

몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 항만위험도 평가에 관한 연구

윤 동 하* · 김 선 구** · 최 용 석***

〈目 次〉

I. 서 론	IV. 시뮬레이션 분석
II. 선행연구 분석	V. 결론
III. 항만위험도 평가모델	

〈요 약〉

항만내 위험물은 사고가 발생하면 그 피해 규모가 크므로 항만위험물 사고의 피해 정도를 사전에 파악할 수 있는 효과적인 방안이 강구되어야 한다. 본 연구에서는 항만의 위험도를 평가하기 위한 모델을 수립하였다. 위험도 평가모델을 통해서 발생빈도, 심각도, 위험도 판정기준을 설정하기 위한 위험도 판정기준 매트릭스 구조도를 활용하였다. 피해금액, 심각도, 위험도를 변수로 하여 몬테카를로 시뮬레이션 모델을 개발하고, 시나리오를 구성하여 실험 및 분석하였다. 위험물 사고는 인적 요인, 물적 요인, 기타요인, 원인 불명 등의 4가지 사고원인으로 분류하여 위험물 사고에 대한 자료와 시뮬레이션 결과값 비교를 통해 시뮬레이션 모델의 타당성을 확인하였다.

주제어 : 항만, 위험물, 평가모델, 시뮬레이션

○ 논문접수:(2019.11.17.) ○ 최종수정:(1차:2019.12.10.) ○ 게재확정:(2019.12.27.)

* 한국국제터미널 차장, 주저자, yupk8909@naver.com

** 순천대학교 시간강사, 공동저자, kingdma@daum.net

*** 순천대학교 물류학과 교수, 교신저자, drasto@sunchon.ac.kr

I. 서 론

일본의 대규모 지진사고에 따른 피해와 우리나라 포항시의 지진사고는 다양한 인 재 및 천재로 인한 재난 위험성은 예측이 힘들 정도로 그 피해규모가 크게 나타나고 있다. 또한 주기적으로 발생하고 있는 조류독감, 구제역, 아프리카 돼지열병 등으로 인해 국가안전망에 대한 많은 도전이 발생하고 있으며, 이제 대한 대응도 철저히 대비하지 않으면 안 되는 상황이다.

항만에서의 위험도에 대한 인식은 2015년 8월 발생한 중국 천진항 폭발사고로 171명의 사망, 12명의 실종, 700여명의 부상, 6천여명의 이재민 등의 결과로 잘 설명되고 있다. 우리나라에서도 2015년 8월 인천신항에서 위험물 폭발사고가 발생하여 항만위험물에 의한 사고는 위험도가 상당히 높다는 것을 인식하는 계기가 되었다.

항만과 선박을 통한 국제 교역량의 증대는 물류 보안 및 안전에 대한 관리수준을 높이고 있으며, 위험물의 운송, 보관, 하역 등에서는 안전관리규정 강화를 시행하여 불확실한 위험으로부터 안전을 보장하려는 정책들이 이루어지고 있다.

국내 항만은 위험물 취급시설 및 관리가 불충분하고 대부분의 위험물 옥외저장소 및 유해화학물질 저장소가 주거지역과 인접해 있어 화재, 폭발, 독성 등의 잠재적인 위험요소를 많이 보유하고 있다. 일단 사고가 발생하면 대응하기가 어려울 뿐만 아니라 사고 발생 시 막대한 인명과 재산피해가 동반되는 경우가 많다. 이와 관련하여 항만의 위험물 관리실태 조사 및 개선 방안 등에 대한 기존 연구들이 있었으나 항만에서 발생하는 위험물 사고와 관련한 심각도 및 위험도 평가에 대한 연구는 미비한 상황이다.

본 연구에서는 국내 항만위험물 안전관리체계 개선을 위해 항만위험도를 평가하기 위한 모델을 제안하고 모델의 검증을 위해 실제 안전사고 결과값과 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 얻은 결과값을 비교하여 시뮬레이션에 의한 예측이 타당한지의 적합성을 검증하고자 한다. 이를 통해 향후 항만위험도에 대한 평가가 가능한 모델을 제안하는 기능을 제시하고자 한다.

II. 선행연구 분석

1. 항만위험물

항만위험물은 위험물 컨테이너의 항만 내부 반입·반출, 하역작업, 장치 및 보관작업 과정에서 안전관리를 위한 규정에 따라 작업이 이루어져야 한다. 또한 “선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률”에 따라 해당 규정을 이해하고 적용하여야 하지만 적용에 현실적인 어려움이 있다.

항만 내에서 위험물 컨테이너의 취급 과정별로 안전관리에 필요한 사항들을 체계적으로 규정하여 항만으로의 위험물 컨테이너 하역업체 등의 수요자들이 작업을 안전하게 진행하고 안전관리 역량을 강화하기 위해 법제도 준수를 하도록 항만내 위험물 안전관리가 강화될 필요가 있다.

항만내에서는 위험물 성질상 사고가 발생하면 다른 사고에 비해 그 피해규모가 매우 크다. 국내외의 대표적인 사건으로 2010년 7월 중국 대련항에서 30만톤급 유조선이 원유하역 작업중에 송유관 폭발로 대형화재와 함께 원유 1,500톤이 유출되는 사고가 발생하였다.

그리고 2011년 1월 울산 본항 4부두에 계류 중이던 5천톤급 케미컬 선박의 하역 작업중에 P-자이렌 유해물질의 200리터가 해상으로 유출되는 사고가 발생하였다. 2012년 1월 인천광역시 자월도 부근의 해상에서 케미컬 운반선이 유증기로 인하여 폭발하는 사고가 발생하였다. 전체적으로는 해양사고의 20% 정도가 항만 내외부에서 발생하고 있는 실정이다.

2014년 7월 울산항에서는 울산항 4부두에 정박 중이던 1,500톤급 케미컬운반선의 공기흡입밸브가 폭발하면서 34명의 사상자를 냈다. 텐진항 폭발사고가 발생한지 5일째 되는 8월 17일에는 부산 사상구의 화학물질 보관창고에서 불이 났다. 당시 공장 안에는 텐진항 폭발사고에서 유출되었던 화학물질인 시안화나트륨이 저장되어 있었다. 9월 인천신항에서 위험물 컨테이너가 폭발하는 사고도 발생했다.

우리나라는 2015년 시행된 “화학물질관리법”과 “화학물질의 등록 및 평가에 관한 법률” 등을 통해 화학물 안전을 강화하고 있으나 선박이나 항공기, 철도이용 등의 관리는 미흡한 상황이라 판단된다.

특히 항만에 임시보관되고 있는 유해화학물질이 얼마나 되는지 또 법적으로 적절하게 관리되고 있는지에 대한 점검의 필요성은 여러 차례 지적된 바가 있다. 또한

항만의 위험물 관리를 위해서는 잠재적인 위험도를 평가하여 향후 관리목적의 위험도 관리 방안이 필요하다.

항만위험물 사고의 피해 정도를 사전에 파악할 수 있는 효과적인 방안들을 강구할 필요가 있다. 하역작업 전 해양 오염사고 예방 등 안전수칙 이행실태, 위험물 자체안전관리계획 이행 여부, 유류하역 업무취급자의 교육실시 여부, 위험물 특성에 적합한 소화장비 등의 비치와 작동상태 및 하역관련 설비 작동상태 등을 점검하고 있는 것도 이와 같은 이유이다.

우리나라는 수출입 화물의 약 99%를 처리하고 있는 항만의 중요성과 항만 내에서 빈번한 사고에도 불구하고 항만에 대한 투자가 물류기능의 강화에 집중되다 보니 안전 및 보안의 관리측면의 투자가 상대적으로 소홀하게 다루어진 점이 없지 않다. 따라서 항만내의 위험물 보관 및 관리에 대한 하드웨어 및 소프트웨어적인 투자확충과 체계적인 안전장치의 마련이 중요하다.

2. 선행연구 검토

항만위험물에 대한 사고피해의 경각심을 깨닫고 이에 대한 관리방안 연구는 주로 관리실태 조사와 관리방안 연구의 두가지 방향으로 진행되어 왔다.

조동오(1997)는 주요 항만의 위험물 관리실태를 조사하고 그 대책을 수립하기 위해 항만위험물 취급실태와 문제점을 관리제도, 시설, 전문인력 등으로 구분하여 살펴 보았으며, 위험물 취급안전을 확보하기 위한 종합 대책과 항만별 세부 대책을 제시하였다.

목진용(1997)은 우리나라 항만의 위험물 관리체계 현황 및 문제점을 분석하고, 일본, 싱가포르, 노르웨이, 네덜란드 등 주요 선진국의 위험물 관리제도를 검토한 후 우리나라의 항만의 위험물 관리제도에 관한 개선방안을 제시하였다.

김현(1999)은 외국의 선진 항만과 부산항의 운영관리 실태를 조사하고 부산항 컨테이너터미널 내부의 위험물 컨테이너의 효율적인 취급 및 보관을 위한 개선방안을 제시하였다.

노홍승 외(2009)는 육상부문의 위험물 관려 법제도가 물질별, 운송수단별, 부처별로 분산되어 있으며 국제기준에 부합되지 않아 국제기준과 혼동되는 부분에 대한 보완을 위한 위험물질 운송관리 법령(안)을 마련하기 위한 연구를 하였다.

김태용 외(2009)의 연구에서는 부산항을 이용하는 포장위험물의 안전을 확보하기 위해 포장위험물 관리제도 및 현황을 살펴보고 그 개선방안을 제시하였다. 이를 위

해 위험물의 정의, 포장위험물의 위험특성에 대해서 기술하고, 포장위험물 해상운송에 관한 국제기준 및 국내법규를 조사하였으며, 부산항내 포장위험물의 관리 현황 및 대책을 제시하였다.

강수성(2013)은 항만지역내 항만위험물 관리실태를 분석하고 안전관리시스템 구축을 위한 제도적 개선방안을 연구하여 항만위험물의 체계적 안전관리에 유용한 현실적 개선방안을 제시하였다. 윤동하 외(2014)는 컨테이너터미널을 대상으로 사고유형을 분류하고 리스크 등급을 산정하여 리스크 감소 대책을 수립하기 위한 방안을 제시하였다.

김인법 외(2015)는 항만의 화재안전과 관련하여 국내외 규정과 소방시설, 안전교육 현황을 살펴보고 위험물 관련 법률에 따른 체계적 교육내용, 항만 소화시설 강화, 현장작업자 교육훈련 강화 등을 제시하였다. 최재용(2016)은 중국 텐진항 폭발사고 사례분석을 통해 화학물질 및 위험물 정보공유 등의 안전확보 방안을 제시하였다. 김우선 외(2016)는 국내 항만위험물 관리현황을 분석하고 법제도, 정책적, 기술적 측면에서의 개선방안을 제시하였다.

윤동하 외(2018)는 국내 항만위험물의 리스크관리 요인들을 도출하고 부산항, 광양항, 인천항, 울산항 등의 위험물 전문가를 대상으로 한 설문조사 결과를 Fuzzy-AHP 방법론을 적용하여 분석하였다. 이를 통해 관리요인별 우선순위를 도출하였다.

위에서 살펴본 기존 연구들에서 항만위험물 관리방안의 연구는 지속적으로 연구되어 왔으나 항만위험물에 의한 심각도 및 위험도 평가에 대한 연구가 미흡한 실정이며, 이는 분석적 방법에서도 새로운 방법이 시도되어야 함을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 시뮬레이션 방법을 통해 항만위험도에 대한 평가를 하고자 한다.

Ⅲ. 항만위험도 평가모델

1. 심각도와 위험도

항만에서는 항만위험물 사고에 대한 현황을 분석하여 각 사고의 상대적인 심각도(Severity)와 위험도(Risk)를 이용하는 방안들이 사용되고 있다. 심각도는 위험물 발생사고 당 피해금액의 관계로 식별되며, 위험물 사고의 심각성 정도를 표현할 수 있으며, 리스크는 위험물사고 발생빈도(Frequency)와 위험물사고에 따른 결과의 심각

도 요소로 구성된다.¹⁾

각 위험물의 사고에 따른 영향의 정도를 손실규모(비용)로 산출하고 있으나 심각도로 계수화하여 표현하는 것이 용이하다. 발생빈도, 심각도, 위험도 분석은 일반적으로 사용(철도, 건설현장 사고 해석 등)되는 개념으로 매트릭스 리스크 등급 판정기법으로 경제분야와 경영분야 등에서 주로 사용되고 있다.

〈표 1〉 위험물사고 발생원인별 사고원인 및 위험등급

사고 원인	사고건수 (2년간)	연간발생빈도	피해금액 (백만원)	위험등급	
				심각도	리스크
인적 요인	77	38.5	1,637.1	21.3	818.6
물적 요인	29	14.5	1,775.5	61.2	887.8
기타 요인	28	14	385.1	13.8	192.6
원인 불명	13	6.5	4,189.4	322.3	2,094.7

자료) 행정안전부 통계자료

〈표 1〉은 과거 2년간의 위험물 사고 발생원인별 사고건수, 발생빈도, 피해금액을 근거로 위험등급을 판정하기 위한 심각도와 위험도를 분석한 것이다. 네가지 사고원인별로 사고건수 및 피해금액을 근거로 심각도 및 리스크를 분석하였다. 위험등급 중 심각도는 원인 불명인 경우가 가장 많으며, 물적 요인, 인적 요인, 기타 요인의 순으로 나타났다. 심각도가 높은 것은 사고로 인한 피해금액이 크다는 것을 의미한다. 인적 요인은 관리감시 부주의, 기계 오조작, 보수작업 부주의, 조치소홀 등이며, 물적 요인은 부식 및 노후, 설계불량, 고장 및 파손, 시공불량 등의 포함된다. 위험도는 원인 불명, 물적 요인, 인적 요인, 기타 요인 순으로 나타났다.

위험등급 중 위험도가 높다는 것은 사고 발생빈도가 낮더라도 피해금액이 크다는 것을 의미한다. 〈표 1〉에서 원인 불명은 연간발생빈도가 6.5로 낮지만 사고 당 피해금액이 4,189.4백만원으로 매우 높아 심각도가 높고 위험도는 매우 높게 책정이 되는 것을 볼 수 있다.

1) 윤동하, 최용석, 김선구(2014), “컨테이너터미널의 사고유형에 따른 리스크 분석”, 해운물류연구 30권 4호, pp.843-858.

2. 위험도 평가모델

위험도(Risk)는 사고의 발생빈도와 사고결과에 대한 심각도라는 정량화된 수치로 구성된다. 위험도를 등급화하는 방법으로 리스크 값 자체만을 평가하는 것보다는 사고의 발생빈도와 심각도를 등급으로 분류하고 리스크 평가 매트릭스를 이용하여 위험도를 평가하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다.²⁾³⁾⁴⁾

〈표 2〉와 같이 위험도 평가를 위해 위험도 등급을 판정할 수 있도록 매트릭스 구조를 완성하였다.

〈표 2〉는 발생빈도와 심각도의 매트릭스 구조를 이용하여 위험도 등급을 판정하기 위한 것으로 항만위험물 사고의 위험도 등급이 표현하고 있다.

〈표 2〉 매트릭스 구조(Matrix) 위험도 등급 판정기준 및 결과

구분		심각도(Severity)				
		S1	S2	S3	S4	S5
발생빈도 (Frequency)	F1					원인 불명
	F2	기타 요인			물적 요인	
	F3					
	F4		인적 요인			
	F5					

각 요인별로 판정기준을 적용하기 위해 〈표 2〉의 판정 기준에 대입시키면, 인적 요인은 발생빈도(F)가 38.5이므로 F4, 심각도(S)가 21.3이므로 S2, 위험도(R)는 818.6이므로 R3에 해당되므로 〈표 3〉에서 R3영역에 표시되었다. 물적요인은 발생빈도(F)가 14.5이므로 F2, 심각도(S)가 61.2이므로 S4, 위험도(R)는 887.8이므로 R3에 해당되므로 〈표 3〉에서 R3영역에 표시되었다. 기타요인은 발생빈도(F)가 14이므로 F2, 심각도(S)가 13.8이므로 S1, 위험도(R)는 192.6이므로 R1에 해당되므로 〈표 3〉에서 R1영역에 표시되었다.

2) 장광우(2013), “리스크 평가 매트릭스를 활용한 위험물 수송 리스크 분석 및 관리방안”, 서울과 학대학기술대학교 철도전문대학원, pp.24-25.

3) S. Gunderson(2005), “A Review of Organizational Factors and Maturity Measures for System Safety Analysis,” *Systems Engineering*, Vol.8, pp.234-244.

4) N. B. Johansen, S. Sorenson, C. Jacobson, O. F. Adeler, A. Breinholt(2007), “Risk Assessment of Sewer Systems”, *NOVATECH Session 4.3* pp.925-932.

〈표 3〉은 발생빈도와 심각도를 곱한 위험도 수치와 매트릭스 구조 방식의 위험도 등급을 사고유형별로 정리하였다. 각 요인별 매트릭스 구조 등급 판정 결과, 인적요인은 R5, 물적요인은 R4, 기타요인은 R1의 위험도 등급으로 나타났다. 각 요인별 특성을 살펴보면, 기타 요인은 발생빈도가 낮으면서 심각도가 가장 낮게 판정되어 주요 관리대상이 되지 않는다. 인적 요인은 발생빈도가 높으나 심각도가 낮은 기준에 들어간다. 물적 요인은 발생빈도가 낮으면서 심각도가 높은 기준에 들어간다. 원인 불명은 발생빈도가 낮지만 심각도가 가장 높아 중점 관리가 필요한 영역에 포함된다.

따라서 원인 불명은 발생빈도는 상대적으로 낮고 심각도는 높은 것으로 나타나 매트릭스 구조의 위험도 등급 판정에서 위험도 수치 등급보다 한단계 높게 판정되고 있다.

〈표 3〉 위험도 등급 판정결과 비교

구분	위험도 수치 등급	매트릭스(Matrix) 구조	비고
인적 요인	R5	R5	일치
물적 요인	R4	R4	일치
기타 요인	R1	R1	일치
원인 불명	R5	R5 초과	비일치

IV. 시뮬레이션 분석

1. 시뮬레이션 방법론

컴퓨터 시뮬레이션은 물리적 혹은 수리적 모델들을 컴퓨터를 활용하여 반복적인 실행을 통해 결과를 관찰하고, 그 과정 중에서 실세계 현상에 대한 통찰력을 획득하는 방법으로 사용되고 있다.

물류분야에서는 주로 항만 및 물류센터를 대상으로 하는 컴퓨터 시뮬레이션 연구가 많으며, 물류센터와 같이 정형화 및 표준화가 용이한 모형을 컴퓨터로 프로그래밍하여 관련된 예측과 증명, 설계의 검증, 운영 최적화 등에 활용되고 있다.

몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulations)은 전통적인 확정적 분석방법의 한계를 극복하기 위한 방법으로 확률 통계적 분석방법으로 분류된다.⁵⁾ 미래의 불확

실한 변동 상황을 변수로 하여 위험도를 분석하기에 적합한 방법이 될 수 있다. 특히 다양한 시나리오 선정 후에 미래의 불확실성을 감안하여 사고 위험도를 평가하기 위한 용도로 사용이 가능하다.

변수의 관계가 확실하여 예측치를 정확하게 찾을 수 있는 확정모형(deterministic model)과는 달리, 기확일의 많은 부분은 결과를 정확하게 예측할 수 없는 확률모형(stochastic model)이다.

일반적으로 확정적 모형에서는 분석적인 해(analytical solution)를 구하는 것이 가능하다. 그러나 확률적 모형에서는 분석적인 방법으로 해를 구하는 것이 불가능한 경우가 많다.

이 경우에는 수치적(numerical)으로 일련의 난수를 반복적으로 발생시켜서 시뮬레이션을 수행하면 해를 찾을 수 있으며, 이를 몬테카를로 시뮬레이션이라 한다.

몬테카를로 시뮬레이션은 항만위험도 평가모델의 주요 구성요소를 대상으로 사고건수, 빈도, 피해금액을 변수로 지정한 후 반복적인 시뮬레이션을 통해서 현재 시점에서 미래 시점의 위험도를 평가할 수 있다.

2. 시뮬레이션 시나리오 및 분석결과

1) 시나리오 설정

투입변수에 적용되는 확률분포의 적용에서 사고건수, 빈도, 피해금액 등의 실제 자료 분석을 통해서 변수별 특성에 부합하는 특성값을 적용하고자 하였다.

그러나 항만위험물 사고의 경우 사고발생 건수가 많지 않아서 시뮬레이션에 적용하기 어려운 점이 있으므로 위험물사고에 대한 통계값을 활용하여 추정하여 사용하였다.

사고건수와 피해금액은 난수발생을 통해 500회 시행으로 구한 값이며, 심각도, 위험도는 난수생성에 의해 추정된 값이다.

시나리오는 시나리오 1(최근 2년 통계값을 활용하는 것), 시나리오 2(최근 3년 통계값을 활용하는 것), 시나리오 3(최근 4년 통계값을 활용하는 것)의 3가지 시나리오를 수립하였다.

시나리오 1은 가장 최근의 위험물 사고 패턴을 잘 보여주고 있고, 시나리오 2는

5) 최정석, 이기환, 남종식(2015), “몬테카를로 시뮬레이션방법을 이용한 선박가치 평가”, 한국항만경제학회지, 31권 3호, pp.1-14.

최근의 증가패턴을 잘 반영하며, 시나리오 3은 평균적인 패턴을 잘 반영하는 시나리오로 설정되었다.

시나리오 설정에서 피해금액은 최근의 피해금액을 기준으로 설정하여 현가 개념을 적용하였다.

〈표 4〉 시나리오 1

사고 원인	사고건수 (2년간)	연간발생빈도	피해금액 (백만원)	심각도	위험도
인적 요인	77	38.5	1,637.1	21.3	818.6
물적 요인	29	14.5	1,775.5	61.2	887.8
기타 요인	28	14	385.1	13.8	192.6
원인 불명	13	6.5	4,189.4	322.3	2,094.7

〈표 5〉 시나리오 2

사고 원인	사고건수 (3년간)	연간발생빈도	피해금액 (백만원)	심각도	위험도
인적 요인	104	34.7	1,637.1	15.7	545.7
물적 요인	31	10.3	1,775.5	57.3	591.8
기타 요인	45	15.0	385.1	8.6	128.4
원인 불명	20	6.7	4,189.4	209.5	1,396.5

〈표 6〉 시나리오 3

사고 원인	사고건수 (4년간)	연간발생빈도	피해금액 (백만원)	심각도	위험도
인적 요인	128	32.0	1,637.1	12.8	409.3
물적 요인	34	8.5	1,775.5	52.2	443.9
기타 요인	48	12.0	385.1	8.0	96.3
원인 불명	25	6.3	4,189.4	167.6	1,047.4

2) 시뮬레이션 결과

시나리오별로 시뮬레이션 한 결과를 심각도와 위험도에 대해서 정리하면 다음과 같다. <표 7>에서 심각도의 평균값이 시나리오 2에서 높아지는 것은 3년치에 대한 통계값을 이용하여 시뮬레이션 결과가 반영되어 심각도가 낮은 해의 결과를 포함할 경우 그 효과가 발생하여 차이를 보이고 있다.

<표 7> 심각도에 대한 시나리오별 시뮬레이션 결과 요약

구분	심각도		
	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3
시행	500	500	500
평균	39.9	43.8	42.5
최소값	0.1	0.3	0.3
최대값	89.9	106.0	100.2
최빈값	89.9	15.6	64.9
표준편차	22.9	25.8	25.7
분산	524.0	666.0	660.6

<표 8>에서 위험도의 평균값이 시나리오 2에서 가장 높아지는 것은 3년치에 대한 통계값을 이용하여 시뮬레이션 결과가 반영되어 위험도가 높은 해의 결과를 포함할 경우 그 효과가 발생하여 차이를 보이고 있다. 그러나 최소값이 0이므로 위험도는 0에서 표준편차에 따라 변동하고 있음을 알 수 있다.

<표 8> 위험도에 대한 시나리오별 시뮬레이션 결과 요약

구분	위험도		
	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3
시행	500	500	500
평균	42.1	46.1	43.9
최소값	0.0	0.0	0.0
최대값	176.9	208.2	197.7
최빈값	0.0	0.0	0.0
표준편차	44.7	53.1	48.8
분산	1,998.8	2,817.1	2,384.7

〈표 9〉는 위험물사고에 대한 자료의 분석값과 시뮬레이션 결과값을 비교한 것이다. 심각도는 시뮬레이션 결과값이 인적 요인, 기타 요인, 원인 불명에서 높게 나타났고, 위험도는 시뮬레이션 결과값이 모두 낮게 나타났다.

따라서 시뮬레이션 실험을 통해서 얻은 항만위험물 사고의 위험도는 위험물 사고 자료 분석값보다는 상대적으로 더 낮게 추정되고 있음을 알 수 있다.

몬테카를로 시뮬레이션의 주요 평가변수로 피해금액, 심각도, 위험도를 선정하여 500회의 시뮬레이션을 통해 구한 값들은 기존의 통계값에서 구하기 어려운 평가값을 도출한 것이다. 또한 위험물사고에 대한 심각도와 위험도를 산출하여 객관적인 비교 기준을 확보하는 것이다. 몬테카를로 시뮬레이션의 경우 적합한 분포를 추정하여 투입변수에 대한 확률분포를 판단하여 검토할 필요가 있으나 자료가 부족한 경우를 가정하여 난수를 일양분포를 가정하여 사용하였다.

다만, 항만위험물 사고 자료 수집의 한계로 인해 투입변수의 설정 근거기간을 불특정하게 추정하였다는 점과 확률론적인 방법을 사용하여 실제값과 비교하므로 시계열 자료의 추적분석이 부족하다는 분석의 한계점이 있다.

〈표 9〉 위험물사고 발생원인별 사고원인 및 위험등급

사고 원인	위험물사고 자료 분석값			시뮬레이션 결과값		
	피해금액 (백만원)	심각도	위험도	피해금액 (백만원)	심각도	위험도
인적 요인	1,637.1	21.3	818.6	820.2	21.7	410.1
물적 요인	1,775.5	61.2	887.8	812.3	21.4	406.1
기타 요인	385.1	13.8	192.6	196.4	14.0	98.2
원인 불명	4,189.4	322.3	2,094.7	2,126.0	350.5	1,063.0

V. 결 론

우리나라 항만위험물 안전관리 실태를 조사하고 개선방안을 제시하는 연구가 20여 년 전부터 제시되어 왔으나 추진동력을 얻기 시작한 것은 최근의 국내외적인 대형사고로부터 기인한다. 항만 위험물사고의 영향이 주는 항만기능의 마비 및 막대한 인적 피해규모는 경각심을 불러일으키기에 충분하다.

그럼에도 불구하고 항만위험물 안전관리자들이 항만위험물 안전관리를 위해 우선적으로 정비해야 할 사항으로 법·제도적 요인을 요구하고 있다. 이는 안전관리를 위

한 예방적 차원의 선행조치가 중요함을 강조하는 것이다. 예방적 차원의 안전관리를 위해서는 항만위험도 평가 모형 및 이를 활용하는 방법론의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 항만위험도 평가에 대한 모형을 제시하고 시뮬레이션 평가를 통해 예방적 차원의 평가가 가능하다는 것을 세단계로 구분하여 설명하고자 하였다.

첫째, 항만의 위험물 사고에 대한 현황을 분석하고, 각 사고의 상대적인 심각도 위험도를 평가하기 위하여 위험물사고 발생원인별로 특성을 살펴보면, 기타 요인은 발생빈도가 낮으면서 심각도가 가장 낮게 관정되어 주요 관리대상이 되지 않는다. 인적 요인은 발생빈도가 높으나 심각도가 낮은 기준에 들어간다. 물적 요인은 발생빈도가 낮으면서 심각도가 높은 기준에 들어간다. 원인 불명은 발생빈도가 낮지만 심각도가 가장 높아 중점 관리가 필요한 영역에 포함된다.

둘째, 위험도 평가를 위한 몬테카를로 시뮬레이션 실험 결과, 인적 요인과 물적 요인에 대한 피해금액, 심각도, 위험도는 큰 차이점을 보이지 않았으나 기타 요인은 피해금액, 심각도, 위험도 등이 상대적으로 낮게 나타났으며, 원인 불명의 경우 피해금액, 심각도, 위험도가 상당히 높게 나타나 우선적인 관리가 필요함을 알 수 있었다.

셋째, 위험물사고에 대한 자료의 분석값과 시뮬레이션 결과값을 비교한 결과, 심각도는 시뮬레이션 결과값이 인적 요인, 기타 요인, 원인 불명에서 높게 나타났고, 위험도는 시뮬레이션 결과값이 모두 낮게 나타났다.

따라서 시뮬레이션 실험을 통해서 항만위험물 사고의 위험도는 위험물 사고 자료 분석값보다는 상대적으로 낮게 추정됨을 알 수 있다.

본 연구에서는 항만위험도에 대한 평가를 통해 다양한 상황의 인식과 예측기능이 가능하도록 시나리오 설정에 대한 시뮬레이션 결과를 제시할 수 있도록 하였다. 이를 통해 현실적인 안전관리 문제를 실무적인 관점에서 다루거나 해결방안을 제시하는데 활용이 가능할 것이다. 그러나 본 연구에서 다루는 결과값은 예시 문제를 다루고 있다는 한계를 가지며, 실제 규모의 문제분석을 통하여 연구 한계점을 보완해 나가야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 강수성(2013), 「항만터미널 위험물 관리 개선에 관한 고찰」, 한국해양대학교 석사학위논문.
- 김우선, 최나영환, 김대현(2016), 「국내 항만위험물 안전관리체계 개선방안」, 한국해양수산개발원.
- 김인범, 현성호, 이용재, 차정민(2015), 「위험물 취급 항만의 소방시설 및 안전관리자 교육 현황에 관한 연구」, 『한국위험물학회지』, 제3권 제2호, pp.1-6.
- 노홍승, 장소영, 이재구(2009), 「국제기준과 조화된 위험물운송관리체계 구축방안 연구」, 한국교통연구원. pp.14-21.
- 목진용(1997), 「항만내 위험물 관리제도의 개선방안」, 『월간 해양수산』, 149호, pp.16-38.
- 윤동하, 최용석, 김선구(2014), 「컨테이너터미널의 사고유형에 따른 리스크 분석」, 『해운물류연구』, 30권 4호, pp.843-858.
- 윤동하, 김선구, 최용석(2018), 「항만의 위험물 리스크 관리를 위한 요인평가에 관한 연구」, 『해운물류연구』, 34권 4호, pp.565-581.
- 장광우(2013), 「리스크 평가 매트릭스를 활용한 위험물 수송 리스크 분석 및 관리방안」, 서울과학기술대학교 철도전문대학원.
- 조동오(1997), 「우리나라 주요 항만의 해상안전 발전 방향 - 부산항을 중심으로 -」, 『해양환경안전학회지』, 3권 1호, pp.93-125.
- 최정석, 이기환, 남종식(2015), 「몬테카를로 시뮬레이션방법을 이용한 선박가치 평가」, 『한국항만경제학회지』, 31권 3호, pp.1-14.
- 행정안전부, 각년도 위험물 통계자료
- N. B. Johansen, S. Sorenson, C. Jacobson, O. F. Adeler, and A. Breinholt(2007), "Risk Assessment of Sewer Systems", NOVATECH Session 4(3), pp.925-932.
- S. Gunderson(2005), "A Review of Organizational Factors and Maturity Measures for System Safety Analysis", *Systems Engineering*, Vol.8, pp.234-244.

<Abstract>

A Study on the Evaluation of Port Risk using Monte Carlo Simulation

YEUN Dong-ha* · KIM Sun-gu** · CHOI Yong-seok***

Since the extent of damage to dangerous goods in the port is large when an accident occurs, effective measures should be taken to prevent damage from dangerous goods accidents in advance. This study established a model for assessing the risk level of a port. Through the risk assessment model, a matrix plot based on risk assessment was utilized to establish frequency, severity, and risk determination criteria. Monte Carlo simulation models were developed with damage amounts, severity, and risk as variables, and scenarios were constructed, tested, and analyzed. Hazardous accidents were classified as four accident factors: human factors, physical factors, other factors, and unknown causes, and the validity of the simulation model was verified by comparing the simulated results with the data on hazardous accident.

Key Words : Port, Dangerous Goods, Assessment Model, Simulation.

* OP, Korea International Terminals. (First Author)

** Lecturer, Sunchon National University. (Collaborate Author)

*** Professor, Sunchon National University. (Corresponding Author)