
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 29 卷 第 4 號 1992 年 11 月
 Transactions of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 29, No.4, November 1992

컴퓨터 그래픽을 이용한 유동의 가시화

한순홍*, 이경호*, 이규옥*

Visualization of Calculated Flow Fields Using Methods of Computer Graphics

by

Soon-Hung Han*, Kyung Ho Lee* and Kyu-Ock Lee*

요 약

전산유체역학의 발달과 함께 그 계산결과를 가시화하기 위한 기술이 필요해졌으며, 여러 분야의 비슷한 요구를 충족시키기 위해 이용되고 있는 자연과학의 가시화 기술이 유동의 가시화를 위해 연구되었다. 이를 위해 근래에 다양한 분야에서 연구개발되고 있는 가시화 기술들을 조사하여 분석 및 비교하였고, 이것을 토대로 유동의 가시화에 적합한 기술을 선정하였다. 또한, 곡면조각을 부분적으로 생성해 내는(Surface Tiling) 방법으로 분류될 수 있는 등가면의 생성 알고리즘이 고안되었다. 실제의 가시화 시스템을 구현하기 위하여 국제표준인 PEX로 그래픽 개발환경을 선택하여 가시화 시스템이 개발되었으며, 개발된 가시화 시스템의 검증을 위해 잘 알려진 몇가지 유동에 대하여 가시화를 시도하였다.

Abstract

Developments in the emerging field of Computational Fluid Dynamics(CFD), which is made possible by the supercomputer technologies, introduce a new problem of analysing the massive amount of output produced. This problem is common to fields of computational science and engineering. Scientific visualization is to solve this problem by applying advanced technologies of computer graphics. Methods of scientific visualization are studied to visualize calculated flow fields. Different methods of scientific visualization has been surveyed, analysed and compared to select one method, iso-surface. Methods of constructing iso-surfaces from a 3-D data set have been studied. A new algorithm for constructing iso-surfaces has been developed.

발 표 : 1992년도 대한조선학회 춘계연구발표회('92. 4. 18.)

접수일자: 1992년 6월 1일, 재접수일자: 1992년 8월 6일

* 정회원, 해사기술연구소

The algorithm can be classified as one of surface tiling methods. To develop a portable visualization system the international standard PHIGS PLUS and its implementation on X-Window system, PEX, have been selected as the development environment. A prototype of visualization system has been developed. The developed visualization system has been tried to visualize several well-known flow fields.

약자설명

CFD : Computational Fluid Dynamics
 CGI : Computer Graphics Interface
 CGM : Computer Graphics Metafile
 CS & E : Computational Science & Engineering

CSS : Central Structure Store
 GKS : Graphical Kernel System
 ISO : International Standard Organization
 NPC : Normalized Projection Coordinate
 PEX : PHIGS(PLUS) Extension to X-Window

PEX-SI : PEX Sample Implementation
 PHIGS : Programmer's Hierarchical Interactive Graphics Standard

1. 머리말

수퍼컴퓨터의 발달과 함께 근래에 많은 발전을 보이고 있는 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics) 분야의 출현은 대량의 계산결과와 그 분석이라는 새로운 문제를 가져왔다. 컴퓨터의 하드웨어와 소프트웨어의 발달에 의하여 이전까지는 불가능한 것으로 여겨지던 유체유동의 수치적 시뮬레이션이 가능해지고 있다. 그러나 고속도의 컴퓨터에서 쏟아져 나오는 방대한 양의 정보를 분석하는 문제가 발생한다. 종래대로 Output을 프린터로 받아 보기에는 그 속도가 느리기 때문에, 분석되지 못한 Output이 점점 더 쌓이게 된다.

인간의 분석능력을 초과하는 정보의 대량생산에 대처하기 위하여 컴퓨터 그래픽 분야의 가시화 기술이 이용되고 있다. 인간의 시각 기능은 대량의 정성적인 정보를 처리할 수 있으며, 이러한 기능을 이용하기 위하여 컴퓨터 그래픽 기술을 사용하는 것이다.

실험실에서 이루어져 왔던 모형실험을 CFD로

완전히 대체하기 위하여도 가시화 기술은 필요한 도구이다. 수치적 시뮬레이션의 결과를 현실의 유체 유동과 똑같도록 시각화하는 것이다. 이 글에서는 컴퓨터 그래픽 기술을 유체의 유동(Flow)을 가시화 하는데 이용하기 위하여, 요구되는 문제기술들을 연구한 결과를 소개한다.

2. 자연과학의 가시화

2.1 자연과학의 가시화란 무엇인가

자연과학의 가시화 기술(Scientific Visualization)이란 Fig.1과 같이 컴퓨터 그래픽(Computer Graphic) 기술과 전산과학 및 전산공학(Computational Science and Engineering : CS & E)이 결합되어 나타난 새로운 분야이다[6,9].

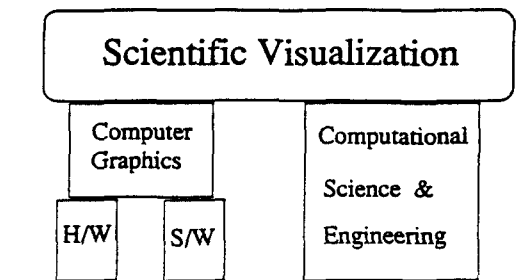


Fig.1 Technology tree of scientific visualization

전산과학(Computational Science)이나 전산공학(Computational Engineering)도 새로운 용어로서, 종래의 수치해석(Numerical Analysis)의 발전된 다음 단계를 나타낸다. 컴퓨터 성능의 빠른 향상에 힘입어 종래의 수치해석에서 다루지 못했던 보다 광범위한 문제를 해결할 수 있다. 따라서 실험에 의존할 수밖에 없었던 비선형 문제 등과 같은 어려운 문제들의 결과를 낼 수 있으므로 그 실용적인 가치를 인정받고 있다.

자연과학의 가시화 기술은 현재 거의 모든 이공계 분야에 이용이 가능하며, 특히 많이 이용되고 있는

분야들은 다음과 같다[6].

- 분자 모델링(Molecular Modeling)
- 의료 영상(Medical Imaging)
- 두뇌 구조와 기능(Brain Structure and Function)
- 수학: 추상적인 개념이나 수식의 가시화에 이용
- 지구과학(Geoscience), 기상학(Meteorology)
- 우주과학(Space Explorartion)
- 전산 천체 물리학(Computational Astophysics)
- 전산 유체역학(Computational Fluid Dynamics)
- 유한요소법(Finite Element Method)

또한 이 가시화 기술은 공학설계에 이용되어 설계 과정의 가시화에도 이용될 수 있다[21].

가시화에 이용되고 있는 컴퓨터 그래픽의 요소 기술들은 다양하며, 그들을 정리하면 다음과 같다 [6]. 이러한 그래픽 기술이 전산역학 모델에서 나온 결과를 그림으로 변형시키는데 이용되며, 이 그림을 통해 계산결과가 평가되는 것이다.

- 직선 요소(Lines): 와이어프레임 모델을 구성하는 기본요소
- 다면체(Polygonal Surface)
- 자유곡면(Curved Surface Patch)
- 영상처리(Image Processing)
- 애니메이션(Animation)
- 영상편집(Image Composition)
- 윈도우 시스템(X-Window System 등)
- 3차원 입체자료의 가시화(Volume Visualization) [19].

이 가시화 기술에서 색깔의 이용은 중요한 역할을 한다. 자연 현상을 그대로 자연스럽게 보이기 위해서도 필수적이지만, 여러가지 추상적인 개념 등을 가시화하는 데도 색깔은 중요한 역할을 한다.

2.2 유동의 가시화를 위한 방법

위에서 설명된 가시화 기술 중에서 유체 유동의 3차원적 가시화를 위해 사용되고 있는 기술들은 다음과 같다.

- 화살표로 표시된 벡터(Vectors with Arrows)
: 유체가 움직이는 유동장(Flow Field)는 여러가지 값으로 표시할 수 있는데, 그중에서도 유체입자의 속도를 나타내는 것이 가장 쉽게 유동을 파악할 수 있는 방법중에 하나이다. 일반적으로 속도는 벡터로 표시되고 있으며 그림으로는 화살표로 표시된다. 그 화살표의 길이는 속도의

크기를 나타내고, 화살표의 방향으로 벡터의 방향을 나타낸다. 이렇게 화살표로 유동의 속도를 표시하는 것이 가장 직관적으로 유동을 가시화하는 기술일 것이다.

- 입자추적선(Particle Tracer): 유체입자의 시간에 따른 궤적을 그린 곡선을 Streak Line이라고 하며, 이러한 궤적선이 유동을 파악하는데 도움이 된다. 이렇게 유체입자를 따라가며 그리는 입자추적선은 유동의 가시화에 이용되는 기술의 하나이다.
- 등가면(Iso-Surface): 등가면이란 등온선이나 등고선과 같은 2차원의 등가선(等價線)을 3차원으로 확장한 개념으로 어떤 공간내부의 등온면이나 등압면을 생각해 볼 수 있다. 이 가시화 기술은 Scalar 양의 변화만을 다룰 수 있다는 제약이 있다. 따라서 의미있는 Scalar 양을 선정하여 유동의 가시화를 간접적으로 얻을 수 있어야 한다. 수식으로는 $T_0 = T(x,y,z)$ 로 표시될 수 있다. 즉, 온도 T는 3차원 위치에 따라 변하는 함수이고, 이 값이 정해진 값 T_0 를 갖는 점들을 연결하여 얻어지는 곡면을 등가면이라고 한다.

일반적으로 유동은 3차원 현상이나, 어떤 특정단면에서의 유동을 가시화하는 것이 중요한 경우가 있다. 2차원 단면에서의 가시화는 기술적으로 단순하며, 화살표를 이용한 벡터나, 등가선(Iso-line 또는 Contour Line)이 자주 이용된다. 이밖에 실험측정치로부터 2차원 단면에서의 유동을 가시화하는데 화상처리(Image Processing) 기법이 이용되고 있다 [7].

2차원 단면을 관찰하기 보다는 3차원 형상을 직접 관찰해야 하는 경우도 많이 발생한다. 간단한 3차원 모델은 선분만으로 구성된 와이어프레임 형상으로도 충분히 관찰할 수 있지만, 모델이 복잡해 질수록 관찰이 어려워진다. 복잡한 3차원 모델을 검토하기 위하여는 숨은선 또는 숨은면 가리기(Hidden Line and Hidden Surface Removal)가 필요하며, 이를 위해서는 모델 자체가 다각형(Polygon) 등 면요소로 정의되어야 한다.

앞에서 설명된 화살표나 입자추적선은 와이어프레임의 한 형태이며, 부분적인 3차원 유동을 표시하는 데는 문제가 없다. 그러나 화살표나 추적선의 숫자가 많아지면 그려진 선분요소들끼리 겹쳐지기 때문에 관찰이 불가능해지며, 따라서 등가면의 이용이 필요

해진다. 하지만 등가면은 화살표나 입자추적선에 비해 유동을 가시화 하는데 덜 직관적이므로 가시화된 등가면의 의미를 파악하는 능력이 사용자에게 요구된다. 실제의 경우에 있어서는 위에 설명된 세가지 기술이 함께 사용되는 경우가 많다. 등가면으로 전반적인 유동을 가시화하고, 부분적으로 중요한 유동을 화살표나 입자추적선으로 가시화하는 것이다.

3. 3차원 분포 자료로 부터 등가면의 생성

이 글에서는 등가면(Iso-Surface)을 이용하여 3차원으로 분포된 입력자료를 가시화하는 기술을 중점적으로 다룬다. 일반적으로 3차원에 분포되어있는 데이터를 이용하여 주어진 값(Iso-value)에 해당되는 등가면을 생성하는 것은 간단하지가 않다. 우선, 등가면 자체가 내포방정식(Implicit Equation)으로 표시되어 그 형상이 복잡하며, 한개의 곡면으로 연결되어 있는 것이 아니고 여러 덩어리로 나누어져 있는 것이 보통이다.

이 절에서는 현재 등가면의 생성을 위해 사용되고 있는 기술들을 비교한다. 그 기술들은, 와이어프레임 형태의 등가면을 생성하는 방법, 입력자료를 4차원 곡면으로 보간(Interpolation)한 후에 3차원 등가면을 추출하는 방법, 연속된 2차원 등가선들을 이용하여 3차원 등가면을 구축하는 방법, 그리고 등가면을 구성하는 곡면조각을 부분적으로 생성하는 방법이다.

3.1 와이어프레임 형태의 등가면 (Wireframe Construction)

와이어프레임 형태의 등가면은 사실상 2차원 등가선들을 3차원적으로 집합해 놓은 것이다. 3차원으로 주어진 입력자료 영역을 x-y, y-z, z-x의 단면들로 분리하여, 각각의 단면에서의 등가선을 생성한 후에 이 등가선들을 각 단면의 위치에 3차원적으로 모아 놓은 것이다[17].

따라서 등가면을 생성하는 알고리즘이 단순하여 짧은 시간안에 등가면의 생성이 가능하고, 일단 생성된 등가면은 조작이 손쉽다는 장점이 있다. 반면에, 와이어프레임 모델이 갖는 한계인, 복잡한 3차원 물체의 관찰을 어렵게 한다는 단점을 갖고 있다. Fig.2는 와이어프레임 형태로 생성된 등가면을 보여 준다.

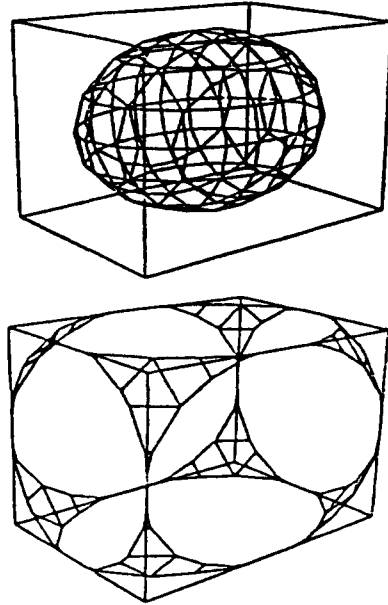


Fig.2 Iso-surfaces in wireframe form

3.2 4차원 곡면으로의 보간 후에 곡면교차 (Interpolation and Surface Intersection)

이 방법은 3차원에 분포된 입력 자료를 보간하여 4차원 곡면을 형성한 후에, 이 곡면과 주어진 값(Iso-value)에 대응되는 4차원 평면(Hyperplane)을 교차시켜서 3차원 등가면을 찾아내는 방법이다. 이 방법은 Fig.3을 이용해 좀 더 쉽게 설명될 수 있다.

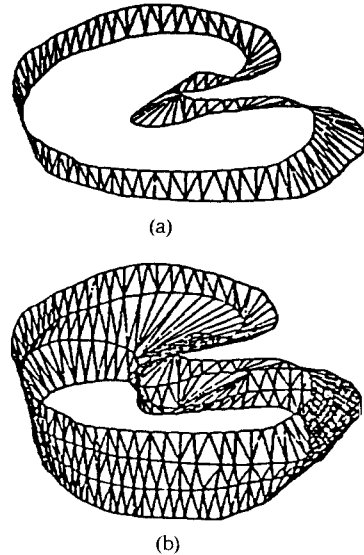


Fig.3 Interpolation with high dimensional surfaces

Fig.3.a는 1차원 분포로 주어진 입력자료를 이용하여, 변수 1개를 이용한 보간법을 적용하고, 이를 통해 전체의 분포를 나타내는 2차원 곡선을 찾아내는 경우를 보여준다. 예를 들어 철사줄을 따라 변하는 온도를 몇군데에서 측정하여 온도를 부터 얻고자 하는 경우이다.

Fig.3.b는 2차원 분포로 주어진 입력자료를 이용하여, 변수 2개를 이용한 보간법을 적용하며 전체분포를 나타내는 3차원 곡면을 찾아내는 경우를 보여준다. 예를 들어 철관을 따라 변하는 온도의 분포를 몇군데에서의 온도측정을 통하여 얻고자 하는 경우이다.

Fig.3.c는 3차원 분포로 주어진 입력자료를 이용하여, 변수 3개를 이용한 보간법을 적용하고, 이를 통해 전체의 분포를 나타내는 4차원 곡면을 찾아내는 경우를 보여준다. 물론 4차원 곡면은 직접 가시화할 수 없으며, 수식으로만 구해될 것이다. 예를 들어 방안 온도의 분포를 몇군데에서의 온도측정을 통하여 얻고자 하는 경우이다.

Fig.3.d에서는 시간이라는 변수가 개입되어 4차원 분포로 주어진 입력자료로부터 변수 4개를 이용한 보간법을 적용하여 전체분포를 나타내는 5차원 곡면을 찾아내는 경우를 보여준다.

만일 Fig.3.b에서 구해진 3차원 곡면을 특정온도를 나타내는 3차원 평면(철관과 평행한 평면)과 교차시키면, 그 온도의 분포를 보여주는 등온선을 얻게 된다. 같은 방법으로 Fig.3.c에서 구해진 4차원 곡면(Hypersurface)과 특정온도를 나타내는 4차원 평면(Hyperplane)을 교차시키면, 원하는 3차원 등가면을 구할 수 있다.

일반적으로 3차원 곡면과 3차원 곡면의 교차곡선을 구하는 문제는 알고리즘의 안정성(Stability)을 포함하는 어려운 문제로 알려져 있다. 4차원 곡면과 4차원 평면의 교차곡면을 구하는 것도 비슷한 어려움이 있으며, 여러가지 알고리즘들이 고안되고 있다 [1].

한편, 여러개의 변수가 개입되는 보간법(Multi-variate Interpolation)도 간단한 문제가 아니다. 여러가지 보간방법들이 제안되고 있는데, 입력자료의 특징이나 보간하고자 하는 곡면의 특성에 따라 다른 성능을 보이므로, 한가지 방법을 선정하기가 어렵다.

3.3 일련의 2차원 등가선들의 연결 (Connecting a Series of Contours)

이 방법은 Fig.4에 나타난 것과 같이 한 방향으로 평행하게 모아진 2차원 등가선들을 바탕으로 인접한 두개의 등가선 사이를 삼각형 띠로 채워가는 (Triangulation) 방법으로 원하는 3차원 등가면을 구하는 것이다.

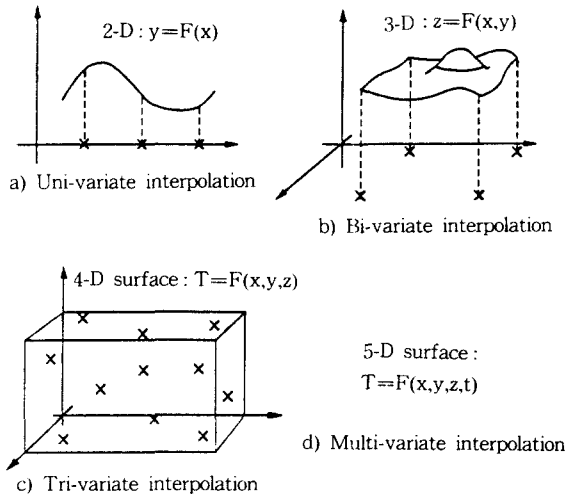


Fig.4 Surface reconstruction from a Series 2-D contours [5]

이 방법은 의료영상 분야에서 많이 이용되고 있다. 컴퓨터 단층촬영으로부터 구해진 일련의 2차원 등가선을 이용하여 3차원 등가면을 재구성하는 것으로, 두뇌나 장기의 형상을 3차원으로 재구성하는데 사용된다.

삼각형 띠로 두개의 이웃한 등가선을 연결할 때, 구해지는 표면의 넓이가 최소가 되도록 하거나, 내부의 부피가 최대가 되도록 하는 목적함수(Objective Function)를 갖는 최적화 기법이 이용된다.

3.4 곡면 조각의 부분 생성 및 모자이크 (Surface Tiling)

이 방법은 입력자료가 규칙적으로 주어지는 경우에 이용된다. 인접하는 입력점(Grid Point)으로 이루어지는 6면체 내부에 구하고자 하는 등가면이 통과하는가를 확인하고, 통과하는 것이 확인되면 그 6면체 내부에 존재하는 등가면의 조각을 찾아내는 방법이다. 이렇게 부분적으로 구해진 곡면조각들이 모여서 전체 등가면을 이루게 된다. Fig.5는 한개의

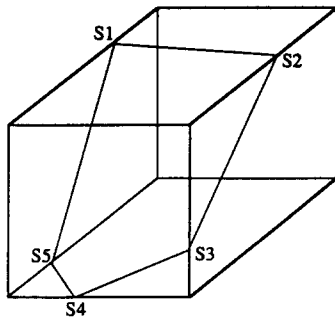


Fig. 5 Iso-surface Patch within a Grid Box

입력 6면체 내부에 있는 등가면의 조각을 구한 것을 보여준다.

이렇게 등가면을 구하는 방법으로 Marching Cube 알고리즘[2]이 있는데, 그 알고리즘이 갖고 있는 약간의 오류를 수정하고, 구체적으로 꼭면조각을 구하는 방식을 변형하여 개선된 Marching Cube 알고리즘이 이 연구를 통해 개발되었다. 이 글에서는 개발된 알고리즘을 이용하여 원하는 등가면을 생성하였다.

4. 그래픽 개발 환경 PEX

4.1 3차원 표준 그래픽 환경의 필요성

이 글에서 유동을 가시화하기 위해서 선정한 도구는 등가면이며, 유체의 유동 자체가 복잡한 3차원 현상이므로, 생성된 등가면도 복잡한 3차원 형상일 것이다. 일반적으로 복잡한 3차원 물체를 관찰하기 위해서는 대화식의 3차원 그래픽 가시화 소프트웨어가 필요하다.

3차원 물체를 컴퓨터 스크린이라는 2차원 평면을 통해 관찰하여야 하기 때문에, 그 물체를 사용자의 필요에 따라 자유롭게 조작할 수 있어야 한다. 즉, 회전시킨다든지 확대하거나, 표면의 투명도나 조명의 밝기 등을 조절할 수 있어야 하겠다.

이러한 기능을 가진 소프트웨어를 개발하는 것은 간단한 일이 아니다. 다양한 3차원 그래픽 기능을 쉽게 구현할 수 있도록 필요한 기능들을 라이브러리 형태로 마련해 놓은 것이 그래픽 라이브러리이다. 이러한 그래픽 라이브러리는 여러가지가 있어 각각의 특색과 장단점을 갖고 있다.

이 글에서는 이들 중에서 3차원 그래픽 국제 표준인 PHIGS 라이브러리를 선정하였다. 그래픽 표준을 선정한 것은 많은 인력과 물자가 투입되어 개발되는

소프트웨어가 여러가지 다른 기종의 컴퓨터에서도 쉽게 운용되게 하기 위한 것이다. 이것을 이식성이라고 하며, 프로그램 이식성 외에도 프로그래머와 데이터의 이식성도 중요하다[12].

사실 이 표준들은 프로그래밍이 된 라이브러리가 아니라, 라이브러리가 가져야 하는 기능들을 규정해 놓은 문서에 불과하다. 이 문서로 된 표준을 프로그래밍화하는 것을 구현(Implementation)이라고 하며, 현재 프로그래밍에 사용되고 있는 PHIGS 프로그램들은 특정 하드웨어의 특성에 따라 구현되어 그 하드웨어에 의존성을 가진 것이 대부분이다.

예를 들어, Apollo PHIGS는 PHIGS 표준을 자체의 그래픽 라이브러린 GPR(Graphics Primitives Resources)을 이용하여 구현하였고, SUN PHIGS도 비슷하게 자체의 그래픽 라이브러리를 바탕으로 PHIGS를 구현한 것이다. 따라서 각각이 하드웨어에 대한 의존성을 갖고 있다.

4.2 PEX 개요

PEX는 PHIGS를 구현하는데 X-Window 시스템을 이용한 것이다. X-Window는 ISO와 같은 국가간 조직에서 제정된 표준은 아니지만 그 사용이 널리 퍼져서 사실상의 표준이다(De Facto Standard). 따라서 PEX는 X-Window에 의존하고 있으나, X-Window가 워낙 널리 쓰이고 있으므로 PHIGS를 사용하기에 가장 적합한 프로그래밍 환경으로 여겨진다. Fig.6는 PEX의 구조를 보여주고 있다. 이 그림을 살펴보면, X-Window 구조에 PHIGS와 PEX Server라는 후이 붙어있는 형상을 하고 있다[11, 16,22].

PEX의 개발은 미국의 MIT 대학을 중심으로 구성된 X 컨소시엄에서 이루어지고 있는데, X 컨소시엄은 X 윈도우 시스템을 개발하는 주체이다.

1991년도에 발표된 X-Window System Version

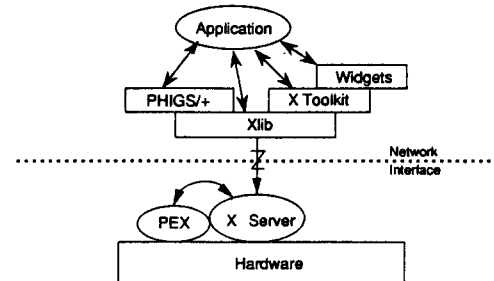


Fig. 6 PEX architecture [16]

11 Release 5(X11R5)에 PEX-SI가 처음으로 포함되었다.

4.3 PHIGS의 기능

PHIGS는 1988년도에 국제표준(ISO)으로 제정된 3차원 그래픽 표준이다. 1984년도에 2차원 그래픽 표준으로 제정된 GKS와 함께 그래픽 프로그램 개발에 이용할 수 있는 표준이다. 현재 PHIGS의 기능을 확장시킨 PHIGS PLUS의 표준 제정 작업도 마무리 단계에 있다[14,15].

PHIGS의 중요한 기능을 살펴보면, 우선 모델링 개념과 그에 따른 자료구조를 들 수 있다. GKS에서는 2차원 그림을 구성하는 요소들의 순차적 나열로서 화면을 구성하게 되어 있으나, PHIGS에서는 형상을 구성하는 단위들을 별개의 구성(Structure)으로 나누어 정의하고, 이들간에 관계를 맺어 전체 형상을 이루도록 되어있다. Fig.7는 자동차의 차시라는 형상을 여러개의 구성(Structure)들과 이들간의 관계로서 보여주고 있다.

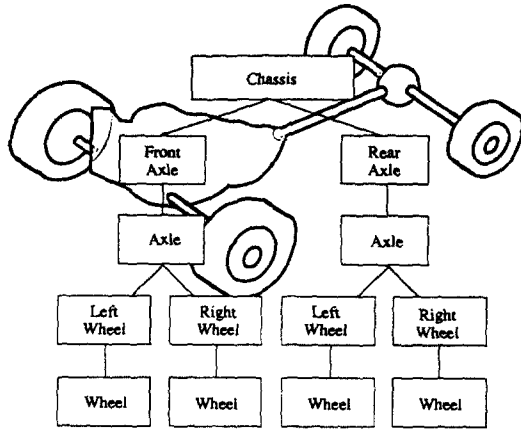


Fig.7 Modeling of a car chassis [3]

한개의 구성(Structure)에 포함되는 요소들은 다음과 같다.

- 형상 요소(Graphical Primitive): 선분, 글씨, 다각형 등과 같이 실제로 그림을 구성하는 단위
- 특성지정 요소(Attribute-setting Element): 색깔, 선의 굵기 등을 정하는 값들
- 다른 구성을 포함시키는 요소(Reference to Other Structure): 구성들 간의 포함관계를 지정
- 포리표(Label): 구성의 내부에서 특정 위치를 표시하는데 이용

이러한 형상 구성들을 모아 놓은 것을 CSS (Central Structure Store)라고 하며, 표현하고자 하는 형상이 복잡해질수록 그 자료의 양이 많아지고, 자료 구조도 복잡해진다. PHIGS에서는 별개의 구성들이 서로 계층적 자료구조(Hierarchical Data Structure)를 이루게 되어 있다[4]. 한편, PEX에서는 CSS를 Server쪽에 둘 것인지 아니면 Client 쪽에 둘 것인지가 중요한 사항이다(4.4절과 Fig.6 참조). Server 쪽에 CSS를 두는 것이 대량의 정보를 매번 옮길 필요가 없어 좋으나, 그만큼 Server의 기억용량 등이 추가되어야 한다.

PHIGS에서 사용되는 좌표계는 다음과 같이 모두 5개이다.

- Local Modeling Coordinate(MC)
- World Coordinate(WC)
- Viewing Coordinate(UVN)
- Normalized Projection Coordinate(NPC)
- Device Coordinate(DC)

이들 5개 좌표계 간에 이루어지는 4개의 변환은 다음과 같으며, 이들을 그림으로 나타낸 것이 Fig.8과 같다.

- Modeling Transformation : 개별적으로 정의된 구성들을 모아 전체 모델을 구성한다.

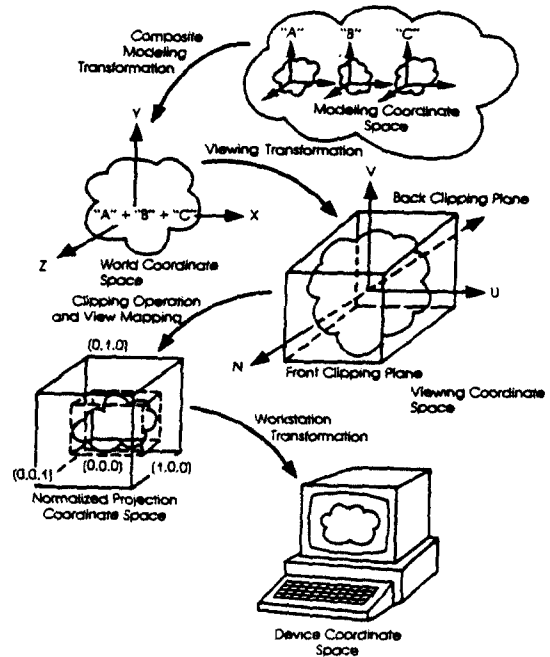


Fig. 8 PHIGS Transformation Pipeline : Data Flow [3]

- View Orientation Transformation : 카메라 좌표계로 변환
- View Mapping Transformation : View Volume 에 따라 Clipping하고, 각변 길이 1인 정육면체 형상을 갖는 NPC로 변환
- Workstation Transformation : 2차원 화면으로 투사(Projection)하고, 화면 좌표계로 변환

4.4 X 윈도우 시스템

PHIGS를 구현하는 바탕으로 사용된 X 윈도우 시스템에 대하여 간단히 살펴본다[10,12,13]. X는 미국 MIT 대학에서 자체의 필요에 의해 개발되어 오다가, 현재는 컴퓨터 회사들이 참여한 컨소시엄(X Consortium)에서 개발하고 있다.

X 윈도우 시스템의 가장 큰 특징은 시스템이 서버(Server)와 클라이언트(Client)로 분리되어 있다는 것이다. 이 서버와 클라이언트는 멀리 떨어져 있는 서로 다른 하드웨어에 존재하며, 네트워크를 통해 연결되어 하나로서 기능을 수행할 수 있도록 되어 있다. 따라서 분산 그래픽스(Distributed Graphics)라는 용어가 사용되기도 한다.

이와같이 네트워크로 연결되어 분산작업을 하는 경우에는 네트워크 연결선을 통과하는 정보의 양에 한계를 갖게 된다. 이 양을 나타내는 용어를 대역폭(Bandwidth)이라고 하며, 그 부담을 줄이기 위하여 가능하면 대량의 정보를 포함하는 자료구조는 이동시키지 않고, 서버와 클라이언트 간에 간단한 메시지만을 주고 받도록 설계되었다.

이러한 메시지를 요청(Request)과 이벤트(Event)로 분류하며, 여기에 객체지향의 개념이 도입되어 있다. 그래픽 객체들 간에 간단한 메시지만을 주고 받으면서 필요한 기능을 수행할 수 있도록, 많은 부분이 객체지향으로 구성되어 있다[12].

5. 유체 유동의 가시화

앞에서 설명된 가시화 기술과 그래픽 개발환경을 이용하여 유동을 가시화하는 시스템이 개발되었으며, 이 도구를 이용하여 몇가지 유동에 대하여 가시화를 시도하였다.

5.1 개발된 가시화 시스템 IsoSrf

등가면을 이용하여 유동을 가시화하기 위하여 개발된 시스템은 IsoSrf라는 명칭을 가졌으며, Fig.

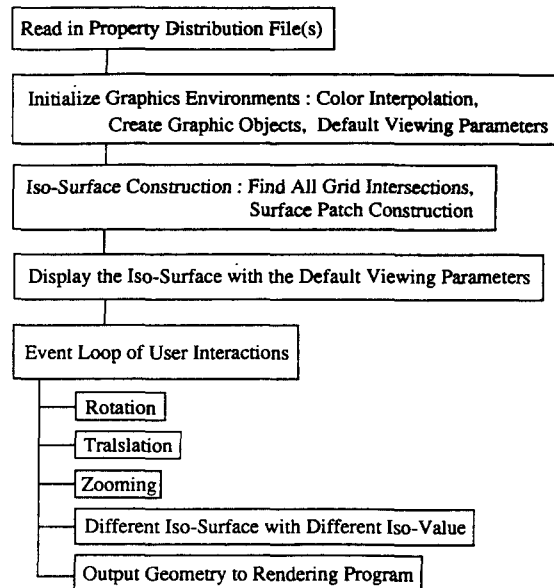


Fig.9 Structure of the developed computer program [18]

- 9는 이 프로그램 내부의 기능을 보여준다. 개발된 프로그램의 기능은 다음과 같다.
- 3차원으로 분포된 자료의 입력 기능
 - 관찰하고자 하는 등가면의 생성 기능
 - 생성된 등가면의 화면 조작 기능: 등가면에 대해 회전, 이동, 확대 등의 변환을 한다.
 - 프린터 등 다음 공정을 위한 생성자료의 저장 기능
- 현재 사용자가 작업중에 이용할 수 있는 메뉴는 다음과 같다.
- 등가면 생성 알고리즘의 변경
 - Iso-value의 변경
 - 등가면을 표시해주는 색깔의 변경
 - 등가면의 변환: 회전, 이동, 확대
 - 생성된 등가면 형상자료의 저장

이 연구를 통해 개발된 가시화 시스템과 상업용의 범용 가시화 시스템들과의 관계를 간단히 설명한다. 상업용의 범용 가시화 시스템으로는 Wavefront사의 Advanced Visualizer와 Data Visualizer, Stardent사의 AVS(Application Visualization System), Silicon Graphics사의 Explorer 등이 있다. 이러한 범용 시스템들은 사용하기 편리한 사용자 인터페이스와 다양한 가시화 기법을 구사하는 점에서 IsoSrf보다 앞서 있다. 하지만 특수한 목적에 사용하기에는

그 다양한 요구를 모두 충족시킬 수 없다는 한계를 안고 있다.

따라서 이 연구를 통해 개발된 IsoSrf는 등가면을 이용해 유동을 3차원적으로 가시화하는데 간편하게 이용할 수 있다. 그것은 등가면을 와이어프레임 형태로 표시하기 때문이고, 또한 유체역학적으로 의미가 있는 값들을 쉽게 검토해 볼 수 있기 때문이다. 일단 관심의 대상이 되는 부분을 포착하여 좀더 정밀한 검토가 필요한 경우에는 렌더링 등의 기능이 필요하므로, 범용 가시화 시스템에 데이터를 넘겨 그 목적을 달성할 수 있다. 즉, 현재의 IsoSrf는 범용 가시화 시스템에 대한 Pre-Processor의 역할, 특히, 유동 가시화에 초점을 맞춘 Pre-Processor로 이용될 수 있다.

5.2 가시화의 대상 및 가시화 결과

개발된 가시화 시스템은 유동의 가시화를 위해 개발되었지만, 임의의 등가면을 생성하고 보여주는데 사용될 수 있다. 이 시스템의 기능을 검증하기 위하여, 세가지 대상을 설정하여 가시화를 시도하였다.

첫번째 가시화 대상은 유체의 유동이 아니고, 수학적으로 정의된 임의의 3차원 분포자료를 이용하여 등가면을 가시화한 것이다. 이것은 이미 그 형상을 예상할 수 있는 경우이므로 개발된 시스템을 검증하는데 사용되었다. 그 분포자료는 다음과 같은 수식으로 부터 구해진 것이며, Fig.2에서는 서로 다른 두개의 값(Iso-value)에 해당하는 두개의 등가면을 보여준다.

$$P = \frac{100}{2x^2 + 3y^2 + 3z^2}$$

두번째로 가시화를 시도한 것은 잘 알려진 균일유동장(Uniform Flow)에 놓여진 다이폴(Dipole)이다. 이 유동에서는 등포텐셜 면을 가시화 하였다. 그 속도 포텐셜을 나타내는 식은 다음과 같으며, Fig. 10에 보인 것과 같은 등가면을 갖고 있다.

$$\Phi = U_x + \frac{\mu x}{4\pi(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}}$$

마지막으로 시도된 것은 말발굽형의 보오텍스(Horseshoe Vortex)에 의해 형성되는 속도장이다. 이 유동에 의해 형성되는 유동장의 모습도 쉽게 예측이 가능하다. 여기서는 이 유동장에서 등속력면

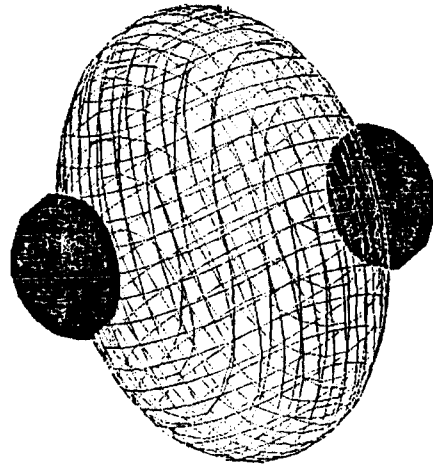


Fig.10 Iso-Potential surface by a dipole in a uniform flow [8]

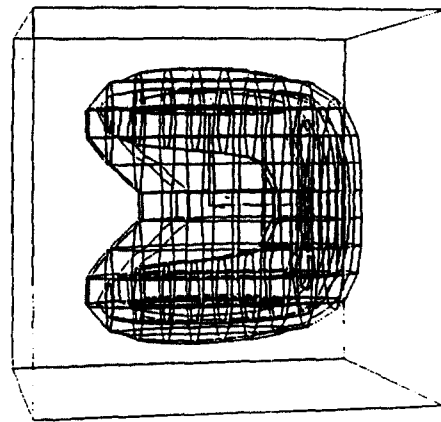


Fig.11 Iso-Velocity surface by a horseshoe vortex

을 Fig.11과 같이 가시화 하였다. 한편, 이 보오텍스에 의해 유인되는 속도는 다음과 같은 식으로 나타난다.

$$V = -\frac{\Gamma}{4\pi} \int_c \frac{R \times dl}{R^3}$$

앞부분에서 설명된 바와 같이 와이어프레임 모델은 복잡한 3차원 물체를 관찰하는데 부적합한 점이 있다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 색깔을 포함시키고, 숨은면을 가리고, 음영을 추가하는 렌더링(Rendering)작업이 추가된, Rendered Image를 구현하기 위해서는 개발된 시스템에 필요한 기능들이 추가되어야 한다. 이 연구의 개발환경인 PEX를

이용하여도 충분히 추가될 수 있다.

6. 맺음말

이 글의 내용을 요약하면 다음과 같다.

전산유체역학을 지원하기 위해 가시화 기술이 필요하다는 것이 설명되었고, 그 가시화 기술은 유체역학 분야 이외의 여러 분야에도 적용이 가능하며, 이미 많은 분야에서 이용하고 있다는 것을 보였다. 이 글에서 목적하였던 유동의 가시화를 위해 사용되고 있는 기법들을 비교 검토하였으며, 그 중에서 등가면이 선정되었다. 등가면을 생성하는데 이용되는 여러가지 기법들을 비교분석하여, Surface Tiling 방법을 선정하였으며, 기존 알고리즘의 문제점을 해결한 새로운 Surface Tiling 알고리즘이 개발되었다.

이러한 기술들을 이용하여 가시화 시스템을 개발하기 위한 환경으로 3차원 그래픽 표준인 PHIGS를 이용하였으며, 실제로는 PHIGS가 구현되어 있는 PEX를 이용하여 프로그램을 개발하였다. 개발된 가시화 시스템을 이용하여 잘 알려진 몇가지 유동에 대하여 가시화를 시도하였다.

이 글을 통해 유동을 가시화하기 위해 필요한 기술들이 조사, 분석 및 비교되었으며, 적당한 기법이 선정되고 개선되어 이용되었다. 실제의 가시화 시스템을 구축하기 위하여 개발환경이 선정되었고, 그 환경하에서 가시화 시스템이 개발되었다.

이 개발된 시스템은 앞으로 렌더링 기능이 추가되어야 할 것이며, 그래픽 사용자 인터페이스가 추가되는 것이 바람직하겠다. 이러한 기능이 추가되면 전산유체역학 분야 뿐만이 아니라 다른 여러 분야에서 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

7. 후 기

이 글은 해사기술연구소에서 과학기술처의 지원을 받아 1991년도에 수행된 기본연구과제 [18]의 결과를 정리한 것이다. 또한, 논문심사과정에서 보내주신 심사위원들의 지적과 조언에 감사드린다.

참 고 문 헌

- [1] Barnhill, R.E., Worsey, A.J., "Smooth Interpolation over Hypercubes", Computer Aided

Geometric Design, Vol.1, No.1, 1984.

- [2] Lorensen, W.E., Cline, H.E., "Marching Cubes : A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm", Computer Graphics, Vol.21, No. 4, ACM SIGGRAPH, 1987.
- [3] Brown, M.D., Heck, M., "Understanding PHIGS- The Hierarchical Computer Graphics Standard", Template Graphics Software Inc., 1987.
- [4] Samet, H., Webber, R.E., "Hierarchical Data Structures and Algorithms for Computer Graphics", Part I : Fundamentals, IEEE CG & A, May 1988, Part II : Applications, July 1988.
- [5] Kehtarnavaz, N., Simar, L.R., De Figueiredo, R.J.P., "A Syntactic/Semantic Technique for Surface Reconstruction from Cross-sectional Contours", Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol.42, pp.399-409, 1988.
- [6] DeFanti, T.A., Brown, M.D., McCormick, B.H., "Visualization : Expanding Scientific and Engineering Research Opportunities", IEEE Computer, Special Issue on 'Visualization in Scientific Computing', Aug. 1989.
- [7] 이승희, "유동가시화와 화상처리기법", 조선학회지, 26권 4호, 1989년 12월.
- [8] 한순홍, "Computer Aided Visualization of Simulated Turbulent Channel Flow", PhD Dissertation, University of Michigan, Sept. 1990.
- [9] Nielson, G.M., Shriver, B., Rosenblum, L.J. (Eds), "Visualization in Scientific Computing", IEEE Computer Society Press Tutorial, 1990
- [10] Young, Douglas A., "X Window System Programming and Application with Xt-OSF /MOTF edition", Prentice Hall, 1990.
- [11] Hess M. et al., "PEX-SI User Guide", SUN Microsystems, Inc., Feb. 1991.
- [12] 한순홍, 서승완, "컴퓨터 그래픽 표준에 대한 조사연구", 조선학회 91년도 춘계 연구발표회, 1991년 4월, 조선학회 논문집, 29권 2호, 1992년 5월.
- [13] 한순홍, "X-Window 시스템 소개", 해사기술연구소 내부세미나 자료, 1991년 5월.

- [14] 한순홍, "PHIGS와 Product Data Exchange (IGES)", 해사기술연구소 내부세미나 자료, 1991년 5월.
- [15] Hendersons E. et al., "PHIGS PLUS: Proposed Extensions to PHIGS Graphics Standard", SIGGRAPH '91, 18th International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, Tutorial Course Notes C15, Aug. 1991.
- [16] Hess M. et al., "X3D-PEX(PEX): Three-dimensional Graphics in a Distributed Window System", SIGGRAPH '91, Tutorial Course Notes C16, Aug. 1991.
- [17] 한순홍, "와이어프레임 형태의 등가면의 생성과 조작을 위한 $O(n)$ 알고리즘", 정보과학회 91년 가을 학술발표회, 1991년 10월.
- [18] 한순홍, 이경호, 이규옥, "컴퓨터 그래픽을 이용한 유동의 가시화", 해사기술연구소 보고서, 1991년 12월.
- [19] Kaufman, A., "Volume Visualization", IEEE Computer Society Press Tutorial, 1991.
- [20] 한순홍, "자연과학의 가시화", 포항공대 정보산업대학원 컴퓨터그래픽스 단기강좌교재, 1992년 2월.
- [21] 한순홍, "선박가시화 및 선박설계지원 전문가시시스템", 사업계획서, 해사기술연구소 내부자료, 1992년 2월.
- [22] 한순홍, "PEX 소개", 해사기술연구소 내부 세미나 자료, 1992년 3월.