

RAM 분석 정확도 향상을 위한 야전운용 데이터의 이상값과 결측값 처리 방안*

김인석 · 정 원†

대구대학교 산업경영공학과

Method of Processing the Outliers and Missing Values of Field Data to Improve RAM Analysis Accuracy*

In Seok Kim · Won Jung†

Department of Industrial and Management Engineering Daegu University

Purpose: Field operation data contains missing values or outliers due to various causes of the data collection process, so caution is required when utilizing RAM analysis results by field operation data. The purpose of this study is to present a method to minimize the RAM analysis error of the field data to improve the accuracy.

Methods: Statistical methods are presented for processing of the outliers and the missing values of the field operating data, and after analyzing the RAM, the differences between before and after applying the technique are discussed.

Results: The availability is estimated to be lower by 6.8 to 23.5% than that before processing, and it is judged that the processing of the missing values and outliers greatly affect the RAM analysis result.

Conclusion: RAM analysis of OO weapon system was performed and suggestions for improvement of RAM analysis were presented through comparison with the new and current method. Data analysis results without appropriate treatment of error values may result in incorrect conclusions leading to inappropriate decisions and actions.

Keywords: Missing value, Outlier, Field data, Grubbs's Test, Bayesian

1. 서론

무기체계의 야전운용 데이터는 군수와 정비 및 운용에 관한 정보를 제공하는데 매우 유용하기 때문에 주요 무기체계에 대해서는 이러한 정보를 활용하여 신뢰성 있는 RAM 분석을 행하기 위해 노력하고 있

다. 그러나, 야전운용 데이터는 데이터수집 과정에서 정비이력의 누락이나 비정상적인 데이터 입력 등 다양한 원인으로 인하여 결측값(missing value) 또는 이상값(outlier)을 포함할 수 있어 야전운용 데이터를 사용한 RAM 분석 결과를 활용할 때에는 주의가 필요하다[1, 2]. 실제로 RAM 분석을 행할 시 임의의 가정 하

* 본 논문은 방위사업청과 국과연의 지원(RAM 특화연구실)을 받아 수행된 연구 결과임.

† 교신저자 wjung@daegu.ac.kr

2017년 8월 30일 접수, 2017년 9월 7일 수정본 접수, 2017년 9월 12일 게재 확정.

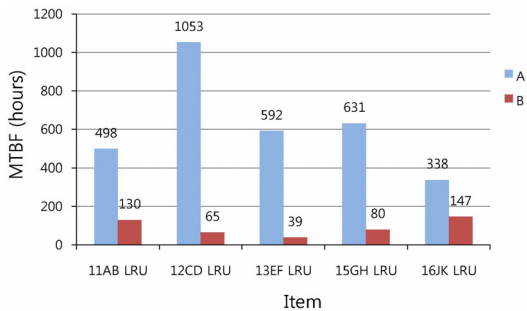


Fig. 1 MTBF analysis results of two organizations

에 불완전한 자료는 무시하고 완전하게 관측된 자료만을 활용하여 통계적 기법을 적용할 경우에는 실제 고장분포와 다른 형태의 분포를 사용하게 되어 자료의 정확도와 검정력의 문제가 발생할 수도 있다[3, 4]. 또한, 데이터 중 이상값의 존재는 표본오차를 증가시키는 중요한 요인으로 이를 적절하게 처리하지 않을 경우 분석 결과가 과대 또는 과소 추정될 수 있다. 따라서 불완전하고 부정확한 분석은 필연적으로 데이터의 신뢰를 잃거나 잘못된 결론을 도출하여 결과적으로 적절하지 못한 결정과 조치를 취하는 결과를 초래할 수도 있다[5].

OO 무기체계의 경우, 동일한 야전운용 데이터를 활용하여 두 개의 기관이 동시에 RAM 분석을 수행한 결과, <Fig. 1>과 같이 분석기관의 데이터 처리방법에 따라 결과가 상이하게 나타나기도 하였다. 이는 데이터 보정여부 및 기술 인력의 판단에 따른 데이터 정제 과정에서의 차이 발생이 주요원인으로 분석되고 있다[6].

본 연구에서는 야전운용 데이터에 결측값과 이상값이 포함된 경우 분석의 오차를 최소화할 수 있는 데이터 분석 방법에 대하여 연구하고, 현재 적용하고 있는 데이터 분석 방법과의 비교를 통하여 RAM 분석 개선방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. 우선 결측값 및 이상값 처리방법에 대한 통계적 해법을 설명하고 야전운용 데이터를 활용하여 RAM 분석을 수행한 후, 차이점에 대해 토의하려고 한다.

2. 데이터의 이상값 처리

이상값의 판단은 시각적으로 구별할 수 있으나 일반적으로는 선형 회귀분석을 활용하여 표준잔차가

2.5~3 이상이면 이상값으로 판단한다[7]. 보통 표본수가 많은 경우에는 평균값으로 대체하는 방법을 사용하고 있으나 표본수가 적은 경우에는 베이지안 대체 방법을 적용하고 있다.

다른 대체방법으로는 데이터가 분기별, 월별, 주별로 정리된 경우 이상값을 더미변수로 만들어 더미변수 개입 모형을 실시한다. 펄스(pulse) 개입은 1~2개의 이상값 처리에 주로 사용되고 변수 값은 이상값이 없으면 “0”, 이상값이 있으면 “1”로 표시한다. 계단(level) 개입은 기술혁신 등으로 전(before)과 후(after)의 차이가 현저하게 구분될 때 사용하고 변수 값은 기술혁신 전은 “0”, 기술혁신 후는 “1”로 표시한다. 계절(seasonal pulse) 개입은 이상값이 계절 주기를 갖는 경우에 사용되며 변수 값은 변화가 없으면 “0”, 변화가 있으면 “1”로 표시한다.

개입이 발생하면, 개입이 해당되는 시점의 관측값이 개입 발생 전의 관측값에 비해서 월등하게 큰 값 또는 작은 값을 갖는 경향이 있다. 개입 모형 분석은 엑셀프로그램의 “데이터분석-회귀분석” 기능을 활용하여 결정계수(R^2)를 계산하고, F-검정을 행한다. OO 무기체계 B 장치의 MTBF(mean time between failure) 이상값이 계절 주기를 갖는 것으로 나타났으며 계절 개입 분석을 위한 변수값을 표시하면 <Table 1>과 같다.

검증을 행한 결과, $R^2 = 0.927112$ 로 회귀 방정식이 전체 자료의 92.71%를 설명하고 있으며, 분산분석에

Table 1 Seasonal pulse analysis of B device

Year	Quarter	MTBF (Hours)	Seasonal pulse	Predicted value (Hours)
2013	1	338.0	1	321.2
	2	144.0	0	144.7
	3	113.0	0	134.5
	4	80.0	0	88.1
2014	1	109.0	0	120.8
	2	353.0	1	345.1
	3	125.0	0	134.5
	4	109.0	0	88.1
2016	1	130.0	0	120.8
	2	165.0	0	144.7
	3	428.0	1	335.0
	4	96.0	0	88.1

Table 2 Standard residual of C device MTBF

Number	MTBF (hours)	Residual	Standard residual
1	1379.3	-3303.33	-1.38447
2	1427.1	-1645.12	-0.06894
3	1766.1	1133.93	0.47527
4	1733.9	366.14	-0.16834
5	1937.2	-401.64	2.83437
6	2243.9	-176.961	-0.07291

의한 $F = 1.54E-10$ 로서 0.05보다 작으므로 회귀 방정식은 직선이며 통계적으로 유의함을 알 수 있다.

표준잔차의 값이 2.5~3 이상이면 이상값이라고 볼 수 있는데 <Table 2>의 OO 무기체계 C 장치의 MTBF 중 다섯 번째 관측치가 이에 해당된다.

실제 야전운용 데이터의 경우 과도한 산포가 발견되는 경우가 많기 때문에 표준잔차를 이용한 이상값 삭제 처리방법을 적용하는 것에는 한계가 있기 때문에 Grubbs 검정을 통하여 이상값을 제거 후 분석을 수행해야 할 때도 있다. Grubbs 검정의 가설 설정 방법은 다음과 같다[8].

H_0 : 이상값이 없다

H_1 : H_0 가 아니다

최소값에 대한 이상값을 검정하는 방법은 식(1)과 같으며,

$$G = \frac{\bar{Y} - Y_{\min}}{s} \tag{1}$$

최대값에 대한 이상값을 검정하는 방법은 식(2)와 같다.

$$G = \frac{Y_{\max} - \bar{Y}}{s} \tag{2}$$

여기서, Y_{\min} 은 샘플 중 최소값, Y_{\max} 은 샘플 중 최대값, \bar{Y} 는 샘플의 평균값, s 는 샘플의 표준편차를 나타낸다.

H_0 (귀무가설)의 기각조건은 양측검정(two-sided test)과 단측검정(one-sided test)으로 구분되고 양측검정의 경우 식(3)과 같으며,

$$G > \frac{(N-1)}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{(t_{\alpha/(2N), N-2})^2}{N-2 + (t_{\alpha/(2N), N-2})^2}} \tag{3}$$

단측검정의 경우는 식(4)와 같다.

$$G > \frac{(N-1)}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{(t_{\alpha/N, N-2})^2}{N-2 + (t_{\alpha/N, N-2})^2}} \tag{4}$$

여기서, α 는 유의수준, N 는 샘플 수, $t_{\alpha/(2N), N-2}$ 는 자유도 $N-2$, 유의수준 $\alpha/(2N)$ 의 t값, $t_{\alpha/N, N-2}$ 는 자유도 $N-2$ 및 유의수준 α/N 의 t값이다.

OO 무기체계 E 장치의 MTBF는 239.17, 259.39, 240.23, 261.07, 262.50, 242.34, 262.83, 319.24 이며, 이중 최대값인 319.24가 이상값인 경우에 대한 Grubbs 검정을 행하면 다음과 같다.

H_0 : 데이터에 이상값이 없다

H_1 : 최대값은 이상값이다

$$G = \frac{Y_{\max} - \bar{Y}}{s} = \frac{319.24 - 260.85}{25.79} = 2.26$$

단측검정의 경우는 식(4)를 활용하여 구할 수 있으며, 유의수준 $\alpha = 0.05$ 일 때 상부 단측검정의 값은 2.023이다. 따라서, $2.26 > 2.032$ 이므로 귀무가설을 기각하고 최대값이 0.05 유의수준에서의 이상값이라고 판단 할 수 있다.

3. 데이터의 결측값 처리

야전운용 시 RAM 분석은 무기체계 운용 중 발생되는 고장정보를 기반으로 산출된다. 그러나 무기체계가 배치된 지 얼마 되지 않아 고장자료가 부족하거나 또는 배치 이후 장시간 동작하고 있지만 해당 무기체계의 신뢰도가 높아서 동작시간 동안 고장이 발생되지 않은 경우도 있다. 이러한 경우 대상품목의 특성상 고장이 발생하기까지 장기간이 소요되거나 측정 시점까지 고장수가 너무 적은 경우에는 기존 RAM 분석에 사용된 방법의 적용은 곤란하며, 적용이 가능하더라도 설득력이 낮은 결과물을 얻게 된다. 일반적으로 우측중단 자료에 대한 MTBF의 하한 값은 식(5)를 사용하여 추정한다[9, 10].

$$MTBF \geq \frac{2TT}{\chi^2(\alpha, r+2)} \quad (5)$$

여기서, TT 는 총운용 시간, r 은 고장수를 나타낸다. 그러나 식 (5)에 의한 MTBF 추정값은 고장수가 극히 작은 경우에는 추정값에 대한 오차가 있을 수 있다. 현재의 신뢰도 분석 방법은 지수분포로 가정할 경우, 최초고장 시점을 사용하여 (운용시간)/(고장수)의 방법을 적용하고 있다[10]. 따라서 하위 구성 품이 없는 단품류의 경우 장기간의 운용시간 중 몇 개 되지 않는 고장을 기초로 계산할 경우 추정치가 너무 크게 계산될 가능성이 있다. 무엇보다도 적은수의 고장에 의해 추정된 값은 적은 수의 고장 자료 추가에도 크게 변동될 수 있기 때문에 사용에 주의가 필요하다. 이 같은 문제는 무기체계의 특성상 근본적으로 고장 발생이 적을 수밖에 없는 경우에도 동일하게 나타난다. 따라서 원자력 발전소나 우주항공 분야에서는 기존의 통계적 기반의 방법과 함께 베이직안 기반의 추정 방법을 병행하여 사용하고 있다[11, 12].

본 연구에서는 결측값(missing value) 및 고장수가 소량인 품목의 MTBF 보정기법으로 기본적인 베이직안 방법을 제안한다. 베이직안 방법이란 시험 운용 중에 발생한 자료와 함께 기존 유사 사례, 전문가 의견 등 다양한 자료를 조합하여 결과를 산출하는 방법으로서, 제시되는 방법은 개발 중 산출된 신뢰도 예측 값을 운용단계 신뢰도 산출에 추가로 사용한다.

시간 t 에 r 회 고장이 발생하는 경우 t 의 확률밀도 함수는 감마분포에 해당되며, 사전분포는 식 (6)과 같다 [13].

$$f(\lambda) = \frac{(t)\lambda^{r-1}e^{-\lambda t}}{\Gamma(r)} \quad (6)$$

여기서, t : 시험시간(척도 파라미터)

r : 고장횟수(형상 파라미터)

평균 고장률(사전 고장률) $\hat{\mu}_0$ 및 분산(사전 분산) $\hat{\sigma}_0^2$ 은 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_0 &= \frac{r}{t} = \frac{\text{형상 파라미터}}{\text{척도 파라미터}} \\ \hat{\sigma}_0^2 &= \frac{r}{t^2} = \frac{\text{형상 파라미터}}{\text{척도 파라미터}^2} \end{aligned} \quad (7)$$

사후분포는 식 (8)과 같다.

$$f(\lambda|t) = \frac{(t+t')\lambda^{r+r'-1}e^{-\lambda(t+t')}}{\Gamma(r+r')} \quad (8)$$

여기서, $t+t'$: 척도 파라미터

$r+r'$: 형상 파라미터

그리고, 사전 고장률 $\hat{\mu}_0$ 및 사전 분산 $\hat{\sigma}_0^2$ 계산식을 이용하여 r' 과 t' 를 계산하면 다음과 같다.

$$r = \hat{\mu}_0 t = \hat{\sigma}_0^2 t^2 \Rightarrow r' = \hat{\mu}_0 t', \quad t' = \frac{\hat{\mu}_0}{\hat{\sigma}_0^2}$$

따라서, 사후 고장률은 다음 식(9)와 같다.

$$\hat{\mu}_1 = \frac{\text{형상 파라미터}}{\text{척도 파라미터}} = \frac{r+r'}{t+t'} \quad (9)$$

실제 수집된 야전운용 데이터의 베이직안 방법 적용은 무기체계 개발 시 예측 값을 대부분 지수분포 형태로 가정하기 때문에 쉽게 적용할 수 있다. 베이직안의 사전(prior)확률은 무기체계 개발 시 사용된 신뢰도 예측 값을 사용할 수 있다. 사전함수의 모수(α, β)는 다음과 같이 시험결과를 사용했을 경우와 예측 모형에 의한 값을 사용했을 경우로 구분하여 추정할 수 있다[10].

첫째, 시험결과를 사용할 경우 α 는 시험 중 발생한 고장횟수(r)를 적용하고, β 는 시험시간(t)을 적용하여 산출한다.

둘째, 예측값이 NPRD/EPRD 모형을 사용 했을 경우와 217F 모형을 사용 했을 경우의 관계는 식 (10)과 같다. 일반적으로 예측모형에 의한 값을 사용할 경우 아래의 관계식에서 모수(α, β)를 $\alpha = 3, \beta = 2MTBF$ 로 추정할 수 있다.

$$\frac{\beta}{\alpha-1} = MTBF, \quad \frac{\beta}{(\alpha-1)\sqrt{(\alpha-2)}} = MTBF \quad (10)$$

이 경우 사후함수의 모수(α', β')는 다음 식과 같이 된다.

$$\alpha' = \alpha + r, \quad \beta' = \beta + \sum t_i \quad (11)$$

여기서, r : 고장 횟수

$\sum t_i$: 고장간 시간의 합 (= 총 운용시간)

이를 이용한 개발 예측 값이 반영된 결측값 대체 MTBF는 다음 식으로 표현된다.

$$MTBF' = \frac{\beta'}{\alpha'} = \frac{\beta + \sum t_i}{\alpha + r}$$

OO 무기체계 D 장치의 경우 MTBF가 100시간으로 예측된 품목이 1,000시간 운용 중 2번의 고장이 발생되었다면, 일반적으로 (운용시간)/(고장수)의 방법을 적용할 때 MTBF가 500시간으로 추정되나, 베이지안 방법을 적용할 경우

$$MTBF' = \frac{200 + 1,000}{3 + 2} = 240$$

으로 추정된다. 만약 1,200시간 정도에 1번의 고장이 더 발생한 경우, 지수분포 가정에 의한 계산결과는 400시간이지만 베이지안 방법에 의한 결과는 233시간으로 추정되어 변동의 폭이 제한적임을 알 수 있다.

4. 적용사례: OO 무기체계

한국군 OO 무기체계의 경우 2개의 부체계 및 62개 그룹으로 구성되어 있으며, AA 분야 38개 그룹 및 BB 분야 24개 그룹 등 총 62개 그룹을 대상으로 데이터

분석을 수행하였다. 기존 분석방법은 분석대상 62개 그룹 중 9개 그룹에 대하여 결측이 발생하여 베이지안 대체방법을 적용하였고, 4개 그룹은 이상값이 존재하므로 이상값 제거 후 평균 대체법을 적용하여 분석하였으며, 적용결과는 <Fig. 2> 및 <Fig. 3>과 같다.

OO 무기체계의 RAM 분석에 사용된 자료는 장비 정비정보체계에서 관리되고 있는 2010년부터 2016년까지의 야전운용 데이터를 활용하여 분석하였다.

<Table 3>은 야전운용 데이터를 활용하여 이상값과 결측값의 처리 전후의 RAM 분석 결과에 대한 비교분석 내용으로 주장비의 경우 MTBF가 이상값과 결측값을 처리하기 전보다 처리 후에 13.1% 낮게 나타났으며, MTTR은 처리 후의 MTTR이 23.5% 높다. 고유가용도(Ai: inherent availability)는 처리 후가 6.8% 낮고, 운용가용도(Ao: operational availability)는 처리 후가 10.7% 낮은 것으로 나타났다. 전체적으로 이상값과 결측값을 처리한 후의 분석결과가 6.8~23.5% 차이가 발생하여 데이터의 이상값 및 결측값 처리가 RAM 분석 결과에 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다.

MTBF 분석은 분석대상 62개 그룹 중 9개 그룹에 대하여 결측값이 발생하여 베이지안 대체방법을 적용하였다. AA 분야는 <Fig. 4>와 같이 고장이 많이 발생하는 동력장치, 현수장치, 축전지실 전기장치, 난방 장치의 MTBF가 낮게 분석되었다.

Group	Current value (MTBF, hours)	Improved value (MTBF, hours)	Processing method
Group 1	220.5		
Group 2	312.5		
Group 3	410.9		
Group 4	N/A	4040.4	Bayesian
Group 5	1390.8		
Group 6	240.7		
Group 7	1703.5	838.5	Outlier
Group 8	N/A	3071.3	Bayesian
Group 9	419.2		
Group 10	354.6		
Group 11	10907.4		
Group 12	342.1		
Group 13	15797.0		
Group 14	295.3		
Group 15	N/A	473.3	Bayesian
Group 16	318.4		
Group 17	202.3		
Group 18	283.8		
Group 19	479.3	656.2	Outlier
Group 20	290.7		
Group 21	544.9		
Group 22	393.8		
Group 23	1134.5		
Group 24	1812.8		
Group 25	244.9		
Group 26	377.3		
Group 27	375.2		
Group 28	446.1		
Group 29	430.6		
Group 30	305.1		
Group 31	19277.5	8452.9	Outlier
Group 32	2324.1		
Group 33	N/A	5392.2	Bayesian
Group 34	495.8		
Group 35	404.3		
Group 36	361.8		
Group 37	15537.8		
Group 38	7124.3		

Fig. 2 Data analysis of AA Sub-systems(38 Group)

Division	Current value (MTBF, hours)	Improved value (MTBF, hours)	Processing method	Division	Current value (MTBF, hours)	Improved value (MTBF, hours)	Processing method
Group 39	N/A	4323.2	Bayesian	Group 54	N/A	18819.5	Bayesian
Group 40	124.2			Group 55	1717.3		
Group 41	280.4			Group 56	4940.1		
Group 42	336.7			Group 57	N/A	13560.5	Bayesian
Group 43	333.1			Group 58	125.3		
Group 44	N/A	739.5	Bayesian	Group 59	356.2		
Group 45	586.1			Group 60	7884.3		
Group 46	353.2			Group 61	387.3		
Group 47	251.6			Group 62	491.8	350.4	Outlier
Group 48	301.4						
Group 49	1130.6						
Group 50	573.0						
Group 51	390.5						
Group 52	N/A	921.3	Bayesian				
Group 53	427.3						

Fig. 3 Data analysis of BB Sub-systems(24 Group)

Table 3 RAM analysis results

Division		MTBF (hours)	MTTR (hours)	Ai (%)	Ao (%)
System	Before	34.30	3.67	90.0	88.5
	After	30.32 (13.1% ↓)	4.80 (23.5% ↑)	83.2 (6.8% ↓)	77.8 (10.7% ↓)
AA Sub	Before	66.50	3.22	-	-
	After	52.75	4.93	-	-
BB Sub	Before	96.10	3.65	-	-
	After	82.43	4.72	-	-

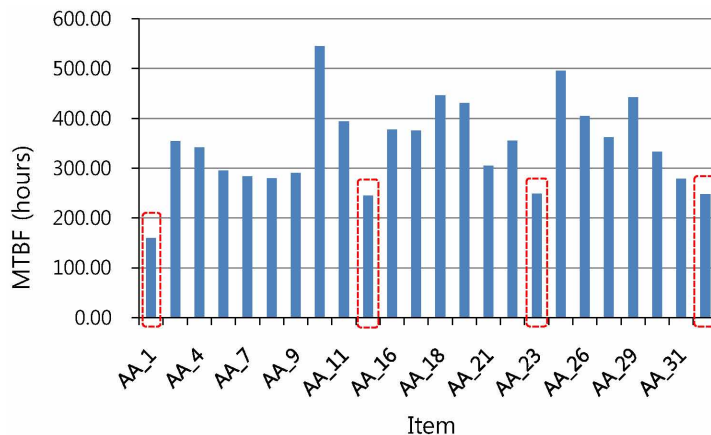


Fig. 4 MTBF of AA sub-systems

BB 분야의 MTBF 분석 결과는 <Fig. 5>와 같이 무장장치, 방탄포경 방탄 덮개장치의 MTBF가 낮은 것으로 나타났다.

MTTR 분석은 분석대상 62개 그룹 중 4개 그룹에 대하여 이상값이 존재하여 이상값 제거 후 평균대체

법을 적용하여 분석하였다. AA 분야의 MTTR 분석 결과는 <Fig. 6>과 같으며, 이상값을 처리하기 전은 엔진실 전기장치가 5.3시간으로 가장 높게 나타났으나 이상값 처리 후에는 현수장치가 5.4시간으로 정비 시간이 가장 높은 것으로 분석되었다

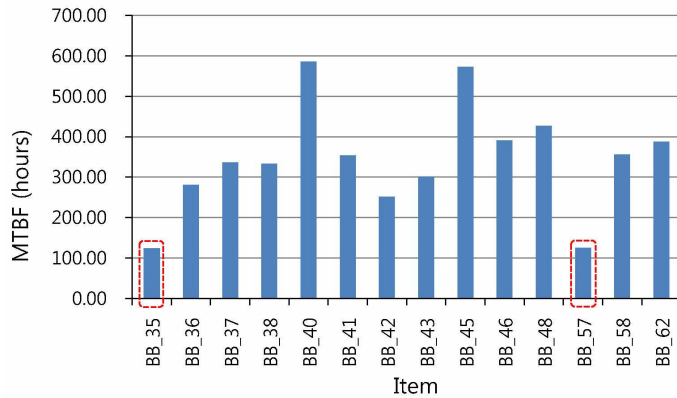


Fig. 5 MTBF of BB sub-systems

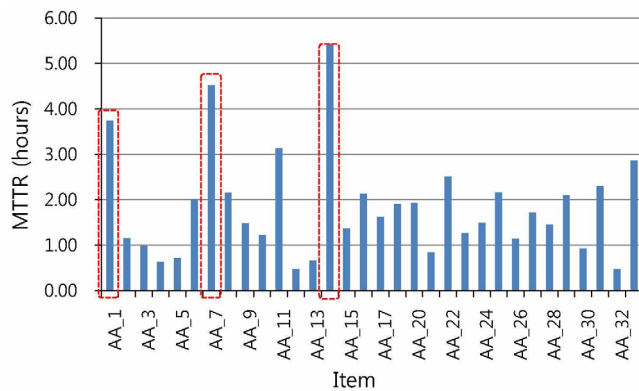


Fig. 6 MTTR of AA sub-systems

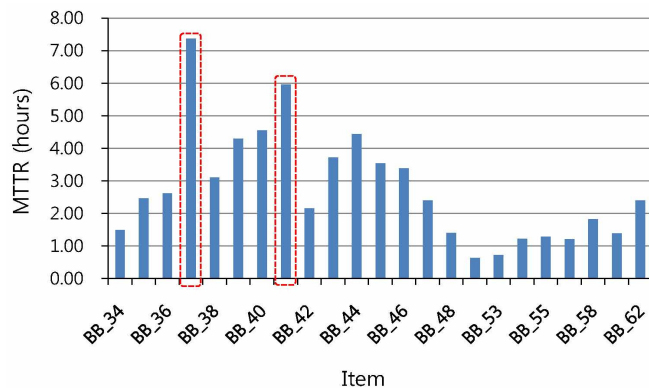


Fig. 7 MTTR of BB sub-systems

BB 분야의 정비도(MTTR) 분석 결과는 <Fig. 7>과 같다. 이상값 처리 전은 고저구동/평형장치가 8.8시간으로 가장 높게 나타났으며, 이상값 처리 후에도 고저구동/평형장치가 7.4시간으로 가장 높은 것으로 분석되었다.

5. 결 론

본 논문에서는 야전운용 데이터에 결측값과 이상값이 포함된 경우 분석의 오차를 최소화할 수 있는 데이터 분석방법을 사용하여 OO 무기체계의 RAM 분석을 수행하였으며, 현재 적용하고 있는 데이터 분석 방법과의 비교분석을 통하여 RAM 분석 개선방안을 제시하였다.

야전운용 데이터를 활용하여 이상값과 결측값에 대한 처리 전과 후의 RAM 분석에 대한 비교 분석결과 주장비의 경우 MTBF가 이상값과 결측값을 처리하기 전보다 처리 후에 13.1% 낮게 나타났으며, MTTR은 처리 후의 MTTR이 23.5% 높다. 고유가용도는 처리 후가 6.8% 낮고, 운용가용도는 처리 후가 10.7% 낮은 것으로 나타났다. 따라서 이상값과 결측값을 처리한 후의 분석결과가 6.8~23.5% 차이가 발생하여 데이터의 이상값 및 결측값 처리가 RAM 분석 결과에 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다. 그러나 베이지안 방법은 기초자료의 타당성을 전제로 한 방법이므로 개발 예측 값이 실제 값과 많은 차이를 보이는 값으로 추정되었다면, 적용에 어려움이 있을 수 있으므로 신중한 판단이 요구된다.

그리고 향후 수리부속품 소요산출 및 유사장비 목표값 설정 등에 활용할 때에는 기존 방법과 베이지안 방법에 의해 추정된 MTBF 중 작은 값을 취하는 방법도 리스크 관리 차원에서 좋은 대안이 될 것으로 판단된다.

References

- [1] Jung, J. S. and Paix, S. H. (2010). "The RAM Analysis Report of OO Aircraft Using Field Data". Defense Agency for Technology and Quality.
- [2] Na, I. Y. (2015). "RAM Analysis report using ground tracked vehicle field data(2015)". Defense Agency for Technology and Quality.
- [3] Sohn, J. M. *et al.* (2012). "A Case Study of RAM Analysis Using Field Data: Focusing on Korean Warship". Jural of the Korea Contents Association, Vol. 30, No. 3, pp. 395-412.
- [4] Bade, S. H. *et al.* (2007). "Sensitivity Analysis of Experimental Data with Missing Value". Proceeding of KIIS Spring Conference 2007, pp. 439-440.
- [5] Lee, S. J. and Joey, S. h. (2009). "An Empirical Comparison of Missing Value Imputations". Proceeding of KINDS Spring Conference 2009, Vol. 19, No. 1, pp. 250-251.
- [6] Kim, S. G. (2015). "Study on development plan of RAM business". ROKAF.
- [7] Han, G. J. (2015). "Future forecasts and time series using excel". Baeksan Publishing Co.
- [8] NIST. (2006). "Exploratory Data Analysis". NIST.
- [9] Robert Dovich & Bill Wortman (2009). "CRE Primer". Quality Council of Indiana.
- [10] Paik, S. H. (2011). "Technical Support for the OO Field Data Collection and Analysis". Defense Agency for Technology and Quality.
- [11] Seo, S. G. (2006). "Minitab Reliability analysis". eretec co. pp. 129-150.
- [12] Department Of Defense (2005). "DoD Guide for achieving Reliability, Availability, and Maintainability". Department Of Defense.
- [13] Department Of Defense (2005). "MIL-HDBK-338B (Electronic Reliability design handbook)". Department of Defense.