

論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 41(11), 883-890(2013)

DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2013.41.11.883>

확률변수 가중치 환산법 기반 군용 항공기 생존성 분석기법

양주석*, 이경태**, 지철규***

Aircraft Combat Survivability Analysis based on the Random Variable Weighted Score Algorithm

Ju-Suk Yang*, Kyung-Tae Lee** and Cheol-Kyu Jee***

Sejong University School of Aerospace Engineering Graduate School*

Sejong University School of Mechanics & Aerospace Engineering**,

Agency for Defense Development The 7th R&D Institute***

ABSTRACT

Aircraft combat survivability analysis is essential process for the development of combat aircraft. M&S methodology is the typical procedure for the aircraft combat survivability analysis, and the last step is the expensive Live Fire Test if it is necessary. This study introduced cost and time effective survivability analysis methodology based on the random variable weighted score algorithm in conceptual design phase. For this study, essential element and event analysis (E3A) is used to define the random variables and Monte-Carlo simulation is implemented to estimate weighted score and the final value of survivability.

초 록

군용 항공기의 개발과정 중 전투 생존성 분석은 반드시 거쳐야 할 필수 과정이다. 군용 항공기의 전투 생존성 분석을 위한 방법은 M&S 기법 적용이 일반적이며 필요시 최종단계에서 Live Fire Test를 거친다. 본 연구에서는 비용대비 효과도를 고려하여 M&S기법을 통해 개념설계단계에서 신속하게 정성적으로 전투 생존성을 분석할 수 있는 연구를 수행하였다. 본 연구를 위하여 필수사건 및 필수요소 분석기법, 몬테카를로 시뮬레이션 등 확률, 통계기법들을 이용한 '확률변수 가중치 환산법' 알고리즘을 고안하여 제시하였다.

Key Words : Random Variable Weighted Score Algorithm(확률변수 가중치 환산법), E3A(필수사건 필수요소 분석기법), Delphi-AHP Method(델파이-계층화 분석기법), Monte-Carlo Simulation(몬테카를로 시뮬레이션)

1. 서 론

전투기 체계 종합 과정에서 궁극적인 설계방법을 통한 목적 도달 방안은 주어진 구속조건 하에서의 최적화이다. 특히 전투기의 경우 적 위협 및 적의 무기체계와 더불어 미래의 전장 환경,

수행 임무 등을 고려한 전투 효과도 분석을 통한 생존성 최적화 과정이 필수요소이다. 항공기 전투효과 평가요소는 공격능력, 생존능력, 가용능력 그리고 비용까지의 총 4가지 요소를 종합적으로 고려하여 판단한다. 본 연구에서는 군용 전투기의 전투효과 중 군용 항공기 생존성 (Aircraft

† Received: June 24, 2013 Accepted: October 18, 2013

** Corresponding author, E-mail : kntlee@sejong.ac.kr<http://journal.ksas.or.kr/>

pISSN 1225-1348 / eISSN 2287-6871

Combat Survivability) 분석을 다룬다. 군용 항공기 생존성이란 “항공기가 주어진 임무를 달성할 수 있는 성능에 어떠한 손상 없이 인공적인 위협 환경을 회피하고 견딜 수 있는 능력”이라고 미국의 Robert E. Ball⁽²⁾ 박사는 정의하였다. 현대 전장 환경을 위해 개발되고 있는 최신예의 군용 항공기들은 개념설계 단계부터 생존성 분석을 통해 군용 항공기의 생존성 특성과 성능을 평가하여 설계에 반영한다. 항공 선진국에서는 군용 항공기의 생존성 특성을 분석하여 설계 및 개조에 반영하기 위해 전투데이터 및 실제 사격시험 데이터베이스를 구축하여 사용 중이다. 아울러 최근에는 비용 대비 효과도 향상을 위해 M&S (Modeling & Simulation) 기법을 연구 개발하여 전투 시나리오 별 생존성 분석 시뮬레이션 체계를 구축 중에 있다. 본 연구에서는 전투기 개념설계 단계에서 정성적으로 생존성 확률을 분석할 수 있는 알고리즘을 제시하고자 한다. 본 연구의 알고리즘인 “확률변수 가중치 환산법”은 전투기 개념설계 단계에서 효율적으로 생존성 분석을 수행할 수 있는 방법론으로서 전투기와 지상위협간의 성능변수의 변화에 따른 생존성 확률의 민감도를 비교할 수 있는 Trade Study를 신속, 간편하게 수행할 수 있는 장점이 있다.

II. 본 론

2.1 생존성 알고리즘

2.1.1 ACS (Aircraft Combat Survivability)

Ball 박사는 군용 항공기 생존성 개념을 위약도 (Susceptibility)와 취약도(Vulnerability)의 두 가지로 양분하여 정의하였다. Ball박사의 정의에 따르면 위약도란 “인공적인 적위협의 공격을 군용 항공기가 회피하지 못하는 정도”로, 취약도란 “군용 항공기가 인공적인 적의 위협에 공격당한 이후에 견디지 못하는 정도” 라고 하였다. 즉, 적의 위협으로부터 군용항공기가 회피할 수 있는 능력에 대한 척도인 위약도와 적의 위협을 피하지 못하고 타격을 입은 군용항공기가 임무를 완수하고 생존할 수 있는 능력에 대한 척도인 취약도로 구분한 것이다. 군용 항공기의 설계 변수들은 임무 목적에 따라 다양하게 달라지는데 어떤 설계변수는 위약도를 낮추고 취약도를 높이거나 혹은 그 반대의 결과를 초래할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Ball박사가 제시한 생존성 이론에 따라 다음 절에 제시할 Kill Chain Scenario를 기반으로 생존성 분석 알고리즘을 구축하였다.

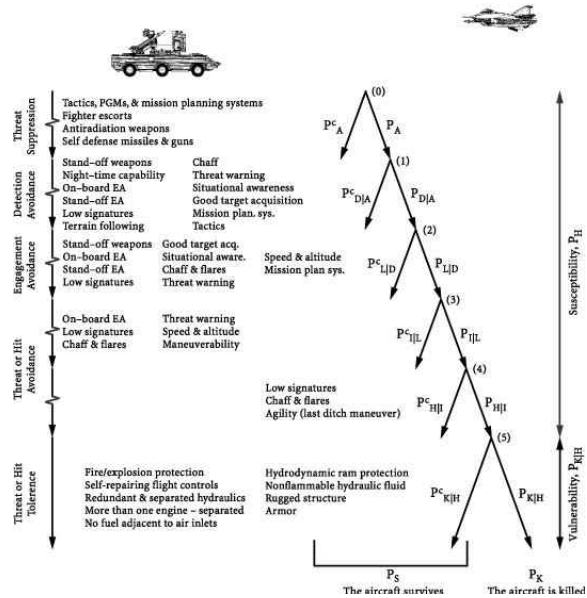


Fig. 1. One on One Single Shot Kill Chain Scenario⁽²⁾

2.1.2 Kill Chain Scenario

본 연구의 기본 배경이 된 Ball 박사가 제시한 지상위협과 전투기 간의 1 대 1 단발사격 교전 Kill Chain Scenario는 위의 Fig.1과 같다

지상위협과 군용항공기의 1 대 1 단발사격 교전 시나리오는 하나의 독립확률과 다섯 개의 조건부 확률로 결정된다. 군용 항공기는 지상위협의 탐지/추적/피격성능을 능가하여 위협을 회피하거나 또는 제압할 경우 생존한다. 따라서 지상위협과 임무수행 항공기 교전상황에서 시간 축으로 진행되는 교전단계 별 조건부 확률로 생존성 계산을 진행하게 된다. 첫 번째 확률은 지상위협이 활성화 되어있는가의 여부에 따른 독립확률로 P_A 로 표기한다. 본 연구에서는 지상위협의 활성화 정도 기본 값을 최대값인 1로 정해놓았다. 지상위협의 활성화 정도에 대한 독립확률이 결정 되었다면, 다음으로 활성화된 지상위협이 군용항공기를 탐지할 조건부 확률로 $P_{D|A}$ 로 표기한다. 지상위협이 군용 항공기를 사정거리 안에서 탐지하면, 지상위협이 보유한 무기체계를 발사하게 된다. 이때의 확률을 $P_{L|D}$ 로 표기한다. 다음으로 군용 항공기를 향해 발사된 무기체계가 타격하기 위해 추적할 확률을 $P_{H|L}$ 로, 군용 항공기를 추적한 무기체계가 타격을 입힐 확률을 $P_{K|H}$ 로 표기하며 여기까지의 조건부 확률 단계를 위약도 확률 P_H 로 정의한다. 지상위협의 무기체계에 의해 타격을 받은 군용 항공기가 견디지 못하고 추락 할 조건부 확률은 P_{KH} 로 표기

Table 1. Probability Step on Kill Chain Scenario

확률	상황	
P_A	지상위협 활성화	위약도
P_{DIA}	활성화된 지상위협에 의한 군용 항공기 탐지	
P_{LID}	군용 항공기를 탐지한 지상위협의 무기체계 발사	
P_{IIL}	발사된 무기체계의 군용 항공기 추적	
P_{HI}	추적한 무기체계에 의한 군용 항공기의 타격	
P_{KIH}	타격 당한 군용 항공기의 추락	취약도

하며 이 단일 조건부 확률은 Kill Chain 상에서 취약도에 해당한다. 위의 확률 단계들은 확률변수 가중치 환산법 알고리즘에서도 필수사건에 해당하는 군용 항공기 생존성을 평가하는데 매우 중요한 요소에 해당되며 Kill Chain Scenario 상의 확률단계에 대해 정리한 내용은 Table 1과 같다.

군용 항공기 생존성 관련 확률 계산식은 크게 세 가지의 식으로 나타낼 수 있는데, 먼저 위협으로부터 타격을 입기까지의 위약도 확률 [Eq.(1)], 지상위협으로부터 타격을 입은 후 전투기가 버틸 수 있는 정도로 위약도 확률이 일어나는 조건 하에 취약도 확률 P_{KIH} 를 곱하여 계산할 수 있는 전투기의 살상확률 P_K [Eq.(2)] 그리고 위약도와 취약도를 취합하여 계산하는 최종 군용 항공기 생존성 확률은 P_S 로 정의하며 계산 과정은 아래 [Eq.(3)]과 같다.

$$P_H = P_A P_{DIA} P_{LID} P_{IIL} P_{HI} \tag{1}$$

$$P_K = (P_A P_{DIA} P_{LID} P_{IIL} P_{HI}) P_{KIH} \tag{2}$$

$$P_S = P_K^c = 1 - P_K = 1 - P_H P_{KIH} = 1 - (P_A P_{DIA} P_{LID} P_{IIL} P_{HI}) P_{KIH} \tag{3}$$

본 연구에서는 위 Kill Chain Scenario를 기반으로 정의된 [Eq.(3)] 의 최종 생존성 도출 공식을 확률변수 가중치 환산법 알고리즘에 적용하여 군용 항공기의 생존성 분석 연구를 수행하였다.

2.2 확률변수 가중치 환산법

2.2.1 확률변수 가중치 환산법 알고리즘

본 연구에서 제시하고자 하는 확률변수 가중치 환산법 알고리즘의 구성은 아래 Fig. 2와 같다.

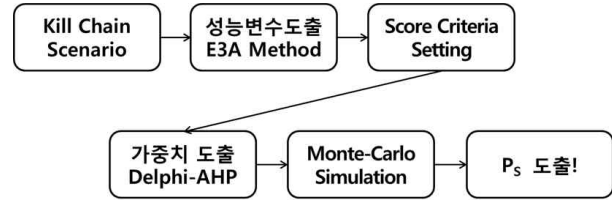


Fig. 2. The Algorithm of Random Variable Weighted Score Method

2.1절에서 언급한 Kill Chain Scenario를 기본으로 하여 필수사건 및 필수요소 분석법을 이용하여 군용 항공기와 지상위협의 필수 요소들을 분석하여 각 요소들의 성능변수를 도출하였다. 다음으로 도출된 성능변수들에 대한 점수기준을 마련한 후에, 정성적인 성능변수들에 대한 우위비교를 통해 가중치를 부여하기 위한 Delphi-AHP 기법을 이용 하였다. 가중치를 도출 한 후에는 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 불확실한 전장 환경의 요소들에 대한 시뮬레이션을 실시하였다. 마지막으로 위의 생존성 도출 공식을 이용하여 군용 항공기 생존성을 최종 계산하는 알고리즘이다. 확률변수 가중치 환산법 모델은 전투기의 개념설계 단계에서 군용 항공기의 설계 요소의 변화에 따른 생존성 특성 trade study를 신속하고도 경제적으로 수행할 수 있는 장점을 가지고 있다.

2.2.2 필수사건 및 필수요소 분석법

확률변수 가중치 환산법 알고리즘을 수행하기 위해 가장 먼저 수행되어야 할 과정은 필수사건 및 필수요소 분석법(E3A)을 통한 군용 항공기 및 지상위협의 성능변수를 도출하는 일이다. 필수사건이란 어떤 확률을 결정짓는데 있어 반드시 독립적으로 이루어져야 하는 사건으로서 지상위협이 활성화 되어있는 사건, 대공위협이 군용 항공기를 탐지하는 사건 등이 이에 해당한다. 또한 필수요소란 앞선 필수사건을 결정짓는데 중요하게 관여하는 변수들로, 예를 들어 군용 항공기의 탐지 사건에 관련되는 필수요소로서 지상위협에 장착된 레이더의 성능, 탐지면적을 최소화하기 위한 전투기의 RCS 성능 등이 이에 해당한다. 본 연구에서 수행한 필수사건 및 필수요소 분석법으로 도출한 필수사건과 필수요소를 Table 2에 표시하였고, 최종적으로 도출한 12종의 군용 항공기의 성능변수들은 Table 3에, 10종의 지상위협의 성능변수들은 아래 Table 4에 표기하였다. 또한 본 연구에서 군용 항공기는 전투기로 한정하여 연구를 실시하였다.

Table 2. Essential Event and Essential Element for Aircraft Combat Survivability

	필수사건	필수요소
위약도	지상위협의 활성화 (P_A)	-
	전투기의 탐지 (P_{DIA})	레이더의 성능 전투기의 스텔스 성능 전투기 교란 성능
	무기체계 발사 (P_{LID})	지상위협의 추적성능 전투기의 스텔스 성능 전투기의 교란 성능
	무기체계의 추격 (P_{IIL})	무기체계의 추적 성능 무기체계의 유도방식 전투기의 교란성능 전투기의 회피기동
	전투기의 타격 (P_{HI})	무기체계 탄두의 성능
취약도	전투기의 추락 (P_{KIH})	전투기의 취약 요소 무기체계의 폭발성 무기체계의 타격력

Table 3. Parameters for Aircraft Combat Survivability

군용 항공기 성능변수	Kill Chain Phase
Radar Warning Receiver (RWR)	P_{DIA}, P_{LID}
Missile Warning System (MWS)	$P_{DIA}, P_{LID}, P_{IIL}$
Combat Aircraft Radar Performance	P_{DIA}, P_{LID}
Electronic Maneuver (Jammer)	$P_{DIA}, P_{LID}, P_{IIL}$
Mechanical Maneuver (Chaff and Flare)	P_{IIL}
Stealth Characteristics (A/C generation)	P_{DIA}
Max. Speed (Mach #)	P_{DIA}
Avoidance Maneuvers (Max. G)	P_{LID}, P_{IIL}
Engine	P_{KIH}
Flight Crew	P_{KIH}
Flight Control System	P_{KIH}
Fuel Tank Damage suppression	P_{KIH}

Table 4. Parameters for Threats

지상위협 성능변수	Kill Chain Phase
Detection Radar	P_{DIA}
Tracking Radar	P_{LID}
Fire Control System	P_{LID}
Ammunition Velocity	P_{IIL}
Ammunition Range	P_{IIL}
Missile Guide System Performance	P_{IIL}
Max. Launch Altitude	P_{IIL}
Warhead Type	P_{HI}, P_{KIH}
Radar Plate Type	P_{LID}
Fuse Type	P_{KIH}

2.2.3 성능변수 Score Criteria

2.2.2절에서 도출한 군용 항공기와 지상위협의 성능변수에 대하여 각 각의 성능변수의 점수 기준을 정립하였다. 각각의 군용 전투기와 지상위협은 제작년도 및 제작사 등 기술발전예 따라 모델 별로 성능특성이 다르므로, 생존성 성능변수의 점수기준은 충분한 양의 데이터를 수집하여 점수기준 정립에 일반적 경향과 논리적 근거를 제시할 수 있도록 정의하였다. 아래의 Table 5는 본 연구에서 정의한 생존성 성능변수들의 점수기준의 예이다. 확률변수 가중치 환산법 알고리즘에서는 성능변수들의 Score Criteria를 지정하는 것이 매우 중요하다. 위의 Table 5의 예시와 같이 정확한 정량적인 점수기준을 예측할 수 없는 Radar의 경우 현재 운용되고 있는 모든 군용 항공기의 Radar의 특성 및 Spec을 수집 후 분석하고 전문가의 조언을 얻어 균등 분배를 통해 점수기준을 결정하였고, 승무원의 수에 대한 점수기준은 피격 시 항공기의 조종석의 취약면적의 크기에 기준하여 점수기준을 결정하였다. 점수기준에 따른 생존성 확률값 변화를 검토하기 위해 일차적으로 점수기준의 변화에 따른 위약도 확률 결과의 민감도를 분석하였다. 점수기준에 따른 민감도 확인을 위해 사용된 점수기준은 전투기의 Radar 성능과 Stealth 성능으로 아래 Table 6과 같다. Radar성능은 거리기준으로 나누어 놓은 점수기준과 레이더의 주사방식에 따라 나누어 놓은 점수기준을 이용하였고, 그 약어는 다음과 같다.(MSA : Mechanically Scanned Array Radar PESA : Passive Electronically Scanned Array EASA : Active Electronically Scanned Array)

Table 5. Score Criteria for Survivability Parameters

Score	A/C Radar
0	탐지거리 50Km 이하
1	탐지거리 50 - 100 Km
2	탐지거리 100 - 150 Km
3	탐지거리 150 - 200 Km
4	탐지거리 200 Km 이상
Score	승무원의 수
0	-
1	Side by Side 복좌형 조종석
2	단좌형 조종석
3	Tandom 복좌형 조종석
4	무인기

Table 6. Criteria for Score Sensitivity Analysis

A/C Radar Performance			
0	-	VS	50Km Under
1	-		50-100
2	MSA		100-150
3	-		150-200
4	PESA/EASA		Over 200Km
A/C Stealth Characteristics			
0	1 st Generation	VS	1 st % 2 nd Gen
1	2 nd Generation		3 rd Generation
2	3 rd Generation		4 th Generation
3	4/4.5th Gen		4.5th Gen
4	5 th Generation		5 th Generation

Table 7. Final Susceptibility Probability Through Score Criteria⁽⁷⁾

	Score Set A/C generation & Stealth	Susceptibility
Case1	4 & 3	0.093855
Case2	4 & 2	0.0850575
Case3	3 & 3	0.106913
Case4	3 & 2	0.115252

위 점수기준을 이용하여 위약도 확률 변화에 대한 Trade study를 수행한 결과 탐색 거리 기준으로 점수기준을 나눈 점수기준과 전투기의 4세대와 4.5세대를 분리하여 점수기준을 나눈 구분에 대하여 F-16C 전투기 모델에 대한 위약도 확률은 위의 Table 7과 같다⁽⁷⁾

분석결과 전투기의 레이더 성능에 대한 거리 구간점수기준과 4세대 전투기와 4.5세대 전투기를 나누어 놓은 점수기준이 보다 민감도에 영향을 미친다는 것을 파악할 수 있었다. 이는 점수기준이 결과에 미치는 영향이 크며, 보다 세부적이고 명확한 근거로 점수기준을 정립해야한다는 것을 의미한다.

2.2.4 Delphi-AHP 분석기법 이용 가중치 계산

필수사건과 필수요소 분석기법을 통해 도출된 성능변수와, 성능변수에 부여한 점수기준을 정립한 후에는 각 성능변수들의 가중치 산정이 필요하다. 가중치를 계산하는 이유는 Kill Chain 상의 같은 확률 단계에 관여하는 여러 성능변수들 간의 중요도를 판단하기 위해서인데, 만약 어떤 Kill Chain상에 관여하는 군용 항공기의 성능변수가 1개라면 이 때 가중치는 1이 될 것이다. 그러나 다수의 성능변수가 관여하는 Kill Chain단계의 경우 모두 동일한 정도로 생존성 확률에 영

향을 미친다고 볼 수 없다. 본 연구에서 도출된 성능변수들의 가중치는 Delphi-AHP 기법을 이용하여 산출하였다. Delphi-AHP 기법이란 정성적인 여러 가지 변수들에 대한 우선순위를 정하기 위해 전문가 집단에 설문조사를 실시하는 기법이며, 설문조사를 통해 얻은 결과를 이용하여 변수들의 가중치를 계산하기 위해 계층화 분석법(AHP기법)을 이용하는 것이다. 본 연구에서는 대한민국 공군 전투기 조종사 및 대공화기 전문가 집단을 대상으로 약 70건의 설문조사를 실시하여 결과를 활용하였다. 설문조사의 예시는 아래 Fig. 3과 같다. 설문조사를 위한 설문지에는 각 본 연구에서 설정한 생존성 확률 단계별 성능변수들 간의 중요도를 분별하여 가중치를 계산할 수 있도록 제작 하였는데 우선적으로 신뢰도 확보를 위해 응답 대상의 소속 및 전문분야와 근무경력(ex. 방공부대 근무경력 및 파일럿 비행시간)을 응답할 수 있도록 작성하였다. 다음으로 여러 가지 성능변수가 중복되어 영향을 미치는 Kill Chain상의 단계별 성능변수들의 쌍대비교로 설문자가 두 성능변수들 간의 중요도를 평가하여 설문할 수 있도록 문항을 작성하였다. 예를 들어 P_{LID} 단계의 전투기의 성능변수는 총 7가지로, 이 7가지의 성능변수들의 쌍대비교를 위한 각각의 문항을 작성하고 근거를 응답할 수 있도록 제작하였다.

유인 전투기 생존성 관련 전문가 설문지

안녕하십니까? 귀하의 무궁한 발전이 있기를 기원합니다.

- 저의 세종대학교 연구소에서는 유인 전투기의 지상위협 (SAM, AAA) 에 대한 생존성 분석을 위한 설문조사를 진행 중에 있습니다.
- 본 설문은 지상위협과 조우한 전투기의 '위약도 (Susceptibility)'와 '취약도 (Vulnerability)' 확률을 계산하기 위한 단계에서 선정한 성능변수 별 가중치를 계산하기 위한 설문입니다.
- 본 설문은 각 단계의 전투기와 지상위협의 성능변수로 구성이 되어 있습니다.
- 질문설과 곁절을 토대로 정성적 작성해 주시면 대단히 감사하겠습니다.
- 본 설문은 각 성능변수 별 쌍대비교를 이용하므로 설문에 오랜 시간이 소요 될 수 있음을 알려드립니다.

1. 일반사항 (개인 정보 문제로 불만하시다면 성명은 기재하지 않으셔도 좋습니다.)

성 명	소속/전문분야
방공부대 근무 경력	파일럿 경력 (비행시간)

2. 확률 계산 단계

- 본 설문은 전투기와 지상위협 간의 1:1 단발사격의 Kill Chain을 따릅니다.
- 위약도 (Susceptibility): 전투기가 위협에 의해 타격을 입기까지 확률

$$P_s \text{ (Susceptibility)} = P_A \cdot P_{DA} \cdot P_{LP} \cdot P_B \cdot P_{IS}$$
- 취약도 (Vulnerability): 타격을 입은 전투기가 견디지 못할 확률

$$P_{VH} \text{ (Vulnerability)}$$

Fig. 3. Survey Foam for Delphi Method

이러 설문조사 결과를 이용하여 성능변수간 가중치를 계산하기 위하여 계층화 분석법을 이용하였다. 가중치를 계산하기 위하여 설문조사에서 실시한 쌍대비교에 통계학에서 가중치 계산을 위한 가장 많이 이용하고 있는 5점척도의 기준안을 적용하였다. 위 점수기준안을 이용하여 가중치 행렬을 생성하고 계층화 분석법의 계산 단계를 통해 최종 가중치를 도출하였다. 마지막으로 응답자의 논리적 일관성 유지여부를 확인하여 신뢰성을 검증하기 위해서 일관성 비율인 CR 값을 계산하였다. 계층화 분석법을 이용하여 CR값을 계산하기 위해 성능변수의 개수에 따라 생성되는 행렬의 고유값을 이용한 일치성지수인 CI을 계산하고, 성능변수의 개수에 따라 달라지는 계수인 임의적 일치성지수인 RCI를 이용하여 일관성 비율을 계산하게 된다. 계층화 분석법에서 일관성 비율이 20%인 0.2이하이면 설문조사의 응답은 일치성이 있다고 판단하여 신뢰성을 부여하게 된다. 아래 Table 8은 1 대 1 단발사격 시나리오의 P_{LID} 단계에 관여하는 군용 항공기 성능변수들의 가중치를 계산한 예이며 Table 9은 최종적으로 계산된 P_{LID} 단계의 가중치이다.

Table 8. Example of Calculate Weighting on P_{LID} Step⁽²⁾

	RWR	MWS	RAD	JAM	G	Mach	Ste
RWR	1	1/3	1/3	1/5	1/5	3	1/5
MWS	3	1	3	1/5	1/5	3	1/5
RAD	3	1/3	1	1/3	1/3	1/3	1/5
JAM	5	5	3	1	3	5	1/5
G	5	5	3	1/3	1	5	1/5
Mach	1/3	1/3	3	1/5	1/5	1	1/5
Ste	5	5	5	5	5	5	1
SUM	22.33	17	18.33	7.27	9.93	22.33	2.2

	RWR	MWS	RAD	JAM	G	Mach	Ste	WF
RWR	0.0448	0.0196	0.0182	0.0275	0.0201	0.1343	0.0909	0.05
MWS	0.1343	0.0588	0.1636	0.0275	0.0201	0.1343	0.0909	0.09
RAD	0.1343	0.0196	0.0545	0.0459	0.0336	0.0149	0.0909	0.06
JAM	0.2239	0.2941	0.1636	0.1376	0.3020	0.2239	0.0909	0.21
G	0.2239	0.2941	0.1636	0.0459	0.1007	0.2239	0.0909	0.16
Mach	0.0149	0.0196	0.1636	0.0275	0.0201	0.0448	0.0909	0.05
Ste	0.2239	0.2941	0.2727	0.6881	0.5034	0.2239	0.0909	0.38
								1

CI	0.1783
RCI	1.32
CR	0.1226

Table 9. Final Weighting of P_{LID} Step

성능변수	가중치
RWR	0.07
MWS	0.12
RADAR	0.07
JAMMER	0.18
Avoidance Maneuver	0.20
Mach	0.13
Stealth	0.24

Table 10. Calculated Weighting

	군용 항공기		지상위협	
	성능변수	가중치	성능변수	가중치
P _{DIA}	RWR	0.0724	T.Radar	0.3646
	MWS	0.1158		
	RADAR	0.0679		
	Jammer	0.1796	Fire Ctrl	
	MAX.G	0.1969		
	MACH	0.1302		
	Stealth	0.2372		
P _{LID}	RWR	0.1343	D.Radar	0.5357
	RADAR	0.2336		
	Jammer	0.1335	RadarPlate	
	MACH	0.4350		
	Shealth	0.0616		
P _{IIL}	MWS	0.2630	Velocity	0.1558
	Jammer	0.1279		
	CH/FL	0.1744	Range	
	MAX.G	0.3516	Guide	
	MACH	0.0831	Altitude	
P _{KIH}	Engine	0.3903	Warhead	0.3503
	Crew	0.1954		
	FCS	0.2342	Fuse	
	Supp	0.1801		

최종적으로 계산한 P_{LID} 단계의 일관성 비율은 0.1167로 0.2이하의 값을 도출하여 신뢰성이 있다고 판단하였다. 위와 같은 방법을 이용하여 여러 성능변수가 영향을 미치는 P_{DIA} P_{LID} P_{IIL} P_{KIH} 단계의 조건부 확률 단계에서의 군용 항공기와 지상위협의 가중치를 계산하여 도출 하였다. 최종적으로 계산된 가중치는 Table 10과 같다.

2.2.5 몬테카를로 시뮬레이션

확률변수 가중치 환산법 모델 알고리즘의 마지막 단계는 몬테카를로 시뮬레이션 수행이다. 몬테카를로 시뮬레이션은 불확실성 결정 이론으로써 표준 정규분포를 이용한 통계학적 기법 중 하나이다. 본 연구에서 몬테카를로 시뮬레이션을

이용한 이유는 전장상황의 날씨, 지형, 또는 조종사의 숙련도와 같이 정량적으로 모델링하기에 여의치 않은 불확실성 요소들에 대한 모사를 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 확률통계적으로 수행할 수 있기 때문이다. 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하기 위하여 본 연구에서는 공학용 소프트웨어인 MATLAB을 이용하여 내부의 난수생성 모듈을 이용해 시뮬레이션을 수행하였다. 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하기 위한 방법은 앞서 구한 각 성능변수 별 점수기준에 따른 점수와 가중치를 곱하여 Weighted Score를 계산하고 이를 평균으로 하며 표준편차를 1로 하는 분석자가 정한 개수만큼 임의의 난수행렬을 생성한다. 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 각 단계별 최종 확률을 계산하는 방법은 확률단계별 군용항공기와 지상위협체의 각각의 성능변수들의 몬테카를로 합을 계산하여 조건부 확률을 계산하고 Eq.1을 따라 최종 생존성 확률을 계산한다. 위와 같이 필수사건과 필수요소 분석법을 이용한 성능변수의 도출부터 몬테카를로 시뮬레이션을 이용해 생존성 확률을 계산하는 일련의 과정을 “확률변수 가중치 환산법” 모델이라 명명하였다.

2.2.6 GUI SOFTWARE 개발

확률변수 가중치 환산법 모델을 이용한 생존성 분석을 위하여 본 연구에서는 공학용 소프트웨어인 MATLAB을 이용하여 GUI Software를 개발하였다. 본 소프트웨어의 알고리즘은 아래 Fig. 4와 같다. 본 연구에서 우방 및 적 국가에서 운용하고 있는 전투기 97종 (파생형 포함), 지대공미사일 26종, 대공포 17종에 대한 DB를 구성하였다. 소프트웨어는 크게 두 가지의 메뉴로 구성이 되어있는데, DB를 열람할 수 있는 Library

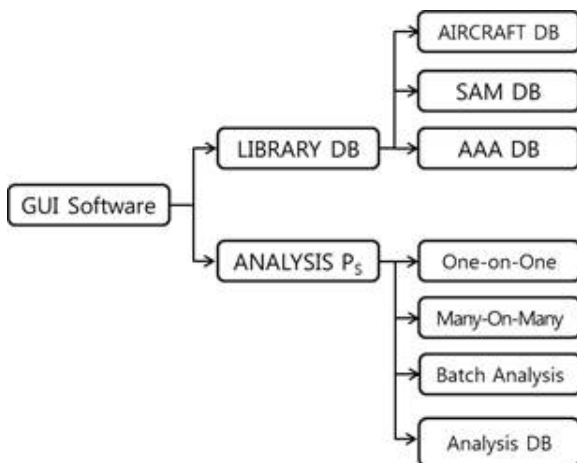


Fig. 4. Diagram of GUI Software Structure

DB menu와 생존성 분석을 위한 Analysis menu이다. 생존성 분석 메뉴 내부에는 DB를 구축한 대상 기종에 대한 생존성 분석 성능변수에 대한 점수 및 가중치를 MATLAB연산을 위한 함수화 작업을 하여 내장하였다. 생존성 분석 메뉴에는 1 대 1 단발사격, 1 대 1 다발사격, 다 대 다 교전 및 임의의 성능변수의 점수에 따라 1 대 1 단발사격 교전의 생존성 민감도를 비교 해 볼 수 있는 Batch Analysis로 구성하였다.

III. 결 론

확률변수 가중치 환산법 알고리즘을 이용하여 제작한 소프트웨어를 이용하여 실제 생존성 확률 계산을 하였다. 현재 전투기 생존성 관련 국방 M&S 소프트웨어는 접근이 제한되어있어 결과 값 검증에 이용할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 Ball박사의 저서에 수록된 걸프전 전투 데이터 중 Desert Storm combat data와의 결과 값을 비교하였다. 걸프전 당시 미군에서 운용했던 전투기는 F-16C 와 F/A-18 전투기였다. 이에 대한 주요 지상위협은 SA-6 지대공 미사일이였다. 아래 Table 11는 두 전투기 모델에 대한 확률변수 가중치 환산법 모델을 이용하여 분석한 생존성 확률 결과와 전투기록 과의 결과이다.

분석 결과 계산의 경향성은 일치하지만 실제 사막의 폭풍 작전 전투데이터 결과 값과 차이를 발견할 수 있다. 확률값은 사건 발생수가 무한대로 갈 경우의 예상치로 사막의 폭풍 작전에서 실제 발생한 F-16C, F/A-18과 SA-6 간의 교전회수는 제한적이므로 전투데이터와 계산치가 일치하

Table 11. Survivability Probability Result Comparison

F-16C vs. SA-6		
	가중치 환산	Desert Storm
P_H	0.0574	0.0005
$P_{K/H}$	0.5985	0.43
P_K	0.0344	0.0002
P_S	0.9656	0.9998

F/A-18 vs. SA-6		
	가중치 환산	Desert Storm
P_H	0.0653	0.0016
$P_{K/H}$	0.4358	0.0
P_K	0.0285	0
P_S	0.9715	1

지 않는 것은 예상할 수 있다. 이 외에 확률 결과의 차이를 유발한 주요 원인은 1 대 1 단발사격 교전 모델링과 실제 전투 상황의 교전조건 차이 그리고 본 연구는 Mission Profile을 고려하지 않고 단순 성능변수들 간의 성능차이만을 고려했다는 점을 들 수 있겠다. 또한 결과를 통해 확인할 수 있었던 사항은 생존성 확률의 경향성이 매우 유사하고 논리적 타당성이 있으나 성능변수, 점수기준, 가중치 등에 대한 신뢰도의 추가 검증이 필요하다는 것이다. 통계처리가 의미 있는 충분한 분량의 전투데이터 확보 또는 정교한 교전급 이상의 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 계산한 결과 값을 확보한 후 알고리즘의 보정을 통해 보다 신뢰성이 높은 생존성 분석 도구로 확장 개선 할 수 있다. 추후 본 연구를 기반으로 하여 Mission Profile, Campaign level 및 Sortie 등의 개념을 도입하여 지상위협과 군용 항공기간의 교전 상황에 대한 생존성 분석 연구를 수행 할 것이며 공대공 전투상황에 대한 군용 항공기 생존성 알고리즘 모듈을 추가하여 확장하고자 한다.

References

- 1) 1972, MIL-STD-721B 1972: Definition of Effectiveness Terms for Reliability, Maintainability, Human Actors, and Safety", Micro-electronics and Reliability, Vol. 11, pp.429-433
- 2) Robert E. Ball, 2003. "The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design", Edition 2 AIAA Education Series, New York,
- 3) Yang. J. S, Lee. K. T, Myung. S. H, 2012. 4, "The Advanced Study of GUI Based Software SACSA for the Aircraft Combat Survivability Analysis and Aircraft/Ground-based Threat Database" pp.824~829,
- 4) Yang. J. S, Jee. C. K, Lee. K. T, 2012, "The Study of Combat Aircraft Vulnerability Assessment using Random Variable Weighted Score and Fuzzy Theory Algorithms", KIMST 2012 Conference, pp.135~138
- 5) Yang. J. S, Lee. K. T, Myung. H. S, "The Study of Design Software for the Aircraft/Ground-based Threat Database and Aircraft Combat Survivability Analysis", KIMST 2012 Conference, pp 188~191
- 6) Yang. J. S, Jee. C. K, Lee. K. T, 2012, "Comparative Study of Combat Aircraft Vulnerability Assessment Algorithms : Random Variable Weighted Score vs. Probability Membership Function Based on Fuzzy Theory", Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology 2012
- 7) Yang. J. S, Jee. C. K, Lee. K. T, 2012, "Sensitivity and Reliability Evaluation for the Score Criteria of susceptibility Parameters in the Application of Random Variable Weighted Score Algorithm", Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology 2012
- 8) Kim, J. Y & Lee, K. T. 2012, "Study of the Combat Aircraft Susceptibility against Surface-Based Threat", The Korea Society for Aeronautical & Space Sciences Spring Conference.
- 9) Park. M. H, 2005, "Aircraft FBW Development Technology Trends", Aerospace Industry Technology Trends, Vol.3 No.1, pp 27~34
- 10) Lim, S. M., 2005, "Understanding Fighter Aircraft volume. 1, volume2"
- 11) Intel-edge, 2011, "KODEF Military Aircraft Almanac", Planet Media
- 12) "Jane's Year book", <http://www.janes.com/>