

SD법을 이용한 해양사고 예방의 정책대안 분석

금종수* · 장운재**

* 목포해양대학교 해상운송시스템학부, ** 목포해양대학교대학원

A Study on the Alternative Plan for Prevention of Marine Accident using System Dynamic

Jong-Soo Keum* · Woon-Jae Jang**

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

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

요 약 : 해양사고는 많은 원인이 서로 복잡하게 상호작용을 하여 발생하고 있다. 이러한 해양사고의 분석은 선박의 안전 운항상의 측면에서 매우 중요하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구의 목적은 시스템다이내믹스법을 이용하여 해양사고 원인과 개선책에 대한 모델을 구축하고, 요소의 개선에 대한 효과를 분석하고자 한다. 본 연구의 수행을 위해 해양사고 원인과 개선책의 요소를 브레인스토밍법에 의해 추출하고, 인과지도상의 정량적, 정성적, 피드백루프로 변환하였다. 그리고 표준모델과 4가지 정책모델에 대해 23년간(1997~2020) 시뮬레이션을 수행하였다.

핵심용어 : 해양사고, 인과지도, 시스템다이내믹스, 브레인스토밍법, 시뮬레이션모델.

Abstract : Ship is bring operated under a highly dynamic environments and many factors are related whit marine accident and those factors are interacting. An anysis on the marine accident is very important to prepare countermeasures which will ensure the safe navigation. This paper aims to build a model of the causes and improved policy for marine accident using SD(System Dynamics) approach and to measure a effect which is risk control countermeasures of marine accident. The methodology of this paper is to perform the causes and improved policy for marine accident using Brainstorming method, and was to changed by quantitative, qualitative factors and their feedback loops in casual map. This model was performed over 23 years(1997~2020) in a standard simulation model and 4 policy simulation models.

Key words : marine accident, Casual map, SD(System Dynamics), Brainstorming method, simulation model

1. 서 론

오늘날 해양사고를 예방하고자 하는 인간의 노력에도 불구하고 해양사고 발생의 개연성은 증대되고 있다.

최근 해상물동량이 증가함에 따라 해상교통이 폭주되고 선박이 대형화, 고속화, 전용선화등으로 인하여 사고의 양상이 복잡화 대형화 추세를 이루고 있다. 또한, 지난 10년간 해양사고로 인한 인적피해는 연평균 160여명이고 물적피해는 420억원에 이르고 있다(해양경찰청, 2002).

따라서 해양사고의 원인을 밝혀 선박의 안전관리 정책과 해양사고를 미연에 방지하는 정책이 절실히 요청된다.

한편, 해양사고의 원인에는 해양사고의 발생에 직접원인이 깊은 직접원인과 해양사고의 발생을 조장하는 비교적 먼 원인인 간접원인으로 대별 할 수 있다. 그러나 해양사고는 여러 가지 간접원인이 중복되어 대형해양사고로 발전하는 경우

가 많기 때문에 해양사고의 대응책은 이러한 원인들을 종합적으로 고려하여야 한다.

본 연구에서는 반복적이고 수작업에 의존하고 있는 해양 사고 원인의 분석과 그 대응책에 대한 의사결정을 체계적이고 신속하게 수립하여 변화에 신속하게 대응 가능하게 하고, 최선의 정책결정이 용이한 SD(System Dynamics)법을 이용하여 해양사고의 원인과 그 개선책에 대한 모델을 구축한다.

또한, 해양사고 원인의 개선에 대한 정책실험을 수행하여 그 효과를 분석하도록한다.

이를 위해 본 연구에서는 해양사고의 원인과 개선책에 대해 브레인스토밍법을 이용하여 주요요소를 추출하고 인과지도를 작성하였다. 그리고 이 인과지도를 바탕으로 SD모델을 구축하여 23년간(1997~2020)을 표준모델로 하여 시뮬레이션을 수행하였다. 마지막으로 표준모델의 파라메타 변수를 변화시켜 해양사고 원인과 개선책에 대한 모델의 행태를 분석하였다.

* 대표저자 : 종신회원, jskeum@mmu.ac.kr, 061)240-7075

** 종신회원, jwj98@netian.com 061)240-7252

2. 해양사고 모델 구성

2.1 해양사고의 원인

해상에서 일어나고 있는 해양사고는 복합적인 요인들이 결합하여 발생하는 것이므로 각종의 해상교통환경의 요소들을 고려하여 판단하여야 한다. 이러한 관점에서 해양사고의 주요 발생 요인을 일본에서는 자연조건, 항로조건, 선박조건, 교통조건 및 운항자 조건으로 분류하거나, 인적요인, 자연적요인, 교통환경적 요인, 선박적 요인 그리고 사회경제적 요인으로 분류하여 조사 분석하고 있다.

영국의 해난조사국의 경우에는 선박 및 선박소유자를 대상으로 하며, 선박운용과 관련한 인명사고와 선박의 훼손, 포기 및 고장등을 조사내용으로 한다. 그리고 해양사고의 직접 원인과 이 직접원인을 유발시킨 기초원인을 동시에 조사하는 방법을 취하고 있다. 그리고 미국의 해양경비대 및 연방교통안전국에서는 해양사고의 원인을 선박, 선원, 항로, 기상 및 연방감독 5가지의 원인을 조사 분석한다. 이상의 발생 요건에 따라 자연조건, 항로조건, 선박조건, 교통조건, 운항자조건 등 5개의 기본적인 요건으로 분류할 수 있다. 그러나 이러한 요건들은 해양사고에 대해 독립적으로 작용한다고 볼 수 없고 여러요인들이 복합하여 해양사고가 일어난다고 할 수 있다(김, 1997).

또한 항로표지, VTS등 항행보조설비가 설치되면 해양사고 발생을 어느정도 예방할 수 있다. 따라서 해양사고 원인이 되는 정량적인 요소뿐만 아니라 정성적인 요소, 항로표지 시설 등의 확충으로 인한 해양사고 경감에 대한 효과도 같이 고려할 수 있는 방법으로 SD법이 널리 이용되고 있다.

2.2 해양사고 모델 구성

SD를 활용하여 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 해양사고 구성요인들을 바탕으로 하여 해양사고 모델을 구성하는 시스템 경계내의 요소를 추출하고 구조화 할 필요가 있다. 그리고 시스템내의 이들 요소간의 피드백 구조를 파악하여 2차원의 평면상에 도해하여 사고를 정리해야한다.

시스템의 경계요소를 추출하고 구조화 하기위해 본 연구에서는 해양·수산 관련분야 교수, 연구원 등의 전문가 그룹에 면접 및 설문조사를 하여 브레인스토밍법을 이용하여 구조화한 결과 자연조건, 항로조건, 선박조건, 교통조건, 운항자조건 등 해양사고 요인 5가지와 해양사고에 영향을 주는 항로표지시설, 해양사고 구조인원수등의 2가지 요소와 해양사고 요인을 변화시킬수 있는 요소로 수·출입 화물량, 징계해기사수, 정부의 면허발급의지, 국가 경제성, 선박등록척수, 신조선 건조의지등의 6가지 요소등을 추출할 수 있었다.

한편 각 요소간의 인과관계에 대해 살펴보면 해양사고가 증가하면 사고로부터 신속한 구조를 위해 구조하고자하는 구조선박이나 장비 및 인력등이 증가하게 되고 그러면 구조를

위한 예산이 증가하게 되어 장기적으로는 국가경제성을 떨어뜨리는 음의 효과가 있고 국가경제성의 악화는 국가 경쟁력을 약화시킴으로써 수·출입 화물량의 감소를 가져온다. 수·출입 화물량의 감소는 선박등록척수의 증가를 감소시키는 요인으로 작용하여 해역을 통항하는 선박의 교통량을 감소시킴으로써 해양사고를 감소시키는 음의 효과가 있다.

한편 해양사고가 증가하면 징계를 받는 해기사가 증가하는 양의 효과가 있고 징계받는 해기사가 증대되면 해양사고를 방지하고자하는 노력이 강화되어 해기교육등이 강화되어 해기면허 발급규정이 점차 강화되는 양의 효과가 있고 이로 인해 장기적으로는 해기사 인원이 감소하게 되고 해기사의 감소는 인적과실을 감소시키는 음의 효과가 있다.

수·출입 화물량이 증가함에 따라 선박등록척수가 증가되면 통항선박의 교통량이 증가되어 해역이 복잡화되어 해양사고가 증가되는 양의 효과가 있다. 따라서 해역의 복잡성을 완화하고자 항로표지시설등을 설치하여 해역의 안전성을 높이면 해역의 복잡성은 감소되어 통항선박이 감소됨으로써 해양사고를 감소시키는 음의 효과가 있다.

또한 선박등록척수의 증가는 노후된 선박의 증가율을 높이는 양의 효과가 있다. 이러한 노후선박이 증가되면 노후선박으로 인한 노후선박의 사고율도 높아지며 이것은 전체 해양사고의 사고율을 높이는 양의 효과로 작용하여 선박의 신조선을 건조하고자하는 의지가 높아지게 되는 양의 효과로 작용한다. 따라서 선박등록척수의 증가분에서 노후선박의 비율이 감소되는 음의 효과가 있다.

그리고 선박등록척수의 증가는 해기사를 증가시키는 양의 효과로 작용한다.

이러한 인과관계를 토대로 인과지도를 나타내면 Fig. 1 과 같다.

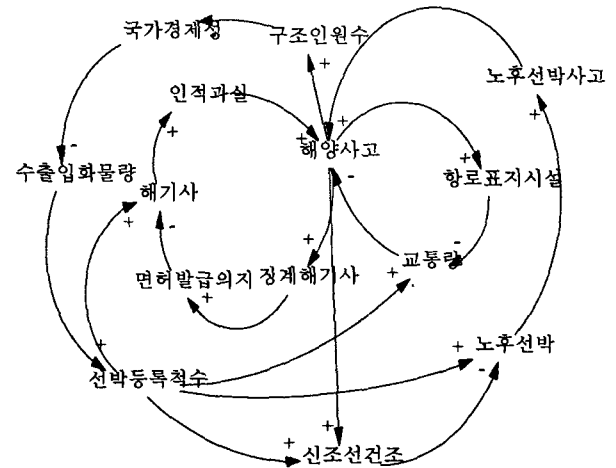


Fig. 1 feedback loops of marine accident model

3. 해양사고 모델 분석

3.1 표준모델

표준 시뮬레이션은 조사한 통계자료 데이터의 기본값을 사용하여 1997년 우리나라 전체 해양사고를 토대로 하여 실행하였다.

모델 내의 각 변수에 투입한 레벨변수 및 파라메타는 다음과 같다. 레벨변수는 구조인원수 8,300명, 인적과실 524건, 교통량 388,018척, 노후선박사고척수 290척, 노후선박척수 31,158척, 선박등록척수 86,134척, 수·출입 화물량 1,468,320천톤, 징계해기사 522명, 해기사인원 58,500명, 해양사고 572척, 항로표지시설 1,046개로 하였다. 파라메타 변수는 구조인원수 증가율 0.1%, 교통량 증가율 3.4%, 인적과실 증가율 1%, 노후선박 해양사고 감소율 2.7%, 노후선박 증가율 3.5%, 선박등록척수 증가율 4.5%, 징계해기사 감소율 11%, 해기사 증가율 3.7%, 해양사고 증가율 2%, 항로표지 증가율 6.1%, 수·출입 화물량 증가율 6.4%, 국가경제성의욕, 신조선건조 의욕, 해기면허 발급의욕 등은 모두 0 - 100 사이의 값으로하여 초기치는 50을 설정하였다.

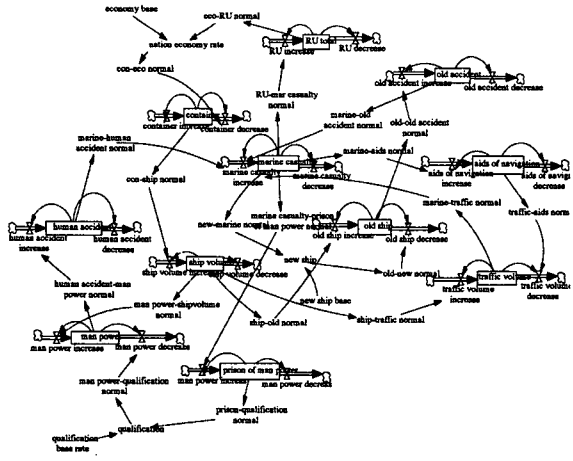


Fig. 2 Detailed flow diagram of marine accident model

2.3 해양사고 모델 수행절차

해양사고 모델의 수행은 Fig. 3의 흐름도에 따라 4단계의 절차에 의해 수행된다.

- 1단계: 해양사고 원인 및 개선책에 대한 요인을 명확히 하고, 요인의 개선에 따른 시스템의 행태변화를 목적으로 한다.
- 2단계: 브레인스토밍법에 의한 해양사고 원인 및 개선책에 대한 요인의 인과지도를 작성한다.
- 3단계: 통계자료와 전문가의 인터뷰를 통해 정량적, 정성적 및 시뮬레이션 제어변수를 이용하여 표준모델을 작성하고 시뮬레이션을 수행한다.
- 4단계: 파라메타를 변경하여 정책실험을 수행한다.

Table 1 Standard Scenario(1997 ~ 2020)

구분	1997년	2001년	2005년	2009년	2013년	2017년	2020년
해양사고 (척)	572	620	674	737	811	901	983
구조인원수 (명)	8,300	8,366	8,506	8,733	9,070	9,549	10,033
수·출입 화물량 (천톤)	1,468,320	1,729,540	2,034,730	2,388,530	2,794,410	3,253,370	3,630,480
선박등록척수 (척)	86,134	87,634	89,498	91,803	94,646	98,141	101,271
해기사수 (명)	58,500	67,663	78,530	91,509	107,144	126,173	143,269
인적과실 건수 (척)	524	548	582	628	691	780	869
징계해기사수 (명)	400	341	292	251	217	188	170
통항교통량 (척)	388,018	443,877	508,796	584,648	673,823	779,388	871,651
항로표지시설 (개)	1,046	1,197	1,387	1,629	1,946	2,371	2,792
노후선박수 (척)	31,158	31,462	31,767	32,072	32,378	32,685	32,916
노후선박해양사고수 (척)	290	260	233	209	188	169	155

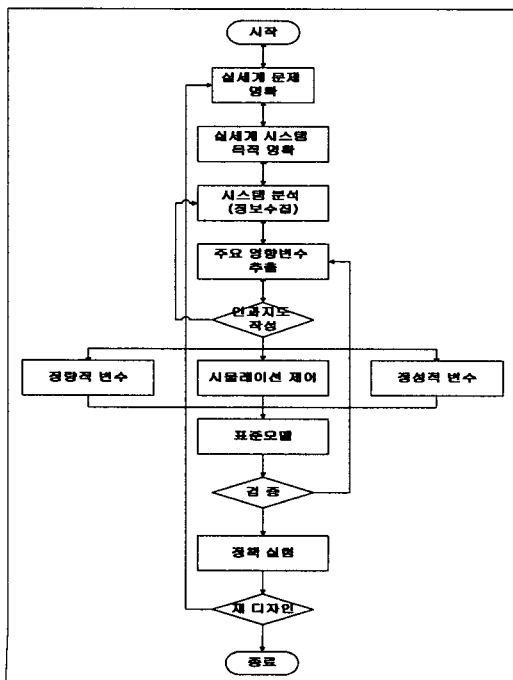


Fig. 3 Flow chart for marine accident model

실행결과 Table 1 과 Fig. 4 에서와 같이 레벨변수 각각의 초기투입치에서 증가 및 감소의 변화를 확인할 수 있는데 2020년 기준으로 해양사고 척수는 572척에서 983척으로 구조인원수는 8,300명에서 10,033명으로 수·출입 화물량은 1,468,320천톤에서 3,630,480천톤으로 선박등록척수는 86,134척에서 101,271척으로 해기사수는 58,500명에서 143,269명으로, 인적과실에 의한 해양사고 척수는 524척에서 869척으로, 징계해기사수는 400명에서 170명으로, 통항교통량은 388,018척에서 871,651척으로, 항로표지시설은 1,046개에서 2,792개로 노후선박수는 31,158척에서 32,916척으로 노후선박 해양사고척수는 290척에서 155척으로 변화하였다.

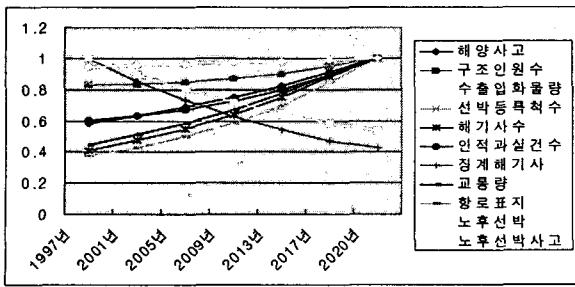


Fig. 4 Standard Scenario

한편, SD법에 의한 모형의 개발은 복잡한 구성요소를 갖고 동적으로 변화하고 있는 사회시스템의 현상자체를 시스템화 함으로서 간단한 파라메타의 변경만으로도 여러 가지 중요 구성요소의 장래 변화를 쉽게 파악할 있는 것으로 알려져 있다.

3.2 정책실험

표준시나리오 모델에 다음과 같은 여러 가지 정책실험을 적용시켜 모델의 변화를 살펴보고자 한다. 본 연구에서는 여러가지 정책을 시나리오로 정하여 시뮬레이션을 수행하는데 시나리오 1은 해양사고 발생증가율을 변화시키고, 시나리오 2는 수·출입 화물량 증가율의 변화, 시나리오3은 해기면허 발급의지 변화, 시나리오 4는 통항교통량 증가율의 변화를 설정하였다.

1) 시나리오 1

해양사고가 증가한 경우로 현재 해양사고 증가율을 0.021에서 0.042로 증가시켜 시뮬레이션을 수행한 결과 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있다.

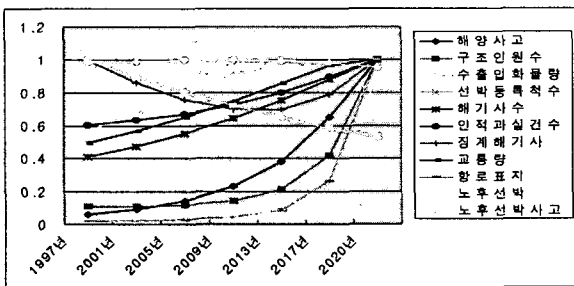


Fig. 5 Scenario 1

Fig. 5 에서 보는바와 같이 해양사고는 2020년 기준으로 983척에서 9,206척을 증가하였고, 이에따라 신속한 구조를 위해 구조인원수는 10,034명에서 77,923명으로 급증하게된다.

한편 구조를 위한 인력 및 장비의 증가함에 따라 국가 경제성이 약화되어 대외신인도가 낮아져 수·출입 화물량 3,630,480천톤에서 1,973,620천톤으로 급감하였다. 이에따라 선박등록척수도 101,271척에서 99,384척으로 약간 감소하며 이로인해 해기사수는 143,269명에서 142,494명으로

약간 감소하게된다. 해기사의 감소는 결국 해기사에 의한 인적과실을 약화시켜 인적과실에 의한 해양사고 척수는 869척에서 866척으로 감소하게 된다,

한편 해양사고의 증가는 해양사고로 인해 징계를 받는 해기사수는 170명에서 401명으로 증가하게 된다. 선박등록척수의 감소는 연안해역의 통항교통량을 감소시키게 되어 통항교통량이 871,651척에서 782,057로 감소하게된다.

또한 해양사고가 증가함에 따라 해양사고를 방지하고자 하는 노력이 증가되어 항로표지시설이 2,792개에서 52,385개로 증가하게 된다. 그리고 해양사고의 방지를 위해 신조선의 건조의지가 높아져 노후선박수는 32,916척에서 30,214척으로 감소하게 되고, 이로인해 노후선박 해양사고척수는 155척에서 154척으로 약간 감소하게 된다.

2) 시나리오 2

수·출입 화물량이 증대된 경우로 현재 수·출입 화물량의 증가율을 0.066%에서 0.132%로 증가시켜 시뮬레이션을 수행한 결과 Fig. 6과 같이 나타낼 수 있다.

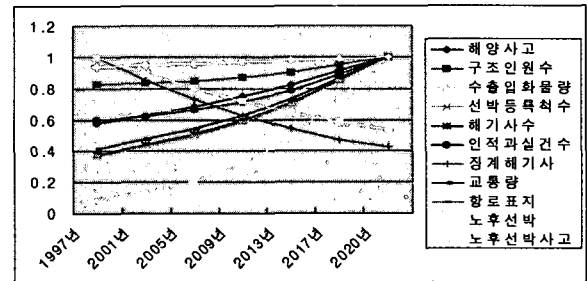


Fig. 6 Scenario 2

Fig. 6 에서 보는바와 같이 2020년 기준으로 수·출입 화물량은 3,630,480천톤에서 16,565,400천톤으로 증가하였다.

수·출입 화물량이 증가함에 따라 선박등록척수는 101,271척에서 136,334척으로 증가하였고, 이에따라 해양사고 척수도 983척에서 987척으로 증가하였다. 한편 해양사고가 증가함에 따라 신속한 구조를 위한 구조인원수는 10,034명에서 10,039명으로 약간 증가하는 것으로 나타났다.

한편 선박등록척수가 증가함에 따라 선박운항에 필요한 해기사수도 143,269명에서 154,692명으로 증가하였고, 해기사의 증가로 인해 인적과실에 의한 해양사고 척수도 869척에서 880척으로 증가하는 것으로 나타났다, 그러나, 징계를 받는 해기사수는 170명에서 170명으로 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

또한 선박등록척수가 증가함으로 인해 노후선박수도 32,916척에서 33,151척으로 약간 증가하였다. 그러나 노후선박에 의한 해양사고척수는 155척에서 155척으로 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 국적선의 증가로 인해 해역에서의 통항교통량도 871,651척에서 936,194로 증가하였으나 항로표지시설은 2,792개에서 2,794개로 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

3) 시나리오 3

해기면허에 대한 발급기준을 강화시킨 정책을 시행한 결과로 해기면허 발급의지를 현재 50에서 100으로 증가시켜 시뮬레이션을 수행한 결과 Fig. 7과 같이 나타났다.

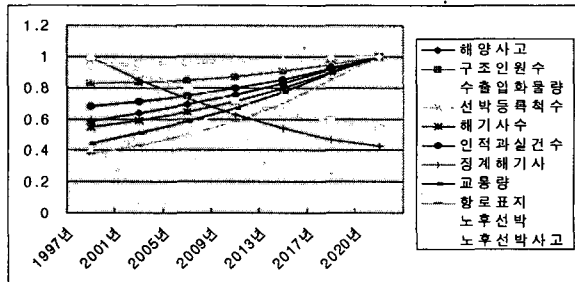


Fig. 7 Scenario 3

Fig. 7에서 보는바와 같이 2020년 기준으로 해기면허 발급기준이 강화됨에 따라 해기사수는 143,269명에서 107,152명으로 감소하였고, 이로 인해 인적과실에 의한 해양사고 척수는 869척에서 762척으로 감소하였다. 이에 따라 해양사고 척수도 983척에서 974척으로 감소하는 것으로 나타났다.

한편 해양사고가 감소됨에 따라 구조에 들어가는 예산이 감소되어 구조인원의 수도 10,034명에서 10,017명으로 다소 감소하였고 절감된 예산으로 인해 국가 경제성은 약간 높아져 국가 대외 신임도가 상승하여 수·출입 화물량은 3,630,480천톤에서 3,631,140천톤으로 다소 증가하였다. 그리고 수·출입 화물량의 증가로 인해 선박등록척수는 101,271척에서 101,272척으로 증가하였다. 그러나 징계를 받는 해기사수는 170명에서 170명, 노후선박수는 32,916척에서 32,918척으로, 노후선박 해양사고척수는 155척에서 155척으로 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

또한 통항교통량은 871,651척에서 871,670척으로 약간 증가하는 것으로 나타났다. 반면에 해양사고의 감소로 항로표지시설도 2,792개에서 2,786개로 약간 감소하는 것으로 나타났다.

4) 시나리오 4

연안해역의 통항선박 교통량이 증가하여 통항선박 교통량 증가율을 현재의 0.035%에서 0.07%로 증가시켜 시뮬레이션을 수행한 결과 Fig. 8과 같이 나타났다.

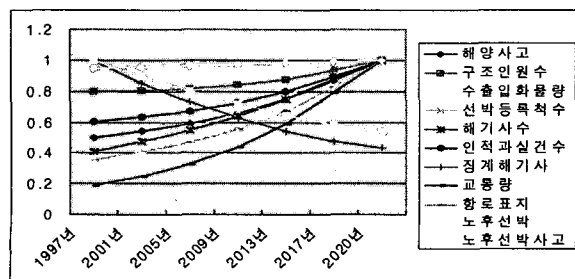


Fig. 8 Scenario 4

Fig. 8에서 보이는 바와 같이 2020년 기준으로 통항교통량은 871,651척에서 2,034,910로 증가하였다. 이에 따라 해양사고 척수도 983척에서 1,151척으로 증가하는 것으로 나타났다.

또한 해양사고의 증가로 인해 신속한 구조를 위해 구조인원의 수도 10,034명에서 10,408명으로 증가하여야 한다. 그러나 구조인원의 수의 증가는 국가 경제성을 저하시켜 국가 대외 신임도에 영향을 주어 수·출입 화물량은 3,630,480천톤에서 3,613,220천톤으로 감소하는 것으로 나타났다, 이로 인해 선박등록척수도 101,271척에서 101,252척으로 감소하게 되었다.

한편 선박등록척수의 감소는 선박을 운항하는 해기사에 영향을 미쳐 해기사수는 143,269명에서 143,261명으로 다소 감소하였고, 감소된 해기사수는 해기사의 인적과실에 의한 해양사고 척수는 869척에서 867척으로 감소시키는 것으로 나타났다. 그러나 해양사고의 증가로 인해 징계해기사는 170명에서 173명으로 증가되었다.

또한 해양사고의 증가로 신조선에 대한 건조의지가 높아져 노후선박수는 32,916척에서 32,865척으로 다소 감소되었으나, 노후선박에 의한 해양사고척수는 155척에서 155척으로 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 그리고 해양사고의 증가로 인해 항로표지시설은 2,792개에서 2,942개로 증가되는 것으로 나타났다.

4. 결 론

해양사고는 많은 원인이 상호 유기적으로 결합하여 발생한다. 따라서 이러한 해양사고는 종합적으로 분석하여야 한다. 본 연구에서는 SD법에 의해 해양사고의 원인과 개선책에 대한 효과를 분석하였다. 이를 위해 브레인스토밍법에 의해 해양사고의 원인과 개선책에 대한 주요요인을 추출하고 이것을 인과지도로 나타내었다. 그리고 이러한 인과지도를 바탕으로 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 또한 향후 23년간(1997 ~ 2020)을 표준모델로 하여 시뮬레이션을 수행하였고, 표준모델의 파라메타를 변화시키는 정책실험을 수행하여 가장 개선이 시급한 요소의 우선순위를 결정하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) SD법에 의해 표준모델의 시뮬레이션을 수행한 결과 2020년 기준으로 해양사고 척수는 572척에서 983척으로 구조인원수는 8,300명에서 10,033명으로 수·출입 화물량은 1,468,320천톤에서 3,630,480천톤으로 선박등록척수는 86,134척에서 101,271척으로 해기사수는 58,500명에서 143,629명으로, 인적과실에 의한 해양사고 척수는 524척에서 869척으로 징계해기사는 400명에서 170명으로, 통항교통량은 388,018척에서 871,651척으로, 항로표지시설은 1,046개에서 2,792개로 노후선박수는 31,158척에서 32,916척으로 노후선박 해양사고척수는 290척에서 155척으로 변화

하였다.

2) 표준모델의 파라메타를 변경하는 정책실험을 수행하여 행태를 분석하였다.

본 연구는 해양사고의 원인과 개선책에 대한 의사결정 수립시 정량적이고 정성적인 내용까지 포함하여 체계적이고 과학적으로 수립할 수 있는 해양사고 모델을 구축하였고 정책 실험을 통해 정책의 효과를 분석할 수 있었다는데 의의가 있다.

그러나 향후 해양사고에 관한 이해당사자가 모두 직접참가하여 모델을 개발하는 확장연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 김종수·윤명오(1997), 해상교통관리론, 세종출판사.
 [2] 김종수·윤명오·장운재(2001), 퍼지적분 모델을 이용한 연안해역의 항행안전성 평가에 관한 연구, 한국항해

학회지, 제25권 4호.
 [3] 김종수·양원재·장운재(2003), 시스템 다이내믹스에 의한 선박충돌사고의 인적요인 분석에 관한 연구, 한국항해항만학회지 제27권 제5호.
 [4] 중앙해양안전심판원(각년호), 해양안전심판사례집.
 [5] 해양경찰청(2002), 해난사고통계연보(2001).
 [6] 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.
 [7] B.O.Rosas, B.Gardner and M.Nain(1999), A system dynamic analysis of officer manpower in the merchant marine, Maritime Policy & Management, Vol 26, No.1
 [8] J.W.forrester(1961), Industrial Dynamics, MIT Press.
 [9] J.W.forrester(1961), World Dynamics, MIT Press.
 [10] J.W.forrester(1969), Urban Dynamics, MIT Press.

원고접수일 : 2004 년 10월 15일
 원고채택일 : 2004 년 12월 24일