

## 論文

## 무인항공기의 설계사용 수명판단을 위한 RAM-c 적용 연구

최청호\*, 방장규\*\*, 박성식\*\*\*

## A Research of Applying RAM-c to Analyze the Design Service Life for Unmanned Aerial Vehicle

Cheong Ho Choi\*, Jang Kyu Bang\*\*, Sung Sik Park\*\*\*

## ABSTRACT

RAM (Reliability, Availability and Maintenance) has been applied to design and analysis tools which affects system's operational sustainability and its life cycle cost as RAM-c(2009 DoD). RAM-c plays also an important role to guarantee the system engineering for mission assurance. Reliability is highly related to the probability of system failure. Availability means mission capability or the condition of ready to mission. Maintenance includes both the repair to recover the system in the event of failure/unexpected breakdown and proactive maintenance to prolong the design service life of the system or machinery. It is the purpose that this paper is to analyze and conclude the objective service life of UAV. The more UAV is operated, the less the level of its reliability becomes. Repairing failures and supplying spare parts on time, system reliability could be improved up until the time over target. Applying statistical Weibull distributions, this paper suggests the analysis of the design service life and economic life of UAV based on RAM-c with operational data.

**Key Words** : RAM(신뢰도·가용도·정비도), UAV(무인기), System Engineering(시스템 설계), Character life(특성 수명)

## 1. 서 론

신뢰도·가용도·정비도 (RAM, Reliability, Availability, Maintenance)는 제작자가 개발한 시스템의 지속 가능성 혹은 그 체계의 수명주기비용(Life Cycle Cost)에 중대한 영향을 줄 수 있는 시스템 설계특성을 의미한다. 또한 RAM은 시스템이 개발될 당

시에 의도된 임무를 수행할 수 있는 능력 혹은 임무수행을 성공할 수 있도록 담보하는 중요한 역할을 한다[1]. 신뢰도는 고장이 발생할 확률과 밀접하게 관련되어 있으며 가용도는 임무를 수행할 수 있는 혹은 수행하기 위해 준비된 상태를 말한다. 정비도는 고장이 발생했을 때 복구할 수 있는 능력뿐만 아니라 사후 발생 가능한 고장을 사전 정비하는 개념까지 포함한다. 이러한 RAM의 사전적 의미 때문에 군수분야에서는 군수지원 성분분석(LSA, Logistic Support Analysis) 과 밀접히 연계되어 있으며[2], RAM과 LSA를 통합하여 종합군수지원체계(ILS; Integrated Logistics Support)라고 부른다[3].

미국 국방성(DoD, Department of Defense)관

2015년 11월 5일 접수 ~ 2015년 12월 15일 심사완료  
게재 확정일 (2015년 12월 20일)

\* 한국교통대학교 항공교통연구소

\*\* 한국교통대학교 항공운항학과

\*\*\* 한국항공대학교 항공운항학과

연락처, E-mail : [sungsikpark@hotmail.com](mailto:sungsikpark@hotmail.com)

충청북도 충주시 대학로 50

런 많은 정부기관에서 획득하는 장비들은 1990년대 이후 RAM 분석을 수행하여 설계수명뿐만 아니라 운용유지비용, 목표수명과 경제수명의 판단 및 도출, 그에 맞게 운용하도록 권고 하고 있다 [4]. 왜냐하면 국방과학 분야에서 연구 결과 정부가 획득한 장비들의 고장 발생이 철저한 공학적이고 체계적인 신뢰성 검증이 사전에 이뤄지지 못한 것에 기인하고 있다고 판단했기 때문이다 [5]. 국내에서도 이와 같은 미국의 실정을 반영하여 2013년 ‘무기체계 RAM 업무지침’을 방위사업청 예규<sup>1)</sup>로 지정하여 시행 중이다.

**Table 1. DoD's Military Standards & Handbooks**

<b>신뢰도</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· MIL-HDBK-217F : Reliability Prediction of Electronic Equipment</li> <li>· MIL-STD-756B : Reliability Modeling and Production</li> <li>· MIL-STD-1530C : Aircraft Structural Integrity Program (ASIP)</li> <li>· MIMIL-HDBK-781 : Reliability Testing For Engineering Development, Qualification and Production</li> <li>· MIL-HDBK-785 : Reliability Program For Systems and Equipment Development and Production</li> <li>· MIL-HDBK-338 : Electronic Reliability Design</li> </ul>
<b>가용도</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· MIL-STD-1472F : Human Engineering</li> <li>· MIL-HDBK-470 : Maintainability Program For Systems and Equipment</li> </ul>
<b>정비성</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· MIL-HDBK-470 : Maintainability Program For Systems and Equipment</li> <li>· Integrated Logistics Support Handbook</li> </ul>
<b>고장탐지성</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· MIL-HDBK-338 : Electronic Reliability Design</li> </ul>

따라서 본 연구는 상기 Table 1.에서 제시하는 미국방성 참고문헌들과 규격서 등을 바탕으로 RAM 기법을 적용한 무인항공기 및 그 관련 체계에 대한 연구를 추진하고자 한다. 이를 위해 장비의 운용시간과 연관된 고장, 고장율, RAM-c 분석 및 공학 분야에서 수명 데이터를 분석할 때 사용하는 통계학적 이론인 Weibull 분포도<sup>2)</sup>를 통

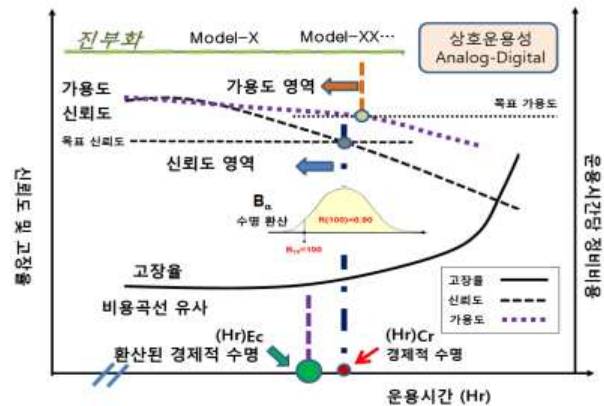
1) 방위사업청 예규 제156호, ‘무기체계 RAM 업무지침(2013.9.10.)  
 2) Weibull 분포는 수명 데이터 분석에 주로 쓰임. 특히 확률밀도함수를 사용해 부품의 수명을 추정

해 장비의 B $\alpha$ -Life 수명이론을 검증하고 신뢰도가 90%이상인 시점(운용시간)을 중심으로 적정수명을 판단하고 제시 한다.

## II. 연구의 내용

### 2.1 적정수명 판단

장비의 수명판단을 위한 요소는 설계에 적용한 요소, 실제 운용한 장비의 고장률, 고장 수리를 위한 운용비용 및 장비의 설계 회사의 개선된 장비의 설계에 따른 운용 장비의 진부화 등이 포함된다. 이러한 요소들을 바탕으로 적정수명 판단 절차는 다음의 Fig 1과 같다.



**Fig 1. Consideration of a Life Cycle**

신뢰도는 대상 장비의 실제 운용실적을 기반으로 한 RAM-c 분석을 통해 운용자료 기반의 신뢰도(Reliability)를 얻는다. MTBF(Mean Time Between Failure, 고장간 평균시간), MTBCF(Mean Time Between Critical Failure, 평균고장 임계시간)운용가용도(Ao: Operational Availability) 등의 적용 변수가 있다.

정비성은 MTTR (Mean Time To Repaire, 고장 건당의 정비시간), 불가동시간 분석, 대상장비의 실제 운용비용 자료를 기준으로 하고, 총 소유비용(TOC)은 정비비용으로 반영된 경제성 분석의 기본 자료이다.

장비의 진부화는 대상장비의 주장비 부품뿐만 아니라 구성품에 모두 해당된다. 성능 개선으로

하는데 사용(wikipedia.org/weibull\_distribution)

인한 장비의 신모델이 등장함에 따라 기존모델의 부품획득 애로가 발생할 수 있으며, 부품획득 애로가 장기화됨에 따라 구모델과 신모델 간의 상호운용성 미흡, 수리부속의 생산 중단 등 조건이 적용되는 경우를 말한다.

본 연구는 기존의 경제적 수명을 장비의 고장 발생율이 급격히 증가하는 시점, 즉 수리비용이 급격히 증가되는 시점(운용시간)에서 경제적 수명을 결정하고 있다. 그러나 통상적으로 이 시점에서 결함이 발생할 확률은 50%이다. 즉 신뢰도가 50%가 된다는 의미를 주고 있는 것이다. 본 연구는 이러한 문제점을 보정하기 위하여 B $\alpha$ -수명<sup>3)</sup> 이론을 적용한다. 여기서 B $\alpha$ -수명이론에서  $\alpha$ 의 정의는 통계적 분포도 곡선에서 백분율로 표시하는 신뢰도를 나타낸다. 즉 B5-수명이라고 할 때 5의 의미 하는 것은 고장이 10%를 의미 한다. 그러면 신뢰도는 90%가 되는 것이다. 본 이론은 일반 산업의 전자, 기계 장비 및 부품분야 등에서 수명판단을 위한 척도로 이미 적용되는 입증된 이론이다[6].

항공기의 경제적 수명을 판단할 때 신뢰도가 50%인 시점을 적용하는 것은 장비의 중요도에 비해 낮은 신뢰도이다. 따라서 경제적 수명시점에서 통계적으로 안전성이 보장되는 수명으로 환산보정을 해주는데 B $\alpha$ -Life 수명이론을 적용하는 것이다. 항공기의 경우 B0.1을 Serious Failure, B0.01을 Catastrophic Failure 척도로 사용한다. 항공기와 같이 그 중요도가 높은 장비는 경제적 수명시점에서 신뢰도 50%를 적용하는 장비가 절반이 고장이 발생하여 있다는 것을 의미하기 때문에 신뢰도를 기반으로, 제반 경계 요소를 분석하는 것이 필요하다.

## 2.2 수명이론과 신뢰도

장비의 수명 판단과 관련하여 전자장비의 경우 MIL-STD-217F를 기반으로 하는 신뢰도 적용방안을 주로 적용하며 항공기 적용의 경우 MIL-STD-1530C에 신뢰도 적용방안이 제시되어 있다.

(1) 설계수명 (Design Life): 장비가 운용하게 되는 환경 조건을 반영하여 그런 운용 조건에서 작동한다고 가정하고 설계 시 분석에 의해 도출

된 수명을 뜻한다. 설계조건과 운용 조건이 다르게 되면 장비 수명이 달라진다.

(2) 목표수명 (Objective Life): 설계자가 장비의 수명을 연장하여 사용할 수 있는 수명을 설정하고 이를 도달하기 위하여 고장발생예측, 시간제 부품의 교환, 수리 필요조건관련 부품을 정비 지침을 설정하여 적용한 수명을 뜻한다.

(3) 경제수명 (Economic Life): 장비의 사용에 따라 고장의 발생과 수리시간, 수리비용이 발생하게 된다. 따라서 사용시간에 따른 정비(수리)비용을 보면 시간의 증가에 따라 비용이 증가하게 되는데 어느 시점에 가게 되면 운용시간당의 정비(수리)비용이 갑자기 급격하게 증가하게 되는데 이 지점을 경제적 수명에 접어드는 단계라고 할 수 있다.

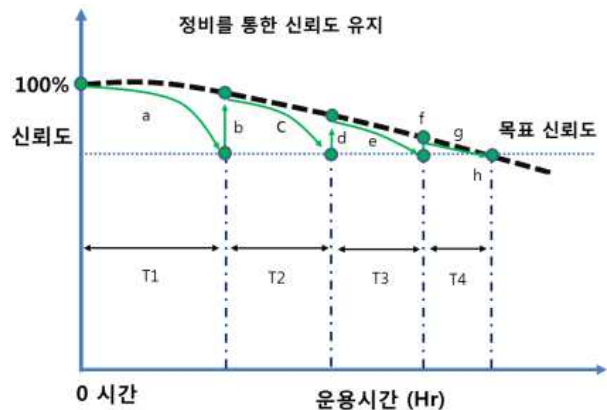


Fig 2. Reliability and Life Cycle

Fig 2에 제시된 바와 같이 장비의 운용시간이 늘어날수록 신뢰도는 점차 하락하게 된다. 따라서 고장이 발생할 때 마다 정비를 하고 고장발생을 예측하여 필요한 부품과 수리를 병행함으로써 최초 장비가 도입된 a 시점부터 목표신뢰도 시점인 h 시점까지 신뢰도를 향상시켜 장비의 수명을 설계수명보다 연장하여 목표수명까지 도달하게 할 수 있는 것이다.

## 2.3 수명적용

장비의 체계 또는 부품에 관한 결함의 평균은 평균 결함시간의 정의로 식(1.2)의 개념은 사용시간을 적용하여 장비 혹은 부품의 평균고장시간

3) B $\alpha$  ; Brucheinzeiletet (initial fracture) 또는 Bearing, (단위 : 시간, 년, 월, km, cycle 등)

MTBF는 다음과 같이 적용된다. 여기서 적용되는 값은 장비의 고장을 수리해서 지속적으로 사용이 가능 하도록 설정된 부품에 해당된다. 이에 반해 MTTR은 그 시간에 부품을 폐기 하는 것을 의미 한다. 전구의 경우 고장이 나면 재사용에 안 되므로 이를 적용한 시간을 의미 한다.

$$\bar{x} = MTBF$$

또한, 평균고장시간과 고장율은 다음과 같이 정의된다.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

여기서  $\lambda$  장비의 체계 또는 부품의 단위시간 당 고장횟수를 의미 한다. 또한 각각의 변수에 대한 표준편차  $s$  는 표본에 대하여 다음과 같이 정의 된다. 동일한 방법으로 표준편차  $s$  는 평균 고장 시간 MTBF의 표준편차로 표현된다.

$$s = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

장비의 신뢰도  $R(t)$ , 고장 누적분포함수(CDF: Cumulative Distribution Function)  $F(t)$ , 고장 확률밀도함수(PDF: Probability Density Function)  $f(t)$ , 위험분포함수(HDF: Hazard Density Function)  $h(t)$  또는 고장률함수, 누적위험함수(CHF: Cumulative Hazard Function)  $H(t)$  는 다음과 같이 정의된다.

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

$$H(t) = \int_0^t h(t)dt$$

$$= \int_0^t \frac{f(t)}{1 - F(t)} dt = -\ln(1 - F(t))$$

여기서 신뢰도는  $0 \leq R(t) < 1$  이다. 경계조

건은  $F(t) = 0, t = 0$  일 때와  $R(t) = 1, t = 0$  일 때 로 주어진다. 신뢰도와 고장율의 적용 관계는 Fig 3에 제시되어 있다. 고장율은 누적 고장율로 표현되고, 신뢰도 함수와 관련이 된다. 고장율은 또한 정비성 및 가용도와도 연관이 되며, 신뢰도는 안전성과와도 직접적인 관계가 된다.

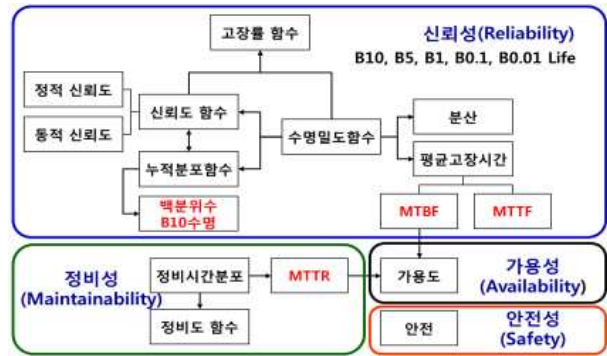


Fig 3. RAM 변수의 연관성 선도

## 2.4 Weibull 분포

통계학적인 Weibull 분포곡선은 1937년 스웨덴의 공학자이며 과학자인 Waloddi Weibull (1887~1979)에 의해 제시된 수학적인 분포도 곡선이다. 이 분포도는 변수의 특성에 따라 다양한 산업분야에 적용이 가능한 통계이론이다[7].

Weibull 분포는 2개의 변수 적용에서 다음과 같이 정의된다. 변수가 그 계의 어떤 값을 나타내느냐에 따라 분포도 곡선의 특성 의미는 변수에 의존된다. 예를 들어 시험성적, 사회적 특성을 표현하는 인지도, 산업 제품의 고장이나 결함을 나타내는 고장관련 모수(변수) 등에 따라 그 특징을 나타내게 된다. 두 개의 변수를 갖는 Weibull 분포의 기계적인 장비 및 전자 부품의 파손 및 결함의 누적밀도함수(CDF: Cumulative Density Function)  $F(t)$ 는 다음의 식으로 주어진다.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

여기서  $F(t) \geq 0$ , 운용시간  $t \geq 0$  이며,  $\eta$ 는 척도 모수(Scale Parameter), 혹은 특성 수명(Character

life),  $\eta > 0$  이고,  $\beta$ 는 형상모수(Shape parameter), 혹은 기울기(Slope),  $\beta > 0$  이다. 크기 변수  $\eta$ 는 적용하는 변수의 값에 대한 크기를 설정해 주며,  $\beta$ 는 분포도의 형상을 나타내는 변수로서 분포의 대칭성, 치우침을 보여 준다. 그 내용으로 다음의 3 가지 범주로 설명된다[8].

- 1)  $\beta < 1$  인 경우 대상 장비의 운용 초기에 나타나는 결함의 형태로 초기고장에서 사용이 증가함에 따라 고장이 감소하는 예측 경로이다. 운용 초기 단계이기 때문에 개발 단계에서 적용한다.
- 2)  $\beta = 1$  인 경우 대상 장비의 운용상에 나타나는 불규칙 파손이 일어나는 경로이며, 이 경로는 운용초기를 지나 정상 운용단계에서 적용한다.
- 2)  $\beta > 1$  인 경우 대상 장비의 장기간 운용에서 나타나는 고장의 특성을 나타내는 경로이다. 장기간 장비를 사용한 상태에서 장비의 노후화에 의한 고장이 증가하는 단계이다.

장비고장율은 Fig 4와 같이 욱조곡선(Bathtub Curve)으로 표현될 수 있으며[9], 상기 언급한  $\beta$ 는 세 가지 단계별 욱조커브에 표현할 수 있다.

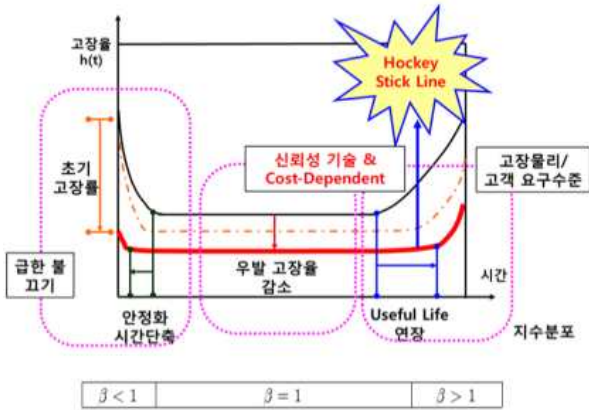


Fig 4. Hazard Function(Bathtub Curve)

통계적 이론에 의해서 결함 누적분포함수  $F(t)$ 를 미분하면 결함 확률밀도함수(Probability Density Function)가 다음과 같이 얻어진다.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

여기서 신뢰도와 고장을 나타내는 위험을 주는 항목으로 위험도율 함수(HRF: Hazard Rate Function),  $h(t)$ 를 얻는다.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

위험도 함수는 고장이 발생하는 위험도의 정량적인 표현 값이 된다. CHF는  $h(t)$ 을 적분하여 다음과 같이 얻는다.

$$H(t) = \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta$$

양변에 Log를 취하면,

$$\text{Log}(t) = \frac{1}{\beta} \text{Log}(H(t)) + \text{Log}(\eta)$$

$$y = ax + b$$

$$\beta = \frac{1}{a}$$

$$\eta = 10^b$$

$\eta$ 의 값은 현재 상태로 두었을 때 정비를 통해서 사용이 가능한 장비의 최대 사용시간이 된다. 왜냐하면 장기간 동안 정비를 해서 장비의 사용가능 시간을 증가시켰기 때문이다.  $\beta$  값은 장비의 현재 상태의 결함 및 사용에 대한 상태를 나타내 주는 변수이다. 앞에서 설명한 바와 같이 장기간 사용한 장비의 Weibull 고장밀도 함수에 대하여  $\beta$  값이 3이상 되면 장비가 매우 노후화된 것이며 사용시간이 오래 되어 고장이 발생할 확률이 매우 높다는 것을 의미한다.

통계학적 분포 함수 Weibull 식을 고장분포 함수에 적용하기 위하여 척도모수  $\eta$ 는 고장율과 관계되고, 그리하여 평균고장시간과 관계된다. 따라서 다음의 관계로 적용 할 수 있다. 장비의 고장 수리를 통해 지속적으로 사용이 가능한 경우 고장율과 척도모수의 관계는 다음과 같이 MTBF로 표현된다.



$$\eta = \frac{1}{\lambda} = MTBF$$

Weibull 분포에서 백분율은 수명시간에 대하여 다음의 식,  $t_\alpha$  으로 얻어진다. 결함 누적분포 곡선식으로부터 임의의 시간  $t$  에서 결함 누적이  $\alpha$  백분율, 즉  $\alpha = 0.1$  일 경우 결함누적 함수는  $F(t)$  는 확률이 10% 가 되는 확률 함수  $p$  로 변경 할 수 있게 된다.  $R(t)$ 의 관계에서 그 결과를 다음의 관계로 일반화 하여 나타 낼 수 있다.

$$1 - p = R(t) = e^{-\left(\frac{t_\alpha}{\eta}\right)^\beta}$$

$$-\ln(1-p) = \left(\frac{t_\alpha}{\eta}\right)^\beta$$

$$t_\alpha = \eta \cdot (-\ln(1-p))^{\frac{1}{\beta}}$$

여기서,  $0 \leq p < 1$ ,  $\beta > 1$  이고, 여기서 확률  $p = 0.1$  일 때  $\alpha = 10\%$  에 대응되는 수명이 된다.

### III. 분석 내용

#### 3.1 무인기 분석

Weibull 고장확률 밀도함수를 무인기체계에 적용한 사례연구를 위해서는 무인기의 운용시간당 고장건수 자료를 축적하는 것은 매우 중요하다. 사례연구를 위해 이스라엘 IAI (Israel Aircraft Industries Ltd.)의 무인기데이터를 참고로 하여 가상의 무인기 MTBF 및 MTTR을 작성하였다. 무인기 체계의 수명판단 분석을 위해 사용한 운용자료는 다음과 같다. 모사를 위하여 적용한 무인기 Weibull 고장분포도에서 형상모수  $\beta=1.64$  값으로, MTTR은 2,239시간으로 얻어 졌다.

Fig. 5, 6, 7는 Weibull 고장 확률 밀도 함수, 위험도 함수 및 신뢰도 함수로 그 결과 본 연구에서 모사하는 무인기 체계는 신뢰도 90%를 유지 하는 수명으로서 583시간을 도출하였다.

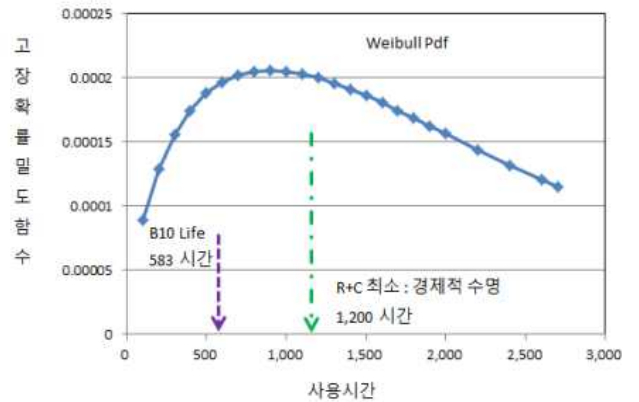


Fig 5. Weibull PDF curve

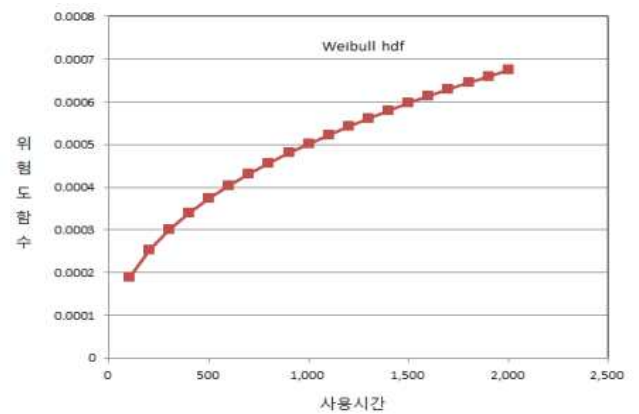


Fig 6. Weibull HDF Curve

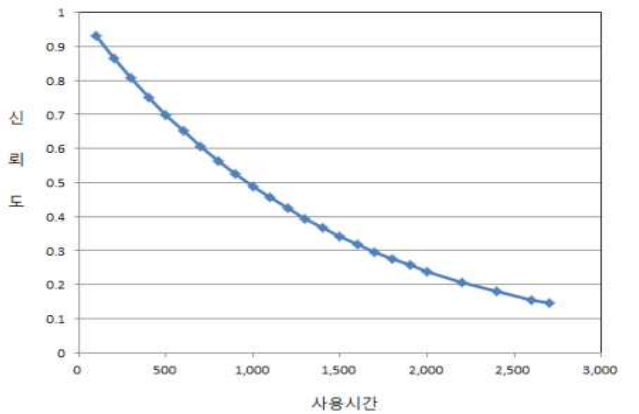


Fig 7. Weibull Reliability Curve

다음은 운용 유지비용에 관한 분석이다. 비용 분석은 운용시간에 대한 지수 함수로 다음과 같이 가정 할 수 있다

$$C=K(t)^N$$

여기서 K는 비용계수, t는 운용시간, N은 지수이다. 이 곡선은 운용유지 비용을 시간별로 정리된 값을 이용하여 회귀함수 법을 적용하고 구한다. 신뢰도 곡선과 비용곡선을 일치시키기 위하여 무인기의 정비사용은 Weibull식으로부터 얻은 MTTR 값으로 얻어진 2,239시간에 대하여 비용곡선으로부터 얻은 값을 비용으로 정규화 하여 R+C 곡선에 사용시간으로 일치시킨다. 그 결과는 Fig. 8과 같다.

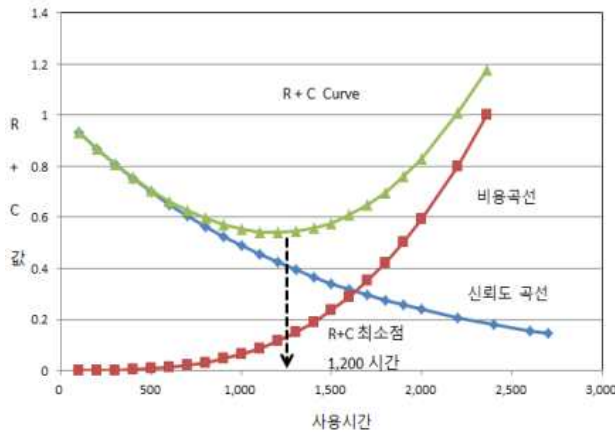


Fig 8. 신뢰도 비용(R+C) 곡선

이 결과에서 R+C 값이 최소가 되는 점이 운용유지 비용을 최소화 하는 경제적 수명으로 판단할 수 있게 된다. 이때 무인기의 체계 신뢰도 값은 58% 수준으로 유지 된다. 이 경우 수명은 약 1,200시간이다. 그러나 경제적으로는 이 값은 적용이 될 수 있지만 신뢰도 적용상 채택이 안 될 수 있다. 따라서 기술적인 안전수명으로 90%의 신뢰도를 적용하는 시간을 보면 이 값보다 낮은 583시간이 얻어지고 있음을 알 수 있다. 따라서 공학적으로 안전한 적적 수명을 583시간을 적용하도록 설정하였다.

### 3.2 가용도와 정비도 분석

동일한 장비에 대하여 정비자의 수리 시간(MTTR) 이 증가 하게 되면, 고유 가용도값은 낮아지며, 이는 작업자의 기술 교육, 정비환경, 공구, 작업조건의 개선을 통해서 개선될 수 있게 된다. 고유 가용도는 다음과 같이 정의 된다[10]. 고유 가용도는 부품의 정비 지원성의 기본이 되는 값으로 중요하다. 정비시간이 높아지면 고유 가용도는 낮아진다. 이 경우 기술요원의 전문 교육을 통한 숙련도를 높이는 것이 필요하다고 판

단하면 좋을 것이다[11].

$$A_i = \frac{MTBF(MTBO)}{MTBF(MTBO) + MTTR}$$

$$A_{iC} = \frac{MTBCF(MTBCO)}{MTBCF(MTBCO) + MTTR}$$

다음은 성취 가용도(Aa) 에 관한 내용이다. 정비를 위한 실제 시간은 불가동 시간과 관계가 있다. 이 내용을 다음과 같이 표시하게 된다.

$$A_a = \frac{MTBM(MTBO)}{MTBM(MTBO) + MAMDT}$$

MTBM(Mean Time Between Maintenance)은 정비간 평균시간, MAMDT(Mean Active Maintenance Down Time)은 평균 실제 정비 불가동시간이며, 예방정비(PM: Preventive Maintenance)와 수정정비(CM: Complimentary Maintenance)의 합계시간과 관계 된다. 다음은 운용가용도 관계이다.

$$A_o = \frac{OT + ST}{OT + ST + PM + CM + ALDT}$$

여기서 OT(Operational Time)은 연간 운용시간이며, ST(Standby Time)은 연간대기시간을 나타낸다. 아울러 ALDT(Administration and Logistics Delay Time)은 군수행정 및 군수지원 시간이다. 수리부속의 획득 능력이 가용도에 영향을 미치고, 동일 품목이라도 미국 내의 운용 가용도와 한국의 운용 가용도는 차이가 있음을 보여 주는 척도가 될 수 있다. 장비의 가동율은 운용가용도(Ao)와 관계 된다.  $A_o \cong$  가동율 로 등가화 하게 되면 군수행정 및 행정지원시간은 다음과 같이 해석될 수 있다.

$$ALDT = \frac{(OT + ST)(1 - A_o)}{A_o} - (PM + CM)$$

장비의 가동율을 알게 되면, 운용 가용도에 적용하고, 행정지원시간을 정량적으로 알 수 있게 된다. 가용도와 정비도의 관계는 산술적으로 적용가능하다. 따라서 각각의 경우에 따른 수치를 적용하도록 정의와 적용의 의미만 제시한다.

#### IV. 결 론

본 연구는 고장률을 기반으로 한 Weibull 고장분포도 함수를 적용한 무인기의 설계 사용수명에 대하여 운용자료를 모사하여 그 적용기법을 RAM-c 기반으로 제시 하였다.

또한 무인기 체계의 설계 사용수명, 및 경제적 수명에 대한 검토결과를 보여 주었는데 고장율의 운용 시간당 건수자료와 정비 유지 비용자료를 충분히 확보하고 유지 할 경우 몇 개의 자료를 가지고 고장확률 밀도 함수에 의한 안전수명, 위험도, 신뢰도 분석이 이루어 질 수 있음을 확인할 수 있었다. 결과적으로 무인기의 최적 운용을 위하여 신뢰성과 비용을 동시에 충족하는 최적의 적정 수명을 적용할 수 있음을 보여 주었다.

#### 참고문헌

- [1] Military Handbook 338, Electronic Reliability Design Handbook, October 1998
- [2] 김무영 (2011), “무기체계 시험개발단계에서의 종합군수지원요소 개발 방안에 대한 고찰”, 대한 산업공학회 추계학술대회
- [3] 최정호 (2013), “무기체계의 신뢰성 기법 적용 방안 : 설계/개발 및 운용단계”, 공군본부 총수명주기 체계관리 세미나
- [4] Report of the Defense Science Board Task Force on Developmental Test and Evaluation, May 2008
- [5] Department of Defense Instruction, Number 5000.02, Operation of the Defense Acquisition System, December 2008
- [6] Waloddi Wei-bull (2012), “Reliability Analysis with Wei-bull,” Ed(12), Curt Ullrich Ronniger
- [7] C. B. Guure, N. A. Ibrahim, (2013), “Generalized Bayesian non-Informative Prior Estimation of Weibull Parameter with Interval Censoring”, Science Asia 39(S) pp. 75-79
- [8] J. G. Stotivig, (2014), “Censored Weibull Distribution Data in Experimental Design”, *Master of Science Thesis in Physics and Mathematics*, Norwegian University of Science and Technology
- [9] Klutke, G., Kiessler, P.C., Wortman, M. A. (2015) "A Critical Look at The Bathtub Curve", IEEE Transactions on Reliability 52 (1), pp.125 - 129
- [10] US Department of Defense, Guideline for Achieving Reliability, Availability and Maintainability, System Engineering for Mission Success, Aug. 2005
- [11] 방장규, 2015, “항공기 엔진의 신뢰성과 안전성 분석”, 한국항공운항학회 추계학술대회