

원격제어 협개선 TIG 용접방법 연구

A Study of Remote Controlled Narrow-gap TIG Welding

심덕남*, 정인철*, 김종오*

* 한국중공업(주), 기술연구원

1. 서론

오일이나 가스를 운반하는 배관라인, 보일러 히터의 배관라인 등 배관 간의 맞대기 용접기술은 모든 산업분야에 걸쳐 광대하게 사용되고 있으며, 대부분의 배관용접은 현장에서 직접 설치 및 시공되는 특성을 갖는다. 또한 기기의 장시간 운전으로 인해 누적되는 열응력 등은 용접부에 부식 및 균열의 원인으로 작용되어, 결함이 발생된 부위에는 국부적인 보수공사가 수행되거나 때로는 전체 시스템의 수명 증대를 위한 부분적인 기기의 교체가 필요하다. 그러나 이때의 현장조건은 초기의 기기 설치시 보다 작업여건이 매우 불리하여 자동화 용접장치를 이용한 작업방식이 요구될 경우가 자주 발생한다.

따라서 본 연구는 발전기기의 교체 공사시 작업자의 접근이 어려운 배관 용접작업을 하기 위해 카메라-모니터링 장치가 조합된 원격제어 협개선 TIG 용접시스템의 구성 및 적용기술의 개발을 목적으로 하고 있다.

2. 시험 방법

시험은 용접 오퍼레이터가 용접토치의 좌·우 2곳에 조립된 마이크로 카메라에 잡힌 영상신호를 카메라 케이블을 통해 30m 떨어진 TV Monitor로 전송하여 나타난 용융푸울을 감시하며 용접변수를 제어하는 형태로 진행되며, 용접헤드는 2°~4°의 협개선으로 가공된 파이프 원주방향에 장착된 가이드 링(Guide Ring)을 따라 회전한다. 용접와이어는 지름 0.035"의 2 lb - Spool 2 개, 텅스텐 전극봉은 지름 4.8mm를 사용하였다.

용접부에 대한 기본적인 물성시험은 파이프 소재 C/S, S/S, Inconel의 3종류에 대한 UT, RT, 인장, 굽힘, 경도 그리고 조직시험을 실시하였다. 또한 원격제어 장치 및 협개선 TIG 용접기법의 특성 파악을 위해 카메라-모니터링 시스템의 운영, 용접헤드 회전방향에 대한 용접성 변화, 협개선 각도 및 용접자세에 대한 용착량 변화, 용접패스별 변수 설정 등의 시험을 수행하였다.

3. 결과 및 분석

협개선 TIG 용접장치는 입력된 용접 프로그램에 따라 순차적인 동작이 이루어지며, 가스 Prepurge → 아크발생 → 용접 → 아크중지 → 가스 Postpurge의 5 단계로 구분하였다. 아크발생 전에는 TV Monitor에 용융푸울의 형상이 관찰되지 않으므로 정확한 셋팅을 해야 아크 스타트가 용이하게 진행되었고, Torch Start 방식의 특성에 따라 텅스텐 전극봉과 모재의 간격을 일정하게 유지한 상태에서 전극봉 끝의 편평도를 작게 하는 것이 아크 스타트성이 양호하게 작동되었다. ASME Sect.IX에 준한 인장시험 결과, 모든 시편의 파단이 모재부에서 일어나 TIG 용접부의 접합강도가 모재보다 우수하다는 것을 알 수 있었고, RT, UT 시험 또한 만족하였다.

그러나 S/S 재질의 굽힘시험 결과에서는 모든 시편에 균열이 발생하였으며, 루트용접부의 weld line에서 발생된 것으로 보아 협개선 측벽 용융부족 결함으로 판단되었고, 이것은 Macro, 조직시험 결과

확인되었다.

용융푸울을 관찰하기 위한 카메라-모니터링 시스템의 운영은 우선 카메라 스캔 영역내의 방해물이 없는 조건하에서 카메라를 정확히 셋팅하여야 되었다. 그리고 강렬한 용접아크의 빛을 차단하기 위한 특수필터 및 보호렌즈를 사용하였으며, 카메라 헤드는 과열방지를 위한 냉각라인을 연결시켜 장시간 사용을 가능하게 하였다.

용접헤드의 회전방향은 용접속도 및 용착효율에 영향을 주었으며 다음과 같은 3가지의 형태를 볼 수 있었다. 첫째, 파이프 상단에서 하단으로 진행할 경우 회전속도는 빠르지만 와이어의 송급속도를 증가시킬 수는 없으며 용접비드가 아래로 처지는 현상이 나타났다. 둘째, 파이프 하단에서 상단으로 진행할 경우 용융푸울이 흘러 내리는 부담이 적어 용착량은 크게 증가되었으나 아크 스타트 성이 좋지 않았고, 용접토치의 셋팅이 어려웠다. 셋째의 경우에는 파이프 상단에서 스타트하여 둘레를 완전하게 1바퀴 회전한 뒤, 반대방향으로 역회전 하였는데, 이 방법은 양방향 용접이 가능한 Dual Type 용접장치의 특성과 잘 일치되었고, 아크를 중단없이 작업할 수 있어 작업효율의 증대효과와 동시에 케이블의 꼬임을 방지할 수 있는 장점을 가질 수 있게 하였다.

협개선 각도 및 용접자세에 대한 용착량의 변화시험에서는 모든 시편의 개선형상에서 루트 부위는 8mm 치수로 일정하게 유지한 가운데 개선각도만 미소하게 변화하였고, 가공된 협개선 각도와 용접자세에 따라 용착량은 조금씩 다르게 나타나는 양상을 보였다. 전체 용착량은 5 ~ 7.5 kg/h 범위로서 각 시편의 개별적 차이는 고정된 시험편의 위치에 따른 결과로 인식되었으며, 일반 탄소강 파이프 재질에 있어서, 중력 방향에 평행한 2G 자세의 시편은 중력방향에 수직인 자세의 시편보다 표면폭 수축이 조금 크고 전체 와이어 용착량은 1 ~ 2 kg 작게 소모 되었음을 알 수 있었다. 각 시편의 시간당 최대 용착량의 차이는 와이어의 재질적 특성에 기인한 용접성과 관련이 큰 것으로 검토 되었으며, C/S 재질에 대한 용접성은 양호한 것으로 나타났으나, 비교적 높은 열팽창율에 비해 열전도도가 낮은 S/S 자재의 용접은 용접조건 설정의 어려움이 있었다. 또한 시편의 표면 수축은 S/S에서 가장 크게 일어나, S/S 재질의 용접후 변형정도가 다른 재질보다 심하게 발생 함을 확인할 수 있었고, 파이프 축방향 수축이 클수록 용착량이 줄어든다는 당위적 결과도 확인하였다.

협개선 그루브내의 용접부 품질에 영향을 미치는 인자는 보호가스(아르곤가스)의 불충분한 공급으로 인한 기공발생 그리고 협개선 측벽부에 야기될 수 있는 용융부족과 용입부족 결함으로 분석되었으며, 초층(Root pass), 2층(Hot pass), 3층이상(Fill pass)에 따른 층수별로 분류한 결과는 다음과 같다.

1) 초층(Root Pass) : 파이프의 정렬은 초층용접에서 가장 중요한 부분으로 최대 1.5mm 이상 벗어나면 안된다. 시험에서 검출된 주요 결함발생 형태는 파이프 이면에 나타나는 용락현상(Burn-through)과 이면비드가 오목하게 들어가는 결함(Suckback)이었으며, 용락의 발생원인은 급격한 전류증가와 갑작스런 와이어 송급 중단으로 인한 입열변화가 가장 큰 요인으로 작용 하였다.

Suckback의 원인은 이면비드에서 발생되며 S/S이나 Inconel의 재질에 잘 나타나며 산화방지를 위해 파이프 내면에 주입된 아르곤가스에 의한 내부압력의 증가와 관계가 깊은 것으로 분석되었다.

2) 이층(hot Pass) : 이층용접에서는 와이어만 용융할 수 있도록 입열을 적절히 제한해야 하며, 과도한 입열로 루트비드가 재용융될 경우에는 이미 용고된 이면비드에 다시 "Suckback" 현상이 나타날 수 있으므로, 루트비드가 용융될때에는 용융푸울이 그루브 양측벽에 충분히 용융되는 조건하에서 용접전류를 조절하도록 하였다.

3) 필패스 (Fill Pass) : 3 층이상의 용접에서는 오실레이션(Oscillation)의 기능을 이용하여 용착율 증가, 용접패스수 감소 및 입열증가 효과를 가지므로 유리하게 사용할 수 있으나, 용접토치 센터링 감시 및 지속적 와이어 송급 조절 등이 요구되었다..

4. 결론

카메라-모니터를 이용한 원격제어 TIG 용접시스템의 구성을 통한 협개선 용접기법 연구에 대한 전체 시험결과는 다음과 같다.

첫째, 카메라 & TV 모니터를 조합한 원격제어장치와 협개선 TIG 용접기술을 접목한 Orbital 협개선 TIG 원격제어 용접 시스템의 구성은 우수한 성능이 입증되었으며, 특히 Compact 한 용접헤드 구조로 용접중 와이어의 송급방향을 조절할 수 있는 와이어 에이머 와 협개선내 가스공급을 위한 보조노즐의 고안은 주요한 성과였다.

둘째, 시험을 통해 시편재질에 따른 전체적인 용접성이 확보되었으며, SUS 와 Inconel 재질의 용접 조건은 1 층에서 3 층까지의 미세한 입열제어가 중요하게 요구되어 이 부분에서 용접부 품질에 영향을 줄 수 있는 결함발생의 잠재성이 큰 것으로 해석되었다. 실제 용가재의 소모량은 수동용접에 비해 약 60% 정도 감소되었고, 용접비드의 단면은 좁고 균일한 형상을 유지하였다.

셋째, 시험에서 확보된 각 재질별 용접 파라미터와 작업조건 등은 본 용접시스템에서 원격제어기능과 협개선 기술이 배제된 순수 자동 Orbital TIG 용접장치만으로도 여러 종류의 파이프간 맞대기 용접에 응용할 수 있으며, 실 적용시에는 기존 수동용접보다 약 25% 이상의 원가절감과 생산성 향상 효과를 달성할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 참고문헌

1. 송자윤, 김상진, "시퀀스 제어", 연학사(1998. 7) pp.15~87
2. Babara K. Henon and Surjit Malhotra, "Remote welding and the Monticello recirculation pipe replacement project", Reprinted from Nuclear Engineering November, 1985.
3. Babara K. Henon and Jeffrey S. Overton, "Constructing a Class 1 UHP stainless-steel process-gas piping system - Part II", Reprinted from Microcontamination February and March, 1988
4. John Norrish, "Advanced Welding Process" New Manufacturing Processes and Materials Series, 1992, pp.209~226

Table1. The specification of pipe material (According to ASME Code.)

No.	재 질	P-No.	치 수(mm)	개선각도	용접자세
1	SA106-B,	1	OD 508 x 75T x 700L	3°	5G
2	SA672-B60	1	OD 762 x 50T x 700L	2°,3°,4°	2G, 5G, 6G
3	SA672-B60	1	OD 762 x 50T x 700L	3°	2G, 5G
4	SUS304 (Buttering)	8	OD 762 x 50T x 700L	2°, 3°	2G
5	Inconel 690 (Buttering)	43	OD 762 x 50T x 700L	2°, 3°	2G

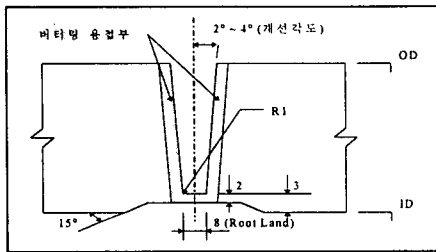


Fig1. Configuration of Narrow-Gap

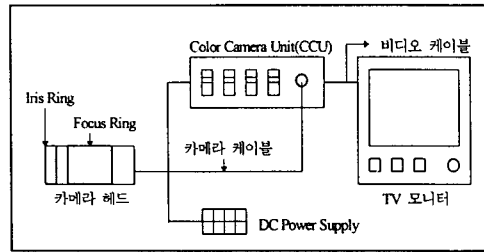


Fig2. Camera & Monitoring system



Fig3. Remote Controlled-Welding Test

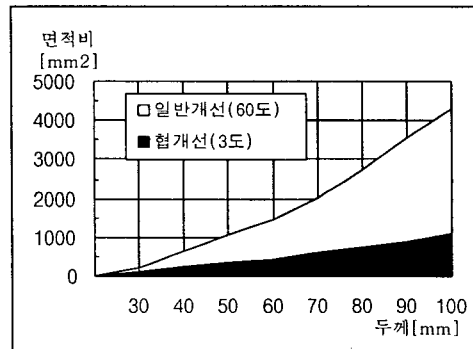


Fig4. Comparison of Weld Joint Area