

핵연료 제어봉 구동장치의 Omega Seal 용접공정 개발

A Development of Omega Seal Welding Process for CEDMs

*심덕남, 김우성, 배강국

한국중공업(주) 용접기술연구실, 경남 창원

1. 서론

가압수형(PWR) 원자력 발전소에 있어 핵연료 제어봉을 구동시키고(상,하 직선운동) 제어하는 전기 기계 장치인 CEDM(Control Element Driving Mechanism)은 Fig. 1 에서 보듯이 원자로 Closure Head Nozzle 에 수직으로 설치되며, 2,500psi 와 650°F에서 운전할 수 있도록 설계된다. CEDM 을 원자로 Head 에 설치하기 위해서는 CEDM 상부의 Motor Housing 과 Upper Pressure Housing 의 조립부 및 하부의 Motor Housing 과 Closure Head Nozzle 의 조립부인 상·하 2 곳 Omega Seal 부위의 용접이 수행되어야 한다. Omega Seal 용접부는 1 차계통 압력경계와 관련된 격막부로서 운전 중 누설이 발생되지 않도록 고 품질이 요구되지만 Motor Housing 간의 설치간격이 협소한 관계로 수동용접에 많은 제한이 따른다.

따라서 본 연구는 고기능 제어 용접 장치인 Orbital TIG 용접 프로세스를 응용하여 특수 형상(Omega Seal)에 적합한 용접기법 개발 및 스테인레스(Stainless Steel)와 인코넬(Inconel) 재질에 대한 최적의 용접변수 설정을 위한 Mock-up 실험을 수행하여, 핵연료 제어봉 구동 장치의 Omega Seal 용접 공정을 확립하고자 하였다.

2. 실험

Table 1 은 Mock-up 실험에 사용한 자재와 용접재료를 명시한 것이다. 시험자재는 실제 품과 동일한 스테인레스와 인코넬의 2 가지 자재로서 시편을 가공하고, 용접재료는 High Quality Alloys 사의 Wire 를 사용하였다. 용접부 사양 및 형상은 Table 2 및 Fig. 2 와 같으며, 초기 용접변수는 몇 차례의 자체 실험을 통하여 범위를 설정하였다. 한편, 본 실험에 사용한 Orbital TIG 자동 용접기는 Power Supply, 용접 헤드, 컨트롤러 및 가이드 링 등으로 구성된다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 최적변수 및 용접공정

Table 3 및 4 는 Mock-up 실험을 통해 설정된 최적의 가접(Tack Welding)과 Seal 용접 조건을 나타낸다. 가접은 본 용접의 아크 스타트성에 중요한 영향을 미치므로 가접부 길이는 짧게 하고 이면비드의 형성을 반드시 유지하도록 주의하였다.

용접 공정은 상, 하부 공히 먼저 용접 조인트 부분의 이 물질을 제거한 후 수동 GTAW 방식으로 가접을 실시하고, 용접 조인트는 그루브 내부로 각종 이 물질 유입을 방지하기 위해, 보호테이프를 부착한 다음 보호 테이프를 주사바늘로 뚫고 바늘을 통해 아르곤 가스를 충분히 퍼징하여 Omega Seal 내부 공간을 채우는 작업이 수행되었다.

모든 준비 작업이 완료되면 용접헤드를 가이드 링에 장착하고 가이드 링을 따라 용접헤드를 일정 속도로 회전시키면서 Seal 용접을 수행하는데, 이때 공급되는 용접 Wire는 텅스텐 전극봉 팁 위치에서 약간 위쪽으로 송급하여 용착금속의 용입을 강화하였다. 또한 보호 테이프는 용접이 진행되면 작업자가 손으로 조금씩 벗겨주고, 아르곤 가스는 계속 퍼징시켜 줌으로써 Seal 내부 산화를 방지하며, 용접이 완료되기 직전 가스 공급용 주사바늘을 제거함으로써 보다 우수한 용접부를 얻을 수 있었다.

3.2 침투 탐상 검사

Mock-up 시편에 대해 Omega Seal 용접을 실시한 후 용접부 표면에서의 결함 발생 유무를 확인하기 위한 침투 탐상 검사를 실시하였고, 초기 가접 부위를 포함한 용접 전범위에 걸쳐 특별한 결함은 발생하지 않았다.

3.3 조직 검사

Photo. 2 및 3은 상·하부 Seal 용접부에서의 Macro 조직 사진을 나타내며 이면비드의 형성이 양호하고 용착금속부는 어떠한 결함도 발견되지 않았다.

4. 결 론

원자력 핵연료 제어봉 구동장치의 Omega Seal 용접은 Orbital TIG 용접 프로세스를 이용하여 본 실험을 통해 확립된 용접공정 및 최적변수를 기반으로 수동 용접사를 대신하여 효율적인 작업수행이 가능하게 되었고, 또한 수동작업 방식보다 더욱 균일하고 우수한 용접부 품질을 얻을 수 있게 되었다.

참고적으로, 이러한 결과는 향후 한국형 원자력발전소 CEDM의 설치 작업 현장에 활용될 예정이다.

Table 1. The Specification of Base Metal & Weld Metal

구분	시험 자재	용가재	
		재질	사양
Upper Pressure Housing + Motor Housing	SA479-316	ER316L	O.D 0.035inch, 2 L/B Spool
	SA182-F347		
Motor Housing + Closure Head Nozzle	SB166	ERNiCr-3	O.D 0.035inch, 2 L/B Spool
	SB166		

Table 2. The Specification of Omega Seal Welding Joint

구분	Seal 상부	Seal 하부
실 용접부의 외경(in.)	6.435 ~ 6.440	6.938
실 용접부 두께(in.)	0.090 ~ 0.095	0.090 ~ 0.095
그루브 형태	Single Bevel Joint	Single Bevel Joint

Table 3. Welding Parameters of Tack Welding

조건 위치	전류 (A)	전압(V)	용접방법	Pre-purge (Kgf/cm ²)	차폐가스	차폐가스 압력 (Kgf/cm ²)
상 부	46~56	7~9	TIG	Ar, 0.3~0.9	Ar, 99.99%	8~13
하 부	65~75	9~12	TIG	Ar, 0.3~0.9	Ar, 99.99%	8~13

Table 4. Welding Parameters of Omega Seal Welding

조건 위치	전류 (A)	전압(V)	Wire 속도 (cm/min)	Pre-purge (Kgf/cm ²)	차폐가스	차폐가스 압력 (Kgf/cm ²)
상 부	75~85	11~13	67~77	Ar, 0.1~0.6	Ar, 99.99%	10~15
하 부	80~90	12~14	65~75	Ar, 0.1~0.6	Ar, 99.99%	10~15

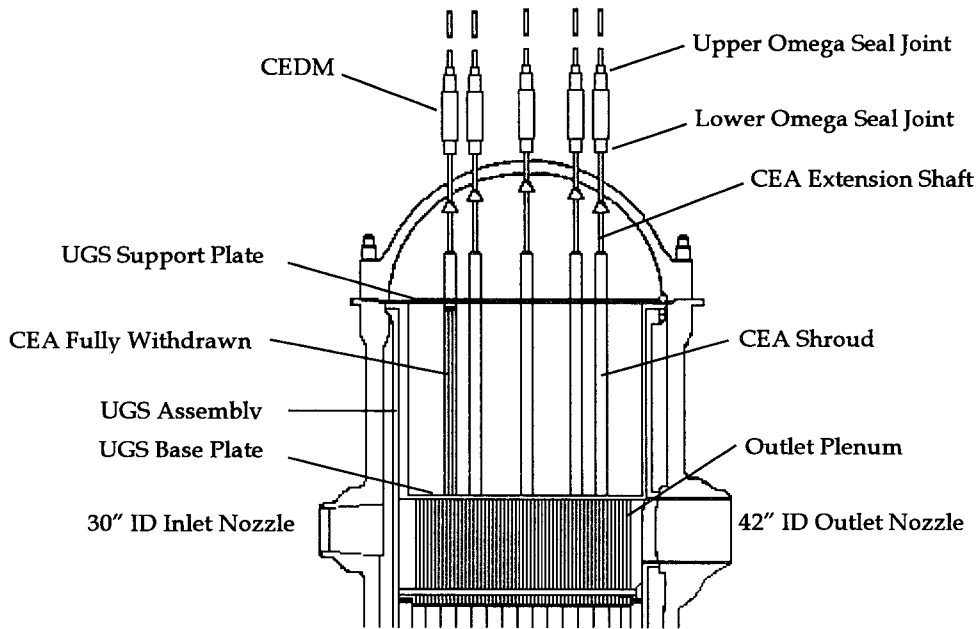


Fig. 1 A Schematic Diagram of Reactor Vessel Internal

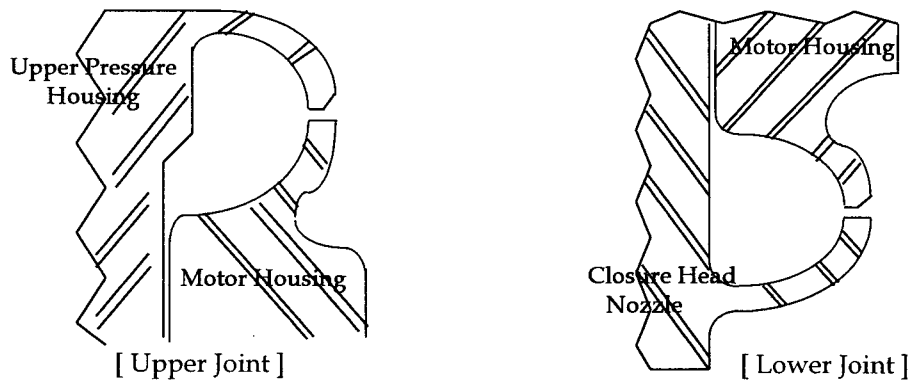


Fig. 2 A Schematic configuration of Omega Seal Welding Joint



Photo. 1 Mock-up Test of Omega Seal Welding

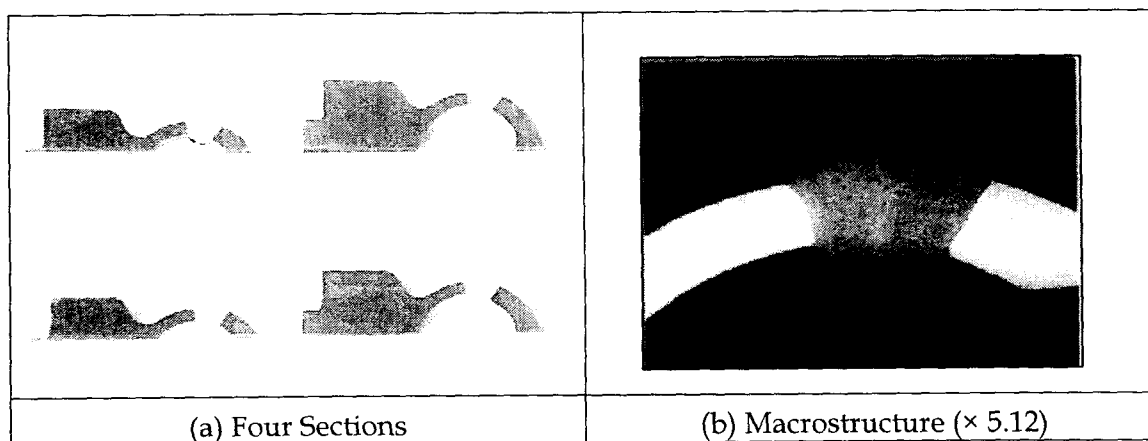


Photo. 2 The Macrostructure of Upper Omega Seal Welding Joint

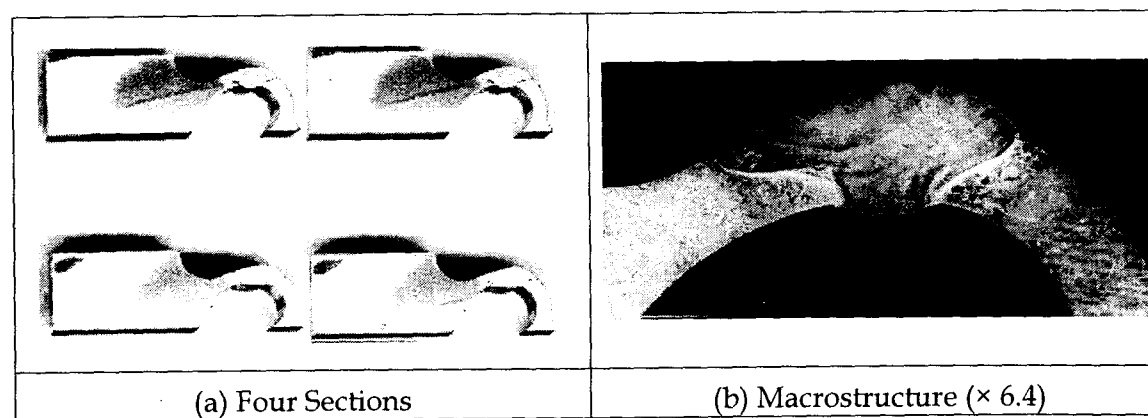


Photo. 3 The Macrostructure of Lower Omega Seal Welding Joint