

Bow-Tie 분석기법을 이용한 항만물류산업 안전관리 개선방안에 관한 연구

김도연* · 심민섭** · 이정민*** · † 신영란

*한국산업안전보건공단 부산광역시본부 과장, **,***한국해양대학교 KMI-KMOU 학원협동과정생, † 한국해양대학교 글로벌물류대학원 부교수

A Study on the Improvement of Safety Management by Port Logistics Industry Using Bow-Tie Analysis

Do-Yean KIM · Min-Seop SIM** · Jeong-Min Lee*** · † Yong-Ran SHIN

*Manager, Korea Occupational Safety and Health Agency, Busan, Korea

,Master's Course, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea

† Corresponding, Associate Professor, Graduate School of Global Logistics, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea

요 약 : 최근 국제 교역량 증가와 비대면 사회 기조에 따른 물동량 폭증은 항만물류산업 내 위험 노출 및 안전사고 증가로 이어지고 있다. 이와 함께 사회 전반에 걸쳐 안전을 중시하는 분위기와 공감대가 확산되면서 산업별로 안전을 보호하는 각종 법안들이 제정되고 있다. 그럼에도 불구하고 고용노동부의 산업재해 현황분석에 따르면 2015년부터 2019년 동안 연평균 재해자수는 11.1%, 사망자수는 4.0%씩 증가하였다. 이는 미래 발생 가능한 리스크에 대한 각별한 관심을 기울이고 주요 사고원인에 대한 예방대책을 세워야 한다는 것을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 2016년부터 2020년까지 5년간 한국산업안전보건공단에서 집계된 사고사례 5,028건을 바탕으로 위험성 평가를 진행하여 산업별 주요 위험요인을 도출한 뒤, Bow-Tie 분석기법을 진행하여 유해위험요인으로부터 발생원인과 예방대책을 도출하고자 하였다.

핵심용어 : 항만물류산업, 안전관리, 안전사고, 위험성 평가, Bow-Tie분석기법

Abstract : The recent increase in international trade volume and explosive increase in cargo volume due to the non-face-to-face society are leading to an increase in risk exposure and safety accidents in the port logistics industry. Consequently, as the atmosphere and consensus on safety are spreading throughout the society, various safety laws are being enacted by the industry. Nevertheless, according to the industrial accidents status analysis by the Ministry of Employment and Labor, the average annual number of injured persons increased by 11.1% and the number of deaths by 4.0% from 2015 to 2019. This means that special attention should be paid to possible future risks and preventive measures for major causes of accidents should be established. Therefore, in this study, risk assessment was conducted based on 5,028 accident cases that were reported by the Korea Occupational Safety and Health Agency for 5 years, from 2016 to 2020, and major risk factors for each industry were derived, and then bow-tie analysis was conducted to perform the risk assessment. Further, the study aimed to derive the causes and preventive measures from the risk factors.

Key words : Port Logistics Industry, Safety Management, Safety Accidents, Hazard Assessment, Bow-Tie Analysis

1. 서 론

2020년 1분기 COVID-19로 인하여 해운시장의 정체가 예상되자 선사는 신조 발주의 연기 및 개선, 기항 축소, 조기 폐선 등 선복 조정을 진행하였다. 그러나 예측과 달리 컨테이너 선 시황은 크게 호전되었고 이는 비대면 사회 기조에 따른 예상치 못한 물동량 폭증으로 이어졌다. 선복 부족에 따른 선적 물량의 제한은 컨테이너의 평균 장치 일수 증가와 컨테이너

야드 장치율 상승을 초래하였다. 이로 인해 반출 및 선적 작업 시 장비의 재조작률(Re-handling)이 증가하였으며, 터미널 내 야드 공간은 점점 혼잡해지고 있다. 또한, 컨테이너 터미널에서 수용하지 못한 물량이 인근 물류창고로 넘어가면서 창고 내 보관 물동량이 급격하게 증가하였으며, 항만과 배후단지 간 셔틀 역할을 하는 화물자동차로 인한 교통혼잡이 심각한 수준에 이르렀다. 국제 교역량 증가에 따라 물동량 증가는 더욱 가속화될 것이며, 제한된 공간에서의 작업량 증가는 항만

† Corresponding author : 종신회원, syran@kmou.ac.kr 051)410-4486

* 정회원, logikim@kosha.or.kr 051)520-0634

** 정회원, tla6355@g.kmou.ac.kr 051)410-4125

*** 정회원, jmjm3646@g.kmou.ac.kr 051)410-4125

물류산업 내 위험 노출 및 안전사고 증가로 이어지고 있다.

이와 함께 사회 전반에 걸쳐 안전을 중시하는 분위기와 공감대가 확산되었으며, 산업별로 안전 및 생명을 보호하는 각종 법안들이 제정되었다. 국토교통부는 「물류창고 기본 안전관리 매뉴얼」을 통해 물류창고의 운영 및 관리 시 예상되는 안전관리 사항에 대해서 창고 관리자, 안전 근무자와 현장 근무자 등이 숙지하여야 할 안전관리 사항을 정립하였다. 산업통상자원부는 「재난 및 안전관리 지침」을 개정하여 재난관리의 범위를 정리하고 재난의 발생을 사전에 방지하기 위한 조치를 정립하였다. 또한, 「발전산업 안전강화 방안」을 마련하여 노동자의 작업현장 개선요구를 수용하고 노사 간 협의를 통해 근로조건 및 관리체계를 개선하고자 하였다. 해양수산부는 「2021년 국가안전관리 집행계획(안)」을 통해 각종 재난으로부터 국민의 생명·신체 및 재산을 보호하기 위한 국가와 지방자치단체의 안전관리체계를 확립하였다. 또한, 재난의 예방·대비·대응·복구와 그 밖에 재난 및 안전관리에 필요한 사항을 규정하였다.

하지만 이러한 노력에도 불구하고 2020년 항만물류산업에서 컨테이너선박과 크레인 간 충돌사고, 크레인의 스프레더 추락으로 인한 사망사고, 인천 냉동창고 화재사고, 평택 물류창고 추락사고, 화물자동차 적재불량으로 인한 적재물 낙하사고 등 다양한 중대형 안전사고가 발생하였다. 고용노동부의 산업재해 현황분석에 따르면 2015년부터 2019년 동안 운수·창고·통신업의 연평균 근로자수는 연평균 3.1% 증가한 반면 재해자수는 11.1%, 사망자수는 4.0%씩 증가하였다. 이는 미래 발생 가능한 리스크에 대하여 각별한 관심을 기울이고 주요 사고원인에 대한 예방대책을 세워야 한다는 것을 의미한다.

Table 1 Status of safety accident(2015~2019)

	Labor	Accident	Death
2015	805,403	4,059	131
2016	836,471	4,114	129
2017	860,522	4,249	122
2018	873,232	5,291	157
2019	910,585	6,173	153
CACR	3.1%	11.1%	4.0%

Source : Ministry of employment and labor

따라서 본 연구에서는 항만물류산업 중 하역업, 창고업, 운수업에 대한 위험성 평가를 진행하여 사회경제적 영향이 큰 위험요인을 각각 도출한 뒤, 주요 위험요인으로부터 발생원인과 예방대책을 도출하고자 하였다. 이를 위해 휴먼에러를 포함하여 다양한 사고 발생원인 분석이 가능한 Bow-Tie 분석기법을 진행하였으며, Bow-Tie 선도를 통해 사고원인과 결과를 한눈에 파악하기 용이하도록 표현하였다. 기초자료는 2016년부터 2020년까지 5년간 한국산업안전보건공단에서 집계된 사고사례 5,028건을 사용하였으며, 위험성 평가는 한국산업안

전보건공단에서 발표한 정성적 보우타이(Bow-Tie) 리스크 평가 기법에 관한 지침의 기준에 따라 진행하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 위험성 평가

고용노동부 사업장 위험성 평가에 관한 지침에 따르면 위험성 평가는 사업장의 유해·위험요인을 파악하고 해당 유해·위험요인에 의한 부상 또는 질병의 발생 가능성(빈도)과 중대성(강도)을 추정·결정하여 감소대책을 수립하는 일련의 과정으로 정의하고 있다. 사업주는 스스로 사업장의 유해·위험요인을 파악하기 위해 근로자를 참여시켜 실태를 파악하고 이를 바탕으로 위험성 평가를 실시하여야 한다. 만약 위험성 평가 결과 위험성이 허용 가능 범위를 넘을 경우 위험성 감소를 위한 대책을 수립하여야 한다. 위험성 평가는 1년을 주기로 진행되고 있으며, 위험성 평가를 실시하고 안전보건공단으로부터 우수사업장으로 인정받을 시 산재보험료 감면 혜택이 주어지고 있다.

2.2 위험성 평가 관련 선행연구

Han et al.(2018)은 2017년 기업 A에서 발생한 화재-폭발사고에 대해서 Haddon Matrix를 통해 각 사고 요인들 간의 연결성을 확인하였다. 사고원인을 직접, 간접, 사회제도 및 구조적 원인으로 분류하였으며, 표면적인 사고원인에서부터 근본적인 사고원인까지 도출하였다. 또한, 각 사고원인에 대한 예방대책을 Bow-Tie 분석기법을 통해 확인하였다. 분석결과 사회제도 및 구조적 원인으로 안전관리가 부족한 하도급, 상호목인한 무리한 공정진행, 가설재 구매와 관리체계의 이원화 등이 있었으며, 이에 대한 해결책으로 방폭 등 유지관리·수리에 관한 기준마련, 밀폐공간에서 작업 시 지속적인 폭발 분위기 모니터링, 원·하청 및 하청 간의 의사소통 방안 마련 등과 같은 방안을 제시하였다.

Han and Kong(2020)은 TRIZ기법을 사용하여 물류창고 화재의 원인을 분석하였고 4M기법을 이용하여 물류창고 화재 예방대책을 제시하였다. TRIZ기법을 통해 물류창고 화재원인의 모순을 밝혔으며, 물류창고 화재 대책에 대한 인적요인(관리자의 안전대책 등), 설비적 요인(안전시설, 안전장치 확대설치 등), 환경적 요인(작업공법에 대한 안전수칙 및 관리감독 강화 등), 관리적 요인(화재 위험도가 낮은 특정소방대상물에 대한 규정 등)별 다양한 예방대책을 제시하였다.

Kim(2020)은 Bow-Tie 기법을 이용하여 물류창고의 작업체계 및 사고사례 분석을 통해 작업공정별로 존재하고 있는 리스크를 도출하고 개선방안을 제시하였다. 분석결과 물류창고 작업 공정 위험성 평가에서 원인(11개), 결과(10개), 예방대책(20개), 감소대책(14개), 약화요소 방지대책(19개)을 도출하

였다. 또한, 다른 위험성 평가 기법과 비교하여 Bow-Tie 기법이 사고 발생 시 원인을 파악하고 이에 대한 대책의 적절성을 평가하는데 효과적이라고 설명하였다.

Lim(2020)은 중·대산업사고와 심각한 위험을 관리하기 위해 글로벌 기업들이 사용하고 있는 Bow-Tie 분석기법을 비상 조치계획, 연구개발 프로젝트, 동종사고 발생예방을 위한 사고 조사에 적용시켜 분석하였다. 분석결과 Bow-Tie 분석기법이 기존 리스크 접근방법보다 훨씬 효과적인 것으로 나타났다.

Mokhtari et al.(2011)은 해상무역이 필수적인 상황에서 물류인프라에 위험을 미치는 요인을 파악할 필요성을 밝혔으며, 항만과 연안터미널의 운영 및 관리에 대한 위험관리 프레임워크의 위험성 평가를 위해 CCA와 Bow-Tie 기법을 적용하여 분석하였다. 또한, FTA, ETA 분석기법을 통해 관련된 위험요인을 도출하였으며, 연구 과정을 통해 항만 전문가와 항만 위험관리자가 위험요소를 자세히 식별하는 방안을 제시하였다.

Park et al.(2019)은 부산항 'A' 터미널에서 발생한 사고 데이터를 바탕으로 위험성 평가기법을 진행하였으며, 이러한 사고를 미연에 방지하기 위한 방안을 Bow-Tie 분석기법을 통해 알아보았다. 분석결과 터미널 내의 이동장비 중 야드 트랙터의 충돌사고가 주요 위험요인으로 나타났으며, 야드 트랙터의 충돌사고 예방법과 사고 발생 시 대처방안을 제시하였다.

REN(2012)은 물류창고 화재의 위험성을 예측하기 위해 물류창고 화재사고 사례를 바탕으로 화재위험의 4가지 측면을 파악하였으며 전문가 조사와 AHP 및 퍼지 종합평가를 통해 물류창고 화재 위험성 평가 모델을 설계하였다. 평가 모델을 통해 분석한 결과 본 연구의 물류창고 화재위험의 평가방법론은 합리적, 효과적이며 실현 가능성이 있는 것으로 나타났다.

Cha and Noh(2016)는 실제 광양항 'A' 컨테이너터미널의 3년간 재해현황을 바탕으로 야드 장비(Transfer Crane), 이송장비(Yard Tractor), 본선장비(Gantry Crane)에 대하여 안전교육 이전과 이후의 사고율에 대해서 분석하였다. 분석결과 안전사고 교육 후 장비별 사고율이 크게 줄어든 것으로 나타났으며, 컨테이너터미널의 안전교육 중 법정 교육, 자체 교육, 장비별 안전 수칙 교육이 안전사고 예방에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 빈번히 발생하는 사고원인에 대하여 교육 및 안전수칙의 필요성을 설명하고 사고를 미연에 예방하기 위한 안전교육 강화의 중요성을 제시하였다.

Tsai and Su(2002)은 대만 항공물류 허브 개발에 대한 정치적 위험성 평가(PRA)로 허브 중심 항공사의 물리적 재산 손실 발생 요인에 대해 살펴보았다. 위험요인을 식별하기 위해 체크리스트와 브레인스토밍을 사용하였으며 정성적 위험성 평가를 위해 55개의 위험 사례와 분석적 계층 구조 프로세스를 활용하였다. 분석결과 정량적 위험 평가 구조에 대한 PRA의 개발은 허브항공 개발과 관련된 정치적 위험성을 평가하기에 적합한 것으로 나타났다.

Zhang et al.(2020)은 운송중인 신선 화물의 품질과 안전에

영향을 미치는 여러 위험요인을 기술적요인, 생물학적요인, 지속가능성, 환경적요인, 비상위험으로 구분하여 조사하였다. 이후, 위험 평가 및 모니터링 모델을 개발하였으며 딸기 콜드 체인에서 발생하는 위험성 평가를 실시하였다. 분석결과 평균 90.4%의 정확도로 운송 중 발생하는 위험성에 대해 평가하였으며, 본 연구에서 개발된 모델은 효과적이고 정확하게 위험성을 평가하는 것으로 나타났다.

2.3 Bow-Tie 분석기법

Bow-Tie 분석기법은 유해위험요인(Hazard)으로부터 결과까지의 리스크 경로에 따라 예방대책과 감소대책을 분석·설명하기 위해 Bow-Tie 선도를 사용한 방법이다. Bow-Tie 선도란 위험요인(Event)을 중심으로 왼쪽에는 위험요인의 원인과 관련된 사고 시나리오, 오른쪽에는 위험요인의 결과와 관련된 사고 시나리오를 표시한다. 이후 원인과 위험요인 사이에 예방대책과 위험요인과 결과 사이에 감소대책을 세우게 된다. 다음으로 예방대책과 감소대책의 역할이나 기능을 약화시킬 수 있는 악화요소를 파악하고, 파악된 악화요소가 발생되지 않도록 방지대책을 수립하는 과정으로 이어진다.

Bow-Tie 분석기법은 위험요인을 찾고 예방대책을 찾는다는 점에서 다른 위험성 평가 방법과 유사하나, Bow-Tie 선도를 사용함으로써 사고원인과 결과를 한눈에 파악하기 용이하다는 특징을 가지고 있다. 또한, 다른 위험성 평가 기법과 달리 휴먼에러를 사고 발생원인으로 포함시킬 수 있어 보다 현실적인 위험성 평가가 가능하다는 장점을 가지고 있다.

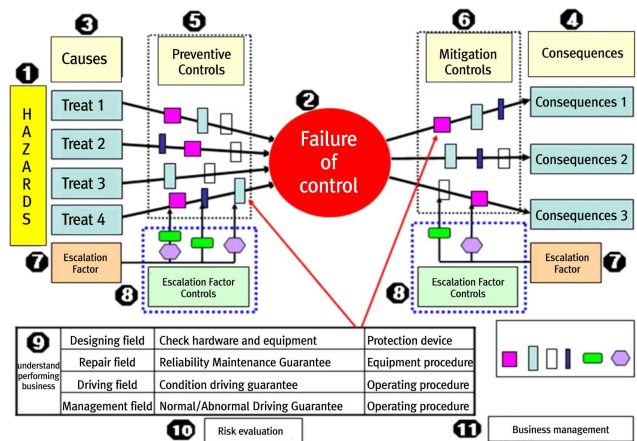


Fig. 1 Process of bow-Tie analysis
Source : Qualitative bow-Tie guidelines, KOSHA, 2011

2.4 선행연구와의 차별성

기존 선행연구와 달리 본 연구에서는 한국산업안전보건공단에서 제시하고 있는 위험성 평가 기준에 따라 위험도를 계량적으로 수치화(빈도×강도)하여 주요 위험요인에 대한 객관적인 평가지표를 확보하였다. 또한, 한 가지 산업에 국한되어

있지 않고 항만물류산업 중 하역업, 창고업, 운수업에 대한 미래 발생가능한 주요 위험요인을 각각 도출하였다. 마지막으로 휴먼에러로 인한 사고가 많이 발생하는 항만물류산업의 특성을 고려하여 Bow-Tie 분석기법을 진행하였다. 이후 Bow-Tie 선도를 통해 사고 발생원인과 결과를 한눈에 파악하기 용이하게 표현하였으며, 분석한 결과를 바탕으로 항만물류산업에 종사하는 안전관리자들이 우선적으로 점검해야 하는 업무에 대한 시사점을 제시하였다.

3. 재해통계 일반현황

2016년부터 2020년까지 5년간 한국산업안전보건공단에서 집계된 통계 재해자 리스트를 바탕으로 사고자의 일반현황에 대한 실증분석을 진행하였다. 하역업은 소업종별로 ‘항만내의 육상 하역업’과 ‘해상하역업’으로 구성되며 총 1,039회의 사고가 집계되었다. 창고업은 소업종별로 ‘기타 보관업’, ‘창고업’으로 구성되며 총 965회의 사고가 발생하였다. 마지막으로 운수업은 소업종별로 ‘소형화물 운수업’, ‘노선화물 운수업’, ‘구역화물 운수업’, ‘특수화물 운수업’, ‘기타화물 운수업’으로 구성되며 총 3,024회의 사고가 집계되었다.

Table 2 Status of safety accident by working time
(Unit: No.)

		2016	2017	2018	2019	2020
Steve dore	Onshore loading	179	183	217	227	189
	Offshore loading	8	16	11	4	5
	Sum	187	199	228	231	194
	Total	1,039				
Ware house	Ware house	145	148	198	158	131
	Other storage	31	39	42	39	34
	Sum	176	187	240	197	165
	Total	965				
Trans port	Small freight	299	185	50	62	64
	Route freight	46	60	53	70	47
	Regional freight	204	221	262	288	223
	special freight	155	187	167	176	152
	other freight	12	7	11	12	11
	Sum	716	660	543	608	497
	Total	3,024				

3.1 작업시간대별 사고발생 현황

작업시간대별 사고발생 현황을 살펴보면, 하역업, 보관업, 운수업 모두 주간 교대 전 08~12시 사이에 사고가 많이 발생한 것을 알 수 있다. 이는 오전 근무 시간에 안전관리가 취약하다는 것을 의미하며 관리감독자는 근로자의 작업 시작 전 TBM(Tool box meeting)을 통해 안전수칙을 상기시켜 사고 예방에 힘써야 할 것으로 보인다.

Table 3 Status of safety accident by working time
(Unit: No, %)

	Stevedore	Warehouse	Transport
08-12H	362(34.8)	387(40.1)	1,163(38.5)
13-17H	280(26.9)	328(34.0)	1,052(34.8)
18-22H	174(16.7)	101(10.5)	337(11.1)
23-02H	109(10.5)	90(9.3)	169(5.6)
03-07H	114(11.0)	59(6.1)	303(10.0)
Sum	1,039(100.0)	965(100.0)	3,024(100.0)

3.2 연령에 따른 사고발생 현황

연령에 따른 사고발생 현황을 살펴보면, 3가지 산업 모두 30대~50대 사이에 사고가 많이 발생한 것을 알 수 있다. 실제 근로자의 주요 연령층이 30대~50대임을 고려하면 사고는 연령층과 상관없이 언제 어디서든 발생한다는 것을 알 수 있다.

Table 4 Status of safety accident by age
(Unit: No, %)

	Stevedore	Warehouse	Transport
20's	53(5.1)	132(13.7)	337(11.1)
30's	267(25.7)	221(22.9)	583(19.3)
40's	323(31.1)	231(23.9)	737(24.4)
50's	274(26.4)	225(23.3)	858(28.4)
Over 60's	122(11.7)	156(16.2)	509(16.8)
Sum	1,039(100.0)	965(100.0)	3,024(100.0)

3.3 근속기간에 따른 사고발생 현황

근속기간에 따른 사고발생 현황을 살펴보면, 3가지 산업 모두 근속기간이 1년 미만인 근로자의 사고가 많이 발생한 것을 알 수 있다. 이를 통해 3가지 산업 모두 숙련도를 요구하는 산업임을 알 수 있으며, 신규 근로자를 대상으로 한 안전예방 교육이 집중적으로 이루어져야 할 것을 알 수 있다.

또한, 하역업의 경우 10년 이상의 근로자 사고발생 비율이 27.9%로 다른산업과 비교하여 높게 나타났다. 이는 하역업의 경우 작업 숙련도와 상관없이 사고발생 가능성이 높다는 것을 의미한다.

Table 5 Status of safety accident by service period
(Unit: No, %)

	Stevedore	Warehouse	Transport
Less than 1 year	314(30.2)	518(53.7)	1,876(62.0)
1-3 years	147(14.1)	187(19.4)	687(22.7)
3-5 years	103(9.9)	87(9.0)	190(6.3)
5-10 years	185(17.8)	85(8.8)	156(5.2)
Over 10 years	290(27.9)	88(9.1)	115(3.8)
Sum	1,039(100.0)	965(100.0)	3,024(100.0)

Table 6 Status of safety accident by type
(Unit: No, %)

	Stevedore	Warehouse	Transport
Buildings and structures	254(24.4)	178(18.4)	555(18.4)
Traffic accident	158(15.2)	61(6.3)	1,209(40.0)
Parts, fittings and materials	229(22.0)	81(8.4)	247(8.2)
People, animals and plants	16(1.5)	20(2.1)	21(0.7)
Facilities and machinery	141(13.6)	295(30.6)	360(11.9)
Supplies, furniture and utensils	110(10.6)	155(16.1)	252(8.3)
Portable and manpower machinery	21(2.0)	47(4.9)	94(3.1)
Etc.	110(10.6)	128(13.3)	286(9.5)
Sum	1,039(100.0)	965(100.0)	3,024(100.0)

3.4 발생유형에 따른 사고발생 현황

발생유형에 따른 사고발생 현황을 살펴보면, 하역업은 건축물·구조물 및 표면에 의한 사고가 254회(24.4%)로 가장 높게 나타났으며, 보관업은 설비·기계로 인한 사고가 295회(30.6%), 운수업은 교통수단으로 인한 사고가 1,209회(40.0%)로 가장 많이 발생하였다. 이를 통해 하역업의 경우 Q/C, T/C 작업 시 사고가 빈번하게 발생한다는 것을 알 수 있으며, 사고를 예방하기 위해서는 노후화된 장비에 대한 주기적인 점검과 작업공정 준수 및 충분한 의사소통을 기반으로 작업이 진행되어야 할 것이다. 보관업의 경우 창고 내 랙, 컨베이어와 같은 설비·기계로 인한 사고가 많이 발생한다는 것을 알 수 있으며, 창고 내에서 안전보호구 착용 및 최적화된 설비 구조를 통해 안전한 작업환경을 구축하고자 힘써야 한다. 한편, 운수업의 경우 교통사고가 가장 많이 발생하였으며, 새벽에 주로 이동하는 화물운송차량의 특성상 과속과 졸음운전 예방방안이 필요할 것으로 보인다.

3.5 재해자 구분에 따른 사고발생 현황

재해자 구분에 따른 사고발생 현황을 살펴보면, 3가지 산업 모두 사고부상자가 대부분을 차지하였다. 하역업과 운수업의 사망자 비율은 각각 1.9%, 2.1%로 보관업에 비해 비교적 높게 나타났으며, 보관업의 경우 질병이환자가 12.7%로 높게 나타났다. 이는 보관업의 경우 밀폐된 공간에서 산소결핍 사고 가능성을 내포하고 있으므로 환기 시설을 갖춰 각종 질병을 예방할 필요가 있다는 것을 의미한다. 또한, 하역업과 운수업의 경우 사고 발생 시 인명피해로 이어질 가능성이 높으므로 안전수칙준수를 위해 각별히 신경써야할 것으로 보인다.

Table 7 Status of safety accident by classification
(Unit: No, %)

	Stevedore	Warehouse	Transport
Injured	923(88.8)	832(86.2)	2,697(89.2)
Disease	96(9.2)	123(12.7)	265(8.8)
Death	20(1.9)	10(1.0)	62(2.1)
Sum	1,039(100.0)	965(100.0)	3,024(100.0)

3.6 위험요인에 따른 사고발생 현황

위험요인에 따른 사고발생 현황을 살펴보면, 하역업과 운수업은 떨어짐/무너짐으로 인한 사고가 각각 227회(21.8%), 879(29.1%)회로 가장 높게 나타났으며, 보관업은 부딪힘으로 인한 사고가 184회(19.1%)로 가장 많이 발생하였다. 사고내용을 구체적으로 살펴보면 하역업의 경우 장비결함 및 작업자의 실수로 인해 컨테이너 선적 작업 중 낙상사고와 분석작업을 위해 사다리로서 이동하는 중 근로자가 추락하는 사고가 많이 발생하였다. 보관업의 경우 지게차 조작 실수로 인하여 근로자 또는 장치된 화물과 부딪히는 사고가 주를 이루었다. 운수업의 경우 운전자가 화물차량 적재함 작업 중 미끄러지거나 떨어지는 사고와 올바른 적재 및 화물 결속을 진행하지 않아 운송 중 화물이 도로에 떨어지는 사고가 많이 발생하였다.

Table 8 Status of safety accident by hazard factors
(Unit: No, %)

	Stevedore	Warehouse	Transport
Collapsing/ Turning over	15(1.4)	24(2.5)	60(2.0)
Electric shock	1(0.1)	2(0.2)	0(0.0)
Stuck	144(13.9)	150(15.5)	265(8.8)
Tumble	176(16.9)	132(13.7)	411(13.6)
Falling/ Collapse	227(21.8)	157(16.3)	879(29.1)
Hit	103(9.9)	73(7.6)	190(6.3)
Clash	158(15.2)	184(19.1)	268(8.9)
Excessive motion	71(6.8)	63(6.5)	248(8.2)
Traffic accident	18(1.7)	6(0.6)	315(10.4)
Abnormal temperature	5(0.5)	7(0.7)	14(0.5)
Work-relate d diseases	93(9.0)	126(13.1)	280(9.3)
Cut	8(0.8)	26(2.7)	48(1.6)
Explosion	1(0.1)	1(0.1)	5(0.2)
Etc.	19(1.8)	14(1.5)	41(1.4)
Sum	1,039(100.0)	965(100.0)	3,024(100.0)

4. 사고사례 실증분석

4.1 분석개요

본 연구에서는 한국산업안전보건공단의 정성적 보우타이

(Bow-Tie) 리스크 평가 기법에 관한 지침을 바탕으로 분석을 진행하였다. 앞서 재해통계 일반현황에서 파악한 위험요인에 대한 사고발생 현황을 바탕으로 위험성 평가를 진행하였으며, 발생 빈도(Level)와 결과의 심각도(Strength)는 한국산업안전보건공단의 기준에 따라 도출하였다.

발생빈도(Level)는 총 6등급으로 구분하며, 세부적인 내용은 Table 9와 같다.

Table 9 Frequency of occurrence(Level)

Grade	발생빈도	설명
1	1 time per over 500 years	Almost None
2	1 time per 100~500 years	very low
3	1 time per 50~100 years	low
4	1 time per 10~50 years	medium
5	1 time per 1~10 years	high
6	1 time per year or less	very high

Source : Qualitative bow-Tie guidelines, KOSHA, 2011

다음으로 결과의 강도(Strength)는 총 6등급으로 구분하며, 세부적인 내용은 Table 10과 같다.

Table 10 Severity of Results(Strength)

Grade	People	Reputa tion	Environ ment	Finance
1	Outpatien t treatment	None	None	None
2	Week injury	Light effect	Light effect	1million ~ 10million
3	Physical impairme nt	Significa nt effect (Limited)	Small effect	10million ~ 100 million
4	1 death	Significa nt effect (Domes tic)	Mesoscal e effect	100 million~ billion
5	2~9 death	Serious effect (Domes tic)	Significa nt effect	1billion~ 10billipn
6	10 or more death	Serious effect (Interna tional)	Serious effect	Over 10 billion

Source : Qualitative Bow-Tie guidelines, KOSHA, 2011

위의 발생빈도(Level)와 결과의 강도(Strength)를 바탕으로 리스크 산정표를 도출하면 Table 11과 같다. 위험성은 결과의 발생빈도와 강도를 곱하여 평가하게 되며 리스크의 허용 수준은 ALARP(As low as reasonably practical) 원칙에 따라 정하게 된다. 일반적으로 붉은색인 경우 수용 불가능한 위험으로 분류하며 예방대책 및 감소대책을 산정할 필요가 있는 것으로 간주한다.

Table 11 Risk matrices

Grade	Strength(S)						
	1	2	3	4	5	6	
Level (L)	1	1	2	3	4	5	6
	2	2	4	6	8	10	12
	3	3	6	9	12	15	18
	4	4	8	12	16	20	24
	5	5	10	15	20	25	30
	6	6	12	18	24	30	36

다음으로 재해통계 일반현황에서 조사한 위험요인을 바탕으로 위험성 평가를 진행하였다. 하역업은 위험요인 중 떨어짐/무너짐으로 인한 위험도가 24점으로 가장 높은 것으로 나타났다. 떨어짐/무너짐 사고는 5년간 223회 발생하여 발생빈

Table 12 Result of hazard assessment

Hazard Factors	Stevedore						Warehouse					Transport						
	L	Strength(S)				Results (L×S)	L	Strength(S)				Results (L×S)	L	Strength(S)				Results (L×S)
		P	R	E	F			P	R	E	F			P	R	E	F	
Collapsing/ Turning over	6	3	2	1	2	18	6	2	2	1	2	12	6	4	2	1	2	24
Electric shock	5	3	3	1	2	15	5	3	3	1	2	15	1	3	1	1	2	3
Stuck	6	2	2	1	2	12	6	2	2	1	2	12	6	3	1	1	2	18
Tumble	6	2	2	1	2	12	6	1	2	1	2	12	6	2	2	1	2	12
Falling/ Collapse	6	4	3	1	3	24	6	3	3	1	3	18	6	2	1	1	2	12
Hit	6	3	2	1	2	18	6	2	3	1	2	18	6	1	1	1	2	6
Clash	6	3	2	1	2	18	6	2	2	1	2	12	6	4	3	2	3	24
Excessive motion	6	1	1	1	2	12	6	1	1	1	2	12	6	2	3	1	2	12
Traffic accident	6	3	2	1	3	18	6	4	2	1	3	24	6	5	2	3	3	30
Abnormal temperature	6	3	2	1	2	18	6	3	2	1	2	18	6	2	1	1	2	12
Work-related diseases	6	1	2	1	2	12	6	1	3	1	2	18	6	2	4	1	2	12
Cut	6	2	2	1	2	12	6	2	2	1	2	12	6	3	1	1	2	18
Explosion	5	4	4	3	4	20	5	6	5	5	5	30	6	4	4	4	4	24

도(Level)는 6등급에 해당하며, 사고 발생 시 인적 피해는 4등급, 평판 피해는 3등급, 환경 피해는 1등급, 재정적 피해는 3등급으로 측정되었다.

다음으로 보관업의 위험성 평가결과 폭발로 인한 위험도가 30점으로 가장 높은 것으로 나타났다. 보관업에서 폭발로 인한 사고횟수는 5년간 1회로 다른 위험요인에 비해 비교적 낮은 것으로 나왔다. 하지만 사고 발생 시 인적 피해는 6등급, 평판 피해는 5등급, 환경 피해는 5등급, 재정적 피해는 5등급으로 심각한 피해를 일으키는 것으로 나타났다.

마지막으로 운수업의 경우 위험요인 중 교통사고로 인한 위험도가 가장 높은 것으로 나타났다. 운수업에서 교통사고로 인한 사고횟수는 5년간 310회 발생하여 발생빈도(Level)는 6등급에 해당하는 것으로 나타났다. 또한, 사고 발생 시 인적 피해는 5등급, 평판피해는 2등급, 환경피해는 3등급, 재정적 피해는 3등급으로 나타났으며, 이는 사고 발생 시 심각한 수준의 인명사고가 동반된다는 것을 의미한다.

다음으로 각 산업별 위험도가 가장 높게 나온 요인에 대하여 발생원인에 대한 예방대책과 사고 발생 시 피해를 줄일 수 있는 감소대책을 수립하고자 Bow-Tie 분석기법을 진행하였다.

4.2 Bow-Tie 기법 분석결과

4.2.1 하역업 분석결과

하역업의 위험성 평가결과에서 도출된 가장 위험도가 높은 위험요인은 떨어짐/무너짐 요인으로 나타났다. 이에 대한 사고 발생원인(Cause)은 1) 장비 노후화 2) 부주의 3) 작업절차 미준수 4) 열악한 근무환경 5) 일용직 6) 자연재해로 파악되었다. 발생원인이 사상으로 이어지는 것을 방지하기 위한 예방대책(Preventive control)으로는 디지털 트윈을 이용한 장비관리 및 주기적인 점검이 진행되어야 한다. 부주의로 인한 사고를 방지하기 위해서는 사고 발생 작업 시 경고음과 작업자의 충분한 휴식시간이 보장되어야 한다. 작업절차 미준수에 대해서는 작업자 간 충분한 의사소통과 함께 항만용어 및 작업에 관한 지침이 만들어져야 한다. 하역업은 노동집약적 작업 특성을 가지며 열악한 작업환경에 대하여 노사 간 협력을 통해 안전한 작업환경을 구축하고자 노력해야 한다. 또한, 주요 사고발생 위험지역에서는 경고음을 통해 사고를 방지해야

한다. 하역업은 일노다사 체제로 인하여 일용직의 비율이 높으므로 안전관리자 및 관리감독자가 필수적으로 작업환경을 통제해야 하며, 일용직 근로자를 대상으로 안전교육이 진행되어야 한다. 마지막으로 자연재해로 인한 예방대책으로는 작업 중지 기준을 세워 악천후에도 불구하고 무리하게 작업이 진행되는 일을 방지해야 한다.

예방대책에 대한 악화요소(Escalation)로는 기술 부족, 경고음 오작동, 과도한 업무, 작업장 내 소음, 항만용어 및 작업지침 비표준화, 관리자의 직무 태만, 업무 강행 등으로 나타났다. 또한, 악화요소에 대한 방지대책으로는 신기술 도입, 적당한 업무 지시, 통신장비 지급, 통일된 항만용어 및 작업 지침 개정 등이 실시되어야 한다. 악화요소에 대한 방지대책(Escalation factor control)으로 디지털 트윈 기술을 도입 시 국내기술 역량이 뒷받침되지 못하면 대책을 세우는데 한계가 있으므로, 부족한 기술을 보충하고자 해외기술 도입을 고려할 필요가 있다. 또한, 하역장비의 주기적인 점검을 제도로 의무화하여 장비노후화로 인한 사고를 방지할 필요가 있다. 다음으로 경고음 오작동에 대비한 방지대책으로 주기적인 점검이 진행

Table 13 Factors of Falling/Collapse cause

No.	Cause	Preventive control	Escalation	Escalation factor control
1	Equipment obsolescence	Management using Digital twin technology	Lack of skills	Technology introduction based on international cases
		Periodic inspection	Irregular inspection cycle	Mandatory periodic inspection
2	Carelessness	Warning sign	Malfunction	Periodic inspection
		Guaranteed break time	Overwork	Proper work instructions
3	Non-compliance with work procedures	Communication between workers	Noise	Provision of necessary communication equipment
		Port terminology and work instructions	Non-standardization	Revision of instructions
4	Poor working environment	Work environment improvement	Labor-management conflict	Building cooperative relationships
		Warning sign	Lack of driver awareness	Sign location notice
5	Day job	Conduct safety training	Non-compliance with safety rules	Fine
		Safety manager and administrative supervisor placement	Neglect of duty	Job evaluation
6	Natural Disasters	Suspension of work	Work enforcement	Setting criteria for work

되어야 하며, 적절한 업무 분담 및 과도한 업무 부담 방지를 통해 부주의로 인한 사고를 방지할 수 있을 것으로 판단된다. 하역업은 화물별, 선박별, 작업별로 구분된 작업표준이 부족한 상황이며, 항만용어 또한 부정확하거나 불일치 하는 경우가 있으므로 통일된 지침을 개정할 필요가 있다. 이외의 악화요인 및 방지대책에 대한 자세한 내용은 Table 13과 같다.

다음으로 떨어짐/무너짐 요인 발생결과(Consequence)를 살펴보면 1) 작업자 상해 2) 작업 지연 3) 하역장비 파손으로 나타났다. 발생한 사상이 결과로 이어지는 것을 방지하기 위한 감소대책(Mitigation control)으로는 작업자 상해에 대비하여 응급조치 교육과 보호구 착용이 의무화되어야 한다. 작업지연에 대한 감소대책으로는 인근 터미널 간 장비공유를 통해 손상된 장비를 대체할 수 있어야 하며, 해당 장비를 운용할 수 있는 대체인력이 구비 되어야 할 것이다. 마지막으로 하역장비 파손에 대한 감소대책으로는 하역장비는 대부분 고가의 중장비이므로 장비 파손에 관한 보험을 들어 사고발생 시 재정적인 피해를 낮추어야 하며, 손상된 장비에 대한 유지보수작업이 진행될 수 있는 시설이 구축되어야 할 것이다.

감소대책에 대한 악화요소(Escalation)로는 응급조치 교육 미참여, 보호구 미착용, 터미널 간 과잉경쟁, 대체인력 부족, 유지보수 시설 부족 등으로 나타났다. 또한, 악화요소에 대한 방지대책(Escalation factor control)으로는 응급조치 교육 의무화, 보호구 미착용 시 과태료, 대체인력 채용, 터미널 간 유지보수 시설 공유 등이 실시되어야 한다. 작업자 상해에 대한 예방대책으로는 안전장비 착용, 응급조치 교육이 있지만, 응급조치교육 미참여, 안전장비 미착용이 악화요인으로 작용할 수 있으므로 응급조치교육 참여를 의무화하고, 안전장비 미착용에 대한 벌금을 강화해야 할 것으로 판단된다. 작업지연에 대한 감소대책으로는 다른 터미널 간 자원공유 및 인력 보충이 있지만, 터미널 간 과당경쟁과 인력난이 악화요인으로 작용할

수 있으므로 터미널 간 화합을 도모할 수 있도록 협의회를 구축하고 하역업 보충인력에 대한 채용을 늘려야 할 것이라 판단된다. 장비 손상에 대한 감소대책으로는 하역장비보험 및 장비수리시설 구축이 있지만, 보험 미가입 시 상당한 재정적 피해가 발생하고 유지보수작업 시설 부족이 악화요인으로 작용할 수 있으므로 하역장비에 대한 보험을 적극적으로 권면하고 터미널 간 자원공유 환경이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

Fig. 2는 하역업에 대한 Bow-Tie 선도로 떨어짐/무너짐 요인을 중심으로 왼쪽에는 위험요인의 원인과 관련된 사고 시나리오, 오른쪽에는 위험요인의 결과와 관련된 사고 시나리오가 표현되어 있다. Bow-Tie 선도를 살펴보면 떨어짐/무너짐 사고로 이어지는 6가지 원인을 확인할 수 있다. 대표적인 원인 중 하나인 장비 노후화에 대한 예방대책으로는 디지털 트윈을 이용한 장비 관리 및 주기적인 점검이 진행되어야 한다는 것을 알 수 있다. 또한, 예방대책에 대한 악화요인으로 기술부족과 불규칙적인 점검이 있음을 알 수 있으며, 부족한 기술을 보충하기 위해서는 해외기술 도입을 고려하고 주기적인 점검을 의무화할 필요가 있다는 사실을 한눈에 확인할 수 있다.

다음으로 떨어짐/무너짐 사고 발생시 3가지 결과로 이어짐을 확인할 수 있다. 대표적인 결과 중 하나인 작업지연에 대한 감소대책으로 인근 터미널 간 장비공유를 통해 손상된 장비를 대체할 수 있어야 하며, 해당 장비를 운용할 수 있는 대체인력 또한 구비 되어야 한다는 것을 알 수 있다. 또한, 감소대책에 대한 악화요인으로 터미널 간 과잉경쟁, 인력난이 있으며, 악화요인에 대한 방지대책으로 터미널 간 화합을 도모할 수 있도록 협의회를 구축하고 하역업 보충인력에 대한 채용을 늘려야 할 것을 알 수 있다.

Table 14 Factors of Falling/Collapse consequence

No.	Consequence	Mitigation control	Escalation	Escalation factor control
1	Worker injury	Wear protective equipment	Absent from education	Institutional mandatory
		Emergency training program	Not wearing a protective equipment	Fine
2	Work delay	Supplementary worker	Lack of supplementary worker	Worker recruitment
		Sharing resources with other terminal	Overcompetition	Composition of the council
3	Equipment damage	Equipment insurance	Unsubscribed	Suasion
		Maintenance work	Lack of facilities	Facility sharing

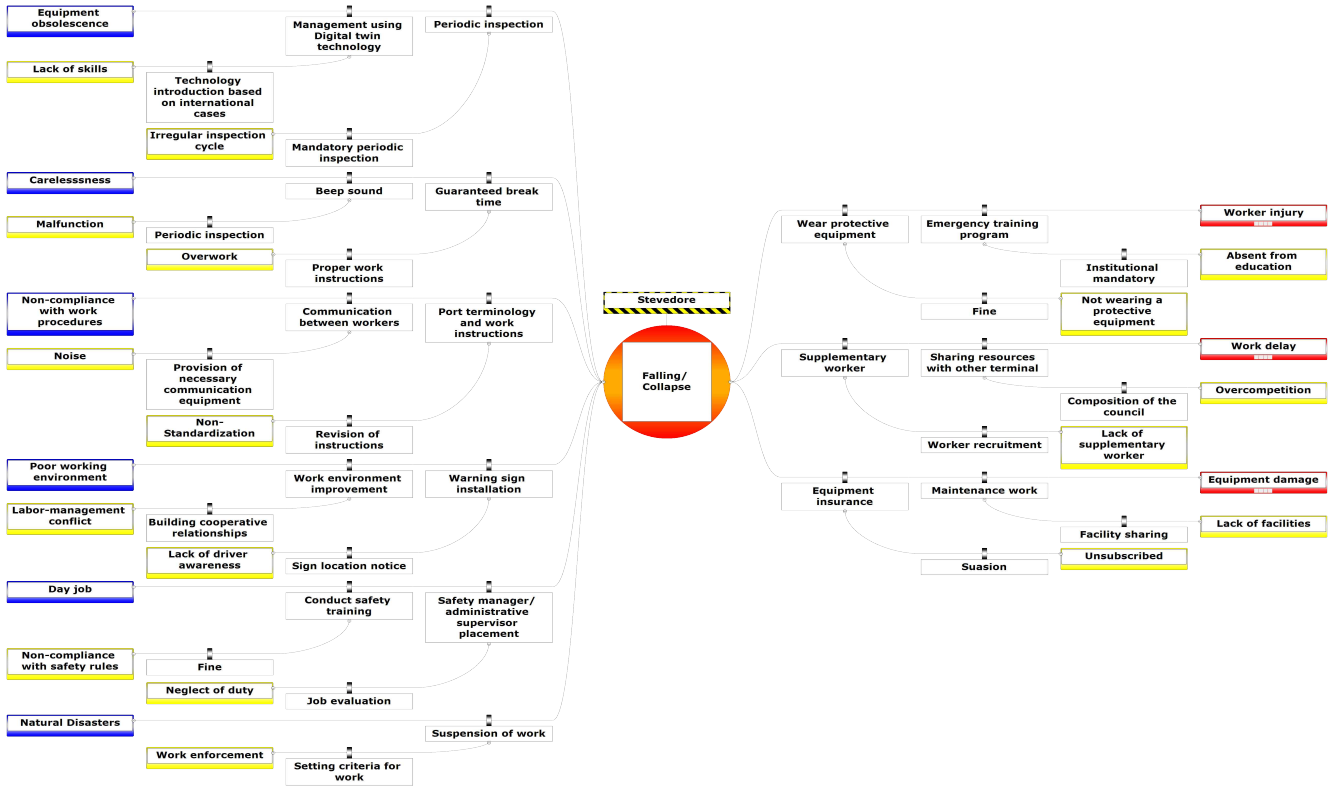


Fig. 2 Diagram of Bow-Tie analysis(Stevedore)

4.2.2 보관업 분석결과

보관업의 위험성 평가결과에서 도출된 가장 위험도가 높은 위험요인은 폭발 요인으로 나타났다. 이에 대한 사고 발생원인(Cause)은 1) 무허가 유해·위험화물 반입 2) 안전관리자 부재 3) 안전의식 부재 4) 무리한 동시 공사 5) 경제성만 따지는 시공으로 파악되었다. 발생원인이 사상으로 이어지는 것을 방지하기 위한 예방대책(Preventive control)으로는 유해·위험화물의 경우 특수화물창고를 이용하도록 엄격하게 규제하여야 하며, 실시간 화재감시시스템이 가동되어야 한다. 또한, 주기적인 현장심사를 통해 안전관리자가 안전작업 지침을 잘 준수하면서 창고를 운영하는지 검사해야 하며, 안전작업지침을 준수하여 사고를 줄일 수 있는 작업환경을 구축해야 한다. 무리한 동시 공사는 화학반응을 일으켜 폭발 위험성을 유발할 수 있다. 실제로 2008년 이천 냉동 물류창고 화재, 2016년 경기 김포 주상복합 건물 화재의 주된 사고원인은 무리한 동시 공사로 밝혀졌다. 그리고 최근 2020년 4월에 발생한 이천물류창고 사고원인을 공사현장에서 우레탄폼 작업 중 발생한 기름증기와 엘리베이터 설치 작업 중 불꽃이 결합해 순식간으로 폭발한 것으로 추정하고 있으며, 안전작업 지침에 따른 스케줄 관리를 통해 무리한 동시 공사가 진행되는 것을 예방할 필요가 있다. 마지막으로 경제성만 따지는 시공을 진행할 경우 안전에 취약하므로 공사 시 난연재료 및 구조안전 확인이 선행되어야 할 것이다.

예방대책에 대한 악화요소(Escalation)로는 무허가 위험화물의 일반창고 이용, 화재감시시스템 예러, 현장심사에도 불구하고 위험 방치 및 미이행, 작업지연에 따른 무리한 공사진행, 안전작업 지침 위반, 공사비용 과다 등으로 나타났다. 또한, 악화요소에 대한 방지대책(Escalation factor control)으로 무허가 위험화물의 일반창고 이용 시 처벌강화, 화재감시시스템의 주기적인 점검, 위험 방치 및 안전작업 지침 위반 시 벌금, 작업지연 방지를 위한 공정 개선 시스템 도입, 안전한 난연재료 사용 시 일부 비용을 지원해주는 인센티브 제도 등이 실시되어야 한다. 폭발성, 인화성, 부식성이 높은 유해·위험화물의 경우 해당 화물의 특성에 맞는 전용창고에 보관되어야 한다. 이를 어기고 일반창고에 화물을 보관 시 대형사고로 이어질 위험이 있으며, 이를 방지하기 위해서는 강력한 벌금 및 영업중지 징계가 이루어져야 한다. 또한, 화재감시시스템을 통해 화재를 예방하고 화재 발생 시 신속한 조기 경보를 통해 피해를 최소화해야 한다. 다음으로 안전관리자의 부재로 인한 사고를 예방하기 위해서 현장심사와 안전지침이 진행되어도 이를 무시하거나 위반하여 사고로 이어지는 사례가 나오고 있다. 이를 방지하기 위해서는 강력한 벌금 및 영업중지 징계가 이루어져야 할 것이다. 다음으로 안전의식을 심어주기 위한 교육프로그램 미참여에 대한 방지대책으로 일정 금액의 벌금을 지불하도록 해야한다. 이외의 악화요인 및 방지대책에 대한 자세한 내용은 Table 15와 같다.

다음으로 사상의 결과(Consequence)를 살펴보면 1) 작업자

Table 15 Factors of explosion cause

No.	Cause	Preventive control	Escalation	Escalation factor control
1	Bringing in unauthorized dangerous goods	Use of specialized warehouses	Use of general warehouse	Fine and Suspension
		Fire monitoring system	System error	Periodic inspection
2	Absence of safety manager	On-site inspection	Ignore warnings	Fine and Suspension
		Establishment of safe work guidelines	Violation of safety work guidelines	Fine and Suspension
3	Lack of safety awareness	Safety training program	Non-participation	Fine
4	Excessive simultaneous construction	Schedule management	Work delay	Process improvement system
5	Construction based only on economic feasibility	Check flame retardant materials and structural safety	High cost	Incentive system

상해 2) 환경오염 3) 화물 손상으로 나타났다. 발생한 사상이 결과로 이어지는 것을 방지하기 위한 감소대책(Mitigation control)으로는 작업자 상해에 대비하여 응급조치 교육과 보호구 착용이 의무화되어야 한다. 화재로 인하여 발생하는 환경오염에 대한 감소대책으로는 비상연락망과 임시소방시설을 구축하여 조기 진압을 통해 환경오염을 최소화 시킬 필요가 있다. 마지막으로 화물 손상에 대한 감소대책으로는 폭발 사고 시 보관화물 전체가 손상될 가능성이 높기 때문에 폭발 사고에 대비한 보험에 가입하여 재정적 피해를 줄일 필요가 있다.

미참여, 보호구 미착용, 비상연락번호 변경, 임시소방시설 오작동 등으로 나타났다. 또한, 악화요소에 대한 방지대책(Escalation factor control)으로는 응급조치 교육 의무화, 보호구 미착용 시 과태료, 임시소방시설에 대한 주기적인 점검, 비상연락망에 대한 주기적인 업데이트, 폭발 가능성이 있는 화물에 대한 보험 권면 등이 실시되어야 한다. 작업자 상해에 대한 감소대책으로는 안전장비 착용, 응급조치 교육이 있지만, 응급조치교육 미참여, 안전장비 미착용이 악화요인으로 작용할 수 있으므로 응급조치교육 참여를 의무화하고 안전장비 미

Table 16 Factors of explosion consequence

No.	Consequence	Mitigation control	Escalation	Escalation factor control
1	Worker injury	Wear protective equipment	Absent from education	Institutional mandatory
		Emergency training program	Not wearing a protective equipment	Fine
2	Environmental pollution	Establishment of emergency contact network	Change emergency contact	Periodic updates
		Temporary firefighting facility	Malfunction	Periodic inspection
3	Cargo damage	Luggage liability insurance	Unsubscribed	Suasion

감소대책에 대한 악화요소(Escalation)로는 응급조치 교육 미참여에 대한 벌금을 강화해야 할 것으로 판단된다. 환경오염에 대한 예방대책으로는 비상연락망 구축과 임시소방시설 구

축이 있지만, 비상연락번호 변경 또는 임시소방시설 오작동이 악화요인으로 작용할 수 있으므로 주기적인 업데이트 및 점검이 필요할 것으로 판단된다. 화물 손상에 대한 예방대책으로는 보관화물에 대한 보험이 있지만, 보험 미가입 시 상당한 재정적 피해로 이어질 수 있으므로 보관화물에 대한 영업배상책임보험 가입을 적극적으로 권면해야 할 것으로 판단된다. 보관업을 영위하는 사업주 입장에서 화주에게 위탁받아 보관하는 화물에 대한 최소한의 위험담보는 안정적인 사업영위를 위한 필수사항이다. 하지만 보관화물에 대한 보험가입은 어려움이 있는 상황이며, 특히 영세 창고업자는 보험료에서 높은 장벽과 부담을 느껴 상당수는 보험가입을 하지 못하고 위험을 감수하면서 사업을 영위하고 있는 상황이다. 2017년부터 창고 시설에 대해서 재난배상책임보험 가입 의무화를 통해 제3자인명 피해 및 제3자 재산피해에 대한 손해는 담보되었지만, 보관 화물손해에 대해서는 담보가 되어있지 않다. 따라서 영업배상책임보험 가입을 권면함으로써 향후 언제 발생할지 모르는 사고에 대하여 사업주의 위험 및 손해부담을 최소화할 필요가 있다.

Fig. 3은 보관업에 대한 Bow-Tie 선도로 폭발 요인을 중심으로 왼쪽에는 위험요인의 원인과 관련된 사고 시나리오, 오른쪽에는 위험요인의 결과와 관련된 사고 시나리오가 표현되어 있다. Bow-Tie 선도를 살펴보면 폭발 요인으로 이어지는 5가지 원인을 확인할 수 있다. 대표적인 원인 중 하나인 무리한 동시공사에 대한 예방대책으로는 스케줄 관리가 진행되어야 한다. 또한, 스케줄 관리에 대한 악화요인으로 작업지연이 있으며, 작업지연 발생 시 공정 개선 시스템 도입을 고려해야 한다는 사실을 한눈에 확인할 수 있다.

다음으로 폭발 사고 발생시 3가지 결과로 이어짐을 확인할

수 있다. 대표적인 결과 중 하나인 화물손상에 대한 감소대책으로 영업배상책임보험이 있으며, 영업배상책임보험에 대한 악화요인으로 보험 미가입이 있다. 보험 미가입은 상당한 재정적 피해로 이어질 수 있으므로 방지대책으로써 보험 가입을 적극적으로 권면해야 할 것을 알 수 있다.

4.2.3 운수업 분석결과

운수업의 위험성 평가결과에서 도출된 가장 위험도가 높은 위험요인은 교통사고로 나타났다. 이에 대한 사고 발생원인(Cause)은 1) 운전 중 핸드폰 사용 2) 악천후 3) 운전미숙 및 부주의 4) 차량 노후화 5) 불법주차 6) 과속으로 파악되었다. 발생원인이 사상으로 이어지는 것을 방지하기 위한 사전 예방대책(Preventive control)으로 운전 중 휴대폰 사용을 금지하고, 화물자동차 운전자 보수교육을 철저히 이행하여 안전에 만전을 기하도록 하여야 한다. 도로교통법 시행규칙 19조에 따르면 비가 내려 노면이 젖은 경우 제한속도의 20%를, 가시거리가 100m 이내인 경우 제한속도의 50%를 감속해야 되는 규정이 나와있다. 따라서 악천후 시 평소보다 감속하여 운행을 조심하고 도로가 미끄러울 경우에 대비하여 차량체인을 구비하여야 한다. 운전 미숙 및 부주의에 대한 예방대책으로는 졸음방지 시설과 운전자 부주의의 경보시스템(Driver state warning system)을 통해 사전에 방지하여야 한다. 운전자 부주의의 경보시스템은 운전자의 얼굴을 인식해 졸음운전·주의분산·피로누적을 알려주는 시스템이며, 현대모비스는 2019년 개발에 성공하여 2021년부터 국내 주요 중·대형차량에 공급하겠다고 밝혔다. 차량 노후화로 인한 사고의 경우 주기적인 차량 점검을 통해 예방할 수 있으며, 불법주차로 인한 사고는 주차 단속을 강화시켜 예방할 수 있다. 마지막으로 과속으로 인한

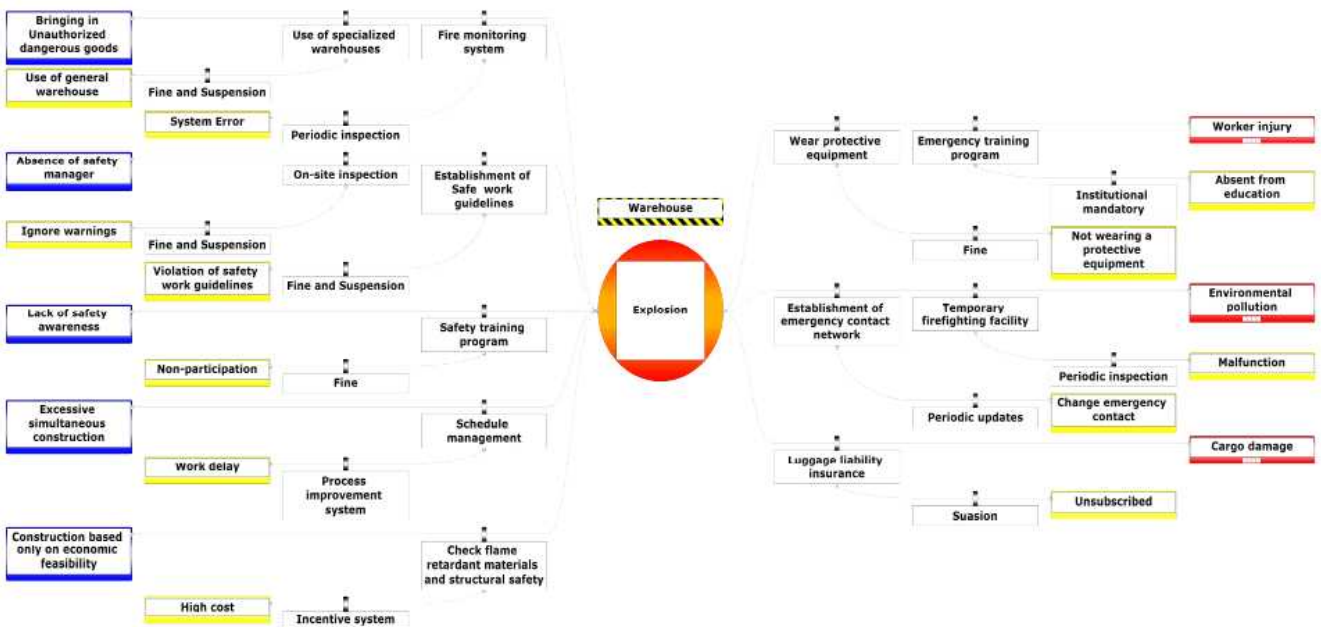


Fig. 3 Diagram of Bow-Tie analysis(Warehouse)

사고는 과속 단속 카메라 설치 및 과속방지시설을 확충함으로써 방지할 수 있다.

예방대책에 대한 악화요소(Escalation)로는 운전 중 핸드폰 사용금지 미준수, 화물자동차 운전자 보수교육 미참여, 속도제한 미준수, 차량체인 착용법 미숙지, 졸음방지 시설 노후화, 운전자 부주의 경보시스템 오류, 차량 점검 시간 및 비용, 주차단속 카메라 고장, 과속방지시설 노후화, 과속 단속 카메라 고장 등으로 나타났다. 또한, 악화요소에 대한 방지대책(Escalation factor control)으로는 핸드폰 사용 적발 및 기간 내 안전교육 미참여 시 벌금, 차량체인 사용방법 교육, 졸음방지 시설 및 과속방지시설에 대한 주기적인 점검, 차량에 대한 기본적인 자가점검 교육 등이 실시되어야 한다. 도로교통법 제49조 제1항 10호에서는 운전 중 휴대전화 사용시 벌금을 규정하고 있으나 대부분의 운전자가 운전 중 스마트폰을 이용하고 있는 현황이다. 2018년 경찰청에서 발표한 운전 중 스마트폰을 사용한 운전자가 낸 사고로 인하여 부상자 1천 414명과 사망자 23명이 발생하였다. 따라서 운전 중 스마트폰 조작 및 사용에 대한 단속이 강화되어야 하며 자발적으로 운전 중 스마트폰 사용을 자제하고 스마트폰 사용의 위험성 관련 교육이 이루어져야 할 것이다. 또한, 악천후에도 불구하고 화물자동차 운장이 지속되고 있는 상황을 고려했을 때, 과속을 자제하고

미끄럼 방지를 위한 차량체인 결속 교육이 진행되어야 할 것으로 판단된다. 졸음방지시설 및 화물자동차의 경우 노후화에 대비하여 주기적인 점검이 진행되어야 하며 시간 및 비용으로 인해 주기적인 점검이 힘들 경우 약식으로라도 자체 검사를 진행할 수 있도록 교육이 진행되어야 할 것이다. 운전자 부주의 경보시스템(Driver state warning system)의 경우 아직 도입단계에 머물러 있으므로 주기적인 점검을 통해 잠재적인 시스템 에러로 인한 사고를 방지해야 한다. 이외의 악화요인 및 방지대책에 대한 자세한 내용은 Table 17과 같다.

다음으로 사상의 결과(Consequence)를 살펴보면 1) 운전자 상해 2) 차량파손 3) 화물 손상으로 나타났다. 발생한 사상이 결과로 이어지는 것을 방지하기 위한 감소대책(Mitigation control)으로는 운전자 상해에 대비하여 응급조치 교육과 비상연락망 구축이 이루어져야 한다. 또한, 차량파손과 화물손상에 대한 감소대책으로는 화물자동차보험 및 적재물배상책임보험에 가입하여 사고발생 시 발생하는 재정적 피해를 덜어내야 한다.

감소대책에 대한 악화요소(Escalation)로는 응급조치 교육 미참여, 비상연락망 번호 변경, 화물차량보험 및 적재물배상책임보험 미가입 등으로 나타났다. 또한, 악화요소에 대한 방지대책(Escalation factor control)으로는 응급조치 교육 의무화,

Table 17 Factors of traffic accident cause

No.	Cause	Preventive control	Escalation	Escalation factor control
1	Use mobile phone while driving	Ban the use of mobile phone	Non-compliance	Fine
		Conduct safety training	None-participating in safety education	Fine
2	Bad weather	Deceleration	Non-compliance with safety rules	Fine
		Vehicle chain	Unfamiliar with how to use	Education program
3	Poor driving and carelessness	Drowsiness prevention facility	Obsolescence	Periodic inspection
		Driver state warning system	System error	Periodic inspection
4	Vehicle obsolescence	Vehicle inspection	Time and Cost	Self-inspection
5	Illegal parking	Crackdown camera	Crackdown camera malfunction	Periodic inspection
6	Speeding	Speed control facility	Obsolescence	Periodic inspection
		Speed crackdown camera	Speed crackdown camera malfunction	Periodic inspection

비상연락망에 대한 주기적인 업데이트, 화물차량 및 적재물에 대한 보험 가입 권면 등이 실시되어야 한다. 운전자 상해에 대한 예방대책으로는 응급조치 교육과 비상연락망 구축이 있지만, 응급조치교육 미참여, 비상연락망번호 변경이 악화요인으로 작용할 수 있으므로 응급조치교육 참여를 의무화하고, 비상연락망에 대해 주기적인 점검이 이루어져야 할 것이다. 차량과손과 관련하여 자동차손해배상 보장법에서는 운송사업자의 보험 가입을 의무화하고 있으며, 화물손상과 관련하여 화물자동차 운수사업법 제 35조에서는 적재물배상 책임보험 가입을 의무화하고 있다. 그럼에도 불구하고 보험 미가입 화물자동차 사고사태가 지속적으로 발생하고 있으며, 이는 막대한 재정적 타격으로 이어질 수 있다. 따라서 화물자동차 운송사업자의 경우 운수종사자들의 보험가입을 권면할 뿐만 아니라 주기적으로 확인할 필요가 있다.

Fig. 4는 운수업에 대한 Bow-Tie 선도로 교통사고 요인을 중심으로 왼쪽에는 위험요인의 원인과 관련된 사고 시나리오, 오른쪽에는 위험요인의 결과와 관련된 사고 시나리오가 표현 Table 18 Factors of traffic accident consequence

No.	Consequence	Mitigation control	Escalation	Escalation factor control
1	Driver injury	Emergency training program	Absent from education	Institutional mandatory
		Establishment of emergency contact network	Change emergency contact	Periodic inspection
2	Vehicle damage	Vehicle insurance	Unsubscribed	Suasion
				Periodic inspection
3	Cargo damage	Luggage liability insurance	Unsubscribed	Suasion
				Periodic inspection

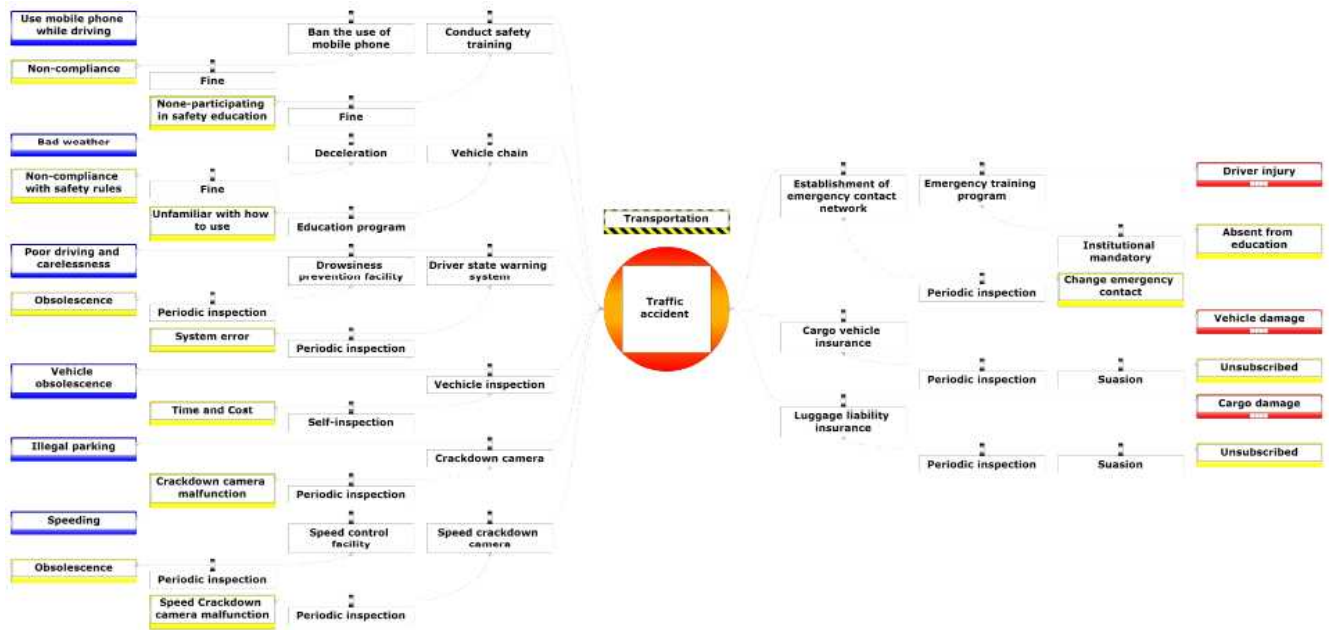


Fig. 4 Diagram of Bow-Tie analysis(Transportation)

되어 있다. Bow-Tie 선도를 살펴보면 교통사고 요인으로 이어지는 6가지 원인을 확인할 수 있다. 대표적인 원인 중 하나인 악천후에 대한 예방대책으로는 평소보다 감속하여 운행을 조심하고 도로가 미끄러울 경우에 대비하여 차량체인을 구비하여야 한다. 또한, 감속과 차량체인 구비에 대한 악화요인으로 속도제한 미준수, 차량체인 착용법 미숙지가 있음을 알 수 있으며, 이를 대비하여 과속시 벌금과 차량체인 사용방법에 대한 교육을 고려해야 한다는 사실을 한눈에 확인할 수 있다.

다음으로 교통사고 발생 시 3가지 결과로 이어짐을 확인할 수 있다. 대표적인 결과 중 하나인 운전자 상해에 대한 감소대책으로 응급조치 교육과 비상연락망 구축이 있으며, 이에 대한 악화요인으로 응급조치 교육 미참여와 비상연락망 번호 변경이 있다. 악화요인에 대한 방지대책으로 응급조치 교육을 의무화하고 비상연락망에 대한 주기적인 업데이트가 이루어져야 할 것을 알 수 있다.

5. 결 론

5.1 결론 및 시사점

최근 국제 교역량 증가와 비대면 사회 기조에 따른 물동량 폭증은 항만물류산업 내 위험 노출 및 안전사고 증가로 이어지고 있다. 이와 함께 사회 전반에 걸쳐 안전을 중시하는 분위기와 공감대가 확산되면서 산업별로 안전 및 생명을 보호하는 각종 법안들이 제정되고 있다. 각 국가부서는 안전관리 참여자의 안전관리체계, 역할 및 업무범위를 체계적으로 정립하고 재난의 예방·대비·대응·복구와 그 밖에 재난 및 안전관리에 필요한 사항을 규정하고 있다. 하지만 이러한 노력에도 불구하고 항만물류산업에서 다양한 중대형 안전사고는 끊임없이 발생하고 있는 상황이며, 이는 미래 발생 가능한 리스크에 대하여 각별한 관심을 기울이고 주요 사고원인에 대한 예방대책을 세워야 한다는 것을 의미한다.

따라서 본 연구는 2016년부터 2020년까지 5년간 한국산업안전보건공단에서 집계된 통계 재해자 일반현황을 바탕으로 항만물류산업 중 하역업, 보관업, 운수업에 대한 미래 발생 가능한 위험요인에 대해 알아보았다. 또한, Bow-Tie 분석기법을 진행하여 주요 위험요인으로부터 발생원인과 사상의 결과 및 예방대책을 도출하고자 하였다. 이를 위해 한국산업안전보건공단에서 발표한 정성적 보우타이(Bow-Tie) 리스크 평가 기법에 관한 지침에 따라 위험도를 계량적으로 수치화하여 산업별 주요 위험요인을 도출하였으며, Bow-Tie 분석기법을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 작업시간대별 사고발생 일반현황을 통해 하역업, 보관업, 운수업 3가지 산업 모두 주간 교대 전 07~12시 사이에 사고가 많이 발생한 것을 확인하였다. 또한, 사고는 연령층에 상관없이 발생하였으며, 신규 근로자의 사고 비율이 높은 것으로 나타났다.

둘째, 하역업의 경우 떨어짐/무너짐 사고가 주요 위험요인으로 파악되었다. 사고 발생원인은 1) 장비 노후화 2) 부주의 3) 작업절차 미준수 4) 열악한 근무환경 5) 일용직 6) 자연재해로 파악되었으며, 사고 발생 시 1) 작업자 상해 2) 작업 지연 3) 하역장비 파손으로 이어질 수 있다.

셋째, 보관업의 경우 폭발사고가 주요 위험요인으로 파악되었다. 사고 발생원인은 1) 무허가 유해·위험물 반입 2) 안전관리자 부재 3) 안전의식 부재 4) 무리한 동시 공사 5) 경제성만 따지는 시공으로 파악되었으며, 사고 발생 시 1) 작업자 상해 2) 환경오염 3) 화물 손상으로 이어질 수 있다.

넷째, 운수업의 경우 교통사고가 주요 위험요인으로 파악되었다. 사고 발생원인은 1) 운전 중 핸드폰 사용 2) 악천후 3) 운전미숙 및 부주의 4) 차량 노후화 5) 불법주차 6) 과속으로 파악되었으며, 교통사고 발생 시 1) 운전자 상해 2) 차량파손

3) 화물 손상으로 이어질 수 있다.

분석결과에 대한 시사점으로 첫째, 3가지 산업 모두 사고 예방대책으로 안전교육이 중요한 요인으로 나타났다. 사고 발생원인을 살펴보면 부주의, 작업절차 미준수, 안전의식 부재와 같이 휴먼에러의 비율이 높게 나타났다. 따라서 관리감독자는 정기적으로 연령층에 상관없이 모든 근로자를 대상으로 안전교육을 실시하고 작업 시작 전 TBM(Tool box meeting)을 통해 안전수칙을 상기시켜 사고 예방에 힘써야 할 것으로 보인다.

둘째, 한국산업안전보건공단에서 제시하고 있는 위험성 평가 분석결과에 따라 하역업의 경우 떨어짐·무너짐, 보관업의 경우 폭발·과열, 운수업의 경우 교통사고 위험요인에 대한 위험관리방안을 우선적으로 수립할 필요가 있다.

셋째, 각 산업별 안전관리자들은 Bow-Tie 분석기법에서 도출된 사고 예방대책 및 악화요인 방지대책 중 실시하고 있는 요인과 실시되고 있지 않은 요인을 구분하여 앞으로 안전사고 예방을 위해 우선적으로 수행할 업무를 도출해야 한다. 더불어 예방대책 및 감소대책을 유지하기 위한 방안을 강구할 필요가 있다.

5.2 연구의 한계점 및 향후 연구방향

본 연구는 각 산업별 위험도가 가장 높은 요인을 도출한 뒤 Bow-Tie 분석기법을 활용하여 예방대책과 감소대책을 세웠다. 하지만 한국산업안전보건공단의 위험성 평가 기준에 따라 우선적으로 위험관리방안이 필요한 하역업의 떨어짐/무너짐 요인, 보관업의 폭발 요인, 운수업의 교통사고 요인 이외에 나머지 위험을 다루지 못했다는 한계점이 있다. 따라서 본 연구에서 다루지 못한 위험요인에 대해 예방대책과 감소대책을 세우는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] Cha, S. H. and Noh, C. K.(2016), "The Accidents Analysis for Safety Training in the Container Terminal", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 40, No. 4, pp. 197-205.
- [2] Han, M. H., Gang, J. H. and Chon, Y. W.(2018), "Root cause Analysis through Haddon Matrix and Bow-Tie : Social system and Structural Causes", Korean Journal of Hazardous Materials, Vol. 6, No. 1, pp. 54-62.
- [3] Han, S. H. and Kong, H. S.(2020), "Classification of Fire Causes in Warehouses Using the TRIZ Technique and Analysis of Preventive Measures According to 4M", The Journal of the Convergence on Culture Technology, Vol. 6, No. 3, pp. 401-412.
- [4] Kim, D. R.(2020), "A Study on the Safety Management Method for Each Risk in the Warehouse Using the Risk

Factors and Bow-Tie Technique”, Inha University, Graduate school of ET&ST Convergence, Master Dissertation.

- [5] Lim, D. H.(2020), “Case Study of Risk Control Applying Bow-tie Methodology”, Korean Journal of Hazardous Materials, Vol. 8, No. 1, pp. 65-72.
- [6] Mokhtari, K. et al.(2011), “Application of a generic bow-tie based risk analysis framework on risk anagement of sea ports and offshore terminal”, Journal of Hazardous Materials Vol. 192, No. 2, pp. 465-475.
- [7] Park, S. H., You, J. W. and Kim, Y. S.(2019), “A Study on the Improvement of Safety Management on Container Terminal-Using Hazard Identification and Bow-tie Method”, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 43, No. 1, pp. 57-63.
- [8] REN, S.(2012) “Assessment on logistics warehouse fire risk based on analytic hierarchy process”, SciVerse ScienceDirect Procedia Engineering, Vol. 45, pp. 59-63.
- [9] Tsai, M. C. and Su, Y. S.(2002). “Political risk assessment on air logistics hub developments in Taiwan”, Journal of Air Transport Management, Vol. 8, pp. 373-380.
- [10] Zhang, G., Li, G. and Peng, J.(2020), “Risk Assessment and Monitoring of Green Logistics for Fresh Produce Based on a Support Vector Machine”, Sustainability, Vol. 12, No. 18.

Received 18 November 2021

Revised 20 December 2021

Accepted 11 February 2022