

# 정량적 위험해석을 이용한 크레인 낙하물의 위험성 평가에 관한 연구

장철호<sup>1</sup>·이주성<sup>2</sup>  
현대중공업(주) FLNG FEED팀<sup>1</sup>  
울산대학교 조선해양공학부<sup>2</sup>

## Risk Assessment of Dropped Object in Offshore Engineering through Quantified Risk Analysis

Chul-Ho Jang<sup>1</sup> · Joo-Sung Lee<sup>2</sup>  
Hyundai Heavy Industry Co., Ltd., Ulsan, Korea<sup>1</sup>  
School of Naval Architecture & Ocean Engineering, University of Ulsan, Ulsan, Korea<sup>2</sup>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Previous methods to evaluate the risk of dropped objects rely on personnel experience of the engineer or operator without analyzed data. However analyzing historical statistic data is the best approach to find the safest operation route and to achieve more reasonable and reliable calculation results. By counting the failure frequency and fatal accident rate the risk can be quantified, and so controlled or mitigated with best economical risk reducing measures. This analysis gives a crane operator with useful information for selecting the best crane operation route, and a designer with an estimation of risk level for the dropped objects from a safety point of view.

**Keywords** : Safety assessment(안전성 평가), Quantified risk analysis(정량적 위험 해석), Dropped object(낙하물), Offshore engineering(해양 엔지니어링), Risk analysis(위험 해석)

## 1. 서론

해양 작업선의 운용은 상선, 항구에서 항구(shore to shore base)가 아닌 장시간 해상에서 작업을 수행함에 따라 필요한 공급품은 해양공급선(Offshore supply vessel : OSV)을 통하여 받게 되고 공급된 물품을 작업선으로 옮기기 위한 크레인 사용은 필수적이다. 크레인을 사용 횟수가 많아질수록 이로 인한 사고의 위험은 증가하게 된다. 크레인으로 중량물 이동시 낙하물 사고는 경미한 선체 손상에서부터 크게는 침수 그리고 작업선의 침몰로 이어질 수도 있다. 지금까지의 위험성 평가는 주로 크레인 작업자의 경험을 바탕으로 이뤄져 왔다. 그러나 컴퓨터기술의 발전에 따라 해상 사고와 관련된 자료의 체계적 수집과 데이터화가 가능하게 되면서 필요시 사고 자료의 파악이 용이하게 되었다.

본 연구에서는 크레인 낙하물 사고와 관련하여 지금까지 크레인 작업자와 설계자의 경험에 의존하여 이뤄진 정성적 평가 방법 및 과정을 통계학 기반을 둔 정량적 위험 해석(quantified risk

analysis-QRA) 기법을 사용하여 최적의 크레인 작업 경로를 반잠수 시추선의 사례 연구를 통하여 알아보고, 이와 더불어 크레인 낙하물에 따른 인명 손실을 최소화할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 크레인 낙하물 사고로 인한 구조적 파괴 빈도 (failure frequency)을 감소시킬 수 있는 방안을 주요 빈도 변수의 민감도 분석을 통하여 파악하였다.

## 2. 해양 사고에 대한 고찰

### 2.1 해양 작업선의 사고 경향

해양 작업선의 사고 조사 보고서에 따르면 그동안 기술 개발을 통해 안전성을 지향하는 제품들이 제작되었으나, 해양 작업선에서 발생하는 사고 빈도는 Fig. 1에 보는 바와 같이 지속적으로 증가하는 추세이다. 그 주요 원인으로 원유 수요 증가로 인한 많은 해양 작업선의 건조, 기술 개발에 의한 해양 작업선의 수명

연장과 작업 횟수의 증가, 선박 노후화 그리고 심해와 극지방에서의 열악한 작업 환경 증가 등을 들 수 있다 (DNV GL, 2014).

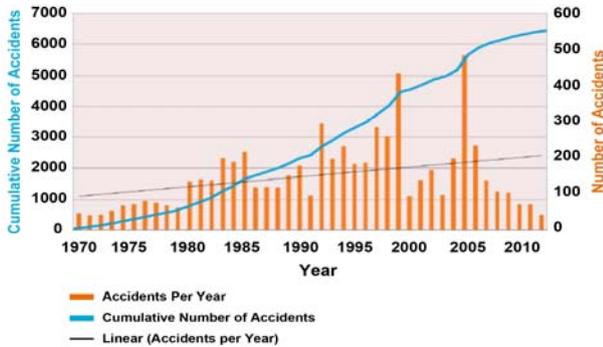


Fig. 1 Offshore-Number of accidents, DNV GL

## 2.2 크레인 낙하 사고의 경향

통계자료에 의하면 해양 작업선의 크레인 사고 중 약 46%는 공급선으로부터 공급품 운송 중에 발생하였으며, 그 중 공급품 운송의 약 75%는 컨테이너와 바스켓 그리고 탱크 등의 패키지 형태의 운송물이다 (OGP, 2010). 해양 작업선 내 권상 장비 (lifting appliance)의 사용 빈도를 보면 Table 1과 같이 메인 크레인과 드릴링 데릭이 압도적으로 많음을 알 수 있다 (OGP, 2010).

Table 1 Observed frequencies of lifting operations on mobile installation

Lifting Device	Lifts per Year
Main Crane	24,480
Drilling Derrick	28,670
Other Lifting Device	3,650
Total	56,800

## 3. 위험 해석 기법

### 3.1 정량적 위험 해석에 대한 이해

2000년 이후 확률 기반의 많은 규정들이 제정되었고 정량적 위험 해석은 해양 산업에서 그 중요성이 더욱 중시 되었다. 특히 주요 선진국 관청에서는 위험성 해석을 수행한 설계에 한하여 건조 승인을 하고 있으며 사고 예방 및 저감 대책을 위한 시스템을 필수적으로 요구하고 있다. 이렇게 정량적 위험 해석의 사용 확대는 최근 안전성 평가 중 중요 부분으로 인식되면서 그 중요성이 더욱 부각되고 있다.

그 대표적인 예로, 국제해사기구(IMO)에서도 기존의 규칙 기반 설계(rule based design)가 아닌, 확률을 기초로 하는 위험도 기반 접근방법(risk based approach)과 이를 적용한 모델링 및

시뮬레이션을 통해 선박의 안전성을 확보하는 방안을 제시하였으며 유럽에서도 선박의 위험도를 정량화하는 공식 안전 평가 (formal Safety Assessment) 절차를 구체화하였다. 이렇게 확률 기반의 정량적 위험 해석은 최근 국제적인 관심으로 선박 설계 및 건조에 점차 그 필요성이 요구되고 있다.

### 3.2 리스크 제어

위험도 제어(risk control)를 위한 방법과 순서 그리고 범위는 관련 논문, 저널마다 조금씩 상이하나 기본적인 순서와 이해 범위는 Fig. 2에 보인 것과 유사하다. Fig. 2는 NORSOK Z-013 (2001)의 'Part of Safety Management and Risk Control'에서 기술하고 있는 위험도 추정, 해석 및 평가(risk estimation, analysis and evaluation) 과정의 흐름도이다. 본 연구에서는 정량적 위험 해석을 통한 아래, ① Risk estimation에 중점을 두고자 일부 항목에서는 선급 및 타 Project에서 수행, 발췌한 일반적인 항목만을 제시하였다.

Fig. 2에서 실선과 점선 사각형 내의 주요 내용은 아래와 같다.

- ① Risk estimation
- ② Risk analysis
- ③ Risk assessment
- ④ Risk control

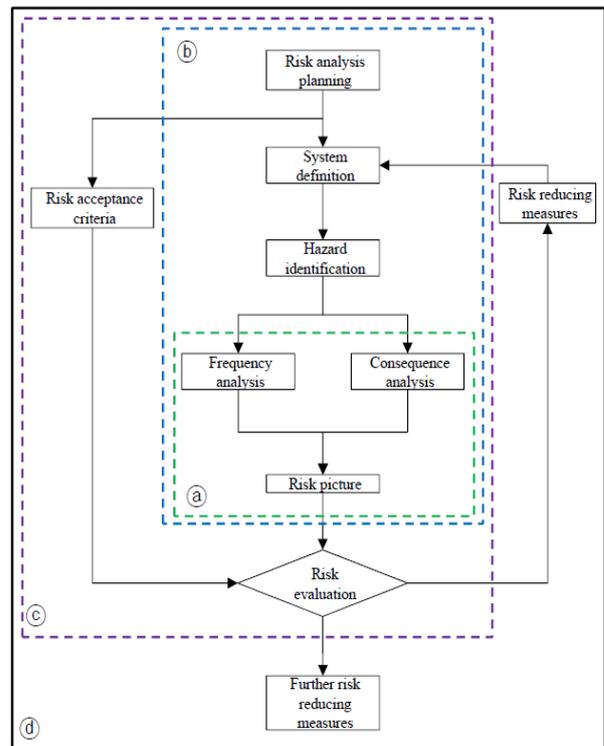


Fig. 2 Risk estimation, analysis and evaluation, NORSOK Z-013 (2001)

## 4. 크레인 낙하물의 사례 연구

2.2에서 주요 크레인 사고는 컨테이너 등과 같은 패키지 형태의 운송물이며 Table 1과 같이 해양 작업선의 권상 장비 중 메인 크레인과 드릴링 데릭의 작업 횟수가 압도적으로 많음을 알 수 있었다.

그러나 드릴링 데릭은 한정된 공간에서 프로그램으로 이뤄지는 작업 방식이다. 따라서 본 연구에서는 크레인 컨테이너 낙하 사고에 대하여 Fig. 3과 같이 반잠수식 시추선을 모델로 낙하물에 의한 선체와 인명 손상의 두 요소를 평가, 분석하였다.

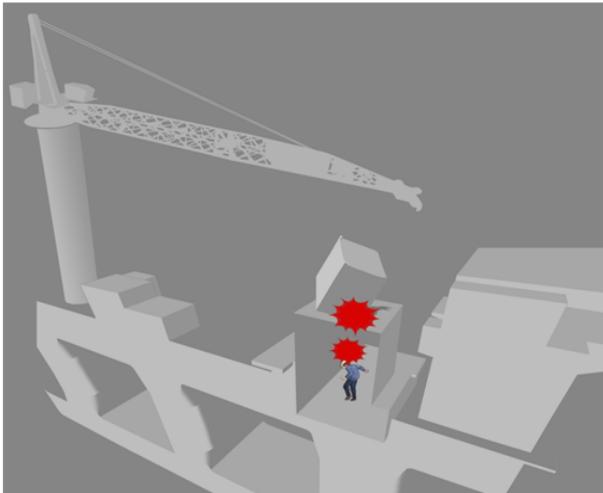


Fig. 3 Accident scenario of dropped object from main crane

### 4.1 위험 해석 계획

본 연구에서의 위험 추정(risk estimation)은 다음과 같이 5개의 주요 단계에 따라 계산을 수행한다.

- 1) 통계 자료에 기초한 각 구역별 낙하 빈도 계산
- 2) 에너지방법을 이용한 각 구역별 충격 에너지 계산
- 3) 낙하 예상 구역의 충격에너지 대비 보강재 변형률 계산
- 4) 파괴 빈도 계산
- 5) 인명 손실 계산

### 4.2 시스템 소개

앞서 소개했듯이 본 사례 연구에서는 반잠수식 시추선, Moss Maritime CS60E 모델을 사용하였으며 본선에는 Fig. 4와 같이 좌현과 우현에 각각 권상 하중, 100ton이 가능한 레티스 붐(Lattice boom) 크레인 두 대가 설치되어 있다. 공급선으로부터 공급된 화물은 Table 2, Fig. 5와 같이 좌현에 지정된 임시 하역 구역(Laydown area), L에 적재 되어 진다.



Fig. 4 Overall layout of main crane

컨테이너를 운송하기 위한 크레인 작업 반경 내 구역 배치는 모두 5개의 룸과 창고, 그리고 임시 하역 구역으로 이뤄져 있으며 그 구역은 Table 2 그리고 Fig. 5와 같다.

Table 2 Area description

ID	Description	Area(m <sup>2</sup> )	Percent of total area
A1	Winch house	101.6	36 %
A2	Vent house	33.6	12 %
A3	General store	44.0	16 %
A4	HVAC room	34.9	12 %
A5	Air comp. room	65.4	23 %
L	Laydown area		

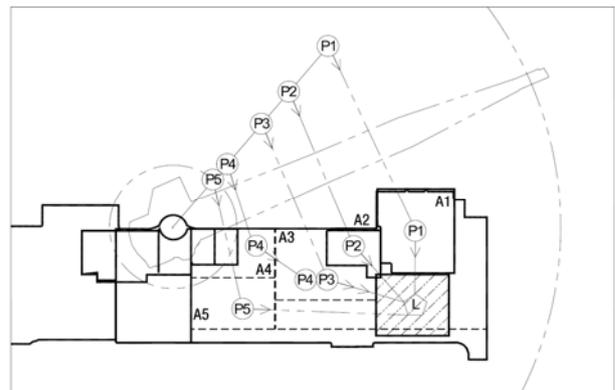


Fig. 5 Arrangement of room and store in the working radius of crane operation

### 4.3 위험 인자

해양 작업선에서 선체 붕괴 및 인명 손상의 주요 위험 인자를 나열해 보면 Table 3과 같다. 낙하물로 인한 장비와 배관 파괴는 탄화수소(hydrocarbon) 가스 방출과 폭발 그리고 선각 파괴에 따른 붕괴 및 침수로 이어져 작업자의 치명적인 부상과 사망을 야기할 수 있다.

통상 위험도 파악 과정은 사고로 이어질 수 있는 우연한 사건이나 잠재적인 위험 요소를 각 분야 전문가와 엔지니어들에 의하여 원인, 빈도, 피해 규모, 대책 등의 측면에서 분석, 위험 요소를 파악 하지만 본 연구에서는 3.2에서 소개된 바와 같이 선급 및 기타 타 Project에서 발췌된 대표적인 위험 인자들을 Table 3 과 같이 제시하였다.

Table 3 Possible external hazards

Possible external hazards		
Operation	Hazard	Possible consequence to hull and operators
Lifting by crane	Drop of object	Impact damage
	Drop pipe and equipment	Impact damage Explosion
Helicopter clash	Collision	Impact damage
Ship collision	Collision	Impact damage
Icicle	Drop	Impact damage
Equipment Operation	Haz. gas	Impact damage

#### 4.4 빈도 해석

##### 4.4.1 낙하물의 분류

낙하물을 Table 4와 같이 컨테이너의 크기와 중량 그리고 권상 횟수에 따라 Class 1에서 부터 Class 5로 각각 분류하여 제시하였다 (Alessandro, 2000).

Table 4 Object characteristics

Class	Size	Weight (Ton)	Lift per year
1	Large	15	600
2	Large	10	1,200
3	Medium	6	2,400
4	Small	2	3,600
5	Empty	1	6,240

##### 4.4.2 구역별 충돌 빈도

각 구역별 충돌 빈도는 낙하 구역 상부로 운송되는 낙하물의 중량별 낙하빈도(freqlift), 빈도권상횟수(N), 그리고 지정된 구역의 낙하 가능성 (P)으로 표기 할 수 있으며 각 구역별 충돌 빈도는 식 (1)에 따라 계산될 수 있다.

낙하빈도(freqlift)는 OGP,2010에서 제시하는 통계 데이터에 따라  $3.10 \times 10^{-6}$ 을 사용하였다.

$$Hit\ frequency = Freqlift \times N \times P \quad (1)$$

Table 5는 Class(중량)별 낙하빈도(freqlift)와 빈도권상횟수(N)의 곱으로 이뤄진 각 Class의 낙하빈도를 나타낸다. Table 5의 각 Class 낙하빈도의 총 합에 Table 2의 면적 비율을 고려하면 식 (1)에 따라 Table 6과 같이 각 구역별 충돌빈도가 된다.

Table 5 Frequencies for class of dropped object

Class	Weight (Ton)	Lift per year	Drop Freq. (Freqlift).	Class Drop Frequency
1	15	600	3.10E-06	1.86E-03
2	10	1,200	3.10E-06	3.72E-03
3	6	2,400	3.10E-06	7.44E-03
4	2	3,600	3.10E-06	1.12E-02
5	1	6,240	3.10E-06	1.93E-02

Table 6 Hit frequencies into area

Area No.	Hit Frequency
A1	1.58E-02
A2	5.23E-03
A3	6.85E-03
A4	5.43E-03
A5	1.02E-02

##### 4.4.3 구역별 충격 에너지

에너지 계산 목적은 각 구역 내 발생 가능한 에너지 영역별 구분과 추후 그 에너지 영역에서 보강재 변형률 계산 그리고 선각의 파괴 유무를 확인하는데 있다. 각 구역별 충격 에너지 계산을 위해 식 (2)에 따라 각 Class(중량)별 위치 에너지를 계산한다.

$$E = m \times g \times h \quad (2)$$

여기에서 m, g과 h은 각각 질량, 중력가속도( $9.81 \text{ m/s}^2$ ) 그리고 낙하 높이이다.

본 사례 연구의 낙하 높이와 중량물은 상대적으로 큰 에너지 범위를 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 결과의 도출 보다는 전체 맥락을 보고자하는 취지에 따라 영역을 세분화하지 않고  $E < 500$ ,  $E < 1000$ ,  $E < 2000$ ,  $E < 3000$ ,  $E < 4000$ ,  $E < 5000$  그리고  $E < 10000$ 의 7개의 에너지 영역으로 단순화하여 각 구역별 에너지별 분포를 계산하였다.

낙하 높이는 크레인 반경 내 낙하 구역 상부에서 크레인의 후과 같은 액세서리와 컨테이너의 무게 중심을 고려한 3 m를 뺀 높이를 최종 낙하 높이로 적용 하였다. 계산된 최대 권상 높이는 4등분하여 각 구역별 총 4개 낙하 높이로 분류, 계산하였다.

#### 4.4.4 보강재 변형을 계산

선각 부재 치수는 반 잠수 시추선에서 실제 적용된 치수를 기준으로 하되, 최종 파괴빈도 값의 구역별 현저한 비교, 확인을 위하여 일부 구역에는 실제 사용된 치수와 다른 임의의 가정 값을 사용하여 그 결과 값을 비교해 보고자 했다 (Norman, 2012).

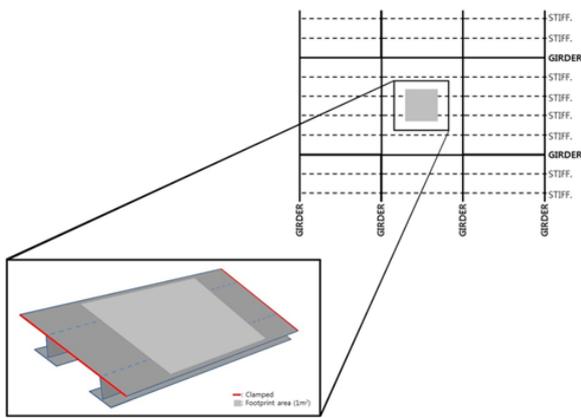


Fig. 6 Structure in the dropped object area

보강재 처짐( $\delta_s$ )은 소성 굽힘 에너지( $E_c$ )와 보강재 붕괴 하중( $P_{us}$ )의 항으로 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\delta_s = \frac{E_c}{P_{us}} \quad (3)$$

보강재의 길이방향으로의 변형률( $\epsilon_s$ )은 보강재의 변형 형상인 Fig. 7로 부터 아래의 식 (4)에서 구할 수 있다.

$$\epsilon_s = \frac{\sqrt{(L/2)^2 + \delta_s^2} - (L/2)}{(L/2)} \quad (4)$$

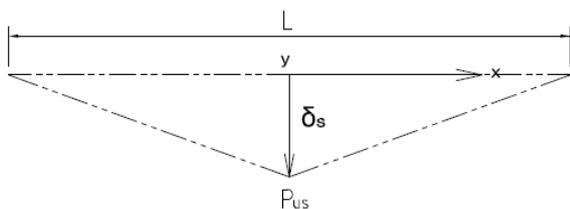


Fig. 7 Deformed shape of stiffener due to impact load

보강재 변형이 15%을 넘을 시 선각은 Fig. 8에 보인 NORSOK N-004의 기준에 따라 파괴되는 것으로 간주 하였다 (NORSOK, 2013).

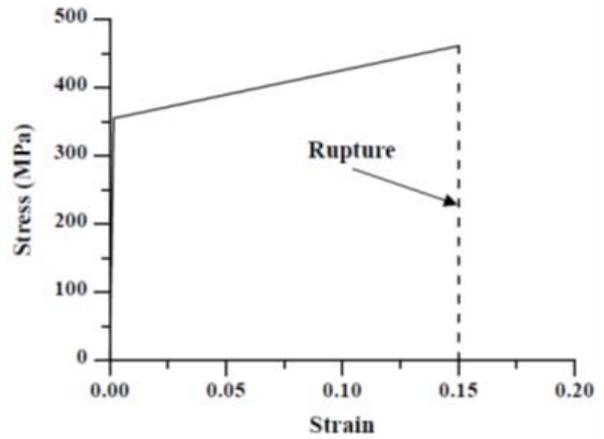


Fig. 8 Fracture criteria of NORSOK N-004

#### 4.4.5 파괴 빈도 계산

식 (2)에 따라 계산된 각 Class(중량)의 에너지 값은 Table 5의 각 Class(중량)와 일치하는 낙하빈도를 취하게 된다. 계산된 에너지 값은 7개 에너지 영역으로 분류되고 Table 5에서 취한 낙하빈도 합은 Table 7과 같이 각 구역 에너지 영역에서의 낙하빈도로 나타 낼 수 있다. Table 6에서 계산된 구역별, 충돌빈도에 Table 7의 에너지영역비율(percentage)을 고려하면 각 구역의 에너지 영역별 충돌 빈도로 Table 8과 같이 산출할 수 있다.

4.4.3절에서 계산된 Table 8의 각 구역 에너지 영역별 충돌 빈도 중 Table 9의 에너지 영역 내 보강재 변형을 계산 결과과 파괴 기준인 15% 초과한 항목과 일치하는 값을 찾아 사각형으로 표시하였다. Table 8에서 사각형으로 표시된 각 구역 에너지 영역별 충돌빈도는 그 구역과 에너지 영역에서 파괴된다고 간주되는 파괴빈도라고 할 수 있다.

Table 8에서 이 파괴빈도의 각 구역별 총합은 그 구역의 총 파괴빈도라고 정의하기로 한다. 구역별 총 파괴빈도는 이 연구의 최종 목적인 통계학적 기반의 정량적 위험 해석의 결과 값으로 최적의 크레인 작업 경로 선정에 중요 대푯값이 된다.

#### 4.4.6 치명 사고 빈도를 계산

치명 사고 빈도율(FAR : Fatal Accident Rate)은 위험에 노출된 설비 내에 있는 모든 인원이 1억(100 million) 시간 내 일어날 수 있는 평균 사망자 수 (fatality number)이고, 치명 사고 빈도율은 식 (5)와 같이 계산된다. 치명 사고 빈도율은 잠재 인명 손실(Potential Loss of Lift, PLL)로 계산되는데 식 (6)과 같다 (Jan, 2007).

Table 7 Energy distribution for different area and band

Area	Description	E<500	E<1000	E<2000	E<000	E<4000	E<5000	E<10000
P1	Drop Freq.	9.97E-02	2.98E-02	1.12E-02	2.05E-02	5.58E-03	3.72E-03	3.72E-03
	Percentage	57.8%	17.1%	6.4%	11.8%	3.2%	2.1%	2.1%
P2	Drop Freq.	6.92E-02	4.91E-02	2.23E-02	1.30E-02	1.12E-02	1.86E-03	7.44E-03
	Percentage	39.7%	28.2%	12.8%	7.5%	6.4%	1.1%	4.3%
P3	Drop Freq.	6.92E-02	4.17E-02	2.98E-02	9.30E-03	1.12E-02	5.58E-03	7.44E-03
	Percentage	39.7%	23.9%	17.1%	5.3%	6.4%	3.2%	4.3%
P4	Drop Freq.	6.92E-02	4.17E-02	1.86E-02	1.86E-02	1.30E-02	3.72E-03	9.3E-03
	Percentage	39.7%	23.9%	10.7%	10.7%	7.5%	2.1%	5.3%
P5	Drop Freq.	6.92E-02	4.17E-02	2.6E-02	1.12E-02	1.30E-02	5.58E-03	7.44E-03
	Percentage	39.7%	23.9%	15.0%	6.4%	7.5%	3.2%	4.3%

Table 8 Frequencies for different area and energy band

Area	E<500	E<1000	E<2000	E<000	E<4000	E<5000	E<10000	Total failure frequency
P1	9.06E-03	2.70E-03	1.01E-03	1.86E-03	5.07E-04	3.38E-04	3.38E-04	6.76E-03
P2	2.08E-03	1.48E-03	6.71E-04	3.91E-04	3.35E-04	5.59E-05	2.24E-04	5.23E-03
P3	2.72E-03	1.64E-03	1.17E-03	3.66E-04	4.39E-04	2.20E-04	2.93E-04	2.49E-03
P4	2.16E-03	1.30E-03	5.81E-04	5.81E-04	4.06E-04	1.16E-04	2.90E-04	3.27E-03
P5	4.05E-03	2.44E-03	1.52E-03	6.53E-04	7.62E-04	3.26E-04	4.35E-04	6.14E-03

기준치를 초과한 값

Table 9 Calculated strain for different area and energy band

Area	E<500	E<1000	E<2000	E<3000	E<4000	E<5000	E<10000
P1	12%	41%	124%	216%	312%	410%	904%
P2	63%	277%	526%	781%	1037%	1295%	2583%
P3	3%	12%	42%	82%	126%	173%	417%
P4	8%	31%	95%	171%	250%	332%	746%
P5	10%	18%	108%	192%	279%	368%	817%

기준치를 초과한 값

$$FAR = \frac{PLL \cdot 10^8}{Exposed\ hours} = \frac{PLL \cdot 10^8}{POB_{av} \cdot 8760} \quad (5)$$

POB<sub>av</sub>=average annual number of manning level

여기에서 PLL은

$$PLL = \sum_n \sum_j (f_{nj} \cdot c_{nj}) \quad (6)$$

와 같이 정의된다 (Jan, 2007).

f<sub>nj</sub> = annual frequency of accident scenario

c<sub>nj</sub> = expected number of fatalities for accident scenario

식 (5)와 (6)에 따라 계산된 각 구역별 치명 사고 빈도율에 대한 계산 결과는 Table 10과 Fig. 9와 같다.

Table 10 Calculated FAR value

Area no.	Area	PLL	FAR
P1	No.4 Winch House	0.074035	39
P2	No.2 Vent House	0.009549	30
P3	General Store	1.521635	14
P4	HVAC Room	0.071717	19
P5	Air Comp. Room	1.343916	35

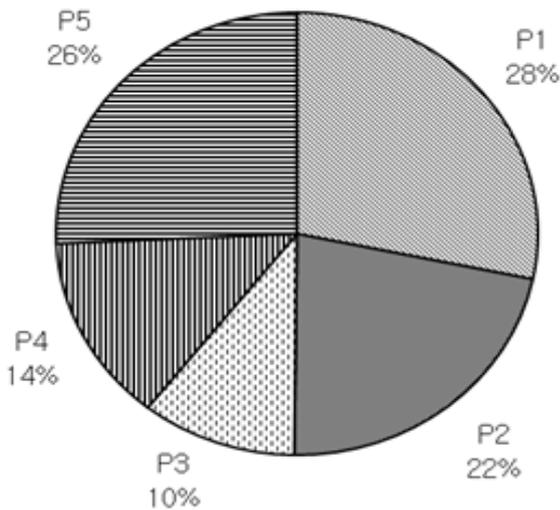


Fig. 9 Calculated FAR value

## 5. 파괴빈도 변수의 민감도 분석

본 절에서는 파괴빈도에 영향을 주는 변수들의 민감도 분석(sensitivity analysis)을 통하여 주요 변수의 변경 시 파괴빈도의 변화와 파괴빈도를 효과적으로 감소하기 위한 방안을 찾아보고자 한다.

파괴빈도에 직접적인 영향을 주는 주요 변수는 낙하 구역의 면적,  $A_d$ , 낙하 높이,  $H_d$ 와 부재 치수:  $S_t$ 이므로, 파괴빈도( $p_f$ )는 이들의 함수로서

$$p_f = f(A_d, H_d, S_t) \quad (7)$$

과 같이 표현할 수 있다.

### 5.1 변수 입력 값의 적용과 범위

파괴빈도의 민감도를 알아보기 위하여 Table 11, 12와 같이 상기 5절에서 소개된 변수, 낙하 구역의 면적, 낙하 높이와 부재 치수에 변경된 값을 적용한다. 변수의 적용 범위는 현 구역 배치를 고려한 실제 적용 가능한 범위 내에서 결정하였다.

Table 11 Variable input change of drop area( $A_d$ ) and drop height( $H_d$ )

Input	Initial input	Revised input	Reduction ratio
Area(m <sup>2</sup> )	44.0	33.0	25%
Height(m)	56.7	51.7	9%

Table 12 Variable input change of structure scantling( $S_t$ )

Input	Stiff. Depth	Web Thickness	Deck Thickness
Init. Input(mm)	150	9.0	9.0
Rev. Input(mm)	200	10.0	12.0

## 5.2 민감도 분석에 따른 파괴빈도 계산

Table 13과 Fig. 10과 같이 초기 설계의 파괴빈도 대비, 낙하 면적을 축소 시 약 22% 감소, 높이 변경 시 0% 그리고 부재 변경 시 약 40%가 감소되었다.

Table 13 Total failure frequencies per variable

Input	Initial total failure freq.	Revised total failure freq.
$A_d$	4.13E-03	3.22E-03
$H_d$	4.13E-03	4.13E-03
$S_t$	4.13E-03	2.49E-03

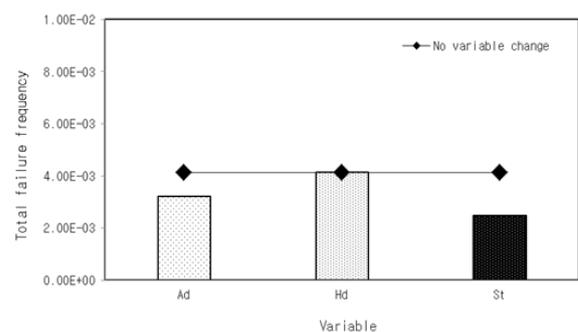


Fig. 10 Total failure frequency per variable

## 6. 결론

본 논문에서는 크레인 낙하물의 위험성 평가 방법에서 기존의 평가 방법에서 벗어나 기초 통계자료를 바탕으로 한 정량적 위험 해석이 가능하게 되면서 기능, 신뢰도 그리고 안전성이 향상된 평가 기법 기술 확보가 가능하게 되었다. 또한 반 잠수 시추선 사례를 통하여 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

정량적 위험 해석 기법을 통한 최적의 크레인 작업 경로를 확인할 수 있었다. 이번 사례 연구에서는 크레인 낙하물에 대한 파괴빈도가 가장 낮은 최적 경로는 A3 구역을 경유한 경로임을 알 수 있었다.

이번 사례 연구에서는 A3 구역이 타 구역에 비해 치명 사고 빈도율이 가장 낮음을 알 수 있었다. 그 이유는 선각 파괴에 따른 파괴빈도가 인명 손실에도 직접적인 영향을 주었기 때문이다. 따라서 리스크가 높은 구역에서 화물 운반 시 정량적 위험 해석을 통하여 최적 변수 적용하면 위험도 제어 및 인명 손실 감소가 가능하게 되었다.

민감도 분석을 통하여 파괴빈도를 감소시킬 수 있는 방안 중 선각 부재 변경이 낙하 면적 축소, 낙하 높이 변경 보다 효과적인 대안임을 확인할 수 있었다.

본 연구의 개선 방안으로 크레인 낙하물 평가 방법을 전산 프로그램화하여 향후 엔지니어링 단계에서 보다 쉽고 신뢰성 있는 위험 평가를 수행하고 예측할 수 있는 연구를 수행하고자 한다.

## References

Alessandro, M., 2000. A probabilistic methodology for the assessment of safety from dropped loads in offshore engineering. *Risk Analysis*, 20(3), pp.327-337.

- DNV GL, 2014. *The worldwide offshore accident databank(WORD)-Rev 4*. DNV GL: Hovik, Norway.
- International Association of Oil & Gas Producers(OGP), 2010. *Risk assessment data directory. Mechanical lifting failure, Report No 434-8*. London, UK: OGP.
- Jan, E.V., 2007. *Offshore risk assessment: Principles, modeling and applications of QRA studies*. Springer: London, UK.
- Norman, J., 2012. *Structural impact*. Cambridge University Press: New York, USA.
- Norsok Standard, 2001. *Risk and emergency preparedness analysis, Z-013*. Lysaker, Norway.
- Norsok Standard, 2013. *Design of steel structures, N-004*. Lysaker, Norway.



장철호

이주성