

論文

# SD법에 의한 선박충돌사고의 인적요인 분석

장운재\*·김중수\*\*

\*목포해양대학교대학원, \*\*목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

## System Dynamics Analysis for Human Factors of Ship's Collision

Woon-Jae Jang,\* Jong-Soo Keum\*\*

\*Graduate school of Mokpo Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

\*\*Division of Maritime transportation system, Mokpo Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

**요약** : 선박충돌사고는 많은 원인이 서로 복잡하게 상호작용을 하여 발생하고 있으며, 특히 인적요인에 의한 충돌사고가 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 이러한 선박충돌사고 원인분석은 선박의 안전 운항상의 측면에서 매우 중요하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구의 목적은 시스템다이내믹스법을 이용하여 선박충돌사고 인적요인 모델을 구축하고, 선박충돌사고를 감소시키기 위한 가장 효과적인 대책을 수립하기 위한 정책요소를 제시하고자 한다. 본 연구의 수행을 위해 FSM법에 의한 충돌사고원인의 구조분석을 인과지도상의 정량적, 정성적, 피드백 루프로 변환하였다. 그리고 표준시물레이션모델과 8가지 정책시물레이션모델을 20년간(1993-2012) 시물레이션을 수행하였다.

**핵심용어** : 해양사고, 인과지도, 시스템다이내믹스, 퍼지구조모델, 시물레이션모델

**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, an analysis on the ship's collision causes is very important to prepare countermeasures which will ensure the safe navigation. And 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 build a model of human factors in ship's collision cause using SD(System Dynamics) approach and to measure a effect which is risk control countermeasures of ship's collision. To achieve this aim, the structure analysis on the causes of ship's collision using FSM are performed, and the structure was changed by quantitative, qualitative factors and their feedback loops in casual map. This model was performed over 20 years(1993-2012) in a standard simulation model and 8 policy simulation models.

**Key words** : marine casualty, casual map, SD(system dynamics), FSM, simulation model

### 1. 서론

해양사고 발생원인중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것이 인적요인이며, 특히 해양사고 중에서 선박의 충돌사고는 막대한 인명·선박손실, 해양환경오염을 유발하는 심각한 사고로서 피해의 정도가 크고 사고의 발생원인이 매우 다양하고 복잡하게 상호 연관되어 있다.

따라서 충돌사고의 예방과 방지를 위해 충돌사고를 유발하는 원인을 파악하고 그 원인을 해결하기 위한 방안을 제시하는 것은 매우 중요한 문제이다.

본 연구에서는 반복적이고 수작업에 의존하고 있는 선박충돌사고의 인적요인 분석에 관한 의사결정을 체계적이고 신속하게 수립하여 변화에 신속하게 대응가능하고 최선의 정책결정이 용이한 SD(System Dynamics ; 시스템다이내믹스)을 이용하여 선박충돌사고의 인적요인 모델을 구축하고자 한다.

또한, 선박충돌사고 인적요인의 개선에 대한 정책실험을 수행하여 가장 개선이 시급한 요소의 우선순위를 결정하였다.

이를 위해 본 연구에서는 FSM법에 의한 선박충돌사고에 서 인적요인의 구조분석에 대한 선행연구(양·금, 2003)를 기초로 하여 선박충돌사고 인적요인 구조화 그래프를 SD법에서 사용 할 수 있는 인과지도로 변환하였다. 그리고 이 인과지도를 바탕으로 SD모델을 구축하여 20년간(1993년~2012년)을 표준모델로 하여 시물레이션을 수행하였다. 마지막으로 표준모델의 파라메타 변수를 변화시켜 선박충돌사고 인적요인 모델의 행태를 분석하였다.

### 2. 선박충돌사고 인적요인 모델 작성

#### 2.1 인적요인의 구조화

본 연구에서는 선박충돌사고 인적요인을 구조화한 선행연구(양·금, 2003)의 결과 견시 불충분, 항법 미준수, 신호(무중·주의환기신호) 불이행, 속력선정 부적절, 복무에 관한 지휘감독 부적절, 등화·형상물 불표시, 졸음, 보고·인계 부적절등 8개의 요소로 분류 할 수 있었다.

Table 1 은 전체 앙케이트 조사대상을 전문가 집단, 해양안전 심판원, 승선실무자로 세분화하여 임계값 P=0.55, 파라메타  $\lambda = 0.5$ 로 구조분석한 결과 각 계층에 따라 속한 요소 별로 분류한 것이고 Fig. 1은 가장 타당한 전체 응답자의 구

\* 정회원, [ijw98@netian.com](mailto:ijw98@netian.com) 061)240-7252

\*\* 종신회원, [jskeum@mmu.ac.kr](mailto:jskeum@mmu.ac.kr) 061)240-7075

조화그래프를 나타낸다.

Table 1 Results of FSM

구분	최상층	중간층	최하층
전체 응답자	-건식 불충분	-안전 미인식 -신호 불이행 -방화상 불표시 -방화경보 -방화경로 표지	-보우에 관한 지휘감각 부족 -보고인계 부족
전문가 집단	-건식 불충분	-안전 미인식 -신호 불이행 -방화상 불표시 -방화경보 -방화경로 표지	-보우에 관한 지휘감각 부족 -보고인계 부족
해양안전 전문인	-건식 불충분	-안전 미인식 -신호 불이행 -방화상 불표시 -방화경보 -방화경로 표지	-보우에 관한 지휘감각 부족 -보고인계 부족
승선실무자	-건식 불충분	-안전 미인식 -신호 불이행 -방화상 불표시 -방화경보 -방화경로 표지	-보우에 관한 지휘감각 부족 -보고인계 부족

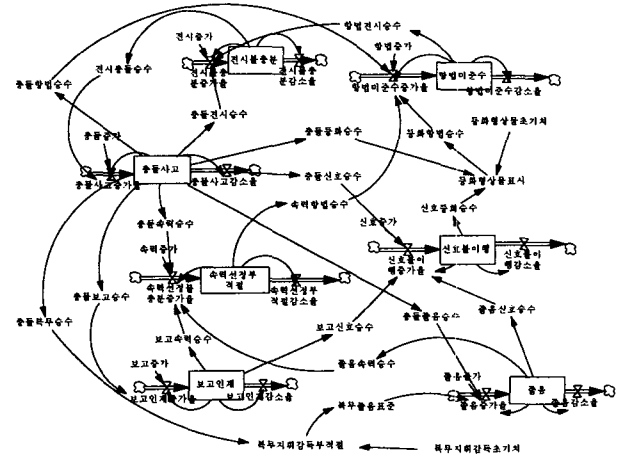


Fig. 3 Detailed flow diagram of human factors model

2.2 선박충돌사고 인적요인 모델 수행 절차

선박충돌사고 인적요인 모델의 수행은 Fig. 4의 흐름도에 따라 4단계의 절차에 의해 수행된다.

- 1단계: 선박충돌사고 원인의 인적요인을 명확히 하고 원인의 감소에 따른 시스템 행태변화를 목적으로 한다.
- 2단계: 선행연구에 의한 선박충돌사고 원인의 인적요인 구조화 그래프를 기초로 인과지도를 작성한다.
- 3단계: 통계자료와 전문가의 인터뷰를 통해 정량적, 정성적 및 시물레이션 제어변수를 이용하여 표준 모델을 작성하고 시물레이션을 수행한다.
- 4단계: 파라메타를 변경하여 정책실험을 수행한다.

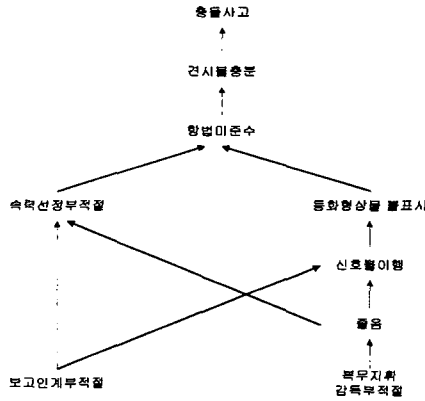


Fig. 1 Result Graph of FSM (P=0.55 λ=0.50)

이상의 FSM법에 의한 단선적인 구조화그래프에 상호작용을 가하는 피드백루프를 추가한 선박충돌사고 인적요인 구조화그래프를 인과지도로 나타내면 Fig. 2와 같다.

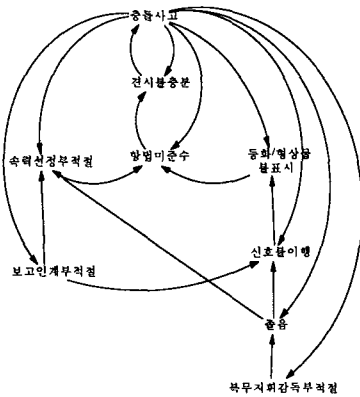


Fig. 2 Casual map for human factors of ship's collision accidents

Fig. 2의 인과지도를 바탕으로 SD법을 이용하여 시물레이션을 위한 모델은 Fig 3과 같이 나타낼 수 있다.

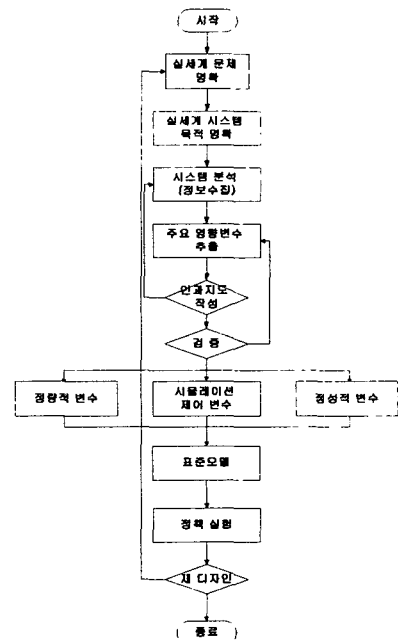


Fig. 4 Flow chart for human factors of ship's collision accidents

3. 우리나라 해양사고시스템 특성

3.1 해양사고현황 분석

지난 10년간(1993년~2002년) 우리나라의 해양사고는 Table 3에서 보는바와 같이 연평균 678건 발생하였다. 연도별 해양사고 발생건수는 1999년의 해양사고가 849건으로 가장 빈발하게 발생하였고 1993년이 529건으로 가장 적게 발생하였다.

Table 3 Statistics of marine casualty

구분	등록척수 (A)	발생건수 (B)	충돌사고 (C)	발생률 (C/A)%	비율 (C/B)%
1993	81,769	529	172	0.2	33
1994	82,356	699	227	0.3	32
1995	92,464	709	278	0.3	39
1996	99,085	661	277	0.3	42
1997	86,134	840	244	0.3	29
1998	95,903	772	226	0.2	29
1999	101,307	849	237	0.2	28
2000	102,384	634	248	0.2	39
2001	101,521	610	210	0.2	34
2002	101,180	557	178	0.2	32
평균	92,423	678	230	0.2	34

우리나라의 선박등록척수는 연평균 92,423척이며, 선박등록척수와 선박충돌사고 발생건수를 비교한 발생률을 비교하면 연평균 0.2%이다. 전체해양사고 발생건수중 충돌사고는 연평균 34%로 나타났다.

한편, 인적요인에 의한 선박충돌사고는 Table 4 와 같이 견시불충분에 의한 선박충돌사고는 연평균 96건, 항법 미준수에 의한 충돌사고는 연평균 45건, 속력부적절에 의한 충돌사고는 연평균 19건으로 나타났다.

Table 4 Statistics of ship's collision accident (1993-2002)

구분	견시불충분	항법미준수	속력부적절
1993	42	44	6
1994	72	56	16
1995	88	48	43
1996	88	48	25
1997	80	28	24
1998	140	21	20
1999	110	35	19
2000	117	57	10
2001	104	64	5
2002	124	49	24
평균	96	45	19

3.2 해양사고특성 분석

Table 5는 지난 10년간(1993년~2002년) 국내 해양사고를 분석하여 발생빈도순으로 정리하였다.

해양사고 종류별로는 충돌사고가 가장 빈발하고, 사고시 인명피해는 충돌, 침몰, 전복, 화재·폭발, 접촉, 좌초, 기관손상 순으로 높게 나타났다. 사고시 선박피해는 기관손상, 충돌, 침몰, 좌초, 화재·폭발, 조난, 전복, 접촉 순으로 높게 나타났다.

충돌사고의 경우를 살펴보면 충돌대상선박은 비어선과 어

선간, 어선간, 비어선간 충돌사고 순으로 높게 나타났고, 선박 충돌시 시정상태는 맑은 날씨, 무중, 기상악화 순으로 빈발하였다. 충돌시 상대선박 초인거리는 1마일 미만, 미발견, 2~5마일 순으로 빈발하게 발생하였으며, 충돌 시간대별로는 4~6시가 가장 높은 것으로 나타났다.

Table 5 Analysis of Marine casualty(1993-2000)

구분	발생빈도 순위
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
충돌선박	비어선과 어선 > 어선간 > 비어선간
시정상태	맑은 날씨 > 무중 > 기상악화(태풍)
충돌시 속도	5kt이상~10kt미만 > 5kt미만 > 10kt이상
상대선 초인거리	1마일 미만 > 미발견 > 2~5마일

4. 모델의 분석과 정책실현

4.1 표준모델

선박충돌사고 인적요인 표준모델은 해양안전심판원의 지난 10년간(1993년~2002년) 우리나라 전체 충돌사고 재결록의 통계자료 데이터의 기본값을 사용하여 2012년까지 20년간을 시뮬레이션의 기간으로 하여 수행하였다.

선박충돌사고 표준모델 내의 각 변수에 투입한 레벨변수 및 파라메타는 다음과 같다. 시뮬레이션의 초기값인 1993년 레벨변수는 충돌사고 178건, 견시 불충분 42건, 항법 미준수 44건, 신호(무중·주의환기신호) 불이행 1건, 속력선정 부적절 6건, 줄음 1건, 보고·인계 부적절 1건을 입력하였다. 파라메타 변수는 지난 10년간의 통계자료를 분석한 결과 전체 충돌사고 증가율 3.8%, 견시 불충분으로 인한 충돌사고 증가율은 8.6%, 항법 미준수로 인한 충돌사고 증가율 6.1%, 신호(무중·주의환기신호) 불이행으로 인한 충돌사고 증가율 10.0%, 속력선정 부적절로 인한 충돌사고 증가율 18.0%, 줄음으로 인한 충돌사고 증가율 16.0%, 보고·인계 부적절로 인한 충돌사고 증가율 10.0%, 복무에 관한 지휘감독 부적절로 인한 충돌사고건수와 등화·형상물 불표시로 인한 충돌사고 건수는 통계자료로 파악할 수 없어 정성적 변수로 하여 시뮬레이션 하기에 용이한 실수치로 초기치는 50으로 설정하였다.

Table 6 Standard scenario (1993-2012)

Time (Year)	1993	1997	2002	2006	2010	2012
충돌사고	178	209	268	350	519	693
견시불충분	42	50	68	96	159	229
항법미준수	44	48	57	72	105	147
신호불이행	1	1	2	3	11	33
속력선정부적절	6	6	8	11	23	44
보고인계	1	1	3	5	11	20
줄음	1	1	2	3	6	10

실행결과 Table 6에서와 같이 레벨변수 각각의 초기 투입치에서 증가되고 있는 것을 알 수 있다. 1993년에서 2012년까지 각 변수별 증가치를 살펴보면 전체 충돌사고 건수는 178건에서 693건, 견시불충분 42건에서 229건, 항법 미준수는 44건에서 147건, 신호불이행 1건에서 33건, 속력선정부적절 6건에서 44건, 보고·인계부적절 1건에서 20건, 졸음 1건에서 10건으로 증가하는 것으로 나타났다.

한편, SD에 의한 선박충돌사고 인적요인 모델을 이용하여 시뮬레이션을 수행함으로써 선박충돌사고의 발생과정과 각 계층에 속한 요소가 사고에 미치는 영향력을 간단한 파라메타의 변경만으로도 쉽게 알 수 있고 원인의 제거방안에 대한 우선순위를 선정 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 선박충돌사고 인적요인의 개선정책에 대한 정책실험을 수행하였다.

## 4.2 정책실험

선박충돌사고 인적요인의 개선에 대한 정책실험은 파라메타 변수를 현재치에서 절반 감소시킨 것을 정책시나리오로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

### 4.2.1 시나리오 1

해기사의 견시 및 근무태도의 교육훈련을 강화하여 견시 불충분 요소 파라메타를 8.6%에서 4.3%로 감소시켜 시뮬레이션을 수행하였다. 2012년을 기준으로 표준모델과 시나리오 1을 비교하면 견시 불충분 229건에서 138건, 항법 미준수는 147건에서 130건, 신호불이행 33건에서 25건, 속력선정부적절 44건에서 37건, 보고·인계부적절 20건에서 16건, 졸음 10건에서 7건으로 감소하는 것으로 나타났다.

### 4.2.2 시나리오 2

해기사의 항행법규 및 규정의 교육을 강화하여 항법 미준수 요소 파라메타를 6.1%에서 3.05%로 감소시켜 시뮬레이션을 수행하였다. 2012년을 기준으로 표준모델과 시나리오 2를 비교하면 견시불충분 229건에서 203건, 항법 미준수는 147건에서 121건, 신호불이행 33건에서 32건, 속력선정부적절 44건에서 43건, 보고·인계부적절 20건에서 19건, 졸음 10건에서 9건으로 감소하는 것으로 나타났다.

### 4.2.3 시나리오 3

본선의 안전항해를 도모하기 위한 등화·형상물을 제대로 표시하는 교육을 강화하여 등화·형상물의 불표시 요소 파라메타를 초기치 50에서 25로 감소시켜 시뮬레이션을 수행하였다. 2012년을 기준으로 표준모델과 시나리오 3을 비교하면 견시불충분 229건에서 196건, 항법 미준수는 147건에서 105건, 신호불이행 33건에서 32건, 속력선정부적절 44건에서 43건, 보고·인계부적절 20건에서 19건, 졸음 10건에서 9건으로 감소하는 것으로 나타났다.

### 4.2.4 시나리오 4

해기사의 안전속력의 준수교육을 강화하여 속력선정 부적절 요소 파라메타를 18%에서 9%로 감소시켜 시뮬레이션을 수행하였다. 2012년을 기준으로 표준모델과 시나리오 4를 비교하면 견시불충분 229건에서 223건, 항법 미준수는 147건에서 135건, 신호불이행 33건에서 32건, 속력선정부적절 44건에서 35건, 보고·인계부적절 20건에서 19건, 졸음 10건에서 9건으로 감소하는 것으로 나타났다.

### 4.2.5 시나리오 5

경고신호, 주의환기신호, 무중신호등의 신호이행의 교육을 강화하여 신호 불이행 요소 파라메타를 10.0%에서 5.0%로 감소시켜 시뮬레이션을 수행하였다. 2012년을 기준으로 표준모델과 시나리오 5를 비교하면 견시불충분 229건에서 225건, 항법 미준수는 147건에서 146건, 신호불이행 33건에서 25건, 속력선정부적절 44건에서 43건, 보고·인계부적절 20건에서 19건, 졸음 10건에서 9건으로 감소하는 것으로 나타났다.

### 4.2.6 시나리오 6

선박운항중 본선의 안전과 관련하여 이상유무에 대한 상세하고 정확한 보고를 제대로 하여 보고·인계 부적절 요소 파라메타를 10.0%에서 5.0%로 감소시켜 시뮬레이션을 수행하였다. 2012년을 기준으로 표준모델과 시나리오 6을 비교하면 견시불충분 229건에서 226건, 항법 미준수는 147건에서 136건, 신호불이행 33건에서 13건, 속력선정부적절 44건에서 29건, 보고·인계부적절 20건에서 8건, 졸음 10건에서 9건으로 감소하는 것으로 나타났다.

### 4.2.7 시나리오 7

당직근무자의 선교당직시 피로, 게으름, 나태 및 근무태만 등의 항해당직의 이행을 철저히 하여 졸음요소 파라메타를 16.0%에서 8.0%로 감소시켜 시뮬레이션을 수행하였다. 2012년을 기준으로 표준모델과 시나리오 7을 비교하면 견시불충분 229건에서 225건, 항법 미준수는 147건에서 135건, 신호불이행 33건에서 21건, 속력선정부적절 44건에서 30건, 보고·인계부적절 20건에서 19건, 졸음 10건에서 5건으로 감소하는 것으로 나타났다.

### 4.2.8 시나리오 8

선박운항에 관련하여 항행안전을 확보하기 위한 전반적인 지휘 및 감독에 대한 교육을 강화하여 복무에 관한 지휘감독 부적절 요소 파라메타를 초기치 50에서 25로 감소시켜 시뮬레이션을 수행하였다. 2012년을 기준으로 표준모델과 시나리오 8을 비교하면 견시불충분 229건에서 225건, 항법 미준수는 147건에서 134건, 신호불이행 33건에서 19건, 속력선정부적절 44건에서 27건, 보고·인계부적절 20건에서 19건, 졸음 10건에서 3건으로 감소하는 것으로 나타났다.

4.2.9 종합결과

선박충돌사고 인적요인 표준모델의 파라메타를 변경한 시나리오 1~8모델을 2012년 표준모델과 비교하여 각 시나리오별 레벨변수의 감소치는 Table 7과 같다.

Table 7 Comparison of each Scenarios 1~8

구분	견시 불충분	항법 미준수	신호 불이행	속력선정 부적절	보고인계 부적절	줄음	합계	충돌사고감소 비율(%)
시나리오1	91	17	8	7	4	3	130	18.8
시나리오2	26	26	1	1	1	1	56	8.1
시나리오3	33	42	1	1	1	1	79	11.4
시나리오4	6	12	1	9	1	1	30	4.3
시나리오5	4	1	8	1	1	1	16	2.3
시나리오6	3	11	20	15	12	1	62	8.9
시나리오7	4	12	12	14	1	5	48	6.9
시나리오8	4	13	14	17	1	7	56	8.1

정책변화로 인한 각 요소값의 변화는 Table 7에서 보는 바와 같이 시나리오 1인 견시 불충분 요소의 개선으로 인한 충돌사고가 18.8%, 130건으로 가장 크게 감소하였다. 또한 시나리오 3인 등화·형상물의 불표시 요소의 개선으로 인한 충돌사고 11.4%, 56건 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 시나리오 별 전체 충돌사고 감소율로 각 요소별 개선 우선순위는 시나리오 1인 견시 불충분요소, 시나리오 3인 등화·형상물의 불표시, 시나리오 6인 보고·인계 부적절 요소, 시나리오 2인 항법 미준수 요소, 시나리오 8인 복무에 관한 지휘감독 부적절 요소, 시나리오 7인 줄음요소, 시나리오 4인 속력선정 부적절 요소, 시나리오 5인 신호 불이행 요소 순으로 개선할 필요가 있다.

본 연구에서는 충돌사고의 인적요인 개선에 대한 충돌사고 감소효과를 분석하였으나 향후 구체적인 충돌사고 방지 대책 및 예방효과에 관한 요소를 추가한 SD모델을 작성하여 시뮬레이션 할 필요가 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 선행연구에서 수행한 FSM법에 의한 선박충돌사고 원인의 인적요인에 대한 구조그래프를 인과지도로 나타내고, SD법을 이용하여 선박충돌사고 인적요인 모델을 구축하였다. 또한 20년간(1993년 ~2012년)을 표준모델로 하여 시뮬레이션을 수행하였고, 표준모델의 파라메타를 변화시키는 정책실험을 수행하여 가장 개선이 시급한 요소의 우선순위를 결정하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) SD에 의해 선박충돌사고 인적요인 표준모델의 시뮬레이션 수행결과 1993년에서 2012년까지 전체 충돌사고 건수는 178건에서 693건, 견시불충분 42건에서 229건, 항법 미준수는 44건에서 147건, 신호(무중·주의환기신호) 불이행 1건에서 33건, 속력선정부적절 6건에서 44건, 보고·인계부적절 1건에서 20건, 줄음 1건에서 10건으로 증가하였다.

2) 선박충돌사고 인적요인 표준모델에서 파라메타를 변경하는 정책실험을 수행한 결과 견시 불충분요소, 등화·형상물의 불표시, 보고·인계 부적절 요소, 항법 미준수 요소, 복무에 관한 지휘감독 부적절 요소, 줄음요소, 속력선정 부적절 요소, 신호 불이행 요소 등의 우선 순으로 개선할 필요가 있다.

본 연구는 선박충돌사고 인적요인에 관한 의사결정 수립 시 정량적인 내용뿐만 아니라 정성적인 내용까지 포함하여 체계적이고 과학적으로 수립할 수 있는 선박충돌사고 인적요인 모델을 구축하였고 정책실험을 통해 가장 시급하게 개선해야하는 요소의 우선순위를 결정하였다는데 의의가 있다.

그러나 앞으로 선박충돌사고에 대한 모든 의사결정 관련 요소가 모델상에 명시되고 관계자가 직접 참여하는 모델 개발로 되는 확장연구가 필요 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 김도훈·문태훈·김동환(1999), 시스템 다이내믹스, 대영문화사.
- [2] 양원재·금중수·(2003), 선박충돌사고 위험성 제어 방안에 관한 연구, 해양환경안전학회지, 제9권 1호.
- [3] 여기태·이철영(1998), System Dynamics법을 이용한 동북아 항만 경쟁 모델의 개발에 관한 연구, 한국항만학회지, 제12권 1호.
- [4] 이명호·이희상·장인성·최봉식·허훈(2001), 시스템 다이내믹스(SD)에 의한 국내 전력산업의 효율성 제고에 관한 연구: 원자력산업을 중심으로, 한국경영과학회지, 제26권 2호, pp 99~109.
- [5] 해양경찰청(2002), 해난사고통계연보(2001).
- [6] B.O.Rosas, B.Gardner and M. Naim(1999), A system dynamic analysis of officer manpower in the merchant marine, *Maritime Policy & Management, Vol. 26, NO.1*, pp 39~60.
- [7] J.W.forrester(1961), *Industrial Dynamics*, MIT Press.
- [8] J.W.forrester(1969), *Urban Dynamics*, MIT Press.
- [9] J.W.forrester(1969), *World Dynamics*, MIT Press.
- [10] 阪神港研究會(1978), 2港灣システムのシミュレーション的考察(大阪港,神戸港の場合) 關西物流近代化Center, No.18.