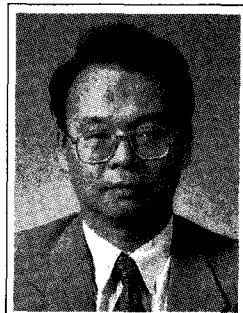


슈퍼 스테인리스강 SR 50A의 개발과 이용 전망

박 용 수

연세대학교 금속공학과 교수



스

테인리스강은 20세기 초에 12% Cr 강으로 소개된 이래 지금까지 인류와 아주 가까운 금속으로 발전되어 현재는 우리 생활 주변에서 많이 사용되고 있다. 최근 산업 발전으로 인하여 화력·원자력발전소, 항만 시설, 석유화학 공장 및 담수화 설비 등 해안 지역에 각종 Plant 및 이에 관한 구조물 설치가 급진전되고 있다.

그런데 이들 설비에 주로 사용되는 탄소강·아연도강·구리 합금 및 범용 스테인리스강 등은 오염된 폐수·하천수 및 생활 하수로 인해 해수의 부식 강도가 한 단계 더 높아져 기사

용 재질의 수명이 크게 단축되고 정비 비도가 크게 증가하고 있으며, 장기간 사용된 많은 노후 설비의 교체가 예상되고 있어, 해수 설비 운용의 안전도를 한 차원 높일 수 있는 고내식성 금속 재료의 사용이 요구되고 있다.

해수에서 사용되는 각종 금속 재료에서는 틈 부식, 공식, 응력 부식 균열, 수소 취성, 입계 부식, 침식 부식 등 여러 유형의 부식으로 인해 산업 설비에 적용시 많은 제한이 따르게 된다. 이러한 부식에 대한 문제점을 극복할 수 있고, 인장 강도, 항복 강도, 충격 인성 등 기계적 성질이 우수하며, Life Time vs. Cost의 비율을 고려할 때 경제적이며 설비의 안전성 및 신뢰성 향상을 위한 최적의 내해 수용 장수명화 소재로 슈퍼 스테인리스강을 들 수 있다.

앞서 언급한 부식으로 인한 현상을 방지하기 위해 70년대 말부터 많은 양의 질소와 Mo를 기존의 스테인리스강에 상당량 투입하여 부동태 피막을 획기적으로 개선하는 연구가 시작되었다.

본고에서는 이러한 연구를 통해 개발되어진 슈퍼 스테인리스강 SR-50A의 개발 현황과 재질 특성, 그리고 산업체 공급 현황 및 이용 전망에 대해 구체적으로 설명하고자 한다.

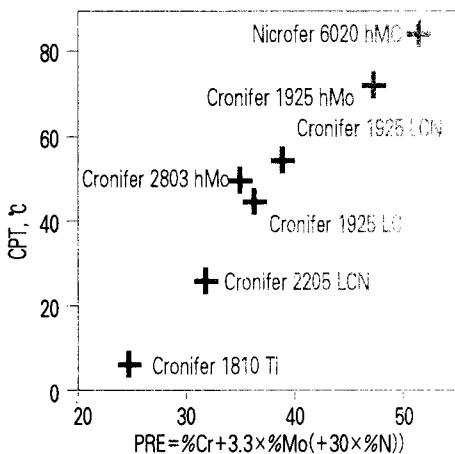
슈퍼 스테인리스강

현재 외국에서는 기존의 범용 스테인리스강들보다 내식성이 월등히 향상된 스테인리스강을 'Super Stainless Steel' 또는 'High-Performance Stainless Steel'이라고 부른다.

이를 '초내식성 스테인리스강'으로 번역할 수 있는데, 내식성이 어느 정도 향상되어야 '초내식성' 범주에 들어갈 수 있는지를 우선 살펴보아야 할 것이다.

공식, 틈 부식, 응력 부식 균열, 피로 부식, 수소 취성, 입계 부식 등의 부식 현상들을 억제할 수 있는 인자들은 치밀하고 강한 부동태 피막, 높은 강도, Austenitic 조직, 저탄소 함량 등이다.

특히 강한 부동태 피막의 형성은



〈그림 1〉 Critical pitting, temperature of high alloyed stainless steels after 24h testing in 10% FeCl_3 function of pitting resistance equivalent(PRE)

공식이나 틈 부식에 대한 저항성을 높일 뿐만 아니라 응력 부식 균열의 발생을 억제해 주는 것으로 보고되고 있어 가장 중요하다고 볼 수 있다.

그런데 부동태 피막이 얼마만큼 강한가는 부동태 형성에 결정적으로 기여하는 Cr, Mo 등의 함량을 이용하여 정량적으로 표시할 수 있다.

첫 번째는 Garner가 도출한 Cr-Equivalent로 알려진 실험식 ($\% \text{Cr} + 3.3 \times \% \text{Mo}$)이다.

이들 외에도 질소 함량의 증가가 부동태 피막을 크게 강화시킨다는 것이 알려지면서 새로운 실험식들이 도출되었다.

즉 Heubner 등과 Rockel 등은 P.R.E (Pitting Resistance Equivalent)로 불리우는 Index에 질소 함량이 30배로 기여한다고 보고

하고 있다.

〈그림 1〉은 Rockel 등 의 실험 결과인데, 10% FeCl_3 용액에서 공식 임계 온도가 $P.R.E (\% \text{Cr} \times 3.3 + \% \text{Mo} + 30 \times \% \text{N})$ 값에 따라 선형으로 증가하는 것을 보여주고 있다.

그러나 Ujiro 등은 FeCl_3 용액에서의 틈 부식 속도가 $(\% \text{Cr} + 3 \times \% \text{Mo} + 70 \times \% \text{N})$ 에 비례한다고 보고하고 있어 〈그림 2〉, 질소가 어느 정도 강하게 영향을 미치

는가에 대해서는 연구자들간에 의견이 일치되지 않고 있다.

또한 질소의 영향력도 Mo과 공존할 때만 뚜렷하게 나타난다는 연구 결과가 있어서, P.R.E를 적용하는 대상은 Fe-Cr-Ni-Mo-N계로 한정되어야 할 것이다.

이렇게 P.R.E를 스테인리스강들에 적용하여 보면, 이 값이 최소 40 이상인 강들은 해수에서 공식이나 틈 부식이 쉽게 일어나지 않는다는 것 이 알려지게 되었다.

그러므로 Mo과 N의 함량이 기존의 스테인리스강들보다 월등히 높은 강들로 P.R.E 값이 최소

40 이상이면 일단 초내식성 스테인리스강의 범주에 들어간다고 볼 수 있겠다.

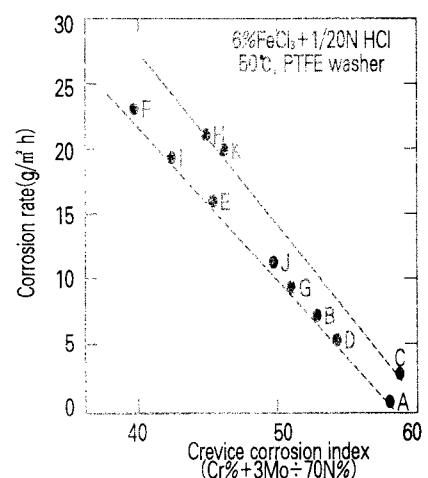
질소 혼가의 효과

필자는 미국 오하이오 주립대에서 학위 취득 후 Brookhaven 국립연구소의 Corrosion Science Group에서 근무하던 중, '고성능 스테인리스강의 개발' project의 책임을 78년부터 맡아 이 분야 연구를 80년 귀국 후에 도 꾸준히 진행하였다.

연세대 부임 이후에는 한국과학재단의 도움을 받아 83년 말 SR-50A의 개발을 일단 완료하였다.

필자의 개발 결과를 요약하면 다음과 같다.

① Cr 함량이 23% 수준일 때 Mo과 N가 적당량 존재하면, 이들은 상



〈그림 2〉 Relation between crevice corrosion rate and crevice corrosion index($\text{Cr} \% + 3 \text{Mo} \% + 70 \text{N} \%$)

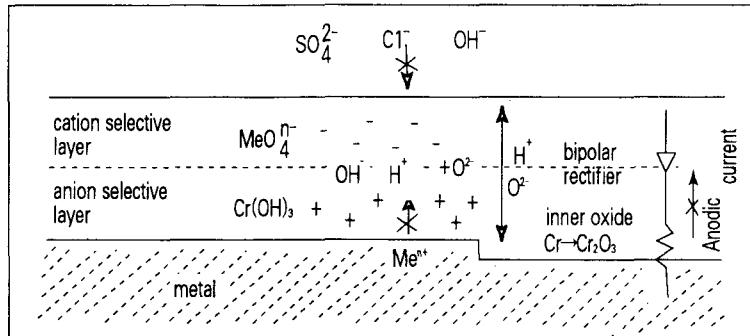


그림 3) Schematic representation of the bipolar model of the passive film formed on stainless steel (Positive fixed charge : +, Negative fixed charge : -).

승효과 (Synergistic Effect)를 유발하여 부동태 피막을 강화시킨다.

② 응력 부식 균열에 대한 저항성은 질소 함량이 0.25% 부근에서 높은 값을 보였다.

③ 질소 증가에 의한 탄화물의 성장 속도가 억제되므로 Sensitization에 대한 저항성이 향상된다.

④ 질소 증가에 따라 항복 강도, 인장 강도 및 경도가 연신률의 감소 없이 증가하였다.

⑤ 질소 증가에 따라 폐라이트 조직을 억제하므로 수소 취성에 대한 저항성을 증가시킨다.

1. 질소와 Mo의 상승 효과에 의한 부동태 피막의 강화

질소 또는 Mo이 재료 중에 단독으로 존재할 때에 내식성을 향상시키는 정도보다는 두 원소가 공존할 때에 그 효과가 극대화되기 때문에 이를 질소와 Mo의 상승 효과 (Synergistic Effect)라는 표현으로 초내식

성 스테인리스강의 내식성의 원인으로 이해하여 왔다. 즉 최근의 연구 결과에 따르면, 질소와 Mo이 공존할 때 스테인리스강의 내식성 유지에 가장 중요한 부동태 피막의 특성을 향상시킨다는 것이다. 즉 부동태 피막에 대한 XPS 분석 결과에 기초하여 볼 때, 질소 함량이 증가할수록 Cr, Mo, Fe 성분이 피막의 외층으로 이동하고 있으며, 그 중에서 특히 Mo의 경우는 피막 외층에 뚜렷히 농축되는 현상이 나타나고 있다.

이를 부동태 피막의 2극 모형 (Bipolar Model)에 따라서 해석을 하면 <그림 3>과 같다.

부동태 피막은 반대 전하를 갖는 2극으로 구성되며 피막 외층이 양이온 선택성, 내층이 음이온 선택성을 갖게 되면 내식성은 급격히 증가하게 된다. 따라서 부식 환경이 매우 낮은 pH를 갖는 경우라도 생성된 부동태 피막의 외층에는 OH⁻이온이 다량 존재하여 부식억제제 이온인 NO₃⁻,

MoO₄²⁻ 이온이 피막 외층에 생성되게 된다.

이렇게 피막 외층에 생성된 NO₃⁻, MoO₄²⁻ 이온의 양이온 선택성 때문에 전기장에 의한 틸수소화 반응 (OH⁻ → H⁺ + O₂⁻)으로 생성된 O₂⁻ 이온이 음이온 선택성인 내층으로 이동하여 Cr₂O₃/CrOOH 비를 증가시키고, 총 산화물 양도 증가시켜 치밀한 부동태 피막을 형성시키게 되는 것이다. 특히 합금 중에 질소가 증가할수록 Mo이 단독으로 있을 때 부동태 피막 중에 형성되는 MoO₄²⁻ 이온의 양보다 더 많이 생성되고, 또한 이 두 종류의 이온의 양이온 선택 작용에 의하여 상기의 현상이 가속되어 결과적으로 내식성이 급격히 상승되는 것이다. 이러한 결과는 앞에서 언급한 P.R.E. 값에서의 질소와 Mo의 역할과 일치하는 것으로서 초내식성 스테인리스강의 내식성 유지에 매우 필수적임을 알 수 있다.

2. 응력 부식 균열 저항성 향상

예전에는 스테인리스강 중의 질소 함량이 높아지면 응력 부식 균열 저항성이 저하되는 것으로 밝혀져, 질소 첨가가 나쁜 것으로 알려져왔다.

즉 질소 함량이 0.137%까지 증가하면 비등 상태의 MgCl₂ 용액에서 응력 부식 균열이 촉진되었다.

그러나 이러한 거동은 탄소 함량과 관계가 있어서 탄소 함량이 0.02%로 낮아질 때는 질소 함량 증가가 미치

는 영향은 매우 긍정적으로 나타나고 있다.

일정 연신율법에 의하여 6%Mo 스테인리스강에 대하여 비등 상태의 42% $MgCl_2$ 용액에서의 시험 결과, 질소 함량이 증가할수록 응력 부식 균열에 대한 저항성이 증가하고 있으며, 0.25% 부근에서 최대값을 보이고 있다(그림 4). 이는 질소량의 증가에 따라서 Coarse Slip이 방해되어 균열 개시를 억제시키며 재부동태화 속도를 증가시키기 때문이다.

3. 입계 부식 저항성 향상

22Cr-20Ni-6Mo-0.04C의 스테인리스강에 질소 함량을 0.01, 0.21, 0.32%로 증가시키면서 예민화 특성을 연구한 결과, 질소 함량이 증가할 수록 입계 부식 속도가 저하하고 있다. 질소 함량이 0.02% 이상으로 첨가되면 316L 스테인리스강의 입계 부식 저항성보다 더 우수하게 나타나고 있으며, TTS(Time-Temperature-Sensitization)도를 작성하여 본 결과 질소가 탄화물의 핵생성 억제에는 기여하지 못하지만 성장을 억제시키는 것으로 나타났다.

4. 기계적 성질의 향상

상용되고 있는 초내식성 오스테나이트계 스테인리스강과 비교하여 보면 SR-50A는 기계적 성질이 우수한데, 이는 SR-50A가 다른 재질에 비해 질소 함량이 높기 때문이다. 즉

SR-50A는 질소의 증가에 의하여 항복 강도, 인장 강도 및 경도는 물론 연신율도 상승하고 있어 내식성의 증가와 더불어 매우 우수한 성질을 유지할 수 있음을 보여주고 있다.

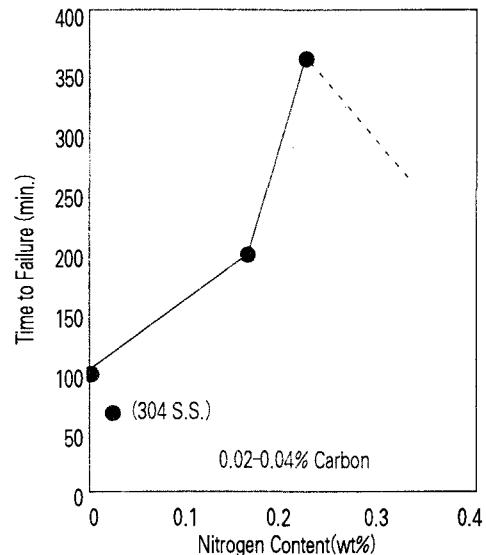
5. 수소취성 저항성 증가

해수와 같이 부식 강도가 높은 환경에서는 음극 방식을 시행하여 귀한 금속과 연결되어 있는 비한 금속을 보호하게 된다.

이 때 발생하는 수소 원자들에 의해 폐라이트계 스테인리스강은 취성이 일어나게 된다.

EPRI에서의 연구 결과를 보면, 세 종류의 고내식성 폐라이트계 스테인리스강들에서 수소 취성의 발생을 발견할 수 있다(그림 5)(그림 6).

즉 AL29-4C (29Cr-4Mo), Monit (25Cr-4Mo-4Ni), Sea-Cure(27.5Cr-3.5Mo-1.2Ni) 강들을 저인장률 시험을 통하여 평가한 결과, 시편들을 파괴시키는 데 필요한 에너지가 음극 전류를 통과시킴에 따라 상당히 감소했음을 알 수 있었다. 이와 같이 조직을 오스테나이트화 시키는 일은 수소 취성 방지에 아주 중요한데, 대표적인 오스테나이트



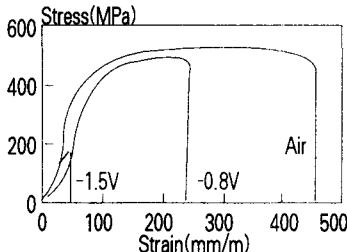
〈그림 4〉 Effect of Nitrogen and Carbon on Stress Corrosion Cracking of the experimental alloys and type 304 stainless steel in boiling $MgCl_2$ at an initial strain rate of $1.35 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

안정화 원소들은 Ni, 질소, 탄소들이 다. 질소의 영향력을 Delong에 위하여 처음 소개되었고, 그 후 Hamond에 의하여 Ni보다 30배의 오스테나이트 안정화 효과를 가진 것으로 밝혀졌다. 〈그림 7〉은 질소 함량이 상온에서의 폐라이트 양에 어떻게 영향을 주는지 보여주고 있다.

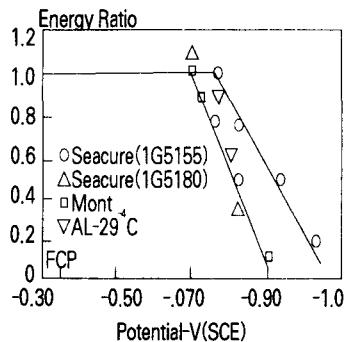
초내식성 스테인리스강의 개발 현황 및 상품화 동향

초내식성 스테인리스강의 개발과 상품화는 스웨덴과 미국에서 80년 초반부터 시작되어 최근에는 세계 여러 나라에서 계속 진행되고 있다.

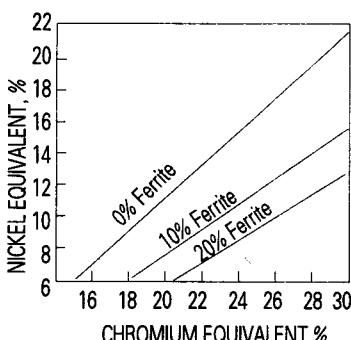
특히 슈퍼 오스테나이트계 스테인리스강은 탁월한 내식성, 연신율 및



〈그림 5〉 Effect of potential on the stress/strain curves obtained for Sea-Cure(Heat 165155) in seawater



〈그림 6〉 Effect of potential on the energy ratio for ferritic stainless steels tested in seawater at a strain rate of 1.8×10^6 /s
(FCP=free corrosion potential)



〈그림 7〉 Constitution of stainless steels at ambient temperature
(Cr equivalent=%Cr+1.5Si+%Mo;
Ni equivalent=%Ni+30(%C+N)+0.5%Mn)

저온에서의 높은 충격 인성으로 인하여 가장 주목 받고 있어서, 현재 화력·원자력발전소의 해수 설비 및 탈황 설비, 펌프 제지 산업 및 담수화 설비 등에 상당량이 사용되고 있다(표 1)。

제 틈 부식 온도를 구하여 다른 여러 합금과 비교해 좋은 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 매우 고가인 인코넬 625 합금의 내식성보다 우수함을 알 수 있다.

또한 환경 오염 규제와 관련하여 화력 발전 소의 탈황 설비 내의 Chemistry를 모사한 환경(Green death : $11.5\% \text{ H}_2\text{SO}_4 + 1.2\% \text{ HCl} + 1\% \text{ FeCl}_3 + 1\% \text{ CuCl}_2$)에서의 임계 공식 온도를 구해 놓은 결과를 〈그림 10〉에 나타내었다.

즉 SR-50A는 다른 비교 합금보다 매우 우수한 부식 저항성을 보이고 있으며 고가인 인코넬 625보다도 내식성이 훨씬 뛰어남을 알 수 있다.

〈그림 11〉은 용접한 시편에 대한 임계 공식 온도를 구해 놓은 것이다.

또한 용접 부위의 내식성도 고가인 인코넬 625의 내식성과 동등한 값으로 유지하고 있다.

한편 〈그림 12〉는 부식 저항성과 가격 유효성을 고려하여 환경별로 작성해 놓은 탈황 설비용 재료 선정 안내 지침서 (Guide map for the selection of materials)이다.

이 그림으로부터 재료가 저하게 될 환경과 가격을 고려하여 재료를 선정 할 수 있는 매우 유용한 그림이다.

여기에서도 SR-50A 합금이 매우 높은 농도의 염화물 수준과 낮은 pH 환경에서 효과적으로 사용할 수 있음을 보여주고 있다.

SR-50A의 전형적인 조성은 $0.02\text{C}-23\text{Cr}-21\text{Ni}-6.2\text{Mo}-0.25\text{N}$ ($\text{Cu} < 0.4, \text{S} = 0.001$)으로서, 51의 PRE(=%Cr+3.3%Mo+30%N)값을 가지는 초내식성 스테인리스강이다. 특히 이 합금은 합금 중에 Cu성분이 불순물로 제거하고 있고, N의 함량을 실용적인 선에서 최대화시키고, Ni이 21%정도로 조정되었다.

즉 Ni 함량이 타 합금들보다 적어 N의 Solubility가 증가되어서, 다른 초내식성 스테인리스강보다도 우수한 내식성을 갖고 있는 것으로 판단된다.

〈표 2〉 〈표 3〉은 SR-50A의 기계적 성질과 물리적 성질을 구해 놓은 것이다.

이 합금의 조성은 오스테나이트 조직을 얻기 위하여 고크롬, 고몰리브데늄과 동시에 최적화시킨 조성으로서 〈그림 8〉은 다른 합금과의 조직 안정성을 보여 주는 그림이다.

〈그림 9〉는 염화물 이온이 포함된 환경에서의 부식 저항성을 나타내주는 그림으로서 임계 공식 온도 및 임

(표 1) 세계 각국의 초내식성 스테인리스강의 조직별 분류 및 상품화된 재질

재질	개발사	상품명	화학조성	PRE 값
오스테나이트 계열	Avesta -Sheffield (Sweden)	254 SMO	Fe-20Cr-18Ni-6Mo-0.2N-0.7Cu	46.5
	Allegheny Ludlum (USA)	AL - 6XN	Fe-20.5Cr-24Ni-6.3Mo-0.22N-0.75Cu	47.9
	INCO (USA)	25-6MO	Fe-20Cr-25Ni-6.5Mo-0.2N-1.0Cu	47.5
	CLI (France)	UR B-26	Fe-20.5Cr-25Ni-6.3Mo-0.2N-1.0Cu	47.3
	일본 스테인레스 (Japan)	NAR- AC- 3	Fe-20Cr-25Ni-6.2Mo- 0.14N-1.0Cu	44.7
	천기제철 (Japan)	-	Fe-22Cr-17Ni-4.5Mo-0.3N	45.8
	VDM (Germany)	Cronifer 1925hMo	Fe-21Cr-25Ni-6.4Mo-0.2N-0.9Cu	48.1
	Outokumpu Oy Polaris (Finland)	Polarit 778	Fe-20Cr-22Ni-6Mo-0.2N-0.75Cu	45.8
듀플렉스 계열	Korea	SR - 50A	Fe-23Cr-21Ni-6.2Mo-0.25N-0.4Cu	51.0
	Cabot (USA)	Ferralium 255	Fe-25Cr-5Ni-2.8Mo-0.16N	39
	Sandvik (Sweden)	SAF 2507	Fe-25Cr-7Ni-3.8Mo-0.28N	45.9
	CLI (France)	UR 52N	Fe-25Cr-6.5Ni-3.6Mo-0.25N-1.6Cu	44.4
	CLI (France)	UR 45N	Fe-21Cr-5.3Ni-2.8Mo-0.16N	36
	Sandvik (Sweden)	SAF 2205	Fe-22Cr-5.5Ni-3Mo-0.15N	36.4
	Korea	SR-6DX	Fe-23.2Cr-7.9Ni-5.7Mo-0.33N	51.9

주 : PRE (Pitting Resistance Equivalent) = %Cr+3.3X%Mo+30X%N

SR-50A와 범용 및 해외 상용 금속재료와의 특성 비교

(표 2) Tensile properties of SR-50A

℃	YS 0.2% KSI	YS 1.0% KSI	UTS KSI	Elongation %
20	49	54	99	40
100	38	42	84	40
200	32	36	78	40
300	27	32	74	35
400	25	29	70	35

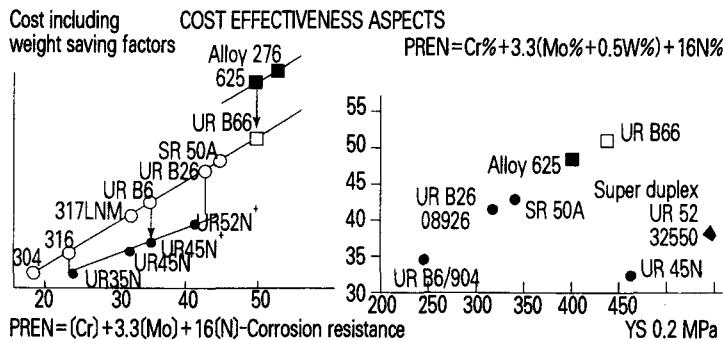
(표 3) Physical properties of SR-50A

Interval Temper ℃	Thermal Expansion $\alpha \times 10^{-6} K^{-1}$	℃	°F	Resistivity $\mu\Omega cm$	Thermal conductivity Wm $1K^{-1}$	Specific heat $Jkg^{-1}K^{-1}$	Young modulus GPa	Shear modulus GPa
20-100	15.8	20	68	90	13	450	195	75
20-300	16.5	200	392	-	-	-	182	70
20-500	17.3	400	752	-	-	-	166	66

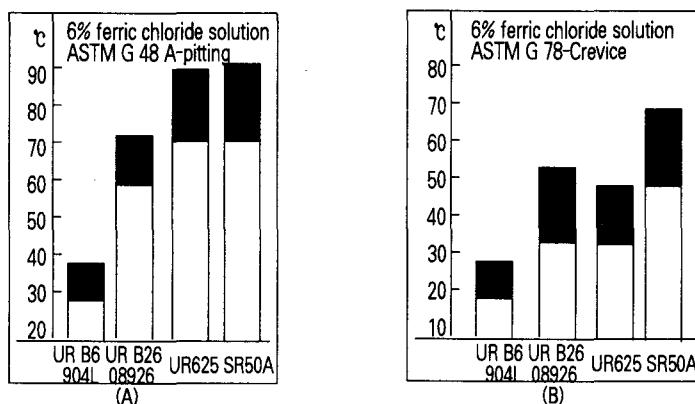
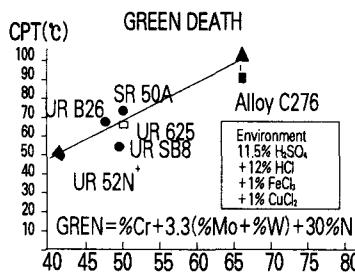
국외 유사제품인 프랑스 CLi사의 UR B26, 미국 INCO사의 25-6MO와 Allegheny Ludlum Corporation사의 AL-6XN, 스웨덴 Avesta Sheffield사의 254SMO 등은 ASTM(American society for Testing and Materials) G48에 의거한 시험 결과 임계 틈부식 온도(CCT : Critical Crevice Temperature)가 30~55°C이고 임계 공식 온도(CPT : Critical Pitting Tem-

perature)가 60~80°C 정도인 반면, SR-50A는 CCT가 55~70°C, CPT가 80~90°C로 기존 강종에 비해 2배 이상의 우수한 내식성을 갖고 있으며, 인장 강도 및 항복 강도도 20~40 MPa정도 더 높고 동시에 40% 이상의 높은 연신율로 인해 탁월한 기계적 성질을 나타낸다. 또한 저온에서의 충격치가 150 J/cm²으로 Inconel과 Monel 등의 재료를 대체할 수 있다.

해수 열교환기용으로는 기존에 티타늄(Ti)계 재료가 사용되었는데 이 재료는 수소 취성, 전동 취약성, Steam Erosion 및 용접성 등에 문제가 있기 때문에 앞으로는 이러한 모든 결점을 해결한 SR-50A 슈퍼 스테인리스강으로 대체되리라 예상한다.



〈그림 8〉 Structure Stability of SR-50A and other alloys

〈그림 9〉 Critical pitting temperature (A) and crevice corrosion temperature (B) of parent alloys according to ASTM G 48-6% FeCl₃

〈그림 10〉 Critical pitting temperature of parent alloys in green death medium

타금속 및 해외 상용 재료와의 비교는 〈표 4〉 〈표 5〉에 나타내었다.

SR-50A 슈퍼 스텐리스강의 표준화 및 규격화를 위한 인증 실적

◇ 1992년 한국전력기술원에 의해 최우수 해수 재료로 선정되어, 한전 자체 홍보 책자 발간(금속 재료로는 유일함.)

◇ 1992년 3월 프랑스 가스공사연구원에서는 타 해수용 금속 재료에 비해 SR-50A가 내식성이 가장 탁월

했음을 인정.

◇ 1993년 일본 Sumitomo Metal에서 SR-50A의 우수성을 인정하여 연세대와 공동으로 Plate 제작 개발 시작.

◇ 1994년 Sumitomo Metal에서 판재 제작 완료하고, SR-50A를 NAR-AC-4의 일본 내 자체 Code 부여하고 일본 국내 공급 시작.

◇ 1994년 8월 한국가스공사 연구개발원에서는 LiBr 수용액에서 기존 흡수식 냉온수기용 재질에 비해 SR-50A가 내식성이 월등히 우수했음을 인정.

◇ 1994년 9월 통상산업부 전력국에서 국내 개발 최우수 재료로 선정하여 포항제철과 한국전력 등에 해수 설비와 틸황 설비에 생산 및 적극 활용 요청 공문 발송.

◇ 1994년 11월 한국표준과학연구원에서 틸황 설비 재료로 SR-50A가 가장 우수함을 인정.

◇ 1995년 3월 한전 원자력건설처에서 영광원자력 5·6호기의 Impeller, Shaft 재료로 SR-50A 지정.

◇ 1995년 5월 한국원자력연구소에서 SR-50A를 해수 냉각 계통의 최우수 재료로 선정.

◇ 1995년 5월 동양에서 개발된 금속 재료로는 처음으로 Euronorm X1NiCrMoN21.22.7 획득, 동시에 CLI와 공동으로 ASTM-UNS-Number 신청

◇ 1995년 11월 한전기술(주)에

의해 최우수 6Mo-Super Stainless 강으로 선정되어 영동화력에 세계에서 두 번째로 탈황 설비의 Absorber, Damper, Duct 재료로 공급.(CLI의 B 26이 세계에서 첫 번째로 탈황 설비에 공급, 독일 Noell 1994년)

◇ 1996년 1월 한국중공업 기술연구원에서 내해수 열교환기용 SR-50A는 해수에서 전혀 부식이 일어나지 않으며, 기계적 성질이 기존의 Ti 보다 탁월한 것으로 인증.

◇ 1996년 2월 한전 원자력건설처에서 영광원자력 5, 6호기의 열교환기 재료로 SR-50A 지정.

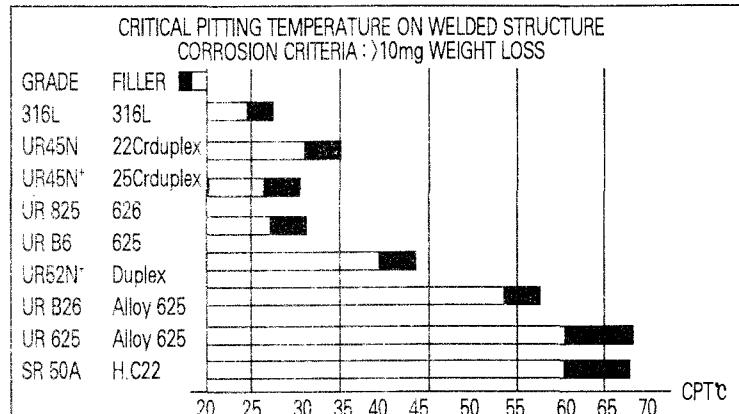
◇ 1996년 2월 세계 최대의 담수화 설비의 Process License (증발법) 및 중동 담수화설비 시장의 80% 이상을 보유하고 있는 프랑스 Sidem Engineering사에서 증발기 및 응축기 전열관 재료로서 SR-50A를 최우수 재료로 지정하였으며, 이를 현대건설 해외플랜트 사업부에 통보함.

◇ 1996년 5월 과학기술처 산하 한국산업기술진흥협회는 SR-50A 재료 자체를 KT로 지정.

◇ 1996년 5월 SR-50A의 ASTM & SAE UNS No.가 S32050로 최종 결정됨.

◇ 1996년 11월 한국산업기술진흥협회와 매일경제신문사가 주최하는 장영실상에 SR-50A가 선정.

◇ 1996년 11월 미국 INCO사와 SR-50A 복수기 및 열교환기용 Strip Coil에 대한 특허 사용 및 공급



(그림 11) Critical pitting temperature of welded joints in 6% FeCl₃

Chloride level	1 g/l			5 g/l			30 g/l			300 g/l			
	F(ppm)	0	400	1000	0	400	1000	0	400	1000	0	400	1000
pH	6												
	4												
	2												
	1												
					UR 45N ⁺								
								UN 32550-UR 52N					
										SR 50A			
											N06022 H.C22 N10276-H.C276		

(그림 12) Guide map for the selection of materials for FGD applications at 60°C (140°F) based on corrosion test results and cost effectiveness consideration

계약 체결.

◇ 1997년 2월 한전 원자력건설처에서 울진원자력 5·6호기의 복수기 투브 재료로 SR-50A 선정 검토 완료.

◇ 1997년 2월 한전에서 영동화력 1호기 및 서천화력발전소의 탈황 설비 재료로 SR-50A 지정.

◇ 1997년 2월 (주) 유공에서 열교환기 투브 재료로 SR-50A 용접관 발주.

(외경 19.05mm × 두께 2.1mm × 길이 11m, 378개)

◇ 1996년 7월 1997년 정진기 언론 문화상의 과학기술 분야의 대상 수상. (SR-50A의 산업화)

SR-50A 슈퍼 스테인리스강의 적용 가능 분야 및 공급업체

1 적용 가능 분야

① 발전소 및 석유 화학 공장의 해

(표 4) SR 50A 슈퍼 스테인리스강과 타금속과의 비교

항 목	Super Austenitic Stainless Steel	Ti	Al-Brass	316L Stainless Steel	304L Stainless Steel
기계적 성질 (Typical value)	인장강도(kg/mm ²)	81	50	50	57
	휨복강도(kg/mm ²)	46	35	30	27
	연신율 (%)	49	20	35	40
	탄성률 (MPa)	195	105	125	195
내식성	Steam Erosion 저항성	◎	x	x	◎
	수소취성 저항성	◎	x	◎	◎
	Flow 유발 전동 저항성	◎	x	○	○
	공식 및 틈부식 저항성	◎	◎	x	x
용접성	◎	x	○	◎	◎
화관	◎	○	○	◎	◎
열전도도 (Cal/cm.sec.°C)	3.47x10 ²	3.93x10 ²	11.0 x10 ²	3.88x10 ²	3.88x10 ²

주 : ◎ : 우수 ○ : 보통 x : 불량

(표 5) SR 50A 슈퍼 스테인리스강과 해외 상용 재료와의 비교

	SR-50A (한국)	UR B26 (프랑스)	AL-6XN (미국)	1925hMo (독일)	25-6MO (미국)	254SMO (스웨덴)
내식성	PRE ["]	51.0	47.3	47.9	47.1	47.5
	CPT ["] (°C)	80~90	63~73	80.5	68~72	70
	CCT ["] (°C)	55~70	45~55	43	28~38	30~35
	내식성 순위	SR-50A > UR B26, AL-6XN, 1925hMo, 25-6MO > 254SMO				
기계적 성질	인장강도(MPa)	680이상	650이상	650이상	650이상	650이상
	휨복강도(MPa)	3400이상	3200이상	3200이상	3000이상	3200이상
	연신율(%)	400이상	400이상	400이상	400이상	350이상

(주) 1) PRE (Pitting Resistance Equivalent) = %Cr+3.3×%Mo+30×%N

2) CPT (Critical Pitting Temperature) : 6% Ferric Chloride (FeCl₃) Solution

3) CCT (Critical Crevice Temperature) : 6% Ferric Chloride (FeCl₃) Solution

수를 사용하는 Condenser Tube, Heat Exchanger, Impeller, Diffuser, Valve, Shaft 등의 해수 및 담수설비 (Sea-water & Desalination Equipment)에 적용할 수 있다.

(2) Chloride, Bromide, Fluoride 용액과 같은 할로겐 화합물을 포함하

고 있는 화학 공장(Chemical Plant) Tubular, Plate Heat Exchanger 및 Pipe Line에 적용 가능하다.

(3) 펄프 표백 공장 (Pulp Bleaching Plant)의 Filtrating Pipe, Filter Washers, Press Rolls 및 Drums 등에 적용할 수 있다.

(4) SO₂ Gas 와 같은 부식성 가스

가 배출되는 가스 정화 설비 (Gas Cleaning System)로 Smelter, Power Plant Refinery, Iron & Steel Shop 의 Conditioning Tower Electrostatic Precipitator, Fans, Valves, Scrubber 및 Gas Dust, Absorber, Damper 등에 적용 가능하다.

(5) SO₂, SO₃, HCl, HF Gas등이 배출되는 소각로 (Refuse Incinerator)의 Chimney Stack의 Stack Line, Ladder Rungs, Lightening Conductor Parts 등에 적용할 수 있다.

(6) LiBr 수용액을 사용하는 흡수식 냉온수기의 Generator, Valve, Pipe 등에 적용할 수 있다.

2. 공급업체

세계 Stainless강 생산량 1위인 프랑스 CLI사에서는 SR-50A 제품 중 Plate 및 Shaft를 생산한다.

또한 SR-50A의 용접관용 Cold Strip Coil의 생산은 세계 제일의 Ni 합금 제조 업체인 미국 INCO사가 현재 맡고 있다.

SR-50A 열교환기 Tube는 세아제강(주)에서 생산하고 있으며, Pipe 생산업체로는 성원파이프(주)가 있고 Shaft 생산은 한국중공업(주) 단조사 업부에서 검토중이다.

주물품 생산업체로는 해안기계(주), 성진금속(주), 효명엔지니어링 등이 있다.

〈표 6〉 SR-50A 슈퍼 오스테나이트 스테인리스강의 공급 현황

공급년도	공급처(용도)	부품명	제작처	
			부품	기공 및 조립
1998년 3월	영광원자력 5,6호기(ESW)	해수 Duplex Strainer(471)	효명엔지니어링	신우산기
1997년 9월~ 1998년 2월	영광원자력 5,6호기(CWP)	- Impeller (1271) - Shaft (1271)	- 해안기계 - CLI (프랑스)	효성에바라
1997년 12월 ~ 1998년 6월	영광원자력 5,6호기(TBCCW)	Heat Exchanger Tube(122톤)	- 세아제강 - INCO(미국)	한국중공업
1997년 7월	여수화력(탈황설비용 흡수탑)	Plate (300톤)	CLI(프랑스)	한국중공업
1997년 5월	평택화력 공동설비(TWS 배관)	Gate Valve (471)	효명엔지니어링	신우공업
1997년 4월	서천화력 1, 2호기 (탈황설비용 흡수탑)	Plate (150톤)	CLI (프랑스)	-
1997년 4월	영동화력 1호기(탈황설비용 흡수탑)	Plate (50톤)	CLI (프랑스)	정일건설
1997년 4월	유공 (열교환기)	Welded Tube (4톤)	INCO (미국: 원자재) 세아제강 (용접관)	-
1997년 3월	울산화력 1, 2호기(SLP)	Impeller (171)	성진금속	-
1997년 2월	당진화력 1, 2호기(SLP)	Impeller (271)	성진금속	신신기계
1997년 2월	고리원자력 (CWP)	Impeller (171)	해안기계	-
1996년 9월	고리원자력 3, 4호기(CWP)	Impeller (771)	해안기계	-
1996년 9월	영광원자력 1, 2호기 (CWP)	Impeller (371) Reducer (471)	성진 금속	-
1996년 4월	영동화력 2호기(탈황설비)	Welded Pipe	CLI(프랑스)	정일건설
1996년 3월	영동화력 2호기(탈황설비)	Plate (40톤)	CLI(프랑스)	정일건설
1996년 2월	삼천포화력 5, 6호기(SLP)	Impeller (171)	성진금속	효성에바라
1995년 12월	태안화력 3호기(SLP)	Impeller (171)	해안기계	이천전기공업
1995년 9월~ 1996년 3월	고리원자력 3, 4호기 (CWP)	Impeller (371) Shaft (371)	성진금속 CLI(프랑스)	-
1995년 10월	보령화력 1, 2호기 (SLP)	· Impeller (1기) · Suction Bell (1기) · Discharge Bowl (1기) Plate (20톤) Shaft (471)	성진금속 CLI (프랑스)	현대중공업
1995년 8월	평택화력 공동설비(TWS 배관)	Gate Valve (471)	효명엔지니어링	신우공업
1995년 1월	영광원자력 1, 2호기(CWP)	Impeller (171)	성진금속	-

또한 SR-50A valve를 제조하는 업체로는 신우공업(주), 한일밸브(주)가 있으며 SR-50A 평판 업체로는 보양엔지니어링(주), 정밀주조품 제조는 천지산업(주)에서 하고 있다.

결 론

고Mo, 고질소 초내식성 스테인리스강이 보여주는 탁월한 내식성은 질소와 Mo의 공존에 의한 상승 효과에

기인한다.

SR-50A의 특징은 이러한 상승 효과에 기반을 두고 Ni 함량을 적정량으로 맞추면서 Cr 함량과 질소 함량을 적절히 상승 시켜 그 우수성을 세계적으로 인정받아 〈Stainless Steel World〉 97년 1월호에도 특집으로 보도된 바 있다.

특히 서천화력과 영동화력의 탈황 설비 흡수탑 재료 선정시 유일하게 내식 조건을 충분히 만족시키는 재료로 판정되어 공급 계약이 완료되었다.

한편 미국에서는 Babcock & Wilcox사에서 자사의 원자력 설비 등에 SR-50A 사용을 검토중이고, (주)유공에서도 기존의 고내식 합금을 SR-50A로 대체중에 있다.

울진 원자력 발전소 5·6호기 건설에는 기존의 Shaft, Impeller, Strainer 외에 주기기인 복수기에 SR-50A 용접관

이 사용되어 기존 Ti관의 문제점인 Steam Erosion, Sand Erosion, Hydrogen Embrittlement와 Flow Induced Vibration 문제를 해결해 줄 것이다. ☺