

60에 의한 용접기 출력특성의 평가기법 개발에 관한 연구

조 상 명* · 윤 훈 성**

*부경대학교 신소재공학부 생산기공공학전공

**모니텍코리아 기술지원팀

A Study on the Development of Evaluation Method for the Output Characteristics of Welding Machine by 60

Sang Myung Cho* and Hun Sung Yoon**

*Course of Production and Joining Eng., Div. of Materials Processing Eng., Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea

**Technology Support Team, Monitech Korea, Pusan 617-809, Korea

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 60.

* Corresponding author : pnwcho@mail.pknu.ac.kr

(Received January 2, 2003)

Key Words : Welding power source, Wire feeder, Waveform control, Arc stability, Coefficient of resistance variation, Metal transfer, Spatter, Bead uniformity, Process capability, 60

1. 서 론

아크용접 공정은 제품의 요구 품질 사양이 다양하고 그 품질에 영향을 미치는 변수 또한 아주 다양하므로 상당히 많은 불량률 존재하는 공정으로 지적되고 있다. 특히 CO₂ 용접은 다른 아크 용접에 비해 품질이 떨어지고 스파터 발생이 많아 이를 제거하기 위해 추가 공정이 필요하게 되어 시간과 효율을 저하시키는 요인이 되고 있다. 따라서 안정된 품질을 연속적으로 얻을 수 있는 용접 공정을 형성하기 위해서는 용접재료의 측면¹⁾ 등 여러 변수가 있었지만 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 왔다²⁻⁶⁾. 그러나 이러한 평가는 외부 환경 및 용접 조건에 따라 달라지게 되므로 보다 정량적인 파라미터 및 평가 수법에 의한 합리적이고 간단하게 용접기를 평가할 수 있는 기법의 개발이 필요하게 되었다.

본 연구에서는 CO₂ 용접에 있어서 용접저항의 변동계수(Coefficient of resistance variation)를 아크 안정성 지수로 설정하고 이를 합리적으로 평가하는 방법을 확립하여 용접기의 출력특성에 따른 아크 안정성

의 변화를 정량적으로 비교할 수 있는 기법을 6σ에 의한 공정능력 지수(Process capability index)를 활용하여 개발하는 것이다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

본 실험에서는 CO₂용접법을 사용하여 비드(Bead on plate) 용접하였다. 사용된 시편은 연강 SS400이였으며, 두께 6mm, 폭 100mm, 길이 300mm의 판으로서 흑피 상태 그대로 용접하였다. 용접전원은 파형 제어가 가능한 정격용량 350A의 CO₂/MAG 인버터 용접전원과 동일 용량의 사이리스터 용접전원을 사용하였으며, 와이어 송급기는 플라스틱 감속 기어를 사용하는 일반 송급기와 유성 기어(소결 제조)를 사용하는 송급기를 이용하였다. 용접 전류, 전압 및 저항 파형을 측정하기 위해서 아크 용접 모니터링 시스템(WAM4000N)을 활용하였고, 와이어 송급성을 평가하기 위하여 송급 롤러에 엔코더를 부착하여 와이어 송급속도를 측정하였다.

Table 1은 용접 조건을 나타내는 것으로서 와이어 송급속도(Wire feeding rate)는 단락이행 영역인 150A해당하는 372cm/min로 하였다. 각 용접 조건에서의 스패터를 포집하여 그 무게를 측정하였고, 이미지 프로세싱을 통하여 비드의 폭과 높이를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 아크 안정성 지수의 유도

용접기의 출력특성을 평가하는데 6σ를 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 연구에서는 용접기의 출력특성 평가를 아크 안정성이라는 관점으로 논하기 위하여 아크 안정성 지수를 유도해 보았으며 이렇게 개발된 지수가 CTP로써 적용이 되는 것이다. 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^{1)~3)}로 볼 수 있다. Mita 등은 용접 전류 파형에서 스

패터 발생량에 영향을 미치는 여러 인자를 개발하여 각각의 인자들을 회귀분석하여 아크 안정성 지수를 개발하였다. 하지만 이와 같은 지수는 매우 복잡하여 실제로 적용하기에는 상당히 까다로울 뿐만 아니라 단지 스패터 발생량에만 의존하여 아크 안정성을 논하였다. 즉, 스패터 발생량이 많으면 아크가 불안정하고 스패터 발생량이 적으면 아크가 안정하다는 논리로서 이는 아크 안정성을 직접적으로 평가하기에는 무리가 있다고 판단된다. Fig. 1은 Cho의 연구⁷⁾에 관한 것으로서 여기에서는 아크 안정성 지수로써 용접저항의 변동계수(Coefficient of Resistance Variation, CRV)를 사용하였다. 이는 다음의 식 (1)로 계산되어 진다.

$$CRV = \frac{\text{용접 저항의 표준편차}}{\text{용접저항의 평균}} \quad (1)$$

이는 매우 간단하면서도 합리적으로 아크 안정성을 평가할 수 있는 인자로 평가되었으나 이 연구에서는 단지 교류피복아크 용접에만 적용하였다. 따라서 본 연구에서는 이러한 저항변동계수를 아크 안정성 지수로 설정하고 이의 GMAW에 있어서의 적용 가능성을 평가해 보았다.

Fig. 2는 W.F.R.을 372cpm로 고정하고 출력전압을 변경하면서 용접하였을 때의 용접 전류, 전압 및 저항 파형과 비드 외관을 보여주는 것으로서 (a)는 출력 전압이 19.5V인 경우로써 CRV는 0.65를 나타내었다. 이 조건에서는 아크길이가 적절할 뿐만 아니라 아크 불안정도 일어나지 않아 단락이 매우 규칙적으로 나타났

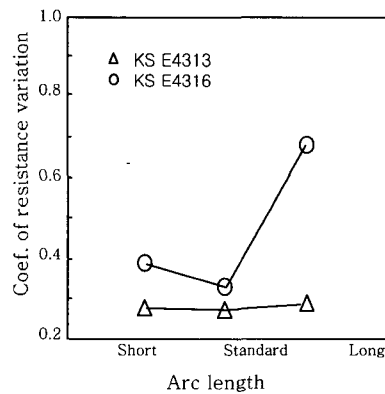


Fig. 1 Relation of arc length and coefficient of resistance variation⁷⁾

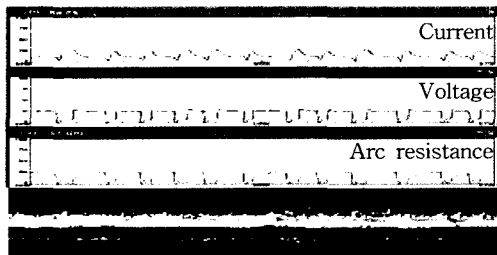
Table 1 Experimental conditions

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
Inverter		18~23					

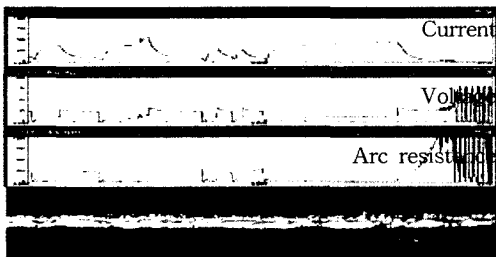
음을 알 수 있으며 비드외관 또한 미려함을 알 수 있다. (b)는 출력전압이 17.8V인 경우로써 C_{RV} 는 0.96을 나타내었다. 이 조건에서는 아크길이가 정상수준이하로 짧아짐에 따라 장기단락 및 Sticking으로 인한 아크 끊김이 빈번히 나타났고, 이 때의 비드 외관 또한 불균일하게 생성되었다. (c)는 출력전압이 22.8V인 경우로써 C_{RV} 는 0.50을 나타내었다. 이 조건에서는 아크길이가 정상수준 이상으로 지나치게 길어져서 단락이 매우 불규칙하게 일어났음을 알 수 있다. 이에 의해 언더컷 및 토우(toe)부 근처에 대립의 스파터가 부착되는 등 불량한 비드외관을 나타내었다.

Fig. 3은 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 등⁸⁾의 연구와 같은 경향을 보였다.

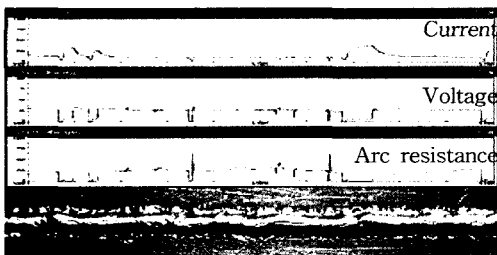
Fig. 4는 출력 전압의 변화에 따른 단락 시간비와 저항변동계수의 변화를 나타낸 것으로서 출력 전압이 증



(a) C_{RV} 0.65

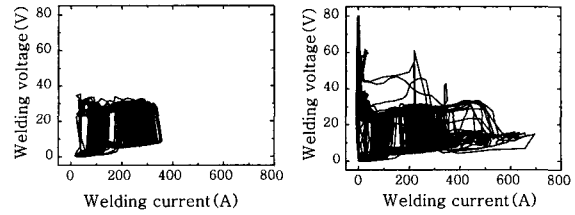


(b) C_{RV} 0.96



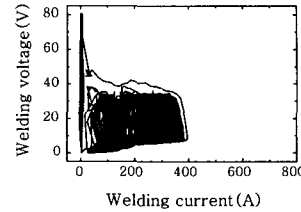
(c) C_{RV} 0.50

Fig. 2 Waveforms and bead appearances by different C_{RV}



(a) C_{RV} 0.65

(a) C_{RV} 0.65



(a) C_{RV} 0.65

Fig. 3 V-I loops by C_{RV}

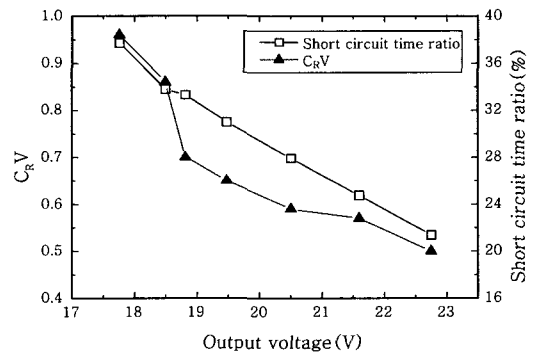


Fig. 4 Variation of C_{RV} and short circuit time ratio with output voltage

가할수록 단락 시간비가 직선적으로 감소함을 알 수 있다. 반면에 저항변동계수는 출력 전압이 증가할수록 일정 구간에서 직선적으로 감소하지 않음을 알 수 있는데 이는 아크길이 뿐만아니라 아크 끊김 등의 아크 불안정도 포함하기 때문이다. 이와 같이 아크 안정성 지수로써 C_{RV} 가 사용 가능함을 알 수 있었다.

3.2 용접전원의 출력 특성 평가

3.1절에서 평가된 CTP인 저항변동계수를 이용하여 인버터 및 사이리스터 용접전원의 출력 특성을 평가하기 위해서 6σ에서의 공정능력지수를 이용하였다. C_{RV} 의 변화에 따른 스파터 발생량(CTQ_1)과 비드 형상의 산포(CTQ_2)를 측정하고 합리적인 규격을 설정한 후 6σ 분석틀인 minitab을 이용하여 공정능력지수를 평가해보았다.

3.2.1 스파터 발생 특성(CTQ_1)의 평가

W.F.R. 372cm/min에서 C_{RV} 변화에 관계없이 단

락이행만을 보여주었다. 이와 같이 단락 이행구간에서의 스패터 발생량은 Fig. 5에서 보여주고 있다. 본 그림에서 알 수 있듯이 스패터 발생량이 최소가 되는 C_RV가 존재하는데 이 구간에서 인버터 용접전원이 사이리스터 용접전원에 비해 스패터 발생량이 0.2g/min 정도 낮음을 알 수 있다. 또한 실험값으로 인버터 용접전원의 경우에는 C_RV가 0.65일 때 스패터 발생량(0.76g/min)이 최저로 나타났으며, 사이리스터 용접전원은 C_RV가 0.66일 때 최저의 스패터 발생량(0.94g/min)을 보였다.

3.2.2 비드 균일성(CTQ₂)의 평가

Fig. 6은 W.F.R. 372cm/min에서의 C_RV의 변화에 따른 비드의 폭과 높이의 표준편차, 즉 비드 균일성을 나타낸 것으로서 인버터 용접전원의 경우 비드 폭과 높이의 표준편차가 최소로 되는 최적 C_RV는 0.65였다. C_RV가 정상수준 이상으로 커지면 아크길이가 감소하고 간략도 비정상적으로 일어나서 비드의 균일성이 상당히 떨어지고, C_RV가 정상수준 이하일 때에는 아크길이가 지나치게 길어져서 아크가 불안정해져서 비드의 형상이 매우 불균일하게 나타났다. 사이리스터 용접전원의 경우 비드 폭과 높이의 표준편차가 최소로 되는 최적

C_RV는 0.73이었다.

3.2.3 공정능력 지수의 평가

CTQ₁(스패터 발생량)과 CTQ₂(비드 균일성)에 대한 최적의 CTP 즉, 목표값이 되는 C_RV를 설정할 수 있었다. 공정능력지수의 평가를 위해서는 목표값의 설정 뿐만 아니라 각 공정 특성상의 USL(Upper Spec. Limit)과 LSL(Lower Spec. Limit)이 필요하다. 본 연구에서는 각각의 CTQ를 하나의 통합된 CTQ로 C_RV를 이용하여 공정능력지수(Cpm)를 평가해 보았다. Cpm의 계산식은 식 (2)와 같다⁹⁾.

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

여기서, σ는 표준편차를 나타내고, μ는 표본의 평균, 그리고 T는 목표값을 나타내는 것으로서 Cpm은 목표값이 규격범위의 중앙에 위치하지 않을 경우 목표값과 표본평균의 차를 고려한 공정능력 지수이다.

Fig. 7은 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

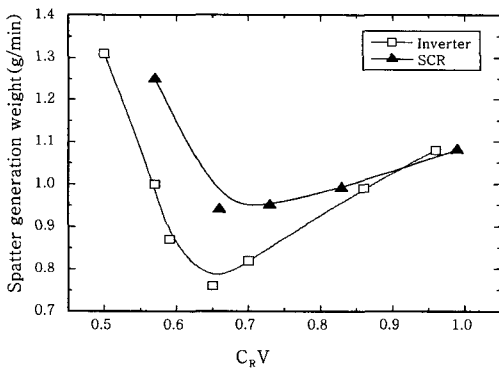


Fig. 5 Variation of spatter generation weight by C_RV

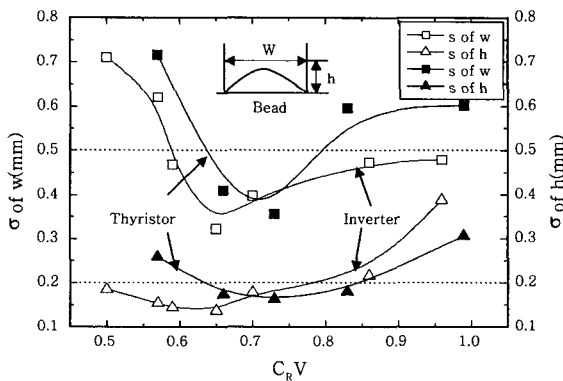
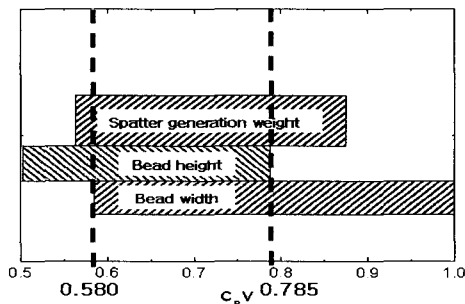
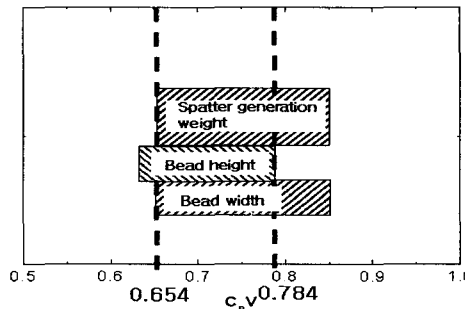


Fig. 6 Variation of bead configuration with C_RV



(a) Inverter power source



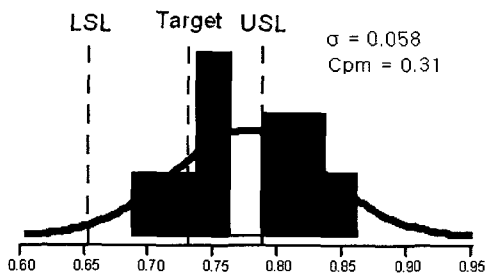
(b) Thyristor power source

Fig. 7 Range of C_RV by power source type

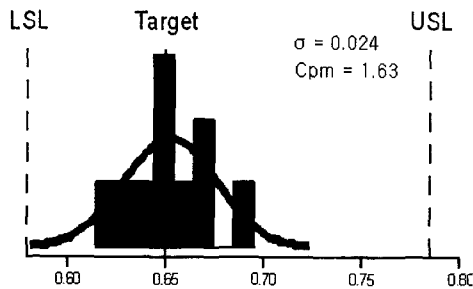
C_RV의 범위는 인버터가 사이리스터에 비해 월등히 넓음을 알 수 있다. 즉, 인버터 용접전원의 경우 USL과 LSL은 각각 0.785, 0.580이 되고, 사이리스터 용접전원의 경우에는 각각 0.784, 0.654가 된다. 이렇게 규격의 범위를 정하고 목표값이 되는 최적 C_RV를 지정하기 위해서 각각의 CTQ(CTQ₁, CTQ₂)에서의 최적 C_RV를 비교해본 결과 인버터에서는 CTQ₁과 CTQ₂의 최적 C_RV가 0.65로 동일하여 목표값을 0.65로 설정하였다. 반면 사이리스터 전원의 경우에는 CTQ₁과 CTQ₂에서의 최적 C_RV가 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 목표값은 0.73이 보다 합리적이라고 판단되었다. Fig. 8은 각각의 용접전원의 목표값이 되는 조건에서 10번 반복실험하여 공정능력을 평가한 것으로서 인버터의 경우 사이리스터에 비해 규격범위가 넓을 뿐만 아니라 표준편차도 적게 나옴에 따라 Cpm이 보다 높게 나왔다.

3.3 와이어 송급기의 출력 특성 평가

동종의 인버터 용접전원(W.F.R. 372cm/min)에서 유성 기어(소결 제조)를 사용하는 송급기(송급기 A)와



(a) Inverter power source



(b) Thyristor power source

Fig. 8 Evaluation of Cpm as the power source type by 6σ analysis

플라스틱 감속 기어를 사용하는 일반 송급기(송급기 B)를 사용하여 이의 출력 특성을 평가해 보았다.

3.3.1 와이어 송급성의 평가

Fig. 9는 송급기의 프린트 모터에 인가된 전압의 변화에 따른 와이어 송급속도의 표준편차를 보여주는 것이다. 인가 전압 1V당 와이어 송급속도는 약 100cm/min를 나타내는 것으로서 송급기 A가 상대적으로 표준편차가 적다는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 10에서는 동일 단락 시간비에서 C_RV는 송급기 A가 적게 나왔음을 알 수 있고, C_RV가 급증하는 단락 시간비가 송급기 A는 약 39%로서 송급기 B의 약 34%에 비해 보다 높음을 알 수 있다. 이는 아크 불안정으로 인한 C_RV가 적다는 것을 의미하며, 짧은 아크길이에서도 아크 안정성이 우수하다는 것을 보여주는 것이다.

3.3.2 스패터 발생 특성(CTQ₁)의 평가

Fig. 11은 와이어 송급기의 종류에 따른 스패터 발생량을 보여주는 것으로서 송급기 A가 상대적으로 스패터량이 적게 나왔으며, 스패터 발생량이 최저로 되는 최적 C_RV는 송급기 A의 경우 0.64를 나타내었고, B의 경우 0.65를 보였다. 이는 와이어 송급성의 차이에 기인하는 것으로 Fig. 9~10에서 설명하였다.

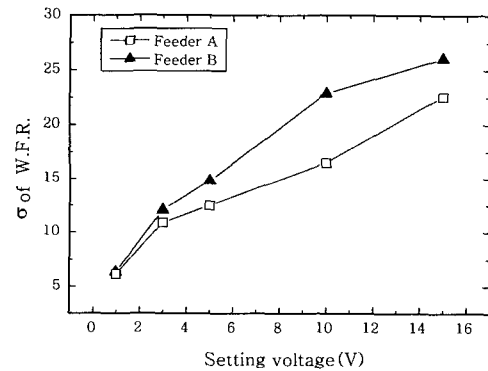


Fig. 9 Variation of standard deviation of W.F.R. with setting voltage

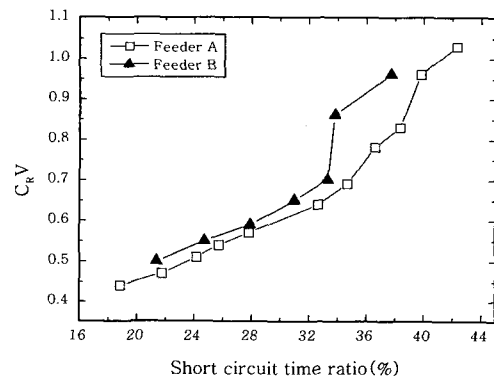


Fig. 10 Variation of C_RV with setting voltage

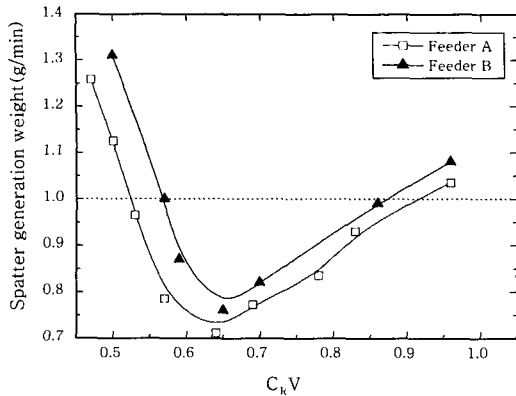


Fig. 11 Variation of spatter generation weight with $C_{R}V$

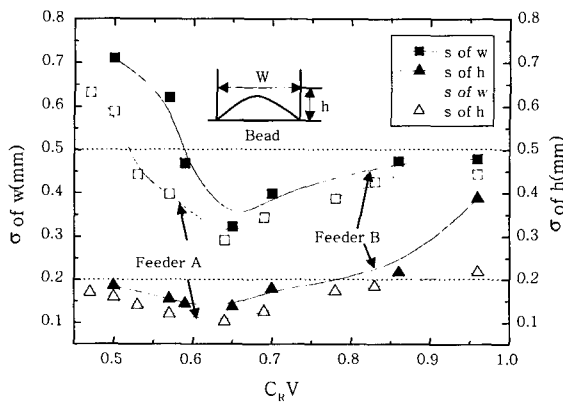


Fig. 12 Variation of bead configuration with $C_{R}V$

3.3.3 비드 균일성(CTQ_2)의 평가

Fig. 12는 와이어 송급기의 종류에 따른 비드 폭 및 높이의 표준편차를 나타내는 것으로서 와이어 송급성이 우수한 송급기 A가 전반적으로 송급기 B에 비해 비드 균일성이 우수하였다. 또한, 비드 높이 및 폭의 표준편차가 가장 적게 나타나는 최적 $C_{R}V$ 는 송급기 A, B 각각 0.64, 0.65를 나타내었다.

3.3.4 공정능력 지수의 평가

Fig. 13은 Cpm을 계산하기 위한 $C_{R}V$ 의 범위, 즉 규격 범위를 나타내는 것으로서 상부의 가로막대는 스패터 발생량의 USL을 1.0g/min로 설정했을 경우 만족하는 $C_{R}V$ 의 범위를 나타낸 것이고, 중앙 및 하부의 막대는 각각 비드 높이와 비드 폭에 대한 USL을 0.2mm, 0.5mm로 설정하였을 경우의 만족하는 $C_{R}V$ 의 범위를 나타낸 것으로서 각각의 조건을 만족하는 $C_{R}V$ 의 범위가 송급기 A가 B에 비해 월등히 넓은을 알 수 있다. 이렇게 규격의 범위를 정하고 목표값이 되는 최적 $C_{R}V$ 를 지정하기 위해서 각각의 CTQ 에서의 최적 $C_{R}V$ 를 비교해본 결과 송급기 A, B 모두 CTQ_1 과 CTQ_2 의 최적 $C_{R}V$ 가 각각 0.64와 0.65로 동일하여

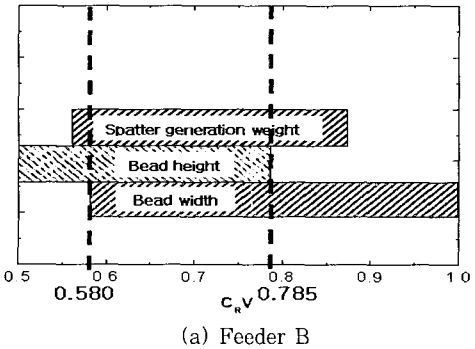
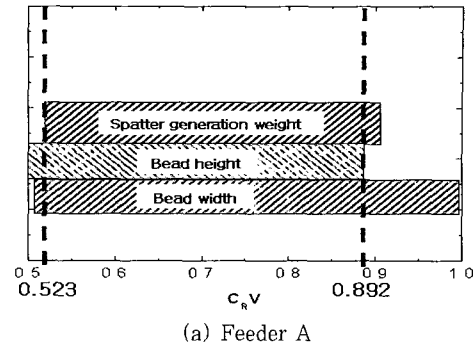


Fig. 13 Range of $C_{R}V$ by wire feeder type

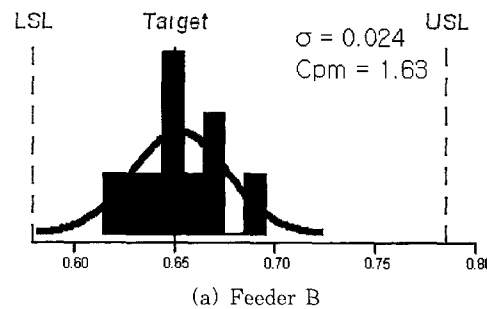
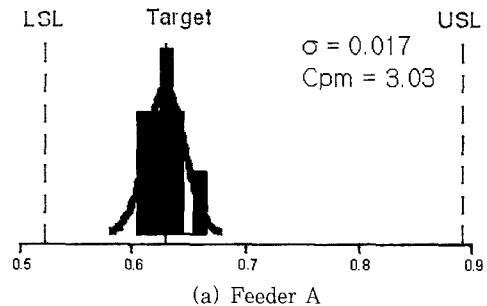


Fig. 14 Evaluation of Cpm as the wire feeder type by 6σ analysis

목표값을 0.64, 0.65로 설정하였다. Fig. 14는 각각의 와이어 송급기의 목표값이 되는 조건에서 10번 반복실험하여 공정능력을 평가한 것으로서 송급기 A의 경우 B에 비해 규격범위가 넓은 뿐만 아니라 표준편차도 적게 형성됨에 따라 송급기 A의 Cpm이 보다 높게 나왔다.

5. 결 론

이상과 같이 6σ에 의한 용접기 출력특성의 평가기법 개발에 관한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 6σ에서의 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 공정능력지수(Cpm)가 월등히 높았다.

4) 와이어 송급기별 평가결과 송급기 B보다 송급기 A의 공정능력지수(Cpm)가 월등히 높았다.

참 고 문 헌

1. M. Sugisaki, M. Kos : Adoption of Spatterless Wire, *Welding Technigue*, **44-11**(1996), 10 (in Japanese)
2. T. Mita : Quantitative Estimation of Arc Stability on CO₂ Gas Shielded Arc Welding, *J. of Japan Weld. Soc.*, **5-1**(1987), 75-78 (in Japanese)
3. T. Mita : Waveform control method in CO₂ gas shielded arc welding, *Quarterly Journal of the Japan Welding Society*, **6-2**(1988), 209-213 (in Japanese)
4. H. Yamamoto : Recent advances in welding power systems for automated welding, *J. of Japan Weld. Soc.*, **64-6**(1994), 457-462 (in Japanese)
5. S.K. Kang, H.S. Moon and S.J. Na : A Study on determining arc stability using weight of spatter, *J. of KWS*, **15-6**(1997), 41-48 (in Korean)
6. H.J. Kim, C.H. Lee : The Characteristics of Power Sources on the Spatter Generation Rate in CO₂ Arc Welding Process, *J. of KWS*, **17-4**(1999), 16-21 (in Korean)
7. S.M. Cho : A Study on the Quantitative Evaluation of Arc Stability in AC SMAW, *J. of KWS*, **16-4**(1988), 125-131 (in Korean)
8. T. Shinoda, 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), 558-565 (in Japanese)
9. 김평규, 김희철 : MINITAB을 이용한 통계적 품질 관리, 교우사, (1998), 220-228 (in Korean)