

SAP2000 USERS MANUAL

for Student of Kyungil Univ.

李 鍾 憲

※ SAP2000 MANUAL의 구성

1. SAP2000 Getting Started
2. Basic Analysis Reference
3. SAP2000 Analysis Reference I
4. SAP2000 Analysis Reference II
5. SAP2000 Varification Manual

BOOK 1

Getting Started

Chapter I Welcome to SAP2000

- 세가지 version : SAP2000, SAP2000PLUS, SAP2000Nonlinear

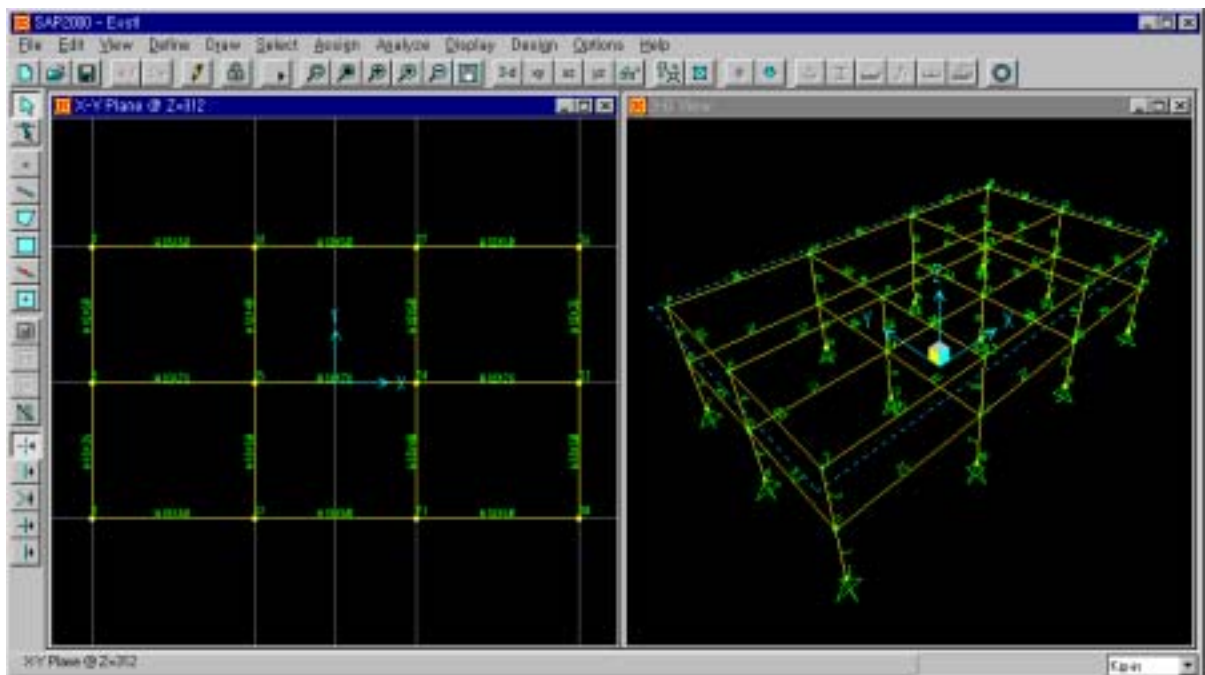
Chapter II Getting Started

시스템 요구사항

- Intel 80486, Pentium, or Pentium Pro processor
- RAM : 16MB 이상
- Hard Disk : 200MB 이상의 여유 공간
- OS : MS Windows 95 or Windows NT
- Graphic Card : 800×600 이상, 256 color

Chapter III The Graphical User Interface

SAP2000 Screen



Chapter IV Quick Tutorial

개 요

이 지도서는 SAP2000을 처음 사용하는 사람들에게 SAP2000의 몇가지 기본적인 사항과 성능을 설명함으로써 실질적인 체험을 얻게 하는 데에 목적이 있다. 여기서는 여러분이 앞장 “The Graphical User Interface”를 읽었다고 가정한다. 여러분은 이 프로그램에 포함되어 있는 포괄적인 온라인 도움말을 사용할 것을 권한다. 구조 모델에 대해 더 많은 정보를 얻기 원한다면 이 책의 2편에 있는 SAP2000 Basic Analysis Reference를 참고하면 된다.

이 지도서에서 보이는 화면은 여러분의 컴퓨터 화면과 약간 다르게 보일 수 있다. 그것은 여러분 컴퓨터의 화면 해상도와 활자의 설정이 다르게 되어 있기 때문이다.

여러분이 이 프로그램에 익숙해짐에 따라, 여기서 설명하는 과정의 순서가 그리 중요하지 않다는 것을 알게 될 것이다. 바꾸어 말하면, 어느 정도 연습을 하고 나면, 똑 같은 모델을 설정하고 실행하는 데 있어서 이 지도서와 다른 순서대로 연산을 수행하도록 선택할 수 있다.

SAP2000 명령을 위해 도구막대(Toolbars)를 이용할 수도 있고 메뉴(Menu)를 이용할 수도 있다. 여기서는 여러분이 두 방법 모두에 익숙해지도록 하고 있다. 도구막대는 흔하게 사용하는 사항들에 빠르게 접근할 수 있게 해준다. 도구막대에서 이용 가능한 대부분의 사항들은 역시 메뉴 막대에서도 접근할 수 있다.

모델 설명

이 지침서에서 택한 모델들은 이미 개발하고, 해석하고, 설계를 검토하고, 그리고 수정한 것이다. 프로그램의 모델판(template)에서 Warren 타입의 5-bay 2차원 단순 트러스를 택했으며, 여기에 고정하중과 활하중을 집중하중으로 작용시켜서, 두 개의 하중 case에 대해 해석하였다. AISC/ASD89에 따라 설계 응력 검사를 수행하여 상호 작용하는 응력의 비를 조사하였다. 그리고 나서 모델의 기하학적 형상(geometry)과 하중 재하(load)를 수정하여 그 과정을 반복했다.

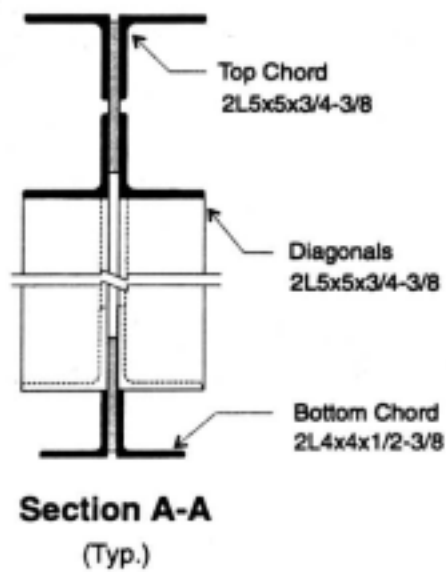
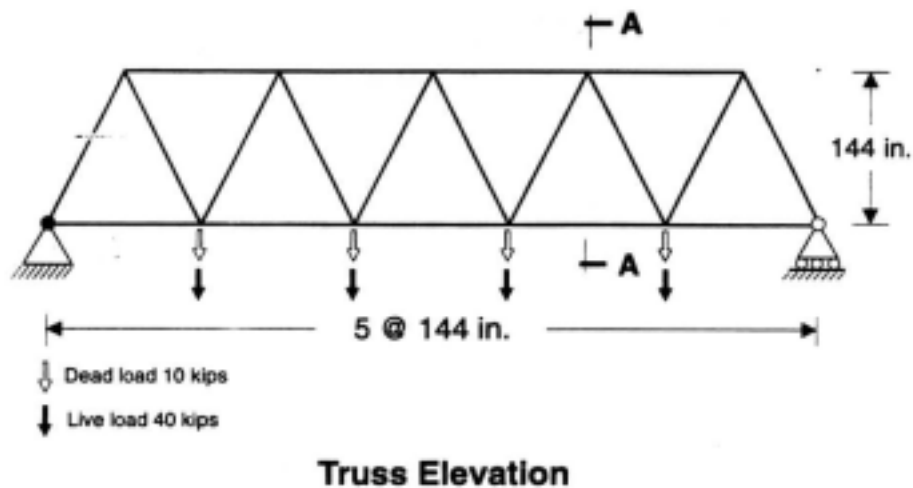
최초의 모델은 그림 1과 같다. 단위는 Kip-inch를 사용한다. 전체 모델에 대해 복L형 구조용 강재(항복강도 36 Ksi)를 사용하였다.

지도서의 시작

앞으로의 주제들을 통하여 트러스 모델을 만들고 해석하는 단계별 절차를 설명하기로 한다. 이 장을 읽는 동안 여러분이 실제로 프로그램을 사용하여 이들 단계들을 연습해 보기 바란다.

기하적 형상은 모델판(template)으로부터 얻을 수 있다. 모델판에는 자주 사용하는 구조물의 형상이 몇 개 들어 있다. 일단 구조물의 기하학적 형상이 설정되고 나면, 나머지 과정의 순서는 여러분의 재량에 달려 있다는 것을 기억하라. 경험이 많을수록 지름길로 갈 것이다.

여러분이 가지고 있는 Windows의 version에 따라 시작메뉴(Start Menu)를 사용하거나 프로그램 관리자(Program Manager)를 이용하여 SAP2000을 시작하라. 이제 모델을 진행하기 시작할 것이다.



Notes:

- Kip-inch units are used.
- Self weight of truss is included in load condition COND1.
- Minimum yield stress for steel, $F_y = 36 \text{ ksi}$

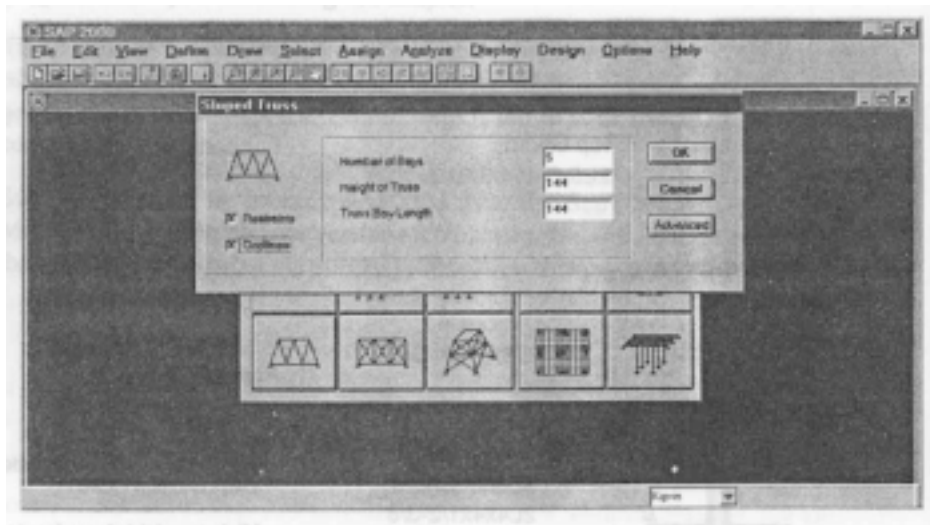
그림 1 최초 모델에 대한 기하학적 형상과 하중재하

기하학적 형상(geometry)의 설정

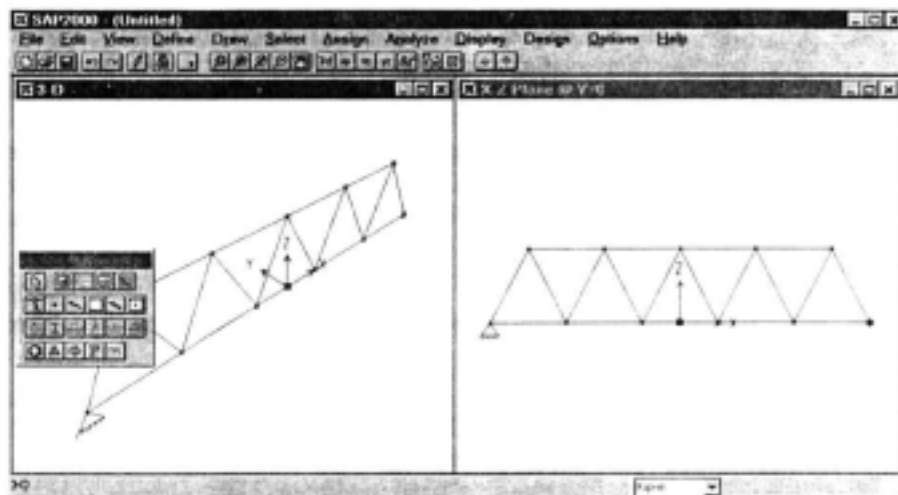
1. File 메뉴로부터, New Model Template...를 선택하면, 모델판의 대화 상자(dialog box)가 나타날 것이다.

2. 이 대화 상자에서

- 경사(sloped) 트러스 모델을 click하라. 그러면 경사 트러스의 대화 상자가 표시될 것이다.
- 이 대화 상자에서
 - bay의 수를 5로 바꾼다.
 - Restraints(지점구속) 상자를 체크한다.
 - Gridlines(격자 눈금) 상자를 체크한다.
 - 트러스의 높이와 bay의 길이는 기존에 설정된(default) 값을 그대로 사용한다.
 - OK** 버튼을 click한다.



화면이 새롭게 변하여, 수직으로 나뉜 인접한 두 창에 모델의 3차원 모양과 2차원 모양이 표시될 것이다. 오른쪽 창은 Y=0에서 모델의 X-Z평면 모양을 보여준다. 왼쪽 창은 3차원 투시도를 보여준다.



이것으로 모델의 기하학적 형상이 완성되었고, 여기에는 받침부 구속이 포함되어 있다.

주의 : 경사 트러스의 대화 상자에서 Restraints 상자에 check 표시가 되어 있으면 기존에 설정된 지점구속(restraint)이 모델에 자동으로 추가된다.

구조 단면을 정의하기

전체 트러스에 대해 두 개의 복L형 단면을 사용하기로 한다. 이를 위해 SAP2000에서 제공하는 구조 단면 데이터 파일을 사용할 것이다. 이 파일명은 SECTIONS.PRO이고 SAP2000 파일들과 같은 디렉토리에 들어 있다.

1. **Define** 메뉴에서, **Frame Sections...**를 택하라. 그러면, 프레임 단면의 대화 상자가 나타난다.

2. 이 대화 상자에서

- 『Import』라는 아래끌기(drop-down) 상자를 click하라.
- 『Import Double Angle』을 click하라. 그러면 단면 성질에 관한 파일들이 들어 있는 대화상자가 나타난다.
- 이 대화 상자에서
 - SECTIONS.PRO 데이터 파일을 찾는다.
 - **OPEN** 버튼을 click하거나 파일 이름을 두 번 click함으로써 SECTIONS.PRO 파일을 연다.
 - 그러면 그 데이터 파일 내에서 사용 가능한 모든 복L형 단면을 보여주는 아래 끌기 목록 상자가 나타난다. 또한 이 상자는 데이터 파일의 전체 경로도 보여준다.

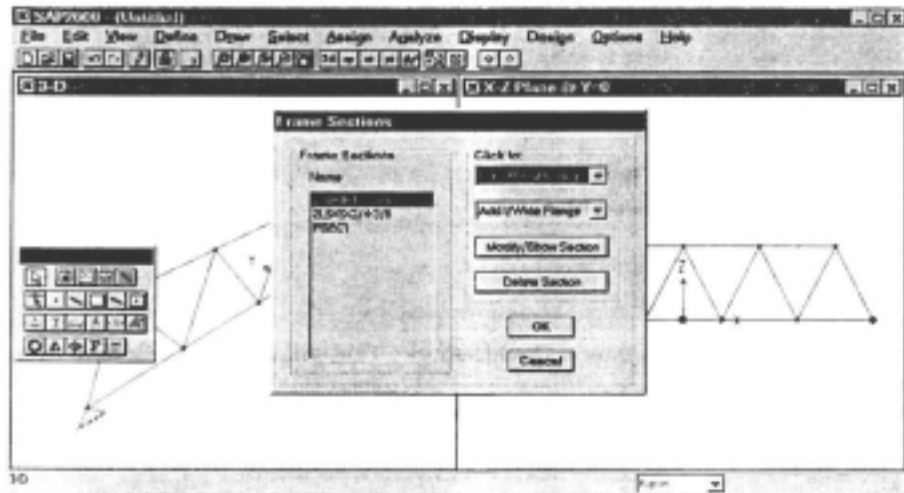
주의 : SAP2000을 사용할 동안은 SECTIONS.PRO의 데이터 파일을 단 한번만 택하여 열 수 있다. 그러나, 원한다면 **Options** 메뉴에서 **Preferences**(환경설정)에 들어가면 언제든지 다른 파일을 택할 수 있는 option이 있다.

3. Double Angle(복L형) 목록 상자에서

- Scroll 버튼을 사용하여, 이 모델에서 사용한 구조 단면 중의 하나, 즉, 2L5x5x3/4-3/8에 위치시킨다.
- 2L5x5x3/4-3/8을 두 번 click한다. 그러면 복L형 단면의 대화상자가 나타나는데, 여기서 선택한 단면의 개략도와, 단면 치수와, 기존 설정된 재료가 STEEL이라고 표시한 것을 볼 수 있다.
- **OK** 버튼을 click하라. 그러면 복L형 단면(Double Angle Section) 대화 상자가 닫힌다. 『Frame Sections』 대화 상자 안에 있는 『Frame sections』 영역에, 기존 설정된 단면 이름인 (FSEC1)에 추가하여 이번에 선택한 단면의 이름이 들어 있음을 주목하라.

4. 위의 2, 3 단계를 반복하여 또 다른 복L형 단면인 2L4x4x1/2-3/8을 선택하라

5. **OK** 버튼을 click하라.



부재 단면의 지정

이번 단계에서는 앞에서 정의한 두 개의 단면을 트러스의 여러 부재에 지정한다. 복L형 단면 2L5x5x3/4-3/8을 상현재(top chord member)와 사재(diagonal member)에 지정하고, 2L4x4x1/2-3/8은 하현재(bottom chord member)에만 지정한다.

1. 정면도(elevation view)에서 “windowing(창에서 표시하기)”을 이용하여 트러스의 상현재를 선택한다. 이를 위해 다음과 같이 진행한다:
 - Floating Toolbar(부유 도구막대)에 있는 **Pointer Tool** 버튼을 click한다.
 - 선택하고자 하는 부재의 왼쪽 위로 pointer(지시점)를 이동한다.
 - 마우스의 왼쪽 버튼을 click한 채 계속 누른다.
 - 마우스를 누르고 있는 상태에서, 선택하고자 하는 부재의 오른쪽 아래로 pointer를 이동한다. 그러면 선택한 영역이 “rubber-band”창(고무줄처럼 늘어나는 창)으로 나타난다.
 - 마우스의 왼쪽 버튼을 놓으면 이 창에 있는 모든 부재들이 선택된다.
2. 이번에는 intersection(교차선)으로 사재를 선택한다. 이를 위해 다음과 같이 진행한다:
 - Floating Toolbar에 있는 **Set Intersecting Line Select Mode** 버튼을 click한다.
 - 선택하고자 하는 부재의 왼쪽으로 pointer를 이동시킨다.
 - 마우스의 왼쪽 버튼으로 click한 채 계속 누른다.
 - 마우스를 누르고 있는 상태에서, 선택하고자 하는 부재의 오른쪽으로 pointer를 이동시킨다. 그러면 “rubber-band”가 교차된 선으로 보인다.
 - 마우스의 왼쪽 버튼을 놓으면 이 선과 교차되는 모든 부재들이 선택된다.

이제 트러스의 모든 상현재와 사재의 선택이 완료되었다. 선택한 프레임 요소들은 점선으로 나타난다.

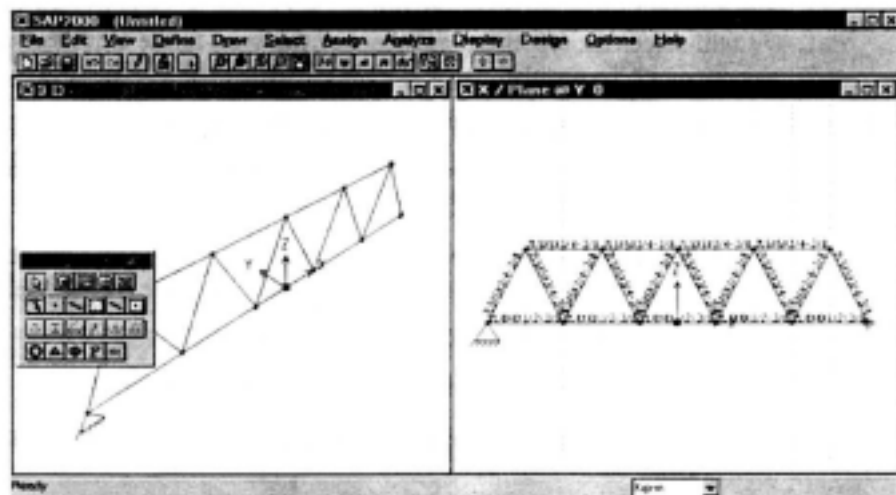
3. **Assign** 메뉴에서 **Frame**을 선택하고, 부메뉴(submenu)에서 **Sections...**를 선택한다. 그러면 『Frame Sections』 대화 상자가 표시된다.

4. 이 대화 상자에서
- 『Name』 영역에서 2L5x5x3/4-3/8을 click하라.
 - **OK** 버튼을 click하라.

선택 과정을 끝내고 나면 창의 표시가 새롭게 되고, 선택된 모든 부재에 단면 라벨이 표시된다.

5. Floating Toolbar에서 **Pointer tool** 버튼을 click하라.
6. 위의 1 단계에서처럼 “windowing”으로 하현재를 선택하라.
7. 3과 4의 단계를 반복하여 이들 부재에 2L4x4x1/2-3/8를 지정하라.

이제 화면에는 모든 부재가 지정된 것이 보일 것이다.



주의 : **Options** 메뉴에 있는 **Preferences...**를 이용하여, 글자 크기를 키우는 등 표시 속성을 언제든지 변화시킬 수 있다.

기본 도구막대(Main Toolbar)에 있는 **Set Elements**를 click하고, Element Display Options 대화 상자의 『Frames』 영역에서 『Sections』 box에 있는 체크 표시를 없애면 단면 라벨을 표시에서 지울 수 있다.

하중 케이스를 정의하기

이번 해석에서는 두가지의 하중 케이스를 고려한다. 첫 번째 하중 케이스는 고정하중으로서 구조물의 자중도 포함한다. 이 고정하중에 대해, 프로그램에서 기존 설정한(default) 이름인 LOAD1이란 이름을 그대로 쓰기로 한다. 두 번째 하중 케이스는 활하중으로서, LOAD2라고 이름을 붙이기로 한다.

1. **Define** 메뉴에서 **Static Load Cases...**를 선택하라. 그러면 『Load Names』라는 대화 상자가 나타날 것이다.

여기에는 기존 설정 하중인 LOAD1이 나타나 있는데, 하중의 종류는 고정하중으로 설정되어 있고, self-weight multiplier(고정하중 증가계수)는 1로 설정되어 있다. 이 첫 번째 하중 케이스에 대해서는 아무것도 바꿀 필요가 없다. 이제 두 번째 하중 케이스를 정의하자.

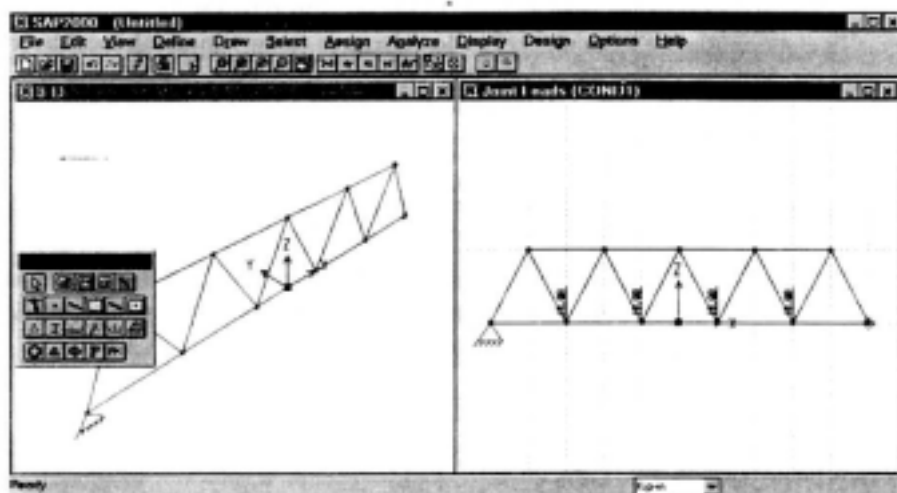
2. 대화 상자에서

- LOAD1을 LOAD2로 변경한다.
- 『Type』 아래 끌기(drop-down) 목록 상자에서 『Live』를 선택하라.
- self-weight multiplier를 0으로 변경하라.
- **Add new Load** 버튼을 click하라. 『Loads』 목록 상자에는 이제 하중 케이스의 이름과 형태가 두 개씩 보이게 된다.
- **OK** 버튼을 click하라.

절점하중을 지정하기

고정하중과 활하중은 트러스의 하현재에 절점하중으로 작용한다. 고정하중과 활하중의 크기는 각각 -10kip와 -40kip이다.

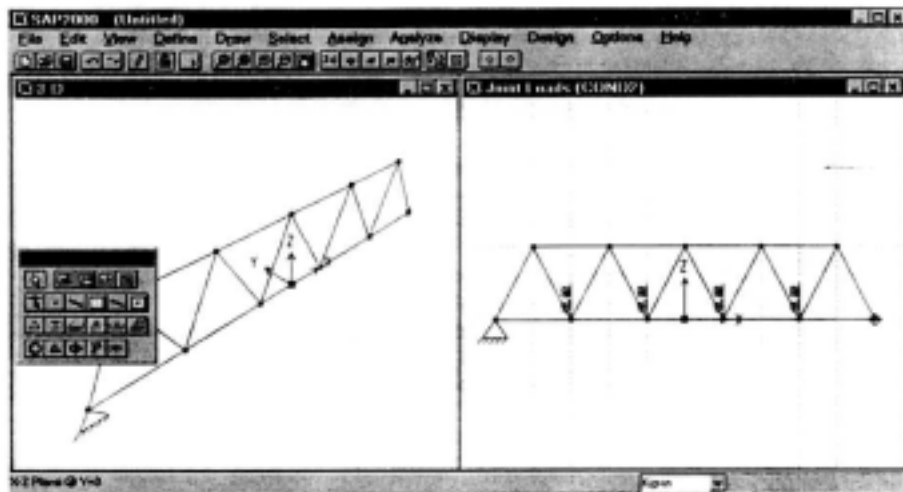
1. 부재의 단면을 지정할 때 했던 것처럼 “windowing”을 이용하여 하현재에 있는 절점들을 선택하라.
2. **Assign** 메뉴에서 **Joint Static Loads**를 선택하고, 부메뉴에서 **Forces...**를 선택하라. 그러면 『Joint Forces』 대화 상자가 나타난다.
3. 대화 상자에서
 - 기존에 설정된 하중 케이스 이름 LOAD1을 받아들인다.
 - 『Loads』 영역에 있는 『Force Global Z』 상자에 -10을 입력하라.
 - **OK** 버튼을 click하라.



이제 활하중을 입력하자.

4. Floating Toolbar(부유 도구막대)에 있는 **Restore Previous Selection**을 click하라. 이것은 하 현에 있는 절점들을 다시 선택하는 것이다.
5. **Assign** 메뉴에서 **Joint Static Loads** 선택하고 부메뉴에서 **Forces...**를 선택하라. 그러면 『Joint Forces』 대화 상자를 다시 나탄낸다.
6. 이 대화 상자에서
 - 하중 케이스의 이름을 **LOAD2**로 변경하라.
 - 『Loads』 영역에서 『Force Global Z』 상자에 -40을 입력하라.
 - **OK** 버튼을 click하라.

이제 모든 하중들이 작용되었으며, 모델이 완성되었다.



모델의 해석

이제 모델을 해석하자.

1. **Analyze** 메뉴에서, **Run**을 선택한다. 그러면 『Save Model File As』 대화 상자가 나타난다.
2. 이 대화 상자에서
 - 임의의 파일 이름으로 모델을 저장하라. 이번 경우는 **TRUSS2D.SDB**라고 이름 붙이기로 한다.

주의 : 확장자 『.SDB』를 입력하지 않더라도 프로그램이 자동적으로 이 확장자를 파일이름에 추가한다.

- **OK** 버튼을 click하라.

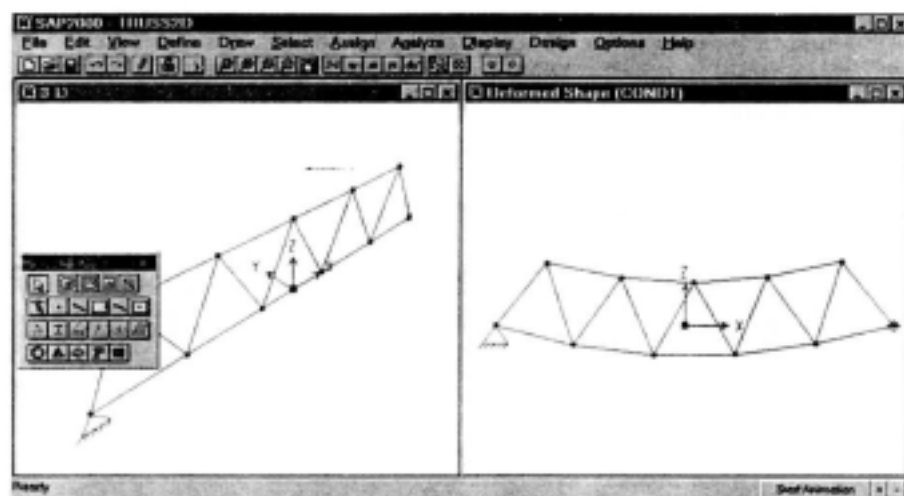
위쪽에 창이 하나 열려서 해석이 진행되는 여러 단계를 차례대로 표시해 준다. 해석이 끝나면 화면이 다음과 같이 된다.



3. 위쪽 창에서 스크롤 막대를 사용하여 해석 메시지를 다시 보거나, error 또는 경고 메시지를 검토할 수 있다.(그것이 없어야 한다)
4. 위쪽 창을 닫기 위해 거기에 있는 **OK** 버튼을 click한다.

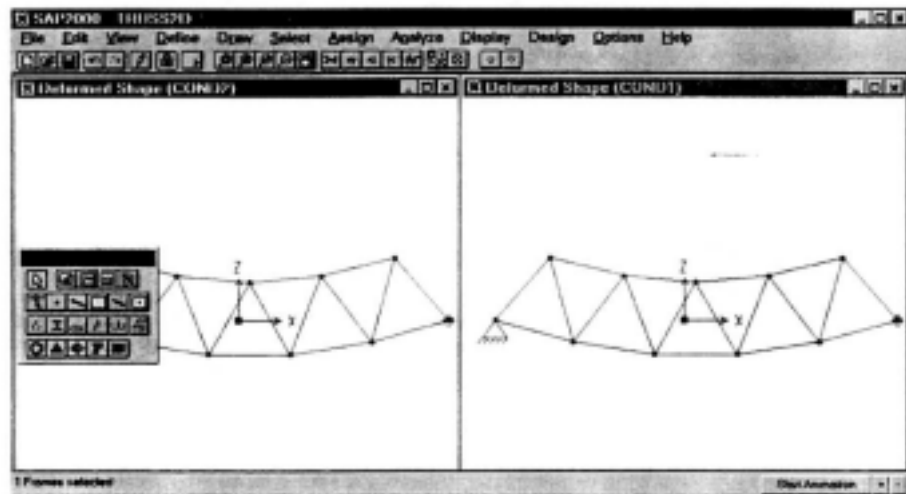
변형후의 형상 보기

해석이 끝나면 SAP2000은 기존 설정 하중 케이스 LOAD1에 대한 모델의 변형된 형상을 활성창 (active display window)에 자동적으로 나타낸다.



이제 왼쪽 창에 하중 케이스 LOAD2에 대한 변형된 형상을 나타내 보자.

1. 왼쪽창의 아무 곳이나 click하여 이 창을 활성화시킨다.
2. 기본 도구막대에 있는 **2D X-Z View** 버튼을 click하여 모델의 정면도를 얻는다.
3. 기본 도구막대에서 **Display Static Deformed Shape** 버튼을 click하라. 그러면 『Deformed Shape』 대화 상자가 나타난다.
4. 이 대화 상자에서
 - 『Load』 영역에 있는 아래끝기 목록에서 LOAD2 하중 케이스를 택하라.
 - **OK** 버튼을 click하라.



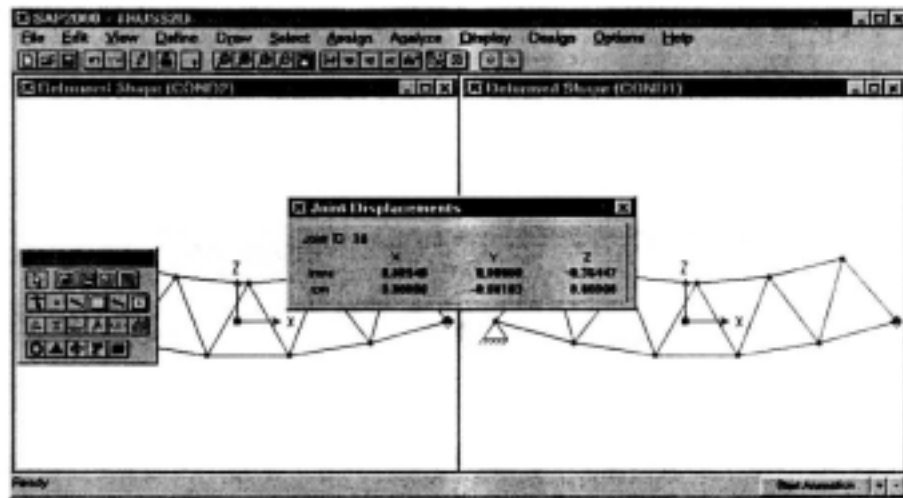
주의 : **File** 메뉴에서 **Print Output Tables...**를 선택하면 결과를 표모양으로 출력할 수도 있다.

하중이 서로 다름에도 불구하고, 두 개의 변형된 형상의 모양이 유사함을 볼 수 있을 것이다. 이것은, 표시하는 목적에 따라 SAP2000이 처짐의 비율을 자동적으로 정하기 때문이다. 방금 이용한 대화상자에서 축척을 변경할 수 있다.

화면 아래에 있는 **Start Animation** 버튼을 이용하면 변형된 형상을 애니메이션(동영상화) 할 수 있다. 애니메이션 속도는 이 버튼을 누르고 나서 나타나는 수평의 스크롤바를 이용하여 조절할 수 있다.

이제 하나의 절점을 선택하여 그 변위를 조사해 보자.

5. 하나의 절점에서 오른쪽 버튼을 click하라. 그러면 부유창(floating window)이 열리는데 여기에, 선택한 절점의 이동변위와 회전변위의 값이 나타난다. 또한, 선택한 절점이 화면상에 깜빡 거릴 것이다.

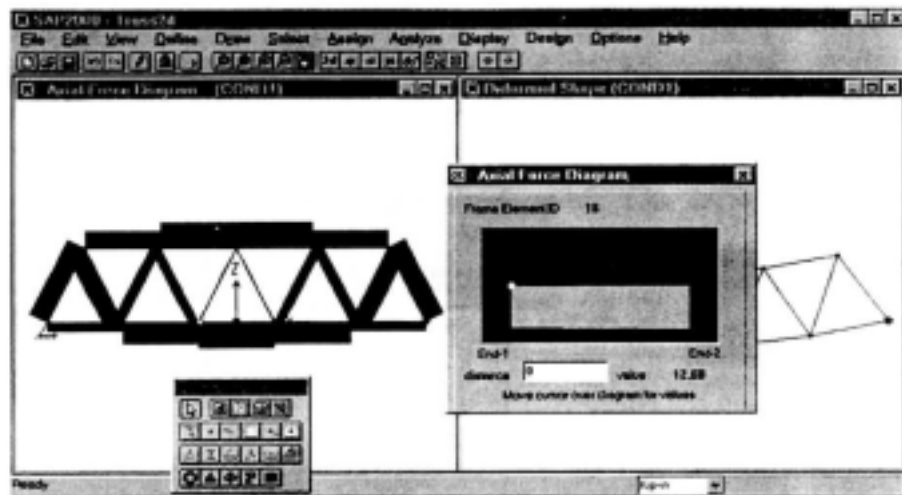


부재력 표시

예로써, 하중 케이스 LOAD1에 대한 축방향력도를 그려보자.

1. 전체 트러스가 보이도록 부유도구막대를 다른 위치로 보내라.
2. 기본 도구막대에서 **Display Member Force Diagram** 버튼을 click하라. 그러면 Member Force Diagram 대화상자가 나타난다.
3. 이 대화 상자에서:
 - 『Component』 영역에서 『Axial Force』를 선택하라.
 - **OK** 버튼을 click하라.

전체 트러스에 대한 축방향력도가 나타난다. 이제 부재별로 이들 힘의 성분을 알아볼 수 있다.



4. 원하는 임의의 부재에서 오른쪽 버튼을 click하라. 그러면 부유 창이 나타나고, 거기서 그 부재의 길이방향에 따른 축방향력의 변화를 볼 수 있다. 부유 창 안에서 cursor를 이동하면서 축방향력의 수치값과 그에 해당하는 거리를 확인하라. 그것을 닫으려면 창의 바깥쪽을 click하라.

주의 : 다른 부재의 부재력과 응력성분도 같은 방식으로 택하여 나타내 볼 수 있다.

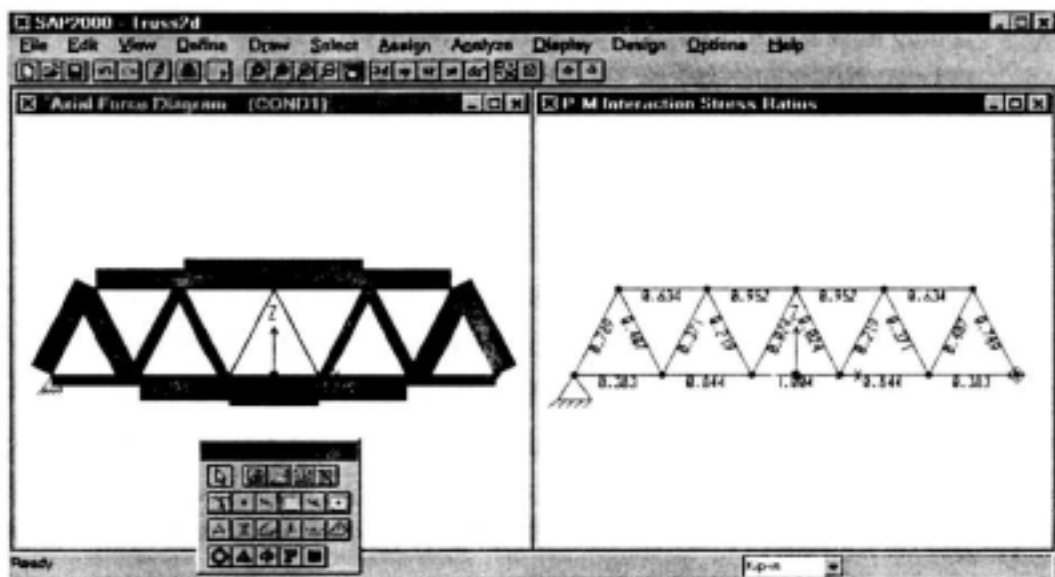
주의 : **File** 메뉴에서 **Print Output Tables...**를 선택하면 결과를 표의 형태로 나타낼 수 있다.

설계 응력의 검토

이제 AISC/ASD89의 요구조건을 이용하여 부재의 응력비(stress ratio)를 알아보자.

1. **Design** 메뉴에서 **Start Design/Check of Structure**를 선택하라. 그러면 각 부재에 대해 색으로 표시된 응력비가 표시된다.
2. 원하는 임의의 부재위에서 오른쪽 버튼을 click하라. 그러면 부유 창이 나타나서, 요소의 길이를 따르는 여러 위치에서 설계를 검토한 상세한 결과를 보여준다. 창을 닫으려면 OK를 click하라.

기본 설정된(default) 응력비는 설계 조합 DCMB1에 관한 것으로, 계수를 적용하지 않은 고정하중과 활하중을 합한 것이다. SAP2000에서는 설계 시방서나 부재의 단면 성질 등을 대화식으로(interactively) 변경하여 설계 검토를 새로 수행하는 것이 가능하다.



구조물의 수정

하현재의 중앙에 100kips의 수직하중이 추가로 작용하는 것을 견디도록 트러스를 수정할 필요가 있다고 하자. 이를 위해서 중앙에 수직 부재를 하나 추가하여 중앙의 수평 부재를 둘로 나눈다.

현재의 모델은 방금 얻은 해석 및 설계의 결과를 무효화시키는 어떠한 변경도 허용하지 않도록 잠겨져 있다. 우선은 그 모델을 풀어서, 원하는 대로 변경을 하고, 다시 해석하여, 설계를 다시 검토해야 한다.

1. 기본 도구막대에서 **Lock/Unlock Model** 버튼을 click하여 모델을 풀어서.
2. 모델을 풀면 모든 해석 결과가 지워진다는 내용의 경고를 보게 된다. 그것을 인정한다는 의미로 OK를 click한다.

설명을 하기 위한 목적으로, 두가지 다른 방식을 사용하여 새로운 프레임 요소들을 그리기로 한다. 이번 예에서 요소들을 추가하기 위해 둘 중의 아무 방법이나 사용하면 된다.

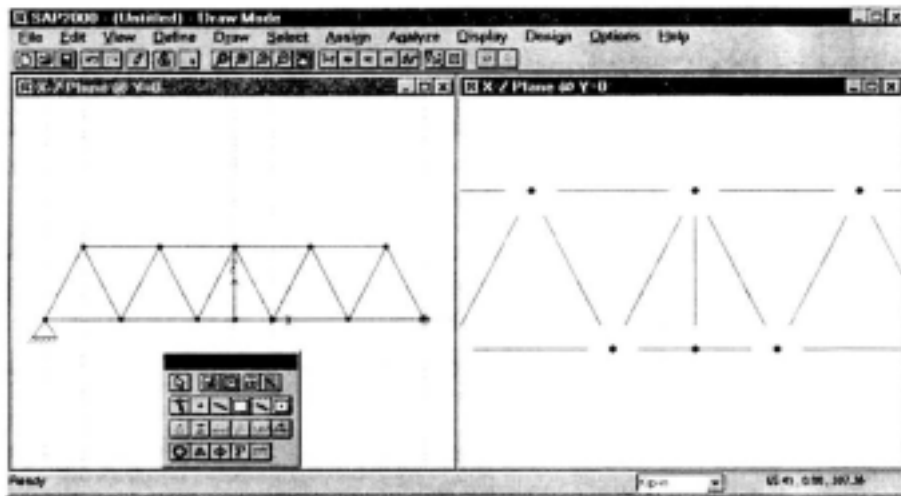
3. 부유 도구막대에서 **Quick Draw Frame Element** 버튼을 click하거나, **Draw** 메뉴에서 그것을 선택하라. 격자선(grid line) 상에서 한번 click 할 때마다 요소가 하나씩 그려진다.
4. 상현재와 하현재 사이에서 모델의 중앙에 있는 수직 격자선을 click 하여 수직 부재를 얻는다.

이제 트러스가 완성된 것으로 보일 것이다. 그러나, 새로운 수직 부재는 하현재 상에 있는 수평 부재와 실제로 연결이 되어 있지 않다.

5. 기본 도구막대에서 **Element Shrink Toggle** 버튼을 click 하라.
6. 보다 명확하게 보기 위하여:
 - **View** 메뉴에서 **Show Grid**를 선택하여 격자를 없앤다.
 - **View** 메뉴에서 **Show Axes**를 선택하여 전체 좌표계를 없앤다.
 - 기본 도구막대에 있는 **Refresh Window** 버튼을 click 하라.
 - 기본 도구막대에 있는 **Rubber Band Zoom** 버튼을 click하라.
 - 활성 표시창에서, 구조물의 중앙부분을 포함하도록 창을 click 하여 drag(끌기) 한다. 이 창의 내용이 확대되어 표시창에 가득찬다.

이제 하현재의 중앙 부재를 둘로 잘라야 한다. 이를 위한 한가지 방법은 **Edit** 메뉴에 있는 **Divide Frames** 옵션을 이용하는 것이다. 여기서는 그것 대신에, 기존의 요소를 지우고 새로운 두 개의 요소를 그리도록 한다.

7. 기존 부재를 지우기
 - 선택을 하기 위하여 부유 도구 막대에 있는 **Pointer Tool**을 click 한다.
 - 지우고자 하는 부재를 click 한다.
 - **Delete** 키를 누르든지, **Edit** 메뉴에서 **Delete**를 선택한다.



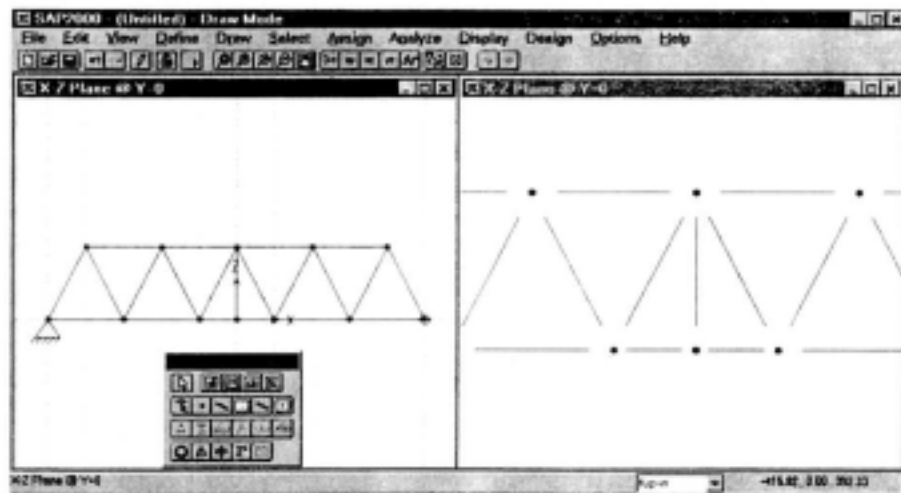
8. 두개의 새로운 부재를 그리기

- 부유 도구막대에서 **Draw Frame Element** 버튼을 click 하거나, 또는 **Draw** 메뉴에서 이것을 선택한다.

주의 : 지금은 어느 한쪽 창에서 그릴 수도 있고 두 개의 창 모두에서 그릴 수도 있다.

- 중양의 세 개의 절점 중 가장 왼쪽 절점에서 click 한다. 첫 번째 요소의 시작이 정확하게 절점위치에서 이루어지도록 하는 snap 기능이 있다. (pointer가 절점 근처에만 와도 절점에 위치시킴)
- 마우스를 움직임에 따라 "rubber band"(고무줄 같이 생긴 줄)가 보이고 첫 번째 요소가 그려진다. 이를 위해 가운데 절점에서 click 한다.
- 마우스를 이동하면, 앞의 요소가 끝난 지점에서 다음 요소가 시작되는 것을 볼 수 있다.
- 중양의 세 개의 절점 중 가장 오른쪽 절점에서 두 번 click 하라. 두 번 click 하는 것은 다음에 한번 click 할 때까지 "rubber-banding"을 끝내는 것이다.

9. Pointer tool을 click 하여 그리기 모드를 끝낸다.



남은 단계는 원래의 모델에 대해 했던 것을 반복하는 것이다.

- 새로운 프레임 요소를 선택하고 원하는 프레임 단면을 지정한다.
- 하현재의 새로운 절점을 선택하여 하중 케이스 LOAD2에 -100kips의 절점 하중을 지정한다.
- 구조물을 해석한다.
- 부재력을 나타낸다.
- 설계를 검토한다.

이 시점에서는, 과소 설계된 프레임 요소들에 대해 단면의 성질을 변경하는 것을 생각해 볼 수 있다. 이를 위해서는 모델을 다시 풀어서, 프레임 요소를 택하고, 프레임 단면을 지정하여, 또 다시 해석을 수행하고, 설계를 검토한다.

마치며

이것으로 SAP2000의 속성 안내를 마친다. 여기서는 기본적인 특성 몇가지를 발췌하여 보여주었다. 다른 기능들은 여러분이 스스로 시험해 보고 익히기 바란다. 기타 사항들은 **Help** 메뉴를 이용하면 된다.

BOOK 2

SAP2000 Basic Analysis Reference

Chapter I Introduction

SAP2000은 잘 알려진 SAP series의 구조해석 프로그램 중 가장 최근에 나온 가장 강력한 version이다.

이 매뉴얼에 관하여

이 매뉴얼은 SAP2000 구조해석 프로그램이 제공하는 모델링 방법과 해석 방법 중 가장 기본적으로 흔하게 사용하는 내용을 설명한다. 모델을 만들거나 해석을 수행하려 하기 전에 이 매뉴얼을 읽고, 프로그램에서 사용하는 가정과 절차들을 이해해야 한다.

모델링과 해석에 대한 전체 내용은 *SAP2000 Analysis Reference*에서 설명한다.

주제

이 매뉴얼의 각 장은 주제와 부주제들로 구성된다. (이번 장을 제외한) 모든 장들은 거기서 다루는 주제들의 목록으로 시작한다. 주제들의 목록에 이어서 개요에서는 그 장의 요약을 다룬다.

인쇄 규약

이 매뉴얼 전체에 걸쳐 다음과 같은 인쇄 규약을 사용한다.

정의에 대해 굵은 글씨체

새로운 용어나 개념을 정의할 때는 굵은 로마자(예를 들면, **example**)를 사용한다. 예를 들어:

전체좌표계는 3차원의 오른손, 직각 좌표계이다.

이 문장은 전체좌표계의 정의를 시작한다.

변수 데이터에 대해 굵은 글씨체

구조 모델을 정의하고 해석을 할 때 여러분이 값을 지정해야 하는 변수 데이터의 항목을 나타낼 때 굵은 로마자(예를 들면, **example**)를 사용한다. 예를 들어:

프레임 요소의 좌표각 **ang**는 기존 설정(default) 방향과 다른 요소의 방향을 정의할 때 사용한다.

따라서, 변수 **ang**에 대한 수치값이 기존 설정 값인 0이 아니라면 그 값을 넣어야 된다.

수리적 변수에 대해 이태릭체

스칼라의 수리적 변수(mathematical variables)에 대해서는 보통의 이태릭체(예를 들면, *example*)를 사용하고, 벡터와 매트릭스에 대해서는 굵은 이태릭체(예를 들면, ***example***)를 사용한다. 식 안에 변수 데이터 항목이 사용되면, 앞에서 언급하였듯이 굵은 로마체를 사용한다. 예를 들어:

$$0 \leq \mathbf{da} < \mathbf{db} \leq L$$

여기서 **da**와 **db**는 여러분이 지정해 주어야 할 변수이고, *L*은 프로그램에 의해 계산되는 길이이다.

강조를 위한 이태릭체

중요한 점을 강조할 때 또는 책이나 매뉴얼이나 잡지의 제목에 대해서 보통의 이태릭체(예를 들면, *example*)를 사용한다.

문자 데이터를 위해 모든 글자를 대문자로

여러분이 키보드에서 똑 같이 입력해야 하는 데이터를 나타낼 때 모든 글자를 대문자로(예를 들면, EXAMPLE) 한다. 단, 소문자로 입력하고 싶을 때는 제외함. 예를 들어:

SAP2000

은 여러분이 키보드에서 "SAP2000" 또는 "sap2000"이라고 입력하는 것을 나타낸다.

대문자로 시작하는 이름

모델의 특정 부분이나, 그 해석이 SAP2000에 특별한 의미를 갖는 경우에 대문자로 시작하는 이름(예를 들면, Example)을 사용한다. 몇가지 예:

Frame element
Diaphragm Constraint
Frame Section
Load Case

"joint"나 "element"와 같이 흔하게 사용하는 용어는 대문자로 시작하지 않는다.

참고문헌

이 매뉴얼 전체에 걸쳐, 참고문헌은 저자의 이름을 쓰고 그 다음에 저작 일자를 괄호안에 쓴다. 예를 들어:

Wilson and Tetsuji (1983)을 보라.

다음의 사항을 볼 수 있다(Wilson, Yuan, and Dickens, 1982) ...

모든 참고문헌은 "참고문헌"이라는 제목의 장에 알파벳 순서대로 적혀있다.

Chapter II Coordinate Systems

각 구조물은 점의 위치와, 하중, 변위, 내력, 및 응력의 방향을 나타내기 위해 여러 가지 좌표계를 사용할 수 있다. 모델을 적절하게 정의하고 결과를 잘 해석하려면 이들 서로 다른 좌표계를 이해하는 것이 대단히 중요하다.

주 제

- 개 요
- 전체좌표계
- 수직과 수평 방향
- 국소좌표계

개 요

좌표계는 구조 모델의 여러 부분들의 위치를 정하고, 하중, 변위, 내력, 및 응력의 방향을 정의하는 데에 사용한다.

모델내의 모든 좌표계는 단 한 개의 전체좌표계 X-Y-Z에 관련하여 정의한다. 모델의 각 부분 (절점, 요소, 또는 구속조건(constraint))은 자기 자신의 국소좌표계 1-2-3을 갖는다. 그 외에도, 위치와 방향을 정의하기 위해 대체좌표계를 만들 수도 있다. 모든 좌표계는 3차원, 오른손, 직각 (데카르트) 좌표계이다.

SAP2000은 항상 Z가 수직축을 나타내며, +Z가 위쪽이다. 위쪽 방향은 국소좌표계를 정의할 때 사용하는데, 국소좌표계 자체는 위쪽 방향을 갖지 않는다.

더 많은 정보와 추가 사항에 대해서는, *SAP2000 Analysis Reference*에 있는 “좌표계”라는 제목의 장과 SAP2000 graphical user interface의 Help 메뉴를 보라.

전체좌표계

전체좌표계는 3차원, 오른손, 직각 좌표계이다. X, Y, Z로 표시하는 세 축은 상호간에 수직이며 오른손 법칙을 만족한다. 전체좌표계의 위치와 방향은 임의적이다.

전체좌표계 내에서의 위치는 변수 **x**, **y**, **z**를 이용하여 지정할 수 있다. 전체좌표계 내에서 벡터는 두 점의 위치 또는 한쌍의 각을 주거나, 좌표의 방향을 지정함으로써 정의할 수 있다. 좌표의 방향은 $\pm X$, $\pm Y$, 및 $\pm Z$ 의 값을 이용하여 나타낸다. 예를 들어, $+X$ 는 양의 X를 따르는 방향 또는 그에 평행한 벡터를 정의한다. 부호는 필수적이다.

모델 내의 다른 모든 좌표계는 전체좌표계에 관련하여 정의한다.

수직과 수평 방향

SAP2000에서는 Z가 항상 수직축을 나타내는데, +Z가 위쪽 방향이다. 절점, 요소, 및 지반가속도 하중에 대한 국소좌표계는 이 위쪽 방향에 관련하여 정의한다. 자중은 항상 아래쪽인 -Z 방향으로 작용한다.

X-Y 평면은 수평이다. 주된 수평 방향은 +X이다. 수평면에서의 각은 양의 반(half) X축에서부터 측정하는데, X-Y 평면을 아래로 내려다 볼 때 반시계 방향이 양의 방향이다.

국소좌표계

구조 모델의 각 부분(절점, 요소, 또는 구속조건)은 자체의 국소좌표계를 가지고 있으며, 그 부분의 성질과 하중 및 응답을 정의하는 데에 사용한다. 국소좌표계의 축은 1, 2, 3으로 표기한다. 일반적으로, 국소좌표계는 절점마다, 요소마다, 구속조건마다 다를 수 있다.

국소좌표계에 대해서는 선호하는 위쪽 방향이 없다. 그러나, 절점과 요소의 국소좌표계는 전체좌표계의 위쪽 방향인 +Z에 관련하여 정의한다.

절점의 국소좌표계 1-2-3은 보통의 경우 전체좌표계 X-Y-Z와 같다.

프레임과 셸 요소에 대해, 요소의 국소좌표축 중 하나는 각 요소의 기하학적 형상(geometry)에 의해 결정된다. 나머지 두 축의 방향은 하나의 회전각을 지정함으로써 정의할 수 있다.

Diaphragm Constraint(격벽의 구속조건)에 대한 국소좌표계는 보통의 경우 구속조건 기하학적 형상이나 질량의 분포로부터 자동적으로 결정된다. 선택적으로, Diaphragm Constraint의 평면을 결정해 주는 하나의 전체좌표계 축을 지정할 수도 있다. 나머지 두 축은 자동적으로 결정된다.

더 많은 정보를 위해서는:

- “프레임 요소”라는 제목의 장에서 “국소좌표계”의 주제를 보라.
- “셸 요소”라는 제목의 장에서 “국소좌표계”의 주제를 보라.
- “절점과 자유도”라는 제목의 장에서 “국소좌표계”의 주제를 보라.
- “절점 구속조건”이라는 제목의 장에서 “격벽 구속조건”의 주제를 보라.

Chapter III The Frame Element

프레임 요소는 평면 및 3차원 구조물에서 보-기둥과 트러스 거동을 모델링하는 데에 사용한다.

주 제

- 개요
- 절점의 연결
- 자유도
- 국소좌표계
- 단면의 성질
- 단부 offset
- 단부 해제
- 질량
- 자중
- 집중 지간 하중
- 분포 지간 하중
- 내력의 출력

개 요

프레임 요소는 일반적인, 3차원의, 보-기둥 형식화(formulation)를 사용하는데, 여기에는 2축의 휨, 비틀림, 축방향 변형, 2축의 전단 변형 등을 포함한다. Bath and Wilson (1976)을 보라.

이 요소로 모델링 할 수 있는 구조물은 다음과 같다:

- 3차원 프레임
- 3차원 트러스
- 평면 프레임
- 평면 격자구조
- 평면 트러스

프레임 요소는 두개의 절점을 연결하는 하나의 직선으로 모델링한다. 각 요소는 단면의 성질과 하중을 정의하며, 출력을 해석하기 위해 자체의 국소좌표계를 갖는다.

각각의 프레임 요소에는 자중과, 여러개의 집중하중, 여러개의 분포하중을 재하할 수 있다.

보와 기둥의 교점의 크기가 유한하다는 것을 고려하기 위해 단부 offset을 사용할 수 있다. 또한 요소 양단의 고정 상태를 여러 가지로 모델링하기 위해 단부 해제를 사용할 수 있다.

요소의 내력은, 각 요소의 양단과, 요소의 길이를 따라 사용자가 지정한 숫자만큼의 등간격 위치에서 출력된다.

더 많은 정보와 추가 사항을 위해서는 *SAP2000 Analysis Reference*의 “프레임 요소”라는 제목의 장을 보라.

절점의 연결

프레임 요소는 두 절점, **i**와 **j**를 연결하는 직선으로 표시된다. 두 절점은 공간상에서 같은 위치를 공유하지 않는다. 요소의 두 단은 각각 **I** 단과 **J** 단으로 표기한다.

자유도

프레임 요소는 보통의 경우 양쪽 연결점에서 6개의 모든 자유도가 활성화된다.

그러나, 요소가 그 절점에 대해 모멘트 강성과 모멘트 하중을 제공하지 않는다면 그 점에서는 세 개의 회전 자유도가 활성화되지 않는다. 이것은 다음 조건 중의 하나일 때 일어난다:

- 그 단에서 단부 offset이 0이고, 단면의 기하학적 성질 **j**, **i33**, 및 **i22**가 모두 영일 때(**a**는 영이 아니고; **as2**와 **as3**은 임의값이다), 혹은
- 그 단에서 단부 offset이 0이고, 그 단에서 휨 모멘트 **R2**와 **R3**가 모두 해제되어 있고; 양쪽 단에서 비틀림 모멘트 **R1**이 해제되어 있을 때.

이들 조건이 양쪽 단에서 적용될 때 그 요소는 트러스 부재로 거동한다.

더 많은 정보를 위해서는:

- “절점과 자유도” 장에서 “자유도”라는 주제를 보라.
- 이번 장의 “단면의 성질” 주제를 보라.
- 이번 장의 “단부 Offset” 주제를 보라.
- 이번 장의 “단부 해제” 주제를 보라.

국소좌표계

각각의 프레임 요소는 단면의 성질, 하중 및 출력을 정의하기 위해 자체의 **요소 국소좌표계**를 갖는다. 이 국소좌표계의 축은 1, 2, 3으로 표기한다. 첫번째 축의 방향은 요소의 길이를 따른다; 나머지 두 축은 여러분이 지정한 방향을 갖는 요소에 수직인 평면 내에 놓인다.

요소의 국소좌표계 1-2-3의 정의와 그것이 전체좌표계 X-Y-Z와 갖는 관계를 명확하게 이해하는 것이 중요하다. 두 개의 좌표계는 모두 오른손 좌표계이다. 데이터의 입력과 결과의 해석을 간단하게 해 주는 국소좌표계를 정의하는 것은 여러분에게 달려 있다.

대부분의 구조물에서 **기존 설정된 방향과 프레임 요소 좌표각**을 이용하면 국소좌표계를 정의하는 것이 지극히 간단하다. 부가적인 방법들이 다양하게 있다.

더 많은 정보를 위해:

- 이번 주제에서 사용한 개념과 용어의 정의에 대한 설명을 위해 “좌표계” 장을 보라.
- *SAP2000 Analysis Reference*의 “프레임 요소” 장에서 “개선된 국소좌표계” 주제를 보라.

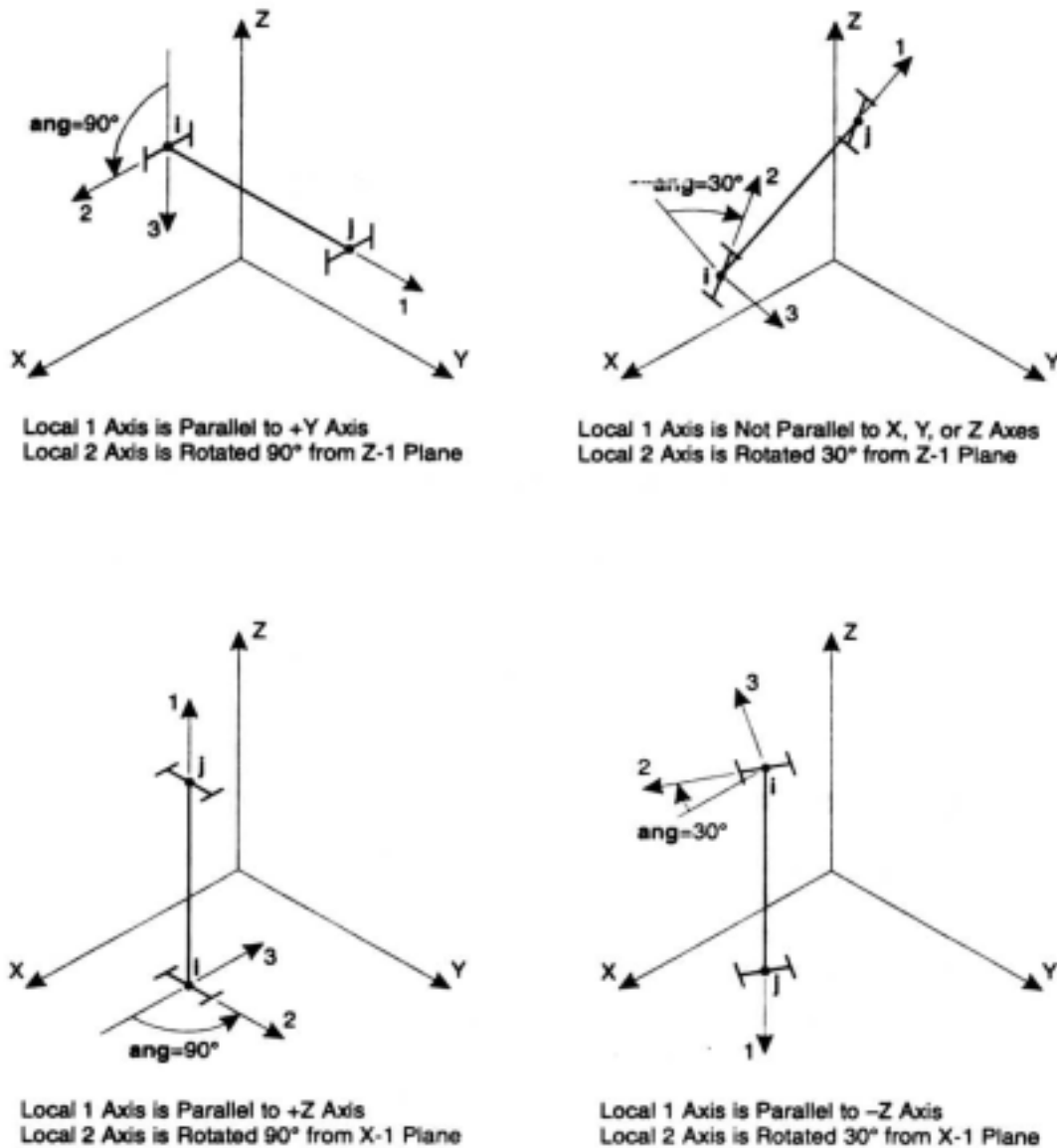


그림 16. 기준설정 방향에 대한 프레임 요소의 좌표각

세로축 1

국소좌표계의 1축은 항상 요소의 세로축이며, +방향은 I 단에서 J 단을 향한다.

기본 설정 방향

국소좌표계의 2축과 3축의 기본 설정 방향은 국소좌표계의 1축과 전체좌표계의 Z축 사이의 관계로부터 결정된다.

- 국소좌표계의 1-2 평면은 수직으로 취한다. 즉, Z축에 평행이다.
- 요소가 수직이 아닌 경우 국소좌표계의 2축은 위쪽(+Z) 방향으로 되며, 요소가 수직인 경우 국소좌표계의 2축은 전체좌표계의 +X방향을 따르는 수평선으로 된다.
- 국소좌표계의 3축은 항상 수평이다. 즉, X-Y 평면내에 놓여있다.

요소의 국소좌표계의 1축과 전체좌표계의 Z축 사이의 각의 정현(sine)이 10^{-3} 보다 작으면 그 요소는 수직으로 간주한다.

국소좌표계 2축이 수직축과 이루는 각은 국소좌표계 1축이 수평면과 이루는 각과 같다. 이는, 수평의 요소에 대해 국소좌표계 2축은 수직 위쪽방향을 가리킨다는 것을 뜻한다.

좌표각

프레임 요소의 좌표각 **ang**는 요소의 방향이 기존 설정값과 다를 때 이를 정의하기 위해 사용한다. 그것은 국소좌표계의 2축과 3축이 양의 1축을 중심으로 기존설정 방향으로부터 회전한 각이다. 양의 **ang** 값에 대한 회전은 국소좌표계의 +1축이 여러분을 향할 때 반시계방향으로 보인다.

수직 요소에 대해서는, **ang**는 국소좌표계 2축과 수평의 +X축 사이의 각이다. 기타의 경우에는, **ang**는 국소좌표계의 2축과 국소좌표계 1축을 포함하는 수직평면 사이의 각이다. 예로써, 그림 1을 보라.

단면의 성질

Frame Section(프레임 단면) data block은 하나 이상의 프레임 요소에 대하여 단면을 설명해주는 기하학적 성질과 재료에 대한 것을 포함한다. 단면은 프레임 요소와 관계없이 정의하며, 각각의 요소에 대하여 그것들을 지정한다.

국소좌표계

단면의 성질은 다음과 같이 프레임 요소의 국소좌표계에 관하여 정의한다:

- 국소좌표계의 1축 방향은 요소의 축을 따른다. 그것은 단면에 대해 수직이며, 단면의 두개의 중립축의 교선을 지난다.
- 국소좌표계의 2축과 3축의 방향은 단면의 중립축과 평행이다. 통상적으로 2축의 방향은 단면 치수가 큰 쪽(깊이)을 따라 취하고, 3축의 방향은 단면 치수가 작은 쪽(폭)을 따라 취하는데, 반드시 그렇게 해야 하는 것은 아니다.

더 많은 자료를 원하면 이번 장의 “국소좌표계” 주제를 보라.

재료의 성질

단면에 대한 재료의 성질은 미리 정의한 재료를 참조하여 지정한다. 단면에서 사용하는 재료의 성질은 다음과 같다:

- 축방향 강성과 휨 강성을 위한 탄성계수, **e1**
- 비틀림 강성과 횡방향 전단 강성을 위한 전단탄성계수, **g12**; 이것은 **e1**과 프아송비 **u12**로부터 계산한다.
- 요소의 질량 계산을 위한 질량 밀도(단위 체적당), **m**
- 자중 계산을 위한 중량 밀도(단위 체적당), **w**
- 이 단면을 사용하는 요소가 강재로서 설계되는지, 아니면 콘크리트로서 설계되는지 또는 둘 다 아닌지(이를 이용한 설계를 하지 않음)를 나타내는 설계 형식 지시자(indicator), **ides**

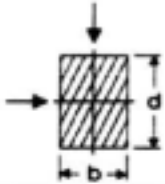
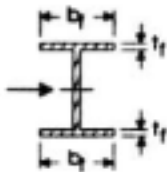
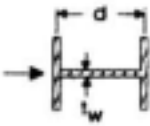
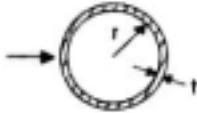
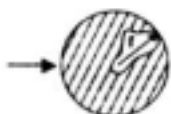
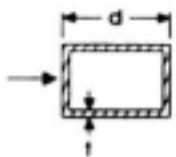
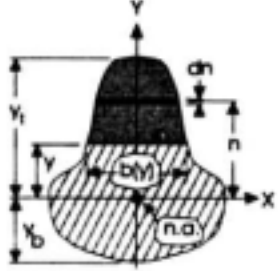
Section	Description	Effective Shear Area
	Rectangular Section Shear Forces parallel to the b or d directions	$\frac{5}{6} bd$
	Wide Flange Section Shear Forces parallel to flange	$\frac{5}{3} t_f b_f$
	Wide Flange Section Shear Forces parallel to web	$t_w d$
	Thin Walled Circular Tube Section Shear Forces from any direction	$\pi r t$
	Solid Circular Section Shear Forces from any direction	$0.9 \pi r^2$
	Thin Walled Rectangular Tube Section Shear Forces parallel to d-direction	$2 t d$
	General Section Shear Forces parallel to Y-direction I_x = moment of inertia of section about X-X $Q(Y) = \int_Y^{y_t} n b(n) dn$	$\frac{I_x^2}{\int_{y_b}^{y_t} \frac{Q^2(Y)}{b(Y)} dy}$

그림 17 전단면적에 대한 공식

기하학적 성질과 단면의 강성

단면의 강성을 계산하는 데에는, 여섯 개의 기본적인 기하학적 성질과 재료의 성질이 사용된다. 이들은 다음과 같다:

- 단면적, **a**. 단면의 축방향 강성은 $\mathbf{a} \cdot \mathbf{e1}$ 로 주어진다;
- 1-2면에서의 휨에 대한 3축에 관한 관성 모멘트, **i33**, 및 1-3면에서의 휨에 대한 2축에 관한 관성 모멘트, **i22**. 그에 해당하는 단면의 휨강성은 $\mathbf{i33} \cdot \mathbf{e1}$ 과 $\mathbf{i22} \cdot \mathbf{e1}$ 으로 주어진다;
- 비틀림 상수, **j**. 단면의 비틀림 강성은 $\mathbf{j} \cdot \mathbf{g12}$ 로 주어진다. 원형단면을 제외하고는, 비틀림 상수가 극관성 모멘트와 같지 않음을 주의하라. 더 많은 정보를 원하면 Roark and Young (1975) 또는 Cook and Young(1985)를 보라.
- 1-2면과 1-3면에서의 횡방향 전단을 위한 전단 면적은 각각, **as2**와 **as3**. 그에 해당하는 단면의 횡방향 전단 강성은 $\mathbf{as2} \cdot \mathbf{g12}$ 와 $\mathbf{as3} \cdot \mathbf{g12}$ 로 주어진다. 대표적 단면의 전단 면적을 계산하기 위한 공식은 그림 2와 같다.

a, **j**, **i33** 또는 **i22**를 0으로 하면 그에 해당하는 단면의 강성이 0으로 된다. 예를 들어, 트러스 부재를 모델링 하려면 $\mathbf{j}=\mathbf{i33}=\mathbf{i22}=0$ 으로 놓으면 되고, 1-2평면 내에 있는 평면 프레임 부재를 모델링 하려면 $\mathbf{j}=\mathbf{i22}=0$ 으로 놓으면 된다.

as2 또는 **as3**을 0으로 하면 그에 해당하는 횡방향 전단 변형이 0으로 된다. 사실상, 전단 면적을 0으로 입력하면 그것을 무한대로 해석한다. 그에 해당하는 휨강성이 0인 경우 횡방향 전단 강성은 무시한다.

단면 형태

각 단면에 대해, 6개의 기하학적 성질(**a**, **j**, **i33**, **i22**, **as2** 및 **as3**)은 지정된 단면의 치수로부터 계산하거나, 지정된 단면성질 데이터 파일로부터 읽거나 하여 즉시로 지정되게 할 수 있다. 이것은 사용자가 지정하는 단면 형태 **sh**에 의해 결정된다.

- **sh**=G(일반 단면)이면, 6개의 기하학적 성질은 외시적으로(explicitly) 지정되어야 한다.
- **sh**=R, P, B, I, C, T 또는 L이면, 6개의 기하학적 성질은 다음의 부주제인 “자동적인 단면 성질 계산”에서 설명한 바에 따라, 지정된 단면 치수로부터 자동적으로 계산된다.
- **sh**가 어떤 다른 값(e.g., W27X94 또는 2L4X3X1/4)이라면, 6개의 기하학적 성질은 지정된 단면 성질 데이터 파일로부터 얻는다. “단면 성질 데이터베이스 파일”을 보라.

자동적인 단면 성질 계산

그림 3에서 보인 간단한 단면 형태에 대해, 단면의 여섯 개의 기하학적 성질은 지정된 치수로부터 자동적으로 계산할 수 있다. 각 단면 형태에 대해 필요한 치수는 그림에 나타낸 바와 같다.

치수 **t3**은 2방향으로의 단면의 깊이이고, 근본적으로 **i33**의 계산에 사용된다.

자동적인 단면 성질 계산은 다음의 단면 형태에 대해 사용할 수 있다:

- **sh**=R : 직사각형 단면
- **sh**=P : 파이프 단면, 만약 **tw**=0(혹은 지정되지 않은 경우)이면 속이 꽉 찬 원형단면
- **sh**=B : Box 단면
- **sh**=I : I형 단면

- sh=C : □형 단면
- sh=T : T형 단면
- sh=L : L형 단면

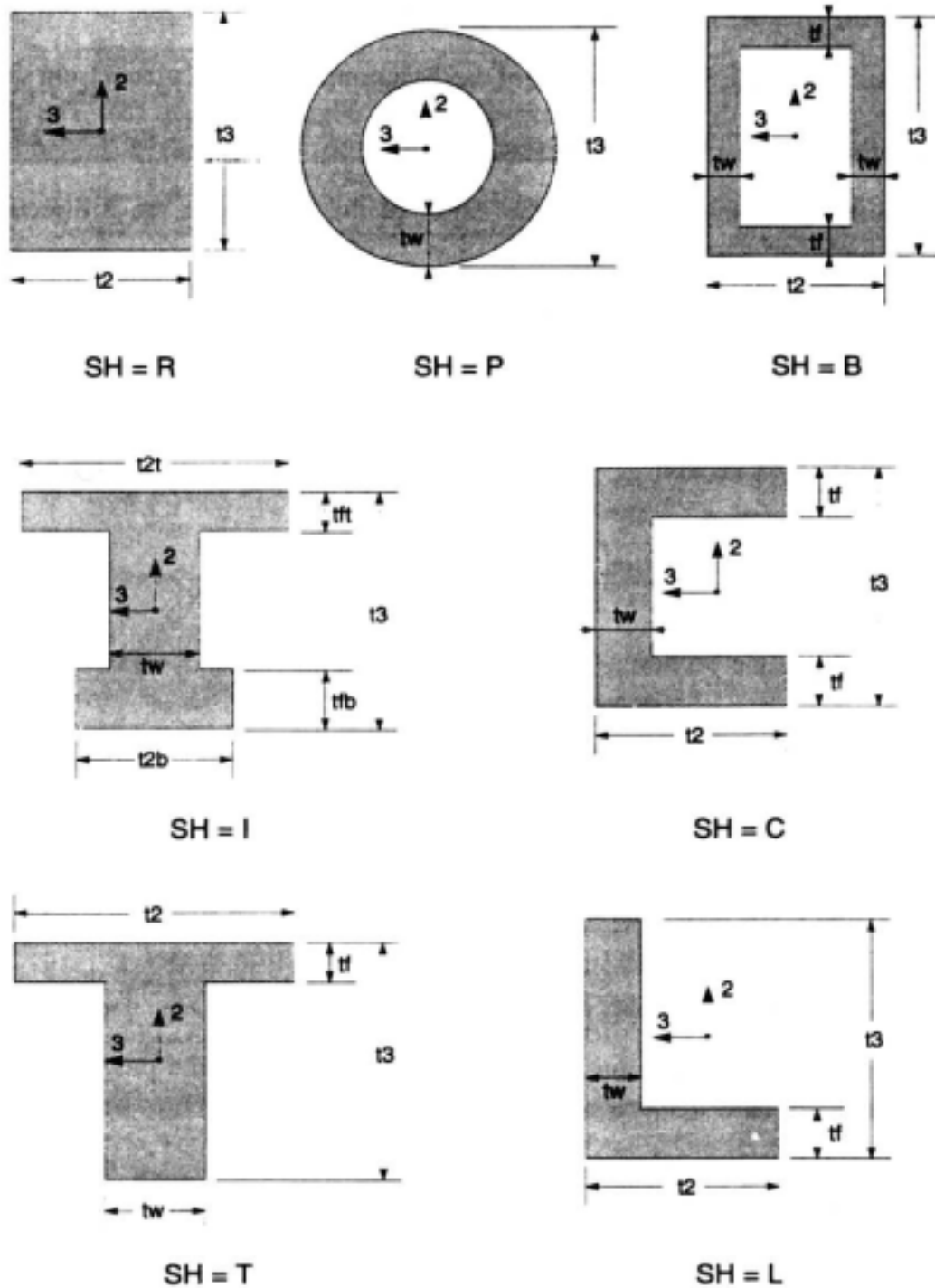


그림 18 자동적인 단면 성질 계산

단면 성질 데이터베이스 파일

단면의 기하학적 성질은 하나 또는 그 이상의 단면 성질 데이터베이스 파일들로부터 얻을 수도 있다. SAP2000은 세 개의 데이터베이스 파일을 제공한다.

- AISC.PRO : American Institute of Steel Construction shapes
- CISC.PRO : Canadian Institute of Steel Construction shapes
- SECTIONS.PRO : 이것은 단지 AISC.PRO의 복사본이다.

PROPER 프로그램을 사용하면 그 이외의 단면 성질 데이터베이스 파일을 만들어 낼 수 있다. 그 프로그램은 CSI社에 요청하면 얻을 수 있다.

그때 기하학적 성질들은 데이터베이스 파일을 만들어 낼 때 지정한 길이의 단위로서 저장된다. 이들은 SAP2000에서 사용하는 단위로 자동으로 변환된다.

데이터베이스 파일에 저장된 각각의 단면 형태에는 하나 또는 두 개의 다른 라벨을 붙일 수 있다. 예를 들어, AISC.PRO 파일 안에 있는 W 36x300이라는 단면 형태는 "W36x300"이라고 라벨을 붙일 수도 있고, "W920x446"이라는 라벨을 붙일 수도 있다. CISC.PRO 파일 안에 저장된 단면 형태에는 단 하나의 라벨만 붙일 수 있다.

주어진 데이터베이스 파일에 대해 사용 가능한 단면 형태의 라벨은 확장자가 ".LBL"인 관련 라벨 파일에 저장되어 있다. 예를 들어, AISC.PRO 데이터베이스 파일에 대한 라벨은 AISC.LBL이라는 파일에 저장되어 있다. 라벨 파일은 텍스트 파일로서 텍스트 에디터를 사용하여 프린트하거나 볼 수 있다. 라벨 파일의 각 줄에는 데이터베이스 파일에 저장된 하나의 단면 형상에 대한 라벨이 하나 또는 두 개 들어 있다.

주어진 프레임 단면을 정의할 때, 하나의 데이터베이스 파일을 선택하여 사용할 수 있다. 사용 데이터베이스 파일은 단면을 정의하다가 언제라도 변경할 수 있다. 데이터베이스 파일의 이름을 지정하지 않는 경우에는 기존 설정된 파일인 SECTIONS.PRO가 사용된다. 단면 성질 데이터베이스 파일 중 어느 것이든 SECTIONS.PRO로 복사하여 쓸 수 있다.

SECTIONS.PRO를 포함하여 모든 단면 성질 데이터베이스 파일은 반드시 데이터 파일이 들어 있는 디렉토리 또는 SAP2000 프로그램 파일이 들어 있는 디렉토리에 있어야 한다. 지정된 데이터베이스 파일이 두 디렉토리에 모두 들어 있으면, 프로그램은 데이터 파일 디렉토리 안에 있는 파일을 사용한다.

단부 Offsets

프레임 요소는 점(절점)에서 연결되는 선요소들로 모델링한다. 그러나, 실제의 구조 부재는 유한한 단면 크기를 갖는다. 보와 기둥처럼 두 개의 요소가 하나의 절점에서 연결될 때, 단면이 약간 겹치게 된다. 많은 구조물에 있어서 부재의 치수가 커서, 겹치는 부분의 길이가 연결되는 요소의 전체 길이에 비해 상당한 부분을 차지할 수 있다.

각 요소에 대해, 각각 I단과 J단에 해당하는 매개변수 **ioff**와 **joff**를 사용하여 두 개의 단부 offset을 지정할 수 있다. 단부 offset **ioff**는 절점 **i**에서 주어진 요소가, 연결된 다른 요소와 겹치는 길이이다. 그것은 주어진 요소에 대해, 그 절점에서 연결 면까지의 거리이다. 똑 같은 정의가 절점 **j**에서의 단부 offset **joff**에도 적용된다. 그림 4를 보라.

SAP2000 graphical user interface를 사용하면 선택한 요소에 대해, 공통의 절점에서 그 요소에 연결된 다른 모든 요소의 최대 단면 치수에 근거하여 단부 offset을 자동으로 계산할 수 있다.

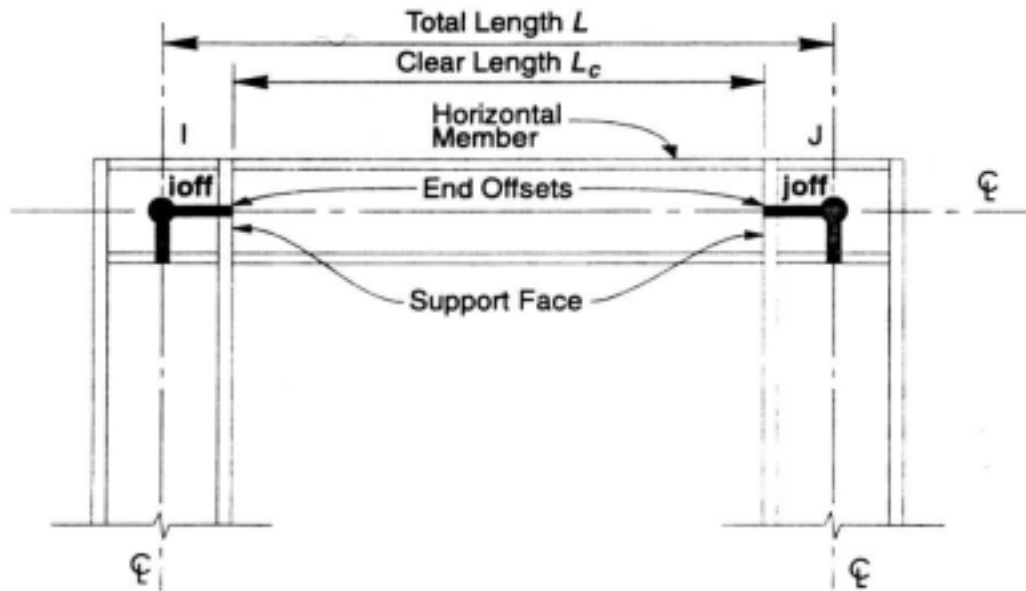


그림 19 프레임 요소 단부 offset

순길이(Clear Length)

L_c 로 표기하는 순길이는 단부 offset들(지지면) 사이의 길이로 정의된다. 즉,

$$L_c = L - (ioff + joff)$$

여기서 L 은 요소의 전체 길이이다. 그림 4를 보라.

순길이가 요소 전체 길이의 1% 미만이 되도록 단부 offset이 지정된다면, 프로그램은 경고 메시지를 주고, 순길이가 전체 길이의 1%가 되도록 자동으로 단부 offset을 줄인다. 보통의 경우 단부 offset은 전체 길이에 비해 상당히 작은 비율을 갖는다.

내력 출력에의 영향

모든 내력과 모멘트는 지지면과, 요소의 순길이 내에서 등간격을 이루는 기타 점에서 출력된다. 절점을 포함하여 단부 offset 내부의 값은 출력되지 않는다.

더 많은 정보를 원하면 이 장의 “내력 출력”이라는 주제를 보라.

단부 해제에의 영향

단부 해제는 항상 지지면, 즉, 요소의 순길이의 끝부분에서만 가능하다. 요소의 어느쪽 단에서든 아무 휨평면이나 모멘트 혹은 전단 해제가 지정되면, 그 단에 있는 그 평면에서 휨과 전단에 대해 단부 offset이 강결(rigid)인 것으로 간주한다.

더 많은 정보를 원하면 이 장의 “단부 해제” 주제를 보라.

단부 해제

보통의 경우, 프레임 요소의 양단에서 세 개의 이동 자유도와 세 개의 회전 자유도는 그 절점의 자유도와 연속적이며, 따라서 그 절점에 연결된 다른 모든 요소의 자유도와도 연속적이다. 그러나, 그에 해당하는 요소의 힘과 모멘트가 0이라는 것을 알고 있을 때에는 하나 또는 그 이상의 요소 자유도를 해제(단절)시킬 수 있다. 그 해제는 항상 요소 국소좌표계에 의해 지정하며, 그 절점에 연결된 다른 요소에는 영향을 주지 않는다.

그림 5에 보인 예제에서, 대각선 요소는 I단에서는 모멘트 연결로, J단에서는 핀 연결로 되어 있다. J단에서 그 절점에 연결된 다른 두개의 요소들은 연속적이다. 그러므로, 핀 조건을 모델링하려면 대각선 요소의 J단에서 R3를 해제시켜야 한다. 이렇게 하면 대각선 요소의 핀에서 모멘트가 0이 되는 것을 보장한다.

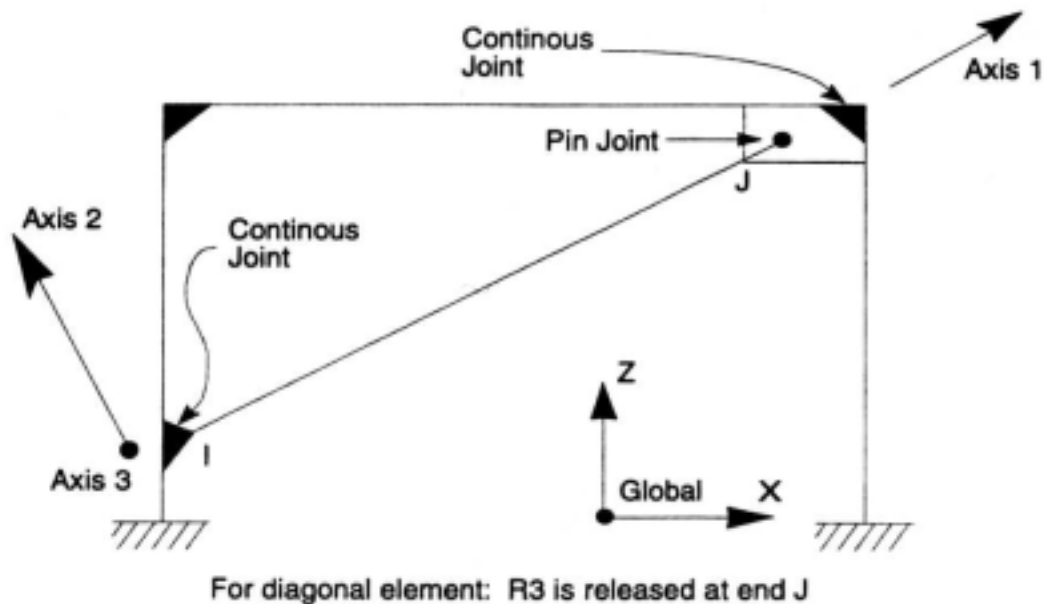


그림 20 프레임 요소의 단부 해제

불안정한 단부 해제

요소가 안정을 유지하는 한 프레임 요소에 대해 어떤 조합의 단부 해제를 지정할 수 있다; 이렇게 하면 그 요소에 작용하는 모든 하중이 구조물의 나머지 부분으로 전달된다. 다음과 같은 조합의 해제는 한가지이든 조합으로든 불안정하므로 사용해서는 안된다.

- 양쪽 단에서 U1의 해제
- 양쪽 단에서 U2의 해제
- 양쪽 단에서 U3의 해제
- 양쪽 단에서 R1의 해제

- 양쪽 단에서 R2와 어느 한 단에서 U3의 해제
- 양쪽 단에서 R3와 어느 한 단에서 U2의 해제

단부 offset의 영향

단부 해제는 항상 지지면, 즉 요소 순길이의 끝에 적용된다. 모멘트 해제 혹은 전단 해제가 있다면, 그에 해당하는 요소의 단에서 그에 해당하는 휨평면 내에서 단부 offset이 강결(rigid)이 되게 한다.

더 많은 정보를 원하면 이 장의 “단부 offset” 주제를 보라.

질량

동적 해석에서, 구조물의 질량은 관성력의 계산에 사용된다. 프레임 요소가 기여하는 질량은 절점 i 와 j 에 뭉쳐있다(lumped). 요소 자체 내에서는 관성의 영향을 고려하지 않는다.

요소의 전체 질량은 질량 밀도 m 에 단면적 a 를 곱하여 길이에 대해 적분한 것과 같다.

전체 질량은, 그와 유사하게 분포되는 수직하중이 단순지지보의 양 단에서 생기게 하는 반력과 같은 방식으로 두 절점에 배분한다.

질량을 분배할 때는 단부 해제의 영향을 무시한다. 전체 질량은 세 개의 직선이동 자유도(UX, UY, UZ) 각각에 적용된다. 회전 자유도에 대해서는 질량 관성모멘트를 계산하지 않는다.

더 많은 정보를 원하면:

- m 과 a 의 정의에 대해 이 장에 있는 “단면의 성질” 주제를 보라.
- “정적 및 동적 해석” 장을 보라.

자중(Self-Weight Load)

모든 요소의 자중을 활성화 하기 위해 자중을 어떠한 하중 케이스에도 적용할 수 있다. 프레임 요소에 대하여, 자중은 요소의 길이를 따라 분포하는 힘이다. 자중의 크기는 무게 밀도 w 에 단면적 a 를 곱한 것과 같다.

자중은 항상 전체좌표계의 -Z방향인 아래쪽으로 작용한다. 자중은 전체 구조물에 적용되는 하나의 계수에 의해 증감시킬 수 있다.

더 많은 정보를 원하면:

- w 와 a 의 정의를 위해 이 장의 “단면의 성질” 주제를 보라.
- “정적 및 동적 해석” 장을 보라.

집중 지간 하중 (Concentrated Span Load)

집중 지간 하중은 집중 하중과 모멘트를 프레임 요소 상의 임의의 위치에 작용시키는 데에 사용

한다. 재하(load)의 방향은 전체좌표계 또는 국소좌표계로 지정할 수 있다.

하중의 위치는 다음에 나오는 방법중의 하나로 지정할 수 있다.

- 절점 **i**로부터 측정한 상대 거리 **rd**를 지정하기. 이것은 $0 \leq rd \leq 1$ 을 만족 시켜야 한다. 상대 거리는 요소의 길이에 대한 비(fraction)이다.
- 절점 **i**로부터 측정한 절대 거리 **d**를 지정하기. 이것은 $0 \leq d \leq L$ 을 만족 시켜야 한다. 여기서 **L**은 요소의 길이이다.

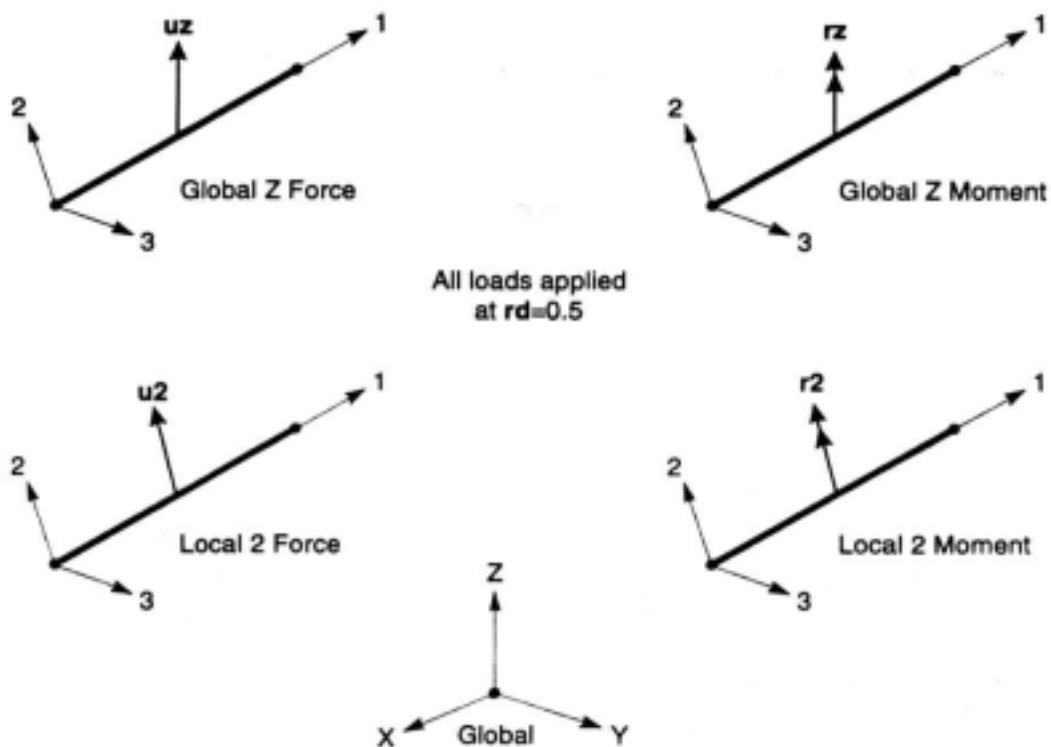


그림 21 집중 지간 하중의 정의에 대한 예

각 요소에 어떤 개수의 집중하중이라도 작용시킬 수 있다. 전체좌표계로 주어진 하중은 요소의 국소좌표계로 변환된다. 그림 6을 보라. 같은 위치에 하중이 여러번 작용되면 그것들은 누적된다.

더 많은 정보를 원하면 “정적 및 동적 해석”의 장을 보라.

분포 지간 하중(Distributed Span Load)

분포 지간 하중은 프레임 요소에 분포하는 하중과 모멘트를 작용시킬 때 사용한다. 하중 강도는 일정해도 되고 사다리꼴이어도 된다. 재하의 방향은 전체좌표계 또는 국소좌표계로 지정할 수 있다.

더 많은 정보를 원하면 “정적 및 동적 해석”의 장을 보라.

재하 길이

하중은 요소 길이 전체 또는 부분에 작용할 수 있다. 하나의 요소에 하중을 여러번 작용시킬 수 있다. 재하된 길이는 겹쳐도 되는데, 이 경우 작용된 하중은 누적된다.

재하된 길이는 다음 방법중의 하나로 지정할 수 있다.

- 절점 **i**로부터 측정한 두 개의 상대 거리 **rda**와 **rdb**를 지정하기. 그것들은 $0 \leq rda < rdb \leq 1$ 을 만족해야 한다. 상대 거리는 요소 길이에 대한 비이다;
- 절점 **i**로부터 측정한 두 개의 절대 거리 **da**와 **db**를 지정하기. 그것들은 $0 \leq da < db \leq L$ 을 만족해야 한다. L 은 요소의 길이이다;
- 거리를 지정하지 않으면 요소의 전체 길이를 나타낸다.

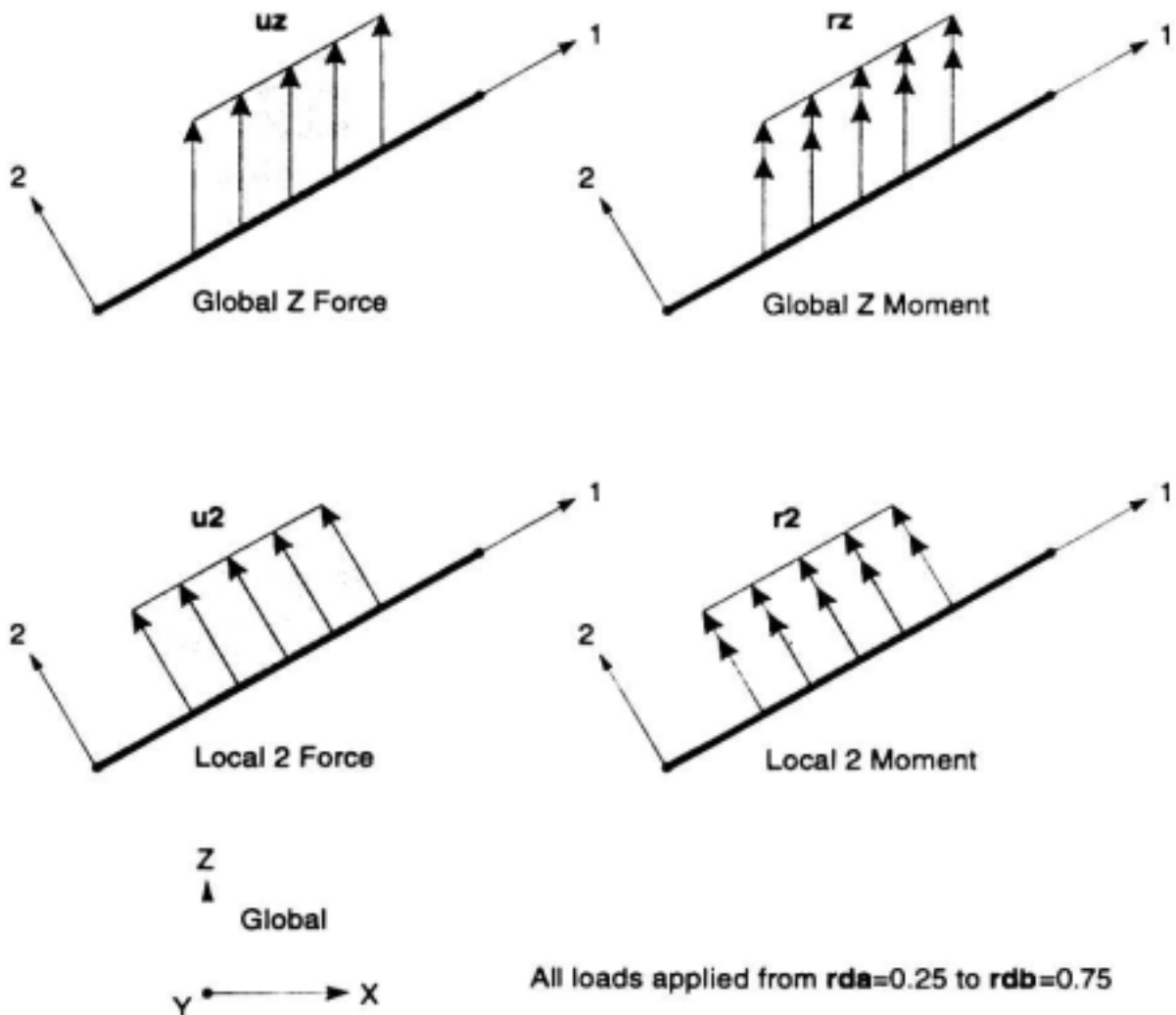


그림 22 분포 지간 하중의 정의에 대한 예

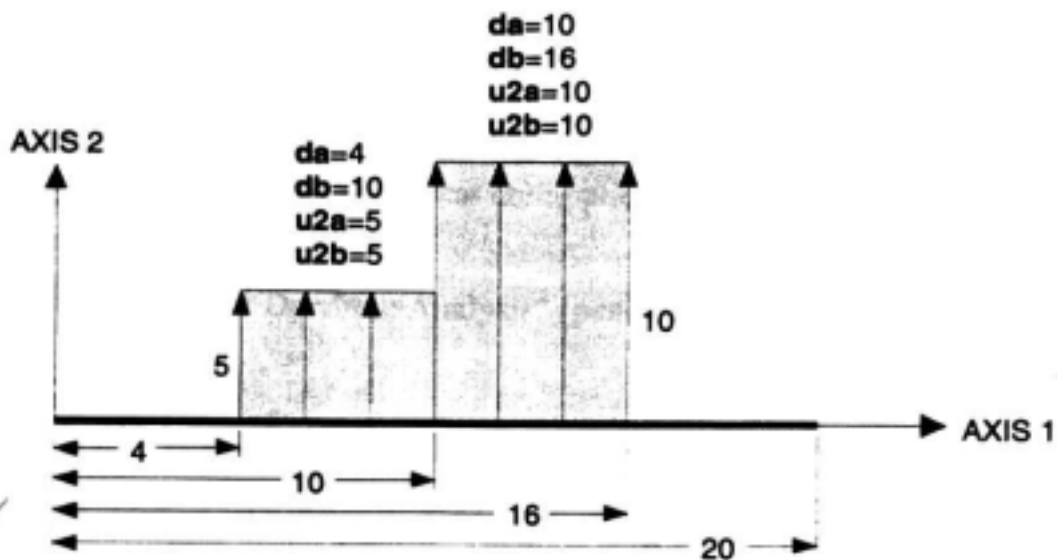
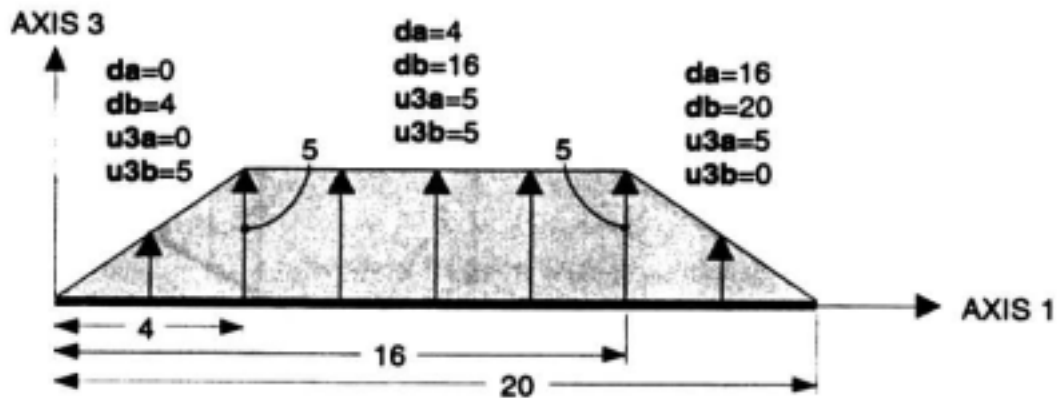
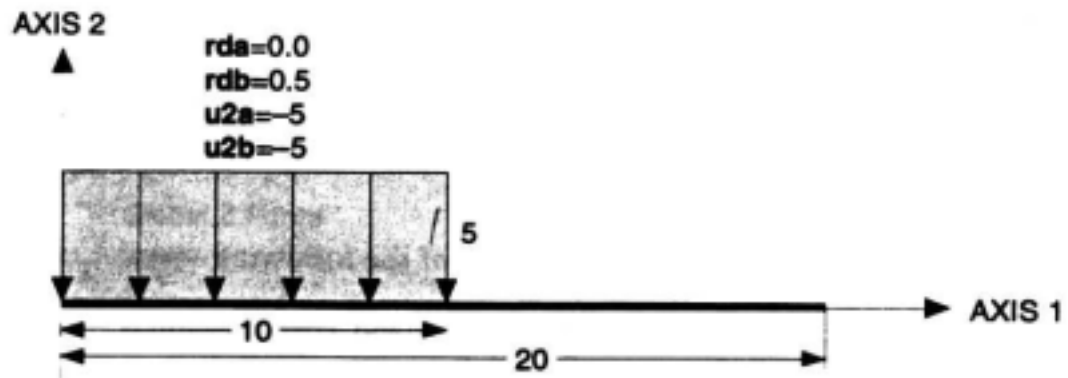


그림 23 분포 지간 하중의 예

하중강도

하중강도란 단위 길이당 하중 또는 모멘트이다. 하중이 등분포인 경우에, 작용시켜야 할 각각의 하중이나 모멘트 성분에 대하여 하나의 하중 값을 줄 수 있다. 하중 강도가 작용된 영역에 걸쳐 선형으로 변화한다면 두 개의 하중값이 필요하다.

그림 7과 그림 8을 보라.

내력의 출력(Internal Force Output)

프레임 요소의 내력은 요소의 단면에 대해 응력을 적분한 결과 나오는 힘과 모멘트이다. 이들 내력에는 다음과 같은 것들이 있다:

- P : 축방향력
- V2 : 1-2면에서의 전단력
- V3 : 1-3면에서의 전단력
- T : 축방향 비틀림
- M2 : 1-3면에서 2축에 관한 휨모멘트
- M3 : 1-2면에서 3축에 관한 휨모멘트

이들 내력과 모멘트들은 요소의 길이를 따르는 모든 단면에 존재한다.

부호 규약은 그림 9에 나타난 바와 같다. 양의 1면에 작용하는 양의 내력과 축방향 비틀림은 요소의 국소좌표계 축의 양의 방향을 따른다. 음의 면에 작용하는 양의 내력과 축방향 비틀림은 요소 국소좌표계 축의 음의 축을 따른다. 양의 1면이란 바깥쪽 수직(요소로부터 멀어지는 쪽을 가리키는)이 양의 1방향 내에 있는 면을 말한다.

양의 휨모멘트는 양의 2와 3면에서 압축이 생기게 하고 음의 2와 3면에서 인장이 생기게 한다. 양의 2와 3면은 각각 중립축으로부터 양의 2와 3 방향에 있는 면이다.

내력과 모멘트들은 부재의 길이를 따르는 등 간격의 출력점에서 계산된다. **nseg** 매개변수는 요소의 길이를 따라 출력점들 사이의 등 간격의 수를 지정해 준다. 기존 설정 값은 “2”로서 요소의 양단과 중앙에서의 값을 출력한다. 아래의 “단부 offset의 영향”을 보라.

프레임 요소의 내력은 모든 해석 케이스에 대해 계산된다: 하중, 모드, 스펙트럼.

응답 스펙트럼의 결과는 항상 양수가 되며, 다른 값들 사이의 조화가 상실됨을 주목하라.

더 많은 정보를 원하면 “정적 및 동적 해석”의 장을 보라.

단부 Offset의 영향

단부 offset이 있을 때, 내력과 모멘트는 요소의 순길이 내의 **nseg-1**개의 등간격 점과 양 지지면에서 출력된다. 절점을 포함하여 단부 offset의 길이 내에서는 출력이 되지 않는다. 그에 해당하는 단부 offset이 0이면 절점 i와 j에서만 출력된다.

더 많은 정보를 원하면 이 장의 “단부 offset” 주제를 보라.

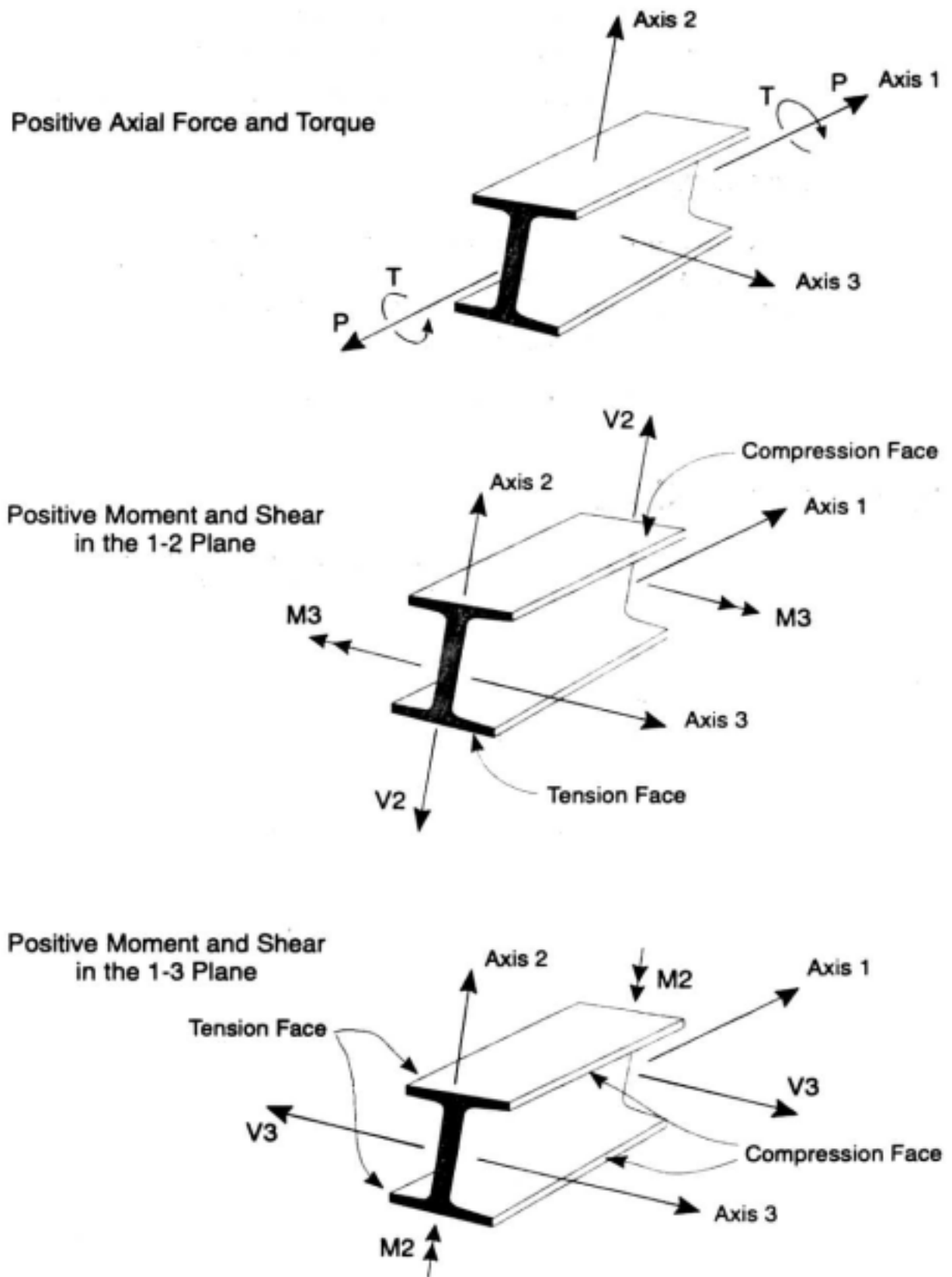


그림 24 프레임 요소의 내력과 모멘트

Chapter IV The Shell Element

셸 요소는 평면 혹은 3차원 구조의 셸, 막(membrane), 및 판 거동을 모델링하는 데에 사용한다.

주 제

- 개요
- 절점의 연결
- 자유도
- 국소좌표계
- 단면의 성질
- 질량
- 자중
- 등분포 하중
- 내력 및 응력의 출력

개 요

셸 요소는 각자의 막 거동과 판의 휨 거동을 결합하는 3차원 혹은 4 절점 형식화를 사용한다. 4 절점 요소는 평면을 유지할 필요는 없다.

막 거동은 직선 이동의 면내 강성도 성분과, 요소 평면에 수직인 방향으로의 회전 강성도 성분을 갖는 isoparametric formulation을 사용한다. Taylor and Simo (1985)와 Ibrahimbegovic and Wilson (1991)을 보라.

판의 휨 거동은 2방향의 면외, 판 회전 강성도 성분과, 요소 평면에 수직인 방향으로의 직선 이동 강성도 성분을 포함한다. Batoz and Tahar (1982)를 보라.

이 요소로 모델링 할 수 있는 구조물은 다음과 같다:

- 물탱크 및 돔과 같은 3차원 셸
- 바닥판 슬래브와 같은 판 구조
- 전단벽과 같은 막 구조

구조물 내에서 각각의 셸 요소에 대해 순수한 막 거동으로 모델링 할 수도 있고, 순수한 판 거동 또는 전체의 셸 거동을 한다고 모델링 할 수도 있다. 전체 구조물이 평면을 이루고 있고 적절하게 구속되어 있는 경우가 아니라면 전체 셸 거동을 이용할 것을 일반적으로 권한다.

재료의 성질과 하중을 정의하고 출력을 해석하는 데에 대해 각각의 셸 요소는 자기 자신의 국소좌표계를 갖는다. 각 요소는 중력하중이나 등분포 하중을 어느 방향으로든 재하할 수 있다.

셸 강성도를 위해서는 8점 수치적분 형식화를 사용한다. 요소의 국소좌표계에 있어서 응력과 내력과 모멘트는 2×2 가우스 적분점에서 계산하여 요소의 절점으로 외삽(extrapolate)한다. 요소의

응력이나 내력에 대한 근사화 오차는 같은 절점에 붙어 있는 서로 다른 요소로부터 계산된 값의 차이로부터 추산할 수 있다. 이것은 주어진 유한 요소 근사화의 정밀도에 대한 척도(indication)가 되므로, 보다 정밀한 새로운 유한 요소 망(mesh)을 선택하기 위한 근거로 사용할 수 있다.

더 많은 정보와 기타의 사항에 대해서는 *SAP2000 Analysis Reference*의 “셸 요소” 장을 보라.

절점의 연결

각각의 셸 요소는 그림 10에서 보인 바와 같이 다음 모양 중의 하나를 가질 수 있다.

- 4변형 : 네 점 **j1**, **j2**, **j3**, 및 **j4**로 정의함
- 삼각형 : 세 점 **j1**, **j2**, 및 **j3**로 정의함

두가지 중 사변형 형식화가 보다 더 정밀하다. 삼각형 요소는 전환용으로만 사용할 것을 권한다. 3절점 요소의 강성도 형식화가 합리적이기는 하지만, 그에 대한 응력 회복(stress recovery)은 빈약하다. 여러 기하학적 형상과 변환을 위한 망짜기(meshing)에 대해 사변형 요소를 사용한 예가 그림 11에 있다.

절점의 위치는 다음의 기하학적 조건을 만족시키도록 택해야 한다:

- 각 모서리의 내부각은 180° 이내이어야 한다. 4변형에 대한 최적의 결과는 이들 각이 90° 에 가까울 때 얻어진다.
- 요소의 형상비(aspect ratio)는 너무 크지 않아야 한다. 삼각형 요소에 대한 형상비는 가장 짧은 변에 대한 가장 긴 변의 비이다. 4변형 요소에 대한 형상비는 대변(opposite side)의 중앙점 사이의 길이중 짧은 것에 대한 긴 것의 비이다. 형상비가 1에 가깝거나 최소한 4 이하일 때 최적의 결과를 얻을 수 있다. 형상비는 10을 넘지 말아야 한다.
- 4변형 요소에 있어서 네 절점은 반드시 동일 평면상에 있을 필요는 없다. 이 프로그램은 요소 내의 작은 양의 비틀림을 고려하고 있다. 모서리에서의 수직선끼리 이루는 각이 비틀림 정도의 척도이다. 모서리에서 수직이란, 그 모서리에서 만나는 두 변에 대해 직각을 말한다. 모든 모서리의 쌍 사이의 각 중 최대값이 30° 보다 작을 때 최적의 결과를 얻을 수 있다. 이 각은 45° 를 넘지 말아야 한다.

보통의 경우 망을 적절히 개선하면 이들 조건을 만족시킬 수 있다.

자유도

셸 요소는 각 연결점에서 6개의 자유도가 모두 항상 활성화되어 있다. 요소를 순수한 막구조로만 사용할 때는 구속부 또는 다른 지지부에서 수직방향 직선 이동과 휨 회전각에 대한 자유도가 가능해야 한다. 요소를 순수한 판으로만 사용할 때는 구속부 또는 다른 지지부에서 면내 직선 이동과 수직선에 관한 회전에 대한 자유도가 가능해야 한다.

모든 3차원 구조물에 대해 완전한 셸 거동(막과 판의 합)을 사용할 것을 권한다.

더 많은 정보를 원하면 “절점과 자유도” 장의 “자유도” 주제를 보라.

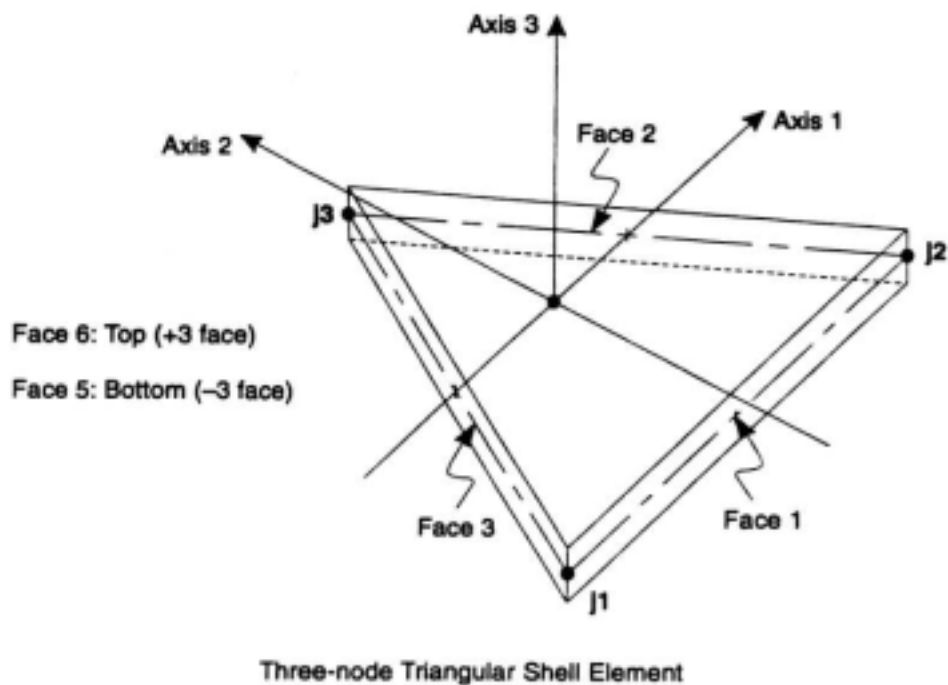
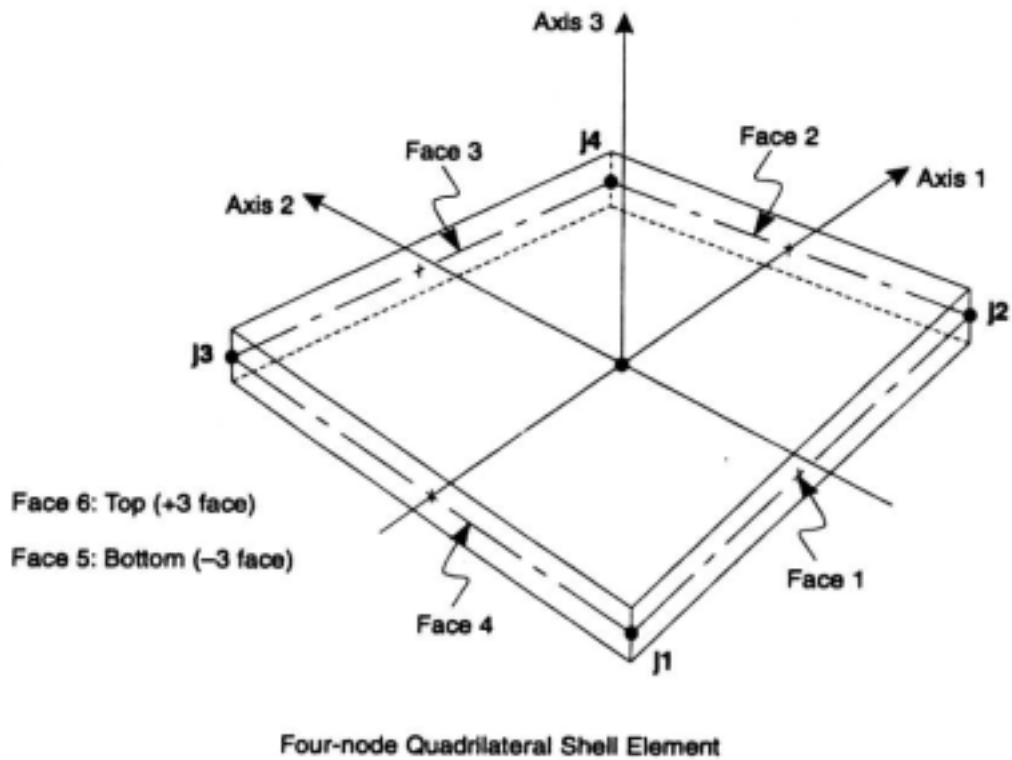


그림 25 셸 요소의 절점 연결과 면에 대한 정의

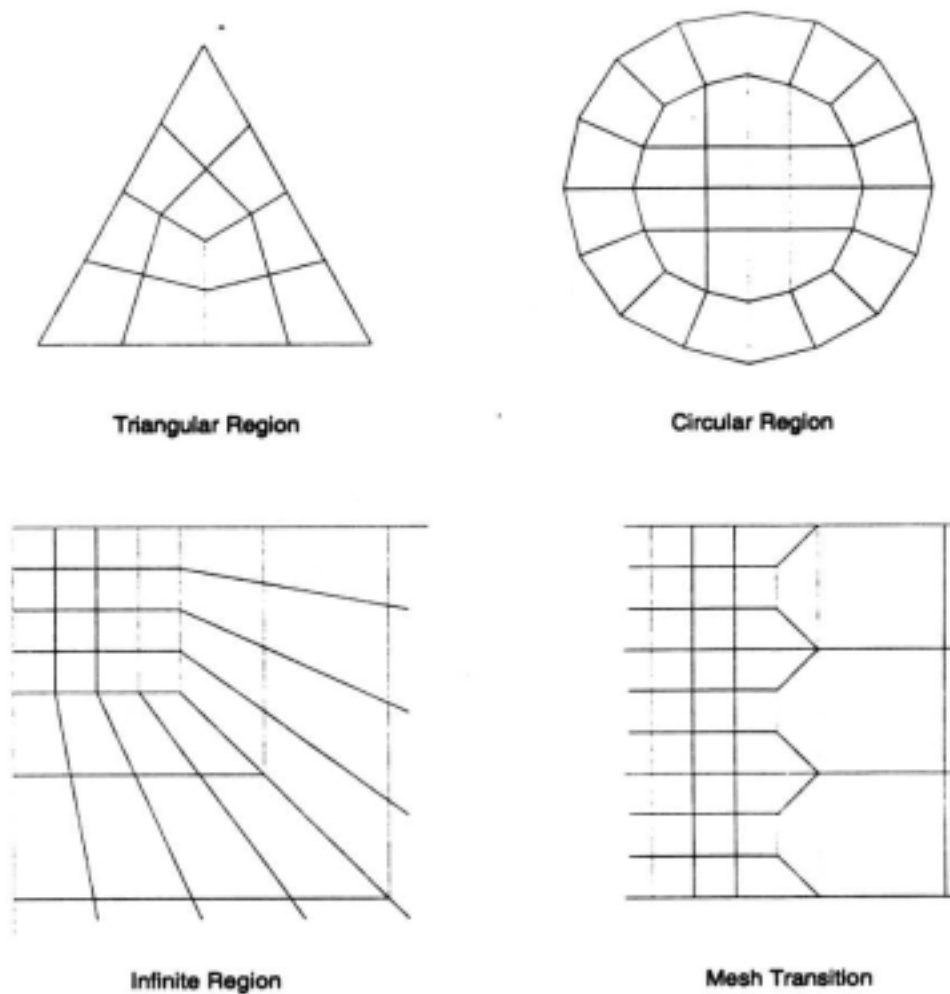


그림 26 사변형 쉘 요소를 이용한 망(mesh)의 예

국소좌표계

모든 쉘 요소는 자기 자신의 **요소 국소좌표계**를 갖고 이를 이용하여 재료의 성질, 하중과 출력을 정의한다. 이 국소좌표계의 축은 1, 2, 및 3으로 표기한다. 처음의 두 축은 요소의 평면 내에 있으며 방향은 여러분이 지정하는 대로이다. 세 번째 축은 법선이다.

요소의 국소좌표계 1-2-3의 정의 및 전체좌표계 X-Y-Z와의 관계를 분명하게 이해하는 것이 중요하다. 두 좌표계 모두 오른손 좌표계이다. 데이터의 입력과 결과의 해석을 단순하게 해주도록 국소좌표계를 정의하는 것은 여러분에게 달려 있다.

대부분의 구조물에서 요소의 국소좌표계를 정의할 때에 **기준 설정 방향과 쉘 요소 좌표각**을 이용하면 아주 간단하다. 기타 방법을 사용해도 좋다.

더 많은 정보를 원하면:

- 이번 주제에서 사용하는 개념과 용어의 정의에 대한 설명을 원하면 “좌표계”의 장을 보라.

- SAP2000 Analysis Reference에 있는 “셸 요소”의 장에서 “진보된 국소좌표계”의 주제를 보라.

수직축 3

국소좌표계의 3축은 항상 셸 요소의 면에 대해 수직이다. $j_1-j_2-j_3$ 의 진로(path)가 시계 반대 방향으로 보일 때 이 방향은 여러분을 향한다. 사변형 요소에 대해, 요소 평면은 두 쌍의 대변의 중간점들을 연결하는 벡터로 정의한다.

기준 설정 방향

국소좌표계 1, 2축에 대해 기준 설정된 방향은 국소좌표계 3축과 전체좌표계 Z축 사이의 관계에 따라 결정된다.

- 국소좌표계 3-2면은 수직으로, 즉, Z축에 평행으로 취한다.
- 요소가 수평이 아닌 경우 국소좌표계 2축은 위쪽(+Z) 방향을 갖는다. 요소가 수평이면, 국소좌표계의 2축은 전체좌표계 +Y 방향을 따르는 수평방향이다.
- 국소좌표계의 1축은 항상 수평, 즉, X-Y 평면 내에 있다.

국소좌표계의 3축과 전체좌표계의 Z축 사이의 각의 정현(sine)이 10^{-3} 보다 작으면 그 요소는 수평으로 간주한다.

국소좌표계의 2축이 수직축과 이루는 각은 국소좌표계의 3축이 수평면과 이루는 각과 같다. 이것은, 수직 요소에 대해 국소좌표계의 2축은 수직 위방향을 가리킴을 의미한다.

좌표각

셸 요소의 좌표각 **ang**는 요소의 방향이 기준 설정 방향과 다를 때 이를 정의하기 위해 사용한다. 그것은 국소좌표계의 1축과 2축이 양의 3축을 중심으로 기준설정 방향으로부터 회전한 각이다. 양의 **ang** 값에 대한 회전은 국소좌표계의 +3축이 여러분을 향할 때 반시계방향으로 보인다.

수평 요소에 대해서는, **ang**는 국소좌표계 2축과 수평의 +Y축 사이의 각이다. 기타의 경우에는, **ang**는 국소좌표계의 2축과 국소좌표계의 3축을 포함하는 수직평면 사이의 각이다. 예로써, 그림 12를 보라.

단면의 성질

Shell Section(셸 단면) data block은 하나 이상의 셸 요소에 대하여 단면을 설명해 주는 기하학적 성질과 재료에 대한 것을 포함한다. 단면은 셸 요소와 관계없이 정의하며, 각각의 요소에 대하여 그것들을 지정한다.

단면 형태

단면 형상은 **type**이라는 매개변수로 지정하는데, 이는 그에 해당하는 셸 요소가 모델링하는 거동의 형태를 결정한다:

- **type** = MEMBR : 순수한 막 거동; 면내 힘과 수직(뚫고 들어가는) 모멘트만 받을 수 있다.
- **type** = PLATE : 순수한 판 거동; 휨모멘트와 수직방향 힘만 받을 수 있다.

- **type** = SHELL : 전체의 쉘 거동, 막 거동과 판 거동의 합; 모든 힘과 모멘트를 받을 수 있다.

일반적으로, 전체 구조물이 평면으로 되어 있거나 적절하게 구속되어 있지 않다면 전체 쉘 거동을 이용할 것을 권한다.

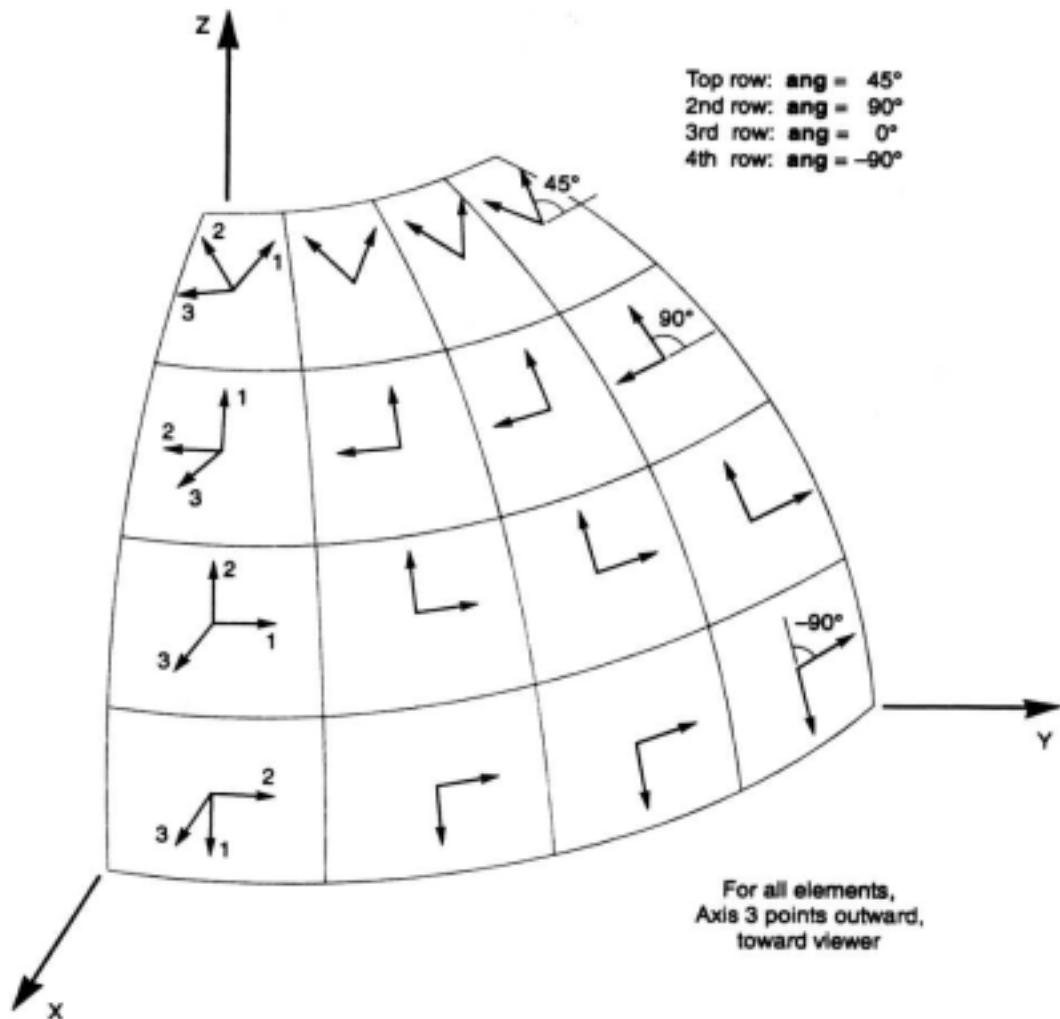


그림 27 기존 설정 방향에 관한 쉘 요소의 좌표각

재료의 성질

각 단면에 대한 재료의 성질은 미리 정의한 재료를 참조하여 지정한다. 쉘 단면에서 사용하는 재료의 성질은 다음과 같다:

- 막 및 판의 휨 강성도를 계산하기 위한 탄성계수 **e1**과 포아송비 **u12**;
- 비틀림 강성과 횡방향 전단 강성을 위한 전단탄성계수, **g12**; 이것은 **e1**과 포아송비 **u12**로부터 계산한다.
- 요소의 질량 계산을 위한 질량 밀도(단위 체적당), **m**

- 자중 계산을 위한 중량 밀도(단위 체적당), w

두께

각 단면은 일정한 막 두께와 일정한 휨 두께를 갖는다. 막 두께 th 는 다음을 계산할 때 사용한다:

- 전체 쉘 단면 또는 순수 막 단면을 위한 막 강성도
- 요소의 자중과 질량을 계산하기 위한 요소 체적

휨 두께 thb 는 다음을 계산할 때 사용한다:

- 전체 쉘 단면 또는 순수 판 단면을 위한 판의 휨 강성도

보통의 경우 두 개의 두께는 같으며 th 만을 지정하면 된다. 그러나 주름잡힌 면 등과 같이 어떤 경우에는 하나의 두께를 갖는 균등질 재료를 가지고는 막 거동과 판의 휨 거동을 적절하게 나타낼 수 없다. 이런 경우, th 와는 다른 thb 값을 지정해주어야 한다.

질량

동적 해석에서, 구조물의 질량은 관성력의 계산에 사용된다. 쉘 요소가 기여하는 질량은 요소의 절점에 뭉쳐있다(lumped). 요소 자체 내에서는 관성의 영향을 고려하지 않는다.

요소의 전체 질량은 질량 밀도 m 에 두께 th 를 곱하여 면에 대해 적분한 것과 같다. 전체 질량은, 적합질량매트릭스(consistent mass matrix)의 대각선 항에 비례하는 방식으로 절점들에 배분한다. 더 많은 정보를 원하면 Cook, Malkus, and Plesha (1989)를 보라. 전체 질량은 세 개의 직선이동 자유도(UX, UY, UZ) 각각에 적용된다. 회전 자유도에 대해서는 질량 관성모멘트를 계산하지 않는다.

더 많은 정보를 원하면:

- th 의 정의에 대해 이 장에 있는 “두께” 부주제를 보라.
- “정적 및 동적 해석” 장을 보라.

자중(Self-Weight Load)

모델에 있는 모든 요소의 자중을 활성화 하기 위해 자중을 어떠한 하중 케이스에도 적용할 수 있다. 쉘 요소에 대하여, 자중은 요소의 면을 따라 등분포하는 힘이다. 자중의 크기는 무게 밀도 w 에 두께 th 를 곱한 것과 같다.

자중은 항상 전체좌표계의 -Z 방향인 아래쪽으로 작용한다. 자중은 전체 구조물에 적용되는 하나의 계수에 의해 증감시킬 수 있다.

더 많은 정보를 원하면:

- w 와 th 의 정의를 위해 이 장의 “단면의 성질” 주제를 보라.
- “정적 및 동적 해석” 장을 보라.

등분포 하중

등분포 하중은 쉘 요소의 중간면(midsurface)에 등분포하는 힘을 작용시킬 때 사용한다. 재하의 방향은 전체좌표계 또는 국소좌표계로 지정할 수 있다.

하중강도는 단위 면적당 힘으로 주어진다. 서로 다른 국소좌표계로 지정된 하중강도는 요소의 국소좌표계로 변환되어 누적된다. 요소상에서 각 국소좌표계 방향으로 작용하는 전체 힘은 그 방향의 전체 하중강도에 중간면의 면적을 곱하여 얻는다. 이 힘은 요소의 절점에 배분된다.

더 많은 정보를 원하면 “정적 및 동적 해석”의 장을 보라.

내력 및 응력의 출력

셸 요소의 응력은 하중에 저항하기 위해 요소의 체적 내에(within) 작용하는 단위 면적당 힘이다. 이들 응력에는 다음과 같은 것들이 있다:

- S11과 S22 : 면내 직응력
- S12 : 면내 전단응력
- S13와 S23 : 수직 전단응력
- S33(항상 0으로 간주함) : 횡방향 직응력

세 개의 면내 응력은 요소의 두께 내에서 일정하든가 아니면 선형으로 변화한다고 가정한다.

두 개의 수직 전단응력은 두께 내에서 일정하다고 가정한다. 실제의 전단응력 분포는 포물선으로, 면의 맨 위와 맨 아래에서 0이고 요소의 중간 면에서 최대 또는 최소값을 갖는다.

셸 요소의 내력(합응력이라고도 부른다)은 응력을 요소의 두께에 걸쳐 적분하여 나온 힘과 모멘트이다. 이들 내력에는 다음과 같은 것들이 있다:

- F11과 F22 : 막의 수직력
- F12 : 막의 전단력
- M11과 M22 : 판의 휨모멘트
- M12 : 판의 비틀림모멘트
- V13와 V23 : 판의 수직 전단력

이들 합응력은 단위 면내 길이당의 힘과 모멘트임을 주목하라. 그것들은 요소의 중간면 상의 모든 점에서 존재한다.

응력과 내력에 대한 부호 규약은 그림 13에 나타난 바와 같다. 양의 면에 작용하는 응력은 요소의 국소좌표계 축의 양의 방향을 따른다. 음의 면에 작용하는 응력은 요소 국소좌표계 축의 음의 축을 따른다. 양의 면이란 바깥쪽 수직(요소로부터 멀어지는 쪽을 가리키는)이 양의 1축 또는 2축에 있는 면을 말한다.

양의 내력은 두께를 따라 일정한 양의 응력 상태에 해당한다. 양의 내력모멘트는 두께를 따라 선

형으로 변화하는 응력상태에 해당하고 바닥에서 양이다.

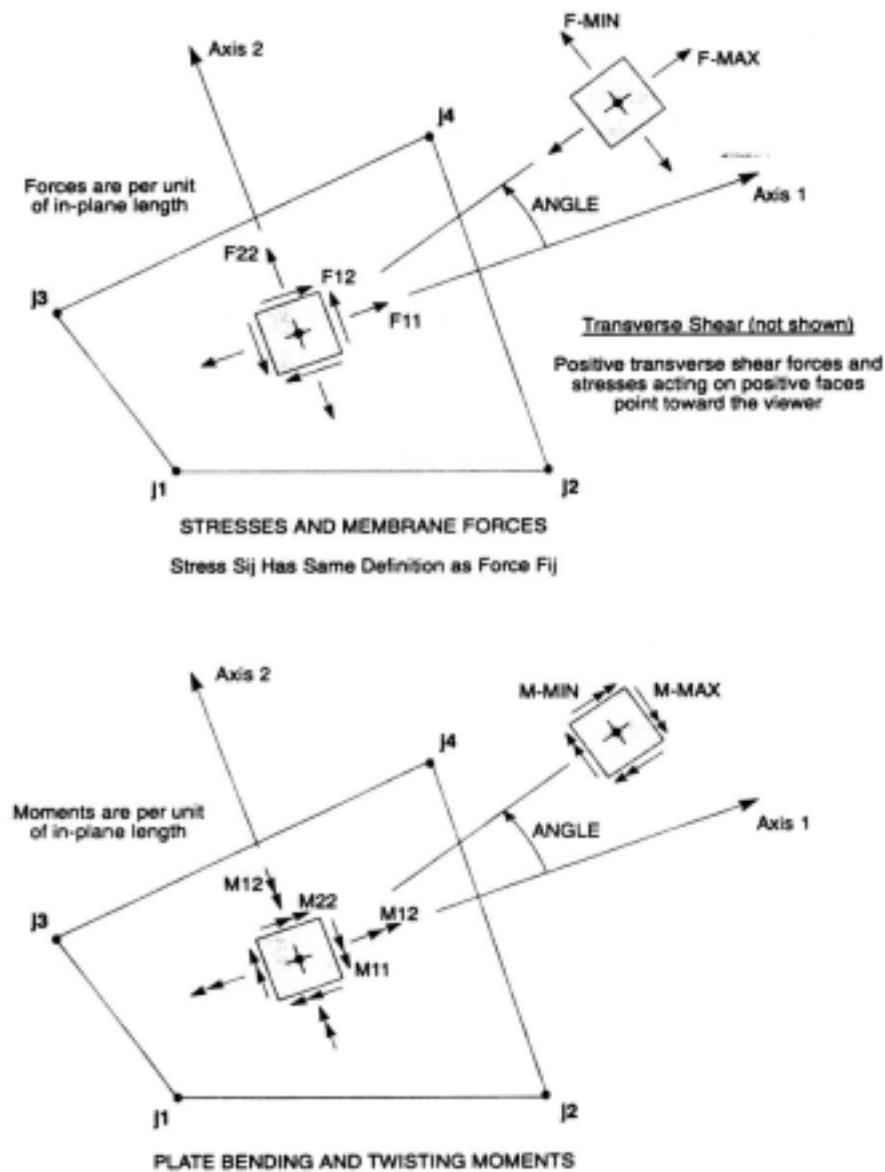


그림 28 셸 요소의 응력과 내력

응력과 내력은 요소내의 표준의 2×2 가우스 적분점에서 계산하여 절점들로 외삽(extrapolate)한다. 응력과 내력은 절점에서의 값이 출력되지만 실제로는 요소 전체에 존재한다. 더 많은 정보를 원하면 Cook, Malkus, and Plesha (1989)를 보라.

셸 요소의 응력과 내력은 모든 해석 케이스에 대해 계산된다: 하중, 모드, 스펙트럼.

하중과 모드에 대해 주응력의 값과 방향도 계산된다. 주어진 각은 국소좌표계의 1축으로부터 최대 주응력값의 방향으로 (위에서 보았을 때) 반시계방향으로 측정한다.

응답 스펙트럼의 결과는 항상 양수가 되며, 다른 값들 사이의 조화가 상실됨을 주목하라.

더 많은 정보를 원하면 “정적 및 동적 해석”의 장을 보라.

Chapter V Joints and Degrees of Freedom

모든 구조물을 해석할 때 **절점**은 아주 중요한 역할을 한다. 절점은 구조물의 요소를 서로 연결하는 점이며, 구조물 안에서 절점은 거기에서의 변위를 알거나 변위를 구해야 할 아주 기본적인 위치가 된다. 절점에서의 변위 성분(직선이동과 회전변위)를 **자유도**라 한다.

주제

- 개요
- 모델링에서 고려할 점
- 국소좌표계
- 자유도
- 구속(restraints)과 반력
- 스프링
- 질량
- 힘 하중
- 지반 변위 하중

개요

격점이라고도 부르는 **절점**은 모든 구조물의 모델에서 기본적인 부분이다. 절점은 매우 다양한 기능을 수행한다:

- 모든 요소는 절점에서 구조물에 연결된다.
- 구속조건을 절점에 적용하여 강제 거동이나 대칭 조건을 지정할 수 있다.
- 집중하중을 절점에 작용할 수 있다.
- 집중질량과 회전관성을 절점에 위치시킬 수 있다.
- 요소에 작용하는 모든 하중과 질량이 실제로는 절점으로 전달된다.
- 절점은 변위를 알고 있거나(지점) 구해야 할 위치로서 구조물에서 기본적인 위치이다.

이러한 모든 기능들은 이번 장에서 설명하며, 구속조건(constraints)은 “절점 구속조건”의 장에서 설명한다.

SAP2000 graphical interface를 사용하면, 각 프레임 요소의 단부와 셸 요소의 모서리에서 절점이 자동적으로 만들어진다. 절점은 또한 각 요소와 무관하게 정의할 수 있다. 절점이 요소에 의해 연결되어 있지 않다면 서로 독립적으로 작용한다.

절점은 그 자체로서 연결이 없는 요소처럼 간주할 수도 있다. 각 절점은 자유도, 지점부 구속, 절점의 성질, 및 하중을 정의하고, 절점에 대한 출력을 해석하기 위해 자기 자신의 국소좌표계를 가질 수 있다. 그러나, 대부분의 경우 모델 내의 모든 절점에 대해 국소좌표계로서 전체좌표계

X-Y-Z를 사용한다.

모든 절점에는 여섯 개의 변위 자유도가 있다 - 세 개의 직선이동과 세 개의 회전 변위. 이들 변위 성분은 각 절점의 국소좌표계를 따라서 정렬된다.

절점에는 집중하중이 직접 재하되거나, 구속 또는 스프링 지점을 통하여 작용하는 지반 변위에 의해 간접적으로 재하된다.

모든 절점에서의 변위(직선이동과 회전 변위)를 출력한다. 또한, 모든 절점에 작용하는 외력 및 내력의 힘과 모멘트도 출력한다.

더 많은 정보와 추가의 사항에 대하여:

- SAP2000 Analysis Reference에서 “절점 좌표”의 장을 보라.
- SAP2000 Analysis Reference에서 “절점과 자유도”의 장을 보라.
- SAP2000 Analysis Reference에서 “구속 조건과 용접”의 장을 보라.

모델링에서 고려할 점

절점과 요소의 위치는 구조물 모델의 정밀도를 결정하는 데에 매우 중요하다. 구조물에 대해 요소(따라서 절점)를 정의할 때 고려해야 할 몇가지 요인은:

- 요소의 개수는 구조물의 기하학적 형상을 묘사하기에 충분해야 한다. 직선과 테두리(edge)에 대해서는 하나의 요소로 충분하다. 곡선과 곡면에 대해서는 매 15° 또는 그 이하의 호에 대해 하나의 요소를 사용해야 한다.
- 불연속의 점, 선, 및 면에는 반드시 요소의 경계, 즉, 절점이 위치해야 한다.
 - 구조적인 경계, 예를 들면, 모서리와 테두리
 - 재료의 특성이 변하는 곳
 - 두께나 기타 기하학적 성질이 변하는 곳
 - 지지점(구속과 스프링)
 - 집중하중이 작용하는 점. 단, 프레임 요소에서는 지간 내에 집중하중이 작용할 수 있다.
- 큰 응력 변화를 갖는 영역, 즉, 응력이 급격히 변하는 곳에서는, 요소의 크기를 작게 하고 절점의 간격을 촘촘히 하여 쉘 요소의 망을 세밀하게 해야 한다. 이는 한번 또는 그 이상의 예비 해석을 해 보고 망을 변화시킬 것을 요구한다.
- 동적 거동이 중요한 경우에는 모든 지간의 길이를 하나 이상의 요소로 모델링해야 한다. 이는, 실제로 질량이 요소에 분배되어 있는 경우라 할지라도 해석상에서는 항상 절점에 덩어리로 분배되기 때문에 그것이 필요하다.

국소 좌표계

각 절점은 자기 자신의 **절점 국소좌표계**를 가지며, 이는 절점에서의 자유도, 지점부 구속, 성질, 및 하중 등을 정의하고, 절점 출력을 해석하는 데에 이용된다. 절점 국소좌표계의 축은 1, 2, 3으로 표기한다. 이들은 각각 전체좌표계의 X, Y, Z축과 같게 기준 설정되어 있다. 두 좌표계 모두 오른손 좌표계이다.

기존 설정 국소좌표계는 대부분의 상황에 대해 알맞다. 그러나, 특정 모델링의 목적에 대해서는 어떤 절점 혹은 모든 절점에서 서로 다른 국소좌표계를 사용하는 것이 유용할 수 있다. 이것은 *SAP2000 Analysis Reference*에서 “절점 자유도”의 장에 설명했다.

더 많은 정보를 원하면 “좌표계”의 장을 보라.

자유도

구조 모델의 처짐은 절점의 변위에 지배된다. 구조 모델의 모든 절점은 여섯 개까지의 변위 성분을 가질 수 있다.

- 절점은 세 개의 국소좌표 축을 따라 직선 이동할 수 있다. 이들 직선 이동을 U_1 , U_2 , U_3 로 표기한다.
- 절점은 세 개의 국소좌표 축에 대해 회전할 수 있다. 이들 회전을 R_1 , R_2 , R_3 로 표기한다.

이들 여섯 개의 변위 성분을 절점의 **자유도**라 한다. 절점의 국소 자유도를 나타낸 것이 그림 14 이다.

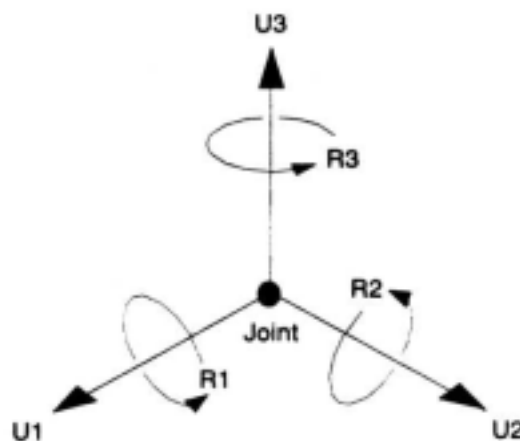


그림 29 절점 국소좌표계로 표시한
여섯 개의 변위 자유도

여러분이 만든 구조 모델의 일부로 정의한 정규의 절점 외에, 본 프로그램은 여러분이 정의할 수 있는 모든 구속조건을 거동을 지배하는 마스터 절점을 자동으로 만들어 낸다. 각각의 마스터 절점은 정규적인 절점과 같이 6개의 자유도를 갖는다. 더 많은 정보를 원하면 “절점 구속조건”의 장을 보라.

구조 모델에서 각각의 자유도는 다음에 형태 중 하나이어야 한다:

- 활성(active) - 해석 과정에서 변위를 계산한다.
- 구속(restrain) - 변위가 지정되며, 해석 과정에서 그에 해당하는 반력을 계산한다.
- 제한(constrain) - 다른 자유도에서의 변위로부터 그 변위를 결정한다.
- 무시(null) - 그 변위가 구조물에 영향을 주지 않으며 해석에서 무시한다.

- 비활용(unavailable) - 그 변위가 해석에서 명시적으로 제외된다.

이들 여러 형태의 자유도를 다음의 부제에서 설명한다.

유용(available) 및 비활용(unavailable) 자유도

여러분은 구조 모델의 모든 점에 유용한 전체좌표계의 자유도를 명시적으로 지정할 수 있다. 기존 설정된 바에 의하면, 모든 절점에 대해 여섯 개의 모든 자유도가 유용하다. 이 기존 설정값은 일반적으로 모든 3차원 구조물에 사용된다.

그러나, 어떤 평면 구조물에 대해서는, **유용한 자유도**를 제한하고 싶을 때가 있다. 예를 들면, X-Z 평면에서: 평면 트러스는 UX와 UZ만 있으면 된다; 평면 프레임은 UX, UZ, 및 RY만 있으면 된다; 평면 격자 또는 평판은 UY, RX, 및 RZ만 있으면 된다.

유용한 것으로 지정되지 않은 자유도를 **비활용 자유도**라 한다. 비활용 자유도에 작용된 모든 강성, 하중, 질량, 지지부 조건, 또는 구속조건들은 해석에서 무시된다.

유용 자유도는 구속, 제한, 활성화 또는 무효화 할 수 있다.

구속(restrained) 자유도

지지점에서와 같이, 유용한 자유도 중 어떤 하나의 절점 변위를 안다면, 그 자유도는 **구속된다**. 알고 있는 변위값은 영 또는 영이 아닌값일 수도 있고, 하중 케이스가 다르면 다른 값일 수 있다. 구속된 자유도 방향으로, 지정된 구속 변위를 갖게 하는 데에 필요한 힘을 반력이라 하며, 해석 과정 동안 결정된다.

비활용 자유도는 본질적으로 구속되어 있다. 그러나, 그것들은 값이 영이 아니더라도 해석 과정에서 제외되며 반력을 계산하지 않는다.

더 많은 정보를 원하면 이 장에 있는 "구속과 반력"의 주제를 보라.

제한(constrained) 자유도

Constraint Data Block에 있는 모든 절점은 하나 또는 그 이상의 유용 자유도가 **제한**되어 있다. 본 프로그램은 각각의 Constraint Data Block의 거동을 지배하는 마스터 절점을 자동으로 만들어 낸다.

자유도가 제한과 동시에 구속될 수 없다.

더 많은 정보를 원하면 "절점 제한"의 장을 보라.

활성 자유도

제한되지도 않고 구속되지도 않은 모든 유용한 자유도는 반드시 **활성(active)** 또는 **무시(null)**이어야 한다. 본 프로그램은 **활성 자유도**를 다음에 따라 자동으로 결정한다.:

- 어떤 점에서 임의의 직선이동 자유도를 따라 임의의 하중 또는 강성이 작용하면, 그 절점에서 유용한 모든 직선이동 자유도는, 그것들이 제한 또는 구속되어 있지 않은 한 활성화 된다.
- 어떤 점에서 임의의 회전 자유도를 따라 임의의 하중 또는 강성이 작용하면, 그 절점에서 유용한 모든 회전 자유도는, 그것들이 제한 또는 구속되어 있지 않은 한 활성화 된다.

- 제한된 자유도를 지배하는 마스터 절점에서의 모든 자유도는 활성화 된다.

임의의 프레임이나 셀 요소에 연결된 절점은 모든 유용한 자유도가 활성화 될 수 있다. 한가지 예외는 트러스 형태의 강성을 갖는 프레임 요소인데, 이것은 회전 자유도를 활성화하지 않을 수 있다.

모든 활성 자유도는 그와 관련하여 풀어야 할 방정식을 갖는다. 만약 구조물에 N개의 활성 자유도가 있다면, 그 시스템에는 N개의 방정식이 있고, 그 구조물 강성 매트릭스는 계수(order)가 N 이라 한다. N이 증가함에 따라 해석을 수행하는 데 필요한 계산 수고의 양이 증가한다.

각각의 활성 자유도를 따라 작용하는 하중은 기지(known)이다(0일 수 있다). 그에 해당하는 변위는 해석 과정에서 결정된다.

예를 들어 평면 프레임에서 면 외의 직선 이동과 같이, 시스템 내에서 강성이 0이라고 알려진 곳에 활성 자유도가 있다면 이들은 틀림없이 구속되어 있거나 아니면 비활용으로 되어 있다. 그렇지 않다면, 그 구조물은 불안정이며 그 경우 정적 방정식의 해를 얻지 못한다.

더 많은 정보를 원하면

- “프레임 요소”의 장에서 “자유도”라는 주제를 보라.
- “셀 요소”의 장에서 “자유도”라는 주제를 보라.

무시(null) 자유도

구속, 제한 혹은 활성화되어 있지 않은 유용 자유도를 무시(null) 자유도라 한다. 왜냐하면, 거기에는 하중이나 강성이 없어서 변위와 반력이 0이며, 구조물의 나머지 부분에 영향을 주지 않는다. 본 프로그램은 그것들을 해석에서 자동으로 제외시킨다.

구속과 반력

그 자유도의 값이 0이든(예를 들어, 지지점) 혹은 0이 아니든(예를 들어, 지점 침하로 인한) 절점의 변위를 안다면, 그 자유도에 **구속**을 작용시켜야 한다. 알고 있는 변위의 값은 하중 케이스마다 다를 수 있지만, 그 자유도는 모든 하중 케이스에 대해 구속이다. 다시 말해서, 어떤 하중 케이스에서는 변위를 알고 다른 하중 케이스에 대해서는 변위를 모를(비구속) 수는 없다.

예를 들어 평면 프레임에서 면외 직선 이동과 면내 회전과 같이, 시스템 내에서 강성이 0으로 알려진 곳에는 유용 자유도에 구속을 적용해야 한다. 그렇게 하지 않으면, 그 구조물은 불안정이며 정적 방정식의 해를 얻지 못한다.

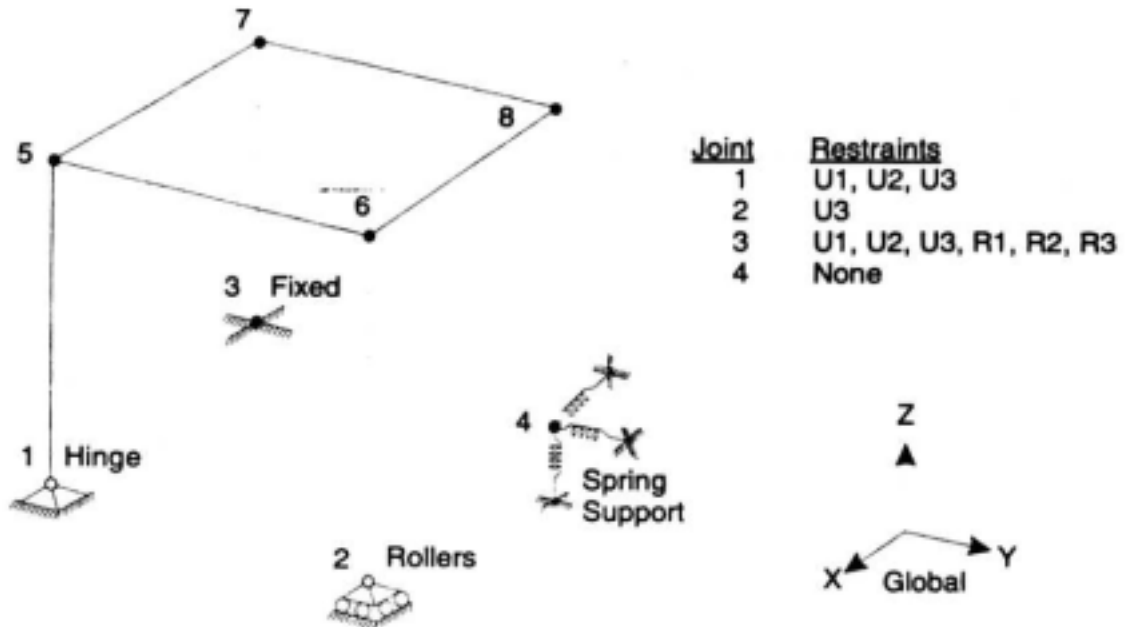
구속을 주기 위해 필요한 자유도를 따르는 힘이나 모멘트를 **반력**이라고 하며, 해석 과정에서 결정된다. 반력은 하중 케이스마다 다를 수 있다. 반력에는 구속된 자유도에 연결된 모든 요소에서 오는 힘(또는 모멘트) 뿐 아니라 그 자유도에 작용된 모든 하중을 포함한다.

구속된(restrained) 자유도는 제한되지(constrained) 않는다.

구속에 대한 예들을 그림 15에 보이고 있다.

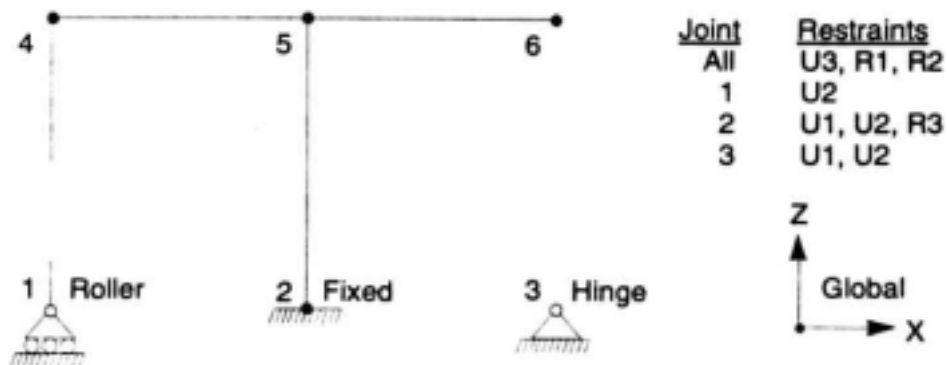
더 많은 정보를 원하면:

- 이 장의 "자유도" 주제를 보라.
- 이 장의 "지반 변위 하중" 주제를 보라.



3-D Frame Structure

Notes: Joints are indicated with dots:
 • Solid dots indicate moment continuity
 ○ Open dots indicate hinges
 All joint local 1-2-3 coordinate systems are identical to the global X-Y-Z coordinate system



2-D Frame Structure, X-Z plane

그림 30 구속에 대한 예

스프링

구조물 내의 임의의 절점에서 여섯 개의 자유도 중 어느 것이든 직선이동 또는 회전의 스프링 지지 조건을 가질 수 있다. 이들 스프링은 절점을 지반에 탄성적으로 연결시킨다. 구속된 자유도의 스프링 지지부는 구조물의 강성에 기여하지 않는다.

절점에 작용하는 스프링력과 그 절점의 변위와의 관계를 나타내는 것은 대칭의 6×6 스프링 강성 계수 매트릭스이다. 이들 힘은 변위들과 반대되는 경향을 갖는다. 스프링 강성 계수는 절점 국소좌표계로 지정된다. 한 절점에서의 스프링력과 모멘트 $F_1, F_2, F_3, M_1, M_2, M_3$ 는 다음으로 주어진다:

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} u1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & u2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & u3 & 0 & 0 & 0 \\ & \text{sym.} & & r1 & 0 & 0 \\ & & & & r2 & 0 \\ & & & & & r3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u1 \\ u2 \\ u3 \\ r1 \\ r2 \\ r3 \end{Bmatrix} \quad (\text{Eqn. 1})$$

여기서, $u1, u2, u3, r1, r2, r3$ 는 절점의 변위와 회전이고, $u1, u2, u3, r1, r2, r3$ 는 지정된 스프링 강성 계수이다.

지반과 연결된 스프링 단의 변위는 영 또는 영이 아닌 값으로(예를 들어, 지점 침하로 인한) 지정할 수 있다. 이 **지반 변위**는 하중 케이스마다 다를 수 있다.

더 많은 정보를 원하면:

- 이 장의 "자유도" 주제를 보라.
- 이 장의 "지반 변위 하중" 주제를 보라.

질량

동적 해석에서, 구조물의 질량은 관성력을 계산할 때에 사용한다. 보통의 경우, 질량은 재료의 질량 밀도와 요소의 체적을 이용하여 요소로부터 구한다. 이것은 절점마다 덩어리의 (중첩되지 않은; uncoupled) 질량을 자동으로 배분한다. 세 개의 직선 이동 자유도 각각에 대해 요소의 질량값은 같다. 회전 자유도에 대해서는 질량 관성모멘트가 생기지 않는다. 이런 방식은 대부분의 해석에 적합하다.

때로는 부가적인 집중 질량이나 질량 관성모멘트를 절점에 부여해야 할 필요가 있다. 이들은 구조물 내의 어느 절점에서나 여섯 개의 자유도 중 어느 곳에도 작용시킬 수 있다.

계산의 효율성과 해의 정밀도를 위하여, SAP2000은 항상 덩어리 질량을 사용한다. 이는 하나의 절점에서, 또는 다른 절점들 사이에 자유도끼리의 질량 중첩이 없음을 의미한다. 이들 중첩되지 않은 질량들은 항상 각 절점의 국소좌표계에 관련된다. 구속된 자유도를 따르는 질량값은 무시한다.

절점에 작용하는 관성력과 절점에서의 가속도의 관계를 나타내는 것이 6×6의 질량값을 갖는 매

트릭스이다. 이들 힘은 가속도와 반대되는 경향을 갖는다. 절점의 국소좌표계에 있어서 절점에서의 관성력과 관성모멘트 $F_1, F_2, F_3, M_1, M_2, M_3$ 는 다음으로 주어진다:

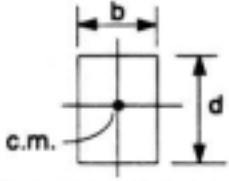
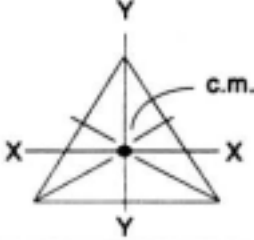
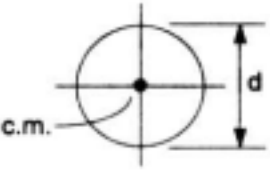
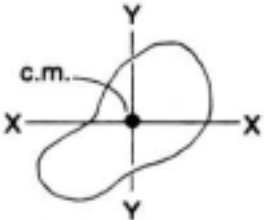
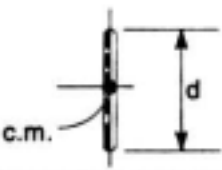
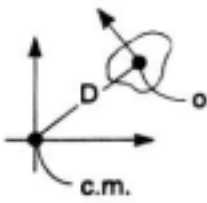
Shape in plan	Mass Moment of Inertia about vertical axis (normal to paper) through center of mass	Formula
	Rectangular diaphragm: Uniformly distributed mass per unit area Total mass of diaphragm = M (or w/g)	$MMI_{cm} = \frac{M(b^2 + d^2)}{12}$
	Triangular diaphragm: Uniformly distributed mass per unit area Total mass of diaphragm = M (or w/g)	Use general diaphragm formula
	Circular diaphragm: Uniformly distributed mass per unit area Total mass of diaphragm = M (or w/g)	$MMI_{cm} = \frac{Md^2}{8}$
	General diaphragm: Uniformly distributed mass per unit area Total mass of diaphragm = M (or w/g) Area of diaphragm = A Moment of inertia of area about X-X = I_x Moment of inertia of area about Y-Y = I_y	$MMI_{cm} = \frac{M(I_x + I_y)}{A}$
	Line mass: Uniformly distributed mass per unit length Total mass of line = M (or w/g)	$MMI_{cm} = \frac{Md^2}{12}$
	Axis transformation for a mass: If mass is a point mass, $MMI_O = 0$	$MMI_{cm} = MMI_O + MD^2$

그림 31 질량 관성모멘트에 대한 공식

$$\begin{Bmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \\ M1 \\ M2 \\ M3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} u1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & u2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & u3 & 0 & 0 & 0 \\ & & & r1 & 0 & 0 \\ & & & & r2 & 0 \\ & & \text{sym.} & & & r3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u1} \\ \ddot{u2} \\ \ddot{u3} \\ \ddot{r1} \\ \ddot{r2} \\ \ddot{r3} \end{Bmatrix}$$

여기서, $\ddot{u1}, \ddot{u2}, \ddot{u3}, \ddot{r1}, \ddot{r2}, \ddot{r3}$ 는 절점에서의 직선이동과 회전 가속도이고, $u1, u2, u3, r1, r2, r3$ 는 지정된 질량값이다.

질량값은 질량 단위(W/g)에 일치되게, 질량관성 모멘트는 WL^2/g 의 단위로 주어져야 한다. 여기서 W는 무게, L은 길이, 그리고 g는 중력가속도이다. 구조물의 각 절점에서의 순질량값은 영 또는 양의 값이어야 한다.

여러 평면 형상에 대한 질량 관성모멘트 공식은 그림 16을 보라.

더 많은 정보를 원하면:

- 이 장의 "자유도" 주제를 보라.
- "정적 및 동적 해석"의 장을 보라.

힘 하중(Force Load)

하중은 집중의 힘이나 모멘트를 절점에 작용시키는 데에 사용한다. 그 값들은 그림 17에서 보인 바와 같이 전체좌표계로 지정한다. 하중은 하중 케이스마다 다를 수 있다.

구속된 자유도에 작용된 힘과 모멘트는 그에 해당하는 반력에 누적되는데, 달리 구조물에는 영향을 미치지 않는다.

더 많은 정보를 원하면 이 장의 "자유도" 주제를 보라.

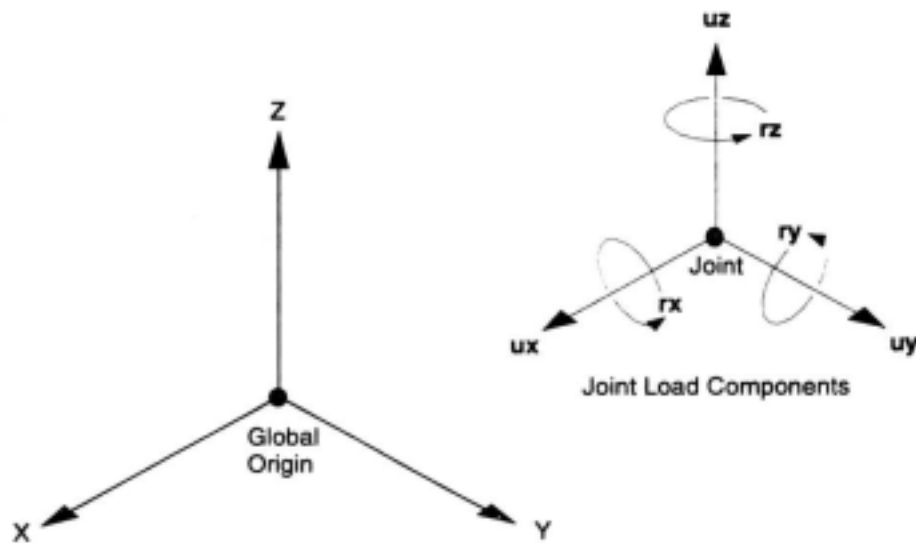


그림 32 힘 하중과 지반 변위 하중에 대해 지정된 값

지반 변위 하중

지반 변위 하중은 지반과 접한 단의 절점 구속과 스프링 지점에, 지정된 변위(직선 이동과 회전)를 작용시키는 데에 사용한다. 변위값은 그림 17에 나타난 바와 같이 전체좌표계로 지정한다. 이들 값은 구속과 스프링을 통해 절점에 작용되기 전에 절점 국소좌표계로 변환된다.

구속(restraints)은 절점 자유도와 지반 사이에서 강결(rigid) 연결로 간주할 수 있다. 스프링은 절점 자유도와 지반 사이에 유연한(flexible) 연결로 간주할 수 있다.

구속 변위

특정 절점 자유도가 구속되어 있다면, 절점의 변위는 그 국소좌표계의 자유도를 따르는 지반 변위와 같다. 이것은 스프링이 존재하든 안하든 상관없이 적용된다.

지반변위, 즉, 절점변위는 하중 케이스마다 다를 수 있다. 구속된 자유도에 대해 지반 변위 하중이 지정되지 않는다면 그 하중 케이스에 대해 절점 변위가 0이다.

구속된 자유도를 따르지 않는 지반 변위 성분은 구조물에 하중으로 작용하지 않는다(스프링을 통해서 작용되는 것은 제외). 이것에 대한 예를 그림 18에 나타냈다.

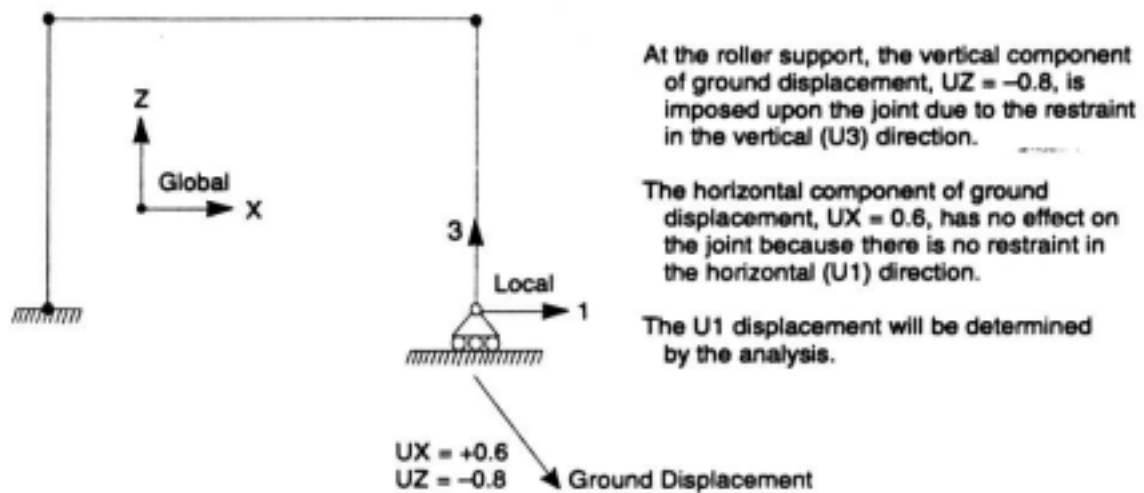


그림 33 구속된 자유도와 제한된 자유도에서의 지반 변위

스프링 변위

한 절점에서의 지반 변위에 스프링 강성계수를 곱하여 절점에 작용하는 유효의 힘과 모멘트를 얻는다. 스프링 강성이 없는 방향으로 작용된 스프링 변위는 작용하중이 0이 되게 한다. 지반 변위, 즉, 작용된 힘과 모멘트는 하중 케이스마다 다를 수 있다.

절점의 국소좌표계에서, 지반 변위로 인하여 절점에 작용된 힘과 모멘트, $F_1, F_2, F_3, M_1, M_2, M_3$ 는 다음으로 주어진다:

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} u1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & u2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & u3 & 0 & 0 & 0 \\ & \text{sym.} & & r1 & 0 & 0 \\ & & & & r2 & 0 \\ & & & & & r3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_g1 \\ u_g2 \\ u_g3 \\ r_g1 \\ r_g2 \\ r_g3 \end{Bmatrix} \quad (\text{Eqn. 2})$$

여기서, $u_g1, u_g2, u_g3, r_g1, r_g2, r_g3$ 는 지반 변위와 회전이고, $u1, u2, u3, r1, r2, r3$ 는 지정된 스프링 강성계수이다.

절점에 작용하는 순 스프링력과 모멘트는 식 (1)과 (2)에 주어진 힘과 모멘트의 합이다; 이들은 부호가 반대임을 주목하라. 구속된 자유도에서, 절점 변위는 지반 변위와 같다. 즉, 순 스프링력은 0이다.

더 많은 정보를 원하면:

- 이 장의 "구속과 반력" 주제를 보라.
- 이 장의 "스프링" 주제를 보라.