

◎ 특집 : 연구실소개

충남대학교 항공우주공학과 전산유체역학 연구실 소개

김 병 수¹⁾

1. 서 론

유체역학 연구 방법론으로서의 전산유체역학은 상대적으로 그 짧은 역사에 비하여 다른 방법론들인 이론유체역학 및 실험유체역학과 상호 보완적 관계를 유지하면서 그 활용도와 기여도를 꾸준히 개선시켜오고 있음은 주지의 사실이고, 이러한 변화의 흐름은 상당 기간 계속될 것이라는 예측에는 큰 무리가 없다고 생각된다. 이와 같은 변화를 가능하게 한 요인으로는 다양한 유동 해석 기법의 개발, 데이터 저장용량과 계산속도면에서의 컴퓨터 성능의 눈부신 발전, 컴퓨터간의 네트워크 기술의 발달 등을 들 수가 있다. 이와 같은 세계적인 추세에 걸맞게 국내의 여러 대학과 연구소 등에서도 국제적으로 인정받는 다양한 연구들을 수행하고 그 결과들을 발표해오고 있다. 한편, 국내의 여러 전산유체역학 연구실들은 나름대로 중점연구 분야 또는 특화 분야가 있겠으나, 아직까지의 국내 전산유체역학 연구의 많은 부분은 주로 알고리즘 개발, 거대 문제에의 적용, 그리고 타 연구 분야와의 연계 문제 등에 비중을 두고 이루어져 오고 있다고 판단이 된다. 본 연구실에서는 연구실 설립이후 계속적으로 전산유체역학이 엔지니어링 도구로서 원활히 활용되기 위해서는 반드시 필요하다고 할 수 있는 전처리 및 후처리 분야에 대한 연구를 나름대로 중점적으로 지속해오고 있고, 앞으로도 이 분야의 연구를 지속시킬 계획이다. 이러한 본 연구실의 연구방향에 맞추어 그동안 이루어진 연구 및 앞으로의 발전방향등에 대하여 간단히 소개하고자 한다.

2. 연구 환경

2.1 연구 장비

본 연구실에서는 비록 제한된 자원과 컴퓨팅 환경이긴 하지만 코드 검증과 소프트웨어 개발이 원활히 이루어질 수 있도록 자원 활용에 효율을 기하고 있다.

2.1.1 유닉스 워크스테이션

Sun UltraSPARC CPU를 채용하고 있는 Axil Ultima 1/E+ 워크스테이션과 HP730 워크스테이션이 네트워크 서버 등으로 이용되고 있으나 PC와 리눅스 환경의 성장 추세에 발맞추어 차츰 차세대 환경으로 교체를 계획하고 있다.

2.1.2 리눅스 클러스터

리눅스 클러스터는 한 개의 Main-Node와 한 개의 Sub-Node로 구성되어있다. 두 사양 모두 인텔 Pentium III 800MHz Processor를 장착하고 있다. 구성 소프트웨어로는 RedHat Linux 7.0, MPI, Globus 2.0, Cluster Management Tool 이 있다.

2.1.3 Visual Stereo Glasses

3차원 입체 가상환경을 구현하는 데 필요한 장비로 Another I's PC용을 사용하고 있다. 기존 고가의 특수장비를 이용해서나 볼 수 있었던 입체영상을 PC상에서도 구현할 수 있게 한 장치로 무선안경의 채용으로 동시에 여러 명이 가상환경을 경험할 수 있다.

2.2 소프트웨어 개발 틀

전산유체에 관련한 응용프로그램을 개발하기 위해 C언어를 주로 사용하므로 일반 PC에서 사용할 수 있는 Microsoft사의 Visual C++를 개발틀로 사용한다. 또한 후처리 가시화에 필요한 그래픽구현을 위해 OpenGL Library를 사용하고, User Interface를 구현하기 위해 Qt Library를

*1 정희원, 충남대학교 항공우주공학과 교수

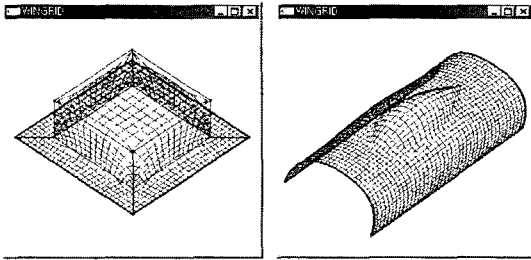


Fig. 1 물체형상 정의에 충실한 표면격자

이용하여 프로그램을 구현하고 있다. 이와 같은 Library를 사용하는 이유는 OpenGL과 Qt Library 모두 OS에 영향을 받지 않는다는 장점이 있기 때문이다.

3. 주요 연구 분야

본 연구실의 주요 연구 분야는 격자 생성 기법 및 CAD-CFD 데이터 인터페이스, 계산 결과 데이터 가시화 및 후처리 문제, 그리드 환경을 활용한 컴퓨팅, DB와 연동된 시뮬레이션 및 그래픽처리 등을 들 수 있다.

3.1 전처리

전산유체역학에 의한 유동장 계산을 위해서는 격자 생성 작업이 우선적으로 선행되어야 한다. 이러한 격자 생성 작업은 현재까지도 전산유체역학의 원활한 활용에 있어서 병목점이 되고 있고, 본 연구실에서는 이와 같이 격자생성에 있어서 사용자의 수작업과 시행착오에 의한 반복작업을 줄일 수 있는 격자 생성 자동화 기법에 대한 연구와 더불어 주어진 물체 형상 정의에 충실한 격자 생성이 가능하도록 형상 정의 패치와 표면 격자 생성 작업을 연동시키는 기법에 대하여 연구를 하고 있다. 그림 1에서는 여러 개의 형상 정의 NURBS 패치에 걸친 단일 블록 표면격자 생성의 예들을 보여주고 있다.

또한, 전산유체역학의 원활한 활용을 위해서는 궁극적으로는 CAD 시스템으로부터 생성되는 형상 데이터를 이용하여 사용자의 수작업을 가능한 한 최소화하면서 유동장 계산 작업으로 바로 연결이 될 수 있어야 할 것이고, 나아가 얻어진 유동장 계산 결과에 의한 최적 형상이 역으로 CAD 형상 데이터에 반영되는 설계 변경 작업이 데이터의 손실이나 시킨 지연이 없이 이루어질 수 있어야 할 것이다 이와 같은 작업은 결국 아

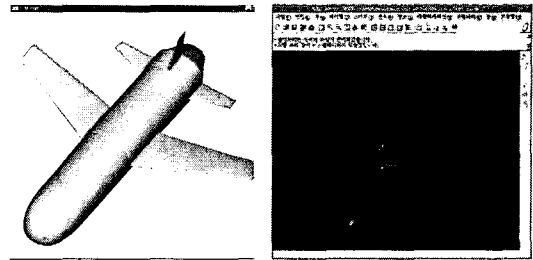


Fig. 2 IGES 포맷에 근거한 형상데이터 교환

직까지도 데이터 연결이 원활치 못한 CAD-CFD 인터페이스 문제이고, 본 연구실에서는 이에 대한 해결 방안으로서 CAD 데이터의 표준 중립 포맷인 IGES 파일에 근거한 격자 생성 프로그램의 개발을 지속해 오고 있다. 그림 2에서는 본 연구실에서 개발한 프로그램에 의한 비행체 형상과 Pro/Engineer CAD 시스템에서 구현된 형상 데이터를 보여주고 있는 예이다.

3.2 후처리

실험이나 측정, 또는 계산결과로부터 얻어진 데이터들을 효율적으로 분석하기 위하여 후처리 프로그램들이 사용되고 있다. 특히 컴퓨터를 이용하여 엄청난 분량의 데이터를 연산 처리하고 그 결과를 수치데이터로 얻어내는 전산유체역학 분야의 현재와 같은 발전은 적절한 수준의 후처리 및 가시화 프로그램의 도움 없이는 기대하기 어려웠을 것이다. 하지만 활용되고는 상용 프로그램들은 외국에서 만들어진 프로그램들이고 국내 연구는 소수 연구자에 의해서만 진행되고 있는 실정이다. 본 연구실에서는 이러한 배경으로 후처리 프로그램 연구를 수행하고 있고 Data 후처리용 다기능 Software 개발에 이어 DAVA(Data Visualization Analysis) 1.0을 개발했고 현재 DAVA 2.0을 개발하고 있다.

3.2.1 Data 후처리용 다기능 Software 개발

Data 후처리용 다기능 Software 개발에서는 Visual C++ 의 MFC를 이용하여 GUI 프로그램이 되어 있으며 OpenGL Graphic Library로 3D 데이터 가시화를 구현하고 있다. Tecplot format 형태의 파일을 읽어 들이고 데이터 분석을 위한 여러 가지 기능이 구현되어 있다. 2D Mesh의 경우 Structured Data 와 Unstructured Data 모두 격자를 그릴 수 있고 Structured Data

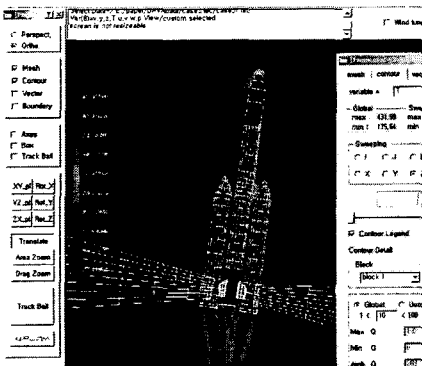


Fig. 3 KSR3 z 방향 온도 가시화

의 경우 Contour 및 Vector를 나타낼 수 있다. 2차원 데이터에 대해서 Streamline 기능이 구현되어 있다.

3.2.2 DAVA1.0

MFC API는 응용프로그램을 제작하는데 보편적으로 사용되고 있고 다양한 기능을 세밀하게 지원해 주지만 OpenGL과 함께 사용하면서 OpenGL의 장점인 platform 독립이란 장점을 살리지 못하게 된다. 본 연구실에서 개발한 DAVA 1.0에서는 Qt라는 cross platform GUI library를 사용하고 있는데 이것은 platform에 독립적이므로 한번의 재 컴파일만으로도 여러 platform에서 즉, MS-Windows, Unix/Linux, MacOSX 등에 모두 실행이 가능하다. 성능 면에서도 Qt는 각 platform에 기반한 저수준(low-level)의 함수로 작성되었기 때문에 기존의 Window에서의 MFC나 Unix/Linux에서의 Xt Toolkit에 비해 손실이 없다. DAVA 1.0은 C++언어와 Qt GUI Library 그리고 OpenGL Library의 장점들만을 살려 작성되었다. 외국 후처리 프로그램들 중 우선적으로 중요하면서도 많이 쓰이는 Mesh plot, Contour plot, Vector plot, Boundary plot 기능을 중심으로 구현되어 있고 사용자의 편의를 위해 3차원 데이터를 확대, 축소, 이동 등의 Control 기능이 편리하게 되어 있다. 사용자의 입력 값을 받아 간단하면서도 효과적으로 분석할 수 있도록 되어 있다. 사용자 환경은 일반 시스템에서 무리가 없도록 일반 PC와 모니터용으로 맞추어 졌다.

그림 3은 14 block KSR3 데이터 z 방향 공간 절단면에 대한 온도 가시화를 하고 있는 모습이

다. 본 연구실에 DAVA 1.0으로 2002년도 KISTI 주체 가시화공모전에 입상을 한바 있다.

3.2.3 DAVA2.0

DAVA 2.0에서는 DAVA 1.0 개발에서 얻어진 경험을 바탕으로 정렬격자와 비정렬격자에 대해서 일반적으로 처리할 수 있도록 프로그램되고 있다. 지속적으로 성장하고 업데이트가 되기 위해서는 프로그램의 구조 설계, 읽어들이는 데이터 구조화, 그리고 구조화된 데이터에 가시화 알고리즘을 적용하는 단계 세 가지가 잘 구현되어야 한다. 첫째 프로그램 구조설계는 객체지향 개념을 반영하여 상속관계부터 설계를 하게 되었고 서로 독립적이면서도 협업할 수 있는 클래스들을 구성하게 되었다. DAVA 1.0에서 사용되고 있는 클래스를 좀더 세분화된 클래스들로 역할 분담을 시킴으로써 견고하고 확장가능하도록 하는데 중점을 두었다. GUI 프로그램 또한 편리한 사용자 환경을 위해 중요한 부분이므로 좀더 일반적이면서도 CFD 해석결과 분석에 효과적으로 사용할 수 있도록 프로그램 되고 있다.

둘째 읽어들이는 데이터는 크게 정렬격자와 비정렬격자로 클래스형태로 구조화하게 된다. 정렬격자는 그 자체로 데이터에 대한 정보를 얻을 수가 있는데 비정렬격자는 클래스 안에서 추가적인 정보를 지원을 해주어야 하고 이를 위해서 Tetra, Pyramid, Hexahedron 등의 각각의 셀 형태를 갖는 클래스를 가지고 있다.

후처리 프로그램의 시작은 NASA Ames 센터에서 일찍이 1980년대부터 시작을 한 이래 지금은 여러 갈래의 상용프로그램들이 사용되고 있고 관련 연구자료 및 논문도 축적되어 있다. 따라서 본 연구실에서 이러한 자료에 대한 이해를 바탕으로 프로그램 되고 있다. 스칼라 데이터 가시화방법으로 2차원에서는 contour를 그리기 위해 Marching square Algorithm이 그리고 3차원에서 Iso-surface를 구현하기 위해 Marching cube 알고리즘을 사용한다.

스트림라인을 구현하는 절차는 먼저 데이터 물리적인 공간상에 좌표 x, y, z를 갖는 시작점 seed 포인트가 어느 block에 있는지, 어느 I, J, K index 셀에 위치해 있는지를 검색하는 단계, 해당 셀의 꼭지점으로부터 가중치를 곱하여 속도 벡터 $\vec{u}(\vec{x})$ 를 보간하는 단계, 그리고 일정한

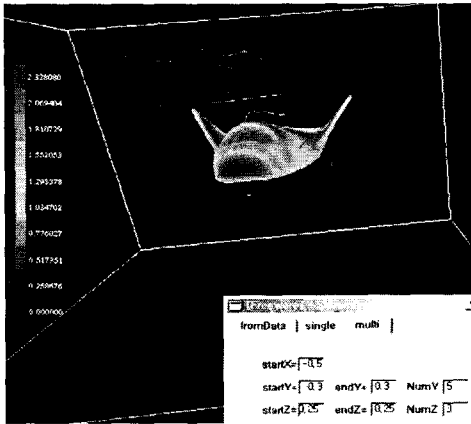


Fig. 4 Streamline

시간 간격으로 적분을 하여 포인트의 위치를 구해내고 화면에 그려주는 단계를 거치게 된다. Streamline 기능과 함께 유동장의 Vorticity를 나타내주기 위하여 Streamline ribbon을 구현하고 있다.

본 후처리 프로그램은 확장성에 염두를 두면서 연구를 하게 되었고 앞으로 격자생성 프로그램과의 통합을 자연스럽게 할 수 있도록 고려하고 있다.

3.3 그리드 컴퓨팅

최근에 그리드 컴퓨팅 환경에 대한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 이러한 그리드 컴퓨팅 환경을 이용한 응용 연구의 일환으로서 본 연구실은 기존의 광대역 연구망, 슈퍼컴퓨터, 최첨단 과학기술장비 등 고성능 컴퓨터를 자원으로 활용하는 중장기 프로젝트인 '국가 그리드(GRID) 프로젝트'에 참여하고 있다.

이와 관련하여 그리드 컴퓨팅 환경에 적절한 격자 생성 프로그램과 후처리 프로그램의 개발을 위하여 연구를 진행하고 있다. 격자 생성 작업의 경우 CAD 형상 데이터로부터의 원활한 격자 생성 기능과 함께 그리드 환경에서의 계산 자원을 고려한 작업 배분이 용이한 격자 시스템의 생성이 이루어 질 수 있도록 연구를 진행시키고 있다.

방대한 양의 정보를 기존의 2차원 환경에 투영하게되면 얻을 수 있는 정보의 종류가 극히 제한되게 된다. 최근에 많은 관심의 대상이되고 있는 가상 현실 환경은 이러한 문제점을 극복할 수

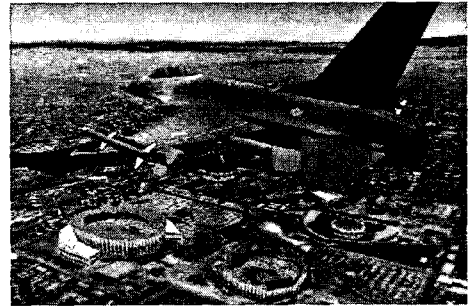


Fig. 5 시뮬레이션 화면의 예

있는 좋은 대안이 될 수 있다. 실제 물리적 공간을 반영할 수 있는 3차원의 가상 현실 환경을 후처리에 적용하면 보다 직관적으로 해석 결과를 분석할 수 있는 장점을 가지게 된다. 이와 관련하여 본 연구실의 리눅스 클러스터를 통해 한국과학기술정보원(KISTI)의 클러스터와 그리드 환경에서 연동할 수 있는 후처리에 대한 연구도 진행하고 있다. 이 프로그램은 유체현상 데이터를 이용하여 사용자가 데이터 상태를 직관적으로 이해할 수 있도록 컴퓨터 그래픽을 이용해 가시화함은 물론이고, Ethernet을 통한 그리드 환경에서 데이터 처리와 그래픽을 분산 처리하는 것을 주요 목표 기능으로 하고 있다.

3.4 시뮬레이션 계통

실제의 환경을 컴퓨터상에 그래픽으로 형상화하여 항공기에서 나타나는 구동을 쉽게 관찰하고, 여러 가지 실험적인 데이터를 얻을 수 있는 컴퓨터 simulation은 최근 실험위주의 항공공학 연구에서 비용을 줄일 수 있는 분야로 자리매김하고 있다.

하지만 현재 항공사나 군 관련업체에서 사용 중인 시뮬레이션은 비행시 나타나는 다양한 구동에 대한 데이터는 비교적 쉽게 얻을 수 있지만, 그때마다 다양한 지형조건 및 비행환경의 구현을 처리해야 하는 이유로 제한적인 비행환경에서 운영하는 것이 현실이다.

본 연구실에서는 항공기의 실제운동에 가까운 여러 가지의 비행환경을 simulation에 제공하고, 항공기의 구동을 이해하기 위하여 가상현실에서 비행 simulation을 계획하게 되었다.

개발환경으로는 OPEN GL 및 3D tool, 그리고 RDBMS를 주요 사용하여, 용량이 크지 않은 개인 PC에서도 운영될 수 있도록 계획하고 있으

며, 현재는 용량이 큰 image file을 DB에 저장 (정확한 의미에서는 link)하기 위하여 image file의 속성을 가진 binary code로 바꾸어서 저장하는 방식을 택하였다. 그로 인하여 각 DB engine에서 지원하는 BLOB(Binary Large Object)를 이용하게 되었다.

BLOB는, DB가 대용량의 image, 또는 여러 multimedia file을 직접 저장할 수 없다는 단점을 보충하기 위하여, 개량된 object이다. 겉으로 볼 때는 BLOB에 의하여 대용량 파일이 직접 DB에 저장되어 지는 것처럼 보이지만, 사실은 binary code로 전환되어 DB의 운영체제에 저장되고, field에 저장되어 있는 file name과 link되어, file을 호출할 시에 거의 동시에 출력되어지는 것이다.

현재 DB와 연동되어 출력되는 image는 2D에 불과하지만, 이것을 발판삼아 Open GL과 연계된 3D제작을 계획, 진행 중에 있으며, 아울러 지형적인 측면 뿐 아니라 기상조건 및 실시간 3D비행환경제어를 구현하려 연구를 수행 중이다.

4. 추후 연구방향

4.1 객체지향 방법론 개발

객체지향개념을 적용한 전산유체 컴퓨터 프로그램 코드의 구조화를 통해 확장성 뿐 만아니라, 재사용성, 관리의 용이성을 확보해 나아갈 것이다. 더 나아가 전산유체 역학 소프트웨어 개발에 적합한 객체지향 방법론 개발을 추진 중이다.

4.2 데이터 가시화

계산 결과나 실험 결과로부터 얻어진 데이터를 분석하거나 가시화 하는데 고가의 상용 소프트웨어들이 광범위한 목적으로 개발된 것을 고려하면, 특정 문제에 대한 특화된 가시화 프로그램 및 국내 실정에 맞는 데이터 분석 프로그램의 개발이 필요한 실정이다. 이에 본 연구실에서는 OpenGL API와 Qt 라이브러리를 이용하여 대량의 3차원 데이터의 후처리 기능과 함께, 3차원 가상현실 구현 기법을 사용하여 고가의 장비 없이도 입체적 가시화 기능을 지닌 프로그램 개발을 지속적으로 진행해 나아갈 것이다.

5. 맺음말

국내의 여러 전산유체관련 연구실들이 진행해 오고 있는 다양하고도 활발한 연구들과 비교하면 쑥스럽다는 생각도 들지만, 본 학회지의 연구실 소개란을 통하여 전산유체역학이라는 동일한 공통관심사를 가진 연구자들 끼리 서로의 연구실 및 연구 현황을 알리고 나아가 서로 도움을 주고 받는 계기가 될 수 있는 좋은 기회라고 생각이 되어서, 비록 미흡한 내용이긴 하지만 이상과 같이 본 연구실에서 그동안 진행해오고 있는 연구 및 연구실 현황에 대해서 간략히 소개하였다.

후기

본 원고의 준비에 도움을 준 나정수, 김기영, 양승호군에게 감사의 마음을 전합니다.