

## 特輯 : POWER PLANT 설비의 보수용접

# 원자력 발전소 NSSS설비의 보수용접

김종오 · 정인철 · 송근호

## Repair Welding of NSSS Components for Nuclear Power Plant

J. O. Kim, I. C. Jeong and K. H. Song



김종오/한국중공업/  
1952년생/인코넬-  
690의 Hot wire TIG  
용접연구 및 용접 자  
동화 연구개발



정인철/한국중공업/  
1959년생/협개선-  
SAW 탄템기법 개발  
및 EBW system 연  
구개발



송근호/한국중공업/  
1960년생/Laser  
Vision Sensor를 이용  
한 SAW 다층용접장  
치 및 기법개발

### 1. 개 론

국내 원자력 발전소가 처음으로 설치, 상업운전 된 때는 1978년 4월 고리 원전 1호기때부터이며 이때의 모든 기자재는 미국의 Westing House사로부터 도입, 설치되었고 20년이 지난 지금에서의 국내 원전은 중수로형인 월성 1&2호기를 비롯하여 총 12기가 가동중에 있으며 8기가 현재 건설중에 있다. 국내 총 발전량중 원전이 차지하는 비율은 1,031만 6천 kw로서 26.9%에 이르며 세계 10위의 원자력 발전 보유국으로 부상하였고 차기 2010년이 되면 10기의 신규 원자력 발전소와 건설중인 6기를 합치면 총 28기의 원전이 가동될 것으로 전망하고 있다.

원자력 발전설비중 가장 핵심이 되는 핵증기 공급계통(NSSS : Nuclear Steam Supply System)은 원자로(Reactor Vessel), 증기발생기(Steam Generator), 원자로 냉각 펌프(Reactor Coolant Pump), 가압기(Pressurizer) 및 이를 연결하는 1차 배관(Primary Piping)으로 크게 5가지 형태로 구분되며, 방사능이 함유된 유체 또는 증기가 고온, 고압상태에서 순환되므로 재료의 선정에서부터 설계, 제조과정, 설치, 운전 및 최종적인 폐기에 이르기까지 품질

은 거의 완벽에 가깝게 관리되고 있다.

따라서 원자력 발전소의 NSSS설비가 가동중 중요 압력부위에 결함이 발생하는 현상은 있을 수도 없거나와 만약 중대 결함이 발생할 시에는 바로 폐기 또는 교체만이 유일한 보수방법이라 할 수 있으므로 본 고에서는 기자재의 제작시 중요 압력부에 발생될 수 있는 용접부의 결함과 그에 대한 보수형태 및 방법등에 대해 기술하기로 한다.

### 2. 핵증기 공급계통의 구성

화력발전소의 보일러 기능을 수행하는 핵증기 공급계통은 원자력 발전소에서도 격납용기내에 설치되며, Fig. 1 에서 보는 바와 같이 가압수형 원전에서 가장 중심에 위치하여 우라늄과 중성자간의 핵분열을 생성 및 조절하는 원자로와 여기서 발생된 고온·고압의 냉각재를 2차 열전달을 이루게 하여 터빈을 회전케하는 증기발생기, 일정한 고온 고압을 유지케 하는 가압기, 그리고 이때의 원자로 냉각수를 순환케 하는 원자로 냉각재 펌프 및 순환경로에 해당되는 1차 배관계통으로 구성되어 있다.

각 설비별 주요사양은 Table 1. 과 같다.

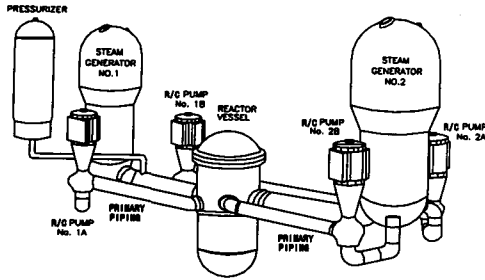


Fig. 1 한국형 PWR 원전에서 핵증기 공급계통의 구성

### 2.1 원자로(Reactor Vessel)

Candu형인 중수로의 Calandria와는 다른 형태인 가압수형(PWR) 원자로는 반구형 하부헤드와 플렌지 및 가스켓이 있는 분리 가능한 상부 헤드로 이루어진 원통형 셸과, 내장된 핵연료 집합체, 로심 지지 구조물, 제어봉 집합체 등으로 구성되어 있다. 이중 내부는 비압력구조물로 규정되며 대부분 스테인레스강 또는 인코넬강으로 구성되어 있는 반면 가장 중요한 Vessel은 최대 두께가 280mm로서 저합금강이며, 175.4kg/cm<sup>2</sup>의 내압으로 설계되어 내부 전 표면에 내부식의 목적으로 스테인레스강의 오버레이 용접을 행하게 되어 있다.

### 2.2 증기발생기(Steam Generator)

한국형 PWR에서의 증기발생기는 2기로 설치되어 있으며 원자로내에서 핵분열시 발생된 열에 의해 고온·고압의 냉각수를 상하·수직으로 장착된 U-Tube를 통해 열전달을 이루게 하여 2차 계통인 터빈을 회전케하는 열교환기중의 하나이다.

고니켈 재질인 인코넬의 U-Tube를 비롯하여 Vessel 내부는 복잡한 구조로 설계되어 있으나 설비의 제작에 있어서 가장 중요한 부위는 압력을 지탱하는 셸(shell) 부위와 튜브시트(tube sheet)로 볼 수 있으며, 내부식 및 내열을 목적으로 셸 내부는 스테인레스, 튜브시트면에는 인코넬로 오버레이 용접을 행하게 되어 있다.

### 2.3 가압기(Pressurizer)

PWR원전 한호기당 1대가 설치되며, 원자로 냉각재의 완충탱크(surge tank) 역할을 하며, 정상 운전중 원자로 냉각재의 팽창 및 용축 공간을 제공하고 압력을 일정하게 유지시키며, 과도 상태시 압력변동을 억제한다.

반구형 상부헤드 및 하부헤드를 가진 원통형 셸과 하부에 고정시키기 위한 스킵트형의 지지체로 되어 있으며 내부구조는 하부에 전열기가 장착되

Table 1. 한국 표준원전 NSSS Components의 압력부 사양

Component	Part Name	Material Spec.	Min. Thick.	Clad Thick.
Reactor Vessel	L/I/Upper Shell	SA508Gr. 3-C1. 1	205/259mm	4. 1mm Ref.
	B/Closure Head	"	153/178mm	"
Steam Generator	L/I/Upper Shell	"	127/140mm	-
	Transition Shell	"	162. 1mm	-
	Primary Head	"	177. 8mm	4. 1mm Ref.
Pressurizer	Top Head	SA508Gr. 1A	108mm	-
	T/Buttom Head	SA508Gr. 3-C1. 1	95. 3/105mm	4. 1mm Ref.
Primary Piping	L/Upper Shell	"	123. 8mm	"
	H/Cold Leg Pipe	SA508Gr. 1A	98. 5/76. 2mm	"
	Closure Pipe	"	63. 5mm	"
	H/Cold Leg Elbow	"	105/76. 2mm	"

※ Note! : 1. Design Temp. : 650°F (343°C)  
 2. Design Press. : 2500PSI (175kg/cm<sup>2</sup>)

어 있는 것을 제외하고는 60%의 물과 40%의 증기로 채워져 있는 다른 기기들보다 가장 단순한 설비라 할 수 있겠다.

### 2. 4 원자로 냉각재 펌프(Reactor Coolant Pump)

원자로내에서 핵반응에 의해 발생된 고온, 고압의 냉각재를 각 기기를 통하게 순환하는 펌프에 해당되며, 열교환부, 하부 베어링부, 모터 등으로 케이싱 내부에 가장 복잡한 구조로 설계되어 있다.

### 2. 5 1차 배관(Primary Piping)

원자로 냉각재를 각 기기별로 순환하기 위해 연결된 배관에 해당되며 내부식을 위해 배관내면에는 스테인레스 오버레이 용접을 행하게 되어 있다.

## 3. 실적용 용접

원전 NSSS설비의 제작시 적용되는 용접방법은 SMAW, SAW, GTAW, GMAW, FCAW등이 실적용되고 있으나, 셀 내·외부의 비 압력부위를 제외하고 중요 부위별 적용 용접방법으로는 크게 3가지 형태로 셀의 원둘레 이음부 용접과 셀 내면과 튜브시트면의 오버레이 용접을 들 수 있다.

### 3. 1 셀 원둘레 이음부 용접

적게는 70mm두께에서부터 원자로의 최대두께가 280mm나 되는 용접부위에 대해 국내에서는 유일하게 NSSS설비를 단독으로 제작하고 있는 K사의 경우 SMAW+SAW방법을 적용하고 있으며, 용접그루브의 형상은 전면 협개선 형태로 3° 이하 및 표면간격이 30mm이하로 1-Layer에 2 pass용접을 행하고 있으며 용접부의 상부에서는  $\phi 4.0\text{mm}$  와이어에 의한 탄뎀 협개선 방법이 적용되고 있다. 전술한 바와 같이 원전설비중 NSSS 기자재의 제작은 품질관리가 다른 어떤 산업설비보다도 엄격하게 관리되므로 용접 전·중·후에 발생할 수 있는 모든 결함을 철저히 배제해야 하므로 예열 및 층간온도의 조건도 최소 127°C~최대 259°C범위내에서 용접을 행하며, 용접후에도 확산성 수소에

의한 냉간균열을 방지하기 위해 약 300°C에서 2시간 이상의 후열과 전부위의 잔류응력 제거를 위해 약 620°C에서 두께별로 장시간의 로내 후열처리를 행하여 모든 용접결합의 발생을 원천적으로 방지하고 있다.

용접 이음부의 대표적인 형상은 Fig. 2와 같고 주요 용접 조인트별 용가재 및 용접조건은 Table 2.와 같다.

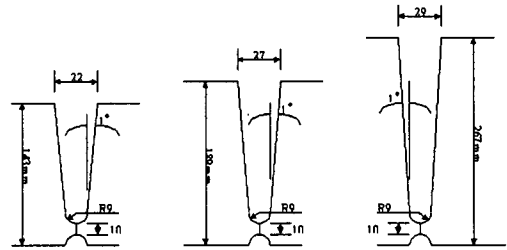


Fig. 2 원자로 및 증기발생기 셀 용접이음부의 실예

### 3. 2 셀 내면 오버레이 용접

원자로 냉각재가 셀 내면에 직접 접하게 되므로 내부 표면의 내부식을 목적으로 오스테나이트계열의 스테인레스 오버레이 용접을 행하게 되는데, 셀 내면의 면적이 넓으므로 고능률 용접에 해당되는 스테인레스강의 스트립(Strip)용가재에 의한 SAW 방법이 일반적으로 널리 적용되고 있다. 이에 적용되는 스트립의 크기는 북미 지역은 0.64mm 두께를 사용하고 있는 반면 일본은 0.4mm 두께, 유럽지역은 0.5mm 두께의 스트립을 사용하고 있는데 국내에서는 일부 화공설비 셀의 오버레이를 제외하고는 0.5 mm th. × 90mm w. · 60mm w. · 50.4mm w. and 25.4mm w. 의 스트립을 적용하고 있다.

ESW 방법을 적용할 시의 회석율이 10% 정도인데 비해, 본 스트립에 의한 SAW 방법을 적용할 때는 20~25%의 회석율이 유지되므로, 최종층에서 18% Cr의 화학성분을 보충하기 위해서는 지금까지 24% Cr함량을 지닌 309계열에 의한 초층용접을 행한뒤 최종층인 2재층에서 308계열의 용접을 행해왔으나 국내 K사에서는 미국의 CE사에 이어 유럽의 용가재 제조사인 S사와 공동 개발한 스트립과 Cr, Mo등 소량의 원소를 첨가하여 특수 제조된 Flux에 의한 단층용접만으로 최소 두께의 4.1mm를

Table 2. NSSS 주요 용접 조인트별 용접조건

Welding Joint	Base Metal	W/Process	AWS Class	Size, mm	Amp.	Others
Shell-Narrow Gap Butt Joint	SA508Gr. 3 -C1.1	SMAW +SAW	E8016G F8P5-EA3	3.2, 4.0 ∅ 4.0	120/180 480/620	1Pass Only Single/Tandem
Shell-Inside Overlay Weld	"	SAW (Strip) FCAW	ER309L, Strip E309&8LT-1	0.5×90 ∅ 1.2	1200/1400 200/300	1Pass Only 협소&보수부위
Head-Inside Overlay Weld	"	SAW (Strip) FCAW	ER309L, Strip E309&8LT-1	0.5×60 ∅ 1.2	750/800 200/300	1Pass Only 협소&보수부위
Tube Sheet Overlay Weld	"	SAW (Strip) GMAW	ERNiCr-3, Strip ERNiCr-3, Wire	0.5×60 ∅ 1.2	600/800 160/350	10mm th. 이상 Pulsed Type
Others	"	SAW (Strip) SAW (Strip) SAW (Strip) Hot wire TIG	ER309L, Strip ER309&8L, Strip ERNiCr-3, Strip ERNiCrFe-7	0.5×2" 0.5×1" 0.5×1" ∅ 1.2	600/700 400/500 400/500 200/420	1Layer Only Flange & Nozzle Tubesheet corner Inconel-690 Only

만족하면서 화학성분 및 FN8~15내에 들어가는 방법을 15년전부터 성공리에 적용하여 생산성을 배가하고 있는 중이다.

본 용접은 희석율에 의한 페라이트 No. (FN) 관리에 민감하여 용접중의 속도, 전류, 전압, 스틱아웃 길이, 스트립의 폭에 따른 비이드의 겹치는 정도 및 셀내경에서 용접토치의 선행위치등의 용접조건에 대한 세심한 주의를 요하며, 충분한 실증 데이터를 확보한 뒤, 실 용접을 행해야만 용접결함을 줄이고 용접후 비드 표면의 거칠기, 화학성분 및 요구치의 FN을 맞출 수가 있다.

대부분의 셀 및 헤드내면의 오버레이 용접은 본 스트립에 의한 SAW 방법이 적용되지만 셀과 셀사이의 이음부 내면의 협소부위등에는 초층의 309계열에 이어 2층 이상에서 308계열에 의한 FCAW 방법이 적용되고 있는 실정이다.

### 3.3 튜브시트 면의 오버레이 용접

증기발생기의 튜브시트 면은 고온·고압의 원자로 냉각재가 인코넬 재질인 U-Tube를 통과하여 열전달을 일으키게 하는 입구가 되는 중요한 부위에 해당되며, 최근에 들어 U-Tube의 재질이 Inconel 600에서 690으로 바뀌어, 내열 및 내침식의 효과를 향상시키게 됨에 따라 국내 원전의 기자재인 고

리 #1, RSG 및 영광 #5 & 6 S/G부터 본 인코넬 690 재질로 바뀌게 되었다. 이에 따라 적용되는 오버레이 용접도 당연히 인코넬 600에서 690으로 바뀌게 되었고 기존의 용접방법인 스트립에 의한 SAW 방법에서 와이어에 의한 GMAW 또는 Hot wire GTAW 방법등이 새롭게 적용되고 있는 현상이다. 이는 인코넬 690 재질의 용가재인 스트립과 플럭스가 현재까지 전세계적으로 개발이 되지 않았기 때문이며, 미국의 W/H사에서는 기존의 GMAW 방법을 적용하고 있는데 반해 국내에서는 세계 최초로 K사에서 Hot wire에 의한 TIG 용접방법을 적용하여 완벽한 용접생산성과 품질을 유지하고 있다.

인코넬 600의 오버레이 스트립 용접에 있어서는 전술한 셀 내면 스테인레스 스트립 용접과 유사하지만 이보다 훨씬 더 결함 발생율이 높고, 용접변수에 민감하여 실 경험의 데이터가 없이는 용접에 성공하기가 어렵다고 볼 수 있다. 최근에 유럽의 S사에서 개발된 ESW용 인코넬 690스트립과 플럭스 용가재는 아직까지 실증시험이 행해지지 않아 국제적으로 적용이 불가한 현실이다. 일반적인 용가재의 종류 및 용접변수는 Table 2. 에서와 같으며 국내 K사에서 성공한 1.2mm와이어에 의한 Hot wire TIG용접에 대해서는 1996년도 대한용접학회 추계 학술발표대회 개요집 p. 123~125에 기술되어 있다.

### 4. 용접결합과 보수용접

#### 4.1 용접결합의 발생원인

원자력 발전소의 NSSS 설비중 용접으로 인한 결함이 발생할 수 있는 요인으로는 크게 3가지로 구분되는데 첫번째로 용접부의 강도, 응력등 구조상의 설계와 용접생산성을 고려한 용접 조인트 형상의 설계, 그리고 용접 이음부의 특성을 고려한 적정 재질의 선정으로 설계상의 과정에 따른 원인을 들 수 있으며, 두 번째로 가장 중요시 할 수 있는 시공상의 요인을 들 수 있는데 이는 원소재의 주·단조과정 때부터 발생할 수 있는 요인으로 비금속 개재물에 의한 편석 및 부적절한 합금원소의 합성과 단조시의 결함, 그리고 열처리 누락 또는 불량으로 인한 요인이 될 수 있다. 그러나 전술한 바와 같이 이음부의 용접이나, 내부식의 목적으로 적용되는 오버레이 용접시 발생하는 용접결합의 요인이 가장 빈번하고 많은 비율을 차지하고 있는 현상이라 하겠다. 마지막으로 설비의 제작이 완료되어 설치된 후, 운전과정에서 발생할 수 있는 용접부의 결함 요인으로는 과도한 운전으로 인한 과열, 과부하 및 보수 그리고 제품과 단위설비의 부적절한 운송, 보관 및 유지 등이 원인이 되기도 한다.

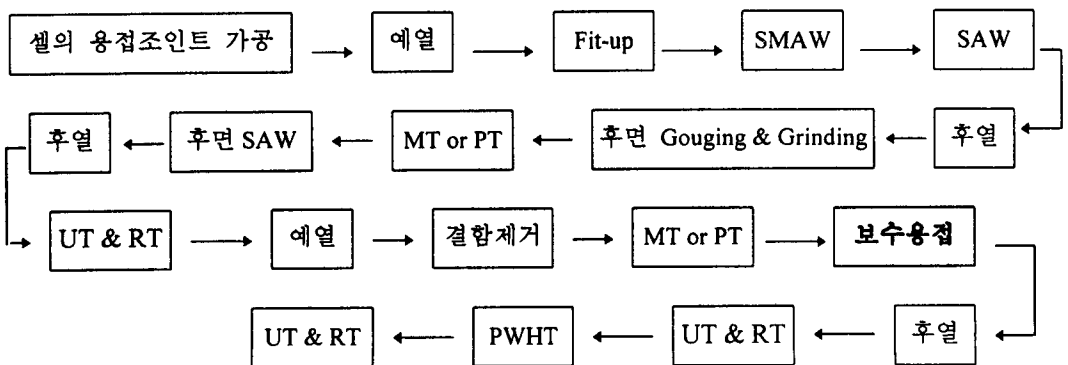
본 고에서는 상기의 3가지 요인들 중 설계시와 운전시에 발생할 수 있는 용접결합의 종류는 본 NSSS 설비에 대해서는 거의 고려가 되지 않을 뿐만 아니라 현실적으로 사례를 들 수가 없으므로, 시공시 즉 이음부, 셀 내면 및 튜브시트 면의 오버레이 용접부에 대한 결함의 원인과 보수용접에 대해 논하기로 한다.

#### 4.2 이음부의 용접결합과 보수용접

단조강으로 제작된 SA508Gr3, C11재질의 셀은 원둘레 이음부의 용접 조인트면은 전면 기계가공되어 엄격한 예열 및 입열 관리하에 Fit-up, SMAW 방법으로 1차 용접후 SAW로 최종 용접을 완료하는데, 발생하는 용접결합의 종류는 원소재 및 용가재의 화학조성등에 따른 편석등에 의한 결함은 찾아볼 수 없고, 거의 대부분이 시공상의 부주의에 의한 용입불량, 기공 및 슬래그 혼입 등으로 나타난다. 특히 협개선에 의한 1Layer-2Pass 전자동 용접이 적용되므로 용접 패스가 좌우측으로 이동할 때 용입불량에 따른 슬래그 혼입등의 결함이 많이 발생되며 이러한 결함의 보수용접은 비교적 쉽게 수행되고 있는 것이 현실인데 단지 200mm이상의 두께를 가진 원둘레 이음부 용접을 행하는 기간이 1개 조인트에 약 1주일 이상이 소요되므로 이러한 결함을 줄이면서 용접생산성을 얼마나 높일 수 있는가가 현실적으로 가장 중요한 과제라고 본다. 용접순서는 다음과 같다.

#### 4.3 셀 내면 오버레이 용접

원자로 냉각재를 접하는 NSSS 설비의 모든 셀 내면은 오스테나이트계 스테인레스강의 오버레이 용접을 행하게 되는데 용접 고능률의 목적으로 원자로, 가압기 및 증기발생기의 주 셀내면과 헤드 내면에는 ER309L, 0.5th×90w, 60w에 의해 SAW, 1-Layer only 오버레이 용접을 행하고 기타 협소부 위인 원자로의 플렌지와 In & Out Nozzle, Primary piping내면등에는 50.4mm폭의 ER309L & ER308L의 스트립에 의한 SAW 방법으로 2층 용접



을 행하며 이외의 이음부등 일부 협소부위에는 E 309LT-1 및 E308LT-1의 플럭스 코어드 와이어에 의한 FCAW 방법으로 오버레이 용접을 행한다.

SAW Strip 오버레이 용접시 발생하는 용접결함의 원인 및 형태로는 :

- 1) 일부 과도한 입열에 의한 고온균열
- 2) 플럭스 건조 불량으로 슬래그 혼입
- 3) 비드의 과도한 겹침으로 인한 FN 미달 현상
- 4) 용접토치 위치의 부적절한 선정으로 비드표면 불량
- 5) 용가재의 불량(Strip & Flux) 및 서로 다른 용가재 적용
- 6) 용접기의 정비불량 및 노후화로 인한 용접의 불안정
- 7) 용접사의 경험부족 및 이행상태 미준수 등의 부주의
- 8) 비드 겹침부의 슬래그 미제거로 인한 슬래그 혼입 및 용입불량
- 9) 스틱아웃 길이, 전류, 전압, 속도등의 용접조건 미비로 결함발생

본 스테인레스 오버레이 용접시의 상기와 같은 결함에 따른 보수용접은 비교적 쉽게 행해지므로 실 현장에서는 거의 없는 것이 현실이다.

#### 4. 4 튜브시트 면의 오버레이 용접

셸 및 헤드 내면의 스테인레스 오버레이 용접과는 달리 증기발생기의 튜브시트면 오버레이 용접은 튜브의 재질과 동일하게 전면 인코넬 재질로 행해지므로 이종재질의 용접특성상 모재와 클래드 용접금속의 용융 계면상 인접층에 경한 탄화물층이 형성되면서 용접후열처리 전후, 가동중에 균열이나 박리등의 결함 발생율이 높고 또한 가동중에 튜브의 수축과 팽창을 반복하므로 이종재질의 계면과 튜브-튜브시트 용접부위에 피로균열을 일으키기도 한다.

오버레이 용착량이 10mm th. 이상으로 많기 때문에 용접 잔류응력에 의한 결함발생율도 높고, SAW-Strip 오버레이 방법은 용접능률이 높은 반면 고입열에 따른 각종 용접결함의 발생율도 높아 발생된 결함에 대한 보수용접도 매우 까다롭다.

니켈합금의 특성 및 결함에 대한 이론적 배경을 보면, 고니켈강은 고온에서의 열팽창 계수는 철과 비슷하지만 용융후 응고시 철과 달리  $\gamma$ (Austenite)

$\rightarrow \alpha$ (Ferrite)변태를 수반하지 않은채 상온에서 면심 입방체(faced-centred cubic, FCC) 구조를 갖는  $\gamma$ Phase로 존재한다.

니켈과 니켈합금의 용접에 있어서 용착금속내의 기공, 황 및 인과 다른 비금속 계재물에 의한 취화, 결정입계 석출물 형성에 의한 내식성 저하 등을 들 수 있는데 이러한 야금학적인 문제에 기인한 결함발생 원인중 가장 많이 나타나고 있는 현상이 고온균열에 해당되며 황, 납, 인, 비스무스 등과 같은 저용점 비금속 계재물들이 결정입계에 편석 또는 석출된 상태에서 용접아크에 의하여 용접이상의 고온으로 노출시 응고 과정에서 Dendrite Arm Space에 집중적으로 몰려 액상으로 존재하여 이들 액상인 비금속 계재물이 최종적으로 응고될 때 결합강도의 저하에 의하여 용접직후 응고를 거쳐 약 200~300℃온도사이에서 발생한다. 또한 용접 열영향부에서 용착금속 표면으로 비금속 계재물의 결정입계 침투나 용접 열사이클에 의해 용융되며 액상막(Molten film)을 형성함으로써 응고후 Volume 수축에 의해 균열이 발생하는 액화균열(Liquation crack)들이 더 빈번하게 발생하기도 한다. 이 액화균열은 Nb이 상대적으로 농축 편석된 Nb 탄화물에 의한 원인이 크며, 또한 Nb 탄화물은 타원소 보다 친화력도 떨어져 균열을 일으키는 원인이 되기도 한다.

이러한 배경으로 1994년 6월 국내 K사에서 집중 분석한 결함발생의 실예를 보면, Sandvik사의 Strip:Sanicro-72HP(0.5th×60w)와 ESAB사의 Flux:50SW(Mesh size:14×40)와의 오버레이 용접한 부위에 대한 Pulsed GMAW 및 SMAW 방법에 의한 보수용접 부위의 전형적인 고온균열의 예를 미시조직 Photo 1. 및 Photo 2. 에서 보여주고 있으며 이는 Strip clad weld metal 용착금속상의 HAZ부에서 균열이 발생되었고, 이들 균열들은 Cavity 보수용접시 HAZ부 비금속계재물의 국부용융 및 응고에 의하여 발생되었으며 보수용접부 응고 수축에 의한 응고인장 잔류응력이 발생된 전단 방향으로 성장했음을 알 수 있다. 분석결과, S사 Strip에 문제점이 발견되어 용가재를 교체한 뒤에 해결을 할 수가 있었다. 인코넬 600계열의 오버레이 용접시는 Strip과 Flux가 용가재로 개발이 되어 있어 고능률의 용접이 가능하나, 인코넬 690의 경우는 현재까지 와이어로만 제품화되어 있어 튜브시트의 오버레이 용접시 GMAW 또는 Hot wire에 의한 TIG 용접방법으로만 가능한데 용접시 고온균

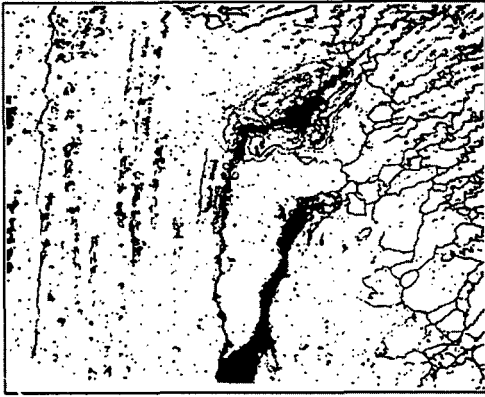


Photo 1 Pulsed GMAW 보수용접부 미세조직 (×100)

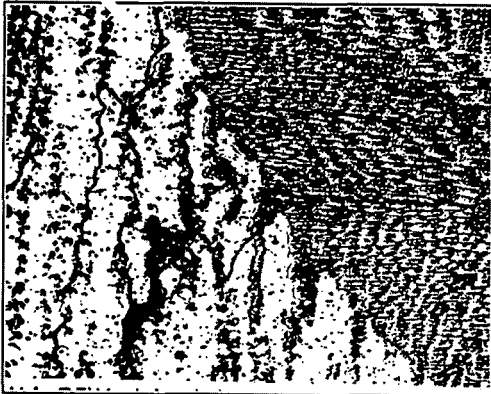


Photo 2. SMAW 보수용접부 미세조직 (×100)

열 및 크레이터 균열등의 발생으로 GMAW 방법은 적절치 못하고, 현재까지는 Hot wire TIG 방법이 가장 적절하다고 볼 수 있으나,  $\phi 1.2$  와이어를

400Amp로 용접시 분당 용착량이 약 44g/min으로 튜브시트 한면 용접시 40일 이상이 소요되므로 듀얼 와이어 (Dual wire) 에 의한 PAW 방법 (95g/min) 이 신기법으로 소개되고 있는 실정이다. 증기발생기 튜브시트면의 인코넬 오버레이 용접시의 전반적인 작업 흐름도는 다음과 같다.

### 5. 결 론

원자력발전소의 기자재중 NSSS 설비의 중요 용접은 셸 이음부 용접과 셸 및 헤드, 플랜지등의 내면 스테인레스 오버레이 용접, 그리고 증기발생기 튜브시트면의 인코넬 오버레이 용접을 들 수 있는데, 이중 이음부 용접과 스테인레스 오버레이 용접은 일반적으로 행해지는 용접과 같이 쉽게 행할 수가 있지만, 단지 용접량이 많아 고품질에 의한 고능률 용접의 적용이 중요 과제라 볼 수 있다. 그러나 인코넬의 오버레이 용접은 용가재의 선정에서부터 적용되는 용접방법 그리고 여러형태의 용접변수에 이르기까지 적정 조건을 맞추기가 난이할 뿐만 아니라 이에따른 용접결함의 형태도 다양하여 실 경험에 따른 충분한 이론과 실무가 없이는 용접에 성공하기가 어렵다고 본다.

발생된 결함을 제거한 후, 보수용접을 행하는데 있어서도 이음부의 용접과 스테인레스 오버레이 용접부는 일반적인 용접방법에 해당되는 SMAW, GTAW 또는 FCAW 방법을 적용하여 쉽게 해결이 가능하지만, 인코넬 용접부는 결함 제거시 케비티의 형태부터 적용되는 용접방법에 따른 용가재의 선정과 용접변수등 세심한 주의와 충분한 시험을 행한 뒤 시행되어야만 품질조건을 맞출 수가 있다고 본다.

