

입계부식법을 이용한 열화도 평가 프로그램 개발

백승세* · 나성훈* · 김정기** · 이해무*** · 유효선†
(2000년 9월 18일 접수, 2001년 5월 10일 심사완료)

Program Development for Material Degradation Evaluation Using Grain Boundary Etching Method

Seung-Se Baek, Sung-Hoon Na, Jung-Gee Kim,
Hae-Moo Lee and Hyo-Sun Yu

Key Words: Grain Boundary Etching Method(입계부식법), Material Degradation(재질열화), CVN (Charpy V-notch), SP(Small Punch), FATT(Fracture Appearance Transition Temperature, 파면전이온도), DBTT(Ductile-Brittle Transition Temperature, 연성-취성전이온도), Grain Boundary Width(W_{GB} , 입계부식폭), Intersection Point Ratio(N_i/N_o , 격자절단비), Maximum Surface Roughness(R_{max} , 최대표면거칠기)

Abstract

It is very important to evaluate material degradation like temper and carbide embrittlements to secure the reliable and efficient operational conditions and to prevent brittle failure in service. The extent of material deterioration can be accurately evaluated by mechanical test such as impact test or creep test. But it is almost impossible to sample a large specimen from in-service plants. Thus, the material degradation evaluation by a non-destructive method is earnestly required. Recently the non-destructive test technique which uses the grain boundary etching characteristics owing to the variation of material structures has been proposed. However the program for material degradation evaluation using the grain boundary etching method(GEM) in Windows 98 domain doesn't be developed now. The aims of this paper are to develop the program and to complete the new master curve equations for the evaluation of material degradation on in-serviced high temperature components.

1. 서 론

고온, 고압하에서 사용되는 화력발전 및 석유화학 설비 등의 내열구조부재들은 가동시간의 증가에 따른 재료의 미세조직 변화에 의해 우수한 기계적 성질이 저하하는 재질열화(material degradation) 현

상을 보인다.⁽¹⁾ 이는 탄화물이나 금속간 화합물의 생성, 불순물 원소의 입계편석 등을 수반하며, 특히 입계 석출물과 편석물은 입계강도에 큰 영향을 미치게 된다. 이 같은 재질열화 현상에 의한 파손사례는 설계수명 임박과 경제성 향상을 위한 가혹한 운전 조건 등으로 인해 발전설비의 보일러 및 터빈을 비롯한 석유화학 설비 등에서 목격되고 문제시되고 있으며, 그에 따른 사회적, 경제적 손실은 물론 인명 피해도 초래하고 있다. 따라서 국내 고온부재의 경년열화도 평가는 노후화된 고온설비의 안전성 및 효율적인 운전조건을 확보하기 위해 매우 중요한 문제로 인식되고 있다.⁽²⁾

고온설비 부재의 경년손상 정도는 현장실기에서

* 회원, 전북대학교 대학원 정밀기계공학과

** 회원, 전주공업대학 기계과

*** 회원, 한국표준과학연구원(KRISS)

† 책임저자, 회원, 전북대학교 기계공학부
자동차 신기술연구소

E-mail : yuhs@moak.chonbuk.ac.kr

TEL : (063)270-2346 FAX : (063)270-2388

재료를 채취하여 충격시험이나 크리프시험 등의 기계적 시험을 행하여 평가하는 것이 가장 정확하나 가동중인 현장설기에서 인성평가를 위한 대량의 시험편 채취가 거의 불가능하므로, 고온 설비의 잔여수명 평가와 관련된 재질열화 평가에는 비파괴적인 평가기술의 확립이 매우 중요하다.⁽³⁻⁵⁾

현재 국내외적으로 적용되는 비파괴 평가 기술에는 초음파법, 경도법, 조직대비법, 전기화학법 그리고 입계부식법 등이 있다. 그러나 이 같은 평가 기술의 확립을 위해서는 경년인력을 갖는 설기 사용재에 대한 재질열화 평가의 실험적 데이터 베이스의 확보와 설기 적용을 위한 프로그램의 개발이 필요하다. 비파괴적인 재료평가기술 중 입계부식법에 의한 연구는 국내에서 지난 80년대 후반부터 몇몇 기관에서 수행되기 시작하여 현재까지 여러편의 연구논문이 발표되었다. 그러나 현재 국내의 재료평가와 관련된 여러 문제 중에 하나가 오랜 시간동안 수행해온 실험결과들이 통합 정리되지 않은 상태로 사장된다는 것이다. 즉, 실험 초기부터 현재까지의 실험 데이터를 통합 관리하여 D/B화합으로

써 현장에서 적용할 수 있는 평가시스템 및 프로그램에 대한 개발이 절대적으로 부족한 상황이다.

본 연구에서는 한국표준과학연구원(KRISS)과 함께 본 대학이 공동으로 특허 등록(특허 : 제 138493호)⁽⁶⁾한 비파괴적인 입계부식 시험방법 (grain boundary etching method : GEM)을 이용하여 80년대 후반부터 본 대학에서 수행된 시험결과들을 종합적으로 정리한 후, 최종적으로 원도우즈 환경 하에서 입계부식시험에 의한 열화도 평가 프로그램을 개발하였다. 본 논문에 있어 일부 시험결과들은 이미 발표된 결과들도 포함되어 있으나 보다 정도 있는 마스터 선도의 구성과 최종적인 목표 달성을 위해 모든 데이터를 사용하였다. 현재 본 연구에서 개발한 프로그램은 국내의 산·연 기관에서 유용하게 사용되고 있다.

2. 실험재료와 실험방법

2.1 실험재료와 시험편

본 연구에서 사용된 재료는 현재 화력발전 및

Table 1 The operating histories of Cr-Mo steels

Symbol	Steel	Operating histories		
		Time [hrs]	Temperature [°C]	Location
1P1	1.25Cr-0.5Mo	122,640	540	inlet pipe of turbine
1P2	1.25Cr-0.5Mo	70,000	500	reactor of oil refinery
1PK1	1.25Cr-0.5Mo	121,973	513	2ry S/H of power plant
1S1	1.25Cr-0.5Mo	13,140	500	surveillance specimen
2P1	2.25Cr-1Mo	122,640	330	outlet pipe of turbine
2P2	2.25Cr-1Mo	70,000	380	outlet pipe of turbine
2PK1	2.25Cr-1Mo	44,383	566	pendent S/H of power plant
2PK2	2.25Cr-1Mo	58,491	566	2ry S/H of power plant
2PK3	2.25Cr-1Mo	31,583	538	2ry S/H of power plant
2PK4	2.25Cr-1Mo	49,500	538	2ry S/H of power plant
2S1	2.25Cr-1Mo	43,800	500	surveillance specimen
IC3-1	2.25Cr-1Mo	32,258	538	1ry S/H of power plant
IC3-2	2.25Cr-1Mo	32,258	538	2ry S/H of power plant
US3-1	2.25Cr-1Mo	24,523	538	2ry S/H of power plant
US3-2	2.25Cr-1Mo	32,258	538	2ry S/H of power plant
A	2.25Cr-1Mo	.	440	1ry S/H tube
B	1.25Cr-1Mo	.	430	1ry S/H tube
D	1.25Cr-1Mo	.	450	1ry S/H tube
E	2.25Cr-0.5Mo	.	520	2ry S/H tube
K	2.25Cr-1Mo	.	400	1ry S/H tube

Table 2 The operating histories of Cr-Mo-V steels

Symbol	Steel	Operating histories		
		Time [hrs]	Temperature [°C]	Location
A	Cr-Mo-V	140,000	R.T	coupling of turbine rotor
B	Cr-Mo-V	140,000	501 ~ 538	turbine rotor
C	Cr-Mo-V	140,000	512 ~ 535	turbine rotor
2D	Cr-Mo-V	125,837	500	rotor casing

석유화학발전 설비에서 장시간 사용된 Cr-Mo강계와 Cr-Mo-V강계의 실기열화재이다. 시험재의 인성 저하 정도인 재질열화도를 평가하는데 있어 신재가 확보되지 않은 시험재에 대해서는 열화재를 650℃, 3.5hrs 동안 탈취화 열처리를 행한 재료를 신재로 대치하였다.^(3,5) Table 1과 Table 2에 Cr-Mo강과 Cr-Mo-V강 각각의 사용 이력을 나타내었다. 이러한 시험재료를 대상으로 입계부식시험, CVN-충격시험 그리고 소형펀치(small punch : SP) 시험 등을 위한 시험편을 제작하였으며, Fig. 1에 실기부재로부터 시험편을 채취하는 방향 및 각 시험편의 크기에 대한 개략도를 나타내었다.

2.2. 입계부식실험과 평가인자

입계부식에 사용된 시험편의 표면은 조직상태를 관찰할 수 있도록 연마포 및 알루미늄 파우더를 이용하여 경면상태로 유지하였다. 사용한 부식액은, 먼저 증류수를 100℃에서 충분히 가열하여 탈기시킨 후, 25℃까지 냉각시킨 증류수 100cc에 피크린산 1.3gr.과 계면활성제인 트라이데실벤젠-설퍼산(tridecylbenzen sulfuric acid) 1gr.을 용해시켜 제작한 표준용액을 사용하였다. 입계부식 표준용액에 대한 보다 자세한 내용은 기존에 발표된 연구논문에 서술되어 있다.^(4~7)

본 연구에서 평가된 입계부식시험의 평가인자는 표준 부식액을 이용하여 30분 부식시킨 후 부식면으로부터 측정된 입계폭(grain boundary width : W_{GB})과 열화재를 피크린산 표준 부식액에 의해 5분과 30분 부식시켰을 때 얻은 동일배율의 조직사진으로부터 구한 격자절단비(intersecting point

ratio : N_f/N_o) 그리고 30분 부식면으로부터 표면조도측정기를 사용하여 1~2mm 범위를 측정하고 얻은 입계부식깊이(grain boundary etching depth : R_{max}) 등이다. Fig. 2에 부식면으로부터 입계부식 시험결과의 정량화 방법과 평가인자에 대해 도시하였다

2.3 CVN-충격시험과 열화도 평가방법

파괴시험에 의한 재료의 경년열화도를 평가하기 위해 수행한 충격시험은 용량 30kg-m의 자동기록형 충격시험기(instrumented impact testing machine)가 사용되었으며, 시험온도 범위는 -100℃~RT로 하였다. 실기부재의 크기 제한으로 표준 시험편을 준비하기 어려운 경우에는 1/2 크기의 충격시험편(5mm×5mm×55mm)을 사용하였다. 노치 개선각은 45°, 노치 저면의 곡률반경은 0.2mm, 노치 깊이는 표준 및 1/2 크기의 시험편에 대해 각각 2mm, 1mm로 가공하였다. 각 시험재의 재질열화도는 신재와 열화재의 파면천이온도(fracture appearance transition temperature : $(FATT)_{CVN}$)의 차를 이용한 $\Delta(FATT)_{CVN}$ 로 산출하였다.

2.4 소형펀치(SP) 시험과 열화도 평가방법

현장 실기부재로부터 구조강도에 영향을 주지 않을 정도로 작은 영역에서 시험편 채취가 가능하다는 장점으로 최근 국내외의 재료평가분야에서 많은 관심이 있는 소형펀치 시험을 열화도 평

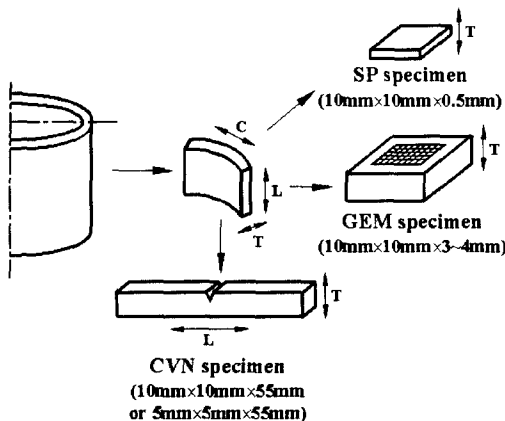


Fig. 1 Preparation of specimens for SP, CVN, and GEM tests

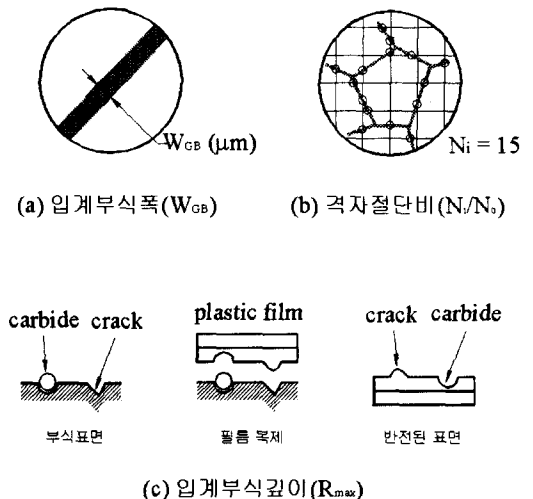


Fig. 2 Schematic diagram of measuring methods for GEM test

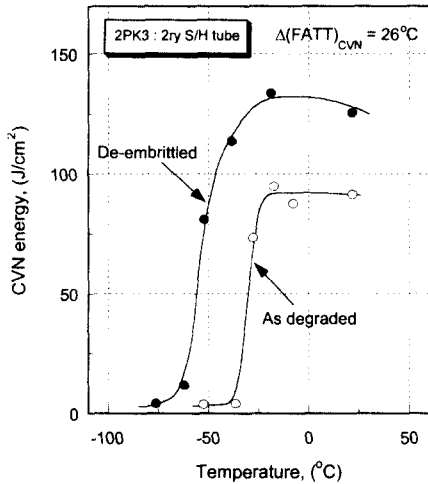


Fig. 3 CVN energy transition behavior according to the various temperature for 2ry S/H tube

가를 위해 실시하였다.^(8~11)

SP시험은 펀치전단에 HRC62~67의 경도를 갖는 $\phi 2.4\text{mm}$ 의 강구를 놓고 이를 통하여 시험편의 상부에 0.2mm/min의 일정한 부하속도로 하중을 가하였다. 시험온도는 액체질소를 사용하여 $-196^\circ\text{C} \sim \text{RT}$ 의 범위로 하였으며, 열화도 평가는 신재와 열화재의 연성-취성전이온도(ductile brittle transition temperature : $(\text{DBTT})_{\text{SP}}$)의 차를 이용한 $\Delta(\text{DBTT})_{\text{SP}}$ 로 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Cr-Mo강의 열화도 평가 마스터 선도

본 절에서는 다양한 경년이력을 갖는 Cr-Mo강계를 대상으로 얻은 입계부식시험결과에 대해 설명한다. Fig. 3은 발전설비의 과열기관으로 538°C 에서 약 31,538hrs 동안 사용된 2.25Cr-1Mo강을 대상으로 다양한 시험온도에서 CVN 충격시험을 행하여 얻은 연성-취성전이온도, 곡선이다. 그림에서 백점은 열화재 그리고 흑점은 탈취화재에 대한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 열화재의 연성-취성전이온도는 탈취화재와 비교할 때 고온측으로 이동하였음을 알 수가 있어, 열화거동을 확인할 수가 있다. 열화재와 신재의 과면 천이온도 $(\text{FATT})_{\text{CVN}}$ 는 각각 -53°C 와 -27°C 임을 알 수 있어, 본 과열기관 재료의 재질열화도 $\Delta(\text{FATT})_{\text{CVN}}$

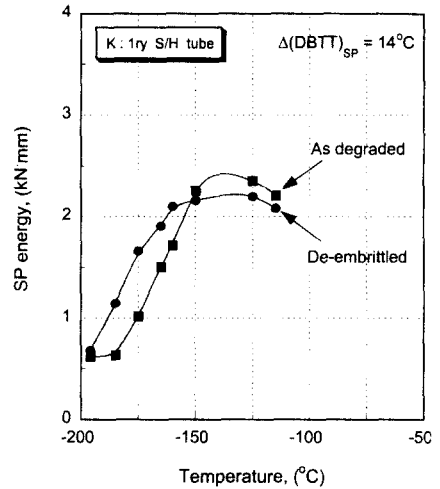


Fig. 4 SP energy transition behavior according to the various temperature for 1ry S/H tube

는 26°C 임을 알 수 있다.

Fig. 4는 1ry S/H tube로 사용된 2.25Cr-1Mo강의 실기열화재와 탈취화재를 대상으로 $-196^\circ\text{C} \sim -100^\circ\text{C}$ 의 온도범위에서 SP시험을 행하여 얻은 연성-취성전이곡선이다. 두 시험재의 천이거동을 보면, 실기재의 천이곡선은 탈취화재의 천이곡선보다 고온 측에 위치하여 열화거동을 보이고 있다. 이때, 탈취화재의 SP 연성-취성전이온도인 $(\text{DBTT})_{\text{SP}}$ 는 -179°C 이고, 실기열화재의 $(\text{DBTT})_{\text{SP}}$ 는 -165°C 임을 알 수 있어 사용재의 재질열화도 즉, $\Delta(\text{DBTT})_{\text{SP}}$ 는 14°C 임을 알 수 있다.

이 같은 방법으로 구한 각 시험재의 재질열화도 시험결과와 입계부식시험 결과를 Table 3에 나타내었다. 표에서 *로 표기된 데이터는 기존에 발표된 데이터^(5,7)를 나타낸다.

Table 3에 나타난 시험결과를 이용하여 Cr-Mo강계의 파괴시험과 입계부식시험 결과사이의 관계그림을 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 두 그림에서 알 수 있듯이 입계부식시험에 의해 얻어지는 입계부식폭(W_{GB})과 격자절단비(N_i/N_0)에 대응한 각 시험재의 재질열화도는 명확한 상관관계를 보이면서 변화함을 관찰할 수가 있다. 여기에서 시험재의 직접관찰과 레프리카 필름 관찰 사이의 측정값의 차이는 빛의 투과능력의 차이와 초점심도의 차이에서 오는 결과로 생각된다. 그러나 모든 재료에서 재질열화도인 $\Delta(\text{FATT})_{\text{CVN}}$,

Table 3 The results of GEM, CVN, and SP test for Cr-Mo steels (* : Ref. 5, 7)

Symbol	W _{GB} (μm)	W _{GB} (μm)	N _i /N ₀	N _i /N ₀	R _{max} (μm)	Δ(FATT) _{CVN}	Δ(DBTT) _{SP}
	Testpiece	Replica film	Testpiece	Replica film			
1P1	1.027*	1.109	0.871*	0.825	0.589*	70*	16
1P2	0.774*	0.886	0.679*	0.552	0.400*	36*	7
1PK1	1.041*	1.026	0.844*	0.816	0.644*	68*	15
1S1	0.569*	0.741	0.463*	0.334	0.296*	15*	3
2P1	-	-	0.547*	0.415	0.344*	20*	4
2P2	0.366*	0.659	0.484*	0.292	0.253*	7*	1
2PK1	0.769*	0.855	0.583*	0.515	0.395*	30*	6
2PK2	-	-	0.666*	0.595	0.485*	40*	9
2PK3	0.697	0.841	0.573	0.470	-	26	5
2PK4	0.797	0.890	0.628	0.557	0.443	33	7
2S1	0.995*	1.083	0.744	0.732	0.500*	60*	13
IC3-1	-	-	0.762	0.648	0.474	41	9
IC3-2	-	-	0.612	0.535	0.395	27	6
US3-1	0.698	0.814	-	-	0.357	20	4
US3-2	0.990	1.088	-	-	0.603	69	15
A	1.070*	-	0.850	-	-	77	17*
B	0.700	-	0.660	-	-	16	3
D	0.940	-	0.750	-	-	47	10
E	1.100*	-	0.920	-	-	94	21*
K	1.030	-	0.850	-	-	64	14*

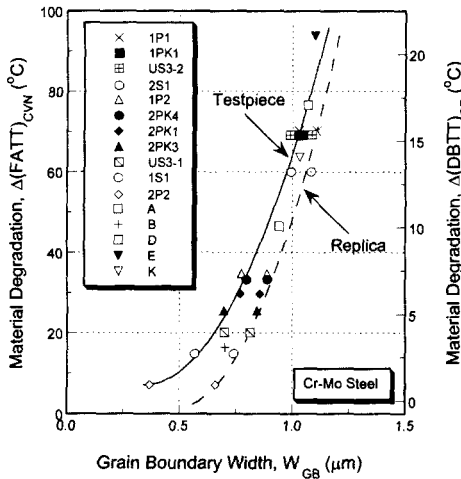


Fig. 5 The relationship between the grain boundary width (W_{GB}) and Δ(FATT)_{CVN} or Δ(DBTT)_{SP} for Cr-Mo steels

Δ(DBTT)_{SP}와 입계부식 특성치 사이에는 각각 하나의 곡선으로 정리 가능함을 알 수 있다. Fig. 7은 표준 입계부식시험을 행한 후에 측정한 최대 표면거칠기(R_{max})와 재질열화도인 Δ(FATT)_{CVN}, Δ(DBTT)_{SP} 사이의 관계를 나타낸 그림이다. 본 그림에서도 두 인자사이에는 매우 뚜렷한 선형적 관계를 보이고 있다. 따라서 피크린산 표준입계부식 시험법에 의해 얻어진 입계부식 특성치 즉, W_{GB}, N_i/N₀ 그리고 R_{max} 등에 의한 재질열화도의

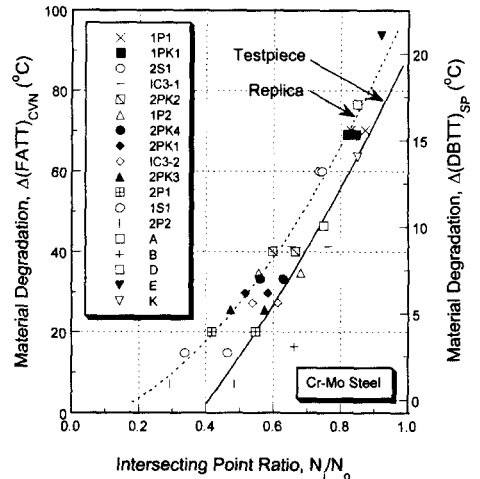


Fig. 6 The relationship between the intersecting point ratio(N_i/N₀) and Δ(FATT)_{CVN} or Δ(DBTT)_{SP} for Cr-Mo steels

평가선도의 식을 기존 발표된 데이터와 추가적으로 얻은 실험결과로부터 최소자승법을 이용하여 재구성하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

평균입계폭(W_{GB})

Testpiece:

$$\Delta(FATT)_{CVN} = 133W_{GB}^2 - 91.10W_{GB} + 22.67$$

$$\Delta(DBTT)_{SP} = 30.93W_{GB}^2 - 21.19W_{GB} + 4.46$$

Replica film:

$$\Delta(FATT)_{CVN} = 179W_{GB}^2 - 174.42W_{GB} + 43.89$$

$$\Delta(DBTT)_{SP} = 41.63W_{GB}^2 - 40.56W_{GB} + 9.39$$

격자절단비($N = N_i/N_o$)

Testpiece:

$$\Delta(FATT)_{CVN} = 53.13N^2 + 71.29N - 34.60$$

$$\Delta(DBTT)_{SP} = 12.36N^2 + 16.58N - 8.861$$

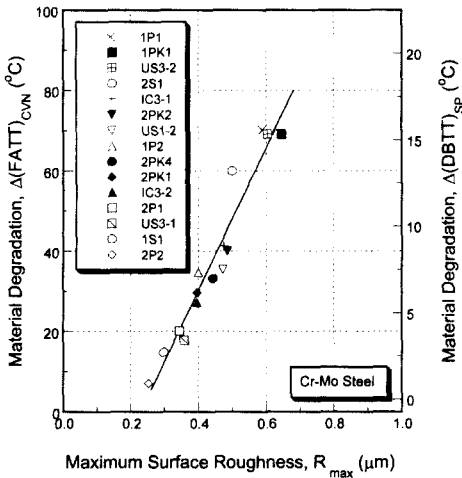


Fig. 7 The relationship between the maximum surface roughness(R_{max}) and $\Delta(FATT)_{CVN}$ or $\Delta(DBTT)_{SP}$ for Cr-Mo steels

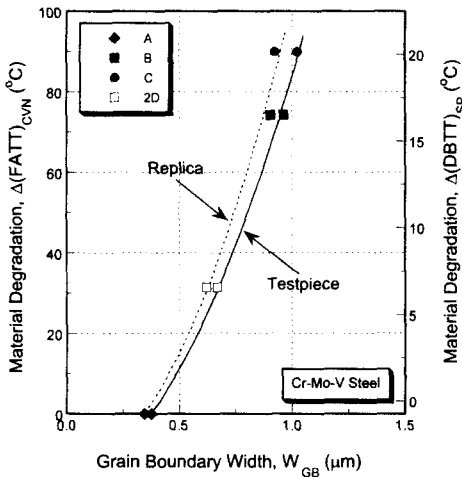


Fig. 8 The relationship between the grain boundary width(W_{GB}) and $\Delta(FATT)_{CVN}$ or $\Delta(DBTT)_{SP}$ for Cr-Mo-V steels

Replica film:

$$\Delta(FATT)_{CVN} = 85.49N^2 + 19.81N - 3.70$$

$$\Delta(DBTT)_{SP} = 19.88N^2 + 4.61N - 1.68$$

최대표면거칠기(R_{max})

Testpiece:

$$\Delta(FATT)_{CVN} = 177.36R_{max} - 40.604$$

$$\Delta(DBTT)_{SP} = 41.15R_{max} - 10.27$$

3.2 Cr-Mo-V강의 열화도 평가 마스터 선도

일반적으로 터빈 로터나 케이싱과 같은 설비부재에는 Cr-Mo-V강계의 강종이 널리 사용된다. 그러나 이들 강종 또한 500℃~600℃ 운전온도에서 장시간 노출되면, 재료내의 미세적인 구조적 변화를 초래하게 된다. 그의 내부구조 변화의 대표적인 것이 앞서 설명하였듯이 입계로의 불순물 편석과 탄화물의 석출 및 조대화 등이다. 본 절에서는 Cr-Mo-V강재의 입계부식 시험결과에 대해 논한다.

Fig. 8과 Fig. 9는 Cr-Mo-V강의 실기재료를 대상으로 피크린산 표준 입계부식시험을 실시하여 얻은 W_{GB} , N_i/N_o 와 재질열화도 $\Delta(FATT)_{CVN}$, $\Delta(DBTT)_{SP}$ 와의 관계를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 입계부식특성치와 재질열화도 사이에는 뚜렷한 곡선적 상관관계가 있음을 관찰

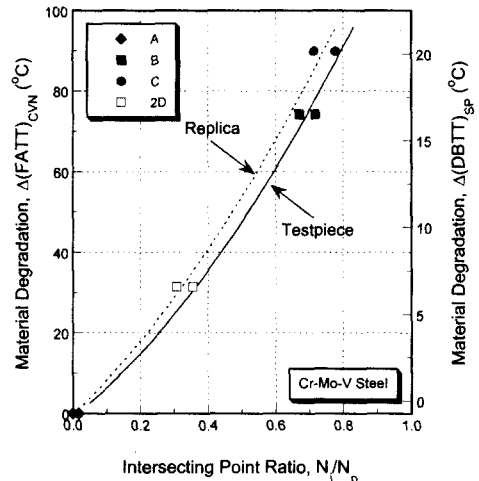


Fig. 9 The relationship between the intersecting point ratio(N_i/N_o) and $\Delta(FATT)_{CVN}$ or $\Delta(DBTT)_{SP}$ for Cr-Mo-V steels

할 수 있어 Cr-Mo강계와 같이 Cr-Mo-V강계에서도 입계부식법에 의한 재질열화도 평가 가능성을 관찰할 수 있다.

Fig. 10은 실기열화제에 대해 25°C 입계부식시험을 수행하여 얻은 부식표면의 R_{max} 와 재질열화도 사이의 관계를 나타낸 그림으로, 재질열화 정도가 증가함에 따라 동일한 부식시험 조건에서 부식깊이 정도가 증가함을 알 수 있다. Table 4에 Cr-Mo-V강에 대한 시험결과를 정리하였다. 이 같은 Cr-Mo-V강의 입계부식법에 의한 열화도 평가 마스터 선도 식을 구하면 다음과 같다.

평균 입계폭(W_{GB})

Testpiece:

$$\Delta(FATT)_{CVN} = 90.76 W_{GB}^2 + 9.53 W_{GB} - 16.21$$

$$\Delta(DBTT)_{SP} = 21.11 W_{GB}^2 + 2.22 W_{GB} - 4.58$$

Replica film:

$$\Delta(FATT)_{CVN} = 117.59 W_{GB}^2 - 3.24 W_{GB} - 12.64$$

$$\Delta(DBTT)_{SP} = 27.35 W_{GB}^2 - 0.75 W_{GB} - 3.75$$

격자절단비($N = N_i/N_o$)

Testpiece:

$$\Delta(FATT)_{CVN} = 59.44 N^2 + 67.28 N - 0.88$$

$$\Delta(DBTT)_{SP} = 13.82 N^2 + 15.65 N - 1.02$$

Replica film:

$$\Delta(FATT)_{CVN} = 54.55 N^2 + 81.09 N - 0.35$$

$$\Delta(DBTT)_{SP} = 12.69 N^2 + 18.86 N - 0.89$$

최대표면거칠기(R_{max})

Testpiece:

$$\Delta(FATT)_{CVN} = 505.58 R_{max} - 106.58$$

$$\Delta(DBTT)_{SP} = 117.58 R_{max} - 25.60$$

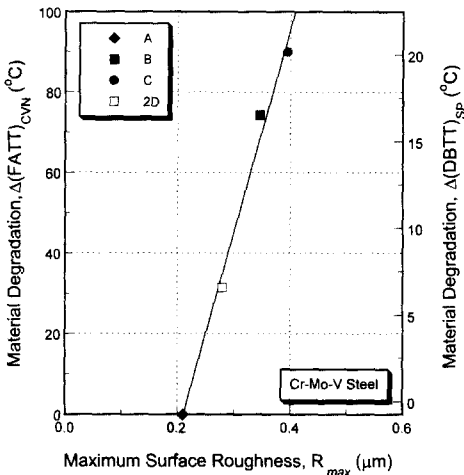


Fig. 10 The relationship between the maximum surface roughness(R_{max}) and $\Delta(FATT)_{CVN}$ or $\Delta(DBTT)_{SP}$ for Cr-Mo-V steels

따라서 Cr-Mo-V강에 있어서도 또한 표준입계부식 시험법에 의해 얻어지는 평균 입계폭, 격자절단비, 최대표면거칠기 등을 이용하여 실기재료에 대한 재질열화도의 평가가 가능함을 알 수 있어, 앞으로 많은 실기부재의 적용이 기대된다.

3.3 원도우즈 98 환경 하에서 열화도 평가 프로그램 개발

본 절에서는 입계부식 실험으로부터 얻은 결과(입계폭, 격자절단비, 표면거칠기)와 파괴시험에 의해 얻은 재질열화도($\Delta(FATT)_{CVN}$, $\Delta(DBTT)_{SP}$)의 실험적 마스터 선도를 근거하여 개발된 “입계부식법을 이용한 열화도 평가 프로그램”의 평가 가능재료와 인자 그리고 주요 화면에 대해 정리하였다.

3.3.1 평가 가능 재료와 인자

본 프로그램에서 적용할 수 있는 평가 대상재

Table 4 The results of GEM, CVN, and SP test for Cr-Mo-V steels

Symbol	W_{GB} (μm)	W_{GB} (μm)	N_i/N_o	N_i/N_o	R_{max} (μm)	$\Delta(FATT)_{CVN}$	$\Delta(DBTT)_{SP}$
	Testpiece	Replica film	Testpiece	Replica film			
A	0.376	0.345	0.017	0	0.210	0.0	0.0
B	0.959	0.902	0.715	0.669	0.346	32	17
C	1.022	0.924	0.777	0.714	0.395	74	20
2D	0.669	0.621	0.355	0.307	0.280	90	7

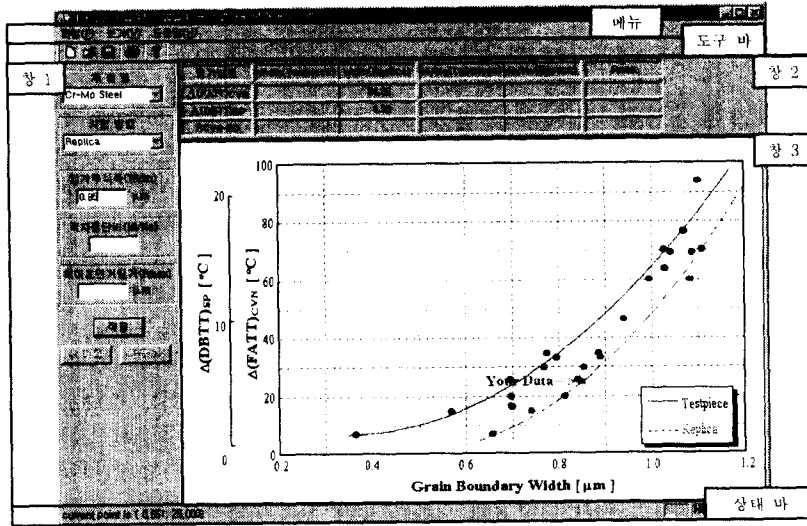


Fig. 11 An executed example of GEM program using W_{GB} for Cr-Mo steel

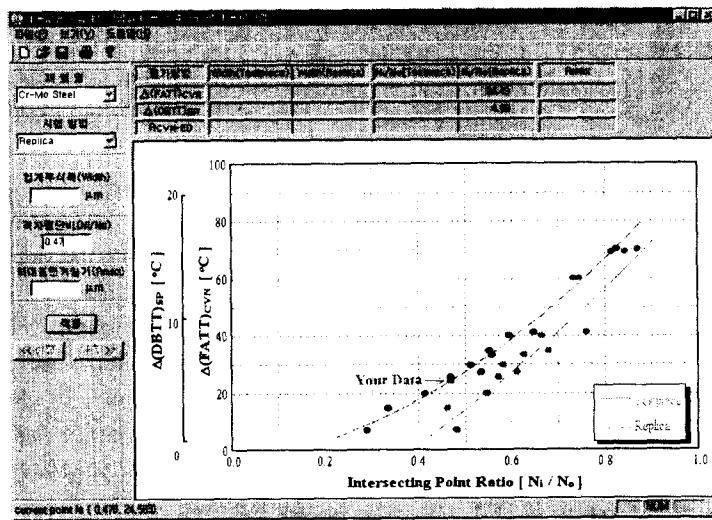


Fig. 12 An executed example of GEM program using N_i/N_o for Cr-Mo steel

료는 Cr-Mo강계와 Cr-Mo-V강계이다.

3.3.2 프로그램 개발 도구

본 연구에서 개발한 입계부식법을 이용한 열화도 평가 프로그램은 마이크로 소프트웨어 Visual C++을 이용하여 제작하였다.

3.3.3 입계부식 프로그램 윈도우의 구성

Fig. 11과 Fig. 12는 본 연구에서 개발한 프로그램의 예를 나타낸 그림이다. 프로그램은 Fig.

11에서와 같이 크게 3개의 창, 메뉴, 도구바(tool bar)로 구성되어 있다. 창 1은 시험 대상재료의 선결과 실험에서 얻은 데이터(입계부식폭, 격자절단비, 최대표면거칠기)를 입력하는 창이며, 창 2는 입력된 데이터와 마스터 선도에 의해 얻은 결과 값을 표시하는 창이다. 창 3은 입계부식 입력결과와 열화도 평가 결과를 마스터 선도와 함께 출력하는 창이다. Fig. 11과 Fig. 12는 Cr-Mo강의 레프리카 필름에 대해 측정된 입계부식폭과 격자절단비의 데이터를 이용하여 프로그램을 실행시

킨 결과를 보여주고 있다. 또한 프로그램내의 도움말에는 입계부식법에 의한 재질열화 평가개요, 피크린산 포화수 표준액 제조법 등이 포함되어 있다. 이 같은 프로그램은 경년이력을 갖는 발전 설비 내열강의 열화도 평가를 매우 간편하게 판독 가능하게 한다. 현재 본 프로그램은 국내의 발전 설비에 대한 재질열화도 평가에 있어 몇몇 산·연기관에서 매우 유용하게 사용되고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 발전 설비의 대표적인 내열재료인 Cr-Mo강계와 Cr-Mo-V강계에 대해 80년대 후반부터 본 대학에서 수행된 비파괴적인 입계부식 시험결과들을 종합적으로 정리하였다. 이렇게 얻은 실험 결과를 근거하여 두 강종에 대해 열화도 평가 마스터 선도를 재구성하였고, 최종적으로 실기 적용성을 높이기 위해 윈도우즈 환경 하에서 Visual C++ 프로그램을 이용하여 “입계부식법에 의한 재질열화도 평가 프로그램(Ver. 2.0)”을 개발하였다. 향후, 이 같은 입계부식시험 분야는 보다 다양한 재질열화 기구의 평가에 적용 가능할 것으로 기대하며, 이를 위해 관련 연구기관의 노력이 필요하다고 생각한다.

후 기

본 연구는 1999년 한국표준과학연구원의 위탁 과제 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 遠藤忠良, 1990, “大型構造物の破壊管理への應用と課題,” 日本材料學會誌, 第39卷, 第436號, pp. 89~95.
- (2) 한국표준과학연구원, 1991, “시험·평가기술

개발과 고온사용설비 파손방지 기술개발,” 과학기술처 연구보고서.

- (3) 유효선, 1998, “전기화학적 분극시험방법에 의한 고온부재의 비파괴적 드임취화 평가기술 개발에 관한 연구,” 한국과학재단 연구보고서.
- (4) 清水健一, 野方文雄, 瀬尾健二, 廣瀬幸雄, 鄭世喜, 1987, “粒界腐植法による石油化學プレント用高温機器の經年劣化評價法,” 日本材料強度學會誌, 第22卷, 第3號, pp. 106~114.
- (5) 유효선, 정세희, 1996, “입계부식법에 의한 고온부재의 경년열화도 평가에 관한 연구,” 한국재료학회지, 제6권, 제3호, pp. 253~263.
- (6) 한국표준과학연구원, 전북대학교, 1998, “입계부식법을 이용한 고온기기의 열화도 평가방법,” 특허 제138493호.
- (7) 김정기, 윤재영, 송기욱, 이주진, 정세희, 1991, “입계부식법에 의한 플랜트용 고온기기의 경년재질열화 평가에 관한 연구,” 대한기계학회 논문집, 제15권, 제3호, pp. 898~906.
- (8) JAERI-memo(62-193), 1987, “SP Test Method,” *Japan Atomic Energy Research Institute*, pp. 1~135.
- (9) Special Publication of National Aerospace Lab., 1992, “SP / MSP Test Method for FGM Development SP-17,” Japan, pp. 1~79.
- (10) Saito M., Takahashi H., Jeong H. D., Kawasaki A. and Watanabe R., 1991, “Evaluation of Fracture Toughness for Metal / Ceramics Composite Materials by Means of Miniaturized Specimen Technique,” *Japan Soc. Mech. Eng.*, Vol. 57, No. 535, pp. 522~529.
- (11) Hyo-Sun Yu, Eui-Gyun Na, and Se-Hi Chung, 1999, “Assessment of Stress Corrosion Cracking Susceptibility By Small Punch Test,” *Journal of Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, European Structural Integrity Society*, Vol. 22, No 10, pp. 889~896.