

경도법과 SP-Creep 시험을 위한 용접부 국부조직의 크리프 손상 평가

A Creep Damage Evaluation for Local Structure of Weldment using Hardness Method add SP-Creep Test

백승세*, 권일현**, 김희현*, 이동환**, 유효선**

* 전북대학교 대학원 정밀기계공학과

** 전북대학교 기계공학부, 자동차신기술연구센터

1. 서 론

국내 소비 전력의 70%이상을 담당하는 화력발전 설비는 6개월 혹은 1년간 중단 없이 가동되어진다. 이러한 화력 발전설비 부재들은 고온·고압 환경 하에서 장시간 가동됨에 따라 재료의 특성이 변화하는 재질열화 현상을 겪게되며, 이로 인해 부재들의 수명은 설계시의 수명보다 더 단축되게 된다. 따라서 발전소의 안전성을 확보하기 위해 가동중인 부재를 대상으로 재질열화에 따른 손상을 주기적인 평가하고 있다. 사용중인 부재의 수명평가에 사용되는 방법은 초음파, 방사선, 레플리카 등의 비파괴적인 방법을 주로 이용하는데, 이러한 방법은 시험을 위한 전처리작업 및 장비의 사용이 까다롭다는 문제를 가지고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 최근 다양한 방법이 시도되어 오고 있으며, 그러한 방법 중 한가지로써, 사용중인 부재의 경도를 직접 측정함으로써 미리 얻어진 경도와 수명과의 상관관계를 이용하여 잔여수명을 평가하는 방법이 있다. 이러한 방법의 이점은 부재 평가를 위한 전처리 방법이 비교적 간단하고, 평가 시에도 간단한 조작으로도 쉽게 시험할 수 있다는 장점이 있다.

한편, 한편 발전설비는 튜브, 헤더, 보일러 및 열 교환기 등의 다양한 종류 및 크기의 부재로 구성되어 이들을 연결하기 위해서는 필수적으로 용접 공정이 도입된다. 이러한 용접부 중 열영향부(HAZ)는 용접공정 중 발생하는 열에 의해 다양한 조직으로 변태되어 모재와는 완전히 다른 특성을 보이며, 발전설비의 가장 취약한 부위로 알려져 있어, 이러한 용접부에 대한 평가는 발전설비의 건전성 및 안전성 확보에 중요하게 고려

되는 항목이다. 그러나 용접부에 대한 기존의 평가들은 시험편 제작의 어려움으로 인해 주로 모재(BM)나 용착금속(WM) 조직과 같은 적용이 용이한 일부 조직들의 물성을 기초로 하여 경험적 그리고 거시적 측면에서 수행되어 왔다. 이러한 이유로 보다 소형화된 시험편을 사용하여 국부영역을 평가하고자 하는 연구가 진행되어왔으며, 그 중 하나가 소형편치시험이다. 소형편치시험은 두께 0.5mm의 박판형 시험편과 ϕ 2.4mm의 볼을 이용하여 수행되는 시험으로써 그 동안 수많은 실험결과로부터 그 유용성이 확인되었다.^{1,2)}

이러한 배경하에 본 연구에서는 소형편치 시험을 적용한 크리프 시험(이하 SP-Creep)을 이용하여 용접부 국부 조직 각각에 대한 크리프 특성을 평가하고, 시험이 완료된 시험편을 대상으로 비교적 용이한 비커스 경도계를 이용하여 경도를 측정함으로써, 용접부 국부조직에 대한 SP-Creep 특성과 경도와의 정량적인 상관관계를 조사하고자 한다.

2. 사용재료 및 실험방법

용접부 국부조직의 크리프 및 경도 특성평가를 위해 사용된 재료는 발전설비의 보일러 헤더인 X20CrMoV121 강 파이프이다. 모재의 화학적 조성은 Table 1과 같다. 준비된 모재로부터 GTAW(1~3path) 및 SAW(4~34path) 용접공정을 통해 용접 블록을 제작하였다. 준비된 재료로부터 SP-Creep 시험을 위해 소형편치 시험규격인 10mm×10mm×0.5mm¹의 시험편을 제작하였으며 시험편 두께의 오차범위는 ± 10 m로 하였다.

Table 1 Chemical compositions of X20CrMoV121 steel (wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Fe
0.19	0.19	0.48	0.011	0.003	0.66	10.40	0.86	0.26	bal.

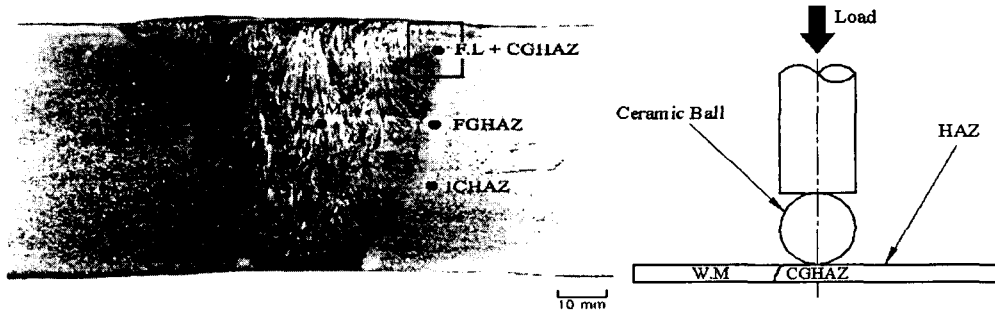


Fig. 1 Schematic illustration for X20CrMoV121 steel weldment, machining position and loading arrangement for CGHAZ specimen

HAZ 각 조직에 대한 시험편은 평가하고자 하는 조직이 시험편의 정 중앙에 위치하도록 하기 위해 반복적인 부식 및 형상투영기를 이용한 측정을 통해 정밀하게 제작하였다.

용접부 국부 조직에 대한 크리프 특성 평가를 위한 SP-Creep 시험은 본 대학에서 자체 설계하여 제작된 크리프 시험기²⁾를 이용하였으며, Fig. 1에 시험편의 채취위치와 하중 부하에 대한 개략도를 나타내었다. 고온 크리프 시험의 온도 범위는 600~650°C이며, 설정온도의 오차범위는 1°C로 제어하였다.

경도 측정을 위해, 시험이 완료된 시험편은 시험편의 중앙부위를 절단하여 수지 마운팅한 후 마이크로 비커스 경도계(500g)을 이용하여 경도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 SP-Creep 실험결과

3.1.1 용접부 국부조직의 파단수명 평가

발전설비에 대한 수명 평가분야에서 고온부재에 대한 크리프 파단수명(t_r) 평가는 가혹한 운전도중의 변형에 관계없이 파단에 이를 때까지의 수명에 의해 설계조건을 결정하는 보일러 설비부재에서 중요한 데이터로 활용된다. 일반적으로 크리프 시험에서 파단수명에 대한 외력 의존성은 멱수법칙(power law)식으로 설명할 수 있다. 본 연구에서는 X20강 용접부 국부조직 각각에 대한 부하 하중에 따른 파단수명을 조사하였으며 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 모든 조직은 서로 다른 거동을 보이고 있음을 알 수 있으며, 하

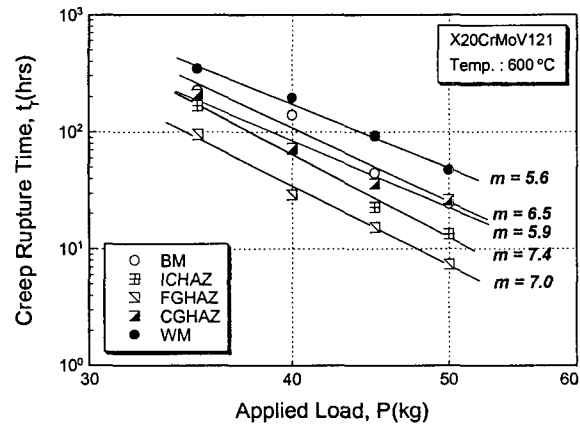


Fig. 2 The power law relationship for local structure of weldment at 600°C

중의 증가에 따라 파단수명이 지수적으로 증가하는 power law 관계를 만족함을 알 수 있다. 또한 그림으로부터 용착금속이 가장 위에 위치하여 내 크리프 성질이 가장 좋음을 알 수 있고, 이에 반해 미세결정립역인 FGHAZ조직이 가장 낮은 크리프 특성은 타 조직에 비해 결정립이 미세하여 단위면적당의 입계의 수가 많고, 이로 인해 입계부에 발생하는 기공의 수가 증가하여 나타난 현상으로 생각된다.

3.1.2 Larson-Miller parameter 관계

Fig. 3은 용접부 각 조직에 대한 Larson-Miller parameter(LMP)를 정리하여 나타낸 그림이다. WM조직에 비해 타 조직들의 선도는 모두 좌측에 위치하는 낮은 크리프 강도를 보이고 있으며, 특히 파단수명의 결과와 같이 FGHAZ 조직이 가장 낮은 크리프 파단강도 특

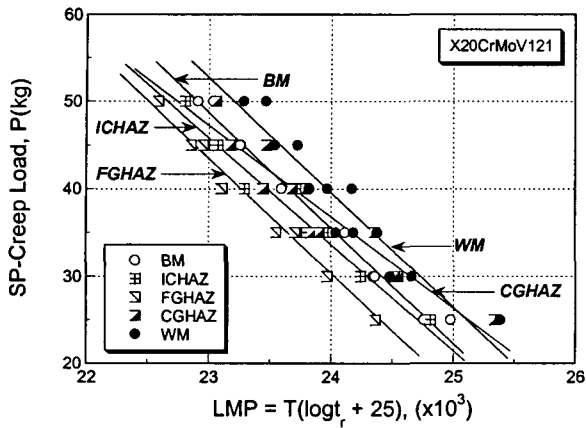


Fig. 3 The relationship between SP-Creep load and LMP for local structure of weldment

성을 보이고 있다. 또한 조대한 결정립의 CGHAZ는 저응력부에서 우수한 크리프 파단강도특성을 보이고 있는데 이는 저응력부로 갈수록 크리프 변형기구가 전위의 활주속도에 ул속되기 때문으로 사료된다.

3.1.3 경도와 LMP의 관계

재료의 특성은 미세조직의 변화에 크게 의존하며, 특히 탄화물들은 전위운동을 방해하여 소성 변형에 영향을 준다. 따라서 크리프 강도와 경도는 탄화물에 의한 전위 운동의 저항성을 반영하며, 이들 두 인자 사이의 관계가 정리된다면, 비교적 간편하게 비파괴적인 크리프 손상을 평가할 수 있게 된다.

Fig. 4는 용접부 각 조직에 대한 SP-Creep 시험 후 파단부에서 측정된 경도와 LMP 사이의 관계를 나타낸 것이다. 모든 조직에서 LMP가 증가함에 따라 경도 값이 감소하는 경향을 보이고 있는데 이는 장시간의 변형에 의한 탄화물의 조대화에 따른 결과로 생각된다. 또한 그림 보는 바와 같이 약간의 편차는 보이는 두 인자 사이에는 명확한 상관 관계가 존재하고 있음을 알 수 있다. 이러한 관계로부터 경도와 LMP사이의 다음과 같은 상관식을 얻을 수 있었다.

$$\begin{aligned}
 \text{BM} &- H_v = 608.5 - 15.8LMP \\
 \text{ICHAZ} &- H_v = 677.9 - 19.2LMP \\
 \text{FGHAZ} &- H_v = 683.6 - 19.4LMP \\
 \text{CGHAZ} &- H_v = 573.8 - 13.6LMP \\
 \text{WM} &- H_v = 899.5 - 26.6LMP
 \end{aligned}$$

향후 열화재 및 실기부재에 대한 실험으로부터 충분한 D/B로부터 위와 같은 관계식이 확보된다면, 발전설비의 손상 및 수명평가에 있어서 보다

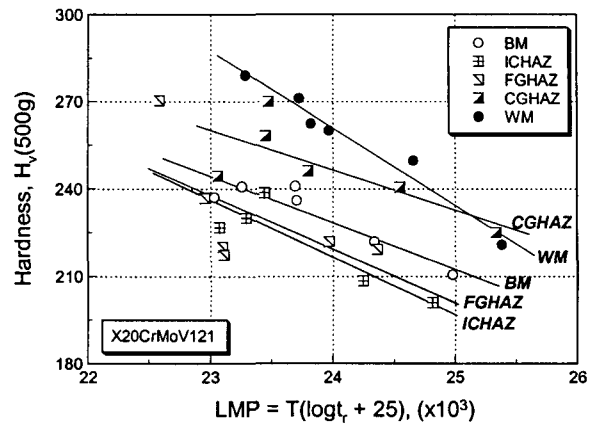


Fig. 4 The relationship between micro-Vickers hardness and LMP

간편하고 정확한 평가가 가능하리라 기대된다.

4. 결 론

X20강 용접부 국부조직에 대한 SP-Creep 및 경도 시험을 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 용접부 국부조직 각각은 서로 뚜렷한 차이를 보였으며, 외력과 파단수명과의 일반적인 관계인 멱수법칙을 만족하였다.
- 2) 파단수명 및 LMP의 결과로부터 WM 조직의 내크리프 특성이 가장 우수하였으며, FGHAZ조직이 가장 낮은 내 크리프 특성을 보였다.
- 3) 파단부위에서 측정된 경도값과 LMP사이에는 뚜렷한 상관관계를 보였으며, 이로부터 용접부 각 조직에 대한 상관식을 얻을 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구지원(R05-2001-000-01131-0)에 의해 수행된 결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. T. Misawa, et al. : Fracture Toughness Evaluation of Fusion Reactor Structural Steels at Low Temperatures by Small Punch Test, J. Nucl. Mat., 169 (1989), 225-232
2. S.S. Baek, et at. : Development of Evaluation Techniqu of High Temperature Creep Characteristics by Small Punch-Creep Test Method, Transaction of KSME, 25-12 (2001), 1995-2001 (in Korean)