

Open CASCADE를 이용한 블록조립 계획용 CAD 인터페이스

최상수* · 신동목**

*이놉스(주)

**울산대학교 수송시스템공학부

CAD Interface for Block Assembly Planning using Open CASCADE

SANG-SU CHOI* AND DONG-MOK SHEEN**

*INOPS, Seoul, Korea

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

KEY WORDS: Open CASCADE, Block Assembly 블록조립, Process Planning 공정계획, Expert System 전문가시스템

ABSTRACT : This paper presents a process planning system that will generate and verify assembly sequences of block assemblies. It consists of a CAD interface system and an assembly sequence planning system. In developing this system, we used an open architecture CAD kernel for the CAD interface system, for visualizing the CAD model and the assembly sequences, and an expert system shell for the assembly sequence planning system. This paper also proposes a framework for the integration of all the steps required to automate the procedures, from design to production. The process planning system is demonstrated by a simple example.

1. 서 론

공정계획은 도면 또는 CAD 모델로 구현된 설계정보를 이해하여 공정을 결정하고, 공정의 순서와 그에 필요한 작업조건들을 나열하는 작업지시서(routing sheet)를 준비하는 것이다. 제조 현장에서는 공정에 대한 경험과 지식을 갖춘 엔지니어들이 점점 줄어들고 있어 현존하는 공정계획자들의 지식을 지식기반화하여 공정계획기능을 컴퓨터를 통해 자동으로 수행할 수 있는 컴퓨터 이용 공정계획(Computer-Aided Process planning, CAPP) 시스템에 많은 관심을 갖고 있다. CAPP 시스템은 CAD와 CAM을 연결하는 다리로서 이를 이용할 경우 첫째, 수동으로 작성된 공정계획보다 논리적이고 일관성 있는 결과를 얻을 수 있고 둘째, 체계적인 접근 방법을 활용하여 시간, 비용, 품질 면에서 공정최적화를 이룰 수 있으며 셋째, 수작업 계획보다 빠르게 공정계획서를 작성할 수 있고 CAD와의 연계로 자동화가 가능하다. CAPP 시스템은 크게 두 가지 방법으로 나뉜다. 첫 번째는 과거의 유사한 제품을 참조하여 그에 대한 공정계획을 추출한 후 편집하는 방법으로 공정계획을 수행하는 변형형 방법(Variant approach)이고 두 번째는 제품을 구성하는 개별 형상에 대한 정보를 입력하고, 이를 논리적으로 분석하여 공정 및 순서를 결정하는 창생형 방법(Generative approach)이다(한영근 등, 2002). 창생형 방법은 상세한 공정계획을 수립할

수 있는 장점이 있는 반면, 필요로 하는 형상정보의 정의가 어렵고, 일반적으로 입력 데이터의 양이 많아서 비실용적이다. 현재는 입력정보를 자동화하기 위하여 형상정보를 CAD 모델로부터 자동으로 추출하는 형상인식기능을 갖춘 자동 공정계획에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. CAD 모델로부터 형상정보를 얻기 위한 방법으로는 형상기반 설계에 의존하는 방법(Feature-based design)과 일반 CAD 모델로부터 기하학적 추론 기법을 통하여 형상을 추출하는 방법(Feature extraction)이 사용된다(Han, 1998).

CAPP에 대한 연구는 기계가공 분야에서 활발히 진행되어 왔다. 조선해양 분야에서 CAPP가 적용되는 분야는 블록분할 공정계획, 가공 공정계획, 조립 공정계획, 탑재 공정계획 등을 들 수 있다. 블록분할에 관한 연구로는 선각 모델로부터 블록을 분할하여 솔리드 모델을 생성하는 방법에 대한 연구(이재원 등, 1994)와 분할 과정에서 구성 부재들을 인식하고 이들 간의 관계를 자동으로 추출함으로써 블록조립 공정계획 및 자재 소요계획에 활용할 수 있도록 하는 연구(최해진과 이수홍, 1997)를 들 수 있다. 블록조립 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.

본 논문에서는 현재 개발 중인 블록조립 공정계획 시스템에 대하여 간략히 설명하고, 그 운영을 담당하는 모듈로서 개방형 CAD 커널인 Open CASCADE (<http://www.opencascade>).

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

com)를 이용하여 개발한 CAD 인터페이스 시스템에 대하여 설명한다. CAD 인터페이스 시스템은 상용 CAD 시스템에서도 모델링 된 블록 설계 데이터를 공정계획에 이용할 수 있도록 데이터를 준비하고 공정계획 결과를 검증하는 것을 지원한다.

2. 시스템 구성

본 연구에서 개발한 공정계획 시스템은 Fig. 1과 같이 구성된다. 상용 CAD 시스템에서 설계된 블록 모델은 중립 파일 형식인 IGES(Initial Graphics Exchange Specification) 파일로 변환되어 인터페이스 시스템에 전달된다. 인터페이스 시스템에서는 부품들에 대한 BOM(Bill Of Materials)을 생성하고, 이를 기반으로 사용자는 각 부재들 간 접합관계를 대화형으로 입력하며, 입력된 관계들 리스트는 공정순서 추론 시스템에 텍스트 파일 형태로 제공된다. 공정 추론 시스템은 부재들 간의 접합관계를 해석하여 공정 순서 결정 및 공수 산정을 한다. 공정 추론 시스템을 통해 결정된 공정 순서는 인터페이스 시스템에서 가시화함으로써 그 타당성을 검증한다. 본 시스템은 현재 Web 기반의 Video conferencing이 가능하도록 개발 중이며, 공정계획 결과를 가상생산 솔루션을 이용하여 로봇 OLP (Off Line Programming) 자동화 및 프로그램 검증을 하는 시스템을 구축중이다. 본 논문에서는 인터페이스 시스템을 포함한 공정계획 시스템 구성에 대하여 기술하며, 공정 순서 추론 방법에 관해서는 신동목(2003)에 자세히 기술되어 있다.

본 시스템에서는 개발 및 유지보수가 편리하도록 각 구성 모듈들의 기능에 맞추어 가시화 부분은 개방형 CAD 커널인 Open CASCADE를 사용하였고, 공정순서 추론 부분은 전문가 시스템 셸(shell)인 CLIPS를 이용하였다. 또한 로봇 OLP 부분은 가상생산 도구인 IGRIP을 이용하여 구현중이다.

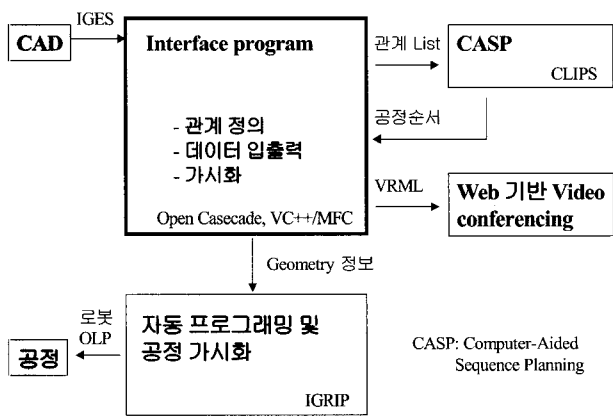


Fig. 1 Process planning and operation planning system

3. 인터페이스 시스템

본 논문에서의 CAD 인터페이스 시스템은 개방형 CAD 커널인 Open CASCADE와 Visual C++ 6.0의 MFC (Microsoft Foundation class)를 이용하여 개발하였다. Open CASCADE는

CAD 관련 응용 프로그램을 개발하기 위한 Open Source 소프트웨어 컴포넌트이며, 멀티 플랫폼(Linux, Window NT, Sun Solaris)을 지원한다. Open CASCADE는 여러 타입의 오브젝트들을 2차원 및 3차원 기하학적 정보로 모델링 할 수 있는 toolkits, 오브젝트들을 디스플레이 하기 위한 가시화 서비스, 비 기하학적 데이터와 기하학적인 데이터의 결합, 표준 중립파일 형식(IGES and STEP)들의 import 와 export를 통한 데이터 교환 서비스를 제공하므로 이를 이용하면 개발자가 쉽게 응용 프로그램을 개발할 수 있다.

Open CASCADE 는 Fig. 2와 같이 계층적 구조로 이루어져 있다. Module은 Library의 구성들로 이루어지고 라이브러리는 클래스들로 구성된 Packages를 포함한다.

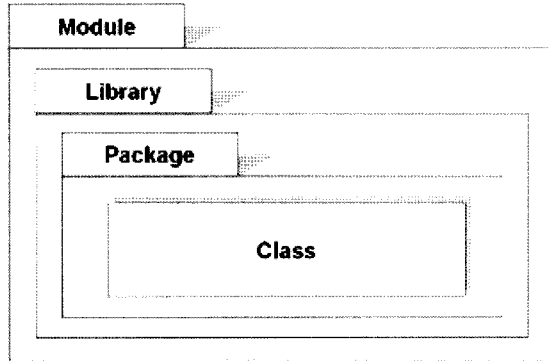


Fig. 2 Object hierarchy in open CASCADE

CAD 시스템에서 모델링 된 설계 데이터를 import하기 위해서 중립파일 형식인 IGES를 이용하였다. IGES파일 포맷은 Open CASCADE에서 기본적으로 지원하고 있다.

인터페이스 시스템은 데이터 import를 통한 BOM 생성, import된 CAD 모델의 가시화, 가시화된 모델을 통한 접합관계 속성 설정, 그리고 접합관계 트리 및 접합관계 파일 생성 등을 한다. 또한 텍스트 파일 형태로 공정계획 결과를 받아서 이를 이용하여 조립과정을 가시화해서 보여준다.

Open CASCADE 에서는 응용 프로그램 개발을 돕기 위하여 Test Hardness 기반 애플리케이션, Viewer 기반 애플리케이션, OCAF(Application Framework) 기반 애플리케이션의 MFC Wizard를 제공한다. 본 논문의 인터페이스 시스템에서는 Viewer 기반 Wizard를 이용하여 프로그램을 개발하였다.

인터페이스 시스템에서는 CAD 시스템에서 부재단위로 설계된 제품을 부재리스트를 참조하여 부재 단위로 import한다. Import된 부재들은 부재별로 TopoDS_Shape 클래스의 인스턴스로 생성되게 되며, BOM을 트리 컨트롤로 나타내게 된다. 본 연구에서는 화면에서 부재들을 선택할 때 부재들을 구분하기 위하여 TopoDS_Shape의 하위 클래스를 생성하여 부재에 대한 파일 이름을 저장할 수 있게 하였다. CAD 모델 데이터들이 모두 import 되면 부재 두개를 화면상에서 각각 선택하고 접합관계 종류를 선택하는 방법으로 부재들의 접합관계들을 설정한다. 접합관계 설정이 모두 끝나면 MFC의 GDI(Graphic

Device Interface)를 이용하여 구현한 부재들 간의 관계 그래프를 생성한다. 관계 그래프에서 각 부재들은 노드들로 표현되고 접합 관계들이 노드들을 연결하는 아크로 나타나게 된다. 블록 조립에 나타나는 3가지의 형태의 접합관계(butt, fillet, through)는 색을 이용하여 구별한다. 부재들 간의 접합관계들은 공정순서 결정을 위하여 텍스트로 export되는데, 공정순서 추론 시스템인 CASP(Computer Aided Sequence Planner)에서는 이를 이용하여 조립순서를 결정하게 된다.

4. 공정 순서 결정

인터페이스 시스템에서 구성된 부재 간의 결합정보는 두 개의 부재 간의 이항관계로서 (part1, part2, joint-type, joint-length)의 형태로 나타난다. 여기서 joint-type는 블록조립에서 나타나는 공정들인 필렛 용접(fillet), 맞대기 용접(butt), 관통(through)의 3가지 중 하나의 값을 갖게 된다. part1 및 part2는 결합된 부재를 의미하며 부재가 기술되는 순서는 해당 공정에서의 부재의 역할을 표시하는데, Fig. 3은 각 결합 형태 및 결합에서 부재의 역할을 나타낸다. 예를 들어 (part1, part2, fillet, -)은 part1이 part2에 필렛 용접된다는 의미이며, part2가 part1에 용접됨을 나타내는 (part2, part1, fillet, -)와는 다른 결합을 나타낸다. 맞대기 용접의 경우는 기하학적으로 볼 때 edge와 edge간 결합으로 부재의 역할이 구별되지 않는다. 이 음재료의 두께 등에 따라 맞대기 용접의 경우에도 공정 및 역할에 차이를 두어야 하나, 본 연구에서는 이를 무시하고 부재간 결합정보에서 part1과 part2의 순서는 의미를 갖지 않도록 하였다.

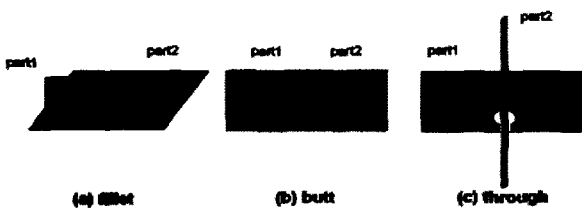


Fig. 3 Join Types

본 연구에서는 공정순서 결정시스템 CASP을 대표적인 전문가 시스템 형태인 production system(Russell and Norvig, 95) 형태로 구축하였다. 개발도구로는 미 항공우주국(NASA)에서 개발된 전문가시스템 셸인 CLIPS (<http://www.ghg.net/clips/CLIPS.html>)를 이용하였다.

블록조립 문제에서 가능한 조립순서들은 탐색트리 형태로 표현할 수 있다. 탐색트리 상에서 뿌리에 해당되는 노드는 모든 부재가 조립되지 않은 상태를 의미하며, 가지 끝 부분 노드는 조립이 완료된 상태를 의미하게 된다. Fig. 4는 탐색트리의 예를 보여준다. 탐색트리에서 각 노드(node)는 하나의 조

립단계를 표시하며 아크(arc)는 조립 공정을 의미한다. 노드의 괄호 안에 표기된 리스트는 각 단계에서 앞으로 수행해야 할 결합 관계들을 나타낸다. CASP은 탐색트리에서 깊이 우선(depth-first) 탐색 방법을 기본으로 공정 간의 선행조건, 공정 묶음, 유사공정 연속수행들의 규칙을 적용하여 가능한 조립 순서를 탐색하며, 더 이상 적용할 결합 관계가 없을 때 종료한다. 하나의 공정이 수행되면 아래 노드에서는 수행된 공정을 제외한 나머지 결합관계 리스트가 남게 된다. 다음은 CLIPS로 표현한 규칙을 예시한다. CLIPS에서 조건부는 => 기호 이전에, 실행부는 이후에 표기한다. 아래 규칙은 두 개의 부재(?p1, ?) 사이에 관통 공정과 필렛 용접 공정을 남겨두고 있을 때, 관통 공정이 선행되어야 함을 나타내고 있다.

```
(defrule CONSTRAINTS::precedence-through-fillet
  (declare (auto-focus TRUE))
  ?cj <- (joins (parts ?p1 ?) (relation fillet))
  ?dj <- (joins (parts ?p1 ?) (relation through))
  ?cn <- (node (last-join ?cj) (parent ?pn))
  ?na <- (open-list (nodes ?cn $?rest-list))
  =>
  (bind ?ajoin-list (fact-slot-value ?pn ajoins))
  (if (member$ ?dj ?ajoin-list) then
    (retract ?cn)
    (modify ?na (nodes ?rest-list)))
```

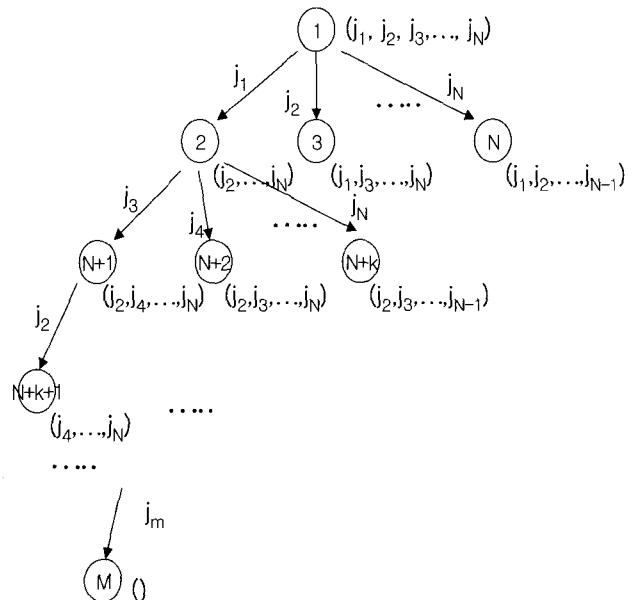


Fig. 4 Search tree for assembly sequences

공정순서 결정 방법에 대한 자세한 설명은 (신동목, 2003)에 나와 있다.

5. 조립순서 가시화

본 연구에서 조립순서 가시화의 목적은 CASP에서 결정된 공정계획을 공정순서대로 보여줌으로써 전문가가 검증할 수 있는 기회를 제공하는 데 있다. CASP시스템을 통하여 공정 순서가 결정되면 Fig 5와 같은 텍스트 파일 형태로 결과가 export되게 된다. 이 결과 파일을 인터페이스 시스템에서 해석하여 부재들이 조립되는 순서대로 가시화하여 보여주게 된다. 조립순서 결과 파일에서 각각의 공정은 두 개의 부재 간의 관계를 나타내는 리스트 형태로 표현된다. 각 리스트에서 두 개의 부재가 제시되는 순서는 해당 공정에서의 부재의 역할을 나타낸다. Fig. 3에서 예시한 바와 같이 맞대기 용접의 경우는 부재의 역할을 구별하지 않았다. 각각의 공정은 전 공정들에서 조립된 부재들에 새로운 부재가 조립되는 방법으로 진행된다. 따라서 첫 번째 공정에서는 조립되는 부재 두 개를 모두 나타내고 두 번째 조립부터는 두 개의 부재이름 중 앞에 있는 즉, 추가되는 부재 이름을 읽어 와서 이미 가시화 된 부재와 동일한 부재명이 아닐 경우에 가시화를 하는 방법으로 조립과정을 순서대로 보여준다.

```
(joins (parts plate1.igs plate2.igs) (relation butt) (length 200.5))
(joins (parts longil.igs plate1.igsplate2.igs) (relation fillet) (length 10))
(joins (parts longi2.igs longil.igsplate1.igsplate2.igs) (relation fillet) (length 20))
(joins (parts bhd1.igs longi2.igslongil.igsplate1.igsplate2.igs) (relation through) (length 1))
.....
```

Fig. 5 CASP output

6. 적용 예

본 절에서는 CATIA V5를 이용하여 간단한 블록을 모델링 하고 인터페이스 시스템을 통하여 접합 관계 설정을 하고 이를 공정 추론 시스템을 통해 공정 순서를 결정하는 예를 설명한다. Fig. 6은 공정계획 사례를 나타내며, Fig. 7은 CATIA에서 대상 블록을 모델링 한 모습이다.

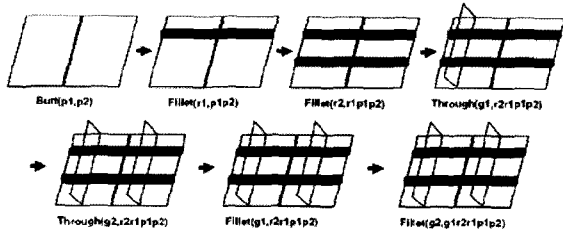


Fig. 6 Example

Fig. 8은 CATIA에서 모델링 된 블록들을 인터페이스 시스템에서 IGES 파일 형식을 이용하여 import한 모습을 나타낸다. CAD 인터페이스 시스템은 그래픽 사용자 인터페이스 (GUI,

Graphic User Interface) 기법을 이용하여 사용자가 편리하게 블록 부재들의 집합 관계를 설정 할 수 있도록 하였다. Fig. 9는 BOM 트리로부터 부재들을 선택하고 그 관계속성을 설정하는 모습을 보여준다. 부재들 간의 관계는 두 개의 부재 간의 관계로만 설정되는 이항관계이며, Fig. 3에 제시된 바와 같이 부재가 제시되는 순서가 의미를 갖는다.

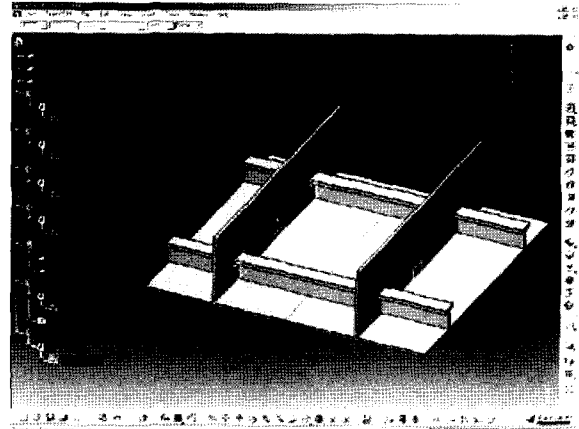


Fig. 7 A Block modeled in CATIA

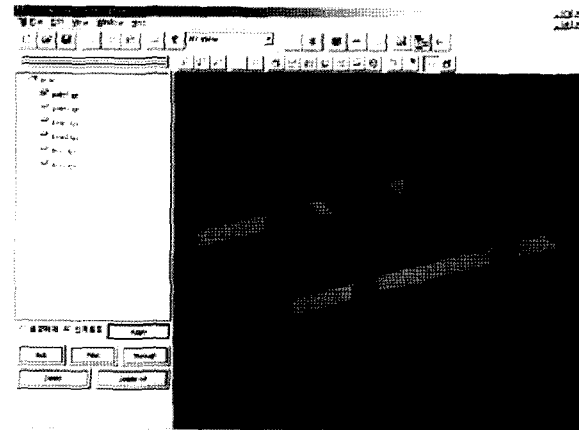


Fig. 8 Block model shown in CAD interface module

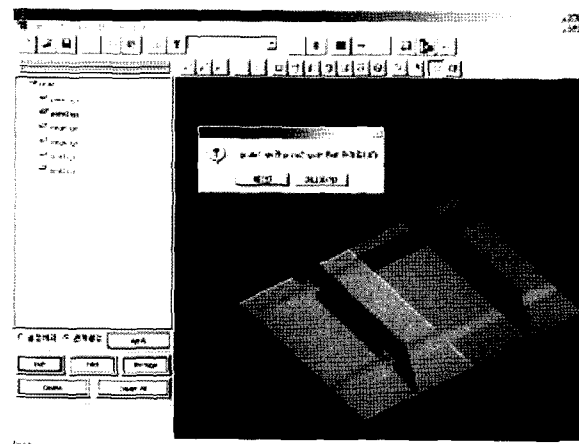


Fig. 9 Defining joint types between parts

블록 부재들의 집합관계 설정을 마치면 각 부재들 간의 관계 그래프가 Fig. 10과 같이 나타난다. 그림에서 노드는 부재를 나타내며, 노드들을 연결하는 아크는 집합관계를 나타낸다. 용접형태에 따라 부재들은 아크로 연결되게 되는데 집합관계에 따라 색깔을 달리 나타낸다.

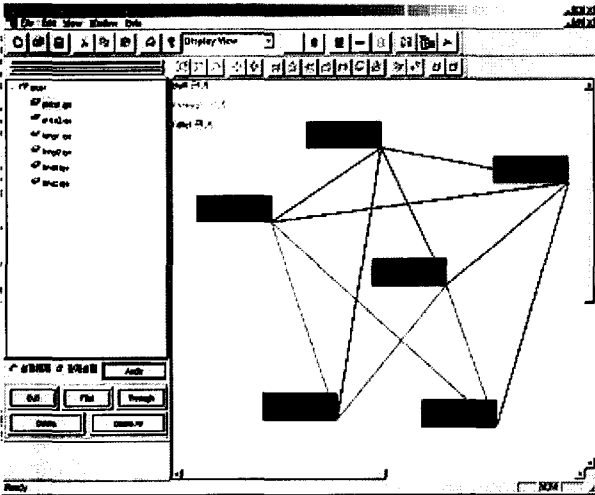


Fig. 10 A Graph showing joints between parts

부재들 간의 결합관계 정보는 Fig. 11과 같이 (part1, part2, joint-type, joint-length) 형식으로 표현되며 이 관계 파일을 text 파일 형태로 export 하면 공정 추론 시스템에서 공정순서 결정 및 공수 산정을 하게 된다.

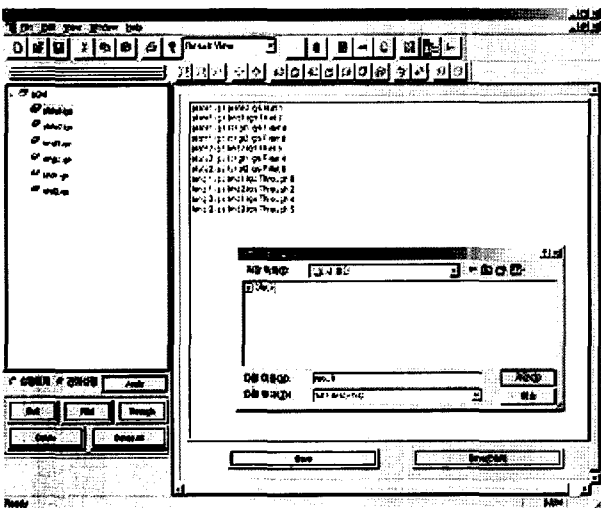


Fig. 11 Output file for CASP

공정 추론 시스템을 통해 결정된 공정 순서와 공수 산정 결과는 인터페이스 시스템에서 가시화 과정을 통하여 검토 승인하게 된다. Fig. 12는 공정 추론 시스템으로부터의 입력된 결과 파일을 이용하여 조립공정 순서를 인터페이스 시스템에서 가시화하는 화면을 보여준다.

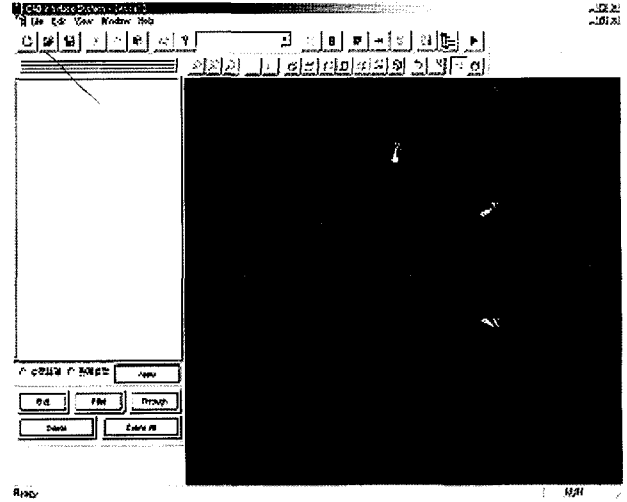


Fig. 12 Visualizing assembly sequence

7. 결 론

블록조립 공정계획 자동화 시스템을 개방형 CAD 커널인 Open CASCADE와 전문가 시스템 셸인 CLIPS를 이용하여 개발하였다. 본 연구에서 개발한 CAD 인터페이스 시스템에서는 CAD 시스템에서 설계된 블록 모델을 IGES포맷을 이용해 import하여 가시화하고, 가시화된 모델을 통한 관계 속성을 설정하고 부재들의 관계 그래프 및 관계 화일을 생성한다. 설정된 관계속성을 바탕으로 CLIPS를 이용하여 개발된 전문가 시스템에서 조립 순서를 결정하며, 그 결과는 조립공정 가시화 과정을 통해 결정된 공정 순서와 공수 산정이 타당한지 검토할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 CAD 인터페이스 부분에 개방형 CAD 커널을 사용함으로써 IGES 파일포맷을 import하고 가시화하는 부분을 개발하였고, 그 외의 기능은 Open CASCADE의 클래스를 상속받거나 MFC를 이용하여 구현하여 프로그램 개발 기간을 단축하였다. 공정순서 결정 시스템에서는 전문가 시스템 셸을 이용하여 구현함으로써 향후 지식 추가 및 변경이 용이하도록 하였다.

향후 Web 기반의 Video conferencing이 가능하도록 VRML로 파일을 export 하는 모듈을 개발 중에 있으며, IGRIP으로 로봇을 위한 OLP 자동화 및 공정 검증을 수행하는 부분도 연구 중에 있다.

후 기

본 연구는 2002년도 울산대학교 연구비로 지원되었으며 이에 감사를 드린다.

참 고 문 헌

신동목 (2003). "전문가 시스템을 이용한 블록조립 공정계획," 한국해양공학회지, 제 17권, 제1호, pp 67-71.

- 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, 제 1호, pp 51-56.
- 조규갑, 유광열, 최형립, 이수홍, 정동수, 윤성태 (1995). "선각 내열 공정설계 자동화시스템의 개발," 산업공학, 제8권, 제 2호, pp 41-52.
- 조학중, 이규열 (2001). "그래프 이론을 기반으로 한 선박의 블록 어셈블리 모델링," 대한조선학회지, 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.
- 한영근, 김기범, 김종화, 박강, 서유희, 신동목, 정봉주 (2002). 생산자동화와 CIM, 시그마프레스, pp 668-671.
- Han, J. (1998). "Feature Recognition: the State of the Art," 한국 CAD/CAM학회 논문집, 제3권, 제1호, pp 68-85.
- Russell, S. and Norvig, P. (1995). "Artificial Intelligence - A Modern Approach," Prentice-Hall, pp 297-334.

2003년 11월 7일 원고 접수

2004년 5월 12일 최종 수정본 채택