

열화평가에 전기화학적 방법의 응용에 관한 연구

권재도* · 문윤배** · 김상태*

(1997년 1월 13일 접수)

A Study on the Application of Electrochemical Method for Degradation Evaluation

Jae-Do Kwon, Yun-Bae Moon and Sang-Tae, Kim

Key Words : Degradation(열화), Fracture Appearance Transition Temperature(FATT : 파면천이온도), Fatigue Crack Growth Rate(피로균열진전속도), Electrochemical Polarization(전기화학적 분극), Corrosion Current Density(부식전류밀도, Icorr)

Abstract

In order to develop the evaluation methods of degradation for the Ni-Cr-Mo-V steel, which is in use for turbine rotor in nuclear power plant, the degraded materials were prepared by simulated degradation methods. The result of impact test and fatigue crack growth test shows that the FATT(Fracture Appearance Transition Temperature) and fatigue crack growth rate increased with the increase of degradation. And the result of new electrochemical polarization test method was suggested for the evaluating FATT, fatigue crack growth exponent and coefficient C values based on the results of relationship between corrosion current density(Icorr) & FATT, and the m & C and Icorr.

1. 서 론

원자력 발전설비중 터빈(turbine)과 같이 고온에서 사용되는 기기의 주요 파손원인은 주로 재질 열화(degradation)에 의한 피로 및 환경파괴^(1,2)로 보고되고 있다. 열화된 기계구조물을 보다 안전하게, 보다 효율성 좋게 장기간 사용하기 위해서는 첫째, 재료의 열화여부를 평가해야 하며, 그 방법으로 열화 전후의 재료로 시험편을 제작하여 충격시험을 수행하는 파괴적인 열화평가방법과 표면 레프리카립 등과 같이 비파괴적인 열화평가방법이 있다. 둘째, 열화가 된 경우 열화가 재료강도에 미치는 영향에 대해 평가해야 하며, 그 방법으로 충격시험,

피로시험 및 파괴인성시험 등과 같은 실험적 규명 방법을 들 수 있다. 셋째, 건전성 평가 및 수명에 측에 미치는 열화 영향을 평가하는 방법으로 나누어 볼 수 있다. 세가지 단계로 나누어 고려되던 열화와 수명에측방법을 한 두 가지 단계의 평가방법으로 대체할 수 있는 방안이 제시된다면, 공학에 기여도가 매우 클 것으로 사료된다.

여기서 열화 여부의평가 및 재료강도에 미치는 열화의 영향에 대해 파괴적 평가방법을 실 구조물에 적용하기에는 상당한 어려움이 뒤따른다. 따라서, 비파괴적 방법에 의한 열화평가는 매우 중요한 연구⁽³⁾ 대상이 되어 왔고, 열화에 의한 재료의 손상은 특정 석출물의 조대화, 불순물의 입계편석 및 고용강화원소의 감소 등 장시간 사용 중의 미시적인 재료내부의 구조변화에 기인하며, 재료내부의 구조변화는 재료의 전기화학적 성질 및 전기자기적

*회원, 영남대학교 기계공학부

**회원, 영남대학교 대학원 기계공학과

성질 등의 변화를 초래할 것으로 사료된다. 이러한 성질변화로 열화에 의한 재질의 손상정도를 비파괴적으로 평가할 수 있을 것이며, 본 연구에서는 그 방법으로 전기화학적 분극시험법을 사용하여 보고자 한다.

본 연구용 재료는 원자력 발전용 터빈로터 축 및 디스크용 재료인 Ni-Cr-Mo-V강의 건전재와 모의 열화방법으로 제작된 열화도중 단계의 재료로서, 전기화학적 분극(electrochemical polarization)기 시험을 수행하여 그 거동을 규명하여 보고, 전기화학적 분극시험 결과 얻은 부식전류밀도(corrosion current density ; I_{corr})와 충격시험 결과 얻을 수 있는 파면천이온도(FATT) 사이의 관계, Paris의 균열진전법칙에서의 지수 m 및 상수 C 와 I_{corr} 사이의 관계를 규명하여, I_{corr} 에 의해 FATT, m 및 C 값을 추정할 수 있는 새로운 방법을 제시하였다. 그리고 이와 같은 방법에 의한 결과의 신뢰성 여부를 판단하기 위하여 압력용기용 2¼Cr-1Mo 강에 대해서도 전기화학적 분극시험을 수행하여 그 신뢰성 여부를 검증하였다.

2. 실험재료 및 모의열화재의 제작

본 연구에 사용된 재료는 원자력 발전설비의 터빈로터디스크용 재료인 Ni-Cr-Mo-V 강(ASTM A471)으로서, 이 재료의 화학적 성분 및 기계적 성질은 Table 1 및 2에 나타낸 바와 같다. 또한, 본 연구 결과에 대한 신뢰성을 입증하기 위하여 사용된 재료인 2¼Cr-1Mo강에 대한 화학성분, 기계적성질, 충격특성 및 피로균열진전특성 등에 대한

결과는 저자들의 이미 발표된 연구결과⁽⁴⁾를 활용하였다.

실제 가동온도에서 장시간 사용에 따른 재질의 열화현상을 단시간에 실험실에서 모의하기 위한 방법으로 실제 사용온도 보다 다소 높은 온도에서 가속실험방법이 제안되고 있다. 재질의 열화현상을 실험실에서 모의 제작하는 방법으로 Fig. 1의 (a)와 같이 300~600°C 취화온도 영역에서 단계적으로 냉각하는 다단계냉각법과, Fig. 1의 (b)와 같이 냉각속도를 조정함으로써 열화도중 단계인 시료를 제작하는 저속냉각법이 있다. 특히, Murakami, Sawda^(5,6) 등은 다단계냉각 및 저속냉각법에 의해 가속열처리한 시료를 auger electron spectroscopy에서 관찰한 결과, 장기 사용에 의한 열화와 유사한 특성을 가진다고 보고하였다.

따라서, 본 연구에서는 다단계냉각방법 및 저속냉각방법으로 열화재를 제작하여 본 실험에 사용하

Table 1 Chemical composition of Ni-Cr-Mo-V steel.

Composition, wt. %								
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V
0.27	0.2	0.4	0.01	0.008	3.5	1.4	0.4	0.09

Table 2 Mechanical properties of Ni-Cr-Mo-V steel.

Tensile strength	Yield strength	Elongation
835 MPa	533 MPa	18 %

- Total time from 593 °C to 315 °C : 233hr
- Heating and cooling rate : (1) 50 °C/hr
 (2) 5.6 °C/hr
 (3) 2.8 °C/hr
 (4) 27.8 °C/hr

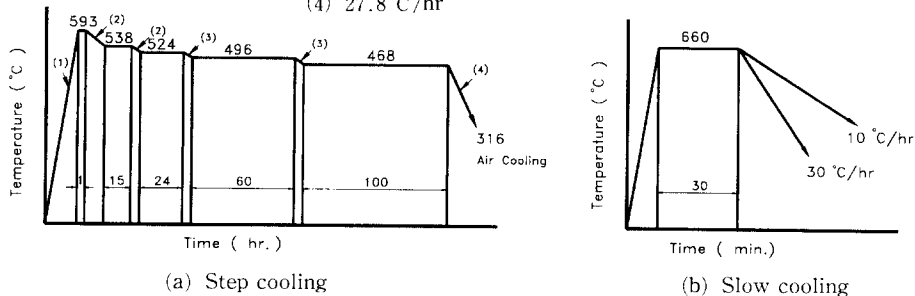


Fig. 1 Simulate degradation method.

였다. 즉, 터빈로터디스크재인 Ni-Cr-Mo-V강은 실제 사용되기 전의 재료이기 때문에 이를 건전재 (original materials)라 하고, 실험실에서 가속하여 열화시킨 재료를 모의열화재 (simulate-degraded materials)라 정의하였는데, 모의열화의 방법에 따라 서로 다단계냉각법에 의해 제작된 재료는 다단계 냉각재 (step cooled materials), 10°C/hr로 노냉하는 저속냉각법에 의해 제작된 재료는 저속냉각재 (10°C/hr) (slow cooled materials (10°C/hr))라 정의하였다.

열화의 정도를 파악하기 위하여 샬피 (charpy) 충격시험을 수행하여 보았는데, 이용된 시험편은 KS B 0809에 의거하여, 시험편의 길이는 55 mm,

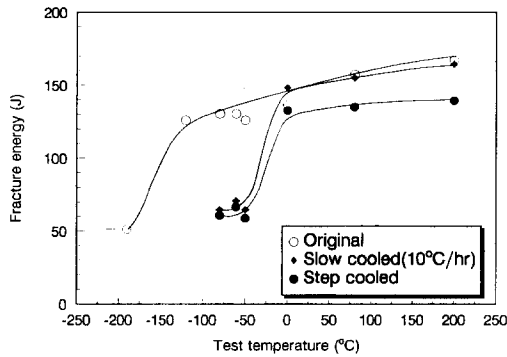


Fig. 2 Charpy impact test results for original, slow cooled (10°C/hr) and step cooled materials of Ni-Cr-Mo-V steel.

폭은 7.5 mm, 노치(notch)의 각도 45° 및 곡률반경 R=0.25 mm의 형상으로 EDM(Electric Discharge Machine)을 사용하여 동일하게 가공하였다.

건전재, 저속냉각재 (10°C/hr) 및 다단계냉각재에 대해, -190°C~200°C의 범위에서 충격시험을 수행한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 이때 -190°C 및 -50°C 범위에서의 충격시험은 액체질소 및 드라이아이스를 이용하였다.

Fig. 2에서 각 재료에 대한 파면천이온도(FATT)는 건전재인 경우 열화재보다 훨씬 낮은 -153°C 정도에 위치하고, 저속냉각재 (10°C/hr) 및 다단계냉각재는 약 -30°C 및 -24°C 근처로서, 건전재와 모의열화재의 FATT는 다소 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 따라서 모의열화방법에 따라 FATT는 저속냉각재, 다단계냉각재 순으로 높게 나타난 것으로 미루어 보아 다단계냉각재가 가장 열화가 심하게 나타남을 알 수 있고, 모의열화방법에 의해 제작된 시험편들이 열화가 되었음을 알 수 있다.

또한, 열화의 정도에 따른 피로균열진전특성을 확인하기 위하여 피로균열진전시험도 수행하여 보았다. 시험편은 중앙균열 (Center Crack Tension ; CCT) 시험편으로, 폭(W)=30 mm, 길이(L)=160 mm 두께(t)=3 mm로 하고, 중앙노치의 형상은 2a=6.6 mm, ρ=0.2 mm로 일정하게 가공한 후 연마하였다.

Table 3 Information of FATT, Ecorr, m, C and Icorr values for Ni-Cr-Mo-V and degraded materials.

Materials	FATT(°C)	m	C	Potential hydrogen	Ecorr(mV)	Icorr(μA/cm ²)
Original	-153	3.33	2.20E-09	pH 3	-602.8	61.25
				pH 6	-117.1	0.176
				pH 9	-254.7	0.132
				pH 12	-211.6	0.209
Slow cooled (10°C/hr)	-30	3.23	3.28E-09	pH 3	-589.1	92.50
				pH 6	-131.6	0.188
				pH 9	-236.0	0.177
				pH 12	-412.7	0.569
Step cooled	-24	3.18	3.84E-09	pH 3	-585.5	135.8
				pH 6	-121.7	0.197
				pH 9	-244.9	0.196
				pH 12	-417.4	1.476

피로시험조건은 하중비는 0.05, 주파수는 10 Hz의 싸인파형으로 상온에서 ASTM E647⁽⁷⁾에 의거하여 건전재와 다단계냉각재 및 저속냉각재(10°C/hr)에 대해 피로균열진전시험을 수행하였다.

피로균열진전시험 결과로부터 피로균열진전속도(da/dN)는 시컨트법(secant method)⁽⁷⁾을 이용하고, 응력확대계수범위(ΔK)는 H. Tada⁽⁸⁾의 식을 사용하여 건전재, 다단계냉각재 및 저속냉각재(10°C/hr)에 대하여 Pris 법칙, 즉 $da/dN = C(\Delta K)^m$ 이 성립되는 구간에서 지수 m 및 상수 C의 값을 산출하여 Table 3 및 4에 나타내었다. 여기서 열화의 정도가 심한 재료일수록 피로균열진전속도가 점점 빠른 것을 알 수 있다. 아울러 모의열화방법에 의해 제작된 시험편들이 열화가 되었음을 알 수 있다.

3. 전기화학적 분극 특성

3.1 분극시험편 및 시험방법

재료의 장기간 사용으로 열화에 의해 손상된 재

료는 미시적인 재료 내부의 구조변화에 기인하며, 이런 재료 내부의 변화는 전기화학적 성질을 들 수 있다. 따라서 열화에 대한 재료의 손상정도를 전기화학적 분극시험으로 평가하여 보고자 한다.

전기화학적 분극시험에 사용된 시험편은 Ni-Cr-Mo-V강 및 2¼Cr-1Mo강의 건전재, 열화재 및 열화도중 재료를 사용하여 가로, 세로 및 두께가 11.5×11.5×3 mm의 크기로 다이아몬드 휠-커터(diamond wheel cutter)를 이용하여 저속으로 절단하였다. 그 후 시험편에 전선(copper wire)을 연결하여 전기가 흐를 수 있도록 한 후, 호마이카로 마운팅(mounting) 하였다.

또한, 시험편의 표면을 #400에서 #1500까지의 에머리 페이퍼를 이용하여 단계적으로 연마하고, 동일한 시험편 표면 및 표면거칠기의 영향을 최소화하기 위하여, 연마기에서 산화알루미늄(Al_2O_3) 분말을 이용하여 마무리 연마를 하였다. 이와 같이 제작된 시험편의 표면을 아세톤으로 탈지하고, 증류수로 세척한 후 열풍으로 건조시켰다.

Table 4 Information of FATT, E_{corr} , m, C and I_{corr} values for 2¼Cr-1Mo steel and degraded materials.

Materials	FATT(°C)	m	C	Potential hydrogen	E_{corr} (mV)	I_{corr} ($\mu A/cm^2$)
Recover	-26	3.81	3.2613E-10	pH 3	-651.6	31.87
				pH 6	-124.5	0.171
				pH 9	-254.9	0.723
				pH 12	-347.9	0.251
Slow cooled (30°C/hr)	-7	3.92	2.8259E-10	pH 3	-655.8	38.10
				pH 6	-172.3	0.226
				pH 9	-245.9	0.742
				pH 12	-355.5	0.255
Degraded	86	4.23	1.3262E-10	pH 3	-649.2	44.08
				pH 6	-136.2	0.235
				pH 9	-258.0	0.998
				pH 12	-370.2	0.352
Step cooled	105	4.31	1.0342E-10	pH 3	-634.4	63.67
				pH 6	-213.6	0.361
				pH 9	-276.9	1.118
				pH 12	-407.9	0.364

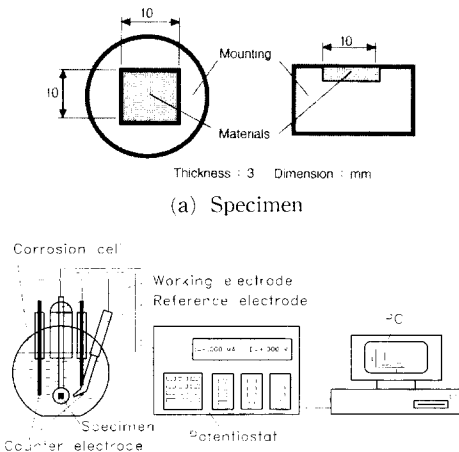
그 후 시험편과 호마이커 사이의 틈을 방지하고 표면적을 1 cm²로 일정하게 얻기 위하여 래커(lacquer)를 이용한 2차 피복과정을 거친 후, 본 실험에 임하였다. Fig. 3의 (a)에는 분극시험편의 형상을 나타낸 것이다.

본 실험에 사용된 기본 수용액은 터빈부의 운전 조건이 습증기 분위기이기 때문에 3차 증류수로 정하였다. 그리고 증기발생기 이차 계통수에 대한 정상 운전상태의 pH가 8.5~9.2로 제한되어 있음으로 이를 고려하여 pH를 3, 6, 9 및 12의 4가지 조건의 수용액을 만들고, 실온에서 ASTM G5-87⁽⁹⁾에 의거하여 전기화학 분극시험을 수행하였다. 이때 수용액은 대기와 접촉시켰고, 용액의 교반은 행하지 않았다.

전기화학적 분극시험에 사용된 장치는 E. G. & G. Princeton Applied Research(PAR)의 Potentiostat/Galvanostat(Model 273A)이고, 이 장치는 PAR Model 352 software에 의해 조정되도록 되어 있다. 기준전극(reference electrode)은 포화 칼로멜 전극(Saturated Calomel Electrode ; SCE)을 사용하였다. 그리고 Fig. 3의 (b)는 전기화학적 분극시험 장치의 개략도를 나타낸 것이다.

3.2 Ni-Cr-Mo-V 강의 분극시험 결과

건전재, 저속냉각재(10°C/hr) 및 다단계냉각재에 대해 3차 증류수를 pH3으로 조정한 수용액 내에서 초기전위 -800 mV, 최종전위는 1,000 mV 및 주



(b) Schematic of electrochemical polarization test equipment

Fig. 3 Specimen and schematic of electrochemical polarization test equipment.

사속도 0.5 mV/s로 하여 분극시험을 수행한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 이 결과에서 부식전위(E_{corr}) 및 부식전류밀도(I_{corr})는 Table 3에 나타낸 바와 같으며, 여기서 E_{corr} 및 I_{corr}의 값은 PAR Model 352 software에 의해 계산되게 된다. 그리고 동 Table에 각 재료에 대한 FATT도 표기하였다.

pH 3에서의 동전위 분극거동(Fig. 4)은 각각의 재료 모두 강산성의 영향으로 부동태 영역의 존재 없이 바로 수용액에 금속이 용해되어 버림을 알 수 있고, E_{corr}의 값은 큰 차이는 없었지만, 부식물과 직접적인 관계가 되는 I_{corr}의 값은 열화정도에 따라 anode 방향으로 이동해 감을 알 수 있다.

Fig. 5는 건전재, 저속냉각재(10°C/hr) 및 다단계냉각재에 대해 pH 6의 환경에서 초기전위 -400 mV, 최종전위 1,000 mV 및 주사속도 0.5 mV/s로 하여 분극시험을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 여기서 각각의 재료에 대한 E_{corr} 및 I_{corr}의 값은 Table 3에 나타내었다. pH 6에서 동전위 분극 거

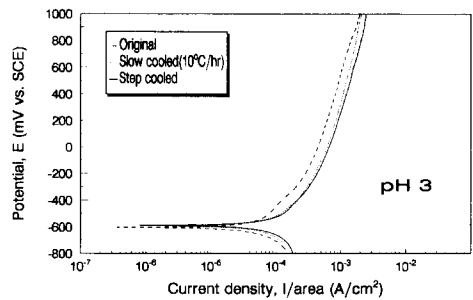


Fig. 4 Potentiodynamic polarization behaviors for original, slow cooled (10°C/hr) and step cooled materials of Ni Cr Mo-V steel in the condition of pH 3.

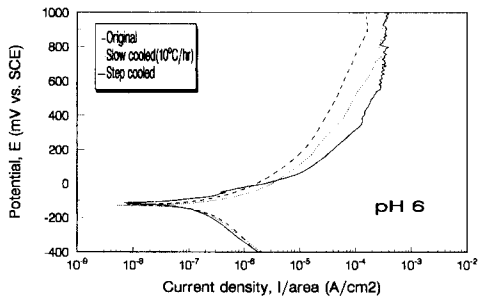


Fig. 5 Potentiodynamic polarization behaviors for original, slow cooled (10°C/hr) and step cooled materials of Ni-Cr-Mo-V steel in the condition of pH 6.

동(Fig. 5)에서도 부동태 영역은 존재하지 않았다. 그리고 여기서도 I_{corr} 은 열화의 정도에 따라 anode 방향으로 이동해 감을 알 수 있다.

Fig. 6은 건전재, 저속냉각재(10°C/hr) 및 다단계냉각재에 대해 pH 9의 환경에서 초기전위 -400 mV, 최종전위 1,000 mV 및 주사속도 0.5 mV/s로 하여 분극시험을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 이 동전위 분극곡선에서 각 재료에 대한 E_{corr} 및 I_{corr} 의 값을 Table 3에 나타내었다.

그리고 각 재료의 동전위 분극거동은 active-passive 전이가 존재하지 않는 임의 부동태(spontaneous passivity) 영역⁽¹⁰⁾이 나타났다.

Fig. 7은 pH 12의 환경에서 초기전위 -500 mV, 최고전위 1,000 mV 및 주사속도 0.5 mV/s로 건전재, 저속냉각재(10°C/hr) 및 다단계냉각재에 대한 분극시험을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 여기서 각 재료에 대한 E_{corr} 및 I_{corr} 의 값을 Table 3에 나타내었다. 또한 임의 부동태 영역은 pH 9의 결과보다 다소 넓은 범위의 전위에 걸쳐 형성되어

있다. 그러나 I_{corr} 의 값들은 오히려 anode 방향으로 위치해 있으므로, 강알카리성으로 갈수록 부식률은 중성 및 약알카리성에 비해 더 커질 것으로 사료된다.

3.3 2%Cr-1Mo의 분극시험 결과

재질열화에 따른 전기화학적 분극거동이 Ni-Cr-Mo-V 강 이외의 재료에 대해 어떤 현상이 발생하며 또한, 내식성과 I_{corr} 에 의한 FATT, m 및 C의 추정치가 다른 재료에 대해서도 성립이 되는지를 확인하기 위하여 2%Cr-1Mo 강에 대해서도 Ni-Cr-Mo-V 강의 경우와 같은 수용액 조건에서 동일 방법에 의해 전기화학적 분극시험을 수행하였다. 그 결과 pH 3, 6, 9 및 12에서의 동전위분극 거동을 Figs. 8, 9, 10 및 11에 나타내었다.

아울러 Table 4에는 각각의 수용액 조건에 따라 회복재, 저속냉각재(30°C/hr), 열화재 및 다단계냉각재에 대한 E_{corr} 및 I_{corr} 값을 나타내었다. 또한

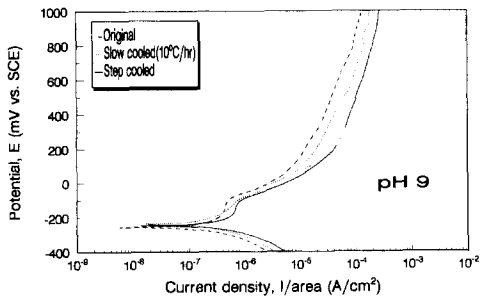


Fig. 6 Potentiodynamic polarization behaviors for original, slow cooled(10°C/hr) and step cooled materials of Ni-Cr-Mo-V steel in the condition of pH 9.

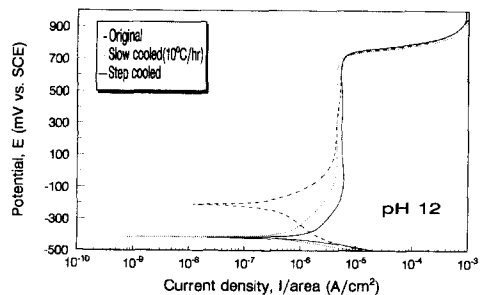


Fig. 7 Potentiodynamic polarization behaviors for original, slow cooled(10°C/hr) and step cooled materials of Ni-Cr-Mo-V steel in the condition of pH 12.

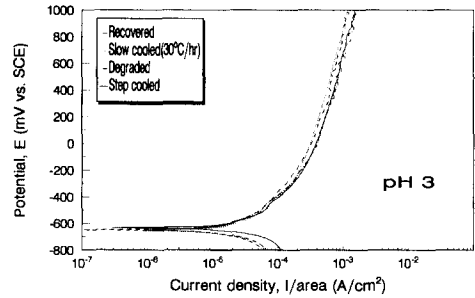


Fig. 8 Potentiodynamic polarization behaviors for recovered, slow cooled(30°C/hr), degraded and step cooled materials of 2%Cr-1Mo steel in the condition of pH 3.

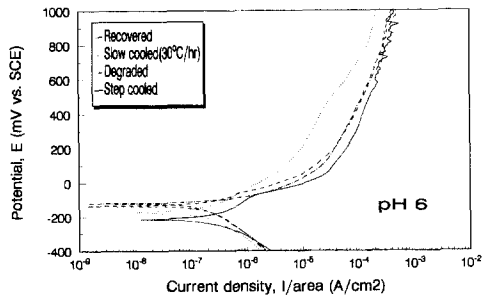


Fig. 9 Potentiodynamic polarization behaviors for recovered, slow cooled(30°C/hr), degraded and step cooled materials of 2%Cr-1Mo steel in the condition of pH 6.

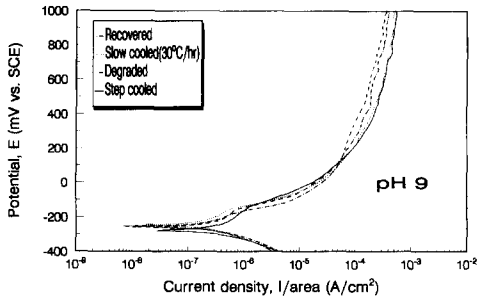


Fig. 10 Potentiodynamic polarization behaviors for recovered, slow cooled (30°C/hr), degraded and step cooled materials of 2 1/4Cr-1Mo steel in the condition of pH 9.

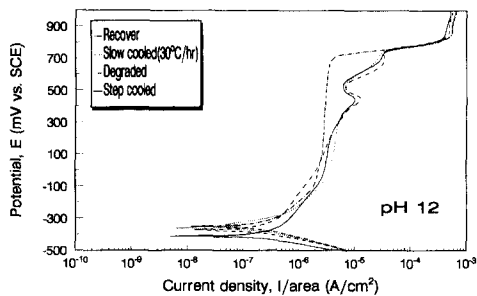


Fig. 11 Potentiodynamic polarization behaviors for recovered, slow cooled (30°C/hr), degraded and step cooled materials of 2 1/4Cr-1Mo steel in the condition of pH 12.

2 1/4Cr-1Mo 강의 회복재, 저속냉각재, 열화재 및 다단계냉각재에 대한 기 연구결과인 FATT와 피로균열진전 지수 m 및 상수 C 값도 동 Table에 나타내었다.

4. 전기화학적 방법에 의한 열화정도의 추정

Ni-Cr-Mo-V강 및 2 1/4Cr-1Mo강의 충격시험 결과인 파면전이온도(FATT)와 피로균열진전시험 결과 얻을 수 있는 피로균열진전 지수 m이 열화 정도에 따라 변화되어 가는 값들을 전기화학적 분극 시험 결과인 부식전류밀도 I_{corr}에 의해 추정할 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

Ni-Cr-Mo-V강의 건전재, 저속냉각재 (10°C/hr) 및 다단계냉각재에 대해 전기화학적 분극시험 결과 얻은 부식전류밀도 I_{corr}과 충격시험 결과에서 얻을 수 있는 FATT 및 피로균열진전시험 결과 얻을 수 있는 피로균열진전 지수 m 사이의 관계를

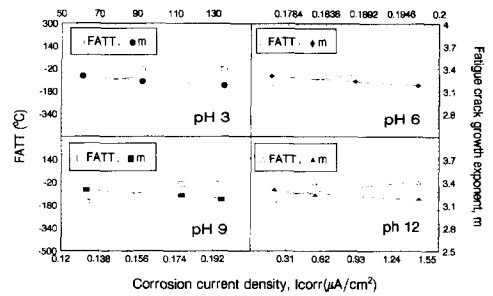


Fig. 12 Relation between FATT and m versus corrosion current density for Ni-Cr-Mo-V steel in various pH.

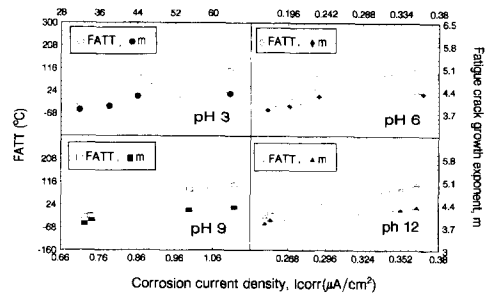


Fig. 13 Relation between FATT and m versus corrosion current density for 2 1/4Cr-1Mo steel in various pH.

Fig. 12에 나타내어 보았다. 이 결과로부터 pH 3, 6, 9 및 12의 환경에서 I_{corr}의 값을 전기화학적 분극 시험을 수행하여 구한다면, 열화 진행 정도에 따라 변화되는 FATT 및 m을 추정할 수 있다는 것을 의미한다.

또한, Fig. 13은 2 1/4Cr-1Mo강의 회복재, 저속냉각재 (30°C/hr), 열화재 및 다단계냉각재에 대해 전기화학적 분극시험 후 구한 부식전류밀도 I_{corr}과 충격시험 결과에서 얻을 수 있는 FATT 및 피로균열진전시험 결과에서 얻을 수 있는 피로균열진전 지수 m 사이의 관계를 나타낸 것이다. 여기서도 pH 3, 6, 9 및 12의 환경에서 I_{corr}의 값을 전기화학적 분극시험을 수행하여 구한다면, 열화 정도에 따라 변화되는 FATT 및 m을 추정할 수 있다

이와 같은 결과를 이용하면 비파괴적인 전기화학적 분극시험의 수행으로 I_{corr}을 얻는다면 근사적인 열화의 정도와 피로균열진전수명을 예측할 수 있다는 것을 시사한다.

6. 결 론

Ni-Cr-Mo-V강의 건전재 및 모의열화재에 대해 충격 및 피로시험을 수행하고 pH를 3, 6, 9, 및 12의 수용액 하에서 전기화학적 분극시험을 수행하고, 아울러 2%Cr-1Mo강 회복재 및 모의 열화재들에 대한 전기화학적 분극 시험의 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) Ni-Cr-Mo-V강의 건전재, 저속냉각재(10°C/hr) 및 다단계냉각재에 대해 충격 및 피로균열진전 시험을 수행한 결과 열화의 정도에 따라 FATT가 높은 온도 범위로 이동해 가는 재질열화 현상이 나타났다. 그리고 피로균열진전속도는 열화의 정도에 따라 점점 빨라지는 것으로 나타났는데, 다단계냉각재의 경우가 가장 빠르게 나타났고, 그 다음 저속냉각재(10°C/hr) 및 건전재 순으로 나타났다.

(2) Ni-Cr-Mo-V강 및 2%Cr-1Mo강의 회복재 및 열화재들에 대해 전기화학적 분극시험의 수행한 결과, 열화정도가 심해짐에 따라 분극곡선이 anode 방향으로 이동해 감을 알 수 있었고, 각 재료에 대한 부식전류밀도 I_{corr} 의 값을 구할 수 있었다.

(3) 열화평가방법으로 전기화학적 분극시험 결과 얻은 I_{corr} 의 값을 이용하여 충격시험의 결과인 FATT와 피로균열진전시험 결과인 피로균열진전지수 m 값을 추정할 수 있었다. 따라서, 전기화학적 분극시험을 수행하여 열화에 따른 내식성의 예측과 동시에 FATT, m 및 C 값을 추정할 수 있는 새로운 열화평가방법을 제안하였다.

참고문헌

- (1) EPRI Report, 1988, "Nondestructive Evaluation of Turbines and Generator," *EPRI WS-80-133*.
- (2) 최 열, 1988, 터빈 사고분석 및 예방대책, 기술안전지원처 보고서, pp. 98~109.
- (3) 日本機械學會編, 1992, 動力プラント・構造物の余壽命評價技術, 技報堂出版, pp. 58~99.
- (4) 권재도, 진영준, 류승우, 장순식, 1993, "다단계 모의 열화재의 재료강도 평가와 수명예측", 대한기계학회논문집, 제17권, 제8호, pp. 2271~2279.
- (5) 村上賀國, 1983, 壓力容器用Cr-Mo鋼の焼屯脆性に関する研究.
- (6) Susumu Sawda, Tateo Ohhashi, Masamichi Okamoto, Juro Watanabe, 1978 "Temper Embrittlement Characteristics of 2%Cr-Mo Steel Used in Hydrogenation units for 30,000 and 60,000 Hours at 660 to 840°F," *ASME/MPC*, pp. 167~186.
- (7) *ASTM E647-88a*, 1988. "Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates," pp. 646~665.
- (8) Murakami, Y., 1987, Stress Intensity Factors Handbook, Vol. I, p. 3.
- (9) *ASTM G5-87*, 1987, "Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements," pp. 79~85.
- (10) Pawlick, L. A. and Kelly, R. G., 1995 "An Electrochemical Investigation of the Corrosion Behavior of Aluminum Alloy AA5052 in Methanolic Solutions," *Journal of Corrosion Science and Engineering*, Vol. 1, Paper 4.