

SR-50A의 Euronorm 등재

김 영 식
안동대학교 재료공학과

Registration of SR-50A Super Austenitic Stainless Steel on Euronorm System

Young Sik Kim
Dept. of Materials Engineering, Andong National University,
760-749, Kyung-Book

1. 서론 : 초내식성 스테인리스강이란?

현재 외국에서는 기존의 범용 스테인리스강들보다 염소이온에서의 내식성이 한 단계 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 있는지 살펴보면 다음과 같다.

스테인리스강에서 일어날 수 있는 부식 손상은 다음과 같이 분류할 수 있다.;

- (1) 공식과 틈부식
- (2) 응력 부식 균열
- (3) 부식 피로
- (4) 수소 취성
- (5) 입계 부식 등

이러한 부식 손상들을 억제할 수 있는 인자들은 치밀하고 강한 부동태 피막, 높은 강도, 안정한 오스테나이트 조직, 저탄소 함량 등이다. 특히 강한 부동태 피막의 형성은 공식 또는 틈부식에 대한 저항성을 높힐 뿐만 아니라 응력 부

식 균열의 발생을 억제해 주는 것으로 보고되고 있어 가장 중요하다고 볼 수 있다. 그런데 염소 이온에서의 부동태 피막이 얼마만큼 강한가?는 부동태 형성에 결정적으로 기여하는 Cr, Mo, N 등의 함량을 이용하여 대략 정량적으로 표시할 수 있다. 첫번째는 Garner⁽¹⁾가 도출한 Cr-equivalent로 알려진 실험식($\%Cr + 3.3x\%Mo$)이다. 이는 Cr과 Mo함량의 증가에 따라 $FeCl_3$ 용액에서의 부식 속도를 측정하여 얻은 것이다. 그 후 질소 함량의 증가가 부동태 피막을 크게 강화시킨다는 것이 알려지면서 새로운 실험식들이 도출되었다. 즉, Heubner 등⁽²⁾과 Rockel 등⁽³⁾은 P. R. E. (Pitting Resistance Equivalent)로 불리우는 지수에 질소 함량이 30배로 기여한다고 보고하고 있다. Fig. 1은 Rockel 등⁽²⁾의 실험 결과인데, 10% $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 용액에서 입계 공식 온도가 P. R. E. ($\%Cr + 3.3x\%Mo + 30x\%N$) 값에 따라 직선적으로 증가하는 것을 보여주고 있다.

그러나 Ujira 등⁽⁴⁾은 $FeCl_3$ 용액에서의 틈부식 속도는 ($\%Cr + 3x\%Mo + 70x\%N$)에 비례한다고 보고하고 있어(Fig. 2), 질소가 어느 정도 강하게

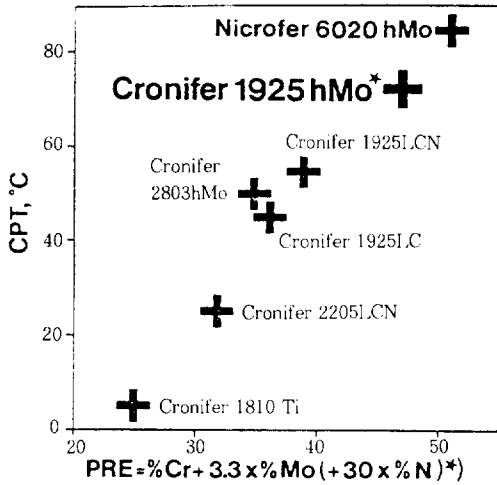


Fig. 1. Critical pitting temperature of high alloy stainless steels after 24h testing in 10% FeCl₃ as a function of pitting resistance equivalent (PRE).

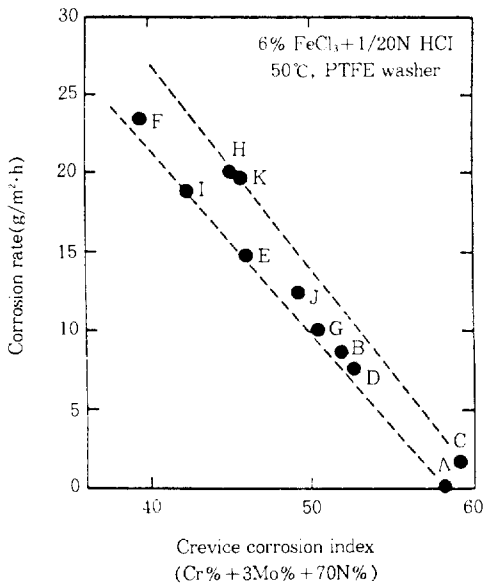


Fig. 2. Relation between crevice corrosion rate and crevice corrosion index (Cr% + 3Mo% + 70N%)

영향을 미치는가에 대해서는 연구자들간에 의견이 일치되고 있지는 않으나 그 영향 정도가 매우 크다는 것은 주지의 사실이다.

또한 질소의 영향력이 Mo과 공존할 때에 두

렷하게 나타난다는 연구 결과가 있어^(5,6), P. R. E.를 적용하는 대상은 Fe-Cr-Ni-Mo-N계 합금으로 한정되어야 할 것으로 생각된다.

이와 같이 P. R. E.를 스테인리스강들에 적용하여 보면, 이 값이 40이상인 강들은 해수 등에서 공식이나 틈부식이 쉽게 일어나지 않는다는 것이 알려지게 되었다. 그러므로 Mo과 N의 함량이 기존의 스테인리스강들보다 월등히 높은 강들도 P. R. E.값이 40이상이면 일단 초내식성 스테인리스강의 범주에 들어간다고 볼 수 있다.

2. 초내식성 스테인리스강의 내식성에 미치는 질소와 Mo의 역할

2.1 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 초내식성 스테인리스강의 내식성의 원인으로 이해하여 왔다. 즉 최근의 연구 결과에 따르면^(5,7), 질소와 Mo이 공존할 때 스테인리스강의 내식성 유지에 가장 중요한 부동태 피막의 특성을 향상시킨다는 것이다. 즉, 부동태 피막에 대한 XPS분석 결과에 기초하여 볼 때, 질소함량이 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(Fig. 3) 해석을 하면 다음과 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⁻이

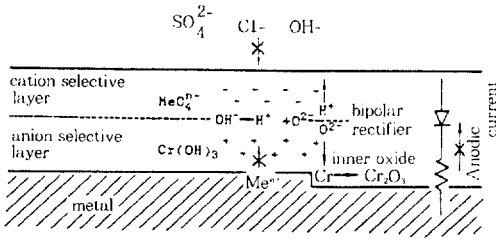


Fig. 3. Schematic representation of the bipolar model of the passive film formed on stainless steel (Positive fixed charge : + ; Negative fixed charge : -).

은이 과량 존재하여⁽⁶⁾ 부식 억제재 이온인 NO₃⁻, MoO₄⁼ 이온이 피막 외층에 생성되게 된다. 이렇게 피막 외층에 생성된 NO₃⁻, MoO₄⁼ 이온의 양이온 선택성 때문에 전기장에 의한 탈수산화 반응(OH⁻ → H⁺ + O²⁻)으로 생성된 O²⁻이온이 음이온 선택성인 내층으로 이동하여 Cr₂O₃/CrOOH 비를 증가시키고, 총산화물양도 증가시켜 치밀한 부동태 피막을 형성시키게 되는 것이다. 특히 합금 중에 질소가 증가할수록 Mo이 단독으로 있을 때 부동태 피막 중에 형성되는 MoO₄⁼ 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.

2.2 응력 부식 균열 저항성 향상

예전에는 스테인리스강 중의 질소 함량이 높아지면 응력 부식 균열 저항성이 저하되는 것으로 밝혀져⁽⁸⁻¹¹⁾, 질소 첨가가 나쁜 것으로 알려져왔다. 즉, 질소 함량이 0.137%까지 증가하지 되면 비동 상태의 MgCl₂ 용액에서 응력 부식 균열이 촉진되었다. 그러나 이러한 저동은 탄소 함량과 관계가 있어서 탄소 함량이 0.02%로 낮아질 때는 질소 함량 증가가 미치는 영향은 매우 긍정적으로 나타나고 있다.⁽¹²⁾ 일정 연신율

법에 의하여 6%Mo 스테인리스강에 대하여 비동 상태의 42% MgCl₂ 용액에서의 시험 결과, 질소 함량이 증가할수록 응력 부식 균열에 대한 저항성이 증가하고 있으며 0.21~0.25%에서 최대값을 보이고 있다. 이는 질소량의 증가에 따라서 coarse slip이 방해되어 균열 개시를 억제시키며 재부동태화 속도를 증가시키기 때문이다.

2.3 입계 부식 저항성 향상

22Cr-20Ni-6Mo-0.04C의 스테인리스강에 질소 함량을 0.01, 0.21, 0.32%로 증가시키면서 예민화 특성을 연구한 결과⁽¹³⁾, 질소 함량이 증가할수록 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 핵 생성 억제에는 기여하지 못하지만 성장을 억제시키는 것으로 나타났다.

2.4 기계적 성질의 향상

Table 1은 상용되고 있는 300계열 오스테나이트

Table 1. Chemical composition and mechanical properties of some austenitic stainless steels.

Type	Chemical composition	Yield strength, MPa	Tensile strength, MPa	Elongation, %	Hardness, HR _B
304	0.08C, 18-20Cr, 8-10.5Ni, 0.1maxN	205	515	40	92
304N	0.08C, 18-20Cr, 8-10.5Ni, 0.1-0.16N	240	550	30	92
316I	0.03C, 16-18Cr, 10-14Ni, 2-3Mo, 0.1maxN	170	485	40	95
316I.N	0.03C, 16-18Cr, 10-14Ni, 2-3Mo, 0.1-0.16N	205	515	40	95
Avesta 254SMO	0.02C, 20Cr, 18Ni, 6.2Mo, 0.2N, 0.7Cu	300	650	35	96
SR-50A	0.02C, 22Cr, 21Ni, 6.2Mo, 0.24N	340	680	40	100

트계 스테인리스강과 현재 널리 쓰이고 있는 초내식성 스테인리스강 중의 하나인 SR-50A 및 Avesta 254SMO의 화학 조성과 기계적 성질을 정리한 것이다. Table에서 알 수 있듯이 질소의 증가에 의하여 항복강도, 인장강도 및 경도는 물론 연신율도 상승하고 있어 내식성의 증가와 더불어 매우 우수한 성질을 유지할 수 있음을 보여주고 있다.

3. 세계 각국의 초내식성 스테인리스강

3.1 세계 각국의 개발 동향

초내식성 스테인리스강의 개발 및 상품화는 스웨덴과 미국에서 1980년 초반부터 시작되어 최근에는 세계 여러 나라에서 계속 진행되고 있다. 특히 오스테나이트계 스테인리스강은 높은

연신율과 뛰어난 저온 특성으로 인하여 가장 주목받고 있다.

Table 2는 초내식성 스테인리스강을 계열별로 분류하여 세계 각국에서의 상품화 상황을 정리한 것이다.

3.2 초내식성 스테인리스강의 내식성에 미치는 Cu함량의 영향

미국의 LaQue 센터의 Kain 연구팀⁽¹⁴⁾ 20Cr-6Mo급 초내식성 스테인리스강에 있어서 Cu함량이 증가할수록 틈부식에 기인되어 국부 부식이 발생한다고 보고하고 있다.

Fig. 4는 그 결과로서 합금 중의 Cu함량이 0.2% 이하여야만 틈부식이 발생하지 않음을 알 수 있다.

Table 2. Super austenitic stainless steels의 종류

개발사 및 국명	상 품 명	화 학 조 성 (wt %)							
		Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	n	C	Cu
KRUPP-VDM (독 일)	Cronifer 1925hMo	Bal.	21	25	6.4	0.5	0.2	0.02	0.9
한 국	SR-50A	Bal.	22	21	6.2	0.5	0.24	0.02	<0.4
Creusot-Loire Industrie(프랑스)	URANUS B26	Bal.	20.5	25.0	6.3	0.5	0.2	0.02	1.0
INCO (미 국)	25-6Mo	Bal.	20	25	6.5	0.5	0.2	0.02	1.0
Outokumpu Oy Polarit(핀란드)	Polarit 778	Bal.	20	22	6.0	0.5	0.2	0.02	0.75
주우금속 (일 본)	NAR-AC-3	Bal.	20	25	6.1	0.5	0.14	0.02	1.0
일본금속공업 (일 본)	NTK M6	Bal.	20	25	6.0	0.5	0.14	0.02	1.0
일신제강 (일 본)	NSS 20-25-6	Bal.	20	25	6.0	0.5	0.14	0.02	1.0
Avesta-Sheffield (스웨덴)	254-SMO	Bal.	20	18	6.2	0.5	0.2	0.02	0.72
천기제철 (일 본)	—	Bal.	22	17	4.5	0.5	0.3	0.02	1.0
Ingersoll-Rand (미 국)	IR 885	Bal.	21	12	4	0.5	0.15	0.02	—

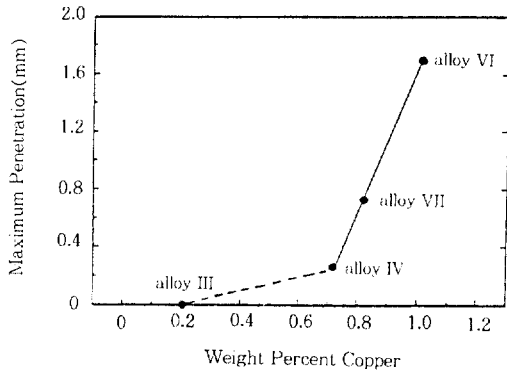


Fig. 4. Effect of Copper content on crevice corrosion propagation resistance of 20Cr-6Mo alloys after removal of original mill surface finish, with or without $\text{HNO}_3 + \text{HF}$ Pickling treatment.

3.3 초내식성 스테인리스강의 적용 및 용도

초내식성 스테인리스강의 대표적인 용도를 요약하면 다음과 같다.

- 해수 및 담수화 설비(Sea water & Desalination Equipment) : 발전소 및 화학 공장의 해수를 사용하는 복수기, 열교환기, 임펠러, 밸브, 샤프트 등의 해수 이용 설비
- 화학 공장(Chemical plant) : Chloride, bromide, fluoride 등과 같은 할로겐 화합물을 포함하고 있는 관형 및 관형 열교환기 및 배관 라인
- 펄프 표백 공장(Pulp bleaching plant) : Filtering pipe, filter washer, press roll, drum 등
- 가스 정화 설비(Gas Cleaning System) : SO_2 가스와 같은 부식성 가스가 배출되는 smelter, 발전소 탈황 설비, 제강 공장의 집진 설비 등의 팬, 밸브, scrubber, absorber, damper 등
- 소각로(Refuse Incinerator) : SO_2 , SO_3 , HCl, HF 가스 등이 배출되는 연도의 라인, ladder rung, lightning conductor part 등
- 흡수식 냉온수기(Absorption Chiller) : LiBr 수용액을 사용하는 흡수식 냉온수기의 밸브, 파이프 등
- 생체 재료(Bio-materials) : 인공고관절(Artificial Hip Joint)

4. 국내 개발품 초내식성 스테인리스강 -"SR-50A"

1995년 5월 세계 최대의 스테인리스강 생산 업체인 불란서의 CLJ社에서는 자사의 개발품인 B26에 비해 국내에서 개발된 'SR-50A'가 내식성 및 기계적 성질에서 더 우수하다고 인정하였고, 'SR-50A'를 생산하여 전세계에 공급하겠다고 발표하였다.⁽¹⁵⁾

이는 국내의 금속공업 사상 초유의 일로 본 절에서는 국내 개발품인 'SR-50A'에 관련된 특성을 종합적으로 기술하겠다.

4.1 SR-50A의 표준화 및 규격화

불란서의 CLJ社에서는 국내 개발품인 SR-50A를 자사의 카탈로그에 CLJ-SR 50ATM로 등록하고 유럽 표준 번호를 획득하였다. 즉, EURONORM-X1NiCrMoN 21. 22. 7이다. 또한 UNS(Unified Numbering System) 번호 및 ASTM 규격집에 대한 등재를 연세대 박용수 교수와 공동으로 추진 중에 있으며 이 일이 성사될 경우, 이 또한 국내 초유의 일로 기록될 전망이다.

4.2 SR-50A의 특성

SR-50A의 전형적인 조성은 0.02C-22Cr-21Ni-6.2Mo-0.24N(Cu<0.4, S=0.001)으로, PRE(=%Cr+3.3%Mo+30%N)값이 50이 되는 초내식성 스테인리스강이다. 특히 이 합금 중에 Cu성분이 불순물로 제어하고 있고, N의 함량을 실용적인 선에서 최대화시키고, Ni이 21%정도로 조정되었다. 즉 Ni함량이 타 합금들보다 적어 N의 Solubility가 증가되어서, 다른 초내식성 스테인리스강보다도 우수한 내식성을 갖고 있는 것으로 판단된다. Table 3과 Table 4는 SR-50A의 기계적 성질과 물리적 성질을 구해 놓는 것이다.

이 합금의 조성은 오스테나이트 조직을 얻기 위하여 고크롬, 고몰리브덴과 동시에 최적화시킨 조성으로서 Fig. 5는 다른 합금과의 조직

Table 3. Tensile properties of SR-50A

℃	YS 0.2%, YS 1.0%,		UTS, KSI	Elongation, %
	KSI	KSI		
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

안정성을 보여 주는 그림이다.

Fig.6은 염화물 이온이 포함된 환경에서의 부식 저항성을 나타내주는 그림으로서 임계 공식 온도 및 임계 틸부식 온도를 구하여 다른 여러 합금과 비교해 놓은 것이다.

Table 4. Physical properties of SR-50A

Interval Temper ℃	Thermal Expansion, $\alpha \times 10^{-6} K^{-1}$	℃	℉	Resistivity, $\mu \Omega cm$	Thermal conductivity, $Wm^{-1}K^{-1}$	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

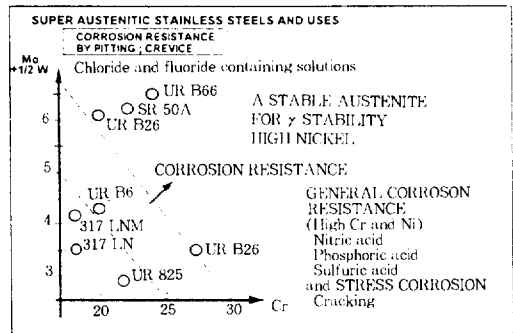
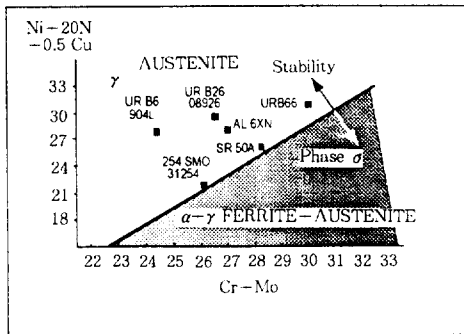
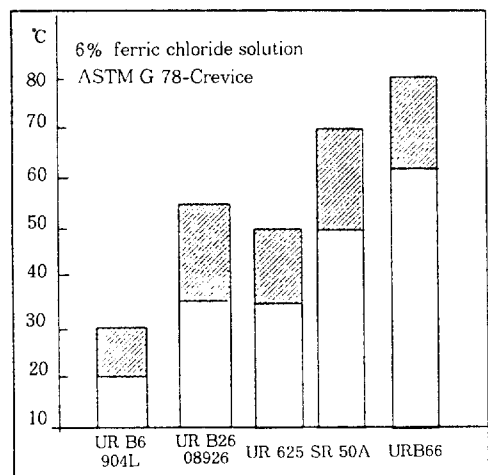
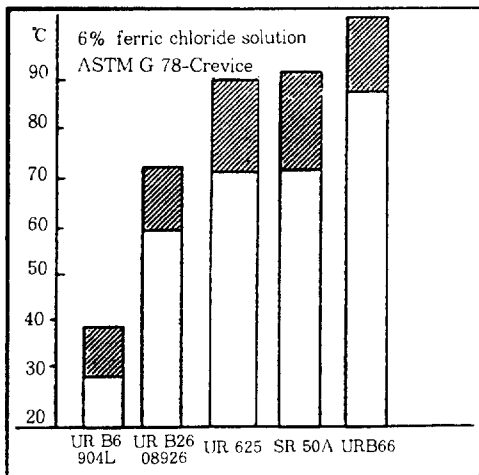


Fig. 5. Structure stability of SR-50A and other alloys.



(A)

(B)

Fig. 6. Critical pitting temperature (A) and crevice corrosion temperature (B) of parent alloys according to ASTM G 48A-6% FeCl₃.

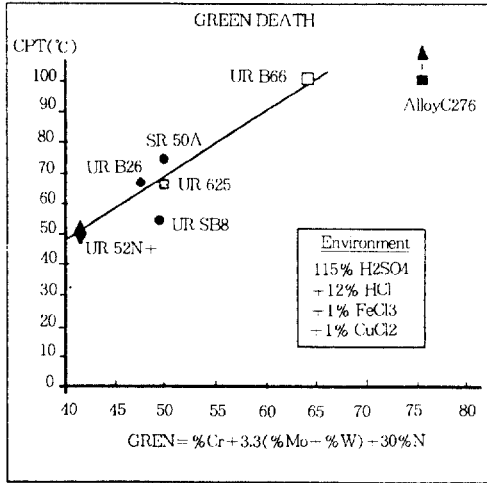


Fig. 7. Critical pitting temperature of parent alloys in green death medium.

그림에서 알 수 있듯이 매우 고가인 인코넬 625합금의 내식성보다 우수함을 알 수 있다. 또한 환경 규제와 관련하여 화력 발전소의 탈황 설비 내의 Chemistry를 모사한 환경(Green death : 11.5% H₂SO₄ + 1.2% HCl + 1% FeCl₃ + 1% CuCl₂)에서의 임계 공식 온도를 구해 놓은 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

그림에서 알 수 있듯이 다른 비교 합금보다 매우 우수한 부식 저항성을 보이고 있으며 특히 고가인 인코넬 625보다도 내식성이 훨씬 뛰어날 수 있다.

Fig. 8은 용접한 시편에 대한 임계 공식 온도를 구해 놓은 것이다.

그림에서 알 수 있듯이, 용접을 행하더라도 매우 고가인 인코넬 625의 내식성과 동등한 값을 유지하고 있다.

한편 Fig.9은 부식 저항성과 가격 유효성을 고려하여 환경별로 작성해 놓은 탈황 설비용 재료 선정 안내 그림(Guide map for the selection of materials)이다. 이 그림으로부터 재료가 처하게 될 환경과 가격을 고려하여 재료를 선정할 수 있는 매우 유용한 그림이다.

그림에서 알 수 있듯이, SR-50A 합금이 매우

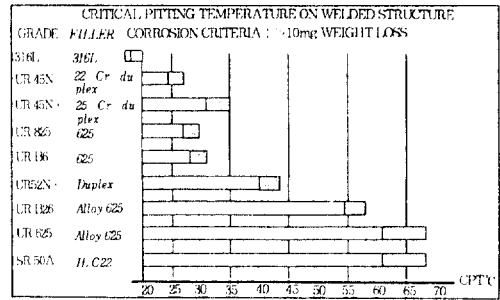


Fig. 8. Critical pitting temperature of welded joints in 6% FeCl₃.

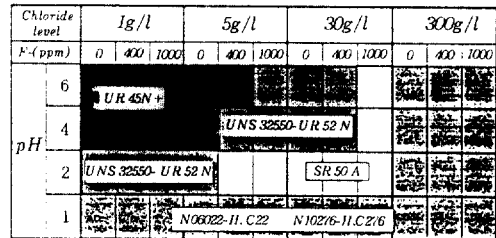


Fig. 9. Guide map for the selection of materials for FGD applications at 60°C (140°F) based on corrosion test results and cost effectiveness considerations.

높은 농도의 염화물 수준과 낮은 pH 환경에서 효과적으로 사용할 수 있음을 보여주고 있다.

4.3 국외 Super Austenitic Stainless Steels과의 내식성 및 기계적 성질 비교

Fig. 10은 6% FeCl₃ 부식 용액에서 공식 및 틈부식 저항성을 보여주는 그림으로서 임계 공식 온도 및 임계 틈부식 온도를 측정하여 SR-50A 및 국외에서 개발된 6Mo Super Austenitic Stainless Steels 그리고 값이 매우 비싼 Alloy 625와 내식성을 비교한 것이다.

그림에서 알 수 있듯이, 다른 합금에 비해 고질소를 함유한 SR-50A가 내식성이 가장 우수하며 그 순위는 다음과 같다.

SR-50A > ALLOY 625 > UR B26, 25-6MO, AI-6XN > Cronifer 1925 hMo > 254SMO

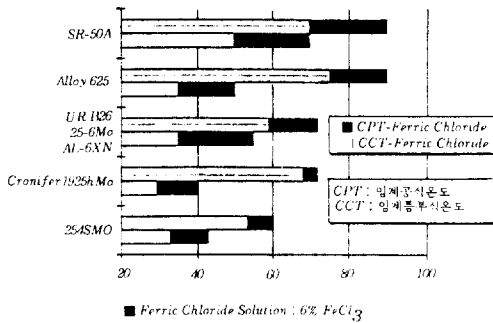


Fig. 10. Comparison of Corrosion Resistance of SR-50A and other alloys in 6% FeCl₃.

Table 5는 SR-50A와 국외에서 개발된 6Mo Super Austenitic Stainless Steels의 기계적 성질을 비교한 것이다.

Table에서 알 수 있듯이 SR-50A가 다른 합금에 비해 고질소 함량에 기인하여 높은 강도 및 연신율을 나타내고 있으며, 특히 충격값이 매우 우수함을 알 수 있다.

4.4 국내외 연구 기관에서 인증된 SR-50A의 우수성

국내외 연구 기관들에 의하여 ‘SR-50A’의 특성을 평가해 본 결과 다음과 같이 매우 우수한 것으로 평가되었다.

■ 불란서 가스 공사(1992. 3. 20. “Pitting and crevice corrosion of a highly alloyed, nitrogen added SR-50A”): 10% FeCl₃ 용액에서 틈부식

침지 시험 결과 및 임계 공식 온도를 측정해 본 결과, 틈부식 및 공식 저항성이 다른 해수용 재료에 비하여 SR-50A가 탁월한 내식성을 나타냄(16)

■ 한국전력공사 기술연구원(1992. 3. “해수 설비용 슈퍼 스테인리스강”): SR-50A는 고가의 내해수용 Ti이 갖는 수소 취성, 진동 취약성, 용접성 등의 모든 결점을 해결한 경제적인 대체 재질로서 지난 5년간 동안 한국전력공사에서 모든 실기 시험을 성공적으로 마쳤으며 한국전력공사 기술 연구원은 해수 냉각 계통의 최우수 재료로 SR-50A를 선정함(17)

■ 한국 표준 과학 연구원(1992. 8. 13. “해수 열교환기 튜브의 실기 시험”): 상온의 3.5% NaCl 용액에서의 부식 시험 결과, SR-50A가 Cupronickel보다 1,000배 정도의 내식성이 우수하다고 평가됨(18)

■ 한국 가스공사 연구개발원(1994. 8. “LiBr 수용액에서 고질소 함유 스테인리스강의 부식 거동”): 80℃, 55wt% LiBr의 수용액에서 흡수식 냉온수기용 기존 재질과 SR-50A를 부식 시험한 결과, SR-50A는 거의 부식이 되지 않았음(19)

■ 한국 표준 과학 연구원(1994. 11. 1 “탈황 설비용 금속 재료의 부식 시험”): 탈황 설비의 환경에서 여러 합금의 내식성을 평가해 본 결과, SR-50A가 가장 우수하고 Hastelloy C 276, Inconel 625, Type 904L, 스테인리스강의 순으로

Table 5. Mechanical properties of SR-50A and other alloys.

	항복강도 (MPa)	항복강도 (KSI)	인장강도 (MPa)	인장강도	충격값 (J/cm ²)	연신율 (%)
SR-50A	340	49	680	99	150	40
Alloy 625	284	41	726	105	—	40
UR B26	320	46	650	94	100	40
25-6Mo	320	46	650	94	—	40
Cronifer 1925hMo	320	46	650	94	—	40
254SMO	300	44	650	94	—	35

주) ■ 15mm thick solution annealed plates

■ 충격값 (Impact Value) : -190℃ (-320°F)에서 시험

저항성이 낮아짐⁽²⁰⁾

■ 일본 Sumitomo Metal(1994. 6. : SR-50A 열간압연 판재 제작 완료) : SR-50A의 내식성을 인정하고 연세대학교와 공동으로 열간 압연 판재를 제작하였으며, 일본 국내에서 NAR-AC-4의 자체 Code를 부여함.

4.5 현장 적용으로 입증되는 'SR-50A'의 우수성

1989년부터 현재에 이르기까지 한국전력공사 기술 연구원과 국내 산업계에서 화력, 원자력 발전소의 해수 설비용으로 'SR-50A' 시제품 개발에 투자를 행하여 현재 각 발전소에 적용되고 있으며, 실제 적용에 의하여 그 우수성이 입증되고 있다.

■ 'SR-50A'는 해수에서의 내식성이 기존의 구리 합금인 Cupronickel보다 약 100배 정도 우수한 재질임이 한국표준과학연구원, 한국가스공사연구원, 불란서 가스공사연구원의 조사 결과에 의하여 입증되었으며, 기계적 강도 및 연신율이 기존 해수용 재질보다 우수한 것으로 밝혀지고 있다⁽¹⁸⁾.

■ 1990년 삼미 종합 특수강에서 무계목 강판을 제작하여, 영광 원자력 발전소에서 2년간, D/G Jacket Water Cooler에서 기존 구리 합금인 Cupronickel판과 동시에 실기 시험한 결과, SR-50A는 2년 후 초기의 광택이 그대로 유지되는 등 전혀 손상이 없었으나, 기존의 Cupronickel은 심한 침식으로 못쓰게 되었다⁽¹⁷⁾.

■ 1991년 Wash pump용 임펠러 및 디퓨저 주물품으로 국내 제작되어 서천 화력발전소에 설치하고 1년후 검사한 결과, 'SR-50A' 주물품은 광택이 그대로 유지되며 부식이 전혀 발생되지 않았으나 기존의 스테인리스강은 심한 부식으로 사용이 불가능하게 되었다. Photo. 1은 이 결과를 극명하게 보여 주고 있으며, 'SR-50A'는 현재 계속 사용중이다.

■ 1993년 12월 현대중공업, 성진금속, 연세대

학교가 공동으로 평택 화력발전소의 SLP(Sea water Lift Pump)의 샤프트를 제작하여 현재 가동 중에 있다. Photo. 2는 제작된 샤프트를 보여 주고 있다.

■ 1994년 4월부터 보령 화력발전소의 SLP를 현대중공업과 불란서 CI社, 국내 주물업체 및 연세대학교가 공동으로 협력하여 제작중에 있다.

■ 1994년 10월부터 영광 원자력 발전소의 CWP(순환수 펌프)용 임펠러를 주물 전문업체인 성진금속과 연세대학교가 공동으로 제작하여 공급, 사용하고 있다. Photo. 3은 제작된 임펠러를 보여주고 있다.

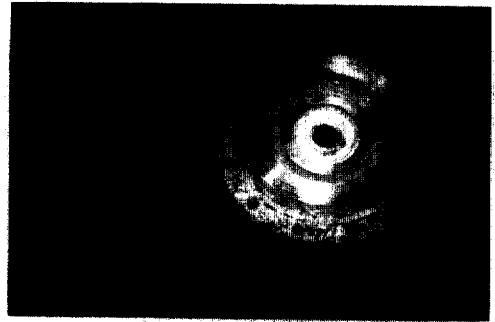


Photo. 1. SR-50A Impeller for wash pump in Seo-Chun thermal power plant.(Right : SR-50A super austenitic stainless steel, Left : Type 316L stainless steel)

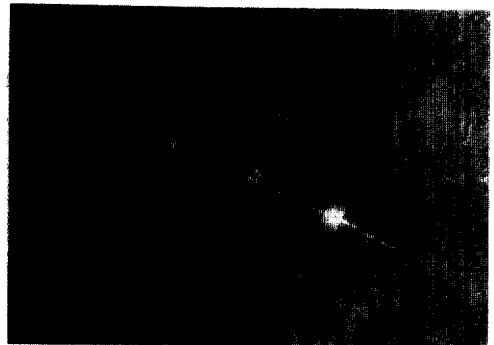


Photo. 2. SR-50A shaft for SLP(Sea-water Lift Pump) in Pyong-Teak thermal power plant.



Photo. 3. SR-50A Impeller for CWP(Circulating Water Pump) in Young-Kwang nuclear power plant.

5. 결 론

(1) 고Mo, 고질소 초내식성 스테인리스강이 보여주는 탁월한 내식성은 질소와 Mo의 공존에 의한 상승 효과이다. 즉, 피막 외층에 생성된 NO_3^- , MoO_4^{2-} 이온의 양이온 선택성 때문에 전기장에 의한 탈수소화 반응($\text{OH}^- \rightarrow \text{H}^- + \text{O}^{2-}$)으로 생성된 O^{2-} 이온이 음이온 선택성인 내층으로 이동하여 $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{CrOOH}$ 비를 증가시키고, 총산화물양도 증가시켜 치밀한 부동태 피막을 형성시키게 되는 것이다. 특히 합금 중에 질소가 증가할수록 Mo이 단독으로 있을 때 부동태 피막 중에 형성되는 MoO_4^{2-} 이온의 양보다 더 많이 생성되고, 또한 이 두 종류의 이온의 양이온 선택 작용에 의하여 상기의 현상이 가속되어 결과적으로 내식성이 급격히 상승되는 것이다.

(2) 세계적으로 개발된 초내식성 스테인리스강은 기지 조직에 따라 다양하게 있으며, 그 중에서 국내에서 개발된 'SR-50A'의 특성이 오스테나이트계 합금 중에서 가장 우수하게 나타났는데 이는 합금중에 가장 많이 함유된 질소에 의한 것이며 특히 Cu성분이 불순물로 제어하고 있기 때문에 틈 부식에 대한 저항성이 탁월한 것으로 판단된다.

(3) 국내에서 개발된 'SR-50A'가 국내 금속공

업 사상 처음으로 세계 최대 스테인리스강 생산 업체인 불란서의 C.I.I社에 의하여 세계에 공급하게 되었으며, 유럽의 재료 표준 규격 등재 및 UNS 번호 부여 그리고 ASTM 규격집 등재 등이 이루어질 전망으로 한국 금속 공업 사상 처음의 일로 기록될 것으로 예상된다.

(4) 국내외의 공인 연구기관으로부터 'SR-50A'의 우수성이 입증되어 원자력 발전소 및 화력발전소 등의 설비재료로 사용되고 있고 그 탁월한 내식성이 확인되고 있기 때문에 이 합금의 용도는 향후 크게 확대될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. A. Garner, Corrosion, Vol. 37, No. 3, p. 178 (1981)
2. H. Heuber and M. Rockel, Werkstoffe und Korrosion, Vol. 37, p. 7(1986)
3. M. B. Rockel, et al., "Two new austenitic special stainless steels with high Mo content and N additions", Stainless Steels '91, p.78, 1991
4. T. Ujio et al., "Development of high-alloy stainless steels with corrosion to seawater environment", Stainless Steels '91. p.86, 1991
5. 김영식, 박용수, 한국부식학회지, 18권, 2호, p.67(1989)
6. 김영식, 박용수, 한국부식학회지, 18권, 2호, p.97(1989)
7. 김영식, 한국부식학회지, 21권, 3호, p.189 (1992)
8. M. Kowaka and H. Fujikawa, Trans. of Japanese Inst. of Metals, Vol.1, No.7, p.10(1972)
9. M. Kowaka and J. Fujikawa, The Sumitomo Search, Vol.7, p.10(1972)
10. A. W. Loginow and J. F. Bates, "Influence of alloying elements on the SCC behavior of austenitic stainless steel", preprint to the 1968 NACE Conference, Cleveland, Ohio, 1968

11. R. W. Steahle and G. J. Theus, Unpublished results
12. 박용수, 김순태, 한국부식학회지, 12권, 4호, p.1(1983)
13. 박용수, '89국내외 한국과학기술자 학술회의-하계 심포지엄 논문집, p.270(1989)
14. R. M. Kain, 12th International corrosion congress, Vol. 4, p.1889, Sep. 1993
15. 한국경제신문, 등
16. 불란서 가스공사, "PITTING AND CREVICE CORROSION OF A HIGHLY ALLOYED, NITROGEN ADDED SR-50A", 연구보고서 (1992년 3월)
17. 한국전력공사 기술연구원, "해수 설비용 슈퍼 스테인리스강", 전력기술 홍보자료 92-3
18. 한국표준과학연구원, "해수 열교환기 튜브의 실기시험", 시험검사 성적서(1992년 8월)
19. 한국가스공사 연구개발원, "LiBr 수용액에서의 고질소 함유 스테인리스강의 부식거동", 연구보고서(1994년 8월)
20. 한국표준과학연구원, "탈황설비용 금속재료의 부식시험", 시험검사 성적서(1994년 11월)