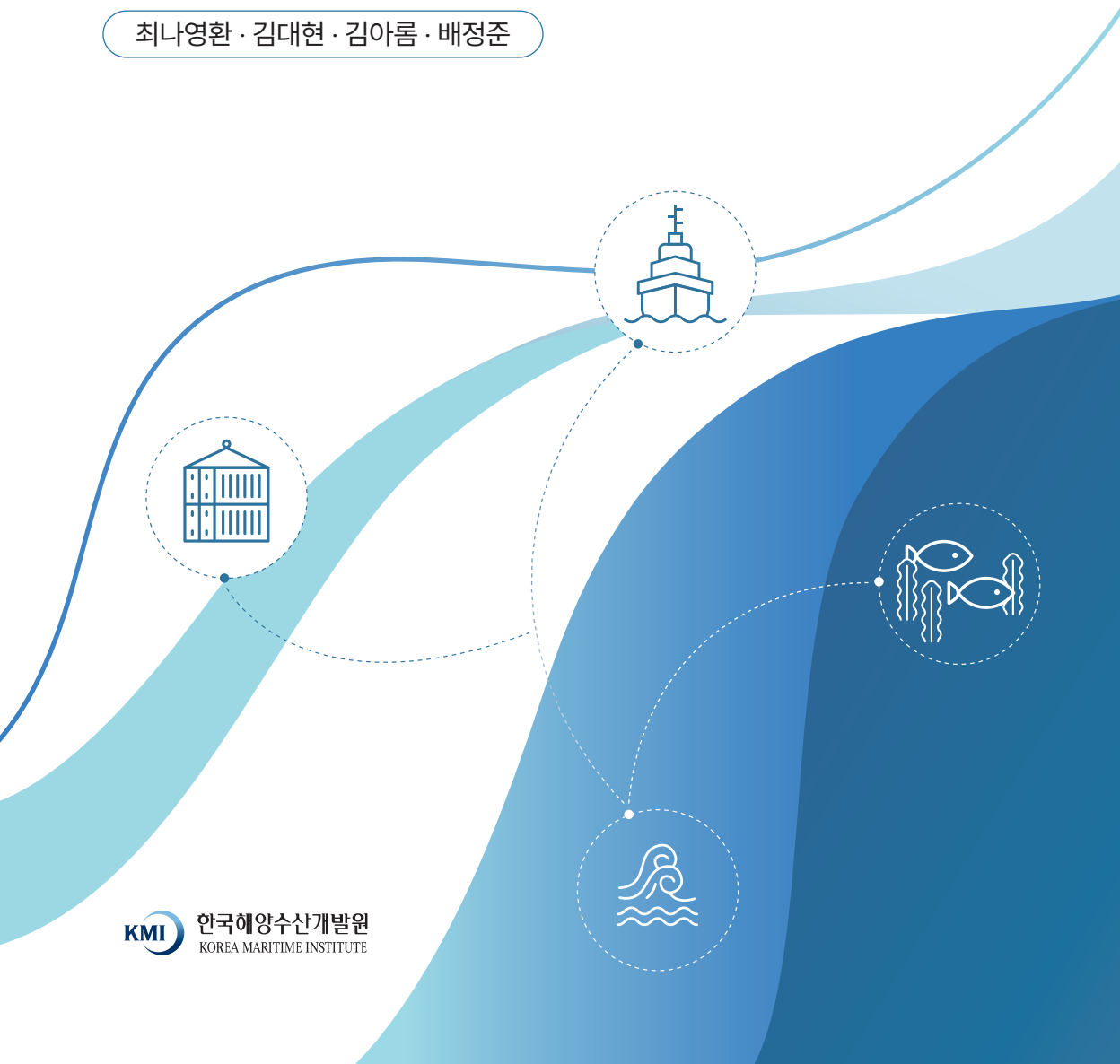
기본연구 2025-19

재난 · 재해 대비 항만 위험물 컨테이너 물류공급망 대응 방안 연구

Developing Response Measures for Port Dangerous Goods Container Logistics Supply Chains in Disaster and Emergency Situations

최나영환 · 김대현 · 김아롬 · 배정준



KMI 한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

기본연구 2025-19

재난·재해 대비 항만 위험물 컨테이너 물류공급망 대응 방안 연구

Developing Response Measures for Port Dangerous Goods Container Logistics Supply Chains in Disaster and Emergency Situations

최나영환 · 김대현 · 김아롬 · 배정준

KMI 한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

저자	**최나영환, 김대현, 김아롬, 배정준**
내부연구진	연구책임자 최나영환 한국해양수산개발원 연구위원 공동연구원 김대현 한국해양수산개발원 전문연구원 공동연구원 김아롬 한국해양수산개발원 전문연구원 공동연구원 배정준 한국해양수산개발원 연구원

연구기간	2025. 1. 1. ~ 2025. 10. 31.

보고서 집필내역

연구책임자	최나영환 연구총괄, 제1장, 제5장 1절·2절, 제6장
내부연구진	김대현 제3장 1절·2절, 제5장 1절·2절 김아롬 제3장 2절, 제4장 2절·3절, 제5장 1절·2절 배정준 제2장, 제3장 2절·3절, 제4장 1절·3절

산·학·연·정 연구자문위원	서병국 부산항터미널 과장 길광수 해운항만전략연구원 대표 임종균 해양수산부 해사산업기술과 사무관 최영숙 해양수산부 해사산업기술과 사무관 염혜림 부산지방해양수산청 주무관

※ 순서는 산·학·연·정 순임

발간사

우리나라의 산업구조 고도화와 더불어 정유, 석유화학 등 중화학공업과 반도체, 전자산업 등 첨단 제조업 역시 비약적으로 발전하였고, 국내 위험물 수출입 역시 지속적으로 증가하고 있다. 위험물은 수출입 과정에서 대부분 항만에 집하되고 있으며, 특히 컨테이너 위험물은 향후 반도체, 이차전지, 재생에너지산업 등 산업구조 변화에 맞춰 항만을 통한 수출입이 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

항만은 국내 수출입의 대부분을 담당하는 국가 경제의 핵심인프라로 컨테이너 위험물로 인한 재난·재해로 이어질 경우 항만기능 장애는 물론 지역사회, 환경, 국가 물류망 전체에 막대한 피해를 초래할 수 있는 만큼 국제 규범과 기술 변화를 반영한 체계적인 대응 역량 확보가 어느 때보다 중요해지고 있다.

이에 본 연구는 재난·재해 대비 항만 위험물 컨테이너 물류공급망 대응력 강화라는 관점에서 현행 제도와 운영체계의 구조적 한계를 진단하고, 글로벌 기준과 연계한 한국형 대응체계의 방향을 제시하고자 하였다. 항만 내 위험물 컨테이너의 분류·신고·운송·하역·보관 전 과정에 걸친 위험도 분석, 항만별 취급 특성 비교, 기관 간 정보연계 수준 평가, 디지털 기반 통합관리체계 구축 방안, 해외 선진사례 시사점 등을 다층적으로 검토하였다. 아울러 위험물 컨테이너 관리 체계를 단편적 안전관리 정책이 아닌 공급망 전 과정의 리스크 거버넌스로 확장하여, 선제적 대응정책과 기금·재원체계, 조직·협의체 구조 등 제도적 기반을 마련하는 데 중점을 두었다.

특히 본 연구는 실제 항만 운영기관, 화주·선사·터미널 운영사 등 다양한 주체의 의견을 반영해 현장에서 요구하는 현실적 개선 수요와 정책적 방향을 동시에 담아내고자 노력하였다. 위험물 통합정보 플랫폼 구축, IoT 기반 모니터링·알림체계, AI 기반 분류·예측 기술, 디지털트윈을 활용한 시뮬레이션 등 미래지향적 기술 적용 방안도 함께 제시함으로써 향후 국가적 물류·항만 정책과 연결 가능한 중장기 방향성을 마련하고자 하였다.

우리 사회는 지금 새로운 패러다임의 전환점에 서 있다. 안전과 지속 가능성, 디지털 기반의 효율성, 국제 규범과의 정합성은 더 이상 선택이 아니라 필수 요소이다. 본 연구가 국가 항만안전 정책의 고도화는 물론, 위험물 공급망 관리 체계의 혁신을 통해

우리 항만산업의 경쟁력과 국민 안전을 동시에 확보하는 데 작은 밑거름이 되기를 기대한다.

마지막으로 본 연구의 책임을 맡아 수행한 최나영환 연구위원을 비롯한 김대현, 김아롬 전문연구원, 배정준 연구원의 노고에 감사드린다. 그리고 바쁜 일정 속에서도 항만위험물 컨테이너 관리 체계 개선을 위해 연구 심의와 자문을 맡아주신 서병국 부산항터미널 과장님, 길광수 해운항만전략연구원 대표님, 임종균 사무관님, 최영숙 사무관님, 그리고 염혜림 주무관님께 깊은 감사의 말씀을 드린다. 본 연구가 정부정책 수립과 현장 운영 개선에 유용한 자료로 활용되기를 바라며, 신정부 국정 철학과 정책과제에 부합하는 정책연구로서의 가치를 높여 우리 항만의 안정성과 공급망 회복력을 강화하는 데 실질적으로 기여하기를 바란다.

2025년 12월
한국해양수산개발원
원장 조 정 희

목차

정책제안 _ i

요약 _ iii

Executive Summary _ xi

01 서론 _ 1

제1절 연구 배경 및 목적 1
1. 연구 배경 및 필요성 1
2. 연구 목적 5

제2절 연구 내용 및 방법 6
1. 연구 범위 6
2. 연구 내용 7
3. 연구 방법 8

제3절 선행연구와 본 연구의 차별성 검토 10

02 위험물 컨테이너 물류공급망 재난·재해 현황 분석 _ 13

제1절 물류공급망 관련 재난·재해 정의 및 영향 13
1. 물류공급망 관련 재난·재해 정의 13
2. 물류공급망 관련 재난·재해 영향 17

제2절 물류공급망 관련 재난·재해 현황 21
1. 항만 재난·재해 현황 21
2. 육상운송 재난·재해 현황 33

제3절 시사점 46
1. 항만위험물 컨테이너 국내외 재난·재해 사례 시사점 46
2. 육상운송 위험물 컨테이너 국내외 재난·재해 사례 시사점 49

03 국내외 위험물 컨테이너 물류공급망 관리 체계 사례조사 _ 53

제1절 국내 위험물 컨테이너 관리 체계 53
1. 위험물 컨테이너 물동량 현황 54
2. 항만위험물 물류공급망 관리 현황 56
3. 육상운송 위험물 물류공급망 관리 현황 65
4. 항만위험물 재난·재해 대비 물류공급망 관리 현황 73

제2절 국외 위험물 컨테이너 물류공급망 관리 체계 78
1. 미국 78
2. 네덜란드 81
3. 중국 92
4. 일본 104

제3절 시사점 115
1. 국내 재난·재해 관리 체계 시사점 115
2. 국내외 사례조사 비교를 통한 시사점 118

04 재난·재해 대비 항만위험물 컨테이너 위험도 분석 및 영향도 평가 _ 125

제1절 품목별 항만위험물 컨테이너 위험도 분석 125
1. 분석 개요 및 방법론 125
2. 분석 대상 및 자료 특성 132
3. 위험도 분석 결과 137

제2절 항만 위험물 컨테이너 영향도 평가 152
1. 분석 개요 및 시나리오 152
2. 분석 대상 및 가정 153
3. 시나리오 구조 및 유형 구분 153
4. 종합 영향도 평가 156

제3절 시사점 161

05 재난·재해 대비 위험물 컨테이너 물류공급망 대응 방안 제시 _ 165

제1절 재난·재해 대비 물류공급망 대응 방안 165
1. 시설 165
2. 정보시스템 171
3. 인적요인 177
4. 법·제도 182

제2절 기대효과 191
1. 정량적 기대효과 191
2. 정성적 기대효과 194

06 결론 및 정책제언 _ 199

제1절 결론 199

제2절 정책제언 203
1. 재난·재해 대비 항만위험물 컨테이너 물류공급망 추진 로드맵 203
2. 항만위험물 물류공급망 안전관리 법·제도 체계 개선 206
3. 후속과제 209
4. 산업 현안 문제 현황 및 대응 방향 210

참고문헌 _213

부록 _231

표 목차

〈표 1-1〉 연구범위 요약 ····· 7
〈표 1-2〉 선행연구와 본 연구의 차별성 요약 ····· 11
〈표 2-1〉 국내 항만 본선 작업 위험물 컨테이너 재난·재해 사고개요 및 영향 ····· 24
〈표 2-2〉 국내 항만 야드 위험물 컨테이너 재난·재해 사고개요 및 영향 ····· 27
〈표 2-3〉 국외 항만 본선 작업 위험물 컨테이너 재난·재해 사고개요 및 영향 ····· 30
〈표 2-4〉 국외 항만 야드 위험물 컨테이너 재난·재해 사고개요 및 영향 ····· 33
〈표 2-5〉 국내 육상 도로 위험물 컨테이너 재난·재해 사고개요 및 영향 ····· 36
〈표 2-6〉 국내 육상 철도 위험물 컨테이너 재난·재해 사고개요 및 영향 ····· 37
〈표 2-7〉 국외 육상 도로 위험물 컨테이너 재난·재해 사고개요 및 영향 ····· 41
〈표 2-8〉 국외 육상 도로 위험물 컨테이너 재난·재해 사고개요 및 영향 ····· 45
〈표 2-9〉 항만위험물 컨테이너 국내외 재난·재해 사례 시설 인프라 시사점 ····· 47
〈표 2-10〉 항만위험물 컨테이너 국내외 재난·재해 사례 정보시스템 시사점 ····· 48
〈표 2-11〉 항만위험물 컨테이너 국내외 재난·재해 사례 인적요인 시사점 ····· 48
〈표 2-12〉 항만위험물 컨테이너 국내외 재난·재해 사례 법·제도 시사점 ····· 49
〈표 3-1〉 부산항 위험물 컨테이너 현황(2019~2023) ····· 55
〈표 3-2〉 여수광양항 위험물 컨테이너 현황(2019~2023) ····· 56
〈표 3-3〉 인천항 위험물 컨테이너 현황(2019~2023) ····· 56
〈표 3-4〉 IMDG 코드와 국내법 간 위험물 분류기준 대조 ····· 58
〈표 3-5〉 항만 내 옥외저장소의 소화난이도별 설비 기준 ····· 60
〈표 3-6〉 주요 위험물 컨테이너 정보시스템(해상·항만) ····· 63
〈표 3-7〉 주요 위험물 컨테이너 정보시스템(육상) ····· 67
〈표 3-8〉 위험물 운송 자격 기준 및 교육 내용 ····· 68
〈표 3-9〉 위험물안전관리법상 위험물 운송 중요기준(제52조) ····· 70
〈표 3-10〉 재난유형별 주요 위기관리 매뉴얼 ····· 75
〈표 3-11〉 2024년 해양수산부 재난 위기관리 매뉴얼 현황 ····· 76
〈표 3-12〉 해상보안위험분석프로그램의 표적 유형 및 공격 모드 ····· 80
〈표 3-13〉 위험화학물질 분류 비교 ····· 97
〈표 3-14〉 위험화학품포장표시 주요 내용 ····· 98
〈표 3-15〉 위험물 운송 선박 안전감독관리규정 비교 ····· 100
〈표 3-16〉 일본 위험물취급자 취급 가능 위험물, 시험과목, 응시 자격 현황 ····· 104

〈표 3-17〉 일본 운송수단별 위험물 취급자 자격 및 교육 현황 종합 ····· 106
〈표 3-18〉 IMDG Code 분류별 일본 법률 일람표 ····· 107
〈표 3-19〉 재난·재해 대비 일본 항만의 위험물 컨테이너 대응 체계 개요 ····· 112
〈표 3-20〉 포장된 위험물 안전관리자전문교육 커리큘럼 ····· 116
〈표 3-21〉 국내외 위험물 시설 인프라 관리 특징 및 차이점 ····· 119
〈표 3-22〉 국내외 위험물 정보시스템 특징 및 차이점 ····· 120
〈표 3-23〉 국내외 컨테이너 위험물의 인적요인 관리 특징 및 차이점 ····· 121
〈표 3-24〉 국내외 법·제도 특징 및 차이점 ····· 123
〈표 4-1〉 위험물 물질별 위험지수 분류표 ····· 127
〈표 4-2〉 위험물별 위험지수 ····· 129
〈표 4-3〉 수출입 10개 위험물 품목(2024년 기준) ····· 139
〈표 4-4〉 항만별 위험물 컨테이너 수출입 상위 10개 품목 위험도 (2024년 기준) ···· 140
〈표 4-5〉 위험도 평가 결과(수출입 – 전체 합산, 5개 항만, 2024년 기준) ····· 144
〈표 4-6〉 부산항 기준 위험도 평가 결과(수출입 전체합산, 2024년 기준) ····· 146
〈표 4-7〉 인천항 기준 위험도 평가 결과(수출입 전체합산, 2024년 기준) ····· 147
〈표 4-8〉 광양항 기준 위험도 평가 결과(수출입 전체합산, 2024년 기준) ····· 148
〈표 4-9〉 평택항 기준 위험도 평가 결과(수출입 전체합산, 2024년 기준) ····· 150
〈표 4-10〉 울산항 기준 위험도 평가 결과(수출입 전체합산, 2024년 기준) ····· 151
〈표 4-11〉 주요 영향도 분석 시나리오 ····· 152
〈표 4-12〉 분석 적용 가정 ····· 153
〈표 4-13〉 S1 시나리오(20% 피해) 영향도 분석 결과 ····· 156
〈표 4-14〉 S2 시나리오(50% 피해) 영향도 분석 결과 ····· 157
〈표 4-15〉 S3 시나리오(70% 피해) 영향도 분석 결과 ····· 157
〈표 4-16〉 S4 시나리오(100% 피해) 영향도 분석 결과 ····· 158
〈표 4-17〉 시나리오별 영향도 분석 결과 ····· 158
〈표 4-18〉 시나리오별 인프라 손실 영향도 분석 결과 ····· 159
〈표 4-19〉 셧다운 기간에 따른 영업 손실 영향도 분석 결과 ····· 159
〈표 4-20〉 셧다운 기간에 따른 종합 영향도 분석 결과 ····· 160
〈표 5-1〉 위험물 관리 항만 분류 기준 및 시설 규정(안) ····· 166
〈표 5-2〉 재난안전예산 개요 ····· 167

〈표 5-3〉 항만 보안·안전·환경 대응 해외 기금 사례 ····· 169
〈표 5-4〉 항만위험물의 분리 수준 지정 ····· 170
〈표 5-5〉 재난·재해 대비 포장된 위험물 안전관리자 교육 개선 방안 ····· 177
〈표 5-6〉 재난·재해 대비 포장된 위험물 안전관리자 교육 프로그램 내용 ····· 179
〈표 5-7〉 위험물 컨테이너 운송 및 하역 종사자 교육 관리방안 ····· 180
〈표 5-8〉 재난·재해 대비 '자체안전관리계획' 훈련 주요 내용 ····· 181
〈표 5-9〉 부산항 위험물 컨테이너 관련 소방·합동 훈련 현황 ····· 182
〈표 5-10〉 '(가칭) 재난·재해 대응 위험물 컨테이너 관리 지침'
예방 단계 주요 내용 ····· 183
〈표 5-11〉 '(가칭) 재난·재해 대응 위험물 컨테이너 관리 지침'
대응 단계 주요 내용 ····· 184
〈표 5-12〉 '(가칭) 재난·재해 대응 위험물 컨테이너 관리 지침'
복구 단계 주요 내용 ····· 186
〈표 5-13〉 위험물질 별 매뉴얼 구성요소 ····· 187
〈표 5-14〉 '(가칭) 항만위험물 대응 매뉴얼 주요 구성(안) ····· 188
〈표 5-15〉 부처협력 간 주요 이행 노력 ····· 190
〈표 5-16〉 30일 기준 인프라 손실액 및 영업손실액 분석 결과 ····· 191
〈표 5-17〉 터미널·항만의 기능 마비의 정량적 기대효과 ····· 194
〈표 6-1〉 Fuzzy AHP 분석 결과 ····· 204
〈표 6-2〉 재난·재해 대비 항만위험물 컨테이너 물류공급망 추진 체계도 ····· 205
〈표 6-3〉 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 제6장 위험물 관리 등 개정 사항 ····· 207
〈표 6-4〉 「(가칭)항만위험물 안전관리 규칙」 체계 구성 예시 ····· 208
〈부록 표 3-1〉 로테르담항만 주요 위험물 컨테이너 창고업 및 세척회사 ····· 292
〈부록 표 4-1〉 위험화학품전자추적시스템 관련 주요 법제도 ····· 294
〈부록 표 4-2〉 항만 위험화학물 야드 관리정보시스템 관련 주요 법제도 ····· 296
〈부록 표 4-3〉 항만 위험화학물 야드 관리정보시스템 관련 주요 법제도 ····· 298
〈부록 표 4-4〉 항만 위험화학물 야드 관리정보시스템 관련 주요 법제도 ····· 301
〈부록 표 5-1〉 일본 항칙법의 주요 구성 ····· 302
〈부록 표 5-2〉 일본 선석 구분별 주요 기준 ····· 305
〈부록 표 5-3〉 일본 위험물 컨테이너 하역 허용량 ····· 306

〈부록 표 7-1〉 항만별 위험물 컨테이너 수입 상위 10개 품목 위험도 (2024년 기준) ····· 312
〈부록 표 7-2〉 항만별 위험물 컨테이너 수출 상위 10개 품목 위험도 (2024년 기준) ····· 313
〈부록 표 7-3〉 위험도 평가 결과(수입 – 전체 합산, 5개 항만, 2024년 기준) ····· 314
〈부록 표 7-4〉 수입 상위 10개 품목별 UN 번호 및 IMDG Class (전체 5개 항만, 2024년 기준) ····· 314
〈부록 표 7-5〉 위험도 평가 결과(수출 – 전체 합산, 5개 항만, 2024년 기준) ····· 315
〈부록 표 7-6〉 수출 상위 10개 품목별 UN 번호 및 IMDG Class (전체 5개 항만, 2024년 기준) ····· 316
〈부록 표 7-7〉 위험도 평가 결과(수입 – 부산항) ····· 317
〈부록 표 7-8〉 위험도 평가 결과(수출 – 부산항) ····· 317
〈부록 표 7-9〉 위험도 평가 결과(수입 – 인천항) ····· 318
〈부록 표 7-10〉 위험도 평가 결과(수출 – 인천항) ····· 319
〈부록 표 7-11〉 위험도 평가 결과(수입 – 광양항) ····· 320
〈부록 표 7-12〉 위험도 평가 결과(수출 – 광양항) ····· 320
〈부록 표 7-13〉 위험도 평가 결과(수출입 – 전체 합산, 5개 항만, 2024년 기준) ····· 321
〈부록 표 7-14〉 위험도 평가 결과(수입 – 평택항) ····· 321
〈부록 표 7-15〉 위험도 평가 결과(수출 – 평택항) ····· 322
〈부록 표 7-16〉 위험도 평가 결과(수입 – 울산항) ····· 323
〈부록 표 7-17〉 위험도 평가 결과(수출 – 울산항) ····· 324

그림 목차

〈그림 1-1〉 연구흐름도 ····· 9
〈그림 2-1〉 자연적 재난 - 부산항 태풍 매미 크레인 피해 사례 ····· 15
〈그림 2-2〉 인위적 재난 - 톈진항 폭발사고 사례 ····· 15
〈그림 2-3〉 자연적 재해 - 일본 고베 대지진 항만 시설 피해 사례 ····· 16
〈그림 2-4〉 인위적 재해 - 중국 닝보항 선박 폭발사고 사례 ····· 17
〈그림 2-5〉 인명 피해 - 레바논 베이루트 항만 폭발사고 사례 ····· 18
〈그림 2-6〉 환경 오염 - 스리랑카 콜롬보 해상 선박사고 사례 ····· 19
〈그림 2-7〉 인프라 손상 - 싱가포르 투아스항 크레인 전도 사고 사례 ····· 20
〈그림 2-8〉 광양항 에틸리덴 노보르닌 해상 유출 사고 사례 ····· 22
〈그림 2-9〉 인천 신항 탱크 컨테이너 폭발 사고 사례 ····· 25
〈그림 2-10〉 부산항 신항 톨루엔 희석액 누출 사고 사례 ····· 25
〈그림 2-11〉 부산 신항만 내 드라이 컨테이너 삼염화인 누출 사고 사례 ····· 26
〈그림 2-12〉 태국 람차방 컨테이너선 화재·폭발 사고 사례 ····· 28
〈그림 2-13〉 중국 베이룬 터미널 컨테이너선 폭발사고 사례 ····· 28
〈그림 2-14〉 중국 베이룬 터미널 컨테이너선 폭발사고 사후 조치 ····· 29
〈그림 2-15〉 자야 터미널 컨테이너선 폭발 사고도 ····· 30
〈그림 2-16〉 중국 텐진항 국제물류 창고 폭발사고 사례 ····· 31
〈그림 2-17〉 레바논 베이루트 항만 폭발사고 사례 ····· 32
〈그림 2-18〉 반다르아바스 항만 폭발 사고 사례 ····· 33
〈그림 2-19〉 시흥시 컨테이너 트레일러 전복 및 불산 유출 사고 사례 ····· 35
〈그림 2-20〉 의왕시 오봉역 과탄산나트륨 적재 화물열차 화재도 ····· 37
〈그림 2-21〉 독일 마그데부르크 컨테이너 트럭 다중 충돌 및 화재도 ····· 39
〈그림 2-22〉 미국 매사추세츠주 컨테이너 트럭 화재도 ····· 39
〈그림 2-23〉 미국 캘리포니아주 고속도로 리튬 배터리 적재 트럭 전복 및 화재도 ··· 40
〈그림 2-24〉 미국 캘리포니아주 리튬 배터리 운반 컨테이너 트럭 전복 및 화재도 ·· 41
〈그림 2-25〉 캐나다 사스캐처원주 화물 열차 탈선 및 컨테이너 트레일러 위험물질 유출 사고 ····· 42
〈그림 2-26〉 미국 아이오와주 화물 열차 탈선 사고 및 화학물질 적재 컨테이너 화재 사고 ····· 43
〈그림 2-27〉 미국 오하이오주 화물 열차 탈선 사고 및 발암물질 유출 사고 ····· 43

〈그림 2-28〉 미국 노스다코타주 화물열차 탈선 및 화학물질 유출 사고 ····· 44
〈그림 2-29〉 미국 캘리포니아 주 서터 카운티 화물열차 리튬 이온 열차 화재 사고 ···· 45
〈그림 3-1〉 위험물 물질별 위험성 정도 ····· 57
〈그림 3-2〉 옥외저장소 위험물 컨테이너 적재 방법 ····· 59
〈그림 3-3〉 옥외저장소 위험물 컨테이너 격리 방법 ····· 59
〈그림 3-4〉 항만위험물 대상 테러 시 대응 체계도 ····· 77
〈그림 3-5〉 로테르담항만공사 위험물 정보 시스템 운용 안전관리자 ····· 85
〈그림 3-6〉 로테르담항만공사 로테르담 항만관리 조례
(Port Bye-laws of Rotterdam) ····· 88
〈그림 4-1〉 한국해사위험물검사원 제공 'IMDG Code 위험물 목록' 예시 ····· 133
〈그림 4-2〉 관세법령정보포털 제공 '관세율표 상세목록' 예시 ····· 134
〈그림 4-3〉 분석 흐름도 ····· 136
〈그림 4-4〉 종합 영향도 분석 결과도 ····· 162
〈그림 5-1〉 위험물 안전관리시스템 기능 구성도 ····· 172
〈그림 5-2〉 위험물모니터링시스템 플로우 차트 및 데이터 연계(예) ····· 175
〈그림 5-3〉 위험물 컨테이너로 인한 재난재해 관련 부처 및 기관협력 체계 ····· 190
〈그림 5-4〉 자연재해에 따른 위험물 컨테이너 사고 흐름 ····· 192
〈부록 그림 2-1〉 텐진항 국제물류 창고 폭발사고 대응 관련 자료 ····· 270
〈부록 그림 3-1〉 위험물 장기 보관을 위한 창고 내부 ····· 288
〈부록 그림 6-1〉 삼각 퍼지수의 소속 함수 ····· 308
〈부록 그림 6-2〉 퍼지 가중치 계산 절차식 ····· 309
〈부록 그림 6-3〉 일관성 검증식 ····· 310
〈부록 그림 6-4〉 최적 버퍼지 성능치(BNP) 계산식 ····· 310

정책제안

▌분석 내용 및 방법

1. 항만과 육상운송의 물류공급망 재난·재해 현황 및 대응 실태 파악을 위해 문헌조사 및 사례조사 실시
2. 부산항, 인천항, 광양항 등 국내 주요 항만의 위험물 컨테이너 물동량 통계 및 실태 자료 수집·분석 수행
3. 항만과 육상운송에서 위험물 컨테이너의 관리 체계 분석을 위해 안전관리자 등 전문가 자문 실시
4. 재난·재해 시 대응 및 비상 이송 시 위험물 운송 우선순위 규정을 위해 위험물질 고유 위험성, 빈도, 장치 물동량 등의 요인을 활용해 위험도 분석 수행
5. 항만의 위험물 컨테이너 사고 시 항만 마비에 따른 피해 영향도 평가를 위해 기능 정지 수준 및 기간별 시나리오를 설정, 인프라 손실 및 영업 손실을 종합해 영향도 산정

▌정책제안

1. 재난·재해 대비 항만위험물 컨테이너 물류공급망 추진 로드맵 제시

- 인프라(시설 인프라 관리 강화, 위험물 전용 장치 체계 강화, 통합 정보 플랫폼 구축), 인적요인(안전관리자 교육 개선, 취급자 교육 개선, 재난·재해 대비 훈련 강화), 법·제도(위험물 관련 법률 개선, 재난·재해 대응 매뉴얼 마련, 관계부처 간 협력 강화) 등의 정책 대안 추진 로드맵 제시

2. 항만위험물 물류공급망 안전관리 법·제도 체계 개선(안) 제안

- (단기) 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 중 위험물 관리 부분의 조항 개정(안) 제안
- (장기) 「(가칭)항만위험물 안전관리 규칙」 제정(안) 제시를 통해 항만위험물 관리 방안 정립, 안전한 항만 구축을 위한 정책 과제의 추진 근거 마련

3. 항만위험물 물류공급망 안전관리 체계 구축을 위한 후속과제 제안

- (위험물 전용장치장의 장치 규모 산정 연구) 항만위험물 컨테이너의 폭발, 화재 등에 따른 파급력 산정, 위험물 혼재에 따른 연쇄 폭발 시 피해반경, 규모 등의 심층 분석 필요
- (위험물 영향도 평가를 위한 조사 및 연구) 터미널의 시설 및 장비 현황, 인명 및 환경 피해, 사회적 혼잡 비용 등의 정보 수집 및 분석, 다양한 사례에서 적용 가능하고 적합도가 높은 영향도 평가 방법론 규정 필요
- (물류공급망 조사 및 모달시프트 정책 연구) 모달시프트 추진을 위한 물류, 환경오염, 사고 발생에 따른 사회경제적 비용 등을 책정, 이에 따른 인센티브 제도 및 시범운송 지원 등의 지원사업 추진 방안 마련

4. 산업 현안 문제 현황 및 대응 필요성 제기

- 위험물 장치장 규정 개선 검토, 안전관리자 업무 개선, 통합 협의체 및 정책 간담회 개최 등 업계의 현안 문제 제기 및 대응 방안 마련 필요성 강조

요 약

재난·재해 대비 항만위험물 컨테이너 물류공급망 대응 방안 연구

최나영환 · 김대현 · 김아롬 · 배정준

1. 연구 배경 및 목적

1) 연구 배경 및 필요성

- 정부의 재난안전관리 강화 기조에 따라 항만·육상운송 단계의 위험물 관리 중요성 확대
  - 재난 대응 체계 정비 요구와 위험물 관리 기준 고도화 필요성 증대
- 산업구조 고도화에 따른 위험물 물동량 증가와 주요 항만의 처리 부담 확대
  - 위험물 종류 변화와 취급 위험성 증가 가능성 확대
- 항만-내륙운송 전 과정에서 사고 발생 시 물류 기능 정지, 환경오염, 인명피해 등 중대 영향 발생 가능성 제기
  - 복합 위험 요인 증가에 따른 사전 관리 필요성 강화
- 국내외 사고 사례에서 정보 부족, 절차 미비, 보관·취급 관리 한계

등 구조적 취약 요소 확인

- 위험물 관리 체계 개선 필요성 제기

▪ **해외 주요 항만은 시설·인력·정보·제도를 통합한 관리 체계 구축 대비 국내 공급망 전 단계 대응체계 미흡**

- 교육, 전용시설, 대체항만 절차, 정보 연계 등 핵심 요소 보완 필요성 제기

▪ **기존 연구는 단일시설 또는 일부 법제 중심 접근에 집중되며, 공급망 복원력 기반 연구 부족**

- 재난·재해 대응을 위한 통합적 공급망 관리 체계 구축 필요성 증가

2) 연구 목적

▪ **항만위험물 컨테이너의 재난·재해 사례를 검토하고, 재난 발생 시 육상운송과 연계된 물류공급망의 연속성 확보를 위한 대응 방안 도출**

- 항만 및 육상운송 과정에서 발생한 재난·재해 사례를 기반으로 위험물 물류공급망 영향 분석
- 항만과 연계한 육상운송 단계의 위험물 관리 현황과 대응 체계 실태 진단
- 해외 주요 항만의 위험물 컨테이너 관리 및 공급망 대응 체계 분석
- 주요 항만의 위험물 화종별 위험도 및 사고 영향도 종합 분석
- 상기 분석 결과를 토대로 재난·재해 대비 항만 위험물 컨테이너 대응 방안 도출

2. 연구 내용 및 방법

1) 연구 범위

- **연구 범위는 항만과 육상운송 단계에서 위험물 컨테이너가 이동·처리되는 공급망 전반을 대상으로 구성**
  - 항만-도로-철도 등 육상운송 과정에서의 시설, 정보, 인적요인, 법·제도 등을 포함한 다각적 요소를 분석 대상에 포함
- **공간적 범위는 항만에서의 하역·이송·장치 과정과 내륙으로 연계되는 도로·철도 운송 단계 전반을 대상**
  - 항만 단계와 육상운송 단계 간 연속적 공급망 흐름을 분석 대상으로 설정
- **재난 범위는 자연재해, 위험물 화재·폭발, 시설 고장·사고, 테러 등 주요 재난 유형을 대상**
  - 재난 유형별로 위험물 공급망에 미치는 영향 요소를 구분
- **주체 범위는 위험물 공급망에 직·간접적으로 참여하는 이해관계자 전반을 대상**
  - 터미널 운영사, 운송·하역사업자, 정부 부처, 지방자치단체, 소방·환경 등 재난대응 기관을 포함
- **내용적 범위는 인적요인, 시설 인프라, 법·제도, 정보시스템을 중심으로 관리 체계 실태와 취약요소를 분석 대상으로 구성**
  - 각 요소별 기준, 운영 현황, 문제점 등을 검토해 구조적 요인을 도출

2) 연구 내용

- **국내외 재난·재해 사례를 통해 위험물 물류공급망에 나타난 특징과 영향 요소 검토**
  - 울산항·평택항 등 국내사례와 텐진항·베이루트항 등 해외사례 검토
- **항만-육상운송 연계 구조에서 위험물 관리 과정과 운영 현황 확인**
  - 하역·저장·이송·출고 등 단계별 절차와 법·제도, 시설, 정보관리 체계의 운영 실태 정리
- **해외 주요 항만의 위험물 컨테이너 관리 방식과 공급망 대응 체계 사례 비교·검토**
  - 관리 절차, 제도 운영, 정보 연계 체계 등의 구조적 특징 파악
- **주요 항만의 위험물 화종별 위험도 분석 및 사고 영향 관련 자료를 바탕으로 위험요인과 영향 범위 확인**
  - 화종별 위험도 수준, 취급 조건, 사고 발생 시 영향 범위에 대한 주요 요소 정리
- **재난·재해 대비 위험물 물류공급망 대응과 관련된 개선 방향을 종합 정리**
  - 시설, 인력, 법·제도, 정보 체계 등에서 확인되는 시사점 도출

3. 연구 결과

1) 연구 결과 요약

- **국내외 위험물 사고 사례에서 공급망 전반에 영향을 미치는 주요 취약요인 도출**
  - 위험물 정보 누락, 기관 간 협조 부족, 초동 대응 지연 등이 피해 확산의 핵심 요인으로 파악
  - 텐진항·베이루트항 등 해외사례와 울산항·평택항 등 국내사례 비교를 통해 공통 취약요인 식별
- **국내 항만의 위험물 관리 체계에서 구조적 한계 확인**
  - 부처 간 협업 체계 부족, 항만 특화 대응 매뉴얼 부재, 통합정보시스템 미흡 등 관리공백 존재
  - 국내·외 관리 체계 비교를 통해 제도·운영 측면의 개선 필요성 도출
- **주요 항만의 위험물 화종별 위험도 분석에서 위험도 차이를 결정하는 요인 확인**
  - HS 382499, HS 271019 등 특정 품목의 위험도 높게 나타남
  - 물량 규모와 처리 빈도가 위험도 산정에 크게 작용하며, 항만별 물동량 구조에 따라 차이 발생
- **위험물 사고 영향도 분석에서 항만 운영 및 공급망에 대한 파급효과 도출**
  - 하역 장비·안벽·야드 등 기반시설 피해와 운영 중단 가능성 확인
  - 국내·국제 물류지연, 환경피해, 사회적 비용 증가 등 2차 피해 발생 가능성 제기

▪ **대응 방안 우선순위 분석(Fuzzy AHP)을 통해 정책 추진의 단계적 우선순위 제시**

- 위험물 관련 법률 개선, 전용 장치 체계 강화, 재난·재해 대응 매뉴얼 마련
- 인프라 관리 강화, 부처 협력 강화, 통합정보 플랫폼 구축
- 취급자 교육 개선, 안전관리자 교육 개선, 재난·재해 대비 훈련 강화

▪ **법·제도 개선 필요성 및 개선 방향 도출**

- 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 내 위험물 장치·교육·이송 관련 조항 보완 필요
- 장기적으로 「(가칭) 항만위험물 안전관리 규칙」 제정의 필요성 제시

▪ **후속과제 및 산업 현안에 대한 개선 방향 제시**

- 위험물 장치량 산정, 영향도 평가 정교화, 모달시프트 기반 공급망 연구의 필요성 도출
- 장치장 공간 부족, 안전관리자 업무 과중, 항만 간 협의체 운영 미흡 등 산업 현안 확인

2) 정책제언

▪ **재난·재해 대비 항만위험물 물류공급망의 단계적 추진 로드맵 정립 필요**

- Fuzzy AHP 분석 결과, 법·제도 개선, 전용 장치 체계 강화, 대응 매뉴얼 마련 등이 1순위 과제로 도출됨
- 인프라 관리 강화, 부처 협력, 통합정보 플랫폼 구축 등이 2순위 과제로 나타남

- 취급자 교육 개선, 안전관리자 교육, 재난·재해 훈련 강화 등이 3순위 과제로 도출됨
- 우선순위에 따른 연차별 추진 계획 수립과 장기적 적용 단계 마련의 필요성 확인

▪ **항만위험물 안전관리를 위한 법·제도 체계 정비 필요**

- 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 내 위험물 장치, 취급자 교육, 이송 안전조치 관련 조항 보완 필요
- 자체안전관리계획의 표준화 및 재난 대비 절차 명확화 필요
- 장기적으로 「(가칭) 항만위험물 안전관리 규칙」 제정을 통해 항만 특화 규범 체계 확립 필요

▪ **터미널 여건을 반영한 위험물 전용장치장 설계 및 장치량 산정 기준 마련 필요**

- 위험물 장치량을 터미널 인근 환경·시설 특성과 위험물 특성을 고려해 산정할 필요성 제기
- 폭발·화재 시 영향 반경 및 연쇄 피해 가능성에 대한 정밀 분석 기반의 장치량 기준 마련 필요

▪ **위험물 사고 영향도 평가를 위한 조사 체계 구축 필요**

- 인프라·장비·인명 피해, 환경·사회적 비용 등을 포함한 종합 영향도 평가 체계 구축 필요
- 터미널별 시설·장비 현황 및 주변 지역 환경 고려한 정밀 평가 연구 필요

▪ **위험물 운송의 모달시프트 기반 공급망 안정화 방안 마련 필요**

- 도로 편중 구조 완화를 위해 철도·연안해운 등으로의 전환 전략 검토 필요
- 전체 물류비용·환경비용·사고비용을 고려한 인센티브 기반 정책 설계 필요

- **항만 간 협의체 운영 활성화 및 정책 간담회 정례화 필요**
  - 현재 부산항 중심의 협의체 운영을 타 항만으로 확대해 실효성 확보 필요
  - 산학연정 협력 기반의 정책 간담회를 통해 현장 애로사항 반영 및 정책 연계성 강화 필요

EXECUTIVE SUMMARY

Developing Response Measures for Port Dangerous Goods Container Logistics Supply Chains in Disaster and Emergency Situations

Na-Young-Hwan Choi · Dae-Hyeon Kim · Ah-Rom Kim · Jeong-Jun Bae

1. Background and Purpose

1) Background and Necessity

- The importance of dangerous goods management in port and land transport stages is growing in accordance with the government's strengthened disaster and safety management framework.
  - Increase the need to refine disaster response systems and advance dangerous goods management standards
- The advancement of industrial structure has resulted in an increase in dangerous goods throughput and an intensified operational burden at major ports
  - Diversify the types of dangerous goods and expand the potential

for handling risks

- Accidents occurring throughout the port-inland transport process raise the possibility of critical consequences including disruption of logistics functions, environmental pollution, and human casualties.
  - Strengthen the imperatives for preemptive management in response to escalating multifaceted risk factors
- Domestic and international accident cases identified structural vulnerabilities including information deficiencies, procedural inadequacies, and storage-handling management limitations.
  - Raise the need for improving dangerous goods management systems
- Whereas major foreign ports have established integrated management systems encompassing facilities, workforce, information, and institutions, domestic response systems remain insufficient across all supply chain stages.
  - Identify the need to strengthen core elements including training, dedicated facilities, alternative port procedures, and information integration
- Existing research concentrates on single-facility or partial regulatory approaches and lacks supply chain resilience-based studies.
  - Increase the need for developing comprehensive supply chain

management frameworks for disaster and emergency preparedness

2) Purpose

- This study reviews disaster and emergency cases involving port dangerous goods containers and develops response measures to ensure logistics supply chain continuity in disaster situations involving land transport.

- Analyze the impacts on dangerous goods logistics supply chains based on disaster and emergency cases occurring in port and land transport processes
- Assess the current status of dangerous goods management and response system conditions in port-linked land transport stages
- Examine dangerous goods container management and supply chain response systems at major foreign ports
- Comprehensively analyze specific risk levels and accident impacs degrees by dangerous goods types at major ports in Korea
- Formulate response measures for port dangerous goods containers against disasters and emergencies based on the above findings

2. Content and Methodology

1) Research Scope

- The research scope covers the entire supply chain involving the movement and handling of dangerous goods containers across port and land transport stages.
  - Incorporate multidimensional factors including facilities, information systems, human elements, and legal-institutional frameworks throughout port-road-rail transport operations into the analysis
- The spatial scope encompasses the full range of port loading-unloading, transfer, and storage processes as well as road and rail transport stages connected to inland regions.
  - Establish the continuous supply chain flow between port and land transport stages as the analysis target
- The scope of disaster includes major disaster categories including natural disasters, dangerous goods–induced fires and explosions, facility malfunctions and accidents, and terrorist attacks.
  - Categorize impact factors on the dangerous goods supply chain according to disaster type
- The scope of principal agents encompasses all entities with direct and indirect participation in the dangerous goods supply chain.

- Incorporate terminal operators, transport and cargo handling companies, government ministries, local governments, and disaster response organizations such as fire response and environmental agencies

▪ The content scope covers an analysis of management system conditions and vulnerabilities centered on human factors, facility infrastructure, legal-institutional frameworks, and information systems.

- Examine standards, operational practices, and problems for each element to derive structural factors

2) Research Content

▪ Through an analysis of domestic and international disaster and emergency cases, this study examines the characteristics and influencing factors that have emerged in dangerous goods logistics supply chains.

- Review domestic cases such as Ulsan Port and Pyeongtaek Port and international cases including Tianjin Port and Beirut Port

▪ This study identifies the dangerous goods management processes and operational status within the port-land transport linkage structure.

- Document the phase-specific procedures across loading-unloading, storage, transfer, and dispatch operations, and the operational realities of legal-institutional frameworks, facilities, and information

management systems

- A comparative analysis is conducted on dangerous goods container management approaches and supply chain response systems at major international ports.
  - Identify structural attributes of management procedures, institutional arrangements, and information connectivity systems
- Risk factors and impact ranges are assessed based on risk analysis data categorized by dangerous goods types and accident impact information from key ports.
  - Compile key elements regarding risk ranges by cargo type, handling conditions, and impact scope in accident scenarios
- This study consolidates improvement strategies for dangerous goods logistics supply chain preparedness against disasters and emergencies.
  - Derive implications identified in facilities, workforce, legal-institutional frameworks, and information systems

3. Result

1) Summary

- Based on domestic and international dangerous goods accident cases, this research extracts key vulnerability factors that affect the entire supply chain.

- Identify critical factors in damage escalation, including dangerous goods information omissions, lack of inter-agency coordination, and delayed initial response
- Identify common vulnerability factors through comparison of international cases such as Tianjin Port and Beirut Port with domestic cases including Ulsan Port and Pyeongtaek Port

▪ **Structural limitations in domestic port dangerous goods management systems are confirmed.**

- Uncover management gaps such as lacking inter-agency cooperation structures, missing port-tailored response protocols, and deficient integrated information platforms
- Extract improvement requirements for institutional and operational aspects through comparison of domestic and international management systems

▪ **Based on dangerous goods risk analysis categorized by cargo types at major ports, this research identifies factors determining risk level variations.**

- Find elevated risk levels for particular commodities including HS 382499 and HS 271019
- Confirm cargo volume and handling frequency as significant contributors to risk assessment, with variations occurring according to port-specific cargo throughput structures

▪ **Spillover effects on port operations and supply chains are derived from dangerous goods accident impact analysis.**

- Confirm potential damage to infrastructure such as cargo handling

equipment, berths, and yards along with operational disruptions

- Raise possibilities of secondary damages including domestic and international logistics delays, environmental damages, and increased social costs

▪ This study applies Fuzzy AHP to prioritize response measures and present sequential priorities for policy implementation.

- Revise dangerous goods-related laws, strengthen dedicated equipment systems, and develop disaster and emergency response manuals
- Reinforce infrastructure management, enhance inter-ministerial cooperation, and establish an integrated information platform
- Improve handler training, upgrade safety manager education, and strengthen disaster and emergency preparedness training

▪ This research identifies the needs and directions for legal and institutional improvements.

- Requiring supplementation of provisions related to dangerous goods storage, education, and transfer within the Act on the Arrival and Departure of Ships
- Propose long-term necessity for enacting the Regulations on Safety Management of Dangerous Goods at Ports (tentative title)

▪ Improvement directions for follow-up tasks and industry issues are presented.

- Extract requirements for estimating dangerous goods storage volume, sophisticating impact evaluation, and studying modal shift-oriented supply chains
- Identify industry issues including storage yard space shortages,

excessive workload for safety managers, and inadequate inter-port consultation body operations

2) Policy Suggestions

- **It is necessary to establish a phased implementation roadmap for port dangerous goods logistics supply chains in preparation for disasters and emergencies.**
  - Determine legal-institutional enhancements, dedicated handling system reinforcement, and response manual formulation as primary priorities through Fuzzy AHP analysis
  - Fuzzy AHP analysis findings designating legal-institutional enhancements, dedicated handling system reinforcement, and response protocol formulation as primary priorities
  - Identify infrastructure management enhancement, inter-ministerial cooperation, and integrated information platform development as secondary priorities
  - Designate handler training improvement, safety manager education, and disaster and emergency drill enhancement as tertiary priorities
  - Confirm the need for developing year-by-year implementation schedules aligned with priorities and establishing long-term deployment phases
- **Enhancement of legal-institutional structures for port dangerous goods safety governance is necessary.**
  - Require reinforcement of provisions concerning dangerous goods

storage, handler education, and transfer safety protocols under the Act on the Arrival and Departure of Ships

- Call for standardization of self-safety management plans and clarification of disaster preparedness procedures
- Propose establishment of port-specific regulatory systems through long-term enactment of the Regulations on Safety Management of Dangerous Goods at Ports (tentative title)

▪ The research identifies the necessity of developing dedicated dangerous goods storage yard design and storage capacity calculation standards reflecting terminal conditions.

- Raise necessity for calculating dangerous goods storage volumes considering environmental and facility characteristics near terminals as well as properties of dangerous goods
- Call for establishment of storage capacity standards based on precise analysis of explosion and fire impact radius and cascading damage potential

▪ It is necessary to develop a survey framework for evaluating dangerous goods accident consequences.

- Underscore the need for building an integrated impact assessment framework incorporating infrastructure, equipment, and human damage alongside environmental and societal costs
- Require precise assessment research considering terminal-specific facility and equipment status as well as surrounding area conditions

- Strategies for stabilizing supply chains through modal shift in dangerous goods transportation need to be formulated.
  - Require review of modal transition strategies toward rail and coastal maritime transport to reduce heavy reliance on roads
  - Require construction of incentive-oriented policy designs incorporating comprehensive logistics costs, environmental costs, and accident costs
- It is necessary to activate inter-port cooperative mechanisms and institutionalize policy dialogue forums.
  - Need to expand existing Busan Port-focused consultation body frameworks to other ports to ensure practical effectiveness
  - Propose reflecting field challenges and strengthening policy connectivity through policy forums based on an industry-academia-research-government collaboration framework

01
서론

제1절 연구 배경 및 목적

1. 연구 배경 및 필요성

2025년 6월 출범한 이재명 정부에서는 국민 안전과 재난 대응을 위한 국정목표 및 과제를 제시하고 있다. 구체적으로 살펴보면 국정목표 4 기본이 튼튼한 사회에서 전략 1은 '생명과 안전이 우선인 사회'를 조성하는 것이다. 그리고 전략 1의 세부 국정과제에서는 72 '국민안전 보장을 위한 재난안전관리 체계 확립', 73 '재난 피해 최소화를 위한 예방·대응 강화', 76 '흔들림 없는 해양주권, 안전하고 청정한 우리바다' 등이 포함되어 있다.[1] 항만과 육상운송 측면에서 가장 큰 위험요소 중 하나는 위험물이라 할 수 있다. 따라서 위험물 관리는 물류공급망의 안전 확보에 필수요소가 되고, 재난·재해 시의 대응 방안 마련이 중요한 정책 과제로 평가할 수 있다.

한편, 우리나라는 전통적으로 중화학공업의 육성 정책을 추진했고, 이를 통해 정유, 석유화학을 비롯한 반도체, 전자산업 등 첨단 제조업의 산업적

1) 국정기획위원회(2025)

구조의 고도화로 이어졌다. 이로 인해 위험물의 수입, 운송, 생산 물량이 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 화물은 대부분 수출입되기 위해 항만에서 집하되고 있다. 따라서 부산항, 울산항, 인천항, 여수·광양항, 평택항 등 주요 항만은 위험물 취급 물동량의 대부분을 처리하고 있다. 이러한 결과로 부산항의 최근 10년간 위험물 컨테이너 물동량은 연평균 5.4% 증가해 전체 컨테이너 증가율(2.4%)을 대비 2배 이상 증가[2]했다. 그리고 향후 반도체, 이차 전지 등의 산업구조 변화에 따라 수출입 위험물의 종류 변화와 취급에 따른 위험성이 증가할 가능성도 상존한다.

항만위험물 컨테이너의 물류공급망을 살펴보면 항만 구역을 비롯한 항만 배후단지, 도로 및 철도운송, 최종 사용처까지 연결되는 구조를 가지고 있다. 이러한 일련의 과정에서 발생하는 사고는 항만의 기능이 정지될 수 있고, 수질, 대기 등의 환경오염, 대규모 인명피해 등이 발생할 수 있다. 특히 최근 코로나-19 등의 전염병, 대형 재난·재해, 국가 간 분쟁, 테러 등 복잡·다양한 위험이 발생하고 있는 상황에서 수출입의 거점 역할을 수행하는 항만에서의 안전하고 효과적인 위험물 관리 중요성을 중요한 과제로 평가된다.

항만위험물 관리의 중요성은 국내외 위험물 사고 사례를 통해 강조될 수 있다. 2015년 중국 텐진항에서 항만 근접 위험물 창고의 과적 및 위험물 혼재로 인한 폭발 사고가 발생했다. 다양한 원인이 있으나, 항만 인근 위험물 창고의 과적, 고위험 물질의 혼재 등 시설 및 인적요인의 부주의가 복합적으로 작용했다. 현장 작업자는 위험물의 특성을 파악하지 못한 상황에서 작업을 수행했고, 위험물 사고 발생 이후 초기 대응에서도 위험물의 특성을 파악하지 못해 적절한 대응이 이루어지지 않았다. 창고의 경우 위험물 보관을 위한 소화설비가 부재했고, 위험물 관리·감독 시스템도 미흡해 약 170명의 인명피해와 광범위한 사회적 피해가 발생했다.[3]

2) 부산항만공사(2024)
3) CCTV(검색일: 2025.4.8)

2020년 레바논 베이루트항 폭발 사고의 경우 질산암모늄 2,750톤이 위험물 관리에 부적합한 환경에서 6년간 방치되었고, 정보 연계 부재, 관리 미흡, 시설 노후화 등 복합적인 원인이 작용했다.[4] 이로 인해 항만과 도심 전체에 큰 피해가 발생했고, 국가 경제에도 막대한 손실이 발생했다.

이러한 해외사례를 고려할 때 우리나라도 위험물 공급망의 복합적 취약성에 면밀히 살펴볼 필요가 있다. 실질적으로 우리나라 항만에서도 위험물 관련 사고가 발생하고 있고, 이에 따른 대응 방안 마련이 시급하다.

대표적으로 2019년 울산항 염포부두에서는 선박에서 육상으로 하역 중인 위험물 컨테이너 내부의 인화성 물질이 폭발했다. 동 사고는 현장 작업자가 위험물 특성을 파악하지 못한 상황에서 하역 작업을 진행했고, 위험물 컨테이너의 저장 절차, 안전 수칙 미준수, 하역 시설 내 위험물 사고 대응 체계 및 대응 매뉴얼 미비 등 시설, 정보, 인적요인 등 복합적인 사항이 원인으로 작용했다.[5]

국내 사례의 경우 정보 관리 및 공유 체계 미흡, 인적요인 미숙련, 초기 대응 매뉴얼 미비 등 복합적인 원인이 작용한 것으로 평가할 수 있다.

반면 미국 LA/LB항은 인적요인의 관리를 철저히 하고 있다. 위험물안전자와 더불어 위험물 취급자 교육을 정기적으로 실시하고 있고, 위험물 사고 등의 긴급상황 시 초동대응을 위한 전담조직을 운영하고 있다. 시설 측면에서도 위험물 화종별 항만 전용 저장구역 설정 및 이격거리 확보와 더불어 위험물 사고에 대응한 철저한 소방설비를 구축하고 있다. 법·제도 측면에서는 재난 발생 시 관계 기관의 기능·역할을 규정해 공급망 단절 피해를 최소화할 수 있는 매뉴얼을 갖추고 있다. 정보시스템에서도 위험물 정보를 통합 관리하고 있다.[6]

4) BBC(검색일: 2025.4.8.)
5) 울산매일UTV(검색일: 2025.5.8.)

네덜란드의 로테르담항에서는 Portbase 시스템을 활용해 항만위험물의 입항-하역-이송-장치-운송 등의 일련의 정보를 실시간으로 관리하고, 공유하는 체계를 구축하고 있다. EU Seveso III Directive를 기준으로 위험물 취급 기업의 사고예방계획의 수립과 안전보고서 제출을 의무화하고 있다. 그리고 국제해사기구(IMO)의 국제 권고 기준에 부합하는 항만위험물 관리 체계를 구축해 안전하고 효과적인 위험물 관리를 실시하고 있다.[7)]

이와 비교할 때 우리나라는 평상시 위험물 취급 및 저장 규정 강화에는 성과를 보였으나, 재난·재해 발생 시 공급망 전체 차원의 통합적 대응 체계 구축은 여전히 미흡한 실정이다. 인적요소 측면에서는 위험물안전관리자의 교육 및 위험물 취급자 정기 교육 프로그램 미흡, 시설 측면에서는 위험물 전용장치장 혼잡 및 규정 중복, 법·제도 측면에서는 대체 항만 활용 절차 및 긴급수송 체계 부재, 정보체계 측면에서는 실시간 위험물 관리 및 기관 간 정보공유 시스템 부재 등이 구조적 취약요소로 지적되고 있다.

정부는 해양수산부, 국토교통부 등이 주도로 평시 위험물 안전관리 강화 정책을 추진하고 있으나, 재난·재해 상황에서의 공급망 복원성 확보를 위한 대체 항만 지정, 긴급 이송체계 구축, 정보통합 관리 체계 마련 등은 아직 정책적 대응이 미흡한 수준에 머물러 있다.

그리고 기존 연구의 경우 위험물 단일시설 안전성 강화 및 법령 정비에 주로 집중되어 있었으며, 항만-도로 및 철도 간 연계를 고려한 공급망 복원 전략 수립, 대체 운송체계 설계, 실시간 정보 공유 체계 구축을 다룬 연구는 상대적으로 부족한 실정이다.

따라서 재난·재해를 대비한 항만위험물 컨테이너의 물류공급망 대응체계 연구가 필요하고, 공급망 복원전략 수립, 대체 운송체계 설계, 실시간

6) USCoastGuard(2011)
7) Port of Rotterdam(검색일: 2025.5.1.)

정보 공유체계 구축 등의 종합적인 정책 방향이 제시되어야 한다.

2. 연구 목적

본 연구는 항만위험물 컨테이너의 재난·재해 사례를 살펴보고, 재난·재해 발생에 따른 육상운송과 연계된 물류공급망 연속성을 확보할 수 있는 대응방안 마련을 목적으로 한다.

이를 위해 본 연구는 첫째, 항만 및 육상운송 과정에서 발생한 재난·재해 사례를 중심으로 위험물 물류공급망에 미치는 영향을 분석한다. 둘째, 항만과 연계한 육상운송의 물류공급망상의 위험물 관리 현황과 대응 체계 실태를 진단한다. 셋째, 해외 주요 항만의 위험물 컨테이너 관리 및 물류공급망 대응 체계를 분석한다. 넷째, 주요 항만의 위험물 화종별 위험도 분석을 실시하고, 위험물 사고 시 영향도를 종합적으로 분석한다. 마지막으로 상기 내용을 종합해 재난·재해 대비 항만의 위험물 컨테이너 대응 방안을 도출하고자 한다.

제2절 연구 내용 및 방법

1. 연구 범위

본 연구는 재난·재해 발생을 대비해 항만을 거점으로 위험물 컨테이너에 대한 물류공급망 대응 체계를 마련하는 것을 목적으로 한다. 따라서 연구의 범위는 항만과 도로, 철도 등의 육상운송 물류공급망의 관련 시설, 정보, 인적요인, 법·제도 등 다각적인 사항을 포함한다.

공간적 범위의 경우 항만위험물 컨테이너와 내륙으로 연결되는 물류 과정을 대상으로 한다. 즉 위험물 하역, 이송, 장치가 수행되는 항만과 항만위험물 컨테이너가 육상으로 연결되는 도로, 철도운송의 물류공급망을 대상으로 한다.

재난 범위는 최근의 재난·재해 사례를 고려해 자연재해를 비롯한 위험물 화재, 폭발, 하역·운송 시설의 고장·사고, 테러 등을 종합적으로 살펴본다. 이를 통해 항만위험물 컨테이너가 물류공급망에 미치는 영향을 체계적으로 분류한다.

주체에 따른 범위는 물류공급망에 대한 직·간접적으로 참여하는 이해관계자 전반을 포함한다. 항만 컨테이너 터미널 운영사, 화물 운송 및 하역사업자, 관련 정부 부처 및 지방자치단체, 소방청, 환경부 등 재난대응 기관이 있고, 위험물 사고 시 협력 체계의 현황과 한계점 등을 종합적으로 평가한다.

내용적 범위는 위험물 공급망의 네 가지 핵심 요소인 인적요인, 시설 인프라, 법·제도, 정보시스템으로 설정하고, 각 항목별로 실태 및 법적 기준, 정책 운영실적, 문제점 등을 정리해 취약요소를 도출한다.

〈표 1-1〉 연구범위 요약

구분	주요 내용
공간적 범위	• 항만의 위험물 컨테이너 관리 전반 • 항만-내륙운송(도로, 철도) 연계 공급망
내용적 범위	• 재난·재해 대비 관리 체계(인적요소, 시설 인프라, 법·제도, 정보시스템) 전반
주체 범위	• 터미널 운영사, 위험물 운송·하역사업자, 정부 부처, 지방자치단체, 소방 및 재난대응 기관 등

자료: 저자 작성

2. 연구 내용

본 연구는 항만위험물 컨테이너를 중심으로 발생할 수 있는 재난·재해 상황에 대응하기 위한 공급망 차원의 전략을 수립하는 것을 목적으로 하고, 이를 위해 다음과 같이 연구 내용으로 구성된다.

제2장에서는 최근 국내외에서 발생한 위험물 사고를 중심으로 재난·재해에 따른 위험물 물류공급망의 영향 현황을 분석한다. 이를 위해 울산항 염포부두 사고, 평택항 누출사고 등 국내사례와 함께 텐진항 폭발, 베이루트항 질산암모늄 사고 등 해외사례도 검토한다.

제3장에서는 국내외의 항만과 육상운송이 연계된 위험물 물류공급망의 관리 실태를 단계별로 조사·분석한다. 항만의 위험물 컨테이너의 하역, 저장, 분류, 출고 과정에 대한 관리 체계를 검토하고, 내륙운송을 포함한 법·제도 적용 실태, 시설 여건, 정보관리 시스템 등을 통합적으로 진단한다.

제4장에서는 재난·재해에 대비한 항만위험물 컨테이너의 위험도 분석을 실시한다. 그리고 위험물 컨테이너 사고 시에 따른 항만의 기능 마비 시의 미치는 영향도를 심층적으로 평가한다.

제5장에서는 재난·재해에 따른 위험물 물류공급망 대응방안을 구체화한

다. 이를 위해 시설, 정보시스템, 인적자원, 법·제도 측면에서의 방안을 제시한다.

마지막으로 제6장에서는 본 연구의 주요 결과를 정리하고, 정책 추진 방향을 제언한다.

3. 연구 방법

본 연구는 항만위험물 컨테이너 물류공급망의 재난·재해 대응 체계 마련을 위한 실효성 있는 정책 방안 제시를 위해 통합적인 연구 방법을 적용한다.

우선 연구의 기초단계에서는 항만과 육상운송을 포함한 물류공급망에서의 재난·재해 현황 및 대응 실태를 파악하기 위해 문헌조사와 사례조사를 병행한다.

두 번째로는 국내 주요 항만(부산항, 인천항, 광양항 등)의 위험물 컨테이너 물동량 통계와 실태 자료를 수집·분석한다. 이 과정에서 물동량 통계, Port-MIS 데이터, 민간 터미널 운영사의 개별 통계를 활용해 위험물의 흐름, 물질별 특성, 증가 추세, 처리 가능 용량 등의 현황을 파악한다.

세 번째로는 항만과 육상운송에서 위험물 컨테이너의 관리 체계를 분석하기 위해 안전관리자 등의 전문가 자문을 실시한다. 정부 부처, 항만공사, 항만 컨테이너 터미널 운영사, 운송·하역사업자 등을 대상으로 위험물 하역·장치·운송 상의 관리 체계 현황, 이해관계자 간의 역할 분담, 비상 대응 매뉴얼 등을 종합적으로 평가한다.

네 번째로는 재난·재해 시 대응 및 비상 이송 시 위험물 운송 우선순위를 규정하기 위해 위험물질별 위험도 분석을 실시한다. 항만의 장치 위험물질별 상세 데이터를 확보해 위험물질 고유 위험성, 빈도, 장치 물동량 등의

요인을 활용해 위험도를 분석한다.

마지막으로 항만의 위험물 컨테이너 사고 시 항만 마비에 따른 피해 영향도를 평가한다. 기능 정지 수준 및 기간별 시나리오를 설정하고, 시나리오별 인프라 손실 및 영업 손실을 종합해 영향도를 산정한다.

〈그림 1-1〉 연구흐름도

구분	연구 내용	연구 방법
제1장 서론	• 연구배경, 필요성, 목적 • 연구내용, 방법 • 선행연구 검토 및 차별성	• 문헌조사 등
제2장 위험물 컨테이너 물류공급망 재난·재해 현황 분석	• 물류공급망 관련 재난·재해 정의 및 영향 • 물류공급망 관련 재난·재해 현황	• 문헌조사 • 재난·재해 사례분석 등
제3장 국내외 위험물 컨테이너 물류공급망 관리 체계 사례조사	• 국내 위험물 컨테이너 물류공급망 관리 체계 • 국외 위험물 컨테이너 물류공급망 관리 체계(미국, 네덜란드, 중국, 일본)	• 문헌조사 • 통계분석 • 실태조사 • 주요 국가 사례분석 등
제4장 재난·재해 대비 항만 위험물 컨테이너 위험도 분석 및 영향도 평가	• 품목별 항만위험물 컨테이너 위험도 분석 • 항만위험물 컨테이너 영향도 평가	• Port-MIS, TRASS 등의 DB 기반 위험도 분석(가중치 합산법) • 시나리오 기준 종합 영향도 평가 • 전문가 자문(분석 및 평가 검증) 등
제5장 재난·재해 대비 항만위험물 컨테이너 물류공급망 대응 방안 제시	• 재난·재해 대비 물류공급망 대응 방안(시설, 정보시스템, 인적요인, 법·제도) • 기대효과(정량, 정성)	• 법·제도 검토 및 분석 • 전문가 자문 • 정책협의회 • 실태조사 등
6장 결론 및 정책제언	• 요약 및 결론 • 정책제언	• 문헌조사 • 법률 검토 및 분석 • 전문가 자문 • 정책협의회 등

자료: 저자 작성

제3절 선행연구와 본 연구의 차별성 검토

국내외 선행연구는 위험물 운송, 취급 등 단편적인 관점을 다루고 있고, 부문별 안전관리, 기술 적용, 위험도 분석, 법·제도 개선 등을 실시했다. 국내 연구의 경우 위험물의 취급 및 운송 안전에 대한 관리 방안과 관련 법·제도 개선이 중점적으로 수행되었다. 해외 연구는 GIS, 수리적 모델링 등을 활용한 경로 분석, 네트워크 기반 위험 분석, 재난·재해별 시뮬레이션 등의 연구가 활발히 이루어졌고, 대형 사고 분석을 통해 항만의 위험물 관리 및 대응체계 필요성을 제기했다.

그러나 대부분의 기존 연구는 개별 운송수단(선박, 도로, 철도)에 한정된 위험도 분석이나 사고 대응 중심의 단편적 연구에 머물러 있고, 항만을 중심으로 항만–육상운송(도로, 철도)을 연계한 통합적인 위험물 물류공급망 관리 방안을 제시한 연구는 미흡한 실정이다. 그리고 테러, 자연재해 등 재난·재해 시나리오를 기반으로 한 대체 수송 경로 확보, 임시 저장시설 활용, 관계기관 간 협업 체계 마련 등 현실적인 대응방안을 종합적으로 구상한 연구는 전무한 실정이다.

이에 따라 본 연구는 다음과 같은 측면에서 기존 연구와 차별성을 가진다.

첫째, 본 연구는 항만을 중심으로 한 물류공급망(항만–도로·철도) 전반을 고려하고, 위험물 컨테이너의 취급, 저장, 하역, 이송, 대체 수송까지를 포괄하는 대응체계 구축을 목표로 한다. 기존의 수송 경로 최적화나 안전 지침 수준의 연구 범위를 확장해 재난·재해 발생 시 항만 기능 마비에 대비한 대체 항만 하역 및 긴급 이송 전략, 안전지역 확보 등 대응방안을 수립한다는 점에서 차별적이다.

둘째, 기존 연구가 단편적인 사례를 바탕으로 대응체계 마련에 연구를

진행한 것에 비해 본 연구는 재난·재해 유형에 따른 사례를 종합적으로 살펴보고, 이를 대비한 대응체계를 마련한다.

셋째, 본 연구는 시설, 정보시스템, 인적요인, 법·제도 등 다각적인 관점에서 대응 방안을 제시하고, 다양한 이해관계자 간 역할 정립 및 협력 체계 구축 등 정책 연계를 기반한 실무적 방안을 제시한다.

넷째, 본 연구는 컨테이너 터미널 및 육상운송의 실태조사, Port-Mis 및 TRASS 등의 통계분석, 항만 및 운송기업의 실태조사, 정책 전문가 자문 등을 통해 실효성 있는 정책 방안을 제시한다. 그리고 기존 위험물 분류 체계와 위험물 정보 연계의 한계점을 극복하기 위한 개선 방안도 도출한다.

결론적으로 본 연구는 항만을 중심으로 한 위험물 컨테이너 공급망의 복원력 제고와 재난·재해 대비 역량 강화를 위한 종합적·전략적 대응 체계 구축을 목표로 한다. 그리고 기존의 제한된 연구 범위를 확장해 재난 대응 체계의 구체적 설계 및 실행 가능성을 확보한 점에서 차별성을 가진다.

〈표 1-2〉 선행연구와 본 연구의 차별성 요약

구분	선행연구		본 연구
	요약	참고문헌	
연구 목표	• 위험물 운송 경로 최적화	• Zografos & Davis(1989), Erkut & Verter(1998), 박동주·정성봉·오정택(2011) 등	• 본 연구는 기존의 위험물 운송에 집중된 경로 최적화 및 위험 모델링 연구들과 달리 항만위험물 컨테이너의 안정성을 확보할 수 있는 물류공급망 대응 방안을 마련하는 데 중점을 두고, 대체 항만 하역 및 안전 지역으로의 신속한 이송 방안을 구체적으로 제시 및 테러, 국가 간 분쟁 등 다양한 재난·재해 사례를 구체화함
	• GIS 기반 위험물 운송 위험 평가	• Verter & Kara(2001) 등	
	• 재난 시나리오 기반 위험물 운송 대응 방안	• Berman, O.(2007) 등	
연구 범위 및	• (선박-항만) 접안 선박의 위험물	• Oded Berman(2007), 이봉우 외(2013), 최재용(2016) 등	• 기존의 연구들이 주로 개별 운송수단(선박, 도로, 철도)이나 항만 내 위험물 관리에 초점을
	• (항만, 항만 옥외	• Verter & Kara(2001), Junior	

구분	선행연구		본 연구
	요약	참고문헌	
대상	저장소) 항만위험물	et al.(2011), 최재용(2016), 윤동하 외(2018), 이덕재 외(2018), 신가영 외(2019), Liu et al.(2019), 이봉우 외(2020), Khan et al.(2024) 등	맞추었던 것과 달리, 항만을 중심으로 선박-항만-육상(도로, 철도) 등 전체 물류공급망을 통합적으로 분석하는 데 중점을 두고, 대체 항만 하역 및 안전 지역(타 항만, 위험물 창고 등)으로의 신속한 이송 방안을 구체적으로 설계
	• (육송) 위험물질 수송차량	• Zografos & Davis(1989), Zografos & Androutsopoulos(2004), Bubbico et al.(2009), 김연웅(2016), 홍정열 외(2018) 등	
	• (철송) 철도 위험물 수송	• 이창훈 외(2014), Verma, M.(2009), Bubbico et al.(2009) 등	
연구 방법	• 문헌/실태 조사	• 조동오(1996), Erkut et al.(1998), 김시곤·안승범(1999), Vertern et al.(2001), Buddico et al.(2006), Berman, O.(2007), 박동주 외(2011), 노홍승 외(2012), 권용장(2012), Khan et al.(2021) 등	• 국내외 선행연구들이 주로 위험물 운송의 경로 최적화, 위험 모델링, 사고 분석 등 단편적 영역의 초점을 맞추는 데 반해, 본 연구는 항만을 중심으로 물류 공급망 전체(선박-항만-육상) 차원에서 재난·재해에 따른 대체 지역 선정과 물류체계 점검 및 구상을 통합적으로 다루고, 국내 모든 주요 항만을 대상으로 종합적이고 실질적인 대응 전략을 제시 및 법률 검토를 포함해 실무적 적용 가능성 제고
	• 전문가 자문	• Verma(2009), 김연웅·김시곤(2015), 최나영환 외(2018), Khan 외(2021) 등	
	• 시나리오 분석, 모델링 및 시뮬레이션(GIS, 공간분석, 위험 관리 시스템 설계 등)	• Verter et al.(2001), Darbra et al.(2004), Berman(2007), Tsamboulas et al.(2008), Milazzo et al.(2009), Samuel(2009), 팽정광(2010), 김연웅(2016), 최재용 외(2016), 윤수경 외(2018), 홍정열(2018), Khan et al.(2021) 등	
	• 법률 검토 및 정책 분석	• Kirk & Buddico (2006), Glickman et al.(2007), 노호승·장소영·이재구(2009), 윤수경 외(2018) 등	

자료: 선행연구를 바탕으로 저자 작성

02
위험물 컨테이너 물류공급망 재난·재해 현황 분석

제1절 물류공급망 관련 재난·재해 정의 및 영향

본 절에서는 항만과 육상운송 과정에서 발생한 주요 재난·재해 사례를 통해 위험물 컨테이너 물류공급망의 취약성과 대응 체계를 살펴본다. 이를 위해 국내외 사례를 중심으로 재난의 유형, 피해 규모, 발생 원인과 경과, 대응조치 등을 종합적으로 검토하며, 그 결과를 기반으로 공급망 안전성 강화를 위한 시사점을 도출한다.

1. 물류공급망 관련 재난·재해 정의

본 연구에서 '재난(Disaster)'은 적재·보관·운송 과정의 인적 오류, 시설·장비의 이상, 절차 미준수 등으로 인해 발생한 사고 중 「재난 및 안전관리 기본법」 제3조 제1호 나목에서 정하는 화재·폭발 등 일정 규모 이상의 피해가 동반되는 경우를 의미한다. '재해(Casualty)'는 「자연재해대책법」

제2조 상 재난으로 인해 발생하는 피해를 지칭하며, 본 연구는 각 사례가 법령상 재난에 해당 여부를 검토한 후 분석 범위에 반영한다. 이러한 정의를 바탕으로 물류공급망 운영에 영향을 미칠 수 있는 사고 유형과 파급 효과를 체계적으로 검토하고자 한다.

1) 물류공급망에서의 재난·재해 정의

(1) 재난

재난은 일반적으로 자연적 또는 인위적 원인으로 발생하는 사고를 포함한다. 물류공급망에서의 재난은 태풍, 홍수, 지진 등 기후적 요인에 따른 자연재난, 인적 과실, 장비 결함, 설비 미비, 절차 미준수 등으로 발생하는 인위적 재난으로 구분된다. 이러한 재난은 물류 흐름의 직접 중단, 지연시킬 수 있으며, 위험물을 포함한 경우 환경오염, 인명 피해로 이어질 수 있다.

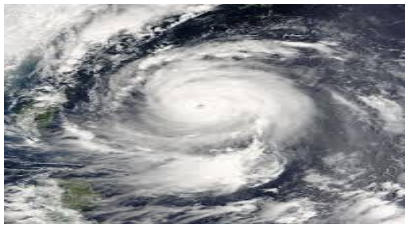
가. 자연적 재난

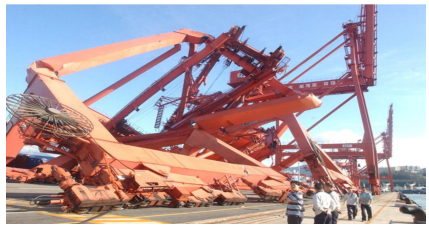
자연재해는 태풍, 지진, 홍수, 폭염 등 기후와 지질 요인에 의해 발생한다. 고온은 장비 과열이나 전력 장애를 유발하고, 태풍은 항만과 운송 인프라에 피해를 주어 물류 운영을 일시 중단시킬 수 있다.

2003년 9월 12일, 태풍 '매미'로 부산항에서 갠트리 크레인 6기를 포함한 다수의 장비가 전도·파손되었으며, 조사 결과 크레인 고정 장치의 손상이 붕괴 원인으로 확인되었다.[8)]

8) 해양수산부(검색일: 2025.8.1)

〈그림 2-1〉 자연적 재난 – 부산항 태풍 매미 크레인 피해 사례





자료: Towercrane Tistory(검색일: 2025.4.1.)

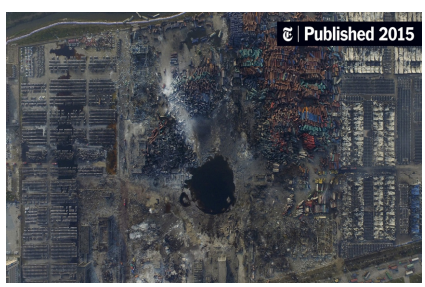
나. 인위적 재난

인위적 재난은 작업자 실수, 장비 결함, 설비 미비 등 관리 부실로 발생하고, 항만에서는 크레인 고장, 적재 불량, 화학물질 관리 소홀 등이 주요 요인으로 제기된다.

2015년 8월 중국 톈진항에서는 보관 중인 컨테이너에서 화재와 연쇄 반응이 일어나는 대형 사고가 발생했다. 원인은 건조 니트로셀룰로오스 발화와 질산암모늄 폭발로 확인되었다. 창고의 불법 위험물 저장과 안전관리 미흡으로 피해가 컸고, 이로 인해 통관·검역 중단 등 물류활동에 차질이 발생했다.

〈그림 2-2〉 인위적 재난 – 톈진항 폭발사고 사례





자료: KLinge(검색일: 2025.4.8.); Mira safety(검색일: 2025.4.8.); 원출처: New York Times(검색일: 2025.4.8.)

(2) 재해

물류공급망에서 재해는 재난으로 인한 피해를 의미하고, 인명 피해, 환경오염, 설비 손상 등이 발생한다. 인명 피해는 생명과 안전에 대한 위협, 환경오염은 화학물질 유출, 유해가스 방출로 인한 생태계 파괴, 설비 손상은 항만·물류 인프라의 기능 마비 등을 말한다. 이러한 피해는 복구에 많은 자원과 시간이 소요되어 사회·경제·환경 전반에 영향을 미칠 수 있다.

가. 자연적 재해

자연적 재해는 태풍, 지진 등 기후·지질 요인으로 발생하며 항만과 물류 네트워크에 직접적인 피해를 준다. 항만 시설이 파괴되면 기능이 중단되고, 도로·철도까지 마비되어 공급망 전체에 영향을 미칠 수 있다.

1995년 고베 대지진은 항만시설 파괴와 물류 시스템 마비를 초래해 수천 개의 컨테이너가 유실되고, 해양 환경에 피해가 발생했다. 항만 복구에는 수개월이 소요되었으며, 물동량 급감과 선박 기항지 변경으로 지역 경제와 글로벌 공급망에 차질이 빚어졌다.

〈그림 2-3〉 자연적 재해 – 일본 고베 대지진 항만 시설 피해 사례



자료: National Geographic(검색일: 2025.4.8.)

나. 인위적 재해

인위적 재해는 인위적 재난에 따른 피해를 의미하고, 크레인 고장이나 화학물질 유출 등이 대표적이다.

2024년 8월 중국 닝보항에서는 YM Mobility 선박의 컨테이너에서 플라스틱 원료인 테르트-부틸 퍼벤조에이트(TBPB)가 고온에서 전원 미연결 상태로 방치되어 열폭주를 일으키며 폭발 사고가 발생했다. 중국 해양안전청은 운송 관리 부주의와 냉장 컨테이너 전원 미연결을 원인으로 지적했다.

이 사고로 인접 컨테이너가 파손·추락하고, 갑판과 해치커버 일부가 변형되는 등 선체에 물리적 손상이 발생했다. 사고 후 터미널 운영이 일시 중단되고, 약 9천만 위안의 경제적 피해가 추정되는 등 큰 영향을 미쳤다. 고온 환경에서의 취급 기준 미준수와 리퍼 컨테이너 전원 관리 부실이 복합적으로 작용한 사례로 평가된다.

〈그림 2-4〉 인위적 재해 – 중국 닝보항 선박 폭발사고 사례



자료: Marine Insight(검색일: 2025.4.1.)

2. 물류공급망 관련 재난·재해 영향

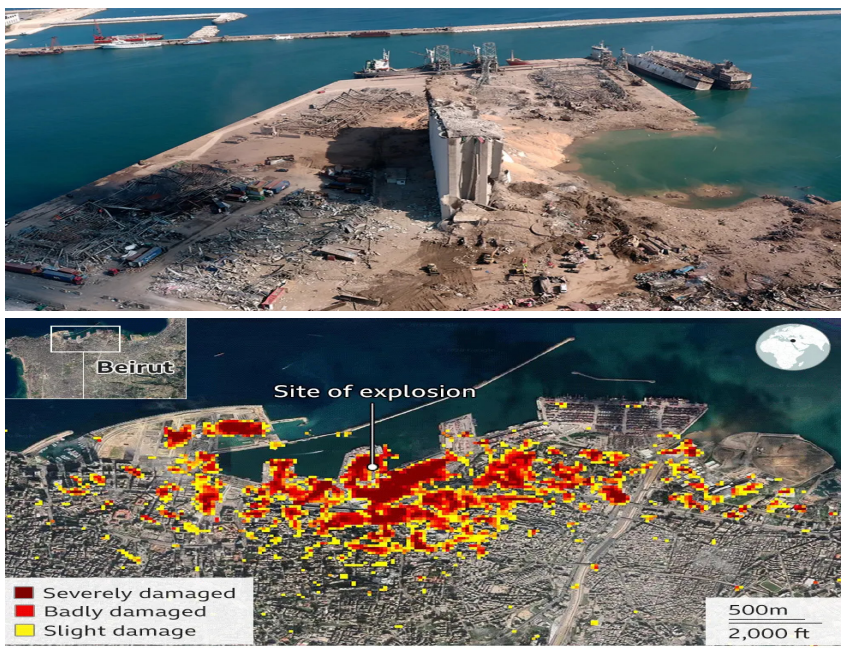
1) 인명 피해

재난·재해는 화재, 폭발, 화학물질 유출 등을 통해 작업자와 인근 주민의

생명과 안전을 위협한다. 이러한 사고는 단기적 피해를 넘어 치료·복구 과정에서 많은 자원이 소요된다.

2020년 8월 4일 레바논 베이루트 항만에서는 약 2,750톤의 질산암모늄이 보관된 창고 폭발로 약 200여 명이 사망하고. 수천 명의 부상자가 발생했다.

〈그림 2-5〉 인명 피해 – 레바논 베이루트 항만 폭발사고 사례



자료: BBC(검색일: 2025.4.1.)

2) 환경오염

환경오염은 화학물질의 누출이나 화재로 인해 대기·수질·토양에 피해를 초래하고, 특히 해상에서 발생할 경우 해양 생태계에 광범위한 영향을 미칠 수 있다. 2021년 5월 스리랑카 콜롬보 인근에서 발생한 MV X-Press Pearl호 화재·침몰 사고에서는 질산 등 일부 위험물이 적재된 컨테이너가

손상되며 해양으로 유출되었고, 위험물로 분류되지 않는 플라스틱 펠릿 약 80톤이 함께 해안으로 확산되어 대규모 환경오염이 발생했다.

공식 조사보고서에서는 화재의 발화가 누출된 질산 컨테이너에서 발생한 열분해 과정에 의해 촉발된 것으로 제시되어 플라스틱 펠릿이 직접적 원인으로 확인되지는 않았으나, 펠릿이 적재된 컨테이너 역시 화재·침몰 과정에서 손상되며 대량 유실이 발생해 해안 오염과 어업 금지 조치를 초래했다. 국제 규정상 해양오염물질로 분류되지 않는 펠릿이 관리 사각지대에 놓여 있었던 점도 복구 지연과 장기적 영향 확대에 영향을 미친 것으로 평가된다.

〈그림 2-6〉 환경 오염 – 스리랑카 콜롬보 해상 선박사고 사례



자료: 뉴데일리(검색일: 2025.4.1.)

3) 인프라 손상

항만 재난·재해는 크레인 고장, 컨테이너 처리 장비 파손 등 물류 인프라 손상을 통해 직접적으로 물류 흐름을 방해할 수 있다. 예를 들어 2024년 6월 싱가포르 투아스항에서 신규 기계식 크레인이 설치 중 전도된 사고는 장비 불안정에 따른 인프라 손상 사례이다.

조사 결과 더블 트롤리(Double-Trolley) 구조 특성상 설치 과정에서의 무게중심 계산, 임시 지지 구조, 기초 안정성 검증 절차 등에서 오차가 발생했을 가능성이 제기되었다.

〈그림 2-7〉 인프라 손상 – 싱가포르 투아스항 크레인 전도 사고 사례



자료: QMS Marine Surveyors(검색일: 2025.8.10)

제2절 물류공급망 관련 재난·재해 현황[9)]

1. 항만 재난·재해 현황

본 연구에서는 항만 및 배후단지에서 발생할 수 있는 재난·재해를 검토한다. 연구 대상은 위험물 컨테이너의 적재·보관·운송 과정에서 발생한 사고를 중심으로 하고, 컨테이너 유형은 드라이 컨테이너, 탱크 컨테이너, 냉동·냉장 컨테이너를 포함한다.

컨테이너에 적재된 위험물은 국제해사기구(IMDG) 분류 체계와 국내 「위험물안전관리법」, 「화학물질관리법」 등 관련 법령에서 지정한 물질을 대상으로 한다. 공간적 범위는 「항만법」 제2조 제4항에 따른 수상구역과 육상구역 및 인접한 항만 배후단지를 포함한다.

1) 국내 항만 관련 재난·재해 현황

국내 항만 관련 재난·재해 및 대응조치 현황 사례는 화학물질종합정보시스템[10)]에 등록된 '화학물질 사고 현황 및 사례'를 활용했다. 해당 시스템에 수록되지 않은 사건은 "위험물 컨테이너 누출", "항만 화학물질 사고" 등의 키워드로 추가 검색해 보완했으며, 각 사건에 대해 언론 보도 3건 이상을 교차 검증해 최종적으로 10건의 국내외 재난·재해 사례를 선별했다.

(1) 본선 작업 (해상 ⇄ 항만 구역)

본선 작업 과정에서 발생할 수 있는 재난·재해는 주로 해상에서 항만구

9) 구체적인 내용은 부록 2. 물류공급망 관련 재난·재해 사례 참조
10) 화학물질종합정보시스템(검색일: 2025.7.2)

역으로의 선박 이동이나 항만 내 접안과 관련된 사고에서 비롯된다. 본 연구에서는 이러한 작업 중 발생하는 사고가 본선과 항만 사이의 상호작용에서 주로 발생하는 위험물 컨테이너를 선적하거나 하역할 때 발생할 수 있는 충돌이나 누출 사고를 대상으로 한다.

가. 광양항 에틸리덴 노보르닌 20톤 해상 유출 사고

2022년 2월 15일 새벽, 전남 광양항에서 파나마 선적 컨테이너선의 양하 작업 중 크레인 고정장치가 파손되어 컨테이너가 추락했고, 화학물질 에틸리덴 노보르닌[11] 약 20톤이 선내와 해상으로 유출되었다. 해경은 방오포 설치와 유출물질 처리 등을 실시했으며, 초기 검사에서는 오염이 확인되지 않았으나 화재와 2차 오염 위험이 제기되었다.

〈그림 2-8〉 광양항 에틸리덴 노보르닌 해상 유출 사고 사례



자료: 남도방송(검색일: 2025.5.1.); 원출처: 여수해양경찰서(검색일: 2025.5.1.)

나. 부산항 신항 DINP 플렉시 탱크 파손·해상 누출 사고

2023년 7월 20일, 부산항 신항에서 선적 작업 중 컨테이너가 선박 난간에 충돌해 내부 플렉시 탱크가 파손되었고, 이로 인해 다이아이소노닐프탈레이트(DINP)[12] 약 177리터가 해상으로 누출되었다. 사고는 '누출' 유형

11) 합성고무 원료로 사용되는 인화성 액체로, 증기가 공기보다 무거워 밀폐 공간에서 폭발 위험이 크고, 피부·호흡기 자극성을 지녀 취급 시 철저한 안전 관리가 요구

12) 급성 독성은 낮으나 분해가 어렵고 장기간 잔류해 생물축적 및 내분비계 교란 가능성이 있으며, 수생 생물

으로 기록되었으며, 원인은 안전 기준 미준수, 결과는 해양 환경 오염으로 분류된다.

다. 울산신항 DOTP 플렉시백 파손 및 해상 유출 사고

2024년 2월 2일, 울산신항컨테이너터미널에서 선적 작업 중 컨테이너가 정박 중이던 선박의 컨테이너 고정 레일에 충돌해 내부 플렉시백(액체 화물 운송용 파우치)이 파손되었다. 이로 인해 디옥틸테레프탈레이트(DOTP)[13] 약 40리터가 해상으로 유출되었으며, 화학물질종합정보시스템에 따르면 사고는 '누출', 원인은 안전 기준 미준수, 결과는 해양 환경 피해로 분류되었다. 인명·재산 피해는 없었으나, 유출물질로 인한 해양 생태계 오염 가능성이 제기되었다.

라. 부산항 FMA-2P 누출 사고

2024년 5월 18일, 부산항에서 수출용 컨테이너 선적 중 약 1,000L 용량의 IBC(대형 액체 운송용기) 고정 불량으로 FMA-2P[14] 약 200L가 누출되었다. 화학물질종합정보시스템 등록 자료에 따르면 사고는 '누출'로 분류되었고, 원인은 안전 기준 미준수였고, 인명·재산 피해는 보고되지 않았다.

마. 부산항 신항 비스(2-에틸헥실)프탈레이트 누출 사고

2024년 6월 18일, 부산항 신항에서 환적화물 컨테이너 재선적 과정 중 내부에 적재된 비스(2-에틸헥실)프탈레이트(DEHP, 100%)[15] 용기가 파손되어 누출이 발생했다. 화학물질종합정보시스템 등록 자료에 따르면 사고

에 독성을 유발할 수 있음

13) 급성 독성은 낮으나 눈·피부에 자극을 줄 수 있고, 분해가 어려워 장기간 잔류하며 수생 생물에 만성 독성을 유발할 수 있음

14) 질산(49-59%)은 부식성과 조직 자극성이 있으며, 아세트산(1-10%)은 눈·호흡기 자극 및 수생 독성을, 불산(0.1-0.99%)은 피부·뼈 조직에 침투해 칼슘 결핍을 일으킬 수 있는 부식성 물질

15) 플라스틱 가소제로 사용되며, 급성 독성은 낮으나 내분해성이 낮아 환경 잔류 및 생물 축적 가능성이 있고, 내분비계 교란 등 만성 독성을 유발할 수 있음

는 '누출'로 분류되었고, 원인은 작업 중 안전 기준 미준수였다. 인명·재산 피해는 보고되지 않았다.

〈표 2-1〉 국내 항만 본선 작업 위험물 컨테이너 재난·재해 사고개요 및 영향

구분	사고 개요	원인	피해 규모
광양항	• '컨' 낙하로 에틸리덴 노보르닌 20t 유출	• 크레인 고정장치 파손	• 해양 오염 의심 • 인명·재산 피해 없음
부산항 신항	• DINP 플렉시 탱크 파손, 177L 해상 유출	• 안전 기준 미준수	• 약 177 L 해상 누출 • 인명·재산 피해 없음
울산신항	• DOTP 플렉시백 파손, 40L 해상·육상 유출	• 안전 기준 미준수	• 약 40 L 해상 누출 • 인명·재산 피해 없음
부산항	• IBC 드럼 고정 불량으로 FMA-2P 200L 누출	• 드럼 밀봉·고정 불량	• 약 200 L 해상 누출 • 인명·재산 피해 없음
부산항 신항	• 2-에틸헥실프탈레이트 용기 파손, 누출 발생	• 안전 기준 미준수	• 인명·재산 피해 없음 • 환경 오염 우려

자료: 사고 사례를 바탕으로 저자 작성

(2) 야드 보관·적재·하역·이송 작업

항만 내 컨테이너의 보관, 적재, 하역 및 이송 작업과정에서 발생하는 재난·재해는 주로 설비 고장, 작업자 실수, 불안전한 작업 환경 등에서 발생하고, 특히 위험물 컨테이너 관리가 미흡하거나 안전 장비가 부족할 경우 사고 가능성이 높아질 수 있다.

가. 인천신항 푸르푸릴 알코올 탱크 컨테이너 사고

2015년 9월 7일, 인천신항 야드에서 합성수지 원료인 푸르푸릴 알코올[16] 약 24톤이 적재된 탱크 컨테이너가 내부 압력 상승으로 사고가 발생해 일부 내용물이 유출되었다. 인명·재산 피해는 보고되지 않았으며, 원인은 잔존 물질 세척 미흡으로 인한 화학반응으로 추정되었다. 관계기관은

16) 인화성 액체로, 노출 시 자기중합 위험성과 피부·호흡기 자극성, 중추신경계 영향

현장 조사와 잔류물 처리, 안전점검을 실시하고 예방대책 마련을 추진했다.

〈그림 2-9〉 인천 신항 탱크 컨테이너 폭발 사고 사례



자료: 데일리로그(검색일: 2025.5.1.)

나. 부산항 신항 톨루엔 희석액 10ℓ 누출 사고

2017년 11월 30일 부산항에서 탱크로리가 전도되며 적재 중이던 톨루엔 희석액[17] 약 10ℓ가 도로로 유출되었다. 조사 결과 운전 부주의와 차량 결속장치 미설치가 원인으로 확인되었다. 인명 피해는 보고되지 않았으며, 소방당국이 유출액을 회수·제거하고 현장 검사를 시행했다.

〈그림 2-10〉 부산항 신항 톨루엔 희석액 누출 사고 사례



자료: 연합뉴스(검색일: 2025.5.1.); 원출처: 부산소방재난본부(검색일: 2025.5.1.)

17) 인화성과 중추신경계 억제 독성을 지닌 물질로, 대기 중 휘발이나 수계 유입 시 환경에 위해를 줄 수 있음

다. 울산신항 울산신항 무수 불산 누출 사고

2018년 4월 울산신항에서 보관 중이던 탱크 컨테이너의 배관 결함으로 약 30ℓ의 무수 불산(HF) 가스[18]가 누출되었다. 이번 사고와 관련해 인명·재산·환경 피해는 공식적으로 보고되지 않았다.

라. 부산항 신항 드라이 컨테이너 삼염화인 누출 사고

2018년 8월 부산 신항에서 드라이 컨테이너 상차 작업 중 문 밀봉 불량으로 농약 원료 삼염화인(Chloropicrin)[19] 약 18.5톤 중 일부가 누출되는 사고가 발생했다. 인명·재산 피해는 보고되지 않았으며, 소방당국은 현장을 통제하고 흡착포 설치 및 잔류 물질 수거 등 안전조치를 실시했다.

〈그림 2-11〉 부산 신항만 내 드라이 컨테이너 삼염화인 누출 사고 사례



자료: 국제신문(검색일: 2025.5.1.); 네이트뉴스(검색일: 2025.5.1.); 원출처: 부산소방재난본부(검색일: 2025.5.1.)

18) 강한 부식성과 독성을 지닌 물질로, 접촉 시 화상과 호흡기 손상을 유발하며 금속·토양·수계의 부식과 pH 변화를 일으킬 수 있음

19) 강한 자극성과 독성을 지닌 물질로, 흡입 시 호흡기 손상과 폐부종을, 접촉 시 눈·피부 자극을 유발할 수 있음

〈표 2-2〉 국내 항만 야드 위험물 컨테이너 재난·재해 사고개요 및 영향

구분	사고 개요	원인	피해 규모
인천신항	• 푸르푸릴 알코올 탱크 '컨' 내부 압력 상승, 일부 유출	• 잔존물 세척 미흡	• 인명·재산 피해 없음
부산항 신항	• 톨루엔 희석액 10ℓ 도로 유출	• 운전 부주의·결속 미설치	• 톨루엔 희석액 10L 유출 • 인명·화물 피해 없음
울산신항	• 무수 불산 탱크 '컨' 배관 결함, 30ℓ 가스 누출	• 배관 결함	• 인명·재산·환경 피해 없음
대산항	• 아스팔트 원료 탱크로리 전도·화재 발생	• 차량 충돌	• 약 5,500만 원 재산 피해 • 인명 피해 없음
부산항 신항	• 드라이 '컨' 삼염화인 문 밀봉 불량, 일부 누출	• 밀봉 불량	• 인명·재산 피해 없음 • 환경 오염 우려

자료: 사고 사례를 바탕으로 저자 작성

2) 국외 항만 관련 재난·재해 현황

국외 항만에서 발생한 재난·재해 사례를 조사하기 위해 국내외 기관 보고서와 학술 논문을 검토하고, "위험물 컨테이너 누출", "항만 화학물질 사고" 등 관련 키워드로 검색된 언론 보도를 추가 활용했다. 각 사례는 언론 보도 3건 이상을 교차 검증해 6건의 사례를 제시한다.

(1) 본선 작업 (해상 ⇄ 항만 구역)

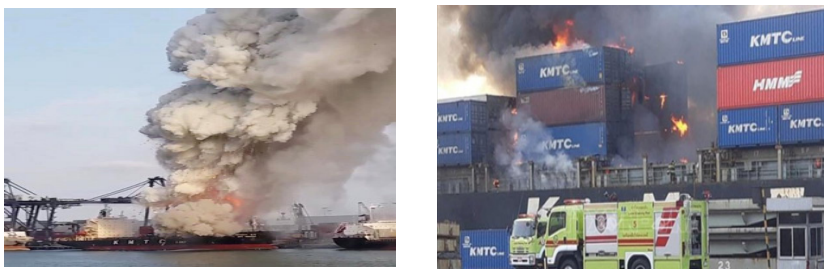
본선 작업에서 발생하는 재난·재해는 선박 접안 과정이나 선박과 항만 간 화물 연계 작업 중 충돌, 컨테이너 하역 불안정, 위험물질 유출 등으로 나타날 수 있다.

가. 태국 람차방항 컨테이너선 화재·폭발 사고

2019년 5월 태국 람차방항 정박지에서 컨테이너선 화재와 폭발이 발생했다. 선박 적재 화물 중 효포염산칼슘과 염화파라핀이 확인되었고, 일부는 위험물로 신고되지 않아 관리 체계에서 누락된 것으로 보고되었다. 동 사고로 약 130명이 연기 흡입이나 화상으로 치료를 받았고, 인근 지역에 유

해 연기가 확산되었다. 태국 항만청은 화재를 진압한 후 원인 조사와 위험물 신고 절차 검토를 진행했다.

〈그림 2-12〉 태국 람차방 컨테이너선 화재·폭발 사고 사례

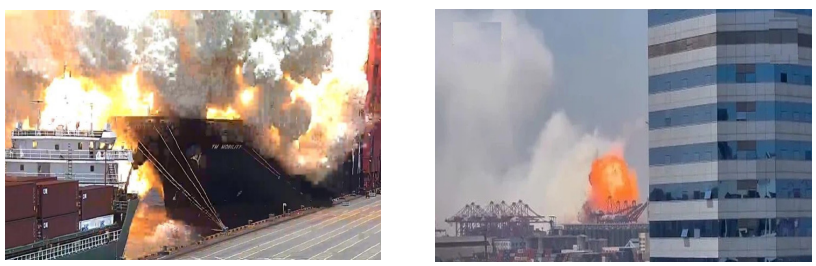


자료: Oceanwide Logistics Global Network(검색일: 2025.4.8.)

나. 중국 베이룬항 정박 컨테이너선 폭발사고

2024년 8월 중국 베이룬항에 정박 중이던 컨테이너선에서 폭발 사고가 발생했다. 선미 부근 컨테이너에는 열적으로 불안정한 유기 과산화물 TBPB (tert-Butyl peroxybenzoate)[20]가 적재되어 있었으며, 전원 연결이 해제된 냉장 컨테이너 내부 온도가 고온 환경에서 상승하면서 자가 발열 반응이 일어난 것으로 확인되었다. 조사 결과, 해당 화물의 특성과 운송 장치의 관리 미흡이 복합적으로 작용해 열폭주가 발생한 것으로 보고되었다.

〈그림 2-13〉 중국 베이룬 터미널 컨테이너선 폭발사고 사례



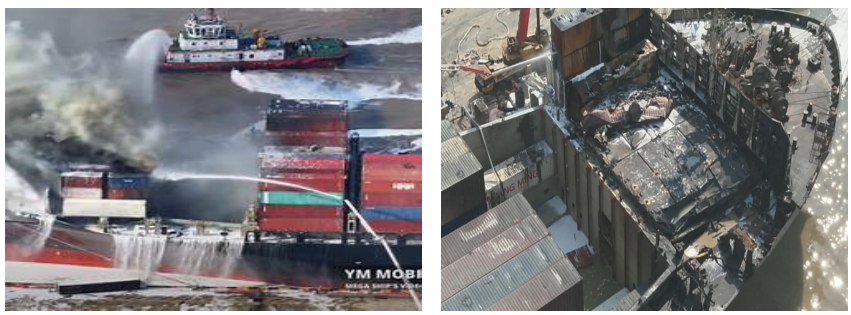
자료: WorldCargo news(검색일: 2025.4.8.); 원출처: China Maritime Safety Administration(검색일: 2025.4.8.)

20) 플라스틱 제조 공정에 사용되는 유기 과산화물로, 열적으로 불안정해 고온에서 분해 시 급격한 발열과 가스 방출

중국 해사안전국(CMSA)은 운송업체와 선적업체가 고온 환경에서 자가 발열성 화학물질에 대한 위험성 평가와 냉장 컨테이너 관리 의무를 제대로 이행하지 못한 점을 사고 원인으로 지적했다.

사고 이후 CMSA는 냉장 컨테이너의 상시 전원 연결, 고온 위험물 사전 안전성 평가, 온도 모니터링 의무화 등 관리 지침을 강화했다.

〈그림 2-14〉 중국 베이룬 터미널 컨테이너선 폭발사고 사후 조치

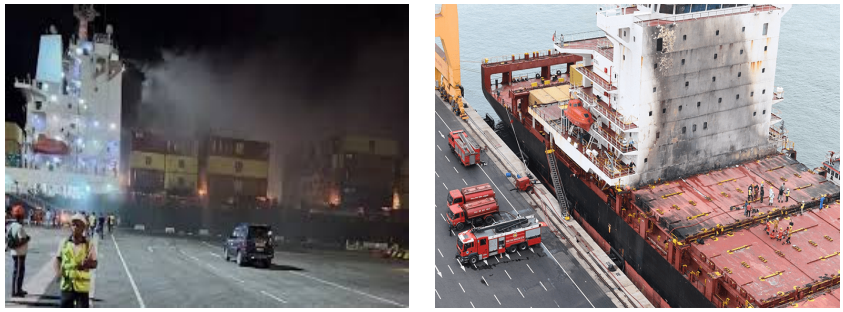


자료: China Maritime Safety Administration(CMSA) (2025.4.14.)

다. 스리랑카 자야 터미널(JCT) 컨테이너선 폭발 사고

2024년 8월, 스리랑카 항만에 정박 중이던 컨테이너선에서 갑판 하부의 컨테이너 폭발로 화재가 발생했다. 조사에서는 위험물이 포함된 컨테이너에서 발화했을 가능성이 제기되었다. 항만 당국 소속 소방대는 CO_2 소화 설비와 방제 장비 등을 동원해 화재를 진압했고, 선원과 작업자는 안전하게 대피했다.

〈그림 2-15〉 자야 터미널 컨테이너선 폭발 사고도



자료: SDI Logisticsl, Breaking News! MSC Container Ship Caught Fire Again At The Port (검색일: 2025.4.8.); INSPENET(검색일: 2025.4.8.)

〈표 2-3〉 국외 항만 본선 작업 위험물 컨테이너 재난·재해 사고개요 및 영향

구분	사고 개요	원인	피해 규모
라엠차방 항	• '컨'선에서 대규모 화재·폭발 발생	• 위험물 미신고·오표기	• 130명 이상 부상 • 약 314만 USD 재산 피해
베이룬 항만	• TBPB 함유 '컨' 내 자가 발열 반응으로 폭발 발생	• TBPB 자가 분해 열폭주, 냉장 '컨' 전원 미연결	• 인명·재산 피해
자야컨 터미널	• 선박 갑판 아래 '컨' 폭발 후 화재 발생	• 위험물 적재 '컨' 내부에서 폭발 발생	• 재산·환경 피해

자료: 사고 사례를 바탕으로 저자 작성

(2) 야드 보관·적재·하역·이송 작업 (항만 내)

국외 항만의 야드 작업에서는 설비 고장, 인력 부족, 작업자 실수 등으로 위험물 취급 사고가 발생할 수 있다. 대형 크레인이나 하역 장비의 결함, 위험물의 부적정 취급은 사고 규모를 확대시킬 가능성이 있다. 이러한 요인은 항만 내 재난·재해의 주요 원인으로 지적된다.

가. 텐진항 빈하이신구 류하이 국제물류 창고 폭발사고

2015년 8월 중국 텐진 빈하이신구의 류하이 국제물류 창고에서 보관 중이던 위험물질이 발화·폭발해 대규모 피해가 발생했다. 조사 결과, 고온에

서 습윤제가 증발한 니트로셀룰로오스가 자발적으로 발화했고, 창고에 보관 중이던 질산암모늄 등과 반응하면서 연쇄 폭발로 이어졌다.

현장에는 시안화나트륨 등 허용 기준을 초과한 위험물이 불법으로 보관되어 있었으며, 이로 인해 인명과 재산에 대한 피해가 커졌다. 초기 대응 시 화학물질의 특성이 정확히 파악되지 않아 진압 과정에서 피해가 더욱 확산된 것으로 나타났다.

〈그림 2-16〉 중국 톈진항 국제물류 창고 폭발사고 사례



자료: CCTV(검색일: 2025.4.8.)

2015년 톈진항 폭발사고 이후, 중국 정부는 합동 조사팀을 구성해 전국 위험물 저장소 약 10,270곳을 점검하고, 이 중 2,550여 곳을 폐쇄했다. 2016년에는 특별조사보고서를 통해 위험물의 취급, 저장, 운송에 대한 관리·감독과 처벌 기준을 강화했다.

이후 2018년부터는 빅데이터를 기반으로 한 스마트 관리체계 도입을 위한 3개년 계획을 수립·시행했다. 2023년에는 항만 기반시설 유지관리 의무와 함께 위험화학물질의 등록 및 모니터링 관련 규정을 마련하였고, 2024년에는 국가 차원의 안전관리 3개년 계획을 통해 관련 교육, 현장 점검, 법 집행을 강화했다.

나. 레바논 베이루트 항만 폭발사고

2020년 8월 레바논 베이루트 항만 창고에 장기간 보관 중이던 약 2,750톤의 질산암모늄에서 화재가 발생해 대규모 폭발로 이어졌다. 이 사고로 약 200여 명이 사망하고, 수천 명이 부상했으며 항만과 인근 도심이 크게 파손되었다. 질산암모늄은 비료로 사용되었으나, 폭발 위험이 높은 물질로 장기간 부적절하게 보관된 점이 사고의 원인으로 지적되었다. 사고 이후 레바논 정부는 항만 내 위험물 관리 강화와 안전 점검을 실시했으며, 국제사회는 긴급 구호와 항만 재건 지원에 나섰다.

〈그림 2-17〉 레바논 베이루트 항만 폭발사고 사례



자료: BBC(검색일: 2025.4.8.)

다. 이란 반다르아바스 항만 폭발 사고

2025년 4월 이란 반다르아바스 항만에서 폭발 사고가 발생해 다수의 인명 피해와 시설 손상이 보고되었다. 당국은 항만 내 위험물질의 부적절한 저장·관리로 인한 화재가 원인이고, 질산암모늄·과염소산나트륨 등 산화성 화학물질이 폭발로 이어졌을 가능성이 제기되었다. 사고 후 긴급 구조와 화재 진압이 진행되었으며, 정부는 항만 안전 관리 강화와 위험물 취급 규제 개선을 추진하겠다고 밝혔다.

〈그림 2-18〉 반다르아바스 항만 폭발 사고 사례




자료: EURO NEWS(검색일: 2025.4.8.)

〈표 2-4〉 국외 항만 야드 위험물 컨테이너 재난·재해 사고개요 및 영향

구분	사고 개요	원인	피해 규모
톈진항	• 니트로셀룰로오스 발화로 질산암모늄 등 연쇄 폭발	• 고온 환경·불법 과다 저장	• 사망 173명, 부상 798명 • 약 20억 USD 피해
베이루트항	• 2,750t 질산암모늄 화재·폭발, 대규모 피해	• 장기간 방치된 질산암모늄 폭발	• 사망 218명, 부상 7,000명 • 대규모 재산 피해
반다르아바스항	• 위험물 부적절 저장·관리 화재, 폭발 확산	• 안전 수칙 미준수·부주의	• 사망 70명, 부상 1,200명 • 대규모 재산 피해

자료: 사고 사례를 바탕으로 저자 작성

2. 육상운송 재난·재해 현황

육상운송 재난·재해는 도로와 철도 구간에서 위험물 컨테이너의 적재·보관·운송 과정 중 발생하는 사고를 중심으로 다룬다. 연구 대상은 드라이 컨테이너, 탱크 컨테이너, 냉동·냉장 컨테이너이며, 적재 위험물은 국제해사기구(IMDG) 분류와 국내 「위험물안전관리법」, 「화학물질관리법」에 따라 지정된 물질을 포함한다. 공간적 범위는 도로의 경우 「도로법」과 「화물자동차 운수사업법」, 철도의 경우 「철도법」과 「철도사업법」에서 규정하는 범위에 의거한다.

1) 국내 도로 관련 재난·재해 및 대응조치 현황

국내 도로 및 철도에서 발생한 재난·재해 사례는 화학물질종합정보시스템의 '화학물질 사고현황 및 사례'를 기본 자료로 활용하고, 추가적으로 "위험물 컨테이너 누출", "도로·철도 화학물질 사고" 등의 키워드를 검색해 보완했다.

(1) 도로

도로에서 발생하는 재난·재해는 위험물 컨테이너의 적재, 보관, 운송 과정에서 주로 발생하고, 화학물질 누출과 폭발이 대표적 유형이다. 연구 대상은 드라이 컨테이너, 리퍼 컨테이너, 탱크 컨테이너이며, 적재된 위험물은 국제해사기구(IMDG) 분류 체계와 국내 관련 법령에서 지정한 물질을 포함한다.

가. 시흥시 컨테이너 트레일러 전복 및 불산 유출 사고

2013년 5월 경기도 시흥시 도로에서 컨테이너 트레일러가 전복되며 적재 드럼 일부가 파손되어 약 40ℓ의 불산(농도 55%)이 누출되었다. 총 적재량은 18.8톤이었으며, 인명 피해는 보고되지 않았다. 사고 후 도로가 통제되고, 중화 작업이 이루어졌으며 인근 주민은 예방 차원에서 대피 조치가 시행되었다. 관계기관 조사에서는 대기 중 불산이 검출되지 않았다.

〈그림 2-19〉 시흥시 컨테이너 트레일러 전복 및 불산 유출 사고 사례



자료: 시흥환경운동연합(검색일: 2025.4.8.); 연합뉴스(검색일: 2025.4.8.)

나. 광양 컨테이너 차량 사고 및 디옥틸프탈레이트 누출 사고

2014년 5월 전라남도 화순군 도로에서 광양항으로 향하던 컨테이너 트레일러가 추돌 사고를 일으켜 적재된 플렉시백 일부가 파손되며 약 500ℓ의 디옥틸프탈레이트(DOP)와 경유, 엔진오일이 누출되었다. 총 적재량은 20톤이고, 인명·재산 피해는 보고되지 않았다. DOP 일부가 수계로 유입되었고, 환경피해가 발생한 것으로 확인되었다.

다. 부산 남해고속도로 컨테이너 차량 사고 및 혼합액 누출 사고

2015년 6월 부산 남해고속도로에서 운행 중이던 컨테이너 차량에서 용기 파손으로 프로필렌글리콜 모노메틸 아세테이트(70%)와 1-메톡시-2-하이드록시프로판(30%) 혼합액 약 0.7㎥가 누출되었다. 사고는 운송 과정에서의 누출형 사고로 분류되었다.

라. 부산 남해고속도로 컨테이너 차량 전복 및 혼합액 누출 사고

2015년 7월 울산에서 운행 중이던 컨테이너 차량이 급회전 과정에서 전복되고, 적재된 라텍스 혼합물(스티렌·1,3-부타디엔 공중합체) 용기 1개가 파손되어 약 100ℓ가 누출되었다. 스티렌과 1,3-부타디엔은 인체와 환경에

유해할 수 있는 물질로 알려져 있다. 사고는 누출형 교통사고로 분류되었다.

마. 광양항 인근 컨테이너 차량 전복 및 MDI 추정물질 유출사고

2015년 7월 전남 광양시 인근에서 주행 중이던 컨테이너 차량이 전복되어 MDI(폴리메틸렌 폴리페닐 아이소사이네이트)로 추정되는 물질 약 180kg이 도로에 유출되었다. 관계기관이 방제 작업을 실시했고, 인명 및 재산 피해는 보고되지 않았다.

바. 광양항 컨테이너 터미널 운반 트럭 전도 및 MDI 누출 사고

2018년 4월 전라남도 광양시에서 컨테이너 터미널로 이동 중이던 운반 트럭이 전도되면서 탱크에 보관된 약 2.1톤의 MDI(4,4'-디이소시안산 디페닐메탄)가 누출되는 사고가 발생했다. 인명 및 재산 피해는 보고되지 않았으나 도로 오염이 발생했다.

〈표 2-5〉 국내 육상 도로 위험물 컨테이너 재난·재해 사고개요 및 영향

구분	사고 개요	원인	피해 규모
경기 시흥시	• 컨테이너 전복으로 불산 40L 유출	• 적재 불안정	• 불산 희석액 40L 유출 • 인명 피해 없음
전남 화순군	• 트레일러 추돌로 DOP 500L 등 유출	• 운송차량 추돌	• DOP 500L 유출·경유·엔진오일 유출 • 환경 피해 가능성
부산 강서구	• 컨테이너 차량 용기 파손, 혼합액 0.7㎥ 유출	• 용기 파손	• 혼합액 약 0.7㎥ 유출 • 인명·재산 피해 없음
울산 남구	• 급회전으로 차량 전복, 라텍스 혼합물 100L 유출	• 급회전·용기 파손	• 약 100L 누출 • 인명·재산 피해 없음
전남 광양시	• 트레일러 전복으로 '컨' 추락, MDI 180kg 유출	• 차량 전복·고정 불량	• 약 180kg 유출 • 인명·재산 피해 없음
전남 광양시	• 운반 트럭 전도로 IBC 탱크 파손, MDI 2.1t 유출	• 차량 전도	• 약 2.1톤 누출 • 인명·재산 피해 없음

자료: 사고 사례를 바탕으로 저자 작성

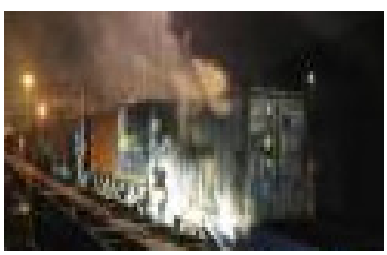
(2) 철도

철도운송 과정에서 발생할 수 있는 재난·재해는 위험물 컨테이너의 탈선, 누출 사고 등으로 구분된다. 연구 대상은 드라이 컨테이너, 리퍼 컨테이너, 탱크 컨테이너 등에 적재된 IMDG 분류 위험물과 국내 관련 법령에서 규정하는 지정 물질을 포함한다. 철도는 광범위한 노선을 따라 대량 운송이 이루어지므로 사고 발생 시 물류 차단과 시설 손상으로 공급망에 영향을 미칠 수 있다.

가. 경기도 의왕시 오봉역 과탄산나트륨 적재 화물열차 화재

2017년 8월 경기도 의왕시 오봉역에서 과탄산나트륨을 적재한 화물열차에서 화재가 발생했다. 원인은 노후 컨테이너에 수분이 침투하면서 화학반응이 일어난 것으로 보고되었다. 과탄산나트륨은 수분 및 특정 조건에서 유해 물질을 방출할 수 있어 환경적 위험을 수반한다. 화재는 약 2시간 반만에 진화되었고, 인명 피해는 보고되지 않았다.

〈그림 2-20〉 의왕시 오봉역 과탄산나트륨 적재 화물열차 화재도





자료: 국립재난안전연구원(검색일: 2025.4.8.); 한국건설신문(검색일: 2025.4.8.)

〈표 2-6〉 국내 육상 철도 위험물 컨테이너 재난·재해 사고개요 및 영향

구분	사고 개요	원인	피해 규모
경기 의왕시 오봉역	• 과탄산나트륨 적재 화물열차 화재 발생	• 노후 '컨' 파손으로 수분 화학 반응 발생	-

자료: 사고 사례를 바탕으로 저자 작성

2) 국외 도로·철도 관련 재난·재해 현황

국외 도로와 철도에서 발생한 재난·재해 사례를 조사하기 위해 국내 기관 보고서와 학술 논문을 참고했고, 추가적으로 "위험물 컨테이너 누출", "도로 화학물질 사고", "철도 화학물질 사고" 등의 키워드를 활용해 언론 보도를 검증했다. 교차 확인을 통해 도로 사고 4건과 철도 사고 5건을 선별했다.

(1) 도로

국외 도로 사고는 위험물 컨테이너 운송 중 발생하는 화학물질 유출, 화재, 폭발, 교통사고 등이 주요 유형으로 나타난다. 이러한 사고는 인명 피해와 환경오염으로 이어질 수 있고, 각국은 자국 법규와 안전 절차에 따라 피해를 최소화하기 위한 대응 체계를 운영하고 있다.

가. 독일 마그데부르크 컨테이너 트럭 다중 충돌 및 화재

2023년 8월 독일 마그데부르크 인근 A2 고속도로에서 컨테이너 트럭을 포함한 다중 충돌 사고가 발생했다. 사고 과정에서 질소산화물(NOx) 고압 탱크를 적재한 차량이 포함되어 화재와 폭발이 이어졌으며, 일부 독성 물질이 유출된 것으로 보고되었다. 현장에는 약 650m의 안전 구역이 설정되어 접근이 제한되었고, A2 고속도로 구간은 약 12시간 동안 통제되었다. 관계기관은 화학물질 적재 상태와 운송 과정의 관리 미흡이 원인일 가능성을 지적했다.

이 사고로 트럭 운전자 2명이 사망하고 일부 부상자가 발생했으며, 유해물질 유출 가능성으로 인해 약 650m의 안전구역이 설정되고 A2 고속도로가 12시간 이상 통제되었다. 화재 진압과 위험 제거 작업이 이어지면서 주변 교통과 물류 흐름에 일시적인 차질이 발생한 것으로 보고되었다.

〈그림 2-21〉 독일 마그데부르크 컨테이너 트럭 다중 충돌 및 화재도




자료: INDEPENDENT(검색일: 2025.4.8.); Telegrafi(검색일: 2025.4.8.)

나. 미국 매사추세츠주 I-495 컨테이너 트럭 화재 사고

2024년 10월 미국 매사추세츠주 I-495 고속도로에서 위험 화학물질을 적재한 컨테이너 트럭에서 화재가 발생했다. 트레일러에는 에테르, 아세톤, 비료, 페인트류 등 가연성 화학물질이 포함되어 있었으며, 화재 확산과 함께 일부 폭발이 동반되었다. 이로 인해 고속도로 북쪽 구간이 약 12시간 동안 폐쇄되었으며, 관계기관이 화재 진압과 방제 조치를 수행했다. 사고 원인은 화학물질의 혼재 및 저장 관리 미흡 가능성이 지적되었다.

〈그림 2-22〉 미국 매사추세츠주 컨테이너 트럭 화재도




자료: Boston Herald(검색일: 2025.4.8.)

다. 미국 캘리포니아주 I-15 고속도로 리튬 배터리 적재 트럭 전복·화재 사고

2024년 7월 미국 캘리포니아주 I-15 고속도로에서 리튬이온 배터리를 적재한 트럭이 전복되며 화재가 발생했다. 배터리의 열폭주(thermal runaway) 현상으로 화재 진압에 장시간이 소요되었고, 도로가 약 44시간 폐쇄되면서 교통과 물류 흐름에 지장이 발생했다. 관계기관은 긴급 대응을 통해 화재 진압 및 우회 교통을 관리했다. 사고 이후 미국 의회에서는 리튬 배터리 운송 안전 규제 강화 필요성이 제기되었다.

〈그림 2-23〉 미국 캘리포니아주 고속도로 리튬 배터리 적재 트럭 전복 및 화재도

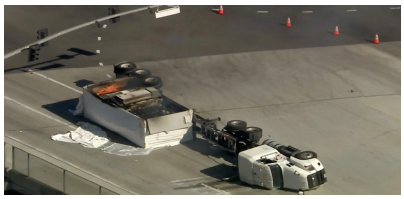


자료: YahooNews(검색일: 2025.4.8.)

라. 미국 캘리포니아주 47번 도로 리튬 배터리 운반 컨테이너 트럭 전복 및 화재

2024년 9월 미국 캘리포니아주 47번 도로에서 리튬이온 배터리를 운반하던 트럭이 전복되며 화재가 발생했다. 사고는 열폭주 현상으로 확산되었고, 인근 도로 약 7마일 구간이 이틀간 폐쇄되었다. 관계기관은 배터리를 분리·이동 후 모니터링을 통해 화학반응이 안정될 때까지 관리했다. 이번 사고는 리튬 배터리 운송 중 발생할 수 있는 화재 대응의 어려움과 물류 차질 가능성을 보여주며 운송 안전 규정 강화 필요성이 제기되었다.

〈그림 2-24〉 미국 캘리포니아주 리튬 배터리 운반 컨테이너 트럭 전복 및 화재도




자료: LA Times(검색일: 2025.4.8.); SDI Logistics, Lithium Battery Fire Forces Multiple Ports in Los Angeles/Long Beach To Close(검색일: 2025.4.8.)

〈표 2-7〉 국외 육상 도로 위험물 컨테이너 재난·재해 사고개요 및 영향

구분	사고 개요	원인	피해 규모
독일 마그데부르크 A2 고속도로	• 트럭 5대 연쇄 충돌·화재로 질소산화물 탱크 폭발, 유해 연기 확산	• 운송 부주의·저장 관리 미흡	
미국 매사추세츠 I-495	• '컨' 트럭 화재·폭발, 고속도로 12시간 차단	• 화학물질 혼재·관리 미흡	• 고속도로 12시간 폐쇄
미국 캘리포니아 I-15	• 트럭 전복 후 리튬 배터리 열폭주로 대형 화재, 44시간 도로 폐쇄	• 전복 충격에 따른 열폭주	• 도로 44시간 폐쇄
미국 캘리포니아 47번 도로	• 리튬 배터리 운송 트럭 전복·화재, 48시간 도로·터미널 차단	• 리튬 배터리 열폭주	• 도로 48시간 폐쇄·터미널 운영 차질

자료: 사고 사례를 바탕으로 저자 작성

(2) 철도

국외 철도에서의 재난·재해는 주로 탈선이나 위험물 유출 사고로 발생한다. 이러한 사고는 물류 흐름 차질과 함께 환경 및 철도 인프라에 피해를 줄 수 있다. 각국은 위험물 철도운송의 안전성을 확보하기 위해 관련 규정과 관리 체계를 마련하고 있다.

가. 캐나다 사스캐처원주 화물 열차 탈선 및 컨테이너 트레일러 위험물질 유출

2014년 10월 캐나다 사스캐처원주 시블리 인근에서 캐나다 국철(CN) 소속 화물열차가 탈선해 26량이 이탈했다. 이 열차에는 석유 증류물, 비료, 암모니아 등이 적재되어 있었고, 일부 차량에서 석유 증류물이 유출되어 화재가 발생했다. 화재로 검은 연기와 불꽃이 확산되자 약 50명이 대피했고, 인근 농가에서도 가축 관리자가 이동 조치되었다. 관계기관은 위험물 대응팀을 투입해 진압 및 방제 작업을 실시했으며, 캐나다 교통안전위원회(TSB)는 석유 증류물 유출이 주요 발화 원인이었다고 발표했다.

〈그림 2-25〉 캐나다 사스캐처원주 화물 열차 탈선 및 컨테이너 트레일러 위험물질 유출 사고



자료: CBC(검색일: 2025.4.8.); Transportation Safety Board of Canada(검색일: 2025.4.8.)

나. 미국 아이오와주 화물열차 탈선 및 화재 사고

2021년 5월 미국 아이오와주 시블리에서 유니온 퍼시픽 소속 화물열차 47량이 탈선하며 화재가 발생했다. 열차에는 비료와 아모늄 화합물이 포함된 화물이 적재되어 있었으며, 일부 차량에서 유출된 물질로 인해 불이 확산되었다.

사고로 인해 약 80명의 주민이 대피 조치했고, 현장에는 소방 및 응급구조 인력이 투입되어 화재 진압과 위험물 처리 작업이 수행되었다. 유니온 퍼시픽은 사고 수습 후 유사 사고 방지를 위한 개선책을 마련하겠다고 밝혔다.

〈그림 2-26〉 미국 아이오와주 화물 열차 탈선 사고 및 화학물질 적재 컨테이너 화재 사고




자료: ABC news(검색일: 2025.4.8.)

다. 미국 오하이오주 화물열차 탈선 및 화학물질 유출 사고

2023년 2월 미국 오하이오주 이스트팔레스타인에서 화물열차가 탈선해 약 11량의 위험물 운송 차량이 이탈하고 화재가 발생했다. 이 과정에서 약 50만㎏(약 110만 파운드)의 비닐 클로라이드 등 유해 화학물질이 유출되었고, 주민 수백 명이 대피 조치했다. 일부 화물은 연소하면서 유독 가스를 방출했고, 현장 대응 과정에서 소방 인력의 장비와 교육 부족 문제가 드러났다. 사고 이후 주 정부와 연방 당국은 화학물질 운송 정보의 사전 통보 체계와 대응 절차 개선의 필요성을 강조했다.

〈그림 2-27〉 미국 오하이오주 화물 열차 탈선 사고 및 발암물질 유출 사고




자료: NPR(검색일: 2025.4.8.)

라. 미국 노스다코타주 화물열차 탈선 및 화학물질 유출 사고

2024년 7월 미국 노스다코타주 보르둘락 인근에서 화물열차가 탈선해 약 25~30량이 이탈하고, 메탄올·암모니아·황 등을 포함한 화물 일부에서 화재와 유출이 발생했다. 사고 직후 관계기관과 철도 운영사가 현장에 출동해 화재 진압 및 방제 작업을 수행했으며, 주민들에게 약 1마일 반경의 대피 명령이 내려졌다. 사고 원인 조사 과정에서 DOT-111 등 일부 탱크 차량의 안전성 문제가 지적되었으며, 이에 대한 개선 필요성이 제기되었다. 인명 피해는 보고되지 않았으나, 일부 작업자가 화학물질에 노출되어 치료를 받았다.

〈그림 2-28〉 미국 노스다코타주 화물열차 탈선 및 화학물질 유출 사고



자료: CNN(검색일: 2025.4.8.); North Dakota Monitor(검색일: 2025.4.8.)

마. 미국 캘리포니아 주 서터 카운티 화물열차 리튬 이온 열차 화재

2024년 9월 미국 캘리포니아주 서터 카운티에서 화물열차가 화재로 두 량이 전소되었다. 적재 화물에는 약 72파운드의 리튬 이온 배터리를 비롯해 라이터, 생활용품, 전자기기 부품 등이 포함되어 있었다. 초기에는 리튬 이온 배터리가 화재 원인으로 지목되었다. 사고로 인한 인명 피해는 보고되지 않았으나, 인근 주민들에게 대피 명령이 내려졌고 현장은 교통이 통제되었다. 관계기관은 화재 진압 후 화물 안전성 점검을 진행했으며, 유사 사고 예방을 위한 대응 절차 강화 필요성이 지적되었다.

〈그림 2-29〉 미국 캘리포니아 주 서터 카운티 화물열차 리튬 이온 열차 화재 사고





자료: CBS news(검색일: 2025.4.8.)

〈표 2-8〉 국외 육상 도로 위험물 컨테이너 재난·재해 사고개요 및 영향

구분	사고 개요	원인	피해 규모
캐나다 사스캐처원주	• CN 화물열차 26량 탈선, 석유 증류물 유출·화재	• 탈선 후 석유 증류물 유출·화재	• 피해 보도 없음 • 주민 50명 대피
미국 아이오와주	• 열차 47량 탈선, 비료·암모니아 화물 화재	• 탈선 후 화학물질 적재 차량 화재	• 인명 피해 없음 • 주민 80명 대피
미국 아이오와주	• 열차 11량 탈선, 유해물질 유출·화재	• 탈선 후 위험물 차량 손상·화재	• 발암물질 110만 파운드 유출 • 주민 대피, 환경·건강 위험
미국 노스다코타주	• 열차 25~30량 탈선, 메탄올·암모니아·황 유출·화재	• 구형 탱크카 안전성 미흡	• 인명 피해 없음, 일부 부상·치료 • 주민 대피
미국 캘리포니아	• 리튬 배터리 적재 열차 화재 확산	• (초기 추정) 배터리 열폭주, 실제 원인 불확실	• 인명 피해 없음 • 주민 대피, 교통 통제

자료: 사고 사례를 바탕으로 저자 작성

제3절 시사점

항만-육상 영역에서의 위험물 컨테이너 물류 재난·재해 사례 검토 결과 인프라·장비의 노후화와 안전설비 취약, 정보 연계 시스템 미흡, 인력 및 조직 간 교육·협력 체계 미비, 법·제도의 세부 기준과 준수 미흡으로 인한 초기 대응 지연이 공통적으로 확인되었다.

1. 항만위험물 컨테이너 국내외 재난·재해 사례 시사점

국내외 항만의 위험물 컨테이너 관련 사례를 보면, 인프라·장비는 고정 불량과 설비 부족 등이 반복되고, 정보 연계는 기관 간 실시간 공유가 원활하지 않아 초기 대응이 지연된 경우가 있었다. 인력·조직 측면에서는 교육과 협업 체계가 충분히 갖춰지지 않은 사례가 확인된다. 법·제도는 물질별 하역 및 보관 기준 마련이 미흡한 경우가 있었다.

1) 시설 인프라 시사점

국내 항만 사고 사례에서는 위험물 취급 설비와 하역 장비에 대한 점검 및 유지관리 체계가 충분히 확보되지 않은 점이 확인된다. 일부 사고는 컨테이너 고정 불량, 플렉시탱크 및 IBC 드럼의 밀봉 미비 등 장비 관리의 미흡과 관련이 있으며, 보관·취급 시설의 설계 기준과 운영 지침 또한 일관성이 부족한 것으로 나타났다.

국외 사례에서도 유사한 문제가 관찰된다. 톈진항 사고의 경우 과밀 적재와 내화 설비 부족이, 태국 라엠차방항에서는 격리 기준 미흡과 자동 감지 시스템 부재가 주요 요인으로 지적되었다. 이는 설비 기준의 보완과

상시 모니터링 체계 구축의 필요성을 시사한다.

이러한 점을 고려할 때, 국내에서도 전용 보관소에 대한 내화·격리·유출 방지 구조 기준의 구체화, 자동화 기반의 모니터링 시스템 도입, 장비 점검 및 정비 이력 관리 체계 마련이 요구된다. 아울러 소화 설비와 화학물질 대응 전용 장비 확보, 관계기관과의 합동 대응 훈련 정례화도 주요 개선 과제로 검토될 수 있다.

〈표 2-9〉 항만위험물 컨테이너 국내외 재난·재해 사례 시설 인프라 시사점

구분	시사점
① 설비 기준	• 전용 장치장의 내화·격리·유출 방지 등 설계·운영 기준 구체화
② 장비 관리	• 컨테이너 상태 점검, 장비 정비 이력 관리 보완
③ 모니터링	• 화재·유해물질 감지 등 관련 기관 간 협력 모니터링 시스템 도입
④ 소방·대응	• 전용 소화 설비, 화학물질 전용 장비 확보 및 관계기관 합동 대응 훈련

자료: 사고 사례를 바탕으로 저자 작성

2) 정보시스템 시사점

국내 항만 사고에서는 실시간 정보 연계 부족으로 초기 대응이 지연된 사례가 확인된다. 일부 유해물질 유출 사고에서 해경·소방·환경 당국 간 정보 공유가 원활하지 않아 현장 통제와 방제 조치가 늦어진 것으로 확인되었다.

국외에서도 태국 라엠차방항, 중국 톈진항 등에서 위험물 정보 누락·지연으로 초기 상황 판단과 대응에 혼선이 발생한 사례가 있다. 이는 위험물 종류와 저장 위치를 통합 관리·공유할 수 있는 체계의 필요성을 보여준다.

따라서 위험물 종류·위치·상태 실시간 추적, 이상 발생 시 자동 알림, 기관 간 연계 대응 기능을 갖춘 플랫폼 구축이 요구된다. 화재·누출 감지 센서 연동을 통한 조기 탐지, 기록·분석 기능을 통한 사후 활용도 병행될 필요가 있다.

〈표 2-10〉 항만위험물 컨테이너 국내외 재난·재해 사례 정보시스템 시사점

구분	시사점
① 기관 간 정보 공유	• 관계기관 간 실시간 정보 공유 및 대응 시스템 구축
② 사고 보고·분석	• 사고 보고·현황 공유·분석 기능이 체계화된 시스템 구축
③ 위험물 데이터 관리	• 위험물 종류·위치·상태를 실시간 정보 공유 체계 마련
④ 모니터링·경보	• 온도·화재·누출 감지 등 실시간 모니터링·자동 경보 시스템 도입

자료: 사고 사례를 바탕으로 저자 작성

3) 인적요인 시사점

국내 항만 사고에서는 대응 조직의 역할 불명확, 교육·훈련 부족, 기관 간 협력 미비가 반복적으로 나타난다. 일부 사고는 매뉴얼 부족과 지침 전달 한계로 초기 대응이 지연된 것으로 보고된다.

국외 사례 역시 유사하다. 태국 라엠차방항과 중국 톈진항 사고에서는 위험물 정보 누락과 초기 대응 미흡이 피해 확산에 영향을 미쳤고, 톈진항의 경우 민간·정규 소방대 간 협조 부족이 문제로 지적된다.

이러한 사례들은 인적 대응 역량의 보완 필요성을 보여주며, 역할·책임 명확화, 정기 교육·훈련, 기관 간 협력과 정보 공유체계 구축이 주요 과제로 제시된다.

〈표 2-11〉 항만위험물 컨테이너 국내외 재난·재해 사례 인적요인 시사점

구분	시사점
① 역할·책임	• 대응 조직과 담당자의 역할·책임 구체화
② 교육·훈련	• 작업자 및 관계기관 대상 정기 교육·훈련 보완
③ 협력·정보 공유	• 기관 간 협력 및 위험물 정보 공유 체계 구축

자료: 사고 사례를 바탕으로 저자 작성

4) 법·제도 시사점

국내의 경우 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」, 「항만안전특별법」 등의 법령은 마련되어 있으나, 위험물 종류별 하역·보관 기준과 상황별 대응 매뉴얼이 구체적으로 제시되지 않아 사고 시 일관된 조치에 한계가 있다. 야드 작업 과정에서도 잔류물 처리, 소화설비, 충돌 방지 등 세부 기준이 부족해 현장 대응이 어려운 사례가 보고된다.

국외에서는 대형 사고 이후 제도 보완을 통해 안전관리 체계를 강화한 사례가 확인된다. 중국은 톈진항 폭발 이후 저장 한도와 격리 기준을 마련했고, 레바논은 베이루트 사고 후 내화·소화 설비 기준을 강화했다. 반면 일부 국가는 신고·검수 절차 미비로 관리 공백이 지적된다.

종합적으로 국내 제도는 상황별 대응·관리, 물질별 취급·수송, 신고·검수, 저장·재고 한도 절차 등에서 보완이 필요하며, 국제 기준과의 정합성과 관계기관 협력 강화를 통해 실효성을 높일 필요가 있다.

〈표 2-12〉 항만위험물 컨테이너 국내외 재난·재해 사례 법·제도 시사점

구분	시사점
① 대응·관리	• 상황별 대응 매뉴얼과 현장 관리 기준 보완
② 취급·수송	• 물질·포장단위별 취급·수송 안전 기준의 구체화
③ 신고·검수·운송	• 신고·검수 체계 강화 및 특수 운송 규정 보완

자료: 사고 사례를 바탕으로 저자 작성

2. 육상운송 위험물 컨테이너 국내외 재난·재해 사례 시사점

도로·철도운송 과정에서의 사고 분석 결과, 인프라·장비, 정보 연계, 인적·조직, 법·제도 측면의 공통 취약점이 확인된다.

1) 시설 인프라 시사점

국내 도로·철도운송 사고에서는 컨테이너 고정 불량, 용기 내구성 부족, 차량 안전장치 미비 등 장비 관리의 미흡함이 사고 확산 요인으로 보인다. 철도 분야에서도 노후 컨테이너 관리와 감시 설비 부족이 반복적으로 확인되며, 위험물 특성에 적합한 장비 도입 필요성이 보인다.

국외 사례에서도 유사한 문제점이 나타난다. 독일 마그데부르크, 미국 리튬 배터리 화재, 캐나다 철도 사고 등은 고정장치 불량이나 특수 장비 부재, 구형 탱크카 내구성 부족이 주요 원인으로 지적된 바 있다.

이러한 사례들은 국내 육상운송 체계에서도 장비·시설 점검 강화, 특수 물질 대응 장비 도입, 전용 운송 경로 및 비상설비 보완의 필요성을 보여준다.

2) 정보시스템 시사점

국내 도로·철도 사고에서는 관련 기관 간 정보 연계와 실시간 대응체계의 부족이 초기 대응 지연과 피해 확산의 원인으로 나타난다. 사고 발생 직후 위험물 특성과 상황 정보가 신속히 공유되지 않아 방제와 대피 조치가 늦어진 사례가 확인된다.

국외 사례에서도 위험물 관련 정보의 누락이나 전달 지연으로 인해 초기 대응이 지체된 사례가 확인된다. 이는 운송 과정에서 실시간 정보 공유와 위치 추적 시스템의 필요성을 시사한다.

즉, 위험물의 위치와 상태를 실시간으로 확인하고, 이상징후 발생 시 자동 알림과 관계기관 간 통보가 가능한 시스템의 구축이 요구된다. 정보 공유 체계는 기술적 연동뿐 아니라 기관 간 협력 절차와 공동 대응 훈련을 포함해야 하며, 이를 통해 사고 초기 대응력 제고와 피해 확산 방지가 가능할

것으로 보인다.

3) 인적요인 시사점

국내 도로 및 철도 사고 사례에서는 운송 종사자에 대한 교육 부족과 기관 간 협력 체계 미비가 반복적으로 나타난다. 불산, 라텍스, DOP 등과 관련된 사고에서는 적재 불량과 안전수칙 미준수가 주요 원인으로 보고되며, 이는 정기적인 교육과 훈련 부족과 연결된다. 철도 분야에서도 기관 간 협업 부족과 정보 전달 지연이 문제로 지적되었고, 이에 따라 물질 특성에 대한 이해와 대응 훈련의 필요성이 제기된다.

국외 사례에서도 유사한 양상이 나타난다. 독일과 미국 등에서는 운전자, 취급자의 위험 인식 부족과 초기 대응 기관의 훈련 미흡이 사고 대응의 한계로 지적되었고, 유출 물질 특성 파악 지연으로 인해 대피 및 진압 과정에서 혼선이 발생한 사례가 보고되었다.

이러한 사례들은 인적 대응 역량이 미흡할 경우 시설이나 장비만으로는 충분한 안전 확보가 어려움을 보여준다. 이에 따라 정기적인 교육, 시나리오 기반 대응 훈련, 기관 간 정보 공유 체계 확립, 합동 훈련의 정례화 등이 필요한 개선 과제로 제시된다.

4) 법·제도 시사점

국내 도로·철도 사고 사례는 법·제도 기준의 부족이 사고 예방과 대응에 제약으로 작용한 것으로 나타난다. 시흥 불산, 화순 DOP, 울산 라텍스 혼합물 사고에서는 적재·고정 기준과 대응 절차가 불명확했고, 의왕시 과탄산나트륨 화재 사고에서는 노후 탱크컨테이너 관리 기준이 미비한 것으로 나타났다.

국외에서도 유사한 사례가 확인된다. 독일 마그데부르크 충돌, 미국 열차 탈선, 캘리포니아 리튬 배터리 트럭 사고 등은 위험물 운송 기준의 미비 및 이행 부족이 피해 확산에 영향을 주었다. 특히 이스트팔레스타인 열차 사고는 운송 경로 공개와 신속 대응체계 필요성을 부각시켰다.

우리나라의 육상운송은 적재·고정 기준, 안전 점검, 사고 대응 절차, 탱커 관리 등이 권고 수준에 머물러 있으며, 이에 대한 구체적 기준과 제도 보완이 필요하다.

03
국내외 위험물 컨테이너 물류공급망 관리 체계 사례조사

제1절 국내 위험물 컨테이너 관리 체계

위험물 컨테이너의 국내 물동량의 구체적인 현황 자료는 공시되어 있지 않으며, 위험물 전체 물동량은 각 항만공사에서 일부 공시하고 있다. 기존 연구에서는 해양수산부 내부자료, 각 항만공사 컨테이너 처리실적 총계 및 개별 컨테이너 운영사 자료를 통해 현황을 조사했고, 본 연구 역시 해양수산부 내부 자료 등을 통해 위험물 컨테이너 물동량 추정이 가능하다. 물질별 분류 국내 통계 역시 취급·하역·저장·보관·운송 등 과정에서 적용받는 개별 법률에 따라 각각 선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률, 위험물안전관리법, 유해화학물질관리법, 고압가스안전관리법, 원자력안전법, 폐기물관리법 산업안전보건법, 위험물철도운송규칙 적용을 받는다. 이 중 선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률, 위험물철도운송규칙 등은 각각 국제 위험물 운송 규칙인 IMDG Code, 국제위험물철도운송규칙(RID) 분류 규정을 따르고 있다. 도로의 경우 국제위험물도로운송규칙(ADR)이 있으나, 국내법률 상 규정을 반영하지 않으며, 부처 각각의 개별법에 따라 제조·운송·취

급·보관에 따른 분류 기준 역시 상이하다.

국내 위험물 컨테이너 수출입 물동량 분석을 위해서는 UN number, IMDG 코드, GHS 코드 등으로 집계한 국내 통계가 필요하나, 일반적으로 Port - MIS상 UN Number, IMDG 코드, 수출입통관시스템상 분류 역시 IMDG 코드 등이 기타 정보란에 명시가 가능하나 공시된 정보가 없어 위험물 컨테이너 물동량 현황 파악에 한계가 있다. 도로 운송 역시 국제위험물 분류인 ADR을 기준으로 위험물운송안전관리시스템(HMTS)을 통해 사전운송계획 제출 및 운송실태 등의 데이터 수집이 진행되고 있으나, 실질적인 위험물 컨테이너 운송데이터 확보가 어렵다.

1. 위험물 컨테이너 물동량 현황

최근 미중무역 갈등, 코로나19 이후 세계 경제의 장기적 침체 속에 글로벌 컨테이너 물동량 증가세는 둔화하고 있는 추세이나 국내 주요 항만의 위험물 컨테이너 화물의 경우 최근 5년간 매년 증가하고 있다. 국내 위험물 컨테이너는 대부분 부산항을 통해 수출입이 이뤄지고 있으며 일부 여수광양항 및 인천항 등을 통해 수출입되고 있다.

1) 부산항

2019~2023년 5년간 부산항의 위험물 컨테이너 물동량은 〈표 3-1〉와 같이 평균 687,152TEU가 처리되는 것으로 조사되었으며, 동 기간 내 연평균 4.8% 증가한 것으로 확인된다. 동 기간 수출입물량 및 환적물량비율은 약 6:4로 환적물동량 및 환적물동량 비중은 동 기간 내 지속적으로 증가하고 있다.

5년 평균 북항과 신항의 위험물 컨테이너 처리 비중은 각 39.5%, 60.2%로 2023년의 경우 각 비중이 36.6%, 63.2%로 신항의 위험물 컨테이너 처리 비중이 증가했다. 북항의 경우 수출입 물량이 환적물량보다 비중이 크지만, 신항은 환적물량이 동 기간동안 지속적으로 증가해 2023년 기준으로 전체 물동량 중 수출입 물동량과 환적물동량 비중은 각각 51.2%, 48.8%로 나타났다.

〈표 3-1〉 부산항 위험물 컨테이너 현황(2019~2023)

단위: TEU

분류		2019	2020	2021	2022	2023	평균
전체	소계	634,392	627,370	685,837	722,252	765,907	0.00
	수출입	392,731	392,731	423,519	422,107	455,548	0.00
	T/S	241,798	241,798	262,319	300,145	310,359	0.00
북항	소계	242,138	254,258	294,523	294,219	280,625	0.00
	수출입	177,511	191,854	222,086	213,866	207,078	0.00
	T/S	64,627	62,404	72,437	80,353	73,547	0.00
신항	소계	392,254	373,112	391,314	428,033	485,282	0.00
	수출입	215,077	200,655	201,433	208,241	248,470	0.00
	T/S	177,177	172,456	189,882	219,792	236,812	0.00

자료: 부산항만공사 통계 자료 (검색일 : 2025.10.23.)를 기반으로

2) 여수광양항

2019~2023년 5년간 여수광양항의 위험물 컨테이너 물동량은 〈표 3-2〉와 같이 평균 39,160TEU가 처리되는 것으로 조사되었으며, 2022년까지 지속적으로 감소한 이후 2023년 일부 증가했다. 동 기간동안 수출입물량 및 환적물량비율은 약 9:1이지만 환적물량의 경우 2020년을 제외하고 지속적으로 감소하고 있다. 동 기간 내 광양항 전체 환적컨테이너 물동량 감소와 부산항의 환적 컨테이너 물동량 증가와 맞물려 감소 현상이 나타난 것으로 판단된다.

〈표 3-2〉 여수광양항 위험물 컨테이너 현황(2019~2023)

단위: TEU

분류	2019	2020	2021	2022	2023	평균
소계	43,310	42,167	39,572	31,342	39,410	0.00
수출입	37,069	39,141	34,357	28,853	37,520	0.00
T/S	6,241	3,026	5,215	2,489	1,890	0.00

자료: 여수광양항만공사 통계 자료 (검색일 : 2025.10.23.)

3) 인천항

최근 5년간 인천항의 위험물 컨테이너 물동량은 〈표 3-3〉와 같이 크게 증가한 것으로 집계되었다. 2021~2022년 기간 일부 정체되었으나, 동 기간 동안 연평균 12.7% 증가했다.

〈표 3-3〉 인천항 위험물 컨테이너 현황(2019~2023)

단위: TEU

분류	2019	2020	2021	2022	2023	평균
물동량	41,996	55,567	58,636	58,250	76,367	58,163

주 1. 내부자료 인용에 따른 전체 물동량 현황만을 반영하였으며, 세부 위험물 항목별 통계는 포함하지 않음
자료: 해양수산부 내부 자료

2. 항만위험물 물류공급망 관리 현황

1) 시설

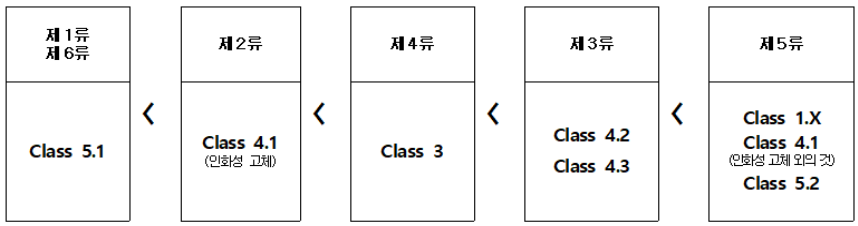
항만에서의 위험물 컨테이너 장치·보관은 수입되는 위험물 종류별로 각 법률에서 지정하는 저장시설 및 관련 설비 사항을 준수해 운영되고 있다. 직반입 및 직반출 대상인 화물을 제외하고 「위험물안전관리법」상 옥외저장소와 「유해화학물질관리법」상 항만 내 유해화학물질 저장소로 구분되어 운영되고 있다.

(1) 위험물안전관리법 상 옥외저장소 기준

위험물안전관리법상 항만 내 위험물 컨테이너 저장시설은 동 법의 분류기준에 따라 옥외저장소 시설로 지정되어 운영되고 있으며, 제1류에서 제6류까지 각 류별로 분리된 저장시설을 갖추어야 한다. 종류별로 분리된 저장소는 각 류별로 엄격히 분리되어 보관되어야 하지만 제1류와 제6류 위험물의 경우 동일한 저장소에 혼재해 저장이 가능하다.

위험물안전관리법상 특례 규정에 의거해 수립한 해양수산부(2016)[21] 지침에 따르면, 하나의 컨테이너에 여러 종류의 위험물을 혼재해 보관하는 경우에는 위험성이 가장 높은 물질을 기준으로 저장되어야 하며, 위험물과 비위험물이 혼재된 경우 역시 수납된 위험물 기준으로 분류되고 보관되어야 한다.

〈그림 3-1〉 위험물 물질별 위험성 정도



자료: 해양수산부(2016), p. 5.

옥외저장소 게시판 또는 위험물저장소의 잘 보이는 곳에 해당 류 별에 상응하는 위험물 분류기호 및 상징 그림문자를 추가로 표시해야 하며, 이때 위험물안전관리법상 분류 기준뿐만 아니라 국제기준인 IMDG 코드 기준을 병기해야 한다.

21) p.5, 해양수산부(2016)

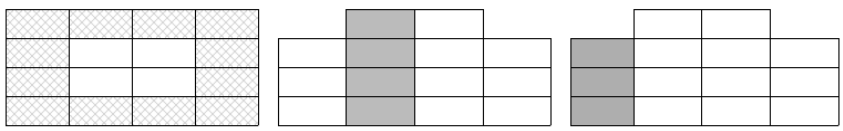
〈표 3-4〉 IMDG 코드와 국내법 간 위험물 분류기준 대조

IMDG 코드 분류	성 상	국내법상 분류	비고
Class 1.1	폭발성 물질	위험물안전관리법 제5류, 총·포·도검·화약류 등의 안전관리에 관한 법률	-
Class 1.2			
Class 1.3			
Class 1.4			
Class 1.5			
Class 1.6			
Class 2.1	인화성 가스	고압가스안전관리법	직반출
Class 2.2	비인화성 가스 비독성 가스		
Class 2.3	독성 가스		
Class 3	인화성 액체	위험물안전관리법 제4류	-
Class 4.1	인화성 고체 자기반응성 물질 둔감화된 고체폭발성 물질	위험물안전관리법 제2류 또는 제5류	물질별 확인 분류가 어려운 경우 제2류 혹은 제5류 중 선택
Class 4.2	자연발화성 물질	위험물안전관리법 제3류	-
Class 4.3	금수성 물질	위험물안전관리법 제3류	-
Class 5.1	산화성 물질	위험물안전관리법 제1류 또는 제6류	-
Class 5.2	유기과산화물	위험물안전관리법 제5류	-
Class 6.1	독성 물질	화학물질관리법	-
Class 6.2	전염성 물질	적용법령 없음	직반출
Class 7	방사능 물질	원자력 안전법	직반출
Class 8	부식성 물질	화학물질관리법	-
Class 9	기타 운반상 위험성이 있는 물질	화학물질관리법	-

자료: 해양수산부(2016)의 자료를 바탕으로 저자 작성

옥외저장소 내 위험물 컨테이너 적재 방법은 옥외저장소 내 위험물이 수납된 컨테이너를 겹쳐 쌓는 경우, 높이 제한을 4단까지 고 가장자리에 겹쳐 쌓는 것을 3단까지 적재하는 것으로 제한하고 있다. 이때, 바닥 면적은 13㎡ 이상이어야 하며, 상자 틀에 고정된 탱크컨테이너 역시 동일하게 적용받는다.

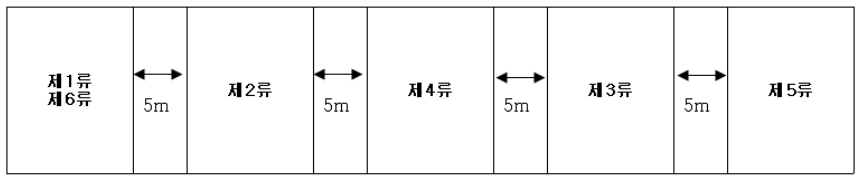
〈그림 3-2〉 옥외저장소 위험물 컨테이너 적재 방법



자료: 해양수산부(2016), p. 6.

옥외저장소 내 위험물 컨테이너 격리 방법은 위험물안전관리법 시행규칙 내 수출입 하역장소의 옥외저장소 특례 규정에 따라 류별로 위험물을 저장하는 옥외저장소 간 안전사고 발생에 따른 피해 확산 방지를 위한 최소 5m 이상 너비의 공지를 준수해야 한다.

〈그림 3-3〉 옥외저장소 위험물 컨테이너 격리 방법



자료: 해양수산부(2016), p. 7.

또한, 옥외저장소 기준 방재 장비 등은 작업팀의 접근이 용이하도록 차량 주행로에 가까운 곳에 배치하며, 비상시 위험물 컨테이너 출입문을 개방해 수납된 위험물을 처리할 수 있도록 컨테이너 문을 통로 혹은 바깥쪽을 향하도록 적재하도록 권고하고 있다.

위험물안전관리법상 항만 내 옥외저장소의 소화설비 기준은 특례 규정 적용 없이 옥외저장소 소화설비 기준을 준수해야 하며 소화 난이도 기준 역시 동일하게 적용해야 한다.[22] 옥외저장소의 소화 난이도 등급 Ⅱ 또는 Ⅲ일 경우에도 등급 Ⅰ기준의 설비 적용도 가능하다.

〈표 3-5〉 항만 내 옥외저장소의 소화난이도별 설비 기준

소화 난이도 등급	소화설비 기준	필수 소화설비
등급 Ⅰ	• 덩어리 상태의 유황을 저장하는 것으로서 경계표시 내부의 면적(2이상의 경계 표시가 있는 경우에는 각 경계 표시의 내부 면적을 합한 면적)이 100㎡ 이상인 것 • 별표 11 Ⅲ의 위험물을 저장하는 것으로서 지정수량의 100배 이상인 것	• 옥내소화전설비 • 옥외소화전설비 • 스프링클러설비 또는 물분무등 소화설비
등급 Ⅱ	• 덩어리 상태의 유황을 저장하는 것으로서 경계표시 내부의 면적(2이상의 경계표시가 있는 경우에는 각 경계 표시의 내부 면적을 합한 면적)이 5㎡ 이상 100㎡ 미만인 것 • 별표 11 Ⅲ의 위험물을 저장하는 것으로서 지정수량의 10배 이상 100배 미만인 것 • 지정수량의 100배 이상인 것(덩어리 상태의 유황 또는 고인화점위험물을 저장하는 것은 제외)	대형수동식소화기 및 소형수동식소화기 등을 각각 1개 이상 설치할 것
등급 Ⅲ	• 덩어리 상태의 유황을 저장하는 것으로서 경계표시 내부의 면적(2이상의 경계 표시가 있는 경우에는 각 경계 표시의 내부 면적을 합한 면적)이 5㎡ 미만인 것 • 덩어리 상태의 유황 외 것을 저장하는 것으로서 소화난이도등급 Ⅰ 또는 Ⅱ의 제조소 등에 해당하지 아니하는 것	소형수동식소화기 등

자료: 위험물안전관리법(법률 제20231호, 2024.2.6.)의 자료를 바탕으로 저자 작성

다만, 물 반응성이 높은 금수성물질(제3류 및 IMDG Class 4.1.)의 경우 컨테이너를 저장하는 옥외저장소의 소화설비 기준이 엄격해 아래 기준을 전부 부합[23]해야 한다.

22) 위험물안전관리법 시행규칙 별표 17, 소화설비, 경보설비 및 피난설비의 기준
23) (1) 옥외저장소로부터 5m 이상 이격된 장소에 화재진압 구역을 설정할 수 있는 가로·세로 10m 이상의

(2) 항만 내 화학물질 저장소

환경부의 화학물질관리법상 분류가 되는 물질을 컨테이너 형태로 항만 내 보관하기 위해서는 「항만 내 유해화학물질 저장·보관시설 설치 및 관리에 관한 고시」를 적용해야 한다. 적용 범위는 항만법상 항만지역인 항만과 항만배후단지의 컨테이너 하역 및 적재부지이다. 적용물질은 IMDG 코드상 Class 6.1(독물), Class 8(부식성물질), Class 9 중 국제연합번호 2315 및 유해성물질(UN 3082)이 이에 해당된다.

72시간 이내 보관 후 반출 혹은 168시간 이내 환적 화물인 경우 본 시설의 규정 적용이 완화된다. 항만의 경우 절책, 철망 등 설비가 보안목적으로 설치되어 있고, 국제 무역항의 경우 국제보안 규정에 의거해 CCTV 등에 따른 실시간 모니터링 설비가 구비되어 있어 대부분 항만에 예외 기준이 적용되고 있다.

법률상 보관시설 설치 기준을 살펴보면 법률에서 지정하는 물질이 수납된 컨테이너와 일반 컨테이너 사이에는 컨테이너 1개폭(약 2.5m) 이상의 이격거리를 유지해야 하고, 바닥은 해당물질이 스며들지 못하고 해당 물질을 견딜수 있는 재료를 도포해야 한다. 또한, 액상으로 된 유해화학물질 누출 시 외부확산 방지를 위한 트렌치 설치(폭 20㎝ 및 깊이 15㎝ 이상) 혹은 피해저감 시설을 설치해야 한다.

보관시설 관리 기준은 「컨테이너 형식승인 시험 및 검정기준」에 부합하는 컨테이너를 대상으로 일반 컨테이너의 경우 제한 높이는 6단, 가장자리는 5단 이하 적재, 탱크컨테이너는 4단 및 가장자리 3단 이하 적재를 기준으로 한다.

공지를 보유할 것, (2) 방화담 설치용도의 20ft 공컨테이너를 3개 이상 보유할 것, (3) 리치스태커 1대 이상 보유할 것, (4) 지게차 2대 이상 보유할 것, (5) 마른 모래를 5,000ℓ 이상 보유하고 1시간 내 15,000ℓ 이상을 추가로 사업장 내 반입할 수 있는 조치를 강구할 것

2) 정보시스템

현재, IMDG 코드 분류에 따른 위험물 컨테이너 관련 정보 조회 시스템은 〈표 3-6〉과 같이 한국해사위험물검사원 내 IMDG 코드별 위험물질 정보 조회가 가능하다. 이때, 확인가능한 정보는 물질별 IMDG 코드, UN Number, 부위험성, 포장등급, 비상조치 사항, 물질별 특성, 위험물별 표시 등으로 컨테이너검사 의뢰인에 한해 위험물검사 및 용기검사 관련 검사증 발급, 불합격 및 반려 여부 등의 정보를 제공하고, UN번호와 IMDG 코드를 통해 유해물질 비상대응 정보를 화학물질안전원 자료를 기반으로 제공하고 있다.

항만위험물 신고·등록 역시 Port - MIS 상 의무 등록을 진행하고 있으나 주요 컨테이너를 포함한 위험물통계 등은 제공하고 있지 않으며, 관련 사고 등의 정보는 소방청의 위험물종합정보시스템 및 화학물질정보포털 등을 통해 확인이 가능하므로 항만위험물 관련 정보시스템의 국내 위험물 수출입 통계, 사고사례 제공 등 기능 보완이 필요하다.

또한, 정보조회 및 신고·등록과 관련한 시스템과는 별개로 무인카메라와 연동한 연기, 화재 등의 감지는 물론 온도·화재·누출감지 등 정보를 센서 등을 통해 실시간으로 모니터링하고, 취합된 정보를 기반으로 한 자동 경보 시스템 확보 역시 필요하다.

〈표 3-6〉 주요 위험물 컨테이너 정보시스템(해상·항만)

종류	주요 기능	신고/등록 항목	물질별 정보 조회 가능 여부	비고
한국해사 위험물검사원	• 위험물 검사 신청 및 처리(컨 수납, 포장, 적재) • 검사증, 불합격, 반려 조회 • IMDG 목록, 운송 요건 정보 제공 • 위험물 안전운송 전문교육 시행	• 컨테이너 검사 신청 • 취급·적재 관련 세부 사항	가능 (UN번호, IMDG 코드, 위험표지 기준)	• 검사증, 불합격, 반려 현황 조회 제공 • 해수부 고시 근거[1]
해운항만물류 정보시스템 (해양수산부)	• 항만 내 위험물 반입·반출 신고 • IMDG 분류 관리 • 보관장소 허가 및 통합위험물 관리	• IMDG Code • UN번호 • 포장그룹 • 적화목록 • 컨테이너 번호 • 선적항·하역항 등	가능 (UN번호, IMDG 코드 기반)	• 위험물 신고 • 관련 통계 미제공

주1. 선박안전법 제65조 및 위험물 선박운송 및 저장규칙 제209조 1항에서 업무범위 및 위험물운송 용기포장 검사 대행기관 지정고시함
자료: 한국해사위험물검사원(검색일: 2025.10.23.); 해운항만물류정보시스템 사용자 매뉴얼(검색일: 2025.10.23.)의 자료를 바탕으로 저자 작성

3) 인적요인

항만 내 컨테이너 위험물 관리를 위해서는 선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률에 의거해 위험물안전관리자를 지정해야 한다. 이때, 위험물 안전관리자의 자격기준은 선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률 시행규칙 제18조에 명시된 바와 같이 ① 「국가기술자격법」에 따른 위험물산업기사 이상의 자격을 가진 자, ② 동법에서의 가스산업기사 이상의 자격을 가진 자, ③ 「산업안전보건법」 제15조(안전보건관리책임자)에 따라 선임된 안전관리자, ④ 전문대학 또는 이와 같은 수준 이상의 학교에서 화학 또는 화공 관련 학과를 전공하고 졸업한 후 또는 법령에 따라 이와 같은 수준의 학력을 갖

춘 후 3년 이상 위험물을 취급한 경력이 있는 자, ⑤ 3급 이상의 해기사 면허를 가진 사람으로서 총톤수 3천 톤 이상의 선박(어선은 제외한다)에서 항해사·기관사 또는 운항사로 3년 이상 승선한 자로 규정하고 있다.

이때, 위험물 관련 사업자별 안전관리자 보유 기준 역시 시행규칙 제3조에 의거해, ① 포장위험물을 연간 10만 톤 이상 취급하는 사업자로 위험물 안전관리자 1명 이상을 포함해 2명 이상, ② 포장위험물을 연간 3천 톤 이상 10만 톤 미만 취급하는 사업자는 1명 이상, ③ 포장위험물을 연간 3천 톤 미만 취급하는 사업자는 1명 이상, ④ 「위험물 선박운송 및 저장규칙」제3조 제1호 ①부터 ③까지 및 같은 조 제7호에 따른 물질을 취급하는 사업자는 제1호부터 제3호까지에 따른 위험물 안전관리자 외에 해당 분야의 자격을 가진 위험물 안전관리자 1명 이상을 배치하고 있다.

이러한 위험물 안전관리자에 대한 교육은 한국해사위험물검사원에서 실시하고 있다.

4) 법·제도

위험물 컨테이너의 항만 내 적양하, 반입, 장치 및 보관 과정에서 적용되는 규정은 선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률, 위험물안전관리법, 화학물질관리법 등 상이한 규정에 따라 운영되고 있다. 국내 터미널의 경우, 컨테이너 보관을 위한 전용장치장은 「위험물안전관리법」과 「화학물질관리법」 2개 법의 기준에 의해 관리되고 있다. 화약류, 고압가스, 원자력 등은 양하와 더불어 직반출하고 있다. 항만 내 위험물 컨테이너 반입신고, 위험물의 분류, 하역 및 안전조치, 옥외저장소에서 장치 및 격리, 물질별 위험성, 위험물 컨테이너 적재방법, 이격거리 등에 대한 세부적인 취급과정은 「항만 내 위험물 컨테이너 하역 및 적재 매뉴얼」과 「항만 수출입 하역장소의 위험물 규제업무 처리지침」을 제정해 운영하고 있다.

선박을 통한 위험물 컨테이너 반입은 위험물의 종류 및 수량이 명시된 위험물 반입신고서를 지방해양수산청장 또는 시도지사에 제출하도록 되어 있으며,[24] 항만운영자는 승인된 자체안전관리계획을 가지고 있어야 한다.[25]

항만 내 컨테이너위험물 보관·저장·반출 규정은 각각 위험물안전관리법 및 화학물질관리법에 의해 적용받고 있다. 먼저, 위험물안전관리법상 저장·보관시설 설치 및 관리기준은 시행규칙 별표 11에서 수출입 옥외저장소 특례 규정에 의한 관리되고 있다. 이때, 특례 기준에 따라 지정된 용량 초과에 따라 3 - 5m 이격 기준을 준수해야 한다. 또한 위험물 종류에 따른 격리 및 이격 규칙 역시 위험물안전관리법 제5조인 위험물 저장 및 취급에 의해 적용받고 있으며, 이때 분류 기준은 제1류에서 6류로 분류하고 있다.

화학물질관리법상 항만 내 유해화학물질 저장·보관은 「항만구역 내 유해화학물질 보관시설 설치 및 관리에 관한 고시」적용을 받고 있다. 적용물질은 위험물 선박운송 기준 및 위험물 선박운송 및 저장규칙 내 제6.1급 독물, 제8급 부식성 물질 및 제9급 유해성 물질로 한정하고 있으며, 일반 컨테이너와 화학물질 컨테이너 간 이격거리(약 2.5m) 유지, 적제단수 제한[26]을 포함한 시설 설치 및 관리기준을 명시하고 있다.

3. 육상운송 위험물 물류공급망 관리 현황

육상에서의 위험물은 도로, 철도, 파이프라인 등을 통해 이송되며 이 중 위험물 컨테이너의 경우 도로, 철도를 통해 운송된다. 국내의 위험물 육상운송 역시 물질별로 분류되어 각 법률에 의거해 관리되고 있다.

24) 선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률 제32조 제1항 및 시행규칙 제14조 제1항
25) 선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률 제34조 제1항
26) 제5조 제6항에서 컨테이너의 높이를 6단(탱크컨테이너가 포함된 경우에는 4단) 이하로 하고, 가장자리에 겹쳐 쌓는 경우에는 5단(탱크컨테이너가 포함된 경우에는 3단) 이하로 규정

특히, 국내 도로운송의 경우 UN 권고규정이 적용되지 않고 각각「위험물안전관리법」,「고압가스안전관리법」,「화학물질관리법」,「총·포·도검·화학류 등 단속법」,「폐기물의 국가 간 이동 및 그 처리에 관한 법률」,「원자력안전법」등에 따라 관리되고 있다.

철도의 경우「위험물철도운송규칙」 내 물질별 분류는 유엔 권고 규정인 RID 적용에 따라 운송되고 있다.

1) 시설

위험물안전관리법 상 지정수량을 초과하는 위험물을 운송하는 차량의 경우 해당위험물 대응이 가능한 소요단위 능력 이상의 소형수동식소화기를 의무적으로 비치하도록 규정하고 있다.[27] 유해화학물질의 경우 운송상 유출 시 대응을 위한 긴급차단밸브, 유량조절밸브 및 접지도선, 온도계, 압력계, 액면계 등의 장치 설치가 의무화되어 있다.[28]

2) 정보시스템

위험물안전관리법상 위험물 관련 정보는 도로 운송의 경우 한국교통안전공단에서 운영하는 위험물운송안전관리시스템을 통해 확인이 가능하며, 지정된 위험물도로운송자는 사전운송계획을 제출하며 이때 물질명, UN번호, CAS 코드, 적제량, 운송시작시간, 출발지, 경유지, 최종목적지 등 정보를 제출하고 단말기를 통해 위치 정보를 공유한다. 만약 위험물 관련 사고가 발생 시 관련 정보를 재난대응기관, 지자체 등 유관기관에 제공하고 있다. 만약, 유해화학물질 운반계획서 제출했거나 「폐기물관리법」 제18조제3항

27) 위험물안전관리법 시행령 별표 19
28) 유해화학물질 차량 운송시설 설치 및 관리에 관한 고시 제7조

에 따라 전자정보처리프로그램에 등록한 경우 사전운송계획 제출의무를 면제받는다.

한국산업안전보건공단이 운영 중인 물질안전보건자료시스템은 산업안전보건법에 의거해 제조수입자로부터 제공받은 물질안전보건자료(MSDS) 등록 및 정보제공을 통해 MSDS 제출 의무화에 따른 관리를 시행하고 있다.

해당 정보시스템들은 국내 및 국제 규정상 위험물 분류 기준, 위험물 취급 및 관리 방법 등을 제공하고 있으나, 관련 위험물 통계 정보 공시가 누락되어 있다. 일부의 경우 기본 통계 등만 제공하고 있어 위험물 공급망 운송 시 연계 여부, 위험물 OD 등의 정보 확인에 대한 제약이 발생한다.

〈표 3-7〉 주요 위험물 컨테이너 정보시스템(육상)

종류	주요 기능	신고/등록 항목	물질별 정보 조회 가능 여부	비고
위험물 운송안전관리 시스템 (한국교통안전공단)	• 사전운송계획서 작성 • 사고 정보 공유 및 전파 • 재난대응기관 및 지자체 포함 유관기관 정보제공	• 운반자 정보 • 적제 위험물질 목록 • CAS 번호 • 운송차량번호 • 운송구간 등	유관기관 조회가능	• 소방본부, 화학사고, 지자체 대응센터와 연동 • 단말장치 장착에 따른 위치정보 수집 가능
화학물질 종합 정보시스템/ 화관법민원24 (화학물질 안전원)	• 유해화학물질 취급업 신고 • 유해물질 운반계획서 • 물질별 독성·환경 영향 정보 제공 • 화학안전정보 제공 • 화학사고 대응 DB 연계	• 운반업체 정보 • 화학물질명 • 함량 및 수량 • CAS No.	부분가능 (CAS No. 물질명을 통해 화학물질 정보 조회 가능)	• 환경부 산하 화학물질안전원에서 운영 • 정보 신뢰성이 높음

종류	주요 기능	신고/등록 항목	물질별 정보 조회 가능 여부	비고
물질안전보건 자료시스템 (한국산업안전 보건공단)	• 유해화학물질에 대한 MSDS 작성 및 제출 • 유해성, 위험성 정보 제공 • 경고표지 작성	• 화학물질명 • CAS 번호 • UN 번호 • MSDS 제출상태 등	가능 (CAS 번호 및 화학명 기반 상세자료 검색 가능)	• 산업안전보건법 제42조 근거 자료 제출 및 제공

자료: 위험물질운송안전관리 시스템(검색일: 2025.10.23.); 화학물질 종합 정보시스템(검색일: 2025.10.23.): 화관법민원24(검색일: 2025.10.23.): 물질안전보건자료시스템(검색일: 2025.10.23.)의 자료를 바탕으로 저자 작성

3) 인적요인

육상을 통해 이송되는 위험물운송 시 물질에 따른 각 법률에 의거해 운송인의 자격기준을 설정하고 있다. 주요 법률상 운송자격은 국가자격증 및 면허를 취득한 자 및 안전관리 교육을 받은 자로 화학류, 원자력의 경우 책임면허를 소지한 자, 안전관리자만 운송할 수 있도록 규정화되어 있다.

위험물안전관리법, 화학물질관리법 및 고압가스안전관리법에서 규정하는 물질의 운송자는 안전관리자와 허가된 안전교육을 이수한 운송업자도 해당 물질을 운송할 수 있도록 규정했다.

〈표 3-8〉 위험물 운송 자격 기준 및 교육 내용

관계 법률	운송 자격 기준	교육 대상 및 내용
위험물 안전관리법	• 위험물의 취급에 관한 국가기술자격을 취득하고 관련 업무에 1년 이상 종사한 경력이 있는 자 • 위험물 운송에 관한 안전교육을 수료하고 관련 업무에 2년 이상 종사한 경력이 있는 자	• 안전관리자, 위험물운송자, 탱크시험자 기술인력 • 이동탱트저장소의 구조 및 설비작동법, 위험물 운송에 관한 안전기준에 관한 사항, 연소 및 소화에 대한 기초이론, 위험물의 유별 공동성질과 화재예방 및 소화방법, 관련 법령

관계 법률	운송 자격 기준	교육 대상 및 내용
고압가스 안전관리법	• 운반자 외 추가운반자 동승 필요 • 운반책임자는 안전교육 이수한 자, 안전관리책임자 또는 안전관리원 자격을 가진 자	• 운반책임자(전문교육), 고압가스 운반차량 운전자(특별교육) • 전문교육의 경우, 온라인 교육 8시간 및 실습교육 5시간 총 13시간 교육 • 특별교육의 경우, 온라인교육
총·포·도검·화약류 등의 안전관리에 관한 법률	• 국가기술자격법에 따른 화약류 제조보안책임면허를 소지하거나 화약류 관리보안책임자 면허소지자	-
원자력 안전법	• 핵분열성물질을 운반하는 경우에는 지식과 경험을 가진 방사선 안전관리 전담조직의 책임자 또는 방사선 안전관리자 • 해당기관의 방사성동위원소 취급에 관한 면허를 소지한 자	-
유해화학물질 관리법	• 유해화학물질 안전교육을 이수한 자 또는 유해화학물질 관리자	• 화학물질 운반자 대상(8시간) • 화학안전에 관한 사항, 유해화학물질 상하차, 이동 시 준수사항, 화학사고 시 대피·대응방법, 화학물질 노출 시 응급조치 요령
위험물철도 운송규칙	• 철도로 운송하는 위험물을 취급하는 자를 대상으로 위험물 안전교육 실시 • 타 법률에 의거해 실시하는 위험물안전교육 수료자	• 철도운송을 통한 위험물을 취급하는 자 • 위험물취급제도, 위험물분류, 위험물 취급일반, 사고예방 및 대체 등 총 8시간 교육

주 1. 각 법률의 운송자격 기준 근거조항은 위험물 안전관리법 시행규칙 제52조, 고압가스안전관리법 제 50조, 총·포·도검·화약류 운반허가에 관한 고시 제8조, 원자력안전법 제71조, 유해화학물질관리법 제27조, 위험물철도운송규칙 제27조임
주 2. 각 법률의 교육대상 및 관련기준 근거조항은 위험물 안전관리법 시행규칙 제28조, 고압가스안전관리법 제 23조, 유해화학물질관리법 제37조, 위험물철도운송규칙 제28조임
자료: 각 법률의 자료를 바탕으로 저자 작성

4) 법·제도

(1) 위험물안전관리법

「위험물안전관리법」상 육상운송에 관한 법조항은 제20조(위험물의 운반), 제21조(위험물의 운송) 및 시행규칙(별표 19, 20)에서 규정하고 있다.

이때 중요기준과 세부기준에 따라 방법이 분류되며, 이는 시행규칙 별표 19에 중요 기준으로 명시한 요건이 포함될 경우 적용된다.

조항상 중요 기준이란 화재 등 위해의 예방과 응급조치에 있어 큰 영향을 미치거나 그 기준으로 위반하는 경우 직접적으로 화재를 일으킬 가능성이 큰 기준으로, 다음과 같은 기준에 충족될 경우를 의미한다.

〈표 3-9〉 위험물안전관리법상 위험물 운송 중요기준(제52조)

분류	중요기준 요건
적재방법	1. 위험물은 시행령 별표 19의 Ⅰ(운반용기)에 각 목의 기준에 따라 수납하고 적재해야 함. 다만, 덩어리 상태의 황을 운반하기 위해 적재하는 경우 및 위험물을 동일 구내에 있는 제조소 등의 상호 간 운반하기 위해 적재하는 경우는 제외함 • 위험물이 온도변화 등에 의해 누설되지 아니하도록 운반용기를 밀봉해 수납할 것 • 수납하는 위험물과 위험한 반응을 일으키지 아니하는 등 당해 위험물의 성질에 적합한 재질의 운반용기에 수납할 것 • 고체위험물은 운반용기 내용적의 95% 이하의 수납율로 수납할 것 • 액체위험물은 운반용기 내용적의 98% 이하의 수납율로 수납하되, 55도의 온도에서 누설되지 아니하도록 충분한 공간용적을 유지할 것 • 하나의 외장용기에는 다른 종류의 위험물을 수납하지 말 것 • 제2류의 위험물은 지정하는 기준에 따라 운반용기에 수납할 것 2. 기계에 의해 하역하는 구조로 된 운반용기에 대한 수납은 제1호(다목제외)의 규정을 준용하는 외 아래 기준에 따라야 함 • 부식, 손상 등 이상이 없으며, 금속제 운반용기·경질플라스틱제 운반용기 또는 플라스틱내용기 부착 운반용기는 정하는 시험 및 점검에서 누설 등 이상이 없을 것 • 복수의 폐쇄 장치가 연속해서 설치된 운반용기에 위험물을 수납하는 경우에는 용기 본체에 가까운 폐쇄장치를 먼저 폐쇄할 것 • 휘발유, 벤전 그 밖의 정전기에 의한 재해가 발생할 우려가 있는 액체의 위험물을 운반용기에 수납 또는 배출할 때 재해의 발생을 방지하기 위한 조치를 시행할 것 • 온도변화 등에 의해 액상이 되는 고체 위험물은 액상으로 되었을 때 당해 위험물이 새지 않는 운반용기에 수납할 것 • 액체위험물을 수납하는 경우에는 55도의 온도에서의 증기압이 130㎪ 이하가 되도록 수납할 것 • 경질플라스틱제 운반용기 또는 플라스틱내용기 부착의 운반용기에 액체위험물을 수납하는 경우에는 당해 운반용기는 제조된 때로부터 5년 이내의 것으로 할 것 3. 위험물이 용기 밖으로 쏟아지거나 위험물을 수납한 운반용기가 전도·낙하 또는 파손되지 아니하도록 적재

분류	중요기준 요건
	4. 운반용기는 수납구를 위로 향하게 해 적재해야 함 5. 적재 위험물의 성질에 따라 일광의 직사 또는 빗물 침투를 방지하기 위해 유효하게 피복하는 등 기준에 따른 조치를 할 것 6. 혼재가 금지된 위험물 및 고압가스 안전관리법 적용을 받는 물질과 화관법 적용을 받는 위험물 간 혼적을 금지할 것 7. 운반용기를 겹쳐 쌓아 운반하는 경우 3m 이하로 하고 용기 상부에 걸리는 하중은 3m 높이로 쌓았을 때 걸리는 하중 이하로 해야 함
운반방법	• 위험물 또는 위험물을 수납한 운반용기가 현저하게 마찰 또는 동요를 일으키지 아니하도록 운반할 것

자료: 위험물안전관리법 및 시행규칙을 바탕으로 저자 작성

운반용기에 수납된 위험물을 지정수량 이상으로 차량에 적재해 운반하는 운전자는 위험물 분야의 자격 취득 및 안전교육을 이수해야 한다.

(2) 화학물질관리법

화학물질의 상하차 혹은 다른 화학물질 취급시설로 옮길 시에는 화학물질관리자가 감독해야 하며, 운반하는 자는 법률 제32조 및 제33조 1항에 따라 화학물질 안전교육을 받아야 한다.

만약, 유해화학물질 운반하는 자가 시행규칙 제11조에서 정하는 일정량을 초과해 운반하는 경우 해당 유해화학물질의 운반자, 운반시간, 안반경로·노선 등을 내용으로 하는 운반계획서를 작성해 환경부장관에게 제출해야 한다. 이때 법령에서 정하는 일정량은 유독물질의 경우 5,000㎏ 이하, 허가물질·제한물질·금지물질 또는 사고대비물질의 경우 3,000㎏ 이하를 의미한다.

(3) 위험물철도운송규칙

국내 철도를 통해 위험물을 운송할 경우 위험물철도운송규칙 규정에 의거해 포장, 적재, 관리, 운송, 검사, 위험물 취급에 관한 교육 등을 수행해

야 한다. 이때 「위험물철도운송규칙」상 운송취급주의 위험물은 유엔권고 규정에 의거해 최근 2024년 개정되었고, 총 9류로 분류된다. 위험물 운송을 위해서는 위험물운송정용화차 또는 유개화차로 운송해야 하며, 위험물 운송 시에는 도착정거장까지 직통하는 열차를 이용해 운송하는 것을 원칙으로 하고 있다.[29] 혼재운송의 경우 원천적으로 금지하나 「총포·도검·화약류 등 단속법 시행령」 제49조 제3항 단서의 규정에 의한 화약류는 예외로 규정하고 있다.[30] 또한, 화학류만을 적재한 화차는 5량을 초과해 연결하지 못하도록 제한하고 있다.

(4) 기타 법률

「총·포·도검·화약류 등의 안전관리에 관한 법률」중 화약류의 운반(제26조)에 관한 법률에 의해 운반하는 자는 운반개시 1시간 전까지 발송지 관할 경찰서장에게 화약류운반신고서를 제출해야 하며, 이때 경찰서장은 운반의 일시·통로·방법·화약류의 성능·적재방법 등을 검토 후 재해방지 또는 공공의 안전 유지를 위해서 동법 47조에 따른 명령 또는 추가 조치를 시행할 수 있다.

「원자력안전법」상 제71조 및 시행령 108조에 따라 총리령으로 정하는 수량의 방사성 물질을 운반하는 경우 운반 신고를 해야 한다. 이때, 운반 신고 시에는 방사능물질 운반명세서, 운반할 방사성물질 등에 대한 설명서, 포장 및 운반 점검기록부, 방사능 물질 등의 포장 또는 운반을 위한 용기 및 특수형방사성물질의 설계승인서, 운반절차서 및 비상대응계획서를 제출해야 한다.

「농약관리법」내 농약 등 원제에 관한 운송 역시 농약 등 원제의 취급제한

29) 위험물철도운송규칙 제9조
30) 위험물철도운송규칙 제10조

기준에 의해 운송 시 교육, 운반차량 점검, 주의사항, 운반계획 등의 사항을 규정하고 있으며, 이때 원제를 1회 5,000㎏ 이상 운송 시에는 운반차량이 통과할 도로, 선정된 도로에서 가까운 행정기관, 운반 사고 시 신속하게 신고를 하기 위한 장비 등을 운반계획에 작성해야 한다.[31] 이때, 운반차량이 통과할 도로를 선정할 시에는 가능한 한 상수원 보호구역·강·하천 등 전복사고로 수질오염 유발가능성이 없는 예비도로 1개를 추가로 선정해야 한다.

「폐기물의 국가 간 이동 및 그 처리에 관한 법률」상 폐기물의 국내 이동의 경우 동 법률 8조 및 시행령 6조에 의거해 해당 수출입규제폐기물에 관한 수출이동서류를 소지해야 하며, 수출이동서류에는 운반자의 상호, 사업장 소재지 및 연락처, 운송수단을 명시해야 한다.

4. 항만위험물 재난·재해 대비 물류공급망 관리 현황

1) 시설

항만 내 재난·재해 발생에 따른 설비 및 시설확보 규정은 터미널 자체안전관리계획에 따른 항만 내 비상대비 대응 설비 및 재난별 매뉴얼상 명시하고 있는 주관부처별 대응시설로 분류할 수 있다.

터미널 자체안전관리계획상 비상사태를 대비해 자체적으로 소화수조, 옥외소화전 등 일반 소화관련 장비와 소화약제, 방화사, 질석, 방독면, 보호의, 방열복, 공기호흡기 등 「위험물안전관리법」상 옥외저장소 혹은 「유해화학물질 취급자의 개인보호장구 착용에 관한 규정」상 규정하고 있는 개인보호장구 등이 구비해야 한다.

31) 농약 등 원제의 취급제한 기준 제2조제7항

2) 정보시스템

재난·재해와 관련한 실시간 정보를 제공하는 정보포탈은 국민재난안전포탈로 해양·항만 관련 재난·재해와 관련해서 풍수해, 적조, 호우 등 자연재난 및 화재, 붕괴, 폭발 등 사회재난을 접수해 재난현황을 발송하고 있다. 그러나 항만 내 재난·재해 발생 시 실시간 정보를 공유하는 정보시스템은 울산항 등에서 일부 운영되고 있다.

3) 인적요인

항만 내 재난·재해 발생 시 개별 터미널별 안전관리계획서상 안전관리책임자 산하 비상사태 대응조직을 구성하고, 이에 따른 인력배치를 실시한다. 안전관리계획서상 항만 내 화재폭발, 가스누출, 풍수해, 위험물사고 및 기타사고 등이 발생을 대비해 비상계획을 수립하고 비상사태 발생 시 초기대응을 실시하기 위한 인력구성 계획을 포함하고 있다. 이때, 항만 별 취급화물, 저장소, 시설 등에 따라 안전관리자를 지정하게 있다. 안전관리자의 경우 산업안전기사 자격, 위험물산업기사 자격 등을 보유하고 있다.

4) 법·제도

국가적 차원에서의 각종 위기요인에 대한 국가 위기관리 활동의 개념, 기준, 방향성 등을 제기하기 위해 2004년 「재난 및 안전관리 기본법」이 제정되었다. 동 법률 시행령 26조에 근거해 국가안전관리계획이 매 5년마다 수립되고 항만을 포함한 주요 시설의 재난·재해관련 안전관리 대책을 마련했다.

또한 동 법률을 통해 국가안전보장회의를 통해 '국가위기관리기본지침'이 제정되었고, 2014년 위기관리 매뉴얼 작성·운영에 관한 조항 신설과 함께 재난유형별 위기관리 매뉴얼이 신설되었다. 주요 재난 유형에 따른 매

뉴얼 현황은 다음과 같다.

〈표 3-10〉 재난유형별 주요 위기관리 매뉴얼

재난유형	주관부처	총계	표준	실무	행동
화학사고재난	환경부	296	1	12	283
환경오염재난	환경부	261	1	4	256
해양오염재난	해수부, 해경청	117	1	5	111
철도재난	국토부	246	1	10	235
소방대상물 화재재난	행안부, 소방청	365	1	12	352
해양재난	해수부	163	1	11	151
방사능재난	원안회	35	1	15	77
도로재난	국토부	199	1	0	198
가스재난	산업부	207	1	0	206
위험물재난	행안부, 소방청	35	1	0	34
석유시설재난	산업부	1	1	0	0
생활화학제품· 살생물제재난	환경부	1	1	0	0
물류시설재난	국토부	1	1	0	0
항만재난	해수부	1	1	0	0
국가핵심기반 마비 (교통수송 육상·항공분야)	국토부	237	1	7	229
국가핵심기반 마비 (환경분야)	환경부	1	1	0	0
국가핵심기반 마비 (교통수송 항만분야)	해수부	1	1	0	0

주1. 표준은 위기관리 표준매뉴얼로 재난관리주관기관의 장이 작성해 행정안전부장관의 승인을 받아야 함
주2. 실무는 위기관리 실무매뉴얼로 재난관리주관기관의 장 및 관계 기관의 장이 작성해 재난관리 주관기관의 장의 숭인을 받아야 함
주3. 행동은 현장조지 행동매뉴얼로 위기대응 실무매뉴얼 작성기관의 장이 지정한 기관의 장이 작성해 재난관리주관기관 장의 승인을 받으며, 시장·군수·구청장이 작성한 경우 시·도지사의 승인을 받아야 함
자료: 행정안전부(검색일: 2025.4.20.)의 자료를 바탕으로 저자 작성

2024년 기준 해양수산부에서 운용 중인 재난 위기관리 매뉴얼은 표준매뉴얼 4개, 실무매뉴얼 25개 총 29개로 항만위험물 재난 관련 업무매뉴얼은 없으며 소방청의 위험물 재난 위기관리 매뉴얼 규정에 의거해 운영되고

있다. 국내 위기관리 매뉴얼은 재난 유형별로 분류하고 있어 개별 항만의 특성을 고려한 매뉴얼은 풍수해와 같이 자연재해 등에 대한 항만별 현장조치 행동매뉴얼 등만 작성되어 있다.

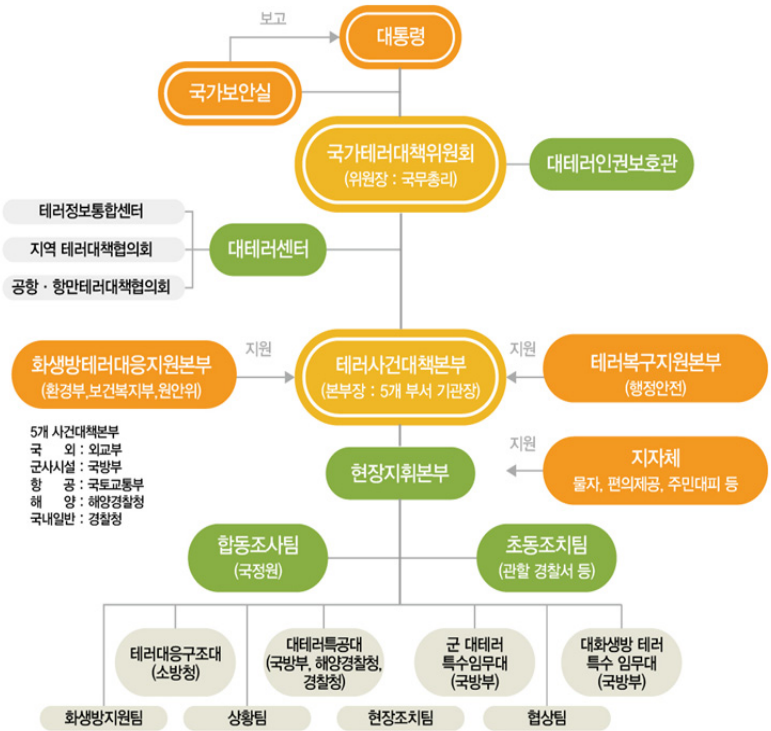
〈표 3-11〉 2024년 해양수산부 재난 위기관리 매뉴얼 현황

구분	주요 내용		소관부서	주관기관
표준 매뉴얼	대규모 해양오염		해양환경정책과	해양수산부
	적조		어촌양식정책과	
	해양 선박사고		해사안전관리과	
	조수		해양영토과	
실무 매뉴얼	대규모 해양오염		해양환경정책과	해양수산부
	적조		어촌양식정책과	
	해양 선박 사고	일반선박	해사안전관리과	
		여객선 해양사고	해운정책과, 연안해운과	
		연근해 어선사고	어선안전정책과	
		원양 어선사고	원양산업과	
		크루즈선·마리나선박	해양레저관광과	
	조수		해양영토과, 국립해양조사원	
	풍수해		해사안전관리과	행정안전부
	지진·지진해일		항만기술안전과	
	인접국가 방사능 누출		해양환경정책과	원자력안전 위원회
	원전안전 (방사능 누출)		해양환경정책과	
	GPS 전파혼신		항로표지과	과기부
	우주전파 재난		항로표지과	
	육상화물 운송		항만물류기획과	국토교통부
	감염병		항만안전보안과	보건복지부
	대형 화산폭발		해사안전관리과	행정안전부
	폭염		어촌양식정책과	
	한파		어촌양식정책과	
	해양 유도선 사고		해사안전관리과	해양경찰청
	낙뢰		해사안전관리과	행정 안전부
	자연우주물체 추락 · 충돌		해사안전관리과	과기부
	초미세먼지		해양환경정책과	환경부
	재외국민보호		해사안전관리과	외교부

자료: 해양수산부 홈페이지(https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?menuSeq=427&bbsSeq=2&docSeq=57351, 검색일: 2025.4.20.)

항만 내 위험물관련 테러사건이 발생한 경우 대테러센터에서 상황평가 및 위기경보를 발령하고, 국가테러대책위원회 산하 대테러센터에서 테러대응대책협의회를 통해 협의한다. 이때 항만시설소유자는 테러사건에 대한 대비 대응 체계를 갖추고 유사시 유관기관에 신속히 보고·전파해 테러별 주관기관의 지휘 통제에 따르고 필요한 사항을 지원해야 한다.

〈그림 3-4〉 항만위험물 대상 테러 시 대응 체계도



자료: p.144, 해양수산부(2018)

제2절 국외 위험물 컨테이너 물류공급망 관리 체계

1. 미국

1) 위험물 컨테이너 물류공급망 관리 체계

미국의 위험물 분류 및 관리 체계는 연방위험물운송법(US code 49, Chapter 51)과 연방규정집 49권(49 CFR)[32] 내 위험물 규정(Subcharter C)에서 위험물 정의(Part 171), 분류(Part 172), 포장(Part 178), 사고보고, 처리, 위험물 수송 등에 대해 명시하고 있다. 이때 Hazmat 분류 코드는 국제코드 분류 체계를 준수하며 항공, 도로, 철도, 선박 등 분류 코드 기준을 동일하게 적용해 운송, 저장, 보관 등에 따른 위험물 분류 체계를 통합적으로 관리하고 있다. 이때 위험물질 운송관리 및 감독을 담당하는 주요 기관은 교통부(Department of Transportation), 교통부 산하 수송 파이프·위험물안전관리국(Pipeline and Hazardous Material Safety Administration) 등이며, 항만들의 경우 위험물질 관리를 규제하고 사고 발생 시 대응을 위해 시 단위로 소방, 보건 등과 통합적인 인증 통합 프로그램 기관(Certificated Unified Program Agency)을 운영하고 있다.

미국의 항만위험물은 IMDG 코드상 Class 1에서 9까지 분류되어, 각 터미널 규정에 따라 직반출되거나 보관할 수 있다. 관련 법률로는 33 CFR 126[33] 해안시설에서의 위험화물 취급 규정(HANDLING OF DANGEROUS CARGO AT WATERFRONT FACILITIES)을 준수해야 하며, 그 중 위험

32) 미국 연방규정집(Code of Federal Regulations) 제49편의 위험물 운송에 대한 법령. 연방 단일 기준으로, 육상(도로·철도), 해상, 항공 운송 모두에 동일한 위험물 분류·표지·포장 기준을 적용(검색일 : 2025.10.23.)

33) 항만 구역에서의 위험물 취급 및 보관 기준(예: 위험물 야적장 설비, 경계, 감시 체계 등)(검색일 : 2025.10.23.)

물 보관시설로 지정받기 위해서는 33 CFR 126.15에서 지정한 장비 및 시설을 구비해야 한다.[34]

컨테이너 적재 방식은 지정된 시설에서 보관되어야 하며 높이는 4단으로 제한된다. 시설에 적재하는 위험화물은 불활성 또는 난연성 물질을 위험화물 사이에 배치해 화재 확산을 지연시키는 방식으로 배치해야 하며, 질산암모늄, 질산암모늄 비료, 비료 혼합물 또는 니트로탄질산염의 경우에는 연성 액체, 가연성 액체, 부식성 액체, 염소산염, 과망간산염, 미세 입자 등 오염을 유발할 수 있는 유기 물질 또는 기타 화학 물질로부터 최소 30피트(9미터) 이상 떨어져 보관하도록 규정하고 있다.[35] 이때 Class 1.1, Class 1.2 및 Class 7을 제외한 컨테이너 위험물은 IMDG Code에 따르도록 명시하고 있다.[36]

2) 재난·재해 대비 위험물 컨테이너 물류공급망 관리 체계

미국은 국토안보부 소속의 연방재난관리청에서 대규모 재난·재해에 대응하고 있으며, 이때 정부기관 간 연락 및 역할 조정, 주·지방정부에 대한 재정적, 기술적 지원 등 재난완화, 대비, 대응, 복구 등의 업무를 담당하고 있다. 하지만 재난의 유형에 따라 주관부처가 다르기 때문에 연방재난관리청이 모든 재난에 대해 최초 대응기관(first responder) 역할을 하지 않는다.

미국의 항만 재난·재해 관리 중 테러로 인해 발생하는 사건인 경우 국토안보국 산하의 해상보안청의 해상보안위험분석프로그램(Maritime Security

34) 위험물 보관시설을 위한 필수 설비는 소화장비, 경고표지판, 외부조명, 국제육상연결장치, 시설접근 제한, 경비원 등 보안조치, 자재취급용 트럭 및 기타 자동차, 적절한 장비 및 자재 등이 요구됨

35) 33 CFR § 126.28 Ammonium nitrate, ammonium nitrate fertilizers, fertilizer mixtures, or nitro carbo nitrate; general provisions.(검색일 : 2025.10.23.)

36) Class 1.1, Class 1.2 및 Class 7은 직반출해야 하며, 항만구역 보관할 경우 49 § 171.25 Additional requirements for the use of the IMDG Code에 규정된 미국 해안경비대(US Coast Guard)의 지역 항만 책임자의 허가 및 별도의 조건을 충족해야 함(검색일 : 2025.10.23.)

Risk Analysis Model, MSRAM) 등을 통해 주요시설의 보안 문제와 연계해 관리하고 있다. MSRAM은 US CoastGuard의 임무 수행을 지원하기 위해 개발된 분석 도구로 특정 대상이 항만, 사회인프라 등을 공격했을 때 빈도, 취약성, 피해결과 등을 산정해 보안강화를 위해 사용할 한정된 자금을 투입하기 위한 우선순위를 도출할 목적으로 연구·운영되고 있다. 피해를 야기하는 주요 공격방법은 다양한 형태의 폭탄을 통한 테러 및 선박·항공기에 선적된 연료, 화물 등을 이용한 공격 등 항만을 포함한 주요 해상 인프라를 대상으로 발생가능한 시나리오를 통해 피해 규모 및 범위를 측정하고 있다. 이러한 피해를 통해 발생한 인적, 경제적 및 사회적 피해를 산정해 피해액을 추정한다.

〈표 3-12〉 해상보안위험분석프로그램의 표적 유형 및 공격 모드

표적 유형의 예	공격 모드의 예
• 해상운송보안법상 규제 시설 및 해상플랫폼 • 특정 위험물 화물을 운반하는 바지선 • 특정선박 • 원자력 발전소 및 댐 등 주요자산 • 항만 지역에 위치한 교량 등 비규제 고위험 표적 • 해상 인근에 위치한 고층건물 • 특별행사 및 수변명소 • 군수품 하역 관련 표적	• 보트 폭탄 • 트럭 폭탄 • 소형 자살 항공기 • 수영하는 사람, 다이버, 수중운반시스템 • 승객, 통행인 폭발물, 사제 폭발 장치 • 수중 지뢰 • 납치된 대형 항공기를 통한 공격 • 납치된 선박을 통한 공격 • 테러 공격팀의 공격 • 사보타주 • 선박 폭탄 • 다수의 선박 공격

자료: p.11. US CoastGuard(2011)

지역사회와 연계한 인증 통합 프로그램 에이전시 운영을 통해 유해물질 관리를 통합적으로 관리하고 있다. 예를 들어, 롱비치의 경우 통합적인 인증 통합 프로그램 기관(Certificated Unified Program Agency)을 통해 6개의 유해 물질 및 폐기물 관리 프로그램을 1개의 기관에서 행정적으로

통합해 관리하고 있다. 이 프로그램은 ① 통일소방법(Uniform Fire Code) 계획 및 재고 요건, ② 유해물질 유출 대응 계획 및 재고 프로그램, ③ 지상 저장 탱크(AST) 유출 방지 관리 및 대책 계획(SPCC), ④ 지하 저장 탱크(UST) 프로그램, ⑤ 유해 폐기물 발생원 및 현장 유해 폐기물 처리 프로그램, ⑥ 캘리포니아 우발 유출 방지 프로그램(CalARP)으로 구성되어 있다. 이러한 프로그램은 캘리포니아주의 법률 및 규정[37]에 의거해 비상대응 계획 및 재고 목록을 작성하도록 의무화하고 있다.

2. 네덜란드[38]

1) 위험물 컨테이너 물류공급망 관리 체계

(1) 인적요인

네덜란드는 위험물 컨테이너의 저장, 하역, 운송 전 과정에서 안전사고 예방을 위한 법적 기준을 엄격히 적용하고 있다. 관련 종사자에게는 직무별 자격 요건과 교육 이수가 법적으로 요구되며, 로테르담항에서는 모든 위험물 작업에 대해 자격 보유자 배치가 의무화되어 있다. 또한 위험물의 분류, 운송 방식, 취급 형태에 따라 자격 수준이 세분화되어 있으며, 안전 자문위원 등의 배치를 통해 실무자와 감독자의 이중 관리 체계를 운영하고 있다.

37) 캘리포니아 보건안전법(California Health and Safety Code, Chapter 6.95, Article 1, Sections 25500 – 25519) 및 캘리포니아 규정집(California Code of Regulations, Title 19, Division 2, Chapters 4 and 4.1, Sections 2620 – 2671) 준수

38) 네덜란드 항만의 위험물 부가가치 창출 사례는 부록 3. 네덜란드 항만 부가가치 기반 위험물 관리 체계에서 기술

가. 터미널 종사자 교육 및 자격

네덜란드는 위험물 컨테이너의 저장, 하역, 운송 과정에서 발생할 수 있는 사고를 사전에 방지하기 위해 관련 종사자에 대한 자격 기준과 교육 체계를 법적으로 엄격히 운영하고 있다. 특히 로테르담항에서는 모든 위험물 관련 작업에 대해 필수 자격 보유자의 배치를 법령으로 의무화하고 있으며, 위험물의 종류와 위험도에 따라 종사자의 교육 수준과 자격 요건을 세분화해 적용하고 있다. 이와 함께 위험물 작업장에는 안전자문위원 등의 배치를 병행함으로써 실무 인력과 감독 인력이 이중으로 안전을 관리하는 구조를 갖추고 있다.

로테르담항의 위험물 터미널 근무자는 입사와 동시에 기본 위험물 취급 교육을 이수해야 한다. 이 교육에는 ADR 협약에 따른 물질 분류 체계, UN 번호 및 위험 식별 번호(Kemler 번호) 이해, 라벨 부착 기준, 누출·화재 발생 시 대응 절차, 작업 시 준수해야 할 안전 수칙 및 예방 조치 등이 포함된다. 수료 후에는 정부 또는 EU 공인 기관의 평가를 통해 자격이 부여되며, 이를 유지하기 위해 약 2~3년 주기로 보수교육을 받아야 한다. 보수교육 과정에는 최신 법령 개정 사항과 IMDG Code 변경 내용이 반영된다.

Class 1(폭발성 물질), Class 6.2(감염성 물질), Class 7(방사성 물질) 등 고위험 물질을 취급하는 종사자는 일반 교육과정 외에 전문 심화교육을 이수해야 한다. 해당 교육은 네덜란드의 중앙도로자격청(CBR, Centraal Bureau Rijvaardigheidsbewijzen) 또는 교통환경감독청(ILT, Inspectie Leefomgeving en Transport) 등에서 운영하며, 수료 후 정부 인증 시험을 통해 자격이 부여된다. 이후에는 현장 실습을 통해 실제 작업에 대한 수행 적합성을 평가받는 절차가 진행된다.

나. 위험물 안전자문위원

로테르담항 내에서 위험물을 취급하는 모든 사업장과 터미널은 법령에 따라 안전자문위원(Safety Advisor)의 배치가 의무화되어 있고, 내부 직원 1명과 외부 독립 자문인력 1명 이상을 각각 선임해야 한다. 이 자문위원은 위험물 관련 법령 및 기술 기준에 정통한 전문가로 네덜란드 중앙도로자격청이 인정하는 공식 ADR 안전자문 자격증을 취득해야 한다. 이를 통해 단순 행정 담당을 넘어 실제 현장 작업의 법령 적합성과 안전성을 기술적으로 평가하고 조언할 수 있는 전문 역량을 갖춘 인력만이 자격을 부여받는다.

안전자문위원은 터미널 내에서 수행되는 모든 위험물 작업 절차에 대해 정기적으로 검토하고, 이 절차가 관련 법령, IMDG Code, ADR 기준, 항만 조례 등에 적절히 부합하는지를 확인한다. 작업 현장에서 불합리하거나 개선이 필요한 사항이 발견될 경우 위원은 즉각적으로 시정조치를 권고하거나 개선 방안을 제시할 책임이 있다. 또한, 위험물 보관 및 취급 관련 작업이 항만 허가 조건 및 위험관리계획서에 명시된 기준을 준수하고 있는지 여부도 주기적으로 감독한다. 작업 환경의 안전성, 위험물 구역의 이격 거리, 방재 장비의 적정성, 비상대응 절차의 숙지 여부 등도 점검 대상에 포함된다.

또한, 네덜란드에서는 안전자문위원이 라인몬드 지역 환경청(DCMR) 및 교통환경감독청(ILT) 등과의 공식 협의 창구 역할을 수행한다. 특히 위험물 저장시설 및 터미널의 신규 허가나 갱신 절차에서 안전자문위원은 관련 기술자료를 사전 검토하고, 감독기관과의 협의 과정에서 기술적 설명과 질의응답을 담당한다. 이 과정에서 위험성 평가서, 사고예방계획, 물질안전보건자료(MSDS)를 기반으로 한 안전관리체계가 주요 심의 대상이 되며, 안전자문위원은 문서 검토, 현장 실사 대응, 대응계획 승인 절차에 참여해 시설의 안전성과 규정 준수 여부 확인에 기여한다.

사고 발생 시, 안전자문위원은 사고 보고서를 신속히 작성하고, 원인, 경과, 응급조치 내용, 재발방지 방안 등을 포함한 평가보고서를 제출한다. 해당 보고서는 DCMR 또는 ILT의 검토를 거치며, 필요에 따라 추가 조치나 개선 명령이 내려질 수 있다. 이러한 절차에서 안전자문위원은 단순한 외부 자문역을 넘어 법적 책임 이행과 이해관계자 간 협력 조정을 담당하는 핵심 인력으로 기능한다. 특히 다양한 위험물이 취급되는 로테르담항과 같은 대규모 물류거점에서는, 자문위원의 전문성과 조직 내 역할이 항만 안전관리 수준에 직접적인 영향을 미치는 중요한 요소로 작용한다.

다. 위험물 정보 시스템 운용자

로테르담항의 위험물 터미널에서는 정보 기반의 안전관리 체계를 실현하기 위해 위험물 전용 정보시스템의 운영과 유지관리를 담당하는 전문 운용자가 배치되어 있다. 이들은 터미널 내 보관 중인 위험물에 대한 분류(Class), 보관 위치, 적재량, 반출입 일정, 유효 MSDS 상태 등 핵심 정보를 실시간으로 갱신하며, 모든 데이터는 중앙 통합시스템을 통해 자동 관리된다. 해당 시스템은 포트베이스(Portbase) 또는 터미널 고유 플랫폼과 연동되어 데이터 입력과 교차 검증, 오류 감지 기능까지 포함한 고도화된 기능을 수행한다.

정보시스템은 2시간 간격으로 자동 업데이트되며, DCMR(지역 환경청), 지역 소방서, 경찰서, 응급의료기관 등 관계기관과 실시간 연동되어 있다. 이를 통해 사고 발생 시, 관계기관은 즉시 해당 물질의 성상, 위치, 클래스, 저장 수량 등을 확인할 수 있으며, 응급출동 시 대응 장비와 접근 경로도 시스템을 통해 사전 확보할 수 있다. 특히 야간이나 휴일 등 비상 시점에도 관련 기관이 별도 승인 없이 터미널 시스템에 접속해 정보를 열람하고, 신속한 초동 조치를 취할 수 있는 체계가 마련되어 있다.

터미널에서 컨테이너를 물리적으로 처리하는 작업자(예: 스트래들 캐리

어 운전자)는 시스템과 연동된 장비(차량 내 모니터 또는 휴대 단말기)를 통해 위험물 장치 위치 오류, 클래스 간 혼재 위험, 보관시간 초과 여부 등을 자동 감지할 수 있으며, 위험이 감지될 경우 시스템은 경고 메시지를 즉시 전송하고 장비 작동을 중단시킨다. 이 같은 기술적 장치는 작업자의 판단 오류로 인한 인재를 예방하고, 위험물 간 부적절한 조합으로 인한 화재·폭발 사고를 사전에 방지하는 데 핵심적으로 기여한다.

이러한 정보시스템은 단순한 데이터 저장 기능을 넘어, 사고 발생 가능성을 낮추고 비상 대응 속도를 단축시키며, 전체 항만의 운영 안정성을 뒷받침하는 전략적 자산으로 기능한다. 특히 로테르담항처럼 다양한 클래스의 위험물이 동시에 반입·보관·반출되는 복합 환경에서는, 이러한 시스템 기반 통제 방식이 법령 이행은 물론, 국제적 안전 기준을 충족시키는 핵심 수단으로 자리 잡고 있다.

〈그림 3-5〉 로테르담항만공사 위험물 정보 시스템 운용 안전관리자



자료: Port of Rotterdam(검색일: 2025.5.1.)

(2) 법·제도

네덜란드는 EU 지침과 국내 법령에 따라 위험물 컨테이너의 저장·운송 전 과정에 대한 다층적 규제를 시행하며, BRZO 2015[39]와 ARIE에 따라

39) 중대산업사고 위험관리령이라는 뜻으로 일정량 이상의 위험물(예: 인화성·폭발성 물질)을 저장·취급하

사업자는 위험성 평가와 사고 대응계획 수립, 정기 점검을 의무화하고 있다. 운송은 ADR 협정 기준을 따르며 자격증과 차량 요건을 충족해야 한다. 로테르담항만은 별도 항만조례(Port Bye-laws of Rotterdam)에 따라 사전 허가제를 운영하며, DCMR(Environmental Protection Agency for Rijnmond Region)이 이를 감독하는 등 전반적으로 안전성과 규제 이행을 중시하는 체계적 관리가 이루어지고 있다.

네덜란드의 위험물 운송은 유럽 전역에서 공통적으로 적용되는 「위험물 국제운송에 관한 유럽협약(ADR: Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route)」을 근간으로 하며, 도로운송뿐만 아니라 내륙수운(ADN), 철도운송(RID)에도 상호 연계 가능한 체계를 갖추고 있다. ADR 협약은 위험물의 분류, 포장, 표시, 운송수단, 운송 조건, 종사자 교육, 사고 발생 시 절차까지 상세하게 규정하고 있으며, 이를 국내법으로 전환한 상태에서 네덜란드 전역에 적용되고 있다.

위험물을 운송하기 위해서는 반드시 전문 운송 자격증인 「ADR 자격증(Certificaat ADR Vakbekwaamheid)」을 취득해야 하며, 이 자격은 네덜란드 중앙도로자격청(CBR: Centraal Bureau Rijvaardigheidsbewijzen)이 주관해 발급한다. 자격증은 위험물의 일반 취급 자격 외에도 특정 물질군(예: Class 1 폭발성 물질, Class 6.2 감염성 물질, Class 7 방사성 물질 등)에 대해서는 별도의 추가 전문과정을 이수해야 하며, 실기 중심의 시험을 통과한 후 발급된다. 해당 자격은 5년마다 갱신되며, 갱신을 위해서는 재교육 이수와 갱신 시험을 통과해야 한다.

위험물 운송에 사용되는 차량은 RDW(네덜란드 차량관리청)의 규정에

는 시설은 위험성 평가서(사고 대응계획, 비상시 대응 매뉴얼, 정기 보고서 등)를 제출해 DCMR(로테르담 지역 환경감독청) 등 관계기관의 사전 허가를 받아야 함

따라 설계·등록되어야 하며, 정기적인 기술검사 및 ADR 적합성 인증을 받아야 한다. 차량 외부에는 UN 번호 및 위험물 클래스에 따른 위험 식별번호(Kemler Code)가 표기된 오렌지색 반사 표지판(placard)을 전면과 후면에 부착해야 하며, 이는 사고 발생 시 긴급대응기관이 즉시 해당 물질의 성격을 파악할 수 있도록 하는 데 목적이 있다.

또한, 위험물 운송 차량에는 운송 중 사고 또는 누출 발생에 대비한 기본적인 방재장비(흡수포, 방염포, 보호장비 등)와 더불어 긴급연락처 및 사고 시 대응 절차가 포함된 서류가 반드시 구비되어야 한다. ADR 규정에 따라 차량에는 운전자 외에 보조 인력이 동승할 수 있으며, 비상사태 발생 시에는 즉시 운송을 중지하고 관할기관에 보고하는 의무가 부여된다. 이와 같은 다층적 제도는 운송 단계에서의 사고 예방과 초동대응 역량 강화를 위한 법적 안전망으로 작동하고 있다.

가. 로테르담항 규정

로테르담항은 유럽 최대 규모의 산업·물류 복합 항만으로서 위험물의 저장, 하역, 운송 등 전 단계에 걸쳐 항만 자체적으로 엄격한 관리 규정을 운영하고 있다. 이를 위해 로테르담항만공사(Havenbedrijf Rotterdam)는 「로테르담 항만관리 조례(Port Bye-laws of Rotterdam)」를 제정·시행하고 있으며, 해당 조례는 항만구역 내에서 이루어지는 모든 위험물 관련 작업에 대해 사전적 규제 체계를 수립하고 있다.

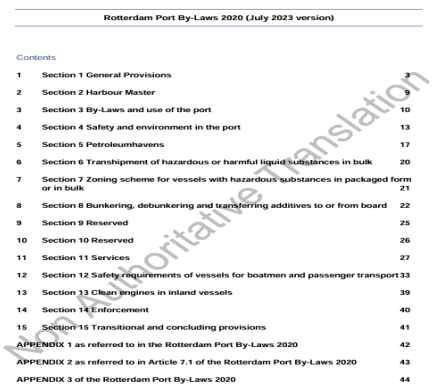
본 조례는 선박의 계선 및 항만 내에서 이루어지는 위험물의 저장, 이송, 세척, 혼합, 포장 해체 등 일체의 작업에 대해 적용되고, 해당 작업을 수행하려는 사업자는 반드시 사전에 항만당국에 신고하고 허가를 받아야 한다. 특히 위험물 컨테이너는 지정된 전용 구역에서만 장치가 가능하고, 구역 간 이격 거리, 물질 간 혼재 가능 여부, 주변 기업과의 정보 공유 절차 등도 조례를 통해 상세히 규정되어 있다. 이 같은 조치는 혼재로 인한 2차 위험

을 방지하고, 위험물 간 화학반응 또는 누출·화재·폭발로 이어질 수 있는 연쇄 사고를 예방하는 데 목적이 있다.

로테르담항 및 인근 Rijnmond 지역의 환경·안전 감독 권한은 지역 정부 산하 기관인 DCMR(Environmental Protection Agency for the Rijnmond Region)이 담당한다. DCMR은 BRZO 2015, ARIE, Omgevingswet 등 환경·안전 관련 주요 법령에 따른 행정 허가 발급, 사업장 점검, 위반 시 제재 조치, 사고 발생 시 현장 지휘 및 비상대응본부 운영 등 총괄적인 감독기능을 수행하고 있다. DCMR은 단순한 규제기관을 넘어 민간 터미널 운영자와의 사전 협의, 허가 갱신 조건 설정, 위험관리계획서(Risk Management Plan) 검토 등까지 포함하는 실질적 협력 거버넌스를 구축하고 있으며, 이를 통해 로테르담항과 배후도시 전역의 위험물 안전관리를 종합적으로 책임지고 있다.

〈그림 3-6〉 로테르담항만공사 로테르담 항만관리 조례(Port Bye-laws of Rotterdam)




Rotterdam Port By-Laws 2020 (July 2023 version)

Contents

1	Section 1 General Provisions	3
2	Section 2 Harbour Master	9
3	Section 3 By-Laws and use of the port	10
4	Section 4 Safety and environment in the port	13
5	Section 5 Petroleumhavens	17
6	Section 6 Transhipment of hazardous or harmful liquid substances in bulk	20
7	Section 7 Zoning scheme for vessels with hazardous substances in packaged form or in bulk	21
8	Section 8 Bunkering, debunkering and transferring additives to or from board	22
9	Section 9 Reserved	25
10	Section 10 Reserved	26
11	Section 11 Services	27
12	Section 12 Safety requirements of vessels for boatmen and passenger transport	33
13	Section 13 Clean engines in inland vessels	39
14	Section 14 Enforcement	40
15	Section 15 Transitional and concluding provisions	41
APPENDIX 1 as referred to in the Rotterdam Port By-Laws 2020		42
APPENDIX 2 as referred to in Article 7.1 of the Rotterdam Port By-Laws 2020		43
APPENDIX 3 of the Rotterdam Port By-Laws 2020		44

Non-authoritative translation

자료: Port of Rotterdam(검색일: 2025.5.1.)

2) 재난·재해 대비 위험물 컨테이너 물류공급망 관리 체계

(1) 항만 대응 체계

네덜란드는 항만에서의 위험물 사고에 대응하기 위해 중앙정부, 지방정부, 항만관리 당국, 민간 터미널 운영자가 유기적으로 협력하는 다기관 통합 재난 대응 체계를 구축하고 있다. 이 체계는 단일 기관의 책임이 아닌 공공과 민간이 공동으로 참여하는 형태로 설계되어 있고, 특히 로테르담항에서는 국가 차원의 「BRZO 2015」 및 「ARIE」 법령을 기반으로 하는 허가제 및 위험관리계획 제도가 핵심적인 작동 원리로 기능하고 있다. 이와 함께 지역 환경감독기관인 DCMR(Environmental Protection Agency for the Rijnmond Region)이 통합 조정기관으로서 전 단계의 재해관리 기능을 주도하고 있다.

재난 예방 단계에서 위험물 취급사업자는 법적으로 사전 위험성 평가(RIE)와 사고 대응 시나리오 작성이 의무화되어 있고, 이를 바탕으로 재해대응계획서(Rampenbestrijdingsplan)를 작성해 DCMR에 제출하고 승인을 받아야 한다. 터미널 및 장치장 설계 시점부터 지반 불투수 처리, 누출 차단구조, 클래스 간 물리적 이격 거리 확보, 자동 소화설비 설치 등 기술적 조치가 사전에 반영되어야 하고, 이는 허가 심사 단계에서 핵심 평가 항목으로 검토된다. 이와 함께 위험물 정보는 터미널의 정보관리 시스템을 통해 2시간 주기로 갱신되며, 경찰서, 소방서, 병원 등 관계기관에 실시간 공유되어 화물 위치·종류·위험도 정보를 신속히 제공할 수 있도록 한다.

비상 상황 시 관계기관은 야간, 공휴일 등 무인 시간대에도 터미널 시스템에 접근할 수 있는 권한을 부여받아 즉시 초동대응에 나설 수 있도록 설계되어 있다. 이는 실시간 정보 기반 대응 체계를 통해 초기 대응의 정확성, 신속성, 조치의 일관성을 크게 향상시킨다.

재난 대응 단계에서는 항만관리자와 DCMR이 공동 지휘기능을 수행하고, 사안의 성격에 따라 경찰·소방·보건기관 등과 함께 통합지휘체계(Coordinated Command Structure)를 가동한다. 유해화학물질 누출, 화재, 폭발 등 사고 유형에 따라 대응 매뉴얼이 자동 적용되며, 필요시 DCMR 주관하에 재난대응본부가 설치되어 인근 기업, 터미널 종사자, 지역 주민에 대한 긴급대피 및 통제 조치가 시행된다.

복구 단계에서는 사고가 발생한 터미널에 대한 운영 허가의 유지 또는 갱신 여부가 검토되며, 사고 원인 조사, 재발 방지 대책 수립, 관계기관 보고 및 후속 이행 점검이 동시에 추진된다. 특히 2017년 도입된 관련 법령에 따라 사고가 발생한 기업은 '발생지 기업'(bronbedrijf)으로 지정되며, 반경 내 영향권에 위치한 기업은 '피해지 기업'(schadebedrijf)으로 분류되어, 사고 관련 정보의 상호 공유와 사전적 대응조치를 사전에 체계화하도록 규정되어 있다. 이를 통해 단일 기업의 대응을 넘어 지역 단위의 집단적 위험관리 체계가 작동하도록 제도적으로 장치되어 있다.

(2) 도로·철도 연계 위험물 대응 체계

네덜란드는 위험물 수송이 일상적으로 이루어지는 고밀도 물류 국가로서 도로 및 철도운송 부문 모두에서 위험물 사고에 대비한 사전적 대응 매뉴얼과 기술적 인프라를 체계적으로 구축하고 있다. 도로와 철도는 각각의 운송 특성과 지형 조건에 맞춘 대응 체계를 운영하며, 중앙정부(인프라·물관리부), 지방자치단체, 인프라 운영기관(Rijkswaterstaat, ProRail), 민간 운송사업자 간 협업을 통해 통합 대응력을 강화하고 있다.

도로 인프라 측면에서는 위험물 수송 경로 중에서도 지하차도, 하천 인접구간, 고속도로 분기점 등 취약 지점에 대해 침수·충돌·폭발 위험에 선제적으로 대응할 수 있도록 설비가 집중적으로 설치되어 있다. 해당 지

역에는 수위 감지센서, 자동 차단게이트, 음향·광학 경보 시스템이 사전에 배치되어 있으며, 상황 발생 시에는 교통통제시스템을 통해 차량 진입이 즉각 차단된다. 사고 발생 시에는 응급조립교량, 모듈형 차선 구조물, 이동식 배수 펌프 등 고기동 대응 장비가 현장에 신속히 투입되며, 도로 설계는 다중화되어 있어 사고 지점 회피 및 우회 경로 확보가 가능하도록 구성되어 있다.

철도 부문에서는 국가 철도 인프라 관리기관인 ProRail과 민간 철도 사업자들이 각자 역할에 따라 위험물 수송을 위한 별도 관리 체계를 구축하고 있다. 특히 위험물 전용 화차가 통행하는 구간에서는 사면 붕괴, 낙석, 지반 침하 등 자연적 리스크에 대비한 위험감시 시스템이 상시 작동하고 있으며, 철도 노선별로 기상 연동 감시센서, 침수 감지 시스템이 설치되어 있어 위험 상황 감지가 자동화되어 있다. 해당 시스템은 열차 운행 제어센터와 연동되어 있어 위험이 감지되면 즉시 열차 운행 중지 및 해당 구간 폐쇄 조치가 이루어진다.

사고 발생 시, 위험물 적재 정보는 디지털 기반 정보시스템을 통해 즉시 관계기관에 공유된다. 특히 디지털 트윈 기술 기반의 통합 플랫폼은 열차별 적재물, 위험물 클래스, 위치정보, 시간표 등을 실시간으로 시각화해 소방청, DCMR, 경찰청 등 주요 기관과 즉각 연계된다. 이를 통해 현장 대응기관은 물질 특성과 대응방법을 즉시 확인할 수 있으며, 상황 발생 후 수 분 이내에 통제·대피·차단 작업이 착수될 수 있도록 설계되어 있다. 이러한 체계는 단순 대응을 넘어 위험물 수송의 실시간 가시성과 사전 대응성을 확보하는 핵심 안전 인프라로 작동하고 있다.

3. 중국

1) 위험물 컨테이너 물류공급망 관리 체계

(1) 인적 요인

중국은 국가 차원에서 표준화된 교육 및 훈련 체계와 등록 시스템을 마련하여 저장·운송·하역 등과 같은 위험물 컨테이너 물류의 전 과정에서 인적 자격 요건을 엄격하게 규정하고 있다. 인력 관리 방식은 항만·도로·철도 등 수송망별로 세부적인 내용은 차이가 있으나 자격증 취득, 정기 안전교육, 비상대응 훈련, 법적 책임 구조 마련 등 공통적인 사항으로 운영된다. 특히 2015년 톈진항 대폭발 이후 중앙정부의 주도로 자격 관리 체계를 제도화하고 교육 내용 등을 법령으로 명문화하여 이를 기반으로 지방정부와 항만 당국이 각 지역의 훈련·관리 시스템을 보완하였다.

가. 항만 부문

중국은 항만 부문의 위험물 컨테이너 물류공급망 관리를 위해「항만위험물 안전관리규정(港口危险货物安全管理规定)」을 통해 항만에서의 위험물 취급 인원을 유형별로 구분하였다. 먼저 하역 관리인원(装卸管理人员)은 작업 과정 전반을 관리하며 현장을 통제하는 역할을 수행하고, 작업인원(作业人员)은 위험물을 실제로 취급한다. 이들은 국가에서 인정하는 안전교육을 통해 자격증을 취득해야만 업무 수행이 가능하다. 또한 안전 규정에서는 단순한 자료 입력 인력이 아닌 위험물 컨테이너가 항만에 들어올 때 정보를 등록하고 물류 흐름을 관리하는 핵심 인력인 신고자(申报员) 직군을 별도로 두고 있다. 신고자는 국가가 지정한 플랫폼에 정보를 등록하고 교육과 시험을 거쳐야만 그 자격을 얻을 수 있다. 등록이 되지 않으면 작업계획 제출 또는 승인 절차에 참여할 수 없다. 이러한 과정을 거친 신고자는 실제 현장에서 컨테이너의 UN 번호, 품목명, 포장 형식, 위험 등급, 반입

예정 시간 등을 입력하게되고 이렇게 입력된 데이터는 감독기관과 실시간으로 연동된다. 그 결과 안전관리와 행정 절차가 동시에 이루어진다.

한편 「위험물 해상운송 종사자의 평가 및 자격관리에 관한 규정(危险货物水路运输从业人员考核和从业资格管理规定)」에서는 해상운송과 항만 하역 인력을 위험화학물 책임자, 선박 관리자, 하역작업자, 위험물 신고 담당자 등 네 가지로 분류한다. 이들은 법규, 응급조치, 기술 요령 등에 대한 교육을 받고 일정 주기마다 재교육과 자격 갱신을 거쳐야 한다. 관련 교육은 국가교통운수직업자격센터 또는 국가가 지정한 기관에서 시행되며 3년마다 추가적인 교육과 평가를 통해 자격이 유지된다. 교육 내용은 실제 항만 사고 사례, 화학물 누출 시 대피 절차, 소화 장비 사용법, 법적 책임과 형사처벌에 관한 항목까지 포함된다.

추가적으로 주요 항만(상하이·닝보·광저우항 등)은 자체적으로 항만 안전통제센터(Port Safety Control Center)를 운영하여 위험물 운송을 관리한다. 항만 안전 통제센터에서는 시스템 로그인 기록, CCTV 영상, 작업자 동선 데이터를 통합 관리한다. 이러한 센터의 관리를 통해 일정 기간 내 교육을 이수하지 않았거나 징계 이력이 있는 작업자 및 허위 입력 전력이 있는 인력은 자동으로 위험물 작업에서 배제된다. 또한 고위험 물질(1급 폭발물, 6.1급 독성물질)의 경우 최소 2인 이상이 함께 근무하도록 의무화하였다. 특히 광저우항에서는 신고자를 포함한 위험물 담당자 전원은 매년 종합재난 모의훈련을 받아야하며 훈련에 참여하지 않은 인력은 그다음 해 작업 승인 자격이 정지된다.

나. 도로 부문

도로 부문의 위험물 관리에서는「위험화학품안전관리조례(危险化学品安全管理条例)」를 통해 관리되고 있고, 여기서는 단순히 운전기사만을 규율하지 않는다. 차량에 함께 탑승하는 동승자(押运人员), 포장 작업에 참여하

는 인력, 차량 검사 담당자까지도 모두 별도의 자격 요건을 갖추도록 하고 있다. 운전자는 공안 교통관리부에서 발급하는 위험물 운송 자격증(危化品运输资格证)을 반드시 소지해야 하고, 동승자는 사고 발생 시 초기 대응을 수행할 수 있도록 소화기 사용법, 누출 응급조치, 사고 현장 통제 등과 관련된 교육과 인증을 받아야 한다. 즉, 동승자는 단순한 운전자의 보조가 아니라 차량 정차 시 위험표지 설치, 주변 감시, 초기 방재 활동을 수행하는 주체로 규정되어 있어 실질적인 안전 책임을 진다.

운송기업의 경우 출발 전 안전 브리핑을 실시해야 하고 정기적 교육과 연간 재평가를 실시해야 한다. 기업에서 실시한 교육의 이력은 1년 이상 보관해야 하고 이러한 정보는 화학물질 도로교통 정보시스템(危险化学品道路运输信息系统)을 통해 운전자 및 보조 인력의 자격 상태, 교육 이력, 법규 위반 여부 등을 확인할 수 있다[40]. 만약 무자격자가 차량에 탑승하여 중대사고 발생시에는 단순 행정처분을 넘어 운송 면허가 정지되고 형사처벌까지 이어질 수 있도록 규정되어 있다.

다. 철도 부문

중국의 철도 부문 위험물 운송은 어떤 사람이 어떤 조건을 충족해야 하는지를「철도위험물운송안전관리감독규정(铁路危险货物运输安全监督管理规定)」을 통해 세세하게 구분하였다. 전담 안전감독관(安全监督员), 열차 차량을 맡는 담당자(车辆操作员), 하역을 책임지는 감독자(装卸负责人) 같은 직군으로 구분하여 철도 전문 교육기관에서 정한 과정을 이수하고 시험에 합격해야만 실제 현장에서 업무를 수행할 수 있다. 교육 과정은 단순한 강의 수강이 아닌 반드시 실습이 포함되며 비상 상황을 가정한 훈련(应急演练)이 최소 반년마다 실시된다. 이러한 훈련에서는 참여 여부만 확인하

40) 中华人民共和国交通运输部(2019), 危险货物道路运输安全管理办法, 中华人民共和国交通运输部(2019), 危险化学品道路运输安全管理办法

는 수준이 아니라, 훈련 결과를 수치로 평가해 그 성과가 자격 유지 여부에 직접 영향을 미친다. 철도 분야에서는 실제로 위기 상황에 어떻게 대응할 수 있는지, 그 능력이 정기적으로 검증되어야만 자격을 이어갈 수 있다. 결국 철도 부문에서는 교육 수료만이 아니라 실제 대응 능력과 훈련 성과까지 포함해 종합적으로 자격을 관리하는 실질적인 자격관리 체계(资格管理体系)가 구축되어 있다.

게다가 「철도 위험물 운송업자 자격 허가방법(铁路危险货物承运人资质许可办法)」에서는 운송기업 내 인사관리 기준까지 제시하고 있다. 기업은 위험물 운송업무 담당자에게 연 1회 이상의 응급대응 시나리오 훈련을 실시해야 하고, 사고 발생 시 대응 주체별 업무분장 매뉴얼을 통한 보고 체계를 갖추어야 한다. 철도국은 각 철도기업의 인력에 대한 근무일지, 근무 위치, 사고 대응 이력 등을 전산으로 관리하며 작업 중 휴식 위반, 무자격 작업, 대리 입력 등이 확인되는 경우 기업 전체의 고위험물질 운송 권한을 정지할 수 있다. 또한 2023년부터는 철도부 주관으로 위험물 운송직무 능력등급 인증서(危化品运输岗位能力等级证书) 제도가 도입되어 인력의 경력, 사고 대응 능력, 교육 이수 이력을 종합적으로 등급화하고 있으며 고등급 인력만이 고위험 경로 운송 업무를 수행할 수 있도록 제한하고 있다[41].

(2) 위험물 운송 관련 법·제도

중국의 운송 관련 법·제도는 여러 법과 세부 기준이 동시에 적용된다. 가장 기본이 되는 법은 「위험화학품안전법(危险化学品安全法, 초안)」이며, 이 법에서는 위험물이 만들어지는 순간부터 보관과 운송, 사용, 최종 폐기에 이르기까지의 전 과정을 규제하고 있다.

「안전생산법(中华人民共和国安全生产法)」에서는 위험화학물을 다루는

41) 全国人民代表大会常务委员会(2024), 危险化学品安全法(草案)

기업은 안전을 책임질 관리자를 두어야 하고, 정기적인 점검과 교육을 진행하도록 하였다. 또한 사고에 대비한 대응 계획을 마련해 두는 것도 필수로 지정하여, 형식적인 절차가 아닌 실제 현장에서 사람과 설비 모두가 동시에 관리되도록 하였다.

보관 기준의 세부 사항은 「상용위험화학품보관통칙(常用危险化学品贮存通则, GB 15603-2022)」을 통해 규정하였다. 이 통칙에서는 창고가 불에 견딜 수 있는 구조인지, 환기와 방폭 설비가 있는지, 서로 다른 물질 간의 이격 거리가 지켜지는지, 적재 허용량은 어느 정도인지, 소화 장치나 누출 방지 장비가 있는지 등 보관에 필요한 모든 사안이 포함되어 있다. 이런 기준은 항만 컨테이너 야드를 설계하거나 운영할 때 직접 참고되며 이를 통해 최근에는 CCTV나 가스 감지기 등의 장비 활용이 늘어나고 있는 추세이다.

위험화학물의 도로 운송 규정은 독립적으로 관리된다. 도로위험화학품운송관리규정(道路危险化学品运输管理规定)」을 통해 사용되는 차량은 일반 트럭이 아닌 전용차(危运车)로 지정하였으며 실제 사고가 발생했을 때 책임 규정을 위해 차량에 의무적으로 위치 추적용 GPS와 사고 발생 시 자동으로 작동하는 경보 장치 설치를 의무화하였다. 운전자는 관련 자격을 보유해야 하며 주기마다 재교육을 받아야 한다.

2025년 3월에는 위험물 운송의 국제기준 준수를 위해 기존의 2012년 제정된 위험물 분류를 대체한 「위험물 분류 및 품명 번호(危险货物分类和品名编号, GB 6944-2025)」와 「위험물질품명표(危险货物品名表, GB 12268-2025)」를 발표하였다[42]. 이 기준을 통해 새로 도입된 9개 분류 체계는 물질의 성질에 따라 운송 방식이나 포장 조건을 달리 적용하며 이를

42) 두 기준은 2025년 10월부터 시행되며, 개정 과정에서 UN이 제정한 위험물 운송 권고서(UN TDG 제22차 개정판)가 반영됨

통해 중국은 국제 규범과 부합하는 자국의 관리 체계를 갖추게 되었다. 「위험물질품명표(危险货物品名表, GB 12268-2025)」에서는 운송 가능한 품목, UN 번호, 위험등급, 포장 등급, 특수 조건 등을 통합하여 관리하는 표준을 제시하였다. 이를 통해 항만 운영자와 운송사업자가 위험물 컨테이너를 수리, 선적, 하역할 때 필수적으로 참조하도록 하였다.

〈표 3-13〉 위험화학물질 분류 비교

구분	GB6944-2012	GB6944-2025	비고
기준 목적	• 위험물 분류 및 품명 번호 부여	• 위험물 분류 및 품명 번호 부여	• 국제 정합성 강화
분류 체계	• UN 기준 9개 분류 유지	• UN 기준 9개 분류 유지	• 품목별 기준 세분화
포함 품목 수	• 약 3,200개	• 약 3,500개 이상	• 리튬염, 바이오물질 등 신물질 추가
등급체계 조정	• 일부 품목 등급 구체화 부족	• 위험도 재평가 기반 등급 조정	• 고위험 물질 중심 등급 조정 강화
UN 번호 체계	• 부분적으로 일치	• UN TDG 제22판 전면 반영	• 국제 통관 서류 호환성 강화
인용 문서	• 이전 분석·시험 규정 반영	• 최신 분석·시험 규정 반영	• 총 30여 종의 시험법 기준 포함
정보 항목	• UN번호, 물질명 등 제한적	• UN번호, 포장방법, 응급조치 등 통합 정보 제공	• 운송문서 자동화 지원에 유리
통관 대응	• 통관 문서와 별도 관리	• 전자통관 시스템 연계 가능	• 항만·세관 자동 시스템 적용 가능

자료: 中华人民共和国国家标准 GB 6944-2025(2025).

또한 「위험화학품포장표시(危险货物包装标志, GB 190-2009)」를 통해 포장 단위에 부착할 라벨, UN 번호, 경고 문구, 화학명 등의 표시기준을 통일하여 시각적 식별을 가능하게 하였다. 이를 통해 항만·세관·물류기업 간 정보의 비대칭 해소와 안전관리의 일관성을 유지할 수 있도록 하였다.

〈표 3-14〉 위험화학품포장표시 주요 내용

항목	내용
적용 원칙	• 위험화학품의 포장 표지는 식별성, 경고성, 규범성, 국제성 포함
표지 구성	• 5가지 요소 포함: ① 화학품명칭, ② 주요 위험성 표시, ③ 경고 표식, ④ 제조·수입업체 정보, ⑤ 응급조치 문구
표시 형식	• 마름모(◇)형 GHS 라벨과 색상(흑색/적색/백색) 기준 명시 • 라벨은 내수성, 내마모성, 장기 고정 가능 재질로 부착할 것
경고 문구 예시	• 严禁烟火(화기엄금), 避免震动(충격 주의), 远离儿童(어린이 손에 닿지 않게 하시오) 등 다수 예시 제공
표기 언어	• 반드시 중국어(간체자)로 표기해야 하며, 필요시 영어 병기 가능
제품 사례	• 유독가스, 인화성 액체, 산화제, 부식성 물질, 자극성 물질 등 각각의 라벨 샘플 포함
첨부 도표	• 위험 분류별 라벨 예시, 부착 위치 도면, 위험성 코드 해석표 수록

자료: 中华人民共和国国家标准 GB 190-2009(2009).

중국 교통운수부는 2024년 1월 20일 「위험물 운송 선박 안전감독관리 규정(船舶载运危险货物安全监督管理规定)」을 제정·공포하여 2025년 3월 1일부터 전면 시행하였다. 이 규정을 통해 해상에서 위험물을 운송하는 선박과 관련된 모든 주체(선적자, 선사, 터미널, 감독기관)에 대해 명확한 책임과 절차를 부여하였다. 이 규정은 중국 관할 해역을 항해하거나 중국 항만에 입출항하는 국내외 모든 선박을 적용 대상으로 한다. 위험화학물질, 유해화물, 위험성 일반화물 등 법령 및 기술 기준상 위험물에 해당하는 품목을 선적하는 선박은 모두 이 규정의 감독을 받으며, 단순 선박 안전기준이 아닌 위험물의 선적 신고, 선박 조건, 터미널 적합성, 감독기관의 점검 권한 등 전 과정을 포함하고 있다.

먼저 선적자(화주)의 책임은 위험물 운송에 있어 단순히 물품명만 기재하는 수준이 아니라 공식 명칭, UN 분류번호, 포장 방식, 사고 시 응급조치 절차, 라벨링 정보까지 빠짐없이 포함한 문서를 반드시 제출하도록 하였다. 제출 시점도 엄격히 규정하여 선박의 입항이나 출항 최소 24시간 전

까지 선사와 항만 당국에 전달해야 한다. 만약 서류가 허위로 작성되거나 제출 자체가 누락되면 단순 과태료를 넘어 행정처벌 또는 민형사상 책임까지 이어질 수 있도록 규정하였다.

또한 선박 소유자 및 운항자는 위험물을 적재하고 분리·보관하는 과정에서 통풍이나 세척 등 각종 설비 요건을 충족해야 하며, 비상 상황에 대비한 매뉴얼과 모의훈련 체계를 갖추어야 한다. 선적된 화물과 SDS(Safety Data Sheet)의 내용이 불일치하거나, 서로 혼재해서는 안 되는 위험물이 같은 구획에 보관되는 경우 명백한 위법 행위로 간주하여 감독기관의 점검을 받아야 한다.

또한 터미널에서 위험물을 하역, 적치를 위해서는 정식 허가를 받아야 한다. 허가를 받지 않은 상태에서 하역을 하거나 임시로 적치하는 행위는 허용되지 않으며, 승인되지 않은 품목을 들여오거나 지정되지 않은 장소에 쌓아두는 것도 마찬가지로 금지된다. 해사국과 같은 감독기관은 보관 위치가 적절한지, 물질 간 간격을 지키고 있는지, 전용 구역이 제대로 마련되어 있는지, 화재나 누출에 대응할 장비가 있는지 등 작업 전반에 걸쳐 확인해야 한다. 또한 선박과 터미널 관리에 있어 서류 검토, 입항 승인, 현장 점검, 온라인 모니터링 등과 같은 다양한 절차를 전자 방식의 통합 시스템을 활용한 일원화 관리를 실시하고 있다.

행정 절차에 있어서는 선적 신고서나 위험물 정보, 선박 조건 충족 여부를 확인하는 데만도 일주일 정도가 걸렸지만 현재는 5일 이내에 처리가 완료된다. 규정을 어긴 경우에는 단순한 벌금 부과로 끝나지 않고 영업 정지, 선박 입항 금지, 면허 취소 같은 강력한 조치가 뒤따를 수 있다. 이러한 제재의 강도는 위반의 심각성, 그리고 해당 기업의 규모에 따라 달라진다.

〈표 3-15〉 위험물 운송 선박 안전감독관리규정 비교

구분	2018년	2025년(개정)	비고
적용 범위	국내선박 중심(일부 국제 선박도 적용)	중국 항만 기항 모든 선박 대상 (국내외 포함)	국제 통일성 강화, 외국 선박도 포함
신고 주체	선사 중심 신고(선장·운항관리자)	선적자(화주)의 서면 신고 의무 명시	책임 주체 확대, 화주까지 포함
신고 시점	일반적 출항 전 신고	입·출항 24시간 전까지 필수 제출	신고 시점 명확화 및 강화
신고 항목	품명, 수량, 위험 등급	공식 화학명, 보호조치, 응급계획추가	정보의 상세화 및 정합성 요구 증가
선박 조건	일반 설비 기준 명시	위험물 적재·분리·세척·통풍 등 기술요건강화	선박 설비 요건 구체화
터미널 조건	항만 자체 판단	터미널이 위험물 취급 허가 보유해야 기항 가능	위험물 시설 여부 사전 검토 필수
감독 방식	서면 통보 및 현장 점검 중심	디지털 모니터링, 데이터 공유체계 도입	감독체계 첨단화
응급조치 체계	선박 단위 응급매뉴얼	선사+항만+화주 공동 응급계획의무화	복합 책임 구조 강화
행정 심사 기간	평균 7 근무일	5 근무일로 단축	행정 효율성 제고
위반 시 처벌	과태료 중심	과태료 + 작업중지, 기항 금지, 허가 취소 등	처벌 수위 및 유형 다양화

자료: 中华人民共和国交通运输部(2018, 2025), 船舶载运危险货物安全监督管理规定

(3) 항만 자체 규정[43]

중국 주요 항만은 중국의 주요 항만들은 중앙정부 차원의 법령과 국가표준(「위험화학품안전법(초안)」, GB 12268-2025, GB 6944-2025 등)을 기본 틀로 적용하면서 항만의 입지 여건, 취급 물동량, 사고 이력 등을 반영한 자체 규정 및 운영지침을 마련하고 있다. 이러한 현장 수준의 지침들은 실제 사고를 예방하고, 실시간 대응 체계를 확보하는 데 중요한 역할을 수행하고 있다.

43) 중국 주요 항만별 규정은 부록 4. 중국 주요 항만별 자체 규정 참조

2) 재해 대비 위험물 컨테이너 물류공급망 관리 체계

(1) 항만 대응 체계

중국은 항만에서의 위험화학물 사고 예방을 위해 중앙정부 차원에서 법과 제도를 마련하였다. 2017년에 발표한 「항만위험물 안전관리규정(港口危险货物安全管理规定)」에서는 위험물 컨테이너가 하역되고 보관된 뒤 다시 반출되기까지 전 과정에서 어떤 절차와 기준을 지켜야 하는지를 명시하였다.

이 규정에서는 위험물과 일반 화물을 반드시 구분해 다루어야 한다고 명시하고 이를 위해 항만은 전용 작업 구역을 따로 두고 작업 개시 전에 포장 상태나 라벨, UN 번호와 같은 기초 정보가 제대로 갖추어져 있는지를 확인하도록 하였다. 또한 컨테이너가 어느 구역에 장치되고 어떻게 이동하는지를 사전에 등록하여 관리 기관이 이를 추적하고 감독할 수 있도록 하였다. 항만 운영자가 위험물 관리 과정에서 발생할 수 있는 사고뿐만 아니라 외부 환경으로부터 오는 위험까지 종합적으로 대비하기 위해 태풍이나 해일과 같은 재해 대응용 CCTV와 방재설비가 정상적으로 작동하는지 점검하도록 하고 단계별 매뉴얼을 마련하여 기준에 따라 작업을 중지하도록 하였다.

사고 발생 시에는 항만 내 응급대응 계획(应急预案)이 규정에 따라 즉시 가동되어야 한다. 즉 항만 운영자에게 즉각적인 작업중지, 사고보고, 화학물질 누출·폭발·화재 차단 조치, 인원 대피, 2차 피해 방지를 위한 초기 대응 조치를 의무화하였다. 이후 지방 응급관리국과 해사국, 소방부서 등이 현장에 투입되며 중앙정부는 「국가돌발공공사건총체응급예방안(国家突发公共事件总体应急预案)」을 통해 전국 단위 4단계 대응 체계(일반→중대→특대)를 통해 항만 사고 시 지방정부·세관·응급부서와의 연계 대응을 지시한다.

(2) 도로 대응 체계

중국은 도로에서 위험화학물을 운송할 때 발생할 수 있는 위험 저감을 위해 2022년 「위험화학품안전관리조례(危险化学品安全管理条例)」을 개정하고 「도로위험화물운수관리규정(道路危险货物运输管理规定)」을 발표하였다.

이 규정을 통해 차량의 구조와 장비 요건 및 탱크용량, 환기 장치의 설치 여부, 압력에 견디는 능력 등을 명시하였다. 운송업체와 운전자는 법적 자격을 갖추어야 하는 등 차량 운행 조건도 엄격히 설정하여 차량의 위치를 실시간으로 확인할 수 있는 GPS를 부착해야 하고 출발하기 전에는 점검 기록을 남겨야 하며, 주행 중에는 급정지나 차선 이탈 등을 자동으로 감지하는 장비 설치를 의무화하였다.

또한 단순히 사고 예방 수준을 넘어 문제 발생 시 즉각 대응할 수 있는 체계를 구축하였다. 지방정부는 사전에 응급계획을 수립하여 사고 발생 시 교통경찰과 고속도로 운영사, 소방 구조대가 동시에 초동 조치를 취할 수 있도록 하였다. 충돌이나 화학물 누출이 발생할 경우에는 인근 고속도로 출입구를 즉시 폐쇄하고 주변 일정 반경이 대피 구역으로 설정하도록 하여 누출의 확산을 차단하도록 규정을 마련하였다.

운송기업도 자체 계획에 따라 우선 대응을 실시하고 관련 내용을 응급관리 전자 플랫폼(应急管理信息平台)에 보고하도록 하였다. 지역 응급관리국은 이 정보를 중앙 시스템과 연동해 지휘 체계를 가동하며 필요할 경우 여러 부처가 동시에 투입돼 후속 조치를 진행하도록 하였다.

(3) 철도 대응 체계

중국의 철도 분야에서 위험물 운송은 국가철도관리국의 「철도위험물운송안전관리감독규정(铁路危险货物运输安全监督管理规定)」과 「철도안전관리조례(铁路安全管理条例)」를 근거로 매우 엄격하게 관리된다. 열차가 편성

될 때부터 위험 화학물질은 반드시 정해진 전용 구역(指定区域)에 적재해야 하고 일반 화물과 함께 섞여 운송하는 것은 원칙적으로 금지하였다.

출발에 앞서 열차의 전반적인 안전 상태를 꼼꼼히 점검해야 하며 동시에 적재되는 화학물질의 특성을 고려한 화학적 안정성 검사(化学稳定性检查)도 필수적으로 진행해야 한다. 특히 고압가스(高压气体), 독성물질(有毒物质), 발화성이 높은 물질(易燃物质)과 같은 위험도가 큰 품목은 묶음 관리가 아닌 개별 관리를 원칙으로 하였다. 이를 위해 일 물품-일 파일(一货一档) 방식으로 전산화된 기록을 작성하여 개별 물품의 운송 내역을 기재하고 실제 운송 과정은 전구간에 걸쳐 실시간 위치 추적 시스템으로 관리된다. 이런 관리 체계는 사고 발생 가능성을 최대한 줄이고 돌발 상황이 생겼을 때 즉시 대응할 수 있도록 함과 동시에 사후 책임 소재를 분명히 가리는 데 목적이 있다.

또한 철도 사고 발생 시에는 「철도위험화물운송응급예방안(铁路危险货物运输应急预案)」에 따라 현장 기관사 및 전담 안전감독관이 즉시 중앙 관제센터에 보고해야 하며 철도공안, 지역 소방, 도시 정부의 긴급구조팀이 연계 대응한다. 고속철도의 경우 사고 발생 시 열차 전후 5개 역 구간을 비상 통제해야 하며 위험물 유출 시에는 통제구역을 설정하여 특별방호복 착용 작업자만이 진입 가능하도록 하였다. 또한 선로 주변의 지반침하, 폭우, 산사태 등 자연재해를 사전에 감지하기 위한 IoT 기반 지반센서 네트워크가 설치되어 있으며 철도국은 계절별 위험도 분석을 통해 운송계획을 조정한다.

4. 일본

1) 위험물 컨테이너 물류공급망 관리 체계

(1) 인적요인

일본에서 위험물을 항만 등 지정 장소에서 취급하기 위해서는 「소방법」 및 관련 정령에 따라 자격을 갖춘 '위험물보안감독자(危険物保安監督者)' 또는 '위험물취급자(危険物取扱者)'를 지정하고, 일정한 자격 요건, 시험 과목, 업무 내용 및 보수교육 이수를 통해 그 자격을 유지해야 한다.

위험물보안감독자는 「위험물 규제에 관한 정령」 제9조 및 관련 규칙에 따라 ① 위험물 취급 작업이 기술 기준 및 예방규정에 따라 적정하게 수행되도록 작업자에 대한 지시 및 감독, ② 화재·폭발 등 재해 발생 시 즉시 소방기관 및 관계기관에 통보하고 작업자를 지휘해 초기 대응조치 수행, ③ 위험물시설보안원(危険物施設保安員)에 대한 지시 및 정기·수시 점검 결과 기록, 이상 발생 시 적절한 조치 수행, ④ 위험물 제조소 등 주변 인접 시설과 지속적인 연락 체계 유지, ⑤ 위험물 취급과 관련된 전반적인 보안 감독 등의 업무를 수행한다.

〈표 3-16〉 일본 위험물취급자 취급 가능 위험물, 시험과목, 응시 자격 현황

구분	갑종(甲種)	을종(乙種)	병종(丙種)
취급 가능 위험물	• 전 종류의 위험물 취급 가능	• 제1류~제6류(산화성 고체, 인화성 액체, 자연발화성 고체 등)	• 일부 인화성 액체류(가솔린, 경유, 등유, 제3·4석유류 등)에 한정
시험과목	• 물리학 및 화학, 위험물 성질 및 소화 이론, 법령	• 기초 물리·화학, 위험물 성질 및 소화법, 법령	• 연소·소화 이론, 위험물 성질 및 소화법, 법령
응시 자격	• 대학교 화학 관련 전공 졸업, 화학과목 15학점 이상 이수, 을종 자격 + 2년 경력 등	• 특별한 자격 요건 없이 응시 가능	

자료: 消防試験研究センター(일본소방시험연구센터)(검색일: 2025.5.3.)의 자료를 바탕으로 저자 작성

위험물취급자는 크게 갑종(甲種), 을종(乙種), 병종(丙種)의 세 가지 면허 등급으로 구분되며, 각 등급은 취급 가능한 위험물의 종류와 범위, 자격 요건, 시험 과목에 따라 구별된다.

항만에서는 위험물 하역 및 임시 장치가 이루어지고 있으므로 위험물보안감독자 또는 위험물취급자 자격이 필수적으로 요구된다. 관련 법령은 「소방법」 및 「위험물 규제에 관한 정령」등이고, 해당 자격을 보유한 자는 ① 작업자의 안전한 위험물 취급 감독, ② 재해 발생 시 소방기관 통보 및 현장 대응 지휘, ③ 저장소 및 설비에 대한 정기·수시 점검 및 기록 관리, ④ 위험물시설보안원 또는 야드 근로자에 대한 지시 및 관리 등의 업무를 수행한다. 교육 측면에서는 자격 취득 이후에도 정기적인 보수교육이 의무화되어 있고, 주로 각 지역의 '위험물안전협회(全国危険物安全協会)'가 주관한다. 보수교육은 현직 종사자는 3년 이내 1회, 신규자는 1년 이내 1회 이수해야 하며, 교육 내용에는 위험물 특상, 사고사례, 예방관리, 법령 개정사항 등이 포함된다. 또한 항만 내에서는 위험물 야드 출입자를 대상으로 하는 보안기초교육(항만작업종사자 교육)도 병행되며, 출입허가, 보안수칙, 긴급 시 대피 방법 등이 교육 내용에 포함된다.

도로에서는 주로 위험물 트럭, 탱크로리, 고압가스 실린더 차량 등을 통해 위험물이 운송되며, 해당 업무에 종사하기 위해서는 「소방법」및 「고압가스보안법」에 따른 자격과 교육이 요구된다. 기본적으로 위험물취급자 면허(을종 또는 병종)를 보유해야 하고, 이를 통해 가연성, 산화성, 인화성 액체류 등 지정 수량 이상의 위험물 운송이 가능해진다. 고압가스 운송의 경우에는 별도의 '고압가스 운송원 강습(高圧ガス輸送員認定講習)'을 이수해야 하고, 해당 교육은 '고압가스보안협회(高圧ガス保安協会)' 또는 지정 교육기관에서 실시한다. 위험물 운송 종사자에 대해서는 특별교육도 병행된다. 이는 '전국위험물안전협회' 또는 '산업안전기술협회(産業安全技術協会)' 등에서 실시한다.

철도를 이용한 위험물 운송은 JR화물 등 화물철도회사가 전담하고, 위험물 탱크차나 특수화차에 의한 대량 운송이 주류를 이룬다. 철도 분야에서의 자격은 대부분 사업자 내부 자격체계에 의해 운영되고, 위험물 철도화차 적재자는 탱크차 적재 기준, 혼재 금지, 밸브 조작법 등 실습을 수행한다. 철도위험물 담당 관리자는 운송 서류 점검, 라벨 확인, 이탈·누출 대응 교육을 수행하고, 화차 인수 담당자는 목적지별 위험물 확인, 문서 검수, 위치 배치 검토 등을 교육을 이수한다. 이러한 교육은 JR화물 교육센터 등이 주관하고, 일부 고위험물(예: 고압가스, 유해화학물질 등)은 국토교통성 고시 기준에 따른 전용 화차와 적재 프로토콜을 따라야 하며, 해당 교육 내용도 함께 다뤄진다.

〈표 3-17〉 일본 운송수단별 위험물 취급자 자격 및 교육 현황 종합

구분	항만	도로	철도
관계 법령	• 소방법, 항칙법, 항만법	• 소방법, 고압가스보안법, 도로교통법	• 산업안전보건법, 철도사업법
주요 자격	• 위험물보안감독자 • 위험물취급자(갑·을·병종)	• 위험물취급자(을·병종) • 고압가스 운반자	• 철도위험물취급자(사내 자격) • 탱크차 적재자
교육 프로그램	• 위험물취급자 보수교육 • 항만작업종사자 교육	• 위험물 운송자 특별교육 • 고압가스 운송자 강습	• 위험물 철도취급자 이론·실습 교육
교육 대상	• 야드 출입자, 관리자, 항만근로자 등	• 운전기사(탱크로리 등), 적재자, 관리자 등	• 철도 화차 적재자, 인수자, 안전관리자 등
교육 기관	• 전국위험물안전협회, 민간 지정기관 등	• 전국위험물안전협회, 고압가스보안협회	• JR화물 교육센터
주요 교육 내용	• IMDG Code, 위험물 격리, 초기대응, 항장지휘 절차 등	• 사고 사례, 소화기 사용법, 적재 기준, 누출 대처 등	• 철도 차량 구조, 위험물 라벨, 긴급시 대피절차 등
교육 주기	• 3년 1회 • 신규자는 1년 이내	• 3년 1회	• 연 1회

자료: 일본 관련 법률 및 기관의 자료를 바탕으로 저자 작성

(2) 법·제도

가. 위험물 운송 관련 법·제도

항만 및 육상운송에서 물질별로 위험물 관련 법률 체계를 갖추고 있다. 이러한 체계는 단일 법률에 의존하지 않고, 「소방법(消防法)」, 「고압가스보안법(高圧ガス保安法)」, 「화학물질의 심사 및 제조 등의 규제에 관한 법률(化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律)」 등 복수 법률에 따라 규정되어 있는 특징이다.

그리고 위험물 분류의 경우 국제규정인 IMDG Code별 일본 국내 관련 법률이 규정되어 있다.

〈표 3-18〉 IMDG Code 분류별 일본 법률 일람표

IMDG Code	물질	주요 법률
Class 1	화약류	화약류 단속법(火薬類取締法)
Class 2.1	인화성고압가스	고압가스보안법(高圧ガス保安法)
Class 2.2	불인화성고압가스	고압가스보안법(高圧ガス保安法)
Class 2.3	독성고압가스	고압가스보안법(高圧ガス保安法)
Class 3	인화성액체	소방법 제4류
Class 4.1	가연성물질, 자기반응성물질	소방법 제2, 5류
Class 4.2	자연발화성물질	소방법 제3류
Class 4.3	물반응가연성물질	소방법 제3류
Class 5.1	산화성물질	소방법 제1, 6류
Class 5.2	유기과산화물	소방법 제5류
Class 6.1	독물	독극물 및 극물 단속법(毒物及び劇物取締法)
Class 6.2	전염성물질	독극물 및 극물 단속법(毒物及び劇物取締法)
Class 7	방사선물질	방사선장해방지법(放射線障害防止法)
Class 8	부식성물질	독극물 및 극물 단속법(毒物及び劇物取締法)
Class 9	유해성물질	화학물질의 심사 및 제조 등의 규제에 관한 법률(化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律)

자료: 小堀将志(2012)

위험물 관련 법률의 핵심이 되는 소방법의 경우 하위 정령(政令)[44]으로는 「소방법시행령(消防法施行令)」과 「위험물 규제에 관한 정령(危険物の規制に関する政令)」이 있고, 성령(省令)[45]은 「소방법시행규칙(消防法施行規則)」, 「위험물 규제에 관한 규칙(危険物の規制に関する規則)」이 제정되어 있다.

「소방법」[46]은 1948년 7월 24일에 제정된 일본의 대표적인 화재 예방 및 재해 대응 관련 기본법으로 화재로부터 국민의 생명·신체·재산을 보호하고, 사회 공용을 증진하는 것을 목적으로 한다. 동 법은 화재뿐만 아니라 지진 등 재해에 의한 피해 경감과 부상자 수송, 화재 경비 활동, 소방 조직의 역할까지 포함한 포괄적 재난 대응체계를 규정하고 있다.

동 법은 총 9장으로 구성되며, 위험물에 관한 규정은 제3장(危険物)에 명시되어 있다. 이 장에서는 위험물의 정의, 분류, 지정수량, 저장 및 취급 기준 등을 규정하고, 지정수량 초과 시 일정 시설 기준 및 자격 소지자의 감시하에 관리하도록 의무화하고 있다.

한편, 소방법에 따른 「위험물의 규제에 관한 정령 및 규칙(危険物の規制に関する政令·規則)」은 위험물 관련 시설(제조소, 저장소, 운반 설비 등)의 허가 절차, 설비 기준, 취급자의 면허 및 보안관리자 지정, 자위방재 조직 구성, 예방규정 마련 등을 상세히 규정한 시행령 성격의 법령이다.

「고압가스보안법(高圧ガス保安法)」[47]은 경제산업성(経済産業省)이 소관하는 법률로 고압가스의 제조, 저장, 운반, 판매, 수입, 소비, 폐기 등 전 주기에 걸쳐 고압가스로 인한 재해를 예방하고 공공의 안전을 확보하는 것을 목적으로 한다. 동 법은 고압가스를 취급하는 민간 사업자 및 고압가스

44) 내각(内閣)이 규정하는 명령
45) 각 성(省)의 장관이 규정하는 명령으로 소방법은 총무장관(総務大臣)이 제정함
46) e-Gov 法令検索(검색일: 2025.4.21.)의 자료를 바탕으로 저자 작성
47) e-Gov 法令検索(검색일: 2025.4.21.)의 자료를 바탕으로 저자 작성

보안협회의 안전활동도 촉진하고 있고, 산업용 및 일반 생활용 가스도 포함한다. 고압가스를 저장·운반할 경우에는 전용 설비 기준과 위험도 평가에 기반한 허가 또는 신고 절차가 필요하다.

「독극물 및 극물단속법(毒物及び劇物取締法)」[48]에서 독극물에 관한 사항은 후생노동성(厚生労働省)이 주관하며 보건위생상의 안전 확보를 위한 법률로서 독극물 및 극물의 지정, 제조, 수입, 판매, 저장, 취급 등을 규제한다. 동 법은 급성 독성을 기준으로 독물과 극물을 구분하고 있고, 일반인이 접근할 수 없는 환경에서의 취급을 전제로 등록 및 교육 이수자의 전담 관리, 유통 이력의 보존, 안전 표시의 부착 등을 규정하고 있다. 특히 화학제조 및 의약품 산업에서 빈번히 사용되는 물질군에 적용된다.

방사성 물질의 경우에는 취급 목적과 조직의 특성에 따라 담당 부처가 상이하고, 분절적으로 규제된다.[49] 방사성 동위원소의 운송은 국토교통성(国土交通省)이 담당하고, 의료 목적의 사용은 문부과학성(文部科学省)과 후생노동부(厚生労働省)의 이중 관리를 하고 있다. 방사선 장해 방지와 안전 확보는 「방사선장해방지법(放射線障害防止法)」 및 「원자력기본법(原子力基本法)」을 통해 이루어지며, 동 법률은 시설 내 방사선 구역 설정, 피폭 기준, 사고 대응 매뉴얼 및 종사자 교육 등을 의무화하고 있다.

나. 항만위험물 관련 법·제도[50]

항만 내 위험물의 안전한 취급과 하역, 보관을 규정하는 법률은 「항칙법(港則法)」이다. 동 법은 항내에서 선박 교통의 안전과 항만의 질서 유지를 목적으로 제정된 법률로서 항만을 통제하고 관리하는 법적 기반을 제공한다.

48) e-Gov 法令検索(검색일: 2025.4.21.)의 자료를 바탕으로 저자 작성
49) e-Gov 法令検索(검색일: 2025.4.21.)의 자료를 바탕으로 저자 작성
50) 일본 항만위험물 관련 법·제도의 상세 내용은 부록 5. 일본 항칙법 주요 내용을 참조

동 법 제21조에 따르면 폭발물 이외의 위험물을 적재한 선박이 특정 항만[51]에 입항하고자 할 경우, 원칙적으로 항의 경계선 외곽에서 대기한 후 항장(港長)의 지휘에 따라 입항해야 한다. 항장의 지휘는 일본에서 해상보안청장(海上保安庁長官)의 지휘·감독을 받는 해상보안관[52]이 수행하고, 이들은 항칙법에 따른 선박 교통 및 정박 질서 유지 사무를 관할한다. 위험물을 적재한 선박은 특별한 정박지 지시가 없는 한 항장이 지정한 정박 또는 계류 장소에 따라야 하고, 항만 내에서 위험물의 적재·하역 시에는 사전 허가를 반드시 받아야 한다. 이를 위반할 경우 항칙법상 행정처분 또는 형사벌칙 대상이 된다.

다. 도로 위험물 관련 법·제도

도로에서의 위험물 운송은 「소방법」, 「고압가스보안법」, 「도로교통법(道路交通法)」,「도로운송차량법(道路運送車両法)」 등의 적용을 받는다.

기본이 되는 법률은 「소방법」으로 지정 수량 이상의 위험물을 운송하는 경우 위험물취급자 자격을 갖춘 운전자가 직접 취급하거나 운송 책임자로 지정되어야 한다. 위험물의 종류와 성질에 따라 탱크로리, 드럼, 고압 용기 등으로 분류되고, 운송 시에는 사전 신고, 소화기 비치, 적재 표시 부착, 이격 거리 확보 등이 요구된다.[53]

고압가스류는 별도로 「고압가스보안법」의 규제를 받는다. 동 법에 따라 고압가스는 자격을 갖춘 고압가스 운반자만이 운송할 수 있고, 용기 구조, 차량의 적재·고정 방식, 밸브 보호장치, 누출 대비 장비 등을 포함한 운송 기준이 정해져 있다.[54]

51) 항칙법 시행령 별표2에 지정된 항만
52) 항만 관할 해상보안부장(海上保安部長) 또는 지방해상보안본부장(地方海上保安本部長)
53) e-Gov 法令検索(검색일: 2025.4.21.)의 자료를 바탕으로 저자 작성
54) e-Gov 法令検索(검색일: 2025.4.21.)의 자료를 바탕으로 저자 작성

또한 「도로교통법」과 「도로운송차량법」에서는 위험물 차량에 대해 운행 경로 제한, 속도제한, 주차 금지, 차량 구조 기준 등을 규정하고 있다. 예를 들어, 인구 밀집 지역에서는 고압가스 차량의 진입 금지 구역 지정, 야간운행 제한 등이 적용되고, 탱크로리에는 경고 라벨, 유해성 마크, 긴급연락처 표기가 의무화되어 있다.[55]

라. 철도 위험물 관련 법·제도

철도를 이용한 위험물 운송은 주로 JR화물 등 전문 철도 화물 운송기관을 통해 이루어지며, 관련 법령으로는 「철도사업법(鉄道事業法)」, 「산업안전보건법(労働安全衛生法)」이 중심을 이룬다.

철도사업법은 철도 운영 사업자가 위험물을 수송할 경우, 사용되는 선로와 차량이 국토교통성의 안전 기준에 적합해야 함을 규정하고 있다. 예를 들어, 철도용 탱크차(탱크화차)는 일정 용량 이상 위험물을 적재할 경우 탱크의 내압시험, 밸브 안전장치, 전도방지구조 등의 요건을 충족해야 한다.[56]

한편, 산업안전보건법은 철도사업자 내부의 화차 적재 담당자, 위험물 관리 담당자 등 종사자에게 안전교육과 자격 요건을 부여하며, 누출 또는 폭발 발생 시 비상대응 매뉴얼에 따른 신속한 조치 및 보고 체계 구축을 의무화한다.[57]

2) 재해 대비 항만 위험물 컨테이너 물류공급망 관리 체계[58]

일본은 항만에서 발생 가능한 위험물 누출, 유출, 폭발 등에 의한 재난·재해에 대비해 대응전략을 수립하고 있다. 국토교통성은 『항만위험물 등

55) e-Gov 法令検索(검색일: 2025.4.21.)의 자료를 바탕으로 저자 작성
56) e-Gov 法令検索(검색일: 2025.4.21.)의 자료를 바탕으로 저자 작성
57) e-Gov 法令検索(검색일: 2025.4.21.)의 자료를 바탕으로 저자 작성
58) 国土交通省, 港湾危険物等災害対策編(2022)의 자료를 바탕으로 저자 작성

재해대책편(港湾危険物等災害対策編)』을 통해 재해 대응을 사고 발생 전, 사고 발생 시, 사고 발생 후의 3단계로 구분하고, 각 단계별로 수행해야 할 주요 대책과 실행 방안을 제시하고 있다.

〈표 3-19〉 재난·재해 대비 일본 항만의 위험물 컨테이너 대응 체계 개요

재해 예방(前)	재해 대응 대책(中)	재난·재해 복구(後)
① 항만 재해 대책 추진 • 각종 사업·계획 대책 실시 • 항만시설 정비 및 재해의 안전성 확보 ② 위기 관리 체제 정비 • 정보수집·연락체제정비 • 정보수단 정비 • 관계기관과의 연계 • 응급복구체제 정비 • 후방 지원체체정비 ③ 관련 연구 및 관측 추진 ④ 방재교육 실시 • 방재 관련 연수 실시 • 방재지식 보급 • 인재육성 ⑤ 방재훈련 ⑥ 재발방지책 실시	① 발생 직전의 정보 수집·연락 및 통신 확보 ② 발생 직후 정보 수집·연락 및 통신 확보 • 정보 수집, 전달 • 통신수단 확보 ③ 활동체계 확립 ④ 정부본부에 대한 대응 • 관계 부처 연락 회의 • 정부본부 ⑤ 발생 후 시설 긴급 점검 ⑥ 대책용 기자재 및 복구기자재 확보 ⑦ 복구공사 수행 ⑧ 대체 수송, 물류 기능 유지 ⑨ 2차 피해 방지 대책 마련 ⑩ 팔수 시설 긴급 복구 ⑪ 지방 관련 단체 지원 ⑫ 재해 피해자 대응 • 정보 수집 및 관련 물자 제공 • 피난 활동 ⑬ 대국민 정보 전달 활동	① 복구 기본 방침 시행 ② 항만 복구 실행 • 항만 복구 촉진 방안 • 재발 방지 대책 마련

자료: 国土交通省, 港湾危険物等災害対策編(2022)의 자료를 바탕으로 저자 작성

가. 재해 예방(前)

항만의 위험물 컨테이너 장치장은 일반 컨테이너 하역 구역, 여객 시설, 주거지 등과 분리된 구역에 배치되어야 한다. 그리고 항만계획 시 방재를 위한 방향풍, 동선, 이격거리 등의 요소가 고려되고, 위험물 사고 시 피해를 최소화할 수 있는 구역 확보, 안전통로 확보 등이 요구된다. 또한 주요 항만은 위험물 컨테이너 전용 장치장을 설정하고, 관련 동선은 일반 컨테이너 화물 차량과 분리해 구축한다. 대규모 재난·재해 발생을 고려해 인근

지역에 대응 거점을 지정하고, 해당 구역은 위험물 컨테이너와의 충분한 이격거리 및 방호구조를 구축해야 한다.

위험물 취급사업자는 법률에 의거해 자주방재조직과 공동방재조직을 구성하고, 항만관리자는 긴밀한 정보공유 및 비상시 지원 계획을 수립해야 한다.

항만 전체에는 감시용 CCTV, 기상·기온 센서, 재해정보 알림판, 방송시설, 무선 장비 등이 설치되어야 한다. '항만방재정보시스템(港湾防災情報システム)'은 위험물 정보, 시설 피해정보, 피난 경로 등의 정보를 사회 전방에 제공해 피해 확산 최소화 및 초기 대응에 적용한다.

위험물 취급자는 관련 면허를 소지하고, 정기적으로 보수교육을 이수해야 한다. 그리고 개별 항만에서는 방재 교육, 관련 소방 훈련을 정기적으로 실시해야 한다. 훈련 내용은 비상소집, 정보공유, 재해대책조직 설치, 응급복구 시뮬레이션 등을 실시하고, 소방, 경찰, 해상보안청, 자위대 등 관계기관과의 합동훈련도 병행된다.

나. 재난·재해 대응 대책

재난 발생 시 항만관리자는 국토교통성 지방정비국과 중앙본부에 비상연락을 실시해야 한다. 기존의 통신망 사용이 불가능할 것을 대비해 위성통신, 무선망, 선박무선 통신 등 다양한 통신수단을 확보·활용해야 한다.

국토교통성 지방정비국은 피해 정보, 대응 현황을 관계 부처에 보고하고, 상황에 따라 '비상재해대책본부(非常災害対策本部)'를 설치해 재난·재해 대응을 총괄한다.

사고 현장에서는 피해 상황에 따라 관련 긴급 조치를 실시한다. 항만관리자는 소화 활동과 더불어 환경오염을 방지하기 위한 관련 조치를 신속히 실시한다.

심각한 시설·장비 손상이 발생한 경우 현장 인근에 방재기지를 배치해 긴급 복구공사를 개시한다.

2차 피해를 방지하기 위해 위험물 관련 시설·장비에 대한 내부 손상에 대한 전문가 점검 및 기술 지도를 거쳐 복구를 진행한다.

또한 소방청, 해상보안청 등 관계기관과 협력을 통해 방재활동 수행자의 안전 확보을 실시한다.

다. 재난·재해 복구

복구 단계에서는 항만 기능 회복을 최우선으로 두고 피해가 우선순위에 따라 긴급공사를 시행한다. 필요할 경우 인근 터미널 또는 항만 간 대체 수송 협력을 진행하고, 도로, 철도 등이 차단될 경우 해상 수송 방안도 고려해야 한다.

항만관리자는 재해복구 방침에 따라 복구 계획을 추진하고, 국토교통성은 해당 항만에 대한 조정·지도, 기술적 자문을 지원해야 한다. 복구에 있어서는 원상복구를 넘어 재발 방지를 위한 개선 방안 추진을 원칙으로 하고, 방재시설 확충, 설계 기준 강화 등을 수행한다.

국토교통성과 지방자치단체는 재해 피해자를 위한 대피소 운영, 물자 지원, 정보제공 등을 실시하고, 관련 이해관계자에게는 피해 정보, 복구 상황 등을 신속하게 제공해야 한다. 그리고 피난 유도, 피난 경로, 비상 대응 관계기관과의 의견 조율 등을 통해 시민의 생명과 재산 보호를 위한 실질적인 조치를 실시한다.

제3절 시사점

1. 국내 재난·재해 관리 체계 시사점

1) 안전관리자 재난·재해 관리 교육 미흡

항만 내 안전관리자의 자격은 위험물산업기사, 가스산업기사, 3년 이상 위험물 취급 경력이 있는 전공자, 3년 이상 승선한 3급 이상 해기사면허 보유자 등 자격을 가진 자로 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」상 안전관리자 보유기준 역시 ① 포장위험물을 연간 10만 톤 이상 취급하는 사업자로 위험물 안전관리자 1명 이상을 포함해 2명 이상, ② 포장위험물을 연간 3천 톤 이상 10만 톤 미만 취급하는 사업자는 1명 이상, ③ 포장위험물을 연간 3천 톤 미만 취급하는 사업자는 1명 이상), ④ 「위험물 선박운송 및 저장규칙」제3조 제1호 ①부터 ③까지 및 같은 조 제7호33)에 따른 물질을 취급하는 사업자는 제1호부터 제3호까지에 따른 위험물 안전관리자 외에 해당 분야의 자격을 가진 위험물 안전관리자 1명 이상 배치해야 한다.

위험물 안전관리자 관련 교육은 현재 한국해사위험물검사원에서 포장된 위험물 안전관리자 교육을 실시하고 있다. 교육 시간은 총 24시간으로 위험물 일반 및 사고 시 비상조치, 위험물 용기·포장 및 운송절차, 위험물 컨테이너 운송 및 수납 등 과목이 포함되어 있다. 하지만 사고 시 특별규정 및 화재 예방조치는 일반적 대응체계로 되어 있어 재연재해, 화재, 폭발, 테러 등 상황에 맞는 교육프로그램 운영이 필요하다.

〈표 3-20〉 포장된 위험물 안전관리자전문교육 커리큘럼

교육과목	교육내용	교육시간 (16시간)
위험물 개요	• 위험물의 특성 • 포장된 위험물의 목록 및 분류 기준	3
관련 법규	• 국제법규 • 국내법규 • 저장규칙	3
위험물 취급 시 안전관리	• 포장된 위험물 일반사항(용기·포장 요건, 표시·표찰 및 증명서류 등) • 포장된 위험물의 특성별 안전관리 방안 및 대응 방법 • 항만 내 하역설비 및 안전취급방법 • 선박에서 육상으로 하역 시 안전점검 방법 • 포장된 위험물의 하역·보관 시 관련 안전조치 • 사고 발생 시 대처방법(비상조치법 및 의료응급처치 방법 포함) • 위험물 관련 안전사고 사례	8
안전일반	• 위험물 안전관리의 중요성	2

자료: 한국해사위험물검사원(검색일: 2025.4.20.)

2) 컨테이너 위험물 관리 기준 및 물류공급망 상 재난 대응 상이

컨테이너 위험물 관련 국내법률은 운송수단 및 물질별로 관리 기준이 상이하다. 선박의 선적, 하역 시 국제기준인 IMDG 코드로 분류되고, 항만당국에 신고하고 있으나 항만 적재 및 도로의 경우 개별 법률 위험물 분류기준으로 재배치되어 항만 내 적양하, 이송, 적재 등 절차에 따라 동일한 화물에 부여되는 분류 기준, 정의, 절차 등이 상이하게 규정되고 있다. 특히 항만에서 도로로 직반출 혹은 항만 내 일정기간 적재 상태 이후 이송되는 화물 모두 분류 및 취급기준이 각 부처별 법률에 의해 물질별 분류, 책임자 자격, 방호시설 기준, 사고 시 대응방안 등 안전관리 요건이 상이해 통합적인 관리 체계 구축에 있어 한계점으로 작용하고 있다.

이러한 컨테이너 위험물 관리 기준의 법률적 상이성은 컨테이너 위험물의 이송과정상 발생하는 재해·재난 대응에서 혼선을 야기할 수 있다. 재해

재난 대비 매뉴얼 및 비상사고 대응 역시 부처별 법률과 매뉴얼이 분리되어 있어 항만 내 이송 중 사고 발생에 대한 대응 역시 기존 매뉴얼 대처가 어렵고 신속한 초기 대응 및 사고 대응을 위한 현장 내 사고 대응 역량 확보하기 위해서는 소방청, 환경부, 산업통상자원부 등 각 위험물 관련 주관 부서별 대응이 아닌 현장·지역 중심의 관리역량 강화를 위한 항만관리주체 및 지자체 등을 중심으로 한 사고 대응이 가능한 통합적인 대응 체계 구성을 위한 법제도 개선 마련이 필요하다.

3) 항만 특성별 위험물 컨테이너사고 대응 매뉴얼 부재

컨테이너 위험물 작업과정상 발생 가능한 재해재난 대비를 위한 대응매뉴얼 역시 사회재난인 경우 위험물재난(소방청), 가스재난(산업통상자원부), 원자력재난(원자력안전위원회), 생활화학제품 재난(환경부) 등으로 표준대응매뉴얼, 행동매뉴얼 등 관련법률 및 물질별로 분류될 수 있고, 항만재난에 대한 각 항만별 행동매뉴얼 등이 마련되어 있지 않다. 터미널별 자체안전관리계획서상 재난대응 역시 풍수해 등에 의한 자연재해, 화재, 유출 등 일반적인 사항에 대비하고 있어 실제 재난·재해 상황 시 초기 대응에 어려움을 겪고 있다.

2025년 국가안전관리기본계획에서는 지역별 위험 특성을 반영해 주요 기능 중심으로 매뉴얼을 수립하는 등 매뉴얼의 현장 활용도를 강화는 것을 주요 기본방향으로 설정하고 있다. 이러한 관점에서 재해재난 케이스별 구성되어 있는 현재 매뉴얼은 항만별 특성을 고려할 수 없다. 항만마다 각 물질별 위험물 컨테이너 적양하·보관·이송 작업 수요가 다르며. 이에 따른 특성화된 재난·재해 대응을 위한 매뉴얼 확보 역시 중요하다. 하지만 현재 항만별 터미널별 특성을 고려한 안전관리계획수립, 행동매뉴얼 등은 대부분 구비되어 있지 않다. 따라서 물질별, 수량 등을 고려한 현장 환경에 적합한 매뉴얼 마련을 위한 구체적인 법제도지원 근거 마련이 필요하다.

2. 국내외 사례조사 비교를 통한 시사점

1) 시설 인프라

국내 항만 내 컨테이너 위험물 보관장비 및 설비는 보관시설 및 보관시설 내 방호 설비 기준의 경우 「위험물안전관리법」과 「화학물질관리법」, 터미널 내 위험물 하역, 저장, 취급에 관해서는 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 및 「항만운송사업법」 등에서 규정하고 있다. 하지만 법률상 위험물컨테이너와 항만 설비 및 사회시설 간 이격거리 간격에 대한 해석이 모호하고 내화성 등에 대한 기준이 미비하다. 특히 소화설비 및 방호설비 미비로 인해 사고가 발생하는 사례가 빈번하며 시설에 대한 정기 점검 체계 역시 미흡하다.

미국은 33 CFR 규정에서 위험물 보관시설에 대한 소화장비, 외부조명, 경계시설, 자재취급 트럭 등 필수 설비에 대한 기준이 명확하며, IMDG Code 기준을 통해 물질별로 컨테이너 위험물 간 이격거리 기준 등이 명확히 마련되어 있다. 네덜란드 역시 장치장 기준과 자동 경보, 소화 시스템, 고위험물질에 대비한 특수 방재 장치 등 기준이 명확하다.

중국은 항만 특성에 따라 보관구역 설정, 화재장비, 방호장비 구비 수준을 차등 적용하고 있으며, 고위험 품목별로 관련 장비를 세분화하고 있다. 일본은 항만 내 위험물 하역허용량을 선석별로 차등적으로 관리하고 있으며, 항만 내 컨테이너 위험물의 임시 저장장소의 위치, 통풍·배수 조건, 소화설비 종류, 공지 확보(3m 이상) 등을 상세히 규정하고 있다.

〈표 3-21〉 국내외 위험물 시설 인프라 관리 특징 및 차이점

구분	주요 특징 및 차이점
국내	• 하역 장비 및 보관 설비의 고정 상태가 불량하고, 내화성·이격 거리 기준이 불명확함 • 소화 설비 미비로 인한 사고 사례가 반복되고 있으며, 시설에 대한 정기 점검 체계 미흡
미국	• 33 CFR 126 규정에 따라, 위험물 보관시설에는 소화장비, 외부조명, 경계시설, 경고 표지, 자재취급 트럭 등 필수 설비를 사전 설치해야 허가 가능 • 위험물 간 거리 기준이 명확하게 규정됨(예: 질산암모늄은 오염 유발 물질로부터 9m 이상 이격 보관)
네덜란드	• 장치장은 PGS15에 따라 설계해야 하며, 누출 방지를 위한 바닥 방오 처리, 구역별 소화설비, 위험물 클래스별 구획·이격 구조를 갖춰야 함 • 각 장치장에는 자동 경보·소화 시스템이 설치되며, 고위험 물질은 특수 노즐 가스 방재 장치로 보호됨
중국	• 위험물 전용 보관야드, 분리형 적치구역, 냉각설비, CCTV, 방폭등, 격리구역, 누출차단 키트 등 항만별 차등 적용 • 주요 항만은 고위험 품목별 장비 세분화 및 적치구역 내 거리 기준 운영
일본	• 임시 저장장소의 위치, 통풍·배수 조건, 소화설비 종류, 공지 확보(3m 이상) 등을 규정 • 선석별 하역허용량 기준 차등 적용

자료: 국내외 사례조사 결과를 바탕으로 저자 작성

2) 정보시스템

국내 정보시스템은 Port-Mis, 관세청, 해양경찰청, 소방청, 환경부 등 분류 기준이 각 부처 법률 기준을 적용하고 있어 위험물 분류 체계 역시 통합이 어려워 관계기관 간 위험물 정보 공유체계가 부재하다. 물질별 특성, 사고 위치, 사고 유형별 유해성 등 특성별 관리를 위한 실시간 정보 공유 역시 부재해 터미널, 항만, 지역사회 등 사고 특성 및 규모에 따른 초기 대응에도 한계가 존재한다.

네덜란드는 Portbase 시스템 등을 활용해 소방서, 보건당국, 병원 등 기관과 실시간 정보를 공유하고 무선망, 디지털 트윈 등 IoT 기술을 적극 도입해 위험 감지, 대응 등 정보를 생산하고 공유한다. 중국 역시 위험물 선별, 컨테이너 위치 추적, 영상, 알림 등의 기능을 통합한 시스템을 구축해

응급관리국(MEM), 해사청, 세관 등과 정보를 공유하고 있다. 일부 항만의 경우 AI 기반 자동 분류 기능 도입을 도입해 운영하고 있다. 일본 역시 항만방재정보시스템을 통해 기상, 화물, 위험물 정보를 소방청, 경찰, 해상보안청 등 기관 간 연계를 통해 공유하고 있으며 실시간 정보를 바탕으로 재해 발생 통합 대응 체계를 구축하고 있다.

〈표 3-22〉 국내외 위험물 정보시스템 특징 및 차이점

구분	주요 특징 및 차이점
국내	• 해경, 소방, 환경부 등 관계기관 간 위험물 정보 실시간 공유 체계 부재 • 기관 간 시스템 연계 미흡으로 사고 발생 시 통합 대응 어려움 • 사고 발생 시 위험물의 종류, 위치, 유해성 등 정확한 정보 파악이 어려워 초기 대응에 한계 존재
미국	• 사고 발생 시 위험물 관련 정보를 소방서·보건당국 등과 실시간으로 공유해 초동 대응이 신속하게 이뤄지도록 지원 • 감독기관은 위험물 취급 사업자에게 정기적인 사고 대응 시뮬레이션 훈련을 의무화하고, 이행 여부를 점검
네덜란드	• Portbase 시스템을 통한 위험물 정보터미널, DCMR, 소방·경찰 등과 실시간 공유(2시간 간격으로 자동 업데이트) • 작업자는 모바일 단말기로 오류·위험 감지 가능(비상시 MSDS, 저장 위치, 수량, 클래스 정보를 즉시 확인) • 위성통신, 무선망을 통한 이중 대응체계 확보, 대피정보·물류 전환경로 제공 • 도로·철도 분야에도 디지털 트윈 기반 위험물 대응 시스템 구축
중국	• 정보시스템을 통해 작업 신고 및 자격인증 수행 • 이외에 위험물 선별, 컨테이너 위치, 영상, 알림 등 통합 • 시스템은 응급관리국(MEM), 해사청, 세관 등 다기관 간 연계 가능하며, 일부 항만은 AI 기반 자동 분류 기능 도입
일본	• 소방청, 경찰, 해상보안청과 실시간 연계된 재해 발생 통합 대응 체계 구축 • 위성통신, 무선망 등 이중화된 통신수단과 실시간 모니터링 시스템을 통해 사고 발생 시 신속하고 안정적인 대응이 가능

자료: 국내외 사례조사 결과를 바탕으로 저자 작성

3) 인적요인

국내 컨테이너 항만 내 위험물을 관리하는 안전관리자 지정의 경우 자격증 소지자, 교육 이수와 같은 구체적인 자격 요건은 존재하나, 항만별 특성에 맞는 사고 대응에 특화된 실무 중심 교육에 대한 커리큘럼, 훈련 등은 미비한 실정이다. 특히 위험물 작업자 교육이 표준화되어 있지 않아 터미널별 현장 대응 능력 차이가 존재한다.

미국은 컨테이너 위험물을 포함한 위험물을 취급할 때 법적 자격없이 위험물 취급이 불가능하며, 교육은 실제 발생하는 사고를 바탕으로 대응능력을 향상시키기 위한 훈련을 진행한다. 네덜란드는 위험물 ADR 자격을 표준화해 위험물을 취급하는 하역업자, 창고관리자 및 운송업자 등 이해관계자 모두 필수적으로 자격증을 취득하도록 의무화했고, 특정 종류의 위험물 취급 시에는 추가 전문교육을 요구하고 있다. 중국은 철도, 항만, 도로운송 인력 모두를 대상으로 위험물 전담 교육 및 국가공인자격증 소지를 의무화해 자격조건을 표준화했으며, 직무별로 자격요건을 세분화해 운영하고 있다. 또한 모의훈련을 연간 1-2회로 상시화했으며 참여 이력 관리 시스템과 연동해 체계적으로 훈련실시 및 참가여부를 관리하고 있다. 일본은 위험물 보안감독자와 위험물 취급자를 구분하고 취급 위험물 범위에 따라 위험물 취급자 자격증을 갑·을·병으로 구분해 전문인력을 운영하고 있다.

〈표 3-23〉 국내외 컨테이너 위험물의 인적요인 관리 특징 및 차이점

구분	주요 특징 및 차이점
국내	• 자격 요건은 존재하나, 사고 대응에 특화된 실무 중심 교육은 부족 • 항만 내 위험물 작업자 교육도 표준화되어 있지 않아, 현장 대응 능력에 차이가 발생
미국	• 종사자에 대한 자격 인증과 정기적인 사고 대응 교육 의무화 • 법적 자격 없이 위험물 취급이 불가능하며, 교육은 실제 사고 대응 중심으로 구성
네덜란드	• 위험물 ADR 자격 취득 필수 • ADR 자격은 단순 운전자뿐 아니라 위험물 하역, 보관, 관리 업무자에게도 필수 적용됨

구분	주요 특징 및 차이점
	• Class 1(폭발물), Class 6.2(감염성 물질), Class 7(방사성 물질) 취급 시에는 추가 전문교육 이수가 요구됨 • 모든 위험물 사업장에 안전자문위원(Safety Advisor) 상시 배치
중국	• 항만·운송·철도 인력 모두 위험물 전담 교육 이수 및 국가공인 자격증 필수 • 하역·운송 담당자 외에도 직무별 자격분리 운영 • 위험물 모의훈련(응급처치, 누출대응, 대피훈련 등)을 연 1~2회 이상 의무 시행, 참여 이력 관리 시스템 연동
일본	• 위험물보안감독자 또는 위험물취급자 자격 필수 • 위험물취급자 등급별 관리(갑·을·병) 및 정기 보수교육 의무화

자료: 국내외 사례조사 결과를 바탕으로 저자 작성

4) 법·제도

국내는 컨테이너 위험물 물질별 담당 부처가 상이하고 항만, 도로, 철도 등에 적용되는 법률이 국제 기준이 아닌 각 법률마다 상이하게 분류되어 있어 운송수단별 이송, 보관 등 분류 기준이 일관되지 않다.

그러나 미국은 위험물 운송 과정의 전 분야가 미국 연방 교통 규정집(49 CFR)에 포함되어 있고 위험물 운송 규정과 관련해 도로, 항공, 철도, 해운, 파이프라인 이송 등 모든 운송수단이 적용을 받으며 국제 운송과도 연계되어 있다. 네덜란드는 항만 내 이뤄지는 항만위험물 관련 작업에 대해 별도 조례를 규정해 적용하고 있고, 물질별 이격거리, 지정구역, 혼재 금지 등 역시 명확히 규정하고 있다. 중국은 중앙정부의 위험물컨테이너 관련 법률 제정을 통해 각 운송수단과 항만 내 위험물컨테이너 작업기준을 표준화하고 있으며, 각 항만마다 항만 특성에 따른 개별 규정을 둬 위험물관리 규정 및 항만별 적용 기준을 구체화했다.

일본은 국내와 유사하게 각 부처별 법률에 의해 관리되고 있으나 항만위험물은 소방법 적용이 아닌 IMDG Code에 의거해 분류하고 있다. 또한 항만 선석 별 등급을 구분해 선석 단위로 하역가능 물질, 최대 허용 톤수,

보안 기준 등을 설정하는 등 선석별 관리 기준을 마련했다.

〈표 3-24〉 국내외 법·제도 특징 및 차이점

구분	주요 특징 및 차이점
국내	• 컨테이너 위험물 물질별 담당 부처 상이(소방청, 환경부 등) • 항만, 도로, 철도에 적용되는 법이 서로 달라 위험물 분류 기준이 일관되지 않음(위험물안전관리법, 선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률 등 분절 적용으로 관리 혼선)
미국	• 위험물 운송에 대해 육상·해상·항공 전 분야에 법령(49 CFR) 공통 적용 • 이 중 항만 내 위험물 취급·보관은 33 CFR에 따라 별도로 규정
네덜란드	• 로테르담PA는 자체적으로 항만 내에서 이루어지는 모든 작업(위험물 저장, 운송, 혼합, 세척 등)에 대한 별도 조례(Port Bye-laws)를 규정 • 해당 조례는 물질별 이격거리 확보, 지정 구역 내 보관, 위험한 조합의 물질 동시 저장 금지 등을 명확히 규정
중국	• 중앙 정부 규정을 통해 항만·도로·철도 전 분야의 위험물 작업 기준·응급계획·격리 요건·시설 기준을 총괄적으로 규정 • 기술표준을 근거로 작업 안전 절차, 구역 분리, 표시·포장기준 등 상세 규정
일본	• 소방법, 고압가스보안법, 항칙법 등 다중 법령 적용 • 재난·재해 대비 정부 매뉴얼 구축

자료: 국내외 사례조사 결과를 바탕으로 저자 작성

04

재난·재해 대비 항만위험물 컨테이너 위험도 분석 및 영향도 평가

제1절 품목별 항만위험물 컨테이너 위험도 분석

본 절에서는 2024년 물동량 기준 국내 주요 무역항에서의 위험물 컨테이너 반입·반출 현황을 대상으로 해서, 고유 위험도, 빈도, 중량 등 세 가지 요인을 통합적으로 고려한 정량적 분석을 수행했다. 분석 과정에서는 물동량이나 사고 건수 등 단일 지표에 의존하지 않고, 물질별 고유 특성과 빈도·중량 등 운영 관련 요인을 함께 반영해 항만 내 위험물 취급 특성에 대해 종합적으로 파악하고자 했다.

1. 분석 개요 및 방법론

본 연구는 항만에서 취급되는 위험물의 위험도를 분석하기 위해 가중치 합산법(WSM, Weighted Sum Model)에 기반한 다기준 의사결정 기법을 적용했다. 이러한 방식은 다양한 위험 요인을 공통 척도로 정규화한 뒤, 상

대적 중요도에 따라 가중치를 부여해 종합 점수를 산출하는 방식으로, 전력·에너지 인프라 자산 리스크 평가 분야 등 여러 분야에서 활용되어 왔다.[59]

기존 연구에서는 위험도 분석 시 주로 심각도와 발생 가능성 등에 기반한 위험지수 산정 방식이나, 계층분석기법 등을 활용한 가중치 적용 방식이 적용되어 왔다.[60] 본 연구에서는 항만위험물 컨테이너의 특성을 반영하기 위해 소방·화학·관세·물류 등 관련 분야 전문가들의 협의를 거쳐 '고유위험도', '빈도', '중량' 등 세 가지 요인을 평가 요인으로 선정했다. 초기 탐색적 분석 단계에서 변수 간 영향력을 균형적으로 반영하기 위해 각 요인에 균등한 가중치를 적용한 WSM 구조를 설계해 반영했다.

1) 분석 개요

본 연구에서는 항만위험물의 특성과 운영 과정에서의 위험 노출을 함께 고려하기 위해, 2024년 한 해 동안 국내 주요 무역항에 반입·반출된 위험물 컨테이너 데이터를 기반으로 정량 분석을 수행했다. 분석 항목은 물질의 고유 위험도(Severity), 연간 컨테이너 빈도(Frequency), 물동량을 나타내는 중량(Weight) 등 세 가지 요인이다. 각 요인은 동일한 척도(0~10점)로 정규화한 후, 균등한 가중치를 적용해 물질별 종합 위험 점수를 산출했다.

2) 분석 방법

본 연구에서 적용한 위험도 평가 모형은 서로 다른 단위의 요인을 정규화해 공통 척도로 환산한 후, 가중치를 부여해 종합 점수를 산출하는 정규

59) Chattopadhyay & Rodriguez(2018); Bohra & Anvari-Moghaddam(2022_; Valipour et al. (2018)
60) Kadir et al.(2020); Chen et al.(2020)

화 + 가중합(Normalization + Weighted Sum) 방식의 매트릭스 평가모형이다. 이 방식은 다기준 의사결정의 기본적 접근 중 하나로, 다양한 분야의 위험도 분석 연구에서 활용되고 있다.[61] 이는 복수의 위험 요인을 동일 척도로 비교하고 통합 점수를 도출할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서 설정한 매트릭스 구조는 다음의 〈표 4-1〉과 같다. 각 요인은 원시값(Xi)을 기준으로 전체 집단의 최대값(Xmax)에 대한 상대 정규화를 적용해 0~10점 범위로 환산했다. 이후 가중치를 부여해 가중합을 산출하며, 최종 종합 위험 점수는 $S=\Sigma(Wi\times Xi$정규화$)$의 형태로 계산된다. 이를 통해 점수, 빈도, 중량 등 단위가 상이한 요인을 공통 척도로 통합해 물질 간 상대 비교가 가능하도록 했다.

〈표 4-1〉 위험물 물질별 위험지수 분류표

요인	원시값 (Xi)	정규화 방식	정규화 점수 (0~10)	가중치 (Wi)	산출 점수 (Si=정규화×가중치)
고유 위험도 (Severity)	물질별 위험도 지수	$X_i / X_{max} \times 10$	0~10	균등 배분	S1
빈도 (Frequency)	연간 수출입 횟수	Xi / Xmax × 10	0~10		S2
중량 (Weight)	연간 총 물량(톤)	Xi / Xmax × 10	0~10		S3
종합 위험 점수 (Risk Score)					S = S1+S2+S3

자료: Saaty(1980); Chen et al.(2008)의 자료를 바탕으로 저자 작성

기존 연구에서도 위험도 분석을 위한 매트릭스 기반 평가가 다양하게 수행되어 왔다. 예를 들어, Kadir et al.(2020)은 주요 항만의 위험요인을 도출하고, 전문가 설문 기반 통계분석 및 Likelihood-Severity 매트릭스를 활용해 위험도를 등급화했다. Chen et al.(2024)은 위험물 컨테이너 취급

61) Chattopadhyay & Rodriguez(2018); Valipour et al.(2018); Bohra & Anvari-Moghaddam(2022)

과 관련한 항만 작업 프로세스를 분석하고, AHP 및 퍼지 종합평가 기법을 적용해 각 요소별 위험 수준을 평가했다.

이외에도 Saaty(1980)는 AHP 기반 다기준 의사결정 기법에서 요인 간 중요도 평가 및 가중치 산정 원리를 정립하였으며, 동일 가중치 적용 또한 비교 기준이 부족한 초기 단계에서 유효한 접근으로 제시된 바 있다. Bohra et al.(2022)의 리뷰에 따르면, WSM(Weighted Sum Model)은 단순성과 직관성 측면에서 다양한 MCDM 응용 분야에서 활용 가능성이 높은 방식으로 분류된다. 이러한 선행연구를 기반으로, 본 연구는 항만 컨테이너 운영 환경의 특성을 고려해 '고유 위험도', '빈도', '중량'의 세 가지 평가 요인을 선정했다.

(1) 고유 위험도

본 연구에서 정의한 고유 위험도는 국제해상위험물규칙(IMDG Code, International Maritime Dangerous Goods Code)의 물질 분류 체계를 기반으로 했다. IMDG Code 제7.1항 'Regulatory Authorities and Port Authorities' 조항에서는 특정 고위험 위험물, 예컨대 클래스 1(단, 1.4S 제외), 클래스 6.2(전염성 물질), 클래스 7(방사성 물질)의 경우 항만 구역 내 일반 장치작업이 제한되며, 주로 직반입·직반출 처리만을 허용하고 있다.

본 연구에서는 실질적인 항만 장치장 운영과 위험도 평가 적용 가능성을 고려해, 분석 대상 물질의 범위를 선별했다. 이를 위해 「항만구역 내 유해화학물질 보관시설 설치 및 관리에 관한 고시」(국토교통부 고시 제2023-xx호)와 실제 컨테이너 터미널의 직반출 운영 프로토콜 등을 참고했다. 그 결과, IMDG 클래스 중 일반적으로 항만 내 장치작업이 제한되거나 위험성이 현저히 높은 물질군인 클래스 1(폭발물류), 클래스 2(가스류), 클

래스 6(전염성 물질 등), 클래스 7(방사성 물질), 그리고 클래스 9 중 UN No. 2315(폴리염화바이페닐, PCB) 및 UN No. 3082(환경유해성 물질)를 분석 대상에서 제외했다.

이에 따라, 본 연구의 위험물 분석 대상은 IMDG 클래스 3(가연성 액체), 클래스 4(가연성 고체 및 자연발화성 물질 등), 클래스 5(산화성 물질 및 유기과산화물 등), 클래스 8(부식성 물질), 그리고 클래스 9 중 UN No. 2315 및 3082를 제외한 일반 위험 물질군으로 한정된다.

고유 위험도 산정에는 김태옥 외(2015)가 제시한 「화학물질 물리적 위험성 등급분류를 위한 모델식 개발」에서 제시한 위험지수 체계를 참고했다. 해당 지수는 화학물질의 인화성, 반응성, 부식성 등 주요 물리적 위험 특성을 반영하도록 구성되어 있으며, 본 연구에서는 이를 항만위험물의 물질 특성 반영을 위한 기초자료로 활용했다.

또한 초기 분석단계에서는 각 위험 요인 간 중요도에 대한 정량적 기준이 명확히 확립되지 않은 상황을 고려해, 소방, 화학, 관세, 물류 등 관련 분야 전문가들의 자문을 바탕으로 동일 가중치를 적용한 가중합산법(WSM) 구조를 설계했다.

〈표 4-2〉 위험물별 위험지수

위험 지수	주요 물질
50	수소, 니트로마니트
45	아세틸렌, 니트로이소부틸글리세롤트리니트레이트
40	에틸렌, 프로핀, 산화에틸렌, 에틸렌디니트레아민(EDNA), 테트릴, 펜타에리트리톨테트라니트레이트, 폴리비닐질산염(PVN)
36	디펜테리트리톨헥사니트레이트, 질산하이드라진, 니트로글리콜
35	1-부텐, 프로필렌, 1,3-부타디엔, 1-펜텐, 디메틸에테르, 산화프로필렌, 트리메틸아민, 디에틸렌글리콜디니트레이트
30	에탄, 프로판, 메탄, 황화수소, 아세트알데히드, 노말부탄, 옥소겐

위험 지수	주요 물질
28	트리에틸아민, 아세트산비닐
25	염화비닐, 디에틸에테르, 이소프로필아민
24	아크릴로나이트릴, 노말헵탄, 시클로펜타디엔, 알릴알코올, 벤젠, 노말헥산, 옥탄, 노말펜탄, 프로피온알데히드, 시클로펜탄, 톨루엔, 아세톤, 아크롤레인, 메틸알콜, 아세토나이트릴, 2,4,6,2′,4′,6′-헥사니트로디페닐아민, 2,4,6-트리니트로크레졸
21	시클로프로판, 크실렌, 스티렌, 3-니트로-1,2,4-트리아졸-5-원
20	에틸렌이민, 이황화탄소, 이소프로필알콜, 에틸알콜, 아세트산에틸, 트리아미노구아니딘니트레이트
18	노말디칸, 노말부틸알콜, 노말부틸아크릴레이트, 트리니트로아니솔
16	헥사메틸렌트로페폭사이드디아민
15	헥사니트로에탄, 메타디니트로벤젠
14	트라이나이트로톨루엔(TNT), 트리니트로아닐린, 트리니트로페녹시니트레이트, 피크르산
12	가솔린(100-옥탄), 시클로헥산, 암모늄피크레이트
7	1,3,5-트리아미노-2,4,6-트리니트로벤젠
6	노말헥사데칸, 디페닐메탄, 에틸렌디아민디니트레이트
5	무수암모니아
3	일산화탄소, 아지화납

자료: 김태옥 외(2015)의 자료를 바탕으로 저자 작성

(2) 빈도

빈도는 위험물 컨테이너가 일정 기간 동안 항만을 경유하며 반복적으로 이동하거나 처리되는 정도를 나타내는 지표로, 항만 내에서 해당 물질이 노출될 가능성의 상대적 크기를 간접적으로 반영한다. 본 연구에서는 국제해상위험물규칙(IMDG Code) 제7.1항 「항만 당국의 관리(7.1 Regulatory authorities and port authorities)」와 실제 컨테이너 터미널 운영 지침을 참고해, 항만 내 장치작업이 제한되는 특정 클래스(예: 클래스 1, 6, 7 등)는 분석 대상에서 제외했다.

이러한 기준은 항만 장치장에서의 물리적 노출 가능성과 반복 처리 가능성을 현실적으로 반영하기 위한 조치로, 실제 항만 운영 과정에서 일정 수

준 이상의 처리 빈도를 보이는 위험물질일수록 관리·감시 자원이 더 빈번히 요구됨을 고려한 것이다. 특히 국제민간항공기구(ICAO)의 위험평가 지침에서도 위험도 평가 시 심각도(Severity)뿐만 아니라 발생 가능성(Likelihood)과 노출 기회(Exposure Opportunity)를 함께 고려할 것을 권고하고 있다. 이는 빈도가 높은 위험물일수록 실질적인 취급 리스크가 커질 수 있음을 시사한다.

본 연구에서는 이러한 국제 기준과 관련 선행연구, 그리고 소방·화학·관세·물류 분야 전문가들의 자문을 바탕으로 '빈도'를 평가 요인 중 하나로 설정했다. 또한 분석의 구조적 균형성과 비교 가능성을 확보하기 위해 동일한 가중치를 부여해 최종 위험도 산정에 반영했다.

(3) 중량

중량은 관계 당국에 신고된 단위 컨테이너 내 위험물의 물리적 양을 톤, 킬로그램 등의 단위로 계량한 값으로, 연간 누적 중량은 해당 물질이 항만을 통해 이동하거나 체류한 총질량을 의미한다. 본 연구에서는 중량을 위험도 분석 시 잠재적 영향의 물리적 규모를 반영하는 요인으로 활용했다.

일부 위험물질의 경우, 일정 임계질량을 초과할 때 반응성 증가, 열폭주, 유해가스 발생 등으로 이어질 수 있으며, 이는 물량이 단순한 존재량을 넘어 실제 사고 시 영향을 확대하는 결정 요인으로 작용할 수 있음을 시사한다. 특히 가연성 액체, 산화성 물질, 부식성 화학물질 등은 취급량에 따라 화학적 반응성과 2차 피해 가능성이 비선형적으로 증가할 수 있다는 점이 다수의 연구와 지침에서 언급되어 왔다.

예를 들어, 'NFPA 400: Hazardous Materials Code(2021)'에서는 위험물의 종류 및 중량에 따라 허용 적재량, 격리 거리, 방재 설비 조건 등을 차등 규정하고 있으며, 유럽화학물질청(ECHA, European Chemicals

Agency)의 화학물질 위해성 평가 지침에서도 물질의 물리적 양은 확산 모델링 및 독성 영향 평가 등의 주요 입력값으로 간주된다. 본 연구는 이러한 국제 기준 및 실무 적용 사례, 그리고 국내 소방·화학·물류 등 전문가 자문 결과를 종합적으로 고려해 '중량'을 핵심 위험 평가 요인으로 채택했다.

2. 분석 대상 및 자료 특성

본 연구는 2024년 한 해 동안 국내 주요 항만을 통해 반입·반출된 위험물 컨테이너를 대상으로 정량적 위험도 분석을 수행했다. 분석 항만은 항만물류정보시스템(PORT-MIS)의 2024년 기준 컨테이너 처리량 상위 5개 항만인 부산항, 인천항, 광양항, 평택항, 울산항으로 구성된다.

위험물 분석에는 다음의 주요 정보원이 활용되었다. 위험물 목록은 한국해사위험물검사원에서 제공하는 IMDG Code 기준 유해위험물 데이터베이스를 기반으로 하였으며, 반입·반출량 및 통계 정보는 한국무역통계진흥원의 무역통계정보포털(TRASS, Trade Analysis Service System)과 관세청의 통관정보포털(UNIPASS)에서 수집했다. 이들 자료를 종합해 UN 번호(UN Number), IMDG 코드, 정식운송품명(PSN) 그리고 HS Code 간 매칭을 수행하였고, 소방·화학·관세·물류 등 분야별 전문가 자문 및 검토 회의를 통해 적정성을 보완했다. 위험물별 고유 위험도는 김태옥 외(2015)의 「화학물질 물리적 위험성 등급분류를 위한 모델식 개발」에서 제시된 위험지수 체계를 참조해 할당했다.

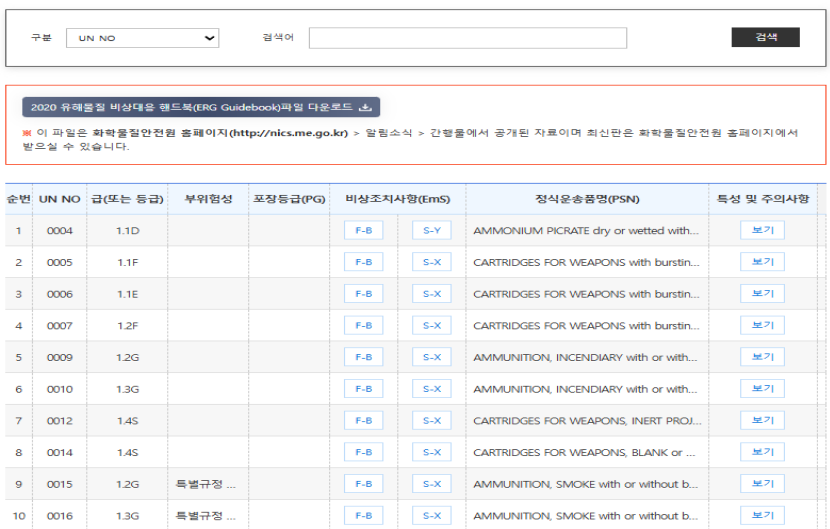
최종적으로, 고유 위험도-빈도-중량의 세 변수 간 정합성을 확보한 2,491개 위험물 항목과 266개 HS Code를 분석 범위에 포함시켰으며, 본 연구의 정량적 평가모형에 입력자료로 활용했다.

(1) 데이터 수집 및 활용 범위

본 연구는 위험물 컨테이너에 대한 정량적 분석을 위해 국내외 공식 통계 및 행정자료를 기반으로 데이터를 수집했다. 먼저, 위험물 분류 및 기본 정보 구축을 위해 한국해사위험물검사원이 제공하는 IMDG Code 기준 위험물 목록을 활용했다. 해당 목록은 국제연합(UN) 산하 위험물 운송 전문가 위원회(Sub-Committee of Experts on the Transport of Dangerous Goods)에 의해 지정된 위험물 정보를 수록하고 있으며, 2025년 8월 1일 기준으로 총 2,862개 항목이 등재되어 있다.

각 항목에는 UN 번호(UN Number), IMDG 클래스 및 세부 코드, 정식 운송품명(Proper Shipping Name, PSN) 등의 핵심 식별 정보가 포함되어 있으며, 본 연구에서는 이를 기준으로 국내 통관자료 및 무역 통계와의 연계 분석을 수행했다.

〈그림 4-1〉 한국해사위험물검사원 제공 'IMDG Code 위험물 목록' 예시


구분 UN NO 검색어 검색

2020 유해물질 비상대응 핸드북(ERG Guidebook)파일 다운로드

※ 이 파일은 화학물질안전원 홈페이지(http://nics.me.go.kr) > 알림소식 > 간행물에서 공개된 자료이며 최신판은 화학물질안전원 홈페이지에서 받으실 수 있습니다.

순번	UN NO	급(또는 등급)	부위험성	포장등급(PG)	비상조치사항(EmS)		정식운송품명(PSN)	특성 및 주의사항
1	0004	1.1D			F-B	S-Y	AMMONIUM PICRATE dry or wetted with...	보기
2	0005	1.1F			F-B	S-X	CARTRIDGES FOR WEAPONS with burstin...	보기
3	0006	1.1E			F-B	S-X	CARTRIDGES FOR WEAPONS with burstin...	보기
4	0007	1.2F			F-B	S-X	CARTRIDGES FOR WEAPONS with burstin...	보기
5	0009	1.2G			F-B	S-X	AMMUNITION, INCENDIARY with or with...	보기
6	0010	1.3G			F-B	S-X	AMMUNITION, INCENDIARY with or with...	보기
7	0012	1.4S			F-B	S-X	CARTRIDGES FOR WEAPONS, INERT PROJ...	보기
8	0014	1.4S			F-B	S-X	CARTRIDGES FOR WEAPONS, BLANK or ...	보기
9	0015	1.2G	특별규정 ...		F-B	S-X	AMMUNITION, SMOKE with or without b...	보기
10	0016	1.3G	특별규정 ...		F-B	S-X	AMMUNITION, SMOKE with or without b...	보기

자료: 한국해사위험물검사원, IMDG Code 위험물 목록 검색(검색일: 2025.8.1.)

위험물의 빈도 및 중량 자료는 한국무역통계진흥원 무역통계정보포털(TRASS)을 통해 확보했다. 본 연구에서는 IMDG Code 기준의 위험물 목록에 포함된 UN 번호, IMDG 코드, PSN 등을 TRASS의 수출입 통계상의 품목분류 체계(HS Code)와 연계하기 위해 매칭 작업을 수행했다.

이 과정에서 매칭의 정확성과 분류 일치도를 제고하기 위해 관세청 관세법령정보포털(UNIPASS)에서 제공하는 최신 HS Code 관세율표를 참고하였으며, 연계 결과는 소방, 화학, 관세, 물류 등 관련 분야 전문가 회의를 통해 검토 및 보완했다. 이 절차를 통해 분석 적합성이 확보된 266개 HS Code가 최종 도출되었으며, 위험물의 빈도 및 중량 분석에 활용되었다.

〈그림 4-2〉 관세법령정보포털 제공 '관세율표 상세목록' 예시



자료: 한국무역통계정보포털(검색일: 2025.8.1.)

(2) 분석 공간 및 시간 범위

본 연구에서 활용된 자료의 적용 범위는 공간적 범위와 시간적 범위로 구분된다.

가. 분석 공간

본 연구는 2024년 한 해 동안 국내 주요 항만을 통해 수출입 위험물 컨테이너 물동량이다. 분석 항만은 해양수산부 항만물류정보시스템(PORT-MIS) 2024년 통계 기준, 컨테이너 처리량 상위 5개 항만인 부산항, 인천항, 광양항, 평택항, 울산항으로 선정했다. 2024년 부산항은 2,440만 TEU로 국내 전체 컨테이너 물동량의 절반 이상을 처리하였으며, 인천항은 356만 TEU, 광양항은 201만 TEU를 기록하였으며, 이들 항만은 위험물 컨테이너의 주된 반입·반출 지점으로 간주된다.

나. 분석 기간

분석 기간은 2024년 1월부터 12월까지 1년간의 자료를 기준으로 설정했다. TRASS 자료는 수출입 건별 일자 정보를 포함한 시계열 형태로 구성되어 있다. 이에 따라 본 연구는 최신 통계가 반영된 연도를 기준으로 분석을 수행했다.

다. 연구흐름도

본 연구는 항만 내 장치가 요구되는 위험물 컨테이너의 수출입 현황을 정량적으로 분석하기 위해 단계적 절차에 따라 진행되었다. 먼저, 2024년 한 해 동안 주요 항만에 수출입 위험물 컨테이너 관련 자료를 수집하였으며, 한국해사위험물검사원의 IMDG Code 목록, 무역통계정보포털(TRASS), 관세청 관세법령정보포털(UNIPASS)을 활용해 UN 번호, IMDG 코드, 정식운송품명(PSN)과 HS Code 간의 교차 매칭을 수행했다.

이후 매칭의 적정성과 적용 가능성을 검토하기 위해 소방, 화학, 관세, 물류 등 분야 전문가들과 제1차 자문회의를 실시하였으며, 보완된 결과를 바탕으로 HS Code별 수출입 빈도와 중량을 산출했다. 이후, 김태옥 외(2015)의 고유 위험도 지수를 적용하는 과정에서는 제2차 자문회의를 통해 IMDG 코드의 세부 속성과 관세율표상의 품목 특성을 반영해 변수 설정과 분석 기준을 정비했다.

최종적으로 정비된 변수 체계를 바탕으로 가중합산법(WSM)을 적용한 매트릭스 기반 정량 평가를 수행하였으며, 이를 통해 항만 내 상대적 위험도가 높은 물질을 식별하고, 우선관리 대상 선정 및 위험 대응의 기준 마련에 활용했다.

〈그림 4-3〉 분석 흐름도



자료: 저자 작성

3. 위험도 분석 결과

본 연구의 분석 결과는 2024년 국내 주요 5개 항만(부산항, 인천항, 광양항, 평택항, 울산항)을 대상으로 위험물 컨테이너 수출입 합산 데이터를 정량화한 것이다. 분석 대상은 항만을 통해 실제 수출입을 위해 반입·반출된 위험물 품목에 대해 고유 위험도(Severity), 빈도(Frequency), 총중량(Weight)의 세 변수를 적용해 종합 위험도를 산정했다.

각 변수는 비교 가능성을 확보하기 위해 정규화 처리되었으며, 변수 간 사전 중요도에 대한 객관적 정보가 제한적인 점을 고려해 동일 가중치를 적용한 가중합산법(WSM)을 분석 틀로 활용했다. 이를 통해 항만별로 상대적 위험도가 높은 품목을 도출하고, 수입과 수출 구조 간의 차이를 정량적으로 비교함으로써 위험물 관리의 방향성과 우선순위 설정을 위한 기초자료를 제시했다.

1) 분석 모형 적용

본 연구는 항만 내 위험물 컨테이너의 상대적 위험 수준을 정량적으로 비교·평가하기 위해 다기준 의사결정 기법인 가중합산법(WSM)을 기반으로 한 평가 모형을 적용했다. WSM은 여러 요인의 평가값을 동일 척도로 정규화한 후, 가중치를 부여해 종합 점수를 산출하는 방식으로, 단일 지표가 아닌 복합 요인을 함께 고려할 수 있다는 점에서 활용되었다.

평가 지표는 세 가지로 구성했다. 첫째, 고유 위험도는 IMDG Code의 물질 분류 특성과 김태옥 외(2015)가 제시한 위험지수를 기반으로 점수화했다. 둘째, 빈도는 TRASS 자료를 바탕으로 연간 항만 수출입 건수를 기준으로 산출하였으며, 셋째, 총중량은 수출입 물량의 톤 또는 킬로그램 단위 합계를 기준으로 측정했다.

각 지표는 단위 간 차이를 제거하고 상호 비교 가능하도록 최댓값 대비 정규화하였으며, 가중치는 동일하게 부여했다. 이를 통해 각 항목이 특정 요인에 과도하게 의존하지 않도록 조정된 종합 위험 점수를 산출했다.

이러한 분석 절차를 통해 동일한 품목이라 하더라도 항만별 또는 수입·수출 구분별로 고유 위험도, 빈도, 중량의 상대적 차이에 따라 종합 위험도 순위가 달라질 수 있다. 본 절차를 통해 항만별·품목별 위험 수준을 상호 비교 가능한 형태로 제시했다. 결과적으로 본 평가 모형은 수출입 합산 데이터를 기준으로 위험물 품목 간 상대적 위험 수준을 정량적으로 비교하고, 항만별 취급 특성에 따라 구조적으로 일관된 방식으로 분석 결과를 제시할 수 있도록 설계되었다.

2) 분석 결과

(1) 분석 결과 요약

2024년 기준 국내 주요 5개 항만(부산항, 인천항, 광양항, 평택항, 울산항)을 대상으로 위험물 컨테이너 수출입 자료를 통합 분석한 결과, HS Code 382499(기타 화학제품류)와 271019(석유계 혼합물·정제유)가 전 항만에서 공통적으로 상위 위험물 품목으로 나타났다.

두 품목은 취급 빈도와 총 중량 모두에서 높은 수치를 보였으며, IMDG Code상 Class 3(인화성 액체류) 및 일부 Class 4(가연성 고체류)에 해당함에 따라 고유 위험도(Severity) 또한 중간 이상 수준으로 평가되었다. 이로 인해 세 변수의 가중합을 통해 산출된 종합 위험 점수에서 상위권에 위치했다.

이외에도 HS Code 320890(도료·페인트류), 293090(기타 질소화합물) 등이 주요 항만에서 반복적으로 상위권에 분포하였으며, 250300(황),

220890(기타 주류), 720221(철강제품) 등은 항만별로 순위 차이는 있으나 일정 수준 이상의 위험 점수를 나타냈다. 이는 위험물 컨테이너의 취급 빈도 및 물량 구조가 항만별로 상이하며, 특정 품목의 위험도가 입지 및 수출입 형태에 따라 달라질 수 있음을 보여준다.

〈표 4-3〉 수출입 10개 위험물 품목(2024년 기준)

HS Code	대표 품목명 (요약)	UN No.	IMDG Class	합산 순위 (총 위험 지수)	부산항	인천항	광양항	평택항	울산항
382499	기타 화학 제품류	1091, 1992, 2924, 등	3, 4.1, 4.2	1위 (2.26)	1위 (2.29)	1위 (2.31)	1위 (2.21)	1위 (3.01)	4위 (1.80)
271019	석유계 유분(정제유·혼합유)	1202, 1223, 1268 등	3	2위 (1.95)	2위 (1.96)	5위 (1.77)	–	2위 (2.00)	1위 (3.40)
320890	기타 비수성 도료·페인트류	1139, 1263, 2456 등	3	3위 (1.83)	3위 (1.85)	2위 (1.81)	2위 (1.84)	5위 (1.81)	–
290519	기타 비환식 알코올류	1105, 1274, 1289 등	3, 4.2	4위 (1.79)	5위 (1.78)	–	–	–	–
220890	기타 주류	3065 등	3	5위 (1.76)	4위 (1.79)	7위 (1.71)	–	6위 (1.73)	–
720221	철강제품 (페로실리콘등)	1394 등	4.3	6위 (1.72)	7위 (1.73)	10위 (1.68)	3위 (1.82)	7위 (1.73)	–
293090	기타 질소 화합물	1111, 1123, 1228 등	3, 4.1, 4.2	7위 (1.66)	9위 (1.68)	–	9위 (1.65)	–	7위 (1.70)
720421	스테인리스강 스크랩	2793 등	4.2	8위 (1.52)	10위 (1.57)	–	–	–	–
250300	황 (Sulphur)	1350, 2448 등	4.1	9위 (1.43)	–	3위 (1.81)	8위 (1.65)	–	2위 (2.30)
310230	비료 (인산칼슘)	1462, 1463, 2067 등	5.1	10위 (1.39)	–	–	–	–	–

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

수출입 합산 기준으로 실시한 위험도 분석 결과, HS Code 382499(기타 화학제품류)와 271019(석유계 혼합물)가 전국 단위에서 높은 종합 위험 점수를 기록하며 공통적으로 상위에 도출되었다.

382499는 고유 위험도, 빈도, 중량이 모두 일정 수준 이상으로 반영되어 전국 기준 2.26점을 나타냈으며, 부산항(2.29), 인천항(2.31), 광양항(2.21), 평택항(3.01) 등 대부분 항만에서 위험도 1위로 확인되었다.

271019는 고유 위험도는 중간 수준이었으나 중량 및 빈도 항목의 기여가 상대적으로 높아 전체 기준 1.95점을 기록하였고, 특히 울산항에서는 3.40점으로 항만별 평가 중 가장 높은 위험 점수를 보였다.

이러한 결과는 위험물 품목별 특성과 함께 항만별 수출입 구조, 취급량, 품목 구성 등의 차이가 종합 위험도에 영향을 미침을 시사한다. 항만에 따라 동일 품목의 상대적 위험 순위가 달라지는 현상은 개별 항만의 물동 특성에 따른 위험도 결정 요인의 이질성을 반영하는 것으로 해석할 수 있다.

〈표 4-4〉 항만별 위험물 컨테이너 수출입 상위 10개 품목 위험도 (2024년 기준)

구분	상위 10개 품목 (HS Code, Risk Score)
전체(5개 항만 합산)	① 382499(2.26), ② 271019(1.95), ③ 320890(1.83), ④ 290519(1.79), ⑤ 220890(1.76), ⑥ 720221(1.72), ⑦ 293090(1.66), ⑧ 720421(1.52), ⑨ 250300(1.43), ⑩ 310230(1.39)
부산항	① 382499(2.29), ② 271019(1.96), ③ 320890(1.85), ④ 220890(1.79), ⑤ 290519(1.78), ⑥ 290949(1.75), ⑦ 720221(1.73), ⑧ 291539(1.70), ⑨ 293090(1.68), ⑩ 720421(1.57)
인천항	① 382499(2.31), ② 320890(1.81), ③ 250300(1.81), ④ 630900(1.79), ⑤ 271019(1.77), ⑥ 390950(1.72), ⑦ 220890(1.71), ⑧ 291819(1.71), ⑨ 381400(1.70), ⑩ 720221(1.68)
광양항	① 382499(2.21), ② 320890(1.84), ③ 720221(1.82), ④ 291590(1.82), ⑤ 291612(1.78), ⑥ 290110(1.75), ⑦ 520100(1.75), ⑧ 250300(1.65), ⑨ 293090(1.65), ⑩ 230690(1.61)
평택항	① 382499(3.01), ② 271019(2.00), ③ 292700(1.97), ④ 381400(1.81), ⑤ 320890(1.81), ⑥ 220890(1.73), ⑦ 720221(1.73), ⑧ 291819(1.73),

구분	상위 10개 품목 (HS Code, Risk Score)
	⑨ 350691(1.71), ⑩ 290110(1.68)
울산항	① 271019(3.40), ② 250300(2.30), ③ 291612(1.80), ④ 382499(1.80), ⑤ 290129(1.70), ⑥ 291532(1.70), ⑦ 293090(1.70), ⑧ 290110(1.70), ⑨ 390791(1.40), ⑩ 230690(1.40)

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

가. HS Code 382499(기타 화학제품류)

전문가 협의 결과, HS Code 3824.99와 IMDG Code 간 매칭을 통해 일부 품목이 인화성, 자가반응성, 부식성 등의 특성으로 제3류, 제4.1류, 제4.2류 위험물에 해당하는 것이 확인되었다. 주요 예시로 UN1992(FLAMMABLE LIQUID, TOXIC, N.O.S.)는 누출 시 인화와 유해성이 우려되며, UN3221(SELF-REACTIVE LIQUID TYPE B)은 온도에 민감해 특별한 관리가 요구된다.

나. HS Code 271019(석유계 유분(정제유·혼합유))

HS Code 2710.19(기타 석유류 및 석유계 제품)과 국제 위험물 분류(IMDG Code) 간의 매칭 결과, 다수의 석유계 액체 연료류가 제3류(인화성 액체)로 분류되는 것으로 확인되었다. 예시로는 항공터빈연료(UN1863), 디젤·가스오일류(UN1202), 케로신(UN1223), 석유 증류물(UN1268), 세일오일(UN1288), 고온 인화성 액체 혼합물(UN3256) 등이 있으며, 모두 석유계 조성으로 인해 인화점과 증기 특성상 화재 위험성이 내재되어 있다.

다. HS Code 320890(기타 비수성 도료·페인트류)

HS Code 3208.90에 해당하는 비수성 도료 및 코팅제 중 일부는 인화성 또는 부식성 등의 특성으로 인해 IMDG Code 기준 제3류 위험물로 분류된다. 주요 매칭 항목은 UN1139, UN1263, UN3469, UN2456 등이

있으며, 이들은 인화점이 낮고 특정 조건에서 부식성을 나타내 운송, 보관 시 안전관리가 필요하다.

라. HS Code 290519(기타 비환식 알코올류)

HS Code 2905.19에 포함되는 일부 비환식 알코올 및 관련 화합물은 인화성 또는 자가발열성 등으로 인해 IMDG Code 기준 제3류 또는 제4.2류 위험물에 해당한다. 주요 매칭 항목은 UN1986, UN1987, UN1274, UN3205, UN3206 등이며, 알코올 혼합물 및 알콕사이드 계열 물질이 포함된다.

마. HS Code 2208.90(기타 주류)

HS Code 2208.90에 해당하는 알코올 음료 중 일부는 에탄올 함량이 높아 IMDG Code 기준 제3류(인화성 액체)로 분류된다. UN3065는 알코올 함량에 따라 위험물로 지정되며, HS 분류에서는 주종 구분이 어려운 고도수 음료로 간주되어 '기타 주류' 항목에 포함된다.

바. HS Code 720221(페로실리콘)

HS Code 7202.21로 분류되는 페로실리콘은 일정 비율의 규소를 함유한 합금으로, 수분과의 접촉 시 가연성 가스를 발생시킬 수 있는 특성이 있다. 이러한 특성에 따라 UN1408과 매칭되며, 국제 위험물 분류(IMDG Code)상 제4.3류(물반응성 물질)로 지정된다. HS 체계에서는 철 기반 합금류로 분류되어 '페로실리콘' 항목에 포함된다.

사. HS Code 293090(기타 질소화합물)

HS Code 2930.90에 해당하는 유기황화합물 중 일부는 인화성 또는 기타 화학적 특성으로 인해 IMDG Code 기준 제3류 또는 제4류에 해당하는 것으로 확인된다. 주요 매칭 항목으로는 UN1111, UN1164, UN1228,

UN2375, UN3336 등이 있으며, 이들은 티올류, 디술파이드, 티오에테르 등 다양한 유기황 기반 구조를 가진 물질로 구성된다. 이들 물질은 구조 내 황 원자 결합으로 인해 연소성과 반응성이 나타날 수 있어 국제 기준상 위험물로 분류된다.

아. HS Code 720421(스테인리스강 스크랩)

HS Code 7204.21에 해당하는 철강 스크랩 중 일부는 가공 형태와 저장 조건에 따라 발열 반응이 발생할 수 있어, IMDG Code 기준 제4.2류(자기발열성 물질)로 분류된다. UN2793은 절삭·선삭 등으로 생성된 철 분말 또는 절편류로, 일정 조건에서 자가발열 우려가 있는 형태일 경우 위험물로 지정된다.

자. HS Code 250300(황 등)

HS Code 2503.00에 해당하는 황은 고체 또는 용융 상태에 따라 UN1350 또는 UN2448로 분류되며, 인화성 고체로서 IMDG Code 기준 제4.1류 위험물에 해당한다. 황은 저장 또는 취급 조건에 따라 발화 가능성이 존재하며, HS 체계에서는 천연 또는 정제 형태를 포함한 '황'으로 분류된다.

차. HS Code 310230(비료용 질산암모늄)

HS Code 3102.30에 해당하는 질산암모늄 계열 물질은 일부 품목이 산화성 특성을 나타내며, IMDG Code 기준 제5.1류로 분류된다. UN2426, UN2067, UN3375, UN1942 등은 비료용 또는 산업용으로 활용되는 조성물로, 저장 조건 등에 따라 산화 반응을 일으킬 수 있는 특성이 확인된다. 해당 물질들은 HS 체계상 비료용 질산암모늄 또는 그 조제품으로 분류된다.

(2) 세부 위험도 분석 결과

앞서 제시한 수출입 합산 기준 상위 10개 품목에 대해, 각 품목의 고유 위험도와 빈도·중량 항목별 기여도를 분석한 결과는 다음과 같다.

HS Code 382499(기타 화학제품류)는 고유 위험도(1.6)에 더해 중량(0.42), 빈도(0.24)가 비교적 고르게 작용해 종합 위험 점수 2.26으로 전체 1위를 기록했다. 이어 271019(석유계 혼합물)의 고유 위험도는 상대적으로 낮은 편(1.2)이지만, 중량(0.49)과 빈도(0.26) 항목에서 높은 기여도를 보여 1.95점으로 2위에 도출되었다.

3위인 320890(도료·페인트류)은 고유 위험도가 가장 높은 편(1.73)이었으나, 중량(0.04)과 빈도(0.05)의 상대적 기여가 낮아 종합 점수는 1.83점에 머물렀다. 유사하게 290519(기타 알코올류)와 220890(주류) 등도 고유 위험도는 높으나 물동량 계수가 낮아 전체 점수가 제한되었으며, 720221(철강제품), 293090(기타 질소화합물) 등은 고유 위험도와 중량·빈도 간의 상대적 조합에 따라 중위권 점수를 기록했다.

〈표 4-5〉 위험도 평가 결과(수출입 – 전체 합산, 5개 항만, 2024년 기준)

순위	HS Code	UN No.	IMDG Class	고유 위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	382499	1091, 1992, 2924 등	3, 4.1, 4.2	1.6	0.42	0.24	2.26
2	271019	1202, 1223, 1268 등	3	1.2	0.49	0.26	1.95
3	320890	1139, 1263, 2456 등	3	1.73	0.04	0.05	1.83
4	290519	1105, 1274, 1289 등	3, 4.2	1.73	0.01	0.05	1.79

순위	HS Code	UN No.	IMDG Class	고유 위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
5	220890	3065 등	3	1.67	0.06	0.03	1.76
6	720221	1394 등	4.3	1.6	0.11	0.01	1.72
7	293090	1111, 1123, 1228 등	3, 4.1, 4.2	1.53	0.05	0.07	1.66
8	720421	2793 등	4.2	1.33	0.18	0.01	1.52
9	250300	1350, 2448 등	4.1	1.2	0.23	0.01	1.43
10	310230	1462, 1463, 2067 등	5.1	1.33	0.05	0.01	1.39

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

가. 부산항

부산항 수출입 합산 분석 결과, 382499(기타 화학제품류)는 고유 위험도(1.60)와 중량·빈도 기여가 균형 있게 작용해 2.29로 1위를 기록했으며, 271019(석유계 혼합물)는 고유 위험도는 낮지만 중량(0.50)과 빈도(0.26)의 영향으로 1.96으로 2위에 올랐다. 이어 320890(도료·페인트류), 220890(주류류), 290519(알코올류) 등이 상위권을 차지했고, 293090(기타 질소화합물), 720221·720421(철강제품) 등도 10위 내에 포함되었다.

한편 전문가 검토 결과, HS 290949는 에테르·알콕실화 물질 특성으로 인해 인화성 또는 일부 자가발열성이 나타나 제3류·제4.2류(UN1153, UN2846 등)에 분류될 수 있으며, HS 291539는 유기 에스터류의 휘발·용제 특성으로 인해 제3류 인화성 액체(UN1104, UN1120, UN1172 등)로 지정될 수 있다. 두 품목은 HS 체계에서는 일반 유기화합물이지만, 국제운송 기준에서는 물성에 따라 위험물로 관리될 수 있다.

〈표 4-6〉 부산항 기준 위험도 평가 결과(수출입 전체합산, 2024년 기준)

순위	HS Code	UN No.	IMDG Class	고유 위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	382499	1091, 1992, 2924 등	3, 4.1, 4.2	1.60	0.44	0.24	2.29
2	271019	1202, 1223, 1268 등	3	1.20	0.50	0.26	1.96
3	320890	1139, 1263, 2456 등	3	1.73	0.06	0.05	1.85
4	220890	3065 등	3	1.67	0.08	0.03	1.79
5	290519	1105, 1274, 1289 등	3, 4.2	1.73	0.01	0.04	1.78
6	290949	1153, 2846, 2846 등	3, 4.2	1.67	0.07	0.01	1.75
7	720221	1394 등	4.3	1.60	0.12	0.01	1.73
8	291539	1104, 1120, 1172 등	3	1.60	0.06	0.04	1.70
9	293090	1111, 1123, 1228 등	3, 4.1, 4.2	1.53	0.07	0.08	1.68
10	720421	2793 등	4.2	1.33	0.23	0.01	1.57

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

나. 인천항

인천항 수출입 합산 결과, 382499(기타 화학제품류)는 고유 위험도(1.60)와 중량(0.46), 빈도(0.25)가 함께 작용해 2.31로 1위를 차지했다. 이어 320890(도료·페인트류)와 250300(황)이 각각 1.81로 뒤를 이었으며, 630900(섬유제품·헝겊류)은 중량 기여도(0.78)가 크게 작용해 1.79로 4위에 올랐다. 271019(석유계 혼합물)는 빈도와 중량이 모두 높아 1.77로

5위를 기록했으며, 이외에도 390950(플라스틱 수지), 220890(주류류), 291819(카복실산), 381400(소포제류), 720221(철강제품) 등이 상위 10위 내에 포함되었다.

전문가 검토 결과, HS 630900은 섬유류가 유류·화학물에 노출될 경우 자가발열 가능성이 있어 제4.2류로 분류될 수 있으며, HS 390950은 용제 성분을 포함한 폴리머 특성으로 인해 제3류 또는 제4.1류에 해당할 수 있다. 또한 HS 291819와 HS 381400은 각각 에스터류와 용제 혼합물의 인화성으로 제3류 위험물로 지정될 수 있다. 이들 품목은 HS 체계에서는 일반 공산품 또는 화학제품으로 분류되지만, 국제운송 기준에서는 위험물로 관리될 수 있다.

〈표 4-7〉 인천항 기준 위험도 평가 결과(수출입 전체합산, 2024년 기준)

순위	HS Code	UN No.	IMDG Class	고유 위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	382499	1091, 1992, 2924 등	3, 4.1, 4.2	1.60	0.46	0.25	2.31
2	320890	1139, 1263, 2456 등	3	1.73	0.02	0.06	1.81
3	250300	1350, 2448 등	4.1	1.20	0.60	0.01	1.81
4	630900	1373 등	4.2	1.00	0.78	0.01	1.79
5	271019	1202, 1223, 1268 등	3	1.20	0.31	0.26	1.77
6	390950	1866, 3531, 3532 등	3, 4.1	1.67	0.05	0.01	1.72
7	220890	3065 등	3	1.67	0.01	0.04	1.71
8	291819	1192 등	3	1.67	0.00	0.04	1.71
9	381400	1300 등	3	1.60	0.06	0.04	1.70
10	720221	1394 등	4.3	1.60	0.07	0.01	1.68

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

다. 광양항

광양항 수출입 합산 결과, 382499(기타 화학제품류)는 고유 위험도(1.60)에 더해 중량(0.32)과 빈도(0.29)가 고르게 작용해 2.21로 1위를 차지했다. 이어 320890(도료·페인트류)가 1.84, 720221(철강제품)과 291590(유기화합물)이 각각 1.82로 뒤를 이었다. 또한 291612(유기산류)와 290110(할로겐화합물)이 각각 1.78, 1.75로 상위권에 포함되었으며, 520100(면화), 250300(황), 293090(기타 질소화합물), 230690(식물성 부산물) 등이 10위 내에 올라 광양항에서 다양한 위험물 품목이 분포함을 보여주었다.

전문가 검토 결과, HS 291590과 291612는 케톤·카복실산 유도체 특성으로 인화성이 있어 제3류에 분류될 수 있으며, HS 290110은 알킬벤젠계열의 인화성으로 제3류에 해당한다. HS 520100은 면섬유가 유류나 화학물에 노출될 경우 자가발열 우려가 있어 제4.2류로, HS 230690은 유기성 혼합물이 조건에 따라 발열 가능성이 있어 제4.2류로 관리될 수 있다. 이러한 품목들은 HS 체계에서는 일반 화학제품·원료로 분류되지만, 국제운송 기준에서는 물성에 따라 위험물로 지정될 수 있다.

〈표 4-8〉 광양항 기준 위험도 평가 결과(수출입 전체합산, 2024년 기준)

순위	HS Code	UN No.	IMDG Class	고유 위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	382499	1091, 1992, 2924 등	3, 4.1, 4.2	1.60	0.32	0.29	2.21
2	320890	1139, 1263, 2456 등	3	1.73	0.00	0.10	1.84
3	720221	1394 등	4.3	1.60	0.19	0.03	1.82
4	291590	1301 등	3	1.67	0.04	0.10	1.82
5	291612	1917, 2527 등	3	1.60	0.05	0.13	1.78

순위	HS Code	UN No.	IMDG Class	고유 위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
6	290110	2457, 2247, 1920 등	3	1.60	0.05	0.10	1.75
7	520100	1365 등	4.2	1.33	0.26	0.16	1.75
8	250300	1350, 2448 등	4.1	1.20	0.42	0.03	1.65
9	293090	1111, 1123, 1228 등	3, 4.1, 4.2	1.53	0.01	0.10	1.65
10	230690	1386, 2217 등	4.2	1.33	0.23	0.05	1.61

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

라. 평택항

평택항 수출입 합산 결과, 382499(기타 화학제품류)는 중량과 빈도 기여가 높아 3.01로 1위를 차지했으며, 271019(석유계 혼합물)와 292700(할로겐화 유기화합물)이 각각 2.00, 1.97로 뒤를 이었다. 이외에도 381400(소포제류), 320890(도료·페인트류), 220890(주류류) 등이 상위 10위 내에 포함되었다.

전문가 검토 결과, HS 292700은 질소계 유도체 특성으로 산화·분해 과정에서 발열과 인화 가능성이 나타날 수 있어 제4.1류로 분류될 수 있으며, HS 350691은 용제를 포함한 합성수지 기반 점착제로 인화성이 확인되어 제3류에 해당한다. HS 290110은 알킬벤젠 계열의 낮은 인화점으로 인해 제3류로 지정될 수 있다. 이들 품목은 HS 체계에서는 일반 화학제품 또는 공업용 원료로 분류되지만, 국제운송 기준에서는 물성에 따라 위험물로 관리될 수 있다.

〈표 4-9〉 평택항 기준 위험도 평가 결과(수출입 전체합산, 2024년 기준)

순위	HS Code	UN No.	IMDG Class	고유 위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	382499	1091, 1992, 2924 등	3, 4.1, 4.2	1.60	1.05	0.36	3.01
2	271019	1202, 1223, 1268 등	3	1.20	0.48	0.32	2.00
3	292700	3242 등	4.1	1.87	0.07	0.04	1.97
4	381400	1300 등	3	1.60	0.17	0.04	1.81
5	320890	1139, 1263, 2456 등	3	1.73	0.00	0.08	1.81
6	220890	3065 등	3	1.67	0.01	0.06	1.73
7	720221	1394 등	4.3	1.60	0.11	0.02	1.73
8	291819	1192 등	3	1.67	0.00	0.06	1.73
9	350691	1133 등	3	1.60	0.07	0.04	1.71
10	290110	2457, 2247, 1920 등	3	1.60	0.00	0.08	1.68

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

마. 울산항

울산항 수출입 합산 결과, 271019(석유계 혼합물)는 중량(1.7)과 빈도(0.6) 기여가 높아 3.4로 1위를 기록했고, 250300(황)이 2.3으로 뒤를 이었다. 이어 291612(유기산류), 382499(기타 화학제품류)가 각각 1.8, 1.8로 상위권에 포함되었으며, 290129, 291532, 293090, 290110 등이 1.7 수준을 나타냈다. 390791(플라스틱 수지)과 230690(식물성 부산물)은 각각 1.4로 10위 내에 올랐다.

전문가 검토 결과, HS 290129는 낮은 인화점과 용제 성질로 인해 제3류 인화성 액체로 분류될 수 있으며, HS 291532도 에스터류의 휘발·용제

특성으로 제3류에 해당할 수 있다. HS 390791은 일부 폴리머가 용제 잔류나 가열 조건에서 인화성 또는 발열성을 보일 수 있어 제3류 또는 제4.1류로 지정될 수 있다. 이들 품목은 HS 체계에서는 일반 화학제품이나 합성수지 원료로 분류되지만, 국제운송 기준에서는 물성에 따라 위험물로 관리될 수 있다.

〈표 4-10〉 울산항 기준 위험도 평가 결과(수출입 전체합산, 2024년 기준)

순위	HS Code	UN No.	IMDG Class	고유 위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	271019	1202, 1223, 1268 등	3	1.2	1.7	0.6	3.4
2	250300	1350, 2448 등	4.1	1.2	1.0	0.0	2.3
3	291612	1917, 2527 등	3	1.6	0.1	0.1	1.8
4	382499	1091, 1992, 2924 등	3, 4.1, 4.2	1.6	0.1	0.1	1.8
5	290129	1144, 1206, 1208 등	3	1.6	0.0	0.1	1.7
6	291532	1301 등	3	1.6	0.1	0.0	1.7
7	293090	1111, 1123, 1228 등	3, 4.1, 4.2	1.5	0.1	0.1	1.7
8	290110	2457, 2247, 1920 등	3	1.6	0.0	0.1	1.7
9	390791	3269, 3527 등	3, 4.1	1.4	0.0	0.0	1.4
10	230690	1386, 2217 등	4.2	1.3	0.1	0.0	1.4

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

제2절 항만 위험물 컨테이너 영향도 평가

1. 분석 개요 및 시나리오

재난·재해에 따른 항만의 운영 중단은 터미널의 운영중단 뿐만 아니라 국가 물류체계의 병목현상 유발과 더불어 글로벌 공급망의 지연, 차질, 비용 상승 등 연쇄적 파급 효과를 야기할 수 있다. 특히 위험물로 인한 사고는 폭발, 유해물질 유출, 화재 등으로 이어지기 때문에 하역 및 이송 장비의 파손, 안벽 파괴, 철송장 손상, 야드·창고 파손 등 항만 운영 전반에 걸친 손실을 유발한다.

따라서 본 절에서는 특정 사례에 대한 시뮬레이션이 아닌 실제 국내 컨테이너 전용터미널의 구조와 장비 구성, 운영 환경을 기반으로 한 실증 기반 피해 추정 모델을 설계하여 영향도를 분석하였다. 분석 대상은 부산항 B 터미널로 설정했으며, 이를 통해 위험물 사고 시 항만 운영에 미치는 피해를 직접 손실, 즉 인프라 손실(항만 설비 파손)과 간접 손실, 즉 영업 손실(하루 셧다운에 따른 서비스 중단 피해)로 구분하여 정량적으로 추정했다. 또한 다음과 같은 영향도 분석 시나리오를 설정하였다.

〈표 4-11〉 주요 영향도 분석 시나리오

구분	주요내용
피해율	파괴 또는 기능 정지 수준에 따라 20%, 50%, 70%, 100% 시나리오
인프라 손실	B사 장비 유형별 단가 및 개수를 기준으로 시나리오에 따른 피해액 추정
상부 설비	안벽, 철송장, 야드 등 물리적 기반시설을 바탕 복구단가
영업 손실	조업정지에 따른 영업손실비용 해당 장비가 제공하는 서비스의 1일 단가를 기반으로 미수익 또는 지연 손실로 추정

자료: 터미널 내부 자료 및 전문가 자문을 바탕으로 저자 작성

2. 분석 대상 및 가정

분석 대상인 B 터미널은 컨테이너 전용 터미널로 국내 컨테이너 처리의 상당 부분을 처리하고 있다. 자동화 하역 장비 및 이송 장비 역시 다수 보유하고 있다. 보안 및 정보 민감성을 고려하여 보유 장비 대수는 공개하지 않으며 분석에 필요한 단가는 B 터미널 내부 자료, 외부 공시자료 및 산업 평균 단가를 기준으로 적용하였다. 분석에 적용된 주요 가정은 다음과 같다.

〈표 4-12〉 분석 적용 가정

구분	주요내용
손실 기준일	모든 피해액은 1일 셧다운 기준으로 환산
인프라 손실	장비 및 상부설비의 전손을 가정하고, 피해액에 시나리오별 파손율(20%, 50%, 70%, 100%)을 통해 피해액 추정
상부 설비	안벽, 철송장, 전체 면적 기반 복구 단가를 적용하되, 구체적 물리정보 대신 유사 사례 복구단가를 기준값으로 간주
영업 손실	조업정지에 따른 영업손실비용으로 산정, B사의 항만 요율의 단가를 기준으로 B사 장비 운영 수치에 적용하여 추산, 터미널 임대료를 기반으로 전체 중단 일수(1일) 및 시나리오별 손실을 적용
환율	장비 도입국가 통화(USD, EUR, KRW 등)를 기준 환율로 일괄 환산

자료: 터미널 내부 자료 및 전문가 자문을 바탕으로 저자 작성

3. 시나리오 구조 및 유형 구분

본 분석에서는 위험물 컨테이너 사고 등으로 인해 터미널 기능이 전면 정지(셧다운)되는 상황을 가정하고, 피해 규모를 시나리오 기반으로 정량적으로 추정하였다. 피해 규모는 인프라 손실(장비 및 기반 시설)과 영업 손실(서비스 중단으로 인한 피해)로 구성된다.

모든 시나리오는 1일 셧다운 기준 피해액을 추정한다. 실제 운영 환경에서는 일부 장비 또는 구역만 영향을 받을 수 있으나, 본 분석에서는 항만

특정 장비 또는 구역을 고려하지 않고 시나리오에 따른 일괄적인 비율로 영향을 받는 것으로 가정하였다. 또한 실제 현장에서는 대체 터미널 활용·부분 운영 등으로 순손실이 완화될 수 있으나, 본 모형은 위험물 관리를 위한 상한 추정값 제공에 초점을 두어 언급된 순손실 완화는 고려하지 않았다.

1) 인프라 손실 추정 방식

인프라 손실은 다음과 같은 장비와 시설 피해액의 두 가지 요소로 구성된다.

- **인프라(직접) 손실 = 장비 피해액 + 기반시설 피해액**

  * 장비 피해액 = 항만 운영 장비별 단가 × 구성 대수 × 파손율

  * 시설 피해액 = 상부 구조물, 인프라 설비 등 단가 × 면적 또는 연장 기준 단위 × 파손율

장비 단가는 국내외 시장에서 확인된 가격의 평균치를 활용했고 시설 항목은 과거에 실제 복구가 이루어진 사례 가운데 비슷한 조건을 지닌 시설을 찾아 그 수치를 참고했다. 모든 비용은 미국 달러를 기준으로 하였으나 요율과 같은 원화 자료는 현 시점 환율을 적용해 환산하였다. 분석에 적용된 시설은 건물, 구조물을 비롯한 터미널 콘크리트 기초, 야드의 포장 구간, 제어·관제 장치, 항만 운영에 필요한 통신망 등을 포함하였다. 피해율 적용 방식은 앞서 언급한 바와 같이 항목별로 차등을 두지 않고 동일한 가정 하에서 일괄적으로 추정하였다. 하지만 고정 구조물과 연결된 장비의 경우 해체와 재설치 과정이 필요하기 때문에 그에 따른 추가 비용을 포함하였다. 복구 과정에서 내진 성능 보강 및 설계 일부 변경을 가정하여 그 비용 상승분도 함께 반영되었다.

장비 파손에 따른 피해는 장비 도입 시점이 각기 다른 점을 고려하여 감가상각을 반영하지 않았다. 사고 시점에 동일 성능 장비의 신규 도입·복구 비용을 기준으로 운송·설치·인증 등 부대비용도 간접비로 포함하였다. 또한 안벽, 포장구역, 제어센터 등 주요 인프라 구조물에 대해서는 면적(㎡) 또는 연장(m)을 기준으로 단가를 적용하였고, 복구비 산정 시 사용된 단가는 국토교통부 및 관련 공공기관에서 공표한 최신 건설 단가표를 참고하여 활용하였다. 마지막으로 인프라 손실은 일시적 복구비용으로 셋다운 일수와 무관하게 파손 비율에 따라 고정적으로 집계된다.

2) 영업 손실 추정 방식

영업 손실은 장비 운용이 중단됨으로써 발생하는 서비스 매출 손실을 의미하며 서비스 중단 손실과 터미널 임대료를 포함하여 다음과 같은 방식으로 추산하였다.

- **영업(간접) 손실 = 서비스 중단 손실 + 터미널 임대료**
  * 서비스 중단 손실 = 장비별 일일 서비스 단가 × 장비 수 × 파손율
  * 터미널 임대료 = 연간 터미널 임대료 일할 계산

서비스 단가는 B사가 공시한 2024년 기준 요율표를 기준으로 하여 각 장비에 대응하는 서비스 기능(예: STS 크레인 서비스 기능은 컨테이너 처리요금으로 추산)을 기준으로 적용하였다. 영업 손실에는 단순 처리 건수 감소 외에도 부가처리 지연, 운송 체계 연쇄 차질 등도 포함하였다. 일부 고정비용은 항만 운영사뿐 아니라 고객사 및 운송사에도 영향을 미친다. 이에 따라 영업 피해 산정에는 외부 효과 일부를 포함하였다.

4. 종합 영향도 평가

1) 1일 셧다운 가정 시

부산항 B 터미널에 대해 설정된 네 가지 시나리오(S1~S4)별로 예상되는 인프라 피해와 영업 피해, 그리고 전체 피해액을 추산하였다. 인프라 손실의 경우 셧다운 일수와 관계없이 발생하는 피해액으로써 셧다운 일수와 무관하게 파손 비율에 따라 고정적으로 발생한다. 반면 영업 손실은 셧다운 기간이 길어질수록 누적되어 증가한다.

먼저 S1 시나리오(20% 손상)의 경우, 전체 장비와 시설의 5분의 1이 파손된 상태로 인프라 손실액은 약 2천847만 달러로 추정된다. 이러한 인프라 손실로 인한 영업중단 손실이 약 27만 달러에 이르며, 이 두 가지를 합친 총 손실액은 약 2천743만 달러이다.

〈표 4-13〉 S1 시나리오(20% 피해) 영향도 분석 결과

(단위: USD)

인프라 손실액(A)	영업 손실액(B)	종합 영향도(A+B)
• 약 $28,473,600	• 약 $270,375	• 약 $28,743,975

주: 소수점 이하 반올림 적용. 인프라 손실은 장비+기반시설 포함 일회성 발생 비용, 영업 손실은 1일 서비스 중단 기준
자료: 저자 작성

S2 시나리오(50% 피해)는 전체의 50%가 사고로 인해 피해를 입을 상황으로 인프라 손실은 7,118만 달러이고, 영업 손실도 약 68만 달러로 증가한다. 전체 손실은 대략 7,186만 달러로 예상된다. 이는 장비나 기반시설의 복구 비용 외에도 물류 지연과 서비스 중단으로 인한 영향이 크다는 것을 보여준다고 할 수 있다.

〈표 4-14〉 S2 시나리오(50% 피해) 영향도 분석 결과

(단위: USD)

인프라 손실액(A)	영업 손실액(B)	종합 영향도(A+B)
• 약 $71,184,000	• 약 $675,938	• 약 $71,859,938

주: 소수점 이하 반올림 적용. 인프라 손실은 장비+기반시설 포함 일회성 발생 비용, 영업 손실은 1일 서비스 중단 기준
자료: 저자 작성

S3 시나리오(70% 피해)는 주요 시설과 장비의 70%가 파손된 상황을 가정한 것으로 인프라 손실은 약 9,966만 달러, 영업 손실은 약 95만 달러이다. 총 피해액은 1억 달러 수준으로 사고의 규모가 20%에서 70%로 커질 경우 피해의 총액이 세 배 이상 증가한다는 것을 알 수 있다.

〈표 4-15〉 S3 시나리오(70% 피해) 영향도 분석 결과

(단위: USD)

인프라 손실액(A)	영업 손실액(B)	종합 영향도(A+B)
• 약 $99,657,600	• 약 $946,314	• 약 $100,603,914

주: 소수점 이하 반올림 적용. 인프라 손실은 장비+기반시설 포함 일회성 발생 비용, 영업 손실은 1일 서비스 중단 기준
자료: 저자 작성

마지막으로 S4 시나리오(100% 피해)는 전손 상황으로 터미널 전체가 기능 정지되고 모든 장비와 기반설비가 손상되었음을 가정한다. 인프라 손실은 1억 4,237만 달러, 영업 손실은 약 135만 달러로 총 손실 규모는 약 1억 4,372만 달러이다. 이러한 피해 수준은 하나의 터미널 단위에서 단 하루 발생 가능한 금액으로는 상당히 큰 규모이고, 이를 복구하는 데는 기술적, 재정적, 행정적으로 수개월 이상의 노력이 요구될 수 있다.

〈표 4-16〉 S4 시나리오(100% 피해) 영향도 분석 결과

(단위: USD)

인프라 손실액(A)	영업 손실액(B)	종합 영향도(A+B)
• 약 $142,368,000	• 약 $1,351,877	• 약 $143,719,877

주: 소수점 이하 반올림 적용. 인프라 손실은 장비+기반시설 포함 일회성 발생 비용, 영업 손실은 1일 서비스 중단 기준
자료: 저자 작성

〈표 4-17〉에서 확인되는 바와 같이 피해율의 상승에 따라 영업 손실도 증가하는 경향을 보이고, 특히 인프라 피해가 전체 피해에서 차지하는 비중이 99% 이상으로 절대적이다. 이는 항만의 피해 대응에 있어 사전적 시설 보강 및 설비 유지관리의 중요성이 부각되는 결과로 해석할 수 있다.

〈표 4-17〉 시나리오별 영향도 분석 결과

(단위: USD)

시나리오	인프라 손실액(A)	영업 손실액(B)	종합 영향도(A+B)
• S1(20%)	• 약 $28,473,600	• 약 $270,375	• 약 $28,743,975
• S2(50%)	• 약 $71,184,000	• 약 $675,938	• 약 $71,859,938
• S3(70%)	• 약 $99,657,600	• 약 $946,314	• 약 $100,603,914
• S4(100%)	• 약 $142,368,000	• 약 $1,351,877	• 약 $143,719,877

주: 소수점 이하 반올림 적용. 인프라 손실은 장비+기반시설 포함 일회성 발생 비용, 영업 손실은 1일 서비스 중단 기준
자료: 저자 작성

2) 1일 이상 셧다운 가정 시

B 터미널이 재난·재해로 인해 운영이 중단되는 경우 영업(간접) 손실은 일수에 따라 누적된다. 반면 인프라(직접) 손실은 초기에 고정 발생하므로 영업(간접) 손실만 시간 경과에 따라 누적되어 증가한다.

〈표 4-18〉 시나리오별 인프라 손실 영향도 분석 결과

(단위: USD)

시나리오	인프라 손실액(A)
• S1(20%)	• 약 $28,473,600
• S2(50%)	• 약 $71,184,000
• S3(70%)	• 약 $99,657,600
• S4(100%)	• 약 $142,368,000

주: 소수점 이하 반올림 적용. 인프라 손실은 장비+기반시설 포함 일회성 발생 비용
자료: 저자 작성

이에 반해, 영업 손실은 일일 단위로 누적되어 장기적으로 큰 금액에 도달하게 된다.

〈표 4-19〉 셧다운 기간에 따른 영업 손실 영향도 분석 결과

(단위: 천 USD)

시나리오	1일 영업 손실액	10일 영업 손실액	30일 영업 손실액	6개월 영업 손실액	1년 영업 손실액
• S1(20%)	• 약 $270.4	• 약 $2,703.8	• 약 $8,111.3	• 약 $48,667.5	• 약 $98,886.4
• S2(50%)	• 약 $675.9	• 약 $6,759.4	• 약 $20,278.1	• 약 $121,668.8	• 약 $247,215.9
• S3(70%)	• 약 $946.3	• 약 $9,463.1	• 약 $28,389.4	• 약 $170,336.5	• 약 $346,102.3
• S4(100%)	• 약 $1,351.9	• 약 $13,518.8	• 약 $40,556.3	• 약 $243,337.9	• 약 $494,431.9

주: 인프라 손실은 장비+기반시설 포함 일회성 발생 비용
자료: 저자 작성

아래 〈표 4-20〉에서는 셧다운 지속 기간에 따른 피해 누적 구조를 비교했다. 시나리오별 전손 비율에 따라 단기(1일)부터 장기(1년)에 이르기까지 누적되는 피해 구조를 보여준다. 이를 통해 항만 운영의 조속한 복구 필요성과 셧다운 지속 기간에 따른 경제적 압박을 직관적으로 파악할 수 있다.

예를 들어, 시나리오 4(100% 파손)에서는 하루 셧다운 시 총 피해가 약 1억 4,372만 달러이나 1년 동안 복구가 지연될 경우 영업손실이 누적되며 피해 총액은 약 6억 달러를 초과하게 된다. 이러한 차이를 통해 항만 셧다

운의 시간적 지속이 피해 총액에 미치는 영향을 명확하게 인지할 수 있으며 조속한 복구 및 복원력 제고가 중요하다고 할 수 있다.

〈표 4-20〉 셧다운 기간에 따른 종합 영향도 분석 결과

(단위: 천 USD)

시나리오	1일 종합 손실액	10일 종합 손실액	30일 종합 손실액	6개월 종합 손실액	1년 종합 손실액
• S1(20%)	• 약 $28,744.0	• 약 $31,177.4	• 약 $36,585.0	• 약 $77,141.1	• 약 $127,360.0
• S2(50%)	• 약 $71,859.9	• 약 $77,943.4	• 약 $91,462.1	• 약 $192,852.8	• 약 $318,399.9
• S3(70%)	• 약 $100,603.9	• 약 $109,121.0	• 약 $128,047.0	• 약 $269,994.1	• 약 $445,759.9
• S4(100%)	• 약 $143,719.9	• 약 $155,887.0	• 약 $182,924.0	• 약 $385,706.0	• 약 $636,800.0

주: 인프라 손실은 장비+기반시설 포함 일회성 발생 비용, 영업 손실은 누적액
자료: 저자 작성

B 터미널에서 셧다운이 발생하면 각기 다른 상황에 따라 피해의 정도를 이해할 수 있는 기준을 제시했다. 유사한 사건에 대해 복구 계획을 세우고, 보험 조건을 만들며 민간과 공공의 협력 체계를 구축하는 데에 기초 자료로 이용될 수 있다. 이처럼 상황에 따라 피해를 추정하는 것은 단순한 중단 비용을 넘어서서 복구에 필요한 비용, 운영 재개 지연, 대체 수단 부족으로 인한 기회 비용 등을 포함하는 데 기초가 될 것이다.

제3절 시사점

본 연구의 위험도 분석 결과에 따르면, 국내 주요 항만에서 취급되는 위험물 컨테이너 중 일부 품목이 상대적으로 높은 종합 위험 점수를 나타냈다. 석유계 연료(HS 2710류), 기타 화학제품(HS 3824류) 등은 고유 위험도(Severity) 자체가 높을 뿐 아니라 빈도(Frequency)와 총 중량(Weight)도 크기 때문에 다수 항만에서 상위 순위에 포함되었다. 항만별로는 부산항과 울산항에서 석유·화학 계열의 비중이 높았고, 인천항은 농산물·화학제품 혼합 구조, 광양항과 평택항은 철강·화학 계열 중심으로 나타났다. 이러한 결과는 항만별 위험물 취급 구조가 상이함을 보여주며, 관리 우선순위를 설정할 때 개별 항만의 특성을 반영할 필요가 있음을 시사한다.

영향도 시나리오 분석에서는 시나리오에 기반한 항만 영향도 평가를 통해 위험물 컨테이너 사고로 발생하는 경제적 손실을 살펴보았다. 특히 인프라의 직접적인 손실과 영업의 간접 손실을 명확히 구분해 물리적인 피해와 경제적 손실의 발생 방식에 관해 체계적으로 파악할 수 있게 했다.

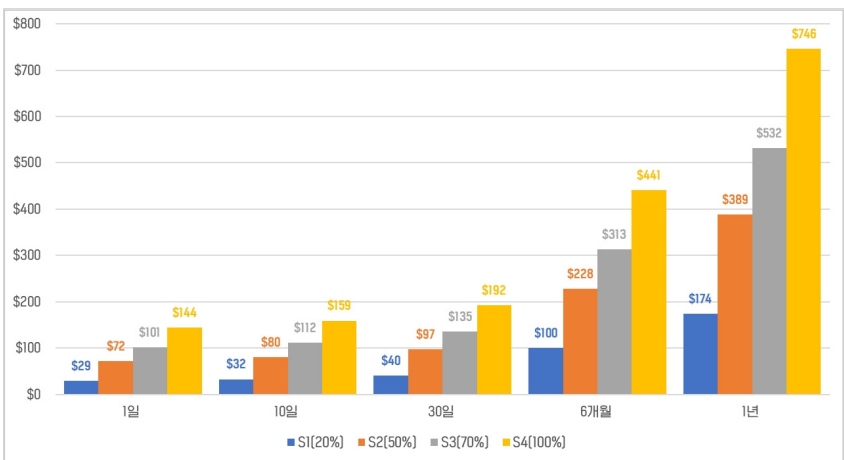
인프라 피해는 사고 발생 직후부터 큰 비용이 발생하는 특성이 있으며 장비의 손상과 시설 복구에 따른 초기 자본 투입이 막대하다. 예측에 따르면, 만약 기반시설이 100% 파손되었을 경우 약 1억 4천만 달러의 고정 손실이 발생하는 것으로 추정된다. 그러나 장기간에 걸친 운영 중단은 시간이 지남에 따라 누적되는 영업손실을 유발하며, 이 손실 규모는 초기 인프라 피해를 초과할 수 있다. 예를 들어, 복구가 지연되어 1년 이상 운영이 중단될 경우 누적된 영업 손실은 약 6억 달러로 확대될 수 있으며, 이는 초기 인프라 손실의 약 4.3배에 달한다.

시나리오 분석 결과에 따르면 운영 중단 기간이 30일을 초과하면 피해

속도가 가속화되는 추세를 보인다. 100% 파손 상태에서의 피해액은 1일 약 1억 4천만 달러, 30일 약 1억 9천만 달러, 6개월 약 4억 4천만 달러, 1년 약 7억 5천만 달러로 추산된다. 피해가 누적되는 속도나 규모로만 보더라도 단순한 시설 복구비 이상의 영향이 존재함을 보여주는 수치다. 즉각적인 물리적 피해도 크지만 실질적인 재정 부담은 시간이 흐를수록 더 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 단기 복구비보다도 정상 운영을 하지 못하는 동안 발생하는 손실이 장기적으로 훨씬 더 막대해진다. 피해가 커지는 주요 지점은 30일 이후부터 급격히 가팔라지는 경향을 보이며, 그 시점부터는 복구 지연이 곧 비용 급증으로 이어진다고 볼 수 있다.

〈그림 4-4〉 종합 영향도 분석 결과도

(단위: 백만 달러)



자료: 영향도 분석 결과를 바탕으로 저자 작성

이러한 양상은 항만 운영자나 정책 결정자들에게 몇 가지 시사점을 준다. 사고가 발생했을 때 얼마나 빨리 복구하는가는 단순히 시간 문제가 아니라 비용 통제와도 직결된다는 점이다. 보험사나 정부 입장에서도 초기 복구 개입의 경제적 효과를 명확히 고려할 필요가 있다. 또한 이번 분석에서 나타난 수치는 앞으로 항만 재해에 대비한 복원력 중심의 운영계획이나

재난·재해 대응 방안을 수립하는 데 실질적인 기초 자료로 활용될 수 있다. 계획 수립 단계에서 이처럼 시간에 따른 피해 누적 구조를 명확히 인식하는 것이야말로 항만의 회복성과 국가 물류 체계의 안정성을 함께 고려한 대응 전략의 핵심이 될 수 있다.

본 연구는 피해액의 정확한 계산이 아닌 재난·재해 대비 위험물 컨테이너 관리 강화 방안 마련을 위한 추정 모델을 제시하는 데 목적이 있다. 따라서 인프라와 영업손실 구분, 시나리오별 단계적 피해 추정, 복구 기간에 따른 손실 누적 구조 등의 대략적인 추정값을 통해 정책적으로 활용 가능한 근거가 될 수 있다고 판단된다. 반면 감가상각 처리 방식, 인명·환경 피해, 사회적 혼잡 비용, 보험·계약 조건과 같은 세부 요소들은 자료 접근성과 비식별성 문제로 인해 본 연구 범위에서는 직접 반영하기 어렵다. 이러한 항목은 향후 심화 연구 과제로 표준화된 모듈과 세부 데이터를 추가하는 방식으로 보완할 필요가 있다. 결론적으로 본 분석은 위험물 사고 대응의 우선순위 설정과 예방적 투자 필요성을 계량적으로 뒷받침하는 기초 자료로서 의미가 있으며, 세부적 피해 요소는 후속 연구를 통해 점진적으로 확대하고 구체화할 필요가 있다.

05
재난·재해 대비 위험물 컨테이너 물류공급망 대응 방안 제시

제1절 재난·재해 대비 물류공급망 대응 방안

1. 시설

1) 인프라 관리 기준 및 지원 기금 마련

국내 위험물 컨테이너 취급 물동량은 지속적으로 증가 추세이나 위험물 관리 기준에 부합한 시설 및 장비 기준은 항만구역 다부처 규제에 따른 설비기준 충족의 어려움 등으로 인해 일관된 정비 체계 마련 필요성이 제기되어 왔다. 이러한 설치 기준의 모호성은 위험물 관리를 위한 설비, 장비 등 인프라 구축 목적이 위험물 사고 예방 및 사전 관리 차원의 설비 구축이 아닌 다부처의 법령상 준용하고 있는 최소 필요 설비 기준 충족 혹은 시설 기준 완화를 위한 개별법상 특례 적용 여부, 감독에 초점을 맞추게 했다.

따라서 이러한 모호성을 완화하기 위해서는 〈표 5-1〉과 같이 터미널의 여러 요인을 고려해 전용 보관소의 내화·격리·유출방지 등 설계 운영 기준

을 구체화하기 위해 인프라 기준을 표준화하고, 항만별로 위험물 물동량, 취급 위험물 종류에 따른 위험성 등을 고려한 분류 기준이 마련해야 한다. 또한 위험물 컨테이너 물동량을 고려한 항만별·선석별 위험도 평가, 사고 발생 시 시나리오별 확산모델 구축을 통한 피해 예측 등의 추가적인 분석을 통해 객관적인 분류 기준을 설정할 필요가 있다.

〈표 5-1〉 위험물 관리 항만 분류 기준 및 시설 규정(안)

구분	분류 조건(안)	시설·설비 규정
1등급	• 선박 출입 빈도가 높은 선석 • 인구밀도가 높은 지역에 위치한 선석 • 생활시설, 거주지와 매우 인접 • 위험도 평가상 우선 순위가 높은 선석 • 고위험성 화물 연간 장치 비중이 70% 이상 • 컨테이너 위험물 처리량은 연간 5만 TEU 이상	• 현행 대비 방호설비 기준 상향 • 현행 대비 소방설비 기준 상향
2등급	• 시가지 및 주요 생활권역 간 일정 이상의 이격 거리 • 컨테이너 위험물 처리량은 연간 1만 이상 5만 TEU 이하 • 인구밀도가 낮은 지역에 위치한 선석 • 고위험성 화물 연간 장치 비중이 50% 이상 70% 이하	• 방호설비 기준 현행 유지 • 소방설비 기준 현행 유지
3등급	• 컨테이너 위험물 처리량이 연간 1만 TEU 이하 • 인구밀도가 낮은 지역에 위치한 선석 • 고위험성 화물 연간 장치 비중이 50% 이하	• 방호시설, 소방시설 현행 완화

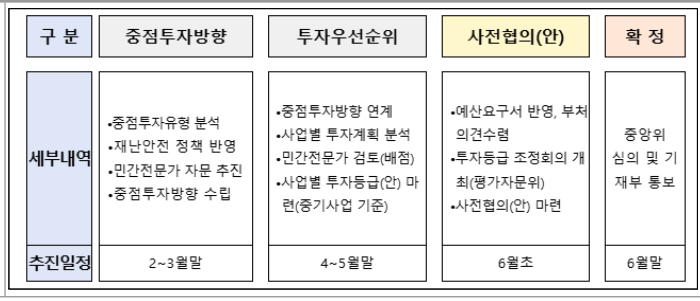
자료: 저자 작성

항만의 노후화된 소방시설, 방호시설 교체 및 강화된 기준에 따른 설비 및 전용 소화설비, 화학물질 전용장비 등 확보를 위해 소화시설 확충, 방화벽 및 방호시설 개선, 선석의 내재해성 강화 등 목적을 위한 보조금 지원이 필요하다. 국내의 경우 행정안전부·지자체 등에서 재난안전 관련 R&D 사

업화와 설치비를 보조하기 위해 재난안전예산 편성을 진행하고 있다. 재난안전예산 투자방향, 사업별 투자우선순위 및 핵심사업 선정을 통해 예산안을 편성하고, 이를 매년 지원하고 있으며 화재·유해화학물질 재난사고, 국가핵심기반 마비, 전시재난 테러 등의 사회재난 유형도 고려 대상이다. 예를 들어, 행정안전부의 기금 활용 시 항만에서 지방재난관리기금 매칭을 통해 지역-항만 간 시설 확충을 위한 연계도 가능하고, 기존의 제도를 활용함에 있어 별도의 기금이 필요하지 않게 된다.

〈표 5-2〉 재난안전예산 개요

구분	주요 내용
목적	• 국가 차원의 재난 예방, 대비. 대응, 복구 전 과정을 지원하기 위한 재정적 수단 마련 - 노후 인프라 개선, 시설물 안전관리, 위험지역 정비 등을 통해 재난 예방 - 예비 경보 시스템, 조기경보체계, 훈련 및 장비 확충 등을 통해 신속한 대응 준비 체계 구축 - 실제 대응 상황에서 긴급 대응에 필요한 장비, 인력 자원을 지원 - 피해지역의 신속한 원상회복 및 2차 피해 방지 등
근거법령	• 재난 및 안전관리 기본법 제10조의 2(재난 및 안전관리 사업예산의 사전 협의 등)
총 예산	• 총 419개 사업 대상 26.6조 원(2026년 예산기준)
대상 사업	• 세부 재난유형별로 풍수해 5.1조 원(19.3%), 재난구호·복구 3.7조 원(13.8%), 철도·도로 안전 각 2.8조 원(10.5%), 수질오염 1.3조 원(4.8%) 순 • 재난관리 단계별로는 예방 18.5조 원(69.6%), 복구 5.2조 원(19.5%), 대비·대응 2.9조 원(10.9%) 순
주요 투자 분야	• 안전한 일터 조성, 안심 먹거리 제공, 범죄예방·대응 역량 제고를 위한 클린 사업장 조성 지원(고용노동부), 수입수산물 검사(식약처), 전자감독(법무부), 항해안전시설 운영 및 구축(국토부) 등 • 재난사고 취향계층 맞춤형 지원, 재해로 인한 농수산업 피해 보상 강화를 위한 재난심리회복지원(행안부), 어업인안전보험(해수부) • AI 등 신기술을 활용한 예·경보체계 고도화 및 홍수·가뭄 대비 치수 안전성 확보, 실전형 재난 대응 훈련 등
투자선정 절차	• 재난안전 예산 투자 우선순위 검토, 사전협의(안) 마련 이후 중앙안전관리 위원회 심의를 거쳐 기재부 통보

구분	주요 내용
	

자료: 행정안전부 보도자료(2025.6.30.)(검색일: 2025.9.5.)의 자료를 바탕으로 저자 작성

그러나 행정안전부 예산 전체 재난분야 중 항만의 우선순위 선정 기준 부합 여부가 불확실하고, 예산 특성상 사고예방 및 대응목적의 장기 인프라 투자 방식에 적합하지 않을 수 있으므로 중장기적이므로 지속적인 시설 확충을 위해서는 별도의 기금 마련 역시 고려할 수 있다. 이때 실현성 높은 제도를 마련하기 위해서는 기금 당위성, 기금 조성 방식, 기금 운영제도 등을 고려해 해양수산부, 화주, 터미널운영업자 등 이해관계자 간 충분한 공감대 형성을 위한 협의가 필요하다.

별도 기금 조성 관련 해외 사례의 경우 항만 위험물 관리만을 위한 기금 조성 사례는 없으나 항만 내 보안, 안전, 환경 등을 위한 기금 조성 사례는 〈표 5-3〉과 같다. 미국과 영국의 경우 기금 조성 목적에 따라 중앙정부가 기금을 조성해 담당 부처가 운영하고 있으나, 기금 운영 방식은 프로젝트별 공모형, 경쟁형 보조금 방식 등 다양한 방식으로 운영되고 있다. 개별 기금들은 재원구조, 조성규모, 민간참여도, 사업의 연속성 등에 따라 다소 차이를 보이며 민간참여 여부에 따른 매칭펀딩 유무 및 비율 역시 차이가 있다.

〈표 5-3〉 항만 보안·안전·환경 대응 해외 기금 사례

기금명	
Port Security Grant Program[62] (FEMA)	• 항만보안 테러 대응, 재난·대형사고, 위험물 대응 능력 강화 목적 • 46 U.S.C §70107(항만보안 보조금) 의거 • 연방예산 총 3.9천만 USD(2021~2024년, 총 3년) 소요 • 매년 공모 방식으로 항만청, 주정부, 경찰·소방, 터미널 운영사가 프로젝트 단위로 신청 • 위험평가 기반 점수제, 항만 중요도, 프로젝트 효율성 등 종합적으로 고려한 이후 심사·평가를 통해 배분
Port Infrastucture Fund[63] (UK)	• 브렉시트 전환에 따른 국경통관, 수의검역 시설 등 항만·공항·국제철도 인프라 개선 목적으로 조성 • 지원시설: 통제·검사시설, 창고, 국경통제 공간, 교통관리 시설 등 • 2020년 중앙정부 일반예산에서 총 2억 파운드 규모로 일회성 항만 인프라 보조금 지급 • 지방정부, 항만운영자 대상으로 공모하였으며, 개별 프로젝트별 매칭 없이 100% 보조금 지급
CEF-Transport (EU)[64]	• TEN-T상 병목제거, 단절구간 연결, 국경 간 프로젝트, 안전·디지털화·탈탄소 투자 지원 • 2021~2027년간 운송부문 예산 중 25.8억 유로 조달 • 전체 사업비의 공사는 최대 30%(디지털, 안전, 내수로 관련 최대 50%), 타당성·설계 등은 최대 50% 보조금 지급 (Cohesion 대상국[65]의 경우 최대 85% 보조금 지급) • EU의 보조금협약(Grant Agreement) 채결 후 집행 보고 및 감사집행

자료: 해외 사례 조사 결과를 바탕으로 저자 작성

개별 기금 마련을 위한 재원 조달은 정부출연금, 민간출연금, 항만이용부담금 일부, 환경부담금 일부, 지방세 등을 검토할 수 있다. 기금 운영은 항만운영 주체, 항만구역, 시설 등을 고려해 해양수산부, 항만공사 및 지방자치단체 등을 고려할 수 있다. 국내 위험물 컨테이너 수출입 비중인 높은

62) FEMA 홈페이지검색일: 2025.10.23.)
63) UK Gov 홈페이지(검색일: 2025.10.23.)
64) EC 홈페이지 (검색일: 2025.10.23.)
65) EU 평균 1인당 GDP 90% 미만 회원국으로 CEF-Transport 2021~2027 적용 기준 총 17개국(불가리아, 크로아티아, 체코, 에스토니아, 헝가리, 라트비아, 리투아니아, 폴란드, 루마니아, 슬로바키아, 슬로베니아, 그리스, 몰타, 포르투갈, 사이프러스)이며, 대상 국가들은 CEF Transport Envelope 이 아닌 Cohesion Envelope에서 집행함

부산, 광양, 인천의 경우 항만공사 기금 운영을 통해 항만 내 위험물 운송 특성에 맞는 기금 계획 및 운영이 가능하고, 해수부가 운영할 경우 여러 항만의 공용 인프라 확보에 유리할 것이라 판단된다. 항만과 연계된 지역 파급·주민수용성을 고려할 경우 지자체와 항만관리 기관이 공동으로 관리하는 운영 방안 역시 고려할 수 있다.

2) 위험물 전용 장치 체계 강화

항만의 위험물 컨테이너 적치에 적용되는 위험물안전관리법과 유해화학물질법은 저장탱크, 창고 등 고정식 저장시설을 기준으로 적용하고 있어 화물의 이동 빈도가 높은 항만 내 컨테이너 보관시설에 대한 시설적 특성을 충분히 반영하지 못하고 있다. 그리고 분류 기준 역시 물질별로 국내 법률에 기반해 저장 기준이 규정되어 있어 IMDG의 규정상 장치 및 분리에서 규정하는 컨테이너 단위의 이격 거리 확보와는 다른 기준을 제시하고 있다. 장치효율성 확대 및 대형사고 시 확산 피해 방지 등을 고려하면 위험물 전용 장치장 체계 개선이 필요하다.

장치체계 개선을 위해 미국, 로테르담 사례와 같이 IMDG Code상 포장위험물 분리 기준을 항만장치장 규정에 반영해 Class별 위험물 장치장을 지정하고, IMDG 기준 거리를 준용하는 방안이 고려되어야 한다. 장치장은 구역 단위로 구분하고 완충 거리 확보를 위해 Class별 포장위험물 간 이격 거리 기준을 〈표 5-4〉와 같이 지정해야 한다.

〈표 5-4〉 항만위험물의 분리 수준 지정

IMDG 상 분리 수준	항만 내 적용 내용	항만 보관 시 거리
Away from	직접 접촉 방지	≥ 3 m
Separated from	물리적 분리	≥ 6 m
Separate compartment	독립 구역 확보	≥ 12 m
Separated longitudinally	완전 분리 및 중간 구획 확보	≥ 24 m

자료: IMDG 코드를 바탕으로 저자 작성(검색일 : 2025. 08.12.)

이러한 체계는 위험물의 일반화물과의 이격 거리를 고려한 적치 계획을 구성하고, 물질별 특성에 맞는 소화 장비 및 방호 장비를 장치장 내 구비하는 것이다. 이러한 장치장 구축의 경우 기존 장치장 체계를 유지해 별도의 초기 비용과 장치장 운영체계 재구성에 따른 혼잡을 최소화할 수 있다.

운영사 입장에서는 터미널 내 별도의 장치장 마련이 아닌 기존 장치장을 유지함에 따라 적치량을 높여 터미널 운영 수익 개선을 기대할 수 있다.

2. 정보시스템

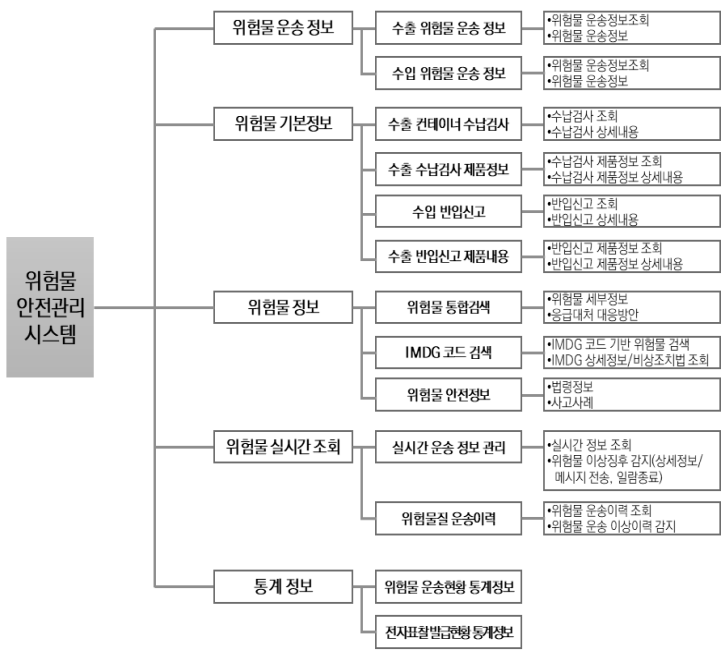
1) 위험물 통계 관리 및 정보 관리체계 개선

위험물 컨테이너 정보는 IMDG 분류 기준에 따라 선박 입출항 시 Port-MIS를 통해 집계되며, 통관을 위한 세부 정보는 세관, 물질 별 관련 법률 및 규정에 따른 물질량, MSDS 등은 각 터미널 및 관계 부처에서 관리하고 있다. 이때 물질 별 코드 분류 기준은 UN 국제기준 준용이 아닌 각 부처의 관련 법률에 따른 분류로 인해 매칭이 어렵다. 예를 들어, UN 넘버와 IMDG Code, UN 넘버와 CAS No. 매칭은 가능하나 각 코드와 관세청 통계상 분류기준 간 매칭이 어렵다. 따라서 집계 역시 Port-MIS를 통해 IMDG 코드 Class 기준에 따른 항만별 터미널별 물동량 집계는 가능하나 「위험물안전관리법」 및 「유해화학물질법」 분류에 따른 터미널 장치장 내 적치량, 해당 물질의 도로운송 통계, 관세청 통계를 활용한 기종점 파악 등은 직관적으로 파악하기 어렵다.

위험물 취급과 관련한 사고 예방 및 초기 대응에 필요한 물질 정보 역시 컨테이너 위험물의 부처별 정보 수준 차이로 인해 환경부에서 운영하는 화학물질통합정보시스템과 소방청에서 운영 중인 국가위험물정보시스템을

개별적으로 이용해야 하는 불편함이 존재한다. 해양수산부는 2018년 수출입 위험물 안전관리 시스템(EIDGS) 기반 마련을 통해 6,735종의 위험물 관리를 위한 별도의 시스템을 구축하려고 했으나 현재 활용도는 미미한 수준이다. 〈그림 5-1〉과 같이 위험물 안전관리시스템 서비스는 위험물 운송정보, 위험물 기본정보, 위험물정보, 위험물 실시간 조회, 통계정보를 관리하도록 분류했다. 초기 구현모델 내 위험물컨테이너 수출정보는 한국해사위험물검사원의 위험물검사시스템 정보를 활용하고, 컨테이너 수입정보는 Port-MIS 내 위험물반입신고정보를 활용했다. 물질별 분류는 UN 넘버, IMDG 코드를 중심으로 구성되어 있어 실질적으로 위험물컨테이너 장치장 관리, 도로 운송 등과 연계가 어려워 수출입 위험물 컨테이너 관리를 정보 활용이 한정적이다.

〈그림 5-1〉 위험물 안전관리시스템 기능 구성도



자료: KMI(2018)

이러한 항만 내 위험물 통합정보체계 부재는 누출, 화재, 폭발, 독성가스 확산 등 항만 내 재난·재해 발생 시 소방청, 환경부, 해양수산부, 지자체 간 협력을 통한 신속한 대응을 어렵게 만든다. 정보 단일 창구가 없이 법령별·물질별로 데이터가 파편화되어 있어 시스템 간 연계를 위해서는 데이터 표준화가 필요하다. 터미널 내 위험물안전책임자 역시 정확한 컨테이너 내부 화물 정보 확보가 어려워 화주가 제공하는 정보에 의존하거나 사고발생 시 초기 대응을 하지 못한 채 소방청이나 화학재난합동방재센터의 대응에 의존할 수밖에 없다.

항만 내 위험물 정보는 보안·상업적·관리에 따른 책임 소지 등 이유로 비공개 관리되는 경향이 있고 실시간 차량 위치나 화물 정보 역시 보안, 산업기밀 등 이슈로 인해 정보 확보가 어렵다. 따라서 이러한 정보관리 공백을 완화하기 위해서 각 기관의 위험물 정보 공유를 통해 PORT-MIS 체계 내 위험물 통계, 물질 정보 등을 결합하는 개선 방안을 우선적으로 고려할 수 있다.

만약, 통합위험물정보시스템 구축을 위해 실시간 통계자료 수집을 위한 별도의 정보망이나 프로그램을 구축할 경우 소방청, 환경부, 경찰청, 지자체 등 관계기관과 연계해 선적 단계에서 항만 반입, 장치, 내륙 운송, 반출까지 고려한 국가 단위의 정보 관리체계 구축을 구상해야 한다.

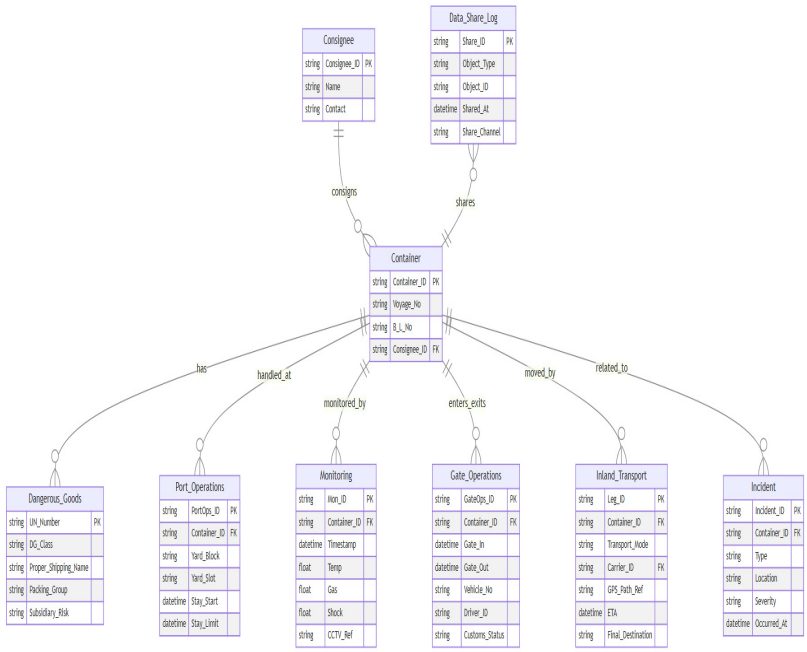
2) 위험물 모니터링 체계 구축

항만 내 위험물 컨테이너의 실시간 정보 모니터링은 안전 및 보안 목적의 설비 이외 실질적으로 화학물질의 물리·화학적 성질 변화에 따른 사고 예방, 초기대응 목적의 데이터 확보 목적의 실시간 정보 식별 및 모니터링 시스템은 마련되지 않았다.

따라서 항만 내 위험물 컨테이너의 양하·이송·장치·반출 과정에서 상태를 모니터링하고, 위험도 평가를 통해 우선적으로 관리해야 할 화물 선정 및 사고 예방·초기 대응을 위한 정보를 활용하기 위해서는 거버넌스를 기반으로 하는 컨테이너 위험물 관리를 위한 모니터링 기반 구축이 필요하다. 우선적으로 위험물 컨테이너 식별 및 정보 공유 기능이 필요하다.

이러한 재난·재해의 전주기 대응을 위한 위험물 컨테이너 모니터링 시스템을 구축하기 위해서는 우선적으로 위험물 정보의 공유체계가 구성되어야 한다. 위험물을 식별하기 위한 선사 제공 정보, 터미널 장치장 정보, 통관 정보, 위험화물 도로운송 정보, 여부 NCIS DB와 연계한 독성·응급조치 방법·사고대응 정보 등, 국가위험물정보시스템 DB상 화재 대응 정보·취급 관련 정보, 기상정보, 실시간 교통정보 등이 통합적으로 관리되어야 한다. 이러한 사전 정보와 결합하기 위한 실시간 정보로는 IoT 센서를 통한 컨테이너 내 온도, 압력, 가스 발생 여부 측정, RFID, 장치장 내 정보 리더기 등을 통해 전송되는 정보가 있다. 실시간으로 모니터링되는 정보는 터미널 관제시설 내 대쉬보드나 터미널, 화주, 운송사를 대상으로 한 모바일 알림 및 응답 앱을 통해 소방청, 환경부, 지자체 등 관련 기관과 공유할 수 있는 시스템을 구축해야 한다.

〈그림 5-2〉 위험물모니터링시스템 플로우 차트 및 데이터 연계(예)



구분	데이터 설명	데이터 연계/출처
기본 식별 정보	컨테이너 번호(Container_ID)	선사, 터미널운영사
	선박 항차 번호(Voyage_No)	선사, Port-MIS
	선하증권 번호(B/L_No)	선사, 관세청
	화주/송하인 정보(Consignee/Shipper)	선사, 관세청
위험물 컨테이너 속성(DG)	UN 지정번호	선사, 위험물 신고서
	위험물 클래스(IMDG Class 1-9)	Port-MIS, 위험물 신고서
	위험물 공식명칭	위험물 신고서
	부위험	IMDG, 소방청, 환경부
	인화점	MSDS
	온도 민감성 여부	MSDS, IoT 센서
항만 내 위치/이력	양하선석/크레인 위치	터미널운영사
	야드 블록 코드	터미널운영사
	Slot 위치	터미널운영사

구분	데이터 설명	데이터 연계/출처
	컨테이너 이동 이력	터미널운영사
	장치 시작 시간	터미널운영사
	장치 제한 시간	해수부, 소방청, 환경부
센서/모니터링	온도 데이터	IoT 센서
	가스/누출 데이터	IoT 센서
	CCTV 기록	항만 CCTV
게이트/반출 정보	반입 게이트	게이트 자동인식 시스템
	반출 게이트	게이트 자동인식 시스템
	반출 트럭 정보	게이트 자동인식 시스템
	운전기사 ID/허가 번호	운송사 시스템
	통관승인/보류 여부	관세청
육상운송	도로운송/철도운송 구분	운송사, 국토부, 철도공사
	철도 회차 번호	철도공사
	차량/철도운송 정보	운송사, 국토부, 화주
안전 정보	위험물 운송 허가 번호	국토부, 경찰청
	사고 대응 정보	소방청, 환경부
	운송 경로 제한 구간	국토부, 경찰청

자료: 연구 결과를 기반으로 저자 작성

또한, 사전 정보 및 실시간 정보를 기반으로 AI와 연동한 모니터링 및 초기대응 시스템 역시 고려할 수 있다. AI 기술을 통해 위험물 사전 정보와 실시간 정보를 종합해 사고 발생 시 자체 방재시스템과 연동해 자동제어를 유도하거나 각 항만과 터미널의 자체 매뉴얼 정보에 결합해 재난·재해 규모에 따른 솔루션을 제공하거나 터미널 운영사. 소방청, 방재센터, 해수부, 지자체 등에 재난·재해별 대응 정보를 제공할 수 있다.

3. 인적요인

1) 위험물 안전관리자 교육 개선

항만에서 재난·재해 발생 시 위험물 컨테이너의 관리를 주도적으로 수행하고 있는 위험물 안전관리자의 대응이 가장 중요하다고 할 수 있다. 그리고 위험물 안전관리자가 효과적으로 대응하기 위해서는 교육이 선행되어야 한다.

안전관리자 교육은 한국소방안전원과 한국위험물검사원에서 실시하고 있다. 한국위험물검사원의 위험물 안전관리자 교육의 경우 위험물 개요, 관련 법규, 위험물 취급 시 안전관리, 일반안전 등 다각적인 교육이 수행되고 있다. 그러나 재난·재해를 예방하고, 발생 시 대응, 사후 복구를 효과적으로 수행하기 위해서는 세부 교육 내용의 충실화가 필요하다.

따라서 위험물 취급 시 안전관리 부분에서 소화장비 특성 및 사용법, 개인보호구 및 안전장비 특성 및 사용법, 화학물질에 의한 중독 위험성 및 대응 방법 등이 추가되어야 한다. 그리고 사고 발생 시 대처방법에서 표괄적인 교육보다는 재난·재해 유형별 교육 프로그램 개발 및 운영이 필요하다.

〈표 5-5〉 재난·재해 대비 포장된 위험물 안전관리자 교육 개선 방안

구분	현행	개선 방안
위험물 개요	• 위험물의 특성 • 포장된 위험물의 목록 및 분류 기준	동일
관련 법규	• 국제법규 – 위험물 운송 관련 IMO 협약 및 규칙 소개 – 항만 구역에서 위험물의 안전 운송과 취급에 관한 권고(IMO) – 그 밖의 안전한 관리에 관한 협약 • 국내법규 –「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」,「선박안전법」 및「위험물 선박운송 및 저장규칙」	• 관련 프로그램은 동일하나, 최신 변경 사항을 중심으로 교육

구분	현행	개선 방안
	– 포장된 위험물의 하역 관련 자체안전관리계획의 수립·시행에 관한 사항	
위험물 취급 시 안전 관리	• 포장된 위험물 일반사항(용기·포장 요건, 표시·표찰 및 증명서류 등) • 포장된 위험물의 특성별 안전관리 방안 및 대응 • 항만 내 하역설비 및 안전취급방법 • 선박에서 육상으로 하역 시 안전점검 방법 • 포장된 위험물의 하역·보관 시 관련 안전조치 • 사고 발생 시 대처방법(비상조치법 및 의료응급처치) • 위험물 관련 안전사고 사례	• 포장된 위험물 일반사항(용기·포장 요건, 표시·표찰 및 증명서류 등) • 포장된 위험물의 특성별 안전관리 방안 및 대응 • ***소화장비 특성 및 사용법*** • ***개인보호구 및 안전장비 특성 및 사용법*** • ***화학물질에 의한 중독 위험성 및 대응 방법*** • 포장된 위험물의 하역·보관 시 관련 안전조치 • ***사고 발생 시 대처방법(비상조치법 및 의료응급처치)*** – 재난·재해에 따른 예방·발생 시 대응·복구 대처 방법 – 재난·재해 관련 자체안전관리계획서 작성 및 운영 방법 – 재난·재해 관련 위험물 취급자 교육 방법 등 • 위험물 관련 안전사고 사례
안전 일반	• 위험물 안전관리의 중요성	• 동일 또는 추가 교육에 따른 제외
우수 사례 견학		• 위험물 안전관리 우수 터미널 현장 방문을 통한 정보 공유 및 벤치마킹 • 그룹 토론을 통한 관리 애로사항 공유 및 해결 방안 협의
교육 장소	• 본부 교육장 또는 지방 교육장	• ***우수 항만 견학을 위한 주요 항만의 터미널 또는 인근 회의장***

자료: 한국해사위험물검사원(검색일: 2025.4.20.); KMI(2018)의 자료를 바탕으로 저자 작성

우선 재난·재해의 유형별 정의와 위험성을 설명하고, 항만에 미치는 파급력과 피해 사례를 제시해 필요성을 환기시킨다. 그리고 교육프로그램에 재난·재해의 사전 예방 단계-사고 발생 시 대응 단계-발생 후 복구 단계별 관리 체계, 교육·훈련 등의 내용이 포함되어야 한다.

〈표 5-6〉 재난·재해 대비 포장된 위험물 안전관리자 교육 프로그램 내용

구분	주요 내용
일반사항	• 재난·재해 유형별 정의 및 위험성 • 재난·재해 시 항만위험물 컨테이너에 미치는 영향 • 재난·재해에 따른 피해 사례 현황 및 평가 등
단계별 대응 방안	• 예방단계 대응 방안 • 발생 시 대응 방안 • 복구 방안
자체안전관리계획서	• 재난·재해 대비 자체안전관리계획서 작성 및 운영 방안
취급자 교육	• 항만위험물 컨테이너 취급자 대상 교육 자료 작성 및 방법

자료: 정부의 표준매뉴얼 및 재난 현장조치 매뉴얼 등의 자료를 바탕으로 저자 작성

2) 위험물 취급자 교육 개선

취급자 교육은 항만에서 발생할 수 있는 다양한 재난·재해를 대비해 예방-대응-복구의 전 주기의 교육 설계가 필요하다. 교육의 경우 우선 재난·재해의 유형과 위험성을 구체적으로 제시하고, 해당 사례가 항만의 선석·야드·게이트·이송 과정에 미치는 영향과 과거 피해 사례의 경험을 공유하는 것이 필요하다. 사전 예방 단계에서의 위험 인지와 작업 중지 기준, 사고 발생 시 초동대응 절차, 발생 후 복구까지 단계별 행동 강령과 훈련을 통합적으로 실시한다.

교육 내용은 포장 위험물의 특성과 하역·보관 안전조치, 선박에서 육상으로 위험물 하역 시 점검, 소화설비와 개인보호구 사용, 화학물질 노출 시 응급처치 등이 있다. 그리고 교육에서는 응급조치 절차, 인명구조 방식 등을 지속적으로 연습하는 것이 중요하다.

이러한 교육 내용이 자체안전관리계획에 반영되는 것도 중요한 사안으로 연간 교육계획과 합동훈련 계획에 반영한다.

그리고 취급자 교육에 있어서 해외사례를 반영해 제도화하는 것이 필요하다. 네덜란드는 터미널의 모든 인력이 입사와 동시에 기본 위험물 취급 교육을 이수해야 하고, 위험물 취급의 전반적인 교육을 실시하고 있다. 중국도 위험화학물의 인적관리 부분에서 책임자, 선박 관리자, 하역작업자, 위험물 신고 담당자 등으로 구분해 교육 프로그램을 구성하고 있다. 우리나라도 위험물 취급자에 대한 세분화와 각 역할에 맞는 교육 프로그램 구성이 필요하다.

초기 필수 교육의 경우 위험물 안전관리자와 같이 교육 프로그램을 보유하고 있는 한국해사위험물검사원 등의 전문 교육기관에서 실시하고, 이후에는 각 터미널 운영사에서 자체안전관리계획에 의거해 정기적인 교육 및 훈련을 실시하는 것이 바람직하다.

〈표 5-7〉 위험물 컨테이너 운송 및 하역 종사자 교육 관리방안

구분	주요 내용
초기 필수 교육	• '(가칭)위험물 컨테이너 운송 및 하역 종사자 교육' 신설 • 컨테이너 항만 및 위험물 컨테이너 운송(트럭, 철도)에 고용된 인력을 대상으로 업무 개시 이전 최초 교육 수료 의무화
교육 교재 및 프로그램 개발	• 위험물 관련 법령, 위험물 하역, 운송, 장치 시 유의 사항, 안전 장비 및 소방시설 사용 방법, 재난·재해 사고 시 대피 방법 등의 교육 교재 및 프로그램 개발
교육 방법 개선	• 초기 교육 이후 정기교육은 자체안전관리계획 개선을 통해 수행 • 정기 교육은 연 1회 교육 기관의 전문 교원 또는 전문가가 방문 또는 화상 교육 등을 통해 실시

자료: KMI(2018)의 현황 및 실태 분석 내용을 바탕으로 저자 작성

육상운송 부문에서의 교육 체계 개선도 병행되어야 한다. 도로·철도 구간의 터널·교량·혼잡축 통행 제한과 우회 동선을 익히고, 위험물 운송자의 경우 항만 게이트-도로-철도의 정보 흐름을 파악해야 한다. 사고 발생 시에는 위험물 차량의 격리 및 대피 방법, 철도 역사 또는 장치장에서의 분리적재 및 정차 방법, 대피·대기 조치 등의 교육이 필요하다.

3) 재난·재해 대비 훈련 강화

위험물과 관련된 훈련은 '자체안전관리계획'을 기반으로 도상훈련 등을 실시하고 있고, 지방 소방재난본부와 합동훈련을 진행하고 있다. 그리고 '자체안전관리계획'에서는 비상대응훈련의 주요 내용과 실시방법 및 비상대응운영체계 등의 항목이 포함되어 있다.

'자체안전관리계획'의 경우 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 시행령 제14조에 자체안전관리계획의 포함 사항은 규정되어 있으나, 세부 사항은 터미널 자체에서 수립하고 이행하는 사항으로 표준화된 형태로 구성되어 있지 않다. 이로 인해 재난·재해 대응 훈련 및 비상사태 발생 시 효과적인 대응이 되지 못하는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 다양한 재난·재해 상황을 예상해 전반적인 사항을 고려한 계획 수립 및 이행이 필요하다.

〈표 5-8〉 재난·재해 대비 '자체안전관리계획' 훈련 주요 내용

구분	주요 내용
위험물 반입 및 출입	• 위험물 컨테이너의 반출입 관련 프로세스 및 세부 사항 규정
위험물 컨테이너 화종별 대응 기준	• 위험물 컨테이너는 화종별 유의사항, 안전수칙, 작업 기준 등의 명문화하고, 조치 사항 마련
비상사태 정의	• 기상청, 소방청, 환경부 등이 정보와 연계한 재난·재해 등의 비상사태 유형을 구체적으로 정의 • 자연재해(태풍, 강풍, 대설, 폭염, 지진·해일 등), 화재, 폭발, 하역 및 이송 장비 문제·사고, 중대재해 사고, 테러에 의한 비상사태 등
비상사태 대응방안	• 재난·재해 등으로 인한 비상사태 발생 시 행동 요령을 전 단계별로 규정 • 사고 발생 보고, 긴급조치반 투입 및 활동, 비상대응계획 실행, 비상대책본부 조직, 자체소방대 편성 및 활동, 자체소방대 행동요령, 자체소방대 주의 사항 등
비상사태 시 위험물 컨테이너 이송 방안	• 대규모 화재, 폭발 등이 예상 또는 발생 시 위험물 컨테이너의 이송 방안을 구체적으로 명시하고, 관련 교육·훈련 실시

자료: 터미널 내부 자료 및 전문가 자문 내용을 바탕으로 저자 작성

과거에 비해 최근의 소방·합동 훈련의 프로그램은 훈련 과정, 범위, 내용 등에서 충실화되고 있어 실효성 있는 훈련이 이루어지고 있는 것으로 평가된다. 최근 부산항의 위험물 컨테이너 관련 소방·합동 훈련을 살펴보면 터미널 전용장치장에서의 화재, 사이버 테러, 폭발, 화재 및 선박에서의 위험물 사고 대응까지 종합적인 훈련이 이루어지고 있는 것으로 조사되었다.

이러한 합동 훈련에서 복수 항만 터미널과의 연계 대응, 도로, 철도 등 육상운송과의 연계 등의 훈련 내용이 포함할 필요가 있다. 그리고 대규모 폭발 시에는 위험물 컨테이너를 타 지역으로 이송해야 하는 상황도 고려되므로 이송 시의 세부 규정에 마련과 더불어 실질적인 이송 훈련도 향후 단계별로 진행되어야 한다.

〈표 5-9〉 부산항 위험물 컨테이너 관련 소방·합동 훈련 현황

일시	주요 내용
2022.06.14	• 위험물 저장시설 화재를 가정해 자체소방대 임무, 폼(발포) 설비 운용, 대형화재 확대 방지 기능 훈련 실시
2023.10.18	• 입항 중 위험물 컨테이너에서 유해화학물질 유출을 가정해 폭발·화재 복합 시나리오 훈련 수행
2024.08.21	• 사이버 위기와 폭발물·화재 진압 및 운영시스템 복구까지 연계한 통합 방호훈련 실시
2025.08.21	• 통합피해복구 실제훈련으로 초동 화재진압 → 부상자 후송 → 화학 불발탄 처리 → 선석·철도·도로·전력 복구 → 유류 유출 방제 전 과정 실연

자료: 환경일보(검색일: 2025.9.3.); 부산일보(검색일: 2025.9.3.); 해양수산부(검색일: 2025.9.3.); 부산항만공사(검색일: 2025.9.3.)

4. 법·제도

1) 재난·재해 대비 위험물 관련 법률 개선

위험물의 안전하고 효과적인 관리를 위해서는 법·제도 정립이 우선적으로 진행되어야 한다. 항만의 위험물 컨테이너는 「선박의 입항 및 출항 등에

관한 법률」에서 규정하고 있다. 동 법에서 자체안전관리계획상 비상사태 시 대비, 위험물 하역 제한 등이 규정되어 있으나, 구체적으로 재난·재해 시의 대응 지침은 규정되어 있지 않다.

따라서 정부 차원에서의 관리 지침을 마련하고, 각 항만 및 터미널별 특성을 고려한 대응 방안이 마련되어야 한다. 해외에서는 항만 및 육상운송에 대한 위험물 컨테이너의 관리 지침이 마련되어 있다. 일본의 경우 「항만 위험물 등 재해대책편(港湾危険物等災害対策編)」을 통해 재해에 대해 예방, 대응, 복구로 3단계로 구분하고, 각 단계별로 수행해야 할 주요 대책과 실행 방안을 명확히 제시하고 있다. 우리나라도 안전하고 효과적인 위험물 컨테이너의 물류공급망 구축을 위해 '(가칭) 재난·재해 대응 위험물 컨테이너 관리 지침' 마련을 제안한다. 동 지침을 통해 위험물 컨테이너의 사고 발생 시 정부 차원에서의 가이드라인이 구축되고, 관계 기관과의 유기적인 협조가 가능해진다.

우선 예방단계에서는 항만 재난·재해 대책 추진, 위기 관리 체제 정비, 관련 연구 및 정보 수집, 방재교육 및 훈련 실시, 재발방지대책 실시 등이 진행되어야 한다.

〈표 5-10〉 '(가칭) 재난·재해 대응 위험물 컨테이너 관리 지침' 예방 단계 주요 내용

구분	주요 활동 내용
① 항만 재난·재해 대책 추진	• (각종 사업·계획 대책 실시) 항만 계획 수립 시 위험물 취급 구역과 일반 화물 구역 구분, 방재 요소 반영, 위험물 관련 재난·재해 대책 사업 통합 추진 • (항만시설 정비 및 재해 안전성 확보) 항만 규모·대체성 등을 고려한 위험물 취급 시설의 배치 및 이송 장비 동선 다양화, 중요 시설 이격거리 유지, 피난·복구를 고려한 육상 방재거점 설계, 피해 정보 수집 및 공유 시스템 구축
② 위기 관리 체제 정비	• (정보수집·공유체제 정비) 항만 터미널 운영사는 자체소방조직·공동방재조직 설치, 관련 사업자에게 정보 공유체계 구축 및 역할 정립, 야간, 휴일 등 24시간 운영 체계 수립 • (정보수단 다양화) 재해 현장 전송시스템 구축, 위험관리 시스템 정비, 종합방재정보시스템 구축

구분	주요 활동 내용
	• (관계기관과의 협력 체계) 해양수산부(지방청 포함)·소방·해경·환경부·경찰 등과의 긴밀한 협력 체계 및 역할 정립 • (긴급복구체제 정비) 긴급복구 기자재 비축, 관계 기관 및 인근 터미널과의 상호지원 체계 마련, 해수부 지방청은 재해 발생 시 신속한 인력·장비 지원 계획 수립 • (후방 지원 체계 정비) 관련 인력 안전관리 체계 마련, 비상식량·물·연료 확보 등 장기 대응 방안 마련, 교대 인력 확보 및 배치계획 책정
③ 관련 연구 및 정보 수집	• 위험물 재해 사례 원인 분석 및 평가, 위험물 화종별 피해 유형·항만시설 재해 민감도 등 연구 수행, 긴급 복구 및 예방 활동 정보 축적 등
④ 방재교육 실시	• (방재 교육) 관계 법·제도, 사고 시 대응조치 등의 강연·시연회 등 개최 • (방재지식 보급) 도서·영상·팸플릿 등 제작·배포, 취약계층 배려, 강연회, 심포지엄 등 사회적 인식도 제고 병행 • (인력양성) 재해 정보 수집·점검, 복구조사 인력 양성, 관련 연수 참가 지원
⑤ 방재훈련	• (비상소집 훈련) 통신 불능 상황 대비 비상 수단 확보, 정기적인 소집훈련 실시 • (정보 수집·공유 훈련) 정보 공유 기기 조작 숙련도 향상 훈련 • (재해대책본부 운영 훈련) 본부 설치·운영·회의 등 초동대응 능력 강화 • (긴급복구 훈련) 복구공사, 2차 재해 방지 대응 시뮬레이션 실시, 훈련 결과 평가 및 피드백
⑥ 재발방지 대책 실시	• 조사위원회 구성을 통해 재해 원인 종합 분석, 재발방지대책 수립, 항만 계획 및 운영 지침 등 개선 사항 반영

자료: 国土交通省(2022) 및 현황 및 실태 분석 내용을 바탕으로 저자 작성

다음으로 사태 발생 시 대응단계에서는 발생 직전의 정보 수집·통신 확보, 발생 직후 정보 수집·통신 확보, 활동체계 확립, 중앙재난안전대책본부 대응, 발생 후 시설 긴급 점검, 복구기자재 확보, 복구공사 실시, 대체 수송 및 물류 유지, 2차 방지 대책, 필수 기반 시설의 긴급 복구, 관계기관 지원, 재해자 대응, 대국민 전파 등을 진행한다.

〈표 5-11〉 '(가칭) 재난·재해 대응 위험물 컨테이너 관리 지침' 대응 단계 주요 내용

구분	주요 활동 내용
① 발생 직전 정보 수집·통신 확보	• 위험 정보 입수 체계 정비, 터미널 운영사와 실시간 정보 공유를 통해 예상 피해 상황 파악, 언론 등 통신수단을 활용한 조기경보 실시

구분	주요 활동 내용
② 발생 직후 정보 수집·통신 확보	• (정보 수집 및 연락 체계) 피해 규모 및 내용 신속 파악, 다양한 매체를 활용한 신속한 정보 공유, 행정안전부 및 해양수산부 등을 통한 비상재해대책본부 설치 • (정보 전달 절차) 지방청 → 해수부 → 중앙재난안전대책본부 체계적 보고, 관계기관·터미널 운영사 간 정보 공유 및 대응 논의, 창구 일원화로 혼선 방지 • (통신수단 확보) 통신장애 발생 시 비상 통신수단 운영, 긴급통신 라인 확보 매뉴얼 사전 준비
③ 활동체계 확립	• 지방청 실무 매뉴얼에 따라 비상소집, 경찰·소방·환경부·해경 등과 협업, 초기 긴급대응 자원 및 인력 배치
④ 중앙재난안전대책본부 대응	• (관계 부처 연락 회의) 피해 1차정보 확인 및 긴급대책 마련, 현지조사단 파견을 통해 현장 대응 지원 • (중앙재난안전대책본부) 재해응급대책의 총괄 조정 기능 수행, 항만시설 피해현황·대책 현황 종합 및 관계 부처 정보 공유
⑤ 발생 후 시설 긴급 점검	• 터미널 운영사와 협력해 긴급 점검, 점검 결과 기반 우선 복구 대상 선정 및 조치, 2차 피해 예방을 위한 설비 상태 점검
⑥ 복구 기자재 확보	• 기름회수선·소방 장비·응급구조 장비 등 신속 투입, 복구공사 거점 확보, 소방청 요청 시 긴급 파견 체계 운영
⑦ 복구공사 실시	• 피해 시설의 신속한 긴급공사 착수, 피해 상황 실시간 공유·복구 진행을 위한 기관 간 협력 강화, 긴급복구 후 항로 및 수송 거점 확보
⑧ 대체 수송 및 물류 유지	• 대체 항만 및 터미널과의 협력 체계 구축, 간선도로·철도 마비 시 해상 대체 수송 설정, 부두 가용성 확보를 위한 항만 간 협조 요청
⑨ 2차 방지 대책	• 전문기관(소방청, 환경부 등)과 협력해 구조물 점검, 시설·장비 내구성 점검을 위한 기술전문가 현장 파견
⑩ 필수 기반 시설 긴급 복구	• 재해 정도, 시설 중요도 등을 고려한 필수 기반 시설 사업자의 긴급 대책 활동 수행
⑪ 관계기관 지원	• (정보 공유, 기자재 제공) 피해 상황 파악 후 긴급복구 자재·장비 제공, 담당관 및 전문가 파견 • (피난 활동) 피난 경로 및 장소 정보 신속 파악 및 정보 공유, 인근 주민 피난 장소 제공
⑫ 재해자 대응	• 재해구호법에 따라 피해자 구조 실시, 대기 장소·물자 제공·연락 수단 확보 등 지원
⑬ 대국민 전파	• 인근 주민 응급대책·항로통제·2차 위험성 등 안내, 다양한 채널을 활용한 정보 공유, 정보 전달 창구 일원화로 혼선 방지

자료: 国土交通省(2022) 및 현황 및 실태 분석 내용을 바탕으로 저자 작성

복구단계에서는 재해복구 기본 방침을 설정하고, 항만복구 등을 진행한다.

〈표 5-12〉 '(가칭) 재난·재해 대응 위험물 컨테이너 관리 지침' 복구 단계 주요 내용

구분	주요 활동 내용
① 재해복구 기본 방침	• (해양수산부 역할) 복구계획 지도 및 자문 수행, 효과적인 복구계획 수립을 위한 정책적 조율 및 기술 지원 제공 • (터미널 운영사 역할) 재해복구대책 추진 시 해양수산부 협력 체계 구축, 필요시 해양수산부는 직원 파견 및 신속한 기술지원 실시
② 항만 복구	• (재해복구 촉진) 항만기능 조기 복구를 위한 긴급공사 추진, 터미널 운영사와 해양수산부 간 협력을 통한 복구 신속화, 민생 안전과 지역경제 회복을 위해 사회경제적 영향 최소화 노력, 복구 시 주변 환경오염 최소화, 인근 항만과 대체 수송 협력 체계를 활용한 물류활동 정상화 • (재발 방지) 항만시설 복구 시 양질의 시설 강화 공사 실시, 재해 발생 원인 분석을 통한 문제점 도출 및 해소, 동일 재해 피해 방지를 위한 개선 대책 마련

자료: 国土交通省(2022) 및 현황 및 실태 분석 내용을 바탕으로 저자 작성

2) 재난·재해 대응 매뉴얼 마련

현재 행정안전부가 관리 중인 재난·재해 대응 매뉴얼의 경우 풍수해 등 자연재해와 사회재난별 분류에 따른 위험물재난(소방청), 가스재난(산업통상자원부), 원자력 재난(원자력안전위원회), 생활화학제품 재난(환경부) 등 물질별로 대응 체계가 구성되어 있다. 항만 내 위험물의 재난·재해 대응은 해수부, 항만공사, 선사, 터미널 운영사, 소방청, 해경, 환경부 등이 동시에 얽히는데, 현행 매뉴얼은 각 부처별 자기 재난 유형에 국한되어 항만, 육상운송 현장에서의 효과적인 대응이 어렵다. 그리고 항만의 특성상 대량의 화물 집화, 산업단지 인접, 해상과의 인접 등으로 인한 복합적인 연쇄 사고, 환경 오염, 해상 유출 등의 위험성을 내포하고 있으나, 현 매뉴얼에서는 이러한 특성을 충분히 반영하지 못하고 있다.

현재 해양수산부가 운용 중인 4개의 표준매뉴얼과 16개의 실무메뉴얼 중 항만 관련 매뉴얼은 해양오염, 선종별 해양사고, 조수·풍수해·지진·화산폭발 등 자연재해, 전염병, 육상화물 운송 등이 포함되어 있다. 그러나

항만 내 위험물과 관련한 사고 대응은 표준매뉴얼 내 물질별로 분류된 사회재난 유형에 따라 대응하도록 규정되어 있다. 이러한 경우 항만 내 재난·재해 현장에서 통합지휘체계는 물질에 따라 소방청, 환경부, 산업통상자원부 등으로 구성될 수밖에 없다. 그리고 현재 교육 및 훈련계획 수립, 위기대응 매뉴얼 관리, 관련기관 간 협조체계 구축 등 재난관리 역량 역시 물질별로 관련 부처에 종속된다.

따라서 해수부는 위험물로 인한 사고를 해양수산부 주관 재난으로 지정하고 별도의 매뉴얼 체계를 구성해 표준매뉴얼, 실무매뉴얼, 행동매뉴얼 등으로 정비·관리하고 있다. 항만 관련 재난 역시 사회재난으로 분류되어 2025년 4월자로 항만재난 표준매뉴얼이 작성되었으나 시스템상 표준매뉴얼 등록상태로 관계자 외 열람이 어렵다. 〈표 5-13〉과 같이 위험물 관련 주요 사회재난 매뉴얼의 특징은 관련 법률과 국가위기 관리 기본법상 근거 제시, 적용 범위 및 정의, 예방 및 대비조치, 사고 및 이상징후 발생 시 대응 절차, 교육·훈련 및 점검 체계, 체크리스트, 신고서식, 비상 시나리오 등을 공통적으로 구성하고 있다.

〈표 5-13〉 위험물질 별 매뉴얼 구성요소

구분	주요 구성 요소
위험물 재난 표준매뉴얼 (소방청)	• 위험물안전관리법 등에 따른 위험물 제조소 등의 위치·구조 및 설비 기준, 위험물 규제 절차 개요 • 비상대응 시나리오 작성 규정, 예방규정 작성 지침 • 현장 점검, 설비 기준, 신고 절차 등의 예방규정 표준안, 체크리스트 등 • 위험물 유통량 조사, 신고 및 제출서류, 서식 제공 등 행정 절차 관련 사항
생활화학제품 재난 표준매뉴얼 (환경부)	• 목적, 적용범위, 정의, 관련 법률 및 제도 • 제품별 안전관리 절차: 방향제·초·세정제·탈취제 등 품목별 지침 • 신고제도 / 안전확인 대상 제품의 신고 절차, 온라인 시스템 매뉴얼, 사용자 안내서 등 행정절차 및 시스템 운영 안내 • 유통 및 소비자 안전관리: 표시·포장·사용시 주의사항, 유통업자/제조업자의 책임 등

구분	주요 구성 요소
가스재난·가스누출 대응 행동매뉴얼 (산업통상자원부)	• 위기경보 수준 설정 및 유관기관 보고체계 정비 • 설비의 가스누출 상황 판단 기준, 대응 절차(초기조치, 차단, 통보 등) • 사업장·공급시설 중심의 예방점검, 관리 책임자 역할, 교육·훈련 지침 • 현장조치, 유관기관 협업, 대국민 커뮤니케이션 및 지역사회 관점 반영

자료: 위험물 실무해설서(2025, 소방청), 생활화학제품 안전관리 이행지원 매뉴얼(2022, 한국환경산업기술원) 및 한국가스공사 보도자료(2017.12.5.) 내용을 바탕으로 저자 작성

이러한 주요 매뉴얼의 사항을 고려해 항만재난 표준매뉴얼 내 항만 위험물 대응을 위한 매뉴얼 구성안을 다음의 〈표 5-14〉와 같이 제시한다.

〈표 5-14〉 '(가칭) 항만위험물 대응 매뉴얼 주요 구성(안)

구분	주요 내용(안)
① 지휘체계 및 역할	• 매뉴얼 운영·관리, 지휘 및 자원 조정, 유관기관과의 협력기능은 해수부가 담당 • 터미널 운영사: 현장 초동조치, 격리 및 정보전파, 비상대응팀 구성 • 소방청: 대형 화재·폭발 대응, 인명구조 소화지원 • 환경부: 해양오염, 대기오염 조사 및 모니터링, 오염방지 및 복구 대책 • 관세청, 국토교통부: 물질정보 제공 • 해양경찰, 경찰, 국방부: 사고지역 및 이동 통제 • 선사, 화주: 화물 위험성 및 정보 사전 고지, MSDS 등 문서 제공 • 현장 내 제염, 폐기물 처리 등
② 사고대비	• 위험물 입출입 관리, 모니터링 체계 확보, 인프라·장비 구축 및 운영계획, 위험물 관리 허가, 검사 등 • 체크리스트 작성
③ 초동대응	• 심각도별 사고 등급 분류 • 통보 체계 구축 • 탐지 및 초동대응 체크리스트 • 의사 결정 지원 체계
④ 통합 대응	• 통합지휘체계 구축 및 전문대응팀 투입 절차 • 환경, 보건 대응, 물류 및 교통 통제, 폐기물처리 등
⑤ 사후관리 및 복구	• 복구계획 수립 절차 • 원인 조사 및 영향도 평가 • 매뉴얼 개정
⑥ 장비·인력	• 화재장비, 보호장비 구비 기준 • 위험물 처리 전담팀 구성

구분	주요 내용(안)
⑦ 교육 훈련	• 위험물안전관리자 및 현장인력 교육 과정 및 교육 주기 • 모의훈련 주기, 종류 등
⑧ 공보 기능	• 사고 발생 시 공식 메시지 예시, 담당자, 지역주민 행동수칙 등
⑨ 성과지표	• 초동대처, 관계부처 투입 시간, 복구 시간, 훈련 횟수 등

자료: 현황 및 실태 분석 내용을 바탕으로 저자 작성

3) 관계부처 간 협력 강화

항만 내 위험물 관리에 우선적으로 선행되어야 할 것은 각 부처 간 협력 및 거버넌스 구성을 통해 위험물 분류 기준을 국제규정인 UN RTDG와 IMDG 기반으로 해상, 도로, 철도 등 운송 수단별 동일 분류 기준을 적용해 일원화하는 것이다. 이를 위해서는 해수부, 국토교통부, 소방청, 환경부, 산업통상자원부 간 협의를 통한 관련 법률 개정이 선행되어야 한다.

재난·재해 대응을 위한 매뉴얼 구성 및 합동훈련 계획 수립 역시 중요하다. 또한 위험물 컨테이너 이송, 적치, 반출 과정에서 다양한 사고가 발생할 수 있으며, 항만-도로, 항만-철도 간 연계 시나리오를 기반으로 합동 모의훈련을 진행할 수 있다. 물동량 비중이 높은 위험물을 중심으로 다양한 시나리오를 구성해 소방시설 및 장비, 방호장비를 배치하고 소방청, 화학재난합동방재센터와 합동 모의훈련을 계획해 사고 예방 및 초기대응을 위한 대응력을 높일 수 있다.

항만의 위험물관리정보시스템을 마련하기 위해서 위험물의 사전 정보와 실시간 정보 데이터를 공유하는 통합시스템을 구축해야 한다. 이때 위험물 일반정보를 포함해 물리화학적 특성, 유해성, 위험성, 응급조치방법, 사고대응방법 등의 구체적 사전 정보를 얻기 위해서는 선사, 화주, 해사위험물 검사원, 소방청, 환경부 등으로부터 제출서류나 기존 데이터베이스 내 정보와 연동해야 한다. 또한 실시간 데이터 확보를 위해 터미널운영사, 운송업자, 국토교통부로부터 관련 데이터를 확보해야 하므로 통합시스템 구축을

위해서는 이해관계자 간 거버넌스 형성 및 협력을 선행해야 한다.

〈그림 5-3〉 위험물 컨테이너로 인한 재난재해 관련 부처 및 기관협력 체계



자료: 실태 조사, 해외 사례 연구 결과를 바탕으로 저자 작성

이를 위해 각 부처 및 기관들은 거버넌스 형성을 위해 다음과 같은 이행 노력이 선행되어야 할 것이다.

〈표 5-15〉 부처협력 간 주요 이행 노력

부처 협력	주요 이행 노력
해양수산부- 국토교통부	• 수출입 위험물 통합정보 시스템 및 모니터링 시스템 구축 • 컨테이너 위험물 관리 교육 체계 개편 및 관리자 역량 강화 • 위험물 분류 통일화 • 국제규정 기반 운송 데이터 표준화 추진
해양수산부- 행정안전부(소방청)	• 위험물 사고 예방 및 초등 대응 정책 정비 • 합동 모의 훈련 실시 및 표준매뉴얼 정비 • 정보 협력 체계 구축 • 위험물 분류 통일화
해양수산부- 환경부	• 위험물 분류 통일화 • 사고 발생 시 모니터링 및 오염 방제 조치 협력방안 마련

자료: KMI(2018)의 자료를 바탕으로 저자 작성

제2절 기대효과

1. 정량적 기대효과

재난·재해에 따른 터미널·항만의 기능 마비는 단일 시설의 기능 정지에 그치지 않고, 물류체계의 병목현상을 유발한다. 만약, 위험물 컨테이너 물동량이 많은 부산항에서 위험물 컨테이너로 인해 재난·재해가 발생할 경우 국내 수출입 기능 마비는 물론 글로벌 해상 공급망의 지연, 물류비용 상승 등 파급 효과를 일으킬 수 있다. 항만에서 발생하는 폭발, 유출, 화재, 인명사고 등으로 이어져 하역 및 이송 장비의 파손, 안벽 붕괴, 철송장 손상, 야드·창고 기능 정지 등 항만 운영 전반에 걸친 경제적 손실을 우선 초래한다. 본 제4장 2절의 컨테이너 영향도 평가를 통해 직접적인 경제적 손실 피해를 터미널 운영사로 한정할 경우, 장비 및 기반시설 손실 등에 따른 비용이 피해 수준과 항만폐쇄 기간 수준에 따라 지속적으로 증가하는 것으로 확인이 되고 1달간 손실액을 기준으로 시나리오별로 추정 시 약 3,659만 달러에서 18,292만 달러 범위의 피해가 예상된다.

〈표 5-16〉 30일 기준 인프라 손실액 및 영업손실액 분석 결과

(단위: 천 USD)

시나리오	S1(20%)	S2(50%)	S3(70%)	S4(100%)
30일 기준	약 $36,585.0	약 $91,462.1	약 $128,047.0	약 $182,924.0

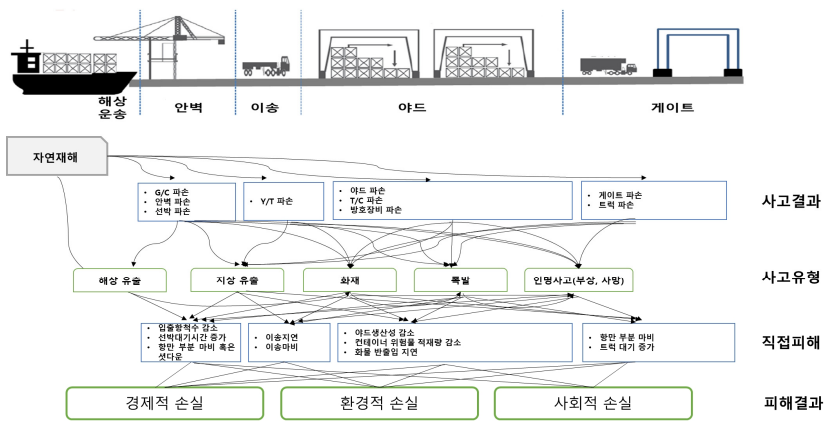
자료: 저자 작성
주: 인프라 손실은 장비+기반시설 포함 일회성 발생 비용, 영업 손실은 누적액

본 수치에서 제시한 터미널 단위별 직접 피해액 외에도 사고를 통해 야기되는 국내외 경제에 미치는 영향을 고려한 2차 경제적 비용, 환경적 손실 및 사회적 손실에 따른 잠재적 비용, 복구비용 등을 고려한다면 피해 규모는 더욱 클 것으로 예상된다. 본 장에서 제시한 대응 방안 사고 예방 및

사고 경감 노력을 통해 효과가 나타날 경우 제시된 비용적 손실을 최소화해 터미널 운영, 항만 운영에 따른 잠재적 비용 절감은 물론 국내외 경제에 미치는 영향 또한 클 것으로 판단된다.

따라서 사전에 이러한 피해를 예방하고, 실제로 사고가 발생하더라도 피해 규모를 줄이고 완화하는 것이 곧 정량적 기대효과로 연결된다고 할 수 있다. 즉, 위험물 관리 강화와 재난 대응력 제고는 항만에서 사고 발생 시 생길 수 있는 직접 손실뿐 아니라 간접 손실까지 감소시킬 수 있다.

〈그림 5-4〉 자연재해에 따른 위험물 컨테이너 사고 흐름



자료: 연구 결과를 바탕으로 저자 작성

위험물 컨테이너 사고는 인프라 파손이나 영업 중단 같은 직접 손실에 그치지 않는다. 사고의 여파는 물류 지연, 거래 신뢰 하락, 환경 피해 등 여러 형태로 나타난다. 이러한 간접 피해는 숫자로 정확히 계산하기 어렵지만 관리 체계 강화와 사전 대응을 통해 충분히 줄일 수 있다. 즉 간접 피해를 최소화하는 노력은 곧 간접 기대효과의 근거가 된다고 할 수 있다.

위험물 컨테이너 사고의 간접피해는 다음과 같다. 가장 먼저 항만 종사자들의 안전이 위협받는다. 사고는 곧바로 항만 종사자나 선원들의 부상·

사망으로 이어질 수 있으며 시간이 지나면 작업 환경 전반에 대한 불안감과 고용 불신으로 남는다. 다음으로 항만 운영이 중단되면 단순히 선적 일정이 밀리는 수준이 아니다. 내륙 운송부터 해외 수출입 등 물류 과정의 병목현상이 발생하게 됨으로써 글로벌 공급망 자체가 지연된다. 이런 지연은 선사의 기항회피 및 화주의 항만 이탈 등으로 이어진다. 그 결과 해당 항만의 신뢰도와 경쟁력 모두 약화된다.

화재나 폭발, 유해물질 유출 등은 환경 문제를 넘어 지역 수산업과 관광산업에까지 영향을 미치게 됨으로써 결론적으로 환경 피해와 지역경제까지 영향을 미친다. 또한 사고로 인해 물류가 지연되면 도로·철도·항공과 같은 다른 교통수단으로 물류가 전환되고 그 과정에서 보험료와 운송비, 소비자 가격 등 물류비용이 연쇄적으로 증가하여 국가 경제 전체가 흔들릴 수 있다.

이러한 막대한 간접 피해의 규모는 다양하고 수치로 환산하기에는 여러 어려움이 있다. 인명 손실 및 환경오염으로 인한 피해액 등과 같은 피해는 관련 통계가 충분하지 않고 현장마다 그 산정 기준이 다르다. 또한 공급망 지연, 항만 신뢰도 하락, 항만 경쟁력 약화 등과 같은 손실은 상황과 여러 여건[66] 등에 따라 차이가 크다. 따라서 향후에는 각 항목별 피해 규모를 체계적으로 추정하기 위한 후속 연구가 필요하다.

66) 대체 항만 이용 여부, 보험 보상 범위, 운송 지연 기간

〈표 5-17〉 터미널·항만의 기능 마비의 정량적 기대효과

구분	직접 피해	간접 피해
범위	• 인프라 손실(장비·기반시설 복구비 등) • 영업 손실 (서비스 중단, 임대료 등)	• 인명 피해(안전 수준 저하) • 국내외 물류체계 차질 및 공급망 지연 • 환경 피해(해양오염, 수산업·관광 산업 타격) • 항만 신뢰도 하락 및 경쟁력 감소 • 사회적 손실 비용 증가
기대효과	• 인프라 손실 감소(장비·기반시설 복구비 절감) • 영업 손실 감소(서비스 중단 손실, 임대료 손실 축소)	• 인명·환경 피해 예방(안전 수준 제고) • 항만 신뢰도 및 경쟁력 유지 • 사회적 혼잡 비용 감소 • 정부·지자체 협력 강화
정량적 추정	• 장비·기반시설 복구비, 서비스 중단, 임대료 등	• 정량적 추정 어려움

자료: 연구 결과를 바탕으로 저자 작성

2. 정성적 기대효과

1) 재난·재해에 따른 위험물 컨테이너 관리의 초동 대응 체계 향상

재난·재해 사고 발생 시 신고, 격리, 대피, 관계기관 협력 등의 대응 체계를 표준화하고, 정보 수집·전달 훈련과 비상소집을 구체화해 초기 혼선과 대응 지연을 구조적으로 줄일 수 있다. 대응 방안에서 제시한 사고 발생 직전직후 정보수집·연락·통신 확보, 활동계획 확립, 관계기관 연계, 시설 긴급점검 등의 대응 체계는 초동 대응의 오류를 줄이고, 신속한 현장 통제를 실행할 수 있는 기준을 제공할 수 있다.

또한 위험물 안전관리자와 하역 종사자를 대상으로 한 교육을 통해 적극적인 관리 역량을 갖춰 항만 종사자, 운송업체, 화주가 단순히 법적 의무를 수행하는 수준을 넘어 사고 예방 문화를 정착시키고 안전교육·훈련을 반복

적으로 경험하면서 사고 발생 시 초기 대응 역량을 갖출 수 있다. 위험물 개요, 법규, 취급 절차 등을 주로 다루는 기존 교육에서 다부처 간 협력을 통해 재난유형별 대응, 해외사례들과 같이 직무별 세분화된 교육 체계를 도입할 경우 사고 발생 시 초기대응 실패로 인한 피해 확산을 최소화하고 기관 간 공조 능력 강화를 기대할 것이다.

2) 재난·재해에 따른 사고 발생 시 복구시간 단축과 경제손실 저감

항만 위험물 컨테이너 영향도 평가 결과를 살펴보면 셧다운 기간이 늘어날수록 피해 규모도 지속적으로 확대되고, 시간의 경과 자체가 비용 급증으로 직결된다. 조속 복구를 전제로 한 대응·복구 계획과 응급복구 훈련은 누적 손실을 통제하는 핵심 수단이 된다. 이러한 분석은 정책 측면에서도 초기 복구의 중요성을 확보할 수 있는 기초 자료로 활용이 가능하다.

지금까지는 항만 내 위험물 사고 발생 시 소방청, 환경부, 해수부 등 기관 간 역할분담의 모호성으로 인해 항만 구역 내 해수부의 역할이 제한적이었다. 위험물 통합정보시스템과 관리 체계 및 역할이 명확해질 경우 부처·기관 간 불필요한 행정적 비용 역시 효율화할 수 있다.

3) 통합 정보플랫폼 구축에 따른 위험물 컨테이너 정보관리 효율성 제고

국내외 위험물 사고에서 확인된 위험물 정보 누락·지연 문제가 초기 판단 혼선의 주된 원인이다. 본 연구에서는 종류·위치·상태의 실시간 추적, 이상 자동 알림, 기관 간 연계 대응을 갖춘 플랫폼과 화재·누출 감지센서 연동과 기록·분석 기능 등을 제안했다. 그리고 위험물 컨테이너 정보에 대한 관계 기관과의 공유체계 구축을 통해 정보의 적시성·정확도와 자원배치 최적화가 달성되어 초동 대응의 실효성을 확보할 수 있다.

또한 정보관리 통합화를 통한 위험물컨테이너 사고 전주기의 예방·대응·사후관리가 가능하게 되므로, 각 주기 별 예방효과를 기대할 수 있다.

예방단계에서는 위험물 보관·이송이 집중하는 구역을 사전에 인지할 수 있으며, 특정 작업 시 발생하는 위험 패턴의 빈도를 측정할 수 있으며, 위험도 평가 등을 중심으로 위험물 이송 시 동선 설계 등을 재조정할 수 있다. 또한 실시간 위험물 현황 및 대응 정보 공유를 통해 안전관리자의 위험물 대응력을 높일 수 있다. 대응 단계에서는 초기 대응에 따른 사고판단, 대응에 대한 인적요인 불확실성을 분산할 수 있고, 적절한 대응을 위한 기관 간 커뮤니케이션, 공조 등을 효율화할 수 있다. 사후단계의 경우, 정보공유를 통해 사고 원인 규명단계에서는 객관성, 신뢰성을 제고할 수 있으며 사고에 관한 분쟁기간을 단축해 사회적 비용 감소를 기대할 수 있다.

4) 시설 인프라 체계 개선을 통한 피해 확산 저감

위험물 컨테이너의 위한 소방설비 강화 및 재원 확보 방안 마련을 통해 사고 발생에 대비한 피해 확산 저감 효과를 가져올 수 있다. 그리고 국제규정에 의거한 전용장치장 구축을 통해 위험물 컨테이너의 안전관리와 컨테이너의 장치율 개선에도 기여할 수 있다.

각 이해관계자 역시 이러한 시설인프라 체계 개선에 따른 개별적인 정성적 효과를 기대할 수 있다. 터미널운영사의 경우 피해저감 능력 향상에 따른 사고에 따른 비용 감소뿐만 아니라 안전기능 강화가 작업자의 신뢰도 향상에 기여할 수 있다. 또한 터미널 운영 안정성을 화주 및 선주에게 인식시키고, 신뢰성을 통한 물동량 유치 등 포트세일즈 역시 기대할 수 있다.

항만공사, 해수부 역시 개별 항만 내 위험물 컨테이너 사고 저감 능력 향상에 따른 전략적으로 취약한 항만시설에 자원을 투입할 수 있는 계획

수립이 가능하며, 장기적으로 고부가가치의 위험물 컨테이너 유치를 위한 항만·국가차원의 물동량 유치 전략 수립에 긍정적으로 작용할 수 있다.

지자체의 경우 주민 안전체감도를 향상시키고, 시설에 대한 주민수용성 역시 높임에 따라 항만-도시 간 신뢰도 향상에 도움이 된다. 또한 대형 폭발, 유출사고에 따른 피해여파로 인해 투입되는 복구비, 환경정화비용 투입 등 제정 리스크를 감쇄할 수 있을 것으로 기대된다.

5) 법·제도 개선을 통한 재난·재해 대응력 강화

현행 위험물 컨테이너 관리 법·제도의 분산·중복을 해소하고, 재난·재해 대비 항만 위험물 컨테이너의 보관·육상 연계·취급자 교육·자체안전관리계획 세부 사항을 법령·고시에 명문화함으로써 초기 지휘·승인·보고 체계가 명확하게 규정될 수 있다. 그리고 대응 매뉴얼 및 자체안전관리계획의 개선을 통해 예방, 대응, 복구의 전 과정에서의 대응력 강화에도 기여할 수 있다.

06
결론 및 정책제언

제1절 결론

본 연구는 항만 내 위험물 컨테이너가 초래할 수 있는 누출, 화재, 폭발 등 재난·재해 상황을 대상으로, 기존 국가 재난관리체계와 항만 특수성을 종합적으로 검토해 대응 방안을 제시하는 데 목적을 두었다.

제1장에서 연구의 필요성과 목적을 제시한 바와 같이, 항만은 국가 경제와 글로벌 공급망의 핵심 거점으로서 위험물 컨테이너 사고가 단일 시설의 피해를 넘어 물류체계 전체의 병목 현상을 야기할 수 있다. 이에 본 연구에서는 항만위험물 사고 대응의 구조적 문제를 진단하고 개선 방향의 필요성을 제시했다.

제2장에서는 국내외 항만 재난관리 사례와 위험물 사고 사례를 분석해 위험물 정보 누락·기관 간 협조 부재·초동 대응 지연 등이 피해 확산의 주요 요인임을 확인했다.

제3장에서는 국내 위험물 컨테이너 관리 현황과 해외 관리 실태를 분석해 현재 국내 항만위험물 컨테이너 관리와 관련한 구조적 한계를 살펴보았

다. 이를 통해 항만위험물 컨테이너 관리에서 부처 간 협업 구조 강화, 항만 특화 대응 매뉴얼 마련, 통합정보시스템 구축이 필수적이라는 문제의식을 제시했다.

제4장 1절에서는 2024년 주요 항만의 위험물 컨테이너를 고유 위험도, 신고 건수(빈도), 연간 중량 기준으로 비교한 결과를 제시하였다. HS 382499은 UN1091·UN1992·UN2924 등과 연계된 Class 3·4.1·4.2 물질이 포함되어 여러 항만에서 높은 점수가 나타났고, HS 271019는 UN1202·UN1223·UN1268 등 Class 3 인화성 액체류와 매칭되며 위험 수준이 높게 평가되었다. 두 품목은 물성에 따른 위험도뿐 아니라 연간 처리량과 빈도가 위험도 산정에 크게 영향을 준 것으로 나타났으며, 항만별 물동량 구조에 따라 세부 순위는 다소 차이를 보였다. 전체적으로는 물량 규모와 빈도가 위험도 차이를 설명하는 주요 요소로 확인되었다.

제4장 2절에서는 위험물 컨테이너 사고의 영향도를 터미널·항만 운영 차원에서 평가했다. 분석 결과, 사고 발생 시 하역 장비, 안벽, 철송장, 야드 등 인프라 피해와 운영 마비가 발생해 단기간에도 막대한 경제적 손실이 발생할 수 있음이 확인되었다. 또한 직접 피해뿐만 아니라 국내외 물류 체계 차질, 공급망 지연, 환경피해, 사회적 손실 등 2차 피해가 복합적으로 발생할 가능성이 높음을 보여주었다. 또한, 위험물 컨테이너 사고가 항만 운영에 미치는 영향을 터미널 차원에서 살펴보았다. 분석 결과, 사고가 발생하여 하역 장비와 안벽, 철송장, 야드 등 인프라가 피해를 입게되고, 이로 인해 작업이 중단되면 단기간에도 상당한 규모의 경제 손실이 발생할 수 있음을 확인하였다. 또한 위험물 사고는 터미널의 물리적 손실에 그치지 않고 국내 물류의 흐름뿐 아니라 해외 항로와 연결된 공급망까지 영향을 받으며, 그 결과 운송 일정이 흔들리고 물류비용이 상승한다. 게다가 환경오염과 사회적 손실 등 2차피해가 복합적으로 발생할 가능성이 높다는 점으로 확인하였다.

제5장에서는 이러한 분석을 바탕으로 항만 특성을 반영한 대응 방안을 제시했다. 주요 대응 방안은 초동 대응체계 고도화, 복구 시간 단축과 경제적 손실 저감, 위험물 통합정보플랫폼 구축, 시설 인프라 보강, 법·제도 개선, 위험물 이송 및 임시 장치 방안 마련 등으로 구성되었다. 이는 사고 예방, 대응, 복구의 전 주기에 걸쳐 체계적 관리가 이루어질 수 있도록 한 것이다.

마지막으로 제시된 대응 방안은 정량적·정성적 기대효과를 동시에 갖는다. 정량적 관점에서 사고 예방과 대응 체계의 강화는 터미널 수준에서 장비나 기반시설의 손실, 영업 중단으로 인한 직접 피해를 줄이는 효과가 있다. 나아가 공급망 지연 및 환경오염, 사회적 손실 등과 같은 간접 피해도 완화할 수 있다. 이를 통해 항만의 신뢰와 경쟁력이 유지되고 국가 물류 전반의 안정성에도 긍정적인 영향을 준다. 정성적 측면에서는 정부의 재난관리 역량 강화, 기업의 안전 문화 정착과 공급망 연속성 확보, 지역사회의 안전 확보와 항만 신뢰도 제고, 국제사회의 공급망 안정성 및 규범 준수 효과 등 이해관계자별로 다층적인 긍정 효과를 기대할 수 있다.

본 연구는 항만위험물 컨테이너 사고 대응의 현행 제도의 한계를 극복하고, 실질적이고 지속 가능한 대응 역량을 확보하기 위한 정책적·실무적 방향을 제시했다. 또한 항만위험물 컨테이너 사고의 영향 구조를 계량적으로 제시하고, 정책·실무 적용 가능한 대응 방안을 도출함으로써 향후 항만 재난관리 연구 및 정책 수립을 위한 기초자료로서 학술적 의의 역시 가진다. 향후 국가 차원의 항만 재해·재난관리 전략 수립과 글로벌 공급망 안정성 제고에 기초자료로 활용됨을 물론 항만위험물 사고에 대한 예방·대응·복구를 아우르는 종합적 관리 체계 구성에 실질적으로 활용될 수 있을 것이다.

이러한 시사점에도 불구하고 본 연구에서는 다음의 한계점이 존재한다.

우선 항만 및 육상운송의 위험물 사고 사례에 대한 종합적인 분석 연구

및 정보가 부족하다. 각 관할 부처의 관련 자료 및 상세 내용이 있을 수 있으나, 심층적인 연구 활용을 위한 종합적인 통계자료 및 분석 보고서의 공유가 필요하다.

그리고 선행적으로 해결되어야 하는 과제 중 하나는 우리나라의 위험물 분류 기준과 국제 기준과의 통일성이 전제되어야 한다. 해운은 국제해상위험물규칙(IMDG Code), 철도는 국제위험물철도운송규칙(RID), 도로는 국제위험물도로운송규칙(ADR)으로 통일된 규정과 위험물 분류 기준을 가지고 있다. 우리나라의 해운은 국제규정에 의거해 위험물을 분류하고 있으나 항만 입항 이후 국내 영역에서는 물질별 개별 법률에 의해 위험물을 별도로 분류하고 있다. 이로 인해 위험물의 통합정보시스템, 대응 매뉴얼, 법·제도 개선에 있어 통일된 기준 설정과 국제기준에 부합한 체계 마련에 어려움이 존재한다.

또한 종합 영향도 평가에서 지적한 바와 같이 시설·장비의 감가상각, 인명·환경 피해, 사회적 혼잡 비용, 보험·계약 조건 등의 세부 요소의 자료 접근성 등의 문제로 인해 사고 발생 시의 영향도에 대해 정확하게 반영하는 것이 어려운 실정이다. 따라서 항만 터미널 시설·장비의 세부 사항에 대한 종합적인 조사와 분석 활용을 위한 범용형 자료 제공도 필요하다.

제2절 정책제언

1. 재난·재해 대비 항만위험물 컨테이너 물류공급망 추진 로드맵

제5장에서 제시한 재난·재해 대비 위험물 컨테이너의 물류공급망 대응 방안의 정책 추진 로드맵을 제시하기 위해 위험물 관련 전문가 설문을 실시했다. 동 설문에서는 총 20명의 전문가가 참여했다. 구체적으로 산업계에서는 컨테이너 터미널 운영사 운영, 안전관리자, 물류기업, 정보 관계자 15명, 학계 및 연구계 전문가 각 1명, 정부 및 공공기관 담당자 3명이다.

분석방법은 Fuzzy AHP(Analytic Hierarchy Process)[67]를 활용했다. 의사결정의 다층적, 복합적 항목을 복합적으로 분석하기 위해서는 일반적으로 AHP를 활용하고 있다. 그러나 Fuzzy AHP는 단순 AHP와 비교해 전문가의 언어적 모호성과 불확실성을 Fuzzy 수로 모델링해 현실의 판단 오차와 주관성을 효과적으로 반영할 수 있는 장점을 가지고 있다.[68]

대분류 분석 결과 법·제도 개선이 0.43으로 중요도 및 시급성에서 가장 높게 평가되었고, 인프라 0.39, 인력 0.23 순이다. 중분류 중에서는 위험물 취급자 교육이 0.45로 가장 높았고, 위험물 전용 장치 체계 강화 0.42, 위험물 관련 법률 개선 0.41 순이다. 대분류 및 중분류을 고려한 종합 점수에서는 위험물 관련 법률 개선이 0.176으로 가장 높았고, 위험물 전용 장치 체계 강화 0.167, 재난·재해 대응 매뉴얼 마련 0.147, 인프라 관리 강

67) 본 분석에서는 (1) 계층화(Goal-Criteria-Subcriteria/Alternatives): 정책목표-대분류(인프라/인적요인/법·제도)-중분류(9개 대응과제)의 계층 구조로 정의, (2) Fuzzy 상대비교(Fuzzy Pairwise Comparisons): 전문가 설문에서의 중요도/시급성의 중요도 측정 및 삼각 Fuzzy 수 변환, (3) Fuzzy 가중치 산출(Fuzzy Weights): 각 기준의 Fuzzy 가중치 산출 및 정규화 조정, (4) Defuzzification: Fuzzy 가중치를 실수 점수로 환산하고, 실수 가중치를 비교·정렬이 가능한 순위로 결정, (5) 일관성·민감도 점검: 판단 일관성과 민감도 분석을 통해 논리적 모순을 최소화하고, 결과의 타당성 확인 과정을 수행

68) Fuzzy AHP의 구체적인 분석 방법 및 설명은 부록 6. Fuzzy AHP 분석 방법을 참조

화 0.133, 관계부처 간 협력 강화 0.125, 통합 정보 플랫폼 구축 0.133 순이다.

〈표 6-1〉 Fuzzy AHP 분석 결과

대분류	대분류 점수	중분류	중분류 점수	종합점수	순위
인프라	0.39	인프라 관리 강화	0.34	0.133	4
		위험물 전용 장치 체계 강화	**0.42**	**0.167**	**2**
		통합 정보 플랫폼 구축	0.29	0.113	6
인적요인	0.23	안전관리자 교육 개선	0.27	0.061	9
		취급자 교육 개선	0.45	0.101	7
		재난·재해 대비 훈련 강화	0.32	0.073	8
법·제도	0.43	**위험물 관련 법률 개선**	**0.41**	**0.176**	**1**
		재난·재해 대응 매뉴얼 마련	**0.34**	**0.147**	**3**
		관계부처 간 협력 강화	0.29	0.125	5

자료: 전문가 설문조사의 자료를 바탕으로 저자 작성

전문가 설문결과를 바탕으로 9개의 정책과제(대응방안)에 대한 추진 로드맵을 제시한다.

1순위 과제는 위험물 관련 법률 개선, 재난·재해 대응 매뉴얼 마련, 위험물 전용 장치 체계 강화이다. 위험물 관련 법률 개선은 1-2년차에 항만구역 내의 위험물 장치 및 관리에 관한 고시 방안과 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 개정을 추진한다. 그리고 3년차 입법화 과정을 거쳐 법률 시행을 진행한다. 이와 더불어 3년차부터 장기과제롤 항만위험물 관리 고시 방안도 구상한다. 재난·재해 대응 매뉴얼 마련은 1-2년차에 다양한 재난·재해 사례별 매뉴얼을 구성하고, 관계 부처와의 협의와 조율 과정을 거친다. 이를 통해 3년차에 대응 매뉴얼 배포 및 운영을 실시한다. 위험물 장치 체계 강화는 법률 개선과 동시에 진행해 1-2년차에 개선 계획을 확정하고, 3년차부터는 제도 시행과 시설 정비 작업에 착수한다.

2순위 과제는 인프라 관리 강화, 관계부처 간 협력 강화, 통합 정보 플랫

폼 구축이다. 인프라 관리 강화에서는 2-3년차에 주요 수출입 컨테이너 항만의 위험물 관련 인프라 전수 조사를 실시하고, 관리 계획을 수립한다. 4년차부터는 제도 시행 및 인프라 정리를 개시한다. 관계부처 간 협력 강화는 2년차에 부처 협력 의제를 발굴하고, 협력 사항을 정립한다. 3년차부터는 지속적인 부처 협력을 추진한다. 통합 플랫폼 구축은 2년차에 구축 계획을 수립하고, 3년차부터 시스템 구축을 실시한다. 동 시스템 구축은 장기 과제로 현장 적용까지는 장기간이 소요될 것으로 예상된다.

3순위 과제는 취급자 교육 개선, 안전관리자 교육 개선, 재난·재해 대비 훈련 강화로 3년차부터 순차적으로 준비 및 운영한다.

〈표 6-2〉 재난·재해 대비 항만위험물 컨테이너 물류공급망 추진 체계도

<table>
<tr><th>정책과제</th><th>1년차</th><th>2년차</th><th>3년차</th><th>4년차</th><th>5년차 이후</th></tr>
<tr><td>인프라 관리 강화
(❷)</td><td></td><td colspan="2">인프라 조사 및 관리 계획 수립</td><td colspan="2">인프라 개선 및 관리 운영</td></tr>
<tr><td>위험물 전용 장치 체계 강화
(❶)</td><td colspan="2">조사 및 계획 수립 연구, 체계 개선 계획 도출</td><td colspan="3">장치장 정비 및 개선 운영</td></tr>
<tr><td>통합 정보 플랫폼 구축
(❷)</td><td></td><td>정보 플랫폼 구축 계획수립</td><td colspan="3">정보 플랫폼 구축 실행 및 운영(5년차 이후)</td></tr>
<tr><td>안전관리자 교육 개선
(❸)</td><td></td><td></td><td colspan="2">안전관리자 교육 프로그램 개선 계획 수립</td><td>과정 운영</td></tr>
<tr><td>취급자 교육 개선
(❸)</td><td></td><td></td><td colspan="2">교육 프로그램 계획 수립</td><td>과정 운영</td></tr>
<tr><td>재난·재해 대비 훈련 강화
(❸)</td><td></td><td></td><td colspan="2">자체안전관리계획 수정 및 합동훈련 개선 계획 수립</td><td>계획 및 훈련 운영</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위험물 관련 법률 개선
(❶)</td><td colspan="2" rowspan="2">법률 개선(안) 도출 및 입법화 준비</td><td>입법화</td><td colspan="2">법률 시행</td></tr>
<tr><td colspan="3">(장기) 법률 제·개정 검토 및 추진</td></tr>
<tr><td>재난·재해 대응 매뉴얼 마련(❶)</td><td colspan="2">대응 매뉴얼 작성 및 조율 (부처 및 관계기관 협의)</td><td colspan="3">대응 매뉴얼 운영</td></tr>
<tr><td>관계부처 간 협력 강화
(❷)</td><td></td><td>부처 협력 의제 발굴</td><td colspan="3">관계 부처 협력 지속</td></tr>
</table>

자료: 전문가 설문조사의 자료를 바탕으로 저자 작성
주: ❶은 우선순위 1순위 과제, ❷는 우선순위 2순위 과제, ❸은 우선순위 3순위 과제

2. 항만위험물 물류공급망 안전관리 법·제도 체계 개선

위험물의 안전하고 효과적인 관리를 위해서는 법·제도 정립이 우선적으로 진행되어야 한다. 항만의 위험물 컨테이너는 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」에서 규정하고 있다. 구체적으로 살펴보면 동 법 제6장 위험물 관리 등에서 위험물의 반입, 위험물운송선박의 정박 등, 위험물 하역, 위험물 취급 시의 안전조치 등, 위험물 관련 자료제출의 요청, 교육기관의 지정 및 취소 등이 규정[69]되어 있다.

동 법에서 항만에 위험물의 종합적인 관리를 위해서는 위험물 보관, 육상운송과의 연결, 위험물 취급자에 관한 교육, 자체안전관리계획의 세부사항 등을 구체적으로 규정해야 한다.

단기적으로는 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」에서 위험물 관리 부분의 추가적인 조항 개정이 필요하다. 위험물의 하역에서는 자체안전관리계획의 표준화 문건을 동 법 시행령의 별표로 추가하거나 「(가칭)항만위험물 자체관리계획 운영」 등의 별도의 고시를 마련한다. 그리고 해당 고시에는 재난·재해 대비 훈련 방안 사항 등의 세부 항목을 구체화한다. 위험물 취급 시의 안전조치에서는 위험물 취급자 교육을 추가하고, 시행규칙에 관련 세부 사항을 명기한다. 그리고 위험물 장치 지정 및 운영 조항을 신설해 장치 방법, 시설 기준 등의 사항을 규정한다. 또한 위험물 운송수단과의 연결 시의 안전조치 조항의 신설도 필요하다. 동 조항에는 트럭, 철도 등 육상운송과의 위험물 이송 시의 안전조치 사항 등이 규정되어야 한다.

69) 시행령에는 자체안전관리계획의 수립 및 승인 등이 규정되어 있고, 시행규칙에는 위험물의 통지, 자체안전관리계획의 승인 신청 및 승인 절차 등, 위험물 하역의 제한 등, 위험물 안전관리자의 자격기준 등, 위험물 취급 시의 안전조치, 위험물 안전관리자의 교육, 위험물 하역 관련 안전장비, 위험물 관련 자료제출, 교육기관의 지정 및 운영 등이 규정되어 있음

〈표 6-3〉「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 제6장 위험물 관리 등 개정 사항

현행	개정 주요 내용
제32조(위험물의 반입)	제32조(위험물의 반입)
제33조(위험물운송선박의 정박 등)	제33조(위험물운송선박의 정박 등)
제34조(위험물의 하역)	**제34조(위험물의 하역)** **→ 시행령 제14조 수정 및 별표로 자체안전관리 계획 표준화 문건 추가 및 재난·재해 대비 방안 추가**
제35조(위험물 취급 시의 안전조치 등)	**제35조(위험물 취급 시의 안전조치 등)** **→ 동 법 조항에 위험물 취급자 교육 추가** **→ 시행규칙 제19조의 3(위험물 취급자 교육) 관련 사항 추가**
	제35조의 1(위험물 장치) 신설 **→ 포장된 위험물 장치 방안(국내 또는 국제 기준)** **→ 시행규칙 제19조 1(위험물 장치 지정 및 운영) 신설을 통해 세부 기준 제시**
	제37조의 2(위험물 운송수단과의 연결 안전조치 등) 신설 **→ 트럭, 철도와의 연결 과정 시의 안전조치 사항 명기**
제36조(교육기관의 지정 및 취소 등)	제36조(위험물 취급 시의 안전조치 등)
제37조(선박수리의 허가 등)	제37조(선박수리의 허가 등)

자료: 선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률 및 실태조사, 전문가 자문 내용을 바탕으로 저자 작성

장기적으로는 「위험물철도운송규칙」과 같이 항만위험물 안전관리를 기준이 별도로 마련되는 것이 바람직하다. 「(가칭)항만위험물 안전관리 규칙」 제정을 통해 체계적인 항만위험물 관리 방안을 정립하고, 안전한 항만 구축을 위한 정책 과제의 추진 근거를 마련할 필요가 있다. 그리고 기존의 법률과의 상충 관계[70]를 고려해 타 부처와의 긴밀한 조정 과정이 이루어져야 한다.

70) 기존 위험물안전관리법, 화학물질안전관리법 등과의 상충을 방지하기 위한 특례 적용 등의 검토가 필요함

〈표 6-4〉「(가칭)항만위험물 안전관리 규칙」 체계 구성 예시

조항	주요 내용
제1조 목적	• 규칙의 목적 규정 → *본 규정은 항만의 위험물 반입, 하역, 적치, 이송에 대한 안전과 효과적인 관리에 필요한 사항을 규정함을 목적으로 함*
제2조 정의	• 규칙의 주요 용어에 대한 정의를 규명
제3조 위험물 범위	• 위험물의 범위를 규정 → *「위험물 선박운송 및 저장규칙」 제3조 및 「위험물 선박운송 기준」 제2조에 해당하는 물질* → *유해화학물질은 「항만구역 내 유해화학물질 보관시설 설치 및 관리에 관한 고시」 제3조 제1호 제2항 준용*
제4조 위험물 반입	• 위험물의 항만 반입과 관련된 규정 → *「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 제32조 및 제33조 반영*
제5조 위험물 하역 시 안전조치	• 위험물 하역 시의 안전조치 및 하역 제한 사항 등을 규정 → *「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 제34조, 제35조 참조*
제5조 위험물 운송 시 안전조치	• 위험물의 항만 내, 육상 수당과의 연결 시 안전조치 및 하역 제한 사항 등을 규정 → *「위험물철도운송규칙」 등을 참조*
제6조 위험물 장치 시 안전조치	• 위험물 장치 시의 안전조치, 장치 제한, 전용장치장 사항 등을 규정 → *「위험물 선박운송 및 저장규칙」, 「위험물 선박운송 기준」, 「항만 수출입 하역장소의 위험물규제업무 처리지침」, 「항만구역 내 유해화학물질 보관시설 설치 및 관리에 관한 고시」 참조*
제7조 자체안전관리계획	• 자체안전관리계획의 세부 사항 규정 → *「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 참조*
제8조 컨테이너 포장 위험물 용기 검사	• 컨테이너 포장 위험물 용기 검사에 관한 규정 → *「위험물 선박운송 기준」 제22조 준용*
제8조 위험물 안전관리자	• 위험물 안전관리자 자격 및 업무 등에 관한 규정 → *「위험물안전관리법」 제15조, 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 제35조 참조*
제9조 안전 교육 및 훈련	• 안전관리자, 취급자 교육 및 훈련 등에 관한 규정 → *「위험물안전관리법」, 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」, 「위험물철도운송규칙」 등을 참조*
제10조 선박수리의 허가 등	*「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 제37조 준용*
부칙, 별표/서식	

자료: 선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률(법률 제20524호, 2024.10.22.), 위험물철도운송규칙(국토교통부령 제1324호, 2024.4.19.), 위험물 선박운송 기준, 항만 수출입 하역장소의 위험물규제업무 처리지침, 항만구역 내 유해화학물질 보관시설 설치 및 관리에 관한 고시(화학물질안전원고시 제2022-21호, 2022.12.23.) 및 실태조사, 전문가 자문 내용을 바탕으로 저자 작성

3. 후속과제

1) 위험물 전용장치장의 장치 규모 산정 연구

현재 항만의 위험물 컨테이너 장치는 「항만 수출입 하역장소의 위험물규제업무 처리지침」, 「항만구역 내 유해화학물질 보관시설 설치 및 관리에 관한 고시」 등에 의거해 터미널별 일괄적으로 장치하고 있다. 그러나 우리나라의 항만 터미널 여건상 인근 상업, 주거 시설과 인접한 곳이 존재한다. 네덜란드의 사례를 살펴보면 해당 터미널의 주변 여건 및 특성을 고려해 종합적인 영향도를 평가해 터미널별 위험물 컨테이너의 용량을 규정하고 있다. 우리나라도 항만의 안전한 위험물 관리를 위해서는 터미널의 여건을 고려한 위험물 컨테이너의 장치량을 규정할 필요가 있다.

이를 위해 우선 항만위험물 컨테이너의 폭발, 화재 등에 따른 파급력을 산정할 필요가 있다. 그리고 항만 터미널은 다양한 위험물이 혼재되어 있으므로 연쇄 폭발 시의 피해반경, 규모 등도 면밀히 분석해야 한다. 그리고 터미널별 주변 상업, 주거 지역 등의 현황을 조사해야 한다. 이를 통해 소화 장비 등의 안전 설비를 보강하고, 주변 지역의 피해를 최소화할 수 있는 위험물 최대 장치량을 산정해 위험물 컨테이너의 장치 관리를 실행해야 한다.

2) 위험물 영향도 평가를 위한 조사 및 연구

제4장의 위험물 종합 영향도 평가에서 시사한 것과 같이 아직 우리나라 컨테이너 터미널의 위험물 폭발, 화재 등의 비상사태 발생 시의 피해규모와 영향도를 분석한 연구는 전무한 상황이다. 본 연구에서는 범용적인 조건에서 영향도를 산정하였으나 위험물 컨테이너의 체계적이고 안전한 관리를 실행하기 위해서는 정확한 영향도 평가가 필수적인 사안이다. 따라서

우선 개별 터미널의 시설 및 장비 현황, 인명 및 환경 피해, 사회적 혼잡 비용 등의 광범위한 정보를 수집과 분석이 필요하다. 그리고 다양한 사례에서 적용 가능하고, 적합도가 높은 영향도 평가 방법론이 규정되어야 한다.

3) 물류공급망 조사 및 모달시프트 정책 연구

물류공급망 차원에서 위험물 컨테이너의 효율적이고, 안전한 운송을 위해서는 모달시프트 정책이 추진되어야 한다. 현재 항만에서 수출입되는 대부분의 위험물 컨테이너는 도로 운송으로 운송되고 있다. 도로 운송의 경우 편의성은 가장 좋으나, 단위당 비용, 대량 운송, 환경오염, 사고 발생 위험에서는 가장 효과성이 떨어지는 운송수단이다. 따라서 중장거리 운송에는 철도, 연안해운으로 활용할 수 있는 정책 연구가 필요하다. 이러한 모달시프트가 원활하게 진행되기 위해서는 전체 물류비용, 환경오염 비용, 사고 발생에 따른 사회경제적 비용 등이 책정되어야 하고, 이에 따른 인센티브 제도 및 시범운송 지원 등의 지원사업이 추진되어야 한다.

4. 산업 현안 문제 현황 및 대응 방향

1) 위험물 장치장 규정 개선 검토

최근 항만의 위험물의 수출입 증가에 따른 위험물 컨테이너 장치율이 증가하는 추세이다. 특히 부산항의 경우 위험물 수출입이 집중되는 피크 시기에는 일시적으로 전용 장치장의 공간 부족 현상이 발생하고 있다. 이를 대비해 위험물 컨테이너 전용 장치장의 면적을 증가할 경우 일반 컨테이너 장치공간이 부족해지는 문제가 상존하고 있다.

따라서 우선 위험물 컨테이너의 장치 추이를 세밀하게 분석할 필요가 있

다. 그리고 피크 시기에 장치공간 부족 현상 발생 시의 대응 방안을 고려해야 한다. 이를 위해 법·제도 관점에서는 「항만 수출입 하역장소의 위험물 규제업무 처리지침」 등의 장치 기준 조정, 위험물 장치 기준의 국제기준 적용 등의 방안이 고려된다.

2) 안전관리자 업무 개선

현재 우리나라 컨테이너 운영사에서는 위험물에 대한 안전관리자를 회사별 1~3인 정도를 선임해 운영하고 있다. 그리고 안전관리자는 위험물 관리 이외의 추가적인 업무를 겸임하고 있는 실정이다. 해외 터미널 조사 결과 로테르담항에서는 안전관리자가 본업에 집중하는 형태로 되어 있고, 일본에서는 겸임을 실행하고 있다. 다만 일본의 경우 항만 터미널 직원을 대상으로 위험물 자격 교육을 지속적으로 실시해 재직 중 위험물 자격을 취득하는 경우가 많으며, 이에 따른 겸임 및 순환 업무를 진행하는 형태이다.

따라서 위험물의 안전관리를 강화하고, 관련 업무를 확대하는 정책을 실행할 경우 안전관리자의 겸임 금지를 검토할 필요가 있다. 한편, 안전관리자의 업무 완화와 항만위험물 취급자의 안전관리 보편화를 실현하는 목적이라면 안전관리자 자격 취득을 위한 유인 방안이나 지원사업이 필요할 것으로 판단된다.

3) 통합 협의체 및 정책 간담회 개최

부산항의 경우 위험물안전관리자 협의체가 구성되어 각 터미널 안전관리자, 부산지방해양수산청, 부산항만공사, 부산소방본부 등을 중심으로 정기적인 협의회(연 4회)가 개최되고 있다. 이를 통해 부산항의 위험물 안전관리의 정보 공유와 현장의 애로사항 및 해결을 위해 지속적으로 노력하고

있다. 그러나 광양항, 인천항, 평택항 등에서는 위험물 안전관리자의 협의체가 구성되어 있으나, 실질적인 운영이 이루어지지 않거나 통합적인 관리가 되고 있지 않다. 따라서 각 항만의 위험물안전관리자 협의체의 구성과 정기적인 협의회 개최가 진행되어 위험물 컨테이너의 안전관리 실효성을 확보할 필요가 있다.

그리고 전체 컨테이너 항만의 안전관리자로 구성된 통합 협의체가 개최도 필요하다. 이를 통해 우리나라 위험물 컨테이너의 안전관리 현안문제를 공론화하고, 해결 방안이 논의되어야 한다. 이와 더불어 통합 협의체에서 제시된 정책 방안과 법·제도 제·개정 사항 등의 반영될 수 있는 산학연정 정책 간담회도 병행되는 것이 바람직하다.

참고문헌

국내 문헌

강수성(2013), 항만터미널 위험물 관리 개선에 관한 연구: 부산항 H 터미널을 중심으로, 한국해양대학교 학위논문.

국민안전처(2016), 항만 수출입 하역장소의 위험물규제업무 처리지침.

국정기획위원회(2025), 이재명정부 국정운영 5개년 계획(안).

김시곤·안승범(1999), GIS를 활용한 위험물 수송관리시스템개발(울산시 사례연구), 대한교통학회지, 17권 2호, pp.29-54.

김연웅·김시곤(2015), 위험물 운송사고 예방을 위한 안전관리시스템 개발, 대한안전경영과학회지, 17권 3호, pp.105-113.

김연웅(2016), GIS 기반 위험물 운송의 최적안전관리방안 개발, 서울과학기술대학교 학위논문.

김우선 ·최나영환·김대현(2016), 국내 항만위험물 안전관리 체계 개선방안: 연구보고서, 한국해양수산개발원.

김인범 외(2015), 위험물 취급 항만의 소방시설 및 안전관리자 교육현황에 관한 연구, 한국위험물학회지, 3권2호, pp. 1-6.

김태옥 외(2015), 화학물질 물리적 위험성 등급분류를 위한 모델식 개발: 연구보고서, 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원.

노홍승·장소영·이재구(2009), 국제기준과 조화된 위험물운송관리체계 구축방안 연구: 연구보고서, 한국교통연구원.

노홍승·민연주(2012), 위험물질 운송관리 시스템 구축을 위한 실태분석 및 제도정비

방안: 연구보고서, 한국교통연구원.

박동주·정성봉·오정택(2011), 위험물 수송 최적경로 탐색 알고리즘 개발: Efficient Vector Labeling 방법으로, 한국방재학회논문집, 11권 3호, pp.49-56.

부산항만공사(2024), 2023년도 부산항 컨테이너화물 처리 및 수송통계.

신가영 외(2019), 항만 내 컨테이너 위험물 저장 시 위험성 평가 및 개선방안, 한국위험물학회지, 7권1호, pp. 1-9.

여수광양항만공사(2025), 2024 여수광양항 화물 주요 통계.

오재석 외(2018), 빅데이터 기반 위험물 안전운송 통합관리체계 개발: 국가 R&D 연구보고서, 웨이브엠.

윤동하·최용석·김선구(2019), 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 항만위험도 평가에 관한 연구, 해운물류연구, 35권4호, pp. 601-615.

윤수경 외(2018), 항만에서 위험물 운송 중 유해화학물질 누출 위험성에 관한 연구, 한국해양공학회, 32권4호, pp. 272-278.

윤창술(2012), 항만내 위험물관리의 안전도 제고를 위한 법적 대응방안, 법학연구. 20권2호, pp. 69-93.

이덕재 외(2018), 항만 위험·유해화학물질 안전관리 개선방안 연구, 한국방재학회논문집. 18권4호, pp. 333-340.

이봉우 외(2013), 도로운송 위험물의 안전관리에 관한 개선연구, 한국가스학회지, 17권6호, pp. 73-82.

_____(2014), 도로운송 위험물 안전관리기준 개발: 연구보고서, 한국소방산업기술원.

_____(2020), 항만 옥외저장소 위험물의 안전관리 개선 방안, 한국산업융합학회지, 23권3호, pp. 393-401.

이수경 외(2008), 위험물 수송 안전기준 및 체계 구축: 국가 R&D 연구보고서, 서울산업대학원.

이창훈 외(2014), 철도 위험물 수송에 따른 위험도 산정방안, 한국방재학회논문집, 14권6호, pp. 317-324.

조동오 외(1996), 주요 항만의 위험물 관리실태 및 대책: 연구보고서, 한국해양수산개발원.

지상규(2020), IMO항만 위험물 안전운송 및 취급에 관한 권고 규정의 적용을 위한 연구, 법학연구, 20권3호, pp. 603-632.

차정민 외(2016), 울산항 중심의 위험물 하역 항만시설의 소방시설 개선방안에 관한 연구, 한국위험물학회지, 4권2호, pp. 8-13.

최나영환 외(2018), 항만위험물 컨테이너 공급사슬 관리방안 연구: 연구보고서, 한국해양수산개발원.

최재용(2016), 중국 텐진항 폭발사고 사례분석을 통한 대응역량 강화 방안, 한국위험물학회지, 4권1호, pp. 52-56.

팽정광 외(2009), GIS기반 철도 위험물 최적수송경로도출 표준화에 관한 연구, 대한안전경영과학회지, 11권4호, pp.201-211.

한국소방안전원(2025), 위험물실무해설서.

한국환경산업기술원(2022), 생활화학제품 안전관리 이행 지원 매뉴얼.

황만웅 외(2016), 컨테이너 터미널 옥외저장소에서의 액면화재에 대한 피해영향 평가, 한국방재안전학회논문집, 9권2호, pp. 33-42.

해양수산부(2016), 항만 내 위험물 컨테이너 하역 및 적재 매뉴얼.

_____(2018), 제2차 국가항만보안계획.

홍정열(2018), 위험물질 수송차량 고속도로 사고분석 및 구간별 위험도 산정방안, 대한교통학회 제79회 학술발표회, pp. 62-63.

국외 문헌

Baalisampang., et al.(2018), Review and analysis of fire and explosion accidents in maritime transportation, Ocean Engineering, 158, pp. 350-366.

Berman,Verter & Kara(2007), Designing emergency response networks for hazardous materials transportation, Computers & Operations Research, 34(5), pp.1374-1388.

Bohra, A., & Anvari-Moghaddam, A.(2022), A Comprehensive Review on Applications of Multi-Criteria Decision-Making Methods in Power and Energy Systems,

International Journal of Energy Research, 46(4), pp.4088-4118.

Boukachour, Fredouet & Gningue(2011), Building an Expert-System for Maritime Container Security Risk Management, International Journal of Applied Logistics, 2(1), pp.35-56.

Bubbico., et al.(2006), Risk Management of road and rail transport of Hazardous materials in Sicily, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, pp. 32-38.

Bubbico et al.(2009), Preliminary study on the transport of hazardous materials through tunnels, Accident Analysis & Prevention, 41(6), pp. 1199-1205.

B.Y. Kara(2003), Accurate calculation of hazardous materials transport risks, Operations Research Letters, 31(4), pp.285-292.

California Code of Regulations, Title 19, Division 2, Chapters 4 and 4.1, Sections 2620 – 2671.

California Health and Safety Code, Chapter 6.95, Article 1, Sections 25500 – 25519.

Cao & Lam(2019), A fast reaction-based port vulnerability assessment: Case of Tianjin Port explosion, Transportation Research Part A, 128, pp.11-33.

Chattopadhyay, S., & Rodriguez, J. (2018), Multi Criteria Decision Model for Risk Assessment of Transmission and Distribution Assets: A Hybrid Approach Using Analytical Hierarchy Process and Weighted Sum Method, International Journal of Business Analytics, 5(3), pp.33-51.

Chen, J., Del Genio, A. D., Carlson, B. E., & Bosilovich, M. G. (2008). The spatiotemporal structure of twentieth-century climate variations in observations and reanalyses. Part I: Long-term trend. Journal of Climate, 21(11), pp. 2611–2633.

China Maritime Safety Administration(CMSA). (2025.4.14.). "Dongminghao" Fire and Explosion Investigation Report.

Darbra&Casal(2004), Historical analysis of accidents in seaports, Safety Science, 42(2), pp. 85-98.

Dadkar, Nozick & Jones(2010), Optimizing facility use restrictions for the movement of hazardous materials, Transportation Research Part B, 44(2), pp.267-281.

Dimitrios, Maraiti & Panayita(2008), Identification of potential target locations and

attractiveness assessment due to terrorism in the freight transport, Journal of transportation security, 1(3), pp.189-207.

Erkut & Verter(1998), Modeling of Transport Risk for Hazardous Materials, Operations Research, 46(5), pp. 625-642.

Erkut & Ingolfsson(2000), Catastrophe Avoidance Models for Hazardous Materials Route Planning, Transportation Science, 34(2), pp. 165-179.

Glickman, Erkut & Zschocke(2007), The cost and risk impacts of rerouting railroad shipments of hazardous materials, Accident Analysis & Prevention, 39(5), pp.1015-1025.

Karkazis & Boffey(1995), Optimal location of routes for vehicles transporting hazardous materials, European Journal of Operational Research, 86(2), pp. 201-215.

Kreis(2016), Tier 1 Highway Security Sensitive Material Dynamic Risk Management (Doctoral Dissertation), University of Kentucky.

Lear Junior & D'Agosto(2011), Modal choice for transportation of hazardous materials: the case of land modes of transport of bio-ethanol in Brazil, Journal of Cleaner Production, 19(2-3), pp. 229-240.

Leonelli, Bonvicini & Spadoni(2000), Hazardous materials transportation: a risk-analysis-based routing methodology, Journal of Hazard Mater, 71(1-3), pp. 283-300.

Liu, Zhou & Sun(2018), A three-dimensional risk management model of port logistics for hazardous goods, Maritime Policy & Management, 46(6), pp.715-734.

Milazzo., et al.(2009), Risk management of terrorist attacks in the transport of hazardous materials using dynamic geoevents, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 22(5), pp. 625-633.

Mihanovic., etal.(2019.05.), An Overview Of Security Challenges Of Seaport IoT Systems, Conference: 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics.

National Fire Protection Association(2021), NFPA 400: Hazardous Materials Code (2021)

Rosmuller & Gelder (2003), Hazardous materials release analysis : probabilistic input for emergency response organisations, ESREL Conference

Saaty, T. L. (1980), The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill.

Samuel., et al.(2009), Frequency analysis of hazardous material transportation incidents as a function of distance from origin to incident location, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 22(6), pp. 783-790.

US Coast Gard(2011). Security Risk Model Meets DHS Criteria, but More Training Could Enhance Its Use for Managing Programs and Operations(GAO-12-14)

Valipour, Sarvari & Tamosaitiene (2018), Risk Assessment in PPP Projects by Applying Different MCDM Methods and Comparative Results Analysis, Administrative Sciences, 8(4). pp.1-17.

Verma(2009), A cost and expected consequence approach to planning and managing railroad transportation of hazardous materials, Transportation Research Part D, 14(5), pp. 300-308.

Verter & Kara(2002), A GIS-Based Framework for Hazardous Materials Transport Risk Assessment, Risk Analysis, 21(6), pp. 1109-1120.

Zografos., et al. (1989), Multi-Objective Programming Approach for Routing Hazardous Materials, Journal of Transportation Engineering, 115(6).

Zografos & Androutsopoulos(2004), A heuristic algorithm for solving hazardous materials distribution problems, European Journal of Operational Research, 152(2), pp. 507-519.

Zografos & Androutsopoulos(2008), A decision support system for integrated hazardous materials routing and emergency response decisions, Transportation Research Part C, 16(6), pp. 684-703.

国土交通省(2022), 港湾危険物等災害対策編.

小堀将志(2012), 国際海上コンテナの危険物輸送の取り扱いに関して, Safety & Tomorrow No.146.

中华人民共和国国家标准 GB 190-2009.

中华人民共和国交通运输部, 船舶载运危险货物安全监督管理规定.

인터넷 자료

관세청. 통관정보포털(UNIPASS). https://unipass.customs.go.kr(검색일: 2025.4.1.)

교통안전공단, 위험물질운송안전관리시스템, https://hmts.kotsa.or.kr/pt/(검색일: 2025.10.23.)

국립재난안전연구원, 화물열차에 대한 위험에 대해 알아보아요, https://www.ndmi.go.kr/home/sub.do?menukey=6033&mode=view&no=1824781(검색일: 2025.4.8.)

남도방송(2022. 2. 15.), 인화성 물질 에틸리덴 노보르닌 유출, https://www.nbn-news.co.kr/news/articleView.html?idxno=51753(검색일: 2025.5.1.), 원출처: 여수해경.

네이트뉴스(2018. 8. 6.), 부산서 컨테이너에 담긴 농약 주 물질 '삼염화인' 유출, https://news.nate.com/view/20180806n32909?mid=n0000(검색일: 2025.5.1.)

뉴데일리(2021. 6. 3.), 화학물질 컨테이너선 침몰 시작… '지상낙원' 스리랑카 오염 참사, https://www.newdaily.co.kr/site/data/html/2021/06/03/2021060300194.html(검색일: 2025.4.1.)

데일리로그(2015. 9 . 8.), 인천신항서 위험물 적재 탱크로리 폭발… 인명피해는 없어, https://www.dailylog.co.kr/news/articleView.html?idxno=10579(검색일: 2025.5.1.)

부산소방재난본부, 보도자료, https://119.busan.go.kr/index(검색일: 2025.5.1.)

부산일보(2023. 10. 18.), [포토뉴스] 입항 선박 화학물질 유출 폭발·화재도 '이상무', https://www.busan.com/view/busan/view.php?code=2023101817272033005&utm(검색일: 2025.9.3.)

부산항만공사, BPA, '부산항 통합피해복구 실제훈련' 시행, https://www.busanpa.com/kor/Board.do?idx=34057&mCode=MN1445&mode=view&utm(검색일: 2025.9.3.)

산업안전보건연구원, 물질안전보건자료시스템, https://msds.kosha.or.kr/(검색일: 2025.10.23.)

시흥환경운동연합, 시흥시 정왕동 또 불산 누출 사고-불산 실은 컨테이너 전복…40ℓ 유출, https://sh.ekfem.or.kr/posts/2xt23eb(검색일: 2025.4.8.)

울산매일UTV(2021.12.15.), 울산 염포부두 선박 폭발·화재 사고 재판 내년 초 본격화, https://www.iusm.co.kr/news/articleView.html?idxno=932434(검색일: 2025.5.8.)

여수해양경찰서, 보도자료, https://www.kcg.go.kr/yeosucgs/main.do(검색일: 2025.5.1.)

연합뉴스(2017. 12. 1.), 탱크로리 부산신항서 넘어져…위험물질 톨루엔 희석액 유출, https://m.yonhapnewstv.co.kr/news/MYH20171201002800038(검색일: 2025.5.1.)

연합뉴스(2013. 5. 18.), 시흥서 불산 실은 컨테이너 전복…40ℓ 유출(종합), https://www.yna.co.kr/view/AKR20130518034653061(검색일: 2025.4.8.)

충청남도소방본부, 고시공고, https://www.cn119.go.kr/(검색일: 2025.5.1.)

한국가스공사 보도자료(2017. 12. 5.), 가스공사, 가스누출 대응 현장조치 행동매뉴얼 제정한다, https://www.kogas.or.kr/site/koGas/bbs/View.do?cbIdx=41&Key=1010202000000&boardIdx=34932&searchValue=&searchKey=&pageOffset=&pageIndex=(검색일: 2025.10.25.)

한국건설신문(2017. 10. 20.), 위험물 컨테이너 실은 화물열차 관리 무방비, http://www.conslove.co.kr/news/articleView.html?idxno=47275(검색일: 2025.4.8.)

한국무역통계진흥원. 무역통계정보포털(TRASS). https://trass.kita.net(검색일: 2025.4.1.)

한국해사위험물검사원, 위험물 안전운송 전문교육, https://www.komdi.or.kr/ukiwi/biz/edu/guide/ukiwiBizEduGuideProfessional.do(검색일: 2025.4.20.)

한국해사위험물검사원. IMDG Code 위험물 목록 검색. https://www.kcsdi.or.kr(검색일: 2025.8.1.)

한국해사위험물검사원. 위험물검사 목록 검색. www.komdi.or.kr/ukiwi/biz/dngr/guide/ukiwiBizDngrGuide.do(검색일: 2025.10.23.)

해양수산부, 2024년 해양수산부 재난 위기관리 매뉴얼 현황, https://www.mof.go.kr/doc/ko/selectDoc.do?docSeq=57351&=&menuSeq=427&bbsSeq=2(검색일 2025.4.20.)

해양수산부, (동정) 부산항 위기 대응을 위한 통합방호훈련 실시, https://www.mof.go.

kr/doc/ko/selectDoc.do?bbsSeq=10&docSeq=58339&listUpdtDt=2024-09-20++10%3A00&menuSeq=971&utm(검색일: 2025.9.3.)

해양수산부, 태풍(매미)에 의한 부산항 컨테이너크레인 피해원인 조사용역 결과 발표, 대한민국 정책브리핑, https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=55011761(검색일: 2025.8.1.)

해양수산부. 항만물류정보시스템(PORT-MIS). https://new.portmis.go.kr(검색일: 2025.4.1.)

해양수산부. 항만물류정보시스템 사용자 매뉴얼(PORT-MIS).https://new.portmis.go.kr/portmis/websquare/websquare.jsp?w2xPath=/portmis/w2/main/index.xml&page=/portmis/w2/cm/sys/UI-PM-CO-002-12.xml&menuCd=M2103&dataSn=&menuNm=%EC%82%AC%EC%9A%A9%EC%9E%90%EB%A7%A4%EB%89%B4%EC%96%BC&menuId=0422(검색일: 2025.10.23)

행정안전부 보도자료(2025.6.30.), 2026년 재난안전예산, 국민이 안전한 생활환경 조성과 AI 등을 활용한 재난 예방에 집중 투자, https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type010/commonSelectBoardArticle.do?bbsId=BBSMSTR_000000000008&nttId=118568(검색일: 2025.9.5.)

행정안전부, 위기관리 매뉴얼, https://www.mois.go.kr/frt/sub/a06/b11/crisisManual/screen.do(검색일: 2025.4.20.)

화학물질종합정보시스템, 화학물질 사고·사례, https://icis.me.go.kr/pageLink.do;jsessionid=Lw3YhCApvu22JxsulVkt6kvJ.icis_ipotal21(검색일: 2025.7.2.)

환경일보(2022. 6. 14.), 부산항만소방서, '위험물저장시설 합동소방훈련' 실시 https://www.hkbs.co.kr/news/articleView.html?idxno=681163&utm(검색일: 2025.9.3.)

YTN(2018. 5. 22), 서산 대산항에서 탱크로리와 컨테이너 차량 충돌, https://www.ytn.co.kr/_ln/0115_201805220301405398(검색일: 2025.5.1.)

Towercrane Tistory, 부산항 태풍 매미 크레인 피해 사례, https://towercrane.tistory.com/246(검색일: 2025.4.1.)

ABC news(2021. 5. 17.), Freight train hauling fertilizer derails in Iowa, dozens of residents evacuated, https://abcnews.go.com/US/freight-train-hauling-fertilizer-derails-iowa-residents-evacuated/story?id=77727122(검색일: 2025.4.8.)

BBC(2020. 8. 12.), Beirut explosion: What we know so far, https://www.bbc.com/news/world-middle-east-53668493(검색일: 2025.4.1.)

Boston Herald(2017.11.08.), Burning truck on I-495 filled with 'nasty stuff', https://www.bostonherald.com/2017/11/08/burning-truck-on-i-495-filled-with-nasty-stuff/(검색일: 2025.4.8.)

CBC News(2014.10.08.), Major train derailment and fire near Wadena, Sask., https://www.cbc.ca/news/canada/saskatchewan/major-train-derailment-and-fire-near-wadena-sask-1.2791337(검색일: 2025.4.8.)

CBS News (Sacramento)(2024.2.14.), Crews battle train car fires in Sutter County involving lithium-ion car batteries, https://www.cbsnews.com/sacramento/news/sutter-county-train-car-fires-lithium-ion-car-batteries/(검색일: 2025.4.8.)

China Maritime Safety Administration, Official Notices and Maritime Safety Information, https://en.msa.gov.cn/(검색일: 2025.4.8.)

CNN(2024.07.05.), Train derailment in North Dakota forces evacuations and ignites chemical fire, https://edition.cnn.com/2024/07/05/us/north-dakota-train-derailment/index.html(검색일: 2025.4.8.)

Cotac Nederland B.V., https://www.cotac-group.com/locations/europe/rotterdaml(검색일: 2025.4.8.)

De Rijke-Location Botlek, https://derijke.com/en/warehousing-botlek(검색일: 2025.4.8.)

De Rijke-Location Spijkenisse, https://derijke.com/en(검색일: 2025.4.8.)

Dunk Tank Cleaning Services B.V., https://dunkrotterdam.nl(검색일: 2025.4.8.)

Euronews(2025.04.27.), Iran: Massive explosion rocks Shahid Rajaee port in Bandar Abbas, https://www.euronews.com/2025/04/27/iran-massive-explosion-in-shahid-rajaee-port-in-bandar-abbas(검색일: 2025.4.8.)

EuroPean Commisssion. https://cinea.ec.europa.eu/programmes/connecting-europe-facility/transport-infrastructure_en(검색일: 2025.10.23.)

FEMA, https://www.fema.gov/grants/preparedness/port-security(검색일: 2025. 10. 23.)

Google Maps, Google Maps Platform, https://www.google.com/maps/(검색일: 2025. 1.20.)

The Independent(2023.09.16.), Berlin fire: Huge blaze at recycling plant sends smoke cloud over city, https://www.independent.co.uk/news/berlin-ap-b2401735.html(검색일: 2025.4.8.)

INSPENET News(2024.11.27.), Fire burning on container carrier in Sri Lanka successfully extinguished, https://inspenet.com/en/noticias/fire-burning-container-carrier-sri-lanka-saved/(검색일: 2025.4.8.)

IntVeen Tank Cleaning, https://www.intveen.nl/en/services/tank-cleaning-europoort(검색일: 2025.4.8.)

Klinge Corporation(2023.08.10.), What Caused the Tianjin Explosions?, https://klingecorp.com/blog/what-caused-the-tianjin-explosions/(검색일: 2025.4.8.)

Los Angeles Times(2024.09.27.), Vincent Thomas Bridge, Highway 47 still closed after crash, big rig fire, https://www.latimes.com/california/story/2024-09-27/vincent-thomas-bridge-highway-47-still-closed-after-crash-big-rig-fire(검색일: 2025.4.8.)

Marine Insight, Watch: Massive Explosion Erupts As Container Ship Suddenly Blows Up At China's Ningbo Port, https://www.marineinsight.com/shipping-news/watch-massive-explosion-erupts-as-container-ship-suddenly-blows-up-at-chinas-ningbo-port/(검색일: 2025.4.1.)

Maritime Shipcleaning Rotterdam, https://www.maritimeshipcleaning.nl(검색일: 2025.4.8.)

Mira Safety. Tianjin Explosion: What Happened? https://www.mirasafety.com/blogs/news/tianjin-explosion (검색일: 2025.4.8.).

National Geographic, Jan 17, 1995 CE: Kobe Earthquake, https://education.nationalgeographic.org/resource/kobe-earthquake/(검색일: 2025.4.8.)

Neele-Vat Logistics, https://www.neelevat.com(검색일: 2025.4.8.)

North Dakota Monitor(2024. 8. 2), Train derailment may have involved flawed rail cars, report says, https://northdakotamonitor.com/2024/08/02/train-

derailment-may-have-involved-flawed-rail-cars-report-says/(검색일: 2025.4.8.)

NPR(2023.03.10.), Firefighter safety concerns grow following recent train derailments, https://www.npr.org/2023/03/10/1162229618/fire-fighter-safety-train-derailment(검색일: 2025.4.8.)

Oceanwide Logistics Global Network (OLGN), Undeclared toxic chemicals likely caused KMTC Hong Kong fire, https://www.olgn.org/as-daily-undeclared-toxic-chemicals-likely-caused-kmtc-hong-kong-fire/(검색일: 2025.4.8.)

Port of Rotterdam, Legislation and Regulations, https://www.portofrotterdam.com/en/legislation-and-regulations(검색일: 2025.5.1.)

Port of Rotterdam, Pressroom: Photo Gallery, https://www.portofrotterdam.com/en/pressroom/photo-gallery(검색일: 2025.5.1.)

QMS Marine Surveyors, SANY STS Crane Collapse at Singapore's Tuas Port: Technical Analysis , https://www.qmsmarine.com/sany-sts-crane-collapse-at-singapores-tuas-port/?utm_source=chatgpt.com(검색일: 2025.8.10.)

SDI Logistics, Lithium Battery Fire Forces Multiple Ports, https://www.sdilogistics-shippings.com/news/lithium-battery-fire-forces-multiple-ports-in-81211670.html(검색일: 2025.4.8.)

Telegrafi (2023.08.30.), Chain accident in Germany between five trucks, one of them was transporting hazardous materials – two people lost their lives, https://telegrafi.com/en/chain-accident-in-Germany-between-five-trucks%2C-one-of-them-was-transporting-dangerous-materials%2C-two-people-lost-their-lives/(검색일: 2025.4.8.)

UK Gov(2020.), Port Infrastructure Fund Final , https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6062f3498fa8f55b6de6a063/20201002-Prospectus-PIF-Port-Prospectus-vFINAL(검색일: 2025.10. 23.)

WorldCargo news(2025. 4. 16.), Ningbo explosion report pins blame on inadequate planning of dangerous cargo on board YM Mobility, https://www.worldcargonews.com/business/2025/04/ningbo-explosion-report-pins-blame-on-inadequate-planning-of-dangerous-cargo-on-board-ym-mobility/(검색일: 2025.4.8.)

YahooNews, After I-15 fire, new rules proposed for lithium-ion battery transport, https://www.yahoo.com/news/15-fire-rules-proposed-lithium-201334566.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAFYDKXU8kQoPfLcVwLvvGoEsJzCuQP1Gmaj3PwsrnuRxXzYdHIK2dCbF9wyfFMtqL2eOvD9XRv91dmGLhv1tIEMPtduC7nRx4fdkfZiFIVph8uBY8P3G4T22wPrBLpTIrwqnHbwttRwmJE2JZwzU-AvT7J7dH-uVJ7duo10CNX2G(검색일: 2025.4.8.)

e-Gov 法令検索, 자료명, https://laws.e-gov.go.jp/law/(검색일 : 2025.4.21.)

消防試験研究センター(일본소방시험연구센터), 자료명, https://www.shoubo-shiken.or.jp/(검색일: 2025.5.3.)

CCTV News(2015.08.13.), 天津港爆炸事故已致44人遇难 12名消防员牺牲, https://news.cctv.com/2015/08/13/VIDE1439467375953508.shtml(검색일: 2025.4.8.)

交通运输部, 交通运输行业重大事故隐患判定标准汇编. https://jtt.hunan.gov.cn/jtt/jjzdgz/aqsc/hmd/202506/t20250616_33709669.html(검색일:2025.9.1.)

交通运输部, 港口危险货物安全管理规定(2023년 개정). https://jtw.sh.gov.cn/qtflfggz/20230831/11ad5dc71f1b44f0ac99ff1722bc6a57.html(검색일:2025.9.1.)

大洋网(2024.4.26.), 广州海事部门自主研发"危险货物快筛系统". https://news.dayoo.com/guangzhou/202404/26/139995_54661860.htm(검색일:2025.9.1.)

防爆柜(2024.9.11.), 宁波舟山港集装箱爆燃：举一反三加强危险品运输安全！. https://www.zoyetsafe.com/news/421.html(검색일:2025.9.1.)

上海市交通委员会, 上海市交通委员会关于延长《上海港危险货物集装箱港内堆存作业管理规定》有效期的通知. https://jtw.sh.gov.cn/2025ngfxwj/20250225/4e7b1eb1d3ed416db671086f402676a8.html(검색일:2025.9.1.)

上海市交通委员会, 船舶载运危险货物安全监督管理规定. https://jtw.sh.gov.cn/qtflfggz/20250227/4f546cb02a72435099f214ddaf519f14.html(검색일:2025.9.1.)

上海市交通委员会, 关于《上海港危险货物集装箱港内堆存作业管理规定》的解读. https://jtw.sh.gov.cn/zcjd/20250225/eeb07f67c20347d5a80d80ef01206c8c.html(검색일:2025.9.1.)

上海市应急管理局, 上海市危险化学品追溯码注册网址和流程有操作指南吗？(便民问答, 2025-06-14 발표). https://yjglj.sh.gov.cn/xxgk/xxgkml/zchd/zcjd/20240423/44896da002ed41a3ac5df969cef43011.html(검색일:2025.9.1.)

上海市应急管理局, 上海市应急管理局关于印发《上海市应急管理局2025年工作要点》的通知. https://yjglj.sh.gov.cn/xxgk/zfxxgk/zcwj/aqscgl/20250403/427a958c6ac7483e8f9dc276f39588ac.html(검색일:2025.9.1.)

上海市应急管理局, 上海市应急管理局关于印发2024年度上海市危险化学品安全监管重点工作任务分解表的通知 (2024-04-01 발표). https://yjglj.sh.gov.cn/xxgk/zfxxgk/zcwj/aqscgl/20240407/c6fedbee4283486b87609d6eeaf62e14.html(검색일:2025.9.1.)

上海市应急管理局, 关于推进基于"一企一品一码"的危险化学品出入库及危险货物装卸信息化管理工作的通知 (沪应急危化[2024]12号, 2024-02-09 발표). https://yjglj.sh.gov.cn/xxgk/zfxxgk/zcwj/aqscgl/20240218/9c7db26fd6bb45d4a278fd5c2b285444.html(검색일:2025.9.1.)

新浪新闻(2025.4.15.), 宁波北仑码头货轮火灾爆炸事故调查报告公布：危险货物热失控导致. https://news.sina.cn/2025-04-15/detail-inetfaiy8637439.d.html?from=wap(검색일:2025.9.1.)

新船运新闻(2025.4.29.), 浙江宁波〝8·9〞集装箱船火灾爆炸事故调查报告出炉, https://xindemarinenews.com/topic/hangyunanquan/2025/0429/59371.html(검색일:2025.9.1.)

广州日报(2024.9.23.), 连续查处四起！广州海事部门严厉打击船载集装箱危险货物谎报瞒报行为. https://news.qq.com/rain/a/20240923A05XLP00(검색일:2025.9.1.)

广州港股份有限公司, 广州港南沙港区三期工程危险货物集装箱堆场工程竣工环境保护验收公示, https://www.gzport.com/foreground/news-win.html?id=f62b57174eb64f2ca8a32311ead60990(검색일:2025.9.1.)

天津市交通运输委员会, 天津港危险货物集装箱作业能力持续提升助推港产城融合发展走深走实. https://jtys.tj.gov.cn/ZWXX2900/BMGZ8573/202404/t20240408_6594037.html(검색일:2025.9.1.)

법률

국토교통부령. 「위험물철도운송규칙」(국토교통부령 제1324호, 2024.4.19.). https://www.law.go.kr/행정규칙/위험물철도운송규칙(열람일: 2025.4.1.).

해양수산부령. 「위험물 선박운송 및 저장규칙」(해양수산부령 제486호, 2022.2.17.). https://www.law.go.kr/행정규칙/위험물선박운송및저장규칙(열람일: 2025.6.15.).

대한민국 법률. 「고압가스안전관리법」(법률 제18269호, 2021.6.15.). 법제처 국가법령정보센터. https://www.law.go.kr/법령/고압가스안전관리법 (열람일: 2025.4.1.).

대한민국 법률. 「농약관리법」(법률 제20231호, 2024.2.6.). https://www.law.go.kr/법령/농약관리법(열람일: 2025.4.1.).

대한민국 법률. 「산업안전보건법」(법률 제21065호, 2025.10.1.). https://www.law.go.kr/법령/산업안전보건법(열람일: 2025.4.1.).

대한민국 법률. 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」(법률 제20524호, 2024.10.22.). https://www.law.go.kr/법령/선박의입항및출항등에관한법률(열람일: 2025.4.1.).

대한민국 법률. 「원자력안전법」(법률 제20533호, 2024.10.22.). https://www.law.go.kr/법령/원자력안전법(열람일: 2025.4.1.).

대한민국 법률. 「위험물 선박운송 및 저장규칙」(해양수산부령 제486호, 2022.2.17.). https://www.law.go.kr/법령/위험물안전관리법(열람일: 2025.4.1.).

대한민국 법률. 「위험물안전관리법」(법률 제20231호, 2024.2.6.). https://www.law.go.kr/법령/위험물안전관리법(열람일: 2025.4.1.).

대한민국 법률. 「자연재해대책법」(법률 제21065호, 2025.10.1.). https://www.law.go.kr/법령/자연재해대책법(열람일: 2025.4.1.).

대한민국 법률. 「총포·도검·화약류등단속법」(법률 제17689호, 2020.12.22.). https://www.law.go.kr/법령/총포·도검·화약류등단속법(열람일: 2025.4.1.).

대한민국 법률. 「폐기물의 국가 간 이동 및 그 처리에 관한 법률」(법률 제17984호, 2021.4.1.).https://www.law.go.kr/법령/폐기물의국가간이동및그처리에관한법률(열람일: 2025.4.1.).

대한민국 법률. 「항만운송사업법」(법률 제19501호, 2023.6.20.). https://www.law.go.kr/법령/항만운송사업법(열람일: 2025.8.1.).

대한민국 법률. 「화학물질관리법」(법률 제20231호, 2024.2.6.). https://www.law.go.kr/법령/화학물질관리법(열람일: 2025.4.1.).

화학물질안전원고시. 「유해화학물질 차량 운송시설 설치 및 관리에 관한 고시」(제2024-9호, 2024.4.30.). https://www.law.go.kr/행정규칙/유해화학물질차량운송시설설치및관리에관한고시(열람일: 2025.4.1.).

화학물질안전원고시. 「항만구역 내 유해화학물질 보관시설 설치 및 관리에 관한 고시」(제2022-21호, 2022.12.23.). https://www.law.go.kr/행정규칙/항만구역내유해화학물질보관시설설치및관리에관한고시(열람일: 2025.4.1.).

US code 49, Chapter 51, Transportation of Hazardous Material

Title 49 of the CFR - Transportation

European Chemicals Agency (ECHA). Guidance on the Application of the CLP Criteria. (Accessed year needed).

International Maritime Organization (IMO). IMDG Code Classification System.

International Maritime Organization (IMO). International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code. Latest edition.

National Fire Protection Association (NFPA). (2021). NFPA 400: Hazardous Materials Code.

国家标准化管理委员会, 常用危险化学品贮存通则 (GB 15603-2022).

国家标准化管理委员会, 危险货物分类和品名编号 (GB 6944-2025).

国家标准化管理委员会, 危险货物包装标志 (GB 190-2009).

国家标准化管理委员会, 危险货物品名表 (GB 12268-2025).

国家标准化管理委员会, 港口作业安全要求 第3部分：危险货物集装箱 (GB 16994.3-2021).

全国人民代表大会常务委员会, 危险化学品安全法(草案).

中国国家铁路局, 铁路危险货物承运人资质许可办法.

中国国家铁路局, 铁路危险货物运输安全监督管理规定.

中国国家铁路局, 铁路危险货物运输应急预案.

中华人民共和国交通运输部, 道路危险货物运输管理规定.

中华人民共和国交通运输部, 船舶载运危险货物安全监督管理规定 (交通运输部令第14号, 2024.12.31.공포, 2025.3.1. 시행).

中华人民共和国交通运输部, 危险货物集装箱港口作业安全规程 (JT 397-2007).

中华人民共和国交通运输部, 危险货物道路运输安全管理办法.

中华人民共和国交通运输部, 港口危险货物集装箱堆场设计规范 (JTS 176-2020).

中华人民共和国应急管理部, 国家突发公共事件总体应急预案 (2025.2.25. 개정).

中华人民共和国应急管理部, 危险化学品登记管理办法.

中华人民共和国应急管理部, 中华人民共和国安全生产法 (2021.6.10. 개정).

中华人民共和国应急管理部, 危险货物集装箱港口作业安全规程, JT 397-2007

中华人民共和国应急管理部, 港口危险货物集装箱堆场设计规范, JTS 176-2020

中华人民共和国应急管理部, 港口作业安全要求 第3部分: 危险货物集装箱, GB 16994.3-2021

中华人民共和国应急管理部, 港口危险货物集装箱堆场技术标准

시청각 자료

국제신문(2018. 8. 7.), 부산신항 4부두서 유독물질 유출사고, https://www.youtube.com/watch?v=dEoCqHOXVQA(검색일: 2025.5.1.)

부 록

1. 선행연구 현황

■ 국내 문헌

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
관리체계 구축 및 개선	1	• 과제명: 주요항만의 위험물 관리실태 및 대책 • 연구자(연도): 조동오(1996) • 주요 항만위험물 안전성 확보를 위한 종합적 대책 제시	• 전문가 설문조사 및 문헌연구 • 현장 실태 조사 • 국내외 법규 조사 및 사례 연구	• 위험물 관련 국내외 법규 조사 • 주요 항만위험물 실태, 문제점 분석 • 국외 위험물 취급현황과 시사점 조사 • 위험물관리제도, 비상대응체제, 위험물취급자 교육제도의 개선방안 등 제시
	2	• 과제명: GIS를 활용한 위험물 수송관리 시스템개발(울산시 사례 연구) • 연구자(연도): 김시곤·안승범(1999) • 공로 위험물 운송 과정에서 경로별 위험도를 분석하고, 위험물 사고로 인한 피해를 최소화하기 위한 대책을 제시하며, 이를 자동화 및 통합적으로 관리할 수 있는 의사결정지원시스템 형태의 위험물 수송관리시스템을 개발	• 설계 모형 검증 및 실험 수행 • 각 링크별 교통량, 사고 데이터, 위험물 사고 시 피해영향 등을 고려한 경로별 위험도 분석 모형 설계 • 위험도 계산과 경로 분석 작업의 자동화를 위해 GIS 기술 적용 • 위험물질 운송이 활발한 울산지역을 대상으로 시스템 적용 및 모형 검증 실험 진행	• 위험물 수송의 경로별 위험도 분석과 사고 저감 대책 및 피해 최소화 대책을 통합적으로 수행할 수 있는 GIS 기반 의사결정지원시스템을 개발 및 울산지역에 적용해 시스템의 실효성을 검증

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
	3	• 과제명: 위험물 수송 안전기준 및 체계 구축 • 연구자(연도): 이수경 외(2007) • 철도 위험물 수송 관련 안전기준 및 안전체계 구축	• 문헌연구 • 국내외 사례 연구 • 현지조사	• 위험물 수송 사고 피해 영향 분석 • 위험물 수송사고 평가 소프트웨어 개발 • 위험경감대책, 테러대응방안, 수송사고 예방 체크리스트 개발 • 위험물 수송 안전기준 개발
	4	• 과제명: 국제기준과 조화된 위험물운송관리 체계 구축방안 연구 • 연구자(연도): 노호승 · 장소영·이재구(2009) • 국제기준에 부합하는 위험물 운송 관리 체계 마련	• 문헌연구 • 국내 위험물 운송 관련법, 운송 현황 조사 • 국내외 사례 연구	• 국내 위험물 운송 관련법, 운송 현황 분석 • 위험물질운송 관련 국제기준 및 국외규정 등 사례 분석 • 위험물 관련 법률 검토, 개정 방안
	5	• 과제명: 국내 항만위험물 안전관리 체계 개선방안 • 연구자(연도): 김우선·최나영환·김대현(2016) • 국내 항만위험물 관리 체계 문제점 분석 및 개선방안 제시	• 전문가 설문조사 및 문헌연구 • 국내외 사례 연구 등	• 국내 항만위험물 관리 현황 조사 • 안전관리 방안 도출을 계층분석 실시 • 항만위험물 리스크 평가 • 항만위험물 개선방안 제시
	6	• 과제명: 항만터미널 위험물 관리 개선에 관한 연구 • 연구자(연도): 강수성(2013) • 항만 내 항만위험물 관리 실태 평가, 선진 안전관리 시스템 구축을 위한 제도 개선방안 제시	• 전문가 설문조사 및 문헌연구 • 국내외 사례 연구	• 위험물안전관리자 자격기준 강화 • 전문교육기관 설립 필요성 제시 • 위험물 컨테이너 점검 실효성 강화 • 단일 위험물 정보시스템 제안
	7	• 과제명: 항만위험물 컨테이너 공급사슬 관리방안 연구 • 연구자(연도): 최나영환 외(2018) • 위험물 컨테이너에 대한 공급사슬상 연계방안 제시 및 항만 현장의 실태 조사를 통해 관리상 문제점 조사·분석	• 문헌연구 • 국내외 전문가 면담 조사 • 위험물관리담당자 설문조사 등	• 위험물 컨테이너 관리 체계 검토 • 위험물 컨테이너 관리실태 조사 및 문제점 도출 • 해외 위험물 컨테이너 공급사슬 관리 체계 사례 분석 • 위험물 컨테이너 관리방안 제시

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
	8	• 과제명: 항만 위험 · 유해 화학물질 안전관리 개선방안 연구 • 연구자(연도): 이덕재 외 (2018) • 국내에서 발생한 항만의 HNS 화학사고를 중심으로 관리와 사고 대응의 문제점을 고찰해 항만 HNS 안전관리 개선방안 제시	• 문헌연구 • 실태조사 • 전문가 자문	• 항만 HNS 관리와 사고 대응의 문제점 • 항만 HNS 안전관리의 개선방안
	9	• 과제명: 울산항 중심의 위험물 하역 항만시설의 소방시설 개선방안에 관한 연구 • 연구자(연도): 차정민 외 (2018) • 항만화재의 특수성을 고찰하고, 국내에서 유류 및 액체화물의 물동량이 가장 많은 울산항을 중심으로 항만시설의 소방시설 현황 현장조사를 통해 국내 실정에 맞는 위험물 하역 항만의 소방안전 확보 방안 제시	• 문헌연구 • 실태조사	• 항만화재의 특수성 고찰 • 울산항 위험물 하역 항만시설의 소방시설 현황 • 항만화재의 특수성을 고려한 소방시설 개선방안
	10	• 과제명: 항만 옥외저장소 위험물의 안전관리 개선 방안 • 연구자(연도): 이봉우 외 (2020) • 국내 포장 위험물의 현황 및 선박안전법과 위험물안전관리법, 화학물질관리법이 중복되는 위험물의 사각지대인 항만저장소의 국내외 현황을 분석해 문제점을 도출하고 개선방안 제시	• 문헌연구 • 법률 검토 • 전문가 자문	• 위험물 해상 운송 관련 국제규정 • 위험물 해상 운송 관련 국내규정 • 항만터미널 안전관리 세부지침 • 유해화학물질 저장소의 안전관리 규정 • 위험물질 해상 운송 물동량 현황 • 항만위험물 안전관리의 문제점 • 항만위험물 안전관리의 개선방안 • 정책제언

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
사고 예방 및 대응 체계 강화	11	• 과제명: GIS기반 철도 위험물 최적수송 경로도출체계 구축에 관한 연구 • 연구자(연도): 팽정광(2010) • GIS를 활용해 철도 위험물 최적 수송 경로 도출을 위한 표준화된 7단계 위험 관리 방법론 및 사고 확률과 결과를 종합적으로 고려한 위험 감소 방안 제시	• 위험도 분석 및 평가, 시뮬레이션 분석 • GIS 기반 데이터베이스 구축 – 철도 경로 및 위험물 운송 데이터를 GIS에 통합해 분석 기초 마련 • 각 링크별 사고 확률 계산: 데이터 기반으로 사고 확률 도출 • 위험물 유형별 결과 분석 – 유형별 사고 시 영향 결과를 정량적으로 평가 • 위험 수준 결정 – 사고 확률과 결과를 조합해 위험 수준 산정 • 위험 완화 대안 분석 – 다양한 대안 경로 시나리오 평가 • 대안별 효과 측정 – 각 대안의 효율성과 효과를 정량적으로 비교 • ALARP 기준 실행 계획 수립 – 수용 가능하며 낮은 위험 수준에서 실행 가능성을 검토	• 철도 위험물 수송에서 GIS를 활용해 사고 확률과 결과를 정량적으로 평가하고, 위험을 효과적으로 완화할 수 있는 7단계 표준화 방법론을 개발 • 위험물 유형별로 결과를 자동 평가하며, 최적 경로를 도출해 수송 안전성을 강화하고 경로 선택의 효율성을 높이는 데 기여
	12	• 과제명: 위험물 수송 최적 경로 탐색 알고리즘 개발 : Efficient Vector Labeling방법으로 • 연구자(연도): 박동주·정성봉·오정택(2011) • 위험물 운송 경로 설정 시 공공의 안전과 민간 운송 효율성을 동시에 고려해 위험도와 통행시간을 최소화하고, 경로 중복성을 관리할 수 있는 Efficient Vector Labeling (EVL) 알고리즘을 개발하고 적용	• 위험도 분석 및 평가, 시뮬레이션 분석 • 테스트 베드 네트워크 구축 – 부산에서 고양까지 주요 도시를 연결하는 가상의 네트워크 생성 및 링크별 위험도와 통행시간 설정 • EVL 알고리즘 적용 – 최대 허용 위험도(최단 경로의 1.5배)와 최대 허용 통행시간(최단 경로의 1.6배)을 기준으로 위험도와 통행시간을 동시 고려한 최적 경로 탐색	• 위험도와 통행시간을 동시에 고려한 EVL 알고리즘을 통해 위험물 운송에서 공공 및 민간 요구를 균형 있게 반영하는 최적 경로를 제시 • 특히, 대안 경로 간 중복도를 고려해 기존 알고리즘의 한계를 극복했으며, 사용자가 상황에 맞게 허용 위험도 및 통행시간을 조절할 수 있는 유연성을 제공 • 향후 실제 네트워크 데이터와 동적 속성을 적용해 추

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
		가능성을 검증	• 비교 분석 – 위험도, 통행시간만을 고려한 기존 K-최적 경로 탐색 알고리즘과 EVL 알고리즘 결과 비교 • 효과 척도 평가 – 총 통행시간 비율(TTTROD), 총 위험도 비율(TRROD), 대안 경로 간 중복도(RSij)로 EVL 알고리즘의 효율성 검증	가 검증 및 개선이 필요함을 제언
	13	• 과제명: 위험물 안전운송 통합관리시스템 개발 • 연구자(연도): 권용장 외 (2012) • 국내 위험물질 운송관리 체계를 효율적으로 구축하고, 실시간 운송 모니터링 및 사고 대응을 위한 국가 위험물질 운송안전 관제시스템을 설계하며, 이를 지원하기 위한 법·제도 개선 방안을 제시	• 실태조사, 문헌연구, 법률 검토 • 위험물질 운송 현황 분석 – 주요 산업단지 및 위험물질 운송 현황 데이터 수집 및 분석 • 법·제도 검토 – 국내외 위험물질 관리 법규 및 제도 비교, 국내 법적 및 행정적 문제점 도출 • 관리 체계 설계 – 위험물질 운송관리 시스템 설계 및 정보화 서비스 구축 방안 도출 • 추진 과제 설정 – 위험물질 운송관리 체계 구축을 위한 12개 과제 제안 및 우선순위 평가	• 국내 위험물질 운송관리 체계의 실질적 개선을 목표로 해 법적, 행정적, 기술적 접근을 병행 • 위험물질 운송 단계별 주요 추진 과제를 정의하고, 각 과제의 시급성과 중요도를 평가해 실행 가능한 관리 방안을 도출 • 위험물질 운송 실태 조사 결과, 대부분의 위험물질은 도로운송을 통해 유통되고 있으며, 주요 산업단지 중심으로 분포되어 있음이 확인 • 또한 국내 위험물 관리 법규는 다양한 부처와 법령에 산재되어 있어 통합적 관리 체계가 부족하며, 국제 규정과 불일치한 점이 혼란을 초래하고 있음을 지적 • 이를 해결하기 위해 위험물질 운송 정보화 시스템을 구축하고, 데이터베이스 통합 및 법적 근거 마련을 통해 통합 관리 및 사고 예방을 목표로 설정 • 특히, 시스템 설계는 위험물질의 실시간 추적, 사고

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
				이력 관리, 관계 부처 간 정보 연계 등 전주기적 관리 기능을 포함하며, 효율적인 사고 대응 체계 구축에 중점
	14	• 과제명: 위험물 운송관리 시스템 구축을 위한 실태분석 및 제도정비 방안 • 연구자(연도): 노홍승 외 (2012) • 첨단 정보통신 기술을 활용해 위험물질 운송을 실시간 모니터링하고 안전하게 관리할 수 있는 국가위험물질 운송안전 관제시스템을 구축하고, 이 시스템의 운영 및 법·제도 개선을 포함한 체계적 실행 방안을 제시	• 실태 조사, 문헌연구, 사례연구, 법률검토 • 주요 위험물질별 국내 기종점 및 유통경로 실태 조사 • 국가 위험물 물류 체계 및 관제 시스템 개념 정의 • 법·제도적 문제점 분석 및 개선 방안 도출 • 시범사업 범위 규정 및 조직 운영 방안 설계	• 국가적 관점에서 위험물질 운송관리 체계의 새로운 개념을 규정하고, IT 기술을 활용한 위험물 물류 모니터링 시스템의 개발과 실행 방안을 제안 • 주요 위험물질의 국내 기종점과 유통경로를 조사해 국내 운송실태를 분석하고, 이를 기반으로 위험물 운송의 체계적 관리를 위한 통합 시스템 구현 방향을 설계 • 또한, 정보화전략계획(ISP) 수립을 통해 시스템 운영을 위한 법·제도적 개선 방안을 제시 • 정부와 민간의 역할을 명확히 구분하고, 위험물 물류 관리의 효율성을 극대화할 수 있는 국가적 관제 시스템의 실행 가능성을 평가
	15	• 과제명: 도로운송 위험물의 안전관리에 관한 개선연구 • 연구자(연도): 이봉우 외 (2013) • 국내 도로운송 위험물의 안전관리 실태를 분석하고, 국제운송위험물규칙(UN-RTDG)과의 비교를 통해 법·제도의 개선, 위험물 분류 표준화, 통일된 운송 표시 방안을 제시	• 문헌연구, 법률검토 • 국내 도로운송 위험물의 현황과 사고 사례조사 • 관련 법·제도 분석 및 문제점 도출 • 국제운송위험물규칙(UN-RTDG)과 비교를 통한 개선 방안 도출 • 분류 표준화 및 운송 표시 개선 방안 제안	• 도로운송 위험물의 높은 사고 빈도를 배경으로, 국내 현황과 국제 기준 간의 격차를 분석해 개선점을 제안 • 국내 현황에서는 법령의 복잡성과 표준화 부족이 주요 문제로 지적되었으며, UN-RTDG의 사례를 통해 선진화된 안전관리 체계를 벤치마킹함 • 위험물 분류와 운송 라벨링의 표준화 방안을 제시해 혼란을 줄이고 효율적 관리

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
				를 촉진할 것을 강조 • 또한, 사고 발생 시 체계적 대응을 위한 개선된 법적 근거를 마련하고, 이를 통해 인류의 건강과 환경 보호에 기여할 수 있는 구체적 실행 방안을 제안
	16	• 과제명: 도로운송 위험물 안전관리기준 개발 • 연구자(연도): 이봉우 외 (2014) • 국내 도로운송 위험물 관련 안전 관리 체계 제시	• 문헌연구 • 국내외 사례 연구 • 도로운송 실태 조사	• 국내외 도로운송 위험물 관련 분류·표지 제도 조사 및 분석 • 도로운송 안전관리기준 체계 개발
	17	• 과제명: 위험물 운송사고 예방을 위한 안전관리시스템 개발 • 연구자(연도): 김연웅· 김시곤(2015) • 위험물 운송 중 발생할 수 있는 사고를 예방하고 사고 발생 시 효율적인 대응을 가능하게 하는 실시간 안전관리시스템 개발을 목표로 다양한 교통 물류 분야로의 응용 가능성을 제시	• 문헌연구, 시스템 설계 및 인터페이스 구현, 시뮬레이션 • 기존 연구 및 관리시스템 사례분석 • GPS 기반 위치추적기술과 REST API 기반 통합관리 시스템 설계 • 주요 API(경로 계획, 차량 상태, 사고 정보 전송 등) 정의 및 구현 • 시스템 기능 검토 및 향후 개선점 제시	• 위험물 운송 안전관리의 실용적 기반을 마련했으며, 국내 위험물 운송 체계를 정부 차원에서 체계적으로 관리할 수 있는 가능성을 제시
	18	• 과제명: GIS 기반 위험물 운송의 최적안전관리방안 개발 • 연구자(연도): 김연웅 (2016) • 위험물 운송 중 발생 가능한 사고를 예방하고 대응할 수 있는 최적의 안전관리방안 제시	• 시뮬레이션 분석, GIS 분석, 실태조사 • ArcGIS를 활용해 전국 도로 네트워크의 위험도 구축 • 국내 통행제한도로와 위험도 비교 분석 • 통합관리 체계 설계 및 개발(웹 기반 시스템, 양방향 소통 기능 포함) • 국내외 위험물 경로관리 사례 분석	• 위험물 운송 사고를 사전에 예방하고자 실시간 운송 차량 관리가 가능한 웹 기반 통합관리 체계 개발 • 이 체계는 경로관리(안전 경로 제공), 여정관리(운전 습관 관리), 차량관리(타이어 및 적재물 상태 관리), 사고관리(사고 정보 자동 전송)로 구성 • 특히, ArcGIS를 활용해 국내 도로 네트워크의 위험도

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
				를 분석하고 통행제한도로와 비교한 결과, 국내의 기존 통행제한도로는 위험도를 반영하지 않은 채 지정된 점을 확인 • 반면, 국외에서는 허용 가능한 도로를 지정하고 체계적인 관리 시스템을 통해 실시간으로 관리해 안전을 제고 • 본 연구는 위험도가 낮은 경로를 제안함으로써 사고 시 피해를 최소화하는 방안 제공
	19	• 과제명: 중국 텐진항 폭발사고 사례분석을 통한 대응역량 강화 방안 • 연구자(연도): 최재용(2016) • 텐진항 폭발사고 원인 및 문제점분석, 안전 확보 방안 제시	• 문헌연구 • 국내외 사례 연구 등	• 사고현황 및 원인 • 국내 사고현황 • 대응역량 강화방안
법률 및 제도 개선	20	• 과제명: 항만내 위험물관리의 안전도 제고를 위한 법적 대응방안 • 연구자(연도): 윤창술(2012) • 국제해사기구의 IMDG Code와 항만내의 위험물 운송 및 취급에 관한 권고를 중심으로 국내 관련 법규를 고찰하고, 안전도 제고를 위한 법적 대응방안 도출	• 문헌연구 • 법률 검토	• 항만내의 개념 및 범위 • 위험물의 개념 및 종류 • 위험물 관리 관련 주요 법규 • 대응방안
	21	• 과제명: 위험물 취급 항만의 소방시설 및 안전관리자 교육현황에 관한 연구 • 연구자(연도): 김인범 외	• 문헌연구 • 국내외 사례 연구	• 항만 관련 위험물 취급 현황 • 위험물 관련 법 규정 및 안전설비와 교육관련 법 규정

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
		(2015) • 항만의 화재안전 관련 소방시설 및 안전교육 개선방안 모색		• 항만 관련 외국의 화재안전 기준 • 울산항만의 소방시설 현황 • 개선방안 제시
	22	• 과제명: IMO 항만위험물 안전운송 및 취급에 관한 권고 규정의 적용을 위한 연구 • 연구자(연도): 지상규 (2020) • 항만위험물의 저장 및 처리에 관한 사항을 중심으로 위험물 관련 국제협약 및 국내법의 주요 내용 해양수산부의 “항만 내 위험물 컨테이너 하역 및 적재 매뉴얼”의 내용과 차이점, 국내 항만위험물 관리에 관한 법률들의 문제점과 그 해결을 위한 방안 제시	• 문헌연구 • 법률 검토 • 전문가 자문	• 국내·외 위험물 관리 법률 현황 • IMO 권고 규정의 주요 내용 • 국내법 상 항만내 위험물 관리 규정 • 항만위험물 관련 법률규정의 문제점 및 IMO 권고 규정의 적용과 제안
위험도 분석 및 개선방안 도출	23	• 과제명: 철도 위험물 수송에 따른 위험도 산정방안 • 연구자(연도): 이창훈 외 (2014) • 철도 위험물 안전도 평가 대안 마련	• 문헌연구 • 국내외 사례 연구 • 정량적 위험도 분석 및 평가	• 철도 네트워크 위험도 평가 • 피해영향 분석
	24	• 과제명: 컨테이너 터미널 옥외저장소에서의 액면화재에 대한 피해영향 평가 • 연구자(연도): 황만웅 외 (2016) • 컨테이너 터미널 옥외저장소에서의 인화성 액체 누출로 인한 액면화재 피해영향 및 인접 컨테이너에 대한 취약성 평가	• 문헌연구 • 사고 시나리오 분석 • 피해영향 평가	• 국내 항만의 위험물 운송 현황 • 국내 항만의 포장위험물 관리법규 • 화재역학 이론 • 피해영향 평가
	25	• 과제명: 항만에서 위험물 운송 중 유해화학물질 누출	• 문헌연구	• 유해화학물질 대상 선정

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
		위험성에 관한 연구 • 연구자(연도): 윤수경 외 (2018) • 화학물질 항만에서 컨테이너로 운송 시 하역, 적재 작업 도중 유해화학물질이 누출된 경우의 시나리오를 다양한 위험성평가 프로그램을 사용해 피해영향범위 산정	• 시나리오 분석 • 영향성 평가	• 대상물질 및 시나리오 선정 • 대상 지역 및 조건 설정 • 영향성 평가
	26	• 과제명: 위험물질 수송차량 고속도로 사고분석 및 구간별 위험도 산정방안 • 연구자(연도): 홍정열 외 (2018) • 본 연구는 국내 고속도로에서 위험물질 수송차량의 통행 실태 및 사고 데이터를 분석하고, 이를 기반으로 특화된 위험도 산정 방안과 수송 관리 전략을 제안하는데 목적을 둠	• 위험도 산정 및 데이터 기반 정책 제안 • (1) 데이터 분석 및 위험물 수송 현황 파악 • 국내 고속도로에서 위험물질 수송차량의 통행량과 사고 데이터를 수집 • 위험물질 수송 경로, 사고 발생 유형, 빈도, 피해 규모 등을 분석 • (2) 고속도로 구간별 위험도 산정 • 예측 모델링 – 특정 고속도로 링크별로 위험물질 수송차량의 통행량을 기반으로 위험도를 산정 • 구간별 위험도 평가 – 사고 발생 확률과 치명도를 고려해 고위험 구간을 도출	• 산업 발달과 함께 위험물질 유통량이 증가하며, 국내 도로망에서 위험물질 수송차량 사고가 꾸준히 발생 • 특히 고속도로는 국가의 핵심 교통망으로, 사고 발생 시 치명적 피해를 초래할 가능성 존재 • 위험물질 수송차량의 고속도로 사고 위험성을 체계적으로 분석하고 구간별 위험도를 산정함으로써, 안전한 고속도로 운행 및 관리 방안을 제시 • 특히, 고위험 구간에 대한 집중 관리와 위험물질 수송에 대한 예측 기반의 맞춤형 정책이 필요
	27	• 과제명: 항만 내 컨테이너 위험물 저장 시 위험성 평가 및 개선방안 • 연구자(연도): 신가영 외 (2019) • 항만 내 위험물 저장·보관 방법에 대한 위험성 평가를 진행하고, 항만 내 위험물 적치 시 위험성을 줄이기 위한 개선방안 제시	• 문헌연구 • ALOHA(Areal Locations Of Hazardous Atmospheres) 등	• 위험물 분류 • 위험성 평가 • 시설별 위험성 평가 • 위험물 관리방안

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
	28	• 과제명: 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 항만위험도 평가에 관한 연구 • 연구자(연도): 윤동하·최용석·김선구(2019) • 항만위험도를 평가하기위한 모델을 제안하고, 모델의 검증을 위해 실제 안전사고 결괏값과 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 얻은 결과값을 비교해 시뮬레이션에 의한 예측이 타당한지의 적합성을 검증	• 문헌연구 • 몬테카를로 시뮬레이션	• 선행연구 분석 • 항만위험도 평가모델 • 시뮬레이션 분석

■ 해외 문헌

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
위험도 감소를 위한 최적화 방안 모델링	1	• 과제명: Multi-objective programming approach for routing hazardous materials • 연구자(연도): Zografos & Davis(1989) • 위험물 운송 경로에서 발생할 수 있는 인구 위험, 재산 피해, 이동 시간 등을 종합적으로 고려한 다목적 의사결정 모델을 개발하고, 네트워크 전체에서 위험을 공정하게 분배하며 최적의 운송 경로를 제시	• 시뮬레이션 기반 실험 수행 • 다목적 프로그래밍 모델 개발 – 위험 최소화, 특정 인구집단에 대한 위험 최소화, 이동 시간 단축, 재산 피해 최소화를 포함하는 목표 수학적 공식화 • 네트워크 경로의 링크에 용량 제약을 설정한 모델과 설정하지 않은 모델을 각각 설계해 결과 비교 • 가상의 교통 네트워크를 설정하고, 모델의 적용 가능성과 효율성을 시뮬레이션 실험을 통해 검증	• 위험물 운송 네트워크에서 위험과 자원의 공정한 분배를 위한 다목적 프로그래밍 모델 제안 • 용량 제약을 부여하면 위험이 네트워크 전체에 더 고르게 분포되지만, 총 위험이 약 35% 증가한다는 결과를 도출
	2	• 과제명: Optimal location of routes for vehicles transporting hazardous materials • 연구자(연도): Karkazis & Boffey(1995) • 현실 환경에서 위험물 운송 차량의 최적 경로를 선택해 사고 발생 시 인구에 미칠 수 있는 예상 피해를 최소화하는 모델을 제안하고, 이를 통해 효과적인 경로 선택 방안을 마련	• 시뮬레이션 기반 실험 수행 • 기존 모델을 확장해 오염물질의 확산을 기상 조건에 따라 결정하고, 인구 분포를 평면상 임의의 위치에 배치할 수 있도록 설정 • 최적 경로를 결정하기 위해 브랜치 앤 바운드(branch-and-bound) 알고리즘을 설계 및 적용 • 제안된 모델과 알고리즘의 실효성을 검증하기 위해 시뮬레이션 기반 실험 수행	• 기상 조건과 임의의 인구 분포를 고려한 위험물 운송 최적 경로 모델을 개발 • 브랜치 앤 바운드 알고리즘을 활용해 최적 경로를 탐색하고 이를 통해 예상 피해를 효과적으로 감소시킬 수 있음을 확인
	3	• 과제명: Modeling of transport risk for hazardous materials • 연구자(연도): Erkut & Verter(1998) • 위험물 운송에서 발생하	• 위험물 운송 위험 모형 비교 및 평가 • 기존 위험물 운송의 위험 모델들을 분석하고, 각 모델의 주요 특징과 적용 방식을 비교	• 위험물 운송의 경로 최적화에서 위험 모델링이 선택 결과에 미치는 큰 영향을 강조 • 서로 다른 위험 모델이 최적 경로를 다르게 제안하

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
		는 다양한 위험을 정량화하는 방법의 중요성을 검토하고, 서로 다른 위험 모델들이 최적 경로 선택에 미치는 영향을 분석해 위험 모델링과 경로 계획의 개선 방안 제시	• 미국 도로 네트워크를 대상으로 서로 다른 위험 모델이 동일한 출발지-목적지 경로에서 최적 경로를 어떻게 달리 선택하는지 시뮬레이션 실험 진행 • 한 모델에서 최적 경로로 선택된 경로가 다른 모델에서는 성능이 저조할 수 있음을 평가	고, 동일한 경로가 특정 모델에서는 부적합할 수 있음을 발견 • 위험 모델의 선택이 운송 계획에서 신중히 고려되어야 함을 시사
	4	• 과제명: Hazardous materials transportation: a risk-analysis-based routing methodology • 연구자(연도): Leonelli et al.(2000) • 위험물질 운송 경로 선택을 위한 새로운 위험 분석 기반 최적화 방법론을 제안하고, 이를 통해 운송 비용과 위험을 종합적으로 고려한 최적의 경로를 도출하는 방안을 제시	• 위험 분석 기반 최적화 방법 적용(위험물 운송 경로 최적화를 수행하는 도구 OptiPath 활용) • 네트워크 그래프 모델링 – 노드와 아크(위험물 운송 네트워크 내에서 특정 경로 또는 도로 구간)로 구성된 네트워크를 그래프로 설정하고, 각 아크에 단위 차량 통과 비용 및 차량 용량을 할당 • 위험 측정 및 아크 비용 정의 – 아크별 사회적·개인적 위험 측정을 위험물 운송 기준과 비교해 아크 용량 정의, 위험 관련 비용과 운송 비용을 결합한 최적화 문제 설계 • 최소 비용 흐름 문제 적용 – 특정 위험물질에 대해 아크 용량을 준수하면서 최소 비용의 흐름 분배를 찾는 '최소 비용 흐름 문제'로 수학적 공식화	• 위험과 비용을 고려한 최적화 방법론을 OptiPath에 구현 • 암모니아 운송 사례를 통해 방법론의 효율성을 검증하고, 향후 연구 방향으로 모델의 확장 가능성을 논의
	5	• 과제명: Catastrophe avoidance modles for hazardous materials route planning	• 재난 회피 모델 수치 실험 및 비교(제안된 세 모델을 테스트하고, 각 모델의 직관성과 계산 효율성, 실용	• 대규모 피해를 방지하기 위한 세 가지 재난 회피 모델을 제안하고, 인구 밀집 지역을 회피하는 경로

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
		• 연구자(연도): Erkut & Ingolfsson(2000) • 기존 위험물 운송 경로 계획에서 저확률/대규모 결과를 간과한 위험 정의를 보완하고, 대규모 피해를 방지하기 위한 재난 회피 모델을 제안해 위험물 운송에서 보다 안전한 경로 선택 방안을 제시	적 한계 등 비교 분석) • 최대 인구 노출 최소화 모델 – 경로상 최대 인구 노출을 최소화 • 결과 분산 모델 – 경로 결과의 분산을 의사결정 요소로 포함 • 명시적 불효용 함수 모델 – 불효용 함수를 사용해 대규모 피해를 회피	를 선택할 수 있음을 수치 실험으로 검증 • 특히 첫 번째 모델이 가장 직관적이고 계산 효율성이 높지만, 다른 두 모델은 이론적 통찰을 제공해 연구자들에게 유용한 가치를 제공
	6	• 과제명: A GIS-based framework for hazardous materials transport risk assessment • 연구자(연도): Verter & Kara(2001) • 다중 물질 및 다수의 출발지-목적지 설정에서 위험물 운송 위험을 평가할 수 있는 GIS 기반 방법론을 제안해 운송경로선택의 정책적 영향과 위험 분포의 형평성을 분석하고 개선방안 제시	• GIS 기반 모델 개발 및 분석 • GIS 기반 모델 개발 – 캐나다 퀘벡과 온타리오의 고속도로 네트워크를 대상으로 위험물 트럭 운송 데이터를 통합한 GIS 기반 모델 설계 • 위험 요소 평가 – 최소화 목표에 따라 경로별로 운송 거리, 인구 노출, 사고 시 대피 인구 수, 사고 확률 등의 위험 요소를 평가 • 정책 효과 분석 – 다양한 정책 시나리오가 운송업체의 경로 선택과 위험 분포에 미치는 영향을 분석 • 위험 형평성 분석 – 위험의 공간적 분포를 분석해 공정하지 않은 분포로 인한 공공 우려를 평가	• GIS 기반 방법론을 통해 위험물 운송 경로에서 인구 노출, 사고 확률 등을 종합적으로 평가 • 정책 시나리오에 따른 경로 선택 변화와 위험 형평성 문제를 분석해 정부 기관이 위험물 운송의 관리 및 개선을 위한 의사결정을 지원
	7	• 과제명: Hazardous materials release analysis : probabilistic input for emergency response organisations • 연구자(연도): Rosmuller & Gelder (2003)	• 위험물 도로 운송 사고 데이터를 기반으로 확률적 분석 및 응급 대응 활용성 평가 • 데이터 기반 분석 – 네덜란드에서 운영되는 위험물 사고(위험물 운송, 저장, 취급 중 발생한 사고 및 실패 사례 등) 관련	• 도로 위험물 운송 사고에서 방출량과 확률의 확률분포를 생성 • 이를 통해 긴급 대응 조직이 보다 실질적인 준비와 훈련을 할 수 있도록 지원 • 또한, 초기 사고 대응에서 데이터 가용성과 훈련의

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
		• 네덜란드의 위험물 도로 운송 사고 데이터를 기반으로 확률적 분석을 수행해, 방출량 및 확률 분포를 도출하고 이를 긴급 대응 조직이 효과적인 위험물 사고 대응 전략을 수립하는 데 활용할 수 있는 방안을 제시	FACTS(Failure and Accidents Technical System) 데이터베이스에 기록된 약 20년간 550건의 위험물 운송 사고 데이터를 기반으로 방출량 및 확률에 대한 부트스트래핑 기반 확률 분석 수행 • 위험 분석 결과 비교 – 기존 위험 분석에 사용되는 분류된 방출 데이터와 새로 생성된 확률 분포 결과 비교 • 응급 대응 활용성 평가 – 소방 조직 등 긴급 대응 기관이 이 데이터를 활용해 효과 범위, 피해 규모, 대응 경로를 설정하고 훈련과 물류 전략을 최적화할 수 있는 방안 제시	중요성을 강조하며, 방출량 데이터의 활용을 통해 위험 정책과 구조 정책을 최적화할 수 있음을 입증
	8	• 과제명: Accurate calculation of hazardous materials transport risks • 연구자(연도): B.Y. Kara(2003) • 위험물 운송 경로 선택에서 기존 최단 경로 알고리즘이 가진 부정확성을 극복하고, 경로별 사고 확률 및 인구 노출을 보다 정확히 반영하는 두 가지 새로운 경로 선택 알고리즘을 제안해 위험을 최소화	• 모델링 알고리즘 검증 • 링크별 사고 확률과 인구 노출도를 기존 모델의 단순화 없이 정확히 반영하는 경로 의존적 임피던스(네트워크에서 특정 링크/도로 구간을 통과하는 데 걸리는 저항이나 비용) 조정 방식을 개발 • 사고 확률 최소화를 위해 기존 다익스트라 알고리즘을 수정한 노드 라벨링 알고리즘 개발 • 인구 노출 최소화를 위해 링크 라벨링 기반 알고리즘을 설계하고, 사각형 및 반원형 노출 구역을 비교해 이중 계산 문제를 해결	• 위험물 운송 경로 선택 문제에서 사고 확률 및 인구 노출을 정밀하게 모델링하는 알고리즘 제안 • 기존 최단 경로 알고리즘이 가진 과소 또는 과대 계산 오류를 해결 • 두 알고리즘은 각각 사고 확률과 인구 노출을 최소화하는 최적 경로를 도출하며, 특히 경로 간 링크 의존성을 고려해 정확도를 대폭 향상

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
	9	• 과제명: A heuristic algorithm for solving hazardous materials distribution problems • 연구자(연도): Zografos & Androutsopoulos (2004) • 위험물 분배 경로 계획을 비용 최소화와 위험 최소화를 동시에 고려한 이중 목적 차량 경로 문제로 정의하고, 이를 효율적으로 해결하기 위한 새로운 휴리스틱 알고리즘을 제안해 사례 연구를 통해 실효성 검증	• 알고리즘 설계/구현 및 사례 연구 기반 실효성 검증 • 비용과 위험을 최소화하는 최적 경로 및 스케줄을 도출하는 차량 경로 문제 모델링 • 비용 최소화와 위험 최소화를 동시에 고려한 이중 목적 문제를 효율적으로 해결하기 위해 새로운 알고리즘 설계 및 구현 • 개발된 알고리즘을 GIS 기반 의사결정지원시스템에 통합해 위험물 물류 운영 사례 연구에 적용 및 평가	• 비용과 위험을 동시에 고려한 위험물 분배 문제 해결을 위해 새로운 휴리스틱 알고리즘을 제안 • 이를 GIS 기반 시스템에 통합해 사례 연구를 통해 알고리즘의 유효성과 실효성을 입증 • 특히, 이중 목적 문제 해결에서 발생할 수 있는 현실적인 제약 조건을 반영해 물류 운영에 적용 가능한 실질적인 결과를 도출
	10	• 과제명: Historical analysis of accidents in seaports • 연구자(연도): Darbra et al.(2004) • 본 연구는 20세기 초부터 2002년까지 발생한 총 471건의 항만 사고를 분석해, 사고 발생 경향, 원인, 결과를 평가하고 안전 조치 개선의 필요성을 도출	• 역사적 데이터 분석, 사고 통계 평가, 위험 요인 분석 • MHIDAS 데이터베이스 – 전 세계 95개국에서 발생한 주요 재난 사고 데이터(12,844건) 중 항만 사고 데이터(471건)를 선별 및 정제 • 시간적 분포 분석 – 사고 발생 빈도의 연대별 변화 추이 평가 • 사고 유형 분류 – 사고를 누출, 화재, 폭발, 가스 구름의 네 가지로 분류 • 사고 기원 분석 – 사고 발생 장소(운송, 적재/하역, 저장 등)와 사고 원인(충돌, 인간 요인 등) 분석 • 결과 분석 – 인명 피해(사망, 부상, 대피 인원)와 사고 심각도 평가	• 본 연구는 위험물질 처리와 관련된 안전 기준을 강화하고, 충돌 및 인간 요인을 줄이기 위한 교육과 기술적 개선이 필요함을 강조 • 연구 결과 • 시간적 경향 – 전체 사고의 83%는 최근 20년, 59%는 최근 10년에 발생해 사고 빈도가 증가하고 있음을 확인(항만 활동 증가와 데이터 기록 시스템 개선에 기인함) • 사고 유형 – 누출(51%)이 가장 빈번하며, 그 뒤로 화재(29%), 폭발(17%), 가스 구름(3%) 순으로 나타남 • 운송(56.5%)이 가장 큰 비중을 차지하며, 적재/하역(14.9%), 저장(15.5%)**이 그 뒤를 이

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
				음. 주요 원인은 **충돌 사고(43.6%)**와 **인간 요인(15.9%)**으로 나타남 • 피해 규모 – 절반 이상의 사고는 사망자를 발생시키지 않았으나, 사망 사고의 대다수는 1~10명 사이의 사망자를 초래 • 지역적 차이 – 유럽연합(EU)에서 발생한 사고는 다른 지역보다 상대적으로 피해가 경미한 것으로 분석
	11	• 과제명: Risk management of road and rail transport of hazardous materials in Sicily • 연구자(연도): Buddico et al.(2006) • 시칠리아에서의 위험물 육상운송(도로 및 철도)의 위험을 평가하고, GIS 기반 위험 분석 도구(TrHazGis)를 활용해 경로 및 운송 방식을 변경함으로써 위험을 최소화할 수 있는 관리 방안을 제시	• GIS 기반 위험 분석 도구(TrHazGis) 활용 및 수치 분석 • 이탈리아의 주요 도로 및 철도 네트워크를 수백 미터 단위로 세분화하고, 각 경로에 대한 사고 확률, 물질별 영향 영역 등을 데이터베이스화한 TrHazGis 도구 적용 • 도로 및 철도 기반 위험물 운송 55건에 대해 경로별 위험 수준 및 사회적 위험 평가 • 도로, 철도, 복합 운송(도로+철도)을 조합해 경로 및 운송 방식을 변경함으로써 위험 저감 가능성 평가	• 위험물 육상운송의 높은 사회적 위험을 TrHazGis 도구를 통해 분석하고, 경로 변경 및 운송 방식 조합이 위험 완화에 효과적임을 입증 • 시칠리아의 주요 화학 공업 지역에서 이러한 방법론을 적용해 도로 운송에서 발생하는 높은 위험을 철도 또는 복합 운송으로 전환함으로써 유의미한 위험 감소 달성
	12	• 과제명: The cost and risk impact of rerouting railroad shipmnet of hazardous materials • 연구자(연도):	• 비용–위험 상충 관계 평가 • 위험 정량화 모델 개발 – 철도운송 경로의 사고 위험을 정량화하기 위한 모델 설계	• 철도운송에서 경로 변경이 위험 감소에 기여할 수 있음을 보여주며, 특히 특정 대체 경로는 소규모의 추가 비용만으로도 사고 위험을 상당히 줄일 수 있

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
		Glickman et al.(2007) • 철도 기반 위험물 운송에서 경제적 요인뿐만 아니라 사고로 인한 위험을 고려한 대체 경로를 분석하고, 비용-위험 간의 상충관계를 평가해 위험 감소를 위한 최적 경로 전략을 제시	• 대체 경로 생성 및 평가 – 비용과 위험을 가중치로 결합해 대체 경로를 생성하고, 실제 경로와 비교해 위험 및 비용 변화를 분석 • 비용-위험 상충 분석 – 대체 경로가 위험을 크게 감소시키는 동시에 비용 증가가 소규모에 그치는 사례를 도출해 비용-위험 상충 관계 평가	음을 입증 • 철도는 도로보다 경로 변경 옵션이 적지만, 열차 탈선의 심각한 결과를 고려할 때, 위험을 경로 선택에 반영하고 비용-위험 상충 관계를 평가하는 것이 필수적임을 강조
	13	• 과제명: Designing emergency response networks for hazardous materials transportation • 연구자(연도): Berman(2007) • 위험물 운송 사고 발생 시 신속한 대응을 통해 피해를 최소화할 수 있도록 특화된 긴급 대응 네트워크를 설계하며, 최적의 대응팀 배치로 최대한 많은 고위험 구간을 커버할 수 있는 방안을 제시	• 모형 설계 및 사례 기반 분석 • 최대 아크 커버링 모형 개발 – 도로 구간(아크)을 커버하는 긴급 대응팀 배치 문제를 수학적 모델로 정의하고, 이를 최대 아크 커버링 모형으로 공식화 • 모형 대안 비교 및 휴리스틱(Heuristic) 설계 – 기존 모델과 새로운 모델의 계산 효율성을 비교하고, 효율적인 계산을 위한 휴리스틱 알고리즘 설계 • 사례 연구 – 캐나다 퀘벡과 온타리오의 고속도로에서 발생 가능한 휘발유 사고를 대상으로 모델을 적용해 긴급 대응 네트워크 설계와 배치의 효과를 분석	• 위험물 긴급 대응 네트워크 설계에서 도로 구간 중심의 위험 커버링 접근법을 제안 • 위험도가 높은 구간에 대응팀을 재배치하면 대응 시간 단축과 커버리지 극대화가 가능함을 입증 • 특히, 위험물 운송에서 인구 노출을 기반으로 위험을 정량화하고, 최적의 대응 네트워크 설계를 위한 효과적인 수학적 기반 제공
	14	• 과제명: Identification of potential target locations and attractiveness assessment due to terrorism in the freight transport	• 다기준 분석 (Multi-Criteria Analysis) 기반 스크리닝(Screening) 및 취약성 평가 • 다기준 분석 기반 스크리닝 – 화물 운송을 테러 수	• 화물 운송과 관련된 주요 인프라의 보호가 경제 활동의 지속 가능성을 위해 필수적임을 강조 • 다기준 분석을 통해 잠재적 취약 지역을 효과적으로 식별하고 우선순위를

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
		• 연구자(연도): Dimitrios, Maraiti &Panayita(2008) • 화물 운송의 취약 지역을 식별하고, 테러 공격에 따른 취약성을 평가할 수 있는 다기준 분석 기반 방법론을 제안해 주요 목표 지역에 대한 적절한 대책과 자원 할당 방안을 제공	단 또는 공격 대상물로 사용하는 시나리오를 고려해 잠재적 목표 지역을 식별 및 우선순위화 • 취약성 평가 – 특정 위치의 테러 공격 가능성과 이에 따른 경제적, 인적 피해를 정량화해 취약성 수준을 평가	지정하는 방법론을 제안 • 특히, 취약 지역에서의 테러 공격 가능성을 최소화하기 위한 대책 설계 및 자원 배분에 대한 도구 제공
	15	• 과제명: A dicision support system for integrated hazardous materials routing and emergency response decision • 연구자(연도): Zografos & Androutsopoulos (2008) • 위험물 운송 경로와 긴급 대응 서비스 배치를 통합적으로 고려해 비용, 위험, 대피 경로를 최적화할 수 있는 GIS 기반 의사결정지원시스템(DSS)을 설계하고, 이를 통해 실질적인 위험 완화 및 대응 전략을 마련	• GIS 기반 의사결정지원 시스템(DSS) 설계 및 검증 • 위험물 경로 최적화 모델 개발 – 비용과 위험 최소화를 목표로 위험물 분배 경로를 결정하기 위한 새로운 수학적 모델 설계 • 긴급 대응 서비스 배치 알고리즘 설계 – 초기 대응 서비스 위치를 최적화하기 위한 라그랑지안 (Lagrangian Relaxation) 휴리스틱 (Heuristic) 알고리즘 개발 • 대피 경로 계획 통합 – 위험물 사고 발생 시 대피 경로를 제시하고, 대피 시간을 추정하는 도구를 시스템에 통합 • 실제 사례 연구 – 그리스 아티카 지역 Thriasion Pedion의 위험물 운송 환경에 시스템을 적용해 실질적인 사용 가능성 평가	• GIS 기반 의사결정지원 시스템을 통해 위험물 경로 선택, 초기 대응 서비스 배치, 대피 경로 계획을 통합적으로 평가할 수 있는 플랫폼 제안 • 위험 완화 및 응급 대응의 효율성을 실질적으로 향상시킬 수 있음을 입증 • 해당 시스템을 통해 실시간 대피 계획 지원과 긴급 대응 서비스의 최적 배치를 통해 산업 지역에서의 위험 관리 역량을 강화
	16	• 과제명: Preliminary study on the transport of	• 운송 위험 분석(TRA) 적용 및 리스크 시나리오 모델링	• 터널 구간에서 도로 운송은 일반적으로 위험이 증가하지만, 철도운송은 위

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
		hazardous materials through tunnels • 연구자(연도): Bubbico et al.(2009) • 도로 및 철도를 통한 위험물 운송 시 터널 통과가 사고 위험에 미치는 영향을 평가하고, 터널과 개방 경로를 비교해 운송 경로 및 정책 결정에 대한 기초 정보를 제공	• 운송 위험 분석(TRA) 적용 – 도로 및 철도 경로를 터널 포함 구간과 완전 개방 구간으로 나누어 사고 빈도, 시나리오 확률, 영향을 받는 인구 등의 매개변수를 기반으로 위험평가 • 리스크 시나리오 모델링 – 각 경로 구간에서 발생 가능한 사고 시나리오와 그로 인한 사회적 위험(사망률, 영향 범위 등)을 정량화 • 비교 분석 – 터널 구간과 개방 구간에서 위험 정도를 비교해 운송 유형별(LPG, 액화 질소 등) 위험 증가 또는 감소 여부 평가	험 증가가 미미하다는 결과 제시 • 특정 물질(LPG 등)의 경우 터널에서 위험이 감소할 수 있음을 발견 • 이를 바탕으로 위험물 운송 경로 결정에서 터널 통과 허용 여부를 상황별 위험 분석 결과에 따라 설정할 필요가 있음을 강조
	17	• 과제명: A cost and expected consequence approach to planning and managing railroad transportation of hazardous materials • 연구자(연도): Verma(2009) • 위험물 철도운송의 비용과 예상 결과(위험)를 고려한 최적화 모델을 개발하고, 위험–비용 절충 방안을 제시	• 다목적 최적화, 시뮬레이션 분석, 데이터 기반 위험 평가 • 위험 평가를 위해 철도 사고 데이터를 분석(FRA 데이터셋 활용) • 비용–위험 최적화를 위한 이중 목적 모델 설계(비용 및 위험 간 가중치 적용) • ArcView GIS를 활용한 철도 네트워크 모델링 및 실험 설정 • CPLEX를 사용한 문제 해결 및 결과 분석	• 철도 위험물 운송 경로 최적화를 위해 비용–위험 절충이 가능한 다목적 최적화 모델을 개발 • 미국 남동부 지역의 철도 네트워크를 대상으로, 34개의 야드와 28개의 철도 서비스를 포함한 시뮬레이션을 진행 • 주요 결과로는, 위험물 차량은 최소 비용 경로도 최소 위험 경로도 아닌, 중간 경로를 선택하는 것이 효율적임을 확인 • 이러한 경로는 중간 취급이 적은 경로로, 비용과 위험 모두를 줄이는 데 효과적 • 또한 위험 노출 평가를 통해 인구 밀집 지역의 위험

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
				을 줄이는 대안을 제시 • 위험-비용 절충 곡선에서, 비용 절감에 따른 인구 노출 증가와 같은 결과를 분석해 정책적 시사점을 도출
	18	• 과제명: Frequency analysis of hazardous material transportation incidents as a function of distance from origin to incident location • 연구자(연도): C. Samuel(2009) • 미국 내 위험물(HazMat) 운송 사고와 사고 위치와의 거리 간 상관성을 분석해 주요 사고 경향 및 패턴을 도출하고, 현재의 사고 저감 정책 및 규제의 효과성을 평가(1995년부터 2004년까지의 데이터로, 가연성/연소성 액체의 운송 중 발생한 사고를 중심으로 수행)	• 실태조사, 데이터 분석, 거리 기반 통계분석 • 미국 교통부(USDOT) Hazardous Material Information Reporting System(HMIRS) 데이터베이스에서 데이터를 수집 • 사고 발생 지점과 출발지 간의 거리를 대원 계산법(great circle calculations)을 통해 산출 • 거리와 사고 빈도 간의 상관성 분석 및 ANOVA를 사용한 통계적 유의성 검토	• 본 연구는 연구는 위험물 운송의 특징적 위험(예: 화재, 폭발, 누출 등)을 사고 경로와 연관 짓는 데 중점 • 총 2145건의 위험물 운송 사고 데이터를 분석해, 사고 빈도가 출발지와 사고 지점 간의 거리와 어떻게 관련이 있는지 검토 • 분석 결과, 주목할 점은 사고 빈도의 이중봉형 분포(bimodal distribution)로, 첫 번째 봉우리는 105마일 미만 거리(평균 24km), 두 번째는 1,061km 거리에서 나타났다는 점으로 이러한 경향은 운송 단계와는 관계없이 유지되었고, 또한, 장거리 운송이 짧은 거리 운송에 비해 사고 발생률이 높고, 사고 심각도가 더 크다는 결과를 확인
	19	• 과제명: Risk management of terrorist attacks in the transport of hazardous materials using dynamic geoevents • 연구자(연도): Milazzo et al.(2009)	• 문헌 검토, 사례 연구, 동적 시뮬레이션, GIS 기술 적용, 비상 관리 절차 설계 • 테러 공격 유형 분석 – 위험물 운송과 관련된 주요 테러 공격 사례 및 전술을 조사 • 위험 관리 단계 정의 – 대상 지역의 취약 지점 식	• 본 연구는 테러리스트 공격에 의한 위험물 운송 사건을 관리하기 위한 동적 지오이벤트(Dynamic Geoevents) 기반 위험 관리 접근법을 제안 • 테러 공격은 특히 도시 지역에서 높은 취약성을 보이며, 예측 불가능성으로 인해 위험 관리가 복잡

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
		• 테러 사건 발생 시 피해를 완화하기 위한 주요 대응 지점을 식별하고, GIS 기반 동적 시뮬레이션을 활용해 실시간으로 상황을 평가하고 대응 방안을 마련하는 데 목적	별, 지역 특성 평가, 질적 연구를 통해 취약성 평가 • GIS 기반 동적 시뮬레이션 – 동적 시나리오를 생성하고 이를 통해 인구 및 피해 상황의 변화를 실시간으로 평가 • 사례 연구 – 인구 밀집 지역에서 위험물 운송 경로를 선정해 동적 시나리오를 시뮬레이션	• 본 연구는 테러 사건 발생 시 피해를 완화하기 위한 주요 대응 지점을 식별하고, GIS 기반 동적 시뮬레이션을 활용해 실시간으로 상황을 평가하고 대응 방안을 마련하는 데 목적 • 사례 연구 결과, 도심 지역에서 위험물 운송 경로를 분석한 결과, 주요 교차로와 도로 구간에서 높은 취약성을 보였고, 동적 지오이벤트 접근법은 테러 사건 발생 시 대응 시간을 줄이고 피해를 최소화하는 데 효과적임을 확인
	20	• 과제명: Optimizing facility use restrictions for the movement of hazardous materials • 연구자(연도): Yashoda Dadker(2010) • 위험물(HazMat) 운송과 관련된 테러 위협을 고려한 최적 경로 및 시설 제한 방안을 제시	• 게임이론, 비선형 최적화, 시뮬레이션 분석, 사례 연구 기반 위험 평가 • 비협력적 비제로합 게임 모델 개발 – 정부, 운송업체, 테러리스트 간의 상호작용과 경로 제한의 영향을 분석 • 최적화 알고리즘 – 타부 서치와 비볼록 최적화 기법 통합 • 사례 연구 – 잭슨(MS)에서 탤러해시(FL)까지의 반복적 위험물 운송 시나리오를 적용	• 정부는 테러리스트의 기대 보상을 줄이기 위해 경로 제한(링크 제한)을 설정하고, 화주/운송업체는 이러한 제한 및 테러 위협을 고려해 경로를 선택 • 테러 발생 확률(p)이 증가할수록 화주/운송업체가 보수적인 경로를 선호하게 되어 테러로 인한 예상 피해를 줄이는 효과를 확인 • 결과적으로, 정부는 제한적인 수의 경로만 차단해도 효과적으로 테러 위험을 줄일 수 있었고, 또한, 위험도에 따른 경로 선택이 테러리스트의 표적 경로와 교차하지 않도록 설계되어 기대 보상이 감소하는 패턴을 발견

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
	21	• 과제명: Modal choice for transportation of hazardous materials: the case of land modes of transport of bio-ethanol in Brazil • 연구자(연도): Junior & D'Agosto(2011) • 위험물 운송에서 다양한 운송수단(특히 육상운송) 선택이 사회적, 환경적, 그리고 재정적 영향을 미치는 점을 감안해, 브라질 바이오에탄올 산업을 사례로 Modal Choice Method(MCM)를 활용해 최적 운송수단을 도출	• MCM(Modal Choice Method), 전문가 인터뷰, 회색 관계 분석(Grey Relational Analysis) • 문헌조사 – 기존 연구 및 방법론 개념 조사 • 전문가 인터뷰 – 운송 효율성 평가에 필요한 속성(경제적, 환경적) 도출 • MCM 적용 – 각 대안을 평가하고, 다양한 시나리오(경제 중심, 환경 중심, 혼합적 접근)를 설계 • 회색 관계 분석(GRA) – 대안들의 상대적 우수성과 분산을 수치화해 성능 분류	• 연구는 브라질 바이오에탄올 산업에 국한되었으나, 다른 위험물 및 지역에서도 적용 가능성을 제시하며, 환경적 지속 가능성을 중심으로 한 운송전략 수립을 권장 • 연구 결과, 현재 일반적으로 사용되는 고속도로 운송(A2)은 경제적 관점에서 우수하나, 환경적 측면에서는 열등하다는 점이 확인 • 파이프라인을 주요 경로로 사용하는 대안(A1)은 모든 시나리오에서 가장 우수하며, 경제적 비용도 두 번째로 낮은 대안으로 평가
	22	• 과제명: Building an Expert-System for Maritime Container Security Risk Management • 연구자(연도): Boukachour et al. (2011) • 해상 컨테이너 보안 위험 관리를 지원하기 위해 전문가 시스템(expert-system)을 설계하고 개발하는 것을 목표로 컨테이너 보안 위험을 관리하면서도 글로벌 물류 네트워크의 효율성을 유지하는 데 중점	• 시스템 설계 및 구현, 사례 검토, 문헌 연구 • 문헌 연구 – 교통 위험 관리와 관련된 기존 의사결정 지원 시스템(DSS)의 검토 • 보안 프레임워크 분석 – 국제 규범(예: ISPS 코드, CSI, SAFE Framework)과 주요 국가별 보안 프로그램(C-TPAT 등) 검토 • 전문가 모델링 – 위험 관리 프로세스를 단계별로 정의하고, 보안 위협을 평가하는 모델 개발 • 시스템 설계 및 구현 – 위험 식별, 평가, 대응을 위한 전문가 시스템 설	• 연구는 주요 보안 프로그램과 국제 규범의 목표와 접근법을 통합적으로 분석 • 예를 들어, ISPS 코드와 CSI는 컨테이너 보안 위협의 사전 탐지와 평가를 강조하며, SAFE Framework는 글로벌 무역과 보안의 균형을 도모

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
	23	• 과제명: Tier 1 Highway Security Sensitive Material Dynamic Risk Management • 연구자(연도): S. Kreis(2016) • 위험물의 이동을 실시간으로 추적하고 동적 위험을 평가할 수 있는 Dynamic Hazardous Materials Risk Assessment Framework (DHRMA)를 제안	• 문헌 연구, 갭 분석(Gap Analysis), 위험 방정식 개발, 사례 연구, GIS 기반 시스템 설계 • 문헌 검토 – 위험물 운송의 역사와 현재 상태, 관련 규정 검토 • 갭 분석 – 기존의 위험물 추적 시스템(PHTS)과 정부 사양 간의 불일치를 분석 • 위험 방정식 개발 – 설문조사를 통해 수집된 데이터를 바탕으로 위험 평가 방정식을 설계 • DHRMA 설계 – GIS 기술을 활용해 위험물 운송을 실시간으로 추적하고 위험 데이터를 시각화 • 사례 연구 – 켄터키주 애슐랜드에서 펜실베이니아주 필라델피아까지의 위험물 운송을 시뮬레이션해 시스템 검증	• 미국에서 연간 20억 톤 이상의 위험물(Hazardous Materials, HazMat)이 운송되고 있으며, 그중 절반 이상이 상업용 차량으로 이동 • 그러나 위험물 운송 차량은 방어 수단이 부족하거나 존재하지 않아 테러리스트의 표적이 될 가능성이 큼 • 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 위험물의 이동을 실시간으로 추적하고 동적 위험을 평가할 수 있는 Dynamic Hazardous Materials Risk Assessment Framework (DHRMA)를 제안 • DHRMA는 위험물 운송의 보안을 향상시키기 위해 설계된 종합적인 위험 관리 도구로, 특히 테러 예방에 중점을 두고 있지만 사고 대응에서도 유용한데, 위험물의 이동을 실시간으로 모니터링하며, 향후 독성 물질의 방출 및 확산 모델링을 통합해 성능을 확장 가능하기 때문
	24	• 과제명: Review and analysis of fire and explosion accidents in maritime transportation • 연구자(연도): Baalisampang et al.(2018) • 본 연구는 연구는	• 문헌 연구, 사례 분석, 비교 연구 • 문헌 검토 –1990~2015년의 해상 운송 사고 사례와 기존 연구 데이터를 바탕으로 사고의 빈도와 원인을 분석 • 사고 요인 분석 – 사고의 주요 원인을 인간 오류,	• 본 연구는 화재 및 폭발 사고의 근본 원인을 파악하고, 이러한 사고를 줄이기 위한 예방 조치를 탐색하며, 대체 연료의 효과를 분석해 기존 연료 대비 화재 및 폭발 위험 완화 가능성을 평가 • 본 연구는 해상 운송에서

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
		1990-2015년 기간 동안 발생한 해상 운송에서의 화재 및 폭발 사고를 종합적으로 분석해, 사고의 원인과 예방책을 제시	기계적 결함, 전기적 문제, 열 반응 등으로 분류해 비율과 사례를 비교 • 대체 연료 평가 – LNG, CrNG, 메탄올 등의 대체 연료가 화재 및 폭발 위험을 줄이는 데 미치는 영향을 기존 연료와 비교 • 예방 조치 탐색 – 사고 방지를 위한 설계, 유지관리, 교육 등의 관리 체계를 검토	화재 및 폭발 사고를 줄이기 위해 설계, 관리, 교육 등의 다각적인 접근이 필요함을 강조 • 대체 연료는 기존 연료에 비해 안전성이 높은 가능성을 보이나, 추가 연구와 기술 개발이 필수적
위험요인 도출 및 평가	25	• 과제명: A three-dimensional risk management model of port logistics for hazardous goods • 연구자(연도): Liu et al. (2019) • 항만 물류 사고의 근본 원인을 분석하고, 이를 관리하기 위한 3차원 모델(인적, 관리, 물품 차원)을 제안하며, 이를 톈진 항만 폭발 사건을 사례 연구로 적용해 모델의 유용성을 검증	• 문헌 조사, 통계분석, 사례 연구, 모델 개발, 위험 식별 프레임워크 설계 • 문헌 조사 – 항만 물류와 위험물 관련 기존 연구를 종합적으로 검토해 연구의 기초를 마련하고 기존 연구의 공백을 식별 • 통계분석 – 해양사고정보센터의 데이터를 활용해 2013년부터 2017년까지 263건의 사고를 분석하고, 사고 원인을 9가지 범주로 분류 • 사례 연구 – Tianjin 항만 폭발 사고를 사례로 분석해 위험 관리 모델의 실제 적용 가능성과 문제점을 평가 • 위험 관리 모델 개발 – 인간, 거버넌스, 물품을 핵심 요소로 삼는 3차원 위험 관리 모델을 제안해 구조적인 위험 관리 접근법을 제시 • 위험 식별 프레임워크 설계 – 위험의 심각도에 따	• 본 연구는 3차원 위험 관리 모델을 통해 항만 물류와 위험물의 위험 관리 접근 방식을 체계화했다. Tianjin 항만 폭발 사례를 통해 모델의 적용 가능성을 검증 • Tianjin 항만 폭발 사례를 통해 모델의 적용 가능성을 검증했으며, 항만 운영에서 주요 위험 요인을 식별하고 이를 완화하기 위한 구체적인 방안을 제시 • 항만위험물 물류의 주요 위험 요인 • 인간 요인 – 훈련 부족, 작업자의 부주의 • 거버넌스 요인 – 정책 미비, 규정 위반 • 물품 요인 – 화학적 특성과 부적절한 저장 • Tianjin 항만 폭발 사례 • 화학 물질의 부적절한 저장과 관리 부족이 주요 사고 원인으로 확인 • 폭발로 인한 막대한 인명 및 환경 피해 발생

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
			라 3단계로 구분된 위험 식별 프레임워크를 개발해 항만 물류에서 위험 수준을 평가 • 위험 완화 방안 제안 – 분석 결과와 사례 연구를 바탕으로 항만 물류 안전 개선을 위한 실질적인 방안을 제안	
	26	• 과제명: A fast reaction–based port vulnerability assessment: Case of Tianjin Port explosion • 연구자(연도): Cao et al. (2019) • 본 연구는 퍼지 증거 추론(Fuzzy Evidential Reasoning, ER)과 퍼지 TOPSIS 기법을 통합한 FRPVA 프레임워크를 사용해 항만 시스템의 취약성을 평가하고, 항만 이해관계자에게 복구 투자 및 관리 의사결정을 지원하는 실질적이고 효과적인 방법을 제공하는 것을 목표로 함	• 퍼지 논리 기반 다기준 의사결정 분석, 민감도 분석, 사례 연구 • 평가 대상 및 단위 선정 – 항만의 네 가지 평가 단위(항행 시스템, 적하 및 양하 시스템, 저장 시스템, 수집 및 분배 시스템)를 정의 • 지표 설정 – 항만 취약성 지표를 퍼지 언어 변수와 신뢰도 구조로 정량화 • 퍼지 증거 추론: 항만 시스템의 개별 취약성을 계산 • 퍼지 TOPSIS 분석 – 평가 단위의 병목 계수를 도출해 종합적인 취약성 점수를 산출 • 민감도 분석 – 전문가 의견 차이에 따른 결과의 민감도 및 견고성을 평가 • 사례 적용 – 톈진항의 폭발 사고 후 1일과 4개월 후를 기준으로 두 가지 평가 기간에 대해 적용	• 기존의 전통적인 방법론은 사고 초기 단계에서 데이터 부족과 다양한 데이터 형식 처리의 한계로 인해 효과적인 취약성 분석이 어려웠음 • 본 연구는 2015년 톈진항 폭발 사고를 배경으로 항만 취약성을 신속하게 평가하기 위한 빠른 반응 기반 항만 취약성 평가 프레임워크(FRPVA)를 제안 • 연구결과 • 취약성 분석 결과, 저장 시스템과 수집 및 분배 시스템이 톈진항의 주요 병목 지점으로 확인 • 저장 시스템은 두 평가 기간 모두에서 가장 취약한 시스템으로 나타남 • 적하 및 양하 시스템은 4개월간의 복구 기간 동안 가장 큰 개선을 보였으나 저장 시스템의 복구 투자 부족이 시사
	27	• 과제명: An Overview Of Security Challenges Of Seaport IoT Systems	• 문헌 검토 및 사례 분석 • IoT의 정의 및 역할 – IoT의 개념을 무선 센서 네트워크(WSN)의 진화로 정	• IoT는 항만 디지털화의 핵심 기술로 자리 잡았지만, IoT의 데이터 취약성은 무단 접근, 정보 도난,

구 분		선행연구 현황		
		연구목적	연구방법	주요연구내용
		• 연구자(연도): Jović et al.(2019) • 본 연구는 IoT 기반 항만 시스템에서의 주요 보안 과제를 식별하고, 이를 해결하기 위한 전략적 접근 방안을 제시	의하고, 항만 물류와 환경 보호에서의 활용 사례를 분석 • 보안 문제 식별 – 데이터 무결성과 프라이버시 문제를 포함한 주요 IoT 보안 취약점을 조사 • 보안 솔루션 평가 – 데이터 백업, 침입 탐지 시스템(IDS) 등의 예방 조치를 탐구 • 사례 연구 – IoT 기술이 성공적으로 구현된 항만의 사례를 통해 보안과 효율성 간 균형을 확인	데이터 손실 등 심각한 보안 위협을 초래하며, 이로 인해 항만 운영의 안전성과 지속 가능성이 위협 • 본 연구는 사물인터넷(IoT) 기술이 항만 운영의 효율성을 개선하면서도 보안 문제를 야기하는 이중적인 영향을 분석

2. 물류공급망 관련 재난·재해 사례 참조

1) 국내 항만

■ 본선 작업(해상 ⇄ 항만 구역)

가. 2022년 2월 15일 | 광양항 에틸리덴 노보르닌 20톤 해상 유출 사고

2022년 2월 15일 새벽 3시 56분, 전남 광양항 컨테이너부두 15번 선석에 정박 중이던 파나마 선적 2만 7천 톤급 컨테이너선 A호(승선원 20명)에서 크레인을 이용한 컨테이너 양하 작업 중 크레인 고정장치가 파손되면서 컨테이너가 선박 구조물에 추락했다. 이 과정에서 컨테이너 내에 적재된 인화성 유해액체물질 에틸리덴 노보르닌 약 20톤(총 적재량 23.6톤)이 선박 내 화물창으로 유출되었으며, 일부는 선박 배수구를 통해 해상으로 흘러간 것으로 확인되었다. 에틸리덴 노보르닌은 열, 스파크 또는 화염에 의해 쉽게 점화될 수 있는 인화성 물질이다. 직접적인 인명·재산 피해는 보도되지 않았으나, 해양오염 및 화재 위험 가능성이 제기되었다.

사고 직후 여수해양경찰서는 경비함정 4척과 해양환경공단 방제정을 투입해 유출 현장을 봉쇄하고 부유 방오포(boom)를 설치했다. 환경부·소방당국과 협의해 유해액체물질 처리 방안을 논의했으며, 파손된 컨테이너는 크레인으로 육상 인양 후 격리 보관했다. 해경은 소방차 8대와 민간 방제선을 포함한 긴급 대응 체계를 가동하고, 선원 및 목격자를 상대로 정확한 사고 경위와 유출량을 조사했다. 인접 해수 구역에 대한 수질 시료를 채취해 잔존 오염 물질 여부를 검사했으나, 초기 탐색 결과 해양오염은 발견되지 않았다.

나. 2023년 7월 20일 | 부산항 신항3부두 DINP 플렉시 탱크 파손·해상 누출 사고

화학물질종합정보시스템에 기록된 화학물질 사고 현황과 사례에 따르면, 2023년 7월 20일 한진부산컨테이너터미널㈜가 운영하는 부산항 신항 3부두에서 선적 작업 중 컨테이너가 선박 난간에 충돌하며 내부에 보관 중이던 약 20톤 규모의 다이아이소노닐프탈레이트(DINP) 플렉시 탱크가 파손되었다. 이 사고로 해양경찰이 추산한 약 177리터의 DINP가 해상으로 누출되었으며, 사고 유형은 '누출', 주요 원인은 '안전 기준 미준수', 주요 결과는 '해양 환경에 미치는 화학물질 유입에 따른 오염 피해'로 분류되었다.

DINP는 급성 독성은 낮으나 분해가 어렵고 장기간 환경에 잔류해 생물 축적 가능성이 크며, 내분비계 교란 물질로 의심되어 수생 생물에 만성 독성을 유발할 수 있다. 해당 사고는 소방청에 접수되지 않았으며, 인명·재산 피해 및 구체적인 현장 대응·사후 조치에 대한 공식 보도는 없는 상태이다. 이에 따라, 사고 발생 후 진행된 정밀 조사나 방제 활동, 관련 기관의 환경 모니터링 결과 등은 확인되지 않고 있다.

다. 2024년 2월 2일 | 울산신항컨'터미널 DOTP 플렉시백 파손 및 해상 유출 사고

화학물질종합정보시스템에 등록된 사고 현황과 관련 사례에 의하면, 2024년 2월 2일 ㈜한승항만물류산업이 운영하는 울산신항컨테이너터미널 내 부두에서 선적 작업 중 컨테이너가 정박 중이던 KMTC XIAMEN호의 셀가이드에 충돌하며 내부에 보관 중이던 디옥틸테레프탈레이트(DOTP, 100%) 플렉시백이 파손되었다. 이 사고로 육상 및 해상으로 약 40리터의 DOTP가 누출되었으며, 사고 유형은 '누출', 주요 원인은 '안전 기준 미준수', 주요 결과는 '해상 유입에 따른 해양 환경 피해'로 분류되었다.

DOTP는 급성 독성은 낮으나 눈·피부에 가벼운 자극을 유발할 수 있으며, 수생 환경에서 분해가 어려워 장기간 잔류하고 물고기 등 수생 생물에 만성 독성을 나타낼 수 있다. 소방청에는 접수되지 않았으며 인명·재산 피해는 없었으나, 해상으로 유입된 화학물질로 인해 해양 생태계에 오염 피해가 발생했다.

라. 2024년 5월 18일 | 부산항 감만컨테이너터미널 내 FMA-2P 누출 사고

화학물질종합정보시스템에 등록된 자료에 의거한 화학물질 사고 사례에 따르면, 2024년 5월 18일 오후 18시 59분 부산항 감만컨테이너터미널 내에서 화주사 솔브레인(주)의 수출용 컨테이너를 선적하던 중 IBC 드럼 80개(각 200 L)에 담긴 FMA-2P 약 200L가 누출되었다. 이번 사고는 드럼의 밀봉 및 고정 불량으로 안전 기준 미준수에 따른 '누출' 사고로 분류되었다.

FMA-2P의 주성분인 질산(49-59 %)은 강한 부식성과 조직 자극성을, 아세트산(1-10 %)은 눈·호흡기 자극 및 수생 독성을, 불산(0.1-0.99 %)은 피부·뼈 조직 침투로 인한 칼슘 결핍을 유발하는 극도로 부식성 물질이다. 이들 화학물질이 해수에 유입될 경우 pH 변화를 일으키고 금속 부식을 촉진해 해양 생태계에 독성 영향을 미칠 수 있다. 소방청에는 접수되지 않았으며 인명·재산 피해는 없었다.

마. 2024년 6월 18일 | 부산신항국제터미널 내 비스(2-에틸헥실)프탈레이트 누출 사고

화학물질종합정보시스템에 포함된 화학물질 사고 현황과 사례에 따르면, 2024년 6월 18일 부산광역시 강서구 신항남로 330 부산신항국제터미널에서 환적화물 컨테이너를 선박으로 재선적하는 과정 중 컨테이너 내부에 적재된 비스(2-에틸헥실)프탈레이트(100%) 용기가 파손되어 누출이 확인되었다. 사고 유형은 '누출', 주요 원인은 '작업 중 안전 기준 미준수'로 분

류되었다.

비스(2-에틸헥실)프탈레이트는 급성 독성은 낮으나 내분해성이 매우 낮아 환경 중 장기 잔류 및 생물 축적 가능성이 크고, 내분비계 교란 등 만성 독성을 유발할 수 있어 해상으로 유입될 경우 해양 생태계에 잠재적 영향을 미칠 수 있다. 소방청에는 접수되지 않은 사고로 인명 피해나 재산 피해는 공식 보도되지 않았다.

■ 야드 보관·적재·하역·이송 작업

가. 2015년 9월 7일 | 인천신항 푸르푸릴 알코올 24톤 탱크 컨테이너 폭발 사고

2015년 9월 7일 오후 6시 49분, 인천광역시 연수구 송도동 인천신항 선광터미널 야드에서 위험물로 분류되는 합성수지 원료 '푸르푸릴 알콜'을 선적한 24톤 원형 컨테이너(탱크로리) 한 대가 내부 압력 증가로 폭발해 철제 뚜껑이 날아가고 내용물 일부가 유출되는 사고가 발생했다. 푸르푸릴알코올은 인화성 액체 물질로 강한 인화성과 자기중합 위험성, 피부·호흡기 자극성 및 중추신경계 억제 가능성이라는 고유 위험성을 지니고 있다. 이는 위험물 보관장소에서 발생해 인명 피해는 없었으며 주변 화물에 큰 피해는 없었다. 해당 사고는 탱크로리 내부 잔존 물질 세척 미흡으로 이전 화물과 새 화물이 혼합되어 화학반응이 일어난 결과로 추정되었다.

사고 직후 터미널 운영사인 선광신컨테이너터미널 주식회사와 인천지방경찰청, 한국해사위험물검사소 등이 합동으로 현장에 출동했다. 부두 운영사와 방재센터는 남아 있던 푸르푸릴 알코올 잔류물을 수거해 시료 분석을 실시했으며, 터미널 내 전 위험물 컨테이너에 대해 안전점검을 실시했다. 선광터미널 측은 경찰의 정밀 조사 결과가 나오면 구체적 예방대책을 마련

할 방침이며, 위험물 야적장 관리 매뉴얼과 세척 절차를 전면 재검토할 예정이라고 밝혔다. 전문가들은 인위적 폭발 가능성은 낮으며, 터미널 내 안전관리자 외 출입 통제와 2단 적치 금지 등으로 2차 피해로 확대될 가능성은 없다고 진단했다.

나. 2017년 11월 30일 | 부산항 신항 톨루엔 희석액 10ℓ 누출 사고

2017년 11월 30일 오후 1시 13분경, 부산광역시 강서구 부산항 신항 4번 선석에서 24톤 탱크로리가 작업 중 전도되며 내부에 적재돼 있던 약 20톤의 톨루엔 희석액 중 10리터가 도로 위로 유출되었다. 이 사고는 운행 중 과속 또는 운전 부주의로 인한 탱크로리 전도가 원인으로 조사되었으며, 유출된 물질은 탱크 투입구 뚜껑 틈새를 통해 소량 배출되었다. 톨루엔은 고도의 인화성과 중추신경계 억제 독성, 호흡기·피부 자극성을 지니며 대기 중 빠른 휘발로 주변 대기오염을 유발하고 수계 유입 시 수생 생물에 독성을 나타낼 수 있다. 현장에는 인명피해 및 인근 화물 파손이 보고되지 않았다.

사고 신고를 접수한 부산소방본부 화학구조대는 크레인 등 중장비를 동원해 전도된 탱크로리를 25분 내 정상 상태로 복원하고, 흡착포를 이용해 유출된 톨루엔 희석액을 전량 회수했다. 이후, 부산소방본부는 화학물질안전요원 등과 함께 1시간 20분 내 잔류 톨루엔을 모두 제거 완료했으며, 사고 현장 주변 대기·도로 표면에 대한 잔류 물질 검사를 시행했다. 부산 강서경찰서는 조사 결과, 사고 당시 사용된 YT 차량에 컨테이너와 차체를 결속하는 안전고리가 설치되지 않았음을 확인했다. 유사 사고 재발 방지를 위한 운반 방식 전반의 안전 점검 강화 방안은 공식 발표되지 않았다.

다. 2018년 4월 17일 | 울산신항 컨'터미널 내 ISO 탱크 무수 불산 누출 사고

화학물질종합정보시스템에서 제공된 화학물질 사고 현황과 사례에 의하면, 2018년 4월 17일 0시 53분경 울산신항 컨테이너터미널(울산광역시 남구 용연로 370) 내에서 보관 중이던 ISO 탱크 컨테이너의 상부 엘보 배관에서 부식으로 추정되는 핀홀이 발생하며 내부에 남아 있던 약 30L의 무수 불산(HF) 가스가 누출되었다.

무수 불산은 극도로 부식성이 강해 피부·안구에 접촉 시 즉각적인 화학적 화상을 일으키고, 흡입 시 호흡기 손상 및 전신 칼슘 결핍을 유발할 수 있는 고위험 물질로, 누출 시 주변 설비·구조물의 금속 부식과 더불어 인체의 화상 및 호흡기 손상을 초래할 수 있으며 환경적으로도 토양·수계의 pH 변화를 유발할 수 있다. 이 사고로 인명·재산·환경 피해는 공식 보고되지 않았다.

라. 2018년 5월 21일 | 서산 대산항 아스팔트 원료 탱크로리 화재 사고

2018년 5월 21일 오후 7시 8분경, 충남 서산시 대산읍 대죽리 대산항 내 컨테이너 야적장에서 아스팔트 원료를 운반 중이던 28톤 탱크로리가 컨테이너 차량과 충돌하며 전도되어 화재가 발생했으며, 출동한 소방차에 의해 약 30분 만에 진화되었으나 탱크로리는 전소되어 약 5,500만 원 상당의 재산 피해가 발생했다.

아스팔트는 고온에서 작업할 때 배출되는 증기로 눈·호흡기 자극을 유발하고 폴리사이클릭 방향족 탄화수소(PAHs) 및 수소황화물(H_2S) 등의 유해물질을 포함한다. 아스팔트 포장이나 열처리 과정에서 배출되는 PAHs 및 기타 유기 오염물질은 대기 중 분진 및 도로 유출수 통해 토양·수질 오염을 일으킬 수 있다. 사고 신고를 접수한 부산소방본부 화학구조대는 크레인

등 중장비를 동원해 전도된 탱크로리를 30여분 내에 정상 상태로 세우고, 대산지방해양수산청은 인근 해상으로의 오염물질 확산을 방지하기 위해 흡착포를 이용해 유출된 오일과 연소 잔재물을 회수·제거했다. 소방당국은 목격자들을 상대로 사고 경위를 조사했다.

마. 2018년 8월 6일 | 부산 현대 신항만 내 드라이 컨테이너 삼염화인 누출 사고

2018년 8월 6일 오후 15시 25분, 부산광역시 강서구 성북동 현대신항만터미널 4부두 1선석 앞에서 컨테이너 화물 상차 작업 중 내부에 적재된 농약 원료 '삼염화인' 약 18.5톤 중 일부가 컨테이너 문틈을 통해 누설되는 사고가 발생했으며, 이는 컨테이너 문 밀봉 불량으로 인한 누출형 사고로 분류된다. 삼염화인(Chloropicrin)은 강한 자극성·독성을 지닌 흡입 유해물질로, 노출 시 기관지 경련과 폐부종을 일으키며 눈·피부에도 심한 자극을 유발할 수 있다. 이로 인한 인명·재산 피해는 보도되지 않았다.

사고 신고를 접수한 부산소방안전본부는 특수구조대 및 화학구조대를 현장에 긴급 출동시켜 컨테이너 주변을 통제하고 119 방제장비를 이용해 누출 물질을 차단·제거하는 안전조치를 진행했다. 특히 컨테이너 문틈에 흡착포를 설치하고, 잔류 삼염화인을 수거해 전문 분석기관에 전달함으로써 오염 확산을 방지했다. 유사 사고 재발 방지를 위한 운반 방식 전반의 안전 점검 강화 방안은 공식 발표되지 않았다.

2) 국외 항만

■ 본선 작업 (해상 ⇄ 항만 구역)

가. 2019년 5월 25일 | 태국 람차방항만 고려해운 컨테이너선 폭발사고

2019년 5월 25일, 태국 라엠차방항에서 고려해운 소속의 KMTC 홍콩호가 화재와 폭발을 겪은 사고가 발생했다. 해당 선박은 한국 선적의 1만 6천 톤급 컨테이너선으로, 싱가포르에서 출발해 태국으로 향하던 중에 발생했다. 사고 발생 당시 선박은 라엠차방항의 정박지에 있던 중이었으며, 995개 컨테이너를 하역하고 885개 새 컨테이너를 적재할 예정이었다. 사고는 오전 6시 55분에 발생했으며, 선박에는 한국인 선원 5명, 중국인 선원 14명, 미얀마인 선원 14명이 탑승하고 있었다. 사고 직후 검은 연기와 폭발로 인한 강한 화염이 발생했으며, 130명 이상이 병원으로 이송되었다. 인명 피해는 없었으나, 사고로 인한 연기와 화염의 영향으로 대피가 이루어졌다. 사고로 인한 재산 피해는 약 1억 바트(약 3.14백만 달러)로 추산되며, 태국 환경부는 공기 오염 수준이 안전 기준에 부합한다고 발표했다.

사고 직후, 태국 항만청은 선박 내 35개 컨테이너 중 13개에서 효포염산칼슘(Calcium Hypochlorite), 5개에서 염화파라핀(Chlorinated Paraffin Wax)을 발견했다. 이 화학물질들은 가연성이 높고 온도 변화에 민감해 화재와 폭발의 원인으로 작용한 것으로 추정된다. 화물 신고서에 따르면, 이 화학물질들은 인형 등으로 잘못 신고되었고, 세관에서는 해당 화학물질을 위험물로 신고받지 못했다. 이에 따라 세관은 사고 발생 전까지 해당 화물에 대해 위험물이 없다고 판단했다.

태국 항만청(SLPA)은 사고 발생 직후 화재 진압을 위해 태국 소방대와 협력해 화재를 진압했다. 화재는 9시간 만에 완전히 진압되었으나, 일부 구역에서는 연기가 계속해서 발생했다. 주변 마을에서는 산성비와 유해 연기

가 내려앉아 대규모 대피가 이루어졌으며, 그로 인해 환경 오염에 대한 조치가 취해졌다. 태국 환경부는 이후 공기 오염 수준이 안전 기준에 부합한다고 발표했다. 또한 130명 이상이 병원에 이송되었으며, 그 중 일부는 눈과 목의 자극을 호소하고, 일부는 피부 화상을 입었다. 그러나 대피한 주민들은 피해를 입지 않았다.

태국 항만청 화재 원인에 대해 위험물 발화 원인 등을 추가 조사 진행하고 있다. 세관은 미신고 위험물에 대한 책임이 선사에 있음을 명확히 했다. 세관은 위험물 신고 절차의 개선을 위해 추가 규제 강화를 계획한다고 밝혔다.

나. 2024년 8월 9일 | 중국 베이룬 터미널 정박 양밍해운 컨테이너선 폭발사고

22024년 8월 9일, 중국 저장성 닝보시의 베이룬 항만에 정박 중인 양밍해운 소속 컨테이너선 YM Mobility에서 폭발사고가 발생했다. 사고는 선박의 선미 부근에 위치한 컨테이너에서 발생했으며, 해당 컨테이너는 고온 환경에서 자가 발열 특성을 지닌 TBPB(tert-Butyl peroxybenzoate)라는 유기 과산화물을 포함하고 있었다. 조사에 따르면, 이 화학물질은 열적으로 불안정해 실온에서 자발적으로 분해되며, 그로 인해 많은 양의 열과 가스를 방출하게 된다. 사고 당시, 상하이와 닝보 지역의 기온이 매우 높아 외부 온도가 상승하면서 냉장 컨테이너의 내부 온도도 급격히 상승했다. 이로 인해 TBPB의 자가 분해 반응이 가속화되어 결국 폭발로 이어진 것으로 확인되었다.

사고의 원인은 TBPB의 자가 발열 반응과 이에 적합하지 않은 플러그가 뽑힌 냉장 컨테이너의 사용에 있었다. TBPB는 고온에서 분해되어 자가 발열 반응을 일으키며, 이 과정에서 발생한 열은 냉장 컨테이너 내에 축적되었다. 냉장 컨테이너는 본래 온도를 유지하기 위해 전원 연결이 필요한데, 이 컨테이너는 전원 연결 없이 사용되었고, 그 결과 내부 온도가 계속 상승

하면서 열폭주(thermal runaway) 현상이 발생했다. 조사팀은 이 냉장 컨테이너의 단열 성능과 기밀성 문제를 지적하며, 고온 환경에서의 자가 발열성 화학물질 운송 시 추가적인 안전성 평가가 필수적이라고 강조했다. 또한 여름철 고온과 TBPB의 특성을 고려하지 않은 운송업체의 과실이 사고를 초래했다는 결론을 내렸다.

조사팀은 운송업체와 선적업체가 고온 환경에서 TBPB와 같은 자가 발열 성질을 지닌 화학물질을 운송하는 데 있어 충분한 위험성 평가를 하지 않았다고 밝혔다. 특히 플러그가 뽑힌 냉장 컨테이너를 사용하기로 한 결정은 위험한 선택이었으며, 이로 인해 화물의 분해 반응에 의한 열이 축적되어 열폭주 현상이 일어났다. 운송업체는 고온 날씨, 화물의 자발적 열 방출, 그리고 냉장 컨테이너의 단열 성능을 고려해 적절한 안전성 평가를 수행하지 않았고, 이로 인해 사고가 발생했다. 선적업체와 운송업체는 이 사고의 원인에 대해 공동 책임을 지며, 화물 운송 과정에서의 온도 변화와 안전성 검토 부족을 인정해야 했다.

사고 이후, 중국 해사안전국(CMSA)은 위험물 관리 지침을 강화하고, 냉장 컨테이너 사용 시 상시 전원 연결 의무화와 고온 위험물에 대한 사전 안전성 평가를 필수화했다. 또한 비상 대응 훈련을 강화하고, 위험물 운송 시 온도 모니터링을 의무화해 유사 사고의 재발을 방지하기 위한 대책을 마련했다. CMSA는 이를 통해 위험물 운송 관리 체계의 강화와 철저한 평가 절차를 강조하며, 향후 더 나은 위험물 운송 시스템을 구축할 필요성을 제기했다.

다. 2024년 8월 11일 | 스리랑카 자야 터미널(JCT) MSC 컨테이너선 폭발 사고

2024년 8월 11일, 스리랑카 콜롬보 항구의 자야컨테이너터미널(JCT) 4번 부두에서 MSC Capetown III 컨테이너선에서 화재가 발생했다. 사고

는 자정을 지나 00:30경에 선박 갑판 아래에서 폭발이 발생하면서 시작되었으며, 이어서 화재가 발생했다. 이 선박은 스위스의 MSC가 운항하는 선박으로, 싱가포르에서 출발해 콜롬보 항만에 도착한 상태였다.

화재가 발생한 원인으로는 위험물을 포함한 컨테이너에서의 폭발과 그로 인한 화재로 추정된다. 예비 조사에 따르면, 사고가 발생했을 당시 선박 갑판 위의 60개의 컨테이너는 이미 하역되었으며, 그 중 하나에는 위험물이 포함되어 있었다. 사고는 갑판 아래에서 발생했으며, 해당 구역에는 약 100개의 컨테이너가 적재되어 있었다.

사고 직후, 스리랑카 항만청(SLPA) 소속 소방대는 신속하게 현장에 도착해 화재를 효과적으로 진압했다. 화재 발생 후, 화재 온도는 약 101°C에 달했으나, CO2를 이용해 온도를 40°C까지 낮추는 데 성공했다. 선박에 적재된 컨테이너들은 빠르게 대피되었고, 모든 승무원과 운영자는 안전한 지역으로 이동했다. SLPA 회장인 Keith D. Bernard는 사고에 대한 조사 절차를 시작할 것을 발표하며, 보험 회사가 손실 평가 및 후속 청구 절차를 처리하기 위해 조사에 참여할 것이라고 밝혔다.

사고 후, 스리랑카 항만청(SLPA)은 전체 조사를 시작했으며, 화재 원인을 파악하기 위해 정밀 조사를 진행하고 있다. 조사팀은 위험물 운송 및 컨테이너선 안전 관리에 대한 중요성을 다시 한번 강조하며, 향후 위험물 운송에 있어 더욱 철저한 관리와 안전성 평가가 필요하다고 강조했다. 선박의 보험 회사가 사고에 대한 손실 평가 및 후속 청구를 진행하고 있어 사건의 경제적 영향이 분석 중에 있다.

■ 야드 보관·적재·하역·이송 작업 (항만 내)

가. 2015년 8월 12일 | 텐진항 빈하이신구 류하이 국제물류 창고 폭발사고

2015년 8월 12일 저녁, 중국 톈진시 빈하이신구의 류하이 국제물류 창고에서 대형 폭발 사고가 발생했다. 1차적으로 '루이하이 국제물류유한공사'의 적재 야적 컨테이너에서 위험한 화학물질이 터져서 화재가 벌어지고, 그로 인해 주변의 기름 저장고에 불이 옮겨붙어 초대형 폭발이 두 번 일어났다고 언론사에서는 보고 있다. 중국 당국은 고온으로 인해 습윤제가 증발한 니트로셀룰로오스가 자발적으로 발화하면서 불길이 창고에 보관 중이던 질산암모늄 등 다른 위험물질로 확산되어 대규모 폭발로 이어진 것으로 결론지었다.

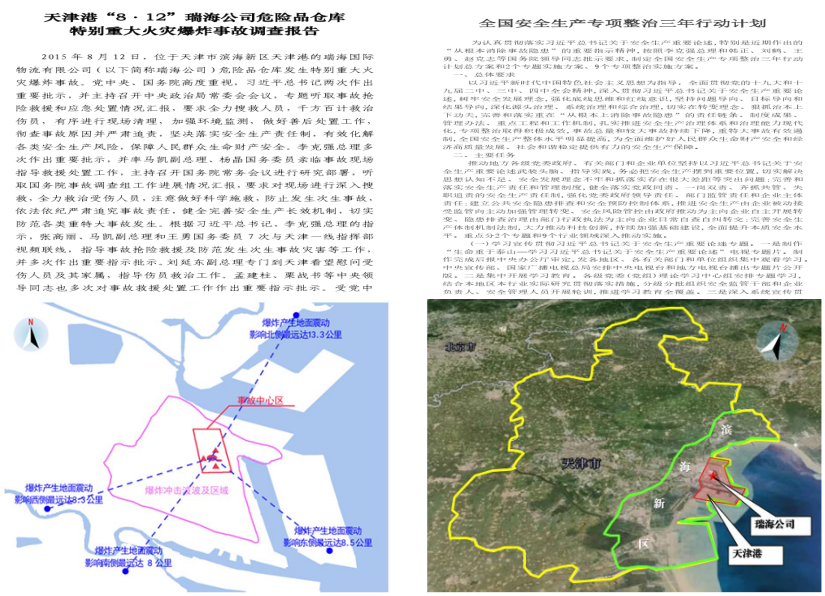
질산암모늄은 폭발물·비료 원료로, 질산칼륨은 화약·성냥 제조용, 탄화칼슘은 아세틸렌 가스 및 제강 공정 탈황제 등으로 사용되며, 특히 탄화칼슘이 물과 접촉 시 폭발성 가스를 대량 방출하는 특성이 위험도를 가중시켰다. 이 사고로 소방관 104명을 포함해 총 173명이 사망하고 798명이 부상당했으며, 반경 3km 이내의 건물과 주택 17,000여 채가 파손되고 6,000여 명이 대피했다. 차량 12,428대와 컨테이너 7,533개가 파손되어 피해액은 약 20억 달러로 추산된다. 당시 현장에는 법적 허용량의 70배를 초과하는 700톤 이상의 시안화나트륨이 불법 보관되어 있었고, 주거지역 1km 이내에 위험물 저장창고를 설치한 사실이 보도되었다. 초기 진화에 나선 기업 자체 고용 민간 소방대원과 정규 소방관 모두 폭발물 종류를 파악하지 못한 채 무작위로 진화 작업을 시도했다는 점도 지적되었다.

2015년 8월 18일 국무원 승인을 받아 공안부·국가안전생산총국·감찰부·교통운수부·환경보호부·전국총공회·톈진시 정부로 구성된 조사팀이 설치되었으며, 조사팀은 곧바로 전국의 위험물 저장소 10,269개소에 대해 전수 안전 점검을 실시해 모든 기업에 영업 정지 처분을 내리고 그중

2,550개 기업을 영구 폐쇄했다. 2016년 2월에는 국무원 주관으로 '8·12 톈진항 폭발사고 특별 사고조사 보고서'를 승인·권고해 위험물 취급·저장·운송 전반에 걸친 감독을 강화하고 위반 시 처벌을 엄격히 할 것을 지시했다.

2018년부터 톈진항은 자동화·클라우드·빅데이터 기반의 스마트 위험물 관리시스템을 도입하는 "지능형 톈진항 건설 3개년 행동 계획(2018~2020)"을 추진해 컨테이너 처리 효율과 사고 예방 기능을 개선했다. 2023년 6월에는 항만 기반시설 유지관리 의무를 규정하는 지방 조례가 제정되었고, 9월에는 위험화학품 취급 기업의 등록·모니터링 의무화 및 정기 안전검사 강화를 규정한 '톈진시 안전 관리 규정(治理规定)'이 시행되었다. 2024년에는 국가 비상관리부가 '2024~2026년 직장 안전 3개년 행동 계획'을 발표해 전 산업·운송·항만 부문을 대상으로 안전 교육 강화, 잠재위험 평가 체계 개선, 정밀 법 집행, 국민 안전 인식 제고 등의 정책을 실행하고 있다.

〈부록 그림 2-1〉 톈진항 국제물류 창고 폭발사고 대응 관련 자료



자료: 톈진항 8·12 루이하이(瑞海)회사 위험물 창고 특별중대 화재·폭발 사고 조사보고서(검색일: 2025년 4월 8일)

나. 2020 8월 4일 | 레바논 베이루트 항만 폭발사고

2020년 8월 4일, 레바논 베이루트 항구에서 발생한 폭발 사고는 2,750톤의 질산암모늄이 저장된 창고에서 발생한 화재로 촉발되었다. 이 화학물질은 2013년 몰도바에서 모잠비크로 향하던 선박 MV Rhosus에 의해 베이루트에 도착해 항구의 창고에 장기간 방치되었다. 이 사고로 인해 최소 218명이 사망하고, 7,000명 이상이 부상했으며, 약 300,000명이 집을 잃는 등 심각한 인명 및 재산 피해가 발생했다. 폭발은 TNT 1,100톤에 해당하는 위력으로, 베이루트 시내의 상당 부분이 피해를 입었고, 항구와 주변 건물들이 파괴되었다. 폭발로 인한 충격파는 3.3 규모의 지진과 동일한 충격을 일으켰으며, 이는 240km 떨어진 키프로스에서도 감지되었다.

사고의 직접적인 원인은 베이루트 항만 12번 창고에 장기간 저장된 2,750톤의 질산암모늄이 화재로 인해 폭발한 것이다. 이 화학물질은 2013년에 압수된 후 6년 동안 적절한 관리 없이 창고에 방치되었으며, 그동안 세관과 관련 기관들은 위험성을 여러 차례 경고했으나 적절한 조치를 취하지 않았다. 사고 발생 직전 화재가 발생하면서, 이 화재가 질산암모늄과 접촉해 대규모 폭발을 일으킨 것으로 추정된다. 질산암모늄은 농업용 비료로 사용되며, 화약과 같은 폭발물의 주원료로도 활용될 수 있는 매우 위험한 물질이다.

폭발 직후, 레바논 정부는 비상사태를 선포하고 군에 보안 책임을 이관했다. 또한 항만 관계자 16명은 가택연금 조치를 받았으며, 사고에 대한 공식 조사가 시작되었다. 레바논 정부는 국제 사회의 지원을 받기 위해 재난구호를 진행했으며, 프랑스 등 여러 국가들은 긴급 구조팀과 의료 지원을 제공했다. 2021년 8월, 국제 인권 단체인 Human Rights Watch는 사고의 책임이 레바논 고위 공직자들에게 있음을 지적하며, 국제적인 조사를 촉구했다. 사고 이후 레바논 정부는 항만 내 위험물 저장소에 대한 전면적

인 안전 점검을 실시했고, 국제 사회의 지원을 받아 항만 재건 계획을 수립했다. 프랑스는 2024년 3월, 베이루트 항만 재건을 위한 상세한 계획을 발표했으며, 이는 항만의 현대화와 안전성 강화를 목표로 하고 있다.

2020년 8월 4일 레바논 베이루트 항만 폭발사고 이후, 레바논 정부와 국제 사회는 항만 재건과 안전 강화를 위한 다양한 조치를 추진했다. 프랑스 정부는 엔지니어링 기업 Artelia와 Egis와 협력해 항만 재건 계획을 발표했는데, 이 계획에는 항만의 부두 복구, 교통 흐름 개선을 위한 레이아웃 재구성, 그리고 태양광 에너지 도입을 포함하고 있다. 유엔 경제사회이사회(UNECE)는 2021년 12월, 베이루트 항만 폭발사고를 계기로 항만 지역의 화학물질 관리 강화를 위한 세미나를 개최했다. 이 세미나는 위험물의 안전한 관리와 보안을 위한 높은 수준의 점검 체계 구축의 필요성을 강조했다.

다. 2025 4월 26일 | 이란 반다르아바스 항만 폭발 사고

2025년 4월 26일, 이란 남부 호르모즈간주 반다르아바스의 샤히드 라자이 항구에서 대규모 폭발이 발생했다. 이 항구는 이란 최대의 컨테이너 항만으로, 연간 약 8천만 톤의 화물을 처리하며 국가 전체 해상 무역의 약 85~90%를 담당하는 핵심 물류 거점이다. 사고로 인해 최소 70명이 사망하고 1,200명 이상이 부상했으며, 그중 138명은 중상으로 보고되었다. 폭발은 항만 내 시나 포트 마린 서비스(Sina Port and Marine Services)의 컨테이너 야드에서 발생했으며, 인근 건물들이 붕괴되고 수 킬로미터 떨어진 지역까지 충격파가 전달되었다. 폭발로 인한 연기는 수 킬로미터 밖에서도 관측되었으며, 인근 지역 주민들에게는 외출 자제와 마스크 착용이 권고되었다.

이란 정부는 사고의 원인을 항만 내 위험물질의 부적절한 저장과 관리로 인한 화재로 추정하고 있다. 이란 내무부는 사고 발생 직후, 항만 내 보관된 화학물질에서 불이 붙어 폭발로 이어졌다고 발표했다. 폭발 당시, 컨테

이너에 포함된 물질 중 일부는 로켓 연료로 사용되는 질산암모늄이나 과염소산나트륨으로 추정된다. 이러한 물질들은 화재가 발생할 경우 폭발적인 반응을 일으킬 수 있는 위험성이 크다. 특히 질산암모늄은 농업용 비료와 산업용 폭발물의 원료로 사용되며, 이란 정부는 화학물질의 보관 및 취급에 있어 안전 수칙이 미비했음을 인정했다. 사고 발생 직전 붉은색 연기가 관측되었으며, 이는 질산염 기반 화학물질의 폭발 시 발생하는 특징적인 현상과 일치한다.

사고 발생 직후, 이란 정부는 항만 내 모든 작업을 중단하고 긴급 구조 및 진화 작업을 실시했다. 이란 적신월사와 군 병력은 즉시 투입되어 부상자 구조와 화재 진압에 나섰다. 또한 러시아는 소방 항공기와 인력을 지원했다. 화재 진압 작업은 강풍 등의 기상 악화로 인해 어려움을 겪었으나, 약 80%의 화재는 진압되었고, 일부 화재는 구조가 완료되기 전까지 계속해서 확산되었다. 이란 대통령 마수드 페제시키안은 사고 발생 후 현장을 방문하고 피해자들을 위로하며 철저한 사고 조사를 지시했다. 또한 내무부 장관 에스칸다르 모메니는 사고의 원인을 '안전 수칙 미준수와 부주의'로 규정하고, 관련자들을 소환해 조사 중이라고 밝혔다.

사고 직후 이란 정부는 항만 내 모든 작업을 중단하고, 긴급 구조 및 진화 작업을 실시했다. 이란 적신월사와 군 병력이 투입되어 부상자 구조와 화재 진압에 나섰으며, 러시아는 소방 항공기와 인력을 지원했다. 이란 대통령 마수드 페제시키안은 현장을 방문해 피해자들을 위로하고, 철저한 사고 조사를 지시했다. 내무부 장관 에스칸다르 모메니는 사고의 원인을 '안전 수칙 미준수와 부주의'로 규정하고, 관련자들을 소환해 조사 중이라고 밝혔다. 이란 정부는 향후 항만 안전 관리 체계의 전면적인 개편과 함께 위험물 저장 및 운송에 대한 규제를 강화할 계획이다.

3) 국내 육상운송

가. 2013년 5월 18일 | 시흥시 컨테이너 트레일러 전복 및 불산 유출 사고

2013년 5월 18일 오전 8시 42분경, 경기도 시흥시 정왕동 무진아파트 인근 도로에서 화물차에 실려 있던 컨테이너가 전복되며 내부에 적재된 불산 40여ℓ가 도로로 유출되는 사고가 발생했다. 사고 당시 컨테이너에는 200ℓ 드럼통 80여 개에 총 18.8톤의 불산이 실려 있었으며, 이 중 일부가 파손되어 유출되었다. 유출된 불산은 55% 농도의 희석액으로, 인명 피해는 발생하지 않았다. 그러나 유출된 불산이 도로 30여㎡를 적시면서 인근 주민들의 안전에 우려를 낳았다. 경찰은 운전자가 시화공단 방면으로 우회전하던 중 컨테이너가 좌측으로 넘어져 안에 담긴 드럼통이 파손되어 불산이 유출된 것으로 조사했다.

사고 발생 직후, 시흥소방서와 경찰은 현장에 신속히 대응해 도로를 통제하고, 유출된 불산에 대한 중화 작업을 실시했다. 또한 인근 아파트 주민들을 정왕동 사회복지관과 환경관리센터 등으로 대피시키고, 외출 자제를 권고하는 등 예방 조치를 취했다. 환경부는 사고 현장과 인접한 무진아파트 1개 동 입구와 내부, 옥상 3곳에서 불산 검지관을 이용한 측정을 실시했으나, 공기 중 불산은 검출되지 않았다.

나. 2014 5월 12일 | 광양 방향 컨테이너 차량 사고 및 디옥틸프탈레이트 누출 사고

화학물질종합정보시스템에 등록된 화학물질 사고현황 및 사례에 따르면, 2014년 5월 12일 전라남도 화순군 이양면 매정리 쌍봉교차로에서 LG화학 나주공장에서 광양 컨테이너 부두로 향하던 트레일러가 신호대기 중이던 5톤 트럭을 뒤에서 추돌하는 사고가 발생했다. 이로 인해 트레일러에 실려 있던 디옥틸프탈레이트(DOP) 20톤이 담긴 플렉시백이 파손되었으며, 약

500리터의 DOP와 경유, 엔진오일이 유출되었다.

해당 사고는 운송차량의 사고로 인한 누출형 사고로 분류되었으며, 소방청에는 14시 57분에 접수되었다. 사고로 인한 직접적인 인명·재산 피해는 보고되지 않았으나, 주요 물질인 DOP는 환경에 유해한 물질이 수계로 일부 유출되었고, 이로 인해 환경 피해가 발생했다. 사고 발생 후 진행된 정밀 조사나 방제 활동, 관련 기관의 환경 모니터링 결과 등은 확인되지 않고 있다.

다. 2015년 6월 18일 | 부산 남해고속도로 컨테이너 차량 사고 및 혼합액 누출 사고

화학물질종합정보시스템에 수록된 사고 현황과 사례에 따르면, 2015년 6월 18일 오전 9시 20분 부산 강서구 대저1동 671-9에 위치한 남해고속도로(부산 방향의 하행선)를 운행하던 컨테이너에서 용기 파손으로 인해 화학물질인 프로필렌글리콜 모노메틸 아세테이트(70%)와 1-메톡시-2-하이드록시프로페인(30%) 혼합액 약 0.7㎥가 유출되는 사고가 발생했다.

해당 사고는 운송차량의 누출 사고로 분류되며, 소방청에는 9시 20분에 접수되었다. 사고로 인한 인명 및 재산 피해는 없었으나, 유출된 화학물질의 환경적 영향에 대한 추가적인 피해 분석은 필요하지 않은 상황으로 보고되었다. 사고 이후 수행된 정밀한 조사나 방제 활동, 관련 기관의 환경 모니터링에 대한 결과는 확인된 바가 없다.

라. 2015년 7월 24일 | 부산 남해고속도로 컨테이너 차량 전복 및 혼합액 누출 사고

화학물질종합정보시스템에 포함된 화학물질 사고 현황과 사례에 따르면, 2015년 7월 24일 울산광역시 남구 부곡동 석유화학단지1문 사평삼거리에서 금호석유화학 울산고무공장에서 스티렌-1,3부타디엔 공중합체인 라텍

스(KUMHO KSL-341)를 1㎥ 전용용기에 담아 컨테이너 내부에 적재한 화물트럭이 급회전하면서 컨테이너 박스가 도로로 넘어져 제품 용기 중 1개가 파손되었으며, 약 100리터의 화학물질이 누출되었다.

누출된 화학물질인 라텍스혼합물, 스티렌, 1,3부타디엔은 환경에 유해할 수 있는 물질로 알려져 있다. 특히 스티렌과 1,3부타디엔은 인체와 환경에 심각한 영향을 미칠 수 있는 가능성이 있다. 해당 사고는 운송차량의 사고로 인한 누출형 사고로 분류되며, 소방청에는 15시 7분에 접수되었다. 사고로 인한 인명 및 재산 피해는 보고되지 않았으며, 사고 발생 후 실시된 세부 조사나 방제 작업, 관련 기관의 환경 모니터링 결과는 아직 알려지지 않았다.

마. 2015년 7월 30일 | 광양항 인근 컨테이너 차량 전복 및 MDI 추정물질 유출사고

화학물질종합정보시스템에 기재된 사고 현황과 사례에 따르면, 2015년 7월 30일 오전 11시 18분 전라남도 광양시 황길동에서 주행 중이던 트레일러에서 컨테이너가 떨어지며 MDI(폴리메틸렌 폴리페닐 아이소사이네이트) 추정물질 약 180kg이 유출되는 사고가 발생했다.

사고는 운송차량의 전복으로 인해 발생했으며, 컨테이너에서 실려 있던 화학물질이 도로로 유출되어 소방당국이 즉각 방제 작업을 실시했다. 사고로 인한 인명 및 재산 피해는 보고되지 않았다.

바. 2018년 4월 18일 | 광양항 컨테이너 터미널 운반 트럭 전도 및 MDI 누출 사고

화학물질종합정보시스템에서 제공된 화학물질 사고 현황과 사례에 의하면, 2018년 4월 18일 오후 17시 35분 전라남도 광양시 중동 길호대교 하단에서 ㈜대진 소속 차량이 금호미쓰이화학㈜에서 MDI(4,4'-디이소시안

산 디페닐메탄) 컨테이너를 상차한 후, ㈜대진의 야드로 운반해 영신특수화물㈜ 소속 차량으로 이적하고 광양항 컨테이너 터미널로 운반 중 전도되며, IBC 탱크에 저장 중이던 약 2.1톤의 MDI가 누출되는 사고가 발생했다.

해당 사고는 운송차량의 전도에 의해 발생한 누출 사고로 분류되며, 소방청에는 17시 35분에 접수되었다. 사고로 인한 인명 및 재산 피해는 보고되지 않았으나, 유출된 MDI는 도로 오염을 초래했다. 사고 발생 이후의 정밀한 조사, 방제 작업, 그리고 관련 기관의 환경 모니터링 결과는 공식 발표되지 않았다.

사. 2017년 8월 13일 | 경기도 의왕시 오봉역 과탄산나트륨 적재 화물열차 화재

2017년 8월 13일, 경기도 의왕시 오봉역에서 과탄산나트륨을 실은 화물열차에서 화재가 발생했다. 이 사고는 노후화된 컨테이너에서 화물에 수분이 침투하면서 화학반응이 일어난 결과로 밝혀졌다. 과탄산나트륨은 산성비와 결합할 경우 맹독성 청산가스를 생성할 수 있어, 사고 당시 주변 대기와 환경에 큰 위험을 초래할 수 있었다. 화재는 2시간 30분 만에 진압되었지만, 철도 화물 운송에서 발생할 수 있는 잠재적 사고의 위험성은 여전히 크다. 사고 후 진행된 정밀 조사나 방제 활동 및 관련 기관의 환경 모니터링 결과는 아직 공식 보고되지 않았다.

4) 국외 육상운송

가. 2023년 8월 29일 | 독일 마그데부르크 컨테이너 트럭 다중 충돌 및 화재

2023년 8월 29일, 독일 마그데부르크 인근 A2 고속도로에서 다섯 대의 트럭이 연쇄 사고를 일으켰다. 이 사고는 한 트럭이 다른 세 대의 트럭과 충돌한 후, 다섯 번째 트럭이 질소산화물 고압 탱크를 싣고 있던 다른 트럭

과 충돌하면서 발생했다. 충돌 후, 화재가 발생해 트럭들이 불에 휩싸였고, 그 불은 인근의 위험물 운반 트럭으로 확산되었다.

사고로 인해 발생한 화재는 질소산화물 탱크에서 시작해, 위험물질을 실은 트럭으로 확산되었다. 트럭에 실린 화학물질의 종류는 명확히 밝혀지지 않았지만, 독성 물질이 유출되었으며, 그로 인해 여러 차례 폭발이 발생했다. 이러한 폭발은 검은 연기를 하늘로 솟구치게 했으며, 주변에 있던 차량들도 피해를 입었다.

사고 직후, 경찰과 소방대원들은 사고 현장에서 650미터의 안전 구역을 설정하고, 접근을 제한했다. 폭발의 위험성으로 인해 구급대원들은 현장에 접근할 수 없었으며, 주민들은 창문을 닫고 집에 머물도록 지시받았다. 사고 현장과 주변 지역은 안전이 확보될 때까지 통제되었고, A2 고속도로의 일부 구간은 12시간 동안 폐쇄되었다.

경찰은 사고 원인에 대한 조사를 시작한 이후, 사고 당시 트럭에 실려 있던 화학물질의 적절한 저장 상태와 운송 과정에서의 부주의가 주요 원인일 수 있다고 추정하고 있다.

나. 2024년 10월 30일 | 미국 매사추세츠주 I-495 컨테이너 트럭 화재

2017년 10월 30일, 매사추세츠주 I-495에서 ACV Enviro라는 회사 소속의 트레일러가 화재를 일으켰다. 트레일러에는 다양한 위험 화학물질이 실려 있었으며, 이로 인해 고속도로 북쪽 방향이 약 12시간 동안 차단되었다. 사고는 오후 12시 30분경 발생했으며, 트럭 운전자가 트레일러에서 나는 연기를 발견하고 긴급히 트레일러를 분리했다.

화재는 트레일러 내부에서 폭발적인 화학반응이 일어나면서 발생했다. 트레일러에는 에테르, 아세톤, 비료, 페인트 및 바니시 등의 화학물질과 가연성 액체가 실려 있었으며, 이들이 반응하면서 폭발과 화재를 일으켰다.

특히 스프레이 캔이 폭발하면서 화재는 급격히 확산되었고, 이에 따라 대체 계획이 세워졌다.

사고 발생 직후, 앤도버 소방서와 주 위험물 대응팀이 현장에 출동해 화재 진압을 시도했다. 소방팀은 가능한 한 많은 화재를 태우도록 하고, 남은 작은 불을 소화하기 위해 폼을 사용해 진압을 진행했다. 고속도로 폐쇄는 공공 안전을 위해 이루어졌으며, 이로 인해 수많은 운전자가 교통 통제로 큰 불편을 겪었다. 또한 소방팀은 화학물질로 인한 환경 피해를 최소화하기 위해 최소한의 폼만 사용하기로 했다.

사고 원인과 관련된 구체적인 조사 결과는 발표되지 않았다. 트레일러에서 운반된 화학물질의 저장 방식에 문제가 있었을 가능성도 제기되었다. 일부 화학물질들이 서로 반응할 수 있는 성질을 가지고 있어, 운송 중 부주의한 배치로 인해 사고를 일으킨 것으로 추정된다. 관련 당국은 이러한 화학물질들이 안전하게 운반될 수 있도록 규제를 강화할 필요성을 강조했다.

다. 2024년 7월 27일 | 미국 캘리포니아주 I-15 고속도로 리튬 배터리 적재 트럭 전복 및 화재

2024년 7월 27일, 캘리포니아주 I-15 고속도로에서 리튬 이온 배터리를 실은 세미트럭이 전복되었다. 이 사고로 인해 도로가 약 44시간 동안 폐쇄되었으며, 리튬 배터리에서 발생한 화재로 인해 수 마일에 걸쳐 교통이 마비되었다. 이 사고는 라스베거스와 LA를 연결하는 주요 고속도로에서 발생해, 대규모 교통 정체를 초래하고 경제적 영향을 미쳤다.

사고 당시, 트럭에 실린 리튬 이온 배터리가 전복된 후 폭발적인 열폭주(thermal runaway) 현상이 발생했다. 이로 인해 화재가 발생했으며, 고온으로 화재가 확산되었다. 배터리에서 폭발이 발생하면서 화염이 치솟고, 수 시간 동안 진압이 어려운 상황이 지속되었다. 리튬 이온 배터리의 특성상,

열폭주 현상은 배터리 내부에서의 급격한 열 상승으로 인한 연쇄 반응을 일으킨다.

캘리포니아 고속도로 순찰대와 소방대원들은 사고 발생 직후 도로를 폐쇄하고, 화재 진압을 위해 긴급 대응했다. 안전을 위해 리튬 이온 배터리가 포함된 컨테이너를 도로에서 멀리 이동시키고, 화재가 자연스럽게 진압되도록 유도했다. 또한 사고 지역 인근의 고속도로는 사고 발생 후 약 44시간 동안 폐쇄되었으며, 교통은 대체 경로로 우회되었다.

사고 후, 미 의회 의원 Dina Titus는 리튬 이온 배터리 운송에 대한 규제를 강화할 것을 촉구했다. 그녀는 리튬 배터리 운송 시, 충전 상태를 최대 30%로 제한하고, 충돌 시 배터리가 받는 충격에 대한 테스트를 의무화하는 법안을 제안했다. 또한 이 사건을 계기로 리튬 이온 배터리 운송의 위험성과 이에 대한 추가적인 안전 조치가 필요함을 강조하며, 새로운 법안이 신속히 통과될 수 있도록 노력할 것이라고 밝혔다.

라. 2024년 9월 26일 | 미국 캘리포니아주 47번 도로 리튬 배터리 운반 컨테이너 트럭 전복 및 화재

2024년 9월 26일, 캘리포니아주 47번 도로에서 리튬 이온 배터리를 운반하던 대형 트럭이 전복됐다. 사고는 LA 항구 근처에서 발생했으며, 트럭에 실려 있던 배터리 중 하나가 폭발하면서 큰 화재를 일으켰다. 이로 인해 해당 고속도로는 약 이틀 동안 폐쇄되어 교통마비를 초래했다.

사고 원인에 대한 구체적인 보도는 없으나, 리튬 배터리의 폭발과 '열폭주' 현상으로 화재가 확대된 것으로 보인다. 열폭주는 배터리 내부의 온도가 급격히 상승하면서 한 셀이 손상되면 인접한 셀들이 연쇄적으로 영향을 미쳐 화재를 악화시킨다. 사고 직후, 소방대원들은 화염이 3미터 이상 치솟는 모습을 목격했다. 리튬 이온 배터리는 열폭주 현상(thermal runaway)

이 발생할 수 있어, 과열로 화재가 확산됐다.

소방대원들은 초기 화재 진압 후 물을 사용하지 않고 배터리가 자연스럽게 화학반응을 마치도록 방치했다. 이는 물을 사용하면 유해 화학물질이 배수구를 통해 환경에 유출될 수 있기 때문이다. 사고 현장 근처 도로는 약 7마일 구간이 폐쇄되었고, 포트의 여러 터미널도 운영을 중단했다. 이후, 소방대원들은 배터리를 안전한 공터로 옮겨 놓고 이를 모니터링하며 자연스럽게 화학반응이 완료되도록 했다.

사고 발생 원인에 대한 구체적인 확인은 아직 이루어지지 않았다. 이 사고는 리튬 이온 배터리 운송 중 발생할 수 있는 위험성을 보여주었고, 화재 진압의 어려움과 이에 따른 도로 폐쇄 및 포트 운영 차질 등 경제적 영향을 미쳤다. 또한 리튬 배터리 운송의 안전성을 강화하기 위한 규정 마련과 교육의 필요성이 강조되었다. 사고 발생 24시간 후, 고속도로는 재개방되었으며, 리튬 배터리 운송의 안전 규정을 강화할 필요성이 대두되었다.

마. 2014년 10월 7일 | 캐나다 사스캐처원주 화물열차 탈선 및 컨테이너 트레일러 위험물질 유출

2014년 10월 7일, 캐나다 사스캐처원주 시블리 근처에서 캐나다 국철(CN)의 화물열차가 탈선해 화재가 발생했다. 사고는 오전 10시 40분경 발생했으며, 100량의 화물열차 중 26량이 탈선했다. 이 열차는 비료와 아모니아, 석유 증류물 등의 위험물질을 싣고 있었고, 두 대의 트레일러에서 석유 증류물이 유출되어 화재가 발생했다. 현장은 강한 연기와 불꽃으로 가득 차 있었으며, 인근 지역에서 약 50명이 대피했다.

탈선한 열차에서 발생한 화재는 석유 증류물 유출로 인해 발생했다. 석유 증류물은 주로 디젤, 항공유, 난방유 등의 형태로 사용되는 고온과 화학반응을 일으킬 수 있는 물질이다. 화재는 두 개의 트레일러에서 유출된 석

유 증류물에서 발생했으며, 불꽃은 30미터 이상 치솟았다. 또한 몇몇 트레일러에는 염산과 가성소다와 같은 다른 위험물질이 실려 있었다.

사고 직후, 지역 소방서와 위험물질 대응팀이 현장에 출동해 화재를 진압했다. 캐나다 국철은 사고 발생 직후 전문가들을 현장에 보내어 화재 진압과 위험물질 제거 작업을 진행했다. 사고 지역 주변 5마일 반경 내 주민들은 대피 명령을 받았으며, 특히 농장이 밀집한 지역에서 가축을 돌보는 사람들도 대피했다. 대피한 주민들은 인근 웨이던나(Wadena)로 이동해 대피소가 마련되었다.

사고 원인에 대한 조사는 캐나다 교통안전위원회(TSB)와 관련 당국은 초동 조사에 따르면, 열차에 실린 석유 디스틸레이트와 같은 화학물질이 탈선 사고 후 화재의 주요 원인으로 파악되었다.

바. 2021년 5월 16일 | 미국 아이오와주 화물열차 탈선 사고 및 화학물질 적재 컨테이너 화재

2021년 5월 16일, 미국 아이오와주 시블리에서 발생한 화물 열차 탈선 사고로, 47량의 열차가 탈선해 화재가 발생했다. 이 사고는 유니온 퍼시픽(Union Pacific) 열차가 발생시킨 것으로, 화학물질을 포함한 화물들이 탈선하면서 큰 피해를 초래했다. 현장에서는 검은 연기가 하늘로 솟구쳤고, 사고로 인한 화재가 지속되었으며, 이에 따라 인근 주민들이 대피했다.

탈선한 열차는 비료와 아모늄을 싣고 있었으며, 이들 화학물질이 포함된 트레일러에서 화재가 발생했다. 사고 당시 불꽃과 연기는 빠르게 확산되었고, 트레일러들은 연기를 내뿜으며 불에 휩싸였다. 화재가 발생한 후, 사고 지역 주변에서 검은 연기가 하늘로 솟구쳤으며, 그로 인해 대규모 대피 조치가 취해졌다.

사고 발생 후, 시블리 소방서와 지역 응급 구조대가 현장에 출동해 화재

진압과 화학물질의 안전 처리를 시도했다. 현장 주변 5마일 반경 내의 주민들은 대피 명령을 받았고, 약 80명이 대피했다. 사고 직후, 유니온 퍼시픽은 소방대원들과 협력해 화재를 진압하고 탈선 차량을 제거하는 작업을 진행했다. 소방대원들은 현장에서 비료와 아모늄 화학물질을 처리하는 데 어려움을 겪었다. 사고 후, 유니온 퍼시픽은 향후 비슷한 사고를 방지하기 위한 개선 작업을 예고했다.

사. 2023년 2월 3일 | 미국 오하이오주 화물열차 탈선 사고 및 발암물질 유출

2023년 2월 3일, 미국 오하이오주 이스트팔레스타인에서 발생한 화물열차 탈선 사고로 1.1백만 파운드의 발암물질이 유출되었다. 이 사고는 11량의 위험물 운반 차량이 탈선하면서 발생했으며, 사고로 인해 화재가 발생하고, 주민 수백 명이 대피했다. 이 사고는 지역 소방서가 대응하는 데 어려움을 겪은 사례로, 자원봉사자들로 구성된 소방대원들이 화학물질에 대한 충분한 대응 훈련을 받지 못한 상황이었다.

탈선한 열차 중 5량에는 비닐 클로라이드(발암물질)와 같은 유해 화학물질이 실려 있었고, 이 중 일부는 화재가 발생하면서 화학물질이 연소되었다. 화학물질이 폭발하면서 유독 가스를 방출했고, 사고 현장 주변에 검은 연기가 솟구쳤다. 이 화학물질은 폭발적인 특성을 지니고 있어 소방대원들은 위험물질의 종류에 맞춰 신속하고 전문적인 대응이 필요했으나, 현장 대응이 미비했다.

사고 발생 후, 이스트팔레스타인 소방서와 근처 다른 소방서들이 현장에 도착했으나, 주된 문제는 소방대원들이 화학물질에 대해 충분히 교육받지 못하고 장비도 부족하다는 점이었다. 비닐 클로라이드와 같은 유해 화학물질에 대한 정확한 대응 매뉴얼과 교육이 부족했으며, 이에 따라 소방대원들은 현장에서 즉시 적절한 대응을 하지 못했다. 이로 인해 주민들은 대피하고, 소방대원들은 화학물질에 대한 건강 위험에 노출되었으며, 사고지역

은 몇 시간 동안 폐쇄되었다.

사고 후, 오하이오주 정부는 화학물질에 대한 통보 시스템과 대응 절차의 개선이 필요하다고 강조했다. 화학 물질이 열차에 실려 있는 정보가 지역 주민들에게 사전 통보되지 않은 점은 큰 문제로 지적되었다. 또한 연방철도 관리청은 화학물질이 실린 열차의 경로를 공개하지 않아 지역 정부가 이러한 사고에 대한 대비를 하지 못하는 문제도 드러났다. 사고에 대응한 소방대원들은 비닐 클로라이드에 대한 신속한 테스트와 의료 검진이 부족해, 향후 장기적인 건강 위험에 직면할 가능성이 있다.

아. 2024년 7월 5일 | 미국 노스다코타주 화물열차 탈선 및 화학물질 유출

2024년 7월 5일, 미국 노스다코타 주에서 발생한 화물열차 탈선 사고로 여러 개의 트레일러가 탈선해 화재가 발생했다. 사고는 보르둘락(Bordulac) 근처에서 발생했으며, 약 25~30대의 트레일러가 탈선했으며, 그중 일부 트레일러는 위험 화학물질을 싣고 있었다. 사고로 인해 화재가 발생했으며, 화학물질 유출에 대한 우려로 현장은 긴급 대응에 들어갔다.

탈선한 열차에는 메탄올, 아모니아, 황 등 위험물질이 실려 있었다. 이 중 일부 트레일러에서 화재가 발생했으며, 불길이 빠르게 확산되었다. 화학물질이 포함된 트레일러들은 연료를 방출하면서 불길이 더욱 커졌고, 일부 지역 주민들이 대피하는 상황에 직면했다. 현장에서 발생한 화재는 트레일러들 간에 확산되었고, 대기 중으로 유해한 화학물질이 방출되었다.

사고 직후, 현장에는 카링턴 소방서와 지역의 위험 물질 대응팀, 캐나다 퍼시픽 철도(CPKC) 팀이 출동해 화재를 진압하고 유해 물질을 처리하기 위해 노력했다. 대응팀은 탈선 차량들을 식히고, 위험물질을 안전하게 제거하기 위해 12시간 이상 노력했다. 현장 근처 주민들에게는 1마일 반경 내에서 대피 명령이 내려졌고, 사고 대응과 환경 오염을 최소화하기 위한 작

업이 계속해서 진행되었다.

사고 원인에 대한 조사는 계속되고 있으며, 초동 조사에서는 탈선한 차량이 DOT-111, DOT-112, DOT-117 등 여러 종류의 탱크 차량을 포함하고 있었다는 사실이 드러났다. 특히 DOT-111 차량은 과거 여러 차례의 탈선 사고에서 문제가 되었으며, 이 차량들이 가연성 물질 운반에 부적합하다는 지적이 있었다. NTSB(국가교통안전위원회)는 해당 차량의 안전성을 문제 삼고 있으며, 이에 대한 교체를 촉구하고 있다. 현재까지 인명 피해는 없었으나, 일부 작업자는 화학물질에 노출된 후 치료를 받았다.

자. 2024년 9월 1일 | 미국 캘리포니아주 서터 카운티 화물열차 리튬 이온 열차 화재

2024년 9월 1일, 미국 캘리포니아주 서터 카운티에서 발생한 화물열차 화재로 두 대의 트레일러가 불에 휩싸였다. 이 열차는 리튬 이온 배터리와 다른 화물들을 싣고 있었으며, 화재는 마리빌 근처 하이웨이 70과 10번 거리에서 발생했다. 화재로 인한 부상자는 없었으며, 사고 지역 주변 주민들은 대피 명령을 받았다.

사고 발생 직후, 현장에서 리튬 이온 배터리가 실린 트레일러에서 불이 시작되었고, 화재가 두 대의 트레일러에 퍼졌다. 초기에는 리튬 이온 배터리로 인해 큰 위험이 발생했을 수 있다고 판단했으나, 후속 조사에서 실제로는 리튬 이온 배터리가 불을 일으킨 원인인지 확실하지 않다고 확인되었다. 배터리는 72파운드의 양이었고, 그 외에도 라이터, 헤어케어 제품, 컴퓨터 하드웨어 등의 화물도 실려 있었다.

화재 발생 후, 서터 카운티 소방대원들은 트레일러의 상단에 구멍을 뚫고 40,000갤런의 물로 불을 진압했다. 초기에는 리튬 이온 배터리가 가득 실려 있는 것으로 생각하고 대응했지만, 이후 화물 명단을 확인한 결과, 실

제로는 리튬 이온 배터리가 큰 위험을 초래하지 않았다고 밝혀졌다. 사고로 인한 연기는 몇 시간 동안 계속되었으며, 사고 지역은 하루 종일 교통이 통제되었고, 주민들은 대피 명령을 받았다.

사고의 정확한 원인에 대해서는 공식 발표되지는 않았는데, 초기에는 리튬 이온 배터리가 큰 위험을 일으킬 수 있는 화재의 원인으로 추정되었지만, 이후 해당 배터리가 실제로 불을 일으킨 원인인지는 명확히 밝혀지지 않았다. 서터 카운티 응급대응팀은 현장에서의 안전을 확보하기 위해 지역 주민들에게 위험물질에 대한 추가 조사를 진행하고 있으며, 향후 이러한 사고에 대비하기 위한 방안을 모색하고 있다.

3. 네덜란드 부가가치 기반 위험물 관리체계

■ 장기보관 허가 기반 비즈니스 모델

로테르담항은 위험물 장기보관에 대해 일률적인 제한을 두기보다는 허가제를 통해 유연하게 관리하고 있으며, 이 구조를 기반으로 다양한 형태의 부가가치 창출형 비즈니스 모델이 활성화되어 있다. 일반적인 위험물은 「Port Bye-laws」 및 BRZO 2015에 따라 48시간 이내 반출을 원칙으로 하나, 특별 허가(Extended Storage Permit)를 취득할 경우 최대 30일 이상 장기 보관이 가능하다. 이와 같은 제도는 단순 저장 공간 제공을 넘어 위험물 물류를 고부가가치 산업으로 전환할 수 있는 기회를 제공하고 있다.

특별 허가를 취득한 터미널은 위험물 보관 외에도 라벨링, 온도 유지, 검수, 유통기한 관리, 샘플링 및 선별, 화학분석 연계 등 부가서비스를 동시에 제공할 수 있어 고부가 고객 맞춤형 솔루션 제공이 가능하다. 특히 온도 민감형 위험물(예: Class 3 인화성 액체, Class 6.1 독성물질)의 경우, 냉장·가열·습도조절 설비를 갖춘 저장 구획을 통해 일정 기간 안전하게 관리하며, 재포장이나 성능시험 등 유통과정 내 처리도 병행된다.

대표적 사례인 CTT Rotterdam은 Class 1(폭발성) 및 Class 7(방사성)을 제외한 거의 모든 IMDG Code 위험물에 대해 장기보관이 가능하도록 허가를 취득하고 있다. 이 터미널은 Drop & Swap(공 컨테이너 회수 후 미리 적재된 컨테이너 인계) 방식, 특정 고객 전용 저장 구역 지정, 내륙수운·철도 연계형 통합 물류 서비스 등을 조합해, 다품종 소량 배송 또는 선적 대기 기간이 긴 국제 화주들의 수요에 효과적으로 대응하고 있다. 이는 단순한 보관을 넘어 고객 맞춤형 물류 허브로의 기능 확대를 가능하게 한다.

장기보관 허가 운영은 초기 비용 측면에서 일정한 진입장벽이 존재한다. 예컨대 방재설비 설치비, 정밀 평가비용, 등록 수수료, 보험료, 보안 강화

인프라 등이 필요하며, 지속적인 감독기관 점검 대응 체계도 유지되어야 한다. 그러나 위험물 장기보관 서비스는 일반 화물 대비 최대 3배 수준의 보관요율이 적용될 수 있으며, 이에 더해 검수비, 이동비, 재포장비 등 각종 부가비용도 수익화가 가능해 장기적으로는 안정적 수익구조를 확보할 수 있다.

이처럼 장기보관 허가제를 기반으로 한 운영 모델은, 항만이 단순히 위험물의 통과지(transit point)를 넘어서 저장·가공·품질관리·정보중계 등 복합 기능을 수행하는 부가가치 거점으로 진화할 수 있음을 보여주는 대표적 사례이다.

〈부록 그림 3-1〉 위험물 장기 보관을 위한 창고 내부



자료: SAFETY4SEA, https://safety4sea.com/port-of-rotterdam-chemical-sector-provides-a-wealth-of-opportunities/ (검색일: 2025.05.01.)

■ 위험물 버퍼 터미널 기능

로테르담항의 특별허가를 보유한 위험물 터미널은 단순 저장소를 넘어 국제 공급망 내 중간 재고기지(buffer terminal)로서의 전략적 기능을 수행하고 있다. 이들 터미널은 유럽을 최종 목적지로 하는 위험물 수입 물동

량의 분산, 일시 저장, 수요 조절 기능을 맡으며, 글로벌 공급 불균형이나 수요 예측의 불확실성에 따른 리스크를 효과적으로 흡수하는 역할을 한다.

예를 들어, 미국이나 아시아의 화주가 유럽 내 복수의 수입업체에 위험물을 공급하는 경우, 수입처의 창고 용량이 제한되거나 최종 배송 일정이 확정되지 않았을 때, 로테르담의 위험물 전용 터미널을 임시 저장기지로 활용하게 된다. 이 과정에서 터미널은 단순 보관 기능 외에도 위험물 재포장, 적재방식 변경, 통관 서류 준비, 최종 수요처별 분배 작업까지 병행 수행하며, 공급망의 완충 역할을 한다. 특히 Class 3(인화성 액체), Class 8(부식성 물질) 등 고빈도 품목은 수요 변동에 따라 유연한 대응이 요구되며, 이러한 터미널은 실제 공급 전략의 핵심 허브로 기능하게 된다.

버퍼 터미널의 효율적인 운영을 위해서는 복합운송 기반의 연계성 확보가 필수적이다. 로테르담항의 위험물 터미널은 항만 배후에 내륙수로(Barge), 철도 연결망이 밀집되어 있어 긴급 수요 발생 시 화물을 즉시 배분·반출할 수 있는 구조를 갖추고 있다. 또한 인근 산업단지 및 정유·화학 클러스터와의 물리적 연계도 높아 터미널–공장 간 단거리 폐쇄형 위험물 물류가 가능한 지리적 강점을 지닌다.

이와 함께 위험물 버퍼 터미널로서의 기능을 실현하기 위해서는 정보기반 운영체계의 고도화가 전제되어야 한다. 이를 위해 터미널은 창고관리시스템(WMS: Warehouse Management System)을 기반으로 실시간 재고 현황, 보관 위치, 유효기간, 반출 스케줄 등을 통합 관리하고 있으며, 전자문서 교환시스템(EDI)을 통해 고객사 및 관세당국, 물류사업자 등과의 연동을 자동화하고 있다. 이러한 시스템은 작업자 중심의 운영을 데이터 기반 의사결정 구조로 전환하며, 실시간 재고 추적성과 작업 효율성을 크게 향상시킨다.

결과적으로 로테르담항의 위험물 버퍼 터미널은 단순한 저장 기능을 넘

어 공급망 가시성, 수요 대응 유연성, 정보 연계성을 동시에 충족시키는 복합 물류 플랫폼으로 자리매김하고 있으며, 이는 유럽 시장을 겨냥한 글로벌 위험물 공급 전략의 중추적 기반으로 작동하고 있다.

■ 위험물 창고 및 세척 서비스의 고도화

로테르담항은 유럽 내에서도 가장 정교한 위험물 창고 및 세척 인프라를 갖춘 항만 중 하나로 평가받고 있으며, 이는 단순한 저장을 넘어 화학물질의 보관·관리·처리 전반을 아우르는 고부가 물류서비스 체계로 발전하고 있다. 현재 로테르담항에는 20개 이상의 위험물 전문 창고업체가 운영되고 있으며, 이들 대부분은 PGS15(네덜란드 위험물 저장 안전기준)[71]을 충족하고 있다. PGS15는 화재 및 누출 사고 방지, 클래스별 이격 거리 확보, 환기·온도·습도 조절 등 세부 설비기준을 규정하고 있으며, 업체들은 이를 기반으로 고위험 물질에 대한 안전한 저장 환경을 유지하고 있다.

이들 창고업체는 HACCP, ISO 9001, SQAS, GMP, SKAL(유기화학품 기준) 등 국제 인증체계를 적용해 운영되고 있으며, 단순 창고 기능을 넘어 고객 맞춤형 부가서비스를 다양하게 제공하고 있다. 대표적인 서비스에는 오더피킹, 분할·혼합 포장, 재포장 및 봉공처리, 위험물 전용 라벨링, 자동 재고관리시스템 기반 운영 등이 포함된다. 특히 다품종 소량 화주의 수요가 증가함에 따라 유연하고 민첩한 물류서비스 제공이 가능한 창고 운영 역량이 중요해지고 있으며, 이러한 창고업체들이 그 역할을 수행하고 있다.

위험물 컨테이너 세척 시장 또한 고도화되고 있으며, 이는 안전성과 환경규제를 동시에 충족하기 위한 핵심 영역으로 인식되고 있다. 2025년 기

71) 네덜란드의 위험물 저장 시설에 대한 국가 안전 가이드라인으로 포장된 위험물질(드럼, IBC, 컨테이너 등)을 창고나 야적장에서 안전하게 보관하기 위한 법적·기술적 기준을 제시 (설비 요건, 구획 분리, 이격거리, 누출 방지 구조 등을 정량적이고 실무적으로 규정)

준, 로테르담항 인근에는 20개 이상의 위험물 세척 전문업체가 운영되고 있으며, 이들은 일반화물과 위험물 세척공정을 물리적으로 구획 격리하고, ATEX(폭발방지) 기준을 충족하는 설비를 갖추고 있다. 특히 이소시아네이트, 메르캅탄, 고독성 부식물 등 고위험 화학물질 전용 세척라인을 운영하고 있으며, 세척 후 컨테이너에 대해 재사용 또는 수출용 적합성 검사를 병행 수행한다. 이를 통해 단순 위생 처리 차원을 넘어 국제 화학물질 물류의 품질·안전 기준을 충족하는 관리체계를 유지하고 있다.

세척 작업은 처리 대상 화학물질의 위험성과 잔류 가능성에 따라 Light, Medium, Heavy, Special 등 4단계 등급으로 구분되어 있으며, 고위험 물질을 다루는 경우에는 추가적인 작업허가(예: PGS 31 적용 또는 지역정부 승인)가 요구된다. 고객의 요청에 따라 온도 조절 기능이 있는 탱크 컨테이너 세척, 증기·열처리 기반 내부 정화, 폐수 재활용 및 무방류(Zero Discharge) 처리시스템 등이 함께 적용되며, 이는 친환경성과 고품질 물류서비스라는 두 가지 요건을 동시에 충족시키고 있다.

이처럼 로테르담항의 위험물 창고 및 세척 서비스는 단순한 보관과 세척을 넘어, 고위험 화학물질의 전주기 관리에 걸맞는 전문성과 시스템 기반 역량을 확보하고 있는 고도화된 산업으로 발전하고 있다.

〈부록 표 3-1〉 로테르담항만 주요 위험물 컨테이너 창고업 및 세척회사

회사명	위치	주요 서비스 및 특징	웹사이트
Neele-Vat Logistics	Rotterdam-Pernis	위험물 보관 및 분배, 포장, 통관, 컨테이너 트럭킹 및 창고 서비스	https://www.neelevat.com
De Rijke – Location Botlek	Botlek-Rotterdam	위험물 창고, 탱크 컨테이너 서비스, 내륙운송, PGS15 인증시설 운영	https://derijke.com/en/warehousing-botlek
De Rijke – Location Spijkenisse	Spijkenisse	포장 및 재포장, 산업용 화학물 저장, 위험물 분배 및 관리	https://derijke.com/en
Dunk Tank Cleaning Services B.V.	Rotterdam	식용유 및 화학물 탱크 세척, 선박 및 육상 지원, 24시간 운영, VCA 인증	https://dunkrotterdam.nl
IntVeen Tank Cleaning	Europoort	화학 및 식품 탱크 세척, 가열·퍼징 서비스, 폐수 재활용	https://www.intveen.nl/en/services/tank-cleaning-europoort
Cotac Nederland B.V.	Botlek-Rotterdam	탱크 컨테이너 세척, 보수, 재포장, 위험물 세척 특화	https://www.cotac-group.com/locations/europe/rotterdam
Maritime Shipcleaning Rotterdam	Rotterdam	선박 및 산업용 탱크 세척, 긴급 사고 대응, 고압/진공 기술 적용	https://www.maritimeshipcleaning.nl

자료: 개별사 웹사이트의 자료를 바탕으로 저자 작성 (검색일: 2025.4.28.)

4. 중국 주요 항만별 자체 규정

■ 상하이항

상하이항은 2022년 위험화학물 관리 체계를 강화하기 위해 국적선사인 COSCO와 장비업체 ZPMC 등과 새로운 전자 추적 장치인 위험화학품추적시스템(危险化学品追溯体系)을 도입했다. 이 시스템을 통해 컨테이너 단위로 QR코드와 RFID 태그를 부착해 입항 시점부터 보관과 이동, 최종 반출까지의 과정을 연속적으로 기록할 수 있다.

수집된 데이터는 항만 물류 시스템과 연동되어 응급관리국, 세관, 교통당국 같은 여러 기관에 실시간으로 공유되기 때문에 특정 지역에 위험물이 집중되거나 반출이 늦어지는 상황을 조기에 파악할 수 있고, 사고 발생 시 즉시 대응 체계가 작동해 신속 대응이 가능하다.

법적 근거는 2022년 8월 상하이시 교통위원회가 발표한 「위험화학물 컨테이너 하역작업 안전관리 강화 통지」에 있다. 이 규정은 모든 터미널이 전자 정보 관리 시스템을 갖추거나 정부가 마련한 플랫폼을 활용하도록 의무화했다. 또한 컨테이너 단위로 '일 컨테이너-일 코드(一箱一码)' 방식을 적용해 QR코드를 등록하게 했으며, 화학명과 UN 번호, 위험 등급, 작업 시간, 작업자 등의 정보가 즉시 관계 기관에 전달되도록 했다.

2023년 1월에는 한 단계 더 나아가 「위험화학물 추적코드 제도(危险化学品追溯码制度)」가 시행되었다. 이번에는 '일 물품-일 코드(一物一码)' 방식으로 확대해, 생산 단계에서부터 운송과 저장, 항만 반입까지 전 과정을 하나의 QR코드로 연결하는 체계를 마련한 것이다.

이후 2023년 1월에는 범위를 더욱 확대해 「위험화학물 추적코드 제도(危险化学品追溯码制度)」가 정식 시행되었다. 이 제도는 일 물품-일 코드

(一物一码) 방식을 적용해 생산, 운송, 저장, 항만 반입에 이르는 전 과정을 하나의 QR코드로 연결하는 방식이다. 새로 도입된 위험화학품추적코드는 항만 전자추적시스템과 직접 연계되어, 컨테이너가 입항할 때 QR코드를 스캔하면 해당 화물의 특성, 이동 경로, 보관 위치, 반출 예정 시각까지 바로 확인할 수 있게 되었다.

2023년 하반기부터는 SIPG, COSCO, ZPMC 등이 함께 이 시스템의 현장 적용을 본격적으로 추진했다. 특히 양산항과 외고교항 같은 대형 터미널에서는 실시간 경로 추적, 적치 최적화, 응급 대응 자동화가 동시에 구현되고 있다. 터미널별로 위험물 집중도나 보관 기간 초과 여부와 같은 조건을 경보 임계치(Threshold Alert)로 설정해 두면, 해당 조건이 발생하는 즉시 자동 경보가 울리도록 되어 있어 관리자가 신속하게 대응할 수 있도록 지원한다.

〈부록 표 4-1〉 위험화학품전자추적시스템 관련 주요 법제도

항목	주요 관련내용
위험화학품안전법 (초안, 危险化学品安全法)	• 위험화학물의 생산·운송·저장·사용·정보관리 체계 수립을 규정한 종합법 • 추적시스템 구축 및 정보 공유 의무화 조항 포함
안전생산법(安全生产法)	• 사업주체의 위험물 정보 제공 및 실시간 모니터링 시스템 구축 책임 명시 • 위험작업 추적시스템 관련 근거 조항 존재
위험화학품 등록관리 규정 (危险化学品登记管理办法)	• SDS, 라벨, UN번호 등 등록정보의 전자화와 위험물 추적 등록체계 규정. 추적코드 제도의 전제 법령
도로위험화물운수관리규정 (道路危险货物运输管理规定)	• 운송 경로, 적재기록, 전자정보 제출 의무 등 추적시스템 기반 관리 근거 제공 • QR 기반 통합정보 플랫폼 가능
위험화학품 추적코드 제도 시행지침 (상하이시, 危险化学品追溯码制度实施方)	• 一物一码 QR코드 부착, 생산-유통-항만 연계 기반의 통합 추적 시스템 지침 • 위험화학물 추적코드의 직접 근거

항목	주요 관련내용
위험화학품 컨테이너 하역작업 안전관리 통지(상하이시, 关于加强本市危险化学品集装箱装卸作业安全管理的通知)	• 一箱一码 방식 및 전자정보관리시스템 구축 의무 명시 • 위험화학품전자추적시스템 운영의 실질적 행정적 기반
위험화학품 품명표 (危险化学品品名表, GB 12268-2025)	• 시스템상 컨테이너 분류 및 정보 연동 시 사용하는 UN 번호 및 위험등급 데이터 기반 제공
위험물 분류 및 품명 번호(危险货物分类和品名编号, GB 6944-2025)	• 위험물 분류 기준에 따라 추적 정보 구조를 정의하는 분류 코드 기준

자료: 각 법령 참고

■ 닝보-저우산항

닝보-저우산항은 대량의 위험화학물 컨테이너가 입출입되는 구조적 특성을 갖고 있다. 이에 따라 닝보항은 중국 정부의 「위험물 컨테이너 항만 작업 안전 규정(危险货物集装箱港口作业安全规程, JT 397-2007)」, 「위험물 컨테이너 야드 설계 규범(港口危险货物集装箱堆场设计规范, JTS 176-2020)」, 「항만 작업 안전요건(港口作业安全要求 第3部分: 危险货物集装箱, GB 16994.3-2021)」 등에 따라 공식적인 위험물 관리 시스템을 구축·운영하고 있다. 이 기술표준은 2020년 6월 1일부터 시행되었으며, 이 기준은 위험화학물 컨테이너의 입·출항, 야드 적치, 응급대응에 필요한 정보들을 전산화하고 실시간으로 관리하는 정보시스템의 구축을 의무화하고 있다. 이 기준에 명시된 시스템 명칭은 항만 위험화학물 야드 관리정보시스템(港口危险货物堆场管理信息系统)으로, 이는 닝보-저우산항을 포함한 중국 주요 항만에서 사실상 유일하게 제도화된 위험물 전자관리 시스템이다.

닝보-저우산항은 위험화학물 전용 야드의 안전성을 높이기 위해 자체적인 정보 시스템을 마련했다. 단순히 데이터를 저장하는 데 머무는 것이 아니라, 현장의 상황을 실시간으로 관리하고 만약의 사고가 터졌을 때 곧바로 대응까지 할 수 있도록 설계된 종합 플랫폼에 가깝다.

이 시스템은 모든 위험물 컨테이너의 입출항 내역 및 적치 기록을 전산화해 최소 1년 이상 보관한다. 각 컨테이너마다 품명, 수량, 위험 등급 같은 핵심 정보가 입력되며, 이렇게 모인 자료는 사후 검증 근거로 활용될 수 있다. 더 나아가 야드 내부에서 위험물이 어떤 식으로 분포되어 있는지 시각적으로 확인할 수 있어 특정 구역에 화물이 몰려 있거나 위험도가 높은 지역이 형성되는지를 사전에 알 수 있다.

자료는 원격 서버에 이중으로 백업된다. 그래서 화재나 폭발 같은 사고가 발생해도 데이터가 손실되지 않고 즉시 복구가 가능하다. 동시에 대응 절차 역시 자동으로 작동한다. 아울러 해사국, 세관, 응급관리부 등 관계 기관과 연결되어 있어 긴급상황이 생기면 관련 정보가 실시간으로 전달된다. 이 덕분에 여러 부처가 동시에 움직이며 협력 체계가 빠르게 가동된다.

제도적 근거는 「항만위험화물 컨테이너 야드 기술표준(港口危险货物集装箱堆场技术标准)」에 있고, 실제 행정적 운영은 「항만위험화물 야드 관리정보시스템(港口危险货物堆场管理信息系统)」을 통해 이뤄진다. 단순히 기록을 남기는 수준을 넘어 디지털 추적과 실시간 위치 확인, 자동 응급 대응 기능까지 포함된 통합 관리 플랫폼으로 평가된다. 현재 닝보항은 스마트 항만 전략의 일환으로 IoT, 인공지능, 클라우드 기술을 접목해 시스템을 한층 더 고도화하려는 움직임을 보이고 있다.

〈부록 표 4-2〉 항만 위험화학물 야드 관리정보시스템 관련 주요 법제도

항목	주요 관련내용
위험물 컨테이너 항만 작업 안전 규정 (危险货物集装箱港口作业安全规程)	• 닝보항 포함 전국 항만에 적용되는 위험물 전자관리 시스템 구축 기술 기준. 정보시스템 운용의 공식 근거
위험화학품안전법 (초안, 危险化学品安全法)	• 국가 차원의 포괄적 법안으로, 위험물 전주기 통제 및 정보 공유 시스템 법제화 내용 포함
안전생산법(安全生产法)	• 위험작업장과 시설에 대한 정보화 관리, 위험요소 사전통제, 감독기관 연계 권한 부여 등을 규정 • 야드 관리시스템 법적 뒷받침

항목	주요 관련내용
도로위험화물운수관리규정 (道路危险货物运输管理规定)	• 항만을 통한 내륙 연계운송 시 적용. 위험물 이동기록 및 운송정보 전자화 연동 근거 제공
위험화학품 등록관리 규정 (危险化学品登记管理办法)	• 화학물 SDS, 라벨, GHS 분류 등 전자정보 등록 체계 규정 • 시스템 내 정보 정확도 검증의 기반
위험화학품 품명표 (危险化学品品名表, GB 12268-2025)	• 시스템 내 화학물 식별, 분류코드 입력 시 사용되는 국가 기준 목록
위험물 분류 및 품명 번호(危险货物分类和品名编号, GB 6944-2025)	• 위험물 컨테이너 등급 분류 시 시스템 입력 기준으로 사용됨

자료: 각 법령 참고

■ 톈진항

톈진항은 2015년 대형 폭발사고 이후 전국에서 가장 엄격한 위험화학물 규제를 운용하고 있으며, 이를 제도적으로 뒷받침하기 위한 공식 전자관리 시스템을 다층적으로 구축해 운영 중이다. 특히 상하이나 닝보항과 유사하게 톈진항은 컨테이너 단위의 위험물 정보기록, 작업승인, 자격검증, 실시간 모니터링이 가능한 디지털 통합시스템을 갖추고 있다.

현재 톈진항에서는 여러 관리 플랫폼이 운영되고 있는데, 대표적인 것은 두 가지로 정리할 수 있다. 첫째, 「톈진시 항만 안전생산 순찰·심사 정보서비스 시스템(天津市港口安全生产巡查审核信息服务系统)」이다. 이 시스템은 톈진시 교통운수위원회 산하 항만관리 부서가 직접 운영하는 통합 관리 플랫폼으로, 위험물 컨테이너가 입항한 이후부터 하역, 야드 보관, 반출에 이르기까지의 전 과정을 기록한다. 컨테이너가 언제 들어오고 나갔는지, 하역 작업이 언제 어떤 방식으로 진행되었는지, 작업자가 자격증을 보유했는지, 신고 서류가 제대로 제출되었는지까지 자동으로 검증된다. 이 과정에서 QR코드가 활용되어 데이터가 등록되고, CCTV 영상 모니터링과 작업자 자격증 데이터베이스와도 연동된다. 따라서 현장에서 위법 행위가 발생하면 시스템이 즉시 경고를 내보내는 구조다. 다시 말해, 하역과정 전체가 전

자적으로 관리되는 셈이다.

둘째, 「항만 위험화물 관리정보시스템(港口危险货物管理信息系统)」이다. 이는 톈진항 항만관리국(天津港航管理局)이 주도해 만든 행정 승인 및 문서 관리 중심의 시스템이다. 위험물 컨테이너의 하역작업 사전 신고, 행정 승인 절차, 입·출항 기록, 야드 보관 상황 등이 모두 이 시스템을 통해 관리된다. 2022년 기준으로 약 1.9만 건의 위험화학물 컨테이너 작업이 전산화되었으며, 작업계획 승인, 제출 문서 검증, 신고 이력 조회 같은 기능이 포함되어 있다. 특히 중요한 점은, 작업허가서가 발급되지 않으면 시스템에서 자동으로 하역 작업 자체를 차단하도록 설계되어 있다는 점이다. 이는 단순한 행정적 승인 절차가 아니라, 기술적 통제와 결합된 구조이기 때문에 안전성과 통제력을 동시에 확보한 모델로 평가된다.

또한 톈진항은 또한 「위험물 컨테이너 항만 작업 안전 규정(危险货物集装箱港口作业安全规程, JT 397-2007)」, 「위험물 컨테이너 야드 설계 규범(港口危险货物集装箱堆场设计规范, JTS 176-2020)」, 「항만 작업 안전요건(港口作业安全要求 第3部分: 危险货物集装箱, GB 16994.3-2021)」 등의 중앙정부 기준을 충실히 이행하고 있으며, 이를 기반으로 시스템의 기능을 고도화하고 있다. 시스템상 저장된 정보는 최소 1년 이상 보관, 관련 기관(MEM, 해사국, 세관 등)과 연계되어 다기관 협업을 통한 위험물 대응 체계를 실현하고 있다.

〈부록 표 4-3〉 항만 위험화학물 야드 관리정보시스템 관련 주요 법제도

항목	주요 관련내용
위험물 컨테이너 항만 작업 안전 규정 (危险货物集装箱港口作业安全规程)	• 위험물 컨테이너의 하역·적치·응급대응 절차 및 작업자 요건 등 규정 • 톈진항 전자관리 시스템 설계·운영의 핵심 근거
위험물 컨테이너 야드 설계 규범 (港口危险货物集装箱堆场设计规范)	• 컨테이너 야드 공간 배치, 격리 거리, 소방·환기 설비 등 설계 기준을 규정 • 시스템 내 이격거리·위험도 관리 기준의 기반

항목	주요 관련내용
항만 작업 안전요건(港口作业安全要求)	• 위험물 컨테이너 작업의 기본 안전기준 및 시각표시, 경고요건 등 규정 • 시스템 내 경고정보·라벨링 연동 근거
항만 작업자 안전관리 방안 (톈진시, 天津市港口安全生产巡查审核信息服务系统运行方案)	• 순찰, 작업자 자격, 하역 승인, 전산기록 절차 운영 근거
항만 위험화물 작업감독제도 (톈진시, 天津港航管理局港口危险货物作业监督制度（试行）)	• 항만-내륙 연계 운송 시 위험물 이동기록, GPS 추적, 서류 연동 요구 • 시스템 연계 항목 설정 시 참고 기준 제공
도로위험화물운수관리규정 (道路危险货物运输管理规定)	• 시스템 내 화학물 식별, 분류코드 입력 시 사용되는 국가 기준 목록
위험화학물 등록관리 방법 (危险化学品登记管理办法)	• SDS, 라벨, GHS 분류, 포장 정보 등 데이터 등록요건 및 정보일치 검증 기준. 시스템 자동검증 항목 기준 제공

자료: 각 법령 참고

■ 광저우항

광저우항은 최근 위험물 관리에서 자동화(自动化)와 정보화(信息化)를 핵심 과제로 삼아 여러 전자 기반 플랫폼을 도입했다. 단순히 기록을 남기는 수준이 아니라, 사전에 위험을 예측하고(事前预测), 행정 절차를 관리하며(行政管理), 현장에서의 작업을 통제하는(现场管控) 기능까지 갖춘 종합 디지털 장치라는 점에서 의미가 크다.

현재 공식적으로 가동되는 시스템은 세 가지이며, 서로 연결되어 위험물 관리 전 과정을 아우른다. 먼저 위험물 빠른 스크리닝 시스템(危险货物快筛系统)은 광저우 해사국이 직접 운영한다. 이 장치는 인공지능(AI, 人工智能) 기술을 활용해 선사가 제출한 화물 명세서를 실시간 분석하고, 컨테이너 단위 데이터에서 UN 번호, 화학물 약칭, 주요 키워드를 자동 추출한다. 신고가 허위일 가능성이 있는 건을 조기에 걸러내는 것이 핵심이며, 초당 수천만 건을 처리할 수 있을 정도로 성능이 높아 대형 항만에서도 활용 가

능하다. 이를 통해 허위 신고를 빠르게 차단하고 잠재적 위험을 줄인다.

두 번째로 운영되고 있는 것이 바로 위험물 항만 작업 감독시스템(危险货物港口作业监管系统)이다. 광저우항무국이 관리하는 이 플랫폼은 위험물 하역을 맡은 기업이나 작업자가 작업을 시작하기 전에 반드시 온라인으로 계획을 제출하도록 요구한다. 단순히 제출만으로 끝나는 것이 아니라, 행정기관의 승인을 받아야 실제 작업이 가능하다. 이 과정에서 작업자의 자격 심사, UN 번호와 위험물 종류 등록, 적치 위치 입력, 작업 완료 보고 등이 전산으로 처리된다. 등록된 사용자만 접속할 수 있도록 제한해 무단 작업을 막고, 자동 문서 검증 기능을 두어 허위 신고나 중복 제출도 차단한다. 이런 절차 덕분에 항만 내 위험물 작업은 훨씬 더 투명해지고 추적 가능성도 강화된다.

세 번째로 꼽을 수 있는 것이 위험물 정보관리시스템(危险货物信息管理系统)이다. 광저우항 각 터미널에서 직접 운영하는 이 시스템은 현장 통제를 주된 목적으로 한다. CCTV, GIS 기반 모니터링, 작업자 행동 인식(行为识别), 컨테이너 위치 추적, 라벨 스캔, 자동 경보 발송 기능 등이 하나로 통합돼 있다. 중앙 서버와 연동되어 작업 정보가 화면에 시각화되고, 위험 구역은 색깔로 표시된다. 또 격리 거리(隔离距离)가 잘 지켜지고 있는지도 실시간으로 확인할 수 있다. 만약 긴급 상황이 발생하면 시스템이 자동으로 경보를 내보내 관련자에게 즉시 전달되도록 설계돼 있다.

이 세 가지 시스템은 사전 단계에서의 스크리닝(快筛), 행정적 작업 승인(作业监管), 현장 수준의 모니터링 및 통제(信息管理)라는 흐름으로 유기적으로 이어지며, 각각 광저우시 지방 고시, 항만청 지침, 교통운수부 표준에 근거해 운영되고 있다.

〈부록 표 4-4〉 항만 위험화학물 야드 관리정보시스템 관련 주요 법제도

항목	주요 관련내용
위험화학품 안전관리 규정(광저우시. 广州市危险化学品安全管理规定)	• 위험화학품의 등록, 보관, 운송, 응급계획 작성 의무 규정 • 모든 시스템의 법적 토대 역할
위험화물 항만작업 관리감동 시스템 등록 지침(广州港务局危险货物港口作业监管系统登记注册及操作指引	• 위험물 항만 작업 감독 시스템운영 근거 • 신고자 등록, 작업 계획 승인, 자격 검증 등 프로세스 규정
광둥성 수로 위험물 하역 자격관리 방법(广东省交通运输厅关于印发危险化学品水路运输装卸管理人员从业管理办法)	• 항만 하역 종사자의 자격증 발급 및 등록 절차 명시 • 신고자 자격 등록(申报员) 및 계정 운영의 법적 기반
위험물 컨테이너 항만 작업 안전 규정(危险货物集装箱港口作业安全规程)	• 위험물 컨테이너의 하역, 적치, 응급대응 절차 규정 • 모든 시스템의 작업 흐름 기준
위험물 컨테이너 야드 설계 규범(港口危险货物集装箱堆场设计规范	• 적치 구역의 격리 거리, 환기, 소방설비, CCTV 등 물리적 구조 규정 • 위험물 정보 관리 시스템 기반 설계 지침
항만 작업 안전요건(港口作业安全要求)	• 시스템상 라벨링, 경고 표시, 시각 정보 등에 대한 기준 제공 • CCTV/GIS 연계 정보화 기반 마련

자료: 각 법령 참고

5. 일본 항칙법 주요 내용

일본에서 항만 내 위험물의 안전한 취급과 하역, 보관을 규정하는 법률은 「항칙법(港則法)」이다. 동 법은 항내에서 선박 교통의 안전과 항만의 질서 유지를 목적으로 제정된 법률로서 항만을 통제하고 관리하는 법적 기반을 제공한다.

동 법은 총칙, 입출항 및 정박, 항로 및 항법, 위험물, 수로의 보전, 등화 등, 잡칙, 벌칙의 총 8개 장으로 구성되어 있으며, 이 중 제4장 '위험물'이 항만에서의 위험물 관리와 취급에 관한 조항을 다룬다. 특히 동 법 제3조 제2항 및 제21조를 중심으로 항만에 입항하는 위험물 적재 선박의 통제, 정박 위치 지정, 하역 허용기준 등을 규정하고 있다.

〈부록 표 5-1〉 일본 항칙법의 주요 구성

지침	분류	주요 내용
총칙	• 법의 목적, 항만 구역, 선박 및 특정항 정의	• 항칙법은 항만 내 선박교통의 안전 확보와 항만 질서 정비를 목적으로 제정된 기본법임
입출항 및 정박	• 입출항 신고, 정박 위치 지정, 이동 제한, 수리 및 계류 제한 등	• 특정항에 입항하는 선박은 국토교통성령에 따라 항장에게 사전 신고해야 하며, 항장의 지시에 따라 정박 및 이동 제한을 받을 수 있음
항로 및 항법	• 항로 지정, 항법 준수	• 선박은 특정항에 입항 또는 통과 시, 국토교통성령으로 지정된 항로를 따라 항해해야 하며, 항법 준수가 요구됨
위험물	• 위험물 적재 선박의 통제 및 허가 요건	• 폭발물 또는 기타 위험물을 적재한 선박은 특정항 입항 시 항계 외에서 대기 후 항장의 지휘를 따라야 함 • 정박 및 계류는 항장이 지정한 장소에서 수행 • 위험물의 적재 및 하역 시 항장의 사전 허가 필요
수로의 보전	• 항만 수역 환경 보전	• 항내 및 항계 외 1만 미터 이내 수역에 폐유, 밸러스트수, 석탄 등 폐기물의 투기를 금지함
등화 등	• 화재 경보 방식 규정	• 특정항 내 선박은 기적 또는 사이렌을 갖추어야 하며, 정박 중 화재 발생 시 장음을 5회 울려야 함
잡칙	• 기타 허가 및 통제사항	• 공사 허가, 진수 신고, 어업 및 흡연 제한, 선박통행 규제, 원자력선 관리, 항장 정보전달, 항법 준수 지시 등이 포함되며, 행정절차법 적용 예외 가능

지침	분류	주요 내용
벌칙	• 법령 위반 시 제재	• 항칙법에 위반할 경우 범칙금 및 형사 처벌 규정이 적용됨

자료: e-Gov 法令検索(검색일: 2025.4.21.) 중 항칙법 내용을 바탕으로 저자 작성

동 법 제21조에 따르면 폭발물 이외의 위험물을 적재한 선박이 특정 항만[72]에 입항하고자 할 경우, 원칙적으로 항의 경계선 외곽에서 대기한 후 항장(港長)의 지휘에 따라 입항해야 한다. 항장의 지휘는 일본에서 해상보안청장(海上保安庁長官)의 지휘·감독을 받는 해상보안관[73]이 수행하며, 이들은 항칙법에 따른 선박 교통 및 정박 질서 유지 사무를 관할한다. 위험물을 적재한 선박은 특별한 정박지 지시가 없는 한 항장이 지정한 정박 또는 계류 장소에 따라야 하고, 항만 내에서 위험물의 적재·하역 시에는 사전 허가를 반드시 받아야 한다. 이를 위반할 경우 항칙법상 행정처분 또는 형사벌칙 대상이 된다.

위험물의 분류는 항칙법 제21조 제2항에서 따라 위험물을 「선박에 의한 위험물 운송 기준을 정한 고시」에서 정의하고, 국제규정과 동일한 9종류의 위험물 유형으로 분류하고 있다.

일본은 고위험물질의 수입·수출이 항만을 통해 빈번하게 이루어짐에 따라 항만 내에서의 위험물 컨테이너 저장 및 취급과 관련한 법적·물리적 안전기준을 체계적으로 정비하고 있다.[74] 특히 「소방법」과 「항칙법」을 중심으로 위험물의 종류별 취급 기준, 저장 장소 요건, 임시 보관 절차, 실시간 감시 및 방재 설비 등을 규정하고 있으며, 1990년대 이후에는 드라이컨테이너 및 탱크컨테이너 기반의 임시 저장 체계에 대한 제도화가 본격적으로 이루어졌다.

72) 항칙법 시행령 별표2에 지정된 항만
73) 항만 관할 해상보안부장(海上保安部長) 또는 지방해상보안본부장(地方海上保安本部長)
74) 消防庁, 消防危第52号, 1992; 消防庁, 消防危第275号, 2022를 바탕으로 저자 작성

1992년 소방위 제52호(消防危第52号)를 통해, 일본은 드라이컨테이너, 탱크컨테이너, 리퍼컨테이너 등 위험물을 수납한 운송용기를 항만 내 일정 장소에 '가저장(仮貯蔵)'하는 행위에 대해 소방법 제10조 제1항 단서 조항에 의거해 관할 소방서장의 승인을 얻는 경우에 한해 허용했다. 이후 2022년 소방위 제275호(消防危第275号)에서는 임시 저장의 기술기준을 명확히 하고 있다.

보관 위치는 배수 및 통풍이 우수한 장소에 한하며, 습윤 지역은 금지하고 있다. 그리고 주변에는 최소 3m 이상의 공지를 확보해야 하나 불연재 차단벽 설치 시에는 예외적으로 허용된다. 표식과 게시판 부착은 '위험물 가저장 장소'라는 문구, 품명, 위험 등급, 저장량, 화기엄금 표시, 비상연락처 등이 적시되어야 한다. 그리고 소화설비는 저장 위험물에 따라 법령상으로 규정되는 소화설비를 배치해야 한다. 적층의 경우 동일위험물에 한하며 6m 이내로 허용되고, 점검 통로 확보, 불필요한 물품 반입 금지 등의 규정이 있다.

일반안벽은 선석 단위로 A, B, C1, C2로 구분하고, A와 B 또는 B와 C1의 중간에 해당하는 선석에 대해서는 하역허용량과 해당 항의 특수사정을 감안해 분류한다.[75] 안벽구분을 C2로 구분해야 하는 컨테이너 전용안벽에 대해서는 별도 기준을 따른다.

75) 消防庁, 消防危第52号, 1992; 消防庁, 消防危第275号, 2022를 바탕으로 저자 작성

〈부록 표 5-2〉 일본 선석 구분별 주요 기준

구분	주요 내용
A	• 여객선이 계류하는 선석 또는 이에 근접한 선석 • 관광객이 빈번히 출입하는 선석 • 선박 출입빈도가 매우 높은 주요 선석 • 주거지·상업지구 등 민감지역과 100m 이내 거리에 있는 선석
B	• A, C1, C2 이외의 일반 화물 처리 선석 • 주거지에서 100m 이상 떨어져 있으나 보안·격리조건 미충족 지역
C1	• 「항만법(港湾法)」상 보안항 내(保安港区)로 지정된 선석 • 시가지 및 주요 생활권역으로부터 500m 이상 이격되고, 물리적 차단구조를 갖춘 구역 • 고위험 위험물(산화성, 독성, 인화성 고체 등) 하역 가능
C2	• IMDG Code별 위험물 컨테이너 전용 처리 안벽 • 컨테이너 터미널 전용구역에 포함되어 있으며, 독립된 접근로·출입통제·감시체계 확보가 요구됨 • 혼재금지 기준에 따라 위험물 클래스별 공간 분리 가능해야 함

자료: 国土交通省(2005)

해당 구분은 선석 단위로 항장이 판단하며, 하역 허용량은 정미중량(Net Weight) 기준 톤수로 정해진다. 그리고 물질의 성상, 환경적 위험도, 항만 구조조건 등을 고려해 결정된다. 또한 항장이 안벽 구분을 변경할 경우 관할 해상보안본부장을 경유해 해상보안청 본청 교통부장에 보고하는 절차가 있다.

〈부록 표 5-3〉 일본 위험물 컨테이너 하역 허용량

구분	세부 구분		1일 하역허용량(톤)				비고
			A	B	C1	C2	
폭발류	화약류	등급 1.1, 1.2, 1.5	0	5	20	20	특별한 보안 제도를 취할 것
	산화성물질류	유기관산화물질	0.2	5	20	20	
그 외 위험물	고압가스	인화성고압가스	0.5	10	20	20	
		비인화성고압가스	1	20	100	400	
		독성고압가스	1	20	100	100	
	인화성액체류	용기등급 Ⅰ	2	50	250	1,000	
		용기등급 Ⅱ	5	100	500	2,000	
		용기등급 Ⅲ	10	250	1,000	4,000	
	가연성물질	가연성물질	10	250	1,000	4,000	
		자연발화성물질	5	100	500	2,000	
		물반응가연성물질	5	100	500	2,000	
	산화성물질	산화성물질	5	100	500	2,000	
		유기산화물질 (폭발물 제외)	1	20	100	400	
	독물류	독물	10	250	1,000	4,000	
	방사성물질	제1류	0	0	–	–	특별한 보안 제도를 취할 것
		제2류	0	–	–	–	
		제3류	0	–	–	–	
	부식성물질		10	250	1,000	4,000	
	기타	종류별 다른 성분이 혼재되어 있는 경우는 두 종류 이상의 위험물 하역허용량을 산정해 수량을 결정					

자료: 国土交通省(2005)

6. Fuzzy AHP 분석 방법

■ 적용 배경

정책과제의 중요도와 시급성은 전문가의 판단을 바탕으로 평가된다. 그러나 기존의 계층분석법(AHP; Analytic Hierarchy Process)은 언어적 판단을 단일 수치로 환산하는 과정에서 응답자의 주관성을 충분히 반영하지 못하고, 이로 인해 모호성이 발생할 수 있다(Saaty, 1980; Chen et al., 2008).

이러한 한계를 보완하기 위해 본 연구에서는 Zadeh(1965)가 제시한 퍼지 집합이론(Fuzzy Set Theory)을 기반으로 하는 퍼지계층분석법(Fuzzy AHP)을 적용했다. 퍼지 집합이론은 어떤 값이나 대상이 특정 집합에 포함되는 정도를 0과 1 사이의 연속적인 값으로 표현하는 방법으로, 언어적 판단에서 나타나는 불확실성과 모호성을 정량적으로 다룰 수 있도록 한다.

특히 전문가의 언어적 응답은 삼각 퍼지수(TFN, Triangular Fuzzy Number)로 변환되는데, TFN은 하한–중앙값–상한의 세 값으로 판단을 범위 형태로 표현해 기존 AHP의 구조를 유지하면서도 언어적 모호성과 불확실성을 수치적으로 반영할 수 있다(Van Laarhoven & Pedrycz, 1983; Buckley, 1985).

■ 삼각 퍼지수(TFN, Triangular Fuzzy Number) 정의

삼각 퍼지수(TFN)는 퍼지계층분석법에서 가장 널리 사용되는 표현 방식(Buckley, 1985; Liu et al., 2020)으로, 응답자의 언어적 판단을 정량화하는 도구이다. 하나의 TFN은 하한(l, lower bound), 중앙값(m, middle value), 상한(u, upper bound)으로 구성되며, 이를 통해 “중요하다”, “매

우 중요하다"와 같은 표현을 단일 값이 아니라 범위로 나타낼 수 있다.

예를 들어, "중요하다"라는 응답은 (4,5,6)과 같이 (l, m, u) 형태의 TFN으로 변환된다. 이 경우 4는 판단의 최소 수준, 5는 대표적인 판단값, 6은 최대 수준을 의미한다. 이러한 방식은 전문가 응답에 내재된 불확실성과 해석 차이를 일정 범위 안에서 반영할 수 있다(Gupta et al., 2023).

TFN은 특정 값이 해당 범위에 얼마나 포함되는지를 나타내는 함수(소속함수, membership function)로 정의된다. 그 일반식은 다음과 같다.

〈부록 그림 6-1〉 삼각 퍼지수의 소속 함수

$$\mu\tilde{A}(x)=\begin{cases}0, & x<l \text{또는 } x\\ \dfrac{x-l}{m-l}, & l\le x<m\\ \dfrac{u-x}{u-m}, & m\le x\le u\end{cases}$$

자료: Saaty(1980); Chen et al.(2008)의 자료를 바탕으로 저자 작성

여기서 μA(x)는 값 x가 퍼지집합 $\tilde{A}=(l,m,n)$에 포함되는 정도를 [0,1][76] 범위에서 나타낸다. 예를 들어, $x=m$일 때 포함 정도는 1이 되어 집합에 가장 강하게 속함을 의미한다. $x=l$ 또는 $x=u$일 때는 소속 정도가 0이 되어 집합에 거의 속하지 않음을 의미하며, 값이 사이에 위치할 경우, 그 소속 정도는 0과 1 사이의 연속적인 값으로 계산된다. 이러한 구조를 통해 전문가의 모호한 언어적 판단을 수치화하면서도, 불확실성을 합리적으로 반영할 수 있다.

76) 0은 전혀 속하지 않음을, 1은 완전히 속함을 의미

■ 퍼지 가중치 계산 절차

TFN으로 변환된 설문 응답은 우선 퍼지 쌍대비교 행렬(Fuzzy Pairwise Comparison Matrix)로 구성된다. 이 행렬은 각 기준 i,ji, ji,j의 상대적 중요도를 TFN으로 나타낸 것으로 다음 단계에 따라 퍼지 가중치를 산출한다.

〈부록 그림 6-3〉 퍼지 가중치 계산 절차식

$$\tilde{r}_i = \left(\prod_{j=1}^{n} f_{ij} \right)^{1/n}$$

$$\hat{w}_i = \tilde{r}_i \left(\sum_{i=1}^{n} r_i \right)^{-1}$$

$$cw_i = \frac{l_{wi} + m_{wi} + u_{wi}}{3}$$

$$nw_i = \frac{cw_i}{\sum_{i=1}^{n} cw_i}$$

자료: Saaty(1980); Chen et al.(2008)의 자료를 바탕으로 저자 작성

첫 번째, 퍼지 기하평균 산출로 각 행별 상대적 중요도의 퍼지 기하평균을 구한다. 두 번째, 퍼지 가중치 정규화로 퍼지 기하평균을 전체 합으로 나누어 퍼지 가중치를 계산한다. 세 번째는 비퍼지화(Defuzzification)로 퍼지 가중치 (l, m, u)를 단일 대푯값으로 환산한다. 이는 모호한 범위값을 명확한 수치로 변환해 이후 단계에서 활용 가능하게 한다. 마지막으로 최종 정규화에서 비퍼지화된 값을 합으로 나누어 [0,1] 범위의 최종 가중치를 도출한다.

■ 일관성 검증

퍼지화 이전의 원판단행렬 혹은 비퍼지화된 대표행렬을 대상으로 AHP와 동일한 방식으로 일관성 지수(CI, Consistency Index)와 일관성 비율(CR, Consistency Ratio)을 계산한다. 일반적으로 CR값이 0.1 이하이면 판단의 일관성이 수용 가능한 것으로 간주한다(Saaty, 1980).

〈부록 그림 6-4〉 일관성 검증식

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

자료: Saaty(1980); Chen et al.(2008)의 자료를 바탕으로 저자 작성

여기서 λ_{max}는 행렬의 최대 고유값, n은 행렬의 차원, RI는 무작위지수(Random Index)를 지칭한다.

■ 보조 검증 - 최적 버퍼지 성능치(BNP)

본 연구는 필요시 가중치의 상대적 크기를 보완적으로 확인하기 위해 최적 비퍼지 성능치(BNP, Best Non-Fuzzy Performance)를 적용했다(Opricovic & Tzeng, 2003). BNP는 각 요소의 불확실성을 고려한 성능치로, 값이 클수록 해당 요소의 상대적 영향력이 크다고 해석할 수 있다.

〈부록 그림 6-5〉 최적 버퍼지 성능치(BNP) 계산식

$$BNP(\hat{w}_i) = \frac{(u_{w_i} - l_{w_i}) + (m_{w_i} - l_{w_i})}{3} + l_{wi}$$

자료: Saaty(1980); Chen et al.(2008)의 자료를 바탕으로 저자 작성

7. 수출·입 위험물 컨테이너 위험도 평가

(1) 종합

본 연구에서는 위험도 평가를 위해 WSM 기반 정량 분석 모형을 적용했다. 해당 모형은 세부적으로 (1) 고유 위험도는 IMDG Code의 위험 특성을 기준으로 점수화하였으며, (2) 빈도는 연간 입·출항 건수에 따라 상대적 점수로 정규화하였고, (3) 총 중량은 톤(kg) 단위 물량을 기준으로 정규화했다.

이후 각 항목에 동일 가중치를 부여해 합산함으로써, 단일 요인에 치우치지 않는 종합적 위험도를 도출했다. 위험도 평가는 다기준 정량분석 기법인 가중치 합산법(WSM, Weighted Sum Model)에 기반한다. 고유 위험도는 IMDG Code 분류 체계와 선행연구(김태옥 외, 2015)에서 제시된 위험지수를 반영해 설정하였으며, 빈도와 중량은 TRASS 자료 등을 기반으로 연간 단위로 산출했다.

각 지표는 단위 차이를 제거하기 위해 최댓값 대비 상대 정규화 방식으로 환산하였으며, 이후 동일 가중치를 적용해 종합 위험 점수를 도출했다. 이에 동일 품목이라도 항만·수입/수출 구분에 따른 고유위험도, 중량, 빈도 정규화 값에 따라 종합 점수 순위가 달라질 수 있다. 본 절차를 통해 항만별·품목별 위험 수준을 상호 비교 가능한 형태로 제시했다.

2024년 수입 기준 위험도 분석 결과, 부산항은 철강류(720221, 720421), 인천항은 의약품(300490)·폴리우레탄 수지(390950), 광양항은 면화(520100)·합성고무(400400), 평택항은 질소화합물(292700)·무기산염(291614), 울산항은 석유제품(271019)·유기화학물질(291612, 291614)이 주요 상위 품목으로 나타났으며, 전체적으로는 382499, 720221, 320890, 293090, 271019 등이 공통적으로 도출되었다.

〈부록 표 7-1〉 항만별 위험물 컨테이너 수입 상위 10개 품목 위험도(2024년 기준)

구분	상위 10개 품목(HS Code, Risk Score)
전체(5개 항만 합산)	① 382499 (2.20), ② 720221 (1.95), ③ 320890 (1.86), ④ 290519 (1.83), ⑤ 291539 (1.82), ⑥ 293090 (1.80), ⑦ 271019 (2.28), ⑧ 520100 (1.78), ⑨ 230690 (1.76), ⑩ 300490 (1.74)
부산항	① 382499 (2.23), ② 720221 (1.96), ③ 320890 (1.89), ④ 290519 (1.83), ⑤ 291539 (1.82), ⑥ 720421 (1.80), ⑦ 293090 (1.79), ⑧ 380210 (1.77), ⑨ 271019 (2.35), ⑩ 300490 (1.72)
인천항	① 382499 (2.17), ② 720221 (1.94), ③ 320890 (1.82), ④ 390950 (1.79), ⑤ 291539 (1.78), ⑥ 220890 (1.72), ⑦ 291819 (1.70), ⑧ 293090 (1.68), ⑨ 271019 (1.94), ⑩ 300490 (1.66)
광양항	① 382499 (2.13), ② 720221 (1.95), ③ 520100 (1.82), ④ 400400 (1.81), ⑤ 230690 (1.80), ⑥ 291590 (1.75), ⑦ 290519 (1.73), ⑧ 292090 (1.71), ⑨ 291612 (1.69), ⑩ 291539 (1.66)
평택항	① 382499 (2.99), ② 292700 (1.94), ③ 291614 (1.91), ④ 720221 (1.88), ⑤ 320890 (1.83), ⑥ 290949 (1.79), ⑦ 290329 (1.77), ⑧ 220890 (1.73), ⑨ 293090 (1.71), ⑩ 290110 (1.66)
울산항	① 291612 (1.71), ② 230690 (1.69), ③ 382499 (1.73), ④ 291614 (1.72), ⑤ 271019 (3.71), ⑥ 291590 (1.71), ⑦ 291539 (1.70), ⑧ 720221 (1.68), ⑨ 270799 (1.64), ⑩ 271012 (1.60)

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

2024년 수출 기준 위험도 분석 결과, 271019(석유계 혼합물)와 382499(기타 화학제품류)가 대부분 항만에서 공통적으로 상위에 나타났다. 부산항은 이들 품목 외에 220890(주류), 320890(도료)이 포함되었고, 인천항은 250300(인산칼슘), 630900(섬유제품) 등 비화학계 품목이 상위권을 차지했다. 광양항은 291612(유기화합물), 291590(질소화합물), 평택항은 381519(촉매제), 390791(합성수지) 등 특수 화학제품이 포함되었으며, 울산항은 271019와 250300 등 원자재·에너지 계열 품목의 비중이 높게 나타났다.

〈부록 표 7-2〉 항만별 위험물 컨테이너 수출 상위 10개 품목 위험도(2024년 기준)

구분	상위 10개 품목 (HS Code, Risk Score)
전체(5개 항만 합산)	① 271019 (2.28), ② 382499 (2.20), ③ 320890 (1.86), ④ 220890 (1.80), ⑤ 290949 (1.75), ⑥ 285000 (1.71), ⑦ 271012 (1.71), ⑧ 293090 (1.70), ⑨ 291612 (1.69), ⑩ 250300 (1.59)
부산항	① 271019 (2.35), ② 382499 (2.23), ③ 320890 (1.89), ④ 220890 (1.86), ⑤ 290949 (1.79), ⑥ 390950 (1.77), ⑦ 285000 (1.71), ⑧ 291612 (1.69), ⑨ 271012 (1.65), ⑩ 293090 (1.63)
인천항	① 382499 (2.17), ② 250300 (2.10), ③ 630900 (2.01), ④ 271019 (1.94), ⑤ 320890 (1.82), ⑥ 381400 (1.75), ⑦ 220890 (1.72), ⑧ 350691 (1.66), ⑨ 720421 (1.65), ⑩ 293090 (1.58)
광양항	① 382499 (2.13), ② 250300 (2.05), ③ 291612 (1.84), ④ 320890 (1.82), ⑤ 271012 (1.80), ⑥ 291590 (1.75), ⑦ 220890 (1.73), ⑧ 290110 (1.71), ⑨ 310230 (1.63), ⑩ 290512 (1.59)
평택항	① 382499 (2.99), ② 271019 (2.70), ③ 381519 (2.42), ④ 381400 (2.03), ⑤ 320890 (1.83), ⑥ 350691 (1.79), ⑦ 220890 (1.73), ⑧ 290949 (1.73), ⑨ 390791 (1.70), ⑩ 290110 (1.66)
울산항	① 271019 (3.71), ② 250300 (2.37), ③ 290949 (1.76), ④ 382499 (1.73), ⑤ 291532 (1.71), ⑥ 290129 (1.71), ⑦ 293090 (1.71), ⑧ 291612 (1.68), ⑨ 290110 (1.68), ⑩ 390791 (1.46)

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

(2) 세부 위험도 분석 결과

부산, 인천, 광양, 평택, 울산 등 주요 5대 항만의 위험물 수입의 경우, 382499(기타 화학제품류)는 고유 위험도가 1.60으로 비교적 높고 중량(0.55)과 빈도(0.23) 기여도가 모두 크게 작용해 종합 위험 점수 2.38로 1위를 차지했다. 720221(철강 반제품)은 고유 위험도는 높지 않으나 중량 기여도가 커서 1.86으로 평가되었고, 271019(석유계 혼합물)의 고유 위험도는 1.20으로 낮지만 빈도(0.23)와 중량(0.07)이 함께 작용해 1.51로 산출되었다.

〈부록 표 7-3〉 위험도 평가 결과(수입 – 전체 합산, 5개 항만, 2024년 기준)

순위	HS Code	고유위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	382499	1.60	0.55	0.23	2.38
2	720221	1.60	0.26	0.01	1.86
3	320890	1.73	0.05	0.05	1.84
4	290519	1.73	0.02	0.05	1.80
5	291539	1.60	0.10	0.04	1.74
6	293090	1.53	0.08	0.07	1.69
7	720421	1.33	0.26	0.01	1.60
8	271019	1.20	0.07	0.23	1.51
9	520100	1.33	0.08	0.03	1.45
10	230690	1.33	0.09	0.01	1.43

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

수입 상위 품목의 특성을 보면, 382499(기타 화학제품류)는 UN1091, UN1992 등으로 분류되어 인화성·독성 액체류(Class 3, Class 4.1, Class 4.2)와 연계된다. 720221(철강 반제품)은 UN1408로 발화성 금속류(Class 4.3)에 해당한다. 320890(도료·페인트류)은 UN1139, UN1263 등 인화성 액체류(Class 3)와 연결되고, 293090(기타 질소화합물)은 UN1123, UN3054 등 독성·폭발성 특성과 관련된다. 271019(석유계 혼합물)는 UN1202, UN1268 등으로 분류되어 인화성 액체류(Class 3)에 속한다.

〈부록 표 7-4〉 수입 상위 10개 품목별 UN 번호 및 IMDG Class(전체 5개 항만, 2024년 기준)

순위	HS Code	대표 품목명	관련 UN No.	관련 IMDG Class
1	382499	기타 화학제품류	1091, 1992, 2924, 3286 등	3, 4.1, 4.2
2	720221	철강 반제품	1408	4.3
3	320890	도료·페인트류	1139, 1263, 2456, 3469 등	3
4	290519	알코올류	1105, 1289, 2244, 2560 등	3, 4.2
5	291539	에스터류	1177, 1189, 2403, 2838 등	3
6	293090	기타 질소화합물	1111, 1123, 2375, 3054 등	3, 4.1, 4.2
7	720421	철강제품(기타)	2793	4.2

순위	HS Code	대표 품목명	관련 UN No.	관련 IMDG Class
8	271019	석유계 혼합물	1202, 1223, 1268, 1863 등	3
9	520100	면화	1365	4.2
10	230690	기타 식물성 기름 추출 유박	1386, 2217	4.2

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

부산, 인천, 광양, 평택, 울산 등 주요 5대 항만의 위험물 수출의 경우, 271019(석유계 혼합물)의 고유 위험도는 1.20으로 낮으나 빈도(0.30)와 중량(0.78)이 높아 종합 위험 점수 2.28로 1위를 기록했다. 382499(기타 화학제품류)는 고유 위험도가 상대적으로 높고 빈도와 중량이 균형 있게 작용해 2.20으로 2위를 차지했다.

이밖에 320890(도료·페인트류), 220890(주류류) 등은 일정 수준의 빈도와 물동량이 결합해 상위권에 포함되었으며, 285000(무기화합물)과 271012(정제유)는 빈도 기여가 확보되어 각각 1.71로 상위 10위 내에 포함되었다.

〈부록 표 7-5〉 위험도 평가 결과(수출 – 전체 합산, 5개 항만, 2024년 기준)

순위	HS Code	고유위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	271019	1.20	0.78	0.30	2.28
2	382499	1.60	0.33	0.27	2.20
3	320890	1.73	0.06	0.07	1.86
4	220890	1.67	0.09	0.04	1.80
5	290949	1.67	0.07	0.02	1.75
6	285000	1.67	0.00	0.04	1.71
7	271012	1.60	0.07	0.04	1.71
8	293090	1.53	0.10	0.07	1.70
9	291612	1.60	0.04	0.04	1.69
10	250300	1.20	0.39	0.01	1.59

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

수출 상위 품목의 특성을 보면, 271019(석유계 혼합물)는 UN1202, UN1268 등으로 분류되어 인화성 액체류(Class 3)에 속하며, 382499(기타 화학제품류)는 UN1313, UN3181 등과 연계되어 Class 3, 4.1, 4.2의 특성을 가진다. 320890(도료·페인트류)와 220890(주류류)은 각각 UN1263, UN3065 등 인화성 액체류(Class 3)로 나타났으며, 285000(무기화합물)은 UN1405, UN2805 등으로 다양한 위험 특성을 지닌다.

〈부록 표 7-6〉 수출 상위 10개 품목별 UN 번호 및 IMDG Class(전체 5개 항만, 2024년 기준)

순위	HS Code	대표 품목명	관련 UN No.	관련 IMDG Class
1	271019	석유계 혼합물	1202, 1223, 1268, 3256 등	3
2	382499	기타 화학제품류	1313, 1318, 2925, 3181 등	3, 4.1, 4.2
3	320890	도료·페인트류	1139, 1263, 2456, 3469 등	3
4	220890	주류류	3065	3
5	290949	알코올류	1153, 2846	3, 4.2
6	285000	무기화합물	1405, 1511, 1870, 2805 등	4.1, 4.2, 4.3, 5.1
7	271012	정제유	1203, 3475	3
8	293090	기타 질소화합물	1111, 1123, 2852, 3341 등	3, 4.1, 4.2
9	291612	유기화합물	1917, 2527	3
10	250300	황(승화·침강·콜로이드 제외)	1350, 2448	4.1

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

가. 부산항

부산항 위험물 컨테이너 수입의 경우, 382499(기타 화학제품류)가 고유 위험도 1.60, 중량 기여도 0.53, 빈도 기여도 0.24로 종합 위험 점수 2.36을 기록해 1위에 해당했다. 이어서 720221(철강 반제품, 1.85), 320890(도료·페인트류, 1.82), 290519(알코올류, 1.79), 291539(에스터류, 1.76) 등이 상위에 포함되었다. 특히 철강 관련 품목(720221, 720421)은 고유위험도가 상대적으로 낮으나 중량 기여도가 크게 작용해 종합 점수가 높게 산출되었다.

〈부록 표 7-7〉 위험도 평가 결과(수입 – 부산항)

순위	HS Code	고유위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	382499	1.60	0.53	0.24	2.36
2	720221	1.60	0.24	0.01	1.85
3	320890	1.73	0.02	0.06	1.82
4	290519	1.73	0.01	0.04	1.79
5	291539	1.60	0.12	0.04	1.76
6	720421	1.33	0.37	0.01	1.71
7	293090	1.53	0.10	0.08	1.71
8	380210	1.60	0.08	0.01	1.69
9	271019	1.20	0.08	0.23	1.51
10	300490	1.33	0.09	0.03	1.45

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

부산항 위험물 컨테이너 수출의 경우, 271019(석유계 혼합물)가 고유위험도 1.20, 중량 기여도 0.84, 빈도 기여도 0.30으로 종합 위험 점수 2.35를 기록해 가장 높은 수준을 나타냈다. 이어 382499(기타 화학제품류, 2.23), 320890(도료·페인트류, 1.89), 220890(주류류, 1.86), 290949(알코올류, 1.79) 등이 순차적으로 평가되었다. 전반적으로 석유계 연료 및 화학제품 관련 품목이 상위권을 구성했다.

〈부록 표 7-8〉 위험도 평가 결과(수출 – 부산항)

순위	HS Code	고유위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	271019	1.20	0.84	0.30	2.35
2	382499	1.60	0.38	0.26	2.23
3	320890	1.73	0.09	0.07	1.89
4	220890	1.67	0.15	0.04	1.86
5	290949	1.67	0.10	0.02	1.79
6	390950	1.67	0.09	0.01	1.77
7	285000	1.67	0.00	0.04	1.71
8	291612	1.60	0.05	0.04	1.69

순위	HS Code	고유위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
9	271012	1.60	0.01	0.04	1.65
10	293090	1.53	0.04	0.05	1.63

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

나. 인천항

인천항 위험물 컨테이너 수입 위험도 분석 결과, 382499(기타 화학제품류)가 고유위험도 1.60, 중량 기여도 0.95, 빈도 기여도 0.25로 종합 위험 점수 2.80을 기록해 가장 높은 수준으로 평가되었다. 이어 720221(철강 반제품, 1.81), 320890(도료·페인트류, 1.79), 390950(플라스틱 중합체, 1.76), 291539(에스터류, 1.71) 등이 뒤를 이었다. 전반적으로 화학제품과 철강 관련 품목이 동시에 높은 위험도를 보였으며, 중량 기여도가 종합 점수에 주요하게 작용하는 경향이 나타났다.

〈부록 표 7-9〉 위험도 평가 결과(수입 – 인천항)

순위	HS Code	고유위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	382499	1.60	0.95	0.25	2.80
2	720221	1.60	0.20	0.01	1.81
3	320890	1.73	0.00	0.06	1.79
4	390950	1.67	0.09	0.01	1.76
5	291539	1.60	0.08	0.03	1.71
6	220890	1.67	0.00	0.04	1.71
7	291819	1.67	0.00	0.04	1.71
8	293090	1.53	0.00	0.07	1.61
9	271019	1.20	0.12	0.21	1.53
10	300490	1.33	0.08	0.03	1.45

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

인천항 위험물 컨테이너 수출의 경우, 382499(기타 화학제품류)가 고유위험도 1.60, 중량 기여도 0.23, 빈도 기여도 0.35로 종합 위험 점수 2.17

을 기록했다. 이어 250300(황, 2.10), 630900(섬유제품, 2.01), 271019(석유계 혼합물, 1.94), 320890(도료·페인트류, 1.82) 등이 뒤를 이었다. 인천항은 석유계 연료와 화학제품의 비중이 크며, 이에 따라 중량 및 빈도 기여도가 위험도 산정에서 중요한 요인으로 작용했다.

〈부록 표 7-10〉 위험도 평가 결과(수출 – 인천항)

순위	HS Code	고유위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	382499	1.60	0.23	0.35	2.17
2	250300	1.20	0.89	0.01	2.10
3	630900	1.00	1.00	0.01	2.01
4	271019	1.20	0.40	0.35	1.94
5	320890	1.73	0.00	0.09	1.82
6	381400	1.60	0.08	0.06	1.75
7	220890	1.67	0.00	0.05	1.72
8	350691	1.60	0.04	0.03	1.66
9	720421	1.33	0.31	0.01	1.65
10	293090	1.53	0.00	0.05	1.58

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

다. 광양항

광양항의 수입 위험도 분석 결과, 382499(기타 화학제품류)가 고유위험도 1.60, 중량 기여도 0.25, 빈도 기여도 0.24로 종합 위험 점수 2.09를 나타냈다. 이어 720221(철강 반제품, 2.02), 520100(면화, 1.99), 400400(합성고무, 1.91), 230690(기타 식물성 기름 추출 유박, 1.86) 등이 뒤를 이었다. 광양항은 철강 및 농산물 관련 품목에서 중량 기여도가 높게 작용하는 한편, 화학제품류는 빈도 기여를 통해 상위권에 포함되는 양상이 확인되었다.

〈부록 표 7-11〉 위험도 평가 결과(수입 – 광양항)

순위	HS Code	고유위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	382499	1.60	0.25	0.24	2.09
2	720221	1.60	0.39	0.03	2.02
3	520100	1.33	0.53	0.12	1.99
4	400400	1.20	0.68	0.03	1.91
5	230690	1.33	0.47	0.06	1.86
6	291590	1.67	0.07	0.09	1.83
7	290519	1.73	0.00	0.09	1.82
8	292090	1.60	0.08	0.09	1.77
9	291612	1.60	0.00	0.09	1.69
10	291539	1.60	0.05	0.03	1.68

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

수출의 경우, 382499(기타 화학제품류)가 고유위험도 1.60, 중량 기여도 0.39, 빈도 기여도 0.14로 종합 위험 점수 2.13을 기록했다. 이어 250300(황, 2.05), 291612(유기화합물, 1.84), 320890(도료·페인트류, 1.82), 271012(정제유, 1.80) 등이 뒤를 이었다. 광양항 수출은 석유·화학제품과 함께 광물성 원재료의 비중이 높게 반영되었다.

〈부록 표 7-12〉 위험도 평가 결과(수출 – 광양항)

순위	HS Code	고유위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	382499	1.60	0.39	0.14	2.13
2	250300	1.20	0.82	0.03	2.05
3	291612	1.60	0.10	0.14	1.84
4	320890	1.73	0.00	0.09	1.82
5	271012	1.60	0.14	0.06	1.80
6	291590	1.67	0.00	0.09	1.75
7	220890	1.67	0.00	0.06	1.73
8	290110	1.60	0.00	0.11	1.71
9	310230	1.33	0.26	0.03	1.63
10	290512	1.33	0.23	0.03	1.59

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

〈부록 표 7-13〉 위험도 평가 결과(수출입 – 전체 합산, 5개 항만, 2024년 기준)

순위	HS Code	고유위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	382499	1.60	0.32	0.29	2.21
2	320890	1.73	0.00	0.10	1.84
3	720221	1.60	0.19	0.03	1.82
4	291590	1.67	0.04	0.10	1.82
5	291612	1.60	0.05	0.13	1.78
6	290110	1.60	0.05	0.10	1.75
7	520100	1.33	0.26	0.16	1.75
8	250300	1.20	0.42	0.03	1.65
9	293090	1.53	0.01	0.10	1.65
10	230690	1.33	0.23	0.05	1.61

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

라. 평택항

평택항의 수입 위험도 분석 결과, 382499(기타 화학제품류)가 고유위험도 1.60, 중량 기여도 0.99, 빈도 기여도 0.31로 종합 위험 점수 2.91을 기록했다. 이어 292700(질소화합물, 2.02), 291614(무기산염, 1.96), 720221(철강 반제품, 1.83), 320890(도료·페인트류, 1.80) 등이 상위권에 분포했다. 평택항은 철강류보다는 독성·부식성 화학물질(주로 IMDG Code Class 6, Class 8)의 비중이 높아 위험물 특성이 화학물 중심으로 나타났다.

〈부록 표 7-14〉 위험도 평가 결과(수입 – 평택항)

순위	HS Code	고유위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	382499	1.60	0.99	0.31	2.91
2	292700	1.87	0.13	0.02	2.02
3	291614	1.87	0.05	0.04	1.96
4	720221	1.60	0.20	0.02	1.83
5	320890	1.73	0.00	0.06	1.80

순위	HS Code	고유위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
6	290949	1.67	0.07	0.04	1.78
7	290329	1.67	0.05	0.02	1.74
8	220890	1.67	0.00	0.06	1.73
9	293090	1.53	0.14	0.04	1.72
10	290110	1.60	0.00	0.06	1.66

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

수출에서는 382499(기타 화학제품류)가 고유위험도 1.60, 중량 기여도 1.10, 빈도 기여도 0.29로 종합 위험 점수 2.99를 나타내었다. 이어 271019(석유계 혼합물, 2.70), 381519(기타 화학첨가제, 2.42), 381400(화학제품류, 2.03), 320890(도료·페인트류, 1.83) 등이 상위를 차지했다. 평택항의 수출은 석유제품과 다양한 화학제품류의 중량 및 빈도 기여가 주요 요인으로 나타났다.

〈부록 표 7-15〉 위험도 평가 결과(수출 - 평택항)

순위	HS Code	고유위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	382499	1.60	1.10	0.29	2.99
2	271019	1.20	1.01	0.49	2.70
3	381519	2.33	0.06	0.03	2.42
4	381400	1.60	0.37	0.06	2.03
5	320890	1.73	0.00	0.10	1.83
6	350691	1.60	0.12	0.06	1.79
7	220890	1.67	0.00	0.06	1.73
8	290949	1.67	0.00	0.06	1.73
9	390791	1.40	0.27	0.03	1.70
10	290110	1.60	0.00	0.06	1.66

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

마. 울산항

수입의 경우, 291612(유기화합물)가 고유위험도 1.60, 중량 기여도 0.98, 빈도 기여도 0.30으로 종합 위험 점수 2.88을 나타냈다. 이어 230690(채유박·사료류, 2.40), 382499(기타 화학제품류, 2.35), 291614(무기산염, 2.08), 271019(석유계 혼합물, 1.91) 등이 뒤를 이었다. 울산항은 석유화학 및 일반 화학제품류와 함께 사료류, 철강류 등이 고르게 분포하는 양상이 확인된다.

〈부록 표 7-16〉 위험도 평가 결과(수입 – 울산항)

순위	HS Code	고유위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	291612	1.60	0.98	0.30	2.88
2	230690	1.33	0.99	0.07	2.40
3	382499	1.60	0.53	0.22	2.35
4	291614	1.87	0.06	0.15	2.08
5	271019	1.20	0.19	0.52	1.91
6	291590	1.67	0.05	0.15	1.87
7	291539	1.60	0.08	0.15	1.83
8	720221	1.60	0.07	0.07	1.75
9	270799	1.60	0.00	0.07	1.67
10	271012	1.60	0.00	0.07	1.67

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

수출의 경우, 271019(석유계 혼합물)가 고유위험도 1.20, 중량 기여도 1.78, 빈도 기여도 0.73으로 종합 위험 점수 3.71을 기록했다. 이어 250300(황, 2.37), 290949(알코올류, 1.76), 382499(기타 화학제품류, 1.73), 291532(에스터류, 1.71) 등이 상위에 분포했다. 울산항은 석유계 연료 및 화학제품 중심 항만의 특성이 반영되어 해당 품목들의 비중이 상대적으로 높게 나타났다.

〈부록 표 7-17〉 위험도 평가 결과(수출 – 울산항)

순위	HS Code	고유위험도	중량 기여도	빈도 기여도	종합 위험 점수
1	271019	1.20	1.78	0.73	3.71
2	250300	1.20	1.13	0.04	2.37
3	290949	1.67	0.01	0.08	1.76
4	382499	1.60	0.05	0.08	1.73
5	291532	1.60	0.07	0.04	1.71
6	290129	1.60	0.03	0.08	1.71
7	293090	1.53	0.05	0.12	1.71
8	291612	1.60	0.00	0.08	1.68
9	290110	1.60	0.00	0.08	1.68
10	390791	1.40	0.02	0.04	1.46

자료: TRASS, UNIPASS 등의 자료 분석을 바탕으로 저자 작성

기본연구보고서 발간목록

2025년

01	청색경제 이행지표 개발 및 투자효과 분석	김주현
02	해양문화산업의 지역 경쟁력 진단과 발전전략 연구	이슬기
03	유해·교란 해양생물 지정 제도 개선방안 연구	정여진
04	해양보호구역의 효과적 관리 방안 연구	김미주
05	해양 복합위협의 실효적 대응 방안 연구	민영훈
06	해양 위성정보 활용 방안 연구	조성진
07	수산업 정책 전주기 연계성 강화 방안 연구	안지은
08	소비자 맞춤형 식품시장 성장에 따른 수산식품산업 대응 방안 연구	임경희
09	외국인 어선원 확보를 위한 제도 개선 연구	정명화
10	수산식품 물가 안정화 방안 연구	박혜진
11	수산물 업사이클링 생태계 조성 방안 연구	이남수
12	어촌과 연안의 통합적 발전을 위한 바다생활권 도입방안 연구	박상우
13	해운 얼라이언스 재편에 따른 영향분석과 대응방안 연구	김병주
14	연안대중교통의 운영 효율성 제고를 위한 정책 연구	류희영
15	그린 암모니아 선박 연료 전환 대응 방안 연구	전서연
16	스마트항만 기술 수용성 제고를 위한 법·제도 개선 방안 연구	이다예
17	탄소중립항만 전환을 위한 항만하역장비 관리체계 개선 방안 연구	이혜령
18	부산항 중장기 발전전략 연구	김근섭
19	재난·재해 대비 항만 위험물 컨테이너 물류공급망 대응 방안 연구	최나영환
20	국제물류시장 공정경쟁질서 확립 방안 연구	김동환

2024년

01	섬·바다·강 연계 관광 네트워크 구축방안 연구	최일선
02	해양 스타트업 실패 자산화 방안 연구	좌미라
03	시민친화적 바닷가 공간 조성에 관한 연구	정지호
04	연안이용 관리 법제 정비방안 연구	최석문
05	특별관리해역 관리제도 재편 방안 연구	최수빈
06	해양관할구역 과세권한의 체계적 배분방안 연구	이혜영
07	어업인의 디지털 전환 수용성 제고방안 연구	오서연
08	수산물 무역(수출입) 단기 전망모형 구축 연구	한기욱
09	어촌소멸에 따른 사회경제적 영향분석과 대응전략 연구	이상규
10	어촌다움에 기반한 어촌공간관리 방안 연구	이승혜
11	파생상품을 이용한 해운선사의 위험관리에 관한 연구 - 운임선도거래(FFA)를 중심으로 -	김한나
12	내항상선 해양사고 경감방안 연구	허성례
13	항만재개발사업 공공성 강화 방안 연구	김세원
14	해외 항만터미널 확보 전략 연구	김근섭
15	항만 하역능력의 서비스 수준 개선 연구	이화섭
16	국내 무역항 거버넌스 체계 개편방안 연구	김근섭
17	선박의 원격운항을 위한 제도 개선방안 연구	박혜리
18	국제물류기업 육성을 위한 법제 개선방안 연구	최나영환
19	글로벌 공급망 리스크 대응 정책효과 분석 모형 개발 연구	강무홍
20	한-북미 무역구조 분석 및 물류공급망 변화 대응방안 연구	이성우

수시연구보고서 발간목록

2025년

01	해양치유시설 조성·운영 제도 개선 연구	이정아
02	국제 해양질서 전환 대응 해양대외전략 기반 연구	박수진
03	유기수산식품 국제 동등성 확보 방안	오서연
04	선원 복지 개선방안 연구 - 선내 급식을 중심으로	허성례
05	항만재개발사업 추진 체계 재정립 연구 - 항만재개발사업 업무 매뉴얼 개선을 중심으로	김세원
06	군소도서국 해양수산 국제협력 방안 수립	전혜은
07	어촌발전특구 도입을 위한 법·제도 연구	박상우
08	해양생태계서비스 활용 방안 연구	정세미
09	해양에너지 산업 활성화 방안 연구	육근형
10	비관리청항만개발사업 정보화 정책 방향 연구	이종필
11	해양안보 위협지수 개발 및 활용방안 연구 - 선박 이상 행위를 중심으로	민영훈
12	지방관리무역항 보안관리체계 재정립 연구	김가현
13	부산항 터미널 위험물 컨테이너 장치 효율 개선 방안 연구 - 법·제도 측면 -	김우선
14	새만금호 수질관리 강화 방안 연구	장원근
15	미 상호주의 대응 수산분야 비관세장벽 영향 연구	이정미
16	수중레저 안전관리 체계 정비를 위한 제도개선 연구	이정아

2024년

01	해양정보산업 진흥을 위한 제도 개선 방안 연구	김찬웅
02	한-아프리카 국제수산협력 체계 개선 연구	이채령
03	해양안보 MDA 체계 구축·활용 방안 연구	민영훈
04	인천항 자유무역지역의 효과적 운영을 위한 전략 방안	한장협
05	해양문화자원을 활용한 연안도시활력 증진 방안 연구	이슬기
06	부산항 물동량 유치방안 연구	김은우
07	국제사회의 대북제재 동향과 우리의 대응:해양수산분야를 중심으로	채수란
08	국내 연안여객선 관광·이용 활성화 방안 연구	이정아
09	내수면어업 허가·신고 제도 개선방안 연구	최순
10	어업선진화를 위한 어업관리체계 개편방안	심성현
11	글로벌 공급망 변동에 따른 해운물류 지원방안	황수진
12	연안 중소선사의 탄소중립 달성을 위한 친환경정책 지원방안	류희영
13	항만기술산업 활성화를 위한 법제도 정비 방안 연구	김보경
14	해양모태펀드 투자활성화 방안 연구	한기원
15	특별관리해역 내 공공하수처리시설의 방류수 수질기준 강화방안	장원근
16	중대재해처벌법 대응 양식장 안전성 개선 방안 연구	윤미경
17	국가관리연안항 발전전략 수립체계 연구	신정훈
18	글로벌 공급망 대응 해운항만물류 전문인력 양성 발전방안 연구	권보배
19	해양수산 국제개발협력 중장기 전략 연구	전혜은

일반연구보고서 발간목록

2025년

01	해양수산 공공데이터 플랫폼 활용 제고 방안 연구	김성은
02	동아시아 해양플라스틱 오염 대응 재원 조성 방안	이윤정
03	한-아세안 해양협력 전략적 강화방안 연구	최지연
04	수산업 강제노동 규범화 대응체계 구축연구	박찬엽
05	해조류 활용 신산업 생태계 조성 방안 연구	조헌주
06	미국 무역환경 변화와 해운·조선산업의 영향 분석 연구	김한나
07	해상운임에 대한 지정학적 리스크의 전이효과 분석	최영재
08	스마트항만 개발 효과 산정 방법론 연구	안승현
09	항만 수급분석 체계화 및 지침 마련 연구	신정훈
10	비컨테이너 부두 하역능력 산정을 위한 적정 점유율 기준 연구	이화섭
11	국가 스마트 콜드체인 물류거점센터 구축연구	조지성
12	해운항만물류 전문인력 중개 플랫폼 모델 개발	권보배
13	미국 이력 추적 의무화에 따른 수산물 수출기업 대응실태 분석 연구	박혜진
14	AI 활용 글로벌 수산이슈 및 무역전망체계 고도화 연구	한기욱
15	섬어촌 디지털 정보격차 해소를 위한 정책연구	이상규

2024년

01	한-북극권 청색경제 협력사업 추진 방안	김엄지
02	전환기 글로벌 해양환경규범의 대응력 강화 연구	박수진
03	해양 지속가능성 시범 평가 연구	최희정
04	Scope 3 기준 원양산업 탄소배출추정 및 대응방안 연구 - 원양저연승어업을중심으로	조헌주
05	수산물 공급망 관리 개선방안 연구(한태 무역을 중심으로)	한기욱
06	신통상규범 확대에 따른 수산분야 영향 및 대응방안	박혜진
07	탄소배출 규제 대응을 위한 컨테이너 선대 교체 수요 추정 연구	최건우
08	연안항개발사업의 경제적 편익에 관한 연구	김성아
09	한국과 미동부 항만 간 녹색해운항로 구축방안 연구	김가현
10	비컨테이너 항만물동량 예측모형 고도화 방안 연구(Ⅲ) - 철광석,화학공업생산품,기타광석,잡화를중심으로	이나영
11	접안 대기시간 감소에 따른 탄소집약도지수(CII) 변화 분석	김보람

기본연구 2025-19

재난·재해 대비 항만 위험물 컨테이너 물류공급망 대응 방안 연구

인 쇄 2025년 12월 29일
발 행 2025년 12월 31일

발 행 인 조 정 희
발 행 처 한국해양수산개발원
주 소 49111 부산시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동)
연 락 처 051-797-4800 (FAX 051-797-4810)
등 록 1984년 8월 6일 제313-1984-1호

조판·인쇄 경성문화사 (02-786-2999)

판매 및 보급: 정부간행물판매센터 Tel: 02-394-0337
정가 15,000원

재난 · 재해 대비 항만 위험물 컨테이너 물류공급망 대응 방안 연구

Developing Response Measures for Port Dangerous Goods Container Logistics Supply Chains in Disaster and Emergency Situations

KMI 한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

49111 부산광역시 영도구 해양로301번길 26 (동삼동)
TEL. 051-797-4800 FAX. 051-797-4810

값 15000 원
93300
9 791168 663091
ISBN 979-11-6866-309-1