

## 베이지안 방법론 기반의 유도무기 시험평가 신뢰도 분석

김문기<sup>1</sup> · 강석중<sup>2\*</sup>

### T&E Reliability Analysis of Guided Weapons using Bayesian

MoonKi Kim<sup>1</sup> · SeokJoong Kang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Management of Technology for Defense, Korea University, Seoul 136-713 Korea

<sup>2\*</sup>Department of Management of Technology for Defense, Korea University, Seoul 136-713 Korea

#### 요 약

본 논문은 일회성 시스템인 유도무기의 신뢰성을 평가하기 위해 베이지안 방법론을 활용하는 내용이며, 유도무기 서브시스템 및 부품의 평가결과를 그 다음 단계의 사전분포로 활용하였다. 각 서브시스템 및 부품의 시험평가 결과를 활용하여 전체 유도무기체계의 신뢰성을 분석하는 베이지안 방법론을 제시하였고, 이를 활용하면 유도무기체계의 신뢰성을 확보하기 위한 샘플수를 적절히 선정할 수 있다.

#### ABSTRACT

This paper provides Bayesian methodology to estimate the reliability for guided weapons which are not continuously operating. The posterior distribution of subsystems and components becomes the next prior distribution. By analyzing the results of the sub-systems and components presented a method for estimating the reliability of the entire guided weapons. Bayesian methodology using existing test data of subsystems may be used to reduce the sample sizes.

**키워드** : 베이지안, 유도무기, 시험평가, 신뢰도

**Key word** : Bayesian, Guided Weapons, T&E, Reliability

Received 11 May 2015, Revised 12 June 2015, Accepted 26 June 2015

\* Corresponding Author Seokjoong Kang (E-mail: sjkang64@korea.ac.kr, Tel: +82-2-3290-4871)

Department of Management of Technology for Defense, Korea University, Seoul 136-713 Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.7.1750>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

유도무기의 다기능화, 복잡화, 정밀화, 고가화에 따라 유도무기의 시험평가를 수행하는 소요 비용이 지속적으로 증가하고 있으며 핵심기능에 대한 성능 입증에 많은 어려움을 겪고 있다. 이러한 무기체계에 대한 신뢰성을 확보하기 위해서는 적정 수준의 실사격과 그에 맞는 신뢰도 분석기법을 개발, 적용하는 것이 중요하다 [1-3].

유도무기는 일반적인 운용시스템(operating system)과 달리 일회성 시스템(one-shot system)이다. 운용시스템은 신뢰도 척도로 MTBF(mean time between failure)와 같은 중도절단(censoring) 데이터를 이용한 점 추정(point estimation)을 활용하는 반면에 일회성 시스템은 발사 성공확률과 같은 가부반응(Bernoulli trial) 데이터를 이용한 구간추정을 활용한다. 중도절단 데이터는 시험 종료 시까지 고장이 발생하지 않은 경우 시험 종료 시간이 해당되며, 가부반응 데이터는 성공과 실패의 결과로만 표현된다[4]. 일회성 시스템인 유도무기의 신뢰도를 분석하기 위한 대부분의 연구들은 문헌에 공개된 신뢰도 추정방법들에 대한 정확성을 비교하거나, 가부반응 데이터 수 및 가부반응 데이터의 추출 시점 수에 대한 영향도를 비교, 분석하였다. 하지만 이러한 일회성 시스템의 신뢰성 분석방법은 서버 시스템의 시험결과를 적용하지 않기 때문에 요구된 신뢰성을 검증하기 위하여 과도한 시험 샘플 수가 필요하게 된다[3]. 이를 해결하기 위해 최근 전문가 의견 또는 서버 시스템의 시험결과 등을 통해 사전분포(prior distributions)를 가정하고 체계의 시험결과와 결합하여 사후 추정치(posterior estimate)를 구하는 베이지안 방법론(Bayesian)이 연구, 활용되고 있다.

기존 유도무기 시험에 대한 점 추정방식 사용 시 추정치만으로 대상 시스템의 신뢰성이 충분한 지 여부를 결정하기 어렵다는 문제점을 가지고 있었다. 또한 평균 고장률을 구하는데 중점을 두는 기존 방식은 고장까지의 평균 시간을 나타낸다는 것을 전제로 하고 있다. 하지만 일반적인 고장률의 분포는 그 빈도가 고장률이 낮은 쪽에 집중되어 있고, 고장률이 높은 쪽으로는 긴 꼬리를 갖는 분포를 갖는다. 유도무기 시험평가 시 이러한 점 추정방식의 문제점을 보완하고 신뢰도 향상을 위해 베이지안 기법을 적용하였다[5].

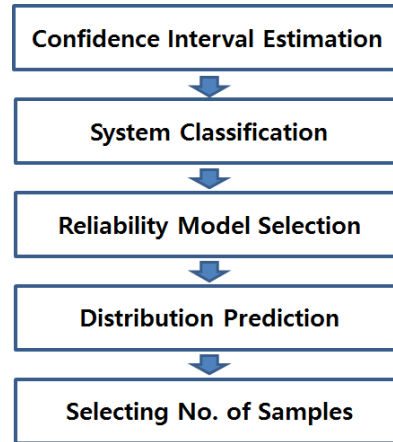


그림 1. 베이지안 방법론을 활용한 신뢰도 분석절차  
Fig. 1 Reliability Analysis Process using Bayesian Method

본 논문에서는 새로운 유도무기를 개발하는 경우 베이지안 방법론을 이용하여 Fig 1.의 절차에 따라 신뢰도를 추정해 보고자 한다. 먼저 2장에서는 신뢰구간을 계산하는 방법론 중 Clopper-Pearson 방법에 대해 고찰한다. 그리고 유도무기 신뢰도 모델을 블록 다이어그램(reliability block diagram)으로 작성하고 구조에 따른 분포예측 방법을 기술하고, 이를 결합하여 전체 유도무기 발사체의 신뢰도를 추정하는 방법을 제시한다. 3장에서는 예시로 유도무기 체계에 대한 신뢰성 분석을 제시된 절차에 따라 분석하고, 마지막으로 4장에서는 결론을 도출한다.

## II. 베이지안 기법을 활용한 신뢰도 분석

### 2.1. Clopper-Pearson 신뢰구간

성공확률( $p$ )에 대한 신뢰구간(confidence interval, CI)에 대한 연구는 지속적으로 수행되었고, 식 (1)과 같이 정규분포를 활용한 추정이 보편적으로 알려지고 사용되고 있다.

$$\hat{p} \pm z_{\frac{1-\alpha}{2}} \sqrt{\frac{[\hat{p}(1-\hat{p})]}{n}} \quad (1)$$

여기서  $z_{\frac{1-\alpha}{2}}$  는 표준 정규분포의  $\frac{1-\alpha}{2}$  % 이며,  $n$  은 샘플사이즈이다.

최대우도 추정치(maximum likelihood estimate)  $\hat{p}$ 는 성공 횟수를 샘플사이즈로 나누어 계산된다. 하지만 식 (1)은 유도무기와 같이 이항분포( $\hat{p} = 0$  or  $1$ )를 나타내는 일회성 시스템에 적용할 수 없다. 이러한 결점을 극복하기 위해 Wilson score 신뢰구간과 Clopper-Pearson 신뢰구간이 가장 많이 사용되고 있다.[6] Wilson score 신뢰구간은 식 (2)와 같으며 체계의 시험 횟수가 적을 경우 사용한다[7].

$$\frac{\hat{p} + \frac{1}{2n} z_{\frac{1-\alpha}{2}}^2 \pm z_{\frac{1-\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n} + \frac{z_{\frac{1-\alpha}{2}}^2}{4n^2}}}{1 + \frac{1}{n} z_{\frac{1-\alpha}{2}}^2} \quad (2)$$

보다 정확도가 높은 방법은 Clopper-Pearson 신뢰구간으로서,  $100(1-\alpha)\%$  Clopper-Pearson 신뢰구간( $P_L, P_U$ )은 이항분포의 누적분포함수를 이용하여 식 (3)과 같이 얻어진다[6].

$$\sum_{k=x}^n \binom{n}{k} P_L^k (1-P_L)^{n-k} = \frac{\alpha}{2} \quad (3)$$

$$\sum_{k=0}^n \binom{n}{k} P_U^k (1-P_U)^{n-k} = \frac{\alpha}{2}$$

여기서  $P_L$ 과  $P_U$ 는 신뢰수준이  $1-\alpha$ 일 경우 상, 하부 신뢰구간을 나타낸다. 식 (3)을 누적 이항분포함수와 베타분포의 관계를 이용하여 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$P_L = B\left(\frac{\alpha}{2}; x, n-x+1\right) \quad (4)$$

$$P_U = B\left(1-\frac{\alpha}{2}; x+1, n-x\right)$$

이때  $B(\alpha; u, v)$ 는 모수가  $u, v$ 인 베타분포의  $\alpha$ 번째 백분위수를 나타내며,  $x$ 는 성공한 횟수를 나타낸다 [8]. 한편 베타분포와 F분포의 관계를 이용하여 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_L = \frac{1}{1 + \frac{n-x+1}{x F_{2x, 2(n-x+1), \frac{1-\alpha}{2}}}} \quad (5)$$

$$P_U = \frac{1}{1 + \frac{n-x}{(x+1) F_{2(x+1), 2(n-x), \frac{\alpha}{2}}}}$$

이때  $F(\alpha, u, v)$ 는 모수가  $u, v$ 인 F분포의  $\alpha$ 번째 백분위수를 나타낸다. 결과적으로 Clopper-Pearson 신뢰구간을 추정하기 위해서는 경우에 따라 식 (3), (4) 그리고 (5)를 사용한다[8].

### 2.2. 시스템 분류 및 신뢰도 모델 설정

유도무기 체계와 같은 시스템의 신뢰도 분석을 위한 방법으로 결함수분석법(fault tree analysis)과 신뢰도 블록 다이어그램(reliability block diagram, RBD)이 있다. 먼저 결함수분석법은 고장원인을 단위 사건의 조합으로 나타내어 시스템의 취약 부분을 분석하는데 도움을 주지만, 동적인 시스템의 고장확률을 분석하기에는 다소 무리가 있고 사고 발생원인의 시간에 따른 발생순서나 상호 의존관계를 반영하지 못한다. 반면에 신뢰도 블록 다이어그램은 시스템을 구성하는 하위 장비들의 연관관계를 나타내어 각 서브시스템이나 부품의 고장 여부에 따라 전체 시스템의 고장 여부를 확인할 수 있는 알고리즘을 가지고 있다[9]. 또한 하드웨어뿐만 아니라 소프트웨어, 특히 체계의 네트워크 신뢰도 알고리즘 구성에 유용하다.

원론적으로 유도무기 체계의 블록 다이어그램을 작성하기 위해서는 체계의 기능적인 형태를 완전히 이해하고 서브시스템들로 분류하여 볼트나 너트 수준까지 내려가야 한다. 즉 각 부품의 신뢰도로부터 전체 시스템의 신뢰도를 도출하는 것이다. 시스템의 분류 수준은 어디까지를 부품으로 할 것인가를 결정하는 것으로서 단품(component) 수준으로 결정할 경우 신뢰성 분석은 용이하지만 내용이 방대해진다. 또한 조립품(assembly) 수준으로 결정하면 분석 대상은 많지 않으나 고장률 추정에 어려움이 있다. 최하단계의 볼트나 너트 등으로부터 전체 시스템의 신뢰도를 평가한다는 것이 실질적으로 불가능하고, 예방정비나 고장 시 어셈블리 단위로 이루어지므로 현실적으로 중간 수준에

서 의미가 있고 중요한 부분을 파악하여 구조화하는 것이 중요하다[5].

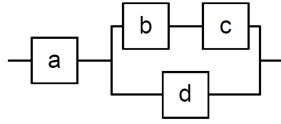


그림 2. 신뢰도 블록 다이어그램 예시  
Fig. 2 Example of Reliability Block Diagram

Fig 2은 신뢰도 블록 다이어그램의 예시로 블록 a가 고장나거나 블록 b 또는 c 그리고 블록 d가 고장나면 시스템에 문제가 발생하는 구조로 단순하며 직렬 또는 병렬 구조로 되어 있다.

### 2.3. 분포예측 및 샘플 사이즈 선정

시스템인 유도무기 체계의 분포를 예측하기 위해서는 각 서브 시스템의 분포 분석을 통해 시스템 수준의 신뢰도를 유추하는 절차가 필요하다.

#### 2.3.1. 서브시스템 수준의 분석

서브시스템의 분포예측을 위해서는 부품 단위의 사후 베타분포를 계산 먼저 계산되어야 한다. 유도무기 체계는 일반적으로  $i$ 번째 서브시스템에  $j$ 개의 부품이 직렬구조로 구성된 시스템으로 정의되며, 양산품이 아닌 개발품이므로 알려진 사전분포(native prior data)는 거의 존재하지 않아서 서브시스템의 단위부품 실험에 의해 도출된 사전분포(induced prior data)를 활용하여 사후분포를 추정해야 한다. 직렬구조 시스템에서 먼저 이산변량에 대한 이항분포 표본모델은 식(6)과 같으며, 여기서  $r$ 은 신뢰도,  $s$ 는  $n$ 번의 독립된 시험에서 성공할 수가 된다.

$$f(s_{ij}|r_{ij}; n_{ij}) \tag{6}$$

또한  $r_{ij}$ 에서 사전분포를 살펴보면 식(7)과 같으며, 사후분포는 식(8)과 같다.

$$\beta(s_{ij}^o + 1, n_{ij}^o - s_{ij}^o + 1) \tag{7}$$

$$\beta(s_{ij} + s_{ij}^o + 1, n_{ij} + n_{ij}^o - s_{ij} - s_{ij}^o + 1) \tag{8}$$

여기서, 위 첨자  $o$ 는 사전분포관련 파라미터이다. 만약 부품에 대한 시험 결과가 없을 경우, 사전분포와 사후분포는 동일하고 사전분포에 대한 결과가 없는 경우는  $\beta(1,1)$  또는  $\beta(.5,.5)$ 와 같은 통상적으로 사용하는 이항분포를 적용한다[10].

계산된 부품의 사후분포는 서브시스템의 사전분포로 계산될 수 있으며, 식(9), (10)을 활용하여 베타 분포  $\beta(a_i, b_i)$ 로 표현될 수 있다.

$$a_i = \frac{[M_i^2(1 - M_i) - V_i M_i]}{V_i}$$

$$b_i = \frac{[M_i(1 - M_i)^2 - V_i(1 - M_i)]}{V_i} \tag{9}$$

$$M_i = \prod_{j=1}^{k_i} \left[ \frac{s_{ij}^o + s_{ij} + 1}{n_{ij}^o + n_{ij} + 2} \right]$$

$$V_i = \prod_{j=1}^{k_i} \left[ \frac{(s_{ij}^o + s_{ij} + 1)(s_{ij}^o + s_{ij} + 2)}{(n_{ij}^o + n_{ij} + 2)(n_{ij}^o + n_{ij} + 3)} \right] - M_i^2 \tag{10}$$

식(9), (10)에서 계산된  $i$ 번째 서브시스템의 사전분포와 이항분포의 실험데이터  $(s_i, n_i)$ 를 베이지안 방법론을 활용하여 식(11)과 같은 사후분포를 추정할 수 있다.

$$\beta(a_i + s_i, b_i + n_i - s_i) \tag{11}$$

#### 2.3.2. 시스템 수준의 분석

시스템 수준의 분석은 서브시스템 분석 방법과 유사하며, 시스템의 사전 베타분포  $\beta(a, b)$ 는 식(12), (13)의 값을 활용하여 계산된다.

$$a = \frac{[M^2(1 - M) - VM]}{V}$$

$$b = \frac{[M(1 - M)^2 - V(1 - M)]}{V} \tag{12}$$

$$M = \prod_{i=1}^m \left[ \frac{a_i + s_i}{a_i + b_i + n_i} \right]$$

$$V = \prod_{i=1}^m \left[ \frac{(a_i + s_i)(a_i + s_i + 1)}{(a_i + n_i)(a_i + n_i + 1)} \right] - M^2 \tag{13}$$

식(12), (13)에서 계산된 시스템의 사전분포와 이항 분포의 실험데이터 ( $s, n$ )를 베이지안 방법론을 활용하여 식(14)와 같은 사후분포를 추정할 수 있다[10].

$$\beta(a+s, b+n-s) \quad (14)$$

### III. 유도무기체계 신뢰성 분석 적용

유도무기체계의 구조적 분석, 신뢰성 측면에서의 기능적 분석과 임무에 따른 기능의 분석, 그리고 이를 종합하면 Table 1과 같다. 각종 유도무기들의 발전 방향과 구성에 대한 분석을 통해 국내 소요 예상 유도무기체계를 개발하는데 필요한 부품 및 기술이 확보된다고 판단되는 5개의 유도무기체계와 19가지의 부체계로 분류할 수 있으며, 실사격 시험에서의 중요도와 신뢰도 평가 가능성을 고려하여 유도탄 체계 중 8개의 부체계를 선택한다.

표 1. 표준 유도무기체계 구성도

Table. 1 Standard Diagram of Guided Weapons[11]

Guided Weapon Systems	Subsystems
Guided Missile	Comprehensive Missile
	Systems M&S
	1. Seeker
	2. Sensor Block
	3. Autopilot
	4. Control Surface
	5. Fuze
	6. Warhead
	7. Actuator
Body	
Detection / Tracking	Radar
	EOTS
Launch Control	Launch Control
	Command Control
	Appending Equipment
ILS / T&E	ILS
	T&E

유도무기체계를 단순화시킨 기본 구조는 Fig 3과 같으며 신뢰도 블록 다이어그램으로 표현하면 Fig 4와 같은 직렬구조 형태를 나타낸다.

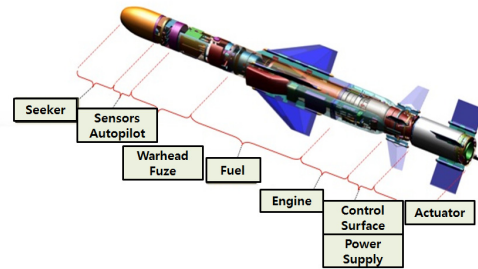


그림 3. 유도무기 구조  
Fig. 3 Missile Structure

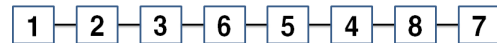


그림 4. 유도무기 신뢰도 블록 다이어그램  
Fig. 4 Missile Reliability Block Diagram

Table 2는 서브시스템과 부품들의 사전분포 및 테스트 결과를 나타낸 표로서 보안문제로 인하여 결과값은 임의의 숫자로 나타내었으며, 유사한 형태의 분포가 예상된다.

표 2. 서브시스템, 부품 및 시스템 시험결과  
Table. 2 Binomial Test and Beta Prior Data

i	j	$s_{ij}^o$	$n_{ij}^o$	$s_{ij}$	$n_{ij}$	$s_i$	$n_i$	System	
								$s^o$	$n^o$
								146	150
1	1	398	400	50	50	5	5		
	2	287	300	49	50				
2	1	248	250	30	30	6	6		
	2	266	270	30	30				
3	1	796	800	99	100	5	5		
	2	794	800	100	100				
4	1	47	50	20	20	8	8		
	2	58	60	20	20				
5	1	99	100	49	50	9	10		
	2	110	120	48	50				
6	1	195	200	28	30	5	5		
	2	215	220	29	30				
7	1	298	300	40	40	6	6		
	2	346	350	39	40				
8	1	248	250	29	30	7	7		
	2	246	250	30	30				

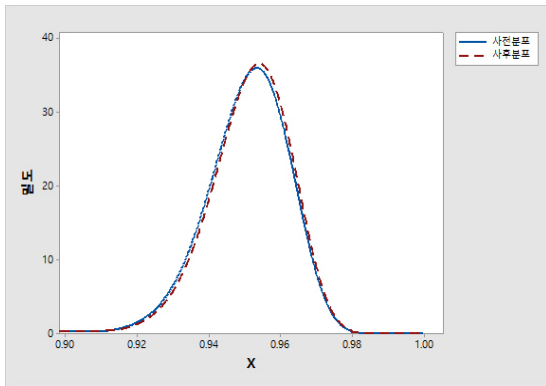


그림 5. 탐색기 사전, 사후분포  
 Fig. 5 The Prior and Posterior Beta Distributions(Seeker)

먼저, 서브시스템 수준의 분석을 수행하면 사전분포는 식(9)와 (10)을 통해 계산되며 Fig 5와 같이 탐색기(seeker)의 사전 베타분포는  $\beta(346.726, 17.853)$ , 사후 베타분포는  $\beta(351.726, 17.853)$ 이 된다. 베타분포의 확률밀도함수에서 5%, 50%, 95%가 되는 X값은 각각 (0.9312, 0.9519, 0.9681), (0.9321, 0.9525, 0.9685)이 된다[10].

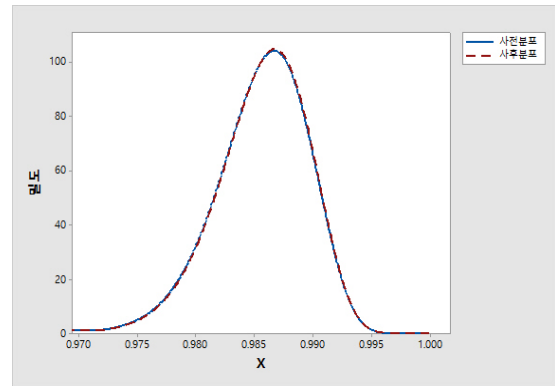


그림 7. 항법장치 사전, 사후분포  
 Fig. 7 The Prior and Posterior Beta Distributions(Autopilot)

Fig 7과 같이 항법장치(autopilot)의 사전 베타분포는  $\beta(892.254, 13.000)$ , 사후 베타분포는  $\beta(897.254, 13.000)$ 이 된다. 베타분포의 확률밀도함수에서 5%, 50%, 95%가 되는 X값은 각각 (0.9786, 0.9860, 0.9915), (0.9787, 0.9861, 0.9915)이 된다.

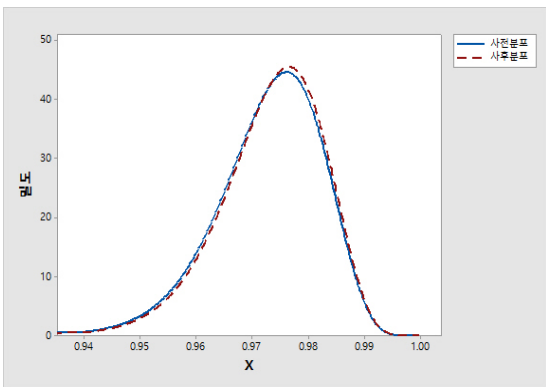


그림 6. 유도조종장치 사전, 사후분포  
 Fig. 6 The Prior and Posterior Beta Distributions(Sensor Block)

Fig 6과 같이 유도조종장치(sensor block)의 사전 베타분포는  $\beta(287.814, 7.992)$ , 사후 베타분포는  $\beta(293.814, 7.992)$ 이 된다. 베타분포의 확률밀도함수에서 5%, 50%, 95%가 되는 X값은 각각 (0.9559, 0.9740, 0.9864), (0.9568, 0.9746, 0.9867)이 된다.

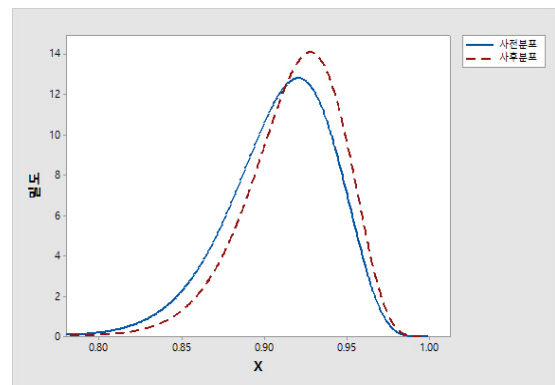
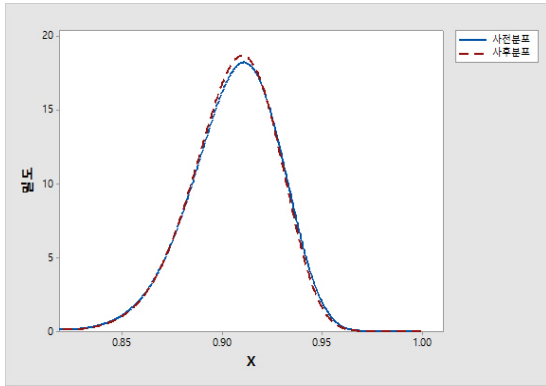


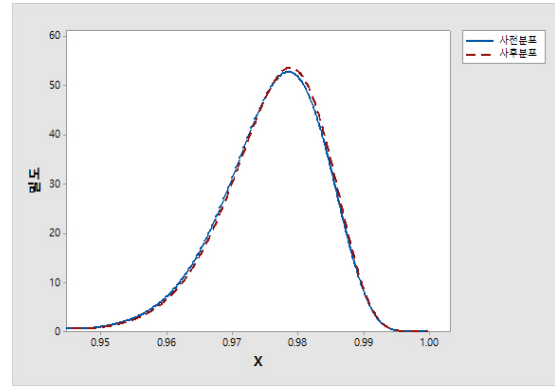
그림 8. 구동장치 사전, 사후분포  
 Fig. 8 The Prior and Posterior Beta Distributions(Control Surface)

Fig 8과 같이 구동장치(control surface)의 사전 베타분포는  $\beta(70.396, 6.971)$ , 사후 베타분포는  $\beta(78.396, 6.971)$ 이 된다. 베타분포의 확률밀도함수에서 5%, 50%, 95%가 되는 X값은 각각 (0.8513, 0.9134, 0.9564), (0.8649, 0.9216, 0.9606)이 된다.



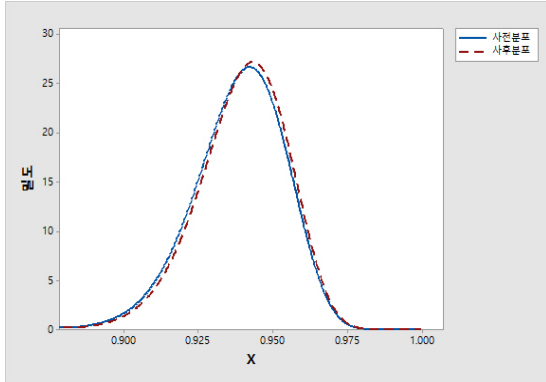
**그림 9.** 신관 사전, 사후분포  
**Fig. 9** The Prior and Posterior Beta Distributions (Fuze)

Fig 9와 같이 신관(fuze)의 사전 베타분포는  $\beta(154.367, 15.983)$ , 사후 베타분포는  $\beta(163.367, 16.983)$  이 된다. 베타분포의 확률밀도함수에서 5%, 50%, 95%가 되는  $X$ 값은 각각 (0.8670, 0.9078, 0.9399), (0.8678, 0.9073, 0.9388)이 된다.



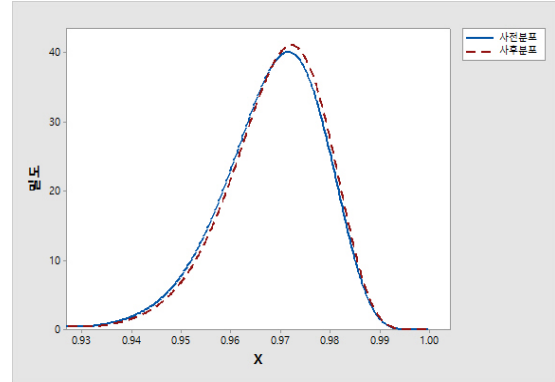
**그림 11.** 추진기관 사전, 사후분포  
**Fig. 11** The Prior and Posterior Beta Distributions (Actuator)

Fig 11과 같이 추진기관(actuator)의 사전 베타분포는  $\beta(365.396, 8.964)$ , 사후 베타분포는  $\beta(371.396, 8.964)$ 이 된다. 베타분포의 확률밀도함수에서 5%, 50%, 95%가 되는  $X$ 값은 각각 (0.9618, 0.9769, 0.9874), (0.9624, 0.9773, 0.9876)이 된다.



**그림 10.** 탄두 사전, 사후분포  
**Fig. 10** The Prior and Posterior Beta Distributions (Warhead)

Fig 10과 같이 탄두(warhead)의 사전 베타분포는  $\beta(229.325, 14.976)$ , 사후 베타분포는  $\beta(234.325, 14.976)$  이 된다. 베타분포의 확률밀도함수에서 5%, 50%, 95%가 되는  $X$ 값은 각각 (0.9116, 0.9399, 0.9617), (0.9134, 0.9411, 0.9625)이 된다.



**그림 12.** 전원공급장치 사전, 사후분포  
**Fig. 12** The Prior and Posterior Beta Distributions (Power Supply)

Fig 12와 같이 전원공급장치(power supply)의 사전 베타분포는  $\beta(275.257, 9.001)$ , 사후 베타분포는  $\beta(282.257, 9.001)$ 이 된다. 베타분포의 확률밀도함수에서 5%, 50%, 95%가 되는  $X$ 값은 각각 (0.9496, 0.9694, 0.9833), (0.9508, 0.9702, 0.9837)이 된다.

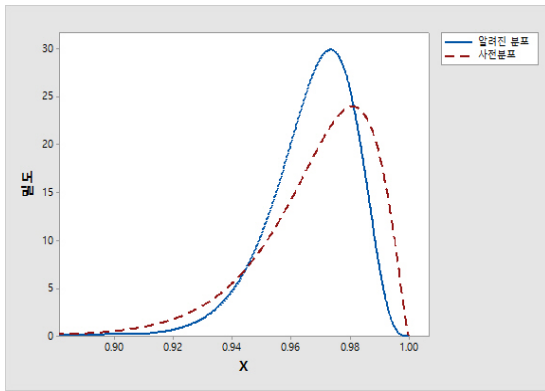


그림 13. 유도무기의 알려진 분포 및 사전분포  
 Fig. 13 The Native and Prior Beta Distributions (Missile System)

시험 및 실험을 통해 분석된 서브시스템의 사후분포를 이용하여 식(11), (12), (13)에 따라 유도무기체계의 사전분포를 분석해보면, Fig 13과 같이 사전 베타분포는  $\beta(73.302, 2.405)$ 이 된다. 베타분포의 확률밀도함수에서 5%, 50%, 95%가 되는 X값은 (0.9298, 0.9723, 0.9929)이 된다.

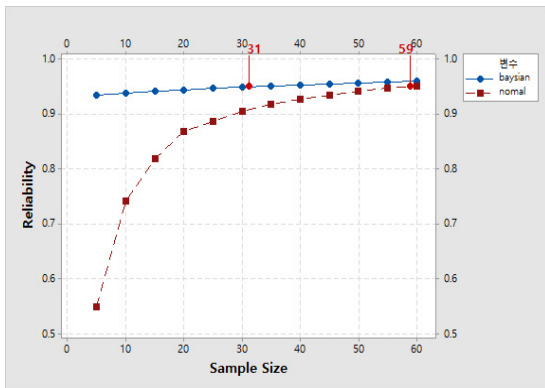


그림 14. 샘플수 선정  
 Fig. 14 Sample Size

유도무기체계 시험 시 신뢰수준 95%를 만족하는 샘플수를 선정할 경우, Fig 14에서와 같이 서브시스템과 부품의 실험 데이터를 사용하는 베이지안 방법을 적용할 경우 식(14)를 활용하여 계산된 샘플수가 31개가 필요하고, 기존의 방식대로 사전데이터 없이 점 추정방식을 사용하여 샘플수를 산정할 경우 식(4)를 활용하

여 계산된 적정 샘플수는 59개가 필요하다[3].

#### IV. 결론

본 논문은 유도무기체계와 같이 직렬구조로 단순화할 수 있는 일회성시스템의 신뢰도 추정방법에 관한 연구결과이다. 시스템 단위 시험에 대한 적절한 샘플수 선정을 위해 서브시스템 및 부품단위의 실험결과를 활용하는 베이지안 방법론을 적용하였다. 이를 위해 신뢰구간을 추정하고 해당 시스템을 WBS 형태로 구조화하였다. 구분되어진 서브시스템 간의 신뢰도 모델을 설정하고 분포 예측을 통해 상위 수준의 시스템에 사전분포를 제공함으로써 특정 신뢰수준에서의 시스템의 적정 샘플 수를 선정하였다.

베이지안 방법론을 이용하여 유도무기체계의 랜덤 데이터를 분석하여 샘플수를 선정할 결과, 기존 사전 데이터를 활용하지 않는 전통적인 통계방식보다 적정하게 샘플수를 선정할 수 있지만, 이를 위해서는 몇 가지 선결되어야하는 조건이 있다. 첫째, 시험평가 기본 계획서(TEMP, Test & Evaluation Master Plan)가 작성되는 시점에 신뢰도 블록 다이어그램이 도출되어야 한다. 둘째, 모든 서브시스템 및 부품들의 실험결과가 동일한 분류기준에 따라 저장, 관리되어야 한다. 그리고 셋째, 모든 데이터는 동일한 조건에서 수행되어야 하며 반복성 및 재현성이 보장되어야 한다.

유도무기체계는 실제로 직렬구조보다 병렬구조와 융합된 복합적인 구조로 설계되어 있다. 이러한 구조를 보다 정확히 분석하기 위해서는 향후 병렬구조와 직렬구조가 복합적으로 구성된 시스템에 대한 베이지안 신뢰도 분석방법의 연구가 추가적으로 필요하다.

#### REFERENCES

[ 1 ] SRC, "Analysis of one-shot devices", *START*, vol.7, no.4, 2004.  
 [ 2 ] Son Young Kap, "A study on the reliability analysis of one-shot system", *Korea Association of Defense Industry Studies*, vol.16, no.2, pp.105 ~ 114, 2009.  
 [ 3 ] Huairui G., "Reliability estimation for one-shot systems with zero component test failures", *IEEE*, 2010.



- [ 4 ] Ministry of Defense, "Defense standard 00-42 part 1", 2008.
- [ 5 ] Jeon Chi Hyuk, "Development of a reliability prediction model for weapon systems", Agency for Defense Development, ATRC-415-93400, 1993.
- [ 6 ] C. Clopper, and S. Pearson, "The use of confidence or fiducial limits illustrated In the case of the binomial", *Biometrika*, vol.26, pp.209~212, 1934.
- [ 7 ] Wilson, "Probable inference, the law of succession, and statistical inference", *Journal of The American Statistical Association*, vol.22, pp.209~212, 1927.
- [ 8 ] Hong Hye Jin, "Bayesian reliability estimation of a new expendable launch vehicle", *Journal of Korean Society for Quality Management*, vol.42, no.2, pp.199~208, 2014.
- [ 9 ] Ha Sol, "GPU-accelerated reliability analysis method using dynamic reliability block diagram based on DEVS formalism", *Journal of the Korea Society for Simulation*, vol.22, pp109~108, 2013.
- [10] Martz, "Bayesian reliability analysis of series system of binomial subsystems and components", *Society for Quality*, vol.30, pp.143~154, 1988.
- [11] Jong Yul Kim, "Core technology/major component standardization plan for guided weapon", Security Management Institute, 2007.



김문기(MoonKi Kim)

전자공학과 공학학사  
현재: 고려대학교 기술경영전문대학원 재학중  
※ 관심분야 : 무기체계 시험평가, 센서 신호처리, 프로젝트 관리



강석중(Seok-Joong Kang)

1988, 5 Indiana Univ. 전산학 학사  
1991, 5 Indiana Univ. 전산학 석사  
2003, 2 Univ. of California, Irvine 전자전산공학 박사  
2012, 8 광운대학교 교수  
현재 : 고려대학교 기술경영전문대학원 국방기술경영학과 교수  
※ 관심분야 : 실시간체계, 소프트웨어공학, 획득체계