

초고온 가스로용 Alloy 617의 크리프 파단 수명 예측 Creep-Rupture Prediction of Alloy 617 for Very High Temperature Reactor

**윤송남¹, 김우곤¹, 정익희², 김용완¹, 이원³

** S.N. Yin¹(yjsongnam@kaeri.re.kr), W.G. Kim², I. H. Jung, W.Y. Kim² and W. Yi

¹ 한국원자력연구원, ² 부경대학교, ³ 숭실대학교

Key words : Alloy 617, Minimum Commitment Method, Time-Temperature Parameter, Time to Rupture

1. 서론

수소생산 초고온가스로의 구조물들은 950°C의 매우 높은 온도에서 30년 이상의 장기간 동안 사용되도록 설계되기 때문에 장시간 크리프 특성이 매우 중요하다. 그러나 사용할 구조물에 대하여 장시간 크리프 수명을 시험으로 일일이 정확히 확인한 후 사용한다는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에, 비교적 단시간의 크리프 파단 자료를 이용하여 설계목적에 충분할 정도로 장시간의 크리프 수명을 예측하는 것이 필요하다.^(1,2)

본 연구에서는 고온가스로의 구조재료로 사용되는 Alloy 617에 대하여 800°C~1000°C의 크리프 파단 자료를 당 연구실에서 생산한 실험 자료 및 문헌자료를 다수 수집하여 최소구속법을 적용하여 크리프 파단 수명을 온도 별로 예측하고자 하였다.

2. 최소구속법의 일반식

TTP 법은 파단시간과 온도를 나타내는 등-응력선이 직선 관계가 되어야 하고, 각 등-응력선은 한 점에서 만나거나 서로 평행해야 한다. 그러나 실제 실험 데이터는 이들 조건에 잘 부합하지 않으며 어떤 시간-온도 파라미터에 맞추도록 하고 있다. 이에 반해 최소구속법은 실험 데이터로부터 잘 맞는 상수 및 함수들을 회귀법으로 결정하기 때문에 TTP 식에 비해 보다 유연한 식이라 할 수 있다.

온도-시간-응력 사이의 관계를 표현하는 가장 유연한 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$(\log T) + (T) = G(\log \sigma) \quad (1)$$

그러나 이 식은 무수한 해를 가지므로 수명예측이 불가능하다. Manson과 Ensign^(3,4)은 파단시간과 온도 사이에 함수 (T) 의 관계가 성립된다고 가정하고 다음의 식을 제안하였다.

$$(T) \log T + (T) = G(\log \sigma) \quad (2)$$

여기서 일반적인 온도-시간 파라미터에서의 직선 관계를 일정한 함수 관계로 대체하고 이 함수 관계를 $(T) = 1 - (T)$ 라고 가정하면,

$$\log T + (T) \log T + (T) = G(\log \sigma) \quad (3)$$

을 얻을 수 있다. 식 (3)이 Manson과 Ensign이 제안한 최소구속법의 기본식이다. 여기서, T 는 파단시간, σ 는 재료상수, (T) 는 온도함수, $G(\log \sigma)$ 는 응력함수이다. 식(3)에서 적절한 상수 값과 (T) 함수 값을 선택하면 일반적인 모든 TTP 법으로 전환될 수 있기 때문에 최소구속법은 TTP 법을 포함하는 포괄적인 함수가 된다.

3. 결과 및 고찰

3.1 크리프 파단 데이터의 수집

Fig. 1은 Alloy 617에 대한 문헌조사를 통하여 수집한 응력과 파단시간의 결과를 나타낸 것이다. 수집한 크리프 데이터의 개수는 237개이며 온도 범위는 800~1000°C에 대한 것이다. 본 Alloy 617의 크리프 데이터는 유럽 데이터 베이스(EC-JRC)⁽⁵⁾, Schubert⁽⁶⁾ 등이 발표한 데이터(독일), 당 연구실에서 얻은 실험 데이터를 정리한 것이다.

3.2 상수 값의 결정 및 회귀분석

상수 값을 결정하기 위하여 시행착오법을 사용하였다. 시행착오법은 예상되는 일정한 범위의 값을 미리 결정하여 계산하는 방법으로 본 연구에서는 $-0.1 \sim 0.5$ 사이에서 적절한 값을 취하면서 회귀분석을 수행하였다.

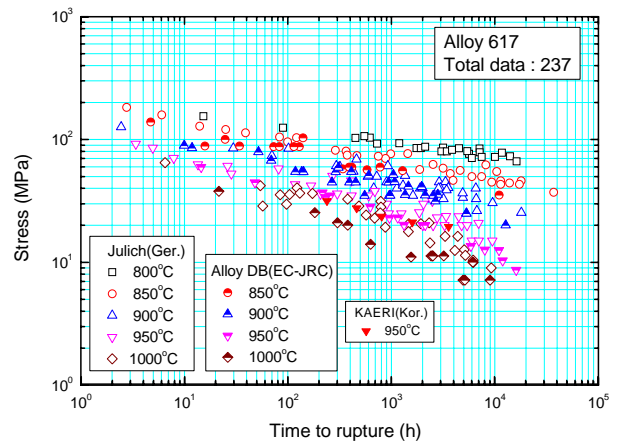


Fig. 1 Plot of applied stress and time to rupture collected through literature surveys and experimental data of KAERI for Alloy 617

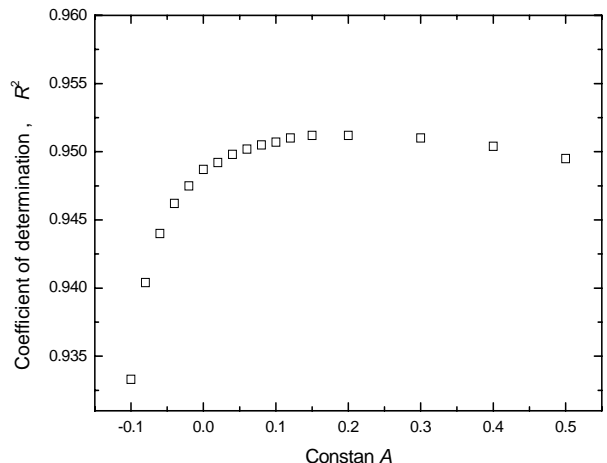


Fig. 2 Coefficient of determination R^2 with A values

예상되는 여러 값을 식(3)에 대입하여 얻어지는 $\log \sigma$ 와 G 함수와의 관계에서 최소자승법에 의한 회귀다항식을 얻었고 회귀분석에서 얻은 결정계수⁽⁷⁾ (coefficient of determination,) 값에 의해 값을 최종 결정하였다. 결정계수 값은 1에 가까울수록 데이터와 회귀식은 잘 맞음을 나타낸다. Fig.2는 결정계수와 상수 사이의 관계를 나타낸 것으로 $=0.1\sim 0.2$ 사이의 값이 가장 적절함을 나타낸다. 본 연구에서는 중간값인 $=0.15$ 로 크리프 수명을 예측하였다.

Fig.3은 $A=0.15$ 에서 얻은 예측식이다. 그림에서 보여주듯이 3차 다항식은 실험 데이터를 비교적 잘 나타내고 있다.

Fig.4는 예측식에 의해 예측된 결과와 실험데이터를 비교하여 나타낸 것이다. 예측 값은 실험 데이터와 비교적 잘 일치하였다. 현재 연구중인 수소제조용 고온가스로는 출구 온도가 약 950°C 이므로 이 온도에서의 크리프 강도가 필요하다. 본 연구에 의해 예측된 10^5 시간에서 크리프 파단 강도는 약 6.05MPa 로 나타났다.

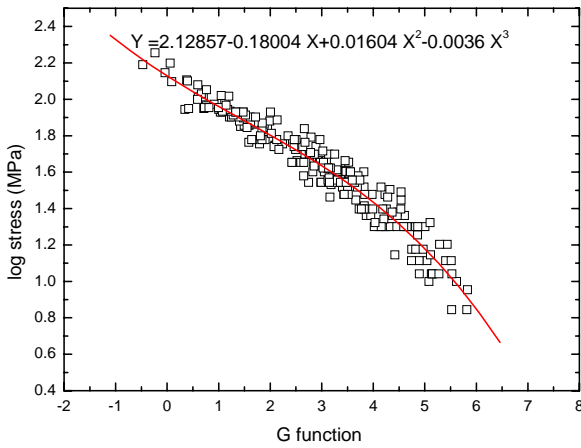


Fig. 3 Polynomial equation obtained from the best fitting of stress and G function in $= 0.15$

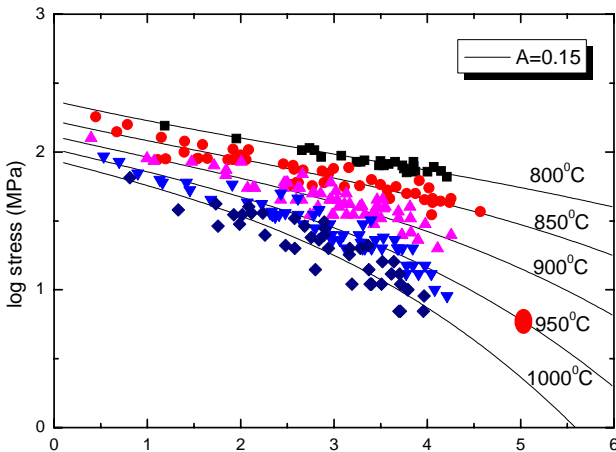


Fig. 4 Prediction result of the creep life for Alloy 617 by minimum commitment method at each temperature

3. 결론

Alloy 617의 크리프 수명을 예측하기 위하여 여러 문헌과 실험으로 데이터를 수집하였으며, 최소구속법을 적용한 결과 전 온도 구간에서 크리프 수명예측 곡선은 시험 데이터와 잘 일치하는 좋은 결과를 보였으며, 재료상수인 값을 시행 착오법에 의해 0.15가 적당함을 확인하였으며, 950°C , 10^5 시간에서 크리프 파단 강도는 약 6.05MPa 로 예

측되었다.

후 기

본 연구는 과학기술부에서 시행한 원자력 중장기 연구개발 사업 중 초고온가스로 요소기술개발 과제에서 수행한 것 입니다.

참고문헌

1. Kim, W. G., Yin, S. N. and Ryu, W. S., 2005, "Application and Standard Error Analysis of the Parametric Methods for Predicting the Creep Life of Type 316LN SS," *Engineering Materials*, Vol. 297~300, pp. 2272-2277.
2. Kim, W. G., Yin, S. N., Ryu, W.S. and Yi, W., 2004, "Creep-life Prediction and Standard Error Analysis of Type 316LN Stainless by Time-Temperature Parametric Methods," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, A*, Vol.29. No.1, pp.74~80.
3. Manson, S. S., and Ensign, C. R., 1978, "Interpolation and Extrapolation of Creep Rupture Data by the Minimum Commitment Method-Part 2," *Metals Transactions, A*, New York, pp. 299~398.
4. Manson, S. S. and Ensign, C. R., 1971, "Specialized Model for Analysis of Creep Rupture Data by the Minimum Commitment Method, Station-Function Approach," NASA TM X-52999, pp. 1~14.
5. European Alloy-DB, Licensed CD, European Commission - Joint Research Centre (EC-JRC).
6. Schubert, F., Bruch, U., Cook, R., Diehl, H. Ennis, P. J., Jakobeit, W., Penkalla, H. J., Heesen, E. T., and Ulirich, G., Creep Rupture Behavior of Candidate Materials for Nuclear Process Heat Applications, Nuclear Technology, Vol. 66, p. 227, 1984.
7. Lim, O. K, Hwang, T. K. and Choi, E. H., 2005, "A Sequential Approximate Optimization Technique Using the Previous Response Values," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, A*, Vol.29. No.1, pp.45~52.