

화력발전소 정밀진단 및 수명평가(II-1)



한전기공(주) 기술연구소
기술연구소장/공학박사
김승태
Tel : (031)710-4186

1. 서론

국내 화력발전설비는 운전시간이 20만 시간을 초과한 것이 많고 설비의 경년열화가 심화되는 상황에서 전력수급의 변화에 따라 더욱 가혹한 운전조건으로 사용될 전망이다. 현재 운전되고 있는 화력발전설비의 대부분은 기저부하 운전용으로 건설되어 있으나 전력수급의 변화에 따라 빈번한 기동/정지 등 급속한 부하변동을 수반한 운전조건으로 악화로 경년열화가 급속하게 진행되고 있어 장수명 운전을 위해서는 발전소 기기 및 구조물이 계획된 목표수명까지 운전이 가능한지를 조사하는 적절한 정밀진단 및 수명평가가 필요하다. 수명평가의 방법으로는 파괴법, 비파괴법 및 해석적 방법으로 분류할 수 있다. 화력발전설비의 보일러 헤더, 노즐 및 스팀 튜브, 증기배관의 T-piece/Y-piece 등의 부재에서는 부재의 두께와 형태의 복잡성에 기인하는 저주기 피로와 크리프가 주요 손상기구로 작용한다.

따라서 본 기고문에서는 국내 화력발전소를 대상으로 수행된 정밀진단 및 수명평가의 일례를 들어 여러 가지 평가기법을 사용하여 설비상태를 평가하고 그 결과에 따라 발전소 수명관리에 이를 반영할 수 있도록 권고사항을 제시하는 과정에 대해 2회에 걸쳐 상세히 기술하기로 하겠다.

2. 수명관리 방식

수명연장에 관련되는 정비기술은 설비에 대한 진단 및 평가를 거쳐 경제적인 측면과 기술적인 측면에서 타당성이 입증된 후 운전, 정비 또는 교체하는데 필요한 제반기술이나 관리기법을 말한다. 이러한 수명연장 기술 및 관리방법은 대상 발전소에 대한 수명을 연장하고자 하는 목표년수, 설비상태, 운전여건에 따라 다르게 적용될 수 있으나, 일반적으로 수명연장을 위한 관리방식은 집중투자시공방식(Front-end Approach)과 단계적 수명관리 방식(Phased Approach)으로 구분할 수 있다. 집중투자시공방식은 설비의 수명이 종료되기 전에 단기간 작업계획과 시공으로 수명을 연장하는 방식으로 기기에 대한 검사와 수명평가에 있어 유리한 점이 있으나 자금과 작업관리 측면에서 불리한 것으로 알려져 있다. 반면에 단계적 수명관리 방식은 설비상태를 계속 감시하여 평가한 자료를 바탕으로 계획적이고 단계적으로 설비 및 시스템을 교체 또는 정비하는 방식으로 설비의 진단, 검사, 잔여수명의 기술적, 경제적 평가가 우선적으로 고려되어야 한다.

3. 대상설비 설정 및 세부내용

보일러 수명평가 대상설비는 미국 전력연구원(EPRI)에서 제공한 고온후유부가 우선적으로 검토될 수 있다. 주로 과열기 및 재열기 헤더와 주증기, 재열 증기관 등이 이에 속한다. 선정기준은 사고 시 발전소 계통에 미칠 수 있는 영향의 정도 및 정비용이도 등 여러 가지 조건에 따라 민감도를 평가하는 것이다. 예를 들면 보일러 튜브의 경우, 사고 시 발전소에 미치는 영향은 크지만 신속한 복구가 가능한 설비이므로 우선순위에서 제외된다. 그러나 고온헤더나 증기배관은 사고 시 신속한 복구가 어렵고 많은 인력과 시간이 소요되므로 보일러 설비의 수명평가에 있어 우선적으로 고려해야 할 설비라 할 수 있다.

이런 평가기준을 바탕으로 발전소 측의 필요사항과 의견이 반영되어 최종적인 평가대상설비를 선정할 수 있다. 본 논고에서는 이전의 평가사례로부터 다음과 같은 설비에 대해 정밀진단 및 수명평가를 실시하는 것으로 상정하기로 하겠다.

- Header

- ① Furnace Side Wall Top Header
- ② 1ry Superheater Outlet Header & Attemperator
- ③ 2ry Superheater In & Outlet Header
- ④ Rrheater Outlet Header

- 주 증기관 용접부

- ① Main Steam Pipe
- ② Hot Reheater Steam Pipe
- ③ Main Steam Manifold

- Tube

과열기 및 재열기관

- Hanger

- ① Main Steam Pipe
- ② Hot Reheat Steam Pipe

상기의 설비에 대해 수행할 진단방법 및 역무는 다음과 같이 설정하였다.

- 설비상태 진단

- ① 보일러 각종헤더, Stub 튜브 비파괴 및 재질열화 검사
- ② 고온배관 및 행거 정밀점검
- ③ 고온배관 비파괴 및 재질열화 시험
- ④ Sampling 및 스케일 분석
- ⑤ 튜브 내부 초음파 스케일 평가 및 Header 내시경 검사

- 구조해석

주증기관 및 재열증기관 응력해석

- 설계검토 및 정비대책 수립

- ① 정비 및 고장이력 검토
- ② 결함 발생시 원인 및 대책 지시
- ③ 잔여수명해석 및 수명소비율 해석
- ④ 대상설비정비대책 수립 및 교체시기 선정

4. 설비별 손상기구

보일러에서 발생하는 손상부위는 크게 보일러 헤

더와 고온 배관계에서의 손상으로 구분된다. 특히 용접부에서는 용착 시 모재와의 온도차이로 인해 용접조직이 변하게 되며 불균질한 조직내부의 변화로 인해 모재부보다 경도가 낮아지므로 손상이 발생된다. 또한 고온배관계에서는 주로 시스템 부하에 의해 용접부나 곡관부에 크리프 또는 피로손상이 나타난다.

4.1 헤더

보일러 헤더, 특히 고온헤더는 고온고압의 증기가 설비의 내측으로 흐르고 있고 외부측면은 펜트하우스 내에 노출된 상태이므로 펜트하우스 내부온도에 따라 결정된다. 일반적으로 헤더는 크기가 크기 때문에 관을 관으로 성형한 후 용접하여 만든 용접관을 사용하게 되는데, 이 용접부에서 손상이 발생할 가능성이 상당히 높다.

헤더의 파손은 설계결함, 제작결함, 운전조건 등 여러 인자가 복합적으로 작용하여 발생된다. 특히 고온고압의 운전조건에서 가동되는 고온헤더는 크리프영역에 속하게 되므로 크리프에 의한 손상이 주요 손상기구가 된다. 이와 함께 압력, 온도의 변화, 구조의 불연속 등 열구배현상으로 인해 열응력이 발생하는 열피로 균열이 보고 되고 있다. 저온헤더의 경우에는 크리프영역 아래에서 가동되므로 과도한 온도 천이에 의한 높은 반복응력이 열피로로 누적되어 Branch나 리가먼트 등 응력집중부에 손상으로 나타나게 되며, 순환수의 수질이 적절하게 관리되지 못하게 되는 경우 부식에 의한 손상이 주요 손상기구이다.

모재부에 발생하는 크리프손상의 특징은 고온 환경에서 장시간 사용으로 말미암아 탄화물 형성과 구상화로 인한 재질열화가 일어나며 이러한 미세조직의 변화와 함께 경도 및 강도가 감소하게 된다. 크리프 기공생성은 주로 용접부에서 원주방향의 크리프 손상으로 관찰되는데, 조대 열영향부(Coarse-Grained HAZ)의 오스테나이트 결정입계에서 기공의 발생과 성장으로 나타나며, 최대 주응력 축에 수직인 방향으로 저연성 입계파괴가 일어난다. 또한 미세 열영향부(Fine-Grained HAZ)와 Tempered HAZ 사이에 발생하는 Type IV 균열은 자중과 열팽창 같은 과도한 굽힘하중으로 인해 발생하는 것으로 알려져 있다. 헤더의 내부압력으로부터 유발되는 후우프응력의 결과로 축방향 크리프 손상이 저 연성의 용접부를 가로질러 발생하는 경우가 있는데 이러한 손상은 부적당한 용

접후열처리(PWHT)로 인해 발생하는 잔류응력이 완전하게 이완이 되지 않아 저 연성 용접부위에서 기공이 발생하는 것과 관련 있다.

또한 헤더에 발생하는 열피로 손상은 리가먼트 균열로 주로 관찰된다. 표 1은 미국 62개 전력사를 대상으로 헤더의 균열과 연관된 주요 손상기구와 위치에 대한 조사결과를 종합한 통계이다.

4.2 배관

일반적으로 주증기관과 재열기관은 고온고압의 과열증기를 고압터빈으로 유도하는 통로로서 주요 손상 기구는 크리프와 피로이다. 고온에서 장시간 사용되는 저합금강의 재질열화는 탄화물의 간격 및 크기가 증가하는 미세조직적인 열화로 인해 변형에 대한 효과적인 장애물로 작용하게 못하여 강도가 감소하게 된다. 이것은 경도에서의 점차적인 감소와 크리프 손상축적에 대한 감수성을 증가시킨다.

배관의 모재부는 내부압력으로부터 유발되는 후우프응력의 결과로 크리프손상이 되는데 직관부는 낮은 크리프 연성에 의해 길이방향의 균열이 생긴다. 곡관부는 배관계 하중에 의해 응력이 증가될 수 있으므로 배관지지장치 등에 대한 점검이 필수적이다. 고온배관에서는 용접부의 다양한 재질특성과 기하학적 형상에 의한 응력집중, 열영향부에서의 미세구조 고유의 취약성으로 인해 용접부에서 가장 먼저 손상이 발생하는 것으로 알려져 있다. 따라서 배관계에서 용접부에 대한 크리프 손상을 방향성분에 따른 특징으로 분류해보면 원주방향의 크리프손상은 Intercritical HAZ

와 미세 열영향부(Fine-Grained HAZ)에서 기공생성과 미세균열이 생기는데 이는 부정확한 지지로 인한 부가적 시스템 응력으로부터 발생하는 굽힘응력과 관련이 있다. 내부압력에 의한 후우프 응력으로 유발되는 길이방향의 크리프손상은 용접부를 가로질러 생기게 된다. 이러한 손상형태는 용접잔류응력을 완화시키기 곤란한 Lug 등 외부 노출부와 관련지어 판단해 볼 수 있다.

기동정지가 잦은 발전소의 경우에는 저주기 피로에 의한 손상과 수명소진을 감안하여야 한다. 특히 T-Piece, Y-Piece 부 등 분기구조물이 부가되어 있는 배관에 대해서는 저주기 피로에 의한 손상정도가 심하게 나타난다.

5. 수명평가 절차 및 방법

노후 발전설비의 장수명운전을 위해서는 설비의 상태를 정밀하게 평가해야 한다. 현재 사용되고 있는 수명평가법으로는 일반적으로 3단계 평가법이 있으며 그림 1은 일반적인 평가절차를 나타내고 있다. 수명평가에 있어 FEM에 의한 상세 응력해석은 마지막 단계에 해당한다. 또한 표 2는 보일러 부재의 잔여수명평가대상 부위와 그 방법을 나타내고 있다.

단계별 수명평가의 첫 단계에서는 다음과 같은 자료를 근거로 하여 손상기구에 따른 수명소진율을 계산하는 것이다.

- 운전시간
- 기동 정지 곡선

표 1. 고온헤더의 균열부위와 손상기구

대 상 부 위	손 상 기 구	비 율 (%)
Stub Tube/Header Weld, Tube Side	크리프(HAZ)	40
Stub Tube/Header Weld, Header Side	크리프(HAZ)	34
Cracking of Ligaments between Tubes	열피로	21
Longitudinal Seam Welds	크리프(HAZ와 용접모재)	3
Girth Butt Welds	크리프(HAZ와 용접모재)	3
All Other	-	10
Branch Connections, Saddle and Crotch Positions	크리프(HAZ)	-
Header Body Swelling	Thermal Softening	-
Other Locations	-	-

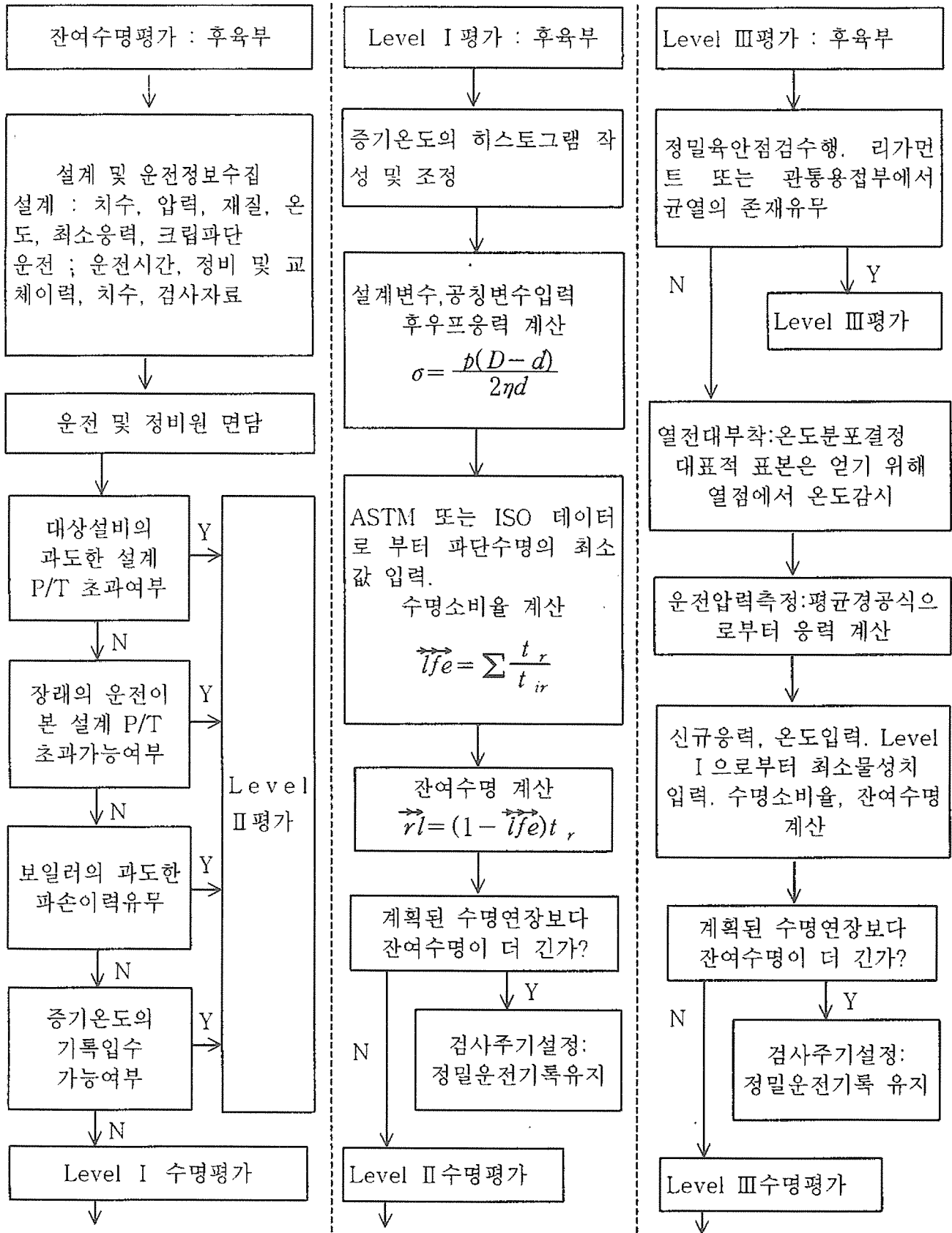


그림 1. 고온헤더의 단계별 수명평가 흐름도

표 2. 수명 평가대상 부위와 기법

대상 부위	열화 원인	잔여수명평가방법		
		①	②	③
1. 보일러관 - 증발관 - 과열기관 - 재열기관	고온 크리프	파괴검사	경도측정, 전기저항법	조직검사법
2. 헤더 - 고온부	고온 크리프	경도 측정, 전기 저항법	조직 검사법	파괴검사
3. 스팀터브 - 고응력부	저주기 피로	경도 측정, 전기 저항법	해석법	파괴검사

- 운전온도 및 압력
- 운전 및 정비이력
- 재료 물성치
- 설계제원
- 정비지침서
- 설계기준코드

EPRI에서 제안한 수명평가의 3단계 접근법은 표 3와 같이 단계별 필요자료를 구체적으로 제시하고 있다.

표 3. 3단계 평가방법 필요 자료

항 목	Level I	Level II	Level III
형상	보통	상세	특히 상세
파손 이력	발전소 기록	발전소 기록	발전소 기록
치수	설계치/공칭	측정/공칭	측정
상태	기록/공칭	검사	정밀 검사
온도와 압력	설계/운전	운전/측정	측정
응력	설계/운전	단순계산	정확한 해석
재료 물성	최소	최소	실제 재료
재료샘플	무	무	유

대개의 경우 각각의 주요 손상기구에 대해서만 손상을 계산하지만, 크리프와 피로가 상호작용하면서 손상이 일어난다고 가정하는 것이 훨씬 보수적이기 때문에 ASME Code Case N-47의 크리프-피로 손상 폐곡선을 적용하여 설계한도로 사용한다.

$$D_{total} = D_{Fatigue} + D_{Creep}$$

$$= \sum \frac{n_i}{N_i} + \sum \frac{t_i}{t_{ri}}$$

여기서,

$D_{Fatigue}$: 피로 손상을

n_i : i 응력하에서의 피로 되풀이 수

N_i : i 응력하에서의 허용 피로 되풀이 수(S-N 곡선으로부터)

D_{Creep} : 크리프 손상을

t_i : i 응력상태와 온도에서의 운전시간

t_{ri} : i 응력상태와 온도에서의 크리프파단시간 (LMP 곡선으로부터)

상기의 식에 의해 계산된 크리프 및 피로손상의 선형적 합을 크리프-피로 상호작용 하에서의 손상으로 보는 선형손상법칙을 사용하며, 과거의 운전실적에 대한 수명소비율 및 추후 운용형태에 따른 수명소비율을 각각 구한 뒤, 이들의 합이 어떤 한계치에 도달하는 시점에서 운전실적을 뺀 기간을 잔여수명으로 산정한다.

이러한 발전소의 설계 및 운전데이터 등과 같은 기초자료로서 수명소진율을 계산하는 단계적 평가와 함께 미세금속조직에 대한 열화손상정도를 추가하면 보다 정확한 평가가 가능하다. 표면복제, 경도측정, 입계 부식법 등이 대표적인 비파괴적 평가방법으로 많이 사용된다.

5.1 표면복제 방법 및 평가

표면복제는 곡관부, 용접부 등 응력집중부위와 취약부에서 나타나는 재질열화상태를 집중 관찰함으로써, 설비의 설계당시 고려된 가동조건 외에 부가적

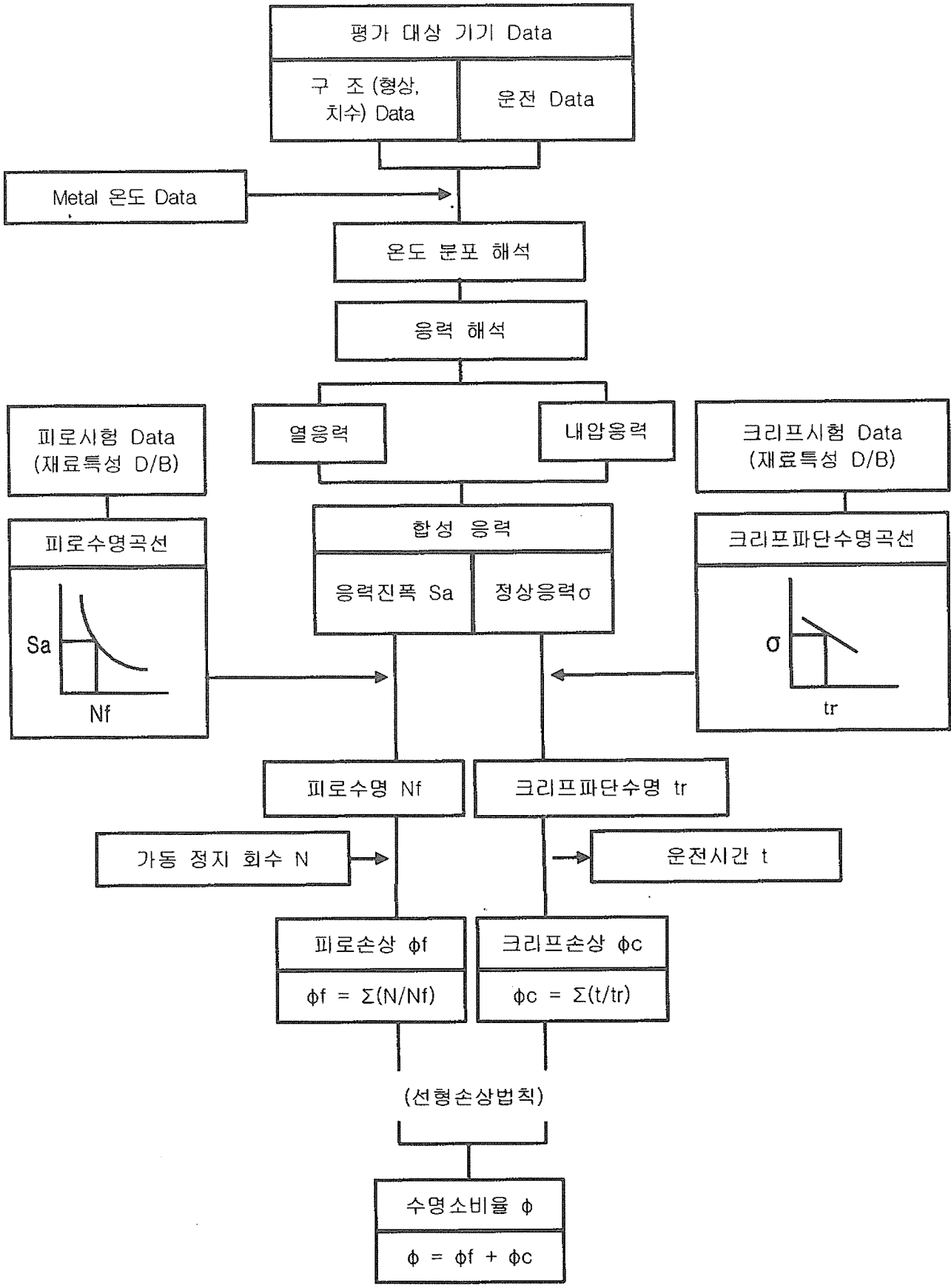


그림 2. 해석법에 의한 크리프-피로 수명소비율 계산 흐름도

시스템에 의해 발생하는 요소까지를 포함하며, 기공 및 미소균열까지도 취급할 수 있기 때문에 여타의 방법보다 훨씬 더 효과적인 방법으로 인식되고 있다.

레플리카 채취는 EPRI에서 제시하고 있는 수명평가 가이드라인(Guide Line)을 토대로 주증기관 및 재열기관에 대해 국부적으로 응력 이 높은 부위를 선정하여 채취하며, 과열기 헤더 및 재열기 헤더에 대해서는 가이드라인을 기초로 하여 국부적으로 응력이 집중되거나 온도가 높은 부위 중에서 통상적으로 파손이 가장 많이 일어나는 부위를 선정하여 채취한다.

레플리카는 모재부(base metal), 열영향부(heat-affected zone, HAZ), 용접부(weld metal) 등이 포함된 3 영역의 미세조직(microstructure)을 관찰할 수 있도록 채취한다.

표면복제는 취약부위로 선정된 기기의 일부분을 시편으로 절단, 채취하여 금속학적 분석을 하는 파괴적인 방법 대신에, 기기의 표면을 미세하게 연마한 후 금속적인 부식을 행하여 표면의 형상을 완전하게 복제하여 검사 및 분석하는 방법으로 연마-세정-에칭-표면복제의 순서로 진행되며, 상세 내용은 다음과 같다.

1) 조연마 (Rough grinding)

- 가) 검사부위를 그라인더를 이용하여 약 1.0mm 깊이로 그라인딩하여 탈탄층, 산화층 및 오염물질 등을 모두 제거한다.
- 나) 플랩 휠을 사용하여 #50 혹은 #80 그릿의 연마포로 연마한 후 #120의 연마포 이전단계의 연마 흔적이나 스크래치가 없어질 때 까지 조연마한다.

2) 미세연마 (Fine grinding)

- 가) 조연마 후 그릿 번호 200, 400, 800, 1200의 순서로 연마한다.
- 나) 이때 각 단계별로 이전단계의 연마자국이 없어질때까지 직각방향으로 연마하고, 각 단계 종료 후 다음 단계 실시전에 헤비에칭을 실시한다.
- 다) 용접부의 경우 용접부, 열영향부(HAZ), 모재의 조직을 모두 관찰할 수 있도록 연마한다.

3) 폴리싱

- 가) 6 μ m, 3 μ m, 1 μ m의 다이아몬드 페이스트를 연마재로 사용하여 폴리싱한다.
- 나) 폴리싱할 때 회전 속도를 되도록 천천히 하고 각 단계의 연마재를 완전히 제거하고 다음 단

계 폴리싱을 수행한다.

- 다) 최종 1 μ m에서의 폴리싱 방향은 용접 경계면과 직각이 되도록 한다.

4) 에칭

- 가) 약 3~5% 나이탈 용액을 이용하여 탈지면에 적셔서 검사면을 두드리듯이 부식시킨다.
- 나) 부식시간은 주위의 온도나 부식액의 온도, 검사부위의 온도에 따라 정확치 않으므로 부식면의 상태를 주의깊게 관찰하여 결정할 수 있도록 한다.
- 다) 부식의 정지는 알콜을 직접 분사하거나 알콜을 적신 탈지면으로 검사면을 닦듯이 하여 정지시킨다.

5) 건조

부식 후 최종 세척은 에탄올이나 메탄올보다 건조속도가 빠른 아세톤을 사용한다.

6) 레플리카 채취

- 가) 아세톤을 검사표면에 분무한 후 35 μ m 두께의 레플리카 필름을 검사표면에 밀착시켜 복제한다.
- 나) 이 때 레플리카 필름과 검사표면 사이에 공기가 들어가지 않도록 하며, 연화된 필름은 건조 전에 손가락 등으로 누르지 않도록 한다.
- 다) 대략 5~10분 후 레플리카 필름이 굳어지면 필름을 천천히 동일한 속도로 주의하여 떼어낸다.
- 라) 채취된 레플리카 필름은 확대경을 이용하여 관찰하고 부식정도 및 필름의 상태를 점검한다. 상태가 양호하지 않다고 판단되면 다시 폴리싱 과정을 거친 다음 채취한다.
- 마) 표면복제는 동일위치에서 에칭정도가 약할 때, 중간정도일 때, 오버에칭일 때와 같이 부식정도를 달리한 3개의 레플리카를 채취한다.

7) 관찰

- 가) 채취된 레플리카 필름은 양면테이프를 이용하여 슬라이드 유리에 접착시킨다. 이때 복제된 면이 슬라이드와 닿지 않도록 주의한다. 슬라이드에는 시편 채취 위치 및 에칭정도 등을 기입한다.
- 나) 관찰 전에 입사광의 반사효율을 증대시키기 위하여 Au 이온 증착처리를 하거나 레플리카 필름을 슬라이드에 부착하기 전에 복제된 면의

반대면을 검은색 잉크로 칠하여 요철대비를 향상시키기도 한다.

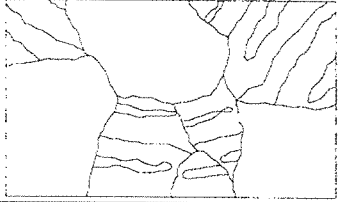
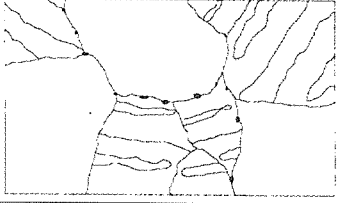
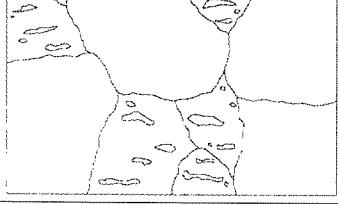
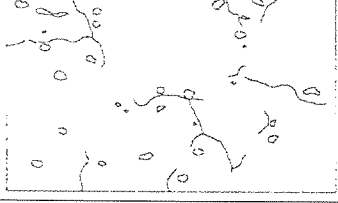

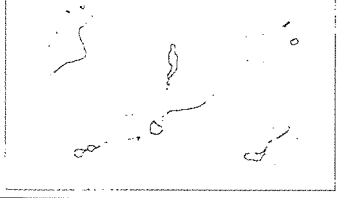
5.2 경도측정 및 방법

경도측정은 장기운전에 따른 재료의 연화(Thermal Softening)현상으로 인해 발생하는 경도의 변화정도를 측정함으로써 열화상태를 예측하는 것이다. 그러나 경도 값은 측정조건에 따라 변화가 심하기 때문에 시

험조건을 일정하게 유지하는 것이 중요하며 보조 자료로서 활용하는 것이 일반적이다.

- 1) 경도측정은 Replica를 채취한 부위를 DYNAMIC DL(Krautkramer)을 이용하여 실시하였다.
- 2) 용접부의 경우 3군데(양쪽 모재 및 용접부)를 측정하였으며, 각 부위별로 10회에 걸쳐 측정하였으며, 최고값 2개와 최소값 2개를 제외한 6회의 값을 평균하여 기록하였다.

표 4. 금속학적 재질열화 등급 분류표 예시

미세조직	등급	세부내용
	A	초기단계 페라이트 및 층상 퍼얼라이트 조직
	B	구상화 시작단계 탄화물의 입계석출
	C	구상화의 중간단계 퍼얼라이트내의 세멘타이트의 구상화가 진행되지만, 층상구조는 아직 남아 있음.
	D	구상화 완료단계 탄화물은 이전의 퍼얼라이트 자리에 아직 남아 있음.
	E	구상화 탄화물의 분산단계 이전 페라이트-퍼얼라이트 구조는 찾아볼 수 없음.
	F	구상화 탄화물의 성장단계 탄화물 합체 등을 통하여 탄화물 성장

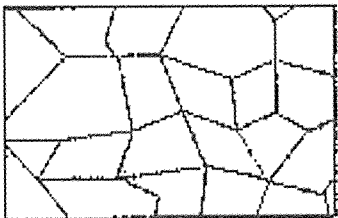
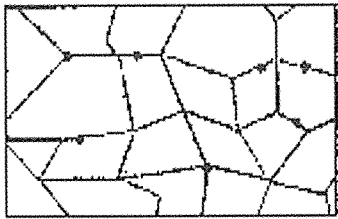
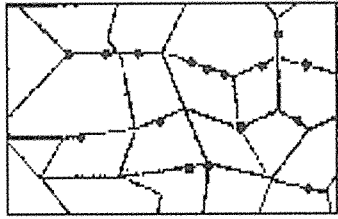
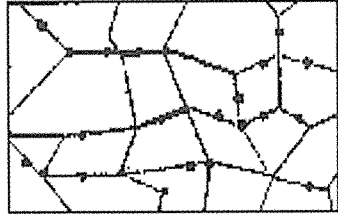
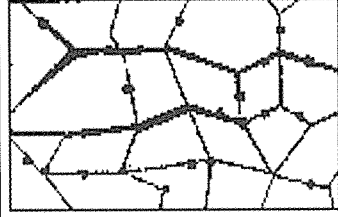
5.3 입계부식법 절차 및 방법

철강 재료가 장시간동안 고온에서 사용되면, 뜨임 취성이 발생하여 인성값이 낮아진다. 이 인성값의 저하를 측정하는 방법중 화학적인 부식의 정도로서 측정하는 것이 입계부식법 (Grain boundary Etching Method)이다. 뜨임취성은 기기의 제조 시 혹은 사용 시 340~550°C 정도의 온도를 경험하면 불순물원소가 입계로 편석되고 이로 인하여 취성이 발생하는 것으로서 입계에서의 균열발생이 용이하여진다. 이와 같이 입계에 불순물이 집적하면 부식액에 의한 부식정도가 심해지는 일정한 상관관계를 이루고 있어 이를 이용하여 파괴인성치를 측정하는 비파괴적인 방법의

하나로 입계부식법을 적용하고 있다. 이 방법은 실용성이 좋고 비교적 정확한 수명평가의 가능성도 갖고 있지만, 온도조건에 따라 부식성이 크게 차이가 나므로 온도에 따른 영향을 줄이는 것이 중요하다.

증류수를 100°C에서 충분히 가열하여 탈기시킨 후 냉각하여 25°C에서 증류수 100ml에 피크린산 (순도 99.5%) 1.3gr을 용해시키고, 여기에 계면활성제인 Sodium tri- decylbenzen sulonate 혹은 Laurybenzen sulfonic acid 1gr을 첨가한 표준 부식액을 만든다. 부식조건은 부식액을 탈지면에 흡수시켜 시험편 표면을 덮는 방법을 사용한다.

표 5. 크리프손상평가 분류표

조직양상	Class	세부내용
	A	손상유형 : 없음
	B	손상유형 : 불균일한 입계 고립 기공 (Isolated)
	C	손상유형 : 입계를 따라 나열된 많은 크립기공 (Oriented) - 최대 주응력방향에 수직으로 기공이 존재
	D	손상유형 : 미소균열 (Micro crack) - < 2mm, NDE non-detectable - 연결된 많은 크립기공으로 인해 입계가 분리됨
	E	손상유형 : 마크로 균열 (Macro crack) - > 2 mm, NDE detectable - 미소균열이 큰 균열을 형성할 만큼 상호 연결되어 있음.

5.4 금속학적 재질열화 평가

고온에서 사용되는 금속재료는 사용시간이 길어짐에 따라 그 미세조직이 변화하게 된다. 결정립 조대화, 석출물 석출, 구상화, 조직의 분해 등이 발생하게 된다. 일반적으로 많이 사용되는 페라이트와 층상 퍼얼라이트 조직의 강에서의 열화단계를 표 4.과 같이 6 단계로 나눌 수 있다.

5.5 크리프 손상평가

Neubauer는 금속재료의 미세조직과 관련하여 크리프 손상을 표 5과 같이 5 등급으로 분류하였으며, 현재까지 가장 많이 사용되고 있는 방법이다. Neubauer에 의한 크리프손상의 5단계 분류법은 크리프손상이 기공의 발생 및 합체에 의하여 나타나는 경우에 유용한 방법으로 크리프기공에 의한 손상을 정성적으로

분류하여 그에 따른 수명소진 정도를 비교적 간편하게 평가할 수 있는 방법으로 잔여수명을 평가하는데 사용하기 보다는 재검사 시기를 결정하는데 주로 사용되고 있으며, 비교적 적은 비용으로 손쉽게 평가할 수 있다는 장점이 있다.

잔여수명을 t_R 라고하고 소비수명을 t_S 라고 할 경우에 Neubauer의 크리프손상단계와 수명소비율의 상관관계는 표 6. 와 같다

표 6. 크리프손상과 수명소비율과의 관계

손상단계	수명소비율범위	잔여수명	
		최소수명	최대수명
Class A	0.00-0.12	$t_R=7.33t_S$	미정
Class B	0.04-0.46	$t_R=1.17t_S$	$t_R=24.0t_S$
Class C	0.30-0.50	$t_R=1.00t_S$	$t_R=2.33t_S$
Class D	0.30-0.84	$t_R=0.19t_S$	$t_R=2.33t_S$
Class E	0.72-1.00	파단	$t_R=0.39t_S$

고온고압 배관의 실시간 변위감시 기술



한전전력연구원
발전연구실 발전기계그룹
선임연구원 현 중 섭
Tel : (042)865-5225

1. 서론

국내 발전산업의 급격한 환경변화는 발전소의 운영 조건을 더욱 가혹화하고 있어 잦은 기동정지 및 부하 변동 등 가혹한 운전이 노출되므로써 보일러, 터빈, 배관 등 주요 설비에 많은 영향을 미치고 있다. 특히 고온 고압 배관의 경우, 고정설비로 인식하여 설비 유지관리가 제대로 이루어지지 않고 있어

배관 처짐, 균열 등 다양한 손상이 증가하고 있는 실정이다.

실제적으로 20년 이상 장기간 사용한 발전설비의 정밀 진단 및 수명평가를 수행한 결과로는 다른 설비에 비해 고온배관에서 다양한 문제가 발생하고 있는 것을 확인하였으며 신규 발전소에서도 건설시의 배관계통의 설계 및 설치 오류로 인하여 행거 등 지지계통의 이상 작동으로 배관응력이 집중되어 균열 등의 문제가 계속적으로 발생하고 있는 실정이다. 따라서, 이러한 문제를 인식하지 못하고 장시간 운전하는 경우 배관의 파열 등 대형사고로 발전할 가능성이 매우 높으며, 실제 외국에서도 노후발전소에서 고온고압의 배관 파열 사고로 인하여 인적, 물적 손해를 입은 경우가 많아 배관의 운전 중 변위를 실시간으로 감시하는 시스템 개발이 매우 필요한 시점에 있다.

따라서, 본 기술은 발전소 주요배관의 운전 중 실시간 감시 시스템을 개발하고자 배관의 3축방향 변위