



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

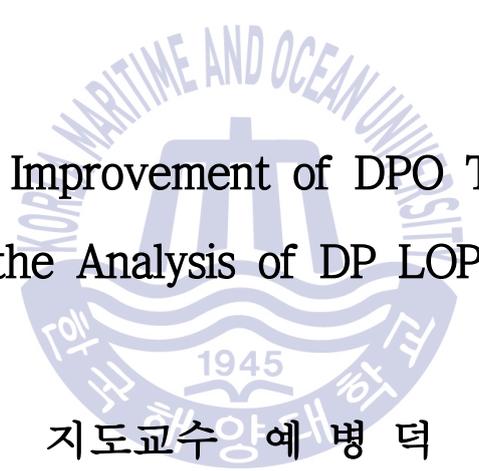
이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

DP선박의 위치손실 사고 분석을 통한  
DPO 교육과정 개선에 관한 연구

A Study on the Improvement of DPO Training Courses  
based on the Analysis of DP LOP Accidents



지도교수 예병덕

2019 년 2 월

한국해양대학교 대학원

해양플랜트운영학과

정민영

본 논문을 정민영의 공학석사 학위논문으로 인준함.



위원장

박진수 (인)

위원

조권희 (인)

위원

예병덕 (인)

2018년 12월

한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Tables .....	iv
List of Figures .....	v
Abstract .....	vi
Glossary .....	x
<b>제1장 서 론</b>	
1.1 연구 배경 .....	1
1.2 연구의 목적 및 논문의 구성 .....	3
<b>제2장 DP선박 및 DP시스템의 정의</b>	
2.1 DP선박의 정의 .....	5
2.1.1 DP선박의 정의 .....	5
2.1.2 DP시스템의 정의 .....	6
2.1.3 DP시스템의 등급 .....	8
2.2 위치손실의 정의 .....	9
<b>제3장 DP선박의 LOP사고 분석</b>	
3.1 DP선박 LOP사고에 대한 소개 .....	10
3.2 DP선박의 LOP사고 검토 .....	14
3.2.1 일반적 분석 .....	14
3.2.2 인적오류 상세분석 .....	18
3.3 DP선박의 LOP사고 분석 도구 .....	20
3.3.1 HFACS .....	20
3.3.2 베이지안 네트워크 .....	29

3.4 HFACS 및 베이지안 네트워크 기반 인적오류 분석 .....	35
3.4.1 HFACS 분류 .....	35
3.4.2 베이지안 네트워크 분석 .....	44
3.4.3 인적오류 위험분석 요약 .....	52
<b>제4장 선행연구와의 비교·분석을 통한 DPO 교육훈련 개선 방안</b>	
4.1 선행연구의 소개 .....	53
4.1.1 선행연구와 비교·분석 .....	53
4.2 DPO 교육훈련의 개선방안 제안 .....	59
4.2.1 현행 DPO 교육훈련 과정 .....	60
4.2.2 DPO 교육훈련의 개선방안 제안 .....	66
<b>제5장 결론</b>	
참고문헌 .....	71
감사의 글 .....	74



## List of Tables

Table 2.1	IMO DP equipment class .....	8
Table 3.1	Comparison of accident causes by year in IMCA report .....	12
Table 3.2	Categorization of DP LOP incident causes .....	13
Table 3.3	Causes and frequency of DP LOP incidents(2011~2016) .....	15
Table 3.4	Classification guide for unsafe acts .....	24
Table 3.5	Preconditions for unsafe acts .....	25
Table 3.6	Classification guide for unsafe supervision .....	27
Table 3.7	Classification guide for organizational influences .....	28
Table 3.8	NPT from GeNIe (drive-off accident) .....	34
Table 3.9	Meaning of node probability table for drive-off accident .....	36
Table 3.10	HFACS categorization of human errors for DP LOP incidents .....	36
Table 3.11	Human error DP LOP incidents caused by organizational influences .....	37
Table 3.12	Human error DP LOP incidents caused by unsafe supervision .....	39
Table 3.13	Human error DP LOP incidents caused by Precondition for unsafe acts .....	41
Table 3.14	Human error DP LOP incidents caused by unsafe acts .....	43
Table 3.15	Summary of risks caused by human errors .....	52
Table 4.1	Comparison of DP training and certification scheme .....	62
Table 4.2	DP Induction course contents of DP training and certification scheme in 2018 .....	64
Table 4.3	DP simulator course contents of DP training and certification scheme in 2018 .....	65
Table 4.4	Suggestions for improvement of DPO training courses .....	68

## List of Figures

Fig. 1.1 Flow chart of the study .....	4
Fig. 2.1 Dynamic positioning system - basic forces and motions .....	5
Fig. 2.2 Elements of DP systems .....	7
Fig. 3.1 Example of IMCA flowchart (IMCA, 2011-2016) .....	11
Fig. 3.2 Average of DP LOP incidents causes (2011-2016) .....	15
Fig. 3.3 Number of incidents by month .....	16
Fig. 3.4 Number of LOP incidents by region in 2016 .....	17
Fig. 3.5 Causes of LOP accidents (2011-2016) .....	18
Fig. 3.6 Analysis of LOP accidents by main and secondary cause of human error (2011-2016) .....	19
Fig. 3.7 Comparison of main and secondary cause of human error ratios (2011-2016) .....	19
Fig. 3.8 Reason's Swiss cheese model theory .....	20
Fig. 3.9 HFACS model .....	21
Fig. 3.10 Unsafe acts classification .....	22
Fig. 3.11 Prior probability distribution .....	32
Fig. 3.12 Posterior probability distribution after observing evidence .....	33
Fig. 3.13 Prior probability of human error on DP LOP incidents .....	45
Fig. 3.14 Conditional probabilities of drift off by Human error .....	46
Fig. 3.15 Conditional probabilities of drive off by Human error .....	47
Fig. 3.16 Conditional probabilities of operation abort by human error .....	48
Fig. 3.17 Conditional probabilities of time loss by human error .....	49
Fig. 3.18 Probability ranks of drive off & drift off by human errors .....	50
Fig. 3.19 Probability ranks of operation abort & time loss by human errors .....	51
Fig. 4.1 Comparison of accident causes between 2001-2010 and 2011-2016 .....	54
Fig. 4.2 Comparison of LOP accidents by main and secondary causes of human error in 2001-2010 and 2011-2016 .....	55
Fig. 4.3 Comparison of LOP accident cause ratio based on the 2001-2010 and 2011-2016 HFACS classification criteria .....	56
Fig. 4.4 Prior probability comparison of human errors in DP LOP incidents .....	57
Fig. 4.5 Probability ranks of drive off & drift off by human errors between 2000-2010 and 2011-2016 (%) .....	59

# DP선박의 위치손실 사고 분석을 통한 DPO 교육과정 개선에 관한 연구

정 민 영

해양플랜트운영학과  
한국해양대학교 대학원

## 초 록

최근 저유가로 인하여 해양플랜트 산업이 전반적으로 침체되어 있으나, 해양플랜트 작업 및 보수 작업을 위한 DP선박의 운영은 지속적으로 이루어지고 있는 실정이다. DP선박은 업무 목적 상 주로 해양플랜트와 근접하여 작업이 이루어지며, 이는 곧 잠재적인 위험성이 항상 뒤따른다는 것을 의미한다. 해양플랜트 사고는 그 특성상 직·간접적인 피해가 막대하기 때문에 이를 예방하기 위한 연구의 필요성이 강조되고 있다. 하지만 아쉽게도 현재 까지 아차사고에 해당하는 DP선박의 LOP사고를 분석하고 그 결과를 반영한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구는 DP선박의 잠재적인 사고요인으로 작용하는 LOP사고의 원인을 분석하기 위하여 최근 6년(2011-2016)간 IMCA에 보고된 LOP사고사례를 검토하였다. 그 결과, LOP사고의 여러 가지 원인 중에서 쓰러스터/추진기가 30.8%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 인적오류의 경우, 직접적인 원인에 의한 LOP사고 비율은 13.0%, 간접적인 원인은 4.2%로 확인되었으며 총 사고의

17.2%가 인적오류와 직접 또는 간접적으로 연관되어 있었다.

LOP사고에 영향을 미친 인적오류의 경향을 파악하기 위해 최근 6년간의 LOP사고 중에서 인적오류와 관련된 사고를 HFACS 분류체계로 검토하였다. 그리고 그 결과를 베이지안 네트워크 프로그램인 GeNIe를 활용해 분석한 결과, 기술기반에 의한 인적오류의 조건부 확률은 Drift-off 및 Drive-off에서 60.8%로 가장 높았으며, Time loss 및 Operation abort에서는 48.2%로 확인되었다.

본 연구는 10년간(2001-2010)의 LOP 사고를 동일한 방법으로 분석한 선행 연구와 비교·검토하였고 이를 통해 확인된 인적오류의 변화추이를 토대로 기존 DPO 면허 및 교육훈련의 문제점을 파악하였다. 그리고 이러한 문제점을 개선하기 위해 기술기반 오류의 감소 및 DP작업 관리자의 효과적인 관리·감독을 위한 개선방안을 제안하였다.

KEY WORDS: DP선박, LOP사고, HFACS, 베이지안 네트워크, 드라이브 오프, 드리프트 오프, DPO(DP운항사), 다이내믹 포지셔닝 시스템, 위치손실

# A Study on the Improvement of DPO Training Courses based on the Analysis of DP LOP Accidents

Jeong, Min Young

Department of Offshore Plant Management  
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

## Abstract

Recently the offshore plant industry has been in a slump overall due to low oil prices. However, the operation of the offshore plants and the maintenance work by DP vessels are ongoing. DP vessels work in close proximity to the offshore plants, which means that potential hazards always follow. If these potential hazards lead to an offshore plant accidents, there will be enormous direct and indirect damage. Therefore, it is important to study to prevent these accidents. Until recently, however, there was a lack of study on the LOP accidents of DP vessels caused by potential hazards and near-misses.

In this study, the author reviewed the LOP accident cases reported to the IMCA over the last six years (2011-2016) to analyze the causes of LOP accidents.

As a result, LOP accidents were caused by a variety of causes and among them, Thruster/Propulsion was the highest cause of the accident at

30.8%. Human error accounted for 17.2% of the total accidents. Among them, 13.0% were accidents caused by direct human error, and 4.2% were accidents caused by indirect causes.

The author classified LOP accidents in the last six years through HFACS to identify the trends of human error that cause LOP accidents. The classified data were then analyzed using the Bayesian network program GeNIe. As a result, the conditional probability of human error due to skill-based was the highest with the ratio of drive-off and drift-off of 60.8%. Next, the ratio of Time loss and Operation abort was 48.3%.

The author compared the above result with the previous study, which studied the LOP accidents in 2001-2010 in the same way. Through this, the author identified the trend of human error and confirmed the problems of the existing DPO license system and training courses.

The author proposed improvement measures for the decrease of skill-based errors and effective management and supervision of DP project managers to address these problems.

KEY WORDS: DP vessel, LOP accident, HFACS, Bayesian Network, Drive-off, Drift-off, DPO, Dynamic Positioning System, Loss of Position

## Glossary

AHTS : Anchor Handling Tug Supply vessel

BBN : Bayesian Belief Network

DGNSS : Differential Global Navigation Satellite System

DP : Dynamic Positioning

DPO : Dynamic Positioning Operator

DSV : Diving Support Vessel

HFACS : Human Factors Analysis and Classification System

HPR : Hydroacoustic Position Reference system

HTW : Human element, Training and Watchkeeping

IMCA : International Marine Contractors Association

IMO : International Maritime Organization

LOP : Loss of Position

MRU : Motion Reference Unit

PRS : Position Reference System

RCO : Risk Control Options

SDPO : Senior Dynamic Positioning Operator

STCW : The International Convention on Standards of Training,  
Certification and Watchkeeping for Seafarers

The NI : The Nautical Institute

VRS : Vertical Reference Sensor

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경

2000년대 중반 이후 지속된 고유가로 해양 석유 및 가스 자원의 개발이 가속화됨에 따라 전 세계의 해양플랜트산업도 높은 성장세를 기록하여 왔다. 특히 2008년 금융위기에 따른 해운시장의 불황에도 불구하고 배럴당 145달러까지 치솟는 고유가 시대가 계속되어 해양플랜트 시장이 확대되어져 왔다. 그러나 최근 지속적인 저유가로 인하여 해양플랜트 및 작업지원 선박에 대한 지원이 줄어들고, 이로 인해 작업의 안전을 저해할 수 있는 요소들이 지속적으로 증가하고 있는 실정이다.

해양플랜트를 지원하는 선박의 대부분은 고난이도의 정교한 작업이 가능한 DP시스템(Dynamic Positioning)을 탑재하고 있다. DP시스템은 추진장치(Thruster)를 이용하여 선박의 위치(Position) 및 선수방위(Heading)를 자동적으로 유지하거나 제어할 수 있는 장치를 말하며, DP시스템이 설치된 선박을 통칭하여 DP선박이라고 한다.

DP선박은 작업특성에 따라 분류되며, 대표적으로 AHTS(Anchor Handling Tug Supply vessel), DSV(Diving Support Vessel), Pipe-laying 선박, Cable-laying 선박 등이 있다. 이 선박들 중에서, AHTS에서는 해양플랜트의 투묘 작업을 위해, DSV에서는 해양플랜트 정비를 위한 잠수부의 지원 등을 위해 DP 시스템을 사용한다.

이러한 DP시스템에 문제가 발생하여 선박이 제 위치를 유지하지 못하고 지정된 위치에서 이탈하는 경우를 LOP(Loss of Position)라고 한다. LOP의 발생으로 진행 중인 작업이 중단되거나, 크게는 해양플랜트와 충돌하는 사고로 이어지기도 한다.

이와 같은 LOP 사고의 재발을 예방하기 위하여 IMCA(International Marine Contractors Association)에서는 매년 LOP 사고사례들을 수집, 분석하여 그 결과를 보고서로 발행하여 회원들과 공유하고 있다. 2001년부터 2010년까지 10년간의 LOP 사고 612건을 분석한 선행연구에 따르면, LOP사고의 주요원인은 PRS(Position Reference System), DP컴퓨터, 동력(Power), 쓰러스터 및 인적오류였다. 그 중에서도 LOP사고의 1차 또는 2차적 원인으로 인적오류가 작용했던 비율은 16.8%이다.

이는 저자가 분석한 최근 6년(2011-2016)간의 인적오류에 의한 LOP사고의 비율인 17.2%와 비교하였을 때 큰 차이가 없는 수치이다.

이와 같이 인적오류에 의한 LOP사고가 끊임없이 발생함에 따라, 해양플랜트 관련 산업계에서는 DPO(Dynamic Positioning Operator)의 자격요건을 더욱 강화해야 한다는 의견이 제기되어 왔다. 현재 DPO가 자격요건을 충족시키기 위해서는 The NI(The Nautical Institute)가 인증한 교육기관에서 교육을 받고 일정기간 DP선박에 승선하여 실습을 한 후, 그 증빙자료들을 The NI에 제출하여 심사 결과가 적합하다고 판정되어야 면허를 발급 받을 수 있다.

하지만 해양플랜트 관련 산업계 뿐만 아니라 여러 기국에서 The NI는 강제성이 없는 사설 인증기관이며, 이러한 기관에서 DPO 면허 발급과 같은 중요한 업무를 수행하는 것이 부적절하다는 의견이 있었다. 이에 IMO HTW(Human element, Training and Watchkeeping) 회의에서 DPO 면허 및 교육훈련과 관련된 사항을 국제협약의 강제사항으로 반영하는 것에 대하여 논의하였다. 그러나 결국 STCW 마닐라 개정규정에 권고사항(Code B)으로 반영되어 여전히 강제성이 없는 상태로, 이에 따른 문제가 지속적으로 제기되고 있는 상황이다.

## 1.2 연구의 목적 및 논문의 구성

DP선박의 LOP사고는 PRS, DP컴퓨터, 동력, 추진장치 등 다양한 원인에 의해 발생한다. IMCA에서는 LOP사고를 예방하기 위해 회원들로부터 보고받은 사고 사례를 검토하고 분석하여 연간보고서를 발행하고 있다. IMCA는 LOP사고의 원인을 9-10가지로 분류하였다.

저자가 최근 6년간(2011-2016)의 LOP 사고들을 분석한 결과, 추진기/쓰러스터, DP컴퓨터, PRS 및 인적오류가 주요원인으로 나타났다. 이를 과거 10년간(2000-2010)의 LOP사고들과 비교해보면 PRS, DP시스템, 추진기 등 선박의 하드웨어적 원인요소는 다소 변화가 있었으나, 인적오류의 비율은 변화가 거의 없었다는 것을 알 수 있다.

DP선박의 장비 등과 같은 하드웨어적인 요소 부분에서 기술의 향상을 위한 연구가 지속되고 있으나 실제 선박에 바로 적용되기에 어려움이 있다. 이에 비해 DP시스템을 운영하는 DPO와 관련된 인적오류는 교육훈련을 통하여 상대적으로 빠른 개선효과를 기대해 볼 수 있다. 이 때문에 The NI는 최근까지 DPO의 자격요건을 수차례 강화해왔으나, LOP사고 중에서 인적오류가 차지하는 비율은 큰 변화를 보이지 않았다.

본 연구에서는 인적오류로 인한 LOP사고를 감소시키기 위한 토대를 마련하고자 시행된 것으로, 최근 6년간(2011-2016)의 LOP 사고보고서 중에서 인적오류와 관련된 사고사례들을 HFACS(Human Factors Analysis and Classification System) 및 BBN(Bayesian Belief Network)을 이용하여 분석하였다. 또한 과거 10년간(2001-2010)의 LOP 사고를 동일한 방법으로 분석한 선행연구와 비교·검토하여, 이를 통해 확인된 인적오류의 변화추이를 토대로 기존 DPO 면허 및 교육훈련의 문제점을 파악하고 향후 개선방안을 제안하고자 한다.

이 논문은 구성은 다음과 같다.

제2장은 DP선박의 특징 및 등급, DP시스템 체계, LOP사고의 개념에 대해 설명하였다.

제3장에서는 최근 6년간(2011-2016)의 LOP 사고 자료를 HFACS 모델로 분류하고, 그 결과를 베이지안 네트워크를 그래픽으로 구현하는 GeNIe 프로그램에 적용하여 LOP사고를 유발하는 인적오류의 조건부 발생 가능성을 확인한다.

제4장에서는 3장의 결과를 선행연구와 비교·분석하여 인적오류와 관련된 LOP사고의 경향을 분석하고, 그에 따른 기존의 DPO 면허 및 교육훈련의 개선 방안을 제안하였다.

제5장에서는 이상의 연구결과를 정리하였고 본 연구의 한계와 향후 연구방향을 제시하였다.

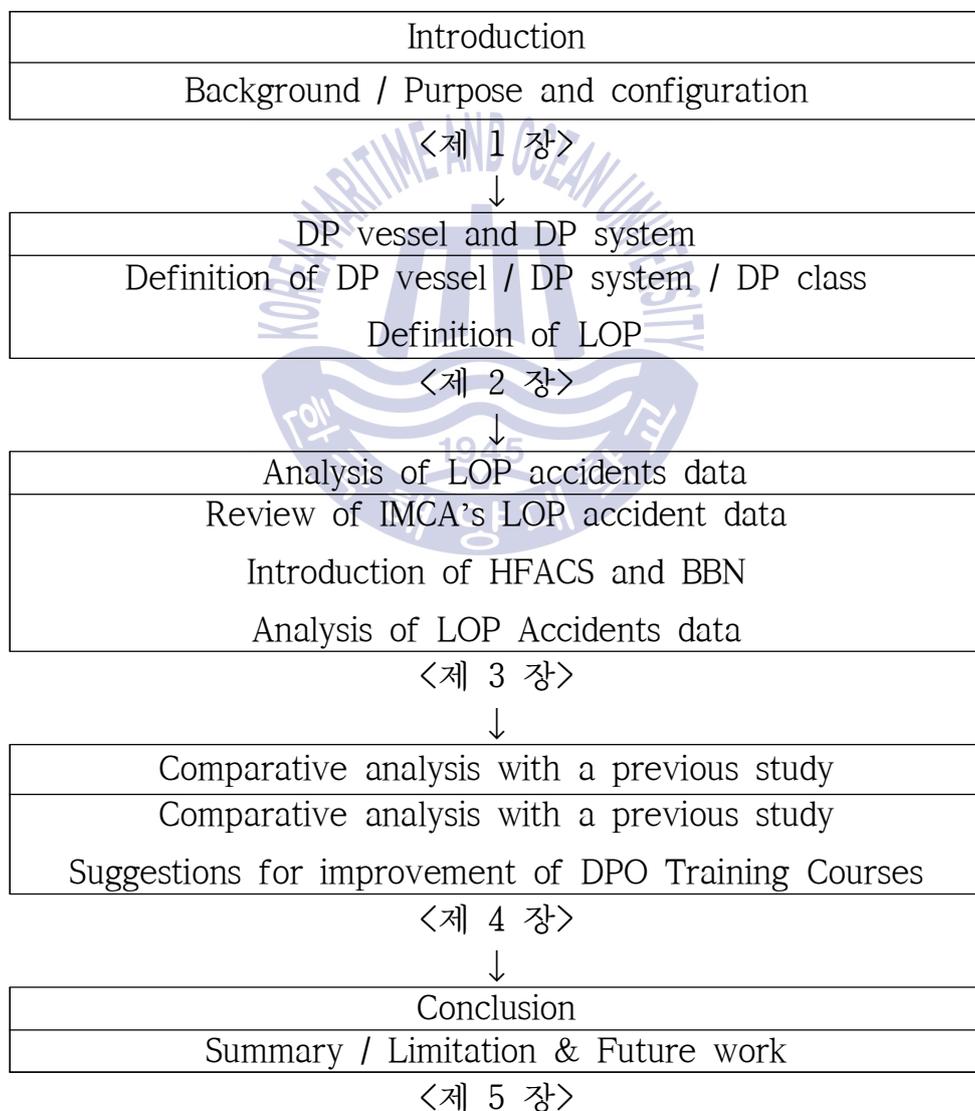


Fig. 1.1 Flow chart of the study

## 제 2 장 DP선박의 정의 및 DP시스템 체계

### 2.1 DP선박의 정의

#### 2.1.1 DP선박의 정의

DP선박은 선박의 6자유도운동(Surge, Sway, Yaw, Pitch, Roll, Heave) 중에서 Surge, Sway 및 Yaw를 자동으로 제어하기 위하여 동력시스템, 추진시스템 및 DP 제어시스템을 사용한다. 이를 제외한 Pitch, Roll, Heave는 VRS(Vertical Reference Sensor) 장치를 이용하여 측정하고 DP 시스템에서 보상하도록 되어 있는데, 이는 선박의 실제 위치변동이나 선수방위 변동이 아니기 때문이다.(C. J. Chae, 2014) Fig. 2.1은 선박의 6자유도운동 중에서 DP시스템에 의해서 제어 되는 Surge, Sway 및 Yaw 제어를 나타낸 것이다.

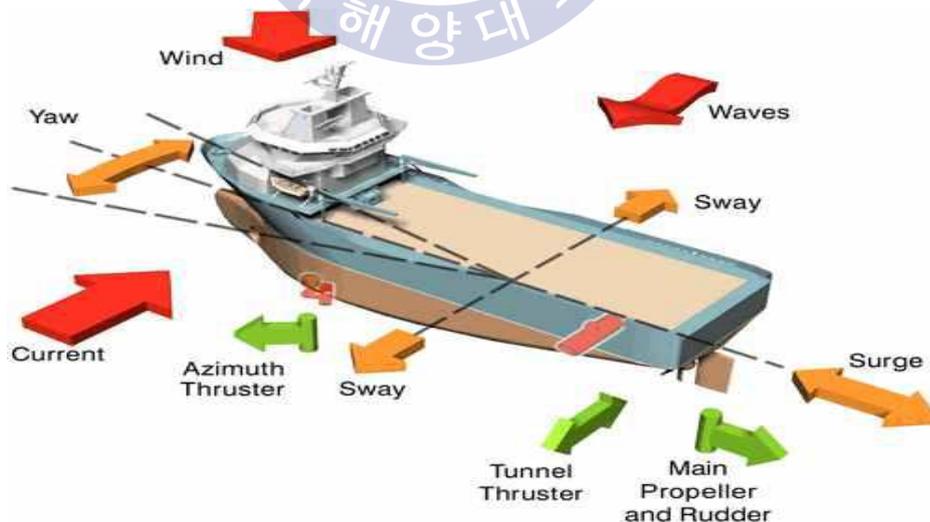


Fig. 2.1 Dynamic positioning system - basic forces and motions(Kongsberg)

## 2.1.2 DP시스템의 정의

DP시스템은 추진장치(Thruster)를 사용하여 선박의 위치(Position) 및 선수방위(Heading)를 자동적으로 유지 또는 제어할 수 있는 장치를 말하며, DP시스템이 설치된 선박을 통칭하여 DP선박이라고 한다(IMO, 2017). DP시스템은 7가지 요소로 구성되는데 DPO, 사람-장치 간 인터페이스(Human Machine Interface), DP 컴퓨터(DP computer), 동력시스템(Power System), 위치참조시스템(Position Reference System), 추진장치, 센서(Sensor)이며 Fig. 2.2와 같다(IMO, 1994).

- 1) DPO는 DP시스템을 제어하는 인적요소를 말하는 것으로, DP선박의 안전하고 효율적인 운용을 위해서 DP시스템에 대한 DPO의 전문지식과 기술이 필수적이라고 할 수 있다. DPO의 교육 및 자격요건은 STCW협약 Code B-V/f, IMCA M 117 및 NI의 인증 및 자격 기준에 제시되어 있다(IMCA, 2006)(IMO, 2011).
- 2) 사람-장치 간 인터페이스는 DP시스템과 그 사용자인 DPO를 연결하는 것으로, DPO의 인적오류를 최소한으로 감소시키는 장치이다. 직관적인 운용이 가능한 배치, 인체공학적 디자인, 정보의 효과적인 전달, 사용자의 편의성을 갖추고 있어야 한다(IMO, 1994).
- 3) DP컴퓨터는 DPO의 조작에 맞추어 선박의 위치를 적절히 제어하기 위한 것으로, 실제 선박의 운동모형을 수학적으로 변형시켜 선박에 작용하는 외력을 실시간으로 계산한 뒤, 이 명령을 추진장치에 전달한다(IMCA, 1994).
- 4) 동력시스템은 추진장치를 포함한 DP시스템의 운용에 필요한 동력을 공급한다. 선박의 동력상실(Black Out)이 발생하더라도 DP시스템의 주요 장비에 동력이 중단되지 않고 지속적으로 공급될 수 있도록 UPS시스템(Uninterruptible Power Supply)을 갖추고 있다(한국해양수산연수원, C-MAR, 2015).
- 5) 위치참조시스템은 DP시스템이 선박의 위치를 정확하게 제어하는 것이 가

능하도록 선박의 위치에 대한 정보를 전송한다. 이 시스템은 위성을 이용하여 선박의 절대적인 위치를 나타내는 위성항법시스템(Differential Global Navigation Satellite System)과 물표와 선박의 상대적인 위치를 나타내는 상대 위치참조시스템으로 나눌 수 있다(한국해양수산연수원, C-MAR, 2015). 상대 위치참조시스템은 전파를 이용한 Radascan 및 RADIUS, 레이저를 이용한 Fanbeam과 Cyscan, 음파를 이용한 HPR(Hydroacoustic Position Reference system), 해저에 투하된 중량물(Clump weight)과 연결된 와이어의 상대 위치를 이용한 Tautwire 등으로 분류된다(한국해양수산연수원, C-MAR, 2015).

- 6) 추진장치는 DP컴퓨터의 제어에 따라 선박의 위치를 유지 또는 이동시키는 역할을 한다. 그 종류에는 대표적으로 Main propeller, Tunnel thruster, Azimuth Thruster, Azipod 등이 있다(IMCA, 1994).
- 7) 센서는 풍향 및 풍속을 감지하는 풍향풍속계(Wind sensor), 선박의 움직임(Pitch, Roll, Heave)을 측정하는 MRU(Motion Reference Unit) 및 선박의 선수방위를 측정하는 자이로컴퍼스로 구성된다.

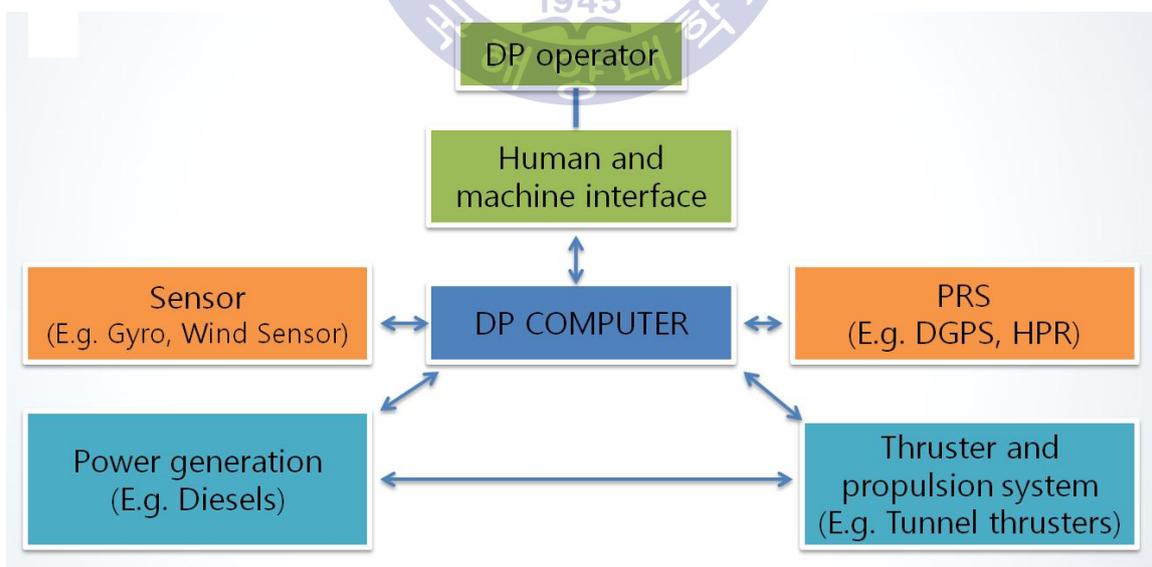


Fig. 2.2 Elements of DP systems

### 2.1.3 DP시스템의 등급

IMO에서는 DP시스템을 구성하는 장비의 이중화(Redundancy) 단계에 따라 Table 2.1과 같이 3가지 등급으로 분류하고 있다.

DP시스템 중에서 장비 1등급은 DP시스템을 구성하는 장비의 단일 장비고장(Single failure)이 발생했을 때 위치제어 기능을 상실하게 된다. 장비 2등급은 모든 장비가 이중화(Redundancy)되어 있기 때문에 장비 및 시스템의 단일 고장이 발생할지라도 위치손실로 이어지지 않는다. 장비 3등급은 장비 2등급의 이중화 기능에 추가하여 A60 Class 로 분리된 구역에 독립된 시스템이 설치되어 있어, 구획 전체의 화재나 침수가 발생하더라도 위치손실이 발생하지 않는다(IMO, 2017).

Table 2.1 IMO DP equipment class

Equipment Class 1	Automatic and manual position and heading control under specified maximum environmental conditions.
Equipment Class 2	Automatic and manual position and heading control under specified maximum environmental conditions, during and following any single fault excluding loss of a compartment. (Two independent computer systems).
Equipment Class 3	Automatic and manual position and heading control under specified maximum environmental conditions, during and following any single fault including loss of a compartment due to fire or flood. (At least two independent computer systems with a separate back-up system separated by A60 class division).

## 2.2 LOP사고의 정의

LOP는 DP 선박이 유지하던 위치를 상실하는 것을 말하며, 사고의 심각성에 따라 4가지로 분류할 수 있다(Shi Phillips and Martinez, 2005).

### 1) Drive off

선박의 동력이 있음에도 지정된 위치에서 벗어나는 것으로, DP시스템에 잘못된 위치의 정보가 입력되거나 DPO가 잘못된 위치를 입력하였을 때 발생한다.

### 2) Drift off

본선의 동력이 상실됨으로써 DP선박이 외력에 의해 밀려나 지정된 위치에서 벗어나는 상태이며, 보통 전체 Blackout 또는 부분 Blackout에 의한 Thruster 용량 부족으로 발생하게 된다.

### 3) 기타

LOP사고가 발생하지는 않으나, 향후 사고로 이어질 수 있는 잠재적인 위험으로 Operation abort와 Time loss가 있다.

Operation Abort는 LOP사고가 발생하지 않았으나 DP운용이 중단된 경우이고, Time Loss는 LOP사고 및 운용중단은 발생하지 않았으나, DP등급이 낮아져 작업시간이 지연되는 경우를 말한다(Shi Phillips and Martinez, 2005).

## 제 3 장 DP선박의 LOP사고 분석

### 3.1 DP선박 LOP사고에 대한 소개

IMCA는 주로 오프쇼어 분야와 관련된 자격, 훈련 및 안전과 관련된 산업계 기준을 개발하는 단체로, 1980년부터 DP선박 LOP사고보고 사례들을 바탕으로 매년 ‘Dynamic positioning station keeping review’ 를 발행하여 회원들에게 제공하고 있다. IMCA는 이 보고서를 통하여 사고 사례들을 구체적으로 소개하고 수집된 사례들의 원인을 분석한 후 그 결과를 회원들과 공유한다. 이로써 향후 개선방안을 위한 토대를 제공하고 사고의 재발을 방지하는 것이 목적이다.

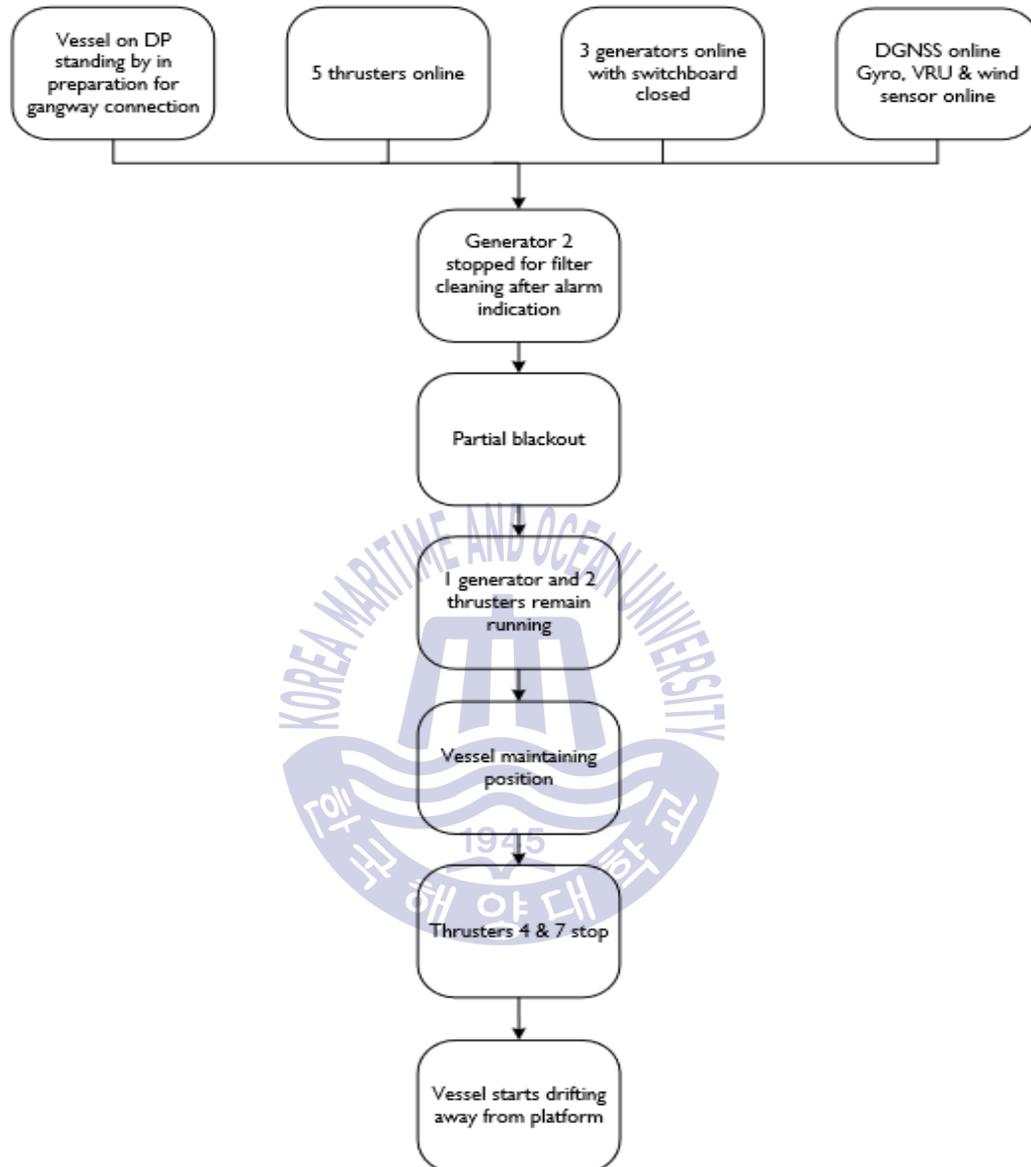
IMCA에 보고된 사례들은 회원들이 자발적으로 보고한 것으로, 사고의 보고가 회원들의 자율성에 맡겨지다 보니 IMCA에 보고되지 않은 사고의 존재 가능성을 배제하기 어려운데, 이는 연간 보고서의 신뢰도에 한계가 있음을 뜻한다.

Fig. 3.1은 IMCA 사고 보고서의 예시이다. 제시된 DP선박은 본선과 타선박 간에 갱웨이를 설치하기 위하여 DP모드를 사용하고 있었으며, 총 5개의 추진기, 3개의 발전기, DGNSS, Gyro, VRU, 풍향풍속계 등의 PRS 및 센서가 작동 중 이었다.

발전기 필터를 소재하는 과정에서 갑자기 발전기 2개의 작동이 중지되어 부분적인 black out이 발생하였다. 그 후에, 1개의 발전기 및 2개의 쓰러스터로 위치를 유지하고 있었으나 결국 모든 쓰러스터의 작동이 중지되어 선박이 드리프팅하게 된 LOP사고이다.

위는 2개의 발전기가 작동을 중지하면서 발생한 LOP사고로 IMCA에서는 사고의 주요원인을 동력문제로 인한 부분적인 Black out으로 분류하였다.

### Incident # 1007



<b>Comments</b>	This incident appears to have coincided with a generator being taken out of service to clean a filter. Initially vessel was able to hold position on one generator and two thrusters however system stopped two remaining thrusters
<b>Initiating Event</b>	Two generators stopping
<b>Main Cause</b>	Power – Partial blackout

Fig. 3.1 Example of IMCA flowchart (IMCA, 2011-2016)

지금까지 IMCA에서 LOP사고의 원인을 분석할 때 8-12가지의 범주를 사용해 왔다. 2001-2007년에는 DP컴퓨터, 동력장치, Thruster, PRS, 인적오류, 전기장치, 환경영향, 외부영향의 8가지로 분류하였다. 2008-2010년에는 앞의 8가지 범주에 기계적 결함, 운용절차, 센서 및 추진장치의 4가지 항목을 추가하여 총 12가지로 분류하였다. 2011년에는 앞의 12개의 원인들 중에서 기계적 결함, 운용절차, 외부영향을 제외하고 추진장치는 쓰러스터로 통합하여 총 8가지의 원인으로 재구성 하였다. 그 후, 2012-2016년에는 DP컴퓨터, 전기장치, 환경영향, 외부영향, 인적오류, 동력, PRS, 센서 및 쓰러스터/추진장치 등 총 9가지로 분류하였는데, 이것이 IMCA에서 최근까지 사용하고 있는 사고원인의 분류 체계이다. Table 3.1은 IMCA 보고서의 연도별 사고원인의 분류방법을 정리한 것이다.

Table 3.1 Comparison of accident causes by year in IMCA report

Year	Cause	No.
2001-2007	DP Computer, Power, Thruster, PRS, Human Error, Electrical, Environment, External factors	8
2008-2010	DP Computer, Power, Thruster, PRS, Human Error, Electrical, Environment, External factors, Mechanical, Procedures, Sensor and Propulsion	12
2011	DP Computer, Thruster/propulsion, PRS, Human Error, Electrical, Environment, Sensor, Power	8
2012-2016	DP Computer, Electrical, Environment, External factors, Human Error, Power, PRS, Sensor, Thruster/propulsion	9

위와 같이 IMCA 사고보고서의 사고원인 분류방법은 시대의 흐름에 따라 변경되어 왔다. 본 연구에서는 DP선박의 LOP사고 원인을 시기별로 비교·분석하기 위하여 분류기준을 통일하는 과정이 필요하였고, 이를 위해 2012년 이후부터 사용되어온 원인분류체계를 기준으로 그 이전의 사고원인들을 9가지로 재구성하였다. 이 9가지 원인분류의 세부항목은 Table 3.2와 같다.

**Table 3.2** Categorization of DP LOP incident causes

No	Cause	Criteria
1	DP Computer	fault on DP hardware or software
2	Electrical	fault in switchboards, UPS, voltage
3	Environment	excessive wind, wave or current
4	External force	other vessel, 3rd party interference
5	Human error	fault by human (operator, electrician etc)
6	Power	fault on generator or PMS
7	PRS (Reference)	fault on reference system DGPS(Differential global positioning system), Fanbeam, Artemis, Taut-wire, RADIUS, DARPS(Differential absolute and relative positioning sensor) etc
8	Sensor	fault on reference sensors (Gyro, Wind, MRU etc)
9	Thruster /Propulsion	fault on thruster control, mechanical, rudder etc.

## 3.2 DP선박의 LOP사고 검토

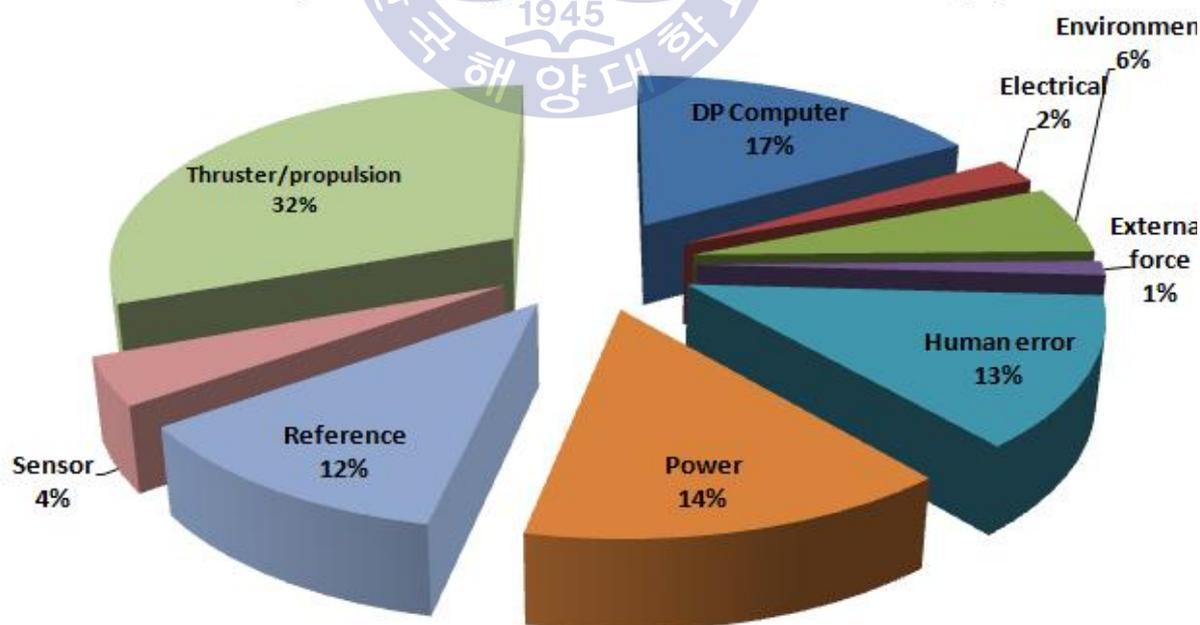
### 3.2.1 일반적 분석

본 연구에서는 LOP사고의 변화 추이를 분석하기 위해 과거 10년간 (2000-2010)의 LOP사고를 검토한 선행연구(C. J. Chae, 2014)와 최근 6년 (2011-2016)동안 IMCA에 보고된 LOP사고사례를 연구하였다. 최근 6년 동안 306척의 DP선박으로부터 IMCA에 보고된 LOP사고는 총 409건이며, 이는 평균적으로 6년 동안 한 선박에서 1.34건의 사고가 발생하였음을 의미한다(IMCA, 2011-2016). 2011년도의 사고 원인 중에서 외부영향이 '0' 건으로 표기된 것은 해당 연도에는 외부영향이 사고의 원인으로 포함되지 않았기 때문에 이와 같이 대체하였다.

최근 6년간 보고된 LOP사고 건수를 나타낸 것이 Table 3.3이고 그것을 비율로 나타낸 것이 Fig 3.2 이다. 이를 보면, LOP의 사고 원인 중에서 쓰러스터/추진기의 문제가 126건(30.8%)으로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 그 다음으로 DP컴퓨터 68건(16.6%), 동력 48건(14.4%), 인적오류 53건(13.0%), PRS 48건(11.7%), 환경영향 24건(5.9%), 센서 17건(4.2%), 전기장치 9건(2.2%), 외부영향 5건(1.2%) 등이 LOP사고의 원인으로 작용하였음을 확인할 수 있다(IMCA, 2011-2016).

**Table 3.3** Causes and frequency of DP LOP incidents(2011~2016)

No.	Cause	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Sum
1	DP Computer	14	8	6	13	13	14	68
2	Electrical	3	4	0	0	1	1	9
3	Environment	5	2	3	2	11	1	24
4	External force	0	2	0	2	0	1	5
5	Human error	3	11	7	7	10	15	53
6	Power	7	6	13	9	10	14	59
7	PRS (Reference)	8	6	13	9	6	6	48
8	Sensor	1	5	2	3	5	1	17
9	Thruster /propulsion	13	20	20	26	24	23	126
	Total	54	64	64	71	80	76	409



**Fig. 3.2** Average of DP LOP incidents causes (2011-2016)

Fig. 3.3은 최근 6년간 LOP사고를 월별로 분류한 것인데, 3월이 가장 높은 사고 비율을 보였고 2월이 가장 낮았으나 큰 차이 없이 대체로 고른 분포를 보이고 있다.

1년 단위의 월별 LOP사고 건수를 살펴보면 2011년에는 12월, 2012년에는 3월, 2013년에는 6월, 2014년에는 4월, 5월, 8월, 2015년에는 3월, 4월의 사고 발생률이 높지만 이에 특별한 유사점은 없는 것으로 보인다(IMCA, 2011-2016).

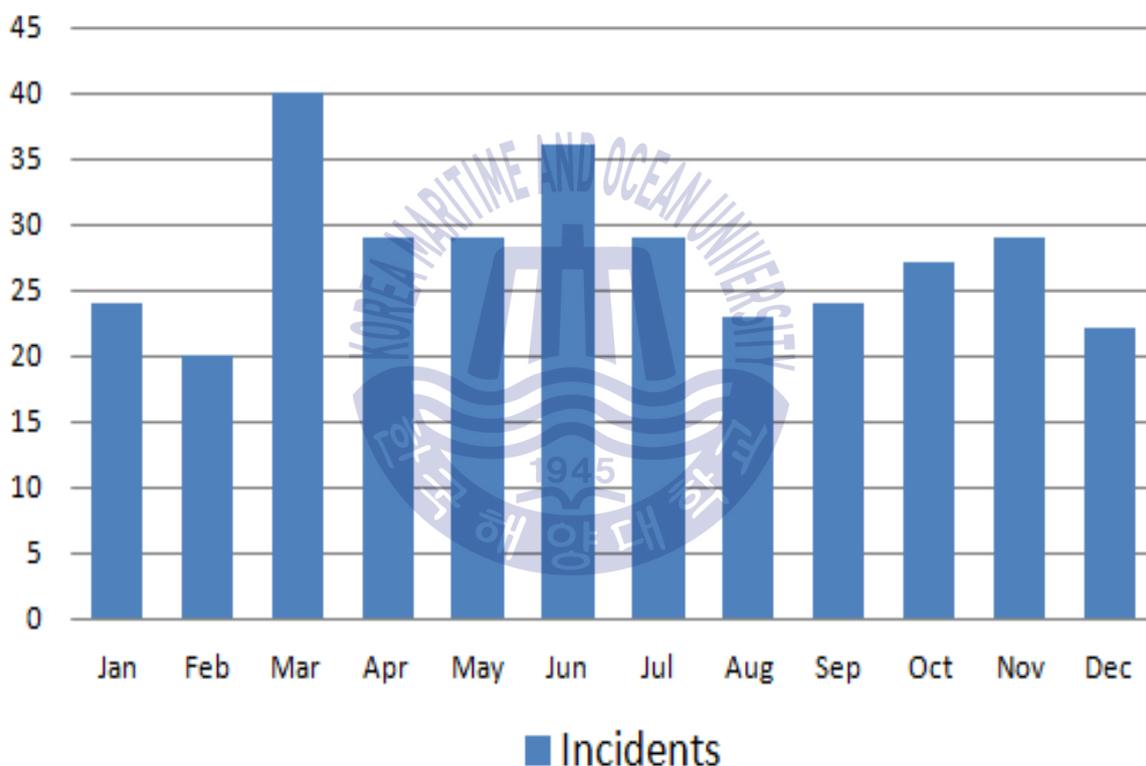


Fig. 3.3 Number of incidents by month

LOP사고보고서에 DP선박의 작업종류, DP선박의 등급 및 지역에 따른 분석은 시행하지 않았다. 이는 보고된 사고의 건수가 제한적이어서 오해의 소지가 될 수 있기 때문이다(IMCA, 2016).

그러나 2016년부터 지역에 따른 사고 건수를 분석하였으며 그 결과는 Fig. 3.4와 같다. 중동지역이 35건(44.8%)로 사고 발생률이 가장 높았으며, 그 다음으로 북미 13건(16.6%), 아시아태평양 11건(14.1%), 유럽 10건(12.8%), 남미 9건(11.5%) 순이었다. 다른 지역에 비해 중동지역의 비율이 높았으나, IMCA 보고서에서는 특별한 언급을 하지 않았다(IMCA, 2016).

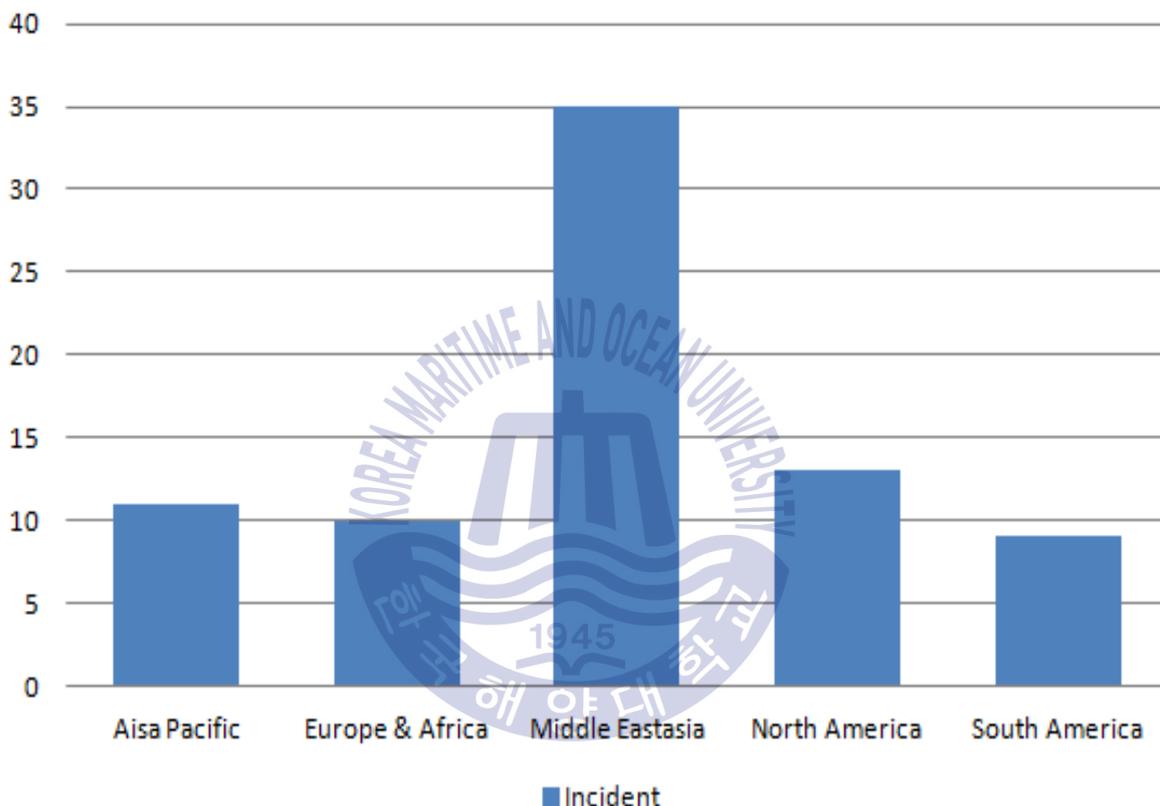


Fig. 3.4 Number of LOP incidents by region in 2016

LOP사고의 원인을 상세히 비교하기 위하여 3가지 주요원인요소로 재분류한 것이 Fig. 3.5이다. 하드웨어는 DP와 관련된 설비를 칭하는 것으로 DP컴퓨터, 전기장치, 동력, PRS, 센서, 쓰러스터 및 추진기가 이에 포함된다. 최근 6년간 하드웨어로 인한 LOP사고 비율이 80%로 가장 높았고, 그 뒤로 인적오류 13%, 환경영향 및 외부영향 7%을 차지하고 있다(IMCA, 2011-2016).

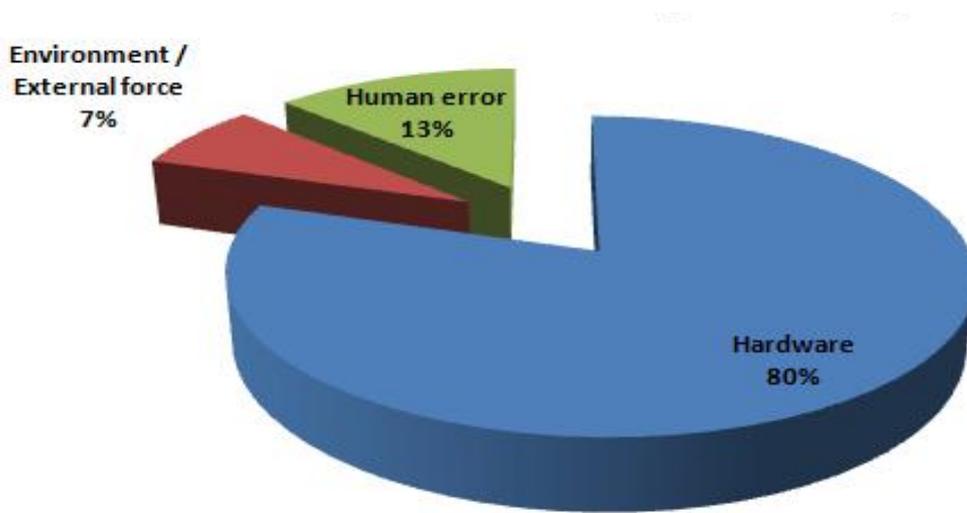


Fig. 3.5 Causes of LOP accidents (2011-2016)

### 3.2.2 인적오류 상세분석

Fig. 3.5에서 나타난 바와 같이 LOP사고의 대부분은 하드웨어적인 요소에 기인한다. 하드웨어적 요소인 DP컴퓨터, PRS, 센서 등은 지속적으로 기술이 향상되고 있으나, 그 결과가 DP선박의 운영에 반영되는 데에는 많은 시간을 필요로 한다.

그에 비해 인적오류의 원인을 토대로 DPO의 자격요건 및 교육을 강화하면, 상대적으로 빠른 시일 내에 반영되어 그 효과성을 높일 수 있다.

인적오류는 LOP 사고 중에서 쓰러스터 및 추진기, DP컴퓨터, 발전동력의 문제 다음으로 4번째의 주된 원인으로 나타났으며, 그 비율이 13%로 일반적인 상선의 인적오류 비율에 비해 상대적으로 낮게 나타났다.

Fig. 3.6은 최근 6년간 직접 또는 간접적인 인적오류에 의한 LOP사고와 그것을 제외한 나머지 LOP사고의 비율을 나타낸 것이다.

직접 또는 간접적인 인적오류에 의한 LOP사고비율은 17.1%를 차지했으며, 이는 Fig. 3.5의 직접적인 인적오류에 의한 LOP사고비율 13%에서 간접적인 인적오류 4.1%가 추가된 것이다.

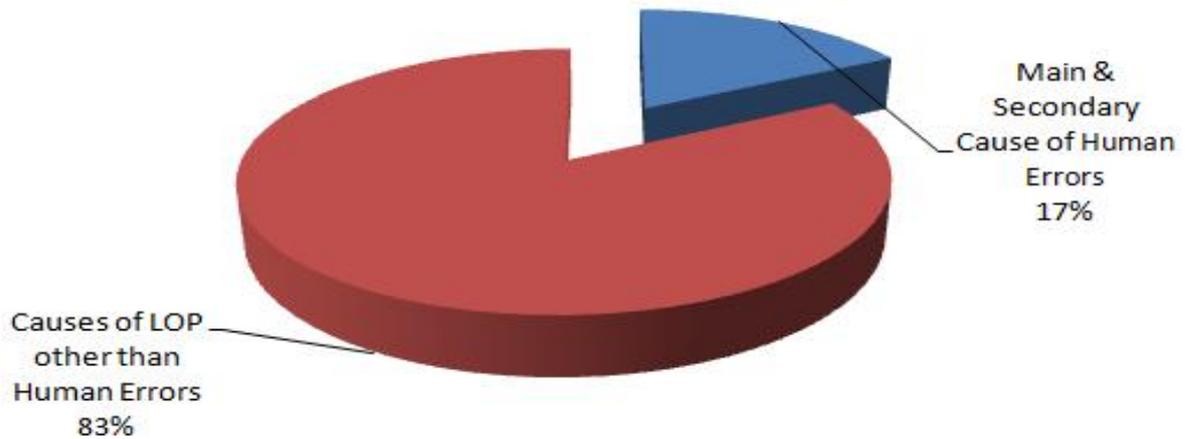


Fig. 3.6 Analysis of LOP accidents by main and secondary cause of human error (2011-2016)

Fig. 3.7은 DP선박의 LOP사고 중에서 인적오류로 인해 발생한 70건의 사고를 1차적 및 2차적 인적오류 문제로 나누어 비율로 나타낸 것이다. 1차적 사고원인이 76%(53건)으로 높았으며, 2차적 사고원인은 24%(17건)로 낮았다. 이 중에서 1, 2차적 사고원인이 모두 인적오류에 기인한 사고가 총 4건이었고, 이는 1차적 사고원인으로 포함하였다.

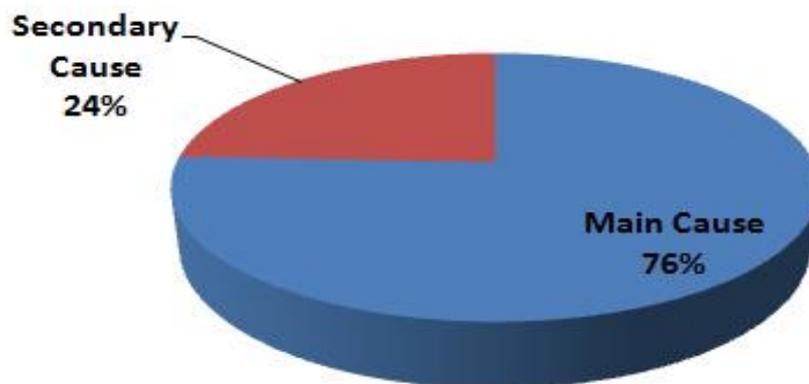


Fig. 3.7 Comparison of main and secondary cause of human error ratios (2011-2016)

### 3.3 DP선박의 LOP사고 분석 도구

#### 3.3.1 HFACS(Human Factors Analysis and Classification System)

대표적인 사고 분석 모델인 Casual sequence 모델로 LOP 사고의 발생 단계들을 분석해보면, 선박사고를 비롯한 각종 사고는 한 가지 원인만으로 사고가 일어나는 경우는 흔치 않으며, 대부분 여러 복합적인 원인들이 연달아 일어날 때 발생한다. 이런 연쇄작용이 행동자(DPO 등)의 불안정한 행동을 유발시킴으로써 사고가 발생하게 되는 것이다(Reason, 1990).

선박사고의 원인분석은 Fig. 3.8과 같이 Reason의 ‘스위스 치즈 모델’을 활용하여 설명할 수 있다. 이 모델은 사고의 원인을 인간 행위의 실패를 말하는 불안전 행위(Unsafe acts), 불안전 행위의 전제조건(Pre-conditions for unsafe acts), 불안전 감독(Unsafe supervision), 조직의 영향(Organizational influences)의 4가지 수준으로 분류하고 있다(F. J. Griggs, 2012).

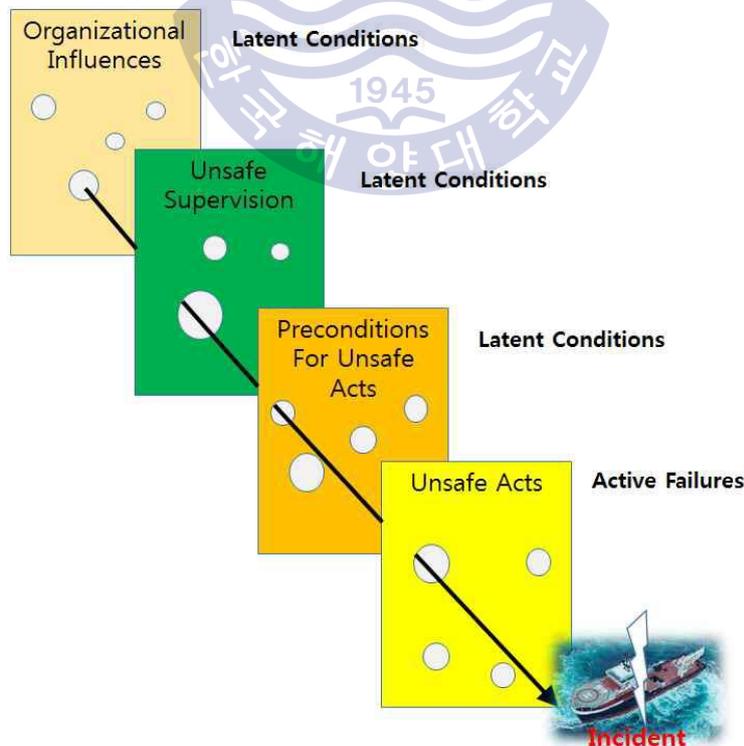


Fig. 3.8 Reason's Swiss cheese model theory

HFACS는 Shappell과 Wiegmann이 Reason의 스위스 치즈 모델을 바탕으로, 항공사고를 분석하기 위하여 조종사의 불안전 행위 분류체계를 개발한 것이다. HFACS는 Reason이 주장한 인간 행위 실패에 대한 4가지 원인 수준을 바탕으로 17가지의 원인 수준으로 세분화한 것이며, 도식화하면 Fig. 3.9와 같다. HFACS는 그 효과성이 이미 증명되어, 선박사고의 인적오류를 분석하는 도구로 많이 활용되어 왔다(A. Rothblum et al, 2002).

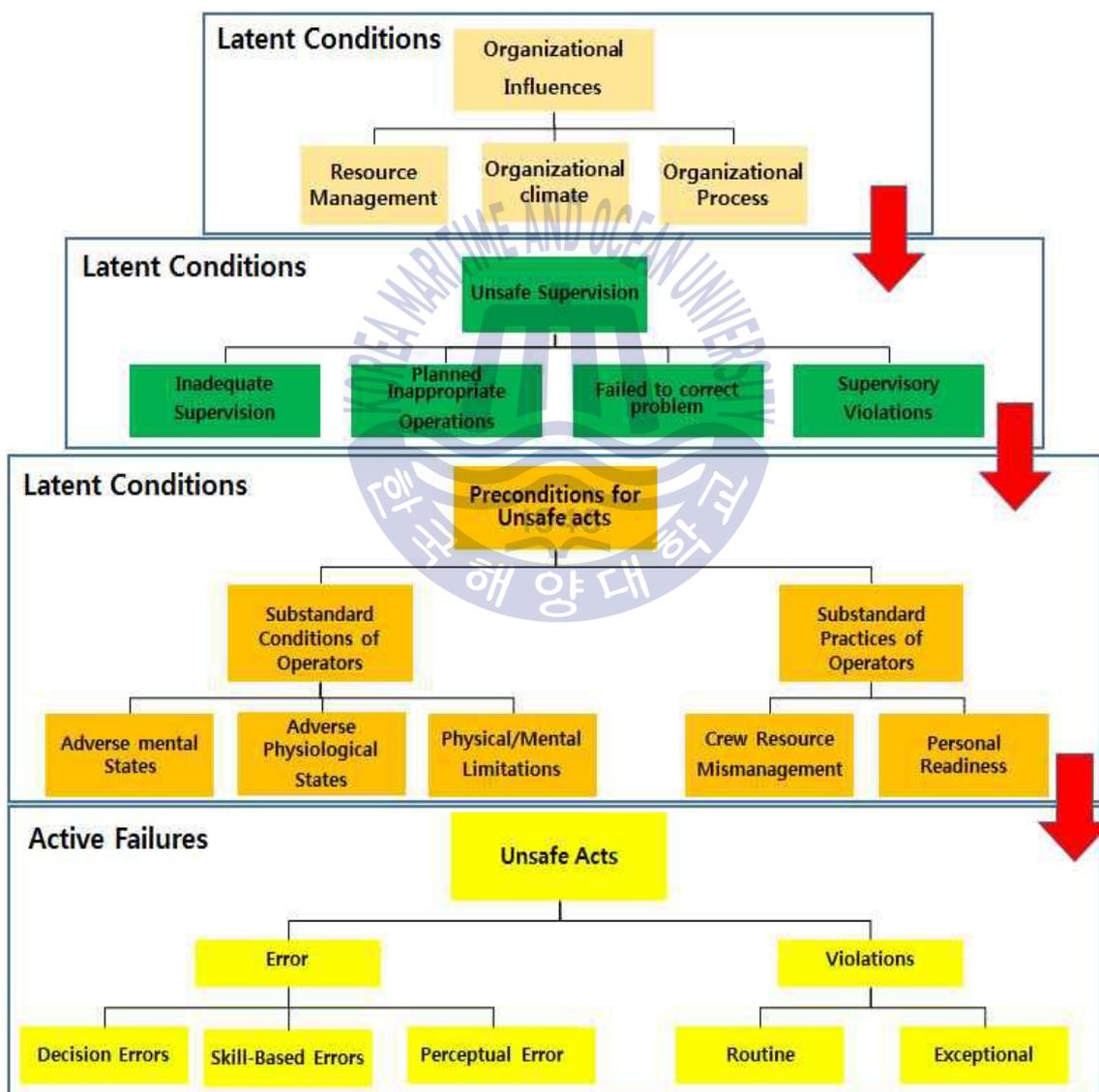


Fig. 3.9 HFACS model

마지막 단계에 있는 불안전 행동(Unsafe acts)은 실질적인 위험행동을 말하고, 불안전 행동의 사전조건(Preconditions for unsafe acts)은 불안전 행동을 야기하는 잠재적인 문제의 상태를 말하며, 불안전 감독(Unsafe supervision)은 중간 단계의 잠재적인 관리의 실패를 말한다. 조직상의 영향은 중간 단계 관리자의 관리정책에 영향을 미치는 잠재요소를 의미한다(S. A. Shappell and D. A. Wiegmann, 2000).

### 1) 불안전 행동

DPO의 불안전 행동(Unsafe acts of operators)은 크게 오류(Error) 또는 위반(Violation)의 두 가지 범주 중에서 하나에 속하게 된다. '오류'는 인간의 특성과 능력의 한계로 나타나는 자연스러운 것이며, 불안전 행동에 의한 대부분의 사고는 이에 해당한다. '위반'은 법과 규정을 무시한 고의적인 행위를 말한다.

Fig. 3.10은 불안전 행동의 분류 및 예시이다(A. Rothblum et al, 2002).

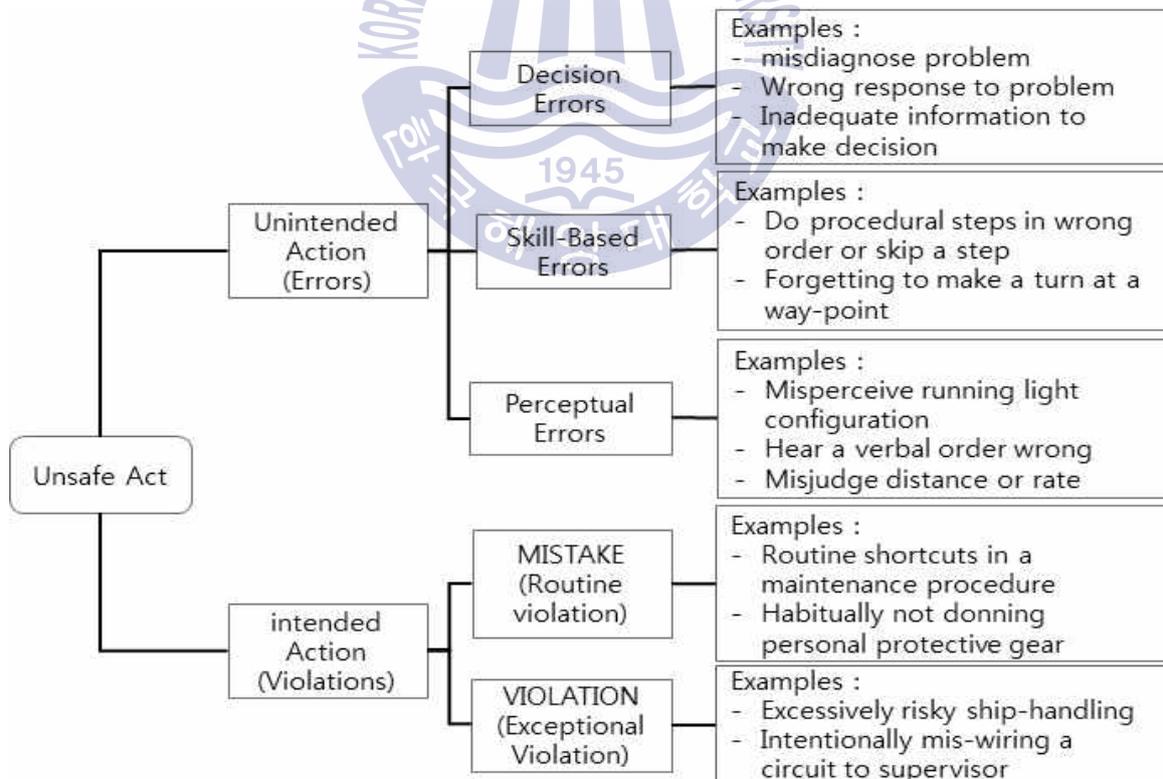


Fig. 3.10 Unsafe acts classification

불안전 행동으로 인해 발생하는 오류는 '판단 오류(Decision error)', '기술 기반 오류(Skill-based error)', '지각 오류(Perceptual error)'로 세분화된다.

'판단 오류'는 부실한 실행절차, 부적절한 선택, 관련 정보의 오해 및 오용 등으로, 의도한 행동이나 실행을 위한 계획이 상황과 맞지 않거나 부적절한 경우를 말한다.

'기술기반 오류'는 의도적인 생각과 관계없이 나타나는 것으로, DP시스템의 조작과 같이 주로 자동화된 행동을 함에 있어 주의(Attention)가 흐트러지거나 기억의 실패에 영향을 받아 나타나는 것이다. 예를 들면, 잘못된 스위치 조작을 한다든지, 무엇을 하려고 했는지를 잊는다든지, 또는 수행해야 할 절차를 생략한다든지 등의 이런 경우들을 말한다.

'지각 오류'는 야간, 기상 등의 비정상적 근무상황에서 감각 입력이 희미하거나 불확실할 때 나타나는 착각이나 착오를 말하는 것으로, 거리 및 속도에 대한 판단 착오, 착시 등이 이에 해당한다.

위반은 크게 '통상적 위반(Routine violation)'과 '이례적 위반(Exceptional violation)'의 두 가지로 구분된다. 통상적 위반은 관리, 감독체계가 용인하는 범위 내에서의 경미한 위반으로서, 대개 습관적으로 행해지는 것이다. 이례적 위반은 감독체계에서 묵과하지 않는 허용범위를 넘어서는 위반으로서, 안전관리 체계에서 허용되지 않는 것이다(A. Rothblum et al, 2002).

불안전한 행동을 상세히 분류하여 표로 나타낸 것이 Table 3.4이다.

**Table 3.4** Classification guide for unsafe acts

Error for Unsafe Acts	
Skill-based	failed to prioritize attention
	inadvertent use of controls
	omitted step in procedure, or executed step out-of sequence
	omitted checklist item or completed check list item out of sequence
Perceptual	misjudged distance/rate/time
	misread dial or indicator
	failed to see/hear/otherwise sense
Decision	improper procedure or maneuver
	misdiagnosed emergency
	wrong response to emergency
	poor decision
Violation	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
	Exceptional Definition: Isolated departure from authority, rules and regulations (taking a shortcut) that is typically not condoned by management

2) 불안전한 행동의 전제조건

불안전한 행동의 전제조건은 운용자의 기준미달 상태(Substandard conditions of operators)와 운용자의 기준미달 운용(Substandard practices of operators)으로 나뉜다(A. Rothblum et al, 2002).

Table 3.5는 불안전 행동의 전제조건을 상세히 분류한 것이다.

**Table 3.5** Preconditions for unsafe acts

Substandard Conditions of Operators	
Adverse Mental States	Channelized attention
	Complacency
	Distraction
	Mental fatigue
	Haste
	Loss of situational awareness
	Misplaced motivation task saturation
Adverse Physiological States	Impaired physiological state
	Medical illness
	Physiological incapacitation
	Physical fatigue
Physical/ Mental Limitations	Insufficient reaction time
	Poor vision/hearing
	Lack of knowledge
	Incompatible physical capability
Substandard Practices of Operators	
Crew Resource Mgt.	Impaired communications due to language difference
	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

운용자의 기준미달 상태 중에서 부정적 정신상태(Adverse mental states)는 질병, 음주, 소음이나 진동으로 인한 청각 불량, 개인의 감정상태, 자만 및 과신, 안일한 생각, 서두름, 당황, 주의산만 등의 경우를 말한다. 부정적 신체상태(Adverse physiological states)는 시각과 화면정보 부족, 시각 및 화면이 구성한 정보의 충분한 처리시간의 부족, 마약·알콜 및 육체적 피로 등의 경우를 말한다. 그리고 물리적·정신적 한계의 경우는 필요한 정보의 인지가 불가능하거나 인지가 가능하더라도 개인이 이를 안전하게 다룰 수 있는 기술이나 시간이 없는 등의 경우를 말한다(A. Rothblum et al, 2002).

운용자 기준미달 운용 중에서 선원관리(Crew resource management)에는 선원들의 팀워크 부족, 선교에서 담당역할의 불분명, 선교에 두 명이 있을 경우 역할분담의 잘못된 이해 등이 포함된다. 개인 준비상태는 개인이 운용준비 상태가 되어 있지 않은 경우를 말하는 것으로 작업 전 휴식부족, 음주규정 위반 등이 이에 포함된다.

### 3) 불안전 감독

불안정한 감독은 부적절한 감독, 계획된 운용절차의 부적절한 수행, 문제해결의 실패 및 감독의 규정위반 등 크게 4가지로 분류된다. 이를 세분화하면 Table 3.6과 같이 18가지로 분류된다(A. Rothblum et al, 2002).

**Table 3.6** Classification guide for unsafe supervision

Errors for Unsafe Supervision	
Inadequate Supervision	Failed to provide guidance
	Failed to provide operational doctrine
	Failed to provide oversight
	Failed to provide training
	Failed to track qualifications
	Failed to track performance
Planned Inappropriate Operations	Failed to provide correct data
	Failed to provide adequate brief time
	Improper manning
	Adequacy of operational procedure or plan
	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
	Failed to report unsafe tendencies
Supervisory Violations	Authorized an unnecessary hazard
	Failed to enforce rules and regulations
	Authorized unqualified crew

불안전 감독의 부적절한 감독(Inadequate supervision)은 명령체계에서 감독의 실패를 말하며, 계획된 운용절차의 부적절한 수행(Planned inappropriate operations)은 운용절차가 수립되었으나 운용자가 이러한 절차를 수용하기 불가능한 위험에 놓여있어 이것이 결국 부정적인 영향을 미치게 되는 것을 말한다. 문제해결의 실패(Failure to correct problem)는 개인, 장비, 훈련 또는 안전관련 분야의 문제가 관리자에게 보고되었으나 해결되지 않은 것이며, 감독의 규정위반(Supervisory violations)은 관리자가 규정을 무시하는 것을 말한다.

#### 4) 조직의 영향

조직상의 영향 중에서 자원관리(Resource management)는 조직자원의 관리를 말하며, 인적자원 역시 조직의 자원으로서 그 관리의 대상이 되는데 그 예로는 선박 운용자의 선발절차, 교육 및 훈련지침, 인력배치 지침 등이 있다. 조직 분위기(Organizational climate)는 선박 운용자의 능력에 영향을 미치는 조직의 체계를 말하는 것으로 조직구조에 따른 지휘체계, 회사 대표자 및 책임, 보고방식 등이 그 예이다. 운용절차(Operational process)는 조직 내부의 공식적인 관리 및 절차를 말하는 것으로 선장이 특정 인물을 편애하거나, 선박에서 적절한 교육이 시행되고 있는지에 대한 검증을 하지 않는 경우 이와 관련된 문제가 발생할 수 있다. 조직상의 영향에 대한 상세분류는 Table 3.7과 같다(A. Rothblum et al, 2002).

Table 3.7 Classification guide for organizational influences

Errors for Organizational Influences	
Resource Management	Inadequate management of human resources
	Inadequate management of monetary resources
	Inadequate design and maintenance of facilities
Organizational Climate	Adequacy of organizational structure
	Adequacy of organizational policies
	Adequacy of safety culture
Organizational Process	Adequacy of established conditions of work
	Adequacy of established procedures
	Adequacy of oversight

### 3.3.2 베이저안 네트워크

베이저안 네트워크는 베이즈 이론(Bayes theorem)을 바탕으로 하며, 어떤 사건의 원인이 되는 노드(Node)와 결과를 나타내는 노드(Node) 사이의 인과관계를 아크(Arc)를 사용하여 표현하는 기법이다(M. Horny, 2014). 이 방법은 조건부 가능성(Conditional probability)과 그것들의 상호 관계를 이해하기 쉽게 표현할 수 있다는 것이 가장 큰 장점이다. 즉, 베이저안 네트워크는 어떤 원인에 대한 사전가능성(Prior probability)을 바탕으로 조건부가능성을 확인할 수 있는 모델로, 사건의 빈도 및 심각성을 분석하기에 적합하다고 할 수 있다(M. Horny, 2014).

선박의 운항 중에 발생하는 사고는 원인과 결과 사이에 복잡한 인과관계가 형성되어 있다. 이러한 사건들 사이의 인과관계를 확률로 표현하고 단계적으로 연결해 나가면 사고의 원인 및 이들의 발생가능성을 파악하기가 쉽다. 그러나 이 같은 확률적인 인과관계를 모델로 표현한다는 것이 쉽지는 않은데, 베이즈(Bayes)의 1763년 논문에 기초하여 고안된 베이저안 기법을 이용하면 직접적인 인과관계의 조건부 가능성을 정의하고, 확률분포로 표현하는 것까지 매우 효과적으로 나타낼 수 있다(J. B. Yim, 2009). 수식 (3.1)은 베이즈 이론을 바탕으로 수식화된 모델로 정의한 것이다.

$$P(A | B) = \frac{P(B | A) \cdot P(A)}{P(B)} \quad (3.1)$$

$B$  : Evidence

$A$  : Cause(원인) or Hypothesis(추측)

$P(A | B)$  : Posterior probability(사후 확률)

$P(B | A)$  : Likelihood function(우도함수)

$P(A)$  : Prior probability(사전가능성)

수식 (3.1)에 제시된 바와 같이 B(Evidence)가 주어졌을 때 A(Cause)가 발생할 확률을 X라고 하면 이를  $P(A | B) = X$ 라고 표현한다. 이 식의 의미는 B가 사실(True)이면 항상 A는 X를 의미하는 것이 아니고, 만약 B가 사실(True)이고 A와 전혀 무관하다면  $P(A) = X$ 가 된다는 것을 뜻한다(M. Horny, 2014).

주어진 증거(Evidence)를 통해 각 원인(Cause)들의 조건부 가능성에 대한 분포를 계산하는 것이 베이저안 네트워크를 사용하는 목적이지만, 실제로는 주어진 원인으로 증거를 확인하여 반대의 조건부 가능성 분포를 얻을 수 있게 된다. 따라서 베이저안 네트워크는 역으로 베이즈 이론을 이용하여 주어진 원인에 대한 증거를 확인하고 반대 조건부 가능성에 대한 분포를 구함으로써, 주어진 증거에 대한 원인의 조건부 가능성 분포를 구할 수 있게 되는 것이다. 이러한 개념을 적용하여 수식 (3.1)을 재 표현 하자면 수식 (3.2)와 같다(M. Horny, 2014).

$$P[Cause | Evidence] = P[Evidence | Cause] \cdot \frac{P[Cause]}{P[Evidence]} \quad (3.2)$$

예를 들어 DP선박에서 DPO의 부주의(PRS 작동버튼 해지 등) 및 PRS 시스템 기능장애로 Drive-off 사고가 발생한다고 가정하였을 때 DPO의 부주의를 ‘M’, 그 확률을 0.3으로 가정하면  $P[M=Happen] = 0.3$ 으로 표현되고, PRS 시스템 기능장애를 ‘T’, 그 확률을 0.2로 가정하면  $P[T=Happen] = 0.2$ 로 표현된다. 그리고 DPO의 부주의와 PRS시스템의 기능장애는 서로 독립적이라 할 수 있으며, DPO의 부주의 및 PRS시스템의 기능장애가 발생하지 않는다면, Drive-Off 사고도 발생하지 않는다고 생각할 수 있다.

이는 Drive-off 사고를 D라고 하면  $P[D=Happen | M=No Happen, T=No Happen] = 0$ 으로 표현된다. DPO의 부주의는 없으나, PRS의 기능장애가 발생한 경우 Drive-Off 사고가 발생하는 확률을 0.2라고 가정하면, 이는  $P[D=Happen | M=No Happen, T=Happen] = 0.2$ 로 표현된다. 그리고 DPO의 부주의로 PRS시스템

작동버튼을 해지하였을 경우 PRS 시스템 기능장애와 무관하게 Drive-off 사고가 발생하게 되고  $P[D=Happen \mid M=Happen, T=Happen] = 1$ ,  $P[D=Happen \mid M=Happen, T=No\ Happen] = 1$ 로 표현된다.

이를 바탕으로 Drive-Off 사고의 발생 가능성  $P[D=Happen]$ 을 베이지스 이론에 따라 계산하면 다음과 같다.

$$P[D = Happen] = \sum_{M,T} P[D = Happen, M, T] = \sum_{M,T} (P[D = Happen \mid M, T] \cdot P[M] \cdot P[T]) \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} &= (P[D = Happen \mid M = Happen, T = Happen] \cdot P[M = Happen] \cdot P[T = Happen]) + \\ &\quad (P[D = Happen \mid M = Happen, T = No\ Happen] \cdot P[M = Happen] \cdot P[T = No\ Happen]) + \\ &\quad (P[D = Happen \mid M = No\ Happen, T = No\ Happen] \cdot P[M = No\ Happen] \cdot P[T = No\ Happen]) + \\ &\quad (P[D = Happen \mid M = No\ Happen, T = Happen] \cdot P[M = No\ Happen] \cdot P[T = Happen]) \\ &= (1 \times 0.3 \times 0.2) + (1 \times 0.3 \times 0.8) + (0 \times 0.7 \times 0.2) + (0.2 \times 0.7 \times 0.2) \\ &= 0.328 \approx 0.33 \end{aligned}$$

수식 (3.3)의 결과값 ‘0.33’을 어떠한 증거의 확인 전 Drive-off 사고에 대한 사전가능성이라고 한다. 이러한 베이지스 이론을 적용하는 베이지안 네트워크를 그래픽으로 구현하는 도구들이 여러 가지 있다. 본 연구에서는 미국 피츠버그 대학에서 개발한 GeNie 프로그램을 사용하였다. GeNie는 베이지안 네트워크를 바탕으로 정성적인 분석을 통하여 표현된 흐름도에 사고 관련 데이터를 적용하고, 이와 관련한 조건부 가능성을 그래픽으로 구현할 수 있는 프로그램이다(BAYESFUSION, LLC, 2015). 수식(3.3)을 GeNie를 활용하여 그래픽으로 표현하면 Fig. 3.11과 같다.

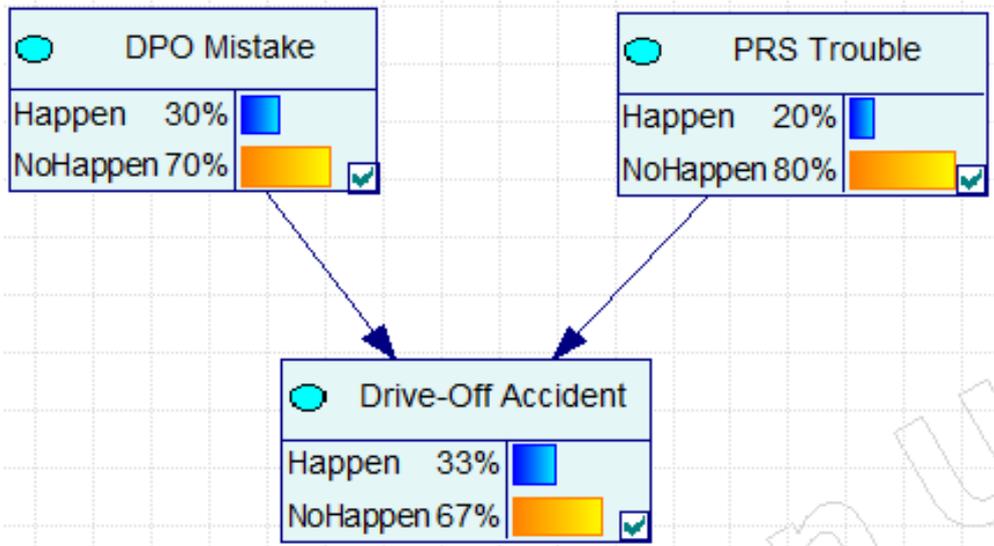


Fig. 3.11 Prior probability distribution

만약 Drive-Off 사고가 발생하였다면, 즉 ‘Drive-off=Happen’의 가능성이 1이 되었다면 DPO의 부주의 및 PRS 기능장애가 주어진 증거(Drive-off accident)에 대해서 어떻게 변화되었는지 수식으로 계산해보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 P[M = \text{Happen} \mid D = \text{Happen}] &= \sum_T P[M = \text{Happen}, T \mid D = \text{Happen}] & (3.4) \\
 &= \sum_T \frac{P[D = \text{Happen} \mid M = \text{Happen}, T] \cdot P[M = \text{Happen}] \cdot P[T]}{P[D = \text{Happen}]} \\
 &= \left( \frac{1 \times 0.3 \times 0.2}{0.328} \right) + \left( \frac{1 \times 0.3 \times 0.8}{0.328} \right) \\
 &= 0.914 \approx 0.91
 \end{aligned}$$

수식 (3.4)를 통해서 Drive-off 사고가 발생하는 조건이 주어졌을 때 이것의 원인이 DPO 부주의에 의한 것일 확률이 약 91%라는 것을 확인할 수 있고 이것을 조건부 가능성 또는 사후확률이라고 한다.

$$P[T = Happen \mid D = Happen] = \sum_M P[T = Happen, M \mid D = Happen] \quad (3.5)$$

$$= \sum_M \frac{P[D = Happen \mid T = Happen, M] \cdot P[T = Happen] \cdot P[M]}{P[D = Happen]}$$

$$= \left( \frac{1 \times 0.2 \times 0.3}{0.328} \right) + \left( \frac{0.2 \times 0.2 \times 0.7}{0.328} \right)$$

$$= 0.268 \approx 0.27$$

수식 (3.5)는 Drive-off 사고가 발생하였을 때 이것의 원인이 PRS 기능장애에 의한 것일 확률이 약 27%라는 것을 의미한다.

수식 (3.4) 및 (3.5)의 결과를 GeNIe에서 그래픽으로 표현하면 Fig. 3.12와 같다.

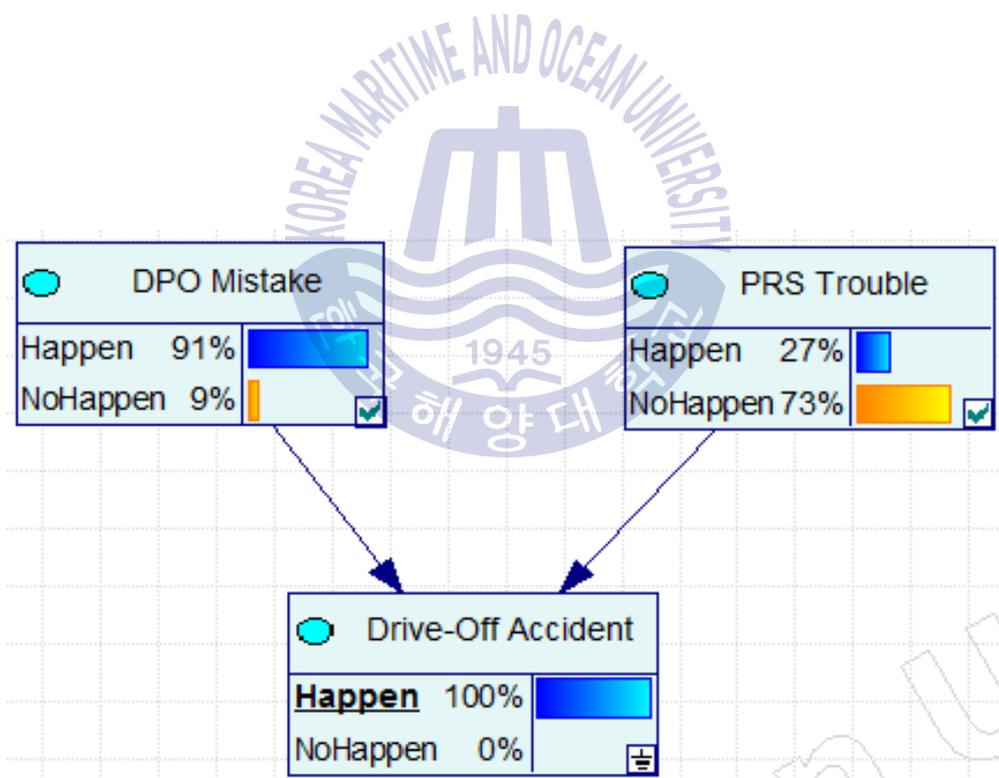


Fig. 3.12 Posterior probability distribution after observing evidence

이러한 방법으로 베이지안 네트워크의 사전가능성을 구하여 특정사건이 발생하였을 경우의 조건부 가능성을 확인할 수 있다(M. Horny, 2014).

Fig.3.13 및 Table 3.8은 Drive-off 사고 발생의 원인으로 DPO의 부주의 및 PRS 기능장애와 관련한 사전가능성을 GeNle의 NPT(Node probability table)로 나타낸 것이다. Table 3.8에서 Happen과 Happen 간에 입력된 ‘1’ 은 DPO의 부주의와 PRS기능장애가 동시에 발생하였을 때, Drive-off 사고가 발생하는 경우는 100%라는 것을 의미하고, 이를 1로 GeNle에 입력한 것이다. 추가로 GeNle에서 NPT로 표현되는 각각의 의미는 Table 3.9와 같다.

Table 3.8 NPT from GeNle (Drive-off accident)

DPO mistake	Happen		No happen	
PRS trouble	Happen	No happen	Happen	No happen
Happen	1	1	0.2	0
No happen	0	0	0.8	1

Table 3.9 Meaning of node probability table for drive-off accident

DPO Mistake	Happen		No Happen	
PRS Trouble	Happen	No Happen	Happen	No Happen
Drive-Off Happen	If DPO's Mistake and PRS Trouble occur at the same time, Node Happen	If DPO's Mistake occurs, Node Happen	If PRS trouble occurs Node Happen	If DPO's Mistake and PRS trouble do not occur, Node Happen
Drive-Off No Happen	If DPO's Mistake and PRS Trouble occur at the same time, Node No Happen	If DPO's Mistake occurs, Node No Happen	If PRS trouble occurs Node No Happen	If DPO's Mistake and PRS trouble do not occur, Node No Happen

### 3.4. HFACS 및 베이지안 네트워크 기반 인적오류 분석

3.2.2 인적오류 상세분석에서 최근 6년(2011-2016) 동안 70건의 사고가 인적오류에 기인한 것으로 확인되었다. 2011-2015년은 LOP 사고보고서에 모든 사고 사례가 보고서로 포함되어 있으나, 2016년부터 유사한 사고는 보고서를 중복으로 삽입하지 않아 원인요소에 의한 사고 건수는 확인 가능하지만, 상세 내용은 확인이 불가하였다. 따라서 70건의 사고 중에서 사고 내용을 확인할 수 있는 63건에 대하여 HFACS 분류체계에 따라 분류하였다.

분류된 인적오류 결과는 사고의 사전가능성 및 조건부 가능성을 확인하기 위하여 MS 엑셀로 정리하고 GeNIe 프로그램을 활용하여 분석하였다.

#### 3.4.1 HFACS 분류

HFACS를 이용하여 63건의 인적오류를 분석한 결과, Table 3.10과 같이 나타났다. 불안전 행동으로 발생하게 되는 LOP사고는 불안전 행동의 사전조건 33건(78%), 불안전한 감독 37건(88%), 조직의 영향 26건(61%)에 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있다. 3.3.1에서 언급되었듯이 선박사고는 통상 여러 가지 원인들이 연쇄적으로 작용하여 발생하는 경우가 대부분이다. 이와 같이 한 가지 사고에 여러 원인이 복합적으로 작용한 경우, HFACS의 범주에 따라 원인을 구분할 때 4가지 범주 중에서 2가지 이상의 범주에 중복으로 분류되기도 하였다.

Table 3.10을 보면, 인적오류의 원인 중에서 불안전한 감독의 비율이 가장 높았고, 그 다음으로 불안전한 행동의 전제조건, 조직상의 영향이 원인으로 작용하였음을 확인할 수 있다

이를 통해 인적오류에 의한 LOP사고를 저감하기 위해 불안전한 감독을 개선하는 것이 불안전한 행동의 전제조건을 개선하는 것 보다 효과성이 높을 것으로 기대할 수 있다.

**Table 3.10** HFACS categorization of human errors for DP LOP incidents

HFACS Category	Numbers	Percentage(%)
Organizational influences	26	61
Unsafe supervision	37	88
Precondition for unsafe acts	33	78
Unsafe acts	42	100

#### 1) 조직상 영향의 분류

**Table 3.11**은 조직상의 영향을 3가지로 분류한 것이다. 조직상의 영향으로 인한 인적오류 26건을 3가지 범주로 분류하고 그것을 전체 인적오류 63건에 대한 비율로 나타내면 조직의 프로세스 비율이 33.3%로 가장 높았으며, 그 다음은 조직의 자원관리 20.6%, 조직의 분위기 7.9%로 확인되었다.

위의 3가지 범주를 9가지의 분류기준으로 세분화하였다. 수립된 절차가 46.1%로 가장 높았으며, 그 다음으로 자원관리 17.9%, 설비의 정비 및 설계 15.4%, 안전문화 10.2%, 작업환경 5.1%, 회사의 감독 및 조직의 방침이 각각 2.6%를 차지하였다.

수립된 절차의 오류는 절차대로 작업을 수행함에도 불구하고 회사의 절차가 부적절하여 LOP사고로 이어지는 인적오류를 일컫는다.

그 예로, 회사 절차에 GNSS 메모리 배터리 점검항목이 누락되어 있어 본선 Gyro센서에 장애가 발생하였고 이로 인해 LOP사고로 이어진 사례가 보고된 바 있다. 이 경우, Gyro센서의 기능장애가 이 사고의 직접적인 원인으로 작용하였지만, 2차적인 인적오류인 부적절한 회사 절차 역시 이 사고의 원인이 되었다고 할 수 있다(IMCA, 2015).

**Table 3.11** Human error DP LOP incidents caused by organizational influences

Organizational Influences				
Categories	Error	No.	%	%
Resource Management	Inadequate management of human resources	7	17.9	20.6
	Inadequate management of monetary resources	-	-	
	Inadequate design and maintenance of facilities	6	15.4	
Organizational Climate	Adequacy of organizational structure	-	-	7.9
	Adequacy of organizational policies	1	2.6	
	Adequacy of safety culture	4	10.2	
Organizational Process	Adequacy of established conditions of work	2	5.1	33.3
	Adequacy of established procedures	18	46.1	
	Adequacy of oversight	1	2.6	

## 2) 불안전 감독의 분류

Table 3.12는 불안전 감독을 분류한 것이다. 불안전 감독으로 인한 인적오류 37건을 4가지 범주로 분류하고 그것을 전체 인적오류 63건에 대한 비율로 나타내었다. 부적절한 감독의 비율이 46%로 가장 높았으며, 그 다음으로 계획된 운영절차의 부적절이 22%, 문제해결 실패가 11%를 차지하였다.

위의 4가지 범주를 18가지 분류기준으로 세분화 하였다. 감독실패가 28%로 가장 높게 나타났고, 교육 실패 및 작업절차/계획의 부적절이 각각 18%, 지침 제공 실패 10%, 부적절한 운용 10%, 위험행위 식별 실패 8%, 시정조치 실패 6%, 운용원칙 실패 2%로 분석되었다.

DP작업 시 SDPO(Senior DPO)의 명령체계에서 부적절한 감독이 이루어져 LOP사고로 이어지는 경우, 이는 감독실패로 인한 인적오류에 해당한다.

그 예로, IMCA 사고보고서 중에서 DP모드가 안정되기 전에 선위를 변경하고자 하여 LOP사고로 이어진 사례가 있었다. 이 사고의 직접적인 원인은 DPO의 잘못된 시스템 조작이지만, 2차적인 원인은 관리자의 감독실패가 될 수 있다 (IMCA, 2015).

IMCA 보고서에서 교육실패로 인해 인적오류가 발생한 사례로 신입 DPO가 선박위치유지능력(Station-keeping capability)을 숙지하지 못하여 LOP사고가 발생한 경우를 소개한 바 있다.



**Table 3.12** Human error DP LOP incidents caused by unsafe supervision

Unsafe Supervision				
Categories	Error	No.	%	%
Inadequate Supervision	Failed to provide guidance	5	10	46
	Failed to provide operational doctrine	1	2	
	Failed to provide oversight	14	28	
	Failed to provide training	9	18	
	Failed to track qualifications	-	-	
	Failed to track performance	-	-	
Planned Inappropriate Operations	Failed to provide correct data	-	-	22
	Failed to provide adequate brief time	-	-	
	Improper manning	5	10	
	Adequacy of operational procedure or plan	9	18	
	Provided inadequate opportunity for crew rest	-	-	
Failed to Correct a known Problem	Failed to correct document in error	-	-	11
	Failed to identify an at risk behavior	4	8	
	Failed to initiate corrective action	3	6	
	Failed to report unsafe tendencies	-	-	
Supervisory Violations	Authorized an unnecessary hazard	-	-	0
	Failed to enforce rules and regulations	-	-	
	Authorized unqualified crew	-	-	

3) 불안전 행동의 전제조건 분류

Table 3.13은 불안전 행동의 전제조건을 분류한 것이다. 불안전 행동의 전제 조건에 의한 인적오류 33건을 4가지 범주로 분류하고 그것을 전체 인적오류 63건에 대한 비율로 나타내었다. 부정적 정신상태 비율이 36.5%로 가장 높았으며,

그 다음으로 물리적·정신적 한계가 17.5%를 차지하였다. 운전자 기준미달 운용 중에서 선원관리 및 개인 준비상태는 모두 0%로 확인되었다.

위의 5가지 범주를 25가지 분류기준으로 세분화 하였다. 부주의가 32.3%로 가장 높게 나타났고, 지식부족이 26.4%, 안일한 생각이 11.7%, 주의산만이 8.8%, 서두름이 5.9%, 시각과 화면정보 부족, 시각 및 화면이 구성한 정보의 충분한 처리시간의 부족, 한쪽에 쏠린 집중이 각각 2.9%를 차지하였다.

부주의는 운전자의 부정적인 정신상태로 인한 잘못된 조작성이 LOP사고로 이어지는 것을 말한다. 그 예로, DPO가 선박을 위치를 재설정 하는 과정에서 잘못된 수치를 입력하여 LOP사고가 발생하는 케이스가 있다(IMCA, 2015).

지식부족은 운전자가 작업 수행을 위한 적절한 지식을 보유하지 못한 것을 일컬으며, 그 예로 DPO가 DSV(Diver Supporting Vessel)의 쓰러스터 배치/운용에 대한 지식이 부족하여 Diver 작업의 중단 및 Operation abort가 발생한 케이스가 있다(IMCA, 2015).



**Table 3.13** Human error DP LOP incidents caused by precondition for unsafe acts

Precondition for unsafe acts					
Categories	Error	No.	%	%	
Adverse Mental States	Channelized attention	1	2.9	36.5	
	Complacency	4	11.7		
	Distraction	11	32.3		
	Mental fatigue	-	-		
	Haste	2	5.9		
	Loss of situational awareness	3	8.8		
	Misplaced motivation task saturation	-	-		
	Task saturation	2	5.9		
Adverse Physiological States	Impaired physiological state	-	-	-	
	Medical illness	-	-		
	Physiological incapacitation	-	-		
	Physical fatigue	-	-		
Physical/ Mental Limitations	Insufficient reaction time	1	2.9	17.5	
	Poor vision/hearing	1	2.9		
	Lack of knowledge	9	26.4		
	Incompatible physical capability	-	-		
Substandard Practices of Operation	Crew Resource Mgt.	Impaired communications due to language difference	-	-	-
		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	-	-		

#### 4) 불안전 행동의 분류

Table 3.14는 불안전 행동을 분류한 것이다. 불안전 행동에 의한 인적오류 42건을 5가지 범주로 분류하고 그것을 전체 인적오류 63건에 대한 비율로 나타내었다. 기술기반 오류의 비율이 54%로 가장 높았으며, 그 다음으로 판단 오류가 38.1%, 지각 오류가 6.3%를 차지하였다.

위의 5가지 범주를 13가지 분류기준으로 세분화 하였다. 잘못된 조작이 35.5%로 가장 높게 나타났고, 부실한 시행절차가 27.4%, 수행하여야 하는 절차 생략이 9.7%, 수행하여야 하는 점검항목 생략이 8.0%, 부적절한 선택이 6.5%, 비상상황에 잘못된 대응이 4.8%, 다이얼 또는 표시기 착오가 3.2%, 우선업무 있음, 거리/속도/시간에 대한 판단 착오, 착각이 모두 1.6%로 확인되었다.



**Table 3.14** Human error DP LOP incidents caused by unsafe acts

Error for Unsafe Acts				
Categories	Error	No.	%	
Skill-based	failed to prioritize attention	1	1.6	54
	inadvertent use of controls	22	35.5	
	omitted step in procedure, or executed step out-of sequence	6	9.7	
	omitted checklist item or completed check list item out of sequence	5	8.0	
Perceptual	misjudged distance/rate/time	1	1.6	6.3
	misread dial or indicator	2	3.2	
	failed to see/hear/otherwise sense	1	1.6	
Decision	improper procedure or maneuver	17	27.4	38.1
	misdiagnosed emergency	-	0	
	wrong response to emergency	3	4.8	
	poor decision	4	6.5	
Violation	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	-	-	-
	Exceptional Definition: Isolated departure from authority, rules and regulations (taking a shortcut) that is typically not condoned by management	-	-	-

### 3.4.2 베이지안 네트워크 분석

#### 1) 인적오류 흐름도 작성

인적오류로 인한 LOP사고 63건을 HFACS 분류체계를 통해 분류하고 GeNIe 프로그램에 적용하기 위해 Microsoft Excel 파일로 작성하였다.

3.2.2에서 설명한 것과 같이, 베이지안 네트워크는 사건 간의 원인과 결과를 나타내는 노드(Node) 사이의 인과관계를 아크(Arc)를 사용하여 표현하는 기법이다. 여기서 각 노드는 앞서 HFACS로 분류된 범주이며, 인적오류 63건에 대한 비율을 각 노드에 확률로 입력하였고 그 결과는 Fig. 3.13과 같다.

인적오류에 근거한 4가지 전제조건인 사전 가능성은 불안전 행동이 82%, 불안정한 행동의 전제조건이 33%, 불안전 감독이 36%, 조직상의 영향이 26%의 비율을 차지하고 있다. 이는 어떠한 인적오류가 발생하였을 때 4가지 전제조건이 발생할 가능성을 나타낸다.

또한 LOP사고의 사전가능성은 Drift off가 39%로 가장 높았으며, 그 다음으로 Drive off가 24%, Operation abort가 15%, Time loss가 18%의 비율로 분석되었다.

#### 2) 위험에 대한 조건부 가능성

3.3.2에서 베이지안 네트워크의 장점은 주어진 원인에 대한 증거를 확인하고 반대 조건부 가능성에 대한 분포를 구함으로써, 주어진 증거에 대한 원인의 조건부 가능성 분포를 구할 수 있게 되는 것이었다.

LOP사고의 조건부 가능성을 구하기 위해 각 노드의 가능성을 100%로 두고 조건부 가능성을 확인해 보았다.

Fig. 3.14는 Drift-off의 가능성을 100%로 설정한 것이다. 그 결과, 불안전 행동이 91%, 불안정한 행동의 전제조건이 37%, 불안전 감독이 37%, 조직상의 영향이 27%로 분석되었다.

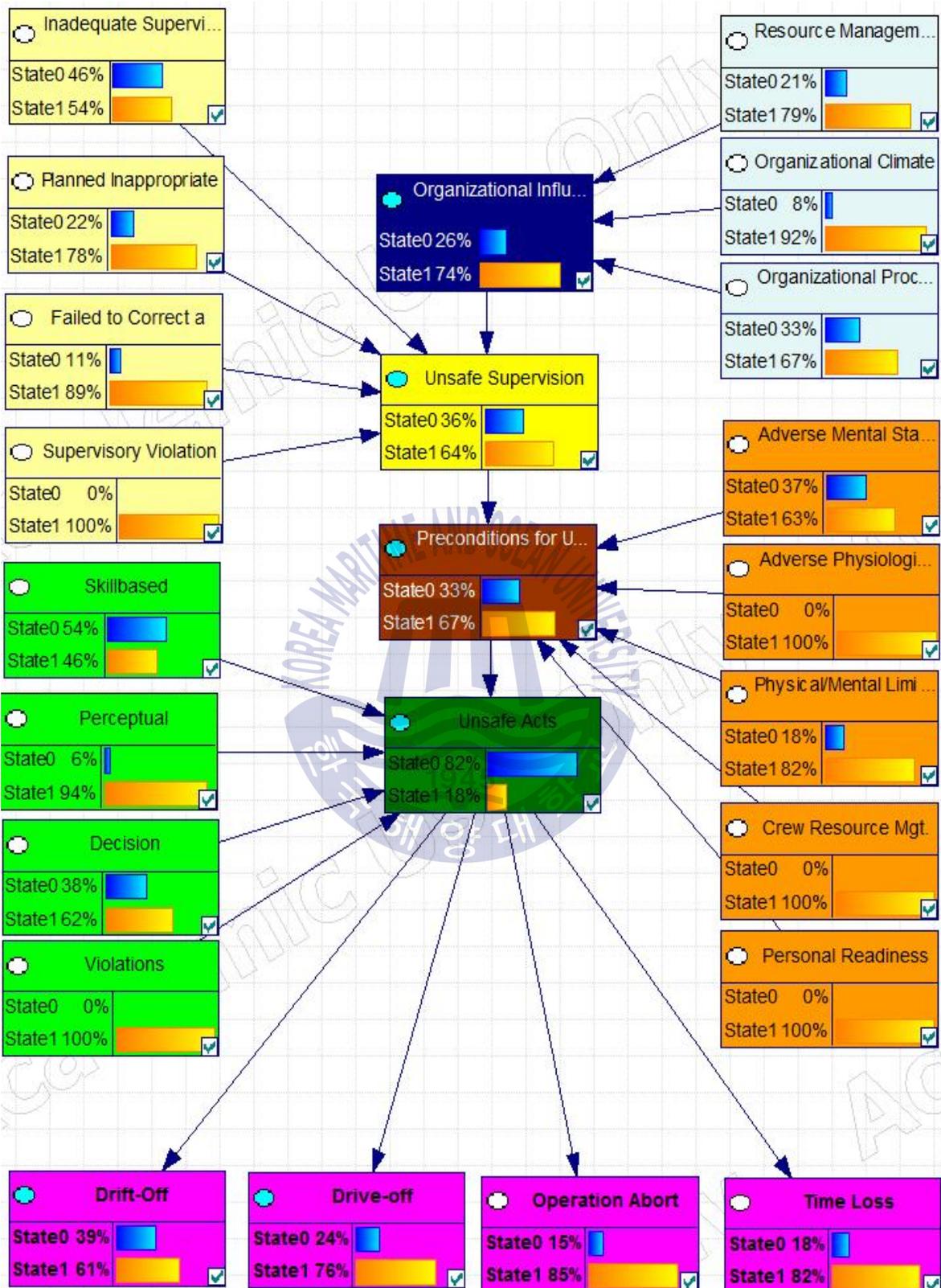


Fig. 3.13 Prior probability of human error on DP LOP incidents

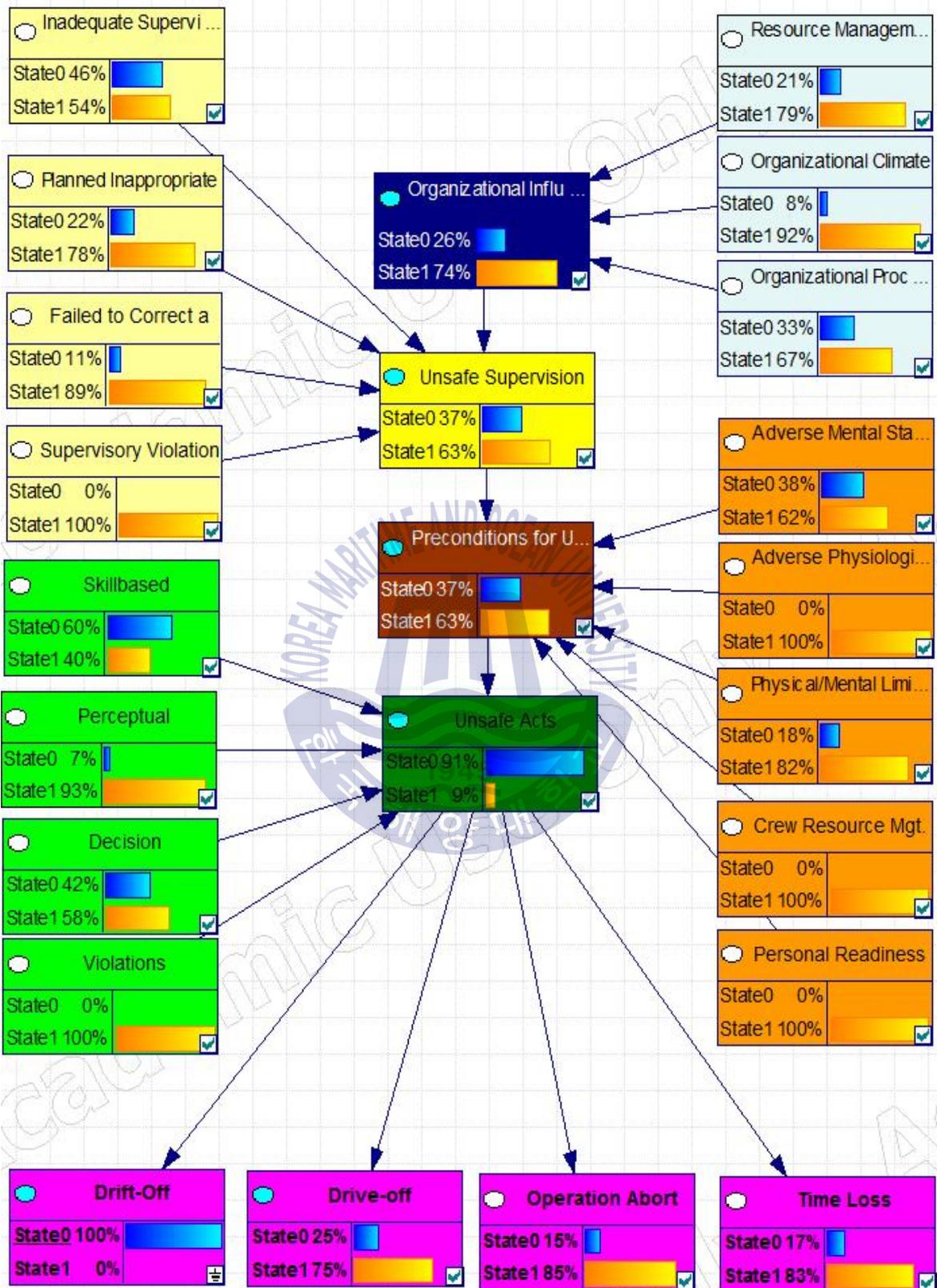


Fig. 3.14 Conditional probabilities of drift off by human error

Fig. 3.15는 Drive-Off의 가능성을 100%로 설정한 것이다. 그 결과, 불안전 행동이 85%, 불안정한 행동의 전제조건이 35%, 불안전 감독이 37%, 조직상의 영향이 26%로 분석되었다.

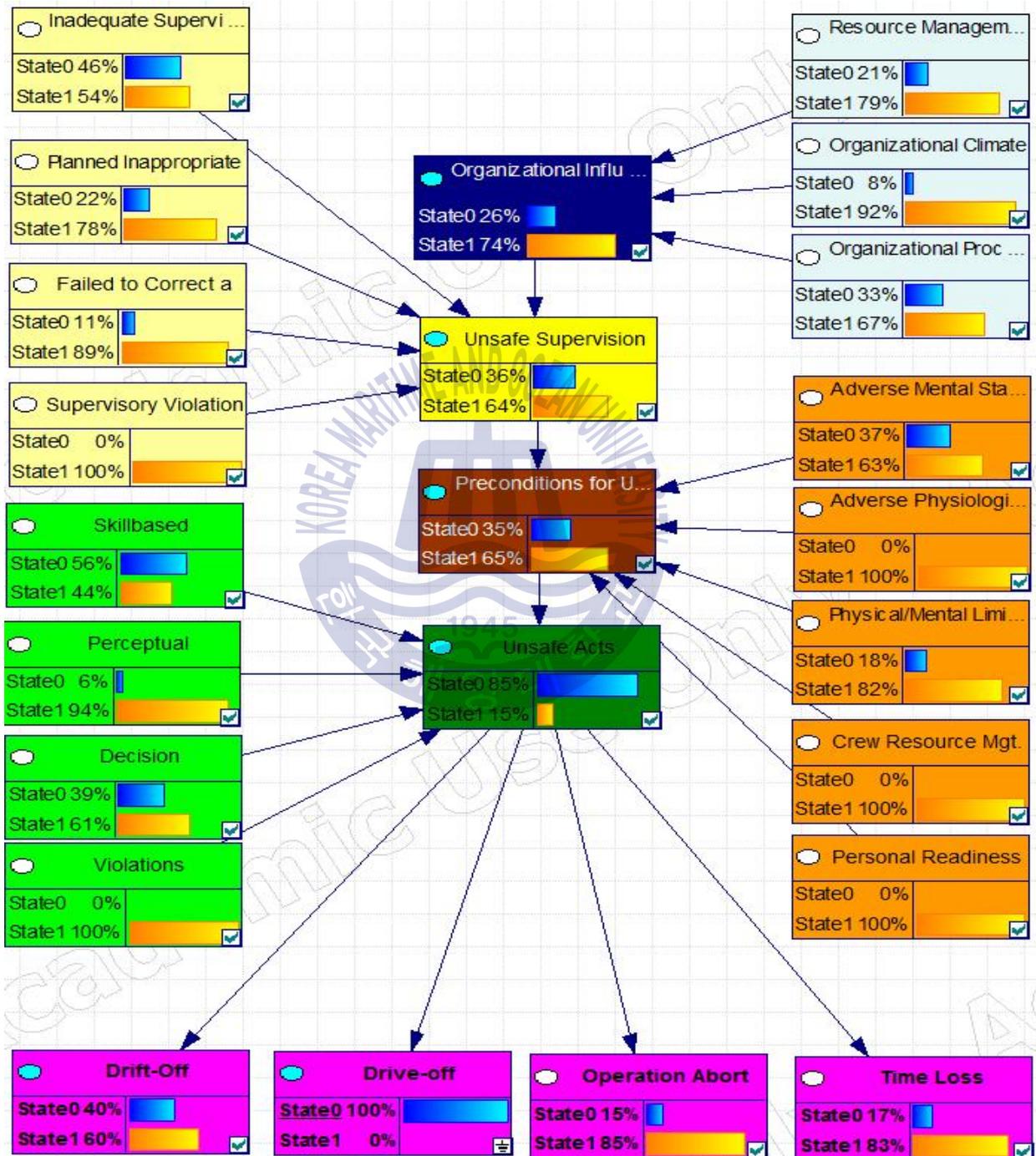


Fig. 3.15 Conditional probabilities of drive off by human error

Fig. 3.16은 Operation abort의 가능성을 100%로 설정한 것이다. 그 결과, 불안전 행동이 76%, 불안정한 행동의 전제조건이 31%, 불안전 감독이 35%, 조직상의 영향이 25%로 분석되었다.

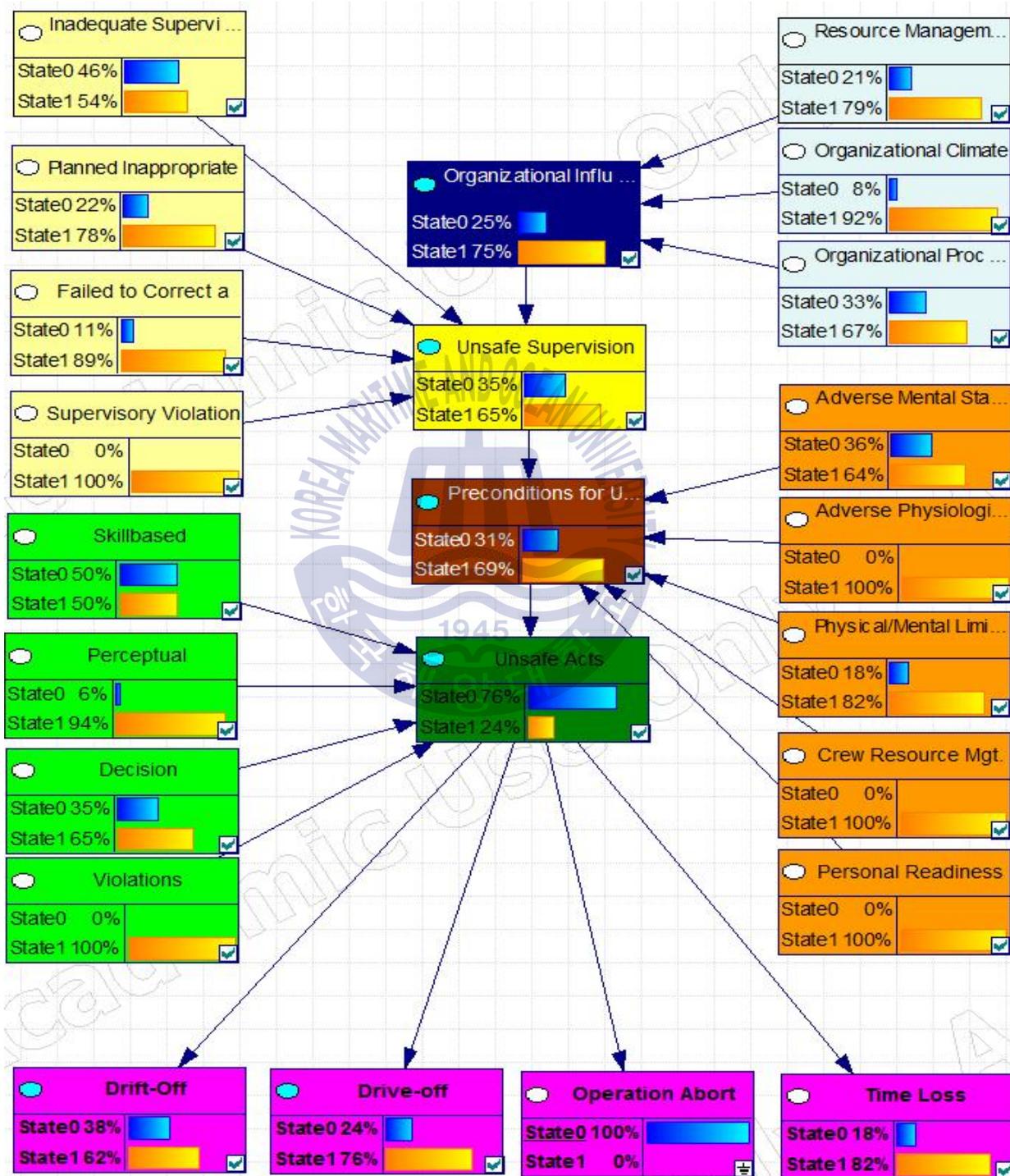


Fig. 3.16 Conditional probabilities of operation abort by human error

Fig. 3.17은 Time loss의 가능성을 100%로 설정한 것이다. 그 결과, 불안전 행동이 80%, 불안정한 행동의 전제조건이 32%, 불안전 감독이 36%, 조직상의 영향이 25%로 분석되었다.

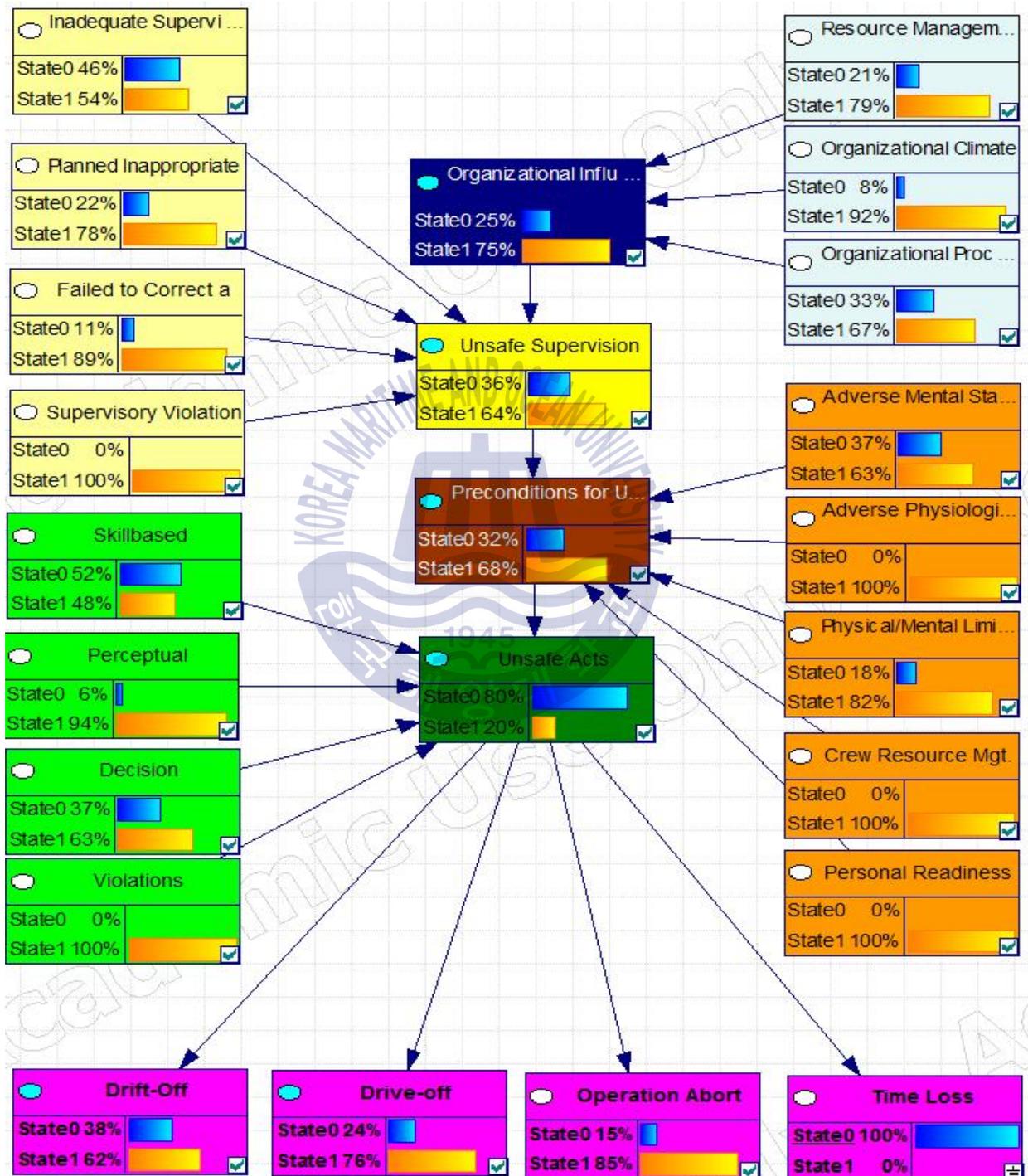


Fig. 3.17 Conditional probabilities of time loss by human error

### 3) 주변확률 분포(Marginal probability distribution)

2.2에서 언급한 것과 같이, LOP사고는 Drift-off 및 Drive-off를 말한다. GeNIe를 통해 인적오류에 의한 DP선박 LOP사고의 확률을 확인해 보았으며, 그 결과는 Fig. 3.18과 같다.

Drift off 및 Drive off의 인적오류는 불안전 행동의 기술기반오류가 60%로 가장 높은 확률을 보였다. 그 다음으로 부적절한 감독이 46%, 판단오류가 42.8%, 부정적 정신상태가 38.2%, 운용절차가 33.1%, 계획된 운용절차의 부적절한 수행이 22.2%, 자원관리가 20.6%, 물리적, 정신적 한계가 18.6%, 문제해결의 실패가 11.1%, 조직분위기가 8%, 지각오류가 6.8%의 확률로 나타났다.

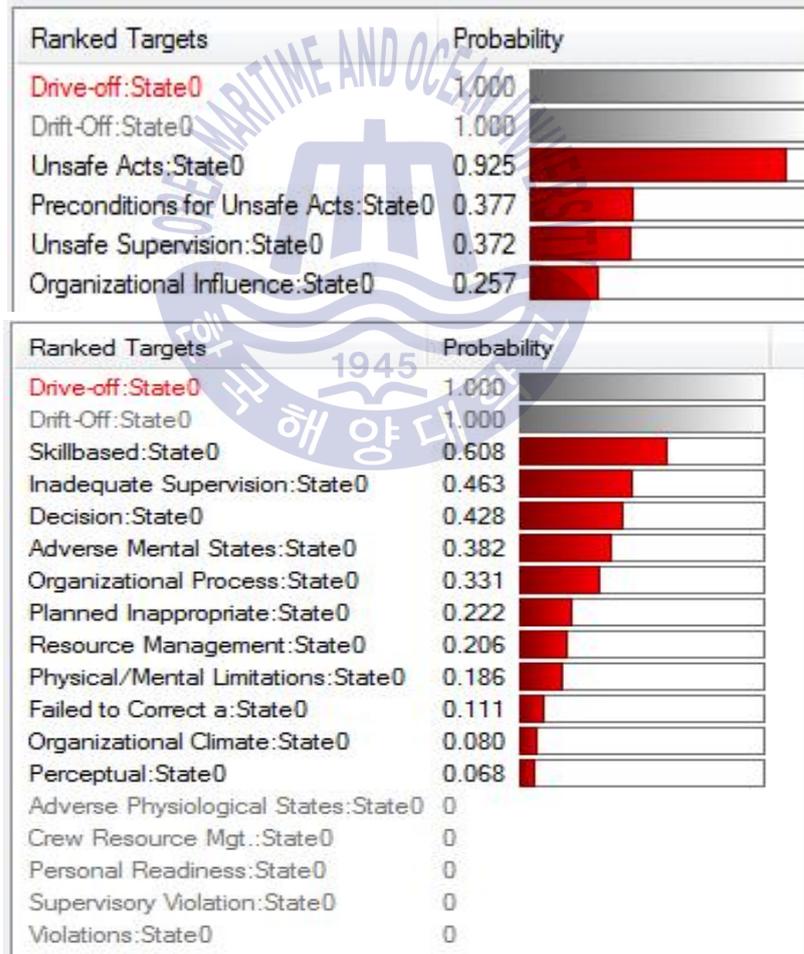


Fig. 3.18 Probability ranks of drive off & drift off by human errors

Fig. 3.19는 Operation abort와 Time loss를 발생시키는 주요 원인을 순위별로 표시한 것이다. 이 사건들은 LOP사고는 아니지만, 향후 LOP사고로 이어질 수 있는 잠재적인 위험이다.

Operation abort 및 Time loss의 인적오류는 불안전 행동의 기술기반오류가 48.2%로 확률이 가장 높았으며, 부적절한 감독이 45.7%, 부정적 정신상태가 36.0%, 판단오류가 33.9%, 운용절차가 32.9%, 계획된 운용절차의 부적절한 수행이 21.9%, 자원관리가 20.6%, 물리적, 정신적 한계가 17.5%, 문제해결의 실패가 17.5%, 조직분위기가 8%, 지각오류가 5.4%의 확률로 나타났다.

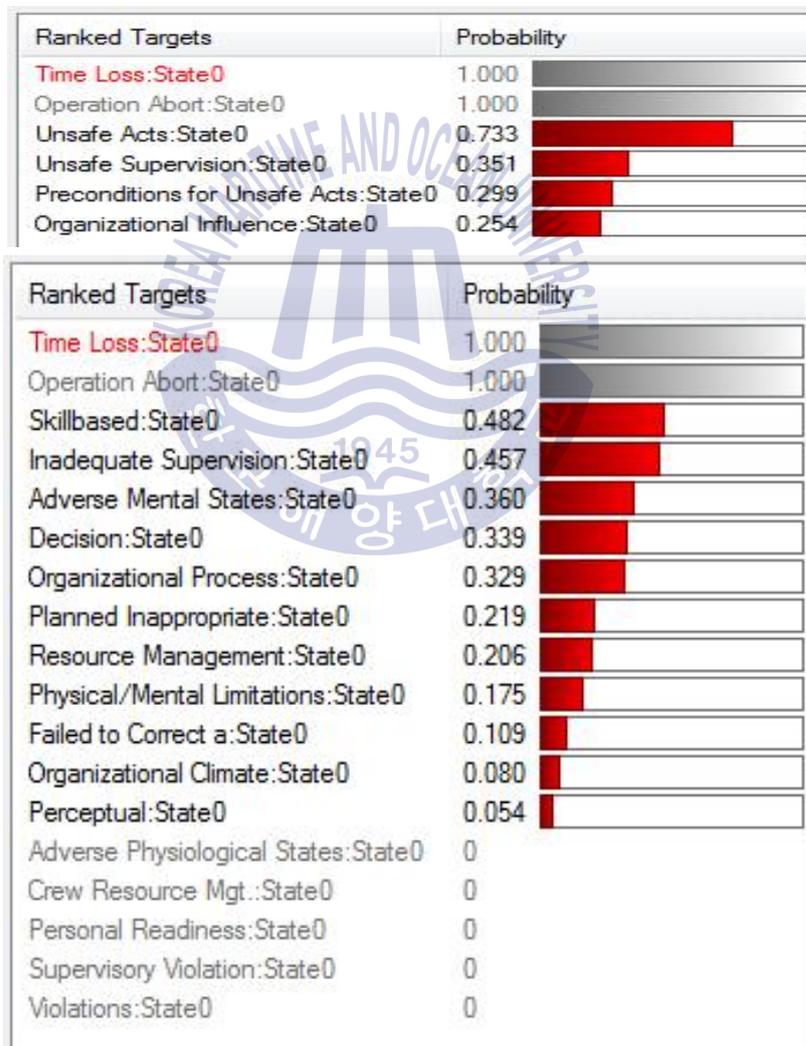


Fig. 3.19 Probability ranks of operation abort & time loss by human errors

### 3.4.3 인적오류 위험분석 요약

지금까지 63건의 인적오류에 의한 DP선박 LOP사고에 대한 베이지안 네트워크를 수행하였으며, 그 결과 LOP사고에 영향을 미치는 주된 요소를 정리하면 Table 3.15와 같다. 앞서 설명한 것과 같이 인적오류에 의한 LOP사고의 가장 큰 원인은 기술기반오류였으며, 부적절한 감독, 판단오류 및 부정적 정신상태 또한 큰 영향을 미치고 있는 것으로 확인되었다. 이 결과와 Operation abort & Time loss 사건에 영향을 미치는 주된 인적요소를 비교하면, 판단오류와 부정적 정신상태의 순위가 다소 상이하나 전체적으로 유사하였다.

**Table 3.15** Summary of risks caused by human errors

<p>Possibility of drive off and drift off by cause of human error</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기술기반 오류 (60.8%)</li> <li>- 부적절한 감독 (46.3%)</li> <li>- 판단오류 (42.8%)</li> <li>- 부정적 정신상태 (38.2%)</li> <li>- 부적절한 운용절차 (33.1%)</li> <li>- 계획된 운용절차의 부적절한 수행 (22.2%)</li> <li>- 부적절한 자원관리 (20.6%)</li> <li>- 물리적, 정신적 한계 (18.6%)</li> <li>- 문제해결의 실패 (11.1%)</li> <li>- 잘못된 조직분위기 (8%)</li> <li>- 지각오류 (6.8%)</li> </ul>
<p>Possibility of operation abort &amp; time loss by cause of human error</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기술기반오류 (48.2%)</li> <li>- 부적절한 감독 (45.7%)</li> <li>- 부정적 정신상태 (36.0%)</li> <li>- 판단오류 (33.9%)</li> <li>- 부적절한 운용절차 (32.9%)</li> <li>- 계획된 운용절차의 부적절한 수행 (21.9%)</li> <li>- 부적절한 자원관리 (20.6%)</li> <li>- 물리적, 정신적 한계 (17.5%)</li> <li>- 문제해결의 실패 (10.9%)</li> <li>- 잘못된 조직분위기 (8%)</li> <li>- 지각오류 (5.4%)</li> </ul>

## 제 4 장 선행연구와의 비교·분석을 통한 DPO 교육훈련 개선 방안

3장에서는 최근 6년(2011-2016)간의 DP선박 LOP사고 중에서 인적오류로 인해 발생한 사고사례를 HFACS 및 베이지안 네트워크를 통해 분석하였다.

4장에서는 과거 10년(2001-2010)간 LOP사고의 인적오류 영향을 분석한 선행 연구와 본 연구의 결과를 비교·분석하여 인적오류의 변화 추이를 파악하고 DPO 교육훈련을 개선할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

### 4.1 선행연구의 소개

#### 4.1.1 선행연구와 비교·분석

선행연구(C. J. Chae, 2016)은 과거 10년(2001-2010)동안 IMCA에 보고된 DP선박의 LOP사고 612건을 분석하였다. 그리고 LOP 사고에 큰 영향을 미치는 PRS 오류 및 인적오류에 대한 위험도를 확인하고 그에 대한 개선방안으로 RCOs(Risk Control Options)를 제시하였다.

##### 1) LOP사고의 원인요소 비교·분석

선행연구에서는 612건의 사고를 분석하기 위해 LOP사고의 원인을 DP 컴퓨터, 동력장치, PRS 및 센서, 쓰러스터/추진기, 인적오류, 환경영향, 전기장치, 외부영향, 기계적 결함 및 운용절차문제 등 총 10가지로 분류하였다(C. J. Chae, 2016).

그 결과 해마다 약간의 변동은 있었지만 10년동안 LOP사고의 원인으로 가장 큰 비중을 차지한 것은 PRS(센서 포함)로 18.8%였으며, 그 다음으로 DP computer가 16.2%, Power가 15.9%, 쓰러스터가 15.2%, 인적오류가 11.8%로 확

인되었다(C. J. Chae, 2016).

Fig. 4.1은 3.2.1을 바탕으로 과거 10년과 최근 6년의 LOP사고 주요원인을 비교한 것이다. 주요원인 중에서 쓰러스터/추진기가 과거 대비 15.6% 증가하여 가장 높은 비율을 차지하였다. 그 다음으로 인적오류가 1.2%, 센서가 0.9%, DP컴퓨터가 0.4%, 외부영향이 0.1% 순으로 증가하였다. 이에 비해 PRS(Reference)가 과거 대비 7.1%로 가장 큰 폭으로 감소하였으며, 그 다음으로 전기장치가 6.4%, 환경영향이 2.3%, 동력장치가 1.5% 순으로 감소하였다.

이를 통해, 쓰러스터/추진기에 의한 LOP사고가 과거에 비해 현저히 증가하였으며, DP컴퓨터, 동력장치, 인적오류 등의 비율이 큰 차이가 없는 것을 확인할 수 있었다.

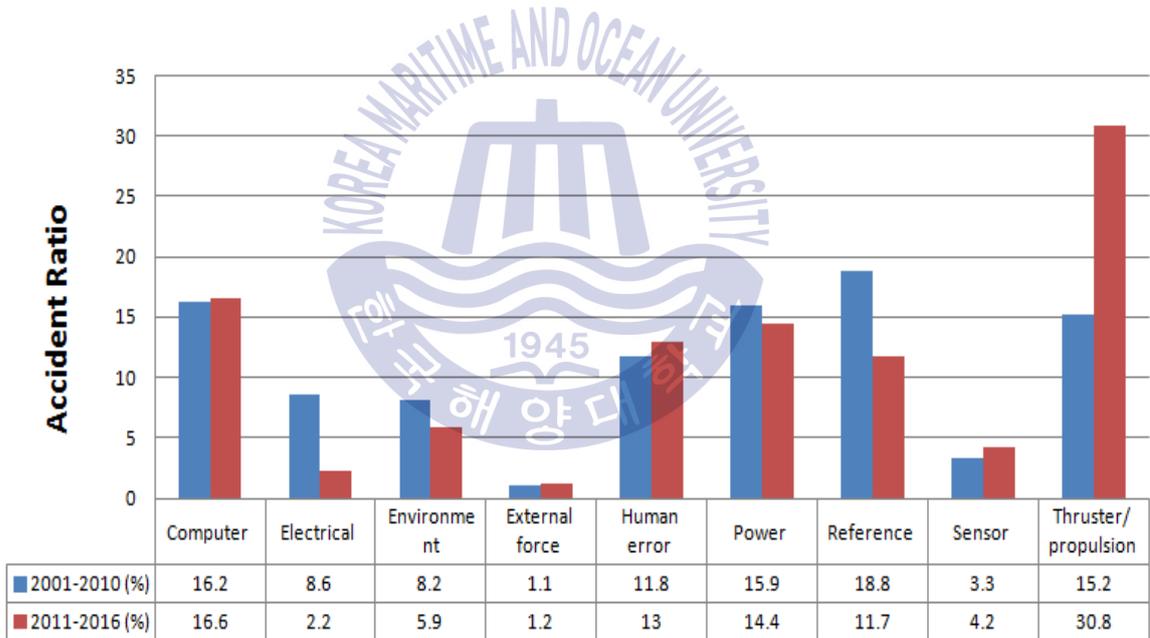


Fig. 4.1 Comparison of accident causes between 2001-2010 and 2011-2016

2) 1차적 및 2차적 인적오류 비율 비교 · 분석

선행연구에서 과거 10년동안 보고된 LOP사고의 원인에 의한 인적오류의 비율은 11.8%로 확인되었고, 이는 1차적 사고원인에 대한 비율만을 산정한 것이다. LOP사고 보고서에 따르면 1차적 사고원인이 인적오류가 아니었다더라도 문

제가 발생하고 이후 대응과정에서 운용자의 지식부족, 부주의 또는 적절한 대응을 위한 조직상의 배치 부적절이 2차적 사고원인으로 인적오류가 작용했던 사례들이 있다. 이러한 사례를 인적오류로 포함하면 10년 평균 16.8%의 LOP사고가 인적오류와 직, 간접적으로 연관되어 있음을 알 수 있다(C. J. Chae, 2016).

Fig. 4.2는 3.2.2를 바탕으로 과거 10년과 최근 6년의 LOP사고에서 1차적 및 2차적 사고원인이 인적오류와 관련된 비율을 비교한 것이다. 1차적 사고원인의 비율은 과거 10년과 비교하면 2.1% 증가하였으나, 2차적 사고원인은 1.7% 감소하였다. 이를 합산한 비율을 보면, 과거 대비 0.3%가 증가하였고, 이는 직, 간접적인 인적오류에 의한 LOP사고가 지속적으로 발생하고 있음을 나타낸다.

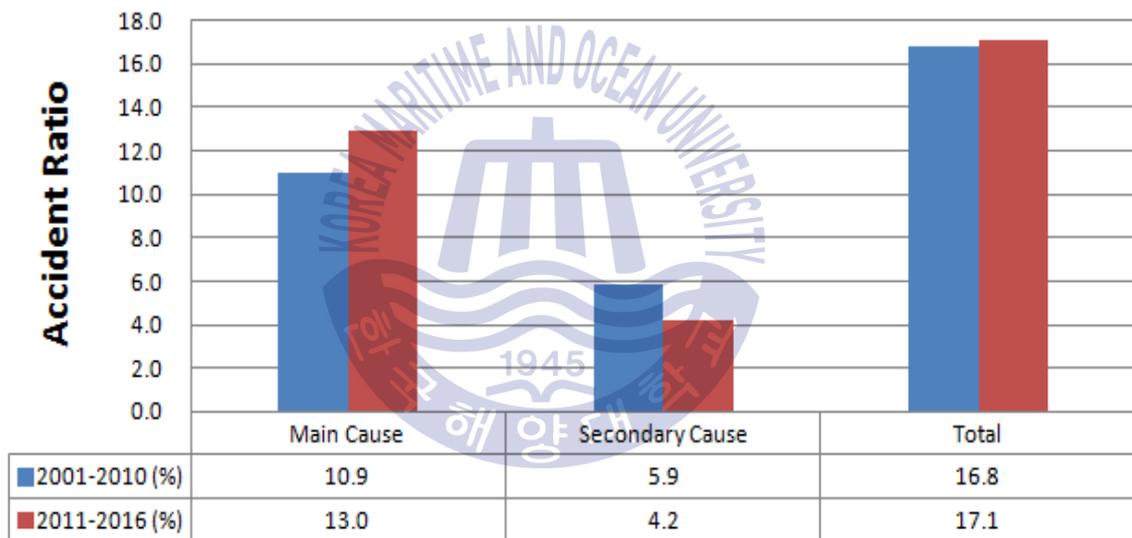


Fig. 4.2 Comparison of LOP accidents by main and secondary causes of human error in 2001-2010 and 2011-2016

### 3) HFACS 분류체계에 따른 비교·분석

선행연구 및 본 연구에서 LOP사고의 인적오류를 HFACS 분류체계로 검토하였다. Fig. 4.3은 과거 10년과 최근 6년의 HFACS 분류 결과를 비교한 것이다. 과거와 현재 모두 기술기반오류가 각각 69%, 54%로 가장 높은 비율을 차지하고 있었다. 그 다음으로, 부적절한 감독이 50%, 46%로 확인되었다. 원인요소 중

에서 과거 10년에 비해 증가한 항목은 부적절한 정신상태가 15%, 판단오류가 11%, 조직분위기가 8%, 문제해결의 실패가 7%, 물리적/정신적 한계 및 인지오류가 각각 3%로 확인되었다. 또한 과거 10년에 비해 감소한 항목은 계획된 운용절차의 부적절한 수행이 8%, 자원관리와 운용절차가 각각 6%, 선원 자원관리가 2%, 위반이 1%로 확인되었다.

이를 통해, 기술기반오류 및 부적절한 감독의 인적오류에 의한 LOP사고가 과거부터 지속적으로 발생하고 있음을 알 수 있다.

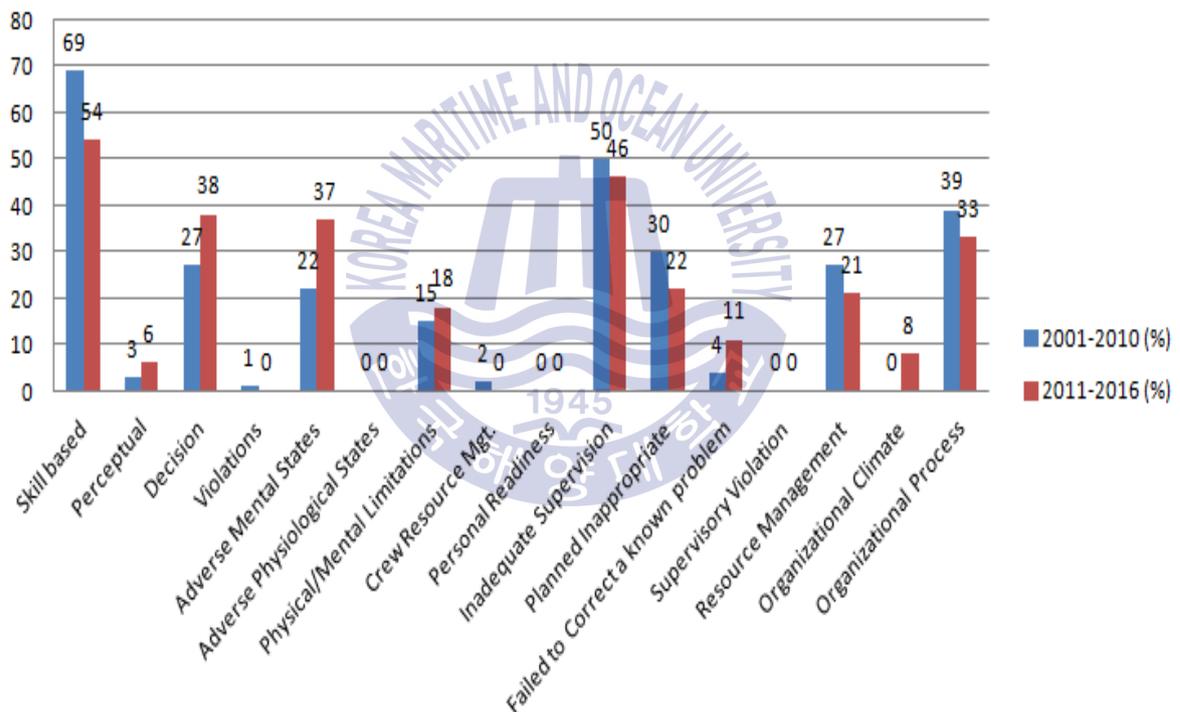


Fig. 4.3 Comparison of LOP accident cause ratio based on the 2001-2010 and 2011-2016 HFACS classification criteria

#### 4) LOP사고 및 사건 사전확률 비교·분석

선행연구에서 과거 10년 동안의 인적오류와 관련된 LOP사고 103건을 베이지안 네트워크를 통해 분석하여, 그에 대한 사전가능성을 구하였다. 그 결과,

Drift-off는 41%, Drive-off는 38%, Operation abort는 11%, Time loss는 25%의 발생 가능성을 확인하였다(C. J. Chae, 2016).

Fig. 4.4는 LOP사건을 유발하는 Drift-off, Drive-off, Operation abort 및 Time loss에 대한 과거 10년과 최근 6년의 사전확률을 비교한 것이다. LOP사고를 야기하는 원인으로 Drift-off가 과거 대비 2% 감소하였으나, 여전히 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 그 다음으로, Drive-off는 14% 감소하였으나, 최근 6년간 전체 발생 비율에서는 2번째로 높았고, Time loss 또한 7% 감소하였다. 예외적으로 Operation abort의 발생가능성은 4% 증가하였다.

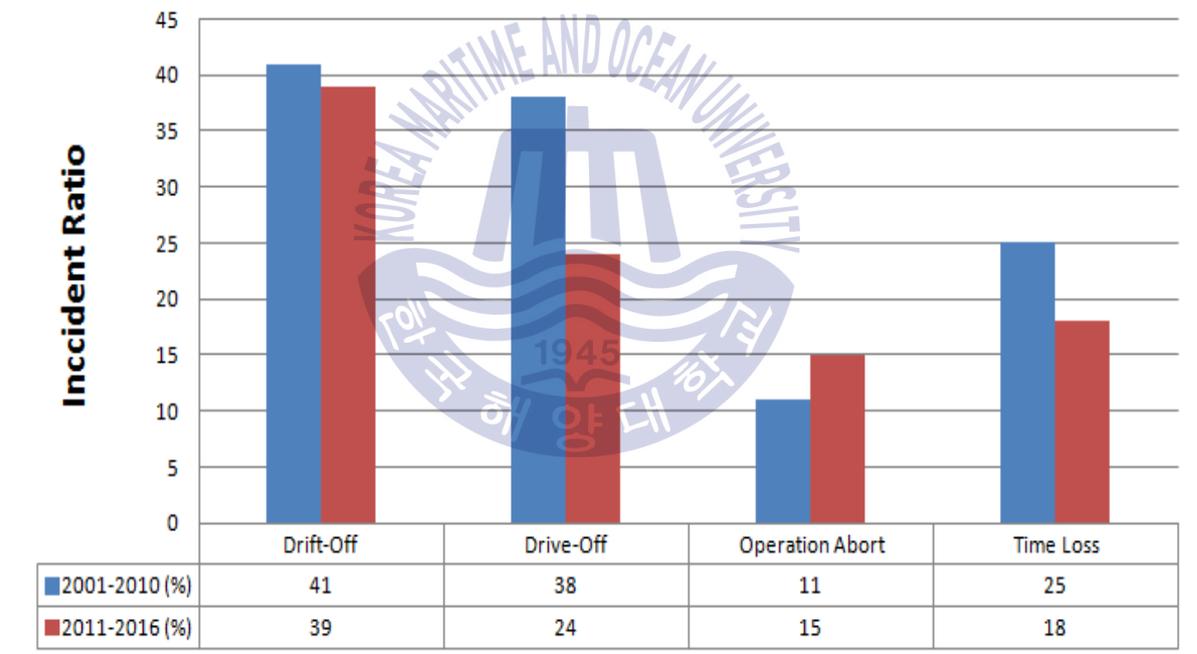


Fig. 4.4 Prior probability comparison of human errors in DP LOP incidents

#### 5) LOP사고의 조건부확률 비교 · 분석

선행연구에서 인적오류와 관련된 103건의 LOP사고에 대한 베이지안 네트워크를 수행하였고, 그 결과 DP선박 LOP사고에 영향을 미치는 주요원인을 확인

할 수 있었다. Drift-off 및 Drive-off의 경우, 기술기반 오류가 74.3%, 부적절한 감독이 50.5%, 조직의 절차문제가 38.8%, 자원관리 문제가 27.2%, 판단오류가 27.0%, 비정상적인 정신상태가 21.8% 그리고 신체적 정신적 문제가 14.2%로 발생할 수 있는 가능성이 있었다(C. J. Chae, 2016).

Operation abort는 기술기반 오류가 51.9%, 부적절한 감독이 50.5%, 운용절차가 38.8%, 수립된 계획의 부적절이 30.1%, 의사결정 오류가 27.8%, 자원관리 문제가 27.2%, 비정상적인 정신 상태가 24.1% 그리고 신체적 정신적 문제가 15.6%로 발생할 수 있는 가능성이 있었다. Time loss의 경우, Operation abort와 주요원인을 순위는 같았고, 발생가능성 비율이 다소 차이가 있었다(C. J. Chae, 2016).

Fig. 4.5는 과거 10년과 최근 6년의 Drive off 및 Drift off를 야기하는 LOP 사고의 조건부확률을 비교한 것이다. 기술오류가 과거 대비 13.5%감소하였으나 여전히 가장 높은 비율을 차지했다. 그 다음으로 부적절한 감독이 4.2% 감소하였지만 두 번째 높은 비율로 나타났다. 그 외에 과거와 대비하여 수립된 계획의 부적절이 16.2%, 판단오류가 15.8%, 비정상적인 정신상태가 16.4% 증가하였다.

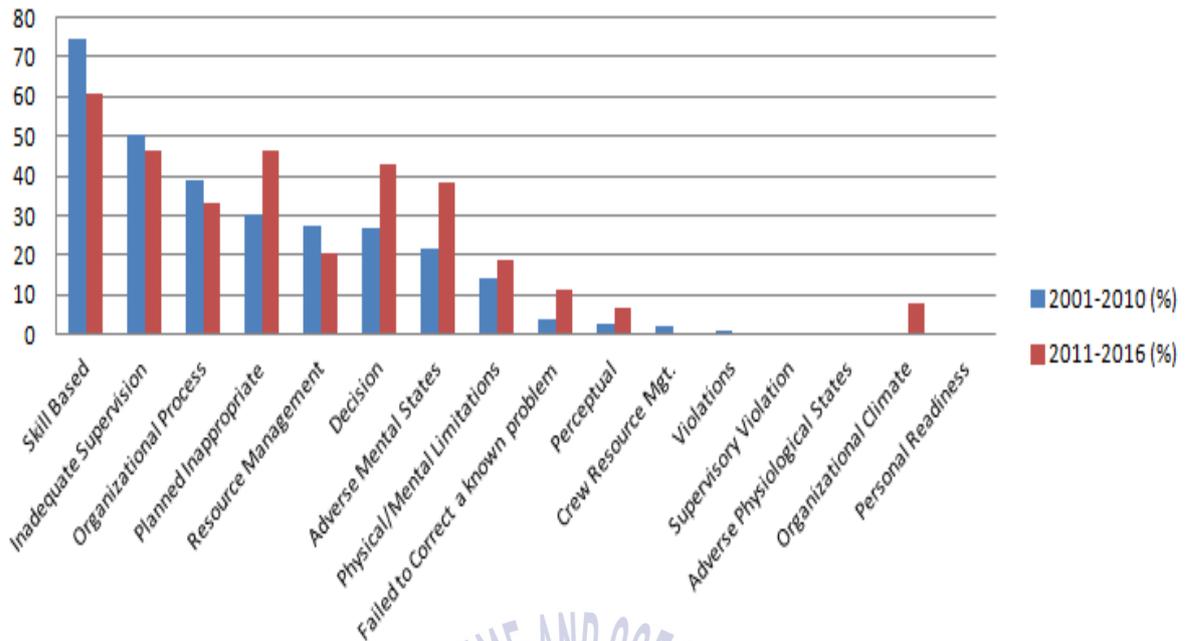


Fig. 4.5 Probability ranks of drive off & drift off by human errors between 2000-2010 and 2011-2016 (%)

## 4.2 DPO 교육훈련의 개선방안 제안

4.1과 같이 과거 10년과 최근 6년간의 인적오류로 인한 LOP사고를 비교해 보면 0.3% 증가한 수치로 큰 변화가 없었고, 인적오류의 원인요소 또한 기술기반 오류, 부적절한 감독 및 조직상의 영향 순으로 큰 변화가 없었다. 이는 동일한 인적오류에 의한 LOP사고가 반복적으로 발생하고 있다는 것을 의미한다.

위의 인적오류에 의한 LOP사고를 저감하기 위해 DPO 면허 및 교육훈련의 개선이 필요할 것으로 사료된다. 현재 DPO 면허 및 교육훈련에 관한 사항을 관리하고 있는 The NI는 사설기관으로서 DPO 면허 발급의 검증에 대한 강제성을 갖추지 못하고 있으며, DPO 교육훈련 과정의 미비점으로 인하여 LOP사고가 끊임없이 발생하고 있는 것으로 추정된다.

이러한 이유로 인해 3장 및 4장의 인적오류에 의한 DP선박 LOP사고사례 분석 결과를 바탕으로 DPO 면허 및 교육훈련의 미비점을 파악하고 그에 대한 개선방안을 제시하고자 한다.

#### 4.2.1 현행 DPO 교육훈련 과정

##### 1) DPO의 교육훈련 요건 소개

NI는 DPO의 교육훈련 과정 및 자격취득 절차를 안내하는 ‘DP training and certification scheme’ 을 발행하고 있다. 본 연구에서는 DPO 면허 및 교육훈련의 문제점을 분석하기 위해 Fig. 4.1과 같이 최근 6년간의 DPO 교육훈련 과정을 비교하였다(IMCA 2012, IMCA, 2014).

2010년부터 2016년까지 3가지의 교육훈련 과정이 적용되었다. DPO 교육훈련의 필수 과정은 DP induction 및 DP simulator 과정으로 구성된다. DP induction 과정은 DP의 원리, DP시스템의 구성, DP시스템의 실제운용, PRS, 환경센서 및 보조기기, 발전기 및 추진장치, DP운용을 포함하고, DP simulator과정은 DP시스템의 실제운용, DP 프로젝트 수행, DP 알람, 경보(warning) 및 비상대응절차 등을 포함한다. 교육훈련 요건이 2번 개정되는 동안 필수 교육과정은 변화가 없었다.

교육과정의 총 시간은 2010년에는 4-5일로 명확한 시간 규정이 없었으나, 2012년에는 최소 24시간, 2014년에는 최소 28시간으로 증가하며 다소 변화가 있었다.

DPO가 induction 과정을 수료하고 simulator 과정을 신청하기 전에 실제 DP 선박에 승선하여 실습하는 시간을 나타내는 DP seatime의 경우 2010년까지는 산정 기준이 없었으나, 2011년부터 1일 최소 1시간의 작업을 수행하여야 1 Day로 인정하는 요건을 신설하였고, 2014년에는 1일 최소 2시간 이상 작업으로 개정되었다. 이에 추가하여, Active mode(75%) 및 Passive mode(25%)로 세분화 하였다. Active mode는 DP시스템으로 선박을 조종, DP시스템 설정, DP시스템을 사용한 프로젝트 수행 등 DP시스템을 사용하여 작업을 수행하는 것을 말한다. Passive mode는 DP시스템에 내재되어 있는 시뮬레이션 모드를 사용하여 실습하는 것을 의미한다.

또한, DPO 자격검증 절차를 강화하기 위하여 2011년부터 DPO의 seatime 등에

대한 선박관리회사에 의한 검증 제도를 도입하였다. 이는 DP선박이 DP 작업에 종사하지 않았음에도 DPO 지원자가 DP logbook에 작업한 것으로 허위 기재하는 사실을 방지하는 효과가 있다.

2012년부터는 2010년 STCW 마닐라 개정규정의 영향으로 ‘STCW 규정 II/1 - II/2 - II/3 Deck and regulation III/1 - III /2 - III/3 Engine’ 에 의해 해기면허를 소지한 자에 한해 DPO 취득 절차를 진행할 수 있도록 하여, 전반적인 해기지식을 보유한 자가 DPO 자격을 취득할 수 있게 하였다.



**Table 4.1** Comparison of DP training and certification scheme

	Before 2011	2012	2014
DP Induction Course Contents	1) Principles of DP 2) Elements of the DP system 3) Practical operation of the DP system 4) Position reference systems 5) Environment sensors and ancillary equipment 6) Power generation and supply and propulsion 7) DP operations		
DP Simulator Course Contents	Simulated DP operations including errors, faults and failures; 1) Practical operation of the DP system 2) DP operations 3) DP alarms, warnings and emergency procedures		
Time of the Induction Course	4-5 Day	Minimum 24 Hours	Minimum 28 Hours
Time of the Simulator Course	4-5 Day	Minimum 24 Hours	Minimum 28 Hours
DP Seetime Guideline	NIL	1 Day : Operation in DP mode for at least 1 hour per day	1 Day : Operation in DP mode for at least 2 hour per day -Active Mode(75%) -Passive Mode(25%)
Remark	1) Introduction of Verification System by Ship Management Company through Confirmation Letter in 2011 2) Introduction of minimum qualification requirements for DPO training on 1 January 2012. - Effects of the STCW Manila Amendment		

인적오류에 의한 DP선박의 LOP사고가 과거 10년과 최근 6년 동안 지속적 발생하는 동안 위와 같이 DPO의 면허 취득을 위한 교육훈련 요건은 크게 개선된 부분은 없었다.

DP induction 교육과정에서는 DP시스템의 원리 및 기본적인 운용을, DP simulator 과정에서는 DP시스템의 실제 운용에 중점을 두고 있다. 이는 기술기반오류 및 부적절한 감독의 인적오류를 개선하기 위한 교육이 적절하게 반영되어 있지 않음을 알 수 있다.

## 2) 2018년 DPO 교육과정의 개정사항

The NI에서는 지속적으로 발생하는 인적오류에 의한 LOP사고를 개선하기 위해 2018년 ‘DPO certification and training scheme’에 포괄적이었던 DPO 교육과정에 대한 내용을 명확화 하였다.

**Fig. 4.2** 및 **Fig. 4.3**은 2018년 개정된 DPO 교육훈련 요건 중에서 DP induction 및 simulator course의 교육내용을 나타낸다(IMCA, 2018).

**Table 4.2**의 DP induction 교육과정의 경우, 교육 과정 중에서 DP시스템 항목에 필수적으로 포함되어야 하는 구성요소가 명시되었다. 그리고 DP운용과 관련하여 수심이 낮은 해역, 강한 조차 등의 위험에 노출되어 있는 특정 작업 및 DP 당직의 인수인계절차, 문서작성 및 의사소통이 포함되었다. **Table 4.3**의 DP simulator 교육과정은 기존의 DP실제 운용 등의 3가지 항목을 2가지 항목으로 나누고 세부내용을 명확하게 제시하였다. DP시스템 운용에서는 기존 교육에서 DP작업 시 발생할 수 있는 비상상황에 대해 포괄적으로 제시되어 있던 부분을 세분화하여 교육의 효과성을 높였으며, 기술기반오류로 빈번하게 발생하는 DP시스템의 작동실수 등을 방지하기 위해서, DP시스템의 실질적인 운용에 대한 부분을 다수 포함시켰다.

**Table 4.2** DP Induction course contents of DP training and certification scheme in 2018

	Contents of the course
DP Induction Course Contents	<ul style="list-style-type: none"> <li>-General principles of dynamic positioning</li> <li>-The elements of a DP system:               <ul style="list-style-type: none"> <li>-Computers and control elements</li> <li>-Position reference systems</li> <li>-Heading reference systems</li> <li>-Wind sensors and other environment reference systems</li> </ul> </li> <li>-Power generation elements. The UPS</li> <li>-Thrusters and manoeuvring systems</li> <li>-Position reference systems and other sensors; their</li> <li>-Principles of operation, their use, operational merits and limitations</li> <li>-Practical demonstration and operation of a typical DP system</li> <li>-DP vessel operations: hazards associated with certain types of operation, e.g. shallow water and strong tides</li> <li>-Power generation, distribution and management</li> <li>-DP watch keeping and watch handover procedures, documentation and communications</li> </ul>

**Table 4.3** DP Induction course contents of DP training and certification scheme in 2018

	Contents of the course
DP simulator course	<p>The DP Simulator Course is intended to build on that experience and to provide realistic DP-based scenario work. These scenarios should provide the opportunity to practise all aspects of the planning and conduct of typical DP operations, including the handling of emergencies. (DP scenarios must closely match the situation on board a vessel)</p> <p>1) Operation of DP system</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Interpret information with capability plots (paper or electronic), footprint plots to do proposed operation</li> <li>- Review FMEA and Annual DP Trials</li> <li>- Risk assessment and determine the level of redundancy</li> <li>- Make appropriate contingency plans</li> <li>- Approaching a work site and transferring from manual/joystick to DP control</li> <li>- Conduct vessel positioning manoeuvres and station keeping functions</li> <li>- Conduct appropriate watch handover</li> <li>- Maintain the appropriate logbooks and records pertaining to DP operations</li> </ul> <p>2) Emergency procedures</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recognise the conditions and degrade operational or emergency status.</li> <li>- Recognise the warnings and alarms</li> <li>- Evaluate the various factors to be taken into account subsequent to any system failure, determine and carry out appropriate corrective actions</li> </ul>

## 4.2.2 DPO 교육훈련의 개선방안 제안

4.2.1에서 검토한 기존 DP 교육훈련 내용을 토대로 인적오류에 의한 LOP사고를 감소시키기 위해 DPO 교육훈련의 개선방안을 다음과 같이 제안한다.

### 1) 기술기반 오류를 감소하기 위한 개선방안

4.1.1에서 분석된 것과 같이, LOP사고를 야기하는 인적오류 중에서 기술기반 오류의 발생가능성이 최근까지 가장 높은 비율을 차지하고 있었다. 그 중에서도 DP시스템의 부주의한 조작에 의한 오류가 매우 빈번하게 발생하였고, 그 다음으로 수행하는 절차 및 점검표 항목을 생략하는 오류가 있었다.

수행하는 절차 및 점검표와 관련하여, IMCA에서는 DP선박의 점검표를 포함한 각종 서류들에 대한 지침 ‘A Guide to DP-Related Documentation for DP Vessels’ 을 권고하고 있고, 통상 대다수의 DP선박 관리회사들을 해당 지침에 근거하여 제작한 점검표를 사용하고 있다(IMCA, 2016).

2018년 개정된 DPO 교육훈련 규정에 따르면, 교육기관은 DP 시뮬레이션에 임하는 피교육자에게 작업 시나리오 및 관련 점검표를 제공하도록 명시하고 있다(IMCA, 2018). 그러나 지원자에게 제공되는 점검표의 기준 또는 샘플에 대한 구체적인 명시가 되어 있지 않고, 점검표를 교육하는 내용이 누락되어 있다. 이는 교육기관에 따라 점검표가 상이하여 피교육자들의 교육 효과성이 일관되지 않을 수 있다. 그리고 점검표의 확인 항목을 누락하지 않기 위해 내용을 정확하게 숙지하는 것이 중요하나, 교육시간의 부재로 향후 점검을 생략하는 오류가 지속적으로 발생할 가능성이 높다.

따라서 교육규정에 DP작업 점검표의 샘플 서식을 추가하고, 그에 대한 교육시간을 분배하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

부주의한 조작에 의한 오류는 조작법을 숙지하고 있으나, 순간적으로 주의력이 저하되어 잘못된 조작을 하는 것이다.

기존의 DP simulator 과정에서는 DP시스템의 조작과 관련된 내용이 시스템 운용으로 통합되어 있어, 부주의한 조작을 야기할 수 있는 개별 기능에 대한 교육훈련이 미비할 수 있었으나, 2018년 개정사항에는 DP시스템의 조작방법 및 비상대응방법의 항목을 구체적으로 언급하여 규정을 보완하였다. 그러나 부주의한 실수의 경우, 이러한 조작법을 숙지하고 있음에도 발생하는 것이므로 교육과정에서 부주의한 조작으로 인해 초래할 수 있는 상황에 대해서 소개하고 피교육자로 하여금 그에 대한 경각심을 가질 수 있도록 하는 것 필요할 것으로 사료된다. 또한 교육과정 중에 이루어지는 시뮬레이션 평가요소에 부주의한 조작에 대한 내용을 삽입하여, 피교육자로 하여금 본인의 부주의한 조작에 대하여 인지하고 개선할 수 있는 계기를 제공하여야 한다.

## 2) DP작업 관리자의 효과적인 관리·감독을 위한 개선방안

4.1.1과 같이, LOP사고를 야기하는 인적오류 중에서 부적절한 감독의 발생가능성이 두번째로 높은 비율을 차지하고 있었다. 그 중에서도 감독의 실패에 의한 오류가 매우 빈번하게 발생하였고, 그 다음으로 적절한 교육훈련 제공의 실패에 의한 오류가 있었다.

IMCA의 ‘Guidelines for The Training and Experience of Key DP Personnel’에서는 SDPO를 “DP작업의 전반적인 모든 것을 감독하는 자로서 회사 및 선장이 신뢰하는 DPO”로 정의하고 있다(IMCA, 2016). SDPO는 일반적으로 상당한 경력이 요구되나, 회사 상황 및 작업 난이도에 따라서 경력이 적은 경우도 가능하다. 따라서, DPO 교육훈련의 모든 과정에서 DP작업을 효과적으로 감독할 수 있는 교육이 필요하나, 기존 교육에는 미비한 실정이다.

감독의 실패는 DPO 또는 SDPO의 지식부족 보다는 상호간 업무 수행에 관한 의사소통의 부족으로 발생하는 경우가 대부분이다.

이를 개선하기 위해서, SDPO는 DP작업을 수행하는 선교팀을 효과적으로 관리하는 한편 상호간에 능동적인 의사소통이 가능한 분위기를 조성하여야 한다. STCW 협약에 따라 항해사들이 이수하고 있는 BRM(Bridge Resource

Management)에서 유사한 내용을 다루고 있으나, 이는 일반적인 상선을 대상으로 하고 있어, 정교하고 긴박한 작업을 수행하는 DPO에 대해서는 관련 특성을 반영한 교육이 시행되어야 할 필요가 있다.

교육훈련 제공의 실패로 인한 인적오류는 DPO가 승선한 DP선박의 특성들 정확히 이해하지 못해서 발생하는 경우가 대부분이었으며, SDPO는 DPO가 작업에 참여하기 전에 이를 교육하고 평가하여야 한다.

이를 위해, SDPO는 기본적으로 해당 선종의 특성을 이해함은 물론, DPO의 선박 친숙화를 위한 효과적인 교육방법을 숙지하고 있어야 한다. 기존의 DPO 교육훈련에서는 특정 선종에 승선하는 DPO를 대상으로 하지 않기 때문에, 선종별 DP 시스템의 특성에 대한 교육이 누락되어 있다. 또한, IMCA에서 ‘DP vessel Familiarization Checklists’를 통해 선박 친숙화에 대한 중요성을 언급하고 있으나, DPO 교육훈련에서는 관련 내용을 별도로 다루고 있지 않다(IMCA, 2016).

따라서 선박에 새로이 승선하거나 선박의 특성을 정확하게 숙지하지 못한 DPO에게 친숙화 교육을 시행하기 위해서, 관련 내용을 DP 전문 교육기관에서 사전에 교육하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

이상의 교육훈련 개선방안에 관한 내용을 정리하면 Table. 4.4와 같다.

**Table 4.4** Suggestions for improvement of DPO training courses

인적오류	문제점	개선 방안
기술기반 오류	절차 및 점검표 생략	IMCA에서 권고하는 점검표 사용 및 관련 교육 시행
	부주의한 조작	사고사례 소개를 통한 경각심 고취 DP시뮬레이션 교육 시, 부주의한 조작에 관한 평가요소 반영
부적절한 감독	감독실패 (의사소통 부족)	DP작업 특성을 반영한 BRM교육 시행
	적절한 교육 제공 실패	IMCA의 ‘DP선박 친숙화 점검표’에 관한 교육 시행

## 제 5 장 결 론

본 연구에서는 LOP사고의 주된 원인을 분류하고, 이로 인해 발생할 수 있는 사고를 최소화하기 위해 HFACS 및 베이지안 네트워크를 사용하여 원인요소를 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, DP선박 및 DP시스템의 이해를 돕기 위하여, 관련 정의 및 시스템 체계에 대하여 소개하였다. 또한 본 연구의 주요 내용인 LOP사고에 대하여 설명하였다.

둘째, DP선박의 LOP사고의 주요 원인을 확인하기 위하여 최근 6년(2011-2016) 동안 IMCA에 보고된 사고보고서 395건을 분석하였다. 그 결과, 추진장치(Thruster/Propulsion)가 30.8%, DP컴퓨터가 16.6%, 동력이 14.4%, PRS가 11.7%, 인적오류가 13.0%의 비율로 DP선박의 LOP사고를 야기한 것으로 확인되었다. 또한, 이 중에서 70건(17%)의 LOP사고가 인적오류와 직접 또는 간접적으로 관련되어 있었다.

셋째, DP선박의 LOP사고에 영향을 미치는 인적오류의 상세요인에 대한 분석을 위하여 HFACS 분류 결과를 바탕으로 베이지안 네트워크를 사용하였다. 그 결과 기술기반오류에 의한 Drive off 및 Drift off의 조건부 가능성이 60.8%로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 부적절한 감독에 의한 Drive off, Drift off, Operation Abort 및 Time loss 등의 조건부 가능성도 45-48%로 높게 나타났다. 이에, 기술기반 오류 및 부적절한 감독이 LOP 사고의 가장 큰 원인으로 작용하는 것을 확인할 수 있었다.

넷째, 인적오류로 인한 DP선박의 LOP사고 추이변화를 파악하기 위하여 과거 10년(2001-2010)동안의 LOP사고의 인적오류를 분석한 선행연구를 비교·분석하였다. 그 결과, 과거 10년 동안 LOP사고에 가장 큰 영향을 주었던 요인이 기술기반 오류, 부적절한 감독 및 조직상의 영향이었음을 알 수 있었고, 이는 최근 6년

(2011-2016)간의 결과와 유사하였다. 이를 통해, LOP사고를 유발하는 인적오류에 대한 효과적인 대응이 이루어지지 않았음을 추정할 수 있었다.

다섯째, 위의 연구 결과를 바탕으로 현행 DPO 교육훈련의 미비점을 검토하고 이러한 문제점을 개선하기 위해 기술기반 오류의 감소 및 DP작업 관리자의 효과적인 관리·감독을 위한 개선방안을 제안하였다.

본 연구는 IMCA LOP사고사례를 베이지안 네트워크로 분석한 결과에 근거하여 인적오류에 기인한 LOP사고를 감소시키기 위한 개선방안을 제안하였다. DP선박의 경우 선종에 따라 구조 및 작업 특성이 상이하며, 그로 인한 인적오류의 발생 요인에 상당한 차이가 있을 수 있다. 그러나 IMCA의 사고자료는 선종에 관한 정보가 제공되지 않아 작업 특성을 고려한 인적오류의 분석에 한계가 있는 실정이다.

따라서 향후 IMCA 사고보고서에 선종에 관한 정보가 반영된다면, 그에 대한 추가적인 인적오류 분석이 가능할 것으로 보이며, 이와 관련한 DPO 교육훈련에 개선방안 또한 추가될 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

A. Rothblum et al, 2002. Improving Incident Investigation through Inclusion of Human Factors. University of Nebraska, U.S Department of Transportation, pp. 24-40, pp. 107-109.

BAYESFUSION, LLC, 2015. Data Analytics, Mathematical Modeling, Decision Support.

<http://www.bayesfusion.com/#!downloads/rxu9q>.

C. J. Chae, 2014. Dynamic Positioning System 운용 개론, 해광출판사, pp. 38-39, pp. 42, pp. 55, pp. 58-59, pp. 81-82, pp. 86-138, pp. 356.

C. J. Chae, 2016. An Application of FSA for Safe Operation of Dynamic Positioning Vessels, Korea Maritime and Ocean University, pp. 28-29, pp. 37-38, pp. 45-46, pp. 100.

F. J. Griggs, 2012. A Human Factors Analysis and Classification System(HFACS) Examination of Commercial Vessel Accidents, Naval Postgraduate school, Monterey, California.

IMCA, 2006. The Training and Experience of Key DP Personnel, M 117 Rev 1, pp. 9-12.

IMCA, 2011. Dynamic Positioning Station Keeping Incidents, Incidents reported for 2015, DPSI 22, IMCA M 227.

IMCA, 2012. Dynamic Positioning Station Keeping Incidents, Incidents reported for 2015, DPSI 23, IMCA M 228.

IMCA, 2012. The nautical Institute Certification and Accreditation Standard Vol.1 – Training and certification, pp. 2-9.

IMCA, 2013. Dynamic Positioning Station Keeping Incidents, Incidents reported for 2015, DPSI 24, IMCA M 230.

IMCA, 2014. Dynamic Positioning Station Keeping Incidents, Incidents reported for 2016, DPSI 25, IMCA M 231.

IMCA, 2014. The nautical Institute Certification and Accreditation Standard Vol.1 – Training and certification. pp. 10-14.

IMCA, 2015. Dynamic Positioning Station Keeping Incidents, Incidents reported for 2016, DPSI 26, IMCA M 233.

IMCA, 2016. Dynamic Positioning Station Keeping Incidents, Incidents reported for 2017, DPSI 27, IMCA M 243.

IMCA, 2016. Guidelines for The Training and Experience of Key DP Personnel. IMCA M 117 Rev.2. pp 12.

IMCA, 2016. A Guide to DP-Related Documentation for DP Vessels. IMCA M 109 Rev.2. pp. 3-15.

IMCA, 2018. The nautical Institute Certification and Accreditation Standard Vol.1 – Training and certification, pp. 33-51.

IMO, 1994. Guidelines for Vessels with Dynamic Positioning Systems, M113, IMO MSC Circular 645, pp. 4-13.

IMO, 2017. Guidelines for Vessels and Units with Dynamic Positioning(DP) Systems, MSC Circ. 1580, pp. 4-8, pp. 14-15.

IMO, 2011. STCW Convention and STCW code. Section B-V/f, Guidance on the training and experience for personnel operating dynamic positioning systems, pp. 341-342.

J. B. Yim, 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, pp. 13.

M. Horny, 2014. Bayesian Networks, Boston university school of public health department of health policy & management, Technical report No. 5, pp. 3-5.

Reason, J., Human error. New York: Cambridge University Press 1990.

S. A. Shappell and D. A. Wiegmann, 2000. The Human Factors Analysis and Classification System-HFACS, U. S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, pp. 3-12.

Shi Phillips and Martinez, 2005. Case Study of DP Vessels Performing SIMOPS, DYNAMIC POSITIONING CONFERENCE, pp. 2.

한국해양수산연수원, C-MAR, 2015. Dynamic Positioning Basic Course Manual, pp. 13-14, pp. 26-31

## 감사의 글

석사과정 2년이라는 시간은 제 삶에 많은 것을 느끼며 수확할 수 있었던 소중한 시간이었습니다. 먼저 해양플랜트 운영학과에서 수학할 수 있는 기회를 주신 해양플랜트 운영학과 교수님들께 고개 숙여 깊은 감사의 인사를 드립니다.

많이 부족한 저를 지도학생으로 받아주신 예병덕 교수님께 감사의 인사를 드립니다. 본 논문이 완성되기까지 많은 시행착오를 겪었지만, 논문을 포기하지 않고 끝까지 완성할 수 있게 아낌없는 지도 편달과 격려를 해주신 예병덕 교수님께 진심으로 감사드립니다.

바쁘신 와중에도 제 논문에 심사위원장을 맡아 주시고 논문의 수정 방향에 대해 아낌없는 조언을 해주신 존경하는 박진수 교수님, 논문의 완성도를 높이기 위해 세밀한 부분까지 지도 해주신 조권희 교수님, 수업시간 마다 논문의 작성 방법에 대하여 지도해주신 조익순 교수님께 고개 숙여 진심으로 감사드립니다. 또한, 많은 가르침을 주신 이강기 교수님, 최재혁 교수님, 이명호 교수님께도 감사드립니다.

해양플랜트 학과에서 같이 동문수학 하며 정을 나누는 강민승 님, 김이완 님, 권상훈 님, 최윤원 님, 이상원 님, 김수용 님, 정승배 님, 이정석 님, 이형탁 님, 김재현 님께 감사의 인사를 드립니다. 덕분에 대학원 생활 동안 좋은 추억을 많이 남겼습니다. 남은 대학원생활 동안 모두들 큰 학문적 성과가 있기를 바랍니다.

마지막으로, 바쁘다는 핑계로 자주 찾아뵙지 못해도 항상 격려해주시고 사랑으로 응원해주신 할아버지, 할머니, 아버지, 어머니, 장인어른, 장모님께 감사드립니다. 그리고 지난 2년 동안 대학원이라는 핑계로 가정에 소홀했던 저를 헌

신적으로 내조해준 아내에게 사랑하고 감사하다는 말을 전하고 싶습니다.

다시 한번, 도움을 주신 모든 분들께 진심으로 감사드립니다.

