DOI: 10.3745/KIPSTA.2011.18A.3.081

3차원 CAD 데이터의 제품구조를 포함하는 X3D 기반 데이터로의 변환 기법

조 귀 목[†] · 황 진 상[††] · 김 영 국[†††]

요 약

제품수명주기(Product life cycle) 중 설계단계에서 생성되는 3차원 CAD 데이터를 다양한 단계에서 활용하고자하는 노력이 관련 산업 분야에서 이루어져 왔다. 그러나 3차원 CAD 데이터는 데이터 처리를 위한 많은 컴퓨팅 자원을 요구하고 설계지식이 유출될 수 있는 위험이 있으며, 라이선스 비용이 따르기 때문에 원격지 협업 검토나 마케팅, 전자 기술 매뉴얼과 같은 서비스단계에서 활용하기에 적합하지 않다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 경량화된 가시화 파일형식과 이를 적용한 응용시스템에 대한 다양한 연구가 수행되었으나, 제안된 경량화 파일형식들은 대부분 기업 혹은 기관의 독자적인 형식으로 서로 간에 공유될 수 없으며, 제품의 형상 정보와 함께 제품구조 정보를 표현하는데 한계점을 보이고 있다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위하여 웹 기반 3차원 그래픽 표준인 X3D를 활용하여 제품의 형상 정보뿐만 아니라 구조 정보의 표현이 가능한 X3D 기반 데이터 집합인 prod-X3D(Enhanced X3D Dataset for Web-based Visualization of 3D CAD Product Model)를 정의하고, 3차원 CAD 데이터로부터의 변환 기법을 제안한다.

키워드 : 3차원 캐드, 웹 가시화, 제품구조, X3D

Translation of 3D CAD Data to X3D Dataset Maintaining the Product Structure

Guimok Cho[†] · Jinsang Hwang[††] · Kim, Young-Kuk[†††]

ABSTRACT

There has been a number of attempts to apply 3D CAD data created in the design stage of product life cycle to various applications of the other stages in related industries. But, 3D CAD data requires a large amount of computing resources for data processing, and it is not suitable for post applications such as distributed collaboration, marketing tool, or Interactive Electronic Technical Manual because of the design information security problem and the license cost. Therefore, various lightweight visualization formats and application systems have been suggested to overcome these problems. However, most of these lightweight formats are dependent on the companies or organizations which suggested them and cannot be shared with each other. In addition, product structure information is not represented along with the product geometric information. In this paper, we define a dataset called prod-X3D(Enhanced X3D Dataset for Web-based Visualization of 3D CAD Product Model) based on the international standard graphic format, X3D, which can represent the structure information as well as the geometry information of a product, and propose a translation method from 3D CAD data to an prod-X3D.

Keywords : 3D CAD, Web Visualization, Product Structure, X3D

1. 서 론

IT기술의 발전은 제조업 분야를 비롯한 많은 산업분야에 영향을 미치고 있다. 오래 전부터 기업들은 시장출시단축(Time to Market)이라는 비전과 잘 팔리는 정확한 제품출시(Right to Market)라는 비전 달성을 위해 기획, 설계, 생산, 사용·지원·유지보수, 폐기·재활용으로 구성되는 제품수명주기(Product life cycle)를 관리해 왔다.

최근 들어 제품 개발기간의 단축을 통한 시장 우위 점거를 위해 기획·설계 단계에서 가상제품 개발이나 분산 환경에서의 협업이 더욱 중요시 되고 있다. 또한 사용·지원·유지보수 단계에서는 제품 홍보를 위해 3차원 데이터를 시각화하는 사례도 증가하고 있으며, 제품의 복잡도가 증가함에 따라 유지보수를 위한 3차원 기술문서 퍼블리싱에 대한

† 정 회 원 : 충남대학교 컴퓨터공학과 공학석사
†† 정 회 원 : ㈜부품디비 대표이사
††† 종신회원 : 충남대학교 컴퓨터공학과 교수(교신저자)
논문접수 : 2010년 10월 6일
수 정 일 : 1차 2011년 1월 5일
심사완료 : 2011년 2월 8일

요구도 증가하고 있다. 그러나 오래 전부터 제품 수명주기 초기단계에서 생성되는 3차원 CAD 데이터를 전 과정에서 지속적으로 활용하고자 하는 노력에도 불구하고, 앞서 언급한 최근의 이슈들에 대해 3차원 CAD 데이터의 직접적인 사용은 다음과 같은 이유로 사실상 어렵다.

(1) 언급된 이슈들의 중심에는 '웹을 통한 서비스'라는 요구가 내재되어 있으나, 많은 부품 정보들로 구성된 3차원 CAD 설계 모델은 방대한 데이터를 이루기 때문에 네트웍을 통한 공유가 어렵다.

(2) 일반적으로 3차원 CAD 시스템에서 사용하고 있는 CSG(Constructive Solid Geometry)나 B-rep(Boundary representation)과 같은 솔리드 모델은 가공·생산을 위한 복잡한 위상기하학(Topology) 정보와 조립체 구조, 부품들의 속성 정보 등 다양한 정보를 포함하고 있다. 따라서 이 정보를 다루기 위해서는 대용량의 메모리와 많은 시간이 요구되며, 복잡한 자료구조로 인해 실시간 렌더링의 취약성을 갖고 있다.

(3) CAD 데이터의 직접적인 사용은 설계정보의 유출에 대한 위험을 갖고 있으며, 사용자에게는 특정 CAD 시스템에 대한 종속성을 안겨주고, 고가의 라이선스 비용이 요구된다.

(4) 언급한 문제점의 일부를 해결하기 위해 여러 상용 PDM(Product data management) 시스템의 경우 자사 CAD 시스템의 데이터를 직접 볼 수 있는 자체 CAD 뷰어를 제공하고 있지만, PDM 목적에 맞는 설계 검토 등의 제한된 영역에서만 요구를 충족하므로, 고객들의 다양한 요구사항을 만족시키기에 부적절하다.

이와 같은 문제점 해결을 위해 분산 환경에서 웹을 통해 제품정보를 공유할 수 있는 경량 가시화 파일형식과 응용 시스템에 대한 연구가 선행되었다. 그러나 선행 연구에서 사용한 파일형식들은 독자성 또는 상업성을 갖거나, 형상 정보만을 표현하는 등의 제한을 갖고 있으며, 다양한 서비스단계 활용을 위한 멀티미디어 요소(예, 텍스쳐, 애니메이션, 사운드 등)를 포함하지 못하는 문제점이 있다.

호환성을 향상시키기 위해 VRML 표준을 사용하는 방법이 있지만, VRML 역시 제품의 형상 표현은 가능하지만 제품구조(Product structure) 정보와 부품속성(Part property) 정보와 같은 비형상 정보를 표현할 수 없다. 또한 아스키(ASCII)형식 인코딩으로 인한 큰 파일 크기로 네트웍을 통한 정보 전송에 비효율적이다.

VRML의 차세대 표준인 X3D는 현재 CAD 관련 기능들을 일부 제공하고 있지만, CAD geometry component가 제공하는 기능들이 빈약하고 제한적이며, 대부분의 CAD 시스템들이 X3D를 지원하고 있지 않기 때문에 제품정보 표현을 위한 데이터를 직접 생성할 수 없다.

그럼에도 불구하고 기업 및 기관에서는 데이터 호환성과 장기간의 데이터 수명을 위해 표준 형식의 데이터를 사용하기 원하므로, 표준을 기반으로 하며 필수적인 제품정보 요소[1]를 표현할 수 있는 새로운 방법이 필요하다.

이에 본 연구에서는 X3D를 활용하여 필수적인 제품정보 요소인 제품구조, 형상 정보, 메타데이터의 표현이 가능한 prod-X3D(Enhanced X3D Dataset for Web-based Visualization of 3D CAD Product Model)를 정의하고, CAD 데이터로부터 이를 생성하기 위한 변환 기법을 제안한다.

2. 관련 연구 및 국제 표준

2.1 관련 연구

(1) 경량 가시화 파일형식 비교

다음의 연구는 분산 협업을 위한 경량화 파일형식들에 대해 자세히 다루고 있다. Enrico Vezzetti[2]는 제조업의 제품정보 교환을 위한 STEP 표준이 엔지니어링 단계에서는 사용될 수 있으나, 비 설계 부서(예, 판매부서, 포장부서 등)나 비 기술자들(예, 홍보자, 고객들 등)도 제품정보에 접근하길 원하기 때문에 보다 효율적인 솔루션이 필요하다고 언급하고 있다. 이는 STEP 데이터가 엔지니어링 측면 외에서 사용되기에는 많은 제한을 갖고 있음을 의미한다. 이에 위 연구에서는 제품수명주기에서의 Web3D 영역에 대해 정의하고, 다양한 경량화 파일형식들(SpinFire-3D, Cult 3D, U3D, X3D, Lattice3D-XVL, JT, DWF, XGL, HSF 등)을 비교하였다. 유사한 연구로 Lian Ding[3]와 J.Y.H. Fuh[4]은 분산 환경에서의 협업 설계를 위한 요구사항을 정의하고, 제품모델을 웹에서 가시화하기 위한 경량화 파일형식들(3D-XML, HSF, JT, PLM-XML, PRC, U3D, X3D, XGL/ZGL 등)이 갖추어야 할 조건들에 대해 정의하였다.

본 연구에서는 기존 연구들을 바탕으로 <표 1>과 같이 웹에서 제품정보를 표현하기 위해 갖춰야할 요구 항목들을 선정하고, 최신의 정보를 반영한 주요 경량 가시화 파일형식들의 특징 및 기능을 비교하여 정리하였다. 비교 결과 UGS(현재 SIMENS)에서 개발한 JT 파일형식과 X3D 파일형식이 가장 많은 요구항목을 만족시켰으나, 개방성 측면을 고려할 때 X3D가 더 적합하다는 결론을 얻을 수 있었다.

(2) 경량 가시화 데이터 생성 및 응용 시스템

3차원 CAD 데이터의 경량화에 대한 연구로는 조시완[5]이 거대한 CAD 모델보다 컴퓨팅 리소스를 절약하고, 네트웍을 통해 정보를 효율적으로 전달할 수 있는 "XDPart"라는 중립모델을 제안하였다. 이 연구의 중립모델 생성과정을 살펴보면, CAD 모델로부터의 정보를 추출하기 위해 CAD 벤더들이 제공하는 Toolkit(예, CAA, Pro/TOOLKIT 등)의 Tessellator와 ACIS[6] 기반의 InterOp 라이브러리를 사용하였다. Tessellator를 통해 생성된 형상 정보의 경량화 방법은 면과 면사이의 중복된 엣지(Edge) 정보를 줄이고자, 옥트리(Octree) 데이터구조를 사용하고 모델의 경계 박스(Bounding box)를 설정하여, 그 안에 일정 수 보다 많은 정점이 포함되지 못하도록 하여 엣지 정보를 감소시켰다. 또한 법선 벡터의 경우는 float형으로 생성되는 법선 벡터를 short integer형으로 변환하여 법선 벡터가 저장되는 공간을

〈표 1〉 제품정보 표현을 위한 주요 경량 가시화 파일형식 비교표

		HSF	XVL	JT	3D-XML	XGL/ZGL	COLLADA	U3D	VRML	X3D
Visualization	Facets	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	Textures	X	O	O	O	O	O	O	O	O
	Animation	X	△	O	O	X	O	O	O	O
	Precise geometry	X	O	O	O	X	O	X	X	O
CAD support	Product structure	O	O	O	O	X	X	O	X	O
	Measurement	O	O	O	O	X	O	X	X	X
Customization	Script or API Support	O	O	O	O	X	O	O	O	O
Net performance	Progressive streaming	O	X	O	X	X	O	O	O	O
	Level of Detail	O	O	X	O	X	O	O	O	O
	Compression	O	O	O	O	O	X	O	X	O
Security	Encryption	X	O	O	X	X	X	O	X	O
Interoperability	Openness	△	X	△	X	O	O	O	O	O
	Standard	N	N	ISO PSA	X	X	industry-standard	ECMA Standard	ISO Standard	ISO Standard
Development state	Organization	OpenHSF Initiative	Lattice Technol-ogy Inc.	UGS	Dassault Systemes	XGL Working Group	Sony & Khronos Group	3D Industry Forum & ECMA Internat-ional	Wed3D Consort-ium & ISO	Wed3D Consort-ium & ISO
	State	in progress	in progress	in progress	in progress	Closed	in progress	Closed	Closed	in progress

줄였다. 그러나 이 연구에서 제안된 중립 모델은 특정 기업의 PDM 시스템에서 사용하기 위한 독자적인 데이터 형식으로 범용성과 호환성이 우수하지 못한 단점이 있다.

In-ho Song[7]는 CAD 시스템으로부터 출력되는 VRML 데이터가 파일 크기가 크고 전송 시간이 오래 걸린다는 문제점을 지적하였다. 또한 JT 혹은 HSF 파일형식이 거의 모든 CAD의 엔터티를 포함하므로, 경량화 파일이라고 보기 어렵다고 언급하고, B-rep(Boundary representation)과 삼각메시(Triangle mesh)정보로 구성된 치수 검증이 가능한 경량 가시화 파일형식을 제안하였다. 제안한 경량 데이터 생성 과정은 네이티브 CAD (Native CAD) 파일을 InterOP 라이브러리를 사용하여 읽고, ACIS 커널의 자료구조로 변환한 후, 생성된 ACIS의 엔터티들을 제안하는 엔터티(point, line, conic, edge, tesselated triangle)로 맵핑하였다. 즉, 제안한 경량 가시화 데이터에는 형상 랜더링을 위한 삼각 메시와 치수 검증을 위한 엣지 데이터가 포함되며, 작은 파일 크기와 데이터 생성 시간이 짧은 것이 이 연구의 특징이다. 또한 In-ho Song[8]는 앞의 연구 결과를 활용하여, 이 기종 CAD 시스템의 데이터를 제안한 경량 가시화 파일로 생성한 후에 조립체구조 정보를 표현하는 XML과 함께 웹에서 가시화할 수 있는 시스템에 대해 연구를 진행하였다. 그러나 이 연구 역시, 제안된 경량화 파일형식이 상호운용성이 낮다라는 점과 구축한 시스템이 웹 가시화와 치수검증 목적 외에 다양한 목적으로 활용하기 어렵다는 것이 단점이다.

다음은 VRML 표준 데이터를 활용한 연구이다.

Sang-Su Choi[9][10]은 CAD와 PDM, VR의 통합을 위해 다양한 CAD 시스템들과 VR 시스템 사이의 데이터 교환 미들웨어인 MEMPHIS 프레임웍을 제안하였다. 그러나 연구의 초점은 웹 기반 가시화보다는 실감형 가시화 데이터 생성에 주안점을 두었다. 가시화를 위한 데이터로는 VRML 데이터를 사용하였는데, 이는 ACIS 모델링 커널과 CAD 데이터 변환 라이브러리인 InterOP를 활용하여 생성하였다. 신수철[11]은 CAD · CAE · VR의 원격 통합 가시화를 위해 COVISE 시스템을 활용한 연구를 진행하였다. 이 연구 또한 가시화를 위한 데이터로 VRML을 사용하였는데, VRML 데이터는 CAD 시스템에서 제공하는 Tessellator API를 이용하여 출력하여 생성하였다.

앞서 살펴본 두 연구의 주안점은 실감형 가시화와 원격지에서의 몰입형 가시화이다. 따라서 생성된 데이터는 웹 기반 가시화에 대한 고려가 없었다. CAD 데이터를 VRML 데이터로 변환하는데 흔히 사용되는 방법은 두 가지로, CAD 시스템에서 제공하는 Tessellator API를 이용해 네이티브 CAD 데이터를 CAD 시스템에서 읽어, VRML로 출력하거나 혹은 Spatiall 社에서 제공하는 InterOp 라이브러리를 사용해 CAD 데이터를 읽은 후 ACIS 데이터 형태로 변환하고, 이를 ACIS의 MESH_ MANAGER 클래스의 기능을 활용해 VRML로 출력하는 방법을 사용한다. 그러나 이 방법들을 통해 생성된 VRML 데이터는 웹에서 바로 사용하기에 어려운데, 그 이유는 생성된 데이터가 디테일도가 높은 High Resolution Mesh로 표현되기 때문이다. 또한 VRML은 CAD 데이터의 제품구조와 같은 비형상 정보를 표현할 수 없기 때문에, 제품정보 표현을 위한 수단으로 사용하기에 적합하지 않다.

이러한 문제점을 인식하고, 개선하고자 진행되었던 연구는 다음과 같다. Jezernik, A[12]과 Hren, G[13]은 협업 제품 설계를 위해 각각 Pro/Engineer와 CATIA 시스템으로부터 Tessellator API를 이용하여 VRML 데이터를 생성하였다. 그리고 출력된 데이터를 웹에서 효율적으로 가시화하기 위

해 메시 정보를 단순화하였으며, CAD 시스템의 매크로(Macro)를 이용하여 제품구조 정보를 XML로 출력하고, 두 정보를 CGI 스크립트를 사용해 시스템 레벨에서 통합하여 표현하였다. 이 연구는 XML과 VRML을 사용해 데이터 호환성을 높이고, 제품구조와 형상 정보를 웹에서 함께 표현할 수 있는 것이 특징이다. 그러나 서로 다른 형식의 두 정보는 시스템 레벨에서 통합되므로, 시스템에 의존성이 높고, 복잡도가 높은 거대한 CAD 모델을 고려할 때 VRML이 갖는 제한으로 성능상의 문제가 야기된다.

마지막으로 X3D 표준 데이터를 활용한 연구이다.

Vincent Marchetti[14]는 STEP 표준 데이터를 X3D 데이터로 변환하는 SPRI 시스템을 구현하였다. 연구의 주안점은 STEP의 형상 정보를 X3D NURBS로 표현하고자 한 것이다. 그러나 NURBS의 경우 정확한 곡면을 표현하는데 뛰어나지만, 복잡도가 높고 방대한 CAD 데이터를 고려할 경우 삼각 메시 기반의 데이터보다 연산 부하가 상대적으로 높다는 단점이 있다. 또한 연구의 범위는 조립체가 아닌 부품의 형상 정보만을 X3D NURBS로 표현하는데 제한된다.

J. LI[15]를 비롯한 김익준[16][17]과 안경익[18], 조귀목[19]은 서로 다른 선박 설계용 CAD 시스템에서 생성되어진 설계 데이터의 장기 보존과 이기종 CAD 시스템 간의 데이터 호환을 목적으로 ISO 15926(Process Plant), ISO 10303(STEP)-AP227 기반의 중립 데이터 모델을 구축하고, 이를 웹에서 가시화하기 위해 X3D를 활용하였다. 그러나 연구의 범위는 구축한 중립 모델의 Primitive 형상 정보를 X3D Primitive로 맵핑하여 가시화하는 방법에 국한되어 있으며, 제품구조 표현은 고려되지 않았다.

2.2 관련 국제 표준

(1) STEP

제품수명주기 동안 서로 다른 엔지니어링 시스템 사이의 데이터 교환을 위해 만들어진 ISO 10303 STEP은 도메인 분야별로 많은 응용 프로토콜이 정의되어 있다. 그 중 AP203 edition2는 CAD 시스템 사이의 제품정보 교환 프로토콜로 많이 활용되고 있으며, 다양한 통합자원들로 구성되어 있다. 일반적으로 STEP 파일은 아스키인코딩 방식을 사용하고, 제품수명주기 전반에 걸친 많은 정보들을 담고 있으며, 복잡한 구조를 이루기 때문에 웹 기반 가시화용으로 사용하는데 어려움이 따른다. 이러한 이유로 표준 제정 기관 ISO TC184/SC4에서는 3차원 제품정보 가시화를 위해 별도의 파일형식을 선정하려고 경량화 파일형식들(X3D, U3D, Collada, JT Open, 3D-XML)을 비교 평가 중이다[20].

(2) VRML & X3D

웹을 위한 3D Markup 언어인 VRML은 1994년 1.0을 시작으로 VRML97까지 발전하며 ISO 14772 표준으로 승인되었다. 이후 VRML의 모든 기술적 요소를 계승한 XML 기반의 ISO 19775 X3D 표준이 제정되고, 현재까지 발전 중이다. X3D는 VRML보다 강화된 기능을 담고 있으며, 각 기능별로 분리된 다양한 컴포넌트의 집합으로 구성되어 있다. 이 중 CAD geometry component는 VRML과는 다르게 CAD 데이터 표현에 관한 노드를 포함하고 있다[21]. 그러나 CAD geometry component는 제품정보를 표현하는데 있어 다음과 같은 제약을 갖는다.

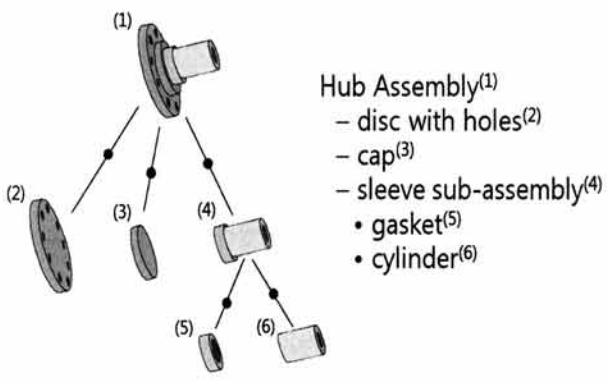
첫째, 제품구조를 표현하는 CADPart 노드는 하위 노드로 CADFace 노드만을 가질 수 있고, CADFace 노드는 다시 X3DShape 노드들만 하위 노드로 가질 수 있다. 이는 제품구조 정보를 형상 정보와 분리하여 저장할 수 없으며, 조립체 전체의 커다란 형상 정보를 단일 파일로 표현해야 함을 의미한다. 이는 가시화 성능 향상을 위한 경량화 과정에서 많은 부하와 문제를 유발하기 때문에, 조립체 전체가 아닌 분할된 컴포넌트 단위로 형상 정보를 구성할 필요가 있다. 또한 경량화 과정 중에 제품구조 정보가 손실된 가능성이 있으므로, 불필요한 손실을 방지하기 위해 비형상 정보와 형상 정보를 분리해야 한다. 이에 대한 내용은 3장에서 자세히 다룬다.

둘째, CADAssembly 노드는 3차원 공간상의 위치 및 회전 정보를 포함할 수 없으므로, 그 하위의 CADPart 노드는 부품들의 위치정보를 상대 좌표가 아닌 절대 좌표계로 변환하여 표현해야 한다. 이에 대한 내용은 3.2절에서 상세히 다룬다.

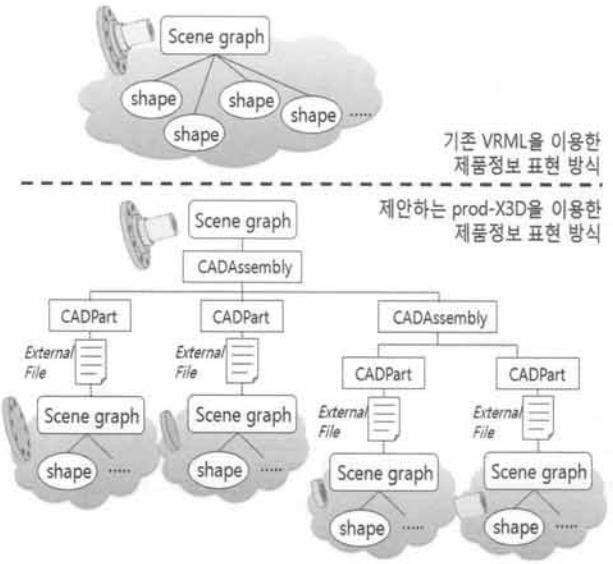
3. 3D CAD 데이터로부터의 X3D 변환

3.1 제품정보 표현이 가능한 X3D 데이터 집합 정의

(그림 1)은 간단한 Hub 조립체 모델의 예이다. CAD 모델을 웹 가시화하기 위해 흔히 사용하는 방법은 CAD 시스템에서 VRML 데이터로 출력하여 이를 사용하는 것이다. 그러나 출력된 VRML 데이터는 (그림 2)의 상단 부분과 같은 형태로, 제품구조 정보가 없는 조립체 전체의 형상 정보들을 하나의 정보로 표현한다. 또한 다양하고 많은 노드가 포함된 복잡한 장면그래프(Scene graph)로 구성되며, 디테일도가 높은 High Resolution Mesh로 표현된다. 따라서 웹 가시화 혹은 데이터 교환용으로 사용하기 위해 많은 컴퓨팅 자원이 필요하다.

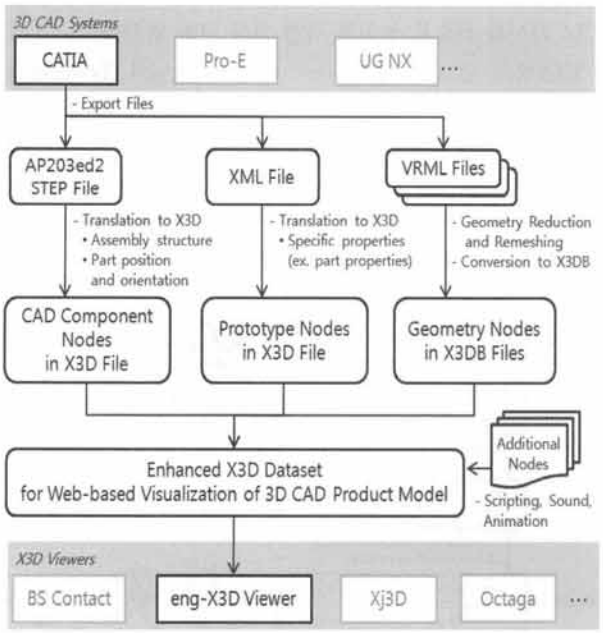


(그림 1) Hub 조립체 모델의 예



(그림 2) VRML과 prod-X3D의 제품정보 표현 방식

이에 본 연구에서는 X3D를 활용하여, 효율적으로 형상 정보를 가시화 할 수 있고, 형상 정보뿐만 아니라 제품구조와 메타데이터 표현이 가능한 prod-X3D(Enhanced X3D Dataset for Web-based Visualization of 3D CAD Product Model)를 정의하였다. prod-X3D의 형태를 간략히 표현하면 (그림 2)의 하단과 같으며, 이를 생성하기 위한 전체 변환 과정은 (그림 3)과 같다. 그림에서 좌측은 CAD 모델의 제품구조와 부품 형상들의 3차원 위치 정보를 변환하는 과정이며, 중간 부분은 각 CAD 시스템에서 사용하는 고유의 속성 정보들을 변환하는 과정이다. 그림의 우측 부분은 부품들의 형상 정보를 경량화한 후 이진 압축 데이터(ISO 19776 X3DB)로 변환하는 과정을 나타낸다.



(그림 3) 전체적인 데이터 변환 흐름도

3.2 3D CAD 시스템을 이용한 데이터 추출

대부분의 상용 3D CAD 시스템들은 다양한 데이터 출력을 지원하며, 자동화 API(CATIA의 CAA, Pro/Engineer의 Pro/TOOLKIT 등)를 제공한다. 정보 변환의 경우 다양한 CAD 시스템이 현업에서 사용되므로 API를 이용한 1:1 정보 변환보다 중립데이터를 활용하는 편이 더 효율적이다. 1:1 정보 변환은 각 CAD 시스템마다 고유의 변환기가 요구되기 때문이다. 반면 중립 데이터를 활용할 경우 중복된 번역기 개발을 피할 수 있고, 변환 절차의 일관성을 유지할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 표준 데이터(STEP AP204ed2, VRML)를 중립데이터로 적극 활용하였는데, 이는 CAD 시스템의 API를 이용하여 생성하였다. 그러나 CAD 시스템마다 표준 데이터로의 출력이 지원되지 않는 고유의 정보들이 존재하는데, 대표적으로 설계에 직접적인 영향이 없는 부품 사양정보와 같은 속성정보들이다. 이들 또한 CAD 시스템의 API를 이용하여 추출할 수 있으며, 생성한 결과 데이터는 다음과 같다.

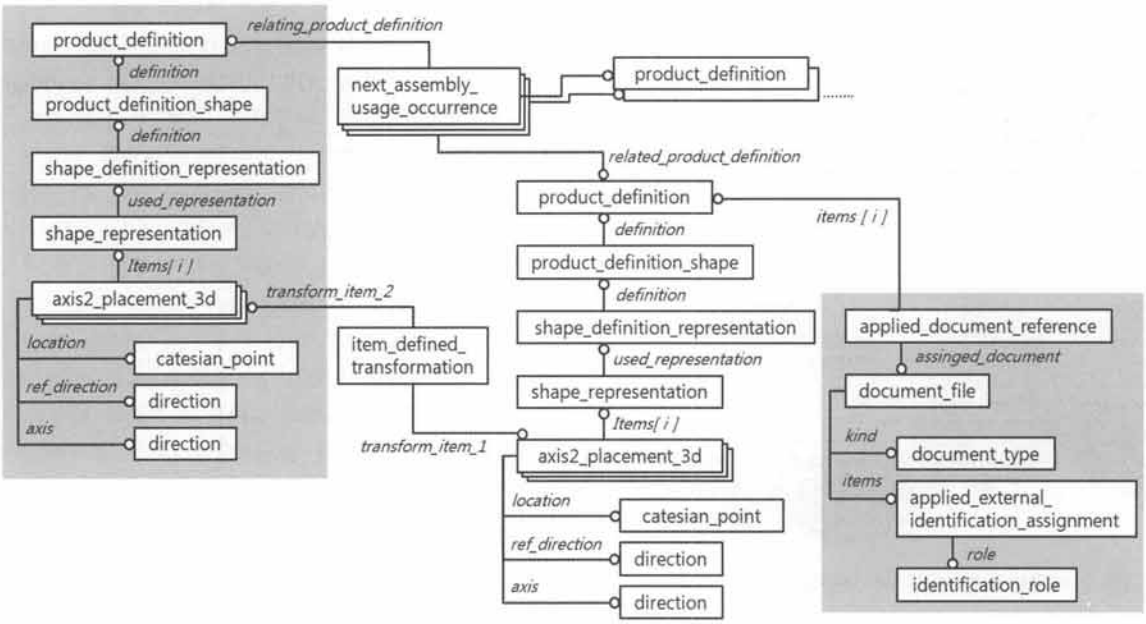
① 제품구조 정보를 포함한 STEP AP203ed2 파일
② 각 부품들의 속성 정보를 포함한 XML 파일
③ 각 부품의 형상 정보를 포함한 VRML 파일

3.3 STEP AP203ed2의 제품구조정보를 X3D로 변환

(그림 4)는 STEP AP203ed2의 제품구조와 관련된 인스턴스를 EXPRESS-G로 표현한 다이어그램이다. 이 인스턴스 다이어그램과 X3D의 Schema를 분석하면, STEP AP203ed2와 X3D 노드들에 대한 대응관계를 파악할 수 있는데, 그 결과는 <표 2>과 같이 정리할 수 있다. <표 2>는 STEP AP203ed2의 엔터티들과 X3D CAD geometry component에 포함된 CADAssembly 노드, CADPart 노드, CADProperty 사용자 정의 노드간의 연관 관계를 나타낸다.

〈표 2〉 제품구조 정보 변환을 위한 STEP AP203ed2 엔터티와 X3D 노드 맵핑 표

STEP AP203ed2				X3D	
Entity	Relation	Related Entity	Attribute	Node	Field
next_assembly_usage_occurrence	relating_product_definition	product_definition	persistent_label	CADProperty Prototype	referenceId
				CADAssembly	DEF
			id		name
	related_product_definition	product_definition	persistent_label	CADProperty Prototype	referenceId
				CADPart	DEF
			id		name
axis2_placement_3d	location	catesian_point	coordinates	CADPart	translation rotation scale
	ref_direction	direction	direction_ratios		
	axis	direction	direction_ratios		
applied_document_reference	assigned_document	document_file	assigned_id	CADProperty Prototype	geometryUrl



(그림 4) STEP AP203ed2의 제품구조 관련 인스턴스 다이어그램

AP203ed2의 정보를 X3D로 맵핑하는 과정을 살펴보면,

(1) next_assmebly_usage_occurrence 엔터티의 관계를 통해 조립체와 부품을 구별할 수 있으며, 이는 X3D에서 CADAssmebly 노드와 CADPart 노드로 변환되어 계층 구조를 갖는다. product_definition 엔터티의persistent_label과 id는 CADAssmebly와 CADPart 노드의 DEF와 name 필드에 각각 대응된다. DEF는 CADAssmebly와 CADPart 노드의 식별자로 사용되며, CADProperty 노드의 referenceId 필드에 할당되어 각 부품의 형상을 찾기 위한 참조키로 사용한다.

(2) 3차원 공간상에서의 조립체 혹은 부품의 위치를 나타내는 axis2_palcement_3d 엔티티는 위치 정보와 두 개의 축(axis) 정보를 갖는데, 이들은 간단한 벡터(vector) 연산과 변환행렬, 위치벡터로 이루어진 4x4 행렬로 계산된다.

① 오른손 좌표계를 사용해 두 개의 축 정보를 vector vZ (Z direction axis)와 vA(reference Direction axis)를 아래와 같이 정의하여 구할 수 있다.

vector vX = (vA - (vA ● vZ) vZ),

vector vY = vZ × vX

이들을 위치 정보과 함께 4x4행렬로 표현하면,

$$\begin{pmatrix} vX_1 & vX_2 & vX_3 & 0 \\ vY_1 & vY_2 & vY_3 & 0 \\ vZ_1 & vZ_2 & vZ_3 & 0 \\ p_1 & p_2 & p_3 & 1 \end{pmatrix}$$ 로 표현할 수 있다.

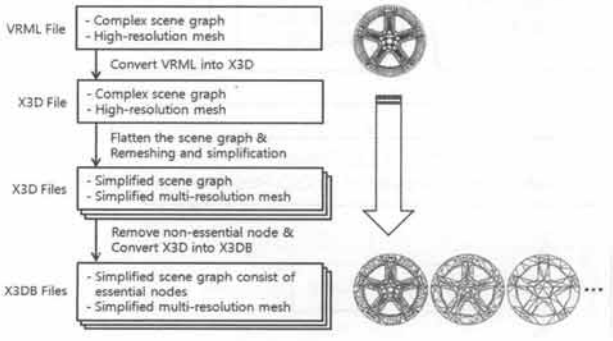
② CADPart 노드에 포함되는 위치 정보는 전역 좌표계로 표현되어야 하므로, 조립체와 하위 부품간의 지역 좌표계 정보들을 모두 4x4행렬로 만든 후, 이들의 곱셈연산을 통해 전역 좌표계로 변환한다. 그 후 결과로 얻은 행렬의 M_{11}~M_{33}에 해당하는 요소를 사원수(Quaternion)로 변환한 뒤, 회전축과 각도를 얻고, 이를 CADPart 노드의 rotation 필드에 할당한다. 또한 행렬에서 M_{41}~M_{43} 요소를 CADPart 노드의 translation 필드에 할당함으로써, 3차원 공간상의 부품 위치 정보 변환은 완료된다.

(3) product_definition 엔터티는 조립체가 아닌 부품의 경우 document_file 엔터티를 갖는데, 이를 통해 외부 파일에 대한 참조 정보를 얻을 수 있다. 이 정보는 CAD Property 노드의 geometryUrl 필드로 맵핑되어 추후 변환될 형상 정보 데이터를 참조하도록 한다.

변환 과정을 거쳐 생성된 X3D는 <표 3>과 같은 형태를 가진다.

3.4 가시화 성능을 높이기 위한 형상 정보 경량화

3.2절에서 언급한 바와 같이 CAD 시스템의 Tessellator API를 이용해 출력한 VRML 데이터는 웹을 통한 정보 전송과 가시화에 비효율적이다. 따라서 이를 좋은 근사(approximation)의 단순화된 데이터로 만드는 메쉬 경량화 과정이 필요한데, 이를 위해 본 연구에서는 (그림 5)과 같은 경량화 과정을 정립하였다.



(그림 5) 형상 정보의 경량화 과정

〈표 3〉 제품구조와 부품 형상들의 위치 및 회전 정보, 부품 속성 정보를 표현한 X3D의 예

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE X3D PUBLIC "ISO//Web3D//DTD X3D 3.2//EN" "http://www.web3d.org/specifications/x3d-3.2.dtd">
<X3D profile="Full" version="3.2">
 <head>
  <meta content="Extended CAD Component" name="title" />
 </head>
 <Scene>
  <ProtoDeclare name="CADProperty">
   <ProtoInterface>
    <field accessType="inputOutput" name="referenceID" type="MFString" />
    <field accessType="inputOutput" name="geometryUrl" type="SFString" />
    <field accessType="inputOutput" name="propertyName" type="MFString" />
    <field accessType="inputOutput" name="propertyValue" type="MFString" />
    <field accessType="inputOutput" name="children" type="MFNode" />
    <field accessType="inputOnly" name="addChildren" type="MFNode" />
    <field accessType="inputOnly" name="removeChildren" type="MFNode" />
   </ProtoInterface>
   <ProtoBody><Transform><IS>
    <connect nodeField="children" protoField="children" />
    <connect nodeField="addChildren" protoField="addChildren" />
    <connect nodeField="removeChildren" protoField="removeChildren" />
   </IS></Transform></ProtoBody>
  </ProtoDeclare>                                          CADProperty Prototype Definition
  <CADAssembly DEF="Lanborghini" name="Lanborghini">
   <CADPart DEF="Low_Frame_1" name="Low_Frame" rotation="-1 0 0 1.571" translation="0.0 -0.33658 1.94522"/>
   <CADAssembly DEF="Weel&amp;Tire_RL_1" name="Weel&amp;Tire_RL">
    <CADPart DEF="Tire_R" name="Tire_R" rotation="-1 0 0 1.571" translation="-0.95 -0.15658 1.29699"/>
    <CADPart DEF="Wheel_R" name="Wheel_R" rotation="-1 0 0 1.571" translation="-0.95 -0.15658 1.29699"/>
   </CADAssembly>
   <!-- omissions -->                                       Product Structure
  </CADAssembly>
  <ProtoInstance DEF="CADPropertyInfomation" name="CADProperty">
   <ProtoInstance name="CADProperty">
    <fieldValue name="referenceID" value="&quot;Tire_R&quot;" />
    <fieldValue name="geometryUrl" value="partmodels/Tire_R.x3db" />
    <fieldValue name="propertyName" value="&quot;설명&quot; &quot;부품번호&quot; &quot;가격&quot;"/>
    <fieldValue name="propertyValue" value="&quot;DSST-RSC&quot; &quot;3610&quot; &quot;$251&quot;"/>
   </ProtoInstance>
   <!-- omissions -->                                       Geometry reference & Part properties
  </ProtoInstance>
 </Scene>
</X3D>
```

(1) CAD 시스템으로부터 출력된 VRML 데이터는 처리가 용이한 XML기반의 X3D로 변환하는 과정이 필요하다. X3D는 VRML의 모든 노드를 포함하므로 각 노드간의 1:1 대응 맵핑을 통해 X3D로 쉽게 변환할 수 있다.

(2) 경량화의 첫 번째 단계로, 장면그래프의 복잡도를 낮추기 위해 X3D 장면그래프 상의 Grouping 성격의 노드를 제거하고, 많은 Shape 노드를 하나의 Shape 노드로 통합한다. 이는 뷰어에서 많은 노드를 처리해야 하는 과부하를 줄이기 위함이다.

(3) 형상은 IndexedFaceSet 기하 노드를 사용해 표현되는데, 많은 정점이 포함된 High Resolution Mesh를 경량화하기 위해 Quadric Error Metric을 통한 엣지 축약 알고리즘(Edge collapse algorithm)[22]을 적용해 메시를 단순화한다. 이 때 경량화 단계를 여러 단계로 구분하여 적용시키는데, 이는 단계별로 생성된 데이터를 가시화 단계에서 LOD(Level of detail)에 활용하여 가시화 효율을 높이기 위함이다.

(4) 최적화 단계로 장면그래프 내의 기하정보와 직접적인 관련이 없는 노드들(예, Background, Viewpoint 등)을 제거하고, 이진 압축 파일형식인 X3DB(ISO 19776 X3DB: X3D Binary Format File)로 변환한다.

위 과정을 통해 CAD 모델에 포함된 모든 부품들의 형상 정보들을 이진 데이터(X3DB)로 변환한다.

3.5 X3D 데이터 통합 가시화

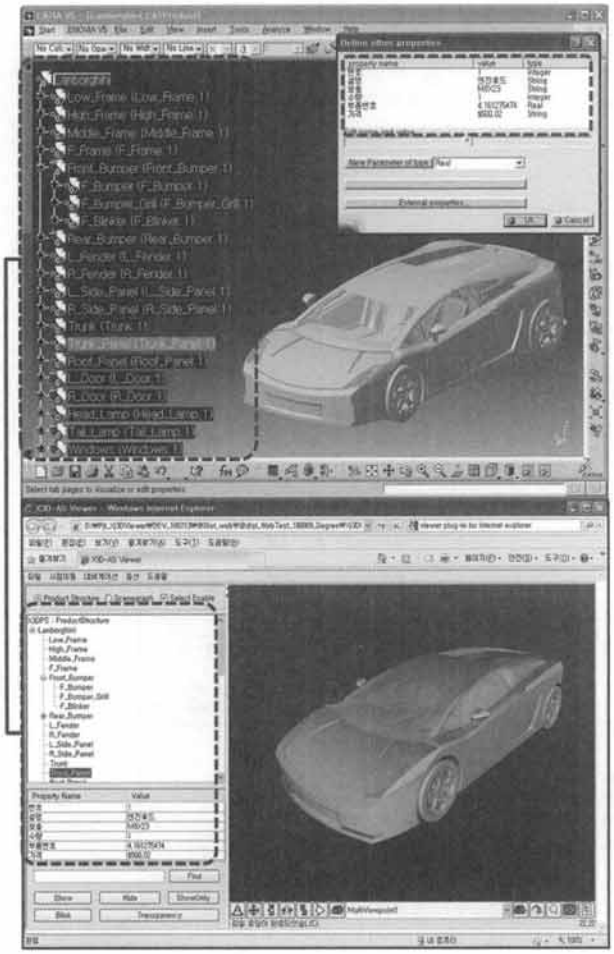
3.3절과 3.4절에서 CAD 데이터의 비형상 정보(제품구조, 각 부품의 위치 및 회전 정보와 속성정보)와 형상 정보를 각각 X3D, X3DB로 변환하는 과정에 대해 알아보았다. 다음은 변환된 정보들을 장면그래프 조작을 위한 스크립트인 X3D SAI(ISO 19775-Part2 : X3D Scene Access Interface)를 이용해 하나로 통합하여 가시화하는 과정이다.

(1) 3.3절에서 변환된 X3D 파일을 뷰어에서 읽어 장면그래프를 생성한다.

(2) 장면그래프를 탐색해 모든 CADProperty 노드를 찾고, geometryUrl 필드에 명시된 외부 참조 파일(형상정보 파일, X3DB)을 읽어, 별도의 장면그래프를 생성한다.

(3) (2)에서 생성된 장면그래프의 모든 기하 관련 노드를 찾아 (1)의 장면그래프에 복사한 후 (2)의 장면그래프는 메모리에서 제거한다.

SAI를 통한 데이터 통합 과정이 끝나면, (그림 6)의 (하)와 같이 실시간 가시화를 시작한다. (그림 6)은 차체외형 설계 모델(상)을 본 연구에서 정의한 데이터 집합으로 변환하여 웹 가시화한 결과(하)이다. 가시화 결과 변환된 데이터가 CAD 모델의 제품구조, 부품속성 정보, 형상 정보와 일치함을 확인할 수 있었다.



(그림 6) 변환된 CAD 모델의 웹 가시화 결과

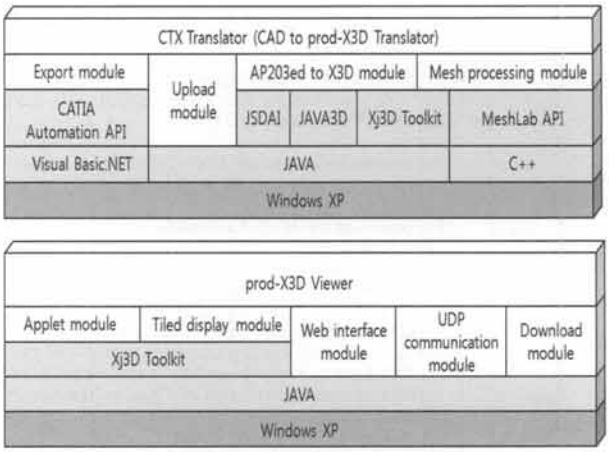
4. 구현 및 실험

4.1 구현

<표 4>는 구현 및 실험환경을 나타낸다. CAD 시스템은 현업에서 많이 사용하고 있는 CATIA 시스템을 대상으로 진행하였다. 성능 평가를 위해 사용한 뷰어는 본 연구에서 구현한 뷰어로 자바(JAVA) 기반의 Xj3D Toolkit[23]을 사용해 구현하였다.

〈표 4〉 구현 및 실험환경

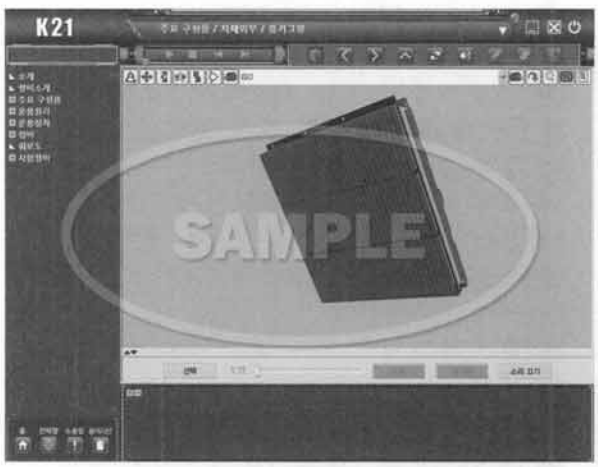
H/W	CPU	Intel Core2 Duo 2.6GHz
	RAM	4GB
	VGA	Nvidia Quadro FX 5500
S/W	OS	Windows XP (32bit)
	3D CAD System	CATIA V5R16
	VRML & X3D Viewer	prod-X3D Viewer plug-in for IE 8
	Web Server	Apache HTTP Server 2.2.16
	Database	MySQL 5.5



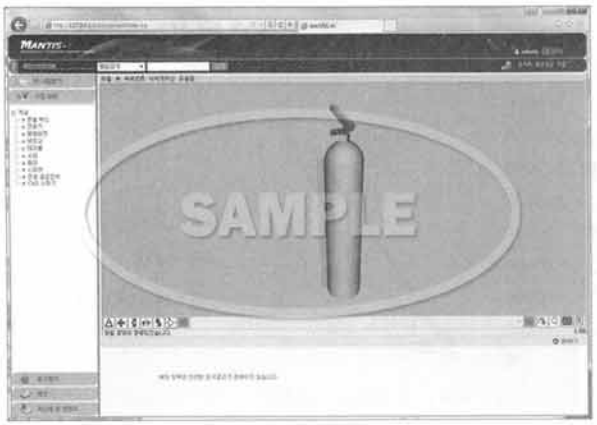
(그림 7) 데이터변환기와 뷰어의 S/W 구성도

(그림 7)은 데이터 변환기와 뷰어의 S/W 구성도이다. CATIA 시스템에서 제공하는 API를 제외한 모든 라이브러리는 오픈소스로 경제적이고, 확장이 용이하다. Xj3D Toolkit[23]은 X3D 표준 제정을 담당하는 Web3D 컨소시엄의 Source Working Group 내 프로젝트로서, VRML 및 X3D의 가시화를 위한 자바 기반의 툴 킷(Toolkit)이다. JSDAI[24]는 STEP과 같이 EXPRESS기반의 데이터 모델로 정의된 데이터를 손쉽게 처리할 수 있는 기능을 제공하는 라이브러리이다. MeshLab[25]는 삼각 메시 처리에 대한 다양한 알고리즘이 포함된 라이브러리이다. 이들을 사용해 구현한 변환기와 뷰어는 CAD 데이터를 제안한 데이터 집합으로 변환하여 다양한 목적으로 활용하는데 사용된다.

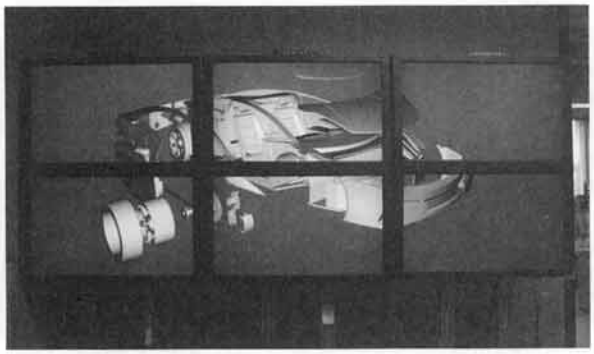
다음은 본 연구의 결과물을 실제 현업에 적용한 사례로, (그림 8)은 육군의 K21 장갑차의 멀티미디어 교보재 시스템에 적용한 사례이며, (그림 9)는 해군 함정의 전자식 기술매뉴얼에 적용한 사례이다. 또한 연구의 결과물은 웹 기반 가시화 영역에만 국한하지 않고, 몰입형 가시화용으로 사용할 수 있는데, (그림 10)은 설계 품평에 활용할 수 있는 6채널 가시화 시스템에 적용한 사례이다.



(그림 8) 멀티미디어 교보재 시스템에 적용한 사례



(그림 9) 전자식 기술 매뉴얼에 적용한 사례



(그림 10) 6채널 가시화 시스템에 적용한 사례

4.2 실험

본 연구에서 제안한 prod-X3D의 성능 평가에 앞서, CAD 데이터를 웹 가시화하기 위한 기존의 방법인 VRML과 비교해 보면, <표 5>와 같이 요약할 수 있다.

〈표 5〉 VRML과 prod-X3D 비교

		CAD 시스템을 통해 생성된 VRML (기존 방법)	제안한 변환 기법을 통해 생성된 X3D 데이터 집합
제품구조 정보 표현		X	O
부품속성 정보 표현		X	O
형상 정보	메시 구성	High resolution mesh	Optimized Low resolution mesh
	장면그래프	Complex scene graph	Simplified scene graph
	인코딩 방식	ASCII	Binary
	조립체 표현	단일 파일로 표현	부품 단위로 분할된 여러 파일들의 조합으로 표현

다음은 VRML과 본 연구에서 제안한 변환 기법을 통해 생성한 prod-X3D의 성능을 비교하기 위해 진행한 실험이다. 실험 모델은 <표 6>에서 보는 바와 같이 복잡도가 증가하는 세 가지 CAD 모델을 대상으로 하였으며, 평가 항목은 파일크기, 사용 메모리, 로딩시간, 가시화 평균속도를 측정하였다. 측정 방법은 CAD 모델의 경우 CATIA 시스템에서 읽었을 때의 측정 결과를 기록한 것이고, VRML과 prod-X3D는 본 연구에서 구현한 웹 뷰어로 읽었을 때의 측정 결과를 기록한 것이다.

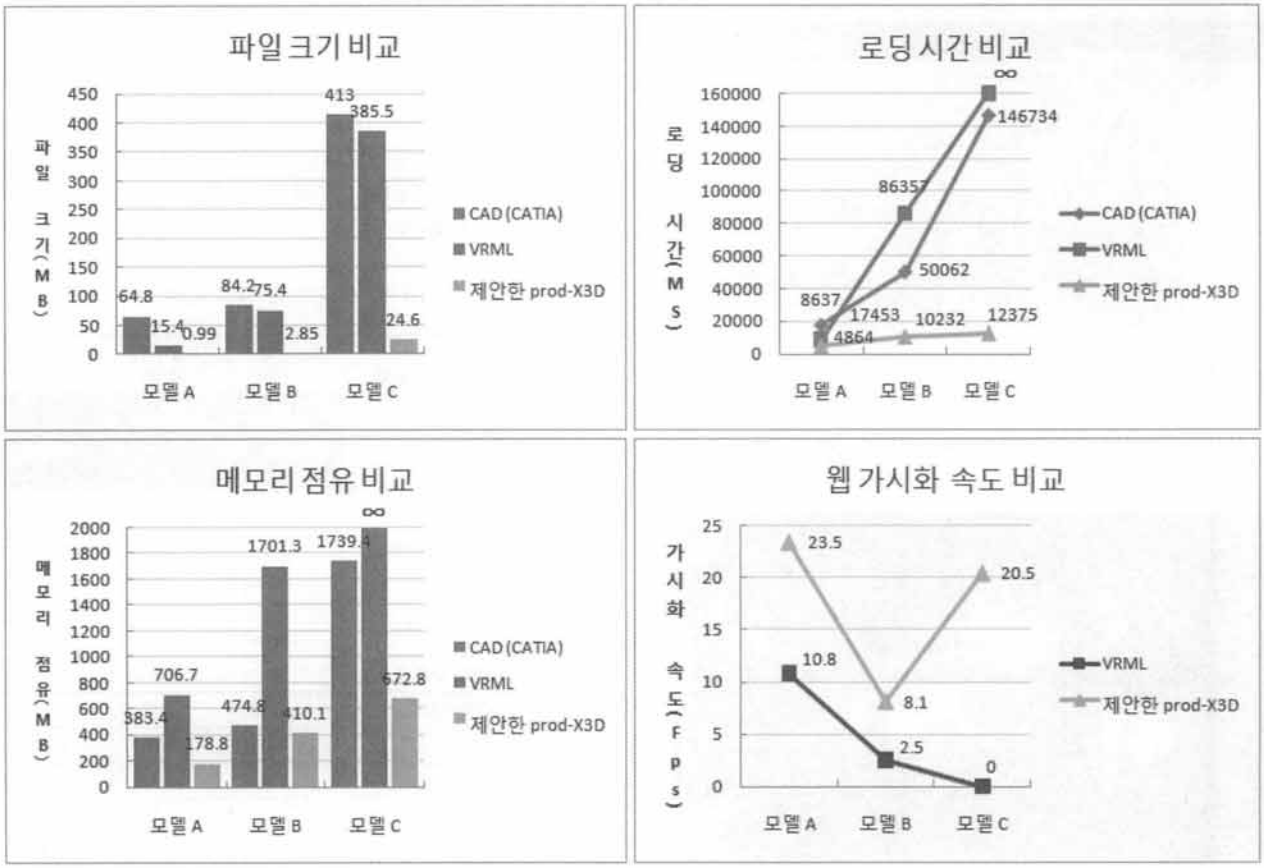
〈표 6〉 성능 실험 측정 결과

비교 항목 \ 실험 모델		자동차 외관 모델 (A)	기계설비시설 모델 (B)	선박 모델 (C)
파일 크기 (MB)	CAD (CATIA)	64.8 (87 Files)	84.2 MB (952 Files)	413 MB (1023 Files)
	VRML	15.4 (1 File)	75.4 (1 File)	385.5 (1 File)
	제안한 prod-X3D	0.99 (72 Files)	2.85 (913 Files)	24.6 (905 Files)
	VRML 대비 감소율	93.5%	96.2%	93.6%
사용된 메모리 (MB)	CAD (CATIA)	383.4	474.8	1739.4
	VRML	706.7	1701.3	로딩 불가
	제안한 prod-X3D	178.8	410.1	672.8
	VRML 대비 감소율	74.6%	75.8%	-
로딩 시간 (ms)	CAD (CATIA)	17453	50062	146734
	VRML	8637	86357	로딩 불가
	제안한 prod-X3D	4864	10232	12375
	VRML 대비 감소율	43.6%	88.1%	-
웹 가시화 평균 속도 (fps)	VRML	10.8	2.5	로딩 불가
	제안한 prod-X3D	23.5	8.1	20.5
	VRML 대비 향상율	217%	324%	-

실험 결과 VRML 데이터는 복잡도가 높은 (C)모델의 경우 메모리 부족으로 읽을 수 없었으며, (B)모델은 많은 메모리를 점유하며 로딩에 성공하였으나, 실시간 가시화 속도는 3fps 미만으로 측정되었다. 이러한 경우 사실상 사용자가 거의 사용할 수 없을 정도로 불편함을 느낀다.

그러나 제안한 prod-X3D는 비형상 정보를 표현하는 1개의 X3D 파일 형식을 제외하고, 나머지 모두 이진 압축 파일형식(형상 정보를 표현하는 X3DB)으로 구성되는 데이터 집합이므로, VRML에 비해 파일 크기는 90% 이상 감소하였으며, 로딩 속도의 경우 (A)모델은 43%, (B)모델은 88% 이상 향상되었다. 또한 prod-X3D 데이터 집합에 포함된 형상 정보는 웹 가시화 성능을 높이기 위한 후처리 과정(장면 그래프 단순화 및 메시 감량)을 거쳤기 때문에 메모리 점유율이 VRML 대비 70% 이상 감소하였고, 실시간 가시화 속도는 2.1~3.2배 향상되었다.

위 실험을 통해 제안한 prod-X3D의 성능이 CAD 시스템에서 출력된 VRML보다 더 적은 자원을 사용하며, 로딩 및 가시화 속도가 우수하다는 것을 확인할 수 있었다.



(그림 11) 성능 결과 비교 그래프

5. 결 론

설계단계에서 생성되는 3차원 CAD 데이터는 원격 협업 검토나 서비스단계에서 직접 활용하기 어렵다. 그 이유는 많은 컴퓨팅 자원이 요구되고, 설계 지식의 유출 위험과 라이선스 비용 때문이다. 이를 해결하기 위해 기존 연구들이 사용한 파일형식들은 특정 기업 및 기관을 위한 것으로 서로 공유될 수 없고, 제품구조가 없는 형상 정보만을 표현한다. VRML 표준은 호환성 측면에서 위 문제를 일부 해결하지만, 역시 제품구조와 같은 비형상 정보를 표현할 수 없다. X3D 표준의 경우는 CAD 관련 기능을 일부 제공하지만, 제공되는 기능은 빈약하고 제한적이며, 현재 대부분의 CAD 시스템들이 X3D를 지원하고 있지 않다는 것이 문제점이라 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 형상 정보뿐만 아니라 제품구조, 부품 속성정보를 표현할 수 있도록, X3D의 사용자 정의 노드와 X3D SAI를 활용한 prod-X3D 데이터 집합을 정의하였고, 데이터 생성과 가시화를 위한 변환기와 뷰어를 개발하였다. 생성된 데이터는 다양한 영역에서 활용될 수 있음을 사례연구를 통해 입증하였으며, 실험을 통해 기존의 웹 가시화 방법인 VRML과 비교하여 더 효율적이고, 성능이 우수하다는 것을 확인하였다. 이에 본 연구의 결과물은 분산 환경에서 웹을 통한 형상 검토나 홍보를 위한 시각화 자료, 웹 기반 전자 기술문서로 활용할 경우 많은 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

기존 연구와 차이점은 이전 연구가 비표준의 형상 정보와 별개로 분리된 제품구조 정보를 시스템 수준에서 통합한 것이라면, 본 연구에서는 X3D 표준을 활용하여 두 정보를 데이터 수준에서 통합하여 표현한 것이 차이점이라 할 수 있다. 이는 구성된 데이터가 특정 시스템 및 뷰어에 종속되지 않고, 다양한 뷰어에서 그대로 활용될 수 있음을 의미한다.

마지막으로 현재 X3D 표준은 3차원 형상의 물리적 치수 측정을 위한 항목을 포함하고 있지 않다. 따라서 본 연구의 결과물 또한 정확한 치수 측정이나 정밀한 간섭 검증이 어렵다는 것이 단점이자 개선이 필요한 부분이라 할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Wikipedia PLM, http://en.wikipedia.org/wiki/Product_lifecycle_ management

[2] Enrico Vezzetti, "Product lifecycle data sharing and visualisation: Web-based approaches", International Journal

of Advanced Manufacturing Technology, Vol.41, pp.613-630, 2008.

[3] Lian Ding, Alex Ball, Jason Matthews, Chris McMahon and Manjula Patel, "Annotation of lightweight formats for long-term product representations", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, pp.1-32, 2008.

[4] J.Y.H. Fuh and W.D. Li, "Advances in collaborative CAD: the-state-of-the art", Computer-Aided Design, Vol.37, pp.571-581, 2005.

[5] 조시완, 김헌종, 김석배, 최기하, "PLM 환경 하에서의 대용량 모델의 뷰잉 시스템", 한국CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp.492-498, 2008.

[6] ACIS, http://www.spatial.com/

[7] Inho Song and Sungchong Chung, "Data Format and Browser of Lightweight CAD files for Dimensional Verification over the Internet" Journal of Mechanical Science and Technology, Vol.23, pp.1278-1288, 2009.

[8] Inho Song and Sungchong Chung, "Synthesis of the digital mock-up system for heterogeneous CAD assembly", Computers in Industry, Vol.60, pp.285-295, 2009.

[9] Sang-Su Choi, Johannes Herter, Andeas Bruening and Sang Do Hoh, "MEMPHIS: New Framework for Realistic Virtual Engineering", Concurrent Engineering, Vol.17, pp.21-33, 2009.

[10] 최상수, 김석렬, 온기원, Arne Schilling, "실감형 Virtual Engineering 기술개발을 위한 CAD-To-VR 변환 시스템", 한국CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp.14-19, 2006

[11] 신수철, 강윤아, 김병철, 이창민, 조금원, 한순흥, "제품 설계의 협업 검토와 보안을 위한 원격가시화 기반의 CAD/CAE/VR 통합 가시화", 한국CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp.137-142, 2009.

[12] Jezernik, A. and Hren, G., "A solution to integrate computer-aided design (CAD) and virtual reality (VR) databases in design and manufacturing processes", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.22, pp.768 - 774, 2003.

[13] Hren, G. and Jezernik, A., "XML AS A LINK BETWEEN CAD AND WEB", Advanced Engineering, Vol.2, pp.153-164, 2007.

[14] SPRI, http://spri.kshell.com

[15] J. Li, I. Kim, S. Lee, S. Han, C .Lee, S. Cheon, W. Lee, K. An, G. Cho, J. Hwang, "Sharing Piping CAD Models of Ocean Plants based on International Standards", Journal of Mechanical Science and Technology, DOI: 10.1007/s00773-010-0109-7(Online First), 2010.

[16] Ikjune Kim, Guimok Cho, Jinsang Hwang, Jinggao Li, Soonhung Han, "Visualization of Neutral Model of Ship Pipe System Using X3D", Cooperative Design Visualization and Engineerin, LNCS, Vol.6240, pp.218-228, 2010.

[17] 김익준, 조귀목, 황진상, 리경호, 한순흥, "선박 파이프 중립 모델의 X3D 가시화", 한국해양과학기술협의회 공동학술대회, pp.925-932, 2010.

[18] 안경익, 조귀목, 한순흥, 김인한, 황진상, "X3D 기반 제품설계 및 카탈로그 데이터의 가시화 도구 개발", 한국CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp.18, 2010.

[19] 조귀목, 김익준, "X3D를 이용한 파이프 중립모델 가시화", 2010 동계 선박설계연구회, 2010.

[20] ISO TC184/SC4, http://www.tc184-sc4.org

[21] Web3D Consortium, http://www.web3d.org

[22] Michael Garland and Paul S. Heckbert. "Surface simplication using quadric error metrics", In Proceedings of SIGGRAPH 97, pp.209-216, 1997.

[23] Xj3D, http://www.xj3d.org

[24] JSDAI, http://www.jsdai.net

[25] MeshLab, http://meshlab.sourceforge.net

조 귀 목

e-mail : siodos@gmail.com
2006년 목원대학교 컴퓨터공학과(학사)
2011년 충남대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
2007년~2010년 ㈜부품디비 기술연구소 선임연구원
관심분야 : Web3D 표준, 가상현실, 엔지니어링 협업

황 진 상

e-mail : mars@partdb.com
1994년 KAIST 기계공학과(학사)
1997년 KAIST 자동화 및 설계공학과 (공학석사)
2009년 KAIST 기계공학과(공학박사)
1997년~2003년 LG전자 D.A.연구소 선임연구원
2005년~2009년 대구대학교 자동차/산업/기계공학과 겸임교수
2003년~현 재 ㈜부품디비 대표이사
관심분야 : Collaboration, PLM, Geometric modeling, Engineering visualization, ISO & Web3D standards for engineering, etc.

김 영 국

e-mail : ykim@cnu.ac.kr

1985년 서울대학교 계산통계학과(학사)

1987년 서울대학교 계산통계학과 (이학석사)

1995년 University of Virginia, 컴퓨터과학과(공학박사)

1995년~1996년 핀란드 VIT, 노르웨이 SINTEF DELAB 방문연구원

1996년~현 재 충남대학교 컴퓨터공학과 교수

2002년~2003년 University of California, Davis 방문교수

관심분야 : 실시간데이터베이스, 모바일데이터관리, 상황인지 추천시스템 등