

# 제품개발 과정에서 AMSAA 모델의 실용적 활용방법

정 원<sup>1</sup> · 김준홍<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>대구대학교 산업시스템공학과 / <sup>2</sup>수원대학교 산업정보공학과

## Practical Application of AMSAA Model in the Product Development Process

Won Jung<sup>1</sup> · Jun Hong Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial and Systems Engineering, Daegu University, Gyeongsan, 712-714

<sup>2</sup>Department of Industrial Information Engineering, Suwon University, Hwaseong, 445-743

In the development process, the objective of a reliability growth program is to track the increase in system reliability, and determine as early as possible whether or not the system reliability is growing at a sufficient rate to meet the required goal and allocate available resources accordingly. Implementation of this kind of program will provide very useful information on concept selection, product/process reliability, and cost effectiveness without too much time, money and engineering effort being spent on the development of failure suspect parts.

The purpose of this research is to present a practical method for efficiently monitoring a reliability growth test process using AMSAA(Army Materiel Systems Analysis Activity) reliability growth model. The presented growth management is a viable method for identifying failure modes, incorporating design changes and monitoring reliability progress on an on-going basis during the early stages of a product development program.

**Keywords:** growth program, AMSAA, monitoring reliability progress, product development

### 1. 서론

복잡하고 기술적인 제품의 개발 프로그램을 운영하는 데 있어서는 고객이 요구하는 신뢰성 수준을 만족시키기 위하여 상당한 규모의 시간, 예산, 기술인력 등의 자원을 필요로 한다. 고객들의 신뢰성 요구수준은 매우 높으므로 이러한 목표를 달성하기 위하여 시험-개선-시험-개선의 개발과정을 반드시 거친다. 이 과정에서 시스템, 서브시스템 또는 모듈을 고장날 때까지 시험하고 고장모드를 결정해서 이를 제거하기 위한 시도를 하거나 적어도 고장발생을 줄일 수 있는 시도를 하여 설계나 엔

지니어링 개선을 이룬다. 만약 이러한 과정이 계속되고, 설계나 엔지니어링 변경이 충분히 이루어지면, 시스템의 신뢰성은 증가한다. 개발프로그램이 운영되는 동안 신뢰성 수준의 변화를 추적할 수 있다면 개발책임자로서는 여러 가지 이점이 있다. 즉, 목표하는 신뢰성 수준을 달성하기 위하여 충분한 비율로 성장하고 있는지의 여부를 가능한 빠른 시간 내에 판단할 수 있고, 그에 따라 필요한 자원을 적절히 배분할 수 있다. 따라서 개발책임자는 시험데이터로부터 현재 시스템의 신뢰성 수준, 성장률의 평가, 앞으로 기대되는 달성 가능한 수준을 결정하기를 원한다.

본 연구는 2005학년도 대구대학교 학술연구비지원에 의한 결과임.

\*연락처 : 정 원 교수, 712-714 경북 경산시 진량읍 내리동 15 대구대학교 산업시스템공학과, Fax : 053-850-6549,

E-mail : wjung@daegu.ac.kr

2005년 7월 접수, 1회 수정 후 2006년 1월 게재 확정.

신뢰성 성장관리(reliability growth management) 기술은 제품을 개발하는 데 소요되는 많은 시간과 비용 및 엔지니어링 노력을 절감하면서 개념선택, 제품과 공정의 신뢰성, 그리고 비용효율을 달성할 수 있도록 유용한 정보를 제공해 준다. 군사장비, 자동차 및 전자, 중장비개발 등에 적용된 최근의 신뢰성 성장시험 관리기술은 각 분야의 경쟁적인 사업환경 아래에서 제품개발을 효율적으로 조직하여 신뢰성평가를 시작하고, 신뢰성 성장과정을 추적할 수 있도록 해준다. 본 논문에서 설명된 분석기술은 제품 및 공정설계 관련사항 및 검증시험 항목들에 대하여 사용환경에 따른 신뢰성 성장 진행과정을 확인하고, 그 결과로부터 성장시험곡선을 개발할 수 있게 한다. 또한, 설계단계 사이의 여러 가지 관련성을 확인하여 관찰하고, 그 정보를 다른 제품보증분석들과 연결하여 고객 요구사항에 대한 제품의 적합도를 적절히 평가하는 데 도움을 준다.

본 연구의 목적은 Crow(1975)가 개발한 신뢰성 성장모델인 AMSAA(Army Materiel Systems Analysis Activity) 모델을 실용적으로 활용할 수 있는 방법을 제시하는 데 있다. AMSAA 모델은 IEC 국제표준과 US ANSI 국가표준 및 국방핸드북에 포함되어 있으며(IEC61014, 2003; MIL-HDBK-189, 1981), 개발단계에서 엔지니어링 개선조치의 정도에 따른 신뢰성 수준의 변화를 모델링하는 데 많이 활용되어 왔다. 그러나, Crow가 제시한 고장모드의 구분방법과 각 고장모드에 대한 개선효율 평가방법은 일반적인 상용제품의 개발환경에서는 적용상의 어려움이 있으므로 본 연구에서는 그 문제점을 지적하고, 개선방안을 제시함으로써 AMSAA 모델을 쉽게 활용할 수 있는 방법을 보여준다.

## 2. 신뢰성 성장시험 프로세스

신뢰성 성장은 개발시스템에 대하여 여러 시험단계가 시리즈로 이루어지는 동안 고장모드를 발견하고 이를 개선하는 TAAF(test analyze and fix) 과정을 거쳐 이루어진다. 또한, 기능시험, 환경시험, 안전시험의 결과는 신뢰성 향상을 위한 FMEA 또는 FRACAS(Failure Reporting, Analysis, and Corrective Action System) 등과 연계하여 사용된다. 분석결과는 설계변경에 반영되고 최종목표가 달성될 때까지 개선과 시험이 연속적으로 이루어진다. <Figure 1>은 일반적인 신뢰성 성장시험 프로세스를 보여준다. 프로그램의 시작시점에 신뢰성 성장에 대한 계획을 수립하여 고객의 기대사항을 만족시킬 수 있는 성능수준에 대한 구체적인 측정치를 제시하고, 이 목적을 달성시킬 수 있는 시험조건을 정한다. 시험조건은 특정한 부품이나 시스템에 대하여 고객의 사용방법과 환경에 대한 지식을 기초로 하여야 한다.

개발프로젝트가 진행되는 동안 신뢰성 성장시험 프로그램이 개발되고 실행되는 과정에서 설계 및 공정의 관심사항을 확인하기 위해 QFD와 같은 제품보증을 위한 분석방법들이 선행되어 실시되는데 신뢰성 성장관리와 연계하여 이를 통틀어

통합 신뢰성 성장관리(integrated reliability growth management)라고 한다. 신뢰성 성장관리를 포함한 제품설계평가의 모든 과정은 제품/공정의 신뢰성 향상에 있어 중요한 역할을 하는 제품보증기능의 한부분이다(MIL-HDBK-781, 1987). 통합 신뢰성 성장시험관리 프로세스는 설계뿐 아니라 공정신뢰성과 관련된 문제에 대응할 수 있도록 신뢰성 성장시험의 이점을 전적으로 활용할 수 있는 수단을 제공한다.

신뢰성 성장관리과정을 개발함으로써 신뢰성 수준은 계속적으로 추적될 수 있고, 조치를 취하고 다른 분석결과들과 비교되어 초기 신뢰성 예측을 수립하고, 제품설계에 포함된 확신을 증가시킨 후 검증시험에 들어갈 수 있도록 한다. 이러한 신뢰성 성장관리 프로세스는 제품개발 사이클에 있어서 초기 단계 동안에 신뢰성을 확립하는 데 도움을 줄 수 있는 장치이다.

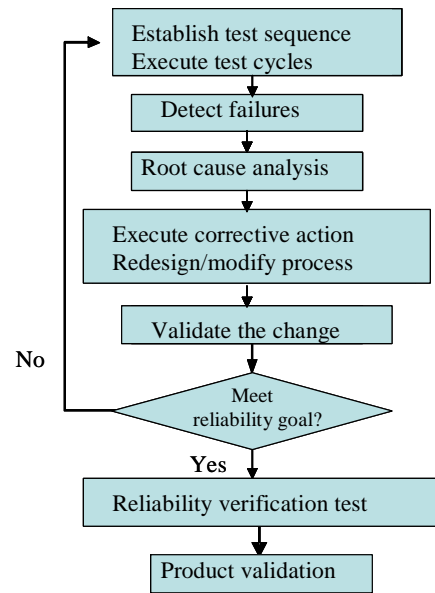


Figure 1. Reliability growth test process.

제품개발과정에 적용되는 신뢰성 성장시험관리 프로세스는 다음과 같다.

- (1) 신뢰성 성장시험조건을 결정하고, 시험 사이클을 개발한다.
- (2) 신뢰성 성장시험곡선의 사용을 통하여 시험과정을 실행하고 추적한다.
- (3) 시험결과를 평가하고 다른 선행된 분석연구결과들과 비교한다.
- (4) 확인된 결함을 제거하기 위해 설계변경을 실시한다.
- (5) 설계검증시험을 준비한다.

신뢰성 성장시험의 주된 목적은 설계상의 약점을 확인하고 제거함으로써 설계의 신뢰성을 증가시키는 것이다. 정확하게 신뢰성 수준이 변화되는 진행상황을 추적하기 위해서는 요구사항에 대한 불합치성(non-conformance)을 확인하고 불합치성

이 일어난 시간을 모두 추적하여야 한다. 시험을 시작하기 전에 적절한 시정조치를 용이하게 하기 위해 사전계획이 수립되어야 하며 고장분포를 결정하기 전에 각각의 고장부품에 대한 고장원인을 분리할 수 있어야 한다. 지수고장분포의 경우에는 Duane 모델이나 AMSAA 모델이 다른 제품보증수단들과 함께 가장 널리 활용되는 신뢰성 성장관리 모델이다.

### 3. 신뢰성 성장모델

신뢰성 성장을 일반적인 수식으로 나타낸 사람은 Duane(1962)이다. Duane은 시험 데이터를 관찰한 결과 누적고장시간 대 누적고장수를 로그-로그 그래프에 타점하였을 때 직선으로 나타나는 것을 발견하였다. 정의된 수학모델은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \log H(t) &= \log \lambda - \alpha \log t \\ H(t) &= \lambda t^{-\alpha} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,  $H(t)$ 는 시간  $t$ 에서의 누적고장률,  $\lambda$ 는 상수,  $\alpha$ 는 성장률,  $t$ 는 전체 시험시간이다. 이 모델에서 고장시간은 지수분포를 따른다.  $N(t)$ 를 시험시간  $t(t > 0)$ 까지의 누적고장수라고 했을 때, 시간  $t$ 에서의 관측된 누적고장률은  $H(t) = N(t)/t$ 와 같다. 따라서, 누적고장수는 식 (1)로부터  $N(t) = \lambda t^{1-\alpha}$ 라고 할 수 있다.

시스템의 순간고장률,  $h(t)$ 는  $N(t)$ 의 단위시간당 변화율로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h(t) = dN(t)/dt = \lambda(1-\alpha)t^{-\alpha} \quad (2)$$

Crow(1984)는 Duane의 가정에 NHPP(Non Homogeneous Poisson Process) 개념을 신뢰성 성장모델에 추가하여 수식화하였다. NHPP의 특성은 분포의 평균이 시간에 따라 변하는 것 외에는 모든 특성이 포아송 프로세스의 조건을 만족한다. NHPP는 성장하는 시스템을 모델링하는 데 폭넓게 사용되어 왔다.

NHPP 가정하에서 시간간격  $[s, t]$ ,  $t \geq s \geq 0$ 에서의 대고장수,  $N(s, t)$ 는

$$N(s, t) = \int_s^t h(t)dt = \lambda t^{1-\alpha} - \lambda s^{1-\alpha} \quad (3)$$

이다(1962).

Crow는 다양한 통계적 분석을 위해 Duane의 가정으로부터 식 (2)에 나타난 순간고장률 함수를 다음과 같이 정의하였다.

$$h(t) = \lambda \beta t^{\beta-1} \quad (4)$$

여기서  $\lambda$ 는 척도모수(scale parameter),  $\beta$ 는 형상모수(shape parameter)이다.

Crow 모델은 일반적으로 AMSAA 모델이라고 하며, 제품개

발단계에서 신뢰성 성장예측과 추적에 널리 적용되어 IEC 국제표준과 US ANSI 국가표준모델로 사용되고 있다.

Crow(2004)는 고장모드를 A 모드와 B 모드로 구분하였다. A 모드는 시험중에 발견되더라도 개선조치가 적용되지 않는 고장모드이다. 이는 경영자가 경제적, 기술적 혹은 다른 이유로 인하여 개선조치를 하지 않는 것이 옳다고 판단하는 고장모드이다. B 모드는 시험중에 발견되는 대로 설계개선을 포함한 개선조치가 취해지는 고장모드이다. A 고장모드와 B 고장모드는 각각의 고장률과 MTBF를 가지고 있다. 여기서 고려하여야 할 사항은 개선조치가 이루어질 대상인 B 고장모드 중 일부가 발견되지 않을 수도 있으며, 또한 발견되더라도 완전무결(100%)하게 즉석에서 개선조치가 이루어지는 것은 아니라는 것이다. 또한, 설계개선이 이루어진 후에도 고장률의 일부가 제거되지 않고 남아 있는 경우도 있다. 만약 설계개선이 다음 시험단계가 시작되기 직전까지 모두 이루어진다면 시스템의 신뢰성 수준이 한 단계 상승(jump)할 것이며, 상승의 정도는 엔지니어링의 개선효율(fix effectiveness)에 달려 있다.

시험프로그램 중 고장모드의 발생이 독립적인 지수분포를 따르고 A 모드의 고장률이  $\lambda_A$ , B 모드의 고장률이  $\lambda_B$  이면, 초기 시험시작단계의 시스템 고장률  $\rho(t)$ 는

$$\rho(0) = \lambda_A + \lambda_B \quad (5)$$

이다. 만약 시스템에 전체  $K$ 개의 B 모드를 포함하고 있다고 할 때, B 고장모드의 고장률은  $\lambda_B = \sum_{i=1}^K \lambda_i$  로 표시되며 이때  $\lambda_i$ 는  $i$ 번째 고장률이다.

Crow는 시험시간  $T_1$ 인 1단계시험에서 총  $M \leq K$  개의 서로 다른 B 고장모드가 발견되었을 때,  $t = T_1$ 에서의 시스템 고장률  $\rho(t) = \rho(T_1)$ 는 다음과 같다.

$$\rho(T_1) = \lambda_A + \sum_{j=1}^M (1-d_j)\lambda_j + (\lambda_B - \sum_{j=1}^M \lambda_j) \quad (6)$$

여기서  $d_j$ 는  $j$ 번째 발견된 서로 다른 B 고장모드의 개선효율(fix effectiveness)이며 엔지니어링 판단에 따라 결정된다. 이 결과를 시스템 수준으로 확대하면, 시간  $t = T_1$ 에서의 시스템 고장률에 대한 기대값은 다음과 같다.

$$E[\rho(T_1)] = \lambda_A + \sum_{i=1}^K (1-d_i)\lambda_i + \sum_{i=1}^K d_i \lambda_i e^{-\lambda_i T_1} \quad (7)$$

식 (7)의 첫 번째 항목  $\lambda_A$ 는 시험시간  $T_1$ 까지 발견된 A 고장모드의 고장수로부터 계산하고, 두 번째 항목에 대한 계산은 설계개선이 이루어졌을 때 개선효율을 반영한 후 잔존고장에 대한 B 고장모드의 고장률로부터 계산된다. 세 번째 항목의 우변은 시간  $T_1$ 에서의 순간고장률,  $\hat{h}(T_1)$ ,을 나타내며, AMSAA 모델의 순간고장률을 적용한다. 그러면, 식 (7)은

$$E[p(T_1)] = \frac{N_A}{T_1} + \sum_{j=1}^M (1-d_j) \frac{N_j}{T_1} + \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M d_j \hat{\lambda} \beta T_1^{\beta-1} \quad (8)$$

이 된다.

#### 4. AMSAA 모델 활용을 위한 두 가지 제안

AMSAA 모델을 개발한 Crow는 최근 AMSAA 모델을 여러 가지 시험환경에서 활용할 수 있는 방안을 제시하였다(Crow, 2004). 그러나 그의 제안을 일반적인 상용제품의 개발프로그램에 활용하는데 있어서는 두 가지의 어려움이 예상되며 그에 따른 활용방안을 제시하면 다음과 같다.

##### 4.1 개선효율의 적용문제

개선결과와 효율성을 평가할 수 있는 능력을 가진다는 것은 개발자가 신뢰성 성장프로그램을 계획하고 관리할 수 있는 능력을 확실히 가질 수 있다는 것이다. 그러나 실제적으로 시정 조치 전후의 개선효율성에 대하여 통계적인 신뢰수준을 가지고 합리적으로 평가할 수 있는 충분한 고장데이터가 없는 경우가 대부분이다. 더구나, 신제품의 경우 새로운 부품의 설계로 인한 불확실성과 이 부품의 조립으로 인한 기존 부품 또는 모듈에 대한 고장영향 등을 시험 전부터 확실히 안다는 것은 쉬운 일이 아니다. 결과적으로, 정보의 부족과 데이터베이스의 부족은 비현실적인 개선효율요소를 고려하는 결과가 있을 수 있어서, 과도하게 낙관적이거나 비관적으로 되어 시스템의 신뢰성 수준에 대한 평가를 바르게 하지 못한다. 각 고장모드에 대한 개선효율을 잘 평가하기 위해서는 각 시험단계별로 다량의 데이터를 확보하는 것이 중요하다. 개선조치 전후에 고장모드에 대한 상당히 많은 양의 데이터를 가질 수 있다면, 각 고장모드 별 효율성은 직접적으로 평가될 수 있다. 그러나, 실제시

험에서 많은 양의 시험시간이나 시험데이터를 확보하기가 어렵다.

Crow(1989)가 제시한 개선효율 추정방법을 보면, 한 시험단계가 끝난 후에 개선 전후 변화된 신뢰성 수준을 가지고 평가하는 것이어서 시험기간중에 목표 대비 현재의 신뢰성 수준을 계획(projection)하는 데는 활용하기가 힘들다. 또한, 시험기간 중 B 모드가 발견되었을 때, 개선을 위해 상당한 시간이 필요한 경우 그 때마다 시험을 중단할 수는 없으므로 시험의 진행과 동시에 개선활동이 이루어질 때 현재의 신뢰성 수준을 예측하는 것이 필요하다. 이러한 상황에서 해당 고장모드에 대하여 개선될 수준을 합리적으로 예측하고 이를 신뢰성 평가에 개선크레딧으로 적용할 수 있다면 개발과정을 정상적으로 관리하는 데 매우 도움이 될 것이다. 개선크레딧의 기준은 엔지니어링 경험을 바탕으로 한 고장원인 확인, FMEA 해석 및 설계검증의 정도에 따라 결정하여야 한다. 즉, 개선크레딧은 고장모드에 대하여 개선조치를 한 후에 예상되는 신뢰성 수준을 나타내는 예측치이다. 만약,  $j$ 번째 고장모드의 개선크레딧(고장 감소율)을  $C_j$ 라고 할 때, 발견된 고장모드에 대하여  $C_j \times 100$  퍼센트의 고장률을 제거하고  $(1 - C_j) \times 100$  퍼센트는 제품에 남겨 되는데  $C_j$ 를 예상되는 개선크레딧으로 신뢰성 평가에 미리 반영한다는 것이다. 아래 <Table 1>은 개선크레딧에 대한 가이드라인이며 제품의 종류와 특성에 따라 조정될 수 있다.

##### 4.2 고장모드의 구분문제

Crow는 시험중에 발견된 고장모드를 경제적, 기술적 이유로 인하여 개선조치가 적용되지 않는 A 고장모드와 시험중에 발견되는 대로 설계개선을 포함한 개선조치가 시작되는 B 고장모드로 구분하였다.

이는 군사무기와 같이 고도의 신기술을 적용한 제품인 경우에는 그러한 가정이 필요하리라 생각된다. 그러나 자동차, 중

Table 1. Fix credit example

Fix Credit	Corrective Action and Result	
0.9	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Identified root causes of the problem</li> <li>◦ All FMEA failure modes are analyzed</li> <li>◦ Corrective actions are implemented</li> <li>◦ Successfully demonstrated item</li> <li>◦ Bench test data demonstrated</li> </ul>	
0.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Identified root causes of the problem</li> <li>◦ Bench test data demonstrated</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Corrective actions are implemented</li> <li>◦ All FMEA failure modes are analyzed</li> </ul>
0.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Identified root causes of the problem</li> <li>◦ Corrective actions are implemented</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Limited demonstration of bench test data</li> <li>◦ Insufficient to demonstrate that the target was met</li> </ul>
0.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Not identified root causes of the problem</li> <li>◦ Implement design changes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Limited demonstration of bench test data</li> <li>◦ Insufficient to demonstrate that the target was met</li> </ul>
0.0	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ A type failure mode</li> <li>◦ Corrective actions are not implemented</li> </ul>	

장비와 같은 일반 상용제품의 개발에 있어서는 대부분 과거 모델을 기본으로 개선해 나가는 진화적 개발프로세스(evolutionary process) 형태이므로 신뢰성 성장시험 시 발견된 고장모드에 대해 전혀 개선조치를 취하지 않는 A 고장모드의 개념을 사용하는 예가 드물다. 실제로 Crow의 확대된 신뢰성 성장모델에 대한 제안(Crow, 2004)에 포함되어 있는 예제를 살펴보면 (<Table 2>), 400시간의 시험시간중에 A 고장모드가 10개 발견되어 고장률은  $\hat{\lambda}_A = N_A/T=10/400=0.025$ 이다. Crow의 가정에 의하면, 이 A 고장모드는 개선조치가 이루어지지 않고 그대로 고객에게 전달될 것이며 고객의 사용환경에서 매 400시간마다 평균 10개의 고장을 일으키게 되어 있어 제품으로서의 기능을 다하지 못할 것이다.

국내 설계개발업체의 대부분은 개발단계의 신뢰성 성장시험 기간 동안 A 고장모드의 개념을 적용하지 않았으며, 따라서 모든 고장모드에 대해 설계변경을 포함한 최대한의 개선조치를 취한다는 가정하에 신뢰성 평가를 하였다. 따라서, 식 (8)은 실용화를 위해 A 고장모드의 개념을 제거하고 <Table 1>의 개선크레딧을 적용하여 다음과 같이 변경할 수 있다.

$$E[p(T_1)] = \sum_{j=1}^M (1 - C_j) \frac{N_j}{T_1} + \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M C_j \hat{\lambda} \beta T_1^{\beta-1} \quad (9)$$

여기서  $C_j$ 는 개선크레딧으로서 Crow가 제안한 평가모델에서의 개선효율(fix effectiveness),  $d_j$ 의 개념과 구분된다.  $C_j$ 는 <Table 1>의 가이드라인을 시스템의 상황에 맞게 적용하여 신뢰성 성장을 예측하는 데 활용할 수 있다.

모수  $\lambda$ 와  $\beta$ 는 최우추정치에 의해 구할 수 있다(Jung, 1999).

$$\hat{\beta} = \frac{N-1}{\sum_{i=1}^N \ln(T/x_i)}, \quad \hat{\lambda} = \frac{N}{T^{\hat{\beta}}} \quad (10)$$

순간고장률,  $\hat{h}(T_1)$ 의 계산은

$$\hat{h}(t) = \hat{\lambda} \hat{\beta} t^{\beta-1} = \hat{\beta} \frac{M}{T_1} \quad (11)$$

이다.

### 5. 데이터분석 예제

7대의 시제품 자동차에 대하여 각각 20,000 Km의 주행시험을 행하였다. 자동차의 주요 부분(파워트레인, 새시, 몸체, 전장부품, 배기시스템)에 대한 고장수와 개선크레딧을 반영한 고장수 데이터를 <Table 3>에 나타내었으며, 시험거리에 따른 누적고장률을 계산하면 <Table 4>와 같다.

총 시험시간은  $T_1=140,000$ 시간이며, 시험결과 데이터로부터 고장수는 102개이므로, 모수  $\beta$ ,  $\lambda$ 는 식 (10)으로부터  $\beta=0.4080$ , 상수  $\lambda=0.1272$ 로 계산할 수 있다. 또한, 시스템의 순간고장률  $h(T_1)$ 은 식 (11)로부터  $h(T_1)=5.2457E-05$ 로 된다.

따라서, 1단계시험이 끝나는 140,000km에서 시스템의 순간고장률은 식 (9)로부터  $p(T_1)=0.000197$ 이 되며, 이때 MTBF는 5,076km로 평가된다.

### 6. 결론

본 연구에서는 제품개발기간동안의 고장발견과 시정조치, 그리고 신뢰성 목표 달성 사이의 관계를 보여주는 신뢰성 성장 시험관리에 대하여 설명하였다. 주된 내용으로는 Test-Fix-Find-Test의 일반적인 성장시험상황에서 AMSAA 모델을 실용적으로 활용할 수 있는 방안을 제시하였다.

Table 2. Crow's reliability test data (Crow, 2004)

Failure mode	Number of failures	Failure times(hrs)	Failure mode	Number of failures	Failure times(hrs)
A	10	63.6, 102.5, 213, 244.8, 250.8, 273.1, 317.1, 320.6, 364.9, 394.9	B9	3	125.5, 164.7, 304
B1	2	15, 260.1	B10	4	133.4, 177.4, 324.9, 364.6
B2	3	25.3, 120.9, 366.3	B11	1	192.7
B3	2	47.5, 350.2	B12	2	249, 324.5
B4	2	54, 315.4	B13	1	285
B5	3	56.4, 72.2, 342	B14	1	379.4
B6	2	99.6, 274.7	B15	1	389
B7	1	100.3	B16	1	395.2
B8	3	112, 263.5, 373			

Table 3. Failure data considered fix credit (modified data)

failure mode	failure time (km)	number of failures	fix credit	expected number of failures after fix
1	1200, 1600, 2000, 3400, 12000, 18000, 20000, 23000, 28000, 34000, 62000, 104000	12	0.9	1.2
2	12800, 36400, 50400, 78000, 125000, 138000	6	0.6	2.4
3	8000, 9600, 9800, 12000, 16000, 17400, 18000, 26000, 33000, 42000, 59800, 74000	12	0.8	2.4
4	3800, 4000, 12000, 18000, 30000, 42000, 48000, 88000	8	0.9	0.8
5	19600, 37400, 39000, 102000, 106000, 109000, 114000, 118000, 128900, 139000	10	0.8	2.0
6	5400, 27200, 77400, 82000, 98000, 110000, 112000, 118000, 130000	9	0.8	1.8
7	24900, 28800, 32000, 122000	4	0.9	0.4
8	14600, 36000, 122000	3	0.8	0.6
9	2400, 18000, 32000, 104600	4	0.6	1.6
10	1900, 46000, 106000	3	0.9	0.3
11	39200, 100200	2	0.9	0.2
12	17200, 18800, 24000, 30000	4	0.8	0.8
13	100200, 102000, 108000	3	0.6	1.2
14	1200	1	0.9	0.1
15	82200, 94800, 99000, 123000, 134000	5	0.8	1.0
16	106000, 110000, 114000, 134000	4	0.6	1.6
17	102000, 118000, 118000, 128800	4	0.9	0.4
18	58000, 65200, 74300, 96500	4	0.2	3.2

Table 4. Cumulative failure rate

cumulative test time (Km)	cumulative number of failures	cumulative failure rate
40000	46	0.001150
60000	52	0.000867
80000	60	0.000750
100000	66	0.000660
120000	87	0.000725
140000	98	0.000700

이러한 접근방법은 신뢰성 성장시험관리에 대한 충분한 지식과 신제품개발에 관한 데이터베이스를 확보하고 있지 않은 대부분의 기업에서 시험단계별 성장수준평가에 있어 중요한 요소인 개선효율에 대하여 개선크레딧의 개념을 도입하여 쉽게 활용할 수 있는 방안을 제시한 것이다. 더욱이, 군수장비의 개발에 도입된 A 고장모드의 개념을 수식에서 제거하여 상용제품의 개발현실에 맞도록 수식화하였다.

개발시험기간 동안의 신뢰성 향상을 위한 이러한 접근방법은 예측한 고장모드의 확인과 각 고장모드별 고장수의 분포, 그리고, 개발 사이클의 초기에 수행된 최고 스트레스에서의 신

뢰성 예측, FMEA, FTA 등에 의해 제공된 전체 신뢰성 평가에 대한 세부사항들을 분석할 수 있는 방법을 제공해 준다. 설명된 내용들은 제품개발의 초기 분석단계에서 사용되는 고장률 모델개발의 수준을 높이는 데도 유익하게 활용될 수 있다. 즉, 더 많은 시험시간과 더욱 빈번한 추적과 고장분석으로 고장모드에 대한 추가 데이터가 확보될 수 있으면, 이를 활용하여 3모수 와이블 곡선에 의한 초기 신뢰성 수준을 더욱 잘 평가할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- Crow, L. H. (1975), On Tracking Reliability Growth, *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 484-489.
- Crow, L. H. (1984), Methods For Assessing Reliability Growth Potential, *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 484-489.
- Crow, L. H. (1989), Reliability Fix Effectiveness Factor Estimation, *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 171-180.
- Crow, L. H. (2004), An Extended Reliability Growth Model for Managing and Assessing Corrective Actions, *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 171-180.
- Duane, J. T. (1962), Learning Curve Approach to Reliability Monitoring, *IEEE Transactions on Aerospace* 2, 556-563.

IEC 61014, Ed.2 (2003): Programmes for reliability growth.

Jung, W. (1999), Practical Application of Reliability Growth in Automotive New Product Cycle, *IE Interfaces* 12(1), 158-165.

MIL-HDBK-189 (1981), Reliability Growth Management, Department of

Defence, USA.

MIL-HDBK-781 (1987), Reliability Test Methods, Plans and Environments for Engineering Development, Qualification and Production, Department of Defence, USA.



**정 원**

한양대학교 산업공학 학사

Wayne State University 산업공학 석사

Wayne State University 산업공학 박사

현재: 대구대학교 산업시스템공학과 교수

관심분야: 신뢰성공학, Risk Assessment



**김준홍**

한양대학교 물리학 학사

한양대학교 산업공학 석사

독일 Karlsruhe 산업공학 박사

현재: 수원대학교 산업정보공학과 교수

관심분야: OR, 신뢰성공학