

화력발전설비 진단기술 및 전문가 시스템개발에 관한 연구

백 영 민*, 정 희 돈*, 신 은 주**

*RIST 설비자동화연구본부, ** 광양제철소 에너지부

A study on the developing the diagnosis technology and expert system in fossil power plant

Young-Min Baik, Hee-Don Jeong*, Eun-Ju Shin**

Facility & Automation Research Division, RIST, Pohang 790-330, Korea

*Facility & Automation Research Division, RIST, Pohang 790-330, Korea

** Energy Department, POSCO, Gwangyang 545-711, Korea

(Received Oct. 15, 2008; revision received Nov. 10, 2008)

ABSTRACT: In order to analyze the causes of fossil power plant facilities due to a degradation and corrosion, artificial degraded materials composed of the facilities were manufactured. Various experiment were performed based on mechanical test, microstructure observation, hardness test, electrochemical potentiokinetic reactivation test(EPR) and corrosion scale thickness measurement test. The master curves were write out using Larson-Miller parameter to evaluate the degree of degradation with the above diagnosis methods. These data were applied to materials database of fossil power plant diagnosis. Finally expert system on the fossil power plant diagnosis was developed using the master curves and diagnosis algorithms.

Key words: Fossil Power Plant, 2.25Cr-1Mo Steel, Material Degradation, Tensile Test, Carbide, Hardness Test, Nondestructive Test, Reliability Evaluation

1. 서 론

고온에서 작동하는 발전설비 부재들의 경우 고온 환경에서 장시간 운전됨에 따라 열화가 진행되며 설비수명을 단축시키는 요인이 되고 있다. 통상적으로 열화도를 평가하기 위해서는 실제 운전 중인 설비부재로부터 시편을 채취하여 시험을 통해서 평가하는 방법이 가장 좋으나 실제 운전 중인 설비로부터 시편을 채취한다는 것이 현실적으로 어려움이 있으므로, 실험실환경에서 인공열화시험을 통해서 제조된 시편을 사용하여 열화도 평가를 수행하게 된다[1-4]. 발전설비는 크게 보일러와 터빈이라는 단위설비로 구성되며 이들 설비들에서 문제가 되는 부위들을 보면 보일러의 경우 과열기 및 재열기 튜브의 조기열화문제가 있다. 터빈의 경우는 보일러와 달리 좀더 복잡한 사용환경에 처해있기 때문에 열화도의 평가가 더욱 어려워진다. 현재 이러한 설비들에 대한 잔여수명을 평가하는 기법들이 많은 연구자들에 의해서 연구되어서 현장에 적용되고 있다[1-7].

설비로부터 시편을 채취하여 시험하게 되는 파괴적 평가는 시료 채취와 차후의 보수 및 평가 시험을 위한 시간 비용이 요구되는 것과 같은 단점이 있으나. 동일한 운전환경 조건에 사용된 실기의 재료만 확보된다면 타 방법에 비해 평가 시점에서의 손상 상태를 정확도가 높게 직접 구할 수 있다는 특징이 있다. 비파괴적 평가는 대상기기의 구조적 내지는 설비재료의 물리적 성질을 변화시

키지 않으면서도 설비의 내, 외부를 진단하는 방법으로서 배관과 헤더 또는 튜브 등과 같이 접근이 불가능한 내부표면의 특성을 관찰하는 내시경 장비를 사용하여 검사를 수행하게 되고, 외부 표면의 비파괴 진단방법에는 MT, UT, RT, 표면복제법, 경도법, 전기저항법 등과 같은 방법으로 진단을 수행하게 된다[1-4].

본 연구에서는 발전설비의 진단을 위해서 앞서 언급한 평가방법들 중에서 고온강도변화 및 조직관찰법, 경도측정법, 전기화학적 부식법을 적용하여 설비의 소재별 열화도 평가용 master curve 를 작성하고 수명평가 알고리즘을 개발하여 발전설비의 열화도 및 잔여수명을 평가할 수 있는 발전설비 전용 전문가 시스템을 개발하였다.

2. 열화도 측정법

2.1 인공열화시험법

현장에서 운전중인 설비의 경우 강도를 평가하기 위한 시편을 채취하는 것이 현실적으로 많은 어려움이 있으므로 실험실 환경에서 운전설비 부재의 사용환경을 모사하여 온도와 시간의 함수로 인공적으로 열처리하여 인공열화 시편을 제조한다. 서로 다른 온도와 시간하에서 열화된 시편들은 Larson-Miller 파라미터(LMP)를 이용하여 시험 온도와 인공열화 시간으로부터 계산하여 열화된 정도를 파악하게 된다. 제조된 시편은 경도, 금속 조직, 전기화학적 열화도 및 고온 인장시험을 수행하여 이들 시험들의 결과를 LMP순으로 정리한 Master Curve를 작성하게 된다. 이러한 Master Curve는 현장에서 비파괴적으로 경도, 조직, 전기화학법으로 측정된 결과치를 비교하기 위한 기준 데이터로 활용되며, 비교된 결과를 통해서 재료의 열화도를 평가할 수 있다.

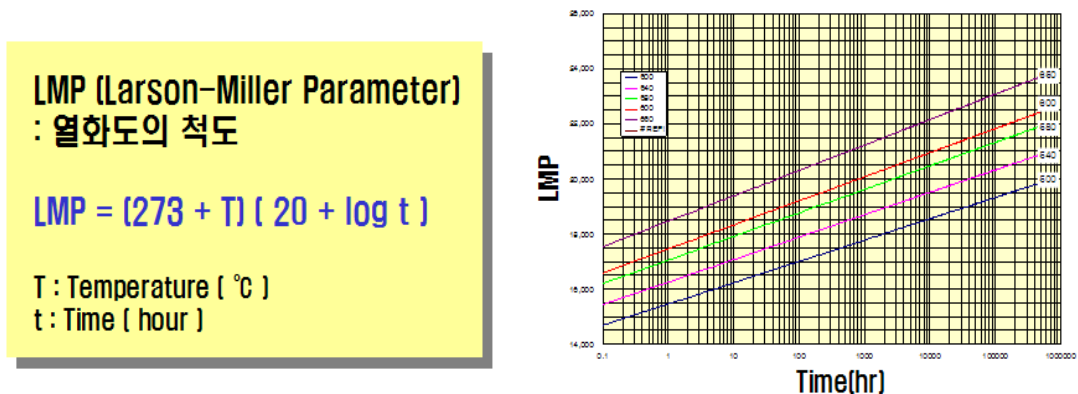


그림 1. 열화도 측정 매개변수 및 인공열화시험

2.2 경도측정법

현장에서 간단히 측정할 수 있는 방법으로서 경년열화 정도를 측정하는 방법으로서는 대표적인 비파괴 수법이라 할 수 있다. 이 방법은 부재의 현 상태를 정성적으로 평가하기에는 가장 적합한 방법으로서, 보일러 재료나 터빈의 재료로 많이 사용되는 내열강의 수명 예측에 적용시킨다. 그러나 재료의 수명이라는 것이 단순히 경도변화를 통해서 평가될 수 있는 부분이 아니므로 참고적인 자료로 활용하고 구체적으로 설비의 안전성이나 수명평가에는 사용 환경하에서의 재료의 고온 물성이 필요하다. 다음 그림은 발전설비 소재에 대한 열화도에 따른 경도변화를 나타낸 것이다. 이들 데이터들은 현장데이터의 열화도를 평가하기 위한 기준자료로 활용된다.

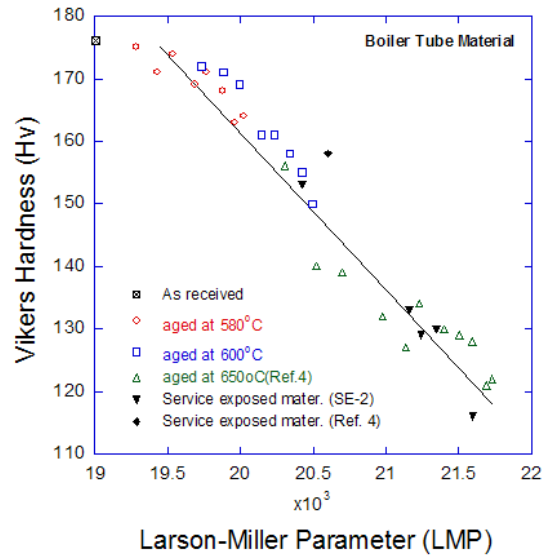


그림 2. 휴대용 경도계 및 LMP에 따른 경도의 변화

2.3 전기화학적 방법

이 방법의 기본 원리는 미시적 재료의 조직변화를 손상의 종류에 따라 적절한 손상검출 용액 중에서 분극 곡선 또는 전극 임피던스(impedance) 계측을 통하여 손상도와의 관계를 명확하게 하는 것이다. 이 중에서도 최근에는 Cr-Mo 강들에 포함되어 있는 M_6C 의 탄화물을 검출하기 위해서 통상의 EPR 측정의 방법이 사용되고 있다. 여기서는 소정의 전위를 경년 열화된 시료에 가했을 때 모재 전체가 부동태를 형성하는 반면 MgC 탄화물만이 부동태 되지 않아 전류가 흐르는 성질을 이용하고 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. 다음 그림은 전기화학법을 이용하여 현장 보일러 튜브의 열화도를 진단하기 위해서 개발된 휴대용 전기화학측정장치를 나타낸다.

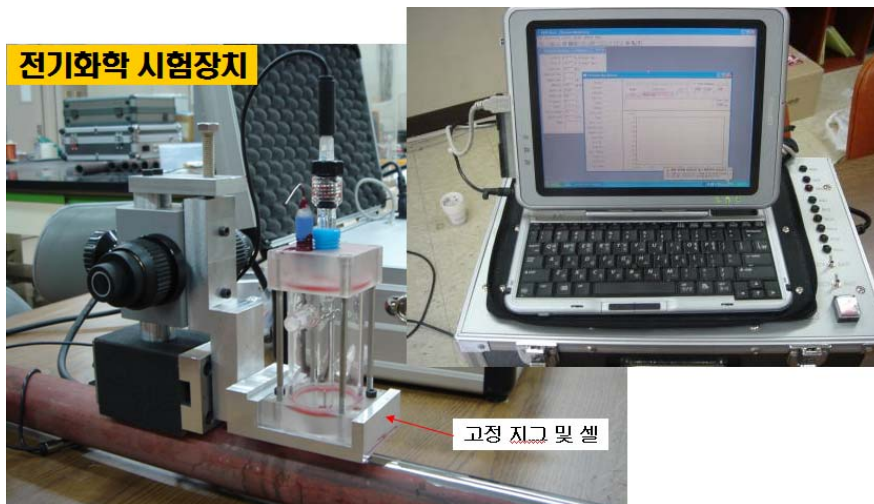


그림 3. 개발된 휴대용 전기화학시험장치를 활용한 열화도 측정

다음 그림은 개발된 장비를 활용하여 인공열화 시편들에 대한 전기화학 master curve를 나타낸다. 이들 데이터들은 현장데이터의 열화도를 평가하기 위한 기준자료로 활용된다.

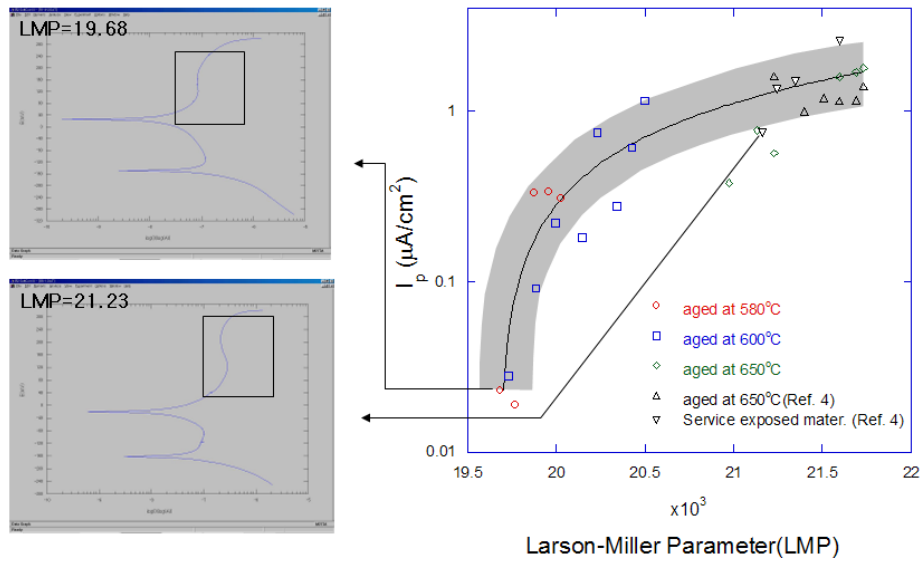


그림 4. 전기화학시험 및 LMP에 따른 전기화학적 열화도의 변화

2.4 두께 측정법

보일러 튜브의 경우 고온 및 화학적인 환경하에서 부식 및 침식 등에 의해서 튜브의 내부와 외부에 일정두께의 부식층이 생성되며 이러한 부식층은 장시간 운전에 따라서 점차적으로 두꺼워지게 된다. 부식층의 경우 일반적으로 산화물이 장시간 축적된 경우이며 상대적으로 건전한 부분의 두께는 시간이 지남에 따라 화학반응에 의해서 부식층으로 바뀌어 가면서 두께가 얇아지게 된다. 또한 보일러 튜브의 경우 외부의 연소물들에 의해서 침식이 되면서 외부의 부식층이 깎여나가는 현상이 발생한다. 다음 그림은 자체개발한 부식두께 측정시스템을 활용하여 보일러 튜브의 부식의 두께를 측정하는 장면을 나타낸다. 현장작업의 특성상 휴대가 간편하도록 하였으며 측정 후에 부식 두께를 계산하기 위한 master curve에 대해서도 현장측정데이터를 바탕으로 새롭게 보정하게 된다.



그림 5. 보일러 튜브 부식두께 측정

2.5 기계적강도 측정

발전설비의 경우 고온에서 작동되므로 이들 설비들에 대한 강도를 앞서 언급한 인공열화시편을 제작하여 상온, 450°C, 540°C, 600°C에서 인장시험을 수행하였다. 다음 그림은 화력발전설비의 열화도에 따른 고온인장강도의 변화를 나타낸 것이다. 이들 데이터들은 현장데이터의 열화도를 평가하기 위한 기준자료로 활용된다.

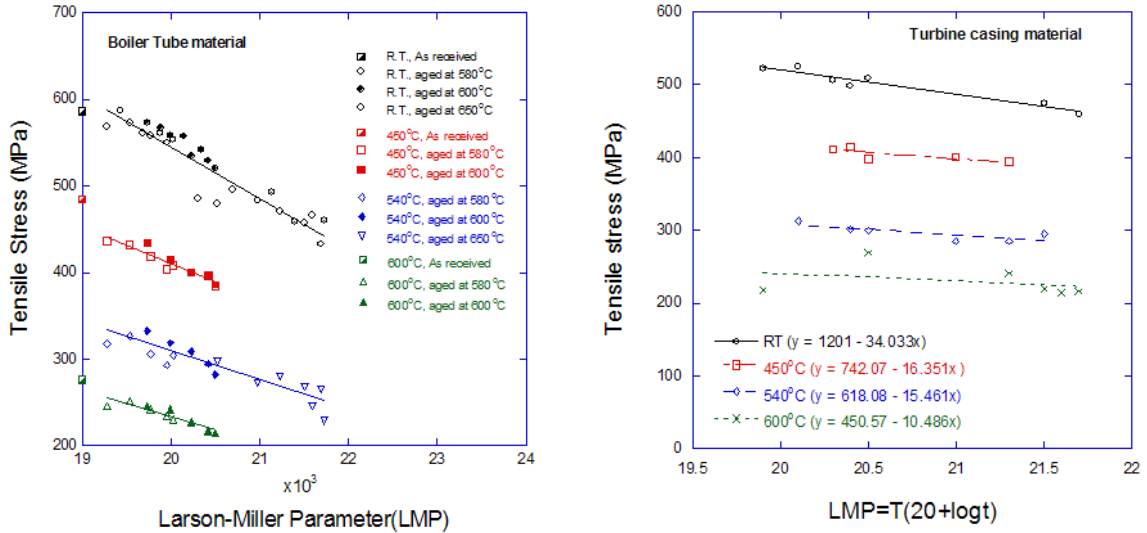


그림 6. 설비소재별 열화도(LMP)에 따른 인장강도의 변화

2.6 조직관찰법

조직관찰을 통해서 조직의 열화도를 평가하기 위해서는 사전에 앞서 언급한 인공열화시편들로부터 열화도(LMP)에 따른 master curve 데이터를 확보하여야 한다. 다음 그림은 육안관찰을 통한 조직의 열화도를 신재와 비교하여 5가지 등급의 손상도 분류에 따른 크리프 수명소비율 변화에 대한 mater-curve를 나타낸다.

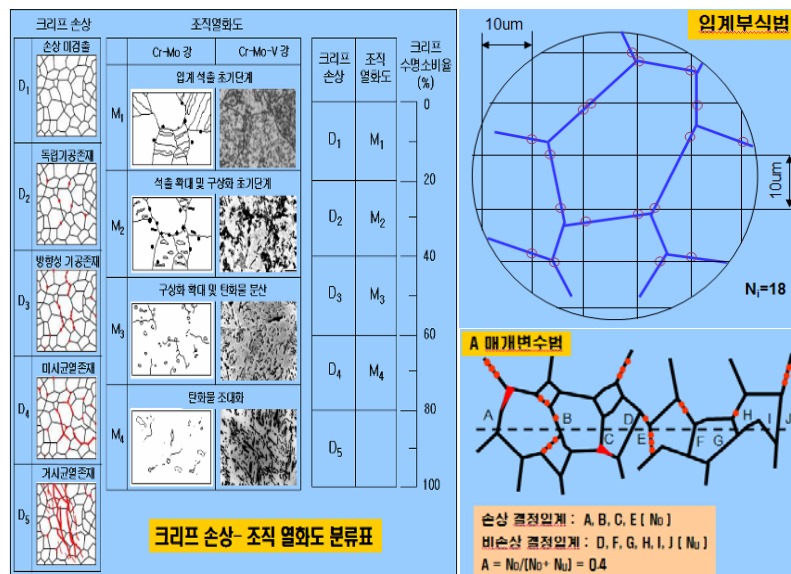


그림 7. 조직관찰을 통한 손상도 평가기법

본 연구에서는 인공 열화시편들로부터 조직관찰용 시편을 절단하여 조직관찰을 수행하였다. 열화시편의 조직사진들로부터 조직의 열화도를 평가위해서 평가용 소프트웨어를 개발하여 열화도를 평가하였다. 개발된 소프트웨어는 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 전문가 시스템내에 조직관찰 부분에 통합하였다. 일반적으로 내열강의 경우 열화가 진행됨에 따라 결정입계(grain boundary) 주변에 탄화물이 생성되며, 열화가 진행되면서 이들 탄화물들은 조대해지며, 고온강도에 영향을 주는 Cr, Mo등의 성분들을 입계주변으로 집중시킴으로써 상대적으로 결정입내에는 이들 원소들이 점점 줄어들게 되어 강도저하를 일으키게 된다. 2.25Cr-1Mo강의 경우 조직사진을 분석해 보면 이러한 영향에 의해서 열화가 된 시편들에서는 페라이트 조직이 점점 구상화되어 소멸되는 양상을 보이게 되므로 조직사진에서 페라이트와 펄라이트의 구성비율을 판별함으로써 조직열화도를 평가할 수가 있다. 상기 소프트웨어는 이러한 원리를 적용하여 개발하였다.

3. 발전설비 진단 전문가 시스템 개발

3.1 진단 알고리즘

상기 언급한 각 측정법에서 얻어진 측정 결과로부터 미리 설정된 측정법별 가중치를 적용하여 측정된 결과와 기준 Master Curve를 이용하여 다음 그림과 같은 알고리즘대로 발전설비에 대한 진단을 실행한다.

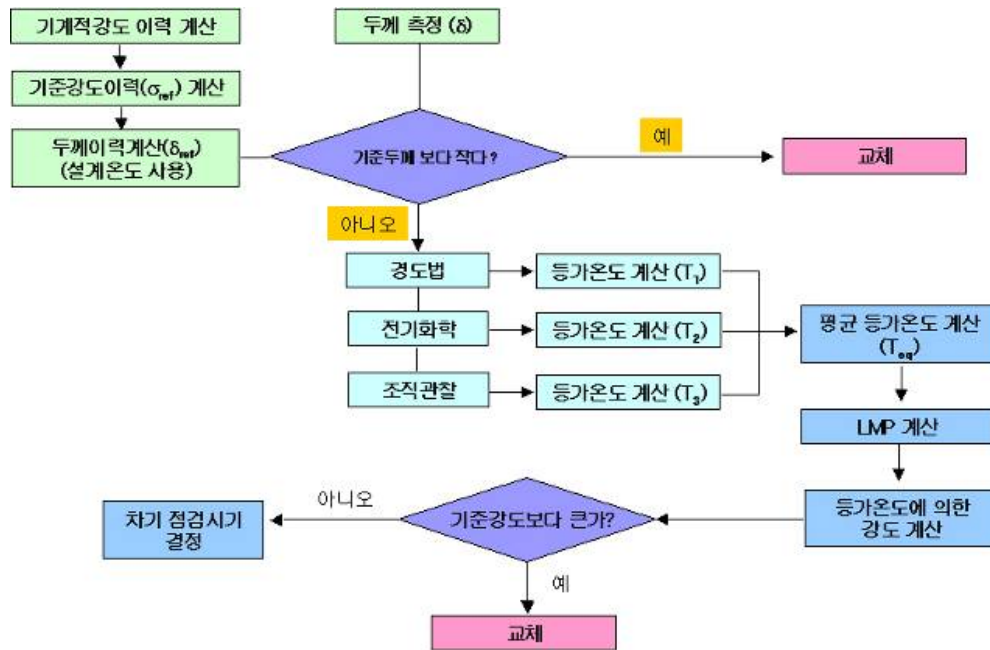


그림 8. 발전설비 진단 전문가 시스템 진단 알고리즘 개요

3.2 전문가 시스템

앞서 언급한 알고리즘에 의해서 GUI 화면구성을 구성하고, DB 설계, 이력관리, Handbook 제작 등을 작성하여 통합적으로 발전설비 진단용 전문가 시스템을 개발하였다. 전문가 시스템개발은 Microsoft의 SQL을 기반으로 하는 데이터 베이스를 설계하고 여기에 현장의 고장 이력관리, 단위 수명 소비율, 운전경력, 운전 조건, 설계 수명등에 관한 데이터를 처리하여 사용자가 쉽게 운용할 수 있도록 화면으로 구성하였다. 또한 상기 절차에 대한 매뉴얼 및 표준 작업 절차서를 작성하였다. 다음의 그림들은 전문가 시스템의 화면구성을 나타낸다.



그림 9. 발전설비 진단 전문가 시스템 구성

4. 결론

본 연구에서는 발전설비의 열화도를 측정하기 위한 각종기법들에 대한 연구를 수행하고 각 측정법별로 잔존수명평가 및 차기 점검시기를 산정하기 위한 소재별 master curve를 작성하였다. 이들 자료들을 활용하여 설비의 사용환경 하에서 열화도를 평가하기 위한 물성DB를 구축하고, 발전설비에 대한 진단 알고리즘 개발하였다. 전문가 시스템에는 다양한 형태의 진단기법들을 채용하여 진단결과의 신뢰도를 높였다. 향후 개발된 전문가 시스템은 발전설비의 효율적인 관리와 신뢰성 향상 및 유지 보수 비용의 절감에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 정희돈, 권영각, “전기화학적 방법에 의한 내열강의 열화도 측정,” 대한기계학회논문집, 제16권, 제3호, 1992, pp. 598-607.
2. 남승훈, 박종서, 김정민, “2.25Cr-1Mo강의 크리프 손상의 비파괴적 검출,” Proc. of Seventh Conf. on Mech. Behaviors of Mater. Pohang, Korea, Nov. 2003, pp. 253-260
3. 정희돈, 권영각, 장래웅, “전기화학적 방법에 의한 내열강의 열화도 측정,” 대한기계학회논문집, 제17권, 제2호, 1993, pp. 300-312.
4. 정희돈, “2.25Cr-1Mo강의 열화와 기계적 성질변화에 관한 연구,” 대한기계학회논문집(A), 제20권, 제5호, 1996, pp. 1372-1381.
5. M. C. Tsai, J. R. Yang, “Microstructural degeneration of simulated heat-affected zone in 2.25Cr 1Mo steel during high-temperature exposure,” Materials Science and Engineering A340, 2003, pp. 15-32
6. V. Jayana, M. Y. Khanb, M. Husain, “Coarsening of nano sized carbide particles in 2.25Cr-1Mo power plant steel after extended service,” Materials Letters, Vol. 58, 2004, pp. 2569-2573.
7. Viswanathan, R., et al. “Life-Assessment Technology for Power Plant Components,” J. Metals, 1992, pp. 34-42.