한국동력기계공학회지 제5권 제2호 pp. 5~12 2001년 5월

발전소 보일러 고온배관의 비파괴진단기술

Diagnostic Technique for Power Plant Boiler Tube and High-temperature Pipeline Using Nondestructive Method

이 상 국

S. G. Lee

1. 서 론

보일러의 튜브류 및 주증기관, 헤드 및 드럼 등의 고온배관설비 노후의 가장 큰 원인은 재료열화(Material Degradation)이다. 재료열화를 발생시키는 요인은 오랜 사용기간, 고온환경, 부하조건, 부식환경 등이며, 대개의 경우는 이들이 복합적으로 작용하여 열화를 진행시킨다. 이러한 재료열화를 측정하기 위한 비파괴적 방법은 파괴적 방법에 비해 비교적 손쉽게 단시간내에 많은 위치를 진단할 수 있고 정기적인 진단도 가능하기 때문에 많은 관심이 집중되고 있다. 종래의 정기점검에 주로 사용되는 육안검사, 침투탐상검사, 자분탐상검사, 일반적 초음파검사 등의 비파괴 결함검사는 거시적인 균열이나 결함만을 검출할 수 있으며, 균열이 발생될 때까지의 평가, 즉 수명소비와 손상정도를 검출하는 것은 불가능하였다. 따라서, 재료가 열화됨에 따라 물리적 성질 및 미세 조직이 변화되는 것에 착안하여 그들의 변화량과 손상정도 또는 열화도 와의 관계를 정량적으로 파악함으로서 잔여수명을 진단하는 즉, 균열발생 이전의 손상을 포함한 조기손상을 검출하는 각종 비파괴진단기술을 소개하고자 한다.

2. 보일러튜브 비파괴검사기술

최근 장기운전 화력발전소의 개조 또는 정기검사의 기간연장문제와 관련하여, 비파괴검사에 의한 잔여수명진단기술의 중요성이 계속하여 증가하고 있다. 따라서 보일러튜브에 현재 적용되는 누설 또는 결함을 측정할 수 있는 대표적인 비파괴검사방법에 대해 살펴본다.

접수일 : 2001년 4월 1일

이상국 : 한국전력공사 전력연구원

2.1 초음파검사

2.1.1 초음파 TOFD검사법(Time of Flight Diffraction Technique)

보일러의 빈번한 기동정지에 의해 발생되는 열응력과 부식이 중첩된 부식 피로균열이 노벽관(Water-wall Tube)에 많이 발생하고 있으며, 이러한 균열크기를 정기적이면서 정량적으로 측정하여 노벽(Furnace Wall) 전체의 손상정도를 모니터링하는 등의 보일러튜브 전체에 대한 적절한 교체시기를 결정하기 위해서는 각 보일러튜브의 결함 치수를 정확하게 측정할 수 있는 비파괴검사기술이 요구된다. 따라서, 이러한 보일러튜브의 결함을 측정하기 위한 비파괴검사는 종래로부터 이용되어온 펄스-에코법(Pulse-echo Method)에 의해 결함크기를 측정하여 왔으나, 이 방법은 초음파 탐촉자 Ultrasonic (Probe)를 주사함에 따라 파형의 미소변화로부터 저면(底面)에코를 읽어내어야 하기 때문에 검사원의 기량에 의존하는 경우가 많으며, 검사결과에 개인차가 나타나기 쉽다. 이러한 점을 보완하기 위하여 영국에서 이미 BS7706으로 규격화되어 결함의 검출 및 정량화방법으로 광범위하게 이용되고 있는 방법이 TOFD법으로, TOFD법의 원리 및 측정법 등에 대하여 설명하고자 한다. TOFD법은 Fig. 1에 나타낸 것과 같이, 결함을 사이에 두고 등거리(等距離)에 설치된 2개의 송수신 탐촉자를 이용하여 균열의 상단 및 하단으로부터의 회절파의 전파시간을 측정하여 아래와 같은 식에 의해 균열높이를 측정하는 것이다[1].

$$L = Zb - Zt = \sqrt{t_b^2 \frac{V^2}{4} - S^2} - \sqrt{t_b^2 \frac{V^2}{4} - S^2} \qquad (1)$$

D : 송수신 탐촉자간의 거리
Z_t : 균열선단까지의 깊이
Z_b : 균열저면까지의 깊이
L : 균열높이

S : D/2
V : 회절파의 속도
t_t : 균열 선단으로부터의 회절파 전파시간
t_b : 균열 저면으로부터의 회절파 전파시간
t_{BW} : 저면반사파의 전파시간
t_L : 표면파의 전파시간

2.1.2 초음파 헬리컬 스킵(Helical Skip Technique) 검사법

화력발전소 보일러설비는 열피로에 의한 손상이 가장 많이 발생하고 있으며, 이는 빈번한 기동정지 또는 부하변동 운용에 의한 영향을 받는 것으로, 주로 열응력이 반복하여 작용하는 장소, 즉 보일러 본체와 부착금물과의 용접부 보일러튜브 외면에 주로 발생한다. 또한, 부착금물과 용접부 근방의 보일러 튜브 내면에는 부식피로가 주로 발생하고 있다. 부식피로는 금속이 부식성 환경중에서 반복되는 응력을 받을 때, 피로강도가 대기중에 비해 급격히 저하하여 피로균열 발생 및 진전이 촉진되는 현상으로, 그 발생과정은 복잡하여 원인규명이 곤란한 점이 많으나, 기본적으로 열응력 등이 크게 작용하는 부위의 튜브 내면측에 발생하고 있는 경우가 많다[1]. 그런데, 이들 균열발생이 예상되는 노벽관(Water-wall Tube)과 부착금물 및 용접부는 광범위하게 설치되어 있으며, 또한 그 수도 많기 때문에 노외측(爐外側)에서 검사하는 경우에는 보온재와 케이싱의 철거 및 복구에 많은 공정이 요구된다. 이에 대한 대책으로서, 노내측(爐內側)에서 노외측 용접부를 탐상하는 초음파 탐상기술이 개발되었다. 이 방법은 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 2개의 초음파 탐촉자를 이용하는 것으로, 원주방향 균열을 탐상하는 경우에는 송신용 탐촉자(T)와 수신용 탐촉자(R)을 서로 등을 마주치게 하여 배치하고, 초음파를 튜브 내외면에 보내어 반사시킴과 동시에 전파시켜 노내측에서 노외의 용접부 근방을 탐상한다. 한편, 축방향 균열을 탐상하는 경우에는 송신용 탐촉자(T)와 수신용 탐촉자(R)를 축방향으로 겹치지 않도록 반대방향에 배치하여 원주방향 균열탐상의 경우와 같이 탐상한다. 그 초음파의 전파형태로부터 헬리컬 스킵(Helical Skip)법이라고 부른다. 본 방법은 이미 실제 기기에 적용되어 노벽관(Water-wall Tube)의 검사방법으로 적용되고 있으며, 또한 본 방법에 의해 검출된 균열에 대해서는 TOFD법에 의해 균열 크기를 측정할 수 있다.

2.1.3 보일러튜브 내부진단 초음파검사법

과열기(Superheater)재열기(Reheater) 또는 절탄기(Economizer) 등은 연료의 종류에 따라 고온부식이나 에쉬 이로전(Ash Erosion) 등에 의해 감육(減

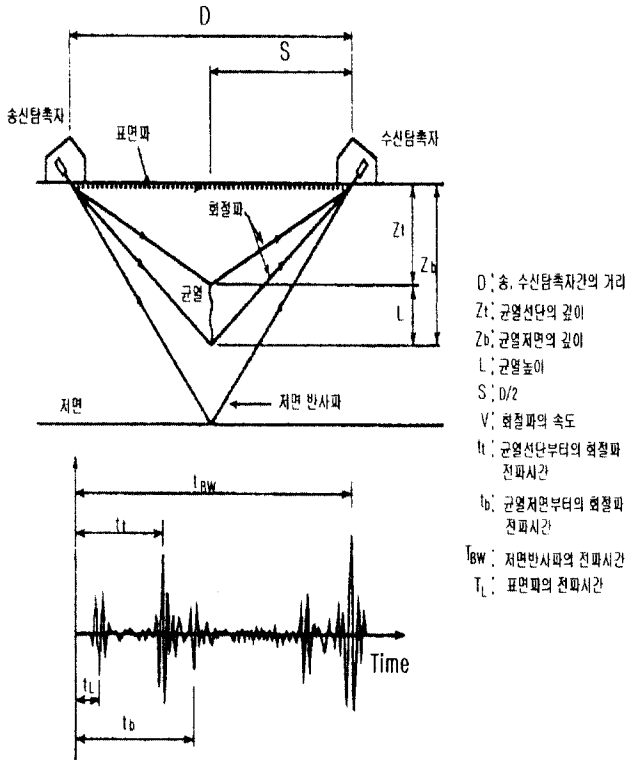

Fig. 1 Crack height measurement method by TOFD

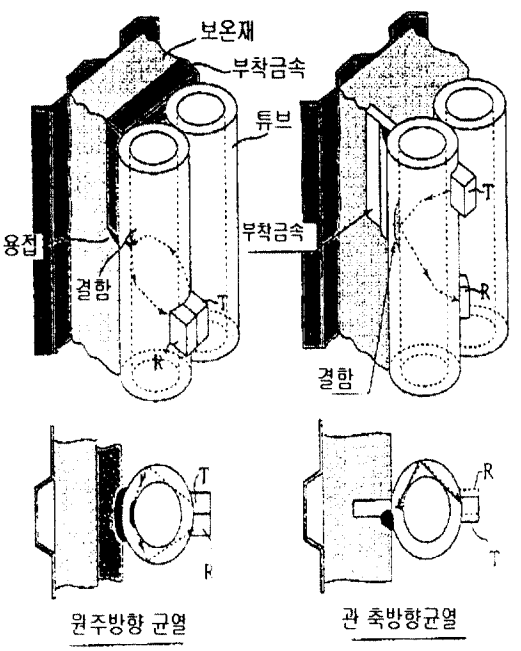

Fig. 2 Ultrasonic helical skip method

肉)되기 때문에 경년적인 두께측정이 필요하다. 또한, 화력발전소의 운용형태 변경에 의해 밀봉(密封) 용접부(Seal Weld)나 부착금물 용접부 등에 발전정지에 따른 열응력차가 반복적으로 작용하여 피로균열이 생기게 되므로, 정기검사에 있어서 중요한 점검사항이 된다. 그러나, 각종 기기 용접부의 수는 너무 광범위하기 때문에 종래의 방법인 노내에 발판을 조립하여 검사원이 튜브내면에서 검사하는 방법에서는 그 검사범위가 제한되어, 경년열화가 진행되는 보일러의 보전관리 방법으로서는 신뢰하기 힘들다. 강재(鋼材) 튜브내부를 검사하여 내·외면을 탐상하기 위한 비파괴검사법으로는 와류탐상법(Eddy Current Test)과 초음파탐상법이 이용되고 있다. 와류탐상법은 두께 7~8mm이하의 비자성체 튜브 결함검사에 적용되며 자성체를 검사할 경우, 투자율변화로 신호해석이 곤란하다. 그러나, 보일러 튜브의 재질은 저합금강의 자성체이며 두께가 약 2~15mm의 두꺼운 것이므로 와류탐상법을 적용하는 것은 곤란하다. 따라서, 자성체, 비자성체 및 두께에 제한없이 적용 가능한 초음파탐상법이 튜브내부 검사법으로 적당하다. 따라서, 최근에는 종래의 검사와는 완전히 다른 새로운 검사법이 개발, 실용화되고 있다. 즉, 튜브 내부에 초음파탐촉자를 삽입하여 내측에서 튜브 전체길이에 걸쳐 검사하는 초음파 검사법이다.

2.2 음향방출검사(Acoustic Emission Technology)

보일러튜브 등의 배관 내부에서 물이나 기타 유체가 새어나올 때 음향에너지(Acoustic Energy)를 포함한 여러 가지 형태의 에너지를 방출하게 되는데, 이러한 음향에너지를 이용하여 보일러튜브 등의 배관에서 운전 및 가동중 누설결함을 탐지하여 결함위치를 찾아내는 방법이 음향방출검사이다.

튜브내부의 증기누설에 의해 발생한 음향신호는 보일러내의 가스와 튜브를 통하여 전달된다[2]. 이러한 음향신호를 검출하여 누설을 검사하기 위한 튜브누설검사에는 공기매개 전달 음향센서(Airborne Type Sensor)를 이용한 누설 신호검사와 금속매개 전달 음향센서(Metal borne Type Sensor)를 이용한 누설 신호검사의 2가지로 구분된다. 공기매개 전달 음향센서를 이용한 누설 신호검사의 경우, 과열기(Superheater), 재열기(Reheater) 및 절탄기(Economizer) 등과 같은 보일러 내부에 누설이 발생하면, 이 누설에 의래 생성된 진동은 음파를 생성시키고, 이 음파가 가스층을 통과하여 보일러의 벽면에 미세한 진동을 발생시키게 된다. 이 벽면이 울림판과 같은 역할을 하게 되고 이때 센서가 이 진동을 감지하게 된다. 이렇게 해서 얻어진 음향신호를 증폭, 여과 및 분석하여 일정시간 이상 경보 문턱값(Alarm Thresho-ld)을 넘게될 때 발생된 경보로서 누설을 확인하는 방법이다. 한편, 금속매개 달 음향센서를 이용한 누설 신호검사에 있어서는, 보일러 내부나 외부의 노벽(Water Wall)에 누설이 발생하면, 이 누설에 의하여 생성된 진동은 튜브와 표면을 통하여 센서에 전달하게 된다. 이렇게 해서 얻어진 음향신호를 증폭, 여과 및 분석하고 일정시간 이상 경보 문턱값(Alarm Threshold)을 넘게 될 때 발생된 경보로서 누설을 확인하는 방법으로, 본 검사법은 피도관(Waveguide 또는 Sounding Rod)를 노벽면에 용접하면, 피도관은 저주파대역(1.7~11㎑)와 고주파대역(20~175㎑)를 모두 검출할 수 있다. 고주파대역인 제매기(Sootblower)의 음향신호는 보일러 가스를 통과하는 동안 약해지기 때문에 고주파 검출센서의 음향신호에는 큰 영향을 미치지 않는다. 고주파대역의 감지는 노벽 튜브와 표면 등과 같이 서로 연결되어 있는 금속성 경로를 통하여 누설시 발생하는 소음을 감지함으로서 슈트블로잉(Sootblowing)하는 동안 발생하는 누설을 감지할 수 있다. 튜브누설을 감지 위한 튜브누설검사 원리도를 Fig. 3에 나타낸다.

2.3 기타 비파괴검사

기타 보일러튜브에 적용되는 기타 비파괴검사 방법으로는 감마선(Gamma Ray), 중성자선(Neutron Ray) 등 여러 가지 방사선을 사용하는 방사선 투과검사가 있으며 이 방법을 이용하여 피로, 크리프 및 수소 취화손상 등을 검출할 수 있다[3]. 또한 자성재료의 표면결함에는 자기포화 근처까지 자화하면 결함부의 자속누설이 증가한다. 이러한 누설자속을 검출함으로서 결함을 검출해내는 자기탐상검사법을

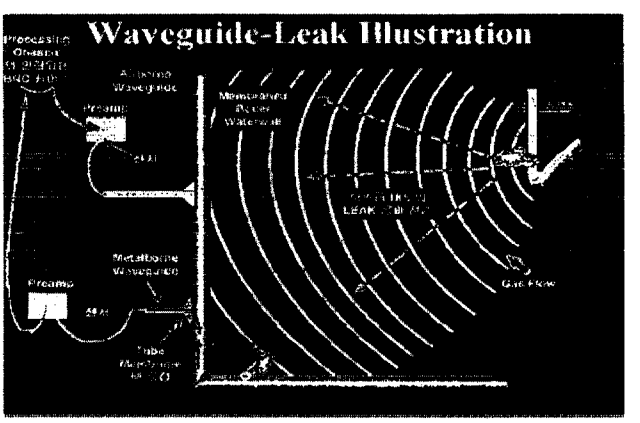

Fig. 3 Boiler tube leakage detection method

비롯하여 튜브 표면에 개구(開口) 균열사이에 침투액을 침투시킨 후 현상액을 뿌려 균열을 찾아내는 침투탐상검사 등이 있다.

3. 고온배관(주증기관, 헤드, 드럼 등)의 비파괴 검사 기술

3.1 표면복제법(Replication Method)

3.1.1 Replica 채취법

금속조직 검사용으로 시판되고 있는 Replica 막은 Acetyl-cellulose Film과 Paraffine을 조합한 것으로 0.035mm와 0.08mm 두께의 두 종류가 있다. 이들은 Replica 채취면의 요철 정도와 온도 등의 조건에 따라 구별되어 사용된다. 용제로는 시약 1급 규격 이상의 Methyl Acetate를 사용한다. Replication절차의 개략도는 Fig. 4와 같다. Grinding/Polishing/Etching/Replication 등의 여러 가지 절차를 거쳐 하나의 Replica가 채취된다.

3.1.2 조직대비법

조직대비법은 크리프 기공과 균열의 상태에 따라 손상 등급을 분류하여 각 등급에 대응하는 정기점검 및 보수관리를 행하는 방법[4]으로, Cr-Mo저합금강 열영향부(HAZ)에서의 크리프손상 진전과 조직변화의 관계를 크리프시험 중단재와 실기의 장시간 사용재를 사용·조사하여 Fig. 5와 같이 손상인자를 구분한 후, 이와 같은 손상인자와 크리프 파단시험 결과로부터 구한 크리프 파단 수명소비율과 대비시켜 종합 손상구분을 Fig. 6과 같이 7단계로 구분한다.

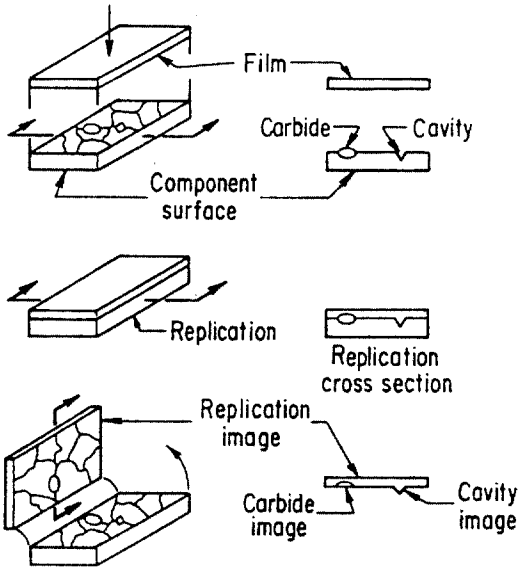

Fig. 4 Replication

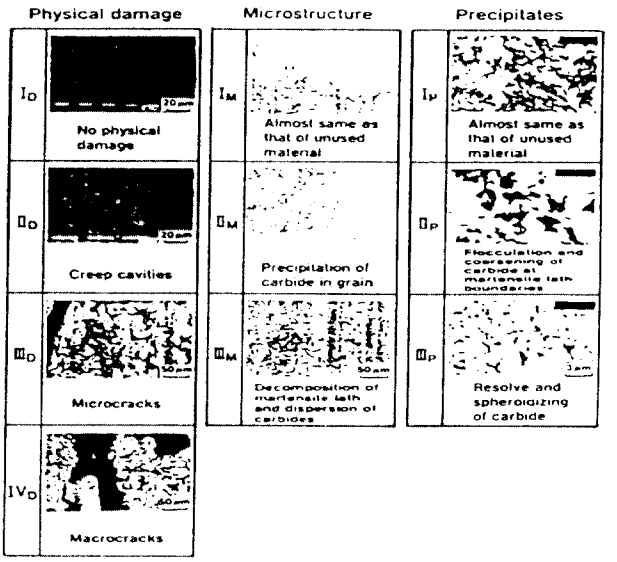

Fig. 5 Damage criteria of HAZ zone for Cr-Mo steel

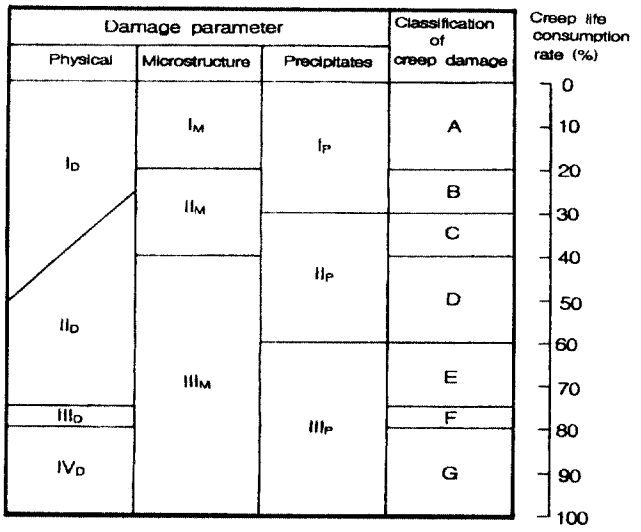

Fig. 6 Relationships between damage degrade and creep rupture life for Cr-Mo steel

3.1.3 기공정량화법[5-6]

기공을 정량적으로 평가하는 방법으로 시료를 채취하여 광학 현미경이나 주사형 전자현미경을 이용하여 관찰하는 직접 관찰법과, 현장에서 채취한 Rep-lica를 이용하여 밀도 변화를 측정 하는 간접 계측법이 있다. 밀도변화 측정법은 기공이 생성되면 부피가 증가하여 밀도가 감소되기 때문에 미사용재 등의 건전재의 밀도 D에 대한 손상재의 상대적 밀도 변화량 $\Delta D/D$ 를 계측하여 기공의 생성량을 구하는 비교 방법이다. 기공을 관찰하는데 광학 현미

경과 주사형 전자현미경이 많이 사용되며, 그 평가 방법을 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Degradation evaluation by void measurement method

평가인자	평 가 방 법	비 고
면 적 율	생성된 기공의 비율 = (전 격자점 중심의 수)/(총격자점수×시야수)	격자(보통 20×20사용)를 시야 상에 놓고 측정
면 밀 도	단위 면적당의 기공수 = (기공의 총 수)/(1 시야의 면적 × 시야수)	단위 입계 길이당의 기공수를 구하기도 한다.
크 기	평균크기 = (기공 직경의 총합)/(기공의 총 수)	최대 크기를 구하기도 한다.
생성 입계율	기공이 생성된 입계의 비율 = (기공을 포함한 입계의 수)/(전 입계의 수)	A Parameter법

3.1.4 결정립 변형법

결정립 변형법은 Fig. 8에 나타낸 것과 같이, 크리프 손상이 진행됨에 따라 페라이트 결정립이 응력방향으로 변형된다는 사실에 착안한 것으로서 변형을 정량화하는 Parameter로서는 결정립의 장경의 방향과 응력방향이 이루는 각도(θ_m)를 많이 사용하며, 광학 현미경과 화상처리 장치를 이용하여 측정한다. θ_m 분포의 표준편차인 변형계수(S_m)은 크리프 손상율과 좋은 상관관계가 있기 때문에 정도 높은 진단을 할수 있다. 일본의 Ishikawajima-Harima에서는 변형을 정량화하는 Parameter로서 장경과 단경의 비를 사용하기도 한다[7,8].

3.2 경도법[9-10]

고온설비의 안전성이나 경제적인 운용을 위해서는 설비 구성 재료의 손상을 검출하여 설비의 잔여수명을 평가하는 것이 매우 중요하다. 잔여수명 평가법 중에서 비파괴적 방법은 실기를 크게 훼손시키지 않고 손상상태를 직접적으로 파악할 수 있다는 장점이 있으며, 비교적 손쉽게 단시간 내에 많은 위치를 진단할 수 있고 정기적인 진단도 가능하기 때문에 많은 관심이 집중되고 있다. 비파괴적 손상검출 방법중에서 경도법은 시험이 간편하고 실용화 가능성이 가장 높은 방법 중의 하나로 알려져 있다.

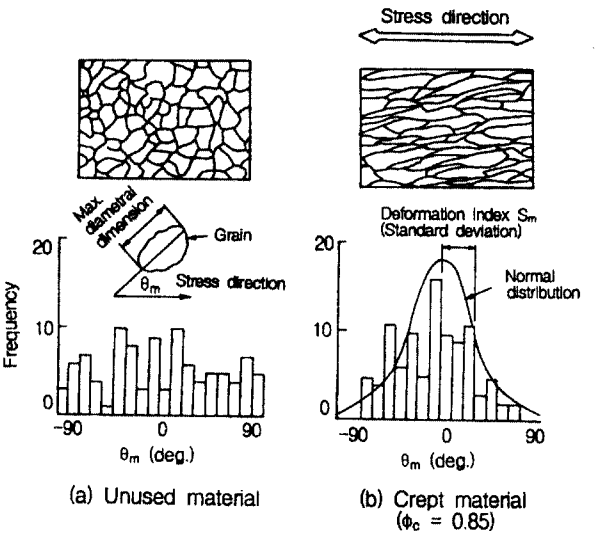

Fig. 8 Structure change of grains(2.25Cr-1Mo steel)

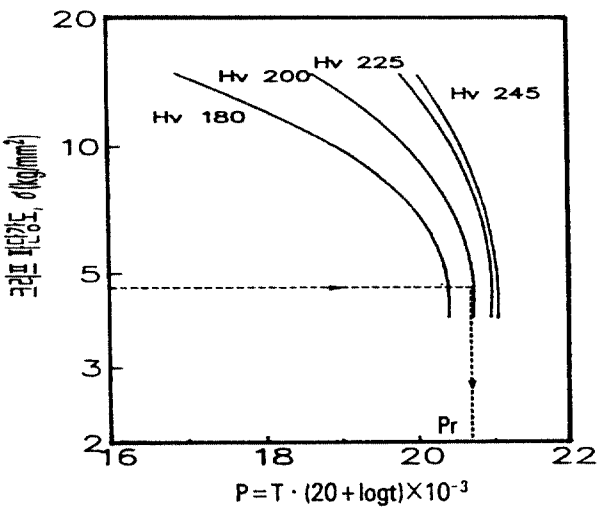

Fig. 9 Hardness value variation versus creep damage

경도를 알면 재료의 다른 성질, 예를 들면 강도, 내마모성, 변형저항 등을 알수 있기 때문에 경도값 자체를 알기 위해서, 뿐만 아니라 그 밖의 다른 성질을 추측하기 위해서 경도시험을 한다. 경도측정을 하여 잔여수명을 예측하는 경우 경도값 자체를 이용하거나 경년열화를 따른 경도의 감소량 혹은 경도비를 주로 이용한다. 경도측정을 이용한 고온 사용 설비의 크리프 수명예측에는 다음과 같은 방법들이 사용되고 있다. 경도감소량, 경도값 및 경도비를 이용하는 방법이 있으며, 크리프 파단강도, 기간 - 온도변수(Time-Temperature-Parameter) 및 경도값의 관계를 Fig. 9, 그리고 경도측정을 이용한 크리프손상과 잔여수명 예측법을 Fig. 10에 각각 나타낸다.

3.3 입계부식법[11]

입계부식법(Grain Boundary Etching Method)은 내식성 및 화학부식 특성의 변화를 관찰하여 경년열화된 재료의 성을 평가하는 방법이다. 이 방법은 오래전부터 저합금강의 뜨임 취화의 검출법으로 이용되어 왔으며, 뜨임 취화는 인(P) 등 불순물 원소의 입계편석에 기인하는 것으로 알려져 왔다. 따라서 이 방법에서 입계부식은 불순물의 입계 편석에 기인하는 것으로 추측할 수 있으며 입계 석출물의 양을 정량화 함으로서 ⊿FATT와 같은 재질의 열화도를 구할 수 있다.

3.4 전기화학 측정법[12-13]

전기화학 측정법은 발전설비를 포함한 고온에서 사용되는 설비에서 경년열화(피로손상, creep 손상, 연화, 취화)가 나타나면 이로 인해 금속재료의 부식 특성이 변하는 것에 근거한 것으로 부식 속도의 측정방법으로는 교류 이용법인 AC Impedance방법과 직류법이 있으며 고온 사용설비의 경년 열화 진단과 수명예측에 활용되는 방법은 후자로서 현재 대부분 연구개발 단계에 있으며 일본에서 실용화 되고 있는 방법이다. 재료의 측정 Parameter로는 Ip (양극 활성화 Peak 전류밀도, Critical Anode Current Density for Pacivity), Ir(재부동태화 전류밀도), △Ip(부동태화 후의 Peak 전류밀도) 등이 있는데 보통 미사용 원재와 사용재에서의 측정값의 비 또는 차이와 경도변화, 충격치 변화 Larson-Miller Parameter, FATT, 온도 등과의 상관관계로부터 손상정도를 분석한다.

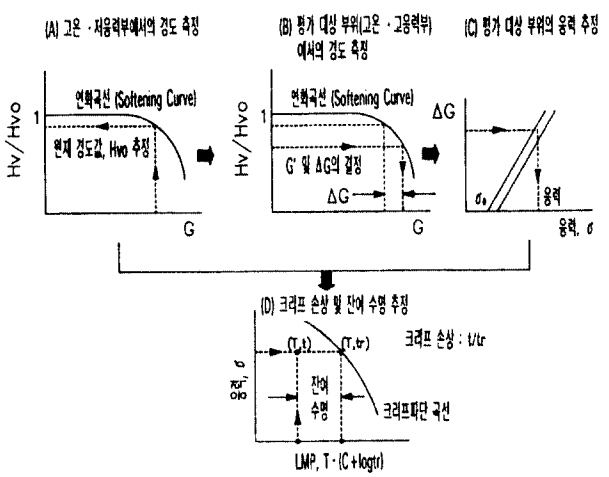

Fig. 10 Creep damage measurement and residual life estimation methods using hardness test

3.5 초음파법

초음파는 시험체의 표면에 국한하지 않고 내부의 계측이 가능한 점, 계측방법이 용이한 점, 광범위한 계측이 가능한점 등의 장점이 많아, 수많은 측정법이 제안되고 있다. 대표적인 시험방법을 Table 2에 나타낸다.

Table 2 Degradation measurement method by ultrasonic test

방 법	내 용	대 상
음속측정	음속변화	응력측정, 크리프, 피로, 부식, 수소침식, 수소취화 등
감쇠측정	감쇠율 변화	크리프, 피로, 결정입도, 부식, 수소취화 등
주파수분석법	주파수 분포상황의 변화	크리프, 피로, 템프링 취화, 결정입도 등
노이즈분석법	후방산란파의 주파수분석	크리프, 피로 등
산란파법	후방산란파의 진폭특성	크리프, 피로, 결정입도, 담금질 깊이, 편석 등
임계각법	Rayleigh파의 발생 각도	잔류응력, 피로, 냉간가공도 등

3.5.1 음속측정법(Sound Velocity Measuring Method)

초음파의 전파 모우드는 종파, 횡파, 표면파, 판파 등이 있으며, 이들의 음파는 재질에 고유의 속도로 전파하기 때문에, 역으로 음속을 측정하여 재질특성을 파악하는 것은 가능하다. 재료에 열화손상이 일어나면, 재료중을 전파하는 음속이 변화하므로 음속의 변화량으로부터 손상량을 측정하는 방법이 이용되고 있다.

재료내를 전파하는 음속을 측정하는 것은, 재료의 기계적 탄성계수를 측정하는 방법으로도 되고, 또 재료에 가해지는 변형 측정에도 관련하는 것이다. 결함위치를 측정하는 것은 원리적으로 탐상면과 에코우간을 왕복한 시간을 측정하는 것이므로 반사위치가 알려져 있는 것에 대해서는 음속을 측정하게 된다[14]. 음속에는 위상속도(Phase Velocity)와 군속도(Group Velocity)가 있으며, 위상속도는 진행하는 속도이며 군속도는 정현파의 합성파 파형이 어느 정도 쇠퇴하지 않는 범위에서 파속(파의 다발)으로 진행하는 속도를 말한다. 일반적으로 재료에서는 격자결함이 반드시 존재하기 때문에 속도분산

이 있으며, 그것에 의해 음속이 주파수에 의해 변화하기 때문에 전파거리가 길어짐과 함께 펄스폭이 넓어지고 형상이 쇠퇴해져 간다. 이와 같은 경우에는 위상속도를 이용할 필요가 있다. 재료가 열화한 경우, Void의 발생이나 석출, 편석 등에 의해 재료의 미세조직에 불균일성이 생겨, 음속의 주파수 의존성이 커지게 된다. 따라서, 재료평가에는 음속의 위상속도에 대한 주파수 의존성에 착안하는 것이 중요하다. 음속측정법에는 펄스반사법, 초음파두께계에 의한 방법, 지연에코우 응용법, 펄스 간섭법 등이 있으며 기본적인 측정방법은 Fig. 11과 같다.

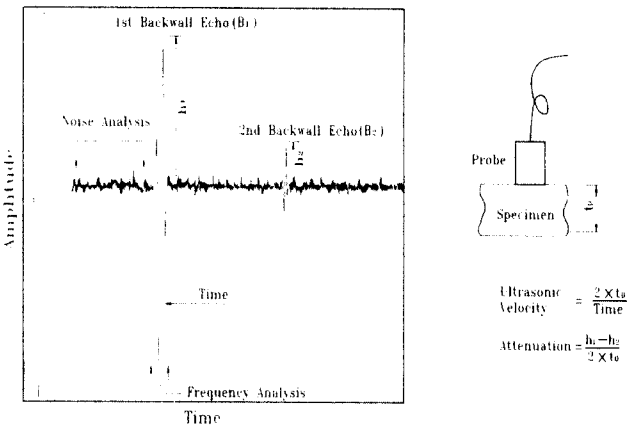

Fig. 11 Ultrasonic test method

3.5.2 감쇠측정법(Attenuation Measuring Method)

재료의 열화는 전위밀도, 결정립의 형상이나 2차상의 석출에 관한 금속조직적 변화에 대응하고 있을 때, 초음파의 감쇠율에 변화를 주게 된다. 또한 재료내부의 미소결함은 초음파 산란의 원인이 되어 감쇠율에 영향을 미친다. 이와 같이 감쇠율의 변화로부터 열화손상량을 측정하는 것이 감쇠측정법이다[15]. 음의 경로(Soundpath) x에 따른 초음파 Pulse의 증폭 A는 아래의 식으로 주어진다.

$$A = A_o \exp(-\alpha x) \cdot D(x) \qquad (2)$$

여기서, A: 초기진폭

α: 감쇠계수

D(x): 음장(Sound Field)확산에 대한 보정계수

원리적으로는 x_1, x_2에서의 펄스의 높이 h_{x1}과 h_{x2}를 측정하고, 아래의 식으로 구한다.

$$\alpha = \frac{20 \log_{10}(h_{x1}/h_{x2})}{x_2 - x_1} \qquad (3)$$

실제적으로는 많은 x_i에 대해서 h_{xi}를 측정하고 평균적으로 α를 구하면 된다. 제 1회의 밑면 에코우 높이만에 의해서 또는 다중반사에 의해서도 구할 수 있다. 일반적인 감쇠상수 측정방법을 Fig. 11에 나타낸다.

3.5.3 주파수분석법[16](Frequency Analysis Method)

재료의 결정입계나 미소결함에서의 산란량은 초음파의 주파수에 따라 달라진다. 반사파를 주파수분석기에서 해석하여 그 분포상태, Peak 주파수, 대역폭 등의 변화량으로부터 열화손상량을 측정하는 방법이다. 주파수분포특성은 우선, Fig. 11중의 B_1에코를 게이트로 취출하고 주파수분석기의 입력으로 하여 그 주파수분포를 구한다. B_2에코에 대하여도 같은 식으로 주파수분포를 구한다면, Fig. 12 같은 결과가 된다. 따라서 이것들을 주파수에 대하여 적분하고, B_1의 적분치에서 B_2의 적분치를 뺀 B_1/B_2 주파수 분포차를 구하여 이것을 주파수해석 감쇠율로 하여 강재의 열화도를 평가한다.

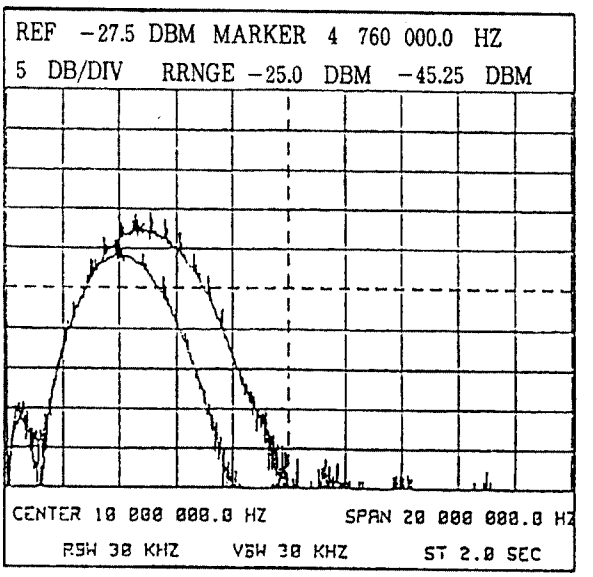

Fig. 12 Frequency distribution characteristics

3.5.4 노이즈분석법(Noise Analysis Method)[16]

재료내에서의 초음파 후방산란파를 이용하는 산란파법의 일종이나, 산란파 노이즈(Noise)의 주파수분석을 행하여 임의 주파수 대역에서의 노이즈량을 구하고, 그때의 변화량과 손상량을 측정하는 방법이다. 음속측정, 감쇠측정 및 주파수측정의 각 방법은

시험체의 저면 반사파를 사용하나, 내면이 부식 등에 의해 요철상태로 되어 있는 경우에는 이들 방법에 의한 측정값은 큰 오차를 포함할 수 있다. 이에 대해 노이즈분석법은 재료내부에서의 산란파를 이용하기 때문에 시험체 내면의 표면상태에 영향을 받지 않는 것으로 큰 장점을 가지고 있다. 초음파는 Void나 미소균열에 의해 산란되기 때문에 Void나 미소균열을 포함하고 있는 손상재의 Noise Energy는 미사용재의 그것에 비해 커지게 된다. 초음파를 발생시켜 제1회 저면에코까지의 Noise가 분석되고, 그 신호를 Fourier 변환하여 주파수해석하고 Noise Energy를 산출한다. 즉, B_1에코 바로 앞쪽(시간축 영점축)에 게이트를 걸어 이 사이의 노이즈 성분을 취출하고, 주파수분석기에 의해 주파수분석을 한다. 측정장치 및 방법에 대한 모식도를 아래의 Fig. 13에 나타낸다.

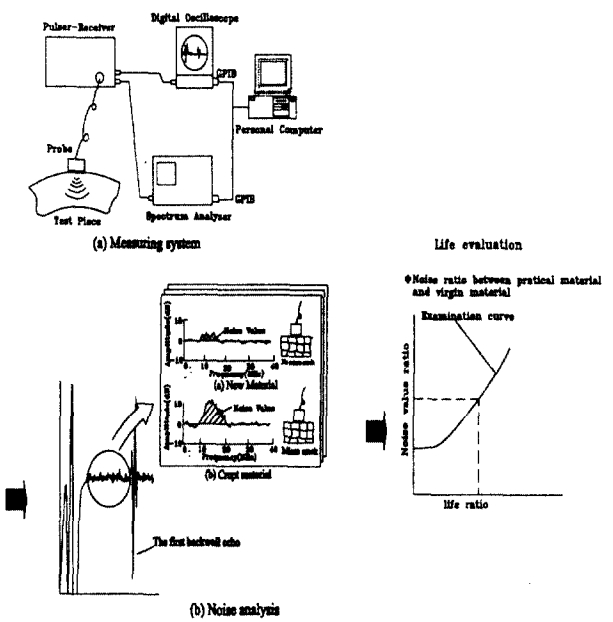

Fig. 13 Noise measurement method and system

참고문헌

1. ボイラ非破壞檢査技術の最近動向, 火力原子力發電, Vol. 48, No. 8, 1997
2. Acoustic Emission, American Soci-iety for Testing And Materials, 1971
3. 非破壞檢査, 日本非破壞檢査協會, Vol. 46, No. 3, 1997
4. B. Neubauer and U. Wedel, ASME International Conf. on Advances in Life Prediction Methods, Albany, N. Y., pp. 307~313, 1983
5. 佐田哲朗外 3人, 三菱重工技報, Vol. 24(3), pp. 255~261, 1987
6. EPRI CS-5588, Vol. 4, 1989
7. 坂口安英外 4人, 火力原子力發電, Vol. 39(6), pp. 653~664, 1988
8. S. Ishizaki, et al., International Conf. on Life Assessment and Extension, Hague, Netherlands Paper 1.2.2., pp. 54~64, 1988
9. Neubauer, B. and Wedel, U., "Residual Life Estimation of Creeping Components by Means of Replica", ASME Int. Conf. on Advances in Life Prediction Method, Albany, N. Y., pp. 307~313, 1983
10. CRIEPI, "Results of the Non-Destructive Evaluation Round Robin Test(Ⅱ)", The Third CRIEPI-EPRI Workshop on Fossil Power Plants, Tokyo, Japan, pp. 1~19, 1988
11. L. L. Shreir, "Corrosion", Vol. 1, Newanes-Butterworths, London, pp. 1~33, 1988
12. Y. Watanable and T. Shoji, "Nondestructive Evaluation of in-Service Materials Degradation of Low Alloy Steels by the Electro-chemical Methods", Met., Trans., Vol. 22A, p. 2097, 1991
13. Y. Watanable and T. Shoji, "Nondestructive Evalution of Cast Steels by Electrochemical Method Using Calcium Nitrate Solution", 鐵と鋼, Vol. 77, No. 4, p. 566, 1991
14. Don E. Bray and Don McBride, Nondestructive Testing Techniqu-es, John Wiley and Sons, Inc., 1992
15. Nondestructive Testing(Ultrasonic), General Dynamics, 1981
16. H. Yoneyama et al., "Assessment for Creep Damage by Ultrasonic Techniques", 石川島播技報, Vol. 28, No. 5, pp. 306~311, 1985