

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2026.34.3.300>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

위험기반 안전관리 관점에서 차세대 비행체를 활용한 위험물 운송정책의 개선 방향 연구

조성용*, 백종배**

Policy Improvements for the Transport of Dangerous Goods using Next-Generation Aircraft - A Risk-based Safety Management Perspective -

Seong Yong Jo*, Jong-bae Baek**

ABSTRACT

This study examines policy improvements for dangerous-goods transport using next-generation aircraft from a risk-based safety management perspective. A comparative analysis was conducted using twelve international, domestic, and academic sources on dangerous goods and UAS/UAM risks. The analysis shows that ICAO provides the global baseline for dangerous-goods and safety management, while FAA and EASA apply operational and risk-based approaches to UAS operations. Korea is closely aligned with ICAO dangerous-goods standards; however, explicit integration of aircraft characteristics, low-altitude urban operations, automation, and ground risk into dangerous-goods authorization and oversight remains limited. Accordingly, this study proposes five policy directions: a clearer regulatory basis, integrated risk-based authorization, data-driven safety management, risk-based oversight, and continuous policy feedback. These measures supplement existing compliance requirements with risk- and performance-informed decision making.

Key Words : Aviation Safety Policy(항공안전정책), Dangerous Goods(위험물), Next-Generation Aircraft(차세대 비행체), UAS, Urban Air Mobility(도심항공교통)

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 필요성

최근 무인항공기시스템(unmanned aircraft systems, UAS), 원격조종항공기시스템(RPAS), 도심항공교통(UAM) 및 전기수직이착륙항공기(eVTOL) 등 차세

대 비행체의 발전은 의료물품·긴급물류·재난대응·도심 단거리 물류 등 항공운송의 적용영역을 확대하고 있다. UAM은 기존 항공교통과 다른 저고도·도심 운항환경과 공역설계 및 위험평가 문제를 수반하며, 운항환경·교통밀도·공역구조와 안전위험의 상호관계를 함께 고려할 필요가 있다(Yang et al., 2024).

차세대 비행체는 기존 유인항공기와 운항고도, 추진 방식, 자동화 수준 및 운항환경에서 차이가 있다. 특히 도심 저고도 운항은 지상 제3자와 기반시설의 노출을 증가시키며, UAS의 제3자 사상위험과 도심 지상위험에 관한 연구는 기체 특성, 인구밀도, 충돌영역, sheltering 및 운항공간이 위험수준에 영향을 미칠 수

Received: 26. Aug. 2026, Revised: 16. Sep. 2026,

Accepted: 18. Sep. 2026

* 국토교통부 항공안전정책과 항공사무관

** 국립한국교통대학교 공과대학 안전공학과 교수

연락처 E-mail : jbbak@ut.ac.kr

연락처 주소 : 충청북도 충주시 대학로 50

있음을 보여준다(Melnyk et al., 2014; Primatesta et al., 2020).

위험물(dangerous goods, DG)을 운송하는 경우 이러한 변화는 더욱 중요하다. ICAO Annex 18과 Doc 9284는 위험물의 분류, 포장, 표시, 수량제한, 취급 및 운송절차를 국제적으로 표준화하고 있으며(ICAO, 2011; ICAO, 2025a), 우리나라도 「항공안전법」과 「항공위험물운송기술기준」을 통해 위험물 운송의 법적·기술적 기준을 운영하고 있다(MOLIT, 2023; Republic of Korea, 2026).

동시에 ICAO Annex 19와 Doc 9859는 SSP와 SMS를 통해 위험요인 식별, 안전위험평가, 안전보증, 안전성과 모니터링 및 지속적 개선을 강조한다(ICAO, 2018; ICAO, 2025b). 따라서 차세대 비행체의 위험물 운송정책은 기존 위험물 규정의 준수를 최소 안전 기준으로 유지하면서, 실제 운항환경에서 형성되는 위험과 안전성과를 추가적으로 고려하는 방향으로 검토될 필요가 있다.

1.2 연구 공백(Research Gap)

선행연구는 위험물 운송, UAS·UAM 운항안전 및 지상위험 평가를 각각 발전시켜 왔다. 위험물 분야에서는 리튬배터리의 운송안전과 시험·포장·표시·취급요건이 검토되어 왔고(Huo et al., 2017), UAS 분야에서는 제3자 사상위험과 도심 지상위험이 정량적·공간적 방법으로 분석되었다(Melnyk et al., 2014; Primatesta et al., 2020). UAM 분야에서는 공역설계와 위험평가의 통합적 검토가 확대되고 있다(Yang et al., 2024).

그러나 이들 연구는 각각 물질위험, 비행체·운항위험 또는 지상위험에 초점을 두고 있어, 위험물의 규제요건과 차세대 비행체의 기체·운항 특성, 도심 지상위험, 국가 차원의 승인·감독 및 정책환류를 하나의 비교정책 분석틀에서 연결한 연구는 상대적으로 제한적이다. 특히 국제기준과 주요 해외제도의 차이를 동일한 평가항목으로 비교하고 그 차이로부터 국내 정책과제를 추적 가능하게 도출하는 연구가 필요하다.

1.3 연구 목적 및 연구질문

본 연구의 목적은 차세대 비행체를 활용한 위험물 운송정책을 위험기반 안전관리 관점에서 검토하고, ICAO·

FAA·EASA·대한민국의 관련 기준과 제도를 동일한 분석틀로 비교하여 국내 정책의 개선방향을 제시하는 데 있다. 이를 위해 다음의 연구질문을 설정하였다.

RQ1. 현행 위험물 운송 안전관리체계는 차세대 비행체의 기술적·운항적 특성을 어느 범위까지 반영하고 있는가?

RQ2. ICAO, FAA, EASA 및 대한민국의 차세대 비행체·위험물 관련 정책은 규제접근, 승인·위험평가, 안전자료 활용 및 감독 측면에서 어떠한 차이를 보이는가?

RQ3. 비교분석에서 확인된 제도적 차이를 바탕으로 우리나라의 차세대 비행체 위험물 운송정책은 어떠한 방향으로 보완되어야 하는가?

II. 이론적 고찰

2.1 위험기반 안전관리

항공안전관리는 법령과 기술기준의 준수를 토대로 발전해 왔다. 규정준수는 최소 안전수준을 명확하게 설정한다는 장점이 있으나, 기술과 운항형태가 다양해질수록 사전에 규정된 요건만으로 모든 잠재위험을 포괄하기 어렵다. ICAO Annex 19(3rd Edition, 2025)와 Doc 9859(4th Edition, 2018)는 SSP와 SMS를 통해 위험요인 식별, 안전위험평가, 안전보증, 안전성과 모니터링 및 지속적 개선을 강조한다(ICAO, 2018; ICAO, 2025b).

따라서 본 연구에서 위험기반 안전관리는 규정준수와 대립되는 개념이 아니라, 규정준수를 minimum safety baseline으로 유지하면서 실제 위험수준과 안전성과에 따라 승인조건과 감독의 우선순위·강도를 보완하는 접근으로 정의한다.

2.2 위험물 항공운송의 위험특성

위험물은 운송과정에서 사람의 생명, 재산 또는 환경에 위해를 초래할 수 있으므로 일반 화물보다 높은 수준의 통제가 요구된다. ICAO Annex 18과 Doc 9284는 분류, 포장, 표시, 수량제한, 취급 및 운송절차를 위험물 안전관리의 핵심 통제수단으로 제시한다(ICAO, 2011; ICAO, 2025a).

특히 리튬배터리는 단락 등에 따른 발열, 화재·폭발 및 열폭주 전파 가능성을 가지며, 시험·포장·표시·문서·취급요건의 체계적 관리가 요구된다(Huo et al.,

2017). 전기추진형 eVTOL의 경우 기체 자체의 고에너지 배터리와 운송화물의 위험이 동일 운항시스템에서 결합될 수 있으므로, 정책평가 시 물질위험뿐 아니라 기체 및 운항환경을 함께 고려할 필요가 있다.

2.3 차세대 비행체의 운항위험

차세대 비행체의 주요 특성은 저고도 운항, 높은 자동화, 전기추진, 분산형 운항거점 및 도심환경과의 근접성이다. Melnyk et al.(2014)은 UAS의 시스템 신뢰성·물리적 특성과 인구밀도·충돌영역·치명확률 등을 제3자 사상위험과 연결하였고, Primatesta et al.(2020)은 인구밀도, sheltering factor, 장애물, 비행금지구역, 기체 및 환경변수를 결합한 도심 ground risk map을 제시하였다.

Yang et al.(2024)은 UAM 공역설계와 위험평가 연구를 종합하면서 공역구조, 교통밀도, 충돌위험 및 도심환경을 함께 고려할 필요성을 제시하였다. 이러한 연구는 차세대 비행체 위험물 운송의 위험이 화물 자체에 의해서만 결정되는 것이 아니라 '무엇을 운송하는가, 어떤 비행체로, 어디에서, 어떻게 운항하는가'의 결합으로 형성될 수 있음을 시사한다.

Ⅲ. 연구방법 및 국제기준·국내제도 비교분석

3.1 연구설계

본 연구는 문헌연구(documentary research), 규범·제도분석(regulatory and institutional analysis), 비교정책분석(comparative policy analysis)을 적용하였다. 분석자료의 기준시점은 2026년 8월이며, 연구목적과 직접 관련되는 12개 핵심자료를 선정하였다. 자료선정 기준은 ① 규범적 권위성(국제기준·정부 또는 규제기관의 공식자료), ② 차세대 비행체·위험물·안전관리와의 직접 관련성, ③ 분석시점에서의 최신성 또는 대표성, ④ ICAO·FAA·EASA·대한민국 간 비교가능성으로 설정하였다.

국제·국내 규범자료 8개는 ICAO Annex 18, Doc 9284, Annex 19, Doc 9859, FAA UAS Hazardous Materials guidance, EASA Easy Access Rules for UAS, 대한민국 「항공안전법」 및 「항공위험물운송기술 기준」으로 구성하였다. 학술자료 4편은 위험물 운송안

전(Huo et al., 2017), UAS 제3자 사상위험(Melnik et al., 2014), 도심 UAS 지상위험(Primatesta et al., 2020), UAM 공역설계·위험평가(Yang et al., 2024)를 대표하는 연구로 선정하였다.

분석은 네 단계로 수행하였다. 첫째, 각 자료에서 위험물 규제, 운항승인·위험평가, 차세대 비행체 특성, 안전자료, 감독·환류와 관련된 규정·정책요소를 도출하였다. 둘째, 도출된 요소를 Table 1의 다섯 공통 분석영역에 코딩하였다. 셋째, 각 기관·국가의 제도를 동일 항목에서 비교하여 '명시적 제도화 여부, 적용대상과 범위, 위험과 승인 간 연계, 안전자료와 감독 간 연계'를 중심으로 차이를 확인하였다. 넷째, Table 2에서 확인된 차이를 국내 정책과제로 전환하되, 자료에서 직접 확인되지 않는 사항은 '부재'로 단정하지 않고 '명시적 연계가 확인되지 않음' 또는 '추가적 제도화가 필요한 영역'으로 제한하여 해석하였다.

본 연구의 비교는 정량적 우열평가가 아니라 제도구조의 차이를 식별하는 질적 비교이다. 따라서 '높은 정합성', '보완 필요' 등의 판단은 국제기준의 수용 여부만이 아니라, 차세대 비행체의 운항위험이 위험물 운송승인·안전자료·감독에 명시적으로 연결되는지를 기준으로 하였다.

3.2 ICAO

ICAO는 Annex 18과 Doc 9284를 통해 위험물 국제항공운송의 규범적·기술적 기준을 제시하며(ICAO, 2011; ICAO, 2025a), Annex 19와 Doc 9859를 통해 SSP·SMS, 안전위험관리, 안전보증 및 안전성과의 지속적인 관리를 제시한다(ICAO, 2025b; ICAO, 2018). 이 두 축은 위험물 규정준수와 위험기반 안전관리를 상호

Table 1. Analytical framework

Analysis area	Evidence	Decision criterion
Regulatory approach	DG rules, SMS/UAS	Risk/performance linkage
Risk assessment	Approval, SORA	Integrated risk assessment
Aircraft/operation	Altitude, automation, propulsion	NG aircraft characteristics
Safety data	Occurrence, SPI	Data-based risk review
Oversight & feedback	Inspection, findings	Risk-based feedback

Table 2. Comparison of DG safety management frameworks

Item	ICAO	FAA	EASA	Korea
Approach	Annex 18/19-based	UAS rules + DG controls	UAS categories + operational rules	Aviation Safety Act + DG standards
Approval	DG compliance + SMS	UAS authority + DG controls	Specific/Certified + DG rules	DG compliance + operational approval
Risk	SMS-based	SORA/operational assessment	SORA/operational assessment	Limited integrated assessment
Safety data	SSP/SMS performance	Occurrence/performance data	Risk/performance data	General safety-data framework
Oversight	SMS continuous improvement	Authorization + compliance	Risk-proportionate controls	Compliance-based oversight

보완적으로 적용할 수 있는 국제적 기준점을 제공한다.

다만 본 연구에서 검토한 ICAO 위험물 기준 자체는 UAS·UAM·eVTOL의 저고도 도시운항과 지상위험을 하나의 위험물 운항승인 절차로 구체화한 문서가 아니다. 따라서 차세대 비행체의 운항위험을 기존 위험물 기준과 어떻게 연결할지는 국가의 승인·감독체계에서 추가적으로 구체화할 정책영역으로 해석하였다.

3.3 FAA

FAA는 소형 UAS 운항요건과 위험물 규제를 병행하여 적용한다. FAA의 UAS/Drone Operations-Hazardous Materials 안내는 Part 107 운항에서 위험물 운송에 제한이 있음을 설명하고, 위험물 운송은 관련 Hazardous Materials Regulations 및 필요한 운항요건과 함께 검토되어야 함을 제시한다(FAA, 2026). 따라서 FAA 사례는 위험물 규제와 UAS 운항규정을 분리하여 실제 운항의 적법성과 승인요건을 함께 검토하는 형태로 분류하였다.

3.4 EASA

EASA는 UAS 운항을 open, specific, certified category로 구분하고, specific category에서는 운항 위험평가에 기초한 비례적 안전요건을 적용한다(EASA, 2026). 2026년 easy access rules에는 SORA 2.5가 AMC에 반영되어 ground risk, air risk, 운항환경 및 완화조치를 단계적으로 검토하도록 하고 있다.

또한 위험물 운송이 제3자에게 높은 위험을 초래할 수 있는 운항은 certified category와 연결될 수 있어, 위험물의 특성과 운항위험이 운항범주 및 승인수준과

연결되는 구조가 상대적으로 명시적이다(EASA, 2026). 본 연구에서는 이 점을 '위험에 비례한 승인체계의 제도화'로 판단하였다.

3.5 대한민국

우리나라는 「항공안전법」과 「항공위험물운송기술기준」을 통해 위험물 운송의 법적·기술적 기준을 운영하고 있으며, ICAO Annex 18과 Doc 9284의 위험물 안전관리 원칙을 국내 체계에 반영하고 있다(MOLIT, 2023; Republic of Korea, 2026). 따라서 위험물의 분류·포장·표시·취급 등 기본적인 규정준수 체계는 국제기준과 높은 정합성을 갖는 것으로 평가할 수 있다.

다만 본 연구가 검토한 국내 법령·기술기준에서는 UAS·UAM·eVTOL의 저고도 운항, 자동화, 기체특성 및 지상 제3자 위험을 위험물 운송승인의 공통 평가요소로 통합하고, 그 평가결과에 따라 승인조건과 감독강도를 차등화하는 세부 절차가 명시적으로 확인되지 않았다(MOLIT, 2023; Republic of Korea, 2026). 이는 국내 제도가 '미흡하다'는 절대평가라기보다, 차세대 비행체의 위험물 운송을 위한 위험-승인-감독의 명시적 연계 측면에서 추가적인 정책설계가 필요한 영역이 존재함을 의미한다.

3.6 비교결과 및 정책과제 도출

Table 2는 Table 1의 동일한 판단기준을 ICAO·FAA·EASA·대한민국에 적용한 결과이다. ICAO는 위험물 규정과 SSP·SMS의 국제적 기본틀을 제공하고, FAA는 UAS 운항요건과 위험물 규제를 병행 적용한다. EASA는 SORA를 포함한 위험비례적 운항체계를 통해 운항환

경과 지상·공중위험을 승인과 연결하는 구조를 보다 구체적으로 제도화하고 있다. 대한민국은 위험물 규정의 국제적 정합성은 높으나, 본 연구의 분석범위에서는 차세대 비행체의 운항특성·지상위험을 위험물 승인 및 감독에 통합하는 명시적 연결장치가 제한적으로 확인되었다.

따라서 정책과제는 '해외제도를 그대로 도입'하는 방식이 아니라, 국내의 기존 위험물 규정준수 체계를 유지하면서 비교분석에서 확인된 연결의 공백을 보완하는 방향으로 도출하였다. 구체적으로 ① 차세대 비행체 적용근거, ② 위험물·기체·운항·지상환경을 결합한 승인평가, ③ 안전자료의 의사결정 활용, ④ 위험·성과에 따른 감독 차등화, ⑤ 국제기준과 국내 성과의 지속적인 환류를 정책과제로 설정하였다.

IV. 차세대 비행체 위험물 운송정책의 개선방향

제3장의 비교결과는 국내 위험물 안전기준의 국제적 정합성을 유지하면서도, 차세대 비행체의 운항위험을 승인·안전자료·감독과 명시적으로 연결하는 정책장치가 추가적으로 필요함을 보여준다. 이에 본 연구는 Table 2에서 확인된 제도적 차이를 Table 3의 정책방향으로 연결하였다. 즉 '규제 적용범위의 명확화 → 통합 위험 평가와 승인 → 안전자료 기반 관리 → 위험기반 감독 → 정책환류'의 순서로 정책과제를 구성하였다.

4.1 법·제도 기반의 정비

첫 번째 정책과제는 차세대 비행체를 활용한 위험물 운송의 적용범위와 관리원칙을 명확히 하는 것이다. 현행 「항공안전법」과 「항공위험물운송기술기준」은 위험물 안전관리의 기본 틀을 제공하지만(MOLIT, 2023; Republic of Korea, 2026), 본 연구에서 설정한 차세대 비행체의 기체특성·운항환경·지상위험을 위험물 승인과 직접 연결하는 세부요건은 명시적으로 확인되지 않았다.

따라서 법률 수준에서는 차세대 비행체 위험물 운송에 대한 기본 관리원칙과 승인·감독 권한의 적용관계를 명확히 하고, 하위 규정과 기술기준에서는 위험물 종류, 기체특성, 운항환경 및 위험수준에 따른 세부요건을 단계적으로 구체화할 필요가 있다.

Table 3. Comparative findings and policy directions

Comparative finding	Policy gap	Proposed direction
Common DG rules & compliance	Limited next-gen application	Clarify scope & safety basis
Risk-informed UAS approval approaches	DG-specific criteria insufficient	Integrated risk-based approval
ICAO Annex 19 links SMS & data	Weak DG data feedback	Data-driven SMS/SPIs
DG + operational risk linkage	Limited integrated assessment	Risk & performance oversight
Different international approaches	Limited policy coordination	Continuous standards feedback

4.2 위험기반 운항승인 및 통합 위험평가

두 번째 정책과제는 위험물 자체의 운송 가능 여부뿐 아니라 기체와 운항환경을 함께 평가하는 risk-based operational authorization 체계를 구축하는 것이다. 본 연구는 정책적 운항승인 관점에서 평가영역을 DG risk(분류·수량·포장·취급), aircraft risk(기체성능·추진계통·화물격리·자동화·C2 link), operational risk(운항고도·경로·공역·절차), ground/environmental risk(인구밀도·기상·주요시설·비상대응 접근성)의 네 영역으로 재구성하였다.

이 4분류는 특정 선행연구가 직접 제시한 단일 모델이 아니라, UAS 제3자 사상위험(Melnyk et al., 2014), 도심 Ground Risk(Primatesta et al., 2020), UAM 공역 설계·위험평가(Yang et al., 2024)의 핵심 고려요소와 위험물 규제요건을 정책적 승인 관점에서 통합한 분석적 제안이다. 평가결과는 운항승인 수준, 운항제한 및 위험저감조치의 결정에 활용할 수 있다(Fig. 1).

4.3 데이터 기반 안전관리

위험기반 안전관리의 핵심은 실제 운항에서 생성되는 safety data를 지속적으로 활용하는 데 있다. 차세대 비행체에서는 사고·준사고뿐 아니라 기체상태, 배터리 이상, C2 link 상실, 경로이탈, 기상변화 및 위험물 취급오류 등 다양한 안전자료가 생성될 수 있다. 이러한 자료를 수집·분석하여 위험수준과 안전성결과를 평가

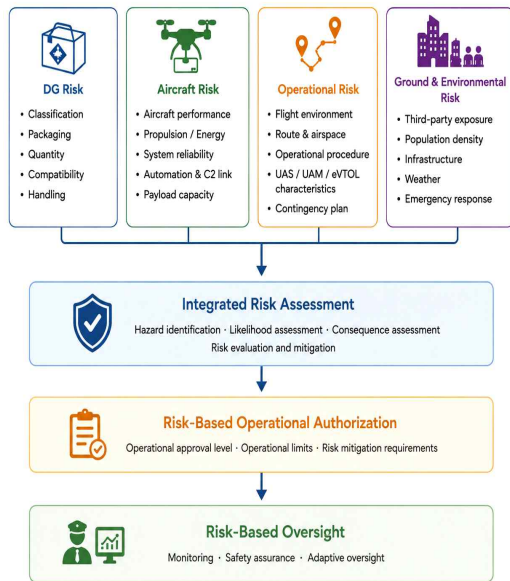


Fig. 1. Integrated risk-based operational authorization framework for dangerous goods transport by next-generation aircraft

Source: Prepared by the author by integrating ICAO dangerous-goods/safety-management requirements and risk factors discussed in Melnyk et al.(2014), Primatesta et al.(2020), and Yang et al.(2024)

하고 그 결과를 운항승인·감독 및 정책개선에 환류하는 체계가 필요하다(ICA0, 2025b; ICA0, 2018).

향후 충분한 운항자료가 축적되면 위험물 누출, 포장 손상, 비정상 온도, 비상착륙, C2 link 상실 및 경로이탈 등 차세대 비행체 위험물 운송 특성에 적합한 SPI를 검토할 수 있다. 다만 구체적인 SPI와 임계값은 실제 운항자료를 이용한 실증적 검증 이후 설정하는 것이 타당하다.

4.4 위험기반 안전감독

네 번째 정책과제는 기존 compliance oversight를 유지하면서 위험도와 안전성평가에 따라 감독의 빈도와 깊이를 차등화하는 것이다. Risk profile에는 위험물 종류와 운송실적, 운항환경, 사고·준사고 및 규정위반 이력, SMS 성과, SPI 및 이전 감독결과 등을 포함할 수 있다. 위험이 높거나 안전성평가 악화되는 운영자에는 감독주기를 단축하고 심층점검을 강화하며, 지속적으로 양호한 안전성평가를 유지하는 운영자에는 성과기반·표본기반 감독을 확대하는 방식이다.

4.5 국제협력 및 정책환류

차세대 비행체 관련 기술과 국제기준은 지속적으로 변화하므로 규제를 일회적으로 마련한 뒤 고정하기보다 국제기준과 국내 운영성과를 주기적으로 반영하는 적응형 정책운영이 필요하다. 정책환류는 safety data와 safety performance를 승인·감독 및 정책개선에 재반영하는 지속적 개선과정으로 설계되어야 한다(ICA0, 2018; ICA0, 2025b) (Fig. 2).

4.6 정책 개선방향의 종합

Table 3은 비교분석 결과와 정책제안의 대응관계를 요약한다. 각 정책방향은 Table 2에서 확인된 차이를 출발점으로 하며, 국내 위험물 규정준수체계를 약화시키지 않고 차세대 비행체의 실제 운항위험과 안전성가를 추가적으로 반영하도록 설계하였다.

V. 결 론

5.1 연구결과 요약

본 연구는 차세대 비행체를 활용한 위험물 운송정책을 위험기반 안전관리 관점에서 검토하고, 12개 핵심 자료를 이용하여 ICA0·FAA·EASA·대한민국의 제도를 동일한 다섯 분석영역으로 비교하였다. RQ1과 관련하여 현행 위험물 안전관리체계는 물질의 분류·포장·표시·취급·운송절차 측면에서 강한 국제적 표준화 기반을 제공하지만, 차세대 비행체의 저고도 도시운항, 자동화, 전기추진 및 지상 제3자 위험을 위험물 운송승인과 통합하는 세부정책은 추가적인 구체화가 필요한 것으로 분석되었다.



Fig. 2. Continuous safety and policy feedback cycle
Source: Prepared by the author based on ICA0 Annex 19(2025) and Doc 9859(2018)

RQ2와 관련하여 ICAO는 위험물 규정과 SSP·SMS의 국제적 기본틀을 제공하고, FAA는 UAS 운항요건과 위험물 규제를 병행 적용하며, EASA는 SORA 기반 위험평가와 위험비례적 운항범주를 통해 운항위험과 승인 간 연결을 상대적으로 구체화하고 있다. 대한민국은 ICAO 위험물 기준과의 정합성이 높지만, 본 연구가 검토한 국내 자료에서는 차세대 비행체의 운항특성·지상위험을 위험물 승인·감독과 연결하는 통합 절차가 명시적으로 확인되지 않았다.

RQ3과 관련하여 국내 정책은 ① 법·제도 적용근거 정비, ② 위험기반 운항승인 및 통합 위험평가, ③ 데이터 기반 안전관리, ④ 위험기반 안전감독, ⑤ 국제기준과 안전성과의 지속적 환류를 중심으로 발전할 필요가 있다.

5.2 학술적·정책적 시사점

학술적으로 본 연구는 위험물 운송, 차세대 비행체 및 위험기반 안전관리를 하나의 비교정책 분석틀에서 연결하고, 자료선정기준·분석영역·판단기준·정책도출 절차를 명시함으로써 질적 제도비교의 재현성과 추적 가능성을 높였다는 데 의의가 있다. 또한 DG risk-aircraft risk-operational risk-ground/environmental risk의 통합평가 관점을 제시하되, 이를 선행 연구의 직접적 모델이 아니라 정책적 운항승인을 위한 본 연구의 재구성임을 명확히 하였다.

정책적으로는 기존 위험물 규정준수를 minimum safety baseline으로 유지하면서 실제 운항위험과 안전성과에 따라 승인조건과 감독강도를 보완하는 단계적 접근을 제안한다. 이는 국제기준 수용과 국내 운항환경의 특수성을 동시에 고려할 수 있는 정책설계 방향을 제공한다.

5.3 연구의 제한점

본 연구는 문헌·규범자료와 비교정책분석에 기반한 질적 연구이므로 실제 운항자료, 사고·준사고 자료 또는 운영자별 안전성과를 이용하여 제안된 정책의 효과를 실증적으로 검증하지 못하였다. 또한 분석대상을 12개 핵심자료로 제한하였기 때문에 각 국가의 모든 하위규정·면제·승인사례와 산업표준을 포괄하지 않는다. 따라서 본 연구의 '보완 필요' 판단은 분석범위 내에서 확인된 제도적 연결의 정도를 의미하며, 국가별 안전수준 전체에 대한 우열평가로 해석되어서는 안 된다.

5.4 향후 연구과제

후속연구에서는 위험물의 물질특성, 기체특성, 운항환경 및 거버넌스 요소를 계량화하고, 실제 safety data와 SPI를 활용하여 위험요인별 상대적 중요도와 임계값을 검증할 필요가 있다. 또한 실제 운항승인 사례와 사고·준사고 데이터를 이용하여 통합 위험평가와 위험기반 감독의 정책효과를 검증한다면 본 연구의 정책제안을 실증적 수준으로 확장할 수 있을 것이다.

References

1. Yang, J., Wang, Y., Hang, X., and Delahaye, D., "A review on airspace design and risk assessment for urban air mobility", IEEE Access, 12, 2024, pp.157599-157611.
2. Melnyk, R., Schrage, D., Volovoi, V., and Jimenez, H., "A third-party casualty risk model for unmanned aircraft system operations", Reliability Engineering & System Safety, 124, 2014, pp.105-116.
3. Primates, S., Rizzo, A., and la Cour-Harbo, A., "Ground risk map for unmanned aircraft in urban environments", Journal of Intelligent & Robotic Systems, 97, 2020, pp.489-509.
4. International Civil Aviation Organization, "Annex 18 - The Safe Transport of Dangerous Goods by Air", 4th ed., ICAO, Montreal, Canada, 2011.
5. International Civil Aviation Organization, "Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods By Air (Doc 9284-AN/905)", 2025-2026 ed., ICAO, Montreal, Canada, 2025.
6. Republic of Korea, "Aviation Safety Act", 2026.
7. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Technical standards for the transport of dangerous goods by air", MOLIT Notice No. 2023-52, 2023.

8. International Civil Aviation Organization, "Annex 19 - Safety Management", 3rd ed., ICAO, Montreal, Canada, 2025.
9. International Civil Aviation Organization, "Safety Management Manual (SMM), Doc 9859", 4th ed., ICAO, Montreal, Canada, 2018.
10. Huo, H., Xing, Y., Pecht, M., Züger, B. J., Khare, N., and Vezzini, A., "Safety requirements for transportation of lithium batteries", *Energies*, 10(6), 2017, Article 793.
11. Federal Aviation Administration, "Unmanned Aircraft System (UAS) or Drone Operations - Hazardous Materials", FAA Office of Hazardous Materials Safety, Washington, DC, USA, 2026.
12. European Union Aviation Safety Agency, "Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems", Revision from June 2026, EASA, Cologne, Germany, 2026.