
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 29 卷 第 3 號 1992 年 8 月
 Transactions of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol.29, No. 3, August 1992

유조선 구조해석을 위한 유한요소 입력자동화 프로그램의 개발

박성환*, 신종계*

Development of Automatic Data Generation Program for Finite Element Structural Analysis of Oil Tankers

by

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

요 약

본 연구에서는 선체 모듈강도해석을 위한 유한요소 구조해석모델링 자동화 프로그램을 개발하였다. 본 프로그램은 선체중앙부 화물창구조를 종통부재, 횡단면 부재, 횡격벽부재로 구분하여 이들 부재의 위치, 형상, 치수등에 관한 입력자료를 일관되게 처리함으로써, 요소분할, 요소-절점 위상정의, 설계하중 및 경계조건 설정등 유한요소 구조모델링에 따르는 일련의 과정을 자동화한다. 또한, 본 프로그램의 결과는 범용 구조해석 프로그램인 ANSYS와 직접 연결됨으로써 보다 효과적으로 구조해석을 수행할 수 있다. 본 연구에서는 개발된 프로그램에 대하여 실제 유조선을 대상으로 구조해석을 수행해 봄으로서 그 정도와 유용성을 검증하였다.

Abstract

An efficient preprocessor is developed for the finite element structural analysis of a ship's hull module. A hull module structure is divided into three groups for easy data handling: longitudinal members, transverse members, and transverse bulkheads. Based on the classification rules and design practices at shipyards, the preprocessor can create finite element nodes, elements, boundary conditions, and loadings automatically. By connecting the preprocessor with the ANSYS program, we can obtain the results of ship structural analysis more efficiently. Applied to a typical double-hull oil tanker, the present preprocessor shows various advantages over conventional general-purpose preprocessors.

접수일자: 1992년 2월 20일, 재접수일자: 1992년 4월 14일

* 정회원, 한국해사기술연구소

1. 서 론

최근 조선기술 분야에서는 유한요소를 이용한 3차원 선체 모듈강도해석이 일반화되고 있다. 선체 모듈강도해석이란 구조해석대상 부위를 선체의 중앙 화물창으로 하고, 이들 화물창을 이루는 주요 강도 부재들을 주 관심 대상으로 하여, 다양한 화물적재상태에 대한 이들 강도부재의 거동과 응력분포를 계산함으로써 설계안전성 여부를 판단하는 방법을 말한다[1]. 이 방법은 다음과 같은 이유로 인하여, 그 유용성이 큰 것으로 판단된다.

- 1) 선체는 그 특성상 각 화물창 단위로 화물적재상태가 구분되므로 모듈해석을 수행하게 되면 각 설계하중에 대한 경계조건의 설정이 매우 간편하고 합리적이다.
- 2) 화물창을 이루는 주요강도부재의 형상 및 치수는 화물창마다 거의 구분이 없으므로 한 모듈은 실질적으로 선체 전체에 대하여 대표성을 지닌다.
- 3) 유한요소법을 사용하는 경우 부재형상을 실제 구조물과 동일하게 모델링할 수 있으므로 해석결과에 대한 검증이 편리하다.
- 4) 선체 중강도 해석결과를 고려하는 해석기법이 용이하다.
- 5) 해석결과를 응력집중부 상세구조해석 과정에 직접 사용할 수 있다.

그러나, 이 방법은 선체구조의 복잡성에 따른 모델링과정의 공수소요 및 막대한 양의 전산시간이 요구되는 결점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 실제 해석소요시간의 대부분을 차지하는 유한요소 모델링과정을 자동화하는 프로그램을 개발하고, 이를 범용 구조해석시스템인 ANSYS에 연결함으로써 선체구조해석 전 과정을 자동화하고자 한다. 이러한 자동화프로그램의 개발은 설계공수의 절감을 극대화할 뿐만 아니라[2,3], 보다 정확한 강도검증을 효과적으로 수행할 수 있으므로 궁극적으로는 안전하고 신뢰성 높은 선체 구조 개발에 기여할 것이다.

본 연구는 현재 과학기술처의 주관아래 진행되고 있는 CSDP-선체구조해석 시스템 개발과제[4]의 일부로서 이중선각 유조선용 그 대상으로 한다. 선체의 유한요소 모델링 과정에는 선체를 이루는 모든 강도부재의 위치, 형상을 고려한 요소-절점 정의과정, 각 유한요소의 특성치 산정과정, 설계하중과 경계조건의 수치모델링 과정 등이 포함된다. 이하에

서는 이들 전 과정의 자동화 처리기법에 대하여 자세히 기술하고, 실적선에 적용한 계산예를 보임으로서, 본 연구를 통해 개발된 프로그램의 정도와 유용성을 검증하기로 한다.

2. 유한요소 모델링 자동화 기법

2.1 선체형상특성 및 기본가정

선종별 특성(적재화물)에 따라 선체 모듈의 범위는 화물창 2개 혹은 3-5개의 형태로 다양하게 나타나지만 일반적으로 선체중앙평행부(parallel middle body)를 대상으로 한다는 특징이 있다. 해석대상 범위를 선체중앙부로 국한하게 되면 선수 선미부 외판의 3차원적인 곡률변화, 선수 선미창에 내재한 불규칙적인 구조부재 배치등이 모델링에서 제외되고, 선체길이 방향으로 일관성을 가진 중앙부 구조부재만이 포함되므로 유한요소 모델링이 간편해지고, 따라서 이에 대한 자동화프로그램의 개발이 가능해진다.

따라서, 본 연구에서는 선체 모듈의 유한요소 모델링 자동화를 수행하기 위하여 다음과 같은 기본적인 가정을 설정한다.

- 1) 구조해석 대상범위는 선체의 중앙부 화물창에 국한하며, 따라서 이 구간내 종통부재는 중앙단 면도에 나타나는 부재위치로 대표된다.
- 2) Floor, side web plate, deck/bottom의 transverse girder 등 횡강도 부재는 선체길이 방향에 수직하는 단면부재이다.
- 3) 선체를 이루는 보강판 부재는 막요소/봉요소 혹은 판요소/보요소로 모델링된다.
- 4) 횡격벽 구조는 몇개의 전형적인 형태로 구분할 수 있다.(예를 들면, 상하단 stool을 가지는 corrugation BHD, 수평방향 stringer를 가지는 평면형태의 BHD 등등...)

2.2 형상정의를 위한 입력자료(grid point의 정의)

유한요소법을 이용한 구조해석 모델링과정에서 적용할 유한요소의 종류 및 요소분할의 정도가 결정되고 나면, 각 요소의 절점위치 및 요소-절점간 위상이 구체적인 수치자료로 정의되어야 한다. 선체 구조는 통상적으로 막요소/봉요소의 조합(혹은 판요소/보요소의 조합)으로 모델링되며, 선체 화물창을

대상으로 하는 경우에는 복잡한 형태의 요소 분할이 요구된다. 따라서, 이에 대한 절점위치와 요소-절점 간 위상을 자동처리하기 위해서는 각 구조부재의 형상 및 위치에 관한 입력자료형식을 체계화할 필요가 있다.

선체모델링 범위를 중앙부 화물창으로 할 때, 전항에서 서술한 바와 같은 가정이 성립한다면 화물창내 모든 종통부재와 횡단면부재의 위치 및 형상은 2차원 단면내 위상정보(grid point)와 길이방향으로의 부재위치정보로 표현될 수 있으며, 또한 이들 각 정보는 서로 분리하여 취급될 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 선체중앙부 모든 구조부재를 종통부재, 횡단면부재, 횡격벽부재로 구분하고 다음과 같이 처리한다.

- (1) 종통부재 : 모든 종통부재는 일정단면내의 직선 부재로 정의되며, 따라서 단면내에서 미리 정의된 grid point의 시작점과 끝점에 관한 정보로 표현한다.
- (2) 횡단면부재 : 각 단면부재가 위치한 선체길이 방향으로의 정보는 별도로 입력되고, 단면내 형상정보는 미리 결정된 grid point로서 표현된다. grid point간의 연결은 직선으로 가정하며, 그 형상은 입력순서에 따르는 폐단면으로 취급된다.
- (3) 횡격벽부재 : 각 횡격벽 형식에 따라 내재하는 부재를 종통형식부재, 횡단면형식부재, 경사면 부재로 나누어 취급하고 경사면부재에 대해서

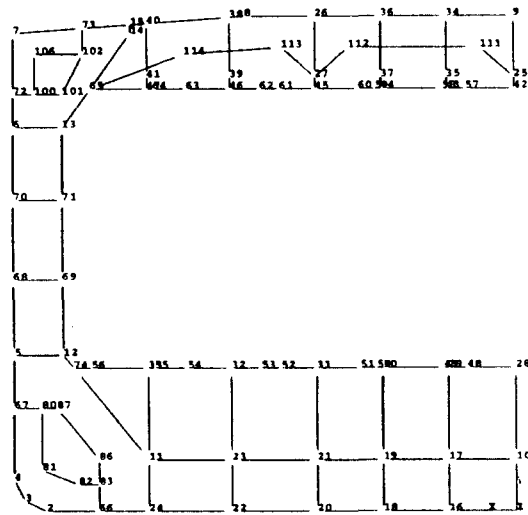


Fig. 1 Definition of grid point in the section

Table 1 Definition of structural members with grid point

Member		Grid Point
Longi. member	Bottom Plate	1,2
	Inner Bottom Pl.	10,11
	Deck Plate-1	7,8
	Deck Plate-2	8,9
Trans. member	Floor-1	1,16,17,10
	Floor-2	16,18,19,17
	Hopper Web-1	2,3,4,67,80,81,82,83,66
	Side Web-1	5,68,69,12
Trans. BHD	Lower Stool-1	10,17,29,28
	Lower Stool-2	17,19,30,29

는 주변부재의 배치에 따라 내부절점을 고정적으로 처리한다.

위 입력자료 형식을 그림과 Table을 이용하여 설명해 보면 다음과 같다. 먼저 Fig. 1에서와 같은 이중선 각 유조선에 있어서, 종통부재인 외저판, 내저판, 갑판부재등은 Table 1에서 나타난 바와 같이 grid point 1, 2, 10, 11, 7, 8, 9등의 연결로 표현되며, 횡단면부재인 각 선저플로어, hopper tank의 web 판등도 Table 1에서 정리한 바와 같은 각 grid point의 연결 평면부재로 정의된다. 횡격벽 부재에 해당하는 상하단의 stool판은 횡단면형식부재로서 선저플로어와 비슷하게 정의된다.

2.3 요소분할 및 요소절점정의

단면내 grid point로서 모든 구조부재의 위치 및 형상이 정의된 이후에는 각 구조부재에 대한 요소분할 및 요소-절점간 위상이 구체적으로 정의되어야 한다. 그러나, 입력자료에 의해 주어진 grid point 만으로는 해석자가 원하는 모델링이 충분하지 않은 경우가 있으며, 따라서 입력된 각 grid point를 이용하여 해석자가 원하는 정도의 요소분할을 자동적으로 수행할 수 있는 기능이 필요하다.

본 연구에서 적용한 사용자 선택에 의한 요소분할 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) 입력자료에서 정해진 모든 부재의 grid point를 일련화하고, 각 부재별 grid point의 소속을

정의한다.

- 2) 종통부재간 혹은 종통부재와 횡단면부재간 연결에 따르는 각 부재의 내부 grid point를 계산하고 정의해 둔다.
- 3) 사용자 입력에 의하여 주어진 각 부재별 최대 절점간격치(요소분할정도)를 각각의 인접 grid point 간격이와 비교하여 이들 내부에 새로운 절점을 들것인가를 판단하고, 이를 계산한다.
- 4) 2)와 3)의 과정에서 발생, 변화되는 내부 grid point의 속성과 위치를 각 부재별로 정리해둔다.
- 1), 2), 3), 4) 과정에 따라 단면내 요소분할이 행하여지면 각 부재별요소-절점 정의는 다음과 같이 수행된다.
- 5) 절점정의: 단면내 절점을 선체 길이 방향으로 발전시켜 모델의 전범위에 걸쳐 정의한다.
- 6) 종통부재의 요소-절점정의: 각 부재별로 단면내에서 정의된 차례에 따라 선체길이 방향으로 요소를 생성한다.
- 7) 횡단면 부재의 요소-절점정의: 부재의 길이방향 위치정보와 단면내 형상정보를 이용하여 각각의 위치에 요소를 설정한다. 이때 이들 요소는 요소-절점간 위상이 구체적으로 정의된 형태가 아니라, 단면의 형상에 대한 경계절점의 형태로 정의된다.
- 8) 횡격벽부재의 요소-절점정의: 횡격벽형식에 따라 횡격벽이 설치된 위치에 각 부재별로 그 특성에 따라 요소-절점 위상을 정의한다.
- 9) 경계절점 정보로 정의된 횡단면 부재를 평면요소 자동분할 알고리즘을 이용하여 구체적으로 정의한다. 본 연구에서는 이 평면 자동요소 분할 알고리즘은 범용 유한요소프로그램 ANSYS의 preprocessor에 내장된 기능을 활용한다.

2.4 요소특성치 산정

해석대상 범위의 구조부재는 거의 모두가 보강판 구조이며 이들은 전술한 바와 같이 막요소/봉요소의 결합 혹은 판요소/보요소의 결합으로 모델링된다. 막요소로 모델링하는 것과 판요소로 모델링하는 두 방식의 차이는 면외하중을 받는 판재의 국부 굽힘거동을 전체 구조거동과 동시에 구현할 것인가 하는데 있을 뿐, 면외하중이 보강재와 외판의 굽힘변형을 통하여 girder 혹은 web frame 등의 지지부재

에 전달되는 효과는 동일하다. 본 연구에서는 사용자의 필요에 따라 판요소/보요소 모델링과 막요소/봉요소 모델링이 선택될 수 있도록 하였다.

(1) 종통부재

종통부재는 평판과 보강재의 조합구조물로 취급하며 평판부재는 seam line을 고려하여 각 요소의 두께값을 결정한다. 만일, 한개 요소내에서 판두께의 변화가 있는 경우에는 각각의 기여도를 고려한 평균값을 요소두께로 한다.

보강재는 보요소 모델링의 경우에는 보강재 간격을 유효폭으로 하는 유효굽힘강성을 자체에서 계산하며, 단면특성치로서 보강재 자체의 단면적과 유효굽힘강성치를 고려한다. 봉요소로 모델링되는 경우에는 보강재 자체의 단면적만이 계산에 사용된다.

(2) 횡단면부재

횡단면부재는 평판 또는 막요소로 모델링되며 횡단면내 보강재는 모델링에서 제외한다. girder 혹은 side web plate에 설치되는 face bar에 대해서는 막요소로 모델링한다.

(3) 횡격벽부재

상하단 stool과 선체 횡방향의 corrugation plate로 구성된 횡격벽 형태에 대해서 모델링을 수행하며, 이 형태에 내재한 구조부재인 stool판, diaphragm, corrugation plate는 각각 평판요소, 혹은 막요소로 취급된다. corrugation plate의 높이 방향 seam을 고려하며, stool의 두께변화는 선체 폭과 높이 방향 모두를 고려한다.

2.5 해석범위 및 설계하중

선체 모듈강도해석에서 해석대상 범위는 전적으로 화물의 적재상태로 표현되는 설계하중 형태에 따른다[6,7]. 본 연구에서는 Oil Tanker 강도검증에 가장 중요한 설계하중조건인,

- 1) Tank strength test condition
- 2) Full load condition
- 3) Ballast condition

등 3개의 하중조건을 대상으로 한다.

(1) Tank strength test condition

Tank strength test condition은 Fig. 2와 같이 한 화물창의 내부에 물을 채운 경우로서 1/2 hold+1/2 hold 범위로 모델링된다. 하중크기는 tank 내 수두크기와 홀수크기로 정의된다. 모델의 양단부와 선체 중앙면에는 대칭 경계조건을 주고, 횡격벽단의

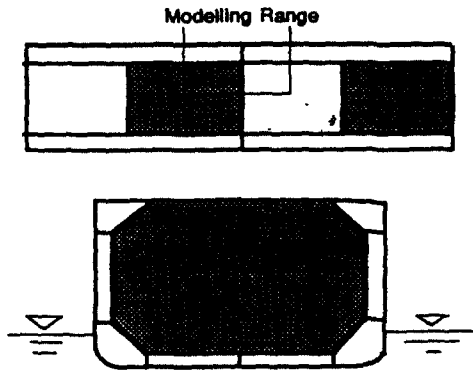


Fig. 2 Tank strength test condition

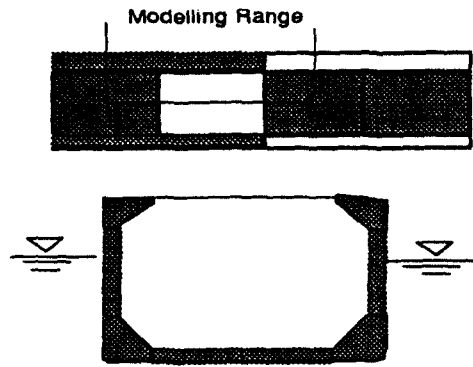


Fig. 3 Full load condition

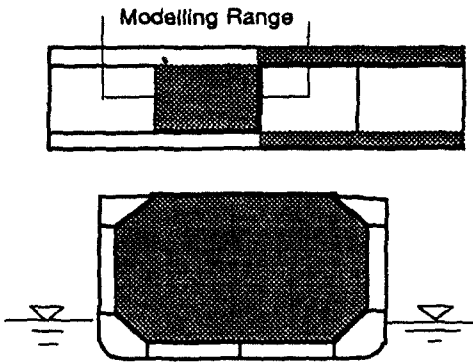


Fig. 4 Ballast condition

선측부 선저부재에 강제운동 방지를 위하여 z방향변위를 구속한다.

(2) Full load condition

Full load condition은 Fig. 3과 같이 중앙부 한 화물창을 제외하고 전체 tank에 oil이 적재된 경우로 1/2 hold+1 hold+1/2 hold 범위로 모델링된다. 하중

은 tank 내 수두와 full draft 크기로 정의되며 경계조건은 tank test와 동일하다.

(3) Ballast condition

Ballast condition은 Fig. 4와 같이 중앙부 한 화물창을 제외한 전체 ballast tank에 물이 적재된 경우로서 1/2 hold+1 hold+1/2 hold 범위로 모델링된다. 하중은 tank 내 수두와 ballast draft 크기로 정의되며 경계조건은 tank test와 동일하다.

3. 프로그램구성 및 실행에

3.1 프로그램 구성

Fig. 5는 본 연구에서 개발된 프로그램의 구성도로써 본 프로그램은 입력자료 처리, 모델링 자동화, ANSYS용 해석자료의 생성등 세과정으로 구분되고 있음을 알 수 있다.

사용자가 선체기본설계와 구조설계 단계에서 결정되는 해석대상 범위내의 각 구조부재의 위치, 형상, 치수등에 관한 자료와 요소분할의 정도, 적용하중형태등을 입력하게 되면, 프로그램은 요소분할에 따르는 절점 위치 및 요소-절점간 위상의 정의, 하중형태별 절점하중 및 요소하중의 계산, 경계조건 설정등 일련의 유한요소 모델링과정을 수행하여 ANSYS 프로그램 수행을 위한 모델링 결과를 제공한다.

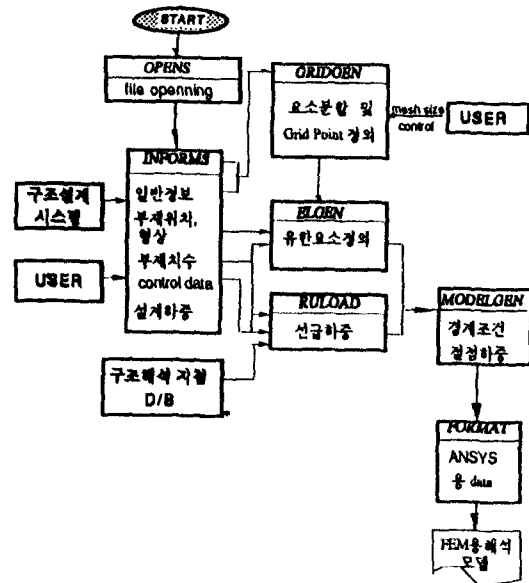


Fig. 5 Flowchart of Automatic Modelling Program

3.2 사용예제 및 계산결과

본 프로그램의 유용성을 확인하기 위하여 다음 실적선을 대상으로 프로그램을 실행하여 보았으며 그 결과는 다음과 같다.

-대상선의 주요제원

Length of All: 274.00m Length of B.P.: 264.00m
 Breadth MLD: 48.00m Depth MLD: 23.00m
 Draft DGN: 15.20m Cb: 0.8425
 Speed service: 14.70knots Classification: DnV

-해석구간

Tank test load condition: Fr. #83.5~Fr. #89.5
 Full load condition: Fr. #77.5~Fr. #89.5
 Ballast condition: Fr. #77.5~Fr. #89.5

먼저, Fig. 6은 계산결과로 나타난 grid 형상이다. 이는 Fig. 1과 같이 간단한 평면내 grid point 입력정보로부터 요소분할과 배길이 방향 부재배치가 고려된 3차원 형상으로 각 유한요소의 요소-절점위상의 기초가 된다.

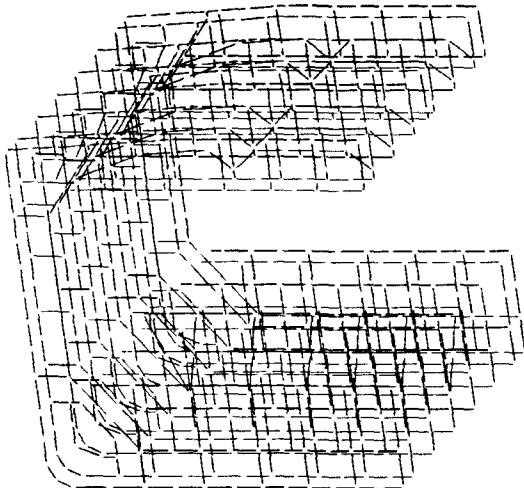


Fig. 6 Generated grid shape after mesh division

한편, Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9는 이들 grid 정보와 각 유한요소의 특성치산정, 하중 및 경계조건등이 모두 완성된 모델링 결과로서, 각 하중형태를 나타낸다. 본 결과들은 모두 최대절점 간격을 3 meter로 한 경우로서 2.5 hold를 대상으로하는 Full load condition 의 경우 전체 절점과 요소 수는 각각 3500, 4000개 정도로 나타났다.

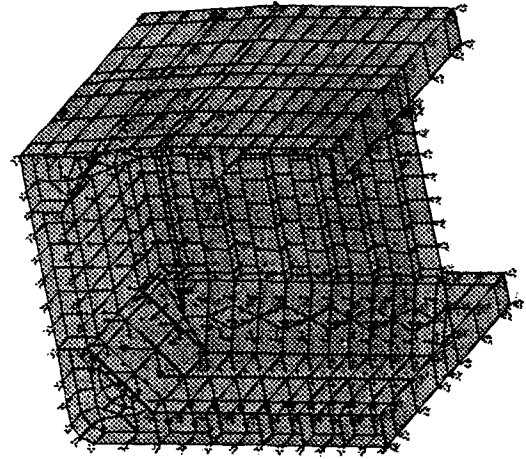


Fig. 7 Finite element model of tank strength test condition

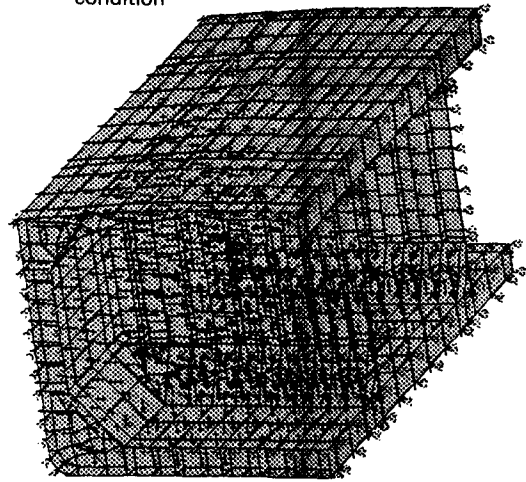


Fig. 8 Finite element model of full load condition

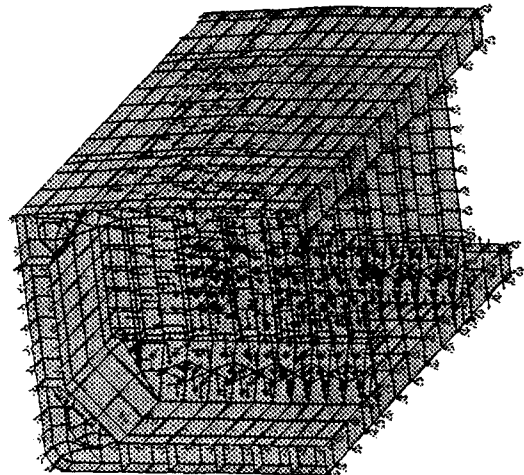


Fig. 9 Finite element model of ballast condition

Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12는 각각의 하중조건에 따른 조합응력 분포도로서 모델링의 결과가 선체의 전체강도해석에 충분히 유용함을 확인할 수 있다.

이들 해석은 ANSYS version 4.4 A[8]를 이용하였으며, APOLLO DN 10000 Work Station에서 수행되었다. 입력자료의 작성, 구조해석 결과 검증등 모든 과정에 대해 소요된 공수는 대략 3man-day이었는데, 이는 현 조선소의 설계/해석 효율과 비교할 때 거의 10배 이상의 단축을 의미한다.

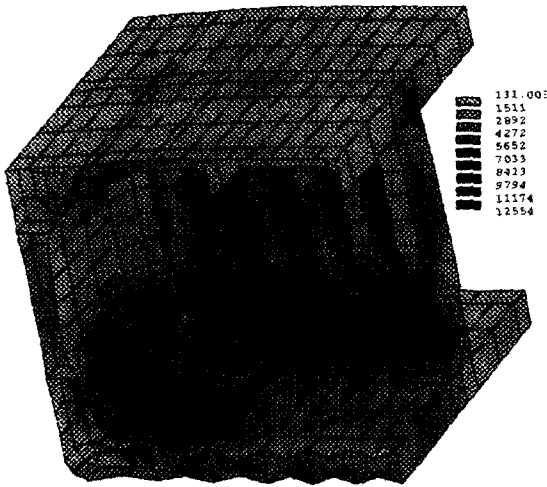


Fig. 10 Combined stress contour of tank strength test condition

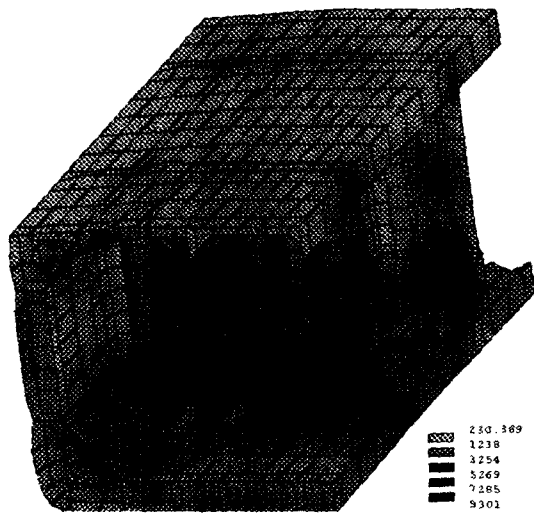


Fig. 11 Combined stress contour of full load condition

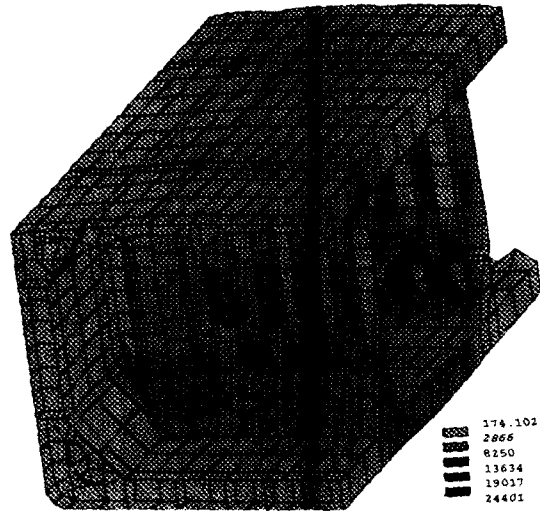


Fig. 12 Combined stress contour of ballast condition

4. 결 언

본 연구에서는 유조선 구조해석을 위한 유한요소 모델링 자동화 프로그램을 개발하였고, 또한 실적선을 대상으로 이를 적용하여 봄으로서 그 유용성을 확인하였다. 개발된 프로그램의 특성과 향후 기능확장 방향을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 본 프로그램은 선체화물창을 이루는 모든 주요 강도부재의 위치와 형상을 고려한 요소-절점 정의과정, 각 유한요소 특성치 산정과정 및 설계하중과 경계조건의 수치모델링 과정등의 일련의 유한요소 구조해석 모델링과정이 자동화되었으며, 사용자는 이 프로그램의 결과를 직접 범용 구조해석시스템인 ANSYS와 연결하여 사용함으로써 매우 효율적으로 선체 모델강도해석을 수행할 수 있게 되었다.
- (2) 본 프로그램은 사용자 대화 방식에 의해 모델의 요소분할 정도를 사용자가 마음대로 선택할 수 있는 장점이 있다.
- (3) 본 프로그램은 구조해석 대상구간(선체길이방향)의 임의 선택이 가능하며, 따라서 극단적인 경우 1 web frame section 모델에서부터 평행부 전 화물창범위로의 확대가 가능하다.
- (4) 본 프로그램은 선체 강도부재를 중통부재, 횡강도부재, 횡격벽부재단으로 구분하고 특히, 이들의 입력처리 방식을 일반화하였으므로

로, 현재까지 개발된 프로그램을 주 모듈로 하여 선종별로 그 특징을 달리하는 횡격벽구조의 형태와 설계하중 부분만을 덧붙여 나가면, 유조선이외의 Bulk Carrier, Container 등의 다른 선박에로의 확장도 기대된다.

5. 후 기

본 연구는 과학기술처의 국책연구사업인 "CSDP-선체구조해석 시스템개발(Ⅲ)" 과제[4]의 일환으로 수행되었다.

참 고 문 헌

- [1] Hughes, O.F., Ship Structural Design, John Wiley & Sons, New York, 1983.
- [2] Okumoto, Y., Takeda, Y., and Hiyoku, K., "Modern Hull Structure Design System "COSMOS", Computer Applications in the Automation of Shipyard Operation and Ship Design V, P.Banda and C.Kuo(Eds.), Elsevier Science Publishers B.V., Holland, 1985.
- [3] Okumoto, Y., Ando, A., Niuro, Y., and Hiyoku, K., "Computer-Aided Engineering System for Hull Structure-"FRESCO-S", Computer Applications in the Automation of Shipyard Operation and Ship Design VI, L. Dingyi, W. Zhengda, and D.Kuo(Eds.), 1988.
- [4] 신종계, 박성환, "CSDP-선체구조해석 시스템 개발(Ⅲ)," 해사기술연구소 연구보고서 UCN 251-1466.D, 1991.8.
- [5] Lloyd's Register of Shipping, "Rules and Regulations for the Classification of Ships," 1985.
- [6] DnV Classification Notes No.31.1., "Strength Analysis of Bulk Carriers", 1980.
- [7] DnV Register of Shipping, "Rules for Classification of SteelShips," 1989.
- [8] Swanson Analysis Systems, Inc., "ANSYS-Engineering Analysis System User's Manual," Vol.(I)(II), 1989.