

特輯 : POWER PLANT 설비의 보수용접

화력발전설비 재료 및 용접기술

홍 성 호 · 김 광 수

Fossil Power Plant Materials and Welding Technology

Sung Ho Hong and Gwang Soo Kim



홍성호/한국전력기술
(주) 전력기술개발연
구소/1959년생/발전
설비 재료선정, 해석
기기 및 용접부 손상



김광수/순천대학교/
1958년생/Power Plant
재료 및 비철재료의 용
접야금 및 용접공정

1. 서 론

발전설비에는 일반 산업설비와는 달리 합금강을 비롯하여 고가의 재료들이 많이 사용되고 있다. 최근에는 발전소의 대용량화, 증기조건인 고온고압화, Combined Cycle System에 의한 고효율화등이 추구되어 내식 및 내열성이 보다 우수한 재료들이 요구되고 있다.

한편 국내에서는 석탄 및 증유화력 발전소에 공해방지를 위한 30여기의 탈황설비가 건설되고 있다. 그런데 이들 탈황설비는 기존의 발전설비보다 부식 환경이 가혹하여 내식성이 매우 우수한 소재의 사용이 불가피하였다. 그러나 이들 재료는 주로 고합금강이면서 아직 국내에서는 사용된 경험이 없는 관계로 재료의 공급, 제작 및 유지보수에 많은 어려움이 있다. 특히 이들 재료의 용접기술 부족은 기기의 건전성 확보에 많은 어려움을 주고 있다. 그런데 용접기술의 개발은 사용되는 재료의 특성을 정확히 이해하여야 한다.

이에 본 고에서는 발전설비에서 고합금강이 많이 사용되는 보일러 및 탈황설비의 재료사용현황을 소개하고 발전설비의 건전성을 확보하기 위하여 앞으로 개선이 필요한 용접기술을 제시하였다.

2. 발전설비 적용재료 현황

2.1 보일러 및 배관재료

일본의 경우 극초임계압인 316 kg/cm^2 를 1990년에 달성하였으나 우리나라는 초임계압인 538°C , 246 kg/cm^2 를 1993년에 운전을 시작한 보령 3, 4호기 500MW급 석탄화력부터 적용하고 있다¹⁾. 최근에 영종도 1, 2호기에서 주증기온도 566°C , 증기압력 246 kg/cm^2 를 채택하였으나 일본의 경우와 비교하면 아직 상당히 뒤떨어져 있다.

기존의 화력발전소용 보일러에 사용되고 있는 재료는 A106 과 같은 탄소강, 0.5Mo, 1Cr-0.5Mo, 2.25Cr-1Mo 강과 같은 저합금강과 304, 316 등의 오스테나이트계 스테인리스강이 주로 사용되었다.

한편 보령 3호기부터 초임계압 운전조건을 위해서 12Cr 강인 DIN X20CrMoV121을 도입하여 사용하고 있다. X20CrMoV121은 20여년 전에 개발된 재료로 용접성등에 문제가 있어 사용이 감소하는 추세이고 이들의 문제점을 보완한 여러 재료가 개발되어 실용화되고 있다. 현재 사용되고 있는 보일러 및 배관용 재료의 종류와 화학성분은 Table 1. 과 같다.

Table 1.에서 2.25Cr-1Mo강의 개량형, 9~12Cr강, 18Cr-8Ni계 및 20-25Cr계 오스테나이트강의 개량형등은 최근에 사용되기 시작한 보일러용 신소재이다. 이들의 특징은 다음과 같다.

2.1.1 2.25Cr-1Mo강의 개량형²⁾

2.25Cr-1Mo 강의 용접성을 개량하고자 Mo 함량을 0.1%로 낮추고 1.6W과 V, Nb 을 첨가한 HCM2S가 일본에서 개발되어 1995년 ASME Code Case 2199에 Seamless 2.25Cr-1.6W-V-Cb Material(SA-213 T23)로 등재되었다. 이들의 화학 성분은 Table 1. 과 같다.

이 재료는 STBA 24의 약 200%의 고온강도를 가지고 있기 때문에 관 두께를 현저히 얇게 하여 중량감소에 의한 원가 절감을 달성할 수 있다. 또한 이 재료는 탄소량이 0.06%로 종래의 강에 비해 현저히 낮으며 용접 균열 감수성이 극히 적다. 이와 같은 이유로 예열, 후열처리를 생략하여도 용접시의 균열발생의 우려가 없다. 따라서 최근 800MW 화력발전소에 T23 이 보일러 튜브 재료로 도입되고 있다.

2.1.2 9~12 Cr강

지금까지 개발된 보일러 튜브용 9%Cr강의 화학적 조성은 Table 1.과 같다. 9%Cr 강중 Tempaloy F-9, EM12, T91(P91) 등은 V이나 Nb을 첨가하여 탄화물을 석출시켜 강도를 강화시킨 합금들로 개량형 9%Cr강 또는 "Super 9%Cr Alloy" 라고도 한다.

Table 1.에서 9Cr-1Mo(STBA 26, ASTM A213 T9) 강은 低 Cr-Mo 합금강중 최고 허용응력(Allowable Stress)을 갖는 2¼Cr-1Mo 강(STBA 24)을 상회하는 고온강도를 가지고 있고 내산화성도 우수하나, 용접시 균열이 발생하므로 현재 사용되지 않고 있다.

9Cr-1Mo 강의 대체용으로 9Cr-2Mo 강(HCM 9M, (火)STBA 27)을 일본에서 개발하였는데, 이 재료는 탄소량이 적고, V 및 Nb 이 첨가되지 않아 우수한 용접성 및 가공성을 가지고 있다. 또한 2¼Cr-1Mo 강과 오스테나이트 스테인리스강과의 중간강도를 갖고 있어 과열기관등에 사용되고 있다.

T91 은 미국에서 9Cr-1Mo 강에 V, Nb 등을 첨가하여 개발한 개량형 9Cr-1Mo 강으로, 페라이트-마르텐사이트계에 속하는 저합금강이다.

EM12은 프랑스에서 개발된 9Cr-2Mo 강으로 V

과 Nb를 첨가하여 인장강도를 강화시킨 합금강이다. 이 강도의 크리프 강도는 304 S.S. 와 비슷하나 연성이 크리프 파단시간(Creep Rupture Time)의 증가에 따라 급격히 감소하는 단점이 있다. 또한 미세조직이 페라이트-마르텐사이트(Ferritic-Martensite)로 이루어진 2상(Duplex) 조직으로 연성-취성 천이온도(Ductile to Brittle Transition Temperature : DBTT) 가 높고, 가공성이 저하되는 단점이 있다.

한편 NF 616은 Mo 함량을 0.5%로 낮추고 1.8W 을 첨가한 재료로 일본에서 개발되어 1995년 ASME Code Case 2179 에 Seamless 9Cr-2W Material(SA-213 T92, SA-335 P92)로 등재되었다. 보일러 튜브 및 배관에 널리 사용되고 있는 12% Cr 의 종류는 Table 1. 에 나타나 있다. HT9(DIN X20CrMoV121)은 12%의 Cr과 0.2%의 탄소를 함유하며, V과 W으로 고온강도를 증가시키고, δ-페라이트량을 줄이기 위해 0.5%의 Ni 을 첨가한 재질로 지난 20여년 동안 사용되었다. 그러나 이 재질의 특성을 보면 크리프 파단시간이 증가할수록 연성이 감소하는 경향을 보이고 있고, DBTT 가 초기에는 낮으나 시효(Aging)에 따라 급격히 증가하는 단점이 있다. 더구나 이 합금의 용접은 높은 탄소함량 때문에 상당한 주의를 요한다. 따라서 유럽에서는 비록 보일러 튜브 및 배관에 널리 사용되고 있으나, 미국 및 일본에서는 용접성에 대한 심각한 우려 때문에 사용이 제한되고 있다.

최근에 보일러 튜브용으로 개발된 개량형 12% Cr강의 종류로는 AMAX 12Cr, HCM 12, TB 12 등이 있다. 이들의 미세조직은 페라이트(Ferrite)와 소려마르텐사이트 (Tempered Martensite)로 이루어진 2상조직 (Duplex Microstructure)을 가지고 있으며, HT9 와 비교하여 용접성 및 크리프 파단강도가 우수하다.

한편 HCM12A는 Mo 함량을 0.4%로 낮추고 2W를 첨가한 재료로 일본에서 개발되어 1995년 ASME Code Case 2180 에 Seamless 12Cr-2W Material(SA-213 T122, SA-335 P122) 로 등재되었다.

이와같이 개발된 HCM12A (ASME Code Case 2180, T122/P122)와 NF616 (ASME Code Case 2179, T92/P92)는 미국에서 개발된 ASME T91/P91의 약 140%의 고온강도를 가지고 있고, 650°C 이하에서는 SS 316HTB 등의 오스테나이트 강보다도 높은 허용응력을 가지고 있다.

Table 1.(a) 보일러 및 배관용 재료의 종류 및 화학성분

Alloy	Product Form	Spec	Grade	Composition (%)											
				C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	Nb	B	기타		
탄소강															
Low Strength	Tubes	SA-192		0.06-0.18	0.25	0.27-0.63									
	Tubes (ERW)	SA-178	A	0.06-0.18	-	0.27-0.63									
	Tubes (ERW)	SA-226		0.06-0.18	-	0.27-0.68									
	Tubes	JIS	STB36	0.12	0.25	0.12									
Intermediate Strength	Tubes	SA-210	A-1	0.27	0.10이상	0.93									
	Tubes (ERW)	SA-178	C	0.35	-	0.30									
	Pipe	SA-106	B	0.30	0.10이상	0.20-1.06									
	Structural	A36		0.26	-	-									
High Strength	Tubes	JIS	STB42	0.20	0.3	0.55									
	Pipe	SA-106	C	0.35	0.10이상	0.29-1.06									
	Plate	SA-299		0.30	0.13-0.33	0.86-1.55									
	Plate	SA-515	70	0.35	0.13-0.33	0.90									
저합금강	Forgings	SA-105		0.35	0.35	0.60-1.05									
	Tubes	JIS	STB52	0.20	0.3	1.25									
	C-0.5Mo	Tubes	SA-213	T1	0.10-0.20	0.10-0.50	0.30-0.80		0.44-0.65						
			JIS	STBA12	0.15	0.30	0.55		0.5						
DIN			15Mo3	0.12-0.20	0.15-0.35	0.40-0.80		0.25-0.35							
			16Mo5	0.12-0.20	0.15-0.50	0.50-0.80		0.45-0.65							
1Cr-0.5Mo	Tubes	SA-213	T12	0.15	0.50	0.30-0.61	0.80-1.25	0.44-0.65							
		JIS	STBA22	0.12	0.30	0.55	1.0	0.5							
		DIN	13CrMo44	0.10-0.18	0.10-0.35	0.40-0.70	0.70-1.10	0.45-0.65							
	Pipe	SA-335	P12	0.15	0.50	0.30-0.61	0.80-1.25	0.44-0.65							
	Forgings	SA-336	F12	0.10-0.20	0.10-0.60	0.30-0.80	0.80-1.10	0.45-0.65							
	Plate	SA-387	12C12	0.17	0.13-0.32	0.36-0.69	0.74-1.21	0.40-0.65							
Forgings	SA-182	F12	0.10-0.20	0.10-0.60	0.30-0.80	0.80-1.25	0.44-0.65								
1.25Cr-0.5Mo	Tubes	SA-213	T11	0.15	0.50-1.00	0.30-0.60	1.00-1.50	0.44-0.65							
		JIS	STBA23	0.12	0.75	0.45	1.25	0.5							
	Pipe	SA-335	P11	0.15	0.50-1.00	0.30-0.60	1.00-1.50	0.44-0.65							
	Plate	SA-387	11C12	0.17	0.44-0.86	0.36-0.69	0.94-1.56	0.40-0.70							
	Forgings	SA-182	F11	0.10-0.20	0.50-1.00	0.30-0.80	1.00-1.50	0.44-0.65							
	Casings	SA-217	WC6	0.20	0.60	0.50-0.80	1.00-1.50	0.45-0.65							
2.25Cr-1Mo	Tubes	SA-213	T22	0.15	0.50	0.30-0.60	1.90-2.60	0.87-1.13							
		JIS	STBA24	0.12	0.30	0.45	2.25	1.0							
		DIN	10CrMo910	0.08-0.15	0.50	0.40-0.70	2.00-2.50	0.90-1.20							
	Pipe	SA-335	P22	0.15	0.50	0.30-0.60	1.90-2.60	0.87-1.13							
	Plate	SA-387	22C1 C12	0.17	0.50	0.27-0.63	1.88-2.62	0.85-1.15							
	Forgings	SA-182	F22	0.15	0.50	0.30-0.60	2.00-2.50	0.87-1.13							
Casings	SA-217	WC9	0.18	0.60	0.40-0.70	2.00-2.75	0.90-1.20								
2.25Cr-0.1Mo -1.6W	Tubes	SA-213	T23 (HCM2S)	0.06	0.20	0.45	2.25	0.1	1.6	0.25	0.05	0.003			
9Cr	Tubes	SA-213	T9	0.15	0.25-1.00	0.30-0.60	8.00-10.0	0.90-1.10							
		JIS	STBA26	0.12	0.6	0.45	9.0	1.0							
		JIS	#STBA27 (HCM9A)	0.07	0.03	0.45	9.0	2.0							
		SA-213	T91 (#STBA28)	0.10	0.4	0.45	9.0	1.0	0.20	0.08					
			T92 (NF616)	0.07	0.06	0.45	9.0	0.5	1.8	0.20	0.05	0.004	0.06N		
		DIN	X10CrMoVNb91	0.08-0.12	0.20-0.50	0.30-0.60	8.00-9.50	0.85-1.05	0.18-0.25	0.06-0.10			0.030-0.070N		
		Tempaloy F-9	0.06	0.5	0.60	9.0	1.0	0.25	0.40	0.005					
EM12	0.10	0.4	0.10	9.0	2.0	0.30	0.40								
12Cr	Tubes	SA-213	T122 (HCM12A)	0.10	0.10	0.60	11.0	0.4	2.0	0.20	0.05	0.003	0.06N 1.0Cu		
		JIS	HCM12 (#SUS410ZTB)	0.10	0.3	0.55	12.0	1.0	1.0	0.25	0.05				
	Tubes		AMAX12Cr	0.07	0.3	0.60	12.0	1.5	1.0	0.20	0.05				
		DIN	X20CrMo121 (H79)	0.20	0.3	0.55	12.0	1.0	0.25	0.05					
			TB12	0.11	0.60	0.50	12.0	0.5	1.8	0.20	0.05	0.004	0.06N		

Table 1.(b) 보일러 및 배관용 재료의 종류 및 화학성분

Alloy	Product Form	Spec	Grade	Composition (%)								
				C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Nb	Ti	기타
스테인리스강												
18Cr-8Ni	Tubes	SA-213	TP304H	0.04-0.10	0.75	2.00	8.00-11.00	18.00-20.00				
		JIS	SUS304HTB	0.08	0.60	1.6	8.0	18.0				
			Super304H (화SUS304J1HT)	0.10	0.20	0.8	9.0	18.0		0.40		3.0Cu, 0.10N
	DIN	X6CrNi1811	0.04-0.08	0.75	2.0	10.0-12.0	17.0-19.0	0.50				
	Pipe	SA-376	TP304H	0.04-0.10	0.75	2.00	8.00-11.00	18.00-20.00				
	Plate	SA-240	304	0.08	1.00	2.00	8.00-10.50	18.00-20.00				
			304H	0.04-0.10	1.00	2.00	8.00-12.00	18.00-20.00				
Forgings	SA-182	F304H	0.04-0.10	1.00	2.00	8.00-11.00	18.00-20.00					
18Cr-10Ni-Ti	Tubes	SA-213	TP321H	0.04-0.10	0.75	2.00	9.00-13.00	17.00-20.00				
		JIS	SUS321HTB	0.08	0.6	1.6	10.0	18.0			0.5	
			Tempaloy A-1 (화SUS321J1HTB)	0.12	0.6	1.6	10.0	18.0		0.10	0.08	
18Cr-10Ni-Cb	Tubes	SA-213 JIS	TP347H (화SUSTP347HTB)	0.04-0.10	0.75	2.00	9.00-13.00	17.00-20.00			0.8	
		SA-213	TP347HFG	0.08	0.6	1.6	10.0	18.0			0.8	
		JIS	SUS347HTB	0.08	0.6	1.6	10.0	18.0			0.8	
16Cr-12Ni-2Mo	Tubes	SA-213	TP316H	0.04-0.10	0.75	2.00	11.00-14.00	16.00-18.00	2.00-3.00			
		JIS	SUS316HTB	0.08	0.6	1.6	12.0	16.0	2.5			
		DIN	X6CrNiMo1713	0.04-0.08	0.75	2.0	12.00-14.00	16.00-18.00	2.00-2.50			
	Pipe	SA-376	TP316H	0.04-0.10	0.75	2.00	11.00-14.00	16.00-18.00	2.00-3.00			
	Forgings	SA-182	F316H	0.04-0.10	1.00	2.00	10.00-14.00	16.00-18.00				
	Plate	SA-240	316H	0.04-0.10	1.00	2.00	10.00-14.00	16.00-18.00	2.00-3.00			
	Structural sheet	A167	316L	0.03	1.00	2.00	10.00-14.00	16.00-18.00	2.00-3.00			
15Cr-10Ni계강			17-14CuMo	0.12	0.5	0.7	14.0	16.0	2.0	0.4	0.3	3.0Cu, 0.006B
			Esshere 1250	0.12	0.5	6.0	10.0	15.0	1.0	-	0.006	0.2W, 1.0V
고합금강												
20~25Cr 계 오스테 나이트강	Casings	SA-351	CH20	0.20	2.00	1.50	12.00-15.00	22.00-26.00				
	Tubes	JIS	SUS310STB	0.08	0.6	1.6	20.0	25.0				
		JIS	HR3C (화SUS310J1TB)	0.06	0.4	1.2	20.0	25.0			0.45	0.2N
			Alloy 800H (NCF800HTB)	0.08	0.5	1.2	32.0	21.0			0.5	0.4Al
			Mod. 800H	0.08	0.4	0.8	34.0	22.0	1.25	0.4		
			Tempaloy A-3	0.05	0.4	1.5	15.0	22.0		0.7		0.15N, 0.002B
	NF709	0.15	0.5	1.0	25.0	20.0	1.5	0.2	0.1			
高Cr-高 Ni강			CR30A	0.06	0.3	0.2	50.0	30.0	2.0		0.2	0.03Zr
			HR6W	0.08	0.4	1.2	43.0	23.0		0.18	0.08	6.0W, 0.003B

한편 차세대로서 약 180 MPa 급의 재료의 출현이 기대되고 있는데 이미 실험실 수준에서 텅스텐과 코발트를 첨가한 고강도 재료가 얻어지고 있다.

2.1.3 18Cr-8Ni계와 20-25Cr계 오스테나이트강
 오스테나이트계 스테인리스강은 보일러의 고온 부 전열관에 적용되고 있다. 대표적인 강종으로는 304H, 316H, 347H 등이 있다. 최근에는 과열기관 등의 고온강도와 고온부식성에 대한 대책으로 Tempaloy A-1, Super 304H 및 세립(Fine Grain) TP347, HR3C, Tempaloy A-3 및 NF709 등이 개발되어 사용되고 있다.

18% 크롬-8% 니켈계의 신개발 강은 Ti 및 Nb의 복합 첨가 또는 Nb의 단독 첨가에 의한 석출 강화에 의하여 고강도화되어 있으나 그 첨가량은 종래의 Ti, Nb 첨가강인 SUS321HTB, SUS347HTB에 비해서 현저하게 낮다. 이와 같이 Ti이나 Nb의 첨가량을 크리프 강도가 최고가 되도록 하고 탄소량은 상대적으로 적게 하여 고온강도를 증시하는 것이 오스테나이트계강의 개발 방향이다.

과열기 및 재열기의 외측면은 고온부식이 내측면은 수증기 산화가 문제가 된다. 그런데 재료표면에서의 수증기 산화스케일을 방지하기 위해서는 고크롬강입과 동시에 결정입도가 미세하고 냉간가공(Shot Blast 처리등)을 하는 경우 우수한 효과를 기대할 수 있다. 따라서 18-8계 스테인리스강종에서 347 HFG(세립강)가 내식성 및 내산화성이 우수하여 많이 사용되고 있다.

이밖에 크리프 강도를 향상시키기 위하여 새로운 합금 원소를 적용한 예가 Super 304H 이다. 이것은 약 3%의 구리를 첨가한 것으로서 17-14 CuMo의 구리 첨가량과 같은 것이다. 종래에는 구리가 크리프 강도에 미치는 영향이 분명하지 않았으나 미시조직의 관찰결과로부터 구리가 극히 미세하게 오스테나이트 기지상에 석출하고 그것이 열적으로 안정하기 때문에 크리프 강도향상에 현저하게 효과가 있다는 것이 확인되고 있다.

20-25% 크롬 계에서는 HR3C (火SUS310J1HTB, ASME Code Case 2115, TP310CbN), Tempaloy A-3 및 NF709가 내식성이 개선된 외에 높은 허용 응력을 가지고 있어 과열기, 재열기 관등에 사용할 수 있게 되었다.

2.2 탈황설비 재료

현재 탈황설비의 흡수탑, Duct, 배관 및 Stack에는 스테인리스강, 2상 스테인리스(Duplex Stainless), 슈퍼스테인리스강, Superalloy 등이 사용되고 있다. 이들에 대하여 살펴보면 다음과 같다.

2.2.1 Duplex Stainless Steel

2상 스테인리스는 기존의 304, 316 스테인리스강보다 내식성 및 내마모성이 매우 우수하여 탈황설비 슬러리 이송설비등에 사용되고 있다. 현재 사용되고 있는 2상 스테인리스강은 Table 2.와 같다.

2.2.2 슈퍼스테인리스강(Super Stainless Steel)

Super Stainless Steel 은 기존 스테인리스강(예로서 304, 316, 317 등)에 Cr, Mo, W 및 N 등을 상당량 첨가시킨 재료로 화학성분을 기준으로 PRE (PRE = %Cr + 3.3(%Mo+0.5) + 16%N) 값이 40 이상인 강종을 가르킨다.

현재 탈황설비에는 주로 오스테나이트계가 사용된다. 이들 Super Stainless Steel 의 종류는 Table 3. 과 같다.

2.2.3 초합금(Superalloy)

탈황설비에는 초합금의 한 종류인 C-276, C-22 등을 사용하고 있다. Inconel 625는 예전에 많이 사용되었으나 현재는 사용되지 않고 있다. Superalloy 인 C-276 및 C-22 의 성분은 Table 3. 과 같다.

한편 C-276 은 내식성이 매우 우수하나 가격이 고가인 관계로 사용에 제한을 받는다. 따라서 Clad 제품이 많이 실용화되어 있는데 현재 사용되는 Clad 의 종류에는 Roll-Clad, Electro-clad (Resista-clad), Wall-Papering 등의 3 종류가 있다.

3. 개선이 필요한 용접기술

3.1 이종재질간의 용접기술

ASME 에서는 Sec. IX QW-283 에서 탄소강 또는 저합금강에 스테인리스강을 용접할 수 있도록 허용하고 있다.

그러나 일반적으로 스테인리스강은 탄소강 또는 저합금강보다 열팽창계수가 크므로, 용접 및 가동 중에 열 사이클에 의한 열피로, 또는 급격한 온도

Table 2. Duplex Stainless Steel의 종류 및 화학성분과 기계적 성질

ASTM UNS No	재료명칭	화 학 성 분							기 계 적 성 질			제조 회사	비고
		Fe	Ni	Cr	Mo	Cu	C max	N	0.2% 항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)		
S31803	ASTM A240	Bal.	4.5-6.5	21.0-23.0	2.5-3.5		0.03	0.08-0.20	450	620	25		ASTM 96a
	UR 45N	Bal.	5.3	22	2.8	-	0.03	0.16	480	680	25	CLI	
(96년 신설)	ASTM A240	Bal.	4.5-6.5	22.0-23.0	3.0-3.5	-	0.03	0.14-0.20	450	620	25		ASTM 96a
	SAF 2205	Bal.	5	22	3	-	0.03	0.08-0.20	450	620	25	Avesta	'95년도
	UR 45N+	Bal.	6	22.5	3.2	-	0.03	0.17	500	700	25	CLI	ASTM 에서
	Nirosta 4462	Bal.	5.88	22.6	3.33	-	0.028	0.182	606	834	28	VDM	는 S31803.2
	포스코 Duplex S.S	Bal.	6	22.5	3.3	-	0.03	0.18	515	740	43	포항제철	로 분류
S32550	ASTM A240	Bal.	4.5-6.5	24.0-27.0	2.9-3.9	1.5-2.5	0.03	0.10-0.25	550	760	15		ASTM 96a
	Ferrallium 255	Bal.	6	25	3	2	0.04	0.1-0.25	550	760	15	Langley Alloys	
	UR 52N+	Bal.	6.5	25	3.5	1.5	0.03	0.25	550	760	25	CLI	
S32750	ASTM A240	Bal.	6.0-8.0	24.0-26.0	3.0-5.0	0.50	0.03	0.24-0.32	550	795	15		ASTM 96a
	SAF 2507	Bal.	7	24.8	3.7	-	0.03	0.293	678	900	36	Avesta	

Table 3. Composition of super stainless steel and Ni-base alloy for FGD^{3,4)}.

Type	Designation	ASTM Spec UNS No	Chemical Composition								Remark
			Fe	Ni	Cr	Mo	Cu	C 최대	N	others	
Super Austenitic Stainless Steel	AL-6XN	N08367	Bal.	23.5-25.5	20-22	6-7	0.75	0.03	0.18-0.25	-	Allegheny Ludlum
	1925hMo-alloy 926	N08926	Bal.	24.5-25.5	20-21	6.0-6.8	0.8-1.0	0.02	0.1-0.2	-	VDM
	3127hMo-alloy 31	N08031	Bal.	30-32	26-28	6-7	1.0-1.4	0.015	0.15-0.25	-	VDM
	25-6 Mo	N08925	Bal.	24-26	19-21	6-7	0.5-1.5	0.02	0.15-0.25	-	INCO
	254-SMO	625/S31254	Bal.	18	20	6.2	0.72	0.02	0.2	-	Avesta-Sheffield
	UR B26	B625	N08926	Bal.	25	20.5	6.3	1	0.02	0.23	-
	CLI	SR 50A	S32050	Bal.	21	22	6.2	0.4 이하	0.01	0.24	-
	CLI	UR B66	-	Bal.	22	24	6	1.5	0.02	0.4	2W
Avesta-Sheffield		Alloy C-276	N10276	5	56	16	16	-	0.01	-	3.5W
	INCO/CLI	5716hMo-alloy C-276	N10276	4-7	Bal.	15-16.5	15-17	-	0.01	-	3-4.5W 2.5Co
	VDM	Alloy C-22/622	N06022	3	59	22	13	-	0.01	-	3W
	INCO	Alloy 686	N06686	5.0 이하	Bal.	19.0-23.0	15.0-17.0	-	0.01	-	3.0-4.4W 0.02-0.25Ti

변화에 의한 열충격등이 발생하여 파괴되는 경우가 있다. 또는 용접부에서 탄소를 비롯한 화학성분의 이동으로 입계부식이나 Galvanic 부식등이 발생할 수 있다.

따라서 스테인리스강을 탄소강이나 합금강과 용접을 할 때는, 우선 탄소강이나 합금강의 용접면에 먼저 버터링을 실시한후 용접을 하고 있다. 버터링에 이용되는 용접봉은 ER309을 사용하고 있다. 이종재질의 용접부에 발생하는 문제점을 해소하는 또하나의 수단으로 309계 용접봉 대신에 인코넬계를 적용하는 것이 있다. 인코넬계는 Ni 함량이 높기 때문에 탄소확산을 저지하여 침탄층의 형성을 방지하고 열팽창 계수도 적으므로 열피로 및 열충격에 대해서도 강한 편이다.

그러나 이러한 용접에도 불구하고 이종재질간의 용접부가 손상의 주원인이 되는 경우가 자주 발생하는데 이는 주로 용접불량과 이종재질간의 부식 때문인 것으로 분석되고 있다.

3.2 Super Austenitic Stainless Steel의 용접기술

현재 탈황설비에는 대량의 Super Austenitic Stainless Steel 이 사용되고 있다. 따라서 Super Austenitic Stainless Steel 의 용접기술은 탈황설비의 내구성 확보에 필수적이다. 그런데 Table 3.을 보면 대부분의 Super Austenitic Stainless Steel 이 내식성을 위해 질소가 0.2%가량 함유되어 있다. 그러므로 용접시 이들 질소의 증발은 내식성 저하를 가져온다. 일부 업체에서는 질소가 함유된 아르곤 가스를 사용하여 질소의 증발을 억제하고 있으나 기술적으로 용이하지 않은 편이다. 따라서 현재 Super Austenitic Stainless Steel 의 용접은 GTAW 또는 SMAW 방법을 사용하고 용접봉은 Base Metal 보다 한 등급 위인 C-22 계열을 사용하는 것을 원칙으로 하였다. 그러나 C-22계열 용접봉은 매우 고가인 관계로 일부 업체에서는 용접봉으로 Inconel 625 를 사용하고 있는데 용접부의 내식성에 논란이 있다. 저가의 용접봉을 사용하기 위해서는 용접기술의 개발이 동반되어야 가능하다고 판단된다.

한편 발전소의 복수기를 비롯한 열교환기 튜브 재료로 슈퍼스테인리스강의 도입을 검토하고 있다. 그러나 이들 열교환기용 튜브는 경제적인 이유로 용접관을 사용하는데 이때 용접은 용가제없이 실시

해야 하기 때문에 용접부의 내식성 확보가 매우 어려운 문제로 부각되고 있다. 외국의 경우에는 레이저 용접기술등과 같은 특수기술을 도입하여 용접부의 내식성을 증가시키려하고 있으나 국내의 경우 이와 관련된 연구가 매우 적은 편이다.

3.3 Superalloy Clad 재료의 용접기술

탈황설비에 사용되는 초합금중 가장 많이 사용하는 것이 Electro-clad 이다.

Electro-clad 는 국내에서 개발된 방법으로 Roll-clad 와 제조방법이 유사하나 압연하여 밀착하는 대신에 Fig. 1과 같이 저항용접을 사용하여 접합시키는 방법을 사용하고 있다. 이와 유사한 방법이 인도네시아 FGD 설비의 Stack 등에 사용되고 있는데, Roll-clad 보다는 가격이 저렴한 장점이 있다. 그러나 이 방법은 품질이 저항용접기술에 매우 의존하므로 고도의 용접기술이 필요하다.

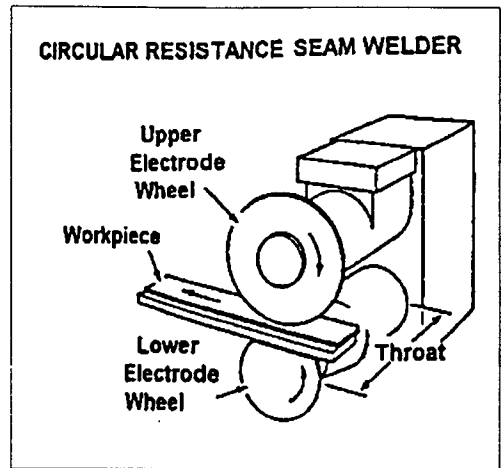


Fig.1 Electro-clad Welding 방법

Electro-clad는 C-276 이외에 Ti 등을 사용할 수도 있는데 이런 경우 가격이 더욱 낮아지므로 경제성이 향상된다. 그러나 최근에 미국에서 시공한 Ti-clad 에서 모재와 Ti Clad 층과의 용접부가 떨어지는 문제점이 발생하고 있다. 이것은 Ti 과 탄소강의 용접성이 나빠 발생하는 것으로 알려지고 있으나 일부에서는 발전설비의 부하변동에 의한 열응력을 원인으로 주장하고 있다.

한편 Wall-papering 은 박판의 C-276 이나 C-22 를

Fig. 2와 같이 벽지도배하는 것처럼 용접으로 접착시키는 것으로 Roll-clad, Resista-clad 및 Electro-clad 보다 저렴하다. 그런데 Wall-papering 은 현장 용접기술과 품질관리기술이 확보되어야하고 국부적으로 손상될 경우 Clad 판과 탄소강 사이에 공간을 통하여 부식 매질이 전파될 수 있으므로 전체적인 손상으로 발전할 가능성이 있으며, Leak 부위와 손상부위가 일치하지 않아 보수가 어려움이 예상된다. 따라서 신규 FGD 건설시에는 아직 채택하지 않고 있다. 그러나 이 방법은 매우 저렴한 장점이 있으므로 국내의 용접기술 수준이 향상되면 도입이 가능할 것으로 예상된다.

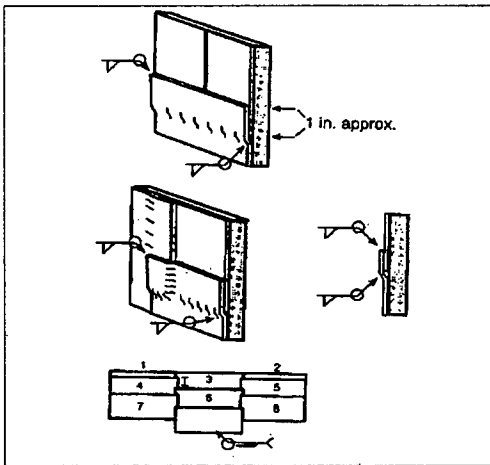


Fig.2 Wall-papering의 제작순서

3.4 Duplex Stainless Steel 의 용접기술

현재 2상 스테인리스(Duplex Stainless)는 우수한 특성으로 수요가 확대되고 있다. 최근에 포항 제철이 국산화에 성공하여 국내에 공급하기 시작하였다. 그러나 이 재료의 최대 단점은 불량한 용접성이다. 이 재료는 취약한 중간상이 발생하여 용접부의 인성을 저하시키는 경우가 있다. 최근에는 용접기술과 용접성이 매우 향상되어 수요가 증가되고 있으나 국내는 아직 이들 재료의 제작기술이 초보단계로 많은 기술개발이 필요하다. 특히 이들 재료의 사용확대와 건전성 확보에는 용접기술의 개발이 필수적이다.

3.5 노후설비의 보수시 용접기술

현재 많은 발전설비들이 노후화되어 보수를 필요로 한다. 특히 증기 및 가스터빈의 로타, 블레이드와 같이 고가의 제품은 보수기술의 개발시 많은 비용 절감을 기대할 수 있다. 그러나 노후설비는 재질들이 매우 열화되어 있기 때문에 용접보수시 약간의 열응력이 발생하여도 기기가 파손되는 경우가 있다. 따라서 건설시의 용접방법을 보수시 적용할 수 없고 이와 관련된 기술도 매우 부족하여 현장에서는 많은 애로점이 있다.

4. 결 론

최근 발전설비에는 새로운 재료들이 대량으로 도입되고 있다. 이들 재료의 제작기술 확보가 기기의 건전성에 매우 중요하다. 그러나 이들 재료의 사용 경험이 국내에서는 별로 없어 많은 애로점이 있다. 특히 용접기술의 부족은 기기의 성능을 저하시킬 뿐만 아니라 돌발 사고의 빈발로 유지보수비의 증가를 가져올 것으로 예상하고 있다.

한편 노후설비의 유지보수 기술개발은 많은 발전설비의 노후화로 매우 필요하나 이들 관련기술 개발이 그다지 활발하지 않은 면이 있다.

앞으로 기기의 건전성 확보, 유지보수비 절감, 대형 사고의 방지 및 건설비의 저하를 위해서는 제작기술, 특히 용접기술의 개발은 절대적으로 확보되어야 하므로 국내에서 이와 관련된 연구개발의 활성화가 요구된다.

참 고 문 헌

1. T. Yokoyama and F. Masuyama : 화력원자력발전, Vol. 45 (1994), pp.1297
2. 增設 不二光 : 일본 전기신문, 1996. 8. 15.
3. NiDi : "Nickel Stainless Steels and High-Nickel Alloys for Flue Gas Desulfurization Systems", 1990
4. NiDi : "Materials Engineering Workshop", Series No 11 001, 2nd ed., 1994