

선박의 전선해석 모델링 시스템을 위한 자료구조와 요소생성 알고리즘 개발

김인일*, 최중효**, 조확종***, 서홍원*

A Development of Data Structure and Mesh Generation Algorithm for Global Ship Analysis Modeling System

Kim, I. I.*, Choi, J. H.**, Jo, H. J.*** and Suh, H. W.*

ABSTRACT

In the global ship structure and vibration analysis, the FE(finite element) analysis model is required in the early design stage before the 3D CAD model is defined. And the analysis model generation process is a time-consuming job and takes much more time than the engineering work itself. In particular, ship structure has too many associated structural members such as stringers, stiffeners and girders etc. These structural members should be satisfied as the constraints in analysis modeling. Therefore it is necessary to support generation of analysis model with satisfying these constraints as an automatic manner. For the effective support of the global ship analysis modeling, a method to generate analysis model using initial design information within ship design process, that hull form offset data and compartment data, is developed. In order to easily handle initial design information and FE model information, flexible data structure is proposed. An automatic quadrilateral mesh generation algorithm using initial design information to satisfy the constraints imposed on the ship structure is also proposed. The proposed data structure and mesh generation algorithm are applied for the various type of vessels for the usability test. Through this test, we have verified the stability and usefulness of this system including mesh generation algorithm.

Key words : Ship structure, Finite element, Global ship analysis, Mesh generation, Data structure, Quadrilateral, Initial ship design information

1. 서 론

1.1 연구 배경

다양한 해석 방법의 발달과 컴퓨터 성능의 비약적인 발전으로 인해 조선, 자동차, 항공 등 대부분의 기계부품 설계시 유한 요소 해석이 폭넓게 이용되고 있다. 이러한 추세 때문에 최근 조선 분야에서는 선박 전체를 하나의 유한요소 모델로 해석하는 전선해석이 선박의 설계과정에 보편적으로 사용되고 있다. 그러나 설계 프로세스 중에서 전선 해석이 수행되는 시점상의 특성과 선박의 구조를 해석하기 위한 요소 생성

의 제약조건 때문에 전선 해석을 수행하는데 필요한 해석 모델을 Fig. 1과 같이 도면상의 정보를 직접 입력하는 수작업으로 생성하고 있다. 이 때문에 전선 해석은 굉장히 많은 시간이 걸리게 되며 구조/진동 전선 해석 결과가 필요한 설계 시점에 제대로 전달되지 못하게 하는 주요원인이 되고 있다. 해석자들이 해석할 대상을 분석하는 엔지니어링보다 해석을 수행하기 위한 모델을 생성하는 단순 반복적인 작업에 대부분의 시수를 투입하기 때문에 엔지니어링의 정확도를 악화

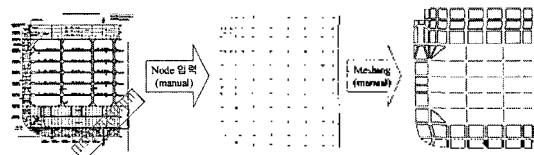


Fig. 1. Current modeling procedure by manual input.

*대우조선해양 정보기술 R&D 팀

**대우조선해양 구조 R&D 팀

***대우조선해양 IT 기획팀

- 논문투고일: 2004. 04. 13

- 심사완료일: 2004. 09. 23

시키게 된다. 그러므로, 해석 시간을 단축하고 정확한 해석 결과를 얻기 위하여 해석 모델 생성 자동화를 통한 모델링 시간 단축이 필요하다.

1.2 전선 해석 모델의 특징

선박의 설계 과정은 크게 기본설계, 상세설계, 생산설계의 3단계로 나눌 수 있다. 기본 설계 단계에서는 선박의 외관 형상을 설계하는 선형 설계(hull form design)와 화물 적재 능력 및 선박 안정성을 평가하는 기본 계산(basic calculation), 선체의 중앙횡단면이나 선체의 주요부분에 대한 기본적인 구조설계(initial structure design)가 이루어지며 이 모든 작업들은 CAD 모델이 없는 상태에서 수행되게 된다. Fig. 2에는 선박의 대략적인 설계 과정에서 전선 해석이 수행되는 시점을 보여준다.

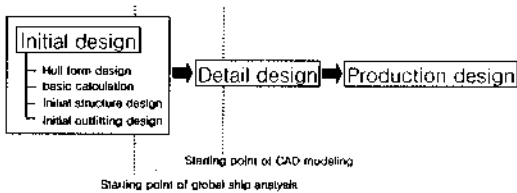


Fig. 2. The starting point of global ship analysis in the general ship design process.

Fig. 2에서 보이는 바와 같이 전선해석은 기본 설계 단계에서 수행되게 되며 기본 설계 단계의 시점적 특성상 전선 해석 모델링 작업은 CAD 모델이 없는 상태에서 수행된다. 그러므로 전선 해석 모델링 자동화를 위해서는 CAD 모델이 아닌 기본 설계 시점에서 사용 가능한 전산 data를 이용하여야 한다.

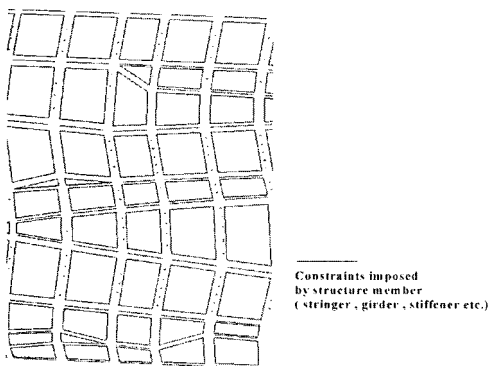


Fig. 3. Example of mesh which is generated with satisfying constraints.

선체는 매우 복잡한 자유곡면 형태의 선체 외관과 평면 형태의 내부재로 구성되며, 항공기, 자동차 혹은 일반기계부품에서 사용하는 메쉬와는 다른 형태의 메쉬를 사용하여 해석 모델을 생성한다. 일반적인 기계부품에서는 특정한 제약조건 없이 부품의 형상을 만족하도록 메쉬를 구성해주면 되지만 선박 모델의 경우 Fig. 3과 같이 해석자가 원하는 부분에 특정한 노드가 생성되어야 하고 그 노드를 따라서 메쉬가 생성되어야 한다. 즉, 해석자는 해석식 girder나 deck 혹은 stiffener와 같은 구조물이 설계된 위치에서의 해석 결과를 얻기 바라기 때문에 이러한 위치를 제약조건으로 하여 이 조건을 만족하도록 메쉬를 생성하도록 해야한다. 또한 해석결과를 선주/선급사와의 승인과정에 사용해야 하기 때문에 만족스러운 해석 결과를 얻을 수 있도록 가능한한 사각 메쉬를 사용해야 한다.

기하정보만을 이용해서 사각 메쉬를 만드는 알고리즘들은 많은 수치계산을 필요로 하게 되므로 사각 메쉬를 생성하는 데에 시간이 많이 걸리며 그 안정성도 높지 않다. 특히 위에서 언급한 제약조건을 만족하면서 복잡한 곡면에 사각 메쉬를 생성해야 하는 경우 생성 과정은 더욱 복잡해지게 된다. 현업에서 이러한 방법들을 이용하여 전선 해석 모델을 만드는 경우 많은 시간과 시행착오가 필요하므로 오히려 수동으로 모델링하는 것보다 많은 시간을 필요로 하게 된다. 그러므로 전선 해석 모델링에 적합한 빠르고 강건한 사각 메쉬 생성 알고리즘이 필요하다. 여기서 강건하다는 것은 생성과정 중에 어떠한 입력조건에서도 수치적 어려움이 사각 메쉬를 안정적으로 생성하는 것을 의미한다.

1.3 연구 목적 및 범위

본 연구의 목적은 전선 해석을 효과적으로 지원하기 위하여 전선 해석이 수행되는 초기 설계 시점의 정보를 이용하여 전선 모델링을 자동화하는 방법을 연구하는 것이다.

본 연구에서는 선박의 초기 설계 정보를 이용한 해석 모델 자동 생성에 적합한 자료구조와 주어진 제약조건을 만족시키면서 빠르고 강건하게 사각 메쉬를 생성하는 알고리즘을 제안하고 구현하였다.

1.4 관련연구현황

주어진 곡면을 사각화하는 알고리즘은 많은 연구가 있어 왔다. 그 방법은 직접 사각화 방법과 간접 사각화 방법으로 나눌 수 있다¹⁾. 그러나 주어진 방법들은

일반적인 기계 부품들을 대상으로 하기 때문에 외곽 경계와 내부 hole이 존재하는 곡면이나 평면에 대하여 사각 메쉬를 생성하는 방법들¹²⁻¹⁴⁾이며 선박과 같이 구조물에 의해 나타나는 제약조건을 만족하면서 곡면이나 평면에 사각 메쉬를 생성해야 하는 경우에는 적합치 않았다.

선체 외판을 곡선/곡면 이론과 컴퓨터를 이용하여 모델링 하기 시작한 이후 그 정보를 이용하여 해석에 필요한 요소 정보를 얻어내려는 많은 연구가 있었다. Jense¹⁵⁾와 윤태경, 김동준¹⁶⁾의 논문에서는 선체 곡면을 삼각화 한 이후에 그것들을 병합하여 사각형 메쉬를 생성하는 간접 사각화 방법을 소개하였다. 그러나 두 방법 모두 특별한 제약조건이 없는 유체계산을 위한 해석 모델 생성에는 효용성이 있으나 Fig. 3과 같이 제약조건을 만족하는 메쉬를 얻어내기에는 어려움이 있으며 그것을 만족하지 못하는 메쉬는 실제 해석 과정에서 사용이 쉬지 않다.

어떤 영역에 대하여 제약조건을 만족하는 메쉬를 생성하는 연구에는 Lee¹⁷⁾ 등의 연구가 있다. 여기서는 간접 사각화 방법으로 사각 메쉬를 생성하는 Q-Morph¹⁸⁾ 방법을 개선하여 제약조건을 가지는 임의의 영역에서 사각 메쉬 형성에 관한 알고리즘을 제시했으나 알고리즘이 복잡하고 많은 수치 계산을 필요로 하기 때문에 빠르고 안정적으로 메쉬를 생성해야 하는 본 연구의 특성에는 적합하지 않았다.

권진철 등¹⁹⁾의 연구는 상용 소프트웨어를 이용하여 선체의 특징적인 형상을 고려한 선체 해석 모델을 자동으로 생성하는 방법에 관한 연구이며 CAD 모델이 존재하는 상태에서 해석 모델을 생성하는 방법에 대한 연구이다. 그러나 CAD 모델이 존재하지 않는 전선해석 시점에서는 적용이 어렵고 각각의 선형에 대하여 모델링 방법을 구축하여야 하는 단점도 있다.

따라서 본 연구에서는 전선해석시점에서 획득 가능한 전산정보로부터 해석 모델링 자동화에 사용 가능한 정보를 분류해내는 방법에 대해 연구하고, 얻어진 정보로부터 선종에 관계없이 제약조건을 가지는 선체 외판에 대한 요소를 생성하는 알고리즘을 제안하였다.

2. 초기 선박 설계 정보

초기 선박 설계 정보란 구체적인 CAD 모델이 존재하지 않는 선박 기본 설계 단계에서 사용 가능한 설계 정보를 의미한다. 본 연구에서는 선박 기본 설계 단계의 정보 중에서 구조 정보를 포함한 선형 정보와 기본

계산을 위한 구획 정보를 이용하였다.

기본적인 구조 설계를 통해 girder, deck, stringer, longitudinal stiffener와 같은 구조부재 위치가 결정되게 되며 이 정보를 선형 설계 정보와 결합하면 구조 정보가 포함된 선체 외판의 형상 정보를 얻을 수 있다. Fig. 4에는 구조 정보가 포함된 선체 외판의 형상 정보가 나와있고 Fig. 5에는 그 정보를 가시화한 모습을 보여준다. 선박의 일반적인 설계 프로시저상 어떤 시스템을 사용하는 경우라도 이러한 구조 정보가 담긴 선형을 전선 구조 해석 시점에 얻을 수 있다.

FRAME NUMBER = 6		Frame Number	
		(X coordinate)	
	CURVE ISO	-Y-	-Z-
Main structure node (Girder, Stringer etc.)	CLAIT	6	19500
	SEAM 121	200	19577
	SEAM 104	2300	20415
	STRU 333	2720	20400
	SEAM 103	3957	20700
	STRU 335	4000	21172
	SEAM 102	6649	22730
	STRU 334	7003	23008
Longitudinal stiffener node	SEAM2091	8420	24500
	STRU 332	9305	25500
	SEAM 101	9156	25700
	LONG 387	9546	26000
	LONG 388	9844	27600
	LONG 269	2988	28600
	SEAM 150	10060	29300
	LONG 390	10000	29600
	LONG 391	10000	30550
	STRU 315	10000	31482
	SEAM 05	10000	31764
	WLA36T	10000	36000

Fig. 4. Example of offset data which generated by structure offset table module.

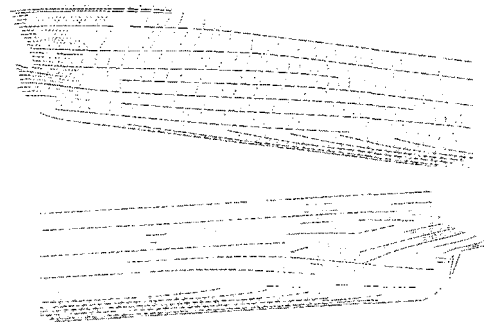


Fig. 5. The shape of landing line appeared by intersecting hull surface with structure part such as girder or stringer etc. (Container vessel).

선박의 유체적 안정성을 평가하기 위한 기본 계산 시 화물창이나 엔진룸과 같은 볼륨들이 정의되는데 이 정보를 구획 정보라 한다. 구획 정보는 초기에 나오는 설계 정보이므로 전선 구조 해석 시점에 사용할 수 있고 구획면은 격벽과 같은 선체 주요 구조 부재의 형상으로 치환하여 사용할 수 있다. Fig. 6에는 구획 정보의 형태와 가시화된 모습이 나와 있다.

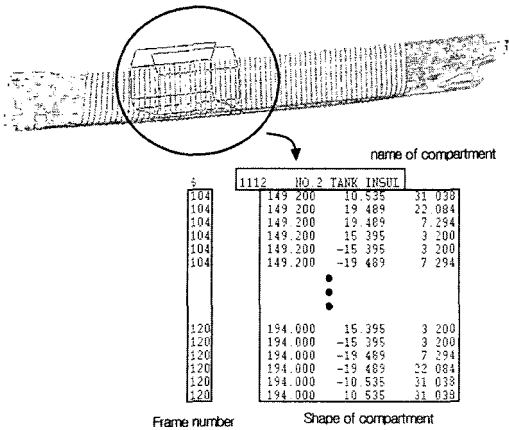


Fig. 6. Example of compartment information to acquire internal structure shape (LNG carrier NO. 2 hold).

3. 초기 설계 정보를 이용한 자료 구조

선박의 초기 설계 정보를 이용하여 해석 모델을 생성하기 위해서는 일반적인 기하 형상을 이용하여 메쉬를 생성하는 자료 구조가 아닌 특별한 자료구조가 필요하다. 본 연구에서는 선박의 초기 설계 정보와 해석 모델 정보를 모두 저장하고 제어할 수 있는 자료구조를 설계하고 구현하였다.

선박의 초기 설계 정보인 선형 정보와 구획 정보는 frame이라는 단위로 정의된다. Frame이란 선박 설계시 구조물이나 구획이 배치되는 길이방향 위치를 나타내는 정보로서 선형의 형상이나 구획 형상의 X 좌표를 표현하기 위해 선박 설계에서 사용하는 특징적인 좌표축이다. 선형 정보나 구획 정보를 이용하기 위해서는 frame 단위로 정보를 제어할 수 있어야 한다. Fig. 7에는 frame에 대한 예가 나와있다.

메쉬에 대한 정보를 저장하기 위해서는 중복되는 노드가 존재하지 않도록 자료구조를 설계해야 한다.

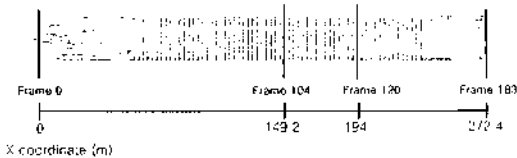


Fig. 7. Example of frame.

중복되는 노드가 존재하지 않는다는 것은 어떤 하나의 노드가 여러 개의 메쉬에서 사용될 수 있지만 실제로 노드는 하나만 존재해야 한다는 것을 의미한다.

또한 메쉬는 일반적으로 노드를 정의한 이후 노드의 인덱스를 참조하여 파일에 저장하게 되므로 이러한 구조에 맞추어 노드를 배열에 저장할 수 있도록 자료구조를 정의해주어야 한다.

또한, 차후 해석 모델을 효과적으로 다룰 수 있도록 입력되는 정보와 생성되는 정보를 그룹화하여 저장할 수 있어야 한다.

위 3가지 조건들을 만족할 수 있도록 자료구조를 설계하였다. Fig. 8과 Fig. 9에는 각각 설계된 자료구조의 클래스 다이어그램과 데이터 플로우 다이어그램이 나타나 있다.

제안된 자료 구조에서는 입력받은 초기 설계 정보를 frame 단위로 저장하고 저장된 정보를 이용하여 해석 모델에 필요한 노드와 메쉬를 생성할 수 있도록 되어 있으며 저장되고 생성된 정보들을 유연하게 관리할 수 있도록 되어 있다. 또한 내부의 정보들을 그룹화할 수 있도록 되어 있다. Fig. 9의 오른쪽에 있는 노드 배열에는 노드의 위치정보와 속성과 같은 정보가 담기게 되고, 배열 형태로 저장된 데이터는 인덱스를 통해 접근할 수 있다. Frame 리스트는 선박의 frame에서의 선체 외관과 구획 형상들을 저장하며, 각각의 frame에는 frame을 구성하는 노드들의 정보를 포함하기 위하여 노드 배열의 인덱스에 대한 리스트를 가지고 있다. 메쉬 리스트와 1차원 요소에 대한 리스트는 요소에 대한 정보를 가지고 있으며 메쉬 리스트는 삼각형, 사각형 모두 저장 가능하다. 요소 리스트는 노드정보를 노드의 배열 인덱스를 가지는 배열

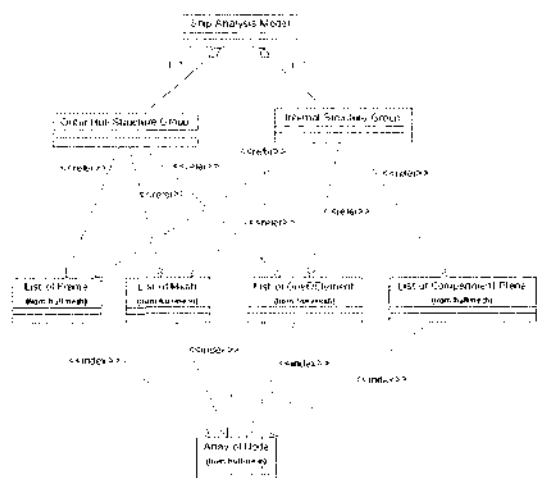


Fig. 8. The class diagram of proposed data structure for easy handling of initial design information and FE model information.

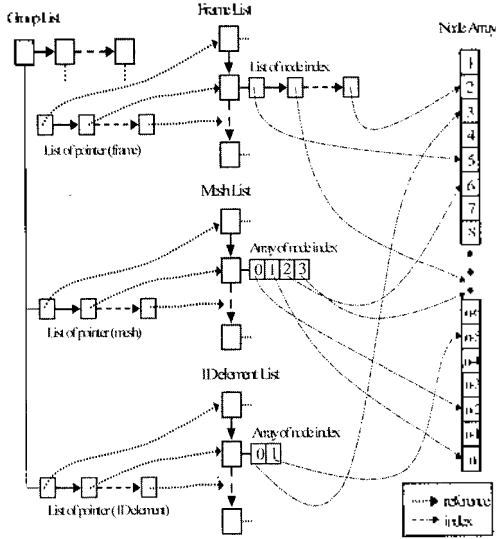


Fig. 9. The data flow diagram of proposed data structure for easy handling of initial design information and FE model information.

열로 가지고 있다. 그룹 리스트는 그룹에 대한 정보를 리스트로 가지고 있으며 각각의 그룹은 그 그룹에 속한 frame, 메쉬, 1차원 요소 객체에 대하여 각각의 리스트에서의 주소인 포인터들의 리스트를 가지고 있다. 이같은 구조로 데이터 정의시 그룹 리스트로부터 계층적으로 topdown 방식으로 접근이 가능하고, 각각의 단일 리스트와 배열에 대한 접근도 가능하다.

4. 제약조건을 만족하는 요소생성 알고리즘

4.1 선형 정보를 이용한 선체 외판 요소화 알고리즘

선체 외판의 메쉬를 생성할 때 가장 중요한 점은 구조 정보들에 의해서 나타나는 제약조건을 만족하는 사각 메쉬를 빠르고 강건하게 생성하는 것이다. 기하정보만을 이용하여 메쉬를 생성하는 경우 이러한 제약 조건들을 만족하는 사각 메쉬를 생성하는 것은 매우 어려운 일이며 아직도 많은 연구가 진행되고 있기는 하나 개발된 알고리즘들이 불완전하다. 특히 선체 구조 정보를 포함하는 자유곡면인 선체 외판과 같은 부분의 모델링에는 현존하는 알고리즘만을 적용하여서는 원하는 메쉬를 얻어낼 수 없다. 그 이유는 이러한 일반적인 알고리즘들이 단지 기하학적인 정보만을 이용해서 메쉬를 만들기 때문이다. 본 연구에서는 이러한 단점을 극복하기 위하여 구조 부재의

landing property를 사용하여 위에서 나열한 조건을 만족하는 비교적 간단한 메쉬 생성 알고리즘을 설계 구현하였다. Algorithm 1에는 본 연구에서 개발된 선형 정보를 이용한 선체 외판에 대한 메쉬 생성 알고리즘의 Pseudo-code가 나타나 있고, Fig. 10는 특정 경우에 대한 메쉬 생성 알고리즘의 실행순서가 나타나 있다.

알고리즘의 기본적인 개념은 특정 frame과 인접 frame의 노드 정보를 비교하여 노드의 부재 landing 정보가 같은 경우에만 메쉬를 만드는 것이다. 두 frame의 윗부분부터 아래로 순차적 search를 하면서 match case인 경우에 메쉬를 생성한다. Fig. 10(a)에 match case 즉, 연결된 부재가 맞는 경우에 사각형 메쉬가 생성되는 case를 보여준다. Fr1의 302 노드는 Fr2의 302 노드와 연결되고 Fr1의 303 노드는 Fr2의 303 노드와 연결된다. 노드의 번호는 부재의 landing 정보이므로 생성되는 메쉬는 항상 제약조건을 만족하게 된다. Fig. 10(b)의 경우는 303 노드는 match되지만 바로 밑에 있는 노드는 Fr1에서는 305 노드, Fr2에서는 352 노드로 서로 달라서 메쉬가 자동으로 생성되지 않는 것을 볼 수 있다. 즉, 부재 번호가 틀린 노드를 잘못 연결하는 경우 해석자가 원하지 않는 메쉬를 만들 수 있고 그 결과가 다음 메쉬 생성에 전이될 수 있으므로 이 경우에는 Fr1, Fr2를 search 하면서 그 다음 match case를 찾아 알고리즘을 진행한다. Fig. 10(c)의 경우가 match 되지 않은 상황에서 그 다음 match case를 찾아 메쉬가 생성된 모습을 보여준다. 이러한 방법으로 frame이 끝날 때까지 메쉬 생성을 계속하면 2개의 frame에 대한 메쉬생성이 완료된다. Fig. 10(d)는 (a)(b)(c)에서 설명하였던 방법으로 메쉬가 만들어진 실제 예를 보여준다. 짐작으로 표시된 사각형안이 그 예이다.

```

1 WHILE(frame exist)
2   Select this frame and neighbor frame
3   WHILE(node in each two frame exist)
4     Search match case node pair
5     IF(find node match case pair) THEN
6       Compare structure information of next node pair
7       IF(next node pair is match case) THEN
8         Make quadrilateral
9       ELSE go to line 4
10      ELSE break & go to line 1

```

Algorithm 1. Pseudo-code of proposed quadrilateral mesh generation algorithm using hull form information in order to make analysis model of outer hull structure.

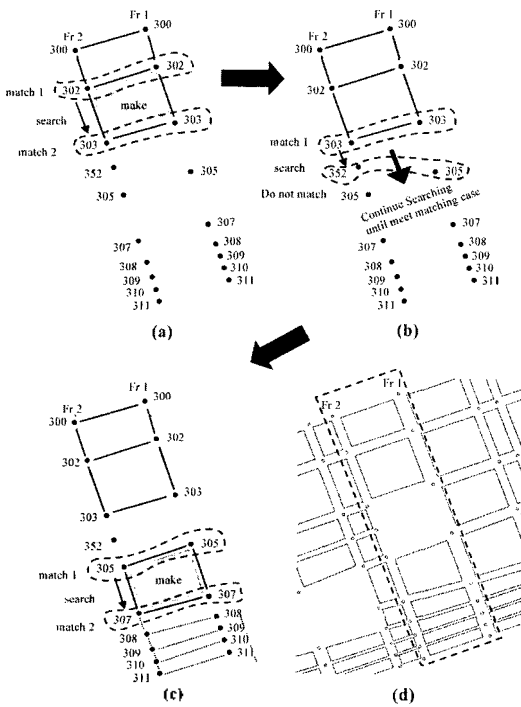


Fig. 10. Procedure of proposed mesh generation algorithm (a) matching case (b) not matching case (c) matching case after not matching case (d) real example.

여기에서 메쉬가 생성되지 않고 비어있는 영역들이 있는 것을 확인할 수 있는데 이 부분은 구조 부재의 정보가 연속되지 않은 부분이다. 이 부분에 직간접 사각화 방법들^{12, 11)}을 이용하여 메쉬 생성이 가능하나 비어있는 부분이 나타나는 빈도가 낮고, 부재 정보가 연속되지 않은 상태에서 메쉬가 만들어질 경우 해석자가 원하지 않는 형태의 메쉬가 생성될 가능성이 매우 높으며, 잘못된 메쉬를 수정하는데 필요한 시간은 비어있는 부분에 메쉬를 새로 생성하는 것보다 훨씬 많이 소요되기 때문에 때문에 부재의 연속정보가 연속되지 않은 부분에서는 메쉬를 생성하지 않도록 알고리즘을 구성하였다.

본 연구에서 제시된 알고리즘은 제약조건을 만족하는 사각 메쉬를 생성하면서도 비교적 간단하고 수치 계산을 많이 수행하지 않기 때문에 메쉬를 빠르고 안정적으로 생성할 수 있다. 이 알고리즘을 통해 본 연구에서는 선종에 관계없이 선체의 외관에 주어진 제약조건을 만족하면서 해석과정에서 바로 사용할 수 있는 사각 메쉬를 빠르고 강건하게 만들 수 있다.

Fig. 11~Fig. 13은 개발된 알고리즘을 이용하여 컨

테이너선, Ro-Ro 선, LNG 선의 외관에 메쉬를 생성한 결과이며 구조부재의 제약조건을 만족하면서 메쉬를 생성하는 모습을 확인할 수 있다.

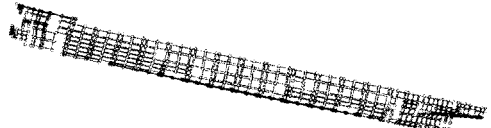


Fig. 11. Example of global ship mesh model generated by developed algorithm (4100TEU Container Vessel).

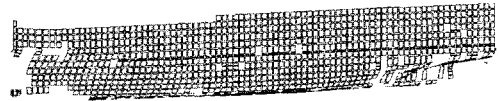


Fig. 12. Example of Ro-Ro analysis model generated by developed system with proposed mesh generation algorithm.

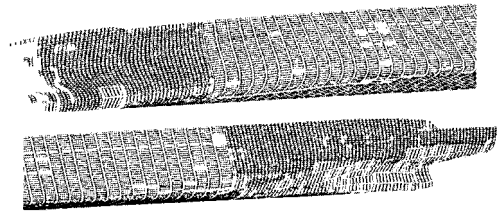


Fig. 13. Example of LNGC analysis model generated by developed system with proposed mesh generation algorithm.

4.2 구획 정보를 이용한 선체 내부 요소화 알고리즘

Fig. 6에서 보이는 바와 같이 선박의 구획 정보를 이용하여 선체 내부의 주요 부재 형상을 얻어올 수 있었다. 면으로 표현된 구획 형상면 위에 구조 제약조건과 선체 외판과의 연결관계를 고려한 노드와 메쉬를 생성하였다. 선체 외판의 노드와 구획면의 노드가 stringer나 stiffener와 같은 내부재에 의해 연결되는데 이것이 선체 외판과의 연결관계를 의미하며 이 연결관계는 구획면에 노드와 메쉬를 생성하는 제약조건이 된다. Fig. 14는 선체 외판의 노드와 구획면의 노드간 연결관계를 나타내고 있으며 이 연결관계에 따라 구획면에서의 노드의 위치가 결정될 수 있음을 보여준다.

이러한 제약조건을 만족하기 위하여 선체 외판에 작업되어 있는 노드 정보를 구획면에 투영시켜서 노드를 생성하고 선체 외판의 구조부재가 지나가는 정보를 만족하도록 사각 메쉬를 생성하게 된다. 이때 생성되는 노드는 선체 외판에서와 같이 구조부재의 속

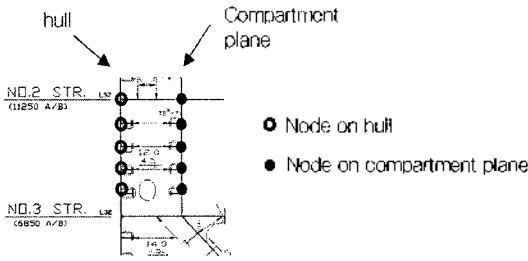


Fig. 14. Example of connecting relation between node on hull and node on compartment plane.

성을 가지면서 자료 구조에 들어가고 이들 정보를 이용하여 4.1에 언급한 선체 외관에서의 매쉬생성 알고리즘을 적용하면 구조부재의 landing line에 의해 나타나는 제약조건을 만족하면서 매쉬가 생성된다.

Algorithm 2에는 본 연구에서 개발된 선박의 구획

```

1. Make Compartment planes from compartment information
2. WHILE (Compartment plane exists)
3.   Project hull node on the compartment plane
4.   Make Internal frames with nodes of compartment plane
5.   WHILE (frame exist)
6.     Select this frame and neighbor frame
7.     WHILE (node in each two frame exist)
8.       Search node pair with match case
9.       IF (find node pair with match case) THEN
10.        Compare structure information of next node pair
11.        IF (Next node pair is match case) THEN
12.          Make quadrilateral
13.        ELSE go to line 8
14.        ELSE break & go to next frame
    
```

Algorithm 2. Pseudo-code of proposed quadrilateral mesh generation algorithm using compartment information and hull form information in order to make analysis model of ship internal structure.

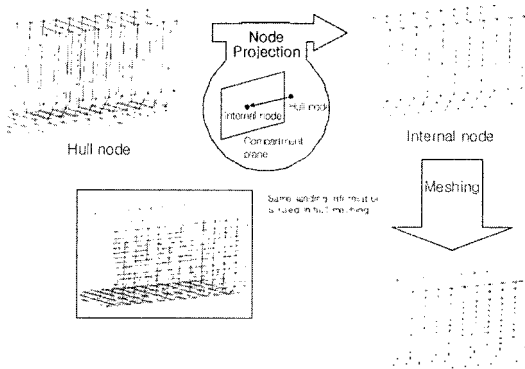


Fig. 15. Process of generating node & mesh on the patch surface using hull node and hull mesh information.

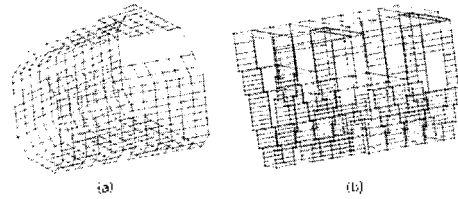


Fig. 16. Example : (a) LNG No. 1 tank (b) Container No. 3 hold.

정보와 선형 정보를 이용한 선박의 내부재에 대한 매쉬 생성 알고리즘의 pseudo-code가 나타나 있고 Fig. 15는 선체 외관에서의 노드 정보를 이용해서 VLCC 중앙부 화물창의 구획면에 노드와 매쉬를 생성하는 과정이 나타나 있다. 이 알고리즘은 특정한 선종에 제한되지 않고 구획면이 존재하기만 하면 선체 외관으로부터 정보를 얻어서 그 정보를 만족하는 노드와 사각 매쉬를 생성할 수 있다. Fig. 16에는 다른 선종들의 특정 구획에 대한 예가 나와있다.

5. 적용 예제 및 평가

제안된 자료구조와 매쉬 생성 알고리즘을 다양한 선박의 해석 모델 생성 과정에 적용하여 보았다. Fig. 17에 적용한 결과가 나타나 있다. (a), (b), (c) 열은 각각액화천연가스 운반선(LNGC), 컨테이너선, 대형 원유운반선(ULCC)의 해석 모델링 과정에 적용한 결과이다. Fig. 16의 첫번째 행은 구조 제약조건을 만족하도록 선체의 외관에 사각 매쉬를 생성한 모습을 보여주고 있는데 복잡한 곡면을 만족하면서 매우 우수한 형태의 매쉬를 생성하고 있음을 확인할 수 있다. 두번째 열은 각각의 선종들의 구획면의 형상을 나타내고 있으며 선박의 주요 구조물 정보로 치환 가능함을 보여주고 있다. 마지막으로 세번째 열에서는 구획면과 선체 외관 정보를 이용하여 선체 내부재를 모델링한 모습을 보여준다.

제시된 적용 예제를 통해 제안된 자료구조와 알고리즘을 통해 구조 제약조건을 만족하는 높은 품질의 사각 매쉬를 생성할 수 있음을 확인할 수 있다.

또한 실제 해석 프로젝트에 적용해 본 결과 전선 해석 모델링 시간을 절반 이하로 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 선박의 초기 설계 정보를 이용한 해

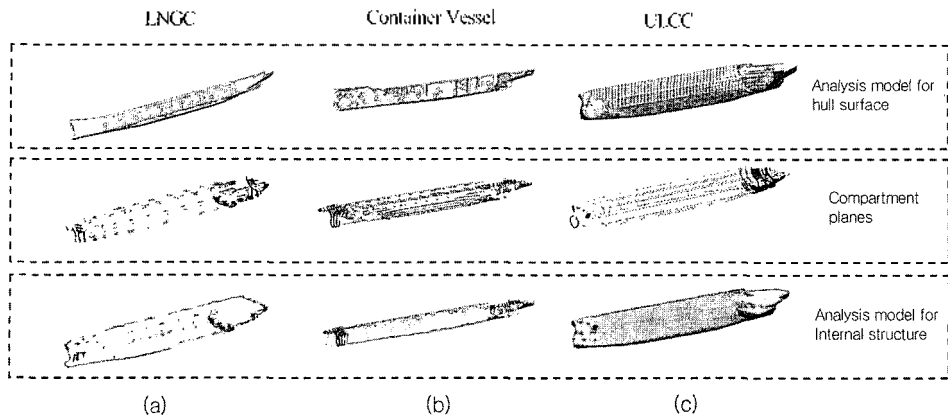


Fig. 17. Example of applying proposed algorithm to create various vessel analysis models (a) LNG carrier (b) Container vessel (c) Ultra large crude oil carrier.

석 모델 자동 생성에 적합한 자료구조와 주어진 제약 조건을 만족시키면서 빠르고 강건하게 사각 요소를 생성하는 알고리즘을 제안하고 구현하였다. CAD 모델이 존재하지 않는 초기 설계 단계의 전선 해석 시점에서 사용 가능한 설계 정보인 선형 정보와 구획 정보를 이용하여 해석 모델링을 정의할 수 있는 자료구조를 제안하였고, 구조부재의 위치나 연결관계에서 나타나는 구조 제약조건을 만족하는 빠르고 강건한 사각 메쉬 생성 알고리즘을 제안하였다. 아울러 제안된 자료구조와 메쉬 생성 알고리즘을 구현하여 다양한 선박 예제에 적용하여 그 성능을 평가하여 보았다.

참고문헌

1. S. J. Owen, A Survey of Unstructured Mesh Generation Technology. Proceedings of the Seventh International Mesh Round Table, Dearborn, Michigan, October 1998. p. 239-267.
2. 김형일, 채수원, "드립 곡면상에서 사각형 요소망의 자동생성", 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제4권, 제2호, pp. 153-161, 1999.
3. D. Nowotny, "Quadrilateral Mesh Generation Via Geometrically Optimized Domain Decomposition", Proceeding of the Sixth International Mesh Round Table, Park City Utah, 1997.
4. Armstrong CG, TKH, "2D Finite Element Mesh Generation by Medial Axis Subdivision", Adv. Eng. Soft. Vol. 13, pp. 313-324.
5. B. Joe, "Quadrilateral Mesh Generation in Polygonal Regions", *Comp. Aided Des.*, Vol. 7, pp. 209-222, 1995.
6. TD, Blaker and MB, Stephenson, "Paving: A New Approach to Automated Quadrilateral Mesh Generation", *Int. J. Num. Method Eng.*, Vol. 32, pp. 811-847, 1991.
7. CK Lee and SH Lo, "A New Scheme for the Generation of a Graded Quadrilateral Mesh", *Comp. Struc.*, Vol. 52, No. 5, pp. 847-857, 1994.
8. SJ Owen, ML, Staten, SA Canann and S Saigal, "Q-Morph: An Indirect Approach to Advancing From Quad Meshing", *Int. J. Num. Method Eng.*, Vol. 44, pp. 1317-1340, 1999.
9. P. S. Jensen, "Automatic Panel Generation for Seakeeping and Wave Resistance Calculations", CFD and CAD in ship Design, Elsevier, pp. 133-146, 1990.
10. 윤태경, 김동준, "선체 곡면의 자동 요소화", 한국해양공학회지, 제11권, 제2호, pp.138-144, 1997.
11. Lee, K.-Y., Kim, I.-I., Cho, D.-Y. and Kim, T.-W., "An Algorithm of Automatic 2D Quadrilateral Mesh Generation with Line Constraints", *Comp. Aided Des.*, Vol. 35, pp. 1055-1068, 2003.
12. 권진철, 강호열, 허옥재, 김중서, "선박의 CAD/CAE Interface 및 자동요소 생성기술", 2001 한국 CAD/CAM 학회 학술 발표회 논문집, pp. 405-412, 2001.



김 인 일

2000년 서울대학교 조선해양공학과 학사
2002년 서울대학교 조선해양공학과 석사
2002년~현재 (주)대우조선해양 정보기술
R&D팀 연구원
관심분야: 조선 CAD, 선산기하, mesh
관련 기술, CAID/CAE Interface



최 증 효

1998년 인하대학교 선박해양공학과 학사
2000년 인하대학교 선박해양공학과 석사
2000년~현재 (주)대우조선해양 구조
R&D팀 연구원
관심분야: 선박전선구조해석, 동적해석,
충돌해석



조 학 중

1985년 인하대학교 조선공학과 학사
2000년 서울대학교 조선해양공학과 석사
2000년~현재 (주)대우조선해양 (현 IF 기
획팀 팀장)
관심분야: 조선 CAD, 선박 제품 모델
링, IT 인프라 기획



서 흥 원

1985년 인하대학교 조선공학과 학사
1991년 부산대학교 대학원 공학석사
1991년~현재 (주)대우조선해양 (현 정보
기술 R&D 팀장)
관심분야: 조선 CAD, 선박 제품 모델
링, 시뮬레이션, 동시공학 설계