
정비 데이터 기반 측정신뢰성 모델 적합성 검정에 의한 최적 교정주기 분석 기법

차윤배* · 김부일*

*부경대학교

Optimal Calibration Interval Analysis Method through the Goodness of Fit Test of Measurement Reliability Models based on Maintenance Data

Yun-bae Cha* · Boo-il Kim*

*Pukyong National University

E-mail : cyb1210@hotmail.com

요 약

군 무기체계에 사용되는 정밀측정장비는 수명주기 동안 측정신뢰성을 유지하기 위해 주기적으로 교정을 수행하고 있으며, 기관들은 장비 신뢰성을 향상시키면서 비용을 최소화하기 위한 증가하는 압력에 직면하고 있다. 이전 연구들은 샘플의 크기와 장비 특성을 고려하여 측정신뢰성 모델을 결정하도록 추천하고 있으나, 다양한 장비의 정비 데이터에 대해 단일 모델을 적용하는 것은 적합하지 않을 수 있다. 본 논문에서는 정비 데이터 기반 주요 측정신뢰성 모델들에서 계산된 교정주기를 통계적인 유의수준 검증을 통한 적합성 검정으로 추천하도록 제안하고자 한다. 실제 제안된 방법으로 다양한 종류의 장비에 대해 교정주기 분석방법을 적용한 결과, 교정주기 만료까지 신뢰도가 유지됨을 확인하였다.

ABSTRACT

TMDE(Test Measurement and Diagnostic Equipment) which is using in the military weapon system should perform the periodic calibration to maintain a measurement reliability during the life cycle, organizations are faced with increasing pressures to minimize costs while improving the reliability of test equipment. Previous studies suggest that reliability models are determined by considering simple size and characteristics of equipment, however an applying single Model may not be fit well maintenance data of many kinds of TMDEs. This paper presents that recommending an optimal calibration interval through the goodness of fit test with verifying statistical significance level among the several intervals which are computed with using major reliability models. According to the result of applying the actual proposed of calibration interval analysis method for various types of equipment, reliabilities are maintained for the end of calibration intervals.

키워드

교정주기, 정밀측정장비, 측정신뢰성 모델, 적합성 검정, 유의수준 검증

1. 서 론

교정주기(Calibration Interval)는 정밀측정장비가 어떠한 주기 동안에 확률적으로 허용오차 이내로 유지되어 있을 기간을 의미하며, 장비의 빈번한 주기적 재교정은 측정신뢰성을 향상시키는 반면 비용의 상승을 가져온다. 경제적 군 운용을 위해

서는 장비 신뢰목표(Reliability Target) 달성과 교정 비용을 동시에 고려하여 최적화된 교정주기를 설정하는 것이 필요하다[1].

본 논문에서는 주요 측정신뢰성 모델에서 추천된 교정주기들 중 적합성 검정(Goodness of fit test)을 통해 정비 데이터에 가장 근접한 교정주기를 선택하도록 제안하였다.

이를 위한 본 논문의 구성은 제II절에서 기존 지수형 측정신뢰성 모델을 사용한 교정주기 분석 방법을 소개하고, 제III절은 통계적 유의수준 검증을 통한 적합성 검정으로 제안된 최적화된 교정주기 선택방법을 설명한다. 제IV절은 실제 정비 데이터 기반 제안방법의 유효성을 검증하고 끝으로 제V절에서는 결론을 맺는다.

II. 기존의 측정신뢰성 모델

기존 측정신뢰성 모델은 허용오차 초과율의 추정, 신뢰한계 및 교정주기 추천의 단계로 구성되어진다.

정비 데이터로부터 지수형 분포에 따라 시간 간격 t_j 동안 장비가 허용오차를 초과하지 않을 확률은 식(1)과 같다[1,2].

$$Pr(\text{No failure before } t_j) = e^{-\lambda t_j} \quad (1)$$

여기서, λ 는 exponential failure rate parameter 이다. 파라미터 추정 방식은 Negative Exponential, Simple Exponential, MLE(Maximum Likelihood Estimation) 방법 등을 사용하여 계산한다[2].

허용오차 초과율의 추정값(λ)에 대한 표준오차는 식(2)와 식(3)을 사용하여 정의하며, 표준오차를 추정값(λ)에 더하거나 빼줌으로써 신뢰구간에 대한 상·하한 한계를 나타낼 수 있다[2].

$$F'(\lambda) = \frac{(N-T)T^2}{(E^{\lambda T}-1)^2} e^{\lambda T} \quad (2)$$

$$S_\lambda = \left[\frac{-1}{NF'(\lambda)} \right]^{1/2} \quad (3)$$

여기서, $S_\lambda = \lambda$ 에 대한 표준오차, $N =$ 총 교정대수, $S =$ 교정 시 허용오차 이내의 대수, $T =$ 평균 재 교정 기간이다[2].

정비 데이터를 분석하여 허용오차 초과율의 추정 값(λ)와 신뢰한계를 사용하여 최적 교정주기를 식(4)와 식(5)을 이용하여 추정할 수 있다[2].

$$R(I) = e^{-\lambda I} \quad (4)$$

$$I = -\frac{1}{\lambda} \ln(R) \quad (5)$$

여기서, R 은 기관의 신뢰도 목표로 일반적으로 85%를 적용한다.

신뢰한계는 식(2)와 식(3)에서 계산된 추정값(λ)에 표준오차를 더하고 뺀 λ^U, λ^L 을 계산하여 식(6)와 식(7)로 정의될 수 있다[2].

$$I^U = -\frac{1}{\lambda^U} \ln(R) \quad (6)$$

$$I^L = -\frac{1}{\lambda^L} \ln(R) \quad (7)$$

기존 연구에서 측정신뢰성 모델은 샘플의 크기, 특성을 고려하여 기관에서 선택하여 적용하도록 추천하고 있으나, 실제 다양한 장비에 대해 단일 또는 복수의 신뢰성 모델을 적용할 경우 장비 특성 미반영 또는 복수 추천 교정주기의 선택의 어려움이 발생한다.

III. 측정신뢰성 모델의 선택

주요 신뢰성 모델에서 추천된 교정주기의 선택은 통계적 유의수준 검증과 적합성 검정(Goodness of fit test)으로 이루어질 수 있다.

측정신뢰성 모델에 대한 유의수준 검증은 통계적 가설검정으로 $\tilde{R}(t, \hat{\theta})$ 와 $\tilde{R}(t_i)$, $i = 1, 2, 3, \dots, k$ 간의 불일치로 발생하는 'lack of fit' 오차와 샘플에서 관측되어진 데이터 고유 산포에 의한 오차를 비교한 것이며, 'lack of fit' 오차의 산포가 순수오차의 산포에 비해 상대적으로 크다면 선택되어진 모델은 부적절한 것으로 추천주기는 채택하지 않는다.

적합성 검정은 유의수준 검증을 통해 적합한 신뢰성 모델 중에서 통계적 과정 $\{R(t), t \in T\}$ 을 가장 잘 나타내는 모델을 선택하는 것을 의미하나, 유의수준 검증을 통해 적합한 신뢰성 모델들이 상이한 교정주기를 추천할 경우 선택의 문제점이 발생한다. 따라서 유의수준은 유사하나 추천 교정 주기가 상이할 경우에는 관측된 정비 데이터가 신뢰도 모델에 얼마나 근접한지 검정을 통해 선택되어야 하며, 이는 식(8)와 식(9)를 사용하여 각각의 신뢰성 모델에 대한 G값을 계산한 후 가장 큰 G값의 신뢰성 모델을 선택하는 방법으로 제안하였다.

$$G = \frac{C}{N_G} t_R^{-1/4} \quad (8)$$

여기서, C 는 모델에 대한 거부 신뢰수준, N_G 는 해당 장비의 샘플 크기이며, t_R 은 식(9)과 같이 얻어진다.

$$\hat{R}(t_R, \hat{\theta}) = 1 - R \quad (9)$$

IV. 결과 분석

본 절에서는 실제 정비 데이터가 표1과 같이 평균 재 입고기간 10.57개월, 수량 35대, 허용오차

이내가 31대일 경우, 각각의 신뢰성 모델에서 추정된 주기를 제안된 유의수준 검증을 통한 적합성 검정으로 계산된 값을 표2와 같이 나타내었다.

Table. 1 TMDE Maintenance Data(current calibration Interval : 12 month)

No (j)	Elapsed Time (month)	Quantity (n)	In-tolerance (s)	Observed reliability (s/n)
1	10	12	9	0.75
2	11	18	18	1.00
3	12	3	3	1.00
4	14	1	1	1.00
5	19	1	0	0.00

표2에서 p 값이 유의수준 0.05보다 크므로 각각의 신뢰성 모델에서 추천된 교정주기는 적합하며, p 값은 유사하나 추정된 주기가 다른 경우 교정주기가 가장 긴 16개월을 선택하는 것이 아닌 G 값이 가장 큰 14개월이 최적화된 교정주기임을 확인하였다.

Table. 2 G values comparison for reliability models

Classification	Negative EXP	Simple EXP	MLE EXP
Calibration Interval(month)	16	14	15
p values	0.8811	0.8790	0.8793
G values	143.78	144.12	144.06

현재 교정주기 12개월에서 추천 교정주기 14개월로 변경 후 다시 실제 정비 데이터로 분석한 결과 기관의 신뢰목표가 지속 달성되고 있음을 확인함에 따라 신뢰목표 달성과 교정비용 고려 제안된 교정주기 분석 방법이 유효함을 검증하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 각종 무기체계 내에서 운용하는 정밀측정장비의 신뢰도 보장과 교정비용을 동시에 고려하여 실제 정비 데이터를 기반으로 측정신뢰도 모델에서 추정된 교정주기에 대해 유의수준 검증을 통한 신뢰성 검정으로 최적화된 교정주기가 선택됨을 확인하였다. 또한 통계적 의미를 부여할 수 없는 적은 수량의 장비에 대한 최적화된 교정주기 분석 및 장비 사용 환경이 다른 특기무기체계의 교정주기 설정 방법 연구로 발전시킬 수 있다.

참고문헌

- [1] Donald W. Wyatt and Howard T. Castrup, "Managing Calibration Interval", NCSL 1991 Annual workshop & Symposium, pp 3-5, Albuquerque, August 1991.
- [2] NCSL Recommended Practice RP-1, Establishment and Adjustment of calibration Interval, January 1996.