

유한요소법과 ANSYS 프로그램



홍재일
동서울대 전기과 조교수



류주현
세명대학교 전기공학과 부교수

1966년 학술대회에서는 NASA에 의해 개발된 NASTRAN 이라는 최초의 유한요소법 컴퓨터 프로그램이 발표되었다.

이 프로그램을 뒤이어 많은 유한요소법 프로그램이 개발되었으며 1970년 미국의 John Swanson 박사가 핵 공장에서 문제를 풀기 위하여 ANSYS 프로그램을 개발하였다. 그동안 ANSYS는 거의 모든 공학분야에 적용할 수 있는 일반화된 코드를 만들기 위해 계속적으로 개선되어 왔다.

현재 ANSYS는 preprocessing (모델 설계), solution(계산), post-processing(데이터 조작), graphics(결과 출력) 등의 능력을 포함하는 독립체계의 프로그램으로 각광받고 있으며 이로 인해 ANSYS는 기계, 건축, 전기, 전자, 재료 등의 모델링 분야에서 유연하고 강력한 프로그램으로 인정받고 있다

유한요소법은 연속적인 물리 시스템을 취해서 상호 연관되고 기하학적으로 작고 덜 복잡한 단순한 요소의 세트로 설계하며 문제를 푼다. 그래서 이 방법은 수많은 방정식을 동시에 풀기 위하여 행렬 대수를 사용한다. 이로 인하여 선형 및 비선형 미분방정식을 푸는 어려움이 극복되었다.

다시 말해서 유한요소법은 연속 시스템에 대한 개략화이며 시스템의 움직임을 유한한 변수로 특성화할 수 있는 방법이다.

유한요소법에서 가장 기본적인 단위는 2차원에서 3개의 점으로 이루어진다. 그림 1에서와 같이 2차원 모델은 점으로 구성된 삼각형으로 나눌 수 있다. 아무리 다양한 요소의 모양이 있다 해도 사각형과 삼각형이 가장 많이 사용된다.

1. 서론

유한요소법(Finite Element Method)은 항공기 제작사에서 약 50년전에 개발된 방법이며 유한요소법을 처음 도입한 네 사람은 Turner, Clough, Martin, Topp이다.[1]

이 방법에 대한 기본 법칙을 제시하는 논문은 1956년에 위의 네 사람에게 의해서 발표되었고

2. 기본 유한요소법 이론

유한요소법은 공학과 수리물리학의 문제들을 풀기 위한 하나의 수치 기법이다.[2]

유한요소법은 연속체를 어떤 방법으로 분리화(discretization)하는데 이용되어 크고 복잡한 기하학적 모양에 대한 미분방정식을 푸는 것을 대수 문제로 변환시키는 것이다.[3]

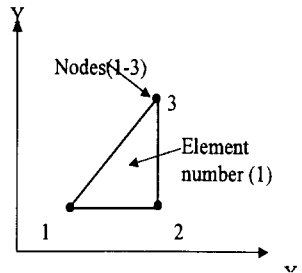


그림 1. 기본적인 삼각형 요소

그림 2는 단순한 점부하가 인

가된 2차원 판 모델을 나타내고 있다. 좌우측 꼭지점은 단단한 모델을 설계하기 위해 변위를 고정시킨 것이다

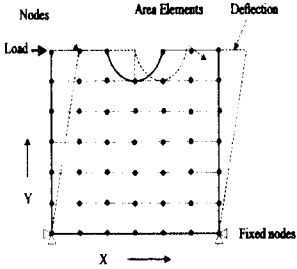


그림 2. 간단한 유한요소모델의 예

모델은 단순한 사각형 요소로 나누었으며 기울어짐의 풀이를 조직적으로 나타내었다.

그림 1에 나타난 시스템의 움직임을 정확하게 시뮬레이션하기 위하여 일련의 방정식이 각 점에 대해 쓰여진다.(그림 2의 시스템은 각 면에 네 개의 점이 있음)

이 방정식들은 주위의 점에 대해 공통된 변수를 포함하므로 모든 점들은 상호 관련되어 있다. 벡터 표기를 쓰면 점의 변위는 다음과 같이 쓰여질 수 있다.

$$\bar{a}^i = \begin{bmatrix} a_1^i \\ a_2^i \\ a_3^i \end{bmatrix}$$

여기서 아래첨자 1, 2, 3은 점의 번호를 나타내며 윗첨자 1은 요소 번호를 나타낸다. 주어진 요소 번호 (1)에 대한 각각의 점 변위는 다음과 같이 쓰여질 수 있다.

$$\bar{a}_i^1 = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \end{bmatrix} \quad (i=1,2,3)$$

여기서 u_i 는 점 i 의 x 변위성분이며 v_i 는 점 i 의 y 변위성분이다. 일반적으로 면적 요소 (1)에서

동작하는 모든 힘은 다음과 같이 점력 \bar{q} 로 변환될 수 있다.

$$\bar{q}^T = \begin{bmatrix} q_1^T \\ q_2^T \\ q_3^T \end{bmatrix}$$

각 점력은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\bar{q}_i^T = \begin{bmatrix} f_{xi} \\ f_{yi} \end{bmatrix} \quad (i=1,2,3)$$

선형 탄성 시스템에서 특성관계는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\bar{q}^T = K^1 \bar{a}^T + \bar{f}_p^T + \bar{f}_o^T$$

여기서 \bar{f}_p^T 는 요소에서 작용하는 어떤 분포된 부하를 균형잡는데 필요한 점력이며 \bar{f}_o^T 은 어떤 초기 응력을 균형잡는데 필요한 점력이고 K^1 은 요소 stiffness 행렬이다. 그래서 이 시스템은 회전 자유도와 함께 3차원 시스템으로 일반화될 수 있다.

일반적인 점 변위의 형태는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\bar{a}^n = \begin{bmatrix} a_1^n \\ a_2^n \\ \vdots \\ a_m^n \end{bmatrix}$$

여기서 각 행렬의 성분은 고유의 6 자유도, 3 방향과 3회전(각도)를 갖는다.

$$\text{즉, } \bar{a}_i^n = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \\ \phi_i \\ \theta_i \\ \psi_i \end{bmatrix}$$

행렬식은 모델이 기하학적으로 결정된 후 점들에 대해서 설정된다. 유한요소법은 연속시스템을 정확하게 분리 모델화하기 위하여 변위와 응력, 왜형, 압력간의 관계가 이 행렬식을 통해 이뤄진다.

압전 재료의 해석을 위해서는 다음과 같은 행렬식을 사용하는데 다음 식 외에 3개가 더 있다

$$\begin{Bmatrix} \{T\} \\ \{D\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [c] & [e] \\ [e]^T & -[\epsilon] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{S\} \\ \{E\} \end{Bmatrix}$$

여기서, (T)는 응력벡터(6 x 1)

(D)는 전기변위벡터(3 x 1)

(S)는 왜형벡터(6 x 1)

(E)는 전계벡터(3 x 1)

[c]는 탄성강도상수행렬(6 x 6)

[e]는 압전상수 행렬(6 x 3)

[\epsilon]는 유전상수 행렬(3 x 3)

3. ANSYS 프로그램

3.1 ANSYS 프로그램의 구성

ANSYS 프로그램은 그림 3과 같이 두가지 단계, 즉 시작 단계(begin level)와 프로세서 단계(processor level)로 구성되어 있다.[4]

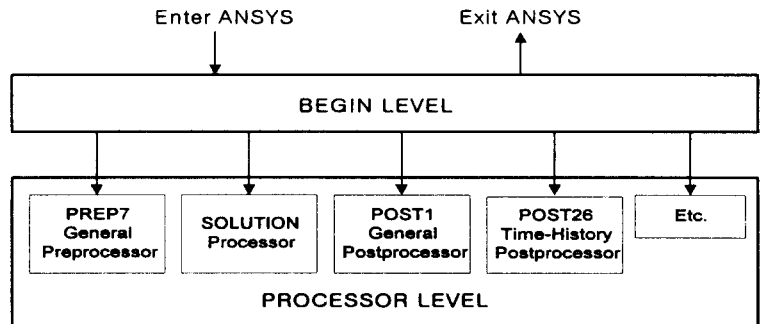


그림 3. ANSYS 프로그램의 구성도

처음에 프로그램에 들어오면 시작 단계에 있는 것이며 이 단계로부터 프로세서 단계로 들어갈 수 있다. 구입한 제품 종류에 따라서 그림에 나타나지 않은 여러 가지 프로세서가 더 있다. 시작 단계는 ANSYS 프로그램으로 들어가는 문의 역할을 하며 전체적인 제어를 수행한다. 프로세서 단계에서 여러 가지 프로세서가 가능한데 각각의 프로세서는 특별한

목적용 가지고 있다.

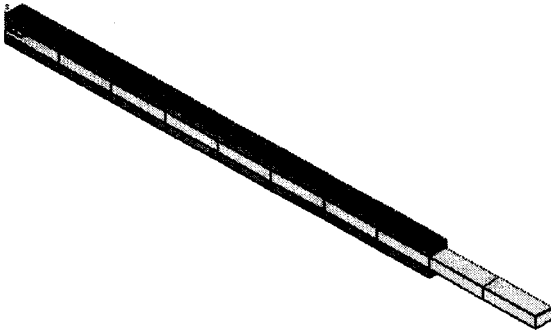
유한요소해석 시뮬레이션은 대부분 프로세서 단계에서 이뤄지며 대표적으로 쓰이는 세가지 단계는 다음과 같다.

(1) Preprocessing (PREP7 processor) : 기하학적 설계를 하고 재료 정수들을 입력하고 모델을 요소로 분할(meshing)하고 요소 형태(element type)를 결정한다.

(2) Solution (solution processor) : 해석 형태(analysis type)와 선택(option)을 결정하고 부하조건을 인가후 수식적으로 문제를 푼다.

많이 사용되는 해석 방법에는 네 가지 유형의 해석이 있는데 modal analysis, harmonic analysis, transient analysis, static analysis 이다.

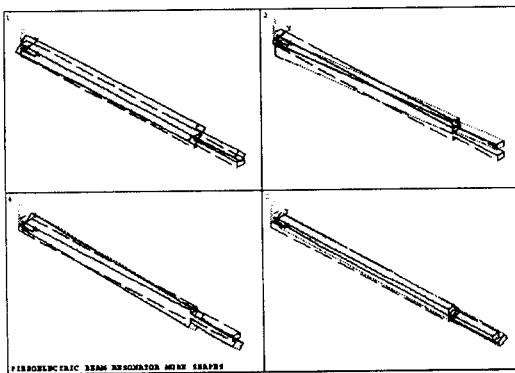
(3) Postprocessing (post1 or post26) : 결과들을 그림이나 표



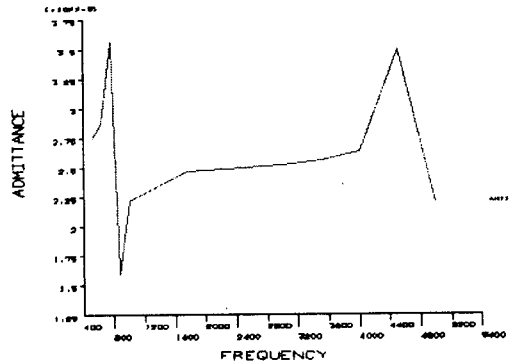
(a) model design and meshing



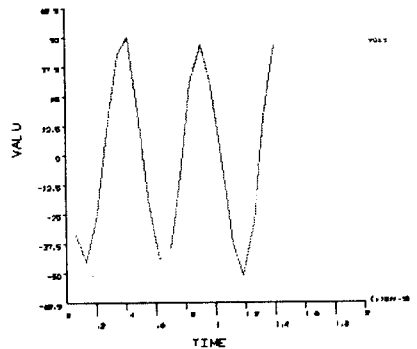
(b) static analysis



(c) modal analysis



(d) harmonic analysis



(e) transient analysis

그림 4. 압전 빔 공진기를 이용한 ANSYS 해석의 종류

로 나타내며 점 해석을 이용하여 부가적인 계산을 수행한다.

Post1 : static analysis, modal analysis, harmonic analysis에 사용한다.

Post26 : transient analysis에 만 사용된다. 일명 time history postprocessor라고도 부른다.

3.4 ANSYS 해석의 종류

압전재료의 해석에서 주로 사용되는 ANSYS 해석의 종류를 그림 4를 통하여 설명하고자 한다.[5]

그림 4(a)는 압전 빔 공진기 (piezoelectric beam resonator)의 모델 설계 및 요소 설정한 것으로 preprocessor 단계에서 수행된다.

(1) Static analysis

이 방법은 직류전압을 인가하였을 때 변위, 응력, 전압 분포 등의 응답을 나타내는 것이다.(그림 4(b)참조)

(2) Modal analysis

이 방법으로는 압전 능동모드와 수동모드를 포함하여 여러 가지 공진 모드를 알 수 있으며 이 방법을 사용하면 공진주파수와 모드에 따른 모양을 얻을 수 있다.(그림 4(c)참조)

(3) Harmonic analysis

이 방법은 시간에 따라 싸인파형처럼 변화하는 부하에 대한 선형구조의 정상상태응답을 결정할 때 사용된다. 이 개념은 여러 주파수에서 구조적 응답을 계산하고 주파수 대 응답량의 그래프를 얻는 것이다. 트랜스듀서 설계 경우 응답량으로서 전하를 선택하면 부하는 전기적인 임피던스를 얻기 위하여 어떤 주파수의 싸인 전압이 된다.

전류는 전하의 시간적인 미분에 의해 얻어지며 임피던스는 전압을 전류로 나눔으로써 얻을 수 있다. 어드미턴스는 임피던스의

역수로 구하면 된다. 공진 시 어드미턴스는 최대값을 보이며 반공진 시 최소값을 보인다.(그림 4(d)참조)

(4) Transient analysis

time-history analysis라고도 부르는 이 방법은 중요하다 생각되는 어느 시간에서의 움직임 하에서 구조의 동적인 응답을 결정하는데 사용된다.

만일 부하가 교류전압이라면 과도해를 먼저 얻고 과도해는 시간에 따라서 지수함수적으로 감소하므로 정상해를 얻을 수 있게 된다. 이 정상해는 harmonic analysis의 결과와 동일하다. 차이점은 harmonic analysis는 주파수축에서 이뤄지고 transient analysis는 시간축에서 이뤄진다는 것이다. 정상해를 얻으려면 harmonic analysis를 사용하는 것이 더 낫다.(그림 4(e)참조)

3.3 ANSYS 프로그램 사용법

ANSYS 프로그램을 사용하기 위해서는 입력 창에서 직접 ANSYS 명령어를 입력하거나 화면상에서 마우스로 GUI(Graphical User Interface)를 이용한다.[6]

ANSYS 프로그램을 열면 그림 5와 같은 화면이 나오며 GUI는 6

개의 영역 또는 창(1. Utility, 2. Main menu, 3. Tolbar, 4. Input window, 5. Graphics window, 6. Output window)으로 구성되어 있다.

ANSYS 프로그램과 대화하는 가장 쉬운 방법은 GUI라고 부르는 ANSYS 메뉴시스템을 사용하는 것이다. GUI는 ANSYS 프로그램과 사용자간의 매개수단(interface)를 제공한다. GUI를 사용하면 ANSYS 명령어를 거의 또는 전혀 사용하지 않고 서도 유한요소해석을 할 수가 있다. 이는 궁극적으로 각 GUI 기능에 의해서 자동적으로 생성되는 하나 또는 여러개의 ANSYS 명령어가 수행되기 때문이다.

3.4 ANSYS프로그램의 제품종류

(1) ANSYS/Multiphysics

이 프로그램은 ANSYS / mechanical, ANSYS/Emag, ANSYS/FLOTRAN의 세가지가 결합된 제품이다. 모든 해석프로그램이 실제 현상에 가까운 해석을 하고자하는 노력을 하고있는 가운데 ANSYS/Multiphysics는 각 분야의 상호 협조적인 해석과 진정한 연성해석을 구현하고 있는 유일한 프로그램이다.[7]

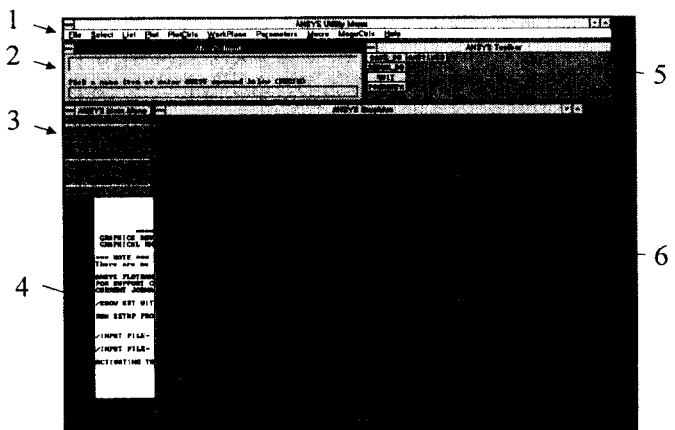


그림 5. ANSYS 프로그램의 주 화면과 GUI

구조해석과 열전달해석만으로도 약간의 요구를 만족시킬 수는 있으나 실무에서는 더 복합적인 문제인 경우가 대부분이며 ANSYS/Multiphysics는 우주항공, 생체 역학, 반도체산업 등에서 일어날 수 있는 구조, 열, 유체, 전자장 개개의 독립된 해석 요구를 뛰어넘는 복합적으로 발생하는 물리현상을 실제에 가깝게 규명할 수 있다. 대다수의 해석 프로그램들이 한번에 한가지 종류의 해석밖에 할 수 없는데 반해 ANSYS/Multiphysics는 각각의 해석을 할 수 있을 뿐 아니라 서로 다른 물리적 현상의 상호작용까지도 다룰 수 있다. 예를 들면 컴퓨터 모니터를 설계하는데 구조, 열, 유동, 전자장의 현상을 고려해야 하는데 개개의 물리현상을 별도로 해석할 때 발생하는 설계요류는 어떻게 할 것인지, 하나의 필드가 다른 필드에 영향을 준다면 그 크기는 어느정도인가? 냉각팬에 의한 공기유동이 전자총에서의 온도상승을 얼마나 막을 수 있는가? 전자계로 인한 열이 납땜부위에 어떤 영향을 주는가? 등을 ANSYS/Multiphysics는 연성해석(coupled field analysis)기능을 이용하여 실제에 가깝게 정확히 구현할 수 있다.

(2) ANSYS/Mechanical

ANSYS/Mechanical은 세계에서 가장 많이 쓰이고 있는 프로그램중의 하나이다. 직관적인 GUI는 선형, 비선형구조해석과 열전달해석을 손쉽게 할 수 있도록 지원하는 강력한 도구이며 이 프로그램은 설계, 해석, 최적설계에 이르는 광범위한 용도로 수 많은 설계 엔지니어들이 사용해왔다.

ANSYS/Mechanical은 변위, 응력, 힘, 온도분포, 압력분포, 그밖의 중요한 설계변수를 결정하는데 중요한 도구이며 회로기판에서의 온도분포와 열응력을 계산하기 위

한 해석과 같은 경우를 예로 들 수 있다.

ANSYS/Mechanical은 해석의 종류와 크기에 따라서 최적의 실행시간을 보장하는 여러 가지의 solver를 제공하고 있으며 그중에서 ANSYS power solver는 계산 시간과 기억장치의 용량을 대폭적으로 절감시켜주는 반복법을 응용한 solver이다.

또한 ANSYS는 자체 내장된 인터페이스를 이용한 다른 프로그램의 기하학적 데이터와의 완벽한 호환성을 갖추고 있다.

(3) ANSYS/Structural

열, 유동, 전자장, 또는 다른 물리적인 현상 등에 전혀 영향을 받지않는 완전한 구조적 해석문제일 경우 ANSYS/Structural를 이용해서 해석할 수 있다.

ANSYS의 기하학적 비선형해석, 재료 비선형해석, 요소 비선형해석, 좌굴해석 등 더욱 진보된 비선형해석 기능은 대형의 복잡한 문제를 해결할 수 있도록 해주며 모델의 성능을 평가할 수 있는 정확성을 제공한다.

또한 일관된 사용자 인터페이스는 다른 모듈을 추가하더라도 별도의 교육없이 바로 사용할 수 있도록 해주며 따라서 해석하고자 하는 모델이 열 또는 다른 물리적인 특성의 영향을 받는다는 것을 인지하고 별도의 모듈을 추가하게 되었을 때 그 모듈을 사용하는데 숙련되기 위한 시간과 비용과 노력을 최소화할 수 있다.

(4) ANSYS/Linearplus

ANSYS/Linearplus은 구조 문제를 해석하고자 하는 사용자를 위한 저가의 해석 프로그램이다. "plus"는 어느 정도의 비선형 해석까지 가능하다는 것을 의미한다. 더욱 복잡하고 어려운 비선형 문제는 ANSYS/Structural을 이용하여 해결할 수 있다.

(5) ANSYS/Thermal

열 해석 문제만을 해석하고자 하는 사용자를 위한 저가의 해석 프로그램이다. 정적 또는 과도 열 해석을 수행할 수 있으며 내장 트랜지스터, 압력용기, 열교환기, 래디에이터, 엔진부품 그리고 항공기의 부품 등의 해석에 유용하다.

(6) ANSYS/LS-DYNA

LSTC와 공동으로 개발한 ANSYS/LS-DYNA라는 프로그램은 고난도의 비선형구조해석문제를 해결할 수 있게 되었으며 이 프로그램은 비선형 동적해석을 단 시간내에 효율적으로 수행할 수 있는 Explicit 해석 기법을 적용한 것이다.

ANSYS/LS-DYNA는 접촉문제, 대변형 또는 재료 비선형 문제를 해결하는 이상적인 프로그램이라 할 수 있으며 성형, 인발, 압연 등을 포함하는 생산 공정에 적용할 수 있다.

ANSYS/LS-DYNA의 Explicit solver는 파괴, 충돌 해석 등 짧은 시간에 현상이 진행되는 문제에 적합한 solver로서 차량충돌, 제품의 낙하 시험 해석을 수행할 수 있으며 두·부품이 접촉하고 있는 제품의 해석, 하나의 부품이 다른 부품과 충돌함으로써 변형되는 문제, 또는 재료의 비선형적인 속성이 아주 강한 경우 등에 유용하게 적용될 수 있다.

(7) ANSYS/FLOTRAN

ANSYS/FLOTRAN은 CFD 해석을 위한 강력한 엔지니어링 도구이며 표준의 ANSYS GUI를 적용한 이 프로그램은 각종 유동, 열전달문제를 해결할 수 있는 생산적인 해석방법을 제공한다.

또한 층류 및 난류 유동, 압축성 및 비압축성 유동, 항공기 날개의 양력, 항력 등 광범위한 유체 유동 문제를 해석할 수 있으며 설계 최적화가 가능한 유일한

CFD 프로그램이며 ANSYS /Mechanical과 동시에 이 프로그램을 사용한다면 단순한 유동, 열, 구조 문제 뿐만 아니라 이들간의 상호작용까지 해석할 수 있다.

ANSYS/FLOTRAN은 오늘날 유동해석 프로그램 시장에서 급속하게 성장하고 있는 프로그램중의 하나이다.

(8) ANSYS/Emag

ANSYS/Emag은 모터, 솔레노이드 발전기, 변압기, MRI 자석, 영구자석 장치 등 전자기장에 영향을 받는 장치를 설계할 때 사용되며 정적, 저주파, 조화 또는 과도 전자기장해석 등 폭 넓은 기능을 제공한다.

이밖에도 정전장, 회로 커플링, 회로 시뮬레이션, 유도전류의 해석에 응용할 수 있으며 파라메트릭 모델링을 이용하여 최적설계를 구현할 수 있다. 또한 고주파 영역에서 사용되는 안테나, 웨이브 가이드 필터, 커넥터, 어댑터의 해석에도 적용할 수 있다.

4. 결 론

ANSYS 프로그램은 약 1년여 한번씩 새로운 기능이 추가된 버전이 나오고 있으며 처음 개발된 이후 여러 레포트를 수시로 사용자에게 통보해줌으로써 품질관리에 많은 노력을 기울이고 있다.

사용자의 편의를 위해 온라인

매뉴얼을 제공하고 각 분야별 교재인 세미나 노트와 튜토리얼북 등이 준비되어 있어 심도깊은 활용을 할 수 있다.

국내외의 교육장에서 해석 종류별, 수준별로 교육 프로그램이 연중 계속 제공되고 있으며 사용자들의 정보교환 및 토의를 위하여 1년에 한번 씩 사용자 학술대회가 미국과 국내에서 실시되고 있다.

인터넷을 통한 ANSYS 정보는 ANSYS Inc.의 홈페이지(<http://www.ansys.com>)를 통하여 ANSYS 관련 정보와 교육 일정, 활용사례를 접할 수 있으며 필요한 파일을 다운받거나 기술적인 문의를 할 수 있다. 국내에서는 태성 S & E (<http://www.tsne.co.kr>)에서 ANSYS 프로그램을 판매, 교육, 기술지원, 용역사업을 하고 있다.

미국 및 유럽에서는 전기전자 재료분야에 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 사용하기 시작한 지가 오래되어 기술축적이 많이 되었다. 이에 따라서 ANSYS 프로그램을 이용한 다수의 학술 논문이 나오고 생산공장에서는 설계단계에서 ANSYS 시뮬레이션을 실시함으로써 경비 절감을 할 뿐 아니라 보다 정확한 소자 제작 및 특성 향상을 이루고 있다.

국내에서는 자동차 회사 등의

기계, 건축 분야의 기업체와 연구소 등에서 주로 구조 해석을 하고 있으나 전기전자 재료분야에서는 아직 사용이 활발하지 않다.

여러 해에 걸쳐 국제적으로 검증된 ANSYS 프로그램의 기능을 전기전자재료의 설계 및 생산에도 활용하여 더 우수한 품질의 소자들이 개발되었으면 하며 가까운 시일안에 이 분야에 많은 연구자들이 모여 정보를 교환할 수 있는 날이 올 것이다.

참고문헌

1. M.R.Draheim, "Finite Element Modeling and Experimental study of Ultrasonic Impedance Matching Layer for Medical Transducers", M.S. Thesis, Pennsylvania State University, 1997.8
2. Daryl L. Morgan 저, 신종계의 공역, Logan의 유한요소법 첫 걸음, 시그마프레스, 1998
3. G.Barron, J. Brauer, Finite Element Analysis, Marcel Dekker Inc., 1993
4. ANSYS 5.4 Manual
5. ANSYS Supplement Examples
6. ANSYS Getting Started
7. ANSYS Brochure

< 이상렬 위원 >