

엔진 조립체의 저장 신뢰도 평가

박종원* · 장무성*[†] · 박태국* · 김유일** · 김선제**

Storage Reliability Evaluation of Engine Assembly

Jong-Won Park* · Mu-Seong Chang*[†] · Tae-Kook Park* · You-Il Kim** · Sun Je Kim**

ABSTRACT

This paper presents a storage reliability evaluation method based on the accelerated degradation test for the engine assembly and parts of the guided missile. The test of the engine assembly is performed at accelerated conditions equivalent to the real storage period, and then the aging condition of parts is checked. For engine parts, performance degradation characteristics are measured periodically at the accelerated conditions and failure times are predicted at each condition. Storage lifetime at normal use conditions is predicted using an accelerated model and failure times at all accelerated conditions.

초 록

유도탄은 일반적으로 양산 후 바로 사용하는 것이 아니라 장기간 저장을 거친 후 사용되므로 운용 신뢰도가 아니라 저장 신뢰도가 매우 중요하다. 본 연구에서는 가속노화시험을 통해 유도탄의 엔진 조립체 및 부품에 대한 저장 신뢰도를 평가하는 방법을 제시한다. 엔진 조립체의 시험은 실제 저장 시간과 등가한 가속 시험조건에서 시험을 수행한 후 각 부품의 노화 상태를 확인한다. 반면, 부품에 대해서는 가속 시험조건에서 주기적으로 성능노화특성을 측정하여 고장시간을 예측한 후 여러 가속 조건의 시험데이터와 가속모델을 이용하여 사용조건의 수명을 결정하는 시험을 수행한다.

Key Words: Storage Reliability(저장 신뢰도), Accelerated Degradation Test(가속노화시험), Accelerated Model(가속 모델), Guided Missile(유도탄), Engine(엔진)

1. 서 론

유도탄은 매우 고가의 장비로서 양산 후 바로 사용(발사)되는 것이 아니고 장기간 저장되는 특성을 반영하여 설계하므로 내부 구성품은 물론

유도탄 자체의 신뢰성도 매우 높게 설정된다[1]. 유도탄은 Fig. 1과 같이 탐색기, 유도조정/열전지, 탄두/신관, 썬스테이너, 구동장치, 부스터, 날개로 이루어지며, 썬스테이너 내부에는 본 연구에서는 다루는 엔진 조립체가 포함되어 있다.

유도탄의 수명 예측은 MIL-HDBK-217의 고장률 예측모형과 같은 기존 문헌을 이용하거나 가속수명시험 또는 가속노화시험과 같이 실제로

* 한국기계연구원 신뢰성평가센터

** 국방과학연구소 제4기술연구본부 5부

[†] 교신저자, E-mail: mirucms@kimm.re.kr

시험을 수행하여 좀 더 현실적인 결과를 예측하기도 한다.



Fig. 1 Structure of Guided Missile[2]

본 연구에서는 가속노화시험을 통해 유도탄의 엔진 조립체 및 부품에 대한 저장 신뢰도를 평가하는 방법을 제시한다. 엔진 조립체의 시험은 실제 저장시간과 등가한 가속 시험조건에서 시험을 수행한 후 각 부품의 노화 상태를 확인한다. 반면, 부품에 대해서는 가속 스트레스 조건에서 주기적으로 성능노화특성을 측정하여 고장 시간을 예측한 후 여러 가속조건 of 시험데이터와 가속모델을 이용하여 사용조건 of 수명을 결정하는 시험을 수행한다.

2. 엔진 조립체 및 부품의 저장 신뢰도 평가

2.1 엔진 조립체

엔진 조립체의 저장 신뢰도 평가는 유도탄의 저장 운용조건에 영향을 미치는 주요 환경 스트레스 인자를 선정한 후, 각 스트레스 인자별 시험시간을 계산하여 시험을 실시한다. 본 연구에서 엔진 조립체의 시험은 일반적인 신뢰성 입증 시험과 유사하지만 선정된 스트레스 인자 모두 연속적으로 실시하며, 또한 수명의 입증보다는 엔진 조립체 부품의 노화 상태를 확인하는데 있다. 즉, 저장시간이 지난 후에 엔진 조립체의 취약 부품을 도출하는 것이다. 주요 환경 스트레스를 모두 고려할 수는 있으나 시험시간이 늘어나고 일반적인 신뢰성 입증시험보다는 가혹할 수 있다.

Table 1은 각 운용조건과 환경 스트레스와의

관련성 유무, 실제 저장시간 중에 각 운용조건의 비율, 사용조건 및 시험조건 그리고 시험시간을 포함하고 있다. 시험시간은 온습도 시험과 온도 사이클 시험으로 구분하여 시험은 연속적으로 모두 실시한다. Table 1의 수치는 모두 임의의 값이다.

Table 1. Test Matrix for Engine Assembly

Storage Hours (MTTF)		100	Environment Stress Factor		
Operating Condition	Ratio (%)	Hours	Absolute Temp. (K)	Relative Humidity (%)	Temp. Cycle (ΔT)
A	20%	20	O	O	
B	20%	20			
C	20%	20	O	O	O
D	20%	20			
E	20%	20	O	O	O
Storage hours at each environment stress factor(MTTF)			MTTF _{TH} 60		MTTF _{TC} 40
Normal Use Condition			T _u	H _u	ΔT_u
Accelerating Index			E _a	m	l
Accelerated Condition			T _a	H _a	ΔT_a
Test Hours			t _{TH}		t _{TC}

온습도 시험과 온도 사이클 시험의 시험시간 계산은 Eqs. 1-2와 같다.

$$t_{TH} = \frac{MTTF_{TH} \left(\frac{-\ln(1-CL)}{n} \right)^{1/\beta}}{\Gamma(1+1/\beta)} \left(\frac{H_a}{H_u} \right)^m \exp \left[\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_a} \right) \right] \quad (1)$$

$$t_{TC} = \frac{MTTF_{TC} \left(\frac{-\ln(1-CL)}{n} \right)^{1/\beta}}{\Gamma(1+1/\beta)} \left(\frac{\Delta T_a}{\Delta T_u} \right)^l \quad (2)$$

여기서, $\Gamma(\cdot)$ 는 감마함수이며, CL 은 신뢰수준, β 는 와이블 분포의 형상모수, n 은 시료 수, k 는 볼츠만 상수(8.6171×10^{-5})이다.

2.2 엔진 조립체의 부품

엔진 조립체의 부품에 대해서는 가속노화시험을 이용하여 수명을 예측하며, 가속노화시험의 절차는 아래와 같다.

- ① 시험 부품을 선정한다.
- ② 부품의 저장환경에서의 대표 성능노화 특성을 선정한다.
- ③ 성능노화 특성의 측정방법과 고장 판정 기준을 정한다.
- ④ 성능노화 특성을 가속할 수 있는 가속인자를 선정한다.
- ⑤ 가속인자에 대한 가속수준(시료 수에 따라 2~3수준)을 결정한다.
- ⑥ 수준별 가용한 샘플 수를 할당하여 시험을 수행한다.
- ⑦ 데이터 측정간격을 결정하고 성능노화 특성 데이터를 측정한다.
- ⑧ 시간에 따른 노화데이터에 대해 적합한 모델(열화모델)을 선정한다.
- ⑨ 열화모델을 이용하여 각 수준별 고장시간을 예측한다.
- ⑩ 각 고장시간에 대한 적합한 수명분포를 선정한다.
- ⑪ 수명과 가속 스트레스와의 관계를 나타내는 가속모델을 선정한다.
- ⑫ 가속모델을 이용하여 사용조건의 저장환경에서의 수명을 예측한다.

가속노화시험을 이용하여 부품에 대한 저장 신뢰도 평가방법에서 중요한 부분은 저장환경에서의 대표 성능노화 특성의 결정과 성능노화 특성과 시간의 관계를 설명하는 열화모델을 잘 선정하는 것이다. 엔진 조립체 부품에 대한 가속노

화시험의 적용 부분은 향후 수행할 예정이며, 최종적으로는 사용 저장조건에서의 부품 수명을 예측하게 된다.

3. 결 론

본 연구에서는 유도탄의 엔진 조립체 및 부품에 대한 저장 신뢰도를 평가하는 방법을 제시하였다. 엔진 조립체의 시험은 실제 저장시간과 등가 하는 가속 환경조건(온도, 습도, 온도 사이클)에서 시험을 수행한 후 각 부품의 노화 상태를 확인한다. 부품에 대해서는 가속 스트레스 조건에서 주기적으로 성능노화특성을 측정하여 고장 시간을 예측한 후 여러 가속조건의 시험데이터와 가속모델을 이용하여 사용조건의 수명을 결정하는 시험 절차를 제시하였다.

4. Acknowledgement

본 연구는 국방과학연구소의 용역과제인 '엔진 가속 노화시험/저장 신뢰도 모델링'의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 정상훈, 이승호, 함범식, 홍석진, "대한민국 유도탄의 세계 최고 품질구현을 위한 제언," 국방과 기술, 제450호, 2016, pp. 56-63
2. 허장욱, "유도무기 신뢰성 향상을 위한 시스템 개선 및 인프라 구축방안," 국방과 기술, 제427호, 2014, pp. 40-47