

침적식 화학적 제염 공정 시 원자로 냉각재 펌프용 스테인리스강의 안전성 평가

김성종[†] · 한민수 · 김기준¹ · 장석기

목포해양대학교, ¹한국해양대학교

(2011년 8월 18일 접수, 2011년 10월 31일 수정, 2011년 10월 31일 채택)

Evaluation on Safety of Stainless Steels in Chemical Decontamination Process with Immersion Type of Reactor Coolant Pump for Nuclear Reactor

Seong-Jong Kim[†], Min-Su Han, Ki-Joon Kim¹, and Seok-Ki Jang

Division of Marine Engineering, Mokpo Maritime University

¹Faculty of Marine Engineering, Korea Maritime University

(Received August 18, 2011; Revised October 31, 2011; Accepted October 31, 2011)

Due to commercialization of nuclear power, most countries have taken interest in decontamination process of nuclear power plant and tried to develop a optimum process. Because open literature of the decontamination process are rare, it is hard to obtain skills on decontamination of foreign country and it is necessarily to develop proper chemical decontamination process system in Korea. In this study, applicable possibility in chemical decontamination for reactor coolant pump (RCP) was investigated for the various stainless steels. The stainless steel (STS) 304 showed the best electrochemical properties for corrosion resistance and the lowest weight loss ratio in chemical decontamination process with immersion type than other materials. However, the pitting corrosion was generated in both STS 415 and STS 431 with the increasing numbers of cycle. The intergranular corrosion in STS 431 was sporadically observed. The sizes of their pitting corrosion also increased with increasing cycle numbers.

Keywords : reactor coolant pump, chemical decontamination process, corrosion resistance, stainless steel

1. 서 론

1980년대에 건설된 우리나라의 원자력발전소는 가동년수가 증가하여 내장품의 정비가 필요하며 이에 따라 Reactor coolant pump(이하 RCP) 내장품의 방사선 오염 증가가 예상되고 있으므로 RCP 내장품 분해점검 및 교체작업 시 고방사선에 기인한 정비상의 어려움이 심각한 문제로 제기되고 있어 방사선 피폭저감을 위한 대책이 절실한 실정이다.¹⁾ RCP 내장품 재료로는 오스테나이트계 스테인레스강이 주로 사용되고 있는데, 화학제염 공정 적용시 화학약품으로 인해 입계부식(Intergranular Corrosion)²⁾⁻³⁾이나 pitting(Pitting)⁴⁾⁻⁵⁾ 등의 부식손상이 지적되어 왔으며, 이로 인해 화학제염 실시에 따른 내장품의 건전성 확보와 화학제염 효과의 최적화를 이루기 위한 노력이 진행되어 왔다. RCP의 화학제염에 관한 연구는 1990년대에 들어서면서부

터 국제적으로 관심의 대상이 되어온 분야이며, 그 동안 미국, 일본, 프랑스, 대만 등에서는 상당한 연구성과를 거두어 각 나라마다 독자적으로 개발한 제염기술을 사용하고 있다.⁶⁾ 그러나 이에 대한 지금까지의 기술정보는 세계적 경쟁 속에서 각국마다 기술의 공개를 극비로 제한하고 있어 상세한 정보를 입수하기란 거의 불가능한 형편이다. 따라서 우리나라의 원자력발전소에서도 이에 대한 자체공정 및 설비개발이 절실히 필요한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 실제 RCP 재료로 사용되는 STS 304, STS 415 및 STS 431 등을 실험재료로 선정하여 새로운 화학제염 공정을 개발하였다. 이를 위해 실제 현장의 화학제염 공정절차를 실험실에서 재현하여 각 공정단계별 부식특성을 조사하고, 분극시험을 통한 내식성, 무게감량 특성 등을 비교/연구하였다. 또한 주사전자현미경을 이용하여 pitting과 입계부식으로 인한 손상정도를 평가하여 재료별 화학제염 공정의 적용 가능성을 검토하였다.

[†] Corresponding author: ks@mmu.ac.kr

Table 1. Chemical composition of materials

	Cr	C	Mn	Si	P	S	Ni
STS 304	18.29	0.08	1.11	0.52	0.36	0.02	8.03
STS 415	12.540	0.038	0.670	0.810	0.019	0.009	3.870
STS 431	15.17	0.2	1.00	1.00	0.040	0.030	1.25-2.50

2. 시험편 및 실험방법

본 연구에 사용된 재료는 RCP에 사용되는 재료 중 STS 304(A), STS 415(B) 그리고 STS 431(C)에 대한 화학적 조성을 Table 1에 나타냈다. 본 연구에서 제한한 화학제염 공정의 상세는 Table 2에 나타냈다. 그리고 각 공정마다 적용되는 전체 공정과정은 처음 산화공정용 공정수를 조성하여 공정을 수행하며, 다음 분해공정을 통해 공정수를 분해시킨다. 분해된 공정수에 환원공정용 화학약품을 투입하여 환원공정을 수행한다. 환원공정이 완료되면 피제염체는 증류수로 세척하고, 공정수는 정화설비를 사용하여 정화시킨다. 여기서 산화, 분해, 환원공정이 완료되면 1 사이클이라 한다. 그리고 다시 그 공정수에 산화공정용 약품을 투입하여 산화공정을 수행함으로써 다음 사이클이 시작된다. 본 연구에서는 1 사이클은 7 시간, 2~3 사이클은 6 시간 그리고 4~5 사이클은 각 3 시간으로 5 사이클까지 소요되는 시간은 총 25 시간이다.

화학제염 공정을 거친 시험편에 대하여 전기화학적 특성을 평가하기 위해 Gamry 사의 CMS-100 장비를 이용하여 분극시험을 실시하였다. 분극 시험용 시험편의 노출면적은 1 cm²로 하여 에머리페이퍼 600번까지 연마하고, 시험 직전 초음파 세척기를 이용해 아세톤과 증류수로 세척하여 사

용하였다. Tafel 분석 실험은 침지 후 300 초 동안 안정시킨 후 전위주사속도 2 mV/sec로 하여 개로전위를 기준으로 -0.25 V에서 +0.25 V까지 인가하였으며 측정된 분극거동을 Tafel 외삽법을 이용하여 부식전위와 부식전류밀도를 측정하였다. 전기화학적 셀의 구성은 RCP 공정 1cycle의 산화 공정수(0.315 g/l HNO₃ + 0.610 g/l KMnO₄)를 전해액으로 하였으며 기준전극은 은/염화은 전극(Ag/AgCl)을 대극은 백금선을 사용하였다. 무게감량 측정용 시험편은 화학제염 공정 초기의 용액조건에서 시작부터 해당 사이클 종료시까지 실시하였고, 노출면적 대략 100 cm² 크기로 절단 가공하였으며, 용액 중 침지를 위해 상부 중앙에 약 2 mm의 구멍을 뚫어 리드선을 연결하였다. 적용면적은 실제 RCP의 총 표면적과 화학제염에 소요되는 공정수의 총량을 단위면적/공정용액의 비로 계산하여 실험하였다. 또한 시험용액에 침지하기 전, 초음파 세척기를 이용해 표면에 오염된 불순물을 제거한 후, 전자저울로 시험편의 무게를 10⁻⁴ g까지 측정하였으며 시험 후에도 같은 방법으로 측정하여 무게감량을 산출하였다. 주사전자현미경 관찰용 시험편은 분극시험용 시험편과 유사하나 연마시 에머리페이퍼 2000번까지 실시하여 동일한 세척과정을 거친 후, 표면 관찰을 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1은 화학제염 조건에서 STS 304 시편에 대한 각 사이클별 분극 경향을 나타내고 있다. 0 사이클(1 사이클 시작 전)의 경우는 Tafel 외삽법을 이용하여 E_{cor}과 I_{cor}을 측정할 결과, 1.17 V (vs. Ag/AgCl) 정도의 부식전위와 8×10⁻⁷ A/cm² 정도의 낮은 부식전류밀도를 나타냈으며, 양분극 곡선에서는 전위변화에 따라 부동태 현상과 같은 완만한 전류밀도의 상승이 관찰되었으며, 음분극선에서도 전위가 비방향으로 이행함에 따라 완만하게 상승하는 용존산소 환원반응(O₂ + 2H₂O + 4e → 4OH⁻)에 의한 농도분극

Table 2. Process on chemical decomposition of materials for RCP

Process	Chemical Name	Concentration(g/ℓ)			Applied Time				
		1 Cycle	2 Cycle	3-5 Cycle	1 Cycle	2 Cycle	3 Cycle	4 Cycle	5 Cycle
Oxidation Process	HNO ₃	0.315	0.315	0.315	3	2	2	1	1
	KMnO ₄	0.610	0.610	0.610					
Dissolution Process	HNO ₃	0.718	0.718	0.718	2	2	2	1	1
	Oxalic Acid	1.202	1.202	1.202					
Reduction Process	Oxalic Acid	0.713	0.576	0.403	2	2	2	1	1
	Citric Acid	1.287	1.564	1.654					
	LiOH	0.302	0.302	0.302					
Applied Temperature	88 °C								

의 현상이 관찰되었다. 이는 전기화학적으로 안정하다는 것을 의미한다. 1 사이클 종료 후에는 부식전위가 1.135 V 정도로 저하되어 나타났으며, 부식전류밀도는 많이 증가하였음을 알 수 있다. 또한 1 사이클과 2 사이클로 이행 할수록 부식전위는 낮아졌으며, 부식전류밀도는 점점 상승하였음을 알 수 있다. 또한 음분극 경향과 양분극 경향도 0 사이클에 비하여 다소 불안정한 양상을 나타냈다. 특히 2 사이클 종료 후에는 양분극 곡선에서 1.3 V 전후에서 부동태 피막의 파괴에 따른 pitting이 발생하여 급격히 전류밀도가 상승하였음을 알 수 있었다. 그리고 3~5 사이클 종료 후에는

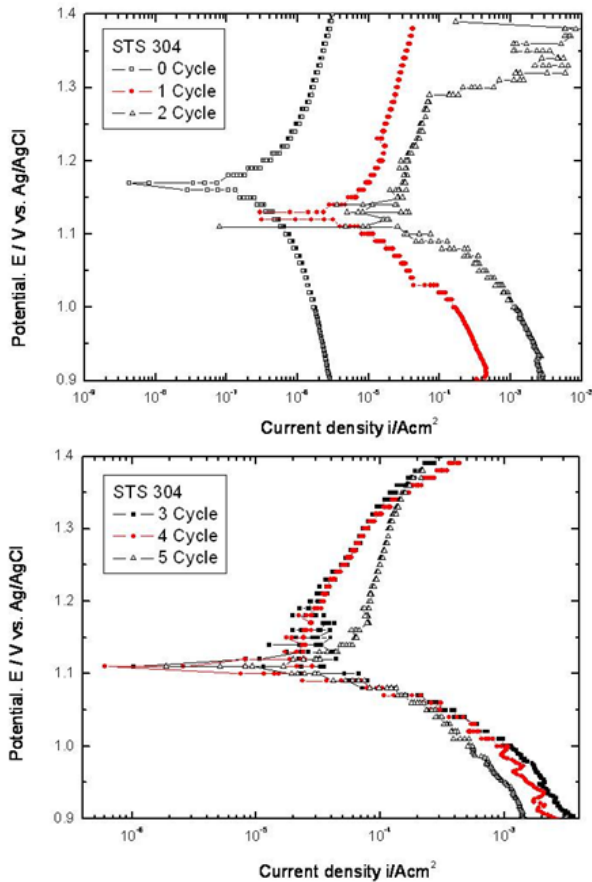


Fig. 1. Variation of polarization curves with increasing of number of cycles for STS 304.

거의 유사한 분극 거동이 관찰되었으며, 전체적으로 음분극의 경우가 양분극의 경우에 비해 높은 전류밀도를 나타냈다.

한편 STS 304 시편에 대한 각 사이클 변화에 따른 무게 감량 시편의 사진을 Fig. 2에 나타내고 있다. 무게 감량 시편에 대한 사진 관찰 결과 전 사이클에 걸쳐서 아주 깨끗한 표면을 나타냈으므로 육안 관찰로는 거의 구분이 가지 않을 정도의 변화를 보여 주었다. 따라서 미소한 무게 감량 차이로 그 경향을 파악하고자 한다.

Table 3은 각 사이클 변화에 따른 무게 감량 시편의 감소량과 감소율을 보여 주고 있다. 무게감량 측정 결과 1 사이클 종료 후 $3.87 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^2$ 로 아주 낮은 무게 감량을 보인 후 2 사이클 종료 후에는 1 사이클에 비해 6.3배 정도의 많은 무게 감량을 보인 후 사이클 증가에 따라 대체적으로 완만한 무게감량의 상승을 보여 주었다. 그 결과 5 사이클 종료 후에 $7.56 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^2$ 정도의 무게 감량을 나타냈다. 본 연구 결과는 STS 304의 경우 내식성이 풍부하여 전기화학적으로 안정된 금속이기 때문으로 사료된다.

Fig. 3은 STS 304 시편에 대한 각 사이클 종료 후 표면형상을 보여 주고 있다. 먼저 1 사이클 종료 후 위에서부터 300배, 1000배 그리고 2000배 확대한 사진을 보여 주고

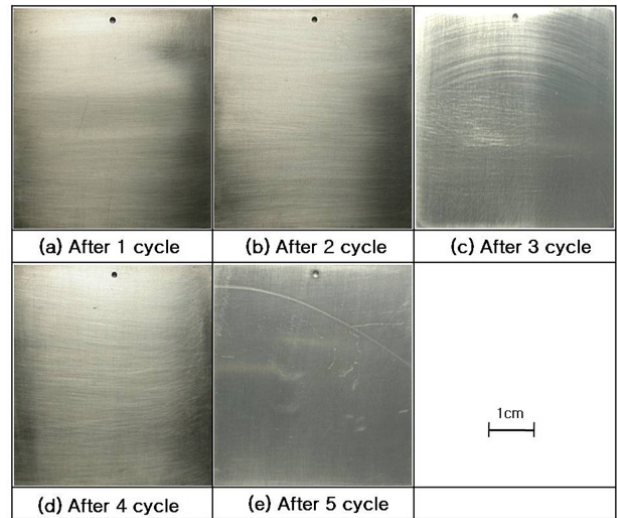


Fig. 2. Photos of weightloss specimens for STS 304.

Table 3. Weightloss ratio for STS 304 specimen

	After 1 cycle	After 2 cycle	After 3 cycle	After 4 cycle	After 5 cycle
Before	75.1581	75.0221	73.7424	75.2254	74.9778
After	75.1577	75.0196	73.7395	75.2206	74.9702
Difference	0.0004	0.0025	0.0029	0.0048	0.0076
Exposed area	103.3161	102.026	101.882	102.601	100.464
Weightloss ratio	0.00000387	0.0000245	0.0000280	0.0000467	0.0000756

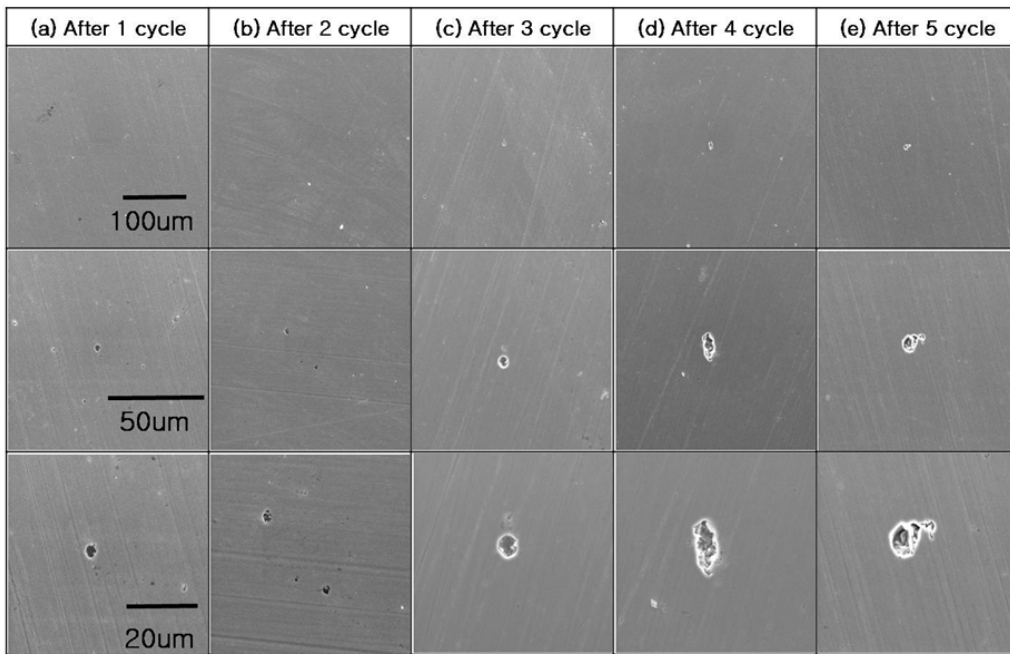


Fig. 3. Surface morphology with cycle variation of STS 304.

있다. STS 304 시편의 1 사이클 종료 후 300배의 배율로는 pitting(pitting)이나 부식 등은 거의 관찰되지 않았으며, 고 배율에서 그 경향을 어느 정도 파악 할 수 있었다. 아주 미소한 소수의 pitting과 연마 시 생성된 미세한 스크래치를 관찰 할 수 있었다. 2 사이클의 경우는 아주 작은 pitting이 1 사이클에 비하여 많이 분포하였으며, 3 사이클의 경우는 2 사이클과 큰 차이가 관찰되지 않았다. 한편, 4 사이클의 경우는 3사이클에 비하여 pitting의 크기가 다소 커졌음을 알 수 있었으며, 5 사이클과는 큰 차이를 보이지 않았다. 전체 화학제염 공정에서 STS 304 시편의 경우 5 사이클까지 실시 해도 소수의 pitting만 관찰되었으며, 사이클 증가에 따라서도 큰 차이를 나타내지 않았다. 본 실험에 사용된 전 시험편 중 가장 양호한 특성을 보여 주었다. 이와 같이 pitting corrosion에 대한 저항성이 우수한 것은 화학조성에 기인한 것으로 판단되며 함유된 Cr의 양은 18.29%로 STS 415 및 STS 431과 비교하여 가장 많으며, 탄소량은 0.08%로 가장 적은 함량을 가지므로 우수한 내식 특성을 보인 것으로 판단된다. 일반적으로 Cr과 Ni의 양은 많을수록, 탄소량은 적을수록 내식성이 우수하다. 또한 Cr이나 Ni 첨가에 의해 pitting에 대한 저항성이 향상되며, Ni의 경우 전위는 Fe에 비해 귀한 전위를 나타내는 것으로 알려져 있다.⁷⁾ 또한 pitting 저항성을 향상시키는 이외의 합금 원소는 Mo,⁷⁾⁻¹¹⁾ N,¹²⁾ V,¹²⁾⁻¹³⁾ Si,^{8),14)} W¹⁵⁾⁻¹⁶⁾ 등이 있다.

Fig. 4는 화학제염 조건에서 STS 415 시편에 관한 분극 곡선을 보여 주고 있다. 각 사이클 변화에 따른 분극곡선의 전체적인 경향은 용액 조건하에서 전기화학적으로 안정성

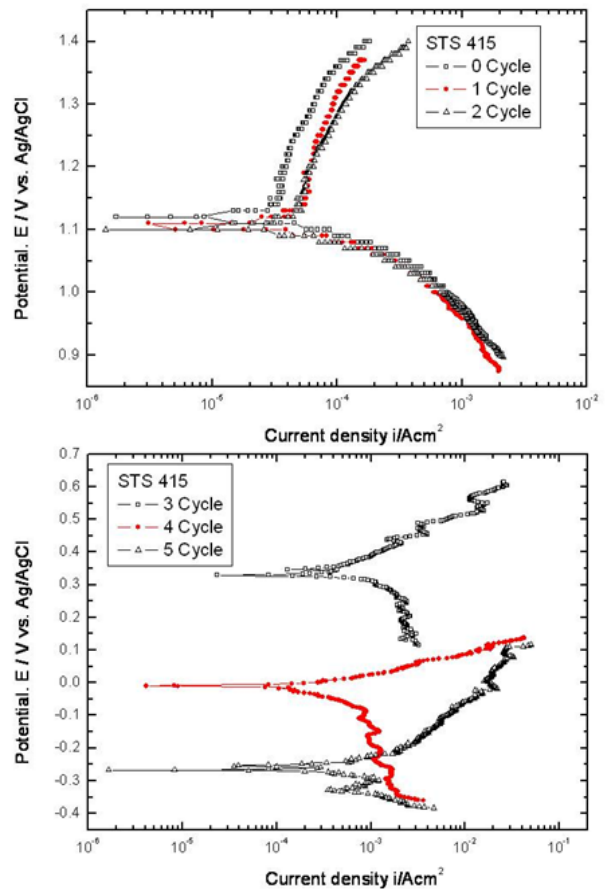


Fig. 4. Variation of polarization curves with increasing of number of cycles for STS 415.

을 나타내는 양분극 곡선에서의 부동태 현상과 완만한 전류 밀도의 상승이 관찰되었으며, 음분극 곡선에서는 용존산소 환원반응($O_2 + 2H_2O + 4e \rightarrow 4OH^-$)에 의한 농도분극과 같은 현상은 0~2 사이클에서는 관찰되지 않았다. 따라서 0~2 사이클 범위에서는 음분극 곡선에서의 전류밀도는 양분극 곡선에서의 전류밀도에 비하여 크게 나타났다. 또한 0~2 사이클 범위에서는 부식전위나 부식전류밀도는 큰 차이를 보이지 않은 반면, 3~5 사이클 범위에서의 부식전위는 현저한 변화가 관찰되었다. 즉, 사이클이 증가할수록 부식전위가 비방향으로 현저히 저하하였다. 또한 0~2 사이클의 경우 양분극 곡선의 전류밀도는 음분극 곡선의 전류밀도에 비하여 적은 반면, 3~5 사이클에서는 대체적으로 음분극 곡선의 경우가 낮은 전류밀도를 나타냈다. 전체적으로 STS 304의 경우에 비해 높은 부식전류밀도를 나타냈으므로 전기화학적으로 불안정하여 부식이 많이 발생할 것으로 예측된다.

Fig. 5는 STS 415 시편의 경우 각 사이클 변화에 따른 무게감량 시편 사진을 보여 주고 있다. 표면 부식상태에 대한 육안관찰에서는 STS 304와 확연히 대별되게 나타났다. 1 사이클에서부터 시편 표면에 부식이 발생하였으며, 2 사이클에서 부식이 많이 진전되어, 사이클이 진행됨에 따라 전체적으로 부식 진행 경향이 심하게 발생했음을 확인할 수 있었다. 이를 보다 상세히 비교하기 위하여 미세한 무게 변화 정도를 측정하였다.

Table 4는 STS 415 무게감량 시편의 각 사이클 변화에 따른 무게 감소율을 보여 주고 있다. 1 사이클 종료 후에는 $4.32 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^2$ 정도의 무게감량으로 STS 304에 비하여 111.6배 정도의 무게 감량을 나타냈다. 이후 2~3 사이클 종료 후에는 전 단계의 사이클에 비하여 2배 정도 증가한

무게감량을 나타냈으며, 5 사이클 종료 후 $2.08 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^2$ 정도의 무게 감량을 나타냈는데 이는 동일 모델의 STS 304에 비하여 27.5배 정도에 해당되는 무게 감량이라 할 수 있다.

Fig. 6은 STS 415 시편에 대한 각 1 사이클 종료 후 표면 형상을 보여 주고 있다. 사진 중 위는 1000배 확대한 사진이며, 아래는 2000배 확대한 사진과 스케일을 보여 주고 있다. 따라서 STS 304에 비하여 거의 유사한 경향을 나타낸 것처럼 보이거나 pitting의 분포가 다소 많으며, 연마 시 생성된 스크래치에서 미세한 용해반응이 나타난 것을 확인 할 수 있다. 2 사이클 종료 후에는 1 사이클 종료 후에 비하여 pitting의 수효가 증가했을 뿐만 아니라 2~3 사이클 종료 후에는 스크래치 주위에서의 용해반응이 더욱 진전되었음을 확

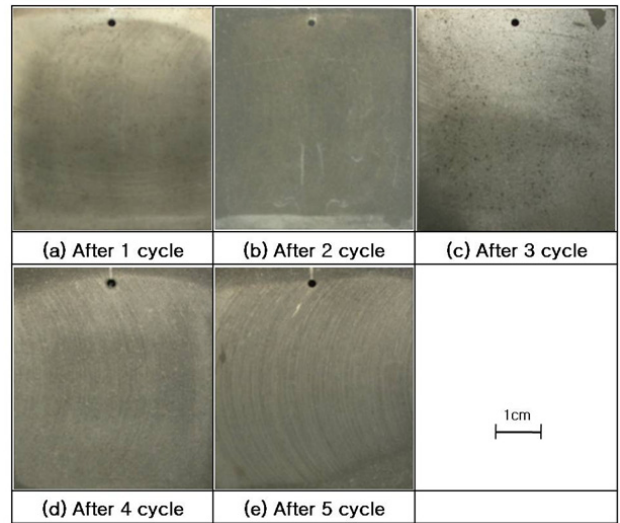


Fig. 5. Photos of weight loss specimens for STS 415.

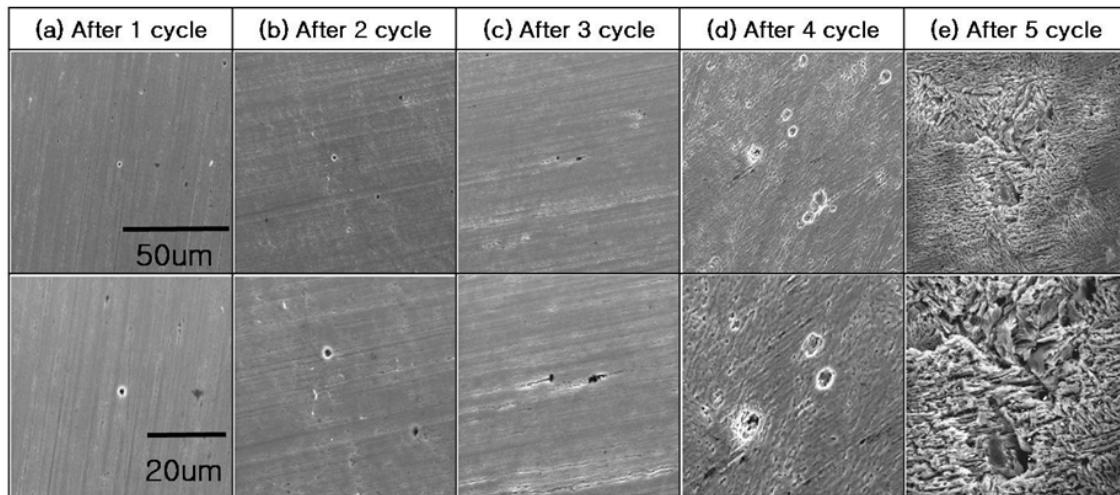


Fig. 6. Surface morphology with cycle variation of STS 415.

Table 4. Weight loss ratio for STS 415 specimen

	After 1 cycle	After 2 cycle	After 3 cycle	After 4 cycle	After 5 cycle
Before	165.2097	166.6745	167.3177	166.3193	166.9953
After	165.1744	166.6096	167.1905	166.1772	166.8383
Difference	0.0326	0.0649	0.1272	0.1421	0.1570
Exposed area	75.40535	75.2472	75.495	75.01045	75.3046
Weight loss ratio	0.000432	0.000862	0.00168	0.00189	0.00208

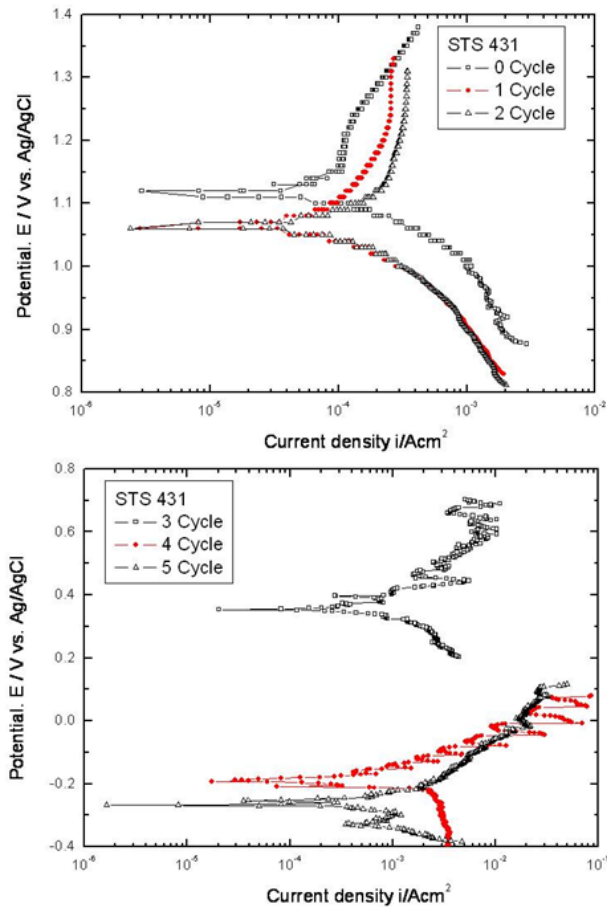


Fig. 7. Variation of polarization curves with increasing of number of cycles for STS 415.

인 할 수 있었다. 또한 pitting도 스크레치에서 발생한 용해 반응과 결합하여 보다 큰 pitting이 생성되었음을 확인할 수 있었다. 그 후 4 사이클에서 그 경향이 보다 진전되어 시편 전체적으로 나타났으며, pitting의 성장도 관찰되었다. 그리고 5 사이클 후에는 용해반응과 pitting이 진전되면서 아주 거친 시편의 형상이 관찰되었다. 따라서 STS 415의 시험편에 대해서는 본 화학제염을 적용 할 경우 시편의 손상이 많이 될 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 합유원소의 함량은 Cr과 Mo의 함량이 각각 12.54 wt%, 0.67 wt%로 가장

적고 Ni 또한 STS 304에 비해 3.87 wt%로 절반에 미치지 못하므로 부동태 피막이 상대적으로 견고하지 못하다. 반면, C의 함량은 0.038 wt%로 STS 304와 비교하여 50% 정도 적은 양을 가지는 것으로 측정되었다. 결과적으로 STS 415의 경우 Ni과 Mo의 함량이 각각 50%에 미치지 못하기에 강한 산성용액 내에서 파괴된 부동태 피막의 재생성 반응이 상대적으로 원활하지 못하였기 때문에 사료된다.¹⁷⁾ STS 415의 경우는 STS 304에 비하여 입계부식의 경향이 보다 현저하다는 사실을 알 수 있다. 입계부식은 열처리 시 예민화 온도 구간에서 Cr이 탄소와 결합하여 입계에서 Cr₂₃C₆라는 Cr 탄화물이 석출되면서 Cr 결핍층을 형성하여 입내에 비하여 양극으로 작용하여 부식이 발생하기도 한다. 마르텐 사이트거나 석출경화형 스테인리스강의 pitting에 대한 저항성을 향상시키는 원소는 Cr과 Mo 등이 있다.¹⁸⁾

Fig. 7은 화학제염 조건에서의 STS 431 시편에 대한 분극곡선이다. 0 사이클에서 부식 전위는 대략 1.12 V 정도를 나타냈으며, 양분극 곡선 1.15~1.25 V의 범위에서 부동태 경향을 나타내어 음분극 곡선에 비하여 낮은 전류밀도를 나타냈다. 1~2 사이클에서는 1.06 V 정도로 거의 유사한 부식전위를 나타냈으나, 부식전류밀도는 2 사이클의 경우가 1 사이클에 비하여 증가하였다. 이 후 3 사이클에서는 급격히 부식전위는 비방향으로 저하하였으며, 부식전류밀도는 증가하였으며, 양분극 곡선에서 전위 증가에 따라 전류밀도의 헌팅 현상이 관찰되었다. 다시 4 사이클과 5 사이클로 이행하면서 부식전위가 급격히 저하하는 양상을 보여 주었으며, 4 사이클에서는 양분극 곡선에서, 5 사이클에서는 음분극 곡선에서 전류밀도의 헌팅 현상이 관찰되었다. 3사이클부터 발생한 전류밀도의 헌팅 현상은 전기화학적인 불안정을 의미하기 때문에 부식으로 인한 손상이나 용해반응 등을 유추할 수 있다. STS 431 시편의 각 사이클 변화에 따른 무게 감량 시편의 경우 육안관찰만으로는 거의 유사하여 부식 경향의 차이를 관찰할 수 없었으며, 미소한 차이는 구분하기 어려웠으므로 각 사이클 변화에 따른 무게 감량을 통해 비교하기로 한다.

Table 5는 STS 431 무게감량 시편에 대한 각 사이클 변화에 따른 무게 감소량과 감소율을 보여주고 있다. 1 사이클 종료 후 $3.54 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^2$ 로 초기부터 다소 높은 감소율

Table 5. Weight loss ratio for STS 431 specimen

	After 1 cycle	After 2 cycle	After 3 cycle	After 4 cycle	After 5 cycle
Before	175.0287	174.5939	173.0659	175.3717	173.2724
After	174.9922	174.5530	173.0214	175.3220	174.2163
Difference	0.0365	0.0409	0.0445	0.0497	0.0561
Exposed area	103.2008	102.7785	102.9318	103.4698	103.3353
Weight loss ratio	0.000354	0.000398	0.000432	0.000480	0.000543

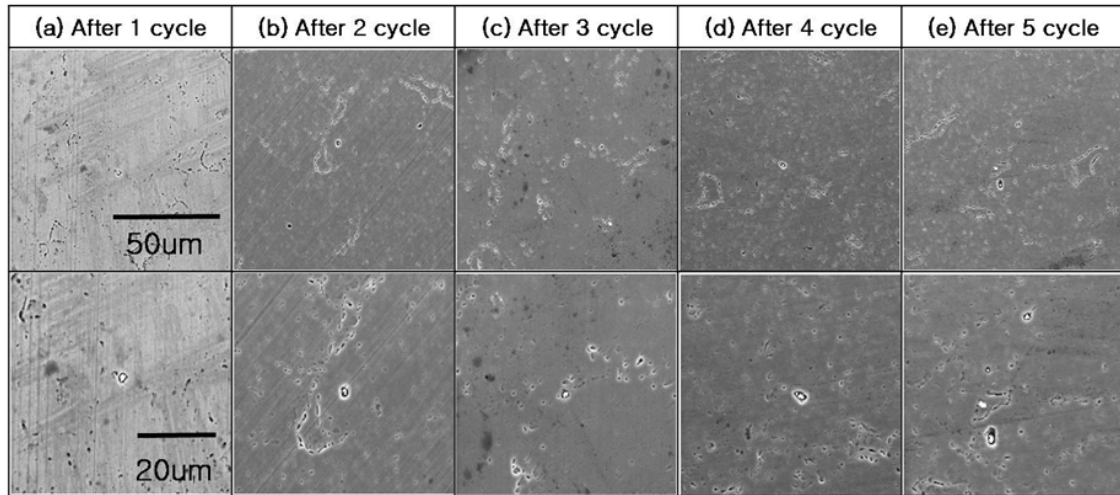


Fig. 8. Surface morphology with cycle variation of STS 431.

을 보인 후 2 사이클부터는 완만하게 무게 감소량이 증가하였으며, 5 사이클 종료 후에는 $5.43 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^2$ 의 무게 감량을 나타냈는데 이는 STS 304의 7.2배 정도이며, STS 415의 1/4배 정도에 해당되는 무게 감량이다.

Fig. 8은 STS 431 시편에 대한 각 1~3 사이클 종료 후 표면 형상을 보여 주고 있다. 1~3 사이클에서는 입계를 따라서 pitting 현상이 관찰되었다. 이는 스테인리스강에서 나타나는 전형적인 부식의 한 형태라 할 수 있다. 이는 전기 화학적으로 입계의 경우가 입내에 비하여 열악하기 때문에 발생하는 현상이라 할 수 있다. 이런 현상은 열처리시 Cr을 많이 함유한 스테인리스강과 같은 금속이 입계에 Cr 결핍층이 형성됨으로 인하여 생성되기도 한다.¹⁹⁾ 여기서 탄소는 카바이드 석출 등에 의한 영향으로 예민화시키는 가장 중요한 성분이며, 휴이시험(Huey Test)을 통해서 알 수 있다.²⁰⁾ 특히 C의 함량이 0.03% 이상이면, 부식속도는 현저히 증가한 것으로 알려져 있다. 그러나 본 연구에 사용된 시편 모두 0.03% 이상이나 본 공정에서는 서로 다른 양상을 나타냈다. 또한 1 사이클에서 3 사이클로 사이클이 증가할수록 pitting의 크기에는 큰 차이를 보이지 않으나 분포와 pitting의 깊이가 증가하는 경향을 나타냈다. 4~5 사이클 종료 후의 경우는 1~3 사이클에서 발생한 입계에서의 pit-

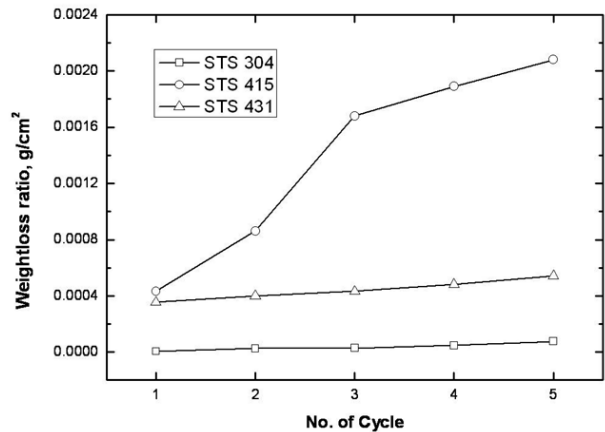


Fig. 9. Comparison of weightloss for various stainless steels.

ting 현상이 발생하여 pitting의 분포와 성장으로 인하여 입계부식의 형태를 나타냈다. 이런 현상은 4~5 사이클에서 더욱 진전되어 pitting의 성장에 기인한 입계부식의 양상을 보다 현저히 관찰할 수 있었다.

Fig. 9는 화학제염 조건에서의 STS 304, STS 415 및 STS 431 시편의 무게감량을 비교한 그래프이다. STS 304 시편의 경우는 사이클 경과에 따라 큰 차이를 나타내지 않는

소량의 증가를 나타낸 반면, STS 431 시편의 경우는 1 사이클에서 다소 많은 무게감량을 나타낸 후, 사이클 경과에 따라 조금씩 점진적으로 증가해 가는 양상을 나타냈다. 이에 반해 STS 415의 경우는 1 사이클 종료 후에는 STS 431과 큰 차이를 나타내지 않았으나 2 사이클에서 1.5배의 무게감량을 보인 후 3 사이클 종료 후에는 급격히 증가했음을 알 수 있다. 5 사이클 경과 후 STS 304에 비하여 STS 431은 7.18배를 나타냈으며, STS 415의 경우는 27.51배를 나타냈다. 전체적으로 STS 415가 가장 무게감량이 많았으며, 다음은 STS 431, STS 304 순으로 나타났다.

4. 결 론

분극 실험, 무게감량 시험 그리고 주사전자 현미경 관찰 결과 공정 및 사이클이 반복됨에 따라 STS 304는 가장 안정된 경향을 나타낸 반면, STS 415와 STS 431은 전기화학적으로 불안정한 특성을 나타내어 STS 304에 비해 높은 부식 특성으로 인한 많은 무게 감량을 나타냈다. 사이클 증가에 따른 세 시험편에 대한 부식 경향 관찰에서 STS 304는 대체적으로 완만한 상승을 보인 반면, STS 415는 pitting이 산발적으로 발생한 후, 그 pitting이 점진적으로 커지거나, pitting과 pitting의 합체 현상이 나타나면서 5 사이클 종료 후에는 아주 거친 표면을 나타냈다. 한편 STS 431의 경우는 초기에 입계 주위에서 산발적으로 pitting이 생성된 후 생성된 pitting의 밀도가 증가하고, 성장해 가면서 입계 부식의 경향을 나타내기도 하며, pitting의 성장도 동시에 관찰되었다. 본 공정에서 STS 304가 가장 내식성이 우수하였으며, STS 415가 가장 열악한 특성을 나타냈다. 그 이유는 STS 304 시편의 경우가 STS 415나 STS 431에 비하여 내식특성을 향상시키는 Cr이나 Ni의 양이 많으며, 또한 내식성을 저하시키는 탄소량이 적기 때문으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Korea power generation public affairs, The head office of atomic energy, The replacement of TVCS for reactor collent pump (1995).
2. Jee Yong Park and Yong Soo Park, *Corros. Sci. Tech.*, **5**, 1 (2006).
3. Jee Yong Park and Yong Soo Park, *Corros. Sci. Tech.*, **6**, 56 (2007).
4. Chan-Jin Park, Hyuk-Sang Kwon, and Hee-San Kim, *Corros. Sci. Tech.*, **2**, 18 (2003).
5. Kwangik Kim, Hyunyoung Chang, and Youngsik Kim, *Corros. Sci. Tech.*, **2**, 75 (2003).
6. Hanjeon KPS, The center of maintenance technology for atomic energy, Development of apparatus and processing on reactor collent pump for nuclear reactor (1997).
7. J. Horvath and H. H. Uhlig, *J. Electrochem. Soc.*, **115**, 791 (1968).
8. N. D. Tomashov, *Corrosion*, **20**, 166 (1964).
9. J. E. Truman, *Corrosion, Metal/Environment Reactions*, L. L. Shreir, ed., vol. I, 3:31 Newness-Butterworths, Boston (1976).
10. J. J. Eckenrod and C. W. Kovach, in properties of austenitic stainless steels and their weld metals, ASTM STP 679, p. 17, ASTM Philadelphia (1979).
11. R. J. Brigham, *Mater. Perform.*, **13**, 29 (1974).
12. J. E. Truman, M. J. Coleman, and K. R. Pirt, *Br. corrosion J.*, **12**, 236 (1977).
13. Stress corrosion cracking resistance stainless steel SCR-3, Report CE-06-703, Sumitomo metal industries Ltd., Amagasaki, Japan (1975).
14. B. E. Wilde, *Corrosion*, **42**, 147 (1986).
15. N. Bui, *Corrosion*, **39**, 491 (1983).
16. H. Okamoto, Sumitomo search, Sumitomo metal industries Ltd., Amagasaki, Japan, **54**, 21 (1993).
17. A. John Sedriks, *Corrosion of stainless steels*, p. 246, Wiley Interscience (1996).
18. M. Okabe and T. Iikubo, proceedings of international conference on stainless steels, ISIJ, Tokyo 602 (1991).
19. T. Thorvaldsson and A. Salwen, *Scripta Metall.*, **18**, 739 (1984).
20. J. J. Heger and J. L. Hamilton, *Corrosion*, **11**, 22 (1955).