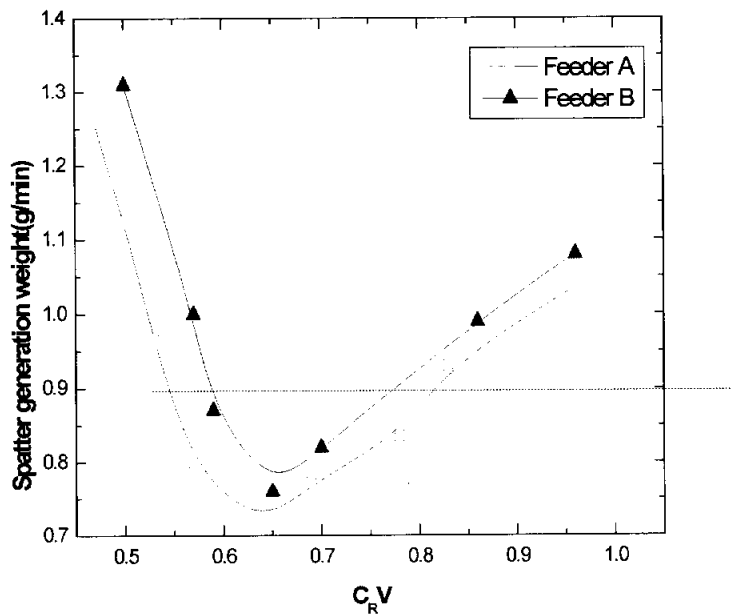


Fig. 4.22 Variation of spatter generation weight with C_RV

(3) 비드 균일성(CTQ₂)의 평가

Fig. 4.23은 와이어 송급기의 종류에 따른 비드 폭 및 높이의 표준편차를 나타내는 것으로서 와이어 송급성이 우수한 Feeder A가 전반적으로 Feeder B에 비해 비드 균일성이 우수하였다. 또한, 비드 높이 및 폭에 대한 USL을 각각 0.2mm, 0.5mm로 설정했을 경우 규격의 범위가 Feeder A가 넓었고, 비드 높이 및 폭의 표준편차가 가장 적게 나타나는 최적 C_RV는 Feeder A, B 각각 0.64, 0.65를 나타내었다.

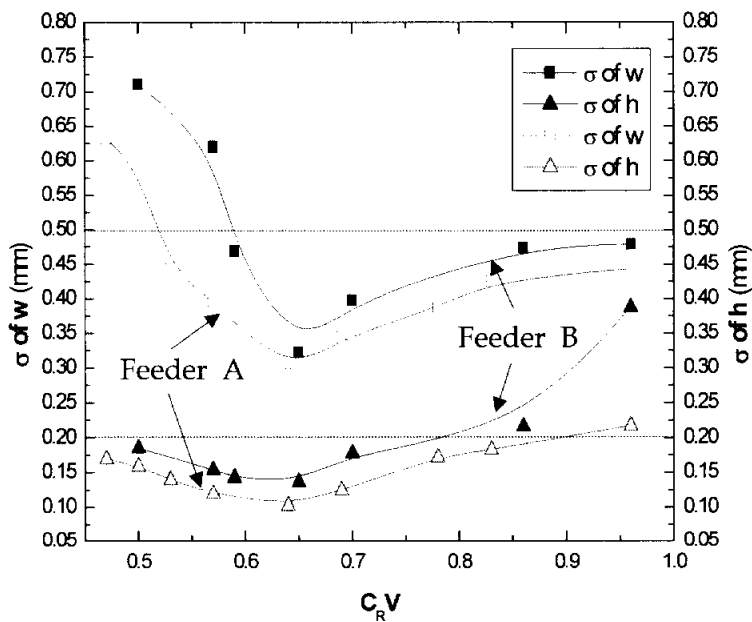
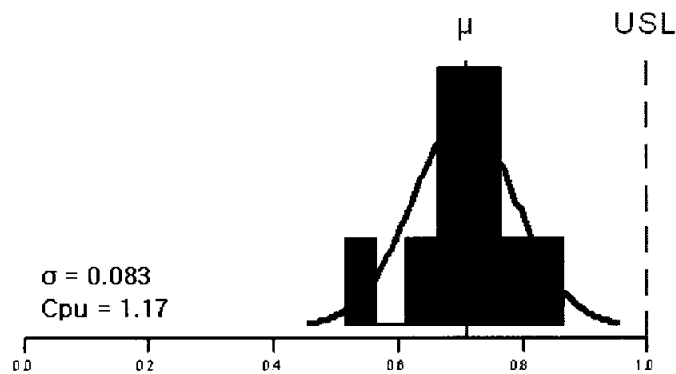


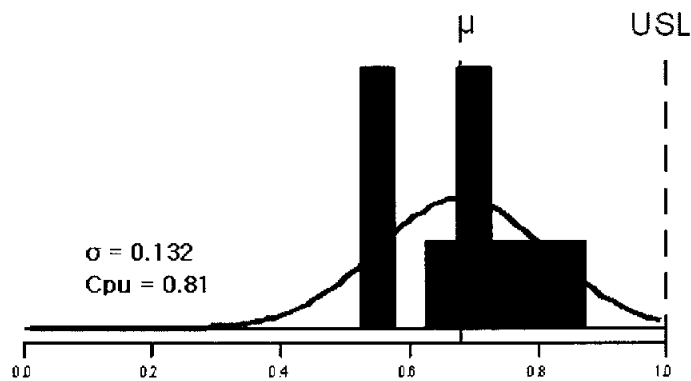
Fig. 4.23 Variation of bead configuration with $C_R V$

(4) 공정능력지수의 평가

Fig. 4.24는 스파터 발생 특성에 대한 Feeder A 및 B의 Cpu를 minitab으로 통계처리하여 계산한 것으로서 Feeder A의 경우 규격의 범위(USL - μ)는 비슷하나 표준편차가 Feeder B에 비해 적어서 Cpu가 Feeder B보다 약 1.5배 높게 형성되었다.



(a) Feeder A

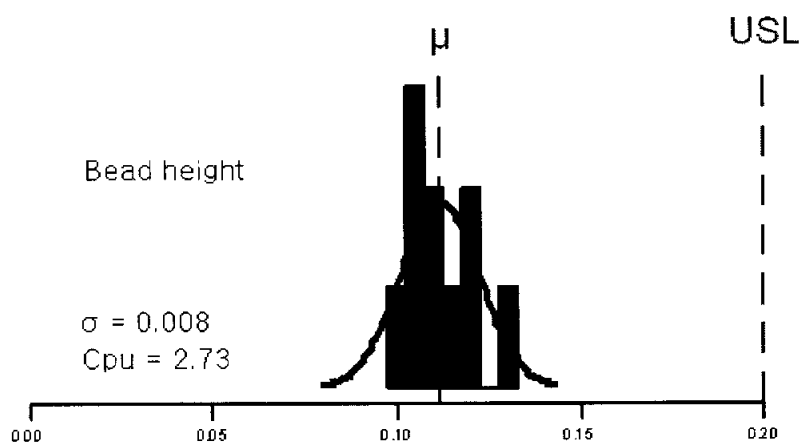


(b) Feeder B

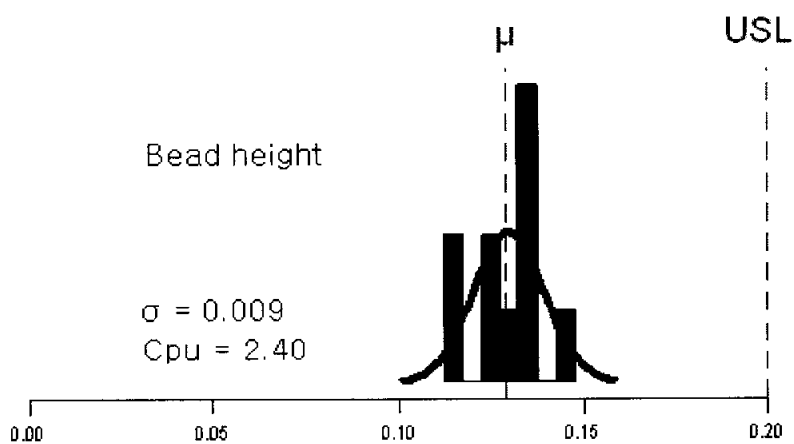
Fig. 4.24 Evaluation of Cpu as the wire feeder type by 6 σ analysis(spatter generation weight)

Fig. 4.25는 비드 높이에 대한 Feeder A 및 B의 Cpu를 minitab으로 통계 처리하여 계산한 것으로서 Feeder A의 경우 규격의 범위(USL - μ)와 표준편차가 Feeder B와 큰 차이를 나타내지는 않았지만 비교적 Feeder B에 비해 Cpu가 높게 형성되었다. Fig. 4.26은 비드 폭에 대한 공정능력지수(Cpu)를 나타내는 것으로서 Anderson-Darling 테스트 결과 정규분포보다 와이블 분포에 가까웠으므로 이 분포로 Cpu를 평가하였다. 그 결과 규격범위의 경우 형상모수에서는 큰 유의차를 나타내지 않았지만 척도 모수(Scale parameter)에서 유의차를 보였고, 규격범위의 경우 Feeder A가 월등히 넓게 형성되어 최종 Cpu는 Feeder A가 B에 비해 4배 정도 높게 나왔다.

이상과 같이 와이어 송급성에서 차이가 나는 Feeder A와 B에 대한 공정능력분석 결과 Fig. 4.27에서 보는 것과 같이 전반적으로 Feeder A가 우수하였고, 특히 비드 폭에 대한 Cpu가 보다 우수하였다.

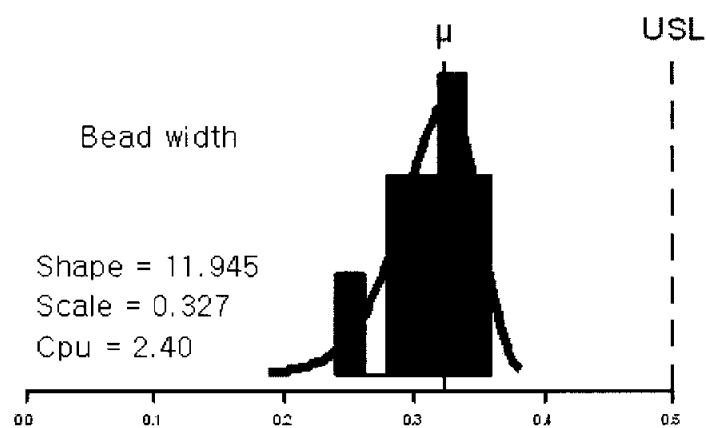


(a) Feeder A

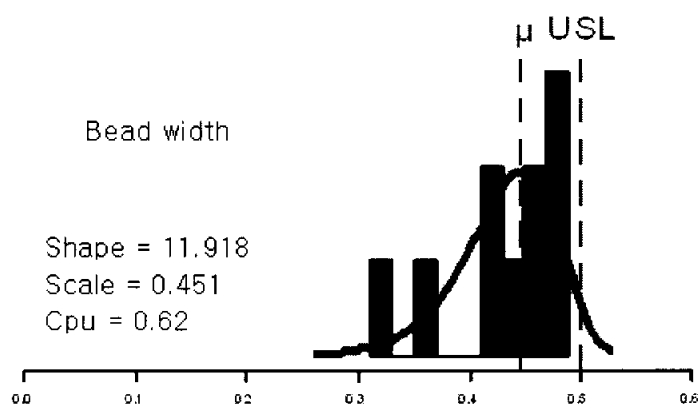


(b) Feeder B

Fig. 4.25 Evaluation of Cpu as the wire feeder type by 6 σ analysis (bead height)

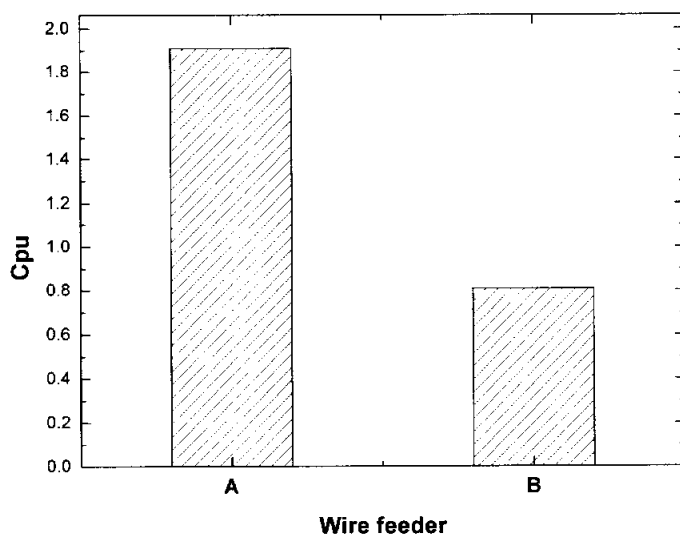


(a) Feeder A

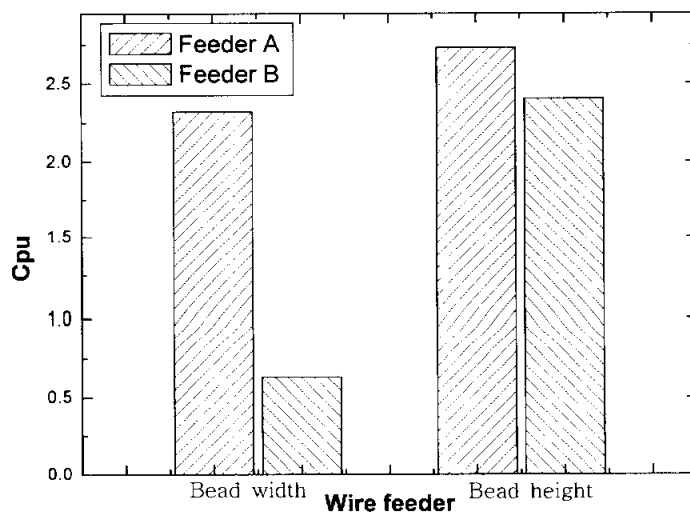


(b) Feeder B

Fig. 4.26 Evaluation of Cpu as the wire feeder type by 6σ analysis (bead width)



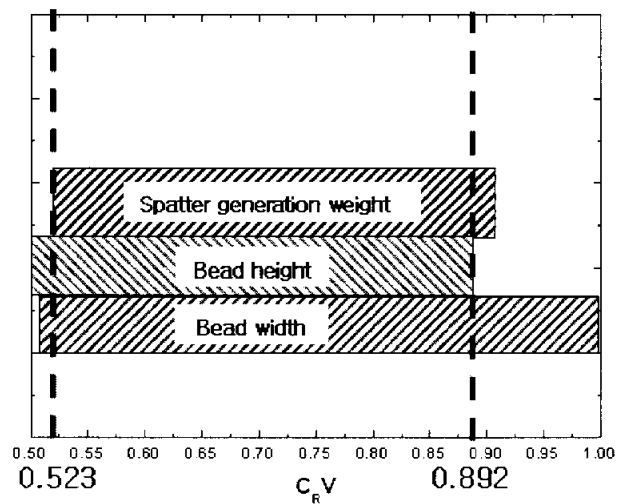
(a) Spatter generation weight



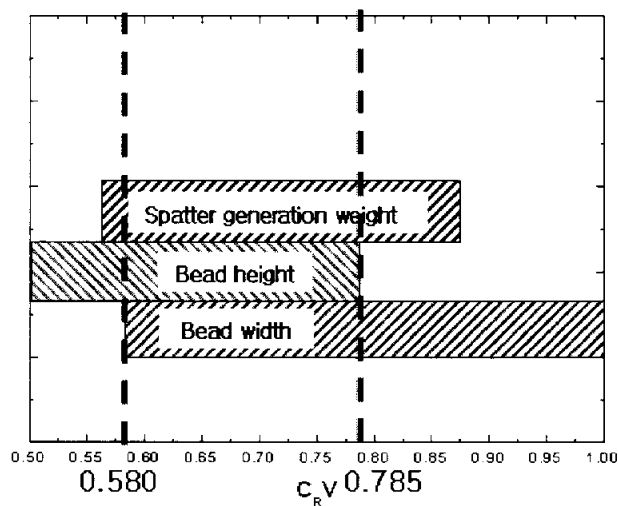
(b) Bead uniformity

Fig. 4.27 Evaluate of Cpu by wire feeder

Fig. 4.28은 Cpm을 계산하기 위한 C_RV 의 범위, 즉 규격 범위를 나타내는 것으로서 상부의 가로막대는 스페터 발생량의 USL을 1.0g/min로 설정했을 경우 만족하는 C_RV 의 범위를 나타낸 것이고, 중앙 및 하부의 막대는 각각 비드 높이와 비드 폭에 대한 USL을 0.2mm, 0.5mm로 설정하였을 경우의 만족하는 C_RV 의 범위를 나타낸 것으로서 각각의 조건을 만족하는 C_RV 의 범위가 Feeder A가 B에 비해 넓음을 알 수 있다. 즉, Feeder A의 경우 USL과 LSL은 각각 0.892, 0.523이 되고, Feeder B의 경우에는 각각 0.785, 0.580가 된다. 이렇게 규격의 범위를 정하고 Target이 되는 최적 C_RV 를 지정하기 위해서 각각의 CTQ에서의 최적 C_RV 를 비교해본 결과 Feeder A, B 모두 CTQ₁과 CTQ₂의 최적 C_RV 가 각각 0.64와 0.65로 동일하여 Target을 0.64, 0.65로 설정하였다. Fig. 4.29는 각각의 용접전원의 Target이 되는 조건에서 10번 반복실험하여 6σ 처리한 것으로서 Feeder A의 경우 B에 비해 규격범위가 월등히 넓을 뿐만 아니라 표준편차도 적게 나와 Fig. 4.30과 같이 Feeder A의 Cpm이 보다 높게 나왔다.

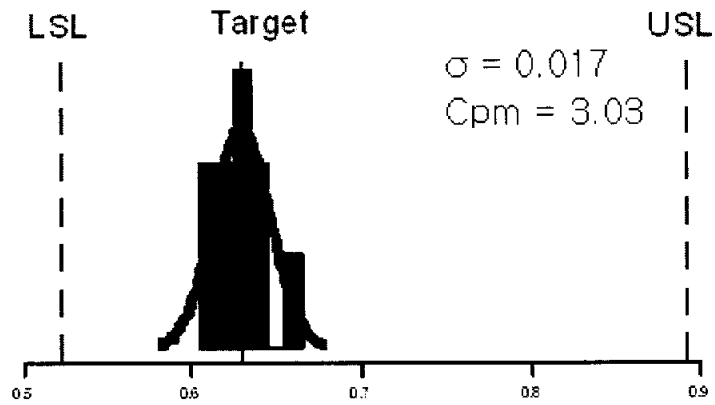


(a) Feeder A

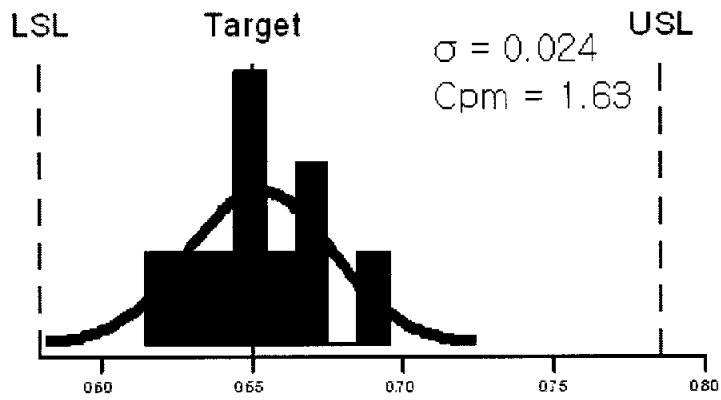


(b) Feeder B

Fig. 4.28 Range of $C_R V$ by wire feeder type



(a) Feeder A



(b) Feeder B

Fig. 4.29 Evaluation of Cpm as the wire feeder type by 6σ analysis

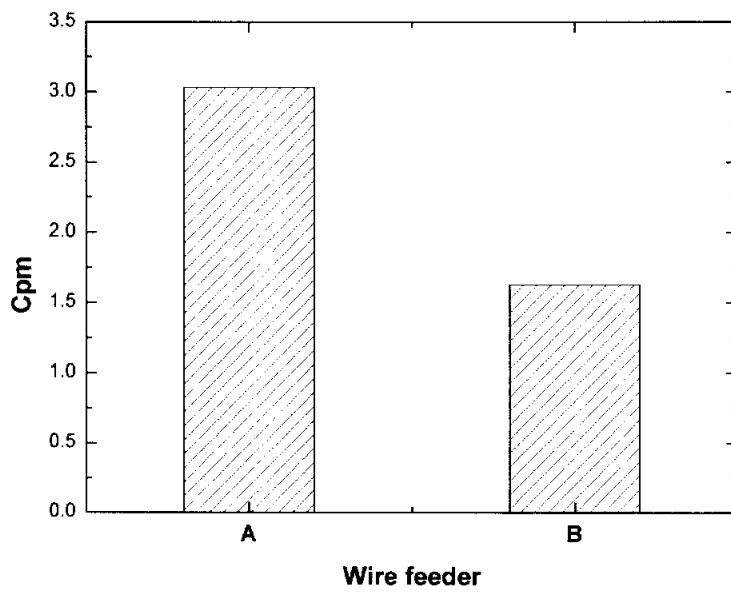


Fig. 4.30 Evaluate of Cpm with wire feeder type

4.4 결 언

이상과 같은 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 6σ에서의 공정능력지수를 사용하여 용접전원의 출력특성을 정량적으로 평가할 수 있는 기법을 개발하였다.
- 2) 인버터 및 사이리스터 용접전원에서 스파터 발생량과 비드 형상 산포가 최저로 되는 최적 C_RV 를 구할 수 있었고, 이 때의 스파터 발생량 및 비드 형상 산포는 인버터 용접전원이 사이리스터 용접전원에 비해 적게 나왔으며, 일정한 수준이하의 스파터 발생량 및 비드 형상 산포가 되는 C_RV 영역 또한 넓었다.
- 3) 용접전원별 스파터 발생량 및 비드 균일성을 CTQ로 설정하고 CTP를 C_RV 로 하여 각각의 Cpu 및 통합 Cpm를 구한 결과 인버터 용접전원이 사이리스터 용접전원에 비해 크게 나왔다.
- 4) 와이어 송급성이 우수한 송급기는 그렇지 못한 송급기에 비해 아크 불안정으로 인한 C_RV 를 줄일 수 있었고, 이로 인해 스파터 발생량 및 비드 균일성에 대한 Cpu는 상대적으로 크게 나타났다.
- 5) 와이어 송급기별 스파터 발생량 및 비드 균일성을 CTQ로 설정하고 CTP를 C_RV 로 하여 각각의 Cpu 및 통합 Cpm를 구한 결과 와이어 송급성이 우수한 송급기가 높은 값을 나타내었다.

제 5 장 결 론

이상과 같이 60에 의한 용접기 출력특성의 평가기법 개발에 관한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 60에서의 공정능력지수를 사용하여 용접기의 출력특성을 정량적으로 평가할 수 있는 기법을 개발하였다.
- 2) 저항변동계수(C_RV)는 아크 길이 및 아크 불안정성도 함께 평가하는 것이 가능하여 아크 안정성 지수로 사용가능함을 알 수 있었다.
- 3) 용접전원별 평가 결과 사이리스터 용접전원보다 인버터 용접전원이 전반적으로 우수하였고, 특히 인버터 용접전원은 스파터 발생량과 비드 높이에 대한 공정능력지수가 보다 높았다.
- 4) 와이어 송급기별 평가 결과 Feeder B보다 Feeder A가 전반적으로 우수하였고, 특히 Feeder A의 경우 비드 폭에 대한 공정능력지수가 보다 높았다.

참 고 문 헌

- 1) M. Sugisaki, M. Kosyou : Adoption of Spatterless Wire, Welding Technigue, Vol. 44, No. 11(1996), p.10
- 2) M. Sakashita, T. Kataoka : KM-50S Spatterless Wire for Gas Shielded Arc Welding, Kawasaki Steel Technical Report, No. 33, Jan.(1996), p.17
- 3) T. Mita : Quantitative Estimation of Arc Stability on CO₂ Gas Shielded Arc Welding, J. of Japan Weld. Soc., Vol. 5, No. 1(1987), p75
- 4) T. Mita : Waveform control method in CO₂ gas shielded arc welding, Quarterly Journal of the Japan Welding Society, Vol. 6, No. 2(1988), p209.
- 5) H. Yamamoto : Recent advances in welding power systems for automated welding, J. of Japan Weld. Soc., Vol. 64, No. 6(1994), p457
- 6) 강성구, 문형순, 나석주 : 스파터 양을 이용한 아크 판별에 관한 연구, 대한용접학회지, 제15권, 제6호(1997), p41~48
- 7) 김희진, 이창한 : CO₂용접에서 용접전원에 따른 스파터 발생량의 차이, 대한용접학회지 제17호 제4권(1999), p16~p21
- 8) T. Shnoda, H. Nishikawa : Monitoring and Signal Processing of Short Circuiting Metal Transfer of Metal Active Gas Welding Process, Proceedings of the Int. Conf. on the Joining of Materials, May 31~June 2(1995), p.558~565
- 9) 조상명 : 교류 피복 아크 용접에 있어서 아크 안정성의 정량적 평가에 관한 연구, 대한용접학회지 제 16호 제 4권(1988), p125~131

- 10) 오동수, 최규원, 조상명 : GMAW에서 아크 스타트 특성 평가를 위한 6 시그마 적용, 창원기능대학 논문집 제20권(2001), p63~p70
- 11) 최 규 원 : GMAW에서 아크 개시 특성 및 아크 안정성에 관한 연구, 부경대학교 공학석사 학위논문(2002), p49~p61
- 12) 대한용접학회 : 용접 · 접합 편람, 1998, p546~p559
- 13) 대한용접학회 : 용접 · 접합 용어사전, 2001, p51~p52
- 14) 이레테크 미니탭 사업부 : MINITAB 실무완성, 2000, p8-1~p8-24

감사의 글

2000년 3월 융접IT연구실에 첫 발을 내디딘 후 만 3년 동안의 시간들.. 제가 걸어온 길 중에서 가장 많은 발자취를 남긴 소중한 나날이었습니다. 학문과 인생이라는 길의 길잡이로서 한결같은 지도를 아끼지 않으신 조상명 교수님께 먼저 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

학부 및 대학원 과정을 지도해주시고, 논문 완성까지 질책과 격려를 아끼지 않으셨던 김우열 교수님, 박종일 교수님, 김성규 교수님, 이병우 교수님, 방국수 교수님, 서원찬 교수님, 이길근 교수님께 진심으로 감사의 마음을 올립니다.

항상 부족했던 저를 위해 많은 도움을 아끼지 않으셨던 오동수 선배님, 김윤수 선배님, 서상균 선배님, 임성룡 선배님, 최규원 선배님, 방선희 선배님, 김송미 선배님, 박찬우 선배님께 감사드리며 하시는 일마다 견승하시길 기원합니다. 그리고 함께 연구를 하면서 희노애락을 공유한 김선희 선배님, 조호재 선배님, 공현상 선배님, 김진우님, 탁정수님, 김기정님, 고미혜님, 박덕조님, 조성우님, 유광선님, 조진안님, 여상준님, 박재선님, 김영주님, 김한얼님에게도 고마움을 전합니다. 또한, 연구실의 안살림을 맡아가면서 옆에서 힘찬 용원과 사랑을 보내주신 박영희님께도 진심으로 감사의 마음을 전합니다. 비록 다른 연구실에서 다른 연구를 하면서도 같은 엔지니어로서의 길을 묵묵히 헤쳐나간 강중태님, 김성덕님, 김병철님, 문장민님, 김현준님, 손대영님께도 고마움을 전합니다. 특히, 본 논문을 쓰는 과정에서 많은 도움을 주신 이광원 선배님 이하 모니텍 코리아 가족님들, 산업공학과의 김미정님, 박금기 선배님, 김기정님, 조진안님, 박덕조님께 깊은 감사를 드리며 항상 행복과 행운이 함께하길 기원합니다. 앞으로 보다 더 발전하고 인정받는 연구실이 되기를 진심으로 기원하며, 남아있는 분들의 눈부신 활약을 기대합니다.

끝으로, 지금까지 학업을 계속할 수 있게 뒤에서 묵묵히 지원해주신 할머니님, 아버지님, 어머니님, 누님들, 그리고 항상 삶의 활력소가 되어준 류애정님께 고개숙여 깊은 감사의 마음을 전하면서 이 논문을 마칩니다.