

工學博士 學位論文

퍼지구조모델을 이용한
船舶衝突事故 原因의 構造分析

Structure Analysis of Ship's Collision Causes
Using Fuzzy Structural Modeling

指導教授 田 承 桓

2002年 8月

韓國海洋大學校 大學院

海事輸送科學科

梁 元 宰

本 論文을 梁元宰의 工學博士 學位論文으로 認准함.

主審 許 逸 印

副審 鄭 然 喆 印

副審 蘇 明 玉 印

副審 朴 桂 珏 印

副審 田 承 桓 印

2002 年 8 月

韓國海洋大學校 大學院

海事輸送科學科

梁 元 宰

목 차

List of Tables	iv
List of Figures	vi
Abstract	vii
제 1장 서론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적	7
1.3 논문구성	8
제 2장 선박운항 위험성	9
2.1 선박운항시스템	9
2.2 운항위험성	13
2.2.1 위험성 평가	13
2.2.2 위험성 관리	15
2.2.3 의사소통과 위험성 수준	16
2.2.4 위험성기반 의사결정	19

제 3장 국내 선박충돌사고 위험성 분석	21
3.1 해양사고 현황	22
3.2 해양사고 현황분석	26
3.2.1 발생빈도 분석	26
3.2.2 피해상황 분석	28
3.3 선박충돌사고 위험성 분석	36
3.3.1 선박충돌사고 빈도 분석	36
3.3.2 위해요소 파악	37
3.3.3 위험성 분석	43
3.3.4 분석결과	47
제 4장 FSM기법	49
4.1 이론적 배경	49
4.2 FSM을 위한 수학적 준비	52
4.3 FSM기법 알고리즘	55
제 5장 선박충돌사고 원인 구조분석	60
5.1 FSM기법에 의한 인적요소 구조분석	60
5.1.1 인적요소 자료분석	60
5.1.2 인적요소 구조 모델링	64

5.1.3 구조 그래프화	65
5.2 분석결과 검토 및 고찰	86
5.2.1 분석결과 타당성 검토	86
5.2.2 분석결과 고찰	86
제 6장 결론	93
참고문헌	98
부록 1	102
부록 2	108

List of Tables

Table 2.1	Components of Control Section	11
Table 2.2	Bands of Frequency	17
Table 2.3	Bands of Consequence	17
Table 3.1	Marine Accidents in Korea(1991-2000)	22
Table 3.2	The Number of each Ship's Marine Accidents(1991-2000) ·	24
Table 3.3	Statistics of Marine Accidents in Korea(1991-2000)	26
Table 3.4	Analysis of Marine Accidents in Korea(1991-2000)	27
Table 3.5	Loss of Life for Marine Accidents in Korea(1991-2000)	28
Table 3.6	Loss of Life for each Marine Accidents(1991-2000)	30
Table 3.7	Frequency of Loss of Life for Marine Accidents	30
Table 3.8	Frequency of Ship's Damage for Marine Accidents	31
Table 3.9	State of Oil Pollution for Marine Accidents(1990-1999)	33
Table 3.10	Cause of Tanker Oil Pollution(1976-1995, ITOPI, 1998)	35
Table 3.11	Analysis of Ship's Collision(1991-2000)	36
Table 3.12	Identification of Hazard in Relation to Ship's Collision	38
Table 3.13	Direct and Indirect Influencing Factors	39
Table 3.14	Human Elements for Ship Operation(IMO MSC/MEPC)	40
Table 3.15	Influencing Factor for Decision Making(IMO MSC)	41
Table 3.16	Categories of Human Factor(USCG)	41
Table 3.17	Result of the Questionnaire for Human Factor	42
Table 3.18	Statistics of Ship's Collision for Marine Accidents	44
Table 3.19	Frequency of Marine Accidents	45
Table 3.20	Analysis of Risk for Ship's Collision	46

Table 3.21	Risk Classification(MIL-std-882)	47
Table 5.1	Components of the Questionnaire for Human Factors	62
Table 5.2	Example of the Questionnaire for Human Factors	63
Table 5.3	Statistics of the Ship's Collision Cause(1988-2000)	87
Table 5.4	Result of FSM for each Field	88

List of Figures

Fig. 2.1	Structure of Ship Operation System(1)	10
Fig. 2.2	Structure of Ship Operation System(2)	12
Fig. 2.3	Risk Matrix	18
Fig. 2.4	Risk-Based Decision Making Process	20
Fig. 3.1	State of Marine Accidents in Korea(1)	23
Fig. 3.2	State of Marine Accidents in Korea(2)	25
Fig. 3.3	Loss of Life for Marine Accidents(1991-2000)	29
Fig. 3.4	Loss of Life for Ship's Collision(1991-2000)	29
Fig. 3.5	Ship's Damage for Marine Accidents(1991-2000)	32
Fig. 3.6	Ship's Damage for Ship's Collision(1991-2000)	32
Fig. 3.7	State of Oil Pollution for Marine Accidents	34
Fig. 3.8	Amount of Oil Pollution for Marine Accidents	34
Fig. 3.9	Risk Contribution Tree	46
Fig. 4.1	FSM Algorithm	59
Fig. 5.1	FSM Graph(1)	68
Fig. 5.2	FSM Graph(2)	69
Fig. 5.3	FSM Graph(3)	70
Fig. 5.4	FSM Result Graph(4)($P=0.60, \lambda=0.50$)	70
Fig. 5.5	FSM Result Graph($P=0.55, \lambda=0.50$)	73
Fig. 5.6	FSM Result Graph($P=0.50, \lambda=0.50$)	76
Fig. 5.7	FSM Result Graph($P=0.55, \lambda=0.50$)	79
Fig. 5.8	FSM Result Graph($P=0.55, \lambda=0.50$)	82
Fig. 5.9	FSM Result Graph($P=0.55, \lambda=0.50$)	85

Structure Analysis of Ship's Collision Causes Using Fuzzy Structural Modeling

Weon-Jae Yang

*Department of Maritime Transportation Science,
Graduate School of Korea Maritime University*

Abstract

The prevention of marine accidents has been a major topic in marine society for long time and various safety policies and measures have been developed and applied to prevent those accidents. In spite of these efforts, however significant marine accidents have taken place intermittently.

During the course, hardware factors such as technology of ship building have been progressed significantly but software factors such as ship management including ship's crew have not. Ship is being operated under a highly dynamic environment and many factors are related with ship's collision and those factors are interacting. So the analysis on ship's collision causes are very important to prepare measures which will ensure the safety.

This study analysed, the cause of marine accidents using the marine accidents data over the past 10 years(1991-2000), which is compiled by Korea Marine Accidents Inquiry Agency. The analysis confirmed that 'ship's collision' is occurred most frequently and the cause is closely related with human factor.

The main purpose of this study is to analyse human factor. The structure of human factor is analysed by the questionnaire methodology. Marine experts were surveyed based on major elements that were extracted from the human factor affecting to ship's collision. Then, the structure analysis of ship's collision cause using Fuzzy Structural Modeling is performed. FSM(Fuzzy Structural Modeling) has been widely adopted in modeling a dynamic system which is composed of human factors.

The analysis shows that, the most important human factor related to the ship's collision is 'lookout negligence'. The other but less important factors are 'violation of navigation rules', 'inappropriate ship's speed', 'non-display of the navigation lights and shapes', 'non-execution of signals', 'sleepiness', 'inappropriate supervision' and 'inappropriate report and take over for duty officer's watch keeping', respectively.

This structure model could be used in understanding and verifying the procedure of real ship's collision. Furthermore it could be used as the model to prevent ship's collision and reduce marine accidents.

제 1장 서론

1.1 연구배경

오늘날 해운산업분야는 산업발달과 함께 눈부신 발전을 거듭해 왔으나, 선박운항과 관련된 수많은 해양사고가 발생함으로써, 인명과 재산 그리고 환경적인 측면에서 실로 막대한 피해를 초래하였다. 1912년에 발생한 “타이타닉(Titanic)”호 침몰사고, 1967년 영국 남서해안에서 발생한 “토리 캐니언(Torrey Canyon)”호 좌초사고, 그리고 1989년 미국 알래스카해안에서 발생한 “엑손 발데즈(Exxon Valdez)”호 좌초사고 등의 대형 해양사고는 수많은 인명과 재산상의 손실 그리고 치명적인 해양환경오염피해를 가져왔으며, 이것은 해상에서의 사고예방과 선박운항의 안전확보가 중요하다는 것을 재인식시키는 중요한 계기가 되었다.

한편, 국내 해양사고 현황을 살펴보면, 지난 10년(1991~2000)간 국내에서 발생한 전체해양사고는 총 6,724건으로 관련선박척수로는 8,369척이었으며, 사고종류별로는 충돌, 기관손상, 좌초, 침몰 등으로 분류된다. 이들 해양사고 중 높은 발생빈도를 보이고 있는 “선박충돌사고” 건수는 총 1,467건으로 관련된 선박척수만도 3,027척이었다. 선박충돌사고를 포함한 각종 해양사고로 인하여 발생하는 인명피해는 연간 약 250명, 해양오염방제비용을 포함한 직접적인 재산상의 피해액은 연간 약 2,000억 원에 이르는 것으로 추정되고 있다.¹⁾⁻³⁾ 이와 같은 국내 현실에 비추어볼 때, 해양사고의 예방과 각종 피해의 최소화, 그리고 선박운항시스템의 효율적인 관리 등이 절실히 요구된다.

선박의 구조, 설계 및 설비 등과 같은 선박운항시스템의 하드웨어적인 측면에 대해서는 지금까지 각종 국제협약의 제정 및 개정 그리고 조선기술

의 연구개발을 통하여 선박사고 발생원인을 근본적으로 제거하고자 하였고, 선박 운항의 안전성 향상에 크게 기여하였다. 그러나, 이와 같은 노력에도 불구하고 해양사고의 발생률은 크게 줄지 않았고, 여전히 발생하고 있는 각종 해양사고를 사전에 방지하기 위해서는 새로운 시각적 접근이 필요하다는 공감대가 형성되기 시작하였다.

P&I Club의 클레임 분석, 각 기국정부의 해양사고원인 조사, 그리고 국제해사기구(International Maritime Organization : IMO)에서 집계한 해양사고 통계에 따르면, 해양사고 발생원인 중에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것은 인적요소(Human Factor)라는 것이다.⁴⁾ 이것은 해양사고에 있어서 인적요소의 역할과 그 중요성을 크게 부각시키게 되었고, 그에 따라 체계적이고 과학적인 연구와 노력을 통하여 인적요소로 인한 해양사고를 방지하는 것이 오늘날 중요한 이슈로 되었다.^{5),6)}

해운산업분야에서 인적요소와 관련된 연구로는 미국 국가조사위원회(National Research Council : NRC)가 주도하여 1976년부터 시작된 “인적요소 연구계획(Human Factor Plan)”과, 유조선 “엑손 발데즈”호 사고를 계기로 시작된 종합적인 인적요소 연구개발의 최초 과제라 할 수 있는 “해상 안전에 대한 인적요소 연구개발계획(Human Factors Research & Development Plan for Maritime Safety)”을 들 수 있다. NRC에서 연구한 “인적요소 연구계획”에 따라 1976년, 1981년 및 1990년에 연구보고서⁷⁾가 발표되었는데, 주된 내용은 해운산업분야에 있어서 인적요소의 문제점과 이를 분석하고 해결하기 위하여 개발해야할 기술적인 사항이었다. 특히, 1976년 연구에서는 NRC에 의한 상선의 해양사고발생 주원인이 인적요소라는 1970년 프로젝트 결과를 바탕으로, 서면조사와 인터뷰를 이용하여 인적자료를 수집하고, 사고 원인규명을 위한 기술적인 내용으로 도선사와 선장간

의 애매 모호한 관계, 비효율적인 선교의 설계, 빈약한 운영지침, 과음 및 과로, 지나친 이직율, 부적절한 등화 및 항로표지, 레이더 사용 미숙, 부적절한 무중신호, 충돌예방규칙의 비적합성 등을 보고하였다. 그 결과, 사고 원인에 영향을 주는 기술적인 측면과 관련된 규정에 변화를 가져왔다. 또한, 미국의 교통안전위원회(National Transportation Safety Board : NTSB)에서는 1970년부터 1980년 사이에 발생한 해양사고를 평가하였는데, 그 결과 충돌사고의 약 66%가 인적요소에 기인한 부적절한 항해로부터 발생한 것으로 판명되었고, 선박충돌사고의 주된 원인으로 인적요소의 중요성을 강조하고 있다.

그러나, 우리 나라의 경우 해양사고 발생의 주된 원인이라 할 수 있는 인적요소에 대한 체계적이고 과학적인 연구가 부족한 실정이다. 따라서, 해양사고 중 높은 발생비율을 차지하고 있는 선박충돌사고에 대하여 사고를 미연에 방지하기 위한 과학적인 접근은 물론, 가장 많은 영향을 미치고 있는 인적요소에 대하여 체계적으로 분석하는 본격적인 연구가 절실히 필요하다고 할 수 있다.

지금까지 해운산업분야와 관련된 국제협약으로, '1974년 국제해상인명안전협약(International Convention for the Safety of Life at Sea : SOLAS)', '국제해양오염방지협약(The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships : MARPOL)', '1978년 선원훈련·자격증명 및 당직근무의 기준에 관한 협약(The International Convention on Standards of Training Certification and Watchkeeping for Seafarers : STCW)', '1972년 국제해상충돌예방규칙(International Regulation for Preventing Collisions at Sea : COLREG)', 그리고 '국제안전관리규약(International Safety Management Code : ISM Code)' 등이 있으며, 이들 협약은 해상안전확보에

필요한 각종 기준, 자격 및 절차 등을 규정함으로써 선박운항의 안전, 승무원과 여객의 인명보호 및 해양환경보호에 많은 기여를 하였다.

그러나, 오랫동안 해운분야의 안전관련규정은 사후 보완적 차원에서 강화되어 온 것이 사실이며, 이러한 대처방식으로는 사고를 예방하기가 어렵다는 비판이 있었다. 이에 따라 IMO는 사전에 각종 사고를 예방하여 해상 안전을 확보하기 위한 하나의 수단으로서 위험성 평가와 비용-편익 평가기법을 이용한 과학적이고 체계적인 공식안전평가시스템(Formal Safety Assessment : FSA)을 도입하게 되었다.⁸⁾⁻¹⁵⁾

또한, IMO는 유엔해양법협약(United Nations Convention on the Law of the Sea : UNCLOS), 국제노동기구(International Labor Organization : ILO) 협약 등에 근거하여 1997년 11월 제20차 총회에서 “해양사고 조사코드(Code for the Investigation of Marine Casualties and Incidents)”를 채택하였다. 이 코드는 사고의 원인과 기여요소를 밝히고 그에 대한 적절한 재발방지대책을 세움으로써, 궁극적으로 해상에서의 인명보호와 해양환경 보호에 기여할 수 있도록 하는 방법과 절차 그리고 국가간의 상호 협조방안 등에 관하여 규정하고 있다.¹⁶⁾ 그리고 1999년 11월 제21차 총회에서 “해양사고 인적요소 조사지침(Guidelines for the Investigation of Human Factors in Marine Casualties and Incidents)”을 채택하여 해양사고조사코드에 첨부하였는데, 여기서도 사고에 영향을 미치는 인적요소에 대하여 체계적으로 접근하고 분석하는 기법을 소개하고 있다.¹⁷⁾

해양사고에서 인적요소를 파악하고 분석하기 위하여 사고관련자료 수집, 사고발생의 경과과정 확정, 사고를 유발한 불안정한 행위와 상태추출, 과실 또는 법규위반의 유형 확인, 잠재적 사고발생요인 발견, 잠재적 문제점의 발견 및 안전대책개발과 같이 체계적으로 이루어져야 한다. 이와 같은 인

적요소를 분석하는 기법으로 SHEL모델, 4M모델, Reason모델, GEMS모델이 있다.

SHEL모델은 사고관련자(Liveware)를 중심으로 그 주위와의 관계를 파악하여 사고관련자료를 수집하고 분석하는 것이 특징이다. 해양사고에 있어서 사고발생에 영향을 미치는 인간의 실수나 인간이 포함된 과실요인은 인간과 인간이 취급하는 하드웨어, 소프트웨어, 환경, 다른 인간과의 관계에 불안정한 상태가 존재하여 발생하게 된다. 이 모델에서 다루는 각 요소간의 관계는 사고관련자와 기계시스템과의 불안정한 상태(L-H), 사고관련자와 작업순서, 매뉴얼, 기호 등 소프트웨어와의 불안정한 상태(L-S), 사고관련자와 환경과의 불안정한 상태(L-E), 그리고 시스템운영자인 사고관련자와 타 관련자와의 불안정한 상태(L-L)에 대한 것으로 각각의 관계에서 결함을 밝혀 사고관련자료를 수집하고 분석하게 된다.

4M모델은 미국의 NTSB가 사고분석에 사용하고 있는 방법으로 사고발생과정을 간접원인, 직접원인, 사고, 피해의 4단계로 구분하고, 간접원인을 구성하는 요소로 인간요인(Man), 기계설비의 결함과 고장(Machine), 인간과 기계설비를 연결하는 매체(Media), 관리상 요인(Management)을 제시하고 있다. 또한, Reason 모델은 사고의 원인이 되는 자료들을 연결하여 사고발생과정을 밝히는 데 유용한 모델로서 의사결정자의 결정, 해당관리자의 결함, 불안정한 행동의 전제조건, 행동의 결과, 부적당한 방어의 5단계로 구성되며 자료수집에서 발견한 각 현상들을 해당되는 단계에 분산시켜서 인접한 다음 단계와의 인과관계를 확인하고 사고로 발전하는 일련의 경과과정을 발견할 수 있게 하는 방법이다.

GEMS(Generic Error Modeling System)모델은 1987년 'Rasmussen'의 "과실의 분류법"에 의한 사고분석작업에 유용하게 사용되는 방법으로 사고

의 직접적인 원인행위가 의도적이었는지 비의도적이었는지를 먼저 명확히 한 후에 과실의 유형을 알아내고 최종적으로 사고의 원인이 된 잠재요소를 규명하는 것이다. 이상과 같이 해양사고에 있어서 인적요소에 대한 체계적인 분석과 함께 사고예방대책마련을 위하여 많은 노력이 이루어지고 있다.

하지만, IMO에서 도입한 FSA에서는 해양사고의 위험성을 평가할 때, 사고유발과 회피에 가장 많이 기여한 인적요소를 분석하는데 적절한 기법이 사용되어야 한다고만 언급하고 구체적인 기법을 제시하지는 않고 있다.⁸⁾ 또한, 해양사고 인적요소 조사지침에서 해양사고를 분석할 수 있는 다양한 분석기법 및 모델들이 제시되어 있지만¹⁷⁾, 아직 국내에서는 이러한 분석기법을 이용하여 해양사고를 분석한 실례가 없는 실정이고, 그 적용의 가능성 및 적용 방법론만이 제시되어 있는 실정이다.

따라서, 해양사고원인으로 가장 큰 비중을 차지하고 있는 인적요소에 대한 분석을 통하여 사고예방대책을 마련하기 위해서는, 이를 구성하고 있는 세부적인 파라미터에 대한 계층구조와 각 계층에 속한 요소 상호간의 관계를 구조적으로 분석하고, 사고발생과정을 규명하는데 유효하게 활용할 수 있는 시스템구조화기법을 이용한 연구가 절실히 필요하다고 할 수 있다.

1.2 연구목적

해운산업분야 뿐만 아니라 모든 산업분야의 활동에서 위험으로부터 자유로울 수는 없다. 따라서, 이러한 위험성에 대한 체계적인 연구를 이미 타분야에서는 심도 있게 다루고 있다. 하지만 본 연구배경에서 살펴본 바와 같이 국내 해운분야에서는 해양사고의 위험성에 대한 심층적인 연구가 아직은 부족한 실정이다.

본 연구는 국내 해양사고 중에서 그 발생빈도와 각종 피해의 심각성이 높은 선박충돌사고에 가장 많은 영향을 미치는 인적요소의 계층구조 및 각 계층에 속한 요소 상호간의 관계를 체계적으로 분석하고자 하는 것이다. 이를 위하여 인간의 다양한 의식구조를 정량적으로 파악하고 그 결과를 구조화 그래프를 통하여 표현하는데 유효한 수법인 퍼지구조모델(Fuzzy Structural Modeling : FSM)을 이용하여 선박충돌사고 발생에 가장 많은 영향을 미치고 있는 인적요소의 구조를 분석함으로써, 선박충돌사고에 대한 적절한 제어 및 예방대책을 마련하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

FSM기법은 복잡한 사회문제를 구조화하고 문제를 해결하는데 효과적으로 적용된 기법으로서¹⁸⁾⁻²⁰⁾, 1996년 일본노동연구소에서는 이 기법을 이용하여 인간이 직업을 선택하고자 할 때 어떤 요소를 가장 중요하게 고려하는가 하는 “직업선택동기에 관한 연구”와 직업을 통하여 추구하고자 하는 목적이 무엇인가 하는 “직업생활설계에 관한 연구”를 수행하였다.²¹⁾ 또한, 철도를 이용할 때 “최적 경로선정에 관한 연구”²²⁾와, 기업이 사원을 신규 채용할 때 가장 우선시 하는 요소는 무엇인가에 대한 “사원 신규채용에 관한 연구”²³⁾ 등 많은 분야에서도 이 기법이 채택되었고, 그 효용성이 검증된바 있다.

1.3 논문구성

본 논문은 총 6장으로 구성되었고, 제 2장 이하의 논문구성은 다음과 같다.

제 2장은 선박운항에 있어서 사고를 미연에 방지하고 안전을 확보하기 위해서는 인적요소의 역할과 그 중요성을 선박운항시스템 내에서 이해하여야 하므로, 여기에 대한 시스템적인 접근과 함께 운항위협성에 관한 이론적 개념을 고찰하였다.

제 3장은 국내 선박충돌사고 심각성과 사고원인을 규명하기 위하여, 지난 10년(1991~2000)간 발생한 해양사고 통계를 근거로 각종 사고의 발생빈도와, 사고로 인한 인명과 선박 및 해양환경오염피해 등 각종 피해상황을 분석하고, 또한 선박충돌사고 발생빈도 분석과 위해요소 파악 및 위험성을 분석하여 그 결과를 고찰하였다.

제 4장은 국내에서 발생한 해양사고 가운데 선박충돌사고에 가장 많은 영향을 미치고 있는 것으로 파악된 인적요소의 구조분석을 하는데 적용하기 위하여, 사회적으로 심각한 문제에 대한 대상시스템을 구조화하는데 유용한 수법인 FSM기법에 대한 이론적인 배경과, 관련 퍼지이론 및 알고리즘을 설명하였다.

제 5장은 국내 선박충돌사고 원인에 대한 구조분석으로 FSM기법을 적용하여 설문조사를 실시하고, 그 결과를 근거로 전체 응답자, 관련 전문가집단, 해양안전심판원, 승선실무자 등 각 분야별로 인적요소의 구조분석을 수행하여, 그 분석결과에 대해서 세부적으로 고찰하였다. 각 분야별 상세한 분석과정은 본 논문의 부록 2에 제시하였다.

제 6장은 본 연구에서 도출된 결과를 요약하여 결론으로 구성하였다.

제 2장 선박운항 위험성

해상에서 선박운항은 복잡하게 관련되어 있는 많은 구성요소들이 시스템 내부환경 및 외부환경과 끊임없이 상호작용을 하면서 운항목적을 달성하게 되므로, 여기에 대해서 시스템적인 접근이 필요하다.

따라서, 본 장에서는 선박운항시스템의 구조를 파악하고, 시스템의 하위 범주에 속하는 각 구성요소의 기능과 역할을 규정함으로써, 해상에서 발생하고 있는 각종 사고 중 선박충돌사고와 관련된 인적요소의 개념을 보다 쉽게 이해할 수 있도록 선박운항시스템을 고찰하였다. 또한 선박운항 중에 발생하는 충돌, 좌초, 기관손상 등 각종 해양사고를 분석하는데 필요한 운항위험성과 관련된 개념을 고찰하였다.

2.1 선박운항시스템

선박운항시스템은 해상에서 화물을 운송하는 선박의 안전항해를 확보하여, 인명을 보호하고, 선박피해 및 해양환경오염피해를 최소화 하는 것이 가장 큰 목적이다. 선박운항시스템은 시스템 변수와 직무형성요소로 구성되며, 선박이 운용되는 외부환경과 결합하여 승무원의 직무수행과 시스템 변수간의 상호작용에 의해 운항목적을 달성하게 된다.^{24),25)}

시스템변수는 선박의 구조와 설계, 각종 항해장비 및 설비의 특성, 운항과 관련된 직무의 구조, 승무원의 교육과 훈련, 선박에 승선하고 있는 승무원 정원 수준 등이며, 직무형성요소(Performance Shaping Factors : PSF)는 업무부하, 피로 및 스트레스, 의사소통, 지식, 기술 및 능력 등이다.

이와 같은 선박운항시스템에 있어서 인적요소는 승무원이 직무를 수행하는 동안 직무형성요소에 영향을 주게되며, 또한 사고 유발과 밀접하게 관

련되어 있기 때문에 시스템변수와 결합하여 효과적으로 직무를 수행하여, 안전하고 경제적인 시스템의 결과를 가져올 수 있도록 하는 것이 중요하다. 따라서, 시스템을 구성하는 인적요소와 시스템 변수간의 상호작용으로 발생하는 사고에 대하여 분석하고 연구하는 것이 필요하다.

Fig. 2.1은 선박운항시스템의 입출력, 관리 및 제어에 관한 시스템 내부의 흐름과 시스템에 영향을 미치는 외부환경과의 관계를 나타낸 것이다. 이 시스템은 선박의 안전항해와 관련된 전문지식과 기술, 다양한 직무 및 절차 등과 같은 내부구성요소와, 항행구역의 교통밀도, 항로표지, 교통관제시

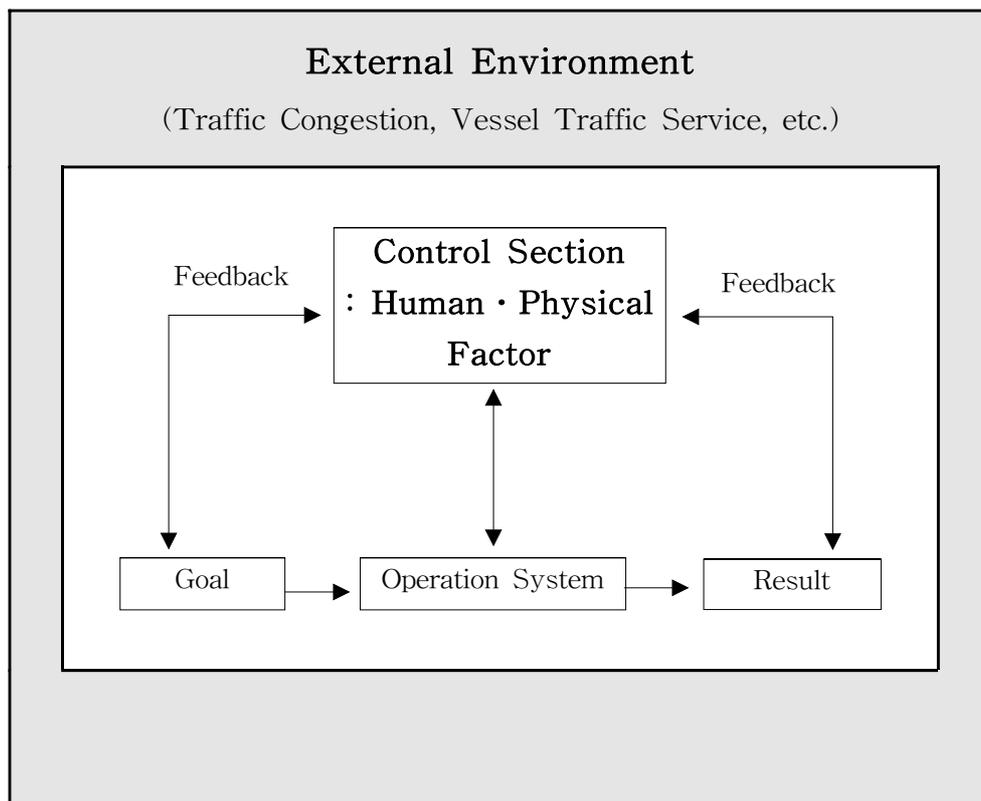


Fig. 2.1 Structure of Ship Operation System(1)

시스템, 자연조건 등 선박이외의 외부적 항행환경이 지속적으로 상호작용을 하는 시스템구조로서, 시스템의 제어부에 해당되는 인적·물리적 요인에 의해서 선박의 안전운항과 경제적이고 효율적인 시스템운영을 담보할 수 있게 된다. Table 2.1은 선박운항시스템의 제어부에 대한 내용을 세부적으로 정리한 것으로, 선박의 조종성능, 복원성, 각종 항해장비 등 물리적인 요인과 함께 인적요인에 해당되는 승무원의 자질 및 자격, 항법관련 전문 지식, 피로, 부주의, 안전문화, 승무원의 교육 및 훈련 등 각 요소들이 최적의 기능을 수행할 때, 선박의 안전하게 항해할 수 있다. 그런데, 선박충돌사고를 비롯한 각종 해양사고의 발생원인을 보면 인적요인이 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것을 알 수 있다. 그러므로 운항시스템에서 선박의 제어부에 해당되는 이 인적요인에 대한 원인분석을 통하여 선박충돌사고와 같은 해양사고 원인을 규명하고, 그에 대한 적절한 예방대책을 세우는 것이 필요하다 할 수 있다.

Table 2.1 Components of Control Section

Control Section of Ship's Operation System	
Human Factor	Physical Factor
<ul style="list-style-type: none"> - Certification - Competency - Knowledge - Health, Fatigue - Lapse, Negligence - Safety Culture - Communication - Education & Training etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - manoeuvrability of Ship - Stability - Navigational Equipments - Accommodation - Ship's Design - Ship's Structure etc.

또한, 선박운항시스템은 선박의 운항, 비상대응, 선박의 복원성, 조종성능, 병커링, 화물적재, 묘박 등과 관련된 수많은 기능이 각각 특성을 가지고 움직이게 된다. 따라서 선박운항시스템은 선내조직, 회사의 경영, 운항, 인적요인, 선박의 구조 및 설비 등이 각각의 기능을 수행하는 시스템의 집합으로 보아야 한다. Fig. 2.2는 선박의 기술적인 측면의 “하드웨어(선박의 설계, 구조 및 설비)”를 중심으로 하여 인간거동의 함수인 “소프트웨어(인적요인)”가 밀접하게 상호관련 되어 있는 선박운항시스템구조를 나타낸 것이다. 이 시스템에서 소프트웨어측면에 해당되는 인적요인은 선박의 조직과 선단을 유지관리하는 해운관련 당사자와 선박외부의 주변상황과 긴밀하게 상호작용을 하면서 역할을 수행하게 된다. 따라서, 이와 같은 선박운항시스템에 있어서도 인적요인의 역할이 중요하다 할 수 있다.

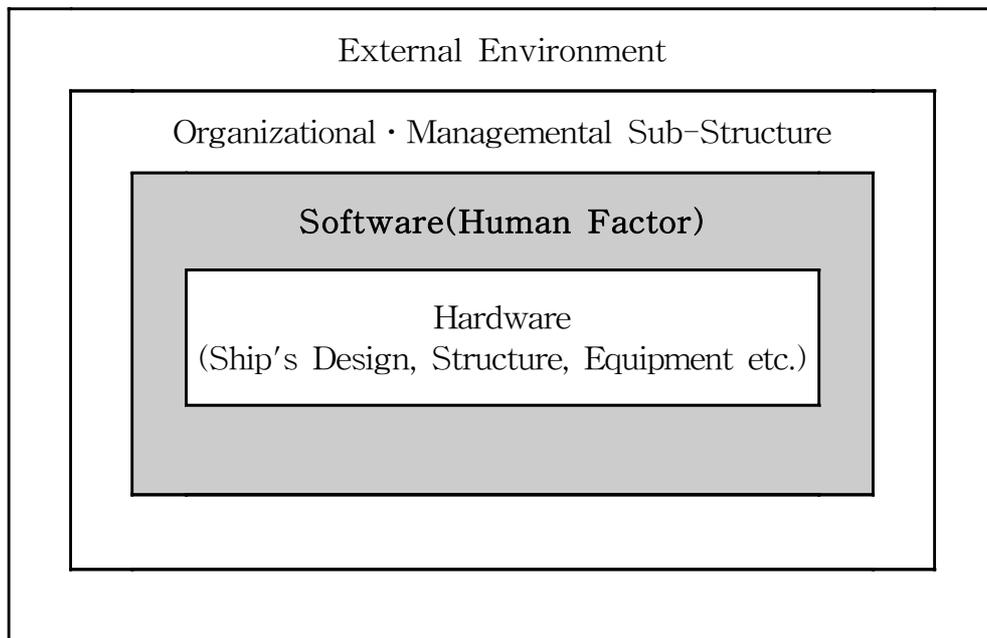


Fig. 2.2 Structure of Ship Operation System(2)

2.2 운항위험성

선박운항의 위험성은 해양사고의 발생과 그 결과의 심각성이라 할 수 있고, 앞서 살펴본 바와 같이, 선박운항시스템을 구성하고 있는 인적요인의 역할에 따라서 선박의 안전은 어느 정도 확보될 수 있다. 하지만, 선박운항과 관련된 사고발생의 위험성은 항상 존재한다. 따라서, 이러한 운항위험성을 이해하는데 필요한 기본개념을 고찰하였다.

2.2.1 위험성 평가

위험성이란 원하지 않는 사고로부터 기인한 인적, 물적, 기술적 등의 손실에 대한 잠재적인 효과를 평가하는 것으로, 사고결과와 그 발생가능성의 조합으로 정의된다. 위험성을 논의할 때 일반적으로 위해요소(Hazard)가 사용되며, 위해요소는 발생할 사고나 재난에 대해서 뿐만 아니라 현재의 위험에도 필수적으로 잠재되어 있다. 예를 들면, 선박이 항행할 때 충돌할 위험성은 좁은 수로, 수심이 얇은 지역, 또는 선박조선의 실패 등으로 인하여 증가하고, 이와 같은 상황에서 충돌사고에 대한 위해요소는 항상 존재한다고 할 수 있다. 위해요소의 분석은 위험성 평가절차의 첫 번째 단계로서 그 목표는 위해요소의 파악과 평가다. 오늘날 해상안전분야에서는 환경오염, 선박의 멸실, 승무원의 부상 및 사망과 같은 해상재난에 관계된 위험성 평가와 관리에 관심이 집중되어 있고, 위험성을 평가함으로써 보다 더 용이하게 자원을 할당하고 손실을 최소화하는 우선 순위를 정할 수 있다.

위험성 평가방법은 정성적 위험성 평가(Quantitative Risk Assessment) 방법과 정량적 위험성 평가(Qualitative Risk Assessment)방법이 있다.²⁶⁾

정성적 위험성평가란 본질적인 위험요소 및 그 위험성 정도를 정성적인 기준에 의해 평가하는 방법론으로서, 미리 준비된 체크리스트를 활용하는

방법과 본질적인 특성을 고려하여 미리 정의된 알고리즘에 적용하여 평가하는 방법, 그리고 위험요소와 주요 사고간의 인과관계를 정성적으로 분석하는 방법 등으로 나뉜다. 현재 많이 이용되고 있는 정성적 위험성평가 방법에는 체크리스트 검토, 고장형태와 영향분석법(Failure Mode & Effects Analysis : FMEA), 예비사고 분석법(Preliminary Hazard Analysis : PHA) 등이 있다.

정량적 위험성 평가기술은 위험성을 평가하고 분석하는 다양한 정성적인 평가 방법들을 보완하여 잠재해 있는 사건·사고들을 밝혀내고, 위험성을 정량화 하여 그 위험성을 감소시킬 수 있는 전략을 제시해 준다. 또한, 안전성에 영향을 주는 개별적인 위험요소를 찾아서 개선함으로써 전체 위험률을 감소시킬 수 있는 정도를 제시해 주는데, 그 과정에서 비용-편익분석을 할 수 있게 한다. 대표적인 정량적 위험성 평가방법에는 결함트리 분석법(Fault Tree Analysis : FTA), 사건트리 분석법(Event Tree Analysis : ETA) 등이 있다. 그러나 정량적 위험성 평가방법은 발생 가능한 사고의 유형과 시나리오에 따라 그 영향이 과대 평가되거나 또는 평가결과의 다양성이 존재하는 단점이 있다.

선박운항으로 발생하는 해양사고의 위험성 평가는 사고결과와 발생가능성을 파악하는 것으로, 해양사고의 위험성은 사고발생가능성과 결과의 심각성이 증가하면 할수록 더욱 높아지게 된다. 예를 들면, 위험한 화물적재에 의해서 선박충돌사고가 더 많이 발생하지 않지만, 사고의 결과를 확대 증가시킬 수 있는 위험한 화물적재와 미숙련 승무원에 의해서 사고 발생가능성이 보다 더 높아지게 되며, 심각한 결과를 초래하는 충돌사고로 진전될 수 있다.

2.2.2 위험성 관리

위험성 평가는 위험성에 관한 하나의 과정이며, 가장 중요한 관심사는 평가된 위험성의 적절한 관리다. 위험성 관리는 위험성에 대한 해석과 원인을 밝히는 과정이라 볼 수 있으며, 해상에 적용된 위험성 관리에 대한 접근법들은 사고결과의 심각성과 사고발생가능성을 감소시키는 도구라 할 수 있다. 위험성 관리요소는 사고결과, 발생가능성, 민감성 등으로 구성되고, 각 구성 요소에서 어느 한 요소(민감성)를 고정시킨 상태에서 나머지 요소(사고결과, 발생가능성)들의 크기를 감소시키는 것이 위험성 관리라 할 수 있다.^{27),28)} 이러한 위험성 관리방안으로 이중선체구조, 화재진압과 발생의 억제, 인명구조 장비 등과 같은 수단을 통해서 해양사고로 인한 손실의 크기를 감소시키고, 또한 사고발생 가능성을 최소화하기 위하여 승무원의 자격과 능력을 향상시키는 훈련이 요구되는 것이다. 예를 들어, 고도의 항해용 장비를 선박에 탑재하였는데 이 새로운 장비에 관한 적절한 훈련과 절차가 제공되지 않으면 오히려 역효과가 생기게 되고 위험성을 증가시킬 수 있다. 그러므로, 위험성 관리가 성공하기 위해서는 위험요소들에 대하여 효과적이고 명백한 수단이어야 하며 또한, 그 실행이 용이해야 한다.^{29),30)}

해양사고의 위험성을 최소화하고 관리하기 위해서는 다음과 같은 제어방안 절차를 고려하여야 한다.

1) 위험에 대한 최소한의 설계

파악된 위해요소가 제거되지 않으면 설계과정을 통하여 관련된 위험을 감소시킨다. 이는 위험성 제어에서 하나의 위해요소를 제거함으로써 관리자의 부담을 경감하고자 하는 것이다.

2) 안전장치

위해요소가 제거되지 않으면 안전장치를 통해서 위험성을 감소시킨

다. 예를 들어, 기관실 화재방지시스템은 화재에 대한 위해요소가 존재하고 있지만 기관실화재와 관련된 위험성을 감소시키게 된다.

3) 경보장치의 제공

안전장치가 위해요소의 위험성을 감소시키기에 부적합하더라도 위험성을 탐색하고, 특별한 위해요소에 의한 사고의 위험성을 최소화하기 위하여, 사람들에게 사전에 경고하는 경보시스템을 제공하는 것이다. 예를 들어, 선박충돌경보시스템은 급박한 충돌에 대한 사고를 방지하고 사전에 적절한 조치를 할 수 있도록 미리 승무원에게 경보할 수 있다.

4) 절차와 훈련의 개발

위험성을 감소시키는 안전장치, 경보장치 등을 통하여 사고를 예방하거나, 위해요소를 제거하는 것이 비실용적이고 불가능할 때, 특별한 절차와 훈련의 개발을 구체적으로 개발한다. 그러나 절차와 훈련의 개발은 피로나 부주의, 주의 산만, 임무의 과중, 공포나 당황 등에 의한 “Human Factor”에 대해서는 허용되지 않을 수도 있다.

2.2.3 의사소통과 위험성 수준

의사소통이란 “선박과 선박간, 선박내부, 선박내부와 외부 등 상호간에 위험에 관한 의사전달과 정보를 교환하는 상호작용과정으로, 직면한 위험에 대한 이해관계와 견해의 표현이며 위험메시지에 대한 반응”이라 할 수 있다. 즉, 위험성에 기반한 의사결정과정을 통하여 발생하는 쌍방향 절차다. 이러한 의사소통은 수집한 정보의 의사결정과정으로써 뿐만 아니라, 선박안전이라는 공동의 목표를 달성하기 위한 중요한 수단이다.

또한, 위험성 수준은 개인이나 집단이 이익을 추구하기 위해서 적당하게 고려하는 수용할 수 있는 위험성이라 할 수 있다. 그러나 주어진 문제에서

위험성 수준에 대한 의견일치는 위험성과 그 파생되는 효과에 대한 인식차이 때문에 합의점에 도달하는 것이 어렵다. Table 2.2는 해양사고의 발생빈도를 일정기간 및 선박의 수명을 기준으로 하여 사고 발생빈도의 범주를 분류하고 정의한 것이며, Table 2.3은 사고로 기인한 인명피해, 선박피해 및 환경오염피해를 기준으로 사고발생 결과범주를 분류하고 정의한 것으로, Fig. 2.5의 위험성 행렬의 가로축과 세로축의 내용을 세부적으로 설명하고 있다.

Table 2.2 Bands of Frequency

Description		Definition
Frequent	F	likely to happen yearly or more frequently
Reasonably Probable	RP	likely to happen during the life of a ship
Remote	R	unlikely, but not unknown, to happen during the life of a ship
Extremely Remote	ER	only likely to happen in exceptional circumstance

Table 2.3 Bands of Consequence

Description		Definition
Catastrophic	Cat	total loss of ship(actual loss & constructive total loss) 10 or more equivalent deaths
Major	Maj	major damage/degradation of the ship strength less than 10 equivalent deaths
Minor	Min	minor damage/degradation of the ship strength (local damage to the structure)less than 1 equivalent deaths
Insignificant	Ins	no significant harm to people, & environment less than 10 minor injuries
1 equivalent death = 10 major injuries = 100 minor injuries		

Fig. 2.3은 위험성 수준에 대해서 사고결과와 그 발생빈도를 위험성 행렬로 나타낸 것으로서, 사고 발생빈도가 높아질수록 그리고, 결과의 심각성이 커질수록 해양사고의 위험성은 커지기 때문에 현재 발생하는 각종 사고의 발생빈도와 그 결과로 기인한 피해상황을 파악하여, 현재의 위험성 수준을 판단하여야 한다. 이 위험성 영역의 각 영역은 발생빈도의 범주와 사고로 인한 피해의 결과범주에 따라서 크게 세 부분으로 나누어져 있다. 이 영역들은 무시할 수 있는 위험성과 합리적으로 실행할 수 있는 위험성(As Low As Reasonably Practicable : ALARP) 및 극에 달한 위험성의 영역을 나타내고 있다. 여기서, “ALARP”영역은 사고발생빈도범주와 사고발생 결과범주의 분류에 의한 인명사망과 피해결과를 바탕으로 영역을 설정하여 위험성 수준을 확인한 후, 이 영역에 대한 위험성을 평가하고 이 영역에 집중하여 사고방지대책이 마련되어야 한다.

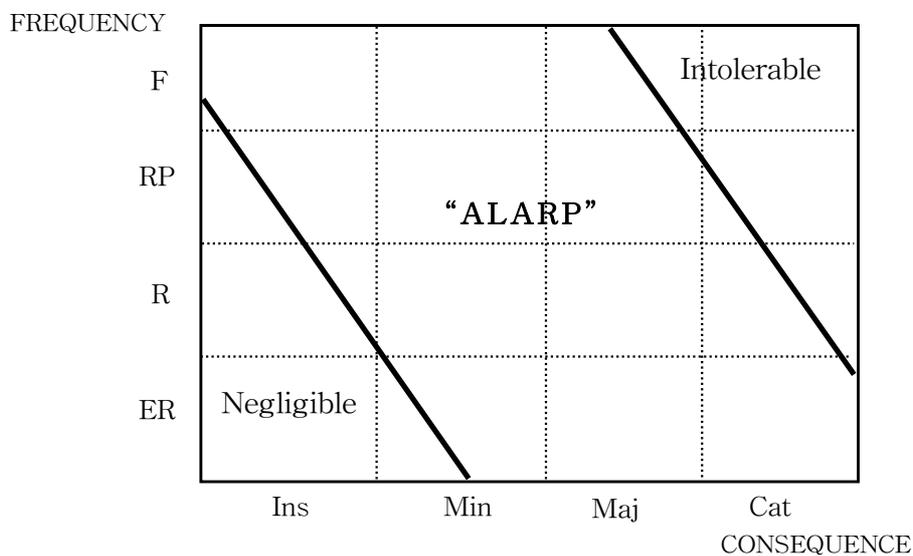


Fig. 2.3 Risk Matrix

2.2.4 위험성기반 의사결정

해상에서 선박운항과 관련해 항해당직자는 본선의 조종성능, 화물의 적재상태, 항로주변의 교통상황 등 각종 정보를 이용하여, 안전한 항해를 위해 매순간 최적의 의사결정을 해야하는 상황에 직면하게 된다. 의사결정이란 의사결정자가 어떤 목적을 설정하고, 그 목적을 달성하기 위한 행동선택과정이라 할 수 있다.^{31),32)} 즉, 개인이나 조직체는 어떤 목적을 설정하고 그에 관한 자료를 수집하여 분석함으로써, 목적달성을 위해 합리적이고 논리적인 방법을 통하여 최적의 대안을 선택하고 행동을 결정하게 된다. 이러한 의사결정 과정에서 인간의 행동선택에 영향을 미치는 것은 일정한 확률법칙을 갖는 위험성이다. 위험성이 항상 존재하고 있는 해상에서 인간의 행동은 직면한 위험을 회피하고 통제하여 선박운항의 안전을 확보하고자 노력하게 된다.³³⁾

이상과 같이, 선박의 안전운항을 위한 위험성기반 의사결정의 구성요소는 항해당직자, 안전항해를 위한 목적, 외부환경, 대안, 결과, 각 요소간의 관계, 대안의 평가와 선택 등으로, 의사결정자인 항해당직자에 의해 선박의 운항안전성이 확보될 수 있다. Fig. 2.4는 선박운항 중 발생하는 위험성에 기반한 의사결정과정을 나타낸 것으로, 직면한 위험상황을 명확히 인식하고 적절한 항법을 결정하기 위한 각종 정보를 수집, 분석하여 평가한 후에 안전하게 피항 동작을 취해야하는 의사결정자로서 인적요인의 역할을 파악할 수 있다.^{34),35)}

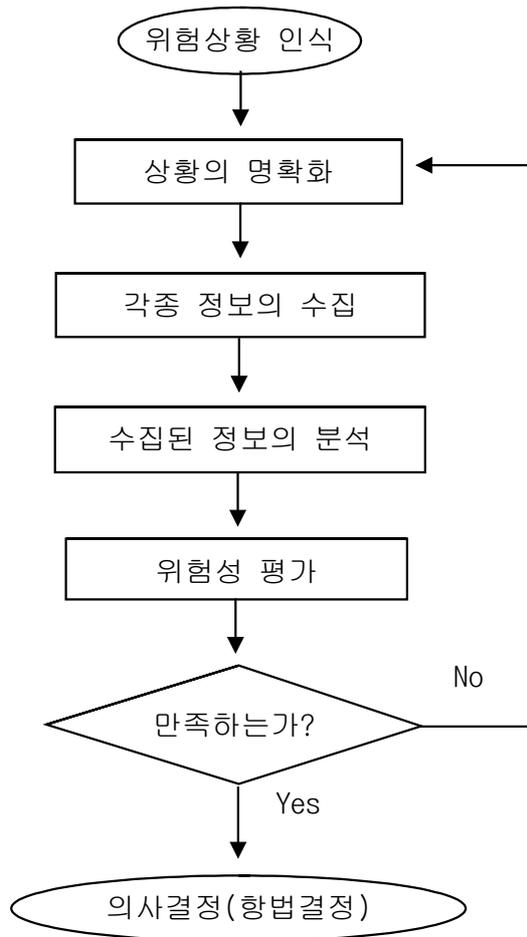


Fig. 2.4 Risk-based Decision Making Process

제 3장 국내 선박충돌사고 위험성 분석

국내 해운산업분야가 성장하는 과정에서 지금까지 수많은 해양사고가 끊임없이 발생해 왔으며, 그로 인하여 막대한 인적, 물적 피해와 심각한 환경오염 등을 초래하고 있다. 이와 같은 현실에서 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 해양사고를 예방하고, 사고로 인한 피해를 최소화하려는 수많은 노력을 기울여 왔다. 그 결과 선체구조 및 선박설비 등 하드웨어적인 측면의 안전성은 어느 정도 만족스러운 수준으로 향상되었다고 볼 수 있다. 또한 해양안전의 중요성에 대한 인식의 변화와 사고분석에 대한 과학적이고 체계적인 접근방법에서도 많은 발전이 있었다고 할 수 있다.

그러나, 국내 현실에 비추어볼 때 사고원인에 대한 접근방법과 조사방법 등이 여전히 미비한 상태이며, 이에 대한 다각적인 노력과 검토가 요구되고 있다.

따라서, 본 장에서는 먼저, 국내 해양사고 통계데이터를 근거로 전체해양사고의 현황과 발생빈도를 파악하고, 사고로 인한 인명피해, 선박피해, 해양환경오염피해에 대한 현황분석을 하였다. 이 결과를 토대로 선박충돌사고의 위험성을 분석하였다. 이를 위한 방법으로 충돌사고발생빈도 분석과 위해요소를 살펴보고, 사고에 가장 많은 영향을 미치는 인적 위해요소에 대한 우선 순위를 파악하기 위해 해양관련 전문가집단에게 앙케이트 조사를 실시하여 그 결과를 분석하였다.

3.1 해양사고 현황

지난 10년간 국내에서 발생한 연도별 해양사고현황을 보면 Table 3.1에
서와 같이 2000년도에 발생한 해양사고건수는 전년대비 약 25.3%가 감소
한 634건으로 사회적 물의를 일으킬 만한 대형사고는 한 건도 없었으며,
'97부터 '99년사이의 3년간 급증세를 보이던 증가추세가 2000년도부터 다
소 둔화되어 '97부터 2000년까지 4년간, 연평균 약 7.7%의 감소율을 나타
내고 있다. Fig. 3.1은 국내 해양사고와 선박충돌사고의 발생건수 및 척수를
보여주고 있다.

Table 3.1 Marine Accidents in Korea(1991-2000)

연도	등록척수(A)	사고척수(B)	사고건수	사고발생률 (B/A *100[%])
1991	108,644	678	555	0.62
1992	99,085	606	476	0.61
1993	92,464	678	529	0.73
1994	82,356	868	699	1.05
1995	82,359	911	709	1.11
1996	80,354	844	661	1.05
1997	86,134	1,027	840	1.19
1998	95,903	936	772	0.98
1999	101,307	1,041	849	1.03
2000	102,384	780	634	0.76
평균	93,099	837	672	0.91

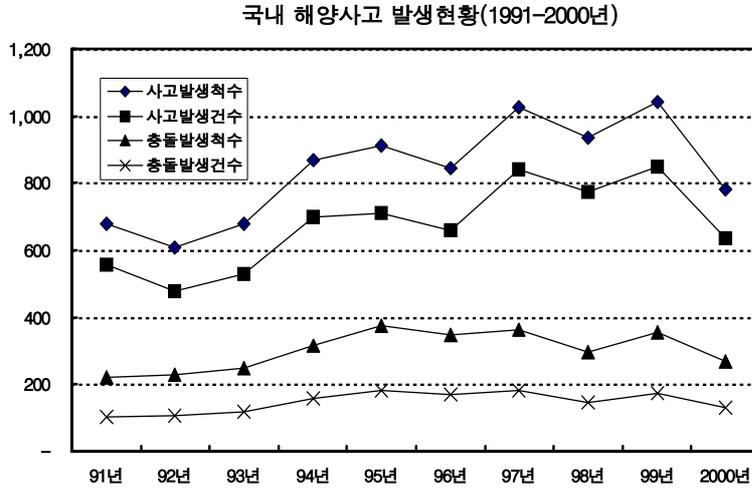


Fig. 3.1 State of Marine Accidents in Korea(1)

한편, 해양수산부에 자료에 의하면 2000년도 선종별 해양사고는 상선사고가 전년대비 약 22.6%정도 감소하였고 어선사고는 약 26.0%정도가 감소하였을 뿐 만 아니라, 사망, 행방불명, 부상과 같은 인명피해가 감소한 것으로 파악되었다. 이는 유조선에 대한 안전항로를 설정하여 운영한 것과, 국제안전관리규약을 도입하여 시행한 결과라고 할 수 있다. 그리고, 어선 해양사고방지 종합대책 추진과 같은 해양안전제도 개선, 해상교통환경 개선 및 안전사고 예방활동 등의 안전관리 시책의 지속적인 추진성과라 할 수 있다. Table 3.2는 선박용도별, 사고종류별 해양사고 통계를 정리한 것으로 지난 10년간 발생한 총 8,369척의 국내 해양사고 중에서 선박충돌사고척수는 3,027척으로 가장 많이 발생하였다. 한편, 선박용도별 충돌사고척수는 어선이 1,554척으로 가장 많았고, 그 다음이 화물선으로 681척이었

으나 화물선의 충돌사고는 어선과 가장 많이 발생한 것으로 파악되었다. 따라서, 화물선의 충돌사고는 매우 중요하게 취급되어야 한다. 또한, 화물선의 해양사고는 충돌, 좌초, 접촉, 기관손상, 침몰, 화재·폭발등 순으로 발생하였으며, 사고 척수는 총 1,040척으로 전체해양사고의 약 12.4%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. Fig. 3.2는 선박용도별, 사고종류별 해양사고 척수 현황을 도식화하여 나타낸 것이다.

Table 3.2 The number of Each Ship's Marine Accidents(1991-2000)

용도 사고종류	여객선	화물선	유조선	어선	예선	기타	계	발생률 (%)
충돌	55	681	238	1554	115	384	3,027	36.2
접촉	13	52	18	24	8	17	132	1.6
좌초	18	117	54	405	45	48	687	8.2
전복	3	11	4	125	18	30	191	2.3
화재·폭발	11	27	25	445	10	12	530	6.3
침몰	3	33	3	635	53	64	791	9.5
기관손상	39	48	17	1709	27	31	1,871	22.4
조난	8	17	9	290	13	20	357	4.2
인명사상	10	10	8	53	8	11	100	1.2
기타	26	44	15	563	13	22	683	8.1
계	186	1,040	391	5,803	310	639	8,369	100

선박용도별, 사고종류별 해양사고 현황(1991-2000년)

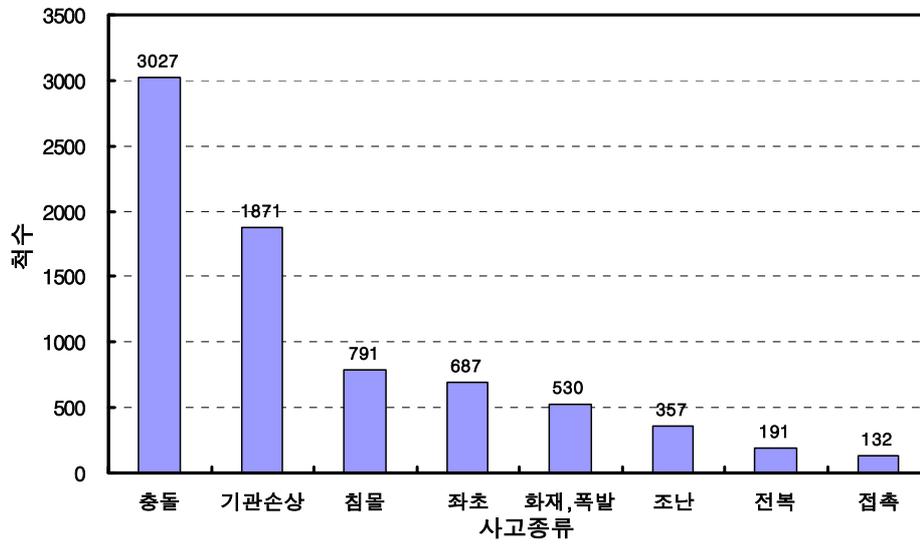


Fig. 3.2 State of Marine Accidents in Korea(2)

3.2 해양사고 현황 분석

3.2.1 발생빈도 분석

Table 3.3은 지난 10년간 우리 나라 연안에서 발생한 해양사고 종류별 발생현황을 나타낸 것이다. 총 6,724건의 해양사고 중에서 기관손상 사고는 1,868건으로 전체사고건수의 약 28%를 차지한 가장 높은 발생빈도를 보이고 있으며, 선박충돌사고는 1,467건으로 전체사고건수의 약 22%이며 발생빈도 면에서 두 번째를 차지하고 있다. 한편, 기관손상과 선박충돌사고를 제외한 사고종류별 발생빈도로는 침몰(약 11%), 좌초(약 10%), 화재·폭발(약 8%) 등의 순으로 나타났다.

Table 3.3 Statistics of Marine Accidents in Korea(1991-2000)

내용 연도	전체 선박 척수	전체 사고		총돌 건수	기관 손상 건수	침몰 건수	좌초 건수	화재 폭발 건수	조난 건수	전복 건수	접촉 건수	기타 건수
		척수	건수									
1991	108,644	678	555	102	157	76	63	35	19	15	18	70
1992	99,085	606	476	108	116	73	53	46	29	13	15	23
1993	92,464	678	529	117	144	64	49	41	34	29	14	37
1994	82,356	868	699	156	160	92	78	59	66	16	22	50
1995	81,769	911	709	183	189	75	69	49	49	18	10	67
1996	80,354	844	661	170	159	56	67	41	18	21	15	114
1997	86,134	1,027	840	181	236	99	85	68	47	16	9	99
1998	95,903	936	772	147	242	84	77	60	48	14	5	95
1999	101,307	1041	849	173	269	90	68	67	24	29	2	127
2000	102,384	780	634	130	196	63	58	48	23	20	11	85
합계	930,400	8,369	6,724	1,467	1,868	772	667	514	357	191	121	767
평균	93,040	837	672	147	187	77	67	51	36	19	12	77

Table 3.4는 해양사고에 대한 세부적인 내용을 분류하여 최대 발생빈도 순으로 정리한 것으로 선박충돌사고는 그 발생건수에서 기관손상보다 적지만 해양사고로 인한 선박용도별/사고종류별 사고발생 척수에서는 기관손상 사고가 1,871척 이었고, 선박충돌사고는 3,027척으로 가장 많은 선박이 사고에 관련되어있었다. 또한 해양사고종류별 피해상황에서 사망, 행방불명, 부상과 같은 인명손실로 인한 피해가 가장 많고, 사고로 인한 선박피해가 심각한 것이 선박충돌사고임을 알 수 있다. 한편, 선박충돌사고 원인에 대한 해양사고 통계를 보면 인적요소가 가장 높은 사고의 원인으로 밝혀지고 있다.

Table 3.4 Analysis of Marine Accidents in Korea(1991-2000)

구 분		발 생 빈 도 순 위
선박용도별/사고종류별		충돌 > 기관손상 > 침몰 > 좌초 > 화재·폭발 > 조난
톤수별 사고		20 ~ 100톤 > 20톤미만 > 100 ~ 500톤 > 1000 ~ 5000톤
해역별/항구별 사고		남해 > 서해 > 동해/인천항 > 부산항 > 군산, 장항항
사고종류별 인명피해 (사망, 행방불명, 부상)		충돌 > 침몰 > 전복 > 화재·폭발 > 접촉·좌초
사고종류별손상	전손	침몰 > 충돌 > 화재·폭발 > 좌초 > 전복 > 기관손상
	중손	충돌 > 기관손상 > 좌초 > 화재·폭발
	경손	기관손상 > 충돌 > 좌초 > 조난 > 화재·폭발
선박용도별손상	전손	어선 > 화물선 > 예선 > 유조선 > 여객선
	중손	어선 > 화물선 > 유조선 > 예선 > 여객선
	경손	어선 > 화물선 > 유조선 > 여객선 > 예선
시간별 사고		04 ~ 08시 > 12 ~ 16시 > 08 ~ 12시 > 16 ~ 20시 > 00 ~ 04시

3.2.2 피해상황 분석

3.2.2.1 인명피해 현황 분석

지금까지 국내에서 발생한 해양사고의 피해상황으로 Table 3.5는 전체 해양사고와 선박충돌사고 결과로 발생한 인명피해현황을 정리한 것이다. 해양사고에 의한 2000년도 인명피해상황은 총 189명으로 전년대비 약 35.5%가 감소하였고, 사망·행방불명자는 149명으로 약 9.1%, 부상자는 40명으로 약 69.0% 감소한 것을 알 수 있다. 또한, 지난 10년간 해양사고로 인한 사망자 및 행방불명자 수는 2,007명, 부상자는 648명으로 총 2,655명의 인명피해가 발생하였다. 그리고, 선박충돌사고로 인한 인명피해자는 총 768명이었다.

Table 3.5 Loss of Life for Marine Accidents in Korea(1991-2000)

구분 연도	전체 해양사고			충돌사고		
	사망	행방불명	부상	사망	행방불명	부상
1991	51	102	31	9	20	2
1992	60	135	89	16	26	27
1993	339	91	53	10	32	34
1994	67	142	122	9	46	20
1995	67	123	50	11	69	35
1996	49	98	46	12	40	16
1997	48	179	58	8	36	41
1998	26	117	30	3	24	18
1999	43	121	129	14	59	85
2000	41	108	40	16	17	13
합계	791	1,216	648	108	369	291

Fig. 3.3은 전체 해양사고에 의한 인명피해현황을 나타낸 것이며, Fig. 3.4는 선박충돌사고에 의한 인명피해현황을 나타낸 것이다.

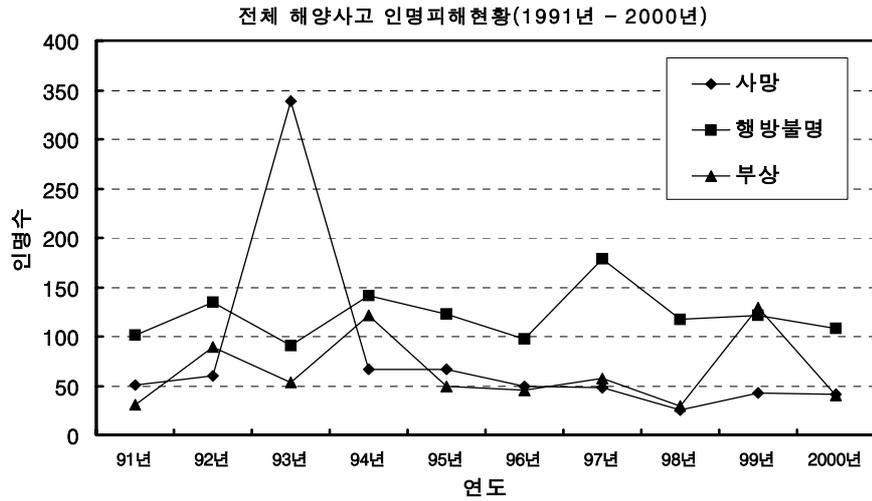


Fig. 3.3 Loss of Life for Marine Accidents(1991-2000)

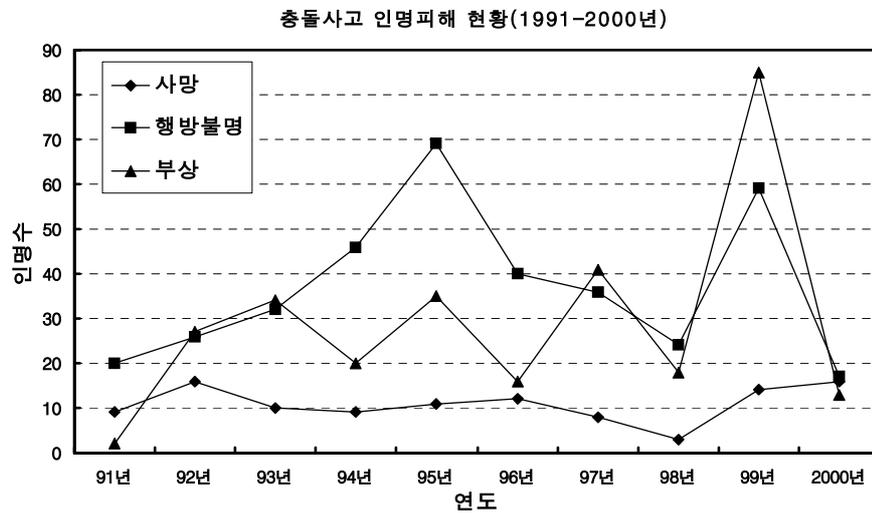


Fig. 3.4 Loss of Life for Ship's Collision(1991-2000)

Table 3.6은 각종 해양사고에 대한 인명피해상황을 정리한 것이다. 전체 해양사고 중에서 선박충돌사고에 의한 사망, 행방불명자수는 총 477명으로 전체 해양사고의 약 24%, 부상자수는 총 291명으로 약 44.9%를 차지하고 있다. 또한, 선박충돌사고에 의한 인명피해는 전체 해양사고에 대해서 약 28.9%로 가장 높은 비율을 차지하고 있고, 침몰사고는 약 21.8%, 전복사고는 약 21.3%, 화재·폭발사고는 약 9.6%를 차지하고 있다.

Table 3.6 Loss of Life for each Marine Accidents(1991-2000)

구분 \ 사고종류	침몰	충돌	전복	화재 폭발	기관 손상	좌초	접촉 조난	기타	합계
사 망	103	108	399	80	5	22	2	72	791
행방불명	461	369	156	20	22	53	25	110	1,216
부 상	14	291	11	154	0	6	83	89	648
합 계	578	768	566	254	27	81	110	271	2,655
사고발생률(%)	21.8	28.9	21.3	9.6	1.0	3.1	4.1	10.2	100.0

Table 3.7은 전체 해양사고와 선박충돌사고에 의한 인명피해 발생빈도를 정리한 것으로 해양사고에 의한 사망, 행방불명, 부상의 인명피해는 사고 척당 약 0.317명이고, 선박충돌사고에 의한 인명피해는 사고 척당 약 0.254명이었다.

Table 3.7 Frequency of Loss of Life for Marine Accidents

구 분		인명피해 발생빈도
전체 해양사고	사 망	791명/8369척=0.095
	행방불명	1216명/8369척=0.145
	부 상	648명/8369척=0.077
선박충돌사고	사 망	108명/3027척=0.036
	행방불명	369명/3027척=0.122
	부 상	291명/3027척=0.096

3.2.2.2 선박피해 현황 분석

해양사고에 의한 선박피해의 통계구분은 침몰 또는 행방불명, 좌초 및 화재 등으로 구조불능상태가 되거나 수리하여도 선박으로 사용할 수 없는 경우는 전손으로 간주하였고, 손상의 정도가 심하여 스스로 운항이 불가능한 경우는 중손, 손상의 정도가 경미한 경우는 경손으로 간주하였다.

Table 3.8은 해양사고에 의한 선박피해의 발생빈도를 정리한 것으로 전체 해양사고 선박피해건수에서 선박충돌사고로 인한 선박피해건수의 비율은 약 22% 정도였다. 또한, 전체 해양사고 발생건수는 총 6,724건이었으며, 그로 인한 선박피해건수는 5,064건으로 약 75.3%가 피해를 입었다. 그리고, 선박충돌사고로 발생한 선박피해(전손, 중손, 경손)건수는 총 1,094건으로 약 74.6%로 역시 많은 피해가 있었다.

Table 3.8 Frequency of Ship's Damage for Marine Accidents

구 분		선박피해 발생빈도
전체 해양사고	전 손	1,287건/6,724건 = 0.191
	중 손	979건/6,724건 = 0.146
	경 손	2,798건/6,724건 = 0.416
충돌사고	전 손	216건/1,467건 = 0.147
	중 손	297건/1,467건 = 0.202
	경 손	581건/1,467건 = 0.396

Fig. 3.5는 전체 해양사고에 의한 선박피해상황을 나타낸 것이며, Fig. 3.6은 선박충돌사고에 의한 선박피해상황을 나타낸 것이다.

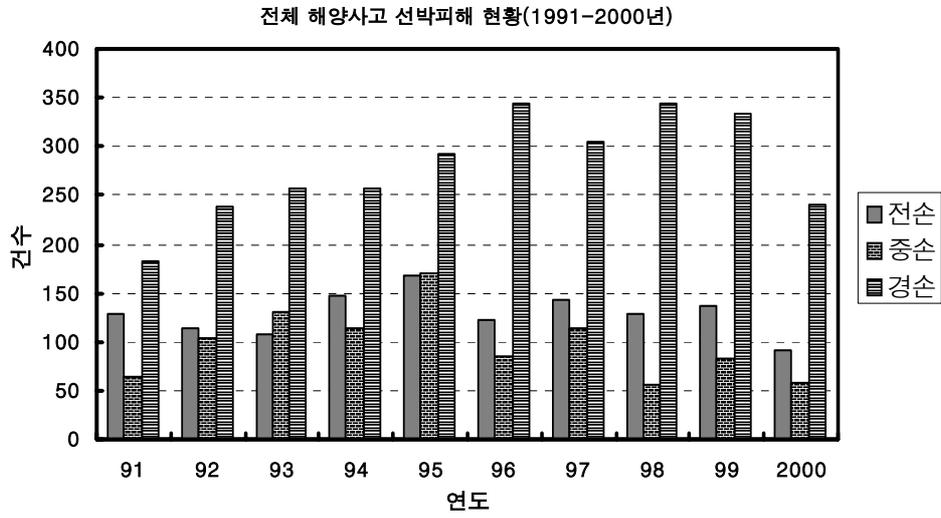


Fig. 3.5 Ship's Damage for Marine Accidents(1991-2000)

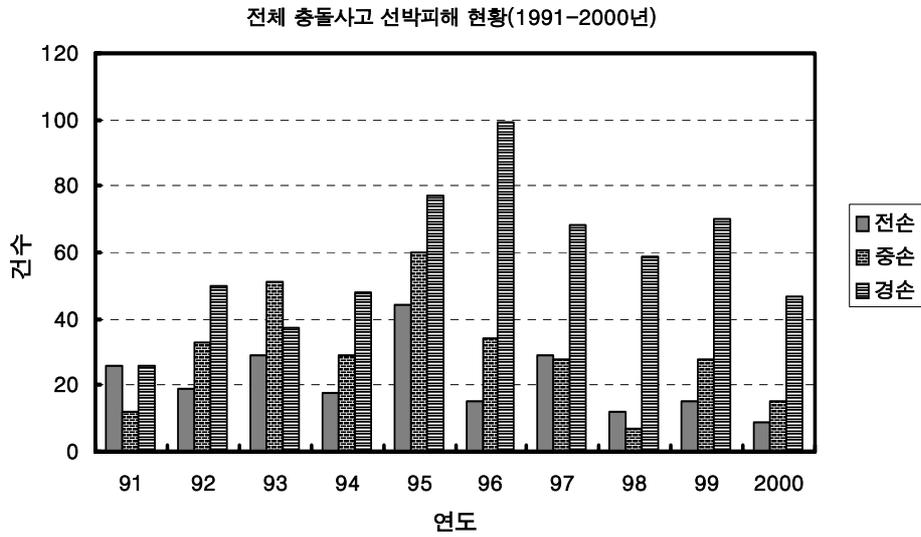


Fig. 3.6 Ship's Damage for Collision(1991-2000)

3.2.2.3 해양환경오염피해 현황 분석

국내 연근해의 해양오염사고는 1980년대 이후 계속 증가추세를 보여 1990년부터 1992년 사이에는 평균 오염사고가 272건이었으나, 1993년부터 1996년에는 평균 362건으로 증가하였다. 해양오염사고로 인한 기름 유출량이 1990년대에 들어와서 증가함으로 인해서 이에 따른 방제비용도 증가하여 1993년에는 약 100억원을 넘어섰다. 국내 연근해에서 발생하는 해상 유류오염 사고는 약 81%가 1kl 미만의 소량유출사고(해양수산부, 1997년 통계) 이지만, 1995년에 발생한 “씨프린스(Sea Prince)”호 좌초사고를 비롯하여 1,000kl 이상의 대형사고가 있었다. 이 같은 대형 유류오염 사고로 인하여 해양환경 및 재산상의 피해는 실로 그 영향이 막대하다고 할 수 있다.

또한, Table 3.9는 선저폐수, 병커유, 경유, 폐기물 및 유해물질 등의 해상 유출로 인하여 발생하는 해양오염사고의 발생건수 및 유출량을 나타낸 것으로서, 해양사고 발생건수(1990~1999년, 전체 해양사고 건수 : 6,654건)에 대한 해양오염 발생빈도는 0.526 이었다. 특히, 어선의 경우가 가장 높은 발생율을 보이고 있고, 병커유가 해양 환경오염의 주 오염원으로 나타났다.

Table 3.9 State of Oil Pollution for Marine Accidents(1990-1999)

연도	발생건수	유출량[kℓ]	연도	발생건수	유출량[kℓ]
1990	248	2,420.6	1995	299	15,775.9
1991	240	1,257.0	1996	337	1,720.1
1992	328	2,942.5	1997	379	3,441.0
1993	371	15,460.3	1998	470	1,050.2
1994	365	456.1	1999	463	386.9
소계	1,552	22,536.5	소계	1,948	22,374.1

Fig. 3.7은 국내 해양오염사고 발생 건수를 나타낸 것이고, Fig. 3.8은 사고로 인한 기름 유출량을 나타낸 것이다.

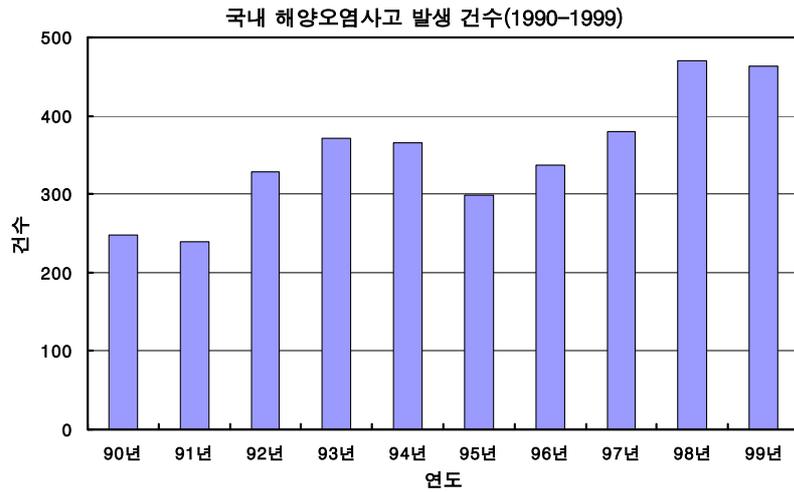


Fig. 3.7 State of Oil Pollution for Marine Accidents

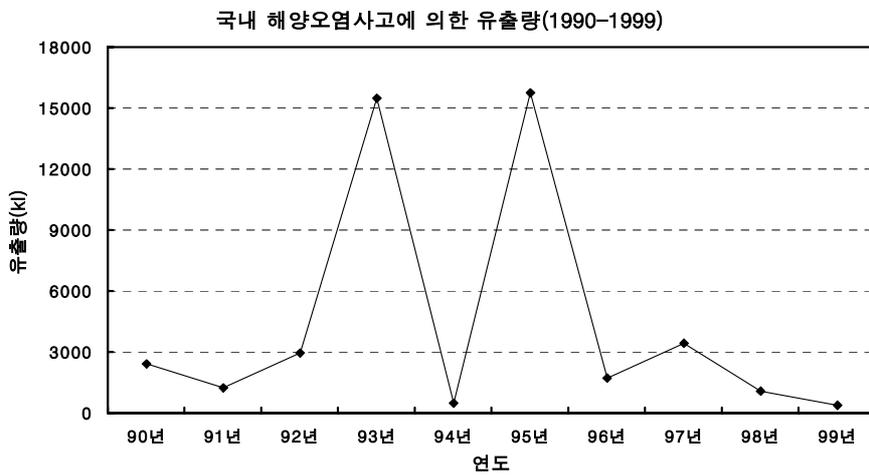


Fig. 3.8 Amount of Oil Pollution for Marine Accidents

한편, 해양오염사고에 대한 국제통계인 Table 3.10을 보면 탱커선 사고는 운용상 과실로 인하여 항구내 터미널 적·양하작업과 병커링 중 발생하고, 약 91%정도는 7톤 미만 소량유출사고이며, 충돌 및 좌초 등과 관련된 사고로 700톤 이상의 유출사고는 약 80%정도이다.³⁹⁾ 이와 같은 해양사고로 인하여 발생하는 대형 해상 유류 유출 사고는 사전에 예방하는 것이 환경 보호를 위해 중요하다고 할 수 있다.

Table 3.10 Cause of Tanker Oil Pollution(1976-1995, ITOPI.1998)

사 고 원 인		유출량별 빈도			합계(톤)
		7톤 미만	7~700톤	700톤 이상	
운용	적·양하	2,753	275	15	3,043
	병 커 링	541	24	-	565
	기타운용	1,145	45	-	1,190
사고	선체결함	541	68	36	645
	좌 초	216	179	95	490
	충 돌	143	221	83	447
	화재·폭발	147	14	20	181
기 타		2,227	158	36	2,421
합 계		7,713	984	285	8,982

3.3 선박충돌사고 위험성 분석

3.3.1 선박충돌사고 빈도분석

Table 3.11은 국내 선박충돌사고에 대한 내용을 사고발생빈도순으로 정리한 것이다. 분석결과에 의하면 선박간의 충돌은 화물선과 어선의 충돌사고가 약 35.8%로 현저하게 나타나고 있다.

Table 3.11 Analysis of Ship's Collision(1991-2000)

구 분	발 생 빈 도 순 위
충 돌 선 박	비 어선과 어선 > 어선간 > 비 어선간
시 정 상 태	맑은 날씨 > 무중 > 기상악화(태풍)
충돌시 속도	5kt이상 ~ 10kt미만 > 5kt미만 > 10kt이상
상대선 초인거리	1마일 미만 > 미발견 > 2~5마일
충 돌 원 인	운항과실: 항해일반원칙 · 항법 미준수(인적요소)
시 간 별	04 ~ 08시 > 12 ~ 16시 > 08 ~ 12시 > 16 ~ 20시 > 00 ~ 04시
사고종류별(건)	기관손상 > 충돌 > 침몰 > 좌초·조난 > 화재·폭발
선박용도별(척)	어선 > 화물선 > 유조선 > 예선 > 여객선
사고종류별 · 선박용도별(척)	충돌>기관손상>침몰>좌초>화재·폭발>조난>전복>접촉
인명피해(명)	충돌>침몰>전복>화재·폭발>접촉·좌초>기관손상
선박피해(건)	기관손상>충돌>침몰>좌초>화재·폭발>조난>전복>접촉

또한, 선박 충돌시 시정상태는 무중항해와 기상악화로 인한 황천시 항해 보다는 맑은 날씨에서 약 53.2%정도 발생하였고, 충돌시 상대선박 초인거리는 1마일 미만과 상대선 미발견 상황에서 약 50.4%정도 발생하였다. 그리고, 선박충돌사고 원인분석에 의하면 경계소홀, 항해일반원칙 미준수 등 약 80%이상이 운항과실 즉, 인적요소에 의한 사고발생이 가장 높다는 것을 재확인할 수 있다. 한편, 선박충돌사고의 발생률을 살펴보면 사고종류별 발생률이 전체해양사고의 약 22%, 사고종류별 및 선박용도별 발생률은 전체해양사고의 약 36.2%, 인명피해발생률은 전체해양사고의 약 28.9%, 선박피해발생률은 전체해양사고의 약 21.6%정도로 파악되었다. 이 같은 사실은 전체해양사고에서 선박충돌사고의 위험성 분석과 그에 대한 사고예방대책이 절실히 필요함을 반영하고 있다.

해양사고의 위험성은 일반적으로 사고발생빈도와 결과의 심각성 조합으로 할 수 있으며, 이러한 위험성을 평가할 때 사고발생 가능성과 그로 인한 결과의 심각성이 큰 분야에 초점을 맞추어 실행하는 것이 효과적이고 또한, 그 파급효과가 크다는 사실에 근거하여 평가대상을 선박충돌사고로 결정하였다.

3.3.2 위험요소 파악

해상에서 발생하는 해양사고 중에서 선박충돌사고와 관련된 수많은 요소를 Table 3.12와 같이 하드웨어적인 요소(Hardware Failures), 인적요소(Human Elements), 외부적인 요소(External Events)로 분류할 수 있다.

그런데, 이와 같은 요소 중에서 선박충돌사고와 관련하여 다른 요소보다는 특히, 인적요소가 직접 또는 간접적으로 사고발생에 가장 많은 영향을 미치는 사고원인요소로 작용하고 있는 것을 국내 선박충돌사고 원인분류

통계현황 분석결과를 보면 명확히 확인할 수 있다.

Table 3.12 Identification of Hazard in Relation to Ship's Collision

구 분	내 용
하드웨어적 요소	선박의 구조, 설계, 추진력, 조종성능, 각종 항해장비, 전기적인 요소, 통신장비, 안전시스템 등 선박 자체적인 원인 등
인 적 요 소	승무원의 자격, 능력, 각종 항법 및 안전관련 절차준수, 건강, 의사소통, 안전문화, 언어능력, 교육, 훈련, 지휘통제능력(리더십), 직무에 대한 의욕 및 사기 등
외 부 적 요소	해역, 바람, 해상상태, 조류, 해류, 시정, 흘수제한, 속도 제한, 항로, 통항분리대, 예인선 운용 등

국내 해양사고관련 통계분류에 따르면 조선 부적절, 경계소홀, 항행법규 위반 과 같은 항해일반원칙 미준수 및 충돌관련법규위반에 해당되는 인적 과실이 충돌사고의 원인 중에서 전체의 약 80%이상으로 대부분을 차지하고있는 것으로 나타나고 있다. 이와 같은 사실에서 선박충돌사고와 인적요소는 상호 밀접한 관계가 있으며 또한, 충돌사고발생에 가장 많은 영향을 미치는 것이 분명함을 알 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 선박충돌사고와 관련된 위해요소의 파악을 인적 요소에 집중하여 이에 관련된 세부적인 각 요소가 사고에 미치는 영향을 파악하기 위해 먼저, 다양한 분류법에 따른 인적요소내용을 살펴보았다. Table 3.13은 선박충돌사고와 관련된 사고의 직접적인 요인과, 제도와 정책 등을 포함한 관리적인 요인을 정리한 것으로 사고를 확대진전 시키거나 완화시키는데 직·간접적인 영향을 미치는 요인들이 다양하게 존재하고 있음을 알 수 있다.

Table 3.13 Direct and Indirect Influencing Factors

구 분		내 용
직 접 인 요 인	승무원의 능력	직무를 원활하게 수행할 수 있는 능력
	동기부여 및 의욕	직무에 대한 태도(긍정적/부정적, 적극적/소극적)
	내부 근무 환경	소음, 기온, 진동 등
	외부 근무 환경	바람, 시정, 기온, 파도, 해상상태, 교통밀집 등
	자원의 유용성	승무원요구와 공급과의 관계
	피로	행동에 대한 대응상태
	각종 항해장비의 질	우수한 디자인과 제품의 성능
	장비 유지관리의 질	장비의 검사 및 유지관리
	추종도	회사의 정책에 대한 이해 및 복종, 각종 법규 및 규정준수
	정보/조언의 유용성	정보 접근가능성, 정확성, 신뢰성, 시기적절성 등
	의사소통	의사소통의 명확성, 신뢰성, 적절성 등
	선령	20년 이상, 5~20년, 5년 이하
관 리 적 인 요 인	신규채용과 선택의 질	인력채용시스템
	훈련의 질	훈련시스템
	회사문화	인적자원에 대한 관리운영시스템
	절차의 질	직무를 수행하는데 책임과 절차에 관한 시스템
	장비구입정책	각종 장비구입에 관한 시스템
	정보/조언의 공급	정보관리시스템 정도
	검사/유지관리 정책	장비의 검사(선급, 항만국 등), 유지관리에 대한 정책
	관리/감독정책의 질	인적자원의 관리/감독시스템
	의사소통 정책	의사를 전달하고 받는 시스템
	직무조직	인적자원의 효율적인 배치
	설계의 질	사용자의 요구와 설계의 일치정도
작업환경	조직운영의 경제적, 사회적 분위기(정책, 교육, 기술 등)	

한편 IMO의 해상안전위원회(MSC) 및 해양환경보호위원회(MEPC)에서 공동으로 발행한 회람문서를 보면 Table 3.14와 같이 인적요소를 인간성능을 저하시키는 요소, 해상 환경적 요소, 안전행정 요소, 관리적 요소, 정신적 요소로 분류하고 있다.⁴¹⁾

Table 3.14 Human Elements for Ship Operation(IMO MSC/MEPC)

구 분	내 용
인 간 성 능 저 하 요 소	감정, 고통, 화냄, 개인문제, 정신적 장애, 음주, 약물, 부주의, 부상, 질병, 동기저하, 고의과실, 피로, 저수준의 도덕심, 자제력 부족, 시각장애, 지나친 업무부하 등
해상환경적요소	위험한 자연환경, 인적요소를 고려하지 않는 설계, 잘못된 조작, 정비불량 등
안전행정 요소	부적합한 기술적지식, 부적절한 상황인식, 의사소통, 협력 부족, 선박운항에 관한 부적합한 지식, 규칙 또는 기준에 대한 부적합한 지식, 절차 또는 지침에 관한 부적합한 지식, 책임감 부족, 부족한 언어능력 등
관 리 적 요 소	원칙유지 실패, 지휘의 잘못, 부적절한 감독, 물적자원의 잘못된 관리, 부적합한 승무정원, 우수한 인적자원 미비, 잘못된 작업설계, 부적합한 규정·정책·절차 및 지침, 규정 또는 절차 등의 잘못적용 등
정 신 적 요 소	상황인식 및 지각능력 결핍, 부정확한 인지 및 식별 등

또한 IMO의 해상안전위원회의 “해양사고에 있어서 인적요소의 역할”이라는 문서에서 Table 3.15와 같이 인간의 의사결정에 영향을 미치는 인적요소를 문화적 요소, 개인능력 및 상황인식 요소, 건강요소, 선박요소, 법적 요소, 사회적 요소로 분류하고 있다.⁴¹⁾

Table 3.15 Influencing Factor for Decision Making(IMO MSC)

구 분	내 용
문 화 적 요 소	고용주의 정책, 국적, 취업, 충성심, 믿음 등의 요소
개 인 능 력 및 상 황인 식 요 소	자질, 교육, 훈련, 지식, 의사소통, 기술 등의 요소
건 강 요 소	긴장, 피로, 업무스트레스, 식생활, 거주여건 등의 요소
선 박 요 소	설계 및 건조, 검정, 유지 등의 요소
법 적 요 소	국제해사기구, 항만통제, 기국의 법규, 노동조합 등의 요소
사 회적 요 소	계약조건, 팀웍, 신용 등의 요소

그리고, 선박운항에 있어서 사고를 유발시키는 인적요소의 주요범주를 미국 연안경비대 Quality Action Team의 “Prevention Through People” 보고서에서는 Table 3.16과 같이 관리적요소, 운영자요소, 작업환경요소, 지식요소, 의사결정요소로 분류하고 있다⁴²⁾.

Table 3.16 Categories of Human Factor(USCG)

구 분	내 용
관 리적 요 소	선내관리, 수로관리 및 회사의 정책과 지침에 관한 것으로 잘못된 기준, 규정, 정책, 실무지침 등의 요소
운 영자 요 소	운항자의 피로, 부주의, 시야협소, 작업부하 등의 요소로 부주의 또는 경각심 부족, 피로 문제를 실수의 일반적인 요인으로 봄
작 업환경요 소	위험한 자연적 환경과 열악한 인적요소, 관련장비유지관리, 해상 또는 육상의 항로표지와 정보 등의 요소
지 식 요 소	운항자, 도선사의 지식과 경험에 관한 것으로 정확하지 않는 기술지식, 조종선박에 관한 지식의 부족, 직무/역할에 대한 책임의식의 부족 등의 요소
의 사결정요 소	현재 상황에 대한 잘못된 이해, 적절하지 못한 정보를 기초로 한 의사결정과 건전하지 못한 선원의 자세 등에 관한 요소

이상과 같이 살펴본 각종 분류법 가운데, 선박충돌사고에 가장 많은 영향을 미치고 있는 인적요소에 대해서 사고에 영향을 미치는 우선 순위를 밝혀내고 그 순위가 높은 요소를 중심으로 충돌사고예방대책을 마련하는데 활용하고자 하였다. 따라서, 본 연구에서는 선박운항시스템에서 해양사고를 유발시키는 인간의 인적과실의 분류를 총 5개 요소로 나눈 Table 3.16의 내용을 선택하여 해양관련 분야의 전문가에게 앙케이트 조사를 실시하였고, 선박충돌사고에 영향을 미치는 정도에 관한 각 요소의 우선 순위를 기재하도록 하여 의견을 수렴하였다.

선박충돌사고에 영향을 미치는 인적요소에 대한 우선 순위를 파악하기 위한 앙케이트 조사는 해양안전심판원, 해양계 대학 및 관련분야의 전문가, 승선실무자를 대상으로 실시하였는데, 총 85부의 조사지를 발송하여 총 66부를 회수하였다. 이 회답결과 데이터를 근거로 하여 Table 3.17과 같이 전체 응답자, 해양안전심판원, 전문가, 승선실무자로 분류하여 정리하였다.

Table 3.17 Result of the Questionnaire for Human Factor

조 사 대 상	응답자(명)	우 선 순 위
해 양 안 전 심판원 (심판관 및 조사관)	20	②-③-④-⑤-①
관 련 분 야 전문가 (학계, 검사관 등)	27	②-④-⑤-①-③
승 선 실 무 자 (선장, 일항사 등)	19	②-⑤-③-④-①
전 체 응 답 자	66	②-④-⑤-③-①
①관리적요소 ②운영자요소 ③작업환경요소 ④지식요소 ⑤의사결정요소		

본 앙케이트 조사에서 분류한 각 요소의 특성을 살펴보면, 관리적요소와 작업환경요소 및 지식요소는 충돌사고에 영향을 미치는 인적요소로서 불안정한 상태에 해당하며, 운영자요소와 의사결정요소는 불안정한 행동에 해당하는 것이라 할 수 있다.

Table 3.17과 같은 조사결과, 선박충돌사고에 영향을 미치는 인적요소의 우선 순위에서 해양안전심판원, 관련분야 전문가, 승선실무자의 모든 분야 응답자는 운영자요소가 다른 요소에 비하여 충돌사고에 가장 직접적인 영향을 미치고 있다고 응답하였다. 그러나 가장 직접적인 영향을 미치는 운영자요소를 제외한 관리적, 작업환경, 지식, 의사결정요소와 같은 나머지 요소들의 우선 순위에서는 응답자의 관련분야별로 약간의 다른 특성을 보이고 있는 것을 파악하였다. 해양안전심판원에서는 두 번째 우선 순위 요소로 작업환경요소가 충돌사고에 영향을 미치는 인적요소로 응답하고 있으며, 전문가집단은 지식요소를, 그리고 승선실무자는 의사결정요소를 두 번째 우선 순위 요소로 응답하고 있음을 알 수 있다. 또한 가장 마지막 우선 순위로 해양안전심판원과 승선실무자는 관리적 요소로 응답하였고 전문가집단은 작업환경요소로 응답하였다.

3.3.3 위험성 분석

해운산업분야의 해상안전을 확보하기 위해서는 먼저, 이미 발생한 해양사고데이터를 정확하게 분석하고 그 현황을 체계적으로 파악하여 문제의 초점이 무엇인가를 찾아내는 것이 현재의 위험성을 파악하는데 중요하다고 할 수 있다. Table 3.18은 지난 10년간 국내에서 발생한 해양사고통계자료를 바탕으로 선박충돌사고를 중심으로 정리한 것이다. 이 데이터내용을 근거로 선박충돌사고 발생빈도와 인적요소에 의한 충돌사고 발생빈도 그리고

해역별 충돌사고 발생빈도를 분석하였다.

선박충돌사고의 발생빈도 분석에 관한 Table 3.19에서 국내 해양사고 중, 충돌사고 발생척수현황은 전체해양사고척수의 약 36%를 차지하고 있으며, 그 중에서 인적요소에 기인한 충돌사고의 발생빈도는 약 85%로 거의 대부분을 차지하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 충돌사고 발생해역현황을 살펴 보면 연해구역 약 60%, 항내 약 23%, 원양구역 약 17%의 순으로 발생하는 것을 알 수 있고, 전체해양사고 중에서 선박충돌사고에 의한 인명사상 사고 건수는 약 6.6%정도 발생하고 있는 것으로 파악되었다.

Table 3.18 Statistics of Ship's Collision for Marine Accidents

내용 연도	전체 선박 척수	전체 사고		충돌사고					인명사상		충돌인명피해			충돌선박피해		
		척수	건수	척수	건수	항 내	연 해	원 양	척수	건수	사 망	행 방 명	부 상	전 손	중 손	경 손
1991	108,644	678	555	222	102	15	64	16	10	10	9	20	2	26	12	26
1992	99,085	606	476	230	108	22	54	11	3	3	16	26	27	19	33	50
1993	92,464	678	529	250	117	21	59	23	12	10	10	32	34	29	51	37
1994	82,356	868	699	317	156	30	71	18	5	5	9	46	20	18	29	48
1995	81,769	911	709	375	183	23	84	20	8	8	11	69	35	44	60	77
1996	80,354	844	661	347	170	44	104	32	15	15	12	40	16	15	34	99
1997	86,134	1,027	840	365	181	44	72	28	6	6	8	36	41	29	28	68
1998	95,903	936	772	295	147	28	102	11	8	8	3	24	18	12	7	59
1999	101,307	1041	849	356	173	22	80	29	14	13	14	59	85	15	28	70
2000	102,384	780	634	270	130	32	62	26	19	19	16	17	13	9	15	47
합계	930,400	8,369	6,724	3,027	1,467	281	752	214	100	97	108	369	291	216	297	581
평균	93,040	837	672	303	147	28	75	21	10	10	11	37	29	22	30	58

Table 3.19 Frequency of Marine Accidents

구 분		발생빈도
연 간 척 당 사 고 (1991 ~ 2000년)	척당 전체 해양사고	0.0090
	척당 충돌사고	0.0033
	전체 해양사고대비 충돌사고	0.3620
	척당 인명사상사고	0.0010
인적요소에 의한 사고 (1988 ~ 2000년, 건수)	전체 해양사고에서 인적요소 (3773건/5690건)	0.6630
	충돌사고에서 인적요소 (2073건/2438건)	0.8500
해역별 충돌 사고 (해양안전심판원 재결분) (1991년 ~ 2000년, 건수)	항내	0.2250
	연해구역(평수구역포함)	0.6030
	원양구역(근해포함)	0.1720

Table 3.20은 국내 해양사고통계에 근거한 선박충돌사고 발생해역분포와 그로 인하여 초래되는 인명피해결과와 전체 선박 척당 인명손실의 위험성을 나타낸 것이다. 전체 해양사고에서 선박충돌사고의 발생빈도는 0.00325으로 천 척당 약 3척이 충돌사고를 일으키고 있으며, 선박충돌사고에 의한 인명사상피해는 전체 충돌사고선박에서 약 6척당 1명이 사망과 행방불명 등 사고를 당하고 있음을 알 수 있다. 또한 해역별로는 연해구역에서 전체 충돌사고선박 중, 약 10척당 1명이 사망과 행방불명 등 사고를 당하고 있는 것을 알 수 있다.

Table 3.20 Analysis of Risk for Ship's Collision

Discription	Frequency	Consequence	Risk
Collision	0.00325	0.167 (506/3,027)	0.00544 (506/93,040)
Harbours	0.00073	0.0376	0.00122
Coastal Areas	0.00196	0.1010	0.00328
Open Sea	0.00056	0.0287	0.00094

국내 해양사고에 대한 분석결과에서 선박충돌사고해역의 하위범주(Risk Sub-categories)는 항내, 연해구역, 원양구역으로 구분할 수 있다. Fig. 3.9는 선박충돌사고에 대한 위험성 기여 트리를 정량적으로 나타낸 것으로 연해구역의 발생빈도는 1.96E-03으로 충돌사고가 가장 많이 발생하고 있었다. 그리고 이 해역에서 인적요소에 의한 발생빈도는 1.67E-03이었다. 따라서 연해구역에 대한 선박충돌사고예방 대책을 마련하여 사고를 감소시키는 것이 필요하다 할 수 있다.

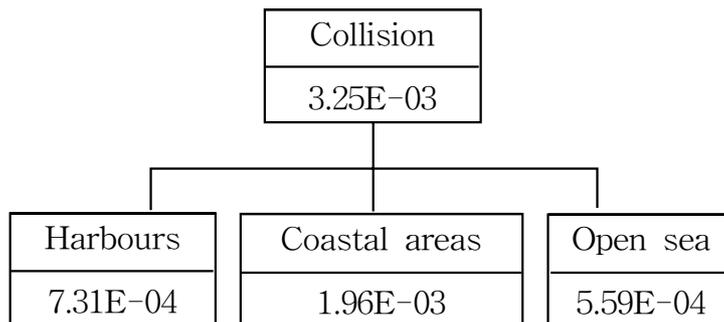


Fig. 3.9 Risk Contribution Tree

해양사고에 대한 위험성 수준을 판단하기 위해서는 사고발생빈도와 그로 인한 각종 피해결과를 파악하여야 한다. Table 3.21은 모든 산업분야의 위험성의 범주를 인명피해와 시스템손상을 기준으로 분류하고 있다.³⁷⁾ 그러나, 본 연구의 제 2장 Table 2.3을 보면 해양사고에 대한 위험성을 인명손실과 선박피해를 중심으로 사고결과범주를 분류하고 있다. 따라서, 지금까지 국내 선박충돌사고에 대한 위험성을 분석한 결과와 비교하여 사고를 예방하기 위한 대책마련이 있어야 할 것이다.

Table 3.21 Risk Classification(MIL-Std-882)

Category	Contents
Negligible	인원의 손상 또는 시스템의 손상에는 이르지 않는다.
Marginal	인원의 상해 또는 주요 시스템의 손해가 생기는 일 없이 배제, 제어할 수 있다.
Critical	인원의 손해 또는 주요 시스템의 손해가 생겨, 또는 인원이나 시스템의 생존을 위해 즉시 시정조치를 필요로 한다.
Catastrophic	인원의 사망, 중상 또는 시스템의 손상을 준다.

3.3.4 분석결과

지난 10년(1991~2000)간 국내에서 발생한 해양사고현황과 선박충돌사고에 대한 위험성 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

첫 번째, 국내 선박충돌사고의 사고발생빈도와 그로 인한 인명피해, 선박피해 등 사고결과의 심각성이 매우 높다는 것을 알 수 있다. 선박충돌사고

발생빈도는 전체 해양사고의 약 22%정도를 차지하고 있으며, 사망, 행방불명, 부상 등 인명피해 발생율은 약 28.9%, 전손, 경손, 중손과 같은 선박피해율은 전체 해양사고의 약 21.6%정도를 차지하고 있다.

두 번째, 선박충돌사고 발생원인으로는 경계소홀과 같은 항해일반원칙 미준수와 각종 항법규정 미준수 등 인적요소가 약 80%정도를 차지하고 있으며, 이러한 인적요소의 과실범주에 대한 앙케이트 조사결과 운항자의 부주의, 작업부하, 경각심 부족, 피로 등 운영자요소가 가장 직접적인 영향력을 미치는 것으로 파악되었다.

세 번째, 선박충돌사고는 항내, 연해구역, 원양구역으로 사고발생 하위 범주를 분류할 수 있고, 이 범주 중 연해구역에서 가장 많은 선박충돌사고가 발생하는 것을 알았다.

이상과 같은 결과를 바탕으로 해양사고 중에서 특히, 그 위험성 및 사고로 인한 각종 피해가 심각한 선박충돌사고의 예방대책을 마련하기 위한 다각적인 노력과 함께, 선박충돌사고발생에 가장 많은 영향을 미치는 인적요소에 대한 구조분석이 절실히 필요하다.

제 4장 FSM기법

본 장에서는 선박충돌사고의 주원인인 인적요소에 대한 구조적인 접근과 분석을 하기 위해서 FSM기법에 대한 이론적 배경을 살펴보고 관련 퍼지 이론과 그 알고리즘에 대해서 기술하였다.

4.1 이론적 배경

사회전반에서 발생하고 있는 다양한 문제들은 수많은 요소가 복잡하게 상호 관련되어 있다. 이러한 문제를 전문가의 직관에 의하여 정성적으로 분석하는 데에는 한계성이 있으므로, 이들 요소를 정량적으로 분석하는 시스템 구조화에 관한 많은 연구가 수행되어 왔다.²⁰⁾⁻²³⁾ 이 시스템 구조화라는 것은 어떤 대상시스템을 구성하려고 생각하는 요소를 적당한 방법에 의해 추출정리하고 문맥상의 관계에 대하여 추출된 요소를 계층화하고 계층간 및 계층에 속하는 요소간의 종속관계를 결정하며 그것을 그래프로 나타내는 것이다.^{43),44)} 시스템의 구조화를 하기 위해서는 먼저, 대상시스템을 구성하는 요소를 추출해야 하는데, 그 방법의 하나로 브레인스토밍(Brainstorming)법과 K.J.법 등이 있다.⁴³⁾ 브레인스토밍 방법은 “Alex F. Osborn” 박사가 창안한 창조성 개발기법으로 리더, 기록자 외에 10명 이내의 참가자들이 기존의 관념에 사로잡히지 않고 자유로운 발상으로 아이디어나 의견을 내는 것이다. 이 방법의 장점은 쉽게 실행할 수 있고, 거의 모든 경우에 적용하여 다양한 아이디어를 얻을 수 있으나, 의사결정이나 의견조정을 위한 회의에는 적용할 수 없다. 그리고, K.J.법은 “가와키다 지로(川喜田二郎)”가 창안한 창조성 함양훈련의 일종으로서 브레인스토밍법과 함께 가장 많이 쓰이는 발상 회의 진행법이며, 문제정리·발견에 유효한 기법이다. 참가자 전원이 자기

가 생각한 모든 아이디어를 카드(라벨)에 적어 내면 그것을 분류해서 차트화 함으로써 참가자 전원의 모든 아이디어를 손쉽게 찾아낼 수 있는 방법이다. 조직의 문제점 진단, 창조적 발상법, 문제해결기법 등에 많이 사용된다.

한편, 기존의 시스템은 목적이 명확하고 기술적인 문제해결 만으로 구축되는 것이 대다수였으나, 최근에는 가치관의 전환과 더불어 시스템 구축에 있어서 인간의 주관적 요소를 중요시하는 효율적인 접근기법이 널리 이용되고 있다. 이러한 인간의 주관적 요소를 고려하여 시스템의 구조를 모델화 하는 방법으로 해석구조모델(Interpretive Structural Modeling : ISM)기법이 있다.⁴⁵⁾ 이 기법은 J.W. Wafield에 의해서 제안된 계층구조화 수법의 하나로 그 특징은 브레인스토밍 법으로 얻어진 요소를 주관적인 방법으로 구조화하여 결과를 시각적으로 계층구조화 하여 표시하게 되며, 실제문제에 적용할 때 인간이 지니고 있는 직감과 경험적 판단에 의한 인식의 애매성과 모순점을 수정하고, 문제를 보다 객관적으로 명확하게 계층을 구조화하는 것이다. 또 다른 기법으로는 DEMATEL(Decision Making Trial and Evaluation Laboratory)기법²²⁾이 있는데 이 기법은 전문적 지식을 설문 조사를 수행하여 문제의 구조를 명확히 하고 공통의 이해를 집약하는 수법이다. 이 수법에서는 고려한 문제에 대한 요소를 관련전문가에 의해 추출하고 추출된 요소간의 일대비교를 양케이트를 통하여 수행하는데, 요소 i가 요소 j에 어느 정도 직접적으로 영향을 미치는가 하는 각 영향정도에 대한 일대비교 값을 0, 2, 4, 8 또는 1, 2, 3, 4 등으로 나타내도록 하여 구조분석을 수행한다. 이러한 수법들을 비교해보면 다음과 같은 몇 가지 차이점이 있다.

첫 번째, 요소간 일대비교 양케이트를 할 때 DEMATEL기법에서는 어느

정도 직접적인 영향을 미치는가에 의해서 미리 정해진 값을 선택하여 표시하게 되고, ISM기법에서는 영향을 미치는가 또는 영향을 미치지 않는가 하는 2차적인 판단을 강요하여 1과 0이라는 값으로 표시하게 한다. 하지만, 인간의 의사결정에 있어서 완전한 종속관계를 결정하기 어려운 것이 많기 때문에 이러한 문제를 보완하고 요소간 비교범위를 0.0에서 1.0사이의 실수 값으로 확장하여 영향을 미치는 정도를 표시하도록 하는 다치논리인 퍼지 집합론을 도입하고, 주관적인 애매성을 적극적으로 허용하는 방법인 FSM 기법이 유효한 것으로 검증되었다.^{46),47)}

두 번째, 시스템구조를 표현할 때 ISM기법에서는 요소간의 관계에 추이성을 가정하고 있지만 DEMATEL기법에서는 이와 같은 가정을 요소간 일대비교를 통해서 구해진 교차지원행렬을 처리하여 설정하게 된다. 하지만 FSM기법에서는 퍼지비대칭율·비반사율·반추이율을 만족하도록 하고 있어 더욱 정확한 요소값을 정할 수 있다.

세 번째, ISM기법에서는 하나의 행렬에서 한 개의 계층구조만을 구할 수 있는 반면에, FSM기법에서는 종속관계를 결정하는 임계값과 파라미터 값을 변화하면서 다양한 계층구조를 표시할 수 있게 된다. 그러므로, 시스템의 구조를 파악하는데 FSM기법을 이용하여 본래 인간이 가지고 있는 복잡한 상황하의 애매성은 물론 그 의식구조를 파악할 수 있고 또한, 대상으로 한 문제의 최적한 계층구조를 구하는 것이 가능하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 복잡한 사회문제의 대상시스템구조를 밝히는데 유효한 수법인 FSM기법을 이용하여 각 요소간의 영향력을 다양하게 표현하도록 하고, 그 결과를 이용하여 국내 해양사고 중에서 선박충돌사고에 가장 많은 영향을 미치고 있는 인적요소에 대한 의식구조를 분석하고자 하였다.

4.2 FSM을 위한 수학적 준비

퍼지니스(Fuzziness)의 개념이 이것을 표현하는 퍼지집합(Fuzzy Set)과 함께 1965년 Zadeh에 의해 제창되어 오늘날 일반적으로 퍼지집합, 퍼지논리, 퍼지측도, 퍼지제어를 핵심으로 하는 이론체계를 퍼지이론이라 한다. 이 퍼지이론은 1970년대에 들어와 공학도들의 관심을 모으게 되었고, 그 이론과 실제적인 응용이 많은 분야에서 이루어지고 있다.

퍼지집합은 언어의 의미와 개념의 정의에서 보여지는 애매성을 정량적으로 나타내기 위한 집합개념으로 퍼지이론의 근간을 이루는 것이다. 보통의 크리스프 집합(Crisp Set)은 2치논리에 의한 집합개념이나 퍼지집합은 멤버십 함수(Membership Function)의 정의함수 영역을 $[0,1]$ 로 확장한 다치논리를 기반으로 하고 있다. 퍼지관계(Fuzzy Relations)는 퍼지이론의 응용에 있어서 매우 유용한 개념으로 대상과 대상사이의 애매한 관계를 퍼지집합 개념을 사용하여 나타낸 것인데 퍼지관계의 합성(Composition)이라는 연산이 필요하게 된다. 이 합성연산은 $\max(\vee)$ 와 $\min(\wedge)$ 의 연산을 사용하기 때문에 \max - \min 합성이라고 한다. 또한 퍼지논리는 한마디로 다치논리에 퍼지니스의 개념을 도입한 것이라 할 수 있다.^{46),47)} 이와 같은 퍼지이론의 장점을 정리하면, 퍼지이론의 배경이 되는 수학적 개념이 간단하고, 시스템에 대한 부가적인 기능을 추가하거나 문제해결이 비교적 쉬워 유연성이 있다. 또한, 부정확한 자료에 대해 허용적이며 강인하다고 할 수 있고, 임의의 복잡성을 가지는 비선형 함수를 모델링하기 쉽다. 그리고, 전문가의 경험이나 애매한 현장 경험을 응용할 수 있으며, 자연언어에 기초하여 인간 친화적이라 할 수 있다.

이상의 특징을 갖고 있는 퍼지이론의 장점을 도입하여 다양하고 복잡한 상호관계를 갖고 있는 선박충돌사고 원인에 대한 구조분석에 FSM기법을

이용하기 위해서, 여기에 필요한 수학적인 준비로 그 성질에 대해서 살펴 보면 다음과 같이 정리할 수 있다.

공간 $S=\{S\}$ 에서 요소의 멤버십함수 μ_A 에 의해 특성을 부여한 집합 A 를 식 (4.1)과 같이 표시하고 이것을 퍼지집합으로 한다.

$$A = \{ S | \mu_A \}, \quad \mu_A : S \rightarrow [0, 1] \quad (4.1)$$

퍼지집합 A 의 퍼지보집합 \overline{A} 의 요소는 멤버십함수 $\overline{\mu_A}$ 에 의해서 식 (4.2)와 같이 특성이 부여된다.

$$\overline{\mu_A} = \frac{1 - \mu_A}{1 + \lambda \mu_A} \quad \text{단, } -1 < \lambda < \infty \quad (4.2)$$

임의의 퍼지벡터 Y 와 퍼지행렬 B 의 합성 C 는 식 (4.3)과, 식 (4.4), 그리고, 식 (4.5)와 같이 표시한다.

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T \quad (4.3)$$

단, $0 \leq y_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, n, T$ 는 전치표시

$$B = [b_{ij}] \quad (4.4)$$

단, $0 \leq b_{ij} \leq 1, i = 1, 2, \dots, m,$

$j = 1, 2, \dots, n$

$$C = B \circ Y \leftrightarrow C_i = \bigvee_{j=1}^n (b_{ij} \wedge y_j) \quad (4.5)$$

$$\text{단, } \bigvee_{i=1}^n a_{ij} \text{는 } \max(1 < i < n)\{a_i\}, a \wedge b \text{는 } \min(a, b)$$

특히, 집합 S 의 요소간 퍼지 2항관계에 관한 멤버십함수 f_r 과 $\overline{f_r}$ 을 각각 다음 식 (4.6), 식 (4.7)과 같이 정의하고 그 관계를 식 (4.8)과 같이 부여한다.

$$f_r : S \times S \rightarrow [0, 1] \quad (4.6)$$

$$\overline{f_r} : S \times S \rightarrow [0, 1] \quad (4.7)$$

$$\overline{f_r} = \frac{1 - f_r}{1 + \lambda f_r} \quad (4.8)$$

$$\text{단, } -1 < \lambda < \infty$$

이상과 같은 기본적인 개념을 바탕으로 대상시스템의 각 요소간 종속관계를 결정하는 임계값(Threshold Value) P 를 미리 주어진 반개구간 $(0, 1]$ 의 실수로 하여 다음 알고리즘에 의해 구조분석을 수행한다.

4.3 FSM기법 알고리즘

대상시스템은 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ 으로 하고, 문맥상의 관계에 대응하여 추출된 요소간의 퍼지종속관계를 나타내는 퍼지종속행렬 A 를 $A = [0, 1]$ 로 표시한다. 여기서 A 는 $n \times n$ 정방행렬이며, A 의 요소 a_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$)는 식 (4.9)의 퍼지 2항관계에 의해 주어진다. 한편, a_{ij} 는 요소 S_i 가 S_j 에 종속한 정도(Grade)를 나타내는 것이다.

$$a_{ij} = f_r(S_i, S_j), 0 \leq a_{ij} \leq 1 \quad (f_r : S \times S \rightarrow [0, 1]) \quad (4.9)$$

구조모델을 구성하기 위한 알고리즘을 정리하면 다음과 같다.

Step 1. 퍼지종속행렬의 결정

퍼지비반사율(非反射律), 퍼지비대칭율(非對稱律)을 만족한 퍼지종속행렬 $A = [a_{ij}]$ 를 설정하고, 퍼지반추이율(半推移律)을 만족하는 A 로 수정한다. 퍼지비반사율, 비대칭율, 반추이율을 다음과 같이 정의된다. 단, 여기서 임계값 P 는 미리 주어진 반개구간 $(0, 1]$ 의 실수로 한다.

- 1) $\forall (S_i, S_j) \in S \times S$ 에 대하여 $f_r(S_i, S_i) \leq P$ 가 만족하면 퍼지비반사율 성립한다.
- 2) $\forall (S_i, S_j) \in S \times S (i \neq j)$ 에 대하여 $f_r(S_i, S_j) < P$, 또는 $f_r(S_j, S_i) < P$ 가 성립하면 퍼지비대칭율이 성립한다.

- 3) $\forall (S_i, S_j), (S_j, S_k), (S_i, S_k) \in S \times S, (i \neq j, j \neq k, i \neq k)$ 에 대해서 $M = \bigvee_{j=1}^n (f_r(S_i, S_j) \wedge f_r(S_j, S_k)) \geq P$ 일 때, $f_r(S_i, S_k) \geq M$ 가 만족하게 되면 퍼지 반추이율이 성립한다.

이상의 정의에서 퍼지반추이율을 만족하는 행렬 A 의 수정법은 다음과 같다.

- 1) 다음 연산을 하여 A^{k+1} ($k = 1, 2, \dots, n-1$)을 구한다.

$A^{k+1} = A^k \circ A$, 여기서, \circ 는 퍼지합성을 나타낸다.

$A^1 = A, A^2 = A^1 \circ A, \dots, A^i = A^{i-1} \circ A$

$A^* = \bigoplus A^i = A^1 \bigoplus A^2 \bigoplus A^3 \bigoplus \dots \bigoplus A^n$ 단, \bigoplus 는 퍼지논리합(\vee)이다.

- 2) 1)에서 얻은 A^* 의 $[a_{ij}^*]$ 에 대하여 $a_{ij}^* < P$ 이면 $a_{ij}^* = 0, a_{ij}^* \geq P$ 이면 $a_{ij}^* = a_{ij}$ 로 한다.

- 3) A' 는 A 와 A^* 의 퍼지논리합에 의해서 구해진다.

$A' = A \bigoplus A^*, a'_{ij} = a_{ij} \vee a_{ij}^*, i, j = 1, 2, \dots, n$

여기서 A' 는 퍼지 반추이율을 만족한다.

Step 2. 레벨집합 및 블록집합의 구성

추출된 요소가 어느 계층에 속하는지, 그리고 계층과 계층간의 결합관계를 부여하는 “최상층레벨집합 $L_t(s)$ ”, “중간레벨집합 $L_i(s)$ ”, “최하층레벨집합 $L_b(s)$ ”, 및 “독립레벨집합 $L_{is}(s)$ ”은 각각 다음 식 (4.10), (4.11), (4.12), (4.13)과 같은 정의에 의해서 결정된다.

$$L_t(s) = \left\{ S_k \mid \bigvee_{j=1}^n a_{kj} < P \leq \bigvee_{i=1}^n a_{ik} \right\} \quad (4.10)$$

$$L_i(s) = \left\{ S_k \mid P \leq \bigvee_{i=1}^n a_{ik}, P \leq \bigvee_{j=1}^n a_{kj} \right\} \quad (4.11)$$

$$L_b(s) = \left\{ S_k \mid \bigvee_{i=1}^n a_{ik} < P \leq \bigvee_{j=1}^n a_{kj} \right\} \quad (4.12)$$

$$L_{is}(s) = \left\{ S_k \mid \bigvee_{i=1}^n a_{ik} < P, \bigvee_{j=1}^n a_{kj} < P \right\} \quad (4.13)$$

각 레벨집합정의의 “ $\vee a_{ij}$ ”는 $\max(a_{ij})$ 를 의미하고, 레벨집합 $L_b(s)$ 에 속한 요소 S_i 가 종속한 $L_t(s)$ 의 요소집합 $B(s_i)$ 에서 블록(Block) 집합이 정의된다. 즉, 단일계층(Single Hierarchy)집합의 최상층레벨집합은 블록집합이라고 말하고 Q_j 로 표시하고 관계 $Q_j \subseteq L_t(s)$ 가 성립한다. 동일 블록 Q_j 에 속한 요소에 관해서 요소간의 종속관계를 표시한 행렬을 퍼지종속행렬에서 구성한다. 이때 각 블록에 대응하여 구성된 소행렬을 단일계층행렬 $A^{(j)}$ 이라 정의한다.

Step 3. 수정행렬 A' 구성

각 요소간의 종속관계를 구조분석하기 위하여 Step 2.에서 구해진 $L_t(s)$ 의 행과 $L_b(s)$ 의 열, $L_{is}(s)$ 의 행과 열을 제거하고 남은 행과 열로 A' 를 다시 구성한다. 여기서, 해당 레벨집합의 행과 열을 삭제하는 이유는 레벨집합의 정의에 의해서 구조분석을 수행하는데 불필요하기 때문이다.

Step 4. 단일계층행렬의 구성

Step 3에 의해서 재구성된 A' 로부터 블록집합 Q_j 에 따라 단일계층행렬 $A^{(j)}$ 를 만든다. 여기서 단일계층행렬은 구조분석을 수행하는데 결합 가능한 요소의 집합을 정의하는 것이다.

Step 5. 구조화그래프의 작성

퍼지 구조파라미터 λ 를 정하여 단일계층행렬 $A^{(j)}$ 에 관한 구조그래프를 구성한다. 여기서 S_j 에 대한 정칙행을 S_{ik} (단, $k = 1, 2, \dots, n'$)라 할 때 S_{ik} 는 식 (4.14)의 연산에 의해 $a \cdot_j$ 는 $a \cdot_j^*$ 로서 치환되어 소거되고, S_j 에 직접 종속한 요소가 결정되어 구조그래프를 구할 수 있게 된다. 여기서, $[\]$ 은 열벡터를 표시한다.

$$[a \cdot_j^*] = [a \cdot_j] \wedge [\overline{a \cdot_{i1}}] \wedge \dots \wedge [\overline{a \cdot_{in'}}] \quad (4.14)$$

정칙행(열)이란 구조분석을 수행하는 퍼지종속행렬에서 임의의 행(열)이 오직 하나의 열(행)에 대해서만 종속관계에 있는 행(열)을 말한다. 만약, 정칙행(열)이 존재하지 않으면 가장 저차의 행을 정칙행으로 분할하여 구조분석을 수행한다.

Fig. 4.1은 FSM기법의 알고리즘을 나타낸 것이다.

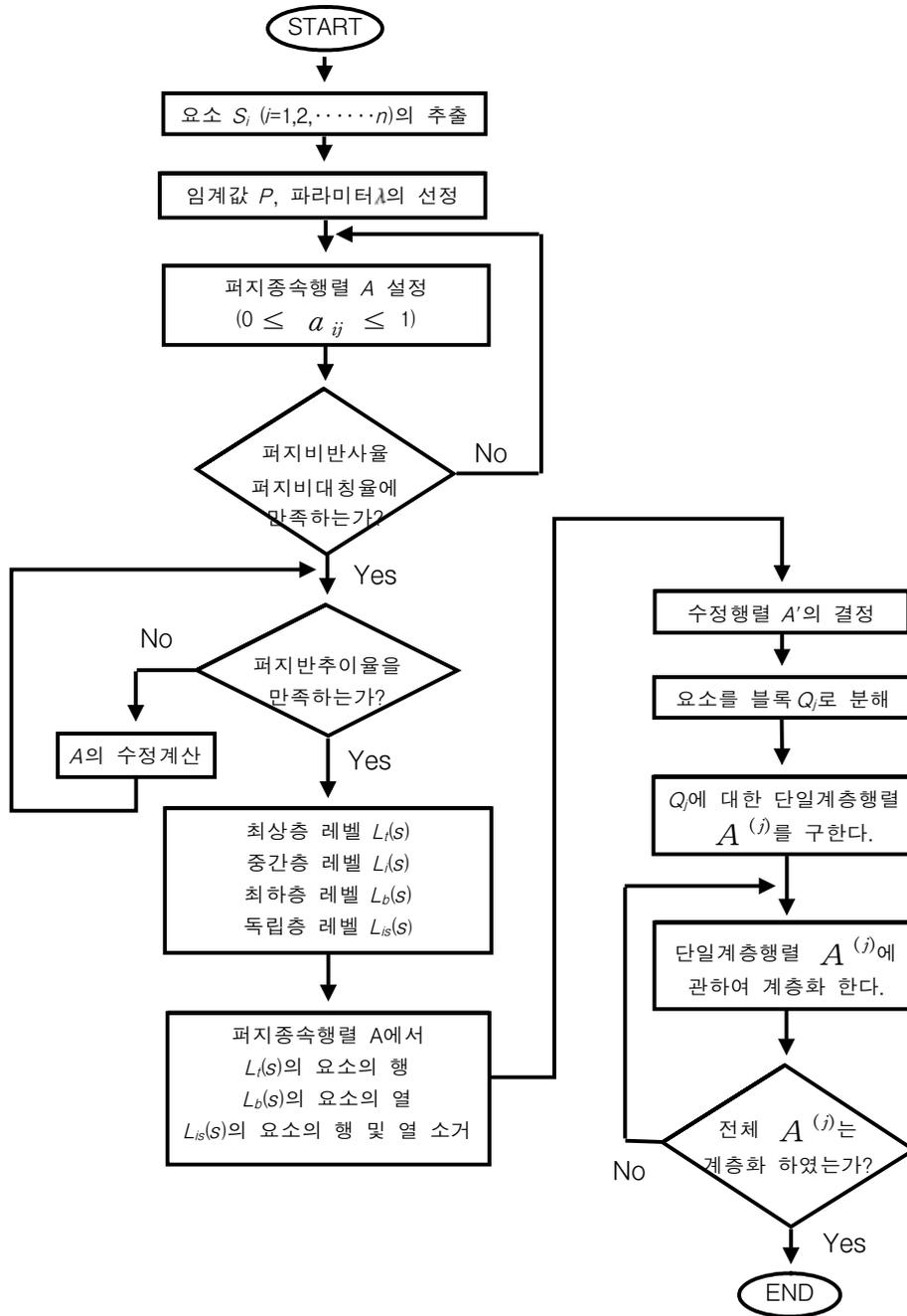


Fig. 4.1 FSM Algorithm

제 5장 선박충돌사고 원인 구조분석

본 장에서는 해상에서 선박충돌사고를 예방하고 선박운항시스템의 안전을 고려하여 현실적으로 인명, 재산, 해양환경오염피해에 대한 그 위험성이 가장 높은 선박충돌사고범주에 FSM기법을 이용하여 인적요소에 대한 의식구조를 분석하고자 해양관련분야의 전문가에게 앙케이트 조사를 실시하여 그 결과를 근거로 구조분석을 실시하였다.

본 연구에서 인적요소의 구조분석에 FSM기법을 적용한 가장 큰 이유는, 첫 번째, 인간의 의사결정과정에서 수반되는 언어 및 사고와 관련된 애매성을 수리적으로 표현하는 것이 가능하다는 것이다. 두 번째, 시스템의 특성이 복잡하여 정량적인 방법으로 해석하기가 어렵거나 정보가 부정확한 경우에 유리하다. 세 번째, 전통적인 논리시스템보다 실제 현상의 근사적이고 부정확한 성질을 표현하는데 효과적인 퍼지이론을 도입한 본 기법의 유효성 때문이다.

따라서, 복잡한 선박충돌사고 원인에 대한 세부적인 인적요소의 계층구조와 각 계층에 속한 요소상호간의 관계를 모델링하여 시스템을 구조화하고자 하였다.

5.1 FSM기법에 의한 인적요소 구조분석

5.1.1 인적요소 자료분석

국내에서 발생한 해양사고 가운데 선박충돌사고에 가장 많은 영향을 미치고 있는 것으로 파악된 인적요소에 대한 관련전문가집단의 직관적인 의식구조를 분석하기 위해서 먼저, 충돌사고에 영향을 미치는 인적요소를 추

출해 내고 양케이트 조사지를 작성하여 각 구성요소 간의 상대적인 영향도 정도(Grade)를 조사지에 기입하도록 하였다. 이 회답자료를 근거로 선박충돌사고에 대한 인적요소의 의식구조 분석을 실시하였다.

양케이트 조사는 국내 해양사고의 조사 및 심판업무를 담당하고 있는 해양안전심판원의 심판관 및 조사관, 현재 해운선사에서 승선근무를 하고 있는 선장 및 항해사, 해양계 대학 실습선에서 예비해기사의 교육과 운항을 담당하고 있는 선장 및 항해사, 그리고 해양수산부 항만국통제(Port State Control : PSC)검사원 및 항만교통관제서비스(Port Traffic Management Service : PTMS)요원과 해양계 대학 관련전문가, 한국해양수산연수원 등을 대상으로 선정하여 실시하였고, 양케이트 결과를 수집하여 분석하였다.

본 양케이트 조사에 사용된 충돌사고에 영향을 미치는 인적요소 항목의 추출 및 선정은 국내외 해양안전심판원재결서의 사고원인분류자료를 토대로 브레인스토밍법을 통하여 실시하였다.

추출된 각 구성요소에 대한 개념을 정리하면, “견시불충분(S_1)”이란 먼저, 충돌사고직전까지 상대선박을 전혀 인식하지 못한 경우와, 상대선을 확인하고 충돌유무를 판단하기 위한 방위변화 등 상대선 동정감시를 불충분하게 하여, 그 결과 충돌을 회피하기 위한 적절한 조치를 취하지 않고, 또한, 경고신호 등 신호불이행 상황에 도달한 경우를 말한다. “항법 미준수(S_2)” 항목은 상대선을 인지하고 충돌을 회피하기 위한 선원상무, 횡단선 항법, 시계제한 시 항법 등과 같은 적절한 피항조치를 취하지 않는 것을 말하며, “신호 불이행(S_3)”이란 경고신호, 주의환기신호, 시계제한 상태에 있어서 무중신호 등을 이행하지 않는 것을 말한다. “속력선정 부적절(S_4)”은 충돌을 회피하기 위해서 처해있는 항행환경에 부합하는 안전한 속력을 준수하지 않는 것을 말하며, “복무에 관한 지휘감독 부적절(S_5)”은 선박운

항과 관련하여 항행안전을 확보하기 위한 전반적인 지휘 및 감독을 제대로 하지 않는 것이다. “등화·형상물 불표시(S₆)”란 타 선박이 본선의 상황을 확인하여 안전항해를 하도록 하고 또한, 본선의 안전을 도모하기 위한 등화·형상물을 제대로 표시하지 않는 것을 말하며, “졸음(S₇)”은 당직근무자의 선교 당직시 피로, 게으름, 나태 및 근무태만 등과 같은 이유로 항해당직을 제대로 이행하지 않는 것이다. “보고·인계 부적절(S₈)”은 선박 운항 중 본선의 안전과 관련하여 이상유무에 대한 상세하고 정확한 보고를 제대로 하지 않는 것과, 당직근무자의 인수인계가 적절하게 이루어지지 않는 것을 말하는 것이다.

Table 5.1은 충돌사고에 영향을 미치는 인적요소에 관한 앙케이트 조사를 위해 추출된 총 9개 항목의 구성요소를 나타낸 것이며, Table 5.2는 앙케이트 조사항목 가운데 하나를 예시한 것으로 앙케이트 회답방법은 다음과 같다. 전체 앙케이트의 상세한 내용은 본 논문의 부록 1에 제시하였다.

Table 5.1 Components of the Questionnaire for Human Factors

요소	요소의 내용	요소	요소의 내용
S ₁	견 시 불 총 분	S ₆	등화·형상물 불표시
S ₂	항 법 미 준 수	S ₇	졸 음
S ₃	신호(무중·주의환기신호) 불이행	S ₈	보 고·인 계 부적절
S ₄	속 력 선정 부적절	S ₉	기 타(본 인 기 재)
S ₅	복무에 관한 지휘감독 부적절		

Table 5.2 Example of the Questionnaire for Human Factors

요소	견 시 불 충 분	항 미 준 수	신 불 이 행	속 선 부 적 절	련 정 절	복 지 감 부 적 절	무 휘 독 적 절	의 형 상 불 표 시	화 물 표 시	졸 음	보 고 인 부 적 절	기 타
견 시 불 충 분	X											

총 9개 질문항목 $S_i (i=1, 2, \dots, 9)$ 에 대하여, 전체 요소의 항목에 대한 $S_i, S_j (i, j=1, 2, \dots, 9 ; i \neq j)$ 의 각 요소간의 상대적인 영향도를 직관적으로 비교하여 주관적인 값을 기입한 후 회답하도록 하였다. 이때, 임의의 요소 S_i 는 나머지 타요소 S_j 에 어느 정도 영향을 미치는가 하는 정도를 앙케이트 조사지에 예시한 영향도를 참고하여 회답란의 요소 a_{ij} 에 퍼지값 [0,1]을 기입한다. a_{ij} 는 소수점이하 1자리, 또는 2자리 값으로 응답하도록 하였다. 단, 실제 앙케이트 조사에서는 “기타항목(S_9)”을 추가하여 S_1 에서 S_8 까지의 이미 정해진 항목이외에 응답자가 생각하는 항목을 직접 기입하도록 한 후 총 9개 항목으로 조사를 실시하였다. 그러나, 이 항목에 대한 전체 응답자의 회답상황이 미미하여 하나의 항목으로 간주하고 분석할 수 없어서 여기서는 제외하고 분석하였다.

본 충돌사고에 영향을 미치는 인적요소에 관한 앙케이트 조사지의 배포 및 수집현황은 총 85부를 배포하여 66부를 회수하였고, 실제 분석이 가능하다고 판단되는(퍼지비반사율, 퍼지반추이율을 만족하는 응답지) 유효한 응답지 25부만을 선별하여 회답용지에 기입된 데이터를 근거자료로 하여 인적요소에 관한 의식구조 분석을 실시하였다.

5.1.2 인적요소 구조모델링

본 연구에서는 양케이트를 실시하고 각 요소간의 영향도를 퍼지수로 나타낸 회답 결과값을 이용하여, 다분히 정성적이고 정량적인 문제에 대한 의식구조를 계층으로 분류하고 각 계층간의 종속관계 및 요소간의 종속관계를 분석하는데 FSM기법을 이용하여 충돌사고에 영향을 미치는 인적요소의 의식구조 모델링을 실시하였다.

본 의식구조 모델링에서 임계값 P 는 FSM기법 알고리즘 Step 2의 레벨 집합정의에 의한 각 레벨을 결정하여 구하고, 요소간의 종속관계를 결정하는 값이다. 또한, 파라미터값 λ 는 각 요소간 일의적인 종속관계를 결정하여 구조그래프를 구하는데 필요한 값이다. 여기서, 요소간 종속관계를 결정하는 P 값은 그 값이 작아짐에 따라 각 레벨을 많이 갖는 계층구조를 형성하게 되고, P 값이 작아지면 퍼지비대칭률이 성립하지 않을 가능성이 커진다. 따라서 적당한 P 값을 할당하여 순차적으로 P 를 변화시켜가면서 가장 타당한 값을 발견하여야 한다. 따라서, 본 구조분석에서는 가장 적합한 임계값을 구하기 위해서 전체 응답자의 양케이트 회답 결과값을 근거로 하여, 이 P 값을 0.60, 0.55, 0.50인 경우로 나누어서 순차적으로 전체응답자에 대한 의식구조 모델링을 실시하였다.

본 연구의 의식구조화 그래프 분석은 전체 응답자와 전문가집단 및 해양안전심판원 그리고, 승선실무자별로 실시하였다. 단, 전체 응답자 1의 분석을 제외한 각 분야별 상세한 분석과정은 본 논문의 부록 2에 제시하였다.

퍼지종속행렬 $A^k = [a_{ij}^k]_{8 \times 8}$ ($k = 1, 2, \dots, 25$)는 25개의 양케이트 회답 데이터를 식 (5.1)을 이용하여 구하고 소수3째 자리에서 반올림했다. 그 결과는 식 (5.2)와 같다.

$$A = [a_{ij}]_{8 \times 8} = \sum_{k=1}^{25} [a_{ij}^k / 25]_{8 \times 8} \quad (5.1)$$

$$A = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.00 & 0.45 & 0.31 & 0.35 & 0.39 & 0.32 & 0.15 & 0.25 \\ 0.55 & 0.00 & 0.38 & 0.32 & 0.37 & 0.27 & 0.19 & 0.17 \\ 0.68 & 0.62 & 0.00 & 0.52 & 0.35 & 0.59 & 0.33 & 0.26 \\ 0.43 & 0.65 & 0.34 & 0.00 & 0.22 & 0.17 & 0.34 & 0.41 \\ 0.71 & 0.63 & 0.65 & 0.60 & 0.00 & 0.62 & 0.56 & 0.24 \\ 0.45 & 0.71 & 0.41 & 0.37 & 0.48 & 0.00 & 0.48 & 0.30 \\ 0.81 & 0.71 & 0.60 & 0.69 & 0.32 & 0.55 & 0.00 & 0.46 \\ 0.65 & 0.73 & 0.62 & 0.58 & 0.46 & 0.60 & 0.38 & 0.00 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5.2)$$

단, 대각요소 $a_{ij} (i=j)$ 은 편의상 0의 수치를 기입하고 있는데, 그 이유는 자기자신의 항목과는 상호간 영향관계를 비교하지 않기 때문이다. 이하의 의식구조 모델링은, 식 (5.2)를 근거로 하여 FSM기법의 알고리즘에 의해 구조분석을 실시하였다.

5.1.3 구조 그래프화

5.1.3.1 전체 응답자 분석 1

선박충돌사고에 대한 인적요소의 “전체 응답자 분석 1”에서는 임계값은 $P=0.60$ 으로 하고, 파라미터값은 $\lambda=0.5$ 으로 하여 구조분석을 실시하였다. 식 (5.2)의 퍼지중속행렬 A 에서 FSM기법 알고리즘 Step 2의 각 레벨집합 정의에 의해 다음과 같이 최상층레벨집합 $L_t(s)$, 중간레벨집합 $L_i(s)$, 최하층레벨집합 $L_b(s)$, 독립레벨집합 $L_{is}(s)$ 으로 각 레벨집합을 분해할 수 있다. 단, 여기서 독립레벨집합은 존재하지 않았다.

$$L_t(s) = \{ S_1, S_2 \}$$

$$L_i(s) = \{ S_3, S_4, S_6 \}$$

$$L_b(s) = \{ S_5, S_7, S_8 \}$$

$$L_{is}(s) = \emptyset$$

이와 같이 구해진 $L_t(s)$ 의 2개 요소 S_1, S_2 는 타 요소에 영향을 미치지 않고 영향을 받기만 한다. 그리고, $L_b(s)$ 의 3개의 요소 S_5, S_7, S_8 은 타 요소로부터 영향을 받지 않지만 다른 계층의 타 요소에 가장 많은 영향력을 미치고 있다. $L_i(s)$ 의 3개의 요소 S_3, S_4, S_6 은 $L_b(s)$ 에서의 영향을 $L_t(s)$ 에 미치는 중간적인 역할을 하는 요소이고, $L_{is}(s)$ 는 다른 어느 요소에 대하여도 독립되어 영향을 주지도 받지도 않는 것을 의미하고 이 경우에는 하나의 요소도 존재하지 않는다. 이 경우의 최하층레벨에 속한 요소로서 최상층레벨에 종속되는 블록 집합 Q_i 는 $\{ S_1, S_2 \}$ 이며 $L_t(s)$ 와 일치한다.

알고리즘 Step 3에 의해 식 (5.2)의 퍼지종속행렬 A 에서 불필요한 행과 열 즉, 최상층레벨에 속하여 다른 계층의 타 요소에 종속되지 않는 $L_t(s)$ 에 대응하는 행과, 최하층레벨에 속하여 다른 계층의 요소로부터 영향을 받지 않는 $L_b(s)$ 에 대응하는 열, 그리고 영향을 주지도 받지도 않아 종속관계에 해당하지 않는 $L_{is}(s)$ 에 대응하는 행과 열을 삭제하여 식 (5.3)의 새로운 행렬 A' 를 얻을 수 있다.

$$A' = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_6 \\ S_3 & 0.68 & 0.62 & 0.00 & 0.52 & 0.59 \\ S_4 & 0.43 & 0.65 & 0.34 & 0.00 & 0.17 \\ S_5 & 0.71 & 0.63 & 0.65 & 0.60 & 0.62 \\ S_6 & 0.45 & 0.71 & 0.41 & 0.37 & 0.00 \\ S_7 & 0.81 & 0.71 & 0.60 & 0.69 & 0.55 \\ S_8 & 0.65 & 0.73 & 0.62 & 0.58 & 0.60 \end{matrix} \quad (5.3)$$

행렬 $A^{(k)}$ 에 있는 행(열)이 $a_{ij}^k \geq P$ 를 만족한 단일요소 a_{ij}^k 만을 포함하고 있으면 그것을 정칙(Regular)행(열)이라 하고, 이 정칙행(열)은 S_i 와 S_j 의 사이에 일의적인 종속관계를 표시하고 있다. 그러므로, 정칙행(열)을 그래프상에 그리고 나면, 그 행 또는 열은 행렬 $A^{(j)}$ 에서 소거할 수 있다.

이상의 결과를 정리하면, 식 (5.3)의 S_2 열에 대한 정칙행은 S_4 와 S_6 이고, S_2 에 직접 종속한 요소를 결정하기 때문에 S_2 열을 다음 식 (5.4)의 연산에 의해서 치환한다.

알고리즘 Step 5에 따라 식 (5.4)에 의한 연산을 하는 것은 단일계층행렬 $A^{(j)}$ 에서 S_j 열에 대한 정칙행을 S_i 로 할 때, $[a \cdot_j]$ 를 $[a \cdot_j^*]$ 로 치환하여 S_j 에 직접 종속한 요소를 파라미터 λ 값에 따라서 일의적으로 결정하는 것을 의미한다. 단, 식 (5.5)에서 $a \wedge b$ 는 $\min(a,b)$ 를 의미하며, 일반적으로 퍼지집합 A 의 요소와 그 보집합 \overline{A} 의 요소와 소속(membership)관계에 따른 특성을 부여한다.

$$\overline{\mu_A} = \frac{1 - \mu_A}{1 + \lambda \mu_A} \quad (5.4)$$

식 (5.4)에서 파라미터 λ 는 종속관계의 세분화 정도 즉, 종속관계를 상

세히 또는 간략하게 나타내는 요소라 할 수 있고, 이와 같은 의식구조분석에 유효한 $\lambda=0.5$ 를 이용하였다.²³⁾

알고리즘 Step 5.에 의해서 식 (5.5)를 계산하여 Fig. 5.1의 구조그래프(1)을 구하고, 식 (5.6)의 새로운 행렬 A_1 을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 S_2^* &= S_2 \wedge \overline{S_4} \wedge \overline{S_6} \\
 &= \begin{bmatrix} 0.62 \\ 0.65 \\ 0.63 \\ 0.71 \\ 0.71 \\ 0.73 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.38 \\ 1.00 \\ 0.31 \\ 0.53 \\ 0.23 \\ 0.33 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.32 \\ 0.76 \\ 0.29 \\ 1.00 \\ 0.35 \\ 0.31 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.32 \\ 0.65 \\ 0.29 \\ 0.53 \\ 0.23 \\ 0.31 \end{bmatrix} \quad (5.5)
 \end{aligned}$$

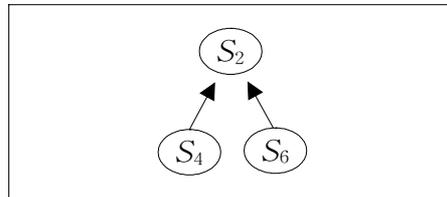


Fig. 5.1 FSM Graph(1)

$$A_1 = \begin{matrix} & S_1 & S_3 & S_4 & S_6 \\ \begin{matrix} S_3 \\ S_5 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.68 & 0.00 & 0.52 & 0.59 \\ 0.71 & 0.65 & 0.60 & 0.62 \\ 0.81 & 0.60 & 0.69 & 0.55 \\ 0.65 & 0.62 & 0.58 & 0.60 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5.6)$$

식 (5.6)에서 S_1 열에 대한 정칙행은 S_3 이고, S_1 에 직접 종속한 요소를 결정하기 때문에 S_1 열을 식 (5.4)의 연산에 의해서 치환하고, 식 (5.7)을 계산하여 Fig. 5.2의 구조그래프(2)를 구하고, 식 (5.8)의 새로운 행렬 A_2 가 생성된다.

$$S_1^* = S_1 \wedge \overline{S_3} = \begin{bmatrix} 0.68 \\ 0.71 \\ 0.81 \\ 0.65 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 1.00 \\ 0.26 \\ 0.31 \\ 0.29 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.68 \\ 0.26 \\ 0.31 \\ 0.29 \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

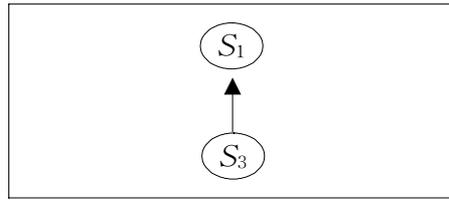


Fig. 5.2 FSM Graph(2)

$$A_2 = \begin{matrix} & S_3 & S_4 & S_6 \\ S_5 & \begin{bmatrix} 0.65 & 0.60 & 0.62 \end{bmatrix} \\ S_7 & \begin{bmatrix} 0.60 & 0.69 & 0.55 \end{bmatrix} \\ S_8 & \begin{bmatrix} 0.62 & 0.58 & 0.60 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5.8)$$

식 (5.8)에서 더 이상 정칙행(열)은 없고, $L_b(s)$ 인 3개의 요소 S_5, S_7, S_8 과 $L_i(s)$ 인 S_3, S_4, S_6 에 대한 일의적인 종속관계를 파악할 수 있게 되며, Fig. 5.3의 구조그래프(3)을 구할 수 있게된다.

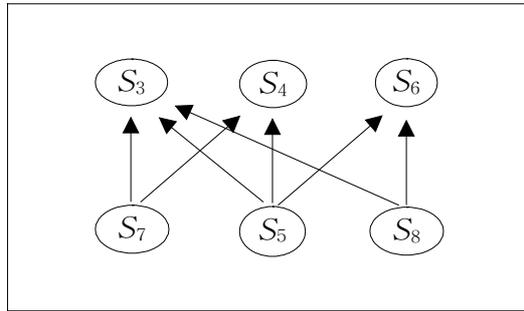


Fig. 5.3 FSM Graph(3)

지금까지의 구조그래프를 종합하여 선박충돌사고에 영향을 미치는 인적 요소에 관한 의식구조를 분석할 수 있는 최종구조그래프(4)를 구하면 Fig. 5.4와 같다.

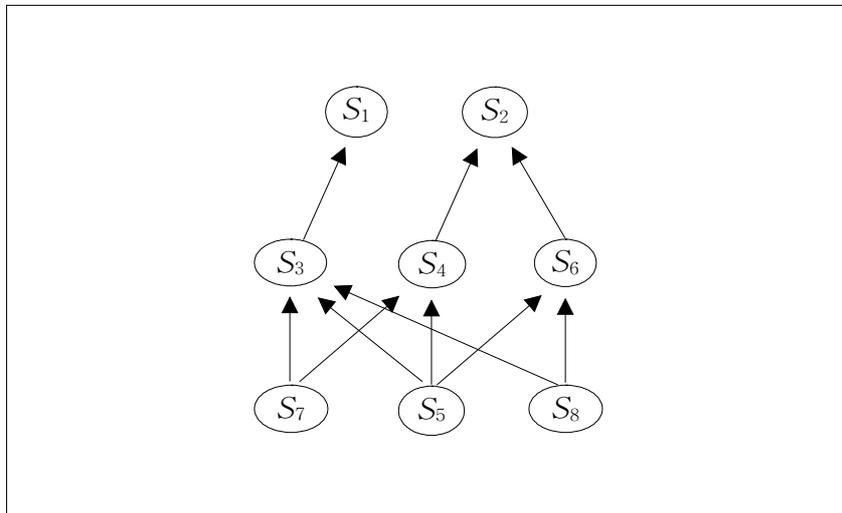


Fig. 5.4 FSM Result Graph(4) ($P=0.60$, $\lambda=0.50$)

이 경우의 의식구조 분석결과는 Fig. 5.4의 최종구조그래프에 보이는 바와 같이 선박충돌사고에 영향을 미치는 각 계층의 분류에서 가장 직접적인 영향을 미치는 요소는 최상층레벨집합에 속한 “견시불충분(S_1)”과 “항법미준수(S_2)” 항목으로 파악되었다.

다음으로 영향을 미치는 항목은 중간레벨집합에 속한 “신호(무중신호, 주의환기 신호 및 경고신호 등)불이행(S_3)”과 “속력선정 부적절(S_4)” 및 “등화·형상물 불표시(S_6)”였고, 최하층레벨집합에서 타 요소에 가장 많은 영향을 미치는 항목은 “복무에 관한 지휘감독 부적절(S_5)”과 “졸음(S_7)” 및 “보고·인계의 부적절(S_8)”로 파악되었다.

각 계층의 요소간 영향을 미치는 상호관계를 분석하면, 최하층레벨집합의 요소 중에서 “복무에 관한 지휘감독 부적절” 항목은 중간레벨집합의 3개 요소 모두에게 긴밀하게 영향을 미치고 있으나, 나머지 요소 “졸음”과 “보고·인계의 부적절” 항목은 각각 2개의 중간레벨요소에만 영향을 미치고 있는 것으로 파악할 수 있다. 그리고, 중간레벨집합의 “신호불이행” 항목은 최하층레벨집합의 모든 항목으로부터 영향을 받아서 최상층레벨의 “견시불충분” 항목에만 영향을 미치고 있으며, 다른 2개의 요소 “속력선정 부적절” 및 “등화·형상물 불표시”는 “항법미준수” 항목에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

5.1.3.2 전체 응답자 분석 2

충돌사고에 대한 인적요소의 “전체 응답자 분석 2”에서는 각 요소간의 종속관계를 나타내는 임계값은 $P=0.55$, 파라미터값은 $\lambda=0.5$ 로 하여 구조분석을 실시하였다. 식 (5.2)의 퍼지종속행렬 A에서 각 레벨집합의 정의에 의해 다음과 같이 $L_t(s)$, $L_i(s)$, $L_b(s)$, $L_{is}(s)$ 로 각 레벨집합이 분류되었다.

$$L_t(s) = \{ S_1 \}$$

$$L_i(s) = \{ S_2, S_3, S_4, S_6, S_7 \}$$

$$L_b(s) = \{ S_5, S_8 \}$$

$$L_{is}(s) = \emptyset$$

$L_t(s)$ 의 1개의 요소 S_1 은 타 요소에 영향을 미치지 않고 영향을 받기만 한다. $L_b(s)$ 의 2개의 요소 S_5, S_8 은 타 요소로부터 영향을 받지 않지만 타 요소에 가장 많은 영향력을 미치고 있다. $L_i(s)$ 의 5개의 요소 S_2, S_3, S_4, S_6, S_7 은 $L_b(s)$ 에서의 영향을 $L_t(s)$ 에 전하는 중간적인 존재이고, 이 경우의 블록 집합 Q 는 $\{ S_1 \}$ 이며 $L_t(s)$ 과 일치한다.

행렬 A 에서 불필요한 행과 열 즉, $L_t(s)$ 에 대응하는 행, $L_b(s)$ 에 대응하는 열, $L_{is}(s)$ 에 대응하는 행과 열을 삭제하여 식 (5.9)의 새로운 행렬 A' 를 구하고, 이 식을 이용하여 FSM기법의 알고리즘에 의해서 최종구조그래프 Fig. 5.5를 구하였다.

$$A' = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_6 & S_7 \\ \begin{matrix} S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.55 & 0.00 & 0.38 & 0.32 & 0.27 & 0.19 \\ 0.68 & 0.62 & 0.00 & 0.52 & 0.59 & 0.33 \\ 0.43 & 0.65 & 0.34 & 0.00 & 0.17 & 0.34 \\ 0.71 & 0.63 & 0.65 & 0.60 & 0.62 & 0.56 \\ 0.45 & 0.71 & 0.41 & 0.37 & 0.00 & 0.48 \\ 0.81 & 0.71 & 0.60 & 0.69 & 0.55 & 0.00 \\ 0.65 & 0.73 & 0.62 & 0.58 & 0.60 & 0.38 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5.9)$$

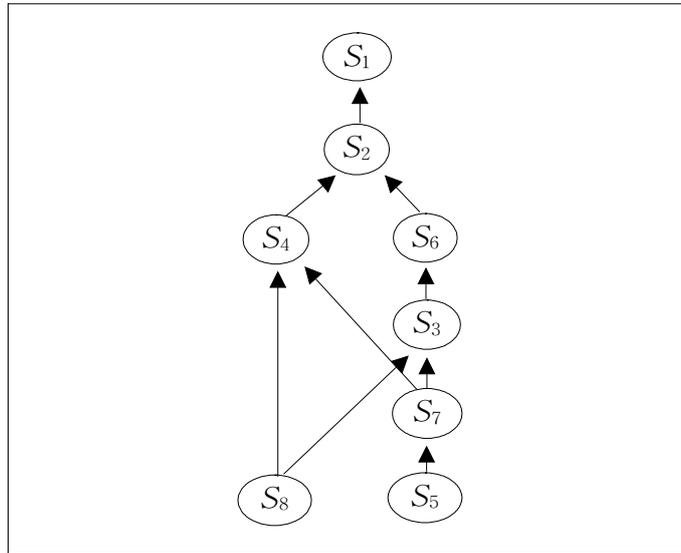


Fig. 5.5 FSM Result Graph ($P=0.55$, $\lambda=0.50$)

이 경우의 의식구조 분석결과는 “전체 응답자 분석 1”의 결과인 Fig. 5.4와 비교하여 차이가 있음을 알 수 있다. Fig. 5.5의 최종구조그래프에 보이는 바와 같이 $L_i(s)$ 에 속한 요소들의 종속관계가 복잡하게 형성되어 있고, 선박충돌사고에 가장 직접적인 영향을 미치는 요소는 $L_i(s)$ 에 속한 “견시불충분(S_1)” 항목으로 파악되었다.

다음으로 영향을 미치는 항목은 $L_i(s)$ 에 속한 “항법미준수(S_2)”, “신호불이행(S_3)”과 “속력선정 부적절(S_4)” 및 “등화·형상물 불표시(S_6)”, “줄음(S_7)” 등의 5개 항목이며 4개의 계층으로 나누어져 있다. $L_b(s)$ 에서 타 요소에 가장 많은 영향을 미치는 항목은 “복무에 관한 지휘감독 부적절(S_5)”과 “보고·인계의 부적절(S_8)”로 파악되었다.

$L_b(s)$ 의 항목 중에서 “복무에 관한 지휘감독 부적절” 항목은 $L_i(s)$ 의 “줄음” 항목에만 영향을 미치고 있고, “보고·인계의 부적절” 항목은 $L_i(s)$ 에

속하는 “속력선정 부적절” 항목과 “신호불이행” 항목에 영향을 미치고 있는 것을 파악할 수 있다. 그리고 $L_i(s)$ 의 4개 계층에서 가장 하위계층으로 볼 수 있는 “졸음” 항목은 $L_b(s)$ 의 1개의 항목에 관련되어 있고 “신호불이행” 및 “속력선정 부적절” 항목에 긴밀하게 관련되어 있음을 파악할 수 있다. 또한 “신호불이행” 항목은 “등화·형상물 불표시” 항목에만 영향을 미치고 $L_i(s)$ 의 가장 상위계층인 “항법미준수” 항목은 “속력선정 부적절”과 “신호불이행” 항목의 영향을 받아 $L_i(s)$ 의 “견시불충분” 항목에 긴밀하게 영향을 미치고 있는 것을 파악할 수 있다.

이상의 분석결과에서 견시불충분 항목이 가장 직접적으로 선박충돌사고를 유발시키는 원인요소로 작용하고 있지만, 여기에 타 요소들이 미치는 영향력이 복합적으로 사고를 촉진시키는 역할을 하고 있다는 것을 간과 할 수 없다. Fig. 5.5에서 선박운항에 관한 보고 및 인수인계를 철저히 하면 이 항목이 직접적으로 영향을 미치고 있는 속력선정 부적절 항목과 신호불이행 항목도 그 파급효과로 인하여 타 요소에 작용하는 영향력이 감소되고 사고발생비율은 감소될 수 있다. 또한, 복무에 관한 지휘감독을 철저히 수행한다면 이 항목에 직접영향을 받고 있는 졸음 항목이 타 요소에 미치는 영향력을 제어하게 되어 선박의 안전운항 가능성을 높아지게 될 것이다.

5.1.3.3 전체 응답자 분석 3

충돌사고에 대한 인적요소의 “전체 응답자 분석 3”에서는 각 요소간의 종속관계를 나타내는 임계값은 $P=0.50$, 파라미터값은 $\lambda=0.5$ 로 하여 구조 분석을 실시하였다. 식 (5.2)의 퍼지종속행렬 A 에서 각 레벨집합의 정의에 의해 다음과 같이 $L_t(s)$, $L_i(s)$, $L_b(s)$, $L_{is}(s)$ 로 각 레벨집합이 분류되었다.

$$L_t(s) = \{ S_1 \}$$

$$L_i(s) = \{ S_2, S_3, S_4, S_6, S_7 \}$$

$$L_b(s) = \{ S_5, S_8 \}$$

$$L_{is}(s) = \emptyset$$

$L_t(s)$ 의 1개의 요소 S_1 은 타 요소에 영향을 미치지 않고 영향을 받기만 한다. $L_b(s)$ 의 2개의 요소 S_5, S_8 은 타 요소로부터 영향을 받지 않지만 타 요소에 가장 많은 영향력을 미치고 있다. $L_i(s)$ 의 5개의 요소 S_2, S_3, S_4, S_6, S_7 은 $L_b(s)$ 에서의 영향을 $L_t(s)$ 에 전하는 중간적인 존재이고, 이 경우의 블록 집합 Q_i 는 $\{ S_1 \}$ 이며 $L_t(s)$ 과 일치한다.

알고리즘에 의해서 행렬 A 에서 불필요한 행과 열 즉, $L_t(s)$ 에 대응하는 행, $L_b(s)$ 에 대응하는 열, $L_{is}(s)$ 에 대응하는 행과 열을 삭제하여 식 (5.10)의 새로운 행렬 A' 를 구하고, 이 식을 이용하여 FSM기법의 알고리즘에 의해서 최종구조그래프 Fig. 5.6를 구하였다.

$$A' = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_6 & S_7 \\ \begin{matrix} S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccccc} 0.55 & 0.00 & 0.38 & 0.32 & 0.27 & 0.19 \\ 0.68 & 0.62 & 0.00 & 0.52 & 0.59 & 0.33 \\ 0.43 & 0.65 & 0.34 & 0.00 & 0.17 & 0.34 \\ 0.71 & 0.63 & 0.65 & 0.60 & 0.62 & 0.56 \\ 0.45 & 0.71 & 0.41 & 0.37 & 0.00 & 0.48 \\ 0.81 & 0.71 & 0.60 & 0.69 & 0.55 & 0.00 \\ 0.65 & 0.73 & 0.62 & 0.58 & 0.60 & 0.38 \end{array} \right. \end{matrix} \quad (5.10)$$

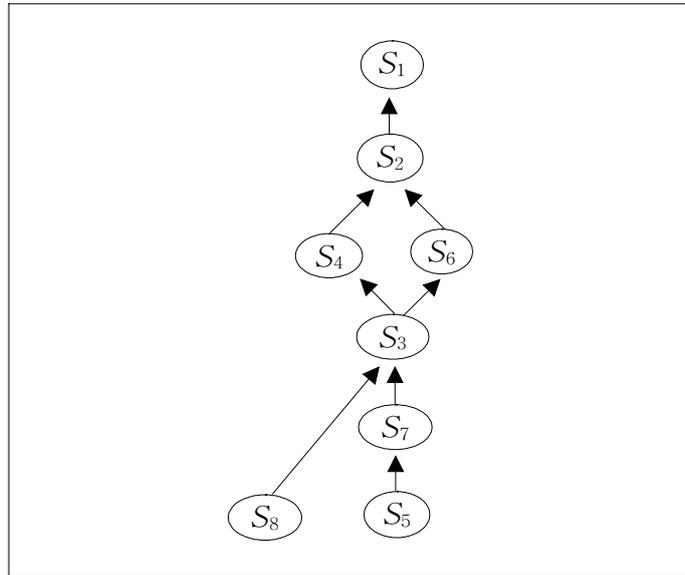


Fig. 5.6 FSM Result Graph ($P=0.50, \lambda=0.50$)

이 경우의 의식구조 분석결과는 전체 응답자 분석 1, 2의 최종구조그래프 결과인 Fig. 5.4과 Fig. 5.5에 비교하여 차이가 있음을 알 수 있다. 선박 충돌사고에 영향을 미치는 각 계층에 속한 요소는 “전체 응답자 분석 2”의 경우와 동일하였다. 하지만 각 계층의 요소 상호간의 관계를 살펴보면 다음과 같다.

$L_b(s)$ 의 2개의 요소 중에서 “복무에 관한 지휘감독 부적절” 항목은 $L_i(s)$ 의 “졸음” 항목에만 영향을 미치고 있고, “보고·인계의 부적절” 항목은 $L_i(s)$ 에 속하는 “신호불이행” 항목에만 영향을 미치고 있는 것을 파악할 수 있다. 그리고 $L_i(s)$ 의 4개 계층에서 가장 하위계층으로 볼 수 있는 “졸음” 항목은 “신호불이행” 항목에 관련되어 있음을 파악할 수 있다. 또한 “신호불이행” 항목은 “등화·형상물” 항목과 “속력선정 부적절” 항목에 긴밀하

게 영향을 미치고 있으며, $L_t(s)$ 의 가장 상위계층인 “항법미준수” 항목은 동일계층의 “속력선정 부적절”과 “신호불이행” 항목의 영향을 받아 $L_t(s)$ 의 “견시불충분” 항목에 최종적으로 영향을 미치고 있는 것을 파악할 수 있었다.

5.1.3.4 전문가집단 분석

학계, 해양수산부 항만국통제 검사원 등 관련 전문가집단의 앙케이트 회답데이터를 근거로 선박충돌사고에 대한 인적요소의 각 요소간 종속관계를 결정하는 임계값 P 는 0.55, λ 는 0.5으로 구조분석을 실시하였다. 퍼지종속행렬 $A^k = [a_{ij}^k]_{8 \times 8}$ ($k = 1, 2, \dots, 10$)는 10개의 앙케이트 데이터에 근거하여 식 (5.10)를 이용하여 구하고, 그 결과는 식 (5.11)과 같다.

$$A = [a_{ij}]_{8 \times 8} = \sum_{k=1}^{10} [a_{ij}^k / 10]_{8 \times 8} \quad (5.10)$$

$$A = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.00 & 0.48 & 0.36 & 0.23 & 0.42 & 0.38 & 0.14 & 0.19 \\ 0.60 & 0.00 & 0.37 & 0.31 & 0.40 & 0.25 & 0.23 & 0.15 \\ 0.64 & 0.61 & 0.00 & 0.42 & 0.38 & 0.54 & 0.37 & 0.24 \\ 0.55 & 0.63 & 0.41 & 0.00 & 0.21 & 0.22 & 0.29 & 0.35 \\ 0.72 & 0.61 & 0.63 & 0.58 & 0.00 & 0.60 & 0.45 & 0.28 \\ 0.56 & 0.68 & 0.34 & 0.28 & 0.45 & 0.00 & 0.36 & 0.30 \\ 0.78 & 0.62 & 0.58 & 0.63 & 0.16 & 0.46 & 0.00 & 0.25 \\ 0.61 & 0.71 & 0.60 & 0.56 & 0.35 & 0.43 & 0.31 & 0.00 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5.11)$$

단, 대각요소 a_{ij} 은 편의상 0의 수치를 기입하고 있는데, 그 이유는 자기 자신의 항목과는 상호간 영향관계를 비교하지 않기 때문이다. 이하의 의식 구조 모델링은, 식 (5.11)를 근거로 하여 구조분석을 실시하였다. 퍼지종속

행렬 A 에서 다음과 같이 각 레벨집합으로 분해할 수 있다.

$$L_t(s) = \{ S_1 \}$$

$$L_i(s) = \{ S_2, S_3, S_4, S_6 \}$$

$$L_b(s) = \{ S_5, S_7, S_8 \}$$

$$L_{is}(s) = \emptyset$$

$L_t(s)$ 1개의 요소는 S_1 으로 타요소에 영향을 미치지 않고 영향을 받기만 하며, $L_b(s)$ 3개의 요소 S_5, S_7, S_8 는 타 요소로부터 영향을 받지 않지만 다른 계층의 타 요소에 가장 많은 영향력을 미치고 있다. $L_i(s)$ 의 4개의 요소 S_2, S_3, S_4, S_6 는 $L_b(s)$ 의 영향을 $L_t(s)$ 에 전하는 중간적인 역할을 한다. 이 경우의 블록 집합 Q_i 는 $\{ S_1 \}$ 이며 $L_t(s)$ 와 일치한다.

퍼지종속행렬 A 에서 $L_t(s)$ 에 대응하는 행, $L_b(s)$ 에 대응하는 열을 삭제하여 식 (5.12)의 새로운 행렬 A' 를 구하고, 이 식을 이용하여 FSM기법의 알고리즘에 의해서 전문가집단의 의식구조를 분석할 수 있는 최종구조그래프 Fig. 5.7를 구하였다.

$$A' = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_6 \\ \begin{matrix} S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.60 & 0.00 & 0.27 & 0.31 & 0.25 \\ 0.64 & 0.61 & 0.00 & 0.42 & 0.34 \\ 0.55 & 0.63 & 0.41 & 0.00 & 0.32 \\ 0.72 & 0.61 & 0.63 & 0.58 & 0.60 \\ 0.56 & 0.68 & 0.34 & 0.28 & 0.00 \\ 0.78 & 0.62 & 0.58 & 0.63 & 0.46 \\ 0.61 & 0.71 & 0.60 & 0.56 & 0.43 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5.12)$$

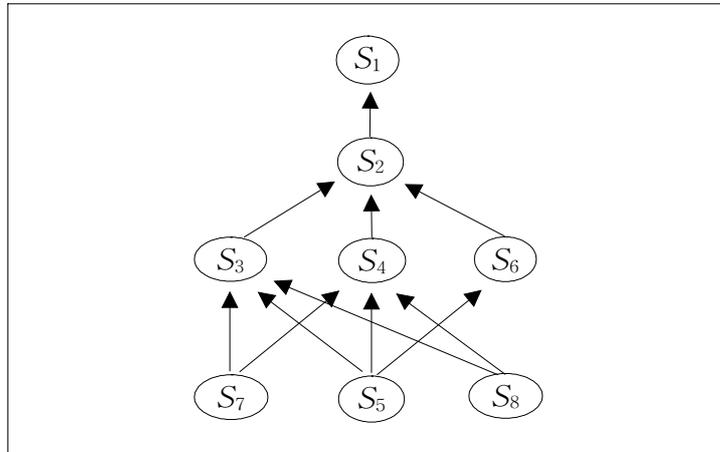


Fig. 5.7 FSM Result Graph ($P=0.55$, $\lambda=0.50$)

전문가집단의 의식구조 분석결과는 Fig. 5.7의 최종구조그래프와 같이 선박충돌사고에 가장 직접적인 영향을 미치는 요소는 $L_i(s)$ 에 속한 “견시불충분(S_1)”항목으로 파악되었다. 다음으로 영향을 미치는 항목은 $L_i(s)$ 에 속한 “항법미준수(S_2)”, “신호불이행(S_3)”과 “속력선정 부적절(S_4)” 및 “등화·형상물 불표시(S_6)”였고, $L_b(s)$ 에서 타 요소에 가장 많은 영향을 미치는 항목은 “복무에 관한 지휘감독 부적절(S_5)”과 “졸음(S_7)” 및 “보고·인계의 부적절(S_8)”로 파악되었다.

$L_b(s)$ 의 각 항목은 모두 $L_i(s)$ 의 항목에 긴밀하게 관련영향을 미치고 있는데, “복무에 관한 지휘감독 부적절” 항목은 $L_i(s)$ 의 “신호불이행”과 “속력선정 부적절” 및 “등화·형상물 불표시” 항목에 영향을 미치고 있었다. $L_i(s)$ 의 항목의 “신호불이행”과 “속력선정 부적절”, “등화·형상물 불표시” 항목은 동일계층의 “항법미준수” 항목에 직접적으로 영향을 미치고 있고, $L_i(s)$ 의 항목에서 “항법미준수” 항목이 $L_i(s)$ 의 “견시불충분” 항목에 직접적으로 영향을 미치고 있음을 파악하였다.

5.1.3.5 해양안전심판원 분석

해양안전심판원의 심판관 및 조사관의 양케이트 회답데이터를 근거로 선박충돌사고에 대한 인적요소의 각 요소간 종속관계를 결정하는 임계값 P 는 0.55, λ 는 0.5으로 구조분석을 실시하였다.

퍼지종속행렬 $A^k = [a_{ij}^k]_{8 \times 8}$ ($k=1, 2, \dots, 8$)는 8개의 양케이트 데이터를 식 (5.13)을 이용하여 구하고, 그 결과는 식 (5.14)과 같다.

$$A = [a_{ij}]_{8 \times 8} = \sum_{k=1}^8 [a_{ij}^k / 8]_{8 \times 8} \quad (5.13)$$

$$A = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.00 & 0.40 & 0.27 & 0.40 & 0.39 & 0.26 & 0.18 & 0.22 \\ 0.54 & 0.00 & 0.31 & 0.35 & 0.29 & 0.23 & 0.15 & 0.20 \\ 0.68 & 0.58 & 0.00 & 0.45 & 0.31 & 0.49 & 0.30 & 0.28 \\ 0.38 & 0.64 & 0.30 & 0.00 & 0.18 & 0.16 & 0.32 & 0.37 \\ 0.74 & 0.65 & 0.59 & 0.57 & 0.00 & 0.63 & 0.61 & 0.19 \\ 0.35 & 0.70 & 0.41 & 0.35 & 0.43 & 0.00 & 0.29 & 0.27 \\ 0.79 & 0.68 & 0.54 & 0.50 & 0.41 & 0.45 & 0.00 & 0.39 \\ 0.68 & 0.69 & 0.64 & 0.57 & 0.45 & 0.62 & 0.36 & 0.00 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5.14)$$

단, 대각요소 a_{ij} 은 편의상 0의 수치를 기입하고 있는데, 그 이유는 자기 자신의 항목과는 상호간 영향관계를 비교하지 않기 때문이다. 이하의 의식 구조 모델링은, 식 (5.14)를 근거로 하여 구조분석을 실시하였다. 퍼지종속행렬 A 에서 다음과 같이 각 레벨집합으로 분해할 수 있다.

$$L_t(s) = \{ S_1, S_2 \}$$

$$L_i(s) = \{ S_3, S_4, S_6, S_7 \}$$

$$L_b(s) = \{ S_5, S_8 \}$$

$$L_{is}(s) = \emptyset$$

$L_t(s)$ 2개의 요소는 S_1, S_2 으로 타 요소에 영향을 미치지 않고 영향을 받기만 하며, $L_b(s)$ 2개의 요소 S_5, S_8 는 타 요소로부터 영향을 받지 않지만 다른 계층의 타 요소에 가장 많은 영향력을 미치고 있다. $L_i(s)$ 의 4개의 요소 S_3, S_4, S_6, S_7 는 $L_b(s)$ 의 영향을 $L_t(s)$ 에 전하는 중간적인 역할을 한다. 이 경우의 블록 집합 Q_i 는 $\{ S_1, S_2 \}$ 이며 $L_t(s)$ 와 일치한다. 퍼지중속행렬 A 에서 $L_t(s)$ 에 대응하는 행, $L_b(s)$ 에 대응하는 열을 삭제하여 식 (5.15)의 새로운 행렬 A' 를 구하고, 이 식을 이용하여 FSM기법의 알고리즘에 의해서 해양안전심판원의 의식구조를 분석할 수 있는 최종구조그래프 Fig. 5.8을 구하였다.

$$A' = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_6 & S_7 \\ \begin{matrix} S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccccc} 0.68 & 0.58 & 0.00 & 0.45 & 0.49 & 0.30 \\ 0.38 & 0.64 & 0.30 & 0.00 & 0.16 & 0.32 \\ 0.74 & 0.65 & 0.59 & 0.57 & 0.63 & 0.61 \\ 0.35 & 0.70 & 0.41 & 0.35 & 0.00 & 0.29 \\ 0.79 & 0.68 & 0.54 & 0.50 & 0.45 & 0.00 \\ 0.68 & 0.69 & 0.64 & 0.57 & 0.62 & 0.36 \end{array} \right. \end{matrix} \quad (5.15)$$

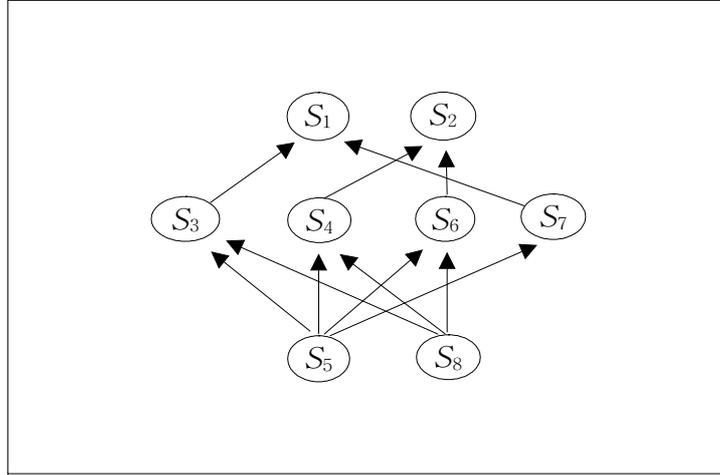


Fig. 5.8 FSM Result Graph ($P=0.55, \lambda=0.50$)

해양안전심판원의 의식구조 분석결과는 Fig. 5.8의 최종구조그래프와 같이 선박충돌사고에 가장 직접적인 영향을 미치는 요소는 $L_i(s)$ 에 속한 “건시불충분(S_1)”과 “항법미준수(S_2)” 항목으로 파악되었다. 다음으로 영향을 미치는 항목은 $L_i(s)$ 에 속한 “신호불이행(S_3)”과 “속력선정 부적절(S_4)” 및 “등화·형상물 불표시(S_6)”, “졸음(S_7)”였고, $L_b(s)$ 에서 타 요소에 가장 많은 영향을 미치는 항목은 “복무에 관한 지휘감독 부적절(S_5)”과 “보고·인계의 부적절(S_8)”로 파악되었다. $L_b(s)$ 의 항목 중에서 “복무에 관한 지휘감독 부적절” 항목은 $L_i(s)$ 의 4개의 항목 모두에게 긴밀하게 관련영향을 미치고 있고, $L_i(s)$ 의 “신호불이행” 항목과 “졸음” 항목이 $L_i(s)$ 의 “건시불충분”에 밀접하게 영향을 미치고 있으며, 다른 2개의 항목은 “항법미준수” 항목에 영향을 미치고 있음을 파악하였다.

5.1.3.6 승선실무자 분석

해상근무에 종사하는 선장, 일등항해사 등 승선실무자의 앙케이트 회답 데이터를 근거로 선박충돌사고에 대한 인적요소의 각 요소간 종속관계를 결정하는 임계값 P 는 0.55, λ 는 0.5로 구조분석을 실시하였다.

퍼지종속행렬 $A^k = [a_{ij}^k]_{8 \times 8}$ ($k = 1, 2, \dots, 7$)는 7개의 앙케이트 데이터를 식 (5.16)을 이용하여 구하고, 그 결과는 식 (5.17)와 같다.

$$A = [a_{ij}]_{8 \times 8} = \sum_{k=1}^7 [a_{ij}^k / 7]_{8 \times 8} \quad (5.16)$$

$$A = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.00 & 0.47 & 0.30 & 0.42 & 0.36 & 0.32 & 0.13 & 0.34 \\ 0.51 & 0.00 & 0.46 & 0.30 & 0.42 & 0.33 & 0.19 & 0.16 \\ 0.72 & 0.66 & 0.00 & 0.69 & 0.36 & 0.49 & 0.32 & 0.26 \\ 0.36 & 0.68 & 0.31 & 0.00 & 0.27 & 0.13 & 0.41 & 0.44 \\ 0.67 & 0.63 & 0.73 & 0.64 & 0.00 & 0.65 & 0.60 & 0.25 \\ 0.44 & 0.74 & 0.48 & 0.47 & 0.43 & 0.00 & 0.52 & 0.33 \\ 0.83 & 0.75 & 0.63 & 0.59 & 0.32 & 0.60 & 0.00 & 0.49 \\ 0.64 & 0.76 & 0.62 & 0.59 & 0.47 & 0.64 & 0.45 & 0.00 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5.17)$$

단, 대각요소 a_{ij} 은 편의상 0의 수치를 기입하고 있는데, 그 이유는 자기 자신의 항목과는 상호간 영향관계를 비교하지 않기 때문이다. 이하의 의식 구조 모델링은 식 (5.17)을 근거로 하여 구조분석을 실시하였다. 퍼지종속행렬 A 에서 다음과 같이 각 레벨집합을 분해할 수 있다.

$$L_i(s) = \{ S_1, S_2 \}$$

$$L_t(s) = \{ S_3, S_4, S_6, S_7 \}$$

$$L_b(s) = \{ S_5, S_8 \}$$

$$L_{is}(s) = \emptyset$$

$L_t(s)$ 2개의 요소는 S_1, S_2 으로 타요소에게 영향을 미치지 않고 영향을 받기만 하며, $L_b(s)$ 2개의 요소 S_5, S_8 는 타 요소로부터 영향을 받지 않지만 다른 계층의 타 요소에게 가장 많은 영향력을 미치고 있다. $L_t(s)$ 의 4개의 요소 S_3, S_4, S_6, S_7 는 $L_b(s)$ 의 영향을 $L_t(s)$ 에 전하는 중간적인 역할을 한다. 이 경우의 블록 집합 Q_i 는 $\{ S_1, S_2 \}$ 이며 $L_t(s)$ 와 일치한다. 퍼지중속행렬 A 에서 $L_t(s)$ 에 대응하는 행, $L_b(s)$ 에 대응하는 열을 삭제하여 식 (5.18)의 새로운 행렬 A' 를 구하고, 이 식을 이용하여 FSM기법의 알고리즘에 의해서 승선실무자의 의식구조를 분석할 수 있는 최종구조그래프 Fig. 5.9를 구하였다.

$$A' = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_6 & S_7 \\ \begin{matrix} S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.72 & 0.66 & 0.00 & 0.69 & 0.49 & 0.32 \\ 0.36 & 0.68 & 0.31 & 0.00 & 0.13 & 0.41 \\ 0.67 & 0.63 & 0.73 & 0.64 & 0.65 & 0.60 \\ 0.44 & 0.74 & 0.48 & 0.47 & 0.00 & 0.52 \\ 0.83 & 0.75 & 0.63 & 0.59 & 0.60 & 0.00 \\ 0.64 & 0.76 & 0.62 & 0.59 & 0.64 & 0.45 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5.18)$$

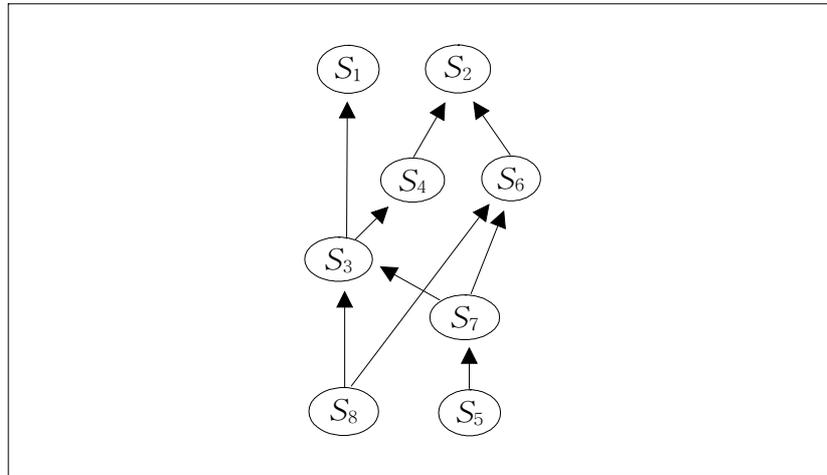


Fig. 5.9 FSM Result Graph ($P=0.55$, $\lambda=0.50$)

승선실무자의 의식구조 분석결과는 Fig. 5.9의 최종구조그래프와 같이 선박충돌사고에 가장 직접적인 영향을 미치는 요소는 $L_t(s)$ 에 속한 “건시불충분(S_1)”과 “항법미준수(S_2)” 항목으로 파악되었다. 다음으로 영향을 미치는 항목은 $L_i(s)$ 에 속한 “신호불이행(S_3)”과 “속력선정 부적절(S_4)” 및 “등화·형상물 불표시(S_6)” “졸음(S_7)” 등이었고, $L_b(s)$ 에서 타 요소에 가장 많은 영향을 미치는 항목은 “복무에 관한 지휘감독 부적절(S_5)”과 “보고·인계의 부적절(S_8)”로 파악되었다.

$L_b(s)$ 의 항목 중에서 “복무에 관한 지휘감독 부적절” 항목은 $L_i(s)$ 의 “졸음” 항목에만 긴밀하게 영향을 미치고 있으나, “보고·인계의 부적절” 항목은 “신호불이행”과 “등화·형상물 불표시” 항목에 긴밀하게 영향을 미치고 있다. $L_i(s)$ 의 “신호불이행” 항목은 $L_t(s)$ 의 “건시불충분” 항목에 영향을 미치고 있으며, “속력선정 부적절”과 “등화·형상물불표시” 항목은 $L_t(s)$ 의 “항법미준수” 항목에 영향을 미치고 있음을 파악하였다.

5.2 분석결과 검토 및 고찰

5.2.1 분석결과 타당성 검토

지금까지 해상에서 발생하는 해양사고를 일으키는 원인을 살펴보면, 단순히 하나의 원인에 의한 것보다는 많은 요인들이 서로 복합적으로 상호작용을 일으켜서 결국은 가장 직접적인 원인요소에 의해 최종적인 사고가 발생한다는 것이 각종 사고조사분석을 통하여 이미 밝혀진 사실로서 사고요인간의 상호관계를 규명하는 일이 그렇게 간단하지 않는 것이라 할 수 있다.

지난 13년(1988~2000)간 국내에서 발생한 사고종류별 해양사고 원인현황에 관한 해양안전심판원 통계 중에서 선박충돌사고에 영향을 미치는 영향과실로 분류되어 있는 인적요소에 대한 현황을 살펴보면, 다음 Table 5.3과 같다. 이러한 선박충돌사고 원인분류현황을 근거로 본 연구에서는 선박충돌사고에 가장 많은 영향을 미치는 인적요소에 관한 각계 전문가집단의 직관적인 의식구조를 파악한 앙케이트 조사 회답결과를 바탕으로 FSM 기법에 의해 의식구조 모델링을 실시한 분석결과 임계값 “ $P=0.55$, $\lambda=0.5$ ”가 현실적으로 가장 타당하다고 파악하였고, 그 분석결과에 대한 전체 응답자와 전문가집단, 해양안전심판원, 승선실무자 등의 최종구조그래프를 해석하고 충돌사고에 대한 인적요소 구조분석결과에 대해서 타당성이 있다는 것을 확인하였다.

5.2.2 분석결과 고찰

선박충돌사고에 영향을 미치는 인적요소로 추출된 총 8개의 구성요소간의 각 계층과 계층간 요소관계를 전체 응답자와 전문가집단, 해양안전심판원, 승

선실무자 등 각 분야별 의식구조분석 결과를 다음과 같이 고찰하였다.

Table 5.3 Statistics of the Ship's Collision Cause(1988-2000)

구분	원인분류	원인건수		구성비(%)
		' 88 ~ 2000년	' 96 ~ 2000년	
1	경계소홀	929	535	40.6(49.5)
2	항행법규위반	693	189	30.3(17.5)
3	조선부적절	223	98	9.7(9.1)
4	당직근무태만	45	33	2.0(3.1)
5	황천대비·대응불량	44	6	1.9(0.6)
6	침로선정 및 유지불량	43	12	1.9(1.1)
7	복무감독소홀	26	-	1.1
8	묘박, 계류 부적절	16	1	0.7
9	출항준비불량	9	-	0.4
10	수로조사 불충분	8	2	0.4
11	선위확인소홀	7	2	0.3
12	항해장비 취급불량	6	-	0.2
13	기타	241	203	10.5(18.8)
합계		2,290	1,081	100

5.2.2.1 계층의 분류

FSM기법에 의해 수행한 각 분야별 구조분석결과에 대한 각 계층별 분류현황을 정리하면 다음 Table 5.4와 같다.

Table 5.4 Result of FSM for each Field

계층 분야	최상층	중간층	최하층
전체응답자	- 견시불충분	- 항법미준수 - 신호불이행 - 속력선정 부적절 - 등화·형상물 불표시 - 줄음	- 복무에 관한 지휘 감독 부적절 - 보고·인계 부적절
전문가집단	- 견시불충분	- 항법미준수 - 신호불이행 - 속력선정 부적절 - 등화·형상물 불표시	- 복무에 관한 지휘 감독 부적절 - 줄음 - 보고·인계 부적절
해양안전 심판원	- 견시불충분 - 항법미준수	- 신호불이행 - 속력선정 부적절 - 등화·불표시 - 줄음	- 복무에 관한 지휘 감독 부적절 - 보고·인계 부적절
승선실무자	- 견시불충분 - 항법미준수	- 신호불이행 - 속력선정 부적절 - 등화·형상물 불표시 - 줄음	- 복무에 관한 지휘 감독 부적절 - 보고·인계 부적절

위와 같은 각 계층별 분류현황 결과를 살펴보면 전체 응답자분석과 각 분야별 구조분석결과에서 전문가집단과 해양안전심판원 및 승선실무자의 계층구조는 각각 상이한 결과를 보이고 있음을 알 수 있었다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 전체 응답자의 계층

최상층은 견시불충분으로 선박충돌사고에 가장 많은 영향을 미치고 있는 것으로 파악되었고, 다음으로 영향을 미치는 것은 중간층의 항법미준수를

비롯하여 속력선정 부적절, 등화·형상물의 불표시, 신호(주의환기, 경고, 무중신호 등) 불이행, 줄음 등이며, 타 요소로부터 영향을 받지 않고 중간층에 영향을 미치는 최하층은 복무에 관한 지휘감독 부적절과 보고·부적절로 분류되었다.

2) 각 분야별 계층

최상층 항목은 견시불충분으로 전체응답자와 같으나 줄음항목이 최하층으로 분류되었으며, 해양안전심판원과 승선실무자 분야는 최상층 항목이 견시불충분과 항법미준수로 분류되었고 최하층의 항목은 전체응답자의 경우와 동일하였다. 이와 같은 분석결과는 각 분야별로 충돌사고에 영향을 미치는 인적요소에 대한 의식구조를 반영한 것이라고 볼 수 있다.

5.2.2.2 계층간의 요소관계

1) 전체 응답자

- ① 최하층의 복무에 관한 지휘감독 부적절은 중간층의 줄음에만 영향을 미치고, 보고·인계의 부적절은 속력선정 부적절과 신호불이행의 두 항목에 영향을 미치고 있다. 이 항목들은 충돌사고를 유발시키는 근본원인에 해당된다고 볼 수 있다.
- ② 상대선에게 피항동작을 적극적으로 유도하는 신호불이행 항목이 등화·형상물 불표시 항목에 영향을 주고 있는 것은 의사소통 태만에 해당되는 것이라 할 수 있다. 또한, 속력선정 부적절이 항법미준수 항목에 영향을 미치는 것은 선박운항 중에 수집된 정보를 적절히 처리하지 않아서 항법에 의한 충돌회피동작을 이행하지 못하게 된다고 할 수 있다.
- ③ 최종적으로 항법미준수 항목에 직접영향을 받고 있는 견시불충분에 의

해서 선박충돌사고가 발생하게 되는 일련의 사고발생과정을 파악할 수 있었다.

2) 전문가집단

- ① 최하층의 복무에 관한 지휘감독 부적절 항목은 중간층의 신호불이행, 속력선정 부적절, 등화·불표시 항목에 모두 긴밀하게 영향을 미치고 있으나, 줄음과 보고·부적절 항목은 신호불이행과 속력선정 부적절 항목에만 영향을 미치고 있음을 파악하였다.
- ② 중간층의 각 항목들은 최하층 항목의 영향을 받고 있는데, 등화·형상물 불표시 항목은 최하층의 복무에 관한 지휘감독 부적절 항목으로부터만 영향을 받고 있었다. 또한 이 계층의 신호불이행, 속력선정부적절, 등화·불표시 항목은 동일 계층의 항법미준수 항목에 모두 영향을 미치고 있고, 이 항법미준수 항목은 최상층의 견시불충분 항목에 직접적으로 영향을 미치게 되어 선박의 충돌사고를 발생하는 과정을 파악할 수 있었다.

3) 해양안전심판원

- ① 최하층의 복무 지휘감독 부적절 항목은 중간층의 모든 항목에 영향을 미치고 있으나, 보고·부적절 항목은 신호불이행, 속력선정 부적절, 등화·형상물 불표시 항목에만 영향을 미치고 있음을 파악할 수 있었다.
- ② 중간층의 네 개 항목 중에서 신호불이행 항목과 줄음항목만 최상층의 견시불충분 항목에 긴밀하게 영향을 미치고 있고, 속력선정 부적절 항목과 등화·형상물 불표시 항목은 최상층의 항법미준수 항목에만 영향을 미치고 있는 것으로 파악되었다.
- ③ 최상층의 견시불충분과 항법미준수 항목에 의해서 결국 선박충돌사고가 발생하는 것을 파악할 수 있었다.

4) 승선실무자

- ① 최하층의 복무에 관한 지휘감독 부적절 항목은 중간층의 졸음 항목에만 영향을 미치고 있고, 보고·인계 부적절 항목은 신호불이행과 등화·불표시 항목에만 영향을 미치고 있는 것을 파악하였다.
- ② 중간층의 신호불이행 항목은 동일 계층의 속력선정부적절 항목과 최상층의 견시불충분 항목에 긴밀하게 영향을 미치고 있고, 졸음 항목은 동일 계층의 신호불이행과 등화·불표시 항목에 영향을 미치고 있음을 파악하였다.
- ③ 최상층의 항법미준수 항목은 중간층의 속력선정 부적절과 등화·불표시 항목으로부터 영향을 받고 있으며, 견시불충분 항목은 중간층의 신호불이행 항목에게서만 영향을 받고 있음을 파악하였다.

이상의 선박충돌사고에 영향을 미치는 각 인적요소들의 구조분석 결과에서 충돌사고에 가장 직접적인 영향을 미치고 있으며, 가장 중요한 항목으로 확인된 “견시불충분” 항목에 대하여 선박충돌사고를 방지하기 위한 적극적인 대책마련이 필요하다. 따라서, 견시불충분 항목에 대한 예방대책을 마련하는데 활용될 수 있도록, 그 원인내용을 다음과 같이 고찰하였다.

- 1) 상대선을 인식하지 못한 원인(견시 행위의 일시중단, 또는 하지 않음)
 - 견시를 하기는 했으나 사각지대에 대한 배려의 불충분
 - 한쪽방향만 견시하거나, 제3의 선박에 신경을 쓰고 있음
 - 항해장비(레이다, ARPA 등)의 감시불량 및 운용 부적절
 - 보침, 전타 및 주변의 항로표지 등에 신경을 쓰고 있었기 때문
 - 당직근무 중 일시선교부재, 전화 교신 중, 일시 다른 업무에 신경을 쏟음
 - 업무태만, 나태, 게으름, 의욕저하 등의 원인으로 견시를 하지 않음

2) 상대선 확인 후 타 선박 감시를 불충분하게 한 원인

- 상대선이 무난히 통과할 것이라고 생각함
- 상대선 동향을 억측하거나 그 상태를 오인함
- 상대선이 피할 것이라고 생각함
- 접근할 때까지 시간적 여유가 있을 것이라고 판단함

또한, “항법미준수” 항목은 분야별 분석결과에서 전문가집단의 경우를 제외하고는 견시불충분 항목과 함께, 선박충돌사고에 직접적으로 영향을 미치고 있는 것으로 나타났는데, 여기에 대해서 사고를 예방하기 위한 항법과 관련된 전문지식과 기술에 대한 교육 및 훈련의 방법과 절차에 대한 연구노력이 절실히 필요하다 할 수 있다.

이상의 분석결과에서, 선박충돌사고발생에 가장 직접적인 영향력을 행사하는 요소와 이 요소에 간접적으로 영향력을 행사하여 사고를 유발시키는 하위 요소들의 상호관계를 파악한 것이 중요한 성과라고 할 수 있다.

따라서, 이 분석결과는 첫 번째, 실제 사고발생의 진행과정과 각 계층에 속한 요소가 사고에 미치는 영향력을 이해하고, 각 요소간 상호관계를 규명하는데 유용하게 활용할 수 있으며, 두 번째, 요소상호간에 직접적인 영향력을 행사하는 요소에 대해서 그 연결고리를 단절시킴으로써 사고를 예방할 수 있는 수단을 제공하는 것이 가능하다. 세 번째, 선박승무원의 교육수준에 따라서 요소를 선택하여 교육과 훈련을 실시하는데 유용하게 이용될 수 있다. 네 번째, 사고예방대책을 마련하는데 그 우선 순위를 선정할 수 있고, 더 나아가 사고예방을 위한 하나의 모델로서 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

제 6장 결론

지금까지 해운산업분야에서는 선박운항으로 발생하는 해양사고를 미연에 방지하고, 그로 인한 피해를 최소화하기 위해서 많은 노력을 하였다. 그 결과 해양사고 발생률은 점차 감소하고 있는 추세다. 그러나, 선박운항은 선박 자체적인 요인뿐만 아니라 내·외부적으로 다양한 변수들이 서로 상호작용을 하는 복잡한 시스템이라 할 수 있기 때문에, 대형 해양사고 발생가능성은 여전히 존재하고 있다.

해상에서 선박충돌사고는 인명피해, 선박피해, 해양환경오염피해를 유발하는 해양사고로서, 한번 발생하면 매우 심각한 피해를 줄 수 있다. 그리고, 충돌사고 발생원인은 매우 다양하고 복잡하게 상호관련 되어 있기 때문에 원인규명이 쉽지 않아 사고예방대책 수립에 어려움이 많다.

본 논문에서는 국내 해양사고에서 사고발생빈도와 그로 인한 피해의 심각성이 높은 분야 및 사고발생에 가장 많은 영향을 미치는 요인을 파악하기 위해서, 지난 10년(1991~2000)간 국내 해양사고 통계자료를 분석하였다. 그 결과 발생빈도뿐만 아니라 피해의 심각성이 큰 선박충돌사고원인으로 가장 많은 비중을 차지하고 있는 인적요인의 과실범주에 대하여 설문조사를 실시한 결과 운항자의 부주의, 작업부하, 경각심 부족, 피로 등 운영자요소가 가장 직접적인 영향력을 미치는 것으로 밝혀졌다.

또한, 해양사고 분석결과를 근거로 선박충돌사고에 영향을 미치는 주된 요인인 인적요소를 구조적으로 분석하기 위하여, 시스템구조화 기법 중에서 다분히 정성·정량적인 속성을 포함하고 있는 인간의 주관적인 요소를 고려하여 시스템구조를 모델링하는데 유효한 수법임이 검증된 FSM기법을 이용하였다.

인적요소의 세부적인 파라미터는 해양사고 통계결과에 근거하여 선정하고, 이들 각 파라미터가 선박충돌사고에 미치는 영향력이 어느 정도인지를 파악하기 위해 해양관련 전문가집단, 해양안전심판원, 승선실무자를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 그리고, 수집된 설문조사 데이터를 근거로 하여 선박충돌사고에 영향을 미치는 인적요소의 계층구조와 각 계층요소간의 상호관계를 분석하였다. 그 결과, 국내 선박충돌사고를 유발하는데 가장 많이 기여하는 인적요소의 각 계층구조를 파악하고, 각 계층에 속한 요소의 상호관계를 파악할 수 있는 구조모형을 제시하였다.

선박충돌사고원인에 대한 구조분석결과를 요약하면 다음과 같다.

먼저, 각 요소의 종속관계를 결정하는 최적의 임계값을 선정하기 위해서, 전체 응답자의 구조분석을 3가지 경우로 나누어 분석하였다. 그 결과 임계값 “0.55”가 가장 적합함을 국내 선박충돌사고 원인현황과 비교, 검토하여 타당성을 확인하였다. 따라서, 이 임계값을 기준으로 전체 응답자와 전문가집단, 해양안전심판원, 승선실무자 등 각 분야별로 구조분석을 수행하였다.

1) 전체 응답자의 분석결과

- ① 선박을 운항하는 승무원의 “견시불충분”요소가 선박충돌사고에 가장 많은 영향을 미치는 최상층레벨에 해당하는 항목임을 파악하였다.
- ② 최하층레벨의 요소 “복무에 관한 지휘감독 부적절”과 “보고·인계의 부적절”은 중간층레벨의 요소인 “속력선정 부적절”과 “신호불이행”에만 영향은 미치며, 이 “신호불이행”은 동일계층의 요소인 “등화·형상물 불표시”에 영향을 주고, “속력선정 부적절”은 “항법미준수”에 영향을 미치서, 이 “항법미준수”항목은 최상층의 “견시불충분”에 직접적인 영향을 미쳐 최종적으로 선박충돌사고가 발생하는 과정을 파악하였다.

2) 전문가집단의 분석결과

- ① 최하층레벨의 요소인 “복무에 관한 지휘감독 부적절” 항목은 중간층레벨의 “신호불이행”, “속력선정 부적절”, “등화·형상물 불표시” 항목에 모두 긴밀하게 영향을 미치고 있으나, 동일계층의 “졸음”과 “보고·인계 부적절” 항목은 “신호불이행”과 “속력선정 부적절” 항목에만 영향을 미치고 있음을 파악하였다.
- ② 중간층레벨의 각 요소들은 최하층레벨 요소의 영향을 받고 있는데, “등화·형상물 불표시” 항목은 최하층레벨의 “복무에 관한 지휘감독 부적절” 항목으로부터만 영향을 받고 있었다. 또한 이 계층의 “신호불이행”, “속력선정 부적절”, “등화·형상물 불표시” 항목은 동일 계층의 “항법미준수” 항목에 모두 영향을 미치고 있고, 이 “항법미준수” 항목은 최상층레벨의 요소 “견시불충분” 항목에 직접적으로 영향을 미치게 되어 선박충돌사고를 발생하게 하는 과정을 파악하였다.

3) 해양안전심판원의 분석결과

- ① 최하층레벨의 요소 “복무 지휘감독 부적절” 항목은 중간층레벨의 모든 항목에 영향을 미치고 있으나, “보고·인계 부적절” 항목은 “신호불이행”, “속력선정 부적절”, “등화·형상물 불표시” 항목에만 영향을 미치고 있음을 파악하였다.
- ② 중간층레벨의 네 개 요소 중에서 “신호불이행” 항목과 “졸음”항목만 최상층레벨의 “견시불충분” 항목에 긴밀하게 영향을 미치고 있고, “속력선정 부적절” 항목과 “등화·형상물 불표시” 항목은 최상층레벨의 “항법미준수” 항목에만 영향을 미치고 있는 것으로 파악되었다. 이와 같이 하위계층으로부터 영향을 받은 최상층레벨의 “견시불충분”과 “항법미준수” 항목에 의해서 결국 선박충돌사고가 발생하는 과정을 파악

하였다.

4) 승선실무자의 분석결과

- ① 최하층레벨의 요소 “복무에 관한 지휘감독 부적절” 항목은 중간층레벨의 “졸음” 항목에만 영향을 미치고 있고, “보고·인계 부적절” 항목은 중간층레벨의 “신호불이행”과 “등화·형상물 불표시” 항목에만 영향을 미치고 있는 것을 파악하였다.
- ② 중간층레벨의 요소 “신호불이행” 항목은 동일 계층의 “속력선정부적절” 항목과 최상층레벨의 “견시불충분” 항목에 긴밀하게 영향을 미치고 있고, “졸음” 항목은 동일 계층의 “신호불이행”과 “등화·형상물 불표시” 항목에 영향을 미치고 있음을 파악하였다. 그리고, 최상층레벨의 “항법미준수” 항목은 중간층레벨의 “속력선정 부적절”과 “등화·형상물 불표시” 항목으로부터만 영향을 받고 있으며, “견시불충분” 항목은 중간층레벨의 “신호불이행” 항목에게서만 영향을 받아 선박충돌사고가 발생하는 과정을 파악하였다.

이상의 연구결과에서, 선박충돌사고발생에 가장 밀접하고 직접적인 영향력을 행사하는 사고유발요소와, 이 요소에 간접적으로 영향력을 행사하여 결국사고를 유발시키는 하위 요소들의 상호관계를 파악한 것이 가장 중요한 성과다.

따라서, 이 분석결과는 첫 번째, 실제 선박충돌사고발생의 진행과정과 각 계층에 속한 요소가 사고에 미치는 영향력을 이해하고, 각 요소간 상호관계를 규명하는데 유용하게 활용할 수 있다. 두 번째, 각 계층의 요소상호간에 직접적인 영향력을 행사하는 요소에 대해서 그 연결고리를 단절시킴으로써 사고를 미연에 방지하도록 하는데 효과적인 제어수단을 제공할 수 있다. 세

번째, 실무에 종사하는 개별승무원의 교육수준에 따라서 최대한의 교육성과를 거둘 수 있도록 요소를 선택하여 교육과 훈련을 실시하는데 유용하게 이용될 수 있다. 네 번째, 사고예방대책을 마련하는데 그 우선 순위를 선정할 수 있고, 더 나아가 사고예방을 위한 하나의 모델로서 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 선박충돌사고원인에 대한 인적요소의 각 계층과 요소간 상호관계가 분야별로 상이한 것으로 파악되었는데, 그 이유는 사고의 원인이 단순하지 않고 복잡하다는 것과 또한, 해당분야별로 사고에 대한 접근방법에 시각차이가 있다는 것을 반영한 것이라고 할 수 있다. 따라서, 국내 선박충돌사고원인에 대한 종합적인 예방대책마련을 위해서는 관계기관과 전문가가 모두 참여하여 전체적인 차원의 적극적이고 심도 있는 논의가 진행되어야 한다고 사료된다.

앞으로의 연구과제로서, 실제 해상에서 발생하는 선박충돌사고의 다양한 원인을 보다 세부적으로 규명하여 구조분석결과 모델을 확정하는 보완연구가 있어야 하며, 인적요소를 분석하는 새로운 기법개발에 대한 연구가 남아있다.

참고문헌

- 1) 해양수산부, “해양수산통계연보”, 2000
- 2) 중앙해양안전심판원, “해양안전심판사례집”, 2001
- 3) 중앙해양안전심판원, “해양안전심판사례집”, 1996
- 4) BIMCO Bulletin 5/93, Oct, p.12, 1993
- 5) IMO, MSC/65/15/1, “Role of Human Element in Maritime Casualties”, 10 Feb., 1995
- 6) D. T. Bryant, “The Human Element in Shipping Casualties”, DOT, UK, pp. 12-13, 1991
- 7) T. F. Sanquist, J. D. Lee, “Human Factors Plan for Maritime Safety”, USCG, Feb., 1993
- 8) Marine Safety Agency, UK, “A Methodology for Formal Safety Assessment of Shipping”, MSC 66 Informal Paper, 16 May, 1996
- 9) IMO, MSC/Circ.829, MEPC/Circ.335, “Interim Guidelines for the Applications of FSA to IMO Rule-Making Process”, 1997
- 10) UK, DE41/INF.7, “Trial Application to High Speed Passenger Catamaran Vessels”, 12 Dec., 1997
- 11) Germanischer Lloyd on behalf of EEIG Unitas, “Concerted Action on FSEA WA-96-CA-1155”, Final Report, July, 1999
- 12) Univ. of Ulsan, “Application of Formal Safety Assessment Methodology to No.1 Cargo Hold Flooding of Bulk Carriers”, Final Report, Nov., 1999
- 13) Hirohiko Emi, “A Study on the Safety of Liquefied Gas Tankers -Risk Assessment of Liquefied Gas Tankers and its Application for

- Safe Designs and Plannings-”, Nippon Kaiji Kyokai, 1990
- 14) 한국선급기술연구소, “FSA 적용지침 개발”, 1999
 - 15) 한국선급·서울대학교, “선박의 화재안전성 평가에 있어서의 공식안전평가 적용에 관한 연구”, 서울대학교 해양시스템공학 연구소 최종보고서, 2000
 - 16) IMO Resolution A.849(20)
 - 17) IMO Resolution A.884(21)
 - 18) 田崎 榮一郎, “ファジィ理論に依る社會システム構造化”, 別冊 [教理科學] ファジィ理論への道, サイエシス社, pp.140-153, 1988
 - 19) 天笠美知夫, “システム構成論-ファジィ理論を基礎として-”, 森山書店, 1986
 - 20) E. Tazaki and M. Amagasa, “Structural Modeling in a Class of Systems Using Fuzzy Sets Theory”, Fuzzy Sets Systems. Vol.2 No.1, pp. 1-17, 1979
 - 21) 山下 利之, “ファジィ構造モデルにより職業選擇動機および職業生活設計の分析”, 日本ファジィ學會誌, vol.8, No.5, pp.861-870, 1996
 - 22) 木下榮藏, “わかりやすい意思決定論入門”, 近代科學社, 1996
 - 23) 椎塚久雄, 伊藤節子, “ファジィ構造モデル : Case Study-學生採用意の意識構造-”, 經營の科學, 1992
 - 24) 황병호·이종인, “선박운항시스템에 있어서 인적요소(Human Factors)의 조사 방법론에 관한 고찰”, 한국항해학회지, 제24권 제1호, pp. 23-33, 2000
 - 25) 이철영, “시스템공학개론”, pp. 7-29, 1981
 - 26) 백종배, “화학공정에서의 정량적 위험성평가를 위한 기반구조 구축에 관한 연구”, 광운대학교, 박사학위논문, 1995
 - 27) 윤여홍, “화학공정에서의 안전해석을 위한 지식기반구조 및 해석지원시

- 시스템 개발에 관한 연구”, 서울대학교, 박사학위논문, 1995
- 28) 김구회, “화학공정의 가상사고 시나리오 합성에 기반한 위험성 평가 시스템”, 서울대학교, 박사학위논문, 2000
- 29) V. M. Trbojevic, B. J. Carr OBE RN, “Risk Based Safety Management System for Navigation in Ports”, EQE.
- 30) EPRI, “PSA Application Guide”, EPRI TR-105396, 1995
- 31) DETR, “Review of the Pilotage Act 1987”, ISBM, HMSO 1998
- 32) 이윤중, “의사결정론”, 대광문화사, 1999
- 33) 이창호, “다기준 의사결정론”, 세종출판사, 1999
- 34) 今津隼馬, “避航と衝突豫防装置”, 1984
- 35) 일본해난방지협회, “해난방지지침”, 성산당서점, 1980
- 36) 선박안전학연구회, “선박안전학개론”, 성산당서점, 1998
- 37) 日本總合安全研究所, “FTA 安全工學”, 1992
- 38) 김우철, “통계학개론”, 영지문화사, 1996
- 39) 윤중희, “해양유류오염방제”, 한국해양대학교, 1998
- 40) R. J. Meurn, “Watchstanding Guide for the Merchant Officer”, Cornell Maritime Press, pp. 3-16, 1990
- 41) IMO, MSC/Circ. 813, MEPC/Circ. 330, “The Role of the Human Element”, 23 June, 1997
- 42) Quality Action Team, USCG, “Prevention Through People”, 15 July, 1995
- 43) 天笠美知夫, “システム構成論”, 森山書店, 1986
- 44) 寺野壽郎 “ 시스템工學入門 -あいまい問題への挑戦- ”, 共立出版, 1989.
- 45) Warfield, J. N., “Societal System”, 1976
- 46) L. A. Zadeh, “Fuzzy Sets”, Information and Control, Vol. 8, 1965

- 47) 菅野道夫저, 박민용·최항식 역, “퍼지제어시스템”, 대영사, 1990
- 48) 양원재·박계각·진승환, “FSM을 이용한 해기사 신규채용 및 선사선택에 관한 의식구조분석”, 한국항해학회지, 제24권 제1호, pp. 35-44, 2000
- 49) 토마스 사티 저, 조근태외 2인, “리더를 위한 의사결정”, 2000

부록 1

선박 충돌사고와 인적요소에 관한 설문

안녕하십니까!

해운산업관련 기관, 단체 및 기업에서는 해상에서의 인명, 재산, 환경을 보호하고 해상안전을 확보하기 위한 수많은 노력을 하고 있습니다. 하지만 이러한 노력에도 불구하고 여전히 크고 작은 해양사고가 빈번히 발생하고 있으며, 인명손실과 대형해양오염사고의 위험성이 항상 잠재되어 있는 것이 현실이라 할 수 있습니다.

지난 10년간(1991~2000년)국내에서 발생했던 해양사고를 분석한 결과 가장 높은 발생빈도를 보이고 있는 것이 선박 충돌사고였고, 사고에 가장 큰 영향을 미치고 있는 요인이 인적요소(Human Factor)로 파악되었습니다.

본 설문은 충돌사고에 대한 인적요소의 체계적인 분석과 그 영향도를 파악하여 사고의 주된 요인으로 작용하는 인적요소들을 효과적으로 제어하는 방안을 마련하고자 하는데 그 목적이 있습니다.

업무에 바쁘시더라도 성의껏 설문에 응하여 주시면 대단히 감사하겠습니다.

2002

목포해양대학교 해상운송시스템학부 강사

양 원 재 배 상

I. 선박 충돌사고 원인에 관한 설문

충돌사고에 영향을 미치는 인적과실의 원인을 관리적요소, 운영자요소, 작업환경요소, 지식요소, 의사결정요소 등으로 분류할 수 있습니다.

아래 설명에 나와있는 각 요소들이 충돌사고에 미치는 영향정도를 크기 순으로 나열하여 주십시오.

설명)

① 관리적 요소

: 선내관리, 수로관리 및 회사의 정책과 지침에 관한 것으로 잘못된 기준, 규정, 정책, 실무지침 등의 요소

② 운영자 요소

: 운항자의 피로, 시야협소, 작업부하 등에 관한 것으로 부주의 또는 경각심 부족, 피로 등의 요소

③ 작업환경 요소

: 위험한 자연적 환경과 열악한 인적요소, 관련장비의 유지관리, 해상 또는 육상의 항로표지와 정보 등의 요소

④ 지식요소

: 운항자, 도선사의 지식과 경험에 관한 것으로 정확하지 않는 기술지식, 조종선박에 관한 지식의 부족, 직무/역할에 대한 책임의식의 부족 등의 요소

⑤ 의사결정요소

: 현재 상황에 대한 잘못된 이해 적절하지 못한 정보를 기초로 한 의사결정과 건전하지 못한 선원의 자세 등에 관한 요소

응답 예) (②) - (④) - (①) - (⑤) - (③)

우선순위 : () - () - () - () - ()

II. 인적요소 상호간 영향도 조사

충돌사고에 절대적 영향을 미치는 인적요소를 <표 1>과 같이 세부요소로 분류하였습니다. 본 문항에서는 각각의 세부요소가 상호간에 미치는 영향도를 조사하고자 합니다.

<표 1> 인적요소를 구성하는 세부요소 항목

요소	항 목 내 용	요소	항 목 내 용
S ₁	건시 불충분	S ₆	등화·형상물 불표시
S ₂	항법 미준수	S ₇	줄음
S ₃	신호(무중신호, 주의환기신호)불이행	S ₈	보고·인계 부적절
S ₄	속력선정부적절	S ₉	기타(제시된 각 세부요소 이외의 요소)
S ₅	복무에 관한 지휘감독 부적절		

♠ 기타(S9) 항목에 대해서는 그 내용을 간략히 기술하여 주십시오.

S9기타 ()

1. 각 요소간 상대적인 영향도 기입방법

<표 1>의 각 세부요소간에 「임의의 요소가 타 요소에 어느 정도 영향을 미치는가?」라고 하는 상대적인 영향도를 주관적으로 결정하여, 다음 <표 2>에서 해당되는 값을 선택하여 기입함.

아울러, <표 2>에서 예시된 각 영향도의 중간값, 예를 들어 0.8 또는 0.85 등도 기입 가능함. 단, 동일요소(자기자신과의 영향도 비교)간의 상대적인 영향도는 기입하지 않음.

<표 2> 영향도 점수

구 분	매우 영향을 미친다	상당히 영향을 미친다	보통정도로 영향을 미친다	약간 영향을 미친다	거의 영향을 미치지 않는다
영향도	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1

2. 영향도 기입방법 예

예) 1.

요소 S1(견시 불충분)은 요소 S4(속력선정 부적절)에 “약간 영향을 미친다.”라고 생각한다면 <표 2>에 예시된 “0.3”이란 값을 기입한다.

요소	견시 불충분	항법 미준수	신호 불이행	속력선정 부적절	복무지휘 감독부적절	등화,형상물 불표시	줄음	보고,인계 부적절	기타
견시 불충분	0.0	0.5	0.7	0.3	0.1	0.7	0.9	0.5	0.3

예) 2.

요소 S1(견시 불충분)은 요소 S3(신호 불이행)에 미치는 영향도가 “약간 이상이나 보통정도까지는 되지 않는다.”라고 생각한다면 “0.4”란 값을 기입한다.

요소	견시 불충분	항법 미준수	신호 불이행	속력선정 부적절	복무지휘 감독부적절	등화,형상물 불표시	줄음	보고,인계 부적절	기타
견시 불충분	0.0	0.3	0.4	0.1	0.9	0.1	0.7	0.5	0.3

3. 설문조사 문항

1) “견시불충분”요소와 타 요소간의 영향도 비교

요소	견시 불충분	항법 미준수	신호 불이행	속력선정 부적절	복무지휘 감독부적절	등화,형상물 불표시	줄음	보고,인계 부적절	기타
견시 불충분									

2) “항법미준수”요소와 타 요소간의 영향도 비교

요소	건시 불충분	항법 미준수	신호 불이행	속력선정 부적절	복무지휘 감독부적절	등화,형상물 불표시	졸음	보고,인계 부적절	기타
항법 미준수		X							

3) “신호(무중신호, 주의환기신호 등)불이행”요소와 타 요소간의 영향도 비교

요소	건시 불충분	항법 미준수	신호 불이행	속력선정 부적절	복무지휘 감독부적절	등화,형상물 불표시	졸음	보고,인계 부적절	기타
신호 불이행			X						

4) “속력선정부적절”요소와 타 요소간의 영향도 비교

요소	건시 불충분	항법 미준수	신호 불이행	속력선정 부적절	복무지휘 감독부적절	등화,형상물 불표시	졸음	보고,인계 부적절	기타
속력선정 부적절				X					

5) “복무에 관한 지휘감독 부적절”요소와 타 요소간의 영향도 비교

요소	건시 불충분	항법 미준수	신호 불이행	속력선정 부적절	복무지휘 감독부적절	등화,형상물 불표시	졸음	보고,인계 부적절	기타
복무지휘 감독부적절					X				

6) “등화, 형상물 불표시”요소와 타 요소간의 영향도 비교

요소	건시 불충분	항법 미준수	신호 불이행	속력선정 부적절	복무지휘 감독부적절	등화,형상물 불표시	줄음	보고,인계 부적절	기타
등화,형상물 불표시									

7) “줄음”요소와 타 요소간의 영향도 비교

요소	건시 불충분	항법 미준수	신호 불이행	속력선정 부적절	복무지휘 감독부적절	등화,형상물 불표시	줄음	보고,인계 부적절	기타
줄음									

8) “보고 및 인계의 부적절”요소와 타 요소간의 영향도 비교

요소	건시 불충분	항법 미준수	신호 불이행	속력선정 부적절	복무지휘 감독부적절	등화,형상물 불표시	줄음	보고,인계 부적절	기타
보고,인계 부적절									

9) “기타”요소와 타 요소간의 영향도 비교

(주관적으로 고려한 기타요소와 타 요소간의 영향도 비교)

요소	건시 불충분	항법 미준수	신호 불이행	속력선정 부적절	복무지휘 감독부적절	등화,형상물 불표시	줄음	보고,인계 부적절	기타
기타									

※ 설문에 응해주셔서 대단히 감사합니다.

설문응답자의 부서 및 직책을 기입하여 주시면 감사하겠습니다.

()

부록 2

1. 전체 응답자 분석 2

충돌사고에 대한 인적요소의 “전체 응답자 분석 2”에서는 각 요소간의 종속관계를 나타내는 임계값 및 파라미터값을 $P=0.55$, $\lambda=0.50$ 로 구조분석을 실시하였다.

식 (5.2)의 퍼지종속행렬 A 에서 각 레벨집합의 정의에 의해 다음과 같이 최상층레벨, 중간레벨, 최하층레벨, 독립레벨집합 등으로 각 레벨집합을 분해할 수 있으며, 단, 여기서 독립레벨집합은 존재하지 않았다.

$$L_t(s) = \{ S_1 \}$$

$$L_i(s) = \{ S_2, S_3, S_4, S_6, S_7 \}$$

$$L_b(s) = \{ S_5, S_8 \}$$

$$L_{is}(s) = \emptyset$$

$L_t(s)$ 의 1개의 요소 S_1 은 타 요소에 영향을 미치지 않고 영향을 받기만 한다. $L_b(s)$ 의 2개의 요소 S_5, S_8 은 타 요소로부터 영향을 받지 않지만 타 요소에 가장 많은 영향력을 미치고 있다. $L_i(s)$ 의 5개의 요소 S_2, S_3, S_4, S_6, S_7 은 $L_b(s)$ 에서의 영향을 $L_t(s)$ 에 전하는 중간적인 존재이고, 이 경우의 블록 집합 Q_i 는 $\{ S_1 \}$ 이며 $L_t(s)$ 과 일치한다.

알고리즘 Step 3에 의해서 행렬 A 에서 불필요한 행과 열 즉, $L_t(s)$ 에 대응하는 행, $L_b(s)$ 에 대응하는 열, $L_{is}(s)$ 에 대응하는 행과 열을 삭제하여 식

(1)의 새로운 행렬 A' 를 얻을 수 있다.

$$A' = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_6 & S_7 \\ \begin{matrix} S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.55 & 0.00 & 0.38 & 0.32 & 0.27 & 0.19 \\ 0.68 & 0.62 & 0.00 & 0.52 & 0.59 & 0.33 \\ 0.43 & 0.65 & 0.34 & 0.00 & 0.17 & 0.34 \\ 0.71 & 0.63 & 0.65 & 0.60 & 0.62 & 0.56 \\ 0.45 & 0.71 & 0.41 & 0.37 & 0.00 & 0.48 \\ 0.81 & 0.71 & 0.60 & 0.69 & 0.55 & 0.00 \\ 0.65 & 0.73 & 0.62 & 0.58 & 0.60 & 0.38 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

식 (1)에서 S_1 열에 대한 정칙행은 S_2 이며 식 (5.4)의 연산에 의해서 치환하고, 식 (2)를 계산하여 식 (3)의 새로운 행렬 A_1 이 생성되고, Fig. A.2.1의 구조그래프(1)을 구할 수 있다.

$$S_1^* = S_1 \wedge \overline{S_2} = \begin{bmatrix} 0.55 \\ 0.68 \\ 0.43 \\ 0.71 \\ 0.45 \\ 0.81 \\ 0.65 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 1.00 \\ 0.29 \\ 0.26 \\ 0.28 \\ 0.21 \\ 0.21 \\ 0.20 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.55 \\ 0.29 \\ 0.26 \\ 0.28 \\ 0.21 \\ 0.21 \\ 0.20 \end{bmatrix} \quad (2)$$

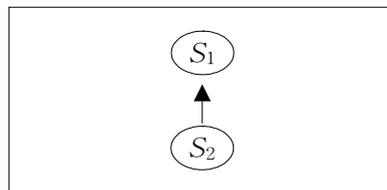


Fig. A.2.1 FSM Graph(1)

$$A_1 = \begin{matrix} & S_2 & S_3 & S_4 & S_6 & S_7 \\ S_3 & \left[\begin{array}{ccccc} 0.62 & 0.00 & 0.52 & 0.59 & 0.33 \\ 0.65 & 0.34 & 0.00 & 0.17 & 0.34 \\ 0.63 & 0.65 & 0.60 & 0.62 & 0.56 \\ 0.71 & 0.41 & 0.37 & 0.00 & 0.48 \\ 0.71 & 0.60 & 0.69 & 0.55 & 0.00 \\ 0.73 & 0.62 & 0.58 & 0.60 & 0.38 \end{array} \right. \end{matrix} \quad (3)$$

식 (3)에서 S_2 열에 대한 정칙행은 S_4 와 S_6 으로 식 (5.4)의 연산에 의해서 치환하고 식 (4)를 계산하여 식 (5)의 새로운 행렬 A_2 가 생성되며, Fig. A.2.2의 구조그래프(2)를 구할 수 있다.

$$S_2^* = S_2 \wedge \overline{S_4} \wedge \overline{S_6} = \begin{bmatrix} 0.62 \\ 0.65 \\ 0.63 \\ 0.71 \\ 0.71 \\ 0.73 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.38 \\ 1.00 \\ 0.31 \\ 0.53 \\ 0.23 \\ 0.33 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.32 \\ 0.76 \\ 0.29 \\ 1.00 \\ 0.35 \\ 0.31 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.32 \\ 0.65 \\ 0.29 \\ 0.53 \\ 0.23 \\ 0.31 \end{bmatrix} \quad (4)$$

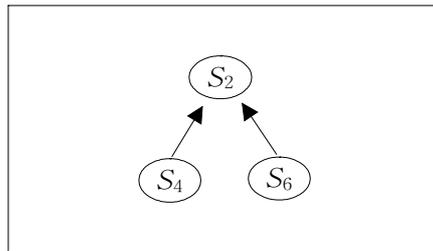


Fig. A.2.2 FSM Graph(2)

$$A_2 = \begin{matrix} & S_3 & S_4 & S_6 & S_7 \\ S_3 & \left[\begin{array}{cccc} 0.00 & 0.52 & 0.59 & 0.33 \\ 0.65 & 0.60 & 0.62 & 0.56 \\ 0.60 & 0.69 & 0.55 & 0.00 \\ 0.62 & 0.58 & 0.60 & 0.38 \end{array} \right] \end{matrix} \quad (5)$$

식 (5)에서 S_6 열에 대한 정칙행은 S_3 이므로 식 (5.4)에 의해 치환하여 행렬식 (6)과 같이 계산하고 식 (7)의 행렬 A_3 와 Fig. A.2.3의 구조그래프(3)을 구할 수 있다.

$$S_6^* = S_6 \wedge \overline{S_3} = \begin{bmatrix} 0.59 \\ 0.62 \\ 0.55 \\ 0.60 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 1.00 \\ 0.26 \\ 0.31 \\ 0.38 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.59 \\ 0.26 \\ 0.31 \\ 0.38 \end{bmatrix} \quad (6)$$

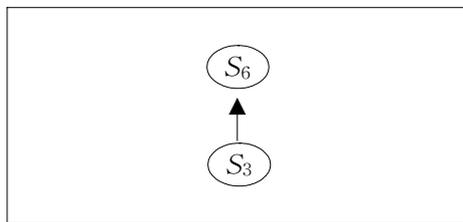


Fig. A.2.3 FSM Graph(3)

$$A_3 = \begin{matrix} & S_3 & S_4 & S_7 \\ S_5 & \left[\begin{array}{ccc} 0.65 & 0.60 & 0.56 \\ 0.60 & 0.69 & 0.00 \\ 0.62 & 0.58 & 0.38 \end{array} \right] \end{matrix} \quad (7)$$

식 (7)에서 더 이상의 정칙행은 존재하지 않고 S_5 행에 대한 정칙열인 S_7 을 소거하기 위해 식 (5.4)에 의해 치환하고, 식 (8)을 계산하여 식 (9)의 A_4 와 Fig. A.2.4의 구조그래프(4)를 구할 수 있게된다. 단, 첨자 T 는 전치행렬을 의미한다.

$$S_5^* = S_5 \wedge \overline{S_7} = \begin{bmatrix} 0.65 \\ 0.60 \\ 0.56 \end{bmatrix}^T \wedge \begin{bmatrix} 0.31 \\ 0.23 \\ 1.00 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 0.31 \\ 0.23 \\ 0.56 \end{bmatrix}^T \quad (8)$$

$$A_4 = \begin{matrix} & S_3 & S_4 \\ S_7 & \begin{bmatrix} 0.60 & 0.69 \end{bmatrix} \\ S_8 & \begin{bmatrix} 0.62 & 0.58 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (9)$$

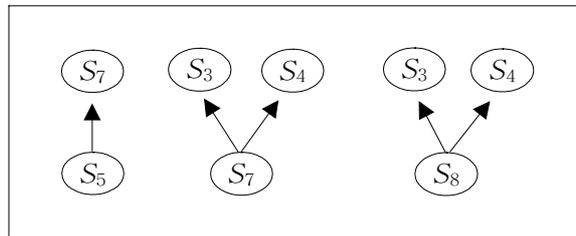


Fig. A.2.4 FSM Graph(4)

지금까지의 구조그래프를 종합하여 선박충돌사고에 영향을 미치는 인적 요소에 관한 의식구조를 분석할 수 있는 최종구조그래프(5)인 Fig. A.2.5를 구할 수 있다.

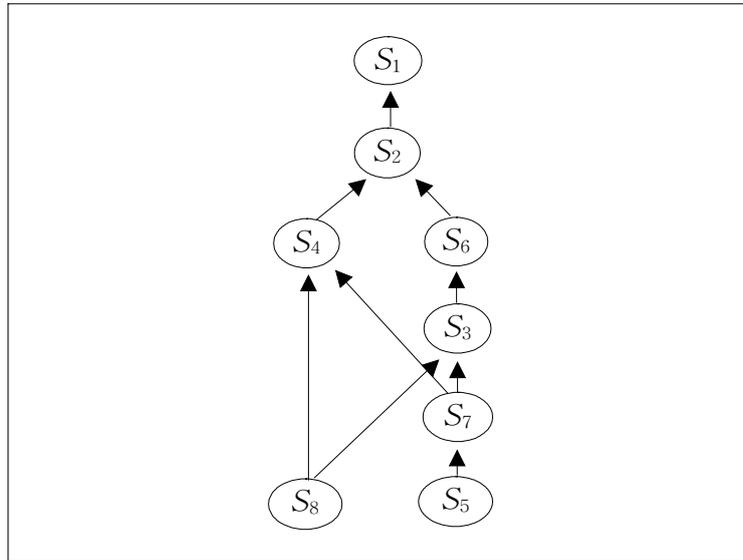


Fig. A.2.5 FSM Result Graph(5)(P=0.55,λ=0.50)

2. 전체 응답자 분석 3

충돌사고에 대한 인적요소의 “전체 응답자 분석 3”에서는 각 요소간의 종속관계를 나타내는 임계값 및 파라미터값을 $P=0.50$, $\lambda=0.50$ 으로 구조분석을 실시하였다.

식 (5.2)의 퍼지종속행렬 A 에서 각 레벨집합의 정의에 의해 다음과 같이 최상층레벨, 중간레벨, 최하층레벨, 독립레벨집합 등으로 각 레벨집합을 분해할 수 있다.

$$L_t(s) = \{ S_1 \}$$

$$L_i(s) = \{ S_2, S_3, S_4, S_6, S_7 \}$$

$$L_b(s) = \{ S_5, S_8 \}$$

$$L_{is}(s) = \emptyset$$

$L_t(s)$ 의 1개의 요소 S_1 은 타 요소에 영향을 미치지 않고 영향을 받기만 한다. $L_b(s)$ 의 2개의 요소 S_5, S_8 은 타 요소로부터 영향을 받지는 않지만 타 요소에 가장 많은 영향력을 미치고 있다. $L_i(s)$ 의 5개의 요소 S_2, S_3, S_4, S_6, S_7 는 $L_b(s)$ 에서의 영향을 $L_t(s)$ 에 전하는 중간적인 존재이고, 이 경우의 블록 집합 Q_i 는 $\{ S_1 \}$ 이며 $L_t(s)$ 과 일치한다.

알고리즘 Step 3에 의해서 행렬 A 에서 불필요한 행과 열 즉, $L_t(s)$ 에 대응하는 행, $L_b(s)$ 에 대응하는 열, $L_{is}(s)$ 에 대응하는 행과 열을 삭제하여 식 (10)의 새로운 행렬 A' 를 얻을 수 있다.

$$A' = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_6 & S_7 \\ \begin{matrix} S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccccc} 0.55 & 0.00 & 0.38 & 0.32 & 0.27 & 0.19 \\ 0.68 & 0.62 & 0.00 & 0.52 & 0.59 & 0.33 \\ 0.43 & 0.65 & 0.34 & 0.00 & 0.17 & 0.34 \\ 0.71 & 0.63 & 0.65 & 0.60 & 0.62 & 0.56 \\ 0.45 & 0.71 & 0.41 & 0.37 & 0.00 & 0.48 \\ 0.81 & 0.71 & 0.60 & 0.69 & 0.55 & 0.00 \\ 0.65 & 0.73 & 0.62 & 0.58 & 0.60 & 0.38 \end{array} \right. \end{matrix} \quad (10)$$

식 (10)에서 S_1 열에 대한 정칙행은 S_2 이며 식 (5.4)의 연산에 의해서 치환하고, 식 (11)을 계산하여 식 (12)의 새로운 행렬 A_1 이 생성되고, Fig. A.2.6의 구조그래프(1)을 구할 수 있다.

$$S_1^* = S_1 \wedge \overline{S_2} = \begin{bmatrix} 0.55 \\ 0.68 \\ 0.43 \\ 0.71 \\ 0.45 \\ 0.81 \\ 0.65 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 1.00 \\ 0.29 \\ 0.26 \\ 0.28 \\ 0.21 \\ 0.21 \\ 0.20 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.55 \\ 0.29 \\ 0.26 \\ 0.28 \\ 0.21 \\ 0.21 \\ 0.20 \end{bmatrix} \quad (11)$$

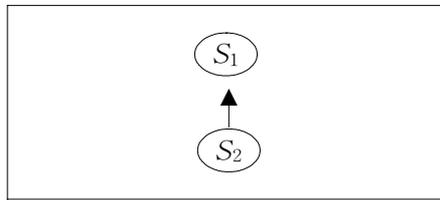


Fig. A.2.6 FSM Graph(1)

$$A_1 = \begin{matrix} & S_2 & S_3 & S_4 & S_6 & S_7 \\ \begin{matrix} S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.62 & 0.00 & 0.52 & 0.59 & 0.33 \\ 0.65 & 0.34 & 0.00 & 0.17 & 0.34 \\ 0.63 & 0.65 & 0.60 & 0.62 & 0.56 \\ 0.71 & 0.41 & 0.37 & 0.00 & 0.48 \\ 0.71 & 0.60 & 0.69 & 0.55 & 0.00 \\ 0.73 & 0.62 & 0.58 & 0.60 & 0.38 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (12)$$

식 (12)에서 S_2 열에 대한 정칙행은 S_4 와 S_6 으로 식 (5.4)의 연산에 의해서 치환하고 식 (13)을 계산하여 식 (14)의 새로운 행렬 A_2 가 생성되며, Fig. A.2.7의 구조그래프(2)를 구할 수 있다.

$$S_2^* = S_2 \wedge \overline{S_4} \wedge \overline{S_6} = \begin{bmatrix} 0.62 \\ 0.65 \\ 0.63 \\ 0.71 \\ 0.71 \\ 0.73 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.38 \\ 1.00 \\ 0.31 \\ 0.53 \\ 0.23 \\ 0.33 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.32 \\ 0.76 \\ 0.29 \\ 1.00 \\ 0.35 \\ 0.31 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.32 \\ 0.65 \\ 0.29 \\ 0.53 \\ 0.23 \\ 0.31 \end{bmatrix} \quad (13)$$

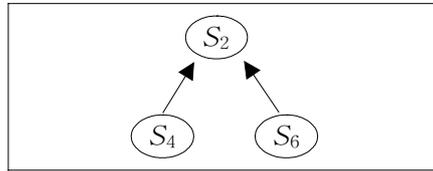


Fig. A.2.7 FSM Graph(2)

$$A_2 = \begin{matrix} & S_3 & S_4 & S_6 & S_7 \\ S_3 & \begin{bmatrix} 0.00 & 0.52 & 0.59 & 0.33 \end{bmatrix} \\ S_5 & \begin{bmatrix} 0.65 & 0.60 & 0.62 & 0.56 \end{bmatrix} \\ S_7 & \begin{bmatrix} 0.60 & 0.69 & 0.55 & 0.00 \end{bmatrix} \\ S_8 & \begin{bmatrix} 0.62 & 0.58 & 0.60 & 0.38 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (14)$$

식 (14)에서 S_5 행에 대한 정칙열은 S_7 이므로 식 (5.4)에 의해 치환하여 식 (15)와 같이 계산하고 식 (16)의 행렬 A_3 와 Fig. A.2.8의 구조그래프(3)을 구할 수 있다.

$$S_5^* = S_5 \wedge \overline{S_7} = \begin{bmatrix} 0.65 \\ 0.60 \\ 0.62 \\ 0.56 \end{bmatrix}^T \wedge \begin{bmatrix} 0.31 \\ 0.23 \\ 0.35 \\ 1.00 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 0.31 \\ 0.23 \\ 0.35 \\ 0.56 \end{bmatrix}^T \quad (15)$$

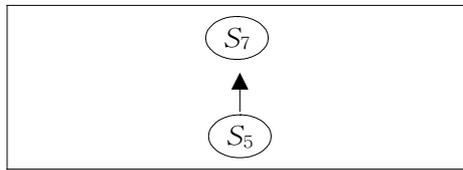


Fig. A.2.8 FSM Graph(3)

$$A_3 = \begin{matrix} & S_3 & S_4 & S_6 \\ S_3 & \begin{bmatrix} 0.00 & 0.52 & 0.59 \end{bmatrix} \\ S_7 & \begin{bmatrix} 0.60 & 0.69 & 0.55 \end{bmatrix} \\ S_8 & \begin{bmatrix} 0.62 & 0.58 & 0.60 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (16)$$

식 (16)에서 더 이상의 정칙행(열)은 존재하지 않으므로, 가장 저차인 S_3 행을 S_{3A} 와 S_{3B} 로 분할하여 S_4 열에 대한 정칙행 S_{3A} 을 생성하여 S_4 열을 소거하기 위해 식 (5.4)에 의해 치환하고, 식 (17)을 계산하여 식 (18)의 A_4 를 구하고, S_6 열에 대한 정칙행 S_{3B} 를 식 (19)를 계산하고, 식 (20)과 Fig. A.2.9의 구조그래프(4)를 구할 수 있다.

$$S_4^* = S_4 \wedge \overline{S_{3A}} = \begin{bmatrix} 0.52 \\ 0.00 \\ 0.69 \\ 0.58 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 1.00 \\ 1.00 \\ 0.31 \\ 0.29 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.52 \\ 0.00 \\ 0.31 \\ 0.29 \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$A_4 = \begin{matrix} & S_4 & S_6 \\ S_{3B} & \begin{bmatrix} 0.00 & 0.59 \end{bmatrix} \\ S_7 & \begin{bmatrix} 0.60 & 0.55 \end{bmatrix} \\ S_8 & \begin{bmatrix} 0.62 & 0.60 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (18)$$

$$S_6^* = S_6 \wedge \overline{S_{3B}} = \begin{bmatrix} 0.59 \\ 0.55 \\ 0.60 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 1.00 \\ 0.31 \\ 0.29 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.59 \\ 0.31 \\ 0.29 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$A_5 = \begin{matrix} & S_3 \\ S_7 & \begin{bmatrix} 0.59 \end{bmatrix} \\ S_8 & \begin{bmatrix} 0.55 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (20)$$

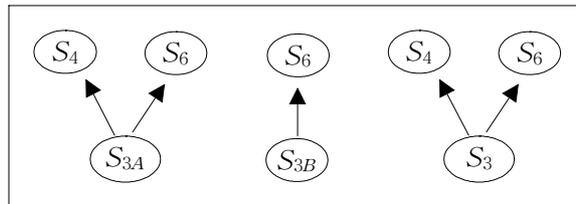


Fig. A.2.9 FSM Graph(4)

지금까지의 구조그래프를 종합하여 선박충돌사고에 영향을 미치는 인적 요소에 관한 의식구조를 분석할 수 있는 최종구조그래프(5)인 Fig. A.2.10

을 구할 수 있다.

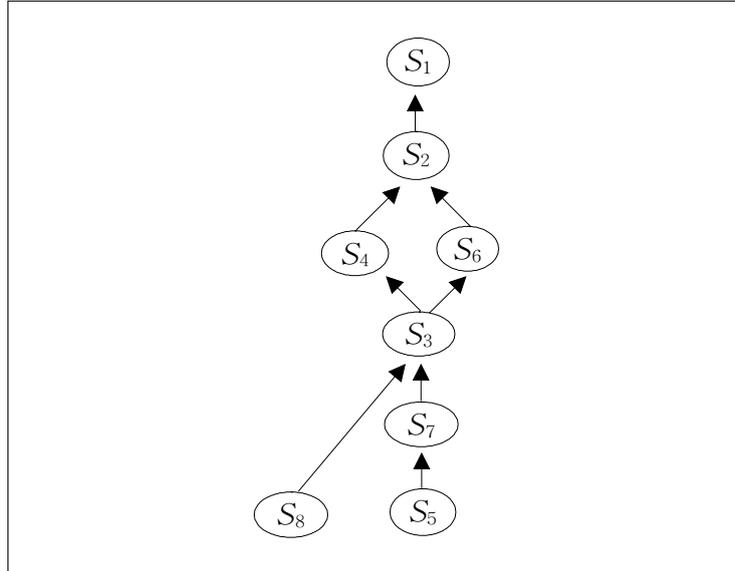


Fig. A.2.10 FSM Result Graph(5)(P=0.50, λ=0.50)

3. 전문가집단 분석

학계, 해양수산부 항만국통제 감사원 등 관련 전문가집단의 앙케이트 회답데이터를 근거로 선박충돌사고에 대한 인적요소의 각 요소간 종속관계를 결정하는 임계값 P 는 0.55, 파라미터값(λ)은 0.5로 구조분석을 실시하였다.

퍼지종속행렬 $A^k = [a_{ij}^k]_{8 \times 8}$ ($k = 1, 2, \dots, 10$)은 10개의 앙케이트 데이터에 근거하여 식 (21)을 이용하여 구하면 그 결과는 식 (22)와 같다.

$$A = [a_{ij}]_{8 \times 8} = \sum_{k=1}^{10} [a_{ij}^k / 10]_{8 \times 8} \quad (21)$$

$$A = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.00 & 0.48 & 0.36 & 0.23 & 0.42 & 0.38 & 0.14 & 0.19 \\ 0.60 & 0.00 & 0.37 & 0.31 & 0.40 & 0.25 & 0.23 & 0.15 \\ 0.64 & 0.61 & 0.00 & 0.42 & 0.38 & 0.54 & 0.37 & 0.24 \\ 0.55 & 0.63 & 0.41 & 0.00 & 0.21 & 0.22 & 0.29 & 0.35 \\ 0.72 & 0.61 & 0.63 & 0.58 & 0.00 & 0.60 & 0.45 & 0.28 \\ 0.56 & 0.68 & 0.34 & 0.28 & 0.45 & 0.00 & 0.36 & 0.30 \\ 0.78 & 0.62 & 0.58 & 0.63 & 0.16 & 0.46 & 0.00 & 0.25 \\ 0.61 & 0.71 & 0.60 & 0.56 & 0.35 & 0.43 & 0.31 & 0.00 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (22)$$

단, 대각요소 a_{ij} 은 편의상 0의 수치를 기입하고 있다. 이하의 의식구조 모델링은, 식 (22)를 근거로 하여 FSM법에 의해 구조분석을 실시하였다.

식 (22)의 퍼지중속행렬 A 에서 알고리즘에 Step 2에 의해 다음과 같이 각 레벨집합을 분해할 수 있다.

$$L_t(s) = \{ S_1 \}$$

$$L_i(s) = \{ S_2, S_3, S_4, S_6 \}$$

$$L_b(s) = \{ S_5, S_7, S_8 \}$$

$$L_{is}(s) = \emptyset$$

$L_t(s)$ 1개의 요소는 S_1 으로 타요소에 영향을 미치지 않고 영향을 받기만 하며, $L_b(s)$ 3개의 요소 S_5, S_7, S_8 는 타 요소로부터 영향을 받지 않지만 다른 계층의 타 요소에 가장 많은 영향력을 미치고 있다. $L_i(s)$ 의 4개의 요

소 S_2, S_3, S_4, S_6 는 $L_b(s)$ 의 영향을 $L_t(s)$ 에 전하는 중간적인 역할을 한다. 이 경우의 블록 집합 Q_i 는 $\{ S_1 \}$ 이며 $L_t(s)$ 와 일치한다.

알고리즘 Step 3.에 의해서 퍼지중속행렬 A 에서 $L_t(s)$ 에 대응하는 행, $L_b(s)$ 에 대응하는 열을 삭제하여 식 (23)의 새로운 행렬 A' 를 구한다.

$$A' = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_6 \\ \begin{matrix} S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.60 & 0.00 & 0.27 & 0.31 & 0.25 \\ 0.64 & 0.61 & 0.00 & 0.42 & 0.34 \\ 0.55 & 0.63 & 0.41 & 0.00 & 0.32 \\ 0.72 & 0.61 & 0.63 & 0.58 & 0.60 \\ 0.56 & 0.68 & 0.34 & 0.28 & 0.00 \\ 0.78 & 0.62 & 0.58 & 0.63 & 0.46 \\ 0.61 & 0.71 & 0.60 & 0.56 & 0.43 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (23)$$

식 (23)의 S_1 열에 대한 정칙행은 S_2 이고, 식(5.4)의 연산에 의해서 치환하고 식 (24)를 계산하여 식 (25)의 새로운 행렬 A_1 과 Fig. A.2.11의 구조그래프(1)을 구할 수 있다.

$$S_1^* = S_1 \wedge \overline{S_2} = \begin{bmatrix} 0.60 \\ 0.64 \\ 0.55 \\ 0.72 \\ 0.56 \\ 0.78 \\ 0.61 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 1.00 \\ 0.30 \\ 0.28 \\ 0.30 \\ 0.24 \\ 0.29 \\ 0.21 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.60 \\ 0.30 \\ 0.28 \\ 0.30 \\ 0.24 \\ 0.29 \\ 0.21 \end{bmatrix} \quad (24)$$

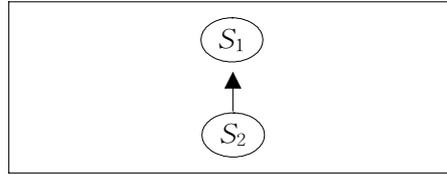


Fig. A.2.11 FSM Graph(1)

$$A_1 = \begin{matrix} & S_2 & S_3 & S_4 & S_6 \\ S_3 & \left[\begin{array}{cccc} 0.61 & 0.00 & 0.42 & 0.54 \end{array} \right. \\ S_4 & \left[\begin{array}{cccc} 0.63 & 0.41 & 0.00 & 0.32 \end{array} \right. \\ S_5 & \left[\begin{array}{cccc} 0.61 & 0.63 & 0.58 & 0.60 \end{array} \right. \\ S_6 & \left[\begin{array}{cccc} 0.68 & 0.34 & 0.28 & 0.00 \end{array} \right. \\ S_7 & \left[\begin{array}{cccc} 0.62 & 0.58 & 0.63 & 0.46 \end{array} \right. \\ S_8 & \left[\begin{array}{cccc} 0.71 & 0.60 & 0.56 & 0.43 \end{array} \right. \end{matrix} \quad (25)$$

식 (25)에서 S_2 열에 대한 정칙행은 S_3, S_4, S_6 이고 직접 종속한 요소를 결정하기 때문에 S_2 열을 식 (5.4)의 연산에 의해 치환하고 식 (26)을 계산하여 식 (27)의 새로운 행렬 A_2 가 생성되며, Fig. A.2.12의 구조그래프(2)를 구할 수 있다.

$$S_2^* = S_2 \wedge \overline{S_3} \wedge \overline{S_4} \wedge \overline{S_6}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.61 \\ 0.63 \\ 0.61 \\ 0.68 \\ 0.62 \\ 0.71 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 1.00 \\ 0.49 \\ 0.28 \\ 0.56 \\ 0.33 \\ 0.31 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.48 \\ 1.00 \\ 0.33 \\ 0.63 \\ 0.28 \\ 0.34 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.36 \\ 0.59 \\ 0.31 \\ 1.00 \\ 0.44 \\ 0.46 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.36 \\ 0.49 \\ 0.28 \\ 0.56 \\ 0.28 \\ 0.31 \end{bmatrix} \quad (26)$$

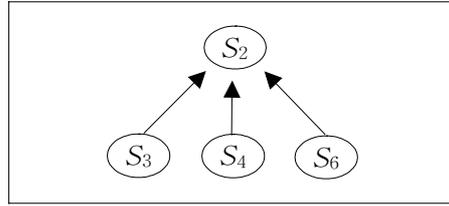


Fig. A.2.12 FSM Graph(2)

$$A_2 = \begin{matrix} & S_3 & S_4 & S_6 \\ \begin{matrix} S_5 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.63 & 0.58 & 0.60 \\ 0.58 & 0.63 & 0.46 \\ 0.60 & 0.56 & 0.43 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (27)$$

식 (27)에서 더 이상 정칙행이 없고, $L_b(s)$ 의 요소 S_5, S_7, S_8 과 $L_i(s)$ 인 S_3, S_4, S_6 에 대해서 일의적인 종속관계를 파악할 수 있게되며, Fig. A.2.13의 구조그래프(3)을 구할 수 있게된다.

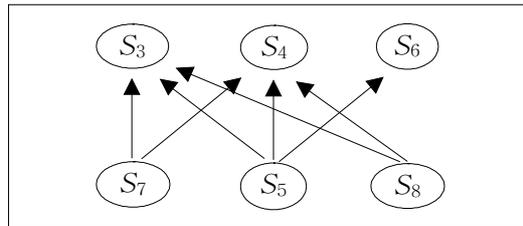


Fig. A.2.13 FSM Graph(3)

지금까지의 구조그래프를 종합하여 선박충돌사고에 영향을 미치는 인적

요소에 관한 전문가집단의 의식구조를 분석할 수 있는 Fig. A.2.14의 최종 구조그래프(4)를 구할 수 있다.

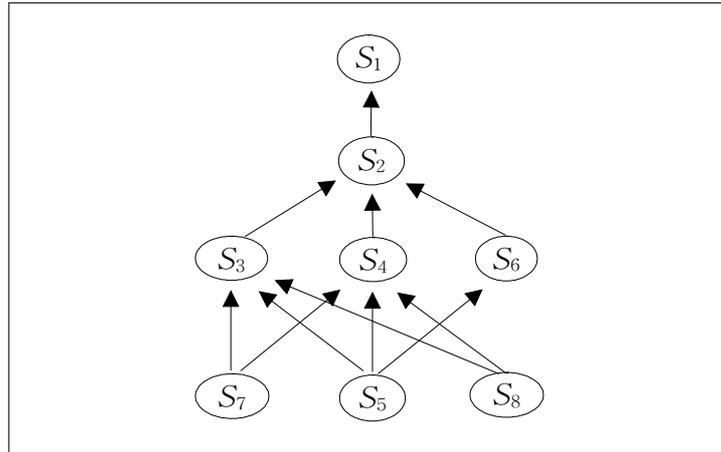


Fig. A.2.14 FSM Result Graph(4)(P=0.55,λ=0.50)

4. 해양안전심판원 분석

해양안전심판원의 심판관 및 조사관의 양케이트 회답데이터를 근거로 선박충돌사고에 대한 인적요소의 각 요소간 종속관계를 결정하는 임계값 P 는 0.55, 파라미터값(λ)은 0.5로 구조분석을 실시하였다.

퍼지종속행렬 $A^k = [a_{ij}^k]_{8 \times 8}$ ($k = 1, 2, \dots, 8$)은 8개의 양케이트 데이터 및 식 (28)을 이용하여 구하면 그 결과는 식 (29)와 같다.

$$A = [a_{ij}]_{8 \times 8} = \sum_{k=1}^8 [a_{ij}^k / 8]_{8 \times 8} \quad (28)$$

$$A = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.00 & 0.40 & 0.27 & 0.40 & 0.39 & 0.26 & 0.18 & 0.22 \\ 0.54 & 0.00 & 0.31 & 0.35 & 0.29 & 0.23 & 0.15 & 0.20 \\ 0.68 & 0.58 & 0.00 & 0.45 & 0.31 & 0.49 & 0.30 & 0.28 \\ 0.38 & 0.64 & 0.30 & 0.00 & 0.18 & 0.16 & 0.32 & 0.37 \\ 0.74 & 0.65 & 0.59 & 0.57 & 0.00 & 0.63 & 0.61 & 0.19 \\ 0.35 & 0.70 & 0.41 & 0.35 & 0.43 & 0.00 & 0.29 & 0.27 \\ 0.79 & 0.68 & 0.54 & 0.50 & 0.41 & 0.45 & 0.00 & 0.39 \\ 0.68 & 0.69 & 0.64 & 0.57 & 0.45 & 0.62 & 0.36 & 0.00 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (29)$$

단, 대각요소 a_{ij} 은 편의상 0의 수치를 기입하고 있다. 이하의 의식구조 모델링은, 식 (29)를 근거로 하여 FSM법에 의해 구조분석을 실시하였다.

식 (29)의 퍼지중속행렬 A에서 알고리즘에 Step 2에 의해 다음과 같이 각 레벨집합을 분해할 수 있다.

$$L_t(s) = \{ S_1, S_2 \}$$

$$L_i(s) = \{ S_3, S_4, S_6, S_7 \}$$

$$L_b(s) = \{ S_5, S_8 \}$$

$$L_{is}(s) = \emptyset$$

$L_t(s)$ 2개의 요소는 S_1, S_2 으로 타 요소에 영향을 미치지 않고 영향을 받기만 하며, $L_b(s)$ 2개의 요소 S_5, S_8 는 타 요소로부터 영향을 받지 않지만 다른 계층의 타 요소에 가장 많은 영향력을 미치고 있다. $L_i(s)$ 의 4개의 요

소 S_3, S_4, S_6, S_7 는 $L_b(s)$ 의 영향을 $L_t(s)$ 에 전하는 중간적인 역할을 한다. 이 경우의 블록 집합 Q_i 는 $\{ S_1, S_2 \}$ 이며 $L_t(s)$ 와 일치한다.

알고리즘 Step 3.에 의해서 퍼지중속행렬 A 에서 $L_t(s)$ 에 대응하는 행, $L_b(s)$ 에 대응하는 열을 삭제하여 식 (30)의 새로운 행렬 A' 를 구한다.

$$A' = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_6 & S_7 \\ \begin{matrix} S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.68 & 0.58 & 0.00 & 0.45 & 0.49 & 0.30 \\ 0.38 & 0.64 & 0.30 & 0.00 & 0.16 & 0.32 \\ 0.74 & 0.65 & 0.59 & 0.57 & 0.63 & 0.61 \\ 0.35 & 0.70 & 0.41 & 0.35 & 0.00 & 0.29 \\ 0.79 & 0.68 & 0.54 & 0.50 & 0.45 & 0.00 \\ 0.68 & 0.69 & 0.64 & 0.57 & 0.62 & 0.36 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (30)$$

식 (30)의 S_2 열에 대한 정칙행은 S_4, S_6 이며, 식 (5.4)의 연산에 의해서 치환하고 식 (31)을 계산하여 식 (32)의 새로운 행렬 A_1 과 Fig. A.2.15의 구조 그래프(1)을 구할 수 있다.

$$S_2^* = S_2 \wedge \overline{S_4} \wedge \overline{S_6} = \begin{bmatrix} 0.58 \\ 0.64 \\ 0.65 \\ 0.70 \\ 0.68 \\ 0.69 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.45 \\ 1.00 \\ 0.33 \\ 0.55 \\ 0.40 \\ 0.33 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.41 \\ 0.78 \\ 0.28 \\ 1.00 \\ 0.45 \\ 0.29 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.41 \\ 0.64 \\ 0.28 \\ 0.55 \\ 0.40 \\ 0.29 \end{bmatrix} \quad (31)$$

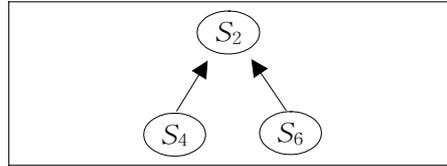


Fig. A.2.15 FSM Graph(1)

$$A_1 = \begin{matrix} & S_1 & S_3 & S_4 & S_6 & S_7 \\ \begin{matrix} S_3 \\ S_5 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.68 & 0.00 & 0.45 & 0.49 & 0.30 \\ 0.74 & 0.59 & 0.57 & 0.63 & 0.61 \\ 0.79 & 0.54 & 0.50 & 0.45 & 0.00 \\ 0.68 & 0.64 & 0.57 & 0.62 & 0.36 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (32)$$

식 (32)의 S_1 열 대한 정칙행은 S_3, S_7 이고, 식 (5.4)의 연산에 의해서 치환하고 식 (33)을 계산하여 식 (34)의 새로운 행렬 A_2 와 Fig. A.2.16의 구조그래프(2)를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 S_1^* &= S_1 \wedge \overline{S_3} \wedge \overline{S_7} \\
 &= \begin{pmatrix} 0.68 \\ 0.74 \\ 0.79 \\ 0.68 \end{pmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 1.00 \\ 0.32 \\ 0.36 \\ 0.27 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.61 \\ 0.30 \\ 1.00 \\ 0.54 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.61 \\ 0.30 \\ 0.36 \\ 0.27 \end{bmatrix} \quad (33)
 \end{aligned}$$

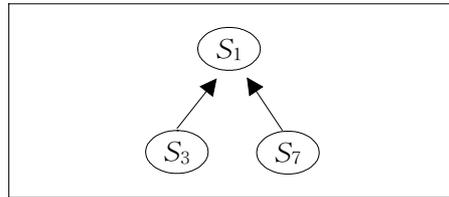


Fig. A.2.16 FSM Graph(2)

$$A_2 = \begin{matrix} & S_3 & S_4 & S_6 & S_7 \\ S_5 & [0.59 & 0.57 & 0.63 & 0.61] \\ S_8 & [0.64 & 0.57 & 0.62 & 0.36] \end{matrix} \quad (34)$$

식 (34)에서 더 이상 정칙행이 없고, $L_b(s)$ 의 요소 S_5, S_8 과 $L_i(s)$ 인 S_3, S_4, S_6, S_7 에 대해서 일의적인 종속관계를 파악할 수 있게되며, Fig. A.2.17의 구조그래프(3)을 구할 수 있게된다.

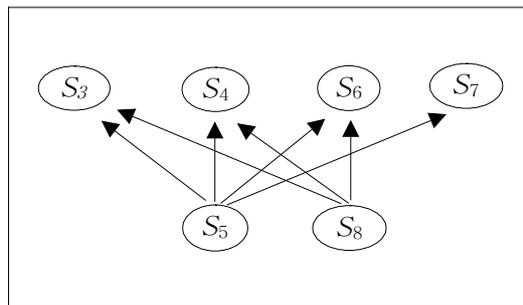


Fig. A.2.17 FSM Graph(3)

지금까지의 구조그래프를 종합하여 선박충돌사고에 영향을 미치는 인적

요소에 관한 해양안전심판원의 의식구조를 분석할 수 있는 Fig. A.2.18의 최종구조그래프(4)를 구할 수 있다.

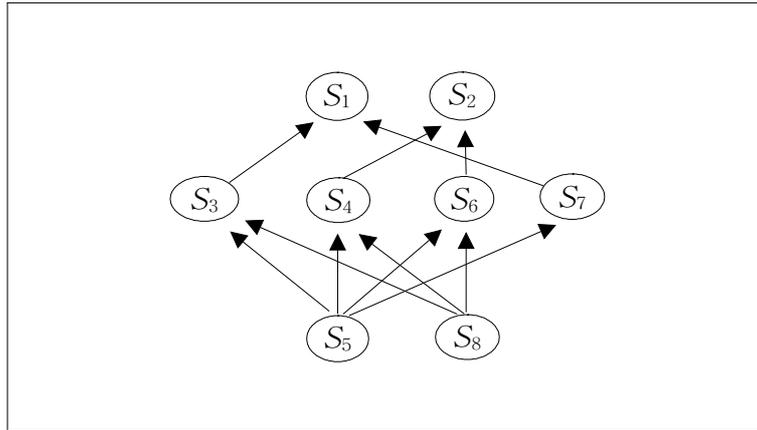


Fig. A.2.18 FSM Result Graph(4)(P=0.55,λ=0.50)

5. 승선실무자 분석

해상근무에 종사하는 선장, 일항사 등 승선실무자의 앙케이트 회답데이터를 근거로 선박충돌사고에 대한 인적요소의 각 요소간 종속관계를 결정하는 임계값 P는 0.55, 파라미터값(λ)은 0.5로 구조분석을 실시하였다.

퍼지종속행렬 $A^k = [a_{ij}^k]_{8 \times 8}$ ($k = 1, 2, \dots, 7$)는 7개의 앙케이트 데이터 및 식 (35)를 이용하여 구하면 그 결과는 식 (36)과 같다.

$$A = [a_{ij}]_{8 \times 8} = \sum_{k=1}^7 [a_{ij}^k / 7]_{8 \times 8} \quad (35)$$

$$\begin{array}{c}
A = \\
\begin{array}{l}
S_1 \\
S_2 \\
S_3 \\
S_4 \\
S_5 \\
S_6 \\
S_7 \\
S_8
\end{array}
\end{array}
\begin{array}{c}
S_1 \quad S_2 \quad S_3 \quad S_4 \quad S_5 \quad S_6 \quad S_7 \quad S_8 \\
\left[\begin{array}{cccccccc}
0.00 & 0.47 & 0.30 & 0.42 & 0.36 & 0.32 & 0.13 & 0.34 \\
0.51 & 0.00 & 0.46 & 0.30 & 0.42 & 0.33 & 0.19 & 0.16 \\
0.72 & 0.66 & 0.00 & 0.69 & 0.36 & 0.49 & 0.32 & 0.26 \\
0.36 & 0.68 & 0.31 & 0.00 & 0.27 & 0.13 & 0.41 & 0.44 \\
0.67 & 0.63 & 0.73 & 0.64 & 0.00 & 0.65 & 0.60 & 0.25 \\
0.44 & 0.74 & 0.48 & 0.47 & 0.43 & 0.00 & 0.52 & 0.33 \\
0.83 & 0.75 & 0.63 & 0.59 & 0.32 & 0.60 & 0.00 & 0.49 \\
0.64 & 0.76 & 0.62 & 0.59 & 0.47 & 0.64 & 0.45 & 0.00
\end{array} \right]
\end{array}
\quad (36)$$

단, 대각요소 a_{ij} 은 편의상 0의 수치를 기입하고 있다. 이하의 의식구조 모델링은 식 (36)을 근거로 하여 FSM법에 의해 구조분석을 실시하였다.

식 (36)의 퍼지중속행렬 A 에서 알고리즘에 Step 2에 의해 다음과 같이 각 레벨집합을 분해할 수 있다.

$$L_t(s) = \{ S_1, S_2 \}$$

$$L_i(s) = \{ S_3, S_4, S_6, S_7 \}$$

$$L_b(s) = \{ S_5, S_8 \}$$

$$L_{is}(s) = \emptyset$$

$L_t(s)$ 2개의 요소는 S_1, S_2 으로 타요소에 영향을 미치지 않고 영향을 받기만 하며, $L_b(s)$ 2개의 요소 S_5, S_8 는 타 요소로부터 영향을 받지 않지만 다른 계층의 타 요소에 가장 많은 영향력을 미치고 있다. $L_i(s)$ 의 4개의 요소 S_3, S_4, S_6, S_7 는 $L_b(s)$ 의 영향을 $L_t(s)$ 에 전하는 중간적인 역할을 한다. 이 경우의 블록 집합 Q_i 는 $\{ S_1, S_2 \}$ 이며 $L_t(s)$ 와 일치한다.

알고리즘 Step 3에 의해서 퍼지중속행렬 A 에서 $L_t(s)$ 에 대응하는 행, $L_b(s)$ 에 대응하는 열을 삭제하여 식 (37)의 새로운 행렬 A' 를 구한다.

$$A' = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_6 & S_7 \\ \begin{matrix} S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.72 & 0.66 & 0.00 & 0.69 & 0.49 & 0.32 \\ 0.36 & 0.68 & 0.31 & 0.00 & 0.13 & 0.41 \\ 0.67 & 0.63 & 0.73 & 0.64 & 0.65 & 0.60 \\ 0.44 & 0.74 & 0.48 & 0.47 & 0.00 & 0.52 \\ 0.83 & 0.75 & 0.63 & 0.59 & 0.60 & 0.00 \\ 0.64 & 0.76 & 0.62 & 0.59 & 0.64 & 0.45 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (37)$$

식 (37)에서 S_2 열에 대한 정칙행은 S_4, S_6 이며, 식 (5.4)의 연산에 의해서 치환하고 식 (38)을 계산하여 식 (39)의 새로운 행렬 A_1 과 Fig. A.2.19의 구조그래프(1)을 구할 수 있다.

$$S_2^* = S_2 \wedge \overline{S_4} \wedge \overline{S_6} = \begin{bmatrix} 0.66 \\ 0.68 \\ 0.63 \\ 0.74 \\ 0.75 \\ 0.76 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.23 \\ 1.00 \\ 0.27 \\ 0.43 \\ 0.32 \\ 0.32 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 0.41 \\ 0.82 \\ 0.26 \\ 1.00 \\ 0.31 \\ 0.27 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.23 \\ 0.68 \\ 0.26 \\ 0.43 \\ 0.31 \\ 0.27 \end{bmatrix} \quad (38)$$

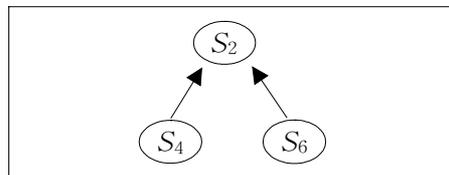


Fig. A.2.19 FSM Graph(1)

$$A_1 = \begin{matrix} & S_1 & S_3 & S_4 & S_6 & S_7 \\ S_3 & \left[\begin{array}{ccccc} 0.72 & 0.00 & 0.69 & 0.49 & 0.32 \\ 0.67 & 0.73 & 0.64 & 0.65 & 0.60 \\ 0.83 & 0.63 & 0.59 & 0.60 & 0.00 \\ 0.64 & 0.62 & 0.59 & 0.64 & 0.45 \end{array} \right] \end{matrix} \quad (39)$$

식 (39)에서 S_5 행에 대한 정칙열이 S_7 이므로 식 (5.4)의 연산에 의해서 치환하고 식 (40)을 계산하여 식 (41)의 새로운 행렬 A_2 와 Fig. A.2.20의 구조그래프(2)를 구할 수 있다.

$$S_5^* = S_5 \wedge \overline{S_7} = \begin{bmatrix} 0.67 \\ 0.73 \\ 0.62 \\ 0.65 \\ 0.60 \end{bmatrix}^T \wedge \begin{bmatrix} 0.16 \\ 0.28 \\ 0.32 \\ 0.29 \\ 1.00 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 0.16 \\ 0.28 \\ 0.32 \\ 0.29 \\ 0.60 \end{bmatrix}^T \quad (40)$$

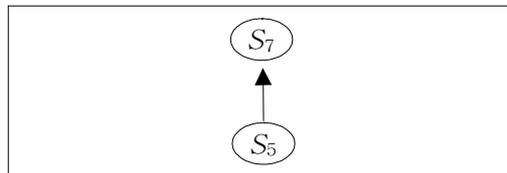


Fig. A.2.20 FSM Graph(2)

$$A_2 = \begin{matrix} & S_1 & S_3 & S_4 & S_6 \\ S_3 & \left[\begin{array}{cccc} 0.72 & 0.00 & 0.69 & 0.49 \\ 0.83 & 0.63 & 0.59 & 0.60 \\ 0.64 & 0.62 & 0.59 & 0.64 \end{array} \right] \\ S_7 & & & & \\ S_8 & & & & \end{matrix} \quad (41)$$

식 (41)에서는 더 이상 정칙행(열)이 없으므로 가장 저차인 S_3 을 S_{3A} 와 S_{3B} 로 분할하여 정칙행을 생성한 후에 식 (5.4)의 연산에 의해서 치환하고 식 (42)와 식 (43)을 계산하여 식 (44)의 새로운 행렬 A_3 과 Fig. A.2.21의 구조그래프(3)을 구할 수 있다.

$$S_1^* = S_1 \wedge \overline{S_{3A}} = \begin{bmatrix} 0.72 \\ 0.00 \\ 0.83 \\ 0.64 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 1.00 \\ 1.00 \\ 0.28 \\ 0.29 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.72 \\ 0.00 \\ 0.28 \\ 0.29 \end{bmatrix} \quad (42)$$

$$S_4^* = S_4 \wedge \overline{S_{3B}} = \begin{bmatrix} 0.00 \\ 0.69 \\ 0.59 \\ 0.59 \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} 1.00 \\ 1.00 \\ 0.28 \\ 0.29 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.00 \\ 0.69 \\ 0.28 \\ 0.29 \end{bmatrix} \quad (43)$$

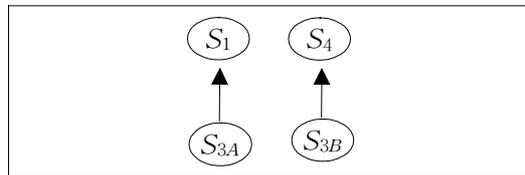


Fig. A.2.21 FSM Graph(3)

$$A_3 = \begin{matrix} & S_3 & S_6 \\ S_7 & \begin{bmatrix} 0.63 & 0.60 \end{bmatrix} \\ S_8 & \begin{bmatrix} 0.62 & 0.64 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (44)$$

식 (44)에서 더 이상 정칙행(열)이 없고, 요소 S_3, S_6, S_7, S_8 에 대해서 일

의적인 종속관계를 파악할 수 있으며, Fig. A.2.22의 구조그래프(4)를 구할 수 있게된다.

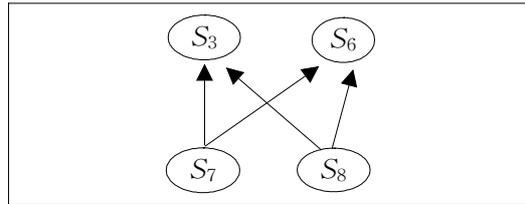


Fig. A.2.22 FSM Graph(4)

지금까지의 구조그래프를 종합하여 선박충돌사고에 영향을 미치는 인적 요소에 관한 승선실무자의 의식구조를 분석할 수 있는 Fig. A.2.23의 최종 구조그래프(5)를 구할 수 있다.

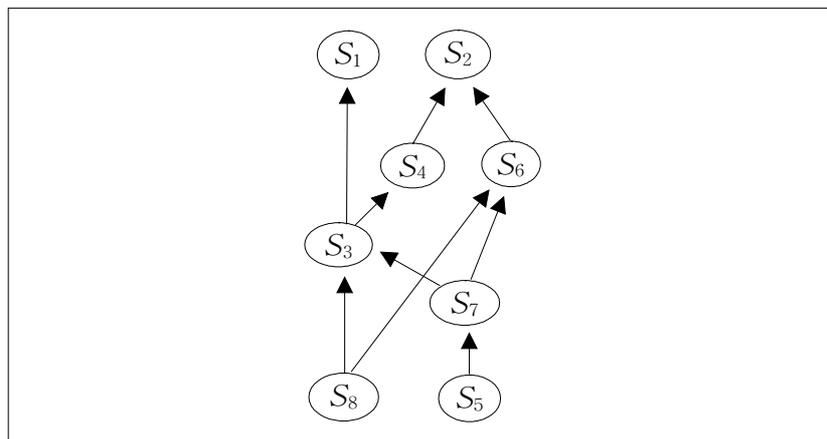


Fig. A.2.23 FSM Result Graph(5) (P=0.55, $\lambda=0.50$)

감사의 글

깊고 넓은 마음으로 한없이 부족한 저에게 진정한 학자의 모습을 보여 주시고 학문의 길로 인도해 주셨으며, 세상을 살아가는 지혜를 가르쳐 주시고 이 論文이 나오기까지 세심하고 따뜻한 배려와 관심 어린 지도를 마다하지 않으신 전승환 지도교수님께 이 영광을 돌리며 진심으로 머리 숙여 감사드립니다.

처음부터 끝까지 한없는 애정으로 저의 논문심사에 많은 조언과 깊은 배려를 하여주신 허일 교수님, 바쁘신 일정가운데서도 귀중한 시간을 할애하여 학문의 깊이와 세심한 검토로 제 논문의 부족함을 메워주신 정연철 교수님, 소명옥 교수님, 박계각 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고, 이 논문이 완성되기까지 많은 관심과 세심한 배려를 하여주신 윤명오 교수님, 박진수 교수님, 금종수 교수님께 진심으로 감사드립니다.

학업을 시작하면서 미약한 저에게 항상 깊은 관심과 애정으로 돌보아주신 목포해양대학교 총장님 이하 교수님들과 아낌없는 지도편달과 격려로 용기를 북돋아 주시고 도움을 주신 해상운송시스템학부 교수님들의 은혜에 진심으로 감사드리며 가슴깊이 새기겠습니다.

지금까지의 과정에서 학문의 자세를 일깨워 주시고 도와주신 김순갑 교수님, 박상갑 교수님, 윤종휘 교수님, 정태권 교수님, 김길수 교수님, 채양범 교수님, 예병덕 교수님, 국승기 교수님, 송재욱 교수님께 진심으로 감사드립니다.

열심히 노력해서 세상에 필요한 사람이 되도록 애정과 관심으로 지원해주신 윤보현 선생님, 김진용 선생님, 길상사의 동준 스님, 항상 친형처럼 대해주시는 김양섭 선생님께 진심으로 감사드립니다.

실험실에서 수많은 밤을 세우며 함께 고민하고 땀흘린 정은석 교수, 문성배 박사와 많은 일에 도움을 주었던 정재용 박사에게 감사한 마음을 표하며, 다시 학업을 시작한 후배 백태열과, 서기열, 김화영 후배들에게 심심한 고마움을 전합니다.

이 작은 결실이 있기까지 항상 자식에 대한 믿음과 올바른 인간으로 성장하도록 보살피 주시고 키워주신 아버지, 작은아버지, 가족모두와 편치 않으신 몸으로 손자들 키우시느라 큰 힘이 되어주신 장모님, 그리고 여리고 착한 마음으로 묵묵히 헌신적인 성원을 해준 사랑하는 아내 주연진, 아빠가 사랑하는 아들 양승준, 양도원과 이 기쁨을 함께 하고 싶습니다.

정직하고 따뜻한 마음으로 세상을 살아가도록 인도해주시고, 가족을 위해서라면 그 무엇도 마다하지 않으시고 헌신적인 사랑을 베풀기만 하시다 자식의 효도한번 제대로 받지 못하시고 떠나신 한없이 그리운 어머니 靈前에 이 논문을 바칩니다.