

USC 발전설비 용접부 HAZ 조직의 내 크리프 특성

Characterization of Creep Resistance for HAZ Structures in Weldment of USC Power Plant

백승세*, 박정훈*, 이송인**, 권일현***, 이동환***, 양성모***, 유효선***

* 전북대학교 대학원 정밀기계공학과

** 전북전략산업기획단

*** 전북대학교 기계항공시스템공학부, 자동차신기술연구센터

ABSTRACT T/P92 steels are created for using USC boiler tube and header in next generation power plant. SP-Creep test and tensile creep test are performed to characterize creep for local structures of T/P92 steel weldment. The results are shown that P92 steel weldment is clearly superior than that of X20CrMoV121 steel weldment, which is widely used in supercritical power plant. While fine grain HAZ is most weakest in X20 steel weldment, coarse grain HAZ is most weakest in P92.

1. 서 론

현재 국내 신규 제작 및 설계 중인 화력발전설비는 발전소 효율의 증가를 위해 초초임계압으로의 사용이 예정되어 있어, 고온·고압부재의 안전성을 증가시키기 위해 고 Cr-Mo 강계의 사용이 강력히 추천되고 있다. 특히 P92 강재는 Modified 9Cr 강인 P91 강재에 이어 1997년에 의해 개발된 강재로 파이프의 두께를 감소시키고, 오스테나이트 강재에 비해 열전도율 등의 특성이 우수한 것으로 알려져 있어, 차기 강종으로 평가받고 있다.

한편, 고온·고압하에서 작동되는 발전설비의 용접부는 장시간 운전됨에 고온 크리프가 발생함에 따라, 발전설비의 가장 취약부위로 알려진 용접부에 대한 크리프 특성 평가는 설비 부재의 건전성 및 안전성 확보에 매우 중요한 필수 요건이다. 이러한 용접부의 HAZ는 용접과정 중에 발생하는 용접열에 의해 변태된 다양한 조직으로 구성되며, 특히, CGHAZ와 ICHAZ는 각각 Type III 및 Type IV의 균열 발생위치로 알려져 있어 이들 각 조직에 대한 개별적인 평가가 요구된다. T/P92 강재가 차세대 초초임계압 발전설비 부재의 후보재료로 강력히 추천되고 있으나, 최근까지 T/P92 강재에 대한 크리프 손상 연구는 대부분 모재조직에 국한되어 진행된 상태이므로^{1,2)} 발전소 실기부재의 대표적인 크리프 손상의 취약부로 알려진 강 용접부의 미세조직에

대한 크리프 연구는 시급히 수행되어야 과제임을 알 수 있다.

이러한 배경 하에 본 연구에서는 T/P92강 용접부 미세조직의 크리프 특성을 평가하기 위하여, 용접부 크리프 평가의 신기술인 소형편치 크리프(SP-Creep) 시험을 적용하여 미세조직별 크리프 특성을 평가하였다.

2. 시험편과 실험방법

본 연구에서 사용된 재료는 현재 초초임계압 발전설비의 보일러 과열기와 재열기 튜브 및 헤더에 사용되고 있고 앞으로도 계속적으로 적용될 T/P92 강인 모재와 용접부이다. Table 1과 2에 시험재료의 화학적 조성과 상온에서의 기계적 성질을 나타내었다. 본 연구에 사용된 용접블록은 발전소 보일러 튜브 및 헤더의 제작에 적용되는 실제 용접절차 및 후열처리 작업조건에 준하여 제작하였으며, 헤더의 경우는 외경 415mm, 두께 43mm의 파이프를 길이 약 300mm 되도록 2개 준비하여 맞대기 용접함으로써 용접블록을 제작하였다.

준비된 용접블록으로부터 10×10×0.5mm의 표준 SP-Creep 시험편을 제작하였으며, 시험편 제작시 평가 대상 조직이 정 중앙에 오도록 반복적인 연마와 에칭을 수행하였다.

용접부 국부조직의 크리프 특성 평가를 위한 SP-Creep 시험은 시험편의 상부에 $\phi 2.4\text{mm}$ 의

Table 1 Chemical compositions of T/P92 steel (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Ni
0.094	0.5	0.48	0.01	0.01	0.4
Cr	W	Mo	V	Nb	Fe
9.4	2	0.45	0.20	0.04	bal.

Table 2 Mechanical properties of T/P92 steel

Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HB)
Min. 440	Min. 620	20	250

세라믹 강구를 통해 하중을 가함으로서 수행되며, 시간에 따른 시험편의 크리프 변형 거동을 조사하였다. 고온 크리프 시험온도 범위는 650℃로 하고, 하중조건은 25kg~50kg으로 제어하며, 시험은 아르곤(Ar) 가스를 이용한 불활성 분위기에서 실시하였다.

3. 실험결과

3.1 USC용 강 용접부의 조직 및 경도

USC 발전설비용 T/P92강 용접부의 경도분포는 Fig. 1과 같다. 비교를 위해 X20 강의 결과도 같이 나타내었다. 전체적으로 볼 때 T92강이 P92 강보다 경도가 약간 낮게 나타나는데, 그 이유는 파이프재인 P92 강은 강화열처리를 한 후 사용되는 조절강인데 반해, 튜브재인 T92강은 비 조절강으로써 강화 열처리가 수행되지 않아 발생한 결과로 판단된다. 한편 거리에 따른 경도의 거동은 3가지의 용접부 모두에서 서로 유사한 거동을 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, 용착금속(W.M)과 용융선(F.L)에 이웃한 CGHAZ부는 약 300이상의 경도값을 보여 W.M과 CGHAZ부의 경도값이 모재보다 매우 높았고, CGHAZ에서 모재 측으로의 경도 분포에서 FGHAZ 및 ICHAZ 부근에서는 모재보다 경도값이 낮은 연화층이 구성되어 있다. 이와 같은 수 mm내에서 변화되는 경도의 거동으로부터 이들 조직의 크리프 거동이 서로 다를 것이라는 것을 알 수 있다.

P92 강 용접부 미세조직은 Fig. 2와 같다. 조직별 뚜렷한 차이를 확인할 수 있으며, 특히 CGHAZ 조직을 보면 입자의 크기가 다른 HAZ 조직보다 큼을 알 수 있고, 탄화물도 커졌음을

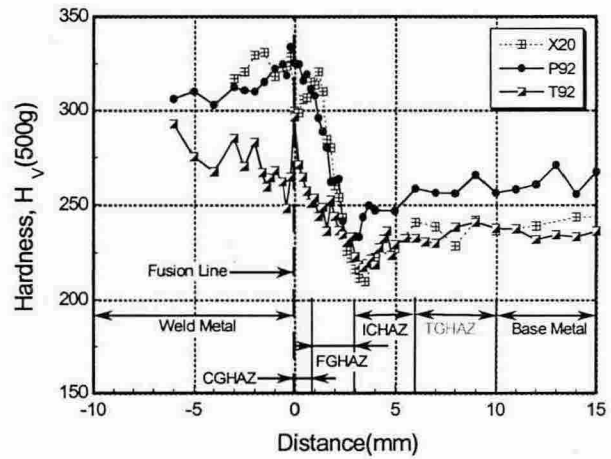


Fig. 1 Vickers hardness distributions for steel weldments

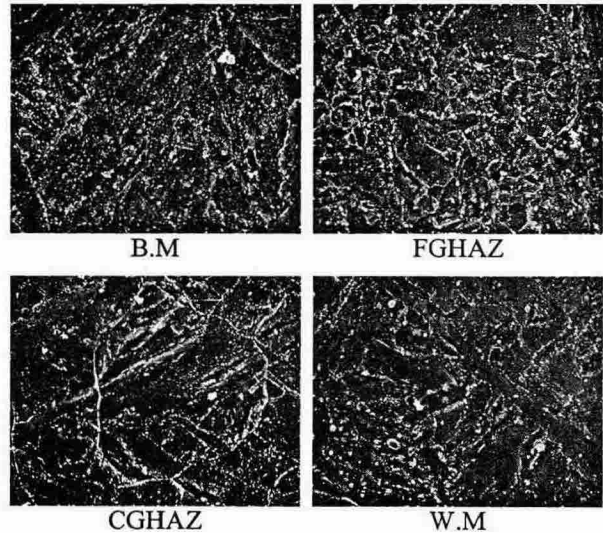


Fig. 2 Microstructures of P92 steel weldment

볼 수 있는데, 이는 용접과정 중 A_{c3} 이상의 아주 높은 온도로 가열되어 발생한 결과로 생각된다. 용착금속 조직을 보면 CGHAZ와 마찬가지로 탄화물이 조대화 되어 있음을 볼 수 있으며, 주로 lath 경계에 분포하여 있음을 알 수 있다. 또한 모재에 비해 lath폭이 더 크고 lath의 분율이 더 작음을 확인할 수 있다.

3.2 USC용 강 용접부의 크리프 특성

Fig. 3은 P92 강과 X20 강 용접부의 각 조직에 따른 파단수명과 하중과의 관계를 나타내고 있다. 전반적으로 볼 때, 모든 조직에서 P92 강의 크리프 파단시간이 초임계압용으로 사용되어 오던 X20 강에 비해 우수하게 나타나고 있음을 확인할 수 있어, 차세대 초초임계압 발전설비용 재료로써 P92강이 적합함을 알 수 있다. (a)의

P92 강의 경우를 보면 높은 경도값을 보인 W.M과 CGHAZ가 다른 조직에 비해 낮은 파단 수명을 보여 내크리프 성질의 저하를 다시 확인할 수 있다. 또한 조직에 따른 하중 지수의 거동을 살펴보면 CGHAZ와 W.M이 전반적으로 낮은 값을 보이고 있는데, 재료의 강화효과가 감소할수록 지수값이 감소한다는 종래의 보고와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 특히, W.M과 CGHAZ조직의 경우는 용접공정중의 높은 열로 인하여 다른 조직에 비해 탄화물의 조대화가 가속화됨에 따라, 전위의 이동이 용이하여 더 짧은 파단시간을 보인 것으로 사료된다. 크리프 현상은 열적 활성화에 기인한 시간 의존적인 변형 현상이므로, 열적 활성화에 따른 동적 연화현상은 전위의 이동 속도와 밀접한 관계가 있으며, 이러한 전위의 이동은 시험조직 내의 방해물(barrier)이 많을수록 억제된다. 결국 B.M, FGHAZ는 조직 전반에 걸쳐 탄화물이 분포함으로써, 아결정립의 성장 및 석출물의 성장이 충분히 억제되어 비교적 긴 파단 수명을 보였고, W.M과 CGHAZ의 경우는 이미 조대화된 탄화물로 인해 동적 연화가 더욱 가속화됨에 따라 전위의 이동 속도가 빨라져 낮은 파단수명을 보인 것으로 사료된다.

결국 이로부터 X20 강의 경우에는 FGHAZ 조직이 가장 취약하였으나, P92 강의 경우에는 CGHAZ 조직이 가장 취약하다는 것을 알 수 있어 X20강은 Type IV의 균열을, P92 강에서는 Type III의 균열에 대한 최적 HAZ 설계 및 손상평가가 필요하다는 것을 확인할 수 있다.

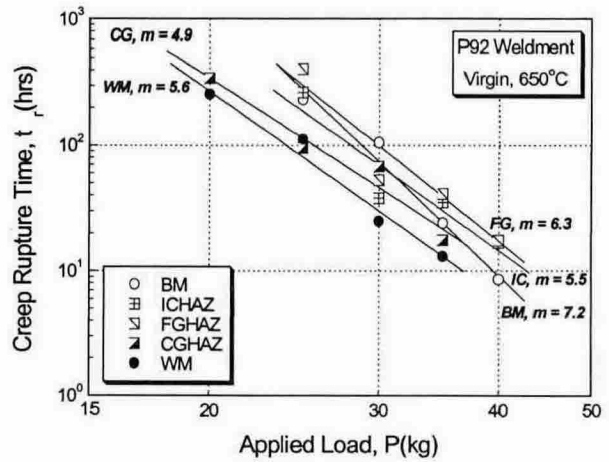
4. 결 론

USC 발전설비용 T/P92강 용접부를 대상으로 크리프 시험을 수행하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

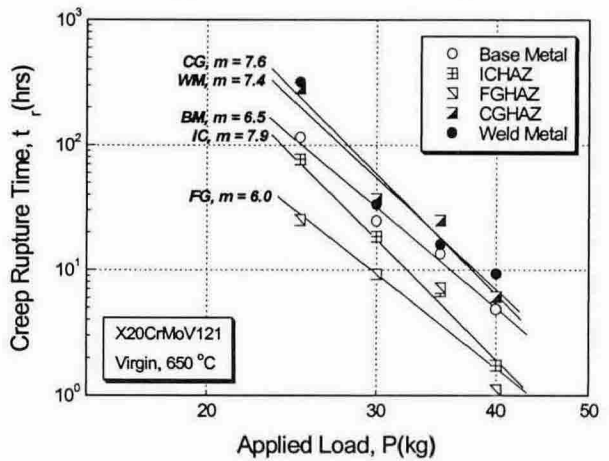
1) T/P92강 및 X20강은 서로 유사한 경도 거동을 보였으며, P92강의 경우 CGHAZ와 W.M에서 탄화물의 조대화가 확인되었다.

2) USC용 P92강의 파단시간은 기존 초임계 압에 사용된 X20강에 비해 전반적으로 우수한 거동을 보였다.

3) P92강의 CGHAZ조직은 다른 조직에 비해 가장 취약함을 알 수 있어 Type III의 균열에 대한 평가가 수행되어야 함을 확인하였다.



(a) P92 steel weldment



(b) X20CrMoV121 steel weldment

Fig. 3 SP-Creep rupture time behavior of steel weldment

후 기

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2004-B-126) 주관으로 수행된 과제이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. P. J. Ennis, A. Zielinska-Lipiec, O. Wachter and A. Czyrska-Filemonowicz : Microstructural Stability and Creep, Rupture Strength of the Martensitic Steel P92 for Advanced Power Plant, Acta Metallurgica Inc., 45-12 (1997) 4901- 4907
2. V. Sklenicka, K. Kucharova, M. Svoboda, L. Kloc, J. Bursik and A. Kroupa : Long-Term Creep Behavior of 9-12%Cr Power Plant Steels, Materials Characterization, 51 (2003), 35-48.