

좌초 유조선의 예인 시뮬레이션 시스템 개발

전태병⁽¹⁾, 유정석⁽¹⁾, 공인영⁽¹⁾

Development of a Towing Simulation System for the Stranded Tankers

by

T.B.Chun⁽¹⁾, J.S.Yu⁽¹⁾ and I.Y.Gong⁽¹⁾

요 약

유조선의 해난 사고시 초기단계에서의 신속하고 효율적인 대응은 매우 중요하다. 예인 시뮬레이션 시스템은 현장작업자가 사고 현장에서 효과적인 대응을 할 수 있도록 훈련하기 위한 필수적인 시스템이다. 이러한 시스템을 숙련함으로써, 2차사고를 예방하여 해양환경을 보호할 수 있다. 본 연구에서는 유조선의 좌초시, 사고해역으로의 예인선의 동원, 배치를 위한 TIS(예인선 정보시스템)의 개발 및 해저 지질을 고려한 지반 반력의 계산 등을 토대로 예인시뮬레이션 시스템을 개발하였다.

Abstract

It is important that effective and rapid response should be taken in the initial stage of the tanker accidents. A towing simulation system is essential to train in-site salvors for the effective response in the tanker accidents. Training this system will help the marine environment to be protected from the oil pollution which could be proceed further by the secondary accidents.

In this study, the towing simulation system using the TIS(Towing vessel Information System) was established, and ground reaction force was calculated using the simplified methods. This system will be useful for evaluation of towing procedures of oil tankers in stranding.

Keywords: TIS, ground reaction, towing simulation system

1. 서 언

최근 우리나라의 연안해역은 석유 및 중화학공업
을 중심으로 한 산업의 발전에 따라 해상수송 수
단을 통한 유류 물동량이 크게 증가하고 있고, 이
에 따라 수많은 유조선들이 우리 연근해를 통과함

으로서 언제든지 대형 해난사고가 일어날 수 있는
위험성을 안고 있다. 유조선의 해난 사고는 선박
과 선원에 대한 안전성 확보측면에서 뿐만 아니
라, 유류유출로 인한 해양오염으로 해양환경의 보
호 및 해양생물자원의 보전이라는 환경보전적 측
면에서 커다란 관심을 불러 일으키고 있다. 1996

(1) 정희원, 한국해양연구소 선박해양공학분소

년 2월 15일 영국 Wales 연해에서 발생한 리베리아 국적의 유조선 Sea Empress호 사고는 Milford Haven항에서 도선사의 선회실수로 인하여 암초위에 좌초한 경우이다. 13만톤의 원유를 적재한 이 선박은 초기에는 약 2,500톤의 기름이 유출된 것으로 추정되었으나 초동조치의 실패로 13만톤 중 약 7만2천톤이 유출되었다. 이러한 대규모 유출사고로 이어진 원인은 그 지역의 조류에 대한 확실한 정보 및 적절한 마력과 조종성을 갖춘 예인선이 부족하였기 때문이다. 영국 정부는 유조선 사고시 더 큰 재앙으로 발전하는 것을 막기 위해서는 조종성능이 우수한 구난용 대형 예인선(Tug)를 준비해야한다는 제안을 받았다. 또한, 국내에서도 1995년에 좌초한 제1유일호를 과학적이고 체계적인 검토없이 예인하다가 침몰한 해양오염 사고는 구난 및 예인 기술의 중요성을 일깨워줬다.

본 연구에서는 좌초 유조선의 예인을 위한 시뮬레이션 시스템의 개발을 목적으로 예인선의 특성 및 종류, 국내 동원 가능한 예인선 DB구축, 지반반력 계산 그리고 예인선을 이용한 시스템을 구축하였다.

2. 예인선 정보 시스템

해난사고시 초동구난 및 방제에 중요한 역할을 담당할 수 있는 선박으로는 악천후 상황에서도 해상작업을 수행할 수 있는 갑판면적이 넓고, 예인력을 갖춘 VOSS(Vessel of Opportunity Skimming System) 개념의 선박이 가장 적합하다. 현재 국내 주요 항구에는 이러한 종류의 예인선을 활용하여 대형 유조선 입출항 보조작업 등을 하고 있으며, 1998년 중반기부터는 방제조합에서 대부분을 운영·관리하고 있다.

본 연구에서는 해난사고시 VOSS개념의 선박으로 활용될 수 있는 예인선을 D/B화합으로서 초동방제에 중요한 정보자료로 활용하기 위한 도구로 예인선정보시스템을 개발하였다. 예인선 정보 시스템은 사전에 구축된 예인선 정보, 예인력, 마력, 속력 등의 정보를 활용하여 방제책임자가 방제작업시 의사결정을 할 수 있도록 도와주는 역할을 수행하게 된다.

예인선 정보 시스템의 데이터베이스(D/B) 구축을 위한 1단계로서 국내 예인선 협회에서 보유중인 자료를 D/B화 하였으며, 구축된 시스템은 해양오염사고 발생시 신속하고 효과적인 대응태세를 구축하는데 활용하고자 한다.

예인선 정보 시스템의 운영체제는 통합된 정보

시스템의 개념 구현과 사용자의 편의성 및 일반적인 보편성을 고려하여 Windows 95환경에서 개발하였다(전 외[1998]). 작업환경은 서버로서 Windows NT 4.0에서 Oracle 7.3.3. NT 버전을 사용하였으며, 클라이언트는 Windows 95에서 Visual Basic 5.0을 사용하였다. 클라이언트에서 D/B에 접근하는 방법은 ODBC(Open DataBase Connectivity)를 사용하였으며(Fig. 1) 이 방식은 D/B별 각 드라이버에서 제공되며, 개발된 프로그램에서의 ODBC를 사용한 이유로는 D/B와는 독립성을 유지하기 위해서이다. D/B에 접근하기 위해서는 SQL(Structured Query Language) Net를 사용하여야 하며, SQL Net의 사용을 위해서는 클라이언트의 Windows 95 환경내에 설치되어야 하나, 이번에 개발된 프로그램에서는 설정시에 모든 처리가 이루어지도록 하였다.

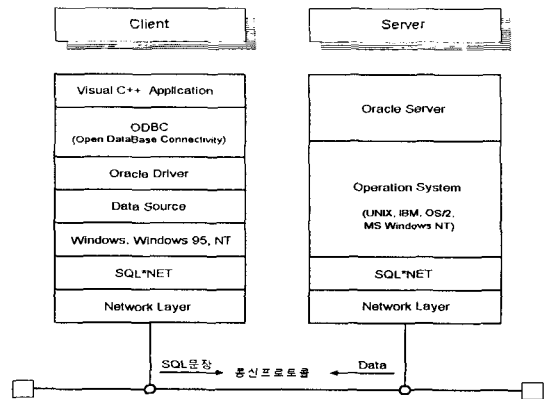


Fig. 1 Network System used to Open Database Connectivity

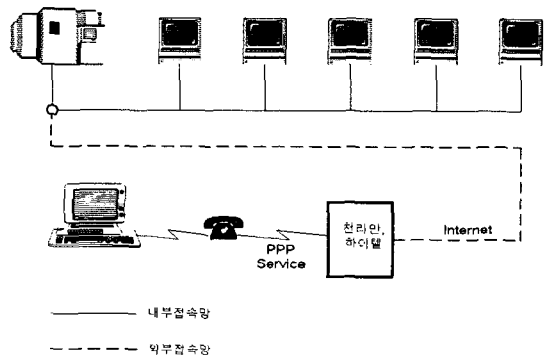


Fig. 2. System of External and Internal Network



Fig. 3 Initial Menu in TIS

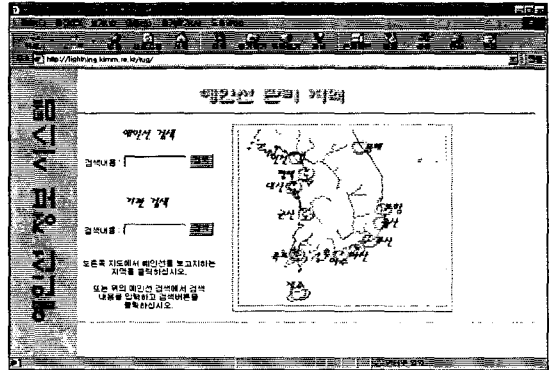


Fig. 4 Main Menu for Managing Area

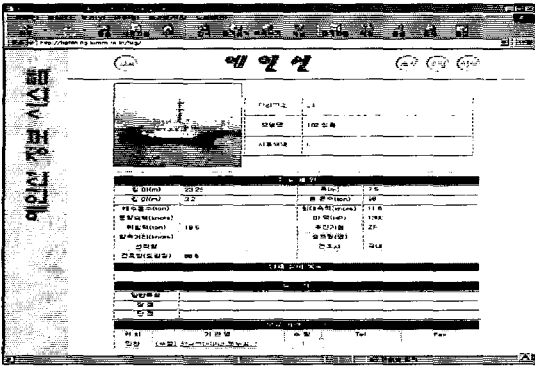


Fig. 5 Detail List of Related Companies

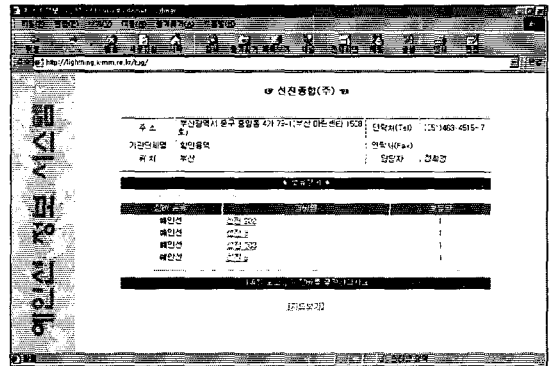


Fig. 6 Input Data for Tug Boats

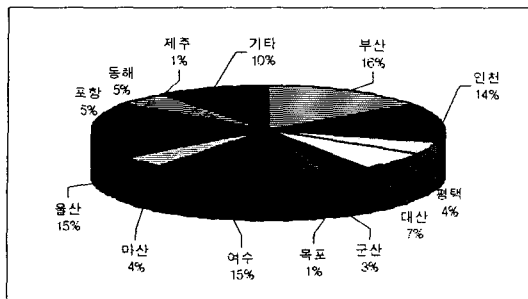


Fig. 7 Regional Distribution of Tug Boats

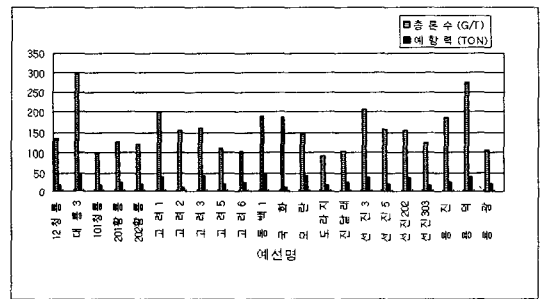


Fig. 8 Tug Boats in Pusan Port

개발된 예인선 정보 시스템은 유류 오염사고 현장에서 신속하게 사용할 수 있도록 진화선을 이용한 공동망으로 천리안 및 하이텔에 접속하고 인터넷을 이용하여 서버에 저장된 D/B를 활용할 수 있도록 하였다(Fig. 2). 예인선 DB인 해상 방제정보 시스템의 초기화면을 Fig. 3에 나타냈다. Fig.

4 - Fig. 6에는 예인선 관리 지역, 보유업체, 예인선의 특성 등을 나타냈다. 예인선 DB를 분석한 결과를 Fig.7, Fig. 8에 나타냈다. 여기서는 각 지역별로 보유하고 있는 예인선의 총톤수, 예항력의 분포를 나타냈다.

3. 지반 반력의 계산

유조선이 기관 불량, 인적 요인 등으로 암초에 좌초하였을 경우, 사고현장에서 신속하게 예인선을 동원하고, 배치하기 위해서는 우선 좌초 선박에 작용하는 지반 반력을 계산하여야 한다. 정확한 지반 반력의 분포는 해저구성과 지형, 선체변형, 선박의 무게 및 부력분포에 의해 결정되지만, 정량적으로 정확하게 계산하기 힘들다. 지반반력은 좌초전후의 선박의 형태 및 위치 등의 차이에 의해 결정되며, 그 크기는 선박부양방법, 작업결정 및 사고 선박의 안정성과 강도를 계산하는데 필요하다. 그러나 사고 초기에는 선박의 자세한 상황을 파악할 수 없으므로 구난자의 경험 및 간이식에 의한 계산을 수행할 수밖에 없다(Milwee [1996]).

지반반력을 계산하는 데에는 다음과 같은 방법들이 있다.

- Change of Displacement Method

$$R = \Delta_b - \Delta_g \quad (1)$$

where : R= ground reaction
 Δ_b =displacement immediately before stranding
 Δ_g = displacement after stranding

- Change of Draft Forward Method

$$R = \frac{\Delta T_f(TPI)(MTI)(L)}{(L)(MTI) + (d_r)(d_f)(TPI)} \quad (2)$$

where

Δt = total change of trim, inch
 ΔT_f = change of draft forward
 d_f = distance from the center of flotation to the forward perpendicular
 d_r = distance from the center of flotation to the center of ground reaction
 MTI = moment to trim one inch
 TPI = tons per inch immersion

- Tons per Inch Immersion Method

$$R = (T_{mbs} - T_{mas}) TPI \quad (3)$$

where :

T_{mbs} = mean draft before stranding

T_{mas} = mean draft after stranding

- Change of Trim Method

$$R = \frac{MTI(\Delta t)}{d_r} \quad (4)$$

지반 반력을 구한 후에는 해저면의 지질 특성에 따라 마찰 계수를 곱하여 실제로 동원 할 예인선의 예인력을 산정할 수 있는 반력을 구하여야 한다(Table 1 참조).

$$F_f = \mu R \quad (5)$$

where :

F_f = tractive force

μ = coefficient of friction

Table 1 Friction Coefficient of Ship-Sea Floor

Type of Sea Floor	Coefficient of Friction
Mud or Silty Soil	0.2 to 0.3
Sand	0.3 to 0.4
Coral	0.5 to 0.8
Rock	0.8 to 1.5

4. 예인 시뮬레이션 시스템

4.1 개요

선박이 암초에 좌초하였을 경우, 사고 선박을 구난하는 데에는 부양, 예인 등 여러 가지 방법을 고려 할 수 있는 데, 본 연구에서는 예인선을 이용한 예인 방법에 의한 구난에 대해서 검토하기로 한다. 본 연구에서 사용한 시뮬레이션 시스템은 HARBSIM(강 외[1991])로 기존의 다기능 탁상용 선박 조종 모의 시험 장치(Simulator)에 예인에 관련된 부분을 추가한 것이다.

본 시뮬레이터의 운영체제는 DOS로, MS Visual C++로 개발하였으며, H/W의 구성은 초기 상태 및 프로그램의 제어, 타각, 엔진 및 Tug/Thruster 등의 각종 제어상태를 입력하는 조선 입력 장치와 이들로부터 출력되는 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸어 주는 A/D 변환장치, 또 이러한 입력 및 수학 모형으로부터 필요한 계산을 수행하고 원하는 자료들을 출력시키는 중앙처리장치, 순간 순간의 선박 상태나 궤적 및 각종 변수

의 시간 이력을 컴퓨터 그래픽으로 표현해주는 화면출력장치, 시뮬레이터의 사용중 사용자의 편의를 도와주는 마우스 또는 향구의 지형, 조류 수심 등의 항만 지형 데이터 베이스를 제작하는데 사용되는 디지털러 등의 사용자 인터페이스용 장비 그리고 최종 해석결과 및 시뮬레이션 결과를 컬러 또는 흑백으로 출력시켜주는 그래픽 외부 출력 장치의 6 부분으로 크게 나눌 수 있다.

시스템의 중앙처리 장치는 각종 입력장치로부터 필요한 입력을 받아, 시뮬레이션에 필요한 모든 조종 운동 수학 모형의 계산을 수행하여 선박의 위치 및 자세 그리고 각종 변수를 실시간으로 계산하고 화면에 CGI(Computer Generated Imagery)를 구현하기 위한 2차원 및 3차원 그래픽 알고리즘을 계산하여 화면 출력 장치로 보낸다.

화면 출력 장치는 기존의 컨트롤러 방식의 그래픽보드를 사용하여 2차원 그래픽 기법을 사용하는 조감도 방식의 시뮬레이터와 3차원 그래픽 기법을 사용하여 투시도 방식의 시뮬레이터를 구성하였다.

4.2 예인 시뮬레이션

시뮬레이션은 일반적으로 사고 해역에서 동원이 가능한 예인선의 총 예인력, 작업성, 해저 지질 상태 등을 고려하여 DWT5,000 톤의 유조선에 대해 수행하였으며, 예인선은 4000마력 2척을 사용하였다. 또한, 본 연구에서는 시스템의 구축에 주안점을 두어 다음과 같은 가정을 두었다.

- 예인은 선수미 방향
- 선박이 암초를 벗어난 경우, 지반반력은 0
- 바람 등의 영향은 무시
- 해저의 지질은 모래

예인선의 예인력은 10초에 200마력씩 증가시켜 좌초 선박의 예인이 가능한 지를 검토하였다. Fig. 9는 좌초 선박이 암초로부터 벗어날 때까지의 궤적을 나타냈다. Fig. 10 ~ Fig. 11에 본 시스템의 예인시뮬레이션 결과를 나타냈다.

Fig. 10은 시간 변화에 따른 지반 반력 및 예인선의 예인력을 나타냈다. 여기서 A는 좌초 선박이 암초로부터 벗어난 시점으로 지반 반력이 0이 된 곳이다. 초기 좌초시의 해저면의 마찰을 고려한 지반 반력은 사고 상태에서 계측한 선수미부의 흘수를 이용하여 기 계산된 선박계산의 관련 자료로부터 구하였으며, 약 80 톤이었다. 그림에서 보는바와 같이 처음 40초까지는 예인력이 모자라 좌초 선박을 예인할 수 없으나, 그후 40초를 지나서

는 예인되기 시작하였으며 좌초 선박이 암초로부터 벗어남에 따라 부력이 회복되어 마찰을 고려한 지반 반력이 감소하는 것을 알 수 있다.

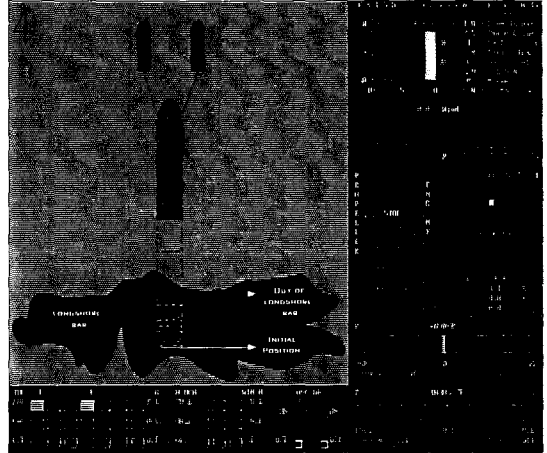


Fig. 9 Result of Towing Simulation

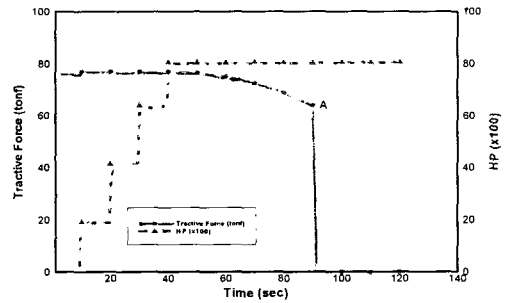


Fig. 10 Time History of Tractive Force and Towing Capacity

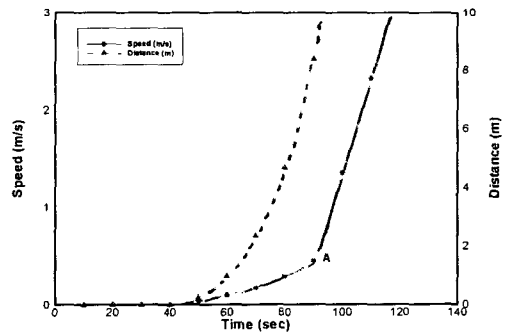


Fig. 11 Time History of Towing Speed and Towing Distance

Fig. 11에 시간 변화에 따른 예인 거리 및 속도를 나타냈다. Fig. 11에서도 예인되기 시작한 40초 이후부터 예인 거리가 증가하기 시작하고, 예인 속도도 급격히 상승하는 것을 알 수 있다. 여기서 A는 좌초 선박이 암초로부터 벗어난 시점으로 지반 반력이 없어져 예인 속도가 급상승한 것을 알 수 있다. 이것은 좌초 선박이 암초로부터 벗어남으로써 일반적인 해상에서의 예인상태로 되었기 때문이다.

5. 결론

유조선이 기관 불량, 인적 요인 등으로 암초에 좌초하였을 경우, 사고 선박을 효율적으로 예인하기 위해서는 좌초 상태의 지반반력은 물론 사고 해역에서 동원 가능한 예인선의 예인력 등의 검토가 충분히 이루어져야 한다. 본 연구에서는 예인선의 DB구축, 지반 반력 계산 등을 수행하고 이를 토대로 기존의 선박조종 시뮬레이션 시스템에 예인 관련 부분을 추가하여 예인 시뮬레이션 시스템을 구축하였다. 본 시스템을 통하여 사전에 예인 시나리오를 수행하면 2차사고를 미연에 방지하고 체계적이고 효율적인 구난 작업을 수행할 수 있을

것이다. 본 시스템은 최종적으로는 흙, 조류 및 바람 등의 환경 작용력을 고려하고 본 연구에서 구축된 예인선 DB 등을 활용하여 좌초 선박의 최적 예인 대책을 수립하기 위한 시뮬레이션 전용 시스템으로 확장될 예정이다.

후 기

본 논문은 1998년도 과학기술부 기관고유사업으로 수행한 “유조선 구난 기술” 연구결과중 일부이다.

참고문헌

- [1] 강창구외, 1991, “소형 컴퓨터를 이용한 선박조종 시뮬레이터 개발 및 제품 기술 개발”, 한국기계연구소 해사기술연구소 보고서, BSM 215-1533.D
- [2] 전태병 외, 1998, “유조선 구난기술 개발”, 한국기계연구원 선박해양공학연구센터 보고서, UCN-V051-2131.D
- [3] William I. Milwee, Jr., 1996, “Modern Marine Salvage”, SNAME