

# e-AIRS: 항공 우주 분야 협력 연구를 위한 e-Science 포털

숙명여자대학교 김은경 · 김윤희  
서울대학교 김진호 · 김종암  
한국과학기술정보연구원 조금원

## 1. 서 론

항공우주 분야는 공력(aerodynamics), 구조(structure), 추진(propulsion), 제어(control)의 결합을 통하여 단일 시스템을 이루는 통합 시스템 학문이다. 항공우주 분야의 연구자들은 협업을 통해 단일 환경에서 연구를 수행하고 서로의 연구 결과를 공유하는 것이 연구의 주요한 활동이 된다. 그러나 지금까지의 연구 환경은 각 연구 기관마다 독자적으로 필요 기자재를 구비하는 형태로 진행되어 왔다. 항공우주 분야는 생성물의 규모가 거대하고, 결과물 생산 비용 및 실험 장비(풍동) 구축 비용이 고가이므로 실험 및 수치해석 장비와 가시화 장비들을 모든 연구 기관에서 구비하기는 현실적으로 어려운 일이다. 더욱이 연구 기관들도 지리적으로 산재해 있어, 공동 연구나 협업을 위해서는 몇 주 동안 다른 지역의 연구 기관에 상주해야 하는 일이 잦고, 원격 협력을 위한 커뮤니케이션도 e-mail이나 전화 등의 통신 수단에 국한되어 이루어졌다. 따라서 지리적 제약을 극복하고 네트워크 기술을 기반으로 한 대규모 연구 자원을 서로 공유할 수 있는 시스템의 개발하는 것은 매우 중요하다. 또한 대부분의 연구자들은 수치해석과 실험을 모두 수행하기보다는 둘 중 하나를 주된 연구 방향으로 하고 있어, 수치해석 연구자는 실험에 대해 실험적 연구자는 수치해석에 대해 이해의 깊이가 부족한 경우가 많다. 따라서, 수치해석과 실험을 모두 지원하여 사용자로 하여금 쉽게 양측의 연구를 수행할 수 있게 된다면 연구의 신뢰도와 대상의 측면에서 높은 긍정적 효과를 야기할 것이다. 본 논문에서는 그리드 기반 기술을 이용하여 수치 해석과 실험 연구가 모두 가능한 통합 연구 환경으로서 e-Science Aerospace Integrated Research Systems(e-AIRS) 서비스를 제안하고 이의 특성에 대해 서술한다.

그리드(Grid)는 산재되어 있는 이 기종 환경에서 대용량의 컴퓨팅 자원과 고성능 연구 장비, 대용량 데이터 및 네트워크 등의 다양한 자원을 효과적으로 활

용할 수 있도록 하는 기술이자 연구에 필요한 자원들을 효율적으로 공유할 수 있는 인프라로, 해석하는 문제 및 방법에 따라 계산(Computational) 그리드, 데이터(Data) 그리드, 액세스(Access) 그리드로 구분된다[1,2]. 계산 그리드는 지역적으로 분산되어 있는 컴퓨팅 파워를 공유해 한 대의 고성능 컴퓨터처럼 사용할 수 있어 거대 문제를 해석할 수 있다. 데이터 그리드는 페타 바이트 급의 대용량의 데이터를 네트워크를 통해 공유하고 자료를 분산 저장하고 활용하기 위한 그리드이다. 액세스 그리드는 분산된 지역의 다수의 연구자들이 가상현실 기반에서 공동으로 프로젝트를 진행할 수 있는 협업 환경을 제공해 주는 그리드이다. 즉 고속의 네트워크 인프라 위에 컴퓨터 장비, DB, 풍동(風洞), 천체 망원경과 같은 고가의 첨단 기자재뿐만 아니라 전문 인력 자원까지도 공유할 수 있는 환경을 제공한다.

그러나 그리드를 이용하여 어플리케이션을 개발하는데 있어, 그 사용 방법이 복잡하고 그리드 환경을 이용하기 위해서 별도의 교육을 받아야 할 뿐만 아니라 기존의 자신들의 어플리케이션과의 연동도 쉽지 않다. 이러한 사용상의 어려움을 해결하기 위해 사용자에게 쉽고 투명성 있는 웹 기반 인터페이스 혹은 기존 어플리케이션 인터페이스 등을 가지는 포털 환경이 개발되어야 한다. 또한 연구 자원에 대한 접근성을 높이고 실질적으로 제어할 수 있는 수단으로 유용하도록 설계되어야 한다.

그리드 포털은 웹 인터페이스를 통해 그리드 서비스를 제공하는 작업 환경으로 인터넷 웹 브라우저를 통해 접근할 수 있으며, 기존 인터넷 사용자에게 쉽고 편리한 인터페이스를 제공하는 장점을 가진다. 포털은 각 자원들과 제공되는 서비스들을 보다 편리하고 효과적으로 사용자에게 제공하는 데 목적을 두고 있으며 이 포털을 통하여 다양한 어플리케이션 분야에 활용하기 위해서 각 분야의 고유한 문제 해결 환경(PSE: Problem Solving Environment)[6]을 제공한다. 포

탈은 연구자들이 항공우주 세부 지식 없이도 수치해석을 수행할 수 있도록 다양한 해석 문제 해결 환경으로서의 가상 풍동 환경을 제공하며, 그리드 상에서의 정보 관리, 작업 수행, 작업 모니터링 등의 기능을 제공하는 통합 환경으로 사용자에게 웹 인터페이스를 통해 제공된다. 웹 포털을 통해 제공되는 인터페이스는 그리드 환경의 서비스 이용의 투명성을 제공하여 광대역 분산 병렬환경인 그리드 환경에 익숙지 않은 애플리케이션 사용자에게 유용한 작업환경으로 이용될 수 있다.

본 논문에서는 CFD 병렬화 애플리케이션 프로그램의 제작, 수행, 모니터링 및 가시화 기능을 설계하고 통합하는 PSE 포털에 대해 논의한다. 또한 실제 풍동 실험을 원격으로 요청하고 모니터링 할 수 있는 풍동 실험 관리 시스템을 구축하고, 수치 해석 결과와 실제 실험 결과의 비교가 가능하도록 하여, 연구 결과의 신뢰도를 높이고 수치 해석 연구자와 풍동 실험 연구자가 서로의 자료를 공유할 수 있는 시스템을 구현한다. 끝으로, 연구자들 사이의 종합적인 협업을 지원하기 위한 액세스 그리드 환경을 구축하여, 단순한 토론을 능가하는 본격 화상 회의 시스템을 구현하는 것을 목표로 한다.

본 논문에서는 관련 연구를 2장에서 설명하고, 3장에서는 항공 우주 기반의 e-AIRS의 전체 구조 및 기능을 설명한다. 4,5,6 장에서는 e-AIRS 웹 포털을 기반으로 한 수치 해석 서비스에 대한 세부적인 설명과 원격 풍동 실험 관리 서비스 및 협업 연구 환경 서비스에 대하여 차례로 논의한다. 마지막으로 7장에서는 결론 및 향후 과제를 정리한다.

## 2. 관련연구

기존 e-Science 연구 사례 중 ST 분야 관련 연구로는 GECEM(Grid-Enabled Computational Electromagnetics)[9], GEODISE[10], DAME(Distributed Aircraft Maintenance Environment)[7,11] 등이 있다.

GECEM 프로젝트는 과학 및 공학 해석을 위해 그리드 기술을 활용하여 공동 수치 시뮬레이션 및 가시화를 수행하는 시스템이다. 그리드 기반의 격자 제작, 조작 서비스 구현 및 활용, 다수 계산 자원 상에서의 원격 CEM 시뮬레이션의 실행, 그리고 시뮬레이션 결과에 대한 원격의 협업 사용자들 간의 공동 가시화 및 분석이 이루어진다.

영국의 e-Science 파일럿 프로젝트 중 하나인 GEODISE는 다양한 툴박스를 제공하여 공학분야에서 일반적으로 사용되는 Matlab 환경에서 그리드 서비스

에 접근할 수 있도록 한다. 애플리케이션 개발자가 이전에 작업한 내용을 공유, 재사용할 수 있게 함으로써 적은 비용으로 신속하게 새 디자인을 개발할 수 있도록 해준다. 작업 내용을 검색하기 위해 EDSO(Engineering design search and optimization)분야의 디자인 검색에 시멘틱 개념을 사용하여 보다 지능적으로 검색한다[8]. 그러나 타인의 작업 로그를 확인하거나 결과를 공유, 재사용시의 보안, 권한 설정 및 데이터에 대한 신뢰성 등의 문제가 야기된다.

DAME는 EPSRC(Engineering and Physical Sciences Research Council)의 지원 아래 진행 중인 e-Science 프로젝트로 항공기 엔진의 원격 상태 모니터링을 그리드 컴퓨팅 환경에서 실패 진단 및 예상시스템을 구현한다. 즉, 원격지의 계산 자원과 데이터들을 결합하여 단일 기관 내의 상태 판정을 지원하고, 시스템 상에서 엔진의 상태 진단 및 유지 보수를 가능하도록 한다. 이를 위해 대규모의 데이터 유지 및 데이터 마이닝 등의 기술이 개발되었으며, 워크플로우 유지, QoS 유지 및 상태 판정 지원 도구들에 대한 연구를 통해 항공우주 애플리케이션에서 데이터를 취합하고, 사후 검색 및 재사용을 위해 분산 데이터베이스화하였다. 저장 시 사용되는 패턴과 검색 시스템은 병렬 패턴 매칭 기술인 AURA(Advanced Uncertain Reasoning Architecture) 검색 기술을 기반으로 거대한 데이터에 있어 고속 패턴 매치를 제공한다. 패턴 매치 서비스는 포털 기반의 데이터 브라우저와 검색 인터페이스로 SDE(Signal Data Explorer)를 사용한다.

## 3. e-AIRS의 전체 구조

본 논문에서 다루는 e-AIRS는 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics; CFD)[4]에 기반한 유동 수치해석 서비스와 PIV(Particle Image Velocimetry)에 기반한 원격 풍동 실험 서비스를 통합 환경에서 제공하기 위해 개발되었다.

e-AIRS 포털은 그리드스피어(GridSphere)[3]를 바탕으로 구성되었으며, 기본적으로 사용자 관리, 세션 관리, 그룹 관리, 레이아웃 관리 등을 제공하여 사용자가 포털을 통해서 다양한 서비스를 쉽게 사용할 수 있는 환경 구축을 돕는다. 그리드스피어는 인터넷 포털의 개발 플랫폼으로 많이 사용되는 웹 페이지 내에서 소규모 애플리케이션 형태로 제공되는 포틀렛 방식 모델에 기반을 두고 각각의 서비스 별로 재사용이 가능하도록 구현되었다. 웹 포털을 사용하는 이유는 그리드 상의 여러 자원을 이용하고자 하는 사용자들로 하여금 시간과 장소에 무관하게 자신의 연구를 수행할 수 있

도록 할 뿐 아니라 포털에 접속하는 것으로 하드웨어 및 소프트웨어 자원에 접근하여 자원의 체계적인 관리를 가능하게 할 수 있기 때문이다. 또한, 전산 유체역학적 계산에 사용되는 클러스터 컴퓨터와 풍동 실험 장비와 같이 모든 연구소나 대학에서 보유하기 힘든 장비를 손쉽게 공유할 수 있다는 점이다. 마지막으로 대규모 계산 자원 및 실험 장비에 대한 직접 제어를 제공할 수 있도록 구성되어 사용자가 자원에 직접적으로 접근할 수 있다는 것이다.

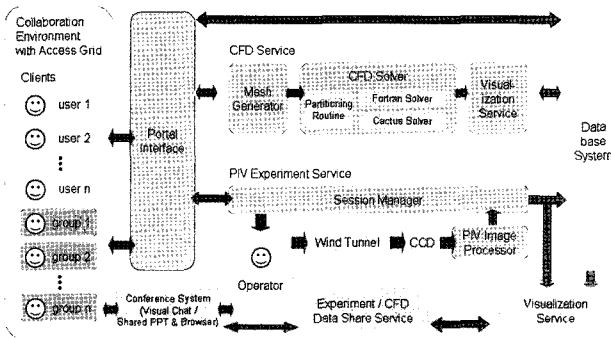


그림 1 e-AIRS 전체 구조도

e-AIRS 시스템의 전체 구조는 그림 1과 같다. 전체 시스템은 포털 인터페이스를 통하여 제공되는 CFD 서비스, 원격 풍동 실험 서비스 및 협업 시스템의 3가지 요소로 나눌 수 있다. CFD 서비스는 수치 풍동 서비스로, 사용자가 웹 포털에 접속하여 해석하고자 하는 대상을 모델링하고 격자계를 구성하는 격자 생성(mesh generation) 서비스, 수치해석자(CFD solver)를 이용한 계산 서비스, 계산 과정에서의 수렴도를 모니터링 하기 위한 모니터링 서비스 및 계산 결과를 가시화하는 가시화 서비스로 구성된다. 격자 생성 기술은 KAIST에서 개발한 격자 생성 응용 프로그램인 K-Grid를 확장하여 높은 공간 정확도, 빠른 계산 시간, 복잡한 형상의 적용, 로드 밸런싱으로 인한 효율 제고 등을 고려한 가장 일반화된 형태의 고성능 수치 해석자를 개발하였다. 가시화 기술은 KISTI에서 개발한 응용프로그램인 K-view[13]를 확장 개발하여 이용하였다.

원격 풍동 실험 서비스는 풍동이 있는 연구소를 직접 방문하거나 상주하지 않으면서도 원하는 풍동 실험을 수행할 수 있도록 하는 서비스이다. 향후 일반적인 풍동 실험의 원격 수행을 목표로 하고 있으며, 본 논문에서는 항공우주연구원[12]에서 개발하고 있는 smart UAV(Unmanned Aerial Vehicle)의 실험을 우선적으로 구현하였다. 이는 PIV 실험에 기초하고 있으며, 한국항공우주연구원의 아음속 풍동을 이용하여 서비스를 제공할 수 있도록 구성하였다.

시스템의 해석 및 실험 서비스와 별도로 협업 토의 및 데이터 공유를 위한 액세스 그리드 기반의 환경을 구축하였다. 액세스 그리드 기반 환경은 다수의 사용자들을 하나의 그룹으로 관리하고, 그룹 내 사용자들간의 데이터 공유 및 연구자 간의 원격 토의가 가능하도록 지원하여 연구 결과의 정확성을 향상시키는데 도움을 제공한다.

#### 4. 가상 수치 풍동 서비스

일반적으로 CFD 수치해석 과정은 그림 2와 같은 순서로 진행된다. 요약하면 [격자의 생성] → [경계 조건과 유동 조건의 입력] → [CFD solver에 의한 반복 계산] → [수렴성 체크] → [결과의 후처리 및 가시화]의 과정으로 이루어진다. 전처리 과정은 계산을 수행하기 위한 해석대상의 형상의 모델링 및 공간 격자계 생성(mesh generation) 과정을 의미한다[15].

격자란 전산 유체역학의 수치적인 계산을 통하여 해석하고자 하는 유동현상이 나타나는 영역을 기하학적인 형상 형태로 분할한 것이다. 유동의 해석에 사용되는 격자는 기하학적으로 매우 복잡하고, 단순하더라도 곡선의 형태를 취할 때가 많아 별도의 격자생성기(Mesh generator)를 사용하여 제작한다. 이렇게 제작된 격자계(mesh system)는 여러 개의 셀(cell)로 구성되며, CFD 해석자는 이들 각 셀에 초기 조건(initial condition)을 부여하고 주어진 경계조건(boundary condition)과 지배 방정식(governing equations)의 제약에 따라 플럭스(flux)를 계산하여 반복적으로 각 셀의 물성치를 변화시킨다. 초기 조건은 임의적으로 부여하여 물리적 현상을 반영하지 않은 상태이므로, 물리적 법칙을 표현하는 지배 방정식과 경계조건에 따라 계산된 플럭스의 크기는 초기에 매우 큰 값을 갖게 된다. 이후, 계산이 점차 진행됨에 따라 플럭스의 크기는 계속 줄어들어 정상상태(steady state)에 가까워질수록 0에 가까운 값을 나타내게 된다(실제로는 이산화된 방정식과 실제 방정식에 truncation error가 존재하여 0이 되지는 않는다). 이러한 반복계산(iteration)을 통해 각 셀의 물성치는 최종적으로 물리적 특성을 정확히 반영하는 해로 수렴한다. 일반적인 CFD 해석자는 그 특성을 지배 방정식, 경계조건, 강건성(robustness), 안정성(stability), 계산 효율(efficiency) 등으로 판단할 수 있으며, 해석의 대상이 난류(turbulence)와 같은 복잡한 현상을 포함하거나 대규모 계산을 요구하게 됨에 따라 최근에는 병렬해석이 많이 사용되고 있다[15]. e-AIRS에 사용된 CFD 해석자는 서울대학교 공기역학 연구실에서 개발

해은 것으로, 일반적으로 많이 사용하는 Navier-Stokes 방정식을 근간으로 여러 가지 난류 모델, 플럭스 산출 기법; 어떤 문제에도 적용 가능하도록 일반화된 경계조건을 포함하고 있으며, 내부에 자동으로 파티셔닝(partitioning)을 수행할 수 있는 루틴이 있어 광범위한 병렬 계산에 적용될 수 있게 구성되어 있다. 또한 복잡한 형상을 여러 개의 격자계로 나누어 병렬처리 하는 다중블록 방식의 계산을 지원한다.

CFD를 통한 계산 과정은 진술한 바와 같이 정상해(steady solution)에 근접해 갈수록 각 셀의 물성치 변화가 줄어들기 때문에, 매 계산 회 차마다 이전 값과의 차이(residual)을 계산하여 0에 가까운 값에 근접하는지 확인할 필요가 있다. 이를 수렴성(convergency)이라고 하며, 계산 도중에 수렴과 발산 여부를 살피기 위한 모니터링이 필요하다. e-AIRS에서는 중간 결과와 계산 과정을 모니터링 할 수 있게 함으로써, 수치해석에 대한 정보를 사용자가 실시간으로 제공받을 수 있다.

수치해석자의 계산 결과는 가시화 서비스를 통해 웹상에서 도시되며, 사용자는 직관적으로 자신의 계산 결과가 물리적으로 타당한지 판단할 수 있다.

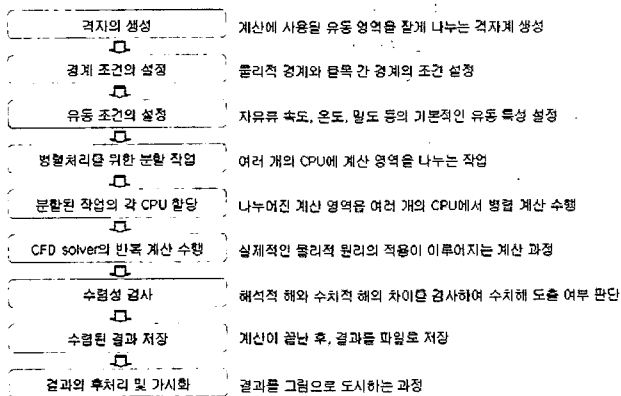
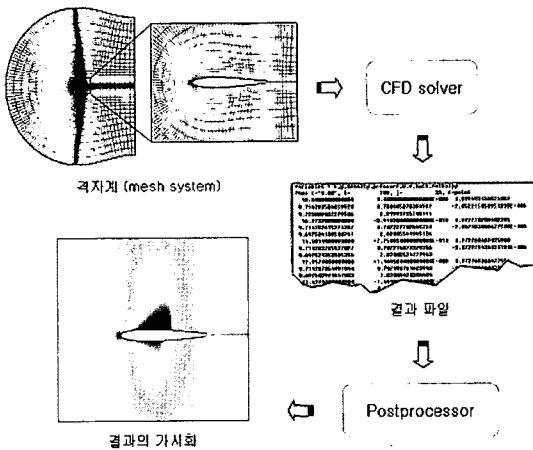


그림 2 CFD 수치 해석 과정

## 4.1 격자 생성 서비스

격자 생성 서비스에서 제공하는 주된 기능은 유체역학을 수치적으로 계산하기 위해서 필요한 격자계를 생성하는 부분이다. 해석의 대상이 되는 물체의 형상 데이터와 유동장의 공간 정보를 이용하여 점→선→면 등의 기하학 구조 생성 작업을 통하여 적절한 형태로 생성하는 과정이다. 격자 생성 서비스는 수치 해석을 처음 접하거나, 항공우주 분야에서 사용되는 형상을 해석하고자 하는 사용자에게 편리한 GUI 환경을 제공한다. GUI환경은 수치 풍동의 개발을 위하여 사용자의 입력 작업을 최소화 하면서 계산에 필요한 격자 생성을 손쉽게 할 수 있는 2D 및 3D 기반 요소들로 구성된다. 격자 생성 시 필요한 격자 템플릿 및 기존에 작업했던 데이터와 생성 과정을 통해 나오는 데이터들은 원격지의 저장 서버(storage server)에서 통합되어 관리되며 이를 통해 자신의 데이터로 새로운 라이브러리를 만들거나 기존 라이브러리를 변경할 수 있다. 데이터베이스화의 주된 목적은 어플리케이션 수행 시 그리드 상에서의 데이터를 관리하기 위한 모듈러 컴포넌트를 좀 더 융통성 있게 하기 위함이다. 또 다른 목적은 부가적인 메타데이터들과 함께 VO(Virtual Organization)안의 사용자들을 위한 간단하고 투명한 방법을 제공하기 위함이다.

## 4.2 CFD 솔버 서비스

CFD 솔버 서비스의 해석 수행과정은 적절한 경계 조건 및 유동조건을 통해 질량보존의 법칙, 운동량 보존의 법칙, 에너지 보존의 법칙을 만족하는 평형상태에 도달하도록 인접 영역과의 결과 값을 비교하면서 반복적으로 계산이 이루어진다. 일반적으로 계산 과정은 초기 입력 정보와 격자 및 영역분할 등과 같이 전체 노드에게 필요한 정보를 알리기 위한 모듈, 작업 관리 모듈, 결과 값의 수렴여부 판단, 결과의 조합을 위한 모듈 등으로 구성된다. 작업의 실행은 작업을 수행하는 데에 필요한 CPU의 개수를 지정한 후 사용자의 명령에 따라 작업이 시작된다. e-AIRS에서는 사용 가능한 CPU의 개수를 직접 확인 및 지정할 수 있다. 이러한 자원의 정보 관리는 글로벌스[5] 툴킷의 MDS를 통해 이루어진다. 계산 과정은 여러 자원을 사용하여 작업을 병렬 처리하기 위해 등록되어 있는 자원의 상태 정보를 사용자에게 보여준다. 사용자는 각 자원의 CPU, 메모리 등의 상황을 실시간으로 체크하여 각 프로세서의 성능 분석을 하고, 성능에 최적화된 작업 할당을 할 수 있다.

### 4.3 모니터링 및 가시화 서비스

사용자는 CFD 솔버 서비스를 통하여 계산이 진행되는 동안 계산의 진행사항을 검토하기 위해 계산되는 작업의 상태 및 중간결과를 실시간으로 모니터 할 수 있다. 다양한 자원에서 진행되고 있는 작업의 상태는 글로벌 툴킷에서 제공하고 있는 GRAM(Globus Resource Allocation Manager), MDS(Monitoring and Discovery System)를 이용하여 각 상태 및 자원의 상태를 파악한다. 일반적으로 계산자원으로 작업이 할당되면 각 작업 별로 고유 ID가 할당되는데, 이 ID를 통하여 사용자는 현재 계산이 진행중인 작업은 물론 기존의 여러 작업에 대한 모니터링 정보를 얻을 수 있다. 각 ID에 따른 계산 시작 및 완료 시간, 각 작업의 상태(PREPARE, DONE, INRPT, ERR, FAILED) 및 계산이 실행되는 호스트이름 등의 정보가 제공된다. 또한 현재 계산의 진행사항을 검토하기 위해 사용자가 작업 제출 시 입력하는 에러 히스토리 데이터의 최대값과 최대 반복계산 횟수를 통하여 에러 히스토리 그래프를 사용자에게 보여주는데, 이는 계산 반복 횟수에 따른 수렴 정도를 확인케 함으로써 진행되고 있는 계산이 수렴할 수 있는지, 잘못된 연산을 수행하고 있는지 사용자에게 알려주어 사용자가 해당 계산을 중지할 수 있게 권한을 부여한다. 이는 계산에 수반되는 불필요한 시간 낭비를 줄일 수 있도록 가능하다. 만약 중간 결과에서 오류가 발견되면, 어느 시점에서 문제점이 발생했는지 확인할 수 있도록 계산 반복 횟수에 따른 중간 결과를 선택해 확인할 수 있다(그림 3의 (c) 참조).

CFD 솔버를 통해 계산된 수치적인 결과는 연구자가 이해하고 분석할 수 있도록 가시화 과정을 거쳐야 한다. 계산 격자수가 매우 방대하기 때문에 연구자가 결과 파일 내의 숫자만 보고 각 위치에서의 현상을 파악하는 것은 불가능하기 때문이다. 텍스트 형식뿐 아니라 이미지 형식의 파일을 통하여 3차원 구조와 색상 등을 동시에 표현하는 다차원의 데이터 가시화는 데이터가 가지고 있는 정보를 쉽고 빠르게 분석할 수 있는 효율적인 환경을 제공한다. 가시화하는 대상은 사용자가 격자 생성 서비스를 통하여 제작한 격자 형상, 파티셔닝 서비스를 통해 분할된 다양한 다중블록 격자 형상, CFD 솔버를 통한 계산 결과 등이며 이는 가상 풍동 실험에 사용되는 모든 데이터를 통합적으로 분석할 수 있도록 제공한다. 또한 3차원 데이터를 다양하게 변화시키기 위해 주요 컨트롤 기능과 세부 데이터 분석 기능을 제공한다.

### 5. 원격 풍동 실험 서비스

원격 풍동 실험 서비스는 포탈 인터페이스를 통하여 풍동이 있는 연구소를 직접 방문하지 않거나 상주하지 않으면서도 원하는 풍동 실험을 수행할 수 있도록 하는 서비스이다. 풍동 실험을 요청하는 클라이언트는 웹 포탈을 인터페이스로 하여 사용하고자 하는 풍동과 실험 조건 등을 입력하고, 이를 바탕으로 실험 오퍼레이터가 실제 풍동을 작동시켜 실험을 수행하게 된다. 클라이언트가 포탈을 통하여 요청하는 실험은 PIV (Particle Image Velocimetry)에 기반하고 있으며, 한국항공우주연구원의 아음속 풍동을 이용하여 테스트를 수행하였다.

PIV 방식은 풍동 내부에 미세한 입자를 뿌리고 유동을 일으킨 다음, 실험 모델 주위에서 CCD 카메라 등을 이용해 입자에서 산란된 빛을 일정 시간 간격( $\Delta t$ )으로 여러 번 촬영한 후, 이들 영상들의 상관 함수(correlation function)를 구해 가장 많이 겹쳐지는 방향을 찾아 그 변위( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ )를 산출하고, 이를 두 영상의 시간간격으로 나누어 유동의 속도 벡터 ( $\Delta x/\Delta t$ ,  $\Delta y/\Delta t$ )를 구하는 기법이다[16]. 유동 영역 전체의 속도와 와류도(vorticity) 등의 정보를 정확히 얻을 수 있으며, 유동의 시간적 흐름을 살펴 보기에 좋은 실험 방법이다. 현재, PIV 방식의 실험은 한국항공우주연구원에서 수행하고 있다.

실험 시 CCD 카메라를 통해 촬영된 입자 영상은 PIV 서버로 옮겨지고, PIV 서버는 이를 통해 속도 벡터장 결과를 산출하게 된다. 이는 적절한 저장 공간에 저장되게 되며, 사용자는 자신의 실험이 수행되고 있는가에 대한 정보와 실험 결과를 포탈상에서 원격으로 확인할 수 있게 된다. 실험 세션은 진행되는 절차에 따라 new/on-going/finished의 세 가지 상태로 구분된다. 사용자가 실험을 요청하면 'new'상태가 되며, 오퍼레이터가 실험 예정 일자를 입력하고 'on-going' 상태로 바꾸게 된다. 실험이 수행된 후 오퍼레이터가 실험 결과를 포탈로 업로드하고 특정 버튼을 누르면 'finished' 상태로 바뀌게 된다. 클라이언트는 자신이 요청한 실험이 진행되는 과정을 실시간으로 포탈을 통해 확인할 수 있으며, 실험이 끝난 경우에는 e-mail로 실험 완료를 통보 받게 된다.

### 6. 원격 협업 시스템의 구축

e-AIRS에서 최종적으로 구축하고자 하는 환경은 사용자가 웹 포탈상에서 수치풍동 서비스를 통하여 수치 해석 결과를 얻고, 실험이 가능하다면 실험 수행을 요

청하여, 수치해석 결과와 풍동 실험 결과를 비교하는 환경을 제공하는 것이다. 이러한 환경을 통하여 사용자는 수치해석 결과와 풍동실험 결과를 비교함으로써 결과의 신뢰도를 높이는 효과를 얻게 된다. 이와 함께, 자신의 연구와 다른 연구자와의 중복 연구를 방지하고 협력 연구를 이루기 위한 가시적인 원격 회의의 필요성도 함께 대두된다. 이는 포탈 사이트를 이용함과 별도로 여러 연구 그룹 간에 협업 환경을 제공할 수 있는 시스템이 구축되어야 함을 의미한다. 본 논문에서는 액세스 그리드(Access Grid; AG) 시스템을 기반으로 하여 각 연구 및 사용자 그룹의 효율적인 협력을 위한 시스템을 구축하는 것을 또 하나의 중요한 목표로 하고 있다. 액세스 그리드의 구축을 위해서는 각 연구 기관에 AG 노드를 구축할 필요가 있으며, 크게는 회의실 규모의 room 노드로부터 작게는 개인 PC급의 PIG(Personal Interface to access Grid)에 해당하는 기자재의 구비 및 설치가 이루어지게 된다. 액세스 그리드를 근간으로 '해석 및 실험 결과의 비교'라는 개인적 활용도와 '다른 연구자/그룹과의 연구 결과 공유 및 토론'이라는 집단적 활용도를 모두 포괄할 수 있는 협업 환경을 제공하고 있다. 현재 Access Grid Toolkit(AGTk)을 이용하여 KISTI-서울대-항공우주연구원-숙명여대에 설치 및 테스트를 통해 협업환경 구성의 기초적인 단계를 수행하였으며 향후 연구 및 개발을 통하여 협업환경에서의 파일 및 정보 공유, 가시화 툴 공유 등을 골자로 하는 확장된 상호 협력 환경을 구축할 것이다.

## 7. 데모 프로토타입 구현

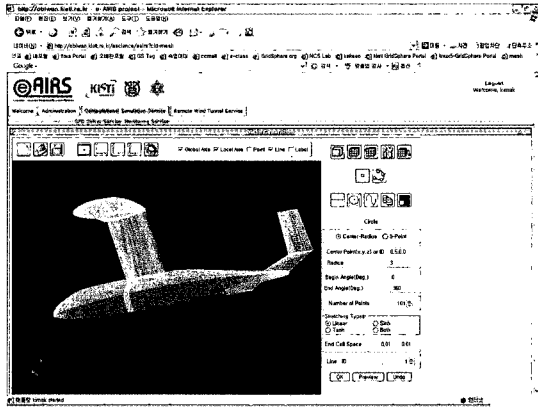
e-AIRS에서는 사용자가 포탈을 통하여 e-AIRS의 하드웨어 및 소프트웨어 자원에 접근하여 사용할 수 있다. 포탈을 사용하는 이유는 그리드 상의 여러 자원을 이용하고자 하는 사용자들로 하여금 시간과 장소에 무관하게 자신의 연구를 수행할 수 있도록 할 뿐 아니라 포탈에 접속하는 것만으로 자원의 이용에 대한 체계적인 관리를 가능하게 할 수 있기 때문이다. 또한, 전산 유체역학적 계산에 사용되는 클러스터 컴퓨터와 풍동 실험 장비와 같이 모든 연구소나 대학에서 보유하기 힘든 장비를 손쉽게 공유할 수 있다는 점에 포탈 서비스의 장점이 있다. e-AIRS 포탈은 그리드스피어 포틀릿을 이용하여 제작되었으며, 확장성이나 재사용성 등이 뛰어나다. 포탈은 JSR-168형태의 포틀릿으로 구성되어 있으며, 포틀릿은 제공할 기능을 구현하는 자바 빈즈 페이지 객체들과 사용자 인터페이스에 해당하는 JSP 페이지로 구성되어 있다. 사용자로부터 전송되는

서비스 요청의 처리 과정은 포탈에서 제공되는 JSP페이지를 통하여 서버로 요청사항이 입력되고, 포탈 서버가 요청에 해당하는 자바 빈즈 페이지 객체를 찾아서 실행하고 그 결과를 JSP페이지로 보여 주는 것으로 완료된다.

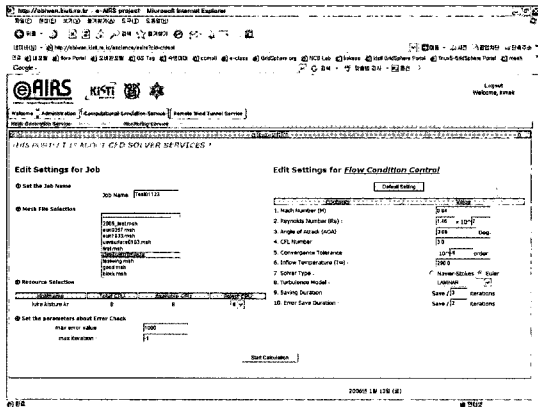
e-AIRS에서 제공되는 e-AIRSmesh(그림 3의 (a) 참조)는 웹 상에서 격자생성과정의 질 수 있도록 자바 애플릿(Java applet)과 JOGL(Java APIs for OpenGL)으로 구현된 격자 생성기다. 객체지향언어인(Object-Oriented Language)인 자바에서 제공해주는 추상화, 상속, 다형성 등의 특성을 활용하여 개발하였다. 점(Point), 선(Edge), 면(Face), 공간(Volume)의 대표 객체를 정의하고, 유사한 형식들은 대표 객체에서 상속을 받아 저장하도록 구성되어 있어 프로그램을 더욱 구조적이고 단순하게 구성할 수 있다. 격자 생성작업은 사용자의 요구사항이 가장 많이 반영되는 부분이므로 e-AIRSmesh의 인터페이스는 사용자에게 쉽고 편리한 환경을 제공해야 한다. 또한 격자 생성 작업은 일종의 그래픽 작업이기 때문에 화면 컨트롤 기능의 편리성이 매우 중요하다. 그렇기 때문에 기존의 격자 생성기(K-Grid)의 기능을 넘어서서 상용 프로그램들이 구현하고 있는 편리한 3D 그래픽 컨트롤 기능을 추가하였다. 사용자는 회전, 확대, 축소, 평행이동 등의 기능을 마우스와 키보드를 이용하여 편리한 방법으로 사용할 수 있다.

그림 3의 (b)는 CFD 솔버 서비스 인터페이스이며, 계산과정을 시작하기 위해서 사용자로부터 유동조건을 입력 받아 마하수, 받음각(AOA : Angle of attack), 레이놀즈 수 등에 대한 정보를 하나의 파일로 저장한다. 경계조건 정보는 격자의 생성 과정에서 미리 입력을 하고, 격자 파일에 그 정보가 담겨 있다. 유동조건이 저장된 파일과 격자 및 경계조건 정보가 저장된 격자 파일을 가지고 계산을 시작한다. 계산 과정은 여러 자원을 사용하여 작업을 병렬 처리하기 위해 등록되어 있는 자원의 상태 정보를 사용자에게 보여준다. 사용자는 각 자원의 CPU, 메모리 등의 상황을 실시간으로 체크하여 각 프로세서의 성능 분석을 하고, 성능에 최적화된 동적인 작업 할당을 할 수 있다.

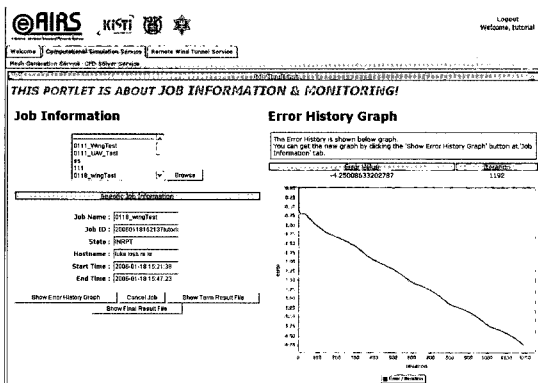
e-AIRSview는(그림 3의 (d) 참조) 웹 포탈 상에서 수치 해석 과정을 통한 결과를 가시화해주기 위한 툴이다. e-AIRSmesh와 마찬가지로 자바 애플릿으로 구현되어있으며, GUI 기반의 편리한 사용자 환경을 통하여 상용 프로그램들이 구현하고 있는 편리한 3D 그래픽 컨트롤을 위해서 마우스와 키보드를 통하여 3D 데이터를 확대/축소, 평행이동, 회전 등이 구현되



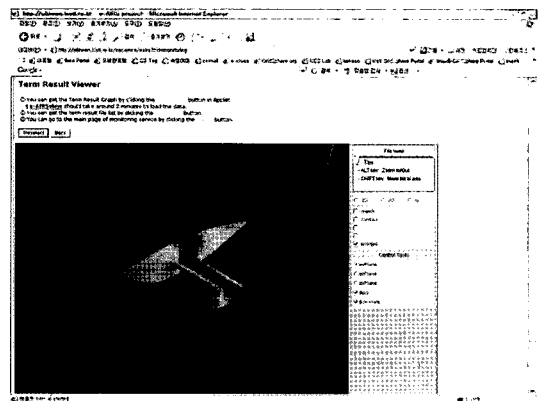
(a) 격자 생성 인터페이스



(b) CFD 솔버 인터페이스



(c) 모니터링 서비스 인터페이스



(d) 가시화 서비스 인터페이스  
그림 3 CFD 프로토타입 구성 화면

도록 하였다. CFD 솔버를 통해 결과 파일에 계산결과 데이터가 출력되는데 각 데이터마다 의미하는 바가 다르므로, 계산된 결과 파일의 데이터 값이 표현하는 블록, 격자점을 갖고, 가시화 알고리즘이 적용된 격자 데이터 객체를 생성한다. 생성된 객체는 결과데이터의 분석을 용이하게 하기 위해 다양하게 제어할 수 있으며, 마우스의 움직임이나 UI를 통한 선택 등에 따라 가시화된 객체를 제어할 수 있고 즉시 결과를 확인할 수 있다.

## 8. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 e-Science를 기반으로 하는 CFD 솔버를 이용한 가상 풍동 서비스 및 원격 실험 서비스가 제공되는 e-AIRS 포털을 구축한 내용을 서술하였다. 포털은 현재 개발되어 있는 프레임 워크인 그리드스피어를 사용하여 사용자 관리와 각종 세부 서비스에 필요한 모듈을 개발하였다. 항공우주 수치해석 관련해서는 전처리 과정, 계산 과정, 후처리 과정을 모두 웹 포털을 통해 제공하며, 작업의 효율을 높이기 위하여 병렬 계산, 파티셔닝 서비스, 작업 모니터링 서비스를 제공할 수 있도록 관련 프로그램을 구축하였다. 실험적 연구를 지원하기 위해, PIV 방식의 스마트 무인기 실험을 내용으로 하는 원격 풍동 실험 서비스를 구축하여, 수치해석과 실험을 아울러 수행할 수 있는 통합 연구 시스템을 구현하였다.

여러 연구자 간의 실질적 협력을 도모하고 연구 결과의 공유와 분석을 수행하기 위한 협업 시스템으로 Access Grid의 노드 구축을 추진하였다. 서울대, 숙명여대, 한국항공우주연구원에 AG 노드를 구축하고 테스트를 수행하여 기본적인 PIG 시스템을 구성하였다.

향후 e-AIRS는 보다 강력하고 효율적인 서비스를 추가할 계획으로 있다. 풍동 실험 결과를 가시화하고 포털에 연동하는 기술을 확장 개발하여, 웹 포털 서비스에 실험 결과 비교 서비스를 추가할 것이다. 이를 통하여 사용자는 수치 해석 결과와 실험 결과를 1:1로 비교할 수 있는 환경을 제공받을 것이다. 이는 항공우주 연구자들이 동일한 환경에서 연구를 수행하고, 원격지의 다른 연구자 간의 활발한 공동 연구 및 원격 토의를 할 수 있는 환경을 제공함으로써 항공기나 발사체와 같은 결과물의 설계 및 제작에 소요되는 시간을 감소시키고, 연구 결과의 정확성을 향상시키는 효과를 얻을 수 있다.

## 참고문헌

[1] I. Foster, C. Kesselman, S. Tuecke. "The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable

Virtual Organizations," International J. Supercomputer Applications, 2001.

[2] I. Foster, C. Kesselman, J. Nick, and S. Tuecke. "The physiology of the grid: An open grid services architecture for distributed systems integration, open grid service infrastructure," wg. global grid forum, June 2002.

[3] Jason Novotny, Michael Russell, Oliver Wehrens: "GridSphere: a portal framework for building collaborations," Concurrency - Practice and Experience 16(5): 503-513 (2004).

[4] [www.cfd-online.com/](http://www.cfd-online.com/)

[5] <http://www.globus.org/>

[6] G. von Laszewski, I. Foster, J. Gawor, P. Lane, N. Rehn, M. Russell, "Designing Grid-based problem solving environments and portals", in: Proceedings of the 34th Hawaiian International Conference on System Science, Maui, Hawaii, 2001.

[7] T. Jackson, J. Austin, M. Fletcher, M. Jessop. "Delivering a Grid enabled Distributed Aircraft Maintenance Environment (DAME)," In: Proceedings of the UK e-Science All Hands Meeting 2003.

[8] Chen L., Shadbolt N.R., Tao F., Puleston C., Goble C. and Cox S.J (2003) "Exploiting Semantics for e-Science on the Semantic Grid", In : Proceedings of Web Intelligence (WI2003) workshop on Knowledge Grid and Grid Intelligence, pp.122-132.

[9] David W. Walker, Jonathan P. Giddy, Nigel P. Weatherill, Jason W. Jones, Alan Gould, David Rowse, and Michael Turner, "GECEM: Grid-Enabled Computational Electromagnetics", In: Proc. UK e-Science All Hands Meeting 2003, pp.436-443, September 2003.

[10] <http://www.geodise.org/>

[11] <http://www.cs.york.ac.uk/dame/>

[12] <http://www.kari.re.kr/>

[13] 김윤식, 권장혁, "그래픽 환경을 이용한 상호 대화 방식의 3차원 격자생성 프로그램 개발", 한국항공우주학회 춘계학술발표회, pp.67-70, 영남대학교, 1998. 4. 18.

[14] <http://www.accessgrid.org>

[15] Tannehill, Anderson, and Pletcher, "Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer," Second Edition, Taylor & Francis, 1997.

[16] John Grue, Philip L. F. Liu, Geir K. Pedersen, Philip L-F Liu, "PIV and Water Waves," World Scientific Pub. Co. Inc., 2004.

---

### 김 은 경



2003 숙명여자대학교 컴퓨터과학과(학사)  
 2003~현재 숙명여자대학교 컴퓨터과학과 석사과정  
 관심분야: 그리드 컴퓨팅, 메타 스케줄링  
 E-mail : kimek@sm.ac.kr

### 김 윤 희



1991 숙명여자대학교 전산학과(학사)  
 1996 Syracuse University 전산학과(석사)  
 2000 Syracuse University 전산학과(박사)  
 1991. 1~1994. 7 한국전자통신연구소 연구원  
 2000. 8~2001. 2 Rochester Institute of Technology, 컴퓨터공학과 조교수

2001~2004 숙명여자대학교 조교수  
 2004~현재 숙명여자대학교 부교수  
 관심분야: 그리드 컴퓨팅 환경(PSE), 워크플로우 제어, 분산 어플리케이션/서비스 관리  
 E-mail : yulan@sm.ac.kr

### 김 진 호



2004 서울대학교 기계항공공학부(학사)  
 2004~현재 서울대학교 기계항공공학부 석사과정  
 관심분야: 항공우주수치해석, e-Science 기반 수치풍동설계  
 E-mail : keias21@snu.ac.kr

---



---

### 김 종 압



1988 서울대학교 항공우주공학과(학사)  
1990 서울대학교 항공우주공학과(석사)  
1991~1992 KIST 시스템공학연구소  
연구원  
1997 Princeton University 기계항공  
공학과(박사)  
1997~1998 Stanford University  
Center for Turbulence  
Research, Research Fellow

1998~2000 서울대학교 전임강사

2000~2004 서울대학교 조교수

2004~현재 서울대학교 부교수

관심분야: 항공우주수치해석, e-Science 기반 수치풍동설계

E-mail : chongam@snu.ac.kr

### 조 금 원



1993 인하대학교 항공우주공학과(학사)

1995 한국과학기술원 항공우주공학과  
(석사)

2000 한국과학기술원 항공우주공학과  
(박사)

현 재 KISTI 슈퍼컴퓨팅센터 슈퍼컴퓨팅  
응용지원팀장, KISTI e-Science  
사업단응용연구팀장(겸임)

관심분야: 슈퍼컴퓨팅, e-Science, 그리드

E-mail : ckw@kisti.re.kr

---