

## 가속수명시험을 통한 신뢰성보험요율 추정 -합금무계목인발강관의 사례를 중심으로-

홍연웅<sup>1</sup> · 정영훈<sup>2</sup>

### Abstract

In this paper, we calculate the premium rate of reliability insurance policy for T11 composite metretial under the assumption of Weibull physics of failure and Arrhenius law. We also describe the performance factors which have an effect on failure characteristics of wiper motors. The maximum likelihood estimates of shape parameter and scale parameter are obtained by using interval censored real data of sample sizes 6 using MINITAB.

### 1. 신뢰성 보험제도의 개요

신뢰성보험제도는 국내 기업체가 생산한 부품 및 소재에 대하여 신뢰성인증센터(RAC; Reliability Assessment Center)에서 신뢰성을 인증하고 이를 수요기업이 사용할 때 인증한 부품 및 소재의 신뢰성 상실로 인하여 수요기업이 입은 경제적 손실을 보장하는 보험으로 일종의 손해보험이다. 신뢰성 보험의 도입으로 부품 및 소재의 수요기업은 한국산 제품사용에 따른 리스크를 회피할 수 있으며 생산자에게는 신뢰성의 상실로 인한 배상에 따른 재정적 손실을 예방 또는 보전할 수 있는 여건이 조성되어 부품·소재 생산업체의 경영안정화와 국산 부품 및 소재산업의 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다(홍연웅, 2001).

2003년 4월부터 시행된 신뢰성보험제도는 신뢰성평가가 시급한 품목에 우선하여 적용되었으며, 주요 대상 품목으로는 커패시터, 콘덴서, 릴레이 등의 전기 및 전자제품과 자동차부품, 기계부품 등이다. 신뢰성보험은 <표 1>에 정리한 바와 같이 부품·소재업체가 제조물을 수요기업에 제조·판매함에 따라 안게 되는 위험인 부품·소재의 결함 등으로 인한 보증책임, 회수비용, 배상책임 및 기업휴지위험 등을 종합하여 담보한다(한국수출보험공사, 2003).

신뢰성보험상품의 가입대상은 정부 또는 정부가 지정한 기관으로부터 신뢰성평가 및 신뢰성인증을 받은 부품 및 소재를 생산하는 기업의 당해제품 또는 이와 유사한 제품으로 한정하고 있으며 지역별담보범위는 국내 및 해외거래까지 포함한다.

<sup>1</sup>Dept. of Internet Industrial Engineering, Dongyang Univ., Kyungbuk, Korea. E-mail : ywhong@phenix.dyu.ac.kr

<sup>2</sup>한국과학기술연구원

## 2. 신뢰성 시험

합금무계목인발강관은 산업, 선박용 플랜트 사업의 열교환기 튜브로 사용되는데 정격 사용온도는 450℃이고 보증수명은 20년이다. 동 소재의 신뢰성 인증은 “고온고압용 보일러용 강관에 관한 규정(RS D 0002 (2002))”를 근거하여 수행되었으며, 평가 방법으로는 상온 및 고온 인장시험, 크리프 시험, 미세조직 검사 등의 방법을 채택하였다.

표 1. 신뢰성보험은 부품·소재업체의 관련위험을 담보종류 및 내용

담보위험	주요내용
제조물 보증책임	부품·소재업체가 제조, 판매한 제조물이 양도된 후, 부품·소재의 결함으로 법률상 배상해야 할 손해중 수리비용 또는 대체가액
제조물 회수비용	부품·소재업체가 제조·판매한 부품이 회수가 불가피하게 된 경우 회수에 따른 제반비용 보상
제조물 배상책임	부품업체가 제조·판매한 부품이 양도된 후 그 제조물로 생긴 제3자의 신체상해 또는 재물손해로 부품업체가 부담하여야 할 법률상 손해배상금액
기업휴지 위험	부품업체가 제조·판매한 부품이 제 3자 양도된 후 그 제조물의 결함으로 인해 제3자에 기업휴지손해가 발생한 경우 그 상실이익

### 가. 시편 크기 및 형상

고온고압 보일러용 강관의 신뢰성평가기준에서는 상온 및 고온 인장시험편의 크기를 평가기준에 규정된 표2와 같은 크기로 인장 및 크리프 시험편을 가공한후 용접 연장하여 제작하였다.

표2. 인장 시험편 크기 및 형상

표점부 폭 W	표점거리 L	어깨부반지름 R	시편두께 t
6.25mm±0.05	25mm±0.05	6mm이상±0.05	2mm

### 나. 인장시험

준비된 표점거리 25mm의 표준 인장시험편을 만능시험기를 이용하여 상온 및 고온 인장시험을 실시하였다. 상온 인장 시험은 25℃, 고온 인장시험 온도는 550, 600, 650℃에서 실시하였으며, 인장시험 시 변형속도는 분당 2mm로 하였다. 인장 시험편에 열전대를 용접하여 시험편 표점거리 내의 온도를 목표온도 ±1℃ 이내로 조절하였다.

### 다. 크리프 파단 시험

크리프 파단 시험은 대기 중에서 일정 하중 조건으로 실시하였으며, 300 시간에 파단되도록 응력조건을 설정하였고, 시험온도는 600, 620, 625, 630 및 650℃로 설정하였다.

### 라. 가속계수 및 수명시험 설계

아레니우스 모델을 적용한 가속계수를 사용하여 신뢰도 가속계수를 산출한다. Creep활성화 에너지

지는 합금종에 따라 60,000~70,000cal/mole 사이에 있다(Galopalo, 1966). 평가대상 소재의 탄소 함량이 중량비로 0.11%이어서 가장 낮은 활성화 에너지인 60,000cal/mole(=2.604 eV/atom)을 적용하면 사용온도 450℃에 대한 시험온도 650℃의 가속계수는 8,157로 계산된다. 따라서 이론적인 가속계수는 8,000배 이상이다. 그러나 Larson- Miller(LM)계수의 계산에서는 일반적으로 0.2~5배정도의 수명 오차를 인정하므로 안전하게 적용할 수 있는 가속계수는 1,600배(이론값의 1/5)정도로 추측된다.

한편, 신뢰도 99%수준에서 99% 백분위수명을 보증하기 위한 시편갯수를 산출에 필요한 형상모수(m)는 Weibull plot으로 구하였다. 시험결과중 시험온도는 다르나 50MPa의 응력으로 동일하게 시험한 4개의 결과로부터 Larson-Miller지수를 구하고, 이로부터 650℃의 시험조건으로 환산한 환산시험 시간을 구하면 표 3과 같다.

표 3. 환산시험 시간 및 와이블 플롯을 위한 계산 값

번호	650℃ 환산 시험시간(hr)	순위	역순위	해저드	누적해저드	ln(관측값)	ln(누적해저드)
1	267	1	4	25.000	25.000	5.588	3.219
2	303	2	3	33.333	58.333	5.713	4.066
3	318	3	2	50.000	108.333	5.763	4.685
4	410	4	1	100.000	208.333	6.016	5.339

※ 4번 시료는 실제 650℃ 실험 결과임, 1-3번 시료는 파단전에 중지한 시험 결과임

이 환산 data를 가지고 Weibull plot을 하면 그림 4와 같으며, 이로부터 형상모수(m) 4.7729가 구해진다.

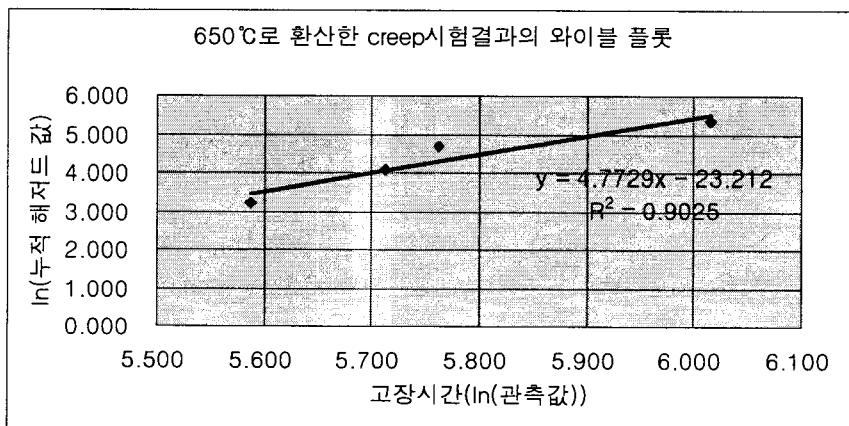


그림 1. 환산시험결과로부터 구한 Weibull plot 결과

이제 가속계수를 충분히 작은 값인 1,600배로 취하고, Weibull plot에서 구한 형상모수값과 허용 고장수(c= 0) 을 넣어서 99% 신뢰수준으로 B1=20년 수명을 평가할 때 필요한 시편 수를 식(1)에 의해 계산하면 최소 시편수는 0.9개 이상이다. 따라서 본 시험평가에서는 6개의 시험편(동일 응력 시험 4개)을 사용하여 시험소재의 20년 수명을 신뢰수준 99%로 평가하였다.

$$n \geq \left( \frac{t^*}{Afh} \right)^m \times \frac{\chi^2_{\alpha}(2c+2)}{2} \times \frac{1}{\ln(1-p)^{-1}}$$

여기서 Af는 가속계수, h는 시험시간, t\*는 보증수명(20년), p = 0.01 그리고 c = 허용고장수를 나타낸다.

#### 마. 수명분포 추정

표3의 데이터를 이용하여 MINITAB에서 와이불 분포의 모수를 추정하면 형상모수는 6.3125, 척도모수는 556,493시간, 평균수명은 517,709시간으로 추정되었다(그림 2 참조).

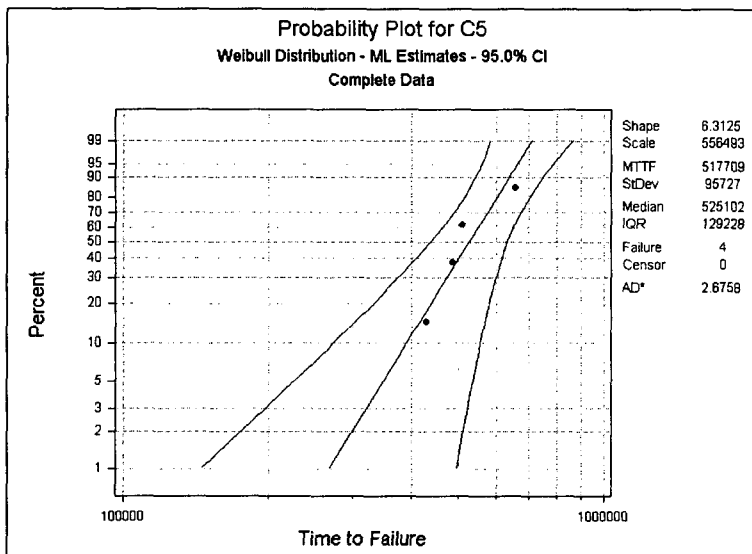


그림 2. Weibull Plot 결과

### 3. 신뢰성보험 요율 산출

손해보험의 요율을 산출하는 방식에는 과거의 보험요율을 손해율의 변화에 따라 인상 또는 인하하는 방법인 손해율법(loss ratio method)과 종래의 요율 유무와 관계없이 보험요율을 산출하는 방법인 순보험료법(pure premium method)의 두 종류가 있다(한국손해보험요율산정회, 1988). 신뢰성보험의 경우 2003년도에 개발되어 시판된 만큼 손실빈도(loss frequency) 및 손실규모(loss severity) 등 기초통계가 없을 뿐만 아니라 국내외의 유사상품도 전무하여 경험통계에 입각한 요율산출은 현실적으로 불가능하여 통계 이론적으로 접근하는 방법이 유일하다고 판단된다. 즉, 2장에서 언급된 고장데이터에 기초하여 연간보험요율을 산출하는 방법이다. 결국 신뢰성 보험의 요율은 개별요율(individual rate)방식의 예정요율제(schedule rate)를 따르는 것이 합리적일 것이다. 예정요율제는 개별

리스크의 물리적 특성에 따라 정해진 만큼의 요율을 인상 또는 인하하는 방식(이경룡, p. 270)으로 최근 신뢰성분석에서 확산되고 있는 고장물리(physics of failure)적 접근 방식이 매우 중요하다.

이제 합금무계목인발강관의 보험요율을 고장물리에 입각한 방법으로 산출한다. <표 3>가 <그림 2>로부터 추정된 와이블 생존분포를 이용하여 연간고장률을 구하면

$${}_1q_x = \frac{S(x) - S(x+1)}{S(x)}, \quad 0 = 1, 2, \dots$$

이다. 여기서  ${}_1q_x$ 는  $x$  년과  $x+1$ 년 사이의 고장률을 의미하며

$$S(x) = \exp\left[-\left(\frac{x}{556493}\right)^{6.3125}\right],$$

이다. 이로부터 인증기준  $B1=20$ 년, 인증신뢰수준 99%, 연평균사용시간 7,860시간이라는 전제하에 합금무계목인발강관의 신뢰성보험상품의 연간예정고장률 산출은 0.695%이다. 여기서 연간사용사이클빈도와 보증기간이 달라지면 고장률도 달라짐을 알 수 있으며 보험료는 부보대상기업의 매출액 규모, 사업비율(통상 15% 책정), 안증할증률(일반적으로 10~15%)을 적용하여 보험료율을 책정한다.

앞으로 충분한 경험통계가 집적되면 손해율법이나 신뢰성(credibility)이론 등을 적용하여 요율을 조정할 수 있을 것이다. 이에 대한 조정방법은 다음 연구과제로 남겨둔다.

## 참고문헌

1. 이경룡, 보험학원론, 영지문화사, 2002
2. 한국수출보험공사, 신뢰성보험약관, 2003
3. 한국손해보험요율산정회, 손해보험요율산정의 기초이론, 1988
4. 홍연웅 외 5인, 신뢰성인증보험제도의 개발에 관한 연구, 춘계학술대회논문집, 235-239, 안전경영과학회, 2001.
5. MINITAB Release 13, Minitab Inc., 2002