

## 원샷시스템의 신뢰도 성장 계획 설정 방안

서양우\* 전동주 김소정 김용근

LIG넥스원 ILS연구소

### A Study on the Establishment of Reliability Growth Planning for One-shot System

Yang Woo Seo\*, Dong Ju Jeon, So Jung Kim, Yong Geun Kim

*ILS R&D Lab, LIG Nex1*

**Abstract** : In this paper we proposed to develop the reliability growth planning for the One-shot system using the PM2-Discrete model. The PM2-Discrete is the methodology specifically developed for discrete systems and is the first quantitative method available for formulating detailed plans in the discrete usage domain. First, the parameters RG, RI, T, MS and d of the PM2-Discrete model are set. Second, the case analysis was performed on One-shot system A. Third, the input parameter values were applied to drive the R(t) equation. Finally, using RGA 11 Software, the reliability Growth Planning Curve of One-shot system A was constructed. Also, the sensitivity analyses are performed for the changes of model parameters. The results of this study can be usefully used in establishing the reliability growth planning curve of the One-shot system.

**Key Words** : Reliability Growth Analysis, Reliability Growth Planning Curve, PM2-Discrete Model, Sensitivity, One-shot system

---

**Received:** March 3, 2020 / **Revised:** April 22, 2020 / **Accepted:** April 27, 2020

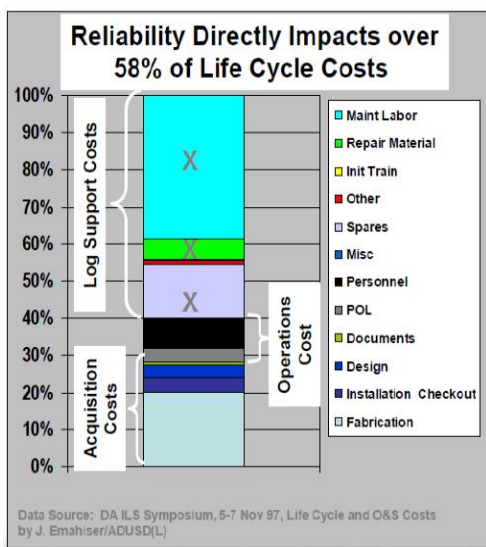
\* 교신저자 : Yang Woo Seo, yangwoo.seo@lignex1.com

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.

### 1. 서론

신뢰도 성장관리는 신뢰도 달성을 계획(시간, 자원)을 관리하는 프로세스이다. 계획한 신뢰도 값에 만족될 수 있도록 자원을 재할당하여 신뢰도 달성율을 통제 관리하는 것이다[1]. 신뢰도를 향상시키면 임무 성공을 증가시킬 수 있으며, 수명주기비용 및 군수자원에 영향을 미친다. 수명주기비용 중 신뢰도는 58%를 차지할 정도로 중요한 핵심지표로 그림 1과 같이 제시하고 있다[2]. 신뢰도 성장관리는 고장이 나서 단순히 수리한 것을 의미하는 것이 아니라, 설계변경, 운용 및 정비 절차, 제조 공정 등의 시정활동을 통한 신뢰도 지표의 정량적 개선이 이루어진다고 할 수 있다.

JCIDS(Joint Capabilities Integration and Development System) Manual에 의하면, Mandatory KPPs(Key Performance Parameters)를 Force Protection, Survivability, Sustainment, Net Ready, Training 및 Energy 6가지로 구분하고 있다[3]. Sustainment KPP 하부에 Reliability KSA (Key System Attribute)로 설정되는데, 이는 Reliability가 핵심지표로 설계초기부터 중요한 관리 지표임을 알 수 있다.



[Figure 1] Life Cycle and O&S costs[2]

신뢰도 성장 관리는 신뢰도를 관리하는 강력한 관리 도구이며, 신뢰도 프로그램 관리는 신뢰도 성장 관리를 하는 것이 주된 목적이다. 신뢰도 성장 관리 절차는 우선순위를 결정하고 자원을 할당하는데 유용하다. 신뢰도 성장 관리는 계획 및 평가로 구분할 수 있다.

신뢰도 성장관리 관련 연구를 살펴보면, Lee et al.[4]는 경량전철사업에서 시스템엔지니어링(SE: Systems Engineering) 프로세스 기반의 SE 도구를 활용하여 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety) 활동을 지원할 수 있는 방안을 제시하였다. Chung et al.[5]은 K 무기체계의 필드데이터를 기반으로 신뢰도 성장 모델에 적용하여 신뢰도를 추정하였다. Kim et al.[6]은 원샷시스템의 시험평가 결과에 대해 AMSAA 모델을 적용하여 신뢰도 성장을 예측하였다. Jo[7]는 특정 유도무기체계에 각 장비의 특성을 고려하여 시험결과에 따라 신뢰도 성장 분석을 수행하였다. Kim et al.[8]은 감시체계에 대한 신뢰도 예측 기반의 신뢰도 성장 관리를 통해 설계변경을 수행하였다. 위 사례 대부분은 무기체계에 대한 신뢰도 성장관리를 다양하게 연구하였지만, 계획과 평가 측면에서 주로 평가에만 치중되어 있다. 즉, 신뢰도 목표값 설정과 관련된 계획 수립 없이 분석만을 수행을 하고 있는 실정이다.

미국은 신뢰도 성장 프로그램을 설계와 개발의 필수적인 부분으로 포함하여 실행 가능한 RAM (Reliability, Availability, Maintainability) 전략을 실행하고 있다. 이에 따른 정책으로 신규 프로그램이나 재구성된 프로그램인 경우 시험평가에 신뢰도 성장 곡선이나 소프트웨어 고장 프로파일 이 없는 시험평가 종합계획서 (TEMP: Test and Evaluation Master Plan)를 승인하지 않고 있다[9]. 또한, 미국이 신뢰도 성장 계획을 매우 중요하게 다루는 이유는 수명주기 지속 계획서(LCSP: Life Cycles Sustainment Plan), 시험평가 종합계획서(TEMP) 및 시스템엔지니어링 관리계획서(SEMP: Systems Engineering Management Plan)에 신뢰도 계획 곡선을 포함해야 한다고 규정하기 때문이다. 또한,

국내 방위사업관리규정 제120조 ④에서도 통합사업관리팀장은 신뢰도 성장을 위한 계획과 조치결과를 포함한 RAM 분석결과 보고서를 소요군에 통보하여 검토를 받아야 한다고 규정하고 있으며, 필수 업무수행 범위로 포함하고 있다.

현재 신뢰도 프로그램 업무 수행시 방산업계에서는 MIL-STD-785B 방법론을 계속 따르고 있다. Proactive approach보다는 Reactive approach를 수행하고 있는 것이 문제점이라 볼 수 있다. 현재 국내에서 수행되고 있는 신뢰도 성장 관리는 신뢰도 성장 계획 곡선을 수립하지 않으면, 신뢰도 프로그램이 진행해서는 안 된다. 즉, 신뢰도 성장 계획 수립은 필수이다. 신뢰도 성장 관리는 프로그램 일정, 시험 수량, 사용 가능한 자원을 언급하기 전에 신뢰도 성장 계획 곡선에 기반한 계획 수립부터 제시해야 한다.

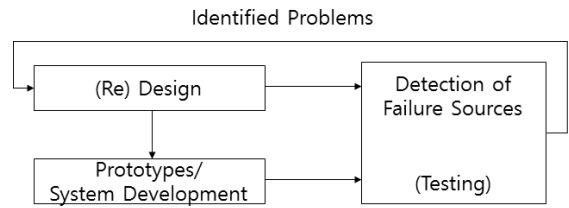
이에 따라, 본 논문에서 원샷시스템에 한정하여 PM2-Discrete(Planning Model based on Projection Methodology-Discrete) 모델을 적용한 신뢰도 성장 계획을 제시한다. 또한, PM2-Discrete 모델의 입력 파라미터 값의 변화에 따른 신뢰도 성장 계획 곡선의 영향성을 분석하여 신뢰도 성장 계획 수립시 대안을 제시한다.

## 2. 본 론

### 2.1 신뢰도 성장관리

신뢰도 성장 관리는 반복 설계 프로세스의 결과물이다. 신뢰도 성장 관리의 기능은 계획(planning) 및 평가(assessment)로 구분하고, 평가는 추적(tracking) 및 예측(projection)으로 구분한다.

계획은 시험기간과 그 밖의 자원의 함수로써 달성하고자 하는 목표, 과정을 나타내는 신뢰도 성장 계획 곡선을 작성하는 것이다. 신뢰도 성장 곡선을 작성하는 목적은 최종 신뢰도 목표에 도달하기 위해 시험동안에 달성해야 할 현실적인 중간 신뢰도 목표를 설정하는 것이다. 추적은 신뢰도 성장 시험 데이터를 분석하여 시연된 신뢰도를 추정하는 것이



[Figure 2] Reliability growth feedback mode[1]

고, 예측은 관리전략, 시정조치 효율, 고장모드 발생률의 추정치 등에 기초하여 미래 시점에서의 신뢰도를 추정하는 것이다. 그림 2는 신뢰도 성장을 달성하는데 고장모드 탐지, 확인된 문제를 피드백, 고장모드 원인분석을 통한 수정조치 제안 및 제안된 수정조치의 승인/개발이라는 4가지 필수 요소가 있다는 것을 보여준다[1].

고장이 날 때까지 시험을 수행하고 고장이 발생하면 분석하여 시스템의 고장모드를 결정한다. 이 고장모드를 제거하기 위해 설계/엔지니어링 변경이 이뤄지는 프로세스가 계속되고 상당한 기술적 방법으로 개선되면 시스템의 신뢰성이 증가하게 된다. 신뢰도 성장 관리는 시간 및 다른 자원에 따라 신뢰도 달성을 계획하고, 계획 및 평가된 신뢰도 값을 비교하여 자원 재할당을 통해 진행률을 제어하는 것과 관련된 관리 프로세스이다.

### 2.2 신뢰도 성장 계획 모델

표 1은 신뢰도 성장 계획 모델의 종류를 제시하고 있다[1].

신뢰도 성장 관리는 무기체계의 운용개념에 따라 연속으로 사용되는 연속형(continuous) 체계와 일회성으로 사용되는 이산형(discrete) 체계에 적용 가능하다. 원샷시스템의 운용개념은 일회성 장비로 이산형 특성을 갖고 있기 때문에 신뢰도 성장 계획 설정시 PM2-Discrete 모델을 적용한다.

### 2.3 신뢰도 성장 계획 곡선

계획 성장 곡선(curve)은 예상되는 신뢰도를 시험기간 동안 그래프로 그린 것이다. 계획 성장 곡선은 단계별로 구성되며, 하나 이상의 성장 곡선으로

<Table 1> Application of reliability metrics for one-shot system by project

Category	Model	Level	Usage	Approach
Planning	AMSAA Crow Planning Model	System	Continuous	Power Law
	System Level Planning Model (SPLAN)	System	Continuous	Power Law
	Subsystem Level Planning Model(SSPLAN)	Sub-system	Continuous	Power Law
	Planning Model based on Projection Methodology-Continuous(PM2-Continuous)	System	Continuous	AMPM
	Planning Model based on Projection Methodology-Discrete (PM2-Discrete)	System	Discrete	AMPM
	Threshold Model	System	Continuous	-

구성될 수 있다. 신뢰도 성장 계획 곡선을 개발하는 단계는 다음과 같다.

- 1) 신뢰도 성장관리 계획 곡선 개발
  - 잠재적 위험 식별 및 완화
- 2) 신뢰도 목표 값 설정
  - 개발시험평가(DT&E: Development Test and Evaluation) 목표는 요구되는 신뢰성 설계(DFR: Design for Reliability) 활동 범위 결정
  - 중간 목표는 진행상황을 측정하는 기준
- 3) 적절한 시험 일정 식별
  - 시설, 지원장비, 시험인원, 시험 횟수 등 계획 및 지원
- 4) 자원 최적화한 시정조치 전략 결정
  - 시험인원, 시험비용, 시험기간, 시험일정 등 계획 및 지원

### 2.4 PM2-Discrete 모델

PM2-Discrete 모델은 프로그램 위험 및 시스템 성숙도 측정을 보유하는 계획 모델이다. PM2-

Discrete 모델은 이산시스템을 위해 특별히 개발된 방법론으로 이산 사용 영역에서 상세 계획을 수립할 수 있는 정량적 방법이다. PM2-Discrete 모델은 추적할 신뢰도 목표를 제공하며, 계획된 시험 일정 및 수정조치기간 변경에 대한 영향성을 결정할 수 있다. PM2-Discrete 모델에 직접 영향을 받는 매개변수로는 시정조치 고장 비율 MS, 평균 시정조치효율  $d$ , 초기 신뢰도  $R_I$ , 목표 신뢰도  $R_G$ 를 고려하여 신뢰도를 추정한다. PM2-Discrete 모델은 이산시스템에 적용되는 모델로 유도탄과 같은 원샷시스템에 적용할 수 있다. PM2-Discrete 모델의  $t$ 에 대한 신뢰도  $R(t)$ 는 다음 식(1)과 같다.

$$R(t) = R_A \cdot R_B^{1-d \left( \frac{t-1}{n+t-1} \right)} \quad (1)$$

where,  $R_B = R_I^{MS}$ ,

$$R_A = R_I^{1-MS},$$

$$R_{GP} = R_I^{1-MS \cdot d},$$

$$n = (T-1) \cdot \left( \frac{\ln \left( \frac{R_{GP}}{R_G} \right)}{\ln \left( \frac{R_G}{R_I} \right)} \right)$$

- a)  $R_A$  : the initial system probability that an A-mode does not occur on a trial, A-mode is a failure mode that will not be addressed via corrective action
- b)  $R_B$  : the initial system probability that a B-mode does not occur on a trial, B-mode is a failure mode that will be addressed via corrective action
- c)  $R_I$  : the planned initial system reliability
- d)  $MS$  : the Management Strategy, which in the discrete case is a value between 0 & 1 that decomposes  $R_I$  into the factors  $R_A$  and  $R_B$  (which are defined below)
- e)  $R_G$  : the goal reliability for the system to

achieve at the conclusion of the reliability growth test

- f)  $d$  : the planned average FEF of corrective actions
- g)  $T$  : the number of trials planned over the test period
- h)  $R_{GP}$  : the reliability growth potential given by PM2-Discrete is derived as the limit of the expected reliability function
- i)  $n$  : the shape parameter of the beta distribution

### 3. 원샷시스템의 신뢰도 성장 계획 수립

#### 3.1 원샷시스템의 정의

원샷시스템은 한 번만 사용되는 소모성 시스템이다. 유도탄과 같이, 시스템이 운용될 때 수행 결과가 성공 또는 실패로 나타나는 시스템을 원샷시스템이라 한다[10].

#### 3.2 원샷시스템의 신뢰도 목표값 설정

신뢰도 목표 값을 기준으로 신뢰도 성장 계획을 수립해야 한다. 본 논문에서는 원샷시스템의 신뢰도 목표 값을 신뢰도 80%이상으로 가정하였다.

#### 3.3 신뢰도 성장 계획 수립 방안 제시

원샷시스템의 신뢰도 성장 계획을 수립하기 위해서는 목표 시스템 신뢰도( $R_G$ ), 초기 시스템 신뢰도( $R_I$ ), 시험횟수( $T$ ), 시정조치가 되는 고장의 비율( $MS$ ) 및 시정조치효율( $d$ )에 대한 값을 설정해야 한다. 이에 따라, 원샷시스템에 대한 PM2-Discrete 모델의 입력 파라미터의 값을 다음과 같이 설정하였다.

- 1)  $R_G$ 는 원샷시스템의 신뢰도 목표값인 80%으로 설정하였다.
- 2)  $R_I$ 는  $R_G$ 의 80%인 64%로 설정하였다[11].
- 3)  $T$ 는 원샷시스템의 시험횟수(발사시험)를 15

<Table 2> Historical growth parameter estimates[1]

Parameter	Mean/Median	Range
Initial to Mature Ratio	0.30/0.27	0.15~0.47
Fix Effectiveness Factor (FEF)	0.70/0.71	0.55~0.85

로 설정하였다.

- 4) MS는 신뢰도 성장 프로그램의 경우 적어도 0.90 이상이어야 하며, 충분히 높은 신뢰도 목표를 달성하려면 0.95에 근접해야 한다[1]. 이에 따라  $MS = 0.95$ 로 설정하였다.
- 5) 표 2[1]에 근거하여 과거의 신뢰도 성장 파라미터 추정치에 기초하여  $d=0.7$ 로 설정하였다.

#### 3.4 신뢰도 성장 계획 곡선 도출 결과

PM2-Discrete 계획 모델의 입력 파라미터 값을 적용하여  $R(t)$ 를 유도하면 다음과 같다.

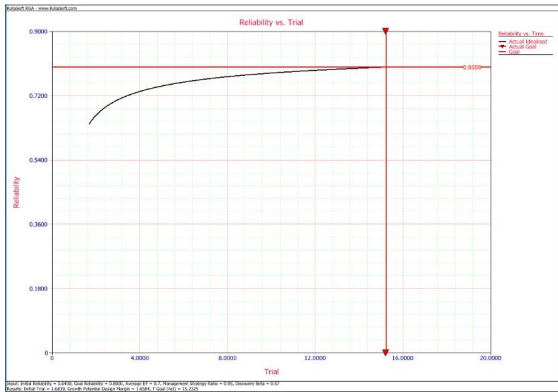
$$R_B = R_I^{MS} = 0.64^{0.95} = 0.654442$$

$$R_A = R_I^{1-MS} = 0.64^{1-0.95} = 0.977933$$

$$R_{GP} = R_I^{1-MS \cdot d} = 0.64^{1-0.95 \times 0.7} = 0.861133$$

$$n = (T-1) \cdot \left( \frac{\ln\left(\frac{R_{GP}}{R_G}\right)}{\ln\left(\frac{R_G}{R_I}\right)} \right) = (15-1) \cdot \left( \frac{\ln\left(\frac{0.861133}{0.8}\right)}{\ln\left(\frac{0.8}{0.64}\right)} \right) = 4.62$$

$$R(t) = R_A \cdot R_B^{1-d\left(\frac{t-1}{n+t-1}\right)} = 0.977933 \cdot 0.654442^{1-0.7\left(\frac{t-1}{4.62+t-1}\right)}$$



[Figure 3] PM2-Discrete reliability growth planning curve for oneshot system ( $R_G = 0.8, R_I = 0.64, T = 15, MS = 0.95, d = 0.7$ )

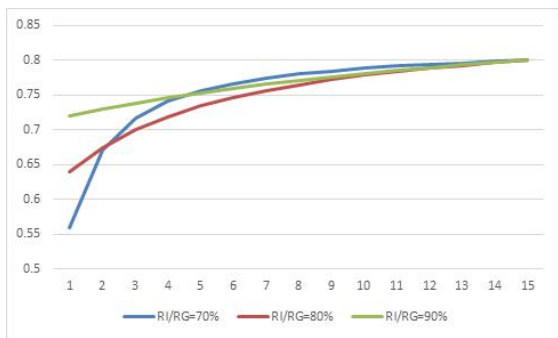
따라서, RGA<sup>®</sup> 11 S/W를 활용하여 신뢰도 성장 계획 곡선 결과를 도출하면 그림 3과 같다.

#### 4. 민감도 분석

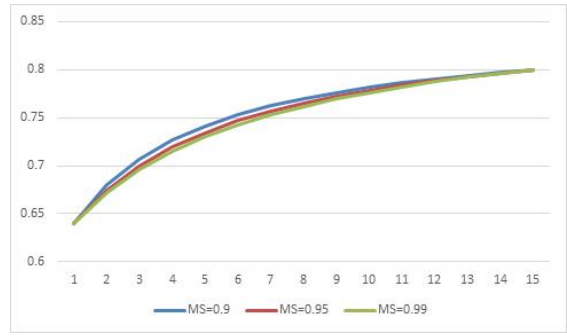
PM2-Discrete 모델을 활용한 신뢰도 성장 계획 수립에 있어서 매개변수에 대한 영향성을 고려하여 정책 수립하는 것이 더 효율적이다. 이에 따라, PM2-Discrete 모델의 입력 파라미터 값의 변화에 따른 신뢰도 성장 계획 곡선의 민감도 분석을 수행하였다.

##### 4.1 $R_I/R_G$ 값의 변화에 따른 성장곡선의 영향성

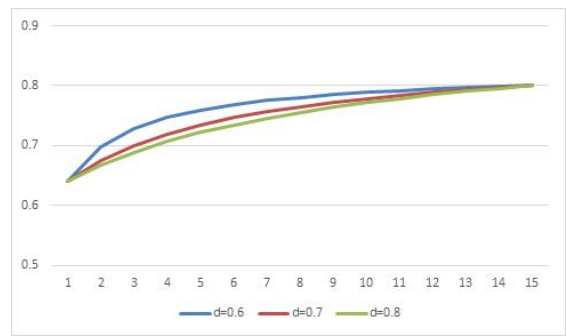
$R_G = 0.8, T = 15, MS = 0.95, d = 0.7$ 일 때,  $R_I/R_G$ 의 신뢰도 성장 계획 곡선에 대한 영향을 분석하였다. 그림 4는  $R_I/R_G$ 가 70%, 80%, 90%일 경우의



[Figure 4] Influence of  $R_I/R_G$  on Reliability Growth Planning Curve ( $R_G = 0.8, T = 15, MS = 0.95, d = 0.7$ )



[Figure 5] Influence of MS on Reliability Growth Planning Curve ( $R_I = 0.64, R_G = 0.95, T = 15, d = 0.7$ )



[Figure 6] Influence of  $d$  on Reliability Growth Planning Curve ( $R_I = 0.64, R_G = 0.95, T = 15, MS = 0.95$ )

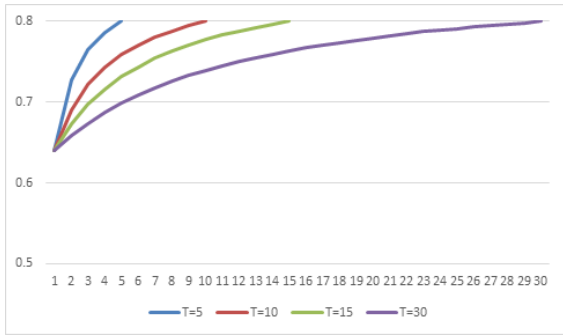
신뢰도 성장 계획 곡선이다.  $R_I/R_G$ 의 비율이 작을수록 시험 기간 중 더 높은 성장률이 요구된다.

##### 4.2 MS 값의 변화에 따른 성장곡선의 영향성

$R_I = 0.64, R_G = 0.95, T = 15, d = 0.7$ 일 때, MS의 신뢰도 성장 계획 곡선에 대한 영향을 분석하였다. 그림 5는  $MS = 0.9, 0.95, 0.99$ 일 경우의 신뢰도 성장 계획 곡선이다. MS가 작을수록 시험 기간 중 더 높은 성장률이 요구된다.

##### 4.3 $d$ 값의 변화에 따른 성장곡선의 영향성

$R_I = 0.64, R_G = 0.95, T = 15, MS = 0.95$ 일 때,  $d$ 의 신뢰도 성장 계획 곡선에 대한 영향을 분석하였다. 그림 6은  $d = 0.6, 0.7, 0.8$ 일 경우의 신뢰도 성장 계획 곡선이다.  $d$ 가 작을수록 시험 기간 중 더 높은 성장률이 요구된다.



[Figure 7] Influence of  $T$  on Reliability Growth Planning Curve ( $R_I = 0.64$ ,  $R_G = 0.8$ ,  $MS = 0.95$ ,  $d = 0.7$ )

#### 4.4 T 값의 변화에 따른 성장곡선의 영향성

$R_I = 0.64$ ,  $R_G = 0.8$ ,  $MS = 0.95$ ,  $d = 0.7$ 일 때,  $T$ 의 신뢰도 성장 계획 곡선에 대한 영향을 분석하였다. 그림 7은  $T = 5, 10, 15, 30$ 일 경우의 신뢰도 성장 계획 곡선이다.  $T$ 가 작을수록 시험 기간 중 더 높은 성장이 요구된다.

### 5. 결론

원샷시스템은 이산형 특성을 갖고 있는 시스템이다. 원샷시스템의 신뢰도 성장 관리 계획 수립을 위하여 이산형 특성을 반영한 PM2-Discrete 모델을 적용하였다. 본 논문에서는 신뢰도 성장 계획 수립에 필요한 파라미터 설정방안을 구체적으로 제시하여 신뢰도 성장 계획을 수립하였다. 신뢰도 성장 계획 결과를 RGA<sup>®</sup> 11 S/W를 활용하여 신뢰도 성장 계획 곡선을 도출하였다. 또한,  $R_I/R_G$ ,  $MS$ ,  $d$ ,  $T$  값 변화에 따른 민감도 분석을 수행하여 입력 파라미터 변화에 따른 신뢰도 성장 곡선의 영향을 분석하였다. 그 결과로  $MS$ ,  $d$  값 보다는  $R_I/R_G$ ,  $T$  값에 따라 신뢰도 성장 곡선에 영향력이 있었음을 확인하였다. 따라서,  $R_I$  설정을 너무 낮게 설정하지 않으면서, 적절한 시험발수를 고려한 신뢰도 성장 계획을 수립해야 하는 것이 최적의 대안이라 할 수 있다. 본 연구의 결과는 원샷시스템의 신뢰도 성장 계획 설정시 유용하게 활용될 수 있다.

### References

1. MIL-HDBK-189C, Reliability Growth Management, Department of Defense Handbook, pp. 2, 8, 26, 29-30, 2011.
2. J. Emahiser/ADUSD(L), Life Cycle and O&S Costs, DA ILS Symposium, pp. 5-7, 1997.
3. JCIDS Manual, Manual for the operation of the joint capabilities integration and development system, pp. B-A 2-3, 2012.
4. Lee, S. J., and Choi, Y. C., A Study on the application of Computerized Systems Engineering Tool to Support RAMS Activities for Light Rail Transit Project, Journal of the Korean Society of Systems Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 33-42, 2014.
5. Chung, I. H., Lee, H. Y., and Park, Y. I., Reliability Evaluation of Weapon System Using Field Data: Focusing on Case Study of K-series Weapon System, Journal of the Korean Society for Quality Management, Vol. 40, No. 3, pp. 278-285, 2012.
6. Kim, M. S., Chung, J. W., Lee, J. S., A Reliability Growth Prediction for a One-Shot System Using AMSAA Model, Journal of Applied Reliability, Vol. 14, No. 4, pp. 225-229, 2014.
7. Jo, B. R., A case study on reliability growth analysis for a missile system composed of all up round missile and launcher, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 20, No. 2, pp. 329-335, 2019.
8. Kim, S. B., Park, W. J., You, J. W., Lee, J. K., Yong, H. Y., Reliability Prediction Based Reliability Growth Management : Case Study of Surveillance System, Journal of the Korean Society for Quality Management Vol. 47, No.1 pp. 187-198, 2019.
9. U.S. Department of Defense, Operation of

the Defense Acquisition System, DoD Instruction 5000.02, p. 19, 2008.

10. DoD Guide for achieving Reliability, Availability & Maintainability, Department of Defense, Chapter 3 Understand and Document User Needs and Constraints, p. 3, 2005.

11. Ellner, P. M., and Trapnell, B., AMSAA Reliability Growth Data Study, The Army Materials Systems Analysis Activity, Aberdeen Proving Ground, AMSAA Interim Note IN-R-184, 1990.