

## 선체 구조 모델의 위상 정보 재구성을 통한 구조 해석 모델 생성

노명일<sup>†\*</sup>, 유성진<sup>\*</sup>, 이규열<sup>\*\*</sup>

서울대학교 조선해양공학과<sup>\*</sup>  
서울대학교 조선해양공학과 및 해양시스템공학 연구소<sup>\*\*</sup>

### Generation of the Structural Analysis Model Through the Reconstruction of the Topological Information of the Hull Structural Model

Myung-Il Roh<sup>†\*</sup>, Seong-Jin Yoo<sup>\*</sup> and Kyu-Yeul Lee<sup>\*\*</sup>

Department of the Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University<sup>\*</sup>  
Department of the Naval Architecture and Ocean Engineering, and Research Institute  
of Marine Systems Engineering, Seoul National University<sup>\*\*</sup>

#### Abstract

In the ship building industry, the generation of a structural analysis model, that is, a finite element model of a hull structure, has been manually performed by a designer and thus has required lots of time as compared with that of a mechanical part, because of many constraints, the complexity, and the huge size of the hull structure. To make this task automatic, a generation method of the structural analysis model is proposed through the reconstruction of the topological information of a hull structural model in this study. The applicability of the proposed method is demonstrated by applying it to the generation of the structural analysis model of a deadweight 300,000ton VLCC(Very Large Crude oil Carrier).

※Keywords: Structural analysis model(구조 해석 모델), Finite element model(유한 요소 모델), Hull structural model(선체 구조 모델), Reconstruction of the topological information(위상 정보의 재구성)

---

접수일: 2005년 12월 12일, 승인일: 2006년 2월 3일

† 주저자, E-mail: myungil.roh@gmail.com

Tel: 02-880-8378

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경 및 필요성

최근 선주와 선급의 요구 및 조선소 자체의 구조 설계에 대한 안정성 검증을 위해 구조 해석에 대한 필요성이 증대되고 있으며, 이에 부응하여 현재 조선소에서는 다양한 구조 해석이 수행되고 있다. 일반적으로 구조 해석 업무는 대상 선박의 구조 해석 모델(structural analysis model, 또는 유한 요소 모델(finite element model)이라고도 함)을 생성하고 필요한 경계 조건 및 하중 조건을 부과하기 위한 전처리 과정(pre-processing), 구조 해석을 실제로 수행하기 위한 해석 과정(solving), 구조 해석 결과를 평가하기 위한 후처리 과정(post-processing)의 세 단계로 구분된다. 과거에는 해석 과정이 구조 해석을 위한 대부분의 시간을 차지하였지만, 최근 컴퓨팅 능력의 향상으로 인해 해석 과정에 소요되는 시간은 크게 줄어들었으며 상대적으로 전처리 과정에 많은 시간이 소요되고 있다. 특히 구조 해석 모델의 경우, 기계 부품에 비해 상대적으로 크고 형상이 복잡하며 수많은 구조 부재들의 설치 위치가 모델 생성시 제약 조건으로 작용하기 때문에 아직까지 조선소에서는 설계자의 수작업에 의해 구조 해석 모델이 생성되고 있으며 따라서 전처리 과정에 많은 시간이 소요되고 있다. Fig. 1은 현재 조선소에서 수작업에 의해 구조 해석 모델을 생성하는 과정을 나타내고 있다. 그림에 나타나 있듯이, 설계자는 2차원 도면상의 해당 정보를 인식한 후 상용 구조 해석 시스템 내에서 이를 직접 입력함으로써 수많은 절점(node)들과 요소(element 또는 mesh)들로 구성된 구조 해석 모델을 수작업으로 생성하고 있으며, 이 과정을 수행하는데 선종 및 구조 해석 모델의 활용 시점(전선(global)/화물창(hold)/국부(local)/피로(fatigue) 구조 해석 모델 등)에 따라 다르나 수일에서 수십 일이 소요되고 있다. 이와 같이 설계자의 단순 반복 작업으로 인한 많은 시간 소요와 입력 과정 중 발생 가능한 오류를 최소화하기 위해서는 2차원 도면이 아닌 선체 구조 모델(hull structural model) 즉, 선체 구조의 3차원 CAD 모델로부터 구조 해석 모델을 자동으로 생성

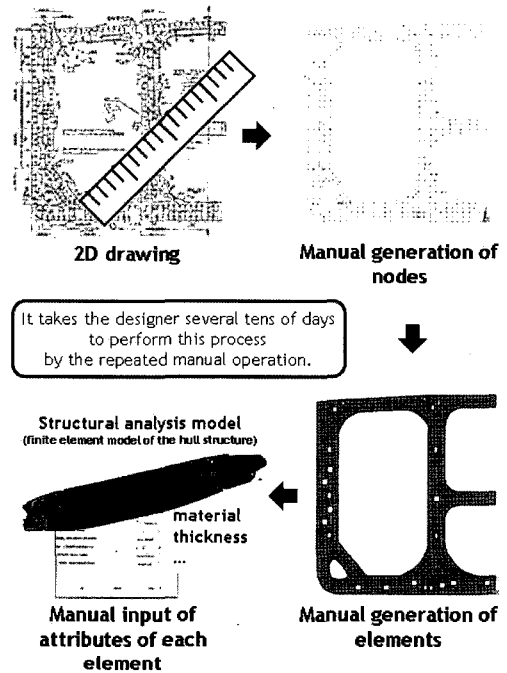


Fig. 1 Existing procedure of manually generating the structural analysis model

하는 기능이 필요하다. 한편, 현재 조선소에서 선체 구조 모델이 생성되고 있기는 하나 이의 생성 시점이 상세 설계 단계 이후이고, 반면 해석이 필요한 시점(전선 구조 해석 모델의 경우, 초기 설계 단계의 후반부, 화물창 구조 해석 모델의 경우, 상세 설계 단계의 전반부)은 이보다 이전이기 때문에 해석에 필요한 선체 구조 모델을 확보하는데 어려움을 겪고 있다. 그러나 초기 설계 단계에서 선체 구조 모델을 확보할 수 있고 이를 기반으로 하여 구조 해석 모델을 자동으로 생성할 수 있다면 설계자의 수작업에 의해 전적으로 의존하고 있는 전처리 과정에 소요되는 시간 및 인력을 줄일 수 있고, 생성된 구조 해석 모델의 정확성도 보장할 수 있을 것이다.

### 1.2 관련 연구 현황

지금까지 구조 해석 모델의 생성과 관련된 연구는 조선소뿐만 아니라 대학, 연구소, 선급 등에서도 많이 수행되어 왔다(박성환과 신종계 1992,

1994, 이명기 1995, 염재선 1995, 김중현 등 2001). 대학, 연구소, 선급 등에서 이루어진 연구의 대부분은 구조 해석 모델을 생성하기 위해 먼저 선체 구조 모델을 간략히 생성한 후("구조 해석을 위한 간이 모델링") 이를 구조 해석 모델로 변환하는 과정을 거치고 있다. 하지만 대부분의 연구가 VLCC, 살물선(bulk carrier) 등 단일 선종에만 적용이 가능하였고 선체 중앙부에 국한하여 구조 해석 모델("화물창 구조 해석 모델")을 생성하였다는 한계가 있다. 또한 구조 해석 모델 생성을 위해 이용한 선체 구조 모델은 전체 선박 설계 단계에서 생성되어 이용되는 것이 아니라 구조 해석만을 위해 임시적으로 생성된 것이므로 선체 구조 모델을 생성하는데 있어서 중복 작업이 발생한다. 그리고 선체 구조 모델로부터 구조 해석 모델의 요소들을 생성할 때 상용 구조 해석 시스템인 ANSYS, PATRAN/NASTRAN 등의 자동 요소 생성 기능을 이용하기도 하였다.

최근 조선소에서는 설계자의 수작업에 의존하던 구조 해석 업무를 지원하기 위한 연구가 수행되었다. 김인일 등(2005)은 전선 구조 해석이 수행되는 초기 설계 단계에서 획득 가능한 선형 및 구획 정보를 이용하여 전선 구조 해석 모델을 자동 생성하는 방법을 개발하였다. 이 방법은 간단하면서도 강력한 알고리즘을 이용하여 주어진 제약 조건(구조 부재의 설치 위치 등)을 만족시키면서 빠르게 전선 구조 해석 모델을 생성할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 초기 설계 단계에서 획득 가능한 정보의 한계로 인해 선체 외판 및 내부 구획 판 등 대부분 종방향 부재에 대해서만 요소 생성이 가능하였다. 장법선 등(2004)은 2차원 도면 또는 3차원 CAD 모델로부터 화물창 및 전선 구조 해석 모델을 자동 생성하는 방법을 개발하였다. 이 연구에서는 구조 부재의 설치 위치를 제약 조건으로 하면서, 해석자의 경험을 반영한 자동 요소 생성 알고리즘이 개발되었다. 하지만 화물창 구조 해석 모델을 생성하기 위해서는 먼저 입력 데이터인 2차원 도면(IGES 포맷)에 대한 전처리 작업이 필요하다. 즉, 모델 생성과 관련이 없는 2차원 도면 내의 수많은 기호와 치수 등을 설계자가 수작업으로 제거해야 한다. 한편, 전선 구조 해석 모델을 생성

하기 위해서는 선박 전체에 대한 구조 모델(ACIS 포맷)이 필요한데 이를 확보할 수 있는 시점이 상세 설계 단계 이후이므로 전선 구조 해석 모델을 생성하는데 어려움을 겪고 있다.

한편, 본 저자들은 최근 초기 설계 단계에서 선박 전체에 대한 구조 모델을 효과적으로 생성할 수 있는 초기 선체 모델링 시스템을 개발한 바 있다(Roh and Lee 2006). 따라서 본 연구에서는 이 시스템에 의해 생성된 선체 구조 모델을 기반으로 하여 구조 해석 모델을 자동 생성하는 방법을 제안하였다. 즉, 선체 구조 모델의 위상 정보 재구성을 통한 구조 해석 모델(전선/화물창)의 생성 방법을 제안하였다. 본 연구에서 자동 생성하는 구조 해석 모델은 모든 절점들의 형상 정보(각 절점의 3차원 좌표)와 모든 요소들의 형상(각 요소가 어떤 노드들로 구성되어 있는지의 정보) 및 속성 정보(셸 요소(shell element)의 경우 재질 및 두께)를 의미한다.

## 2. 부재간 연관성을 고려한 선체 구조 모델

### 2.1 선체 구조 모델의 생성

선박의 초기 설계 단계에서는 생산 정보의 제공이 목적인 생산 설계 단계와는 달리 구조 강도, 견적 물량 산출 및 각종 규정(rule and regulation) 등의 요구 사항을 만족하도록 선체 구조 부재의 배치, 개략적 형상의 정의 및 치수의 결정 등 기능(function)을 중심으로 한 제품 정의 과정이 필요하며, 이에 부합되는 초기 설계 단계에서의 모델링 단위가 바로 선체 구조 시스템(structure system)이다. 선체 구조에서 외판 시스템(shell system), 갑판 시스템(deck system), 거더 시스템(girder system), 스트링거 시스템(stringer system), 격벽 시스템(bulkhead system), 웹 프레임 시스템(web frame system) 등이 바로 선체 구조 시스템의 예라고 할 수 있다. 본 연구에서는 구조 해석 모델의 생성을 위한 선체 구조 모델의 확보를 위해 본 저자들에 의해 개발된 초기 선체 모델링 시스템을 이용하였다. 이 시스템을 이용하여 선체 구조 시스템과 같이

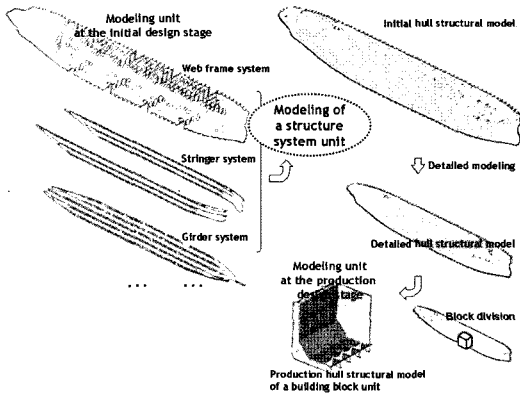


Fig. 2 Hull structural modeling concept of the initial hull structural modeling system previously developed by us

비교적 큰 부재를 중심으로 개략적인 선체 모델링을 수행하고, 보다 상세한 부재들의 모델링을 통해 이를 구체화한 후, 필요에 따라 블록 분할을 거쳐 블록별 선체 구조 모델을 생성할 수 있다. Fig. 2는 본 저자들에 의해 개발된 초기 선체 모델링 시스템의 모델링 개념을 개략적으로 나타내고 있다.

2.2 선체 구조 부재간의 연관성

선체 구조 부재간의 연관성(relationship between hull structural parts)은 두 부재간의 연결 정보를 나타낸다. Fig. 3은 본 저자들이 개발한 기존 시스템으로부터 생성된 선체 구조 모델에서 선체 구조 부재간의 연관성이 어떻게 표현되는지를 나타낸다. 그림에 나타나 있듯이 선체 구조 부재간의 연관성을 표현하기 위해 접합선(seam)을 이용하였다. 여기서 접합선은 두 부재간의 용접선을 의미하기도 하며, 접합 방법에 따라 두 가지 형태가 존재한다. Fillet seam은 수평 부재와 수직 부재간의 접합선(예, 판(panel)과 보강재(stiffener) 사이의 접합선)을 의미하며, butt seam은 두 수평 부재간의 접합선을 의미한다.

선체 구조 모델 내의 접합선은 접합선에 의해 접합되는 선체 구조 부재들의 정보와 접합선의 기하 정보를 선체 구조 정보(hull structural information)로서 가지고 있다. 예컨대, Fig. 3의

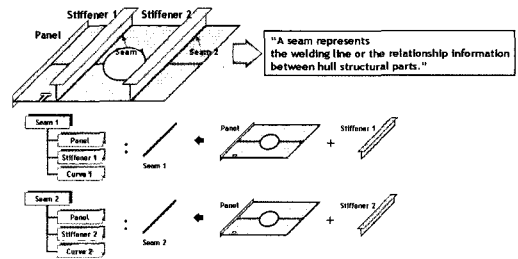


Fig. 3 Representation method of the relationship between the hull structural parts in the hull structural model of this study

‘Seam 1’은 ‘Seam 1’에 의해 접합되는 ‘Panel’과 ‘Stiffener 1’에 대한 정보와 접합선의 형상을 나타내는 ‘Curve 1’을 선체 구조 정보로서 가지고 있다. 본 연구에서는 구조 해석 모델 생성시 선체 구조 부재간의 연관성을 나타내는 접합선의 정보를 이용한다. 즉, 절점들은 판의 최외곽 경계와 접합선 또는 접합선 사이의 교차 계산을 통해 생성되며, 요소들은 접합선에 의해 경계 지워진다. 이에 대한 상세한 내용은 3장에 설명되어 있다.

2.3 선체 구조 정보

선체 구조 정보는 선체 구조 모델 내에 저장되어 있는 구조 부재에 대한 형상 및 위상 정보, 설계 속성 정보, 부재간의 연관성 정보를 말한다. Fig. 4는 본 연구의 선체 구조 모델에서 판(panel)을 표현하기 위한 선체 구조 정보를 나타낸다. 그림에 나타나 있듯이 판을 표현하기 위한 선체 구조 정보는 크게 ‘BB(Base Boundary)’, ‘Layer’, ‘Property’, ‘Model’의 네 부분으로 구성된다. ‘BB’는 판에 설치되는 요소 부재(elementary hull structural part)인 접합선(butt seam 또는 fillet seam), 홀(hole), 슬롯 홀(slot hole), 플렌지(flange) 등을 고려하지 않은 판의 최외곽 형상을 나타내고, ‘Layer’는 판에 설치되는 요소 부재들의 리스트를 나타내며, ‘Property’는 두께, 재질, 두께 방향(thickening direction) 등과 같은 판의 설계 속성을 나타낸다. 마지막으로 ‘Model’은 판에 설치되는 요소 부재들의 형상을 고려한 판의 최종 형상을 나타낸다. 여기서, ‘BB’, ‘Layer’, ‘Property’는 해당 판을 표현하기 위해 필요한 최소한의

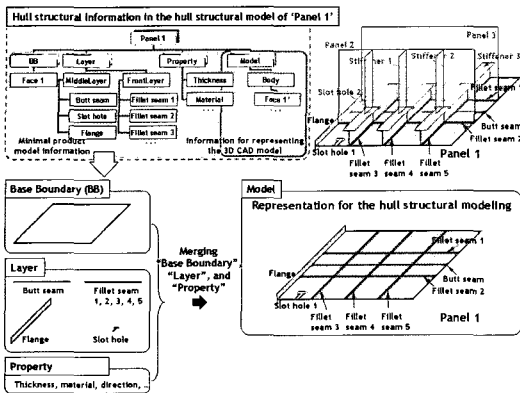


Fig. 4 Example of the hull structural information in the hull structural model of the panel('Panel 1')

한 의 제품 모델 정보이며, 'Model'은 이로부터 설계자의 의도(예, 구조 설계의 경우 선체 구조 모델)에 따라 판의 3차원 CAD 모델을 표현하기 위한 정보이다. 'BB', 'Layer', 'Property'의 정보는 선체 구조 모델 내에 항상 보존되며 'Model'은 필요시 'BB', 'Layer', 'Property'의 정보로부터 임시적으로 생성하여 이용할 수 있다.

2.4 선체 구조 모델의 활용

본 저자들에 의해 개발된 초기 선체 모델링 시스템으로부터 생성할 수 있는 선체 구조 모델은 선박 설계에 있어 다양한 용도로서 활용될 수 있다(Fig. 5 참조). 예컨대, 블록 분할을 거쳐 초기 공정 및 일정 계획의 수립을 위해 필요한 블록별 물량 정보(블록별 중량, 무게 중심, 도장 면적, 블록 내부의 접합 길이, 블록간 접합 길이 등)를 생성하거나 블록 탑재 과정을 시뮬레이션 하는데 활용될 수 있다(Roh and Lee 2006). 또한, 선체 구조와 연관된 배관 모델을 생성하는데 활용될 수 있고(최우영 등 2005), 본 연구에서와 같이 구조 해석 모델을 생성하는데 활용될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 구조 해석 모델만을 생성하기 위해 선체 구조 모델을 별도로 생성한 것이 아니라 블록별 물량 정보 생성, 블록 탑재 과정 시뮬레이션, 배관 모델 생성 등에 활용되고 있는 선체 구조 모델을 그대로 활용하였다.

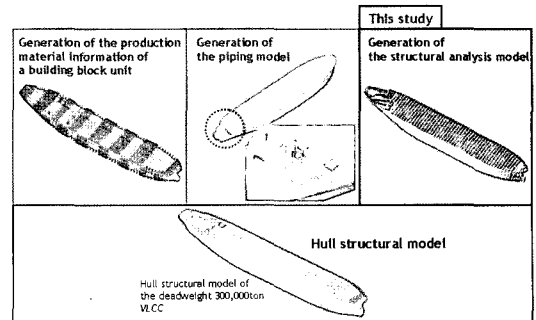


Fig. 5 Various applications of the hull structural model

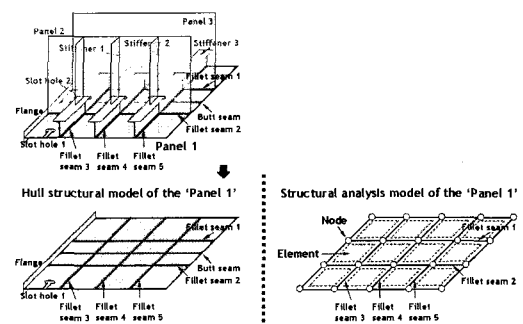


Fig. 6 Example of the hull structural model and the corresponding structural analysis model of the panel('Panel 1')

3. 구조 해석 모델의 생성

3.1 선체 구조 모델과 구조 해석 모델의 차이점

먼저 선체 구조 모델과 구조 해석 모델의 차이점에 대해 간단히 알아보자. Fig. 6은 판('Panel 1')에 대한 선체 구조 모델과 이에 대응하는 구조 해석 모델을 나타낸다. 일반적으로 판에 대한 선체 구조 모델은 접합선('Butt seam', 'Fillet seam 1', 'Fillet seam 2', ..., 'Fillet seam 5'), 슬롯 홀('Slot hole'), 플랜지('Flange') 등과 같이 판에 설치되는 다양한 요소 부재들을 포함한다. 반면에, 판에 대한 구조 해석 모델은 다수의 절점과 요소로 구성된다. 구조 해석 모델에서 각 절점은 판의 최외곽 경계와 접합선상에 존재하며, 각 요소의 경계는 판의 최외곽 경계와 접합선에 의해 결정된다. 그러므로 접합선을 제외한 다른 요소 부재들

은 구조 해석 모델 생성 시 고려하지 않는다.

### 3.2 구조 해석 모델의 생성 방법

여기서는 본 연구에서 제안한 선체 구조 모델을 이용하여 구조 해석 모델을 생성하는 방법에 대해 설명한다. 앞서 설명한 바와 같이 선체 구조 모델과 구조 해석 모델간에는 차이점이 존재하나 구조 해석 모델의 생성을 위한 모든 정보(절점의 형상 정보, 요소의 형상 및 속성 정보)는 선체 구조 모델로부터 생성할 수 있다. 즉, 구조 해석 모델의 생성을 위한 정보는 'BB', 'Layer', 'Property'의 정보로부터 'Model'의 위상 정보를 재구성함으로써 생성할 수 있다. 먼저, 판의 최외곽 형상을 나타내는 'BB'로부터 경계 모서리(edge)들만을 추출한다. 그리고 'Layer'로부터 판에 존재하는 접합선들을 추출하고(fillet seam만을 추출), 'Property'는 있는 그대로 추출한다. 마지막으로, 앞서 추출된 정보들을 하나의 'Model'로 합치게 된다. 결과적으로 구조 해석 모델의 생성을 위한 정보는 새로운 형태의 'Model'으로써 주어지고, 이는 구조 해석 모델의 생성을 위한 기본 모델(base model)이 된다. 여기서 'Model'은 겉으로 보기에는 와이어프레임 모델과 유사하나 실제로는 선체 구조 모델의 위상 정보를 재구성하여 생성된 비다양체 모델(Lee and Lee 2001)이다. Fig. 7은 구조 해석 모

델의 생성을 위해 선체 구조 정보로부터 위상 정보를 재구성한 예를 보여준다.

아래에서는 위의 과정을 보다 상세히 설명하기로 한다. Fig. 8은 Fig. 6의 'Panel 1'에 대해 본 연구에서 제안한 방법을 이용하여 하나의 요소(셀 요소)를 생성하는 과정을 나타내고 있다. 물론 보강재의 설치 위치에는 보 요소가 생성되며 아래에는 셀 요소의 생성 과정만을 나타내었다. 첫 번째 단계(Fig. 8(a) 참조)에서는, 판의 최외곽 경계의 모서리들을 판의 선체 구조 정보 중의 하나인 'BB'로부터 추출한다. 또한 'Layer'로부터 판에 존재하는 접합선들의 모서리들을 추출한다. 그리고 'Property'는 그대로 가져온다. 'Property' 중에서 판의 두께 방향은 세 번째 단계에서 이용될 것이며, 두께와 재질은 최종 결과로 생성되는 요소의 속성이 된다. 이해의 편의를 위해 Fig. 8(a)에서와 같이 판의 최외곽 경계는 네 개의 모서리('E1', 'E2', 'E3', 'E4')로 구성되어 있고, 각 접합선은 하나의 모서리('E5': 'Fillset seam 1', 'E6': 'Fillet seam 2', 'E7': 'Fillet seam 3', 'E8': 'Fillet seam 4', 'E9': 'Fillet seam 5')로 구성되어 있다고 가정한다. 두 번째 단계(Fig. 8(b) 참조)에서는, 첫 번째 단계에서 추출된 모든 모서리들을 불리언 연산(boolean operation)의 하나인 합집합(union) 연산을 이용하여 하나로 합친다. 이 과정을 통해, 비다양체 모델 즉, 구조 해석 모델의 생성을 위한 기본 모델이 생성된다. 생성된 기본 모델에서 두 개 이상의 모서리에 의해 공유되는 꼭지점(vertex)가 구조 해석 모델의 절점이 된다. 이 단계의 상세한 과정은 다음과 같다. (1) 모든 모서리들 간의 교차 계산을 수행하여 교차점을 생성한다. 여기에서 모서리들은 판의 최외곽 경계 및 접합선으로부터 추출된 것이다. (2) 각각의 교차점을 오일러 연산자(Euler operator) 중의 하나인 SEMV(Split Edge and Make Vertex)(Lee and Lee 2001)을 이용하여 해당 모서리에 삽입한다. 그 결과 Fig. 8(b)에 나타나 있듯이, 'E1'은 네 개의 모서리('E11', 'E12', 'E13', 'E14')로 분할된다. 그리고 생성된 각 교차점은 구조 해석 모델의 절점이 된다. 세 번째 단계(Fig. 8(c) 참조)에서는, 각 절점의 최외곽 법선 벡터(outer normal vector)를 이

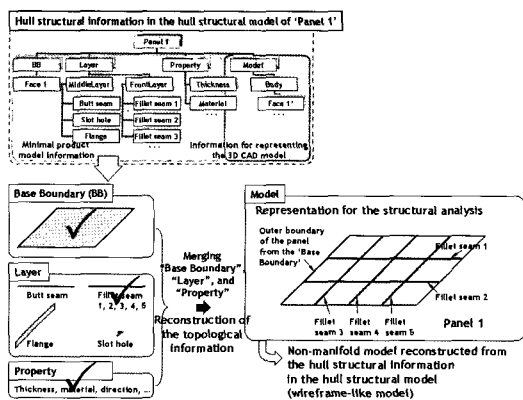


Fig. 7 Reconstruction of the topological information from the hull structural information for generating the structural analysis model of the panel('Panel 1')

용하여 하나의 요소를 구성하는 절점 리스트(list of nodes)를 생성한다. 여기서, 각 절점에서의 최외곽 법선 벡터는 판의 'Property' 중의 하나인 두께 방향으로부터 구할 수 있다. 절점 리스트는 각 절점에서의 탐색 방향으로부터 가장 왼쪽에 위치한 모서리를 따라감으로써 생성할 수 있다. 이 단계의 상세한 과정은 다음과 같다. (1) 하나의 꼭지점을 임의로 선택하여 seed 절점이라 가정한다("seed 절점의 결정"). Fig. 8(c)에서 'N12'를 seed 절점으로 선택하였다고 가정한다. 그리고 'N12'를 시작 절점으로 표시해 둔다. (2) 'N12'를 공유하는 모서리들 중에서 하나의 모서리를 선택한다. 이 그림에서 'E62'를 선택하였다고 가정하면 'N13'이 선택된 모서리의 또 다른 꼭지점이 된다. 따라서 'N12'에서 'N13'을 향한 방향을 절점 리스트를 구성하기 위한 탐색 방향으로 결정한다("탐색 방향의 결정"). (3) 'E62'를 제외하고 'N13'을 공유하는 모서리들을 찾으면 'E82', 'E63', 'E83'이 된다. 'N13'에서의 최외곽 법선 벡터와 플래밍의 오른손 법칙을 이용하여, 'N13'에서의 탐색 방향('N12'에서 'N13'을 향한 방향)으로부터 가장 왼쪽에 위치해 있는 모서리를 찾아낸다. 그 결과 'E82'가 찾아진다("새로운 탐색 방향의 결정"). (4) 현재의 seed 절점을 절점 리스트에 추가한 후 새로운 seed 절점을 'N13'으로, 새로운 탐색 방향을 'N13'에서 'N8'을 향한 방향으로 결정한다("seed 절점 및 탐색 방향의 갱신"). 여기서 'N8'은 (3)에서 찾아낸 모서리 'E82'의 또 다른 절점을 나타낸다. 새로운 seed 절점이 (1)에서 표시해 둔 시작 절점 'N12'가 될 때까지 (3), (4) 과정을 반복한다.

마지막 단계(Fig. 8(d) 참조)에서는, 세 번째 단계에서 생성된 절점 리스트로부터 요소를 생성한다. 이때 절점 리스트 내의 절점의 개수가 3 또는 4개인 경우에만 요소를 생성하게 된다. Fig. 8(d)에서 요소 'EL1'은 'N12', 'N13', 'N8', 'N7'로 구성됨을 알 수 있다. 그리고 나서 첫 번째 단계에서 추출된 판의 두께 및 재질을 생성된 요소의 속성으로 설정한다.

위의 과정을 통해 하나의 요소를 생성하는 방법을 설명하였고, 판 내의 모든 요소를 생성하기 위

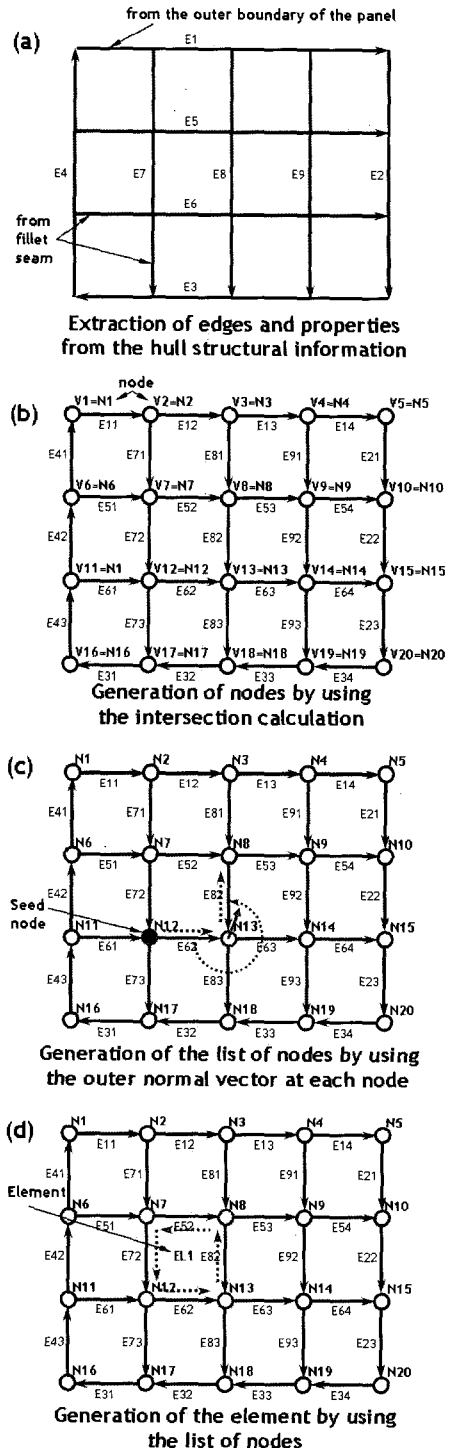


Fig. 8 Overall process of the generation method of one element of the panel('Panel 1')

해서는 위 과정 중에 반복적으로 결정되는 탐색 방향들을 이용하면 된다. 즉, 반복 과정 중 결정되는 탐색 방향을 이미 지나간 탐색 방향들을 저장하기 위한 리스트("Iterated List")에 추가하고, 동시에 반복 과정 중 결정되는 탐색 방향의 반대 방향을 다음에 지나갈 탐색 방향들을 저장하기 위한 리스트("To Iterate List")에 추가한다. 그리고 매번 하나의 요소를 생성하기 위해서는 "To Iterate List"에서 하나의 탐색 방향을 가지고 온 후 이 탐색 방향이 "Iterated List"에 있지 않다면 이 방향의 시작점을 seed node로, 이 방향을 현재의 탐색 방향으로 결정한 후 앞서 설명한 하나의 요소를 생성하는 과정을 수행하면 된다. 이를 "To Iterate List" 내에 저장된 탐색 방향들이 모두 없어질 때까지 수행하면 판 내의 모든 요소들을 생성할 수 있다.

이를 그림으로 설명하면 Fig.9와 같다. Fig. 9(a)는 Fig. 8에서 설명하였듯이 'N12'를 seed 절점 및 시작 절점으로 가정한 후 하나의 요소 'EL1'을 생성한 결과를 나타낸다. 'N12'로부터 탐색을 시작하여 다시 'N12'로 되돌아 올 때까지 결정된 탐색 방향들은 차례대로 'N12'→'N13', 'N13'→'N8', 'N8'→'N7', 'N7'→'N12'이다. 이 탐색 방향들은 앞서 설명한 "Iterated List"에 차례대로 추가되며 동시에 각 방향의 반대 방향 즉, 'N13'→'N12', 'N8'→'N13', 'N7'→'N8', 'N12'→'N7'이 "To Iterate List"에 추가된다. 새로운 요소의 생성을 위해서는 먼저 "To Iterate List"에서 하나의 탐색 방향을 가지고 오고 이 탐색 방향이 "Iterated List"에 있지 않다면 이 방향의 시작점을 seed node로, 이 방향을 현재의 탐색 방향으로 결정한 후 앞서 하나의 요소를 생성하는 과정을 수행하면 된다.

Fig. 9(b)에서는 "To Iterate List"로부터 하나의 탐색 방향 'N13'→'N12'을 가져온 예이다. 이 방향은 아직 "Iterated List"에 존재하지 않는 것이므로 유효한 탐색 방향이 되어 이로부터 새로운 요소 생성 과정을 시작한다. Fig. 9(c)는 탐색 방향 'N13'→'N12'로부터 시작하여 'N13', 'N12', 'N17', 'N18'로 구성되는 새로운 요소 'EL2'를 생성한 결과를 나타낸다. 요소 'EL2'를 생성할 때와

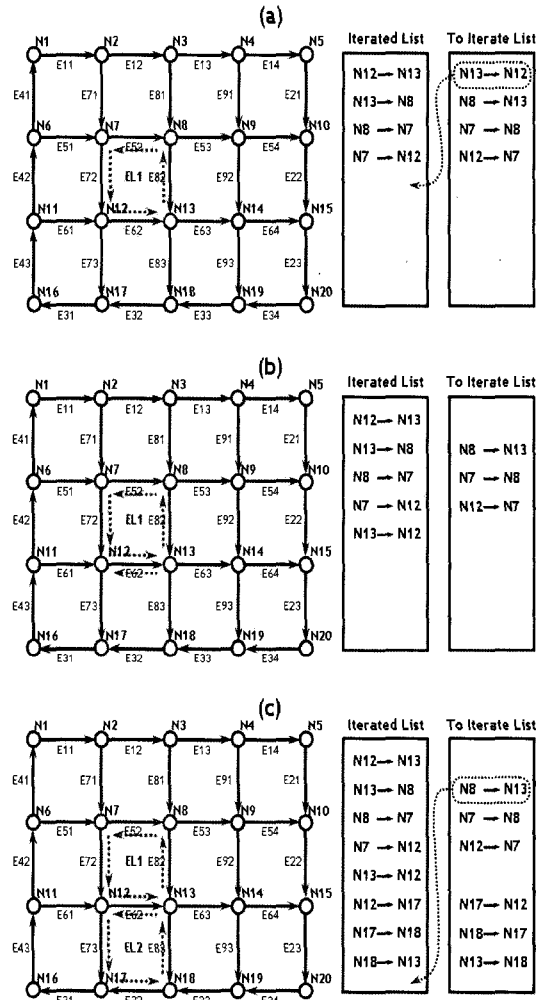


Fig. 9 Overall process of the generation method of all elements of the panel('Panel 1')

마찬가지로 'EL2'를 생성하는 도중에 반복적으로 결정되는 탐색 방향들은 "Iterated List"에 추가되고 동시에 각 방향의 반대 방향이 "To Iterate List"에 추가된다. 단, 탐색 방향 'N13'→'N12'의 반대 방향인 'N12'→'N13'은 이미 "Iterated List"에 존재하므로 "To Iterate List"에 추가되지 않는다. 이와 같이 "To Iterate List"에서 하나의 탐색 방향을 가져올 때마다 새로운 요소를 생성할 수 있으며 "To Iterate List" 내에 저장된 탐색 방향들이 없어질 때까지 수행하면 판 내의 모든 요소



들 즉, 구조 해석 모델을 생성할 수 있다.

3.3 선체 구조 모델의 이상화

3.2절에서 설명하였듯이 본 연구에서 제안한 방법은 판의 최외곽 경계와 접합선 또는 접합선 사이의 교차점에서 절점을 생성하고, 최외곽 경계와 접합선들을 따라 요소를 생성한다. 따라서 Fig. 10(c)에서와 같이 판의 최외곽 경계와 접합선 또는 접합선 사이에 교차점이 존재하지 않는 부분에서는 요소가 생성되지 않는다. 즉, 접합선이 판의 최외곽 경계와 만나지 않을 경우 요소가 생성되지 않는다.

예컨대 Fig. 10의 'Panel 2'와 같이 보강재의 관통을 위해 슬롯 홀이 존재하는 횡판의 경우 이 판 위에 설치되는 접합선은 이 판의 경계와 만나지 않으며 결과적으로 요소들이 생성되지 않는다. 이를 해결하기 위해서 본 연구에서는 선체 구조 모델을 이상화(idealization)하여 구조 해석 모델이 올바르게 생성될 수 있도록 하는 방법을 개발하였다.

Fig. 10은 'Panel 2'에 대한 이상화 과정을 통해 구조 해석 모델을 올바르게 생성하는 예를 나타낸다. Fig. 10(a)는 'Panel 2'에 대한 선체 구조 모델을 나타내고, Fig. 10(b)는 'Panel 2'의 선체

구조 모델로부터 판의 최외곽 경계 및 접합선을 나타내는 모서리들을 추출한 결과이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 슬롯 홀에 의해 접합선의 한 끝이 판의 최외곽 경계와 만나지 않음을 알 수 있다. Fig. 10(c)는 판의 최외곽 경계를 나타내는 모서리와 접합선을 나타내는 모서리 또는 접합선을 나타내는 모서리 사이의 교차 계산을 수행하여 절점을 생성한 결과이다. 이때 판의 경계에 존재하는 접합선으로부터 'Panel 2'와 접합되어 있는 'Panel 1'을 얻어 오고 다시 'Panel 1'로부터 여기에 설치된 접합선들도 가져 온 후 'Panel 2'의 최외곽 경계를 나타내는 모서리와 교차 계산 역시 수행하여 절점을 생성한다. 그리고 난 후 Fig. 10(d)에서와 같이 판의 최외곽 경계와 만나지 않은 모서리가 존재할 경우, 모서리의 해당 꼭지점을 이 점에서 가장 가까운 판의 최외곽 경계상의 절점까지 연장시키게 된다. 선체 구조 모델내의 접합선을 임시로 연장시킴으로써 구조 해석 모델이 생성되도록 하는 이러한 과정을 본 연구에서는 선체 구조 모델의 이상화라고 가정하였다. 마지막으로 Fig. 10(e)는 이상화 과정 후 판의 모든 요소들을 올바르게 생성한 결과를 나타낸다.

3.4 부재 선택 기능과 가상 접합선 추가 기능을 이용한 전선/화물창 구조 해석 모델의 생성

구조 해석 모델은 그 활용 시점에 따라 전선/화물창/국부/피로 구조 해석 모델 등으로 구분되며 일반적으로 요소의 크기에 차이점이 존재한다. 본 연구에서 제안한 구조 해석 모델의 생성 방법은 전선 구조 해석 모델과 화물창 구조 해석 모델을 생성하는데 일차적인 목표를 두고 있다. 전선 구조 해석 모델의 경우 요소 하나의 크기는 보강재 간격의 2~3배이며, 화물창 구조 해석 모델의 경우 요소 하나의 크기는 보강재 간격과 동일하다.

본 연구에서 제안한 구조 해석 모델의 생성 방법은 판에 설치된 접합선 정보를 이용하므로 전선 구조 해석 모델을 생성할 때에는 일부 접합선(예, 판과 보강재 사이의 접합선)이 구조 해석 모델 생성 과정에서 제외되어야 하며, 화물창 구조 해석 모델을 생성할 때에는 판에 설치된 기존의 접합선

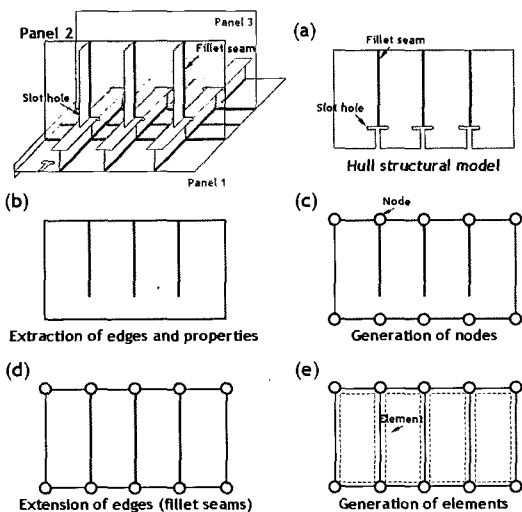


Fig. 10 Example of the idealization of the panel('Panel 2') having the slot hole

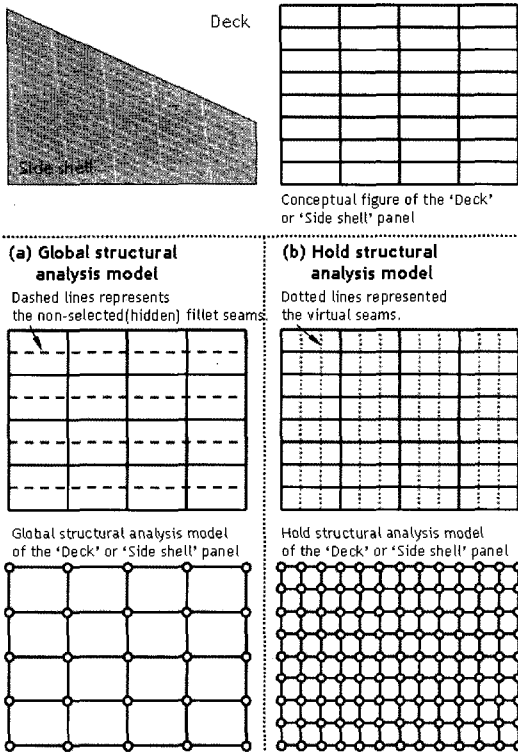


Fig. 11 Examples of the 'select and hide' function and the addition function of the virtual seam for generating the global/hold structural analysis models

외에 구조 해석 모델의 생성을 위한 추가 접합선이 포함되어야 한다. 본 연구에서는 전자의 방법을 구현하기 위해 구조 해석 모델의 생성 과정에 참여하는 부재들을 선택할 수 있는 기능 즉, 부재의 선택 및 제외 기능(select and hide)을 개발하였으며, 후자의 방법을 구현하기 위해 구조 해석 모델의 생성을 위한 임시의 접합선이라는 의미의 가상 접합선(virtual seam)의 추가 기능을 개발하였다. 즉, 본 연구에서는 선체 구조 모델 중에서 일부 보강재 또는 보강재와의 접합선을 구조 해석 모델 생성 과정에서 제외시킴으로써 요소 하나의 크기가 보강재 간격의 2~3배인 전선 구조 해석 모델을 생성할 수 있으며, 또한 가상 접합선을 추가함으로써 요소 하나의 크기가 보강재 간격과 동일한 화물창 구조 해석 모델을 생성할 수 있다.

Fig. 11에는 갑판 또는 선체 외판에 대하여, 부재 선택 기능 및 가상 접합선의 추가 기능을 적용하여 전선 및 화물창 구조 해석 모델을 생성한 예를 나타내고 있다. 그림에 나타나 있듯이 전선 구조 해석 모델의 생성을 위해서 일부 보강재와의 접합선을 제외시켰으며(Fig. 11(a) 참조), 화물창 구조 해석 모델의 생성을 위해서 일부 가상 접합선을 추가하였다(Fig. 11(b) 참조).

### 3.5 상용 구조 해석 시스템과의 인터페이스

본 연구로부터 생성된 구조 해석 모델이 보다 효과적으로 활용되기 위해서는 상용 구조 해석 시스템으로의 인터페이스 기능이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 생성된 구조 해석 모델을 상용 구조 해석 시스템인 PATRAN/NASTRAN 시스템의 입력 파일로 출력할 수 있는 기능을 개발하였다.

## 4. 적용 예

본 연구에서 제안한 구조 해석 모델의 자동 생성 방법은 다양한 선박에 대해 적용을 하였으며 여기서는 그 일부를 나타내었다. Fig. 12는 재화 중량 300,000톤 대형 유조선(이하 300K VLCC라 언급함)의 선체 구조 모델을 나타낸다. Fig. 13은 Fig. 11에 나타난 선체 구조 모델을 이용하여 전선 구조 해석 모델을, Fig. 14는 화물창 구조 해석 모델을 생성한 결과를 나타낸다. Fig. 15는 생성된 전선 구조 해석 모델을 PATRAN 및 ANSYS 시스템에서 가시화한 결과를 나타낸다.

## 5. 결론 및 향후 계획

본 연구에서는 설계자의 수작업에 의존하던 기존의 구조 해석 모델의 생성 작업을 자동화하기 위해 선체 구조 모델의 위상 정보를 재구성함으로써 구조 해석 모델을 자동 생성할 수 있는 방법을 제안하였다. 또한, 설계자의 의도에 따라 전선 및 화물창 구조 해석 모델을 생성하기 위해 부재의 선택 기능과 가상 접합선의 추가 기능을 개발하였으며, 상용 구조 해석 시스템과의 인터페이스를 위해 구조 해석 모델을 PATRAN/NASTRAN 시스

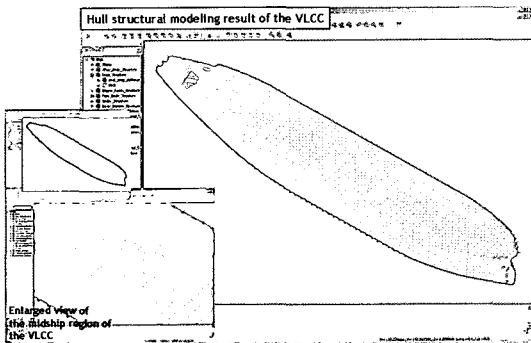


Fig. 12 Result of hull structural modeling of the whole hull structure of the 300K VLCC by using the previously developed system

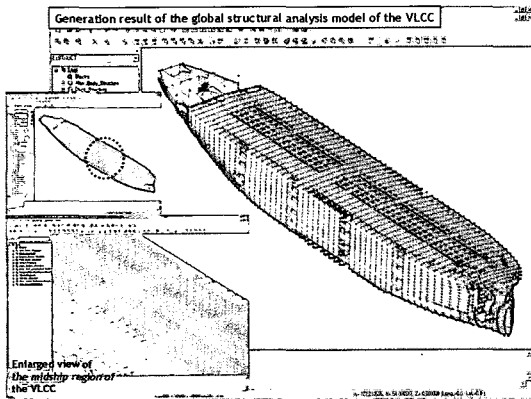


Fig. 13 Result of the generation of the global structural analysis model of the 300K VLCC

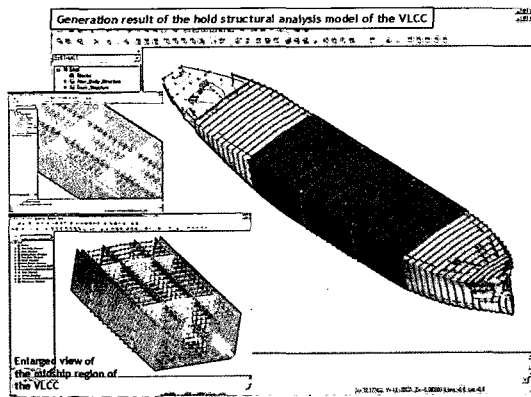


Fig. 14 Result of the generation of the hold structural analysis model of the 300K VLCC

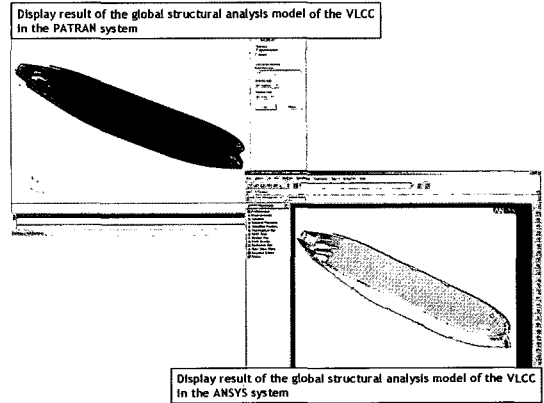


Fig. 15 Result of the display of the global structural analysis model of the 300K VLCC in the PATRAN and ANSYS systems

템의 입력 파일로 출력할 수 있는 기능을 개발하였다. 본 연구에서 제안한 방법의 효용성을 검증하기 위해 이를 재화 중량 300,000톤 대형 유조선의 구조 해석 모델 생성 과정에 적용해 보았다. 그 결과 단 시간 내에 구조 해석 모델을 생성할 수 있음을 확인할 수 있었다.

향후 계획으로는 생성하려는 구조 해석 모델에 따라 요소 하나의 크기를 고려하여 자동적으로 부재를 선택하거나 가상 접합선을 생성하는 기능을 개발할 예정이다. 또한 경계 조건 및 하중 조건을 자동적으로 생성하는 기능을 개발할 예정이다.

### 후 기

본 연구는

- a) 산업자원부 신기술 실용화 기술 개발 사업 과제 “선체 구조의 의미론적 제품 모델링 기술 기반의 생산 계획 모델 및 구조 해석 모델 자동 생성 기술 개발”(과제 번호: 10005460)
- b) 국방과학연구소 수중운동체기술특화센터 SM-11과제 “수중 운동체의 체계/부체계 기능 및 성능 시뮬레이션을 위한 네트워크 기반의 가상(Virtual) 복합 시스템 모델 구조(Architecture) 연구”
- c) 서울대학교 해양시스템공학 연구소

d) 서울대학교 공학 연구소

e) (주)이지그라프

의 지원으로 이루어진 연구 결과의 일부임을 밝히며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김인일, 최종효, 조학중, 서흥원, 2005, "선박의 전선 해석 모델링 시스템을 위한 자료 구조와 요소 생성 알고리즘 개발," 한국CAD/CAM학회 논문집, 제 10권, 제 1호, pp. 61-69.
- 김종현, 이정렬, 염철웅, 손호철, 2001, "홀드 구조 해석 시스템 개발," 대한조선학회 선박설계 연구발표회, pp. 199-210.
- 박성환, 신종계, 1992, "유조선 구조 해석을 위한 유한 요소 입력 자동화 프로그램의 개발," 대한조선학회 논문집, 제 29권, 제 3호, pp. 149-156.
- 박성환, 신종계, 1994, "선체 중앙부 유한 요소 구조 해석을 위한 입력 자동화," 대한조선학회 논문집, 제 31권, 제 4호, pp. 99-108.
- 영재선, 1995, 객체 지향 개념을 이용한 이중 선각 유조선의 모델링과 구조 해석 모델의 자동 생성에 관한 연구, 박사학위논문, 서울대학교.

- 이명기, 1995, VLCC 구조 해석용 유한 요소 모델 자동 생성 프로그램 개발, 석사학위논문, 서울대학교.
- 장범선, 서용석, 김은기, 이태희, 장기복, 송유석, 전민성, 2004, "화물창/전선 FE 자동 모델러를 포함한 통합 구조 해석 시스템 개발," 대한조선학회 추계 학술대회 논문집, pp. 1-16.
- 최우영, 이규열, 노명일, 2005, "선체 구조와의 연관성을 고려한 쾌속 배관 모델링 방법," 2005 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 553-560.
- Lee, S.H. and Lee, K., 2001, "Partial Entity Structure: A Compact Boundary Representation for Non-manifold Geometric Modeling," ASME Journal of Computing & Information Science in Engineering, Vol. 1, No. 4, pp. 356-365.



< 노 명 일 > < 유 성 진 > < 이 규 열 >