

선박 및 해양설비의 위험도기반설계 기술

장대준^{†*}

현대중공업 산업기술연구소 책임연구원*

Risk-Based Design for Ships and Offshore Installations

Daejun Chang^{†*}

Hyundai Industrial Research Institute, Hyundai Heavy Industries*

Abstract

This paper describes introductory remarks on risk management and risk-based design for ships and offshore installations with potential hazards. Clients' requirements on safety and performance was related to the risk management and risk-based design. A general procedure for risk-based design was also suggested with each step explained in detail. Various risk-based design approaches were emphasized with their needs and methodological characteristics taken into account. Related rules, standards, and regulations were summarized. The last part included recommendations for Korean ship building industries about the risk management and risk-based design.

※Keywords : Safety (안전), Risk (위험도), Hazard (위험요소), Risk-Based Design (위험도기반 설계), HAZID (위험요소파악), HAZOP (위험요소 및 운전도 해석)

1. 서론

현재 국내 조선 업계 관련자들의 최대 관심사를 나열해 보면, 아마 다음과 같을 것이다.

- 5년 이상의 호황을 기대할 수 있는 풍성한 수주
- 높은 원자재 가격과 낮은 환율의 미반영에 의

의한 단기적인 손해

- 건조 능력을 확충하고 수주량이 증가하는 중국 조선 업계의 추격
- LNG선이나 FPSO, 대형 컨테이너선 같은 고부가가치 선박의 비중 증가
- 선주들의 안전(Safety)에 관한 압박

†주저자, E-mail: sos21@hhi.co.kr
Tel: 052-230-3236

원자재 가격과 환율 문제는 각사 나름대로의 대책을 이미 시행하고 있고, 최근 수주분은 이들 문

제가 반영되어 있으니 시간이 지날수록 관심에서 벗어날 것이다. 중국의 추격은 앞으로도 국내 조선사들의 가장 고민거리 중에 하나가 될 것이다. 국내 조선사들이 일본 조선사들은 순식간에 추월한 경험이 있으므로, 더욱 심각하게 받아들여지고 있다. 근래 들어 LNG선이나 대형 컨테이너선 또는 FPSO와 같이 고부가가치 선박의 비중이 증가하고 있어 중국의 추격에 대해 한시름 놓고 있는 듯하다.

마지막 관심사가 현재 국내 조선사가 해결해야 할 가장 시급한 현안 중에 하나이다. 고부가가치 선박의 발주사들이 Exxon Mobil이나 BP 같은 국제적인 오일 메이저들인 관계로, '안전 제일'을 이유로 계약부터 제작 현장까지 간섭하고 있고, 국내 조선사들은 과거에는 겪지 않았던 추가적인 부담을 안고 있다.

국내 조선사들의 입장에서 보면, 오일 메이저들의 '안전 제일'은 지나친 것이 아닌가 싶을 정도다. 예를 들면 다음과 같은 요구가 이젠 표준 사양이 된 듯하다.

·입찰 시점:

대상 선박이나 해양 설비의 운전 안전에 관련된 각종 해석 연구를 검토하여 입찰에 반영되도록 하며, 제작 안전을 어떻게 확보할 것인지 계획서를 제출한다.

·제작 동안:

위험 요소가 무엇인지, 작업안전이 어떻게 확보되었는지 분기별로 보고서를 제출해야 한다. 작업 안전이 불만족스러운 경우, 작업자 교체나 작업 중지, 심한 경우에는 계약 파기까지 요구할 수 있다. 주계약자인 조선사뿐만 아니라, 협력 업체 및 주요 장비 공급 업체까지 발주사의 안전 기준을 만족해야 한다.

안전 관련 문제에 대해, 국내 조선사들은 여러 가지 측면에서 이중적인 시각으로 임하고 있고, 내부적인 갈등을 겪고 있는 듯하다. 당위성 측면에서는 '고객 만족'과 '내정 간섭', 기준적 측면에서는 '기존 사내 기준'과 '고객사 기준', 기술적 측

면에서는 '익숙한 Construction HSE'과 '생소한 Operation HSE', 조직적 측면에서는 '기존의 안전 관리 조직의 최소화 전통'과 '고객사의 안전 관리 조직 최우선주의' 등등.

필자의 소견으로는, 중국의 추격을 따돌리는 것, 고부가가치 선박의 경쟁력을 높이는 것, 그리고 안전 제일을 설계와 제작 측면에서 달성하는 것, 이 세 가지가 불가분의 관계에 있다. 국내 조선 산업이 현재의 세계 최고 수준을 유지할 수 있는지 여부는 이 세 가지를 얼마나 일관적이고 조직적으로 통합시켜 나가는지에 달려있다.

본 논문에서는 선박이나 해양설비의 위험도기반설계에 대해서 개략적으로 소개한다. 우선, 위험도 경영과 위험도기반설계에 대해서 설명하고, 위험도기반설계의 단계에 대해서 알아본다. 다음으로 여러 가지 위험도 해석 연구를 필요성과 방법론 측면에서 요약 정리한다. 관련 국제 기준을 다음으로 설명하고, 국내 조선 업계의 대응 방안에 대해서 제안한다. 위험도경영이나 위험도기반설계는 너무도 광범위하다. 각각에 대한 세세한 설명은 최소화하였고, 그 필요성과 중요성을 부각시키는데 주력하였다. 이 점에 대해서는 독자들의 양해를 바란다.

2. 위험도경영과 위험도기반설계

2.1 위험도경영

위험도경영(Risk Management)의 가장 큰 목표는 보건(Health), 안전(Safety), 환경(Environment)에 대한 위험도를 체계적으로 파악하고 줄이는 것이다. (대개 영어 단어 첫 글자를 따서, HSE 또는 SHE라고 부른다. 이 논문에서는 HSE라고 부르자. 영국의 해양 설비 안전 관련 기관도 HSE라 부른다.) 이중에서도 안전이 가장 높은 우선 순위이다.

위험도경영은 단순한 문제 해결 접근법을 넘어서 전사적으로 적용 가능한 경영철학이며, 많은 국제적 오일 메이저들이 실제 경영에 적용하고 있

다. (의미상의 혼동을 피하기 위하여 Risk는 위험도, Hazard는 위험 요소로 통칭한다. 다음에 보인 바와 같이, Risk는 사고 빈도와 피해 규모의 곱이며, 정량적이든 정성적이든 위험한 정도를 나타낸다.) 위험도경영은 Six Sigma나 Process Innovation과 같은 대접을 마땅히 받아야 하지만, 그 이름 때문인지 수수함 때문인지 골칫거리로만 받아들여지고 있는 실정이다. 위험도경영은 주문 제작 방식의 조선 산업에 매우 적절하다. 왜 그럴까?

첫째, 위험도경영은 간단명료하다. 다음 장에 설명된 바와 같이 위험도 경영은 일반 경영의 가장 큰 골격인 Plan-Do-See Management Cycle을 벗어나지 않는다. 위험도경영에 참여하는 관련자들이 쉽게 이해할 수 있다. 어떤 잠재 위험이 있는지, 얼마나 심각하지, 얼마나 자주 발생하는지, 대책이 무엇인지, 누가 책임자인지 등등 상식적인 논리 전개와 해결 방안을 중심으로 전개된다.

둘째, 위험도경영은 관련자들의 자발적인 참여와 상호간의 신뢰를 바탕으로 한다. 위험도경영은 어느 주관 부서나 주관자가 개별적으로 수행해서는 의미가 없다. 또한, 참여한 다른 회사를 제외하고 어느 한 회사가 독자적으로 수행해서도 안 된다. 관련된 사람들과 회사들이 머리를 맞대고, 위험 요소를 찾아내고 어떻게 해결할건지 토론하고 협의하는 과정을 중시한다.

셋째, 위험도경영은 궁극적으로는 전문가들의 의견이나 해석을 존중한다. 토론하고 협의하는 과정에서 합의가 도출되지 않으면, 특정 전문가의 의견을 듣거나 해석을 의뢰하는 것으로 결론이 난다. 즉, 상식적인 수준에서 합의가 이루어지지 않으면, 해당 전문가의 의견이나 해석을 중시한다.

넷째, 위험도경영은 제품의 생애기간(Life Cycle)을 대상으로 한다. 설계, 제작, 시운전, 운전, 유지 보수, 폐기 등 제품의 전 생애기간이 위험도경영의 대상이다. 선박 및 해양 설비의 가장

큰 특징 중에 하나는 위험 요소가 생애 기간의 후반기에, 거기에 대한 결정은 전반기에 치우쳐 있다는 점이다. 예를 들어, FPSO 운전 중에 사고가 발생할 가능성이 가장 높지만, 사고 원인은 대개 개념설계 단계에서 결정된다. 따라서, 설계 단계에서 운전 단계를 예측하는 작업이 필요하다. 이에 따라 생애기간을 바탕으로 하는 최적화를 추구한다.

조선사의 입장에서 HSE 경영은 크게 Construction HSE 경영과 Operation HSE 경영으로 구분 가능하다. Construction HSE 경영은 조선사가 선박이나 해양 설비 제작하면서 부딪히는 HSE 관련 위험 요소를 체계적으로 확인/관리/대책수립하는 것이 큰 골자이다. 반면에, Operation HSE 경영은 조선사가 설계 및 제작한 선박이나 해양 설비가 운전하면서 발생하는 HSE 관련 위험 요소를 예측 및 평가하고 설계를 수정하는 것이 큰 목적이다.

현재 국내 조선사들은 Construction HSE 경영과 Operation HSE 경영 모두에서 큰 부담을 안고 있다. 선주사들은 Construction HSE 경영을 체계적이며 투명하게 수행하도록 압박하고 있다. 국내 조선사들은 나름대로 작업 안전 기준을 가지고 있으며 실제로도 적용하고 있다. 하지만, 투명성과 체계성에 있어서 선주사들을 만족시키지 못하고 있다. 또한, 선주사들이 요구하는 방식이 국내 조선사의 현장과 부합하지 않는 경우도 많다. Operation HSE 경영은 대개 선주사들로부터 받은

Table 1 Construction and operation HSE items from the view point of ship builders (O: required to be performed)

Category	Construction	Operation (Report)
Fire & Explosion	O	O (FERA)
Falling from Heights	O	O (Occupational Risk)
Dropped Object	O	O (Dropped Object Study)
Traffic Accident	O	X
Ship Collision	X	O (Ship Collision Study)
Helicopter Collision	X	O (Helicopter Risk Analysis)
Emergency Response	O	O (EER)
Equipment Maintenance	O	O (RBI, RCM)
Subcontractor	O	X
Environment Impact	O	O (EIA)

설계 정보들을 운전의 측면에서 분석하고 대책을 수립해야하므로, 고급 엔지니어링 기법뿐만 아니라 직종간/참여 업체간 개방적이고 협조적인 참여를 요구한다.

Construction HSE 경영이 보이는 문제와의 싸움이라면, Operation HSE 경영은 보이지 않는 문제와의 싸움이다. 일단, 설계 단계에서 안전이나 환경에 문제를 일으킬만한 위험 요소를 찾아야하며, 이 위험요소가 얼마나 자주 그리고 심각한 사고로 이어지는지 평가해야 하고, 대책도 수립해야 한다. 발생 가능한 문제를 예측하고 해법을 찾아야 하며; 설계에 반영해야 한다. 위험도기반설계는 운전 HSE 경영을 위한 접근 철학이다.

선주사의 입장에서 보면, Construction HSE 경영과 Operation HSE 경영을 구분한다는 것 자체가 의미가 없다. 반대로, 성공적인 HSE 경영을 위해서는 위험한 발상일 수 있다. 예를 들어, FPSO 운전 중에 발생한 대다수 사고의 원인이 실제로 설계나 제작 단계에서 있다. 올바른 HSE 경영이라면 설계나 제작 단계를 운전 단계와 분리하지 않고, 되도록 가까이 두어야 한다. 즉, 설계나 제작 단계에서 운전 단계의 위험 요소를 예측하고 이에 대한 대책을 세우도록 하는 것이 적절하다. 선주사의 입장에서는 FPSO의 생애주기(개념설계에서 폐기까지) 동안에 통합적인 HSE 경영을 추구하게 된다.

2.2 위험도기반설계

위험도기반설계(Risk-Based Design)는 목표기반설계(Goal-Based Design) 또는 성능기반설계(Performance-Based Design)라고 불리는데, 궁극적으로 안전에 관한 목표(또는 허용 기준)를 설정해 두고 위험도 평가 및 경영 기법을 이용하여 체계적인 설계를 수행한 후에 이러한 목표가 만족되었다는 것을 보여주는 설계 철학이다(Kandola 2002). 예를 들어, Table 2와 같은 HSE 목표를 설정해 두고, 이 목표를 달성하기 위해 설계 측면에서 어떻게 해야 하는지 체계적으로 반영한다. 바꾸어 말하면, 안전에 관한 목표를 꾸준히 측정

Table 2 An example of HSE management goals

Category	Index	Acceptance Criteria
Personnel Risk	Average Individual Risk of Fatality	0.001/year
Environment Risk	Spurious Liquid Discharge (>16 m ³)	0.1/year
Asset Risk	Loss of Capital Asset	0.01/year for \$25 mil
Production Risk	Unavailability	0.1%

하고 설계에 반영하는 셈이다.

목표 지향적인 위험도기반설계는 기존의 설계 여유(Design Margin)를 고려한 접근법과 근본적으로 다르다. 기존의 접근법이 '설계 여유를 더 주면 더 안전할 것'이라는 막연한 가정에 바탕을 둔다. 과연, 그럴까? 화재 위험을 예를 들자.

· 기존 접근법:

화재 위험을 낮추기 위해서 더 많은 화재감지기를 설치하고, 더 엄격한 경보 및 비상정지시스템을 적용한다.

· 위험도기반설계:

너무 과도한 화재안전시스템은 감지기의 오작동(Spurious Trip: 화재가 발생한 것으로 착각하는 오류)을 과도하게 유발할 수 있으며, 잦은 정지운전을 유발하여 시운전시 발생하는 위험을 증가시킨다.

이와 같이, 위험도기반설계를 전체 시스템과 생애주기 관점에서 더 안전한 방안을 찾고자 한다.

위험도기반설계는 규제기반설계(Rule-Based Design)과 상호 보완적이다. 모든 설계를 위험도기반설계 방식으로 수행하기는 현실적으로 불가능하다. 따라서, 많은 설계들은 기존의 기준이나 표준에 따라 설계할 수밖에 없으며, 전체적인 구성은 위험도기반설계를 준용하는 방식이 된다. 개략

적으로 말하자면, 부품이나 단품 설계에 대해서는 규제기반설계를, 전체 시스템 구성에 대해서는 위험도기반설계를 적용해야 한다.

규제기반설계에서는 관련자들이 정해진 규제를 따르면 그만이다. 규제만 만족되었다면, 사고가 발생하더라도 관련자들은 책임이 없다. 하지만, 위험도기반설계에서는 관련자들이 내재된 위험요소를 찾아내고 평가하고 대책을 세워야 한다. 사고가 났다면, 사고 원인에 대한 사전 검토가 있었는지, 사고 빈도와 피해를 적절하게 예측하였는지, 대책은 적절했는지 등등의 관점에서 관련자들은 자유로울 수 없다. 즉, 위험도기반설계에서는 관련자들에게 자율과 책임이 더 폭넓게 주어지는 셈이다.

3. 위험도기반설계의 단계

위험도기반설계의 단계는 각 사별로, 각 국제기준별로 특징이 있지만, 대동소이하게 다음과 같은 단계를 따라 수행된다. 다음 소절에서 이에 대해 좀 더 자세히 설명한다.

- 단계 1. 위험요소 파악 (Hazard Identification)
- 단계 2. 위험도 추산 (Risk Evaluation)
- 단계 3. 대책 시행/평가 (Action/Check)

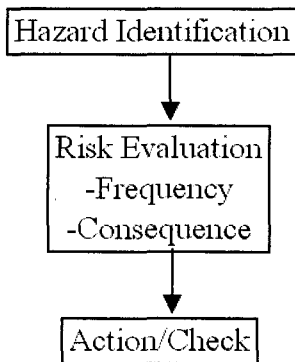


Fig. 1 Procedure of risk-based design

3.1 위험요소 파악

위험요소 파악(Hazard Identification 또는 HAZID)은 잠재된 위험요소(Hazard)를 가려내는 것이다. 위험을 자세하게 해석 또는 분석하는 것보다 잠재된 위험요소를 찾아내는 것이 이 단계의 중요한 임무가 된다. 파악된 위험 요소는 위험요소 목록(Hazard Register)에 기재한다. 이 목록을 위험도 추산이나 대책 수립/평가 단계에서 계속 사용하고 싶으면, 위험도 목록(Risk Register)으로 대응해도 된다. Risk Register는 Hazard Register보다 좀 더 자세하다. Hazard Register는 사고의 원인이나 조건(Hazard)과 그 영향, 가능한 대책 등에 대해서 기술한다. Risk Register는 사고의 발생 빈도와 피해 규모를 정량적으로 표현하고, 대책 부분에 누가 언제 어떻게 대책을 시행할 것인지 명기한다.

잠재된 위험요소를 찾아내는 방법은 Brainstorming 방식의 위험요소 파악 회의(HAZID Meeting)가 흔히 사용된다. HAZID는 대개 설계 초반에 효율적으로 이루어져야 하므로, 자세한 정보를 필요로 하거나 수행에 많은 시간이 걸리는 HAZOP, ETA, FTA 등은 수행이 불가능하다.

잠재된 위험요소를 찾아내는데 선결되어야 할 문제가 대상 시스템에 대해서 잘 아는 것이다. 어떤 설계 기준(Design Basis)이 적용되었는가. 어떻게 제어하는가, 비상시 작동하는 비상시스템은 어떤 것들이 있는가, 다른 시스템들과는 어떤 영향을 주고받는가 등등에 대해서 파악하고 있어야 한다. 시스템에 대해서 능숙한 엔지니어들이 적다는 것이 국내 조선 업계의 당면 문제 중의 하나이다.

3.2 위험도 추산

위험도 추산(Risk Evaluation)은 사고의 빈도와 피해규모를 고려하여, 얼마나 심각한 위험인지 정량화하는 작업이다. 위험도(Risk)는 다음과 같이 정의한다.

$$\text{위험도 (Risk)} = \text{사고 빈도 (Frequency)} \times \text{피해 규모 (Consequence)}$$

사고 빈도와 피해 규모는 여러 다른 표현이 가능하다. 예를 들면, 빈도라는 말 대신 확률(Probability) 또는 개연성(Likelihood), 피해 규모 대신 심각도(Severity) 또는 충격(Impact)이라고도 한다.

위험도 추산 작업은 두 요소인 사고 빈도와 피해 규모 추산으로 나누어진다. 피해 규모는 정량화가 쉽다. 예를 들어, 특정 중량물이 낙하할 경우 피해 규모, 고압 용기에서 가연성 기체가 누출될 경우 확산 반경, Flare Stack으로부터 받은 최대 복사열 등을 프로그램을 이용하거나 경험에 의지하여 신뢰성 있는 수준으로 추산 가능하다. 하지만, 사고 빈도는 예측하기 어려운 경우가 태반이다. 특정 중량물이 낙하할 빈도, 고압 용기에서 가연성 기체가 누출될 확률, Flare Stack으로부터 최대 복사열이 발생할 횟수 등은 추산이 막막하다. 이 경우에는 대개 과거의 경험치를 이용한다.

3.3 대책 시행/평가

대책 시행/평가(Action/Check) 단계에서는 각 위험도에 따라 어떤 대책을 시행할 것인지, 그 대책이 시행되면 위험도가 얼마나 감소할 것인지를 결정한다. 시행할 대책의 경중은 위험도의 대소에 따라 달라진다. 위험도가 사고 빈도와 피해 규모의 곱으로 나타내어지므로, 대책은 사고 빈도를 줄이거나 피해 규모를 줄이는 방안이어야 한다. 대개 다음과 같은 기준을 적용한다.

- 고위험도: 위험도 경감 대책을 무조건 제시한다.
- 중위험도: 책임자 또는 관리자가 경감 대책 시행 여부를 결정한다.
- 저위험도: 대책을 세우지 않고 위험을 감수한다.

중위험도 영역을 흔히 ALARP(As Low As Reasonably Practicable) 영역이라고 한다. 글자 그대로, 논리적으로 실행 가능한 최소 위험도가 되도록 한다는 뜻인데, 실제로는 그리 간단하지 않다. 경감 대책의 시행에 소요되는 비용(Cost)과, 얻어지는 위험도 감소 이득(Benefit)을 비교 분석

Frequency	3	3(D)	6(U)	9(U)
	2	2(D)	4(D)	6(U)
	1	1(N)	2(D)	3(D)
		1	2	3
		Consequence		

U: Unacceptable. Measures to be taken.
 D: Managerial decision required based on ALARP principle
 N: Negligible. No further measure considered.

Fig. 2 An example of risk levels and measures

(Cost-Benefit Analysis)하여 시행 여부를 결정해야 한다. 비용과 이득을 산출할 때, 생애 기간에 걸쳐 발생하는 모든 비용(투자비 + 운전비 + 유지보수비)을 산출해야 하고, 위험도 감소로 생기는 이득도 인명, 설비 보호, 환경 오염 감소 등을 고려해야 하므로, 실제로는 매우 어려운 작업이 된다. 현재 받아들여지고 있는 ALARP 접근법 중 가장 논리적인 것 중 하나가 SIL(Safety Integrity Level) 분석이다. 이 부분에 대해서는 5장의 IEC 규정을 참고하도록 한다.

저위험도는 감수 수준(Acceptance Level) 이하의 위험도들을 말한다. 위험 요소가 존재하는 한, 해당 위험도를 영(Zero)로 만들기는 불가능하다. 위험도를 영으로 만드는 방법은 위험 요소 자체를 없애버리는 것인데, 이는 경제적 이득이나 편리를 얻고자하는 대상 자체를 없애는 것이 된다. 예를 들어, 자동차 사고로 죽는 위험도를 영으로 만드는 방법은 자동차를 타고 다니지 않은 것이 된다.

대책 평가는 시행된 대책이 얼마나 위험도를 줄였는지를 평가하는 것이다. 되풀이 강조하면 위험도가 사고 빈도와 피해 규모의 곱이므로, 시행된

대책은 사고 빈도나 피해 규모를 줄이는 방안이 되고, 그 결과 나타난 위험도는 줄어들게 된다. 이 줄어든 위험도가 고/중/저위험도인지에 따라 추가 대책 여부가 결정되게 된다.

4. 여러 가지 위험도 해석 방법론

위험도기반설계 분야는 약 100여년 동안 보험, 화학산업, 원자력 발전, 우주 및 항공, 군사 등 여러 분야에서 독립적으로 발달해 왔다. 각 분야는 나름대로 특징이 있다. 예를 들어, 화학 산업 분야는 화재 및 폭발이 주된 관심사였고, 접근 방법 또한 이러한 사고를 방지하는 안전시스템의 평가나 설계 중심으로 발달되어 왔다. 이에 비해, 우주 및 항공 분야에서는 사고가 단일 부품의 고장에 의해 발생할 가능성이 많으므로, 부품 신뢰도나 고장 분석 중심으로 발달해 왔다.

근래 들어 위험도기반설계는 하나의 중심된 철학을 가지게 되는데, 바로 시스템안전과 생애주기 접근법이다. 시스템안전접근법은 안전을 단품이나 부품의 차원을 넘어서 전체 시스템의 관점에서 해결하고자하는 시도이다. 달리 표현하자면, 안전하고 신뢰도 높은 부품으로 이루어진 시스템이 꼭 안전하고 신뢰도 높다고 말할 수 없다는 정신에서 출발한다. 생애주기접근법은 시간의 측면에서 시스템적인 사고이다. 즉, 대상 시스템의 설계/제작/작동/유지보수/폐기 등 모든 단계를 고려한 최고의 안전과 최소 비용을 달성하고자 한다.

다양한 위험도 해석 방법들을 특정 기준에 따라 분류하고자 하는 시도는 실용성이 없는 결과를 낳는다. 이들 방법이 서로 배타적이지 않기 때문이다. 그럼에도 불구하고, 위험도 해석을 처음 접하는 경우, 다음과 같은 편의적인 분류가 도움이 될 것이다. 일단, 전체적인 위험요소 관리나 경영에 관련된 접근법과 개별 위험에 대한 위험도 해석 연구로 나누는 것이 편리하다. 다른 기준으로, 수행하는 방식에 따라 정성적 방법과 정량적 방법으로 나눌 수 있고, 용도에 따라 위험도 평가와 운전 신뢰성 분석으로 나누어진다. 각각을 이분화하

여 설명하기보다 항목별로 3장과 다른 항목에 맞추어 설명하도록 한다. 해양 설비에 대한 전반적인 위험도 해석은 일반적인 문헌을 참고한다 (Vinnem 1999).

4.1 전체적인 위험도관리 방법론

전체적인 위험도 관리를 위해서 가장 기초적인 문건이 위험도관리계획서(Risk Management Plan)이다. 위험도관리계획서에 포함된 핵심 내용은 다음과 같다.

- 관리 조직: 누가 어떤 위험 요소를 관리할 것인가?
- 대상 분야: 어떤 부문들이 포함될 것인가?
- 과정/단계: 어떤 식으로 수행하고 평가할 것인가? (3장 참조)
- 핵심 문서: 어떤 문서(대개 Risk Register)를 기준으로 진행할 것인가?

이와 같은 문서는 Construction/Operation HSE 경영에 모두 중요하다. 선박 및 해양 설비는 그 내용이나 범위면에서 어지간한 화학공장 수준이다. 따라서, 관련자들이 각자의 업무는 나름대로 수행하되, 동일한 기준을 적용하고, 각자의 업무 진행이 전체 업무 진행과 유기적인 관계를 유지하도록 해야 한다.

전체적인 위험도 목록(예를 들어, Risk Register)은 중심축 역할을 하므로, 항상 이 문서를 중심으로 일이 퍼져나가고 모아져야 한다. 대개 HAZID, HAZOP, FMEA할 것 없이 이러한 목록을 만들게 되며, 추가 작업이 필요한 경우 6하 원칙에 따라 기입하게 된다. 추가 작업이 완료되면 위험도 목록은 갱신되어야 한다.

4.2 개별적인 위험도해석 방법론

전체적인 위험도 관리 방안(예를 들어, Risk Management Plan)이 정해지면, 개별적인 위험도 해석이 이루어진다. 개별적인 위험도 해석은 단순한 계산일수도 있고, '4.4 정량적 위험도 해석 방법론'에 설명된 바와 같이 복잡할 수도 있다.

개괄적인 수행 방법은 전체적인 위험도관리 방안에서 결정되어 있지만, 개별적인 위험도 해석은 나름대로의 수행 방법을 확정해야 한다. 예를 들어, Risk Management Plan에서는 Figure 2와 같은 기준을 제시한다. EER Study는 필요한 나름대로의 기준을 만들고, 이 기준이 적합한지 여부를 다른 관련자들과 협의해야하고, 발주처의 승인을 받아야 한다.

4.3 정성적 위험성 해석 방법론

많은 정성적 위험성 해석 방법론들이 정량적인 접근법을 일부 수용하므로, 정량적 위험도 해석 방법론(QRA)과 명확히 구분하기 힘들다. 하지만, 정량적 위험성 해석 방법론은 일반적으로 특정 위험 요소를 확률론적 접근법과 통계 자료를 이용하여 분석함을 의미한다. 이런 이유로, 정성적인 위험도 해석 방법론들은 대개 전체적인 위험도 해석에 주로 사용된다.

정성적인 위험도 해석 방법론의 대표 주자는 HAZOP Study이며, 이와 유사하게 FMEA, What-if, Checklist 등이 있다. HAZOP은 시스템에서 일어날 수 있는 상황을 Guideword에 따라 설정하고, 그 원인과 결과, 거기에 따른 안전 대책이 세워져 있는지 검토한다. 다른 방법들도 나름대로 독특한 접근 방식들이 있지만, 전체적으로는 3장에서 설명한 위험도기반설계의 단계에서 설명한 테두리를 벗어나지 않는다.

4.4 정량적 위험도 해석 방법론

앞서 설명한 바와 같이, 정량적 위험도 해석(Quantitative Risk Analysis, QRA)의 가장 큰 특징은 특정 위험 요소를 확률론적 접근법과 통계 자료를 이용하여 분석하는 점이다. 이런 이유로 위험도기반설계는 확률적 위험도 해석(Probabilistic Risk Analysis)이라고도 불린다.

확률과 통계에 의한 접근법이 정량적 위험도 해석의 장점인 동시에 한계이다. 선박이든지 해양 설비이든지 가장 주요한 위험으로 꼽히는 화재 및 폭발 위험도 해석을 예로 들자. 일단 화재가 일어

나기 위해서는 배관이나 장치로부터 가연성 가스의 누출이 있어야 한다. 정화원에 의해 발화되면 화재가 되지만, 그렇지 않으면 누출된 가스가 바람이나 통풍의 영향으로 퍼져 폭발할 위험이 있다. 이와 같은 사고를 분석하기 위해서는 무수히 많은 경우의 수가 존재한다. 어느 부분에서 얼마나 많이 누출될까? 누출시 비상안전시스템은 작동할까? 정화원은 무엇 무엇인가? 정화될 확률은? 바람은 방향과 세기는? 등등. 따라서, 대부분의 량적 위험도 해석은 시나리오 수를 줄이고, 간략화된 모델을 사용하게 된다.

선박이나 해양설비 운전시 가장 관심있는 안전 관련 물음은 아마 사고가 발생하여 얼마나 많은 운전자들이 다치거나 죽을 수 있을까, 그 원인은 뭘까하는 것이다. 이를 해석하는 것이 Fatality Risk Assessment이다. 이 연구는 여러 가지 사고 원인(화재, 폭발, 헬리콥터 이송, 다른 선박과의 충돌 등등)에 따라 예상되는 사상자 수(Fatality)를 산출하게 된다. 매우 광범위한 내용을 다루어야 하므로, 대개 각 항목에 대해서 별도의 해석을 진행하게 된다.

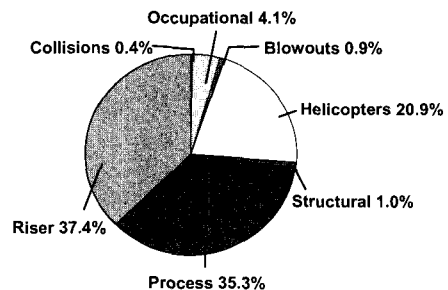


Fig. 3 An example of risk contribution to an offshore installation

가장 관심있는 사고는 가연성 가스의 누출과 이에 따른 화재나 폭발인데, 이를 해석하는 연구가 Fire and Explosion Risk Analysis(FERA)이다. 실제로는 화재나 폭발이 사망 원인의 절대 분율을 차지하지는 않는다. 하지만, 설계 변경에 가장 큰 영향을 받는 항목, 그러니까 설계 변경에 의해 사상자 수를 줄일 수 있는 항목이므로, FERA가 항

상 중요하게 인식된다.

국지적으로 끝날 수 있는 많은 사고들이 커지게 되는데(Acceleration), 가장 큰 원인은 가연성 기체나 연기의 확산과, 화염(화재에 의한 것이든, Flare Stack에 의한 것이든)에 의한 복사열이다. 이를 해석하는 연구가 (Gas & Smoke Dispersion and Heat Radiation)이다.

대형 사고로 인하여 비상 상황이 발생하고, 이에 따라 대피나 탈출이 이루어지는 시점에 사상자가 가장 많이 발생한다. 비상 상황이 발생하면 경보가 울리고, 운전자들은 평상시 훈련받은 대로 특정 지정(Temporary Refuge)에 집결(Escape)하며, 지휘관자의 판단에 따라 필요한 경우 해상 탈출이나 헬리콥터 탈출(Evacuation)을 시도한다. 탈출 과정에서 해상에 조난된 사람들을 구조(Rescue)해야 한다. 이러한 일련의 작업들이 얼마나 효율적으로 수행되는가를 평가하는 것이 Escape, Evacuation and Rescue (EER) Analysis이다.

성공적인 대피, 탈출, 구조가 이루어지기 위해서는 비상 시스템이 비상 상황에 잘 견디어야 한다. 대피소인 Temporary Refuge는 화재나 폭발에도 잘 견디 대피자들을 보호해야 하며, 비상 방출 시스템들은 Utility가 공급되지 않은 상황에서도 고압 기체나 액체를 지정된 장소로 방출시켜 사고 확산을 방지해야 하며, 비상 전원 시스템은 비상 탈출에 필요한 최소한의 전원 공급을 보증해야 하며, 비상 통신 설비들은 선박이나 해양 설비 내부뿐만 아니라 구조나 상황 전달을 위해 육상과의 의사 소통도 원활하게 유지시켜야 한다. 이렇게 비상시스템이 비상 상황에서 얼마나 잘 견디는지 평가하는 것이 Emergency System Survivability Analysis이다.

이외에도 특정한 위험 요소에 대해서 특정 연구를 수행한다. 영국 근해인 북해와 같이 선박의 왕래가 많은 곳에서는 선박과의 충돌에 의한 위험도를 평가해야 한다. 이러한 목적으로 수행되는 것

이 Ship Collision Study이다. 무거운 짐을 옮기기 위해 크레인을 사용하는데, 크레인에서 떨어진 물건들이 얼마나 큰 충격을 유발하며 얼마나 자주 떨어지는지에 대한 위험도는 Dropped Object Risk Analysis를 통해 이루어진다. 운전자들이 헬리콥터나 수송선을 이용하여 선박이나 설비에 출입하게 되는데, 이에 대한 위험도는 Transportation Risk Analysis로 이루어진다.

4.5 운전시 신뢰도 해석

운전시 가장 관심이 있는 점은 시스템의 유용도(Availability)와 안전시스템 신뢰도(Reliability)로 나누어진다. 안전시스템 신뢰도는 대개 PFD(Probability of Failure on Demand)로 표현하는데, 작동하도록 명령 받았을 때 실패할 확률을 일컫는다. PFD 수준에 따라 SIL 수준을 SIL 1부터 SIL 4까지 세분화한다. 이 부분에 대해서는 5장의 IEC 규정에 대한 설명을 참조한다. 신뢰도 해석을 위한 전반적인 내용은 일반적인 문헌을 참고한다(Rausand and Hoyland 2004).

유용도는 주어진 시스템이 주어진 기간 동안 작동하는 확률이다. 예를 들어, 어떤 시스템이 100일 동안 90일 작동하고, 10일 동안은 고장이나 유지보수의 사유로 작동하지 않으면 유용도는 0.9가 된다. 유용도는 크게 신뢰도(고장나지 않을 확률)과 유지보수도(고장나면 고치는데 소모되는 시간)의 함수이다. 따라서, 자주 고장나더라도 짧은 시간에 고칠 수 있으면 유용도가 높을 수 있다.

운전시 고장과 이에 따른 유지보수는 설비의 경제성에 직결된다. 적절한 간격의 사전 검사를 통해서 고장을 줄이고, 알맞은 양의 예비 부품과 유지보수 엔지니어들을 확보하는 것이 중요한 문제가 된다. 이러한 필요에 따라 발달한 분야가 RBI(Risk-Based Inspection)와 RCM(Reliability-Centered Maintenance)이다. RBI는 배관이나 고압 용기 또는 철구조물과 같은 정지된 설비의 사전 검사 및 유지보수를 목표로 한다. 육상 화학공장분야에서는 많은 발전이 있었어, 현재 선박 및 해양 설비 분야에서 받아들이고 있는 상황이다.

RCM은 펌프나 압축기처럼 작동 기계류의 사전 검사와 유지보수를 목적으로 하기 때문에 일반화가 어렵다. 현재는 단일 공사를 바탕으로 RCM 체계를 구축하는 실정이다. 많은 선주들이 주계약자인 조선사에 운전자 유지보수 관련 체계의 설치까지 요구하곤 한다.

5. 관련 법규 및 기준

5.1 제조물 책임법

위험도기반설계는 많은 면에서 제조물책임(Product Liability)법과 유사하다. 나라마다 약간씩 차이가 있지만, 제조물 책임은 이전 범세계적인 규범으로 자리잡고 있다. 제조물 책임의 기본 정신은 "안전성이 결여된 제조물로 인하여 이용자가 손해를 입혔을 때, 그 피해를 제조업자가 책임진다"는 것이다. 선박 및 해양 설비의 위험도기반설계도 이와 유사한 정신을 가지고 있다. 즉, 선박 및 해양 설비의 운전 시점에서 발생할 사고를 예측/평가하고 적절한 대책을 수립해야 한다.

시야를 넓혀서, 현재 국내 조선사가 요구받고 있는 위험도경영을 제조물책임법과 비교해 보면 제조 단계에서까지 책임을 묻고 있다고 할 수 있다. 즉, 많은 선주들이 자신들의 손익과 직접적인 관련이 없는 선박이나 해양 설비의 제작 단계에서 발생하는 사고의 책임까지 Operation HSE 경영을 통해서 국내 조선사에 묻고 있는 실정이다.

5.2 IMO MSC FSA와 GBS

해양 설비 분야에 비해 선박의 경우에는 위험도기반설계에 대한 필요성이 상대적으로 적었으나, 1995년 IMO MSC에서 선박 설계에 있어 위험도 해석에 기반을 둔 Formal Safety Assessment(FSA)개념을 채택함으로써 획기적인 전환점을 맞이하게 된다. 이후 1997년 FSA Interim Guideline이 마련되었으며(IMO 1997), 2002년 FSA를 위한 지침서가 완성된 상태이다(IMO 2002).

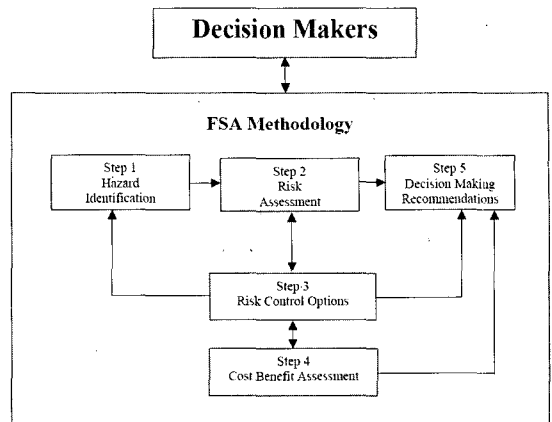


Fig. 4 Flowchart of FSA methodology from IMO MSC Circular 1023

IMO FSA 지침서에는 FSA 수행 목적, 범위, 방법론에 대해 소개하고 있다. IMO FSA의 수행 단계는 Figure 3과 같다(Rosqvist 2004). 최근까지 주로 Bulk Carrier 대한 FSA 적용을 통한 위험도기반 설계 연구가 IMO 회원국 또는 IMO의 지원을 받은 기관에 의해 수행되었다.

IMO는 기존의 방법들(예를 들어, Serviceability Limit State, Ultimate Limit State, Fatigue Limit State)이 기본적으로 선박, 인명, 환경 등에 대한 안전성을 확보하는데 미흡하다고 생각한다. IMO는 궁극적으로 선박의 건조 및 운전 안전성 확보를 위해 전략적 목표(Goal)를 제시하고 향후 이를 선박의 설계, 건조, 운전 단계에 적용되도록 할 계획이다. 이를 Goal-Based Standard라고 부르는데, 전통적인 위험도기반설계와 동일한 개념이다. 2004년 새로운 선박 건조를 위한 표준, Goal-Based New Ship Construction Standards 이 발표되었다(IMO 2005). Goal-Based Standards는 선박 설계 및 건조에 있어 기존의 기준인 설계 수명(예, 25년)뿐 아니라 IMO 등이 제시하는 최소한의 안전 수준(Minimum Safety Level) 또는 최대 허용 위험 수준(Maximum Acceptable Risk Level) 등의 고려를 요구한다.

Goal-Based Standards의 기본 방침은 5단계

의 계층(Tier)으로 진행되도록 되어있다. IMO, 각 선급들, 산업계가 각 수준의 Tier에 참여하여 정해진 안전 수준 및 절차를 선박의 설계 및 건조에 반영하도록 되어 있다. 현재 Bulk Carrier에 대한 Goal-Based Standard 마련을 위한 절차와 그 세부 기준에 대해 IACS에 의해 제한한 상태이다 (IACS 2004). 또한 Goal-Based Standard는 기존 해양 구조물의 안정성 해석에 사용되었던 주요 위험도 해석 기법(화재 및 폭발 해석, 시스템 신뢰도, 가용도 해석 등)뿐 아니라 정해진 안전에 대한 목표를 달성하기 위해 시스템의 주기적인 수리 및 유지 보수에 대한 절차도 요구하고 있다.

위와 같이 확률적 위험도 기반 설계 기법은 이미 해양 산업에서는 1970년대 후반부터 적용하고 있는 방식이다. 즉, 해양 산업에서 사용하고 있는 높고, 엄격한 수준의 위험도기반설계 기법이 선박에도 확대 적용될 것으로 판단된다. 이에 따라 선박 산업에서도 해양 산업과 마찬가지로 사고 빈도 및 그 영향 해석에도 많은 노력을 투자할 것으로 보인다.

향후 선박에 대한 Goal-Based Standards가 구체적으로 정해지면, 기존의 설계 방식에 위험도 해석을 반영한 위험도기반설계가 확대 적용될 전망이다(Bainbride 2004). 현재는 이러한 위험도기반설계가 우선적으로 컨테이너선, 벌크선, 운반선에 적용될 예정(2005년 적용 예정)이나 점차적으로 다른 선박에 확대 적용될 것이다. 또한 IMO는 FSA와 Goal-Based Standards를 결합하는 방안 대해서도 검토중인 것으로 알려져 있다.

5.3 IEC 61508과 61511

선박 및 해양 설비의 많은 제어 및 안전시스템은 전기 또는 전자 부품을 많이 포함하고 있으며, 이들 전기 또는 전자 제품의 신뢰도는 안전시스템의 신뢰도에 직접적인 영향을 미친다. 이에 관해서는 다음과 같은 두 표준이 대표적이다.

·IEC 61508 Functional safety of electrical electronic programmable electronic systems

·IEC 61511 Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector

IEC 61508은 16단계로 구성된 전체적인 안전 생애주기(IEC 61508, Figure 2 Overall Safety Life-Cycle 참조)를 제시한다. 전체적 측면에서는 위험도기반설계의 3단계인 위험요소 파악, 위험도 추산, 대책 시행/평가와 그 궤를 같이 한다. IEC 61511은 공정(Process)이 포함된 시스템을 위해서 IEC 61508 기준을 재해석한 것이다. 이 표준의 측정 중의 하나는 SIL과 PFD를 연결하여 SIL을 정량화한 점이다. 아래 표는 SIL과 PFD를 보인 것이다. SIL 3 시스템이면 1,000번내지 10,000번의 명령(Demand)에 대해 한 번의 작동 실패를 허용하는 수준이다.

Table 3 SIL & PFD for low demand mode of operation (from Table 3 of IEC 61511)

SIL	PFD	
	Lower bound	Upper bound
4	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴
3	10 ⁻⁴	10 ⁻³
2	10 ⁻³	10 ⁻²
1	10 ⁻²	10 ⁻¹

5.4 영국과 노르웨이의 규제

대부분의 나라들, 특히 산유국들은 선박 및 해양 설비들에 대한 자국의 규제를 가지고 있다. 이들 중에서도 영국과 노르웨이를 대표적으로 살펴볼 만하다.

노르웨이는 QRA를 해양 설비에 처음으로 도입/적용하였으며, 선박 및 해양 설비의 위험도기반설계 분야에서 선도적인 위치를 차지하고 있다. NPD가 노르웨이의 정부 기관으로서 해양 설비 안전을 관장한다. 이 기관에서 1990년에 발행한 규정(NPD 1990)은 다음과 같은 항목을 수행하도록 규정하고 있다.

- Safety & Emergency Preparedness
- Work Environment
- Internal Control
- Safety Zones
- Risk Analysis

이 이후에 나온 부유식 구조물에 대한 규정 (NPD 1993)도 이 규정과 대동소이하다.

영국은 QRA를 뒤늦게 도입하였지만, 1988년에 일어난 Piper Alpha Platform 사고를 분석한 Cullen 보고서(Cullen 1990)에 의해 안전 분야가 비약적으로 발전한다. 영국계 오일 메이저들이 HSE에 대해 가장 까다로운 이유도 여기에 있다.

영국의 해양 안전은 Health & Safety Commission(HSC) 관할하는데, HSC 산하에 Health & Safety Executive(HSE)라는 기관이 해양 설비들의 허가, 검사 및 안전 관련 연구를 수행한다. 영국의 해양 설비 관련 규제는 Piper Alpha Platform 사고로 인해 큰 전환을 맞았는데, 가장 큰 특징은 설비 운영 회사들이 Safety Case를 제출해야 한다는 점이다.

Safety Case의 요구 사항을 몇 가지 나열하면 다음과 같다(HSE 1992).

- Health & Safety at Work etc 1974를 비롯한 다른 규제를 만족한다.
- 주요 사고에 대해 모든 원인이 파악되었다.
- 위험도들이 평가되었고 대책이 ALRAP 관점에서 최소화되었다.
- 위험도들의 평가 및 대책의 효율성이 적절함을 정량적위험도평가(QRA)를 통해서 보여야 한다.

5.5 HSE 경영시스템

세계 각국의 여러 기관에서는 나름대로 다양한 안전·보건경영시스템을 개발해 왔다. 안전·보건경영에 대한 표준(Standard), 규격(Specification) 또는 지침(Guide)은 대개 두 부류로 나누진다.

- 1) 인증기관이나 공공기관이 개발한 제 3자적 규격

- BS (British Standard) 8800
- OHSAS (Occupational Health & Safety Assessment Series) 18000
- OHSMS (Occupational Health & Safety Management System) 18000

- 2) 사업장이나 회사가 자체적으로 개발한 각 회사의 고유한 안전·보건경영 표준이나 규격

일반적으로 널리 알려진 안전·보건경영 표준이나 규격은 대개 전자에 해당하는 인증기관이나 공공기관에서 개발한 규격이다.

OHSAS 18000을 포함한 대부분의 안전·보건경영시스템 규격은 영국표준연구소(British Standard Institute, BSI)의 BS 8800을 기본모델로 채택하고 있다. BS 8800이 안전·보건경영시스템의 기본이 된 것은 안전·보건경영시스템에 앞서 개발·시행되고 있는 품질경영규격(ISO 9000's)과 환경경영규격(ISO 14000's)의 기본골격이 영국표준연구소의 BS 5750과 BS 7750에 바탕을 두고 개발되었기 때문이다.

6. 국내 조선 산업의 대응 방안 제언

위험도경영을 안전-품질-고객만족-기술개발과 연계시켜 능동적으로 대처해야 한다. 국내 조선업계의 고객들 중 상당 부분은 국제적인 오일 메이저들이며, 이들은 세계 최고 수준의 안전과 품질을 요구한다. 이들을 위한 고객만족은 어느 한 부품이나 단품의 혁신적인 성능을 넘어서, 생애기간 동안의 전체 시스템에 대한 높은 안전도와 운전 신뢰성에 있다. 고부가가치 선박이나 해양 설비의 경쟁력이 제작 관련 원가 경쟁에서 벗어나 안전과 품질이라는 가치를 지향하는 방향으로 흐르는 것이 국내 조선 업계에 큰 다행이다. 안전과 품질에 관한 고객 요구를 '울며 겨자 먹기 식'으로 대처하기 보다, 안전과 품질 그리고 기술개발의 도약이라는 발판으로 삼아 중국과의 격차를 유지해야 할 것이다.

위험도기반설계의 요소 기술들을 개발하여 자체적으로 수행해야 한다. 위험도기반설계는 광범위하고 각 요소 기술들이 서로 깊이 관련되어 있어, 단계적인 접근이 실제로 매우 어렵다. 현재 대부분의 위험도 해석 연구들은 외국 엔지니어링사에 의해 이루어지는데, 국내 조선 업계의 입장에서 보면 고객 만족의 가장 중요성 요소 중의 하나를 외부에 의뢰하는 셈이다. 국내 학계에서 뒷받침 받기도 어려워, 각 회사가 장기적이며 인내력 있는 인력에 대한 투자를 지속해야만 결실을 볼 수 있다. 다행히, 몇 가지 해석 연구들은 방법론이 쉽고 다른 해석 연구와의 영킹도 적어, 비교적 짧은 기간에도 수행 능력을 확보할 가능성이 크다.

시스템 엔지니어를 양성해야 한다. 국내 조선 기술의 가장 큰 단점 중에 하나가 시스템 엔지니어들이 적다는 점이다. 특정 분야에 특정 기술을 가진 엔지니어들은 많지만, 시스템을 어떻게 설계하고 제어하고 유지보수해야 하는지에 관한 전체적인 시야와 통합 기술을 가진 엔지니어들은 소수이다. 시스템 엔지니어들이 계속해서 육성되기 위해서는 임계점(Critical Mass) 이상의 인력들이 유지되어야 한다. '소수 정예'들은 자연 감소와 과대 업무로 인해 자생력과 성장력을 곧 잃고 만다.

국내 조선 업계가 멀게만 느껴졌던 일본 조선 업체를 순식간에 추월한 이유 중에 하나는 설계 유연성을 바탕으로 고객 요구를 능동적으로 수행한 것이다. 이러한 접근 방식이 설계 업무의 가중과 제작 일정의 차질 등 많은 문제를 불러일으켰지만, 장기적으로는 국내 조선업의 경쟁력을 키워왔다. 위험도경영 및 위험도기반설계에 대한 고객들의 다양한 요구를 적극적으로 만족시키고자하는 국내 조선 업계의 접근법이 당장은 인력 부족과 우수한 설계 변경에 따른 문제를 일으키겠지만, 그 결실은 국내 조선 업계의 장기적 경쟁력 확보로 이어질 것이다.

7. 결론

이 논문에서는 위험도경영과 위험도기반설계의

필요성과 개괄적인 수행 방법, 그리고 국내 조선 업계의 대응 방안에 대해서 살펴보았다. 이 분야에 대한 여러 가지 현실적인 어려움에도 불구하고, 안전-품질-고객만족-기술개발의 연결고리로서 위험도기반설계를 능동적으로 받아들여야 할 것이다.

위험도경영과 위험도기반설계는 고객의 가장 큰 요구이기도, 조선 업계에 몸담고 있는 우리들의 사명이기도 하다. 우리의 고객이 안전을 얼마나 중요하고 당연하게 생각하는지, Exxon Mobil의 CEO인 Lee Raymond가 한 말을 인용하고자 한다.

"As managers and leaders of a major company, it is our moral obligation to ensure the safety of our workers. Why do we have moral obligation? To make sure that mothers and fathers return home safely to their children."

약어

ALARP	: As Low As Reasonably Practicable
EER	: Escape, Evacuation and Rescue
EIA	: Environmental Impact Analysis
ETA	: Event Tree Analysis
FERA	: Fire and Explosion Risk Analysis
FMEA	: Failure Mode & Effect Analysis
FPSSO	: Floating, Production, Storage and Offloading
FSA	: Formal Safety Assessment
FTA	: Fault Tree Analysis
HAZID	: Hazard Identification
HAZOP	: Hazard & Operability Study
HSC	: Health & Safety Commission
HSE	: Health, Safety and Environment
HSE	: Health & Safety Executive
IACS	: International Association of Classification Societies
IEC	: International Electrotechnical

Commission

IMO	: International Maritime Organization
LNG	: Liquefied Natural Gas
MSC	: Maritime Safety Committee
NPD	: Norwegian Petroleum Directorate
PFD	: Probability of Failure on Demand
QRA	: Quantitative Risk Assessment
RBI	: Risk-Based Inspection
RCM	: Reliability-Centered Maintenance
SIL	: Safety Integrity Level
TR	: Temporary Refuge

참 고 문 헌

- Bainbride J., 2004, "Design/Operation /Regulation for Safety-SAFEDOR", 9th Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, Luebeck-Travemuende, Germany.
- Cullen, H.D., 1990, The Public Inquiry into the Piper Alpha Disaster, Department of Energy, HMSO, London.
- Health & Safety Executive (HSE), 1992, A Guide to the Offshore Installations (Safety Case) Regulations, HMSO, London.
- International Association of Classification Societies (IACS), 2004, IACS Common Structural Rules: Joint Bulker Project.
- International Maritime Organisation (IMO), 1997, Interim Guideline for the Application of Formal Safety Assessment (FSA) to the IMO Rule-Making Process, MSC/Circ. 829.
- International Maritime Organization (IMO), 2002, Guideline for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process, MSC/Circ. 1023.
- International Maritime Organization (IMO), 2005, Goal-Based New Ship Construction Standards: Considerations on Some Basic Building Blocks in Goal-Based Standards, MSC 80/6/7.
- Kandola, B., 2002, "Performance Standards in Safety Risk Management," PB Network January, pp. 17-19.
- Norwegian Petroleum Directorate (NPD), 1990, Regulations Concerning Implementation and Use of Risk Analyses in the Petroleum Activities.
- Norwegian Petroleum Directorate (NPD), 1993, Regulations Concerning Risk Analyses for Mobile Offshore Units.
- Rausand, M., and Hoyland, A., 2004, System Reliability Theory, Wiley Interscience, New Jersey.
- Rosqvist, T., and Tuominen, R., 2004, "Qualification of formal safety assessment: an exploratory study, Safety Science", Vol. 42, 99-120.
- Vinnem, J.E., 1999, Offshore Risk Assessment, Kluwer Academic Publishers, London.



< 장 대 준 >