

Special

Thema | ANSYS를 이용한 유한요소해석

홍 재일 교수
(동서울대 전기정보제어과)
류 주현 교수
(세명대 전기공학과)

1. 서론

오늘날 산업이 발달됨에 따라 제품생산에 투입되는 기술은 아주 복잡하고 고도화 되고 있으며 제품개발의 단계에서 검증해야 할 물리현상의 범위와 난이도가 아주 높아지고 있는 추세이다. ANSYS는 1970년 미국의 John Swanson 박사가 핵공장에서 문제를 풀기 위하여 개발한 프로그램이다. ANSYS는 구조, 진동, 열전달, 전자장, 압전, 음향, 열유체, 충돌낙하까지의 넓은 해석기능을 Pre /Post- & Solver 일체형으로 제공하고 있으며, 자기장-구조, 전기장-구조, 자기장-열, 자기장-유동, 전류-자기장, 전기회로-자기장 등의 다양한 연석해석도 같은 환경 내에서 실행한다. 이것이 ANSYS가 주창하는 Multiphysics기능이며, 현재 CAE분야에서 가장 주목받고 있는 기술이다. ANSYS는 풍부한 기능과 진보된 성능으로 초보자에게서부터 전문가에 이르는 광범위한 사용자층의 요구를 만족시키는 프로그램으로 세계의 인정을 받으며 사용자 수에서도 굳건히 선두의 자리를 지키고 있다.

ANSYS는 재료분야에서도 구조 및 공진 해석과 응력 및 변위 등을 한번에 해석 가능하기 때문에 많이 사용되고 있는 추세이다.

2. ANSYS의 제품

2.1 ANSYS WORKBENCH

ANSYS Workbench 환경은 ANSYS가 설계자의 편의를 추구하여 개발한 새로운 환경의 ANSYS이다. ANSYS社에서는 설계자들이 편리하고 쉽게 해석업무를 수행할 수 있도록 설계자용 제품인 ANSYS DesignSpace를 개발하여 보급해 왔다. 이 ANSYS DesignSpace의 사용 환경을 ANSYS의 모든 제품에 적용할 수 있도록 개발한 환경이 바로 ANSYS Workbench 환경이다. 따라서 ANSYS DesignSpace와 그 옵션은 물론 현재 ANSYS Professional, ANSYS Structural, ANSYS Mechanical, ANSYS Multiphysics

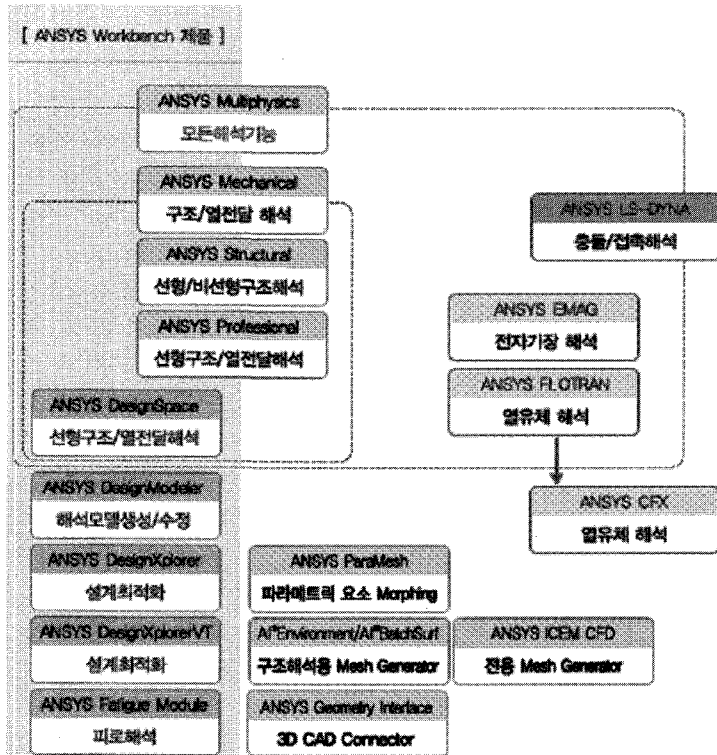


그림 1. ANSYS 제품 구성도.

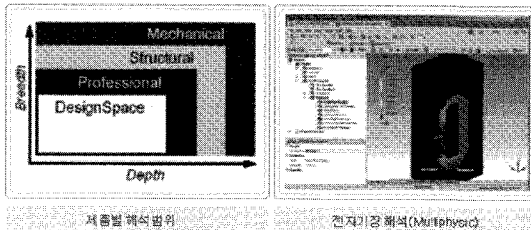


그림 2. Workbench 환경.

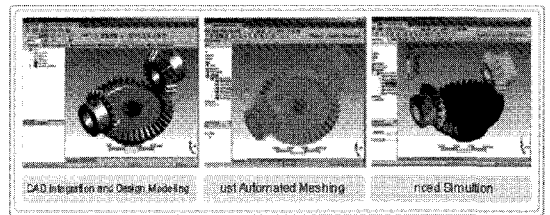


그림 3. 사용환경 그림.

의 거의 대부분의 기능을 Workbench 환경 내에서 구현할 수 있다.

ANSYS Workbench는 설계자들이 3D CAD와 연계해서 ANSYS의 모든 기능을 활용할 수 있도록 개발되었으며, 정책적으로 ANSYS를 구입하는 모든 사용자들에게 무상으로 ANSYS Workbench을 제공하고 있다.

수행하고자 하는 해석 순서가 GUI의 우측에 표시되며(네비게이션 시스템, 또는 해석 마법사라 함), 프로그램이 제시하는 순서에 따라서 작업을 진행하면 쉽게 해석결과를 얻을 수 있다. 또한 해석 마법사를 사용하지 않고 자유롭게 해석 프로젝트를 편집, 복사, 추가, 제거하는 것이 가능하다.

ANSYS Workbench는 사용의 편리성 뿐 만 아니

라, 한글GUI 환경을 제공하고 있으며, 교육자료 등 모든 기술지원 자료를 한글화 하여 제공하고 있다.

ANSYS Workbench는 자체 모델러인 ANSYS Design-Modeler를 옵션으로 제공하고 있으나, 기본적으로는 3차원 CAD 모델을 직접 읽어 들여 해석업무를 수행한다. ANSYS Workbench는 3차원 CAD 프로그램과의 완벽한 호환을 위하여 각각의 CAD 프로그램의 특성에 맞도록 개별 개발되었으며, Plug-in 방식 Read-in 방식이 있다.

- Plug-in 방식: Autodesk Inventor, Autodesk Mechanical Desktop, SolidWorks Solid Edge, Pro/ENGINEER, Unigraphics
- Read-in 방식: CATIA(V4,V5), IGES, Parasolid, SAT

ANSYS Workbench는 Contour 출력, 변형형상 출력, 벡터 출력, 화면분할, Animation 등의 일반적인 해석결과 출력 기능 외에도 Word, Excel, PowerPoint로의 출력이 가능하며, HTML 보고서 작성기능을 제공한다.

2.2 ANSYS Multiphysics

과거에는 실제 현상에 가까운 연성문제를 해석하

기 위해, 각각의 물리현상을 다룰 수 있는 몇 가지의 프로그램을 구입하여 서로 연결하는 복잡한 과정을 거쳐야만 했다. 하지만, 오늘날의 ANSYS Multiphysics는 구조, 열전달, 유동, 음향, 전자기장을 하나의 프로그램으로 통합하여 가장 광범위한 해석 환경을 제공하고 있다. 그림5는 유동과 구조가 상호 연결되어 해석할 수 있음을 보여주고 있다.

ANSYS Multiphysics를 통하여 ANSYS의 모든 해석기능을 하나의 프로그램에서 구현할 수 있으며 복잡한 열-구조, 유동-구조, 정전-구조 등의 연성문제를 쉽게 구현할 수 있다. ANSYS Multiphysics는 ANSYS Mechanical, FLOTRAN, Emag, Emax를 하나의 제품으로 만든 것이다.

Multiphysics는 ANSYS의 최대의 강점이다. 제품

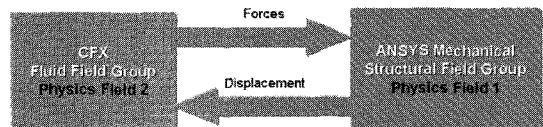
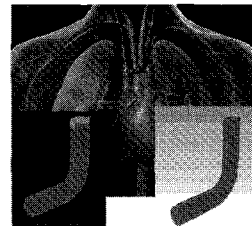


그림 5. 유동과 구조의 Coupled.

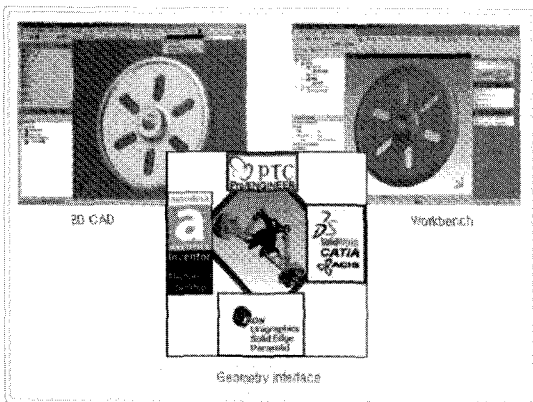


그림 4. CAD와의 연계.

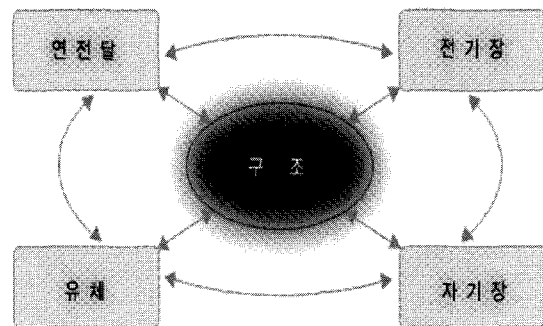


그림 6. 연성해석 도표.



의 소형화, 고도화, 다양화, 모듈화 등이 진행됨에 따라 요구되는 해석현상도 복잡해지고 있다. 최근 Multiphysics해석은 CAE의 키워드로 주목받고 있다. 그림6은 구조해석을 중심으로 하여 열전달, 유체, 전기장, 자기장 해석이 서로 유기적으로 연결되어 있음을 보여주고 있다.

연성해석 예:

- MEMS 디바이스
(전기장-구조-유체, 자기장-구조-유체)
- 전기기계(자기장-열-구조)
- Joule 가열(전기-열-구조)
- 유도가열(고주파전자장-열)
- RF 가열(고주파전자장-열-구조)
- 화공장치(열-구조)

2.3 ANSYS Mechanical

ANSYS MECHANICAL은 선형 / 비선형 해석을 완벽히 수행하고, 금속에서 고무에 이르기까지 다양한 재질에 대해서 해석이 가능한 포괄적인 SOLVER를 탑재하고 있다. 비선형 CONTACT이 포함된 복합적인 ASSEMBLIES를 다룰 수 있으며, STRESS, 온도분포, 변위, CONTACT PRESSURE 분포 등을 결정하는데 최적의 TOOL로 평가되고 있다. 또한, ANSYS MECHANICAL은 소음, PIEZOELECTRIC, 열/구조, 열/전기 해석과 관련한 MULTIPHYSICS의 이점을 제공한다.

2.4 ANSYS Structural

ANSYS STRUCTURAL은 선형 구조해석 뿐만 아니라, 비선형 구조해석을 완벽하게 지원한다.

비선형 요소, 선형 및 비선형 재질, 소성 재질 적용에 대한 완벽한 지원으로, ANSYS STRUCTURAL은 크고 복잡한 구조물까지도 쉽게 해석할 수 있는 막강한 능력을 보유하고 있다. 또한, 비선형 CONTACT 해석 기능은 복잡한 조립품에 대한 해석도 가능하게 해준다. 그림7은 기계 부품과 2개의 파이프가 꼬인 것, 그리고 3차원 비선형 정적구조해석 예를 나타내고 있다.

2.5 ANSYS Professional

비교적 저가의 해석 소프트웨어인 ANSYS PROFESSIONAL이 있다. ANSYS PROFESSIONAL은 저가이며, 구조/열해석 능력을 갖춘 사용하기 쉬운 프로그램이다

ANSYS PROFESSIONAL은 사용자들에게 고도의 전문성을 요구하지 않으면서 현대산업을 이끄는 해석기술을 포함하고 있다. 선형요소, 중요한 비선형, SHELL-TO-SOLID를 포함한 복잡한 조립품 해석 등이 가능하다. 그림8은 기어 등의 구조해석 예를 나타내고 있다.

2.6 ANSYS Emag

전자기장 해석은 많은 산업분야에서 전기 & 전자 제품 설계 시 매우 중요하다. 회전하는 기계(모터, 발

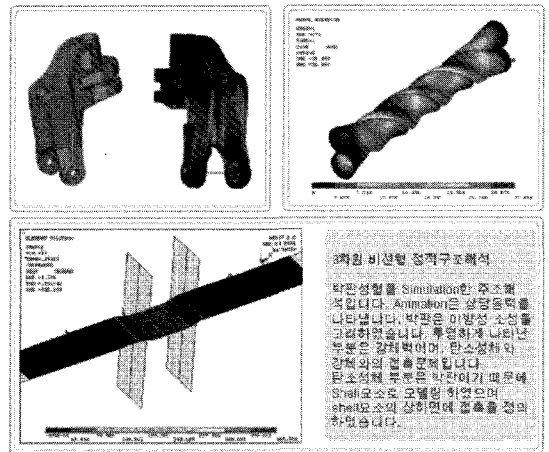


그림 7. 구조해석 예.

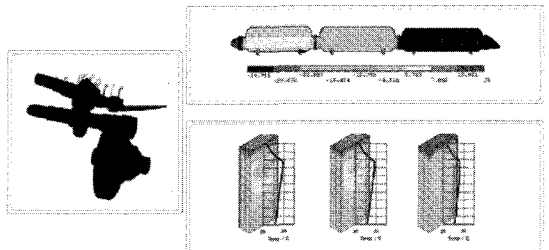


그림 8. 구조해석 예.

전기)에서부터, Sensor, Actuator, Power Generator, Transformer System 그리고 MEMS(Micro Electro Mechanical System)에 이르기 까지 그 적용이 다양하다. ANSYS Emag은 광범위한 범위의 Low-Frequency 해석기능을 제공하여, 모터설계에서부터 이온광학까지 Electromagnetics Engineer의 다양한 요구를 충족시키고 있다.

ANSYS Emag은 저주파 전류해석, Conductive & Capacitive System의 전기장 해석 그리고 전류나 영구자석으로부터 자기장 해석을 수행한다. Static, Transient, Harmonic Low-frequency Electromagnetic과 관련된 포괄적인 해석능력을 갖추고 있어 Electrostatic, Magnetostatic, Electromagnetic, Electric Circuit & Current Conduction 해석 수행이 가능하다. 그림9는 3상 모터의 자기장 해석과 모터의 특성 시뮬레이션을 보여주고 있다. 그림10은 전하의 궤도를 시뮬레이션하여 정자기적 해석과 정전기적 해석한 예를 보여주고 있다.

ANSYS Emag은 Electrostatic & Magnetostatic Field에서 전하추적과 관련된 해석을 수행할 수 있으며, Force, Torque, Inductance, Impedance, Capacitance, Joule Losses, Field Leakage, Saturation, Electric & Magnetic Field Strength 관련된 계산이 자동화된 특징을 가지고 있다.

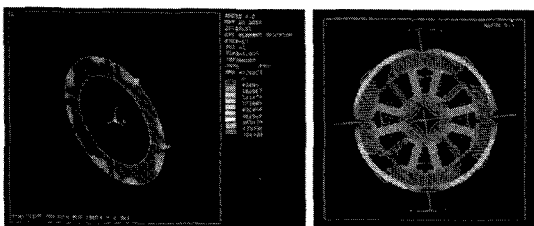
ANSYS Emag의 회로 생성기는 사용자로 하여금 Harmonic, Transient(Large Amplitude Transient 포함) Voltage & Current Load를 회로도를 통해서 직

접 유한요소 모델에 적용 할 수가 있다. 회로 생성기를 통해서 사용자는 Resistor, Capacitors, Diodes, Inductors, Wires, Transformers, Voltage & Current Sources 등을 임의로 배열 할 수가 있으며, Circuit Coupling 기능은 비선형(Saturation)이 반드시 고려돼야 하는 Circuit-fed 장치의 해석을 가능하게 한다.

2.7 ANSYS LS-DYNA

ANSYS LS-DYNA는 1996년에 처음 소개된 이래로, 수많은 산업분야의 많은 유저들에게 복잡한 설계문제를 해결하는데 일조하여 왔다. 충돌해석, 영구적인 대변형 관련된 문제를 해결하는데 현 ENGIN-EER 들은 많은 어려움을 겪고 있다. ANSYS LS-DYNA는 ANSYS의 PRE/POST PROCESS 기술과 LSTC의 EXPLICIT DYNAMIC SOLVER 기술을 결합하여 이러한 문제를 해결하는데, 최상의 조건을 제공한다. 사용자들은 ANSYS LS-DYNA를 통해서 충돌시험, 금속성형, STAMPING 등과 같은 매우 복합적인 비선형 현상 문제를 이해 할 수 있다.

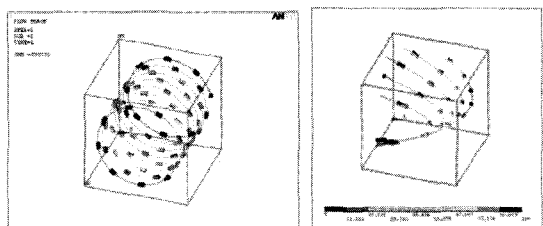
ANSYS LS-DYNA는 2-D & 3-D EXPLICIT ELEMENT을 지원하고, 자동적으로 CONTACT를 지정할 수 있는 기능과 더불어 SINGLE-SURFACE, SURFACE-TO-SURFACE & NODE-TO-SURFACE CONTACT 특징을 가지고 있다. ANSYS LS-DYNA는 해석시간을 단축하기 위한 몇 가지 방안을 제시하고 있는데, SMP(SYMMETRIC MULTIPROCESSING) & MMP(MASSIVELY PARALLEL PRO-



3상 모터 자기장 해석

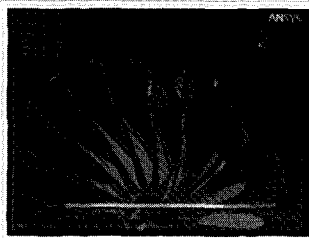
모터의 특성의 Simulation

그림 9. 전자기 해석 예.



전하입자의 궤도를 simulation한 정자기장해석과 정전기장해석

그림 10. 전자기 해석 예.



조류충돌 (birdstrike)

비행기와 새가 충돌하면 누가 이길까. 새들이 비행기의 엔진에 떨어 뜨려가는 조류충돌로 인해 항공사들은 매년 막대한 피해를 보고 있습니다. 2001년의 새 한 마리가 시속 300km/h의 속도로 비행하는 비행기 엔진에 떨어지면 최소 1년 현역 수리비가 든다고 합니다. 물론 새는 흔적이 없이 사라집니다. 따라서 정렬을 우선시합니다.

조류충돌(birdstrike)에 의한 팬 블레이드의 손상을 stratification impact유준-영희가구조의 분석 해석합니다. Ansys의은 실험동력을 보여줍니다. 항공기전보안장의 적보레이드에 새가 충돌하는 현상을 birdstrike라 부릅니다. 새는 타원형으로 모델링 하였으며 블레이드는 회전하고 있기 때문에 초기상태는 원심력에 의해 움직이 부가된 상태입니다. 이 초기 상태를 ANSYS를 이용해 impact로 구현합니다. 그리고 다음 단계로 ANSYS LS-DYNA를 이용하여 explicit을 활용하여 해석할 수 있습니다.

그림 11. 유동 해석 예.

CESSING) 이 그것이다. 이 두 METHOD는 다수의 CPU를 최적화하여 시간에 따라 EXPLICIT 해석결과로 넘겨준다. 그림11은 조류충돌에 의한 팬블레이드의 손상을 시뮬레이션한 연성해석이다.

2.8 ANSYS CFX 10.0

CFX는 AEA Technology라는 회사에서 Harwell이라는 영국의 원자력 발전소용 Inhouse 코드를 상용 코드화 시킨 제품이다. 일반 유동, 열전달 뿐 아니라, 다상 유동까지 해석이 가능한 제품으로서 판매 당시에는 유럽과 미국에서 많이 사용되었다.

CFX는 기본적으로 Coupled Solver방식의 상용전산유체해석코드이며, 2003년 초에 ANSYS와 합병되므로서 또 한번 크게 변화하게 된다. 가장 큰 변화는 그 동안 FEM과 FVM의 장, 단점에 관한 많은 논의 끝에, FEM Based FVM Method를 채택하였다는 점이다. 많은 상용코드가 FVM Method를 채택하고 있으나, 그 주요 목적은 Conservation Theory(Mass, Momentum, Energy)를 구현하기 쉽고, 간단하다는 데 있다. 그러나 이러한 제한체적에 관계된 변수들의 Gradient는 정확히 구현하는데 한계가 있었다. 그래서 FEM의 장점인 Shape Function을 도입하여 이러한 문제를 해결하였다. 상용유체역학코드 중에서 FEM과 FVM의 장점을 모두 사용하는 코드는 CFX 외에는 없다.

ANSYS-CFX는 현재 시대가 요구하는 FSI(Fluid

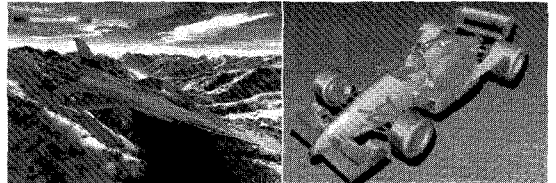


그림 12. 유동 해석 예.

Structure Interaction;유체-고체 연성해석)을 시작으로 Multiphysics의 구현을 앞당기고 있다. 즉, 기존의 제품생산 단계인, Design -> Physical Prototype -> Testing -> Analysis의 비용, 시간 소모적 활동을, 모두 Simulation Driven Product Development라는 통합 Simulation 환경속으로 구현하므로써 생산성을 10배 많게는 100배까지 향상시키려 하고 있다.

그림12는 전투기와 경주용 자동차의 유동해석을 한 것이다.

2.9 ANSYS의 압전재료 해석

압전현상은 1880년에 피에르와 폴 자크 퀴리에 의해 발견되었는데 그들은 석영·전기석(電氣石)·로셀염 같은 결정을 어떤 결정축을 따라 압력을 가하면 유전 분극을 일으켜 결정의 표면에 전압이 생기는 것을 관측했다. 다음 해에 그들은 전류를 가하면 그 결정들의 길이가 늘어나는 역효과도 관측했는데 이를 역압전 효과라 한다. 압전 현상은 압전 액츄에이터, 압전 소자, 센서 등 여러 분야에 이용되고 있다.

ANSYS는 초창기 Version 부터 압전 현상을 해석할 수 있는 기능을 가지고 있다. 압전 현상의 해석에 ANSYS가 어떻게 사용되는지 알아보자.

2.9.1 Modeling Part

압전재료를 모델링 할 때는 물성치의 방향과 일치되게 모델을 구성하는 것이 필요하며 중요한 압전 물성치는 아래와 같이 3개의 부분으로 나누어진다.

Elastic Stiffness Matrix

강성에 대해 Matrix 형식으로 물성치를 정의한다.

Anisotropic Elastic Matrix Option을 사용하여 각 방향별로 물성치를 정의한다.

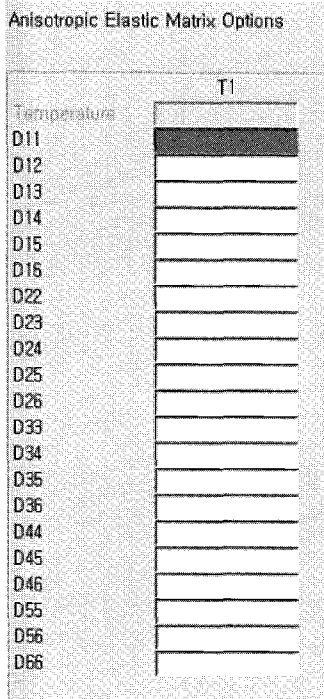


그림 13. stiffness matrix 정의.

Dielectric Matrix

유전율을 각 방향 별로 정의해준다.

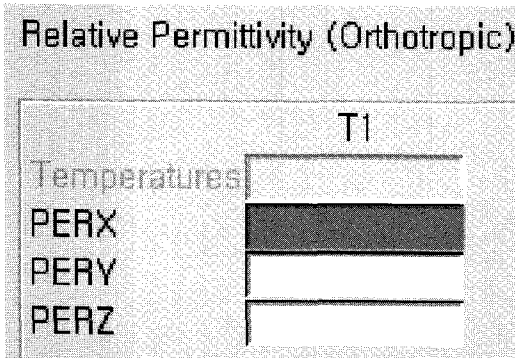


그림 14. dielectric matrix 정의.

Piezoelectric Stress Matrix

압전 상수를 정의해 준다.

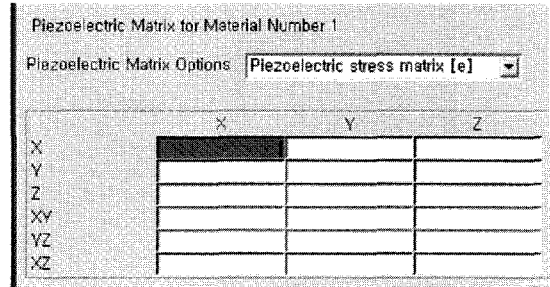


그림 15. Piezoelectric Matrix 정의.

모델은 일반적인 방식으로 생성하지만 모델의 극성과 물성치에서 주어진 극성 방향이 일치해야 한다. Element에서 극성의 방향은 Element 좌표계를 따라간다.

그림16의 경우는 PZT를 z축으로 분극하여 모델의 극성이 z축으로 되어있다.

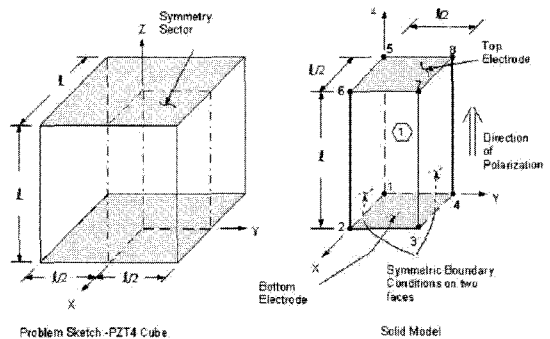
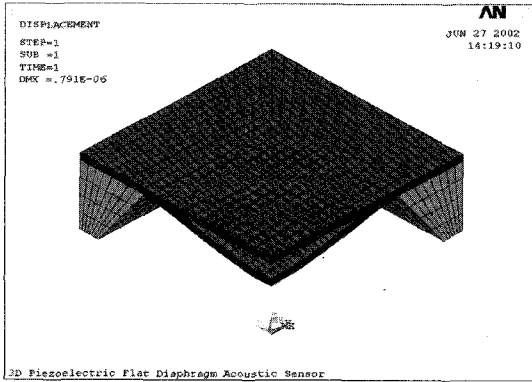


그림 16. 모델의 정의(PZT를 z축으로 분극).

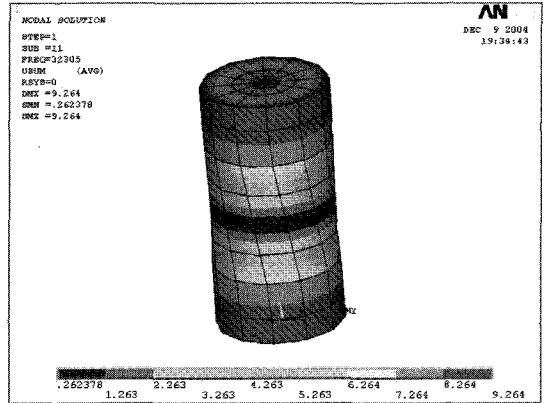
2.9.2 ANSYS 압전 해석 종류와 결과 출력

가. Static Analysis

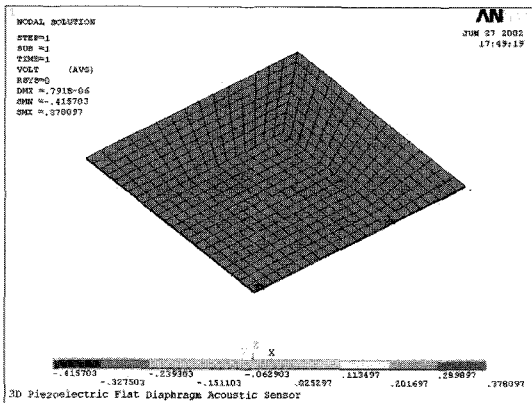
이 방법은 직류전압을 인가하였을 때 변위, 응력, 전압분포 등의 응답을 보는 것이다. 역으로 압력을 가한 경우 전압의 분포를 볼 수 있다. 그림17은 압전 음향센서에 전압을 가한 경우 변위 분포와 하중을 가한 경우 전압 분포를 보여주고 있다.



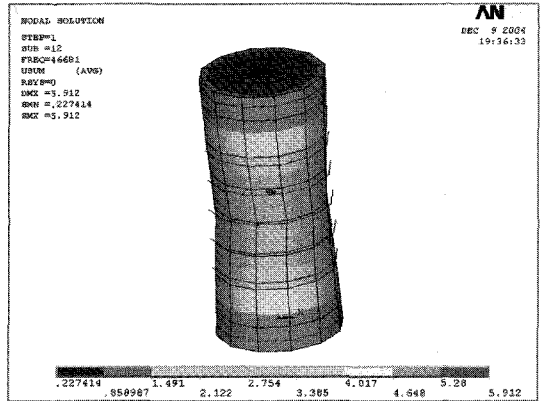
(a) 변위



(a)



(b) 전압



(b)

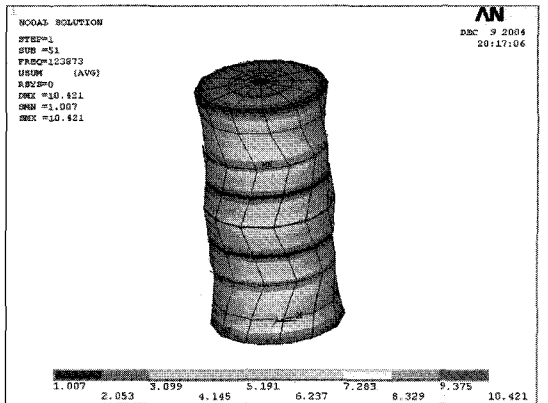
그림 17. Static Analysis 결과(압전 음향센서).

나. Modal Analysis

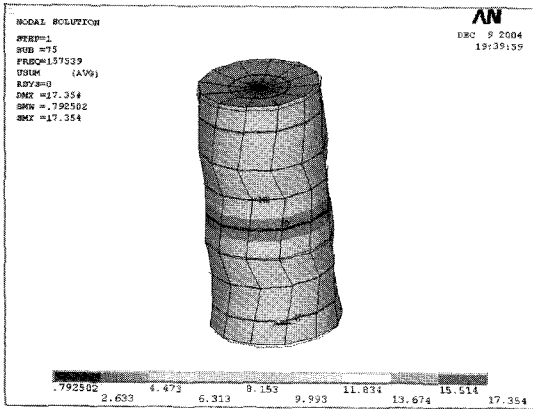
이 방법은 압전 능동모드와 수동모드를 포함하여 여러 가지 공진 모드를 알 수 있으며 이 방법을 사용하면 공진주파수와 모드에 따른 여러 모양을 얻을 수 있다. 그림18은 (a), (b), (c), (d) 순으로 공진주파수에 따른 형상의 변화를 본 것이다.

다. Harmonic Analysis

이 방법은 시간에 따라 SIN 파형처럼 변화하는 부하에 대한 선형구조의 정상상태 응답을 결정할 때 사용한다. 이 개념은 여러 주파수에서 구조적 응답



(c)



(d)

그림 18. 여러 가지 모드 형상 그림.

을 계산하고 주파수 대 응답량의 그래프를 얻는 것과 특정 주파수에서 전체 모델의 응답을 보는 것이다. 결과 출력시 전류는 전하의 시간적인 미분에 의해 얻어지며 임피던스는 전압을 전류로 나눔으로써 얻을 수 있다. 어드미턴스는 임피던스의 역수로 구하면 된다. 공진 시 임피던스는 최소값을 보이며 반공진시 최대값을 보인다. 그림19는 60 Hz에서 응력,

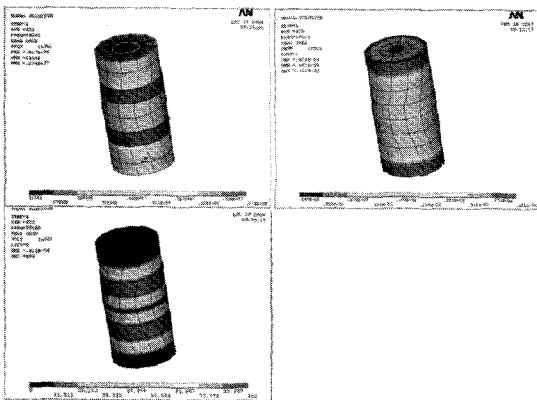


그림 19. 60 Hz에서의 응력, 변위, 전압 결과.

변위, 전압 결과를 나타내고 있으며 그림20은 임피던스 곡선을 보여주고 있다.

라. Transient Analysis

이 방법은 시간에 따라 변화하는 부하에 대한 동적인 응답을 결정할 때 사용한다. 사용자가 원하는 어느 구간의 시간동안 해석을 하며 특정 시각에서 전체모델의 결과를 볼 수 있고 특정 Node에서 전체 시간을 따라 그래프로서 결과를 출력할 수 있다. 그림21은 특정 시각(0.005 sec)에서의 전압분포 결과를, 그림22는 특정 시각(0.005 sec)에서의 변위 결과를, 그림23은 특정 Node에서 전체 시간에 따른 변위 결과를 나타내고 있다.

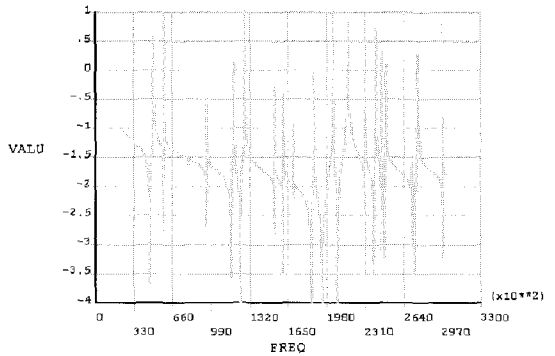


그림 20. 임피던스 결과.

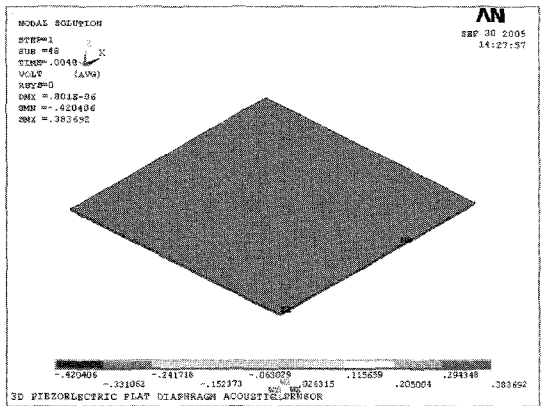


그림 21. 특정 시각(0.005 sec)에서의 전압분포 결과.

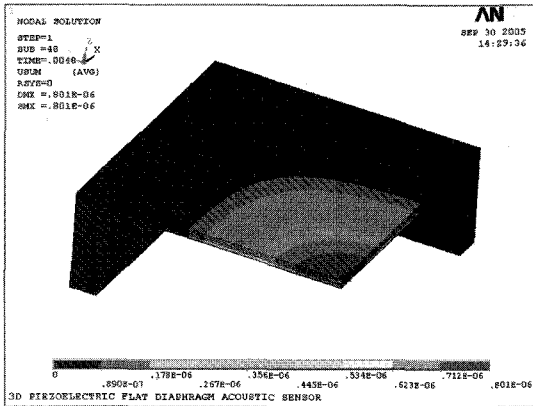


그림 22. 특정 시각(0.005 sec)에서의 변위 결과.

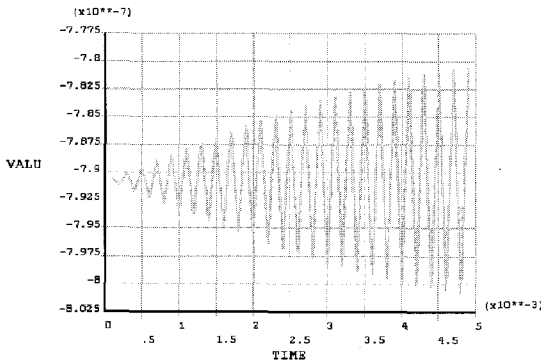


그림 23. 특정 node에서 전체 시간의 변위 결과.

참고 문헌

- [1] 박창엽, 전기전자용 압전세라믹스, p. 28, 반도체출판사, 1997.
- [2] ANSYS VERIFICATION MANUAL, example 175, 176, 231, 237, 2005.
- [3] ANSYS COUPLED FIELD ANALYSIS GUIDE, chapter 7.13, 2005.
- [4] ANSYS ELEMENT REFERENCE, chapter 2.5.7. Piezoelectric Materials, 2005.
- [5] ANSYS THEORY REFERENCE, chapter 11-3, 2005.

저자약력



성명 : 홍 재일

◆ 학력

- 1982년 연세대 전기공학과 공학사
- 1987년 연세대 대학원 전기공학과 공학석사
- 1991년 연세대 대학원 전기컴퓨터 공학과 공학박사

◆ 경력

- 1997년 - 현재
- 1997년

동서울대학 전기정보제어과 교수
미국 Pennsylvania Univ. MRL 방문교수



성명 : 류 주현

◆ 학력

- 1984년 연세대 전기공학과 공학사
- 1987년 연세대 대학원 전기공학과 공학석사
- 1990년 연세대 대학원 전기컴퓨터 공학과 공학박사

◆ 경력

- 1991년 - 현재

세명대 전기공학과 교수