

# 회색관계분석 및 엔트로피법을 이용한 항만하역근로자의 재해위험성 평가

† 장운재

† 목포해양대학교 해상운송학부 교수

## An Evaluation of Accidents Risk for Cargo Handling Workers in Korean Ports Using the Grey Relational Analysis & Entropy Method

† Woon-Jae Jang

† Professor, Division of Maritime Transportation, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

**요 약** : 최근 항만하역근로자의 인명사고가 지속적으로 발생함에 따라 사고관리에 대한 필요성이 증대되고 있다. 이 연구는 GRA법과 Entropy법을 이용하여 우리나라 항만에 대해 하역근로자의 재해 위험성을 평가하고 위험성이 높은 항만을 결정하기 위한 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위해 먼저 우리나라 항만을 11개의 대상항만으로 구분하고, 브레인스토밍법으로 항만하역근로자 재해 위험성 평가를 위한 평가항목을 추출한다. 두번째는 GRA법을 이용하여 대상항만의 회색관계수를 산정한다. 마지막으로 엔트로피법을 이용하여 산출한 평가항목의 중요도와 GRA법의 회색관계수를 결합하여 회색관계등급을 산정하여 재해 위험성의 우선순위를 결정한다. 따라서 제안된 모델에서는 항만하역근로자수, 50세 이상 항운노조원수, 총근로시간, 하역장비수, 철재화물량, 총화물량, 사상자수, 사망자수 등 8개의 평가 항목을 추출되었다. 그 결과 부산항의 재해 위험성이 가장 높게 나타났으며 이에 따라 우선적으로 재해위험성을 경감하는 방안이 검토되어야 할 것이다.

**핵심용어** : 항만하역근로자, 재해위험성, 엔트로피법, 중요도, 회색관계분석(GRA)

**Abstract** : In recent years, an increase in deaths and injuries of port cargo handling workers, has raised the need for more effective accident management. The purpose of this study was to evaluate the accident risk for port cargo handling workers and assess ports with high accident risk within the Korean alternative ports using the Entropy & GRA (Grey Relational Analysis). To achieve this purpose, first, 11 Korean ports were selected and the evaluative factors for their outranking evaluation by brainstorming were extracted. Second, the Grey Relational Coefficient of 11 alternative ports was calculated using the GRA. This paper, finally, determined the priority orders of accident risk through calculation of the Grey Relational Grade as the link Grey Relational Coefficient method and the weights of the evaluative factors were calculated by using the Entropy method. In the proposed model, eight criteria such as cargo worker, old cargo worker, work hours, facilities environment, steel cargo volumes, cargo volumes, injury numbers, and death numbers were collected. Busan port was identified as highest accident risk port, and so it should be a top priority to develop a plan to mitigate the risk.

**Key Words** : port cargo handling worker, accident risk, Entropy method, weights, Grey Relational Analysis

### 1. 서 론

최근 항만하역근로자의 인명사고가 지속적으로 발생함에 따라 해양수산부에서는 항만하역 시 발생하는 사고위험을 줄이고자 2019년 항만물류 안전사고 예방 종합대책을 발표하였다. 이 대책의 주요내용은 화종별 특수성을 반영한 맞춤형 안전대책의 마련과 항만 안전 통합관리·평가체계 구축, 근로자 안전교육 강화 등이다. 특히 항만운송사업법을 개정하여 부두운영회사 안전평가 제도를 도입하여 항만근로자의 산업재해발생정도(산재급여일수)를 평가에 반영함으로써 항만하역근로자의 안전성이 점진적으로 높아질 것으로 예상된다. 그러나 항만하역근로자의 재해발생을 감소

시키기 위해서는 재해발생의 원인에 대한 정확한 진단과 그에 따른 해결책의 제시하는 미시적 관점의 접근과 함께 항만하역근로자의 재해 위험성을 종합적으로 평가하기 위한 지표를 개발하고 전체 항만을 대상으로 평가하여 취약점을 도출하는 등 체계적인 관리하는 거시적 관점의 접근이 필요하다. 그동안 항만하역근로자의 재해 위험 요인의 인자를 선정하고, 주요요인의 우선순위를 선정하는 연구는 다수 이루어 졌다(Kim et al., 2018). 그러나 추출된 요인을 기초로 대체안 평가로 이어지는 경우는 부족하였다.

본 연구는 우리나라 11개 항만을 대상으로 항만하역근로자의 재해위험성을 평가한 연구이다. 이를 위해 평가항목은 객관적인 평가를 위해 정량적으로 자료 확보가 가능한 자료로 선정

† 중신회원, jwj98@mmu.ac.kr 061)240-7183

하였다. 그러나 항만하역근로자의 재해 위험성 평가에는 평가 요소와 평가항목간의 중복성 또는 자료자체가 가지는 한계성 등으로 인하여 불확실하고 불완전한 자료들이 포함되어 있다. 최근 이러한 불확실성과 불완전성이 포함된 자료를 평가하는 도구로 회색관계분석(Grey Relational Analysis)이 경영학, 공학 등에서 많이 사용되고 있어 본 연구에서도 이용한다(Chan and Tong, 2007; Sarraf and Nejad, 2020). 또한 평가문제에 있어 대부분 평가항목별 중요도가 다르다. 중요도를 객관적으로 산출하는 방법에는 AHP법(Saaty, 1977)과 엔트로피법 등이 널리 이용되는데 AHP법은 전문가의 주관에 반영하여 일관성 검증 등을 통해 중요도를 객관화하고, 엔트로피법은 주어진 데이터에 의해서만 중요도를 계산하며 엔트로피자체가 불확실성을 고려하는 객관적으로 검증된 방법이다. 본 연구의 항만하역근로자의 재해위험성 평가의 평가항목에는 주관적인 데이터가 없고, 자료의 불확실성이 존재하므로 엔트로피법을 이용하여 중요도를 산출하고자 한다. 따라서 본 연구의 항만하역근로자의 재해위험성 평가는 불확실하고 불완전한 자료를 평가에 반영하기 위해 엔트로피법과 GRA법을 이용하고자 한다.

선행연구로 국내에서는 Kim et al.(2018)이 F-AHP법을 이용하여 벌크화물 특히 철재화물 하역 안전요인 분석에 관한 연구하였다. Keum et al.(2001)은 AHP법을 이용하여 연안해역의 항해안전성을 평가하였다. USCG(2015)는 PAWSA모형을 개발하여 미국항만 및 수로의 안전성을 평가하였다. 그러나 Kim et al.(2018)은 평가항목은 개발하였으나 실제 항만을 대상으로 평가는 하지 못하였고, Keum et al.(2001)의 제안모델과 USCG(2015)의 PAWSA모델은 연안 또는 수로를 대상으로 안전성을 평가한 것으로 평가모델을 항만하역근로자를 대상으로 적용하기에는 어려움이 있다. 이상의 연구와 모델은 본 연구의 항만하역근로자의 재해위험성 평가를 위한 평가항목의 구성에는 유용한 참고자료가 되지만 실제 항만을 평가한 본 연구와는 근본적으로 차이가 있다. 또한 본 연구에서 이용한 GRA법 및 엔트로피법을 이용한 평가는 국내 및 해외 해양분야에서의 적용사례가 부족하므로 유용한 평가기법이 될 것이다.

## 2. 항만근로자 재해 위험성 평가 모델

### 2.1 엔트로피법

1948년 Shannon에 의해 처음 제안된 엔트로피의 개념은 정보의 양의 불확실성을 측정하기 때문에 불확실성이 있는 자료를 평가하는데 이용한다(Sarraf and Nejad, 2020). 엔트로피 기법은 항만하역근로자 재해위험성 평가와 같이 대안과 속성을 많이 포함하는 평가문제에 대해 비교적 이해하기 쉬운 정보이론 방법을 적용한 것이다. 정보이론은 각 항목의 빈도수를 기반으로 밀집도가 높은 속성을 발견하여 가중치를 높게 부여하는 방법이다(Seong and Byun, 2016). 이는 대상항들 간의 차이

가 큰 기준은 중요한 기준이고, 대상항들 간의 차이가 적은 기준은 덜 중요한 기준임을 의미한다. 원자료로 정규화 행렬  $P_{ij}$  을 작성하면

$$P_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij}; \forall i, j \quad (1)$$

이다. 평가항목의 엔트로피  $E_j$ 는

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m [P_{ij} \log P_{ij}], \quad (k = 1/\log m; \forall j) \quad (2)$$

이다. 평가항목의 중요도를 산출하기 위하여 다양성의 정도  $d_j$  를 사용하는데, 다양성의 정도는

$$d_j = 1 - E_j; \forall j \quad (3)$$

이다. 이 값을 각 평가항목에 대하여 정규화하면

$$w_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j; \forall j \quad (4)$$

이 되고 이 값이 평가항목의 중요도가 된다.

### 2.2 회색관계분석(GRA)

의사결정과정에는 많은 고려요소가 있어 이들 모든 정보를 고려한다는 것은 불가능하므로 회색과정을 만들어야 한다고 Deng(1989)이 주장하고, 회색이론을 제안하였다. 이 이론에 따르면 모든 시스템은 모든 것을 알고 있는 흰색시스템, 완전히 모르는 검정색시스템, 완전하게 명확하지 않은 회색시스템 등 3개의 시스템으로 구성된다. 이 시스템을 평가하는 회색관계분석(GRA)는 불확실하고 불완전한 자료가 있는 경우에 평가하는 도구로 알려져 있다. GRA법도 Deng이 제안하였으며 회색시스템이론의 부분으로 가장 광범위하게 이용된다(Chan and Tong, 2007; Sarraf and Nejad, 2020). 회색관계분석법에 의한 대체안 선정은 다음 4단계의 절차에 의해 수행된다.

- 1단계 : 자료의 정규화

자료의 정규화는 원자료의 배열을 비교 가능한 배열로 변환하는 것으로 GRA에서는 회색관계세대(Grey Relational Generation)라고 한다. 이때 자료 배열의 특성에 따라 다른 공식을 사용하는데 값이 높을수록 선호된다면 식(5)를 이용한다.

$$x^*(k) = \frac{x_i^0 - \min x_i^0(k)}{\max x_i^0 - \min x_i^0(k)}, \quad i = 1, \dots, m; k = 1, \dots, n. \quad (5)$$

여기서  $m$ 은 평가항목의 수,  $n$ 은 대체안의 수,  $x_i^0(k)$ 는 원자료의 배열,  $x_i^*(k)$ 는 자료의 정규화후 배열,  $\min x_i^0(k)$ 는  $x_i^0(k)$ 의 가장 작은 값이다.

- 2단계 : 참조배열의 정의

자료의 정규화 후 모든 값은 0과 1사이의 범위가 되는데 참조배열 값은 높을수록 선호되는 경우에는 1이 된다.

- 3단계 : 회색관계계수 산출

회색관계계수(Grey Relational Coefficient)는 참조배열과 다른 배열간 회색관계의 정도로 식(6)과 같이 산출한다.

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta \min + \rho \Delta \max}{\Delta_{0i}(k) + \rho \Delta \max} \quad (6)$$

여기서  $\Delta_{0i}$ 는 비교배열과 참조배열의 차이배열이다.

$$\Delta_{0j} = |x_0^*(k) - x_i^*(k)| \text{ 이고,}$$

$$\Delta \min = \min \min |x_0^*(k) - x_j^*(k)|; \forall j \in i \forall k$$

$$\Delta \max = \max \max |x_0^*(k) - x_j^*(k)|; \forall j \in i \forall k$$

이다.  $x_0^*$ 은  $k$ 의 참조배열,  $x_i^*$ 는  $k$ 의 비교배열,  $\rho$ 는 분류계수로 정규화된 참조 급수와 정규화된 비교 급수사이에 더 좋은 구별을 만드는데 도움을 주는 것으로  $\rho \in [0,1]$  사이에 값을 주는데 통상적으로는 0.5를 적용하므로 본 연구에서도 이 값을 적용한다.

- 4단계 : 회색관계등급 결정

회색관계등급(Grey Relational Grade)는 참조배열과 비교배열과 같은 2배열간의 유사성을 수치적으로 측정하여 결정하며 이 등급의 범위는 0과 1사이이다. 평가항목의 중요도가 동일하면 회색관계계수의 평균을 등급으로 하지만 본 연구에서는 중요도가 동일하지 않으므로 회색관계등급의 정의는 식(7)과 같이 된다.

$$\gamma_i = \sum_{k=1}^n \beta_k \xi_i(k) \quad (7)$$

여기서  $\beta_k$ 는 엔트로피법으로 구한  $k$ 항목의 정규화된 중요도

( $w_j$ )이고  $\sum_{k=1}^n \beta_k = 1$ 이 된다. 참조배열  $x_0(k)$ 는 비교배열  $x_i(k)$ 가 도달할 수 있는 최고의 수행으로 비교배열이 가장 높은 회색관계등급이라면 그 비교배열이 참조배열에 가장 근접하므로 최적 대체안이 된다.

### 2.3 항만하역근로자 재해위험성 평가 모델 절차

항만근로자 재해위험성 평가는 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 크게 3단계의 절차에 의해 수행된다.

첫 번째는 모든 평가항목을 결정하는 것으로 평가목표와 평가항목을 선정한다.

두 번째는 엔트로피법을 이용하여 엔트로피를 산출하고 평가항목의 중요도를 산출한다.

마지막 단계에는 GRA법을 이용하여 대체안의 순위를 결정한다. 이때 GRA법을 이용하여 참조배열 정의 및 회색관계계수를 산출한다. 그리고 엔트로피법에 의한 중요도와 회색관계계수를 결합하여 회색관계등급을 결정하고 가장 높은 값으로 순위를 결정할 수 있다.

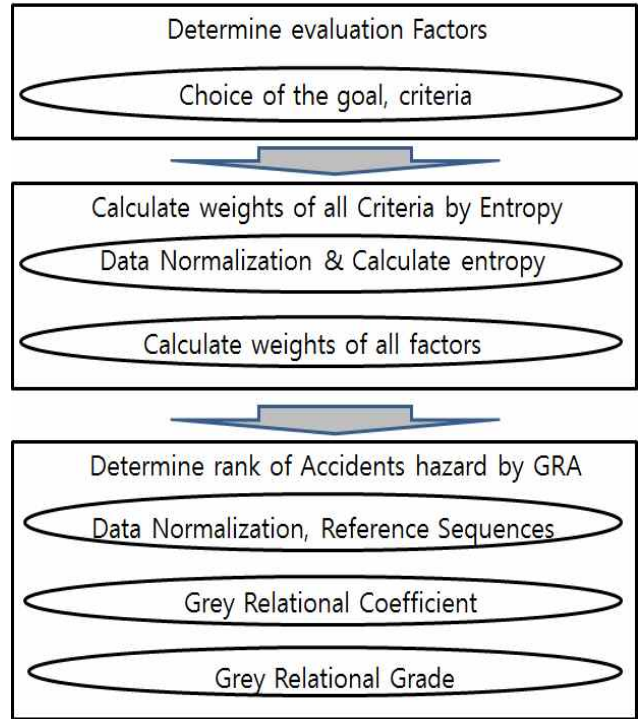


Fig. 1 The evaluation model of accidents risk for cargo handling worker

## 3. 항만하역근로자 재해위험성 평가모델 구성

### 3.1 항만하역근로자 사고 분석

2018년 항만하역재해통계자료에 나타난 사고 요인은 Table 2와 같다(KPLA, 2019).

Table 2 Accidents rate by each category

Category	Accidents rate by main type of accidents
Cargo types	steel(22.2%), bulk(17.2%), container(8.1%), refrig.(8.1%), general cargo(8.1%), grain(3%), box(3%), plywood(2%), goods(1%), wood(1%)
Original cause materials	cargo(23.2%), cargo's gear(19.2%), ship's gear(9.1%)
Ages of the dead	over 50 age(40%), 41-50 age(40%), 31-40 age(20%)
Careers years of the dead	over 10 years(51.5%), 5-10 years(18.2%), 1-3 years(14.1%), 3-5 years(11.1%), less 1 year(5.1%)

화물에는 철제화물 사고가 22.2%로 가장 높고, 산적화물 17.2%, 컨테이너 8.1%, 잡화 8.1%, 냉동 8.1% 등으로 나타났다. 사고의 원인으로는 하역장비에 의한 사고가 28.3%로 가장 높게 나타났다. 항운노조원의 사고로 인한 사망자 연령은 50대 이상이 40%, 41-50세가 40%, 근속연수는 10년 이상 51.5%로 가장 높게 나타났다. 따라서 사고의 주요한 원인이 되는 항만장비, 가장 높은 빈도로 사고가 나고 있는 철제화물, 사망사고 중 비교적 높은 빈도를 나타내는 50세 이상의 항운노조원을 재해 위험성 평가의 평가항목으로 포함하고자 한다.

### 3.2 선행연구 검토

본 연구에서는 Brainstorming법을 이용하여 평가항목의 추출 및 선정하기 위해 안전성 평가에 대한 선행연구를 Table 3과 같이 검토하였다.

Table 3 Recent studies on Maritime safety and risk

Author	Adoption factors
Kim et al. (2018)	Human, Environment & Facilities, Safety education, Corporate environment
Cha & Noh, (2016)	Safety education
KOSHA(2005)	Man, Machine, Media, Management
Keum et al. (2001)	Pre-monitoring of Red Tide, Maritime Search(including Monitoring of Maritime Accident), Measurement of Fisheries
USCG(2015)	Fleet Composition, Traffic Condition, Navigational Conditions, Waterway Configuration, Immediate Consequences, Subsequent Consequences

Kim et al.(2018)은 평가항목으로 인적요인, 환경과 시설요인, 안전교육요인, 기업환경요인 등으로 명시하였다. Cha and Noh(2016)는 컨테이너터미널에서 안전교육이 사고에 미치는 영향을 분석하였다. KOSHA(2005)는 위험성평가를 위한 유해/위험요인을 인간, 기계, 물질/환경, 관리 등의 요인으로 구분하였다. 또한 Keum et al.(2001)은 연안해역의 항행안전성을 평가하였는데 여기서 평가항목은 기상요인, 항로복잡성요인, 교통요인, 해양사고요인, 위험화물요인 등으로 구성하였다. 이때 위험화물은 사고발생시 피해의 정도에 대해 고려하였다. USCG(2015)는 VTS설치를 위해 수로관련 당사자를 소집하여 미국해안에 대한 평가를 수행하면서 항만과 수로의 안전성 평가(PAWSA) 모델을 개발하였고, LA항만 등 미국 항만을 평가하였다. 이 평가에서 평가항목은 선박구성요건, 교통조건, 항행기상조건, 항로조건, 직접피해요인, 간접피해요인 등을 구성하였다.

### 3.3 평가항목 추출

이상의 연구를 종합하면 항만근로자나 선박운항자 등 인적요인, 선박이나 장비 등 물적요인 및 인적/물적 요인을 제외한 기업외부환경인 항로복잡성, 기상조건 등 외부 환경적 요인, 사고 결과 또는 사고로 인하여 발생하는 인명피해 등의 피해 정도 요인 등 4가지의 요인으로 구분된다. Table 2의 사고 원인분석에 따른 주요 요인과 Table 3의 선행연구의 요인 등을 고려하여 Criteria가 구성된다. 이에 따라 본 연구에서 Criteria는 항만하역근로자수, 50세 이상 항운노조원수, 총근로시간, 하역장비수, 철제화물량, 총화물량, 사상자수, 사망자수 등 6개의 원인과 2개의 결과 등 총 8개로 구성하였다. 이들 요인의 객관적인 평가를 위해서는 평가항목에 대하여 현실적으로 자료 수집이 가능해야 하는데 현재 항만하역 근로자의 재해통계는 항만물류협회의 통계가 유일하므로 이 자료를 이용하여 각 Criteria의 항목을 Table 4와 같이 정의하였다.

Table 4 Criteria of accidents risk for cargo handling worker

Criteria	Definition	Remarks		
Cargo worker(CW)	A number of cargo handling worker	Human	Cause	
Old cargo worker(OW)	A number of employer in over 50 years old			
Work hours(WH)	A work hours per employer			
Facilities Environment(FE)	A number of cargo handling gear	Facilities		
Steel cargo (SC)	A volumes of the steel cargos	Environment		
Cargo volumes(CV)	A volumes of the total cargos in each ports unless the steel cargos			
Injury(IN)	A number of injury by accident	Accidents Consequences		Result
Death(DN)	A number of death by accident			

### 3.4 대상 항만

대상항만은 Table 5와 같이 한국항만물류협회의 재해통계시 집계하는 항만분류 자료를 이용한다.

Table 5 Details in alternative port

alternative port	Details	alternative port	Details
Busan(BS)	Busan	Incheon(IC)	Incheon
Mokpo (MP)	Mokpo, Wando, Nohhwado	Yeosu/Gwangyang(YG)	Yeosu, Gwangyang
		Pohang(PH)	Pohang
Pyeongtaek&Dangjin (PD)	Pyeongtaek, Dangjin	Gunsan/Daesan(GD)	Gunsan, Daesan, Zhanghang, Boryeong, Taean
Ulsan(US)	Ulsan	Jeju(JJ)	Jeju, Segipo
Masan (MS)	Masan, Jinhae, Tongyoung, Samchenpo, Okpo, Gohyun, Hadong	Donghae (DH)	DongHae, Mukho, Samchek, Okgye, Sokcho, Hosan

이에 따라 부산지역은 부산항, 인천지역은 인천항, 평택·당진지역은 평택·당진항, 울산지역은 울산항, 마산지역은 마산, 진해, 통영, 삼천포, 고현, 옥포, 하동 등 7개의 항, 군산·대산지역은 군산, 장항, 보령, 대산, 태안 등 5개의 항, 목포지역은 목포, 완도, 노화도 등 3개의 항, 여수·광양지역은 여수, 광양항 등 2개의 항, 포항지역은 포항항, 동해지역은 동해, 묵호, 삼척, 옥계, 속초, 호산 등 6개항, 제주지역은 제주, 서귀포항 등 2개항을 대상항만으로 하였다.

## 4. 항만하역근로자 재해위험성 평가

### 4.1 항만하역근로자 재해 자료 분석

2018년 항만하역재해통계에 따른 평가항목별 각 대상항만에 대한 원자료는 Table 6과 같다.

Table 6 Determined initial data for analysis  
(Units: People; Number; 1,000hour; 10,000R/T)

	DN	IN	WH	CW	OW	CV	SC	FE
BS	13	1	14,142	6,588	394	45,843	304	6,942
IC	12	1	5,020	2,447	34	15,730	631	1,827
US	14	1	2,530	1,313	56	10,165	1,350	733
YG	2	0	3,449	1,024	224	20,084	203	574
PH	13	0	3,234	1,521	188	28,843	1,491	666
PD	2	0	2,778	1,321	273	4,882	1,174	1,320
MS	5	0	2,552	1,075	182	3,050	460	610
GD	15	1	1,808	705	187	14,861	40	769
MP	13	0	1,519	655	95	2,374	76	315
DH	5	0	1,498	634	104	4,753	0.2	315
JJ	0	1	1,235	508	102	1,549	25	124

사상자수는 군산/대산항이 15명으로 가장 높고, 제주항이 0명으로 가장 낮은 것으로 나타났다. 사망자수는 부산, 인천, 울산, 군산/대산, 제주항이 각각 1명이며 여수/평양, 포항, 평택/대산, 마산, 목포, 동해항이 0명으로 나타났다. 근로시간은 부산항이 14,142천 시간으로 가장 높고, 제주가 1,235천 시간으로 가장 낮은 것으로 나타났다. 항만근로자수(50세이상 항운노조원수 제외)는 부산항이 6,588명으로 가장 높고, 제주항이 508명으로 가장 낮은 것으로 나타났다. 50세 이상 항운노조원수는 부산항이 394명으로 가장 높고, 울산항이 56명으로 가장 낮은 것으로 나타났다. 화물량(철제화물 제외)은 부산항이 45,843만 R/T로 가장 높고, 제주항이 1,549만 R/T로 가장 낮은 것으로 나타났다. 철제화물은 포항항이 1,491만 톤으로 가장 높고, 동해항이 0.2만 톤으로 가장 낮게 나타났다. 항만하역장비는 부산항이 6,942대로 가장 많고, 제주항이 124대로 가장 적은 것으로 나타났다. 또한 50세 이상 항만하역근로자수는 항운노조원의 연령만 자료가 제공이 되어 이 인원만을 평가에 반영하였다.

4.2 엔트로피법을 이용한 중요도 산정

평가항목의 중요도를 산정하기 Table 6을 바탕으로 식(1)을 이용하여 Table 7과 같은 정규화 행렬  $P_{ij}$ 를 구성하였다.

Table 7 Normalization

	DN	IN	WH	CW	OW	CV	SC	FE
BS	0.138	0.200	0.356	0.370	0.214	0.301	0.053	0.489
IC	0.128	0.200	0.126	0.138	0.018	0.103	0.110	0.129
US	0.149	0.200	0.064	0.074	0.030	0.067	0.235	0.052
YG	0.021	0.000	0.087	0.058	0.122	0.132	0.035	0.040
PH	0.138	0.000	0.081	0.085	0.102	0.190	0.259	0.047
PD	0.021	0.000	0.070	0.074	0.148	0.032	0.204	0.093
MS	0.053	0.000	0.064	0.060	0.099	0.020	0.080	0.043
GD	0.160	0.200	0.045	0.040	0.102	0.098	0.007	0.054
MP	0.138	0.000	0.038	0.037	0.052	0.016	0.013	0.022
DH	0.053	0.000	0.038	0.036	0.057	0.031	0.000	0.022
JJ	0.000	0.200	0.031	0.029	0.055	0.010	0.004	0.009

Table 7을 기초로 식(2)를 이용하여 각 평가항목별 엔트로피  $E_j$ 를 산정하였다. 단, k값은 11개의 항만이 대상이므로 0.417이 된다. 식(3)으로 다양성의 정도  $d_j$ 를 계산하고, 식(4)를 이용하여 평가항목간 중요도  $w_j$ 를 Table 8과 같이 산출하였다.

Table 8 Calculation of entropy and weight

	DN	IN	WH	CW	OW	CV	SC	FE
E	0.891	0.671	0.867	0.851	0.926	0.832	0.771	0.736
d	0.109	0.329	0.133	0.149	0.074	0.168	0.229	0.264
w	0.075	0.226	0.091	0.102	0.051	0.115	0.158	0.181

평가항목의 중요도는 사망자수 0.226, 하역장비 0.181, 철제화물 0.158, 화물량 0.115, 항만하역근로자수 0.102, 근로시간 0.091, 부상자수 0.075, 50세 이상 항운노조원수 0.051 순으로 높게 나타났다. 8개의 평가항목 중 사망자수의 중요도가 가장 높게 나타났는데 PAWSA 모델에서도 각 항만별 다양한 결과가 도출되었지만 로스앤젤레스항의 2015년 결과에서 사고로 인한 항만의 피해규모의 중요도가 다른 평가항목의 중요도보다 가장 높게 나타났다. 또한 Keum et al.(2001)의 연구에서도 사고결과인 해양사고발생건수의 평가항목의 중요도가 가장 높게 나타났다. 한편 평가항목 중 부상자수는 0.075로 매우 낮게 나타났고, 인적요인의 가중치가 Kim et al.(2018)의 연구에서는 평가항목 중 가장 높게 나타났으나 본 연구의 항만하역근로자수의 중요도는 0.102로 다른 요인에 비해 그다지 높지 않게 나타났다.

4.3 회색관계계수 분석

Table 6의 원자료를 식(5)로 정규화하고 식(6)을 이용하여 회색관계계수행렬을 Table 9와 같이 작성하였다.

Table 9 Grey relational coefficient

	DN	IN	WH	CW	OW	CV	SC	FE
BS	0.789	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.386	1.000
IC	0.714	1.000	0.414	0.423	0.333	0.424	0.464	0.400
US	0.882	1.000	0.357	0.366	0.347	0.383	0.841	0.354
YG	0.366	0.333	0.376	0.353	0.514	0.462	0.367	0.349
PH	0.789	0.333	0.372	0.375	0.466	0.566	1.000	0.352
PD	0.366	0.333	0.362	0.366	0.598	0.351	0.702	0.377
MS	0.429	0.333	0.358	0.355	0.459	0.341	0.419	0.350
GD	1.000	1.000	0.343	0.341	0.465	0.417	0.339	0.356
MP	0.789	0.333	0.338	0.339	0.376	0.338	0.345	0.340
DH	0.429	0.333	0.338	0.338	0.383	0.350	0.333	0.340
JJ	0.333	1.000	0.333	0.333	0.381	0.333	0.337	0.333

11개의 항만중 부산항이 사망자수, 근로시간, 항만근로자수, 50세 이상 항운노조원수, 화물량, 하역장비 등의 항목에서 가장 높은 값을 나타내고 있다. 모든 평가항목은 숫자가 높을수록 위험성이 높기 때문에 참조배열은 1이 된다.

4.4 회색관계 등급결정

식(7)을 이용하여 엔트로피의 중요도와 결합한 회색관계 등급을 Table 10과 같이 결정하였다.

Table 10 Grey relational grade by all criteria

	DN	IN	WH	CW	OW	CV	SC	FE	$\gamma_i$	rank
W	0.075	0.226	0.091	0.102	0.051	0.115	0.158	0.181	1.000	
BS	0.059	0.226	0.091	0.102	0.051	0.115	0.061	0.181	0.887	1
IC	0.054	0.226	0.088	0.043	0.017	0.049	0.073	0.073	0.572	3
US	0.066	0.226	0.033	0.037	0.018	0.044	0.133	0.064	0.621	2
YG	0.027	0.075	0.034	0.036	0.026	0.053	0.058	0.063	0.374	9
PH	0.059	0.075	0.034	0.038	0.024	0.065	0.158	0.064	0.517	5
PD	0.027	0.075	0.033	0.038	0.030	0.040	0.111	0.068	0.423	7
MS	0.032	0.075	0.033	0.036	0.023	0.039	0.066	0.064	0.369	10
GD	0.075	0.226	0.031	0.035	0.024	0.048	0.053	0.065	0.557	4
MP	0.059	0.075	0.031	0.035	0.019	0.039	0.054	0.062	0.374	8
DH	0.032	0.075	0.031	0.035	0.019	0.040	0.053	0.062	0.347	11
JJ	0.025	0.226	0.030	0.034	0.019	0.038	0.053	0.060	0.487	6

Table 10에서 부산항이 0.887로 가장 높게 나타났고, 그 다음으로는 울산항이 0.621로 부산항과 차이가 0.266으로 크며, 인천항 0.572, 군산/대산항 0.557, 포항 0.517, 제주 0.487, 평택/대산 0.423, 목포항 0.374, 여수/광양 0.374, 마산항 0.369, 동해항 0.347 순으로 나타났다.

또한 6개의 재해 위험성 원인요소만으로 평가항목을 구성하여 평가한 결과 Table 11에서 보이는 바와 같이 부산항이 0.862로 가장 높게 나타났다. 이때 평가항목의 엔트로피 중요도도 6개의 재해 위험성 원인요소에 대해 재산출하였는데 그 결과 철재화물이 0.260으로 가장 높게 나타났다. 한편 1위인 부산항을 제외한 나머지 항만들의 순위는 8개의 원인과 결과요소로 구성하여 평가한 결과와는 순위차이가 있다.

Table 11 Grey relational grade by criteria of risk cause

	WH	CW	OW	CV	SC	FE	sum	rank
W	0.131	0.147	0.073	0.165	0.225	0.260	1.000	
BS	0.131	0.147	0.073	0.165	0.087	0.260	0.862	1
IC	0.054	0.062	0.024	0.070	0.105	0.104	0.419	5
US	0.047	0.054	0.025	0.063	0.190	0.092	0.470	3
YG	0.049	0.052	0.037	0.076	0.083	0.091	0.388	6
PH	0.049	0.055	0.034	0.093	0.225	0.091	0.548	2
PD	0.047	0.054	0.044	0.058	0.158	0.098	0.459	4
MS	0.047	0.052	0.033	0.056	0.095	0.091	0.374	7
GD	0.045	0.050	0.034	0.069	0.076	0.092	0.366	8
MP	0.044	0.050	0.027	0.056	0.078	0.088	0.343	9
DH	0.044	0.050	0.028	0.058	0.075	0.088	0.343	10
JJ	0.044	0.049	0.028	0.055	0.076	0.087	0.338	11

따라서 항만근로자 재해위험성이 가장 높게 평가된 부산항에 재해 위험성을 경감시킬 수 있는 방안에 대한 우선적인 대책마련이 시급하다.

4.5 민감도 분석

분류계수  $\rho$  값을 0.1부터 0.9까지 변경하면서 각 항만별 우선순위의 변화를 Fig. 2와 같이 나타냈다.

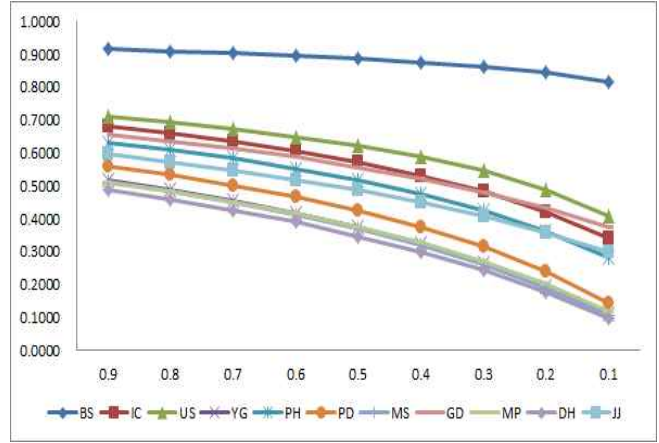


Fig. 2 Sensitivity analysis by changing  $\rho$ 's value

$\rho$  값이 증가할수록 회색관계등급 값이 증가하였고,  $\rho$  값이 감소할수록 회색관계등급 값이 감소하였다.  $\rho$  값이 0.3이하로 갈수록 여수/광양항과 목포항처럼 회색관계등급 값의 차이가 크지 않은 항만은 순위변동이 나타났다. 따라서  $\rho$  값을 낮게 설정할 경우 평가항목의 중요도 값이 약간 변화되면 등급 값이 크지 않은 항만은 순위 역전이 발생할 수 있으므로 중요도 값에 여유를 고려하여  $\rho$  값은 충분히 크게 하여 설정할 필요가 있다.

5. 결 론

최근 해양수산업에서는 항만근로자의 재해 위험성을 예방하기 위하여 항만물류 안전사고 예방 종합대책을 발표하였고 부두운영회사에 안전 평가 제도를 도입하였다. 이에 따라 본 연구에서는 항만근로자의 재해 위험성을 체계적으로 평가할 수 있도록 불확실성을 고려한 Entropy법 및 GRA법을 이용한 위험성 평가 모델을 개발하였고 우리나라 11개 항만에 적용하여 재해 위험성 순위를 결정하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 평가항목은 항만하역근로자수, 50세 이상 항운노조원수, 총근로시간, 하역장비수, 철재화물량, 총화물량, 사상자수, 사망자수 등 8개의 항목을 선정하였다.
2. 평가항목의 불확실성을 고려한 엔트로피법을 이용하여 평가항목의 중요도를 산출한 결과 사망자수 0.226, 하역장비 0.181, 철재화물 0.158, 화물량 0.115, 항만하역근로자수 0.102, 근로시간 0.091, 부상자수 0.075, 50세 이상 항운노조원수 0.051 순으로 중요도가 높게 나타났다.

3. 엔트로피법의 중요도와 회색관계분석법을 이용하여 재해 위험성 순위 평가결과 부산항 0.887, 울산항 0.621, 인천항 0.572, 군산/대산항 0.557, 포항 0.517, 제주 0.487, 평택/대산 0.423, 목포항 0.374, 여수/광양 0.374, 마산항 0.369, 동해항 0.347 순으로 높게 나타났다. 특히 부산항은 6개의 원인으로 평가항목을 재구성하여 GRA로 평가한 결과에서도 위험성이 가장 높게 나타났다. 따라서 항만근로자 재해위험성이 가장 높게 평가된 부산항에 재해 위험성을 경감시킬 수 있는 대책마련이 우선되어야 한다. 본 연구는 우리나라 항만의 항만근로자의 재해 위험성을 평가하기 위해 평가항목을 추출하고, 엔트로피법 및 GRA법을 이용하여 재해 위험성 순위를 평가하였다는데 의의가 있다. 다만 자료의 제약으로 다양한 원인요소를 평가에 반영하지 못한 한계가 있다. 향후 연구에서는 항만별 근로자의 안전의식을 반영하고 취급 화물별로 재해 위험성을 평가하는 등으로 연구를 확장할 필요가 있다.

## References

- [1] Cha, S. H. and Noh, C. K.(2016), “The Accidents analysis for safety training in the container terminal”, *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 40, No. 4, pp. 197-205.
- [2] Chan, J. W. K. and Tong, T. K. L.(2007), “Multi-criteria material selections and end-of-life product strategy: Grey relational analysis approach”, *Materials and Design*, Vol. 28, pp. 1539-1546.
- [3] Deng, J.(1989), “Introduction to grey system theory”, *The Journal of Grey Systems*, Vol. 1, pp. 1-24.
- [4] Keum, J. S., Youn, M. O. and Jang, W. J.(2001), “Assessment of the navigational safety Level in the korean coastal waterway, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*”, Vol. 7, No. 2, pp. 39-48.
- [5] Kim, B. H., Park, S. H., Gong, J. M. and Yeo, G. T.(2018), “A Study on the safety factor analysis of bulk cargo handling using fuzzy-AHP : focused on steel cargo”, *Journal of Digital Convergence* Vol. 16. No. 2, pp. 179-188.
- [6] Korea Port Logistics Association(2019). *Statistics and accident case for port cargo handling*, KPLA.
- [7] Korea Occupational Safety and Health Agency (2005), *Risk evaluation and method for 4M*, KOSHA.
- [8] Sarraf, F. and Nejad, S. H.(2020), “Improving performance evaluation based on balanced scorecard with grey relational analysis and data envelopment analysis approaches: case study in water and wastewater companies”, *Evaluation and Program Planning*, Vol 79. pp. 1-11.
- [9] Saaty, T. L.(1977), “A scaling method for priorities in hierarchical structure”, *Journal of Mathematical psychology*, Vol. 15, No. 3 pp. 234-281.
- [10] Seong, J. Y. and Byun, Y. S.(2016), “A Study on the weights of the condition evaluation of rock slope used in Entropy and AHP Method”, *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 31, No. 5, pp. 61-66.
- [11] USCG(2015), *Ports and waterways safety assessment workshop report*, Los Angeles/Long Beach, PAWSA.

Received 08 June 2020

Revised 09 July 2020

Accepted 15 July 2020