

탄뎀 가스메탈아크 용접의 토치 극간거리에 관한 실험적 연구

이지혜* · 김일수*·† · 정성명* · 이종표* · 김영수* · 박민호*

*목포대학교 공과대학 기계공학과

A Experiment Study of Torch Distance on Automated Tandem GMA Welding System

Ji-Hye Lee*, Il-Soo Kim*·†, Seong-Myeong Jung*, Jong-Pyo Lee*, Young-Su Kim* and Min-Ho Park*

*Dept. of Mechanical Engineering, Mokpo National University, Jeonnam, 534-729, Korea

†Corresponding author : ilsookim@mokpo.ac.kr

(Received September 11, 2012 ; Revised October 16, 2012 ; Accepted December 18, 2012)

Abstract

The tandem welding process is one of the most efficient welding processes widely used in material joining technique such as manufacturing of strong and durable structures. It facilitates high rate of joint filling with little increase in the overall rate of heat input due to the simultaneous deposition from two electrode wires. The two electrodes in tandem welding process helps in high-efficiency and high productive of welding process.

In this study a automated tandem welding system is developed to determine the correlation between cathode and anode and compared with current ratio of the two electrode torch. Three different inter-electrode distances were chosen, 25mm, 35mm and 45mm to perform the experiment with three different current ratio. From the experiment results, the current ratio between two torch has a large impact on width, height and depth of penetration. In addition, a stable bead geometry is obtained when inter-electrode distance is 35mm.

Key Words : Tandem GMAW, Interface controller, Torch distance, Current ratio

1. 서 론

최근 선박구조물의 대형화와 고속화의 필요에 부응하는 방향으로 생산기술 및 시스템 개발이 추진되고 있으며 주력에너지원이 신·재생 에너지로 전환되면서, 향후 범용 선종보다는 해양플랜트, 고부가가치 선박, 크루즈 등 특수선박 건조비율이 증가하는 추세이다. 이에 따라 용접기법도 고차원적으로 변화한 자동화용접의 기술경쟁력 유지 및 생산성 향상 등이 요구됨에 따라 고품질 및 고생산성의 차별화된 전략을 통한 경쟁력 유지가 필요하다.

가스 메탈 아크 용접(GMAW) 기법을 사용하는 용접 구조물의 생산 공정에서 생산성 문제는 전체 원가 절감을 위해 항상 연구되는 문제이며 생산성 향상을 위해 다양한 용접기법들이 개발 및 연구되어지고 있다. 현재까지 개발된 용접기법 중 가스 메탈 아크 용접 방식을

이용하는 것 중 두 개의 와이어를 이용하여 하나의 용융지를 형성하는 탄뎀 가스 메탈 아크 용접(Tandem GMAW)은 고효율 용접 혹은 고생산성 용접이라 한다¹⁾.

2전극을 사용하는 탄뎀(Tandem) 방식은 용착속도를 높이기 위해 전극수를 2개 이상으로 증가시키는 방법이다. 2전극 용접에서 두 전극 모두 직류 전원을 사용하면 두 전극간 아크 간섭 발생으로 아크 불안 및 용접결함의 원인이 되므로 직류 전원-교류 전원 조합 또는 교류 전원-교류 전원 조합이 일반적으로 적용되고 있다. 또한 하나의 용융풀에서 동시에 용접을 진행하기 때문에 한꺼번에 많은 양의 용착금속을 얻을 뿐 아니라 용입이 깊기 때문에 단전극에 비해 2배 이상의 용접속도를 얻을 수 있다²⁾.

용접효율을 가장 손쉽게 올릴 수 있는 방법으로는 용접속도를 향상시키거나 용접공법을 변경하는 것이다. Nomura는 용접속도를 향상시키기 위해서 고속 회전 토치와 아크센서를 이용한 용접선 추적을 사용하려는

연구가 수행되었으며³⁾, Mulligan은 탄뎀 용접이나 다 전극 용접과 같이 용접 공법을 변경하여 생산성을 향상 시키려는 연구가 수행되었다^{4,5)}. 또한 용접작업시 발생하는 용접불량은 용입깊이 예측 부족으로 발생하는 용입불량, 용착면적 예측 부족으로 발생하는 언더컷 및 오버랩 등이 있다. 이러한 결함인 용입깊이 및 용착면적을 결정하는 인자의 영향을 분석하고 정립하는 연구가 진행되고 있다^{6,7)}. Park은 탄뎀 서브머지드 용접 공법의 용접조건에 따른 용입깊이 및 용착면적의 상관관계를 실험적으로 도출하였다⁸⁾. 이러한 인자들을 현장 조건에 맞추어 용접사의 경험적인 측면에서 작업조건을 설정함으로써 용접 불량을 더욱 효과적으로 감소시킬 수 있는 기술이 요구된다.

본 연구에서는 개발된 탄뎀 GMA용접 자동화 시스템을 통해 평판 용접실험을 수행하고 표면 비드의 형상을 관찰하여 자기불림 현상의 발생에 대해 확인하고, 2전극 토치의 극간거리와 전류비에 따른 상관관계를 분석하고자 하였다.

2. 탄뎀 GMA 용접 자동화 시스템

2.1 상용용접기

일반적으로 GMAW 공정에서 사용하는 500A급 ARC 용접기를 필요에 따라 다수의 용접시스템을 구축하여 용접작업환경 및 조건에 맞는 용접법을 이용할 수 있도록 상용용접기 용접조건 설정기를 제작하였다. 기본적으로 상용용접기 용접조건 설정기는 두 용접기의 용접조건을 동시에 제어 할 수 있도록 제작되었으며 Fig. 1 과 같다.

Pre-Fix는 용접시작과 함께 모터가 구동되며 선행토치와 후행 토치간의 용접시간 차이를 설정하는 구간이다. 선행토치의 용접시작이후 후행토치가 바로 용접을 시작하였을 경우 표면 용접비드의 형상이 불균일해지므로 시작시간의 차이를 조절하여 이와 같은 문제를 해결

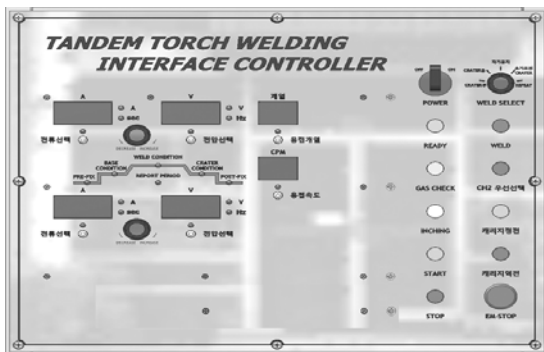


Fig. 1 Front panel design for tandem GMA welding

하였다. 그와 마찬가지로 Post-Fix는 선행토치의 용접 종료 이후 후행토치 용접종료까지의 시간차이를 나타낸다. 그 밖에 Welding condition 구간은 용접 전류·전압을 설정하는 구간이다.

용접 전류·전압 설정은 선행토치와 후행토치가 각각 다이얼을 이용하여 상용용접기 용접조건 설정기를 통해 설정이 가능하다. 용접속도는 최소 10~100cpm까지 설정이 가능하도록 제작하였다. 일반 상용 용접기의 사용상 가장 큰 문제점은 입력값에 대한 출력값의 오차 정도가 매우 크다는 점이다. 탄뎀 용접은 일반 CO₂ 용접에 비해 전류·전압 제어가 정밀해야하므로 전류센서와 전압센서를 통해 실시간 출력 값을 검출하고 이를 상용용접기 용접조건 설정기의 입력값과 비교하여 보정하였다. Fig. 2는 전류·전압 입·출력 보정 시스템 흐름도이다.

용접실험에 적용된 상용용접기는 500A급(Inverter) GMA용접기이며, 용접 시험편은 400×200×15.9mm의 SS400 일반 구조용 압연강재로 보호가스는 100% CO₂를 사용하였으며 유량은 18ℓ/min으로 설정하였다.

용접실험 결과 Fig. 3~6에 나타난 바와 같이 전류 입·출력 보정 시스템을 사용하지 않은 일반 용접기의 전류 입·출력 오차는 270A의 경우 15.70A, 300A의 경우 18.73A의 오차를 나타남에 따라 전류의 용량이 커질수록 오차의 범위가 넓어지는 것을 확인하였다.

반면, 전류 입·출력 보정 시스템을 사용하여 출력된 값을 확인하였을 경우 전류 270A의 경우 7.15A, 300A의 경우 8.25A로 전류 입·출력 보정 시스템을 사용하지 않는 경우 보다 절반 이상 오차범위가 작아지면서 보정됨을 확인할 수 있었다. 또한 전류의 용량이 커짐에 따라 오차가 미세하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

전압의 경우 전압 입·출력 보정 시스템을 사용하지 않은 일반 용접기의 평균 입·출력 오차는 25V의 경우 3.71V, 29V의 경우 4.75V의 오차를 나타냈다. 전압

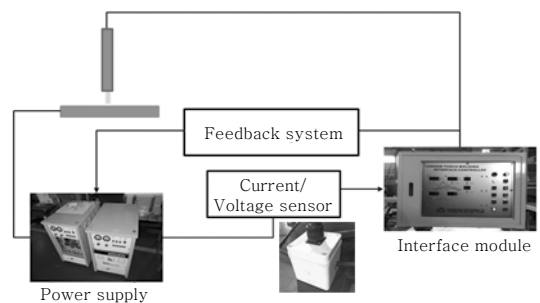


Fig. 2 System configuration for tandem welding using conventional welding machine

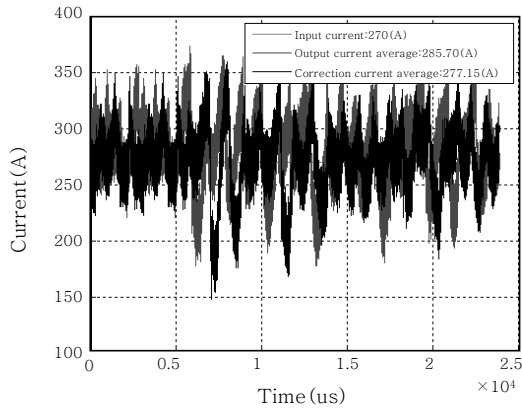


Fig. 3 Feedback average current 270(A)

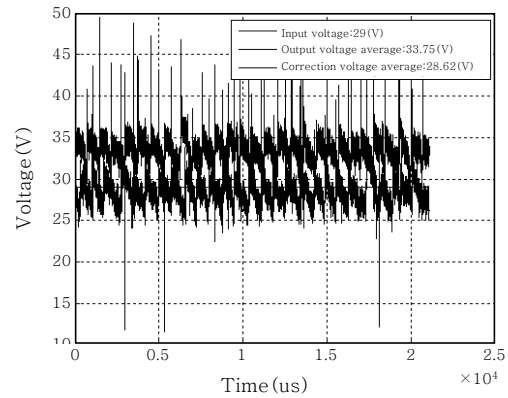


Fig. 6 Feedback average voltage 29(V)

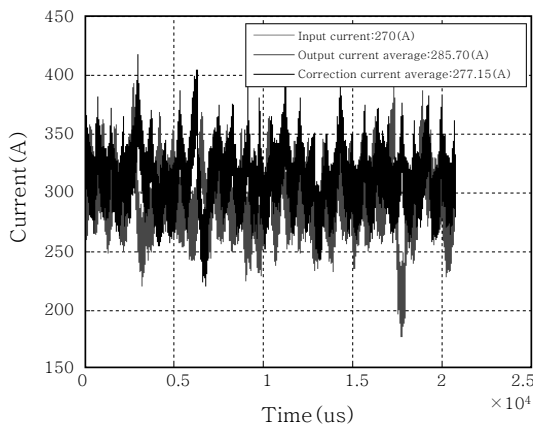


Fig. 4 Feedback average current 300(A)

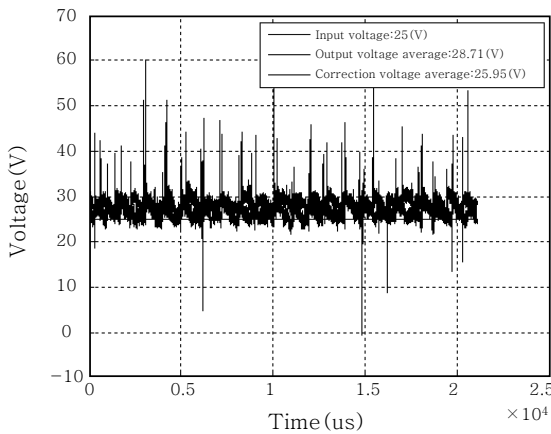


Fig. 5 Feedback average voltage 25(V)

Table 1 Result of in/output condition with tolerance

	Input condition	Output condition	Correction output condition	Output condition Error	Correction output Error
Current (A)	270	285.70	277.15	15.70	7.15
	300	318.73	308.25	18.73	8.25
Voltage (V)	25	28.71	25.95	3.71	0.95
	29	33.75	28.62	4.75	0.38

2.2 탄뎀 GMA 용접 자동화 시스템

상용용접기 용접조건 설정기와 2전극 토치 구동부를 통합하여 탄뎀 GMA 용접자동화 시스템을 구성하였다. 탄뎀 토치부는 선행토치와 후행토치간의 거리를 조절할 수 있도록 자유도를 추가하였으며, 상·하, 좌·우로 자유롭게 이동이 가능한 5개의 자유도를 가진다. 이는 용접시 선·후행토치 높이를 조절할 수 있으며, 용접선 정렬이 가능하도록 하기 위함이다.

두 개의 토치가 동시에 Z축과 Y축으로 이동되며 X축은 토치 모듈전체가 이동되며, 선·후행 토치의 진행각에 따라 간섭이 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 선행토치 또는 후행토치의 개별적 위치 조절이 가능하도록 구성하였다. 또한 탄뎀 용접에서 가장 중요시하는 선·후행 용접위치의 자유로운 이동이 필수인 점을 고려하였다. Fig. 7은 2전극 토치의 이동 구성도를 나타낸다.

탄뎀 토치 구동부는 토치 이송부와 토치 모듈로 구성되어 있다. 토치 모듈은 두 개의 토치를 고정하며, 토치의 위치를 결정한다. 또한 탄뎀 토치 구동부 거치대는 원활한 용접작업이 가능하도록 1450mm× 400mm 크기로 제작되었다.

상용용접기 2대와 2전극 토치 구동부, 용접조건 설정

입·출력 보정 시스템을 사용하여 전압의 출력된 값을 확인하였을 경우 25V의 경우 0.95V, 29V의 경우 0.38V의 오차로 전류에 비해 전압은 매우 정확하게 출력 값이 보정됨을 확인하였다. Table 1은 전류·전압 입출력 보정 시스템을 통해 측정된 입·출력 전류 및 전압과 그에 따른 오차 범위를 나타냈다.

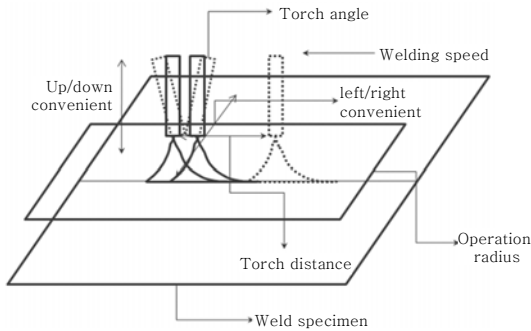


Fig. 7 Systematic diagram of tandem torch

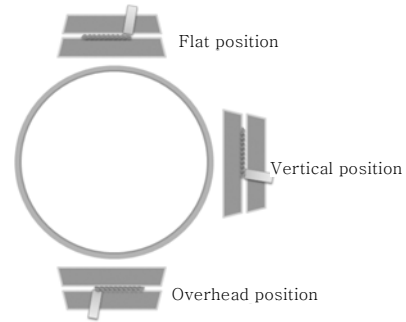


Fig. 9 Welding position

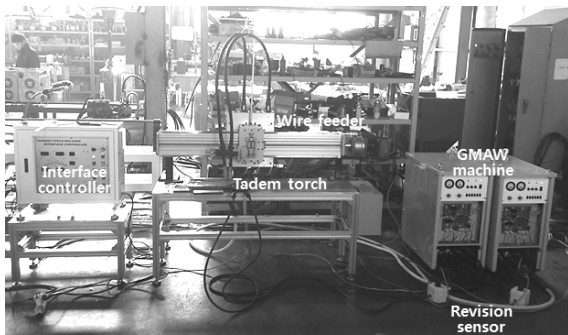


Fig. 8 Tandem GMAW system

기 및 전류·전압 입출력 보정 시스템을 구성하여 Fig. 8과 같이 탄뎀 가스메탈아크 용접 자동화 시스템을 구성하였다. 구성된 시스템으로 2전극 토치의 극간거리에 따른 용접 실험 후 표면비드 형상을 관찰하여 2전극 용접시 발생할 수 있는 자기불림 현상에 대해 확인하고자 하였다.

3. 탄뎀 GMA 용접 실험

3.1 실험 방법

일반적으로 현장에서 사용하는 GMA 용접기 두 대를 사용하여 용접조건 설정기를 이용하여 선행 토치 및 후행 토치에 용접조건을 인가하는 방식으로 용접실험을 수행하였다. 상용용접기는 500A급 GMA용접기이며 용접 시험편은 400×200×15.9mm의 SS400 일반 구조용 압연강재를 사용하였다.

파이프 용접시 적용되는 위·아래보기 및 수직자세에 관해 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 평판을 이용하여 용접 실험을 수행하였다. 파이프에 직접적인 용접실험을 할 경우, 고가의 장비가 필요하고 실험준비에 대한 시간소요가 매우 크므로 평판을 이용하여 실시하였다. 보호가스는 100% CO₂를 사용하였으며 유량은 18 l/min으로 설정하였다.

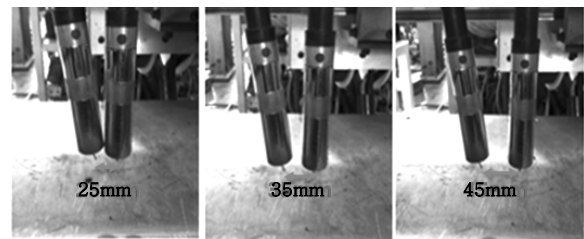


Fig. 10 Tandem inter-electrode torch distances

본 실험은 선행토치와 후행토치간의 전류 변화 및 토치 극간 거리의 차이에 의해 발생하는 자기불림 현상에 대해 확인하고자 하였다. 자기불림 현상은 2개의 평행 도체에 전기가 흐르면 도체 간에는 흡인 또는 반발의 전자기력이 작용하게 된다. 한 개의 도체 내에서도 전류 요소간 흡인력이 발생하여 액체, 기체인 경우에는 압축되어 중압의 압력이 외부보다 증가하게 된다. 이러한 현상을 통해 전극 끝단부의 용접금속이 잘록하게 되거나 용접선을 이탈하는 현상이 발생하게 된다²⁾.

일반적으로 탄뎀 용접에서 사용되는 극간 거리는 최소 15mm, 최대 100mm 정도 사용된다. 본 연구에서는 25mm, 35mm, 45mm의 극간거리를 선정하여 수행하였다. Fig. 10는 각각의 극간거리를 설정한 토치의 형상을 나타낸다.

용접실험을 위해 설정된 CTWD는 선행토치 15mm, 후행토치는 21mm로 설정하였다. 또한 선행토치와 후행토치의 용가재 형태는 슬리드와이어(ER70S-G, 1.2 ∅)와 플럭스 코어드 와이어(1.2∅)를 혼용하여 사용하였다. 일반적으로 사용되는 플럭스 코어드 와이어를 모두 사용하였을 때 일정 극간거리를 초과하게 되면 슬래그에 의한 용접불량이 발생하게 되므로 선행토치는 슬리드와이어를 사용하여 슬러지에 의해 발생하는 용접불량을 방지하도록 하였다.

탄뎀 GMAW의 선·후행토치에 관한 실험조건은 Table 2에 제시하였다.

Table 2 Tandem GMAW conditions

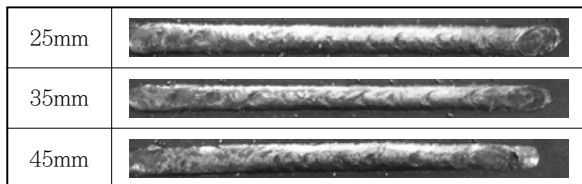
No.	Leading torch		Tail torch		CR	Distance (mm)
	Current (A)	Voltage (V)	Current (A)	Voltage (V)		
1	270	25	216	24	0.8	25
2	270	25	216	24	0.8	35
3	270	25	216	24	0.8	45
4	270	25	270	25	1	25
5	270	25	270	25	1	35
6	270	25	270	25	1	45
7	270	25	324	28	1.2	25
8	270	25	324	28	1.2	35
9	270	25	324	28	1.2	45

Welding speed : 40cpm

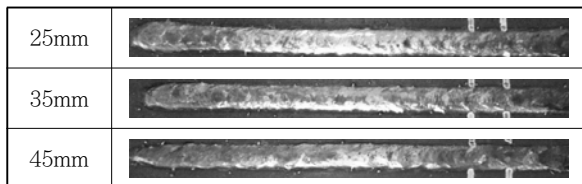
4. 용접실험 결과 및 고찰

4.1 실험 결과

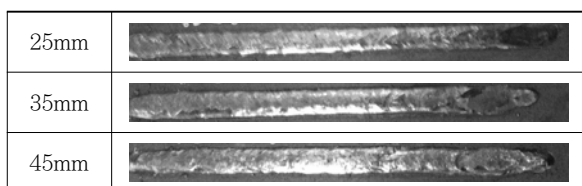
용접실험은 총 9회에 걸쳐 수행되었으며 전류·전압 측정기를 이용하여 각 조건별 변화를 확인하였다. 실험이 완료된 시험편은 Fig. 11에 나타났다. 선행토치의 전류와 전압을 270A, 25V로 고정하였고, 후행토치의 전류를 변화 시키면서 실험을 수행하였다. 그리고 선행토치와 후행토치의 전류비(CR)를 수식 (1)에 나타낸



(a) Welding current rate 0.8



(b) Welding current rate 1.0



(c) Welding current rate 1.2

Fig. 11 Result of welding specimen by current rate

바와 같이 0.8, 1, 1.2로 변화시키도록 하였다.

$$Current\ ratio(CR) = \frac{Tail\ torch\ current}{Leading\ torch\ current} \quad (1)$$

일반적으로 선행토치는 용융부를 용융시키는 역할을 하며, 후행토치는 용융부에 많은 양의 용가재를 용착시키는 역할을 하게 된다. 선행토치와 후행토치 사이에서 발생하는 자기블림현상은 용접 표면비드를 불균형한 형태로 용접이 진행되게 한다.

용접실험은 표면비드의 형상을 관찰하기 위해 개선이 없는 시험편표면에 바로 용접을 실시하였다. 9개의 시험편에 대한 표면의 비드형상을 측정된 사진이다. 또한, 선행토치의 전류·전압의 변화를 측정을 통해 탄뎀 용접부에 작용하는 자기블림현상에 대하여 확인하였다.

실험결과 9가지 경우 모두 표면비드의 형상이 균일하며 외관상 결함이 나타나지 않았다. 또한, 전류·전압에 대한 파형 측정 결과에서 용접결함을 일으킬 정도의 큰 변화는 발견되지 않았다. 일반 CO₂용접에 비해 용접시간 및 용착량의 정도가 큰 탄뎀 용접에서 25mm, 35mm, 45mm의 전극간 거리에서 자기블림현상이 발생하지 않음을 확인하였다.

4.2 전류비(CR)와 토치거리의 상관관계

전류비에 대한 용융부의 형상에 미치는 영향에 대한 판별하기 위해 단면형상(macro)의 특성을 분석하였다. 단면형상을 통해 표면비드의 폭과 높이, 용융부의 최대 용입깊이 및 형상을 확인하였다. 이를 위해 각각의 용접부의 단면을 Table 3과 같이 절단하여 폴리싱 및 에칭 작업을 수행하였다. Fig. 12에 나타난 것과 같이 용착된 비드의 표면형상 및 에칭을 통해 확인할 수 있는 용입 깊이를 통해 전류비(CR)와 토치간 거리에 대

Table 3 Overview of macro section penetrations

CR	25mm	35mm	45mm
0.8			
1.0			
1.2			

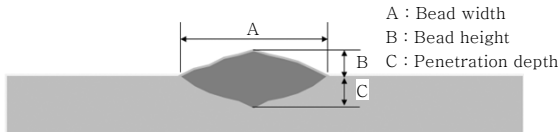


Fig. 12 Macros section of bead dimension

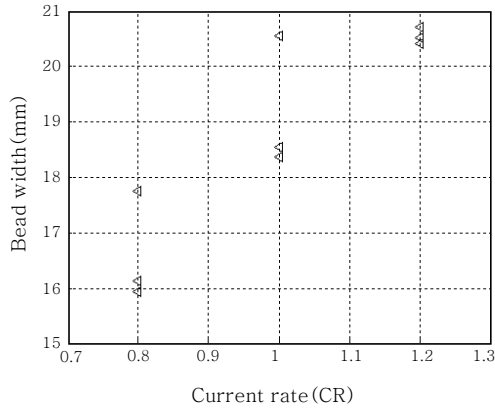


Fig. 13 Comparison of bead width by CR

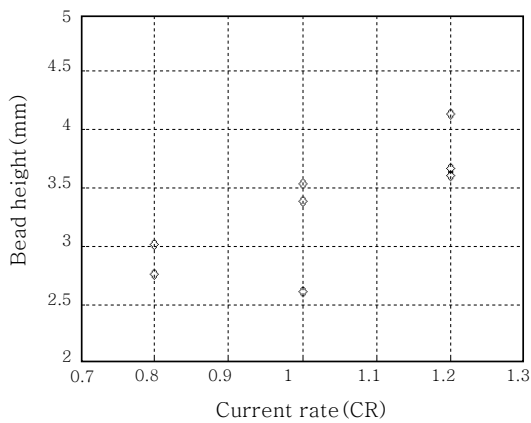


Fig. 14 Comparison of bead height by CR

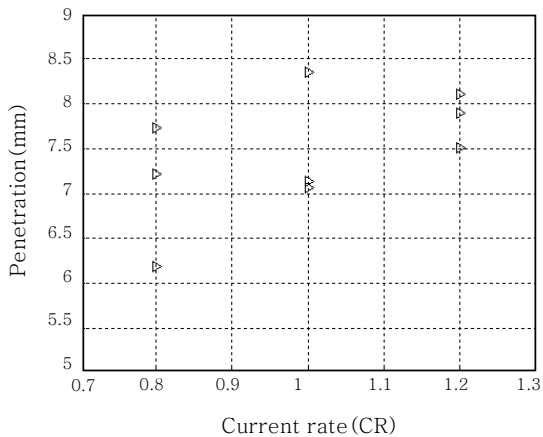


Fig. 15 Comparison of penetration depth by CR

해 상관관계를 분석하였다.

전류비(0.8, 1, 1.2)가 증가할 경우 Fig. 13~15에 나타난 것과 같이 표면비드 폭과 높이, 용입 깊이 모두 증가함을 확인하였다. 용입 깊이의 경우, 폭과 높이의 증가량에 비해 낮은 증가 폭을 보이거나 대체적으로 미세하게 증가하였다. 또한 전류비가 증가할수록 용입 깊이에 비해 표면비드 폭과 높이가 더 높게 증가함으로써 전류비에 따라 더 영향이 미침을 확인하였다.

Fig. 16~18은 토치간 거리(25, 35, 45mm)에 따른 표면비드의 폭과 높이, 용입깊이의 변화이다. 표면비드 폭의 경우 토치간 거리에 따라 뚜렷한 양상을 찾을 수 없이 비슷한 표면비드 폭을 나타냈으며, 이면비드 높이와 용입 깊이의 경우 표면비드 폭에 비해 토치간 거리가 35mm일 경우 25mm, 45mm에 비해 깊게 형성됨을 확인하였다. 또한 토치간 거리가 35mm이상인 경우 용입깊이가 현저하게 감소함을 확인할 수 있었다. 그리고 용접부 단면형상을 관찰한 결과 균일한 형

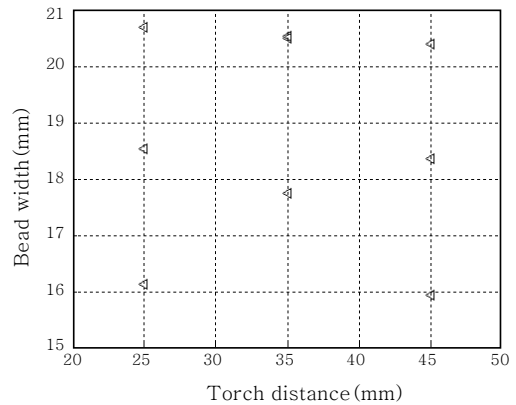


Fig. 16 Comparison of bead width by torch distance

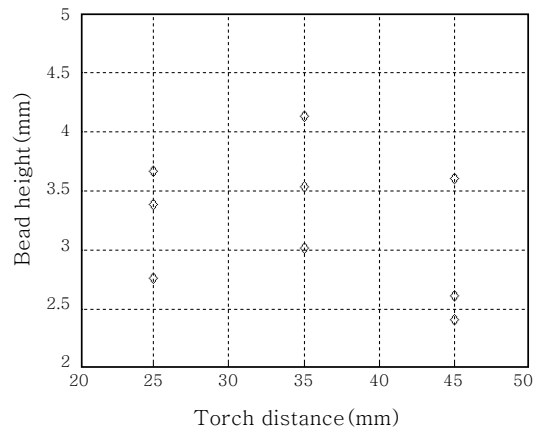


Fig. 17 Comparison of bead height by torch distance

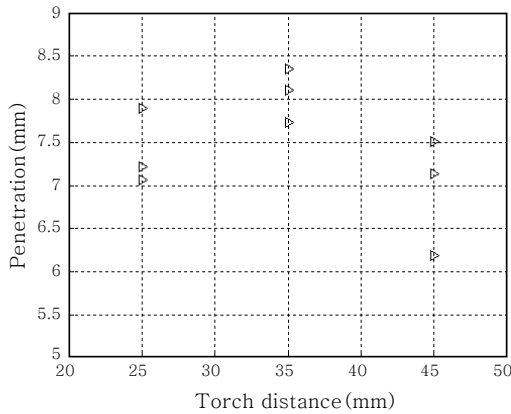


Fig. 18 Comparison of penetration depth by torch distance

상을 보이는 토치간 거리 35mm가 가장 안정된 형상이 나타남을 확인하였다.

5. 결 론

2전극 토치의 극간거리와 전류비에 따른 상관관계를 알아보기 위하여 탄뎀 GMAW 자동화 시스템을 통해 용접 실험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 탄뎀 GMA 용접 자동화 시스템을 구성하여 용접 실험을 수행한 결과 균일한 표면비드의 형상으로 외관상 결함이 없으며, 전류·전압에 대한 파형 측정시 용접결함을 일으킬 정도의 큰 변화는 발견되지 않음을 확인하였다.

2) 선행토치와 후행토치간의 전극간거리 25, 35, 45 mm에 따른 탄뎀 GMA 용접실험을 수행한 결과 극간 거리의 차이에 의해 발생하는 자기불립현상이 발생하지 않음을 확인하였다.

3) 전류비와 토치간 극간거리에 대한 용융부의 형상에 미치는 영향에 대해 분석한 결과 전류비가 증가할수록 표면비드 폭과 높이, 용입 깊이 모두 증가하며, 토

치간 거리 및 단면형상 관찰한 결과 35mm의 토치거리가 가장 안정된 형상을 나타냄을 확인하였다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

- Hui Jin Yi, Sung Soo Kang, Gum Bin Yu, Won Hak Bae and Hyun Soo Moon : Comparison of Mechanical Properties and Microstructural Characteristics of Tandem GMAW Weld Metal in 490MPa Grade Steel, *Journal of KWJS*, **27-2** (2009), 76-81 (in Korean)
- 용접·접합편람, III 공정 및 열가공 (2007), 7-66 (in Korean)
- H. Nomura, J.E. Middle : Development and Application of Arc Sensor Control with a High Speed Rotating Arc Process, *Sensors and Control Systems in Arc Welding*, Chapman & Hall, Ch. **28** (1994), 247-256
- Japan Patent, (1996), 224667
- S.J. Mulligan and G.B. Melton : an Assessment of the Tandem MIG-MAG Welding Process, TWI report 745, (2002)
- Seung gab Hong and Jong Bong Lee : Effects of Welding Parameters on Penetration Depth in CO₂ Laser-GMA Hybrid Welding, *Journal of KWS*, **22-1** (2004), 38-42 (in Korean)
- H.C. Wickle, S. Kottilingam, R.H. Zee, B.A. Chin : Infrared sensing techniques for penetration depth control of the submerged arc welding process, *Journal of Materials Processing Technology*, **113** (2001), 228-233
- S.J. Park, S.K. Nam and C.G. Kweon : Prediction of Weld Penetration and Deposited Metal Area in Accordance with Weld Parameters in Tandem Submerged Arc Welding Process, *Journal of KWJS*, **29-2** (2011), 691-696 (in Korean)