

시스템 다이내믹스에 의한 선박충돌사고의 인적요인 분석에 관한 연구

금 중 수* · 양 원 재** · 장 운 재***

*목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수, **목포해양대학교 해상운송시스템학부 강사, ***목포해양대학교대학원

A Study on the System Dynamics Analysis for Human Factors in Ship's Collision Accidents

Jong-Soo Keum*, Weon-Jae Yang**, Woon-Jae Jang***

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

요 약 : 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 시뮬레이션 기간을 20년간(1993-2012)으로 설정하여 표준시뮬레이션모델과 8가지 정책시뮬레이션모델에 대해 시뮬레이션을 수행하였다.

핵심용어 : 해양사고, 인과지도, 시스템다이내믹스, 피지구조모델, 시뮬레이션모델

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(Fuzzy Structural Modeling), simulation model

1. 서 론

오늘날 해양사고를 예방하고자하는 인간의 노력에도 불구하고 해양사고 발생의 개연성은 증대되고 있다. 우리나라 주변해역은 지리적으로 3면이 바다에 접해 있고 일본, 중국 등 주변국들에 둘러싸여 있어서 대단히 중요한 해상교통로를 형성하고 있다. 또한 최근 해상물동량이 증가함에 따라 해상교통이 폭주되고 선박이 대형화, 고속화, 전용선화등으로 인해 사고의 양상이 복잡화 대형화 추세를 이루고 있다. 또한 지난 10년간(1993년~2002년) 해양사고 인한 인적·물적피해는 연평균 160여명, 420억원에 이르고 있다(해양경찰청, 2002).

특히, 해양사고의 원인에는 해양사고 발생에 직접원인이 깊은 직접원인과 해양사고의 발생을 조장하는 비교적 먼 원인인 간접원인으로 대별 할 수 있다. 그러나 해양사고는 여러가지

간접원인이 중복되어 대형 해양사고로 발전하는 경우가 많기 때문에 해양사고의 대응책은 이러한 원인들을 종합적으로 고려하여야 한다.

한편 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 정책 결

* 대표저자 : 금중수(중신회원), jskeum@mmu.ac.kr, 061)240-7075
** 정회원, wjyang@mmu.ac.kr, 061)240-7069
*** 정회원, jwj98@netian.com, 061)240-7252

정이 용이한 SD(System Dynamics ; 시스템다이내믹스)를 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 선박충돌사고에서 인적요인의 구조분석에 대한 선행연구(양, 2003)를 기초로 하여 선박충돌사고 인적요인 구조화 그래프를 SD법에서 사용할 수 있는 인과지도로 변환하였다. 그리고 이 인과지도를 바탕으로 SD모델을 구축하여 20년간(1993년~2012년)을 표준모델로 하여 시뮬레이션을 수행하였다. 마지막으로 표준모델의 파라메타 변수를 변화시켜 선박충돌사고 인적요인 모델의 행태를 분석하였다.

2. 선박충돌사고 인적요인 모델 작성

2.1 인적요인의 구조화

SD를 활용하여 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 해양사고 구성요소들을 바탕으로 선박충돌사고 인적요인의 구조시스템 경계내의 요소를 추출하고 구조화하고 시스템내의 이들 요소간의 피드백 구조를 파악하여 2차원의 평면상에 도해하여 사고를 정리할 필요가 있다(김, 1999).

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

Table 1 은 전체 설문 조사대상을 전문가 집단, 해양안전심판원, 승선실무자로 세분화하여 임계값 $P=0.55$, 파라메타 $\lambda =0.5$ 로 구조분석한 결과 각 계층에 따라 속한 요소별로 분류한 것이고 Fig. 1은 가장 타당한 전체 응답자의 구조화그래프를 나타낸다.

Table 1 Results of FSM

구분	최상층	중간층	최하층
전체 응답자	-경계 불충분	-항법 미준수 -신호 불이행 -속력선정 부적절 -등화·형상물 불표시 -줄음	-복무에 관한 지휘감독 부적절 -보고·인계 부적절
전문가 집단	-경계 불충분	-항법 미준수 -신호불이행 -속력선정 부적절 -줄음 -등화·형상물 불표시	-복무에 관한 지휘 감독 부적절 -줄음 -보고·인계 부적절
해양안전 심판원	-경계 불충분	-신호 불이행 -속력선정 부적절 -항법 미준수 -등화·형상물 불표시 -줄음	-복무에 관한 지휘감독 부적절 -보고·인계 부적절
승선 실무자	-경계 불충분	-신호 불이행 -속력선정 부적절 -항법 미준수 -등화·형상물 불표시 -줄음	-복무에 관한 지휘감독 부적절 -보고·인계 부적절

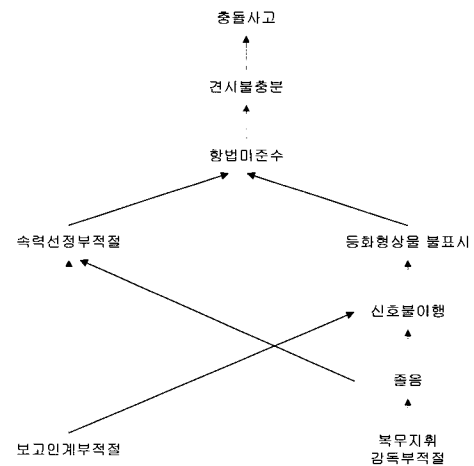


Fig. 1 Result Graph of FSM (P=0.55 λ=0.50)

Fig. 1에서와 같이 선박충돌사고에 가장 밀접하고 직접적인 영향력으로 작용하는 사고유발요소와 이 요소간에 직접적으로 영향을 미쳐서 사고를 유발시키는 하위요소들과의 상호관계는 다음과 같다.

선박충돌사고의 인적요인은 최상위 계층인 선박승무원의 “경계 불충분”요소가 가장 직접적인 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 최하층 레벨의 요소는 “복무에 관한 지휘감독 부적절”과 “보고·인계의 부적절”은 중간레벨요소인 “속력선정 부적절”과 “신호불이행”에만 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 중간층 레벨의 “신호불이행”은 동일계층의 요소인 “등화·형상물의 불표시”에 영향을 주고, “속력선정 부적절”은 “항법 미준수”에 밀접하게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

중간층레벨의 요소 “항법 미준수”요소는 최하층의 “경계 불충분”요소에 가장 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

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

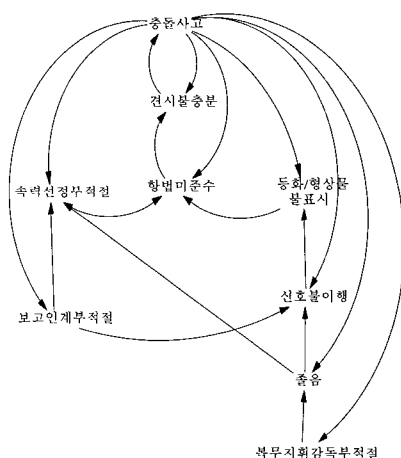


Fig. 2 Causal map for human factors of ship's collision accidents

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

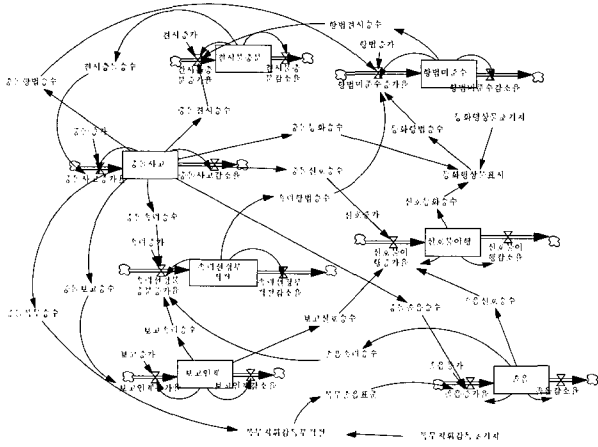


Fig. 3 Detailed flow diagram of human factors model

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.

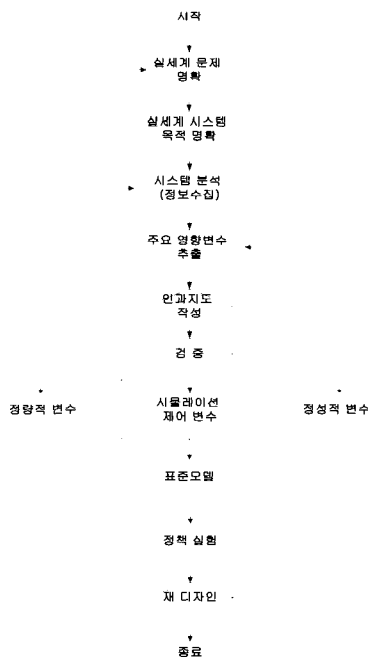


Fig. 4 Flow chart for human factors of ship's collision accidents

3. 모델의 분석과 정책실험

3.1 표준모델

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

선박충돌사고 표준모델 내의 각 변수에 투입한 레벨변수 및 파라메타는 다음과 같다. 시물레이션의 초기값인 1993년 레벨변수는 충돌사고 178건, 경계 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%, 경계 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 충돌사고 건수와 등화·형상불 불표시로 인한 충돌사고 건수는 통계자료로 파악할 수 없어 정성적 변수로 하여 시물레이션 하기에 용이한 실수치로 초기치는 50으로 설정하였다.

Table 2 Standard scenario (1993-2012)

Time (Year)	1993	1997	2002	2006	2010	2012
충돌사고	178	209	268	350	519	693
경계불충분	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 2와 Fig 5에서와 같이 레벨변수 각각의 초기 투입치에서 증가되고 있는 것을 알 수 있다. 1993년에서 2012년까지 각 변수별 증가치를 살펴보면 전체 충돌사고 건수는 178건에서 693건, 경계불충분 42건에서 229건, 항법 미준수는 44건에서 147건, 신호불이행 1건에서 33건, 속력선정부적절 6건에서 44건, 보고·인계부적절 1건에서 20건, 줄음 1건에서 10건으로 증가하는 것으로 나타났다.

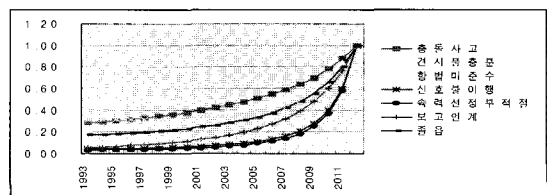


Fig. 5 Standard scenario

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.

3.2 정책실험

선박충돌사고 인적요인의 개선에 대한 정책실험은 파라메타 변수를 현재치에서 절반 감소시킨 것을 정책시나리오로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시나리오 1은 경계 불충분 요소, 시나리오 2는 항법 미준수 요소, 시나리오 3은 등화·형상물의 불표시 요소, 시나리오 4는 속력선정 부적절 요소, 시나리오 5는 신호불이행 요소, 시나리오 6은 보고·인계 부적절 요소, 시나리오 7은 줄음 요소, 시나리오 8은 복무에 관한 지휘감독 부적절 요소를 감소시켰다.

1) 시나리오 1

시나리오 1은 경계 및 근무태도에 대한 해기사의 교육훈련을 강화한 경우이며, Fig 6에 경계 불충분 요소 파라메타를 8.6%에서 4.3%로 감소시켜 시뮬레이션 한 결과를 나타내었다. 2012년을 기준으로 표준모델과 시나리오 1을 비교하면 경계 불충분 229건에서 138건, 항법 미준수는 147건에서 130건, 신호불이행 33건에서 25건, 속력선정부적절 44건에서 37건, 보고·인계부적절 20건에서 16건, 줄음 10건에서 7건으로 감소하는 것으로 나타났다.

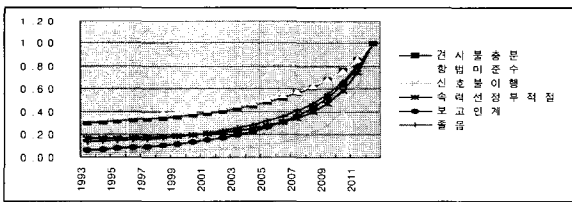


Fig. 6 Scenario 1

2) 시나리오 2

시나리오2는 상대선을 인지하고 충돌을 회피하기 위한 선원 상무, 횡단선 항법, 시계제한 시 항법 등 적절한 피항조치를 취하는 교육을 강화한 경우이다. 항법 미준수 요소 파라메타를

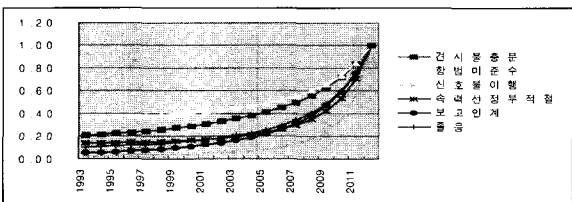


Fig. 7 Scenario 2

6.1%에서 3.05%로 감소시켜 시뮬레이션을 수행한 결과는 Fig. 7과 같다. 2012년을 기준으로 표준모델과 시나리오 2를 비교하면 경계불충분 229건에서 203건, 항법 미준수는 147건에서 121건, 신호불이행 33건에서 32건, 속력선정부적절 44건에서 43건, 보고·인계부적절 20건에서 19건, 줄음 10건에서 9건으로 감소하는 것으로 나타났다.

3) 시나리오 3

시나리오 3은 본선의 안전향해를 도모하기 위한 등화·형상물을 제대로 표시하는 교육을 강화한 경우이다. 등화·형상물의 불표시 요소 파라메타를 초기치 50에서 25로 감소시켜 시뮬레이션 한 결과는 Fig 8과 같다. 2012년을 기준으로 표준모델과 시나리오 3을 비교하면 경계불충분 229건에서 196건, 항법 미준수는 147건에서 105건, 신호불이행 33건에서 32건, 속력선정부적절 44건에서 43건, 보고·인계부적절 20건에서 19건, 줄음 10건에서 9건으로 감소하는 것으로 나타났다.

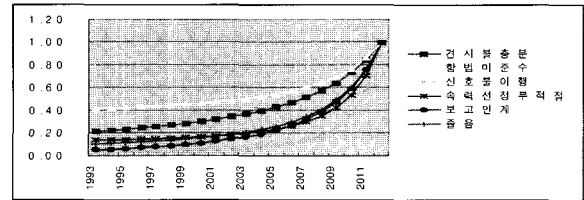


Fig. 8 Scenario 3

4) 시나리오 4

시나리오4는 충돌을 회피하기 위해 처해있는 항행환경에 부합하는 안전한 속력을 준수하는 교육을 강화한 경우이다. 속력선정 부적절 요소 파라메타를 18%에서 9%로 감소시켜 시뮬레이션 한 결과는 Fig. 9와 같다. 2012년을 기준으로 표준모델과 시나리오 4를 비교하면 경계불충분 229건에서 223건, 항법 미준수는 147건에서 135건, 신호불이행 33건에서 32건, 속력선정부적절 44건에서 35건, 보고·인계부적절 20건에서 19건, 줄음 10건에서 9건으로 감소하는 것으로 나타났다.

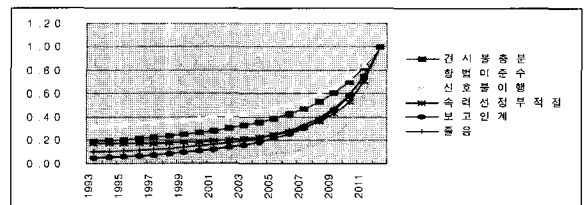


Fig. 9 Scenario 4

5) 시나리오 5

시나리오 5는 경고신호, 주의환기신호, 시계제한 상태의 무중신호등 신호이행의 교육을 강화한 경우이다. 신호 불이행 요소 파라메타를 10.0%에서 5.0%로 감소시켜 시뮬레이션 한 결과는 Fig. 10과 같다. 2012년을 기준으로 표준모델과 시나리오

오 5를 비교하면 경계불충분 229건에서 225건, 항법 미준수는 147건에서 146건, 신호불이행 33건에서 25건, 속력선정부적절 44건에서 43건, 보고 · 인계부적절 20건에서 19건, 줄음 10건에서 9건으로 감소하는 것으로 나타났다.

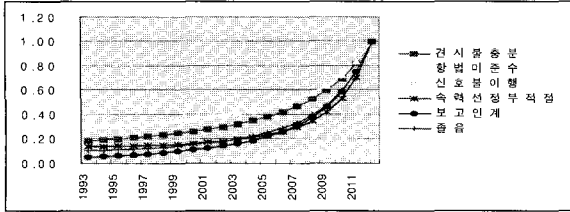


Fig. 10 Scenario 5

6) 시나리오 6

시나리오 6은 선박운항중 본선의 안전과 관련하여 이상유무에 대한 상세하고 정확한 보고 및 당직근무자의 인수인계를 적절히 하는 교육을 강화한 경우이다. 보고 · 인계 부적절 요소 파라메타를 10.0%에서 5.0%로 감소시켜 시뮬레이션 한 결과는 Fig. 11과 같다. 2012년을 기준으로 표준모델과 시나리오 6을 비교하면 경계불충분 229건에서 226건, 항법 미준수는 147건에서 136건, 신호불이행 33건에서 13건, 속력선정부적절 44건에서 29건, 보고 · 인계부적절 20건에서 8건, 줄음 10건에서 9건으로 감소하는 것으로 나타났다.

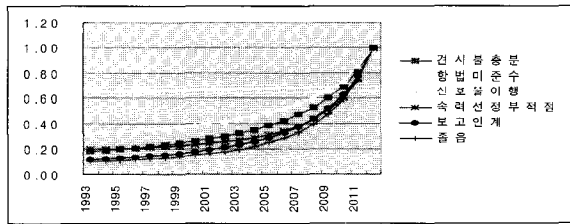


Fig. 11 Scenario 3

7) 시나리오 7

시나리오 7은 당직근무자의 선교 당직시 피로, 게으름, 나태 및 근무태만 등의 항해당직의 이행을 철저히 하는 경우이다. 줄음요소 파라메타를 16.0%에서 8.0%로 감소시켜 시뮬레이션 한 결과는 Fig. 12와 같다. 2012년을 기준으로 표준모델과 시나리오 7을 비교하면 경계불충분 229건에서 225건, 항법 미준수는 147건에서 135건, 신호불이행 33건에서 21건, 속력선정부적절 44건에서 30건, 보고 · 인계부적절 20건에서 19건, 줄음 10건에서 5건으로 감소하는 것으로 나타났다.

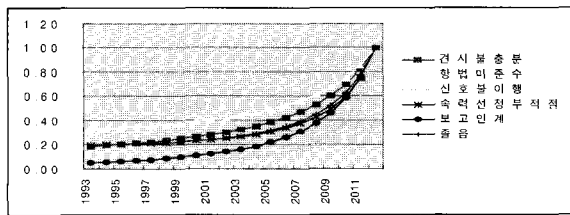


Fig. 12 Scenario 7

8) 시나리오 8

시나리오 8은 선박운항에 관련하여 항행안전을 확보하기 위한 전반적인 지휘 및 감독에 대한 교육을 강화한 경우이다. 복무에 관한 지휘감독 부적절 요소 파라메타를 초기치 50에서 25로 감소시켜 시뮬레이션 한 결과는 Fig. 13과 같다. 2012년을 기준으로 표준모델과 시나리오 8을 비교하면 경계불충분 229건에서 225건, 항법 미준수는 147건에서 134건, 신호불이행 33건에서 19건, 속력선정부적절 44건에서 27건, 보고 · 인계부적절 20건에서 19건, 줄음 10건에서 3건으로 감소하는 것으로 나타났다.

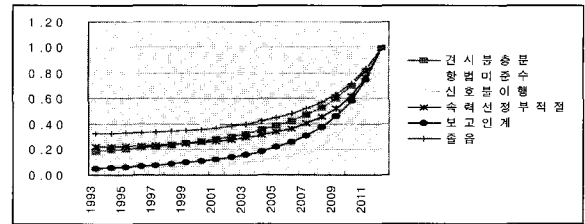


Fig. 13 Scenario 8

9) 종합결과

선박충돌사고 인적요인 표준모델의 파라메타를 변경한 시나리오 1~8모델을 2012년 표준모델과 비교하여 각 시나리오 별 레벨변수의 감소치는 Table 3과 같다.

Table 3 Comparison of each Scenarios 1~8

구분	경계 불충분	항법 미준수	신호 불이행	속력선정부적절	보고인계부적절	줄음	합계	충돌사고감소비율(%)
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 3에서보는 바와 같이 시나리오 1인 경계 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 경계 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 SD모형을 작성하여 시물레이션 할 필요가 있다.

4. 결 론

해양사고의 발생원인중 인적요인에 의한 선박충돌사고가 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 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 시물레이션을 수행하였고, 표준모델의 파라메타를 변화시키는 정책실험을 수행하여 가장 개선이 시급한 요소의 우선순위를 결정하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

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

2) 선박충돌사고 인적요인 표준모델에서 파라메타를 변경하는 정책실험을 수행한 결과 경계 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 수립시 정량적인 내용뿐만 아니라 정성적인 내용까지 포함하여 체계적이고 과학적으로 수립할 수 있는 선박충돌사고 인적요인 모델을 구축하였고 정책실험을 통해 가장 시급하게 개선해야 하는 요소의 우선순위를 결정하였다는데 의의가 있다.

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

참 고 문 헌

- [1] 김도훈·문태훈·김동환(1999), 시스템 다이내믹스, 대영문화사..
- [2] 양원재·급종수·(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), 시스템다이내믹스(SD)에 의한 국내 전력산업의 효율성 제고에 관한 연구: 원자력산업을 중심으로, 한국경영과학회지, 제26권 2호, pp 99~109.
- [5] 해양경찰청(2002), 해난사고통계연보(2001).
- [6] 중앙해양안전심판원(각년호), 해양안전심판사례집.
- [7] 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.
- [8] J.W.forrester(1961), *Industrial Dynamics*, MIT Press.
- [9] J.W.forrester(1969), *Urban Dynamics*, MIT Press.
- [10] J.W.forrester(1969), *World Dynamics*, MIT Press.
- [11] 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.

원고접수일 : 2003년 9월 30일

원고채택일 : 2003년 12월 4일