

전투 시스템의 신뢰성 분석을 위한 FTA와 BBN을 이용한 2계층 접근에 관한 연구

강지원¹ · 이장세^{2*}

Two-Layer Approach Using FTA and BBN for Reliability Analysis of Combat Systems

Ji-Won Kang¹ · Jang-Se Lee^{2*}

¹Graduate Student, Department of Computer Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

^{2*}Associate Professor, Division of Marine Information Technology, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약

전투 시스템은 다양한 적대적 환경에서 주어진 임무를 수행한다. 주어진 임무를 수행하는 능력을 높이기 위하여 전투 시스템의 신뢰성을 분석하는 연구가 중요하다. 대부분의 기존 연구에서는 위협을 고려하지 않거나 하나의 위협을 고려하며 구성 요소간의 종속적 관계를 고려하고 있지 않다. 본 논문에서는 전투 시스템의 기능에 대한 상실 확률을 도출하며, 이를 이용하여 신뢰성 분석을 진행한다. 제안하는 방법은 하위, 상위의 두 계층으로 나누어 분석한다. 하위 계층에서는 다양한 위협을 동시에 고려하기 위하여 FTA 기법을 이용하여 구성 요소별 고장 확률을 도출한다. 상위 계층에서는 하위 계층에서 도출된 구성 요소의 고장 확률을 이용하여 구성 요소간의 종속적 관계를 고려하기 위해 BBN을 이용하여 기능의 상실 확률을 분석한다. 제안하는 방법을 이용하면 다양한 위협을 동시에 고려하면서 구성 요소간의 종속적 관계에 대한 분석이 가능하다.

ABSTRACT

A combat system performs a given mission enduring various threats. It is important to analyze the reliability of combat systems in order to increase their ability to perform a given mission. Most of studies considered no threat or on threat and didn't analyze all the dependent relationships among the components. In this paper, we analyze the loss probability of the function of the combat system and use it to analyze the reliability. The proposed method is divided into two layers, A lower layer and an upper layer. In lower layer, the failure probability of each component is derived by using FTA to consider various threats. In the upper layer, The loss probability of function is analyzed using the failure probability of the component derived from lower layer and BBN in order to consider the dependent relationships among the components. Using the proposed method, it is possible to analyze considering various threats and the dependency between components.

키워드 : 전투 시스템, 생존성, 신뢰성 분석, 베이지안 신뢰 네트워크, 결함수 해석

Key word : Combat system, Survivability, Reliability analysis, Bayesian belief network, Fault tree analysis

Received 18 January 2019, Revised 1 February 2019, Accepted 13 February 2019

* Corresponding Author Jang-Se Lee(jslee@kmou.ac.kr, Tel:+82-51-410-4577)

Associate Professor, Division of Marine Information Technology, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.3.333>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

전투 시스템의 임무 수행 능력을 높이기 위하여 전투 시스템의 신뢰성을 분석하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 전투 시스템의 신뢰성의 저하는 임무 수행을 하기 위한 기능의 상실에 의해 발생한다. 전투 시스템의 기능은 화력(firepower), 이동(mobility), 통신(communication), 탐지(sensor) 등으로 분류될 수 있으며 기능의 상실은 기능과 관련된 여러 구성 요소가 다양한 위협에 의해 손상되어 유발된다[1]. 따라서 본 논문에서의 전투 시스템의 신뢰성은 전투 시스템이 다양한 위협을 견디고 임무 수행을 달성하기 위하여 기능이 상실되지 않을 확률이라고 정의한다. 전투 시스템의 기능이 상실될 확률을 P_i 이라고 하면 전투 시스템의 신뢰성은 식 (1)과 같이 P_r 로 표현된다.

$$P_r = 1 - P_i \quad (1)$$

전투 시스템의 신뢰성을 분석하기 위하여 다양한 위협이 고려되어야 한다. 기존 연구에서는 위협에 의한 고장을 고려하지 않거나 특정 위협만을 고려하였다. 과학기술의 발달로 인하여 레이저(laser), 고에너지 입자빔(high-energy particle beam)과 같은 위협에 대한 연구가 진행되고 있으며, 다양한 위협을 동시에 고려하는 신뢰성 분석 방법이 필요하다[2,3]. 또한, 기존 연구에서는 일반적인 신뢰성 분석 기법인 FTA(Fault Tree Analysis), FMECA(Failure Modes Effects and Criticality Analysis) 기법을 이용하여 신뢰성을 분석하였다[1,4]. 하지만 이러한 분석 기법은 구성 요소간의 종속적인 관계를 나타낼 수 없다. 최근 [5]에서는 구성 요소간의 종속적인 관계를 고려하기 위하여 BBN(Bayesian Belief Network)을 이용하여 신뢰성을 분석하였지만 특정 전투 시스템에 대하여 신뢰성을 분석하였으며, 위협을 고려하지 않고 시스템의 고장 원인에 대한 데이터를 SME(Subject Matter Experts)에 의한 평균 데이터를 사용하였다.

본 논문에서는 FTA 기법과 BBN을 이용하여 전투 시스템의 구성 요소간의 종속적 관계를 비롯하여 다양한 위협을 동시에 고려한 계층적 신뢰성 분석 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 하위, 상위 계층으로 나뉜다. 하위 계층에서는 독립적으로 발생하는 다양한 위협을 동시에 고려하기 위하여 FTA 기법을 적용하여 위협에 의

한 구성 요소의 고장 확률을 분석한다. 상위 계층에서는 하위 계층에서 분석된 결과를 기반으로 BBN을 적용하여 임무 수행을 위한 기능과 관련된 구성 요소간의 종속적 관계를 고려하여 기능 수준의 신뢰성 분석을 수행한다. 본 논문은 2장 관련 연구에서 FTA 기법과 BBN을 설명하고 3장에서 전투 시스템의 계층적 신뢰성 분석 방법을 제안한다. 4장에서는 임의로 대상 전투 시스템을 설정하여 제안하는 방법의 유용성을 검증하고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1. FTA 기법

FTA 기법은 1961년 미국의 벨(Bell) 전화 연구소에서 시스템 안전성을 평가하기 위해 처음 사용하였다. FTA 기법은 FT(Fault Tree)로 시스템의 고장 원인을 탐색해 나감으로써, 고장 원인이 무엇인가를 알아내는 해석기법이다. FTA의 절차는 일반적으로 다음과 같다. 먼저, 고장을 정의하고 이에 대한 정보를 수집한다. 수집된 정보를 활용하여 고장과 인과 관계를 가지는 사상(event)에 대하여 FT를 구성한다. 정성적, 정량적 분석을 진행하고 분석 결과를 이용하여 안전성을 검토하여 개선안을 작성한다[6,7].

FTA에서 FT는 사상과 게이트(gate)로 구성된다. 사상은 정상사상(top event) 및 중간사상(intermediate event)과 기본사상(basic event)으로 나뉜다[7]. 정상사상은 고장을 나타내며 기본사상은 더 이상 전개될 수 없는 기본적인 사건을 나타낸다. 중간사상은 정상사상과 기본사상의 중간에 전개되는 사상이다. 게이트는 사상의 관계에 따라 AND 게이트와 OR 게이트로 나뉜다. AND 게이트는 모든 입력 사건이 동시에 일어날 때만 출력 사건이 발생하며, OR 게이트는 입력사건 가운데 적어도 1개가 일어날 때 출력 사건이 발생한다.

FTA 기법은 요소 고장이 독립적으로 발생하는 경우 사용할 수 있으며, 고장의 시간적인 순서는 고려하지 않는다. 제안하는 전투 시스템의 신뢰성 분석에 있어서 다양한 위협은 독립적으로 발생하며 발생순서는 고려하지 않는다. 따라서 계산과 게이트 선택을 간단하게 할 수 있는 FTA 기법을 이용하며, 이를 통해 위협에 의한 구성 요소의 고장 확률을 분석한다.

2.2. BBN

BBN은 베이지안 네트워크(Bayesian Network), 믿음 네트워크(Belief Network) 등과 같은 의미로 사용되며, 확률론적 추론에 대한 기법이다. BBN은 모든 불확실성을 0과 1 사이의 확률로 추정하여 표현할 수 있다는 베이지안에서 파생되었다. BBN은 베이지 규칙을 이용하여 관계에 대한 확률을 계산한다[8].

BBN의 표현은 영향 다이어그램(influence diagram)을 이용하며 노드(node)와 호(arc)로 구분된다. 노드는 확률 변수를 나타내며 각 노드간의 관계를 호로 표현한다. BBN은 수렴형(converging), 발산형(diverging), 혼합형(hybrid) 그리고 연속형(serial)의 4가지 기본적인 구조를 가진다. 이러한 구조로 모든 노드의 영향 관계를 표현할 수 있으며 각 노드간의 관계에 따라 식으로 표현하여 정량적으로 분석한다[5,9].

BBN의 분석 과정에서 특정 시스템 X의 확률 변수에 대한 결합 분포(joint distribution)는 식 (2)와 같다. X_1, \dots, X_n 는 X의 확률 변수를 나타내며, $parent(X_i)$ 는 X_i 에 영향을 주는 부모 노드를 나타낸다[10].

$$P(X_1, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | parent(X_i)) \quad (2)$$

식 (2)를 계산하기 위하여 BBN의 노드에 대하여 CPT(Conditional Probability Table)를 만든다. CPT는 각 노드의 조건부 확률을 나타낸다.

BBN을 이용하면 구성 요소의 종속적인 관계를 모두 표현할 수 있으며, 이를 고려한 정량적인 분석이 가능하다. 이에 BBN을 이용하여 전투 시스템의 기능과 관련된 구성 요소간의 종속적인 관계를 표현하고 전투 시스템의 기능의 상실 확률을 분석한다.

III. 계층적 신뢰성 분석 방법

3.1. 계층적 신뢰성 분석 과정

그림 1은 제안하는 방법의 분석 과정이다. 먼저, 분석할 대상 시스템을 정의하며 대상 시스템의 기능 중 분석할 기능을 선택한다. 대상 시스템에 대한 정보를 활용하여 FTA와 BBN을 구성하며 FTA를 하여 구성 요소의 고장 확률을 도출한다. 이를 이용하여 BBN을 분석하여 기능의 상실 확률을 도출하고 신뢰성을 분석한다[11].

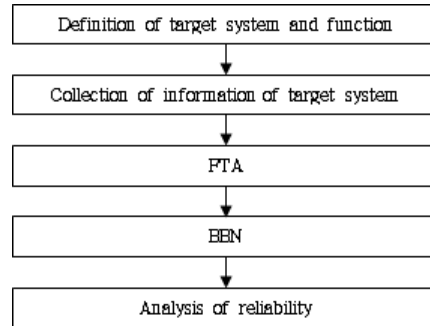


Fig. 1 Flow chart of the proposed method

그림 2는 제안하는 방법에 대한 개념도이다. 구성 요소에 대한 위협 간의 특징, 기능과 관련된 구성 요소 간의 관계를 파악하여 이에 따른 분석 기법을 이용하기 위하여 하위, 상위 계층으로 나눈다. 하위 계층에서는 FTA 기법을 이용하여 다양한 위협으로 인한 전투 시스템의 구성 요소의 고장 확률 분석을 진행하며 하위 계층에서 도출된 결과를 이용하여 상위 계층에서는 BBN을 이용한 기능의 상실 확률을 분석한다[11].

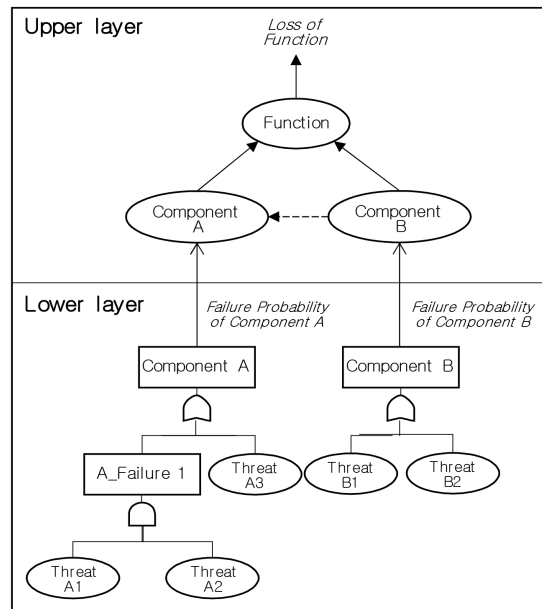


Fig. 2 The proposed hierarchical reliability analysis of combat system

3.2. 하위 계층 : 구성 요소의 고장 확률 분석

제안하는 하위 계층에서 FT의 작성은 그림 3과 같다. 정상사상은 전투 시스템의 특정 구성 요소의 고장이며 중간사상은 구성 요소의 고장 원인이다. 기본사상은 구성 요소 또는 구성 요소의 고장 원인에 영향을 주는 위협이다. 구성 요소의 고장, 고장 원인, 위협의 관계들에 따라 게이트를 설정한다. FT에 구성 요소와 관련된 위협(기본사상)이 모두 배치될 때까지 반복한다.

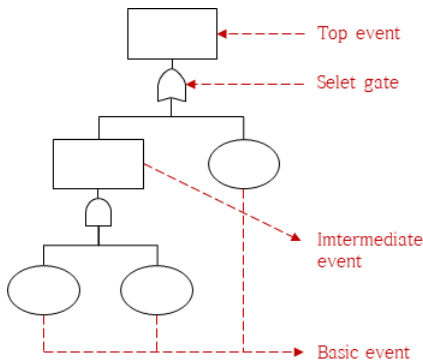


Fig. 3 construction of fault tree

게이트는 논리 게이트로 표현되며 각 게이트에 대한 계산식은 식 (3)과 같다. P_{CF} 는 구성 요소의 고장 확률이며 P_T 는 위협 i 에 의한 구성 요소의 고장 확률을 의미한다.

$$AND \ gate \Rightarrow P_{CF} = \prod_{i=1}^n P_{T_i} \quad (3)$$

$$OR \ gate \Rightarrow P_{CF} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{T_i})$$

그림 4는 임의로 FT를 구성하고 위협에 의한 고장 확률을 부여한 예시이다. Com1은 분석할 구성 요소의 고장이며 Com_F1은 구성 요소 Com1의 고장 원인을 나타낸다. Com1_F1은 위협인 T1과 T2가 모두 발생할 때, 고장이라는 가정하에 AND 게이트로 표현되고 Com_F1과 위협 T3가 개별적으로 Com1의 고장에 영향을 미칠 경우, OR 게이트로 표현된다. 식 (3)을 이용하여 계산하면, Com1_F1의 고장 확률은 '0.8(위협 T1에 의한 고장 확률) × 0.4(위협 T2에 의한 고장 확률) = 0.32'이다. 구성 요소 Com1의 고장 확률은 '1 - ((1 - 0.32(Com_F1의 고장 확률)) × (1 - 0.3(위협 T3에 의한 고장 확률))) = 0.52'이다.

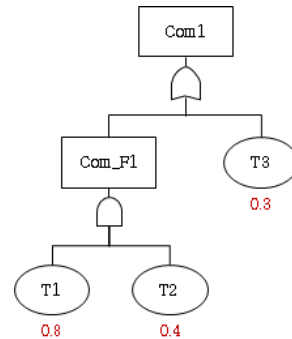


Fig. 4 Example of FT

3.3. 상위 계층 : 기능의 상실 확률 분석

제안하는 상위 계층에서 BBN의 표현은 그림 5와 같다. 노드는 전투 시스템의 구성 요소 및 기능을 나타내며 호는 노드간의 영향 관계를 표현한다. 목적 노드(goal node)는 분석할 기능 노드를 의미하며 구성된 BBN을 통해 목적 노드의 확률을 분석한다.

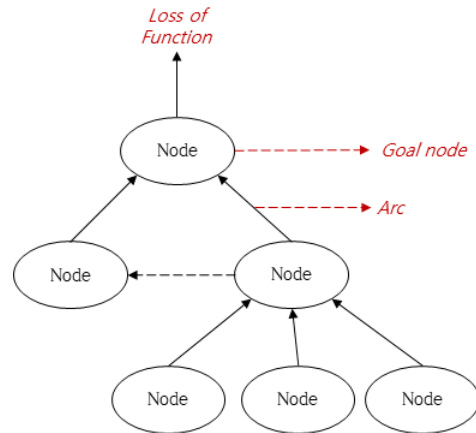


Fig. 5 construction of BBN

노드는 영향 관계에 따라 명칭이 달라지는 데 영향을 받는 경우 자식 노드, 영향을 주는 경우 부모 노드라고 칭한다. 호는 실선 화살표와 점선 화살표로 구분되는데 부모 노드와 자식 노드 사이에 다른 노드가 존재할 경우 또는 영향 관계의 두 노드가 같은 자식을 가질 때, 점선 화살표로 표현하고 나머지 경우는 실선 화살표로 표현한다.

전투 시스템의 기능에 대하여 BBN에 대한 분석은 식

(4)와 같다. FL 은 기능의 상실을 의미하며 T 는 True로 구성 요소의 고장을 나타낸다. C 는 구성 요소 i 의 고장 확률을 나타낸다.

$$P(FL = T) = \sum_{C_1, \dots, C_n \in T, F} P(FL = T, C_1, \dots, C_n) \quad (4)$$

결합 확률로 표현된 $P(FL=T, C_1, \dots, C_n)$ 은 각 노드의 확률의 곱으로 표현되며 각 노드의 확률은 영향 관계에 따라 조건부 확률로 표현된다.

BBN을 분석하기 위하여 하위 계층에서 분석한 위협에 따른 전투 시스템의 구성 요소별 고장 확률을 이용한다. 구성 요소의 고장 확률과 부모 노드가 자식 노드에 게 영향을 주는 조건부 확률을 각각 CPT로 작성한다. BBN 구조와 BBN 수식을 이용하여 분석을 위한 식을 작성하고 구성 요소별 CPT를 이용하여 기능의 상실 확률을 분석한다.

IV. 제안하는 방법을 이용한 신뢰성 분석

4.1. 대상 시스템 및 위협 선정

본 논문에서는 제안하는 방법의 효용성을 검증하기 위하여 임의의 전투 시스템과 위협을 선정하여 분석한다. 전투 시스템의 구성 요소 간의 종속적인 관계에 따라 신뢰성 분석 결과의 변화를 보이기 위하여 구성 요소의 종속적인 관계를 다르게 설정한 두 가지 경우에 대하여 각각 신뢰성을 분석한다. 임의의 전투 시스템에 대하여 분석할 기능을 F1이라고 정의하고 전투 시스템의 구성 요소 중 F1과 관련된 구성 요소를 A, B, C로 정의한다.

각 위협에 의한 구성 요소의 고장 확률을 표 1과 같이 임의의 값을 선정하여 부여하였다. A의 고장에 영향을 주는 위협을 T1, T2, T3로 정의하였고 B의 고장에 영향을 주는 위협은 T1으로 정의하였다. 또한, C의 고장에 영향을 주는 위협은 T1, T2로 정의하였다.

Table. 1 Failure probability of components by threat on the front

Component	Threat	Probability
A	T1	0.5
	T2	0.3
	T3	0.3
B	T1	0.1
C	T1	0.5
	T2	0.5

4.2. 신뢰성 분석

(1) 하위 계층 : 구성 요소의 고장 확률 분석

그림 6은 구성 요소 A, B, C에 대한 FT이다. A의 고장에 영향을 주는 위협 T1, T2가 모두 발생하여야 A의 고장 원인 A_F1이 발생하고, 고장 원인 A_F1과 위협 T3가 개별적으로 A에 영향을 준다. B는 위협 T1에 의해 고장이 발생하고, C는 위협 T1, T2가 개별적으로 영향을 준다.

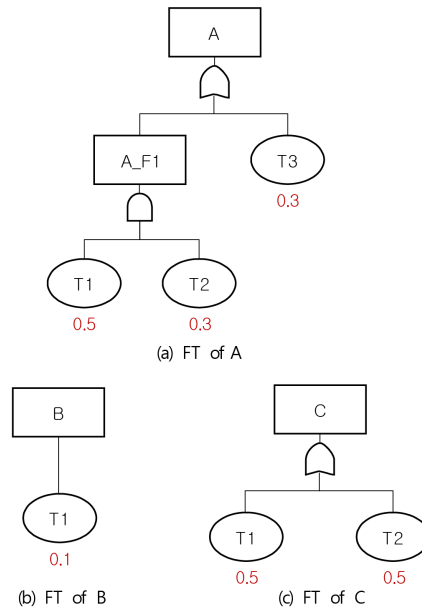


Fig. 6 FT of components(A, B, C)

식 (3)을 이용하여 위협에 의한 구성 요소의 고장 확률을 계산하면 표 2와 같다.

Table. 2 Failure probability of components(A, B, C)

Component	Failure probability
A	0.41
B	0.1
C	0.75

(2) 상위 계층 : 기능의 상실 확률 분석

상위 계층에서는 전투 시스템을 구성하는 구성 요소의 종속적인 영향에 의한 신뢰성을 비교 분석하기 위하여 두 가지 경우로 나누어 진행하였다. 첫 번째 경우는 구성 요소 A, B, C의 고장이 독립적인 경우이고, 두 번째 경우는 구성 요소 A, B, C의 고장이 종속적인 경우이다. 그림 7은 구성 요소 A, B, C의 고장이 독립적인 경우에 대한 BBN이며 그림 8은 A가 B, C에 의해 영향을 받는 경우의 BBN이다.

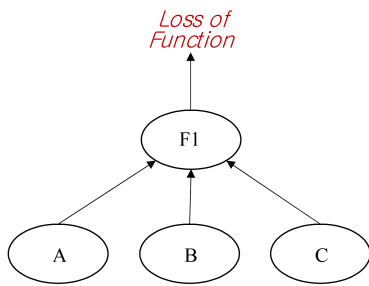


Fig. 7 BBN of components(A, B, C)

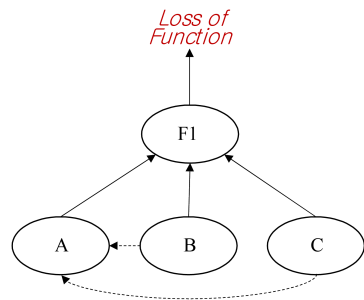


Fig. 8 BBN of components(A, B, C) including the dependent between A, B, C

노드 A의 경우, B, C의 영향을 받지 않는 경우와 영향을 받지 경우에 따라 CPT가 달라진다. 그림 9는 각각의 경우에 대한 A의 CPT이다. 그림 9 (a)와 같이 A, B, C의 고장이 독립적일 경우의 A의 고장 확률은 표 2의 구성 요소 A의 고장 확률로서 0.41이며, 종속적일 경우 그림

9 (b)와 같이 A의 고장 확률은 B와 C가 정상일 때 0.41, B만 고장일 때 0.6, C만 고장일 때 0.6, B와 C가 모두 고장일 때 1로 종속성을 설정하였다.

A	
T	F
0.41	0.59

		A	
B	C	T	F
F	F	0.41	0.59
F	T	0.6	0.4
T	F	0.6	0.4
T	T	1	0

(a) independent between A, B, C (b) dependent between A, B, C

Fig. 9 CPT of node A

그림 10은 각각의 경우에 대한 노드 B, C, F1의 CPT이다. B의 고장 확률은 표 2의 구성 요소 B의 고장 확률로서 0.1이며, C의 고장 확률은 표 2의 고장 확률로서 0.75이다. F1에 대한 조건부 확률은 F1 CPT와 같이 임의로 설정하였다.

B	
T	F
0.1	0.9

		F1			
B	C	A	C	T	F
F	F	F	F	0	1
F	F	T	0.1	0.9	
F	T	F	0.1	0.9	
F	T	T	0.1	0.9	
T	F	F	0.5	0.5	
T	F	T	0.5	0.5	
T	T	F	0.5	0.5	
T	T	T	1	0	

Fig. 10 CPT of node B, C, F1

노드 A가 B, C와 독립적일 때의 계산 과정은 식 (5)와 같이 3장의 식 (4)를 이용한다. 결합 확률로 표현된 $P(FL=T,A,B,C)$ 는 2장의 식 (2)를 이용하며 F1의 상실 확률은 0.26이다. 또한, 종속적일 때의 계산 과정은 식 (6)과 같고 F1의 상실 확률은 0.33이다.

$$\begin{aligned}
 &P(F1 = T) \\
 &= \sum_{A, B, C \in T, F} P(F1 = T, A, B, C) \\
 &= \sum_{A, B, C \in T, F} P(F1|A, B, C)P(A)P(B)P(C) \quad (5) \\
 &= 0.00 + 0.04 + 0.00 + 0.00 + 0.05 \\
 &+ 0.14 + 0.01 + 0.02 = 0.26
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &P(F1 = T) \\
 &= \sum_{A, B, C \in T, F} P(F1 = T, A, B, C) \\
 &= \sum_{A, B, C \in T, F} P(F1|A, B, C)P(A|B, C)P(B)P(C) \quad (6) \\
 &= 0.00 + 0.03 + 0.00 + 0.00 + 0.05 \\
 &+ 0.20 + 0.01 + 0.04 = 0.33
 \end{aligned}$$

(3) 신뢰성 분석

노드 A가 B,C와 독립적일 때의 F1의 상실 확률은 0.26이며, 종속적일 때의 F1의 상실 확률은 0.33이다.

따라서 앞서 1장에서 제시한 식 (1)을 이용하여 다양한 위협을 고려한 F1의 상실에 의한 전투 시스템의 신뢰도를 계산하면 노드 A가 B,C와 독립적일 때, ‘1 - 0.26(F1의 상실 확률) = 0.74’이며 종속적일 때, ‘1 - 0.33(F1의 상실 확률) = 0.67’이다. 이를 통해 종속적일 때, 기능 F1에 대한 전투 시스템의 신뢰성이 낮아짐을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 다양한 위협을 동시에 고려하고 구성 요소의 종속적 관계를 고려할 수 있는 전투 시스템의 신뢰성 분석 방법을 제안하였다. 이를 위해 구성 요소간의 종속성을 표현하기 위해 BBN을 이용하며 다양한 위협에 따른 고장을 분석하기 위해 FTA 기법을 이용하였다. 위협에 대한 구성 요소의 고장 확률 정보를 BBN에서 이용하기 위하여 하위, 상위 계층으로 나누고 분석을 진행하였다. 하위 계층에서는 FTA 기법을 이용한 다양한 위협에 의한 구성 요소의 고장 확률을 도출하고, 상위 계층에서는 하위 계층에서 도출한 결과를 토대로 BBN을

이용한 기능의 상실 확률을 도출하여 신뢰성을 분석하였다. 사례 연구를 통하여 다양한 위협의 영향을 고려하고 전투 시스템의 구성 요소의 종속적인 관계에 따른 신뢰성 분석이 가능함을 확인하였다. 향후에는 신뢰성 분석의 정확도를 높이기 위하여 다양한 위협과 영향에 대한 연구가 진행되어야 하며, 전투 시스템의 구성 요소의 관계에 대한 연구가 필요하다. 또한, 실제 데이터를 활용하여 제안한 방법에 의해 구해진 전투시스템의 기능 상실 확률을 통한 신뢰성의 정량화 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper is based on the first author's M.S. thesis entitled the Two-Layer Approach Using FTA and BBN for Reliability Analysis of Combat Systems.

REFERENCE

[1] H. G. Hwang, “A Methodology for Integrated Reliability Analysis of Combat Systems,” Ph. D. dissertation, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 2016.

[2] J. Sakong, J. T. Kim, S. C. Woo, J. W. Park, J. H. Choi, J. S. Park, and T. W. Kim, “A Development of Unified Survivability Prediction Technology,” *The Korean Society of Mechanical Engineers Spring Conference*, pp. 277-278, 2017.

[3] H. G. Hwang, J. W. Kang, and J. S. Lee, “A Development of Component Vulnerability Analysis Program for Armored Fighting Vehicle using Criticality based on FMECA,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, issue 8, pp. 1973-1980, 2015.

[4] M. H. Nam, K. Park, W. S. Park, and C. Yoo, “The Vulnerability Assessment of Hydro-pneumatic Suspension of Ground Combat Vehicles Using Vulnerable Area Method and DMEA,” *International Journal of CAD/CAM*, vol. 22, issue 2, pp. 141-149, 2017.

[5] G. Kevorkian, “UAS Risk Analysis using Bayesian Belief Networks: An Application to the Virginia Tech ESPAARO,” Ph. D. dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, 2016.

- [6] H. Song, H. G. Park, and S. S. Go, "A Study on the Analysis of Accident Cause of Form Work Using FTA(Fault Tree Analysis) System," *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, vol. 22, issue 6, pp. 119-127, 2006.
- [7] J. H. Lim, Y. J. Choi, K. Y. Lee, Y. G. Jang, and N. Y. Lim, "A Study on Cause Analysis of Derailment Accident Using Failure Tree Analysis," *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, vol. 18, issue 2, pp. 19-26, 2018.
- [8] Luminoso, Fred. "Bayesian Belief Network Analysis of Legal Evidence," *Letter from the Editors-in-Chief*, 46, 2002.
- [9] J. S. Shin, "Cyber Security Evaluation for Nuclear I&C Systems Using Bayes' Theorem," Ph. D. dissertation, Kyung Hee University, Seoul, 2017.
- [10] M. Frigault, L. Wang, "Measuring Network Security Using Bayesian Network-Based Attack Graphs," *Annual IEEE International Computer Software and Applications Conference*, pp.698-703, 2008.
- [11] J. W. Kang, "A Methodology for Hierarchical Reliability Analysis of Combat Systems Using FTA and BBN," M. S. thesis, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 2019.



강지원(Ji-Won Kang)

2012년 ~ 2016년 : 한국해양대학교 IT공학부 컴퓨터정보공학전공
2019년 : 한국해양대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
※ 관심분야 : 모델링 및 시뮬레이션, 국방 M&S, 신뢰성 분석



이장세(Jang-Se Lee)

1997년 : 한국항공대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
1999년 : 한국항공대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
2003년 : 한국항공대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
2004년 ~ 2017 : 한국해양대학교 IT공학부 부교수
2017년 ~ 현재 : 한국해양대학교 해사IT공학부 부교수
※ 관심분야 : 컴퓨터보안, 지능시스템, 모델링 및 시뮬레이션