

전문가 시스템을 이용한 블록조립 공정계획

신동목*

*울산대학교 수송시스템공학부

Computer Aided Process Planning of Block Assembly using an Expert System

DONGMOK SHEEN*

*School of Transportation Systems Engineering, University of Ulsan, Ulsan, Korea

KEY WORDS : Block Assembly 블록조립, Computer Aided Process Planning 컴퓨터 원용 공정계획, Expert System 전문가 시스템, Rules 규칙, Search Tree 탐색 트리

ABSTRACT : This paper presents the use of an expert system to automate process planning of block assembly, a task that is usually completed manually. In order to determine the sequence of assembly operations, a search method guided by rules, such as merging of related operations, grouping of similar operations, and precedence rules based on know-hows and geometrical reasoning, is used. In this paper, the expert system developed is explained in detail regarding a global database, control strategies, and rule bases. For verification purposes, the expert system has been applied to simple examples. Since the rule bases are isolated from the inference engine in the developed system, it is easy to add more rules in the future.

1. 서 론

공정계획은 설계에 명시된 제품을 생산하기 위한 공정 및 순서, 셋업 방법, 설비, 공정조건 등을 정하고 공정별 공수산량, 작업지시서 발행 등의 기능을 한다. 따라서 공정계획은 풍부한 현장경험을 갖추고 있는 전문인력이 수행하게 된다. 현재 현장에서는 경험지식을 갖춘 전문인력은 고령화하고 있는 반면, 현장 작업 기피로 인하여 새로운 전문가의 배출은 점점 드물어지고 있는 형편이다. 또한, 사람에 의한 공정계획은 주관적이 될 수 있고 일관성이 결여될 수 있다는 단점을 안고 있다. 이에 따라, 공정계획에 필요한 전문지식을 지식베이스화하는 논리화하여 이를 CAPP(Computer Aided Process Planning) 시스템으로 구축함으로써 공정계획 전문가를 대체하려는 노력이 진행중이다. CAPP 시스템은 흔히 변성형(Variant type)과 창생형(Generative type)으로 나뉘며, 발전된 시스템으로는 CAD 모델을 자동 인식하여 자체적으로 공정계획에 필요한 데이터 구조로 변환하는 즉, 형상인식 기능을 갖춘 자동 공정계획 시스템이 연구되고 있다. 변성형 시스템은 GT(Group Technology)에 기반을 둔 시스템으로 공정관점에서 유사한 형상을 갖춘 부품들을 부품군으로 묶은 후, 이에 대한 표준 공정계획을 저장하는 준비단계와 공정계획 대상부품이 속할 부품군을 찾아 해당 표준 공정계획을 추출한 후 이를 수정하는 방법으로 공정계획을 행하는 실행단계로 나뉜다.

현재는 전문가 시스템 기법 중 하나인 사례기반 추론 방법을 이용한 시스템이 많이 연구되고 있다. 창생형 공정계획시스템은 각 부품을 구성하는 형상정보를 자동 혹은 수동으로 입력한 후, 각 형상 부위에 대한 공정을 추론하고 추론된 공정들 사이의 기하학적 관계, 공차, 공정 특성 등에 따라 공정순서를 결정하는 방법이다. 창생형 방법은 상세한 공정계획을 수립할 수 있는 장점이 있는 반면 필요로하는 입력 데이터의 양이 많아서 비실용적이므로 형상정보를 CAD 모델로부터 자동으로 추출하는 기능을 갖춘 자동공정계획에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. CAD 모델로부터 형상정보를 얻기위한 방법으로는 형상기반 설계에 의존하는 방법(Feature-based design)과 일반 CAD 모델로부터 기하학적 추론 기법을 통하여 형상을 추출하는 방법(Feature extraction)이 사용된다.

조선분야에서 CAPP가 적용되는 분야는 블록분할 공정계획, 가공 공정계획, 조립공정 계획, 탑재공정계획 등을 들 수가 있다. 그 중에서 블록 분할과 조립 공정계획에 대한 연구를 살펴보면 형상정보 자동 추출에 관한 연구와 공정계획 자동수립에 관한 연구들이 진행되어 왔다. 형상 추출에 관한 연구로는 선 각 모델로부터 블록을 분할하여 자동으로 블록에 대한 솔리드 모델을 생성하는 방법에 대한 연구(이재원 등 1994)와 분할 과정에서 구성 부재들을 인식하고 이들간의 관계를 자동으로 추출함으로써 블록 조립 공정계획 및 자재 소요계획에 활용할 수 있도록 하는 연구(최해진과 이수홍, 1997)를 들 수 있다.

또한 이와 관련된 연구로 블록조립에 필요한 정보를 부재와 용접 객체로 나누어서 객체지향 모델링한 연구(Park, and Kang, 1997)도 발표되었다.

제1저자 신동목 연락처: 울산광역시 남구 무거동 산 29번지
052-259-2152 dmsheen@mail.ulsan.ac.kr

공정 및 순서 결정 등에 관한 연구로는 부재간 결합 정보를 그래프 형태로 표현한 후 사례기반 추론(Case Base Reasoning)을 이용하는 방법(조규갑 등, 1995; 윤성태, 1997)과 그래프 이론을 이용하여 추론하는 방법(조학중과 이규열 2001) 등이 발표되었다.

한편, 경험적인 전문지식을 많이 필요로 하는 업무 특성 상 사례 기반 시스템, 퍼지 전문가 시스템 등 여러 형태의 전문가 시스템들이 조선 및 해양 설계 및 생산 분야에 적용되고 있다. (박주용 등, 1997; 윤덕영과 양동열, 1998)

본 연구에서는 블록조립 공정계획을 자동화하기 위하여 블록을 형태별로 분류한 후 각각의 블록 그룹에 대하여 규칙을 관리하는 전문가 시스템을 제안한다. 사례기반 추론을 이용하는 방법에서는 기존 사례를 참조하여 공정계획을 생성함으로써 기존의 유사사례가 있을 경우에 적용이 가능한 반면, 본 연구에서 제안하는 전문가 시스템은 규칙기반을 이용하므로 유사 사례가 없는 경우에도 적용이 가능하다.

또한, 용접공정의 정해진 순서모델에 의존하는 순차적(procedural) 프로그램 방식이 아닌 규칙기반 시스템이므로 공정개선 및 공정자동화 등에 따라 공정이 바뀔 경우에도 재 프로그래밍 없이 규칙추가만으로 시스템을 적응시켜 사용할 수 있다.

2. 블록조립 공정계획 시스템 개요

전체를 구성하는 블록들은 선종·선형은 물론 부위별로 구성부재 및 조립 순서가 다르다. 예를 들어 선체 중앙부의 경우 double bottom, hopper tank, side structure, top side tank, deck structure, bulkhead 등의 단위 블록들로 구성되며 이들은 구성부재의 형태 및 수량이 다른 만큼 조립 순서가 다르다.

따라서, 조립 공정계획을 자동으로 수립하기 위해서는 각각의 블록 형태에 따라 개별적인 조립 규칙 및 추론 방법이 필요하다.

블록은 기본적으로 플레이트, 거더, 스틱프너 등이 결합된 형태로 공간상의 간섭 회피, 공정 중 변형 최소화 등의 원칙에 의하여 조립 순서가 제한된다. 블록 분할에서 조립공정 계획에 이르는 과정을 완전자동화 하기 위해서는 CAD에서 분할된 블록모델로부터 제공되는 블록을 구성하는 개체들 즉, 부재에 대한 정보와 부재들간의 연계 정보를 해석하여 조립 순서를 정하여야 한다. 본 연구에서는 조립작업에서 가장 기본적인 형태인 단위블록을 대상으로 하여 몇 개의 규칙을 정의하고 이를 전문가 시스템으로 구현하여 그 가능성을 살펴보고자 한다.

대표적인 전문가 시스템 형태인 production system(Russell and Norvig, 95)은 실행 단계에서 사실들(facts)을 보관하는 전역 데이터베이스(global database), (조건 => 실행)의 쌍으로 구성되는 규칙기반(rule base), 프로그램 실행 시 현 단계에서 전역데이터베이스에 있는 사실들과 규칙기반의 규칙들의 조건부를 비교하여 실행 가능한 규칙들을 찾는 추론 엔진(inference engine), 실행 가능한 규칙들 중 적용(fire)할 규칙을 정하는 제어전략(control strategy)으로 구성된다. 이 중 전문가 시스템

셸을 이용할 경우 추론 엔진은 프로그램할 필요가 없으며, 제어전략의 경우 전문가 시스템 셸에서 제공하는 기능을 사용하기도 하나 본 연구에서는 프로그램의 일부로 구성하였다.

3. 데이터 구조

3.1 입력정보

본 연구는 CAD 모델로부터 부재정보 및 부재간 연결 정보를 입력받는 것을 가정하여 이를 바탕으로 조립 순서를 자동 생성한다. 기본 입력 정보는 (part1, part2, joint-type, joint-length)의 형태로 구성되며, 여기서 joint-type으로는 블록 조립에서 나타나는 공정들인 fillet, butt, through의 3 가지 중의 하나의 값을 갖는다. joint-length는 접합길이를 의미하며, 이는 공정계획 시 공수 추정의 기본 정보가 된다. part1 및 part2는 결합될 부품을 의미하며 butt 용접 이외의 경우는 순서에 의미가 있는데, Fig. 1은 각 결합 형태 및 부품의 순서가 갖는 의미를 나타낸다.

입력정보는 규칙기반 시스템에 적용될 수 있도록 전역 데이터베이스에 사실로 선언된다. 본 연구에서는 미 항공우주국(NASA)에서 개발한 전문가 시스템 셸인 CLIPS(<http://www.ghg.net/clips/CLIPS.html>)를 이용하여 블록조립 규칙기반 시스템을 개발하였다. 본 연구에서 하나의 결합 패턴은 다음과 같은 형식으로 정의하였다.

```
(deftemplate MAIN::joins
(multislot parts (type SYMBOL))
(slot relation (type SYMBOL)
(allowed-symbols butt fillet through))
(slot length (type NUMBER)))
```

이에 따라 전역 데이터베이스에서 하나의 입력정보는 다음 예와 같이 하나의 사실로 선언된다. 부품 r1이 부품 p1에 fillet 용접되어야 함을 의미하며, 용접선의 길이는 2000mm임을 표시한다.

```
(joins (parts r1 p1) (relation fillet) (length 2000))
```

3.2 탐색 트리

주어진 조립 정보들로부터 가능한 조립 순서는 트리(tree) 형태로 표현할 수 있다. 탐색 트리에서 하나의 노드(node)는 조립과정에서 나타나는 하나의 결합된 상태를 의미하며, 부모

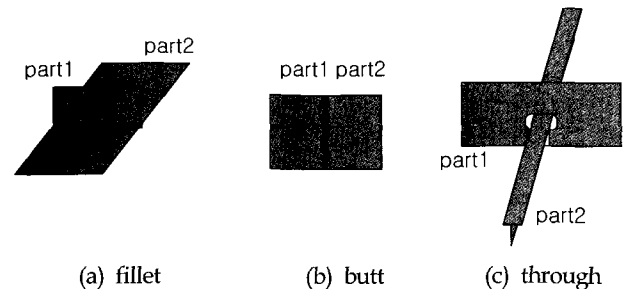


Fig. 1 Joint types

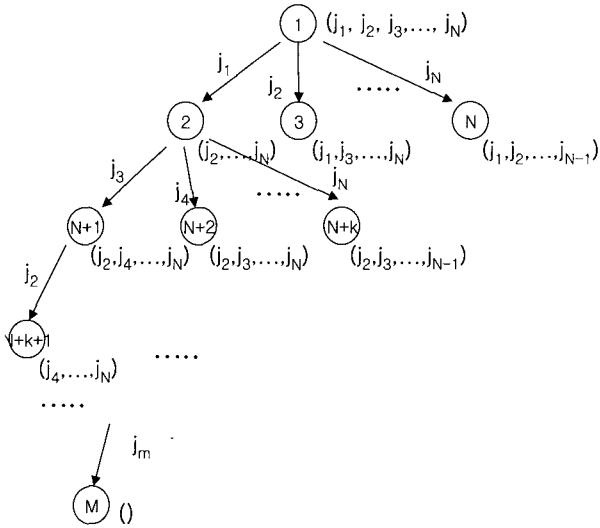


Fig. 2 Search tree

노드와 자식노드를 연결하는 아크(arc)는 하나의 조립 공정을 의미한다. Fig. 2는 탐색 트리의 일부 예를 보여준다.

Fig. 2에서 각 노드에 병기된 리스트는 각 노드의 현재 조립 상태에서 앞으로 수행되어야 할 결합 내용들을 보여준다. 탐색 트리에서 하나의 노드에서 나온 자식노드들은 현 단계에서 바로 다음에 적용 가능한 결합 가지수만큼 전개된다. 앞으로 수행될 결합 중 선행 제약조건이 있는 조립은 바로 아래 단계에서 자식 개체로 전개될 수 없다. 각 노드는 부모 노드의 결합 리스트를 상속하며, 결합 및 규칙의 적용에 따라 결합 리스트의 구성 결합들 및 순서가 바뀐다. Fig. 2에서 노드 2에서 공정 j3가 공정 j2에 선행되어야 한다고 인식하면 노드 2의 자식 노드로 j2에 해당하는 노드가 나타날 수 없음을 보여준다. 탐색 트리의 최하단 노드에는 더 이상 결합할 내용이 없음을 나타내고 있으며, 이는 조립이 완성된 상태를 표시한다.

다음은 탐색트리 상에서 깊이 3의 노드를 표시한다.

```
(node (depth 3)
  (last-join <f-12>)
  (parent <f-10>)
  (ajoins <f-14> <f-20> <f-25>))
```

여기서, <f-12>는 실행할 join에 대한 포인터를 표시하며, <f-10>은 탐색트리에서 부모 노드를 가리키는 포인터, <f-14>, <f-20>, <f-25>는 향 후 수행되어야 할 결합들에 대한 포인터이다.

4. 탐색 방법

조립순서 결정은 탐색 트리를 따라 depth-first 탐색 방법을 기본으로 공정간의 선행조건, 공정 묶음, 유사공정 연속수행 등의 규칙을 적용하여 가능한 조립 순서를 탐색하며, 더 이상 조합할 관계가 없을 때 종료한다. 아무런 규칙을 적용하지 않을 경우 탐색 트리의 뿌리에서 가지 최 하단 노드까지 이르는

경로(조립순서)는 입력된 결합의 수가 N인 경우 N!의 가지수를 갖게 된다. 따라서 최악의 경우는 depth-first 탐색 시 N! 가지 경로를 모두 탐색한 후에야 원하는 해를 찾게 되어 비현실적이다. 따라서, 규칙을 적용하여 가지치기를 함으로써 탐색할 경우의 수를 줄여준다.

탐색을 위해서는 전개할 노드들을 순서대로 하나의 리스트로 저장하고 있는데, Fig. 2에서 노드 N+1 까지 탐색을 완료한 상태라면, 전개할 노드 리스트는 (open-list (nodes (N+2),..., (N+k), 3,...,N))와 같을 것이다. 실제 프로그램에서는 노드 번호 대신 노드에 대한 포인터를 사용한다.

다른 공정계획을 수립해 보고 싶을 경우 현재의 해를 데이터베이스에서 제거하면 탐색트리 상에서 거슬러 올라가 즉, open-list 상에서 다음 노드를 전개해서 다른 해를 찾게 된다.

5. 규칙기반

본 연구에서는 결합, 결합에 따른 연관결합 통합, 유사결합 그룹핑, through 공정과 fillet 공정간의 선행관계 등을 규칙으로 구현하였다. 이들 규칙들로 충분한 것은 아니며, 실용화 단계에서는 공정 중 열변형 등을 고려하여 많은 규칙들이 이론 및 경험적으로 추가되어야 한다. 규칙기반 시스템은 새로운 공정규칙이 추가될 경우에도 추론 부분에 대한 프로그램은 수정할 필요 없이 규칙기반만을 수정하면 되므로 프로그램 확장성이 좋고 및 유지 보수가 쉽다. 다음은 본 프로그램에서 적용한 규칙들이다.

(1) 결합

두 개의 부재가 fillet 또는 butt 용접되는 경우, 두 부재는 하나의 부품이 되며, 각각의 부재에 결합관계에 있던 부품들은 결합된 부품과의 결합관계로 바뀐다. 예를 들어 부품 p1과 p2가 결합하는 경우 결합 후 부품은 p1p2가 되며, p1과 또는 p2와의 결합관계는 p1p2와의 결합 관계로 바뀐다.

(2) 결합에 따른 연관결합 통합

두 개의 부재가 fillet 또는 butt 용접되는 경우 두 개의 부재에 각각 연관된 동일한 종류의 결합은 하나의 공정으로 통합된다. 즉, 용접 후에는 두 개의 부품이 하나로 조립되므로 각각의 부품에 연결되는 동일한 종류의 결합은 하나의 결합으로 통합한다. Fig. 3은 이를 예시한다. p1 부재와 p2 부재를 fillet 용접하고 나면, p1과 p3, p2와 p3 관계는 동일한 fillet 용접 관계로서 p1과 p2 부재가 용접된 형태인 p1p2 부재와 p3 부재와의 fillet 용접 공정으로 통합된다.

(3) 유사결합 그룹핑

관계 r이 fillet 또는 through 결합인 경우 (joins (parts p1 p2) (relation r)) 결합과 (joins (parts p1 ?) (relation r)) 또는 (joins (parts ? p2) (relation r)) 결합은 유사결합으로 연속공정으로 그룹핑한다. 여기서 ?는 임의의 부품을 의미한다. 관계 r이 butt인 경우는 p1 p2 결합 부품간 순서에 의미가 없으므로 (joins (parts p1 p2) (relation r)) 결합과 유사한 결합은 p1 또는 p2를 결합부품으로 갖는 butt 결합이다. Fig. 4는 대표적인 예를 도시한다. p1, p2, p3가 플레이트에 fillet 용접되는 공정은 유사공정으로 연속해서 수행한다.

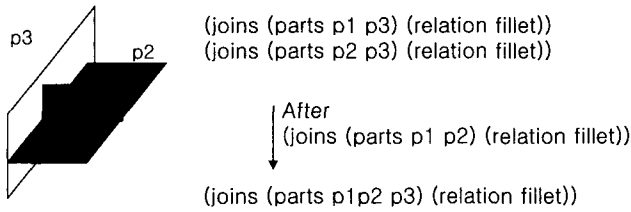


Fig. 3 Merging two joins into one

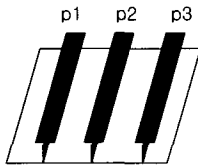


Fig. 4 Grouping of similar relations

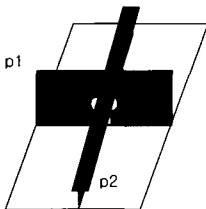


Fig. 5 Through-then-fillet

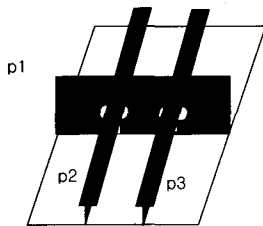


Fig. 6 Fillet-then-through by the transitivity rule

(4) 공정간의 선행관계

본 규칙에서는 네 가지 경우를 규정하였다. 먼저 직접적인 선행관계로 through 공정을 남겨둔 부재는 먼저 fillet 용접되지 말아야 한다. Fig. 5의 예에서 보면 (joins (parts p1 p2) (relation through)) 공정은 (joins (parts p1 ?) (relation fillet))에 선행되어야 한다. 또한, 관통할 부재는 through 공정 전에 판재에 고정되어야 하므로 (joins (parts p2 ?) (relation fillet)) 공정은 through 공정에 선행되어야 한다. 세 번째 규칙은 경험규칙으로 butt 용접되지 않은 두 개의 부품에 걸쳐 fillet 용접하지 않는다는 일반 규칙이다. 즉, (joins (parts p1 p2) (relation fillet)), (joins (parts p1 p3) (relation fillet)) 관계는 (joins (parts p2 p3) (relation butt)) 또는 (joins (parts p3 p2) (relation butt))에 앞서 수행될 수 없음을 의미한다. 네 번째 경우는 전이적 연관관계에 따른 선행관계이다. Fig. 6의 예에서 (joins (parts p1 p2) (relation through)) 공정을 수행할 순서에서 (joins (parts p1 p3) (relation through)), (joins (parts p3 ?) (relation fillet))의 결합관계가 수행할 공정으로 남아있다면 p3 부품의 경우 p1이 끼워진 다음에 through 및 fillet 공정을 수행하는 셈이 되어 선행조건 위반이 된다.

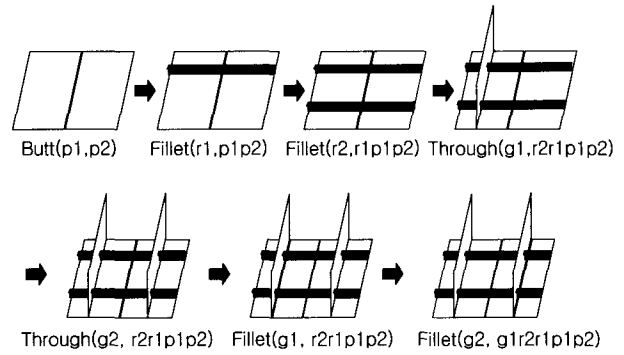


Fig. 7 Example 1

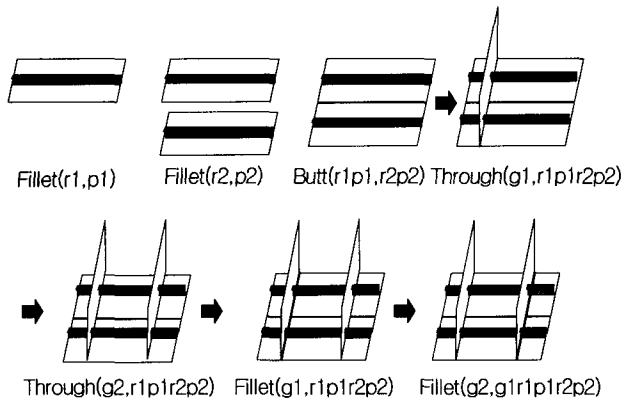


Fig. 8 Example 2

6. 적용 예

본 연구에서 개발한 시스템을 Fig. 7과 Fig. 8의 예에 적용하여 보았다. 입력된 총 11개의 접속 관계로부터 7 단계의 공정으로 구성된 공정계획을 자동으로 수립하였다. 그림에서 Butt(p1, p2), Fillet(r1, p1p2) 등으로 나타난 내용은 실제 전역 데이터 베이스에서 각각 (join (parts p1 p2) (relation butt)), (join (parts r1 p1p2) (relation fillet)) 등의 사실을 predicate logic 형태로 간단히 보인 것이다.

Butt 및 fillet 용접의 경우 용접의 결과로 부재가 하나로 결합되면서 전역데이터베이스에는 두 부재에 각각 관련된 결합들은 복제되어 해당 부재 대신 결합된 부재로 대체된다(Fig. 3 참조). 개발된 시스템에서는 규칙들을 적용함으로써 수작업으로 공정 순서를 정하는 경우와 일치됨을 알 수 있었다.

7. 결 론

본 연구에서는 수작업으로 이루어지는 블록 조립 순서 결정을 자동화하기 위하여 전문가 시스템을 개발하였다. 공정 순서 결정을 위하여 depth-first 탐색법을 기본으로 경험에 의한 know-how, 공간 추론 등에 의하여 통합, 연관결합 통합, 유사 공정 통합, 공정 선행 순서 규칙 등을 정의하여 탐색 순서를 정하고 탐색 가지 수를 줄였다. 개발도구로는 전문가 시스템 셸인 CLIPS를 이용하였으며, 규칙 적용 순서를 제어하는 제어

전략 부분도 프로그램의 일부로 개발하였다. 개발된 시스템을 간단한 사례에 적용하여 가능성을 입증하였으며, 특히 전문가 시스템에서 규칙기반은 추론엔진 및 제어 전략과 분리되어 있어 공정순서 규칙들은 향후 쉽게 추가할 수 있다.

후 기

본 연구는 울산대학교 연구비로 지원되었으며 이에 감사를 드린다.

참 고 문 헌

- 박주용, 강병윤, 박현철 (1997). "퍼지 전문가 시스템을 활용한 용접 품질 예측 시스템에 관한 연구," 한국해양공학회지, 제11권, 제1호, pp 36-43.
- 윤덕영, 양동열 (1997). "사례기반 추론 기법을 이용한 선박의 특설능력 보강재 배치 및 설계 지식 표현 방법에 관한 연구," 한국해양공학회지, 제12권, 제4호, pp 139-143.
- 윤성태 (1997). "선박 제품모델 기반 컴퓨터 원용 공정설계 시스템 개발 연구," 대한조선학회지, 제34권, 제4호, pp 47-52.
- 이재원, 황인식, 윤덕영, 김훈주 (1994). "조선 블록분할 공정계획을 위한 솔리드 CAD의 기능 연구," 대한조선학회논문집, 제31권, 제1호, pp 51-56.
- 조규갑, 유광열, 최형림, 이수홍, 정동수, 윤성태 (1995). "선각 내업 공정설계 자동화시스템의 개발," 산업공학, 제8권, 제2호, pp 41-52.
- 조학중, 이규열 (2001). "그래프 이론을 기반으로 한 선박의 블록 어셈블리 모델링," 대한조선학회논문집, 제38권, 제2호, pp 79-86.
- 최해진, 이수홍 (1997). "WWW와 연계된 선박 조립 구조물의 분할 CAD 모듈 개발," 한국 CAD/CAM 학회논문집, 제2권, 제4호, pp 267-275.
- Park, J.-Y. and Kang, B.Y. (1997). "Object-Oriented Welding Information System for Shipbuilding," ICCAS 97, pp 531-543.
- Russell, S. and Norvig, P. (1995). "Artificial Intelligence - A Modern Approach," Prentice-Hall, pp 297-334.

2002년 12월 4일 원고 접수

2003년 1월 15일 최종 수정본 채택