



ANSYS를 이용한 소음 및 진동 해석 소개

심진욱*
(태성에스엔이)

1. 머리말

공학자들은 주변의 사물들을 이용해서 인간의 생활을 풍요롭게 해 나가고 있는데, 산업화가 발달하고 생활수준이 증가함에 따라 새롭게 대두되는 여러 불편함을 줄이고 더욱 쾌적한 환경을 누리하고자 노력하고 있다. 이제는 단순히 기계적 성능만을 설계의 목표로 하는 것이 아니라 인간의 감성을 자극하여 기분 좋은 느낌이 들도록 하는 감성설계가 주목 받고 있다. 인간이 느끼는 감각 중에서 가장 불편을 느낄 수 있는 부분이 소음과 진동이다.

소음과 진동을 제어하기 위한 방법으로 시뮬레이션 툴을 사용하여, 제품이 나오기 전에 소음과 진동을 예측하게 되는데, 이에 필요한 해석 프로그램들이 다양하게 보급되고 활용되고 있다. 하지만 대부분 소음진동분야를 각각 특화된 프로그램으로 독립적으로 사용되고 있으며, 두 분야를 동시에 해석할 수 있는 프로그램은 매우 드물다.

실제 소음진동문제는 동시에 발생하게 되는데, 범용유한요소 프로그램인 ANSYS로 두 종류의 문제를 동시에 고려해서 해석을 할 수 있어 편리성과 정확성을 추구할 수 있다.

이 글에서는 먼저 ANSYS의 사용자 환경을 간단히 소개하고, 해석 가능한 소음진동분야를 정의한다. 마지막으로 소음해석 모듈인 ANSYS

Acoustics를 이용하여 소음진동을 동시에 고려한 해석 사례와 가능성을 소개하고자 한다.

2. ANSYS Inc. 소개

1970년도에 개발을 시작한 ANSYS 프로그램은 개발과 합병을 거듭하여 변신한 결과 2010년 현재 직원수 1800여명의 거대한 엔지니어링 프로그램 개발회사가 되었다. 초기의 구조, 열전달 해석의 범위를 뛰어넘어 현재는 유동, 전자기장 등을 포함하는 해석 전 영역을 대상으로 하고, 각각의 물리계가 서로 연성된 연성해석(coupled field

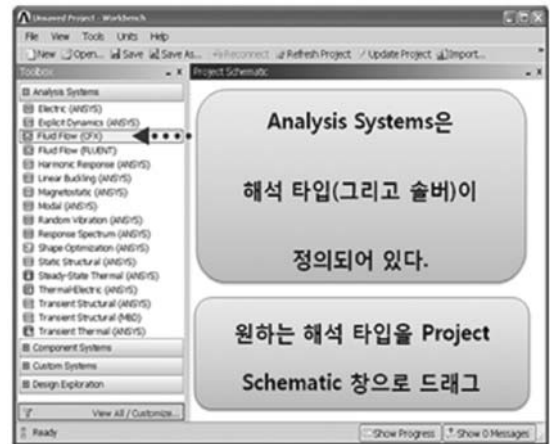


그림 1 다양한 해석을 아이콘을 끌어와서 작업을 시작

* E-mail : jwshim@tsne.co.kr / (02) 3431-2442

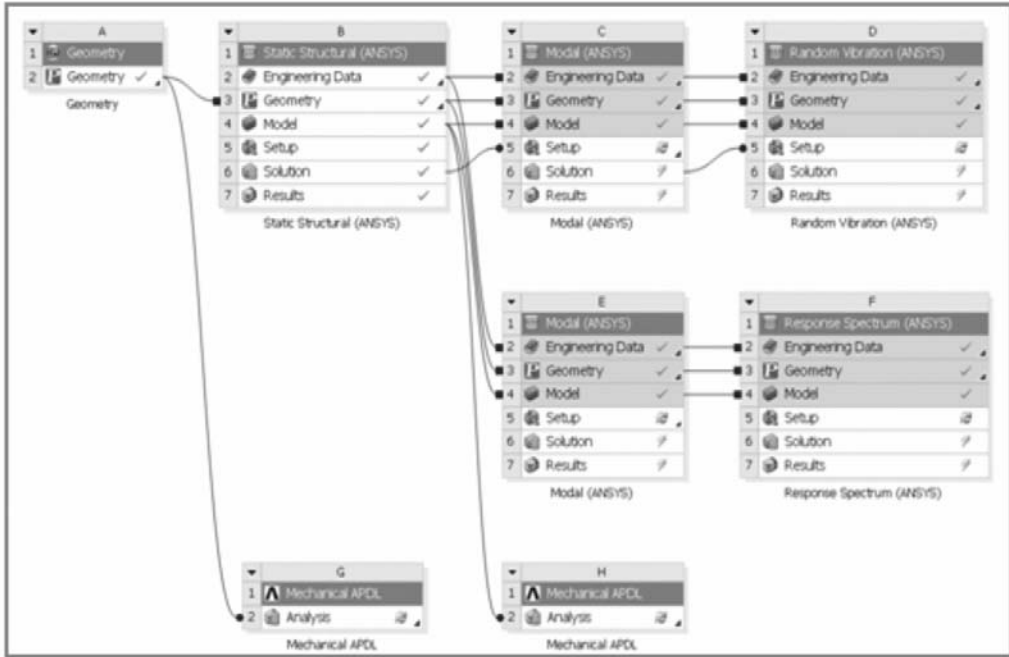


그림 2 스키마틱을 사용하여 복잡한 연성 해석을 쉽게 연관짓는 직관적 인터페이스

analysis)을 가장 충실하게 지원하는 프로그램이기도 하다. 기존의 전문화된 GUI환경을 사용하는 ANSYS Classic(ANSYS APDL)해석을 좀 더 쓰기 쉽게 만들어달라는 사용자의 요청으로 2002년 이후 ANSYS Workbench를 개발하여 현장의 설계자들도 접근 가능한 해석 환경을 만들어 주게 되었다. 2010년 현재 Workbench2라는 이름으로 나온 환경은 모듈 단위로 스키마틱(schematic)을 만들고 연관되는 모듈의 각 스테이지를 마우스로 연결시키는 방식으로 되어있다. 예를 들어, 열응력해석과 같이 모델링>열전달>응력해석과 같이 일련의 해석을 통해 결과를 구하는 경우, 관련된 세 개의 스키마틱 아이콘을 차례대로 끌어와서 해석을 완성시키게 된다. 여기서 하나의 모델과 하나의 메쉬를 전 해석에 공통으로 사용하게 된다.

ANSYS사의 제품군은 해석분야에 따라 구조, 유동, 전자기의 세 가지 제품군으로 구분된다. 각 제품군의 대표제품으로는 구조분야에서

Mechanical, 유동분야에서는 fluent와 CFX, 전자기분야에서는 Maxwell과 HFSS를 들 수 있다. 이 가운데 가장 역점을 두는 부분은 개별적인 성능도 중요하지만 서로 연성된 문제를 풀기위한 기술을 제공하는 것이다. 유동과 구조가 연성된 FSI문제라든가, 고체부의 열전달과 유동이 결합된 전자 시스템의 냉각문제, 고주파 의료장비에 전자파로 인해 발생하는 발열문제와 같이 고도로 복합적인 문제를 다루는데 역량이 모아지고 있다.

3. 진동 해석

3.1 선형 동적 해석

(1) 모달 해석

진동 해석의 기초자료가 되는 고유진동수와 모드형상을 구하는 해석이며, 구조물의 진동특성을 파악하는데 주로 사용한다. 모드추출방식은 block Lanczos, PCG Lanczos, supernode, reduced,

unsymmetric, damped, QR damped 등을 제공하는데 문제의 특성에 따라 선택하여 사용한다.

(2) 조화 응답 해석

힘, 압력, 강제변위 등 주어진 주파수와 크기를 가진 조화하중이 구조물에 가해질 때의 정상상태의 구조물의 거동(변위, 응력...)을 볼 수 있다.

적용 가능한 설계는 압축기, 엔진, 펌프와 같은 회전 장비나 그 지지구조, 고정 장치 등이 있으며, 터빈 블레이드, 항공기 날개, 교량, 타워 등 유체의 흐름으로 인한 주기적인 교란을 받는 구조물 등이 있다.

(3) 스펙트럼 응답 해석

과도하중에 대한 구조물의 최대 응답치를 계산하는 해석으로 시간영역이 아닌 주파수영역에서 표현되는 진동하중에 대한 구조물의 응답치를 계산한다.

적용이 가능한 분야는 지진하중에 대한 건물이나 교량, 부속품의 내진해석, 충격하중에 대한 항공기 전자장비의 내충격 해석 등이 있다.

(4) 과도 해석

변동하중에 대한 구조물의 응답계산을 할 때 사용된다. 예를 들면 테니스공의 충격에 견딜 수 있는 테니스 라켓프레임을 설계할 때 사용할 수 있다. 시간(또는 주파수)에 의존하는 조건, 관성과 같은 다양한 효과들이 고려되어야 하는 시스템으로 과도 해석은 정해석이나 모달 해석보다 항상 많은 시간이 소비된다.

(5) 랜덤 진동 해석

불규칙 가진에 대한 부품의 응답을 계산할 때 사용된다. 예를 들면 임의형태의 하중에 견딜 수 있는 우주선 및 항공기를 설계할 때 사용된다. 랜덤 진동 해석은 자연계에서 임의로 작용하는 진동하중에 대한 구조물의 응답을 정의하게 되며, 이것은 확률과 통계에 기반을 둔 스펙트럼 해석이다.

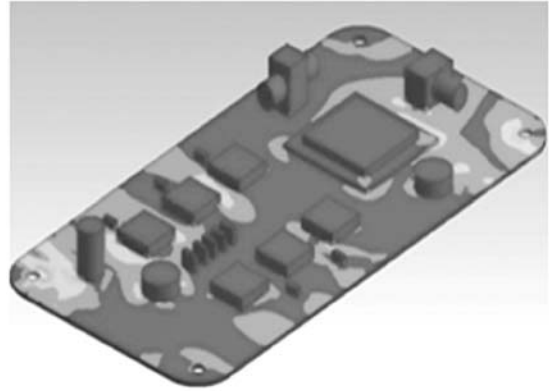


그림 3 차량 ECU 부품 랜덤 진동 해석 결과

3.2 감쇠 모드 해석

(1) 특징

일반적인 모드 해석은 감쇠를 고려하지 않고 풀게 되지만, 댐핑을 고려한 구조물의 동적응답을 구하기 위해서는 구조물의 비대칭 강성행렬을 고려해야 한다. Damp와 QR damp라고 부르는 이 방법은 모달 해석의 연장이며, 비대칭강성행렬을 고려하게 된다. 일반적으로 QR damp방법이 damp 및 unsym solver보다 압도적으로 빠르다.

(2) 적용 예

Damped modal을 사용해야 되는 경우는 접촉면간의 마찰력을 고려하기 위해서 비대칭 강성행렬을 취급해야 하는 경우이다. 이런 경우 그림 4와 같이 차량이 제동시 브레이크와 패드간의 접촉저항으로 인해 자려진동이 발생하게 되며, 1~12 kHz 사이에서 디스크 브레이크 스켈 소음이 발생하게 된다. 이러한 전형적인 프리스트레스를 고려한 모달 해석을 브레이크 스켈 해석이라고 한다.

3.3 강체 동역학

(1) 특징

ANSYS Rigid Dynamics는 다음과 같은 용도로 사용할 수 있다.

- 충돌, 낙하와 같은 극히 짧은 시간에 이루어

- 지는 거동의 해석 또는 복잡한 조립체의 운동성능에 대하여 일정 시간 간격으로 측정
- Configuration option은 조립체의 상호 간의 운동학적인 조작을 진행할 수 있고 불충분한 조인트 조건을 즉각 확인
 - 모든 강체 동역학에서는 매우 낮은 CPU 성능을 요구
 - 모든 강체모델은 짧은 시간 안에 단 몇 번의 마우스 클릭만으로 강체-유연체 혼합 모델로 변환하여 해석을 준비할 수 있음

(2) 장점

복잡한 구성, 많은 부품, 조립체를 위한 동역학

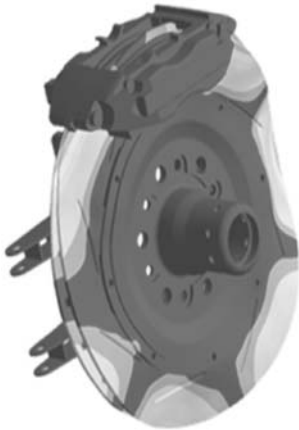


그림 4 브레이크 스칼 해석의 변형 모드

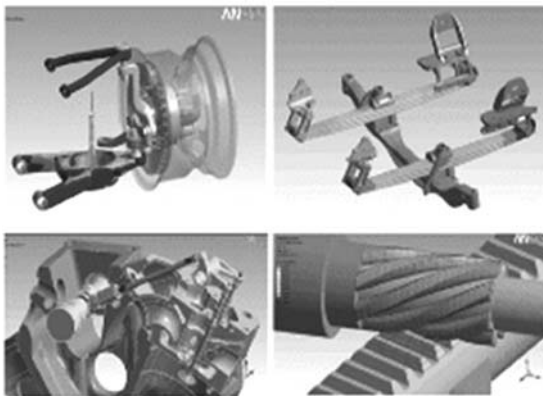


그림 5 강체 및 유연체가 혼합된 모델의 동역학 해석

에 대해서 시간에 따라 측정할 수 있어야 하는데, 이에 대해서 ANSYS Rigid Dynamics는 rigid assembly mechanism 시뮬레이션을 위해 적합한 explicit solver를 개발하였다. 사용자는 반복해석 옵션인 Runge Kutta 4 또는 Runge Kutta 5를 선택할 수 있으며, 선택한 솔버는 모든 out speed 또는 extreme robustness를 위해 설정할 수 있다. 복잡한 시간/하중이력, 단일 또는 복수개의 입력에 대해 효과적으로 계산할 수 있다.

시뮬레이션의 궁극적인 이상은 언제나 유연체 동역학을 고려하는 것에 있다. ANSYS Rigid Dynamics는 해석 모델을 선택적으로 또는 전체적인 유연체 모델로 쉽게 변환할 수 있으며, 변환된 모델은 implicit solver를 사용하여 해석을 수행한다.

3.4 회전체 동역학

항공엔진, 터보기계, 우주선 등과 같은 응용기계가 고장이 나면 엄청난 수리비용이 들게 되거나, 인명과 관계된 부품이라면 생명이 위협에 처할 수도 있다. 이러한 축대칭 회전체(엔진, 모터, 디스크 장비, 터빈과 같은 장치)의 관성 효과로 인해 발생하는 진동 거동에 대해 해석하여 위험 속도 발생 구간을 예측하고 회전체 요소를 결정

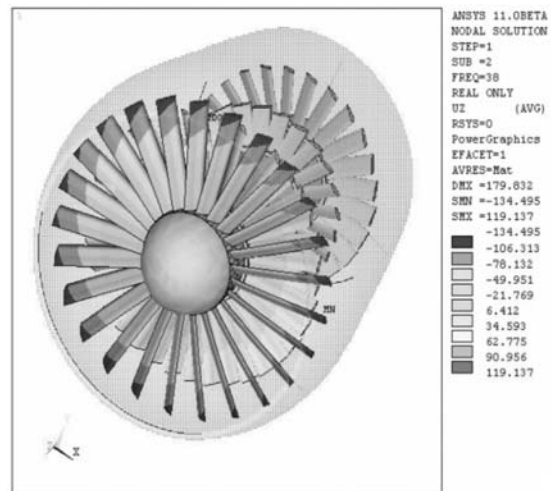


그림 6 Whirl plot (Uz Direction)

할 수 있게 해준다. 일반적으로 적용되는 분야는 축의 휨 변형, 비틀림 진동, 회전축의 불균형, 회전부의 평형 등이 있다.

(1) 장점

질량 및 관성의 정확한 모델링, 회전 운동 효과를 지원해주는 광범위한 요소, 비 감쇠 임계 속도 해석, 불평형 공진 해석, 감쇠 고유치 해석, 전체 구조물 혹은 하부 구조 내의 정상상태부분을 포함할 수 있다.

(2) 결과 출력 방법

시간조화 결과 혹은 복합 모드 형상의 동영상 생성, 캠벨(Campbell) 선도 데이터 구성, 궤도 운동 표시, 임계 속도와 캠벨 선도 데이터 출력, 공진 운동 특성 출력 등이 있다.

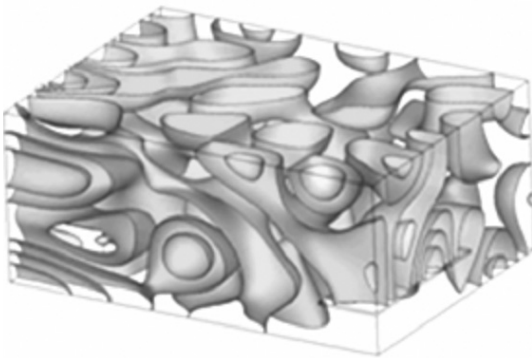


그림 7 유체 모드 해석 결과

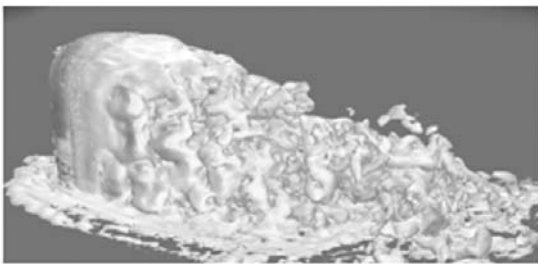


그림 8 자동차 사이드미러 주위의 와류(LES)

4. 음향 및 소음 해석

4.1 ANSYS에서의 음향 해석

(1) 특징

ANSYS의 음향 해석은 기본인 음향 해석만을 지원해준다. 기능이 많지 않은 반면 다양한 물성을 지원해주며, ANSYS가 제공하는 모든 요소와 완전하게 연성이 되고 별도의 추가 라이선스가 필요없다.

(2) 가정

선형 파동방정식을 사용하게 되며 유체는 비압축성, 비점성이고, 자체 유동흐름은 없으며, 평균 밀도와 평균압력은 유체 전체에 걸쳐 균등하다는 가정에 기초하고 있다.

(3) 결과 출력 방법

2D, 3D 시각화 작업, SPL 분포 출력, 빔 방사패턴, 웨이브 파일(사운드 재생)

4.2 ANSYS Fluent에서의 음향 해석

ANSYS Fluent에서 지원하는 공력소음 해석은 CAA(computational aero-acoustics), SSPM(segreated source propagation method), SNGR(stochastic noise generation and radiation)의 세 가지가 있다. 이 중에서 CAA는 CFD를 이용하여 소음의 발생과 전파를 동시에 푸는 직접소음 계산이며, 반사와 산란,

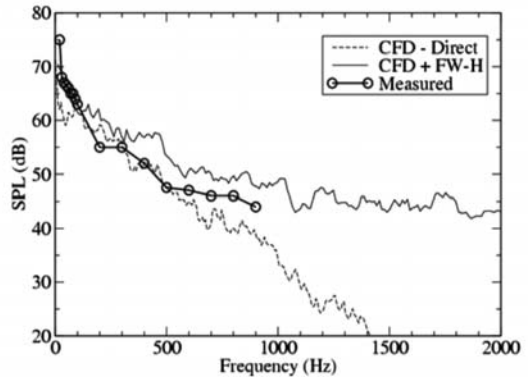


그림 9 사이드미러 주위의 음압비교

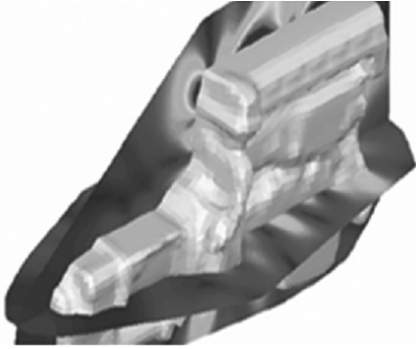


그림 10 파워트레인에서의 음압전파



그림 11 사이드윈도우와 차량의 내부 음향공간을 고려한 Vibro-Acoustic 모델

유동의 효과, 압축성을 고려할 수 있고, 정확도가 매우 높은 방법이다.

4.3 ACTRAN에서의 음향 해석

벨기에 FFT사의 강력한 음향 해석 프로그램 ACTRAN은 ANSYS와의 OEM계약으로 workbench 환경에서 완벽하게 일체화된 사용자 환경을 제공하고 있다. 유한요소와 무한요소 라이브러리를 기반으로 하며, 풍부한 요소와 재료, 경계조건, 해석 방법을 제공한다. 또한 난류로 인해 발생하는 소음을 예측할 수 있으며, ANSYS fluent, StarCD, StarCCM+, Powerflow와 같은 상용 열유동 프로그램으로 계산된 결과를 이용하여 유동에 기인한 소음을 정확하게 예측할 수 있다. 모듈의 구성은 기본 모듈인 ACTRAN Acoustics와 추가 모듈인 Vibro-Acoustics와 Aero-Acoustics가 있다.

(1) ACTRAN Acoustics의 기능

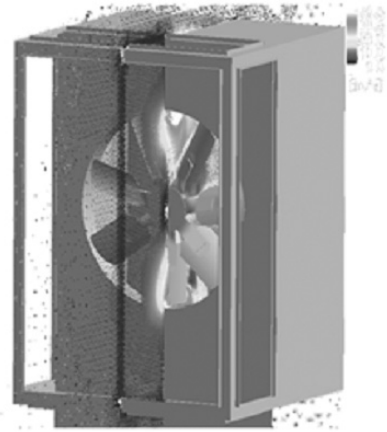


그림 12 팬의 소음 방사 결과

ACTRAN Acoustics는 간단한 모델에서부터 정교하고 복잡한 모델에 까지 적용가능 하며, 광범위한 음향 해석 문제를 다룰 수 있는데, 강력한 유한요소와 무한요소 라이브러리를 기반으로 보다 강건하고 빠르며 신뢰할 수 있는 해석 결과를 도출해 준다.

Modal과 physical 접근법으로 공간상의 음압을 쉽게 해석할 수 있으며, 벽면에서의 음압 흡수율을 임피던스 경계조건이나 다공성재질 모델로 표현할 수 있다. 또, 덕트내의 음향전파 해석에 뛰어난 기능을 제공하여, 흡기-배기 라인이나 빌딩, 항공기, 자동차 내의 음향 해석에 사용할 수 있다. 그 밖의 뛰어난 기능 중에는 mean flow field(convected acoustic propagation)와 온도편차에 대한 효과 구현 등이 있으며, 보청기나 솔라 어레이 패널처럼 음파가 좁은 덕트나 얇은 공간을 지나갈 때 매우 중요한 역할을 하는 visco-thermal 효과도 구현할 수 있다.

(2) ACTRAN Vibro-Acoustics의 기능

ANSYS Vibro-Acoustics는 현 시장에서 가장 완벽한 Vibro-Acoustic 해석 프로그램이다. 구조 모델을 생성할 때 ACTRAN에서 제공하는 다양한 재료 라이브러리를 이용할 수 있으며, 실제로 ACTRAN에는 음향 해석을 위한 일반적인 재료

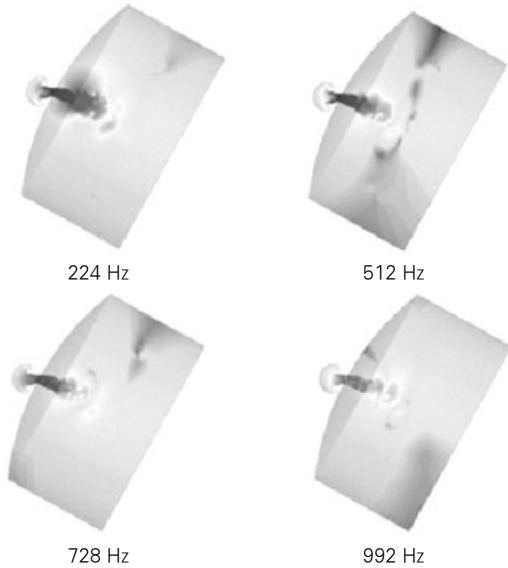


그림 13 자동차 에어컨 덕트 출구에서의 음압분포 (dB)

외에 점탄성 재료, 다공성 또는 비압축성 재질, 복합재, 능동소자(피에조 포함)등의 특화된 재료 라이브러리를 제공한다.

모달기반의 해석 시에는 대부분의 FEA 코드로부터 모달 결과를 불러들일 수 있다. 또한, Vibro-Acoustic 모델을 acoustic, dynamic, kinematic 경계 조건이나 diffuse sound field와 turbulent boundary layer를 조합하여 보다 정확하고 현실적인 해석을 할 수 있다. 더욱이 ACTRAN Aero-Acoustics와 Vibro-Acoustics를 조합할 수 있어서 이제는 복잡한 aero-vibro-acoustic 문제를 푸는 것이 가능해졌다.

(3) ACTRAN Aero-Acoustics

ACTRAN Aero-Acoustics는 난류로 인해 발생하

는 소음을 예측하기 위한 FEM기반의 acoustic 해석 프로그램이다. ACTRAN Aero-Acoustics를 통해서 ANSYS FLUENT, StarCD, StarCCM+, Powerflow와 같은 상용 CFD code로 계산된 유동 시뮬레이션 결과로부터 aero-dynamic noise인자를 확인할 수 있다.

(4) ANSYS Fluent와 ACTRAN의 연성 해석

ANSYS Fluent에서 계산된 유동 해석의 결과를 ACTRAN에서 불러오고, 음원 정보의 추출 > 맵핑 > 음향 해석을 수행하는 과정으로 통해 유동 특성을 정확히 고려한 음향 해석을 달성할 수 있다. 이 방법으로 인접 구조물에 의한 반사와 산란 효과, 비균질 소음매질을 고려할 수 있고, 주파수 도메인으로 해석할 수 있다는 장점을 살릴 수 있는데, fluent파일을 별도의 변환 과정없이 직접 사용할 수 있다는 편리성 또한 매우 크다.

5. 맺음말

ANSYS Inc.의 제품군은 이제 개개의 모듈의 기능을 넘어서 구조와 유동, 전자기에 이르는 전 분야의 통합에 관심이 맞춰져 있다. 특히 수요가 많은 유동-구조, 유동-음향 연성 해석은 단순화 된 모델을 넘어서 실제 설계상태대로 모델링하여 해를 구하는 것이 엔지니어들의 꿈이기도 하다. 솔버 알고리즘의 향상과 좀 더 좋은 병렬처리 기법, 더 나은 하드웨어 장비로 필요한 결과를 신속히 얻을 수 있는 그 날이 빨리 오기를 기대해 본다. **KSNVE**

* 관련자료 및 정보는 www.ansys.co.kr에서 참조하시기 바랍니다.