

## 비행시험 안전 리스크 평가 및 완화 연구

# Flight Test Safety Risk Assessment and Mitigation

김무근<sup>1</sup> · 유병선<sup>1</sup> · 한정호<sup>2</sup> · 강자영<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국항공대학교 항공체계시험인증연구센터

<sup>2</sup>항공안전기술원 항공안전연구실

**Mu-Geun Kim<sup>1</sup> · Beong-Seon Yoo<sup>1</sup> · Jeongho Han<sup>2</sup> · Ja-Young Kang<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Aviation System Test and Certification Research Center, Korea Aerospace University, Gyeonggi-do, 10540, Korea

<sup>2</sup>Aviation Safety Research Department, Korea Institute of Aviation Safety Technology, Incheon, 22851, Korea

### [요 약]

항공기 개발 및 개조를 위한 비행시험 또는 항행안전시설 및 관련 구성품 개발을 위한 비행 검사 등을 위한 목적으로 국가종합 비행성능시험장 구축이 추진되고 있다. 비행시험 업무는 특성상 안전 리스크가 높기 때문에 운용에 앞서 철저한 리스크 관리 프로세스의 엄격한 적용이 요구되고 있다. 또한 비행시험장은 현행법상으로 비행장 규정을 적용받기 때문에 안전관리시스템을 도입하면 일반 공항처럼 안전이 제고될 것이다. ICAO 기준을 기반으로 한 안전관리시스템 구축은 비행시험장의 안전하고 원활한 운영을 위한 최적의 보증 수단으로서, 비행시험 시에 발생할 수 있는 리스크를 크게 완화할 것이다. 본 논문에서는 비행시험장 안전관리에 요구되는 리스크 평가 및 완화 방안을 중점적으로 다루었다. 이전 연구에서 식별된 비행시험 위해요인에 대하여 리스크 평가를 실시하였다. 그리고 고 리스크 군의 위해요인을 선별한 후 회피, 감소, 수용, 통제 등의 리스크 완화 기법을 적용한 비행시험 리스크 경감 방안을 제시하였다.

### [Abstract]

A national comprehensive aviation test center is being constructed for the purpose of flight tests for development and modification of aircraft or flight inspections for the development of nav aids. Flight testing is a high-risk task, so strict risk management processes are required prior to operation. In addition, since the flight test center is subject to the airdrome regulations under the current law, the introduction of the safety management system will enhance safety as usual in ordinary airports. The establishment of a safety management system based on ICAO criteria is an optimal means of ensuring safe and effective operation of the test center and may mitigate the risks that may arise during flight testing. This paper focuses on risk assessment and mitigation required for safety management at the flight test center. We conducted risk assessments on the flight hazards identified in the previous study. Then the high risk group of hazards were selected and risk mitigation techniques such as avoidance, reduction, acceptance, and control were applied.

**Key word** : Flight test, Hazard identification, Risk assessment, Risk management, Risk mitigation.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.6.537>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 29 November 2018; Revised 28 November 2018

Accepted (Publication) 20 December 2018 (30 December 2018)

\*Corresponding Author; Jay Kang

Tel: +82-2-300-0081

E-mail: jaykang@kau.ac.kr

## I. 서 론

항공기 개발 및 인증 업무 수행을 위한 비행시험은 타 항공 우주산업 분야 보다 높은 항공 사고 발생 리스크를 가지고 있다. SMS 리스크 관리를 위해 필요한 위해요인 식별은 비행시험에서 유사한 항공 사고를 예방할 수 있는 매우 중요한 요소이다. 앞서 수행된 ‘비행시험 위해요인 식별 연구[1]’에서는 비행시험 정의, 분류, 수행 절차, 주요 평가 항목을 알아보고 국제 기구 및 항공선진국 등에서 구축한 사고 관련 데이터베이스를 조사, 분석하여 비행시험 위해요인 식별하였다. 미국 교통안전 위원회(NTSB) 사고/준사고 자료와 유럽 항공안전국(EASA)의 연간 안전보고서를 제외한 사고 통계 자료는 상업용 항공기 운항에 국한 되었으며, 국제민간항공기구(ICAO)는 활주로 안전 관련 사건 (RS; runway safety related events), 비행 중 조종 불능 (LOC-I; loss of control in-flight), 정상적인 조종 상태에서 감항성이 있는 항공기의 뜻하지 않은 지상충돌 (CFIT; controlled flight into terrain)사건을 상업용 항공기의 고 위험 리스크로 구분하고 있으며, 기타 기관의 항공기 사고 조사 통계 자료의 분석도 이와 유사한 결과를 보이고 있다. 하지만 미국 NTSB의 비행시험 사고/준사고 보고서 312건을 분석한 결과는 ICAO, 국제민간항공협약(IATA), 영국 민간항공국(CAA)에서 발표하고 있는 상업용 항공기 운항 사고와 다른 양상의 결과를 보이고 있었다.

기존의 비행시험 연구는 항공기의 개발 및 인증 프로세스의 관점에서 항공 선진국 중심으로 이루어졌다. 이들 국가들은 풍부한 항공기 설계 및 제작 경험과 축적된 기술 데이터를 중심으로 항공기 시험 안전에 관한 제도를 정착시켜 왔다[2]-[4]. 이에 비해 우리나라는 민간 항공기 제작 경험이 아주 적고 관련 제도나 기술 데이터베이스 구축 또한 거의 불비하다고 볼 수 있다. 다행히 ICAO에서는 SMS 표준을 제정하고 체약국들의 이행을 촉구하고 있으며, 국내 항공안전법은 항공기 제작 승인을 받은 자, 공항 및 항행시설 운영자 등은 SMS를 이행하도록 하였다[5]. 따라서 본 논문에서는 SMS의 틀 안에서 항공안전법을 충족시키는 관점으로 비행시험 리스크 관리에 필요한 시스템 분석, 리스크 평가 및 리스크 경감 방안을 제시하였다.

## II. 비행시험장 시스템 분석

### 2-1 비행시험장 업무와 SMS 적용 분야

비행시험장의 주요 임무는 항공기/장비/구성품, 항행안전시설/장비/구성품과 관련한 개발과 인증 업무이며 다음과 같은 방법으로 신뢰성을 확인한다.

- 지상시험 : 모델링, 시뮬레이션, 풍동시험, 구조시험 등의 시험
- 비행시험 : 성능시험, 조종 안정성 시험, 시스템 시험, 운용 적합성 시험

- 시험비행 : 항공기 개발이 완료되고 인증을 받은 항공기가 인증된 형식을 준수하는지를 확인하거나, 개조, 항공기 조립, 부품교체 및 수리 등의 이유로 비행 안전성을 확인하기 위한 비행
- 인증 : 지상시험, 비행시험을 통한 정부기관 또는 정부로부터 위임 받은 기관의 검사

이러한 업무를 수행하기 위해 활주로/유도로, 비행시험 구역, 항공교통관제, 기상관측시설, 항공등화시설, 항행안전시설, 격납고, 계측 장비/시설, 추적기, 구급/소방 시설 등을 구비하고, 비행시험 조종사, 비행시험/개발 엔지니어, 설계자, 인증 담당자, 정비사, 관제사, 안전 담당자, 시설/보안 관리자 등의 인원이 해당 분야 업무를 담당하게 된다. 특히 비행시험은 타 업무 분야 보다 높은 리스크를 갖고 있어 직·간접적으로 관련된 업무와 인원에 대하여 안전관리가 필요하다.

국내에서 구축되고 있는 비행시험장은 비행장으로 개발이 진행되고 있으며, 해당 업무를 수행하기 위해 관련 증명 또는 허가를 받을 계획은 아직까지 없으나, 비행시험장에서 수행되는 업무를 분석해 보면 해당 분야에 대한 증명 또는 허가를 받

표 1. 항공안전법의 SMS 적용을 받는 시험장 요소  
Table 1. Test site elements for implementing regulatory SMS requirements

Elements in test site	Components	Regulatory SMS requirements	Remark
Product development	-Aircraft and parts -CNS facilities -Qualification management	A person who has received manufacturer's certification	-
Aerodrome operation	-Aerodrome facility management -Aerodrome operation procedure -Emergency response procedure -Qualification management -(Meteorological facility)	A person who has been certified to operate an airport according to the airport facilities act	-
ATC operation	-ATC facility Control procedure -Airspace management -Qualification management	A person who has received air traffic service certification	-
Aircraft operation	-Air Operation procedure -Qualification management	Air transport operators, aircraft use operators and owners of overseas flights, etc.	Aircraft owners
Aircraft maintenance	-Maintenance procedure -Qualification management	A person who has received maintenance organization certification as an aircraft maintenance worker	
Nav aids Operation	-Nav aids management -Aerodrome lighting systems -Qualification management	A person who installed nav aids facility in accordance with airport facilities act	Phase 2 plan
N/A	N/A	A specialized educational institution designated to foster aviation workers	-

지 않을 뿐 많은 부분이 SMS 구축을 필요로 하는 것임을 알 수 있다. 표 1은 국내 SMS 규정 적용이 예상되는 시험장 요소들을 정리한 것이다.

**2-2 비행시험장 시설 및 공역 구성**

비행시험장 시설 1단계 계획에 따르면 다음과 같이 활주로, 비행시험 통제센터 및 격납고 등이 구비될 예정이다.

- 활주로: 길이 1,200 m, 폭 45 m 비계기용(분류번호 3-C등급)
- 유도로: 신설 활주로(1,200 m)와 구 활주로(약700 m) 및 계류장 연결
- 전기시설 인입 등을 위한 기반시설: 전선 관로 등
- 비행시험 통제센터 : 연면적 1,369 m<sup>2</sup> (건축면적 400 m<sup>2</sup>), 4층
- 격납고 : 연면적 492 m<sup>2</sup> (대지면적 1,890 m<sup>2</sup>), 1층(소형기 2대 수용)
- 계류장 : 대지면적 3,000 m<sup>2</sup> (소형기 2대 동시 주기)
- 지상관측장비(AMOS) : 풍향/풍속계 등 CAT I급(활주로 인근 설치)
- 비행시험 계측시스템 : 비행시험자료 수신 및 분석 (비행시험 통제센터 4층 및 옥상 설치)

현재 설정된 비행시험장 공역은 UA 22 GOHUNG으로

**표 2. 비행시험 공역 활용 계획**

**Table 2. Airspace use plan for flight test**

Airspace	Range	Altitude	Operation time
Area 1 airspace (Traffic pattern)	346464N 1271685E - 346453N 1272044E - 345785N 1272010E - 345795N 1271645E - to the beginning, etc. (1.6 NM × 4.0 NM) * 2	Surface ~ 3 000 ft AGL	Always
Area 2 airspace (Western sea)	346900N 1272013E - 346900N 1271197E - 346151N 1270657E - 346151N 1271469E - to the beginning (4.0 NM × 4.5 NM, Maximum diagonal 8.0 NM)	Surface ~ 3 000 ft AGL	Always
Area 3 airspace (Southern sea)	345127N 1269324E - 343438N 1269324E - 343438N 1275396E - 345127N 1275396E - to the beginning (30 NM × 10 NM)	Cooperation	By NOTAM (Cooperation with the authorities)
Area 4 airspace (Over test site)	Test site centre, radius 5NM	3 000 ft AGL ~ 5 000 ft MSL	By NOTAM (Cooperation with the authorities)
<Others> - If an additional airspace is needed, approval on temporal use of airspace should be obtained through consultation with relevant airspace authorities.			

**표 3. 비행시험 중 발생 가능 사고 유형**

**Table 3. Type of probable events during flight test**

Rank	Type of event	Frequency
1	Loss of control	71
2	Structural damage / failure, aircraft damage / overstress	44
3	Engine damage / failure / flameout	30
4	Controlled flight into terrain (CFIT)	19
5	Ground or obstacle impact, hard landing	14
6	Stall/spin chute fails, chute fails	13
7	Loss of operating engine(s)	9
8	Stall	7
8	Hypoxia	7
10	Maximum load factor exceeded	6
10	Maximum vertical fin load exceeded	6

343640N 1271221E, 중심 반경 3NM, 고도 Surface~500 ft AGL이며, 효과적인 비행시험을 위하여 추가적인 공역 확보가 필요한 실정이다. 비행시험장 주변 공역 현황은 군 훈련 공역, 항로, 여수 공항 계기비행절차 인접되어 독립적 비행시험 공역 확보가 쉽지 않은 상황이지만 효율적 비행시험을 실시하기 위하여 표 2와 같이 공역을 설정하였다[6].

**III. 비행시험장 위해요인 식별**

**3-1 비행시험 분야별 사고 결과 유형**

NASA 비행시험 안전 데이터베이스 (flight test safety database)는 비행시험 관련 기동 설명, 위해요인 식별 및 리스크 경감 기술 등에 대한 정보를 국제 비행시험 공동체에 제공하기 위하여 구축되었다. 미국 14 CFR part 23, 25 및 기타 비행시험과 관련된 사항을 중심으로 비행시험 분야별 기동명과 이에 따른 가능성이 있는 사고 유형(1)을 제공하고 있다. 비행시험 분야는 약 70개의 항목으로 분류하여, 약 85개의 사고 유형을 식별하였다. 비행시험 분야별 식별된 사고 유형을 보면 조종 불능 (LOC; loss of control) 관련 항목 71회, 구조적 손상 (structural damage) 관련 항목 44회, 엔진 손상 (engine damage) 관련 항목 30회 및 CFIT 항목 19회 등의 순서로 나타났다. 표 3은 분야별 비행시험에서 자주 언급되는 상위 10개의 사고 유형을 분석한 것이다[7].

**3-2 비행시험 위해요인 식별**

1) NASA 비행시험 안전 데이터베이스에서는 사고결과 대신 위해요인이라 용어를 사용하고 있으나 일반적 정의의 위해요인과 구분하기 위해 사고 유형이라 용어로 대체하였다.

영국 CAA는 과거부터 축적한 사고데이터 분석을 통하여 치명적 사고 (fatal accident)를 유발하는 원인을 12개 그룹으로 구분하여, 총 132개의 위해요인이 식별되어 있으며, SMICG (safety management international collaboration group)은 인간, 기술, 조직, 환경의 4가지로 범주로 구분하여 총 234개의 위해요인이 식별되어 있다[8],[9].

또한 비행시험장의 주요 업무가 될 무인항공기(UAV; unmanned air vehicle)와 관련하여 추가적으로 위해요인을 조사하였다. UAV 사고를 유발 시킬 수 있는 위협스러운 조건 또는 잠재적 요소는 다음과 같다[10].

- 통제 불능 비행 : 추력 손실, 양력 손실, 방위/고도/위치 정보 손실, 링크 비-계획 손실, 제어 표면 성능 손실, UAV 전 원 손실, 지상 통제국 손실
- 무인기 분실 : 부적절한 운영자 응답, 비행 중요 매개 변수의 잘못된 입력, 운영자 정보 과부하, 중요 정보 이용 불가, 비행 통제 명령의 대응 시간, 운영자 피로, 다중 UAV 제어, 불안전환은 소프트웨어
- 공중 충돌 : 항법 오류, 고도 오류, 자동 보고-회피(see & avoid) 불가, 임무 계획 오류, 타 항공기 미식별
- CFIT : 임무 계획 또는 운항 오류, 고도 오류, 항법 오류, 장애물 식별 및 회피 실패, 귀환 모드 링크 손실,
- 이/착륙 실수 : 조종사 유도 발진, 자동 착륙 시스템 실패, 운영자 오류

그림 1은 UAV 사고를 발생시키는 각 항목별 위해요인 건수를 나타낸 것이다. UAV 사고 발생 위해요인의 특징은 일반 항공에서 식별되지 않은 링크(통신) 손실/지연, 시스템의 과부하 등의 위해요인이 새롭게 식별되었다는 점이다.

기존 논문에서 제시된 비행시험 위해요인 식별 사항에 영국 CAA, SMICG의 위해요인 식별 및 구분 범주를 참조하고, UAV 위해요인 사항을 추가하여 비행시험 위해요인을 표 4와 같이 인적, 기술, 조직, 환경의 4개 범주로 구분하여 새롭게 정리한 것이다[1].

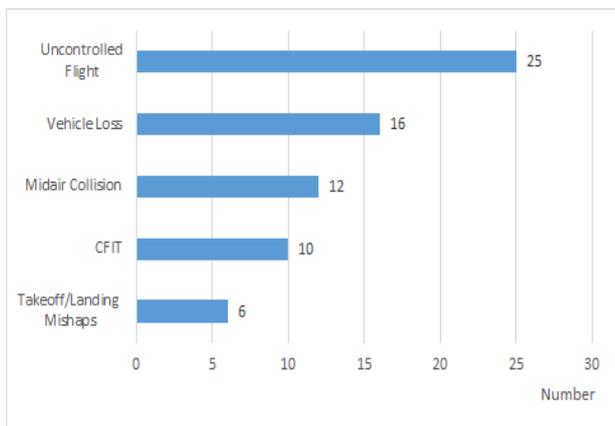


그림 1. UAV 사고 잠재적 기여 요인  
Fig. 1. Probable causal factors in UAV events

표 4. 비행시험 위해요인 식별

Table 4. Identification of flight test hazards

Sector	Hazard	Sector	Hazard		
Human	Pilot	Organizational	Design / Manufacture	Not compliance procedure/guideline	Inappropriate flight procedures
				Non knowledge procedure/guideline	Inappropriate design
				Lack aircraft control	Standards / requirements
				Decision making/judgment	Equipment certification / test
				Lack experience	Operation supervision
				Non rating	Policy / procedure development
				Unstable condition	Schedule management
	Engineer / Mechanic	Maintenance error	Supervisory authority	Lack supervision	
					Inspection error
		Disassembly / assembly error	Meteorology	Light	
Install error					Temperatures
Lack system understanding					Obstacle
Technical	Reliability	Environmental	Aerodrome / aircraft	Procedure error	Wild life / FOD
				Engine / propeller / rotor	Aircraft - vibration
		Airframe / control	time / schedule	Time / schedule pressure	
		Fuel / oil / hydraulic			
		Components			
Communication					

IV. 비행시험장 리스크 평가

리스크는 위해요인 식별을 통해 발견된 잠재 결과의 심각도와 원인을 제공하는 위해요인들의 발생 가능성을 다음과 같이 조합하여 산정한다.

• 리스크 = 심각도(severity) × 발생가능성(probability)

하지만 본 논문에서는 비행시험과 관련하여 식별된 모든 위해요인의 심각도 및 발생가능성 수준을 직접 산정할 수 없어 2008년 4월부터 2017년 6월까지 발생한 무인 항공기를 포함한 비행시험 NTSB 사고/준사고 최종결과 보고서 총 156건의 정의된 사건을 기준으로 심각도와 발생 가능성을 수준으로 구분하였다. 동일 유형의 항공 사고 횟수를 발생 가능성 기준으로, 사망 사고 비율을 심각도 기준으로 설정하고, ICAO Doc9858 안전관리매뉴얼 안전 리스크 심각도, 발생 가능성 기준을 참고하여 표 5,6과 같이 심각도 및 발생 가능성 기준을 설정하였다.

표 5. NTSB 치명적 비행시험 사고 발생률

Table 5. Fatal accident rate in flight test accidents in NTSB

Severity	Fatal accident rate	Value
Catastrophic	More than 50%	A
Hazardous	30% to less than 50%	B
Major	10% to less than 30%	C
Minor	Less than 10%	D
Negligible	No fatal accident	E

표 6. NTSB 동일 유형 사고 수

Table 6. Number of the same type accidents in NTSB

Probability	Number of the same type accidents (10 years in NTSB)	Value
Frequent	More than 20	5
Occasional	More than 10 ~ less than 20	4
Remote	More than 5 ~ less than 10	3
Improbable	More than 2 ~ less than 5	2
Extremely Improbable	1 or less	1

표 7. 안전 리스크 평가 매트릭스[11]

Table 7. Safety risk assessment matrix[11]

Probability	Severity				
	Catastrophic A	Hazardous B	Major C	Minor D	Negligible E
Frequent 5	5A	5B	5C	5D	5E
Occasional 4	4A	4B	4C	4D	4E
Remote 3	3A	3B	3C	3D	3E
Improbable 2	2A	2B	2C	2D	2E
Extremely Improbable 1	1A	1B	1C	1D	1E

표 7은 안전 리스크 평가 매트릭스를 나타낸 것이다. 5A, 5B, 5C, 4A, 4B, 3A를 높은 리스크 수준으로, 3E, 2D, 2E, 1B, 1C, 1D, 1E를 낮은 리스크 수준을 나타내며, 나머지를 중간 단계의 리스크 수준으로 구분하였다[11]. 이에 따라 비행시험 리스크 평가 결과 표 8와 같이 엔진 동력 손실, 조종 불능, 실속/스핀의 3개가 고 리스크 수준의 정의된 사건으로 산출되었다.

또한, 해당 사건별 위해요인 식별은 앞서 수행된 “비행시험 위해요인 식별 연구[1]”를 참조한다.

## V. 비행시험장 리스크 완화

### 5-1 리스크 완화 방법

표 8. 정의된 사건에 따른 리스크 평가 및 리스크 수준

Table 8. Risk assessment and risk level based on defining event

Defining Event	Probability	Severity	Risk assessment	Risk Level
Loss of engine power (partial, total)	5	C	5C	High
Loss of control in flight	5	A	5A	High
Loss of control on ground	4	E	4E	Moderate
Aerodynamic stall/spin	4	B	4B	High
Flight control sys malf/fail	3	C	3C	Moderate
Aircraft structural failure	3	B	3B	Moderate
Collision during takeoff/land, with terr/obj (non-CFIT), ground	3	E	3E	Low
Landing gear collapse, not configured	3	E	3E	Low
Fuel contamination/exhaustion/starvation	2	E	2E	Low
Hard landing, abnormal runway contact	2	E	2E	Low
Part(s) separation from AC	2	A	2A	Moderate
Powerplant sys/comp malf/fail	2	E	2E	Low
Abrupt maneuver	2	A	2A	Moderate
Fire/smoke (non-impact, post-impact)	2	E	2E	Low
Loss of lift	2	E	2E	Low
Sys/Comp malf/fail (non-power)	2	E	2E	Low
Low altitude operation/event	1	A	1A	Moderate
Comm system malf/failure	1	E	1E	Moderate
Controlled flight into terr/obj (CFIT)	1	E	1E	Low
Electrical system malf/failure	1	E	1E	Low
Glider tow event	1	E	1E	Low
Roll over	1	E	1E	Low
Runway excursion	1	E	1E	Low
Windshear or thunderstorm	1	E	1E	Low

ICAO Doc 9859 안전 관리 매뉴얼에서는 회피, 감소, 노출의 분리와 같이 리스크 완화 방법 3가지가 다음과 같이 소개 되어 있다[11].

- 회피(avoidance) : 관련된 안전 리스크가 용인 될 수 없거나 관련 이익과 관련하여 수용할 수 없는 것으로 간주되어 활동을 중지
- 감소(reduction) : 리스크와 관련된 심각성이나 발생 가능성은 줄어들지만 관련 결과를 완화하는 조치로 인해 일부 안전 리스크의 노출은 허용
- 노출의 분리 (segregation of exposure): 잠재적인 결과를 격리하기 위한 조치 시행

또한, 시스템 엔지니어링에서 소개되는 리스크 완화를 위한 접근 방법으로는 다음과 같이 회피, 가정/수용, 통제, 이양, 모니터링의 5가지 있다[12].

- 회피(avoidance) : 프로그램 요구 사항이나 제약 조건을 조

정하여 리스크를 제거하거나 줄임. 이러한 조정은 자금, 일정 또는 기술 요구 사항의 변경으로 수용될 수 있음. (위에 언급한 ICAO 리스크 완화 방법 중 감소 포함)

- 가정/수용(assume/accept) : 특정 리스크의 존재를 인정하고, 그것을 관리하기 위한 특별한 노력을 기울이지 않고 받아들이기로 결정 함. 프로젝트 또는 프로그램 리더의 승인 필요
- 통제(control) : 리스크의 영향 또는 가능성을 최소화하기 위한 조치 시행
- 이양(transfer) : 위험을 수용하고자하는 다른 이해 관계자에게 조직의 역할, 책임 및 권한 재 할당
- 모니터(monitor) : 리스크에 영향을 미치는 환경 변화에 대한 모니터링

**5-2 비행시험 리스크 완화 적용**

비행시험 고 리스크 사건의 식별된 위해요인에 대하여 5-1항의 시스템 엔지니어링 접근법과 ICAO에서 소개된 방법을 통합 적용하여 리스크 완화(안)를 기술하였다.

**1) 회피**

비행시험 진행/중단 기준 (go/no go criteria)을 활용하고 식별된 위해요인 중에서 회피의 방법으로 리스크를 완화 시킬 수 있는 사항이다.

- 조종사/정비사 등 인적요인과 관련한 일반의약품/처방약 복용, 정신/감정적 상태 비정상 상태, 최근 비행 경험/동일 기종 비행경험/장비 사용 경험 부족
- 기계(시험 항공기) 요인으로 계기/탑재장비/계측장비 비정상, 고정부 이완/이탈, 내외부 비정상 소음
- 기계(추적기/통제실) 요인으로 추적기/지원기 운용 불가,

통제실/계측장비 운용 불가, 통신 비정상  
위와 같은 사항이 발생한 경우 비행시험을 중단하고 위해요인이 사라진 후 재개하는 리스크 완화 방법이다.

**2) 가정/수용, 감소**

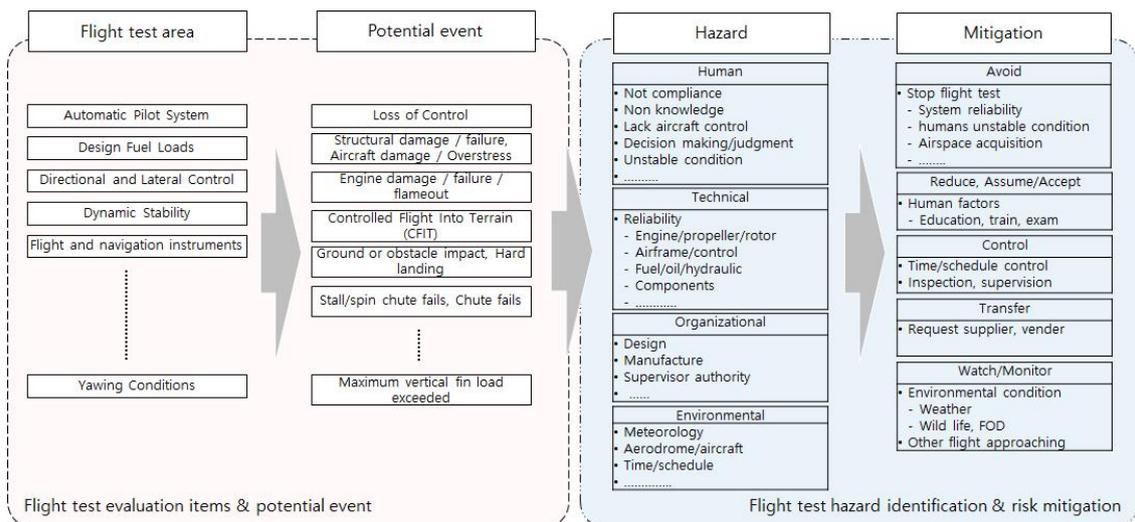
항공기 사고의 원인으로 많은 부분을 차지하고 있는 인적요인과 관련한 위해요인은 현실적으로 완벽히 없애는 것이 불가능하다. 따라서 인적요인 위해요인의 존재를 가정하고, 관리자의 신중한 결정으로 리스크를 수용하게 된다. 비행 절차, 승무원자원관리 (CRM; crew resource management)/정비사자원관리 (MRM; maintenance resource management) 기술, 의사결정/판단 기술, 장비 지식, 장비/시스템 사용 절차와 관련된 인적요인 위해요인은 교육, 훈련, 평가를 통해 일부 리스크 노출을 감소시키고, 잔여 리스크는 수용하면서 비행시험을 진행한다.

**3) 통제, 이양**

통제 방법으로는 제조사, 시험장 운영자에 의한 관리 감독을 강화하여 비-정품 사용, 설치 오류, 설치/정비 후 검사를 감독하고 일정/업무량을 조절하여 리스크의 영향 또는 가능성을 최소화할 수 있는 방법이다. 또한, 리스크의 직접적인 제거는 불가능하만 시험장에서 수용할 수 없는 위해요인이 식별되었을 때는 공급 업체, 판매자 등의 이해 관계자에게 역할, 책임 및 권한을 재 할당하여 리스크를 이양하는 방법이다.

**4) 모니터**

바람, 강우, 운고, 시정, 결빙, 야생동물 등의 환경적 위해요인과 시험 공역 미확보, 타 항적 접근과 같은 위해요인은 감시/모니터 방법으로 리스크를 완화 시킬 수 있다.



**그림 2. 비행시험 리스크 관리 절차도**  
**Fig. 2. Flight test risk management procedures**

## VI. 결 론

비행시험장 SMS 구축 및 초기 활용을 위해 리스크 관리에 필요한 일련의 절차를 연구하였다. ICAO, IATA, 영국CAA 등의 국제 기구 및 항공선진국에서 발행되는 항공사고 통계 자료 및 안전 보고서는 비행시험 목적의 항공기 운항의 특수성이 고려되지 않은 상태여서 비행시험장 SMS 리스크 관리 자료로 활용되는 것이 적절하지 않은 것으로 파악되었다. 이에 따라 본 논문에서는 비행시험장의 시설, 임무, 종사자 등의 하드웨어, 소프트웨어 시스템을 분석하고 그 중에서 비행과 직접적으로 관계가 있으면서 안전 리스크가 가장 높게 나타나는 부분인 비행시험을 중심으로 리스크 관리 절차를 마련하였다. 우선 비행시험 섹터별로 야기될 수 있는 사고 가능성을 조사하였고, 리스크가 높은 사고 분야를 선별하기 위해 NTSB 비행시험 사고/준사고 최종보고서를 분석한 자료를 활용하였으며 발생가능성 및 심각도 수준을 설정하고 리스크 평가를 하였다. 엔진 동력 손실, LOC, 실속/스핀 사건이 리스크 수준이 높은 것으로 나타났다. 이에 따른 각각의 위해요인을 선별하였다. 마지막으로 선별된 위해요인은 회피, 가정/수용, 감소, 통제, 이양, 감시/모니터 방법으로 리스크를 완화토록 하였다. 특히 인적요인과 관련한 위해요인이 다수 식별되어 시험 조종사를 포함한 관련 종사자들의 자격 및 훈련 요구사항에 대한 제도 수립이 필요하다.

항공 선진국에서는 일찍이 비행시험의 위험성을 인식하고 항공기 및 관련 구성품 개발 또는 개조 및 인증 업무를 안전하게 수행하기 위하여 비행시험 안전 매뉴얼 및 리스크 관리 절차 등을 마련하였다. 늦은 감은 있지만 국내에서도 ICAO의 SMS 표준 절차 수립에 따라 항공안전법으로 항공기 제작 승인을 받은 자 및 공항 및 항행안전시설 운영 승인을 받은 자 등은 SMS의 이행을 의무화하고 있다. 이에 따라 국내에서도 국가비행종합성능시험장 구축에 맞춰 SMS의 틀 안에서 비행시험 안전을 위한 체계적 연구와 미비한 부분에 대한 제도적 보완이 필요하다.

## Acknowledgement

본 연구는 국토교통부 항공안전기술개발사업 (과제번호: 18ATRP-C109146-03)의 지원을 받아 수행되었습니다.

## References

- [1] M. G. Kim, I. K. Lim, B. S. Yoo, and J. Y. Kang, "Flight test hazard identification," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 22, No.2, pp. 279-287, Aug. 2018.
- [2] FAA Order 4040.26B, Aircraft certification service flight test risk management program, Jan. 2012. [Internet]. Available: [https://www.faa.gov/regulations\\_policies/orders\\_notices/index.cfm/go/document.information/documentID/1019824](https://www.faa.gov/regulations_policies/orders_notices/index.cfm/go/document.information/documentID/1019824)
- [3] Australia CASA AC21-47(0), Flight test safety, Apr. 2012. [Internet]. Available: <https://www.casa.gov.au/rules-and-regulations/standard-page/advisory-circulars>
- [4] EASA, Flight test operations manual guide, Apr. 2018. [Internet]. Available: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/FTOM%20Guide.pdf>
- [5] ROK Aviation safety act, Article 58 "Aviation safety program, etc." Mar. 2017.
- [6] M. G. Kim, and J. Y. Kang, "Establishment and utilization plan of flight test airspace for the flight performance test center," in *The Korean Society for Advanced Navigation Technology 2017 Complex Conference*, Seoul: Korea, pp. 417-419, Oct. 2017.
- [7] M. G. Kim, I. K. Lim, B. S. Yoo, and J. Y. Kang, "Flight test hazard identification for application of safety management system," in *The Korean Society for Aviation and Aeronautics, 2018 Spring Conference*, Gyeonggi-do: Korea, pp. 317-320, May. 2018.
- [8] UK CAA CAP1036, Global fatal accident review 2002-2011, 2013. [Internet]. Available: <http://publicapps.caa.co.uk/modalapplication.aspx?appid=11&mode=detail&id=5605>
- [9] SMICG (Safety management international collaboration group), Hazard taxonomy examples, Apr. 2013. [Internet]. Available: <https://skybrary.acro/bookshelf/books/2301.pdf>
- [10] Range safety group, Range commanders council, Supplement to document 323-99, Range safety criteria for unmanned air vehicles rationale and methodology supplement, Apr. 2001. [Internet]. Available: <https://apps.dtic.mil/docs/citations/ADA391715>
- [11] ICAO Doc 9859, Safety management manual (SMM), 3rd, 2013.
- [12] MITRE, *System engineering guide*, MITRE corporate communications and public affairs, 2014. [Online]. Available: <http://www.mitre.org/sites/default/files/publications/se-guide-book-interactive.pdf>



**김 무 근 (Mu-Geun Kim)**

2009년 2월 : 아주대학교 교통·ITS대학원 교통공학과 (공학석사)  
2015년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 대학원 항공운항관리학과 박사과정  
※관심분야 : CNS/ATM, 시험평가인증, 공항운영 및 관리



**유 병 선 (Beong-Seon Yoo)**

1993년 03월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공운항학과 교수/사업용 조종사/조종교육 증명  
1999년 04월 ~ 현재 : 국토교통부 항공종사자 자격시험위원  
2005년 03월 ~ 현재 : G-TELP KOREA 항공영어시험 자문위원  
2005년 09월 ~ 현재 : 교통안전공단 항공준사고 자문위원  
2008년 11월 ~ 현재 : 해군발전 자문위원  
2011년 11월 ~ 현재 : 소방방재청 정책협의회 항공분야 자문위원  
※관심분야 : 기초 비행교육 프로그램 개발, 항공종사자(조종사) 자격제도 개선, 산학연계 교육 프로그램 개발



**한 정 호 (Jeongho Han)**

1988년 02월 ~ 2000년 06월 : ㈜대한항공 항공기술연구소 선임연구원  
2000년 07월 ~ 2003년 06월 : ㈜바이오메드 대표이사  
1997년 03월 ~ 2005년 08월 : 한국과학기술원 항공우주공학과 Ph.D  
2007년 02월 ~ 2012년 12월 : 국방과학연구소 선임연구원  
2013년 04월 ~ 현재 : 항공안전기술원 항공안전연구실 실장  
※관심분야 : 항공안전관리시스템, 항공기 및 부품 인증, CNS/ATM



**강 자 영 (Ja-Young Kang)**

1992년 06월 : 미국 Auburn Univ, AE/Ph.D., 1992년 06월 ~ 2002년 03월 : ETRI 책임연구원/팀장  
1979년 03월 ~ 1984년 08월 : 국방과학연구소 및 국방기술품질원 연구원  
1997년 03월 : FAA Private Pilot License, 2002년 03월 ~ 현 : 한국항공대학교 항공운항학과 교수  
2011년 12월 ~ 2015년 12월, 2017년 08월 ~ 현 재 : 한국항공대학교 부설 항공체계시험인증연구센터장  
2015년 03월 ~ 2016년 02월 : 한국항공대학교 부설 한국항공안전교육원장  
2004년 03월 ~ 현 재 : 한국항행학회 정회원(중신회원)  
2014년 01월 ~ 2015년 12월 : 제11대 한국항공운항학회 회장  
※관심분야 : CNS/ATM, 항공체계공학, 위성시스템 응용