

가장 가혹한 조건에서 화학 제염한 경우 냉각재 펌프용 스테인리스강의 안정성 평가

김성종* · 장석기* · 김기준**

* 목포해양대학교 기관시스템공학부, ** 한국해양대학교 기관시스템공학부

Evaluation of Safety Characteristic in Chemical Decontamination at Extremely Severe Condition of Stainless Steels for Coolant Pump

Seong-Jong Kim* · Seok-Ki Jang* · Ki-Joon Kim**

* Division of Marine System Engineering, Mokpo Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

** Division of Marine System Engineering, Korea Maritime university, Pusan, 606-791, Korea

요 약 : 본 논문은 가장 극한 조건(공정모델-2)에서 화학 제염한 경우 원자로 냉각재 펌프용 스테인리스강의 내식성 평가에 관하여 연구하였다. 사이클 경과에 따른 304 스테인리스강의 전기화학적 특성은 다른 스테인리스 강보다 우수한 특성을 나타냈다. 또한 공정모델-1과 공정모델-2의 304 스테인리스강은 가장 낮은 무게 감량을 나타냈다. 공정모델-2 용액에서 304 스테인리스강, 415 스테인리스강, 431 스테인리스강에 대한 실험 결과 공정모델-1에 대한 공정모델-2의 무게감량비는 각각 2.908, 2.572, 그리고 2.370배를 나타냈다. 그 이유는 공정모델-2의 경우가 공정모델-1에 비하여 화학약품 농도나 온도가 높은 가혹한 조건에 기인한 것으로 사료된다.

핵심용어 : 화학제염, 원자로 냉각재 펌프, 스테인리스강, 무게 감량, 공정모델

Abstract : This paper investigated on anti-corrosion characteristic in chemical decontamination at extremely severe condition(process model-2) of stainless steels used with reactor coolant pump. The electrochemical properties of stainless steel(STS) 304 with the lapse of cycle is better than those of STS 415 and STS 431. The STS 304 in process model-1 and process model-2 present the lowest weightloss ratio. The experiment results for STS 304, STS 415, and STS 431 in process model-2 solution, it was ascertained that weightloss ratio of process model-2 solution for process model-1 solution show 2.908, 2.572, and 2.370 times, respectively. The reason suggests that process model-2 is higher concentration of chemical and temperature compare to process model-1.

KEY WORDS : Chemical Decontamination, Reactor Coolant Pump, Stainless Steel, Weightloss Ratio, Process Model

1. 서론

원자로 냉각재펌프(Reactor Coolant Pump, 이하 RCP)는 원자력 발전소 내부의 증기발생기 후단에 설치되어 계통수에 순환력을 부여하는 기능을 가지고 있는 주요 기기중 하나이다. 이 RCP의 정비는 주로 핵연료 교체시기와 병행하여 실시하는데, 그 이유는 원자로의 운전이 한번 시작되면 다음 핵연료 교체시 까지 정비나 접근이 불가능하기 때문이다. RCP는 운전 중 장시간 핵연료에 노출되기 때문에 그 표면이 방사화되거나 방사성

스케일이 부착하게 된다. 방사성 스케일이 부착된 상태에서 수리나 정비를 위해 개방하였을 경우 작업자가 방사성에 피폭되어 치명적인 피해를 입을 수 있으므로 정비작업을 하기 위해서는 작업시작 전 내장품 표면을 화학약품으로 세정시켜 방사선량을 낮추는 화학제염이 필요하다. 이 RCP 내장품 재료로는 오스테나이트계 스테인레스강(STS 304 Stainless Steel)이 주로 채용되고 있는데, 화학제염 공정 적용 시 화학약품으로 인해 입계부식(Inter-granular corrosion)이나 공식(pitting) 등의 부식손상이 지적되어 왔으며, 이로 인해 화학제염 실시에 따른 내장품의 건전성 확보와 화학제염의 효과 사이에 최적화를 이루기 위한 노력이 진행되어 왔다. 이러한 RCP의 화학제염에 관한

* 정희원, ksaj@mmu.ac.kr, 061)240-7309

연구는 1990년대에 들어서면서부터 국제적으로 관심의 대상이 되어온 분야였으며, 그 동안 미국, 일본, 프랑스, 대만 등에서는 상당한 연구 성과를 거두어 각 나라마다 독자적으로 개발한 제염 기술을 사용하고 있다. 그러나 이에 대한 지금까지의 기술정보는 세계적 경쟁 속에서 각국마다 기술의 공개를 극비리 제한하고 있어 상세한 정보를 입수하기란 거의 불가능한 실정이다. 따라서, 우리 나라의 원자력발전소에서 이에 대한 독자적 제염공정 및 설비개발이 절실히 절감하여 RCP 정비기술의 자체 보유와 막대한 정비 비용의 해외 유출을 줄이기 위해 추진하게 되었으며 순수한 국내기술로 부분적으로 정비작업에 적용하고 있다. 지금까지 입수된 국제적 제염공정 정보와 그 동안의 국내 자체개발 기술을 바탕으로 제염기술의 적용범위를 넓히기 위한 추가 제염공정을 개발하여 왔다(EPRI, 1989a ; EPRI, 1989b). 전 연구에서는 화학제염 공정모델-1의 조건에서 RCP의 주 재료로 사용한 오스테나이트 스테인레스강(STS 304)으로부터 일명 한국형 RCP에 사용된 마르텐사이트계 스테인레스강(STS 415, STS 431), 공구강, 인코넬 600 및 탄소강에 이르기 까지 확대하려 하였으나 스테인리스강 이외에는 모두 사용이 불가능하다는 결론에 도달했다. 따라서 본 연구는 RCP 재료로 주로 사용되고 있는 오스테나이트계 스테인레스강(STS 304)과 마르텐사이트계 스테인리스강(STS 415, STS 431) 등을 사용하여 실제 현장을 고려하여 화학제염 시 최악의 조건(공정모델-2로 정의함)을 실험실에서 재현하여 각 공정단계별 부식특성을 조사하고 시험편의 내식성, 무게감량, 분극시험등을 비교/연구하며, 주사전자 현미경을 이용하여 공식과 입계부식으로 인한 손상정도를 평가한다.

2. 시험편 및 실험방법

본 연구에 사용된 재료는 RCP에 사용되는 스테인리스강의 화학조성을 Table 1에 표기하였다. 분극시험은 노출면적 1 cm²로 하여 에머리페이퍼 600번까지 연마하고, 시험 직 전 초음파 세척기를 이용하여 아세톤과 증류수로 세척하여 사용하였다. 시험 조건은 전위주사속도 2mV/sec로 하여 개로전위를 기준으로 하여 -0.25V에서 +0.25V까지 실시하였으며,

기준전극은 은/염화은 전극(Ag/AgCl)을 대극은 백금선을 사용하였다. 무게감량 측정용 시험편은 노출면적 100cm² 크기로 절단 가공하였으며, 용액 중 침지를 위해 상부중앙에 약 2mm의 구멍을 뚫어 리드선을 연결하였다. 적용면적은 실제 RCP의 총 표면적과 화학제염에 소요되는 공정수의 총량을 단위면적/공정용액의 비로 계산하여 동일 스테인리스 강별로 실험을 실시하였다. 또한 시험용액에 침지하기 전, 초음파 세척기를 이용해 표면에 오염된 불순물을 제거한 후, 전자저울로 시험편의 무게를 10⁻⁴g까지 측정하였으며 시험 후에도 같은 방법으로 측정하여 무게감량을 산출하였다. 주사전자현미경 관찰용 시험편은 분극시험용 시험편과 유사하나 연마시 에머리페이퍼 2000번까지 실시하여 동일한 세척과정을 거친 후, 해당시험을 실시하였으며, 사이클 종료시 마다 채취하여 촬영하였다.

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	12.54	0.038	0.67	0.81	0.019	0.009	3.870
STS 431	16	0.2	1.00	1.00	0.040	0.030	1.88

Table 2는 공정모델-2의 실험에 있어서 각 시험 방법 별 수행표를 나타내고 있다. 본 표에서 각 괄호안의 값은 전 연구에서 실시한 공정모델-1인 경우임을 의미한다. 본 공정모델-2는 실제 제염공정에서 예상되는 가장 가혹한 조건을 실험실에서 재현하여 실험을 실시하였으며, 전체 공정과정은 산화공정, 분해공정 그리고 환원공정을 수행한다. 환원공정이 완료되면 피제염체는 순수로 세척하고, 다시 그 공정수에 산화공정용 약품을 투입하여 산화공정을 수행하는 방법이다. 여기서 산화, 분해, 환원공정이 완료되면 1사이클이라 한다.

Table 2. Process model-2(model-1) on decomposition of materials for RCP

	Chemical	Concentration(g/L)			Maintenance time(Hr)		
		1 Cycle	2 Cycle	3~6 Cycle	1 Cycle	2 Cycle	3~6 Cycle
Oxidation process	HNO ₃	0.420(0.315)	0.420(0.315)	0.420(0.315)	4	3	2
	KMnO ₄	0.813(0.610)	0.813(0.610)	0.813(0.610)			
Decomposition process	HNO ₃	0.957(0.718)	0.957(0.718)	0.957(0.718)	3	2	1
	Oxalic acid	1.603(1.202)	1.603(1.202)	1.603(1.202)			
Reduction process	Oxalic acid	0.951(0.713)	0.768(0.576)	0.537(0.403)	3	2	1
	Citric acid	1.716(1.287)	2.085(1.564)	2.205(1.654)			
	LiOH	0.403(0.302)	0.403(0.302)	0.403(0.302)			
Temperature	95°C(90°C)						

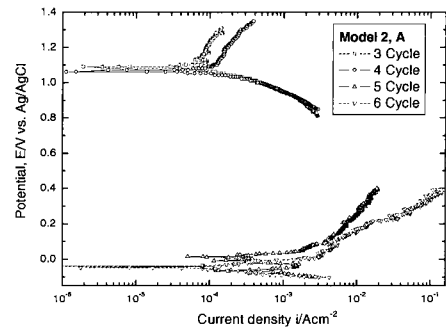
본 연구에서는 1사이클은 10시간, 2사이클은 7시간 그리고 3-6사이클은 4시간으로 6사이클까지 소요되는 시간은 총 33시간이며, 이 때 적용된 시편은 STS 304 (A)이며, STS 415 (B), 그리고 STS 431 (C)는 5사이클까지 실시하였다. 본 모델에서는 산화, 분해 환원공정으로 갈수록 HNO₃와 Oxalic Acid의 농도는 증가하였으며, Citric Acid는 3사이클까지 증가하였으며, 환원공정에서 LiOH은 동일 농도를 유지하였고, 95°C에서 실시하였다.

3. 실험결과및고찰

Fig. 1은 공정모델-2에서 STS 304 시편에 대한 각 사이클 변화에 따른 분극곡선을 나타내고 있다. 부식전류밀도는 대체적으로 크게 나타났으나, 음분극 곡선에 비해 양분극 곡선의 경우가 낮은 전류밀도를 나타냈다. 부식전위는 4사이클까지는 완만한 저하를 나타냈으나, 5사이클부터는 급격한 저하를 관찰할 수 있었다. 또한 부식전류밀도는 4사이클까지 완만한 상승을 보인 후 5사이클부터 급격히 증가하였으므로 4 사이클까지는 대체적으로 안정된 전기화학적 특성을 나타낸 반면 5 사이클부터는 전기화학적으로 불안정하게 되어 부식전류밀도가 증가하였으므로 부식속도가 증가될 것으로 판단된다. 무게 감량 시편 관찰 결과, 아주 미소한 차이만 있었으므로 육안 관찰로는 미세한 차이는 구분하기 어려웠다.

Table 3은 STS 304 시편의 각 사이클 변화에 따른 무게 감소를 나타내고 있다. 1 사이클 종료 후 0.000034g/cm²의 감소를 나타냈으며, 4 사이클까지 다소 완만한 감소량의 증대가 관찰되었는데 5사이클에서는 크게 증대된 것을 확인할 수 있었는데 이는 분극곡선과 어느 정도 상관관계가 있는 것으로 판단된다.

Fig. 2는 STS 304 시편의 각 사이클 종료 후 표면형상을 보여 주고 있다. 1-3 사이클까지는 거의 유사한 공식 형상을 보여 주었으며, 4 사이클에서 공식과 연마시 생성된 스크레치에서도 약간의 부식현상이 관찰되었으며, 5-6 사이클에서 공식



(b) 3-6 cycle

Fig. 1. Polarization trend for STS 304 in process model-2 solution.

Table 3. Result of weightloss experiment with cycle variation for STS304(A)

	Weightloss ratio (g/cm ²)
1 Cycle	0.000034
2 Cycle	0.000075
3 Cycle	0.000097
4 Cycle	0.000115
5 Cycle	0.000189
6 Cycle	0.000193

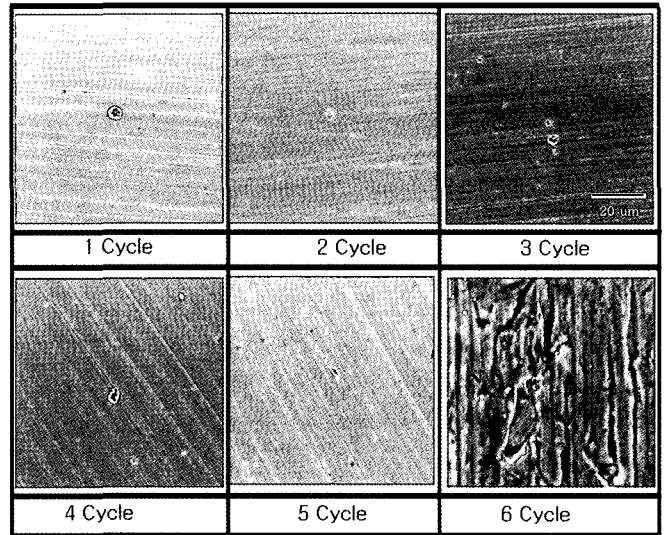
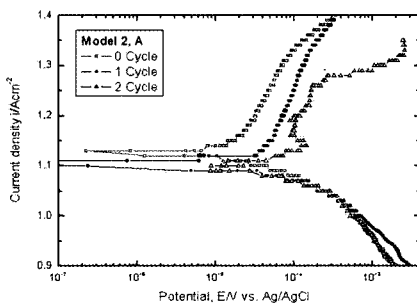


Fig. 2. Surface morphology with cycle variation of STS 304(A) in model-2 process solution.

발생은 물론 스크레치에서 부식으로 인한 미소한 용해반응이 진전되었으며, 6 사이클에서 그 경향이 뚜렷하였다.

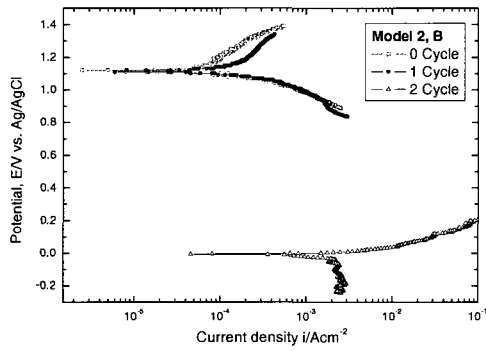
Fig. 3은 공정모델-2에서 STS 415 시편에 관한 분극곡선을 보여 주고 있다. 부식전위는 0과 1 사이클에서 큰 차이를 나타내지 않았으나, 2 사이클부터 급격히 저하하였으며, 그 이후 완만한 저하가 관찰되었다. 한편 부식전류밀도는 2사이클에서 급격히 증가한 후, 사이클 변화에 따라 헤팅현상이 관찰되었는데



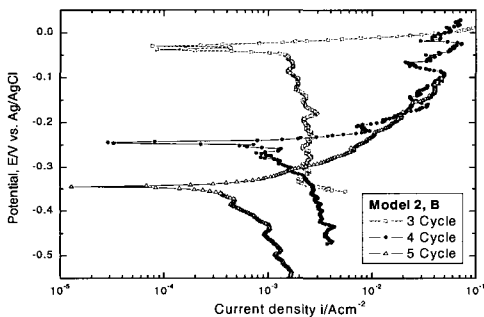
(a) 0-2 cycle

그 이유는 산화성이 강한 용액 하에서 STS 415 시편 표면의 전기화학적 불안정에 기인한 것으로 사료된다. 문헌에 따르면 스테인리스강의 경우 낮은 pH에서는 용력부식균열이나 공식의 저항성이 저하하는 것으로 알려져 있다(Truman, 1977; Maier et al., 1985). 그리고 2사이클부터는 음분극곡선에서의 용존 산소 환원반응에 의한 농도분극의 경향이 관찰되었으나 전체적으로 부식전류밀도가 높기 때문에 부식이 진전된 것으로 판단된다. 무게 감량 시편 관찰 결과, 1사이클에서부터 약간의 용해 반응이 관찰되었으며, 2사이클에서는 그 경향이 증대된 후, 3사이클에서 전 부위에 걸쳐서 용해반응에 의한 무게 감소가 육안으로도 관찰되었으며, 4 - 5 사이클에서는 그 경향이 뚜렷하게 나타났다.

Table 4는 STS 415 무게감량 시편에 대한 각 사이클 변화에 따른 무게 감소율을 보여 주고 있다. 1 사이클 종료 후 감소율



(a) 0-2 cycle



(b) 3-5 cycle

Fig. 3. Polarization trend for STS 415 in process model-2 solution.

Table 4. Result of weightloss experiment with cycle variation for STS 415(B)

	Weightloss ratio (g/cm ²)
1 Cycle	0.00152
2 Cycle	0.00197
3 Cycle	0.00369
4 Cycle	0.00441
5 Cycle	0.00571

은 0.00152g/cm²로 STS 304에 비해 50배 정도 많은 소모량을 나타냈다. 사이클이 반복됨에 따라서 큰 폭으로 감소율이 증

대되었으며, 다른 스테인리스강에 비해 훨씬 큰 감소율을 나타냈다. Fig. 4는 공정모델-2 용액에서 각 사이클 종료 후 STS 415 시편에 대한 표면형상을 보여 주고 있다. 1 사이클부터 전체적인 용해에 의한 부식과 부분적인 공식 현상을 관찰할 수 있었으며, 2 사이클부터는 다량의 공식 발생과 공식의 성장이 관찰되었으며, 5 사이클에서는 공식의 진전과 공식과 공식의 합체 현상으로 인하여 아주 거친 표면을 관찰할 수 있었다. 초기 사이클에서는 공식이 발생하여 사이클이 증가함에 따라 공식의 진전이나 성장이 거듭되며, 또한 공식과 공식이 합체되는 현상이 관찰되었다.

Fig. 5는 공정모델-2에서 STS 431 시편에 대한 분극곡선을 보여 주고 있다. 0 사이에서 2사이클까지는 거의 유사한 부식

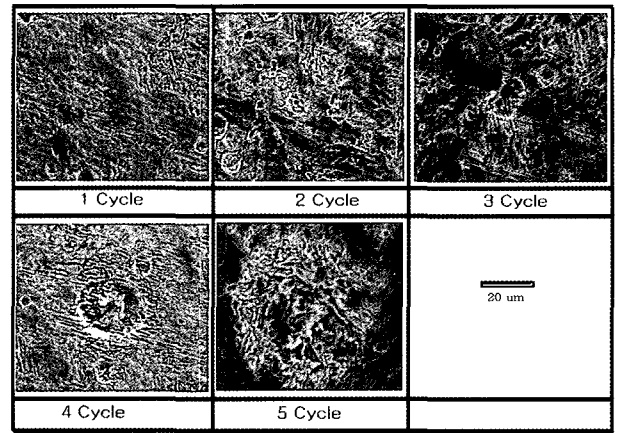
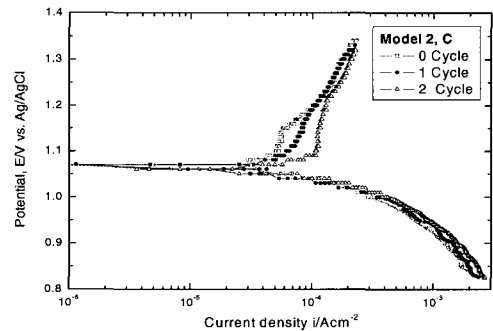
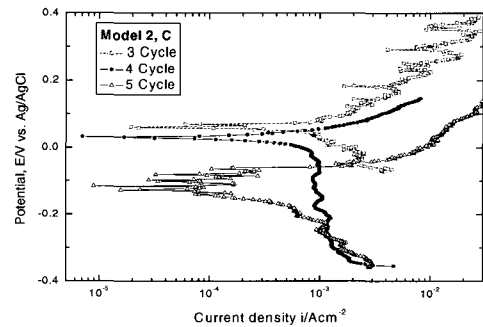


Fig. 4. Surface morphology with cycle variation of STS 415(B) in model-2 process solution.



(a) 0-2 cycle



(b) 3-5 cycle

Fig. 5. Polarization trend for STS 431 in process model-2 solution.

전위와 부식전류밀도를 나타냈으며, 3사이클부터 부식전위가 크게 감소하였으며, 또한 부식전류밀도는 3사이클에서 크게 증가한 후 사이클 경과에 따라 서서히 증대되었다. 여기서 부식전위와 부식전류밀도의 큰 변화는 전기화학적인 큰 변화를 의미한다. 또한 무게감량 시편 관찰결과, 1 사이클부터 전 사이클에 걸쳐서 부식이 발생하였음을 알 수 있으나, 각 사이클 변화에 따른 미세한 차이는 구분이 어려움을 확인 할 수 있었다.

Table 5는 공정모델-2에서 STS 431 무게 감량 시편에 대한 각 사이클 변화에 따른 무게 감소율을 보여 주고 있다. 1 사이클 종료 후에는 0.000144g/cm²를 나타낸 후 2사이클에서 급격히 증가하여 0.001235g/cm²를 나타냈으며, 3사이클부터는 서서히 증가하였으며, 5 사이클 종료 후 0.001441g/cm²의 무게 감소율로 다소 높은 값이나, STS 415 시편의 경우는 STS 431에 비해 5배 정도 많은 감소율을 나타냈다. 분극 곡선 관찰에서 부식전위와 부식전류밀도는 3 사이클에서부터 큰 차이를 나타낸 반면 무게감량은 2 사이클에서 큰 차이를 보였으므로 다소 차이가 나타남을 확인할 수 있었다.

Table 5. Result of weightloss experiment with cycle variation for STS 431(C)

	Weightloss ratio (g/cm ²)
1 Cycle	0.000144
2 Cycle	0.001235
3 Cycle	0.001347
4 Cycle	0.001354
5 Cycle	0.001441

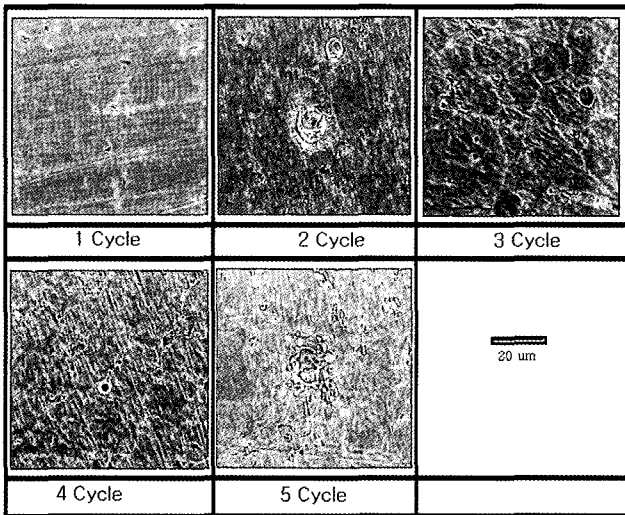


Fig. 6. Surface morphology with cycle variation of STS 431(C) in model-2 process solution.

Fig. 6은 공정모델-2에서 각 사이클 종료 후 STS 431 시편에 대한 표면 형상을 보여 주고 있다. 1사이클에서는 작은 공식이 다수 발생하였으며, 2사이클에서는 공식이 성장할 뿐만 아니라 미세한 공식의 밀도가 증가되었으며, 3사이클부터는 입계부식

현상과 공식 성장도 동시에 관찰할 수 있었다. 또한 4, 5사이클로 진전하면서 입계부식의 현상이 보다 뚜렷해졌으며, 공식의 크기도 증가했음을 알 수 있다. 초기 사이클에서도 입계에서 산발적으로 공식이 생성된 후, 공식의 수효가 증가되어 입계부식의 형태로 나타나며, 동시에 공식의 크기도 증가하는 경향을 나타냈다.

Fig. 7은 여러 스테인리스강에 대한 공정모델-1과 공정모델-2의 용액하에서 실시한 분극실험을 통해서 구한 부식전위를 상호 비교하였다. 공정모델-1에서는 2사이클까지는 STS 431

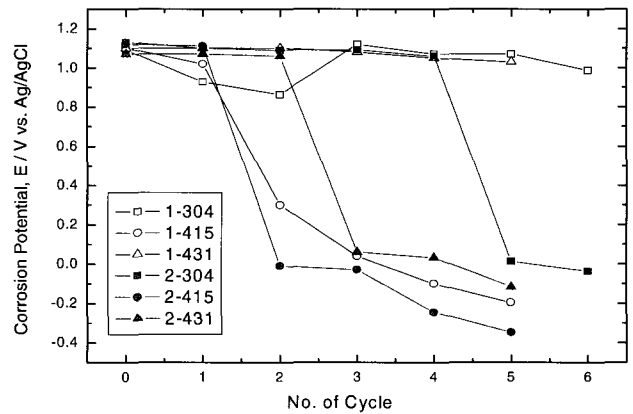


Fig. 7. Comparison of corrosion potential of model-1 and model-2 for stainless steel.

이 가장 안정적인 부식전위를 보였으나, STS 304의 부식전위 회복으로 인하여 3사이클부터는 가장 귀한 전위를 보여 주었다. 3 사이클 이후 STS 304와 STS 431은 안정된 부식 전위변화를 나타낸 반면, STS 415 시편은 2사이클부터 급격한 전위 저하를 보여 주었다. 한편 공정모델-2에서 STS 304 시편은 초기부터 가장 안정된 부식전위를 나타낸 후 5사이클부터 급격히 저하하였으며, STS 431은 3사이클부터, STS 415는 2사이클부터 급격한 부식전위의 저하를 보여 주었다. 전체적으로 공정모델-1에 비해 공정모델-2의 부식전위가 낮은 값을 보여 주었다. 이는 공정모델-2가 공정모델-1에 비해 훨씬 가혹한 조건이기 때문에 전기화학적으로 불안정하여 전위가 비 방향으로 이행한 것으로 사료된다. 부식전위의 고찰에서 공정모델-1에서는 STS 304와 STS 431은 대체적으로 안정된 전위를 나타냈으며 부식거동이 다소 안정되었다고 할 수 있고, STS 415는 2 사이클부터 급격히 비방향으로 이행하였으므로 2사이클부터 시편 표면의 용해반응 또는 부식(공식 또는 입계부식)의 경향이 뚜렷하며, 공정모델-2의 경우는 모든 시편에서 사이클 변화에 따라 급격한 전위변화가 관찰되었으므로 가혹한 조건에 기인한 부식 현상이 유기된 것으로 사료된다.

Fig. 8은 공정모델-1과 공정모델-2에서 여러 스테인리스강에 대하여 분극실험을 실시하여 분극곡선으로부터 구한 부식전류밀도를 상호 비교한 것이다. 공정모델-1의 경우 전체적으로 보아 STS 304가 가장 낮은 부식전류밀도를 나타냈으며, 다음은

STS 431로 나타났다. 이 두 시험편의 경우 다소 안정된 완만한 부식전류밀도의 상승을 보였으나, STS 415는 사이클 반복수에 따라 일정한 경향을 보이지 않았는데, 이는 STS 415 시험편이 제염공정 용액에서 낮은 pH로 인하여 생성되었던 부동태 피막이 쉽게 파괴되었기 때문으로 사료되며, 이는 부식전위 관찰에서도 급격히 전위가 비 방향으로 이행하는 거동을 보여 주었다. 부식 전류밀도는 부식속도와 밀접한 관련이

있는데 STS 304의 경우 크롬(Fontana and Greene, 1967; Cihal, 1974; Cihal, 1984)과 니켈(Scarberry et al., 1967; You and Streicher, 1991)의 양이 가장 많으며, 탄소량이 적은 오오스테나이트계 스테인레스강이므로 안정된 부식전류밀도를 나타내어 낮은 부식속도를 나타낼 것

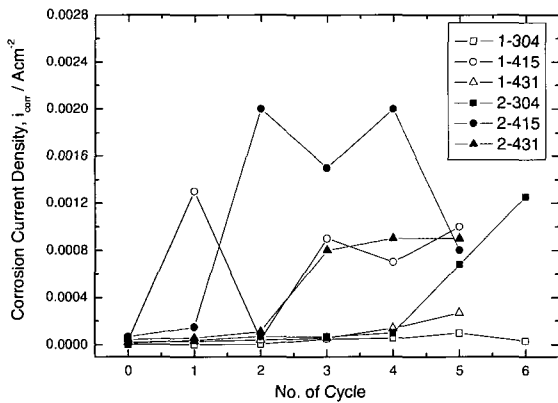


Fig. 8. Comparison of corrosion current density of model-1 and model-2 for stainless steel.

으로 판단된다. 공정모델-2는 공정모델-1과 거의 유사한 경향을 보였으나 부식전류밀도가 갑자기 상승한 사이클은 STS 304는 5사이클, STS 431은 3사이클로 나타났으며, 반면에 STS 415는 2사이클부터 나타났으나 부식전류밀도의 현탕 현상을 관찰할 수 있었다. 전체적으로 공정모델-1에 비해 공정모델-2의 부식전류밀도가 높은 값을 보여 주었는데, 이는 공정모델-2가 공정모델-1에 비해 높은 농도와 온도 등에 기인한 것으로 사료된다. 부식전위와 마찬가지로 부식전류밀도도 크게 변화하는 것은 입계부식이나 공식과 같은 전기화학적 특성 해석에 아주 중요하므로 화학제염 공정 사이클 결정에 아주 중요한 팩터로 활용 가능할 것으로 판단된다.

지금까지 분극곡선을 통해서 스테인리스강에 대한 공정모델-1과 공정모델-2를 비교 평가하였는데 본 항에서는 상기 시험편에 대한 무게 감량 시험의 각 사이클 변화별 무게 감소율을 Fig. 9에서 상호 비교하였다. 공정모델-1에서는 스테인레스강 중 STS 304가 가장 낮은 값을 보여 주었으며, 다음은 STS 431, STS 415로 나타났는데 이는 부식전위와 부식전류밀도 관찰에서와 유사한 경향을 보여 주었으므로 정성적인 서열은 예측 가능했다. 공정모델-2에서는 STS 304 스테인리스강은 사이클 변화에 따라 큰 차이를 보이지 않았으며, STS 431은 2사이클에서 큰 폭으로 증가한 후 완만한 상승을 보였다. 한편, STS

415는 초기부터 높은 감소량을 보였으나 특히 3사이클부터는 급격한 무게감량의 증가를 보여 주었다. 전체적으로 공정모델-2가 공정모델-1에 비하여 많은 무게감량을 보여 주었다. 세 시험편에서 STS 304는 오오스테나이트계 스테인리스강으로서 크롬과 니켈의 양이 가장 많으며, 탄소량이 적기 때문에 내식성이 가장 우수하다. 이에 반해 STS 415와 STS 431은 마르텐사이트계 스테인리스강으로 크롬과 니켈의 양은 적은 반면 강도를 향상시켰기 때문에 금속 내 잔류응력이 많이 존재하여 전기 화학적으로 열악하므로 STS 304에 비해 내식성이 열악하게 나타났다. 특히 STS 415는 그 경향이 뚜렷하였다(Gooch, 1986). 따라서 모재의 손상을 줄이기 위해서는 STS415와 STS 431의 경우 제염시간과 온도를 감소시켜야 할 것으로 사료된다.

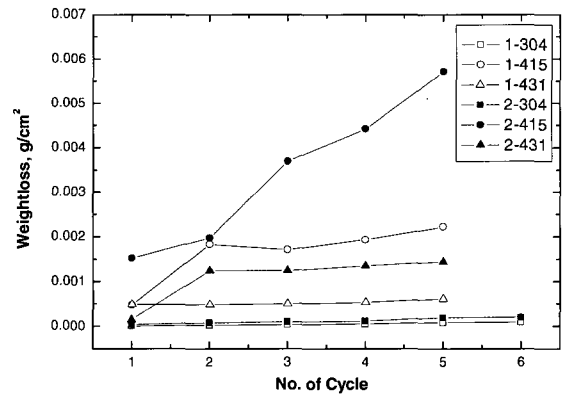


Fig. 9. Comparison of weight loss ratio of model-1 and model-2 for various STS.

Table 6. Comparison of weightloss ratio of various STS for process model-1 and model-2 solution

	STS 304 (6 cycle)	STS 415 (5 cycle)	STS 431 (5 cycle)
Process model-1	0.000092	0.00222	0.000608
Process model-2	0.000193	0.00571	0.001441
Weightloss ratio (model-2/model-1)	2.098	2.572	2.370

Table 6은 공정모델-1과 공정모델-2에서 화학제염을 실시하였을 경우 각 스테인리스강 종류 별 무게 감소율을 나타내고 있다. 여기서 STS 304는 6사이클 종료 후를, STS 415와 STS 431은 5사이클 종료 후를 상호 비교한 것이다. 지금까지 언급한 바와 같이 공정모델에 무관하게 STS 304가 가장 낮은 무게 감량을 나타냈으며, STS 415의 경우가 가장 많은 무게 감량을 나타냈다. 또한 가장 가혹한 조건을 재현한 공정모델-2의 경우는 공정모델-1에 비하여 STS 304, STS 415와 STS 431은 각각 2.098배, 2.572배 그리고 2.370배의 무게 감소율 비를 나타냈다. 따라서 추후 여러 스테인리스강 종류에 따라 내식성

을 유지하면서 화학제염이 달성되는 공정 모델 개발이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

1) 전체적으로 사이클이 반복됨에 따라 분극실험, 무게 감량 실험 그리고 SEM 사진 관찰 결과, STS 304는 가장 안정된 경향을 나타낸 반면, STS 415와 STS 431은 낮은 pH로 인하여 쉽게 부동태 피막이 파괴되어 전기화학적으로 불안정한 특성을 나타내어 STS 304에 비해 부식 증가로 인하여 무게 감량이 증가하였다.

2) 사이클 증가에 따른 세 시험편에 대한 부식 경향은 STS 304는 대체적으로 완만한 상승을 보인 반면, STS 415는 공식이 산발적으로 발생한 후, 그 공식이 점진적으로 커지거나, 공식과 공식의 합체 현상을 나타내면서 부식이 진전되었다. 한편 STS 431의 경우는 초기에 입계주위에서 산발적으로 공식이 생성된 후 생성된 공식의 밀도가 증가하고, 성장해 가면서 입계부식의 경향을 나타내기도 하며, 공식의 성장도 동시에 이루어지기 때문에 공식과 입계부식이 관찰되었다.

3) 공정모델-1과 공정모델-2에서 스테인리스강 중 가장 우수한 특성을 보인 시험편은 STS 304였으며, 다음은 STS 431 그리고 STS 415로 나타났다. 또한 농도나 수행온도 등에서 가혹한 조건인 공정모델-2의 경우가 공정모델-1에 비하여 시험편의 손상이 크게 나타났다.

4) 공정모델-2의 경우는 공정모델-1에 비하여 STS 304, STS 415와 STS 431은 각각 2.098배, 2.572배 그리고 2.370배의 무게 감소율 비를 나타냈다.

참고문헌

- [1] Cihal V.(1974), in localized corrosion, NACE, Houston, TX, p. 502.
- [2] Cihal V.(1984), Intergranular corrosion of steels and alloys, Elsevier, New York, p. 218.
- [3] EPRI(1989a), Source book for Chemical Decontamination of Nuclear Power Plants, Special Report, Project 2296-15.
- [4] EPRI(1989b), A Review of Plant Decontamination Methods, Project 2296-15, Final Report.
- [5] Fontana M. G. and N. D. Greene(1967), Corrosion engineering, McGraw-Hill, New York, p. 66.
- [6] Gooch T. G.(1986), Process industries corrosion, B. J. Moniz and W. J. Pollock, eds., NACE, Houston, p. 739.
- [7] Maier I. A., C. Manfredi, and J. R. Galvele(1985), Corrosion science, Vol. 25, No. 1, p. 15.
- [8] Scarberry R. C., D. L. Graver, and C. D. Stephens (1967), Materials Protection, Vol. 6, p. 54.
- [9] Truman J. E.(1977), Corrosion science, Vol. 17, p. 737.
- [10] Yau Y. H. and M. A. Streicher(1991), Corrosion, Vol. 47, No. 5, p. 352.

원고접수일 : 2006 년 10월 13일

원고채택일 : 2006 년 12월 10일