

## CAD/CAM 시스템에 의한 선박 모형 제작

김태완\*, 이재환\*\*

### Ship Hull Modeling by CAD/CAM System

Taewan Kim\* and Jae-Hwan Lee\*\*\*

#### 요 약

조선분야에서 CNC, 혹은 CAM이 사용되는 분야는 주로 강재 절단, 프로펠러 제작 자동화와 수조 실험용 모델제작에 관한 것이며 대학에서는 대부분 선형과 구조 설계용 CAD 연구를 수행하고 있고 CAM 분야는 활성화되어 있지 않은 편이다. 본 문에서는 Pro/Engineer CAD 시스템으로 3차원 선체 형상을 모델링 하고 이를 CNC 공작기계로 제작하는 과정을 수행하고 부수적으로 이기종 소프트웨어간 데이터 교환을 위한 중립 데이터 양식에 관한 기초 조사연구도 하였다. CIM 과정에서 소프트웨어간의 형상 정보 교환 시 IGES, STEP을 사용할 수 있으나 본 연구에 적용된 CAM s/w에서 STEP을 인식할 수 없어 IGES를 사용하였고 TRIMC VMC 공작기계의 제작물 크기에 제한이 있어 작은 규모의 선박 모형(prototype) 가공을 수행하였다.

#### Abstract

In ship building industry, CNC and CAM are mostly applied to NC cutting and manufacturing of propeller and prototype ship model. Herein, prototype ship model is produced by CAD/CAM process. Hull form data is obtained from the ship drawing and used for 3D modeling by CAD software Pro/Engineer. CAD data is transferred into CAM s/w SPEEDplus to perform CNC process and the prototype small ship model is manufactured by CNC machine. To solve data transfer among different systems, IGES and STEP neutral formats are currently used. Herein IGES format is adopted for data transfer between CAD/CAM softwares.

---

접수일자: 2000년 12월 12일, 승인일자: 2001년 2월 13일

\*학생회원, 충남대학교 대학원 (E-mail: s\_talta@cnu.ac.kr)

\*\*정회원, 충남대학교 선박해양공학과 (E-mail: jaelee@cnu.ac.kr)

## 1. 서론

산업 전반에 걸쳐 CAD/CAE/CAM가 통합된 CIM (Computer Integrated Manufacturing) 이 정착되고 있는데 이는 제품의 설계, 해석, 생산에 컴퓨터가 사용되어 설계 및 생산정보의 통합 및 자동화를 수행함을 말한다. CAM은 CAD의 형상 모델링을 이용하여 부품가공을 위한 절삭공구의 운동을 시뮬레이션 하여 가공전의 오류를 점검하고 자동화 제작으로 생산성을 향상시키고 있다. 이 때 다양한 시스템을 사용할 경우 이기종간 데이터 호환을 위한 적합한 번역기가 없거나 완벽하지 않아 어려움이 발생할 수 있다. 현재까지 사용되는 데이터 표준 양식으로 IGES가 있고, 제품 데이터를 서로 주고받을 수 있는 중립형태 표준인 STEP이 개발되고 있다. 즉 PDM (Product Data Management) 또는 동시공학(CE)의 발달과 더불어 제품의 생산뿐만 아니라 개발 과정, 품질, 서비스, 폐기 등의 전 수명주기에 걸친 정보를 디지털로 관리하려는 요구가 증가하고 있는데 PDM 시스템은 기본적으로 서로 다른 CAD 시스템에서 설계된 부품의 조립정보를 관리하는데 중요하다. PDM은 DB(database)를 사용하고 수많은 응용 s/w를 연결하여 데이터를 관리할 수 있게 하며 제품 형상 데이터 외에 부품번호, 사양, 시험결과, 해석결과 등에 대한 자료처리를 용이하게 한다. 최근에는 인터넷을 이용하고 PDM과 동시공학을 접목한 CALS (Commerce At Light Speed)가 활성화되고 있다.

본 논문은 3차원 선박모델링 (CAD) 및 이를 이용한 모형제작 (CAM) 과정에 CIM의 개념을 적용하고 부수적으로 이기종 소프트웨어간의 정보 호환 및 표준화를 고찰하는데 있다. 선박의 경우 CAM이 적용될 수 있는 분야로는 선형 시험을 위한 모형 선박, 프로펠러, 타, 선수 및 선미부 등의 모형이나 실물 제작을 들 수 있으나 대학에서의 연구는 미흡한 실정이다. 사용된 소프트웨어 경우, Pro/E에서도 CAE/CAM 기능이 모두 가능하나 본래 3D CAD 용으로 시작하였고 현재

대학에 CAM 기능이 제공되지 않아 사용할 수 없었다. CAM 과정에 도입된 SPEEDPlus 경우 형상표현 기능도 있으나 기본적으로 CAM용으로 공구의 CL (cutter locator) 데이터 파일을 만들고 제작 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 본 연구의 경우 소형 CNC 공작기계라 제작물의 크기 제한이 있기 때문에 작은 선박 모형 가공을 수행하였다.

## 2. 3차원 선체 형상 모델링

선체 CAD 모델은 통상 선형 계산 결과인 선체 곡면 형상 데이터를 모델링 s/w를 사용하여 생성한다. 자유곡면인 선체형상을 표현하기 위한 연구로는 신현경 등에 의한 알고리즘 개발에 관한 연구(1991, 1994), 선체곡면 가시화 연구(1992), 김현철 등에 의한 NURBS 곡선을 이용한 선형 변환(1995) 연구 등이 있다. 그러나 본 논문에서는 2차원 선형도면으로부터 3차원 곡면 데이터를 추출한 후 Pro/E로 선박 모델링을 하였다. Pro/E 시스템의 주요 기능은 3D 모델링, 해석, 부품 조립 및 도면화, 가공 및 금형 설계 등이 있으며 Fig.1은 Pro/E를 이용하여 3차원 모델링을 수행한 선박의 2차원 선형 도면(hull lines)이다 (임상전 1969).

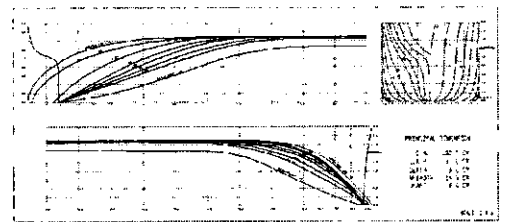


Fig.1 Hull form lines

### 2.1 Pro/E를 사용한 3차원 선형 모델링

Pro/E로 3D ship surface 모델을 생성하는 과정은 다음과 같다.

1) 선형(船型) 데이터는 2차원 선형 도면으로부터 각 워터라인(waterline)간의 수치 즉, 수선면에서 바라본 형상의 데이터 -반쪽평면도상의 워터

라인의 기준 좌표계에 대한 좌표 값을 아스키 파일로 작성한다. CAM의 NC 데이터용으로 기준 좌표를 선체의 선저부 중앙 지점을 기준으로 길이 X축, 폭 Y축, 깊이 방향을 Z축으로 설정한다. 모형 제작에 적합하게 축소하여 좌표 값의 단위는 mm로 하고 데이터 설정 부위는 Bottom Tangent Line, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 7.0 W. L., Upper Deck Line이다. Table 1은 사용된 모형선박의 기본 재원이며 Table 2는 좌표 값이 입력된 아스키 파일의 예이다.

**Table 1** Specification of hull model

LOA (mm)	LBP (mm)	Depth (mm)	Breadth (mm)	Draft (mm)	C <sub>B</sub>
1005	970	90	149	60	0.8

**Table 2** Data file of half-breadth curve of waterlines

X = -461.8689	Y = 0.0000	Z = 0.0000
X = -434.7999	Y = 3.0106	Z = 0.0000
X = -413.1985	Y = 5.7054	Z = 0.0000
.....	.....	.....
X = 459.7489	Y = 3.6355	Z = 0.0000
X = 466.5673	Y = 1.7608	Z = 0.0000

- 2) Pro/E에서 기준 좌표계를 설정한다.
- 3) 주어진 곡선 데이터를 차례로 읽어 각 워터라인의 곡선을 생성한다(Fig.2).

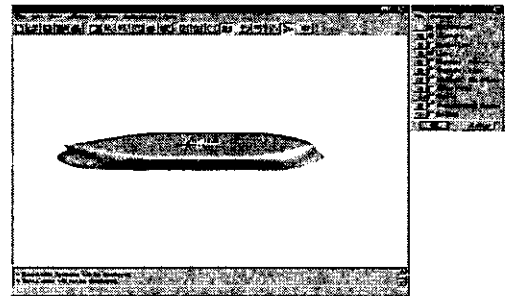


**Fig.2** Generation of waterline curve

- 4) 와이어프레임 상태에서 한 표면을 생성하고 이

를 대칭 복사하여 양표면을 생성한 뒤, 배의 표면 모형(surface model)을 작성한다(Fig.3). 그리고 이를 Pro/E part file로 저장한다.

5) 표면 모형을 CAM 프로그램에서 사용하기 위해 IGES와 STEP 파일을 생성한다 (엄정섭 등 1999). 이때 CNC 기계의 가공 모델 크기 한계로 인해 모형 크기를 기계의 특성에 적합하게 저장한다.



**Fig.3** Surface modeling

## 2.2 중립 데이터의 생성

각종 s/w 시스템마다 고유의 데이터 구조를 갖고 있어 다른 응용 프로그램과 데이터 호환 시 불일치가 발생할 수 있으므로 서로 다른 시스템에서 작업한 데이터(형상 등)를 어떻게 교환하는가는 중요한 문제이다. 최근에는 CIM과 동시공학, 데이터베이스를 연계하는 PDM이 활성화되고 있는데, 이 경우 형상정보뿐만 아니라 BOM (bill of material), 생산, 설계 등 각종 정보가 일관성 있게 취급되고 있다. CIM에서 데이터의 표준은 크게 형상중심과 제품정보중심의 포맷으로 나눌 수 있다. 형상중심의 포맷은 주로 그래픽 데이터 및 입체모델과 같은 형상정보를 주로 표현하는데 초기 CAD 데이터의 포맷은 대부분 형상 정보만을 표현한다. 최근 인터넷을 통한 제품 정보의 설계, 생성, 유지, 보수 등의 작업을 수행하기 위해서는 기존의 형상 정보만을 표현하는 정도로는 부족하고, 제품의 전 수명주기에 걸친 정보를 교환하려는 제품정보중심의 포맷 요구가 증가하고 있다. 이를 위해 PDM의 연구가 활성화되고 있다.

CIM 시스템의 데이터 교환 방식은 직접변환과 간접변환으로 전자는 모든 시스템마다 데이터를 교환하는 방식으로 비교적 정확한 변환이 가능하고 간접에 비해 변환시간이 짧기는 하지만 n개의 시스템에 대해 nC<sub>2</sub> 개의 변환기를 개발해야 한다(김용대 1996). 간접변환방식은 하나의 중립표준을 정의해 놓고 이 표준을 매개로 데이터를 교환하는 방법으로 n개의 시스템에 대해 n개의 비교적 적은 수의 변환기가 필요하다. 이 방법은 CIM 시스템의 하드웨어, 종류, 버전에 관계없이 독립적으로 데이터를 교환할 수 있어서 직접변환방식보다 좋은 방법이라 할 수 있다.

데이터 표준 양식인 IGES 형식은 가공에 관한 정보를 포괄하는 제품 데이터용 표준으로 사용되기에는 미흡한 점이 많다. 아직도 중간 혹은 중립 데이터 교환 양식으로 IGES를 많이 사용해 오고 있어 CAD 시스템마다 이에 대한 전 및 후처리기를 갖고 있으나 고려해야 문제가 발생한다. 예로 어떤 시스템에서는 원호를 중심, 반지름, 시작 및 끝나는 각도로 정의하나, IGES에서는 중심, 시작점, 끝점으로 저장하므로 이 형식을 처리하는 전·후처리기에서는 이런 차이점을 고려해야 하고 더 큰 문제는 형상 요소가 지원되지 않는 경우 부득이 유사한 요소로 변환해야 하는 점이다.

IGES 파일은 포트란 프로그램 파일과 비슷하게 80문자의 아스키로 한 줄이 구성된다. 하나의 파일에는 ①START, ②GLOBAL, ③DIRECTORY, ④PARAMETER, ⑤TERMINATE 등 5개의 섹션이 있다. 이 중에서 디렉토리에는 레이어, 선의 종류, 색깔, 지정 좌표계 등을 저장하고 파라미터 섹션에는 형상 데이터를 저장한다. Fig.4는 본문의 선박형상의 IGES 데이터 형식이다.

STEP(김한기/김광수 1995, 김태식/한순홍 1995, 이영준 등 1996, 신용재/한순홍, 1998)은 1984년부터 ISO 산하 기술위원회인 TC184의 소위원회 SC4를 중심으로 제품정보를 정확하게 표현하고 컴퓨터가 인식이 가능한 형태로 교환하는 목적에 의해 제정작업중인 국제표준이다. 제품의 형상 정보뿐만 아니라 전 수명주기에 걸친

모든 부품표, 재료, 관리, NC 가공 등 많은 종류의 데이터를 포함하는 제품 정보를 어느 시스템에서나 사용할 수 있도록 하는 중립 형태 표준이라는 점이 특징이며, IGES의 역할을 대체할 것으로 보인다. 개발중인 STEP의 분야는 자동차, 조선, 기계 가공, 전자, 건축, 화공, 철강 등 산업 전 분야에 걸쳐 있으나, CALS에서의 적용은 표준의 개발과 관련 프로그램이 성숙된 정도에 따라 표준 전문위원회에서 결정한다. 조선분야 STEP 분과 위원회에서는 일반배치(AP215), 선형(AP216), 배관(AP217), 선채(AP218), 선박기계(AP226) 등의 조선용 응용프로토콜(AP)을 개발하고 있다(박광필 등 1998, 이종갑 1998). Fig.5는 본문 선형의 형상 데이터를 STEP으로 나타낸 예이다.

```
PTC IGES file: ship_surface_scale_wirc_sur.igs S
acc_scale_wirc_sur.igs, G 1
49HPro/ENGINEER by Parametric Technology
Corporation,4I19852,32,38,7,38, G 2
15,20HSHIP_SURFACE_SCALE_0,1,2,2HMM,32768,0,5,13H991
113,191107, G 3
0,0109389,109,394,13HAdministrator,7HUnknown,10,0,13H991113
,191107; G 4
126 1 1 1 0 0 0 00000000D 1
126 0 0 58 0 B_SPLINE ID 2
.....
9,948675273993D-1,-1,178214441676D-8,0D0,1D0,0D0,0D0,1
D0, 69P 2362
0D0,0D0,1D0; 69P 2363
102,4,63,65,67,69; 71P 2364
142,0,59,71,61,1; 73P 2365
144,59,1,0,73; 75P 2366
S 1G 4D 76P 2366 T 1
```

Fig.4 IGES file of hull form

```
ISO-10303-21
HEADER:
FILE_DESCRIPTION(('',''),('1'));
FILE_NAME('SHIP_SURFACE', '1999-12-02T', ('Administ
rator'),(''));
PRO/ENGINEER BY PARAMETRIC TECHNOLOGY
CORPORATION; 9852;
FILE_SCHEMA(('CONFIG_CONTROL_DESIGN'));
ENDSEC;
DATA:
#1=CARTESIAN_POINT(('(4.723752152467E2,0.E0,2.30502
8867037E-6));
.....
#1931=PRODUCT_DEFINITION_SHAPE(('','SHAPE FOR
SHIP_SURFACE',#1930);
ENDSEC;
END-ISO-10303-21;
```

Fig.5 STEP file of hull form

### 3. CNC 공작기계에 의한 모형 제작

3.1 NC 코드 생성

CAM s/w인 SPEEDplus 시스템은 GUI를 통한 곡면 모델링 기능과 가공모듈에서의 자동 공정 계획을 중점적으로 구현하며 데이터 호환 측면에서 다른 CAD 프로그램과의 고려를 위해 DXF, IGES를 이용한 상호 데이터 호환을 이루고 있다. 또한 CATIA, MDT와는 직접 인터페이스로 데이터를 주고받을 수 있는데 이 것은 이진 코드(binary)로 되어 있는 시스템의 데이터 파일 구조를 파악하는 것으로 시스템간의 직접변환 방식이다. 이러한 형태의 파일 변환은 특정 시스템간에 사용자의 요구에 의해 개발되므로 범용의 특성이 적다. CAD 데이터가 입력됐을 때 원하는 형상으로 정확히 전환되지 않는 경우가 있는데, CAM 시스템에서 시뮬레이션 기능을 통해 미리 절삭할 모형의 형상을 검토하면 발생할 문제점과 작업공수를 줄일 수 있다.

SPEEDPlus 및 CNC 동작기계를 이용한 선박 모형 제작 과정은 다음과 같다.

1) CAD에서 작성된 IGES 파일을 불러들여 선형을 확인하고 절삭할 형상을 시뮬레이션 하여 형상 데이터의 정확성을 검증한다. (Fig.6)



Fig.6 Pre-simulation for trouble shot in SPEEDplus

2) 가공 조건 및 공구 경로의 설정을 한다. 공구: 지름 6mm 볼 엔드 밀 (ball end mill), 절삭 조건: 회전 속도 (1000 rpm), 이송 속도 (400), 공구 보정 오른쪽 (G42), 패스 간격: 0.5 mm. 그 외의 설정 값은 커팅 조건 메뉴에

입력된다. 이 때 주의할 점은 등매개 가공 시 간섭 제거는 볼 엔드 밀을 사용하는 경우에만 가능하다. 이는 반경을 공구직경의 절반으로 입력함으로써 정의할 수 있다. 플랫폼 엔드 밀(flat end mill)을 사용할 때는 자동공정계획(CAPP) 가공을 하여야만 간섭 제거가 이루어진다. 가공 작업의 순서를 지정하고 필요한 공구경로를 적절한 절삭 파라미터와 함께 설정한다.

3) 공구 경로 -CL (cutter location) 파일- 를 작성한다.

4) CNC 기계에서 사용하기 위한 NC 코드를 생성한다. (post-processing, CL 데이터를 NC 데이터로 변환) 이 때, 각 기계의 특성에 맞는 NC 데이터를 생성한다. 참고로 SPEEDplus의 생성 데이터의 종류는 Table 3과 같다.

Table 3 Data type of SPEEDplus

파일 확장자	내 용
*.GCD	SPEEDplus에서 작성한 그림 파일 형식
*.PL	GCD 파일을 주어진 가공조건으로 가공시 계산되는 공구의 중심(center) 궤적
*.CL	GCD 파일을 주어진 가공조건으로 가공시 계산되는 공구의 중심끝(tip) 궤적
*.NC	CL 데이터를 Post-Processing하여 기계가 실행될 수 있도록 NC 코드화 된 데이터

5) 공구 경로를 그래픽 디스플레이로 검증한다. NC 데이터로 기계에서 제작 시, 경로를 모니터 상에서 확인할 수 있다 (Fig.7). 가공 과정이 어떻게 형성되는가를 육안으로 확인할 수 있는 좋은 방법이며 오류 발생 시 경로 수정이 가능하다.

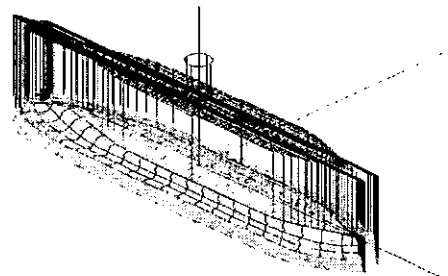


Fig.7 Check of tool path

- 6) 모의 가공할 절삭물의 크기를 초기화한다. 공작물의 크기에 맞게 재료의 가상 크기를 선정한다. 이를 통해 모의 가공 시 나올 절삭물의 형상을 미리 파악할 수 있다.
- 7) 모의 가공을 실행한다. 가공하기 전에 미리 제작될 형상을 검토함으로써 가공시 발생될 문제점을 미리 점검한다 (Fig.8).

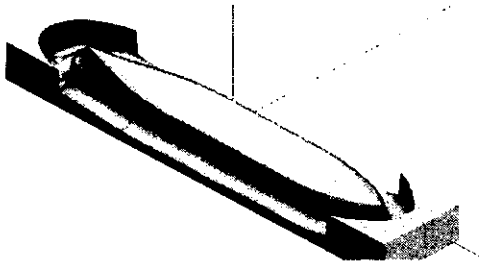


Fig.8 Simulation of virtual cutting process

3.2 CNC 기계를 이용한 모형 가공

SPEEDplus에서 작성한 NC 코드를 기계 (Fig.9)에 입력하고 작업대에 시편을 고정시킨 후, 지정된 공구를 장착, 선박 모형을 제작한다 (고태조 등 1998, 전치수 1997). 사용된 CNC 기계 및 공구, 공작 재료 사양은 Table 4와 같다. 이 공작 기계는 파일 크기 64 kbyte 까지 읽을 수 있어 작업 시 기계의 성능 상 전체 NC 코드가 길면 1회에 입력되지 못하므로 이를 참조하여 코드 라인을 결정하여 사용한다. 본 예의 경우 NC 코드가 너무 길어서 선형 모형을 좌측면, 우측면, 배면의 3개 부분으로 나누어 작성했다. 작업 순서는 좌측면 절삭 → 우측면 절삭 → 배면 면처리의 순서로 이루어 졌고 모형 크기는 기계 이송대의 이동거리에 의해 제한되었다. Fig.10은 CNC 공작 기계를 이용하여 가공한 선박 모형이다.

선박 모형을 CNC 기계에서 제작할 때 발생한 문제점은 다음과 같다.

- 1) 공작 기계의 성능에 따라 모형의 제작 여건이 제한된다. (크기, 공작 방식, NC 코드 데이터 작

- 성, 코드 데이터 크기, etc)
- 2) 정밀도와 제작 시간을 서로 보완해 가며 작업해야 한다. (정밀도가 커지면 작업 시간 증가)
- 3) 가공 재료의 재질에 따른 공구의 재질 변화가 필요하다. (plastic - H.S.S., aluminum - ceramic, 이는 작업 시간에 영향을 준다.)
- 4) 가공자의 숙련도 및 가공 시 어떤 조건을 부여하는가에 따라 제품의 질적 차이가 발생한다. (이 점이 가장 중요하다.)

Table 4 Properties of CNC machine

기계모델명/성능	TRIMC VMC/3축 지그 보링 기계
시편 재료	Plastic MC 사각형 바
시편 크기	220 mm × 100 mm × 30 mm
작업 소요 시간	40분
사용 공구	Ball End Mill (모형 제작시), Face Mill(면가공시), Vertical Cutting Machine(불필요 부분 제거시)
공구 재료	H.S.S. (고속도강)
사용 NC 코드 기종	FANUC 호환 코드

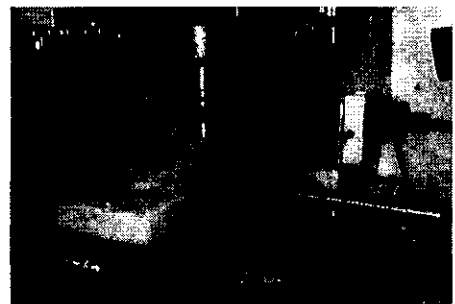


Fig.9 CNC machine



Fig. 10 Prototype ship model

5) 작업 시 조건이 항상 동일할 수는 없다. 예로 재료를 바이스에 물리는 각도가 작업 시마다 약간 달라질 수도 있다. 이로 인하여 공작물에 미세한 차이가 발생할 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 조선분야의 CIM 구현 일환으로 CAD 모델을 기반으로 한 선박의 모형 제작을 수행하였다. 선형 데이터는 선박 도면에서 3차원 데이터를 추출하여 CAD 모델링을 하는 기초적 작업이었으나 이보다는 선형 설계 계산 결과가 직접 CAD 소프트웨어인 Pro/E 등으로 전달되는 과정이 필요하다. 현재 대학의 선박해양 교육 분야에서 통상 2-3 차원 CAD 교육 및 연구는 다소 활성화되어 있으나 기계를 사용하는 CAM 교육이 아직 미흡하다고 볼 수 있다. 대부분의 실질적인 CAD/CAM 적용은 장비가 충분히 설치된 연구소와 조선소에서 수행되고 있고 대학에서는 기계분야 교육과정에만 CAM이 치중되어 있어 조선분야에서도 CNC 기계를 사용하는 다양한 CAM 교육 과정이 체계적이고 이론적으로 수행될 필요가 있다. 모형 제작 과정에서 3D CAD에 의한 모델링과 NC가 적용된 CAM 프로그램, CNC 기계의 사용은 향후 조선 교육, 실습 등에서 CAD/CAM의 활성화를 제시한다. 최근 자유곡면 가공기계 개발에 관한 연구가 신현경 등에(2000) 의해 진행되고 있어 앞으로 선체형상을 제작할 수 있는 장비 개발이 활발해질 것으로 전망된다. 본문의 경우 전문적인 CAM 기술이나 고도화된 장비가 적용된 것은 아니나 실질적인 CAD/CAM 과정이 도입되어 선체모형을 직접 제작함으로써 대학의 연구에서 CIM 과정을 체계적으로 수행하며 경험이 축적된 데에 연구의 의의가 있다.

또한 이기종 CAD/CAM 소프트웨어간의 데이터 호환에 관한 내용도 일부 포함되어 이 분야의 기본적 연구를 파악할 수 있었다. 데이터 전송에 IGES를 사용해 별 문제 없이 수행되었지만 STEP을 사용할 경우에는 SPEEDplus에서 별도의 STEP 변환기(translator) 개발이 필요하다.

STEP은 기계, 조선, 건축, 전자 등 산업 전반에 걸쳐 데이터 호환 표준으로 사용될 수 있다. 또한 각 산업의 특성에 맞는 AP의 할당 및 개발은 STEP의 무한한 가능성을 제시한다. 한편 CIM이라 하면 CAD에서 CAM까지의 전과정에 DB가 적용되고 GUI를 사용한 설계자동화 과정이 포함되어야 하나 본문 경우 전체 과정이 단순하고, 데이터 처리 등에 실질적인 CIM 과정이 도입된 것은 아니어서 향후 더욱 발전적인 과정이 필요하다.

#### 후 기

본 논문은 한국과학재단이 지정한 지역협력연구센터(RRC)인 충남대학교 소프트웨어연구센터의 지원으로 수행된 과제 (99-11-03-02-A-2)의 결과이다. 이에 관계자 여러분에게 감사를 드립니다.

#### 참 고 문 헌

- 고태조, 김주현, 박영우, 양승한, 1998 철삭이론과 공작기계, 동명사.
- 김용대, 1996 "CAD 데이터의 교환", 한국 CAD/CAM 학회지 제2권 제1호.
- 김한기, 김광수, 1995 "STEP을 이용한 특징형상 정보의 교환", 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집.
- 김태식, 한순홍, 1995 "STEP 표준 AP203을 이용한 제품설계 정보시스템", 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp. 872-877
- 김현철, 김수영, 안 당, 하문근, 1995 "횡단면적 곡선과 NURBS 곡선을 이용한 선형변환", 대한조선학회 논문집 제32권 제3호.
- 박광필, 조두연, 이규열, 1998 "STEP을 근거로 한 선체화물창부 구조 데이터 모델에 관한 연구", 대한조선학회 추계학술대회 논문집.
- 신용재, 한순홍, 1998 "STEP 방법론을 이용한 선박설계 모델의 공유", 대한조선학회 논문집, 제 35권 제 4호.
- 신현경, 박규원, 1991 "Open 균일 B-Spline

곡면을 이용한 선체 곡면 표현에 관한 연구”, 대한조선학회 논문집 제28권 제2호.

- 신현경, 박규원, 1992 “컴퓨터 그래픽스 기법을 이용한 선체곡면 가시화 연구”, 대한조선학회 논문집 제29권 제3호.
- 신현경, 신상성, 박규원, 1994 “선체형상 정의를 위한 벡터 산출 알고리즘 개발에 관한 연구”, 대한조선학회 논문집 제31권 제3호.
- 신현경, 신상성, 박규원, 2000 “NURBS 곡면을 이용한 선형표현에 관한 연구 - 자유곡면 가공기계 개발(I)”, 대한조선학회 논문집 제37권 제2호.
- 신현경, 이형락, 박규원, 2000 “자유곡면 가공기계 개발에 관한 연구(II)”, 대한조선학회 추계학술대회 논문집.
- 이영준, 고평욱, 유상봉, 1996 “STEP을 이용한 CAD 데이터 변환 시스템의 구현”, 한국 CAD/CAM 학회 논문집 제1권 제2호.

- 이종갑, 1998 “조선기술의 새로운 패러다임 -SBD”, CAD & 그래픽스.
- 임상전, 1969 기본조선학, 대한교과서주식회사.
- 엄정섭, 김광희, 양동희, 1999 따라하세요 CAM SPEEDplus, 영진출판사.
- 전차수, 1997 “NC Programming”, 한국 CAD/CAM 학회지 제3권 제3호.



< 김 태 완 >



< 이 재 환 >