

환경 온도변화에 대한 자동차용 엔진마운트의 수명 예측

김형민*·위신환*·윤신일**·신익재**·김규로***

자동차부품연구원 신뢰성연구센터*·(주)에나인더스트리 기술연구소**·
경기과학기술대학교 메카트로닉스과***

Lifetime prediction of the engine mount about the environment temperature variation

Hyung Min Kim*·Shin Hwan Wei*·Sin Il Yoon**·Ik Jae Shin**·Gyu Ro Kim***

Reliability Research Center, Korea Automotive Technology Institute*·
R&D Center, ENA Inderstry.**·
Dept. of Mechatronics Engineering, Gyeonggi College of Science and Technology***

Abstract

In order to assess the reliability of engine mount for a vehicles, life test model and procedure are developed. By using this method, failure mechanism and life distribution are analyzed. The main results are as follows; i) the main failure mechanism is degradation failure of engine mount rubber by fatigue failure at dynamic load. ii) temperature is a second factor to affect a failure. iii) the life distribution of engine mount module is fitted well to Weibull life distribution and the shape parameter is 18.4 and the accelerated life model of that is fitted well to Arrhenius model.

Keywords : Engine mount, Failure mechanism, Accelerated life test, Arrhenius model

1. 서론

자동차 산업은 우리나라 경제 전반에 차지하는 비중이 상당히 크며, 주요한 산업으로 자리 잡고 있다. 그러나 최근 국제적으로 경쟁이 날로 심화되어 자동차 부품의 신뢰성향상이 더욱 필요한 실정이나 수명의 평가기술 등이 부족하여 어려움이 뒤따르고 있다. 더구나 선진 자동차 제조회사(Toyota, GM 등)에서는 차량보증에 대한 자체 기술 정립 및 실용화 단계에 이르고 있으며, 국내에서도 차량 보증에 대한 기술개발이 시급한 실정이다.

자동차용 엔진마운트는 엔진 및 미션의 차체 고정 및 지지를 하는 부품으로 엔진 실린더 내 연소 폭발 및 크랭크 기구의 회전 시 발생하는 진동 및 소음의 흡수 또는 절연 기능을 수행한다. 또한 불규칙한 노면 등으로 인한 충격으로 인하여 차체에서 엔진 및 미션으로의 전달을 최소화하며, 진동에 대한 전달률 및 변위 감소로 인한 차량 NVH 특성 향상을 통한 승차감 및 주행 안정성을 높이는 기능성 부품이다. 자동차용 엔진마운트는 신뢰성 향상에 있어 고무 부품의 특성 평가 및 설계기술 확보를 통한 품질 및 성능향상이 곧 전체 기계 및 시스템의 기술 고도화에 꼭 필요한 핵심 기술이라 할 수 있다(이상태 외(2008)). 최근 일류화를 지향하는 선진 제품의 경우 기본적인 기능 외에 저진동, 저소음화 및 작동감 향상 등을 통한 고품질, 고품위, 고 신뢰성 달성을 위해 자동차를 비롯한 대부분의 기계제품에 고무류 부품의 사용이 날로 증가하고 있는 추세이며, 고무류 기계부품에 대한 고도의 해석 및 설계기술이 요구되고 있다. 자동차용 엔진마운트를 포함한 고무류 기계부품의 해석 및 평가에 대한 연구개발 투자는 자동차 방진고무 업계를 중심으로 부품설계 시스템 구축과 내구성 및 신뢰성 향상을 목적으로 진행 되어 왔으며, 그간 이 분야에 대한 국내 연구개발 투자는 다른 기술 분야에 비해 상대적으로 미비하였으나 세계 일류화를 지향하는 제품에 고무류 부품의 사용이 날로 증가하고 품질 및 성능저하에 꼭 필요한 핵심기술이므로 향후 몇 년간의 연구개발 투자는 지속적으로 증가하리라 전망된다.

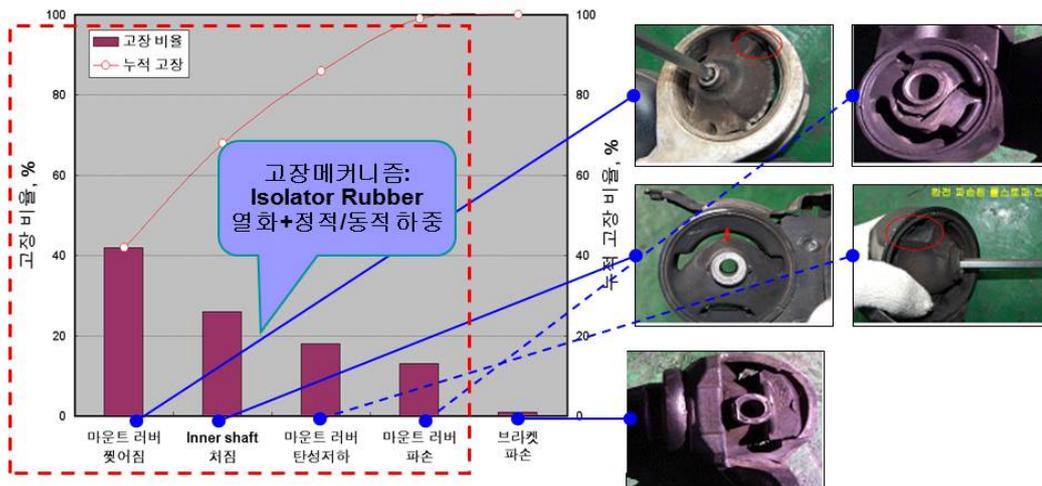
국내 자동차부품 산업은 국제 경쟁력 확보를 위해 글로벌 소싱을 통한 지속적 수출 증가 추세에 있으며, 완성차의 경쟁력 강화를 위한 자동차 부품의 신뢰성 기술력 확보가 필수적이다. 또한 차량개발기간 단축에 따른 신뢰성 평가 및 검증에 소요되는 시간을 줄이기 위하여 가속수명시험법 개발 등이 절실히 요구되고 있으며, 신뢰성 보증을 위한 정량적 수명 목표치를 설정 및 관리하는 것이 더욱 더 중요시 되고 있다.

본 연구에서는 자동차용 엔진마운트의 정량적인 목표수명의 향상을 위해서 기존 엔진마운트의 고장 메커니즘 분석과 현 수준의 신뢰성 수준 즉, 목표수명을 정량적으로 분석하였다. 또한 사용 환경을 고려한 수명평가시험을 통해 엔진마운트의 수명분석 및 수명-스트레스의 상관 식으로 엔진마운트의 수명을 예측하여, 자동차용 엔진마운트의 고온에 의한 열화 문제의 해결과 수요기업의 보증수준의 강화에 따른 목표수명의 증대에 기여하고자 한다 (에나인 더스트리(2012)).

2. 자동차용 엔진마운트의 필드 고장 원인 분석

2.1 엔진마운트의 필드 고장유형 분석

자동차용 방진고무 부품은 차량의 수명기간동안 정숙성 및 승차감을 유지하고, 부품의 보증기간을 확보하기 위하여 높은 내구성이 요구되고 있다. 자동차용 엔진마운트는 방진고무로 이루어져 있고, 이러한 고무부품 대부분은 정적 또는 동적하중을 지속적으로 받고 있다. 또한 이로 인해 피로손상이 누적되어 고장이 발생한다 (전종익 외(2010)). 엔진마운트의 중요 구성품으로는 마운트 브라켓, 몰드 어셈블리로 구성되며, 몰드 어셈블리는 인너 인서트, 아웃터 인서트 및 러버로 구성된다. 엔진마운트의 고장은 주행거리 10만km 전후에 빈번하게 발생되고 있으며, 통상적으로 타이밍 벨트의 교환 시기에 같이 교환하는 경향이 있을 정도로 필드에서 빈번하게 발생되고 있다. 엔진마운트의 필드 고장 유형은 크게 5가지 정도이며, <그림 1>에서 보는 바와 같이 마운트 러버(Rubber)의 파손, 국부적인 찢어짐, 마운트 브라켓의 파손, Inner shaft의 처짐, 마운트 러버의 탄성 저하 등이 발생되고 있으며, 엔진마운트 러버의 파손 및 찢어짐 및 브라켓의 파손의 경우 일반 소비자에게 쉽게 고장으로 인식되지만, Inner shaft의 처짐 및 탄성 저하 등의 고장은 진동 및 소음에 대한 감성이 민감한 소비자에게 특히 고장으로 인식되고 있다. <그림 1>은 필드고장 현황을 분석한 결과이다. 엔진마운트의 고장원인 중 마운트 러버의 찢어짐의 고장이 42%로 가장 많았으며, Inner shaft의 처짐이 26%, 마운트 러버의 탄성저하가 18%, 마운트 러버의 파손이 13%, 브라켓 파손이 1% 정도를 차지함을 알 수 있다. 대부분의 고장이 마운트 러버에 집중되어 발생되고 있음을 알 수 있다.



<그림 1> 엔진마운트의 고장모드 및 누적고장비율

2.2 엔진마운트의 주 고장모드 및 고장 메커니즘 분석

전술한 바와 같이 엔진마운트의 성능 및 수명과 직결되는 것은 마운트 러버 부분이다. 엔진마운트와 같은 고무제품을 열화시키는 요인으로 응력을 주거나 변형이 일어나지 않아도 환경(온도, 습도, 오존, 빛, 유체, 물리적 충격 등) 조건에 의하여 기능이 저하된다. 엔진마운트의 내구성과 관계된 주요특성을 알아보면 다음과 같다. 첫째로 열의 영향이다. 고무의 기능저하는 열에 의하여 촉진되므로 사용가능온도에는 한계가 있고, 사용시간, 고무형상 등에 따라 다르다. 고무의 종류에 따라 그 계략적인 허용 온도의 범위도 현격하게 다르다. 두 번째로 정적 변형의 영향이며, 이로 인한 기능저하로는 처짐현상(영구변형, creep)을 들 수 있다. 피지자체의 위치 변동에 의해 간섭, 스프링 특성의 변화 등 문제가 발생된다. 처짐 현상은 변형량, 온도 등에 지배되고, 그 크기는 경과 시간의 대수 값과 대략 비례관계가 있다. 세 번째로 동적 변형의 영향이다. 엔진마운트 고무에 균열을 발생시키는 주원인이며 변형을 최소로 할 필요가 있다. 네 번째로 오존의 영향이 있으며, 이에 의해서 인장의 직각방향으로 국부적인 균열이 발생한다. 이 균열은 대기 중의 오존농도, 인장응력의 크기, 일광, 습도의 영향을 받는다. 마지막으로 기름이나 약품을 고무를 팽윤시켜 수명을 저하시키거나 고무와 금속의 접촉면에 침투해서 박리시킬 위험성 등이 있다. 엔진마운트의 잠재적 고장형태와 그 영향을 분석해보면 고장 요인으로는 엔진마운트에 계속적인 피로하중으로 방진고무의 기능이 저하되어 방진고무의 탄성의 저하가 발생되며, 요철이 심한 도로를 장시간 고속주행 할 경우 엔진룸의 온도가 상승되어 방진고무의 노화를 촉진하게 되어 마운트 러버의 탄성저하나 찢어짐이 발생하게 된다. 이러한 여러 가지 환경적 요인 중 엔진마운트의 주 고장메커니즘은 고온의 분위기 온도에 따른 엔진마운트 고무의 열화와 하중에 의한 피로파괴이다. 이는 엔진룸의 고온 환경이 주원인이며, 온도상승에 대한 영향측면을 고려하여 온도에 의한 열화 즉, 엔진마운트 고무의 노화에 대해 분석하였다. 따라서 엔진마운트의 필드고장원인에 따른 고장모드 및 메커니즘을 알아보면 <표 1>과 같다.

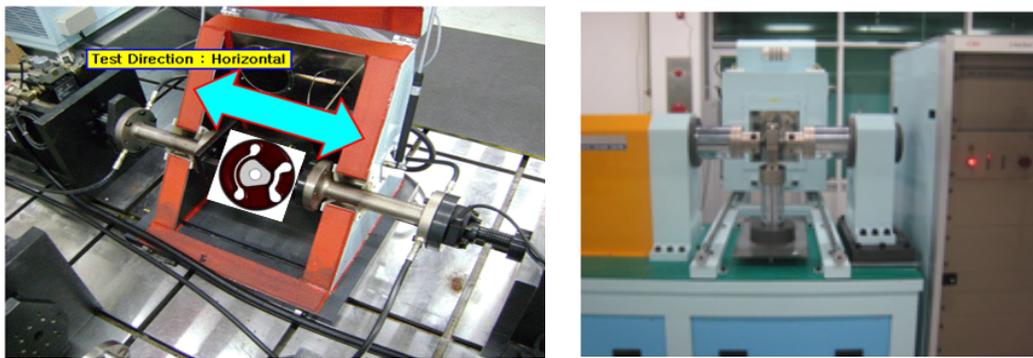
<표 1> 엔진 마운트의 파손 및 변형 메커니즘

구성 부품	고장 모드	잠재적 원인
Mount Rubber	파손	정적 및 동적 하중 피로+고무의 고온/오존 열화
	찢어짐	정적 및 동적 하중 피로+고무의 고온/오존 열화
	탄성 저하	정적/동적 하중 피로+고무의 고온/오존 열화(경화)
Out Insert	변형	외부의 과도한 정적, 동적 하중 작용 강도 및 응력 설계 부적합
	부식	염분에 의한 부식
Inner Insert	마모	볼트 체결부와의 유격에 의한 마모
	틀어짐	Outer Insert의 압입부 설계 부적합
	변형 및 파손	충돌 등 외부의 과도한 기계적 힘 작용 강도 및 응력 설계 부적합

3. 엔진마운트의 수명평가지험 방법 및 결과

3.1 가속수명시험 장치 및 방법

본 연구에서는 자동차용 엔진마운트의 신뢰성 수준을 분석하기 위하여 엔진룸 환경을 고려하여 가속수명시험을 실시하고 이에 대한 수명분석을 실시하였다. <그림 2>는 엔진 마운트 단품의 수명시험 장치를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 온도환경에서 시험할 수 있는 온도 챔버와 피로 시험기가 결합된 복합 피로시험기, 하중 피로 시험기를 볼 수 있다. 엔진 마운트의 피로 수명은 직접적으로 엔진마운트 고무의 열화 및 하중 피로에 의한 파손이므로, 시험을 용이하게 하기 위하여 엔진마운트에서 엔진 브라켓이 제거된 몰디드 어셈블리 형태로 시험을 수행한다. 엔진마운트는 이너 인서트, 아웃터 인서트, 러버로 구성된다.



<그림 2> 엔진마운트의 수명시험 장치

엔진마운트의 주 고장모드인 엔진 마운트 고무의 하중에 의한 크랙 파손은 고온의 분위기 환경에서의 온도에 의한 열화 및 고온 분위기 하의 물성변화에 의해 발생할 수 있다. 고장은 엔진마운트 내의 마운트 러버의 크랙으로 정의한다. 엔진마운트의 사용 환경 변화에 따른 수명분포를 파악하기 위해 각 온도 수준별 한계 내구시험을 각 온도조건 별 5개의 시료로 모두 고장이 발생할 때 까지 시험을 실시하였다. 시험 하중은 완성차의 요구수준인 $\pm 3,500$ N, 시험주기는 시험시간을 고려하여 2 Hz의 조건으로 수행하였으며, 수명데이터의 분석을 위하여 분위기 온도는 상온 및 95℃에서 수명시험을 진행하였다. 여기서 고온의 온도조건인 95℃ 조건은 차량의 엔진룸 환경 온도조건을 참고하였다.

3.2 엔진마운트의 수명평가 시험결과

엔진마운트 주 고장모드는 고온의 분위기 온도에 따른 엔진마운트 고무의 열화와 하중에 의한 피로파괴이다. 본 연구의 핵심은 엔진 배기관과 엔진 마운트가 인접함에 따른 고온에 의

한 열화 문제의 해결과 보증수준의 강화에 따른 목표 수명의 증대이다. 시료는 모두 10개로 시험하였으며, 고온내구와 상온내구를 각각 5개씩 시험을 실시하였다. <표 2>에서 보는 바와 같이 수명시험을 실시하여 모두 엔진마운트 고무의 크랙 파손을 재현하였다. 이는 모두 필드의 주요한 고장인 피로파괴에 의한 엔진마운트 고무의 브릿지 부의 크랙으로 모두 동일한 경향이다. 이를 통해 해당 제품에 대한 수명시험 결과가 필드의 고장모드를 잘 재현하고 있음을 알 수 있다.

<표 2> 엔진 마운트의 상온 및 고온 내구 시험 고장시료



<표 3>은 엔진마운트 고무에 대한 상온 수명 시험 결과 얻은 수명시험 데이터를 나타낸 것이다. 상기의 모든 시료에서 고장은 엔진 마운트 고무의 크랙 파손이 발생하였다. 표에서 보는 바와 같이 수명시험에 사용된 시료는 모두 5개 이며, 이들 각각의 수명은 최소 60만회에서 82만회로 현저히 차이가 나는 것을 알 수 있다.

<표 3> 엔진마운트 고무의 상온 수명데이터

Sample No.	Temperature	Life (Cycles)	Failure Mode
1	23±3 ℃	773,000	Bridge Crack
2	23±3 ℃	765,000	END Bridge Crack
3	23±3 ℃	691,000	END Bridge Crack
4	23±3 ℃	719,000	Bridge Crack
5	23±3 ℃	828,000	Bridge Crack

<표 4>는 고온 분위기인 95℃의 사용 환경 하에서 샘플 수 5개에 대해 수명시험을 실시하여 모두 몰디브 어셈블리 내의 엔진 마운트 고무의 크랙 파손을 재현하였다. 표에서 보는 바와 같이 수명시험에 사용된 시료는 모두 5개 이며, 이들 각각의 수명은 최소 32만회에서 37만회로 현저히 차이가 나는 것을 알 수 있다.

<표 4> 엔진마운트 고무의 고온내구 수명데이터

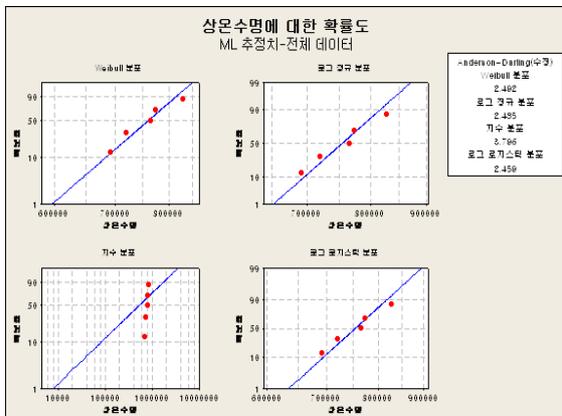
Sample No.	Temperature	Life (Cycles)	Failure Mode
1	95±3 ℃	341,000	Bridge Inside Crack
2	95±3 ℃	372,000	Bridge Crack
3	95±3 ℃	324,000	END Bridge Crack
4	95±3 ℃	352,000	END Bridge Crack
5	95±3 ℃	326,000	Bridge Crack

이러한 시료별 수명시험 결과의 차이는 시료별 품질 및 신뢰성 편차에 의해 발생하는 것으로 당연한 결과이다. 따라서 상기의 결과로부터 수명을 분석하기 위하여 통계적 분석을 실시한다.

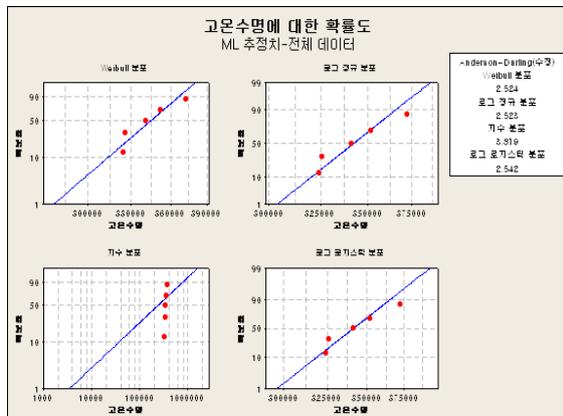
4. 엔진마운트의 수명평가지험 결과 해석

4.1 엔진마운트의 수명평가지험 결과 분석

엔진마운트 고무에 대한 상온 및 고온 수명 시험 결과로 얻은 수명시험 데이터로부터 수명 분포를 수명 편차를 고려하여 다음과 같이 통계적으로 해석하였다. 상온에서의 시험 결과로부터 <그림 3, 4>와 같이 수명 분포의 적합성을 검토하였다. 여기서 수명분포의 해석에 사용된 수명 데이터는 <표 3, 4>의 수명데이터를 사용하였다. 수명 분포의 적합성은 상용 수명 해석 프로그램인 MINITAB을 사용하였으며, 수명 분포로는 Weibull, Lognormal, Exponential, normal 분포에 대해서 검토하였다. 수명 분포의 적합성을 나타내는 척도로는 Anderson Darling (AD) 값을 사용하였다. 이 AD 값은 분석자에게 관측된 자료가 어떤 분포에 가장 잘 적합한지를 판단하는 정보를 제공해주며 동일한 수명 자료를 다수의 분포에 적합 시켰을 때 AD 값이 가장 작은 값을 갖는 분포가 가장 적합하다는 것을 의미한다 (위신환 외(2007)). <그림 3, 4>에서의 그래프 양상 및 AD 값의 크기로부터 엔진마운트의 수명 분포를 해석 하는데 Weibull 분포가 가장 적합함을 알 수 있다. 따라서 엔진 마운트 고무의 수명해석을 하는데 있어, 상온 내구 시험결과로부터 통계적 수명해석을 위한 수명분포는 Weibull 분포로 해석하였다.

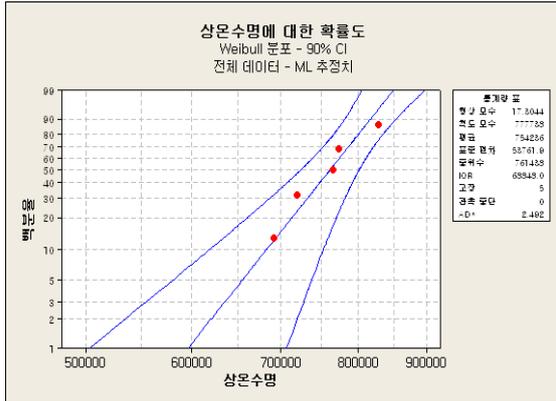


<그림 3> 상온내구수명분포의 적합도 분석

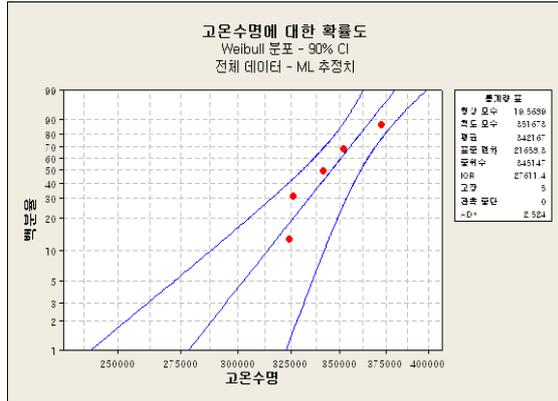


<그림 4> 고온 내구 수명분포의 적합도 분석

Weibull 분포를 적용하여 최우 추정법으로 상온 및 고온 조건에서의 수명데이터에 대한 형상 모수(Shape parameter)와 척도 모수(Scale parameter)를 추정한 것이 <그림 5, 6>이다. 형상 모수는 상온조건에서 하중 $\pm 3,500$ N에서 형상모수는 17.3, 고온조건에서 하중 $\pm 3,500$ N에서 형상모수는 19.5, 정도이며, 상기와 같이 큰 형상모수를 보이는 것은 제품의 품질 산포가 상대적으로 작음을 보이는 것을 나타낸다.



<그림 5> 상온내구 시험결과의 확률도



<그림 6> 고온 내구 시험결과의 확률도

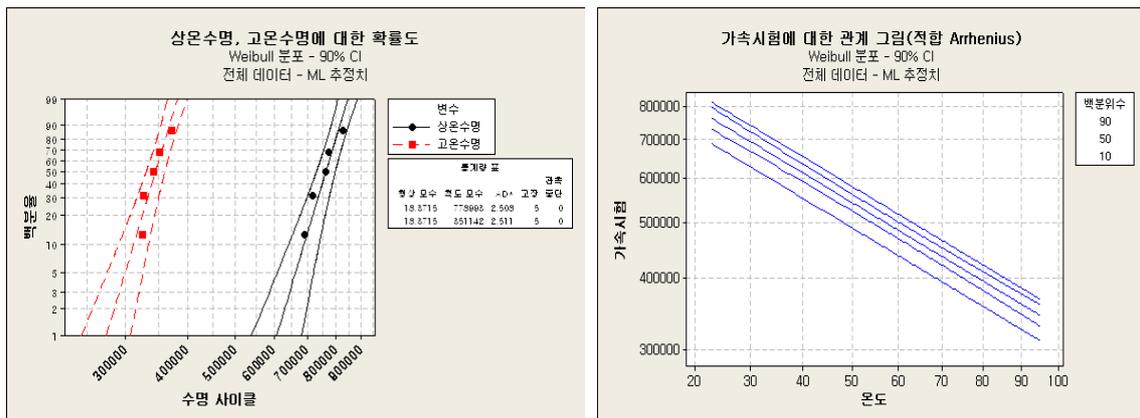
B_x 수명은 특정 비율의 제품이 고장나는 시간을 백분위수로 표현한 것으로 B_{10} 수명은 아이템의 누적 고장확률이 10%가 되는 시점을 말한다. 상기와 같이 기존의 평균수명을 사용하지 않는 것은 평균 수명은 아래의 그림과 같이 A제품과 B제품의 품질 및 수명산포를 무시한 결과이며, 실제 필드에서 발생하는 고장은 극히 낮은 수준이기 때문에 사용하는 것이다. 또한 신뢰수준(Certainty level)은 상기 수명에 대한 신뢰할 수 있는 확률로 일반적으로 70% 또는 90%가 통상적으로 사용되며, 60% 또는 50%도 시료수와 시험기 및 시험시간의 제약으로 사용되기도 한다.⁽⁵⁾ 백분위 표로부터 엔진마운트의 B_{10} 수명은 신뢰수준 90%수준에서 상온 68만 사이클, 고온 31만 사이클 수준임을 알 수 있었다.

4.2 엔진마운트의 가속수명시험에 대한 가속성 검증

엔진마운트의 수명을 절대적으로 좌우하는 엔진 마운트 러버에 대한 수명시험 결과로부터, 엔진마운트의 수명에 미치는 온도의 영향을 분석하였다. 엔진마운트의 상온과 고온 내구에서의 형상모수는 17.3과 19.5로 약간 차이를 발생한다. 온도에 따른 엔진마운트 러버의 수명에 대한 가속성 검증을 정량적인 통계 값으로 확인하기 위하여 2 수준 스트레스에서의 형상모수 β_i 에 대한 동일성 검정을 실시하였다. 공통의 형상모수의 추정치를 β^* , 그리고 각 수준에서의 형상 모수 추정치 및 그 분산을 각각 β_i, V_i 라 할 때 검정통계량은 다음 식(1)과 같이 표시된다.

$$Q = \sum_{i=1}^4 [(\beta_i - \beta^*)^2 / V_i] \tag{1}$$

이는 근사적으로 자유도가 3인 카이자승 분포를 따르며, 상기의 식에 의한 카이자승 검정 결과, 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 P-value가 0.975로 0.05보다 크므로 각 두 수준의 스트레스에서의 형상 모수가 동일하다고 볼 수 있으며, 엔진마운트의 시험 결과는 온도에 따른 가속성이 성립한다고 볼 수 있다. 상기의 결과로부터 상온 내구 시험 결과와 고온수명시험결과에 대한 형상모수를 동일하게 추정한 결과 형상모수는 18.4로 동일한 것을 알 수 있다. 상기의 수명분석의 결과로부터 상온(23℃)에서 고온(95℃)로 분위기 온도가 70℃정도 상승함에 따라 제품의 수명은 68만회에서 31만회로 54% 정도 급격히 감소함을 알 수 있다. 상기와 같이 제품의 수명이 동일한 하중임에도 불구하고 온도에 따라 현저히 차이가 나는 것은 온도에 의한 가속성이 있음을 나타내는 것으로 온도에 따른 가속성을 검증하였다. 상온(23℃)과 고온(95℃)의 분위기 온도에서의 수명시험 결과를 와이블 분포 및 동일한 형상 모수로 설정하여 확률지에 도시하고 사용자 환경에서의 수명을 추정한 결과를 <그림 7>에 나타낸다.



<그림 7> 고온 및 상온의 내구 수명 사이클 비교 <그림 8> 고온 및 상온의 내구 수명 사이클 비교

상기 그림에서 타점과 함께 있는 선들은 각 상온과 고온 온도 수준별 시험 결과에 대한 수명 분포 해석 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 동일한 형상 모수 $\beta=18.4$ 로 추정하여 타점한 각 수준별 수명 데이터가 대체로 양측 신뢰 구간(confidence interval)내에 있음을 알 수 있다. 또한 동일한 형상 모수에 대해 척도 모수가 778,993과 351,142로 차이를 보이는 것도 가속성을 입증하는 것이다. 가속 인자인 시험 온도와 척도 모수와의 관계를 나타내는 아레니우스 모형을 적용하여 두 변수인 수명과 온도 스트레스의 관계를 해석한 결과가 <그림 8>이다. 그림에서 보는 바와 같이 $\ln(L)$ 과 $1/T$ 이 선형적인 관계임을 알 수 있으며 이는 아레니우스 모형에 근거한 수명식을 다음 식 (2)와 같이 적용할 수 있다.

$$N = A \cdot \exp\left(\frac{E}{k \cdot T}\right) \quad (2)$$

여기서 N 은 엔진마운트 고무의 수명 사이클을 나타내며, 상수 A 는 엔진마운트 고무의 재료 및 시험방법에 따른 상수를 나타내며, k 는 볼츠만 상수를 T 는 온도 그리고 E 는 활성화에너지를 나타낸다. 시험결과 얻어진 회귀분석 <표 5>를 통해 다음과 같이 엔진마운트의 제품 수명식의 미지항인 상수 A 와 활성화에너지 E 는 다음과 같이 구할 수 있다. 그 결과 수명식의 미지항인 엔진마운트의 활성화에너지($E=0.10eV$)와 특정 상수($A=1.32 \times 10^4$)로 해석되었다. 상기와 같이 엔진마운트의 수명을 좌우하는 엔진마운트의 고무 소재를 고려할 때 활성화에너지가 0.6 ~ 0.8의 값을 가지지 않고 $E=0.10eV$ 인 것은 고무 소재 자체의 열화에 의한 고장보다는 시험시간이 72시간이라는 단시간 내에 발생하므로 열화보다는 분위기 환경온도가 고무 소재의 탄성 등 물성치에 미치는 영향에 의해 고장이 발생하기 때문이다.

<표 5> 개선 전 샘플에 대한 회귀분석 표

예측 변수	계수	표준 오차	Z	P	90.0% 정규 CI	
					하한	상한
절편	9.49139	0.159758	59.41	0.000	9.22861	9.75417
Temp	0.103979	0.004494	23.14	0.000	0.096587	0.111372
형상 모수	18.3715	4.41113			12.3772	27.2687

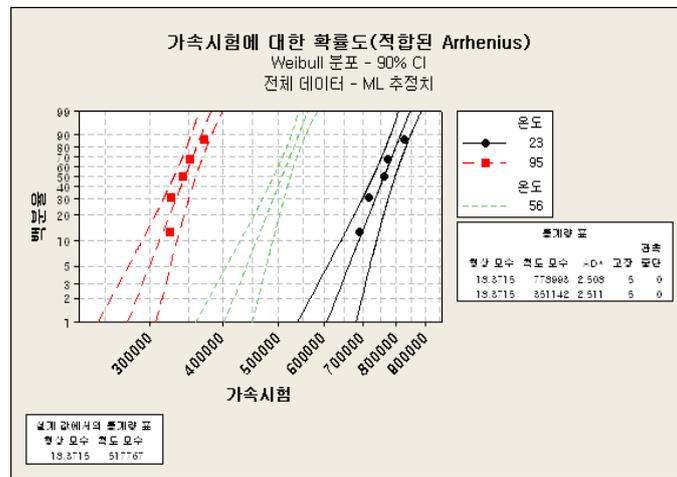
4.3 엔진마운트의 사용 환경에 따른 보증 수명 해석

자동차용 엔진마운트의 사용 환경에 따른 도로상황별 온도 차이는 주행속도에 엔진 및 배기관 발열과 차량속도에 따른 유입공기에 의한 냉각의 차이로 발생한다. <표 6>은 국내 도로별 엔진마운트의 엔진 마운트의 평균온도 및 최고온도를 나타낸 것이다. 여기서 대표 도로는 도로별 온도치를 대표할 수 있도록 통계적인 분석을 통해 얻어진 도로이다. 일반적으로 통계적인 분석을 위해서는 각 도로별 사용자의 운행 비율 등을 고려하는 방법이 있으나, 이 경우 다양한 사용자를 대상으로 해서 장기간에 걸친 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 국토해양부의 국내의 각 주행도로별 상황을 고려하여 산출한다. 즉 일반사용자의 각 도로별 운행비율은 각 도로 비율과 같다는 전제하에 산출된 것이다. 그 결과 대표 도로의 평균 온도는 약 43 °C 정도이며, 최고 온도는 56 °C 정도이다. 상기의 결과는 외기온도가 (29±2) °C에 측정된 결과로 전국 18개 시의 월 평균온도 26.9 °C는 물론 최고 온도를 보인 제주도 또는 목포시의 28 °C보다 높은 온도에서 측정된 값으로 충분한 대표성을 보이는 것으로 볼 수 있다. 따라서 대표도로의 최고 온도인 56 °C와 시내 도로의 최고 온도 65.7 °C를 사용 환경의 온도의 대표 값으로 설정해도 충분할 것으로 판단된다. 각 도로별 평균 온도는 주행 속도가 낮아 상대적으로 외기 유입 공기가 적은 시내 도로의 경우가 가장 높고, 대표 도로는 지방도와 시내도로의 중간정도임을 알 수 있다.

<표 6> 국내 도로별 엔진 마운트의 온도 측정 결과

구 분	고속도로	국도	지방도	시내도로	대표도로
도로 비율	0.30	0.29	0.18	0.23	
평균 온도(℃)	37.7	41.6	39.2	52.8	42.6
최고온도(℃)	44.1	61.6	54.2	65.7	56.0

상온(23℃)과 고온(95℃)의 분위기 온도에서의 수명시험 결과로부터 기존 엔진마운트의 고속도로, 국도, 지방도 및 시내도로를 대표하는 대표도로에서의 수명으로 환산한 것이 <그림 9>이다. 그림에서 보는 바와 같이 B₁₀ 수명은 약 50만회 정도임을 알 수 있다.



<그림 9> 필드사용 온도를 고려한 대표 도로에서의 수명

5. 결론

본 연구에서는 자동차용 엔진마운트에 대해 하중 및 온도에 따른 가속 시험을 수행하였으며, 수명데이터에 대한 통계적 분석을 통해 보증 수명 분석하였다. 그 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 자동차용 엔진마운트의 필드 고장 유형은 크게 5가지 정도이며, 마운트 러버(Rubber)의 파손, 국부적인 찢어짐, 마운트 브라켓의 파손, Inner shaft의 처짐, 마운트 러버의 탄성저하 등이 발생되고 있다. 또한 주요 고장원인에 대하여 분석결과 주 고장모드는 고온의 분위기 온도에 따른 엔진마운트 고무의 열화와 하중에 의한 피로파괴이다.
- (2) 사용 환경온도를 고려한 수명 평가 시험 결과를 토대로 수명 데이터를 획득하여, 수명과 온도의 상관관계를 분석하였다. 그 결과, 수명 분포는 Weibull 분포가 가장 적합하며, 활

성화에너지($E = 0.10eV$)와 특정 상수($A = 1.32 \times 10^4$)로 해석되었다. 또한 제품의 형상 모수는 18.4임이 파악되었다.

- (3) 자동차용 엔진마운트에 대한 도로별 대표 사용환경 온도조건과 와이블 분석 결과를 토대로 엔진마운트의 B_{10} 수명은 약 50만회 정도 인 것으로 분석되었다. 이는 상기와 유사한 자동차용 방진고무 제품 등과 같은 고무류 기계부품의 가속 시험 설계 시 유용한 정보로 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 이상태, 양경모, 박동철(2008), 방진고무 열화가 주행성능에 미치는 영향, 한국자동차 공학회 2008년 학술대회 자료집, 458-458
- [2] 에나인더스트리(2012), 북미 수출형 엔진마운트 모듈의 내구신뢰성 향상, 부품·소재 신뢰성기반기술확산사업, 지식경제부
- [3] 전종익, 강기원, 김주형, 김정규(2010), 방진고무의 피로특성에 미치는 열노화손상의 영향, 대한기계학회 2010년도 신뢰성부문 춘계학술대회 논문집, 161-166
- [4] 위신환 외(2007), 자동변속기 제어기(TCU)의 수명 해석을 위한 가속 시험법 개발, 한국자동차공학회 2007년 춘계학술대회 논문집 4권, 2195-2200
- [5] 산업자원부 기술표준원 편찬위원회(2005), 신뢰성용어 해설서, 90-101