

GMAW 루트패스 이면비드 용접에서 아크력제어에 의한 갭변동 극복 방법

손 창 희* · 조 상 명**,†

*부경대학교 대학원 소재프로세스공학과

**부경대학교 신소재공학부

Method to Overcome Gap Variation by Control of Arc Force in Root Pass Welding for Back Bead by GMAW

Chang-Hee Son* and Sang-Myung Cho**,†

*Dept. of Materials Processing Eng., Graduate school, Pukyong National Univ., Busan 608-739, Korea

**Div. of Advanced Materials Sci. and Eng., Pukyong, National Univ., Busan 608-739, Korea

†Corresponding author : pnwcho@pknu.ac.kr

(Receive October 24, 2011 ; Revised November 15, 2011 ; Accepted December 27, 2011)

Abstract

In most industry, manual GTAW welding is preferred for formation of stable back bead in root weld of butt joint. However, manual GTAW welding has low productivity as compared with GMAW, also it has unstable bead quality which depend on skilled workers. So it is necessary to develop process of root pass welding by using automation GMAW that have stable back bead formation and high productivity. In this paper, the design of U-groove with 3mm root face was applied to extend the tolerance of misalignment in condition of standard root gap 1.5mm.

Consequently, for the formation of stable back bead in root pass of butt welding, in case of the narrow root gap(0.5mm) the large arc force was applied by increasing the current and voltage. In case of the large root gap(2.5mm), the small arc force was applied by decreasing the current and voltage. Considering the various root gap, the required deposited metal was controlled by welding speed only.

Key Words : GMAW, Arc force, U-groove, Root gap, Misalignment, Root pass welding,

1. 서 론

조선이나 산업 플랜트에서 파이프 또는 탱크류의 맞대기용접 시 안정적인 이면비드의 형성은 매우 중요하다.¹⁾ 대부분의 현장에서 파이프 맞대기 루트패스 용접부의 안정적인 이면비드 형성을 위해 루트갭을 3mm정도 띄우고 루트면이 없는 V-그루브에서 필러를 사용하는 수동 GTAW 용접을 하고 있다. 수동 GTAW는 고품질의 비드가 얻어지며, 용접인자의 제어가 쉽다는 장점이 있어 루트패스 용접에 많이 사용되고 있다. 그러나 용접속도가 10cpm 정도로 느리기 때문에

GMAW에 비해 생산성이 낮고 작업자의 숙련도에 따라 품질이 변하게 된다.²⁾

일부의 GMAW 용접기에 의하면 반자동 용접 시 우수한 이면비드 루트패스 용접을 할 수가 있지만 자동으로 용접할 때 루트갭의 허용공차가 크게 될 수 없다는 문제점이 있다.

따라서 안정적인 이면비드를 가지며 고생산성의 자동 GMAW 루트패스 용접공정의 개발이 요구된다.

Cho³⁾는 전류의 제곱에 비례하고 전압에 비례하지만 용접속도에는 영향을 받지 않는 아크력을 GMAW-P에서 동일한 용접조건에서 용접속도만을 증가시켜 용융지의 깊이가 알아짐에 따라 발생하는 험핑비드의 메커니

증을 아크력에 의해 설명하였다.

Oh⁴⁾는 그의 논문에서 압력게이지법을 통하여 아크의 압력에서 아크력을 도출하였고 그것을 정량화 시켰다.

본 연구에서는 먼저 GMAW에서 동일한 용착단면적과 입열량을 가지게 하면서 아크력을 제어하여 그에 따른 용입특성을 검토하였다. 또한 루트패스 용접에서 갭과 단차가 변동될 때 안정적인 이면비드 형성을 위해 아크력을 제어하여 그 결과를 검토하였다.

2. 시험편 준비 및 실험 방법

2.1 아크력의 유효성 검토 실험

Oh⁴⁾, Burleigh⁵⁾ 등은 GTAW에서 아크력을 구하는 방법으로 압력게이지법과 중량법을 사용하여 아크력을 정량적으로 측정하였고 이를 증명하였다. 하지만 본 연구에서는 아크력의 정량적인 측정이 아닌 GMAW에서 아크력의 유효성만을 검토하기 위해 수냉되는 200×50×5mm의 동판에 루트갭 1.5mm로 맞대어 10.5mm²의 동일한 용착단면적과 입열량으로 GMA용접을 실시하여 용입의 깊이 변화를 확인하였다. 이 때, 전류가 증가함에 따라 증가되는 용착량은 용접속도를 증가시킴으로 일정하게 유지하였고 자세한 조건은 Table 1에 나타내었다. 모재가 용융되지 않는 동판으로 사용한 이유는 용접속도가 높을수록 낮아지는 전도열손실로 인해⁶⁾ 용입이 깊어지고⁷⁾ 모재의 용융금속양이 많아져 중력에 의해 용입이 깊어질 수 있기 때문이었고, 동판 아래 수냉되는 동블록을 위치시켰다.

2.2 갭과 단차에 따른 이면비드를 형성하는 적정아크력 검토 실험

현장 Fit-up시 발생하는 갭과 단차의 변동에 대해 갭 허용공차 1.5±1mm, 단차 1mm까지 허용하였을 때, 각각의 갭, 단차조건과 안정적으로 이면비드를 형성시키는 용접조건에서 전압만을 변경하여 이면비드의

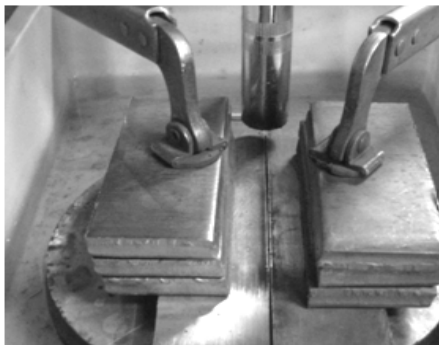


Fig. 1 Validity test of arc force(Cu plate)

Table 1 Welding condition for butt joint of Cu plate

Fixed	Power source	Inverter 350A		
	CTWD	15mm		
	Shield gas	Ar 80% + CO ₂ 20% 25l/min		
	Deposited metal	10.5mm ²		
	Root gap	1.5mm		
Varied	Current(A)	120	160	200
	Voltage(V)	14	17	18
	Welding speed(cpm)	28	38	55

높이를 비교하였다.

아크력은 전압에 비례하고 전류의 제곱에 비례하는 값³⁾으로 식 (1)로 나타난다.

$$F_a = kEI^2 \tag{1}$$

F_a = 아크력 (dyne)

k = 0.0013(dyne/V · A²)

E = 전압(V)

I = 전류(A)

본 연구에서는 진행각의 변동을 고려하여 수정아크력을 식(2)와 같이 계산하였다.

$$F_{arc} = kEI^2 \cos(\theta + 20) \tag{2}$$

F_{arc} = 아크력 (dyne)

k = 0.0013(dyne/V · A²)

E = 전압(V)

I = 전류(A)

θ = 진행각(°) (-20° ≤ θ ≤ 69°)

본 실험에서 사용한 시험편은 Fig. 2와 같다. 이것은 루트면 3mm를 가지는 U-그루브에서 루트면만을 모델링한 것이고, 150×50×3mm의 연강판을 사용하였다.

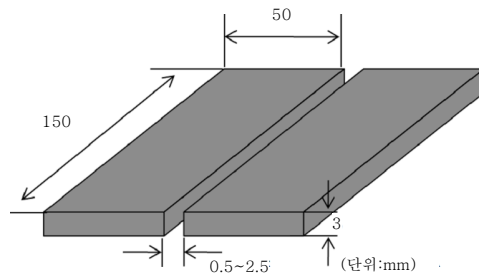


Fig. 2 Schematic of experiment specimen

Table 2 Welding condition for butt joint of mild steel plate(3mm)

Fixed	Power Source	Inverter 350A		
	CTWD(mm)	15		
	Shield gas	Ar80% + CO ₂ 20% 25l/min		
	Back shield gas	Ar 100% 15l/min		
Varied	Misalignment	0mm, 1mm		
	Root gap(mm)	0.5	1.5	2.5
	Welding Current(A)	160	120	100
	Welding voltage(V)	17~21	14~18	11~15
	Welding speed(cpm)	41	26	21
	Deposited metal(mm ²)	9	10.5	12
	Progressive angle	0°	10°	20°
	Oscillation frequency/width	2Hz/4mm	2Hz/5mm	3Hz/6mm

Table 2에 자세한 실험조건을 나타내었다. 이 때, 각 단차조건에서 꺾을 0.5, 1.5, 2.5mm로 변경하여 실험하였다. 또한 꺾이 작을 때는 용착량을 감소시키면서 아크력을 증가시키고, 꺾이 증가하면 용착량을 증가시키면서 아크력을 감소시켜 실험을 실시하였다.

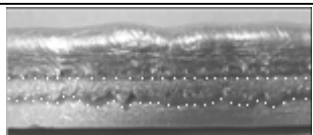
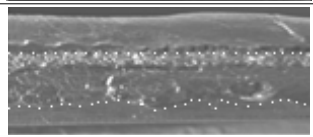
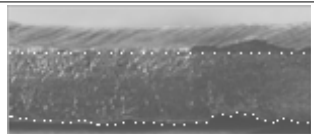
3. 실험결과 및 고찰

3.1 아크력의 유효성 검토 실험결과

Table 3은 아크력의 유효성을 검토하기 위해 동일한 시험편조건에서 동일한 용착단면적을 가질 때, 아크력만을 변화시킨 실험의 결과를 나타내었다.

Fig. 3은 전류에 따른 아크력과 입열량 계산값의 변화를 나타낸 그래프이다. 이때의 아크력은 식(2)에 의

Table 3 Result of arc force variation

Current (A)	Longitudinal section	Penetration (mm)
120		2.21
160		3.81
200		4.91

해 계산되었다. Fig. 3에서 전류와 용접속도를 비례하여 증가시킬 경우 입열량은 유사하지만 아크력이 증가함을 나타내고, 이는 아크력이 용접속도에 영향을 받지 않는 값이기 때문이다³⁾. Fig. 4, Fig. 5는 아크력과 입열량에 따른 용입변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 4에서 아크력의 증가에 따라 용입이 2.21mm에서 4.91mm로 증가하는 결과를 보이지만 Fig. 5에서 동일한 입열량에서도 용입이 깊어지는 결과를 나타낸다. 따라서 용입에 영향을 미치는 주요 파라미터로 아크력

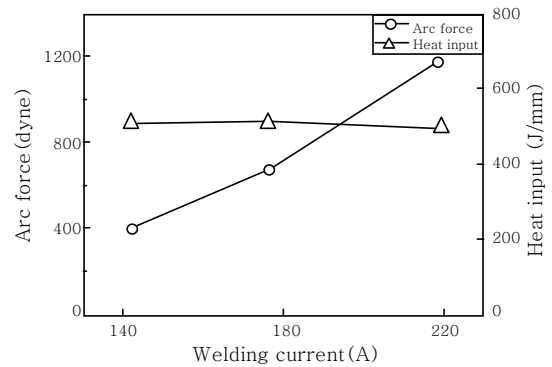


Fig. 3 Arc force and heat input with welding current variation

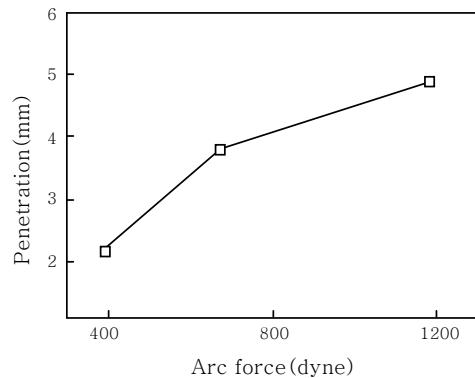


Fig. 4 Penetration depth with arc force

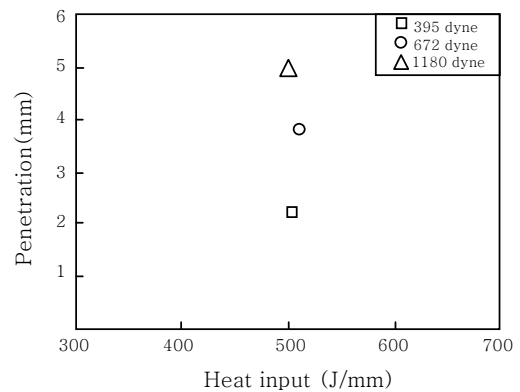


Fig. 5 Penetration depth with heat input

이라는 결과를 얻을 수 있고, 결과적으로 GMAW에서 용입에 영향을 미치는 아크력의 유효성이 있다고 판단된다.

3.2 갭과 단차에 따른 이면비드를 형성하는 적정 아크력 검토 실험결과

Table 4, 5는 단차 0, 1mm일 때, 각 갭 조건에서 비드와 단면사진을 나타낸 것이다. 전 구간에서 안정적으로 이면비드가 형성된 것을 알 수 있고 각 조건에서 측정된 이면비드의 높이는 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6은 단차가 0mm 또는 1mm 존재할 때, 각 갭 조건에서 아크력에 따른 이면비드의 높이를 나타낸 것이다. 각각의 단차와 갭 조건에서 전압증가에 따라 이면비드의 높이가 증가하는 경향을 보이고 이러한 결과는 Kim⁸⁾ 등의 연구결과와 일치한다.

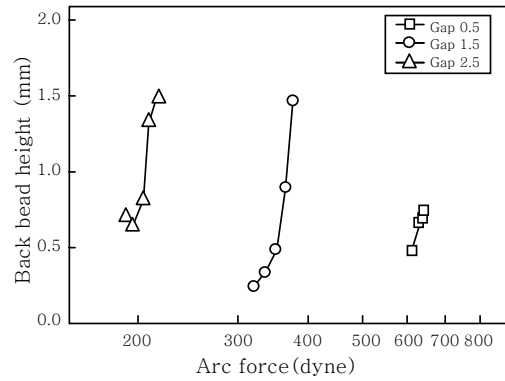
이 때, 단차가 없을 때보다 단차가 1mm 있을 때, 동일용접조건에서 최저이면비드의 높이는 0.3mm에서 0.8mm로 증가하였고, 최대이면비드의 높이는 1.5mm에서 1.8mm로 증가하였다. 또한, 각 갭이 2.5mm에

Table 4 Bead appearance with gap variation for misalignment 0mm

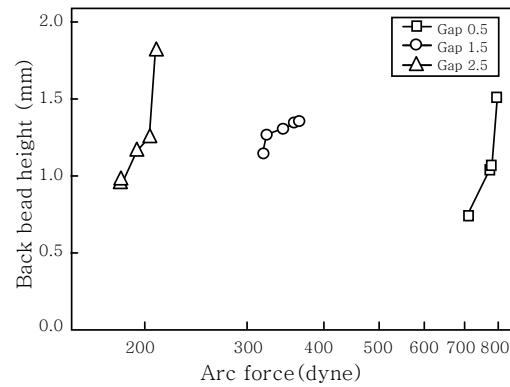
Gap (mm)	Arc force (Heat input)		Appearance of bead	Cross section
0.5	639 dyne (475J/mm)	Front		
		Back		
1.5	349 dyne (554J/mm)	Front		
		Back		
2.5	203 dyne (517J/mm)	Front		
		Back		

Table 5 Bead appearance with gap variation for misalignment 1mm

Gap (mm)	Arc force (Heat input)		Appearance of bead	Cross section
0.5	776 dyne (508J/mm)	Front		
		Back		
1.5	342 dyne (540J/mm)	Front		
		Back		
2.5	193 dyne (504J/mm)	Front		
		Back		



(a) Misalignment 0mm



(b) Misalignment 1mm

Fig. 6 Back bead height with arc force variation

서 0.5mm로 감소함에 따라 이면비드를 형성하기 위한 필요 아크력은 3-4배 정도록 현저히 증가하였다.

4. 결 론

GMAW 루트패스 용접에서 아크력의 유효성을 검토하고, 단차와 갭변동에 따른 이면비드 형성을 위해 아크력제어 실험을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 전류와 전압에 주로 의존하는 아크력의 유효성 검증 실험에서 동일 입열량, 동일 용착단면적으로 용접하면서도, 전류와 전압증가에 따라 용접속도를 함께 증가시켜 아크력을 약3배 증가시켰고 이에 따라 용입은 2.21mm에서 4.91mm로 깊어짐을 확인하였다. 이 현상을 통해 GMAW에서도 아크력이 용입에 미치는 유효성을 확인할 수 있었다.

2) 맞대기 이음의 루트갭이 기준1.5mm보다 커지면 아크력을 감소시키기 위해 전류를 감소시키고 용착단면적을 증가시키기 위해 용접속도를 감소시키면서도 용각 없이 안정적으로 이면비드를 형성시키는 방법을 확립하였고, 루트갭이 기준1.5mm보다 좁아지면 아크력을 증가시키기 위해 전류를 증가시키고 용착단면적을 감소시

키기 위해 용접속도를 증가시키면서도 용입부족 없이 안정적으로 이면비드를 형성시키는 방법을 확립하였다.

3) 평판 맞대기 이음에서 단차가 없을 때보다 단차가 1mm 있을 때, 동일용접조건에서 최저이면비드의 높이는 0.3mm에서 0.8mm로 증가하였고, 최대이면비드의 높이는 1.5mm에서 1.8mm로 증가하였다. 따라서 단차가 존재하면 더 작은 아크력으로도 같은 이면비드의 형성이 가능하다고 할 수 있다.

후 기

“이 논문은 2010학년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구임(PK-2010-079)”

참 고 문 헌

1. Ki-Joung Kim, Jin-Woo Kim and Youn-Bae Kang, Sang-Myung Cho : Heat transfer simulation and temperature measurement for heat input control in orbital welding, The Korean Welding Society, 2003. **21(5)**, 115-159 (in Korean)
2. 대한 용접 학회 : 용접 접합 편람, 1998 537-543 (in Korean)
3. Sang-Myung Cho : Waveform Control and Welding Characteristics in Pulse Arc Welding Process, Korean Welding Society, **21-1**(2003), 27-24 (in Korean)
4. Dong-Soo Oh : The Characteristics of Arc Pressure Distribution and Application to High Speed Welding by He mixing in TIG Welding, PhD Thesis, Pukyung National University, 2005, 29-37 (in Korean)
5. T.D.Burleigh, T.W.Eager : Measurement of the Force Exerted by a Welding Arc, Metallurgical Transactions A 14A (June), 1983, 1223-1224
6. AWS : Welding Handbook, Vol.1, 9th Edition. 95-105
7. I.S. Kim, J.S. Son, I.G. Kim, J.Y. Kim, O.S. Kim : A study on relationship between process variables and bead penetration for robotic CO2 arc welding, Journal of Materials Processing Technology **136** (2003), 139-145
8. I. S. Kim, A. Basu, E. Siores : Mathematical Models for Control of Weld Bead Penetration in the GMAW Process, Journal of Advanced manufacturing Technology **12** (1996), 393-401