

군용 항공기 외장물의 비행 안전성 분석에 관한 연구

김현수^{*,1)} · 김민수¹⁾ · 신병준¹⁾ · 조영희¹⁾

¹⁾ 국방과학연구소 항공기술연구원

A Study on the Flight Safety Analysis of Military Aircraft External Stores

Hyeonsoo Kim^{*,1)} · Minsu Kim¹⁾ · Byungjoon Shin¹⁾ · Younghee Jo¹⁾

¹⁾ Aerospace Technology Research Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 8 September 2022 / Revised 6 January 2023 / Accepted 30 January 2023)

Abstract

The external store fitted to the aircraft may affect the flight characteristics and flight safety of the aircraft, which requires the analyses and testing on it. The purpose of this study is to identify and analyze types of failures that can affect the flight safety of aircraft due to the installation of external stores, and to check the flight safety of aircraft through dropping tests of the external stores. After identifying the types of failures that could affect the flight safety of the aircraft, the criticality was calculated to analyze the effect on the flight safety of the aircraft. Four types of failures were selected: unintentional dropping, failure of dropping, unintentional main wing deployment, and release of tail wing restraint of the external store, which are considered to affect the flight safety of the aircraft due to the operation of the external store. As a result of the aircraft's flight safety analysis on the failure types, the criticality requirements were met. Based on this, after obtaining the airworthiness certification, the drop test was successfully performed to confirm the flight safety of the aircraft by mounting an external store on the aircraft. However, in addition to the four hazards carried out in this study, the real external stores of the military aircraft may have various factors affecting the flight safety of the aircraft, so further research will be needed.

Key Words : FMECA(고장 유형, 영향성 및 치명도 분석), FTA(고장계보분석), FHA(기능위험평가), HTS(위험추적 시스템, MD(이격거리)

1. 서론

항공기에 장착하는 장비들의 경우, 비행시험을 수행하기 전에 이들 장비의 장착으로 인하여 항공기의 비

* Corresponding author, E-mail: kimhs@add.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

행안전에 영향이 없음을 시험이나 분석을 통하여 입증하여야 한다. 특히 항공기 외부에 장착되는 장착물(외장물)의 경우, 장착물에 의해 항공기의 비행특성이 바뀔 수 있으므로 항공기의 운용특성 및 비행안전에 영향을 줄 수 있어 철저하게 검증해야 한다. 더욱이 외장물을 투하하거나 발사할 경우, 분리되는 과정에서 항공기와 외장물 간의 급격한 공력특성 변화로 인하여 항공기의 안전에 심각한 영향을 줄 수도 있다.

본 연구는 군용 항공기에 외장물을 장착하여 운용할 때, 외장물의 장착으로 인하여 항공기의 비행안전에 영향을 미칠 수 있는 고장유형을 식별하여 분석하고, 투하시험을 통하여 항공기의 비행안전에 미치는 영향성을 확인하는 것에 관한 것이다. 먼저, 항공기의 비행안전에 영향을 미칠 수 있는 고장유형을 식별한 후에 치명도를 계산하여 항공기의 비행안전에 미치는 영향성을 분석하였다. 고장유형으로는 외장물의 장착으로 인하여 항공기의 비행안전에 영향을 미칠 수 있는 것으로 판단되는 외장물의 임의투하, 투하실패, 주 날개전개, 꼬리날개 구속해제의 4가지를 선정하였다. 그러나, 군용 항공기에 실제로 장착되는 외장물은 본 연구에서 수행한 4가지의 위험요소 이외에 항공기의 비행안전에 영향을 미치는 다양한 요인들이 있을 수 있으므로 이에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

군용 항공기의 외장물에 대한 지금까지의 연구는 주로 장착물 자체의 구조건전성 또는 장착으로 인한 공력특성 변화가 항공기의 비행 안전에 미치는 영향에 중점을 두었다고 할 수 있으며^[1-3], 본 연구와 같이 외장물의 장착으로 인한 항공기의 비행안전성 분석과 투하시험을 통하여 비행안전성을 동시에 확인한 사례는 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 MIL-STD-882^[4] 및 MIL-STD-1629^[5] 표준에 따라 군용 항공기 외부에 장착하는 외장물에 의한 항공기의 비행안전성 분석과 투하시험을 통한 군용 항공기의 비행안전성에 대한 연구결과를 제시하고자 한다.

2. 고장유형 및 치명도 분석

외장물의 장착으로 인해 발생할 수 있는 군용 항공기의 비행안전성을 분석하기 위해서는 먼저 외장물의 장착으로 인한 고장유형을 분류한 후에 이들 고장이 어느 정도 치명도를 갖는 지를 분석하는 것이 중요하다.

2.1 고장유형 선정

FMEA(Failure Mode, Effects and Analysis)는 시스템의 개발 초기단계에서부터 최종 설계단계에서 발생할 수 있는 잠재적인 고장유형을 식별하여 분석함으로써 시스템에 치명적인 영향을 미치는 고장을 완화하거나 제거하는 도구로 사용되고 있다. FMEA는 품목의 고장이 시스템의 운용에 미치는 영향이나 결과를 분석하여 잠재적인 개별 고장을 심각도에 따라 분류하는 것으로 제품 및 공정의 품질, 신뢰도 및 안전성을 향상시키고, 제품개발의 시간 및 비용을 절감시키며, 위험감소를 위한 문서 및 조치 사항을 추적가능하게 하며, 강건한 통제 및 설계검증 계획 개발을 지원하고, 개발자들이 고장우선순위를 결정하고 제품 및 공정에서의 위험을 제거 또는 감소시키는 데 도움을 주거나 문제발생을 예방하는 데 도움을 준다^[6,7].

고장유형 분석을 위해서는 팀을 적절히 구성하여 잘 준비하고, 올바른 절차로 정확하게 수행할 경우, FMEA는 비용절감, 제품개발촉진, 안전성 증가, 제품생산 및 공정의 신뢰성을 높일 수 있지만, 적절히 수행하지 못 할 경우에는 그 반대의 효과를 야기할 수 있다. 팀은 전문가들로 구성된 4~6명이 적절하며, 이 보다 적을 경우에는 중요한 하위 구성품을 간과하거나 적절히 처리하지 못할 위험이 있으며, 이 보다 많을 경우에는 역동적인 팀의 효과가 약화되어 팀원들이 업무에 동참하고 있다는 느낌을 가지지 못해 결과적으로 FMEA 업무에 혼란을 줄 수도 있다^[8,9].

본 연구에서는 다양한 고장유형 중에서 항공기의 비행안전에 심각하게 영향을 미칠 것으로 판단되는 4가지 고장유형을 선정하여 분석하였다. 즉, ①외장물의 임의투하(임의투하), ②외장물의 투하실패(투하실패), ③외장물의 주 날개전개(날개전개), ④외장물의 꼬리날개 구속해제(날개구속해제)이다. 임의투하는 의도하지 않은 외장물의 투하를, 투하실패는 투하를 시도하였으나 외장물이 투하되지 않고 항공기에 매달린 상태(hung bomb)를, 날개전개는 외장물이 항공기에 장착된 상태에서 주 날개가 전개되는 상태를, 날개구속해제는 투하하기 직전에 외장물의 초기조건(예; 항공기 속도, 고도, 바람의 방향 등)을 설정하기 위하여 꼬리날개의 자세를 조절하는 과정에서 외장물의 이상으로 인하여 꼬리날개를 제어할 수 없는 상태(free play)를 각각 나타낸다^[10,11]. 다양한 고장유형 중에서의 4가지 고장유형을 선정한 것은 본 연구에서 사용한 외장물은 군용 항공기에서 투하할 때의 분리특

성을 확인하기 위한 것으로 항공기로부터 분리된 후에 자세제어를 위한 구성품들로만 구성되어 있어, 다른 유형의 고장들은 항공기의 비행안전에 영향을 미치지 않을 것으로 판단했다. 예를 들면, 외장물의 유도조종장치 고장의 경우, 외장물에는 치명적이라고 할 수 있지만 항공기의 비행안전에는 영향을 미치지 않기 때문이다.

2.2 치명도 분석

FMECA(Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) 담당자는 각 LRU(Line Replaceable Unit)의 기능 및 설계에 대해 상세하게 알고 있어야 하며, LRU가 부착하는 시스템 내에서 다른 LRU들과의 기능적 연관성 및 가용한 모든 설계정보를 사용하여 다른 시스템과의 인터페이스에 대해서도 잘 알고 있어야 한다.

CA(Criticality Analysis)의 목적은 최대 가용한 자료를 활용하여 FMEA에서 확인된 잠재적인 고장유형의 치명도 순위를 결정하는 것으로 FMEA 업무를 보완하며, FMEA를 수행한 후에 수행해야 한다^[5]. FMECA는 시스템의 신뢰도 분석에 널리 사용되고 있는 기법으로 구성품의 고장유형 및 영향성에 대해, 위험우선순위(RPN; Risk Priority Number)를 결정하기 위하여 위험의 심각도(Severity), 발생빈도(Occurrence), 검출도(Detection)의 세 가지 기준을 사용하며, 이들 사이의 관계는 식 (1)과 같다^[12,13]. 일반적으로 심각도, 발생빈도, 검출도의 최대 및 최소 값은 각각 “10”과 “1”을 적용하며, 시스템의 특성에 따라 최적화하여 적용하기도 한다^[14,15].

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection \quad (1)$$

RPN은 고장유형의 상대적인 위험순위로, 노력을 기울여야 할 순서 및 효과적인 개선에 도움을 줄 수 있으며, RPN 값이 100이상이거나, 고장발생빈도, 심각도, 검출도 평가등급이 8 이상인 경우에는 개선대책 수립이 필요하다. Table 1~3까지는 널리 사용되고 있는 고장의 심각도, 고장률, 탐지도에 대한 등급을 각각 나타낸 것^[16-18]으로 이를 근거로 고장유형(4가지)을 선정하였다. Fig. 1은 FMECA 수행절차의 예를 나타낸 것이다^[19].

식별한 고장유형에 대해 심각도와 발생확률을 사용하여 치명도 평가행렬을 작성하여 고장유형에 대한 수락여부를 결정하는 데 사용하였다(Fig. 2). 평가행렬

은 심각도와 관련하여 모든 고장유형에 대해 개별 고장유형을 비교하고 식별하는 수단을 제공한다. LRU의 고장유형에 대해 심각도 분류 및 발생수준을 나타내는 평가행렬의 위치에 고장유형 식별번호를 부여하여 고장에 따른 위험을 추적관리(HTS: Hazard Tracking System)하는 도구로 활용된다.

Table 1. Classifications of failure severity

분류	고장 심각도	등급
Hazardous without warning	경고 없이 안전 또는 정부 규정 위반	10
Hazardous with warning	경고와 함께 안전 또는 정부 규정 위반	09
Very high	주요기능 수행불가	08
High	주요기능 제한적 수행가능	07
Moderate	편의기능 수행불가	06
Low	편의기능 제한적 수행가능	05
Very low	많은 고객이 감지가능	04
Minor	보통의 고객이 감지가능	03
Very minor	까다로운 고객이 감지가능	02
None	영향 없음	01

Table 2. Classifications of failure rates

분류	고장률	등급
Very high	$\geq 1/2$, 고장을 거의 피할 수 없음	10
	1/3	09
High	1/8, 반복되는 고장	08
	1/20	07
Moderate	1/80	06
	1/400, 가끔 고장	05
	1/2,000	04
Low	1/15,000, 비교적 고장이 없음	03
	1/150,000	02
Remote	$\leq 1/1,500,000$, 고장발생 가능성 희박	01

Table 3. Classifications of failure detection

분류	탐지가능성	등급
Absolutely uncertain	현재의 기술로 고장탐지불가	10
Very remote	고장탐지 매우 희박	09
Remote	탐지가능성 희박	08
Very low	탐지가능성 매우 낮음	07
Low	탐지가능성 낮음	06
Moderate	탐지가능성 보통	05
Moderately high	보통보다 높은 탐지가능성	04
High	탐지가능성 높음	03
Very high	탐지가능성 매우 높음	02
Almost certain	거의 확실하게 탐지	01

Table 4. Basic input data of failure mode for criticality analysis

고장유형		고장률	
시스템	구성품		
임의투하 (1.91E-6)	분리신호 오류	1.00E-6	
	카트리지 오작동	9.10E-7	
투하실패 (2.01E-3)	MAU-12 불량	1.00E-6	
	카트리지 불량	9.10E-7	
	카트리지 미작동	FCC PSM 오작동	9.00E-5
		회로제어기 오작동	7.57E-5
		FCC SMM 오작동	2.71E-4
		GCU 불량	4.26E-4
		SCS 오류	2.00E-6
		열전지 미작동	4.44E-4
		Fin Unlock 미작동	1.75E-4
		INU 불량	5.18E-4
TLM BAT 미작동	6.14E-6		
날개전개 (1.71E-6)	고압용기 니플파손	1.71E-6	
	착화기 오류	1.88E-9	
날개구속해제 (1.39E-3)	FCC PSM 오작동	9.00E-5	
	회로제어기 오작동	7.60E-5	
	FCC SMM 오작동	2.71E-4	
	GCU 불량	4.26E-4	
	SCS 오류	2.00E-6	
	INU 불량	5.18E-4	
	TLM BAT 미작동	6.14E-6	
	착화기 불량	2.00E-7	

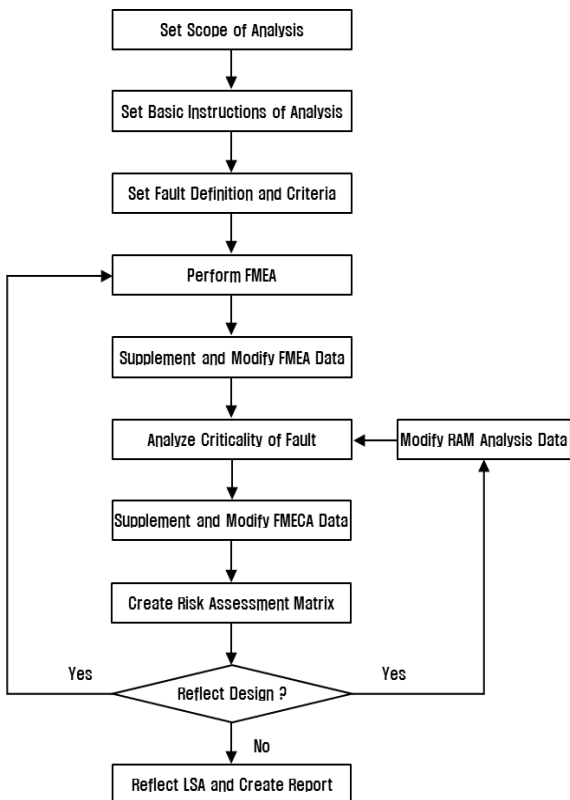


Fig. 1. Example of procedure of FMECA

Table 4는 고장유형의 치명도 계산을 위하여 구성품 별 고장률을 각각 나타낸 것이다. 고장률 계산은 구성품을 구성하는 부품의 신뢰도(제조회사에서 제공)를 사용하였다. 고장유형 및 품목의 치명도는 아래 수식을 사용하여 계산할 수 있다.

$$\text{고장유형 치명도 } C_m = \alpha \times \beta \times \lambda_p \times t \quad (2)$$

$$\text{품목 치명도 } C_r = \sum_{n=1}^j (\alpha\beta\lambda_p t)_n, \quad n = 1, 2, \dots, j \quad (3)$$

여기서, C_m 과 C_r 은 고장유형 치명도와 품목 치명도를 각각 나타내며, α 는 고장유형비율, β 는 조건부 고장 영향확률, λ_p 는 부품의 고장률, t 는 운용시간 또는 운용회수를 각각 나타낸다.

MIL-STD-1629 표준에 따라 2.1 절에서 기술한 4가지 고장유형에 대해 항공기의 비행안전에 대한 치명도 분석결과는 Table 5와 같다. 항공기의 비행안전에 치명적이 될 수 있는 고장유형 중에서 임의투하 및 날개전개의 치명도 수준은 10^{-7} 으로 상당히 양호한 수준이지만, 투하실패 및 날개구속해제의 치명도는 보통수준(10^{-5})으로 후속 연구를 통하여 개선해 나가야할 것으로 판단된다.

Table 5. Results of flight safety assessment of the aircraft by failure types

고장유형	고장영향	치명도
임의투하	의도하지 않은 외장물 투하	9.57E-7
투하실패	투하를 시도하였으나 투하되지 않음	1.90E-5
날개전개	항공기에 장착된 상태에서 날개전개	3.41E-7
날개구속해제	날개제어 불가 및 Free play	1.93E-5

3. 비행 안전성 분석 및 시험

3.1 비행 안전성 분석

비행 안전성 분석은 다음의 주요한 3가지 단계로 구분할 수 있다. 즉, 기능위험평가(FHA; Function Hazards Assessment), 예측가능한 시스템 안전성 평가(PSSA; Predictive System Safety Assessment), 시스템 안전성 평가(SSA; System Safety Assessment), 그리고 매 단계의 결과를 감항적합성 검증에 사용하는 것이다^[20]. 비행 안전성 분석에 사용되는 방법에는 고장계보분석(FTA; Failure Tree Analysis), 도표 신뢰성(DD; Dependence Diagram), 마코프 분석(MA; Markov Analysis), 고장유형 및 영향성 분석(FMEA; Failure Modes and Effects Analysis), 고장유형 및 영향성 요약(FMES; Failure

Modes and Effects Summary), 공통원인분석(CCA; Common Cause Analysis), 국부 안전성 분석(ZSA; Zonal Safety Analysis), 특정위험분석(PRA; Particular Risks Analysis), 및 공통유형분석(CMA; Common Modes Analysis) 등 다양하다. 본 연구에서는 고장유형에 대한 영향성 및 치명도 분석 목적에 부합하는 결과를 충분히 도출할 수 있을 것으로 판단되는 FMECA 및 FTA 방법을 사용하여 분석하였다.

그러나, 기존의 안전성 평가에 대한 표준이나 이론으로는 현대의 점점 복잡해지고 소프트웨어 집약적인 시스템(예; 항공모함 또는 항공기의 통제 시스템)의 안전성 평가에 대한 한계가 있어 새로운 접근법이 제시되고 있으며^[21,22], 국내에서도 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Table 4의 자료를 바탕으로 참고문헌 [5]에 따라 항공기의 비행안전에 영향을 미치는 고장유형에 대한 치명도를 분석한 결과는 Table 5와 같으며, 이는 1차 목표인 치명도값(E-5 수준)을 만족하는 것으로 나타났다. 본 연구의 목적은 외장물을 항공기에 장착하여 비행 중에 분리할 때에 항공기의 비행안전에 미치는 영향성을 확인하는 순수한 연구목적으로 운용시간(10시간 이하) 또는 비행회수(4회 이하)를 매우 제한적으로 적용하였다. 그러나, 외장물을 실제 항공기에 장착하여 운용할 경우의 비행시간 및 비행회수는 항공기의 운용목적에 따라 다양할 수 있다. 군용 항공기에 외장물을 장착하여 운용하기 위한 치명도 값은 E-7 이하

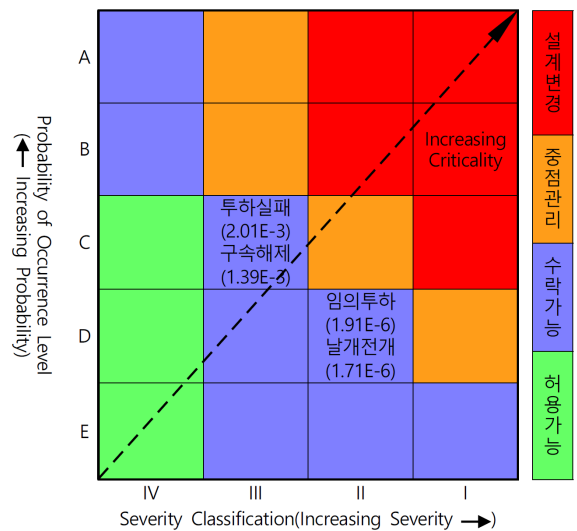


Fig. 2. Criticality matrix

가 되어야 할 것으로 판단되며^[4], 본 연구에서 이를 충족하지 못한 고장유형에 대해서는 다음 연구에서 해결해야 할 과제이다.

Fig. 2는 고장 심각도와 발생확률을 행렬로 나타낸 것으로 우측 상단으로 갈수록 심각도와 발생확률이 증가하는 것을 의미한다. 설계변경으로 나타낸 부분은 수락 불가능한 영역으로 재설계를 수행해야 되며, 중점관리의 경우에는 일정, 비용 등을 고려하여 수락가능한 최저 수준으로 관련위험을 감소시켜야 되는 것을 의미한다. 본 연구에서 제시한 4가지 고장유형의 경우 모두 수락가능한 영역 내에 존재하는 것으로 나타났다.

3.2 비행시험

군사표준, 감항규정, 및 몇몇 기술표준에 대한 적절한 코드, 표준, 및 규정을 준수함으로써 안전성을 획득할 수 있다. 안전성 준수는 타협의 결과로서 최소 수락가능한 안전성 수준을 나타내며, 안전성 요구사항을 서면으로 작성한 이들 규정(코드, 표준 등)은 급속하게 변화하는 기술에 뒤처지는 경향이 있으므로, 안전성 준수와 실제 안전성 사이의 갭이 항상 존재한다. 따라서 새로운 군용장비 개발 및 연구에 있어, 새로운 기술, 새로운 재질, 새로운 전투 아이디어, 및 새로운 기능에 대해 부적합할 수 있으므로 이에 대한 대책도 함께 연구해야 될 것이다^[20].

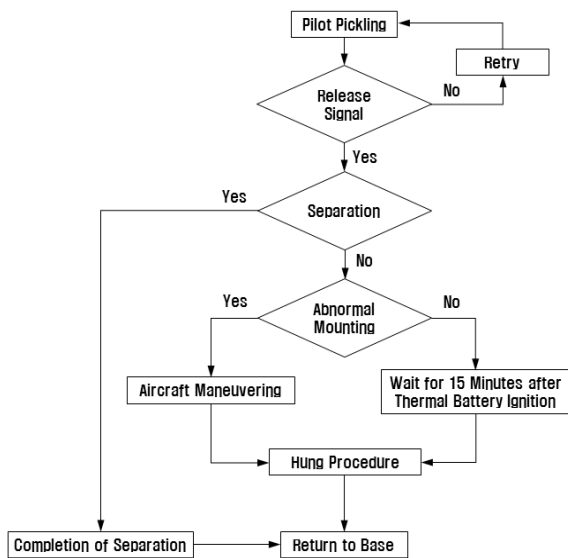


Fig. 3. Procedure of separation for external store

비행 안전성 분석결과 및 관련 자료들(풍동시험, 플러터 해석, 분리특성해석 등)을 바탕으로 항공기 외장물에 대한 감항인증서(한시적 운용)를 획득하여 투하시험을 수행하였다. 분리과정에서 외장물이 항공기에서 분리되지 않거나 파일런에 매달린 경우를 대비하여 Fig. 3과 같이 시험안전 절차를 마련하였다.

Fig. 4는 비행시험에서 분리후의 외장물의 낙하궤적을 분석한 것이며, Fig. 5는 투하시험을 통한 외장물의 낙하 궤적 및 영상을 나타낸 것이다^[23,24]. 분석 및 시험 결과 MD(Miss Distance)는 모두 비선형적으로 계속하여 증가하였으며, 또한 교란없이 항공기로 재접근하지 않고 안전하게 분리되는 것을 확인하였다.

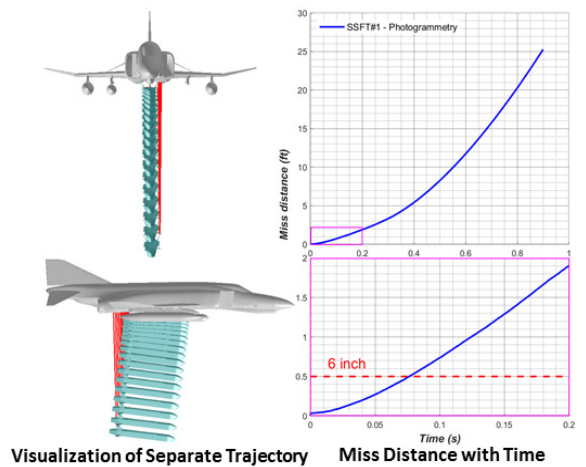


Fig. 4. Visualization of separation trajectory

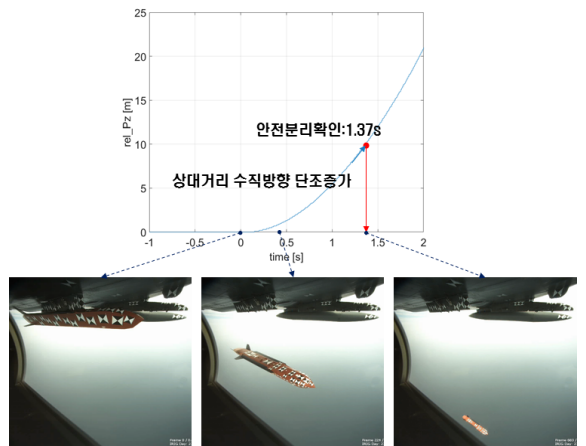


Fig. 5. Separation images after launch

4. 결론

군용 항공기 외장물의 비행안전성 분석 및 투하시험을 수행하여 외장물이 항공기에서 안전하게 분리되는 것을 확인하였다. 고장유형으로는 외장물의 운용으로 인하여 항공기의 비행안전에 악영향을 미칠 수 있는 외장물의 임의투하, 투하실패, 날개전개, 날개구속 해제 4가지를 선정하였다. 안전성 분석결과, 치명도 요구사항을 충족하였으며, 이를 근거로 감항인증을 획득한 후에 항공기에 장착하여 투하시험을 성공적으로 수행하였다.

본 연구에 사용된 외장물은 분리특성을 확인하기 위한 것으로 항공기로부터 분리된 후에 외장물의 자세제어를 위한 구성품들로만 구성되어 있다. 그러나 실제로 군용 항공기에 장착하여 운용하는 외장물의 경우, 본 연구에서 수행한 4가지 고장이외에 항공기의 비행안전에 영향을 미치는 다양한 요인들이 있을 수 있으므로 이에 대한 추가연구가 요구된다. 본 연구를 통하여 확보한 군용 항공기 외장물의 안전성 분석기법을 기반으로 다양한 외장물이 장착된 군용 항공기에 대한 안전성 분석으로 이어지길 바란다.

References

- [1] Chang-Hyeon Son et. al., "Store Separation Analysis of flow Angularity Wind Tunnel Test Technique using CFD (1)," Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 45, No. 1, pp. 10-20, 2017.
- [2] Hyun Tae Lim et. al., "Aeroelastic Compatibility Substantiation of Aircraft External Stores Using the Dynamic Characteristic Data from Ground Vibration Test," Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 45, No. 4, pp. 269-275, 2017.
- [3] Jong-Hak Lee et. al., "Simplified Finite Element Model Building of an External Mounting Pod for Structural Dynamic Characteristics Analysis of an Aircraft," Journal of The Korean Society of Noise and Vibration Engineering, Vol. 22, No. 6, pp. 495-501, 2012.
- [4] MIL-STD-882, "Standard Practice for System Safety," Department of Defense, USA, 2012.
- [5] MIL-STD-1629, "Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis," Department of Defense, USA, 1980.
- [6] FMEA Handbook Version 4.2, "Failure Mode and Effects Analysis," Ford Motor Company, USA, 2011.
- [7] Joong Soon Jang et. al., "How to Perform FMEA Effectively," Journal of Korean Society Quality Management, Vol. 25, No. 1, pp. 156-172, 1997.
- [8] G. Pruteanu, "Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Procedure, CTA(SYS-RAMS/160602), pp. 5-10, 2016.
- [9] Seung-Hun Han et. al., "FMEA of Electrostatic Precipitator for Preventive Maintenance," Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 26, No. 6, pp. 706-714, 2020.
- [10] Hyeon Soo Kim et. al., "System Safety Design and Analysis Method Through the Precedent Cases", Agency for Defense Development(ADDR-516-211757), Korea, pp. 17-29, 2021.
- [11] Hyeon Soo Kim et. al., "FMECA-Based Safety Analysis of Aircraft External Stores," KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 1957-1958, June, 2022.
- [12] Sung-Ryeol Kim et. al., "FMECA Procedure for Failure Analysis of Train High-Speed Circuit Breaker," "Journal of the Korean Academia-Industrial Cooperation Society", Vol. 16, No. 5, pp. 3370-3377, 2015.
- [13] Hun-Gyu Hwang et. al., "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, No. 8, pp. 1973-1980, 2015.
- [14] Jung-ho Kim et. at., "The Scientific Method of Risk Identification using FMECA," Korean Institute Of Industrial Engineers Annual Conference Proceedings, pp. 264-270, 2011.
- [15] Jung-Ho Yu et. al., "Construction Safety Management Using FMEA Technique for Selecting Priority Order," Korea Institute of Construction

- Engineering and Management, Vol. 9, No. 6, pp. 185-193, 2008.
- [16] "Potential Failure Mode and Effects Analysis(FMEA) Reference Manual," 2nd edition, AIAG, 1995.
- [17] C. S. Carlson, "Effective FMEAS, Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis," John Wiley & Sons, Inc., USA, pp. 34-44, 2012.
- [18] Technical Manual, "Failure Modes, Effects and Criticality Analysis(FMECA) for Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance(C4ISR) Facilities," Headquarters Department of the Army, USA, 2006.
- [19] Do Wook Kim et. al., "Application Example Research of FMECA and FTA for Failure Analysis," The Korean Operations Research and Management Science Society, pp. 5756-5761, 2017.
- [20] Binghao Hu et. al., "A Discussion of Airworthiness in Terms of Safety and Integrity," Journal of Physics: Conf. Series 1053, 2018.
- [21] Binghao Hu et. al., "The Safety Assessment Process of Carrier Aircraft's Control System," Prognostics and System Health Management Conference(PHM-Chengdu), 2016.
- [22] Hu J B et. al., "Safety Analysis of Wheel Brake System based on STAMP/STPA," Journal of Aeronautics Vol. 38, No. 1, pp. 241-251, 2017.
- [23] Young Hee Jo et. al., "F-4E LRAGM Separation Analysis Results," Agency for Defense Development (ADDR-401-211941), Korea, pp. 18-41, 2021.
- [24] Young Hee Jo et. al., "F-4E LRAGM Flight Test Results(Separation Characteristics)," Agency for Defense Development(ADDR-301-211949), Korea, pp. 18-35, 2021.