

## 論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 41(8), 625-631(2013)  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2013.41.8.625>

## 핀풀러 신뢰도 예측

이효남, 장승교\*, 오중윤

## Reliability Prediction of a Pin Puller

Hyo-nam Lee, Seung-gyo Jang\* and Jong-yun Oh

Advanced Propulsion Technology Center, Agency for Defence Development

## ABSTRACT

Reliability of a pin puller was predicted by Monte Carlo simulation. The prediction method is based on the stress-strength interference model that failure occurs if the stress exceeds the strength. In this study, the strength is considered as the energy delivered by combustion of pyrotechnics to retreat the pin to a predetermined position, whereas the stress is regarded as the energy required to resist the pin movement. The former mainly depends on the amount of pyrotechnic charge and the latter is governed by several friction forces and the energy dissipation within locking mechanism. Both the variables of stress and strength were computed using an analytical performance model. The method presented here, not depending upon a large number of test item, can be applicable to predict the reliability of other kinds of pyrotechnic devices.

## 초 록

핀풀러의 신뢰도를 몬테카를로 시뮬레이션을 통해서 예측하였다. 예측방법은 응력-강도 간섭 모델에 근거한다. 이 모델은 강도가 응력보다 작을 경우를 고장으로 간주한다. 본 연구에서 강도는 핀을 예정된 거리까지 후퇴시키는데 필요한 에너지로, 응력은 이 핀의 운동을 방해하는데 소요되는 에너지로 간주하였다. 전자는 주로 화약량에 의해 결정되고 후자는 여러 가지 마찰력과 반발방지장치에서 소모되는 에너지에 의존한다. 응력과 강도 변수들은 해석적 성능 모델로부터 계산하였다. 본 연구에서 제시된 방법은 많은 시료가 필요하지 않기 때문에 유사한 종류의 파이로 장치 신뢰도 계산에도 적용될 수 있다.

**Key Words** : Pin Puller(핀풀러), Pyrotechnic Device(파이로 장치), Reliability(신뢰도), Monte Carlo Simulation(몬테카를로 시뮬레이션), Stress-Strength Model(응력-강도 모델)

† Received: April 18, 2013 Accepted: July 3, 2013

\* Corresponding author, E-mail : [jsg4580@add.re.kr](mailto:jsg4580@add.re.kr)

<http://journal.ksas.or.kr/>

pISSN 1225-1348 / eISSN 2287-6871

### Nomenclature

$A_b$ : Burning surface area ( $m^2$ ) $A_p$ : Effective pin shaft area ( $m^2$ ) $a$ : Burning-rate slope coefficient ( $m/s/Pa^n$ ) $e$ : Burning distance of pyrotechnic charge column (m) $F$ : Force ( $Kg\ m/s^2$ ) $g$ : Gravitational acceleration ( $9.8\ m/s^2$ ) $l$ : Pin shaft displacement (m) $\dot{m}_{gen}$ : Mass generation rate ( $kg/s$ ) $n$ : Burning-rate power constant $P$ : Pressure (Pa)	$P_a$ : Chamber pressure (Pa) $\dot{Q}_{loss}$ : Heat transfer rate (J/s) $R$ : Universal gas constant ( $8.3143 \times 10^3\ J/kilomole\ K$ ) $r_b$ : Burning rate (m/s), $aP^n$ $T_f$ : Gas flame temperature (K) $t$ : Time (s) $V$ : Volume ( $m^3$ ) $v_p$ : Pin shaft velocity (m/s) $W_m$ : Load weight (N) $W_p$ : Work done by pin shaft (N)
---	--

### Greek Symbols

$\gamma$ : Ratio of specific heats $\Theta$ : Angle (Rad) $\eta_p$ : Correction factor	$\rho$ : Density ( $kg/m^3$ ) $\rho_p$ : Pyrotechnic charge density ( $kg/m^3$ )
--	---

### Subscripts

$ld$ : load $lm$ : locking mechanism $or$ : O-ring	$pr$ : pressure $sh$ : shear $pin$ : pin shaft
--	--

## 1. 서 론

핀플러는 유도탄의 단분리나 날개전개와 같은 임무수행을 위해 필요한 시점에 기구적 구속 해제가 요구되는 곳에 주로 사용되는 대표적인 파이로 장치이다<sup>(1)</sup>. 핀플러는 기계적으로 구속된 핀이 화약이나 추진제의 연소 압력에 의해 후출하는 방식으로 작동된다. 여기에서 핀의 후출은 기구적 구속의 해제를 의미한다. 이 장치는 작동시 화약 또는 추진제에 의한 비가역 연소과정이 수반되기 때문에 한 번 사용되고 나면 그 이후에는 다시 쓸 수 없다. 이런 의미에서 “일회성(One-shot)” 장치로 불린다. 따라서 파이로 장치는 반복해서 동작할 수 없고 단 한 번에 모든 기능을 발휘해야 하므로 높은 동작 신뢰도가 요구된다.

특히 핀플러는 대부분의 경우 로켓이나 비행체 같은 복잡한 시스템의 임무 완수와 밀접하게 연관된 기능을 수행하기 때문에 작동 신뢰도가 높아야 한다. 그러므로 실질적인 측면에서, 그 작동 신뢰도가 얼마인지 수치로 아는 것은 중요하다. 신뢰도를 알기 위해서는 많은 수의 시료와 반복적인 시험이 필요하다. 특히 통계적으로 의

미있는 신뢰도를 얻기 위해서는 더욱 그렇다. 예를 들면, 95%의 신뢰수준에서 99.99%의 신뢰도를 입증하기 위해서는 약 30,000개의 시료와 시험이 필요하다. 하지만, 핀플러와 같이 가격이 비싸고 일회성 부품인 경우에는 가용한 시료수가 현실적으로 제한을 받는다. 이러한 이유 때문에 단순히 시험적인 방법으로 파이로 장치의 신뢰도를 평가하는 것은 부적절하다.

실사 많은 수의 시료가 가용하더라도 여전히 문제는 남는다. 신뢰도 시험을 수행하는 시기 때문이다. 일반적으로 시험적 방법을 통한 신뢰도 평가 시험은 개발 완료 단계에서나 이루어지는데, 결국 이 때 설계오류로 인한 신뢰도 저하가 발견되더라도 이를 수정하려면 많은 비용과 어려움이 따르게 된다. 따라서 개발 초기 단계에서부터 적용이 가능하고 많은 시험 수량이 요구되지 않는 신뢰도 평가가 가능하면 많은 이점을 제공할 수 있다. 본 연구에서 제시하는 방법은 설계 단계에서 몇 가지 설계인자들에 대한 정보를 얻기 위한 단위 부품별 실험만 수행하면 신뢰도를 계산할 수 있다. 뿐만 아니라 개발 초기에 신뢰도 계산 과정에서 설계 오류를 발견할 수 있기

때문에 쉽게 설계 변경이 가능하다.

본 연구에서 제시하는 방법은 확률론적 설계 방법인 응력-강도 간섭 모델<sup>(2,3)</sup>에 근거한다. 주요 성능 인자들은 해석적 성능 모델에 의해 계산된다<sup>(4)</sup>. 이를 통해 구해진 성능인자들은 다시 신뢰도 계산을 위한 몬테카를로 시뮬레이션<sup>(5,6)</sup>에 이용된다.

## II. 핀풀러

Figure 1은 유도탄을 발사관에 구속하고 해제하기 위해 개발된 핀풀러의 개념도이다. 핀풀러는 착화기, 핀(Pin shaft), 전단핀(Shear pin), 하우징, 반발방지장치(Locking mechanism)로 구성된다. 핀 구동 압력을 생성하기 위한 화약(Pyrotechnic charge)은 착화기에 들어있고, 이 착화기는 보통 하우징에 나사로 체결된다. 핀은 전단핀에 의해 초기 특정한 위치에 고정되고, 연소가스가 새는 것을 막기 위한 오링이 끼워진다. 본 핀풀러의 경우 핀은 유도탄이 움직이지 못하도록 구속하는 역할을 한다. 화약이 연소하기 시작하면 연소실에 압력이 형성되고 핀을 구동시키는 힘이 커지기 시작한다. 이 힘에 의해 전단핀이 끊어지면서 핀이 후퇴하기 시작한다. 가스 압력에 의해 핀에 작용하는 힘이 핀 이동을 방해하는 힘들을 이길 정도로 충분해지면 핀은 예정된 위치까지 후퇴하게 된다. 보통의 경우, 핀이 가지는 에너지가 크기 때문에 예정된 위치까지 후퇴한 뒤 핀이 다시 원래의 위치로 반발될 수 있다. 이런 후퇴와 반발이 계속되면서 에너지 감쇠에 의해 작동이 멈추게 된다. 아주 짧은 시간동안이

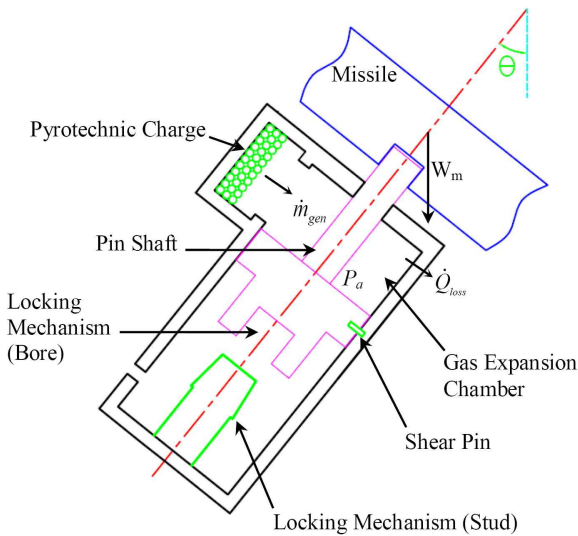


Fig. 1. A schematic of the pin puller

지만, 이러한 핀의 반발은 해제되었던 구속이 다시 연결되는 결과를 초래할 수 있다. 이는 오작동을 의미한다. 따라서 이를 방지하기 위한 “반발방지장치”가 필요하다. 본 연구에서 반발방지는 핀과 하우징의 각 끝단에 마련된 억지 끼워맞춤 방법에 의해 이루어진다.

이는 금속 재료의 소성변형에 의한 에너지 흡수 과정을 응용한 것이다. 즉 하우징 끝단에 돌출된 맞춤 부분(Stud)의 직경이 핀의 끝단에 마련된 맞춤 구멍(Bore)보다 크기 때문에, 두 부품이 서로 만날 때 소성변형이 생겨 에너지가 흡수된다.

본 연구의 핀풀러 구성은 다음과 같다. 핀은 17-4pH, 하우징은 STS 304, 전단핀은 6061 알루미늄으로 만들어졌다. 착화기 내부에는 ZrKClO<sub>4</sub> (Zirconium Potassium Perchlorate, ZPP) 입자가 들어있다. 핀의 행정거리는 9.2 mm이다.

## III. 성능 모델링

핀풀러의 작동은 다음과 같이 6개로 이루어진 일련의 상미분방정식에 의해 기술할 수 있다<sup>(4)</sup>.

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{\dot{m}_{gen} - \rho_p (A_b r_b + A_p v_p)}{V} \quad (1)$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{1}{V} \left\{ \eta_p \left[ \gamma R T_f \dot{m}_{gen} - (\gamma - 1) (P_a A_p - W_p \cos \theta) v_p \right] - P (A_b r_b + A_p v_p) - (\gamma - 1) \dot{Q}_{loss} \right\} \quad (2)$$

$$\frac{dV}{dt} = A_b r_b + A_p v_p \quad (3)$$

$$\frac{de}{dt} = r_b \quad (4)$$

$$\frac{dv_p}{dt} = \frac{g}{W_p} (P A_p - F_{sh} - F_{or} - F_{ld}) \quad (5)$$

$$\frac{dl}{dt} = v_p \quad (6)$$

식 (1)과 (2)는 연소가스 생성과 관련된 것이고, 식 (3), (4), (6)은 핀풀러 구성부품의 치수와 핀 이동과 관련된 기하학적 정보를 포함하고 있다. 식 (5)는 핀의 운동방정식이다. 이 식들은 서로

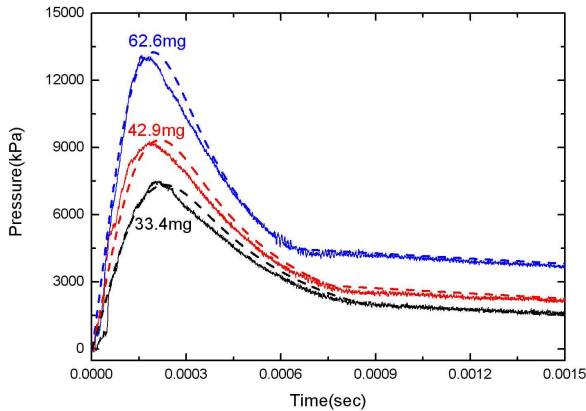


Fig. 2. Comparison of predicted(dot line) and measured(solid line) chamber pressures for each pyrotechnic charge(ZPP) weight

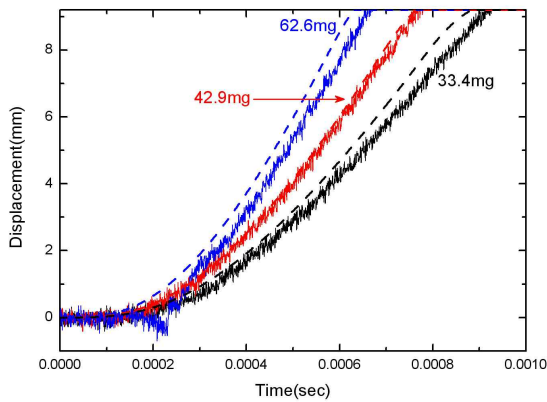


Fig. 3. Comparison of predicted(dot line) and measured (solid line) pin displacements for each pyrotechnic charge(ZPP) weight

상관되어 있기 때문에 동시에 풀어야 한다. 이는 Runge-Kutta 시간적분법을 이용하면 가능하다.

이 성능 모델의 타당성을 실제 활성 핀폴러의 작동시험을 통해서 확인하였다. 즉 핀폴러 작동에 의해 형성되는 연소실 내부의 압력과 핀의 이동거리를 측정하고, 이를 성능 모델에 의해 계산된 결과들과 비교하였다. 그 결과, 두 성능인자들은 잘 일치하였고, 이런 경향들은 화약량을 가감하더라도 잘 유지되는 것으로 나타났다. 대표적인 결과들을 Fig. 2와 Fig. 3에 제시하였다.

#### IV. 신뢰도 예측방법

##### 4.1 응력-강도 간섭 모델

본 연구에 적용된 신뢰도 예측방법은 참고문헌<sup>(7)</sup>의 경우와 유사하다. 이 방법의 근간은 응력-

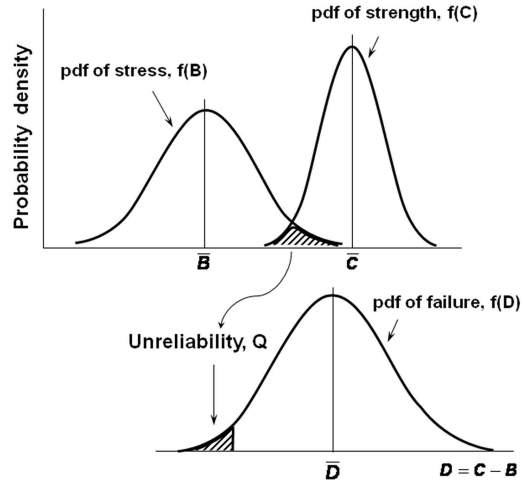


Fig. 4. The stress-strength model<sup>[7]</sup>

강도 간섭 모델<sup>(2,3)</sup>이다. 이 모델에서 고장(또는 실패)은 응력이 강도를 초과하면 일어나는 것으로 정의되고, 응력과 강도는 하나의 고정된 값이 아닌 확률변수로 취급된다. 따라서 실패는 두 확률변수의 확률밀도곡선이 겹치는 부분이 되는데, 실패 확률은 Fig. 4의 빗금 친 부분의 면적에 해당한다.

응력을 B, 강도를 C라 정의하면 고장은 다음과 같이 하나의 변수 D로 정의할 수 있다.

$$D = C - B \tag{7}$$

따라서 고장확률은  $Q = \Pr(C < B) = \Pr(D < 0)$ 으로 표현할 수 있다. 신뢰도는 성공확률에서 고장확률을 제외한 값이기 때문에 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} R &= 1 - Q \\ &= \Pr(B < C) = \Pr(D > 0) \\ &= \int_0^{\infty} f(D) dD \end{aligned} \tag{8}$$

즉 고장변수 확률밀도함수의 해당부분을 적분하면 신뢰도를 구할 수 있다.

##### 4.2 신뢰도 모델

핀폴러의 작동 성공은 사용조건에서 핀이 예정된 위치까지 후퇴하는 경우로 정의할 수 있다. 이는 두 종류의 힘(또는 에너지)의 상호 경쟁에 의해 결정된다. 즉 화약 연소에 의해 만들어진 힘이 핀의 운동을 방해하는 힘들을 극복한다면 예정된 위치까지 후퇴할 수 있을 것이다. 반대의

경우, 핀이 예정 위치까지 후퇴할 수 없기 때문에 구속을 해제하는 데 실패하게 된다. 응력-강도 간섭 모델을 적용하기 위해 각 변수들을 다음과 같이 정의하였다. 즉 응력은 핀의 운동에 대한 저항력이고, 강도는 화약 연소에 의해 만들어진 힘으로 핀을 구동시키는 힘이다.

$$B = F_{sh} + F_{or} + F_{ld} + F_{lm} \quad (9)$$

$$C = F_{pr}$$

식 (5)와 식 (9)에서  $F_{pr}$ 은 연소가스 압력에 의해 핀에 작용하는 힘,  $F_{sh}$ 는 전단핀을 자르는데 소요되는 힘,  $F_{or}$ 은 핀에 끼워진 오링과 하우징 간의 마찰력,  $F_{ld}$ 는 핀과 구속된 부품의 구멍간의 마찰력,  $F_{lm}$ 는 반발방지장치에 의해 소요되는 힘이다. 이 5가지의 힘 중에서  $F_{pr}$ 은 핀을 구동시키는 쪽으로, 나머지 힘들은 핀의 운동을 방해하는 쪽으로 작용한다.

하지만 이 힘들은 모두 시간  $t$ 의 함수이다. 즉 매 시점마다 그 크기가 달라진다. 따라서 식 (9)의 표현보다는 시간에 무관한 에너지 관점으로 변환해야 정량적 비교가 가능해진다.

$$B = E_{sh} + E_{or} + E_{ld} + E_{lm} \quad (10)$$

$$C = E_{pr}$$

식 (1) ~ 식 (6)의 계산으로부터 매 시점마다 핀의 변위를 알 수 있기 때문에 각각의 에너지는 쉽게 계산될 수 있다. 예를 들어,  $E_{pr}$ 은 시간  $t$ 에 따른  $F_{pr}$ 의 변화 대신에, 시간  $t$ 를 변위  $l$ 로 바꾸면  $E_{pr} = \sum_1 F_{pr} \times l$ 으로 계산된다. 결국, 작동 신뢰도는 다음과 같이 표현된다.

$$R = \Pr(C > B) = \Pr(E_{pr} > E_{sh} + E_{or} + E_{ld} + E_{lm}) \quad (11)$$

식 (9)에 포함된 각 성능 변수들은 또 다른 하나 이상의 확률변수들의 함수이다. 예로써  $F_{pr} = P A_{pin}$ 를 들 수 있다. 핀을 구동하는 힘  $F_{pr}$ 은 화약에 의해 형성된 압력  $P$ 와 핀의 단면적  $A_{pin}$ 에 의존한다. 비슷하게  $P$ 와  $A_{pin}$ 는 화약량, 연소실의 부피, 핀의 치수 등과 같은 또 다른 확률변수들에 의존한다. 따라서 신뢰도를 계산하기 위해서는 이들 변수들에 대한 확률정보도 필요하다.

### 4.3 몬테카를로 시뮬레이션

식 (11)의 신뢰도를 구하기 위해서 몬테카를로

Table 1. Random variables used in simulation

Variable	mean	std. dev	tolerance
Pyrotechnic charge amount(mg)	53.1*	-	±5.00
Pin weight(g)	32	-	±0.05
a	0.679	-	±0.389
n	0.19	-	±0.09
$F_{lm}^{\S}$	-	error of curve fit	-
Initial volume(mm <sup>3</sup> )	0.539		±0.002
$F_{sh}(N)$	138	9.98	
Friction coef. for $F_{ld}$	0.383		±0.01

\* Different charge amounts are used for comparison  
 $\S F_{lm}$  is derived from a curve fit of experimental data

시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서 고려된 주요 확률변수들의 정보는 Table 1에 정리하였다. 이들 설계 확률변수들의 분포는 모두 정규분포로 가정하였다. 각 변수들도 서로 독립적인 것으로 가정하였다<sup>(8)</sup>.

Table 1에서  $F_{sh}$ 를 제외한 나머지 변수들의 표준편차는 설계 시 규정한 허용공차를 이용해서 결정하였다. 즉 “공차는 표준편차의 3배에 해당한다”는  $3\sigma = 0.5\delta$  규칙<sup>(9,10)</sup>을 적용했다. 예를 들면, 핀 무게는 정규분포  $N(\mu = 32, \sigma = 0.016667)$ 를 따르는 것으로 입력했다는 의미다.

신뢰도 계산을 위한 구체적인 몬테카를로 시뮬레이션 절차는 다음과 같다.

- 1) Table 1의 설계 변수들의 확률분포로부터 무작위로 값을 추출하고,
- 2) 이 값들을 식 (1) ~ 식 (6)에 대입하여 식 (9) 또는 식 (10)에 정의된 인자들을 계산한다.
- 3) 단계 2)를 원하는 횟수만큼 반복하면 신뢰도 계산에 필요한 변수 B와 C 또는 D에 대한 확률분포를 얻을 수 있다.
- 4) 위 확률분포로부터 식 (8)의 적분을 통해 신뢰도를 계산한다. 만약 확률변수 D의 분포가 정규분포를 따른다면, 별도의 적분과정 없이 표준정규분포의 확률정보를 이용해서 신뢰도를 쉽게 구할 수 있다.

$$R = \int_0^{\infty} f(D)dD = \int_{Z_0}^{\infty} \phi(Z)dZ = 1 - \Phi(Z_0) \quad (12)$$

여기서  $\phi(Z)$ 는 표준정규분포의 밀도함수를,  $\Phi(Z)$ 는 분포함수를 의미하고,  $Z$ 는 표준화된 변

수, 적분하한은  $Z_0 = -\bar{D}/s_D$  이다.  $\bar{D}$ 는 고장변수의 평균이고,  $s_D$ 는 표준편차이다.

### V. 시뮬레이션 결과 및 분석

화약량이 43.5 mg일 경우에 시뮬레이션 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 이 때  $N = 10,000$ 이었다. Fig. 5에서 막대들은 각 변수들의 빈도를, 실선은 각 변수들의 평균과 표준편차를 이용한 이론 정규분포를 나타낸 것이다. 이들의 모양이 잘 일치되기 때문에, 식 (12)에서 제시한 것처럼 표준정규분포의 확률정보를 이용해서 신뢰도를 간단히 구할 수 있다. 즉  $Z_0 = -\bar{D}/s_D = -3.9576$  이므로 예측 신뢰도는 다음과 같이 계산된다.

$$R = 1 - \Phi(-3.9576) = \Phi(3.9575) = 0.99996 \quad (13)$$

Table 2에는 화약량을 변화시키면서 핀폴러 작동 시험한 내용과 신뢰도 계산한 결과를 비교하였다. 시험시 핀의 작동 행정이 시스템 설계 요구조건에 따라 8.5 mm 이상인 경우를 동작으로 간주하였다. 적은 수의 시험 수량을 통해 작

Table 2. Comparison between experimental success rate and Monte Carlo simulated reliability

Pyrotechnic charge amount(mg)	23.7	33.4	43.5	53.1
Test number	8	8	8	8
Fail number	4	1	0	0
Success rate	0.5	0.875	1	1
Monte Carlo simulated reliability	0.556	0.942	0.99996	0.999999996

동확률을 계산하면 화약량이 43.5 mg일 경우 100% 동작하는 것으로 나타났으나 시험 수량을 충분히 늘리기 전까지 정확한 신뢰도가 얼마인지 구할 수 없다. 그러나 본 연구에서와 같이 성능 모델링을 하고 모든 확률 변수들을 고려하여 시뮬레이션 했을 때 99.996%의 동작 확률 또는 신뢰도를 구할 수 있게 된다. 이는 핀폴러 설계시 최소 화약량을 정하는 기준이 될 수 있으며 3만 개의 시료를 시험하지 않더라도 이론적으로 작동 신뢰도를 제시할 수 있는 근거가 된다.

이와 같은 방법은 목표 신뢰도를 미리 정하고 그에 대응하는 화약량을 구하는 경우에도 사용할 수 있다. 예를 들어 핀폴러의 신뢰도가 99.99%가 되는 화약량을 구하기 위해서는 식 (12)에서 R이 0.9999가 되기 위한 분포함수를 구하고 화약량을 변수로 사용하여 시뮬레이션을 수행하면 된다.

신뢰도 계산 결과에 의하면 표 2와 같이 화약량이 증가할수록 신뢰성이 높아진다. 그러나 화약량이 증가할수록 핀폴러 동작시 수반되는 충격량(pyro-shock)도 비례적으로 증가하여 시스템에 악영향을 미치게 되므로 적정량의 화약을 사용하여야 한다. 그러므로 좀 더 실질적인 작동 신뢰도를 제시하기 위해서는 충격량까지 고려한 모델링과 신뢰도를 계산하여야 한다.

### VI. 결 론

핀폴러와 같은 파이로 장치는 일회성 장치이기 때문에 단회적 시험에 성공한 것을 근거로 반드시 다음번 시험에 성공하리라고 보장하기 어렵다.

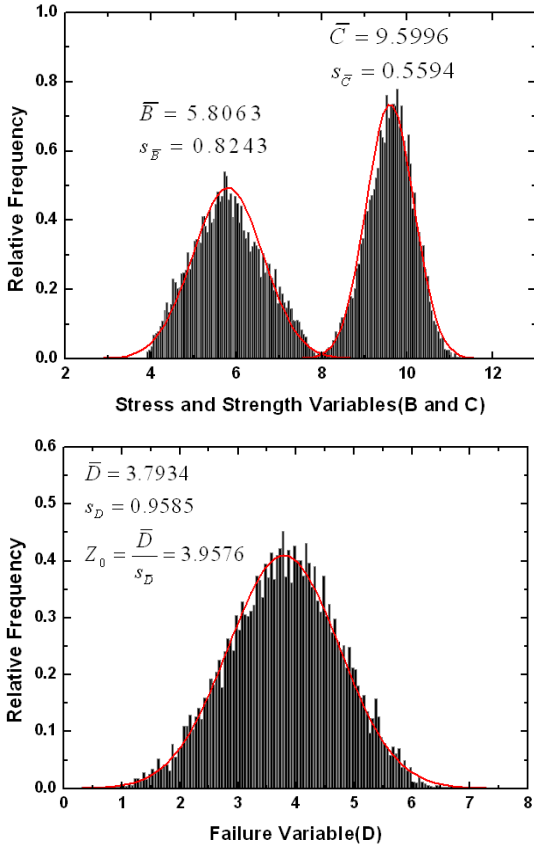


Fig. 5. Simulation results

곧 모든 작동 부품들의 설계 마진 등을 고려하여 다양한 시험을 해보기 전까지는 그 장치의 작동 가능 여부를 미리 판단할 수 없다.

그러나 본 연구에서와 같이 핀풀러의 성능에 관계된 모든 변수들을 이론적으로 찾아내고 모델링하면 그 결과를 토대로 이론적 시뮬레이션을 통해 신뢰도를 알아 낼 수 있다. 이를 위해 먼저 성능 모델링을 수행하였고 계산된 모델의 적합성을 실험 결과와 비교하여 확인하였다. 모델링 결과는 실험 결과와 비교적 유사하게 나타났다. 모델링에 사용된 모든 변수들의 표준편차 범위 내에서 몬테카를로 시뮬레이션을 통하여 화약량에 따른 신뢰도를 계산하였고 그 결과를 시험 결과와 비교하였다. 적은 수의 시료로 시험했을 때 100% 동작하였더라도 그 신뢰도는 이론적으로 화약량에 따라 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

핀풀러와 같은 일회성 부품들은 가용한 시료 수의 제한 때문에 정확한 신뢰도를 시험적으로 평가하는데 어려움이 있다. 그러나 제시된 방법은 설계 단계에서 몇 가지 단위 부품 수준에서의 시험만으로 신뢰도 평가를 가능케 한다.

## References

- 1) Brauer, O., Handbook of Pyrotechnics, New York, 1974.
- 2) Johnson, S.A., "Stress-Strength Models for Reliability," Handbook of Statistics, Vol.7(eds: Krishnaiah, P.R. and Rao, C.R.), North-Holland, Amsterdam, 1988, pp. 27~54.
- 3) Kort, S., Lumelskii, Y. and Pensky, M., The Stress-Strength Model and its Generalizations, World Scientific, New Jersey, 2003.
- 4) Jang, S.G., Lee, H.N. and Oh, J.Y., "Performance Modeling of a Pyrotechnically Actuated Pin Puller," Aerospace Science and Technology, Submitted, 2012.
- 5) Rubinstein, R.Y., Simulation and the Monte Carlo Method, John Wiley & Sons, New York, Chap. 4, 2003.
- 6) Keicecioglu, D.B., Robust Engineering Design-By-Reliability with Emphasis on Mechanical Components & Structural Reliability, DEStech Publications, USA, Chap.1 and 2, 2003.
- 7) Lee, H.N. and Oh, J.Y., "Monte Carlo Simulation on Reliability of a Self-Separable Ejector for Man-Portable Missiles," Int'l J. of Aeronautical & Space Sci., Vol. 12, No. 4, 2011, pp. 385~395.
- 8) Fox, E.P. and Safie, F., "Statistical Characterization of Life Drivers for a Probabilistic Design Analysis," AIAA paper 92-3414, 1992.
- 9) Haugen, E.B., "Modern Statistical Materials Selection," Materials Engineering, Vol. 96, 1982, pp. 21~25.
- 10) Vinogradov, O., Introduction to Mechanical Reliability: A Designer's Approach, Hemisphere Publishing, New York, 1991, pp. 48.