

# 노즐 Overlay 용접용 자동 Hot-wire TIG 시스템 개발 The Development of Automatic Hot-wire TIG System for Nozzle Overlay Welding

\*박정채, 문인채, 정인철, 김승원  
두산중공업(주) 기술연구원, 경남, 창원

## 1. 서론

원자력 1 차 냉각계통(그림 1), 가압기 및 열교환기 등에 부착되는 노즐은 고온, 고압 환경에서 사용되므로 고온 내부식성 위해 탄소강 및 저합금강 재질의 모재(Base Metal)에 스테인레스강 및 인코넬 재질의 오버레이 용접을 실시한다. 이와 같은 노즐류의 오버레이 용접은 고품질을 요구하고 있지만 제품의 형상이 복잡하고, 인코넬 690 용가재에 대한 용접품질 확보가 어려워 현재까지 반자동 FCAW 및 수동 GTAW(Cold-wire TIG) 기법을 적용하므로 열악한 작업조건, 고기능 용접사 필요 그리고 작업 효율이 매우 떨어지는 실정으로 용접생산성 향상 및 용접환경개선이 필요하게 되었다. 따라서 원자력 노즐들에 대해 오버레이(Cladding & Buttering) 용접작업을 자동으로 수행하는 장치 개발과 Hot-wire TIG 기법을 이용한 용접성 평가를 실시하였다.

## 2. 개발 방법

### ■ 용접장치 구성

용접기법은 당사의 적용사례에 따라 인코넬 690 용가재에 대한 용접 신뢰성이 높은 Hot-wire TIG 기법을 채택하였다. Hot-wire TIG 은 Cold-wire TIG 에 비해서 동일한 용접품질을 유지하면서도 고속 용접이 가능하고 3 배 이상의 용착 효율을 얻을 수 있다.

용접 시스템은 외경  $\varnothing 200\sim 700\text{mm}$ , 길이 1,000mm 이하의 노즐류에 대해 적용이 가능하고 노즐 내면부 Cladding 및 노즐 플랜지부 Buttering 이 자동적으로 수행될 수 있도록 설정하였다.

### ■ 용접 시험

Hot-wire TIG 용접 변수를 설정하기 위하여 일반 탄소강재(SA108-B) 파이프에 오스테나이트계 스테인레스강(ER308L or ER309L) 용가재( $\varnothing 1.2$ )를 사용하여 Cladding(그림 2)을 실시하였다.

설정된 용접변수로 SA508 Cl.3 와 A516 Gr.70 판재에 초층 ER309L, 둘째층 이후 ER308L 용가재( $\varnothing 1.2$ )를 이용한 Cladding(그림 3)과 SA516 Gr.70 판재에 ERNiCrFe-7 용가재( $\varnothing 1.2$ )를 이용한 Buttering 을 실시하여 비파괴 검사, 기계적 시험, 화학성분 분석 및 매크로 조직 시험을 실시하여 용접성을 평가하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### ■ 용접시스템 구성

자동 Hot-wire TIG 시스템은 그림 4 과 같은 형태로 Hot-wire TIG 용접기법을 사용하고 용접아크 발생 및 유지를 위한 용접장치, 제품 고정 및 이송을 위한 포지셔너와 캐리지, 이들 장치들의 통합 제어를 위한 제어장치로 구성되어 있다.

용접장치 중 Hot-wire Torch 는 노즐류에 접근이 용이하도록 붐형으로 개발하였으며 뛰어난 내구성과 함께 높은 통전성 및 안정성을 지니고 있다. 포지셔너는 노즐류의 설치 및 분리가 용이하도록 중공형을 사용하여 기존의 용접공정 중 노즐 설치 및 용접 준비시간을 크게 단축할 수 있다. 이외에 용접사의 작업 편리성을 위해 터치 패널 모니터 사용 및 용접 중 아크 관찰이 가능하도록 아크 모니터링 시스템을 개발하여 용접작업이 용이하도록 하였다. 장치구성 및 사양은 Table 1 과 같다.

구동 제어장치는 다양한 형태의 노즐에 대해서 Cladding 및 Buttering 을 자동적으로 수행할 수 있도록 용접부위와 노즐형상에 따라 네가지 구동 모드로 자동구동체계를 확보하여 용접구동 제어 프로그램을 제작하였으며 용접장치 Unit 와 Interface 를 실시하여 프로그램 상에서 자동용접이 가능하게 되었다.

#### ■ 용접시험 결과

용접변수 설정시험에서 Hot-wire 전압이 낮거나 지나친 용접속도에서는 언더컷이 발생되고 이행 방향에서는 후진법이 전진법에 비해 비드산화가 다소 발생되었다.

Multi-pass 용접시에는 전(前) 패스와 용접될 표면 경계부에서 용입부족과 비드간의 지나친 비드 골을 형성시킬 수 있으므로 아크포인트는 경계부 또는 전 패스의 비드위에 위치하도록 한다. 위빙을 실시할 경우 Dwell Time 은 전(前) 비드쪽에서 다소 오래 머물도록 조치하고 Inconel 과 같이 용융풀의 유동성이 다소 낮은 금속은 Dwell Time 을 약간 높게(0.5~1.2sec) 사용한다. 이를 통해 얻어진 최적 용접변수는 Table 2 과 같다.

최적용접변수 적용 용접시편에서 비파괴 검사(PT, UT) 결과 모두 양호한 결과를 얻었으며 굽힘시험 결과 Cladding 시편과, Buttering 시편 모두 ASME Spec.을 만족 하였다. 용접후열처리를 실시하지 않은 SA 508 Cl.3 판재의 Cladding 시편에 대해서는 경도를 측정하였으며 최대 82HRB 로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 장비를 이용한 최적 용접변수는 Table 2 와 같으며 노즐 Overlay 용접 자동화 장치 개발로 다음과 같은 성과를 얻었다.

- 1) 수동용접이 불가피한 노즐류 Overlay 용접공정을 자동 용접을 실시하여 작업환경이 크게 개선되었다.
- 2) 수동용접 적용부에 Hot-wire TIG 기법을 적용하게 되어 우수한 품질과 함께 생산성이 향상되었다.
- 3) 용접자동화 전용설비를 자체적으로 개발하게 되어 수입대체 효과와 함께 대외 신인도 향상에 크게 기여하였다.

Table 1 Specification of Hot-wire TIG System for nozzle overlay welding

구성장치명		사양	비고
용접장치	Power source	450A(100% Duty cycle)	Inverter Type
	Hot-wire Power	200A(100% Duty cycle)	
	Hot-wire Torch	500A(100% Duty cycle)	수냉식
	coolant	1.25ℓ /min, 11.4ℓ (tank)	
구동장치	Boom & Carriage	Stroke 1500(H)× 2500(L)mm	Servo Motor
	Positioner	5tons (Max. O.D. 900mm 노즐)	중공형
	ALC(X) & OSC(Y)	Stroke 200(X)× 80(Y)mm	
제어장치	Main panel	IBM PC(64MB RAM)	
	아크 모니터링시스템	17" Color Monitor & Camera	
	아크 제어장치	Microprocessor	

Table 2 Welding parameters of Hot-wire TIG process(Wire : Inconel 690, Ø1.2mm)

구분	용접전류 (A)	아크전압 (V)	용접속도 (mm/min)	와이어 속도 (mm/min)	Hot-wire 전압 (V)
Value	320± 20	15± 2	70~120	3,000~4,000	5.5~6.5(50~80A)



Fig. 1 Safety injection nozzle of primary Pipe(Weight : 680 kg)

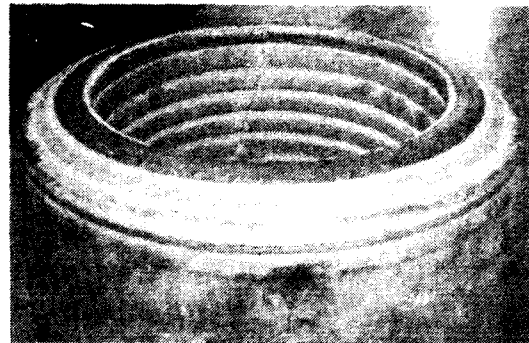


Fig. 2 Cladding specimen of pipe inside and flange

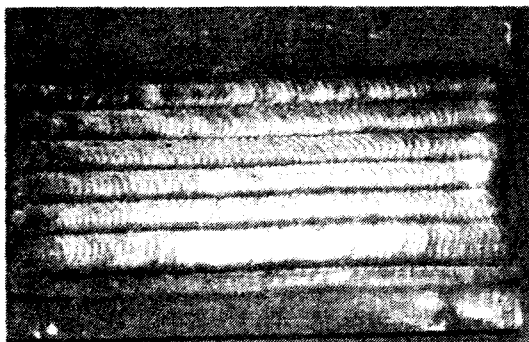


Fig. 3 Stainless steel cladding specimen on the low alloy steel plate

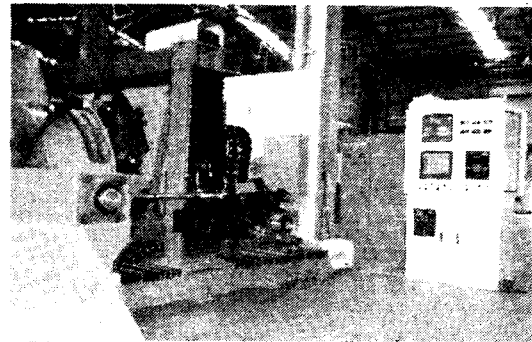


Fig. 4 Hot-wire TIG System for nozzle overlay welding