

사고 통계 분석을 통한 해양 시추작업 위험요소 제시 및 JSA 기반 위험저감 방안

Identification of Hazards for Offshore Drilling through Accident Statistics and JSA-based Risk Reduction

노현정¹, 강관구^{1*}, 박민봉², 김형우¹

Hyonjeong Noh¹, Kwangu Kang^{1*}, Min-Bong Park², Hyungwoo Kim¹

〈Abstract〉

Offshore drilling units have a very dangerous working conditions due to the harsh working environment of the ocean and the high possibility of fire or explosion. This study would identify the hazards that emerge from the marine environment in the operation and maintenance phase of offshore drilling units and show how these hazards can be reduced through risk assessment/management. Various risk reduction and management measures were first reviewed, and Job Safety Analysis (JSA) was selected as the risk assessment technique of this study. In order to understand the characteristics of offshore drilling operations, accident statistics of onshore and offshore drilling were analyzed and compared with each other, and major risk factors for offshore drilling were derived. The jobs in which offshore drilling accidents occur more frequently than onshore drilling was analyzed as the job of fastening, transporting and moving pipes and various materials. This result is due to the limited space of the ocean and the work environment that is prone to being shaken by wind, waves and ocean currents. Based on these statistical results, the job of picking and making up drill pipes was selected as a high-risk job, and JSA was performed as an example. A detailed safety check procedure is proposed so that workers can fully recognize the danger and perform work in a safe state that has been confirmed.

Keywords : Offshore, Drilling, Risk management, JSA, operation & maintenance

1* 선박해양플랜트연구소 해양플랜트산업지원센터
E-mail: kgkang@kriso.re.kr
2 Korea Offshore Company

1* Offshore Industries R&BD Center, KRISO
2 Korea Offshore Company

1. 서론

석유와 가스는 현대 산업 사회에 있어 필수적인 에너지원임을 부인하기 어렵다. 최근 지구온난화 등의 기후 문제로 인해 석유와 가스를 대체하고자 재생에너지, 수소에너지와 같은 새로운 에너지원의 개발이 이루어지고 있지만, 여전히 석유와 가스는 핵심적인 에너지원이다. 국내 에너지 수급 현황을 살펴보면 2018년 기준 307.5백만 toe (tonne of oil equivalent)의 에너지 소비 가운데 석유가 차지하는 비중은 39%, LNG(Liquefied Natural Gas)는 18%로, 석유와 천연가스가 차지하는 비율이 절반을 넘는 것을 알 수 있다 [1]. 이러한 석유와 가스는 지질층에 매장되어 있는데, 이의 정확한 위치와 매장량 파악을 위해서는 탐사 시추가 필수적이다. 시추를 통해 석유와 가스의 매장상태 및 성분을 정확히 분석하여 상업적으로 개발할 수 있다는 판단이 서면 본격적으로 개발을 시작하게 된다 [2].

시추 작업은 유·가스전의 위치에 따라 육상 시추와 해양 시추로 나뉘게 된다. 해양 시추의 경우, 유·가스를 탐사하고 개발하기 위해서는 해양 플랫폼이 필요하다. 시추 해양플랜트에는 고정식, 유연식 및 부유식 해양플랜트가 있으며, 고정식 및 유연식 해양플랜트는 상대적으로 수심이 얕은 근해의 유·가스전을 대상으로 운영한다 [3]. 부유식 해양플랜트는 이동하면서 시추 작업을 할 수 있는 semi-submersible rig나 drill ship 등을 말하며, 이러한 형태의 해양플랜트는 심해 또는 외해 시추 작업에 용이하다 [4].

시추 작업은 중대형의 장비를 사용하여 작업이 이루어진다. 동시에 소음이 심하고 작업 강도가 높은 작업들로 이루어져 있어 작업자들은 많은 위험에 노출되어 있다 [5]. 해양 시추 작업, 특히 부유식 해양플랜트의 경우, 심해에서 작업하기 때

에 바람, 파도, 해류 등에 의해 흔들리기 쉽다 [6]. 또한 해양 작업은 육상 작업에 비해 작업 공간에서 협소하고, 높은 습도와 강한 바람도 작업에 불리한 여건으로 작용한다. 보통 해양시추선을 운영하는데 60명씩 2팀, 총 120명의 인원이 필요하다. 이렇게 팀 형식으로 12시간 일하고 12시간 쉬는 스케줄이 3~4주간 이어지며, 3~4주의 작업 이후에는 헬기를 통해 다른 팀원과 교대하게 된다. 이와 같은 이유들로 해양 시추선 업무는 보수는 좋으나 사고가 발생할 가능성이 높기 때문에 안전에 항상 주의를 기울여야 하며, 위험도 관리가 필수적이게 된다.

이에 본 연구에서는 육상 시추 작업장과 비교하여 작업 환경이 상대적으로 더 열악하다고 할 수 있는 해양 시추 작업의 위험도를 운영·유지보수 단계에서 낮출 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 다양한 위험도 저감 및 관리 방안들을 우선적으로 검토하였고, 작업 안전성 평가(Job Safety Analysis, JSA)를 본 연구의 위험성 평가 기법으로 선정하였다. 해양 시추 작업의 특성을 파악하기 위해 육상 및 해상 시추 작업의 사고 통계를 분석하고 상호 비교하였고, 해양 시추작업의 주요한 위험 요인을 도출하였다. 그리고 해양 시추작업의 잠재적 위험도를 크게 낮추기 위해 JSA를 특정 예시작업에 적용하여 위험도가 낮추어 지는 과정을 구체적으로 보여주고자 한다.

2. JSA 기반 해양플랜트 위험 관리 방안

해양플랜트의 생애주기를 살펴보면 Fig. 1과 같이 개념설계, 초기 설계, 상세 설계, 건설, 운영·유지보수, 해체의 긴 사이클을 가지고 진행된다. Fig. 1에서 전체 생애주기의 각 단계별로 위험 관리에 들어가는 비용 및 그에 따른 안전 확보에의

실제 영향 정도를 보면, 운영·유지보수 단계에서의 위험 관리는 개념설계 상세설계 단계에서 보다 많은 비용 및 노력을 요구하지만, 안전도 향상을 위한 방안 마련의 효과는 개념·상세 설계 단계에서 더욱 큰 것을 알 수 있다 [7].

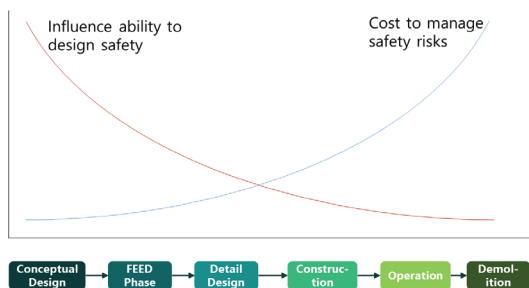


Fig. 1 Symberszki chart of influence over a product's life-cycle [7]

하지만 설계단계에서 모든 위험을 제거할 수는 없고, 설계단계에서 제거가 되지 못한 위험도는 운영·유지보수 단계에서 제거를 시켜야 한다. 실질적인 사고는 운영·유지보수 작업을 담당하는 '작업자'에게 일어나게 되므로 위험과 직접 대면하는 작업자가 당면하는 위험을 정확히 인지하고, 이를 적절히 제거할 수 있는 위험 관리는 매우 중요하다. 이에 본 연구는 해양플랜트 생애주기 중 운영·유지보수 단계에서의 위험 저감을 중점적으로 다루고자 한다.

해양시추선의 운영·유지보수 단계에서의 위험도 저감 및 관리 방안 도출을 위해서 위험 평가·관리를 범용적으로 다루고 있는 국제표준 ISO 31000을 우선적으로 검토하였다 [8]. Fig. 2에서와 같이 ISO 31000에서 제시하는 위험 관리(risk management)의 단계는 ① 위험도 관리의 전체적 상황 또는 맥락(context)의 설정 이후 ② (위험요소) 위험도 파악, ③ (위험요소에 대한) 위험도 분석, ④ 위험도 평가를 거쳐 ⑤ 위험도 저감 방안의 제안으로 이루어진다 [9]. 다시 말해, 위험도를

파악하고, 분석·평가를 거쳐 위험도 저감 방안을 제시하고 이러한 일련의 사항을 적절히 관리해야 한다는 내용이다.

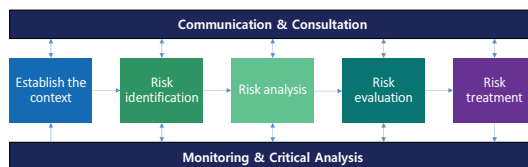


Fig. 2 Risk management process proposed by ISO 31000 [8]

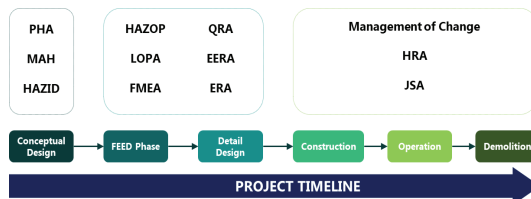


Fig. 3 Various risk assessment method over project's life-cycle. Full names of abbreviations are given in the main body of manuscript

해양플랜트의 경우 생애주기가 길고, 화재-폭발에 위험이 높은 유·가스를 직접 다루므로, ISO 31000에 기반한 다음과 같은 다양한 위험도 평가 기법들이 적용된다 (Fig. 3). PHA (Preliminary Hazard Analysis), MAH (Major Accident Hazard), HAZID (Hazard Identification), HAZOP (Hazard and Operability Study), LOPA (Layers of Protection Analysis), FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), EERA (Evacuation, Escape and Rescue Analysis), QRA (Quantitative Risk Assessment), ERA (Environmental Risk Analysis), HRA (Human Risk Analysis), JSA (Job Safety Analysis), Management of Change 등이 대표적인 평가 기법이다 [10]. 각각의 평가 기법들을 수행할 때 설계, 제조, 운영, 프로세스, 사업관리자 등 여러 분야의 전문가가 참여하여 결론을 도출하

는 형태를 가진다 [11]. 동시에 각각의 기법들은 ISO 31000에서 제시하는 위험 관리 프로세스를 따른다.

본 연구에서는 JSA를 활용하여 운영·유지보수 단계의 위험 관리를 효율적으로 수행할 방안을 제시하고자 한다. JSA란, 운영·유지보수 작업을 작업 단계별로 관찰하고 분석하여 각 작업 단계에 연루된 위험을 식별하고 제거하고 줄이기 위한 예비 조치를 말한다. JSA는 작업을 실제로 수행하는 팀에 의해서 회의를 통해서 수행된다. JSA 분석 결과는 특정 워크 시트형태로 문서화된다. JSA를 수행할 수 있는 구체적인 절차 및 활용방안을 Fig. 4에 구체적으로 나타내었다.

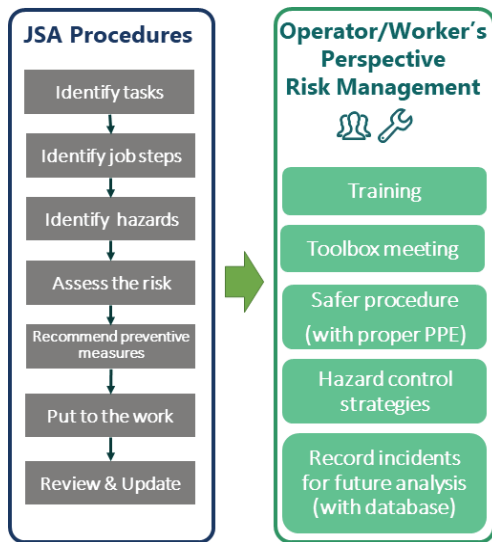


Fig. 4 Procedure and application of JSA [10]

JSA의 장점 및 활용방안은 아래와 같다. JSA는 작업을 할 때 발생할 수 있는 위험에 대해 단계적으로 분석하고 대안을 제시할 수 있다. 작업자는 JSA를 통해 작업 수행시 적절한 절차를 재검토할 수 있고, 적합한 보호구 등을 사용할 수 있게 된다. 작업 시작 전 toolbox meeting시 JSA를 활용

하면 작업자간 의사소통을 향상시켜 주게 되고, 위험도를 낮출 수 있는 가장 효율적인 방법 중 하나이다. JSA 결과 자료는 작업 안전 훈련 자료와 교육 프로그램 자료로 사용할 수 있다. 다시 말하면, 신규 작업자에게 숙련된 작업자의 지식 및 노하우를 체계적으로 전달할 수 있는 교육 자료로 활용할 수 있다. JSA 결과는 표준 작업을 문서화시킬 수 있는 강력한 도구가 될 수 있다. 또한, 작업장에서 발생한 사고를 기록하거나, 파악된 위험성을 기록하는 수단으로도 사용될 수 있다. 이렇게 생성된 자료는 향후 데이터 베이스화 시켜 여러 가지 방법으로 활용할 수 있다.

3. 시추 작업 사고 사례 분석

육상 및 해양 시추 작업에서, 사고 위험도가 높은 작업유형을 파악하기 위해, 국제시추연합(International Association of Drilling Contractors)에서 수집한, 자원 탐사, 개발 작업시 발생한 약 3,000건의 사고 사례[12]를 분석하였다. 2016년에서 2018년 사이 보고된 사고의 건수가 매년 약 1,000건에 달하고, 이는 사고가 매우 빈번하게 일어난다는 것을 의미하며, 이를 저감하기 위한 안전대책의 필요성이 높다는 것을 확인할 수 있었다. 이 분석 결과를 바탕으로 운영·유지보수 작업 중 발생하는 사고의 유형을 Fig. 5에 나타내었다.

시추 작업의 대표적 사고 유형은 협착, 충돌, 낙하, 과로, 화학물질 노출, 절단 등으로 파악되었다. 그 중 기계에 끼여 부상 또는 사망 사고가 발생하는 협착(caught between/in)이 가장 많은 사고 유형으로 분석되었다. 해양 시추는 37%, 육상 시추의 경우 31%로 두 작업 환경에서 모두 가장 높게 나타났다. 두 번째로 높은 작업 유형은 장비에 충돌(struck by)하는 사고로 해양 시추 19%,

육상 시추 28%로 나타났다. 그 다음으로 높은 사고 유형은 같은 층에서 미끄러짐(slip/fall: same level)으로 해양과 육상 시추 모두 9%로 나타났다. 이러한 사고 양상은 중장비를 다루고, 휴식을 취하기 어려운 작업 환경의 특성을 반영한다고 볼

수 있다. 해양과 육상 시추 모두 비슷한 양상을 보인 가운데, 해양 시추 작업이 육상 작업 보다 절단(cut) 사고 유형이 8%로 4%가량 더 높게 나타난 것이 특징적이다.

사고를 통해 다친 부위 역시 해양 시추와 육상

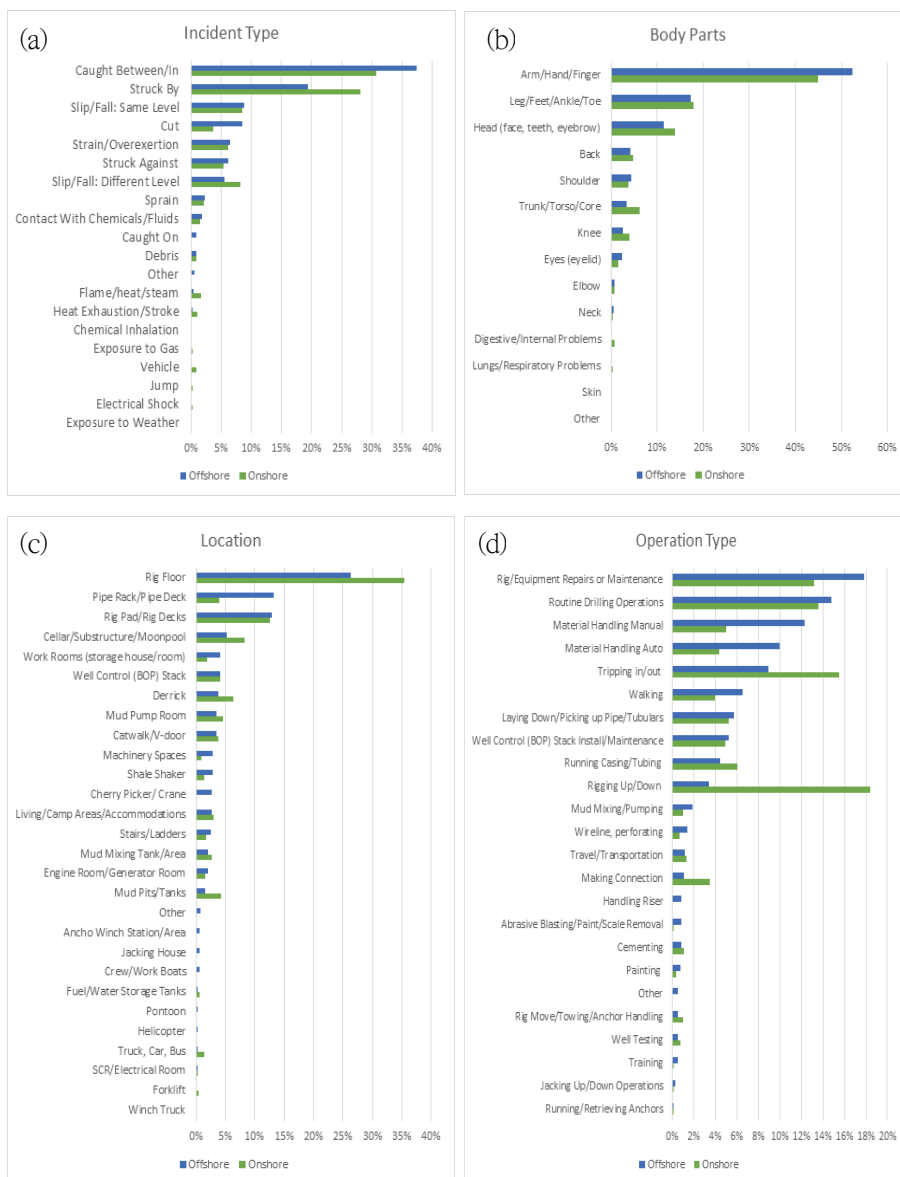


Fig. 5 Accident analysis by (a) incident type, (b) body parts, (c) location, and (d) operation type

시추의 양상이 비슷하게 나타났다. 손/손목/손가락과 팔 부분이 해양 시추 52%, 육상 시추 45%로 절반 가까이 차지하였다. 두 번째로 높은 신체 부위는 발/발목/다리로 해양 17%, 육상 18%로 나타났다. 그 다음은 얼굴(안면, 코, 입, 볼, 턱, 이 등) 부상으로 해양 11%, 육상 14%로 비슷한 경향을 보였다.

해양 시추와 육상 시추의 차이는 사고 장소와 작업타입에서 가장 두드러진다. 사고가 가장 많이 일어나는 장소는 rig floor/rig decks로 육상 및 해양 모두 같았으나, 육상은 전체에서 35%, 해양 시추는 26%로 그 차이가 크게 나타났다. 반면 해양 시추는 또한 pipe rack/pipe deck에의 사고 비율이 13%로, 육상에서의 4% 보다 크게 나타났고, 이는 해양의 경우 사고가 파이프 운반 시스템과 연계된 장소에서 육상보다 많이 발생하는 것을 뜻한다. 해양은 육상보다 훨씬 좁은 공간에서 작업이 이루어지게 되고, 이러한 공간적인 제한은 주로 파이프 내지 머티리얼의 운송·저장 등의 핸들링 작업에 위험 요소로 작용하게 되고, 통계분석이 이를 증명하고 있다.

사고가 일어나는 작업의 유형으로는 해양 시추의 경우 시추선/장비의 수리 또는 유지보수(rig/equipment repair or maintenance)가 18%, 일반적인 시추 운영작업(routine drilling operation)이 15%, 수동 운반 작업(manual material handling)은 12%를 차지했다. 육상 시추는 rigging up/down이 18%, tripping in/out이 16%, routine drilling operation이 14%를 차지했다. 이를 종합해 보면 해양 시추는 rig floor/rig decks에서 시추와 관련된 장비를 유지보수하는 작업 및 시추선 내에서 pipe를 체결하고 운반/이동하는 작업에서 사고가 많이 발생하고, 육상 시추의 경우 pipe, drill string 등의 장비를 올리고 내리는 작업에서 사고가 일어난다는 것을 확인 할 수 있었다. 또한

해양작업의 경우 material handling 작업에서도 사고가 많이 발생을 하고 있어서, 해양에서 바람, 파도, 해류에 의해 흔들리기 쉬운 작업환경과 육상보다 협소한 작업 환경이 육상과의 차이에 가장 큰 영향을 끼친 것으로 사료된다.

4. JSA 수행 결과 기반 시추 작업 위험 저감 방안 예시

사고 통계 결과, 해양 시추와 관련된 작업 중 파이프를 포함한 각종 시추 장비를 운반·이송 작업에서 사고가 육상 시추 대비 더 많이 발생하는 것을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 해양시추선에서 파이프 운반·이동 작업 중 가장 위험하다고 알려진 적재된 시추 파이프를 운반하여 실제 시추를 하는 파이프에 체결하는 작업을 JSA를 수행할 고위험 작업의 대표 예시로 선정하였다. 구체적인 JSA 결과를 Table 1에 나타내었다.

Fig. 6은 선정된 작업의 작업 공간 및 주요 장비를 나타낸다. 시추선에서 파이프를 뽑아내는 것을 trip out이라 하고, pipe를 조립하여 밑으로 넣는 것을 trip in이라 한다. Trip in / out 작업에서 시추 파이프의 연결 및 분해속도는 시추공정 시간에 큰 영향을 끼치지만, 작업 위험도도 매우 높은 작업이라 작업 속도를 높이는 것에만 집중할 수 없는 작업이다. 크레인기사와 운반 작업자가 크레인의 와이어 로프를 이용하여 pipe rack에 있는 시추 파이프를 cat work area까지 옮겨 놓으면 conveyer를 이용하여 v-door를 통해 시추가 실질적으로 수행되는 drill floor로 이송된다. 이러한 운반하는 과정에서 매우 긴 파이프가 수평 방향에서 수직 방향으로 위치가 변경된다. 시추선의 drill floor로 들어가는 장소가 v 모양을 닮아 v door라고 명칭 된다. 그 후에 elevator를 통해

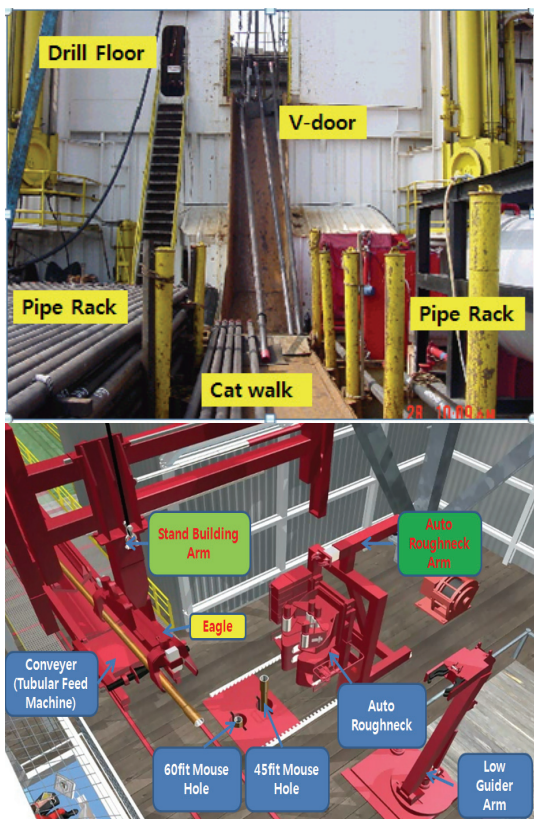


Fig 6. Job area and main equipment for picking up and making up drill pipes [13]

mouse hole에 임시로 체결 시킨다. Mouse hole에 임시 체결된 파이프를 실제 시추가 이루어지는 메인 시추 파이프에 iron roughneck 또는 pipe spinner를 사용하여 파이프를 체결하게 된다. 이러한 운반/체결 과정에서 다양한 해양 환경

및 지층에서 예기치 못한 상황 등으로 인해 낙하물 사고(drop object), 충돌(struck by), 폭발 등과 같은 사고로 작업자는 크게 다칠 수 위험이 있다.

JSA 수행 순서(Fig. 4)에 따라 'Pick up and make up drill pipes' 작업을 수행 단계별로 세분화하여 Table 1에 나타내었다. 그 다음 작업을 수행하는 각 단계별로 연루된 위험을 식별하고 평가한 뒤, 해당 위험을 제거하고 줄이기 위한 권고 조치를 제안하였다.

Table 1에서 No. 3의 파이프를 rack에서 floor까지 이송작업, No. 5의 체결 작업이 가장 위험한 작업 단계로 식별되었다. Table 1에서 확인할 수 있듯이 주요 위험 요인은 파이프 내지 장비의 떨어짐, 충돌 등으로 구성되어 있고, 이는 3장에서 논의한 해양 환경의 특수성에 기인한다. 이러한 위험 요소를 제거하기 위한 제안사항은 작업자가 안전한 상태를 확인한 후에 작업을 수행할 수 있도록 하는 것이다. 그리고, 파이프가 떨어지거나, 손/발의 끼임, 장비와의 충돌 등을 가능성을 사전에 인지하는 것이다. 위험한 위치에서 작업하지 않으며 장비를 등지고 서지 않거나, 장비로부터 신체를 보호하기 위해 장비를 잡는 부분 등이 해당된다. 이처럼 JSA 결과는 주로 현장에서 작업을 할 때 사고 발생을 줄이는 작업자 중심의 관리를 제시하고 있다. 또한 작업 시작 전 toolbox meeting시, JSA 내용을 복기하면, JSA 내용을 가장 잘 반영할 수 있고, Table 1의 작업순서도

Table 1. JSA document for 'pick up and make up drill pipes' in offshore drilling unit

No	Job Steps	Hazards	Recommendation	Risk Rating		
				L	S	R
1	Held Pre-job safety meeting/ toolbox meeting for all personnel involve	Personnel involved do not understand the work plan, not aware of the hazards involve	Ensure all personnel involve attends the meeting, if the plan is not clear, always asks questions.	1	1	1
2	Clean, inspect and maneuver pipe on pipe deck.	Deck can be slippery when using solvents for cleaning threads. Footing grip hazard.	Have drum below joints being cleaned. Hose down deck area regularly.	2	1	2

No	Job Steps	Hazards	Recommendation	Risk Rating		
				L	S	R
3	Pull pipe to drill floor with tugger and install in mouse hole.	<p>Pipe dropping down V door</p> <p>Pipe swinging into drill floor area from V door.</p> <p>Rabbit dropping out of pipe.</p> <p>Pipe being struck by traveling block assembly causing pipe to hang up.</p>	<p>Lifting cap and shackle secure to pipe and tugger line - keep clear once pipe is raised. Thread protector must be secured while lifting pipe to floor</p> <p>Hold pipe back at V door with rope across V door. Do not raise pipe above V door until slips are set and floormen are ready.</p> <p>Keep feet and hands clear when removing protector, as rabbit will drop out.</p> <p>Do not move pipe towards mouse hole while running pipe in hole. Ensure Banksman and crane operator have clear communication. Stop the job when communication is not clear.</p>	2	3	6
4	Pick up joint of pipe from mouse hole with elevator and install into joint in slips	Elevator striking personnel when link tilting towards mouse hole.	Do not stand between mouse hole and elevator after releasing elevator from joint in rotary. Driller needs to observe and only operate link tilt when clear of personnel. This is consider hazard zone, ensure crew not to stand in the line of Fire. Good communication is required.	1	3	3
5	Spin and make up joint of pipe into previous joint in the slips.	<p>Drillers view obstructed.</p> <p>Struck by iron roughneck.</p> <p>Struck by pipe spinner.</p> <p>Tong whipping.</p>	<p>Do not stand between driller and pipe in slips.</p> <p>Do not stand between pipe in slips and iron roughneck</p> <p>If spinning up pipe with pipe spinner make sure back up line attached.</p> <p>If torque up with tongs do not stand behind tong. Keep clear.</p>	2	3	6
6	Pull slips, run joint down and set slips.	<p>Elevator slip spacing</p> <p>Slips inadvertently falling into rotary on moving pipe.</p>	<p>Always hold slip handles from underneath and be diligent.</p> <p>Hold slips back from rotary cavity.</p>	2	2	4

L : Likelihood, S : Severity, R : Risk Ranking (L x S)

toolbox 미팅으로 시작한다.
JSA의 접근 방식 및 활용 범위를 운영·유지보

수 단계에 적용하는 것을 확장시켜 계획·설계 단계에서 활용하게 되면, 설계를 담당하는 엔지니어

또는 사업자가 고위험 설비 및 위험작업을 사전에 제거할 수 있게 된다. 다시 말하면, 위험 요소들은 작업자들에게 작업 방법을 인지하고 안전 교육을 시켜서 사고 발생 가능성을 낮추는 것보다는, 설계 변경 또는 보호 장치의 설치, 안전 작업 지역 등의 설정을 제시하는 것이 더 효과적일 수 있다.

이를 본 연구결과에 적용하면 다음과 같은 사항을 제안할 수 있게 된다. 우선 JSA 결과를 통해 세 가지 위험요소 - (1) v door에서 파이프가 안정적으로 고정되지 않을 위험, (2) mouse hole에 파이프를 설치할 때 파이프를 잡아주는 rabbit에서 파이프가 떨어질 수 있는 가능성, (3) 파이프를 이동할 때 파이프에 작업자가 충돌 할 수 있는 위험 - 를 도출 할 수 있다. 이러한 위험 요소를 설계 단계에서 제거하기 위해서 다음과 같은 방안을 설계에 적용할 수 있다. (1) 우선 v door에서 파이프의 안정적인 고정을 위한 자동시스템의 반영, (2) rabbit에서 파이프의 추락 방지를 위한 결합 방법의 변경, (3) 작업시 프로텍터(protector)의 설치, (4) 작업자가 안전 지역을 벗어나면 알람이 울리거나, 파이프 체결 장비의 작동을 정지시키는 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 잠재적 사고 위험이 높은 해양 시추선의 사고 유형을 분석하였고 JSA를 통해 위험이 어떻게 저감되는 지를 보여주었다. 해양 시추의 사고 통계 결과를 육상 시추 작업장과 비교하여 분석하였다. 해양 시추와 육상 시추의 차이는 사고 장소 및 작업 유형에서 크게 나타났다. 안전 사고가 육상 시추 대비 해양 시추에서 많이 일어나는 장소는 pipe rack/pipe deck, rig pad/rig deck과 같이 파이프 운반 시스템과 연계

된 곳이다. 시추와 관련된 장비를 수리·유지보수하는 과정 및 시추선 내에서 pipe와 각종 material을 체결하고 운반·이동하는 작업에서 사고가 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 바람, 파도 및 해류에 의해 흔들리기 쉬운 작업환경 및 해양이라는 제한적 좁은 공간에 기인된다고 판단된다. 이러한 통계 결과를 바탕으로 시추 파이프를 운반하는 작업을 고위험 작업으로 선정하고 JSA를 예시적으로 수행하였다. pipe rack에 적재된 시추 파이프를 drill floor까지 이송시키는 작업과 시추 파이프를 메인 파이프와 체결하는 작업이 위험한 작업 단계로 식별되었다. 작업자가 위험을 충분히 인지한 상태에서 작업을 수행할 수 있도록 안전 확인 절차 수행을 안전 방안으로 제안하였다.

사 사

본 논문은 선박해양플랜트연구소의 주요사업인 “해양플랜트 머티리얼 핸들링 핵심기술 및 운영·유지보수 위험도 평가/관리 기술 개발” 사업(PES3470)에 의해 수행 되었습니다.

참고문헌

- [1] 산업통상자원부, e-나라지표, 에너지 수급현황, “http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2781” assessed on 22 Sep. 2020, (2020).
- [2] 최종근, “해양시추공학”, 도서출판 씨아이알, 서울, pp. 19-22, (2012).
- [3] 황아름, 주영석, 유현수, “해양플랜트와 해양장비기초(수정판)”, 도서출판 GS 인터비전, pp.44-64, (2015).
- [4] 안병기, 오현정, “반 잠수식 시추선 및 주요장

- 비에 대한 이해”, 한국해양공학회지, Vol. 26, No. 6, pp 86-92, (2012).
- [5] ALNabhani K., “Chapter Five - Safety During Offshore Drilling Operation”, Methods in Chemical Process Safety, Vol. 2, pp. 207-268, (2018).
- [6] 김철현, 김용수, 이영범, 김덕수, 김대웅, “과량 중 반잠수식 시추선의 비선형 횡동요 운동”, 한국해양환경에너지학회 학술대회논문집, pp. 1402-1405, (2012).
- [7] Symberszki, R.T., “Construction Project Safety Planning”, TAPPI Journal, Vol. 80, No. 11, pp. 69-74, (1997).
- [8] ISO, “ISO 31000 - Risk Management”, (2018).
- [9] 노현정, 강관구, 강성길, 이종갑, “국내 해양 CCS 사업의 HSE 관리 프레임워크 구축 전략”, 한국해양환경에너지학회지, Vol. 20, No. 1, pp. 26-36, (2017).
- [10] Rausand M., Risk Assessment - Theory, Methods, and Applications, Wiley, U.S.A., (2011).
- [11] 노현정, 박상현, 조수길, 강관구, 김형우, “HAZOP을 통한 해양플랜트 흡착식 탈수공정 패키지의 위험성평가 및 안전도 향상 방안”, 한국산업융합학회지, Vol. 23, No. 4, pp. 569-581, (2020).
- [12] IADC, International Association of Drilling Contractors website, “<http://www.iadc.org>” assessed on 31 Aug. 2020, (2020).
- [13] 선박해양플랜트연구소, “시추선 상부 주요모듈 운영 작업분석 및 유지보수 위험도 평가 수행” 과제 보고서, (2020)

(접수: 2020.09.08. 수정: 2020.09.28. 게재확정: 2020.10.05.)