

고온기기의 재질 경년열화와 수명에측

정 세 희*

Evaluation of Material Degradation and Life Prediction for High Temperature Structures

Se - Hi Chung*

1. 초 음 에

우리가 사용하고 있는 기기나 구조물은 인간이 노화되면 청년기에 보였던 왕성한 기능을 다 할 수 없듯이 사용 재료의 경년열화에 의해서 예기치 못한 기능의 손상이나 파괴사고를 일으키는 경우가 많다¹⁾. 더우기 기계나 구조물의 파괴사고는 단순히 그들이 갖고 있는 기능이 손상되는데 그치지 않고 인적 재해나 주변에의 이차 재해를 유발하고 있어서, 사용 중에는 안전성과 신뢰성이 높은 수준에서 유지되어야 함이 요구되고 있다. 이를 위해서는, 마치 인간이 충분한 건강을 유지하기 위하여, 정기적인 건강진단이나 성인병 예방진단이 필요하듯이, 재질의 열화정도를 정확하게 진단하고 평가하는 것이 기계나 구조물의 수명을 예측하고 파괴사고를 예방하는데 절대 필요한 것으로 되고 있다^{2,4)}.

재료의 경년열화는 기계나 구조물의 사용온도, 분위기 그리고 사용시간 등에 따라 그 형태나 정도를 달리하고는 있으나, 이를 대별하면 균열형 열화와 재질형 열화로 나눌 수 있다³⁾. 전자의 경우는 공동이나 균열의 발생 및 전파와 같이 비가역적이며, 후자의 경우는 재료의 미시조직적인 변화에 의존하는 것으로 가역적이기는 하나 가동중에 이들 재료의 열화를 회복시키기는 현실적으로 지극히 곤란한 경우가 많다.

여기서 산업프랜트 고온기기의 재질경년열화에

대하여 살펴보자. 고온설비의 재질열화에 대한 대책은 재질을 내열금속재료의 성능한계 가까이에서 사용하는 초임계압 화력발전설비 등을 비교적 초기에 도입한 선진국의 공통의 문제로 되고 있다⁶⁾. 우리나라에서도 1970년대에 중화학공업을 중점적으로 육성시키면서 대형화된 에너지 변환설비의 수가 급격히 증가되었으며, 최근에는 화력발전설비의 보일러 및 터빈을 비롯하여 석유화학설비의 압력용기 등과 같이 고온고압하에서 장시간 운전이력을 갖는 고온기기의 수가 증가하는 상태에 있고 그 중에는 설계수명에 도달한 것도 찾아볼 수 있게 되었으며, 점차적으로 이에 대한 문제성이 높아갈 것으로, 예상된다.

고온기기에 사용되는 재료는 크립, 피로, 산화 그리고 부식 등과 같이 피할 수 없는 손상을 입는 외에, 효율의 향상을 위하여 재료가 고온강도나 내식성과 같은 재료성능의 한계 가까이에서 사용됨에 따라 재료의 손상은 운전년수에 비례하여 확실하게 누적되고 있다⁷⁾. 따라서, 고온기기의 재료손상정도의 평가 및 그에 따른 수명관리기술이나 잔여수명의 예측기술의 개발은 시급한 것으로, 이를 위해서는 사용시간의 경과와 더불어 누적되는 이들 재료의 손상을 평가 진단하는 기술의 개발이 절실히 요구되고 있다. 여기서는 이러한 요구에 부응한 고온기기의 재질열화에 대한 최근의 연구개발에 대하여 소개하겠다.

* 정희원, 전북대학교 정밀기계공학과

2. 재질의 경년열화기구와 잔여수명평가기술의 개념

그림 1은 고온기기에 있어서의 손상의 정량화와 이의 비파괴적인 검출기술의 개발과의 관계를 설명한 흐름도이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 고온에서 장시간 사용된 실기부재의 정확한 경년열화의 실태를 측정하고, 이의 잔여수명의 연장을 실행하기 위해서는 역학적인 파라메타로 손상을 해석하는 것과 재료특성의 변화, 즉 조직변화에 기초한 열화기구의 해명이 절대적임을 설명하고 있다.

먼저, 역학적인 손상해석에 있어서는 파괴역학에 기초를 둔 방법들이 많이 있게 연구(예를 들어, ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section III, Section IV)되고 있다. 다음으로 재료의 특성 변화에 대해 살펴보자. 표 1 및 표 2는 고온재료의 잔여수명 예측이 보다 큰 문제로 되고 있는 화력발전 프랜트와 석유화학 프랜트에서의 경년열화의 실 예를 기록한 것이다^{8,9)}. 이들 표의 내용으로도 이해할 수 있듯이 고온에서 사용되고 있는 재료에 나타나는 재질변화는 기본적으로는 탄화물의 조대화로 대표되는 연화와 불순물의 입계편석으로 대표되는 뜨임(tempering) 취화의 두 가지로 대별할 수가 있다.

이를 구체적으로 살펴보면, 예를 들어 Cr-Mo강,

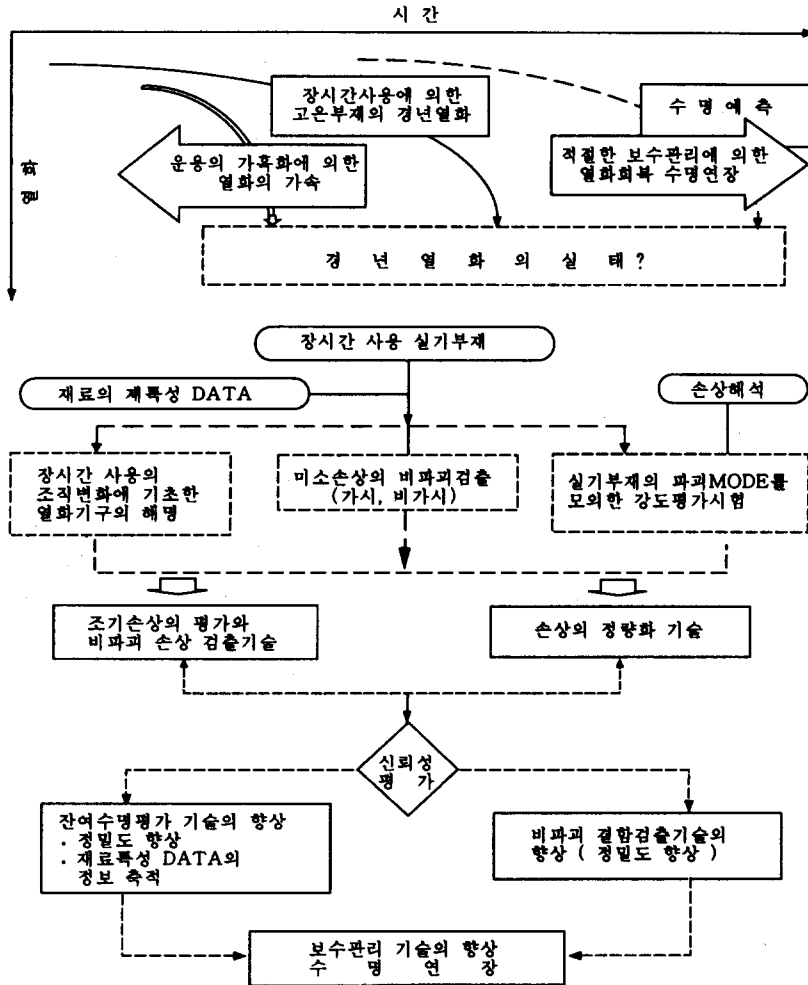


그림 1. 손상의 정량화와 이의 검출기술의 개발개념

표 1. 화력발전 및 화학 플랜트 고온부재를 중심으로한 경년열화의 실제

열화의 명칭	합금의 종류	대상 부위	사용온도	손상 기구
시효석출 열화	2024 T 351 CuBeCo	발전기 Rotor Wedge	~363 K (~90°C)	S' 상석출 γ' 상석출
뜨임취화	CrMoV NiCrMoV CrMo	증기터빈로타, 케이싱 보일러 배관 화학플랜트반응탑·배관	673~823 K (400~550°C)	불순물 편석
크립강도 저하	CrMoV NiCrMoV CrMo	Cr-Mo 및 오오스테나이트 스테인레스강	773~873 K (500~600°C)	탄화물의 조대화와 편석
예민화 σ 상취화 (SCC(포리치온산))	SUS 316 SUS 321 SUS 347	보일러 과열기관 화학플랜트 반응탑	773~873 K (500~600°C)	입계탄화물 σ 상입석출
중성자조사취화 (조사유기 응력부식균열)	AS33B, A508	원자로압력용기 노내구조재료	~563 K (~290°C)	조사결합과 탄화물의 복합석출

표 2. 석유화학 plant의 주요 열화손상

열화 손상의 형태	손상 type	요인		현상	대상강종
		발생온도	관련인자		
재료 열화	수소취화	고온운전 시의 급냉	잔류 수소량	강종 잔류 수소에 의한 연성, 인성의 저하	γ 스테인레스강 Mo강, Cr-Mo강
	뜨임취화	370~580°C	불순물 (P, Sn, Sb, As)	입계로의 불순물 석출에 의한 연성, 인성의 현저한 저하	Cr-Mo강
	475°C취화	400~550°C	함유 Cr량 15wt% 이상	용접부, 모재의 연성, 인성의 현저한 저하	ferrite계 고 Cr 스테인레스강
	σ 취화	550~850°C	δ-ferrite	σ 상 석출에 의한 연성, 인성의 현저한 저하	γ 스테인레스강 (특히 용착금속)
	침탄	700~850°C	H ₂ , Co, CO ₂ , CH ₄	강의 표면에 CO, 탄화수소 등이 용해되면 유리의 탄소가 발생하고, 산화피막을 환원 파괴함으로써 강으로 침입하 고, 금속탄화물을 발생시켜 인성이 현저하게 저해된다.	내열주강 (KH40)

Cr-Mo-V강에 있어서는 구오스테나이트 입계로의 P, Sn, As, Sb 등 불순물 원소의 편석에 기인하는 뜨임취화와 재료의 고온특성을 향상시키기 위하여 첨가하는 Cr, Mo 등의 합금 원소가 탄소와 결합하여 탄화물을 형성하고 조대화되는 과정에서 이루어지는 고용원소 결핍층의 형성은 강의 연화, 크립저항의

감소를 발생시키는 것으로 알려지고 있다¹⁰⁾. 또 SUS 316강에서는 σ상의 석출이 고온강도의 저하에 밀접한 관계가 있음이 알려지고 있어서, σ상의 석출이 재질열화의 지표로도 사용되고 있다¹¹⁾.

위에서 살펴본 것과 같이 고온기기의 신뢰성 평가와 잔여수명의 예측을 위해서는 기기를 직접적으로

파괴에 다다르게 하는 손상을 검출, 측정하고 평가하는 것이다. 이를 위하여 손상의 역학적인 해석과 더불어 실기를 운용하고 있는 산업현장에서는 간편하면서도 신뢰성 높은 비파괴검출기술의 개발이 요구되고 있다^{12,13)}. 본문에서는 이후 후자에 대하여 중점적으로 설명을 하기로 한다.

이러한 방법은 크게 파괴시험과 비파괴시험으로 대별할 수 있다. 이들 중 흔히 쓰고 있는 방법을 기술하면 다음과 같다.

3. 재질열화의 진단기술

앞 장에서는 고온기기의 잔여수명예측에서 재질의 경년열화의 실태를 정확하게 평가하는 것이 절대적인 것임을 설명하였다. 여기서는 재질열화의 문제점이 비교적 좁혀진 화력발전 프랜트를 예로 들어 재질열화 진단기술을 소개하겠다.

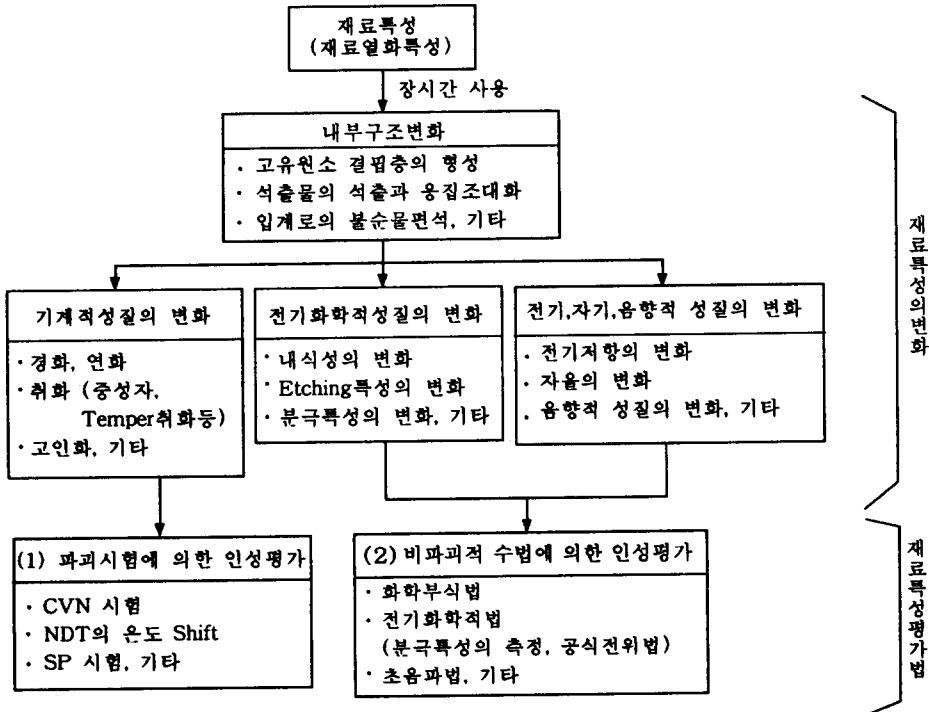
표 3은 고온에서 장시간 사용에 따른 재료의 내부구조 변화와 이를 이용한 재료특성 평가방법을 기술한 것이다. 이 표에서 볼 수 있듯이 재료의 특성 평가는 재료내부의 특성변화를 공학량으로하여 이를 이용, 정량화하는 방향으로 방법을 개발하고 있으며,

3.1 파괴시험에 의한 평가

(1) CVN 충격시험

그림 2는 화력발전설비에서 채취한 과열기재인 Cr-Mo강의 모재를 대신하는 탈취화재와 사용재의 CVN 충격시험에서 구한 충격흡수에너지의 온도의존곡선과 파면관찰에서 얻어진 취성파면을 정리한 예이다. 그림에서 사용재의 온도의존곡선과 취성파면은 탈취화재의 온도의존곡선과 취성파면곡선에 비하여 고온측에 위치하고 있어서, 고온에서 장시간 사용하게 되면 재질이 열화됨을 알 수 있다. 따라서 재질열화도는 이들 곡선에서 얻어지는 연·취성전이온도의 상승량인 $(\Delta FATT)_{CVN}$ 으로써 정량적으로 평가할 수 있다.

표 3. 장시간 사용에 따른 재료의 내부구조변화와 재료특성평가법



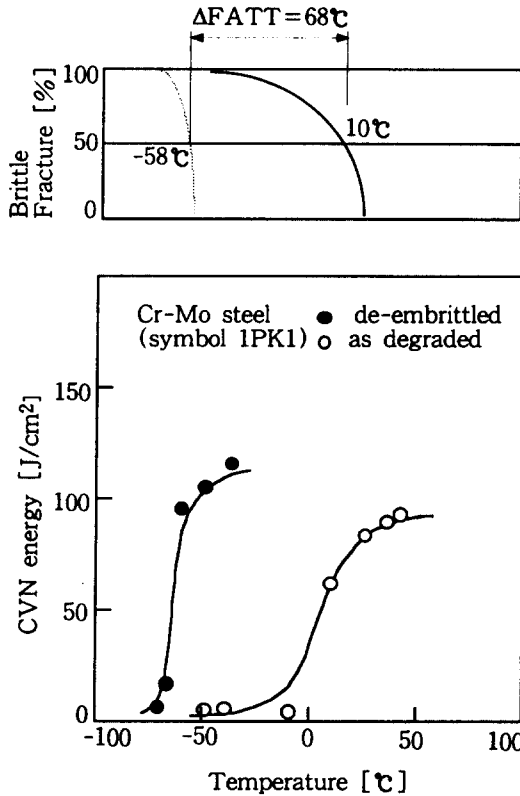


그림 2. Cr-Mo강에 대한 CVN에너지-온도전이거동 (기호 : 1PK1)

(2) 소형펀치 시험법

종래의 충격시험에 의한 평가는 가동중인 현장설기에서 대량의 시험편의 채취가 불가능한 경우가 대부분이기 때문에 따로 준비한 감시 시험편을 이용하는 것이 일반적인 방법이다. 그러나 실제로 응력이 작용되지 않는 상태의 감시시험 시험편만으로는 평가의 정확성을 기할 수 없기 때문에 고온부재의 잔여수명 평가와 관련된 현상상태 진단기술의 개발은 현장설기부재의 강도에 영향을 미치지 않는 범위에서 시험편을 채취하여 열화정도를 평가할 수 있는 준비파괴적인 재질열화 정도를 평가할 수 있는 새로운 평가기술의 개발이 요구되고 있다.

따라서 최근에는 가동중인 현장설기 부재의 작은 영역에서 설계강도에 영향을 미치지 않는 범위에서 시험편 채취가 가능한 장점을 갖는 미소 시험편을 사용한 소형펀치(small punch : SP) 시험법에 의한

경년재질열화 평가 가능성이 검토되고 있다¹⁴⁾.

그림 3은 Cr-Mo강에 대한 SP에너지의 온도의존곡선을 정리한 예이다. 그림에서 백점은 열화재, 흑점은 탈취화재를 나타낸다. 여기서 열화재의 SP 에너지의 온도의존곡선은 탈취화재에 비해 고온측에 위치하고 있어, CVN 충격시험과 같은 방법으로 SP 시험법에서 정의하는 연·취성전이온도(DBTT)_{sp}의 고온측으로의 이동량 즉, (ΔDBTT)_{sp}으로 재질열화도를 평가할 수 있음이 보고되고 있다¹⁴⁾. 이에 대한 좀더 자세한 설명은 제 4장에서 비파괴평가법과 함께 기술하기로 한다.

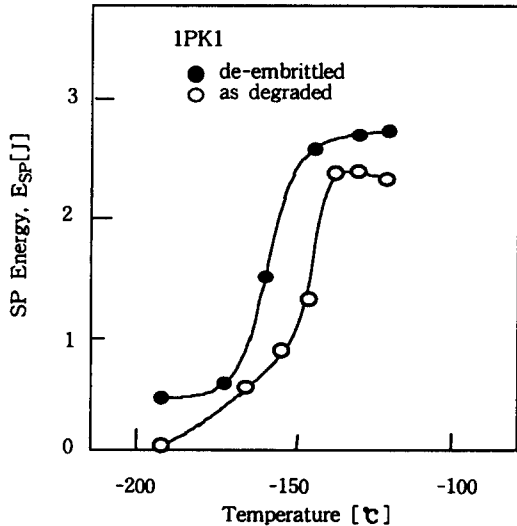


그림 3. Cr-Mo강에 대한 SP에너지-온도전이거동

3.2 비파괴시험에 의한 평가

재료가 열화됨에 따라 물리적 성질 및 미세조직이 변화되는 것을 이용하여 최근에 고온재료의 경년재질열화정도의 평가와 잔여수명의 예측에 사용하는 비파괴적인 진단기술이 많이 개발되고 있으며 이를 소개하면 다음과 같다.

(1) 경도측정법

현장에서 간단히 측정할 수 있는 대표적인 방법으로써, 경도측정법은 응력이 재질열화의 직접적인 원인이 되는 현상을 응용한 것으로 터빈로터재인 Cr-Mo-V강에 적용시킨 보고가 있다. 경도측정을 하여

열화도 평가 및 잔여수명을 예측하는 경우, 경도값 자체를 이용하거나 연화에 따른 경도의 감소량 혹은 경도비를 이용한다. 그러나 측정데이터를 이용하기 위해서는 평가대상 부재별의 데이터 베이스가 필요하다 하는 어려움이 있다.

(2) 초음파법

조직변화에 따른 물리적 성질의 변화에 착안한 초음파 스펙트럼 해석에 의한 재질의 크립손상의 검출가능성이 보고되고 있으나, 탐촉자의 선정이나 피측정체의 크기 및 형상 그리고 탐촉자의 접촉압력 등이 측정결과에 큰 영향을 미치기 때문에 이에 대한 세심한 연구 및 많은 경험이 필요하다.

(3) 전기저항법

크립손상의 증가와 함께 탄화물의 조대화 및 σ 상의 석출에 따른 조직의 전기변화량을 계측하는 방법으로, 이 방법도 피측정물에 전류가 통하는 과정에서 온도가 상승할 염려가 있어 온도상승효과 및 접촉단자의 확실한 접촉 방법의 개선이 문제로 되고 있을 뿐만 아니라, 재료에 따라 특성의 손상구역에서만 적용되는 경우가 있어 다른 측정방법과 병행하여 실시하여야만 오판을 방지할 수 있다.

(4) 레프리카법

레프리카법은 조직의 변화거동과 크립공동이나 균열을 직접 관찰하기 위한 통상의 레프리카법과 재료내부의 석출물분석을 행하기 위한 추출레프리카법으로 대별된다. 통상의 레프리카법에 의한 손상 파라메타는 A-파라메타법과 면적율법이 있다. A-파라메타법은 영국의 ERA, CEBG 및 미국의 EPRI에서 제안된 방법으로 평가대상체의 광학현미경 또는 SEM조직에 최대주응력 방향으로 직선을 그어 그 직선과 입계와의 교차점에서 점유하고 있는 크립기공 발생입계 즉, 손상입계의 비율로 정의한 것이다. 면적율법은 공동이나 특정 석출상의 면적비를 나타낸 것으로 스테인레스강에서의 σ 상의 면적율과 크립 손상정도의 관계가 보고되고 있다.

(5) EMAC

EMAC(electro-chemical materials characteriza-

tion)라고 명명되어 있는 전기화학적 수법은 재료의 미시적 조직변화 정도를 전기화학적 분극특성 또는 임피던스 계측을 통하여 손상도와의 관계를 정의하는 방법이다. 피측정재료 및 손상의 종류에 따라, 검출 용액 및 측정방법이 다양하게 개발되고 있다⁷⁾. 그러나 이러한 방법들은 아직 실용단계에 도달하지 못하고 있을 뿐만 아니라 고가의 측정장비를 갖추지 않으면 안되는 실정이다.

(6) 입계부식법

주로 결정입계에 편석된 탄화물과 불순물의 석출 정도에 따른 부식정도를 이용하는 입계부식법(grain boundary etching method : GEM)은 Cr-Mo, Cr-Mo-V강에 대하여 입계의 부식도와 재질열화도 사이에 일정한 상관관계를 찾을 수가 있고, 현장 적용성이 뛰어나(레프리카법 병용), 고온 사용재의 경년재질 열화도를 측정할 수 있는 새로운 비파괴기술로 추천되어지고 있다^{15,16)}. 이에 대해서는 4장에서 상세히 설명하겠다.

이상과 같이 대부분의 경우 균열 검출에만 사용되어 왔던 비파괴기술이 최근에는 균열개시이전의 재료특성변화와 같은 조기손상을 평가할 수 있는 기술의 개발로 전환되고 있다. 표 4는 일본의 T전력회사에서 실제로 쓰이거나 검토중인 비파괴적 손상검출방법을 열거한 표이다¹³⁾.

4. SP와 GEM에 의한 재질열화도 실측에

이상에서 재질열화에 관련된 재료공학적 특징과 열화기구 그리고 비파괴적 검출에 대한 노력이 진행되고 있음을 기술하였다. 여기서는 저자의 연구팀이 재료의 내부구조변화에 따른 재료특성을 이용하여 고온부재의 재질열화 정도를 검출하는 기술로서 현장실기에서 채취가 가능한 준 비파괴평가시험법으로서 검토된 SP시험법과 현장실기의 적용시험을 통하여 정밀도 및 현장적용성이 입증된 입계부식법에 대한 연구의 결과를 소개하겠다.

그림 4는 Cr-Mo강에 대해 CVN시험의 $\Delta FATT$ 와 SP시험에서 얻어진 $\Delta DBTT$ 의 상관관계를 표시한 한 예이다. 그림에서 알 수 있듯이 두 시험방법에 의하여 얻어진 연성-취성전이온도차의 관계는 각 재료별로 하나의 직선으로 표시되고 있어 CVN시험

에 대치되는 SP시험의 신뢰성을 확인할 수 있다.

이상의 시험결과로부터 두께가 0.25~0.5mm이고 크기 10×10mm인 미소시험편을 사용한 SP시험은 고온부재의 경년열화 정도와 잔여수명의 예측을 준비파괴적으로 평가할 수 있는 새로운 시험방법으로 추천할 수 있다.

다음은 앞서 간단히 설명한 입계부식법에 대한 기본원리 및 시험 결과에 대해 살펴본다.

일반적으로 부식은 금속재료의 상이한 상 조성이나 결정입계와 같은 비규칙성에 의해 국부전지를 형성하는 전기화학적인 진행 즉, 산화-환원반응이며, 이에 관여하는 원소들의 전기적인 친화력의 크기에 따른 전위차이로 부식정도가 달라진다. 또 이러한 전위차이는 부식액의 농도, 부식액의 산소함량, 부식온도, 부식시간 등에 영향을 받게 된다.

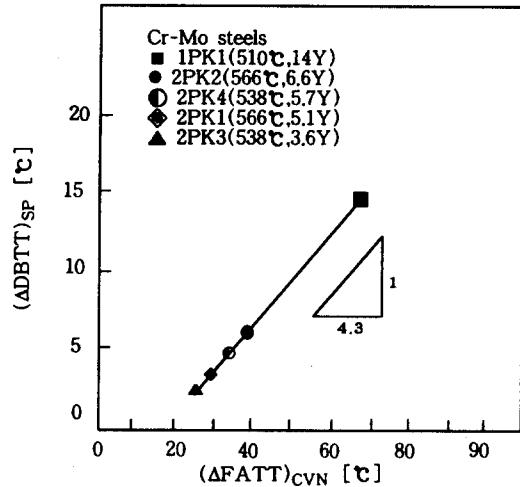


그림 4. $(\Delta BTT)_{SP}$ 와 $(\Delta FATT)_{CVN}$ 사이의 상호관계

<u>Embrittlement level</u>		
Class 1 $\Delta FATT$ under 20°C	Class 2 $\Delta FATT$ about 40°C	Class 3 $\Delta FATT$ over 60~70°C
ISI ($\Delta FATT=15^\circ C$)	2PK2 ($\Delta FATT=40^\circ C$)	1PK1 ($\Delta FATT=68^\circ C$)

그림 5. $\Delta FATT$ 의 변화에 따른 입계의 변화

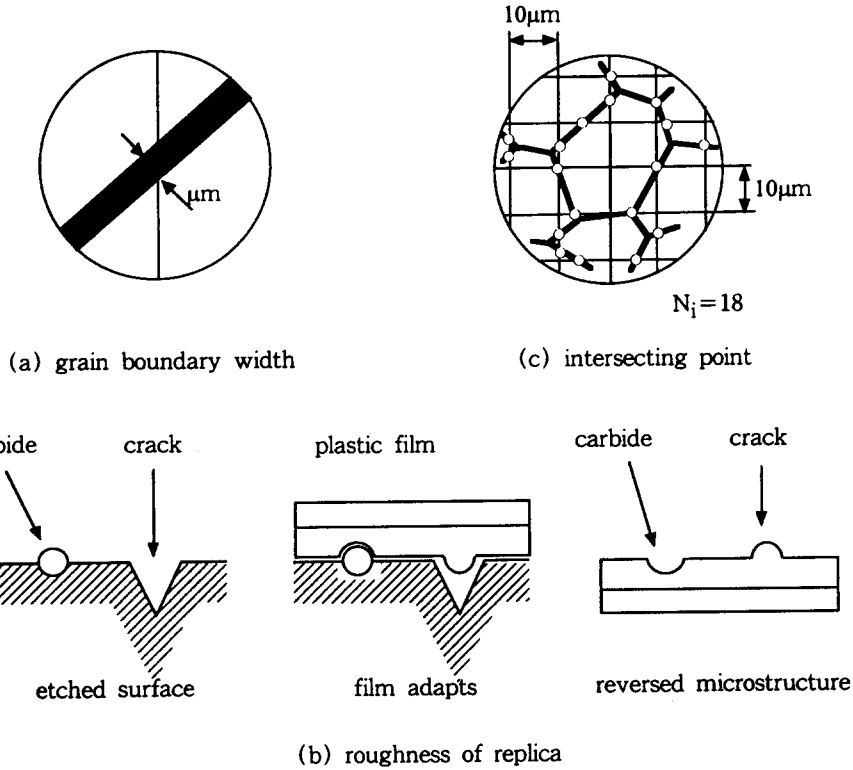


그림 6. 입계부식 특성치의 측정방법

앞서 기술한 결과로부터 고온사용중에 변화하는 탄화물에 의한 미시조직의 변화는 재질열화기구의 하나로 작용하고 있음을 알 수 있으며, 따라서 이러한 현상을 특정 부식액에 의해 가시화시켜 열화도를 비파괴적으로 평가하려는 방법이 입계부식법(GEM)이다. 그림 5는 Cr-Mo강에 대한 경우로 이를 설명한 그림이다.

GEM에 의한 재질열화도 평가근거는 앞서 설명한 그림 5에서 알 수 있듯이

- 1) 표준부식법에 따른 석출물의 출현
- 2) 석출현상의 상대비교 및 이에 따른 재질열화도 사이의 상관관계의 정량화에 있다.

그림 6은 입계부식시험에서 사용하는 3가지의 특징값인 입계부식폭(grain boundary width), 표면거칠기(roughness) 그리고 입계격자절단비(intersecting point ratio)의 측정방법을 나타낸 그림이다. 이때 사용되는 부식액으로는 25°C의 증류수 100ml에 1.3gr.의 피크린산을 용해시키고, 여기에 계면활성화제인 sodium tridecylbenzene sulfonate 또는 laurylbenzen

sulfonic acid를 1gr. 첨가하여 제작한 표준피크린산 부식액이 추천된다.

그림 7은 한 예로 Cr-Mo강에 대한 재질열화도와 표준피크린산 포화수용액으로 부식한 입계부식폭

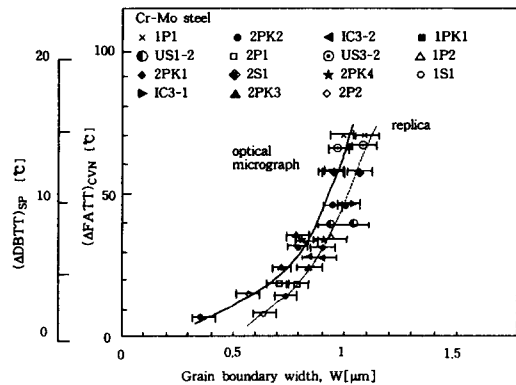


그림 7. 표준 피크린산 포화수용액에 의한 입계부식폭 (ΔFATT)_{CVN} 및 (ΔDBTT)_{SP}의 상관관계

사이의 관계를 정리한 것이다. 여기에서 시료의 직접관찰과 레프리카 관찰사이의 측정치의 차이는 빛의 투과능력의 차이와 초점심도의 차이에서 오는 결과로 생각되나 열화도의 평가에는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 또한 이러한 부식폭의 입계부식 특성치는 모든 재료에서 재질열화도인 $(\Delta FATT)_{CVN}$ 사이에는 일정한 관계가 있음을 알 수 있고, 또한 SP시험에 의해 얻어진 $(\Delta DBTT)_{SP}$ 특성치와도 뚜렷한 상관관계가 있음을 알 수 있다.

그림 8은 레프리카를 이용하여 얻은 입계부식깊이 즉, 최대표면거칠기인 R_{max} 와 열화도의 관계를 Cr-Mo강에 대해 정리한 결과이다. 그림에서 레프리카의 최대표면거칠기 R_{max} 와 $(\Delta DBTT)_{SP}$ 와 양호한 상관관계를 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 레프리카를 이용한 입계부식 깊이의 간접측정에 의해서도 재질 열화도의 추정이 가능함을 알 수 있다.

이상의 관찰에서 알 수 있는 바와 같이 입계부식 폭이나 입계의 부식깊이(R_{max})는 재질의 열화도와 일정한 상관관계를 가지고 있으므로, 부식된 입계의 폭과 깊이를 측정하는 것으로 열화도의 평가가 가능하나, 이들 값을 측정한다는 것은 상당히 숙련된 기술을 요하는 작업이다. 따라서 이 같은 측정의 어려움을 해결하기 위해 그림 5에서 보는 것과 같이 동일한 부식조건하에서도 열화도의 차이에 따라 나타난 입계를 정량화하는 방법으로, 관찰에서 기록된 일정한 면적 위에 출현한 입계와 미리 정한 일정한 간격의 격자와 교차되는 입계의 수, 즉 격자절단비 (N_i/N_o)를 도입하였다.(그림 6) 여기서 N_o 는 Nitral 부식에 의해서 입계를 완전히 나타내었을 때의 입계와 격자의 교차 수이며, N_i 는 피크리산 표준부식

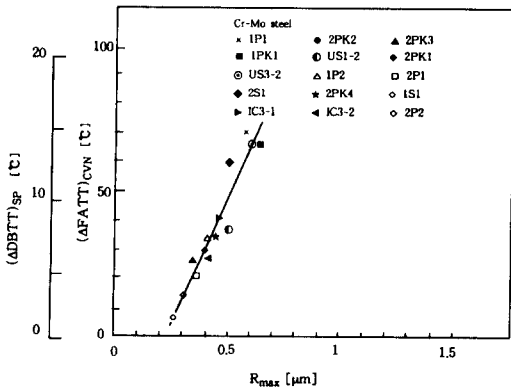


그림 8. 최대표면거칠기 R_{max} 와 재질열화도 $(\Delta FATT)_{CVN}$ 사이의 관계(피크리산, 25°C, 30분)

액으로 일정시간(본 예에서는 5분) 부식시켰을 때에 나타난 입계가 격자와 교차된 수이다.

그림 9는 한 예로 Cr-Mo강에 대한 격자절단비와 재질열화도인 $(\Delta DBTT)_{SP}$ 와의 상관관계를 정리한 것이다. 측정치에 다소의 퍼짐은 있으나 하나의 직선으로 표시됨을 알 수 있다. 그리고 이같은 두 특성치와의 상관관계는 그림 10 및 그림 11의 Cr-Mo-V강과 탄소강에 대한 결과에서도 관찰할 수 있다.

따라서, 이 방법은 짧은 시간에 비교적 간편하게 열화도를 측정하는 방법이 될 수 있어서, 현장에의

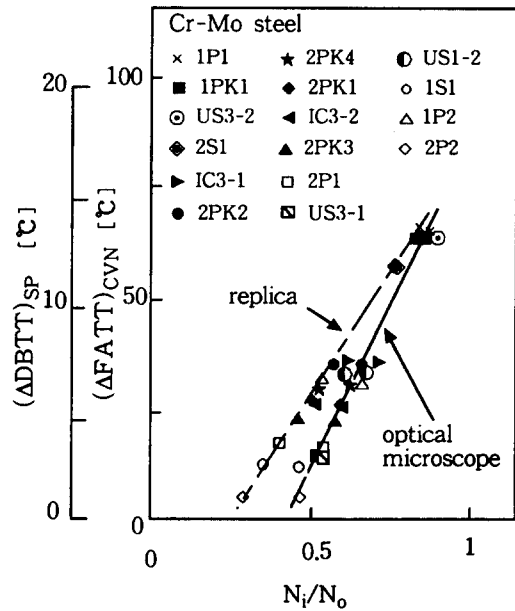


그림 9. Cr-Mo강에 대한 격자절단비(N_i/N_o)와 열화도 $(\Delta DBTT)_{SP}$ 와의 관계(부식시간 5분)

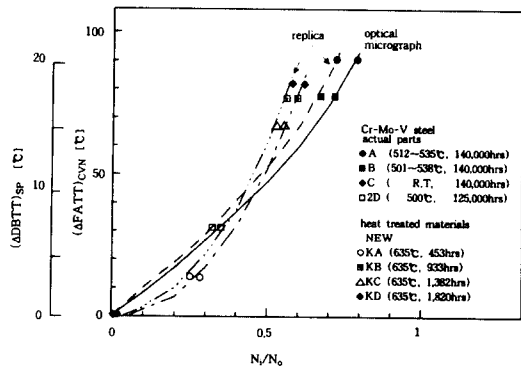


그림 10. Cr-Mo-V 강에서의 격자 절단비(N_i/N_o)와 $(\Delta DBTT)_{SP}$ 및 $(\Delta FATT)_{CVN}$ 와의 상관관계

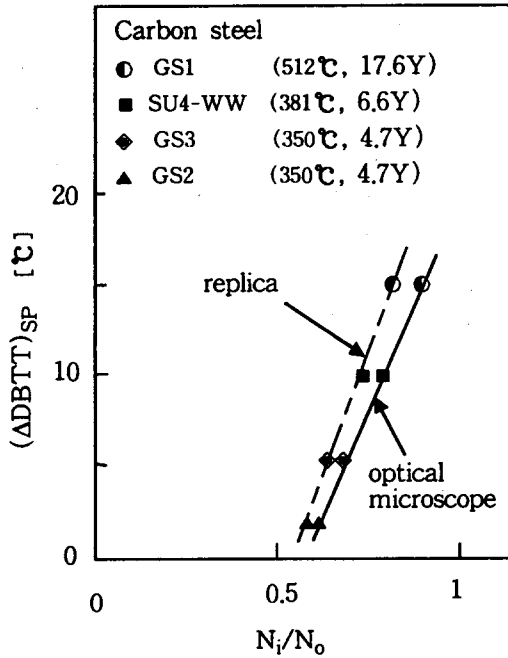


그림 11. 탄소강에 대한 격자절단비(N_i/N_0)와 $(\Delta DBTT)_{SP}$ 와의 상관관계

적용가능성이 클 것으로 보며, 이에 대한 데이터의 축적이 요망된다.

이상의 관찰을 통하여 현장실기에서 장시간 사용된 Cr-Mo, Cr-Mo-V강, 탄소강을 대상으로 잔여수명 예측과 관련된 준 비파괴적 그리고 비파괴적인 재질 열화도 평가 기술의 확립을 목표로 SP시험법과 입계부식법을 검토하였다.

그 결과 Cr-Mo강은 물론, Cr-Mo-V강에 있어서도 재질열화도 평가에 있어 종래의 CVN시험 특성치와 SP시험 및 입계부식시험 특성치 사이에는 좋은 상관관계가 성립함을 알 수 있다. 따라서 SP시험법과 입계부식법은 앞으로 다양한 강종과 더 많은 데이터가 축적되면 경험적인 경년재질열화 평가기술로 확립되어 장시간 가동된 실기부재의 경년재질열화 평가에 적용할 수 있다고 생각된다.

위의 SP시험법과 입계부식법에 의한 재질열화 진단기술개발과 잔여수명예측에 대한 개요를 도식화하면 그림 12와 같다.

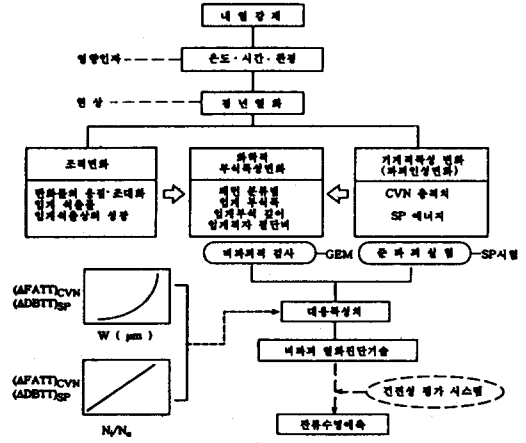


그림 12. SP와 GEM에 의한 재료열화진단기술의 개발 process

5. 맺 음 말

고온설비에 사용되고 있는 고온재료의 재료특성 변화와 이의 평가방법에 대하여 극히 제한된 범위에서 개략적으로 기술하였다. 이러한 고온설비의 재질열화에 대한 대책은 초임계압 화력발전설비 등을 비교적 초기에 도입한 선진국은 물론 최근 발전설비의 보일러 및 터빈을 비롯하여 석유화학 설비의 압력용기 등과 같이 고온·고압 하에서 장시간의 운전이력을 갖는 고온기기의 수가 증가하는 상태에 있는 우리나라에 있어서도 이들 설비의 정확한 수명진단과 장수명화 기술의 개발은 시급히 해결해야 할 과제로 되고 있다. 또 이러한 문제들은 대부분 용접 부위가 문제점으로 제시되고 있다.

따라서 이를 원활히 해결하고 확실한 진단과 잔여수명예측에 대한 기술의 개발을 위해서는 산·학·연의 공동연구를 통하여 종합적이고 체계적인 연구가 절실하게 요구되며, 상호 습득하고 있는 정보교환도 중요하다.

참 고 문 헌

1) H.C. Burghard, D.R. McCann, 1984, "Fractographic Analysis of a Steam Turbine Disk Failure", ASTM STP 827, pp. 346~367

- 2) 遠藤忠良, 1990, “大型構造物の破壊管理への應力と課題”, 日本材料學會誌, 第 39卷, 第 436號, pp. 89~95
- 3) 新谷紀雄, 1987, “高溫構造材料の餘壽命豫測技術開發”, 鐵と鋼, 第 73卷, 第 9號, pp. 13~19
- 4) 大南正英, 1983, “高溫機器の餘壽命豫測システムの開發”, 鐵と鋼, 第 69卷, 第 14號, pp. 19~25
- 5) 新田明人, 1987, “高溫機器の損傷檢出・評價”, 日本機械學會誌, 第 544回 講習會教材, pp. 87~94
- 6) 大南正英, 遠藤忠良, 吉川洲産, 北川正樹, 新田明人, 1987, “火力發電プレントの餘壽命推定技術の世界的動向”, 日本機械學會誌, 第 90卷, 第 822號, pp. 38~43
- 7) 庄子哲雄, 1991, “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, pp. 87~94
- 8) 高橋秀明, 1988, “材料の靱性とその展望”, 金屬學會會報, 第 27卷, 第 8號
- 9) 大島榮次監修: 設備診斷豫知保全實用事典, Vol. 2, pp. 982, (著者一部追加)
- 10) 科學技術振興調整費研究, 1988, “構造材料の迅速性評價技術の開發に關する研究”, 成果報告書
- 11) 後藤徹, 1987, “クリ-プ損傷の非破壊檢出法”, 日本機械學會關西支部 第 140回 講習會教材, pp. 53~64
- 12) F. Masuyama, N. Nishimure, T. Yokoyama, T. Sada, S. Machara, 1991, “Application of Non-destructive Life Assessment Technique with Quantifying Structural Degradation of Aged Power Boiler”, Mitsubishi Heavy Industries Ltd, Technical Reviw, Vol. 28, No. 3, pp. 168~173
- 13) 高橋秀明, 庄子哲雄, 1986, “火力發電高溫部材の經年劣化と非破壊診斷技術”, 火力原子力發電
- 14) 정세희 외, 1991, “소형편치시험법에 의한 발전용증기관의 경년재질열화평가에 관한 연구”, 대한기계학회논문집, 제 15권, 제 5호, pp. 1665~1673
- 15) 정세희 외, 1987, “粒界腐植法이よりる石油化學プレ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, pp. 106~114
- 16) 정세희 외, 1991, “입계부식법에 의한 플랜트용 고온기기의 경년재질열화평가”, 대한기계학회 논문집, 제 15권, 제 3호, pp. 898~906