

# 무기체계 개발단계에서 신뢰도 향상방안

최충현<sup>†</sup> · 박상은

국방과학연구소 R&D 품질혁신실

## A Note on Improving Reliability in the Development of Weapon Systems

Chung-Hyun Choi<sup>†</sup> · Sang-Eun Park

R&D Quality Reform Division, Agency for Defense Development

This note suggests three approaches to improve reliability in developing weapon systems. The high complexity of the weapon systems make it hard to analyze and predict of those reliability. Current situations of the reliability have been reviewed in terms of logistics support analysis (LSA), warranty policy, maintenance and development. Three suggestions are notified to improve the reliability considering the complexity of the weapon systems.

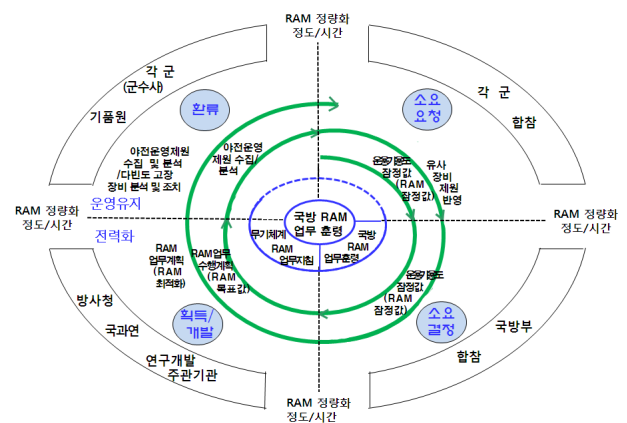
**Keywords:** Weapon Systems, Reliability, LSA(Logistic Support Analysis), Warranty Policy

### 1. 서론

복합 요소로 구성된 무기체계는 고장의 발생 가능성이 높고 유사시 고장으로 인한 전투력 상실은 치명적인 결과를 초래한다. 따라서 무기체계 전 순기를 통한 RAM(Reliability, Availability and Maintainability)에 대한 정량적 분석과 그 결과의 활용으로 무기체계의 신뢰성 제고는 물론이거니와 효율적인 운영정책 등을 수립하고 있다(윤원영 외, 2001; 최충현, 2002; 장준근, 2014).

RAM은 무기체계의 소요 요청에서부터 획득, 운용 및 폐기까지의 총 수명주기관리 차원에서 고장빈도나 시간임무 수행 정도 및 고장 시 정비에 소요되는 시간에 관련한 성과지표로 활용되며 <그림 1>에서와 같이 대상 무기체계의 소요 요청에서부터 더 이상 활용 필요성이 없어서 폐기에 이르기까지 RAM 업무 활동은 지속된다. 총수명주기 중에서 개발단계에서는 무기체계에 대한 제반 품질특성을 파악하고 설계 반영 요소를 도출하여 설계에 반영함으로써 신뢰도 및 정비도가 높은 장비를 개발하는 단계로 궁극적으로 높은 운용가용도의 유지로 효과적이고 경제적인 군수지원이 보장되도록 설계 분야에 집중적인 노력이 필요하다. 본 논문에서는 신뢰도가 무기체계에 미치는 영향 및 보다 나은 무기체계의 신뢰성 확보를 위해서 개발단계에서 현재 수행하고 있는 신뢰도 중심의 제반활동에 대해서 알아보고, 특히 복합 무기체계에

적합한 신뢰도 분야의 발전방안을 제시한다



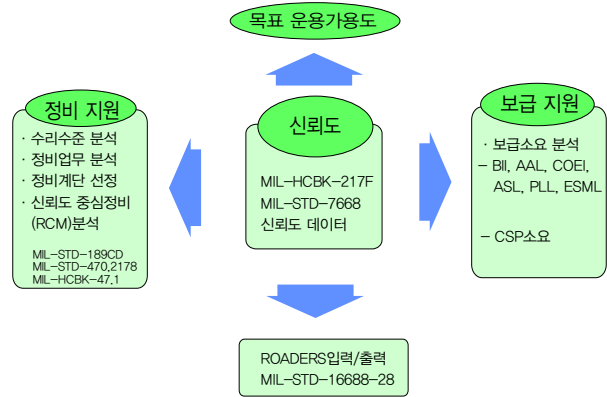
<그림 1> 총수명주기간의 RAM 업무(장준근, 2014)

### 2. 신뢰도가 무기체계 개발에 미치는 영향 및 신뢰도 분석 활동

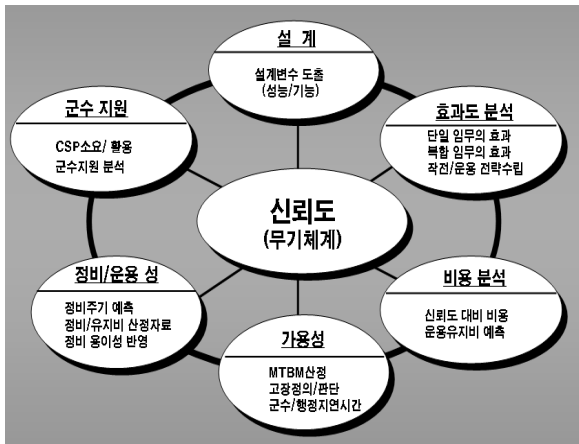
제품(시스템)에는 품질 특성 즉, 용도에 대한 적합성을 평가하는 길이, 무게, 인장 강도, 점성 등과 같은 물리적인 특성과 맛, 외관, 색, 냄새 등과 같은 감각적인 특성, 그리고 신뢰

<sup>†</sup> 교신저자 chchoi@add.re.kr

성(信賴性), 유지 가능성, 가용성과 같은 특성들을 가지가 있다. 이러한 품질 특성 중에서 신뢰도(信賴度)는 시간(time) 및 횟수(number of times)와 연관된 함수(function)로 표현이 가능하게 됨에 따라 신뢰성이란 정성적 의미보다는 신뢰도라는 정량적인 값으로 제시되어 제품의 중요한 품질 특성으로 대두된다. 따라서 신뢰도는 <그림 2>와 같이 시스템 설계의 대안을 분석할 수 있는 척도로 활용될 뿐만 아니라 효과도 분석, 비용분석 및 가용성 등 군수지원 분석(LSA : Logistic Support Analysis)(방위사업청, 2013) 등의 분야에 중요한 입력 요소 또는 분석의 척도로 사용되고 있다 무기체계에 있어서 신뢰도는 그 값이 가지는 고유 특성치로써 뿐만 아니라 군수지원 분석, 보증 및 정비 분야에 지대한 영향을 미치는 데 분야별로 세부 내용에 대해서 알아보면 다음과 같다.



<그림 3> 신뢰도가 군수지원 분석에 미치는 영향



<그림 2> 신뢰도가 무기체계 개발에 미치는 분야

2.1 군수지원 분석에서의 신뢰도

군수지원 분석은 무기체계의 수명주기 간에 걸쳐 군수지원 요소를 확인, 분석, 구체화하는 활동이다(방위사업청, 2013). 따라서 신뢰도는 향후에 발생할 상황을 모델링하고 최적의 해를 구하기 위해서 직접적으로 활용하게 되는 데 군수지원요소에 직접적으로 영향을 미치는 분야는<그림 3>과 같이 목표 운용가용도 설정 정비지원 및 보증지원 요소에 대한 분석이다. 무기체계의 전투준비 태세도를 가늠하는 목표 운용가용도의 설정에는 정기간 평균시간(MTBM: Mean Time Between Maintenance) 등 정비지원 사항도 포함되지만 신뢰도 값은 고장간 평균시간(MTBF: Mean Time Between Failure) 또는 정비간 평균시간을 결정하게 되는 중요한 변수로 작용하게 된다. 다음으로 정비지원 요소에서는 정비개념 설정 등을 포함하여 개발되어야 할 항목이 많으나 그 중에서도 신뢰도를 바탕으로 정비업무 분석, 정비주기 산정 등은 없어서는 안될 중요한 분석 항목이다. 보증지원은 동시 조달 수리 부품의 소요 산정에 있어서 주요 입력 값으로 작용할 뿐만 아니라 보증 소요와 관련한 모델의 입력 데이터로 활용되고 있다.

2.2 보증 분야에서의 신뢰도

보증은 시스템(제품)의 생산자나 판매자가 판매 후 일정 기간 동안 제품의 고장이나 하자가 없음을 책임지는 것이다. 이는 생산자(공급자) 및 사용자(소비자) 쌍방에 있어서 판매 이후 의무를 이행토록 하는 수단으로 작용하게 되는 제도적 장치로써 생산자 측면에서는 사용자가 제품의 남용 및 규정된 정비의 불이행으로부터 발생하는 제품에 대한 품질을 보호 받을 수 있으며, 소비자는 제품에 대한 예상하지 않은 고장으로 부터 발생할 수 있는 정비 비용을 보호 받을 수 있게 된다. 여기서 보증기간은 생산자 및 사용자 모두에 있어서 중요한 요소로 작용하게 되며, 보증기간의 산정에 있어서 신뢰도를 근간으로 하는 많은 모델은 문헌을 통하여 찾을 수 있다 (Blischke and Murthy, 1994; Thomas and Rao, 1999). 현재 무기체계에 있어서는 무기체계의 특성에 따라 다소 차이는 있으나 개발 업체로부터 특정 시점으로부터 1년 혹은 2년의 판매 후 서비스(A/S)를 실시하는 보증 정책(warranty policy)을 요구하고 있는 실정이다.

2.3 정비 분야에서의 신뢰도

무기체계가 개발되어 야전에 배치·운용되면 장비가 원활하게 운용되도록 하는 행위인 정비활동은 무엇보다도 중요하다. 정비는 시스템의 성능이 원활하게 되도록 시스템의 상태를 최적으로 유지시키며 고장의 발생 시 원하는 상태로 회복시켜 주는 모든 활동으로 정의하고 있는데 이러한 정비활동은 안전하고도 효율적인 방법으로 수행되도록 관리하고 있으며 정비 분야에서 이러한 효율성을 추구하고 있다.

정비 분야에서의 신뢰도 활용은 크게 두 가지로 수리적 모델에 의한 최적화(optimization) 모델의 적용과 컴퓨터 및 정보통신 기술에 바탕을 둔 정비 방법론(methodology)의 적용이라고 할 수 있다(Benjamin, 1985; Dekker, 1996). 수리적 모델에 의한 최적화는 고장을 사전에 예방하거나 고장이 나더라도 효율적인 조치를 위해서 시스템의 노후화 및 그 결과에 의한 모델링으

로 검사주기(inspection interval), 정비 횟수(repair number), 교체 주기(replacement interval) 및 고장 발생 시 수리 또는 교체를 판단하기 위한 제 기준 등에 있어서 보다 현실성 있는 모델이 되도록 신뢰도를 바탕으로 결정하고 있다. 한편, 정비 방법론은 정비를 보다 경제적 및 효율적으로 수행토록 정비의 제반 활동조직 및 자원의 관리와 더불어 새로운 정비 방법의 개발로 발전하고 있으며 정비 방법론의 발전은 최적화 모델과 함께 정비를 위한 수단인 정비장비의 첨단화 기술을 바탕으로 발전하고 있음을 신뢰도 중심정비(RCM: Reliability Centered Maintenance)에서 정비주기의 결정이나 고장의 발생 부분을 자동으로 찾기 위한 고장 진단장비(BITE: Built In Test Equipment)의 사용 등에서 알 수 있다. 따라서 정비 분야에 있어서도 신뢰도는 최적화 모델이나 정비 방법론에 있어서 중요한 요소로 작용하고 있다

2.4 개발단계에서의 신뢰도 분석 활동

무기체계는 한번 설계되어 생산 및 운영 단계에 들어서면 문제점에 대한 수집 및 보완이 쉽지가 않기 때문에 최적의 효율성을 보장하기 위해서는 설계 단계에서부터 집중적인 노력을 요구하고 있다(최충현, 2002). 무기체계의 연구개발 단계에서는 요구 수준의 신뢰도가 달성되도록 신뢰도 설계 및 분석 등을 통하여 설계 개선을 수행하고 시제품의 평가를 통해 제품의 신뢰도를 개선시키며, 개발 단계에서 생산 단계로 전환될 때는 생산 기술 및 시간적 요인에 의해 신뢰도가 약간 떨어지다가 생산 단계에서의 지속적인 시험평가와 관리 활동을 통하여 성장하게 된다. 배치·운영 단계에서는 설치 및 운영 지침을 철저히 준수하고 지속적인 정비유지 활동과 고장자료의 수집, 분석 및 평가활동을 통하여 성장·유지하게 된다.

수많은 부품과 모듈로 구성된 무기체계는 목표로 하는 신뢰도를 달성하고 나아가 신뢰도를 유지시키기 위해서는 부분적이고 단편적인 시험평가나 관리 활동에서 탈피하여 설

계단계에서부터 전 순주기기간에서 체계적이고 종합적인 신뢰도 관리활동이 필요하다 무기체계 전 순주기기간에 신뢰도 관련 활동을 살펴보면 <그림 4>와 같이 연구개발 단계의 설계 시에 신뢰도 분석활동이 집중되고 있음을 알게 한다

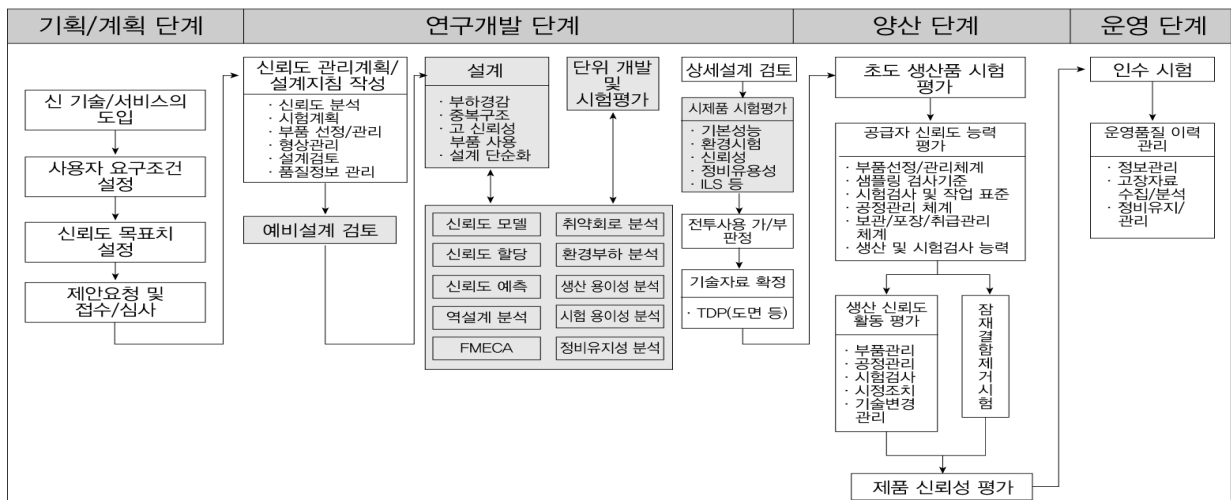
3. 무기체계 개발단계에서의 신뢰도 향상 방안

신뢰도는 후속 군수지원에 직접적인 영향을 미치게 되며 설계 단계에서의 “신뢰도를 고려한 설계(신뢰도 설계: design for reliability)”가 대단히 중요함을 <표 1>에서 알게 하며 신뢰도 분석을 위한 노력은 장비의 운용 단계에서의 운용 신뢰도를 보장받게 될 것이다.

<표 1> 장비의 순기별 고장 원인(Benjamin, 1985)

구분	고장 원인		비율
설계 / 제조	전기/전자	회로 및 구성품 결함	11%
		부적절한 부품 선정	10%
		회로 오용	12%
	기계	설계 취약성/부적절한 재료	5%
		불만족한 부품의 사용	5%
기술결함, 부적절한 검사 및 공정관리		18%	
	원재료 결함	2%	
운용 / 유지	비정상적 혹은 우발적 조건에서 운용/유지		12%
	수동조작		10%
	정비 실수		8%
기타	마모 및 노후화, 기타 요인		7%

개발단계에서의 신뢰도 향상을 위한 방안으로 신뢰도 분석기법의 발전과 신뢰도 분석범위의 확대 신뢰도 설계노력



<그림 4> 무기체계 순기별 신뢰도 분석 활동(최충현, 2002)

및 신뢰도를 품질관리 중점 항목으로 관리가 요구된다

첫째로 신뢰도 분석기법의 발전을 위해서 보다 현실에 적합한 고장발생 과정(failure process)의 적용과 고장 분포(failure distribution)의 추정노력이 요구되고 있다는 것이다 Drenick 정리에 의거 복합 시스템의 고장분포는 지수 분포(exponential distribution)를 따른다고는 하지만 일률적인 지수 분포의 적용으로 분석된 신뢰도 값의 활용에는 제한이 따른다 부품이나 재료 등은 비교적 고장 형태가 단순하지만 많은 구성요소로 이루어진 복합 시스템인 무기체계는 시간의 흐름에 따라 고장 형태가 다양하다 우선 간단한 구조로 된 부품이나 재료의 경우 시간이 흐름에 따라 고장률은 DFR(Decreasing Failure Rate)형, CFR(Constant Failure Rate)형 및 IFR(Increasing Failure Rate)형으로 구분되나 여러 가지 구성 요소로 이루어진 복잡한 시스템의 경우에 고장 패턴은 분류하기가 곤란하다 일반적으로 시간의 변화에 따른 고장률 추이가 욱조형(bath-tub) 곡선을 닮았다고 하지만 지수 분포(exponential distribution)의 경우에는 아래 식 (1)과 같이 고장률( $\lambda(t)$ )이 시간에 따라서 일정한 형태를 취하게 됨에 따라서 욱조형 곡선의 세 가지 시점에서 어느 시기냐에 따라 고장원인 규명에 제한이 따르기 때문이다.

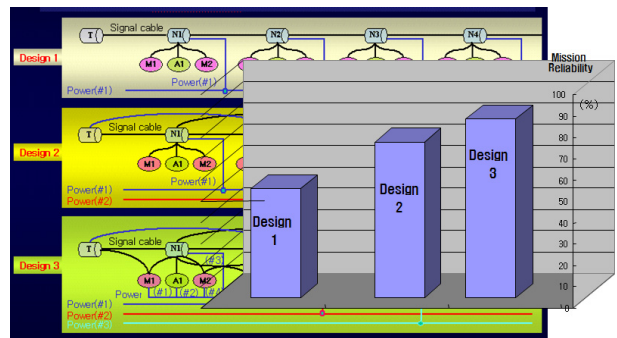
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \lambda, \quad t \geq 0. \quad (1)$$

여기서,  $f(t)$ : 고장 밀도함수.

또한 무기체계와 같이 복잡한 장비에 대해서 구성품 혹은 부품간 고장의 발생을 독립 사상(independent events)으로 간주하고 수리부속품의 예측 시 모델링(방위사업청, 2014)하고 있으나 복합 장비로 인한 신뢰도 구조함수가 복잡할 경우에는 구성품간에 의존성을 반영할 수 있는 수리부속품 예측 모델링과 이에 대한 신뢰도 분석기법의 발전이 요구된다 한편, 신뢰도는 하드웨어(H/W)에 국한되지 않으며 소프트웨어(S/W)에 대한 신뢰도의 분석도 필요성을 확인할 수 있다 1961년 옛 소련이 “유리 가가린”을 보스토크 1호에 탑승시켜 최초로 인간을 우주로 보낸 지 50여 년이 흘려, 이제는 중국도 “선저우(神舟)”를 발사 후 지구 귀환에 성공하였다. 하지만 1962년에 있었던 금성 탐색선(무인)이 케도 이탈로 막대한 손실을 초래한 원인이 단순한 전산 프로그램의 오류(Hyphen 누락에 의한 Fortran code 오류)에 있었다는 것과 1996년 아리안 5호의 폭발 사고의 원인이 64비트 실수(實數)를 16비트 정수(整數)로 변환하는 과정상의 오류가 있었다는 점으로 미루어 볼 때 S/W에 대한 신뢰도 분석의 중요성을 새삼 깨우쳐도록 한다 따라서 무기체계의 신뢰도 분석에 있어서 우리 현실에 적합한 이론적 연구를 수행하고 이를 토대로 한 신뢰도 업무체계의 확립이 필요하다

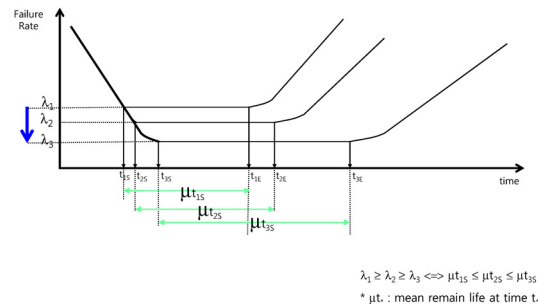
둘째는 시스템의 성능 변수와 동일한 개념으로 설계 단계에서부터 신뢰도를 정량적인 매개 변수로 사용하여 목표 신

뢰도가 달성되도록 설계 활동에 있어서 제반 노력이 필요하다 <그림 5>는 설계 대안별 전원(power)의 분배 방식(#1, #2, #3)에 따른 신뢰도 설계 사례를 보여주고 있다. 설계자는 전원의 분배 방식이 복잡해지고 그에 따른 비용도 증가하겠지만 목표표 하는 임무 신뢰도를 만족할 수 있는 적절한 대안을 선택하게 될 것이다. 따라서 신뢰도 설계는 시스템의 전 순기를 하나의 대상기간으로 간주하여 다음 단계에서 예측되는 문제점들을 특히, 설계 단계에서 반영하여 향후 운용 단계에서 발생할 수 있는 문제점을 사전에 예측하여 해결이 가능하며, 투자 대비 효과의 극대화는 물론이거니와 후속 군수지원 소요의 정량적 예측도 가능토록 할 것이다.



<그림 5> 설계 대안별 임무 신뢰도 분석(사례)

마지막으로 품질관리 활동의 강화로 초기 배치출하 시점에서의 고장률을 낮추자는 것으로 <그림 6>에서와 같이 초기 배치/출하 시점에서의 고장률이 최소화( $\lambda_1 \rightarrow \lambda_3$ )되도록 노력이 필요하다. 이를 위해서는 개발단계에서의 신뢰도 관리 활동의 강화와 함께 출하 시점에서 초기고장 배제 시험(burn-in test)의 실시로 개발단계에서의 잠재 결함을 최대한 제거하는 것이 중요하며 이에 대한 해결방안으로 복합 무기 체계에 적합한 가속 수명시험 모델에 대한 연구가 필요하다 (최충현 · 이정민, 2012). 한편, 신뢰도의 지속적 향상을 유도할 방법으로 RIW(보증정책을 후속 군수지원 계약에 반영하여 적용하는 것도 고려할 가치가 있다고 판단한다.



<그림 6> 납품(출하) 시점( $t_{1s}, t_{2s}, t_{3s}$ )에서의 고장률( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ )

1) 일반적 보증정책인 FRW(Free Replacement Warranty: 보증기간 동안에는 무상으로 교체)의 확장된 개념으로 생산자(공급자)가 MTBF를 보증하도록 하는 보증정책의 일종(Dekker, 1996).

#### 4. 결 론

최근 무기체계의 설계 및 운용 환경은 기술발전 속도의 가속화, 신기술 도래시기의 예측불가 등으로 새로운 환경에 직면하고 있다. 새로운 기술로 인하여 무기체계는 다기능, 고기능화로 그 구조가 복잡화됨에 따라서 개발, 생산 및 운용에 있어 비용의 상승을 가져와 생산성 향상과 투자대비 효과의 극대화를 요구받고 있다. 한편, “신뢰도”는 그 자체가 가지는 의미뿐만 아니라 보증, 정비 및 보급 등의 후속 군수지원에 직접적인 영향을 미치는 주요 변수(key parameter) 이다.

환경 변화에 대응하고 보다 정확한 신뢰도 값의 분석과 활용을 위해서는 “복합 체계에 적합하도록 발전된 예측모델과 예측 값의 검증용 수명시험 기법의 개발, “소프트웨어에 대한 신뢰도 분석” 및 “신뢰도 설계노력”이 요구된다. 또한, 설계 단계에서 설정된 신뢰도가 지속적으로 유지되기 위해서 신뢰도를 매개체로 하는 보증 정책과 군수지원 제도(RAM을 척도로 사용하는 성과기반 군수지원 등의 적용도 필요하다.

#### 참고문헌

- [1] 방위사업청 (2013), 종합군수지원 개발 실무지침서
- [2] 방위사업청 (2013), 무기체계 RAM 업무지침, 예규 제 156호.
- [3] 방위사업청 (2014), 방위사업관리규정, 훈령 제294호.
- [4] 방위사업청 (2014), 동시조달수리부속 산출 소프트웨어 (OASIS/N, 3.0).
- [5] 윤원영 · 한영진 · 박고은 · 최충현 · 정덕재 (2011), 탐지체계의 RAM 분석을 위한 시뮬레이션 모델링 연구, 품질경영학회지, 제39권, 제3호, pp. 353-364.
- [6] 장준근 (2014), 획득과 운영유지 연계위한RAM업무 순환 및 협연 제언, 국방과 기술, 제420호, pp. 40-44.
- [7] 최충현 (2002), 무기체계 개발단계에서의 신뢰도 분석 활동, 국방품질, 제19호, pp. 27-30.
- [8] 최충현 · 이정민 (2012), 선배열 수중 음향센서의 가속 수명시험 설계에 관한 연구, 한국경영과학회 추계학술대회
- [9] 최충현, 이봉기, 유재우 (2009), 무기체계의 목표 운용가용도 설정 사례연구(I), 군사과학기술학회 학술대회 논문집.
- [10] 최충현, 유재우, 김형원 (2013), 무기체계의 목표 운용가용도 설정 사례연구 (II), 군사과학기술학회 학술대회 논문집.
- [11] 최충현 · 최광목 (2014), 국방 RAM분야 제도적 추진동향 및 발전방향 분석, 한국신뢰성학회 춘계학술대회.
- [12] Benjamin, W. N. (1985), *Engineering Maintenance Management*, Marcel Dekker Inc..
- [13] Blischke, W. R. and Murthy, D. N. P. (1994), *Warranty Cost Analysis*, Marcel Dekker, Inc..
- [14] Dekker, R. (1996), Application of Maintenance Optimization Models: A Review and Analysis, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 51, No. 3, pp. 229-240.
- [15] Thomas, M. U. and Rao, S. S. (1999), Warranty Economic Decision Models: A Summary and Some Suggested Directions for Future Research, *Operations Research*, Vol.47, No.6, pp. 807-820.