

## 보일러용 배관재 2.25Cr-1.6W계 내열강의 용접부 응력 해석

이연수, 이경운, 이재봉, 김영득, 공병욱, 유석현, 김정태, 김범수\*, 장중철\*  
두산중공업(주), 한전전력연구원\*

### A study on the residual stress at the weld joint of 2.25Cr-1.6W heat resistant steel

Y. S. Lee, K. W. Lee, J. B. Lee, Y. D. Kim, B. W. Kong, S. H. Ryu, J. T. Kim,  
B. S\*, Kim\*, J. C. Jang\*

Doosan Heavy Industries & Construction Co. Ltd, Korea Electric Power Research Institute\*

#### Abstracts

석탄화력발전소의 CO<sub>2</sub>배출량 감소와 고효율, 대용량화로 인해 초초임계압(USC:Ultra Super Critical) 화력발전소의 건설이 증가하고 있다. USC 발전소는 효율향상을 위한 증기온도와 압력의 상승때문에 보일러 고온고압부에 기존의 소재에 비해 고온강도와 내산화성의 재료물성이 향상된 신소재 적용이 불가피하다. 특히 사용된 신소재 중에서 보일러 본체를 구성하는 수냉벽관(Water wall), 과열기와, 재열기용 투브 및 후육부인 헤더와 배관재로 기존의 2.25Cr-1Mo강을 개량한 2.25Cr-1.6W계 내열강이 적용되고 있다. 2.25Cr-1.6W강은 SMI와 MHI가 공동개발한 소재로 1995년 투브제품이, 1999년에 단조, 파이프재, 플레이트제품이 ASME code case로 등재되었고, 2009년 ASME code case 2199-4로 개정되어 사용 중이다. 이 소재는 2.25Cr-1Mo강에 고온강도 개선을 위해 석출강화효과가 있는 V과 Nb을 첨가하였고, 탄화물의 열적안정성과 고용강화효과 증대를 위해 W을 첨가하였다. 그리고 제작성과 용접성 및 재료의 인성 향상을 위해 B첨가와 C함량을 낮추었다. 합금성분의 첨가와 조정에 의해 고온강도는 개선되었지만, 보일러 설치 및 보수를 위한 용접과정에서 용접금속과 CGHAZ(Coarse Grain HAZ)에서 용접균열이 발생하였다. 대부분의 용접균열은 용접결합이나 고온 혹은 저온균열이 아닌 2.25Cr-1.6W계강의 강도 개선을 위해 첨가한 V과 Nb이 용접후열처리 도중 입내에 MX형태의 미세석출로 입내를 강화시킴으로서 발생한 재열균열 민감성 증대에 기인된 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서 용접 및 후열처리 과정에서 용접금속과 HAZ에서 발생하는 용접금속의 응력분포를 전산해석을 통해 확인하고 실제 후육파이프 용접부에서 잔류응력을 측정해 비교하였다. 용접부 응력분포는 SYSWELD 프로그램을 사용해 해석을 수행하였고, 발전소 실배관재의 용접부 응력측정은 수평부 측정이 용이하도록 지그를 부착한 Potable 잔류응력측정기를 사용해 Hole Drilling Method(HDM)를 적용하여 잔류응력을 측정하였다. 해석 결과 CGHAZ부위의 잔류응력이 용접금속과 기타 부위에 비해 높은 응력분포를 나타냈으며, 이는 CGHAZ와 용접용융선 부근에서 균열이 발생하는 실제값과 일치하는 결과를 보였다. 실제 배관재 용접부에서 측정한 잔류응력값은 항복응력의 약 50% 이하 응력값을 나타냈다. 배관 구조에 기인한 시스템응력의 영향을 제거하기 위해 배관재 용접부를 중심으로 양 끝단을 절단 후 용접부에서 측정한 응력은 항복응력 대비 25%수준의 낮은값을 보였다. 그러나 배관재가 장기간 고온환경에 노출되었고 용접금속 내부의 균열이 발생한 상태에서 측정하였기 때문에 용접잔류응력은 상당부분 해소되어 상대적으로 낮은 응력값이 얻어진 것으로 판단된다.