

Premium Rate of Insurance for Radiators

Yeon Woong Hong¹⁾

Abstract

In this paper, we propose the pure premium rate of reliability insurance policy for radiators under the assumption of Weibull physics of failure. We also describe the performance factors which have an effect on failure characteristics of radiators. The maximum likelihood estimates of scale and shape parameters for assumed distribution are obtained by using accelerated life test data of sample sizes 5 using MINITAB.

Keywords : maximum likelihood estimator, premium rate, radiator, reliability insurance, Weibull distribution

1. 서론

신뢰성보험제도(Reliability Insurance System)는 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. 신뢰성보험은 부품·소재업체가 제조물을 수요기업에 판매함에 따라 안게 되는 위험인 부품·소재의 결함 등으로 인한 보증책임, 회수비용, 배상책임 및 기업휴지위험 등을 종합하여 담보한다. 동 제도의 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.

신뢰성보험이 담보하는 위험에는 제조물보증(PG; product guarantee)책임, 제조물회수(PR: product recall)비용, 제조물배상(PL: product liability)책임 및 기업휴지(BL: business interruption)위험의 네 가지가 있는데, 주요내용은 다음과 같다. 첫째, 제조물보증책임에서는 부품·소재업체가 제조, 판매한 제조물이 양도된 후, 부품·소재의

1) Dept. of Electronic Commerce and Industrial Engineering, Dongyang Univ., Kyungbuk, Korea
E-mail : ywhong@phenix.dyu.ac.kr

결함으로 법률상 배상해야 할 손해 중에서 수리비용 또는 대체가격을 담보한다. 둘째, 제조물회수비용담보부분은 부품·소재업체가 제조·판매한 부품이 회수가 불가피하게 된 경우 회수에 따른 제반비용 보상한다. 셋째, 제조물배상책임은 부품업체가 제조·판매한 부품이 양도된 후 그 제조물로 인하여 발생한 제3자의 신체상해 또는 재물손해로 부품업체가 부담하여야 할 법률상 손해배상금액을 담보한다. 끝으로, 기업휴지위험담보에서는 부품업체가 제조·판매한 부품이 제3자에게 양도된 후 그 제조물의 결함으로 인해 제3자에 기업휴지손해가 발생한 경우 그 상실이익을 담보하도록 설계된 보험 상품이다.

신뢰성보험을 설계하는 과정에서 무엇보다 중요한 것은 보험요율을 합리적으로 설정하는 일이다. 보험료가 적정수준을 초과하여 설계될 경우 피보험자인 부품 및 소재를 생산하는 중소기업이 보험가입을 기피하게 될 것이며, 보험료가 적정수준 보다 저렴하게 책정될 경우 보험운영주체의 경제적 손실이 누증되어 정상적인 보험운영이 이루어 질 수 없기 때문이다. 보험요율은 보험상품개발의 필수 요건이다. 요율은 철저하게 경험통계(experienced data)를 기초로 산출되어야 하지만, 신뢰성보험의 경우 국내 외를 막론하고 보험상품을 설계하는데 가용할 경험통계가 전무한 실정이다.

본 연구에서는 자동차용 방열기에 대한 실험실통계, 특히 가속수명시험자료를 이용하여 신뢰성보험의 요율을 산출하는 방법을 제시한다. 이를 위해 방열기의 고장형태와 원인분석(FMEA : failure mode and effect analysis)을 시행하여 본다. 이는 보험금 지급 사유에 어떤 요인들이 있을지 사전에 파악하는 의미뿐만 아니라 사고 예방에도 도움을 줄 것으로 기대된다. 이를 토대로 획득된 수명자료를 설명하는 고장분포를 추정하고 이로부터 보증기간 동안의 연간 평균 고장률을 산출하는 방법으로 신뢰성보험의 순보험요율을 산출한다.

2. 리스크 분석

방열기의 잠재적 고장형태를 분석한 결과 초기의 방열성능과 장기주행후의 방열성능을 파악하여야 한다. 차량의 진동, 온도 조절기의 작동에 의한 고온의 냉각수의 단속적인 공급에 의한 열충격 및 반복가압에 의한 고장, 방열기의 기밀과 내압성능의 결함, 압력캡의 개변압과 내구성 결여, 외부 환경과 내부 냉각수에 의한 부식에 의한 고장과 탱크에 사용되는 수지의 내부동액성능의 결여, 고온의 냉각수에 의한 드레인콕과 패킹용 오링(O-ring)의 열화정도 등이다. 방열기의 결함은 규정된 부동액을 사용하지 않아 생긴 막힘 등을 제외하면 누설에 의한 고장이 주된 고장이다. 국내 A사의 방열기 보증정비통계를 분석한 결과 <표 1>와 같다. 접촉불량으로 인한 고장이 26%로 가장 많으며 기밀부량, 과충전의 순서로 나타났다. 이를 잠재적 고장형태별로 살펴보면 <표 2>와 같다[5, 6, 7].

<표 1> 결함 원인별 분포(%)

결함 원인	접촉 불량	기밀 불량	과충전	마모	소손	막힘	파손	주물 불량	기타
건수	26	8	4	4	4	2	2	2	48

<표 2> 방열기의 잠재적 고장형태 및 영향분석

잠재적 고장 형태	고장의 잠재적 영향	심각도	고장의 잠재적 원인/발생 과정
초기 방열 성능 부족	타 System 영향: 엔진 관련 부품 손상 주행/정지시 냉각수 유출로 인한 불만	9	방열 성능 부족
		9	냉각 Fin 손상
		9	Tank내 냉각수 유동 불량
		9	System내 공기빼기 불량
장기 주행 후 방열 성능 부족	타 System 영향: 엔진 관련 부품 손상 주행/정지시 냉각수 유출로 인한 불만	9	Core 외부 이물질 유입
		9	Tube내 이물질로 인한 냉각수 유량감소
누수	타 System 영향: 엔진 관련 부품 손상 소비자 불만:	9	Tube와 Header간의 용접 불량
		9	Tube 불량
		9	피로 파괴에 의한 Tube 균열
		9	Gasket 재질 불량
		9	Hose 연결부 누수
		9	TOC 조립부 누수
절손	타 System 영향 : 간섭에 의한 파손 소비자 불만 : 이음발생	7	Tank 내구성 부족
		7	적절하지 못한 체결력
체결력 불량	타 System 영향 : 간섭에 의한 파손 소비자 불만 : 이음발생	7	Tank 내 Nut 고정 불량
		7	Tank 내 Nut 고정 불량
Tube 파손	타 System 영향 : 엔진 관련 부품 손상	9	피로 파괴에 의한 Tube 균열
Mounting pin 파손	타 System 영향 : 간섭에 의한 파손 소비자 불만 :이음발생	8	Mounting pin 강성 부족
Bracket 이탈	타 System 영향 : 간섭에 의한 파손 소비자 불만 :이음발생	8	Mounting Bumper와 Matching 불량
		8	Body panel 변형
냉각수교환불편	소비자 불만	2	Drain Cock 풀림 Torque 과다
교환후 재조립시 누수	타 System 영향 : 엔진 관련 부품 손상	7	Drain Cock이 열에 의해 변형

3. 고장분포 추정

일반적으로 와이블분포는 기계류의 수명 묘사에 적합하다고 알려져 있다. 와이블 분포에서 제2종 오류 β , 합격판정개수 c 가 주어지면 표본크기 n 은 다음과 같이 얻어진다.

$$n \geq \frac{\chi_{\beta}^2(2(c+1))}{2F(t)} \quad (1)$$

여기서 $F(t)$ 는 와이블분포의 누적확률이고, χ_{β}^2 는 카이제곱분포의 $100(1-\beta)\%$ 백분위수이다. 또한 와이블분포의 위치모수를 0 , 형상모수를 m , MTTF(mean time to failure)를 μ , p 백분위수명을 B_{100p} 라고 하면

$$F(t) = \left[\frac{t\Gamma(1+1/m)}{\mu} \right]^m = \left[\frac{t \cdot \ln(1-p)^{-m}}{B_{100p}} \right]^m \quad (2)$$

이므로 식(2)를 식(1)에 대입하면

$$\frac{t}{B_{100p}} \geq \left(\frac{\chi_{\beta}^2(2(c+1))}{2n \ln(1-p)^{-1}} \right)^{1/m} \quad (3)$$

이다. 식(3)의 관계는 크기 n 인 시료를 t 시간동안 수명시험하여 c 개 이하의 고장이 발생하였을 때 신뢰수준 $100(1-\beta)\%$ 에서 B_{100p} 수명을 보증함을 의미한다. <표 3>은 식(3)에서 $\beta=0.1$, $n=5$ 일 때 형상모수에 따른 시험시간(t)과 B_1 의 비율을 나타내고 있다.

<표 3> 형상모수 및 시료크기별 시험시간의 관계

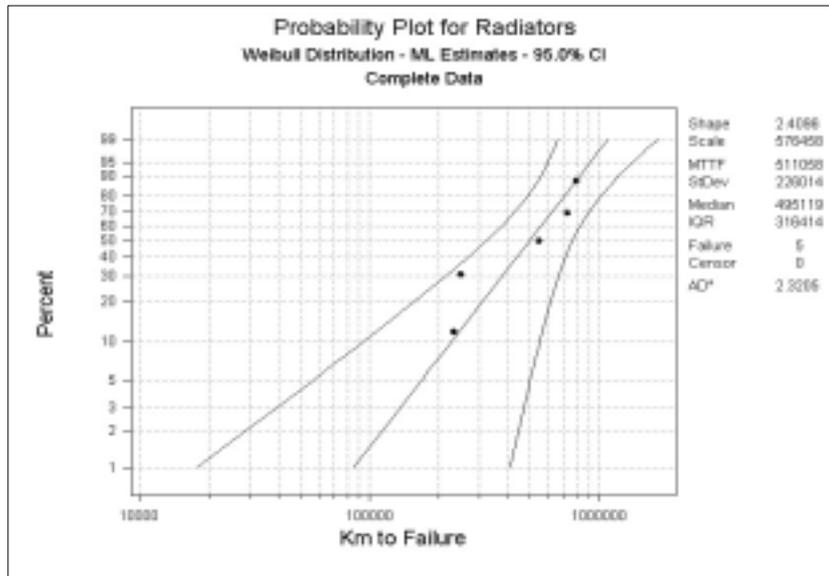
형상모수	t/B_1	
	$c=2$	$c=3$
2	10.291	11.530
2.4096	6.924	7.609
3	4.731	5.104
4	3.208	3.396
5	2.541	2.659

이제 방열기의 신뢰성 보증방식에 대하여 검토한다. 방열기 5 대를 수명 시험한 결

과 주행거리(km) 232,325, 249,386, 543,352, 726,656, 790,633에서 모두 고장이 발생하였으며 이 데이터를 MINITAB을 이용하여 최우추정법으로 추정한 결과 <표 4> 및 <그림 1>에 나타난 바와 같이 척도모수는 576,458, 형상모수는 2.4096 등임을 알 수 있다. 또한 <표 3>에서 $m=2.4096$, $c=3$ 일 때의 $t/B_1=7.609$ 값과 <표 4>의 $B_1=85,422$ km를 곱하면 650,128km로 네 번째 관측된 고장거리 726,656km를 초과하지 않으므로 제1백분위수 B_1 을 보증한다고 할 수 있다. 그러나 합격판정개수를 2로 적용하면 식(3)을 만족하지 않으므로 로트의 신뢰도를 보증할 수 없음을 알 수 있다. 결국 현행 신뢰성 인증체계는 합격판정개수에 따라 상이한 판정이 나올 수 있는 문제점을 내포하고 있어 제도적인 보완이 요구된다고 할 수 있다. 이 문제는 추후에 다룰 예정이다.

<표 4> 주요 모수의 추정 결과

모수	추정치	표준오차	95% 신뢰구간	
			신뢰하한	신뢰상한
평균주행거리	511,058	101,095	346,808	753,097
형상모수	2.4096	0.9039	1.1551	5.0265
척도모수	576,458	112,667	393,009	845,537
중위수	495,119	108,980	321,627	762,196
제1백분위수	85,442	68,292	17,837	409,282
제1사분위수	343,728	108,474	185,179	638,027
제3사분위수	660,142	122,711	458,575	950,308



<그림 1> 방열기 데이터에 대한 와이블 확률지

4. 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 없을뿐만 아니라 국내외의 유사상품도 전무하여 경험통계에 입각한 손해율법 요율산출은 현실적으로 불가능 하여 통계이론적으로 접근하는 방법이 유일하다고 판단된다. 본 연구에서는 3장에서 추정된 고장분포에 기초하여 연간보험요율을 산출하는 순보험료법을 사용한다. 결국 신뢰성 보험의 요율은 개별요율(individual rate)방식의 예정요율제(schedule rate)를 따르는 것이 합리적일 것이다. 예정요율제는 개별리스크의 물리적 특성에 따라 정해진 만큼의 요율을 인상 또는 인하하는 방식(이경룡, p. 270)으로 최근 신뢰성 분석에서 확산되고있는 고장물리(physics of failure)적 접근 방식이 매우 중요하다.

이제 방열기의 순보험요율을 고장물리에 입각한 방법으로 산출한다. <표 4>로부터 추정된 와이בל 생존분포를 이용하여 연고장률을 구하면

$${}_1q_x = \frac{S(x) - S(x+1)}{S(x)}, x=0,1,2,\dots \quad (4)$$

이다. 여기서 ${}_1q_x$ 는 x 년과 $x+1$ 년 사이의 고장률을 의미하며 고장이 발생하지 않을 확률 $S(x)$ 는

$$S(x) = \exp\left[-\left(\frac{x}{576458}\right)^{2.4096}\right], \quad (5)$$

이다. 방열기의 보증거리를 $B_1=85,422\text{km}$ 를 절사하여 80,000km라하고 연간주행거리를 20,000km라고 할 때 연도별 고장률은 다음과 같다.

<표 5> 방열기의 연고장률

연도	누적주행거리	고장률(%)
1	20,000	0.0304
2	40,000	0.1311
3	60,000	0.2678
4	80,000	0.4298
평균		0.2148

$$\begin{aligned} \text{보험료} &= \text{연고장률(또는 연평균고장율)} \times (1+\text{안전율}) / (1-\text{사업비율}) \\ &\times \text{담보부분별가중치} \times \text{조정매출액} \times \text{보상한도계수} \times \text{할인할증요율} \end{aligned} \quad (6)$$

<표 5>에서 산출한 연간고장률을 식(6)에 대입하고 부보대상기업의 조정매출액규모, 품목별 안전율, 사업비율(통상 15% 책정), 안증할증률(일반적으로 10~15%) 등을 적용하여 보험료율을 산출한다. 특히 보상한도계수는 보험계약자의 도덕적위험(moral risk)차단 및 보상한도별 보험료의 형평성을 제고하기 위하여 시장에서 검증된 민간보험사의 기준을 적용함이 타당하다고 판단된다.

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

5. 결 론

본 연구에서는 자동차용 방열기에 대한 신뢰성보험의 요율을 산출하였다. 방열기의 수명이 와이블 분포를 따른다는 가정아래 고장분포의 척도모수와 형상모수를 최우추정법으로 추정하였으며 방열기의 평균 주행거리, 보증기간까지 고장률 등도 같은 방법으로 추정하였다. 방열기의 추정된 고장분포를 토대로 보험료를 산출하는 과정을 제시하고 있다. 경험통계에 기초한 손해율법 등으로 보험료를 산출하거나 할인 및 할증방안에 대한 연구는 향후에도 지속적인 관심을 가져야 할 것이다.

참고문헌

1. 이경룡(2002), 보험학원론, 영지문화사.
2. 홍연웅(2004), 신뢰성 보험료율 체계 연구, 한국수출보험공사.
3. 한국수출보험공사(2003), 신뢰성보험약관.
4. 한국손해보험요율산정회(1988), 손해보험요율산정의 기초이론.
5. KS R 1043 자동차용 방열기- 방열 성능 시험 방법
6. KS R 2022 내연 기관용 방열기
7. RS R 0001 자동차용 방열기 해설서
8. MINITAB Release 13, Minitab Inc.(2002)

[2005년 3월 접수, 2005년 5월 채택]