

소프트웨어 오류 추정 기법을 활용한 공대지 사격 오류 요인 분석 모델

김재환^{1†} · 최경희² · 정기현²

The Fault Analysis Model for Air-to-Ground Weapon Delivery using Testing-Based Software Fault Localization

Jae-Hwan Kim · Kyunghee Choi · Kihyun Chung

ABSTRACT

This paper proposes a model to analyze the fault factors of air-to-ground weapon delivery utilizing software fault localization methods. In the previous study^[5], to figure out the factors to affect the accuracy of air-to-ground weapon delivery, the FBEL (Factor-based Error Localization) method had been proposed and the fault factors were analyzed based on the method. But in the study, the correlation between weapon delivery accuracy and the fault factors could not be revealed because the firing accuracy among several factors was fixed. In this paper we propose a more precise fault analysis model driven through a study of the correlation among the fault factors of weapon delivery, and a method to estimate the possibility of faults with the limited number of test cases utilizing the model. The effectiveness of proposed method is verified through the simulation utilizing real delivery data, and weapons delivery testing in the evaluation of which element affecting the accuracy of analysis that was available to be used successfully.

Key words : Fault localization, Air to Ground weapon Delivery accuracy, Range Error Probable, Deflection Error Probable

요약

본 논문에서는 오류 검출을 위해 소프트웨어 오류 추정 기법을 활용하여 항공무장 시스템인 공대지 사격의 오류 요인을 분석하기 위한 모델을 제시하고 모델을 기반으로 오류 요인 영향을 분석하였다. 선행 연구^[5]에서는 공대지 무기체계의 정확도에 영향을 미치는 오류 요소를 분석하고 결함위치추정 기법인 FBEL(Factor-based Error Localization) 기법을 제안하였으며 실사격 자료에 적용하여 오류 요소를 분석하였다. 그러나 다양한 요인 중 하나의 요인인 정확도를 고정하여 적용하므로 다양한 사격 정확도 변화에 따른 사격 오류 발생 요소와의 상관관계는 밝히지 못하였다. 본 연구에서는 사격 오류 요소의 상관관계 분석을 통하여 보다 세밀한 오류 분석 모델을 제시하고 시간과 비용이 제한적이거나 테스트 케이스가 적은 상태에서 오류 발생 가능 요소를 추정하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 실사격 자료를 이용한 시뮬레이션을 통해 그 효용성을 입증하였으며, 무기체계 공대지 시험평가에서 어떤 요소들이 정확도에 영향을 미치는지를 분석하는데 성공적으로 활용될 수 있음을 보였다.

주요어 : 오류 추정 기법, 공대지 항공무장 정확도, 사거리 공산오차, 예상 편각오차

1. 서론

Failure는 System에서 요구된 기능을 수행하는 각 기

접수일(2011년 5월 18일), 심사일(1차 : 2011년 8월 17일),
게재 확정일(2011년 8월 17일)

¹⁾ 아주대학교 NCW학과

²⁾ 아주대학교 정보통신대학원

주 저 자 : 김재환

교신저자 : 김재환

E-mail; kimch092@yahoo.co.kr

능 단위의 능력이 없어지거나 제대로 발휘되지 않는 것을 의미하며 시스템 시험평가에서 이러한 영향을 주는 요인 검출은 매우 중요하다. 소프트웨어의 오류 요인을 검출하는 연구는 white-box 레벨에서는 많이 진행^[1,2]되어 있지만, 임베디드 시스템등 black-box 레벨의 시스템에서는 이러한 연구가 별로 진행되지 못하고 있다. 특히, 시스템 레벨에서 오류 요인은 요인간 서로 많은 관련이 있어 쉽게 검출이 어렵다. 최근에는 System의 결함을 찾아내는 방법으로 사용되는 Testing-Based Fault Localization 기

법에 대한 연구^[3]와 Fault Localization 기법을 활용하여 실제 System에 적용한 사례로는 오류 추정 기법과 퍼지(Fuzzy)이론의 유사성을 이용하여 적용방안을 제시하고 우드 드라이어(Wood dryer)에 실적용하여 결함을 찾아내는 연구^[4]가 진행되었다. 공대지 사격 관련 연구로는 무기체계 System의 공대지 사격 오류 분석을 위해 white-box 오류 검출 기술로 사용되는 fault localization 기법을 응용하는 연구^[5]가 진행 되었다. 위 선행 연구^[5]에서는 공대지 무기체계의 정확도에 영향을 미치는 오류 요소를 분석하고, 결함위치추정 기법인 전통적인 white box에 사용되는 fault localization을 응용하여 새로운 FBEL(Factor-based Error Localization) 기법을 제안하였고, 공대지 사격 환경의 오류 검증을 위해 실사격 자료에 적용하여 오류 요소를 분석하였다. 이 연구를 통하여 Fault Localization 기법이 무기체계의 결함을 효과적으로 추정 가능함을 보였다. 그러나 위 선행 연구^[5]에서는 주요한 오류 하나가 전체 시스템에 어떠한 영향을 주었는지 분석하였으나 실제 시스템에서는 여러 요소가 서로 영향을 미치기 때문에 간단한 기준만으로 영향 여부를 판단할 경우 정확한 오류 요소 분석이 어려울 수 있다. 즉, 사격 정확도 요인을 한 가지 경우로 고정하여 적용하므로 다양한 사격 정확도 변화에 대한 사격 오류 발생 요소와의 상관관계는 밝히지 못하였다. 또한, 무기체계 개발 시험평가인 경우 여건상 시간과 비용이 제한되는 경우가 많아 적은 테스트 케이스(Test Case)를 사용하여 결함 요소 분석을 위한 효율적인 할 수 있는 방법이 요구되고 있다^[6].

본 논문에서는 오류 추정 기법을 이용하여 공대지 사격 정확도 변화와 사격 오류 요소의 상관관계를 분석하여 복수개의 요인이 시스템 오류에 영향을 미치는 문제를 분석하고, 이를 통해 효율적으로 오류를 찾아내는 방법을 제안하고자 한다. 이 제안 방법은 정확도 증대를 통해 오류 가능성을 반복 계산함으로써 시간과 비용이 제한적이거나 테스트 케이스가 적은 상태에서 오류 발생 가능 요소 추정에 매우 유용하다. 또한 제안된 방법을 적용하여 분석한 공대지 무기체계 발사체 시험평가에 정확도 향상을 위한 오류 요소 분석은 조종사 사격훈련 결과 분석 및 디브리핑 자료로 활용이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련연구로 공대지 무장투하 오류 요소 추정 기법과 사격 오류 발생 요소 그리고 FBEL 기법에서 고정된 정확도 적용의 문제점에 대하여 알아본다. 3장에서는 사격 오류 분석 체계, 군요구 MIL(Milliradian)과 탄착점 분석 척도 및 정확도의 기준인 탄착점 시뮬레이션 결과를 제시하며, 4장에서는

정밀한 사격 오류 분석을 위하여 정확도 증대와 오류 요소의 상관관계를 분석한다. 5장에서는 분석에 대한 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 관련 연구

2.1 공대지 무장투하 오류 요소 추정 기법

소프트웨어 엔지니어링 분야에서는 시스템 복잡도 및 기능 증가와 더불어 증가하고 있는 테스트 비용을 줄이고 결함을 효율적으로 찾기 위한 많은 연구가 진행 중에 있으며, 그러한 여러 가지 결함을 추정하는 방법 중에 효율적인 방법 중의 하나가 fault localization 기법이다^[7]. 소프트웨어 Testing-Based Fault Localization 기법에는 Tarantula 기법^[8], Statistical Bug Isolation(SBI) 기법^[9], Jaccard 기법^[10], Ochiai 기법^[11] 등이 있다. S/W Testing-Based Fault Localization 기법은 다양한 테스트 input을 적용하였을 때, 실행된 Statement 혹은 block의 실행 여부와 실행 결과 오류 여부를 근거로 하여 오류를 발생시킨 statement나 block을 추정한다. 이들 기법의 대부분은 소프트웨어의 코드를 요구하는 white-box 기법으로 분류할 수 있다. 이들 소프트웨어 Fault Localization 기법을 적용하여 black-box 수준의 시스템에 적용해서 오류 발생 가능 요소를 찾아내고, 시스템 수준에서 오류 요인이 실제로 시스템 오류에 영향을 주었는지를 판단하는 방법에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 시스템 오류 분석에서 관련 요소가 오류에 영향을 주었는지에 대한 판단은 매우 중요한데, 이러한 요소가 시스템 오류의 주요 원인이 되기 때문이다.

선행 연구^[5]에서는 기존의 fault localization 기법을 무장 발사 체계의 오류 분석에 활용 가능함을 보였다. 선행 연구^[5]에서 제안한 FBEL 기법은 시스템의 오류에 미치는 요소를 분석하고 이들 각 요소를 소프트웨어 fault localization 분석 기법을 활용하여 시스템의 오류를 분석하였다. 또한, 제안된 기법을 무기체계 시스템의 공대지 무장 투하 오류 추정에 적용 가능함을 제시하였다.

FBEL 기법에서는 시스템 오류 요소 분석을 위해 표 1과 같은 구조의 프레임워크(Framework) 구조를 사용한다. 논문에서 활용하는 프레임워크의 구조는 소프트웨어의 Fault Localization 기법과 동일하다.

소프트웨어 Fault Localization 기법에서 각 행은 Statement나 block을 의미하지만, FBEL 기법에서는 시스템 오류 발생 가능한 요소를 적용한다. 표 1에서는 다섯개의 요소(F1~F5)에 대한 분석에 여덟 개의 테스트 케이스(T1~T8)

표 1. FBEL 기법의 시스템 오류 분석 프레임워크

구분 요소	테스트 케이스								S	순위
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8		
F1		●	●		●					
F2		●					●	●		
F3	●			●	●		●			
F4			●			●				
F5		●		●				●		
Pass/ Fail	F	P	F	P	P	F	P	P		

를 사용하는 예를 보여주고 있다. ●의 의미는 소프트웨어 Fault Localization 기법에서 실행과 유사하게 오류 발생 가능 요소가 요소별 제한치를 벗어났는지를 검사했음을 의미한다. 마지막 행은 테스트 케이스 적용 결과 시스템 정확도 기준치에 내에 있으면, Pass(P)가 되고 그렇지 않으면 Fail(F)이 된다. 각 요소들에 테스트 케이스를 적용한 결과를 이용하여 의심도(S: suspiciousness)를 계산하고 의심도가 높은 요소에 높은 순위를 부과하고 높은 우선 순위의 요소일수록 오류에 영향을 미칠 가능성이 높다고 판단한다.

2.2 공대지 무장투하 정확도 및 사격 오류 발생 요소

공대지 무기의 성능을 결정짓는 주요 요소로는 정확도, 운용거리, 투하속도, 파괴력, 목표를 식별하고 추적하는 능력, 목표물 도달시간, 가격, 신뢰성 및 정비성등 여러 가지로 정의된다^[12]. 그 요소들 중에 정확도는 목표물의 파괴력에 영향을 미치는 중요한 요소로서, 탑재한 무장을 조준된 표적에 정확하게 떨어뜨릴 수 있는 능력이며 무장성능에 매우 중요한 영향을 미친다. 다음은 무장투하 정확도에 영향을 미치는 요소와 탄착점 분석에 대하여 알아본다.

2.2.1 무장투하 정확도에 영향을 미치는 요소

무장투하 정확도는 영향을 미치는 요소로는 일반적으로 조종사의 임무 스트레스(Workload and stress), 목표물 획득(Target acquisition), 조준 오차(Aiming error), 탄도 분포(Ballistic dispersion), 분리 효과(Separation effects) 등 크게 5가지로 구분할 수 있다^[13].

조종사의 임무 스트레스는 무장투하 임무를 수행함에 있어서 임무의 중요도가 많을수록 조종사가 받는 부담감은 많아지고 이러한 부담감은 무장투하 정확도에 영향을 미친다. 목표물 획득은 목표물 공격을 위한 기상상황, 빛

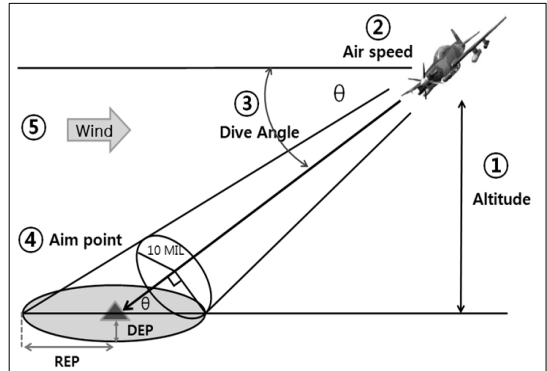


그림 1. 사격 오류 발생 요소

의 밝기, 위장, 은밀 침투시 지형지물 회피 기동, 조종사의 목표물 식별 경험 등이 무장투하 정확도에 영향을 미친다. 조준 오차는 조종사가 전방시현장비(HUD : Head Up Display)를 통하여 조준점(Pipper)을 목표물과 일치시키는 능력에 따라 차이가 난다. 조준 오차는 조준점을 표적에 일치시키는데 있어 조준점 식별의 크기와 조종사의 시각적 능력 등에 의한 조준점 조준 오차와 항공기의 기동에 따라 조준점을 지나가는 표적에 일치하는 순간을 포착하는 시간 오차 등 두 가지로 나누어진다^[14,15]. 탄도 분포는 탄도의 분산도에 의한 오차로서 비 유도무기에서 발생하며, 탄환의 모양, 무게 등이 정확도에 영향을 미치는 경우이다. 분리 효과는 무장분리 순간에 무장 낙하속도에 교란을 유발하는 각종 인자들이 정확도에 영향을 미치는 경우이다. 이 인자에는 무장사출장비의 공차에 따른 사출 속도 오차, 사출지연, 동체 주위의 기류에 의한 변화 등이 있다.

2.2.2 사격 오류 발생 요소와 군 요구 탄착점 범위

공대지 무장투하 정확도에 영향을 미치는 요소로는 여러 가지가 있지만, 본 논문에서는 사격시 HUD 분석을 통한 발생 가능한 오류 요소로 제한한다. 공대지 사격에서 발생할 수 있는 오류 요소는 ①투하고도(Altitude, A), ②투하속도(Air Speed, S), ③강하각(Dive Angle, D), ④조준점(Aim Point, P), ⑤바람(Wind, W)의 영향 등으로 그림 1과 같다^[5]. 이러한 요소들은 사격 훈련 중 조종사가 원하는 탄착점에 발사체가 투하되지 않고 벗어나는 오류의 발생 요소로 작용하며, 탄착점에 대한 분석도 이러한 오류 요소를 중심으로 분석한다.

군에서 요구하는 정확도 범위인 군 요구 MIL(Desired MIL, DM)이 정해지면 지상의 탄착점 범위인 DEP(Deflection

error probable)와 REP(Range error probable)가 식 (1)과 식 (2)에 의해서 구해진다^[13]. SR(Slant Range)은 사격을 실시하는 순간 목표지점과 항공기간의 LOS(line-of-sight) 거리이다.

$$DEP(ft) = (DM*SR)/1,000 \text{ ft} \quad (1)$$

$$REP(ft) = (DM*SR^2)/(1,000 \text{ ft}*A) \quad (2)$$

2.3 고정된 정확도에 대한 FBEL 기법 적용의 문제점
 선행 연구^[5]의 FBEL 기법에 대하여 고정된 정확도를

기준으로 무기체계 시스템에 적용하고 적용 결과를 토대로 문제점을 제시한다.

2.3.1 실사격 탄착점 분석

사격 정확도 분석을 위해서 현재 공군에서 운영 중인 KA-1 항공기^[16]의 실사격 자료에 적용하였다. 실사격 자료는 10명의 조종사가 실시한 각 3회의 사격에 대하여 각 사격 회수별 투하고도, 투하속도, 강하각, 조준점, 바람 등에 대한 HUD 분석을 통하여 얻었으며 결과는 표 2와 같다. 또한 사격 당시 바람 요소는 사격 항공기로부터 구하

표 2. KA-1 항공기 실사격 결과 분석

조종사	구분 사격 실시	HUD 분석				바람		탄착점		비고						
		고도(ft)	속도(kts)	강하각(°)	조준점	(풍향/풍속)	측풍	방향(시)	거리(ft)							
A	1	3290	246	31	6/100	정 7 k 우측 6.5 k	320/10	2	130	240 kts 사격						
	2	3140	251	33	8/50			12	40							
	3	3400	243	33	8/50			12	120							
B	1	3200	245	32	6/30			12	30							
	2	3270	244	33	5/30			12	110							
	3	3340	242	30	5/10			3	20							
C	1	3320	239	29	9/30			9	30							
	2	3380	237	27	B.E			3	40							
	3	3400	243	31	7/100			10	90							
D	1	2900	255	28	4/50	정 23 k 우측 15 k	295/27	5	153	260 kts 사격						
	2	3040	253	31	6/50			10	117							
	3	3100	252	31	4/50			10	116							
E	1	2900	258	30	5/50			9	146							
	2	2700	260	27	4/100			7	78							
	3	2900	250	28	4/100			11	93							
F	1	3350	258	29	2/30			정 12.25 k 우측 26.28 k	330/29		7	118	260 kts 사격			
	2	3250	260	30	2/50						8	51				
	3	3390	258	31	5/30						6	127				
G	1	3210	263	32	3/50	정 2.43 k 우측 13.78 k	320/14			1	128	260 kts 사격				
	2	3360	257	34	5/20					2	21					
	3	3310	258	34	4/100					1	100					
H	1	3150	250	30	7/50					배 9.65 k 우측 2.58 k	070/10			7	60	260 kts 사격
	2	3200	252	31	0/0									5	30	
	3	3200	251	31	0/0									10	54	
I	1	3110	251	26	11/20			정 13.92 k 우측 9.75 k	300/17				8	133	260 kts 사격	
	2	2710	260	28	5/50								7	119		
	3	2950	270	30	5/20								5	145		
J	1	3400	250	30	4/100	배 9.65 k 우측 2.58 k	070/10					1	80	260 kts 사격		
	2	3200	256	30	5/150							2	63			
	3	3300	257	30	6/150							6	111			

표 3. 정확도 5 MIL에 대한 FBEL 기법 적용

Factor	구분			Test Case																			Tarantula		SBI/Jaccard		Ochiai	
	A1	A2	A3	B1 \ C2	C3	D1	D2 \ E1	E2	E3	F1	F2	F3	G1	G2	G3	H1 \ H3	I1 \ I3	J1	J2	J3	T (s)	순 위	S(s) /J(s)	순 위	O (s)	순 위		
고도																						0		0		0		
속도																							0		0		0	
강하각																							0		0		0	
조준점					●			●	●						●			●	●	●		0.61	2	0.21	2	0.75	2	
바람						●	●	●	●	●	●	●										0.73	1	0.38	1	0.88	1	
Pass/Fail	F	P	F	P	F	F	F	P	F	F	P	F	F	P	F	P	F	P	F	P								

였고, 사격 탄착점 결과는 지상에서 측정한 점수(Score)를 사용하였다. 사격 제원은 3,000 ft 고도에서 30° 강하각으로 투하속도 240 kts/260 kts로 사격을 실시한 자료이다. 조준점은 조종사가 최종 사격 버튼을 누를 때 어느 위치에 조준점을 위치하였는가를 시계방향으로 표시하였으며, 탄착점은 탄두가 떨어진 방향을 목표물의 정 중앙인 BE(Bull's eye)로 부터 시계방향과 거리로 표시하였다. HUD 자료는 사격 순간의 비행 상태를 그대로 확인할 수 있고, 사격 순간의 세부적인 제원을 요소별로 분석할 수 있으므로 객관적인 자료로 활용이 가능하다.

2.3.2 FBEL 기법 적용의 문제점

제한치에 대한 계산을 위해서 KA-1항공기의 기술도서인 T.O-34에서 제시한 사격 제원표를 활용하였다. 각 요소별 제한치는 선행 연구^[5]에 설명이 되어있으며, 탄착점 오류 분석을 위해서 사격제원표의 3,000 ft 고도에서 SR를 계산식에 활용하였다. 고도 분석을 위해서는 투하고도 ± 500 ft 값을, 속도 분석을 위해서는 투하속도 240 kts (260 kts)의 ± 20 kts 변화에 대한 MIL 값의 변화를 활용하였다. 강하각 분석을 위해서는 원하는 투하강하각 30° 의 ± 5°에서 변화되는 MIL 값을 활용하였다. 조준점 계산은 탄착점 계산과 동일하며 바람 요소 계산은 사격제원표의 1 kts당 Cross Wind 가중치를 활용하였다.

군 요구 MIL을 5 MIL(10 MIL CONE)로 가정하면 각 요소별 제한치는 식 (1)을 적용하여 DEP는 55.85 ft가 계산되고, 식 (2)를 적용하여 REP는 103.97 ft가 나온다. 선행 연구^[5]의 각 요소별 제한치 계산에 의하여 투하고도는 ± 1,250 ft, 투하속도는 ± 16.6 kts, 강하각은 ± 5°, 조준점은 DEP 55.85 ft와 REP 103.97 ft, 바람은 측풍성분 13.96 kts를 얻었다. 표 3은 군 요구 MIL을 5 MIL로 가정하여

FBEL 기법을 적용한 사례이다. 각 오류 발생 가능 요소에 대하여 테스트 케이스를 적용하였으며 Tarantula, SBI, Jaccard, Ochiai 기법 계산 방식을 적용하였다.

선행 연구^[5]에서 사용한 군 요구 MIL인 5 MIL에 대하여 FBEL 기법에 적용한 결과 Tarantula, SBI, Jaccard, Ochiai 기법 모두에서 바람 요소가 오류 발생 가능성이 가장 많은 것으로 식별되었고, 두 번째로는 조준점 요소로 나왔다. 나머지 요소인 투하고도, 투하속도, 강하각 요소는 실험 데이터가 모두 요소별 제한치를 초과하지 않아서 결과를 알 수 없었다. 실험 결과에서 일부 테스트 케이스가 전체적으로 요소별 제한치를 초과하지 않아 FBEL 기법 적용에서 미흡한 결과를 나타냈다. 이는 요소별 오류 영향 여부를 판단하기 위하여 사용된 기준이 정확도 5 MIL로 고정 되었다는 점에 기인한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 정확도 기준을 세분화 하여 제안 기법을 적용할 필요성이 있다. 즉, 정확도의 세분화 방법은 여러 가지 정확도 변화에 대한 사격제원의 오류 여부를 반복적으로 확인하여 오류 요소 분석을 정밀하게 할 수 있으며 이로 인해 오류 요소를 더욱 명확하게 식별할 수 있다. 통상 시험평가 여건상 비용과 기간이 부족한 경우가 많으므로 정확도 증대 기법은 더욱 필요하다.

3. 사격 오류 요인 분석 체계

이번 장에서는 공대지 사격 오류에 대한 분석 체계 및 정확도(혹은 오류 분석 척도)및 이를 실사격 데이터를 이용한 시뮬레이션 결과를 기술한다.

3.1 분석기 구조

그림 2의 사격 오류 요인 분석 체계는 군 요구 MIL과

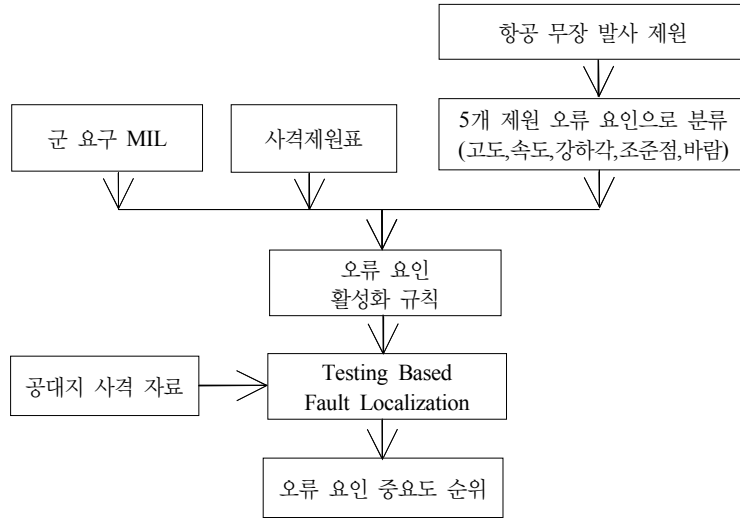


그림 2. 공대지 사격 오류 분석 구조도

사격 제원표 그리고 항공 무장 발사 제원 중 정확도 혹은 오류에 영향을 미치는 다섯 개 주요 요소인 고도, 속도, 강하각, 조준점 및 바람을 기반으로 오류 요인 활성화 규칙을 도출하고 실제 공대지 사격 자료를 이용하여 시뮬레이션을 거쳐 오류 요소가 오류에 미치는 중요도를 분석한다. 군 요구 MIL 및 탄착점 분석 척도와 이를 근거로 한 오류 활성화 기준치 계산 방법은 아래와 같다.

3.2 군 요구 MIL과 탄착점 분석 척도

DEP와 REP는 목표물 중앙점인 BE로부터 벗어난 정도를 나타내며, 이 값은 군 요구 MIL 값이 정해지면 식 (1)과 식 (2)에 의해서 DEP와 REP가 계산되어 군 요구 정확도 범위가 된다. 탄착점이 군 요구 MIL 값 이내에 투하되었는가를 판단하는 방법은 DEP와 REP를 활용한다. 그림 3에서 주공격점(DMPI :Defense mean point of impact)은 가장 이상적인 탄착점이며, Pipper는 조종사가 사격 중 조준한 포인트이고, 실제 떨어진 탄착점은 투하 탄착점 (Impact Point)이 된다.

군 요구 MIL로부터 식 (1)과 식 (2)를 통해 구해진 DEP와 REP의 타원 이내에 탄착점이 형성되면 해당 사격은 성공(Pass)이며 그렇지 않으면 실패(Fail)가 되어 오류를 분석해야 한다.

3.3 정확도 변화와 탄착점

군 요구 MIL이 변하면 각 요소별 제한치도 모두 비례적으로 변한다. 사격 정확도의 증대는 군 요구 MIL을 작

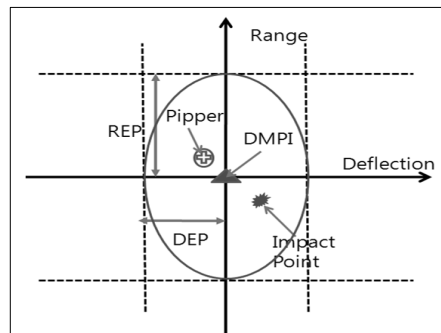


그림 3. 탄착점 분석 척도

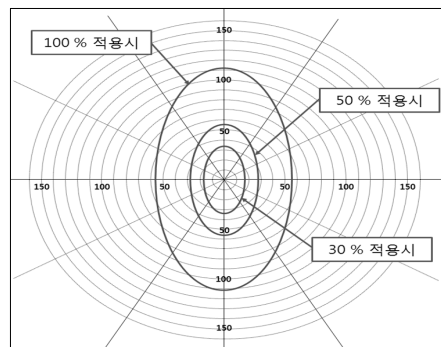


그림 4. 세분화된 탄착점 제한치

게 유지하여 사격 정확도를 더욱 높인다는 의미이다. 군 요구 MIL을 세분화하기 위하여 5 MIL를 100%로 가정하여 75%, 50%, 40%, 30%, 25% 등 다양한 정확도를 가

표 4. KA-1 항공기 정확도 변화에 대한 요소별 제한치

구분 Factors	100%(5 MIL)	75%(3.75 MIL)	50%(2.5 MIL)	40%(2 MIL)	30%(1.5 MIL)	25%(1.25 MIL)
탄착점(ft)	DEP 55.85 REP 103.97	DEP 41.89 REP77.97	DEP 27.93 REP 51.98	DEP 22.34 REP 41.58	DEP 16.76 REP 31.19	DEP 13.96 REP 25.99
고 도(ft)	± 1,250	± 937.5	± 625	± 500	± 375	± 312.5
속 도(kts)	± 16.6	± 12.45	± 8.3	± 6.64	± 4.98	± 4.15
강하각(°)	± 5	± 3.75	± 2.5	± 2	± 1.5	± 1.25
조준점(ft)	DEP 55.85 REP 103.97	DEP 41.89 REP77.97	DEP 27.93 REP 51.98	DEP 22.34 REP 41.58	DEP 16.76 REP 31.19	DEP 13.96 REP 25.99
바 람(kts)	측풍 13.96	측풍 10.47	측풍 6.98	측풍 5.58	측풍 4.19	측풍 3.49

표 5. 제한치 변화에 대한 FBEL 기법 적용 종합

구분 요소	Tarantula/Ochiai(% 적용)						SBI/Jaccard(% 적용)					
	100	75	50	40	30	25	100	75	50	40	30	25
고도					1	5					3	5
속도			3	3	5	5			3	3	5	4
강하각		3	4	4	5	5		3	4	4	5	4
조준점	2	1	1	1	1	5	2	1	1	2	2	2
바람	1	2	2	2	3	5	1	2	2	1	1	1
Pass/Fail	14/16	7/23	4/26	4/26	1/29	0/30	14/16	7/23	4/26	4/26	1/29	0/30

정할 수 있다. 군 요구 MIL을 작게 하면 탄착점 범위는 더욱 밀집되며 세분화한 범위에 대하여 형성된 탄착점 제한치는 그림 4와 같다.

그림 4에서 보는바와 같이 탄착점에 대한 제한치가 타원으로 형성되어 항공기 진행 방향 오류인 REP는 거리가 길고, 항공기 진행 방향의 수직 오차인 DEP는 작게 형성되어 있다. 그 의미는 항공기는 사격 중에 앞으로 전진하는 벡터가 있기 때문에 오류 범위가 타원으로 형성된다. 100%인 5 MIL 경우 REP는 103.97 ft이고 DEP 55.85 ft이며 형성된 타원 이내에 탄두가 탄착되었을 때 사격 결과 PASS로 인정된다. 사격 정확도를 높여서 25%인 1.25 MIL로 축소되었을 경우 REP는 25.99 ft이고 DEP는 13.96 ft로 타원이 형성된다. 표 4는 정확도 변화에 따라 시뮬레이션을 통해 얻은 각 요소별 제한치의 변화를 종합한 것이다.

FBEL 기법에서 제안한 계산 방식을 적용하여 세분화한 정확도에 대한 오류 발생 가능 요소에 대한 변화를 시뮬레이션을 하였다. 사격 정확도를 증대할수록 각 요소별 제한치 범위는 작아지며, 이로 인해 각 사격 제원의 오류 요소를 보다 정밀하게 식별할 수 있었다.

4. 사격 제원의 정확도와 오류 상관관계 시뮬레이션

표 5는 정확도 변화에 따라 FBEL 기법을 모두 적용하여 종합한 것이다. 결과를 보면 Tarantula와 Ochiai 계산이 동일한 순위를 나타냈고, SBI와 Jaccard가 동일한 결과를 나타내어 두 분류로 구분되었다. 두 분류 모두 정확도가 100%, 75%, 50%까지는 동일하게 결과를 나타냈으나 40%, 30%, 25%에서는 결과가 일치하지 않았다. 사격 결과에 대한 만족도를 나타내는 Pass 개수는 정확도가 커질수록 줄었다. 즉, 정확도 100%의 경우에는 30개 테스트 케이스 중에 Pass 개수가 14개이지만 정확도 증대에 따라 개수는 줄어들어 정확도 30%에서는 1개가 되고 정확도 25%에서는 Pass 개수가 0개가 되어 테스트 케이스 탄착점 모두가 제한치를 벗어남을 알 수 있다. 이는 당연한 결과로 정확도가 증가하면 그림 4와 같이 탄착점에 대한 면적은 줄어들어 제한치 유지가 어렵게 됨을 알 수 있다.

Tarantula/Ochiai 계산법에서는 정확도가 증가함에 따라 각 요소별 우선순위는 동일하게 증가하거나 감소하고, Pass가 0개인 25%의 경우에는 요소별 우선순위가 모두

5순위를 나타내어 계산 결과가 타당함을 알 수 있다. 그러나 SBI/ Jaccard 계산법에서는 각 요소별 우선순위가 동일하게 증가하거나 감소하지 않고 다소 불규칙적이며 Pass 가 0개인 정확도 25%의 경우에도 요소별 우선순위가 구분되는 결과를 나타내어 합리적이지 못한 결과로 판단되었다. 이러한 이유로 두 분류의 우선순위가 동일하지 않을 경우에는 Tarantula/Ochiai 계산법을 활용하여 분석하였다. 또한 정확도 25%는 탄착점이 Pass 한 경우가 하나도 존재하지 않으므로 계산 결과는 결과 분석에서 제외하였다.

표 5를 보면 오류 발생 가능 요소 측면에서 보면 4가지 계산 방식 모두 정확도 100%일 경우 바람의 영향이 가장 많고 그 다음은 조준점으로 나왔다. 그러나 정확도를 75%로 증가 했을 경우 오류 발생 가능 요소가 바람에서 조준점을 변경되었고, 그 다음 바람, 강하각 요소 순으로 나타났다. 정확도를 50%, 40%, 30%로 증가 시킬수록 오류 요소의 가장 큰 우선순위는 조준점으로 나타났으며 그 다음은 바람 요소이고, 강하각과 속도는 서로 유사한 우선순위 결과를 나타냈다.

전체적인 결과를 종합해 볼 때, 사격 정확도를 높일수록 조준점이 사격 오류에 많은 영향을 미친다는 결론을 얻었다. 즉, 정확도를 100%로 계산할 경우에는 바람이 오류 발생 중요 요소로 판단되나 정확도를 증가하여 계산을 반복할수록 바람보다는 조준점이 매우 중요한 영향을 미친다. 이 결과는 선행연구에서 오류 발생 중요 요소가 바람으로 도출된 내용과 대비되는 결과로 실제 비행 경험에 비추어 보아도 타당한 결과로 판단된다. 그 다음 중요 요소로는 바람의 영향이 큰 것으로 선행연구에서 언급한 것과 같이 KA-1 항공기가 바람의 영향을 많이 받는 경우로 해석이 가능하다.

그러므로, 목표물이 크고, 정밀한 사격이 불필요 할 경우에는 바람의 영향이 가장 크게 작용하므로 조종사는 임무 지역 진입 전에 바람의 세기를 미리 파악하여 공격 임무에 임해야 하겠다. 그리고 정밀한 사격을 위해서는 바람보다는 조준점에 더 많은 집중을 해야 하고, 매우 정밀한 표적일 경우에는 표 5에서 알 수 있듯이 조준점과 투하고도 유지가 사격 오류에 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과를 무기체계 개발 측면에서 보면 발사체가 정밀한 사격이 필요한 경우 조준점 계산 프로그램을 세밀히 개발하거나 투하고도에 가중치를 부여하여 개발하고 시험평가에서도 조준점 요소나 투하고도 요소에 세밀한 관찰이 필요하겠다. 또한 테스트 케이스가 적은 경우에 이러한 방법으로 오류 분석을 한다면 보다 정확한 오류 요소 분석을 할 수 있다.

5. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 소프트웨어 오류 추정 기법을 활용하여 공대지 사격 오류 요인이 오류 발생에 미치는 영향을 분석하고 이를 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 공대지 사격에서 사격 정확도를 고정하여 분석할 경우 일부 요소가 미 적용되어 정확한 분석을 할 수 없었으나 정확도를 다 변화하여 분석함으로써 보다 정밀하게 오류에 대한 분석이 가능하였다. 이러한 방법을 적용한 공대지 사격의 정확도 분석 사례 연구를 통하여 탄착점은 사격 정확도를 증가 할수록 바람 보다는 조준점에 더 많은 영향을 받는다는 결론을 얻었다. 또한 매우 정밀한 사격을 위해서는 조준점과 투하고도 유지에 많은 집중이 필요하다는 것을 알았다. 이 연구를 통하여 소프트웨어 오류 추정 기법을 활용한 FBEL과 정확도 증대 방법을 이용하여 무기체계 발사체 시험평가에서 어떤 요소들이 정확도에 영향을 미치는 지를 분석하는데 성공적으로 활용될 수 있음을 보였다. 이러한 방법은 무기체계 뿐만 아니라 일반적인 체제나 시스템의 오류나 특정 요인들이 그 시스템의 성능에 미치는 영향 분석에도 적용 가능할 것이다. 향후 연구로서 FBEL 기법을 활용하여 정밀 유도 무기 오류 분석을 위한 세부 요소 적용 방안에 대한 연구를 계속 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

1. Jangbok Kim, Kyunghee Choi, Hoffman, D.M., Gihyun Jung, "White Box Pairwise Test Case Generation", Seventh International Conference on Quality Software (QSIC 2007), pp. 286-291 2007.
2. Marius Nita, David Notkin, "White-Box Approaches for Improved Testing and Analysis of Configurable Software Systems", Companion Volume, 2009. ICSE-Companion 2009. 31st International Conference on, pp. 307-310, 2009.
3. Yu-Min Chung, Chin-Yu Huang, Yu-Chi Huang, "A Study of Modified Testing-Based Fault Localization Method", 2008 14th IEEE Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing, 2008.
4. C.Riverol, J.Cooney, "Fault Detection Using Fuzzy Similarities", International Journal of Soft Computing, pp. 193-198, 2006.
5. 김재환, 최경희, 정기현, "결함위치추정 기법을 이용한 공대지 항공무장의 오류 요소 분석", 한국군사과학기술학회, 제13권 제4호, pp. 551-560, 2010.8
6. 이기두, 임상수, 현준호 "공대지 정밀유도무기의 정확도 시험방안 연구", 한국항공우주발전세미나, 2008.

7. James A. Jones and Mary Jean Harrold, "Empirical Evaluation of the Tarantula Automatic Fault Localization Technique", ASE'05, November 7-11, Long Beach, California, USA, 2005 ACM.
8. J. A. Jones, M. J. Harrold, and J. Stasko. "Visualization of test information to assist fault localization", In Proceedings of the 24th International Conference on Software Engineering (ICSE 2002), pp. 467-477. ACM Press, New York, NY, 2002.
9. B. Liblit, M. Naik, A. X. Zheng, A. Aiken, and M. I. Jordan, "Scalable statistical bug isolation", In Proceedings of the 2005 ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation (PLDI 2005), pp. 15-26. ACM Press, New York, NY, 2005.
10. R. Abreu, P. Zoetewij, and A. J. C. van Gemund, "On the accuracy of spectrum-based fault localization", In Proceedings of the Testing: Academic and Industrial Conference: Practicenced Research Techniques (TAICPART-MUTsearch2007), pp. 89-98. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, 2007.
11. Rui Abreu, Peter Zoetewij, Arjan J.C. van Gemund, "An Evaluation of Similarity Coefficients for Software Fault Localization", 12th Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing (PRDC'06), pp. 39-47, Dependable Computing, 2006.
12. J.S. Prezmieniecki, Mathematical Methods in Defense Analyses, AIAA EDUCATION SERIES, 1994.
13. Driels, M.R., Weaponering : Conventional Weapon System Effectiveness, AIAA, 2004.
14. Rankine, R. R., The Effects of Aircraft Dynamics and Pilot Performance on Tactical Weapon Delivery Accuracy, University of California, Los Angeles, California, 1970.
15. Leondes, C. T., Rankine, R. R., "Modeling the Effects of Piolt Performance on Weapon Delivery Accuracy", Journal of Aircraft, vol. 9, no. 4, 1972, pp. 286-293.
16. http://www.koreaaero.com/business/kt1_01.asp (검색일: 11.8.21)



김 재 환 (kimch092@yahoo.co.kr)

1993 공군사관학교 전자계산학과 학사
 2006 국방대학교 전산학 석사
 2007~현재 아주대학교 NCW학과 박사과정

관심분야 : 무기체계 시험평가, 소프트웨어 테스트, 모델링&시뮬레이션



최 경 희 (khchoi@ajou.ac.kr)

1976 서울대학교 수학교육과 학사
 1979 프랑스 그랑데폴 Enseiht 대학 석사
 1982 프랑스 Paul Sabatier 대학 정보공학부 박사
 1982~현재 아주대학교 정보통신전문대학원 교수

관심분야 : 운영 체제, 분산시스템, 실시간 및 멀티미디어시스템 등



정 기 현 (khchung@ajou.ac.kr)

1984 서강대학교 전자공학과 학사
 1988 미국 Illinois주립대 EECS 석사
 1990 미국 Purdue대학 전기전자공학부 박사
 1991~1992 현대반도체 연구소
 1993~현재 아주대학교 전자공학부 교수

관심분야 : 컴퓨터구조, VLSI 설계, 멀티미디어 및 실시간 시스템 등