Journal of Digital Convergence
Vol. 16. No. 2, pp. 179-188, 2018

ISSN 1738-1916
https://doi.org/10.14400/JDC.2018.16.2.179

Fuzzy-AHP를 활용한 벌크화물 하역 안전요인 분석에 관한 연구 : 철재화물을 중심으로

김병화, 박성훈, 공정민, 여기태*
인천대학교 동북아 물류대학원

A Study on the Safety Factor Analysis of Bulk Cargo Handling Using Fuzzy-AHP : Focused on steel cargo

Byung-Hwa Kim, Sung-hoon Park, Jeong-min Gong, Gi-Tae Yeo*
Incheon National University, Graduate school of Logistics

요 약 철재화물의 항만하역 작업 시 재해비율은 26.3%이며, 이는 취급하는 화물 중 재해발생 비율이 가장 높은 화물인 것으로 나타났다. 이러한 측면에서 철재화물 하역 시 발생할 수 있는 사고 요인을 분석하고, 요인 간의 중요도 우선순위를 도출하고자 한다. 요인도출을 위해 선행연구 및 경력전문가와 In-depth Interview를 실시하여 요인을 도출하고 Fuzzy-AHP를 이용해 안전요인의 우선순위를 도출하였다. 인적요인, 장비 및 설비, 안전교육, 기업환경 등 4개 상위 요인과 각각 4개의 세부요인을 통해 분석을 실시했다. 상위요인 분석결과에서는 인적요인, 안전교육, 장비 및 설비, 기업환경 순으로 가중치 순위가 나타났다. 세부요인의 요인별 우선순위는 작업자의 안전의식(0.728), 화종에 따른 적정 장비투입(0.345), 작업안전훈련(0.304)순으로 나타났다. 본 논문은 요인 간 상대적 중요도를 도출함으로 현장 작업자 및 기업의 안전의식 제고와 항만하역사고의 재해발생률을 감소하는데 기여가 있다. 향후 컨테이너화물 등 여타 재해비율이 높은 화물들을 대상으로 한 추가연구 및 집단을 구분한 연구가 필요하다.

주제어 : 철재화물, 항만하역, 안전요인, Fuzzy-AHP, 안전 의식

Abstract In this paper, we analyze accident factors that occur in the unloading of steel cargoes and try to derive priority of importance among factors. The Fuzzy-AHP, which enables hierarchical analysis through pairwise comparison of factors, is used to derive priorities of safety factors to consider when unloading steel cargo. In the top factor analysis results, weights were ranked in order of human factors, safety education, equipment and facilities, and business environment. The purpose of this paper is to contribute to the improvement of the safety consciousness of the field workers and enterprises and to reduce the incidence of accidents in the unloading and unloading operations by deriving the relative importance between the factors. In the future, it is necessary to study the cargoes of other disasters such as container cargo as well as steel cargo.

Key Words : Steel cargo, Port unloading, Safety factor, Fuzzy-AHP, Safety consciousness

1. 서론

해운 항만은 우리나라의 기간산업으로 국가경제에 큰 영향을 미치고 있다. 우리나라는 전통적으로 무역 의존도가 높은데, 지난 13~15년 간 무역의존도는 30% 이상으로 집계되고 있다[1]. 이러한 환경과 더불어 우리나라의

*Corresponding Author : Gi-Tae Yeo(ktyeo@inu.ac.kr)
Received December 4, 2017
Revised January 10, 2018
Accepted February 20, 2018
Published February 28, 2018

지리적 특성상 수출입 물동량 처리 비중은 90%이상 해운에 집중 되어 있어 해운 항만의 경제적 역할은 매우 중요하게 인식되어지고 있다[2]. 또한 해운 항만 산업을 기반으로 한 서비스 산업의 발달과 부가가치 창출은 관련 산업에 파급력을 가져온다. 그 중 항만하역 사업은 항만 활동에 있어 큰 비중을 차지한다.

항만하역은 지역 경제 상당한 파급력을 미치는 반면, 다루는 화물의 양이 다양하고 방대한 이유로 항만하역 시 사고가 많이 일어나고 있다. 이는 물류전체 개념에 있어 비효율성을 높이는 결과를 가져오며 항만하역 업체, 그리고 항만당국에 대한 신뢰성 문제로 나타날 수 있는 영역이다. 이를 극복하고자 항만하역 시 일어나는 안전사고의 위험도 평가와 재해예방을 위한 기업의 노력 및 연구들이 이루어지고 있다. 현재까지 이루어진 연구들을 살펴보면 항만하역사고를 전체적인 관점에서 이해하고 재해 유형을 분류하는 등 통합적인 측면에서 접근했다. 그러나 매년 높은 비율로 사고가 발생하는 화종에 대한 심층적인 연구나, 실제 항만하역 관리자 또는 작업자의 인식이 반영된 연구는 이루어지지 못하고 있다. 현재 항만하역사고는 감소하고 있는 추세이기는 하나 재해 유형을 살펴보면 철재화물 하역 시 발생하는 사고가 매년 가장 높은 비율을 기록하고 있다. 본 연구는 이러한 측면에서 기존 연구에서 부분적으로 이루어지고 있었으나 심도 있는 이해와 분석이 이루어지지 않은 철재화물을 중심으로 항만하역 안전요인을 도출하고, Fuzzy-AHP 기법을 이용한 중요도 및 우선순위를 제시하는 것을 연구의 목적으로 한다.

2. 현황분석

2.1 항만하역 사고 현황

전체 항만하역 사고 추이는 2008년과 근소한 차이로 증가한 2010, 2011, 2014년을 제외하면 감소하는 추세를 보이고 있다. 2005년부터 2015년까지 재해자 증감의 평균을 보면 한해에 19.9명씩 감소하고 있는 것을 볼 수 있다[3]. 아래 Fig. 1은 2005년부터 2015년까지의 재해 발생 추이를 나타낸다. 표에 나타난 중경상자수는 재해로 인해 4일이상의 휴무 또는 가료를 요하는 자를 기준으로 집계되었다. 사망자와 중경상자의 합을 나타낸 그래프를 보면 알 수 있듯이 전체 재해건수는 현저히 감소되고 있음을 알 수 있다. 이는 2015년의 항만하역 재해자수가 2005년 대비 67.6% 감소한 수준임을 나타낸다. 그러나 이를 중경상자와 사망자로 나누어 보면 중경상자는 68.4% 감소한 반면 사망자수는 33.3%가 감소되었음을 나타낸다. 하지만 이는 2005년 6명에서 2015년 4명으로 감소된 수치이고 '07년 8명 '08년 9명인 것을 감안해볼 때 지속적인 감소 추세라고는 볼 수 없다. 또한 해당 기간 동안 항만하역에 종사하는 근로자수는 감소하고 있는 상황에서 사망사고가 지속하여 일어나고 있음은 사망자 만인율[1] 값으로 보았을 때 사망자수 감소를 달성하지 못하고 있음을 알 수 있다. 항만하역의 경우 중장비의 운용과 초 중량화물 처리가 필수적이기 때문에 이로 인한 중대재해 발생 가능성이 높다.

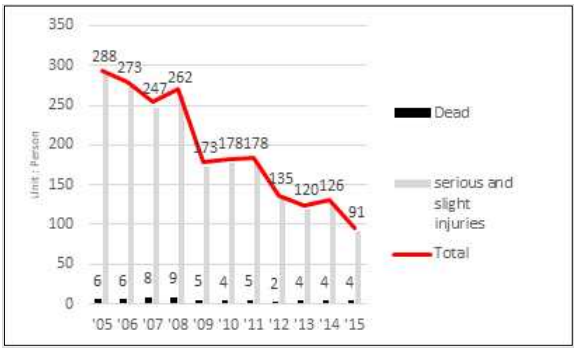

Fig. 1. Accident occurrence trend for 2005~2015

2.2 철재하역 사고 비율

철재 화물은 여타 화물과 마찬가지로 취급 시 중장비 운용이 필수적이고 동일한 부피의 화물보다 질량이 많이 나가기 때문에 취급 시 특별한 주의가 필요하다. 또한 코일 또는 파이프와 같이 적재가 어려운 원형 상태, 가로 길이가 긴 형태, 컨테이너 화물로 배송이 불가능한 벌크 화물 형태로 운송되고 있어 적재 및 이동시 사고 유발요소를 많이 포함하고 있다. 항만하역사고에 대한 자료로 한국항만물류협회에서 제공하는 항만하역재해통계 및 사례집[3]을 보면 근속기간별, 작업시간대별, 화물별 등의 범위로 확인할 수 있다. 화물별 구분을 보면 산물, 원목, 철재, 양곡, 잡화, 펄프, 포장물, 상자물, 컨테이너, 냉동물, 기타가 있고, 이를 토대로 철재화물이 갖는 비중을 알 수 있다. 다음 Table 1은 2011년부터 2015년까지의 화물별 재해자수를 나타낸다. 해당기간 동안 2015년을 제

1) 사망자 만인율 = (사망자수 / 근로자수)*10000

외하고는 매년 120건 이상 발생하는 항만하역재해 중 40여건 이상이 철재화물 하역 작업시 나타나고 있다. 이는 5년간 평균 33.1%의 수준으로 항만하역 발생시 3건 중 1건 정도가 철재화물 작업 시 발생하는 재해라고 볼 수 있다. Fig. 2와 같이 2015년 감소하는 추세를 보이고 있으나 그 비중은 26.3%로 여전히 상위 비중을 차지하고 있다.

Table 1. Unloading accident statistics

Categories	2011	2012	2013	2014	2015
product	15	7	9	9	5
Solid wood	7	1	2	1	2
steel	60	54	44	41	25
Grain	6	5	5	6	3
Goods	10	9	10	10	7
Pulp	2	4	1	4	4
Package	8	9	2	3	-
Box	0	-	-	2	2
Container	15	7	7	9	11
Freeze	9	5	6	13	5
Etc.	53	36	38	32	31
Total	183	137	124	130	95
steel rate	32.7	39.4	35.4	31.5	26.3

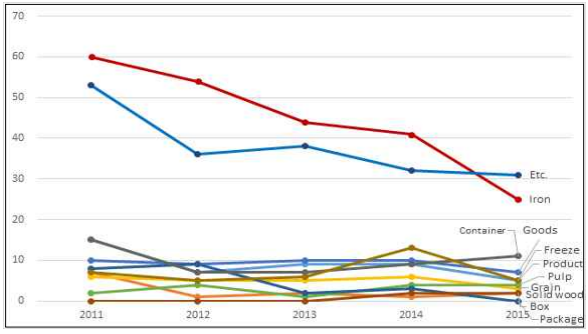

Fig. 2. Unloading accident statistics

3. 선행연구

3.1 항만하역 재해에 관한 선행연구

항만하역사고 및 재해에 관한 연구는 통계적 분석 또는 문헌에 의한 연구들이 다수를 이루어져 실제로 실무에 적용할 만한 구체적인 개선점은 제시되지 못하고 있는 실정이다. 또한 항만하역사고 화물 종류를 구분하지 않은 포괄적인 연구들이 진행되어 각각 사고원인에 대한 깊이 있는 연구가 이루어지지 못했다. 본 논문은 항만하역 화종 별 사고 중 매년 높은 점유율을 차지하는 철재화물을 중점으로 분석을 수행한다.

남영우 외 2명[4]은 인천항 항만하역 재해사례를 중심으로 재해분석 연구를 진행했다. 경인항운노동조합의 재해공상보고서에 기록된 2001년-2003년 기간 동안에 발생한 198건의 재해건을 13개 재해 요인으로 분류하여 요인별 빈도분석과 교차분석을 실시했다. 취급 화물별로는 원목(19.2%), 철재(18.7%), 컨테이너(11.6%) 순으로 재해빈도 순위가 나타났고, 재해발생 장소로는 선내(64.1%), 선측(24.2%), 야적장(11.6%)순으로 나타났다. 인적불안전한 행동 요인으로는 불안전한 적재·적하(40.4%), 불안전한 자세·동작(35.9%)순으로 나타났고 물적 불안전한 상태요인에서는 안전한 작업방법·공정(62.6%), 불안전한 작업환경(26.8%)순으로 나타났다. 교차분석 결과 중 유의한 상관관계가 있는 요인들을 선별하여 분석한 결과 취급화물과 재해발생 형태 요인에서는 원목의 낙하와 전도(42%), 붕괴(18%), 철재의 낙하(30%), 협착(22%), 전도(19%) 순으로 도출되었고 특히 인적 불안전한 행동과 물적 불안전한 상태 요인에서 불안전한 작업방법·공정(92.5%)이 가장 높은 요인으로 도출되었다. 또한 11가지 인적 불안전한 행동 요소 중 불안전한 적재·적하와 불안전한 자세·동작으로 인한 재해가 전체의 67.1%, 물적 불안전한 상태의 10가지 요소 중에 불안전한 작업방법·공정과 불안한 작업환경으로 인한 재해가 전체의 8.9%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. Table 2는 이에 대한 표이다. 저자는 이에 대한 재해 위험성을 인식하고 재해 예방을 위한 근본 대책이 필요함을 주장했다.

Table 2. Summary of frequency analysis by disaster according to Y.W. Nam

No	Category	Analysis contents
1	Cargo	wood(19.2%), steel(18.7%), container(11.6%), goods(8.1%), supplementary material(4.5%), sand(4.5%), plywood(4%), scrap steel(4%)
2	Place	on board(64.1%), side(24.2%), yard(11.6%)
3	Human instability	unstable loading(40.4%), unstable motion(35.9%), Not enough communication with supervisor(10.1%)
4	Material instability	unstable working method(62.6%), unstable working environment(26.8%), Leave in bad condition(6.1%)

김동진[5]은 위험도 매트릭스기법과 퍼지 기법을 결합하여 항만 컨테이너 터미널 하역사고의 위험도를 도출했다. 우리나라는 항만하역 안전사고와 관리에 대한 연구가 많이 이루어지지 않았으며 예방 정책과 관련법 제도

등의 정비를 주제로 한 연구들이 기존에 이루어지고 있어 사고의 사후관리, 안전사고 위험도 분석에 대한 연구가 필요함을 주장했다. 또한 퍼지 삼각수를 활용하여 항만하역 작업 중 안전사고에 대한 위험도를 도출한 결과, 사고 유형별 위험도 순위는 외부차량 손상, 컨테이너 및 화물손상, 야드 장비 손상, 선박 손상 등으로 순위가 도출되었고 사고 원인별 위험도 순위는 장비 조작이 가장 높게 도출되었다. 이 밖에 사고 원인별 위험도 상위 요인으로 장비 오작동, 주행 중 타 장비와 충돌, 스프레더와 컨테이너 충돌 등이 있었다. 저자는 다양한 형태와 지속적으로 발생하고 있는 항만 안전사고에 대한 연구가 활발하게 이루어지지 않고 있으며 기존 연구들은 항만 생산성, 효율성 또는 운영최적화에 관한 연구들이 주를 이루고 있음을 지적했다. 따라서 항만 안전사고의 원인 도출과 피해최소화를 위한 위험도 분석을 통해 사고 저감과 방지 대책이 세워져야 함을 주장했고 위 논문을 통해 위험 요소들 사이의 위험 순위 비교 및 요인별 위험도 수준을 고려한 사고저감 대책에 기여할 수 있다고 주장했다.

윤동하 외 2명[6]은 광양항 A운영사의 안전사고 사례를 바탕으로 컨테이너터미널 사고유형을 분석하고 사고유형에 따른 심각도 및 리스크를 산정했다. 사고 발생빈도와 심각도에 따른 리스크 등급을 매트릭스 기법으로 판정한 결과, 리스크 등급은 야드장비 영역의 외부차량 손상(5등급), 안벽장비 영역의 컨테이너 및 화물 손상(4등급), 야드장비 영역의 컨테이너 및 화물 손상(4등급) 순으로 나타났다.

박용욱, 목진용[7]은 항만 하역 작업 단계별로 발생하는 안전상 문제점을 지적하고 대안을 제시했다. 저자는 선내 및 선측작업 단계 시 작업지휘자, 선내 보조신호수, 차량 유도자 지정을 통한 선박현장 안전관리 체제 구축 및 작업 시작 전 교육 정착, 순회안전교육 확대, 하역 및 승강 설비에 대한 검사 강화, 임대하역 설비의 안전조치 사항 준수 등의 개선점을 제시했고, 선박하역 현장의 위험요인 제거를 위해 안전통로, 조도, 후방 주시거울 점검, 밝은 색상의 작업복 착용, 인력에 따른 적절한 작업 배치 등의 개선점을 제시했다. 또한 상하차 및 입출고 작업 단계에서는 차량유도자 지정, ILO기준의 화물 작업대 설치와 차량운전자 안전조치, 불안정한 하적단 붕괴방지 조치, 작업장 안전통행로 확보 등의 개선 방안을 제시했다.

또한 항만하역환경 제도에 대한 연구[8,9]들도 진행되었다. 이 연구에서는 국내외 항만하역환경 제도현황을 제시했고 현행 법 제도상의 문제점과 항만하역현장의 유해, 위험요인에 대한 개선방안을 제시했다. 국내 제도의 경우 항만 안전에 대한 기준이 미비한 설정이고 항만에 관련한 투자는 대부분 물류 기능 강화에 치중되어 안전관리 측면이 소홀하게 취급되었음을 제시했다. 윤창술, 송호신[8]은 이에 따른 화물관리 안전작업기준과 화물관리 안전작업수칙에 대한 입법안을 제시했다.

3.2 Fuzzy-AHP에 관한 선행연구

이왕희[10]는 AHP분석을 활용한 항만하역 안전관리 개선방안에 관한 연구를 진행했다. 대표요인 4개를 도출하고 상대적 중요도를 전문가 설문을 토대로 분석한 결과 요인의 중요도는 인적요인, 작업적요인, 관리적요인, 설비적요인순으로 결과가 도출되었다. 세부요인 16개의 종합 중요도는 안전한 속도조작, 작업과정 중 신호연락 및 감독, 안전한 자세동작, 팀워크 및 인간관계, 작업환경, 안전교육 등으로 중요도 순위가 도출되었다. 저자는 요인들의 대안으로 취급화물, 위험물 하역에 대한 장비조작교육 강화, 안전진단제도와 정기검사의 의무화 및 장비관리시스템 구축, 항만안전교육의 의무화와 체계화가 필요함을 주장했고 작업과정 중 신호연락 및 감독 요인에 대해 비상연락망과 비상통신망 구축이 이루어져야 함을 제시했다. 아울러 비용적인 이유로 안전진단을 기피하는 컨테이너터미널 운영사의 태도 개선과 안전교육 미실시에 대한 강력한 제재조치 법률이 적용되어져야함을 주장했다.

Wen-Kai 외 2명[11]은 연안 해운을 운항하는 유조선 안전에 관한 요인을 도출하고 Fuzzy-AHP 기법을 활용하여 분석했다. 대요인은 Liveware, Hardware, Software, Organization으로 나누고 각 대요인의 차례대로 4개씩의 세부요인을 도출했다. 세부요인으로는 승무원 안전지식, 승무원 자기 규제, 선원 작업 집중도, 승무원 사명감 / 선박 기계 및 장비의 상태, 개인 안전 장비의 상태, 안전 감시 시스템의 상태, 작업장의 라벨링 환경 / SOP의 구현, 선내 안전 훈련 실시, 안전 교육 평가 시스템, 선박 내 안전 풍토 / 안전 절차 문서 완비, 작업 안전성 평가 시스템, 보상 및 처벌 시스템의 합리성, 업무에 대한 직원 배치의 합리성 등이다. 설문표본은 5년 이상의 경력이 있는 자로 선정했으며, 이 중 75% 이상은 10년 이상의 경력을 가지고 있는 전문가 집단으로 하였다. 중요도와 만족도를 평가하기 위한 설문을 배포 및 회수하여 분석한 결과

Liveware가 유조선의 안전에 가장 중요한 영향을 미치는 요인임이 나타났고 Software의 요인들의 만족도가 가장 낮은 것으로 나타나 이 부분에 대한 개선이 필요함을 나타냈다. 저자는 가장 높게 나타난 Liveware 영역의 세부요인인 승무원 안전 지식, 승무원 자기 규제 향상을 위한 노력이 필요함 주장했다. 또한 해당 연구를 통해 요인의 중요도를 도출하고 개선해야 할 요인들에 대한 실질적 정보를 제공하여 향후 안전에 대한 인식을 제고하는데 기여했다고 주장했다.

3.3 연구의 차별성

선행연구들은 기존에 존재하는 2차 자료를 활용하여 재해통계에 따른 요인분석 및 재해 유형에 따른 통계분석을 실시했다. 또한 위험도, 리스크 산정을 통해 재해에 대한 평가와 위험도 및 심각도 상위 요인에 대해 고찰한 연구들이 다수를 이루었다. 선행연구들은 각 사고의 유형별, 재해 발생 요소에 대한 통계적 의미를 갖는다. 그러나 실제 사고를 인식하고 예방하기에 가장 가까운 현장에 있는 작업관리자 및 작업자의 사고에 대한 인식, 사고에 대한 의식이 반영되지 않았고, 요인간의 우선순위에 대한 연구도 이루어지지 않았다. 따라서 실제 항만하역 작업에 관여하는 관리자와 작업자에 대한 인식을 반영한 연구가 필요하다. 본 논문은 관리자 및 작업자를 대상으로 한 실제 항만하역 재해 발생 시 원인이 될 수 있는 요인을 도출하고, Fuzzy-AHP를 통해 요인간의 중요도를 비교 분석하고자 한다. 한편 특정 화물에 사고비율이 감소함에도 불구하고 기존 연구들은 항만 재해 통계를 바탕으로 항만 하역 시 다루는 모든 화물을 포함하는 포괄적인 연구가 대부분 이루어지고 있다. 본 연구는 항만하역 사고가 발생되는 화물 중 가장 상위를 차지고하고 있는 철재화물을 대상으로 전문가의 안전요인 인식순위를 도출하고자 한다. 따라서 본 논문은 철재화물에 대한 안전요인을 고찰하고 작업자 및 관리자가 인식하는 철재화물 하역 안전요소의 중요도를 비교하고자 한다.

4. 실증분석

4.1 Fuzzy-AHP의 개요

본 연구에서는 철재화물 하역 시 고려되는 안전요인의 중요도를 도출하기 위해 Fuzzy-AHP 방법론을 사용했다. Fuzzy-AHP는 Fuzzy 분석방법과 AHP 분석 방법을 함께 활용한 방법론으로 Fuzzy 분석은 Zadeh[12]에 의해 도입되었고 표본이 가지는 다양한 의견 또는 애매모호한 언어적 표현을 획일화 하지 않고 퍼지수를 활용하여 정량적으로 표현하고 분석하는 방법이다[13, 14].

본 논문에서는 실무자들의 경험을 토대로 요인간의 중요도를 비교하고자 AHP 방법론을 선택하였다. AHP는 계층구조를 설정하여 계층 구조를 이루고 있는 요소들 간의 상대적 중요도를 측정하는 기법이다. AHP 기법의 분석 대상이 되는 요인들은 계층 내 자기를 제외한 요인들과 쌍대비교 하게 된다. 이를 통해 대안에 대한 선호도 차이를 요인 간 비교하고 분석하여 결론을 도출하게 된다. Fuzzy방법을 결합한 AHP 방법은 의사결정자의 언어적 표현을 정량화하여 타 요인과 비교할 수 있도록 한다[15, 16].

본 연구에서 선정하여 분석하고자 하는 철재 화물 하역 안전요인의 경우, 기존 연구의 경우 대부분 통계분석을 통한 비중 또는 빈도를 바탕으로 안전에 대한 중요성을 상기시키는 정도로 사용되어져 왔다. 즉 획득 가능한 정량지표 및 과거자료 확보가 가능한 요인에 대하여 평가가 가능한 상황이다. 하지만 철재 화물 하역 안전요인 중요도 평가의 경우, 다양한 정성지표를 계량화하여 평가구조에 반영할 필요가 있다. 또한 현장 전문가의 지식을 평가에 반영할 필요가 있다. 이러한 측면에서 본 연구에서는 Fuzzy-AHP방법을 사용하여 기존 연구의 한계를 극복한다. 인식과 안전의식을 제고할 수 있도록 중요 요인을 제시할 수 있다.

아래 Fig. 3은 Fuzzy 삼각수 (Triangle fuzzy number)를 나타내는데 의사결정자의 선택의 불확실성을 감안하여 다음과 같은 구간으로 나타낸다[17]. a는 설문응답자의 의사결정의 하한 값을 나타내고 b와 c 는 각각 중앙값, 상한 값을 나타낸다. 언어적인 표현을 연산값으로 계산 하기는 불가능 하여 Table 3의 삼각퍼지 전환 척도를 활용하여 언어적 표현을 수치화 한다.

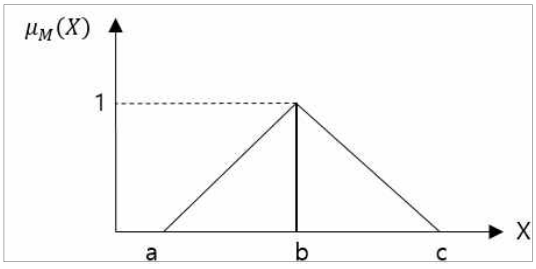

Fig. 3. Triangle fuzzy number

Table 3. Scales of fuzzy triangular number

Language Scale	Triangular fuzzy number	Triangular fuzzy number reciprocal
Equal	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Litte important	(0.5, 1, 1.5)	(2/3, 1, 2)
Usually important	(1, 1.5, 2)	(1/2, 2/3, 1)
Much important	(1,5 2, 2,5)	(2/5, 1/2, 2/3)
Very important	(2, 2.5, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
Absolutely important	(2.5, 3, 3.5)	(2/7, 1/3, 2/5)

아래는 Chang[8]이 제안한 가중치 분석방법이다. 삼각 퍼지수가 $M_2 = (a_2, b_2, c_2) \geq M_1 = (a_1, b_1, c_1)$ 일 경우 확률정도는 아래 수식(1)을 따른다.

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d)$$
$$= \begin{cases} 1, & \text{if } b_2 \geq b_1 \\ 0, & \text{if } a_1 \geq c_2 \\ \dfrac{a_1 - c_2}{(b_2 - c_2) - (b_1 - a_1)}, & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

위 식에서 d는 μ_{M_1}과 μ_{M_2}의 가장 높은 교차점 D의 y좌표 값을 나타낸다. 위 식에 나타난 것과 같이 M_1과 M_2를 비교하기 위해 $V(M_1 \geq M_2)$와 $V(M_2 \geq M_1)$ 값이 필요하다.

퍼지수 k가 $M_i (i = 1,2,3,...,k)$보다 클 확률은 아래의 식 (2)를 따른다.

$$V(M \geq M_1, M_2 M_3, ..., M_k)$$
$$= V\begin{bmatrix}(M \geq M_1) \text{and} (M \geq M_2) \text{and} \\ (M \geq M_3) \text{and} \cdots \text{and} (M \geq M_k)\end{bmatrix}$$
$$= \min V(M \geq M_{i),} i = 1,2,3,...,k \quad (2)$$

$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$를 가정하면 $k = 1,2,3,...,n; k \neq i$이고 여기서 가중치 벡터는 아래 식 (3)과 같다.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), d'(A_3), ...d'(A_n))^T \quad \text{Formular(3)}$$

4.2 분석 범위 및 방법

선행연구부분에서 언급된 Wen-Kai 외 2명[11]의 연구와 Hetherington[19]에 의해 진행된 연구에서 나타난 인간의 피로감, 스트레스, 상황의 인지 등으로 인한 인적요인 재해발생 및 안전교육 및 안전문화 등 기업적인 요인을 분석요인에 포함하였다. 또한 전문가 및 경력관리자와의 In-depth Interview를 통해 철재하역 사고에 적절한 요인을 확정하였다. 도출된 요인은 다음 Table 4와 같다.

Table 4. Safety factors of unloading steel

Fact	Sub factor	Contents
Human (F1)	worker's safety consciousness (V1)	Safety first consciousness promotion
	Worker's condition (V2)	Good rest and biorhythm check for optimal condition
	Worker's work concentration (V3)	Understanding cargo kind and cargo equipment, unloading work with speed and method (posture) of safety priority
	Teamwork and relationships (V4)	Proper human resources supply management, improvement of industrial relations
Equipment & Facilities (F2)	Inspection of cargo handling equipment and facilities (V5)	Safety inspection and periodic inspection of unloading equipment, maintenance of equipment
	Personal Protective Equipment (V6)	Obligation to wear safety guard
	Appropriate equipments according to the kind of cargo (V7)	Proper equipment input according to cargo and characteristics of ship
	Safety equipment installation (V8)	Securing a passage width suitable for the characteristics of cargo
Safety education (F3)	Safety supervision system (V9)	Safety Supervisor Training and Leveling
	Work safety training (V10)	Regular and occasional safety training
	Safety education evaluation system (V11)	Improving the quality of education by enabling feedback after safety education
	Safety-oriented atmosphere inside the company (V12)	Inspiring meaning and systematization of unloading safety education
Corporate environment	Safety Management System (V13)	Establishment of an organization for safety management of unloading
	Operation Manual (V14)	Equipped with work manual for each kind of cargo and updating
	Placement according to aptitude (V15)	Mandatory placement of personnel after an aptitude test
	Post-disaster management (V16)	Reflect and evaluate placement of personnel

각 요인의 세부내용을 살펴보면 인적요인에 포함된 하부요인들은 작업자 개인의 상태를 고려한 요인이다. 예를 들어 사내 안전교육과 작업안전 훈련 등이 이루어

짐에도 불구하고 작업자 본인이 안전의식을 가지지 않고 작업을 진행할 시 안전교육의 부재라기보다 인적요인으로 인식되어져야 한다. 작업자의 컨디션은 본인 스스로가 작업 전 신체 상태를 점검하고 숙취나 급성 피로 여부 등을 판단하여 작업에 투입해야 할 것을 의미하고 작업자의 작업집중도는 남영우 외 2명[4]이 지적한 것처럼 불안전한 적재, 적하 및 자세와 동작 등의 사고 유발 요인을 나타낸다. 하역작업은 여러 작업자들의 협업으로 이루어지기 때문에 절차에 맞지 않은 작업 순서 또한 사고로 이어질 수 있다. 장비 및 설비는 사고를 최소화하기 위해 항만하역 업체 또는 작업자의 철저한 점검이 필요한 영역이다.

안전교육 및 기업환경 영역은 현장 작업 시 편의상에 간과하게 되는 안전 미의식 행동들을 지적하고, 올바른 절차에 의한 작업을 지시하는 안전감독자 시스템, 사고에 대한 사례교육 및 예상되는 사고에 대한 이론교육을 포함한다. 또한 작업의 통일성과 안전유지를 위한 매뉴얼, 적성검사를 고려한 인력배치 등 회사차원에서의 사고방지 요소를 포함한다. 요인비교를 위해 설문지를 배포했고 회수된 설문지 52부 중 결측치가 있는 설문은 분석에 제외하였으며 설문의 신뢰성을 위해 설문 응답자의 직무경력이 7년 이하인 설문도 설문대상에서 제외했다. 설문에 참여한 표본의 직급은 대표부터 작업원 까지 다양하게 구성되어있으며 총 34명의 설문을 대상으로 분석을 실시했다.

4.3 분석 결과

대요인의 분석결과는 아래 Table 5와 같다. 철재하역의 대요인 분석은 인적요인의 가중치가 0.490으로 가장 높게 나타났고 안전교육이 0.292로 2순위, 장비 및 설비가 0.204로 3순위로 나타났다. 기업환경요인은 가중치 0.015로 낮은 수치로 나타났다.

Table 5. Weight analysis of the factors

F	S_i			$V(M_2 \geq M_1)$						W
F1	0.241	0.316	0.407	S(F1) > S(F2)	1	S(F1) > S(F4)	1	S(F1) > S(F4)	1	0.490
F2	0.185	0.235	0.299	S(F1) < S(F2)	0.068	S(F1) < S(F4)	0.066	S(F1) < S(F4)	0.997	0.204
F3	0.198	0.256	0.329	S(F1) > S(F3)	1	S(F2) < S(F3)	0.807	S(F3) > S(F4)	1	0.292
F4	0.153	0.191	0.245	S(F1) < S(F3)	0.237	S(F2) > S(F3)	1	S(F3) < S(F4)	0.804	0.015

인적요인의 각 세부요인 가중치 분석 결과 작업자의 안전의식 요인이 0.728로 가장 높게 나타났고 나머지 요인들은 작업자의 작업집중도(0.173), 작업자의 컨디션(0.050), 팀워크 및 인관관계(0.048)순으로 1순위 요인과 큰 차이를 보이며 상대적으로 낮은 수치의 결과를 나타냈다. 이는 설문 대상자가 인식하기에 작업자의 컨디션보다는 작업을 진행할 때 작업에 대한 집중도와 작업자의 안전에 대한 의식 정도가 재해발생에 영향을 미칠 것이라고 인식하고 있음을 나타낸다. 이에 더해 팀워크 및 인간관계 요인이 낮게 나타난 것으로 보아 재해 발생 여부가 작업자 개인에 의해 결정될 수 있음을 나타낸다고 볼 수 있다. 인적요인의 세부요인 가중치는 다음 표와 같다.

Table 6. Weight analysis of the human

V	S_i			$V(M_2 \geq M_1)$						W
V5	0.260	0.357	0.476	S(V1) > S(V2)	1	S(V1) > S(V4)	1	S(V1) > S(V4)	1	0.728
V6	0.159	0.206	0.271	S(V1) < S(V2)	0.068	S(V1) < S(V4)	0.066	S(V1) > S(V4)	0.997	0.050
V7	0.177	0.229	0.300	S(V1) < S(V3)	1	S(V2) > S(V3)	0.807	S(V3) > S(V4)	1	0.173
V8	0.160	0.206	0.271	S(V1) < S(V3)	0.237	S(V2) < S(V3)	1	S(V3) < S(V4)	0.804	0.048

장비 및 설비 요인 간 가중치 분석결과 화종에 따른 적정 장비 투입이 0.345로 가장 높게 나타났고 개인 보호장구(0.263), 하역장비 및 설비의 점검(0.230)이 각 2, 3순위로 나타났고 안전설비 설치(0.162)가 가장 낮게 나타났다. 장비 및 설비 요인의 세부요인 가중치는 다음 Table 7과 같다.

Table 7. Weight analysis of Equipment & Facilities

V	S_i			$V(M_2 \geq M_1)$						W
V9	0.183	0.2401	0.316	S(V1) > S(V2)	0.903	S(V1) > S(V4)	1	S(V1) > S(V4)	1	0.230
V10	0.192	0.253	0.332	S(V1) < S(V2)	1	S(V1) < S(V4)	0.797	S(V1) > S(V4)	0.701	0.263
V11	0.217	0.290	0.386	S(V1) < S(V3)	0.667	S(V2) < S(V3)	0.761	S(V3) > S(V4)	1	0.345
V12	0.164	0.215	0.283	S(V1) < S(V3)	1	S(V2) < S(V3)	1	S(V3) < S(V4)	0.469	0.162

안전교육 세부요인의 가중치 분석 결과 작업안전훈련이 0.304로 가장 높게 나타났다. 다음으로 안전감독 시스템과 안전교육평가 시스템이 각 0.257, 0.249로 높게 나타났고 사내안전 중시 풍토는 0.190으로 가장 낮게 나타났다. 분석 결과는 다음 Table 8과 같다.

Table 8. Weight analysis of Safety education

V	S_i			$V(M_2 \geq M_1)$						W
V13	0.186	0.252	0.341	S(V1) > S(V2)	0.843	S(V1) > S(V4)	1	S(V1) > S(V4)	1	0.257
V14	0.205	0.277	0.370	S(V1) < S(V2)	1	S(V1) < S(V4)	0.783	S(V1) < S(V4)	0.623	0.304
V15	0.184	0.248	0.335	S(V1) > S(V3)	1	S(V2) < S(V3)	1	S(V3) > S(V4)	1	0.249
V16	0.165	0.221	0.298	S(V1) < S(V3)	0.977	S(V2) > S(V3)	0.819	S(V3) < S(V4)	0.805	0.190

기업환경 세부요인은 안전관리 체계가 0.301로 가장 높게 나타났으며 적성에 따른 배치가 0.265로 2순위로 높게 나타났다. 작업 매뉴얼과 재해 발생자 사후관리는 각각 0.221, 0.213으로 나타났다.

Table 9. Weight analysis of Corporate environment

V	S_i			$V(M_2 \geq M_1)$						W
V1	0.201	0.281	0.386	S(V1) > S(V2)	1	S(V1) > S(V4)	1	S(V1) > S(V4)	1	0.301
V2	0.167	0.235	0.331	S(V1) < S(V2)	0.735	S(V1) < S(V4)	0.709	S(V1) < S(V4)	0.949	0.221
V3	0.186	0.259	0.364	S(V1) > S(V3)	1	S(V2) < S(V3)	0.856	S(V3) > S(V4)	1	0.265
V4	0.151	0.225	0.337	S(V1) < S(V3)	0.879	S(V2) > S(V3)	1	S(V3) < S(V4)	0.818	0.213

4개의 대요인 가중치와 16개 세부 요인의 가중치를 바탕으로 철재하역 안전요인의 우선순위 도출 결과는 다음 Table 10과 같다.

Table 10. Weight analysis of Corporate environment

F	W(A)	V(B)		(A)×(B)	Rank
F1	0.490	V1	0.728	0.356	1
		V2	0.050	0.024	11
		V3	0.173	0.084	3
		V4	0.048	0.023	12
F2	0.204	V5	0.230	0.047	9
		V6	0.263	0.053	8
		V7	0.345	0.070	6
		V8	0.162	0.033	10
F3	0.292	V9	0.257	0.074	4
		V10	0.304	0.088	2
		V11	0.249	0.072	5
		V12	0.190	0.055	7
F4	0.015	V13	0.301	0.004	13
		V14	0.221	0.0032	15
		V15	0.265	0.0038	14
		V16	0.213	0.0031	16

가장 높은 우선순위를 기록한 요인으로는 인적요인의 작업자의 안전의식이다. 실제 인적요인에 의해 많은 사고가 발생하고 있어 높은 가중치를 나타낸 것으로 보이며 작업자의 작업집중도 요인도 3순위로 인적요인에서의 가중치가 높게 나타났다. 전체적으로 높은 가중치를 기록한 영역은 안전교육요인의 세부 요인들이며 이 또한 작업자의 안전의식에 영향을 미치는 영역이므로 높은 가중치를 기록한 것으로 보인다. 하위 우선순위를 포함하는 요인은 장비 및 설비, 기업환경인 것으로 나타났다.

5. 결론

해운항만 산업은 우리나라의 기간산업으로 국가 경제에 큰 영향을 미치고 있다. 그 중 항만하역 사업은 해운을 통해 운송되는 화물의 상하역에 필수적인 사업이므로 그 중요성이 크다. 하지만 다루는 화물의 양이 매우 방대하고 다양하여 그로 인한 사건 사고가 많이 야기 되고 있다. 본 논문에서는 항만하역 재해 발생 화물을 구분하고 그 중에서 가장 높은 비율로 재해가 발생하는 철재화물에 대해 분석을 실시했다.

분석결과 인적요인의 경우 대요인 가중치 중 가장 높은 가중치를 나타낸 요인이며 세부요인에서는 작업자의 안전의식(0.356)이 1위, 작업자의 작업집중도(0.084)가 3위로 나타났다. 인적요인은 재해와 가장 가까운 영역이다. 화물의 부피가 다양하고 불규칙한 화물에 대해서는 현장 작업자가 직접 와이어 로프를 설치하고 해제하는 등의 수작업 및 작업자의 수동 장비 운용이 필수적이며 작업자의 육안에 의해 후크 결속 여부 등이 확인 되어야 한다. 또한 모든 작업에 있어 작업자의 안전의식 부재는 재해로 이루어질 수 있는 매우 큰 가능성을 지니고 있어 위와 같은 결과가 도출된 것이라 볼 수 있다.

장비 및 설비 요인과 그 하위 요인의 경우도 상대적으로 낮은 순위로 나타난 요인들이 대부분이다. 철재하역 작업은 복잡한 시설이나 장비들을 요구하는 작업은 아닌 것으로 알려져 있다. 세부요인 가중치 비교에서 보았듯이 화종과 절차에 맞는 적정 장비 투입은 중요하게 고려되고 있기는 하지만 타 요인들에 비해 장비 및 설비에 대한 요인의 중요성은 크게 인식되지는 않는 것으로 나타났다.

안전교육요인(0.292)은 전체 대요인간의 가중치에서 2

위의 우선순위 중요도를 기록했고 전체가중치의 결과에서 세부요인은 안전감독 시스템이 4위, 작업안전훈련 2위, 안전교육평가 시스템 5위, 사내안전 중시 풍토 7위로 기록되었다. 이는 작업자 개인의 안전의식 상태 고취를 위한 노력이 재해 발생 여부에 중요한 영향을 끼칠 수 있을 것임을 나타내고 있고, 교육을 통해 재해 발생 감소에 긍정적 영향을 줄 수 있음을 나타내고 있다.

기업환경 요인은 가장 낮은 순위를 나타냈는데 대요인 비교 시 인적요인이나, 장비 및 설비, 안전교육에 비해 상대적으로 낮은 중요도를 기록하였다.

본 논문은 철재하역시 발생하는 재해요인에 대한 고찰과 분석을 통해 항만하역 재해 중 철재화물에 대한 중요성을 환기하고 실제 하역당사자들의 재해 요인에 대한 우선순위를 도출했다. 철재하역 작업자 또는 관리자는 분석결과를 반영하여 항만하역 안전관리를 제고할 수 있고, 재해 발생 예방과 재해발생률 감소할 수 있는 방안을 찾을 수 있다는 점에서 연구의 의미가 있다. 향후 철재화물 뿐만 아니라 컨테이너 화물 등 재해발생률이 높게 나타나는 화물을 대상으로 한 요인비교 및 표본을 확보하여 직급별 분류를 통해 집단간 인식차이를 비교하는 연구가 필요하다. 또한 철재화물 안에서도 코일, 파이프 등 다양한 모양의 철재화물이 존재하므로 철재화물에 포함되는 각 화물에 대한 연구가 향후 필요한 것으로 사료되며, 항만별 항만하역 안전도를 모니터링 할 수 있는 향후 연구가 이루어진다면 의미 있는 연구결과를 얻을 것으로 판단된다.

REFERENCES

[1] Statistics Korea. (2017). *Trade dependence.* http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_2KAA806&conn_path=I2

[2] G. T. Yeo. (2013). *Marine Transportation*, Seoul : Dunam.

[3] Korea Port Logistics Association. (2016). *Statistics and case examples of harbor cargo handling disaster*. Seoul. http://www.kopla.or.kr

[4] Y. W. Nam, & C. H. Lee. (2004). A Study on Analysis of Cargo Handling Disaster In Incheon Port. *Journal of the Korea Safety Management and Science, 6(3),* 1-14.

[5] Kim, D. J. (2016). A risk analysis of accidents for improving port logistics productivity - A case study of a container operator of a port -, *Productivity review, 30(4),* 53-79.

[6] Yeun, D. H., Choi, Y. S., & Kim, .S. G. (2014). An Assesment & Analysis of Risk Based on Accident Category for Container Terminals, *The Journal of shipping and logistics, 84,* 843-858.

[7] Park, Y. W., & Mok, J. Y. (2001). Safety Problems Occurring in Each process of Unloading Port Operation, *Research report, 12,* 1-171.

[8] Yoon, C. S., & H. S. Song. (2013). A study on the a Bill for Safety Management of Freight in Port", *Dankook Law Review, 37(2),* 419-440.

[9] Park, Y. W., & Mok., J. Y. (2002). Improvement of work environment management in unloading of port, *Research report, 2002(12),* 1-155.

[10] Lee, W. H. (2016). *A Study on Improvement of Cargo Handling Safety Management using AHP.* Master's thesis. Korea Maritime University Graduate School, Busan.

[11] Hsu, W. K. K., Huang, S. H. S., & Yeh, R. F. J. (2015). An assessment model of safety factors for product tankers in coastal shipping, *Safety Science, 76,* 74-81.

[12] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control, 8(3),* 338-353.

[13] Yoo, S. J., Cha, Y. D., & Yeo, G. T. (2017). A Study on the Success Factors of Port Operation for New International Passenger Terminal Using Fuzzy Theory. *Journal of Digital Convergence, 14(11),* 91-100.

[14] Sim, W. I., & Lee, S. Y. (2014). Customized Coupon Recommendation Model based on Fuzzy AHP Reflecting User Preference. *Journal of Digital Convergence, 12(5),* 395-401.

[15] Kim, B. H., Cha, Y. D., Ma, H. M., & Yeo, G. T. (2017). A Study on Operation factors the Used automobile logistics complex using Fuzzy-AHP, *The Journal of Digital convergence, 15(7).* 97-109.

[16] Joun, H. S., & Lee, S. Y. (2016). Fuzzy-AHP-Based Technology Evaluation Model for venture firms, *Journal of Digital Convergence, 14(7),* 363-371.

[17] Lee, C. S., Yoon, J. W., Chun, J. H., & Lee, S. J. (2017) A Study on the Prioritization of Medical Device using Fuzzy-AHP", *Management & Information Systems Review, 36(1),* 147-179.

[18] Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP, *European Jornal of Perational Research, 95(1996),* 649-655.

[19] Hetherington, C., Flin, R., & Mearns, K. (2006). Safety in shipping: *The human element. Journal of safety research, 37(4),* 401-411.

김 병 화(Kim, Byung Hwa) [정회원]

- 2014년 2월 : 서경대학교 물류유통경영학과(경영학사)
- 2016년 2월 : 인천대학교 동북아물류대학원(물류학석사)
- 2016년 9월 ~ 현재 : 인천대학교 동북아 물류대학원 박사과정
- 2003년 10월 ~ 현재 : ㈜대우로지스틱스 상무이사
- 관심분야 : 해운물류, 항만물류, Fuzzy methodology
- E-Mail : seasky_land@daum.net

박 성 훈(Park, Sung Hoon) [학생회원]

- 2016년 2월 : 강릉원주대학교 국제통상학과(국제통상학사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 동북아물류대학원 석사과정
- 관심분야 : 해운물류 항만물류, Fuzzy methodology
- E-Mail : psh5512@gmail.com

공 정 민(Gong, Jeong Min) [학생회원]

- 2016년 2월 : 백석대학교 경영학과(경영학사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 동북아물류대학원 석사과정
- 관심분야 : 해운물류, 항만물류, Fuzzy methodology, IPA
- E-Mail : jmg2203@naver.com

여 기 태(Yeo, Gi Tae) [정회원]

- 2007년 2월 : University of Plymouth (경영학 석사, 경영학박사)
- 2008년 9월 ~ 현재 : 인천대학교 교수
- 관심분야 : 해운물류, 항만물류, System Dynamics, Fuzzy methodology
- E-Mail : ktyeo@incheon.ac.kr