
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 31 卷 第 4 號 1994年 11月
 Transactions of the Society of
 Naval Architecture of Korea
 Vol. 31, No. 4, November 1994

선체중양부 유한요소 구조해석을 위한 입력자동화

박성환*, 신종계**

An Automatic Data Generation Procedure for Finite Element Structural Analysis of Cargo Holds of a Ship

by

S. W. Park* and J. G. Shin**

요 약

본 연구는 "유조선 구조해석을 위한 유한요소 입력자동화 프로그램의 개발"[1]의 연속된 연구결과로서, 유조선, 살물화물선, 컨테이너선등의 일반 상용 선박을 대상으로 유한요소법을 이용하여 선체중양부(3-D cargo hold)구조해석을 수행할 때, 구조모델링과 해석을 위한 입력자료처리를 효율적으로 자동화하는 과정을 연구하였다.

본 논문에서는 전년도에 발표된 기본 알고리즘을 바탕으로 다양한 형태의 선종별 적용성, MSC/NASTRAN 인터페이스와 관련한 평면 유한요소 자동분할 기법, 파랑하중 직접계산 인터페이스 개발 및 입력자료 처리과정에 도입된 Graphic User Interface기법 등 새로이 개발된 내용에 대하여 자세히 기술하고, 다양한 실적선에 적용함으로써 프로그램의 유용성을 확인하였다.

Abstract

As a consequent result of our previous paper, "Development of Automatic Data Generation Program for Finite Element Structural Analysis of Oil Tankers"[1], the objective of this paper is to develop an automatic modeling program for the three-dimensional finite element structural analysis of hull modules of general commercial ships, especially oil tankers, bulk carriers, and container ships.

Based on the proposed algorithm in [1], the followings are newly added: general applicability for three ship types, automatic mesh division interface with MSC/NASTRAN, direct wave load calculation interface, and Graphic User Interface

접수일자: 1994년 7월 1일, 재접수일자 : 1994년 9월 12일

* 정회원, 일본 히로시마대학 구조공학부 대학원

** 정회원, 서울대학교 조선해양공학과

technology in the process of input data preparation. The usefulness of this procedure is verified by calculation examples.

1. 서 론

본 연구는 1992년에 발표된 논문, "유조선 구조해석을 위한 유한요소 입력자동화 프로그램의 개발"[1]의 연속된 연구결과로서, 유조선, 살물화물선, 컨테이너선 등의 일반 상용 선박을 대상으로 유한요소법을 이용하여 '3-D CARGO HOLD구조해석'- Hughes [2]는 선체 모듈 강도해석(three-dimensional hull module strength analysis)이라 함- 을 수행할 때 그 모델링과정을 자동화하는데 있다. 3-D CARGO HOLD구조해석은

- (1) 선박 화물 특성에 의한 cargo hold 중앙부의 구조적 거동
- (2) 선박 화물창부의 구조적 연속성과 대표성
- (3) 상세구조해석 및 종강도 해석과의 효과적인 연계성

등의 관점에서 선체강도해석 일련의 과정중에서는 가장 중요하고도 대표적인 해석 형태이며, 따라서 이를 위한 유한요소 모델링과정의 자동화는 매우 실용적이면서도 선박의 설계 효율 향상면에서 그 효과가 큰 분야라 할 수 있다.

이와 관련한 연구로는 본 저자등이 지난 4년간 연속적으로 연구개발한 "CSDP-선체구조해석 시스템의 개발"[3-6] 과제, 국내에서는 ANSYS 프로그램의 preprocessor에 내장된 형상 모델링 기능을 활용한 선체전용 Preprocessor의 개발 [7], object-oriented 개념을 도입한 형상모델링과 FEM모델링의 통합화 연구[8] 등 활발한 연구가 진행되고 있으며, 일본에서는 조선 CIMS의 일환으로 유사 연구가 진행되어 왔다[9, 10]. 이들 모든 연구의 궁극적인 목표는 본 연구와 마찬가지로 선체 화물창부의 유한요소구조해석 모델링자동화에 있으나, 모델링 자동화 기법의 구체적인 방법에 있어서는 각각이 차이를 보이고 있다. 이들 연구가 활발한 이유는 실제 설계과정에서 구조해석 모델링과정에 많은 설계공수가 필요한데, 현재 조선소에서 널리 사용되고 있는 ANSYS, MSC/NASTRAN, ADINA, ABAQUS 등의 상용구조해석 프로그램에 내장된 preprocessor 기술로는 선체같은 복잡한 구조물의 모델링자동화에는 한계가 있기 때문이다.

본 연구에서는 참고문헌[1]에 발표된 기본 알고리

즘을 바탕으로 다양한 형태의 선종별 적용성, MSC/NASTRAN 프로그램과의 인터페이스를 위한 평면 유한요소 자동 분할 기법, 파랑하중 직접계산 인터페이스 개발 및 입력자료 처리과정에 도입된 Graphic User Interface기법 등을 새로이 추가하였다. 여기서 제안된 모델링자동화 과정을 전산프로그램 SASMO로 작성한 후 각각의 선박에 적용하여 본 방법의 타당성을 검증하였다.

2. 모델링 자동화기법 및 프로그램 기능

2.1 기본 가정 및 추가 기능

유조선 구조해석을 위한 유한요소해석 모델링 자동화 프로그램인 SASOT[1]에 비하여 본 프로그램 SASMO는 적용대상 선박을 유조선에 포함하여 살물화물선(bulk carrier), 컨테이너선등으로 확장한데 그 특징이 있다. 선종확장 적용에 따라 각 선종별 특성에 따르는 구조배치, 즉 hatch 형상의 처리, 선체 횡격벽 형태, 내부 횡강도 부재의 배열 특성 등이 고려되었고, 또한 각 선종별 대표적인 설계하중도 추가로 고려되었다. 또한 MSC/NASTRAN 인터페이스, 파랑하중 직접 계산기능, GUI(Graphic User Interface)기능 등이 추가되었다. 그러나, 모델링 자동화에 따르는 기본 가정들 즉, 적용 한계를 선체중앙부 화물창으로 하여 3-D CARGO HOLD구조해석을 대상으로 한다는 점과 기본 형상정의를 각 부재의 grid point개념으로 처리한다는 면에서는 동일하며, 또한 구체적인 요소분할 및 요소절점정의 과정, 요소특성치 산정 과정등이 동일하다. 따라서, 본 논문에서는 [1]에 발표된 기본가정, 요소분할 및 요소특성치 산정 기법등에 관해서는 기술을 생략하기로 하고 추가된 기능에 대하여 자세히 언급하고자 한다.

2.2 선종별 적용성 및 설계하중

선체모듈 강도해석에서 해석 대상 범위는 전적으로 화물의 적재상태로 표현되는 설계하중형태에 따른다. 본 연구에서는 각 선종별로 대표적인 설계하중 형태에 관한 하중조건을 자동화하였으므로 사용자는 프로그램 실행과정에서 이를 간단히 선택하기만 하면 된다. 먼저, 이중선각 유조선에 대해서는 종통격벽 유무와 횡격벽구조 방식에 따라 3가지 형태의 선

중으로 구분하여 대표적인 설계하중을 고려하였고, 산물화물선과 컨테이너선에 대해서는 full load condition과 ballast condition을 대표적인 설계하중으로 하였다.

1) Type I 유조선

Type I 유조선은 종통 격벽이 없고 파형 횡격벽 구조로 되어 있으며, 고려된 설계하중형태는 tank strength test condition, full load condition, ballast condition 등 3가지이며 이에 관한 자세한 내용은 논문[1]에 자세히 기술되어 있다.

2) Type II 유조선

Type II 유조선은 선체중양에 종통격벽이 있으며 일반적으로 각 횡단면의 typical web 형상이 좌우 탱크에서 비대칭이다. 이 형상의 유조선은 배 횡방향으로 전폭 모델이 필수적이며, 따라서 그 설계하중 형태 또한 매우 다양하다. 본 연구에서는 이러한 다양한 설계하중을 프로그램 사용자가 쉽게 전산화할 수 있도록 하였으며, 대표적인 설계하중인 Fig. 1에 보이는 비대칭 형태의 tank strength test condition만을 프로그램화 하였다.

이 설계하중 형태는 1/2 hold + 1/2 hold 범위내 전후 선체부재 모두가 모델링에 포함되며 비대칭적인 tank loading이 고려된다. 홀수 크기와 수두 크기는 사용자가 임의로 조정할 수 있으며, 경계조건으로 길이방향 양단에서 대칭조건이 주어지고 횡격벽 단 선측부 선저부재에 강제운동방지를 위한 z 방향 변위가 구속된다.

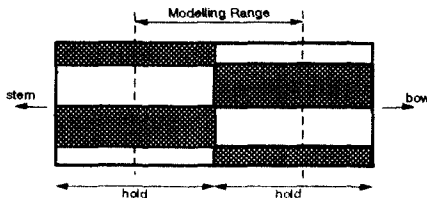


Fig. 1 Tank strength test condition for type II tankers

3) Type III 유조선

Type III 유조선은 Type I 유조선과 동일한 부재 배치형식을 갖고 있으나, 횡격벽은 평면(plane)형태이다. 따라서, 적용된 설계하중 형태 또한 Type I

유조선과 동일하게 tank strength test condition, full load condition, ballast condition 3가지이다.

4) 산물화물선

산물화물선은 파형격벽을 가지고 있으며, 대표적인 설계하중은 heavy cargo condition과 ballast condition 2가지이다. Fig. 2에 나타난 heavy cargo condition에 대해서는 적재화물의 특성에 따른 밀도, 선측부 및 횡격벽 경계에서의 화물적재 경사각(impose angle), 선박의 운동에 기인하는 동압력 성분 등이 DnV 규정에 따라 고려되었다. Fig. 3에서 나타난 ballast condition은 중양부 탱크에 작용하는 수두를 고려하였으며, 각각의 하중형태에 대한 경계조건은 유조선의 경우와 동일하다.

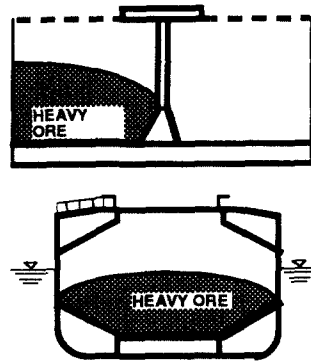


Fig. 2 Heavy cargo condition for bulk carriers (DnV)

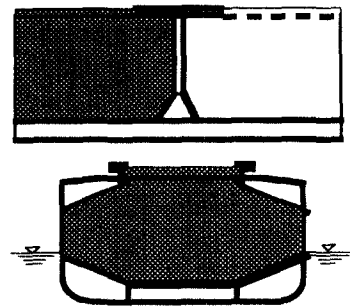


Fig.3 Ballast condition for bulk carriers (DnV)

5) 컨테이너선

일반적으로 컨테이너선의 구조해석은 종강도, 횡

강도는 물론 비틀강도도 추정하여야 하므로 전선해석을 수행하여야 한다. 현재, 모든 선박의 전선해석보다는 3600TEU급 이상의 컨테이너선까지 전선해석이 수행되고 있다. 그러나, 본 프로그램은 선체 중앙부 평행단부만을 모델링범위로 하여 기본적인 구조강도를 해석하는데 유효하며, 본 프로그램을 컨테이너선의 비틀강도 추정에 적용할 때는 주의가 요구된다. 고려된 설계하중형태는 살물화물선과 같이 full load condition과 ballast condition으로 하였으며, full load condition 경우 화물의 작용하중은 선저부 중통 거더 위치에서 집중하중으로 처리하였다. 컨테이너선의 경우 cargo hold에 bulk carrier와 같이 ballast를 싣는 경우는 없고 cargo hold에 해수가 있는 경우는 횡격벽의 watertight condition과 damaged condition인데 이 경우는 본 내용에 포함되지 않았다.

2.3 MSC/NASTRAN Interface 및 평면요소 자동분할기법

유조선선체구조해석 모델링 프로그램(SASOT) 출력은 범용유한요소 프로그램인 ANSYS에서만 사용될 수 있었다. 즉, SASOT의 결과 파일인 <file.out>은 ANSYS preprocessor인 PREP7 Module의 command로 구성된다. 따라서 이 프로그램을 MSC/NASTRAN에 적용하기 위해서는 유한요소 구조해석 모델링에 필요한 각각의 정보 즉, 절점정보, 요소-절점 위상관계, 요소특성치, 하중-경계조건등의 모든 정보를 MSC/NASTRAN 입력자료 형태로 변환시키는 interface module이 필요하다.

그러나, MSC/NASTRAN프로그램에는 ANSYS 프로그램의 preprocessor에 내장된 자동요소분할과 같은 기능을 갖고 있지 않으므로 별도의 자동요소분할 알고리즘을 개발할 필요가 있다. 평면 및 곡면에 대한 유한요소 자동생성기법은 1971년 Zienkiewicz [11]가 conformal mapping에 의한 방법을 제시한 이후 많은 연구가 있으며, 그 대표적인 방법으로 다음 4 가지가 있다[12].

- Nodal connection method
- Grid based approaches
- Mapped elements method
- Decomposition method

본 연구에서 개발된 평면 유한요소 자동생성기법은 Decomposition 방법으로 분류될 수 있는 것으로 2차원 단면내 5각형 이상의 임의 형상으로부터 다수

의 3각형 혹은 4각형의 내부 부영역(sub domain)으로 분리하고 각각의 부영역에 대하여 3절점 혹은 4절점의 유한요소로 자동 분할생성하는 방법이다.

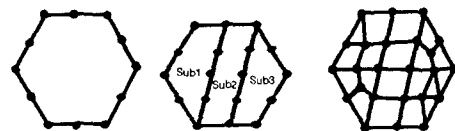
입력자료로 주어지는 n개의 형상절점 정보는 단면 형상의 경계를 구성하는 loop의 절점으로 간주되며, 이 loop에 의해 정의된 형상은 반드시 한개의 단순 폐단면이어야 한다. 주어진 경계면의 각 절점간에는 새로운 절점을 생성하지 않으며 단면 내부에만 새로운 절점을 부여함으로써 적절한 형상의 3절점, 4절점 요소를 생성해 낸다. loop의 경계에 새로운 절점을 부여하지 않는 이유는 주어진 경계절점이 내부 요소 분할 이후에도 전체 구조물의 일부형상으로서 외부 요소들과의 연속성을 유지하기 위해서이다. 따라서, 본 연구에서는 경계면에 필요한 요소분할에 관한 정보가 이미 주어진 상태에서 내부 요소분할만을 목적으로 하며 다음의 3단계로 구성된다.

- (1) Original loop와 New loop의 생성단계
- (2) 다각형으로부터 삼각형, 사각형 형상 분리단계
- (3) 유한요소망 생성단계

이에 관한 보다 자세한 설명은 참고문헌 [6]에 기술되어 있다.

유한요소 자동생성으로서 Fig. 4에 12절점 정육각형 original loop로 부터 자동 생성되는 과정을 보이고 있다. 2단계 후보 및 최적분할선 계산과정을 통하여 (b)와 같은 sub loop들이 형성되고 3단계에서 3절점과 4절점 유한요소로 된 최종적 mesh가 (c)와 같이 생성되었다.

본 요소분할기법은 다양한 형태의 도형에 대하여 경계 절점의 간격이 일정 비율이하인 경우에는 훌륭한 요소분할을 제공하였다. 따라서, 본 알고리즘은 다절점 폐곡면 해석영역을 자동요소분할하는 기능이 취약한 유한요소 프로그램에 그 활용이 충분히 기대된다. 그러나 본 알고리즘을 보다 일반화하기 위해서는 유한요소해석 결과의 error를 최소화 하고 또한, 이의 검증을 자동적으로 수행해내는 Adaptive mesh 기능이 추후 포함되어야 할 것이다.



(a) original loop (b) divided subloop (c) final loop

Fig. 4 Automatic mesh generation of finite elements

2.4 파랑하중 직접계산 Interface 개발

본 인터페이스는 SASMO에서 구해진 선체중량부 유한요소 구조해석 모델에 대하여 선체운동시스템 및 통계해석 처리를 통해 구해진 설계파의 하중 상태를 직접 적용하여 구조해석을 수행 가능하게 한다. 그러나 이 직접해석방법은 선체구조해석에 적용하기 위하여는 방대한 자료와 해석시간이 문제가 되고 있으며, 운동계산과 통계처리에 포함된 가정과 계산오차 등의 문제점도 갖고 있으나, 선급에서 제시하는 설계하중이 미흡한 선박에는 적용이 가능한 유용한 방법이므로 본 연구에 인터페이스를 추가하였다.

본 interface 프로그램은 한국선급에서 개발한[13] 파랑하중 치환 프로그램인 LOADGEN을 중심으로 기존에 이미 개발된 각종 모듈을 통합화, 일관화하였다. 본 interface 작업에 이용된 기존 프로그램과 기능은 다음과 같다.

선체 운동해석 프로그램: 2차원 스트립이론에 의한 선체 운동, 파랑하중, 운동가속도 및 변동압력 계산 프로그램이다.

통계해석 모듈(DWAVE)[13]: 통계해석 처리를 통한 파의 장,단기 예측 프로그램이다.

LOADGEN[13]: 유한요소 모델과 특정설계파에 대한 각종 운동성분 및 하중 성분이 결정된 경우에 대하여 선체자중, 정수하중, 집중질량, 파랑하중 성분등을 유한요소 모델 절점에 등가하중으로 치환시키는 프로그램이다.

BESCA[14]: 보 단면 형상특성치 계산 및 단위하중에 대한 단면내 굽힘모멘트, 전단모멘트 분포 계산 프로그램이다.

한편, 이들 각 module이 SASMO 프로그램과 연결되는 프로그램 구성도는 Fig. 5와 같은데, 그림에서 보는 각 모듈간의 정보 흐름을 잘 설명하고 있다.

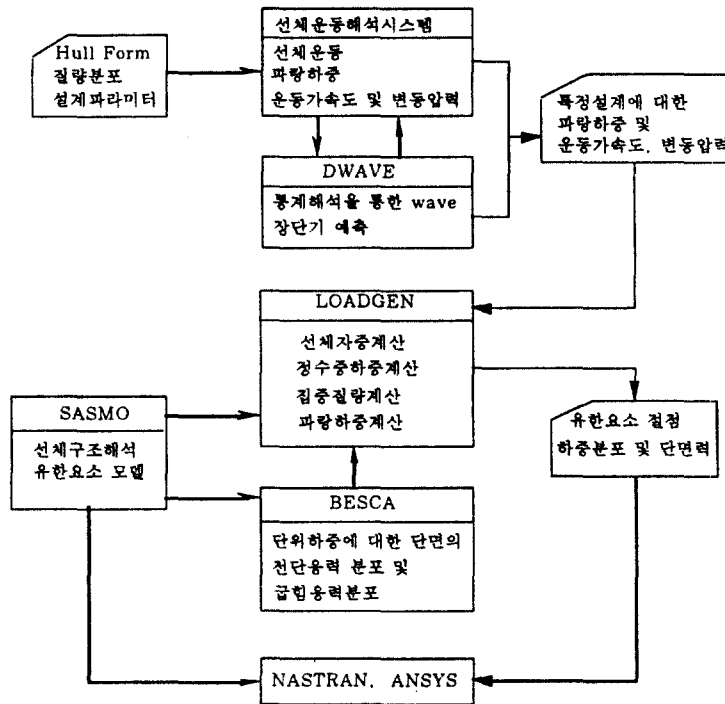


Fig. 5 Diagram of WAVELOAD Program

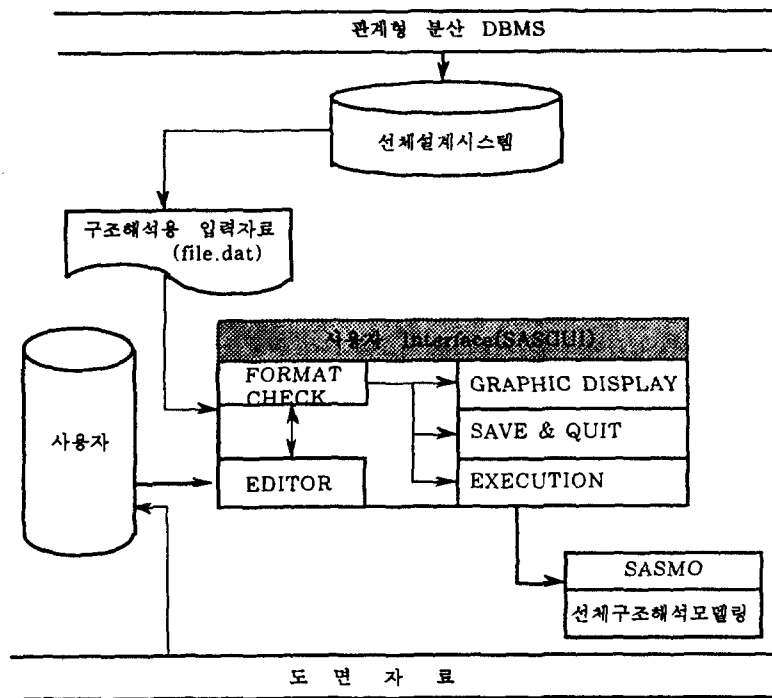


Fig. 6 Relation Diagram of SASGUI

2.5 구조해석시스템 사용자 Interface개발

본 구조해석 시스템 사용자 인터페이스 프로그램은 X-Window와 Motif를 이용한 Graphic User Interface로서 구조해석 시스템(SASMO)의 사용자에게 보다 편리한 사용환경을 제공하기 위해 개발되었다. Fig. 6은 본 프로그램 개념도로서 본 프로그램이 사용자와 주해석 프로그램 (SASMO), 구조설계 시스템 및 기타 database와의 연관관계를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 사용자는 SASGUI의 편집기(editor)를 통해서 또는 선체설계 시스템으로부터 구조해석 입력자료를 준비한다. 준비된 입력자료에 대해서는 format check기능을 통하여 그 오류여부를 쉽게 확인할 수 있으며, graphic display 기능을 활용하는 경우에는 입력자료에 대한 확인을 그림을 통해서 볼 수 있다. 따라서, 본 SASGUI의 주 목적은 입력자료의 작성과 함께 준비된 입력자료의 오류 검증을 보다 손쉽게 하는데 있다. 본 프로그램은 C-언어로 개발되었으며 2-D graphic library

을 이용하여 그림을 제공한다. 본 프로그램의 실행은 X-Window 와 Motif 가 제공되는 워크스테이션에서 가능하다.

3. 프로그램 구성 및 계산 예

3.1 프로그램의 구성

Fig. 7은 본 연구에서 개발된 프로그램 구성도로서, 본 프로그램 구성은 입력자료 처리부분, 모델링 자동화 부분, ANSYS 및 MSC/NASTRAN용 해석자료 생성부분으로 대별되며, 새로이 개발된 사용자 인터페이스 및 파라하중 직접계산 인터페이스가 구조설계시스템과 사용자 사이, 운동해석 시스템과 MODELGEN사이에 각각 포함되어 있다. 구조해석 지침 DB에서 선종별 하중조건을 선택하거나 직접하중계산을 지정함에 따라 본 연구에서 자동화한 절점하중 계산 과정이나 직접계산모듈이 수행되도록 되어 있다.

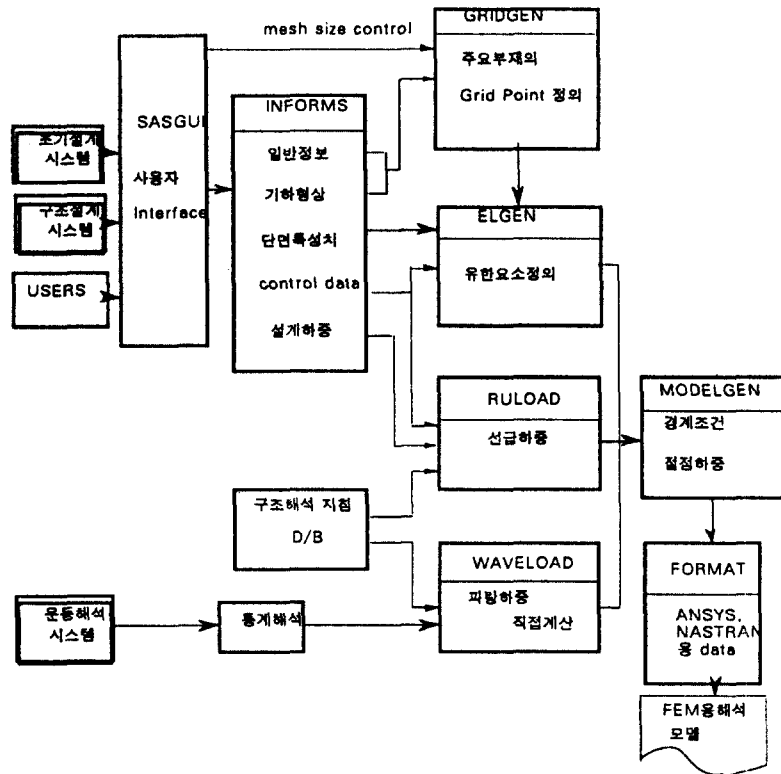


Fig. 7 Flow Diagram of SASMO Program

Table 1 실적대상선의 주요제원 및 해석 구간

	Type I Oil Tanker	Type II Oil Tanker	Bulk Carrier	Container ship
LOA(m)	274.0	274.0	266.0	240.0
Breadth(m)	48.0	47.8	40.5	32.2
Depth(m)	23.0	22.8	21.2	19.0
Draft(m)	15.2	14.8	14.5	10.8
Cb	0.8425	-	0.8567	0.6471
Vd(knots)	14.7	-	14.0	-
Tank Test(Fr. No.)	83.5 - 89.5	81.5 - 90.5	-	-
Full load(Fr. No.)	77.5 - 89.5	-	106.5 - 131.5	90 - 117
Ballast(Fr. No.)	77.5 - 89.5	-	131.5 - 156.5	90 - 117

3.2 사용예제 및 계산결과

본 프로그램의 유용성을 확인하기 위하여 Table 1에 선택된 실적선들을 대상으로 프로그램을 실행하

여 보았다. 본 계산에서 실적선자료가 없어 Type III 유조선 예제 계산에서는 Type I 유조선 구조배치에형격벽 부재만을 평면으로 가정하여 처리하였다. Table 1에서 나타난 하중형태와 Type III 유조선 3개의 하중형태를 포함한 11개의 계산 예제중 본4는 문에서는 Fig. 8 - Fig. 12의 5개 계산결과만을 보이기로 한다. 먼저, Fig. 8은 Type I 유조선의 full load condition으로서 1/2 hold+1 hold+1/2 hold의 12개 frame 구간을 해석 대상으로 하고 있으며 최대 절점 간격을 3m 로 한 경우이다. Fig. 9은 Type II 유조선의 tank strength test condition의 결과로서 좌우 선쪽 전체가 모델링에 포함되고 있다. Fig. 10는 Type III 유조선의 ballast condition결과이며, Fig. 11은 살물화물선의 full load condition으로서 실제 파형격벽의 형상을 잘 나타내고 있다. 마지막으로, Fig. 12은 컨테이너선의 ballast conditon 결과로서, 이 모델의 요소최대 크기는 선저 종통재의 간격인 0.9m 로 다른 모델링의 결과보다 상세한 요소분할 결과를 나타낸다. 본 프로그램의 요소분할 정도는 간단한 사용자 입력에 의해 처리되므로 전체 요소분할을 손쉽게 조절할 수 있는 장점이 있다. 전체 모델링 결과에서 각 설계하중에 대한 하중성분은 등가의 절점력으로 치환된 형태이며, 그림에서는 화살표의 방향과 상대 크기에 의해 그 방향과 크기가 표현되고 있다. 한편, 각 모델의 양단면과 중앙대칭 단면의 절점에 부가된 삼각형 화살기호는 각 방향성분별 변위 경계조건을 표현한다.

이들 모델링 결과는 ANSYS version 4.4의 처리 결과이며, MSC/NASTRAN 모델링 결과는 현재 프로그램을 보유하지 못한 관계로 타 연구기관에서 그 적용성을 확인하였다. 또한, 횡강도부재의 요소분할에 있어서는 위 결과는 ANSYS preprocessor에 내장된 요소분할 algorithm이 아닌 자체 개발된 요소분할 algorithm의 결과임을 밝혀둔다. 요소분할 algorithm 자체에 대한 예제 검증은 별도로 수행되었다[6].

예제 계산은 한국기계연구원이 보유한 Apollo DN10000 workstation에서 수행하였으며, 입력자료의 작성과 이들 모델링의 결과 확인까지 소요설계공수는 적당 약 1 man-day정도였다. 본 프로그램은 Hewlett Packard, Sun 등 다른 다양한 engineering workstation에서도 운용이 가능하다.

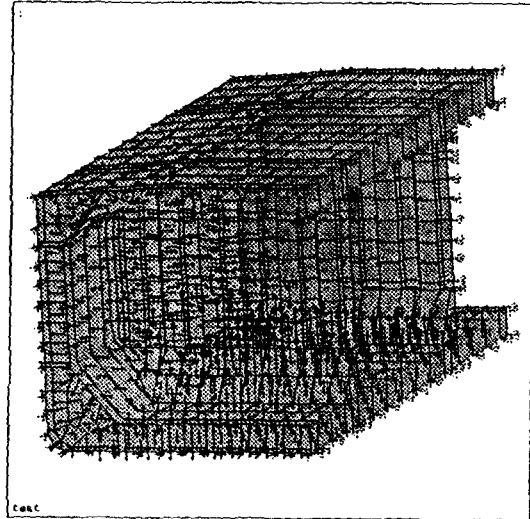


Fig. 8 Finite element structural model of a type I tanker: tull load condition

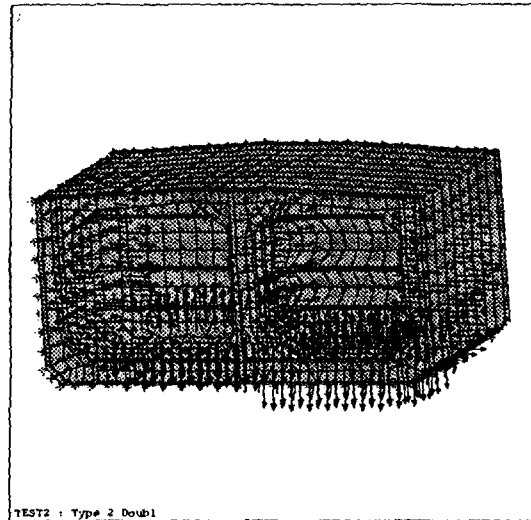


Fig. 9 Finite element structural model of a type II tanker: tank strength test condition

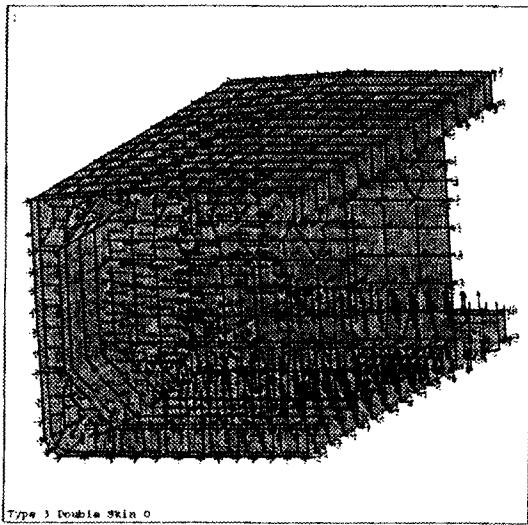


Fig. 10 Finite element structural model of a type III tanker : ballast condition

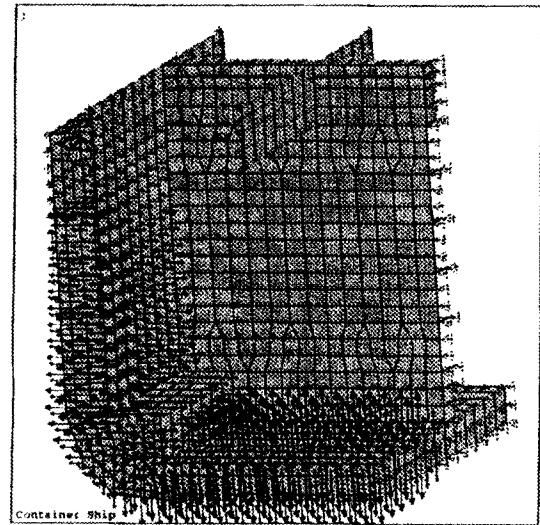


Fig. 12 Finite element structural model of a container : ballast condition

4. 결 론

본 연구는 "유조선 구조해석을 위한 유한요소 입력자동화 프로그램의 개발"[1]의 연속된 연구결과로서, 유조선, 산물화물선, 컨테이너선 등의 일반 상용선박을 대상으로 유한요소법을 이용하여 선체 모듈 강도해석(three-dimensional hull module strength analysis)을 수행할 때 그 모델링과정을 자동화하는데 있다. 새로이 추가 개발된 내용은 다양한 형태의 선종별 적용성, MSC/NASTRAN 프로그램과의 인터페이스를 위한 평면 유한요소 자동 분할 기법, 파랑하중 직접계산 인터페이스 개발 및 입력자료 처리 과정에 도입된 Graphic User Interface 기법 등이다. 여기서 제안된 모델링자동화 과정을 전산프로그램으로 작성한 후 각각의 선박에 적용하여 본 방법의 타당성을 검증하였다. 구조해석은 ANSYS version 4.4를 사용하였으며, 횡강도부재 요소분할은 자체 개발된 요소분할 algorithm을 이용하였다.

예제 계산은 한국기계연구원이 보유한 Apollo DN10000 workstation에서 수행하였으며, 입력자료의 작성과 이들 모델링의 결과 확인까지 소요설계

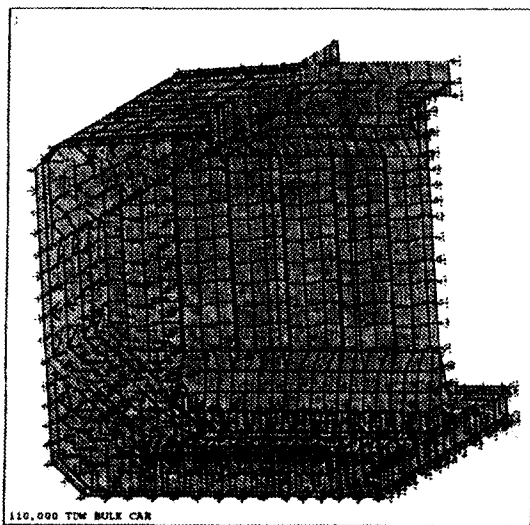


Fig. 11 Finite element structural model of a bulk carrier : full load condition

공수는 척당 약 1 man-day 정도였다. 본 프로그램은 Hewlett Packard, Sun 등 다른 다양한 engineering workstation에서도 운용이 가능하다.

본 프로그램은 선체 구조 설계/해석 분야의 현업에 직접 활용이 기대되며 결과적으로 많은 설계 소요공수를 절감할 수 있으리라 생각된다. 한편, 다양한 선종별 설계하중 형태에 대해서는 현업과정에서 추가로 그 하중형태에 관한 전산화 보완되어야 할 것이다.

파랑하중 직접 계산에 의한 모델링 결과는 본고에서 직접 보이지 못하였는데, 이는 현재 파랑하중 직접계산 인터페이스 결과가 MSC/NASTRAN 형태로만 출력 가능하기 때문이다. 이에 대한 계산 결과는 참고문헌 [13]를 참조하면 된다.

후 기

본 연구는 과학기술처의 국책사업인 "CSDP - 선체구조해석 시스템개발(IV)" 과제의 일환으로 저자들이 한국기계연구원에 소속되었을 때 수행되었다.

참 고 문 헌

- [1] 박성환, 신중계, "유조선 구조해석을 위한 유한요소 입력자동화 프로그램의 개발," 대한조선학회 논문집, 제29권 제3호, pp149-156, 1992
- [2] Hughes, O.F., Ship Structural Design, John Wiley & Sons, New York, 1983
- [3] 한국기계연구소, "CSDP-선체구조해석 시스템 개발(I)," 과학기술처 연구보고서 UCN173-1322.D, 1989
- [4] 해사기술연구소, "CSDP-선체구조해석시스템 개발(II)," 과학기술처 연구보고서 UCN216-1311.D, 1990
- [5] 해사기술연구소, "CSDP-선체구조해석시스템 개발(III)," 과학기술처 연구보고서 UCN251-1466. D, 1991
- [6] 한국기계연구원, "CSDP-선체구조해석시스템 개발(IV)," 과학기술처 연구보고서 UCN278-1711.D, 1993
- [7] 김갑수, "선체전용 Preprocessor 개발 <선체구조해석 CAD 시스템>," 서울대학교 대학원 석사학위논문, 1993
- [8] 민경재, "OBJECT개념을 도입한 형상모델링과 FEM 모델링의 통합화 시스템의 구축 및 그에 의한 구조해석," 서울대학교 대학원 석사학위논문, 1992
- [9] Okumoto Y., Ando, A., and Hiyoku, K., "Computer Aided Engineering System for Hull Structure <FRESCO_S>," Computer Application in the Automation of Shipyard Operation and Ship Design VI, 1988
- [10] Ohtsubo, H., Kubota, A., and Kawamura, Y., "A Study on Object Oriented FEM Modelling System for Ship Structure," 일본조선학회 논문집 Vol.170, 1991
- [11] Zienkiewicz, O.C. and Phillips, D.V., "An Automatic Mesh Generation Scheme for Plane and Curved Surfaces by 'Iso-parametric' Coordinates," Int. J. for Numerical Methods in Engineering, Vol.3, pp519-528, 1971
- [12] Johnston, B.P. and Sullivan, Jr., M., "Fully Automatic Two Dimensional Mesh Generation Using Normal Offsetting," Int. J. for Numerical Methods in Engineering, Vol.33, pp425-442, 1992
- [13] 한국선급기술연구소, "CSDP-설계정보승인 시스템 개발," 과학기술처 연구보고서, 1993
- [14] 해사기술연구소, "선체 구조중량 및 건조비 제어프로그램 개발(II)," 과학기술처 연구보고서 UCN136-1215.D, 1988