

粒界腐蝕法에 의한 高溫部材의 經年 劣化度 評價에 關한 研究

유 효 선 · 정 세 희
전북대학교 정밀기계공학과

A Study on the Evaluation of Material Degradation for High Temperature Structural Components by Using Grain Boundary Etching Method

Hyo-Sun Yu, Se-Hi Chung

Department of Precision Mechanical Engineering, Chonbuk National University,
Chonju, Republic of Korea

초 록 고온·고압하에서 장시간 사용되는 고온부재용 구조물은 정년열화현상을 나타낸다. 그러므로 구조물의 안정성 측면에서 재질열화의 정도를 정량적으로 평가하는 것이 중요하다. 그러나 실제 구조물에서 채취할 시험편의 크기와 수는 제한이 되기 때문에 새로운 비파괴적인 평가법이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 화력발전설비에 이용되는 탄소강과 페라이트강에 대한 열화도의 평가를 위해 입계부식법의 적용 가능성을 조사한다. 시험결과, 재질열화의 정도는 사용시간보다 사용온도에 더 큰 영향을 받았으며, Larson-Miller 인자와 열화도($[\Delta DBTT]_{SP}$)사이의 관계는 선형적이었으나, 강종에 따라 다른 기울기를 보였다. 반면, 연성-취성전이온도($[DBTT]_{SP}$)와 격자질단비(N/N_0)와 관계는 강종에 무관하게 선형적인 비례관계를 나타내었다. 또한, $[\Delta DBTT]_{SP}$ 와 N/N_0 의 관계로부터 입계부식법은 페라이트계 강뿐만아니라 탄소강에 대해서도 유용한 재질열화 평가 방법임을 알 수 있었다.

Abstract High temperature structural components represent the phenomenon of material degradation according to the long-term operation under high temperature and pressure. So, the degree of material degradation must be evaluated by fracture test quantitatively in aspect of safety. However, because fracture tests are limited in size and number of specimen obtained from the structural components, nondestructive tests are required. Therefore, the object of this study is to investigate the applicability of grain-boundary etching test in evaluation of material degradation for high temperature structural materials, carbon and ferritic steels.

According to test results, it could be known that the degree of material degradation was more affected by service temperature than service time. And the relationship between Larson-Miller parameter and material degradation ($[\Delta DBTT]_{SP}$) was linear, but the slope was dependent on the type of steel. On the other hand, the relationship between ductile-brittle transition temperature($[DBTT]_{SP}$) and intersecting point ratio of grid(N/N_0) was linear regardless of the type of steel. Additionally, from the relationship between $[\Delta DBTT]_{SP}$ and N/N_0 , it could be recognized that grain boundary etching test was an useful test method in evaluation the degree of material degradation for carbon steels as well as ferritic steels.

1. 서 론

고온, 고압하에서 사용되는 화력발전 설비나 석유화학 설비 등의 내열구조부재들은 가동시간의 증가에 따른 재료의 미세조직 변화에 의해 우수한 재질특성이 저하하는 재질열

화(material degradation)현상을 나타낸다¹⁾. 이는 탄화물이나 금속간 화합물의 생성, 불순물원소의 입계편석 등을 수반하고, 특히 입계 석출물은 입계의 강도에 큰 영향을 미치게 된다. 이러한 고온부재의 정년열화 정도는 부하상태에 따라 가속되므로 가동중에 응력을 받

는 경우나 가동시간이 증가됨에 따라서 더욱 증가하게 된다. 이에 따라 안전운전의 측면에서 현상태의 진단 및 잔여수명을 예측하는 일은 매우 중요하다²⁾.

따라서, 고온부재의 경년열화 정도는 현장 실기에서 시험편을 채취하여 충격시험이나 크리프시험 등의 기계적 시험을 행하여 평가하는 것이 가장 정확하다. 그러나 가동중인 현장실기에서 파괴인성 평가를 위한 대형의 시험편채취가 불가능한 경우가 대부분이고 시간적인 제약이 있기 때문에 현장실기부재의 강도에 영향을 미치지 않는 범위내에서 미소시험편을 채취할 수 있는 시험방법이나 균열발생 이전의 재질열화를 포함한 비파괴적인 검출 및 평가를 위한 비파괴시험법(nondestructive test : NDT)이 요구되어지고 있다³⁾.

그러나 종래 이러한 고온부재에 대한 경년열화도의 평가는 주로 페라이트강재인 과열기(primary S/H tube : 이하 1ry S/H, secondary S/H tube : 이하 2ry S/H) 및 재열기(reheater tube)에 대한 연구⁴⁾가 대부분으로 보일러내의 탄소강의 재질을 갖는 각종 tube(screen tube, convection tube, slope section tube 등)에 대한 연구보고는 극히 드문 상태이다.

따라서 이러한 연구배경하에서 본 연구에서는 미소시험편을 이용한 준 비파괴적인 시험방법인 소형펀치(small punch : SP)시험법⁵⁾과 재료내의 특정산화물의 부식도를 이용하는 입계부식법(grain-boundary etching method : GEM)⁶⁾의 시험결과를 비교 평가하여 비파괴적인 시험방법인 입계부식법에 의한 페라이트강 및 탄소강의 고온부재에 대한 재질 열화의 평가가능성을 조사해 보고자 한다.

2. 실험 방법

시험편

본 실험에서 사용된 tube는 발전소의 설비 교체기간 중에 채취한 탄소강인 screen tube, convection tube, slope section tube, left hand side water wall tube 그리고 right hand side water wall tube와 페라이트강인 1ry S/H(1/2Mo강)와 2ry S/H(2 1/4Cr-1Mo강)로 준비하였다. Fig. 1에 화력발전 보일러내에서 tube의 채취부위를 나타내었다. 이들 tube재의 화학적 조성과 기계적 성질 그리고 사용이력을

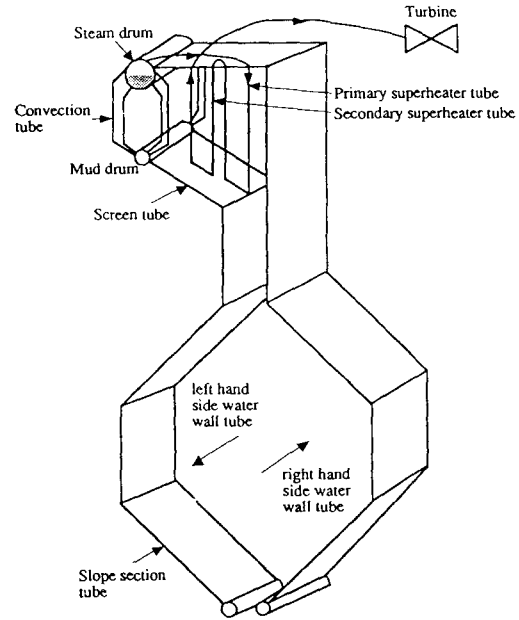


Fig. 1. The schematic diagram of power plant and location of specimen.

Table 1과 Table 2에 나타내었다. 시험편의 채취는 tube의 외측 표면에서 $10 \times 10 \times 0.5$ mm의 크기를 갖는 표준 SP시험편으로 채취하여 가공하였다. Tube로부터 시험편의 채취방법과 시험편의 크기를 Fig. 2에 나타내었다. 또한 경년열화된 시험편의 열화도를 평가하기 위해 사용된 신재는 시험편이 보관되어 있지 않아, 열화재를 Fig. 3과 같이 650°C 에서 3.5시간 유지한 후 공냉시키는 탈취화 열처리를 한 재료로 대체하였다.

또한 입계부식법에 사용된 시험편은 $10 \times 10 \times 1$ mm의 크기로하여 부식면을 제외하고 에폭시(epoxy)수지로 고정되었다. 시험편의 표면상태는 조직상태를 관찰할 수 있도록 수지연마지(emery paper)를 이용하여 #100~#1500까지 연마한 후, $0.3\mu\text{m}$ 의 alumina powder를 이용하여 buff연마를 함으로써 표면을 경면상태로 유지하였다.

실험방법

SP-저온시험

Fig. 4에 SP-저온시험장치의 개략도와 시험지그의 상세도를 나타내었다. SP시험지그는 크게 상부다이(upper die)와 하부다이(lower die) 그리고 펀치(punch)와 강구(steel ball)로

Table 1—Chemical Composition (wt.%)

Steels		Spec. No.	Symbol	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo
Carbon		SA178C	A,B,C, D,F	0.35	0.8	0.050	0.060			
Ferrite	1/2Mo	SA209 T1A	E	0.15	0.5	0.045	0.045	0.35		0.44
	2 1/4 Cr-1Mo	SA213 T22	G	0.15	0.4	0.030	0.030	0.50	2.11	0.96

—Mechanical properties

Steels		Spec. No.	Symbol	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)
Carbon		SA178C	A,B,C,D,F	413	255
Ferrite	1/2Mo	SA209 T1A	E	379	207
	2 1/4 Cr-1Mo	SA213 T22	G	413	207

Table 2. Service Conditions.

Symbol	Location of specimen	Service years (yrs.)	Service temperature (°C)
A	screen tube	26	390
B	convection tube	26	230
C	slope section tube	11	250
D	left hand side water wall tube	26	280
E	2ry superheater tube	8	520
F	right hand side water wall tube	11	300
G	1ry superheater tube	11	440

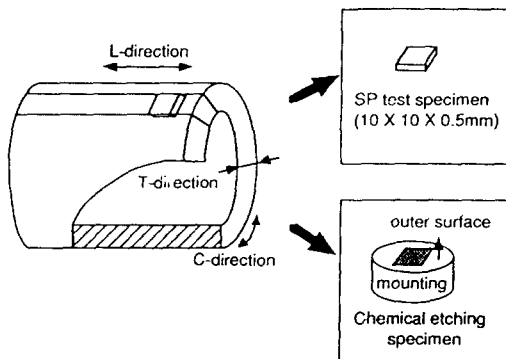


Fig. 2. Extraction procedure of specimen

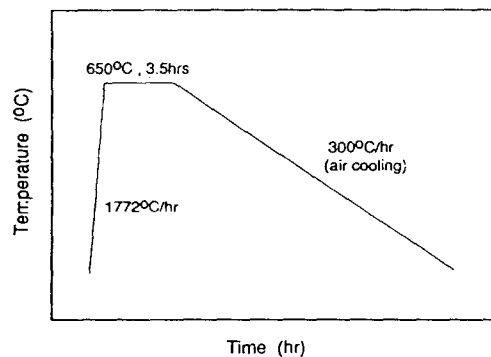


Fig. 3. Heat treatment condition of de-embrittlement

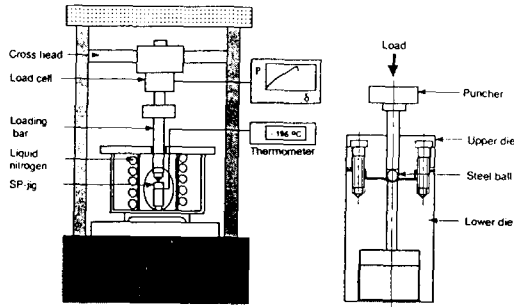


Fig. 4. The schematic diagram of SP test equipment

구성되어 있다. SP-저온시험은 용량 10ton의 만능시험기를 사용하여 펀치선단에 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 $-196^{\circ}\text{C} \sim -50^{\circ}\text{C}$ 의 범위로 하였으며, 온도 제어범위는 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 하였다. 또한 실험종료 후, 시험재의 미세적 표면양상을 주사전자현미경(scanning electron microscope : SEM)을 사용하여 관찰하였다.

입계부식시험

본 연구에서는 입계부식 시험방법들 중 격자절단비(intersection point ratio)의 분석방법을 사용하였다. 부식액은 100°C 로 가열하여 충분히 탈기시킨 후, 냉각한 25°C 의 증류수 100ml에 1.3g의 피크린산을 용해시킨 다음, 여기에 계면활성화제인 laurylbenzen sulfonic acid sodium salt($\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{SO}_3\text{Na}$)를 1g 첨가한 표준부식액⁶⁾을 사용하였다. 부식실험은 열화재와 탈취화재에 대하여 표준부식액에서 5분과 30분 부식하였으며, 부식한 후 얻은 동일 배율의 조직사진으로부터 격자절단비(N/N_0)를 구하였다. 여기서 N_0 와 N 는 각각 30분 그리고 5분 부식시켰을 때 얻은 입계와 격자의 교차된 수이다. 그리고 N/N_0 의 산출은 각 시험재의 2지점을 각각 2회 측정하여 얻은 평균값으로 하였다. Fig. 5에 입계부식법에 의한 입계와 격자의 교차점 즉, 부식도의 측정방법을 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

SP-저온시험에 의한 열화도의 평가

하중-변위거동에 미치는 온도의 영향

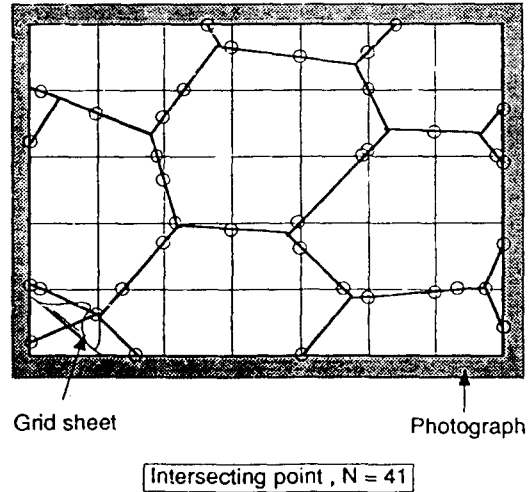


Fig. 5. Measuring method of intersecting point for the degree of etching

Fig. 6과 Fig. 7은 여러 시험재중 2ry S/H ($2\ 1/4\text{Cr}-1\text{Mo}$)의 열화재와 탈취화재를 대상으로 $-196^{\circ}\text{C} \sim -50^{\circ}\text{C}$ 범위의 SP-저온시험으로부터 얻은 하중-변위($P-\delta$)선도들이다. 두 그림에서 알수 있듯이 시험온도가 저온으로 갈수록 낮은 $P-\delta$ 거동을 보여 시험재의 파괴거동은 모두 시험온도에 크게 의존함을 관찰할 수 있다.

한편, 동일 온도에서 열화재와 탈취화재의 하중-변위거동을 비교해 보면, 탈취화재의 경우가 모두 높은 최대하중을 보여 탈취화 열처리에 의한 tube재의 파괴강도의 증가를 알 수 있다. 이 같은 결과는 고온 플랜트의 내열부재인 Cr-Mo강의 뜨임취화(temper embrittlement) 현상의 소실 즉, 입계에서의 불순물 원소의 편석(segregation) 그리고 조대화된 탄화물(carbide coarsening)이 650°C 에서 3.5hrs 동안 열처리함으로써 불순물 원소의 확산과 응집 조대화된 탄화물의 재분배에 기인한 결과라고 생각된다⁷⁾.

연성-취성전이거동에 의한 열화도 평가

Fig. 6과 Fig. 7의 하중-변위곡선의 아래면적으로 계산된 SP-에너지(E_{SP})를 시험온도에 따라 나타내면 그 결과는 Fig. 8과 같다. 두 시험재의 천이거동에서 열화재의 천이곡선은 탈취화재의 천이곡선보다 고온측에 위치하여 큰 열화정도를 예견할 수 있다. 이때 각 시험

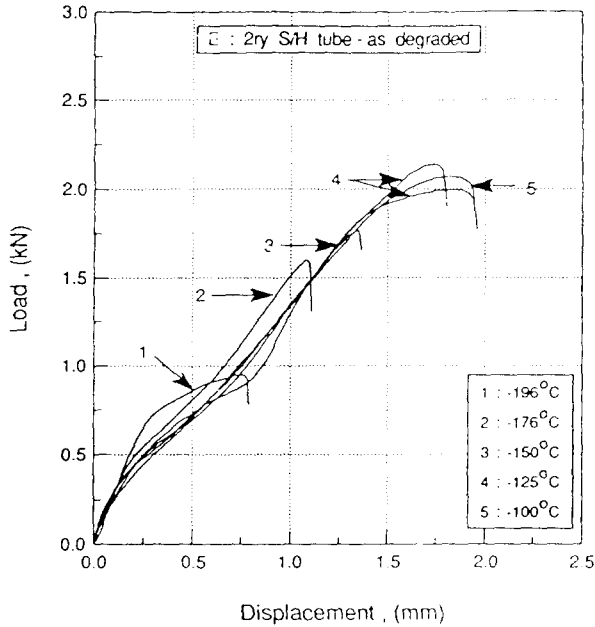


Fig. 6. Load-displacement curves for 2ry superheater tube - as degraded in various temperatures.

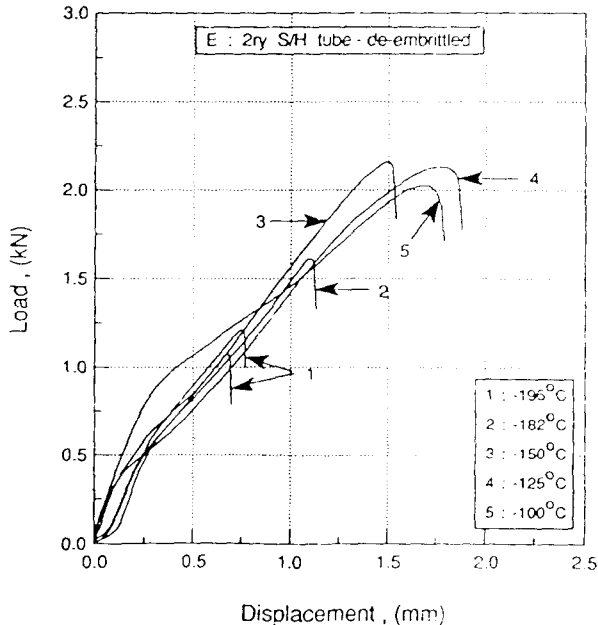


Fig. 7. Load-displacement curves for 2ry superheater tube - de-embrittled in various temperatures.

재의 경년열화도를 평가하기 위해 사용된 연성-취성전이온도(ductile-brittle transition temperature : DBTT)는 E_{SP} 의 온도의존곡선으로부터 상부(upper shelf)점의 E_{SP} 와 하부(lower

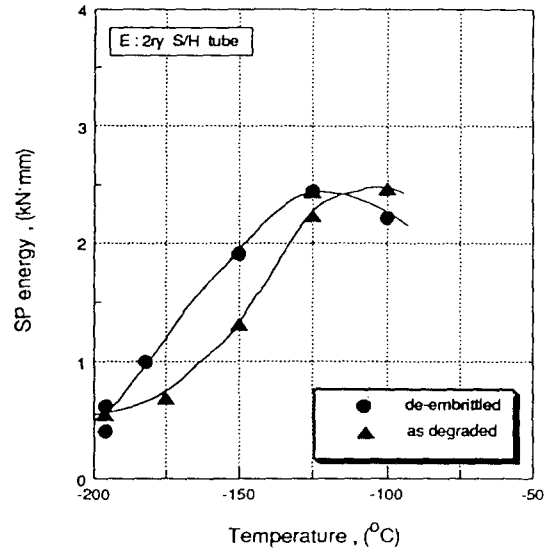


Fig. 8. Transition behavior of SP energy according to the various temperature for 2ry superheater tube.

shelf)점의 E_{SP} 의 평균값에 해당하는 온도로 정의된다³⁾. 또한 사용재의 재질열화도는 신재와 열화재에 대한 각각의 $[DBTT]_{SP}$ 를 측정 한 후, 그 차를 이용하여 얻은 $[\Delta DBTT]_{SP}$ 를 사용하였다³⁾. 따라서 탈취화재와 열화재의 $[DBTT]_{SP}$ 는 각각 $-167^{\circ}C$ 와 $-146^{\circ}C$ 임을 알 수 있다. 그러므로 2ry S/H의 열화도 즉, $[\Delta DBTT]_{SP}$ 는 $21^{\circ}C$ 로서 큰 열화정도를 알 수 있다. 한편, 각 온도에 따른 재료의 파괴거동을 관찰하기 위하여 2ry S/H의 열화재에 대한 미시적 파괴거동을 SEM에 의해 관찰하여 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 먼저 하부영역의 E_{SP} 를 보이는 $-196^{\circ}C$ 에서는 취성파괴인 전형적인 벽개파면(cleavage fractograph)을, 이에 대해 상부영역의 E_{SP} 를 보이는 $-100^{\circ}C$ 에서는 전형적인 딴플(dimple)파면인 연성파면(ductile fractograph)을 보이고 있다. 한편, $-150^{\circ}C$ 에서는 벽개파면과 딴플파면이 혼재된 의벽개파면(quasi-cleavage fractograph)을 보여, 연성-취성전이온도 부근에서 재료의 파괴거동의 전이를 관찰할 수 있다.

Fig. 10과 Fig. 11에 여러 tube재중 탄소강인 A재의 screen tube와 C재인 slope section tube의 열화재와 탈취화재에 대한 E_{SP} 의 온도의존곡선을 나타내었다. 먼저 각 시험재의 전이거동을 보면 열화재의 온도의존곡선은 탈취

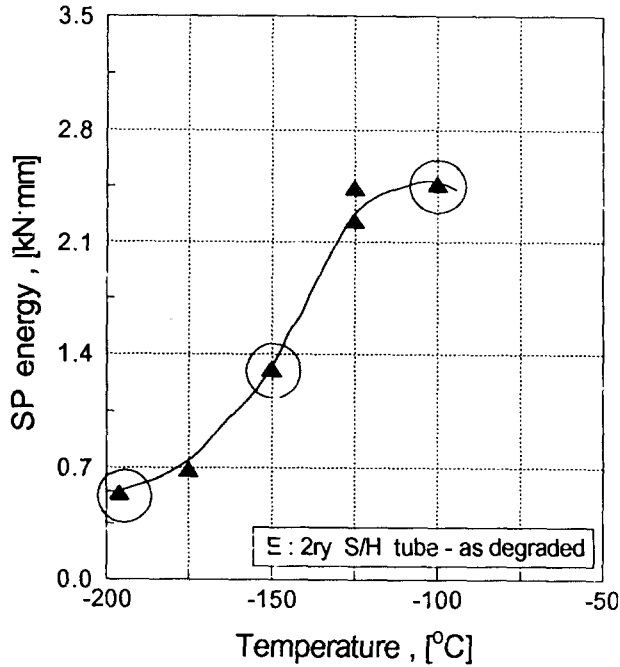


Fig. 9. SEM micro-fractographs according to the temperature in 2ry superheater tube - as degraded.

화재의 온도의존곡선에 비하여 약간 혹은 상당량 고온측으로 이동함을 관찰할 수 있다.

먼저 Fig. 10의 390°C에서 26년 사용된 A재인 screen tube재의 경우, 탈취화재와 사용재에 대한 E_{SP} 의 온도의존곡선에서 탈취화재의 $[DBTT]_{SP}$ 는 $-190^{\circ}C$, 사용재의 $[DBTT]_{SP}$ 는 $-160^{\circ}C$ 로서 열화도인 $[\Delta DBTT]_{SP}$ 는 $30^{\circ}C$ 를 나타내고 있어 상당량의 열화정도를 보이고 있다. 반면, Fig. 11의 250°C에서 11년 사용된 C재인 slope section tube의 열화도는 $8^{\circ}C$ 를 보여, 앞의 A재와 E재의 경우보다 열화정도가 적음을 알 수 있다.

이와 같은 방법으로 산출된 각 tube의 열화재와 탈취화재에 대한 $[DBTT]_{SP}$ 와 $[\Delta DBTT]_{SP}$ 의 결과를 Table 3에 나타내었다.

여기서 사용온도 및 사용이력이 다른 각 tube재의 열화도를 비교해 보면, 먼저 탄소강의 경우는 사용기간이 같은 A재와 B재(26yr.) 그리고 C재와 F재(11yr.)를 보면, 모두 사용온도가 높은 tube재의 경우가 큰 열화정도를 보이고 있다. 그리고 탄소강의 tube재에 있어 고온 습증기가 포함되어 tube의 관벽 온도가 가장 높고 또 사용시간이 가장 긴 A재인 screen tube가 가장 큰 열화정도를 보이고 있다. 한편, 페라이트강의 경우인 E재와 G재의 경우를 보면, 사용시간 측면에서 볼 때

Table 3 Results of SP test in low temperature

Symbol	Structure	$[DBTT]_{SP}(^{\circ}C)$	$[\Delta DBTT]_{SP}(^{\circ}C)$
A	de-embrittled	-190	30
	as degraded	-160	
B	de-embrittled	-186	6
	as degraded	-180	
C	de-embrittled	-169	8
	as degraded	-161	
D	de-embrittled	-190	1
	as degraded	-189	
E	de-embrittled	-167	21
	as degraded	-146	
F	de-embrittled	-189	15
	as degraded	-174	
G	de-embrittled	-178	17
	as degraded	-161	

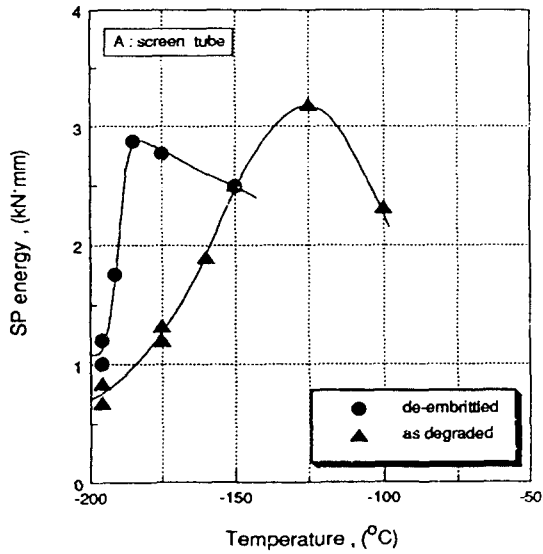


Fig. 10. Transition behavior of SP energy according to the various temperature for screen tube.

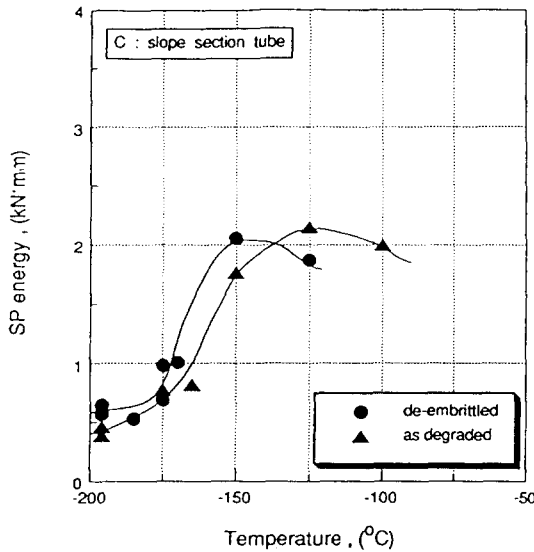


Fig. 11. Transition behavior of SP energy according to the various temperature for slope section tube.

G재인 1ry S/H(1/2Mo강)가 E재인 2ry S/H (2 1/4Cr-1Mo강)보다 사용시간이 길지만, 2ry S/H재의 경우가 더 큰 열화정도를 보이고 있다. 이같은 결과는 보일러내에서의 tube 재의 사용온도 차이에 의한 결과로, 520°C의 사용온도를 갖는 2ry S/H가 더 큰 열화정도를 보이는 것으로 사료된다.

한편, 고온 환경에 처해 있는 내열부재의

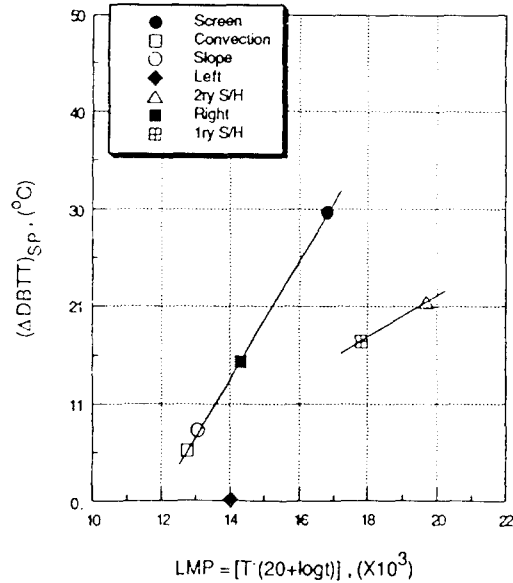


Fig. 12. The relationship between $[\Delta DBTT]_{SP}$ and LMP for various tubes.

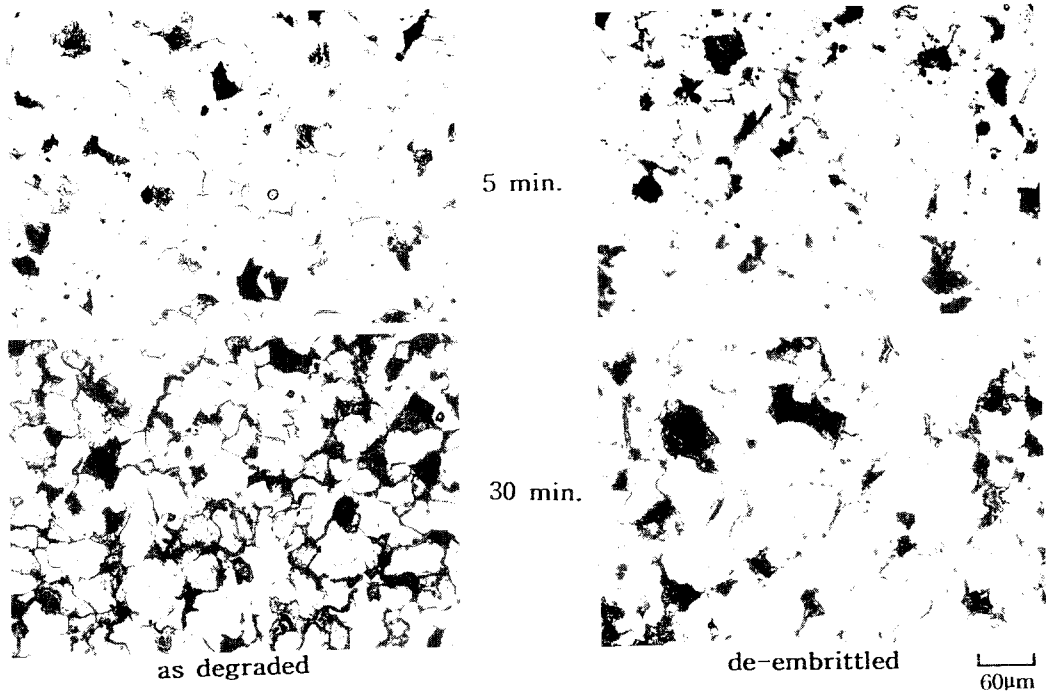
실험실적인 creep손상 정도를 나타내는 Larson-Miller 인자인 LMP는 다음과 같은 식에 의해 산출된다⁵⁾.

$$LMP = T \times (20 + \log t)$$

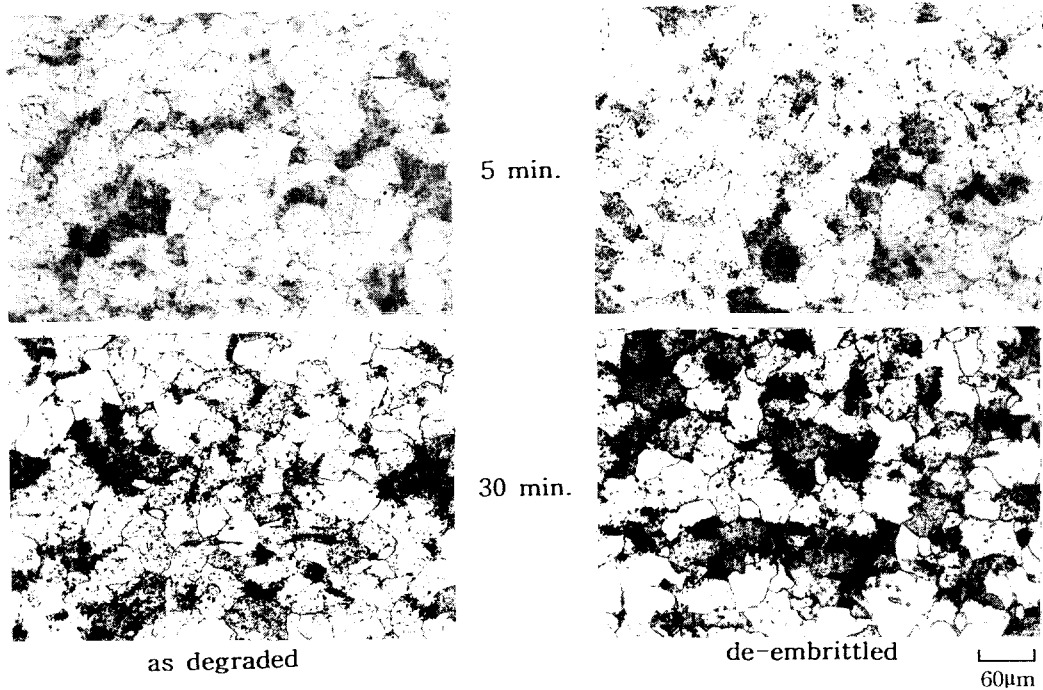
여기서 T : 부재의 사용온도(K)

t : 부재의 사용시간(hr.)

이같이 부재의 사용시간과 사용온도에 의해 결정되어지는 LMP 인자는 최근 creep 손상 정도뿐만 아니라 고온부재의 탄화물의 유기취화 및 뜨임취화에 의해 야기되는 tube재의 열화정도인 $[\Delta FATT]_{CVN}$ 즉, Charpy 충격시험에 의해 얻어지는 파면천이온도(fracture appearance transition temperature : FATT)와도 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되고 있다⁴⁾. 따라서 이러한 LMP인자와 앞의 SP-저온시험에 의해 얻은 $[\Delta DBTT]_{SP}$ 와의 관계를 살펴보면, 그 결과는 Fig. 12와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 두 인자사이에는 강중에 크게 의존함을 알 수 있다. 먼저 탄소강의 경우를 보면, D재의 경우를 제외하고 뚜렷한 선형적 관계가 있음을 알 수 있다. 그리고 페라이트 강재에서는 data점의 수는 적지만 두인자 사이에 선형적 관계가 있음을 유추할 수 있다. 그리



(a) slope section tube



(b) 2ry S/H tube

Fig. 13. Microstructures of degraded and de-embrittled materials on each etching time for slope section tube and 2ry superheater tube.

고 이러한 결과로부터 Cr-Mo강이 아닌 탄소강의 경우에도 뜨임취화에 의한 tube의 열화

정도는 고온부재의 사용온도(K)와 사용시간(t)의 함수인 LMP와 밀접한 관계가 있음을

Table 4. Results of GEM

Symbol	Structure	N _t /N ₀
A	de-embrittled	0.498
	as degraded	0.768
B	de-embrittled	0.560
	as degraded	0.589
C	de-embrittled	0.730
	as degraded	0.634
D	de-embrittled	0.567
	as degraded	0.490
E	de-embrittled	0.731
	as degraded	0.922
F	de-embrittled	0.547
	as degraded	0.667
G	de-embrittled	0.768
	as degraded	0.854

알 수 있다.

입계부식법의 격자절단비에 의한 열화도의 평가

Fig. 13은 C재인 slope section tube와 E재인 2ry S/H의 5분 부식과 30분 부식의 조직사진의 한 예를 나타낸다. 먼저 slope section tube를 보면, 열화재의 경우가 탈취화재의 경우보다 입계탄화물의 편성된 양이 많고, 입계폭도 넓어져서 뚜렷한 입계를 관찰할 수 있다. 그리고 5분 부식보다 30분 부식이 입계가 뚜렷한 것은 부식시간의 증가에 따라 입계에 석출된 탄화물 또는 불순물이 계속적으로 부식이 되는 것일 뿐만아니라, 탄화물의 형성에 따라 입계근처에 형성되는 무석출대도 부식이 되는 것으로 생각된다. 또한 탈취화재의 경우 열처리로 인해 입계에 존재하던 탄화물이 입내로 재확산된 것도 관찰할 수 있다. 한편, 격자판과 교차되는 입계의 수는 열화재(5분 : 237개, 30분 : 374개)와 탈취화재(5분 : 270개, 30분 : 370개) 모두 각각의 5분, 30분 부식에서 거의 같은 수를 보여 열화정도가 작은 것을 예측할 수 있다. 반면에 2ry S/H의 경우는 열화재를 볼때 입내나 입계에 다량의 탄화물을 관찰할 수 있어 열화가 많이 진행된 것을 예측할 수

있다. 격자판과 교차되는 입계수는 30분 부식의 경우, 열화재(398개)와 탈취화재(383개)에서 거의 같은 수를 보이나, 5분 부식에서는 열화재가 367개, 탈취화재는 280개로서 열화재의 격자절단비(N_t/N₀ : 0.922)는 slope section tube의 열화재의 격자절단비(N_t/N₀ : 0.634)보다 커, 열화정도가 큰 것을 알 수 있다. Table 4에 입계부식법에 의해 구한 A재~G재까지의 격자절단비(N_t/N₀)를 나타내었다.

Fig. 14에 각 tube재의 N_t/N₀ 결과와 LMP와의 상관관계를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 D재를 제외하고 강종에 무관하게 LMP값이 증가함에 따라 높은 N_t/N₀의 값을 보이고 있다. 또한 이러한 그림으로부터 N_t/N₀의 결과는 tube의 사용시간보다는 사용온도에 매우 밀접한 관계가 있음을 관찰할 수 있다. 한 예로 실기사용온도가 가장 높은 2ry S/H의 경우가 가장 높은 N_t/N₀값을 보이고 있다. 따라서 이상의 두인자 사이의 뚜렷한 선형적 관계로부터 탄소강 및 페라이트강의 tube재에 대한 경년열화에 따른 입계부식 시험의 적용성 및 유효성을 확인할 수 있다.

다음은 이러한 입계부식 시험결과를 앞의 각 tube재에 대한 SP-저온시험 결과와 비교,

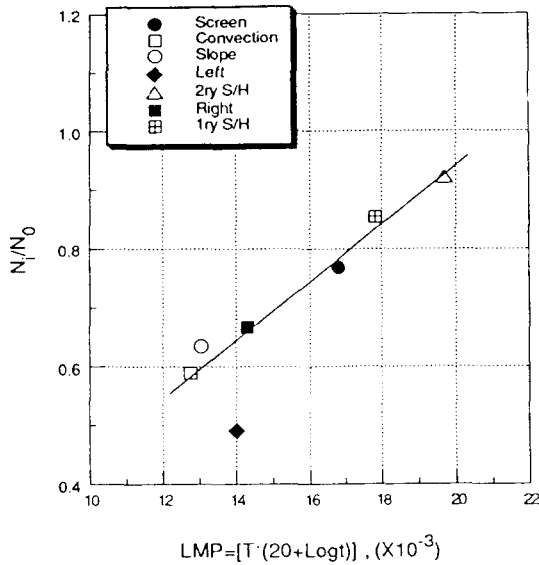


Fig. 14. The relationship between N_i/N_0 and LMP for various tubes.

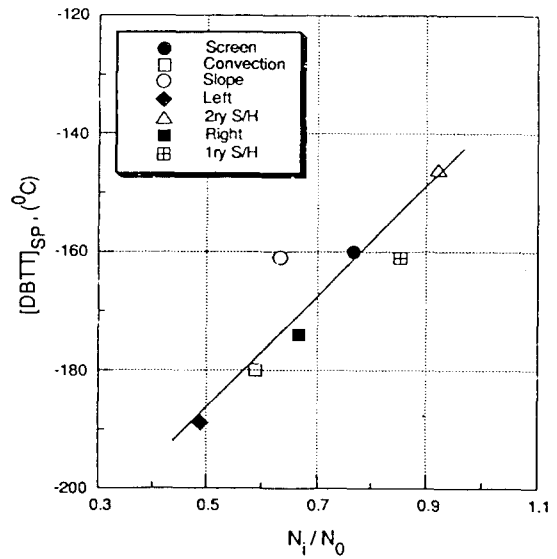


Fig. 15. The relationship between N_i/N_0 and $[DBTT]_{SP}$ for various tubes.

고찰해보기로 한다.

먼저 Fig. 15에 각 tube의 사용재에 대한 N_i/N_0 와 연성-취성전이온도 $[DBTT]_{SP}$ 와의 관계를 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 입계부식에 의해 얻은 N_i/N_0 는 사용재의 파괴인성과 관련된 연성-취성전이온도와 거의 선형적 관계가 있음을 관찰할 수 있다. 따라서 N_i/N_0 의 결과는 고온부재의 열화도를 평가하는데 사용할 수 있는 인자임을 예견할 수 있다.

Fig. 16에 각 시험재의 N_i/N_0 와 각 tube재의 열화도인 $[\Delta DBTT]_{SP}$ 와의 관계를 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 N_i/N_0 가 증가함에 따라 열화도는 증가하나, 탄소강인 SA178-C강과 페라이트강인 SA209-T1A강 (1/2Mo강) 및 SA213-T22강(2 1/4Cr-1Mo강)은 두 인자 사이에 각기 다른 기울기를 보이고 있음을 알 수 있다. 이같은 거동은 열화재의 입계부식 특성이라고 생각된다. 즉, 열화재에 대한 미시조직의 부식특성은 입계에서의 불순물 원소의 편석정도 그리고 탄화물의 석출 및 조대화 정도에 따라 크게 달라지게 된다. 그리고 이러한 특성은 tube의 사용온도에도 밀접한 관계가 있다. 따라서 사용온도가 높은 2ry S/H와 1ry S/H의 경우가 탄소강의 경우보다 불순물의 편석이나 탄화물의 석출정도가 크므로 같은 정도의 $[\Delta DBTT]_{SP}$ 에서도 큰 N_i/N_0 의 거동을 보

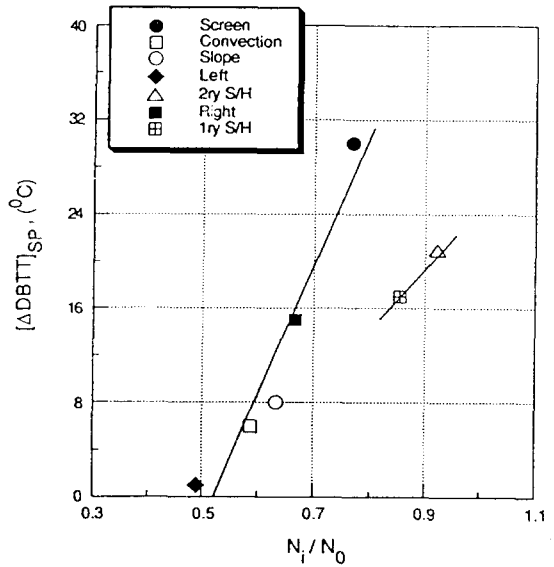


Fig. 16. The relationship between N_i/N_0 and $[\Delta DBTT]_{SP}$ for various tubes.

이는 것으로 사료된다. 그러나 두 강종에 있어 $[\Delta DBTT]_{SP}$ 와 입계부식 시험결과 사이에 밀접한 상관관계가 있음을 알 수 있어, 비파괴시험 방법의 입계부식법은 ferrite강 뿐만아니라 탄소강에 대해서도 경년 열화된 tube의 열화도를 평가하는데 있어 적용가능한 유용한 시험 방법임을 알 수 있다.

4. 결 론

탄소강과 페라이트(ferrite)강인 2 1/4Cr-1Mo강과 1/2Mo강을 대상으로 비파괴적 시험 방법인 입계부식법에 의해 고온부재의 재질 열화의 평가가능성을 조사한 시험결과는 다음과 같다.

1) 사용온도 및 사용이력이 다른 각 tube재의 열화도를 비교해 볼때 tube재의 열화도는 사용시간보다 tube의 사용온도에 더 큰 영향을 받았다.

2) 고온부재의 사용온도와 사용시간의 함수인 LMP인자와 tube재의 열화도인 $[\Delta DBTT]_{sp}$ 와는 선형적 관계가 존재하나, 직선의 기울기는 강종에 크게 의존하였다.

3) 입계부식에 의해 얻은 격자절단비인 N/N_0 는 사용재의 파괴인성과 관련된 연성-취성 천이온도와는 강종에 무관하게 거의 선형적 관계가 있음을 관찰할 수 있었다.

4) $[\Delta DBTT]_{sp}$ 와 입계부식 시험결과인 N/N_0 는 강종에 따라 밀접한 선형적 관계를 보여 비파괴시험방법의 입계부식법은 ferrite강 뿐만 아니라 탄소강에 대해서도 경년열화된 tube의 열화도를 평가하는데 있어 적용가능한 유용한 시험방법임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 遠藤忠郎, “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, 1990, pp. 89~95.

2. C.J. Bolton, B.F.Dyson, K.R.Williams, “Metallographic Methods of Determining Residual Creep Life,” Material Science Engineering, Vol. 46, 1980, pp. 231~239.

3. 庄子哲雄, “機器・構造物の壽命診斷と長壽命化技術,” 日本機械學會誌, 第94卷, 第866號, 1991, pp. 52~58.

4. S. Sato, S. Matsui, T. Enami, T. Tobe, “Strength and Temper Embrittlement of Heavy-Section 2.25Cr-1Mo Steel,” ASTM STP755, 1980, pp. 363~382.

5. JAERI-memo(62-193), “小型パンチ(SP)試驗法(案)”, 日本原子力研究所, 1987, pp. 135.

6. 鄭世喜 外 3人, “粒界腐蝕法による石油化學プリント用高溫機器經年劣化評價法,” 日本材料強度學會誌, 第22卷, 第3號, 1987, pp. 106~114.

7. 渡邊豊, 庄子哲雄, “硝酸鹽溶液を用いた電氣化學的手法による鐵鋼の焼もどし脆化の非破壊評價,” 鐵と鋼, 第77卷, 第4號, 1991, pp. 566~573.

8. Richard W. Hertzberg, “Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials,” second edition, 1983, pp. 167~174.