Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety
Research Paper
Vol. 21, No. 5, pp. 515-523, October 31, 2015, ISSN 1229-3431(Print) / ISSN 2287-3341(Online) http://dx.doi.org/10.7837/kosomes.2015.21.5.515

DP 선박 위치손실사고의 인적오류에 관한 연구

채종주*†
* 한국해양수산연수원

A Study on Human Error of DP Vessels LOP Incidents

Chong-Ju Chae*†
* Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 49111, Korea

요 약 : 본 연구에서는 10년간(2001～2010) IMCA에 보고된 DP 선박 LOP(Loss of Position)사고 612건에서 인적오류에 의한 사고 103건을 확인하여 이를 HFACS로 분류하였다. 그리고 이를 베이지안 네트워크에 적용하여 인적오류의 조건부 확률을 확인해 보았다. 그 결과 103건의 인적오류관련 사고는 모두 불안전한 행동에 의해서 발생하였고 이들 중 기술 기반 오류가 70건(68.00 %)으로 가장 큰 인적오류 비율을 차지하였다. 기술 기반 오류 중에서는 부주의한 DP 선박 운용 60건(58.3%), 절차 미 준수 8건(7.8%)이었고, 의사결정 오류에 의한 잘못된 조종이 21건(20.8%)을 차지하였다. 이러한 HFACS 분류의 베이지안 네트워크 적용을 통해서는 불안전한 감독(68%)이 불안전한 행동의 가장 큰 잠재적 요인으로 작용하고 있다는 것을 확인 할 수 있었다. 결론적으로 HFACS와 연계한 베이지안 네트워크는 인적오류를 분석하는 데 유용한 도구임을 확인 할 수 있었고, 분석 결과를 바탕으로 DP 선박안전 운용을 위한 정책, 내부 관계, 훈련등과 같은 인적오류를 경감 및 제거하기 위한 권고 9가지를 제안하였다.

핵심용어 : DP 시스템, 동적위치제어 시스템, DP 위치손실사고, 베이지안 네트워크, HFACS, 인적오류

Abstract : *This study reviewed 612 DP LOP(Loss of Position) incident reports which submitted to IMCA from 2001~2010 and identified 103 human error caused incidents and classified it through HFACS. And, this study analysis of conditional probability of human error on DP LOP incidents through application of bayesian network. As a result, all 103 human error related DP LOP incidents were caused by unsafe acts, and among unsafe acts 70 incidents(68.0 %) were related to skill based error which are the largest proportion of human error causes. Among skill based error, 60(58.3%) incidents were involved inadvertent use of controls and 8(7.8%) incidents were involved omitted step in procedure. Also, 21(20.8%) incidents were involved improper maneuver because of decision error. Also this study identified that unsafe supervision(68%) is effected as the largest latent causes of unsafe acts through application to bayesian network. As a results, it is identified that combined analysis of HFACS and bayesian network are useful tool for human error analysis. Based on these results, this study suggest 9 recommendations such as polices, interpersonal interaction, training etc. to prevent and mitigate human errors during DP operations.*

Key Words : *Dynamic Positioning System, DP Loss of Position Incidents, Bayesian Networks, HFACS, Human error*

1. 서 론

선박사고에 있어 인적오류가 차지하는 비율이 높다는 사실은 이미 널리 알려져 있는 사실이다. 보고서에 의하면 탱커사고의 84～88 %, 예인선 좌초의 79 %, 충돌사고의 89～96 %, 화재 및 폭발사고의 75 %가 인적요인에 의한 사고였다(Rothblum et al., 2002).

오프쇼어 분야에 있어 특수한 장비를 설치하여 다양한 목적으로 사용되고 있는 DP 선박은 그 사용 목적상 위치유지 능력을 상실하게 되면 해상 구조물과 충돌, 다이버 사망, ROV(Remote Operated Vehicle) 손상, 기름유출 등 큰 사고로 연결될 수 있는 잠재적 위험 요인이 될 수 있다. 이러한 DP 선박의 위치손실(Loss of Position, 이하 LOP이라함) 사고요인은 크게 DP 시스템을 구성하는 하드웨어적인 요소와 인적요소로 구분 할 수 있다. 이들 중 DP 선박의 하드웨어적인 요소에서 LOP사고에 가장 많은 영향을 미치는 요소는 위치참조시스템(Position Reference System, PRS)이라는 것을 확인하였다(Chae and Jung, 2015).

† katheshe76@naver.com, 051-620-5805

본 연구에서는 DP 선박 사고 보고서를 바탕으로 하드웨어를 제외한 DP 선박 LOP 사고에 대한 인적요인의 영향을 분석하여 DP 선박의 안전운용을 위해서 인적요인 측면에 있어 고려되어 할 사항을 제안하고자 한다. 더불어 기존 인적요인 분석에 사용하는 인적요인 분석 및 분류 시스템(Human Factors Analysis and Classification System, 이하 HFACS 이라 함)에 추가하여 베이지안 네트워크를 적용하여 특정 인적오류에 대한 조건부 확률의 확인을 통해 주요하게 작용하는 인적오류 확인하고자 한다. 이를 위해 2001∼2010년까지 10년 동안 IMCA(International Maritime Contractors's Association)에 보고된 DP 선박 LOP 사고 사례 612건을 분석하여 인적오류에 의해서 야기된 사고를 조사 및 분류 하였고 이렇게 분류된 인적오류에 대한 조건부 확률을 정량적으로 확인하기 위해서 베이지안 네트워크를 적용하였다(IMCA, 2001; 2002; 2003; 2004; 2005; 2006; 2007; 2008; 2009; 2010).

2. HFACS 및 베이지안 네트워크

2.1 인적오류 분석 방법

사고 데이터의 분석 방법에는 각 개별 사고의 분석, 빈도 분석을 통한 고위험 작업 분석, 사고의 트렌트 파악, 비슷한 사고 분석, 문제를 발생하도록 만든 상황의 분석 등이 있다. 이러한 방법들 중에서 빈도 분석은 우리가 주요하게 관심을 가져야 할 문제를 확인하는데 사용되는 좋은 방법 중 하나이다(Rothblum et al., 2002).

DP 선박관련 사고는 공식적으로 해마다 IMCA에 보고되는 것이 유일한 자료인데, 다른 선박 사고관련 통계자료와 마찬가지로 동 자료에는 전 세계에서 발생하는 모든 DP LOP사고를 포함하고 있지 못하다는 한계가 있다. 본 연구에서는 이러한 한계를 보완하기 위해 사고 데이터를 전문가들의 브레인스토밍, HFACS를 및 베이지안 네트워크를 사용하여 정성적/정량적으로 분석 하고자 한다. 특히 브레인스토밍의 적용을 위해서는 현재 동적위치제어시스템 운용자(이하 DPO이라 함)로 승선하고 있는 사람 및 DPO 강사와 함께 DP LOP사고에서 인적요인이 HFACS 분류에서 어디에 속하는지를 확인하는 작업을 2차례 수행하였다.

인적요소와 관련된 연구는 James reason(1990)의 인적오류를 바탕으로 항공분야에서 HFACS를 적용하여 그 효과를 확인한 사례가 있다(Shappell and Wiegmann, 2000). HFACS는 항공분야에서 인적오류의 분류를 위해 개발된 시스템으로 사고 원인 및 영향 이론을 체계적으로 적용하기 위해서 개발되었으며, 사고의 인적오류를 포괄적으로 분류하고 있고 사용하기도 쉬워 이론과 실제를 연결하는 가교 역할을 하고 있는 도구이다. 이를 바탕으로 해사분야에서는 인적요인을 포함한 사고 분석의 향상을 통해 해사분야 HFACS 분류를 구체화 하였다(Rothblum et al., 2002). 이러한 HFACS는 선박쪽에도 적용되어 해양사고조사를 위한 인적오류 분석사례에서 HFACS 모델을 바탕으로 인적오류를 선사관련 잠재요인, 선박관련 잠재요인 및 위험행동으로 분류하여 적용한 사례가 있다(Kim et al, 2011). 또한 Griggs(2012)는 HFACS 분류를 사용하여 미국의 NTSB(National Transportation Safety Board) 해양사고 보고서, 캐나다의 TSB(Transportation Safety Board of Canada) 해양사고 보고서, 영국의 MAIB(Maritime Accident Investigation Branch) 해양사고보고서 데이터를 활용하여 인적요인을 분석해본 결과 HFACS가 해양사고에서 인적요인을 분석하는데 유용한 도구임을 확인하였다(Griggs, 2012). 그러나 HFACS를 활용한 인적오류 연구에서는 인적오류의 분류에만 활용될 뿐 인적오류 원인과 결과의 영향이나 상관관계를 확인 할 수는 없다. 이에 본 연구에서는 조건부 확률을 확인할 수 있는 베이지안 네트워크를 사용하여 이의 효용성을 확인해 보고자 한다.

베이지안 네트워크는 특정 사건의 결과와 원인사이에 영향을 미치는 상호 관계를 정량적으로 표현할 수 있기 때문에 위험성 분석에서 많이 사용되고 있다. 이러한 베이지안 네트워크의 가장 큰 장점은 조건부 확률과 그것들의 상호관계를 쉽게 표현할 수 있다는 것이다(Hauff, 2014). 또한 베이지안 네트워크는 정통적인 사고관련 빈도 학습보다 데이터의 의존도가 낮고 각 실험 또는 사건을 위해 동일한 내용을 요구하지도 않는다는 장점이 있다(Hauff, 2014).

모든 선박 사고들이 그렇듯이 DP 선박의 LOP사고도 원인과 결과 사이에 복잡한 인과관계를 형성한다. 이러한 실세계에서 발생하는 다양한 사건 사이의 확률적인 인과관계를 모델로 표현하는 것은 불가능한데, 1763년 베이즈(Bayes)가 고안한 베이지안 기법을 적용하면, 직접적인 인과관계의 조건부 확률을 정의한 후, 확률분포로서 효과적으로 표현할 수 있다(Yim, 2009).

HFACS 및 베이지안 네트워크의 적용을 통해 DP 선박의 인적과실을 사전에 예방하거나 감소하는 방안을 마련하는 과정을 Fig. 1과 같이 표현해 보았다. 이는 기존에 제시된 절차에서 인적오류 관련 분석을 위해 HFACS와 베이지안 네트워크를 추가하여 수정한 것이다(Rothblum et al., 2002).

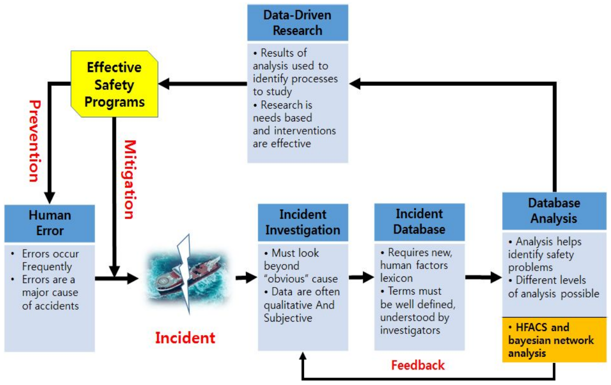

Fig. 1. Human factors incident investigation and improve safety operation of DP vessel.

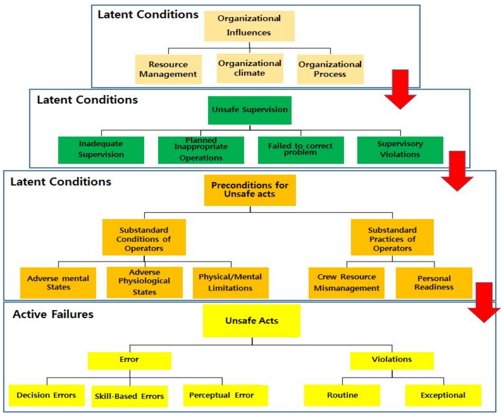

Fig. 3. HFACS Model.

2.2 HFACS 분류

HFACS는 reason(1990)의 스위스 치즈 모델을 바탕으로 하고 있다. Fig. 2에서 보는바와 같이 스위스 치즈 모델에서는 인적오류를 조직영향(Organizational influences), 불안전한 감독(unsafe supervision), 불안전한 행동 전제조건(preconditions for unsafe acts) 및 불안전한 행동(Unsafe acts)로 분류하고 있다(Hauff, 2014).

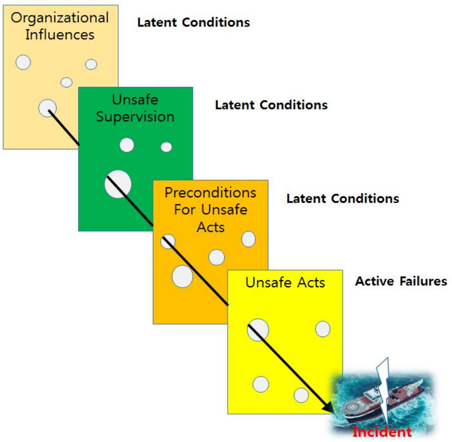

Fig. 2. HFACS Swiss cheese model.

Fig. 2에서 가장 마지막 단계에 있는 불안전한 행동은 실질적인 위험행동을 말하며, 이러한 행동은 다시 의도하지 않은 행동과 의도한 행동으로 나뉜다(Shappell and Wiegmann, 2000). 불안전한 행동 전제조건은 불안전한 행동을 야기할 수 있는 잠재적인 문제 상태를 말하며, 불안전한 감독은 중간 단계 관리의 실패를 말하는 것이고, 가장 상위단계인 조직형향은 중간 단계 관리자의 관리 정책에 영향을 미치는 잠재 요소를 의미 한다. 이러한 분류를 상세히 표현하면 Fig. 3과 같다.

기본적으로 모든 사고에서 인적 요인의 불안전한 행동은 오류와 위법으로 나뉜다. 본 연구에서는 이해를 돕기 위해 불안전한 행동의 세부 항목에 대해서만 설명하고 불안전한 행동 전제조건, 불안전한 감독 및 조직 영향에 대한 상세 설명은 생략한다.

불안전한 행동에서 오류(error)는 의도한 결과의 달성에 실패하는 개인의 정신적, 육체적 활동을 말하는 것을 말한다. 오류에서 결정오류(decision error)는 의도한대로 행동하지만 그것이 상황에 적합하지 않은 것을 말하는 것으로 스스로는 행동이 적합하다고 생각하고 시행하지만 지식부족 등의 이유로 잘못된 선택을 하는 것을 말한다. 기술 기반 오류(Skill based errors)는 일상적인 점검, 방위측정, 화면 감시 및 기타 반복적인 작업등 익숙해지고 잘 숙달되어서 거의 자동으로 수행되는 기술 및 절차의 오류를 말한다. 예를 들어 실수(Slip)는 잘못된 버튼을 누르는 것이고 과실(Lapse)은 운용자가 버튼 누르는 것을 잊어버린 경우이다(Griggs, 2012). 지각오류(Perceptual errors)는 인식을 잘못하는 것으로 주로 감각능력의 의해서 발생한다. 예를 들어 뇌가 피로하면 시각적 환상이 일어날 수 있고, 소음이 심한 곳에서는 대화에 있어 오류가 발생할 수 있다.

위법(violation)은 의도적으로 표준 운용 절차나 규정을 위반하는 사람의 행동을 말하는 것이다. 위법에서 습관적 위법(Routine violation)은 상황에 의한 습관적인 위법을 말하는 것이고, 예외적 위법(Exceptional violation)은 개인의 특징적인 습관이 아닌 위법행위를 말한다.

불안전한 행동 전제조건은 운용자의 기준미달 상태와 운용자의 기준미달 운용으로 나뉘고, 불안전한 감독은 지시계통에서 감독의 실패를 말하는 것이며, 마지막으로 조직영향은 자원 관리(resource management), 조직 환경(Organizational climate) 및 조직 절차(Operational Process)로 나뉜다.(Rothblum et al, 2002).

2.3 베이지안 네트워크(Bayesian Network)

베이지안 네트워크는 베이즈 이론을 바탕으로 어떤 사건의 상태나 결과를 나타내는 노드(node)와, 노드(node) 사이의 인과 관계를 나타내는 아크(arc)를 이용하여 그래픽적인 요소로 표현하는 기법을 말한다(Yim, 2009). 이러한 베이지안 네트워크를 수식으로 모델화 한 것이 베이즈 이론(Bayes theorem)이며 그 수식은 다음과 같다.

$$P(A/B) = \frac{P(B/A) * P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

B : Event/observation/evidence
A : Hypothesis(추측), Cause(원인)
P(A | B) : Posterior probability(사후 확률)
P(B | A) : Likelihood function(우도함수)
P(A) : Prior probability(사전확률)

위의 식에서 B가 주어졌을 때 A가 발생할 확률을 X라고 하면 이것을 P(A | B) = X라고 표현하는 것이다. 그러나 이것은 B가 참(true)이면 항상 A는 X를 의미하는 것은 아니고 만약 B가 참(true)이고 알려진 모든 것이 A와 관련이 없으면 P(A) = X가 된다는 것을 의미한다.

베이지안 네트워크를 활용하면 지속적으로 보고되는 DP LOP사고의 인적요인 관련 사항을 지속적으로 업데이트하여 그 결과를 바탕으로 DP 선박 운용 관련자는 안전운용에 있어 중점적으로 관심을 가져야할 인적오류 부분을 쉽게 인지할 수 있다. 또한 정통적인 빈도 학습보다는 데이터의 의존도가 낮고 각 실험 또는 사건을 위해 동일한 내용을 요구 하지도 않는다. 이러한 특성 때문에 베이지안 네트워크는 시스템적인 요인과 인적요인을 적용하여 위험성에 영향을 미치는 상호간의 관계를 정량적으로 표현할 수 있고 유연하기 때문에 위험성 분석에서 많이 사용되고 있다(Hauff, 2014).

2.4 인적오류 통제 방안

HFACS와 베이지안 네트워크를 통해 분석된 주요한 인적오류의 요인을 바탕으로 전문가들의 브레인스토밍을 통해 이러한 인적오류의 통제 방안을 Fig. 4와 같이 효과 삼각형 모델에 적용하였다.

이는 스위스 치즈모델을 바탕으로 만들어진 모델로 인적오류에 간섭하여 이를 예방하거나 감소시키기 위한 단계를 삼각형으로 모델화 한 것이다. 각 단계에서 면적이 넓은 부분은 인적오류 예방 및 감소에 더 많은 영향을 미친다는 것을 의미하며 각 단계의 의미는 다음과 같다.

① 정책 및 문화 : 안전과 인간중심적인 환경을 권장하는 관리정책 및 조직문화
② 작업 장소 설계 : 인체공학적으로 설계되고 배치된 장비
③ 환경 제어 : 사람에게 적합한 온도, 조명, 소음 등의 관리
④ 사람의 선택 : 직무에 적합한 사람의 선택
⑤ 훈련 및 표준 운용 절차(SOPs) : 작업자가 직무에 필요한 지식과 기술을 갖추도록 하고 표준 운용 절차는 실무에 최적화되고 정확해야함.
⑥ 구성원의 관계 : 팀 구성원 사이에 필요한 정보의 교환
⑦ 작업 도구 : 이해가능하고 작업에 사용하기 쉬울 것
⑧ 당직에 적합한 몸 상태 : 작업자가 집중하여 안전하게 작업할 수 있는 능력 확인(Rothblum et al., 2002).

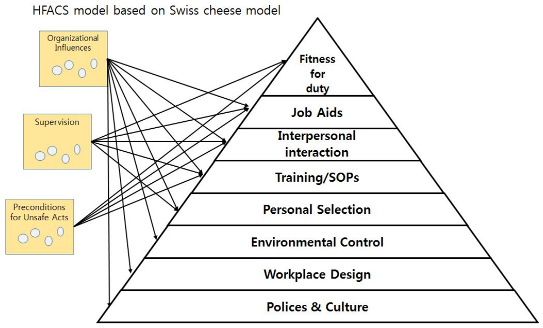

Fig. 4. Triangle of effectiveness to reduce human error.

3. DP 선박 LOP사고의 인적오류 분석

3.1 DP LOP사고의 HFACS 분류

2001~2010년 10년 동안 IMCA에 보고된 DP LOP사고는 612건 이었고 이들 중 인적오류가 원인으로 작용했던 LOP사고는 103건 이었다. 이는 전체에서 약 16.8 %를 차지한다. 일반선박의 인적과실 비율 보다는 비교적 낮다고 할 수 있으나 이는 인적과실이 명확하게 드러난 경우의 사례만을 언급한 것이고, 실제로 612건의 사고보고서를 전문가들이 면밀히 분석해본결과 인적오류가 사고에 직/간접적으로 영향을 미친 사고는 전체 612건에서 375건으로 약 61.3 %를 차지하고 있었다. 그러나 본 연구에서는 IMCA에 보고된 DP LOP사고 보고서에서 인적오류라고 명확하게 기재된 사고 103건만 HFACS 로 분류 하였다.

Table 1. Human errors causes of DP LOP incidents

Categories	Numbers	Percentage(%)
Organizational influences	68	66.0
Unsafe supervision	88	85.4
Precondition for unsafe acts	40	38.8
Unsafe acts	103	100.0

분석 결과 103건의 DP LOP 사고는 모두 직접적인 사고의 행위라고 할 수 있는 불안전한 행동과 연관되어 있었으며, 불안전한 행동 전제조건은 40건(38.8 %), 불안전한 감독은 88건(85.4 %), 조직영향은 68건(66.0 %)이 관련되어 있었다.

Table 2. Classification of unsafe acts(2001~2010)

Unsafe acts	Numbers	Percentage(%)
Skill-based	70	68.0
Perceptual	3	2.9
Decision error	29	28.1
Routine violation	1	1.0
Total	103	100.0

불안전한 행동 103건을 앞서 Fig. 1에 언급하고 있는 4가지 상세요소로 보면, Table 2 에서 보는 바와 같이 기술기반오류가 70(68.0 %)건으로 가장 많았고 지각오류 3건(2.9 %), 결정오류 29건(28.1 %), 습관적 위법 1건(1.0 %)으로 확인되었다.

Table 3를 보면 보고된 DP LOP사고에서 인적오류는 순간적인 실수나 기억상실로 인한 기기의 오작동이 가장 높은 비율을 차지하고 있었고, 다음으로 운용 절차 문제, 상황에 대한 의사 결정 잘못으로 문제가 발생하는 경우가 많이 나타나는 것을 알 수 있었다. 특히 장비를 부주의하게 사용한 경우가 58.3 %로 가장 높게 나타났다.

Table 3. Detail unsafe acts of DP LOP incidents(2001~2010)

		Unsafe acts	No.	%
Errors	Skill-based	failed to prioritize attention	1	1.0
		inadvertent use of controls	60	58.3
		omitted step in procedure, or executed step out of sequence.	8	7.8
		omitted checklist item or completed check list item out of sequence.	1	1.0
	Perceptual	misjudged distance/rate/time	-	-
		misread dial or indicator	1	1.0
		failed to see/hear/otherwise sense	2	1.9
	Decision	improper procedure or maneuver	21	20.4
		misdiagnosed emergency	2	1.9
		wrong response to emergency	4	3.9
		poor decision	2	1.9
Violations	Routine	Definition: Common or habitual instance of breaking the rules and regulations (taking a shortcut) that is part of a person's behavior pattern and is often tolerated by the organization	1	1.0
	Exceptional	Definition: Isolated departure from authority, rules and regulations (taking a shortcut) that is typically not condoned by management	-	-

불안전한 행동의 전제조건은 Table 4에서 보는 바와 같이 운용자의 기준미달 운용보다는 운용자의 기준미달 상태에 의한 오류가 주로 발생하였으며, 특히 운용자의 물리적/정신적 한계부분에서 지식부족이 14건(35 %)로 가장 높았으며, 부주의 8건(20 %), 상황인식 실패가 6건(15 %)으로 확인되었다.

Table 4. Precondition for unsafe acts of DP LOP incidents (2001~2010)

		Precondition for unsafe acts	No.	%
Substandard Conditions of Operators	Adverse Mental States	channelized attention	5	12.5
		complacency	1	2.5
		distraction	8	20.0
		mental fatigue	-	-
		haste	1	2.5
		loss of situational awareness	6	15.0
		misplaced motivation	2	5.0
		task saturation	-	-
	Adverse Physiological States	impaired physiological state	-	-
		medical illness	-	-
		physiological incapacitation	-	-
		physical fatigue	-	-
	Physical/ Mental Limitations	insufficient reaction time	1	2.5
		poor vision/hearing	-	-
		lack of knowledge	14	35
		incompatible physical capability	-	-
Substandard Practices of Operators	Crew Resource Mgt.	impaired communications due to language difference	2	5.0
		interpersonal conflict among crew	-	-
		failed to use all available resources	-	-
		failure of leadership	-	-
		misinterpretation of traffic calls	-	-
		failed to conduct adequate brief	-	-
		impaired communication / conflict due to cultural difference	-	-
	Personal Readiness	self-medicated	-	-
		inadequate rest	-	-

Table 5 불안전한 감독을 보면 만들어진 운용절차가 적절하지 않아 LOP사고에 영향을 미친 경우가 37.5 %로 가장 높았고, DP 선박 운용 중에 적절한 감독이 수행되지 않아 사고가 발생한 경우도 28.4 %로 비교적 높게 나타났다. 더불어 DP 운용에 필요한 적절한 지침의 제공부족, 업무수행 능력에 대한 검증 부족 등도 불안전한 감독에서 나타났다.

Table 5. Unsafe supervision of DP LOP incidents(2001~2010)

	Unsafe supervision	No.	%
Inadequate Supervision	failed to provide guidance	8	9.1
	failed to provide operational doctrine	2	2.3
	failed to provide oversight	25	28.4
	failed to provide training	6	6.8
	failed to track qualifications	1	1.1
	failed to track performance	7	8.0
Planned Inappropriate Operations	failed to provide correct data	1	1.1
	failed to provide adequate brief time	-	-
	improper manning	1	1.1
	adequacy of operational procedure or plan	33	37.5
	provided inadequate opportunity for crew rest	-	-
Failed to Correct a known Problem	failed to correct document in error	-	-
	failed to identify an at risk behavior	-	-
	failed to initiate corrective action	4	4.5
	failed to report unsafe tendencies	-	-
Supervisory Violations	authorized an unnecessary hazard	-	-
	failed to enforce rules and regulations	-	-
	authorized unqualified crew	-	-

조직 영향과 관련해서는 Table 6에 보는바와 같이 가장 상위 단계에서 수립된 안전 절차가 적절치 못해서 사고에 영향을 미친 경우가 54.4 %로 가장 높게 나타났으며, 선원의 업무수행 능력을 충분히 검증하지 않고 고용하는 경우 등 선원관리를 적절히 하지 못한 경우가 32.3 % 나타났다.

Table 6. Organizational influence of DP LOP incidents(2001~2010)

	Organizational influence	No.	%
Resource Management	inadequate management of human resources	22	32.3
	inadequate management of monetary resources	-	-
	inadequate design and maintenance of facilities	6	8.8
Organizational Climate	adequacy of organizational structure	-	-
	adequacy of organizational policies	-	-
	adequacy of safety culture	-	-
Organiza-tional Process	adequacy of established conditions of work	-	-
	adequacy of established procedures	37	54.4
	adequacy of oversight	3	2.9

3.2 베이지안 네트워크 분석

베이지안 네트워크 분석을 위해 DP LOP사고 103건의 상호 연관성을 HFACS 모델을 기반으로 Fig. 5와 같은 흐름도로 표현하였다. DP LOP사고의 인적과실에 의한 사고 103건을 베이지안 네트워크를 사용하여 인적오류의 상호 연관성을 분석하였으며 이를 Fig. 5 흐름도에 적용하여 Fig. 6와 같은 결과를 얻었다.

베이지안 네트워크 분석에는 미국 피츠버그 대학에서 개발한 GeNie 프로그램을 사용하였다. 이는 베이지안 네트워크를 기반으로 정성적 분석을 통해 만들어진 흐름도에 사고 관련 데이터를 접목하여 상호 조건부 확률에 대한 사항을 표현할 수 있는 프로그램으로 MS 엑셀파일에서 작성된 내용을 데이터로 활용할 수 있는 기능을 가지고 있다(Chae and Jung, 2015). 동 기능을 활용하여 Fig. 5의 그림에 표시된 노드(node) 제목과 DP LOP사고의 인적오류가 관련이 있는 경우 “0”으로 표시하고, 관련이 없으면 “1”로 표시하여 103건의 인적오류 관련 DP LOP 사고를 엑셀파일로 작성하였고, 이를 GeNIe를 사용하여 계산하면 Fig. 6와 같이 특정 사건에 대해 영향을 미치는 요소들의 조건부 확률을 알 수 있다.

베이지안 네트워크의 불안전한 행동의 발생 조건을 100 %로 설정 후 분석해 본 결과 불안전한 행동을 발생시키는 가장 주요한 요소는 기술 기반 오류(78 %)이었다. 더불어 불안전한 행동을 야기하는데 영향을 미치는 잠재적 요소는 적절치 못한 절차(39 %), 적절치 못한 감독(51 %), 정신적인 문제(22 %)들이 주요하게 작용하고 있었다. 베이지안 네트워크를 적용하여 확인해본 결과 불안전한 행동에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 불안전한 감독(68 %)임을 확인 할 수 있었다. 이는 불안전한 행동의 발생을 줄이기 위해서는 실수를 행한 당사자 보다는 DP 선박 운용 작업에서 감독의 역할 및 관리의 강화를 위한 조치가 필요하다는 것을 의미한다.

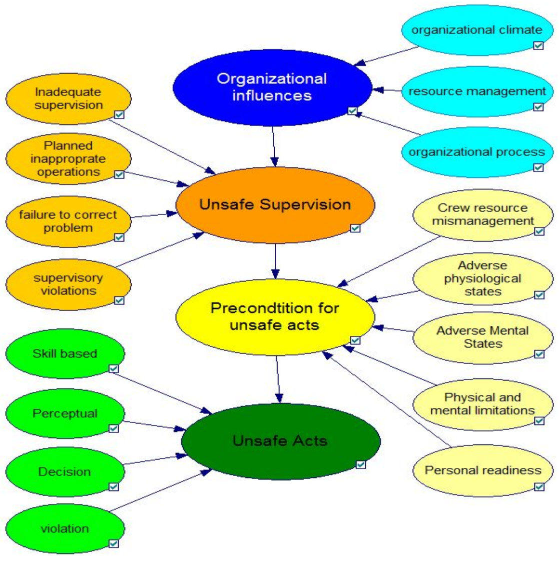

Fig. 5. Human error flowchart on bayesian network.

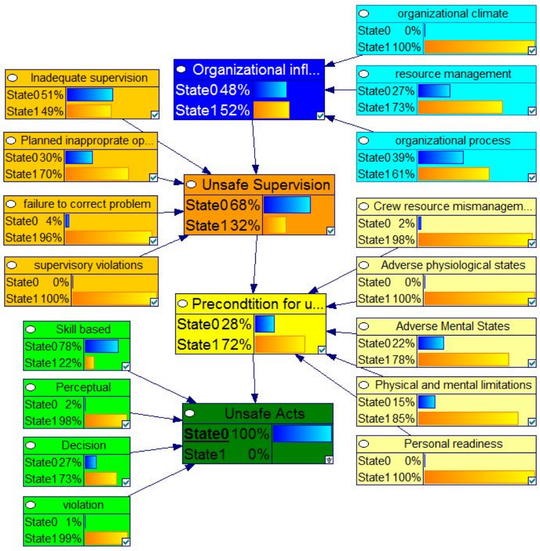

Fig. 6. Result of human error bayesian network.

4. DP LOP사고 인적오류 통제방안

4.1 DP LOP사고의 인적오류 정리

3.1항의 HFACS 분류에 의한 주요 인적오류와 베이지안 네트워크에 의한 주요 인적오류를 정리해 보면 Table 7과 같다.

Table 7. Causes of human error on DP LOP incidents based on HFACS and Bayesian network(2001～2010)

Classification	Detail causes	HFACS (No.)	BN %
Organizational influences	adequacy of established procedures	37	39
	inadequate management of human resources	22	27
	inadequate design and maintenance of facilities	6	
Unsafe supervision	adequacy of operational procedure or plan	33	30
	failed to provide oversight	25	51
	failed to provide guidance	8	
	failed to provide training	6	
Preconditions for unsafe acts	lack of knowledge	14	15
	distraction	8	22
	loss of situational awareness	6	
	channelized attention	5	
Unsafe acts	inadvertent use of controls	60	78
	omitted step in procedure, or executed step out of sequence.	8	
	improper procedure or maneuver	21	27

실제 사고 자료를 통해 확인된 사항과 베이지안 네트워크를 통해 확인된 사항은 비슷하게 나타났다. 동 연구를 통해 만들어진 베이지안 네트워크 모델은 특정 인적오류를 선택하여 조건부 확률을 지속적으로 업데이트하며 확인할 수 있다. 이를 통해 특정 인적오류에 영향을 미치는 주요한 요인을 Fig. 6과 같은 방법으로 확인할 수 있다.

4.2 DP LOP사고의 인적오류 통제 방안

지금까지 HFACS 및 베이지안 네트워크를 사용하여 DP LOP사고의 주요한 인적오류를 확인해 보았다. 이를 바탕으로 인적오류에 의한 DP LOP사고를 예방 및 경감시키기 위한 방안을 Fig. 4 모델을 활용하여 전문가(DPO, DP 선박 운용사, DPO 강사)들의 브레인스토밍을 통해 다음과 같이 제시한다. 동 권고들은 Table 7 에서 언급하고 있는 주요한 인적오류에 대한 권고이다.

1) 가장 높은 단계의 절차를 주기적으로 업데이트하는 절차를 수립 및 적용하도록 하고 동 절차가 이미 수립되어 있다면 실제 적용되고 있는 확인해야 한다(Polices & culture).
2) DPO를 고용하는데 있어 국제적 기준에 따른 능력 보유 여부를 검증하는 절차를 수립해야 한다(Polices & culture).
3) DP 선박에서 고장모드 인지에 있어 FMEA(Fail Modes and Effect Analysis)를 명확히 수행하여 사전에 오류 요인을 제거해야 한다(Workplace design).
4) DP 선박 운용 작업 절차의 작성을 전문가가 작성하고 검증하도록 하는 절차의 수립이 필요하다(Training/SOPs).
5) DP 운용시 국제적 기준을 충족하는 충분한 경험이 있는 사람에 의해서 지속적으로 감독이 이루어지도록 해야 한다(Training/SOPs).
6) DPO에게 국제기준에서 권고하고 있는 적절한 교육을 제공하고, 선상에서는 본선 시스템 친숙화 교육 제공절차를 마련하여 시행해야 한다(Training/SOPs).
7) BRM기법을 이용한 상황인식 훈련을 시행하고, 회사는 경험이 풍부한 SDPO(Senior DPO)와 JDPO(Junior DPO)의 공동당직 수행 절차를 마련해야 한다(Training/Safety Operation Procedures).
8) 부적절한 감독의 예방을 위해서 관련 작업에 대한 이론교육, 주기적인 실무교육, 주기적인 관리감독과 협의, 적절한 운용팀의 구성 등의 조치를 취해야 한다(Interpersonal interaction, polices, personal selection; Costa and Machado, 2006).
9) DP 운용관련 절차서와 새롭게 적용되는 국제 지침을 비교하고 업데이트 하는 절차를 수립하여 시행하여야 한다(Polices & cultures).

5. 결 론

본 연구에서는 DP 선박의 LOP사고에 있어 인적오류의 영향을 확인하고 인적오류에 의한 LOP사고의 발생을 예방 및 감소시키도록 하는 개념 절차를 Fig. 1과 같이 제시하였다. 동 절차의 수행을 위해서 DP LOP사고의 인적오류를 분석하였으며 이를 위해 전문가 브레인스토밍, HFACS 및 베이지안 네트워크를 사용하였다. 이를 통해 분석된 DP LOP사고의 인적오류 요인을 제거하기 위한 권고를 제시하였다.

HFACS 분류를 통해 확인된 주요한 인적오류는 부적절한 절차서, 부적절한 인적자원 관리, 설계오류, 만들어진 DP 선박 운용 절차의 부적절, 관리 감독의 실패, 관련 지식의 부족 및 DP 제어 시스템의 부적절한 사용 등이 있었다. 베이지안 네트워크를 통해서는 기술기반 오류(78 %), 의사결정 오류(27 %) 및 지각 오류(2 %)의 영향을 수치 및 그래픽으로 확인할 수 있었다. 특히 불안전행동에는 불안전한 감독이 가장 주요하게 작용하고 있다는 것을 확인 하였다. 동 연구를 통해 기존 해사분야에 적용하고 있는 인적오류에 대한 HFACS분류에 베이지안 네트워크를 적용하면 특정 사건에 대한 다양한 원인의 영향을 수치와 그래픽 적으로 쉽게 확인 할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 이렇게 확인된 인적오류를 감소시키기 위해서 무엇에 더 비중을 두어야 하는지에 대해서도 확인할 수 있었다. 이러한 DP LOP사고의 분석을 바탕으로 DP LOP사고의 인적오류 경감 및 감소를 위한 방안으로 다음 9가지 권고를 제시하였다.

① 상위 절차서의 지속적인 업데이트 확인
② DP 운용자의 능력을 검증하는 시스템 절차 수립
③ FMEA의 시행 및 검증으로 설계상 문제점 보완
④ DP 운용 관련 전문가의 운용 절차 검증 절차 수립
⑤ 국제 권고에 맞는 관리급 감독의 적절한 감독 체계 수립
⑥ 선사의 적극적인 육상 및 선상 교육 제공
⑦ BRM 교육을 통한 상황인식 훈련 시행
⑧ DP 운용관련 주기적인 이론, 실무, 적용 교육 시행
⑨ DP선박 운용 관련 국제지침 업데이트 절차 수립

추후 본 연구에 추가하여 DP 선박 운용에 있어 하드웨어와 요소와 인적요인을 함께 고려하여 DP 선박의 위험을 감소시킬 수 있는 방안을 비용-편익을 고려하여 제시하고 이를 실제 적용하는 연구를 지속적으로 진행하면 DP 선박의 안전운용에 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다.

References

[1] Chae, C. J. and Y. C. Jung(2015), An Analysis on Incident cases of Dynamic Positioning Vessels, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 39, No. 3, pp. 149-156.
[2] Costa, M. S. and G. B. Machado(2006), Analyzing Petrobras DP incidents, Dynamic Positioning Conference, Dynamic Positioning Committee, pp. 14-15.
[3] Griggs, F. J.(2012), A human factors analysis and classification system (HFACS) examination of commercial vessel accidents, Naval Postgraduate school, Monterey, California, p. 21, p. 85.
[4] Hauff, K. S.(2014), Analysis of Loss of Position Incidents for Dynamically operated Vessels, p. 15, p. 27, pp. 47-48, pp 73-79.
[5] International Maritime Contractor's Association(2003), Dynamic Positioning Station Keeping Incidents, Incidents reported for 2001(DPSI 12), IMCA M 169.
[6] International Maritime Contractor's Association(2004), Dynamic Positioning Station Keeping Incidents, Incidents reported for 2002(DPSI 13), IMCA M 173.
[7] International Maritime Contractor's Association(2005), Dynamic Positioning Station Keeping Incidents, Incidents reported for 2003(DPSI 14), IMCA M 177.
[8] International Maritime Contractor's Association(2006), Dynamic Positioning Station Keeping Incidents, Incidents reported for 2004(DPSI 15), IMCA M 183.
[9] International Maritime Contractor's Association(2007), Dynamic Positioning Station Keeping Incidents, Incidents reported for 2005(DPSI 16), IMCA M 186.
[10] International Maritime Contractor's Association(2008), Dynamic Positioning Station Keeping Incidents, Incidents reported for 2006(DPSI 17), IMCA M 192.
[11] International Maritime Contractor's Association(2009), Dynamic Positioning Station Keeping Incidents, Incidents reported for 2007(DPSI 18), IMCA M 198.
[12] IMCA(2010), Dynamic Positioning Station Keeping Incidents, Incidents reported for 2008(DPSI 19), IMCA M 207.
[13] International Maritime Contractor's Association(2011), Dynamic Positioning Station Keeping Incidents, Incidents reported for 2009(DPSI 20), IMCA M 211.
[14] International Maritime Contractor's Association(2012), Dynamic Positioning Station Keeping Incidents, Incidents reported for 2010(DPSI 21), IMCA M 218.
[15] Kim, H. T., S. Na and W. H. Ha(2011), A case study of marine accident investigation and analysis with focus on Human error, Journal of the Ergonomics Society of Korea,

Vol. 30, No. 1 pp. 137-150.
[16] Rothblum, A., D. Wheal., S. Withington., S. A. Shappell., and D. A. Wiegmann(2002), Improving Incident Investigation through Inclusion of Human factors, United States Department of Transportation Publications & Papers, pp. 24-28, p. 31, pp. 61-66.
[17] Shappell, S. A. and D. A. Wiegmann(2000), The Human Factors Analysis and Classification System-HFACS, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, p. 3, p. 13.
[18] Yim, J. B.(2009), Development of Quantitative Risk Assessment Methodology for the Maritime Transportation Accident of Merchant Ship, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 33, No. 1, p. 13.

Received : 2015. 09. 02.
Revised : 2015. 10. 12. (1st)
: 2015. 10. 19. (2nd)
Accepted : 2015. 10. 27.