

# 베이지안 기법을 적용한 일회성 장비의 경제적 시험 수량 연구

이연호<sup>†</sup> · 이계신 · 이학재 · 김상문 · 문기성

LIG넥스원 ILS연구센터

## A Study of Economical Sample Size for Reliability Test of One-Shot Device with Bayesian Techniques

Youn Ho Lee<sup>†</sup> · Kye Shin Lee · Hak Jae Lee · Sang Moon Kim · Ki Sung Moon

ILS Lab., LIGNEX1

This paper discusses the application of Bayesian techniques with test data on similar products for performing the Economical Reliability Test of new one-shot device. Using the test data on similar products, reliability test required lower sample size currently being spent in order to demonstrate a target reliability with a specified confidence level. Furthermore, lower sample size reduces cost, time and various resources on reliability test. In this paper, we use similarity as calculating weight of similar products and analyze similarity between new and similar product for comparison of the essential function.

**Keywords:** One-Shot Device, Reliability Demonstration Test, Sample Size, Bayesian Techniques

### 1. 서론

일회성 장비(One-shot device)는 그 기능을 한번 사용했을 경우 재사용이 불가능한 장비로써 방위산업의 대표적인 일회성 장비로는 고도의 기술이 집적화된 고가의 최첨단 시스템인 유도탄이 있다. 일회성 장비는 고 신뢰성 또는 고 품질을 요하는 제품들로 요구되는 신뢰성이 일정수준(신뢰수준, Confidence Level) 이상으로 보장되어야 한다. 이러한 요구 사항은 샘플을 이용한 신뢰성 입증 시험(Reliability Demonstration Test)을 통해 만족여부가 확인되며, 샘플 크기는 요구되는 신뢰성 및 신뢰수준에 의해 결정된다[5].

하지만, 유도탄과 같은 고가의 일회성 장비 경우 장비 특성상 신뢰성 시험이 파괴시험 형태로 진행되고 이에 따라 시험 진행 과정에서 시험에 활용되는 장비 및 시험환경 구성으로 막대한 비용이 발생하게 된다. 또한, 활용 가능한 사업비용의 제약으로 인해 요구되는 성능을 입증하기에 충분한 시험이 수행되지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이와 같이 불충분한 시험을 수행한 경우 사용자에게 장비 성능 및 시험에 대한 신뢰성을 제공하지 못함으로써, 제품의 생산 및 배치 시 문제를 야기할 수 있다.

결국, 고 신뢰성 및 고 품질을 요하는 일회성 장비에 대한

신뢰성을 입증하기 위해서는 그에 부합하는 충분한 수량의 샘플을 시험해야 하며 이는 비용/일정 등 여러 측면에서 현실적으로 어렵다. 이에 대해, 본 논문에서는 신규 개발장비의 경우 과거 유사장비와 유사성이 존재한다는 사실에 근거하여 사전 정보인 유사장비의 시험 데이터를 활용한 베이지안 기법을 이용하여 신규 일회성 장비의 경제적 시험 수량에 대해 논의한다. Martz and Waller(1982)에서는 베이지안 기법을 통한 사후분포 추정시 우도함수가 특정분포를 따를 경우 우도함수에 대한 사전 및 사후분포가 유사한 형태를 가지는 공액사전분포(conjugate prior distribution)를 사전분포로 적용하는 것이 유리하다고 언급하였다. 또한 우도함수가 이항분포인 경우 베타분포를 사전분포로 적용하며, 이와 같은 적용이 실제 사전분포의 형태가 베타분포와 다르더라도 그 결과에 대한 차이가 크지 않다고 언급하고 있다. Kleyner *et al.*(1997)은 상기 공액사전분포 개념을 적용한 베이지안 기법을 이용하여 이항분포 데이터에 대한 샘플링 검사에 소요되는 시험 수량을 최소화하는 방안을 연구하였으며 2개의 사전정보를 혼합하기 위한 수식 모델을 제안하였다. Ten and Xie(1998) 역시 베이지안 접근법을 이용한 신뢰성 입증시험에 이항분포 데이터를 적용하였으며 사전분포가 베타분포인 경우 시

<sup>†</sup> 교신저자 younho.lee@lignex1.com

2014년 6월 1일 접수; 2014년 7월 31일 수정본 접수; 2014년 8월 9일 게재 확정.

험 수량 산출수식을 이항분포의 형태로 산출하는 방안을 적용하였다. 전종선·안선웅(2012)에서는 베이지안 접근법을 근거로 베타-이항분포의 공액사전분포를 활용하여 초기하분포의 공액사전분포가 베타-이항분포임을 밝히고 이를 통해 유한모집단에 대한 신뢰성 입증시험에 적용하였다.

최근 문병민 외(2013)에서는 일회성 장비에 대한 보다 정확한 신뢰도 추정을 위해 베타 사전분포를 활용한 베이지안 접근법을 적용하였으며, 권영일(2013)에서도 역시 공액사전분포인 베타분포를 활용한 베이지안 접근법을 활용하여 신뢰성 입증시험 설계 시 시험 수량 및 시험시간을 단축하였다.

본 논문에서는 신규 일회성 장비에 대한 신뢰성 시험의 시험 수량 산출을 위해 유사장비 시험 데이터를 베타 사전분포로 활용한 베이지안 기법을 적용하였으며 이 과정에서 여러 유사장비의 시험 데이터를 적용하기 위한 사전분포 혼합 모델을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 사전분포 혼합모델에는 보다 현실적인 사전정보 활용을 위해 각 유사장비와 신규 장비 간 필수기능을 비교분석을 수행하여 유사성을 판단하고 이를 바탕으로 각 유사장비의 시험 데이터에 가중치를 부여하여 사후분포 추정에 적용하였다.

## 2. 일반적 시험 수량 산정 방법

일회성 장비의 경우 시험 결과가 성공/실패 또는 정상/불량과 같이 베르누이 시행으로 진행되어 셀 수 있는 이산 데이터로 집계된다. 이와 같은 경우 이항분포를 이용하여 시험 결과( $n$ 개 중  $r$ 개 실패 또는 성공)에 대해 입증하고자 하는 신뢰도에 대한 신뢰수준을 계산할 수 있다(Dimitri, 1993; Defence Standard, 2008; RIAC, 2000).

$$\sum_{i=r}^n \binom{n}{i} (1-R_L)^i R_L^{n-i} = CL \quad (1)$$

- $n$  : 시험발수
- $r$  : 실패발수
- $CL$  : 신뢰수준
- $R_L$  : 요구(목표) 신뢰도

식 (1)을 이용하면 입증하고자 하는 신뢰도( $R_L$ )에 대한 요구 신뢰수준( $CL$ )을 만족하기 위한 시험 수량  $n$ 과 그에 해당하는  $r$ (실패 또는 성공 수량)을 계산할 수 있다. 이와 같은 시

<표 1> 실패 허용 수량별 최소 시험 수량(Rel 80%, CL 90%)

Fail(r)	Sample size(n)	Fail(r)	Sample size(n)
0	22	4	78
1	39	5	91
2	53	6	104
3	66	7	116

험 수량 산출 방법은 해당 장비에 대한 사전 정보를 활용하지 않는 것으로 요구 신뢰도 80%에 대해 신뢰수준 90% 이상으로 입증하고자 할 경우 실패 허용 수량  $r$ 에 따른 최소 요구 시험 수량  $n$ 은 <표 1>과 같다.

## 3. 베이지안 접근법

본 논문에서는 과거 유사장비 시험결과를 고려하여 신규 장비의 경제적 시험 수량을 산정하기 위해 베이지안 접근법을 활용하고자 한다. 베이지안 접근법은 모집단에 대한 사전 정보가 없거나 기존 데이터의 수가 적을 경우 매우 유용하다(Vicens *et al.*, 1975). 특히 본 논문에서는 과거 유사장비 시험결과를 신뢰도에 대한 사전분포로 활용하여 우도함수인 신규장비 시험결과와 조합하여 일회성 장비의 신뢰도에 대한 사후분포를 추정한다.

베이즈 정리에 의해 일회성 장비 신뢰도에 대한 사후분포는 유사장비 시험결과에 대한 사전분포와 신규 장비 시험결과인 우도함수의 곱으로 계산할 수 있다.

$$P(R|r) = \frac{P(R, r)}{P(r)} = \frac{P(r|R) \cdot P(R)}{P(r)} \quad (2)$$

$R$ : 장비 신뢰도

여기서,  $P(r|R)$ 은 우도함수로서 일회성 장비의 경우 시험 결과가 정상/실패 두 가지 결과만 고려되므로 이항분포를 적용할 수 있다.

$$P(r|R) = B(r; n, 1-R) = \binom{n}{r} (1-R)^r R^{n-r} \quad (3)$$

$P(R)$ 은 장비 신뢰도에 대한 사전분포로 우도함수가 이항분포를 따를 경우 이항분포의 공액사전분포(Conjugate prior distribution)로 상위 파라미터  $a, b$ 를 가지는 베타분포를 이용한다(Kleyner *et al.*, 1997; Ten and Xie, 1998).

$$P(R) = \frac{R^{a-1} \times (1-R)^{b-1}}{\beta(a,b)} = \frac{(a+b-1)!}{(a-1)!(b-1)!} R^{a-1} (1-R)^{b-1} \quad (4)$$

단,  $a, b \geq 1$

여기서 상위 파라미터는 유사장비 시험 데이터로  $a$ 는 성공(명중)횟수,  $b$ 는 실패횟수를 적용한다. 한편,  $P(r)$ 는 전확률 법칙에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(r) = \int_0^1 P(R, r) dR = \int_0^1 P(r|R) \cdot P(R) dR \quad (5)$$

베이즈 정리에 의하여 우도함수 식(3)과 사전분포 식(4), 그리고 정확률 분포 식(5)를 이용한 사후분포를 정리하면 사후분포는 다음 식(6)과 같이 사전분포와 동일한 베타분포의 형태로 나타난다.

$$\begin{aligned} P(R|r) &= \frac{P(r|R) \cdot P(R)}{\int_0^1 P(r|R) \cdot P(R) dR} \\ &= \frac{\binom{n}{r} \frac{R^{a+n-r-1} \times (1-R)^{b+r-1}}{\beta(a, b)}}{\binom{n}{r} \frac{\beta(a+n-r, b+r)}{\beta(a, b)}} \quad (6) \\ &= \frac{R^{a+n-r-1} \times (1-R)^{b+r-1}}{\beta(a+n-r, b+r)} \end{aligned}$$

여기서 사전분포의  $a, b$ 는 유사장비 시험 데이터이며  $n, r$ 은 신규 장비 시험결과이다. 장비 신뢰성의 사전분포 및 우도함수 결정 후 사후분포를 도출하고 나면, 신뢰도와 모집단 신뢰수준과의 관계식인 식(7)을 이용하여 신뢰도 하한에 대한 요구 신뢰수준을 만족하는 시험 수량( $n$ )과 합격기준(명중수량 또는 실패수량,  $r$ )을 설정해야 한다.

$$P(R \geq R_L|r) \geq CL \quad (7)$$

$R_L$ 은 장비의 요구 신뢰도이며  $CL$ 은 신뢰수준을 나타낸다. 또한 사후분포가 베타분포인 경우 식(6)을 다음과 같이 나타낼 수 있다(Ten and Xie, 1998).

$$\begin{aligned} P(R \geq R_L|r) &= \int_{R_L}^1 P(R|r) dR \\ &= \int_{R_L}^1 \frac{R^{a^*-1} \times (1-R)^{b^*-1}}{\beta(a^*, b^*)} dR \quad (8) \\ &= 1 - \sum_{i=0}^{b^*-1} B(i; a^* + b^* - 1, 1 - R_L) = CL \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{단, } B(i; a^* + b^* - 1, 1 - R_L) &= \binom{a^* + b^* - 1}{i} \cdot (1 - R_L)^i \cdot R_L^{a^* + b^* - 1 - i}, \\ a^* &= a + n - r, \quad b^* = b + r \end{aligned}$$

## 4. 사전 분포 혼합

### 4.1 수식 정리

대부분의 신규장비는 유사장비와 완전히 동일하지 않기 때문에 유사장비의 시험 데이터를 100% 적용하기에 문제가 있다. 하지만 신규장비가 유사장비의 일부분 또는 전체에 대한 설계변경이나 성능개량 등으로 유사장비와 신규장비 간

유사성은 반드시 존재한다. 이와 같은 사실을 이용하여 성공 확률  $R$ 에 대한 사전분포를 다음과 같이 나타낼 수 있다(Kleyner *et al.*, 1997).

$$\begin{aligned} P(R)^* &= \sum_i (\rho_i \cdot P_i(R)) + (1 - \rho) \\ &= \sum_i \left( \rho_i \frac{R^{a_i-1} \times (1-R)^{b_i-1}}{\beta(a_i, b_i)} \right) + (1 - \rho), \quad (9) \\ \text{where } \rho &= \sum_i \rho_i \end{aligned}$$

여기서  $\rho_i$ 는 유사성(knowledge factor)으로 유사장비  $i$ 와 신규 장비간의 유사한 정도를 나타내는 값이며  $1 - \rho$ 는 혁신성(innovation factor)으로 신규장비에서 새로 개발되는 정도를 나타낸다. 상기 이용하여 혼합 사전분포 식(9)과 우도함수 식(3)을 활용하여  $i$ 개의 유사장비의 사전분포에 대한 사후분포를 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P(Rr)^* &= \frac{P(r|R) \cdot P(R)^*}{\int_0^1 P(r|R) \cdot P(R)^* dR} \\ &= \frac{(1 - \rho)B(r; n, 1 - R) + \epsilon}{\int_0^1 (1 - \rho)B(r; n, 1 - R) + \epsilon_i dR} \quad (10) \\ &= \frac{(1 - \rho)B(r; n, 1 - R) + \epsilon_i}{\frac{(1 - \rho)}{(n+1)} + \sum_i \rho_i \binom{n}{r} \frac{\beta(a_i^*, b_i^*)}{\beta(a_i, b_i)}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{단, } \epsilon &= \sum_i \rho_i \binom{n}{r} \frac{R^{a_i-1} (1-R)^{b_i-1}}{\beta(a_i, b_i)} \\ a_i^* &= a_i + n - r, \quad b_i^* = b_i + r, \quad a_i, b_i \geq 1 \end{aligned}$$

식(10)에 대해서 신뢰도 하한에 대한 요구 신뢰수준을 만족하는 시험 수량 산출식은 식(8)을 이용하여 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} CL &= \int_{R_L}^1 P(Rr)^* dR \\ &= \frac{\int_{R_L}^1 (1 - \rho)B(r; n, 1 - R) + \epsilon dR}{\frac{(1 - \rho)}{(n+1)} + \sum_i \rho_i \binom{n}{r} \frac{\beta(a_i^*, b_i^*)}{\beta(a_i, b_i)}} \quad (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\frac{1 - \rho}{n+1} \left( 1 - \sum_{c=0}^r B(c; n+1, 1 - R_L) \right) + \sum_i \rho_i \delta_i \left( 1 - \sum_{c=0}^{b_i^*-1} B(c; a_i^* + b_i^* - 1, 1 - R_L) \right)}{\frac{1 - \rho}{n+1} + \sum_i \rho_i \delta_i} \end{aligned}$$

$$\text{단, } \delta_i = \binom{n}{r} \frac{\beta(a_i^*, b_i^*)}{\beta(a_i, b_i)}$$

유사장비  $i$ 의 사전분포 상위 파라미터( $a_i, b_i$ )는 장비  $i$  시험결과의 명중발수와 실패발수를 대입한다. 또한 베타분포의 특성상 상위 파라미터  $a, b$ 는 0보다 커야하므로 장비  $i$ 의 시험결과가 100% 명중( $b_i = 0$ )인 경우 이항분포를 활용한 무고장 신뢰성 입증 시험의 신뢰수준 관계식과 식(8)을 활용하여 다음 식을 만족하는 상위 파라미터  $a_i^*, b_i^* \geq 1$ 을 역으로 산출한다.

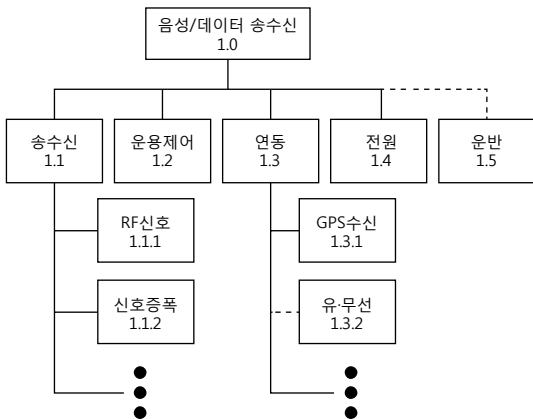
$$\begin{aligned} 1 - R_L^{a_i} &= 1 - \sum_{r=0}^{b_i^* - 1} B(r; a_i^* + b_i^* - 1, 1 - R_L) \\ &\rightarrow b_i^* \text{에 최소값 } 1 \text{ 대입} \\ &= 1 - \binom{a_i^* + 1 - 1}{0} (1 - R_L)^0 R_L^{a_i^* + 1 - 1 - 0} \\ &= 1 - R_L^{a_i^*} \\ \therefore (a_i^*, b_i^*) &= (a_i, 1) \end{aligned} \quad (12)$$

$a_i$ : 유사장비  $i$  시험결과 명중발수

따라서 유사장비  $i$ 의 시험결과가(명중 발수, 실패 발수) = ( $a_i, 0$ )인 경우  $i$ 의 사전분포 상위 파라미터는 ( $a_i^*, b_i^*$ ) = ( $a_i, 1$ )로 대입할 수 있다.

### 4.2 유사성 계산

앞서 우리는 신규장비와 유사장비 간 유사성( $\rho$ , knowledge factor)을 통해 유사장비의 시험결과를 활용할 수 있는 수식을 정리하였다. 하지만 해당 수식을 이용하기 위해서는 장비 간 유사성을 수치로 정량화 할 필요가 있다. 본 장에서는 유사장비와 신규장비 간 유사 또는 동일한 필수 기능(essential functions) 보유 정도에 따라 유사성을 정량화하였다. 필수 기능은



〈그림 1〉 시스템 기능블럭도

개발 무기체계에 대한 고장정의(Failure Definition) 설정 간수 행되는 업무로 시스템 또는 장비가 반드시 수행해야하는 주요 또는 기본적인 성능에 대한 기술서이다. 이와 같은 필수 기능은 운용 성능 및 기능 분석을 통해 도출된다(TRADOC Pam 71-9, 1999).

필수 기능 정의는 다음의 절차에 따라 진행한다

운용개념서(Operational Concept Description) 및 군 요구 성능(Requirement Of Capability)을 기초로 기능을 정의한다

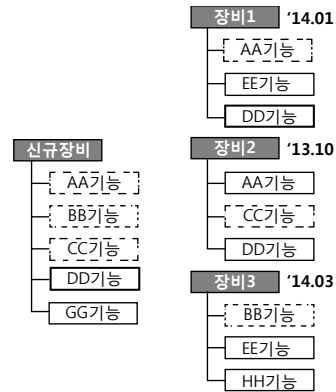
정의된 기능에 대해 Top-Down 방식으로 Tree 형태의 <그림 1>과 같은 기능블럭도 또는 표를 작성한다.

식별된 주요 기능 중 필수 기능을 식별한다

상기 절차에 따라 유사장비들의 필수 기능을 정의한 후 다음 절차에 따라 신규장비와 유사장비 간 유사성을 계산한다

1. 신규장비의 필수기능 별로 유사장비 중 유사 또는 동일한 필수 기능이 있는지 확인한다
2. 신규장비 필수 기능 중 둘 이상의 유사장비에 유사 및 동일한 필수 기능이 존재할 경우, 보다 동일한 필수 기능을 보유한 유사장비의 필수 기능을 동일 필수 기능으로 식별한다.

※ 만일, 해당 유사장비들의 필수 기능이 동등할 경우 가장 최근에 시험을 수행한 유사장비의 필수 기능을 동일 필수 기능으로 식별한다.



〈그림 2〉 신규 및 유사장비 필수기능 분석

신규장비의 필수기능과 동일한 것으로 분류된 각 유사장비의 필수기능 개수를 신규장비 필수기능 총 개수에 대한 비율로 하여 각 유사장비들과의 유사성( $\rho_i$ )을 부여한다.

$$\frac{N(NEW^F - \bigcup_i (E_i^F \cap NEW^F))}{N(NEW^F)} = 1 - \rho$$

$$\frac{N(E_i^F \cap NEW^F)}{N(NEW^F)} = \rho_i \quad (13)$$

$N(F)$ : 집합  $F$ 의 원소 개수

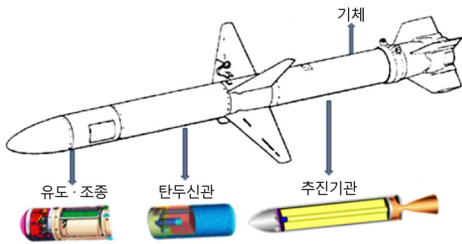
$NEW^F$ : 신규장비 필수 기능 집합

$E_i^F$ : 유사장비  $i$  필수 기능 집합

5. 수치 예제

L사에서는 유도무기(Guided Missile) OO을 개발 중에 있으며 개발 유도무기의 “명중률”에 대해 80% 요구 명중률을 90% 신뢰수준으로 입증하기 위한 시험 수량 및 합격 기준을 유사 유도무기 시험 데이터를 활용해 설정하고자 한다

일반적인 유도무기는 <그림 3>와 같이 유도·조종장치(Guidance and Control), 탄두·신관(Warhead and Fuzing), 추진기관(Propulsion), 기체(AirFrame) 등으로 구성되며 유도방식 및 종류에 따라 그 위치가 다르거나 구성품이 추가/생략될 수 있다.



<그림 3> 일반적인 유도무기 구조

또한, 유도무기 구성에 따른 기능은 크게 <표 2>와 같이 분류할 수 있다.

<표 2> 일반적인 유도무기 구조에 따른 기능 분류

L1	L2	L3
추진	로켓	액체/고체
	제트	터보/램/펄스
유도	항법	관성/지측/천측
	지령	비시선/시선/빔편승
	호밍	능동/반능동/수동
탄두	고폭탄	파편/폭풍/성형작약
		분산

유사장비를 상기 기능분류에 따라 분류한 결과 및 시험 데이터는 <표 3>과 같으며, 제시된 유사장비 필수기능을 활용하여 신규장비와의 유사성을 계산하면 <표 4>와 같다.

<표 3> 유사장비 필수기능 분류 및 시험 데이터( $a_i, b_i$ )

구 분	Lv1	Lv2	Lv3
AA 2013.02 ( $a_i = 8, b_i = 2$ )	추진	로켓	고체
	유도	호밍	능동/MW seeker
	탄두	고폭탄	파편/충격-지연 신관
BB 2013.06 ( $a_i = 7, b_i = 0$ )	추진	로켓	고체
	유도	호밍	수동/IR seeker
	탄두	고폭탄	폭풍형/근접 신관
CC 2014.02 ( $a_i = 6, b_i = 1$ )	추진	제트	램
	유도	지령유도	비시선유도
	탄두	고폭탄	성형작약/시한 신관

<표 4> 신규장비 필수기능 분류 및 유사성 산출 결과( $\rho_i$ )

구 분	Lv1	Lv2	Lv3	유사장비
OO 유도 무기	추진	로켓	고체	BB
			이중추력	-
	유도	호밍	능동	AA
			IR seeker	BB
			비시선유도	CC
	탄두	고폭탄	파편	AA
근접신관			BB	

$N(NEW^F): 7, \quad N(NEW^F \cap E_{AA}^F): 2$   
 $N(NEW^F \cap E_{BB}^F): 3, \quad N(NEW^F \cap E_{CC}^F): 1$   
 $1 - \rho = (7-6)/7 = 1/7, \quad \rho_{AA} = 2/7, \quad \rho_{BB} = 3/7, \quad \rho_{CC} = 1/7$

신규장비와 유사장비 간 유사성 계산 결과 신규장비 혁신성( $1 - \rho$ )은 0.14이며 각 유사장비들의 유사성( $\rho_i$ )은 AA, BB, CC 각각 0.29, 0.43, 0.14로 산출되었다. 또한 유사장비 시험 데이터 중 BB의 경우 ( $a_{BB}, b_{BB}$ ) = (7, 0) 이므로 식 (12)를 이용하여 ( $a_{BB}, b_{BB}$ ) = (7, 1)로 다시 쓸 수 있으며 유사장비의 유사성 및 시험 데이터를 다시 정리하면 <표 5>와 같이 나타낼 수 있다.

<표 5> 유사장비 유사성 및 시험 데이터 요약

Product( $i$ )	Success( $a_i$ )	Fail( $b_i$ )	Similarity( $\rho_i$ )
AA	8	2	0.29
BB	7	1	0.43
CC	6	1	0.14

<표 5>에 제시된 유사장비 정보를 이용하여 신규 장비 시험의 실패 허용 수량( $r$ )에 따른 요구 명중률 80%를 신뢰수준 90% 이상으로 만족하기 위한 시험 수량( $n$ )을 일반적인 시험 수량 계산 모델인 이항분포 식(1)과 베이지안 기법 식 (11)를 적용하여 계산하면 <표 6>과 같다.

<표 6> 모델별 실패 수량에 따른 최소 시험 수량 산출 결과 (Rel 80%, CL 90%)

Fail( $r$ )	Sample size( $n$ )		Reduce	
	Binomial	Bayesian	Size	Ratio
0	11	6	5	45%
1	18	14	4	22%
2	25	20	5	20%
3	32	27	5	16%
4	38	33	5	13%
5	45	40	5	11%
6	51	46	5	10%
7	57	52	5	9%
8	63	58	5	8%
9	69	64	5	7%
10	75	70	5	7%

<표 6>을 보면 베이지안 기법을 통한 유사장비 시험 데이터를 활용하였을 경우 신규장비 시험 결과에만 의존한 경우에 비해 약 5발 가량 시험 수량이 감소한 것을 확인할 수 있다. 또한, 두 모델 간 시험 수량 차이는 신규장비의 실패수량에 따른 시험 수량 증가와 무관하게 동일하며, 이는 실패가 적을수록 시험 수량 감소의 폭이 크다는 것을 알 수 있다.

다음 예제는 유사장비 시험 데이터와 유사성이 신규장비 시험 수량에 미치는 영향을 확인하기 위하여 단일 유사장비에 대해 유사성 및 시험 데이터 변경에 따른 상기 시험 조건 (명중률 80%, 신뢰수준 90%) 만족을 위한 신규장비 최소 시험 수량( $r=0$ )을 계산하였다. 유사장비 정보는 <표 7>과 같다.

<표 7> 유사장비 정보 요약(시험 수량, 실패수량, 유사성)

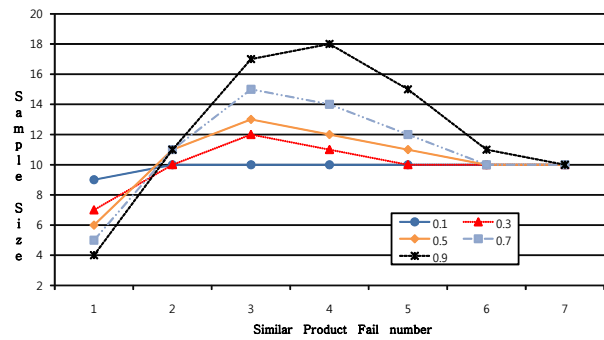
Sample Size( $a+b$ )	Fail Range( $b$ )	Similarity Range( $\rho$ )
8	1~7	0.1~1.0

<표 8> 유사장비의 유사성 및 시험 데이터에 따른 최소 시험 수량 (Rel 80%, CL 90%)

Fail \ Similarity	1	2	3	4	5	6	7
0	10	10	10	10	10	10	10
0.1	9	10	10	10	10	10	10
0.2	8	10	11	11	10	10	10
0.3	7	10	12	11	10	10	10
0.4	6	11	12	12	11	10	10
0.5	6	11	13	12	11	10	10
0.6	5	11	14	13	11	10	10
0.7	5	11	15	14	12	10	10
0.8	5	11	16	15	13	11	10
0.9	4	11	17	18	15	11	10
1.0	4	11	18	25	31	38	44

<표 8> 결과를 보면 유사성  $\rho=0$ 인 경우 유사장비와 신규장비는 전혀 다른 장비이므로 유사장비 시험 데이터와 무관하게 신규장비 시험 수량은 10발로 산출되며, 유사성  $\rho=1$ 인 경우는 신규장비와 유사장비가 동일 장비라는 의미로 산출수식인 식 (11)이 유사 및 신규장비의 시험 수량 및 결과를 합산한 것에 대한 이항분포의 형태가 된다. 따라서 유사장비의 시험 수량 및 실패수량이 시험조건(요구 신뢰성 및 신뢰수준)을 만족한다면 추가적인 신규장비 시험이 불필요하므로 신규장비 시험 수량은 0 발이 되며, 반대로 실패수량이 많을 경우 시험조건 만족을 위해 <표 1>의 이항분포 산출 결과와 같이 실패 수량의 증가에 비례하여 시험 수량이 증가하게 된다.

<그림 4>는 <표 8>에서 유사성이  $0.1 \leq \rho \leq 0.9$ 인 경우 유사장비 실패수량에 따른 신규장비 시험 수량을 그래프로 나타내었다. <그림 4> 그래프를 보면 유사성이 높을수록 그



<그림 4> 유사장비의 시험데이터에 따른 최소 시험수량 ( $0.1 \leq \rho \leq 0.9$ )

래프 곡선이 가파르게 변화하는 것을 볼 수 있으며 이는 유사장비의 유사성 및 시험 데이터와 신규장비 시험 수량 간에 상관관계가 존재한다는 것을 알 수 있다. 하지만, 유사장비 시험 수량 중 실패수량( $b_i$ )의 비중이 일정 수준을 넘어서게 되면 유사성과 무관하게 유사장비 시험 데이터가 신규장비 시험 수량에 미치는 영향이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 신규장비 요구 명중률에 대한 신뢰수준 산출식 (11)에서 유사장비 실패수량( $b_i$ ) 비율이 증가함에 따라 사전분포 계수인  $\delta_i$ 의 값이 큰 폭으로 감소하여 신뢰수준에 큰 영향을 미치지 않기 때문이다. 즉, 유사장비의 유사성이 높고 시험 데이터에 실패수량( $b_i$ )의 비율이 낮을수록 신규장비의 시험 수량은 큰 폭으로 감소한다.

### 5. 결론

본 논문에서는 일회성 장비의 신뢰성 입증시험을 위한 경제적 시험 수량 산정을 위해 유사장비 시험 데이터를 활용할 베이지안 기법을 적용하였다. 또한, 유사장비와 신규장비간의 유사성을 판단하기 위해 실제 무기체계 개발 간 수행하는 고장정의 및 판단기준 업무를 이용하였다. 이를 통해, 베이지안 기법을 통한 유사장비 시험 데이터를 활용할 경우 이항분포를 이용한 신규장비 시험결과만을 고려한 것에 비해 적은 시험 수량으로도 시험조건을 만족한다는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 일회성 장비의 신뢰성 시험이 파괴시험으로 진행된다는 점을 고려하였을 때 시험 수량 1개 감소가 단순히 장비 단가만큼의 비용 이득뿐만 아니라 시험에 필요한 모든 비용, 일정 등 전반적인 제반사항들의 감소가 예상되므로 경제적인 효과는 보다 더 클 것으로 판단된다.

하지만, 수치 예제 결과 유사장비 시험 데이터 활용이 무조건적으로 신규장비 시험 수량을 감소시키는 것이 아니라 유사장비의 유사성 및 시험 데이터의 성공실패 비율에 따라 신규장비 시험 수량이 증가될 수도 있다는 것을 확인하였다. 따라서, 유사장비 정보를 활용한 신규장비 시험 수량 산정 시 유사장비의 유사성 및 시험 데이터를 충분히 검토하여 유사장

비 시험 데이터의 적용여부에 대한 명확한 판단이 필요하다

본 논문에서는 일회성 장비의 신뢰성 시험이 1회 진행되는 것을 가정하여 적정 시험 수량을 산정하였으나, 실제 시험은 일정 수량만큼 순차적으로 진행되며 매 시험시 이전 시험에서의 문제점을 개선하여 보다 성숙된 설계의 장비로 시험이 진행된다. 따라서 앞으로의 연구에서는 현실적인 시험상황을 고려하여 신뢰도 성장 및 축차 샘플링을 고려한 시험 수량 산정 방법에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] 권영일 (2013), 베이지안 신뢰성입증시험 설계와 활용, 신뢰성응용연구, 제13권, 제1호, pp. 1-10.
- [2] 문병민 · 선은주 · 배석주 (2013), 작은 샘플크기의 One-shot Devices를 위한 베이지안 신뢰도 추정, 신뢰성 응용연구, 제13권, 제2호, pp. 99-107.
- [3] 전종선 · 안응선 (2012), 베타-이항분포의 공액성을 근거로 한 유한 모집단의 신뢰성 입증 시험, Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering, 제35권, 제2호, pp. 98-105.
- [4] Defence Standard 00-42 (2008), *Reliability and Maintainability (R&M) Assurance Activity*, Part 1: One-Shot Devices/Systems, UK Ministry of Defence, Defence Standard 00-42/Issue 2, February.
- [5] Dimitri, B. K. (1993), *Reliability and Life Testing Handbook*, Prentice-Hall, Inc, Vol. 2.
- [6] Kleyner, A., Bhagath, S., Gasparini, M., Robinson, J., and Bender, M. (1997), Bayesian techniques to reduce the sample size in automotive electronics attribute testing, *Microelectron Reliab.*, Vol. 37, No. 6, pp. 879-883.
- [7] Martz, H. F. and Waller, R. A. (1982), *Bayesian Reliability Analysis*, John Wiley & Sons.
- [8] Reliability Information Analysis Center (RIAC) (2000), Analysis of One-Shot Devices, *START*, Vol. 7, No. 4.
- [9] Ten, L. M. and Xie, M. (1998), *Bayes Reliability Demonstration Test Plan for Series-Systems with Binomial Subsystem Data*, in Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp. 241-246.
- [10] TRADOC Pamphlet 71-9. (1999), *Force Development Requirements Determination*, Fort Monroe, Va: Headquarters, Department of the US Army, 5 November.
- [11] Vicens, G. J., Rodriguez-Iturbe, I., and Schaake, J. C. (1975), A Bayesian framework for the use of regional information in hydrology, *Water Resources Research*, Vol. 11, No. 3, pp. 405-414.