論 文

선박충돌사고 위험성 제어방안에 관한 연구

양원재* · 금종수** · 전승환***

* 목포해양대학교 강사, ** 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수, *** 한국해양대학교 운항시스템공학부 교수

A Study on the Risk Control Measures of Ship's Collision

Won-Jae Yang*, Jong-Soo Keum**, Seung-Hwan, Jun***

*, ** Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea
*** Division of Ship Operation System Engineering, Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

〈目 次〉

Abstract
요 약
1. 서 론
2. 해양사고 분석기법
2.1 FSA 시스템
2.2 FSM기법
3. 국내 선박충돌사고 분석
3.1 사고현황
3.2 위험성 평가
3.3 인적요소 구조분석
4. 선박충돌사고 제어방안
5. 결 론
참고문헌

Abstract

The prevention of marine accidents has been a major topic in marine society for long time and various safety policies and Countermeasures have been developed and applied to prevent those accidents. In spite of these efforts, however significant marine accidents have taken place intermittently. Ship is being operated under a highly dynamic environments 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 countermeasures which will ensure the safe navigation. This study analysed the ship's collision 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 propose risk control countermeasures of ship's collision. For this, 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. FSM has been widely adopted in modeling a dynamic system which is composed of human factors. Then, the structure analysis on the causes of ship's collision using FSM are performed. 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.

◐ KEY WORDS : Marine Accidents, Ship's Collision, Risk, Human Factor, Formal Safety Assessment, Fuzzy Structural Modeling

*정회원, wjyang@mail.mmu.ac.kr 061)240-7069
**정회원, jskeum@mail.mmu.ac.kr 061)240-7075
**정회원, korjun@hhu.ac.kr 051)410-4245

요 약

오늘날 해운산업분야에서 해상의 인명·재산, 해양환경보호에 가장 큰 관심을 기울이고 있다. 국제해사기구(IMO)에서는 해상에서 선박운항으로 인하여 발생하는 충돌, 좌초, 침몰 등 해양사고에 대한 위험성을 정량적으로 평가하여, 그에 대한 제어방안을 마련하고 합리적인 안전규정을 제·개정하기 위한 절차적 수단으로 FSA(Formal Safety Assessment)를 도입하여 과학적이고 체계적인 대응방안을 마련하고자 노력하고 있다. 따라서 본 연구에서는 FSA평가시스템을 이용하여 사고발생빈도와 사고로 인한 인적, 물적, 환경오염 피해가 막대한 선박충돌사고의 발생위험성을 분석하였다. 또한 선박충돌사고 발생에 가장 큰 영향을 미치는 위해요소(Hazard)인 인적요소(Human Factor)에 대해서 전문가집단의 의견을 수렴하여 FSM법을 이용하여 각 위해요소를 계층화하고, 요소 상호간의 관련성을 분석하여 선박충돌사고를 예방하기 위한 적절한 제어방안을 제시하였다.

◐ 핵심용어 : 해양사고, 선박충돌사고, 위험성, 인적요소, 공식안전평가시스템, 퍼지구조모델

1. 서 론

오늘날 해운산업분야는 산업발달과 함께 눈부신 발전을 거듭해 왔으나 선박운항과 관련된 수많은 해양사고가 발생함으로써 인명과 재산, 해양환경에 막대한 피해를 초래하고 있다. IMO에서는 해상에서의 안전을 확보하기 위하여 지금까지 SOLAS, MARPOL, STCW, COLREG 등 각종 국제협약을 제정하여 선박안전관련 설비, 기준, 자격, 절차들을 규정함으로써 선박의 안전운항, 승무원과 여객의 인명보호, 오염으로부터 해양환경보호에 많은 기여를 하였다.

해상에서 발생하는 선박충돌사고는 인명과 선박손실 및 해양환경오염을 유발하는 심각한 사고로서 그 피해의 정도가 크고, 사고의 발생원인이 매우 다양하고 복잡하게 상호관련 되어 있기 때문에 원인규명이 쉽지 않아 사고예방대책 수립에 어려움이 많은 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 먼저, 해양사고 통계데이터를 근거로 선박충돌사고 발생빈도, 사고로 인한 인명피해, 선박피해, 해양환경오염피해에 대한 현황분석을 하고 그 결과를 토대로 선박충돌사고의 발생위험성을 분석하였다. 또한 충돌사고발생에 가장 크게 영향을 미치는 인적 위해요소에 대한 우선 순위를 파악하고 각 위해요소의 계층구조와 요소상호간의 관계를 정량적으로 파악하여 분석하기 위해 해양관련 전문가집단에게 앙케이트 조사를 실시하여 그 결과를 분석하고 그에 대한 적절한 제어방안을 마련하고자 하였다.

2. 해양사고 분석기법

2.1 FSA 시스템

FSA(Formal Safety Assessment)시스템은 인명, 재산, 환경에 대한 위험을 수반하는 사건사고를 다루고, 현재의 위험성과 위험성 제어에 대해서 일반적인 개요를 수립하기 위하여 규칙제정을 목적으로 하는 분야와 선박, 설비, 운영 등의 특정한 활동에 대한 사례연구 분야에 적용되고 있다.[1]

이 시스템은 타 산업분야에서 사용하고 있는 안전에 대한 시스템적인 위험기반접근법이며, 선박안전분야에 현대의 과학기술이 적용되어야 함을 강조하고 있다. 특히, 선박운항의 모든 측면에 대한 주요안전목표(Primary Safety Goal)를 설정하고 개개의 선박에 대하여 Safety case를 적용할 것을 강조하고 있다. 주요안전목표는 정량적 위험평가(Quantified Risk Assessment, QRA), 비용-편익평가 그리고 어느 수준의 위험까지 수용가능한지에 대한 국제적 동의에 근거를 두어야 한다.[2] 시스템에서 사용되는 용어인 사고(Accident)는 사망, 부상, 선박의 손실/손상, 재산의 손실/손상, 또는 환경 손상을 포함하는 예상치 못한 사건(Event)을 말하며, 사고범주(Accident Category)는 화재, 충돌, 좌초 등 그 성격에 따라 통계표에 보고되는 사고의 명칭, 결과(Consequence)는 사고의 결과, 빈도(Frequency)는 단위 시간당(예: 1년)사고 발생 횟수, 위해요소(Hazard)는 인명, 건강, 재산, 환경 등을 위협하는 잠재성, 위험성(Risk)은 사고의 빈도와 결과의 심각성(Severity)과의 조합, 위험성 제어수단(Risk Control Measure)은 위험성의 단일 요소를 제어하는 수단 등으로 정의된다.[3]

FSA시스템은 다음의 5단계로 구성되어 있다

1) 위해요소의 파악(Identification of Hazards)
2) 위험성 평가(Risk Assessment)
3) 위험성 제어방안(Risk Control Option)
4) 비용-편익평가(Cost-Benefit Assessment)

5) 의사결정을 위한 권고(Recommendation for Decision Making)

2.2 FSM기법

복잡한 시스템을 정량적으로 표현하고 구조화하는데 유용한 수법인 FSM기법에서는 대상시스템은 $S=\{S_1, S_2, \cdots, S_n\}$으로 하고, 문맥상의 관계에 대응하여 추출된 요소간의 퍼지종속관계를 나타내는 퍼지종속행렬 A를 $A=[0, 1]$로 표시한다. 여기서 A는 n×n정방행렬이며, A의 요소 a_{ij}($i, j = 1,2, \cdots,n$)는 식 (1)의 퍼지 2항관계에 의해 주어진다.[4-7]

한편, a_{ij}는 요소 S_i가 S_j에 종속한 정도(Grade)를 나타내는 것이다.

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

구조모델을 구성하기 위한 알고리듬을 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 A로 수정한다. 퍼지비반사율, 비대칭율, 반추이율을 다음과 같이 정의된다. 단, 여기서 임계값 P는 미리 주어진 반개구간 (0, 1]의 실수로 한다.

1) $\forall(S_i, S_j) \in S \times S$에 대하여 $f_r(S_i, S_i) \le P$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 $M = \bigvee_{j=1}^{n} (f_r(S_i, S_j)\ f_r(S_i, S_k)) \ge P$ 일 때, $f_r(S_i, S_k) \ge M$가 만족하게되면 퍼지반추이율이 성립한다.

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 (2), (3), (4), (5)과 같은 정의에 의해서 결정된다.

$$L_t(s) = \left\{ S_k \mid \bigvee_{j=1}^{n} a_{kj} < P \le \bigvee_{i=1}^{n} a_{ik} \right\} \tag{2}$$

$$L_i(s) = \left\{ S_k \mid P \le \bigvee_{i=1}^{n} a_{ik}\ ,\ P \le \bigvee_{j=1}^{n} a_{kj} \right\} \tag{3}$$

$$L_b(s) = \left\{ S_k \mid \bigvee_{i=1}^{n} a_{ik} < P \le \bigvee_{j=1}^{n} a_{kj} \right\} \tag{4}$$

$$L_{is}(s) = \left\{ S_k \mid \bigvee_{i=1}^{n} a_{ik} < P,\ \bigvee_{j=1}^{n} a_{kj} < P \right\} \tag{5}$$

각 레벨집합정의의 "$\vee a_{ij}$"는 $\max(a_{ij})$를 의미하고, 레벨집합 $L_b(s)$에 속한 요소 S_i가 종속한 $L_t(s)$의 요소집합 $B(s_i)$에서 블록(Block) 집합이 정의된다. 즉, 단일계층(Single Hierarchy)집합의 최상층레벨집합은 블록집합이라고 말하고 Q_j로 표시하고 관계 $Q_j \subseteq L_t(s)$가 성립한다. 동일 블록 Q_j에 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.

Step 4. 단일계층행렬의 구성

Step 3.에 의해서 재구성된 A'로부터 블록집합 Q_j에 따라 단일계층행렬 $A(j)$를 만든다.

Step 5. 구조화그래프의 작성

퍼지 구조파라미터 λ를 정하여 단일계층행렬 $A^{(j)}$에 관한 구조그래프를 구성한다. 여기서 S_j에 대한 정칙행을 S^{ik}(단, $k = 1, 2, \cdots, n'$)라 할 때 S_{ik}는 식 (6)의 연산에 의해 $a \cdot j$는 $a \cdot \dot{j}$로서 치환되어 소거되고, S_j에 직접 종속한 요소가 결정되어 구조그래프를 구할 수 있게 된다. 여기서, [ ]은 열벡터를 표시한다.

3. 국내 선박충돌사고 분석

3.1 사고현황

지난 10년(1991~2000)간 전체해양사고 총 6,724건 중에서 선박충돌사고는 1,467건으로 전체 해양사고건수의 약 22%이며 발생빈도 면에서 기관손상에 이어 두 번째를 차지하고 있다. 하지만 선박용도별/사고

종류별 사고발생 척수에서는 기관손상사고가 1,871척이었고, 선박충돌사고는 3,027척으로 전체 해양사고의 약 36.2%를 차지하고 있다.[8]

Table 1은 국내 선박충돌사고를 분석하여 발생빈도순으로 정리한 것이다. 선박간의 충돌은 화물선과 어선의 충돌사고가 약 35.8%로 높게 나타나고 있다. 또한, 선박 충돌시 시정상태는 무중항해와 기상악화로 인한 황천시 항해보다는 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 운항과실이었다. 인명피해발생률은 전체해양사고의 약 28.9%, 선박피해발생률은 전체해양사고의 약 21.6% 정도로 파악되었다. 이 같은 사실은 선박충돌사고의 위험성과 그에 대한 사고예방대책이 절실히 필요함을 반영하고 있다.

3.2 위험성 평가

3.2.1 위해요소 파악

해상에서 발생하는 해양사고 중에서 선박충돌사고와 관련된 수많은 요소를 Table2와 같이 하드웨어적인 요소(Hardware Failures), 인적요소(Human Elements), 외부적인 요소(External Events)로 분류할 수 있다.

한편, 선박운항에 있어서 선박충돌사고를 유발시키는 인적요소의 주요범주를 미국 연안경비대 Quality Action Team의 "Prevention Through People"보고서에서 Table3과 같이 관리적요소, 운영자요소, 작업환경요소, 지식요소, 의사결정요소로 분류하고 있다.[9]

본 연구에서 선박충돌사고에 영향을 미치는 인적요소에 대한 우선 순위를 파악하기 위한 앙케이트 조사를 실시하였으며, 조사 대상은 해양안전심판원, 해양계 대학 및 관련분야의 전문가, 승선실무자였다. 총 85부의 조사지를 발송하여 총 66부를 회수하였다. 이 회답결과 데이터를 근거로 Table4와 같이 전체 응답자, 해양안전심판원, 전문가, 승선실무자로 분류하여 정리하였다. 앙케이트 조사결과, 해양안전심판원, 관련분야 전문가, 승선실무자의 모든 분야 응답자는 운영자요소가 다른 요소에 비하여 충돌사고에

Table 1 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 · 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

Table 2 Identification of Hazard Related 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, 속도제한, 항로, 통항분리대, 예인선 운용 등

가장 직접적인 영향을 미치고 있다고 응답하였다. 그러나 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.

3.2.2 선박충돌사고 위험성

FSA에서는 위험성(Risk)을 사고발생빈도와 결과의 심각성의 조합으로 정의하고 있다. Table5는 국내에서 발생한 해양사고통계자료를 선박충돌사고를 중심으로 정리한 것이다.

Table 6은 선박충돌사고 발생빈도와 사고의 주원인인 인적요소에 의한 충돌사고 발생빈도 그리고 해역별 충돌사고 발생빈도를 분석한 것이다. 인적요소에 기인한 충돌사고의 발생빈도는 약 85%로 거의 대부분을 차지하고 있으며, 또한 충돌사고 발생해역 현황으로는 연해구역 약 60%, 항내 약 23%, 원양구역 약 17%의 순으로 발생하는 것을 알 수 있다.

Table 7은 해양사고통계에 근거한 선박충돌사고 위험성을 사고발생 해역분포, 사고로 인하여 초래되는 인명피해결과, 전체 선박 척당 잠재적 인명손실치(Potential Loss of Life, PPL)를 나타낸 것이다. 전체 해양사고에서 선박충돌사고의 발생빈도는 0.00325으로 천 척당 약 3척의 충돌사고, 전체 충돌사고선박에서 약 6척당 1명이 선박충돌사고에 의한 잠재적 인명손실피해를 당하고 있음을 알 수 있다. 또한, 선박충돌사고의 해역에 대한 위험성 하위범주(Risk Sub-categories)에 속하는 연해구역의 사고발생빈도는 1.96E-03으로 사고가 가장 많이 발생하고 있었다. 그리고 이 해역에서 인적요소에 의한 발생빈도는 1.67E-03이었다. 따라서 연해구역에 대한 선박충돌사고를 예방하기 위한 적극적인 대책을 마련하여 사고를 감소시키는 것이 필요함을 알 수 있다.

Table3 Categories of Human Factor(USCG)

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

Table4 Results of the Questionnaire for Human Factor

조 사 대 상	응 답 자 (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		

3.3 인적요소 구조분석

3.3.1 자료분석

본 앙케이트 조사를 위한 인적요소의 세부항목 추출과 선정은 국내외 해양안전심판원재결서의 충돌사고 원인 분류 자료를 토대로 브레인 스토밍법을 이용하였다. Table8은 앙케이트 조사를 위해 선정된 총 9개 항목의 구성요소이며, 앙케이트 조사대상은 해양안전심판원 심판관 및 조사관, 승선근무중인 선장 및 항해사, 해양계 대학 실습선 선장과 항해사, 해양수산부 항만국통제 검사원과 항만교통정보서비스요원, 해양계 대학 관련전문가, 한국해양수산연수원 연수자중 선장과 일항사로 선정하여 실시하였다.

앙케이트 회답방법은 Table 8의 총 9개 질문항목 Si(i=1, 2, ···, 9)에 대하여, "임의의 요소 Si는 나머지 타요소 Sj에 어느 정도 영향을 미치는가"하는 상대적인 영향도를 직관적으로 비교하여 그 정도(Grade)를 앙케이트 조사지에 예시한 영향도를 참고하여 주관적인 값으로 회답란의 요소 aij에 퍼지값[0,1]으로 기입하도록 하였다. 단, aij는 소수점이하 1자리, 또는 2자리 값으로 응답하도록 하였으며, "기타(S9)"항목은 이미 정해진 항목이외에 응답자가 생각하는 요소를 직접 기입하도록 한 후 총 9개 항목으로 조사를 실시하였으나, 이 항목에 대한 전체 응답자의 회답상황이 미미하여 하나의 항목으로 간주하고 분석할 수 없었다.

앙케이트 조사지의 배포 및 수집현황은 총 85부를 배포하여 66부를 회수하였는데, 실제 분석이 가능하다고 판단되는(퍼지비반사율, 퍼지반추이율을 만족하는 응답지) 유효한 응답지 25부를 선별하여 인적요소에 관한 구조분석을 실시하였다.

3.3.2 구조모델링

요소간의 종속관계와 계층의 세분화를 결정하는 임계값 P와 각 계층의 요소간 일의적인 종속관계를 결정하여 구조그래프를 구하는데 필요한 파라미터값는 매우 중요하다. P값은 그 값이 작아짐에 따라 각 레벨 수를 많이 갖는 계층구조를 형성하게 되고 또한, P값이 작아지면 퍼지비대칭률이 성립하지 않을 가능성이 커진다. 따라서 적당한 P값을 할당하여 순차적으로 P를 변화시켜가면서 가장 타당한 값을 발견하여야 한다.[10-11] 따라서, 본 구조분석에서는 가장 적합한 임계값을 구하기 위해서 응답자의 앙케이트 회답 결과값을 근거로 하여 P값을 "0.60, 0.55, 0.50"인 경우로 각각 나누어서 순차적으로 전체응답자에 대한 구조 모델링을 실시하였다.

퍼지종속행렬 $A^k = [a_{ij}^k]_{8\times8}$ (k=1, 2, ···, 25)는 25개의 앙케이트 회답데이터를 식 (7)을 이용하여 구하고 소수3째 자리에서 반올림했다. 그 결과는 식 (8)과 같다.

Table5 Statistics of Ship's Collision for Marine Accidents(1991-2000)

내용 / 연도	전체 선박 척수	전체사고		충돌사고					인명사상		충돌인명피해			충돌선박피해		
		척수	건수	척수	건수	항내	연해	원양	척수	건수	사망	행방불명	부상	전손	중손	경손
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

$$A = [a_{ij}]_{8\times8} = \sum_{k=1}^{25} [a_{ij}^{k}/25]_{8\times8} \quad (7)$$

$$A = \begin{array}{c} \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccccc} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0.00 & 0.45 & 0.31 & 0.35 & 0.39 & 0.32 & 0.15 & 0.25 \\ 0.55 & 0.00 & 0.38 & 0.32 & 0.37 & 0.27 & 0.19 & 0.17 \\ 0.68 & 0.62 & 0.00 & 0.52 & 0.35 & 0.59 & 0.33 & 0.26 \\ 0.43 & 0.65 & 0.34 & 0.00 & 0.22 & 0.17 & 0.34 & 0.41 \\ 0.71 & 0.63 & 0.65 & 0.60 & 0.00 & 0.62 & 0.56 & 0.24 \\ 0.45 & 0.71 & 0.41 & 0.37 & 0.48 & 0.00 & 0.48 & 0.30 \\ 0.81 & 0.71 & 0.60 & 0.69 & 0.32 & 0.55 & 0.00 & 0.46 \\ 0.65 & 0.73 & 0.62 & 0.58 & 0.46 & 0.60 & 0.38 & 0.00 \end{bmatrix} \end{array} \quad (8)$$

단, 대각요소 aij(i=j)은 편의상 0의 수치를 기입하고 있다. 이하는, 식 (8)을 근거로 하여 FSM기법의 알고리듬에 의해 구조분석을 실시하였다.

3.3.3 구조 그래프화

전체응답자에 대한 구조분석은 국내 선박충돌사고에 대한 인적요소의 계층구조와 각 요소상호간의 관계를 분석하기에 가장 타당한 임계값 선정하기 위하여 각각의 경우로 나누어 실시하였다. 그 결과 임계값 P=0.55, 파라메터값 λ= 0.50에 대한 최종구조그래프는 Fig. 1에 도시한 바와 같다.

1) 전체응답자 분석결과

① 선박을 운항하는 승무원의 "견시불충분"요소가 선박충돌사고에 가장 직접적인 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

Table6 Frequency of Ship's Collision

구분		발생빈도
연간척당사고 (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
	항내	0.2250
해역별충돌사고 (해양안전심판원 재결분) (1991년~2000년, 건수)	연해구역(평수구역포함)	0.6030
	원양구역(근해포함)	0.1720

Table7 Analysis of Risk for Ship's Collision

분류	발생빈도(Frequency)	결과(Consequence)	위험성(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

Table8 Components of Questionnaire

요 소	요소의 내용	요 소	요소의 내용
S_1	견시불충분	S_6	등화·형상물 불표시
S_2	항법미준수	S_7	졸음
S_3	신호(무중·주의환기신호)불이행	S_8	보고·인계부적절
S_4	속력선정 부적절	S_9	기타(본인기재)
S_5	복무에 관한 지휘감독 부적절		

영향을 주고, "속력선정 부적절"은 "항법미준수"에 영향을 미치서, 이 "항법미준수"항목은 최상층의 "견시불충분"에 직접적인 영향을 미쳐 최종적으로 선박충돌사고가 발생하는 과정을 파악하였다.

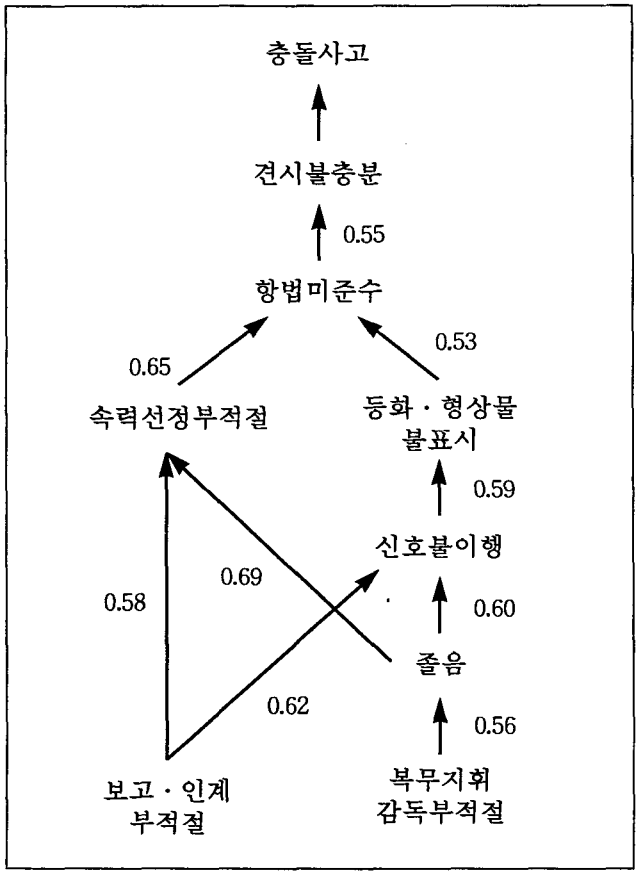

Fig.1 Result Graph (P=0.55 =0.50)

2) 전문가 집단별 분석결과

Table 9는 전체 앙케이트 조사대상을 전문가집단, 해양안전심판원, 승선실무자로 세분화하여 임계값 P=0.55, 파라메터값 λ=0.50으로 구조 분석한 결과를 각 계층에 속한 요소별로 분류한 것이다. 각각의 분석결과에서 선박충돌사고원인에 대한 인적요소의 각 계층과 요소간 상호관계가 분야별로 상이한 것으로 파악되었다.

4. 선박충돌사고 제어방안

인적요소에 대한 구조분석결과를 이용하여 선박충돌사고의 발생과정과 각 계층에 속한 요소가 사고에 미치는 영향력을 이해하고, 각 요소간 상호관계를 규명하여 사고제어방안에 대한 우선 순위를 선정 할 수 있다. 또한 항해사의 교육수준에 따라 제어가 필요한 요소를 선택해서 교육·훈련을 실시하여 사고예방에 대한 효율성을 높이고, 각 계층의 요소상호간에 직접적으로 영향력을 행사하는 요소에 대해서 그 연결고리를 단절시켜 사고를 미연에 방지하는데 효과적인 제어수단을 제공할 수 있다. 따라서, 선박충돌사고 위험성에 대한 제어방안을 다음과 같이 제시한다.

첫 번째, 선박충돌사고 발생에 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 파악된 "견시불충분"요소를 제어하면

Table9 Results of FSM

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

가장 큰 사고예방효과를 얻을 수 있다. 그러므로 이 요소에 대한 근본적인 원인규명과 그에 대한 대책마련이 절실하다.

두 번째, 견시불충분요소에 직접적으로 영향을 미치고 사고를 유발하는 "항법미준수"요소에 대한 제어가 중요함을 인식하고 항법관련 전문지식과 기술에 관한 사고예방교육·훈련방법 개발이 필요하다.

세 번째, 항법미준수요소에 영향을 크게 미치는 "속력선정부적절"요소에 대해 선종, 선박크기, 조종특성, 항행구역, 교통상황 등을 고려한 구체적인 안전속력을 제시하여 이 요소로 인한 선박충돌사고를 사전에 예방하도록 하는 것이 필요하다.

네 번째, 항내·연안해역에서의 선박충돌사고 제어방안으로 연안교통관리시스템과 같은 적극적인 안전관리시스템의 도입과 체계적인 해상안전정보망 구축이 필요하다.

다섯 째, 선박충돌사고에서 표면적으로 드러난 직접적인 원인에 간접적인 영향을 미치는 근원적이고 잠재적인 요인을 발견하여 여기에 대한 제어수단을 마련하도록 한다.

5. 결 론

본 연구에서는 지난 10년(1991-2000)간 해양사고 통계자료를 토대로 선박충돌사고 발생빈도와 사고로 인한 각종 피해현황을 파악하고 현재의 위험성을 분석하였다. 그리고 선박충돌사고에 가장 큰 영향을 미치는 인적요인의 과실범주에 대한 우선 순위를 파악하고자 해양관련전문가 집단을 대상으로 앙케이트 조사를 실시하고 그 결과를 분석하였다.

또한, 선박충돌사고를 예방하기 위한 적절한 제어방안을 제시하기 위해서 FSM기법을 이용하여 선박충돌사고를 유발하는데 가장 크게 기여하는 인적 위해요소의 각 계층구조를 파악하고, 각 계층에 속한 요소간의 상호관계를 파악할 수 있는 구조분석을 실시하였다. 그리하여 선박충돌사고발생에 가장 크고 직접적인 영향력을 행사하는 사고유발요소와 이 요소에 간접적으로 영향력을 행사하여 사고를 유발시키는 하위 요소들과의 상호관계를 분석한 결과모델을 근거로 사고제어방안을 제시하였다. 본 연구는 앞으로 선박충돌사고 위험성을 제어하기 위한 일반적인 모델(Generic Model)을 개발하고자 한다.

◈ 참 고 문 헌 ◈

[1] Marine Safety Agency, UK, "A Methodology for Formal Safety Assessment of Shipping", MSC 66 Informal Paper, 16 May, 1996

[2] IMO, MSC/Circ.829, MEPC/Circ.335, "Interim Guidelines for the Applications of FSA to IMO Rule-Making Process", 1997

[3] 한국선급기술연구소, "FSA 적용지침 개발", 1999

[4] 田崎 榮一卽, "ファジィ理論に依る社會システム構造化", 別册 [数理科學] ファジィ理論への道, サイエンス社, pp.140-153, 1988

[5] 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

[6] 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

[7] 木下榮藏, "わかりやすい意思決定論入門", 近代科學社, 1996

[8] 중앙해양안전심판원, "해양안전심판사례집", 1996, 2001

[9] Quality Action Team, USCG, "Prevention Through People", 15 July, 1995

[10] 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

[11] 椎塚久雄, 伊藤節子, "ファジィ構造モデル : Case Study- 學生採用 る意識構造-", 經營の科學, 19922)