

CSRP 시험데이터를 사용한 베이시안 추정모델 기반 K-1 방독면 저장수명 분석

김종환^{*1)} · 정치정¹⁾ · 김현정²⁾

¹⁾ 육군사관학교 기계·시스템공학과

²⁾ 국방기술품질원 신뢰성시험센터

Bayesian Estimation based K-1 Gas-Mask Shelf Life Assessment using CSRP Test Data

Jong-Hwan Kim^{*1)} · Chi-jung Jung¹⁾ · Hyunjung Kim²⁾

¹⁾ Department of Mechanical & Systems Engineering, Korea Military Academy, Republic of Korea

²⁾ Defense Agency for Technology and Quality, Republic of Korea

(Received 3 August 2017 / Revised 30 October 2017 / Accepted 8 December 2017)

ABSTRACT

This paper presents a shelf life assessment for K-1 military gas masks in the Republic of Korea using test data of Chemical Materials Stockpile Reliability Program(CSRP). For the shelf life assessment, over 2,500 samples between 2006 and 2015 were collected from field tests and analyzed to estimate a probability of proper and improper functionality using Bayesian estimation. For this, three stages were considered; a pre-processing, a processing and an assessment. In the pre-processing, major components which directly influence the shelf life of the mask were statistically analyzed and selected by applying principal component analysis from all test components. In the processing, with the major components chosen in the previous stage, both proper and improper probability of gas masks were computed by applying Bayesian estimation. In the assessment, the probability model of the mask shelf life was analyzed with respect to storage periods between 0 and 29 years resulting in between 66.1 % and 100 % performances in accuracy, sensitivity, positive predictive value, and negative predictive value.

Key Words : Chemical Materials Stockpile Reliability Program(저장화생방 장비물자 신뢰성평가), Shelf Life Analysis(저장수명분석), Bayesian Estimation(베이시안 추정법), Classification(분류)

1. 서론

화생방물자는 화생방 위협으로부터 전투원의 생명을 보호하고 효율적인 임무수행을 지원하기 위한 필수 장비로, 우리군은 전·평시 성능보장과 안전성 확보를 목적으로 화생방물자의 정상적인 기능 발휘 및

* Corresponding author, E-mail: jongkim@kma.ac.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

유지를 위한 저장수명 관리를 비중 있게 추진하고 있다^[1].

화생방물자 관리는 2002년 육군의 저장 화생방 장비물자 신뢰성평가(CSRP, Chemical Materials Stockpile Reliability Program)제도 정립방안에 대한 연구를 시작으로, 2006년에는 국방기술품질원이 주축이 되어 K-1 방독면 세트 등 8개 품목에 대해 CSRPs업을 진행하였으며, 2008년에는 국방부 훈령(제858호)으로 법령 제정 및 2009년에는 국방부 훈령(제1043호)으로 개정, 그리고 현재는 2013년 개정된 국방부 훈령(제1536호)을 근거로 보다 체계화된 CSRPs 업무를 수행하고 있다.

화생방물자 중 K-1 방독면은 화생방전하 전투원 보호를 위한 중요화생방장비로, 1984년 미군이 운용하고 있는 M9A1 방독면을 기본모델로 설정한 뒤, 착용 시 대화 및 음료취수가 가능토록 개발하여 현재까지 생산 및 운용하고 있다. 그러나 K-1 방독면은 지난 2013년 국방부 국정감사에서 저장수명을 넘긴 K-1 방독면 중 74%가 불합격으로 판정된바 있고^[2], 국방조달계약서상에 10년으로 명시된 방독면의 저장수명을 지금까지 기술적인 검토 없이 그대로 적용하고 있으며, 불필요한 검사방법으로 인한 비용문제 발생 때문에 K-1 방독면의 저장수명 도래 전 성능을 확인할 수 있는 종합적인 품질관리 대책이 제기되었다. 그러나 방독면은 안면부의 고무재질 외에 조립체의 결합부위 누출정도, 배기면 누출정도, 통기저항 등 다양하고 복합적인 요소를 고려하여 저장수명이 판단될 뿐만 아니라, 제조업체, 제조년도, 저장조건 저장환경 등의 기본적인 품질요소에 따른 불확실성(Uncertainty) 때문에 성능변화의 규칙성을 식별하기가 어려워 현장에서 저장수명을 예측하는데 많은 제한사항이 존재하였다.

방독면 분야의 선도국가인 미국은 2000년대부터 국립표준기술연구소(The National Institute for Standards and Technology)를 중심으로, 화생방용 방독면과 연관된 소방청(The Nation Fire Protection Association), 미육군생화학사령부(The US Army Soldier Biological and Chemical Command)와의 양해각서를 체결하여 민간/군수용 방독면의 연구개발, 성능평가, 표준화 등을 공동으로 연구하고 있으며^[3], 정확한 저장수명 관리를 위해 저장수명관리 매뉴얼(DoD Manual 4140.27-M)^[4]에 기초하여 5년 단위로 체계적인 관리를 진행하고 있다. 국내의 화생방물자는 국방기술품질원을 중심으로 국방부, 국방과학연구소(국과연), 국군화생방호사령부(화방연), 그리고 각 군과의 업무체계를 구축하여 군 전

투력 향상 및 국방예산 절감에 기여하도록 관리되고 있다. 그러나 화생방물자에 대한 학술연구는 아드르핀 주사기의 저장수명 향상방안 연구^[5], 민간용 일반방독면의 저장수명 연구^[3]를 이후로 미흡한 상황이고, 특히 군 화생방물자의 저장수명에 대한 연구는 거의 이루어지지 않은 실정이다.

본 연구는 군 화생방물자인 K-1 방독면의 저장수명을 연구하기 위하여, 2015년까지 진행된 CSRPs 시험데이터를 수집하고 이를 통계적으로 분석하였으며, 성능검사 결과자료를 근거로 조건부 확률인 베이시안 모델을 적용하여 K-1 방독면의 저장기간별 저장수명을 확률적으로 도출하였다. 또한, 기존의 성능검사 항목들 중에서 방독면 저장수명에 영향을 주는 시험항목과 불필요한 시험항목들을 식별하여, 방독면 저장수명에 유효한 성능검사 시험항목을 제시하였다.

2. CSRPs 체계 및 K-1 방독면

2.1 CSRPs 체계

CSRPs는 다양한 성능검사를 통해 장기간 저장중인 화생방물자에 대한 사용가능성, 안전성, 성능, 그리고 신뢰성을 평가하여 화생방물자의 획득, 저장, 폐기, 정비 그리고 우선불출을 결정하는 종합평가 시스템이다^[1]. 또한, CSRPs 업무체계는 Fig. 1에 제시된바와 같이 국방부의 업무 조정 및 통제 하에 국방기술품질원과 중기계획을 수립 및 승인하고, 국방기술품질원과 각군은 연간시험대상 물량선정 및 관련업무를 협조하며, 국과연, 화방연, 시험기관, 업체와는 기술 및 성능시험 관련 업무를 수행한다.

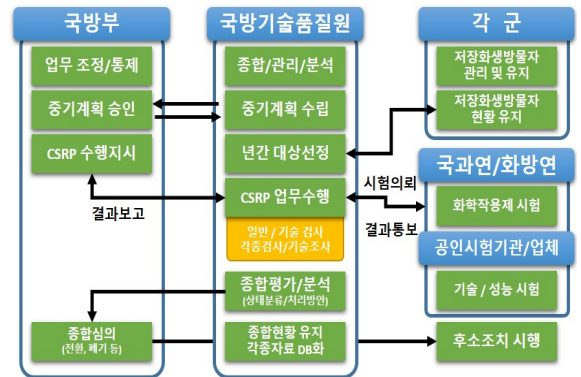


Fig. 1. The system architecture of CSRPs^[1]

2.2 K-1 방독면

Fig. 2에 제시된 K-1 방독면은 공기 중의 각종 화학 작용제를 물리적·화학적으로 흡착 및 여과하는 정화 통과, 작용제로부터 안면을 보호하기 위한 고무안면부, 기타 부수장비인 보호두건, 휴대주머니, 방수주머니, 음료취수장치, 호흡방지킷 등으로 구성되어 있으며, 지금까지 전군에 보급되어 전·평시 작전을 위해 전투원 및 독립된 전투체대 단위로 운용 및 저장 관리되고 있다. K-1 방독면의 국방규격과 저장시험검사서에 제시된 제원 및 특성은 Table 1에 제시되었다.



Fig. 2. K-1 military gas mask and major components^[6]

Table 1. K-1 gas mask specification

구 분		제원 및 특성	
		국방규격	저장시험 검사서
고무 안면부 조립체	재질	OOOO 고무	
	안경	2안식, OOOOOO	
	전성 배기면	음성전달 및 배기기능	
	정화통 연결부	좌, 우수용 부착	
보호 두건	재질	OOOOOO 두 개의 도포식물로 구성	
정화통	공기저항	OO mmH ₂ O 이하(유속 OO L/min)	
	PAO 투과율	OOOO% 이하	OOOO% 이하 (비정밀 취급 전)
	정화통 누출	OOO mmH ₂ O에서 O분간 누출이 없을 것	
	가스 수명	CK: OO분이상 GB: OO분이상 DMMP: OOO분이상	CK: OO분이상 GB: OOO분이상 PS: OO분이상
음료취수장치	수통과 연결하여 음료취수가능		
휴대주머니	OOO원단에 OO코팅		
방수주머니	우기 및 도하작전시 방독면 보호		
호흡방지킷	안경의 호흡 방지		

일반적으로 화생방물자의 성능검사는 저장화생방물자를 대상으로 하는 일반검사와 시효초과물자를 대상으로 하는 기술검사로 구성된다. K-1 방독면의 경우 일반검사는 포장 결점으로부터 정화통 결점까지 총 10가지 항목에 대해서 육안위주의 검사를 수행하고, 기술검사는 방독면 누출으로부터 전성배기면 통화까지 총 5가지 항목에 대해서 해당 시험기를 사용하여 기준치 초과여부를 기술적으로 검사한다. 각 검사의 세부항목은 Table 2에 제시되었다.

Table 2. K-1 gas mask test categories; general and technical tests

구 분	세부 항목 내용	
일 반 검 사 (10)	- 포장 결점	- 배기면조립체 결점
	- 방독면 결점	- 탭조립체/리벳 결점
	- 안면부조립체 결점	- 휴대주머니 결점
	- 안경조립체 결점	- 정화통연결부결점
	- 머리끈몽치 결점	- 정화통 결점
기 술 검 사 (5)	- 방독면 누출	- 음료취수장치 누출
	- 전성배기면 누출	- 전성배기면 통화
	- 통기저항	

3. 연구수행 방법 및 결과



Fig. 3. Three stages for the shelf life estimation of the K-1 gas mask; pre-processing, and probability model development and model evaluation

본 연구는 CSRP 시험데이터를 근거로 K-1 방독면의 저장수명을 저장기간별 확률적으로 도출하기 위하여, Fig. 3에 제시된바와 같이 수행방법을 3단계로 구성하였다. 1단계는 CSRP 시험데이터를 수집하여 이를 분석 및 처리하는 단계이다. 또한, 수집된 데이터가 확률모델의 입력데이터로 사용될 수 있도록 데이터를 정량적 수치로 변환하고, CSRP 여러 시험항목 중 방

독면의 저장수명에 가장 연관성을 갖는 주요시험항목을 추출한다. 2단계는 전단계에서 처리된 데이터를 기초로 저장기간별 K-1 방독면의 저장수명을 확률적으로 도출하는 베이지안 기반 확률모델을 개발하는 것이다. 3단계는 개발된 확률모델의 정확성 등을 분석하여 모델의 성능을 평가하는 단계이다.

3.1 데이터 전처리

본 연구를 위해서, 2006년부터 2015년까지 국방기술 품질원이 수행한, 저장기간 10년을 초과한 K-1 방독면 CSRP 159건의 시험결과보고서로부터 2,544개 샘플 결과를 수집하였으며, 결과자료의 정량화 과정을 거쳐 본 연구에 사용된 총 데이터 수는 45,792개였다. 그러나 수집된 샘플의 대부분이 단일 제조업체의 제품인 점과 방독면의 저장조건 및 저장환경에 대한 자료는 충분하게 수집되지 않은 점 때문에 본 연구에서는 제조업체, 저장조건 및 저장환경에 대한 분석은 포함되지 않았다.

방독면의 저장기간은 제조년도와 검사년도의 차이로 식 (1)과 같이 정의하였다. 또한, 수집된 샘플의 저장기간 범위는 0 ~ 29년이지만, CSRP는 저장기간 10년 이후의 방독면에 대해서만 이루어졌기 때문에 1 ~ 9년의 저장기간 샘플데이터는 수집이 제한되었다.

$$Storage\ Period = Year_{Test} - Year_{Production} \quad (1)$$

Table 2에서 제시된 15가지의 성능검사를 통해 방독면의 성능은 적합(Proper) 및 부적합(Improper)으로 분류되었으며, 저장기간 범위내의 총 샘플 수 그리고 CSRP 결과에 따른 적합 및 부적합 샘플 수의 저장기간별 분포는 Fig. 4에 제시되었다.

K-1 방독면 저장수명과 CSRP의 일반 및 기술검사 시험항목간의 연관성을 분석하기 위하여, 저장기간별 각 시험항목들의 결과에 대한 주성분분석(PCA, Principal Component Analysis)⁷⁾을 수행하였다. PCA는 데이터의 통계적 특징을 이용하여 고차원 데이터의 차원을 축소하는 기법으로, 데이터들의 분산을 최대로 갖는 주성분 축을 찾아내어 주요성분을 추출하는데 사용되는 알고리즘이다^{7,8)}. 본 연구에서는 PCA를 적용하여 일반 및 기술검사 총 15가지 시험항목 데이터의 분산 즉 공분산의 고유값과 고유벡터를 산출하였고(Table 3과 Fig. 5 제시), 이를 근거로 방독면의 저장수명에 영향을 주는 주요시험항목을 추출하였다.

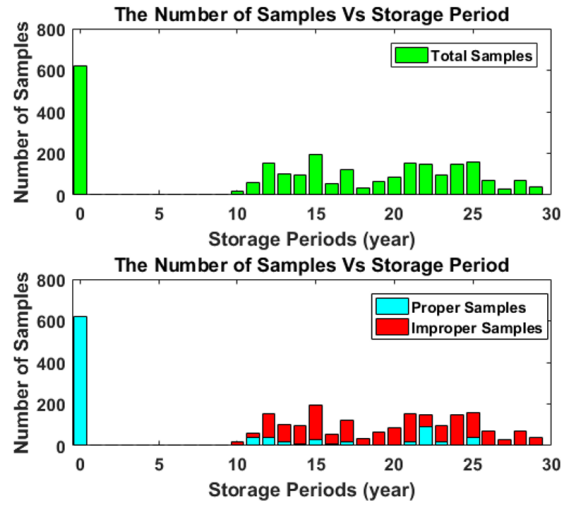


Fig. 4. The total number of samples and the number of both proper and improper samples with respect to the storage periods

Table 3. Eigenvalues, magnitudes and ratios in technical tests of K-1 gas mask

구분	기술검사 시험항목				
	방독면 누출	전성배기 면누출	통기 저항	음료취수 장치누출	전성배기 변통화
고유값 (Eigenvalue)	0.83	6.95	0.01	5.29	0.00
Mag. (Ratio%)	0.39 (19.3%)	0.99 (49.9%)	0.0001 (0.00%)	0.62 (30.8%)	0.00 (0.00%)

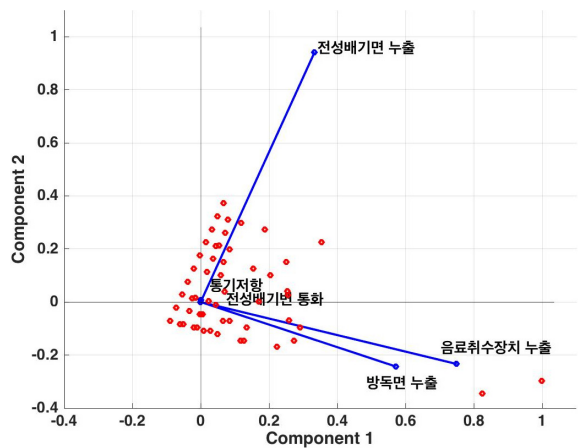


Fig. 5. PCA results with eigenvectors of each test

K-1 방독면 일반검사의 경우, 방독면은 각 군의 전투체대 단위로 독립된 저장공간에 진공포장된 상태로 저장관리 되기 때문에 외관형상은 최초 모습 그대로 유지되어있어 일반검사 결과는 대부분이 적합으로 판정되었다. 따라서 이들의 분산은 거의 0에 가까운 수치로 나타나 의미가 없음을 보여주었다. 반면에 기술검사 5가지 시험항목의 경우, 시험항목별 분산은 다양한 분포를 보여주었다. PCA 분석결과 1 및 2 주성분만으로 전체 데이터의 93.6 %를 설명할 수 있었으며, 이에 따른 각 시험항목들의 기여정도는 Table 3 및 Fig. 5에 제시 되었다.

Table 3 및 Fig. 5에 보여진바와 같이, 통기저항 및 전성배기변통화 PCA결과 기여정도가 상당히 낮음을 확인할 수 있었다. 이것은 두 시험항목의 결과데이터가 대부분 적합으로 나타난 것에 기인한다. 결과적으로, 방독면 저장수명과의 기여정도가 낮은 시험항목들을 제외하여 주요시험항목으로 추출된 것은 방독면 누출, 전성배기면 누출, 음료취수장치 누출의 3가지 시험항목이었다.

3.2 베이지안 확률모델

기존의 저장수명을 판단하기 위해 연구된 확률모델은 감마과정모델이다⁹⁾. 이것은 시간경과에 따라 특정 수치가 연속적이고, 비감소적으로 저하량의 증분이 누적되는 경우에 적합하기 때문에 장약포 및 KM6 추진체의 저장수명을 예측하는데 사용된다^{10,11)}. 그러나 CSRP 시험데이터를 기초로 방독면의 저장수명을 판단하기 위해서는 저장기간을 포함한 다양한 시험항목의 결과를 고려해야만 하고, CSRP 시험데이터는 저장기간이 1 ~ 9년 사이 시험데이터의 공백이 존재하여 불연속적인 시험 결과값을 제공하기 때문에 감마과정모델을 적용하는데 어려움이 존재하였다. 반면에, 베이지안 모델은 조건부 확률로서 독립된 다수 특징이 주어졌을 시 저장기간별 방독면의 적합 혹은 부적합일 확률을 도출할 수 있을 뿐만 아니라 불연속적인 CSRP 시험데이터를 사용할 수 있는 장점이 있어 방독면 저장수명 연구에 적합하였다. 이에 본 연구에서는 베이지안 확률모델을 적용하여 K-1 방독면의 저장수명을 분석하였다.

베이지안 확률모델은 조건부 확률에 기초하여 다수 시험항목 결과값(F_1, F_2, \dots, F_n)이 주어졌을 경우, 저장기간별 K-1 방독면의 적합(C_1) 및 부적합(C_2)일 확률

을 $P(C_j|F_1F_2\dots F_n)$ 으로 표현하며, 이것은 베이지안 이론을 적용하여 식 (2)와 같이 표현된다.

$$P(C_j|F_1F_2\dots F_n) = \frac{P(C_j)f(F_1F_2\dots F_n|C_j)}{\sum_{j=1}^2 P(C_j)f(F_1F_2\dots F_n|C_j)} \quad (2)$$

여기서, $F_i(i = \{1, 2, \dots, n\})$ 는 방독면 CSRP의 여러 시험항목의 결과값을 나타내고, $C_j(j = \{1, 2\})$ 는 방독면의 {적합(1), 부적합(2)}을 의미한다. 또한, $P(C_j)$ 는 사전확률(Prior probability)로 통계기법을 적용하여 CSRP 전체 시험데이터로부터 산출되며, $f(F_1F_2\dots F_n|C_j)$ 는 우도함수(Likelihood function)로 '각각의 시험항목 결과값들은 서로 독립적이다'라는 가정을 통해 식 (3)과 같이 표현될 수 있다.

$$f(F_1F_2\dots F_n|C_j) = \prod_{i=1}^n f(F_i|C_j) \quad (3)$$

여기서, $f(F_i|C_j)$ 는 적합 혹은 부적합일 때 각 시험항목들의 결과를 표현하는 것으로, 이 함수분포는 대표적인 확률분포모델인 정규분포를 따른다는 가정을 적용하여 식 (4)와 같이 표현되었다.

$$f(F_i|C_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\Sigma_{F_i|C_j}} e^{-\frac{1}{2}(F_i - \mu_{F_i|C_j})^T \Sigma_{F_i|C_j}^{-1} (F_i - \mu_{F_i|C_j})} \quad (4)$$

여기서, $\mu_{F_i|C_j}$ 및 $\Sigma_{F_i|C_j}$ 파라미터들은 최대우도방법(Maximum likelihood estimation)을 적용하여 산출하였다.

3.3 베이지안 확률모델 #1

베이지안 확률모델에서 조건부 특징(Feature)은 모델 성능에 영향을 주는 중요한 요소이다. K-1 방독면의 저장수명을 분석하기 위해서, 저장수명에 가장 큰 영향을 주는 요소인 저장기간(F_1)과 전처리 과정을 통해 추출된 기술검사 3가지 시험항목인 방독면의 누출(F_2), 전성배기면 누출(F_3), 그리고 음료취수장치 누출(F_4)을 베이지안 확률모델의 조건부 특징으로 선정하였으며, 각 특징들의 정규분포 형태 및 파라미터는 Fig. 6 및 Table 4에 제시되었다.

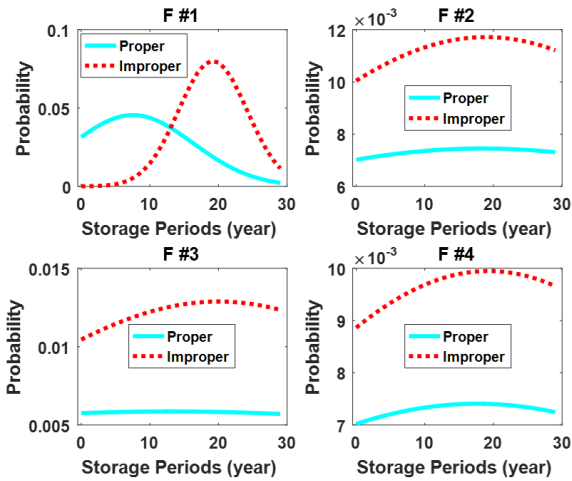


Fig. 6. Normal distribution of each features

Table 4. Normal distribution parameters for bayesian estimation

구 분	Mean ($\mu_{F_i C_j}$) & Variance ($\Sigma_{F_i C_j}$)			
	F_1	F_2	F_3	F_4
적합 (Proper) C_1	7.53	18.45	13.02	17.63
	8.762	53.55	68.01	53.85
부적합 (Improper) C_2	19.18	18.89	20.02	19.27
	4.98	34.05	30.97	40.10

따라서, K-1 방독면의 저장기간별 적합 및 부적합 확률은 $n = 4$ 인 식 (2)의 사후확률 $P(C_j|F_1F_2F_3F_4)$ 을 구하는 것이며, 이것은 식 (5)와 같이 표현된다.

$$P(C_j|F_1F_2...F_4) = \frac{P(C_j) \prod_{i=1}^4 f(F_i|C_j)}{\sum_{j=1}^2 P(C_j) \prod_{i=1}^4 f(F_i|C_j)} \quad (5)$$

식 (5)에 의해 산출된 사후확률 $P(C_j|F_1F_2F_3F_4)$ 의 저장기간별 적합 및 부적합 확률은 Fig. 7에 제시되었다. 모델#1의 경우, 적합확률은 저장기간이 5년을 지나면서 급격하게 떨어져 저장기간이 약 8년 1개월에 50%, 즉 적합과 부적합 확률이 동일해지고, 저장기간이 10년에는 부적합 확률이 69.5%가 되었으며, 저장기간별

적합 및 부적합 확률은 Table 5에 제시되었다.

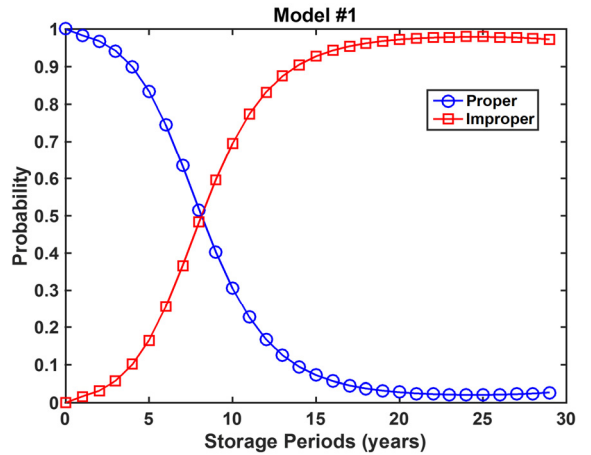


Fig. 7. Probability of proper and improper of the gas mask with respect to the storage periods for model #1

Table 5. Model #1 probability of proper and improper with storage periods

구 분	5년	6년	8년	10년	12년
적합 확률	83.4 %	74.4 %	51.6 %	30.5 %	16.8 %
부적합 확률	16.6 %	25.6 %	48.4 %	69.5 %	83.2 %

3.4 베이지안 확률모델 #2

기술시험항목 전성배기면 누출(F_3)과 음료취수장치 누출(F_4)의 CSRP 시험데이터를 분석한 결과 이 두항목의 테스트 결과가 서로 의존적인 경향이 존재함을 확인하였다. 예를 들어, 전성배기면 누출(F_3)에 부적합 결과가 나타날 경우 음료취수장치 누출(F_4)에도 동일하게 부적합 결과가 발생하는 것이다. 이러한 경향의 정도는 피어슨 상관계수 값이 0.4로 나타났다. 이에 따라, 베이지안 확률모델에서 ‘각각의 조건부 특징들은 서로 독립적이다’라는 가정을 만족하기 위해서 음료취수장치 누출(F_4)을 조건부 특징에서 제외하였다. 따라서 K-1 방독면의 저장기간별 적합 및 부적합 확률은 $n = 3$ 인 식 (2)의 사후확률 $P(C_j|F_1F_2F_3)$ 을 구하는 것이며, 이것은 식 (6)와 같이 표현된다.

$$P(C_j|F_1F_2F_3) = \frac{P(C_j)\prod_{i=1}^3 f(F_i|C_j)}{\sum_{j=1}^2 P(C_j)\prod_{i=1}^3 f(F_i|C_j)} \quad (6)$$

식 (6)에 의해 산출된 사후확률 $P(C_j|F_1F_2F_3)$ 의 저장기간별 적합 및 부적합 확률은 Fig. 8에 제시되었다. 모델#2의 경우, 적합확률은 저장기간이 2년을 지나면서 급격하게 떨어져 저장기간이 약 5년 8개월에 도달했을 시 50%, 즉 적합과 부적합 확률이 동일해지고, 저장기간이 10년에는 부적합 확률이 88.6%가 됨을 보여주었으며, 저장기간별 적합 및 부적합 확률은 Table 6에 제시되었다.

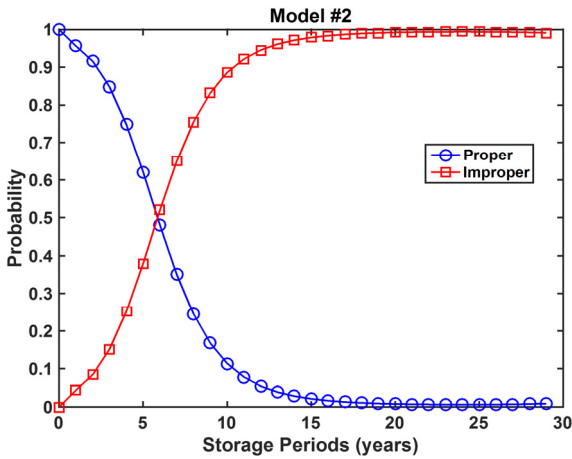


Fig. 8. Probability of proper and improper of the gas mask with respect to the storage periods for model #2

Table 6. Model #2 probability of proper and improper with storage periods

구 분	5년	6년	8년	10년	12년
적합 확률	62.1 %	48.0 %	24.5 %	11.4 %	5.4 %
부적합 확률	37.9 %	52.0 %	75.5 %	88.6 %	94.6 %

3.5 베이지안 확률모델 평가

본 연구에서 제안한 확률모델의 성능을 평가하기 위해서 평가 척도인 정확도(Accuracy), 민감도(Sensitivity),

Positive Predictive Value(PPV), 그리고 Negative Predictive Value(NPV)을 분석하였다. 네가지 평가 척도는 모델의 성능을 평가하는데 일반적으로 사용되는 것으로, 확률모델의 결과(예측값)와 CSRP 시험결과(실제값)의 관계에 의해서 산출되며, 모든 관계의 경우는 아래에 제시되었다.

- 예측값이 적합일 때, 실제값이 적합인 경우를 TP (True-Positive)
- 예측값이 부적합일 때, 실제값이 적합인 경우를 FN (False-Negative)
- 예측값이 적합일 때, 실제값이 부적합인 경우를 FP (False-Positive)
- 예측값이 부적합일 때, 실제값이 부적합인 경우를 TN(True-Negative)

본 연구에서 제안한 확률모델의 결과와 CSRP 시험결과의 혼동행렬(Confusion matrix)^[12]은 Table 7에 제시되었으며, 이러한 관계를 기초로 정확도, 민감도, PPV, 그리고 NPV는 아래의 식 (7) ~ (10)에 의해서 산출되었다.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN} \quad (7)$$

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN} \quad (8)$$

$$PPV = \frac{TP}{TP + FP} \quad (9)$$

$$NPV = \frac{TN}{TN + FN} \quad (10)$$

Table 7. Results of confusion matrix between the proposed model and actual CSRP test results

구 분		CSRP 시험 결과 (Actual CSRP test)	
		적합 (Proper)	부적합 (Improper)
확률모델 결과 (The Proposed)	적합 (Proper)	TP(651)	FP(0)
	부적합 (Improper)	FN(334)	TN(1559)

본 연구에서 제안하는 두 가지 모델의 성능은 Fig. 9에 제시되었다. 이 두가지 모델은 정확도 86.9 %, 민감도 66.1 %, PPV 100 %, 그리고 NPV 82.4 %의 성능을 보여주었다. 두가지 모델의 결과가 동일한 이유는 두가지 모델은 시험항목의 수와 종류가 상이하기 때문에 적합과 부적합 확률이 교차하는 저장기간은 각각 8년 1개월, 5년 8개월로 서로 2년 5개월의 차이가 존재하였지만, CSRP 시험데이터는 저장기간이 10년 이상의 방독면에만 국한되어 있어 이 두 모델의 성능을 비교분석할 수 있는 5년과 9년 사이의 데이터는 제한되었다. 그 결과 두가지 모델의 시험항목의 수와 종류의 차이에도 불구하고 동일한 성능이 나타났다.

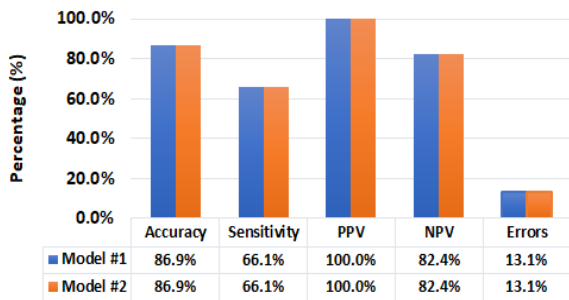


Fig. 9. Results of three performance measures

4. 결론

본 연구는 군 화생방물자인 K-1 방독면의 저장수명을 연구하기 위하여, 2006년부터 2015년까지 진행된 총 159건 2,513개 샘플의 CSRP 시험데이터를 수집하여 이를 통계적으로 분석하였다. 또한, PCA를 적용하여 방독면의 일반 및 기술 시험항목 중에서 저장수명에 연관성이 높은 주요시험항목을 추출하였으며, 기술 시험항목의 전성배기변 통화 및 통기저항은 PCA결과가 거의 0으로 나타나 방독면 저장수명에 유효하지 않음을 증명하였다. 이를 근거로 주요시험항목들과 저장기간의 결과자료를 기초로 조건부 확률인 베이지안 모델을 적용하여 K-1 방독면의 저장기간별 적합 및 부적합 정도를 확률적으로 도출하는 두가지 모델을 개발하였으며, 정확도, 민감도, PPV, 그리고 NPV의 성능척도를 사용하여 두가지 모델의 성능을 평가하였다. 비록, CSRP 시험데이터의 한계로 인하여 두가지 모델의 성능이 동일하게 평가되었지만, 두가지 모델은 제

시된 네가지 성능평가 기준으로 66.1 % ~ 100 %의 성능을 보여주었다.

본 연구는 CSRP 시험데이터를 기초로 방독면의 저장수명을 분석하고자 하였으나, 저장기간 1 ~ 9년 사이의 CSRP 시험데이터가 존재하지 않아 본 연구결과의 검증이 제한되었고, 수집된 샘플의 대부분이 단일 제조업체의 제품인 점과 방독면의 저장조건 및 저장환경에 대한 자료가 충분하게 수집되지 않아 이들에 대한 분석은 제외 되었다. 그러나 본 연구결과를 통해서 방독면의 저장수명에 대한 재조명이 이루어지고, 부족한 10년 이내의 저장기간에 대한 CSRP 시험추가 추진과 제조업체, 저장조건 및 저장환경에 대한 충분한 데이터가 확보된다면 보다 실질적이고 정확한 저장수명 연구가 이루어질 것으로 본다. 아울러 본 논문을 시작으로 다양한 기법들이 연구되어 CSRP 연구가 지속적으로 발전되기를 기대한다.

후 기

본 논문은 2017년도 국방기술품질원 및 육군사관학교 화랑대연구소의 연구지원을 받아 수행되었다.

References

- [1] J. Song, "Practice Guide Book for CSRP Activities," 2009.
- [2] H. J. YoungTaeg Heo, Yuri Kim, "CSRP Storage Test Procedure and Depot Storage Procedure," Vol. 1, ed: Defense Agency for Technology and Quality, p. 183, 2015.
- [3] G. Heo, "Study on Gas Mask for its New Specification and Supply," National Emergency Management Agency 1665005405, 2009.
- [4] G. J. Motsek, "DOD Shelf-Life Management Program: Program Administration," Vol. 1, T. Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, and Logistics, Ed., ed: Department of Defense, p. 41, 2016.
- [5] J. Lee Jin, "The Study for Improving the Shelf Life of Atropine Injector," pp. 174-181, 2011.
- [6] J.-H. Kim, et. al., "CSRP Test Data based Military

- Gas-Mask Proper and Improper Trend Analysis,” in The 2017 Military Science and Technology Conference, Jeju, 2017.
- [7] I. Jolliffe, *Principal Component Analysis*: Wiley Online Library, 2002.
- [8] P. HyungHu, O. ChiSang, K. SeSik, K. SungJin, and C. SeokYoon, “Recognition for Lung Cancer using PCA in the Digital Chest Radiography,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 15, pp. 1573-1582, 7 2011.
- [9] D. B. Madan, P. P. Carr, and E. C. Chang, “The Variance Gamma Process and Option Pricing,” *European Finance Review*, Vol. 2, pp. 79-105, 1998.
- [10] P. Sungho and K. Jaehoon, “Estimation of Storage Life for Propellant Bag by Using Gamma Process Model,” *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol. 18, pp. 17-25, 6 2014.
- [11] P. Sungho and K. Jaehoon, “Estimation of Shelf Life for Propellant KM6 by Using Gamma Process Model,” *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol. 16, pp. 33-41, 8 2012.
- [12] J.-H. Kim, S. Jo, and B. Y. Lattimer, “Feature Selection for Intelligent Firefighting Robot Classification of Fire, Smoke, and Thermal Reflections Using Thermal Infrared Images,” *Journal of Sensors*, Vol. 2016, p. 13, 2016.