

# 복수장비의 고장 데이터를 활용한 신뢰성 성장 시험 적용 방안

서양우\*, 오영일, 임성준, 엄천섭  
LIG넥스원 PGM IPS연구소

## A Method of Reliability Growth Test using Failure Data for Multiple Systems

Yang-Woo Seo\*, Young-Il Oh, Seong-Jun Lim, Chun-Sup Um  
Precision Guided Munition Integrated Product Support R&D Lab, LIG Nex1

**요약** 본 논문은 복수장비의 고장 데이터를 활용한 신뢰성 성장 시험 적용 방안을 제시하였다. 우선 복수장비의 신뢰성 성장 시험 절차를 제시한 후 제안한 절차에 따라 A System에 대하여 신뢰성 성장 시험 사례분석을 수행하였다. 동일한 시스템에 대한 시험 시간 및 고장 이벤트를 알 수 있기 때문에 신뢰성 성장 데이터는 알려진 운용시간 데이터 유형으로 설정하였다. 총 시험시간은 8,000시간을 수행하였으며, 시험 종료 시점까지 고장발생 건수는 16번이었다. 이에 따라, 입증된 고장 간 평균 시간은 628.241399시간의 결과 값이 산출되었다. 또한, 신뢰성 성장 시험 종료 시점을 결정할 수 있는 시험 대안 분석을 수행하였다. 개별 시험 시간 1,770시점에서 신뢰도 목표 값이 만족되어 신뢰성 성장 시험 종료 가능성이 확인되었다. 이 때, 입증된 고장 간 평균 시간 값은 501.934460시간으로 충족되었으며, 총 시험시간 920시간을 단축시킬 수 있다. 즉, 시험기간 및 관련된 비용을 줄일 수 있는 효과를 기대할 수 있다. 따라서, 대부분 무기 체계는 시험 시제 수량을 단일장비가 아닌 복수장비로써 시험을 수행하기 때문에 제안한 신뢰성 성장 시험 절차에 따라 신뢰성 성장 시험을 수행할 수 있다. 또한, 신뢰성 성장 시험 대안 분석을 통하여 시험 기간 및 사업 리스크를 제거하는 대안으로 활용가능하다.

**Abstract** In this paper, we proposed a method for reliability growth testing in multiple systems. First, the reliability growth test procedure for multiple systems was presented, and then the case analysis of the reliability growth test was performed on the A system. Since the test time and failure event for the same system can be known, the reliability growth data was set as a known operating times data type. The total test time was 8,000 hours, and the number of failures was 16. Accordingly, the demonstrated mean time between failures was calculated as 628.241399 hours. In addition, a test alternative analysis was performed to determine the end time of the reliability growth test. It was confirmed that the reliability target value was satisfied at 1,770 individual test times. In this case, the demonstrated mean time between failure was 501.934460 hours, and the total test time of 920 hours may be shortened. That is, it is possible to reduce the test time and related costs. Therefore, since most weapon systems tests use multiple equipment types rather than a single type of equipment, a reliability growth test can be performed in accordance with the proposed reliability growth test procedure. Also, it can be used as an alternative to reducing the test period and business risk through the alternative analysis of the reliability growth test.

**Keywords** : Reliability Growth, Reliability Growth Test, Failure Data, Mean Time Between Failure, Multiple Systems

\*Corresponding Author : Yang-Woo Seo(LIG Nex1)

email: yangwoo.seo2@lignex1.com

Received March 8, 2022

Accepted June 3, 2022

Revised March 28, 2022

Published June 30, 2022

## 1. 서론

신뢰성 성장은 시스템 설계, 운용, 유지보수 절차 또는 관련 제조 공정에 대한 수정조치의 이행으로 인해 일정기간동안 신뢰도가 긍정적으로 개선되는 것을 말한다 [1]. 신뢰성 수행 업무 중에 신뢰성 성장 시험은 필수 업무이다 [2]. 신뢰성 성장 시험은 공식적인 신뢰성 보증 시험을 대체하는 것으로 활용되어지고 있다 [3].

신뢰성 성장 시험은 평가를 통해 계획한 신뢰성 목표 값에 달성하는지를 통제, 관리해야 한다. 시험 프로파일에 따라 진행 중에 문제가 발생되면, 시험 계획을 재수립하여 지속적으로 수행되어진다. 이러한 시험 계획은 자원 재할당을 통해 시험 기간 및 시험 시제 수량 등을 고려하여 검토가 진행되어진다. 즉, 사업 특성을 고려한 신뢰성 문제를 찾아내고 시스템의 신뢰성 증가를 모니터링하는 구조화된 과정을 신뢰성 성장이라고 말할 수 있다.

설계 단계별 신뢰성으로 인한 비용 차이를 Fig. 1과 같이 제시하고 있다 [4]. 즉, 신뢰성을 위해 설계하는 것이 비용이 적게 드는 것을 알 수 있다. 탐색개발단계에서 신뢰성을 고려한 설계반영이 가장 효과적이기 때문에 신뢰성 업무 중에 가장 대표적인 신뢰성 성장 관리 활동을 통해 신뢰성을 확보하는 것이 중요하다.

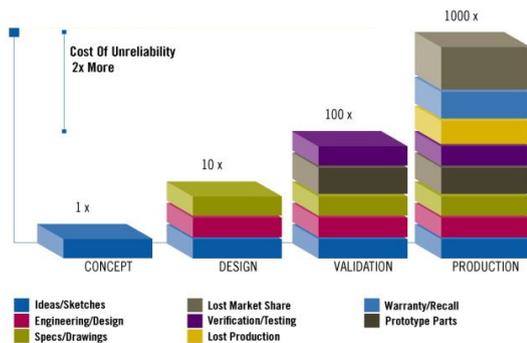


Fig. 1. Reduce Costs by Improving Reliability Upfront

신뢰성 성장 관련 민수 분야 연구사례를 살펴보면, Lee et al. [5]는 경량전철 시스템의 주행시험 데이터를 AMSAA 모형에 적용하여 고장 간 평균시간(MTBF; Mean Time Between Failure), 목표 도달까지의 누적 주행거리 등을 추정하였고, Choi et al. [6]는 한국형 고속열차의 고장 간 평균 주행 거리(MKBF; Mean Kilometers Between Failures)를 산출한 후 Duane 모델을 활용하여 성장률을 추정하였다. So et al. [7]는

건설장비에 대한 Duane 모델 기반으로 신뢰도 성장 시험의 계획수립 방법을 제안하였다.

한편, 방산 분야 연구사례를 살펴보면, Chung et al. [8]은 K 무기체계에서 필드데이터를 신뢰성 성장 모델에 적용하여 신뢰도를 추정하였고, Kim et al. [9]은 감시체계에서 신뢰도 예측 값을 기반으로 신뢰도 성장 관리 활동을 수행하였다. Lee et al. [10]는 기동장비에서 개발시험 단계 시험 데이터를 활용하여 신뢰도 값을 추정하였고, Seo et al. [11,12]는 무기체계의 신뢰성 성장 관리 시험 설계방안을 제시하였다. Seo et al. [13]는 PM-2 Continuous 모델을 적용하여 신뢰도 성장 관리 계획을 제시하였고, Seo et al. [14]는 이산형 특성을 갖고 있는 PM-2 Discrete 모델을 적용하여 신뢰도 성장 관리 계획을 제시하였다.

위 사례들은 신뢰성 성장 시험 수행에 있어서 시험 데이터를 활용하여 결과 값 및 계획 수립을 제시하고 있다. 특히, 특정 무기체계에 대한 단일장비에 대한 신뢰성 성장 시험 결과를 제시하고 있다. 하지만, 대부분 무기체계는 시험 시제 수량을 단일장비가 아닌 복수장비로써 시험을 수행하고 있다. 따라서, 대부분 무기체계에서 수행하고 있는 복수개의 수량을 가지는 무기체계의 신뢰성 성장 시험 적용 방안을 제시하고자 한다.

본 논문에서는 복수장비의 고장 데이터를 활용한 신뢰성 성장 시험 절차를 제시한 후 제안한 절차에 따른 사례 분석을 수행하고자 한다. 또한, 신뢰성 성장 시험 종료 시점 전에 시험을 종료 여부에 대한 결정을 내리는 것이 제한됨에 따라 본 논문에서는 시험 대안 분석을 통한 신뢰성 성장 시험 종료 시점을 결정할 수 있는 대안을 제시하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 복수개 시스템의 데이터 유형

복수개 시스템 데이터 유형은 동일한 시스템을 여러 대 시험할 때 적용하는 데이터 유형이다. 복수개의 시스템에 대한 신뢰성 성장 시험은 개별 시스템의 운용 시간을 결합하여 동일한 단일 시스템으로 만들어야 한다. 이를 통해 시험 중에 발생한 모든 오류 및 수정 사항을 평가할 수 있다. Table 1과 같이 시스템 작동 시간이 결정되는 방식에 따라 4개의 데이터 유형으로 구분되어진다.

Table 1. Times to Failure Data from Multiple Systems[15]

Data Type	Operating Times of Non-Failed Systems
Known Operating Times	User provides the exact operating times for both failed system and all other non-failed systems
Concurrent Operating Times	Weibull++ uses the failure time of the failed system as the operating times of the non-failed systems
Multiple Systems with Dates	Weibull++ uses calendar dates to estimate the operating times of non-failed systems based on their average daily usage rate for the relevant time period
Multiple Systems with Event Codes	Same as "Concurrent Operating Times."

### 2.1.1 알려진 운용시간 데이터

알려진 운용 시간 데이터 유형은 동일한 시스템이 여러 대 시험되고, 모든 시스템에 대한 정확한 운용 시간을 알고 있는 경우에 사용된다. 시스템에서 고장이 발생하면 모든 시스템에 대한 정확한 운용 시간이 기록된다. 분석에서는 수정 사항이 모든 시스템에 동시에 적용되므로 동일한 구성을 계속 유지한다고 가정한다.

### 2.1.2 동시 운용시간 데이터

동일한 여러 시스템을 시험하지만 오류가 발생한 경우에만 시스템의 정확한 운용 시간을 알 수 있는 상황에 사용된다. 모든 시스템이 동일한 구성, 동시에 작동, 동일한 속도로 사용량을 추적하고 동시에 수정 사항을 수신한다고 가정한다. 따라서, 시스템에 장애가 발생하면 장애가 발생한 시스템의 정확한 운용 시간이 기록되고, 이 시간은 장애가 발생하지 않은 다른 시스템의 운용 시간으로도 사용된다.

### 2.1.3 날짜가 있는 복수개 시스템 데이터

날짜가 있는 복수개 시스템 데이터 유형은 동시 운용 데이터 유형과 마찬가지로 동일한 시스템을 여러 대 시험을 수행할 때 사용된다. 시스템의 정확한 운용 시간은 오류가 발생한 경우에만 알 수 있는 상황에 사용된다. 하지만, 이 데이터 유형은 시스템이 모두 동일한 구성으로 시작하지 않았거나 동시에 작동하지 않는 경우 사용할 수 있다. 시스템에 장애가 발생하면 장애가 발생한 시스템의 정확한 운용 시간이 기록되고, 모든 이벤트에 대해 기록된 정확한 달력 날짜를 사용하여 장애가 발생하지 않은 다른 시스템의 작동 시간을 추정한다.

### 2.1.4 이벤트 코드가 있는 복수개 시스템 데이터

이벤트 코드가 있는 복수개 시스템 데이터 유형은 항상 각 고장의 원인이 되는 고장 모드를 식별하고 분류해야 한다는 점을 제외하고는 동시 운용시간 데이터 유형과 유사하다. 또한, 코드를 사용하여 고장 이외의 다른 유형의 이벤트인 특정 고장 모드, 성능 또는 품질 등에 대해 수정이 구현된 시간을 식별할 수 있다. 이 데이터 유형은 일부 시스템에 대해 수정 사항이 동시에 구현되지 않을 때 사용할 수 있다.

## 2.2 신뢰성 성장 시험 절차 제안

신뢰성 성장 관리 절차는 계획된 신뢰도 대비 추정된 신뢰도 값과 비교하여 계획된 신뢰도 목표 값에 만족하지 못하면, 설계 변경을 통해 시험을 수행한다는 간략한 절차를 제시하고 있다[1]. 이는 신뢰성 성장 시험 수행 시 구체적인 시험 방안을 수립하기에는 한계가 있기 때문에 개선된 신뢰성 성장 시험 절차를 제안한다. 특히, 신뢰성 성장 시험 수행 시 시험 종료 시간 및 시료 대수가 신뢰성 성장 시험 평가에서 가장 큰 핵심적인 항목이다. 시험 종료 시간은 더욱 더 짧아지는 무기체계의 체계 개발 기간을 고려할 때 더욱 중요한 항목이다. 동일한 시스템을 여러 대 시험함으로써 시험 시간을 단축시킬 수 있기 때문에 탐색개발 단계에서 신뢰성 성장 시험 시료 대수를 사전에 설정하여 진행하는 것이 필요하다. 한편, 신뢰성 성장 시험을 종료할 수 있는 조건은 다음 3가지 형태로 발생 가능하다.

- 시험 종료 시간 전에 신뢰도 목표 값이 만족되는 경우(→ 시험 종료 가능)
- 시험 종료 시간 까지 신뢰도 목표 값이 만족되는 경우(→ 시험 종료 가능)
- 시험 종료 시간 까지 신뢰도 목표 값이 불만족 되는 경우(→ 시험 계획 재수립 후 시험 재개)

이에 따라, 위의 사항을 반영한 복수장비의 신뢰성 성장을 위한 시험 절차를 Fig. 2와 같이 제시하였다. 복수장비의 신뢰성 성장 시험에 대한 제시한 절차의 각각의 활동은 아래와 같다.

- 1단계: 시스템의 신뢰성 목표 값을 설정한다.
- 2단계: 신뢰성 성장 데이터를 수집한다.
- 3단계: 신뢰성 성장 시험을 위한 데이터 유형을 결정한다.

4단계: 데이터 유형에 따른 신뢰성 성장 모델을 선정한다.

5단계: 신뢰성 성장 시험을 평가한다.

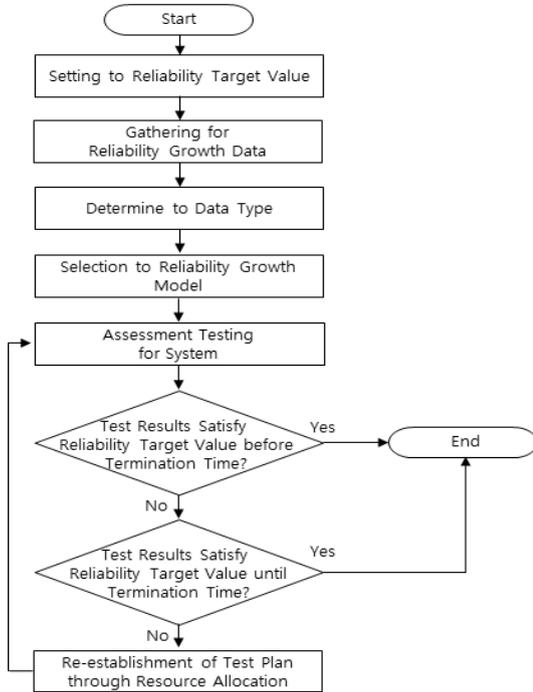


Fig. 2. Proposed Process of Reliability Growth Test for Multiple Systems

6단계: 시험 종료 시간 전에 신뢰도 목표 값 만족 여부를 확인한다.

6-1) 신뢰성 목표 값에 시험 결과가 만족하면, 신뢰성 성장 시험을 종료한다.

6-2) 신뢰성 목표 값에 시험 결과가 만족하지 않으면, 시험 종료 시점까지 신뢰성 성장 시험을 수행한다.

7단계: 시험 종료 시간까지 신뢰도 목표 값 만족 여부를 확인한다.

7-1) 신뢰성 목표 값에 시험 결과가 만족하면, 신뢰성 성장 시험을 종료한다.

7-2) 신뢰성 목표 값에 시험 결과가 만족하지 않으면, 자원 재할당을 통한 시험 계획을 재수립한다.

특히, 6단계에서 시험 종료에 대한 대안 분석을 수행하는 절차를 제시하였다. 시험 대안 분석이라 함은 시험

종료에 대한 의사 결정을 수행하는 것을 의미한다. 시험 종료 시점 전에 신뢰도 목표 값이 만족되는 경우에 시험을 종료 여부를 결정하는 행위이다.

### 2.3 사례 분석

#### 2.3.1 분석 대상

복수개의 신뢰성 성장 시험 시제를 갖고 있는 A 시스템에 대한 신뢰성 성장 시험 사례분석을 수행하였다. A 시스템 성장 시험을 수행할 때 시험 시제 수량은 4대이다. 이에 따라, A 시스템에 대하여 동일 시스템을 시험하는 것으로 4대에 대한 구분을 System 1, System 2, System 3 및 System 4로 명명하였다. 단, 보안 규정상 A 시스템으로 기술하였다.

#### 2.3.2 신뢰성 목표 값 설정

신뢰성 목표 값 설정은 시스템에 대한 신뢰성 척도의 정량적인 값을 의미한다. A 시스템의 신뢰도 목표 값은 MTBF 500시간 이상이다.

#### 2.3.3 신뢰성 성장관리 데이터 수집

Time to Failure 데이터는 정확한 고장 발생 시간을 알 수 있을 때 적용한다. 단일시스템 뿐만 아니라 여러 시스템에서 결합된 시간을 분석할 때의 데이터 유형으로 데이터 수집 시 Time to Failure 데이터를 수집하였다. 이에 따라, 신뢰성 성장 시험을 수행하기 위해서 신뢰성 성장 데이터를 각각의 시스템별로 수집 분석하였다. Table 2~5는 System 1, System 2, System 3 및 System 4의 신뢰성 성장 데이터 수집 현황이다. Table 2는 System 1의 고장 데이터 목록으로 총 4건이 발생하였다.

Table 2. Data Gathering for A System 1

Data	System Name	Time to Failure(hr)
1	System 1	150
2	System 1	270
3	System 1	580
4	System 1	920

Table 3은 System 2의 고장 데이터 목록으로 총 4건이 발생하였다.

Table 3. Data Gathering for A System 2

Data	System Name	Time to Failure(hr)
1	System 2	350
2	System 2	690
3	System 2	810
4	System 2	1,450

Table 4는 System 3의 고장 데이터 목록으로 총 5건이 발생하였다.

Table 4. Data Gathering for A System 3

Data	System Name	Time to Failure(hr)
1	System 3	210
2	System 3	430
3	System 3	920
4	System 3	1,010
5	System 3	1,380

Table 5는 System 4의 고장 데이터 목록으로 총 3건이 발생하였다.

Table 5. Data Gathering for A System 4

Data	System Name	Time to Failure(hr)
1	System 4	340
2	System 4	580
3	System 4	870

### 2.3.4 데이터 유형 결정

A 시스템의 신뢰성 성장 데이터를 수집함에 있어서 동일한 시스템 4대에 대한 신뢰성 성장 시험 시간 및 고장 이벤트 시간을 정확히 알 수 있다. 이에 따라, 복수개 시스템의 알려진 운용시간 데이터 유형으로 설정하였다.

### 2.3.5 신뢰성 성장 모델 선정

데이터 유형에 따른 시험 전략을 ‘시험-수정조치-시험’을 수행하는 AMSAA 모델을 적용하였다. AMSAA 모델에서 순간 고장률( $\rho$ )은 Eq. (1)과 같다.

$$\rho(t) = \lambda \beta t^{\beta-1} \quad (1)$$

where, for  $\lambda, \beta, t > 0$

t : cumulative test time

$\lambda$  : scale parameter

$\beta$  : shape parameter

순간 평균 고장시간(m)은 시험 종료 시점의 현재 형상에서 시스템의 입증된 고장 간 평균 시간이다. 순간 고장 간 평균 시간(m)은 순간 고장률( $\rho$ )의 역수로 표현되어지며, Eq. (2)와 같다.

$$m(t) = \frac{1}{\rho(t)} = (\lambda \beta t^{\beta-1})^{-1} \quad (2)$$

where,

t : cumulative test time

$\lambda$  : scale parameter

$\beta$  : shape parameter

최도모수의 추정치  $\hat{\lambda}$ 는 Eq. (3)과 같다.

$$\hat{\lambda} = \frac{N}{kc^{\hat{\beta}}} \quad (3)$$

where,

N : cumulative number of failures

k : number of system

c : total test time

$\hat{\beta}$  : maximum likelihood estimates of  $\beta$

형상모수의 추정치  $\hat{\beta}$ 는 Eq. (4)와 같다.

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln \frac{c}{t_{ij}}} \quad (4)$$

where,

N : total observed number of failures

k : number of system

c : total test time

$t_{ij}$  : ij-th test time

### 2.3.6 시험 결과 분석

A 시스템의 신뢰성 성장 시험 시제 수량은 총 4대이다. 각각의 신뢰성 성장 시험시간은 2,000시간이며, 총 시험시간은 8,000시간을 수행하였다. System 1은 신뢰

성 성장 시험 중에 4번, System 2는 신뢰성 성장 시험 중에 4번, System 3은 신뢰성 성장 시험 중에 5번, System 4는 신뢰성 성장 시험 중에 총 3번 고장이 발생하였다. 고장 발생 시 즉시 수정 조치하여 조치된 이후 시험을 재개하는 형태로 진행하였다. 신뢰성 성장 시험 결과를 분석하는데 있어서 ReliaSoft Weibull++ S/W를 활용하였다. Table 2~5에 따른 데이터를 ReliaSoft Weibull++ S/W에 고장 이벤트에 따라 Fig. 3과 같이 입력하였다.

‘System ID’는 신뢰성 성장 시험 시제 수량이 4대로 수행되어 순차적으로 System 1, System 2, System 3 및 System 4로 부여하였다. ‘Event’는 관측된 기간에서의 시스템 시험 시작을 ‘S’, 관측된 기간에서의 시스템 시험 끝을 ‘E’, 시스템 시험 중 고장을 ‘F’로 설정하였다.

System 1의 ‘Time to Event’는 150, 270, 580, 920시간에 고장이 각각 발생하였다. System 2의 ‘Time to Event’는 350, 690, 810, 1450시간에 각각 고장이 발생하였다.

System ID	Event	Time to Event (hr)	Comments	
1	System 1	S	0	Start
2	System 1	F	150	
3	System 1	F	270	
4	System 1	F	580	
5	System 1	F	920	
6	System 1	E	2000	End
7	System 2	S	0	Start
8	System 2	F	350	
9	System 2	F	690	
10	System 2	F	810	
11	System 2	F	1450	
12	System 2	E	2000	End
13	System 3	S	0	Start
14	System 3	F	210	
15	System 3	F	430	
16	System 3	F	920	
17	System 3	F	1010	
18	System 3	F	1380	
19	System 3	E	2000	End
20	System 4	S	0	Start
21	System 4	F	340	
22	System 4	F	580	
23	System 4	F	870	
24	System 4	E	2000	End

Fig. 3. Input Screen for each System ID

System 3의 ‘Time to Event’는 210, 430, 920, 1010, 1380시간에 각각 고장이 발생하였다. System 4의 ‘Time to Event’는 340, 580, 870시간에 각각 고장이 발생하였다. ‘Comments’는 시험시간의 시작과 끝을

구분하여 시험을 수행하는 대상을 구분하였으며, ‘Event’에서 식별한 ‘S’ 및 ‘E’에 대하여 ‘S’는 Start, ‘E’는 End로 입력하였다.

Crow-AMSAA 모델의 모수에 대한 추정치를 산출하면 다음과 같다.

형상모수의 추정치  $\hat{\beta}$ 를 산출하면,

$$\begin{aligned} \hat{\beta} &= \frac{N}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln \frac{c}{t_{ij}}} \\ &= 16 / [\ln(\frac{2,000}{150}) + \ln(\frac{2,000}{270}) + \ln(\frac{2,000}{580}) \\ &\quad + \ln(\frac{2,000}{920}) + \ln(\frac{2,000}{350}) + \ln(\frac{2,000}{690}) \\ &\quad + \ln(\frac{2,000}{810}) + \ln(\frac{2,000}{1,450}) + \ln(\frac{2,000}{210}) \\ &\quad + \ln(\frac{2,000}{430}) + \ln(\frac{2,000}{920}) + \ln(\frac{2,000}{1,010}) \\ &\quad + \ln(\frac{2,000}{1,380}) + \ln(\frac{2,000}{340}) + \ln(\frac{2,000}{580}) \\ &\quad + \ln(\frac{2,000}{870})] \\ &= 16 / 20.10372476 = 0.795872 \end{aligned}$$

척도모수의 추정치  $\hat{\lambda}$ 를 산출하면,

$$\hat{\lambda} = \frac{N}{kc^{\hat{\beta}}} = \frac{16}{(4 \times 2000)^{0.795872}} = 0.012524$$

성장률  $\alpha$ 를 산출하면,

$$\alpha = 1 - \hat{\beta} = 1 - 0.795872 = 0.204128$$

순간 고장률  $\rho$ 를 산출하면,

$$\begin{aligned} \hat{\rho} &= \hat{\lambda} \hat{\beta} t^{\hat{\beta}-1} \\ &= 0.012524 \times 0.795872 \times 8,000^{0.795872-1} \\ &= 0.001591751 \end{aligned}$$

순간 평균 고장시간  $m$ 을 산출하면,

$$m = \frac{1}{\hat{\rho}} = (\hat{\lambda} \hat{\beta} t^{\hat{\beta}-1})^{-1}$$

$$= \frac{1}{0.001591751} = 628.2390488$$

위 수식으로 산출한 결과 값과 ReliaSoft Weibull ++ S/W를 활용한 신뢰성 성장 시험 결과 값은 Fig. 4와 같이 동일함을 볼 수 있다. 총 4대의 A 시스템 각각에 대해서 2,000시간 시험을 통해서 입증된 값으로 와이블 분포를 따른다.

형상모수  $\beta = 0.795872$ 로 산출되었으며,  $\beta < 1$ 이기 때문에 관찰기간동안 신뢰성이 향상됨을 알 수 있었다. 총 고장 횟수 16건 및 총 시험 수량 4대에 대한 척도모수  $\lambda = 0.012524$ 로 산출되었다. 성장률  $\alpha = 0.204128$ 으로 양의 값이기 때문에 성장이 되고 있는 것으로 확인하였다.

입증된 고장률(DFI: Demonstrated Failure Intensity)  $\rho = 0.001591751$ 로 산출되었다. 고장률 값에 대해서 역수를 취하면 입증된 MTBF 값이 되며, 그 결과 값은 628.241399시간으로 산출되었다.

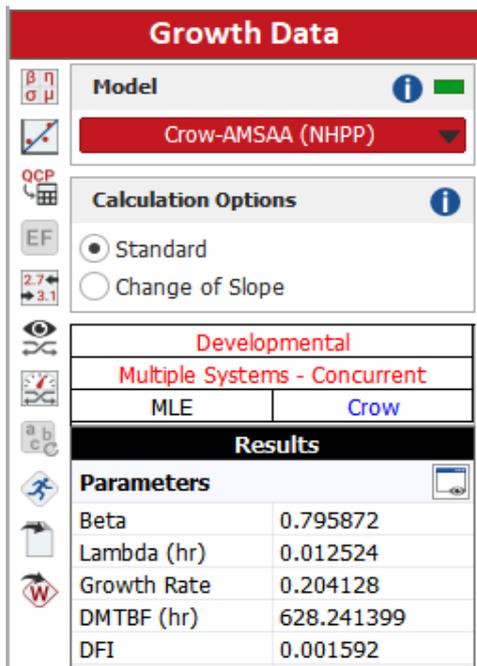


Fig. 4. Growth Data Results of A System

Fig. 5는 A 시스템에서 각각의 운용 시간에 대한 타점을 보여주는 결과이다.

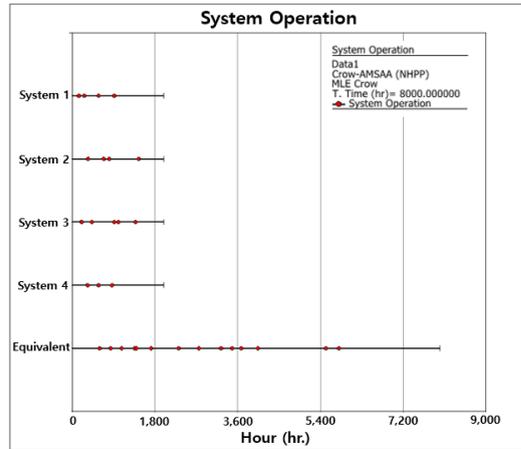


Fig. 5. System Operation of A System

Fig. 6은 A 시스템에서 각각의 운용 시간을 합해서 하나의 일직선에 전체 고장의 현황을 보여주는 결과이다. Fig. 7은 A 시스템에서 시간에 따른 MTBF를 산출한 그래프이다. 타점은 데이터 셋의 실제 고장을 나타낸다. Fig. 8은 A 시스템에서 시간에 따른 고장률을 산출한 그래프이다.

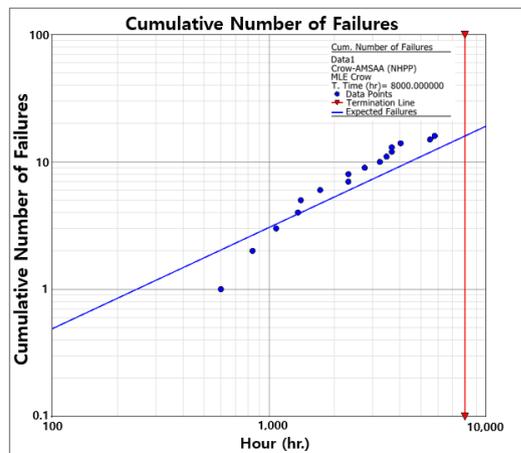


Fig. 6. Cumulative Number of Failures of A System

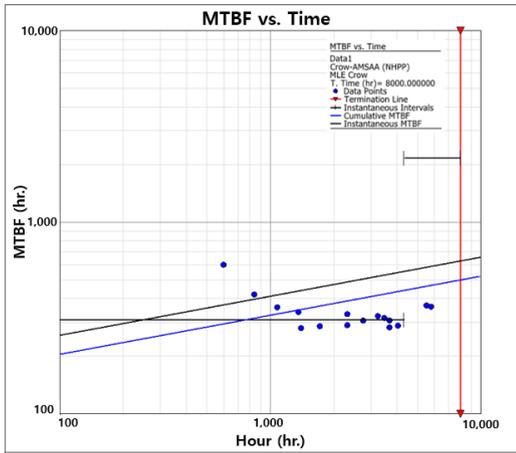


Fig. 7. MTBF vs. Time of A System

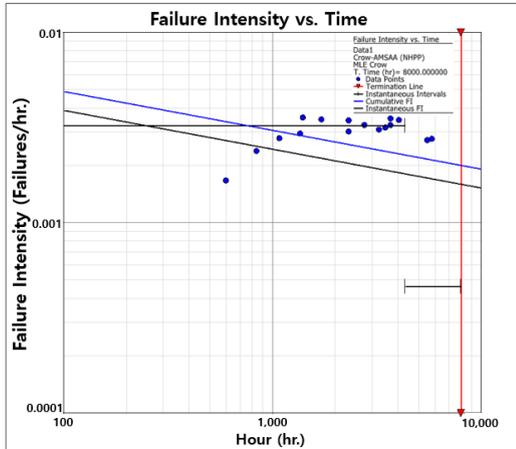


Fig. 8. Failure Intensity vs. Time of A System

### 2.3.7 시험 대안 분석

신뢰성 목표 값은 500시간으로 계획된 2,000시간 동안 시험을 수행하였다. 총 4대에 대해서는 8,000시간에 해당한다. 하지만, 현 무기체계 체계개발기간이 짧고 개발비용이 예산보다 적은 상황에서 사업관리 측면에서는 시험 대안 분석이 필요하다. 신뢰성 성장 시험 종료 시점까지 시험을 수행할 수 없는 상황 또는 목표 MTBF가 만족되는 시점에서 종료할 수 있는 상황이 발생 가능하다. 이러한 상황을 고려하여 시험 종료 시점 대비 진행되는 시험동안 어느 시점에 시험을 종료하더라도 목표 MTBF 값을 만족할 수 있는지를 분석하였다.

Fig. 9는 목표 MTBF에 대한 신뢰성 성장 시험 시간을 분석한 그래프이다. 목표 MTBF를 500시간으로 설정하여 목표 MTBF 값 대비 시험시간을 분석하였다. 목표

MTBF 500시간 기준으로 Termination Line과 교차되는 빨간 점이 시험 종료시간이 된다.

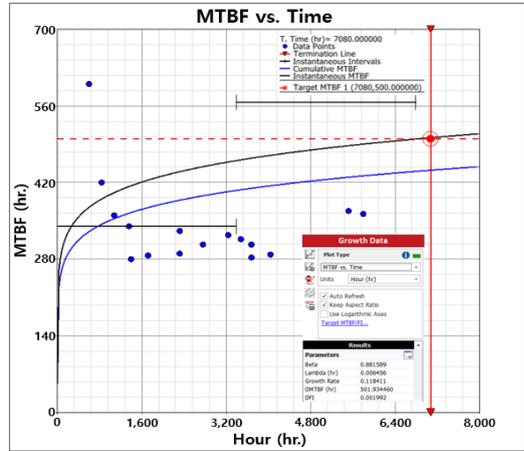


Fig. 9. Test Time for Target MTBF

시험 대안 분석을 수행하면, Table 6과 같이 대안 분석의 결과를 도출할 수 있었다. 개별 시험 시간은 10시간 단위 간격으로 분석을 수행하였다. 개별 시험 1,770시간에서 입증된 MTBF 값은 501.934460시간으로 충족되기 때문에 시험을 중단해도 문제없는 것으로 분석되었다.

Table 6. Test Time Analysis Results for A System

Case	Time of Individual Test(hr)	Time of Total Test(hr)	Demonstrated MTBF(hr)
1	1,730	6,920	480.705164
2	1,740	6,960	485.991018
3	1,750	7,000	491.291240
4	1,760	7,040	496.605747
5	1,770	7,080	501.934460
6	1,780	7,120	507.277297
7	1,790	7,160	512.634178
8	1,800	7,200	518.005027

개별 시험시간 1,770시간은 총 시험시간이 7,080시간으로 계획된 시험시간 대비 8.85% 시험시간을 단축시킬 수 있다.

### 3. 결론

신뢰성 성장 시험은 신뢰성 업무 중에 가장 중요한 필수 업무이다. 기존 신뢰성 예측 업무에 대한 대체 방안으로 신뢰성 성장 시험을 수행하고 있다. 무기체계의 신뢰성 목표 값 만족 여부에 따라 신뢰성 성장 시험은 종료될 수 있기 때문에 신뢰성 목표 값 달성을 위한 시험을 통제 및 관리해야 한다. 계획한 신뢰성 성장 종료 시점에 신뢰성 목표 값이 달성되지 못하게 되면, 시험 프로파일을 수정 보완하여 시험 계획을 재수립할 필요가 있다. 결국, 자원 재할당을 통해 시험 기간 및 시험 시제 수량을 변경하여 시험을 재개해야 한다. 또한, 사업 특성을 고려하여 신뢰성 고장을 찾아내고 수정조치 활동을 통해 시스템의 신뢰성이 개선되어지는 것이 최종 목표가 된다.

본 논문에서는 신뢰성 성장 시험 시제 수량을 단일 수량이 아닌 복수개 수량을 가지는 무기체계의 신뢰성 성장 시험 적용 방안을 제시하였다. 우선, 복수장비의 신뢰성 성장 시험 절차를 제시하였고, 제한한 절차에 따른 A 시스템에 대한 사례분석을 수행하였다. A 시스템의 신뢰성 성장 시험 시제 수량은 4대이며, 개별 시험시간은 2,000시간, 총 시험시간은 8,000시간을 수행하였다. 신뢰성 성장 데이터는 동일한 시스템에 대한 시험 시간 및 고장 이벤트를 알 수 있기 때문에 알려진 운용시간 데이터 유형으로 설정하였다. 시험 종료 시점까지 총 16번의 고장이 발생되었으며, 이에 따른 입증된 MTBF 값은 628.241399시간으로 산출되었다.

또한, 시험 대안 분석을 통한 신뢰성 성장 시험 종료 시점을 결정할 수 있는 대안을 제시하였다. 기존 개별 시험 시간 2,000시간 전에 신뢰도 목표 값이 만족되기 때문에 시험 종료가 가능하다. 이 때, 입증된 MTBF 값은 501.934460시간으로 충족되기 때문에 시험을 종료하게 되면, 총 시험시간은 7,080시간으로 920시간을 단축시킬 수 있다. 즉, 시험기간 및 관련 비용을 줄일 수 있는 효과를 기대할 수 있다.

본 논문은 복수장비의 신뢰성 성장 시험 적용 방안을 제시하였다. 시험 시제 대상이 복수인 모든 경우에 대하여 제한한 시험 적용 방안에 따라 신뢰성 성장 분석을 수행할 수 있다. 또한, 신뢰성 성장 시험 대안 분석을 통하여 시험 기간 및 사업 리스크를 제거하는 대안으로 활용 가능하다. 향후에는 복수장비에서 시험 시제 대상들의 시험 시작 시간, 시험 종료 시간 및 시험 기간이 상이한 경우에 대한 적용 방안을 구체화할 필요가 있다.

### References

- [1] MIL HDBK 189C, Reliability Growth Management, Depart of Defense, pp. 2-10, 2011.
- [2] MIL STD 785B, Reliability Program for System & Equipment Development & Production, Task Section 302 ; Reliability Development/Growth Test Program, Department of Defense, pp. 1-2, 1980.
- [3] MacDiarmid, Preston R., and Morris, Seymour F., RADC-TR-84-20, Rome Air Development Center Air Force Systems Command Griffiss Air Force Base, NY 13441, Reliability Growth Testing Effectiveness, p. 1, 1984.
- [4] Best Practices in Design for Reliability, Design for Reliability Solutions, p. 7, 2016.
- [5] H. Y. Lee, S. Y. Han, A. H. Lee, C. S. Ha, "A study of evaluation reliability growth for Korea-Automated Guideway Transit system", *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 8, No. 6, pp. 597-601, 2005.
- [6] S. H. Choi, C. K. Park, S. I. Seo, T. H. Lee, K. W. Kim, "Reliability Growth Assessment for the Rolling Stock System of the Korea High-Speed Train", *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 9, No. 5, pp. 606-611, 2006.
- [7] Y. K. So, Y. R. Jeon, B. J. Ryu, "Application of Reliability Growth Management for Construction Equipment Development Process", *Journal of the applied reliability*, Vol. 13, No. 3, pp. 175-190, 2013.
- [8] I. H. Chung, H. Y. Lee, Y. I. Park, "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. DOI: <https://doi.org/10.7469/JKSQM.2012.40.3.278>
- [9] S. B. Kim, W. J. Park, J. W. You, J. K. Lee, H. Y. Yong, "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. DOI: <https://doi.org/10.7469/JKSQM.2019.47.1.187>
- [10] Y. J. Lee, G. B. Bae, Y. M. Heo, J. H. Seo, S. B. Kim, J. K. Choi, W. J. Park, "Reliability Growth Management for Armed Vehicle", *Journal of Korean Society for Quality Management*, Vol. 45, No. 4, pp. 981-994, 2017. DOI: <https://doi.org/10.7469/JKSQM.2017.45.4.981>
- [11] Y. W. Seo, J. H. Yoon, S. S. Lee, C. S. Um, "A Method of Reliability Growth Management Test Design for Continuous System", *Journal of the Korean Society of Systems Engineering*, Vol. 16, No. 2, pp. 87-96, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14248/JKOSSE.2020.16.2.087>
- [12] Y. W. Seo, H. W. Kim, S. J. Kim, Y. G. Kim, "A Method of Reliability Growth Test Design for One-shot System", *Journal of the Korean*

*Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 22, No. 12, pp. 546-554, 2021.

DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.12.546>

- [13] Y. W. Seo, E. S. Park, Y. K. Kim, K. Y. Lee, M. S. Kim, "Reliability Growth Planning for a Military System using PM2-Continuous Model", *Journal of Applied Reliability*, Vol. 18, No. 3, pp. 201-207, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.33162/JAR.2018.09.18.3.201>
- [14] Y. W. Seo, D. J. Jeon, S. J. Kim, Y. G. Kim, "A Study on the Establishment of Reliability Growth Planning for One-shot System", *Journal of the Korean Society of Systems Engineering*, Vol. 16, No. 1, pp. 1-8, 2020  
DOI: <https://doi.org/10.14248/JKOSSE.2020.16.1.001>
- [15] Weibull++ User's Guide, Reliasoft, Hottinger Bruel & Kjaer UK Ltd, p. 550, 2021.

서 양 우(Yang-Woo Seo)

[정회원]



- 1998년 2월 : 홍익대학교 전기공학과 (공학학사)
- 2014년 8월 : 아주대학교 IT융합공학과 (공학석사)
- 2019년 2월 : 아주대학교 시스템공학과 (공학박사)
- 1998년 7월 ~ 현재 : LIG넥스원 수석연구원

<관심분야>

RAMS, 시스템 엔지니어링, 데이터 분석

오 영 일(Young-Il Oh)

[정회원]



- 2004년 2월 : 한양대학교 전자전기공학과 (공학학사)
- 2004년 4월 ~ 현재 : LIG넥스원 수석연구원

<관심분야>

신뢰성, 품질, 모델링&시뮬레이션

임 성 준(Seong-Jun Lim)

[정회원]



- 2005년 2월 : 홍익대학교 전자전기공학과 (공학학사)
- 2005년 2월 ~ 11월 : LG 디스플레이 연구원
- 2006년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원 수석연구원

<관심분야>

신뢰성, 최적화, 데이터 분석

엄 천 섭(Chun-Sup Um)

[정회원]



- 2010년 2월 : 한양대학교 산업공학과 (공학학사)
- 2010년 2월 ~ 12월 : LS 산전 연구원
- 2011년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원 선임연구원

<관심분야>

신뢰성, 품질, 데이터 분석