

선박충돌사고 위험성 제어방안에 관한 연구

양원재^{†*}, 고재용^{**}

목포해양대학교 해상운송시스템학부*, 목포해양대학교 해양시스템공학부**

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

Won-Jae Yang^{†*} and Jae-Yong Ko^{**}

Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University*

Division of Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime University**

Abstract

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 measures 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 are performed using FSM. 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.

※Keywords: Marine accidents(해양사고), Ship's collision(선박충돌사고), Risk(위험성), Human factor(인적 요소), Formal safety assessment(공식안전평가), Fuzzy structural modeling(퍼지구조모델)

접수일: 2003년 12월 2일, 승인일: 2004년 3월 22일

† 주저자, E-mail: wjyang@mmu.ac.kr

Tel: 061-240-7313

1. 서론

지금까지 해운산업분야는 첨단과학기술의 발달로 선박의 건조 및 설계측면의 기술은 눈부신 성장을 거듭해 왔다. 그러나 선박운항과 관련된 수많은 해양사고가 끊임없이 발생함으로써 소중한 인명과 재산 및 해양환경에 막대한 피해를 초래하고 있는 것이 현실이다. 따라서, 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)에서는 해상에서의 안전을 확보하기 위해서 지금까지 SOLAS, MARPOL, STCW, COLREG 등 각종 국제협약을 제정하고 선박안전관련 설비, 기준, 승무원자격, 각종 절차들을 규정함으로써 선박의 안전운항, 승무원과 여객의 인명보호, 오염으로부터 해양환경보호에 많은 기여를 하여 왔다.

한편, 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.

본 연구에서는 먼저, 국내 해양사고 통계데이터를 근거로 선박충돌사고의 발생빈도, 사고로 인한 인명·선박·해양환경오염피해현황을 분석하고 그 결과를 근거로 선박충돌사고의 위험성을 분석하였다. 또한 선박충돌사고발생에 가장 큰 영향을 미치는 인적요소범주에 대한 우선순위를 설문조사를 통하여 파악하였다. 그리고 충돌사고에 대한 인적요소의 세부 파라미터를 선정하여 각 계층구조와 요소상호간의 관계를 정량적으로 파악하기 위해 해양관련 전문가집단에게 설문조사를 실시한 후 회수된 결과데이터를 근거로 퍼지구조모델(Fuzzy Structural Modeling, FSM)기법을 이용하여 그 구조를 분석하였다. 마지막으로 이상의 분석결과를 바탕으로 하여 선박충돌사고의 인적요소에 대한 적절한 제어방안을 제시하였다.

2. 해양사고 분석기법

2.1 FSM기법

복잡한 시스템을 정량적으로 표현하고 구조화하

는데 유용한 수법인 FSM기법에서는 대상시스템은 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ 으로 하고, 문맥상의 관계에 대응하여 추출된 요소간의 퍼지종속관계를 나타내는 퍼지종속행렬 A 를 $A = [a_{ij}]$ 로 표시한다. 여기서 A 는 $n \times n$ 정방행렬이며, A 의 요소 a_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$)는 식 (1)의 퍼지 2항관계에 의해 주어진다 (田崎 榮一 1988, 天笠美知夫 1986, 木下榮藏 1996, Tazaki/Amagasa 1979). 한편, a_{ij} 는 요소 S_j 가 S_i 에 종속한 정도(Grade)를 나타내는 것이다.

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

2.2 알고리즘

퍼지구조모델을 구성하기 위한 알고리즘은 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 $f_r(S_i, S_j) \leq P$ 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 $M = \bigvee_{i=1}^n (f_r(S_i, S_j) \wedge f_r(S_j, S_k)) \geq P$ 일 때, $f_r(S_i, S_k) \geq M$ 가 만족하게 되면 퍼지반추이율이 성립한다.

Step 2. 레벨집합 및 블록집합의 구성

추출된 요소가 어느 계층에 속하는지, 그리고 계층과 계층간의 결합관계를 부여하는 “최상층레벨집합 $L_1(s)$ ”, “중간층레벨집합 $L_2(s)$ ”, “최하층레벨집합 $L_3(s)$ ”, 및 “독립레벨집합 $L_{is}(s)$ ”은 각각 다음 식 (2), (3), (4), (5)과 같은 정의에 의해서 결정된다.

$$L_1(s) = \left\{ S_k \mid \bigvee_{j=1}^n a_{kj} < P \leq \bigvee_{i=1}^n a_{ik} \right\} \quad (2)$$

$$L_2(s) = \left\{ S_k \mid P \leq \bigvee_{i=1}^n a_{ik}, P \leq \bigvee_{j=1}^n a_{kj} \right\} \quad (3)$$

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

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

각 레벨집합정의의 “ $\vee a_{ij}$ ”는 $\max(a_{ij})$ 를 의미하고, 레벨집합 $L_b(s)$ 에 속한 요소 S_j 가 종속한 $L(s)$ 의 요소집합 $B(s)$ 에서 블록(Block) 집합이 정의된다. 즉, 단일계층(Single Hierarchy)집합의 최상층 레벨집합은 블록집합이라고 말하고 Q 로 표시하고 관계 $Q \subseteq L(s)$ 가 성립한다. 동일 블록 Q 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 $L(s)$ 의 행과 $L_b(s)$ 의 열, $L_s(s)$ 의 행과 열을 제거하고 남은 행과 열로 A' 를 다시 구성한다.

Step 4. 단일계층행렬의 구성

Step 3.에 의해서 재구성된 A' 로부터 블록집합 Q_j 에 따라 단일계층행렬 $A^{(j)}$ 를 만든다.

Step 5. 구조화그래프의 작성

퍼지 구조파라미터 λ 를 정하여 단일계층행렬 $A^{(j)}$ 에 관한 구조그래프를 구성한다. 여기서 S_i 에 대한 정칙행을 S_{ik} (단, $k = 1, 2, \dots, n$)라 할 때 S_{ik} 는 식 (6)의 연산에 의해 a_{ij}^* 로서 치환되어 소개되고, S_i 에 직접 종속한 요소가 결정되어 구조그래프를 구할 수 있게 된다. 여기서, []은 열벡터를 표시한다.

$$[a \cdot^*] = [a \cdot] \wedge [a \cdot_{i1}] \wedge \dots \wedge [a \cdot_{in}] \quad (6)$$

Fig. 1은 FSM기법의 알고리즘을 도식화한 것이다

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

기관손상 다음으로 두 번째를 차지하고 있다. 선박용도별/사고종류별 사고발생 척수에서는 기관손상사고가 1,871척 이었고, 선박충돌사고는 3,027척으로 전체 해양사고의 약 36.2%를 차지하고 있다(중앙해양안전심판원 1996, 2001). Table 1은 국내 선박충돌사고를 분석하여 발생빈도순으로 정리한 것이다. 선박간의 충돌은 화물선과 어선의 충돌사고가 약35.8%로 높게 나타나고 있다. 또한, 선박 충돌시 시정상태는 무중항해와 기상악화로 인한 황천시 항해보다는 맑은 날씨에서 약53.2%정도 발생하였고, 충돌시 상대선박 초인거리는 1마일 미만과 상대선 미발견 상황에서 약 50.4%정도 발생하였다.

그리고 선박충돌사고 원인분석에 의하면 경계소홀, 항해일반원칙 미준수 등 약 85%이상이 인적 요소였다. 전체해양사고 척수대비 선박충돌사고의 인명피해발생률은 약 28.9%, 선박피해발생률은 약 21.6%정도로 파악되었다.

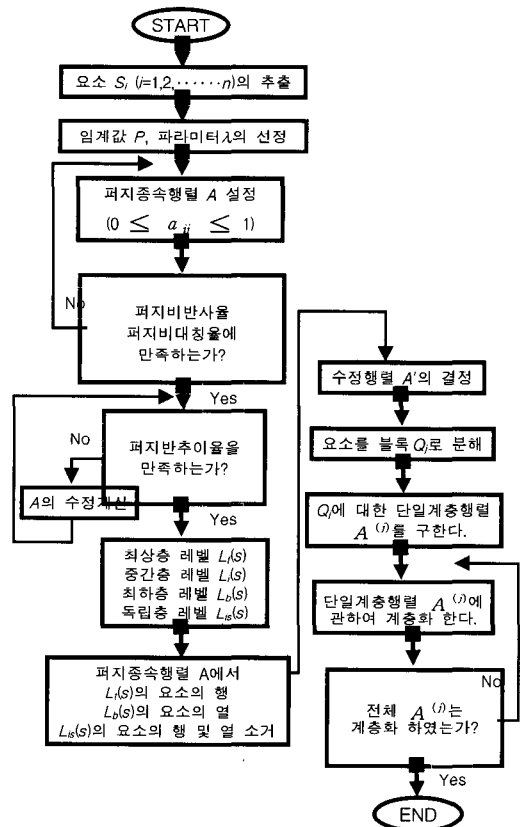


Fig. 1 FSM algorithm

Table 1 Analysis of ship's collision(1991-2000)

구분	발생빈도 순위
충돌 선박	비어선과 어선 > 어선간 > 비어선간
시정 상태	맑은 날씨 > 무중 > 기상악화(태풍)
충돌시 속도	5kt이상~10kt미만 > 5kt미만 > 10kt이상
상대선 초인거리	1마일 미만 > 미발견 > 2~5마일
충돌 원인	운항과실: 항해일반원칙·항법 미준수(인적요소)
시간 별	04~08시 > 12~16시 > 08~12시 > 16~20시 > 00~04시
인명피해(명)	충돌>침몰>전복>화재·폭발>접속·좌초>기관손상
선박피해(건)	기관손상>충돌>침몰>좌초>화재·폭발>조난>전복>접속

3.2 위험성 평가

1) 위험요소 파악

해상에서 발생하는 해양사고 중에서 선박충돌사고와 관련된 수많은 요소를 선박의 구조, 설계, 조종성능, 항해장비 등 선박자체적인 원인과 관련된 하드웨어적인 결함(Hardware Failures), 승무원의 자격, 능력, 직무에 대한 의욕, 교육, 훈련 등과 관련된 인적요소(Human Factors), 해상상태, 시정, 항로, 조류 등에 관련된 외부요소(External Events)로 분류할 수 있다. 한편, 선박운항에 있어서 선박충돌사고를 유발시키는 인적요소의 주요범주를 미국 연안경비대 Quality Action Team의 "Prevention Through People"보고서에서 Table 2와 같이 관리적요소, 운영자요소, 작업환경요소, 지식요소, 의사결정요소로 분류하고 있다(USCG 1995).

본 연구에서는 Table 2의 선박충돌사고에 영향을 미치는 인적요소 주요범주에 대한 우선순위를 파악하기 위해 설문조사를 해양안전심판원, 해양계 대학 및 관련분야의 전문가, 승선실무자를 조사대상으로 실시하였다. 총 85부의 설문지를 발송

Table 2 Categories of human factors(USCG)

구분	내용
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, 관련정보유지 관리, 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, 직접하지 못한 정보를 기초로 한 의사결정과 견정하지 못한 선원의 자세 등에 관한 요소

Table 3 Results of questionnaire

조사 대상	응답자(명)	우선 순위
해양 안전 심판원 (심판관 및 조사관)	20	②-③-④-⑤-①
관련 분야 전문가 (학계, 검사관 등)	27	②-④-⑤-①-③
승선실무자 (선장, 일항사 등)	19	②-⑤-③-④-①
전체 응답자	66	②-④-⑤-③-①

①관리적요소 ②운영자요소 ③작업환경요소 ④지식요소 ⑤의사결정요소

하여 총 66부를 회수하여 회답결과와 데이터를 근거로 Table 3과 같이 전체 응답자, 해양안전심판원, 전문가, 승선실무자로 분류하였다. 조사결과로써 해양안전심판원, 관련분야 전문가, 승선실무자의 모든 분야 응답자는 운영자요소가 다른 요소에 비하여 충돌사고에 가장 직접적인 영향을 미치고 있다고 응답하였다. 그러나 운영자요소를 제외한 관리적, 작업환경, 지식, 의사결정요소와 같은 나머지 요소들의 우선순위에서는 응답자의 관련분야별로 약간의 다른 특성을 보이고 있는 것을 파악하였다. 해양안전심판원에서는 두 번째 우선순위로 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.

2) 선박충돌사고 위험성

공식안전성 평가(Formal Safety Assessment : FSA)에서는 위험성(Risk)을 사고발생빈도(Frequency)와 그 결과(Consequence) 심각성의 조합으로 정의하고 있다(IMO 1997, UK 1996). Table 4는 국내 해양사고통계자료를 선박충돌사고를 중심으로 정리한 것이다.

Table 5는 선박충돌사고 발생빈도와 인적요소에 의한 충돌사고 발생빈도 그리고 해역별 충돌사고 발생빈도를 분석한 것이다. 인적요소에 기인한 충돌사고의 발생빈도는 약 85%로 거의 대부분을 차지하고 있으며, 또한 충돌사고 발생해역현황(해심재결분)으로는 연해구역 약 60%, 항내 약 23%, 원양구역 약 17%의 순으로 발생하는 것을 알 수 있다.

Table 4 Statistics of Ship's Collision(1991-2000)

내용 연도	전체 선박 척수	전체 사고		충돌사고					인명사상		충돌인명피해			충돌선박피해		
		척수	건수	척수	건수	항내	연해	원양	척수	건수	사망	행방 불명	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

Table 5 Frequency of ship's collision

구 분		발생빈도
연 간 척 당 사 고 (1991~2000년)	척당 전체 해양사고	0.00899
	척당 충돌사고	0.00325
	전체 해양사고대비 충돌사고	0.36169
	척당 인명사상사고	0.00107
인적요소에 의한 사고 (1988~2000년, 건수)	전체 해양사고에서 인적요소 (3773건/5690건)	0.66309
	충돌사고에서 인적요소 (2073건/2438건)	0.85028
해역별 충돌 사고 (해양안전심판원재결분) (1991년~2000년, 건수)	항내	0.22534
	연해구역(평수구역포함)	0.60304
	원양구역(근해포함)	0.17161

Table 6은 해양사고통계에 근거한 선박충돌사
고 위험성을 사고발생 해역분포, 사고로 인하여
초래되는 인명피해결과, 전체 선박척당 잠재적 인
명손실치(Potential Loss of Life, PPL)를 나타낸
것이다. 전체 선박척수에서 척당 선박충돌사고의
발생빈도는 3.25E-03으로 전 척당 약 3척의 충돌
사고, 전체 충돌사고선박에서 약 6척당 1명이 선
박충돌사고에 의한 잠재적 인명손실피해를 당하고
있음을 알 수 있다. 또한, 선박충돌사고의 해역에
대한 위험성 하위범주(Risk Sub-categories)에 속
하는 연해구역의 사고발생빈도는 1.67E-03으로
사고가 가장 많이 발생하고 있었다. 그리고 이 해
역에서 인적요소에 의한 발생빈도는 1.67E-03이
었다.

Table 6 Risk of Ship's Collision

분류	발생빈도(Frequency)	결과(Consequence)	위험성(Risk)
Collision	0.00325	0.16716 (506/3,027)	0.00544 (506/93,040)
Harbours	0.00062	0.03193	0.00104
Coastal Areas	0.00167	0.08575	0.00279
Open Sea	0.00047	0.02441	0.00079
The rest area	0.00049	0.02507	0.00082

3.3 인적요소 구조분석

1) 자료분석

본 설문조사를 위한 인적요소의 세부항목을 결
정하기위해서 국내외 해양안전심판원재결서의 충
돌사고 원인분류 자료를 토대로 항목을 추출하고
해양관련전문가집단(심판관, 조사관, 선장, 학계전
문가 등)에 의해 브레인스토밍법을 이용하여 선정
하였다.

Table 7은 설문조사를 위해 선정된 총 9개 항목
의 구성요소이며, 조사대상은 해양안전심판원 심
판관 및 조사관, 승선근무중인 선장 및 항해사, 해
양계 대학 실습선 선장과 항해사, 해양수산부 항
만국통제 감사원과 항만교통정보서비스요원, 해양
계대학 관련전문가, 한국해양수산연수원 연수지중
선장과 일항사로 선정하여 실시하였다.

설문 회답방법은 Table 7의 총 9개 질문항목 S_i
(i=1, 2, ..., 9)에 대하여, "임의의 요소 S_i는 나

Table 7 Components of questionnaire

요소	요소의 내용	요소	요소의 내용
S ₁	견 시 불 충 분	S ₆	동화·형상물 불표시
S ₂	항 법 미 준 수	S ₇	줄 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		

머지 타요소 S_j에 어느 정도 영향을 미치는가”하는 상대적 인 영향도를 직관적으로 비교하여 그 정도(Grade)를 조사지에 예시한 영향도를 참고하여 주관적인 값으로 회답란의 요소 a_{ij}에 퍼지값 [0,1]으로 기입하도록 하였다.

단, a_{ij}는 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.

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

2) 구조모델링

요소간의 종속관계와 계층의 세분화를 결정하는 임계값 P와 각 계층의 요소간 일의적인 종속관계를 결정하여 구조그래프를 구하는데 필요한 파라미터값 λ는 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(山下利之 1996, 椎塚久雄/伊藤節子 1992). 따라서, 본 구조분석에서는 가장 적합한 임계값을 구하기 위해서 응답자의 회답 결과값을 근거로 하

여 P값을 “0.60, 0.55, 0.50”인 경우로 각각 나누어서 순차적으로 전체응답자에 대한 구조 모델링을 실시하였다.

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

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

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈
A = S ₁	0.00	0.45	0.31	0.35	0.39	0.32	0.15	0.25
S ₂	0.55	0.00	0.38	0.32	0.37	0.27	0.19	0.17
S ₃	0.68	0.62	0.00	0.52	0.35	0.59	0.33	0.26
S ₄	0.43	0.65	0.34	0.00	0.22	0.17	0.34	0.41
S ₅	0.71	0.63	0.65	0.60	0.00	0.62	0.56	0.24
S ₆	0.45	0.71	0.41	0.37	0.48	0.00	0.48	0.30
S ₇	0.81	0.71	0.60	0.69	0.32	0.55	0.00	0.46
S ₈	0.65	0.73	0.62	0.58	0.46	0.60	0.38	0.00

단, 대각요소 a_{ij} (i=j)은 편의상 0의 수치를 기입하고 있다. 이하는, 식 (8)을 근거로 하여 FSM기법의 알고리즘에 의해 구조분석을 실시하였다.

3) 구조 그래프화

전체응답자에 대한 구조분석은 국내 선박충돌사고에 대한 인적요소의 계층구조와 각 요소상호간의 관계를 분석하기에 가장 타당한 임계값 선정하기 위하여 먼저 기술한 각각의 경우로 나누어 실시하였다. 그리고 각 경우의 구조그래프 결과를 국내 중앙해양안전심판원 재결서(1988-2000년)의 선박충돌사고 원인현황 분석자료(중앙해심 1996, 2001)와 비교, 검토하여 임계값 “0.55”의 경우가 가장 타당함을 확인하였다.

따라서, 이 임계값을 기준으로 전체 응답자, 전문가집단, 해양안전심판원, 승선실무자집단의 전문가 분야별로 각각 구조분석을 수행하였다. 그 결과 임계값 P=0.55, 파라미터값 λ= 0.50에 대한 전체 응답자의 최종구조그래프는 Fig. 2에 도시한 바와 같고, 각 요소와 관련된 수치는 상호요소간의 영향정도를 나타내고 있다.

(1) 전체응답자 분석결과

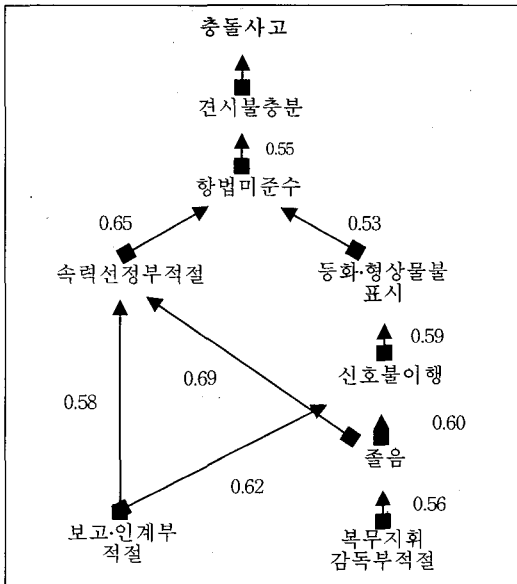


Fig. 2 Result graph (P=0.55 λ=0.50)

Table 8 Results of FSM

분야/계층	최상층	중간층	최하층
전체 응답자	- 견시불충분	- 항법미준수 - 신호불이행 - 속도선정 부적절 - 동화·형상물 불표시	- 복무에 관한 지휘 감독 부적절 - 보고·인계 부적절
전문가 집단	- 견시불충분	- 항법미준수 - 신호불이행 - 속도선정 부적절 - 동화·형상물 불표시	- 복무에 관한 지휘 감독 부적절 - 보고·인계 부적절
해양안전 전문가 집단	- 견시불충분 - 항법미준수	- 신호불이행 - 속도선정 부적절 - 동화·형상물 불표시	- 복무에 관한 지휘 감독 부적절 - 보고·인계 부적절
승선 실무자	- 견시불충분 - 항법미준수	- 신호불이행 - 속도선정 부적절 - 동화·형상물 불표시	- 복무에 관한 지휘 감독 부적절 - 보고·인계 부적절

- 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 영향을 주고, “속력선정 부적절”은 “항법

미준수”에 영향을 미치서, 이 “항법미준수” 항목은 최상층의 “견시불충분”에 직접적인 영향을 미쳐 최종적으로 선박충돌사고가 발생하는 과정을 파악하였다.

(2) 전문가 집단별 분석결과

Table 8은 전체 조사대상을 전문가집단, 해양안전전문가, 승선실무자로 세분화하여 임계값 P=0.55, 파라메터값 λ=0.50으로 구조 분석한 결과를 각 계층에 속한 요소별로 분류한 것이다. 각각의 분석결과에서 선박충돌사고원인에 대한 인적 요소의 각 계층과 요소간 상호관계가 분야별로 상이한 점은 있으나 FSM분석결과가 타당함을 확인할 수 있었다.

4. 선박충돌사고 제어방안

FSM 구조분석결과를 이용하여 선박충돌사고의 발생과정과 각 계층에 속한 요소가 사고에 미치는 영향력을 이해하고, 각 요소간 상호관계를 규명하여 효율적인 사고제어방안에 대한 우선순위를 선정할 수 있다. 따라서, 선박충돌사고 위험성에 대한 제어방안을 다음과 같이 제시한다.

첫 번째, 선박충돌사고 발생에 가장 많은 영향을 미치는 “견시불충분”요소를 제어하면 가장 큰 사고예방효과를 얻을 수 있다. 그러므로 이 요소에 대한 근본적인 원인규명과 그에 대한 대책 마련이 반드시 필요하다.

두 번째, 견시불충분요소에 직접적으로 영향을 미치고 사고를 유발하는 “항법미준수”요소에 대한 제어가 중요함을 인식하고 항법관련 전문지식과 기술에 관한 사고예방교육훈련방법 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, 항내연안해역에서의 선박충돌사고 제어방안으로 연안교통관리시스템과 같은 적극적인 안전관리시스템의 도입과 체계적인 해상안전정보

망 구축이 필요하다.

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

5. 결론

본 연구에서는 지난 10년간 해양사고 통계자료를 분석하여 선박충돌사고 발생빈도와 사고로 인한 각종 피해현황을 파악하고 심각성을 검토하였다. 그리고 선박충돌사고에 가장 큰 영향을 미치는 인적요인의 과실범주에 대한 우선순위를 파악하고자 해양관련전문가 집단을 대상으로 설문조사를 실시하고 그 결과를 분석하였다.

또한, 선박충돌사고에 대한 적절한 제어방안을 제시하기 위해서 FSM기법을 이용하여 선박충돌사고를 유발하는데 가장 크게 기여하는 인적요소의 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 결과 모델을 근거로 사고제어방안을 제시하였다.

본 연구는 앞으로 제시한 사고제어방안에 대한 구체적인 연구와 인적요인에 의한 사고원인의 구조분석을 좌초, 침몰, 화재, 폭발 등의 해양사고에도 적용하여 체계적으로 분석하고 특히, 선박충돌사고에 대한 합리적인 시나리오구축과 실제 충돌사고 메커니즘을 세부적으로 분석하여 인적요인에 의해 유발되는 충돌사고의 위험성을 사전에 제어할 수 있는 보편타당하고 신뢰성있는 일반적인 모델(Generic Model)을 개발하고자 한다.

후 기

본 연구는 한국과학재단지정 첨단조선공학 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- 중앙해양안전심판원, 1996, 2001, 해양안전심판사례집, 크리홍보(주), 서울
- 한국선급기술연구소, 1999, FSA적용지침 개발
- IMO, MSC/Circ.829, MEPC/Circ.335, 1997, Interim Guidelines for the Applications of FSA to IMO Rule-Making Process
- Tazaki, E. and Amagasa, M., 1979, Structural Modeling in a Class of Systems Using Fuzzy Sets Theory", Fuzzy Sets Systems. Vol. 2, No.1, pp. 1-17.
- UK, Marine Safety Agency, 1996, A Methodology for Formal Safety Assessment of Shipping, MSC 66 Informal Paper
- USCG, Quality Action Team, 1995, Prevention Through People, USA
- 木下榮藏, 1996, わかりやすい意思決定論入門, 近代科學社, 日本
- 山下利之, 1996, "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
- 椎塚久雄, 伊藤節子, 1992, 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, 日本
- 田崎 榮一郎, 1988, ファジィ理論に依る社會システム構造化, 別冊[敎理科學] ファジィ理論への道, サイエンス社, pp.140-153, 日本
- 天笠美知夫, 1986, システム構成論-ファジィ理論を基礎として-, 森山書店, 日本



< 양 원 재 >



< 고 재 용 >