

## CFD 분야에서의 가시화 동향

권장혁 †

### 1. 서 론

전산유체역학(CFD)에서 가시화와 관련해서 이슈가 되는 몇 가지 기술에 대해서 살펴보고 궁극적으로 CFD가 실제 설계에 응용될 때의 이상적인 환경인 가상풍동(Virtual Wind Tunnel)에 대해서 알아본다. 본 내용은 AIAA의 연차 보고서에 기초해 작성한 글임을 미리 밝혀둔다<sup>(1)</sup>.

### 2. 본 론

전산유체역학(CFD)을 통해 생성된 데이터는 가시화를 통해서 단순 나열된 수치로부터 물리적인 의미를 파악하기 쉬운 형태로 바뀌게 된다. 전산유체역학의 비약적인 발전에 따라 해석의 편의를 위해 가시화 기법의 중요성도 더불어서 점점 더 부각되고 있다. 가시화와 관련해서는 크게 몇 가지의 주제에 대한 연구가 활발하다. 공간적으로 분산된 다양한 하드웨어를 보다 잘 활용하기 위한 협업 시스템, 대형 문제의 유동해석을 통해 생성되는 대형 크기의 데이터를 가시화하기 위한 공동처리 시스템, 다양한 포맷을 이용하는 여러 CFD 코드로 부터의 데이터 교환에 대한 ISO 기준, 그리고 자동적으로 유동 특성을 추출하는 도구들에 대한 연구가 그것이다.

많은 항공우주관련 산업체와 연구소 및 학교들은, 고 해상도의 컴퓨터 그래픽 이미지들을 만들기 위해 특별히 제작하거나 구입한 고성능의 하드웨어 및 소프트웨어 자원들을 가지고 있다. 엔지니어들이 그 그래픽 하드웨어 및 소프트웨어를 사용하기 위하여 상당히 먼 거리를 종종 이동해야 했기 때문에, 과거에는 이러한 자원들을 적절하게 활용하지 못했다. 최근

들어 네트워크 환경의 고속화에 힘입어 개발자들이 인터넷과 회사의 인트라넷들을 사용할 수 있도록 그들의 소프트웨어를 개발해감에 따라서, 이러한 작업 환경은 아주 빠르게 변하고 있다. 네트워크로 연결된 자원들을 이용함으로써 저렴하게 고사양의 자원을 활용할 수 있고 협업도 가능해진다. 노트북만으로도 네트워크로 연결된 워크스테이션, 값비싼 가시화 장비들을 이용함으로써 강력한 계산 및 가시화 실험실을 건설할 수 있다. 이런 노력의 일환으로 최근의 GRID 연구에서 지리적으로 분산된 다양한 하드웨어와 소프트웨어를 미들웨어를 통해 연동시킴으로써 연구자 간 유대장비의 공동 이용과 협업을 증진시키기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다<sup>(2)</sup>.

CFD 프로그램을 통해 생성된 대형의 수치 데이터를 가시화하기 위한 수단으로서, 별별 연산도 매우 빠른 속도로 발전하고 있다. 가시화 공동처리를 위해 클라이언트서버 인프라를 구축하고 이 환경에서 랩탑 윈도우용 PC들로부터 유닉스 클러스터들, 그리고 슈퍼컴퓨터들에 이르는 시스템들을 지원하여 전사적인 가시화를 가능하게 하고 있다. GRID 연구에서도 DATA-GGRID라고 일컫는 대용량 데이터 처리 및 가시화 프로젝트가 활발히 진행되고 있는데 이는 대형의 데이터를 분산 처리하고 분산된 데이터를 손쉽게 가시화하기 위한 일련의 연구를 포함하고 있다.

상용과 in-house 코드 등 다양한 CFD 코드는 다른 코드들과 미묘한 차이를 갖는 포맷으로, 데이터를 생성한다. 이러한 데이터 세트들을 사용하기 위해서는 전처리기 혹은 후처리기가 대략 50가지의 다른 파일 포맷을 지원할 수 있어야 한다. 표준화의 부재로 인하여, 다른 프로그램사이의 파일 교환을 위해 들이는 비용과 노력 및 시간이 만만치 않았다. 이것을 극복하기 위하여, CFD 데이터를 교환하기 위한 공식적인 표준화가 등장하였다. CGNS(CFD General Notation System)라고 명명된 이것은, 사이트들과 응용 프로그

† KAIST, 항공우주공학 전공  
E-mail: jhwon@kaist.ac.kr

램들 사이에 있어서 데이터 교환을 원활하게 해주며, 항공 역학적인 데이터를 기록하는데 있어서 그것을 안정적으로 유지해준다. API는 플랫폼과는 독립적이며, C/C++, 포트란, 그리고 포트란90으로 쉽게 실행시킬 수 있다.

1994년에 “플러그앤플레이” CFD를 촉진시키기 위한 한 가지 수단으로서 CGNS가 처음으로 구상되었다. 이는 파일 사양 표준과, 융통성 있게 분배할 수 있는 지원 코드를 통하여 이용할 수 있다. CGNS를 운용하고 있는 위원회를 통해 ISO 표준으로 자리 잡기 위해 다양한 격자계에 대해서 다양한 성능들이 추가되고 있다. 현재는 20개 이상의 CFD 애플리케이션들이 있어서 CGNS를 지원하거나 그것을 위한 번역루틴(translator)들을 가지고 있다. 이러한 노력에 관한 보다 상세한 정보를 [www.cgns.org](http://www.cgns.org)에서 찾을 수 있다<sup>(3)</sup>.

대형의 데이터 처리를 위한 알고리듬과 관련해 최근의 주목할 만한 발전으로는 대형 수치 해석을 위한 다자 가시화 소프트웨어 툴킷(collaborative visualization software toolkit), 대형 수치해석 고해상도 렌더링을 위한 소프트웨어 및 하드웨어, 랙탑 PC상에서의 3차원 그래픽 하드웨어 사용 등을 들 수 있다.

NASA의 Ames 연구소는 대형 CFD 데이터를 가시화하기 위한 소프트웨어 툴킷을 개발하였다. Gel이라 명명된 이 툴킷에는 개인 워크스테이션에서 대량의 데이터를 가시화할 수 있는 새로운 알고리듬이 사용되었다. 이 알고리듬은 “out-of-core”라고 불리는 가

시화 테크닉인데, 그 이유는 대량의 데이터가 메모리(core)에 올려지는 것이 아니라 디스크에 남겨지기 때문이다. 많은 가시화 프로그램은 한 번에 적은 데이터 부분만을 검사하기 때문에, 가시화를 위해 필요한 데이터량은 워크스테이션의 주 메모리에 담을 수 있을 만큼 적다고 할 수 있다. 워크스테이션의 수준에서 가시화를 수행하기 위해서는 데이터의 부피를 줄이는 것이 무엇보다 중요하다.

Gel 툴킷은 NASA Ames에서 수백 기가바이트의 정보를 가지고 있는 CFD 데이터를 가시화하기 위해 사용되고 있다. Gel은 멀리 떨어진 장소간의 다자 가시화(collaborative visualization) 기능을 제공할 수 있도록 확장되었다. 원격지 (L'Agula, Italy, and Moffett Field, California) 사이의 다자 가시화 시연을 통해 비교적 낮은 인터넷 밴드(5Kbps 이하)에서도 복잡한 유체역학 3차원 동영상을 동시에 보면서 대화식으로 조작할 수 있음이 입증되었다.

최근에는 격자 생성, 수치 해석 및 가시화 응용프로그램간의 좀 더 긴밀한 통합을 이루기 위한 노력이 진행되고 있다. 이러한 작업은 수치모의실험 수행 시 기하형상 및 격자 정밀도를 수정할 수 있는 기능이 동시에 필요하다는 점에서 점차 중요성을 인정받고 있다.

주어진 데이터의 한정된 유동정보로부터 다양한 물성을 계산해서 유동장에서의 위치, 형태 및 강도를 자동적으로 계산해주는 데이터 추출 도구는 가시화 기법과 연계 되어 있을 때 그 성능을 극대화 시킬 수 있으며 이 두가지 기술을 사용함으로써 사용자의 시간과 노력을 절약할 수 있으며 그 필요성은 대형 문제의 해석에서 확실해 진다. 기가바이트 단위의 데이터에 대해서 자동적으로 원하는 것들을 찾고, 인간의 개입이 전혀 없거나 거의 없이 두드러진 유동장의 특징들을 추출해주는 데이터 탐색 도구들이 개발됨으로써 엔지니어들은 중요한 현상들을 찾기 위하여 엄청난 양의 데이터를 직접 탐색해야 하는 지루한 작업을 피할 수 있다. 이로부터 얻을 수 있는 이점은 크게 두 가지로, 그것은 방대한 양의 데이터 세트들을 크기 순서에 따라서 분석할 때에 소요되는 시간을 크게 줄여 주며, 구체적으로는 정해진 흐름의 와류(vortices), 충격파(shocks), 그리고 분리선(separation lines)과 같은 특징들의 위치(location)와 강도(strength)에 관한 정량적인 정보를 제공 받을 수 있다.

MIT, NASA-Ames, NASA-Langley, 스탠포드 대

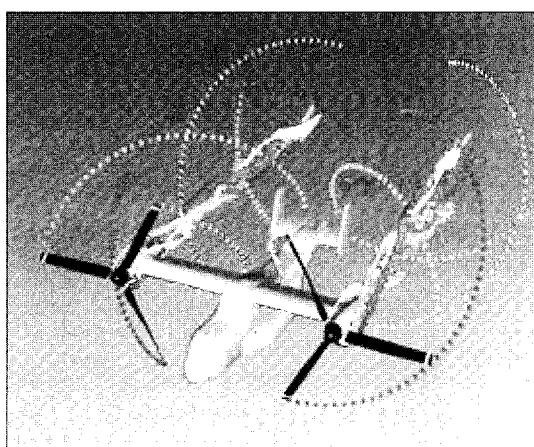


Fig. 1. Large-scale simulation in NASA IPG project, over 60 million grid points<sup>(4)</sup>.

학과 그리고 미시시피 주립대학교에서 개발한 특징 추출 소프트웨어는 와류 중심(core), 충격파, 분리와 접착선(attachment line)들, 재순환 거품(recirculation bubble)들, 그리고 경계층(boundary layer)과 같은 특징들을 식별해 낸다. 이러한 특징들 중에서 몇 가지를 불과 몇 초안에 추출할 수 있다. 또 다른 몇 가지는, 지극히 방대한 데이터 세트들에 적용되어 몇 분이나 몇 시간이 소요될 것이다. 그 분석은 슈퍼컴퓨터 수치해석들이 진행되고 있는 동안 주컴퓨터에 연결되지 않은 상태(off-line)로 수행될 수 있다.

Ames에 있는 과학자들은 특징 추출 소프트웨어를, 보잉이 제공한 몇 가지 방대한 크기의 CFD 데이터 세트들에 적용시켰다. 가장 주목할 만한 것으로는 고양력 비행체 주위의 유동 해석으로 6천만개 이상의 격자점들과 6GB의 데이터를 포함하고 있었다. 그 특징 추출 소프트웨어는 불과 45분 만에 모든 와류 중심과 분리 및 접착선들을 구별해 내었다. 경험이 많은 숙련된 엔지니어가 상호 작용하는 도구들을 이용함으로써 동일한 특징들의 위치를 파악할 수 있는데 이때는 대개 몇 주일이 걸리게 된다.

회전익 비행기(rotorcraft) 수치실험은 또한 이 새로운 기술로부터 이점을 얻고 있다. 부적절한 격자 해상도 때문에 너무나 빠르게 끝단 와류들이 분산되는 회전익 비행기의 CFD 해석에 있어서, 정확하게 로터의 후류를 예측하는 것은 중대한 문제로 남아있다. 로터의 끝단과 후류에서의 급변하는 유동장의 정보를 정확하게 표현하기 위해서는 와류 중심 근처에서의 높은 격자 밀도가 필요하다. 그러나 유동 해석을 수행하기 전에 어디서 얼마만큼의 격자를 밀집시켜야 하는지를 결정하는 것은 매우 어려운 문제이다. 이런 문제에 대해서 와류 중심 추출 프로그램을 이용한다면 적절한 위치에 적당한 격자점을 밀집시킬 수 있을 것이다.

이러한 도구들을 점점 더욱 CFD 유동 해석자들로 통합을 시켜나감에 따라서, 해석자가 제공하는 정량적인 데이터는 보다 높은 정확도의 수치해석을 생산하기 위하여 유동 해석자 프로그램들로 피드백을 시킬 수 있다. 또한 적극적으로 비행체를 재설계하기 위하여 피드백을 사용한다.

앞서 소개한 다양한 자원과 기술들을 사용해서 종합적으로 구축할 수 있는 가상 실험실을 가상현실(Virtual Reality)로 볼 수 있으며 가상현실은 컴퓨터에 의해 창조된 3차원의 환경으로 사용자와의 상호작

용이 가능한 것을 말한다. 여기서, 상호작용이란 사용자 또는 연구자가 실시간으로 가상의 환경에 대해서 어떤 행위를 하였을 때 즉각적으로 거기에 반응하여 그 영향이 미치게 되는 것이다. 이러한 가상현실의 개념은 많은 수치해석 데이터의 가시화에 응용이 되었으며, 유체역학 또는 CFD 분야에 가상현실을 적용하여 구축한 시스템을 가상풍동(Virtual Wind Tunnel)이라고 한다.

CFD(전산유체역학)에 의해 해석된 유동장은 수치적인 데이터의 나열로 이를 의미있는 도구로 가시화를 통하여 분석하게 된다. 그동안 많은 가시화 기법이 개발되었고, 최근에는 이러한 가시화 기법을 가상환경에 접목하여 가상 풍동을 구축하려고 많은 노력을 기울이고 있다. 대부분의 유동장은 복잡한 유동 현상들이 발생하는 비정상 유동장으로 이러한 유동장을 CFD 해석한 경우, 유동현상의 가시화 및 분석이 복잡하고 어렵게 된다. 가상풍동은 사용자와의 즉각적인 상호작용을 통하여 사용자가 실제 유동장에 있는 듯한 효과를 내면서 3차원적인 환경과의 인터페이스, Time Scale의 변화를 통하여 효과적으로 비정상 유동장의 특징을 관찰하고 분석할 수 있게 된다.

가상현실을 이용하면 물리적인 현상을 더욱 쉽게 이해할 수 있고, 제품 설계 기간을 단축, 설계를 개선 시킬 수 있다. 컴퓨터지원 공학(CAE)을 통한 해석 결과를 이용하여 3차원 공간상에서 가상현실을 직접 관찰함으로써 중요한 설계변수 또는 성능인자를 찾아낼 수 있는 능동적인 기술이며, 2차원 데이터를 3차원 영상으로 보여 줌으로써 전문가 및 비전문가도 쉽게 그 물리적 현상을 이해 할 수 있고, 또한 일반적인 후처리인 경우 이미 만들어진 결과만 보여 주지만 가상현실 기술이 접목할 경우 누구라도 여러 사람의 의견을 현장에서 즉시 수렴하여 보여 줄 수 있다.

아울러 자신의 책상에서 타 지역에 있는 설계자와 시뮬레이션 결과 데이터를 동시에 보면서 토론할 수 있는 가상협업기능을 통해, 이러한 소프트웨어를 이용하면 실제 원거리의 연구자들이 가상공간에서 그 데이터를 실물 크기 및 자유자재로 조작하며, 그 외 형뿐만 아니라 내부의 모든 것까지도 관찰하며 실시간으로 디자인하여 그 시행착오를 최소화 할 수 있기 때문에 유수한 세계 자동차 회사들이 효율적으로 활용하고 있다고 하며, Computational Steering에도 매우 유용한 것으로 알려져 있다.

CFD 분야에서 가상현실을 가장 효과적으로 이용

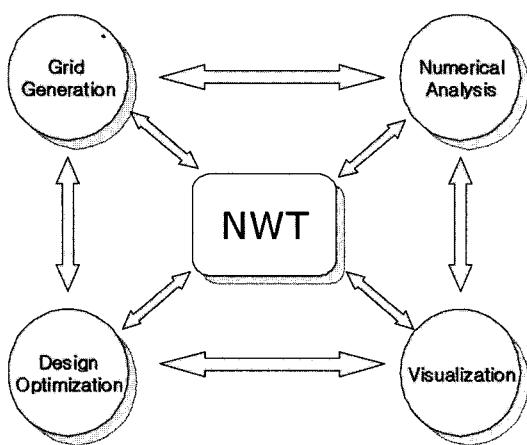


Fig. 2. Numerical Wind Tunnel for CFD.

할 수 있는 분야는 공력 최적 설계로 전산유체역학의 모든 세부 분야와 최적화 기법, 격자형성 기법, 가시화 기법 등 다양한 관련 분야가 유기적으로 결합되어야 하는 기술이다. 이는 각 연구기관에서 독자적으로 수행되는 다양한 관련 분야의 기술을 통합하는 효과를 얻을 수 있다. 이와 같은 인접 학문 간의 공통 연구는 현재 기술 추세에서 중요하게 부각되는 점으로 시너지 효과를 거둘 수 있다.

최적설계기술에서 중요한 흐름으로 자리 잡은 다학제적, 동시 공학적 최적화 기법에서는 그 동안 기술의 병목점으로 지적되어 온 유동해석 단계를 고성능 VWT와 공력최적설계기법을 개발하여 해결함으로써 동시공학 연구에 있어서 중요한 전환점을 마련할 수 있다.

VWT 기반의 공력최적설계기술은 CAD를 기반으로 한 특징을 가지고 있으므로 최근 관심의 대상이 되고 있는 쾌속시작기술과 연계되면 형상의 설계에서부터, 설계 형상의 성능 예측, 시제품 생산 등의 단계를 효과적으로 통합할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이와 같은 설계 기법은 설계의 시간과 비용을 단축, 설계 기술의 발전에 크게 기여할 수 있다.

공력최적설계기술과 VWT을 이용한 공력, 소음해석 기술은 항공기, 헬기, 로켓 등의 항공우주 산업은 물론 터빈, 엔진, 자동차 등의 중공업과 에어컨 등의 가전제품의 핵심 부품인 팬의 설계와 해석 등에 널리 이용될 수 있다. 대부분의 가전제품은 압축기 혹은 팬 등을 핵심 부품으로 사용하고 있는데 설계 과정에서의 소음과 성능을 동시에 만족시키는 기술이 중요한 부분을 차지한다. 다학제적 최적설계기법은 공력 성능과 소음을 동시에 해석하고 설계할 수 있어 관련 제품의 고성능 설계에 상당한 기여를 할 수 있다. VWT는 공력 해석, 소음 해석, 최적 설계 등의 기능을 제공함에 따라 다양한 형상에 대한 시험과 복잡한 현상에 대한 해석을 가능하게 하고 원활한 피드백을 통해 설계의 비용 및 기간을 상당히 단축할 수 있다.

### 3. 결 론

CFD 분야의 가시화와 관련된 최근의 이슈에 대해서 소개하고 가상풍동기술에 대해서 알아보았다. 앞으로의 환경은 네트워크의 발전에 힘입어 지리적으로 분산된 자원들을 어떻게 효율적으로 조합해서 운용할 수 있는가에 많은 관심이 집중될 것으로 보인다. 이를 통해 유휴장비의 활용, 협업을 가능하게 되고 궁극적으로는 여러 분야의 기술을 한데 묶어 강력한 가상 실험실을 만드는 단계까지 발전하게 될 것이고 이에 가시화 기술이 한 부분으로 중추적인 역할을 할 것으로 생각된다.

### 참고문헌

- 1) AIAA annual report(1999-2003) [[http://www.aric.or.kr/trend/aerospace\\_report/list.asp](http://www.aric.or.kr/trend/aerospace_report/list.asp)]
- 2) Global Grid Forum [<http://www.gridforum.org>]
- 3) CGNS(Computational Fluid dynamics general notation system) [<http://www.cgns.org>]
- 4) NASA Information Power Grid [<http://www.ipg.nasa.gov>]