

가역투자율에 의한 Modified 9Cr-1Mo 강의 잔여수명 평가

유권상*, 남승훈, 박종서, 김민기, 봉충종¹, 김은규¹
 한국표준과학연구원 재료측정표준센터, ¹한양대학교 물리학과

1. 서론

보일러에 사용하는 과열기(superheater)나 재열기(reheater) 배관용 재료는 배관의 온도, 부식방지 및 내압을 고려하여 선택한다. 보통 590 °C 이하의 온도에서 2.25Cr-1Mo 강이 사용되지만, 그 이상의 온도에서는 높은 강도와 산화방지가 되는 오스테나이트 스테인리스강이 사용된다. 그러나 오스테나이트 스테인리스강은 매우 비싸고, 특별한 환경조건에서 응력부식에 의한 균열생성이나 입계부식이 발생하는 단점을 가지고 있다. 또한 페라이트 강에 비해 거대한 열팽창계수와 낮은 열조건(thermal condition)에 기인한 piping restraint points와 노즐에서 큰 응력이 생길 수 있다. 현재 페라이트 강의 동작온도한계(operating temperature limits)를 넘어서는 고온에서 사용할 수 있는 오스테나이트 스테인리스강을 대신할 수 있는 페라이트 강이 필요하다. 발전소의 열효율을 향상시키기 위하여 증기의 온도와 압력은 올라가야 한다. 미래의 핵융합로, 증기발전기 및 보일러 배관 등에 사용하기 위하여 새로운 고온용 재료에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 그 결과 온도강도(temperature strength)와 파괴인성이 향상된 고 크롬 (Cr) (8~14 %) 페라이트 강이 개발되었다.

Modified 9Cr-1Mo 강은 1974년 이후 9Cr-1Mo 강에 바나듐(V), 니오비움(Nb) 등을 첨가하여 고속증식로의 스팀발전기용 재료로 연구 개발되었다[1].

고온고압에서 사용되는 재료는 미세구조 변화와 용질편석(solute segregation)에 의해 강의 기계적 특성이 심하게 열화된다. 터빈 로터나 원자로 압력용기와 같은 강 구조물의 안전운전을 확보하기 위하여 미세구조 변화와 성분손상을 점검하여 잔여수명을 평가하여야 한다.

잔여수명을 평가하는 방법에는 파괴적 방법과 비파괴적 방법이 있는데, 전자는 신뢰할 수 있고 넓게 이용되는 방법이나, 설비에 손상을 입히지 않고 시편을 확보하기가 대단히 어렵다. 후자는 설비를 크게 훼손시키지 않고 잔여수명을 평가할 수 있다는 장점 때문에 효용성이 크고 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[2].

본 연구에서는 surface type 프로브에 의해 열화된 modified 9Cr-1Mo 강 시편에서 가역투자율을 측정함으로써 비파괴적으로 설비의 잔여수명을 평가할 수 있는 방법에 대해 논의한다.

2. 실험방법

시험시편은 원재료를 비롯하여 690°C에서 198 h, 458 h, 644 h, 820 h, 1,215 h, 1,582 h, 1,941 h, 2,299 h 및 3,022 h에서 등온열처리 10종을 준비하였다.

경도를 알면 재료의 다른 특성, 예를 들면 강도, 내마모성, 변형저항 등을 알 수 있기 때문에 경도값 자체를 알기 위해서 뿐만 아니라 그 밖의 다른 특성을 추측하기 위해서 경도시험은 중요하다. 경도는 ASTM E8에 의해 micro-Vickers 경도측정기(Future Tech., HMV-2000)를 사용하여 측정하였고, 가역투자율은 최대자기장이 14 kA/m되는 0.005 Hz의 정현파 자기장에 교류섭동자기장을 인가하면서 lock-in 증폭기를 사용하여 측정하였으며, lock-in 증폭기에 의해 측정된 신호는 입출력 신호획득 보드(I/O acquisition board)를 통하여 디지털화하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 Larson-Miller parameter(LMP)에 대한 비커스 경도의 변화를 보이고 있다. 비커스경도는 LMP에

대해 지수함수적으로 감소함을 알 수 있다. 그림 2는 LMP에 대한 가역투자율 피크 사이의 간격을 보이고 있다. 비커스 경도와 마찬가지로 LMP에 지수함수적으로 감소함을 알 수 있다. 두 그래프에서 보이는 상관관계의 계수는 각각 0.86과 0.89로 경도보다 PIRMP의 산포가 적음을 알 수 있다.

그림 1과 2에서 보이는 회귀곡선(regression curve)에 의해 사용되고 있는 설비에서 경도 및 가역투자율을 측정하면 설비의 잔여수명을 평가할 수 있다.

LMP는 사용온도, 사용시간 및 물질상수에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$LMP = T(C + \log t) \quad (1)$$

만약 사용 중인 설비에서 경도나 PIRMP를 측정하게 되면 그 측정값을 회귀곡선과 만나게 하면 LMP를 구할 수 있고, 사용온도는 대개 알고 있으므로 식 (1)에 의해 설비의 잔여수명을 예측할 수 있다.

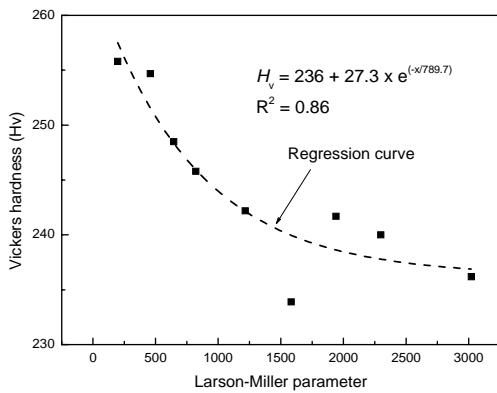


Fig. 1. Relationship between the Vickers hardness and LMP.

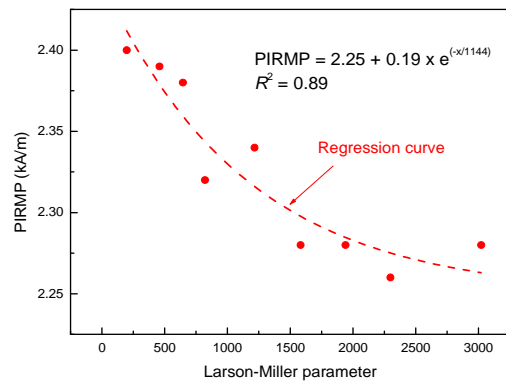


Fig. 2. Relationship between the PIRMP and LMP.

4. 결론

- (1) Surfece type 프로브로 가역투자율을 측정하였고, micro-Vickers hardness 측정기로 경도를 측정하였다.
- (2) 경도 및 PIRMP는 LMP에 대해 지수함수적으로 감소함을 알 수 있었다.
- (3) 상관계수를 계산한 결과 PIRMP가 경도보다 다소 높았으므로, 가역투자율을 측정하면 보다 정밀하게 비파괴적으로 modified 9Cr-1Mo 강의 잔여수명을 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

6. 참고문헌

- [1] V. K. Shamardin, et al., Journal of Nuclear Materials, 307-311, 229 (2002).
- [2] K. S. Ryu, et al., J. Magn. Mater., 251, 196 (2002).