

그래프 이론을 기반으로 한 선박의 블록 어셈블리 모델링

조학종*, 이규열**

Ship block assembly modeling based on the graph theory

Hag-Jong Jo* and Kyu-Yeul Lee**

요 약

본 연구에서는 수작업으로 행해지는 블록 어셈블리 순서 결정과 같은 조선 공정계획을 자동화하기 위하여 선박의 어셈블리 모델을, 그래프 이론을 기반으로, 기하, 관계, 순서 및 계층의 4단계 모델로 구성하는 방법을 제안하였다. 기하모델은 CAD로부터 입력받는 부품들의 기하형상에 일부 속성 값(판부재, 보강재)을 부기한 것이다. 어셈블리 부품간 연결관계를 표현하기 위한 관계 모델을 기하 모델의 곡면간 교차계산을 통해 생성하고, 블록 어셈블리 순서와 구성관계를 나타내기 위해, 관계 모델로부터 그래프 알고리즘과 조선소의 조립 방법을 그래프 탐색 규칙으로 사용해서, 순서모델을 생성하였으며, 이를 위상정렬하여 어셈블리 계층 및 부품 리스트를 표현하는 계층 모델을 생성하였다. 끝으로 위에서 제안한 4단계에 따라 Single type, double bottom type과 같은 대표적인 블록 어셈블리 모델을 대상으로 본 연구에서 제안한 방법의 타당성을 검증하였다.

Abstract

This study shows an attempt to generate an assembly sequence and its model for a ship block assembly using the graph theory and graph algorithms. To generate the ship block assembly, we propose four levels of the ship block assembly model such as "geometry model", "relational model", "sequential model", and "hierarchical model". To obtain the relational model, we used surface and surface intersection algorithm. The sequential model that represents a possible assembly sequence is made by using several graph algorithms from the relational model. The hierarchical model will be constructed from the sequential model in order to represent the block assembly tree and so forth. The purpose of the hierarchical model is to define an

접수일자: 2000년 7월 6일, 승인일자: 2001년 3월 15일

*정회원 대우중공업 선박해양기술연구소 (E-mail: hjjo@dwship.com)

**정회원 서울대학교 대학원 조선해양공학과 및 해양시스템공학연구소 (E-mail: kylee@plaza.snu.ac.kr)

assembly tree and to generate the Bill Of Material (BOM). Lastly, the validity of the method proposed in this study is examined with application to ship block assembly models of a single type and double type according to four models mentioned above.

1. 서론

1.1 연구 동기

일반적인 기계 조립 산업은 부품의 형상이 제품 조립 방법을 결정하는데 제약적인 요소로 작용할 수 있다. 예를 들면, 어떤 한 부품을 다른 부품에 대하여 상대적으로 움직이게 할 때 이와 인접한 다른 부품의 형상이 이 부품의 운동 방향에 제한을 미칠 수 있다(Turner et al. 1991).

한편, 선박의 최 하부 구성 단위인 부품의 기하학적 모델은 대부분 생산 설계 단계에서 조선 전용 CAD를 이용해서 블록 단위로 모델링되나, 어셈블리 모델을 자동으로 구성하기 위해 꼭 필요한, 부품들 간의 접합 관계와 같은 정보가 포함되지 않으므로 어셈블리 계획과 같은 일을 처리하기 위해 필요한 대부분의 정보 생성을 수작업에 의존하며 어셈블리 모델을 자동으로 생성하는 일은 지금까지 거의 불가능하였다.

1.2 연구 목적

블록을 구성하는 부품들간의 논리적인 연결 관계를 자동적으로 생성할 수 있다면 컴퓨터를 이용하여 다양한 어셈블리 계획을 수립할 수 있는 기회를 가질 수 있다. 따라서, 본 연구는, 블록 어셈블리의 관계 모델을 구성하고 그래프 이론을 이용하여 순서 모델과 계층 모델을 자동적으로 생성하는 선박의 어셈블리 모델링 자동화 시스템 구축의 기반을 마련하는 것을 목적으로 하였다.

Fig. 1에 블록 어셈블리 모델의 구성 단계를 나타내었다.

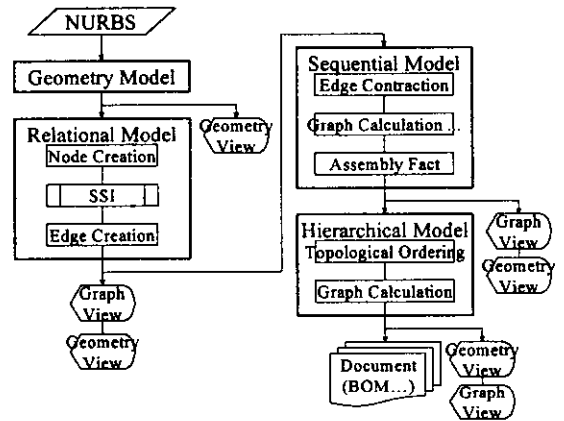


Fig.1 Four levels of proposed block assembly model based on the graph theory

2. 어셈블리 생성 관련 연구분야

2.1 조선 분야

조선 어셈블리 모델링 자동화에 관한 개발이나 연구는 미미하며, 조규갑(1995)등의 문헌에서 찾아볼 수 있으나 사전에 정의된 어셈블리 트리와 코드화된 어셈블리 명칭을 이용하여 사례기반 추론 방법을 적용하고 있다. 그 외에 선박의 제품 모델링 연구와 관련하여 CAD를 이용한 블록 분할 방법론 등에 관한 연구가 수행된 바 있으나, 이 역시 분할된 블록에 대한 어셈블리 순서의 자동성 성과는 거리가 있다(이재원 등, 1994).

2.2 기계 조립 분야에서의 어셈블리 관련 연구
 기계 조립 분야의 어셈블리 관련 연구 (Bruderlin 1998)(Romney/Godard 1995)는 현재 DBG(Directed Blocking Graph) 및 NDBG(Non Directed Blocking Graph)를 이용한 어셈블리 순서 모델링 방법에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이 방법은 조립이 가능하려면 완성품을 분해할 수 있는 순서가 존재한다는 점에 착안한 것으로 각 부품 별로 분해 가능한 자유도와 그 방법을 계산하여 분해 순서를 만든 후 조립 순서를 거꾸로 생성해 내는 것이다. 그러나 수백개에 이르는 부재로 구성되는 블록 어셈블리를 DBG로 나타내려면 Blocking 관계를 효율적으로 추론할 수 있는 방법이 필요하며, 선박의 블록은 대량생산형 기계 조립품처럼 그 관계를 일일이 입력할 수는 없으므로 DBG를 선박의 블록 어셈블리에 그대로 이용하기에는 무리가 있다. 또한, 블록 어셈블리는 부재가 많고 조립 자유도가 매우 커서 분해 가능성을 이용하는 DBG나 NDBG 등의 방법을 이용하는 것은 적합하지 않다.

3. 선박의 블록 어셈블리 모델링

선박의 블록을 외판의 곡률에 의한 형상을 중심으로 분류하면 곡/평으로 구분할 수 있고, 크기 관점에서 보면 대/중/소조로 나누며, 순서 결정 관점에서 분류하면 단일 선각과 이중선각 구조로 나눌 수 있으나, 이러한 분류와 무관하게 블록 어셈블리의 기본 요소는 판과 보강재로 구성되며, 크기 및 구조 형성과 무관하게 최소 어셈블리 요소는 본 논문에서 표현한 보강판 구조를 가지므로, 조립 가능한 보강판 구조를 먼저 구별해 내는 것은 조립 단위를 결정하기 위한 기본 조건이며, 어셈블리 순서 결정의 핵심이다.

선체 중앙부 및 엔진룸 하부 구조에서 나타나는 이중 선각 구조 블록은 단일 선각을 형성한 후 뒤집어서 구조를 형성하므로, 대부분의 조립블록은 본 연구에서 사용된 간이 모델의 조합으로 형성할 수 있으므로 이를 사용하여 연구의 타당성을 검증

하였다.

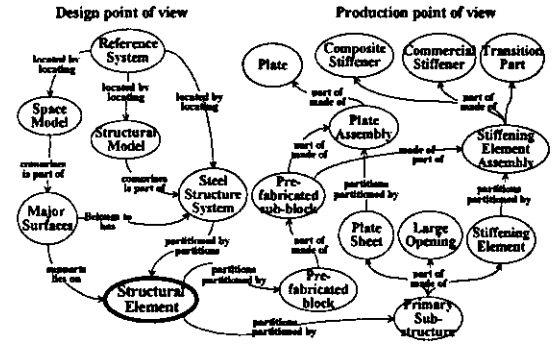


Fig.2 Two point of view of ship structural part definition

선체 구조 부재를 컴퓨터로 제품 모델링 하는 경우 같은 부재라 하더라도 설계 관점에서 본 부재와 생산 관점에서 본 부재는 서로 다른 방법으로 정의되거나 사용될 수 있다(Nowacki 1991). 이 관계를 Fig.2에 나타내었다.

3.1 STEP AP218에 표현된 블록 어셈블리

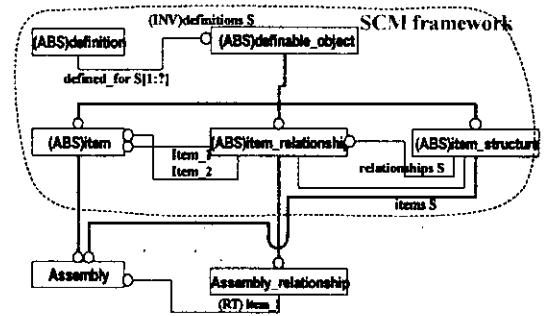


Fig.3 Product structure by assembly framework in STEP

Fig.3에 나타낸 것처럼 STEP AP218에서도 다양한 관점에 따라 모델을 나타내려는 시도가 진행 중이다.

현재 STEP의 어셈블리 데이터 저장 구조는 어셈블리/서브어셈블리/컴포넌트 관계에 기반을 두

고 이를 계층적인 형태로 관리할 수 있게 함으로써 부품 리스트나 BOM(Bill Of Material)을 생성하기에 적당한 구조를 취하고 있음에도 부품을 정의하기 위한 파라미터나 각종 제한조건 등에 관한 정의가 아직 완료되지 않은 상태로 남아있다.

3.2 그래프를 이용한 선박의 블록 어셈블리 표현

본 연구에서는 undirected labeled weighted graph와 directed labeled weighted graph를 사용하고 있다. 그래프를 구성하는 정점 v_i 는 서브 어셈블리 혹은 부품을 나타낸다. 각각의 정점은 부품이나 어셈블리 종류에 대한 label을 속성값으로 가진다. 본 연구에서는 곡면간 교차계산 방법으로 관계 모델을 생성하므로 부품을 나타내는 정점은 선체의 곡판과 평판을 모두 표현할 수 있도록 NURBS 데이터 리스트를 참조하고 있다. 에지는 어셈블리 컴포넌트들 간의 접합 관계를 표현한다. 그래프의 각 에지는 두 정점의 쌍에 해당된다. 모든 에지는 접합 길이를 에지의 가중치로 가지며, 접합 형태를 label로 가진다.

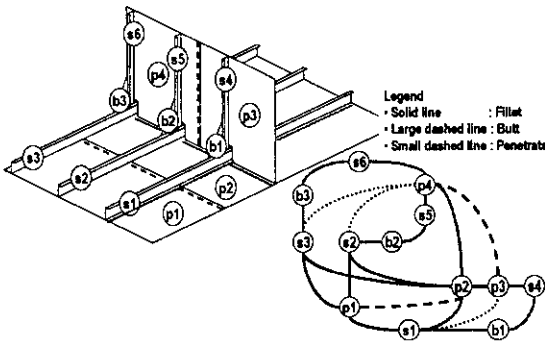


Fig.4 Initial relational model of simplified block assembly

Fig.4는 간이 어셈블리 모델을 그래프로 표현한 것이다. 원(부재) 내부에 표기된 기호는 정점의 label이다. 연결된 에지의 종류(굵은 점선, 가는 점선, 실선)를 달리함으로써 부품들의 접합 형태(butt, fillet, 관통)를 구분하여 도시하였다.

3.3 기하 모델(Geometry model)의 구성
기하모델은 CAD 시스템으로부터 입력받는 모델로 부품들의 기하학적 형상에 일부 기본적인 속성 값(판부재, 보강재)을 부가한 것이다.

기하 모델이 제대로 입력되었는지를 판단하고, 추후 어셈블리가 구성된 모습을 가시화하기 위하여 Open-GL을 사용하였다. 이 기하 요소들은 그래프로 표현되는 관계 모델에서 정점들로 표현된다.

3.4 관계 모델(Relational model) 생성

이 단계에서는 선박의 블록 어셈블리를 해석하기 위해 필요한 부품간의 접합 정보를 조두연(1999)이 제안한 곡면간 교차계산용 방법을 이용하여 생성하고, 그 결과를 그래프의 에지들로 표현한 관계 모델을 생성한다.

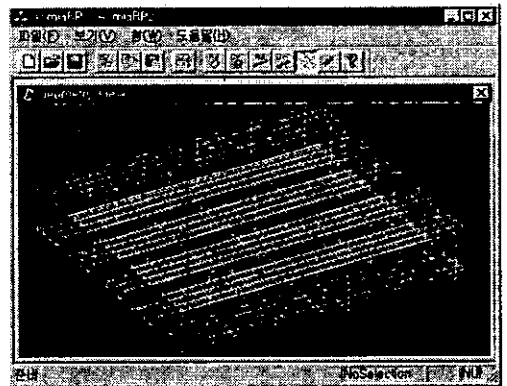


Fig.5 A double hull assembly

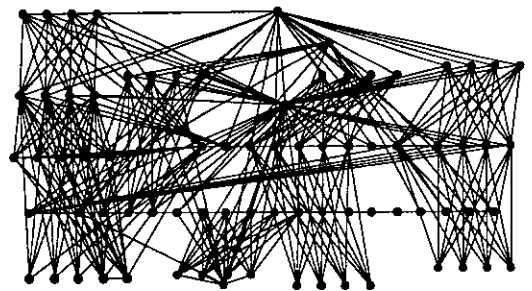


Fig.6 The first generated relational model from the double hull block shown in Fig.7

또한, Fillet, Butt 및 Penetrate와 같은 연결 형태 및 교차 길이 등은 교차 유형에 따라, 즉, 모서리간 교차, 모서리와 면간 교차 등으로 구분하고, 접합 길이 등을 에지의 가중치로 가지며, undirected labeled weighted graph로 나타내어진다. Fig.6은 Fig.5의 이중저 블록에 대해 생성한 관계 모델을 나타낸다.

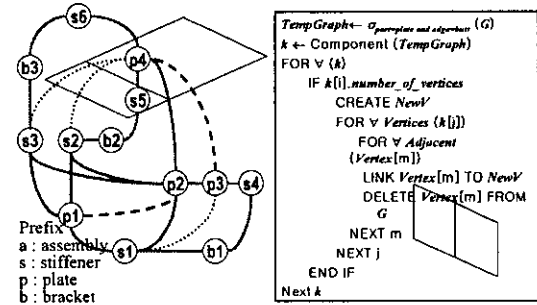


Fig.7 Example of the relational graph and pseudo codes to generate plate butt assembly

3.5 순서 모델(Sequential model) 생성

조선소의 전형적인 어셈블리 작업순서를 모방하여 순서모델을 작성하였다. 이 단계에서는 그래프의 기본적인 그래프 탐색법을 활용한 에지 수축(edge contraction), connectivity 계산 방법을 활용하여 서브어셈블리를 형성해 나가게 된다. 예를 들어, 순서 모델을 생성할 때 '만일 두 판 부재가 연결 관계에 따라 접합된다면, 이 두 부품을 나타내는 정점들 사이의 에지는 관계 그래프에서 수축된다.

1) 판 이음 어셈블리

판 이음 용접에 의해 만들어지는 어셈블리는 판들의 모서리를 맞대어(butt) 용접이 이루어진다. 이러한 접합 관계는 각각의 기하 형상들이 모서리와 모서리간 교차 특성을 가지므로 이는 접합 형태가 butt라는 에지의 속성 값을 가진다. 판 이음 용접을 의미하는 에지들은 다음과 같은 방법으로 찾을 수 있다.

정점의 label을 사용해서 판 부재 이외의 모든

정점들과 여기에 연결된 모든 인접한 에지들을 탐색해서 속성 값이 butt가 아닌 모든 에지들을 감춘다(hide).

깊이 우선 탐색이나 너비 우선 탐색 방법을 이용하여 그래프의 트리들(forest: 다수의 tree를 일컫음)을 만들고 각 트리(tree)에 속한 정점들에 대하여 다음의 과정을 수행한다. 만일 트리를 구성하는 정점이 하나라면 이것은 판 부재이나 butt 용접 작업은 존재하지 않음을 의미하므로 다음 트리로 건너뛴다. 트리를 구성하는 정점이 다수라면, butt 용접 작업이 존재하므로, 이후 이 트리를 구성하는 판 부재들의 용접 작업이 완료되면 만들어질 판 이음 어셈블리를 나타낼 새로운 정점을 그래프에 삽입한다.

트리를 구성하는 모든 정점에 대하여 입력되는 에지들과 출력되는 에지들을 조사하여 새로 만들어진 정점의 입력 에지들 및 출력 에지들의 리스트에 각각 첨부하고 이 에지들에 연결된 정점들은 이미 어셈블리 되어 사용하고 있음을 알리는 tag를 붙인다. 이 과정에서 유념할 것은 새로 입력된 트리 노드에 대한 자기 에지(self edge)가 발생하지 않도록 하여야 하며, 이렇게 만들어지는 각각의 어셈블리는 butt 및 fillet용접을 모두 보유할 수 있으므로 매 단계에서 작업량을 합산해 두어야 한다. 또한, 다수의 판에 다수의 보강재 등이 동시에 접하는 경우 다중 에지가 만들어질 수 있는데, 다중 에지는 어셈블리 모델 생성 과정에서 탐색 시간을 늘리는 단점을 줄뿐이므로 이러한 에지를 만들지 않도록 주의해야 한다. Fig.7과 8은 판 이음 결과로 에지가 contraction(그래프 상에서 인접한 정점이 병합되는 것) 되는 과정을 나타내고 있다. 이 결과로 생성되는 판 이음 어셈블리는 반드시 planar 그래프이어야 하므로 planar 그래프의 특성과 관련된 그래프 이론을 이용하여 그 결과의 오류를 검증할 수 있다.(McHugh 1990)(Foulds 1991)

즉, 보강판 어셈블리는 하나의 곡(평)면 위에 모든 부재를 매핑할 수 있는데, 만일 매핑이 안되면, planar 그래프가 아니며, 동시에 이중저 블록과 같은 형태를 가지는 3차원 어셈블리가 된다.

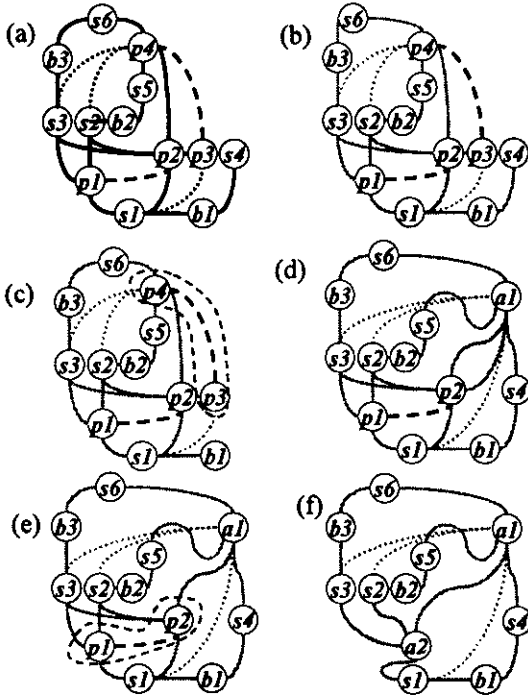


Fig. 8 Review of the changing process of the relational graph that represents the simplified ship block assembly shown in Fig. 7

2) 보강판 어셈블리

판 이음 용접이 완료된 어셈블리는 일반적으로 다수의 보강재가 fillet으로 용접되는(보강재의 모서리와 판의 면이 용접되는) 단계를 거치게 된다.

이중저의 floor나 girder와 같은 대부분의 내부 보강판들도 이와 마찬가지로이다. 따라서, 이 단계의 그래프에서는 우선 주어진 관계 모델에서 이미 조립된 부품들을 감춘다. 또한, 판과 보강재 혹은 판 이음 어셈블리와 보강재간의 접합 관계를 나타내는 에지를 제외한 모든 에지를 감춘다. 이렇게 생성한 그래프를 사용해서 그래프의 트리들을 만든다. 앞 단계와 같은 방법으로 보강판 어셈블리를 나타낼 새로운 정점을 그래프에 삽입하고 어셈블리 된 정점에 인접한 모든 정점으로 연결되는 에지를 중복되지 않게 이 정점으로 연결한다. 이후

과정은 판 이음 구조물에서 그래프의 에지를 수축하는 방법과 같다. 이 결과로 생성되는 각각의 보강판 어셈블리 또한 반드시 planar 그래프이어야 하므로 판 이음 어셈블리와 마찬가지로 planar 그래프의 특성과 관련된 그래프 이론을 이용하여 그 결과를 검증할 수 있다.

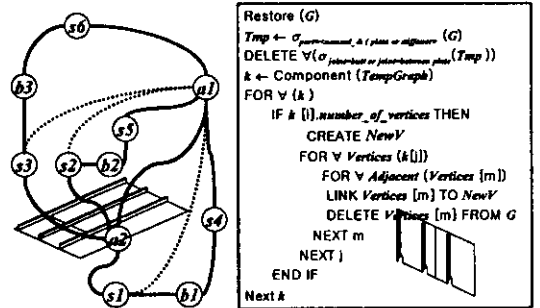


Fig. 9 Example of the induced relational graph after the generation of the plate butt assembly and pseudo codes to generate the stiffened plate assembly

Fig. 9에 이 과정을 의사 코드로 나타내었다.

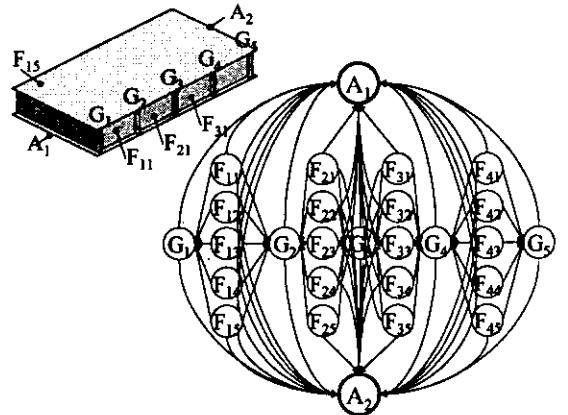


Fig. 10 Double bottom block and its graph

3) 3차원 어셈블리

보강판 어셈블리가 완료되면 이후의 3차원 조립품을 구성하게 되는데, 그 방법은 다음과 같다. 즉, Fig. 10에 나타난 이중저 어셈블리는, 보강

재를 생략한 그림으로 보강판 어셈블리를 모두 생성한 후의 관계 그래프이다. 이 그래프는 나가는 에지가 하나도 없는(out degree가 0인) 정점을 두 개(A_1, A_2) 가지고 있다. 하나는 bottom shell의 보강판 구조물이고 나머지 하나는 tank top의 보강판 구조물이다.

여기서, 조선소에서 어셈블리 순서를 그래프의 정점과 비교해 보면, 결국 이 두 정점 가운데 하나가 3차원 어셈블리 조립의 시작점과 일치함을 알 수 있다. 따라서, 이 경우 선택 가능한 우선적인 정점은 이 두 정점 중 하나가 된다.

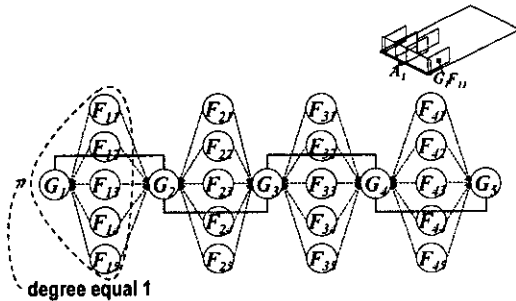


Fig.11 An example of induced subgraph

이제, Fig. 11에 나타낸 것과 같이 남아있는 정점을 어셈블리 순서모델을 정의한 리스트의 맨 뒤에 넣고 원래의 그래프에서 이 정점들을 감춘다. 나머지 정점들로 구성된 그래프에 대하여 정점들의 degree를 재 계산해서 이 과정을 재 적용하면, 그 3차원 모델을 처음 구성하는 단계에서 만난 것과 같이 나가는 에지가 하나도 없는 정점들을 가지고 있는 그래프가 됨을 확인할 수 있다.

위 과정을 남은 정점이 없을 때까지 반복해서 수행하면 3차원 입체 구조물의 순서 모델을 구성할 수 있다. 이는 뒤에서 사용하는 그래프의 위상 정렬 방법과 매우 유사하다. Fig. 12에 어셈블리 순서모델을 생성한 결과를 나타내었다.

3.6 계층 모델(Hierarchical model) 생성 순서모델을 위상정렬 해서 블록 어셈블리 트리와 BOM (Bill Of Materials)을 생성하기 위한 계층 모델을 생성한다. 그래프 G 가 비순환 방향성

그래프(acyclic directed graph)이면 위상 순서의 결정이 가능하다. 이 그래프는 out degree가 0인 정점을 최소 1개 이상 포함하고 있다. 같은 방법으로 생각해 보면, in degree가 0인 정점 v 가 최소한 1개 이상 존재해야 한다.

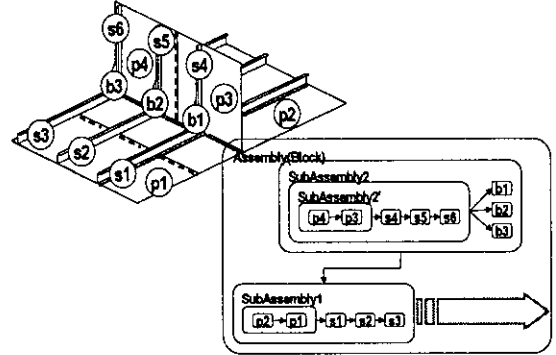


Fig.12 Sequential model

만일 $index(v)$ 를 1로 설정했으면 이 정점을 그래프에서 삭제한 나머지 부분그래프 $G-v$ 에 대하여 in-degree가 0인 정점을 찾아내어 그 정점의 $index(v)$ 를 하나 증가시켜서 2로 설정한다. 이 과정을 반복해서 모든 정점들이 $index$ 를 가질 때까지 반복해서 인덱스를 설정하면 그래프의 각 에지 $e(u, v)$ 에 대하여 u 의 인덱스가 v 보다 크지 않게 만들어진다. 즉, BOM 그래프는 비순환 방향성 그래프이므로 BOM을 구성하는 모든 정점들은 항상 위상 순서 결정이 가능하다.

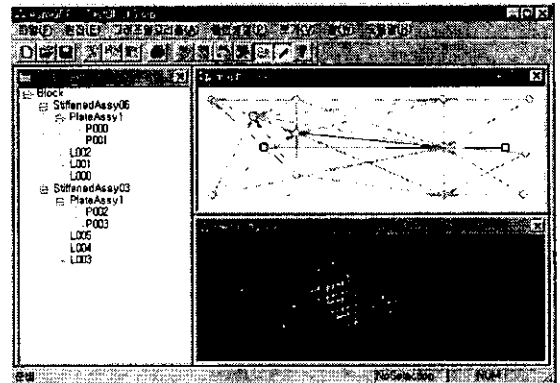


Fig.13 Assembly results(left view is BOM)

따라서, 본 연구에서의 순서 모델은 비순환 방향성 그래프이므로 블록 어셈블리에 대한 BOM의 생성이 가능하다. Fig.13은 기하모델에서 출발하여 관계모델, 순서모델을 거쳐 계층모델까지 생성한 예를 나타내고 있다. 왼쪽 view는 계층모델을, 오른쪽 상단은 관계모델을, 오른쪽 하단은 어셈블리의 기하모델을 나타낸다.

4. 결론

선박의 블록 어셈블리 모델을 생성 순서에 따라, 기하모델, 관계모델, 순서모델 및 계층모델로 구분하고 응용 시스템을 구축하였다.

곡면간 교차 계산 방법으로 생성된 관계 모델을 생성함으로써 부품간 접합 관계 모델링을 빠른 시간 안에 효율적으로 수행하고, 조선소의 기본적인 조립 방법을 어셈블리 규칙으로 그래프 이론에 의한 탐색 및 수축 방법 등을 이용하여 순서모델을 정의함으로써 타당한 블록 조립 순서를 생성할 수 있었다. 또한, 그래프 위상 정렬 기법 등을 이용하여 순서모델로부터 어셈블리 계층을 나타내는 계층모델을 효과적으로 구성할 수 있었다. 향후 보다 진보된 선박의 블록 어셈블리 모델을 자동적으로 생성해내기 위해서는 대량 생산 및 로봇 등을 이용한 자동화가 가능한 어셈블리들에 대하여 다음과 같은 세부 연구가 필요하다. 즉, 이러한 어셈블리의 그래프 모델을 데이터베이스화하고 그래프 매칭 등의 기법을 활용하여 이를 신속하게 추출해냄으로써 다양한 어셈블리를 생성할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 윤덕영, 공정계획/일정계획 지원 시스템 개발을 위한 개념 정립, 대한조선학회지, 제30권, 제4호, pp.37-40, 1993.

- 이재원, 황인식, 윤덕영, 김훈주, 조선 블록분할 공정계획을 위한 솔리드 모델링 CAD의 기능 연구, 대한조선학회지, 제31권 제1호, pp.51-56, 1994
- 조규갑, 류광열 외 4인(1995), 선각내업 공정설계 자동화 시스템의 개발, 산업공학회지 Vol8, No2.
- 조두연, 이규열, 임중현 (1999), "곡면간의 교차선 계산을 위한 개선된 Tracing Algorithm", 한국CAD/ CAM학회 논문집, 제4권 제3호, pp269-283, 1999.
- Bruderlin, B., Roller D., Geometric Constraint Solving and Applications, Springer, 1998.
- Foulds, L. R., Graph Theory Applications, Springer-Verlag, 1991.
- Nowacki, H. Ed., A neutral Product Definition Database for Large Multifunctional Systems, Springer, 1991.
- Romney, B., Godard, C., "An Efficient S for geometric Assembly Sequence Generation and Evaluation", Proc. of ASME, Computers in Engineering Conf., pp. 69 1995.
- Turner, J., Pegna, J., Wozny, M., P Modeling for Computer-Aided Design manufacturing, Rensselaer Polytechnic Institute, 1991.



< 조학중 >



< 이규열 >