

공대지 임무를 위한 항공기 전투생존성 분석모형 (Aircraft Combat Survivability Analysis Model for the Air-to-Ground Mission)

김인동*, 하석태**

Abstract

Aircraft combat survivability(ACS) can be defined here as the probability of an aircraft to accomplish a given mission and not to be killed by enemy threats. The purpose of this thesis is to obtain analytically the combat survivability of the military aircraft according to the enemy and operation environment. Five factors under which a mission is being carried out are considered in this study. These factors are types and performance of enemy threats, aircraft susceptibility, aircraft vulnerability, ECM(electronic counter measures) capability, and pilot's capability. The model constructed in this study would be a useful tool to analyze ACS based on analytical method. It is also able to provide a better input data for wargaming simulation and present a criterion on determining optimal sorties for aircraft's air-to-ground mission.

* 공군대학 교수부
** 국방대학원 교수부

1. 서 론

미 표준군사 교범[7]에서 생존성을 “어떤 체계(system)가 적대적인 인공환경을 견디어 내고, 그의 지정된 임무를 달성하는데 필요한 능력이 임무를 실패할 만큼의 손상을 입지 않을 정도에 대한 척도”로 정의하며, 또한 미국의 General Dynamics 항공회사[5], Arnold[1], 그리고 Ball[3] 등은 항공기의 전투생존성을 “항공기가 주어진 임무를 달성할 수 있는 성능에 어떠한 손상없이 인공적인 위해로운 환경을 견디어 내고 피할 수 있는 능력”으로 정의하고 있다.

본 연구에서는 생존성을 ‘항공기가 주어진 임무시간 동안에 적대적인 위협환경을 견디어서 임무를 달성하고 격추되지 않을 확률’로 정의한다. 항공기가 격추될 확률을 P_k 라고 하면, 이때의 생존성 P_s 는 다음과 같이 표시될 수 있다 :

$$P_s = 1 - P_k$$

여기에서 P_k 는 항공기의 취약도(susceptibility)와 취약도(vulnerability), 항공기 능력, 그리고 위협의 형태에 따라 영향을 받는다.

기존 항공기의 전투생존성 분석에 관한 연구는 항공기 및 작전전술의 발달에 중요함에도 불구하고, 항공기와 전투를 염두에 둔 군사적인 관점에 국한되어 연구가 제한적이고 광범위하지 못했다. Wald[13]는 생존성을 확률적인 통계이론으로 기존의 자료를 분석하여 연구하였으며, Ball[3]은 인적요소와 항공기 능력을 고려치 않고 생존성을 해석적인 방법으로 분석하였다. 생존성을 분석하는 접근방법으로는 어떤 요구나 필요에 따라 다를 수 있겠으나 전반적인 작전환경, 인적요소 및 하드웨어 체계의 능력 등을

고려한 생존성분석이어야 가치가 있을 것이다.

본 연구는 생존성분석의 한 방법으로 환경요소 즉, 적위협으로 대공포와 지대공 미사일의 종류 및 성능, 항공기 자체의 취약도 및 취약도, 위협의 탐지, 발사, 유도확률을 감소시킬 수 있는 하드웨어의 작전준비태세(operational readiness), 그리고 인적요소인 조종사의 능력을 고려하여 생존성을 분석적인 방법으로 결정하는 모형을 구축한다.

즉 공격작전상황, 위협의 종류 및 성능, 항공기능력으로는 ECM (Electronic Counter Measure) 장비의 작전준비태세 및 조종사 능력이 고려되도록 하여 군용항공기(전투기, 폭격기 등을 말하며 본 연구에서는 항공기라 부른다)의 단발격추확률, 위협과 조우시의 생존성 및 출격생존성을 구하는 모형을 구축하고 그 예제를 제시하고자 한다.

본 연구에서는 항공기가 대지공격을 하는 임무에 연구 초점을 맞추었으며, 다루지 않은 공대공 임무는 항공기 자체가 미사일과 대공포의 전소(platform)가 되기 때문에 새로운 가정사항이 요구되고 공대공 임무 자체가 인적요소인 조종사의 능력에 크게 의존하기 때문에 공대지 공격임무에 국한하여 생존성을 분석한다.

2. 용어설명 및 이론적 배경

2.1 용어 설명

본 모형과 직접적으로 관련된 중요한 용어들을 설명하면 다음과 같다.

2.1.1 취약도(susceptibility)

Ball[3]과 AMSAA[12]는 취약도를 “항공기가 임무를 수행하는 과정에서 위해로운 환경으로부터 손

상받는 것을 피하지 못하는 능력으로 항공기가 명중될 확률”로 정의하고 있다. 위약도, P_H 를 Atkinson[2]은 다음과 같은 식으로 정의하였다.

$$P_H = P_D \cdot P_{HD}$$

여기에서

- P_D : 항공기가 위협으로부터 탐지될 확률,
- P_{HD} : 항공기가 위협으로부터 탐지되었을 때 항공기가 명중될 조건부 확률.

2.1.2 취약도(vulnerability)

본 연구에서 취약도는 적위협 의 손상구조 (damage mechanism)에 의하여 한 발 또는 그 이상의 명중이 발생했을 때 항공기가 격추(kill) 될 확률로 정의된다. 항공기가 명중되었을 때, 항공기가 어느 정도 격추되느냐를 나타내는 조건부확률 P_{KH} 를 Graham[6] 등은 다음과 같이 정의한다 :

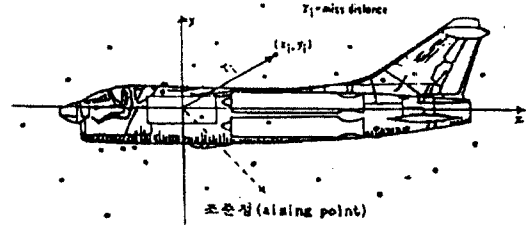
$$P_{KH} = A_v/A_p$$

여기에서 A_v 는 항공기 취약면적이고, A_p 는 항공기 전체면적 또는 위협의 공격방향에서 보이는 항공기의 면적을 의미한다.

2.1.3 오차거리(miss distance)

위협이 항공기를 탐지, 식별 및 추적하여 대공포나 미사일을 발사했다고 가정하는 경우, 오차거리는 발사된 탄두로 인하여 항공기의 명중정도를 추정하는데 사용되는 척도이다. 이것은 대공포나 미사일로 부터 발사된 탄두나 파편이 항공기 요격면(intercept plane)과 이루는 상대적인 위치를 말하며 요격면을 (x,y) 의 평면으로 보면 오차거리는 <그림 2-1>과 같이 표시된다. <그림 2-1>에서 오차거리 r_i 는 조준점(Aiming point)으로부터 떨어진 탄두나 파편의

위치를 의미한다.



<그림2-1>요격면과 오차거리

2.1.4 작전준비태세(operational readiness)

작전준비태세는 '체계가 정해진 조건 아래서 사용이 요구될 때 체계가 만족스럽게 작동될 확률'로 Tillman[10]이 정의하였으며, 이것은 임무요구시간, 그리고 수리시간 등으로 결정된다.

2.1.5 신뢰도(reliability)

Kapur[8]는 어떤 체계의 신뢰도를 '그 체계가 주어진 환경조건아래에서 운영될 때, 특정한 시간 동안 그의 의도된 기능을 적절하게 수행할 확률'로 정의하고 있다. T가 고장 발생시점까지의 시간에 대한 확률변수이고 이것이 비신뢰도함수 F(t)를 갖는다면 신뢰도함수 R(t)는

$$R(t) = P(T > t) = 1 - F(t), \quad t > 0,$$

여기에서 F(t)는 T에 대한 분포함수이다.

2.2 이론적 배경

항공기의 생존성은 항공기가 주어진 환경조건에서 임무를 달성하는 동안 모든 위협환경으로부터 항공기가 생존할 정도를 확률로 나타낸 것이다. 항공기의 생존성을 결정하는 요인들은 위협의 종류와 성능, 기상조건, 적의 대공전술, 항공기의 성능, 조종사의 능력 등이다. i 번째 위협으로부터 격추되는 사상을 $E_i (i=1,2,\dots,n)$ 라고 하면, 생존성 P_S 는

$$P_S = 1 - P(E_1, E_2, \dots, E_n)$$

$$= 1 - P(E_1)P(E_2|E_1)\dots P(E_n|E_1E_2\dots E_{n-1}). \quad (2.1)$$

식(2.1)과 같은 생존성의 개념을 이용하여 미국의 Atkinson[2]과 Thronson[9]은 생존성에 대한 방정식을 식(2.2)와 같이 표시하였다.

$$P_S = 1 - (P_D \cdot P_{HD} \cdot P_{KH}). \quad (2.2)$$

여기에서 P_D 는 위협이 표적을 탐지할 확률을 의미하며 이것을 감소시키는 요인들은 수동 및 능동 전파방해(신호 감소 및 ECM 장비 이용)와 전술 등이다. P_{HD} 는 탐지되었을 때, 항공기가 명중될 확률을 의미하며 이것을 감소시키는 요인들은 수동 및 능동 전파방해, 전술, 그리고 항공기의 기동능력을 들 수 있다. P_{KH} 는 명중되었을 때, 격추되는 확률로서 이것은 주로 연료계통, 조종계통, 엔진계통, 조종사 등 치명 구성품에 의하여 결정된다. 생존성(P_S)는 $1-P_K$ 이므로 항공기의 피격확률 P_K 는 식(2.3)으로 표시될 수 있다.

$$P_K = P_D \cdot P_{HD} \cdot P_{KH}$$

$$= P_H \cdot P_{KH}. \quad (2.3)$$

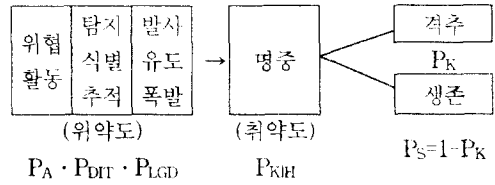
항공기의 생존성은 위협의 교전준비태세, 위협이 항공기를 탐지하고 식별하여 추적할 능력, 위협이 대공포나 미사일을 성공적으로 발사하고 유도하여 탄두가 의도된 지점에서 폭발할 확률, 그리고 항공기가 명중되어 격추될 확률에 의하여 결정되므로 생존성의 개념은 <그림 2-2>과 같이 나타낼 수 있다.

<그림 2-2>에서

P_A : 적위협이 항공기와 교전할 준비가 되어 있을 확률,

P_{DT} : 위협이 항공기를 탐지, 식별 및 추적할 확률,

P_{LGD} : 위협물체가 발사, 유도 및 폭발될 확률.



<그림 2-2> 생존성 분석의 개념

한 대의 항공기에 대하여 각각의 위협대상이 독립이라고 가정할 때, 이 항공기가 n 개의 위협과 조우하여 생존할 확률 $P^{(SN)}$ 은 식(2.4) 같이 표시될 수 있다.

$$P^{(SN)} = P^{(1)}P^{(2)} \dots P^{(i)} \dots P^{(n)}. \quad (2.4)$$

여기에서 $P^{(i)}$ 는 i 번째 위협과 조우시 생존할 확률을 의미한다. n 개의 위협과 조우하는 환경의 항공기 생존성은 n 개의 부품이 직렬 구조를 이룬 환경의 신뢰도와 같다고 할 수 있다.

전투시 주된 위협은 절축신관을 사용하는 대공포와 레이더에 의하여 유도되고 근접신관을 사용하는 미사일이다. 또한, 생존성은 위협과 조우할 확률과도 관련이 있으므로, 위협요소를 대공포와 미사일로 구분하여 생존성을 각각 표시할 수 있다. 그러므로 독립된 대공포에 대한 생존성 P_{SA} 는

$$P_{SA} = 1 - P_E \cdot P_D \cdot P_L \cdot P_H \cdot P_{KH}. \quad (2.5)$$

여기에서

P_D : 대공포가 목표인 항공기를 탐지할 확률,

P_L : 대공포가 발사될 확률,

P_H : 대공포의 포탄이 항공기를 명중시킬 확률,

P_{KH} : 항공기의 취약도,

P_E : 항공기가 대공포(하나의 위협요소)와 조우할 확률.

미사일은 유도되고 근접신관을 가진 탄두를 이용하므로 근접신관이 폭발할 확률 P_f 와 항공기까지 정확히 유도될 확률 P_G 에 영향을 받는다. 그러므로 하나의 독립된 미사일에 대한 생존성 P_{SM} 은 식(2.6)으로 표시할 수 있다.

$$P_{SM} = 1 - P_E \cdot P_D \cdot P_G \cdot P_L \cdot P_f \cdot P_H \cdot P_{KH} \quad (2.6)$$

여기에서

- P_D : 미사일이 목표인 항공기를 탐지할 확률,
- P_L : 미사일이 항공기까지 정확히 유도될 확률,
- P_G : 미사일이 발사될 확률,
- P_f : 미사일의 근접신관이 cut-off 거리(미사일이 폭발가능한 거리)내에서 폭발할 확률,
- P_H : 미사일의 파편이 항공기를 명중시킬 확률,
- P_{KH} : 항공기의 취약도.
- P_E : 항공기가 미사일(하나의 위협요소)와 조우할 확률.

3. 생존성 결정 요소

3.1 위협요소

본 연구에서 다루는 위협요소는 대공포(AAA: anti-aircraft artillery)와 지대공 미사일(SAM: surface-to-air missile)로 크게 구분할 수 있다. 따라서 본 연구의 생존성 분석 모형에는 위협 요소의 종류와 성능, 즉 탐지 및 유도 레이드의 종류 및 성능, 발사율, 원형공산오차(CEP: circular error probable), 파편과 포탄의 평균오차거리, 치명반경 등을 중요한 요소로 고려한다.

3.2 취약도

본 연구에서는 오차거리의 분포함수를 이용하여 취약도를 얻는다. 조준점을 중심으로 오차거리가 작을수록 항공기의 명중확률은 높아진다. 그러므로 항공기가 명중될 확률은 오차거리와 적위험으로부터 발생되는 파편, 투과물, 전자파 빔 등에 노출된 항공기의 물리적 크기에 의존하게 된다.

항공기가 탐지되어 대공포로부터 N 발의 포탄이 발사되거나, 미사일이 발사되어 HE(High Explosive) 탄두의 폭발로 N 개의 파편이 생성되었을 때, 이 N 발의 포탄이나 파편이 항공기 주위에 흩어져 요격면이 형성되게 된다. 여기에서 x_i, y_i 를 i 번째 포탄이나 파편이 x, y 축에 대하여 이루는 오차거리라하면, x 와 y 방향에 대한 평균 오차거리 μ_x 와 μ_y 는 다음과 같이 표시된다.

$$\mu_x = (1/N) \sum_{i=1}^N x_i, \quad \mu_y = (1/N) \sum_{i=1}^N y_i.$$

여기에서 N 은 한정적 모집단(finite population)이므로 x 와 y 의 분산은 다음과 같다.

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^2,$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \mu_y)^2,$$

오차거리의 분포함수를 x 와 y 축에 대한 독립된 2 변수 정규분포로 보면 이것은 식(3.1)과 같이 표시될 수 있다.

$$f(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right). \quad (3.1)$$

여기에서 조준오차(aiming error)가 없고, $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$ 라면 식(3.1)은 원형정규분포함수가 되어 식(3.2)와 같이 표현된다.

$$f(r) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right). \quad (3.2)$$

여기에서 r 은 원점으로부터 오차거리의 반경을 말

하고, 위 식을 이용하여 원형공산오차(CEP)를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{2\pi\sigma^2} \int_0^{CEP} \int_0^{2\pi} d\theta \exp(-r^2/2\sigma^2) r dr = 0.5, \quad CEP=1.1774\sigma.$$

식(3.1)을 요격면에서 항공기가 차지하고 있는 면적의 크기로 적분하면 명중확률을 얻을 수 있다. A_P 를 공격방향에서 보이는 항공기의 면적이라고 할 때, 각 측면의 길이가 a 와 b 인 사각형이면 $A_P = a \cdot b$ 가 된다. 따라서 명중확률은 식(3.3)으로 표시할 수 있다.

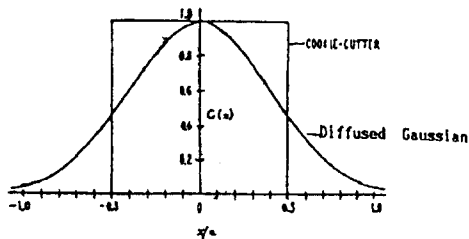
$$P_H = \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-a/2}^{a/2} \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right) dx dy \quad (3.3)$$

식(3.3)은 해석적으로 풀기가 어려우므로 DARCOM[11]에서 언급한 Cookie Cutter 명중함수의 일종인 Diffused Gaussian 함수(von Neumann-Carlton diffuse target concept 또는 Carlton Function 이라고도 함)를 이용한다. Diffused Gaussian 함수를 $C(x,y)$ 라 하면 명중확률은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_H = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y)C(x,y) dx dy \quad (3.4)$$

여기에서 Diffused Gaussian 함수는 아래와 같다.

$$C(x,y) = \exp\left(-\frac{\pi x^2}{a^2}\right) \exp\left(-\frac{\pi y^2}{b^2}\right), \quad -\infty < x,y < \infty \quad (3.5)$$



<그림3-1> Cookie-cutter와 Diffused Gaussian함수

<그림 3-1>에서처럼 원점에서 이 함수는 '1'이고 x, y 가 감소 또는 증가함으로써 '0'으로 접근하게 되어 무한대로 적분하면 다음과 같이 우리가 원하는 면적을 얻을 수 있다.

$$\int_{-\infty}^{\infty} C(x,y) dx dy = ab = A_P,$$

또한, 식(3.1)과 식(3.5)을 식(3.4)에 대입하면

$$P_H = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{\pi x^2}{a^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{\pi y^2}{b^2}\right) dx dy \\ = \frac{A_P}{(2\pi\sigma_x^2+a^2)^{1/2}(2\pi\sigma_y^2+b^2)^{1/2}} \exp\left(-\frac{\pi\mu_x^2}{2\sigma_x^2+a^2} - \frac{\pi\mu_y^2}{2\sigma_y^2+b^2}\right) \quad (3.6)$$

식(3.6)에서 조준오차가 없고 분산이 $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$ 라면 도형 정규분포와 원형 Diffused Gaussian 함수를 이용할 수 있다. 여기에서 원형 Diffused Gaussian 함수는 다음과 같이 표시가 가능하다. r_0 는 요격면이 원으로 보일 때의 반경을 의미한다.

$$C(r) = \exp\left(-\frac{r^2}{r_0^2}\right), \quad -\infty < r < \infty \quad (3.7)$$

식(3.7)을 적분하면 $A_P = \pi r^2$ 가 된다. 식(3.2)과 식(3.7)을 식(3.4)에 대입하면 명중확률은 식(3.8)으로 표시된다.

$$P_H = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{r}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2} - \frac{r^2}{r_0^2}\right) dr d\theta \\ = \frac{A_P}{A_P + 2\pi\sigma^2} \quad (3.8)$$

3.3 취약도

취약도는 적 위협 무기의 속성으로 야기되는 손상과 항공기의 물리적 속성과의 함수이므로 위협의 손상구조 분석과 항공기의 취약면적 분석을 통하여 설

명할 수 있다. 취약도는 조우하는 위협의 종류 및 성능과 주어진 환경조건에 따라 다르게 된다. 항공기가 적위협으로부터 명중되었다는 조건에서 항공기가 격추될 확률은 P_{KH} 이다.

손상구조가 항공기의 명중에 의한 것이면 취약도의 척도로 취약면적 A_v 가 사용된다. 여기에서 손상구조가 HE 탄두효과에 의해 야기된 것이라면 주어진 폭발력(detonation)에 의한 격추확률 P_{KIDE} 가 취약도의 척도로 사용된다. 투과물이나 파편이 항공기의 어떤 구성품에 명중되었을 때 그 구성품이 손상되어 기능을 상실할 확률을 P_{kih} 라 하면, 이것의 크기는 손상구조인 투과물 또는 파편의 속도와 질량에 비례하여 나타난다.

본 연구에서 취약도 평가는 주로 취약면적과의 관계에서 논한다. 취약도 분석에 사용되는 변수의 의미는 다음과 같다 :

- P_{KH} : 항공기가 명중되었을 때 격추될 확률,
- A_v : 항공기의 총 취약면적,
- A_{vi} : i 구성품의 취약면적,
- A_p : 위협의 공격방향으로부터 보이는 항공기 면적,
- A_{pi} : 위협의 공격방향으로부터 보이는 i 구성품의 면적,
- P_{kih} : 항공기가 명중되었을 때 i 구성품이 기능을 상실할 확률,
- P_{kjh} : 구성품이 명중되었을 때 i 구성품이 기능을 상실할 확률,

여기에서 구성품의 수를 n 이라고 하면 A_v 는 식(3.9)으로 표현된다.

$$A_v = \sum_{i=1}^n A_{vi} . \quad (3.9)$$

식(3.9)는 다시 취약도의 정의에 의하여 식(3.10)이

된다.

$$P_{KH} = A_v/A_p \\ = (1/A_p) \sum_{i=1}^n A_{vi} . \quad (3.10)$$

따라서 명중되었을 때 생존할 확률 P_{SH} 는 식(3.11)로 표현된다.

$$P_{SH} = 1 - P_{KH} \quad (3.11)$$

한 개의 구성품을 기준으로 보면 식(3.10)은 다음과 같이 된다.

$$P_{kih} = A_{iv}/A_{pi} ,$$

여기에서 각각의 구성품의 위치가 상호배타적(mutually exclusive)이라면, 항공기 취약도 P_{KH} 는 식(3.12)으로 표시된다.

$$P_{KH} = P_{k1H} + P_{k2H} + \dots + P_{knH} = \sum_{i=1}^n P_{kih} \quad (3.12)$$

3.4 항공기 능력

항공기 능력은 적위협의 능력을 감소시키는 절대적인 요소로서 이것의 구성요소는 무장장착 능력, 항공기 자체성능, 사용하는 무기체계의 성능, ECM 및 ECCM 능력 등으로 구분할 수가 있다.

본 연구에서는 적위협의 성능을 감소시킬 수 있는 항공기 ECM 능력을 고려하여 이것의 척도로 ECM 장비의 작전준비태세를 분석한다.

항공기에 장착한 ECM 장비는 적위협으로부터 항공기를 보호하기 위한 것으로서, 이것은 위협으로부터 레이더 탐지 및 유도능력, 적외선추적 미사일의 추적능력 등을 감소시켜 결국은 항공기의 취약도를 감소시키는데 이용된다. ECM 장비는 임무 요구사항 상 작동되지는 않으므로 작전준비태세에 따라 장비의 고유한 성능이 영향을 받는다.

ECM 장비의 작전준비태세를 구하는데 사용되는 부호의 의미는 다음과 같다 :

q_i : 이전 임무 시작시점에서 i 번째 ECM 장비의 신뢰도 ,

\bar{q}_i : 이전 임무 시작시점에서 i 번째 ECM 장비의 비신뢰도 ,

r_i : 이전 임무 시간 동안에 i 번째 ECM 장비의 신뢰도 ,

\bar{r}_i : 이전 임무 시간 동안에 i 번째 ECM 장비의 비신뢰도 ,

X_i : i 번째 ECM 장비의 고장시 수리시간 (확률변수) ,

Y_i : i 번째 ECM 장비의 임무요구시간 (확률변수) ,

Q_i : 임무 요구시 i 번째 ECM 장비의 작전준비태세 ,

O_R : 항공기가 같은 성능을 가진 ECM 장비를 2개 이상 장착시 그 성능에 대한 항공기 ECM 장비의 작전준비태세 ,

P_{EC1} : ECM 장비의 작전준비태세가 '1'일 때 대공포 레이더에 의한 항공기의 탐지 확률 감소 값

P_{EC2} : ECM 장비의 작전준비태세가 '1'일 때 미사일의 탐지 레이더에 대한 항공기 탐지확률 감소값 ,

P_{EC3} : ECM 장비의 작전준비태세가 '1'일 때 미사일의 유도 레이더에 의한 미사일의 발사 및 유도확률의 감소값.

이전 임무시점에서 ECM 장비의 비정상적인 작동은 다음의 임무요구가 있을 때를 대비하여 수리를 해야 한다. 또한, ECM 장비가 고장이나 손상되었을

경우, 임무는 ECM 장비를 수리한 후에 요구하므로 기준시점에서 임무요구시간은 수리시간 보다 크므로 Y_i 는 X_i 보다 크다. 그러므로 수리를 빨리 하면 임무요구시간에 빨리 응할 수 있으므로 작전준비태세는 높아진다.

이러한 관계를 이용하여 Felipe[4]의 식을 따르면 i 번째 ECM 장비의 작전준비태세는 식(3.13)과 같이 표시할 수 있다.

$$Q_i = q_i(r_i + \bar{r}_i P(X_i < Y_i)) + \bar{q}_i P(X_i < Y_i) \quad (3.13)$$

여기에서 X_i 와 Y_i 가 각각 확률밀도함수 $f(x_i)$ 및 $g(y_i)$ 를 갖는 확률변수이면 $P(X_i < Y_i)$ 는 식(3.14)로 표시할 수 있다.

$$P(X_i < Y_i) = \int_0^{\infty} f(x_i) \int_{x_i}^{\infty} g(y_i) dy_i dx_i, x_i, y_i > 0 \quad (3.14)$$

식(3.14)는 i 번째 ECM 장비가 고장시 다음 임무요구시점 이전에 수리할 확률을 의미한다. 확률변수 X_i 와 Y_i 가 평균수리시간과 임무요구시간이 각각 α_i 와 β_i 인 지수분포로 가정하면 식(3.14)은

$$\begin{aligned} P(X_i < Y_i) &= \int_0^{\infty} \frac{1}{\alpha_i} \exp(-x_i/\alpha_i) \int_{x_i}^{\infty} (1/\beta_i) \exp(-y_i/\beta_i) dy_i dx_i \\ &= \frac{\beta_i}{\alpha_i - \beta_i} \end{aligned} \quad (3.15)$$

만약 항공기가 같은 성능을 가진 ECM 장비를 여러 대 탑재할 수 있고 각각의 α_i 및 β_i , 그리고 이전임무 시작시 및 이전 임무 동안의 신뢰도를 안다면 각각의 Q_i 는 식(3.15)로써 구할 수 있다. 이것을 병렬체계 신뢰도를 구하는 방법을 이용하면, 즉 항공기가 위협에 대하여 같은 성능을 가진 ECM 장비를 n 대 탑재하는 경우, 그 성능에 대한 항공기 ECM 장비의 작전준비태세 O_R 은 식(3.16)으로 표현할 수 있다.

$$O_R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - O_i), \quad (3.16)$$

여기에서 같은 성능을 가진 각 ECM 장비의 작전 준비태세가 같다면 O_R 은 식(3.17)로 표현될 수 있다.

$$O_R = 1 - (1 - O_i)^n. \quad (3.17)$$

본 연구에서 항공기 ECM 장비의 성능은 대공포 탐지 레이더의 탐지확률, 지대공 미사일의 탐지 레이더 및 유도 레이더의 탐지 및 유도확률, 그리고 적외선 미사일의 추적확률을 감소시키는 성능을 말한다. 각 성능에 대한 항공기 ECM 장비의 작전준비태세가 '1'일 때 항공기 ECM 장비의 능력 즉, 대공포 레이더의 탐지, 지대공 미사일의 탐지 및 유도확률 감소값은 각각 P_{EAD} , P_{EMD} 및 P_{ELG} 이다. 그러므로 각 위협 레이더의 성능에 대한 항공기 ECM 장비의 능력은 그 성능에 대한 항공기 ECM장비의 작전 준비태세와 P_{ECL1} , P_{ECL2} , 또는 P_{ECL3} 를 곱함으로써 얻어질 수 있다.

3.5 조종사의 능력

본 연구에서 고려한 인적요소는 조종사의 종합적인 능력에 따라 대공포나 미사일의 레이더 탐지확률과 미사일의 발사 및 유도확률을 감소시키는 정도가 다르다고 보고, 현재 공군의 전투비행대에서 조종사를 능력에 따라 4등급으로 나누어 운영하고 있는 점을 감안하여 4가지 범주로 조종사를 구분하여 각각의 범주에 따라서 확률 감소값을 부여한다.

<표 3-1>는 조종사의 범주별 분포와 위협에 대한 확률 감소값을 표시한 것이다. <표3-1>에 나타난 각 부호의 의미는 다음과 같다 :

<표 3-1> 조종사의 범주별 분포와 성능

조종사 범 주	확률 함수 (P_i)	능 력		
		P_{CAi}	P_{CMi}	P_{CLi}
1	P_1	P_{CA1}	P_{CM1}	P_{CL1}
2	P_2	P_{CA2}	P_{CM2}	P_{CL2}
3	P_3	P_{CA3}	P_{CM3}	P_{CL3}
4	P_4	P_{CA4}	P_{CM4}	P_{CL4}

P_i : i 번째 범주일 확률함수(probability mass function),

P_{CAi} : 범주 i 의 조종사가 임무시 대공포 레이더 탐지확률의 감소값,

P_{CMi} : 범주 i 의 조종사가 임무시 미사일 레이더 탐지확률의 감소값,

P_{CLi} : 범주 i 의 조종사가 임무시 미사일 레이더 탐지확률 및 유도확률의 감소값.

조종사가 위에서 언급한 세 가지 형태의 위협을 피할 수 있는 평균능력을 각각 P_{CA} , P_{CM} 및 P_{CL} 이라고 하면 이들은 각각 (3.18)식과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} P_{CA} &= \sum_{i=0}^4 P_i \cdot P_{CAi} , \\ P_{CM} &= \sum_{i=0}^4 P_i \cdot P_{CMi} , \\ P_{CL} &= \sum_{i=0}^4 P_i \cdot P_{CLi} . \end{aligned} \quad (3.18)$$

4. 생존성 분석모형

4.1 모형 설정

본 연구에서는 앞에서 언급한 생존성 결정요소를 이용하여 다음 사항들을 가정한다.

- (1) 항공기의 비행경로나 목표지점에 배치되어 있

는 지상위협인 대공포와 미사일의 레이더 탐지능력 및 미사일 유도능력은 항공기의 ECM 장비와 조종사의 능력에 의해서만 감소된다.

(2) ECM 장비의 수리시간과 임무요구시간은 각각 평균수리시간 α_i 와 평균임무요구시간 β_i 인 지수분포를 따른다.

(3) 대공포의 탄두는 접촉신관을 사용하고 미사일은 근접신관을 사용하며, 모두 레이더를 장착하여 이것을 이용한다.

(4) 항공기가 위협의 성능범위(coverage)를 통과하거나 목표 공격시 그 지역에 배치된 각 위협은 현대의 항공기에 대해서만 공격할 수 있다.

모형에 사용되는 변수들을 정의하면 다음과 같다 :

P_{SKAi} : 어떤 대공포 사이트(Site)에서 발사되는 i 번째 탄환이 목표가 되는 항공기를 격추시킬 확률,

P_{SKMi} : 어떤 미사일 사이트로부터 발사되는 i 번째 미사일이 목표가 되는 항공기를 격추시킬 확률,

P_{SKA} : 어떤 한 개의 대공포가 목표가 되는 항공기를 격추시킬 확률,

P_{SKM} : 어떤 미사일 사이트가 목표 항공기를 격추시킬 확률,

n_i : 근접신관이 폭발시 치사 반경,

r_0 : 위협의 공격방향에서 보이는 항공기의 면적을 원으로 가정할 때의 반경,

r_c : 근접신관이 목표인 항공기로부터 폭발 가능한 최대반경,

P_f : cut-off 거리(r_c) 내에서 근접신관이 폭발할 확률,

P_{KIE} : 위협과 1:1 조우시 항공기가 격추될 확률,

P_{KIEA} : 대공포와 1:1 조우시 항공기가 격추될 확률,

P_{KIEM} : 미사일과 1:1 조우시 항공기가 격추될 확률,

P_{SIEA} : 대공포와 1:1 조우시 항공기의 생존성,

P_{SIEM} : 미사일과 1:1 조우시 항공기의 생존성,

P_L : 위협이 항공기에 대공포 발사를 성공적으로 수행할 확률,

P_D : 위협이 항공기를 탐지 및 식별할 확률,

P_{LG} : 위협이 항공기에 미사일을 발사하고 유도할 확률,

S_S : 출격생존성으로 항공기가 1회 출격에서의 생존성,

P_E : 항공기가 위협과 1:1로 조우할 확률,

O_{D1} : 항공기가 대공포의 P_D 에 대하여 효과가 있는 ECM 장비를 2대 이상 탑재시 탐지에 대한 항공기 ECM 장비의 작전준비태세,

O_{D2} : 항공기가 미사일의 P_D 에 대하여 효과가 있는 ECM 장비를 2대 이상 탑재시 탐지에 대한 항공기 ECM 장비의 작전준비태세,

O_{LG} : 항공기가 미사일의 P_{LG} 에 대하여 효과가 있는 ECM 장비 2대 이상 탑재시 발사 및 유도에 대한 항공기 ECM 장비의 작전준비태세,

P_{EAD} : 대공포 레이더의 탐지에 대한 항공기 ECM 장비의 작전준비태세에 따른 대공포의 탐지 확률의 감소값 ($P_{EC1} \cdot O_{D1}$),

P_{EMD} : 미사일의 탐지 레이더에 대한 항공기 ECM 장비의 작전준비태세에 따른 미사일의 탐지확률의 감소값 ($P_{EC2} \cdot O_{D2}$),

P_{ELG} : 미사일의 발사 및 유도 레이더에 대한

항공기 ECM 장비의 작전준비태세에 따른 미사일의 탐지 및 유도확률의 감소값 즉, P_{EC3} 와 O_{LG} 의 곱으로 결정됨,

P_{CA} : 조종사의 평균능력에 의한 대공포 레이더 탐지확률의 감소값,

P_{CM} : 조종사의 평균능력에 의한 미사일 탐지 레이더 탐지확률의 감소값,

P_{CA} : 조종사의 평균능력에 의한 미사일 발사 및 유도 레이더 탐지확률의 감소값.

4.1.1 위협의 단발 격추 확률

P_{SKAi} 와 P_{SKMi} 은 항공기에 대하여 위협이 발사하는 i 번째 포탄 및 i 번째 미사일을 항공기 쪽으로 정확히 보내기 위한 위협의 화력제어 장비와 사용되는 신관의 종류에 따른 사격오차, 그리고 위협의 손상구조에 대한 항공기의 취약도에 따라 달라진다.

대공포의 경우는 접촉신관을 사용하므로 식(3.6)과 식(3.10)을 식(2.3)에 대입하면 식(4.1)과 같이 P_{SKAi} 를 구할 수 있다.

$$P_{SKAi} = P_H \cdot P_{KIH} \\ = P_H \cdot \frac{A_V}{A_P} \\ = \frac{A_V}{(2\sigma_x^2 + a^2)^{1/2} (2\sigma_y^2 + b^2)^{1/2}} \exp\left(-\frac{x_H^2}{2\sigma_x^2 + a^2} - \frac{y_H^2}{2\sigma_y^2 + b^2}\right) \quad (4.1)$$

이것은 Diffused Gaussian 함수인 식(3.5)에서 항공기의 취약면적을 구성하는 각 축면의 길이를 각각 a 와 b 라고 할 때 Diffused Gaussian 함수를 적분하면 $A_V = a \cdot b$ 가 되어 식(3.6)은 P_H 가 아니라 P_{SKAi} 로 표현될 수 있는 것과 같다.

미사일의 경우는 근접신관을 사용하므로 미사일이 발사되어 폭발하려면 일정한 r_c 내에 접근해야 하며, 그 이후에는 P_e 에 따라 영향을 받게 되므로 (3.8)식을 이용하여 P_{SKMi} 을 구할 수 있다.

$$P_{SKMi} = P_H \cdot P_f \\ = \left[\int_0^\infty \int_0^{r_c} \frac{r}{2\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2} - \frac{r_c^2}{r_0^2}\right) dr d\theta \right] \cdot P_f \\ = \frac{r_0^2}{2\sigma^2 \cdot r_0^2} \{1 - \exp[-(2\sigma^2 + r_0^2) r_c^2 / 2\sigma^2 r_0^2]\} \cdot P_f \quad (4.2)$$

4.1.2 위협과 1:1 조우시 생존성

위협이 대공포나 미사일을 발사할 기회를 갖기 위해서는 우선 항공기를 탐지해야 한다. 항공기가 탐지된 상태에서는 대공포가 발사될 확률과 미사일이 발사되고 성공적으로 항공기까지 유도될 확률이 존재하게 된다. 이러한 확률들은 항공기의 ECM 장비와 조종사의 능력에 따라 감소되며, 일단 대공포가 발사되거나 미사일이 발사 유도된 후에 항공기가 격추될 확률은 단발격추확률(P_{SKAi} , P_{SKMi})에 따라 결정된다.

그러므로 대공포와 1:1 조우시 격추확률은 ECM 장비가 탑재되고 조종사의 능력으로 위협의 능력이 감소된다면 P_{EAD} 와 P_{CA} 가 존재하여 대공포 레이더의 탐지확률은 감소하게 되므로 식(2.6)을 이용하면 P_{KIEA} 는 식(4.3)으로 표현 될 수 있다.

$$P_{KIEA} = (P_D - P_{EAD} - P_{CA}) P_L P_E P_{SKA} \quad (4.3)$$

지대공 미사일에 대하여도 마찬가지로 ECM 장비와 조종사의 능력이 지대공 미사일에 영향을 미친다면 P_{EMD} , P_{CM} 및 P_{CL} 가 존재하게 되어 미사일의 탐지 및 유도 레이더의 탐지, 발사 및 유도확률은 감소하게 되므로 식(2.6)을 이용하면 P_{KIEM} 은 식(4.4)으로 표시할 수 있다.

$$P_{KIEM} = (P_D - P_{EMD} - P_{CM}) (P_{LG} - P_{ELG} - P_{CL}) P_E P_{SKM} \quad (4.4)$$

또한 대공포나 미사일은 한번 탐지된 상태에서 여러 발을 발사할 수 있다. 그러므로 한 개의 위협이 1회에 N 발을 사격할 경우에 식(4.3)과 식(4.4)의 P_{SKA} 와

P_{SKM} 은 식(4.5)와 같이 표현될 수 있다.

$$P_{SKA} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_{SKAi}), \quad (4.5A)$$

$$P_{SKM} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_{SKMi}). \quad (4.5B)$$

대공포와 1:1 조우시의 격추확률은 식(4.5A)과 식(4.3)에 의하여,

$$P_{KIEA} = (P_D - P_{EAD} - P_{CA}) P_L P_E \left\{ 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_{SKAi}) \right\}. \quad (4.6)$$

대공포와 1:1 조우시의 생존성 P_{SIEA} 는

$$P_{SIEA} = 1 - P_{KIEA} \\ = 1 - (P_D - P_{EAD} - P_{CA}) P_L P_E \left\{ 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_{SKAi}) \right\}. \quad (4.7)$$

미사일 사이트(site) 역시 한번 탐지에 여러 발 발사가 가능하므로 N발 발사할 경우 식(4.5B)을 식(4.4)에 대입하면, 미사일과의 1:1 조우시의 격추확률은 식(4.8)과 같이 표시된다.

$$P_{KEM} = (P_D - P_{EAD} - P_{CM}) \times (P_{LG} - P_{ELG} - P_{CL}) P_E \left\{ 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_{SKMi}) \right\}. \quad (4.8)$$

그러므로 미사일과의 1:1 조우시의 생존성은

$$P_{SEM} = 1 - (P_D - P_{EAD} - P_{CM}) \\ (P_{LG} - P_{ELG} - P_{CL}) P_E \left\{ 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_{SKMi}) \right\}. \quad (4.9)$$

4.1.3 출격 생존성

항공기가 임무를 부여받고 출격시 그 항공기는 여러 가지 위협과 각각 여러 번 조우할 것이므로 항공기가 1회 출격하여 어떤 위협과 n 번 조우하고 각각의 조우가 독립이라면, 항공기의 출격생존성 S_S 는 각각의 조우에서 생존해야 하므로 식(2.4)로부터

$$S_S = \prod_{j=1}^n P_{SEj} \\ = \prod_{j=1}^n (1 - P_{KIEj}). \quad (4.10)$$

만약 1회 출격 중에 여러 가지 위협과 조우하게 된

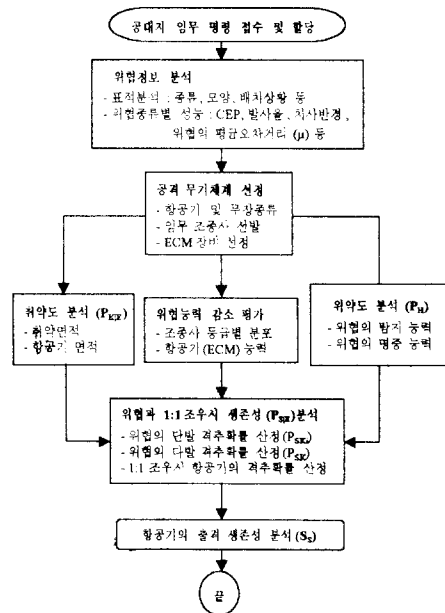
다면 위협의 종류 m가지에 대하여 출격 생존성 S_S 는 식(4.11)으로 표시될 수 있다.

$$S_S = \left\{ \prod_{j=1}^{n_1} (1 - P_{KIEj}) \right\} \cdot \left\{ \prod_{j=1}^{n_2} (1 - P_{KIEj}) \right\} \\ \cdots \left\{ \prod_{j=1}^{n_k} (1 - P_{KIEj}) \right\} \cdots \left\{ \prod_{j=1}^{n_m} (1 - P_{KIEj}) \right\}. \quad (4.11)$$

여기에서 n_k 는 항공기와 위협종류 K와의 독립적인 조우횟수를 말한다.

4.1.4 항공기 전투생존성 분석모형의 흐름도

공대지임무에 근거한 항공기의 전투생존성에 영향을 미치는 요소는 앞에서 설명한 대로 주로 적 위협의 종류 및 성능, 위협의 배치 상황, 항공기의 능력, 위협의 능력을 감소시킬 수 있는 조종사의 능력, 항공기의 취약면적 등을 들 수 있다. 본 모형의 공대지임무를 위한 항공기의 전투생존성 분석절차를 흐름도로 요약하면 <그림 4-1>과 같이 나타낼 수 있다.



<그림 4-1> 공대지 임무를 위한 항공기 전투 생존성 분석모형의 흐름도

4.2 예 제

상황 적지역의 어떤 중요 군지휘부 일대에 100 lbs 일반목적용 폭탄 10 발을 탑재할 수 있는 항공기 F-X 기 40 대를 이용하여 200,000 lbs 의 폭탄을 투하하라는 명령을 받고 정보 분석 및 지도연구를 통하여 최적침투 비행경로를 발견했으나 항공기가 침투할 경로와 목표지역 주위에는 한 개의 SA-A 사이트, 한 개의 SA-B 사이트가 있으며, 대공포 위협으로는 AAA-1 이 3 문, AAA-2가 2 문 있고 부가적으로 휴대용 미사일인 SA-C 사격수만 한 명이 있는 것으로 판명되었다.

모형에서 고려하는 항공기 능력과 적위협의 성능을 살펴본 결과 F-X 기는 각각 성능이 다른 ECM 장비로 ECM-1, ECM-2 및 ECM-3를 모두 장착한 채 500 lbs 일반목적용 폭탄 10 발을 장착할 수 있으므로 40 대의 F-X 항공기가 투입되어야 한다.

ECM-1은 레이더를 사용하는 위협의 탐지, 발사 및 유도를 알려주고, ECM-2는 레이더 발사 미사일 및 적외선추적 미사일에 효과가 있으며 ECM-3는 레이더를 사용하는 위협의 탐지를 방해할 수 있다.

<표 4-1> 위협 미사일의 평균 성능

종류	r_L	r_C	CEP	발사수/탐지
SA-A	12 m	30 m	27 m	2 발
SA-B	5 m	24 m	9 m	2 발
SA-C	0.5 m	2 m	1 m	1 발

<표 4-2> 위협 대공포의 평균 성능

종류	(μ_x, μ_y)	(σ_x, σ_y)	발사수/탐지
AAA-1	(6m, 6m)	(3m, 3m)	20 발
AAA-2	(10m, 10m)	(5m, 5m)	30 발

<표 4-3> ECM 장비의 α_i , β_i 및 신뢰도

종류	효과	α_i	β_i	q_i	r_i
ECM-1	P_D, P_{LG}	3시간	6시간	0.75	0.8
ECM-2	P_{LG}	3시간	6시간	0.75	0.8
ECM-3	P_D	4시간	8시간	0.70	0.7

위협의 성능과 ECM 장비의 작전준비태세를 구하기 위한 자료를 분석한 결과 <표 4-1>, <표 4-2> 및 <표 4-3>과 같다.

<표 4-3> 자료를 식(3.13)에 대입하면 $O_1 = 0.866$, $O_2 = 0.866$, $O_3 = 0.83$ 을 구할 수 있으며, 이것을 다시 식(3.16)에 대입하여 미사일의 탐지능력 및 미사일의 발사와 유도에 대한 ECM장비의 작전준비태세 O_D 및 O_{LG} 를 구한다.

여기에서 대공포나 미사일의 탐지에 대한 ECM 장비의 작전준비태세는 레이더 주파수가 같은 것으로 가정하면 $O_D = O_{D1} = O_{D2}$ 이다. 또한, 조종사의 범주별 능력을 부여하여 표를 작성하면 위의 <표 4-4>와 같다.

<표 4-4> ECM 장비의 능력

ECM 장비의 작전준비태세 및 능력					조종사의 범주별 능력			
O_D	O_{LG}	P_{EC1}	P_{EC2}	P_{EC3}	범주	P_{CA1}	P_{CA2}	P_{CA3}
.997	.98	.25	.25	.25	1	.3	.3	.3
					2	.25	.25	.25
					3	.15	.15	.15
					4	.05	.05	.05
						(.225)	(.225)	(.225)

*. ()은 위협에 대한 조종사의 평균 능력

항공기의 취약면적은 $A_v = 5 \text{ m}^2$ ($a = b$)이고, $r_0 = 1.2 \text{ r}$, 그리고 각각의 항공기 침투속도와 공격 시간을 고려할 때 각각의 위협은 한 대의 항공기에 대하여만 공격할 수 있는 시간적 여유를 갖는 것

로 결정하여 조우확률(P_E)을 구하면 40대의 항공기가 공격하므로 3문의 AAA-1, 2문의 AAA-2, 각각 1개의 사이트로 구성된 SA-A와 SA-B, 그리고 1명의 SA-C 사수가 있으므로 각각에 대하여 조우확률 P_E 는 3/40, 2/40, 1/40, 1/40, 1/40이 된다.

여기에서 항공기는 고려된 위협의 탐지범위 내로 비행할 것이고, 위협의 능력은 항공기의 ECM 능력과 조종사의 능력에 의하여 감소되므로 이들 위협의 $P_D = P_{LG} = P_f = 1$ 이다. 이것을 모형에 적용시켜 각 위협의 단발격추확률, 각 위협과의 1:1 조우시의 격추확률 및 출격생존성을 이용하여 구하면 <표 4-5> 및 <표 4-6> 과 같다.

<표 4-5>에서 범주1에 속한 조종사가 임무수행시 1,000회 출격당 격추대수는 11.1대이고, ECM 장비를 장착하지 않았을 때 범주 1에 속한 조종사가 임무시 격추대수는 <표 4-6>에서 19.8대 이다. ECM 장비 없이 가장 기량이 낮은 범주에 속한 조종사가

<표 4 5> 항공기 생존성(ECM 장비 장착시)

조종사범주 위협		1	2	3	4	평균	
A A A	1	P_{SK}	.002059	.002059	.002059	.002059	.002059
		P_{KE}	.001380	.01532	.001835	.002138	.001676
	2	P_{SK}	.000639	.000639	.000639	.000639	.000639
		P_{KE}	.000433	.000480	.000575	.000670	.000526
S A A M B A C	S A A	P_{SK}	.164689	.164689	.164689	.164689	.164689
		P_{KE}	.001565	.001927	.002766	.003756	.002307
	S A A	P_{SK}	.235509	.235509	.235509	.235509	.235509
		P_{KE}	.002151	.002650	.003803	.005164	.003172
	S A C	P_{SK}	.199698	.199698	.199698	.199698	.199698
		P_{KE}	.002413	.002663	.003161	.003661	.002900
	출격 S_S		.988917	.987273	.983726	.979836	.985631

<표 4 6> 항공기 생존성(ECM 장비 비장착시)

조종사범주 위협		1	2	3	4	평균	
A A A	1	P_{SK}	.002059	.002059	.002059	.002059	.002059
		P_{KE}	.002120	.002272	.002575	.002878	.002416
	2	P_{SK}	.000639	.000639	.000639	.000639	.000639
		P_{KE}	.000665	.000713	.000808	.000903	.000758
S A A M B A C	S A A	P_{SK}	.164689	.164689	.164689	.164689	.164689
		P_{KE}	.003703	.004250	.005459	.006820	.004806
	S A A	P_{SK}	.235509	.235509	.235509	.235509	.235509
		P_{KE}	.005091	.005844	.007506	.009376	.006607
	S A C	P_{SK}	.199698	.199698	.199698	.199698	.199698
		P_{KE}	.003495	.003744	.004244	.004743	.003981
	출격 S_S		.980186	.978122	.973740	.969021	.976082

임무시에는 1000회 출격에 30.8대의 격추를 보여주고 있다. 또한, SA-B와 1:1 조우시의 항공기 생존성이 가장 낮음을 나타내고 있다.

5. 결 론

항공기의 생존성은 항공기가 주어진 조건에서 특정한 작전임무를 달성하기 위하여 적의 위협환경을 견디어 내고 격추되지 않을 확률로 정의될 수 있다. 이러한 생존성은 항공기의 능력만으로 증가되는 것이 아니라 적위협 능력과 상황 즉, 항공기가 어떠한 위협환경에 접하게 되느냐인 작전 시나리오에 절대적으로 의존한다.

본 연구는 기존의 인적요소 및 하드웨어요소를 고려하지 않은 단순한 생존성모형을 종합 및 확장하여 전체적인 작전상황과 관련된 여러 요소들을 특히 조종사의 능력 및 항공기의 성능 등을 고려하여 보다 타

당한 생존성을 산출하는데 그 목적을 두었다.

본 연구의 항공기 생존성분석 모형은 산출된 생존성이 전체적인 작전상황을 설명할 수 있도록 하기 위하여 작전상황과 관련된 환경요소, 하드웨어 요소, 인적요소를 고려하였다. 본 연구에서 구한 생존성은 그 자체를 임무효과의 척도로 보아 항공기 체계효과를 평가하는 기준으로 제공될 수 있을 뿐만 아니라 워 게임(wargame)을 위한 보다 정확한 입력자료 및 공격목표에 대한 적정 출격항공기 대수를 산정하는 기준으로 이용될 수 있을 것이다.

본 모형에서는 조우확률을 각각의 위협이 한 대의 항공기에 대하여만 공격을 할 수 있는 것으로 가정하였기 때문에 침투하는 항공기 숫자가 많으면 많을 수록 조우확률이 감소하게 된다. 그러나 실전에서는 항공기가 대량으로 침투하게 되면 예상치 못한 새로운 위협 즉, 방공 레이더에 의한 탐지, 요격기에 대한 위협 등이 발생되므로 보다 정확한 조우확률에 대한 연구가 기대 된다.

참 고 문 헌

1. Arnold, R. J., "Survivability Design of Forward Air Combat and Light Attack Aircraft," National Aeronautics and Space Engineering and Manufacturing Meeting, Society of Automotive Engineers, Inc., SAE Paper 690707, pp.1-11, Oct. 1969.
2. Atkinson, D. D., "Aircraft Survivability," The Shock and Vibration, No. 53, Part 1, May 1983.
3. Ball, R. E., The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design, New York, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., New York, NY, 1985.
4. Felipe Lasa-Rosano, "Operational Readiness and Survivability of Network Systems," Applied Mathematical Modeling, Vol.5, No.2, pp.89-91, April 1981.
5. General Dynamics Corporation, ITCG/AS-74-D-002: Proposed MIL-STD-XXX Aircraft Non-nuclear Survivability/Vulnerability Terms, July 1974.
6. Graham, D. and Clement, W. F., "An Engineering Approach to Aircraft Survivability Enhancement Analysis," Engineering Optimization, Vol.2, No.1, pp.35-45, 1976.
7. "MIL-STD-721B : Definition of Effectiveness Terms for Reliability, Maintainability, Human Actors, and Safety," Micro-electronics and Reliability, Vol. 11, pp.429-433, 1972.
8. Kapur, K. C. and Lamberson, L. R., Reliability in Engineering Design, John Wiley and Sons Inc., New York, NY, 1977.
9. Thronson, L., "Combat Survivability with Advanced Aircraft Propulsion Development," Journal of Aircraft, Vol.19, No.11, pp.915-920 Nov. 1982.
10. Tillman, F. A., et al., "System Effectiveness Models : An Annotated Bibliography," IEEE Transaction on Reliability, Vol.R-29, No.4, pp.296-304, October 1980.

11. U.S. Army Development and Readiness Command, DARCOM P706 101: Engineering Design Handbook Army Weapon System Analysis, Part One, U.S. Army, Nov. 1977.
12. U.S. Army Materiel Systems Analysis Activity, Survivability Primer, AMSAA Survivability Office, Aberdeen Proving Ground, MA, 1976.
13. Wald, A., A Method of Estimating Plane Vulnerability on Damage of Survivors, Statistical Research Group, Columbia University, 1943.