슈퍼컴퓨터를 활용한 팬 시뮬레이터 개발

김명일*, 김승해⁺

(Manuscript received: May, 2, 2012 / Revised: Jul, 11, 2012 / Accepted: Jul, 12, 2012)

Development of a Fan Simulator Using Supercomputer

Myung-Il Kim*, Seung-Hae Kim⁺

Abstract

A fan is the most common air flow machinery and is being used in various different industries such as for heavy machinery, home appliances and automobile. An axial fan has blades that force air to move parallel to the shaft about which the blades rotate. This type of fan is used in a wide variety of applications, ranging from small cooling fans for electronics to the giant fans used in wind tunnels. An axial fan generating large air volume used to cool equipments, but is less efficient. A sirocco fan is a efficient device for moving air by centrifugal force and can generate high pressure. Fans that affect the performance and noise of a product are important components. It is also a time and budget consuming equipment to develop a fan through physical experiments. In order to overcome this problem, we have designed and developed a fan simulator for axial and sirocco fan's fluid analysis using supercomputer. Performance and noise prediction based on datamining without numerical analyses is also developed for the conceptual design of a fan.

Key Words : Fan(팬), Simulator(시뮬레이터), Supercomputer(슈퍼컴퓨터), Numerical analysis(수치해석), Datamining(데이터마이닝)

1. 서론

최근 IT 기술의 급속한 발전과 더불어 생명공학, 기계공학 등 타 분야와의 융·복합 연구 및 제품개발이 가속화 되고 있다^(1,2). 또한 학제 간(multidisciplinary) 연구가 활발히 진행되면서 새로운 연구개발 패러다임이 등장하고 있으며, 전통적인 방식의 연구개발 방식에도 변화가 요구되고 있다. 최근에는 고성능 컴퓨터를 활용한 시뮬레이션을 통해 제품의 성능을 수치적으로 계산하는 CAE(Computer Aided Engineering) 기술이 활발히 활용되고 있다. 이러한 흐름은 실험적인 방법을 주로 사용하던 기계부품 개발에도 영향을 주고 있으며, 보다 짧은 시간에

신뢰성 높은 제품을 개발하여 시장에 진입하는 시간(time to market)을 줄이는 것이 산업계의 이슈가 되고 있다.

일반적으로 자동차, 선박, 가전, 컴퓨터 등의 제품은 엔진, 모터, CPU 등 에너지 활용에 따라 열을 발생시키는 부품들을 제품 내부에 포함하고 있으며, 이를 냉각시키기 위한 장치들이 필요하다. 대표적인 냉각장치로는 팬과 열교환기가 있으며, 작은 부피와 낮은 비용으로 비교적 뛰어난 냉각효과를 낼 수 있다는 점에서 팬이 널리 사용되고 있다. 그 중에서 축류 팬은 공기의 흐름 방향이 회전축과 평행한 송풍기로 가전, 자동차, 기계장치 등 다양한 산업 분야에서 가장 널리 활용되고 있는 팬의 형태이다⁽³⁾. 풍부한 풍량으로 인해 주로 열이 발생하는 장치의

* 한국과학기술정보연구원 첨단연구망서비스실

⁺ 교신저자, 한국과학기술정보연구원 첨단연구망서비스실 (shkim@kisti.re.kr)

주소: 305-806 대전광역시 유성구 대학로 245

냉각용으로 활용되지만 효율이 낮은 단점이 있다. 또한 축류 팬의 소형화 경향에 따라 작은 직경의 팬으로도 충분한 풍량을 얻기 위해 회전속도를 증가시키면서 동시에 소음이 증가하는 문제점이 발생하고 있다⁽⁴⁾. 시로코 팬은 기체의 유동이 원심 방향으로 방사되는 방식을 사용하며 효율과 압력이 높아 주로 송풍이나 환기용으로 널리 활용되는 팬의 형태이다.

팬을 개발하는 과정에서 실제 목업이나 프로토타입(prototype)을 제작한 후 바람을 불어주는 풍동(wind tunnel), 무향실이 있는 무향 풍동(acoustic wind tunnel) 혹은 무향 팬 테스터(acoustic fan tester)라는 고가의 실험 장치를 이용하는 방법(experimental study)이 활용되고 있다. 이러한 개발 방법은 많은 시간과 전문지식을 필요로 하기 때문에 시간과 비용적인 면에서 매우 비효율적이다. 이를 해결하기 위해 최근에는 컴퓨터를 이용한 수치해석을 통해 설계된 팬의 성능확인 등을 수행하는 CAE가 널리 활용되고 있다. 80년대 중반 대기업을 중심으로 시작된 CAE는 90년대 말 자동차 1차 벤더로 확산되었으며 2005년 이후부터는 매출 1,000억원 미만의 업체까지 활용되고 있다. 최근에 CAE 시장은 매년 20% 이상 확장되고 있으나⁽⁵⁾, CFD(Computational Fluid Dynamics)에 대한 전문적인 지식을 요구하기 때문에 자본과 기술력이 약한 국내 중소기업에서는 외국 도면을 모방하여 제작하는 수준에 머물고 있다. 또한 에어포일(airfoil)의 형태, 스위프(sweep)의 종류와 각도, 블레이드(blade)의 개수 등에 따라 다양한 형태와 성능의 팬을 설계할 수 있는데, 이러한 팬의 형태나 요구되는 성능의 정확도 등에 따라 수치해석에 소요되는 시간이 최대 일주일 이상 소요되는 단점이 있다.

수치해석 방법을 이용해서 팬을 개발하기 위해서는 팬 설계자와 CFD 엔지니어가 반복적인 설계-수치해석-검토 작업을 거쳐야 한다. 이러한 저효율-고비용의 개발 프로세스를 개선하기 위해서는 팬 설계자가 CFD 엔지니어의 도움 없이도 팬을 설계하고 성능을 분석할 수 있어야 한다. 즉, CFD에 대한 지식이 없는 팬 설계자가 자동화된 수치해석 툴을 이용하여 쉽고 빠르게 설계된 팬의 성능을 확인하고 개선할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 팬 형상 자동 생성, CAD 파일의 자동 수정(repair), 자동 격자생성(mesh generation), 슈퍼컴퓨터를 이용한 자동 수치해석(solving), 해석결과와 자동 후처리(post processing) 등의 기술이 요구된다.

기존에 팬 설계를 위한 3차원 모델링의 자동화⁽⁴⁾, CFD를 활용한 특정 제품이나 기술의 최적화를 위한 유동해석에 대한 연구^(6,7)는 많이 시도 되었으나, 설계 이후에 슈퍼컴퓨터를 활용하여 유동해석을 자동화한 사례는 거의 없다. 슈퍼컴퓨터는 일반 PC에 비해 월등한 계산능력을 보유하고 있으며, 이를 활용하면 보다 신속하게 다양한 형상의 팬에 대한 수치해석을 수행할 수 있는 장점이 있다.

데이터마이닝은 대량의 기록 데이터를 분석하고 분류하여 의미 있는 패턴과 관계를 발견하는 프로세스이다⁽⁸⁾. 팬 시뮬레이터는 미리 저장되어 있는 팬의 형상 변수와 성능 데이터를 활용하여 사용자가 설계한 팬의 성능을 예측하는 기능을 제공한다. 이를 위해 데이터베이스와 출력변수 예측에 적합한 다중 선형 회귀분석(multiple linear regression model analysis)⁽⁹⁾과 신경망 모델 기법⁽¹⁰⁾을 사용한다. 이를 통해 팬 개발시간과 비용을 크게 단축하고, 복잡한 수치해석과정을 제거하여 비 숙련자도 사용할 수 있는 유연한 사용 환경을 구축한다. 즉, 팬 설계 초기 단계인 개념적 설계(conceptual design)를 위해 팬 형태에 따른 성능 경향을 미리 확인할 수 있는 것이다. 본 논문에서는 수치해석 자동화 사례에 대해 알아보고, 팬 시뮬레이터를 개발하기 위한 형상설계, 수치해석, 리포팅 등의 자동화 기술, 시스템 설계 및 개발, 구현 결과 등에 대해 기술한다.

2. 관련 연구

저비용-고효율의 제품 설계 및 개발 방법에 대한 필요성이 증가하면서 고성능 컴퓨터를 활용한 수치해석을 통해 제품을 개발하는 방법이 보편화되고 있다. 또한 상업용 소프트웨어의 발전과 쉽고 편리한 활용 환경에 대한 사용자 요구 증가로 인해 자동화된 수치해석 시스템의 개발이 가속화 되고 있다. 본 장에서는 수치해석 자동화 프로세스와 수치해석 자동화 서비스 사례에 대해 기술한다.

2.1 수치해석 자동화 프로세스

기존의 팬 개발 프로세스는 Fig. 1과 같이 먼저 팬 설계자가 팬의 형상을 모델링한 후, CFD 전문가에게 성능평가를 위한 수치해석을 의뢰하는 과정이 필요하다. 그 후 해석 결과를 검토하여 목표에 도달하지 못하였을 경우에는 형상을 변경하고 또 다시 수치해석을 수행하는 과정을 반복하게 된다. 이러한 방법은 시간과 비용 측면에서 비효율적이며, 이를 개선하기 위해서

Fig. 1 Existing Process for Fan Development

는 정확한 성능 예측과 더불어 개발 기간 단축이 가능한 전문가의 경험과 지식에 기반 한 자동화 프로세스가 요구된다. 이를 위해서는 다음과 같은 4가지 해석 단계가 자동화되어야 한다.

- CAD(*.stl) 파일 생성 : 블레이드의 수, 직경 등 팬 형상 설계에 필요한 정보를 사용자로부터 입력받아 3차원 CAD 파일을 자동으로 생성
- 전처리(pre-processing) : CAD 파일 수정, 격자 생성 등 수행
- 수치해석(solving) : 슈퍼컴퓨터 및 솔버를 이용한 수치 해석
- 후처리(post-processing) : 수치해석 결과 데이터를 이용한 결과 리포트 생성

2.2 사례: WeldPredictor

특정 제품이나 기술에 대한 수치해석을 자동화한 대표적인 사례는 미국 OSC(Ohio Supercomputer Center)와 EWI(Edison Welding Institute)가 OSC의 슈퍼컴퓨터를 활용하여 공동으로 개발한 WeldPredictor이다⁽¹¹⁾. WeldPredictor는 자동차, 항공기, 선박 등의 개발 시 두 개의 파트를 접합하기 위해 활용되는 용접 기술을 웹 기반 수치해석이 가능하도록 구현한 어플리케이션이다. 사용자는 Fig. 2와 같이 웹 인터페이스를 통해 자신이 원하는 용접 대상(파이프, 플레이트, T-파이프, T-플레이트), 비드(bead)의 모양과 위치, 용접 물질 등을 선택하여 수치해석을 수행할 수 있다. 해석이 종료되면, 용접 부분의 열 분포, 미세구조, 스트레스, 왜곡 등의 결과를 PDF 형태의 리포트를 통해 확인할 수 있다.

2.3 기타 사례

한국생산기술연구원이 개발한 ‘Cyber Engineer U24’는 웹 기반의 구조해석 시스템으로 수치해석은 원격지의 고성능 컴퓨터에 의해 수행되지만, 전처리와 후처리는 사용자 PC에 설치한 별도의 클라이언트 프로그램에 의해 수행된다. 수치해석이 완료된 파일들은 데이터베이스에 저장되어 또 다른 사용자의 유사 형상에 대한 수치해석을 위해 참고자료로 활용될 수

있도록 검색 서비스가 제공된다. 현대자동차는 프레임워크 기반 해석 자동화 시스템을 구축하여 자동차의 엔진룸 냉각, 카울(cowl) 현상, 연료 탱크 슬로싱(sloshing) 등의 수치해석에 활용하고 있다. 자체 보고서에 의하면 기존 일반 수치해석 대비 자동화를 통해 시간 및 비용을 약 83% 정도 절감한 것으로 나타난다. 그 밖에 프랑스의 FLUEREM사에서 개발한 ‘Turb’Opty’는 한번의 CFD 계산 결과와 사용자가 입력한 설계 변수 및 수치해석 조건들을 이용하여 성능을 예측하는 최적화 기능을 제공한다.

3. 슈퍼컴퓨터 활용 팬 수치해석 자동화

팬 시뮬레이터의 개념도는 Fig. 3과 같으며, 고성능 슈퍼컴퓨터를 직접 이용하여 팬의 성능을 정확하게 계산하는 수치해석 방법과, 별도의 수치해석 없이 다중회기분석과 신경망분석 함수를 이용하여 빠른 시간 내에 팬의 성능 경향을 파악하기 위한 데이터마이닝 이용 방법을 개발하였다. 이때 수치해석의 결과는 데이터베이스에 저장되며, 데이터마이닝 방식의 성능 정확

Fig. 3 Conceptual Diagram of Fan Simulator

Table 1 Introduction to Fan Simulator Program

Program Module	Programming Language or Software
Program Title	FanSim
OS of Front-end Server	Window Server 2008
Job Management	Visual C++ 2010
Automation Script	Visual Basic 6.0
CAD Repair	CADThru v.5
Pre-Processing	SC/Tetra-Pre v.9.0
Solving	SC/Tetra-Solver v.9.0
Post-Processing	Sc/Tetra-Post v.9.0
DBMS	MS-SQL
Web	JSP
Job Script for Solving	Sun Grid Engine Script

Fig. 2 WeldPredictor

도를 높이기 위한 데이터로 활용된다. 팬 시뮬레이터 프로그램을 구성하는 모듈과 해당 모듈 개발을 위해 활용된 프로그래밍 언어와 소프트웨어에 대한 소개는 Table 1과 같다. 범용 열유체 소프트웨어인 SC/Tetra에서 제공하는 API(Application Program Interface)를 활용하여 자동화 스크립트를 개발하기 위해 Visual Basic 6.0을 사용했다. 또한 SUN사의 슈퍼컴퓨터인 Tachyon2에서 수치해석을 수행하기 위해 잡 스크립트로 SGE(Sun Grid Engine) 스크립트를 사용하였다.

3.1 팬 형상 자동 설계

팬 형상 자동 설계는 사용자로부터 입력받은 형상 변수를 활용하여 팬의 형상을 자동으로 생성하는 과정이다. 기존의 팬 설계 과정은 형상 변수에 따라 엔지니어가 수작업으로 CAD 파일을 생성하는 방식으로, 팬의 형상 변화에 따라 시간과 비용이 기하급수적으로 증가하는 단순 반복 작업이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 팬 형상 자동 설계 기능은 주요 형상 변수만을 이용하여 팬 설계가 가능하도록 모듈 형태로 구현되었다. 또한 CAD 파일로 직접 팬 형상을 출력 가능하고, 뷰어를 통해 형상 변화 및 형상 변수의 영향을 바로 확인 할 수 있도록 하여 최적 설계에 적합하도록 구성하였다.

팬 관련 전문가 그룹 대상을 대상으로 설문조사를 실시하여 Table 2, Table 3과 같은 축류 팬 및 시로코 팬 설계를 위한 형상 변수를 도출하였다. 또한 Fig. 4 및 Fig. 5와 같이 형상 변수에 대한 시각적 이미지를 제공하여 일반 사용자가 보다 직관적으로 팬을 설계할 수 있도록 하였다.

축류 팬 형상 설계는 입력된 형상 변수에 따라 날개의 반경

방향으로 허브에서부터 2차원 모델링을 수행한 후 3차원 모델로 변환하는 방식을 사용한다. 2차원 모델링은 Fig. 6과 같이 7개의 연속적인 함수에 의해 팬 형상을 생성하도록 구현되었으며, 팬의 반경 방향으로 진행하면서 만들어진 2차원 깃 형상을 원통 좌표계로 변환하여 3차원 모델을 생성한다. 그 후 만들어진 하나의 깃을 동일한 간격으로 회전시켜 팬 형상을 완성한다.

시로코 팬의 경우에는 Fig. 7과 같이 팬 부분과 스크롤(scroll) 부분의 설계를 위해 플로우 각도(flow angle), 두께(thickness), 높이(height), 스크롤의 4개의 모듈을 통해 3D 형상 설계를 수행한다. 플로우 각도의 경우 다양한 시로코 팬 형상을 설계할 수 있도록 하기 위해 이중원호 방식을 채택하여 챔버 라인을

Fig. 4 Design Parameters of an Axial Fan

Fig. 5 Design Parameters of a Sirocco Fan

Table 2 Design Parameters of an Axial Fan

Shape Parameters	Gaps	Adv. Parameters
Hub radius	Hub gap	Hub angle
Tip radius	Mid gap	Point of inflection
Number of blade	Nose gap	Type of airfoil
Pitch angle of hub side	Tip gap	
Pitch angle of Tip side	Rgm	
Sweep angle	Rgn	
Max camber position		

Table 3 Design Parameters of a Sirocco Fan

Parameters for Fan	Parameters for Fan Guide
Outer diameter (Do)	Dinlet ratio (Dinlet/Do)
Height (H)	Cut-off distance ratio (Cd/Do)
Inner diameter ratio (Di/Do)	Cut-off radius (Cr/Do)
Inlet angle (β1)	Diffuser angle (δ)
Outlet angle (β2)	Installation angle (θ)
Max camber position (F)	Expansion rate (n)
Max camber ratio (CH/CL)	
Solidity (α)	

Fig. 6 Flow Chart for 3D Shape Generation of an Axial Fan

Fig. 7 Flow Chart for 3D Shape Generation of an Axial Fan

생성하고, 두께의 경우 축류 팬 모듈과 동일한 방식을 사용한다. 또한 블레이드 형상에 높이를 부여하여 3차원 형상을 생성하며, 로그 함수(logarithmic function)를 이용하여 스크롤 형상을 생성한다.

3.2 전처리(pre-processing) 자동화

CAD 파일을 이용하여 수치해석을 수행하기 위해서는 CAD 모델 변환, 해석용 모델 구성, 해석 격자생성의 추가적인 과정이 필요하다. CAD 모델 변환 단계에서는 CAD 파일에 오류가 있는지 검사 및 수정을 하고, 해석 영역을 설정한 후, 격자생성 및 수치해석을 위해 필요한 “.mdl” 포맷으로 변환한다. 그 후 해석 영역의 표면 격자(surface mesh)를 생성하는데, 이 영역은 일종의 가상 팬 테스트로서 Fig. 8과 같이 실제 팬 직경의 5~10배 크기로 구성하며, 실제 실험장비와 유사하게 두 개의 챔버(chamber)를 추가하여, 그 중간에 팬을 삽입하는 형태이다. 수치해석에서 가장 시간과 노력이 많이 필요한 과정은 격자

Fig. 8 Virtual Fan Tester

Fig. 9 Octree Distribution Around a Fan

User Info Logout	
Design	Pre-process
Base Octree Size	
Inner (Fan)	0.07
Outer (Domain)	0.07
Prism Thickness	
Inner (Fan)	0.002
Outer (Shroud)	0.002
No. of layer	
Inner (Fan)	2
Outer (Domain)	2

Fig. 10 Parameters for Mesh Generation of a Sirocco Fan

를 생성하는 과정이다. 격자의 생성 방법에 따라 수치해석 결과의 정확도가 달라지기 때문에 해당 제품과 CFD에 대한 전문적인 지식이 필요하다. 예를 들어, 팬의 허브보다는 유량의 영향을 많이 받는 블레이드의 격자를 조밀하게 생성하는 것이다. 팬 시뮬레이터 개발을 위해 다양한 팬 형상에 대해 격자를 생성하고 이를 바탕으로 최적의 조건을 확보했다. 이때 벽면에서의 격자를 얼마나 조밀하게 생성하는가를 결정하기 위해, 블레이드, 허브 등의 각각의 파트를 생성하고, 벽면(stationary wall)에 접한 격자의 노드가 $y^+ < 30$ 을 만족하도록 한다. 이때, y^+ 는 $(\text{마찰속도(friction velocity)} \times \text{근접 벽면까지의 거리}) / \text{동적점성도(kinematic viscosity)}$ 로 정의한다. 즉, 벽면에서의 유속을 고려하여 해당 영역의 격자 크기를 결정하는 것이다. 또한 일반 사용자뿐만 아니라 고급사용자를 위한 형상변수를 제공하여 더욱 정확성 있는 수치해석이 가능하도록 하였다. 일반적으로 격자는 테트라(tetra), 헥사(hexa), 프리즘(prism) 형태가 복합적으로 사용되며, 벽면에는 프리즘 격자, 큰 공간에는 헥사 격자 그리고 큰 공간과 벽면 사이의 공간에는 테트라 격자가 사용된다.

격자를 생성하기 위해 Fig. 9와 같이 사각형의 전체 영역으로 만들고, 그 중 팬에 해당하는 영역을 작은 사각형으로 만든다. 이 사각형 하나의 크기가 테트라 격자의 크기를 결정하는데, 팬의 앞면이나 뒷면 같이 형상적으로 중요한 부분은 사각형의 크기를 더욱 작게 만들어서 격자 크기를 작고 균일하게 생성하는 것이 중요하다.

Fig. 10은 설계자가 시로코 팬과 테스트의 기본 옥트리 크기를 설정할 수 있도록 제공되는 인터페이스이다. 이때 설계자가 기본 옥트리 크기만 설정하면 나머지 옥트리는 자동으로 생성된다.

3.3 슈퍼컴퓨터 활용 수치해석 자동화

팬 형상 설계와 전처리 과정이 완료되면, 수치해석에 필요한 모델이 완성된다. 이 모델을 활용하여 수치해석을 수행하기 위해서는 Fig. 11과 같이 수치해석에 필요한 경계조건을 설정해야 한다. 이때 수렴 조건 등에 대한 기본(default) 값들은 물리적 실험의 결과와 가장 유사한 결과가 도출되는 최적의 값으로

Fig. 11 Boundary Conditions for Solving

설정되어 있어, 일반 사용자는 팬 입구의 유량, 팬의 회전속도 (RPM), 한 사이클 당 시간(dt)에 대한 값만 설정하면 된다. 각 조건의 의미와 입력 방법은 아래와 같다.

- ① RPM : 팬의 회전 속도(1분당 회전 수)
- ② Convergence : 수렴 조건(초기 값 활용 권장)
- ③ Turbulence model : 수치해석에 활용되는 난류 모델(MP k-ε 등 총 9가지 모델 제공)
- ④ Time Dependent : 수치해석 문제의 종류 선택(Steady 또는 Unsteady)
- ⑤ Cycle : 총 수치해석 사이클
- ⑥ dt : 한 사이클 당 시간
- ⑦ IAUDT : 1 사이클과 2 사이클 사이의 시간 간격으로 충분히 작은 값으로 설정
- ⑧ Courant No. : dt를 알지 못하는 경우에 사이클 간 시간 간격을 계산하기 위한 변수
- ⑨ File Save : 수치해석 중간에 후처리를 위한 'FLD' 파일과 오류 발생 시 재시작을 위한 'R' 파일의 저장 사이클 설정
- ⑩ Inlet Condition : 수치해석을 위해 필요한 유량

위와 같은 경계조건은 'S' 파일에 저장되며, 수치해석을 위해 전처리 과정에서 생성된 수치해석 모델 파일과 함께 KISTI 슈퍼컴퓨터인 Tachyon2(약 25,000개의 CPU를 가진 이론 성능 300TF 급의 슈퍼컴퓨터)로 FTP를 이용하여 전송된다. 이때 큐(queue)에 수치해석 작업(job)을 제출하기 위한 스크립트가 자동으로 생성되며, CFD 상용 소프트웨어인 SC/Tetra ver.9를 이용하여 수치해석이 수행된다.

3.4 후처리(post-processing) 자동화

수치해석 종료 후 CFD 코드에서 사용하는 'Status' 파일을

Fig. 12 Result Report (Axial Fan)

이용하여 이미지를 포함하는 리포트를 자동으로 생성한다. 'Status' 파일은 압력장(pressure field), 속도장(velocity field), 팬의 전후면 압력 등의 수치해석 결과를 텍스트 형태로 저장한 파일로서, 이를 활용하여 Fig. 12와 같은 리포트를 생성할 수 있다. 팬 설계자는 이러한 결과를 활용하여 설계된 팬의 성능을 분석하여 보다 향상된 성능의 팬을 설계를 할 수 있다.

4. 데이터마이닝을 이용한 팬 성능 및 소음 예측

팬 시뮬레이터는 슈퍼컴퓨터를 활용하는 수치해석 없이도 데이터마이닝 기법을 이용하여 사용자가 설계한 팬의 성능과 소음을 예측하는 기능을 제공한다. 즉, 미리 계산되어 저장되어 있는 팬의 형상 변수와 성능 결과 데이터를 활용하여 사용자가 설계한 팬의 성능 및 소음을 예측한다. 이를 위해 출력변수 예측에 적합한 다중 선형 회귀분석과 신경망 모델 기법을 활용한다.

4.1 슈퍼컴퓨터를 이용한 형상별 해석 및 데이터베이스 구성

팬에 대한 수치해석은 계산시간이 많이 소요되므로, 성능 예측에 필요한 다양한 케이스에 대한 수치해석 데이터 확보를 위해 팬 시뮬레이터가 탑재될 클러스터 시스템인 Tachyon2가 아닌 또 다른 슈퍼컴퓨터인 GAIA(IBMp595)를 활용하였다. 수치해석은 총 25개의 모델에 대해 성능 변화에 대해 5 케이스, RPM에 대해서 4 케이스씩 총 500 케이스에 대해 수행되었다. 수치해석 과정은 설계, 모델변환, 격자생성, 해석, 리포트 생성의 순서로 이루어진다. 그 후 해석결과 데이터를 이용하여 형상 변수 변화에 따른 성능 변화 데이터베이스를 구성하고, 이를 회귀분석 및 신경망 알고리즘을 이용하여 팬 성능 및 소음을 예측한다.

4.2 팬 성능 및 소음 예측

데이터마이닝 기법을 이용하여 사용자가 설계한 팬에 대한 성능 예측을 위해 다음과 같은 과정이 필요하다.

- ① 파일 입력 : ‘CSV’ 파일로 저장된 데이터 파일을 데이터 마이닝 프로그램에 입력한다.
- ② 다중 회귀분석 : 회귀분석을 수행하여 일차 다항 함수 형태의 회귀식을 도출하며, 이를 이용하여 데이터베이스에 대한 중상관계수 R, 결정계수 R², 조정결정계수 R*를 계산하고 팬의 성능과 소음을 예측한다.
- ③ 신경망 분석 : 신경망 분석을 수행하여 신경망 모델을 획득하게 되는데, 이때 설정된 최대 반복훈련 횟수를 조정하여 신경망 모델의 학습 정도를 결정할 수 있다. 반복 훈련 횟수가 높을수록 정확도가 높아지지만 많은 시간이 소요되는 문제점이 있다. 팬 성능 및 소음 예측 실험 결과 5000회 정도에서 충분히 학습하는 것으로 판단되며, 신경망 분석 모식도는 Fig. 13과 같다.

4.3 성능 및 소음 예측 결과

사용자가 입력한 팬의 형상변수와 RPM 값을 이용하여 성능 및 소음을 예측하게 된다. Fig. 14와 Fig. 15는 각각 축류 팬과 시로코 팬의 성능 예측의 입력 데이터와 결과 값을 보여준다. 예측된 성능 및 소음 결과는 실제 팬 설계를 위한 전 단계인 개념 설계를 위해 충분히 활용 가능한 수준으로 판단된다.

Fig. 13 Diagram for Neural Network Analysis

- Input data							
Variable	Pitch angle of tip side	Camber ratio	Solidity	Sweep angle	Maximum camber position	Number of blade	Tip diameter
Input	30.0	0.023172	0.807409	10.0	65.0	5.0	120.0
<button>Execute</button>							
- Output results							
Multiple linear regression model				Neural network model			
Flow rate				Flow rate			
0.307723				0.303347			
Noise				Noise			
21.146962				20.97627			

Fig. 14 Performance Prediction Using Datamining (Axial Fan)

- Input data							
Variable	Do	Dr	B1	B2	F	Sigma	
Input	265.0	0.8	70.0	30.0	0.5	1.38	
Variable	Dinlet	Dualring	Cd	Cr	Theta	n	
Input	1.085	1.0	0.06	0.1	10.0	0.07	
<button>Execute</button>							
- Output results							
Multiple linear regression model				Neural network model			
Flow rate				Flow rate			
4.326340682029738				4.345383096476375			
Noise				Noise			
45.839651936427686				46.42957534910083			

Fig. 15 Performance Prediction Using Datamining (Sirocco Fan)

5. 팬 시뮬레이터 웹 포털

팬 시뮬레이터는 Fig. 16과 같이 사용자 편의성을 위해 스트럿츠(Struts) 프레임워크를 사용하여 웹 포털 형태로 구현되었다. 팬 시뮬레이터는 클라이언트, 서버, 슈퍼컴퓨터로 구성되어 있으며, Fig. 17과 같이 클라이언트는 사용자가 입력한 팬 형상 정보와 수치해석을 위한 경계조건을 서버로 전송하며, 서버는

Fig. 16 Web Portal for Fan Simulator

Fig. 17 Functional Diagram of Fan Simulator

Fig. 18 Fan Shape for Performance Evaluation

Table 4 Result Comparison Between Experiment and Fan Simulator

Axial Fan				
Experiment		Fan Simulator		Difference in P (%)
Q	P	Q	P	
0.362	19.13	0.36	18.24	5.5
0.757	14.03	0.75	15.28	8.1
1.052	5.3	1.05	5.84	9.2

Sirocco Fan				
Experiment		Fan Simulator		Difference in P (%)
Q	P	Q	P	
5.3	11.15	5.3	12.53	11.0
6.9	9.67	6.9	11.15	13.2
8.4	4.23	8.4	5.37	21.2

이를 받아 CAD 변환, CAD 모델링, 격자생성을 수행하여 슈퍼컴퓨터에 수치해석 요청을 전달한다. 수치해석이 완료되면 서버는 슈퍼컴퓨터로부터 해석결과를 받아 후처리를 수행하며, 사용자 작업 요청 내용, 수치해석 과정 및 결과를 데이터베이스에 저장한다.

팬 시뮬레이터가 계산한 수치해석 결과의 신뢰성을 검증하기 위해 물리적 실험결과와 비교·분석을 수행하였다. Fig. 18의 (a), (b)는 실험결과와 팬 시뮬레이터의 결과를 비교하기 위해 채택된 각각 직경 100mm, 높이 29.7mm의 축류 팬과 직경 230mm, 높이 50mm의 시로코 팬 형상이다. 입력된 유량(Q, CMM) 대비 출력 압력(P, mmAq)을 측정하였으며, Table 4의 결과가 도출되었다. 물리적 실험은 해당 크기의 팬 목업을 제작한 후 무향풍동테스트를 실시하여 결과 값을 측정하였다.

축류 팬의 경우에는 오차율이 5.5~9.2% 정도로 10% 이하의 오차율이 나타났으며, 시로코 팬의 경우에는 11.0~21.2%로 축류 팬의 경우보다 다소 오차가 큰 것으로 나타났다. Fig. 19에서 알 수 있듯이 오차가 어느 정도는 존재하지만 동일한 경향성을 보이는 것으로 나타나 팬 시뮬레이터의 수치해석 결과가 성능 경향성이 중요한 팬 설계를 위해 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

(a) Axial Fan

(b) Sirocco Fan

Fig. 19 Performance Tendency

6. 결론

본 논문에서는 산업계에서 널리 활용되는 기계 부품 중 하나인 팬의 유체해석을 편리하고 효율적으로 수행할 수 있는 팬 시뮬레이터의 개발과 그 결과에 대해 기술하였다. 냉각용으로 많이 활용되는 축류 팬과 송풍이나 환기용으로 활용되는 시로코 팬을 대상으로 하며, 웹 포털 형태로 구현되어 CFD에 대한 지식이 없는 팬 설계자도 쉽고 빠르게 팬의 성능을 확인할 수 있는 장점이 있다. 팬 시뮬레이터는 팬 형상 설계, 전처리, 수치해석, 후처리의 전 과정을 자동화하였다. 팬 형상 설계를 자동화하기 위해 축류 팬과 시로코 팬의 주요 형상변수를 도출하였으며, 2차원 깃 형상을 원통 좌표계로 변환하여 3차원 모델을 생성하는 방식을 사용하였다. 팬 시뮬레이터는 클라이언트, 서버, 슈퍼컴퓨터로 구성되어 있으며, 수치해석을 위해 범용 열유체 해석 소프트웨어인 SC/Tetra를 활용한다. 이때 사용자로부터 입력받은 해석조건을 이용하여 슈퍼컴퓨터에서 수치해석을 수행하기 위한 잡 스크립트를 자동으로 생성한다. 수치해석 결과는 후처리의 과정을 통해 이미지를 포함하는 웹문서 및 엑셀 파일 형태로 자동 생성된다. 신뢰성 검증을 위해 실험에 의해 도출된 성능 값과 팬 시뮬레이터로 계산된 성능 값을 비교하였으며, 동일한 경향성을 보이는 것으로 나타나 수치해석 결과가 신뢰할 만한 수준의 성능예측을 수행하는 것으로 판단된다. 또한, 주요 설계 형상 변경에 따른 팬의 성능 및 소음을 데이터마이닝 기법을 이용하여 별도의 수치해석 없이 신속하게 예측할 수 있는 기능을 개발하였다. 기 구축된 팬 형상 및 성능 데이터베이스

스를 이용하여 다중회귀분석과 신경망 분석 기법을 이용하여 팬의 성능 및 소음을 예측한다. 본 논문은 기계공학 분야에서 주로 활용되는 열유체 분야 수치해석을 웹, 데이터베이스, 데이터마이닝 등 IT 기술을 접목하여 자동화 했다는 점에서 의의가 있다. 향후 팬 시뮬레이터의 정확도를 향상시키고, 팬의 소음에 대한 수치해석 기능과 사용자 CAD파일 활용 등의 기능을 추가 개발할 예정이다.

References

- (1) Sohn, S. W., 2009, "IT Convergence Paradigm," *Korean Engineering Education*, Vol. 16, No. 1, pp. 52~54.
- (2) Kang, J. Y., and Kang, M. C., 2009, "The Promotion Strategy of the Convergence Industry by using IT Utilization," *The Korean Journal of Information Systems*, Vol. 18, No. 1, pp. 47~76.
- (3) Bleier, F. P., 1997, *FAN HANDBOOK*, McGrawHill, USA.
- (4) Shigemitsu, T., Fukutomi, J, and Okabe, Y, 2010, "Performance and Flow Condition of Small-sized Axial Fan and Adoption of Contra-rotating Rotors," *National journal of thermal and fluid sciences*, Vol. 19, No. 1, pp. 1~6.
- (5) Yoon Jung Kim, 2007, "Growth of the CAE Market," *CAD & Graphics*, Vol. 17, No. 2, pp. 86~93.
- (6) Yi, C. S., Jeong, G. J., Yun, J. H., Suh, J. S., and Lee, T. E., 2011, "A Study on the Flow and Power Characteristics of Rotor in the APU," *Korean Journal of Manufacturing Engineering and Technology*, Vol. 20, No. 6, pp. 805~810.
- (7) Park, S. J., and Lee, Y. L., 2011, "Optimal Flow Design of High-Efficiency, Cold-Flow, and Large-size Heat Pump Dryer," *Korean Journal of Manufacturing Engineering and Technology*, Vol. 20, No. 5, pp. 547~552.
- (8) Apte, C., 1997, "Data Mining: An Industrial Research Perspective," *Computational Science & Engineering*, Vol. 4, No. 2, pp. 6~9.
- (9) Lin, Z. C., and Wu, W. J., 1999, "Multiple Linear Regression Analysis of the Overlay Accuracy Model," *Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 12, No. 2, pp. 229~237.
- (10) Jackel, L. D., Howard, R. E., Graf, H. P., Straughn, B., and Denker, J. S., 1986, "Artificial Neural Networks for Computing," *Journal of Vacuum Science & Technology*, Vol. 4, No. 1, pp. 61~63.
- (11) Yang, Y. P., Zhang, W., and Gan, W., 2008, "Online Software Tool for Predicting Weld Residual Stress and Distortion," *ASME Conference Proceedings*, Vol. 6, pp. 279~288.