

## 웹과 STEP을 이용한 제품 설계 정보 공유 시스템

김철영\* · 김남국\*\* · 김영호\*\*\* · 강석호\*\*\*\*

### An Information Sharing System for Product Design Data Using WWW and STEP

Cheol-Young Kim\*, Namkug Kim\*\*, Yeongho Kim\*\*\* and Suk-Ho Kang\*\*\*\*

#### ABSTRACT

An information sharing system, namely World Design View, is developed for browsing product design data on the World Wide Web environment. For the last few years information sharing has been rapidly emerging as an important research issue in the areas of concurrent engineering, product data management, virtual manufacturing, and so on. Since we are mainly concerned with product development, the key information that needs be communicated and shared is product data. The developed system puts the major advantages of STEP, OODB, and VRML together. The STEP standard provides a consistent data exchange format and application interfaces among different CAD/CAM systems. OODB is efficient and effective in dealing with complex data structures often found in engineering applications. Virtual worlds for 3-D product models can be created by VRML which is networked via the global Internet and hyperlinked with WWW. The World Design View system can support for members of virtual design teams, possibly distributed all over the world, to share 3-D shape information quickly and easily.

**Key words** : STEP, OODB, VRML, Concurrent engineering

#### 1. 서 론

최근 기업 활동을 둘러싼 환경의 변화는 제품 수명 주기의 단축, 소비자 요구의 다양화, 기업 경쟁의 격화 등으로 요약된다. 신제품이 창출하는 경영 수익의 비중이 증가하고 있는 추세이며, 위와 같은 환경의 변화는 신제품 개발의 빈도를 더욱 높일 것을 요구하고 있다. 기업 경쟁력은 제품 경쟁력에 있으며, 제품 경쟁력 제고는 고품질, 저원가의 제품을 신속히 개발할 수 있는 능력을 갖추는데 있다. 최근 동시공학(CE: Concurrent Engineering)이 이러한 상황에 대한 해결책으로 부각되고 있다. 동시공학은 제

품 수명 주기 전반에 걸쳐서 발생 가능한 문제를 초기 설계 단계에서부터 고려함으로써, 제품 개발 기간을 단축하고 품질과 생산성을 향상시키는 체계이다. 동시공학은 여러 산업 분야에서 큰 성과를 나타내고 있다. Hartley<sup>1)</sup>는 노드롭사의 설계 변경 작업 75% 감소, DEC사의 제품 개발 기간 60% 단축, GM사의 생산공정 불량 60% 감소 등을 보고하고 있고, 이 외에도 많은 문헌에서 동시공학의 효과를 제시하고 있다<sup>2, 3, 4)</sup>.

현재까지 동시공학에 대한 연구는 그 기법이나 효과에 관해서 주로 행해졌다. 그러나 동시공학을 지원하기 위한 시스템의 구현에 관한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 동시공학의 핵심은 설계, 가공, 조립, 검사, 구매 등의 전문가들로 구성되는 공동설계팀이 제품 개발을 병렬적으로 진행할 수 있는 프로세스를 구축하는 것이다. 이 공동설계팀의 효과적인 운영을 위해서는 팀 또는 팀 구성원들이 제품 정보

\*서울대학교 산업공학과

\*\*학생회원, 서울대학교 산업공학과

\*\*\*중신회원, 서울대학교 산업공학과

\*\*\*\*서울대학교 산업공학과

를 원활히 공유할 수 있어야 한다<sup>14)</sup>. 그러나 기업 내에는 다양한 컴퓨터 플랫폼과, 특정의 자료 형태만을 사용할 수 있는 여러 가지 응용 소프트웨어가 존재하므로 이들을 통합하는 정보 공유 시스템을 개발하는 데에는 어려운 점이 많았다. 특히, 최근에는 기업의 영역이 확대되어 부서들이 서로 다른 국가에 위치하는 경우가 흔히 있으며, 따라서 이들간의 정보 공유를 지원하는 시스템을 개발하는 것은 매우 중요한 연구 과제로 인식되고 있다.

본 연구에서는 지리적으로 분산된 제품 개발 관련 부서들이 제품 정보를 서로 공유하기 위한 월드디자인뷰(World Design View) 시스템을 구현하였다. 효과적인 정보 공유를 위해서는 다음과 같은 요구 사항들을 고려하여야 한다.

1. 개방형 표준: 기업 내부의 여러 관련 부서뿐만 아니라 부품 공급 업체를 포함한 기업 외부와의 정보 공유도 필요하다. 이들은 서로 다른 다양한 응용 소프트웨어(CAD, CAM, CAE 등)를 이용하여 제품 정보를 생성하고, 또 공유해야 하므로, 제품 정보는 개방형의 표준을 따라야 한다.

2. 데이터베이스를 이용한 정보 공유: 응용간에 파일을 통한 정보 교환으로는 실질적인 정보의 공유를 이루기 어렵다. 여러 응용간의 데이터를 공유할 수 있는 데이터베이스 시스템을 사용하여야 한다. 특히 데이터베이스 시스템은 복잡한 제품 설계 정보를 효과적으로 처리할 수 있어야 한다.

3. 웹을 이용한 시스템 구성: 제품 정보 공유 시스템은 다양한 컴퓨터 플랫폼을 지원하고, 지역에 상관없이 쉽게 접근할 수 있는 시스템이어야 하므로 웹에 기반을 두고 개발하였다.

4. 정보의 3차원 동적 시각화: 제품 설계 정보는 형상 데이터를 포함한다. 이를 가장 효과적으로 시각화하기 위해서는 3차원 형상을 동적으로 볼 수 있도록 해야 한다

월드디자인뷰 시스템은 웹 클라이언트-서버 구조를 가진다. 서버에는 객체지향 데이터베이스 관리 시스템(OODBMS)을 사용하여 제품 정보 데이터베이스를 구축하였다. 클라이언트에서는 이 데이터베이스에 저장된 3차원 형상 정보를 웹을 통해서 공유할 수 있다. 월드디자인뷰 시스템은 위의 네 가지 요구 사항을 다음과 같이 해결하였다.

첫째, 월드디자인뷰 시스템은 STEP 표준을 이용한다. STEP은 제품 수명 주기 동안 발생하는 제품과 관련된 정보를 다양한 응용 시스템이 공유하는 것을 목적으로 하는 국제표준기구(ISO)의 표준이다<sup>15)</sup>. STEP

표준은 계속 진행중인 프로젝트로서, 현재 3차원 기계 제품의 설계 과정에 관련된 AP203을 비롯한 몇 가지 파트가 국제표준 규약으로 승인되었으며, 여러 가지 CAD 시스템들이 이를 지원하고 있다.

둘째, 객체지향 데이터베이스를 이용하여 STEP 데이터를 저장한다. 제품의 설계 정보는 복잡한 구조를 가진다. 관계형 데이터베이스는 복잡한 구조를 가진 데이터를 저장하는데 적합하지 못하다고 일반적으로 알려져 있다<sup>16)</sup>. 최근 CAD, CAM, CSCW(Computer Supported Collaborative Work), 멀티미디어 등의 응용을 위해서 객체 지향 데이터베이스가 부각되고 있다<sup>17)</sup>.

셋째, 웹을 이용하여 정보를 공유한다. 인터넷에 접속된 컴퓨터의 수가 최근에 급속히 증가하고 있으며, 따라서 인터넷이 새로운 정보 통신 수단으로 각광을 받고 있다. 특히 웹은 인터넷을 통해 전세계에 있는 정보에 쉽게 접근할 수 있는 경제적이고 대중적인 도구이다. 웹은 HTML로 기술된 문서 정보에 바탕을 두고 있지만, CGI를 통하여 웹 서버와 사용자간의 상호작용이 가능하다<sup>18)</sup>.

넷째, 시각화의 도구로 VRML을 사용한다. VRML은 웹상으로 3차원 가상 공간의 동적인 시각화를 제공하는 규약으로<sup>19)</sup>, 현재 이를 지원하는 여러 웹 브라우저들이 개발되어 있다.

웹을 이용한 제품 설계 정보 공유 시스템에 대한 연구로는 스탠포드 대학의 SHARE<sup>10)</sup> 프로젝트가 있으며, 국내에서는 사용자 인터페이스로 웹 브라우저를 사용하여 STEP 표준을 따르는 설계 정보 시스템에 관한 연구가 있다<sup>11)</sup>. 그러나 이 시스템들은 제품의 설명, 구조, 문서 등에 관한 자료는 지원하나, 주요한 설계 정보인 3차원 형상 정보는 지원하지 않고 있다. CAD 데이터의 공유 시스템에 관한 연구로는 Fowler와 Karinthi에 의한 CAD 데이터베이스에 원격 접근을 제공하는 정보 공유 시스템인 ISS(Information Sharing System)에 관한 연구가 있다<sup>12)</sup>. 이 연구는 데이터의 표준을 사용하지 않으므로 각 CAD 데이터베이스마다 게이트웨이를 구현하여 데이터의 호환성을 제공하며, 전용의 소프트웨어를 필요로 하는 단점을 가진다.

본 연구에서 개발된 월드디자인뷰 시스템은 객체지향 데이터베이스를 사용하고, 실제 STEP 3차원 설계 형상 정보를 VRML 형태로 바꾸어 웹상에서 브라우저가 가능하도록 하였다. 이 시스템은 웹상에서 사용자와 웹 서버간의 상호작용을 지원하므로 사용자는 형상 정보를 보면서 실시간에 설계 변경

요구나 평가를 하는 목적으로 사용할 수 있다.

시스템의 구현 과정에서 다음과 같은 세부 모듈과 알고리즘이 개발되었다.

1. 제품 설계 정보에 관련된 STEP AP203 스키마에 대응되는 객체지향 데이터베이스 스키마의 설계
2. 객체지향 STEP 데이터베이스에서 제품 정보와 제품 구조 정보를 검색하는 모듈
3. 객체지향 데이터베이스에 저장된 STEP 데이터를 VRML 형태로 변환하는 알고리즘

이하 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 월드디자인뷰 시스템의 전체 구조에 대해서 살펴보고, 3장에서는 객체지향 STEP 설계 정보 데이터베이스의 구현, 4장에서는 STEP 데이터를 VRML 형태로 변환하는 알고리즘을 설명한다. 5장에서는 구현된 시스템의 동작을 예시하였으며, 마지막으로 6장에서는 결론으로 개발된 시스템의 특징과 잠재적인 적용 가능 분야에 대해서 논의하였다.

## 2. 월드디자인뷰 시스템 구성

월드디자인뷰 시스템은 웹 클라이언트-서버 구조로서, 객체지향 데이터베이스 상에 구축된 웹 서버와 웹 브라우저를 통해 설계 정보에 접근하는 클라이언트로 구성되어 있다. 시스템의 전체적인 구성은 Fig. 1과 같다. 서버는 객체지향 STEP 데이터베이스와 클라이언트의 요구에 따라 정보를 변환하여 전송하는 CGI 프로그램으로 구성된다. 클라이언트는 크게 CAD 시스템 사용자와 웹 브라우저 사용자로 구분된다. CAD 시스템 사용자는 실제로 제품을 설계하는 사용자를 말하며, 웹 브라우저 사용자는 본 연구에서 개발한 시스템을 이용하여 설계된 제품 또는 가공, 조립에 관련된 설계 정보를 참조하거나 평가하는 사용자를 말한다. 본 논문에서는 컴퓨터 플랫폼에 상관없이 제품 설계 정보에 접근할 수 있는 웹 서비스에 대해서 주로 다루기로 하며, 이는 그림에서 음영으로 표시된 부분이다.

제품 설계 데이터베이스 스키마는 제품의 설계 과정을 지원하는 STEP AP203 국제 표준을 따라 정의하였다. 이는 여러 이기종 CAD 시스템을 사용하는 power user 클라이언트를 위한 것이다. 이 데이터베이스는 제품 번호를 포함한 제품의 정의, 제품 구조(BOM), 각 구성 부품의 3차원 형상 정보를 저장한다. 이에 대한 보다 구체적인 내용은 다음 장에서 다룰 것이다.

제품 개발이 진행됨에 따라 데이터베이스의 설계

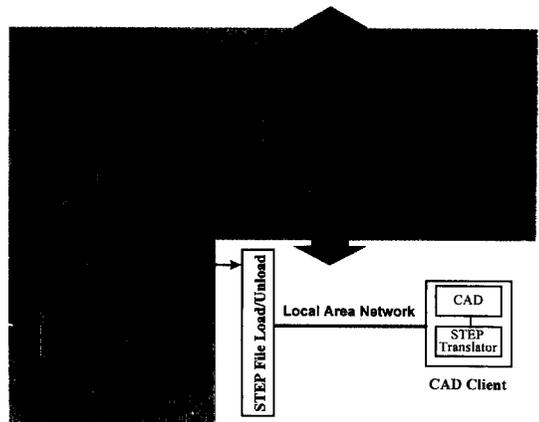


Fig. 1. Overall architecture of World Design View.

정보는 계속 변경되므로, 웹으로 설계 정보를 제공하는 서버는 동적으로 웹 문서를 만들 수 있어야 한다. 이를 위해 다음과 같은 세 가지 CGI 프로그램을 개발하였다. 첫번째 CGI 프로그램은 제품에 관한 정보를 데이터베이스로부터 검색한다. 두번째는 트리 형태의 BOM 제품 구조 정보를 생성하기 위한 것이다. 마지막으로 선택된 제품 또는 부품의 3차원 형상 정보를 웹으로 제공하기 위해 STEP 데이터를 VRML 형태로 변환하는 CGI 프로그램이 개발되었다.

월드디자인뷰 시스템의 동작은 다음과 같다. 사용자는 자신의 컴퓨터 플랫폼에서 넷스케이프와 같은 일반적인 웹 브라우저를 이용하여 월드디자인뷰 시스템을 사용할 수 있다. 서버는 사용자의 요구에 따라 적절한 CGI 프로그램을 실행하여 결과를 다시 사용자 측의 웹 브라우저로 전송하게 된다. 사용자가 서버에 접속하면, 데이터베이스에 저장된 제품에 관한 정보를 보여준다(2). 사용자는 필요한 설계 정보를 요구하기 위해 제품을 선택한다. 웹 서버는 데이터베이스에서 해당되는 제품의 구조를 보여 주게 된다(3). 사용자가 구성품이나 부품을 선택하면, CGI 프로그램은 데이터베이스에서 형상 정보를 찾아(5, 6), 이를 VRML 파일 형식으로 변환한다(4). VRML 파일로 변환된 제품 또는 부품의 형상 정보는 클라이언트로 보내지며, 웹 브라우저는 VRML 브라우저를 실행하여 사용자가 선택한 부품의 3차원 형상 정보를 볼 수 있도록 한다.

## 3. STEP 설계 정보 데이터베이스

월드디자인뷰 시스템의 데이터베이스는 STEP 표

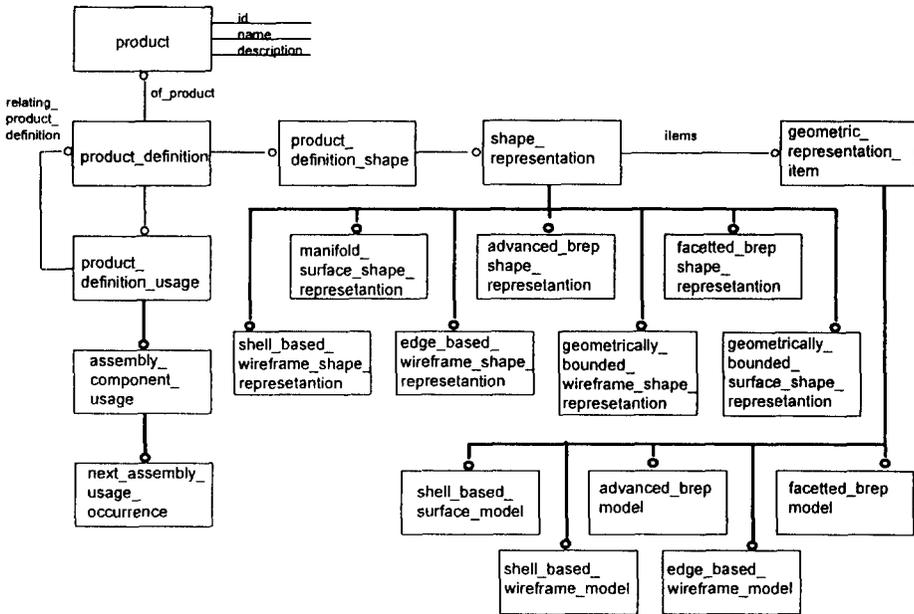


Fig. 2. STEP 203 schema related with product structures and shapes.

준을 따르고 있으며, 객체지향 데이터베이스 관리 시스템을 사용하여 구축하였다. STEP 데이터베이스를 구축하기 위해 SDAI(Standard Data Access Interface)를 확장하는 방안이 관련 연구가 있다<sup>13,14</sup>. 그러나 SDAI 관련 표준화가 진행 중인 단계이고, 객체지향 데이터베이스 시스템마다 객체 모델과 데이터 조작용어가 일반적인 객체지향 언어와 다소간의 차이가 있기 때문에, SDAI를 지원하는 객체지향 데이터베이스 시스템은 시제품 수준에 머물고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 STEP 표준을 따라 기술된 데이터를 객체지향 데이터베이스에 저장하기 위해 STEP 데이터 스키마를 객체지향 데이터베이스 스키마로 직접 변환하였다. STEP 데이터 스키마를 정의하는 EXPRESS 언어는 객체지향 데이터 기술 언어이므로 이를 객체지향 데이터베이스 스키마로 변환하는 것은 아래에 설명된 사항을 고려하면 쉽게 가능하다.

이 장에서는 (1) 개념적 STEP 데이터베이스 스키마, (2) STEP 데이터를 저장하는 객체지향 데이터베이스의 구현 방법, 그리고 (3) 구축된 데이터베이스에서 제품 설계 정보에 접근하는 응용 프로그램의 구조에 대해서 살펴보기로 한다.

### 3.1 STEP 데이터베이스 스키마

월드디자인뷰 시스템의 데이터베이스 스키마는 제품 설계 과정을 지원하는 STEP AP203을 따르고

있으며, AP203에서는 기계 제품의 설계 과정에 필요한 여러가지 정보 항목을 정의하고 있다<sup>15</sup>. 월드디자인뷰 시스템은 제품 구조 또는 제품의 조립 형상이나 부품의 3차원 형상 설계를 브라우징하는 기능을 제공한다. 이를 중심으로 데이터베이스 스키마를 살펴보면 Fig. 2와 같다.

Fig. 2는 EXPRESS-G 표현 방식을 이용하여 STEP 스키마를 나타내고 있다. 여기에서 사각형은 객체를 나타내며, 굵은 실선은 상속 관계, 가는 실선은 객체간의 관계를 나타낸다. 제품을 나타내는 제품 객체는 제품 고유 번호(id)와 제품명 등의 속성을 가진다. 제품 객체는 제품정의(product-definition) 객체와 연결되어 있다. 이는 제품정의 객체가 제품 객체의 한 가지 정의임을 의미하고, 실제로는 제품정의 객체의 of-product 멤버가 제품 객체를 가리킨다. 제품정의 객체는 또 제품의 형상을 정의하기 위한 제품형상정의(product-definition-shape) 객체와 제품의 용도를 정의하기 위한 제품용도정의(product-definition-usage) 객체와 관계되어 있다. 제품이 다른 제품의 구성품으로 사용될 때는 제품용도정의 객체 대신 이로부터 상속된 조립 구성품사용(assembly-component-usage) 객체가 이용된다. 실제로는 조립구성품사용 객체 대신, 상위구성품조립사용(next-assembly-usage-occurrence) 객체라는 상위 단계 제품의 제품정의 객체를 가리키는 객체가 주로 사용된다.

STEP AP203에서는 제품 형상의 여러 가지 표현 방식을 제공한다. 제품형상정의 객체는 형상표현(shape-representation) 객체에서 상속 받은 적절한 표현 객체를 가리키게 된다. 실제 형상 정보는 이 형상표현 객체에 연결되어 있다. 예를 들어, 제품의 형상이 고등경계 표현(advanced brep model)이면, 제품형상정의 객체는 고등경계 형상표현(advanced-brep-shape-representation) 객체를 가리키게 되며, 이 객체가 고등경계표현 모형(advanced-brep model) 객체를 가리키게 된다.

형상의 표현 방식은 경계 표현(boundary representation) 방식의 솔리드 모델(solid model)과, 곡면 모델(surface model), 와이어프레임 모델(wireframe model) 등이 있다. 솔리드 모델은 완전한 위상(topology) 정보를 가진 형상 표현 방식으로 고등 경계표현(advanced brep model)과 다면체 경계 표현(facetted brep model)이 있다. 다면체 경계 표현은 평면만을 가지는 모델로서 실제 설계의 근사 모형이 된다. 곡면 모델은 부분적인 위상 정보를 가진 셸이나 면에 기반한 모형과 위상 정보가 없는 모형이 있다. 이런 형상 모형들은 여러 종류의 객체로 이루어진 복합 객체 구조를 가진다. 예를 들어 고등경계표현모형 객체의 구조를 살펴보면 Fig. 3과 같다.

고등경계표현모형 객체는 하나의 셸(shell)로 구성된다. 셸은 여러 개의 면으로 이루어지며, 면은 경계에 관한 정보와 기하학적 형상을 나타내는 곡면 정보를 가진다. 면의 경계로는 다각형(polygon) 루우프(loop)와 모서리(edge) 루우프가 있으며, 곡면은 평면, 원추 곡면, 스포라인 곡면 등이 가능하다. 다각형 루우프의 경우는 항상 평면상의 다각형이며, 모서리 루우프는 곡선으로 이루어진 여러 개의 모서리로 이루어진다. 모서리는 양 끝점인 꼭지점(vertex)과 기하학적 형상인 곡선(curve)으로 이루어지며, 이 곡선은 정확성을 위해서 곡면의 파라미터에 의해 표현된다. 곡면은 각각의 형태에 따라 다른 정보를 가진다. 예를 들어, 평면인 경우, 평면의 위치(location)와 법선 벡터가 주어진다. 한편, 다면체 경계 표현은 평면(plane) 형태의 곡면만을 가진 솔리드 모델로서 구조는 고등경계표현과 같으며, 각 면에서 곡면의 형태가 평면이며, 면의 경계가 다각형 루우프 형태로만 이루어져 있다.

**3.2 객체지향 STEP 데이터베이스의 구현**

본 연구에서는 객체지향 데이터베이스에 STEP 데이터를 저장한다. 따라서 앞 절에서 설명한 STEP 스키마가 객체지향 데이터베이스 스키마로 변환되어 정의되어 있어야 한다. 변환 과정에서 객체지향 데

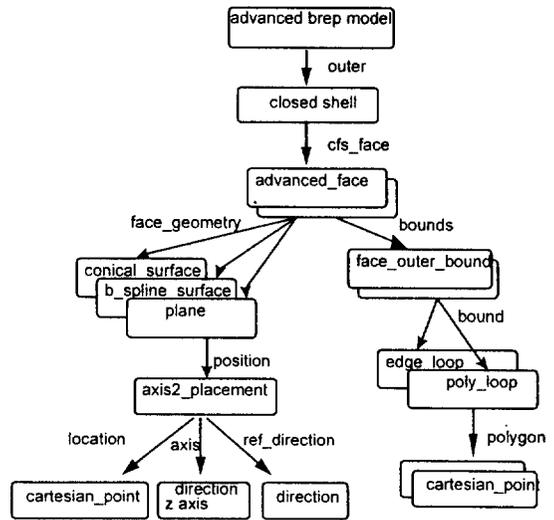


Fig. 3. Entity structure in advanced brep representation model.

이터베이스 시스템의 객체 정의의 방식, 논리적 저장 구조, 객체의 효율적인 접근을 위한 해싱(hashing) 방안이 고려되었다.

대부분의 객체지향 데이터베이스 시스템은 객체의 영속성(persistency)을 제공하기 위해 확장된 C++ 형태의 데이터베이스 인터페이스를 제공한다. 본 연구에서 사용한 시스템에서 영속적인 객체는 ooObj 라는 클래스의 서브클래스로 정의되며, 영속적인 객체에 접근하기 위해서는 객체의 핸들(handle)과 레퍼런스(reference)를 사용하여야 한다. 복합 객체를 표현하기 위한 객체간의 관계는 핸들과 레퍼런스로 정의되는 어소시에이션(association)으로 표현되며, 이를 통해서 한 객체에서 다른 객체로 순회(traverse)가 가능하다. EXPRESS 언어에서 집합(SET), 백(BAG), 리스트(LIST), 배열(ARRAY)같은 속성 형태는 어소시에이션으로 변환될 수 있으며, 어소시에이션의 순환연산자(iterator)에 의해 각 원소들을 순회할 수 있다<sup>11)</sup>.

본 연구에서 사용한 객체지향 데이터베이스 시스템은 FDDB(Federate DB), DB, 컨테이너(Container)와 같은 논리적 저장 구조를 가진다. FDDB 안에는 여러 개의 DB가 존재하며, 하나의 DB 안에는 여러 개의 컨테이너가 존재하고, 컨테이너 안에 실제 객체들이 저장된다. 컨테이너는 물리적인 클러스터링의 단위이며, 록(lock)의 단위이기도 하다. 월드디자 인퓨 시스템의 데이터베이스는 하나의 FDDB로 구

```

#VRML V1.0 ascii
Separator {
  WWWAnchor { # part 1:
    name "http://cybernet.snu.ac.kr/~kaster/query&part1"

    Translation { translation 0 4 0 }
    Coordinate3 { point[ 4.28747 0.730427 0.0, #point-0
                        7.58890 2.890810 0.0, #point-1
                        4.34717 0.725027 0.059694, #point-2
                        ..... ]}

    Normal { vector[ 0 0 -1, #normal-0
                   0 0 -1, #normal-1
                   0 1 0, #normal-2
                   ..... ]}

    NormalBinding { value PER_VERTEX_INDEXED}
    Indexed Face Set { coordIndex[ 3, 4, 0, 1, -1, #polygon-0
                                   3, 1, 0, -1, #polygon-1
                                   1, 0, 0, 1, -1, #polygon-2
                                   ..... ]
                    normalIndex[ 0, 1, 2, 4, -1, # normals for polygon-0
                                  1, 3, 0, -1, # normals for polygon-1
                                  2, 4, 4, 2, -1 # normals for polygon-2
                                  ..... ]}
  }
}

```

Fig. 4. An example VRML file.

성되고, 각 제품마다 DB가 생성되며, 이 제품 DB 안에 제품의 구조 정보를 위한 컨테이너와 각 부품의 형상 정보를 위한 컨테이너가 생성되게 하였다. 대부분 데이터베이스에서 데이터를 읽을 때, 하나의 형상 모델 전체가 읽혀지므로, 각 부품 형상 데이터를 한 컨테이너에 저장하는 것이 클러스트링의 효율을 높일 수 있다.

객체에는 이름을 부여할 수 있으며, 이 이름을 이용하여 객체 단위로 해싱 기능을 가진 맵(Map)객체를 제공할 수 있다. 예를 들어 제품 객체마다 제품명을 객체의 이름으로 정하면, 맵객체에서 제품명을 사용하여 원하는 제품 객체를 효율적으로 찾을 수 있다. 신규 제품 객체가 데이터베이스에 추가될 때에는 맵객체에 등록해야 한다.

### 3.3 STEP 데이터베이스의 질의 및 검색

월드디자인뷰 시스템의 사용자는 설계 자료를 세 단계로 검색할 수 있다. 첫번째 단계는 데이터베이스에 저장된 전체 제품의 리스트로부터 하나의 제품을 선택하는 것이다. 이를 위해 사용자가 시스템에 접속했을 때, 현재 데이터베이스에 저장되어 있는 제품의 리스트를 HTML 형식으로 보여주는 CGI 프로그램이 개발되었다. 두번째 단계는 선택된 제품의 제품 구조

(BOM)를 이용하여 특정 구성품(subassembly)을 선택하는 것이다. 사용자가 특정 제품을 선택했을 때 이 제품의 구조(BOM)를 HTML 형식으로 보여주는 CGI 프로그램도 개발되었다. 마지막으로 VRML로 선택된 제품 또는 구성품의 조립 형상을 브라우징하면서 특정 부품을 선택할 수도 있다. 이 때 서버가 선택된 부품의 형상 정보만을 다시 검색하여 클라이언트로 전송하는 CGI 프로그램을 개발하였다. 이상의 세가지 CGI 프로그램을 모두 C++ 인터페이스를 이용하여 STEP 데이터베이스 서버에 구현하였다. STEP 형상 데이터를 VRML 파일 형태로 바꾸는 알고리즘은 4장에서 설명하기로 한다.

## 4. VRML 인터페이스

### 4.1 VRML(Virtual Reality Modeling Language)

VRML은 3차원 가상 현실 공간(Virtual Reality Space)을 기술하는 언어로 웹상에서 3차원 형상을 동적으로 시각화하기 위한 표준이다. 다양한 컴퓨터 플랫폼에서 VRML 브라우저가 개발되어 있다.

VRML 파일은 여러 가지 노드로 구성되어 있다. 노드에는 3차원 형상 표현을 위한 노드와 하이퍼링크 기능을 위한 WWWAnchor 노드 등이 있다. 하이

```

Print_VRML_Header();
for each part of selected component of product {
  print_WWWAnchor(part);           # 부품명에 대해 WWWAnchor node 생성
  print_relative_location_transform(part); # 부품의 상대적인 위치 transform node
  find_geometric_representation_model(part);
  Switch (type_of_geometric_representation_model) {
    case advanced_brep_model:
      Shell= advanced_brep_model→outer();
      while (Shell→next()) {
        advanced_face = Shell→cfs_face();
        while (advanced_face→next()) {
          switch(type of surface) {
            case plane:
              convert_IndexedfaceSet_from_plane();
            case b-spline_surface:
              make_a_boundary_polyloop_from_parametric_curve();
              make_an_adaptive_mesh_generation();
            case conical_surface:
              ....
          }
        }
      }
    case faceted_brep_model:
      Shell=faceted_brep_model→outer();
      while (Shell→next()) {
        face_surface = Shell→cfs_face();
        while (face_surface→next())
          convert_IndexedfaceSet_from_plane();
      }
  }
}

```

Fig. 5. A pseudo code traversing STEP OODB to generate VRML files.

퍼링크 기능은 VRML 브라우저상에서 3차원 대상을 선택함으로써 다른 웹 문서로 옮겨갈 수 있는 기능을 말한다. 형상 표현을 위한 노드에는 3차원 변환을 위한 노드와 기본적인 육면체(Cube), 원통(Cylinder), 원뿔(Cone), 구(Sphere)를 나타내는 노드와 다면체를 위한 IndexedFaceSet 노드만 존재한다. 이는 성능이 낮은 컴퓨터 플랫폼에서도 쉽게 형상을 표현할 수 있도록 하기 위한 것이다. 따라서 제품 형상 데이터에서 자주 사용되는 자유 곡면을 VRML로 바꾸기 위해서는 이를 다면체로 근사시켜야 한다. Fig. 4에 VRML 예제 파일이 나타나있다.

첫번째 행은 이 파일이 VRML 1.0 표준을 따르는 파일이라는 것을 나타낸다. Separator는 노드들을 그룹핑할 때 사용하는데, Fig. 4에서 Separator는 부품 1의 형상에 관한 데이터를 모두 이 노드에 포함시키기 위해 사용되고 있다. 하이퍼링크를 위한 WWWAnchor 노드의 name 필드에는 부품을 선택했을 때 이동할 주소를 명시한다. 이때 주소는 부품 1의 형상 VRML 파일을 돌려주는 CGI 프로그램의 주소

이다. IndexedFaceSet 노드는 다면체를 표시하기 위해 사용한다. 이 노드는 각 다면체의 꼭지점 자료를 나타내는 Coordinate3 노드와 법선 벡터를 나타내는 Normal 노드를 이용한다. VRML 1.0 표준에 대한 자세한 사항은 [17]을 참조할 수 있다.

#### 4.2 STEP-VRML 변환

STEP 형상 정보를 VRML 형태로 바꾸기 위해서는 형상 정보의 형태에 따라 데이터베이스의 형상 표현 모델을 순회하면서 적절한 VRML 노드들을 생성해야 한다. 솔리드 모델이나 곡면 모델의 경우, 제품의 형상은 면에 의해 결정되며, 각 면의 기하학적 형상에 관한 정보는 곡면에 담겨 있다. 따라서 형상 표현 모델의 각 곡면을 VRML의 IndexedFaceSet으로 바꾸면 된다. 예를 들어, 솔리드 모델의 일종인 고동경계 표현의 경우에는 모델이 하나의 셸로 구성되어 있으며, 셸은 여러 개의 면으로 구성되어 있다. 각 면은 평면, 원추 곡면, 스프라인 곡면 등의 형태를 가지며, VRML 파일을 생성하기 위해서는 각 곡면을 형태에

따라 적절히 IndexedFaceSet으로 변환하면 된다.

대략적인 STEP-VRML 변환 알고리즘은 Fig. 5와 같다. 우선 VRML 파일임을 나타내는 헤더 부분을 출력한다. 그리고 선택된 구성품의 모든 부품에 대해서, 상세 모형을 위한 WWWAnchor 노드 정보를 출력하고, 부품의 상대적인 위치를 결정하는 변환(transform) 노드 정보를 출력한다. 그리고 데이터베이스에서 해당 부품의 형상표현모형(geometric-representation-model)을 찾아 모델의 종류에 따라 적절히 곡면을 IndexedFaceSet 노드로 바꾼다. 곡면을 IndexedFaceSet으로 변환하는 알고리즘은 다음 절에서 상세히 설명하기로 한다.

**4.3 적응적 메쉬 생성(Adaptive mesh generation)**

STEP 형상 데이터는 자유 곡면을 포함한다. VRML 포맷은 클라이언트 쪽의 계산 오버헤드를 줄이기 위해 다각형(polygon)만을 지원하므로, 곡면을 표현하기 위해서는 이를 여러 개의 다각형으로 근사해야 한다. 일반적으로 알려진 Bezier Surface나 B-Spline Surface, 특히 2차 곡면을 표시할 수 있는 NURB(Non-Uniform Rational B-spline) Surface 등은 모두 NURB Surface 방정식으로 표시될 수 있다.<sup>11)</sup>

본 절에서는 NURB 곡면은 다각형으로 근사하기 위한 알고리즘을 설명한다.

NURB 곡면은 (u, v) 파라미터 평면에서 정의된다. 이를 다각형으로 근사하는 가장 간단한 방법은 균등 분할법이다. 이는 생성된 다면체가 (u, v)평면에서 같은 크기를 가지는 삼각형 메쉬(mesh)로 분할되도록

하는 방법이다<sup>11)</sup>. 균등분할법은 간단하지만 곡률이 작은 부분을 불필요하게 많이 분할하고 또 곡률이 큰 부분은 충분히 근사하지 못하는 단점이 있다<sup>12)</sup>. 본 연구에서는 곡률의 크기에 비례하여 다각형의 크기를 조절하는 적응적 분할법(adaptive subdivision)<sup>12)</sup>을 이용하여 VRML 파일을 생성하는 방안을 개발하였다.

적응적 분할법에서는 분할하기 위해 주어진 곡면과 분할하는 평면 사이의 오차가 최대 오차보다 작도록 곡면을 분할하게 된다. 이 방법은 다음 식을 이용하여 곡면을 분리하여 근사한다.

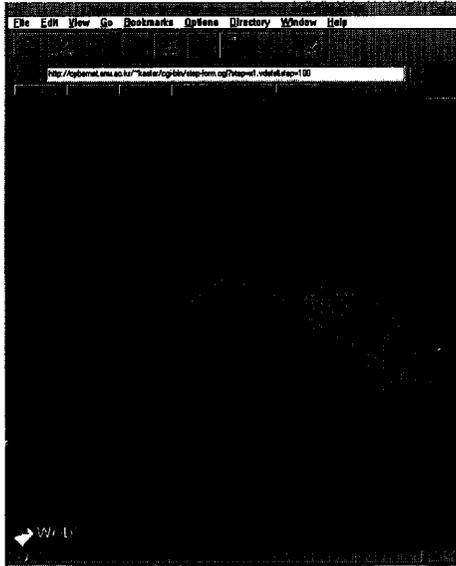
$$\text{Max} (|P_i|) < \delta \tag{1}$$

여기에서 P<sub>i</sub>는 i번째 조정점과 분할된 곡면의 기준 선과의 거리를 나타낸다. δ는 최대 오차이며, 이는 사용자가 결정한다. 분할된 곡면이 u, v 방향 각각에 대해서 위 식의 편평도를 만족할 때까지 재귀적으로 분할을 반복한다. 곡면 위의 모든 곡선은 조정점들이 이루는 조정 다각형과 기준선 사이에 위치하므로, 실제 곡면과 생성되는 다면체 사이의 오차는 항상 δ보다 작게 된다. 이 방법은 곡률이 큰 부분의 곡면을 많은 수의 다각형으로 나누며, 곡률이 작은 부분을 적은 수의 다각형으로 나눈다. 따라서 전체적으로 비교적 적은 수의 다각형으로도 곡면을 정확하게 근사할 수 있다.

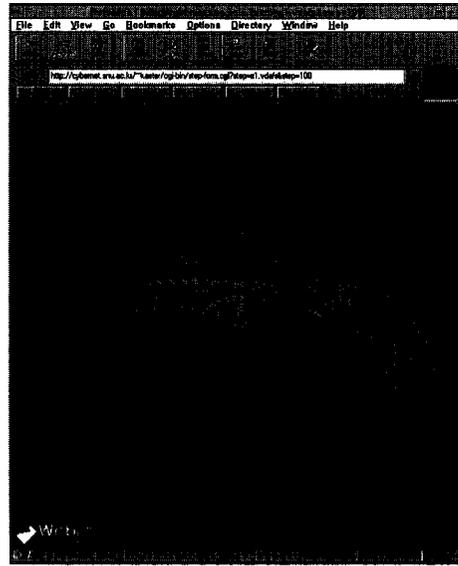
월드디자인뷰 시스템의 성능은 서버에서 VRML 파일을 생성하는 시간과 네트워크를 통한 파일 전송 시간, 클라이언트에서 렌더링하는 시간으로 측정될

**Table 1.** Comparison of mesh generation methods

모델 (b-spline 곡면 수)	생성된 배위의 수			메쉬 생성 시간(sec.)			파일 크기(KBytes)		
	SM-20	AS-50	(%)	SM-20	AS-50	(%)	SM-20	AS-50	(%)
X1 자동차 (311) 파이프 (152)	253,455	29,870	11.8%	38.8	37.3	96.1%	20,041	7,264	36.3%
	122,892	11,872	9.7%	44.9	34.6	77.1%	9,353	2,862	30.6%
A1 자동차 (311) 파이프 (152)	SM-15	AS-150	(%)	SM-15	AS-150	(%)	SM-15	AS-150	(%)
	144,605	13,230	9.1%	82.7	37.3	45.1%	11,861	2,235	18.8%
	69,692	4,041	5.8%	38.1	11.9	31.2%	5,438	678	12.5%
A1 자동차 (311) 파이프 (152)	SM-10	AS-250	(%)	SM-10	AS-250	(%)	SM-150	AS-250	(%)
	61,889	7,404	12.0%	38.8	22.1	57.0%	4,407	1,720	39.0%
	30,400	3,130	10.3%	14.1	9.1	64.5%	2,143	770	35.9%
A1 자동차 (311) 파이프 (152)	SM-8	AS-350	(%)	SM-8	AS-350	(%)	SM-8	AS-350	(%)
	44,463	5,948	13.4%	32.7	16.3	49.8%	4,320	1,493	34.6%
	20,748	2,726	13.1%	10.5	7.9	75.2%	1,835	676	36.8%
A1 자동차 (311) 파이프 (152)	SM-5	AS-450	(%)	SM-5	AS-450	(%)	SM-5	AS-450	(%)
	20,205	5,316	26.3%	21.7	15.9	73.3%	2,560	1,432	55.9%
	8,892	1,506	16.9%	7.1	4.2	59.2%	994	390	39.2%

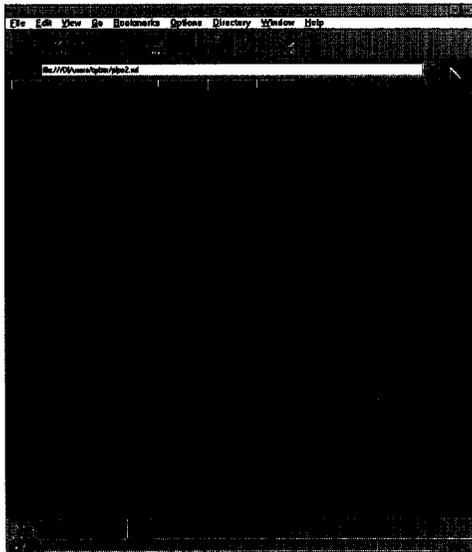


(a) 균등분할법

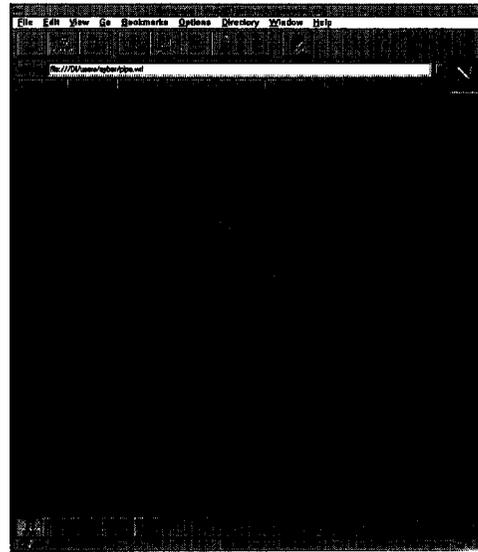


(b) 적응적 분할법

Fig. 6. Car model (a) Simple mesh generation (b) Adaptive mesh generation.



(a) 균등분할법



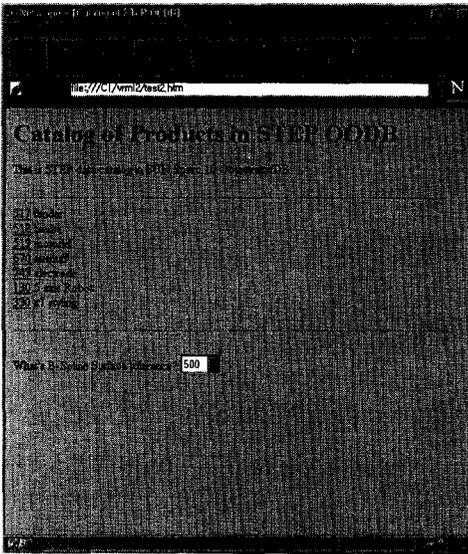
(b) 적응적 분할법

Fig. 7. Pipe model (a) Simple mesh generation (b) Adaptive mesh generation.

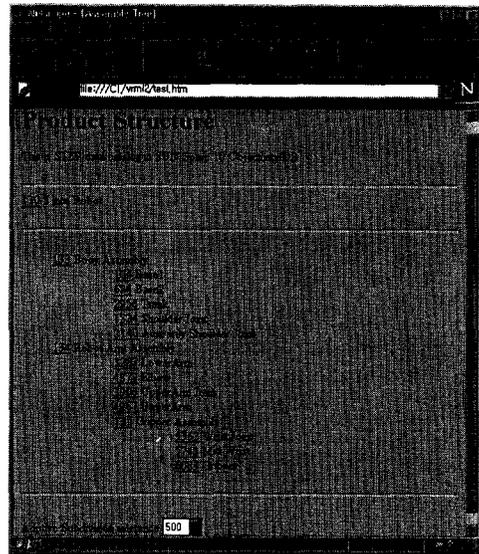
수 있다. 일반적으로 비교적 대역폭이 낮은 인터넷을 통해 전송된 VRML 파일을 낮은 성능의 클라이언트에서 렌더링하게 되므로, 네트워크를 통한 파일의 전송 시간과 VRML 파일에서 Indexed Face의 개수가 시스템 성능의 중요한 척도가 된다.

Table 1은 자동차 스타일링 모델과 파이프 라인 모

델에 대해서, 동일한 크기의 메쉬를 생성하는 균등분할법과 적응적 분할법의 성능을 비교하고 있다. 이 두 방법으로 메쉬를 생성하는 데 소요되는 시간이 비슷한 여러가지 경우에 대해서, 생성된 메쉬의 개수, 생성된 파일의 크기, 그리고 서버에서 메쉬 생성 시간을 비교하였다. Table에서 SM-20은 균등분

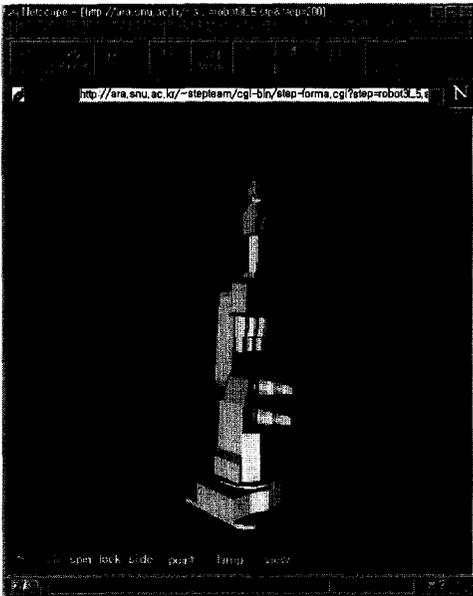


(a) 제품 리스트 검색화면

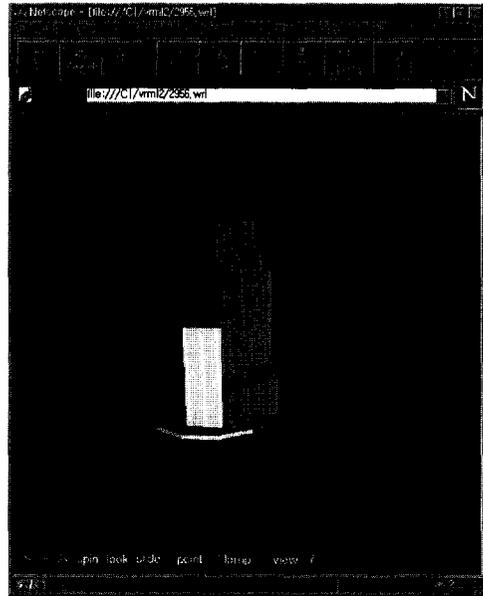


(b) 제품 구조 검색화면

Fig. 8. User interface for searching product data (a) Product list search (b) Product structure search.



(a) 5축 로봇의 조립 형상



(b) 5축 로봇의 몸통 부분

Fig. 9. 5 axis robot arm model (a) Robot arm assembly (b) Body of robot arm.

할법으로 각각의 평면을 같은 크기의 다각형(20×20=400)개로 분할할 것을 나타내며, AS-150은 최대 오차를 150으로 하여 적응적 분할법으로 메쉬를 생성한 것을 나타낸다. Table의 결과를 살펴보면, 생성된 다각형의 개수나 VRML 파일의 크기는 적응적

분할법이 훨씬 우수한 것으로 나타났다. 적응적 분할법은 균등분할법으로 생성된 메쉬의 5~30%만으로 곡면을 근사하며, 파일의 크기도 15~55%에 불과하다. 이는 결국 생성된 파일을 서버로부터 클라이언트로 전송하는데 필요한 시간도 같은 비율로 줄어

든다는 것을 의미한다. SM-10과 AS-250 방법으로 생성한 파일을 VRML 브라우저에서 렌더링한 결과가 Fig. 6과 Fig. 7에 나타나 있다. 적용적 분할법이 훨씬 더 좋은 결과를 가져옴을 알 수 있다.

## 5. 시스템의 동작 예

월드디자인뷰 시스템 서버를 Sun-Sparc 10 워크스태이션에 구현하였다. Fig. 8의 (a)는 웹 브라우저의 일종인 넷스케이프 서버에 접속한 초기 화면이다. 현재 데이터베이스에는 ProSTEP 데모<sup>[22]</sup>에서 사용되었던 자동차 스타일 데이터와 여러 가지 부품 데이터, 그리고 5축 로봇 데이터가 저장되어 있다. 사용자는 이 화면에서 브라우징하고자 하는 제품을 선택할 수 있다. (b)에는 5축 로봇을 선택하여, 제품의 구조를 출력한 결과가 나타나 있다. 제품 구조에서 원하는 단계의 구성품을 선택하면, 이 구성품의 형상 정보가 VRML 형태로 전송되게 된다. 이 때 VRML 파일 생성시의 정확도를 나타내는 허용오차를 선택할 수 있다. 오차가 작을수록 정밀한 형상을 볼 수 있다.

Fig. 9의 (a)에는 앞의 제품 구조에서 5축 로봇을 선택하여 전체 제품의 조립 상태를 VRML로 본 결과가 나타나 있다. 사용자는 VRML 브라우저가 제공하는 줌, 회전 등의 기능을 이용하여 제품의 형상 모형을 다양하게 조작할 수 있다. 한 부품에 마우스를 위치시키면 그 부품의 이름이 표시되며, 이를 선택하면 해당 부품의 모형만 다시 VRML 형태로 전송된다. 이를 이용하여 특정 부품만을 더욱 세밀하게 볼 수 있다. Fig. (b)에 로봇의 몸통 부분을 선택하여 상세 모형을 본 결과가 나타나 있다.

## 6. 결론 및 추후 연구 과제

웹상에서 제품 형상 정보를 공유할 수 있는 월드디자인뷰 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 STEP, OODB, 그리고 VRML의 주요 장점을 결합하고 있다. 먼저 STEP은 이기종 CAD/CAM 시스템간의 데이터 공유를 위한 국제 표준이므로 STEP을 지원하는 어떤 시스템에서 개발된 제품 설계 정보도 월드디자인뷰를 이용하여 공유할 수 있다. 객체지향 데이터베이스를 사용하여 복잡한 설계 정보를 효율적, 효과적으로 저장하고 처리할 수 있다. 마지막으로 VRML의 동적 3차원 시각화 기능을 이용하여 제품의 형상을 손쉽게 브라우징할 수 있다. 월드디자인

뷰 시스템은 웹상에서 운용되므로 지리적으로 분산되어 있는 어떤 사용자도 이를 이용하여 언제든지 설계 정보를 공유할 수 있다.

월드디자인뷰 시스템을 구현하기 위해서 STEP 표준을 따르는 객체지향 데이터 베이스 스키마를 정의하였으며, STEP 데이터를 객체지향 데이터베이스에 저장하고 검색하는 알고리즘과 데이터베이스에 저장된 설계 정보를 VRML 파일 형태로 변환하는 알고리즘을 개발하였다. 계산 시간과 전송 시간의 측면에서 시스템의 성능을 높이기 위해 적용적 분할법으로 자유 곡면을 근사하는 방법을 이용하였다.

개발한 시스템은 동시공학 또는 가상 생산(virtual manufacturing) 분야에서 여러가지 용도로 활용될 수 있을 것이다. 예를 들면 제품데이터관리(PDM: Product Data Management) 시스템의 3차원 뷰 및 마크업 모듈, 다중 사용자를 위한 3차원 기구제품의 실시간 설계 검토, 조립, 수리 등 기술 교육을 위한 상호 작용하는 3차원 교과서, 가상 또는 디지털 프로토타이핑 모형 등을 개발하는데 이용할 수 있을 것이다. 중요한 향후 연구 주제로는 STEP 전용의 VRML 브라우저 개발과 이것을 조립/제조 용이성 평가 시스템과 결합하는 연구 등을 들 수 있다.

## 참고문헌

1. Hartley, J., *Concurrent Engineering*, Productivity Press, Cambridge, Mass., 1992.
2. Sprow, E., "Chrysler's Concurrent Engineering Challenge," *Manufacturing Engineering*, Vol. 108, No. 4, pp. 35-42, 1992.
3. Caldwell, D. R. et al., "Re-engineering the product development cycle and future enhancements of the computer integrated environment," *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 8, No. 6, pp. 441-447, 1995.
4. O'Grady, P. J., and Young, R. E., "Issues in Concurrent Engineering Systems," *Journal of Design and Manufacturing*, Vol. 1, pp. 27-34, 1991.
5. Owen, J., *STEP An Introduction*, Information Geometers Ltd., U.K., 1993.
6. LeBlanc, A. R., and Fedal, G. M., "Design data storage and extraction using objects," *Concurrent Engineering: Research and Application*, Vol. 1, pp. 31-38 1993.
7. Kim, W., *Modern Database Systems-The Object Model, Interoperability, and Beyond*, ACM Press, NY, 1995.
8. Common Gateway Interface, <http://hoohoo.ncsa.uiuc>.

edu/cgi/intro.html, 1995.

9. Visible Decisions Inc., "Distributed Information Animation™-Extension to discovery for developers to support the construction of distributed information animation applications," Addendum to Visible Decision's White Paper on Discovery for Developers, 1995.
10. Kumar, V., Clicksman, J., and Kramer, G., "A SHARed Web to Support Design Teams," *Proceedings of Third IEEE Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises*, pp. 178-182, Apr. 1994.
11. 김태식, 한순홍, "STEP 표준을 이용한 설계정보 시스템," 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, pp. 172-178, 1996. 2.
12. Fowler, S. and Karinthi, R., "Remote access to CAD databases using an information sharing system," *Computers in Industry*, Vol. 29, No. 1-2, pp. 117-122, Jul. 1996.
13. Spooner, D., "Creating a Product Database with ROSE," Technical Report 93504, Laboratory for Industrial Information Infrastructure, RPI, Troy, New York, 1993.
14. Krebs, T. and Luhrsens, H., "STEP databases as integration platform for concurrent engineering," In *Proceedings of 2nd International conference on Concurrent Engineering*, McLean, Virginia, pp. 131-142, 1995.
15. ISO 10303-203 Industrial automation systems and integration-Product data representation and exchange-Part 203: Application protocol: Configuration controlled design, ISO, 1994.
16. Objectivity/DB Version 3.5 Manual, Objectivity/DB for C++ Developer's Guide, Objectivity Inc., 1994.
17. Bell, G., Parisi, A., and Pesce, M., 1995, *The Virtual Reality Modeling Language Version 1.0 Specification*, 1995.
18. 이건우, 컴퓨터 그래픽과 CAD, 영지문화사, pp. 249-254, 1994.
19. Fang, T. P., and Pieg, L. A., "Delauay Triangulation in Three Dimensions," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 15, No. 3, pp. 62-69, 1995.
20. Zeid, I., *CAD/CAM Theory and Practice*, McGraw-Hill, NY, 1991.
21. Li, S. Z., "Adaptive sampling and mesh generation," *Computer-Aided Design*, Vol. 27, No. 3, pp. 235-240, 1994.
22. Product Data International, ProSTEP Leads the Way, Vol. 4, No. 5, 1993.



### 김철영

1992년 서울대학교 산업공학과 학사  
1994년 서울대학교 산업공학과 공학석사  
1994년~현재 서울대학교 산업공학과 박사과정 재학중  
관심분야: 생산 정보 시스템, 객체 지향 데이터베이스 시스템, 동시공학, STEP



### 김남국

1995년 서울대학교 산업공학과 학사  
1995년~현재 서울대학교 산업공학과 석사과정 재학중  
관심분야: CAD/CAM, STEP, Virtual Reality, Web-based PDM System, DataBase System



### 김영호

1985년 서울대학교 산업공학과 학사  
1987년 서울대학교 산업공학과 공학석사  
1993년 미국 North Carolina State Univ. Concurrent Engineering 전공, 공학박사  
1995년~현재 서울대학교 산업공학과 교수  
관심분야: 동시공학 (Concurrent Engineering), Web-based intelligent PDM systems, STEP 응용, Knowledge-based design support systems, Computer Supported Collaborative Work



### 강석호

1970년 서울대학교 물리학과 학사  
1972년 미국 Univ. of Washington 산업공학과 공학석사  
1976년 미국 Texas A&M Univ. 산업공학과 공학박사  
1976년~현재 서울대학교 산업공학과 교수  
관심분야: 생산정보시스템의 설계와 운용, 지능형 생산 시스템, 경영정보시스템, 생산 계획 및 통제