

## MIL-HDBK-189C의 신뢰성성장 평가 모델의 비교

김명수\*† · 정재우\*\* · 이종신\*\*

수원대학교 산업공학과\* · LIG넥스원 ILS 연구센터\*\*

### A Comparison of Reliability Growth Assessment Models Centered on MIL-HDBK-189C

Myung Soo Kim\*† · Jae Woo Chung\*\* · Jong Sin Lee\*\*

Dept. of Industrial Engineering, Univ. of Suwon\* ·  
ILS R&D Center, LIGNexOne\*\*

#### Abstract

Reliability growth is defined as the positive improvement in a reliability parameter over a period of time due to implementation of corrective actions to system design, operation or maintenance procedures, or the associated manufacturing process. In recent, the importance of reliability growth management has emerged in the military authority and industries. For effective application of reliability growth models, it is necessary to understand their characteristics and differences. This paper presents the concepts of reliability growth management and compares the features of reliability tracking and projection models centered on MIL-HDBK-189C for selecting the appropriate model for an one-shot system under development.

Keywords : reliability growth management, assessment models, tracking, projection, MIL-HDBK-189C

---

† 교신저자 : mskim@suwon.ac.kr

논문접수일 : 2013년 08월 28일    논문수정일 : 2013년 09월 11일    게재확정일 : 2013년 09월 13일

## 1. 서론

무기체계는 과거 단순 기능의 저비용 무기체계에서, 최근 첨단화, 정밀화, 장사정화, 은밀화, 복합 기능화의 특징을 가진 고비용 무기체계로 변화하고 있다. 이에 따라 신뢰도가 높은 무기 체계를 획득하고 운용하는 것은 경제적 군 운용과 사용자의 안전을 보장하는 측면에서 중요한 요소이다. 체계개발 단계에서 신뢰도 목표를 효과적으로 달성하기 위해서는 신뢰성 시험을 통해 잠재 고장모드와 원인을 발견하고, 시험 중 발견된 고장을 분석하여, 개선방안을 찾아 실천함으로써 신뢰성이 향상되는 과정을 추적할 필요가 있다. 이와 같이 시험, 분석 및 개선을 통해 체계 또는 장비의 신뢰성이 시간에 따라 점진적으로 개선되는 것을 신뢰성 성장(reliability growth)이라고 한다.

신뢰성성장 프로그램은 미국, EU 등 선진국의 군수 및 민수산업에서 오래 전부터 제품개발 기간 단축과 신뢰성 향상을 위해 적용하여 왔고, 국내에서는 주로 철도산업을 중심으로 신뢰성성장 모델을 적용하는 연구가 수행되었다. 한편, 2012년 1월 6일 제정된 방위사업 관리 규정 170호의 제120조(체계개발실행계획서의 작성)에 따르면 ‘통합사업관리팀장은 체계개발 간 국방전력발전업무훈령 제51조의 총수명주기체계관리를 위한 최적군수지원 소요 판단자료인 RAM 분석자료(전산파일)를 소요군에 제출하고, 신뢰도성장을 위한 계획과 조치결과를 포함한 RAM 분석 결과 보고서를 소요군에 통보하여 검토를 받아야 한다’라고 규정하고 있다. 따라서 국내에서 개발되는 무기체계에 대해 신뢰성성장 관리의 적용이 확대될 것으로 예상된다.

신뢰성성장 모델 적용 사례연구로 한석운 외(2005)는 무인운전고무차륜형식 경량전철(Model : K-AGT) 시스템의 주행시험 자료를 AMSAA 모형을 적용하여 분석하여 성장률, 적합성 검정, 10,000 km에서의 순간 및 누적 MTBF, 목표 도달까지의 누적주행거리, BRTE(Basis Reliability Tasks Effectiveness) 등을 추정하였다. 박찬경 외(2006)는 한국형고속열차 시운전 시험 고장률을 이용하여 서브시스템과 차량시스템의 MKBF 변화추이를 구하고, Duane 모델을 이용하여 성장률을 추정하였다. 정원(2002)은 자동차 개발과정에서 가속수명시험과 신뢰성성장관리 적용을 위한 모델, 데이터분석, 적합도검정, 성장률에 대한 신뢰구간 등 일반적인 방법들을 제시하였고, 서건수 외(2004)는 KSLV-I 개발사업에 신뢰성 관리를 적용하기 위한 방안에 대해 논의하였다. 정원(2005)은 신뢰성성장 시험 프로세스와 test-fix-find-test 시험 계획에서의 신뢰성성장 모델을 제시하고, AMSAA 모델의 실용적 활용을 위해 개선효율의 적용과 고장모드의 구분에 대한 두 가지는 제안을 하였다. 팜녹홍과 정원(2009)은 시험 중 고장모드가 발견되어도 문제에 대한 시정조치는 시험이 완료된 후 이루어지는 test-find-test 시험계획에서 가속수명시험을 고려한 가속 신뢰성성장모델을 제시하였다.

한편, 해외 적용사례로 Sun과 Kee(2005)는 상업용 원자력 발전소에서 Crow-AMSAA 방법을 적용, 시간 종속적인 고장률을 계산하고 미래의 고장 또는 비가용 사건 수를 예측하여 경제적 성과, 부품 추이, 정비 불가용도를 산출하였다. Spinato et al(2007)은 풍력 터빈 선단(fleet)의 필드데이터에 대하여 Crow-AMSAA 모델을 적용하여 서브어셈블리 고장강도 추이를 분석하였다. Panchangam과 Naikan(2012)은 위성의 추진 시스템에 사용되는 압력 센서

의 스트레인 게이지 시험자료를 Duane, AMSAA, ERG II 모델을 사용하여 분석하였고, Evans et al(2012)은 그룹 데이터와 Crow-AMSAA NHPP 모델에 기초하여 위성시스템의 신뢰도 추이와 성장분석 방법을 제안하였다.

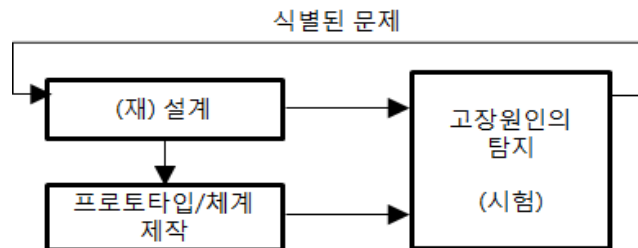
기존의 신뢰성성장 모델 적용 연구에서는 연속적으로 사용되는 체계에 대하여 test-fix-test 시험계획에 적용되는 Crow-AMSAA 모델을 대부분 적용하였고, 팜녹홍과 정원(2009)에서만 test-fix-find-test 시험계획의 모델을 적용하고 있다. 한편, 장기간 저장 상태로 유지된 후, 한 번의 운용을 통해 임무를 완료하는 유도무기와 같은 일회성(One-shot) 체계들은 화학적 반응 또는 물리적 파괴와 같이 비가역적 반응을 수반하기 때문에 사용 전에 충분한 시험이 불가능하며, 고가의 장비임에도 불구하고 신뢰도를 정확히 알 수 없는 문제점을 갖고 있다. 따라서, 유도무기와 같이 특정 체계에 적합한 신뢰성성장 모델을 적용하기 위해서는 신뢰성성장의 개념과 모델들의 차이점을 명확히 이해하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 유도무기에 적합한 신뢰성성장 모델을 선택하기 위하여 MIL-HDBK-189C를 중심으로 신뢰성성장의 개념을 소개하고, 대표적인 신뢰성성장 평가 모델들의 특징을 비교한다.

## 2. 신뢰성성장관리의 개념

### 2.1 신뢰성성장 프로세스

신뢰성성장은 설계 프로세스의 반복적인 결과이다. 설계가 성숙됨에 따라 실제 또는 잠재적인 고장원인을 식별하기 위한 조사와 문제 영역에 대한 추가적인 설계 활동이 수행된다. 설계 활동은 제품 또는 제조공정 설계에 적용될 수 있으며, 반복적인 프로세스는 <그림 1>의 신뢰성성장 피드백 모델로 표현될 수 있다. 신뢰성성장을 위한 4 가지 주요 요소는 다음과 같다.

- 1) 고장모드 발견
- 2) 식별된 문제의 피드백
- 3) 고장모드의 근본 원인분석 및 시정조치 제안
- 4) 승인 및 제안된 시정조치의 실행



<그림 1> 신뢰성성장 피드백 모델

## 2.2 신뢰성성장 관리의 기능

신뢰성성장 관리의 기능은 계획(planning), 추적(tracking) 및 예측(projection)으로 구분할 수 있다. 계획은 신뢰성성장 계획 곡선을 작성하는 것으로, 시험기간과 그 밖의 자원의 함수로서 신뢰도 달성 계획을 식별한다. 추적은 신뢰성성장시험 데이터를 분석하여 체계의 현재 시연된 신뢰도를 추정한다. 예측은 경영계획(management strategy), 시정조치 계획 및 실행, 지연 시정조치, 고장모드 발생률의 추정치 등에 기초하여 현재 또는 미래의 중요 시점에서 체계 신뢰도를 추정하는 것이다. <표 1>은 신뢰성성장관리의 기능을 요약한 것이다.

<표 1> 신뢰성성장관리의 기능

기능	설명
계획(planning)	<ul style="list-style-type: none"> <li>신뢰성성장 계획 곡선을 작성한다.</li> <li>시험기간과 그 밖의 프로그램 자원의 함수로서 신뢰도 달성 계획을 식별한다.</li> </ul>
추적(tracking)	<ul style="list-style-type: none"> <li>신뢰성성장시험 데이터에 기초하여 체계의 현재 시연된 신뢰도를 분석한다.</li> </ul>
예측(projection)	<ul style="list-style-type: none"> <li>경영계획, 시정조치 계획 및/또는 실행, 지연 시정조치, 고장모드 발생률의 추정치에 기초하여 현재 또는 미래의 중요시점에서 체계 신뢰도를 추정한다.</li> </ul>

## 2.3 고장모드의 분류

체계의 신뢰성시험 중에 고장모드가 관측되면, 관리자는 고장모드를 시정조치 하거나, 시정조치 하지 않거나 두 가지 결정 중 하나를 할 수 있다. 이를 관리계획(Management Strategy, MS)이라고 하며, MS는 고장모드를 A-모드와 B-모드의 두 가지 범주로 구분한다.

- 1) A-모드는 시정조치를 취하지 않는 고장이다. 시장에서 구매한 상용품(commercial off-the-shelf, COTS), 수리가 의미없는 구형 컴퓨터 시스템(legacy systems)과 관련된 고장모드가 이에 해당한다. 처음에 A-모드로 분류되었던 고장모드가, 이후 B-모드로 재분류되어 시정조치를 취할 수도 있다.
- 2) B-모드는 시정조치를 취하는 고장이다. 이는 다시 BC와 BD로 구분한다. BC-모드는 시험 중에 시정조치를 취하는 고장이며, 시정조치의 영향이 시험 중에 나타난다고 가정한다. BD-모드는 시험이 종료될 때 까지 시정조치가 지연되는 고장을 나타낸다.

## 2.4 고장률의 감소와 시정유효계수

신뢰성성장은 고장률 감소를 통하여 달성된다. 시정조치를 취하지 않는 A-모드 고장률은 변하지 않으므로, B-모드 고장에 대한 시정조치를 통하여 신뢰성성장을 달성할 수 있다. 한

편, 어떤 B-모드에 대하여 수행된 시정조치가 그 고장모드의 고장률이 0이 되게 하지는 못하므로, 시정조치가 수행된 이후 고장률의 감소율을 시정유효계수(Fix Effectiveness Factor, FEF)라고 부른다. FEF는 품목 또는 기술 분야에 따라 다르며, FEF가 평균적으로 0.7이라면 잔여 고장률은 최초 고장률의 30%(또는  $1 - \text{FEF}$ )가 된다.

설계, MS, FEF로 달성할 수 있는 체계의 최대 신뢰도를 성장가능성(growth potential, GP)이라 하며, GP는 모든 B-모드들에 대해 특정한 FEF로 시정조치가 취해졌을 때 달성될 수 있는 신뢰도의 상한이다.

## 2.5 성장률에 영향을 미치는 요소

신뢰성성장은 고장모드의 발견, 고장분석, 체계 제작, 재시험 및 검증이 얼마나 빨리 수행되는가에 영향을 받는다. 즉, 신뢰도 성장률은 다음 변수의 함수이다:

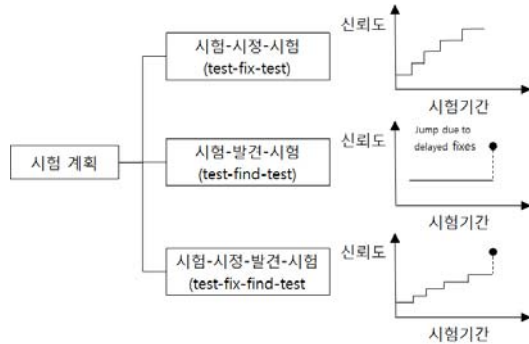
- 1) 시험 중 고장모드 발생률
- 2) 고장분석/시정조치와 관련된 시간
  - ① 근본원인분석(root cause analysis) 수행과 관련된 시간
  - ② 시정조치 검토 및 승인 프로세스와 관련된 시간
  - ③ 승인된 시정조치들의 물리적 시행과 관련된 시간
- 3) 시정조치가 수행되는 고장률의 비율 - MS
- 4) 고장모드의 고장률이 감소되는 비율 - FEF

## 2.6 시험계획

신뢰성성장을 위한 3 가지 주요 시험계획(test strategies)은 다음과 같다:

- 1) 시험-시정-시험(test-fix-test): 시험 중에 고장모드가 발견되면, 시정조치를 시험 중에 한다.
- 2) 시험-발견-시험(test-find-test): 시험 중에 고장모드가 발견되면, 모든 시정조치를 미루고 시험이 종료된 후에 시정조치들을 실시한다.
- 3) 시험-시정-발견-시험(test-fix-find-test): 이 계획은 앞의 두 가지 방법, 시험-시정-시험 계획과 시험-발견-시험 계획을 조합한 것이다.

<그림 2>는 신뢰성성장 시험계획을, <그림 3>은 시험계획과 성장관리의 관계를 나타낸다. 신뢰성성장추적 모델은 시험-시정-시험 계획에 적합하고 신뢰성성장예측 모델은 시험-발견-시험과 시험-시정-발견-시험 계획에 적합한 모델이다.



<그림 2> 신뢰성성장 시험계획



<그림 3> 시험계획과 성장관리의 관계

## 2.7 신뢰성성장관리 모델

신뢰성성장관리 모델은 계획모델, 추적모델 및 예측모델로 구분할 수 있다. <표 2>는 MIL-HDBK-189C에 포함되어 있는 모델들을 나타낸다. 추적모델과 예측모델은 시험 데이터에 기초하여 체계 신뢰도를 추정 또는 예측하는 점에서 유사하지만, 계획모델은 성장계획곡선을 설정하기 위한 것으로 다소 차이가 있다. 따라서 본 연구에서는 신뢰성성장 평가 모델인 추적모델과 예측모델만을 대상으로 살펴본다.

<표 2> 신뢰성성장관리 모델

기능	설명
계획 (planning)	1) AMSAA Crow Planning Model 2) System Level Planning Model (SPLAN) 3) Subsystem Level Planning Model (SSPLAN) 4) Planning Model Based on Projection Methodology (PM2) - Continuous 5) Planning Model Based on Projection Methodology - Discrete 6) Threshold Model
추적 (tracking)	1) Reliability Growth Tracking Model - Continuous (RGTMC) 2) Reliability Growth Tracking Model - Discrete (RGTMD) 3) Subsystem Level Tracking Model (SSTRACK)
예측 (projection)	1) AMSAA-Crow Projection Model (ACPM) 2) Crow Extended Reliability Projection Model 3) AMSAA Maturity Projection Model (AMPM) 4) AMSAA Maturity Projection Model Based on Stein Estimation (AMPM-Stein) 5) Discrete Projection Model (DPM)

### 3. 신뢰성성장 평가 모델

본 절에서는 신뢰성성장 평가 모델에 대하여 살펴보고, 이들 중 연속형 모델인 RTGMC, ACPM, Extended ACPM, AMPM을 비교한다.

#### 3.1 신뢰성성장 추적 모델

MIL-HDBK-189C에 포함되어 있는 신뢰성성장 추적 모델은 다음과 같다:

- 1) Reliability Growth Tracking Model – Continuous (RGTMCM)
- 2) Reliability Growth Tracking Model – Discrete (RGTMCD)
- 3) Subsystem Level Tracking Model (SSTRACK)

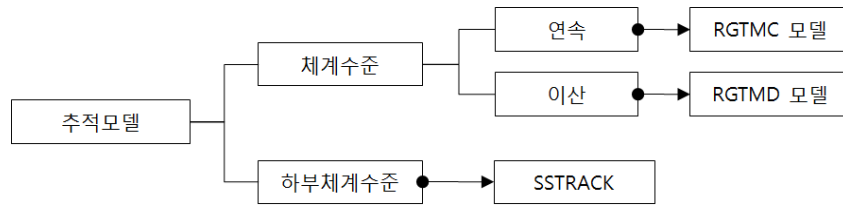
이 모델들은 모두 단일 시험단계(single test phase)에서의 신뢰성 향상에 적용되며, 고장인 power law mean value function(Weibull failure rate function)  $\theta(t) = E[N(t)] = \lambda t^\beta$  (또는 고장강도  $\rho(t) = \lambda \beta t^{\beta-1}$ )을 갖는 NHPP(Non-Homogeneous Poisson Process)에 따라 발생한다고 가정한다.

RGTMCM는 시험기간이 연속이고 가동시간이 연속적으로 측정되는 체계의 신뢰성 성장에 적용하며, 이때 데이터의 형태는 고장시간을 알고 있거나 그룹 데이터이다. RGTMCD는 신뢰성 성장의 형상별로(configuration by configuration) 이루어지는 일회성(One shot) 체계에 적용한다.

SSTRACK은 체계는 하부체계 시험 데이터로부터 주어진 신뢰수준에서 체계 신뢰도를 평가하며, 이때 서로 독립인 하부체계들은 직렬구조를 가정한다. <표 3>은 신뢰성 성장 추적 모델의 특징을 요약한 것이고, <그림 4>는 신뢰성 성장 추적 모델의 대상과 적용범위를 나타낸다.

<표 3> 신뢰성 성장 추적 모델의 특징

모델	설 명
공 통	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 단일 시험단계(single test phase)에서의 신뢰성향상에 적용한다.</li> <li>· 고장은 power law mean value function을 갖는 NHPP에 따라 발생한다.</li> </ul> $\theta(t) = \int_0^t \rho(y) dy = \lambda t^\beta \rightarrow \rho(t) = \lambda \beta t^{\beta-1}$
RGTMCM	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시험기간은 연속이고 가동시간은 연속적으로 측정된다.</li> <li>· 고장시간은 알고 있거나 그룹 데이터이다.</li> </ul>
RGTMCD	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 일회성(One shot) 체계에 적용한다.</li> <li>· 신뢰성 성장은 형상별로(configuration by configuration) 이루어진다.</li> </ul>
SSTRACK	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 체계는 서로 독립인 하부체계들의 직렬구조이다.</li> <li>· 하부체계 시험 데이터로부터 주어진 신뢰수준에서 체계 신뢰도를 평가한다.</li> <li>· 각 하부체계의 신뢰성 성장은 power law mean value function을 갖는 NHPP를 따른다.</li> </ul>



<그림 4> 신뢰성성장 추적 모델의 대상과 적용범위

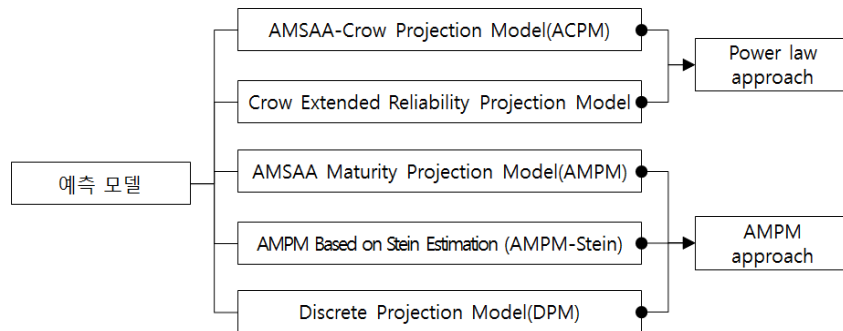
### 3.2 신뢰성성장 예측 모델

MIL-HDBK-189C에 포함되어 있는 신뢰성성장 예측 모델은 다음과 같다:

- 1) AMSAA-Crow Projection Model (ACPM)
- 2) Crow Extended Reliability Projection Model (CERPM)
- 3) AMSAA Maturity Projection Model (AMPM)
- 4) AMSAA Maturity Projection Model Based on Stein Estimation (AMPM-Stein)
- 5) Discrete Projection Model (DPM)

이 모델들의 공통된 가정은 다음과 같다:

- 1) 고장모드는 A-모드와 B-모드 중 하나로 분류된다.
- 2) 많은 수의 잠재적인 B-모드가 있다.
- 3) A-모드와 B-모드 고장은 서로 독립적으로 발생하며, 각 고장은 체계 고장을 초래한다.
- 4) BD-모드 고장은 시험 단계의 끝에서 지연 시정조치가 수행된다.



<그림 5> 신뢰성성장 예측 모델의 접근법 구분

한편, 신뢰성성장 예측 모델은 <그림 5>에 표시된 것과 같이 두 가지 접근법, power law와 AMPM 접근법으로 구분할 수 있다. power law 접근법은 BC 또는 BD-모드 고장이 NHPP를 따라서 발생한다고 가정한다. AMPM 접근법은 B-고장모드 발생률  $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_K)$ 가 모수  $\alpha, \beta$ 인 감마분포  $\Gamma(\alpha, \beta)$ 로부터의 확률표본  $A = (A_1, \dots, A_K)$ 의 관측값으로 가정한다.



<표 4>는 신뢰성성장 예측 모델의 특징을 요약한 것이다.

<표 4> 신뢰성성장 예측 모델의 특징

모델	설 명
공 통	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시험 단계의 끝에서 지연시정으로 시정조치가 수행된다.</li> <li>· 고장모드는 A-모드와 B-모드 중 하나로 분류된다.</li> <li>· A-모드와 B-모드 고장은 서로 독립적으로 발생하며, 각 고장은 체계 고장을 초래한다.</li> <li>· 많은 수의 잠재적인 B-모드가 있다.</li> </ul>
ACPM	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시험기간은 연속이고 가동시간은 연속적으로 측정된다.</li> <li>· 시험이 종료되고 시정조치가 수행되는 시험-발견-시험 계획에 적용된다. 즉, B-모드는 모두 BD-모드이다.</li> <li>· 고장시간은 알고 있거나 그룹 데이터이다.</li> </ul>
CERPM	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 일부 시정조치는 시험 중에, 나머지 시정조치는 시험이 종료되고 수행되는 시험-시정-발견-시험 계획에 적용된다.</li> <li>· B-모드를 BC-모드와 BD-모드로 구분한다.</li> <li>· 시험기간 <math>t</math>까지 발생한 고장개수 <math>N(t)</math>와 서로 다른 BD-모드의 수 <math>M_{BD}(t)</math>는 각각 power law mean value function을 갖는 NHPP를 따라 발생한다.</li> <li>· 시정조치에 의하여 새로운 고장모드가 도입되지 않는다.</li> <li>· <math>t</math>까지 발생한 BD-모드 고장의 수, <math>N_{BD}(t)</math>는 HPP를 따라 발생한다.</li> <li>· <math>t</math>까지 발생한 A-모드 고장의 수, <math>N_A(t)</math>는 HPP를 따라 발생한다. HPP로 가정한 <math>N_{BD}(t)</math>와 <math>N_A(t)</math>의 일정한 고장강도는 각각 <math>\lambda_{BD}</math>와 <math>\lambda_A</math>로 표시한다.</li> </ul>
AMPM	<ul style="list-style-type: none"> <li>· B-고장모드 발생률 <math>\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_K)</math>은 감마분포 <math>\Gamma(\alpha, \beta)</math>로부터의 확률표본 <math>A = (A_1, \dots, A_K)</math>의 관측값으로 가정한다.</li> <li>· <math>\lambda_i</math>가 주어졌을 때 고장모드 <math>i, i = 1, \dots, K</math>의 최초고장시간은 서로 독립이고, 평균이 <math>1/\lambda_i</math>인 지수분포를 따른다고 가정한다.</li> <li>· 시험단계I 동안 관측된 모든 B-모드 최초 고장시간을 이용하여 감마분포의 모수 <math>\alpha</math>와 <math>\beta</math>를 추정한다.</li> </ul>
AMPM-Stein	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 모든 시정조치가 지연된다는 것을 제외하고, AMPM과 가정이 동일하다.</li> <li>· 다변량 정규 벡터의 평균을 추정하기 위해 Stein의 추정기준을 사용한다.</li> </ul>
DPM	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 일회성(One-shot) 체계에 적용한다.</li> <li>· 각 고장모드에 대해 T회 시험의 실패 회수는 이항분포를 따른다..</li> <li>· 초기 고장확률 <math>p_1, \dots, p_k</math>는 베타분포 <math>B(n, x)</math>로부터의 확률표본 <math>P_1, \dots, P_k</math>의 관측값으로 가정한다.</li> </ul>

### 3.3 신뢰성성장 평가 모델 비교

<표 5>는 신뢰성성장 관리(추적 및 예측)와 시험 계획 및 모델의 관계를 요약한 것이다.

<표 5> 신뢰성성장 평가 모델과 수준, 시간 및 시험계획의 관계

구분	모델	수준	시간	시험계획
추적	RGTCM	체계	연속	시험-시정-시험
	RGTMD	체계	이산	시험-시정-시험
	SSTRACK	하부체계	연속	-
예측	ACPM	체계	연속	시험-발견-시험
	CERPM	체계	연속	시험-시정-발견-시험
	AMPM	체계	연속	시험-시정-발견-시험
	AMPM-Stein	체계	연속	시험-시정-발견-시험
	DPM	체계	이산	

## 4. 결론

본 연구에서는 MIL-HDBK-189C를 중심으로 신뢰성성장의 개념을 소개하고, 대표적인 신뢰성성장 평가 모델의 특징을 조사·비교하였다. 본 연구 결과는 개발과정에 있는 000체계(보안상의 이유로 체계명을 000으로 표기함)의 신뢰성성장 모델링에 적합한 예측 모델을 도출하고, 선정된 시험 대상 구성품의 신뢰성성장 시험 결과에 적용하여 000체계의 신뢰성성장을 예측하는데 활용될 예정이다.

## 참고문헌

- [1] 고정, 이상규, 권수호, 노태성, 정원, 박창규, 김명수(2006), “신뢰성 성장 프로그램,” 신뢰성응용연구, 제6권, 제1호, pp. 13-25.
- [2] 김준홍, 정원(2005), “신뢰성 성장 개발단계에서 지연수정과 개발시험비용을 고려한 신뢰성 성장관리,” 신뢰성응용연구, 제5권, 제3호, pp.381-391.
- [3] 박찬경, 서승일, 이태형, 최성훈, 김기환 (2006), “한국형고속열차 차량시스템의 신뢰성 성장 평가,” 한국철도학회 논문집, 제9권, 제5호, pp. 606-611.
- [4] 서건수, 김기석, 오범석(2004), “KSLV-I 개발사업의 신뢰성 관리연구,” 항공우주기술, 제3권, 제2호, pp.91-97.
- [5] 이현우, 김재주, 박성현(1998), “와이블과정을 응용한 신뢰성 성장 모형에서의 MTBF 추

- 정,” 품질경영학회지, 제26권, 제3호, pp.71-81.
- [6] 정원(2002), “자동차 가속수명 시험과 신뢰성 성장관리 기술 개발,” 한국산업정보학회논문지, 제7권, 제2호, pp.33-39.
- [7] 정원(2005), “RAM 성장모니터링을 위한 실용적인 신뢰성 성장관리,” 한국철도학회 2005년도 추계학술대회 논문집, pp.258-263.
- [8] 정원(2005), “신제품 개발단계에서의 신뢰성 성장 평가,” 한국신뢰성학회 2005년도 학술 발표대회 논문집, pp.157-163.
- [9] 정원, 이환태(2005), “시스템의 개발 및 초기생산 단계에서의 신뢰성 성장관리,” 한국철도학회 2005년도 춘계학술대회 논문집, pp. 258-263.
- [10] 팜녹홍, 정원(2009), “Accelerated Reliability Growth Model with Delayed Fixes,” 산업경영시스템학회지, 제32권, 제4호, pp.228-234.
- [11] 한석윤, 이안호, 하천수, 이호용 (2005), “한국형경량전철시스템(K-AGT) 신뢰성 성장 평가에 관한 연구,” 한국철도학회 논문집, 제8권, 제6호, pp. 597-601.
- [12] AMSAA(1981), MIL-HDBK-189: Reliability Growth Management.
- [13] AMSAA(2011), MIL-HDBK-189C: Reliability Growth Management.
- [14] Crow, L.H.(1982), An Improved Methodology for Reliability Growth Projections, APG: AMSAA Technical Report TR-357, Jun 1982.
- [15] Crow, L.H.(1983), “Reliability Growth Projection from Delayed Fixes,” Proceedings of RAMS 1983 Symposium, pp.84-89.
- [16] Crow, L.H.(2004), “An Extended Reliability Growth Model for Managing and Assessing Corrective Actions,” Proceedings of RAMS 2004 Symposium, pp.73-80.
- [17] Evans, J.W., Kaminskiy, M.P., and Gallo, L.D.(2012), “Reliability Growth Analysis of Satellite Systems,” Annual Conference of Prognostics and Health Management Society 2012, pp.1-7.
- [18] Panchangam, S.P. and Naikan, V.N.A.(2012), “Application of Reliability Growth Models to Sensor Systems,” RT&A, Vol.7, pp.19-30.
- [19] Spinato, F., Tavner, P., and Bussel, G.(2007), “Reliability-Growth Analysis of Wind Turbines from Fleet Field Data,” ARTS Conference, Loughborough.
- [20] Sun, A. and Kee, E.(2005), “Application of CROW-AMSAA Analysis to Nuclear Power Plant Equipment Performance,” 13th International Conference on Nuclear Engineering, pp.1-6.