



Received: 2023/05/09  
Revised: 2023/05/21  
Accepted: 2023/06/20  
Published: 2023/06/30

**\*Corresponding Author:**

**Seongjun Im**

PGM Integrated Product Support R&D Lab,  
LIG Nex1  
255, Pangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-si,  
Gyeonggi-do, 13486, Republic of Korea  
Tel: +82-31-326-9268  
Fax: +82-31-326-9001  
E-mail: seongjun@lignex1.com

# 무기체계 안전성 향상을 위한 안전도 관리 도구 개발

## Development of Safety Management Tool to Improve Weapon System Safety

임성준<sup>1\*</sup>, 김희욱<sup>2</sup>, 임재훈<sup>1</sup>, 윤정환<sup>1</sup>, 장세준<sup>3</sup>

<sup>1</sup>LIG넥스원 PGM IPS연구소 수석연구원

<sup>2</sup>LIG넥스원 PGM IPS연구소 선임연구원

<sup>3</sup>LIG넥스원 PGM IPS연구소 연구원

Seongjun Im<sup>1\*</sup>, Heewook Kim<sup>2</sup>, Jaehoon Lim<sup>1</sup>, Junghwan Yoon<sup>1</sup>, Sejoon Jang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Chief research engineer, PGM Integrated Product Support R&D Lab, LIG Nex1

<sup>2</sup>Research engineer, PGM Integrated Product Support R&D Lab, LIG Nex1

<sup>3</sup>Research Engineer, PGM Integrated Product Support R&D Lab, LIG Nex1

**Abstract**

무기체계 개발 과정에서 체계 안전성 관리에 대한 요구사항이 점차 대두되는 추세이나, 현실적으로 국내에 국방 산업 특성에 맞는 전용 관리 도구는 부재한 상황이다. 본 논문에서는 미 국방성의 체계 안전성 규정(MIL-STD-882E)에 부합하는 안전도 관리 도구의 연구 개발 결과를 제시하였다. 그리고 이 도구를 실제 무기체계 연구개발 사업에 적용함으로써 무기체계 안전도 향상을 위한 방안을 제안하였다.

The requirements for system safety management are gradually emerging in the process of weapon system development, but in reality, there is no dedicated management tool in Korea that meets the characteristics of the defense industry. This paper presents the research and development results of a safety management tool that meets the U.S. Department of Defense's system safety regulations (MIL-STD-882E). And by applying this tool to actual weapon system R&D projects, we proposed a way to improve weapon system safety.

**Keywords**

체계 안전성(System Safety),  
위험추적시스템(Hazard Tracking System),  
위험요인 분석(Hazard Analysis),  
신뢰도-가용도-정비도-안전도(RAMS),  
무기체계(Weapon System)

### 1. 서론

최근 무기체계 개발, 제작, 운용, 폐기의 전 수명주기 간 체계 안전성(system safety)에 대한 요구사항이 대두되고 있는 추세이다. 특히 무기체계는 다양한 물리 및 화학적 특성을 가진 서브시스템이 복잡적으로 구성되는 특성을 고려하여 시스템 단위의 통합적인 안전성 관리가 필요하다. 미 국방부의 경우 관련 내용이 규정으로 명문화되어 있는데, MIL-STD-882E, System Safety(2012)에는 체계 안전성 관리에 대한 절차와 요구사항을 명시하고 있으며, 그 중 TASK 106에서는 시스템 안전성 관리를 위하여 “위험 추적 시스템(HTS, hazard tracking system)”을 구축하여 위험 분석 결과 및 조치 사항 이력 등의 데이터들을 문서화하여 관리할 것을 요구하고 있다[1]. 반면에, 항공 사업을 제외한 국내 무기체계 연구 개발 사업에서 시스템안전 관련 제도를 도입한 사례는 매우 희소하나, 2014년 K-11 복합소총 사격 도중 폭발 사고, 2017년 K-9 훈련 중 폭발 사고 등의 사례를 통해 안전한 무기체계 개발을 위해 국내 무기체계 개발 시 시스템안전 관리의 필요성이 대두되고 있다[2].

본 논문에서는 규정에서 요구하고 있는 HTS 구축을 위해 국내 무기체계 개발 단계에서 활용 가능한 “안전도 관리 도구(safety management tool)”의 개발 방안을 제시하고, 실제 무기체계 개발 사업에서 본 관리 도구를 활용한 적용 사례를 통해 무기체계 안전성 향상을 위한 효율적인 관리 방안에 대해 제안한다.

## 2. 연구 배경 및 관련 이론

### 2.1 System Safety Process

체계 안전성 관리는 시스템에 내재된 위험요인(hazard)을 식별하고, 발생도와 심각도를 평가하여 수용 불가능한 리스크(risk)에 대한 저감조치를 수립하며, 리스크를 추적 관리하는 일련의 계획과 활동을 의미한다. Fig. 1은 8개의 요소로 구성된 시스템 안전성 절차(system safety process)를 보여준다[1]. 여기서 중요한 점은 각 요소마다 문서화(document)를 요구한다는 점이다. 즉, 시스템 안전성의 핵심은 각각의 단계별로 수행한 업무를 문서화하여 관리하는 것이라고 볼 수 있다. 안전성은 추상적이고 주관적인 성격의 개념으로 무기체계가 얼마나 안전한가에 대한 척도를 정량적인 수치로 표현하기는 쉽지 않다. 따라서 무기체계 개발 과정에서 안전성과 관련하여 규정된 프로세스를 준수하고 위험요인 식별, 리스크 평가, 리스크 저감 대책 등 관련 활동을 얼마나 충실하게 수행하였는가를 문서화하여 객관화하는 것이 중요하다.

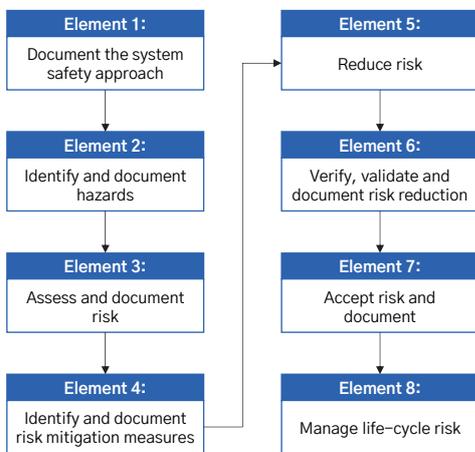


Fig. 1. System safety process (MIL-STD-882E)

### 2.2 Hazard tracking system

체계 안전성 절차의 첫 번째 단계는 체계 안전성 접근법을 문서화하는 것이다. 이 단계에서는 리스크 관리 노력이 SE 프로세스, 제품 개발 프로세스에 어떻게 통합되는지를 결정하고, 시스템에 적용 가능한 규정 및 도출된 요구사항을 문서화하며, 리스크 수용 기관(예: 소요군)이 관련 리스크를 공식적으로 수용하고 동의하

는 방법 등을 규정하는 것이다. 그 중 위험 추적 시스템(HTS)을 통한 위험 문서화 요구사항이 포함된다.

HTS는 안전성 관리 활동 과정에서 생성되는 데이터들의 추적 관리를 위한 데이터 관리 도구이다. 계약자(예: 개발기관)는 HTS를 구축 및 유지해야 하는 의무가 있으며, 관리기관 및 계약자 모두 HTS에 접근할 수 있어야 하며, 관리기관은 HTS에 수록된 모든 데이터에 대한 권리를 받아 유지해야 한다고 명시되어 있다[1]. HTS에는 체계 안전성 관리 활동에서 생성되는 모든 데이터 요소들이 포함되며 그 목록은 Table 1과 같다.

Table 1. Task 106 hazard tracking system - Task description(MIL-STD-882E)

No.	HTS task description
a	Hazard
b	System
c	Subsystem(if applicable)
d	Applicability (version specific hardware designs or software releases).
e	Requirements references.
f	System mode.
g	Causal factor (e.g., hardware, software, human, operational environment).
h	Effects.
i	Mishap.
j	Initial risk assessment code.
k	Target risk assessment code.
l	Event risk assessment code(s).
m	Mitigation measures (identified and selected with traceability to version specific hardware designs or software releases).
n	Hazard status.
o	Verification and validation method.
p	Action person(s) and organizational element.
q	Record of risk acceptance(s) – risk acceptance authority (and user concurrence authority, as applicable) by title and organization, date of acceptance, and location of the signed risk acceptance document(s).
r	Hazard management log (record of hazard entry and changes made to any part of the hazard record during the system's life-cycle).
s	Hazardous Material (HAZMAT) data elements as specified by the Government.

### 3. 유사 도구 연구

본 연구에서는 안전도 관리 도구를 개발하기 위해 산업 현장에서 활용되고 있는 HTS 관련 위험관리 SW에 대한 사례 조사를 수행하였다.

#### 3.1 ARM(Active Risk Manager)

ARM은 영국 SWORD 사(社)에서 개발한 웹 기반의 위험관리 전문도구로 최대 2,000명의 사용자가 동시 접속 가능한 프로젝트 현황 공유 및 관리 시스템이다. ARM은 위험관리 프로세스 단계에 대한 이력 관리 기능을 제공하며, 위험 분석 및 평가 기능과 조치계획 및 활동을 등록하여 이력관리가 가능하고, 위험 모니터링 및 통제를 통해 보고서 출력하는 기능을 제공한다. 다만, ARM은 주로 프로젝트의 일정 및 비용 관련 위험관리를 목적으로 사용하는 도구로, 위험 발생 확률, 영향(성능저하, 일정 지연) 등에 대한 판단 기준을 SW에서 제시하지는 않으며 분석자 주관에 따라 판단해야 한다.

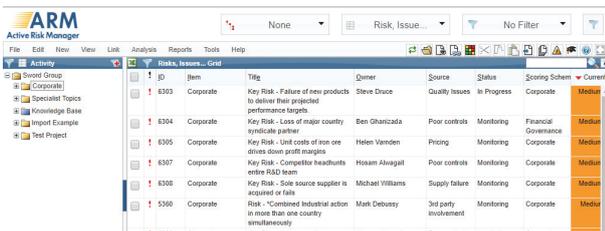


Fig. 2. ARM(Active Risk Manager, by SWORD)

#### 3.2 Onspring

Onspring은 미국 Onspring 사에서 개발한 비즈니스 관리 도구로서 위험관리 솔루션을 비롯하여, 정부 규정/규제 및 산업별 특성, 감사(audit) 등에 대한 솔루션을 제공하는 형태의 관리 도구이다. 위험 데이터에 대한 정보 입력 시 해당 항목에 대한 자원, 조치 방안 등을 연계하여 입력할 수 있어 위험에 대한 조치 및 추적관리가 용이하다는 장점이 있다. 또한 위험 분석 결과의 시각화(chart 작성) 기능으로 사용자가 현황을 파악하기 용이하다. 다만, 앞서 ARM과 동일하게 위험 발생확률과 영향에 대한 판단 기준을 제공하지 않으며, 국방 분야에서 요구하는 형태의 안전성 관련 산출물을 제공하는 기능은 보유하고 있지 않다.



Fig. 3. Onspring(by Onspring)

#### 3.3 RAM Commander - Safety Module

RAM Commander 내 Safety Module은 이스라엘 ALD 사에서 개발한 항공 시스템의 안전성 분석 도구이다. SAE ARP 4761(민간 항공 시스템의 장비 안전성 평가 프로세스 지침) 기반의 분석도구로, 시스템의 기능적 고장을 기준으로 기능 고장을 유발하는 고장 조건 기반의 안전도 분석을 수행한다. 특히, 국방 분야에서 주로 수행하는 공학적 분석기법(FMECA, FTA 등)의 결과를 활용 가능하고, 위험 분석 보고서를 출력할 수 있는 기능을 보유하고 있다. 다만, 안전도 관리와 관련된 산출물의 목록과 형태가 민간 항공 시스템 규정을 기준으로 하고 있어 국방 기준(MIL-STD-882E)과는 다소 상이한 점이 있다.

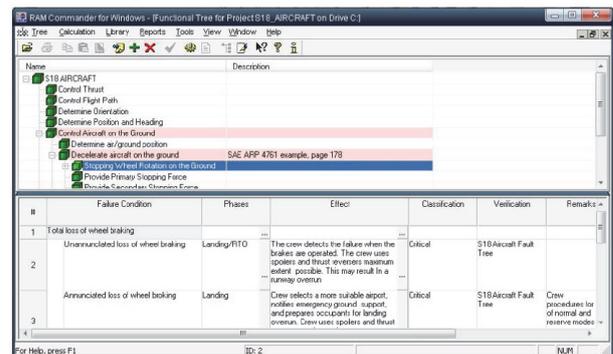


Fig. 4. RAM Commander(by ALD) [5]

#### 3.4 SMS(Safety Management System) Pro

SMS Pro는 알래스카 NWDS 사에서 개발한 웹기반의 안전성 관리 도구로 안전 전문가가 안전 데이터의 수집, 분석, 시정조치 프로세스 및 배포를 관리하는 기능을 제공한다. SMS Pro는 주로 항공 산업에서 활용되며,

작업 중 위험을 관리하는 동시에 인력, 장비, 운영체제를 포함한 방대한 데이터베이스를 같이 관리할 수 있다는 장점이 있다. 다만, 앞서 다른 도구와 같이 국방 분야에서 요구하는 분석 기준이나 산출물을 제공하는 기능은 보유하고 있지 않다.

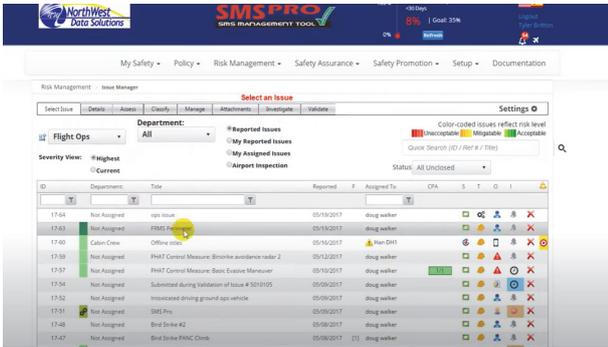


Fig. 5. SMS Pro(by NWDS)[6]

### 4. 안전도 관리 도구 개발

#### 4.1 설계 요소 정의

본 연구에서는 무기체계 안전도 관리 도구의 개발을 위해 관련 규정에서 요구하는 사항과 유사 SW들의 특징을 분석하여 요구사항을 정의하였다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 안전도 관리 도구의 핵심 기능은 체계 안전성 절차 전반에서 생성되는 주요 산출물의 수집, 처리, 추적관리, 저장 및 출력 기능이다. 이러한 기능을

구현하기 위하여 요구사항 27건을 Table 2와 같이 분류 및 정의하였고, 이를 통해 소프트웨어 형상 품목(CSCI)을 Fig. 7과 같이 정의하였다.

Table 2. SW requirement classification

Function	Description	Count
Project management	Crete, save projects & manage history	5
Assess safety	System information	Import, manage system data (GBL, FMECA, etc.)
	Checklist	Identify hazards with safety design checklist
	Hazard analysis	Build hazard analysis reports (6 types)
Safety management	Tracking risks & calculate safety indexes	3
System setup	Users, analysis criteria, etc.	5
Help	Manual, abbreviation, etc.	2
Computer resources	SW operational environment	1

#### 4.2 안전도 평가 모델 설계 및 구현

안전도 평가는 위험요인 식별, 위험요인 분석 및 리스크 평가, 리스크 추적관리 및 보고서 생성 3단계로 구성되며 각 단계별 데이터의 흐름은 Fig. 8과 같다.

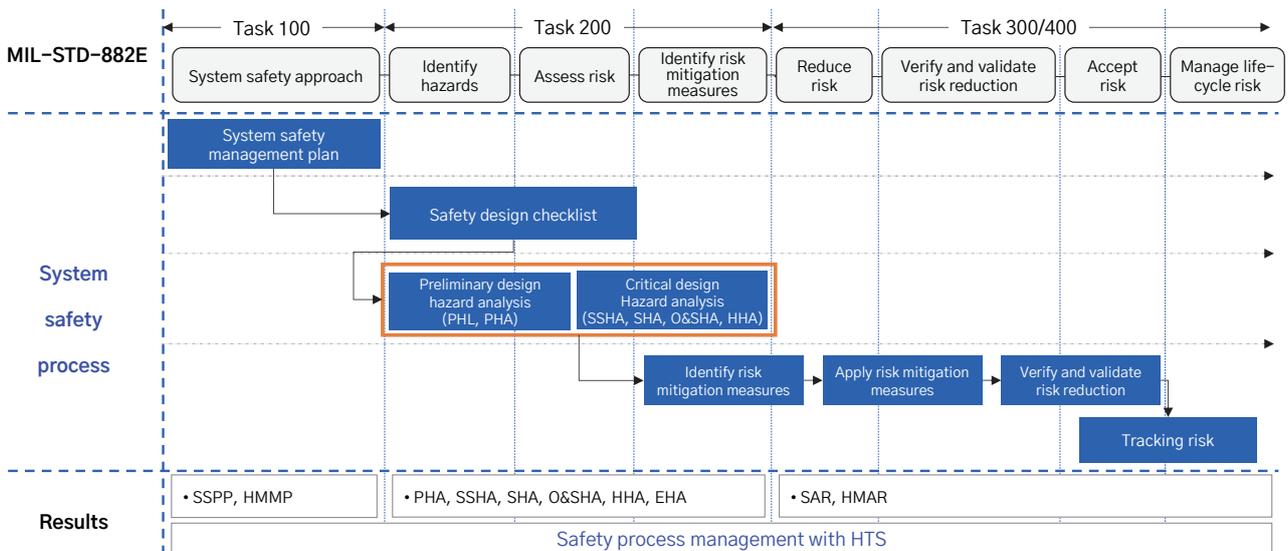


Fig. 6. Weapon system safety process with HTS

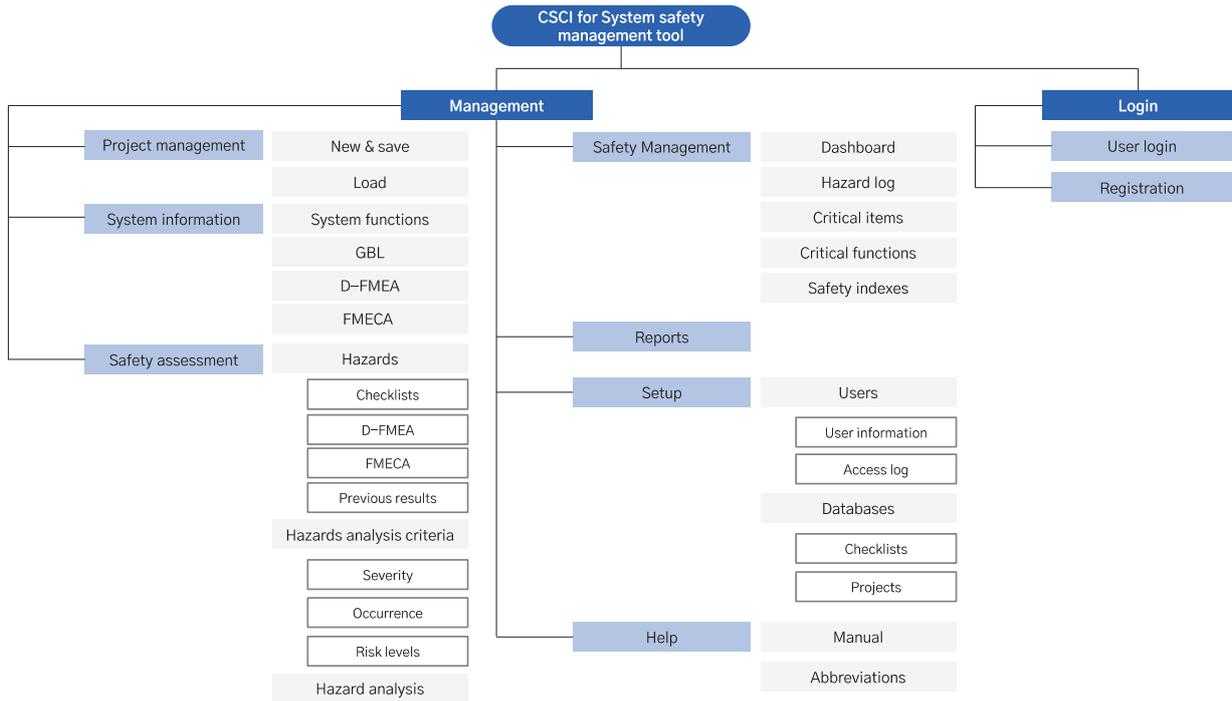


Fig. 7. CSCI of safety management tool

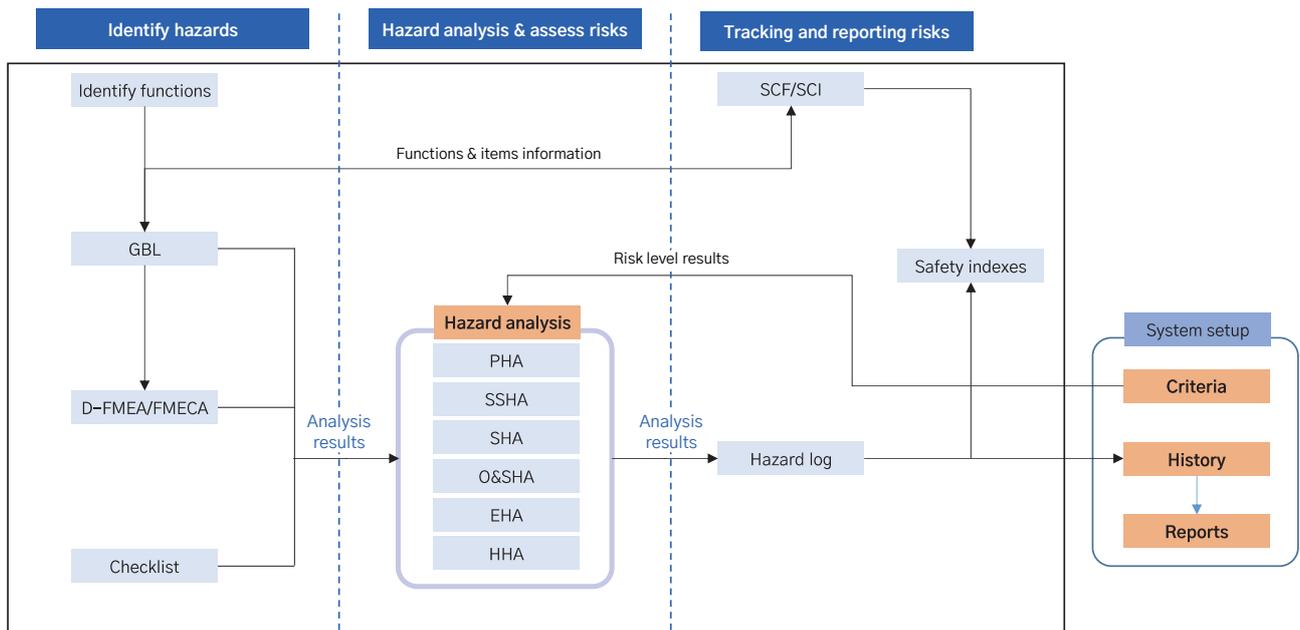


Fig. 8. Context diagram of safety management tool

위험요인 식별 단계에서는 무기체계 설계 데이터와 공학적 분석 결과 등을 토대로 시스템에 내재되어 있는 위험요인을 도출하며, 추가적으로 Kim 등이 연구한 유도무기 체계의 안전성 제고를 위한 체크리스트 개발[7] 결과를 적용하여 안전성 설계 체크리스트를 통한 위험요인 식별 기능을 Fig. 9과 같이 구현하였다.

위험요인 분석/리스크 평가 단계에서는 식별된 위험요인에 대한 예상 발생원인 및 체계에 미치는 영향을 분석하고, 심각도와 발생도를 부여하여 리스크를 평가한다. 이를 위해 Seo 등이 연구한 무기체계 안전 설계를 위한 DFMEA 적용에 관한 연구[8] 결과와 Kim 등이 연구한 위험요인 분석 기준과 리스크 평가 기준

[9] 등을 적용하여 위험요인 분석/리스크 평가 기능을 Fig. 10과 같이 구현하였다.

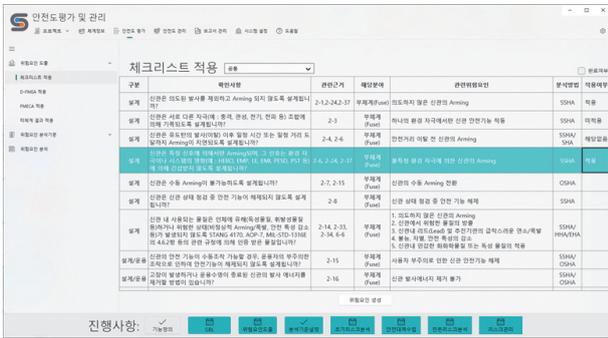


Fig. 9. Checklist GUI of safety management tool



Fig. 10. Hazard analysis GUI of safety management tool

리스크 추적관리/보고서 생성 단계는 앞선 단계에서 수행한 위험요인 분석 결과 정보를 hazard log로 통합 관리하고, 설계 개선 등을 통해 위험요인의 심각도 또는 발생도가 개선되어 리스크 평가 결과가 변동되는 것을 추적 관리한다. 또한, Kim 등이 연구한 유도탄 안전성 설계를 위한 정량적 관리 지표 연구[9] 결과를 적용하여 시스템의 안전성 지표를 계산하여 전시하는 기능을 Fig. 11과 같이 구현하였다.



Fig. 11. Safety indexes GUI of safety management tool

## 5. 사례 연구

### 5.1 대상 사업 선정

본 연구를 통해 신규 개발된 안전성 관리 도구의 활용 가능성 및 효과를 검증하기 위해 ○사업을 시범 적용 대상 사업으로 선정하였다. 선정 사유는 ○사업이 안전도 관리 도구 시제품이 개발된 시점에서 아직 체계 설계가 시작되지 않은 신규 사업이었기 때문에 안전도 관리 도구를 통한 위험요인 분석 결과가 실제 설계에 반영될 수 있도록 지원하기 위함이다. 또한, ○사업은 항공기에 탑재되는 무기체제로 항공기 감항인증에 필요한 안전성 관련 산출물에 대한 요구사항이 존재하여 본 연구를 통한 시범적용 결과로 산출된 데이터의 활용이 가능할 것으로 판단하였다.

### 5.2 시범적용 결과

○사업의 체계요구조건 및 체계기능 검토회의(SRR/SFR) 단계에서 설계 요구조건 분석 및 체크리스트를 적용한 결과 초기 위험요인이 총 43건 도출되었다. 이를 안전도 관리 도구에 입력하고 심각도와 발생도를 부여하여 리스크를 평가한 결과, 허용 기준을 초과하여 지속적인 추적 관리가 필요한 항목이 총 6건 도출되었다. 이후 개발 과정에서 해당 위험요인에 대한 저감 대책을 강구하고 설계 반영 여부를 지속 추적 관리한 결과, 개발시험평가(DT&E) 진입 시점에서 6건의 리스크가 Table 3와 같이 수용 가능한 수준으로 저감되었다. 안전도 관리 도구를 활용하여 ○사업 초기부터 안전도 관리를 통해 위험요인을 식별하고 수용 불가능한 심각한 리스크를 추적 관리함으로써 개발 단계별로 체계 안전도의 정량적 관리 지표가 향상되는 효과를 Fig. 12와 같이 확인하였다.



Fig. 12. Rising safety indexes of ○ Project

**Table 3.** Hazard analysis results of a ○ Project

ID	Hazard	Cause	Consequence	Initial risk	Mitigation measure	Residual risk
HZD-015	Unable to secure induction kits during transportation	Storage container design errors	Damaging equipment	Serious	Include in environmental testing	Medium
HZD-028	Unable to safely ship, transport, or handle induction kits	Unmarked center of gravity on storage boxes	Damaging equipment	Serious	Mark the center of gravity of a storage box	Low
HZD-029	Cannot protect items that prohibit tentacles	Lack of dedicated protective gear	Damaging equipment	Serious	Add dedicated protective gear	Low
HZD-040	Missing vibration test conditions for storage containers	Missing operational conditions	Damaging equipment	Serious	Include in environmental testing	Low
HZD-041	Missing drop hazard conditions for storage containers	Missing operational conditions	Damaging equipment	Serious	Include in environmental testing	Medium
HZD-043	Failure of thermal cells and secondary batteries	No check intervals and methods	Personal injury	Serious	Add a thermochromic sticker	Medium

## 6. 결론

무기체계의 안전성에 대한 요구사항은 항공 분야 및 수출 사업을 시작으로 점차 확대되는 추세이나 이를 체계적으로 분석 및 관리할 수 있는 국방 분야에 특화된 도구가 없다는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 미국방부 시스템 안전성 기준(MIL-STD-882E)을 충족하고 무기체계 연구개발 단계에서 활용 가능한 안전도 관리 도구 개발 결과를 제시하였고, 시범사업 적용을 통해 효과를 확인하였다. 향후 무기체계 개발 사업에서 본 관리 도구를 적극 활용하여 데이터를 축적하고, 신규 식별된 안전성 요구사항들을 추가 반영하여 안전도 관리 도구를 더욱 발전시킬 계획이다.

결론적으로, 본 연구에서 제안한 도구를 사업 초기부터 활용하여 안전도 관리를 수행한다면 설계 초기부터 위험요인을 식별 및 추적 관리하여 시제품 개발 이후 안전 문제로 인한 설계 변경을 최소화할 수 있으며, 이러한 활동을 통해 무기체계의 안전성이 향상되고 안전사고 예방의 효과를 기대할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

[1] MIL-STD-882E "System Safety," Department of Defense, 2012.

[2] Suncheol Park, Jinsung Kim, Jonghoon Jin, Donghwan Yoon, "System Safety Application for the Weapon System," Vol. 44, No. 4, Journal of Korean Society of Industrial and System Engineering, pp. 106-112, 2021.

[3] SNSeng website, [https://se.snseng.co.kr/m/sub/sub0204\\_2.php](https://se.snseng.co.kr/m/sub/sub0204_2.php)

[4] Onspring website, <https://onspring.com/solutions/governance-risk-compliance/risk-management/>

[5] ALD website, <https://aldservice.com/RAMS-Reliability-Availability-Maintainability-and-Safety-Software.html>

[6] SMS Pro website, <https://www.asms-pro.com/modules/riskmanagement/hazardriskmanagement.aspx>

[7] Heewook Kim, Seongjun Im, Junghwan Yoon, Chunsup Um, Yangwoo Seo, "Development of Missile Checklist for Safety Improvement", Vol. 22, No. 1, Journal of Applied Reliability, pp. 19-26, 2022.

[8] Yangwoo Seo, Youngil Oh, Heewook Kim, Sojung Kim, "A Study on the Application of DFMEA for Safety Design of Weapon System," Vol. 18, No.1, Journal of KOSSE, pp. 46-57, 2022.

[9] Heewook Kim, Seongjun Im, Jaehoon Lim, Junghwan Yoon, Hyunwoo Nam, "Development of Quantitative Management Indexes for Safety Design of Missiles", Vol. 22, No. 2, Journal of Applied Reliability, pp. 195-203, 2022.