

고온설비의 경년열화와 측정법

정 희 돈

산업과학기술연구소 용접연구센터 접합연구실



● 1956년생
● 파괴역학을 전공하였으며, AE를 이용한 재료의 미시파괴기구 규명과 신소재 평가, 그리고 설비의 현상태 진단법 개발에 관심을 가지고 있다.

1. 머리 말

최근, 설계수명에 임박했거나 경제성을 향상시키기 위해 가혹 운전이 행하여지고 있는 발전 플랜트와 화학공장등과 같은 고온 설비들의 수가 증가 추세에 있다. 이에 따라, 설비 노후화의 가속이 예상되고 있어 안전운전의 측면에서 현상태 진단 및 잔존수명평가에 관한 연구가 시급한 과제로 대두되고 있는 실정이다. 그중에서도 고온에서 장시간 운전되어야 하는 화력 발전설비의 잔존 수명이 감소하여 감에 따라 당 설비의 점검 지침을 구축하기 위한 각국의 노력이 경주되고 있으며 일부에서는 나름대로 독자적인 지침이 완료되어 가고 있다.

국내에서도 전력회사를 비롯하여 각종 화학 플랜트등에서 근래 들어 크고 작은 파손사고를 경험하고 있으며, 사고 방지의 측면에서 노후 설비 및 가혹 환경하에서의 재료의 거동에 관한 관심이 고조되고 있다⁽¹⁾.

이에 부응하여 국내의 몇몇 대학 및 연구소 그리고 산업체를 주축으로 관련연구를 착수하기 시작하였고, 머지않아 많은 방법론 및 유용한 결과들이 제시될 것으로 기대된다.

고온 부재에서 가장 일반적이고 직접적인 파손 원인은 크리프형 파손을 들 수 있다. 그러나 고온중 장시간 사용에 의한 재료의 변화 즉 경년 열화가 크리프파손의 가속화 내지는 기계

적 성질을 약화 시키기 때문에, 크리프파손에 관한 근본적인 연구와 더불어 경년 열화의 기구 및 측정법 그리고 데이터의 이용방법에 대한 연구도 동일의 중요도를 갖게 된다.

본 해설은 이와 같은 배경하에서 현재 국내 외에서 진행되고 있는 고온 부재의 잔존 수명 예측을 위한 경년열화도 측정의 연구현황을, 화력발전 설비를 중심으로 살펴본 것이다.

2. 연구의 필요성과 현황

고온중에서 장시간 가동되어야 하는 화력발전설비 부재에서 가장 문제시되는 파손 기구는 고온 크리프와 저 사이클 피로에 의한 파손을 들 수 있다. 여기서, 고온 크리프파손은 어느 정도의 응력이 작용하는 부재가 용융온도의 40%이상의 온도에서 장시간 사용될때 전반적으로 발생되는 것으로 그림 1과 같은 과정을 밟아 최종적인 파단에 이르게 된다. 저사이클 피로는 불균일한 구조 형상부에서 그림 2와같은 열응력 분포에 의해 발생되는게 일반적이다⁽²⁾.

이러한 파손 기구 때문에, 일본의 경우 1987년에 제정된 "사업용 화력발전소의 정기검사 지침⁽³⁾"을 살펴보면, 총운전시간이 10만 시간을 초과하였거나, 총가동회수가 2,500회를 넘는 설비에 대해서 경년열화 설비로 정의하고 엄밀한 정기검사를 행할 것을 의무화하고 있

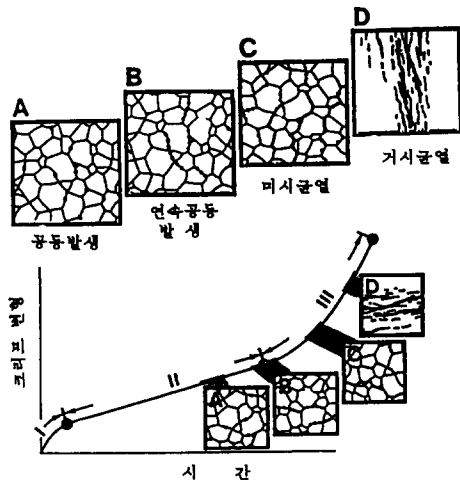


그림 1 크리프 변형의 미시적 기구

다. 여기서 10만 시간이란 기준은 정성적이지 만 파손 및 열화요인이 고온 크리프인 것을 염두에 두었고, 가동회수의 기준은 파손 요인이 저 사이클 피로에 의한 것을 가정했을 때의 값이다.

일반적으로 화력발전 설비중 보일러와 같은 고온부재의 설계 응력의 산정은 사용조건 즉, 연소 및 전열 등을 고려한 후, 재료의 물성치를 기준으로 하지만 가장 중요한 기준은 사용 온도에서 10만시간의 크리프파단 강도의 평균치의 60% 또는 최저치의 80%로 정하고 있다. 물론 크리프 파단시간은 작용응력의 3~5승에 비례하기 때문에 응력을 0.6배 하는 것은 수명을 8배로 늘리는 효과를 갖게 된다. 이와 같은 사실로 부터, 상기와 같이 10만시간후 정밀한 점검이 필요하다는 것은 결국 80만 시간의 수명을 기대하면서 10만시간의 사용을 보증한다는 것을 의미하고 있다.

그러나 사용중의 보일러는 설계시에 고려되었던 온도 여유, 재질여유, 형상여유들이 사용중에 일어나는 재질 열화 및 연소물질의 침식 등에 의해서 감소되고 결국 설계시 수명은 기대치보다 상당량 저하된다. 때에 따라선 그림 3에 소개한 바와 같은 불의의 사고를 맞게 된

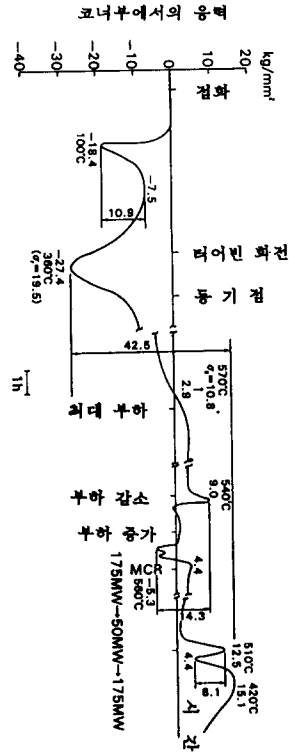


그림 2 정지·재가동에 의한 불연속 형상부에서의 열응력 분포예⁽²⁾



그림 3 크리프 변형과 열화에 의한 발전 설비 부재의 파손 예⁽⁴⁾

다^(4,5).

이러한 파손 사고를 가속화 시키는 경년적인 재질 변화를 정확하게 판단한다는 것은 현상에서는 많은 어려움을 내포하고 있고, 각종

측정치 활용에 있어 판단 근거가 수립되어 있지 않은 관계로 설비의 공칭 설계수명이 각 나라마다 다르게 설정되어 있는 것은 특기할 만한 사항이다. 예를들어 앞서 말한 바와 같이 일본과 프랑스의 경우는 10년, 미국과 영국이 각각 26만시간과 35만 시간을 설정해 놓고 있다.

현재 관련연구의 최대목적은 경년화력 발전 설비의 수명연장에 있고, 여기서 이러한 연구의 배경과 필요성으로는 다음과 같은 사항들을 들 수 있다^(6,7) 즉,

- (1) 충분한 예비 공급력과 낮은 수요증가에 따라 신설 설비의 필요성이 낮다.
- (2) 신 설비의 건설 코스트가 높다.
- (3) 신설 설비의 환경 규제가 심해지고 있다.
- (4) 수명연장된 경년 설비에서는 발전 코스트가 신설 설비보다 10~25% 싸다.
- (5) 각 나라마다 공칭 설계 수명이 다르다.

결국 설계 수명이 넘은 설비에 대해 보수 및 운전패턴의 변경등 여러 각도에서의 보원을 통하여 설비의 전체적 수명 연장을 꾀하려 하고 있으며, 이같은 목적을 달성하기 위해서 행하여지고 있는 실험적 연구항목은 크게 두가지로 나눌 수 있다. 즉,

- (1) 응력이 집중되는 구조형상이나 초기결함등을 기점으로 진행하는 크리프/피로손상
- (2) 구조 형상이나 초기결함 등에는 무관한 사용온도와 시간에 의존하는 재질열화와 그 측정법의 개발

여기서 크리프에 관한 연구에서는 단시간 시험

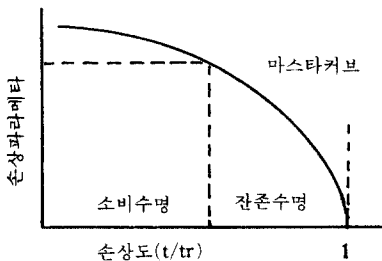


그림 4 손상 파라미터에 의한 수명 예측의 개념도.

결과를 이용하여 수명을 예측하기 위한 실험 및 해석적 연구가 주류를 이루고 있다. 또한 재질 열화에 관한 연구는 그림 4와 같이 재질 열화에 의해 변화된 수명을 예측하기 위해 필요한 손상 파라미터의 선정과 손상도와의 관계를 명확하게 하기 위한 연구가 활발하다. 그러나 손상 파라미터와 대비되는 손상도는 결국 크리프수명을 나타내기 때문에 두 영역의 연구는 서로 유기적인 관계를 유지해야 소정의 목적을 달성할 수 있을 것이다.

3. 경년열화의 기구

발전설비와 같은 고온기기에서는 부재에 응력이 작용하지 않아도 재질이 시간이 경과함에 따라서 열화되어 가는 것이 상온기기의 잔존수명평가와 다른 점이다. 고온기기의 잔존수명추정은 어느 시점까지의 재료의 내외부에 발생한 재질 열화정도의 계측, 그리고 기온전 이력에서 구한 수명 소비율 및 운전 예상이력에 기인한 잔존 수명평가라는 두가지 영역으로 나누어진다. 이 두 영역의 상관 관계를 그림 5에 나타낸다.

고온에서 장시간 사용중 일어나는 재질의 변화를 통틀어 경년열화라고 하며, 재료 내부에

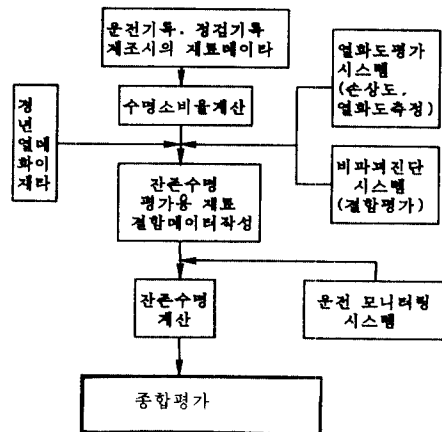
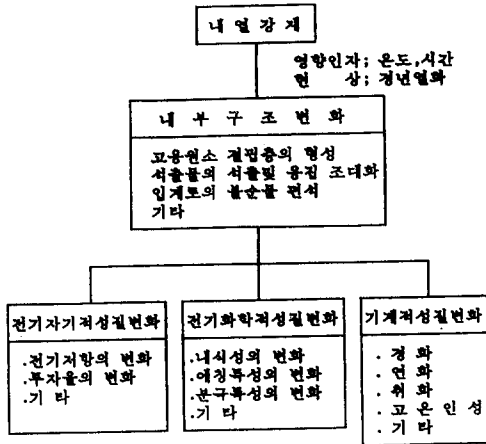


그림 5 수명 평가에 있어서의 열화도 측정의 위치.

표 1. 고온에 있어서의 부재의 제성질 변화⁽⁸⁾



서 일어나는 금속재료의 미세 구조 변화와 그것에 기인하는 제반성질의 변화를 표 1에 나타낸다⁽⁸⁾. 그림 6는 외형적 열화의 대표적인 미시구조를 도식적으로 나타낸다. 그림에서 알

수 있듯이 고온 기기의 사용중에 생기는 열화는 응력이 원인으로 되는 열화와 열적활성에 의해 발생하는 열화로 나누어진다. 여기서 전자의 경우를 기계적 열화라하며 후자의 경우를 조직적 열화라 일컫는다.

조직열화는 그 자체가 진행된다 하더라도 응력이 작용하지 않는한 파손까지는 도달되지 않으나, 조직 열화가 부하상태에서 가속된다고 알려져 있으며, 설비 수명의 결정에 허용 상한치의 감소나 기계적 열화 속도등에 영향을 미치게 된다. 조직 열화로서는 탄화물의 생성이나 편석등에 의한 재료의 연화 또는 취화 그리고 고온 부식 등이 있다.

기계적 열화는 운전시간과 함께 증가하며 그것이 어느 한계치에 달했을때 부재의 파손이 일어나고 결국 사용불가능 즉 수명을 다하게 된다. 고온 기기에 있어서 기계적 열화로서는 변형과 균열 또는 균열의 전단계인 공동(void) 형성등을 들 수 있다.

4. 경년열화의 평가법의 현황

전절에서 말한 바와 같이 고온기기의 손상은 기계적 열화와 조직적열화로 나누어지며 열화 종류에 따른 그의 측정 및 평가법이 달라지게 된다.

표 2에 발전 설비중 보일러와 터빈 부재에서 나타나는 열화 손상의 종류 및 영향 그리고 현재 유용하다고 여겨지는 측정 방법들이 열거되어 있다⁽⁹⁾.

표를 살펴보면 측정법으로 추장되고 있는 방

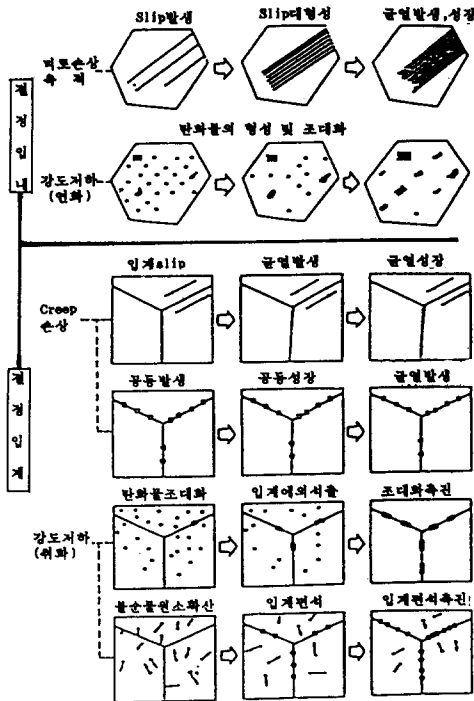


그림 6 고온부재에서 관찰되는 각종 경년열화의 모식도.

표 2. 열화도의 측정법⁽⁹⁾

손상의 종류	영향	현상 계속	실험실 계속
조직열화	미세조직변화	강도 저하	메타스테이블, 전기저항률, 전이점, 경도측정
	불순물입계편석, 입계부근의연화	취화, 강도저하	전기화학적활성화법, 메타스테이블
크리프	크리프 공동	파괴	메타스테이블
	표면 스크래치	파괴	속안검사, 파편투출법, 메타스테이블
	크리프 변형	변형, 강속	외경측정, 길이변화측정

(주: 고온설비에서는 조직변화, 크리프에 의한 열화의예도 부식이나 산화에 의한 열화도 있으나 본 실험의 범위를 생략하기로 한다.)

법은 크게 다음과 같이 나눌 수 있다.

- (1) 경도 측정법
- (2) 전기 저항법
- (3) 초음파법
- (4) 레프리카(reprica)법 (A-파라미터법, 면적율법)
- (5) 전기화학적 수법
- (6) 기타

이하에서 각 평가방법들의 개요 및 응용에 대해서 열거한다.

4.1 경도측정법

현장에서 간단히 측정할 수 있는 방법으로서 경년열화 정도를 측정하는 방법으로서는 대표적인 비파괴 수법이라 할 수 있다. 이 방법은 부재의 현상태를 정성적으로 평가하기에는 가장 적합한 방법으로서, 터빈의 재료로 많이 사용되는 Cr-Mo-V강의 수명 예측법으로 적용시킨 보고가 있다⁽¹⁰⁾. 여기서는 경도 측정을 이용하여 실기 사용온도 및 시간이 명확한 설비에 대한 크리프 수명 예측법이 다음의 수순에 의해 가능한 것으로 알려져 있다. 먼저 각종의 응력하에서 크리프시험을 행한 시험재와 무부하 장시간 가열재의 경도 변화 Hv/Ho 를 온도 시간 파라미터($G = \log T + \log(20 + \log t)$), 여기서 T 는 절대 온도, t 는 시간을 나타낸다)에 대해서 정리한다. 다음에 같은 Hv/Ho 값을 갖는 무부하 가열재의 G 값에서 크리프시험재의 G 값을 뺀 ΔG 를 구하고 그림 7과 같이 ΔG 의 응력과 관계의 관계를 구해 놓는다. 현장에서는 평가대상 부위에서 떨어진, 응력이 거의 작용하지 않은 것으로 여겨지는 낮은 부위의 경도치를 측정하여 사용전의 경도치 Ho 로 가정한 다음 그림 8(a)와 같이 파라미터 G 에 대해 정리 한다. 또한 평가대상 부위의 경도를 측정하여 그림 8(b)와 같이 ΔG 를 구하고 앞서 구한 ΔG -응력 곡선으로부터 대상부위의 응력을 측정하여 마지막으로 그림 8(d)와 같은 크리프파단 곡선에서 잔존수명을 평가하게 된다. 이 방법은 재질 연화와 크리프 강도의 직접적

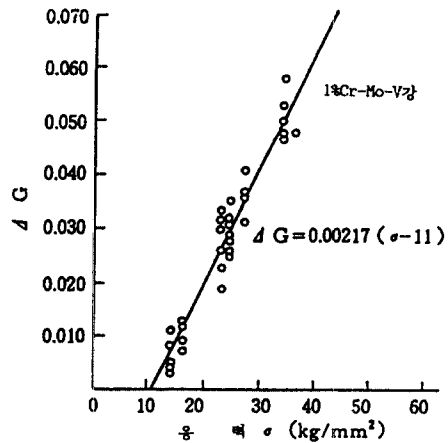


그림 7 작용응력과 온도 파라미터 G와의 관계⁽¹⁰⁾

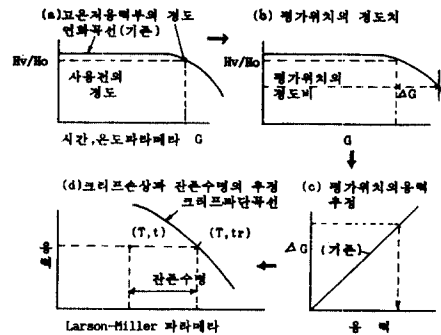


그림 8 경도 측정에 의한 터빈 재료의 수명예측 흐름도⁽¹⁰⁾

인 관계를 이용한 방법이라 할 수 있다.

이러한 경도측정에 의한 방법은 측정 자체는 매우 용이하나 측정 데이터를 이용하기 위한 평가대상 부재별의 데이터 베이스가 필요하다는 어려움이 있다.

4.2 전기저항법

이 방법은 고온 환경 하에서 크리프손상이 증가됨에 따라 탄화물의 조대화 시그마상의 석출등의 조직변화가 전기저항의 변화를 야기시킨다는 점에 주목한 시험 방법이다.

시험의 원리는 그림 9와 같이 단자 A,B에

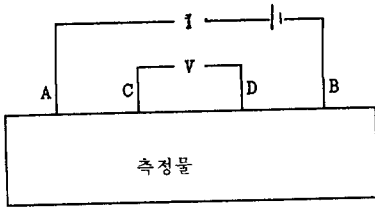


그림 9 전기 저항 측정 시스템

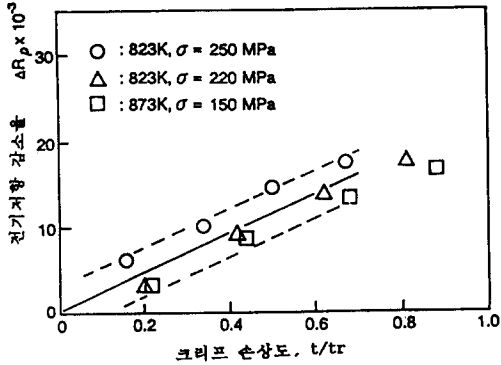


그림 10 Cr-Mo-V강의 손상도와 전기 저항률의 관계⁽¹¹⁾

직류 또는 교류의 전류 I를 공급하고 검출 단자 C,D를 이용하여 C,D간의 전기저항의 변화를 전압 V의 변화로서 검출하는 것이다.

평가파라미터는 전기저항비 R_p 로 표시하며 다음과 같이 정의된다.

$$R_p = \frac{\text{사용후의 부재와 기준재의 저항률비}}{\text{사용전의 부재와 기준재의 저항률비}}$$

그림 10와 그림 11은 Cr-Mo-V강과 오오스테나이트계 스테인리스강에 대해서 얻어진 결과로서^(11,12), 전기저항비를 수명 소비율(t/tr)에 대해서 정리 한 것이다. 여기서, t 는 부재의 실 사용시간, tr 은 사용온도하에서의 파단시간을 말한다. 그림 10의 Cr-Mo-V강의 경우 t/tr 이 0.5이상일 때는 직선관계가 성립되지 않음을 알 수 있다. 이는 $t/tr=0.5$ 이상의 크리프 변형 과정에서 발생된 공동(cavity/void)의 영향으로 사료되며 이때문에 본 실험을 적용시키기 위해서는 전술의 경도실험과 병행할 필요가 있다.

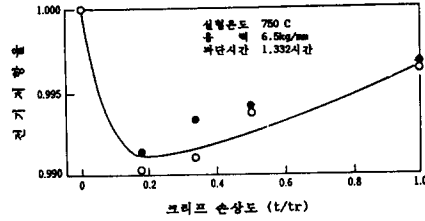


그림 11 스테인리스 강의 손상도와 전기 저항률의 관계⁽¹²⁾

그림 11의 오오스테나이트 스테인리스강의 경우 $t/tr=0.2$ 이상에서 상관관계를 나타내고 있으며 이는 제3기 크리프 변형 개시점과 일치하고 있다.

본 실험에 있어서는 전류가 통하는 도중 온도가 상승할 염려가 있어 온도상승의 영향을 고려하여야 하고 접촉단자의 확실한 접촉을 위한 노력이 중요하다고 할 수 있다. 또한 그림 10,11에서 알 수 있었듯이 특정의 t/tr 범위만의 손상도를 반영 하기 때문에 다른 측정법과 병행하여 실시하여야만 오판을 방지할 수 있다.

4.3 초음파법

초음파법은 부식등에 의한 두께감소를 측정하기 위한 것과 재료내부의 손상도를 측정하기 위한 두가지 방법으로 이용된다. 손상도를 측정하는데 있어서는 주로 음속측정법, 초음파 스펙트로 스코프(감쇄)를 이용한 방법들이 알려져 있다.

음속측정법은 크리프 공동의 생성량의 증가와 더불어 초음파속도가 감소하는 것을 이용하는 것으로서 제 1회 저면 에코와 제 2회 저면 에코간의 전파시간을 측정하고 전파거리로 부터 전파속도를 구하게 되어 있다.

그림 12는 크리프 공동의 생성에 의한 밀도 변화와 초음파 음속의 변화를 나타낸 예로서 밀도가 감소함에 따라 음속도 직선적으로 변화하고 있음을 보여주고 있다⁽¹³⁾.

초음파 스펙트로 스코프법은 재료내의 투과

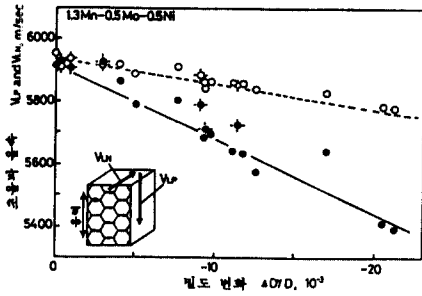


그림 12 크리프 공동 생성에 의한 재료 밀도 변화와 초음파 전파속도의 관계⁽¹³⁾

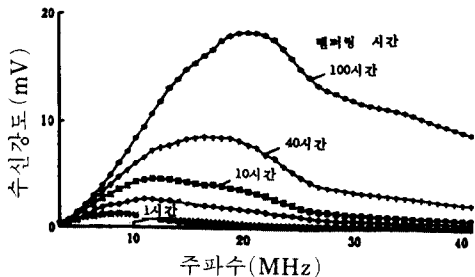


그림 13 석출물에 의한 수신 초음파의 특성 변화⁽¹⁴⁾

파의 강도를 이용하는 방법이다. 그림 13은 시그마상의 석출량에 따른 초음파의 수신 강도 및 주파수의 관계를 나타낸 것으로 시그마상의 증가와 함께 최대 수신 신호의 강도가 전반적으로 고주파수쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있다^(14,15).

이 이외에도 재료의 반대쪽에서 반사되어 오는 신호의 감쇄율 및 그의 주파수 성분의 변화에 의해 결정립경의 변화를 검출하는 방법도 연구되고 있다.

그러나 초음파법은 탐촉자의 선정이나 피측정체의 크기 및 형상 그리고 탐촉자의 접촉 압력 등이 결과에 큰 영향을 미치기 때문에 이에 대한 세심한 연구 및 경험이 필요하게 된다.

4.4 레프리카(Replica)법

레프리카 법은 그림 14에 나타낸 바와 같이 두 가지의 방법으로 대별된다. 즉 그림 1에 나

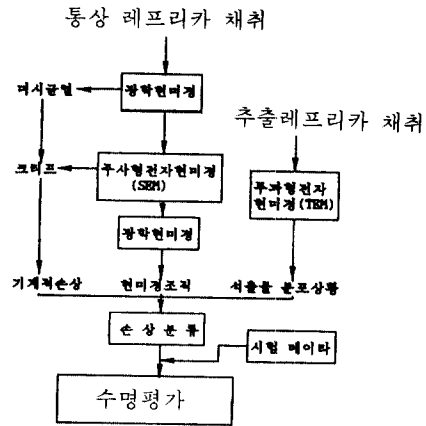


그림 14 레프리카법의 종류와 수명평가에의 응용

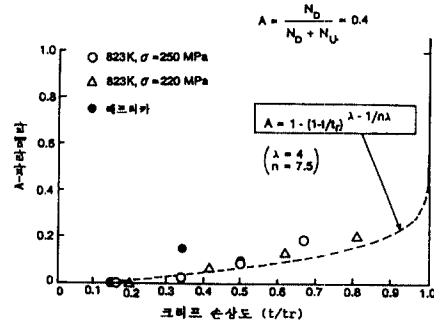
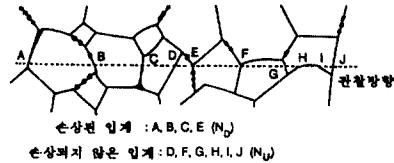


그림 15 A-파라미터의 정의와 응용 예⁽¹⁶⁾

타낸 바와 같은 균열과 크리프 공동을 직접 관찰하기 위한 통상의 레프리카법과 재료내부의 석출물 분석을 행하기 위한 추출 레프리카로 대별된다.

통상의 레프리카법에 의해 결정되는 손상 파라미터는 A-파라미터법과 면적율법이 있으며 특히 A-파라미터법은 영국과 미국 양국에서 제안되어 현재 실기에서 응용되고 있다 한다. A-파라미터법의 정의를 그림 15(a)에 그리고

A-파라미터와 크리프 손상도와와의 관계를 나타낸 예를 그림 15(b)에 나타낸다⁽¹⁶⁾.

면적률법이란 공동이나 특정의 석출상의 면적비를 나타낸 것으로 특히 스텐리스강에서의 시그마상의 면적율과 크리프 손상도의 관계가 보고되고 있다.

4.5 전기화학적 방법

이 방법은 최근들어 일본, 도호쿠 대학에서 전력적으로 행하여지고 있는 연구로서 EMAC (electro chemical materials characterization) 라는 새로운 용어로 명칭되어진 방법이다⁽¹⁷⁾.

이 방법에 의한 손상계측의 기본원리는 미시적 재료의 조직변화를 표 1에 나타낸 바와 같이 전기화학적 변화로서 나타낸 것으로 손상의 종류에 따라 적절한 손상검출 용액중에서 분극곡선 또는 전극 임피던스(impedance) 계측을 통하여 손상도와의 관계를 명확하게 하는 것이다.

이중에서도 최근에는 2 1/4 Cr-1Mo 강에 포함되어 있는 M_6C 의 탄화물을 검출하기 위해서 통상의 EPR 측정용 방법이 사용되고 있다. 여기서는 소정의 전위를 경년 열화된 시료에

가했을 때 모재 전체가 부동태를 형성하는 반면, M_6C 탄화물만이 부동태 되지 않아 전류가 흐르는 성질을 이용하고 있다. 즉, 그림 16에 나타낸 바와 같이 미사용재에 비해 장시간 고온중 사용재의 경우 흐르는 높은 전류(I_p 로 정의)를 M_6C 와 대응하는 파라미터로 정의하고 있으며 이렇게 구한 I_p 와 FATT와의 상관 관계도 구하고 있다.

고온부재의 기계적 강도나 크리프강도변화에 M_6C 와 같은 탄화물이 깊게 영향을 미치고 있는 것을 감안하여 볼 때 현장에서 비파괴적으로 탄화물을 특정화할 수 있다는 것은 매우 유용한 방법으로 여겨진다.

이러한 방법을 이용하여 현장계측에 이용될 소형, 전극 셀(cell)의 형상을 그림 17에 나타낸다. 현장측정상의 문제를 고려하여 분극곡선 측정시 분극속도의 영향, 표면저칠기의 영향 등에 대한 연구가 필요하다고 여겨진다. 또한 이 방법을 현장에 적용 시키기 위해선 현장 응용성이 높은 측정 시스템의 개발이 필요하다.

4.6 기타

또한 현장에서 가장 손쉽게 열화의 정도를

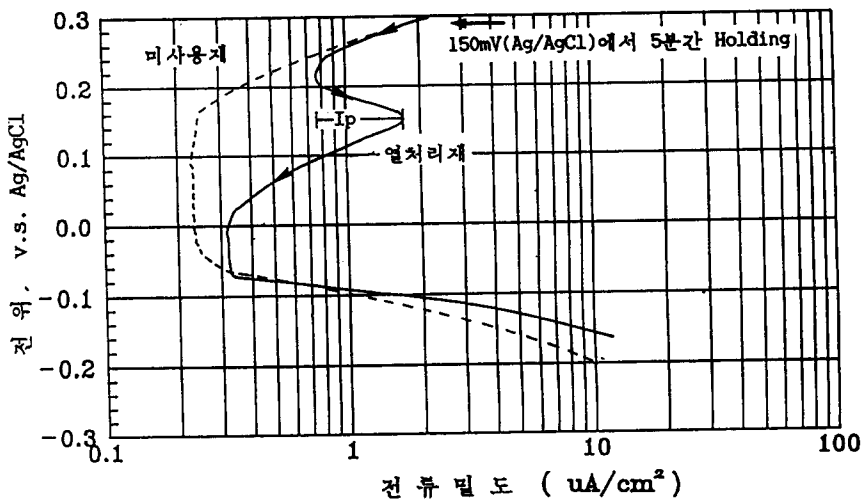


그림 16 EPR법에 의한 2.1/4Cr-1Mo강중의 M_6C 탄화물 검출

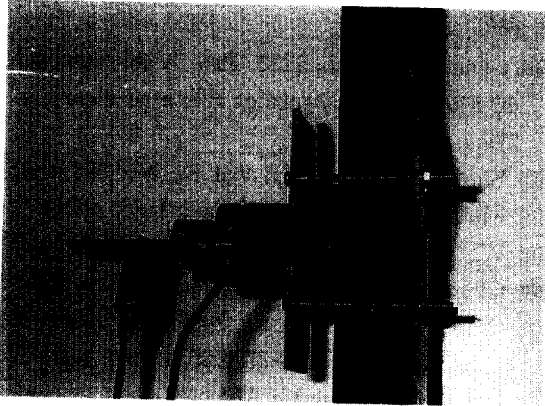


그림 17 EPR법의 현장 응용 예

측정하고자 하는 입계부식법(GEM : Grain boundary etching method) 이 연구되고 있다^(20,21). 이 방법은 잘 연마된 실기 부재를 특정의 부식액으로 에칭 시킨 후 취화된 조직 입계의 폭과 깊이를 측정하여 손상도와의 관계를 밝히는 것이다. 정성적인 평가법이지만, 간단히 측정할 수 있다는 점과 정밀 검사의 필요성을 판가름하는 데에는 매우 유용한 방법으로 여겨지며 실제 현장 응용의 예도 보고되고 있다.

그외 큰 비파괴 시험법(semi-NDT)으로서 SP(smallpunch)시험이 응용되고 있다^(22,23,24). 이 시험법은 10mm×10mm×0.5mm의 시편에 직경 2.4mm의 강구(steel ball)를 눌러 얻어지는 하중과 변위로부터 SP에너지를 구하여 부재의 열화도를 측정하는 방법이다. 또한 이 SP시험을 이용하여 표준 충격 시편으로 구해지는 천이 온도를 예측할 수 있는 장점도 가지고 있다. 일반적으로 표준 규격의 충격 시험편을 채취하기 어려운 고온 부재의 열화도를 직접 측정할 수 있다는 점에서 또하나의 유용한 열화도 평가 방법이 될 것으로 생각된다.

5. 맺 음 말

발전 설비를 중심으로 고온 부재의 잔존 수명 진단을 위한 경년 열화도의 측정에 관련된

연구 현황에 대해 극히 좁은 범위 안에서 개략적으로 기술했다. 국내의 산업체에서도 현재 이에 관련된 문제점을 제시하고 있고 앞으로 이러한 문제의 발생은 그 빈도와 규모면에서 증가하게 될 것이다. 이에 대비하여 기존 방법의 기술적 터득과 데이터의 축적 그리고 측정 정도를 향상시키기 위한 새로운 측정 방법들의 개발이 시급한 실정이다.

정확한 진단과 수명이 예측을 위해선 본 글에서 설명된 각종 측정법들과, 짧은 식견으로 여기에서는 설명되지 못한 금속학적 고찰을 가미한 수많은 측정법들을 종합적으로 행하여야 할 필요가 있다는 것은 말 할 나위도 없다.

또한 실기 사용 부재의 입수, 나름대로의 정보 교환등 연구 초기 단계에서 부딪히는 수많은 문제점들을 원활하게 해결하기 위해서는 각 전문분야의 학술적 교류와 더불어 산·학·연의 공동연구가 절실하게 요구된다.

마지막으로 본 글을 작성하는데에 도움 말씀을 주신 전북대학교 공과대학 정세희 교수님, 일본 도후쿠대학 공학부, 쇼지 데쓰오 교수께 감사드리며 끝을 맺는다.

참 고 문 헌

- (1) 김건영, 1990, "보일러의 파손 사례", 대한 용접학회 춘계학술대회, 특별강연.
- (2) Kitagawa, M., 1990, 일본 용접학회지, 제 59권 3호 p.190.
- (3) 사업용 화력 발전소의 정기검사 지침, 일본 화력 발전 기술 협회, (1987)
- (4) Gooch, D.J., 1988, CEGB Research, May p. 60.
- (5) Thielsch, H., 1991, Materials Evaluation, Vol. 49, No. 2, p. 123.
- (6) 예를들어, Narayanann T.V. et al., 1989, "Life Assessment and Extension of Power Plant Components-1989", ASME/JSME Joint Conf. on PVP, Hawaii
- (7) Nitta, 1988 압력기술, 제26권 6호 p. 8

- (8) Takahashi, H. and Shoji, T., 1986, 화력원자
 려발전, 제37권, 8호 p. 64
- (9) 구조재료의 신뢰성 평가에 관한 보고서, 일
 본과학 기술청 (1987)
- (10) Kondo, 1984, 미쓰비시 중공업 기보, 21 p.
 389
- (11) Aoki, et al., 1985, 화력 원자력 발전, 36 p.
 1068
- (12) Kirihara, et al., 1984, 재료, 33 p.1103
- (13) Motomatsu, et al., 1989, 비파괴검사, 제37
 권 7호 p. 587
- (14) Koban, et at., 1989, 일본기계학회 제103회
 강습회 교재 p. 33
- (15) Kishimoto, 1990., 재료, 제39권 442호 p.
 211
- (16) Cane, B.J. et al., 1983, Pro. ASM Seminar
 on Flow and Fracture at Elevated Temp. p.
 279
- (17) Shoji, T., 1991, JSME Vol. 94, No. 866 p. 52
- (18) Matsushita, et al., 문헌6의 NDE5, p. 213
- (19) Watanabe, Y. et al., 철 과 강(인쇄중)
- (20) Chung, S.H. et al., 문헌6의 NDE5, p. 243
- (21) Viswanathan, R. et al., 1989, Int'l Conf. of
 "Life Assessment and Extension" Sec. 2,
 Hague, Netherland p. 92
- (22) Shoji, T. and Jeong, H.D. ibid, p. 2.7.2
- (23) 정세희, 정희돈, 1988, 대한기계학회, 제28
 권 4호 p. 387



第2回 韓 · 日 熱工學 學術會議

(The Second JSME-KSME Thermal Engineering Conference)

우리 학회에서는 일본기계학회와 공동으로 다음과 같이 第2回 韓 · 日 熱工學 學術會議를 개
 최할 예정입니다. 우리학회측에서는 열유체공학부문(부문위원회 위원장 이택식 교수)에서 주
 관하며 상세한 일정은 추후 공지할 예정이오니 많은 회원의 참여를 바랍니다. 이번 학술회의
 는 1988년에 서울에서 개최한 제1회 한 · 일 열 유체공학학술회의의 계속으로 이번에는 일본
 측의 주관으로 개최됩니다.

다 음

일 시 : 1992년 10월 9일(월)~21일(수) (학술회의 후 2~3일간 산업시찰 예정)

장 소 : 日本 北九州市(Kitakyushu City, Fukuoka 근처)

한국측 조직위원회

위원장 : 이춘식 [한국과학기술연구원 연구기획부장 (02)968-0091]

간 사 : 신현동 [한국과학기술원 기계공학과 교수 (02)962-8801 (교)3617]

위 원 : 김광호 [한국과학기술연구원 터보기계연구실장 (02)960-3611]

노승탁 [서울대학교 기계공학과 교수 (02)880-7111]