

## e-AIRS 환경을 활용한 웹기반의 유체역학 교육

김진호\*, 이준석\*, 고순흠\*, 김종암\*,†, 김윤희\*\*,†, 문종배\*\*\*,†, 조금원\*\*\*,†

### Web-based Fluid Dynamics Education using e-AIRS System

J.H. Kim\*, J.S. Yi\*, S.H. Ko\*, C. Kim\*\*†, Y.H. Kim\*\*†, J.B. Moon\*\*\*†, K.W. Cho\*\*\*†

**Key Words** : e-AIRS, CFD(전산유체역학), Access Grid, wind tunnel experiment

#### Abstract

e-AIRS, an abbreviation of 'e-Science Aerospace Integrated Research System,' is a virtual organization supporting CFD(computational fluid dynamics) simulations, remote experimental service, and collaborative and integrative study between computation and experiment. e-AIRS works on the e-Science environment and research process is accomplished through the web portal. By the system development since 2005, a stable education system with the full support on fluid dynamics is successfully established and utilized to various fluid dynamic lectures in universities. By using e-AIRS system during a lecture, students can conduct the full CFD simulation process on the web and inspect the wind tunnel experiment via Access Grid. This kind of interactive lecture makes students to have a deeper understanding on the physics of fluid, as well as the characteristics of numerical techniques. The current paper will describe system components of e-AIRS and its utilization on education.

#### 1. 서론

e-AIRS 환경은 e-Science 기반의 항공우주 연구 시스템으로 해당 분야의 연구 효율성 증진과 함께 인터넷이 연결된 어느 곳에서나 활용할 수 있다는 장점을 가지고 있으며, 뛰어난 접근성과 편리성은 연구자들의 연구 편의성을 도모할 뿐 만 아니라 항공우주 공학을 전공하는 학생들이 유체역학의 개념을 익히는데 좋은 환경을 제공한다. 본 논문은 전산유체역학의 수치해석자와 풍동 실험 데이터를 연동하고, 풍동실험 원격 가시화를 실행할 수 있는 통합연구 환경을 구축하여, 대학에서 실제 유체역학 관련 강의를 안정적으로 지원하는 교육 시스템을 구축하는 것을 그 목적으로 하고 있다.

세부적으로는 기존의 그리드 기술[1][2]로부터 실험 장비 및 컴퓨터 자원을 공동으로 활용함으로써 교육 인프라 공유, 중복 투자 방지 등의 효과를 얻고, 그리드 계산 시스템을 토대로 한 원격 수치 풍동의 구축을 통해 학생들의 공학적 수치해석의 능력 향상을 기대하는 환경을 구축하는 것을 목표로 하고 있다. 또한 실제 풍동 실험을 원격으로 요청하고 모니터링 할 수 있는 풍동 실험 관리 시스템을 구축하고, 연구자들 사이의 종합적인 협업을 지원하기 위한 액세스 그리드(Acess Grid) 시스템을 활용한, 풍동실험실과 강의실 간의 원격 회의를 통하여 시청각적으로 풍동실험에 대한 교육을 구현하는 것을 목표로 한다.

본 논문에서는 항공우주 통합연구 환경인 e-AIRS의 구조와

기능에 대해 설명하고, 웹 포털을 기반으로 한 수치 해석 시스템과 원격풍동실험 및 협업시스템 대한 세부적인 설명과 실제 강의에서의 활용에 대하여 논의한다.

#### 2. e-AIRS 시스템

##### 2.1 항공우주 수치 풍동 시스템

e-Science 기반의 항공 우주 수치 풍동 시스템(e-AIRS)은 웹 포털을 기반으로 수치해석 환경을 제공하는 수치풍동 시스템, 풍동 실험을 원격으로 요청하고 관리하는 원격 풍동 관리 시스템, 통합 연구, 원격 협업 환경 시스템의 네 가지 부분으로 나눌 수 있다.

먼저, <그림 1>에 보인바와 같이 수치 풍동 시스템은 사용자가 웹 포털에 접속하여 해석하고자 하는 대상을 모델링하고 격자계를 구성하는 격자 생성(mesh generation) 서비스, 수치해석자(CFD Solver)를 이용한 계산 서비스, 계산 과정에서의 모니터링을 위한 모니터링 서비스, 계산 결과를 가시화하는 가시화 서비스로 구성 된다.

원격 풍동관리 시스템은 풍동실험의 원격 요청 및 관리기능과 풍동 실험 결과를 웹 포털에 연동하여 수치해석 결과와의 비교 환경을 제공하기 위한 것이다. 시스템 구축을 위해서는 실험 결과를 데이터로 산출할 수 있는 S/W와 산출된 데이터를 가시화 할 수 있는 S/W가 필요하다. 본 논문에서는 영국 e-Science[3]의 연구 성과물인 BAE Systems의 GEWiTTS 시스템의 S/W[4]를 벤치마킹하고 국내 실정 및 연구자의 필요성에 부합하게 PIV(Particle Image Volocimetry) 실험과 공력 측정 실험(aerodynamics force and moment measurement)을 지원하는 환경을 제공한다.

통합 연구 환경 시스템에서는 실험과 수치해석을 통해 계산

\* 서울대학교 기계항공공학부,  
{keias21,backyak,floydfan.chongam}@snu.ac.kr

\*\* 숙명여자대학교 컴퓨터과학과,  
yulan@sookmyung.ac.kr

\*\*\* 한국과학기술정보연구원 e-Science 사업단,  
{jbmooon,ckw}@kisti.re.kr

† 교신저자

된 개별 데이터들을 동시에 도시하고, 이들을 바탕으로 추가적 해석을 수행하여 좀 더 정밀한 연구 결과를 제공하게 된다. 이와 같은 연구자들의 연구 결과를 공유할 수 있는 환경으로서 원격 협업 환경 시스템이 지원되는데, 본 환경은 액세스 그리드(Access Grid)를 이용하며 여러 가지 항공우주 연구를 위한 툴을 추가하여 연구자간 토의와 협업을 가능하게 한다.

학생들의 유체역학 교육을 위해서는 수치풍동 시스템, 원격 풍동실험 서비스, 협업시스템이 사용된다. 본 논문에서는 위 세 가지 부분의 구조와 기능 및 활용에 주안점을 두기로 한다.

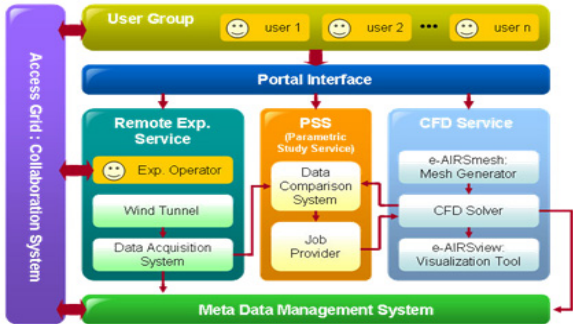


그림 1. The Architecture of e-AIRS

## 2.2 e-AIRS 포털

e-AIRS 시스템[6,7]은 <그림 1>에 나타난 바와 같이 포털 서비스를 통해 사용자에게 제공 된다. e-AIRS 포털[8] (<http://eairs.kisti.re.kr/gridsphere>)은 그리드 스피어(GridSphere)[9]를 바탕으로 구성되었으며, 기본적으로 사용자 관리, 세션 관리, 그룹 관리, 레이아웃 관리 등을 제공하여 사용자가 포털을 통해서 다양한 서비스를 쉽게 사용할 수 있는 환경을 구축하게 도와준다. 웹 포털을 사용하는 이유는 그리드 상의 여러 자원을 이용하고자 하는 사용자들로 하여금 시간과 장소에 무관하게 자신의 연구를 수행할 수 있도록 할 뿐 아니라 포털에 접속하는 것만으로 하드웨어 및 소프트웨어 자원에 접근하여 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 포털 서비스의 장점이 있다.

## 3. 수치풍동 시스템의 구현

일반적으로 수치해석은 전처리(Pre process), 계산(Computation), 후처리(Post process)의 세 단계로 이루어지며, 웹 포털 서비스는 이들 단계를 수행하기 위한 서비스를 제공한다. 전산 유체역학(CFD: Computational Fluid Dynamics) 분야에서 전처리 과정은 공간 격자 생성 과정을 의미한다. 수치 풍동 서비스 포털렛을 통하여 사용자는 격자 생성 서비스를 통해 해석하고자 하는 대상의 기하학적인 형상과 관련 격자계를 직접 모델링 할 수 있다. 모델링한 격자계를 토대로 고성능의 수치해석자(CFD Solver)를 이용하여 정밀한 수치해석을 수행하는데 그 과정에서 중간 결과와 계산 과정을 모니터링 할 수 있게 함으로써 수치해석에 대한 정보를 사용자가 실시간으로 제공받을 수 있다. 마지막으로 수치해석자의 계산 결과를 후처리 서비스를 통해 가시화 하게 된다. 웹 포털 기반의 수치 풍동 시스템은 사용자의 편의를 고려하여 사용하기 쉬운 형태의 GUI환경을 제공한다.

## 3.1 격자생성 서비스

격자 생성 서비스는 수치해석 과정의 첫 번째 단계인 전처리 과정을 서비스하는 것으로, 웹 포털을 통하여 제공되는 2가지 응용프로그램(e-AIRSmesh, CAD2mesh)을 통하여 제공된다. 격자 생성 과정은 크게 두 가지 단계로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째 단계는 해석하고자하는 대상의 형상을 모델링하는 것이며, 두 번째 단계는 모델링한 데이터를 이용하여 격자계를 구성하는 것이다. 해석대상의 형상을 모델링할 때에는 간단한 형상의 경우 e-AIRSmesh에서 기본적으로 제공하는 모델링 기능을 이용하여 작업을 수행할 수 있다. 하지만, 복잡한 형상의 경우 e-AIRSmesh만으로 구성하기엔 어려운 점이 있으며, 이를 보완하기 위해서는 CAD 데이터의 입력 기능이 필요하다. CAD 데이터 입력 기능의 지원을 위해 일차적으로 2차원 CAD 파일(VRML 형식)의 입력 기능을 CAD2mesh에서 제공하며, 사용자는 이를 격자생성에 사용할 수 있다.

## 3.2 수치해석 서비스

e-AIRS 포털에서는 전산유체역학분야에서 사용되는 여러 가지 Method를 적용한 수치해석자가 제공된다. 제공되는 수치해석자는 2차원/3차원 형상에 대해서 비점성/점성, 비압축성/압축성, 비정상상태/정상상태 등의 옵션을 제공하며, 자동으로 계산영역을 분할하여 병렬처리를 수행할 수 있도록 되어있다. e-AIRS 포털에서는 형상과 조건에 따라 Project와 Case를 설정하는 형태로 서비스를 제공하며, 격자생성 이후에 Project와 Case를 구성하게 된다.

## 3.3 모니터링 및 가시화 서비스

수치해석 서비스의 중간 수렴 정도를 보여주기 위해 모니터링 서비스가 제공된다. 이에 대한 인터페이스는 <그림 2>와 같다. 사용자가 생성한 각 case별 작업 정보 및 자원 정보들에 대한 기본적 정보를 보여주며, 사용자가 특정 작업에 대한 작업 상태를 확인하고자 할 때는 residual history 그래프를 보여준다. 결과파일은 수치해석이 수행되고 있는 중간에도 확인할 수 있으며, 최종 결과 및 PIV 실험 결과 등 e-AIRS 환경에서 산출된 연구결과는 <그림 3>과 같이 e-AIRView 가시화 프로그램을 통해 도시화되어 나타나게 된다. 이와는 별도로 고급 사용자들을 위해 일반적으로 많이 사용되고 있는 Tecplot 포맷의 결과 파일을 다운로드 할 수 있도록 서비스하고 있다.

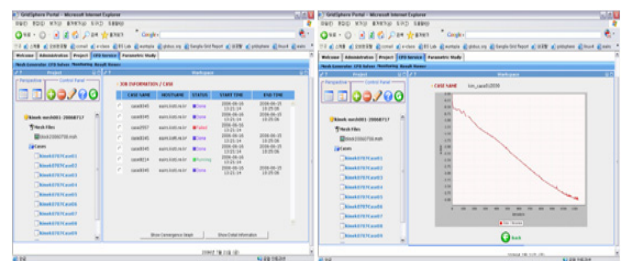


그림 2. Monitoring service interface

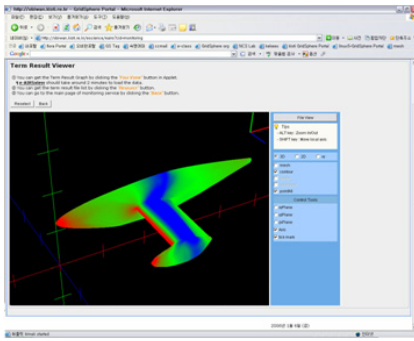


그림 3. e-AIRView environment

## 4. 원격풍동실험, 협업 시스템의 구현

### 4.1 원격풍동실험 서비스

원격 풍동 실험 서비스는 포털 인터페이스를 통하여 풍동이 있는 연구소를 직접 방문하지 않거나 상주하지 않으면서도 원하는 풍동 실험을 수행할 수 있도록 하는 서비스이다. 풍동 실험을 요청하는 클라이언트 사용자는 웹 포털을 인터페이스로 하여 사용하고자 하는 풍동과 실험 조건 등을 입력하고, 이를 바탕으로 실험 오퍼레이터가 실제 풍동을 작동시켜 실험을 수행하게 된다. 사용자가 포털을 통하여 요청할 수 있는 풍동 실험은 공력 측정 실험과 PIV 실험이다. 공력 측정 실험은 비행체에 밸런스(balance)라는 측정 장비를 장치하여 항공우주 물체에 작용하는 세 방향의 힘과 모멘트를 측정하는 실험으로, 항공기의 양력(lift)과 항력(drag) 특성을 파악하고, 이를 통해 항공기의 안정성(stability)을 판단하는 중요한 작업이다. 이 실험의 결과 데이터는 항공기의 설계를 변경하는 근거가 된다. 한편, PIV 실험은 풍동 내부에 미세한 입자를 뿌리고 유동을 일으킨 다음, 그에 따른 결과를 CCD 카메라를 이용하여 확인하는 방법이다. 이 방법은 유동 영역 전체의 속도와 와류도(vorticity) 등의 정보를 정확하게 얻을 수 있으며, 유동의 시간적 흐름을 살펴보기에 좋은 실험 방법이다.

서비스의 인터페이스는 Experiment Request Service를 통하여 원격실험을 요구하고, Experiment Information Service를 통하여 실험의 결과를 확인할 수 있도록 제공되고 있다. project와 case 정보를 먼저 확인한 뒤 원하는 case에 대해 풍동 실험을 요청할 수 있는 구조로 제작 되어있으며, 실험자(wind tunnel operator)의 편의를 위해 run-log file(실험 조건을 테이블로 구성한 문서)을 작성할 수 있게 하였다. 요청한 실험의 진행 상황과 결과 확인 및 다운로드가 가능하도록 되어있으며, 원하는 실험의 검색을 위해 project → case → 풍동 실험의 체계를 검색 조건으로 부여할 수 있다. <그림 4>의 과정을 통해 원격풍동실험이 구현된다.

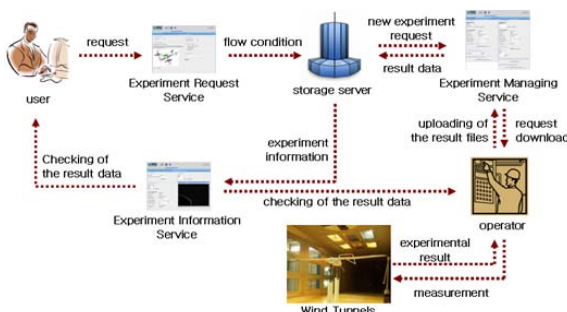


그림 4. Flowchart of remote wind tunnel experiment

## 4.2 협업시스템의 구축

e-AIRS에서 최종적으로 구축하고자 하는 환경은 사용자가 웹 포털상에서 수치풍동 서비스를 통하여 수치해석 결과를 열고, 실험이 가능하다면 실험 수행을 요청하여, 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 포털 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, 크기는 회의실 규모의 room 노드로부터 작게는 개인 PC급의 PIG(Personal Interface to access Grid)에 해당하는 기자의 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. <그림 5>는 원격협업시스템의 흐름도이다.

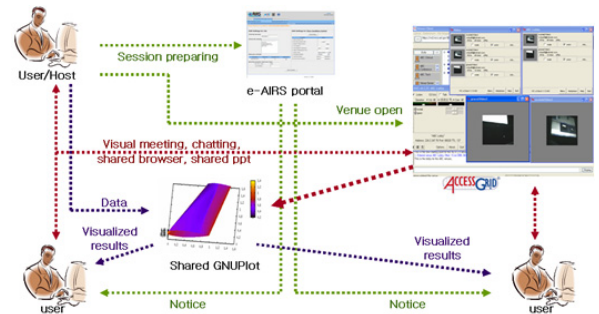


그림 5. Flowchart of the remote conference system

## 5. e-AIRS 시스템의 교육적 활용

e-AIRS 시스템은 연구 자원과 접근성의 제약 없이 연구 수행할 수 있다는 점과, 연구의 편의성을 도모할 수 있는 점, 교육적 목적으로의 활용 가능성이 충분하다는 장점이 있다.

### 5.1 수치 풍동 시스템의 활용

지난 2007년 1, 2학기부터 서울대학교에서는 항공역학, 압축성 유체역학, 전산유체역학의 세 개의 수업에서 본 시스템을 사용하였다. 또한 2007년 2학기부터 건국대학교의 전산유체역학 수업에도 본 시스템을 사용하였다. 학생들은 e-AIRS 시스템의 수치해석 서비스를 이용하여, 주요 물리현상에 대한 수치해석을 직접 수행하고 분석하였다. <그림 6>은 본 시스템을 활용하여 학생들이 직접 수치해석을 수행한 응용문제의 예를 보여준다. NACA0012 에어포일 주위의 유동을 모사하기 위해 e-AIRSmesh로 격자를 구성하고 적합한 경계조건을 적용시켰고 e-AIRView 가시화 프로그램을 사용하여 최종 결과를 확인하였다.

e-AIRS 시스템을 이용한 교육은 학생들이 직접 수치해석을 수행하고, 즉각적으로 그 결과를 확인할 수 있다는 편의성과 시

각적 효과로 인해 유체역학 관련 과목을 어렵게 느끼는 학생들에게 학습효과를 높일 수 있다는 장점을 갖는다.

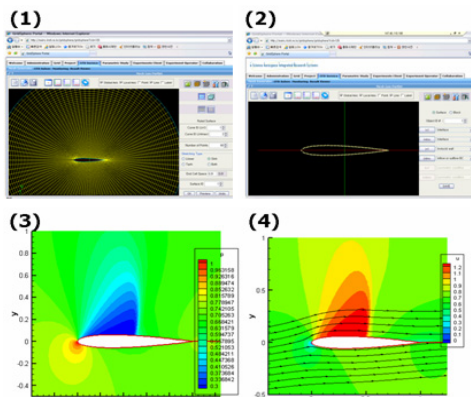


그림 6. NACA0012 Airfoil Analyses

## 5.2 원격풍동실험 및 협업시스템의 활용

풍동실험에 사용되는 PIV나 풍동 등의 실험기구는 학생들이 직접 사용하기까지 많은 교육과정이 필요하다. 또한, 풍동실험기구는 모든 교육 장소에서 소유하고 있는 것이 아니므로, 접근성의 문제가 발생한다. 이러한 이유로 학생들이 쉽게 접할 수 없는 풍동시설물의 사용방법을 직접 교육하기보다는 전문가의 실험을 견학하고, 그 데이터를 받아 분석하는 방법이 교육에 더 효과적이다.

<그림 7>은 e-AIRS의 원격회의 시스템과 원격풍동실험 서비스를 이용하여 학생들을 교육하는 장면이다. 실험기구에 대한 강의 후, 강의실에 설치되어있는 원격회의 시스템을 이용, 풍동 실험을 시연하였고, 원격풍동실험 서비스를 이용하여 새로운 실험을 요청하였다. 또한 실험 결과를 원격풍동실험 서비스를 이용하여 제공받음으로써, 강의실에서 실험결과의 분석을 수행하였다.

이러한 교육방법은 접근성이 용의하다는 것과, 실험결과의 분석에 중점을 둘 수 있다는 점, 그리고 더욱 전문적인 실험에 대한 교육이 가능하다는 장점이 존재한다.

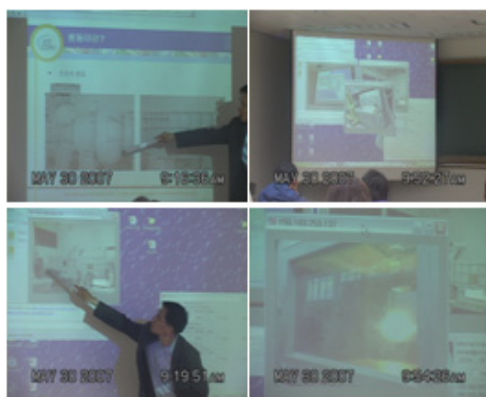


그림 7. Lecture of remote wind-tunnel experiment

## 6. 결론

본 연구는 e-Science 기반의 e-AIRS Web Portal을 이용하여 교육을 수행하는 것을 목표로 하였다. e-AIRS라고 명명된 본 시스템은 2005년부터 개발되어 오고 있으며 실험과 수치해석의 통합

연구가 수행될 수 있는 ‘통합 연구 환경’을 개발하였다. 정확하고 빠른 수치해석을 위한 Web portal 기반의 수치해석 툴을 개발하였으며, 직접 풍동을 방문할 수 없는 연구자를 위해, 원격으로 공력 측정 실험과 PIV 실험을 요청하고 결과를 제공 받을 수 있는 원격 풍동 실험 서비스를 개발하였다. 또한, 포털 서비스를 이용하여 협업회의를 기획, 조정하도록 하고, 액세스 그리드를 기반으로 원격 협업 화상회의의 시스템을 구축하였다. 이에 더하여, 단순한 화상 회의를 넘어 서로의 정보와 data를 공유할 수 있도록 함으로써, 지리적 한계를 극복하고 원활하고 전폭적인 협력이 가능한 서비스를 개발하였다.

e-AIRS 시스템의 활용도를 확인하기 위해, 본 시스템을 이용하여 수치풍동과 원격풍동실험에 대한 강의를 수행하였다. 그에 따라 학생들은 직접 수치해석을 시행할 수 있었으며, 그 결과를 확인함으로써 학습효과를 상승시키는 효과를 가져왔다. 또한, 원격으로 실험을 수행하고 이를 활용한 강의를 진행하였다.

웹 기반의 e-AIRS 시스템을 바탕으로 강의를 진행하면 수치해석 툴, 컴퓨팅자원, 풍동실험기구 등이 부족한 곳에서도 교육이 가능할 것으로 예상된다. 이로써, 보다 체계적인 유체역학 지식을 가진 공학도들을 많이 배출할 수 있을 것이며, 항공우주공학의 연구 분야 확장에도 큰 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 과학기술부와 한국과학기술정보연구원, 서울대학교 항공우주신기술연구소의 지원으로 수행되었으며, 해당 기관에 감사의 뜻을 전합니다.

## 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", W.G., global grid forum, June 2002.
- [3] <http://www.nesc.ac.uk/>
- [4] "GRID Enabled Wind Tunnel Test Service", SC2004
- [5] <http://www.accessgrid.org/>
- [6] Jin-ho Kim, Jae Wan Ahn, Chongam Kim, Yoonhee Kim and Kum Won Cho, "Construction of Numerical Wind Tunnel on the e-Science Infrastructure", ParallelCFD 2006 BUSAN, May 15~18, 2006
- [7] 김진호, 안재완, 고순흠, 김종암, 김윤희, 조금원, "자동 수치해석과 원격 실험 관리를 지원하는 수치풍동 구현", 춘계 한국항공우주공학회, 2006년 4월
- [8] Yoonhee Kim, Eun-kyung Kim, Jee Young Kim, Jung-hyun Cho, Chongam Kim and Kum Won Cho, "e-AIRS: An e-Science Collaboration Portal for Aerospace Applications", HPC 2006, LNCS(Lecture Note in Computer Science) Vol.4208, pp. 813-822, 2006
- [9] Jason Novotny, Michael Russell, Oliver Wehrens: "GridSphere: a portal framework for building collaborations." Concurrency - Practice and Experience 16(5): 503-513 (2004)