

任務隨行 經過에 따른 항공기 생존성 評價技法 研究

(A Study of the Evaluating Method for the Survivability of Aircraft during Mission Completion)

尹奉洙*

Aircraft survivability is determined by the susceptibility and the vulnerability. The aircraft susceptibility and vulnerability depend upon the hardware and software factors. Each of the hardware and software factors consisted of the qualitative and quantitative attributes varies according to the time of the mission. In order to establish the mathematical model to analyze and evaluate the aircraft survivability, qualitative factors have to be transformed into quantitative factors. Even if many researches has been conducted in analyzing the aircraft survivability up to now, the research in the area of dynamic concept analysis and conversion of qualitative factors into the quantitative factors has been insufficient.

This research enhances these insufficient area by developing a reliable aircraft survivability analysis method. The major areas of this research are as follows. First, a method for the conversion of the qualitative factors into the quantitative factors is developed by combining the Fuzzy Set Theory concept and the Delphi Technique. Second, by using the stochastic network diagram for the dynamic survivability analysis, the aircraft survivability and the probability of kill are calculated from the state probability for the situation during mission.

The advantage of the analysis technique developed in this research includes ease of use and flexibility. In other words, in any given aircraft's mission execution under any variable probability density function, the developed computer program is able to analyze and evaluate the aircraft survivability.

* 空軍士官學校 產業工學科 (航空宇宙科學 研究所 支援研究)

제 1 장 연구개요

제 1 절 연구배경 및 목적

항공기를 이용하여 적 군사목표를 공격하는 임무 계획을 수립할 때 어떤 종류의 항공기를 어느 정도 숙달된 조종사들로 몇 대의 편대군을 이루어 공격하여야 성공적으로 그 임무를 완수할 것인가 하는 것은 군사 전문가들에게 주어지는 중요한 문제이다. 군사 전문가는 주어진 임무를 성공적으로 수행하기 위한 임무계획을 수립하기 위하여 적에 대한 정확한 정보 수집과 그에 대응할 무기 및 그 운영자로 이루어진 임무체계를 종합적으로 분석 평가하여야 할 것이다. 이때 군사 전문가는 임무체계에 영향을 주는 여러 요소들, 즉 인간과 기계 자체, 그리고 사용되며 전술, 환경조건 등을 분석하되 각 요소들 간의 상호 작용을 동시에 고려하여 체계 효과를 분석 평가하여야 하며, 또한 체계 효과를 분석하되 주어진 특정 임무달성을 측정할 수 있는 임무효과와 동일한 개념에서 취급되어야만 할 것이다.

임무효과를 측정하기 위해서는 무기체계의 성능과 같은 구조적인 요소와 이러한 구조적 요소를 운영하는 비구조적 요소로 구성되어 있는 임무수행 체계를 분석하여야 할 것이다. 이때 구조적 요소는 임무수행 체계 내에서 이미 그 속성이 어느 정도 결정되는 것으로서 시간 경과에 따라 가변적이긴 하나 측정이 비구조적 요소에 의해 비교적 용이하다. 그러나 비구조적 요소를 계량화시켜 임무수행 체계에 적용시키는 데는 그 한계가 있었던 것이다. 지금까지 많은 연구자들이 비구조적 요소를 체계 효과 내지 임무효과에 적용하여 왔으나[2,3,5,9] 아직까지 계량화 부분이 미흡함으로써 부정확한 체계 효과 및 임무효과 분석이 될 수밖에 없었다. 따라서 본 연구에서는

임무수행 체계의 관련 요소를 계량화시키되 비구조적 요소는 퍼지/델파이 기법을 이용하여 객관화시킬 수 있도록 한다. 그리고 계량화된 데이터를 이용하여 임무경과에 따른 동적 항공기 생존성을 구하는 방법을 제시하고자 한다.

제 2 절 용어정리

1. 항공기 생존성

MIL-STD-721B에서는 “생존성이란 어떤 체계가 적대적인 인공환경을 견디어내고, 그의 지정된 임무를 달성하는데 필요한 능력에서 임무를 실패할 만큼의 손상을 입지 않을 정도에 대한 척도”라고 했으나 본 연구에서는 임무실행성 관점에서 항공기 생존성을 “항공기가 주어진 조건 하에서 주어진 임무를 수행할 때 주어진 시간에 그 임무를 수행할 수 없을 정도로 손상을 입지 않을 확률”로 보았다. 즉 주어진 조건이란 공격 항공기 자체의 특성과 적 무기체계의 특성(레이더, 공대공/지대공 무기체계 등의 성능)인 구조적 요소와 인위적 환경(무기체계의 배치)과 자연적 환경(지형 및 기상 조건), 적지에 대한 정보 획득 능력 및 정확도, 조종사의 능력, 그리고 작전 운용기술 등 비구조적 요소로 볼 수 있다. 따라서 항공기 생존성 평가는 구조적 요소와 비구조적 요소에 의해 결정되며, 이는 항공기의 취약도(Vulnerability)와 위약도(Susceptibility)를 결정하는 요인이 된다. 항공기 생존성은 항공기 자체의 취약도와 적 위협에 대한 위약도 및 임무시간에 의해 결정되며 그 수학적 표현은 식 (1.1)과 같다[10].

$$P_{AS}(t) = 1 - P_K(t) \quad (1.1)$$

$$P_K(t) = P_H(t) \cdot P_{KH}(t)$$

여기서

$P_{AS}(t)$: 주어진 시간 t 에서의 항공기 생존 확률

$P_K(t)$: 주어진 시간 t 에서의 항공기 격추 확률

$P_H(t)$: 주어진 시간 t 에서의 항공기 위약도

$P_{KH}(t)$: 주어진 시간 t 에서의 항공기 취약도

항공기가 이러한 위협에 여러 번 조우되어 생존 확률은 식 (1.2)와 같다.

$$P_{AS}^{(n)}(t) = P_{AS}^{(1)}(t) \cdot P_{AS}^{(2)}(t) \cdot \dots \cdot P_{AS}^{(n)}(t) \quad (1.2)$$

여기서

$P_{AS}^{(i)}(t)$: 항공기가 주어진 시간에 i 번째 적 위협과 조우시 생존할 확률.

2. 취약도 (Vulnerability)

취약도란 적의 대응무기체계(공대공 또는 지대공 무기체계)에 의해 피격되어 이를 견디지 못할 조건 부 확률로서 적 위협과 조우시 공격 측면에서 항공 기 특성과 항공기 운영자의 능력에 의해 결정된다.

3. 위약도(Susceptibility)

위약도란 항공기가 임무를 수행하는 동안 적 위협에 의한 손상을 피하지 못할 확률로서 대응 측면에서 적 위협 능력에 의해 결정된다.

4. 임무경과 시간(Mission Duration Time)

항공기 생존성 정의에서 “주어진 시간”이란 항공기가 주어진 임무(목표물 공격 또는 적 공중침투시 공대공(空對空) 대응 임무 등)를 수행하는 과정에서 단계를 의미하며, 여기서 말하는 단계는 임무 준비 단계, 적지 침투단계, 목표물 공격단계, 귀환단계 등 크게 네 가지로 구분할 수 있다. 이러한 단계 구분

은 주요 사건별 또는 시간별로 구분할 수 있으며, 본 연구에서는 항공기 생존성을 단계별 즉 임무경과 시간에 따른 동적 개념에서 구하고자 한다.

5. 피격 확률(Probability of Kill)

침투단계, 공격단계 및 귀환단계에서 적의 대응 무기체계(공대공 및 지대공 무기체계)에 의하여 아군 항공기가 피격되어 임무를 포기하는 확률을 피격 확률이라고 하며, 이 확률은 항공기가 주어진 임무를 수행하는 과정에서 발생할 수 있으므로 임무경과 시간과 공격 항공기 및 적 대응 무기체계의 특성(구조적 요소)과 이를 운영하는 운영자의 능력 및 운영 환경(비구조적 요소)에 의해 결정되며, 통상 임무계획을 수립할 때 과거의 유사 임무수행 과정과 적 위협에 대한 정보 자료에 의해 추측할 수 있으며, 주어진 자료를 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 피격 확률을 구할 수 있다.

제 2 장 생존성 평가 모형 개발

항공기 생존성을 향상하기 위해서는 항공기의 취약도와 위약도를 감소시키는 방법이라 하겠다. 항공기 취약도 및 위약도를 감소시키기 위해서는 구조적 요소인 항공기 자체의 특성과 적 위협에 대응하기 위한 항공기 탑재 장비 및 무장의 성능을 향상시켜 적 위협을 무력화 내지 감소시켜야 하며, 아울러 비구조적 요소인 무기체계 운영자의 숙달능력과 정확한 정보의 획득 능력도 향상시켜야 한다. 따라서 임무수행 경과에 따른 항공기 생존성을 동적으로 분석하기 위해서는 취약도와 위약도의 구조적 및 비구조적 요소를 임무경과 시간에 따라 분석함으로써 구할 수가 있다.

제 1절 생존성 관련 요소 평가

항공기 생존성 관련 요소는 그림 (2-1)과 같이 공격 항공기의 취약도와 적 위협에 의한 위약도로 대별할 수 있다. 취약도와 위약도는 공격 항공기와 적 위협 장비의 특성과 같은 무기체계 자체의 성능인 구조적 요소와 이 구조적 요소의 운영에 영향을 주는 인적 및 자연적 환경인 비구조적 요소, 그리고 임무경과 시간에 의해 결정되어진다. 특히 이 비구조적 요소는 구조적 요소에 많은 영향을 끼치게 되므로 생존성 평가 모델에서 무시할 수 없다.

1. 취약도(Vulnerability) 평가

취약도를 평가하기 위해 대부분의 학자들은 구조적 요소(항공기 및 적 위협 대응 탑재 장비 특성)만을 고려하였으며 이를 운영하는 비구조적 요소인 운영자 요인은 고려하지 않았다[4,8,10]. 본 연구에서는 항공기 취약도를 식 (2.1)로 평가하되 구조적 요소인 항공기 적 위협 대응 탑재 장비의 특성은 기존 연구된 방법을 이용하고[10], 비구조적 요소인 조작자의

능력은 2장 2절의 비구조적 요소의 계량화 방법에의거 산출하기로 한다. 그럼 (2-1)에 의하면 항공기 전체의 취약도는 그 하부 구성요소인 항공기 자체의 구조적 특성과 적 위협 대응 탑재 장비 성능 및 조종사의 능력 등의 조건부 확률에 의해 결정되며 식 (2.1)과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{KH} = (P_{KAC/H}) + (P_{KEC/H}) + (P_{KPC/H}) \quad (2.1)$$

여기서

P_{KH} : 항공기 전체 취약도

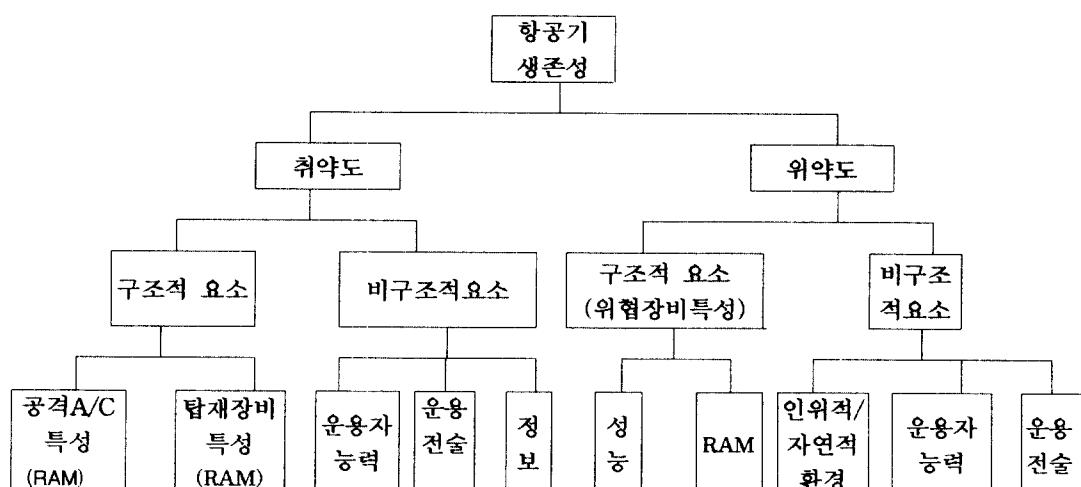
$P_{KAC/H}$: 항공기 자체의 특성에 의한 취약도

$P_{KEC/H}$: 항공기 탑재 장비 특성에 의한 취약도

$P_{KPC/H}$: 비구조적 요소(인적요소)에 의한 취약도

2. 위약도 (Susceptibility) 평가

위약도 평가를 위한 수학적 모형은 식 (2.2)와 같으며, 이는 구조적 요소인 적 위협장비의 특성과 비구조적 요소인 적 위협의 인위적인 환경(위협의 배치), 자연적인 환경(항공기의 침투 경로와 목표지역의 지형 및 기상) 및 위협장비 운영자의 능력이나



<그림 2-1> 항공기 생존성 분석 관련요소

숙련정도 그리고 운용기술 등의 조건부 확률에 의해 결정된다.

$$P_H = (P_{TC/H}) + (P_{AC/H}) + (P_{TE/H}) + P_{PC/H} \quad (2.2)$$

여기에서, $P_{TC/H}$ 는 적 위협 장비의 특성에 의한 위약도로 식 (2.2.1)과 같다.

$$\circ P_{TC/H} = (P_A) \cdot (P_{DT}) \cdot (P_{LGD}) \quad (2.2.1)$$

여기서

P_A : 적 위협 장비의 가능성도

P_{DT} : 위협이 A/C를 탐지, 식별, 추적할 확률

P_{LGD} : 위협물의 발사, 유도, 폭발 확률

여기서 P_{DT} 와 P_{LGD} 는 설계 단계에서 얻을 수 있다.

◦ $P_{AC/H}$ 는 공격 항공기 특성에 의한 위약도로 식 (2.2.2)과 같다.

$$P_{AC/H} = (P_{AR/H}) + (P_{AS/H}) + (1 - P_{AE/H}) \quad (2.2.2)$$

여기서

$P_{AR/H}$: 항공기 노출정도에 의한 위약도

$P_{AS/H}$: 탐지 제공 신호에 의한 위약도

$P_{AE/H}$: 탑재 장비 성능에 의한 위약도 감소확률 등으로 조건부 확률이며 기존 연구 방법에서 그 값을 구할 수 있다.

◦ $P_{TE/H}$ 는 적 환경에 의한 위약도로 식 (2.2.3)과 같다.

$$P_{TE/H} = (P_{TL/H}) + (P_{TW/H}) + (1 - P_{FR/H}) + (1 - P_{FT/H}) \quad (2.2.3)$$

여기서

$P_{TL/H}$: 위협 배치의 적합성

$P_{TW/H}$: 적 지역 기상 조건의 적합성

$P_{FR/H}$: 침투 경로의 적합성

$P_{FT/H}$: 침투 전술의 적합성 등으로 조건부 확률이며, 주로 비구조적 요소이므로 계량화시켜야 한다.

◦ $P_{PC/H}$ 는 운영자 능력에 의한 위약도로 식 (2.2.4)와 같다.

$$P_{PC/H} = (P_{OP}) \cdot (P_{OR}) \cdot (1 - P_{CD}) \quad (2.2.4)$$

여기서

P_{OP} : 적 위협 작전 계획 수립의 적합도

P_{OR} : 적 위협의 근무자 평시 근무 상태

P_{CD} : 조종사의 위협 회피 숙련도이며,

이것도 역시 비구조적 요소이므로 계량화시켜 적용시켜야 한다.

제 2 절 비구조적 요소의 계량화

체계 분석 평가 모형을 수학적으로 표현하기 위해서는 체계에 영향을 주는 모든 구조적 요소와 비구조적 요소를 반드시 계량화시켜 주어야만 한다. 구조적 요소를 계량화하기 위해서는 확률적이거나 통계적으로 처리하고 있지만 비구조적 요소를 고전적인 방법으로 계량화시키는 데는 문제가 될 수 있다. 예를 들면, 조종사 능력과 적 위협 무기체계 운용자의 능력 및 적 지역의 자연적 환경 요건 등은 비구조적인 요소로서 고전적인 방법으로 계량화시키는 데는 한계가 있다. 본 연구에서는 항공기 생존성 평가를 모형화하기 위해서 L.A. Zadeh 교수에 의해 제기된 모호집합이론(FST: Fuzzy Set Theory)[6,7,11]과 Delphi 기법을 복합 적용하여 비구조적 요소를 아래와 같은 절차에 의해서 계량화시키도록 한다(그림 2-2 참조).

첫째, 비구조적 요소(정성적인 정보를 내포한 요소)에 대하여 전문지식을 가지고 있는 전문가들에게 그 요소가 시스템에 영향을 주는 긍정적(성공)인 면과 부정적인 면(실패)에 대하여 직관적인 평가를 의뢰한다. 이때 전문가들은 자신이 가지고 있는 지식

과 능력에 따라 비구조적 요소에 대한 주관적인 견해를 정성적으로 표현한다. 예를 들면, 그 질적 요소

가 시스템에 미치는 영향 정도를 상·중·하 또는 대·중·소로 평가 할 수 있다. (3단계 기본평가)

둘째, 전문가들은 그들의 주관에 의해 평가한 기본평가에 대해서 다시 세부 평가를 한다. 이때도 역

시 처음과 같이 3단계로 평가한다.(3단계 세부평가)

셋째, 첫 번째와 두 번째 평가된 내용을 체계

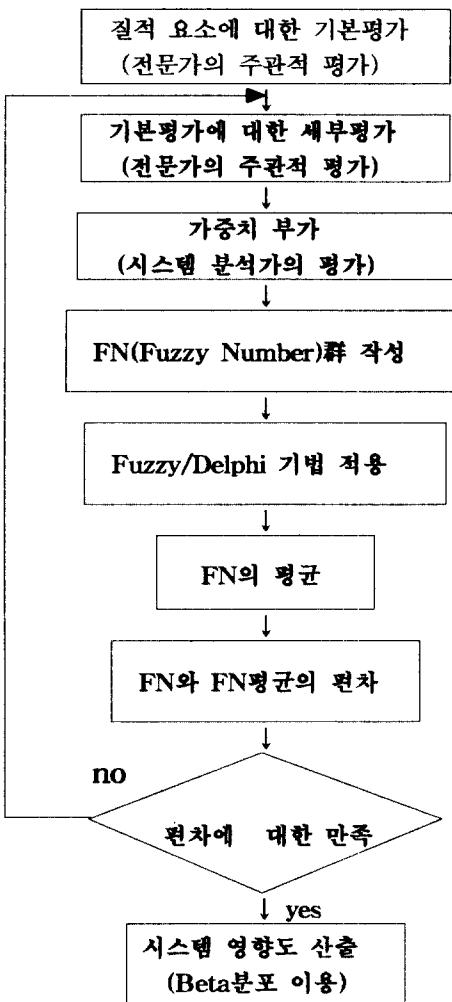


그림: 2-2: 질적 요소의 계량화 절차

분석가는 전문가의 기본평가와 세부평가를 표 (2-1)에 의거 1~9까지 가중치를 부과한다.

넷째, 체계 분석가는 부과된 가중치를 FN (Fuzzy Number) 군으로 작성한다.

다섯째, 작성된 FN군을 이용하여 Delphi 기법에 적용한다.

여섯째, Delphi기법에 의거 산출된 결과를 이용하여 비구조적 요소가 체계에 미치는 영향 정도를 Beta분포를 이용하여 구한다.

<표 2-1> 주관적 평가의 FN화 기준

구 분	주관적 평가								
	높다(H)			보통(M)			낮다(L)		
기본평가	H	M	L	H	M	L	H	M	L
세부평가	9	8	7	6	5	4	3	2	1
FN									

위 절차에 의거 전문가들의 주관적인 3단계 기본 및 세부 평가를 받아서 표 (2-1)의 기준치에 의거 FN(Fuzzy Number)群化 후 식 (2.3)에 의거 가중치 평균을 구한다.

$$\overline{P}_c = (\overline{FN}_a, \overline{FN}_b) \quad (2.3)$$

여기서,

\overline{P}_c : 비구조적 요소의 계량화된 값

$$\overline{FN}_a = (\sum_{i=1}^n FN_{a,i}) / n : \text{비구조적 요소의}$$

긍정적 평가 평균에 대한 가중치

$$\overline{FN}_b = (\sum_{i=1}^n FN_{b,i}) / n : \text{비구조적 요소의}$$

부정적 평가 평균에 대한 가중치

\overline{FN}_{ai} : 전문가 i에 의한 비구조적 요소의 긍정적 평가에 대한 가중치

\overline{FN}_{bi} : 전문가 i에 의한 비구조적 요소의 부정적 평가에 대한 가중치

n : 전문가의 수

각 전문가의 주관적 평가에 대한 가중치와 평균 가중치의 편차를 구한 후 그 편차의 정도를 시스템 평가(항공기 생존성 평가)에 적합하면 식 (2.4)를 이용하여 질적 요소의 계량화된 평가도를 구하고, 부적합하다고 판단되면 그 정보(편차)를 전문가들에게 다시 보내어, 그들의 주관적 재평가를 받아서 상기 절차를 반복한다.

$$\mu = \frac{B(\alpha+1, \beta)}{B(\alpha, \beta)} = \frac{\alpha}{(\alpha+\beta)} \quad (2.4)$$

(단, $\alpha = \overline{FN}_a$, $\beta = \overline{FN}_b$),

제 3 절 동적 생존성 평가 모형

어떤 임무가 주어진 실제 상황에서는 그 체계내의 각 구성요소들은 임무시간 경과에 따라 어떤 확률분포를 가지고 변한다. 본 연구에서는 변화 확률 분포가 어떤 분포가 되든지 간에 임무시간 경과에 따라 그 상태를 구할 수 있도록 STD(Stochastic Transition Diagram) 기법[1]을 활용하여 임무수행 경과에 따른 항공기 생존성을 구하기로 한다.

1. Stochastic Transition Diagram (STD)

본 연구에서 활용될 STD는 체계의 주요변화를 나타내는 상태 (State)와 상태에서 상태로 전이를 나타내는 분기(Branch)로 구성된다. STD는 주어진

시간 t에 체계의 변화를 확률로서 알고자 할 때 유용하게 쓰인다. 즉 분기는 어떤 상태에서 다른 상태로 전이할 전이 확률을 가지고 이동하고, 상태는 체계가 주어진 시간 t에 각 상태에 있을 확률로 표시될 수 있다.

가. 부호 설명

$P_i(t)$: 주어진 t에 체계가 상태(State) i에 있을 확률

$P_{ij}(\Delta t)$: 경과시간 Δt 동안 체계가 상태 i에서 상태 j로 이동할 전이확률로서

$$P_{ij}(\Delta t) = P_{ij}(t + \Delta t) - P_{ij}(t) \quad (2.5) \text{로}$$

표현될 수 있으며, 여기서, $P_{ij}(t)$ 는 구조적 요소의 성능(고장 확률이나 가용도 등)이나 비구조적 요소의 능력에 의해 결정되는 확률이다.

$P_{ii}(\Delta t)$: 경과 시간 Δt 동안 체계가 상태 i에서 자신의 상태 i로 이동할 전이 확률

나. 규칙

1) 전이 확률은 0과 1사이이다.

2) 어떤 상태에서 다른 모든 상태로 이동할 확률의 합은 1이다.

3) 주어진 t에서 상태 확률의 합은 1이다.

2. 평가 모형

다음과 같은 가상 시나리오에 대한 동적 항공기 생존성 평가를 STD를 이용하여 모형화하도록 하겠다. 비상대기 중인 항공기를 발진시켜 적지를 공격하고 귀환하는 작전 임무를 시간 단계별로 구분하여 보면, 비상이 발령되면 항공기는 엔진 시동을 완료하여 성공적으로 비상발진을 할 수도 있고, 시동 실패로 비상발진을 포기할 수도 있다. 그리고 항공기

가 비상발진을 하게되면 공격 임무를 성공적으로 수행할 수도 있고, 적의 대응세력에 의해 임무수행을 실패할 수도 있다. 이러한 가상 시나리오를 STD로 나타내면 그림 (2-2)와 같으며, 임무수행 경과를 상태(State)별로 구분하면 다음과 같다

S : 시작 상태(Trigger)

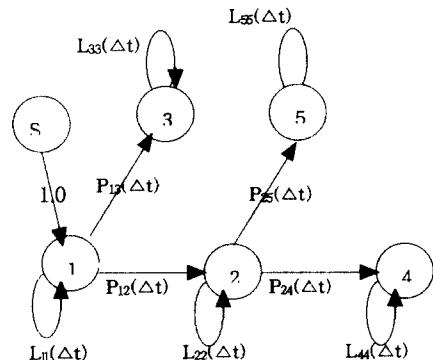
State 1 : 항공기 비상대기 상태

State 2 : 항공기의 발진 성공상태

State 3 : 시동 실패로 비상발진 포기 상태

State 4 : 공격임무 성공 상태

State 5 : 공격임무 실패 상태



<그림 2-2> 가상시나리오의 STD

상태와 상태간의 전이확률은 다음과 같다.

$P_{ii}(\Delta t)$: Δt 시간 동안 체계의 변화가 자신의 상태 i 에 머무를 전이확률($i = 1 \dots 5$)

$P_{12}(\Delta t)$: 항공기가 Δt 시간 동안 발진을 성공할 확률(항공기 가용도 및 조종사의 비상 대기도에 의존)

$P_{13}(\Delta t)$: 항공기가 Δt 시간 동안 시동을 실패할 확률(항공기의 고장 확률에 의존)

$P_{24}(\Delta t)$: 발진 항공기가 Δt 시간 동안 임무를

성공할 확률(공격 항공기의 특성(항공기 및 탑재장비 가동률), 조종사의 능력, 대응무기 체계의 고장률 및 운영자의 미숙련도에 의존)

$P_{25}(\Delta t)$: 공격 항공기가 Δt 시간 동안 임무를 실패할 확률(대응 무기체계의 가동률 및 운영자의 능력, 공격항공기 및 탑재장비의 고장률, 조종사의 미숙련도에 의존)

여기서 Δt 는 매우 작은 시간 간격이며, 상태 (State)별 확률 $P_i(t)$ 는 주어진 시간 t 에 항공기가 상태 i 에 있을 확률이다.

그림 (2-2)에서 $t + \Delta t$ 시간에 체계의 변화를 살펴보면, 체계가 $t + \Delta t$ 시간에 상태 1에 있을 확률은 체계가 t 시간에 상태 1에 있다가 Δt 시간 동안 전이가 없을 확률로서 그 수학적 표현은 식 (2.6)과 같다

$$P_1(t + \Delta t) = P_{11}(\Delta t) P_1(t) \quad (2.6)$$

체계가 $t + \Delta t$ 시간에 상태 2에 있을 확률은 체계가 t 시간에 상태 1에 있다가 Δt 시간 동안 상태 2로 전이될 확률과 체계가 t 시간에 상태 2에 있다가 Δt 시간 동안 전이가 없을 확률로서 수학적 모형은 식 (2.7)과 같으며,

$$P_2(t + \Delta t) = P_{12}(\Delta t) P_1(t) + P_{22}(\Delta t) P_2(t) \quad (2.7)$$

이와 같은 절차를 계속하면 아래 식과 같다.

$$P_3(t + \Delta t) = P_{13}(\Delta t) P_1(t) + P_{33}(\Delta t) P_3(t) \quad (2.8)$$

$$P_4(t + \Delta t) = P_{24}(\Delta t) P_2(t) + P_{44}(\Delta t) P_4(t)$$

$$P_5(t + \Delta t) = P_{25}(\Delta t) P_2(t) + P_{55}(\Delta t) P_5(t)$$

식 (2.6), 식 (2.7) 및 식 (2.8)을 합치고 그림 (2-2)에 의거 행렬형태로 표현하면 식 (2.9)와 같으며 열

(Column)의 합은 1이 되어야 한다. 식 (2.9)는 그림 (2-2)의 STD에서 직접 수식화할 수 있으며, 대각선의 요소는 상태 자신으로 회귀할 전이 확률이다. 식 (2.9)의 해는 체계의 초기조건, 즉 $t=0$ 일 때의 각 상태의 확률과 전이확률을 분포만 알면 본 연구에서 개발된 컴퓨터 프로그램을 이용하여 풀 수 있다. $t=0$ 인 초기일 때 체계는 항상 상태 1(비상 대기상태)에 있으므로 $P_1(t=0)=1.0$ 이외의 모든 상태에 있을 확률 $P_i(t=0)=0.0$ 이다. 물론 이 초기 조건을 변화시켜 체계의 조건을 주어서 응용할 수 있다는 것이 본 모형의 장점 중에 하나이다. 그리고 전이확률을 분포는 과거의 자료나 정보수집 활동을 이용하여 얻을 수 있다고 본 연구에서는 가정하였으며, 식 (2.5)에 의거 구해진 전이 확률과 체계의 초기조건을 식 (2.9)에 대입하여 시간 변화에 따른 체계 내의 각 상태 확률, 즉 임무수행 경과에 따른 항공기의 생존 확률 및 피격 확률을 구할 수가 있다.

$$\begin{pmatrix} P_1(t+\Delta t) \\ P_2(t+\Delta t) \\ P_3(t+\Delta t) \\ P_4(t+\Delta t) \\ P_5(t+\Delta t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{11}(\Delta t) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{21}(\Delta t) & P_{22}(\Delta t) & 0 & 0 & 0 \\ P_{31}(\Delta t) & 0 & P_{33}(\Delta t) & 0 & 0 \\ 0 & P_{42}(\Delta t) & 0 & P_{44}(\Delta t) & 0 \\ 0 & P_{52}(\Delta t) & 0 & 0 & P_{55}(\Delta t) \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ P_3(t) \\ P_4(t) \\ P_5(t) \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

제3장 평가모형의 적용

본 장에서는 2장에서 개발된 임무 경과 시간에 따른 시간 의존적인 동적 항공기 생존성 평가 모형을 가상 시나리오에 적용토록 하겠다.

제 1절 가상 시나리오

적 위협 대응장비를 탑재한 비상대기 항공기가

약 100 NM 떨어진 적 지역의 어떤 군사 목표물을 공격하는 임무를 부여받았다고 가정하자. 정보에 의하면 적 지역까지 이동하는 도중에 적의 지상 레이더, 적의 자동화 대공포 및 SAM기지가 아군 항공기에 위협을 주고 있으며, 지상 레이더에 의해 포착되었을 시 이들이 작전을 개시하며 아울러 적기의 출동으로 교전을 불사하여야 한다고 한다. 그리고 목표 지역에서도 역시 대공포 기지가 있어 공격시에 위협을 내포하고 있으며, 적 지역의 기상이나 항로상의 기상은 매우 양호하여 작전에 영향을 주지 않고, 목표 지역에서의 지형도 공격에 영향을 주지 않는다고 한다. 군사전문가인 작전 장교는 임무 경과 시간에 따른 항공기의 생존성 및 피격확률을 알고자 한다. 항공기 생존성 및 피격확률 평가를 수행함에 있어 아래와 같은 가정을 두기로 한다.

1. 구조적 구성요소의 확률분포

가. 공격항공기의 특성 분포

(1) 구조적 특성에 의한 취약도

$$P_{AAC}(t) = 0.173 \text{인 균등분포}$$

(2) 구조적 특성에 의한 위약도

$$P_{H/AAC}(t) = 0.250 \text{인 균등분포}$$

(3) 공격항공기 고장은

$$\text{고장률} (\lambda_A) = 0.0002/\text{분인 지수분포}$$

(4) 공격항공기 수리는

$$\text{수리율} (\mu_A) = 0.0002/\text{분인 지수분포}$$

(5) 공격항공기 가용도 ($A_A(t)$) =

$$\frac{\mu_A}{\mu_A + \lambda_A} + \frac{\lambda_A}{\mu_A + \lambda_A} e^{-(\mu_A + \lambda_A)t}$$

나. 적 위협 대응 장비의 특성 분포

(1) ECM 장비 고장은

고장률(λ_E)=0.002/분인 지수분포

(2) ECM 장비 수리는

수리율(μ_E)=0.002/분인 지수분포

(3) 가용도($A_E(t)$) =

$$\frac{\mu_E}{\mu_E + \lambda_E} + \frac{\lambda_E}{\mu_E + \lambda_E} e^{-(\mu_E + \lambda_E)t}$$

다. 적 위협장비의 특성분포

(1) 지상 Radar의 고장은

고장률(λ_R)=0.002/분인 지수분포

(2) 지상 Radar의 수리는

수리율(μ_R)=0.002/분인 지수분포

(3) 지상 Radar의 가용도($A_R(t)$) =

$$\frac{\mu_R}{\mu_R + \lambda_R} + \frac{\lambda_R}{\mu_R + \lambda_R} e^{-(\mu_R + \lambda_R)t}$$

(4) 적 항공기 고장은

고장률(λ_{EA})=0.0002/분인 지수분포

(5) 적 항공기 수리는

수리율(μ_{EA})= 0.0002/분인 지수분포

(6) 적 항공기 가용도($A_{EA}(t)$) =

$$\frac{\mu_{EA}}{\mu_{EA} + \lambda_{EA}} + \frac{\lambda_{EA}}{\mu_{EA} + \lambda_{EA}} e^{-(\mu_{EA} + \lambda_{EA})t}$$

(7) 적 AAA의 고장은

고장률(λ_{AA})= 0.002/분인 지수분포

(8) 적 AAA의 수리는

고장률(μ_{AA})= 0.002/분인 지수분포

(9) 적 AAA의 가용도($A_{AA}(t)$) =

$$\frac{\mu_{AA}}{\mu_{AA} + \lambda_{AA}} + \frac{\lambda_{AA}}{\mu_{AA} + \lambda_{AA}} e^{-(\mu_{AA} + \lambda_{AA})t}$$

(10) 적 SAM의 고장은

고장률(λ_s) = 0.002/분인 지수분포

(11) 적 SAM의 수리는

고장률(μ_s) = 0.002/분인 지수분포

(12) 적 SAM의 가용도($A_s(t)$) =

$$\frac{\mu_s}{\mu_s + \lambda_s} + \frac{\lambda_s}{\mu_s + \lambda_s} e^{-(\mu_s + \lambda_s)t}$$

2. 비구조적 구성요소의 확률분포

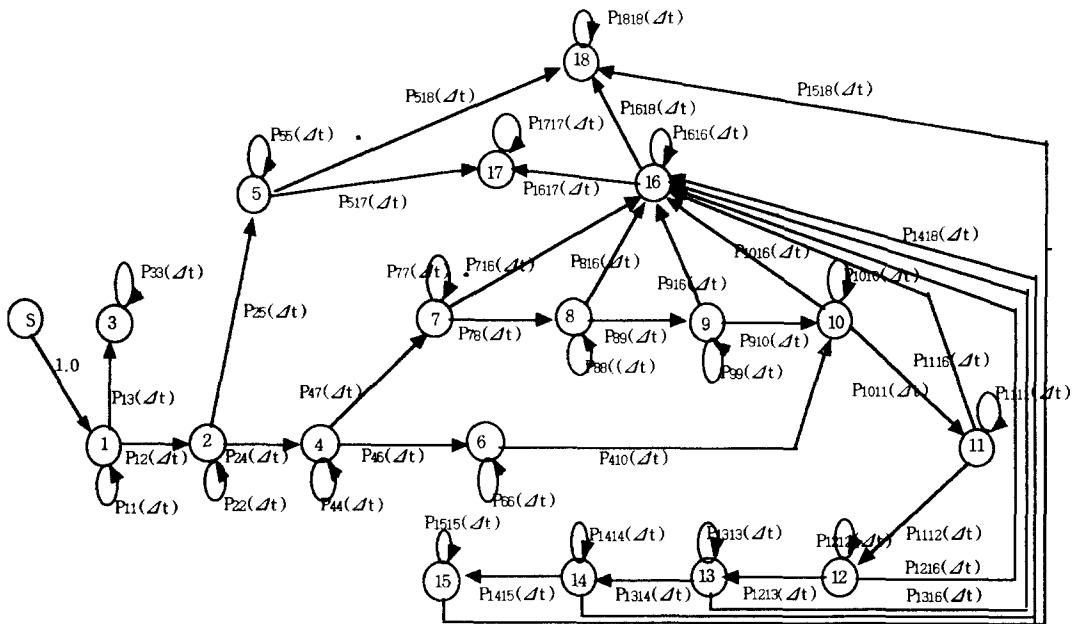
비구조적 구성요소가 체계에 미치는 영향은 Fuzzy/Delphi 기법에 의거 산출하며, 아래와 같은 베타분포[β eta(α_1, α_2)]를 따른다고 가정한다.

- 가. 공격 조종사 비상대기 태세 ~ β eta(9.0, 1.0)
- 나. 공격 항공기 조종사 비행능력 ~ β eta(9.0, 1.3)
- 다. 적기 조종사 공중 전투능력 ~ β eta(8.4, 1.7)
- 라. 공격 항공기 성능 ~ β eta(8.0, 1.3)
- 마. 적기 성능 ~ β eta(8.0, 1.3)
- 바. 적 Radar 근무자 준비태세 ~ β eta(8.7, 1.0)
- 사. 적 AAA 사수 준비태세 ~ β eta(8.7, 1.0)
- 아. 적 SAM 운영자 준비태세 ~ β eta(8.7, 1.0)

제2절 항공기 생존성 평가분석

전 절의 가상 시나리오를 주요 사건별로 분류하여 상태(state)화시키고, 식 (2.5)에 의거한 전이 확률을 이용하여 임무시간에 따른 항공기 생존성 분석을 위한 STD는 그림 (3-1)과 같으며, 임무수행 경과를 상태별로 구분하면 다음과 같다.

- 상태1 [P₁(t)]: A/C 비상대기
- 상태2 [P₂(t)]: Scramble 후 A/C시동성공
- 상태3 [P₃(t)]: Scramble 후 A/C시동실패
- 상태4 [P₄(t)]: A/C 이륙/상승/수평비행 성공
- 상태5 [P₅(t)]: A/C 고장으로 이륙/상승/수평비행 실패



<그림 3-1> 임무경과시간에 따른 항공기 생존성 분석을 위한 STD화

- 상태6[P₆(t)]: 적의 GCI/EW에 미 발견
- 상태7[P₇(t)]: 적의 GCI/EW에 발견
- 상태8[P₈(t)]: 적의 AAA 지역 통과
- 상태9[P₉(t)]: 적의 SAM 지역 통과
- 상태10[P₁₀(t)]: 목표지역 도착
- 상태11[P₁₁(t)]: 목표물 공격 성공
- 상태12[P₁₂(t)]: 공격 후 목표지역 이탈
- 상태13[P₁₃(t)]: 귀환 중 적기와의 공중전에서 미피격
- 상태14[P₁₄(t)]: 귀환 중 적 SAM 지역 통과
- 상태15[P₁₅(t)]: 귀환 중 적 AAA 지역 통과
- 상태16[P₁₆(t)]: 공격항공기의 피격
- 상태17[P₁₇(t)]: 공격항공기가 격추
- 상태18[P₁₈(t)]: 공격항공기가 기지에 귀환

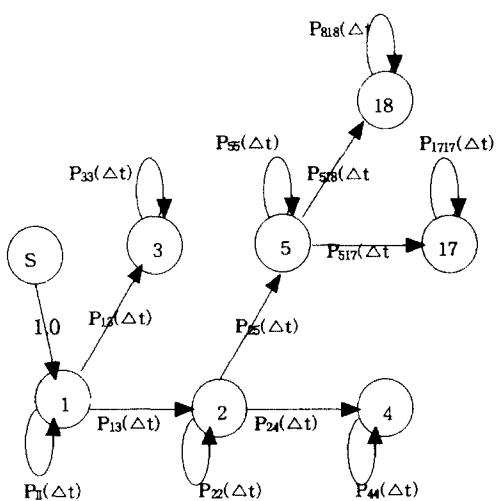
그림 (3-1)을 각 단계별로 분리하여 STD로 도식화

와 수식화한 후 컴퓨터 프로그램을 이용하여 임무경과에 따른 항공기 생존성/피격률을 구한 결과 다음과 같다

가. 임무 준비 단계

임무 준비 단계는 공격 항공기가 비상 출동 이후 수평비행 도달시까지를 의미하며, 이에 대한 STD는 그림 (3-2)와 같다.

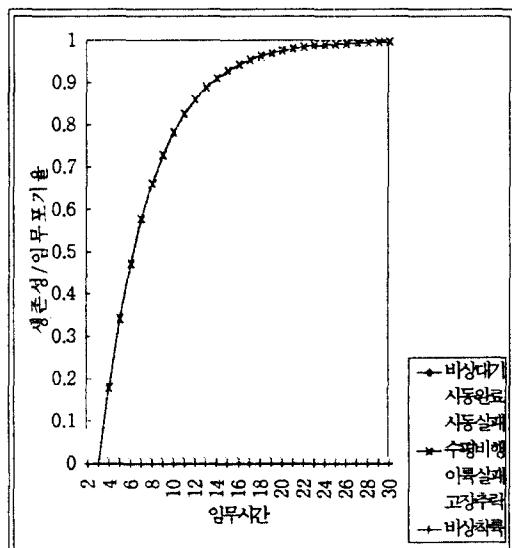
그리고, 비상 출동이후 30분간의 상황을 알아 보기 위해 컴퓨터를 이용하여 임무준비 단계를 시험한 결과 그림 (3-3)과 같으며, 그림에서 보는 바와 같이 비상 발령 후 3분내에 시동을 완료할 확률은 0.9 이상으로 나타났으며, 14분이 지나면 항공기는 거의 수평비행에 도달하게 된다. 그리고, 시간이 지남에 따라 항공기 고장에 의한 시동이 완료될 확률과 이륙 실패할 확률은 줄어드는 반면 수평비행에 도달할



- 상태 17 [$P_{17}(t)$]: A/C 고장으로 A/C 추락
- 상태 18 [$P_{18}(t)$]: A/C 고장으로 기지에 착륙

<그림 3-2> 임무준비 단계의 STD

확률은 14분까지는 급격히 증가하다가 14분 이후부터는 미세하게 증가한다. 이는 비상출동 항공기가

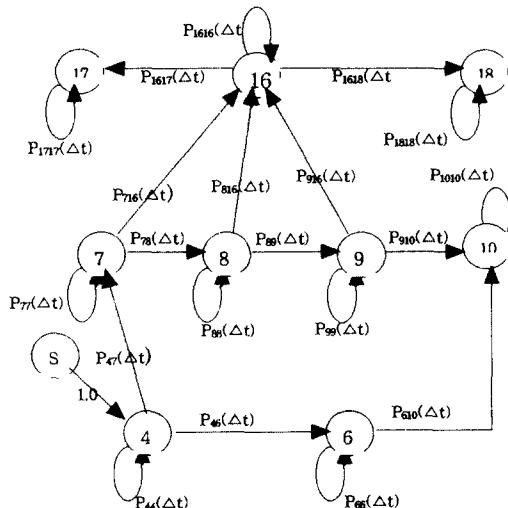


<그림 3-3> 임무준비 단계에서의 항공기 생존성 및 피격 확률

14분내에 거의 수평비행에 도달하여 임무준비 단계에서의 생존성은 아주 높고, 반면 항공기 고장에 의한 임무 포기율은 아주 적다는 것을 의미한다.

나. 침투단계

침투단계는 항공기가 수평비행에 도달한 후 적 지역을 통과하여 목표지역에 도달하기까지를 의미하며, 침투 단계의 STD는 그림 (3-4)와 같다.

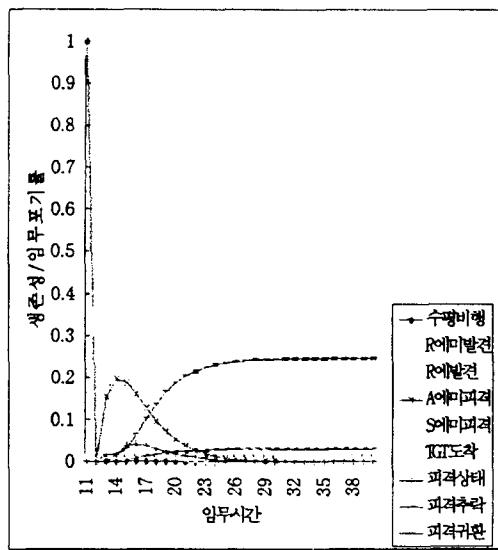


- 상태 16 [$P_{16}(t)$]: 저의 AAA/SAM/적기에 의해 피격
- 상태 17 [$P_{17}(t)$]: 침투 중 피격된 A/C 격추
- 상태 18 [$P_{18}(t)$]: 침투 중 피격된 A/C 기지귀환

<그림 3-4> 침투단계의 STD

침투 시간은 비상출동 후 10분부터 40분까지 30분간으로 가정하여 컴퓨터로 가상 침투시킨 결과 그림 (3-5)와 같은 결과를 얻었다.

그림에서 보는 바와 같이 공격 항공기는 수평비행 도달 후 2분 경에 적 레이더에 포착될 확률과 포착되지 않을 확률이 각각 0.47과 0.53으로 약간의 차이를 보이고 있다. 공격 항공기가 적 레이더에 포착되지 않을 확률이 약간 높은 이유는 적 레이더 고장이

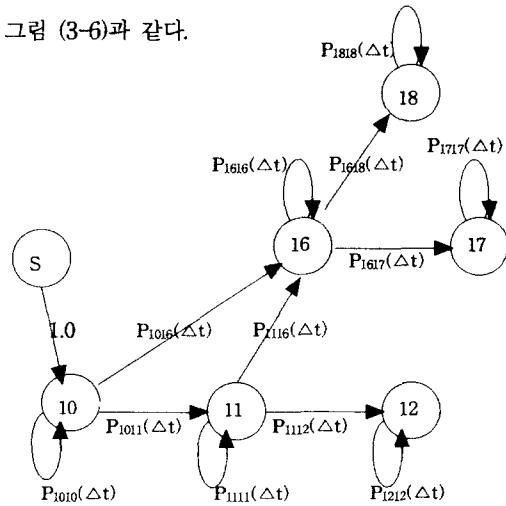


<그림 3-5> 침투단계에서의 항공기 생존성 및 피격확률

나 공격 항공기의 ECM 장비의 가동률에 의한 미포착될 확률이 적 레이더가 가동이 되고 이를 운영하는 근무자의 준비태세나 항공기 자체의 위약도 및 취약도에 의해 포착될 확률보다 크기 때문이라고 해석된다. 적 레이더에 미포착된 항공기는 목표 지역으로 적의 저항 없이 비행하고, 포착된 항공기는 적의 대공포나 SAM 그리고 적기에 의해 저항을 받으면서 목표 지역에 도달하거나 피격되는 것으로 가정하였다. 공격 항공기는 수평비행 15분 후에 0.7의 확률을 가지고 목표 지역에 도달하게 되며, 0.3의 확률로 피격되어 추락될 확률이 0.08, 모기지에 귀환하게 될 확률이 0.22로 나타났다. 이는 공격 항공기 조종사가 적 지역을 통과할 때 적의 대공포나 SAM을 회피하고 적기와의 공중전에서 우수하며, 또한 적의 레이더에 미포착되어 적의 방해를 받지 않고 목표 지역에 도달할 수 있는 기회가 있기 때문이라고 분석된다.

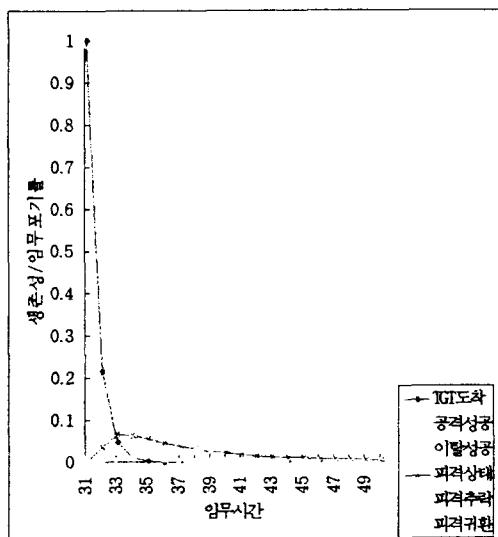
다. 공격단계

공격단계는 항공기가 적 지역을 통과하여 목표 지역에 도달한 후 목표물을 공격하고 목표 지역을 이탈하기까지로 가정하였으며, 공격단계의 STD는 그림 (3-6)과 같다.



- . 상태 16[P₁₆(t)] : 공격 중 피격
- . 상태 17[P₁₇(t)] : 공격 중 피격 격추
- . 상태 18[P₁₈(t)] : 피격 항공기 기지 귀환

<그림 3-6> 공격 단계의 STD

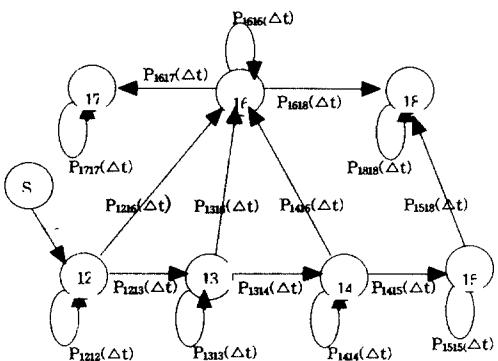


<그림 3-7> 공격단계에서의 항공기 생존성 및 피격확률

가상 공격 시간을 30분간으로 하여 컴퓨터로 시험한 결과 그림 (3-7)과 같으며, 공격 시작 4분에서 5분 후면 공격 후 목표 이탈 성공 확률이 0.9 이상으로 상당히 높다. 이는 공격 항공기의 성능이나 조종사의 능력이 목표 지역의 적 대공포 성능이나 운영요원의 능력보다 크다고 가정하였기 때문이라고 분석된다.

라. 귀환단계

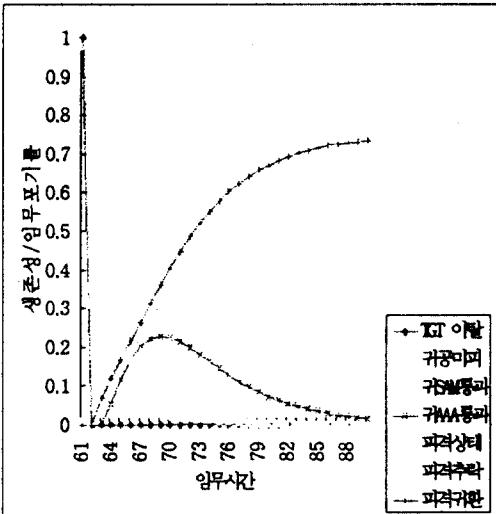
귀환단계는 공격 항공기가 목표 지역 공격을 완료한 후 목표 지역을 이탈하여 침투단계의 역순으로 모 기지에 귀환하는 단계로 가정하였으며, 귀환단계의 STD는 그림 (3-8)과 같다.



<그림 3-8> 귀환단계의 STD

귀환 시간을 목표지역 이탈 후 30분으로 가정하여 컴퓨터로 시험한 결과 그림 (3-9)와 같다. 그림에서 보는 것과 같이 공격 항공기가 기지에 귀환할 확률이 피격/추락할 확률보다 높다. 이는 침투 단계에서와 같이 공격 항공기의 성능이나 조종사의 능력

이 적의 대공화기/적기의 성능이나 운영요원의 능력보다 우수하다고 가정하였기 때문이다.



<그림 3-9> 귀환단계에서의 항공기생존성 및 피격확률

마. 종합평가

가상 시나리오의 STD인 그림 (3-1)에 대한 임무경과 시간에 따른 항공기 생존성 및 임무포기율을 종합적으로 분석한 결과 그림 (3-10)과 같다. 여기서 각 단계별 분석 결과와 비교하여 보면 비상 출동 항공기의 임무준비 단계를 제외한 다른 단계에서의 확률은 서로 다르다. 그 이유는 적지 침투 중과 목표물 공격 중 그리고 귀환 중에 공격 항공기의 피격 상태를 종합적으로 표시하였기 때문이다. 종합적으로 평가하면 본 연구에서 개발된 이론과 컴퓨터 프로그램에 가상 시나리오에 대한 항공기 생존성 및 임무 포기율을 임무시간 경과에 따라 동적으로 분석한 결과 항공기 생존성과 임무포기 확률(피격률)이 거의 비슷하게 나타났다.

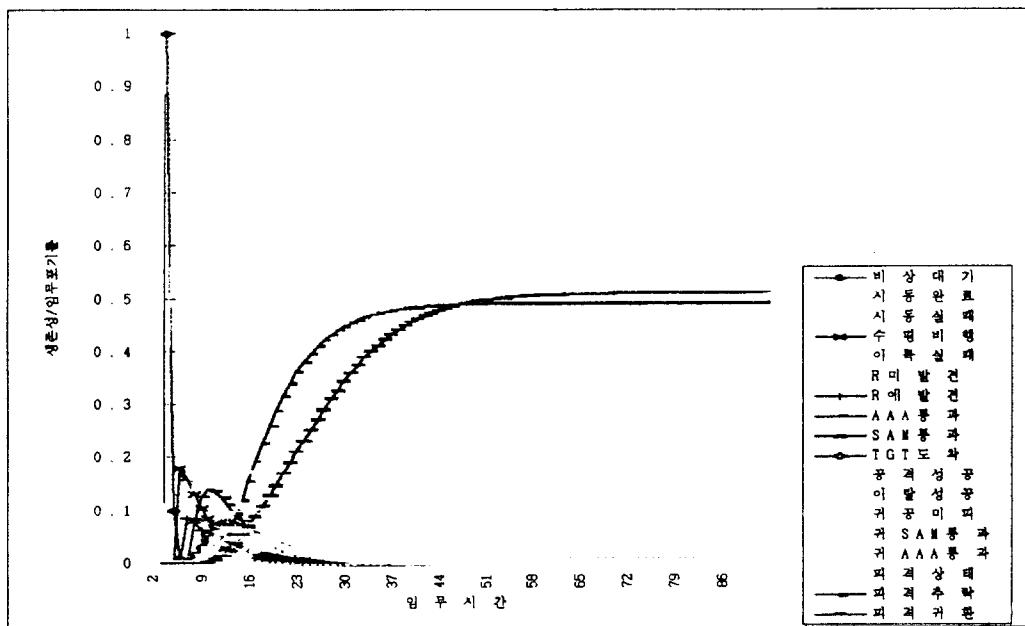


그림 3-10: 임무경과 시간에 따른 항공기 생존성 및 파격화를

제 4 장 결 론

항공기 생존성은 항공기가 주어진 조건하에서 주어진 임무를 수행할 때 주어진 시간에 그 임무를 수행할 수 없을 정도로 손상을 입지 않을 확률을 의미하는 것이다. 따라서 신빙성 있는 항공기 생존성을 분석 평가하여 군사 작전의 최종 의사 결정권자인 군사 전문가에게 제공함으로써 그들이 올바른 판단을 하는데 도움을 주어야 한다.

항공기 생존성은 항공기의 위약도와 취약도에 의해 결정되어지며, 위약도 및 취약도는 하드웨어적인 구조적 요소와 소프트웨어적인 비구조적 요소에 의해 결정되어진다. 이러한 요소들은 그 속성이 계량적인 것과 질적인 것들로서 임무수행 시간에 따라 변하며, 질적 요소는 계량화되어 항공기 생존성을 동적 개념에서 분석 평가되어야 한다. 그러나 지금

까지 이 질적 요소의 계량화 부분이 미흡함으로써 항공기 생존성 분석이 부분적으로 미흡하였던 것이다. 본 연구에서는 항공기 생존성과 관련된 질적 요소의 계량화와 생존성의 동적 분석 기법을 연구하기 위하여 Fuzzy/Delphi 기법과 Stochastic Transition Diagram을 이용하였으며, 이 기법의 장점은 생존성 관련 요소의 어떠한 확률 분포에도 적용이 가능하다는 것이다.

제 3장에서는 가상 시나리오를 만들어 본 연구에서 개발된 컴퓨터 프로그램에 적용시킨 결과 실제 상황과 유사한 결과를 얻었다. 이는 본 연구에서 개발된 항공기 생존성 분석 기법의 신뢰성을 의미하는 것으로 판단된다. 가상 시나리오에서는 본 연구의 이론에 대한 이해를 돋고 간편성을 도모하기 위하여

생존성 분석 평가에 필요한 제반 요소를 모두 입력 하지는 않았다. 그러나 실제적인 동적 체계의 운영 분석을 위해 실 자료를 본 연구의 이론에 의해 개발 된 컴퓨터 프로그램에 적용시킬 수 있다.

이 연구의 효과는 워게임과 같은 모의 전쟁실험의 자료 산출을 위해 적용되어질 수 있으며, 또한 지상 작전이나 해상 작전과 같은 체계의 동적 상황의 구체적인 자료를 산출하는데 필요한 기초 이론을 제공할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 윤봉수, Analysis Methods for Optimizing the Effectiveness of Physical Security System, 박사학위논문, FIT, 1987.
- [2] B. S. Dhillon, "On Human Reliability - Bibliography," Microelectron Reliability, Vol. 20, 1980, pp. 371-373.
- [3] B. S. Dhillon and R. B. Misra, "Reliability Evaluation of Systems with Critical Human Error," Microelectron Reliability, Vol. 24, 1984, pp. 743-759.
- [4] D. Graham and W. F. Clement, "An Engineering Approach to Aircraft Survivability Enhancement Analysis," Engineering Optimization, Vol. 2, 1976, pp. 35-42.
- [5] F. A. Tillman, C. H. Lie, and C. L. Hwang, "Simulation Model of Mission Effectiveness for Military Systems," IEEE Transactions on Reliability, Vol. 27, 1978, pp. 191-194.
- [6] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets," Information and Control, Vol. 8, 1965, pp. 338-353.
- [7] L. A. Zadeh, "Probability Measures of Fuzzy Events," Mathematical Analysis Application, Vol. 10, 1968, pp. 421-427.
- [8] P. Borgent, "The Vulnerability of the Manned Airborne Weapon System," International Defense Review, pp. 860-866, 1977.
- [9] P. Hayward, "The Measurement of Combat Effectiveness," Operations Research, Vol. 16, 1968, pp. 314-323.
- [10] R. E. Ball, The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design, New York, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 1985.
- [11] V. Novak, Fuzzy Sets and Their Applications, Philadelphia, Adam Hilger Inc., 1989.