

회전아크를 이용한 수평필릿 용접에 관한 연구 (I)

- 공정변수와 용접비드형상의 관계 -

김 철 희* · 나 석 주**

*펜실바니아주립대학교 재료공학과

**한국과학기술원 기계공학과

A Study on Horizontal Fillet Welding by Using Rotating Arc (I) - Relation Between Welding Parameters and Weld Bead Shape

Cheolhee Kim* and Suck-Joo Na**

*Dept. of Materials Science and Engineering, PSU, University Park, PA 16802, USA

**Dept. of Mechanical Engineering, KAIST, Daejeon 305-701, Korea

Abstract

The high-speed rotating arc process forms a flat bead surface with decreased penetration depth because the molten droplets are deflected by centrifugal force. Therefore the rotating arc welding for horizontal fillet welding increases the leg length with the increase of rotation frequency and prevents the deflection of weld bead and overlap. In this study, the relationship between the welding parameters and the weld bead shape - leg length and undercut - are investigated experimentally. Consequently, the weld quality could be improved by rotating arc welding, and sound weld bead was achieved when applied to horizontal fillet welding with 4mm gap by avoiding the undercut which is inevitable for the conventional GMA welding methods.

(Received November 5, 2002)

Key Words : GMA welding, Rotating arc, Horizontal fillet welding, Weld bead shape, Root gap, Weld quality, Undercut

1. 서 론

수평 필릿 용접부는 가장 중요한 용접자세의 하나로 조선용접의 총용접장중 약 80% 이상이 필릿 용접부로 구성되어 있어 용접공정의 생산성향상을 위하여 수평필릿용접에서의 고능률화가 요구되고 있다¹⁾. 수평필릿용접부에서는 각장이나 각목의 크기가 용접부의 접합강도와 연관이 있고, 중력의 존재로 인한 용접비드의 처짐이 발생하므로 언더컷이나 오버랩과 같은 용접불량이 발생하기 쉬워 현장용접시 용접비드형상을 검사하여 용접품질을 관리하고 있다.

전극을 고속으로 회전시키는 회전아크용접시에는 원심력의 영향으로 용적의 편향이 발생하여 모재로의 열

입력을 넓게 해 주는 효과가 있다. 이로 인하여 Fig. 1에서와 같이 용입이 작고 평평한 비드를 형성하므로 수평필릿용접에 적용시에 필요한 각장을 확보할 수 있어 고속용접을 가능하게 하고 언더컷과 오버랩과 같은 용접불량을 줄일 수 있는 장점이 있다²⁾. 회전아크 용접을 적용할 때 기존 방법에 비해 용접 속도의 향상과 우수한 용접비드형상의 확보가 가능함에도 불구하고 용접부재에서의 치수오차나 용접시 열변형, 가접부 등으로 인하여 발생하는 루트간격(root gap)으로 인하여 용접부의 품질 유지에 어려움을 겪고 있으며 기존의 공법으로는 루트간격이 3mm 이상으로 과도한 경우 1 패스용접을 통한 자동화가 이루어지지 못하고 있다³⁾.

따라서 본 연구에서는 회전아크용접에서 공정변수와 용접비드형상과의 관계를 실험적으로 규명하고 루트간

격이 존재할 때의 용접비드 특성을 관찰하고자 한다. 이를 위하여 용접전류, 용접전압, 용접속도, 토치 각도, 오프셋 거리등의 공정변수를 변화시키면서 용접비드형상을 측정하여 회전아크용접 적용시 용접비드 형상의 개선을 확인하고 공정변수와 용접비드형상과의 관계를 실험적으로 규명하고자 한다. 또한 4mm의 루트간격을 가진 수평필릿용접에 회전아크용접을 적용하여 양호한 용접품질을 가지는 용접조건을 제시하고자 한다.

2. 실험방법

아크의 회전을 일으키는 방법은 기계적 장치를 이용하는 방법, 전자기력을 이용한 방법, 꼬여져 있는 와이어를 이용한 방법 등이 있으며 이 중 기계적인 장치를 이용한 아크 회전장치가 GMA용접에 많이 적용되고 있다. 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 중공축형 모터를 이용하는 아크회전장치로 전극을 고속으로 회전시켜 회전

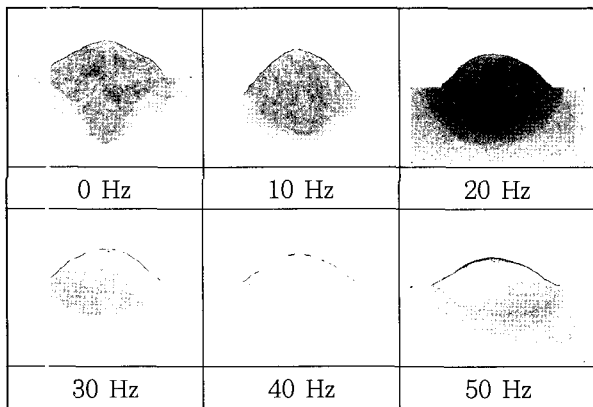


Fig. 1 Cross-sectional bead shape for rotating arc welding (bead-on-plate welding, current : 270A, voltage : 31V, speed : 6mm/s, rotation diameter : 6mm)

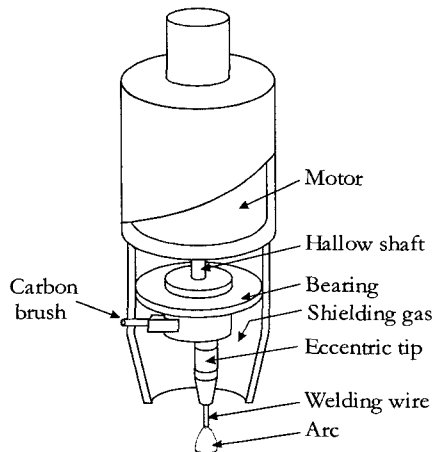


Fig. 2 Schematic diagram of rotation mechanism

아크를 구현하였다⁴⁾.

GMA용접을 수행하기 위한 용접장치의 개략도를 Fig. 3에 나타내었다. 350A급 인버터용접기를 이용하였으며 3축 테이블로 용접토치를 이송하면서 용접을 수행하였다. 실험에 이용한 용접와이어와 보호가스는 각각 1.2mm 직경의 YGW-15 규격와이어와 Ar-CO₂ 20% 혼합가스를 이용하였다. 용접 실험 후 용접부의 단면은 Fig. 4와 같이 보조광을 이용한 레이저 시각센서를 이용하여 측정하였으며, 측정에 사용한 시각센서의 분해능은 깊이 방향과 폭방향으로 각각 0.192mm, 0.048mm로 원하는 정밀도를 확보할 수 있었다. Fig. 5는 CCD카메라로 측정된 영상의 예로 변환 행렬을 이용하여 3차원 좌표를 변환한 후 용접비드 표면의 형상을 구할 수 있으며, 표면형상으로부터 각장을 계산하고 용접 불량률의 유무를 관찰하였다.

아크의 회전반경은 편심된 팁의 위치로 결정되고 본 연구에서는 반경 2mm인 경우에 대하여 실험을 수행하였으며, 회전속도는 명기하지 않은 경우 20Hz로 설정하였다. 실험에서 고려한 용접변수는 Fig. 6과 같이 용접전류, 용접전압, 용접속도, 토치 각도, 오프셋 거리 등이다.

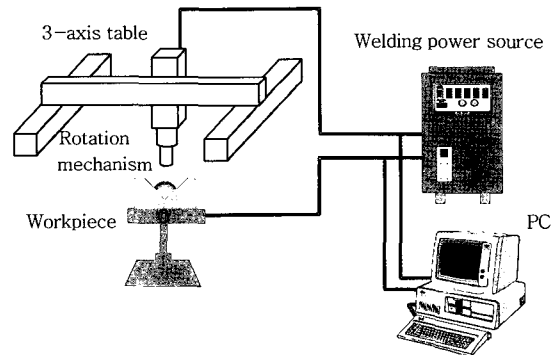


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

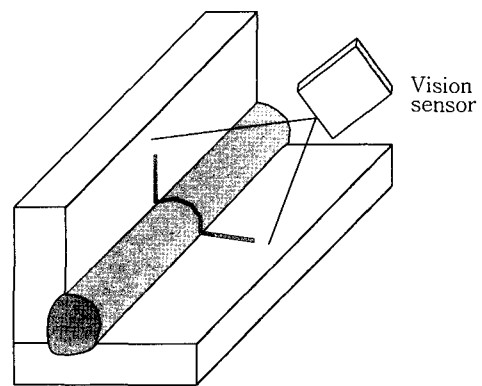


Fig. 4 Bead shape inspection

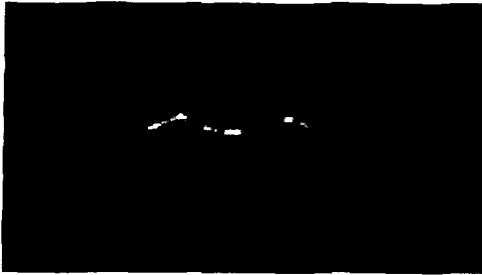


Fig. 5 Example of CCD images

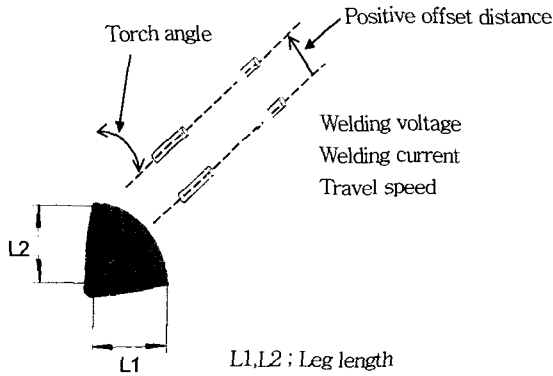
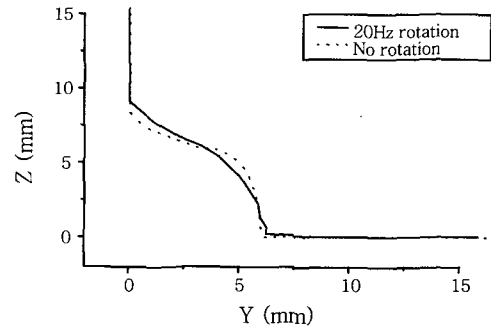


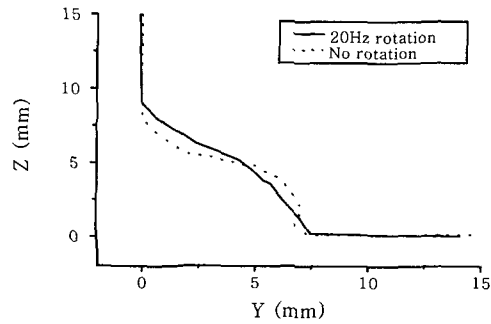
Fig. 6 Definition of welding parameters

3. 공정변수와 비드형상과의 관계

회전아크용접시에는 원심력의 영향으로 용적이 편향되어 이행되므로 용적이 모재로 이행되는 위치가 회전수에 따라 회전의 중심에서 멀어지는 경향이 있다²⁾. 따라서 모재에 넓은 열입력을 줄 수 있고, 작은 용입을 갖게 된다. 아크를 회전시킬 때 나타나는 비드 특징을 알아보기 위하여 용접전류 300A와 용접속도 6mm/s에서 아크 회전을 하지 않은 경우와 아크를 회전시킨 경우의 비드형상을 측정하여 Fig. 7에 나타내었다. 아래보기 용접과는 달리 수평 필릿용접에서는 중력의 영향으로 비드의 처짐과 그로 인한 비대칭각장이 발생할 수 있다. 그러나 아크를 회전시킨 경우에는 용접비드가 평평해지고 중력으로 인해 비드의 아래부분이 처지는 현상이 개선된다. 회전속도가 용접비드형상에 미치는 영향을 검토하기 위하여 동일한 용접전류와 속도에서 회전속도를 변화시켜 수평필릿용접을 수행한 후 시각 센서로 각각의 시편에서 2회씩 각장을 측정하였다. 측정된 양쪽 각장 (L_1 , L_2)의 기하평균값을 구하여 Fig. 8에 나타내었다. 회전속도의 증가에 따라 용적에 작용하는 원심력도 증가하므로 각장도 같이 증가하였으나 40Hz이상의 고속의 회전에서는 스패터가 다소 많이 발생함을 실험중 관찰할 수 있었다.



(a) 300A, 32V



(b) 300A, 34V

Fig. 7 Comparison of bead shape between with and without arc rotation

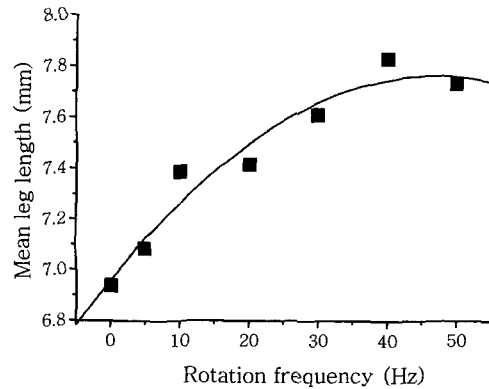


Fig. 8 Influence of the rotation frequency on leg length (300A, 32V)

수평필릿용접에서 오프셋의 크기는 용접부의 형상에 크게 영향을 주는 인자이다. Fig. 6과 같이 오프셋의 방향을 정의할 때 양의 오프셋을 가질 때는 용적이행 위치와 아크 압력의 중심이 접합부 루트(joint root)의 위쪽에 위치하므로 용접부의 비대칭각장과 비드 처짐이 개선된다⁵⁾. 음의 오프셋을 가질 때는 언더컷을 방지하는 효과가 있는데 이는 수평필릿용접부에서는 모재(base metal)과 보강재(stiffener)중 주로 보강재에서 언더컷이 발생하는데 음의 오프셋으로 인하여 보강재쪽에 가하는 압력을 낮추는 효과가 있기 때문으로 사료된다⁶⁾. 위와 같은 경향성은 Fig. 9와 같이 회전아크용접

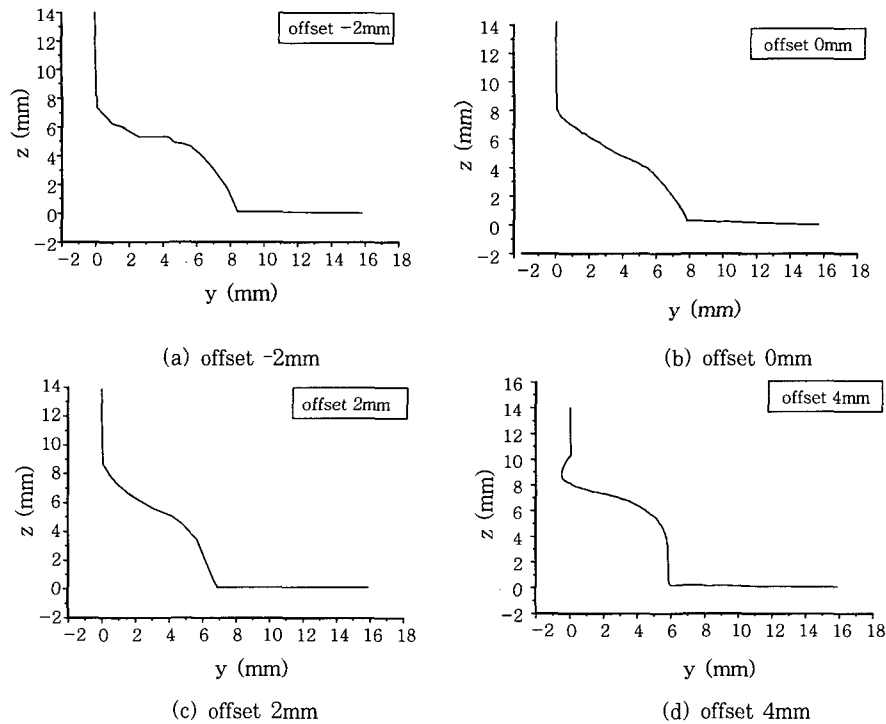


Fig. 9 Influence of the offset distance on bead shape (300A, 34V, 6mm/s, no gap)

에서도 확인할 수 있었으며 회전아크 용접시에는 고른 열입력과 아크압력분포로 인하여 오프셋이 없는 경우에도 각장의 대칭성이 잘 나타나고 언더컷이 발생하지 않았다.

용접전류 300A에서 용접전압과 용접속도를 변화시켜 언더컷의 유무와 각장을 관찰하여 Fig. 10에 나타내었다. 용접속도가 8mm/s인 경우에는 용착량이 부족하여 설정한 구간내의 용접전압에서 모두 언더컷이 발생하였고, 6mm/s이하에서는 언더컷이 발견되지 않았다. 용접전압의 증가는 아크길이를 증가시키므로 입열면적을 넓혀 주는 효과가 있어 각장을 증가시키지만 설정한 범위에서는 용접속도의 증가에 따른 각장의 변화가 더 크게 나타남을 확인할 수 있다.

용접전류와 용접속도의 변화에 따른 언더컷의 유무와 각장을 Fig. 11에 나타내었다. 이때 용접전압은 용접전류와 비례하여 설정하였다. 언더컷은 용접속도 8mm/s에서 용접전류가 300A이하일 때 발생하였다. 이 조건들은 용접속도가 크고 용접전류가 작은 조건으로 용착량이 부족할 때 언더컷이 발생함을 알 수 있다. 각장은 용접속도에 반비례하고 용접전류에 비례하는 관계를 가지고 있어 용착량과 비례함을 확인할 수 있었다.

용접부에 루트간격이 존재하는 경우에는 목표로 하는 각장을 얻기 위한 용착 단면적이 커져야 한다. 그러나 용착 단면적을 크게 하기 위하여 용착량을 늘이는 경우

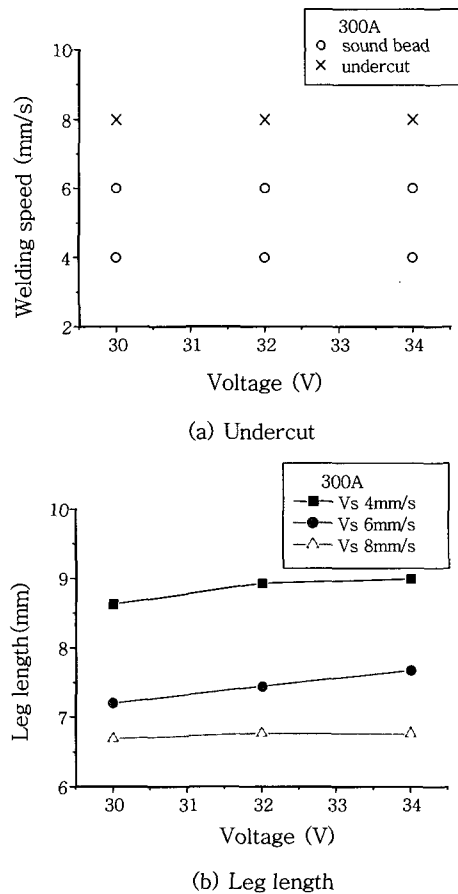
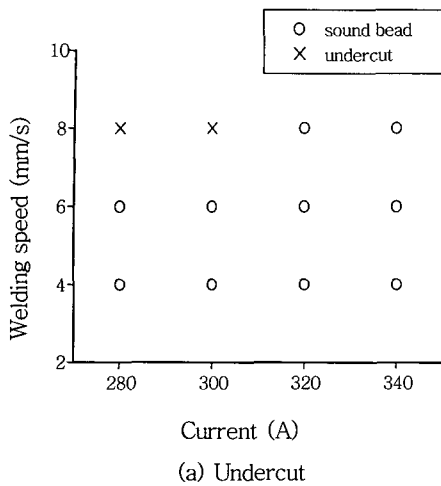
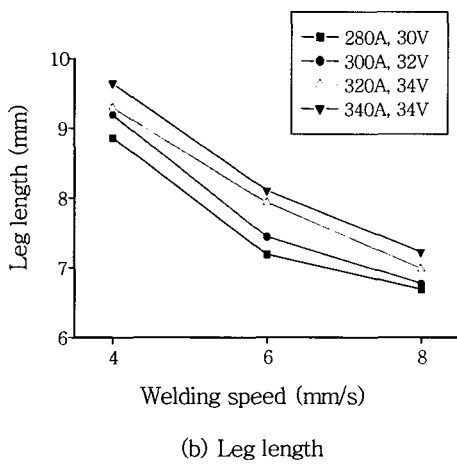


Fig. 10 Influence of the welding voltage on existence of undercut and leg length (300A)



(a) Undercut



(b) Leg length

Fig. 11 Influence of the welding current on existence of undercut and leg length

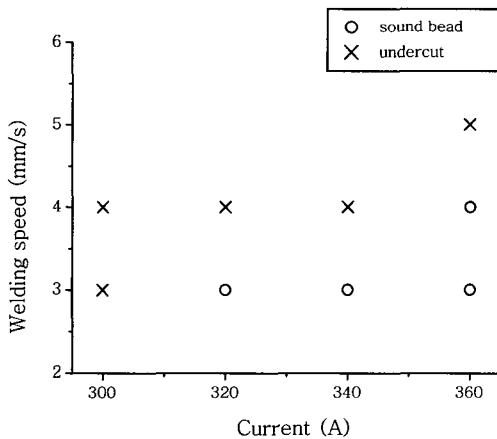


Fig. 12 Influence of the welding current on existence of undercut with 4mm gap

과도한 입열로 응고속도가 늦어지고 용융금속의 무게가 커지기 때문에 용융풀의 처짐으로 언더컷과 오버랩의 발생에 취약하다⁷⁾. 그러나 회전아크 용접에서는 용접 비드의 퍼짐성이 향상되므로 Fig. 12와 같이 4mm의 루트간격을 가진 용접부에서도 충분한 용착량을 확보한

경우에는 언더컷이 발생하지 않는 양호한 용접비드를 형성하였다. 루트간격이 존재하지 않는 수평필릿용접부에서 45도 보다 큰 토치각도로 용접을 수행할 때 언더컷의 발생이 감소하지만, Fig. 13과 같이 루트간격이 존재하는 경우에는 45도 이상의 토치각도에서 아크 압력으로 인해 간극부 안쪽으로 용융풀이 밀려 언더컷이 존재하고 각장이 감소하여 용접품질을 확보할 수 없다⁸⁾. Fig. 14는 4mm의 루트간격을 가진 수평필릿용접부에 회전아크를 적용하였을 때 용접부의 단면을 보여준다. 언더컷이 존재하지 않는 양호한 용접비드를 형성하였으나 과도한 루트간격으로 인하여 용융풀이 뒤쪽으로 밀리면서 이면에서의 오버랩이 관찰되었다. 이를 제거하기 위하여 이면에서의 2번째 패스 용접을 수행하여 그 단면을 Fig. 15에 나타내었다.

4. 결 론

회전아크 용접을 수평필릿 용접에 적용할 때 공정변수와 용접비드 형상과의 관계를 규명하기 위한 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 수평필릿 용접부에 회전아크를 적용시 평평한 용접

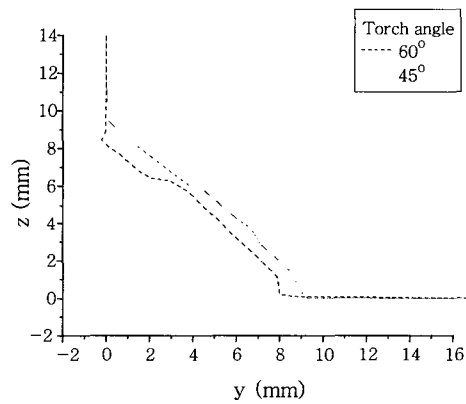


Fig. 13 Influence of the torch angle on bead shape (4mm gap)

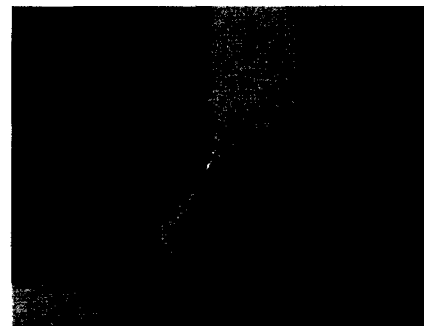
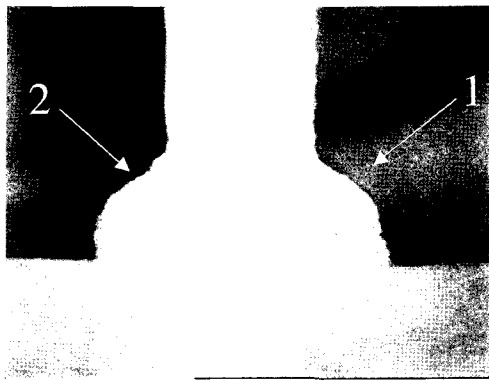
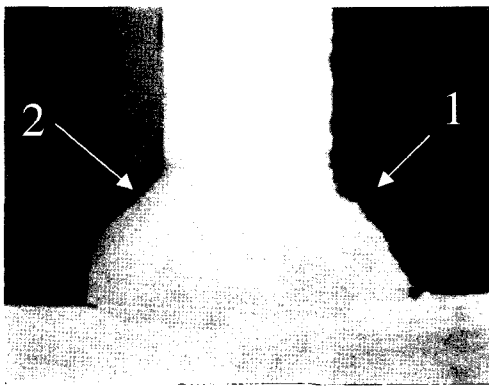


Fig. 14 Horizontal fillet welding with 4mm gap by using 20Hz arc rotation (360A, 35V, 4mm/s)



a) 1st pass: 340A, 34V, 3mm/s, 20Hz; 2nd pass: 300A, 32V, 6mm/s, 0Hz



b) 1st pass: 360A, 35V, 4mm/s, 20Hz; 2nd pass: 300A, 32V, 6mm/s, 0Hz

Fig. 15 Horizontal fillet welding with 4mm gap by using 2 pass welding

비드를 형성하여 용접비드의 처짐을 방지하고 언더컷을 줄일 수 있었다. 또한 회전속도가 증가할 때 각장이 증가하므로 목표하는 각장을 확보하면서 용접속도를 향상시킬 수 있다.

1) 용접변수들과 수평필릿용접비드와의 상관관계를 실험적으로 규명하였고, 언더컷이 발생하지 않는 공정변수를 선정하였다. 회전아크 용접에서는 언더컷을 방지하기 위하여 충분한 용착량의 확보가 필요함을 확인하였고, 4mm의 루트간격이 존재하는 경우에서도 용착량

이 충분할 때 언더컷이 존재하지 않는 용접비드를 형성하였다.

2) 4mm 이상의 과도한 루트간격이 존재하는 경우 용접면에서 양호한 용접품질을 얻을 수 있음에도 불구하고 이면에서 오버랩이 발생하였으며, 이면에서 2번째 패스의 용접을 수행하여 이를 제거할 수 있었다.

후 기

본 논문은 과학기술부가 지원하는 특정연구개발사업 중 중점국가연구개발사업 (기계설비요소기술개발) 으로 지원되어 수행되었음에 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Y. K. Sung and Y. S. Han : Applications of Welding Technology - Shipbuilding, Journal of KWS, **10-4** (1992), 82-90 (in Korean)
2. C-H. Kim and S.-J. Na : Analysis of Transient Temperature Distribution in Rotating Arc GMA Welding by Considering Droplet Deflection, International Welding/Joining Conference-Korea 2002, Gyeongju, Korea, Oct. 28-30, 763-768 (2002)
3. C.-H. Kim and S.-J. Na : 곡블럭 자동용접장치 개발에 따른 용접조건 산출을 위한 기초실험, 한국과학기술원 연구보고서, 1997 (in Korean)
4. C.-H. Kim and S.-J. Na : A Study on Rotating Arc Using Hollow Shaft Motor, Journal of KWS, **18-5** (2000), 589-594 (in Korean)
5. H.-S. Moon and S.-J. Na : Optimum Design Based on Mathematical Model and Neural Network to Predict Weld Parameters for Fillet Joints, Journal of Manufacturing Systems, **16-1** (1997), 13-23
6. J. Cornu : Consumable Electrode Process, Advanced Welding Processes, **Vol. 2**, IFS (Publications) Ltd, 1988
7. 나석주 외 : 상하수도 관접합 기술에 관한 연구, 한국과학기술원 연구보고서, 2001 (in Korean)
8. American Welding Society : Welding Handbook, **Vol. 2**, 8th Edition, 1991