

Pb를 함유한 순수 속에서 Ni-base 합금의 부식거동

황 성 식* · 김 우 철* · 박 용 수**

*한국원자력연구소, **연세대학교, 금속공학과

Corrosion Behaviors of Ni-base Alloy in Pure Water Containing Pb

Seong Sik Hwang*, Uh Chul Kim*, Yong Soo Park**

**Corrosion Evaluation Technology, Korea Atomic Energy Research Institute,
Yusong, P.O.Box 105, 305-600, Taejon*

***Dept. of metallurgical engineering, Yonsei University, 120-749, Seoul*

Recently, lead is regarded as a potential impurity to degrade steam generator tubing of PWR. Since the corrosion behaviors are greatly governed by characteristics of the surface film formed on the solution/metal interface, it is important to evaluate the effect of lead on the film for understanding the stress corrosion cracking mechanism of Alloy 600.

Corrosion behaviors of Ni-base alloy in water containing Pb were evaluated by immersion tests and anodic polarization tests. The compositions of the oxide film were measured by AES. The anodic polarization tests were conducted in water having various pHs and Pb concentrations, and at various temperatures.

As the concentration of PbO increased, the oxide film thickness of Ni base alloys increased. In mild caustic solution, Pb decreased the Cr ratio greatly and increased the Ni ratio in oxide a little. Pb increased the Ni peak and decreased the transpassive dissolution peak of Cr in anodic polarization curves. The corrosion potential was observed to be increased slightly by addition of PbO.

1. 서 론

PWR(Pressurized Water Reactor) 원자력 발전소의 증기발생기 전열관 재료로 많이 쓰이고 있는 Alloy 600에서 여러 가지 요인으로 인한 응력부식균열이 전세계적으로 발생하고 있다. 특히 증기발생기 2차측에서 발견되고 있는 Pb 성분에 의한 응력부식 균열이 최근에 관심의 대상이 되고 있다.^{1,2,3)}

Alloy 600이 증기발생기 2차측 냉각수에 노출

될 때 표면에 피막이 필연적으로 형성되는데, 재료자체의 성질과 더불어 용액의 pH나 불순물 농도에 따라 서로 다른 특성을 지니는 피막이 형성될 수 있으며, 응력부식의 생성은 이 피막의 특성과 밀접한 관련이 있다. 따라서 이러한 피막의 형성거동을 살펴보는 일은 응력부식 균열을 이해하는 전 단계로서 필수적이라 할 수 있다.

그에 따라 일부 연구자들이 발전소 가동 중에 일어난 응력부식균열 시편이나 실험실적으로 만

든 시편표면의 피막분석을 통해 균열생성 분위기를 연구하고, 나아가 균열억제책을 찾는 데 노력하고 있다. 이러한 연구에서는 pH와 불순물 종류에 따라 다르게 형성되는 산화물/수산화물의 구조 및 조성을 조사하여 응력부식균열 발생 조건을 이해하고자 하는데 관심이 모아지고 있다. T. Sakai 등은 중성 및 산성 용액에서 $PbCl_2$ 의 첨가에 따른 Alloy 600의 부식거동에 대한 연구를 수행하였는데, Pb가 Alloy 600의 기지재료인 Ni과 우선적으로 반응하는 현상을 관찰하였다.⁴⁾ 이는 낮은 pH의 용액에서 Ni oxide의 불안정성과 Pb의 작용이 혼합되어 나타난 결과로 여겨지며, 알칼리성 용액에서의 평가가 요망된다고 할 수 있다. M. Garcia 등이 열기성 분위기에서 연구한 결과에 의하면, Alloy 690 표면에는 Pb에 의해 Ni 성분이 많고 Cr 성분은 고갈된 oxide가 형성되고 Alloy 800은 산성분위기에서 Pb에 의해 Ni이 선택적으로 용출된다.⁵⁾

이러한 현황을 배경으로 하여, 본 연구에서는 Pb분위기에서 Ni-기 합금의 응력부식 균열거동을 평가하는 기초단계로서 Pb가 함유된 물 속에서 산화막의 생성거동을 살펴보고, 양극분극 시험을 통해 Pb가 Alloy 600의 용출거동에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

2. 실험

2.1 시편준비

Table 1은 실험에 사용된 Alloy 600의 화학조성을 나타낸 것이다.

이 재료는 일본 Mitsubishi Heavy Industry에서 제조한 charge No.906007이며, 960°C에서 10분간 mill anneal한 것이다. 외경 22.23 mm, 두께 1.27 mm인 관을 세로로 3등분하여 납작하게 펴서 시편을 만들었는데 이 경우 냉간 가공도는 약 2% 이내로 여겨지며⁶⁾ 본 실험에서는 Pb첨가에 따른 상대적인 거동평가에 주안점을 두어 가공도의 영향은 무시하였다. 이렇게 준비한 판

Table 1. Chemical composition of the Alloy 600 (wt%)

C	Si	Mn	S	Cr	Ni	Cu	Al	Fe
0.01	0.1	0.3	<0.001	15.4	75.1	0.2	0.22	8.0

상시편을 침지시험 및 양극분극 시험 목적에 맞는 크기로 절단하고 #600 연마포로 연마한 뒤 아세톤 및 증류수에서 초음파 세척하였다.

탄화물 및 입계 관찰을 위한 etching조건은 아래와 같으며 제1단계에서 탄화물의 형상을 사진 촬영한 뒤, 알루미나 분말을 이용해 표면을 연마하여 제2단계의 Nital용액으로 etching하여 입계의 모습을 관찰하였고 400배의 사진을 찍었다.

Step 1. Carbide ;

Orthophosphoric acid 80ml

Water 10ml

Time 15~30sec.

Voltage(closed circuit) 2.5~3V

Step 2. Grain Boundary ;

Methanol 95ml

Nitric acid 5ml

Time 15~20sec.

Voltage(closed circuit) 2.5~3V

2.2 침지시험

Fig. 1에서와 같은 장치를 구성하였는데 Cortest사에서 제작한 1 gallon 316 스테인레스강 압력용기와 자체 설계, 제작한 canister를 이용하였다. 금속이온이 시편에서만 용출되어 나오게 하기 위해 각 canister 내부에 테플론(PTFE)용기를 별도로 만들어 넣었다. 시험용액을 넣은 용기 속에, 위에서 준비한 판상(5×5mm)의 Alloy 600 시편을 넣고 금속 gasket을 이용하여 밀봉한 뒤 250°C에서 5일, 10일 동안 유지시켰다. 시험용액은 증류수를 이온교환수지에 통과시켜 얻었는데, 전도도가 약 1M-Ω·cm 내외의 순수이며, 여기에 PbO를 첨가하여 Pb 농도가 0, 25, 250,

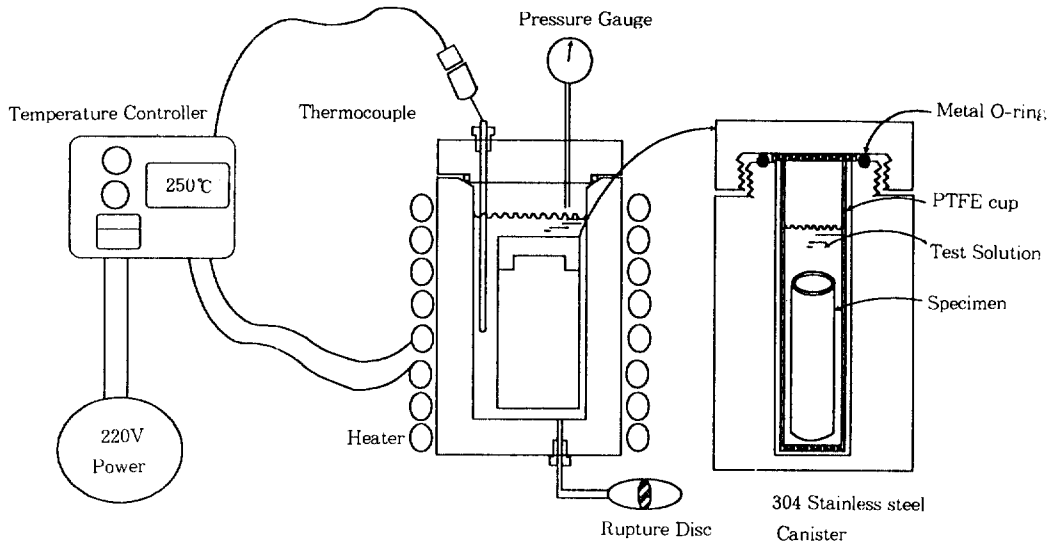


Fig. 1. Schematic of the vessel design for the immersion test

500, 1000ppm이 되게 하였으며, 초기의 상온 pH는 수산화나트륨 용액을 이용하여 10 ± 0.1 로 조절하였다. PbO의 용해도는 온도 및 pH에 따라 크게 변하는데 본 실험조건에서는 250~500ppm정도가 포화농도인 것으로 생각되며 1000ppm은 과포화 조건으로 삼았다.⁷⁾ 한편, 용액중의 산소는 별도로 조절하지 않았으며 공기로 포화된 산소농도이다.

침지시험 후 시편표면을 AES (Auger Electron Spectroscopy, VG Scientific사의 Model Microlab. 310D)를 이용하여 분석하였다. AES 분석 조건은 10Kv의 가속전압에서 Ar이온의 sputtering rate가 SiO_2 기준으로 1.6A/sec이다.

2.3 양극분극 시험

장치는 EG&G 273 potentiostat와 IBM PC를 이용하였으며, M352 corrosion software를 사용하여 자료를 얻었다. 기준전극은 SCE, 보조전극은 고밀도 탄소봉으로 하였고, 실험온도는 상온 및 90°C로 하였다. #600 연마포로 연마하고 증류수에서 최종적으로 초음파 세척한 판상(10mm × 10mm)의 Alloy 600 시편을 같은 재료의 연결

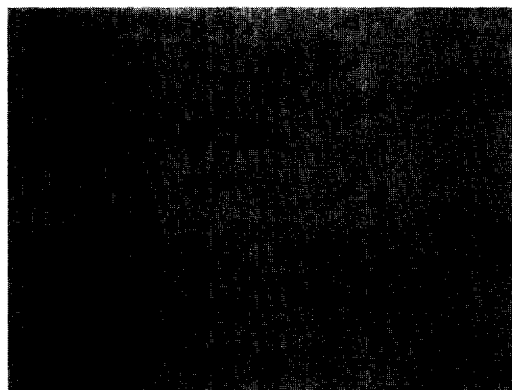
선에 점용접(spot welding)하여 붙인 뒤, 일정면적을 노출시키고 나머지 부분은 공업용 lacquer (MICROSTOP)로 싸 주었으며 특히 90°C의 경우에는 시험 때마다 새로운 lacquer로 덮어 주었다. 연결선은 열 수축 PTFE tube로 싸 주었다. 용액의 pH는 상온시험에서는 4, 10, 13이고, 90°C에서는 4와 10으로 하였으며, H_2SO_4 및 NaOH로 조절하였다. Pb농도는 0, 5, 10, 50, 100, 500ppm등이 되게 하였고, 매 시험 전에 99.9% 질소로 1시간동안 불어주어 탈기시켰으며 시험 중에도 질소가스를 흘려주었다.

분극시험 초기에 부식전위(Ecorr)보다 0.2V 낮은 전위에서 30초 동안 음극 반응시켜 대기 중에서 형성될 수 있는 산화막을 제거하고자 하였으며, 부식전위에서 60초 동안 안정화시킨 뒤 1 mV/sec.의 속도로 양극방향으로 주사하였다.

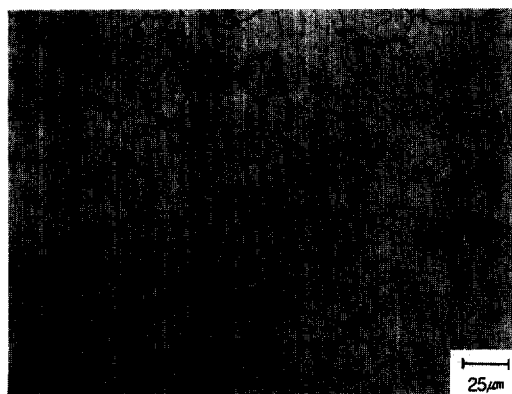
Table 2는 양극분극시험 조건을 나타낸다.

2.4 부식전위 변화 측정

납성분(PbO)이 Alloy 600의 부식전위변화에 미치는 영향을 평가하고자 시간에 따른 부식전



(a)



(b)

Fig. 2. Microstructures of the test specimen-Alloy 600MA. (a) Phosphoric acid etching, (b) 5% Nital etching.

위를 측정하였다. 시험온도는 90℃였으며 Pb농도는 0, 10, 50, 100, 500ppm으로 조절하였고 용액의 pH는 모두 10으로 하였다. 시험 전에 99.9%의 질소 가스로 1시간동안 불어 탈기시키면서 용액온도가 90℃가 되게 한 뒤 시편을 넣고 곧바로 측정하기 시작하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 미세조직관찰

Fig. 2의 (a)는 탄화물의 형상을 위해 ortho-phosphoric acid에서 etching한 것이며 (b)는 결

Table 2. Test Condition of the Anodic Polarization Test

Temperature	pH*	Pb Concentration (as PbO), ppm	Material
Room Temp.	4	0,10,50,100,500	Alloy 600 MA (Carbon:0.01%)
	10	"	
	13	0,5,10,50,100,500	
90℃	4	0,10,50,100,500	
	10	0,10,50,100,500	

* pH : adjusted by H_2SO_4 or NaOH

정입자의 모양을 관찰하기 위해 Nital 용액에서 etching한 조직사진인데 대부분의 탄화물이 입내에 분포하며 입계에도 일부가 존재하고 있다.

3.2 산화막 조성분석

250℃의 시험용액을 상온으로 냉각시킨 뒤 용기를 열고 약 5분 이내에 pH를 측정하여 반응전과 비교하여 참고로 삼았는데, 납농도가 1000 ppm인 경우 pH값이 다소 증가하였으나 대체로 큰 변화는 없었다.

Fig. 3은 Pb농도가 0, 25, 250ppm일 때 형성된 산화막의 두께를 AES분석 자료로부터 얻은 것인데, 피막의 산소분율이 0에 가까이 떨어질 때까지의 sputtering시간을 산화막 두께의 기준으로 삼았다. Pb농도 증가에 따라 그 두께가 현저히 증가함을 관찰하였으며, 이러한 현상은 PbO의 강한 산화력을 보여주는 결과인데, 이는 실험합금의 기지조성인 Ni, Cr, Fe등이 여러 가지 형태의 산화물 또는 수산화물을 만들었을 것으로 생각되며 주된 반응이 무엇인지를 밝히는 연구가 앞으로 진행될 예정이다.

Fig. 4는 Pb가 산화막 조성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 pH가 10이고 Pb농도를 0, 25, 250ppm으로 조절한 용액에서 5일간 침지하여 생성시킨 산화막에 대해 깊이 방향으로 Cr성분의 구성비를 측정된 것이다. Cr 및 Ni 산화물의 안정성을 평가하는 척도로서 흔히 사용되고 있는 원자분율(atomic percent)로 표시되는 $Cr/(Cr+Fe+Ni)$ (이하Cr 비) 및 $Ni/(Cr+Fe+$

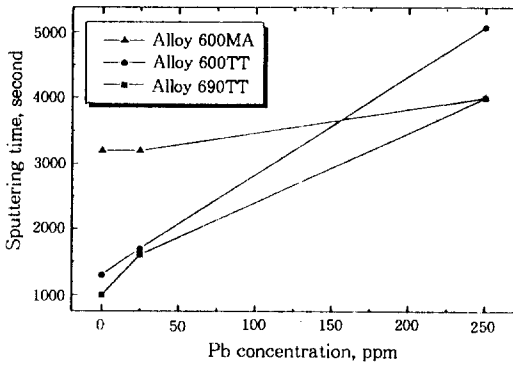


Fig. 3. The effect of PbO on the oxide film thickness of Ni base alloys(250°C, 5 days, pH=10).

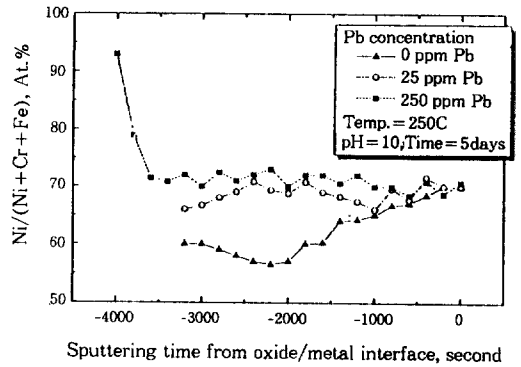


Fig. 5. The effect of PbO on the Ni ratio of oxide composition of Alloy 600(250°C, 5 days, pH=10).

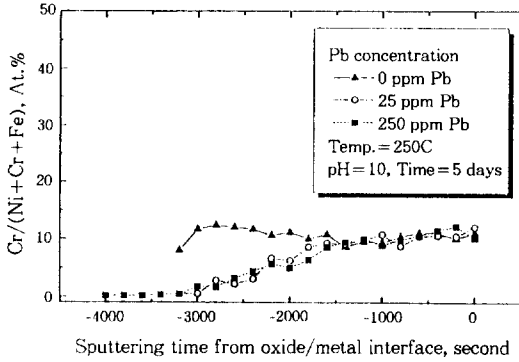


Fig. 4. The effect of PbO on the Cr ratio of oxide composition of Alloy 600(250°C, 5 days, pH=10).

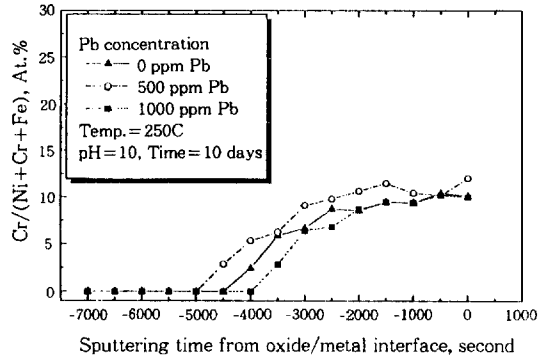


Fig. 6. The effect of PbO on the Cr ratio of oxide composition of Alloy 600(250°C, 10 days, pH=10).

Ni) (이하 Ni 비) 값을 채택하였다. Pb 첨가량 증가에 따라 표면피막의 Cr비가 감소하는 경향을 보였다. 이는 PbO가 아래식과 같이 기지조성인 Ni과 우선적으로 반응한 결과인 것으로 생각된다.⁷⁾

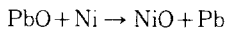


Fig. 5는 Ni비를 나타낸 것인데 Pb증가에 따라 용액과 접촉했던 산화막 표면에서 Ni성분이 농축되는 경향을 관찰할 수 있다.

Fig. 6은 Pb농도를 0, 500, 1000ppm으로 변화시키고 pH를 10으로 조절한 용액에서 침지시

간을 10일로 늘여 시험한 경우의 Cr비를 나타낸 것이다. 산화막 표면에서 Cr비에 미치는 Pb농도의 효과는 분명하지 않으나 세 가지 시편 모두에서 표면 피막의 Cr비가 감소하고 있다. Fig. 7에서 보듯이 Ni비는 세 시편 모두 산화막 표면에서 기지보다 다소 큰 값을 보여 약간의 Ni농축경향을 보인다고 할 수 있다. Fig. 6과 Fig. 7의 결과는 장시간 실험에 따라 Pb에 의한 영향은 나타나지 않고 Cr 산화물이 약 알칼리성 용액 중에서 불안정하고 Ni 산화물은 그에 비해서 안정하기 때문에 나타난 현상으로 생각된다. M.Helie,⁸⁾ M.D.Wright,⁹⁾ T.Sakai등에¹⁰⁾ 의하면 산성분위기에서 Pb는 Ni을 선택적으로 용출시

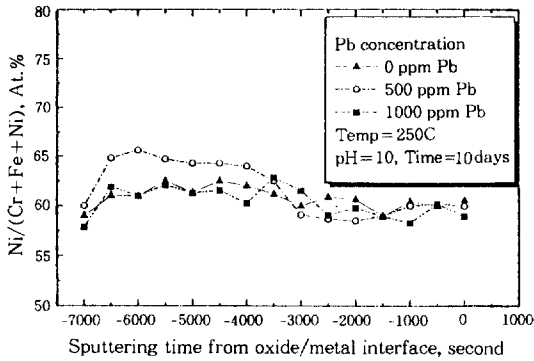


Fig. 7. The effect of PbO on the Ni ratio of oxide composition of Alloy 600(250°C, 10 days, pH=10).

킨다고 보고하고 있으며, M.Garcia 등이⁵⁾ 관찰한 Pb가 첨가된 알칼리성 분위기에서 Alloy 690 표면의 Cr성분의 뚜렷한 고갈현상은 본 실험결과와 잘 일치하고 있다. Ni, Cr의 고온 E-pH도로부터 알칼리성 용액에서 Ni산화물은 안정하며 Cr산화물은 그 안정 영역이 좁다는 사실과 Fig. 5에서 Fig. 7까지의 결과로부터 알칼리성 용액 중에 Pb가 존재할 때 Alloy 600 표면에는 반응 초기에 Ni 화합물이 우선적으로 생성되며, 반응 시간이 길어짐에 따라 Pb에 의한 영향은 줄어들고 Cr 및 Ni oxide의 열역학적 안정성에 의해 지배되는 oxide성분으로 성상을 계속하는 것으로 생각된다.

3.3 양극분극거동 시험결과

Fig. 8은 pH 4의 상온용액에서 양극분극시험 결과인데 Pb첨가에 따라 부식전위가 약 50~100mV 증가하였으며 양극용해가 관찰되지 않고 곧바로 부동태 구역이 나타났다.

Fig. 9는 pH4인 산성용액에서 온도를 90°C로 올려 시험한 결과인데, 두개의 양극용해 peak가 나타나고 있으며 부동태 구역이 크게 확장되었고, 부동태 전류밀도도 크게 감소하여 안정한 산화막이 형성됨을 알 수 있다. Pb첨가량 증가에 따라 첫 번째 peak의 전류밀도는 증가하며 두 번째 peak의 전류밀도는 감소하는 경향을 보

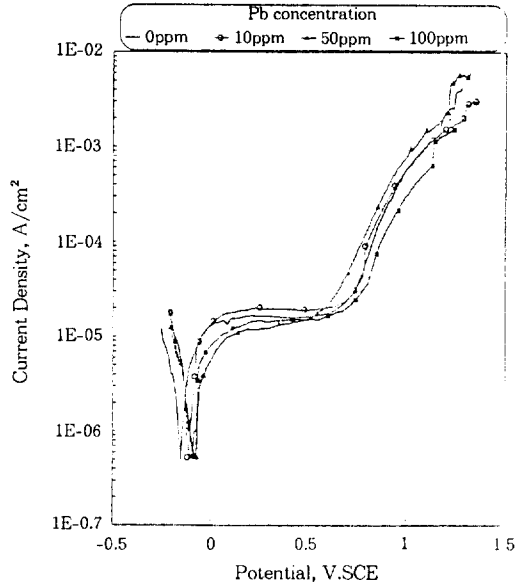


Fig. 8. Anodic polarization curve of Alloy 600 in water containing Pb of pH=4, at room temperature.

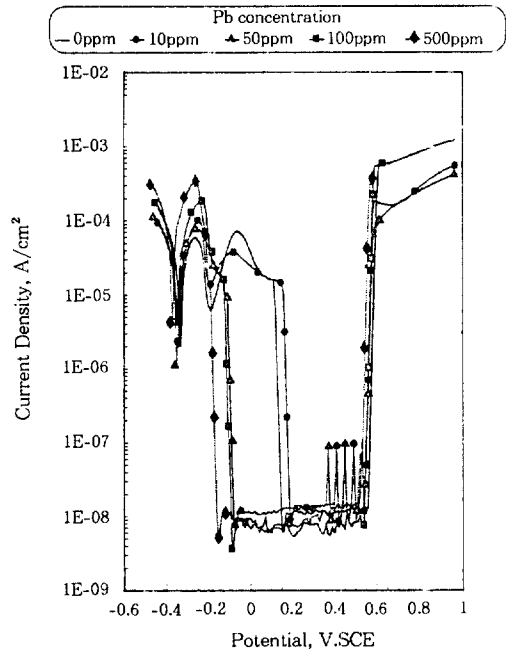


Fig. 9. Anodic polarization curve of Alloy 600 in water containing Pb of pH=4, at 90°C.

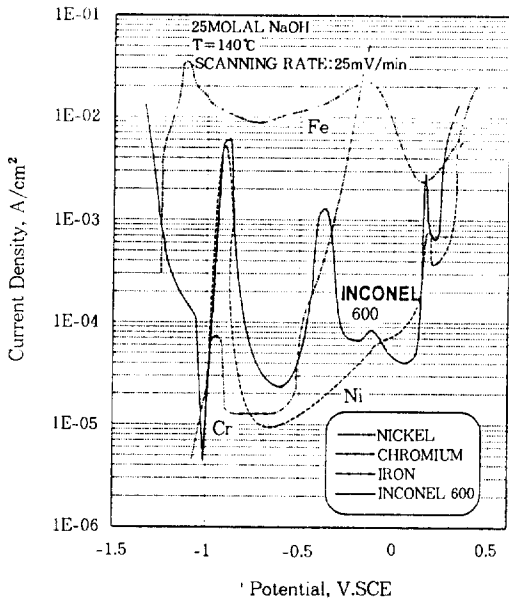


Fig. 10. Polarization curves for Inconel 600 and its alloying elements(Ni, Cr and Fe) in deaerated 25 m NaOH solutions at 140°C (11).

이고 있는데 이는 다음과 같이 설명될 수 있다. 즉, K. H. Lee 등에¹¹⁾ 의하면 Fig. 10에서 보는 바와 같이 Alloy 600은 양극분극 곡선에서 두개의 부동태 구역을 보이는데, Ni, Cr의 양극분극 곡선에 의하여 Ni의 양극용해(active dissolution)와 Cr의 transpassive dissolution 및 Ni의 transpassive dissolution에 의한 3개의 용출반응이 생기기 때문에 낮은 전위에서 Ni+Cr의 부동태 구역과 높은 전위에서 Ni의 부동태 구역이 존재한다. 따라서 Cr 부동태의 transpassive로 인해 나타나는 두 번째 peak가 작아지는 현상에 대해서는 다음과 같은 원인인 것으로 생각해 볼 수 있다. 즉, Pb첨가 시에 Cr 부동태의 형성이 억제되든지, 일단 생성된 부동태가 용해하기 어려운 것인지 하는 경우인데, 90°C에서의 양극분극시험 결과에서는 Pb첨가에 따라 Cr의 부동태 전류밀도가 증가하고 있고, Cr부동태의 용출에 의해 나타나는 두 번째 peak의 전류밀도는 감소하는 것으로 보아, Cr 산화막의 형성 및 용출이

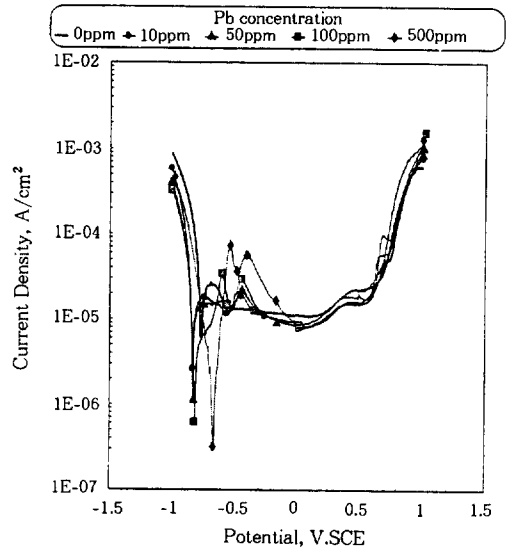


Fig. 11. Anodic polarization curve of Alloy 600 in water containing Pb of pH=10, at room temperature.

다 어려운 것으로 생각되며, 앞서의 산화막조성 분석결과와 연관지어 볼 때 Pb는 Cr에 비해 Ni과의 반응성이 큰 것으로 생각된다.

Fig. 11은 pH가 10인 상온의 용액에서 Alloy 600의 양극분극시험 결과인데 이 용액에서는 두개의 anodic peak가 -0.4~-0.6V 근처에서 나타나며 Pb첨가량 증가에 따라 두 peak의 임계전류밀도 모두가 다소 증가함을 관찰하였다.

Fig. 12는 pH 10에서 시험온도를 90°C로 조절한 경우인데 Pb가 첨가되지 않은 경우 Cr의 transpassive에 의한 임계전류 밀도가 크게 나타나고 있으며 부동태전류밀도가 상온에 비해 크게 감소하였다. Pb가 10, 50, 100, 500ppm으로 첨가되었을 때 부동태구역이 넓어졌으며, 100ppm까지는 Ni용출 peak가 증가하는 경향을 보이나 500ppm에서는 더이상 증가하지 않아 본 실험조건에서는 100ppm내외가 Ni peak에 영향을 미치는 임계농도인 것을 암시하고 있다. Cr oxide의 임계전류밀도 peak는 감소하는 경향을 보이며 100ppm이상에서는 관찰되지 않고 있다.

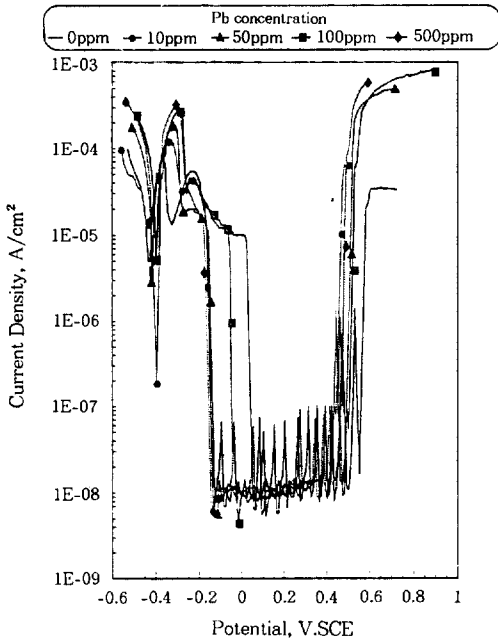


Fig. 12. Anodic polarization curve of Alloy 600 in water containing Pb of pH=10, at 90°C.

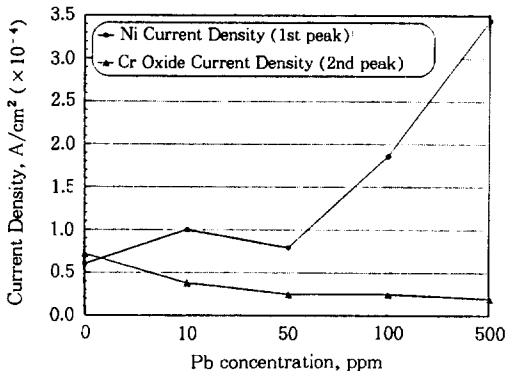


Fig. 13. The effect of Pb concentrations on the peak current densities of Alloy 600 in anodic polarization test at 90°C, pH=4.

Fig. 13은 Pb농도의 영향을 정량적으로 살펴 보기 위해 90°C, pH 4에서의 양극분극곡선으로부터 첫 번째 및 두 번째 임계전류밀도값을 납 농도를 변수로 하여 도시한 것인데, Cr의 transpassive에 의한 임계전류밀도값은 다소 감

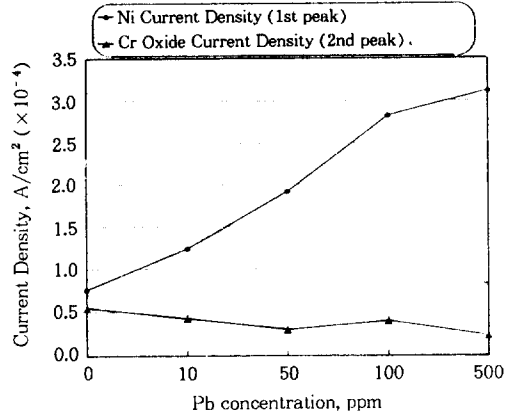


Fig. 14. The effect of Pb concentrations on the peak current densities of Alloy 600 in anodic polarization test at 90°C, pH=10.

소하는 반면, Pb농도가 50ppm 이상이 될 때 Ni의 임계전류밀도값이 큰 폭으로 증가하였음을 알 수 있다. Fig. 14는 90°C, pH 10에서의 양극분극곡선으로부터 얻은 결과인데 이 경우에는 Pb농도가 10ppm보다 낮은 농도에서부터 Ni peak값이 증가하는 경향을 보였다.

Fig. 15는 pH를 13으로 올리고 상온의 용액에서 Pb농도를 0, 50, 100, 500ppm으로 조절할 경우이다. pH가 10인 용액에서와 같이 2개의 양극용해 peak가 -0.6~-0.8V구간에서 관찰되었으며, 납농도 변화에 따라 첫 번째 peak의 전류밀도가 크게 증가하였으며 두 번째 peak의 전류밀도도 다소 증가하였다. 이와 같이 pH값이 4, 10인 경우보다 13인 경우 Pb농도가 50ppm 이상에서 Ni peak의 증가폭이 큰 것으로 보아 상온에서 수행한 양극분극실험에서 Alloy 600의 Ni의 양극용해에 미치는 Pb의 영향은 높은 pH에서 더 크게 나타난다고 할 수 있다.

이상의 양극분극시험결과를 요약하면, 온도상승에 따라 부동태 전류밀도가 크게 감소하며, 상온에서는 pH가 13으로 높을 때 Pb에 의한 Ni 용출경향이 뚜렷이 나타나고, 90°C에서는 pH가 4, 10인 산성, 알칼리성 용액에서 Pb증가에 따라 Ni의 용출peak는 증가하며 Cr의 transpassive 전

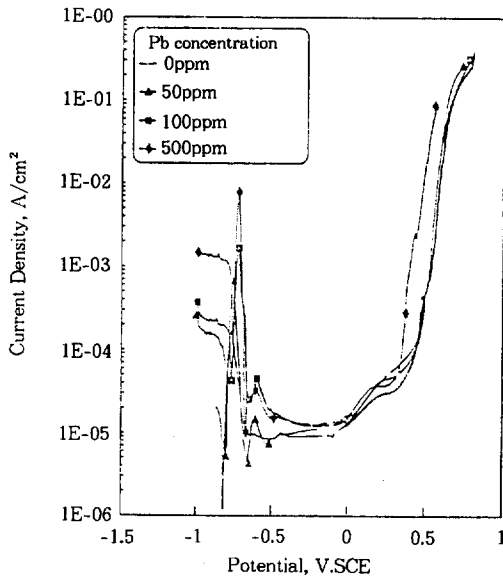


Fig. 15. Anodic polarization curve of Alloy 600 in water containing Pb of pH=13, at room temperature.

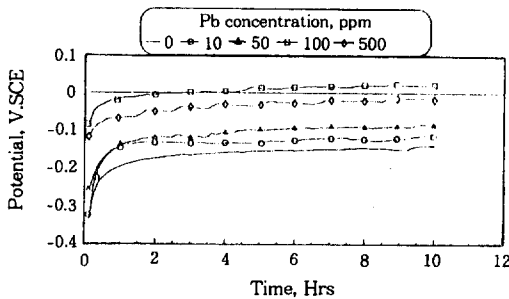


Fig. 16. The effect of PbO on the corrosion potential of Alloy 600 at 90°C, pH=10.

류밀도는 감소한다.

3.4 부식전위 측정

Fig. 16에서 보듯이 용액중 Pb농도가 0에서 10, 50ppm으로 증가함에 따라 부식전위가 약 1.5시간 이내에 급격히 증가하며 약 2시간 후에는 Pb가 없는 경우에 비해 그 증가폭이 70mV정도 인 것으로 나타났다. Pb농도를 100, 500ppm으로 증가시킨 경우 측정초기의 전위가 다른 경우

보다 높게 나타나고 있으며 시간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이는 PbO가 Alloy 600의 기지조성인 Ni, Cr, Fe등의 산화반응을 일으키는 산화제 역할을 함을 의미한다.

4. 결 론

1) Alloy 600을 250°C, pH 10용액에서 산화시킬 때 용액에 첨가한 Pb농도 증가에 따라 산화막의 두께는 크게 증가한다.

2) 250°C, pH 10에서 5일간 형성시킨 Alloy 600표면의 산화막 분석결과 Pb 첨가량 증가에 따라 표면 oxide의 Cr함량이 감소되며, 시험시간을 10일로 늘인 경우에는 Cr함량은 적고 Ni함량이 많은 oxide가 형성되었는데, 이는 알칼리성 용액에서 PbO가 환원되면서 Ni을 NiO로 산화시키는 반응이 Cr또는 Fe와의 반응성보다 크며, 시간이 길어짐에 따라 Pb에 의한 효과는 줄어들고 Cr 및 Ni oxide의 열역학적 안정성에 의해 지배되는 피막이 생기기 때문이다.

3) 상온 양극분극시험에서는 pH값이 13으로 높을 때 Pb에 의한 Ni용출 peak가 증가하는 경향이 나타난다.

4) 90°C에서 양극분극시험결과, pH 4와 10용액에서 Pb는 Alloy 600의 Ni의 용해 peak를 증가시키며, Cr의 transpassive 용해 전류밀도를 감소시킨다.

이는 Pb와 Alloy 600의 조성중에서 Ni의 반응성이 Cr에 비해 더 큰 것을 의미한다.

5) 90°C, pH 10에서 Pb농도 증가에 따라 Alloy 600의 부식전위 증가폭이 커지는 경향을 보인다.

5. 참 고 문 헌

1. A. K. Agrawal, J. P. N. Paine, Proceedings of 4th Int'l Symposium on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power

- Systems-Water Reactors-Aug. 6-10, Jekyll Island, Georgia, p. 7-1, (1989)
2. A. Rocher, et.al., Contribution of Materials Investigation to the Resolution of Problems Encountered in PWRs, Fontevraud III, Sept. 12-16, p. 537, (1994)
 3. “고리원자력 2호기 증기발생기 세관 손상원인 조사-최종보고서”, 한국원자력연구소, (1990)
 4. T. Sakai, et. al., CORROSION/90, paper No 520, NACE, Houston, USA, (1990)
 5. M.Garcia, et.al., Contribution of Materials Investigation to the Resolution of Problems Encountered in PWRs, Fontevraud III, Sept. 12-16, p. 571, (1994)
 6. R.B.Rebak, et.al., corrosion, vol. 50. No. 5, p. 378, (1994)
 7. D.Feron, I.Lambert, Proceedings of 12th Int'l Conference on Properties of Water and Steam. -Sept. 12-15, Orlando, FL, USA, (1994)
 8. Max. Helie, et al., Proceedings of 7th Int'l Symposium on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems-Water Reactors - Aug. 7- 10, Breckenridge, Colorado, p. 247, (1995)
 9. M.D.Wright, et.al., Proceedings of 7th Int'l Symposium on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems-Water Reactors - Aug. 7- 10, Breckenridge, Colorado, p. 209, (1995)
 10. T.Sakai, et. al., Proceedings of 5th Int'l Symposium on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems-Water Reactors - Aug. 25- 29, Monterey, California, p. 764, (1991)
 11. K. H. Lee, et. al., CORROSION/82, paper No. 242, NACE, Houston, USA, (1982)