

수중유도무기체계의 신뢰도 할당: 사례연구

김희욱*, 이학표*, 허길환**, 오근태***, 김명수†***

LIG넥스원 ILS연구센터*, 국방과학연구소 어뢰체계개발단**, 수원대학교 산업공학과***

A Study on the Reliability Allocation for an Underwater Guided Weapon System: Case Study

HeeWook Kim*, HakPyo Lee*, GilHwan Heo**, GeunTae Oh***, MyungSoo Kim†***

*ILS R&D Lab, LIG Nex1**

*Torpedo Systems PMO, ADD***

*Dept. of Industrial Engineering, Univ. of Suwon****

<Abstract>

To improve the reliability of a weapon system, we perform the activities: setting the target reliability, reliability allocation, and reliability management, etc. Before starting weapon system development, the target reliability of system is set through advanced research and is allocated to its subsystems at the beginning of development. Then we manage the reliability of system and subsystems to meet the target reliability until completion of system development. In this paper, we research representative reliability allocation methods and introduce the suitable reliability allocation method followed by its application to the underwater guided weapon system. The purpose of this research is to review the proposed reliability allocation techniques and find an appropriate method for underwater weapon systems followed by the validation of its application.

Key Words: Reliability Allocation, ARINC, Weapon System

1. 서론

신뢰성은 주어진 조건에서 정해진 기간 동안 요구기능을 만족스럽게 수행할 수 있는 능력으로, 무기체계의 운용·유지에 큰 영향을 미치는 요소이다. 즉, 신뢰성 수준에 따라 정비, 보급, 시설 등 운용·유지 개념이 달라지며, 이에 따라 체계의 운용·유지비용도 좌우된다. 그러므로 신뢰도가 높은 무기체계를 획득하고 운용하는 것은 경제적인 군 운용과 사용자 안전성을 보장하는 측면에서 매우 중요하다. 체계개발 단계에서 효과적인 신뢰성 관리가 이루어지기 위해서는 사용자 요구사항을 정확하게 분석하여 신뢰도 목표를 합리적으로 설정하는 것이 중요하다. 한편, 설계가 진행됨에 따라 시스템의 목표를 서브시스템으로 할당하고, 할당된 목표를 설계 완료 시점까지 지속적으로 관리함으로써

신뢰성이 높은 무기체계를 확보할 수 있다. 즉, 신뢰도 목표 설정 및 할당은 신뢰성 설계를 위한 출발점이라고 할 수 있다. 신뢰도 목표 설정을 위해 이준우 외 (2006)는 항공기에 대한 임무신뢰도를 예측하였으며, 이덕규 (2005)는 Telcordia SR-332규격을 통해 LCD 영상제품의 신뢰도를 파악하였다. 또한 문병민 외 (2013)는 베이저안 신뢰도 추정법을 통하여 원샷 디바이스의 저장 신뢰도를 추정하였다. 신뢰도 할당과 관련하여 이강원, 정인수 (2000)는 정량적 모델과 정성적 모델을 분석하여 KTX-II 신뢰도 할당에 적합한 방법론을 제시하였다. 박종화 외 (2000)는 10가지 할당모델을 이용하여 함정용 디젤 엔진의 서브시스템에 신뢰도를 할당하고 가장 적합한 할당 모형을 선정하기 위해 시뮬레이션을 통한 운영유지비용을 평가하였다. 그리고 김민호 (2000)는 신뢰도 할당 기법들에서 발견된 할당

† 교신저자 mskim@suwon.ac.kr

논문접수일 : 2014년 2월 18일

논문수정일 : 2014년 3월 12일

게재확정일 : 2014년 03월 14일

기준의 문제점을 해결하기 위해 FMECA(Failure Mode Effects & Criticality Analysis)의 RPN(Risk Priority Number)의 심각도 값을 지수변환 한 값과 치명도 분석 값을 활용하여 신뢰도 할당 기준으로 제시하였다.

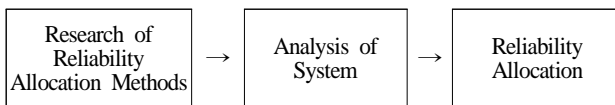
본 연구에서는 탐색개발을 완료하고 체계개발 중에 있는 차기중어뢰 체계에 적용한 신뢰도 할당 방법과 결과를 소개한다. 이를 통해 무기체계 개발 특성에 적합한 신뢰도 할당을 위한 대표적인 신뢰도 할당 방법 조사 결과와 높은 신뢰도를 필요로 하는 무기체계 특성상 보다 세분화한 신뢰도 관리를 위하여 유닛 수준(레벨 3)까지의 신뢰도 할당 결과를 제시한다.

2. 신뢰도 할당 절차와 방법

본 절에서는 일반적인 신뢰도 할당 절차와 대표적인 신뢰도 할당 방법을 제시한다.

2.1 일반적인 신뢰도 할당 절차

일반적인 신뢰도 할당 절차는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 신뢰도할당 프로세스

2.1.1 신뢰도 할당 방법 조사

- 균등배분법, ARINC 배분법, Feasibility of objectives 배분법, AGREE 배분법 등 신뢰도 할당 방법을 조사한다.

2.1.2 대상 시스템 분석

- 대상 시스템의 구성 요소와 기능을 분석한다.
- 유사 시스템의 신뢰도 산출 결과를 분석한다.

2.1.3 신뢰도 할당

- 신뢰도 할당 방법을 선정한다.
- 신뢰도 할당 기준을 설정한다.
- 선정된 방법을 적용하여 신뢰도 할당을 수행한다.

2.2 신뢰도 할당 방법

신뢰도 할당 지침을 제공하는 ‘[MIL-HDBK-338B] Electronic Reliability Design Handbook’과 기타 신뢰도 관련 자료를 참고하여 신뢰도 할당 방법을 조사하였다(Dodson and Noan (2000), John et al. (2000), Rome Laboratory (1994)). 그 결과 균등배분법, ARINC 배분법, Feasibility of Objectives 배분법, AGREE 배분법이 대표적으로 활용되는 신뢰도 할당 방법임을 확인하였다. 이 4가지 신뢰도 할당 방법의 특징은 다음과 같다.

2.2.1 균등배분법

균등배분법은 시스템에 대한 명확한 정보가 없을 때 적용한다. 시스템은 n개의 서브시스템으로 구성된 직렬 구조라고 가정하며, 시스템의 목표 신뢰도를 각 서브시스템에 동일하게 할당한다. <표 1>은 균등배분법에 의해 신뢰도 또는 고장률을 할당한 결과를 나타낸다.

<표 1> 균등배분법

$R_i = (R_{system})^{1/n}$	$\lambda_i = \lambda_{system}/n$
<ul style="list-style-type: none"> • R_{system} : Reliability of System • R_i : Reliability of Subsystem 	<ul style="list-style-type: none"> • λ_{system} : Failure Rate of System • λ_i : Failure Rate of Subsystem

2.2.2 ARINC 배분법

ARINC 배분법은 과거 또는 유사 시스템의 자료로부터 추정된 서브시스템의 고장률을 이용한다.

시스템은 n개의 서브시스템으로 구성된 직렬구조이며, 각 서브시스템들의 운용시간은 시스템의 운용시간과 동일하다고 가정한다. ARINC 배분법은 식 (1)과 같이 서브시스템에 할당된 고장률의 합이 목표 시스템 고장률보다 작게 되도록 배분한다.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \leq \lambda_{system} \tag{1}$$

여기서 λ_{system} 은 목표 시스템 고장률, λ_i 는 서브시스템 i의 고장률을 나타낸다.

ARINC 배분법의 적용 절차는 다음과 같다.

- 과거 또는 유사 시스템 자료로부터 서브시스템의 고장률(λ_i)을 추정한다.
- 서브시스템 i 에 대한 가중치(w_i)를 다음과 같이 부여한다.

$$w_i = \lambda_i / \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (2)$$

- 서브시스템의 고장률 $\lambda_i (= w_i \times \lambda_{system})$ 을 구한다.

2.2.3 Feasibility of Objectives 배분법

Feasibility of Objectives 배분법은 시스템 복잡성(A_i), 기술수준(B_i), 작동시간(C_i), 사용환경(D_i)의 네 가지 인자를 고려한다. 각 인자가 취하는 값은 1 부터 10 사이이며, 델파이 기법과 같은 방법을 통해 전문가의 판단에 의해 산출된다.

서브시스템 i 의 가중치(w_i)를 기반으로 시스템의 수행 임무시간과 시스템 고장률을 이용하여 각 서브시스템의 고장률을 식 (3)과 같이 구한다.

$$W_i = \frac{c_i}{C} \quad (3)$$

여기서, $c_i = A_i \times B_i \times C_i \times D_i$, $C = \sum_{i=1}^n c_i$ 이다.

2.2.4 AGREE 배분법

AGREE 배분법은 전자 부품에 대한 신뢰도 할당 기법으로 개발되었으며 복잡도와 중요도를 기초로 시스템의 신뢰도를 할당한다. 이때, 복잡도는 서브시스템에 대한 부품의 수로 나타내며, 중요도는 해당 서브시스템이 고장 났을 때 시스템이 고장 나게 되는 정도를 말한다. 서브시스템 i 의 중요도(w_i)를 기반으로 시스템 고장률, 시스템과 서브시스템의 부품 수를 이용하여 각 서브시스템의 고장률을 식 (4)와 같이 구한다.

$$\lambda_i = \frac{n_i \lambda_s}{n w_i} \quad (4)$$

여기서 n 은 시스템의 총 부품 수, n_i 는 i 번째 서브시스템의 부품 수, w_i 는 i 번째 서브시스템의 중요도를 의미한다.

2.2.5 신뢰도 할당 방법 비교

신뢰도 할당 방법을 적용하기 위해서는 기초 자료들이 필요하다. 그러나 이 자료들은 할당방법에 따라 상이하다. 따라서 기초자료 수집 가능 여부가 신뢰도 할당 방법의 선정 시 중요한 요소가 된다. <표 2>는 균등배분법, ARINC 배분법, Feasibility of Objectives 배분법, AGREE 배분법의 특징과 적용에 필요한 기초 자료들을 비교한 것이다.

<표 2> 신뢰도 할당 방법 비교

구분	균등배분법	ARINC 배분법	Feasibility of Objectives	AGREE 배분법
시스템 구조	Series	Series	Series	Series
신뢰도 측정치	Reliability	Failure Rate	Failure Rate	Failure Rate
서브시스템 운용시간			○	○
서브시스템 고장률		○		
시스템 복잡도 (부품 수)			○	○
개발 수준			○	
운용환경의 가혹도			○	
시스템 고장을 야기하는 서브시스템의 고장발생 확률				○

※ ○ : 신뢰도할당 방법에 필요한 정보

3. 신뢰도 할당 결과

본 절에서는 일반적인 신뢰도 할당 절차에 따라 수행한 차기중어뢰 체계의 신뢰도 할당 결과를 제시한다.

3.1 대상 시스템 분석

3.1.1 대상 시스템의 구성 요소와 기능 분석

차기중어뢰 체계는 탐색개발 이후 체계개발을 수행하는 시스템으로, 탐색개발 시제와 체계개발 시제의 기능과 구조가 동일하다. 전체 시스템은 7개 서브시스템이 직렬구조로 구성되어 있고, 각 서브시스템은 2~10개의 유닛이 직렬구조로 구성되어 있다.

3.1.2 유사 시스템의 신뢰도 산출 결과 분석

차기중어뢰 체계는 탐색개발 시 신뢰도 예측을 수행하였으며, 탐색개발 시제의 신뢰도 예측 결과는 체계개발 시제의 신뢰도 할당 시 참고자료로 활용될 수 있다.

3.2 신뢰도 할당

3.2.1 신뢰도 할당 방법 선정

차기중어뢰 체계의 신뢰도 할당 방법으로 검토한 여러 가지 방법 중에서 균등 배분법의 경우 서브시스템간의 상호 중요도가 고려되지 않으며, Feasibility of Objectives 배분법과 AGREE 배분법은 서브시스템의 작동시간이나 고장유발 확률 등과 같은 현 개발 단계에서 획득하기 어려운 자료로 인하여 적용에서 제외하였다. 한편, 탐색개발 시제와 체계개발 시제의 구조가 동일하고, 기존 탐색개발 시제의 신뢰도 예측 결과가 존재하는 특성을 고려하여 ARINC 배분법을 차기중어뢰 체계의 신뢰도 할당 방법으로 선정하였다.

3.2.2 신뢰도 할당 기준 설정

차기중어뢰 체계의 ARINC 배분법을 사용한 신뢰도 할당 기준은 다음과 같다.

- 신뢰도 할당은 레벨 3인 유닛 레벨까지 수행한다.
- 고장률이 1 ($failures/10^6 hours$) 이하인 유닛은 시스템의 수명주기 동안 고장이 발생하지 않을 것으로 판단되어 신뢰도 할당을 수행하지 않으며, 추후 상위 레벨인 서브시스템 레벨에서 신뢰도 관리 활동을 수행한다.
- 탐색개발 시제의 예측 시스템 신뢰도(MTBF : Mean Time Between Failures)는 182.6시간이며, 고장률로 변환하면 5475.84 ($failures/10^6 hours$)이다.
- 체계개발 시제의 목표 시스템 신뢰도(MTBF)는 탐색시제 대비 5% 향상된 192시간이며, 고장률로 변환하면 5208.33 ($failures/10^6 hours$)이다.

3.2.3 신뢰도 할당 수행

다음과 같은 단계를 거쳐 차기중어뢰 체계의 신뢰도 할당을 수행하였다.

- 단계 1: 탐색개발 시제의 신뢰도 예측 결과로부터 시스템 고장률 대비 서브시스템의 고장률 비율로 서브시스템의 가중치를 계산한다.

<표 3>은 탐색개발 시제의 신뢰도 예측 결과를 나타낸다. 즉, 서브시스템과 유닛의 고장률 예측값과 신뢰도 할당 여부를 포함하고 있으며, 신뢰도 할당에 포함된 유닛은 '○', 제외된 유닛은 '×'로 표시하였다.

<표 4>는 탐색개발 시제의 서브시스템 가중치를 계산한 결과이다. 이때, 가중치는 시스템의 고장률 5475.84 ($failures/10^6 hours$) 대비 서브시스템 고장률의 비율로 산출하였다.

- 단계 2: 체계개발 시제의 목표 시스템 고장률에 서브시스템의 가중치를 곱하여 서브시스템에 신뢰도를 할당한다.

<표 3> 탐색개발 신뢰도 예측 결과

Level 2	고장률	Level 3	고장률	신뢰도 할당 적용 여부
탐지부	2489.47	A1	479.59	○
		A2	1646.68	○
		A3	363.17	○
		A4	0.01	×
		A5	0.01	×
탄두부	34.42	B1	34.40	○
		B2	0.02	×
전지부	1502.19	C1	99.48	○
		C2	1291.30	○
		C3	106.22	○
		C4	2.81	○
제어부	1237.13	D1	325.47	○
		D2	167.68	○
		D3	224.90	○
		D4	461.46	○
		D5	28.90	○
		D6	0.15	×
		D7	28.53	○
		D8	0.01	×
		D9	0.01	×
전동기부	65.74	E1	65.70	○
		E2	0.01	×
추진부	117.26	F1	45.61	○
		F2	2.85	○
		F3	0.59	○
		F4	3.24	○
		F5	0.01	×
발사관 연결부	29.63	G1	17.55	○
		G2	12.08	○

<표 4> 탐색개발 서브시스템 가중치

Level 2	가중치
탐지부	0.45463
탄두부	0.00629
전지부	0.27433
제어부	0.22593
전동기부	0.01201
추진부	0.02141
발사관 연결부	0.00541

<표 5> 서브시스템 신뢰도 할당 결과

Level 2	고장률
탐지부	2367.85
탄두부	32.74
전지부	1428.81
제어부	1176.69
전동기부	62.53
추진부	111.53
발사관 연결부	28.18

<표 5>는 체계개발 시제 서브시스템에 신뢰도를 할당한 결과이다. 예를 들어, 서브시스템 A의 고장률 2367.85는 시스템 고장률 5208.33에 서브시스템 A의 가중치 0.45463을 곱하여 계산된 값이다.

- 단계 3: 탐색개발 시제의 신뢰도 예측 결과에서 서브시스템 고장률 대비 유닛의 고장률 비율로 유닛의 가중치를 계산한다.

<표 6>은 탐색개발 시제 유닛의 가중치 산출 결과를 나타낸다.

- 단계 4: 할당된 체계개발 시제의 서브시스템 고장률에 유닛의 가중치를 곱하여 유닛에 신뢰도를 할당한다.

<표 6> 탐색개발 유닛 가중치

Level 2	Level 3	가중치
탐지부	A1	0.19265
	A2	0.66146
	A3	0.14588
탄두부	B1	0.99941
	C1	0.06633
전지부	C2	0.86098
	C3	0.07082
	C4	0.00187
	D1	0.26309
제어부	D2	0.13554
	D3	0.18179
	D4	0.37301
	D5	0.02336
	D7	0.02306
전동기부	E1	0.99985
	F1	0.87219
추진부	F2	0.05442
	F3	0.01130
	F4	0.06189
	G1	0.59231
발사관 연결부	G2	0.40769

<표 7> 유닛 신뢰도 할당 결과

Level 2	Level 3	고장률
탐지부	A1	456.16
	A2	1566.24
	A3	345.43
탄두부	B1	32.72
전지부	C1	94.77
	C2	1230.17
	C3	101.19
	C4	2.68
제어부	D1	309.57
	D2	159.49
	D3	213.91
	D4	438.92
	D5	27.49
전동기부	D7	27.14
	E1	62.52
추진부	F1	97.27
	F2	6.07
	F3	1.26
	F4	6.90
발사관 연결부	G1	16.69
	G2	11.49

<표 7>은 체계개발 시제 유닛의 신뢰도 할당 결과를 나타낸다.

4. 결론

신뢰도 할당은 시스템의 목표신뢰도를 달성하기 위한 필수적인 설계활동 중 한 가지로써 매우 중요한 역할을 한다. 신뢰도 할당 업무를 수행하지 않으면 목표 신뢰도를 달성할 수 없다. 본 연구에서는 여러 종류의 신뢰도 할당 방법론 중에서 국방 무기체계 시스템 개

발에 현실적으로 가장 적합한 기법을 탐색하였다. 그리고, 개발 단계에서 연구된 체계의 특성과 신뢰도 예측 결과를 이용하여, 수중유도무기 차기중어뢰 체계의 목표 신뢰도를 서브시스템 및 유닛으로 ARINC 방법을 적용하여 할당하였다.

본 연구의 결과는 향후 차기중어뢰 체계의 신뢰성 설계, 종합군수지원 등을 위하여 활용성이 매우 높을 것으로 기대된다. 본 연구 결과를 활용하여 향후 신뢰도 목표값을 만족할 수 있도록 지속적으로 시스템, 서브시스템 및 유닛 레벨에서 신뢰도 관리를 수행할 계획이다.

참고문헌

- [1] 김민호 (2011), 비용 및 고장심각도를 고려한 신뢰도 할당 기법, 석사학위논문, 건국대학교.
- [2] 문병민, 선은주, 배석주 (2013), 작은 샘플 크기의 One-shot Devices를 위한 베이지안 신뢰도 추정, 신뢰성 응용연구, 13권, 2호, 99-107.
- [3] 박종화, 김기태, 전건욱 (2009), 운영유지비용을 고려한 신뢰도 할당 모형의 선정, 한국국방경영분석학회, 35권, 3호, 31-45.
- [4] 이강원, 정인수 (2007), KTX-II 고속 차량을 위한 신뢰도 할당 모델, 한국철도학회, 10권, 3호, 319-326.
- [5] 이덕규 (2005), Telcordia SR-332를 이용한 가전제품 신뢰도 예측, 신뢰성응용연구, 5권, 4호, 427-437.
- [6] 이준우, 주현준, 이민구 (2006), 항공기 임무신뢰도 예측 방안 연구, 신뢰성응용연구, 6권, 2호, 115-134.
- [7] Electronic Reliability Design Handbook, MIL-HDBK-338B.
- [8] Dodson Bryan, Noan Dennis. (2000), Reliability Engineering Handbook, Dekker.
- [9] John Crocker, U. Dinesh Kumar, J. Knezevic. (2000), Reliability, Maintenance and Logistic Support : A Life Cycle Approach, Kluwer.
- [10] Rome Laboratory. (1994), Reliability Toolkit : Commercial Practices Edition, RiAC.