



THEME 05

유동 구조 연성해석 소개

이태문 | (주)태성, 차장 | e-mail : tmlee@tsne.co.kr

ANSYS 사는 설립 초창기부터 Multiphysics에 많은 관심을 갖고 연구를 거듭하여 많은 연성해석을 수행할 수 있는 기술을 확보하고 있다. 이 글에서는 그 중 많은 엔지니어들이 관심을 갖고 있는 유동 구조 연성해석을 유한요소 프로그램의 발달과 사례를 중심으로 소개하고자 한다.

유한요소해석 이론은 이미 100여 년 전에 이론적으로 정립이 되었다. 이러한 유한요소해석을 실제 공학적인 문제에 적용하여 Simulation을 수행하게 된 계기는 개인용 PC의 발달에 있다. 범용유한요소해석 프로그램은 여러 항공 관련 회사에서 in-house code라고 불리는 프로그램을 개발하여 다른 회사에 빌려주거나 판매하면서 상용화되기 시작하였다. 역사적으로 의미 있는 유한요소해석 프로그램은 1960년대 초반 MSC(Macneal-Schwendler Corporation)라고 불리는 미국의 항공회사에서 범용유한요소해석 코드를 개발하는 프로젝트를 미 항공우주국(NASA)으로부터 의뢰를 받아 NASTRAN(NASA Structural Analysis)이라고 불리는 프로그램을 개발하였다. 이 때 만들어진 NASTRAN코드는 68,000개의 자유도 문제를 풀 수 있었다. NASA와의 프로젝트를 마친 후에 MSC는 NASTRAN코드를 수정하여 오늘날 수 많은 유한요소해석 프로그램의 기본이 되는 MSC/NASTRAN이라는 프로그램으로 발전시켰다.

1960년대부터는 유한요소법 관련연구가 활발히 진행되었고, 1965년부터 비선형 유한요소법에 대한 논문들이 쏟아져 나왔다. 이 때 Brown 대학교 교수인 Pedro Marcal은 1969년에 비선형 유한요소 프로그램

을 개발하기 위해 MARC를 설립하였다. 현재 MARC는 MSC에서 인수하였고, Mentat이라는 Flexible free, postprocessor와 함께 고성능 유한요소해석 프로그램을 개발하고 있다. 비슷한 시기에 Westinghouse에서 핵을 연구하는 John swanson 박사도 비선형 유한요소해석 프로그램을 개발하고 있었다. John Swanson 박사도 1969년에 ANSYS라는 유한요소를 이용한 해석 프로그램을 개발하기 위해 회사를 설립하였지만, 그 당시 ANSYS는 완벽한 비선형문제를 해석하기 위한 Solver의 개발보다는 다양한 비선형 재료에 초점을 맞추어 개발되었다. 또 1972년까지 Pedro Marcal과 같이 일하던 Davis Hibbitt은 1978년 HKS라는 회사를 설립하고 ABAQUS를 개발하였다. ABAQUS는 사용자가 요소와 재료 모델을 추가할 수 있는 User Subroutine에 대한 기능을 가진 최초의 유한요소해석 프로그램이었기 때문에 신선한 충격을 가져왔다. 현재 프로그램의

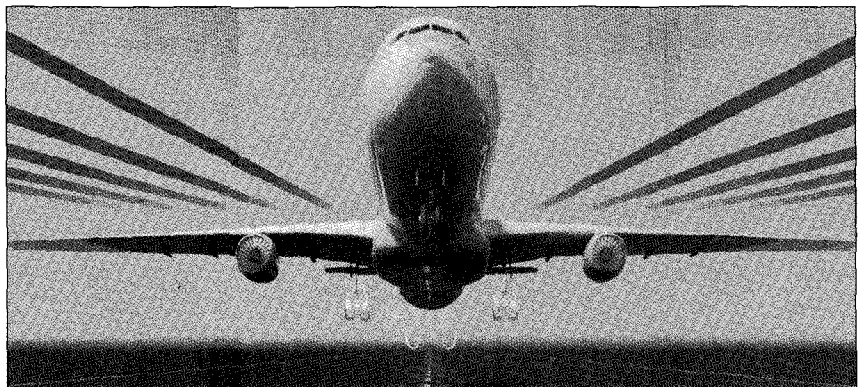


그림 1 항공기의 유동

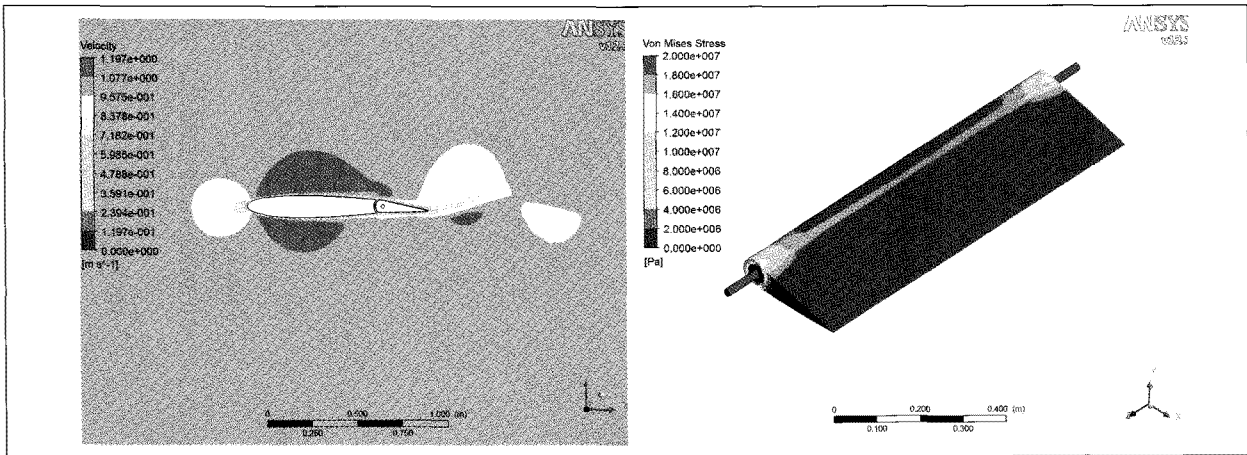


그림 2 Aileron의 진동에 의한 유동 및 구조물의 영향분석

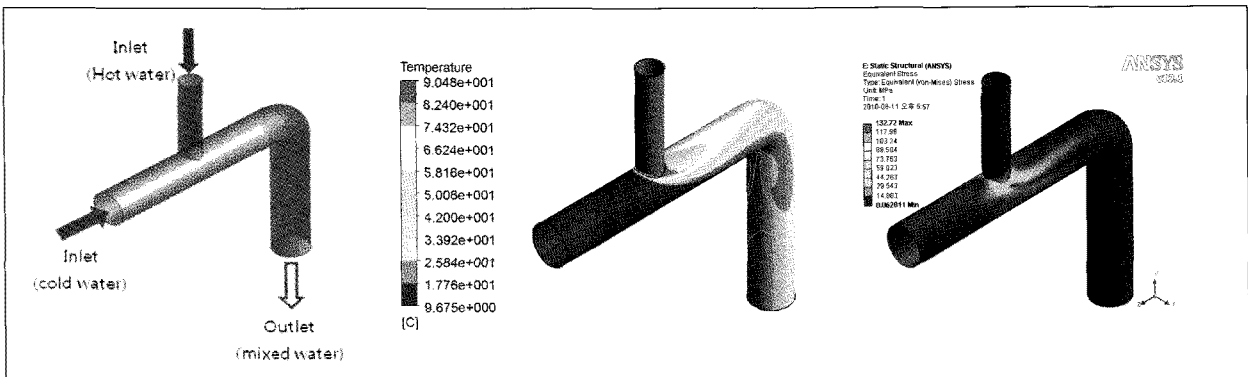


그림 3 T-junction pipe의 열-구조연성해석

전처리, 해석 Solver, 후처리의 기능들은 어느 정도 표준화가 이루어지게 되었고, Multiphysics 분야의 연구가 활발히 진행되어 여러 물리계들의 통합해석이 가능해지게 되었다. 그 중 창업 초기부터 ANSYS 사에서 관심을 갖고 연구하였던 Multiphysics 중 FSI (Fluid Structure Interaction)에 대하여 해석사례를 통하여 기술하고자 한다.

FSI는 유동(공기의 흐름 포함)으로 인한 구조물에 미치는 영향을 해석하고자 할 때 사용하는 Multiphysics이다. 예를 들어 항공기의 날개를 생각한다면, 항공기가 비행 중 날개에는 유동에 의한 압력 혹은 Force를 받게 되는데 이 때 유동에 의하여 발생한 압력을 비행기 날개에 적용하면 비행기 날개의 구조해석을 수행할 수 있게 된다. 이처럼 비행기 날개의 안전성을 확인하기 위하여 유동해석을 수행하고 유동해석을 통하여 구

한 값으로 구조해석을 수행하는 이러한 해석을 유동-구조연성해석이라고 한다. 또한 해석을 유동에서 구조로만 연계할 것이냐? 또는 유동과 구조를 상호연계하며 해석을 수행하느냐에 따라 1-way, 2-way로 구분된다. 다음 몇 가지 해석 사례를 통하여 FSI해석에 대하여 다루어 보겠다.

그림 2의 해석은 항공기 날개를 날개 길이(Span) 방향에 대하여 수직단면을 뜻하는 Airfoil의 윗면과 아랫면으로 흐르는 유체에 의해 양력과 항력이 발생하며 받음각과 Airfoil 형상에 따라 공력 특성이 달라진다. 이러한 조건으로 해석을 적용할 때 구조해석에서 Aileron의 변위를 유동해석에 전달하고, 변경된 Aileron 형상에 대하여 유동해석을 수행한 후 Aileron에 작용하는 힘을 다시 구조해석에 전달하는 방법으로 진행하였다. 이러한 과정을 2-way FSI과정으로 ANSYS

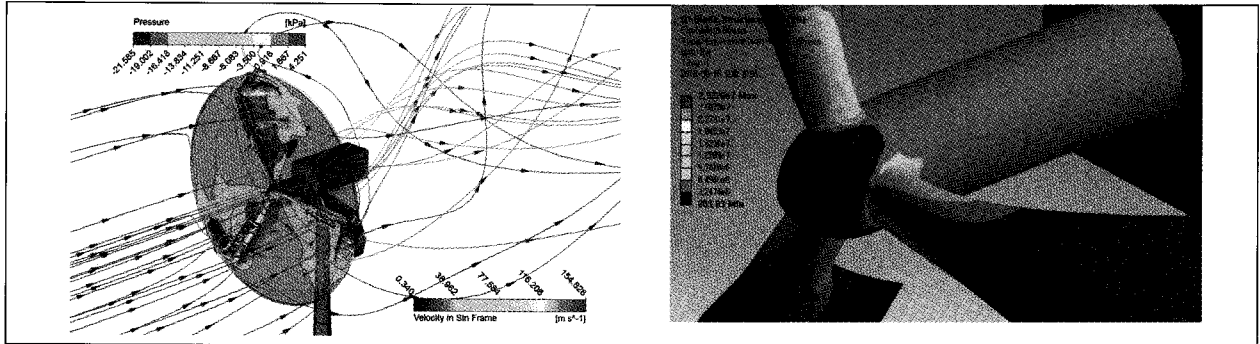


그림 4 Wind Turbine Blade의 유동-구조 연성해석

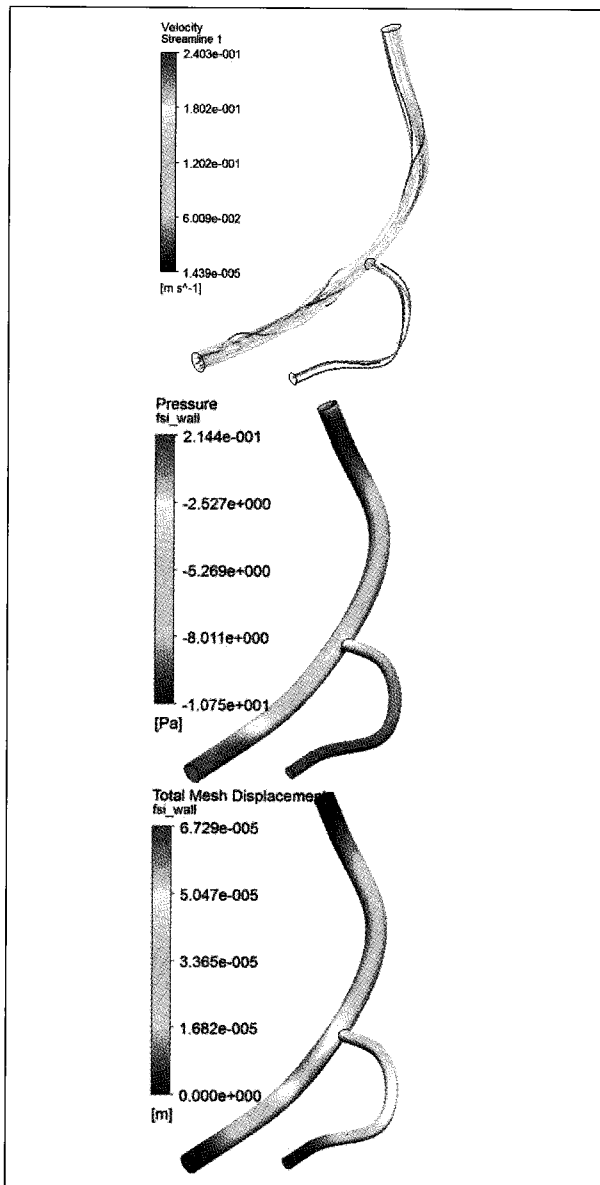


그림 5 혈관의 유동-구조해석

Multifield MFX Solver로 연동하여 해석을 수행한 결과이다.

T-Junction pipe는 서로 다른 특성(상이 다르거나, 온도 등이 다른)의 유체가 각각의 배관에서 유입되어 혼합된 뒤, 동일한 출구로 배출되는 일상생활에 많이 사용되는 파이프로서 위 해석을 FSI기법을 이용하여 파이프 내로 서로 다른 온도의 물이 유입이 될 때, Pipe 내에서 혼합된 유체에 의한 온도 분포 및 열 응력 분포를 확인하여 파이프의 구조적 결함이 없는지 예측한 해석이다.

풍력발전기에도 FSI해석을 적용할 수가 있다. 풍력 발전기에 대하여 간략히 설명하면, 공기의 유동이 가지는 운동 에너지의 공기역학적(Aerodynamic) 특성을 이용하여 회전자(rotor)를 회전시켜 기계적 에너지로 변환시키고, 이 기계적 에너지로 전기를 얻는 기술이다. 풍력 발전기는 지면에 대한 회전축의 방향에 따라 수직축 풍력 발전기(VAWT : Vertical-Axis Wind Turbine)와 수평축 풍력 발전기(HAWT : Horizontal-Axis Wind Turbine)로 분류된다. 현재 HAWT는 가장 안정적이며 고효율의 발전 시스템으로 인정받고 있다. 그 중에 그림 4와 같은 Type의 Upwind Type 3-Blade HAWT가 가장 널리 사용되고 있다. Wind Turbine Blade의 유동-구조 연성해석은 1-Way FSI해석을 수행하였고, 해석을 통하여 Wind Turbine의 회전에 의한 Wind Turbine이 받는 압력을 적용하여 풍력발전기 전체 구조물의 구조 강건성을 확인하였다.

요즘 FSI기법을 이용하여 활발한 연구가 진행되고

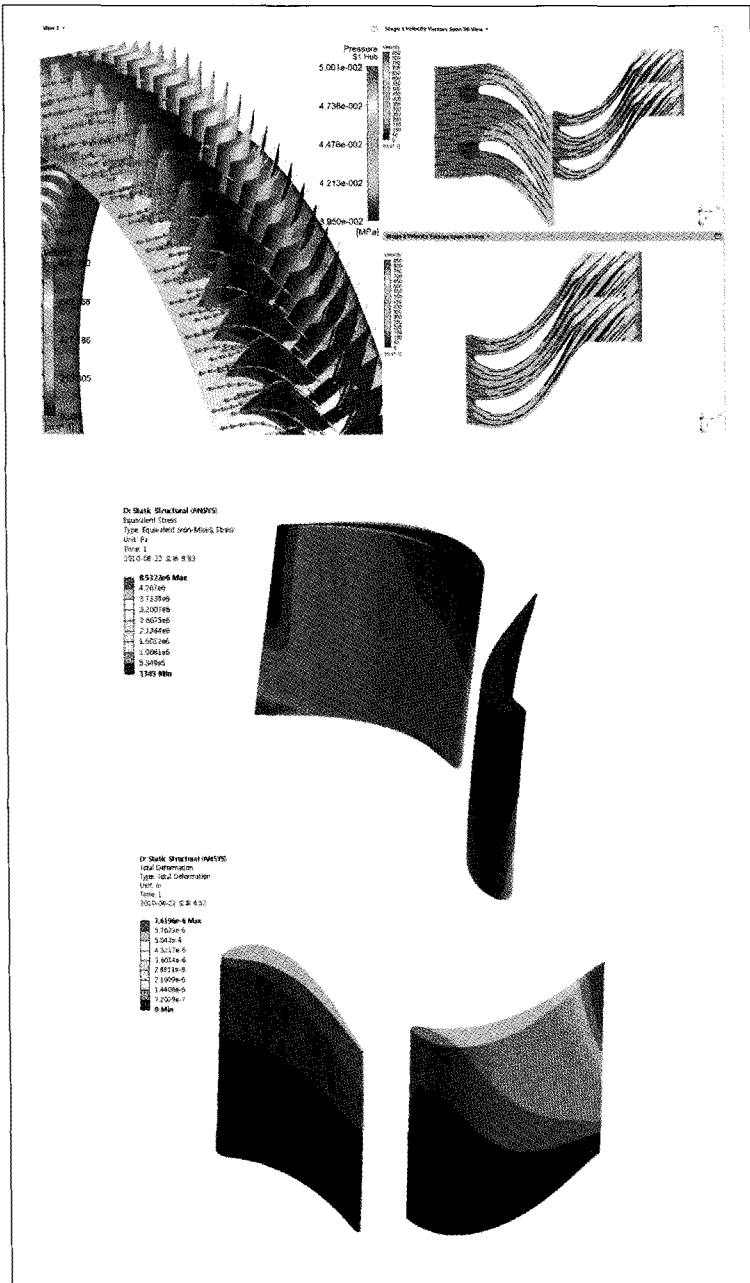


그림 6 Turbo-machinery의 Blade 유동구조연성해석

있는 분야 중 하나가 바로 의공학 분야이다.

의공학분야에 FSI기법을 적용하여 해석할 분야는 무궁무진하다. 그 중 대표적으로 많이 연구되고 있는 분야가 치아 임플란트, 인공관절, 인공심장, 그리고 혈관이다. 그림 5는 혈관 내에 일정한 주기로 공급되는 혈액으로 인하여 혈관에 미치는 영향을 파악하고자 해석을 수행하였다. 본 해석은 혈액의 맥동압에 따라 혈

관부가 부풀어 오르거나 수축하게 되면서 변형을 일으키는 대표적인 2-Way FSI문제이다. 해석에서는 혈관을 단순화하여 분기관을 가진 배관으로 설정하고 내부에 유체를 맥동의 형태로 주입시키면서 유체와 구조의 상호관계를 해석하는 방법으로 진행하였다.

Turbo Machinery는 연속적으로 움직이는 유체로부터 에너지를 얻거나 유체에 에너지를 전달해주는 기계장치를 총칭하는데 이 때 Turbo-machinery의 Blade도 유도-구조해석으로 구조적인 안정성을 검토할 수 있는 문제이다. 본 해석을 수행하는 데 어려움은 모델링 및 격자를 생성하는 단계에서 형상의 복잡성 때문에 어려움이 많은데 ANSYS 사에서는 Turbo Machinery의 해석을 위해 ANSYS Turbosystem이라는 일종의 CAE Package를 제공하고 있다. 모델링-격자생성-해석의 모든 과정에서 터보 기계류에 특화된 소프트웨어이며 BladeGen을 통하여 익형 및 Blade의 형상을 모델링하고 TurboGrid를 이용하여 Blade주변의 유동 격자를 생성할 수 있다. CFX(ANSYS사에서 판매하고 있는 유도해석 전용 프로그램)에서는 Turbo-mode라는 방법을 통해 회전체 해석 시 필요한 경계 조건 및 회전 조건 등을 간편하게 입력할 수 있으며 CFD-POST에서도 터보 기계에 대한 후처리 Template를 제공하고 있다. 위 해석

그림은 ANSYS Turbosystem 및 ANSYS CFX와 ANSYS Mechanical의 FSI기능을 이용하여 Axial Turbine운전시 유동 압력에 의한 구조 안전성을 검토하였다. 이성과 같이 여러 FSI해석 사례를 통하여 FSI에 대하여 간략히 소개하였는데 앞으로 많은 분야에서 이러한 FSI를 이용한 해석이 진행될 것으로 예상된다.