

Part.3 Grillage Analysis of Midship Cargo Hold

선체 중앙 화물창부 격자 구조 해석

Dec. 9. 2009

Prof. Kyu-Yeul Lee

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering,
Seoul National University of College of Engineering



Computer Aided Ship Design

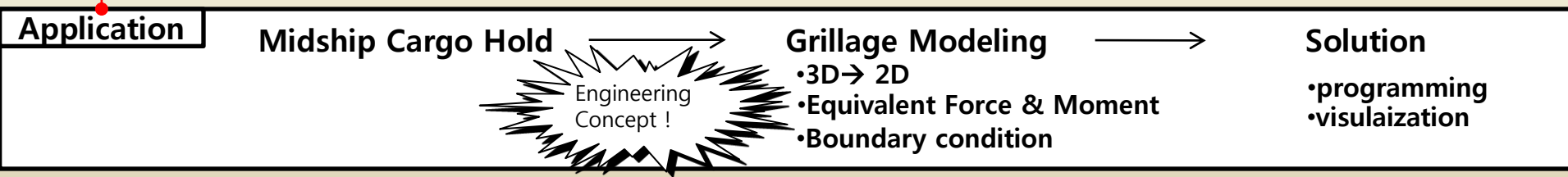
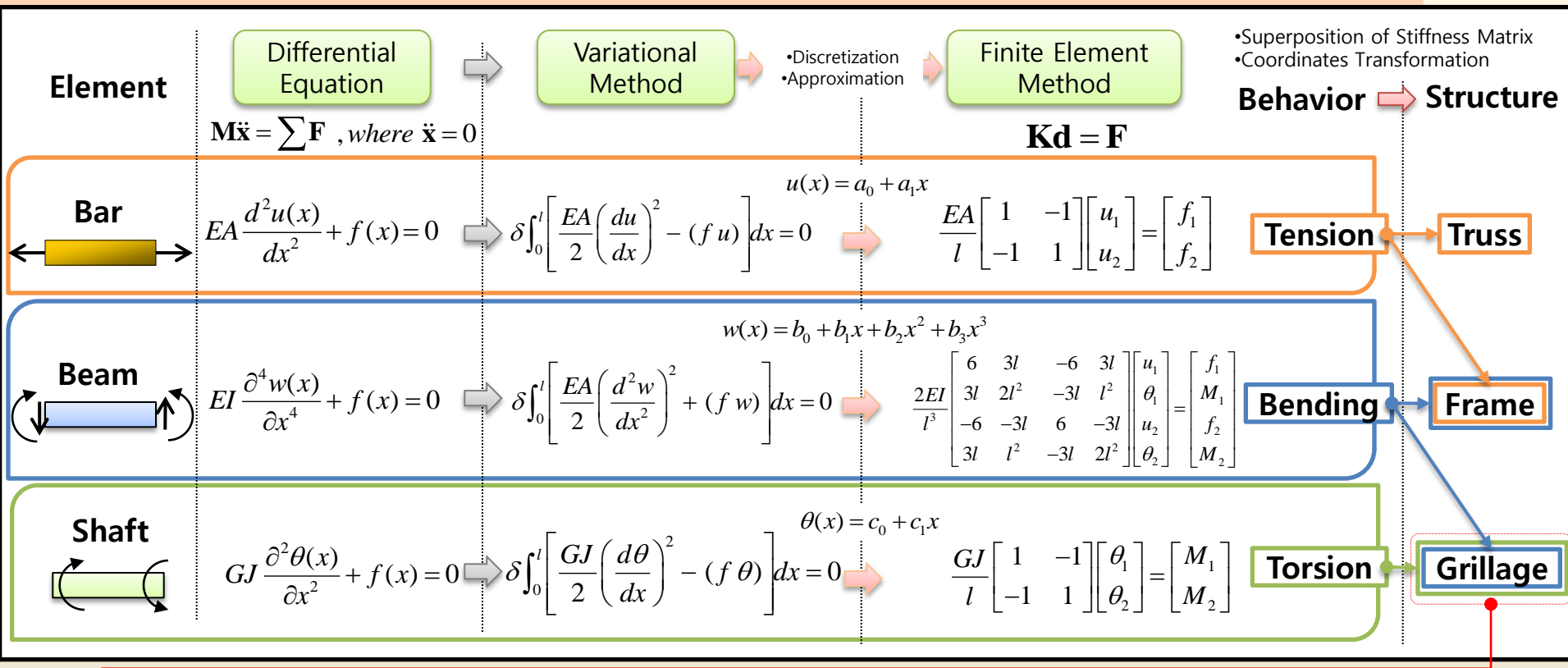
- Lecture Plan

주차	주제	수업 내용		과제
13	선체 구조 Grillage 해석	(24강) 11월 23일	(25강) 11월 25일	Beam Element
		• Overview & Bar Element	• Bar Element	
(26강) 11월 30일		(27강) 12월 2일	Report #8 (개인)	
• Beam Element, Superposition of Stiffness Matrix, Coordinates Transformation		• Truss, Frame		
(28강) 12월 7일		(29강) 12월 9일		
15		• Shaft Element, Grillage	• Grillage 해석 : 선체 중앙 화물창부	선박 화물창의 격자구조(Grillage) 해석 프로그램 -프로그래밍 보강 : 12/10(목) -Due date : 12/20(일)
16	기말시험	12월 14일		
		•Part 1 : 최적화 기법 •Part 2 : 곡선/곡면 모델링 기법 •Part 3 : Grillage 해석		



Summary

u : axial displacement G : Shear Modulus A : Sectional Area G : Shear Modulus E : Young's Modulus
 w : vertical displacement J : Torsion Constant l : length J : Torsion Constant I : Moment of Inertia
 θ : angle of twist



Beam Theory : Sign Convention, Deflection of Beam

Elasticity : Displacement, Strain, Stress, Force Equilibrium, Compatibility, Constitutive Equation



References

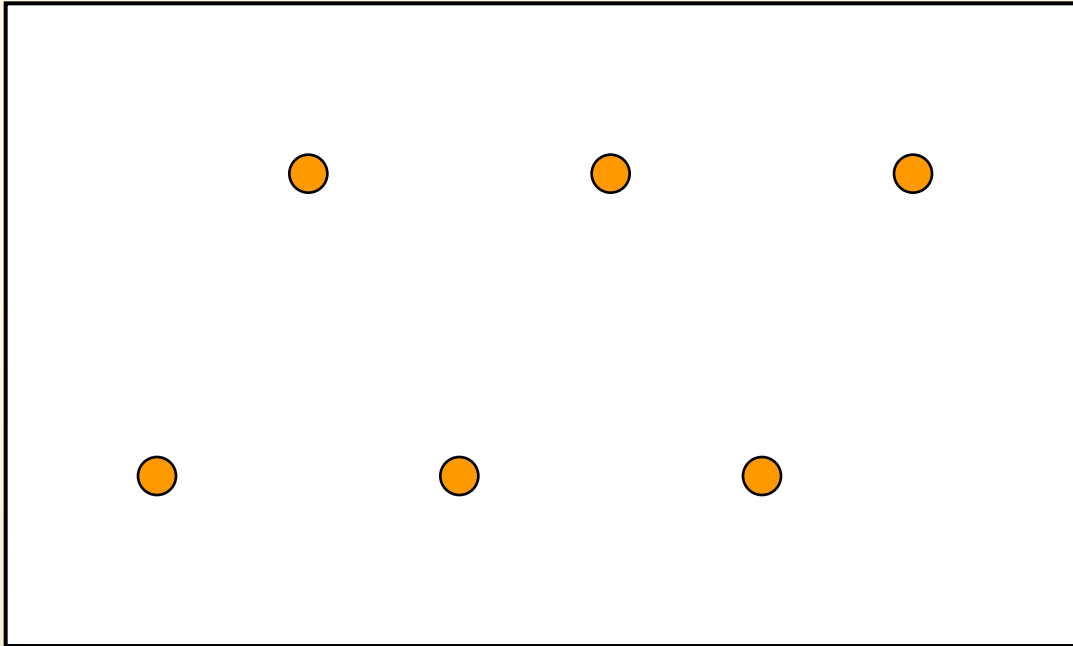
- Daryl L. Logan, "A first Course in the Finite Element Method", 2nd edition, PWS Publishing, 1993
- Robert E. Sennett, "Matrix analysis of structures ", Prentice-Hall , 1994
- K.C. Rockey, H.R. Evans, "The Finite Element Method, A Basic Introduction", Crosby Lockwood Staples, 1975
- Gere, J.M., Mechanics of Materials, 6th Edition, Thomson, 2006
- Wang, C.T., Applied Elasticity , McGRAW-HILL, 1953



보충강의. 선체 중앙 화물창부 격자 구조 해석 프로그램 가이드



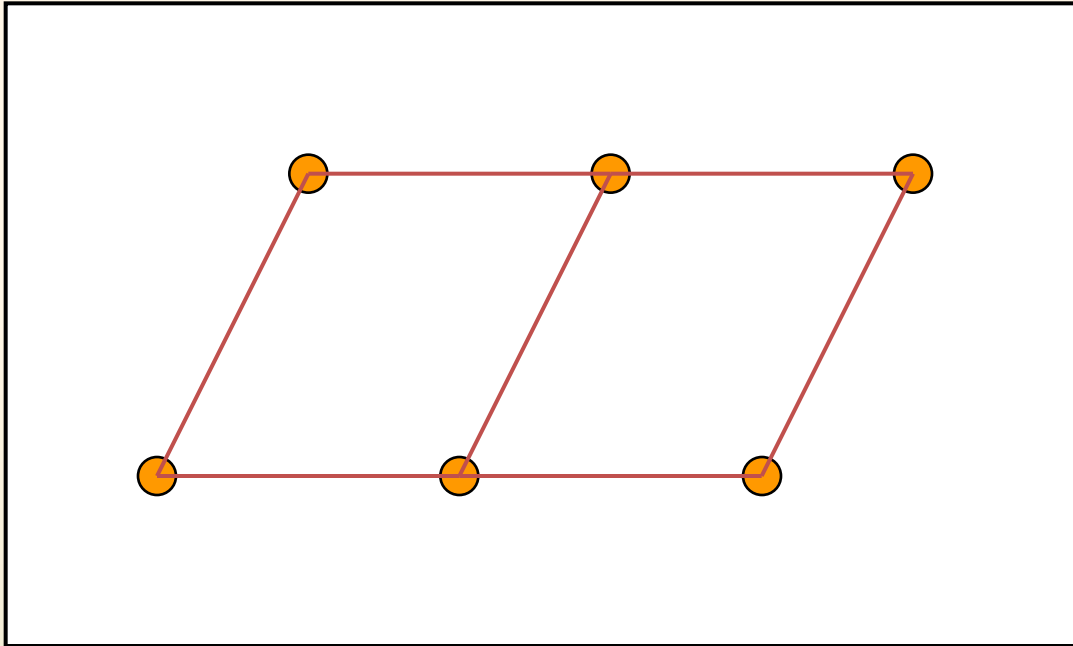
Grillage 구조 해석 프로그램 동작 과정



Step1. 절점을 입력한다.



Grillage 구조 해석 프로그램 동작 과정

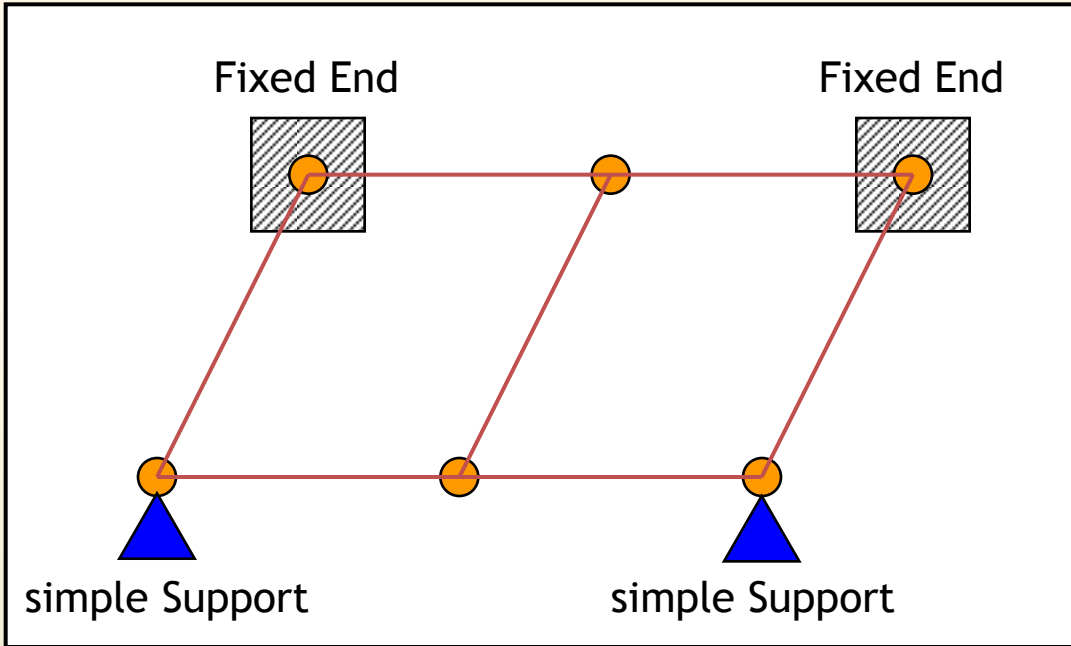


Step1. 절점을 입력한다.

Step2. 절점과 절점을 연결해준다.



Grillage 구조 해석 프로그램 동작 과정



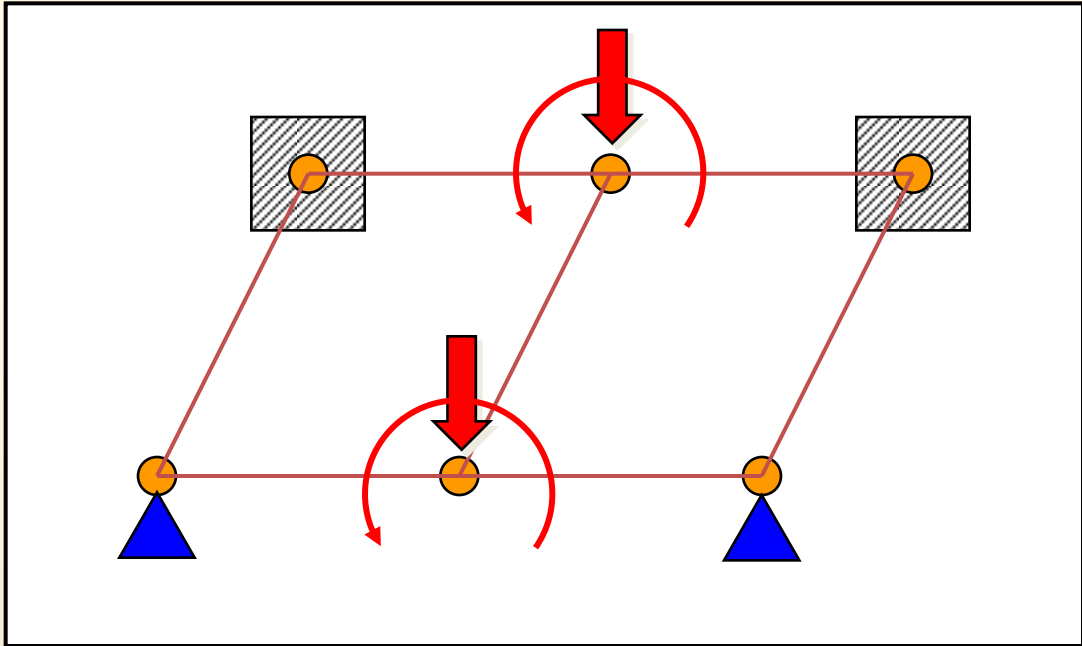
Step1. 절점을 입력한다.

Step2. 절점과 절점을 연결해준다.

Step3. 절점에 경계 조건을 부여한다.



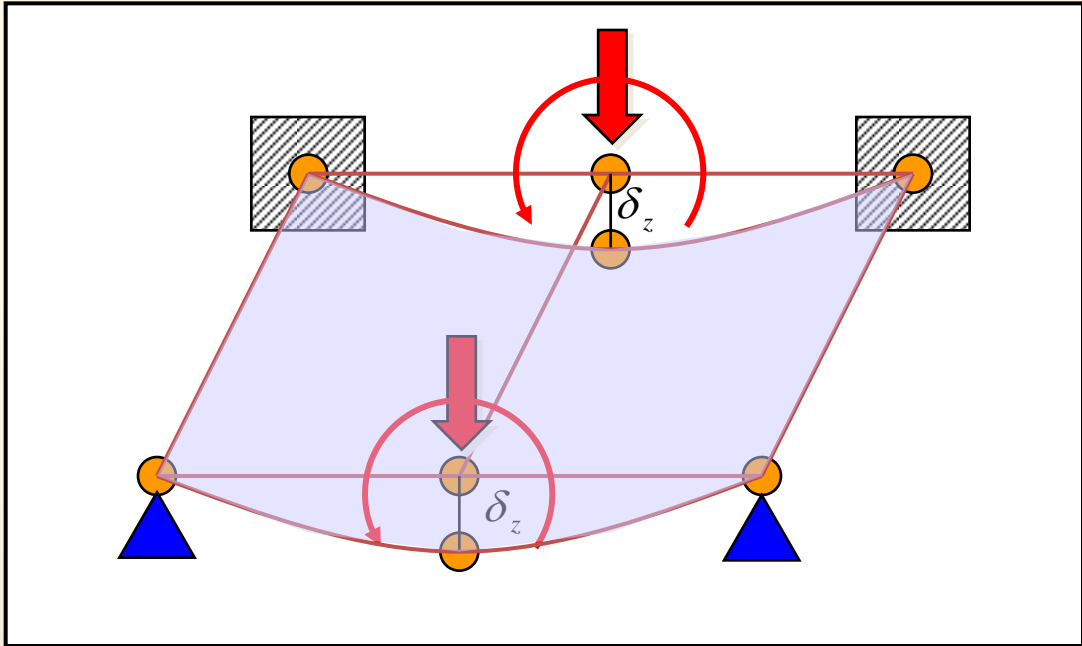
Grillage 구조 해석 프로그램 동작 과정



- Step1. 절점을 입력한다.
- Step2. 절점과 절점을 연결해준다.
- Step3. 절점에 경계 조건을 부여한다.
- Step4. 절점에 힘과 모멘트를 준다.
- Step5. Grillage 구조 해석 수행



Grillage 구조 해석 프로그램 동작 과정



- Step1. 절점을 입력한다.
- Step2. 절점과 절점을 연결해준다.
- Step3. 절점에 경계 조건을 부여한다.
- Step4. 절점에 힘과 모멘트를 준다.
- Step5. Grillage 구조 해석 수행
- Step6. 해석결과 처짐이 발생
MxN개의 점을 지나는 B-spline 곡면
생성



보강 - Grillage Analysis 프로그램



Class Information

Input

- 절점의 좌표
- 경계 조건
- 절점에 가해지는 힘과 모멘트
- 연결된 점 (i,j)
- 연결된 점으로 이루어진 부재의 특성(Grillage Property)
- Grillage 요소가 Global 좌표계와 이루는 각

Process

1. 각 요소마다 Grillage 강성 방정식을 세움
2. 강성 방정식을 중첩
3. 경계 조건에 따라 알려진 값과 모르는 값을 구별
4. 알려진 힘과 모르는 변위만으로 구성된 강성 방정식을 세워 변위를 구함
5. 구한 변위를 중첩된 강성 매트릭스에 대입하여 미지의 힘과 모멘트를 구함

Output

- 변위
- 힘
- 모멘트



Class Information

절점의 정보를 저장할 클래스

Class Node
Vector position;
BOUNDARY BoundaryCondition;
double Force, XMoment, YMoment
double ThetaX, ThetaY, DeltaZ;

Input

- 절점의 좌표
- 경계 조건
- 절점에 가해지는 힘과 모멘트
- 연결된 점 (i,j)
- Grillage Property
- Grillage 요소가 Global 좌표계와 이루는 각

Process

1. 각 요소마다 Grillage 강성 방정식을 세움
2. 강성 방정식을 중첩
3. 경계 조건에 따라 알려진 값과 모르는 값을 구별
4. 알려진 힘과 모르는 변위만으로 구성된 강성 방정식을 세워 변위를 구함
5. 구한 변위를 중첩된 강성 매트릭스에 대입하여 미지의 힘과 모멘트를 구함

Output

- 변위
- 힘
- 모멘트



Class Information

Input

- 절점의 좌표
- 경계 조건
- 절점에 가해지는 힘과 모멘트
- 연결된 점 (i,j)
- Grillage Property
- Grillage 요소가 Global 좌표계와 이루는 각

Output

- 변위
- 힘
- 모멘트

연결된 Grillage요소의 정보를 저장할 클래스

```
Class NodeConnect  
    double G,J,E,I;  
    int StartNode,EndNode;
```

Process

1. 각 요소마다 Grillage 강성 방정식을 세움
2. 강성 방정식을 중첩
3. 경계 조건에 따라 알려진 값과 모르는 값을 구별
4. 알려진 힘과 모르는 변위만으로 구성된 강성 방정식을 세워 변위를 구함
5. 구한 변위를 중첩된 강성 매트릭스에 대입하여 미지의 힘과 모멘트를 구함



Class Information

Grillage의 강성 방정식을 저장할 클래스

Class Grillage

```
Matrix K_Local;  
Matrix K_global;  
Matrix T;  
NodeConnect m_NodeConnect;
```

Input

- 절점의 좌표
- 경계 조건
- 절점에 가해지는 힘과 모멘트
- 연결된 점 (i,j)
- Grillage Property
- Grillage 요소가 Global 좌표계와 이루는 각

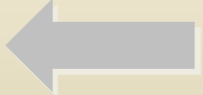


Process

1. 각 요소마다 Grillage 강성 방정식을 세움
2. 강성 방정식을 중첩
3. 경계 조건에 따라 알려진 값과 모르는 값을 구별
4. 알려진 힘과 모르는 변위만으로 구성된 강성 방정식을 세워 변위를 구함
5. 구한 변위를 중첩된 강성 매트릭스에 대입하여 미지의 힘과 모멘트를 구함

Output

- 변위
- 힘
- 모멘트



Class Information

전체 구조물의 정보를 저장하고
2~5의 Process를 수행할 클래스

Class Structure

```
Node m_Node[100];  
NodeConnect m_NodeConnect[100];  
Grillage m_Grillage[100];  
void CalcStructure();
```

Input

- 절점의 좌표
- 경계 조건
- 절점에 가해지는 힘과 모멘트
- 연결된 점 (i,j)
- Grillage Property
- Grillage 요소가 Global 좌표계와 이루는 각

Process

1. 각 요소마다 Grillage 강성 방정식을 세움
2. 강성 방정식을 중첩
3. 경계 조건에 따라 알려진 값과 모르는 값을 구별
4. 알려진 힘과 모르는 변위만으로 구성된 강성 방정식을 세워 변위를 구함
5. 구한 변위를 중첩된 강성 매트릭스에 대입하여 미지의 힘과 모멘트를 구함

Output

- 변위
- 힘
- 모멘트



Node Class

```
class Node
{
public:
    Vector Point;           //절점의 위치
    int PointOrder;        //절점의 번호
    int isConnect;         //Connetion이 있는지 알아보기위한 변수

    BoundaryCondition m_BC; //Boundary Condition
    double MX,MY,F;        // x축 중심의 moment, y축 중심의 moment, 수직하중
    double ThetaX,ThetaY,DeltaZ; //x축 모멘트에 의한 변형, y축 모멘트에 의한 변형, 수직하중에 의한 변형

    //Setter
    void Set(Vector point,int order, BoudaryCondition BC,double mx,double my,double f);
    ...
    //Getter
    double GetForce();
    double GetXMoment();
    ...
};
```



MaterialProperty Class & NodeConnect Class

```
class MaterialProperty
{
public:
    double G,J,E,I;    //G: 전단탄성계수, J:비틀상수, E:인장탄성계수, I:단면2차모멘트
    void Set(double _G,double _J,double _E,double _I);
};

class NodeConnect
{
public:
    Node *Start;      //시작 절점의 주소값
    Node *End;        //끝 절점의 주소값
    string Name;      //부재 이름
    MaterialProperty m_Material;    //부재의 Property
};
```



Grillage Class

```
class Grillage
{
public:
    //constructor
    Grillage (NodeConnect NC);

    //Grillage Property
    double theta,L;           //부재가 Global 좌표계에서 기울어진 각도, 부재의 길이
    MaterialProperty Material; //부재의 Property(G,J,E,I)

    //Node Position & Number
    Vector StartNode, EndNode; //시작 절점의 위치, 끝 절점의 위치
    int Start_nodeNumber, End_nodeNumber; //시작 절점의 번호, 끝절점의 번호

    //Stiffness Matrix
    Matrix T; //좌표변환을 위한 회전형렬
    Matrix K_Local; //Local 좌표계 에서의 강성 매트릭스
    Matrix K_Global; //Global 좌표계에서의 강성 매트릭스

    //Member Function
    void Create_K_Local(); //Local 좌표계의 강성 매트릭스 생성
    void Create_T(); //좌표변환 매트릭스 생성
    void Create_K_Global(); //Global 좌표계의 최종 매트릭스 생성
}
```



Structure Class

```
class Structure
{
public:

//member Variables
Matrix Force;           //힘과 모멘트를 저장
Matrix delta;          //회전변위와 수직변위를 저장
Matrix TotalMatrix;    //중첩될 매트릭스

std::vector<Grillage> m_Grillage;    //grillage 를 저장
std::vector<Node*> m_Node;           //Node의 정보를 pointer로 저장
std::vector<NodeConnect> m_NodeConnect; //연결 Grillage의 정보를 저장
```



Structure Class

```
//member Function
void AddNodePoint(Vector);           //node를 추가
void DeleteNodePoint(int NodeIndex); //node를 삭제

void AddForceMoment(int NodeIndex,double mx,double my,double f);
void ChangeForce(int NodeIndex,double f);
void ChangeXMoment(int NodeIndex,double mx);
void ChangeYMoment(int NodeIndex,double my);

void AddBoundaryCondition(int NodeIndex,BoudaryCondition BC);
void ChangeBoundaryCondition(int NodeIndex,BoundaryCondition BC);

void ConnectNode(int,int,MaterialProperty,string);
void DisconnectNode(int ConnectIndex);

void CreateGrillage();           //중첩된 강성 매트릭스를 생성, 변위와 하중조건도 생성
void DecomposeMatrix(...);      //Matrix를 분해하여 중첩시키는 함수
}
```



기타 참고 사항

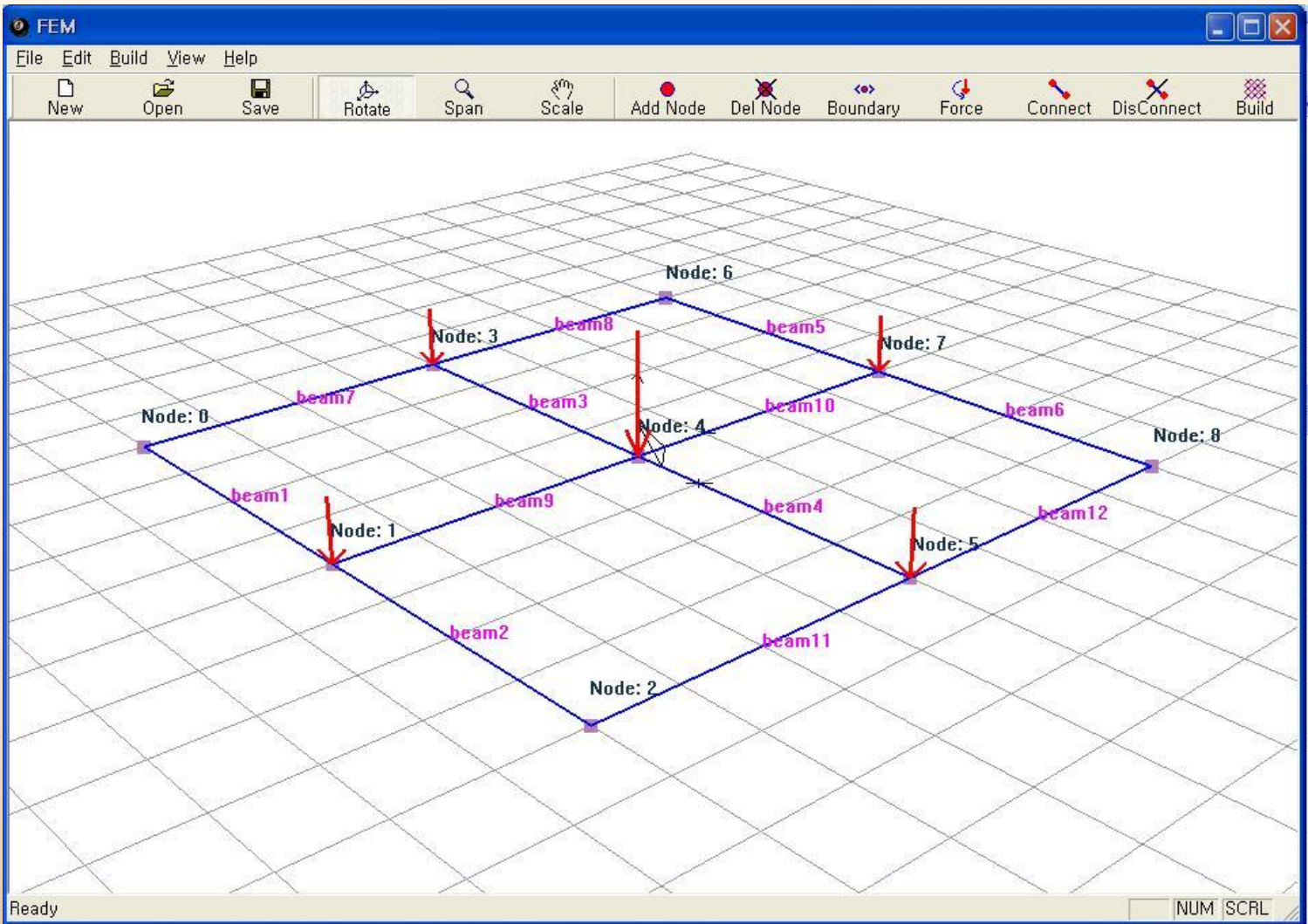
- Matrix Class : 행렬의 기본적인 모든 연산이 수행될 수 있어야 함
ex) Inverse Matrix, Transpose, Determinant, Change Row, Change Column, SetMatrixElement,... 등의 함수 필요.

- Vector Class : 점의 좌표를 저장하는 클래스
(tip1) 부재의 길이를 계산할 때, 두점 사이의 거리를 계산하도록 한다.
(tip2) 부재가 Global 좌표계에서 기울어진 각도를 계산할 수 있도록 한다.

- std::vector Template의 사용
(장점) 1. 동적할당할 필요없이 배열을 생성할 수 있다.
2. 배열에 변수를 추가하거나 삭제하는 것이 용이함.
(단점) Debug할 때, 배열에 저장된 값을 볼 수 없다.



Grillage 구조 해석 예제 (1)



Grillage 구조 해석 예제 (1)

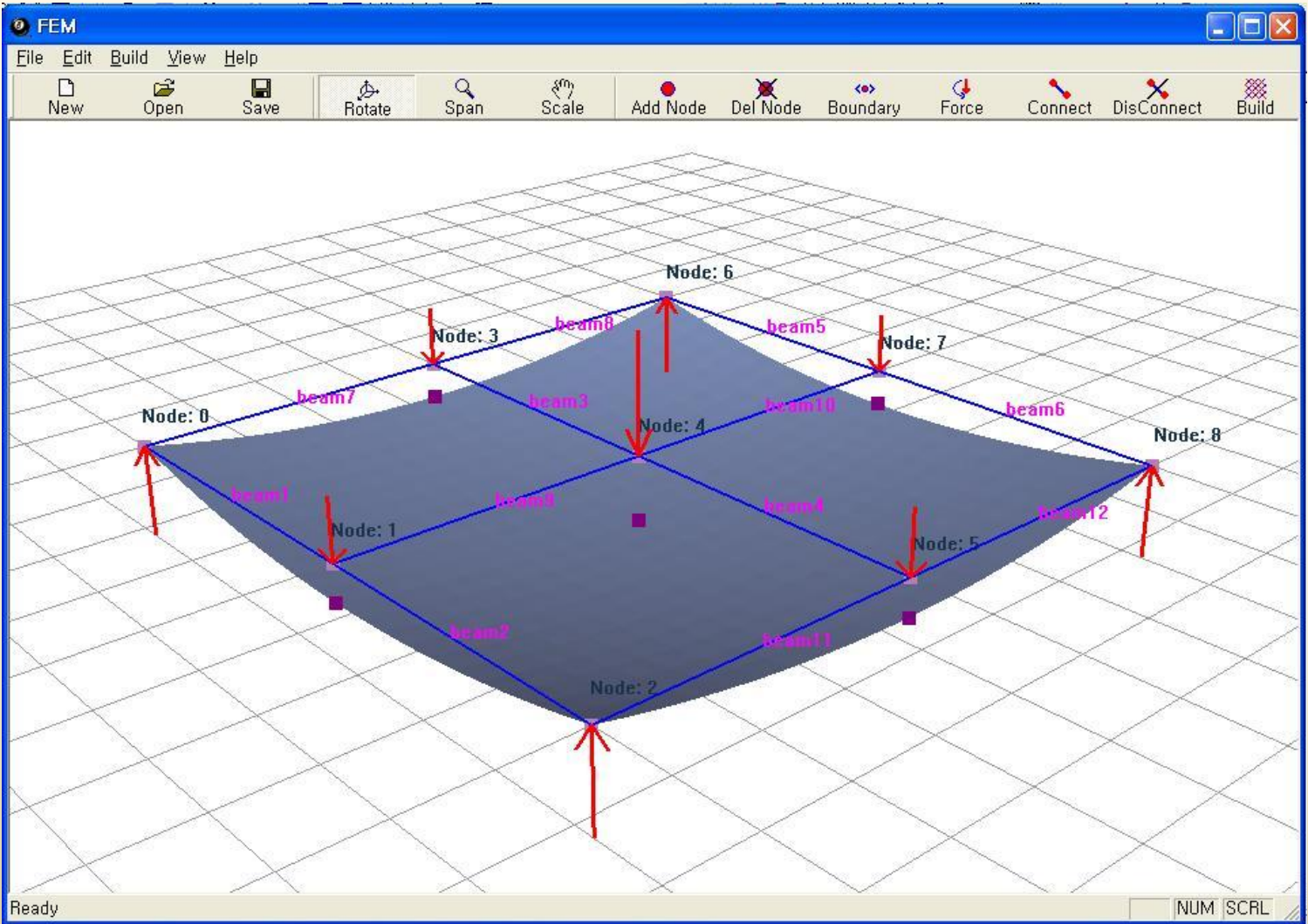
Building Result

Node	X	Y	Z	X_Moment	Y_Moment	Z_Force	X_Theta	Y_Theta	Z_Delta
0	-120.00	-120.00	0.00	0.00	0.00	375.00	-0.16304	0.16304	0.00000
1	0.00	-120.00	0.00	-0.00	0.00	-250.00	-0.14060	-0.00000	-13.28279
2	120.00	-120.00	0.00	0.00	-0.00	375.00	-0.16304	-0.16304	0.00000
3	-120.00	0.00	0.00	-0.00	0.00	-250.00	0.00000	0.14060	-13.28279
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-500.00	0.00000	-0.00000	-24.05192
5	120.00	0.00	0.00	-0.00	0.00	-250.00	-0.00000	-0.14060	-13.28279
6	-120.00	120.00	0.00	-0.00	-0.00	375.00	0.16304	0.16304	0.00000
7	0.00	120.00	0.00	0.00	0.00	-250.00	0.14060	0.00000	-13.28279
8	120.00	120.00	0.00	-0.00	0.00	375.00	0.16304	-0.16304	0.00000

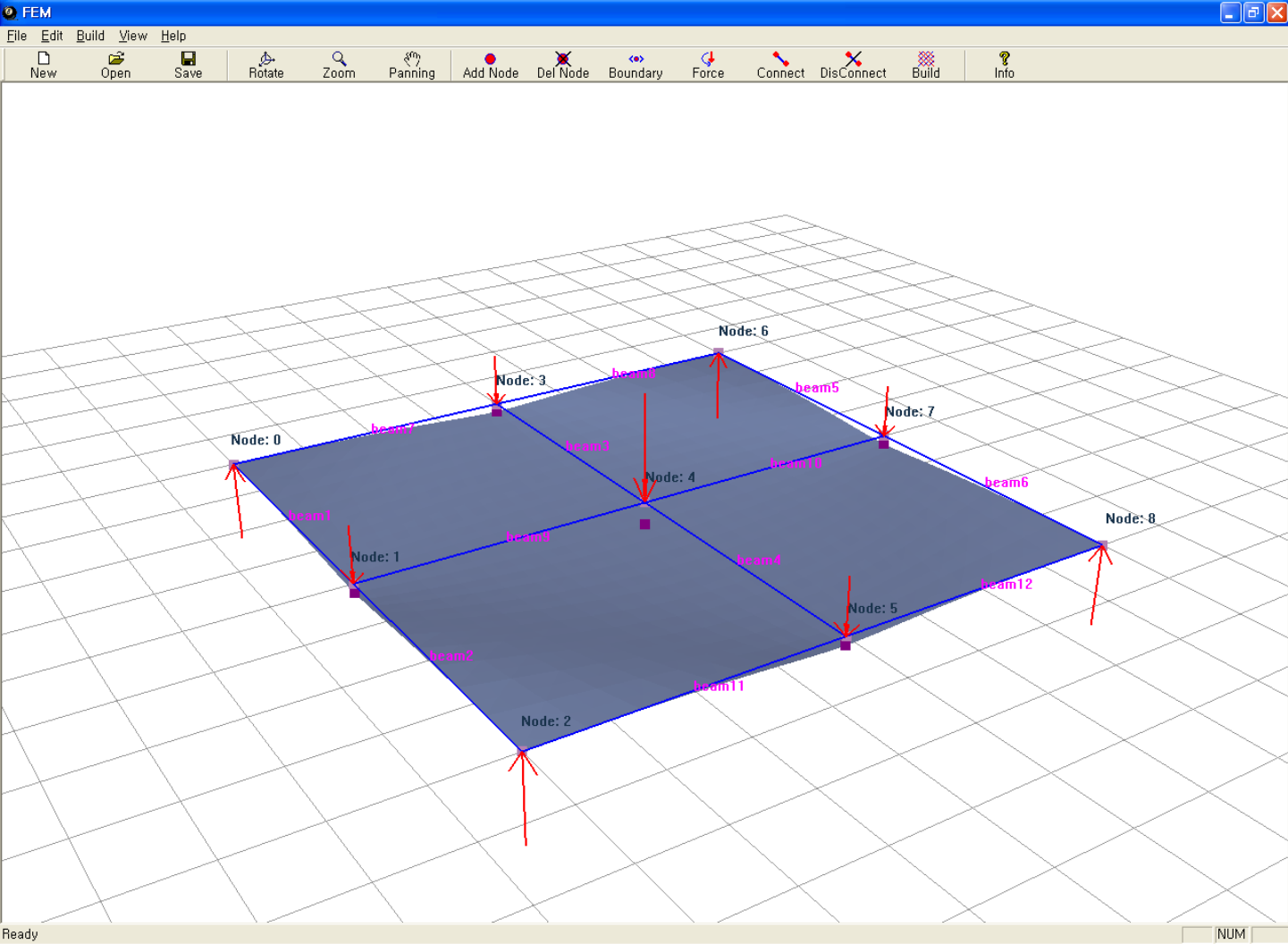
OK Cancel



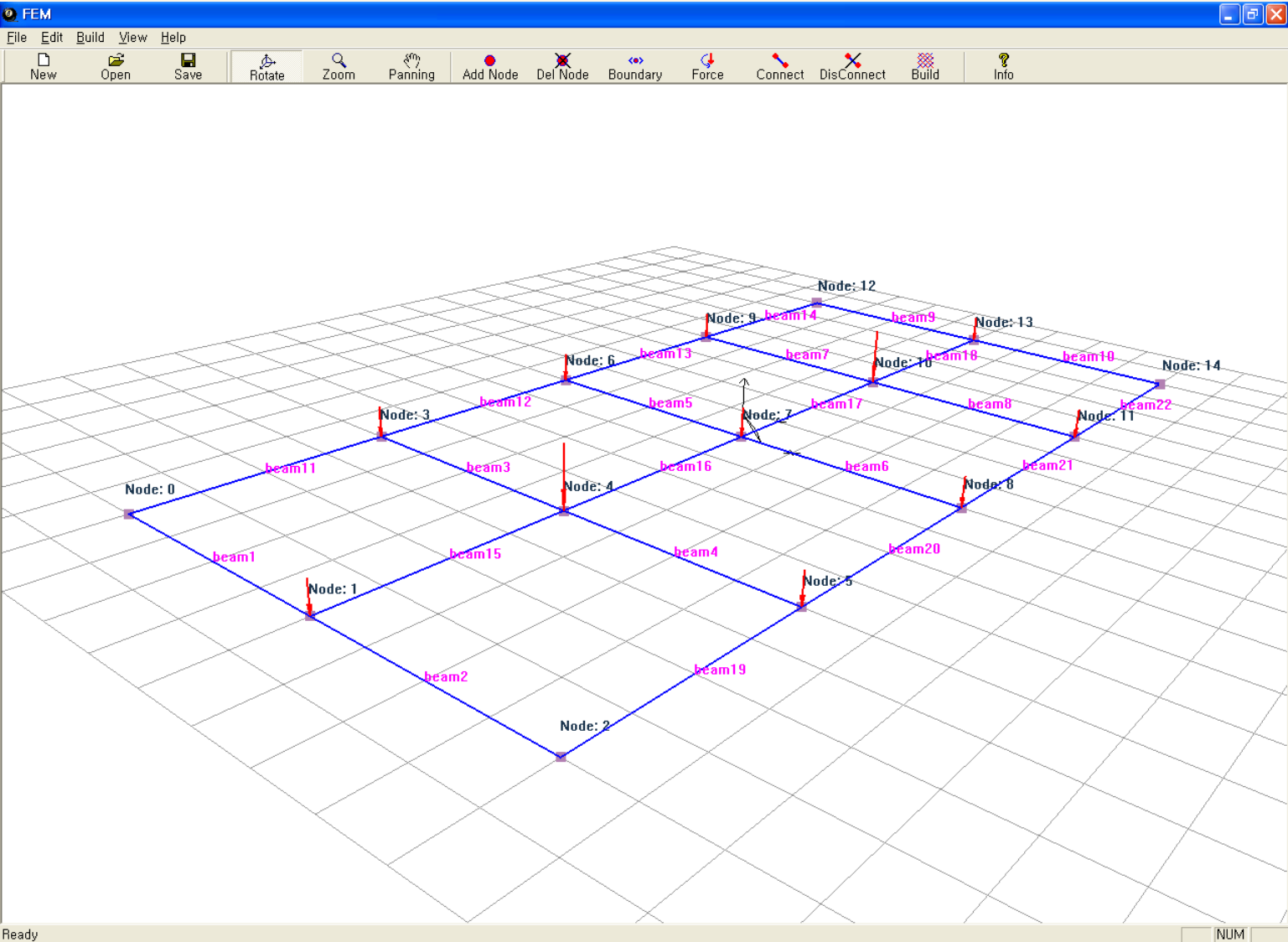
Grillage 구조 해석 예제 (1)



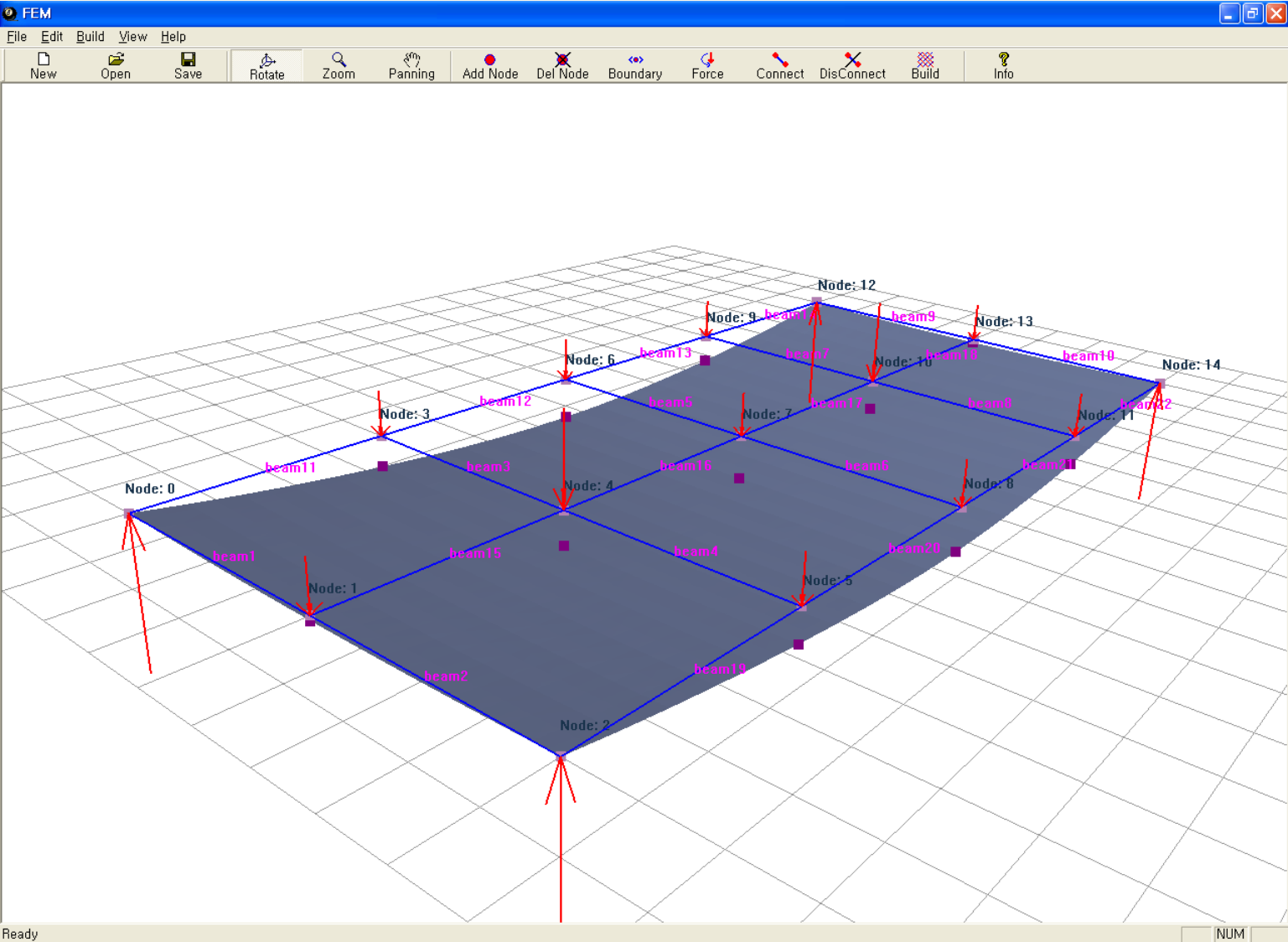
Grillage 구조 해석 예제 (1)



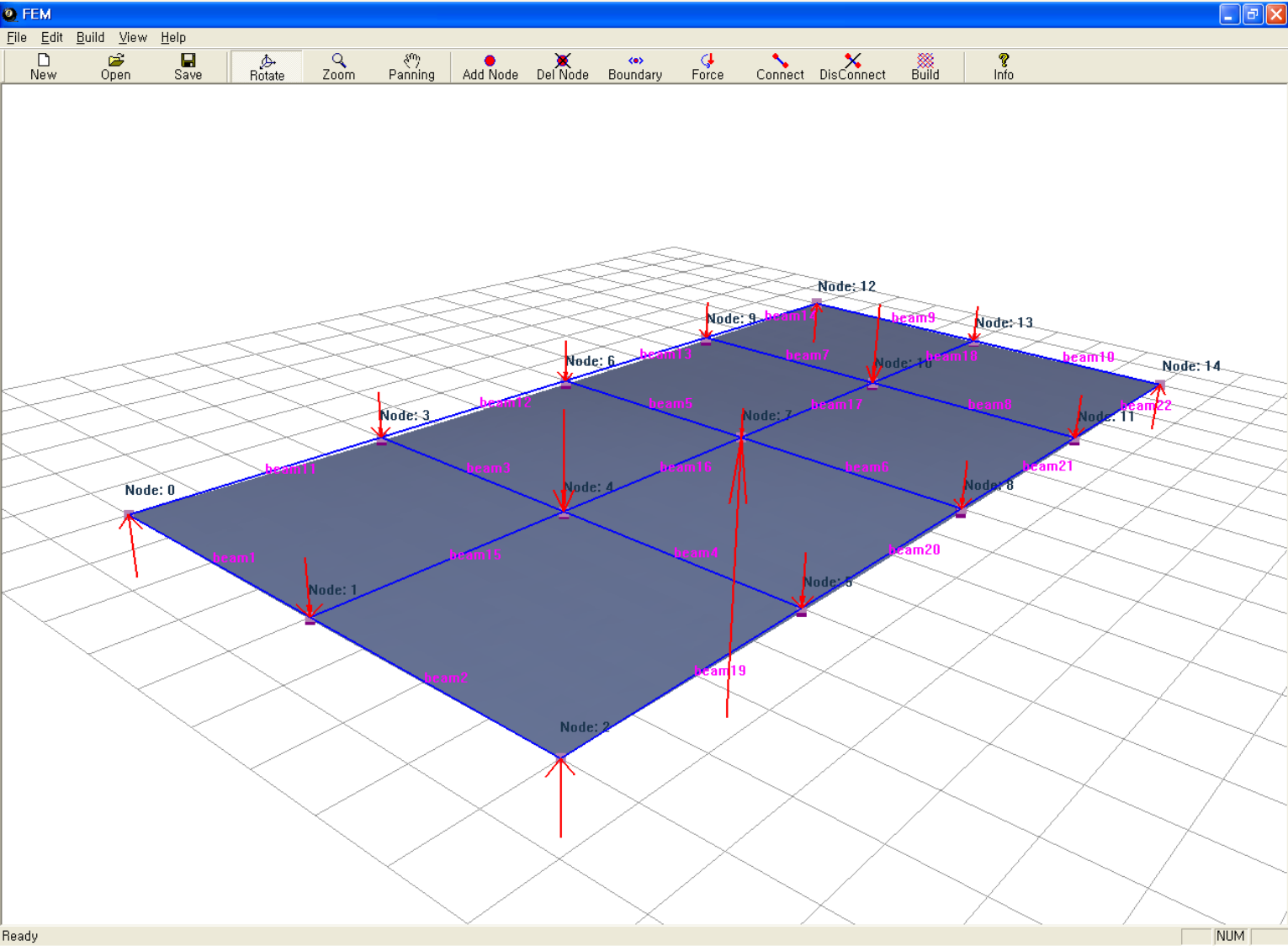
Grillage 구조 해석 예제 (2)



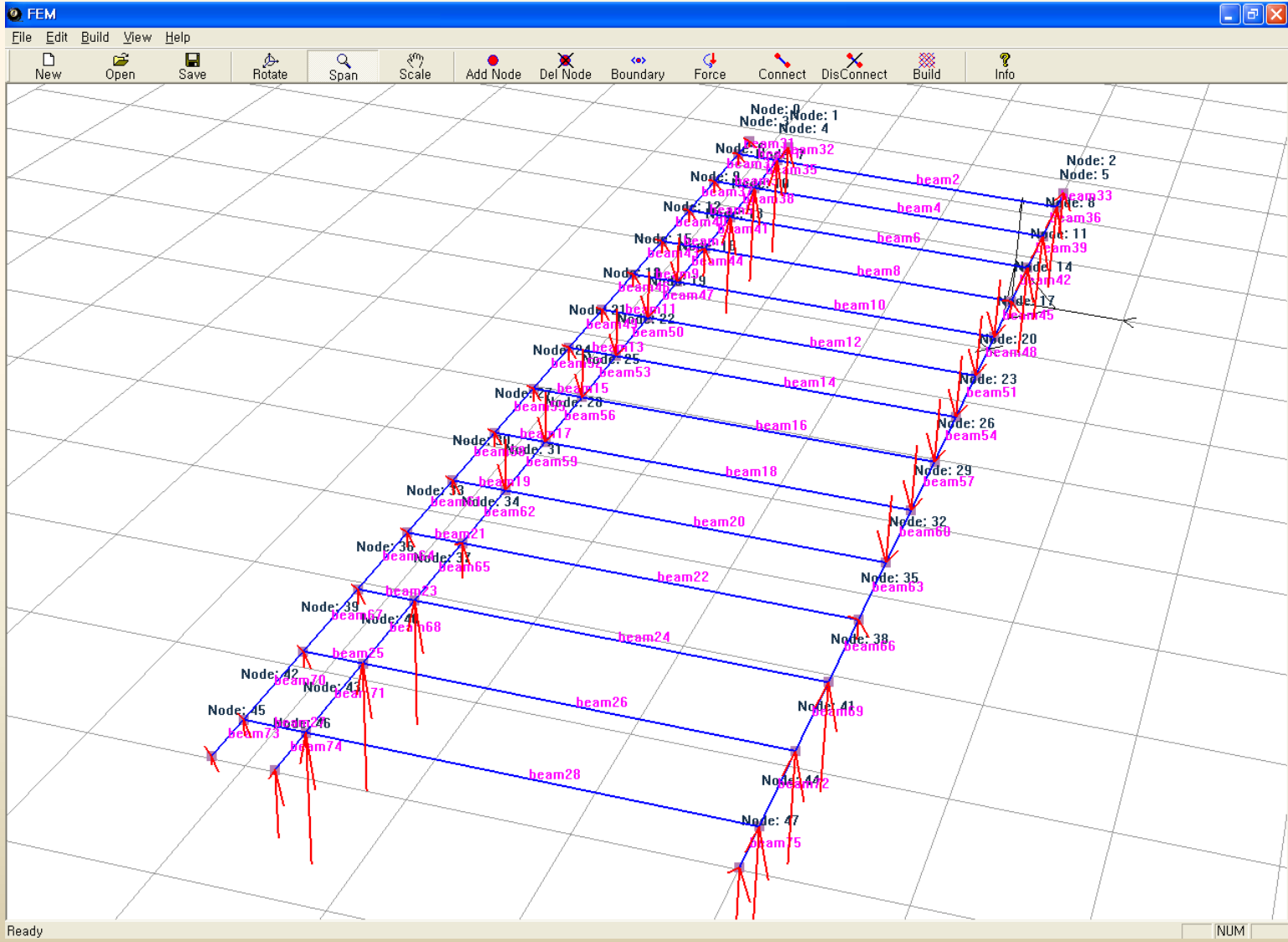
Grillage 구조 해석 예제 (2)



Grillage 구조 해석 예제 (2)



화물창 예제 실행 화면



화물창 예제 실행 화면

The screenshot shows the FEM software interface with a 3D model of a ship's cargo hold structure. A 'Building Result' dialog box is open, displaying a table of node data. The table has 11 columns: Node, X, Y, Z, X Moment, Y Moment, Z Force, X Theta, Y Theta, and Z Delta. The data is as follows:

Node	X	Y	Z	X Moment	Y Moment	Z Force	X Theta	Y Theta	Z Delta
0	-13.30	-16.12	0.00	-46.97	-33.15	0.19	0.00000	0.00000	0.00026
1	-13.30	-14.12	0.00	0.00	-50.28	1.51	0.00001	0.00000	0.00031
2	-13.30	0.00	0.00	0.00	-57.85	1.32	0.00000	0.00000	0.00082
3	-11.40	-16.12	0.00	0.00	-0.00	0.37	0.00000	0.00001	0.00025
4	-11.40	-14.12	0.00	-0.00	-0.00	3.01	0.00001	0.00001	0.00030
5	-11.40	0.00	0.00	-0.38	0.00	2.64	0.00000	0.00002	0.00080
6	-7.60	-16.12	0.00	0.00	-0.00	0.37	0.00000	0.00002	0.00020
7	-7.60	-14.12	0.00	-0.00	-0.00	3.01	0.00001	0.00002	0.00024
8	-7.60	0.00	0.00	-0.32	-0.00	2.64	0.00000	0.00005	0.00067
9	-3.80	-16.12	0.00	0.00	-0.00	0.37	0.00000	0.00003	0.00011
10	-3.80	-14.12	0.00	0.00	0.00	3.01	0.00001	0.00003	0.00014
11	-3.80	0.00	0.00	-0.21	-0.00	2.64	0.00000	0.00007	0.00043
12	0.00	-16.12	0.00	-0.00	-0.00	-14.75	0.00001	0.00003	0.00000
13	0.00	-14.12	0.00	-0.00	0.00	0.87	0.00001	0.00003	0.00002
14	0.00	0.00	0.00	-44.31	-0.00	0.49	0.00000	0.00007	0.00016
15	3.80	-16.12	0.00	-0.00	0.00	0.37	0.00001	0.00002	-0.00010
16	3.80	-14.12	0.00	-0.00	0.00	-1.29	0.00001	0.00002	-0.00009
17	3.80	0.00	0.00	0.04	-0.00	-1.66	0.00000	0.00006	-0.00009
18	7.60	-16.12	0.00	0.00	0.00	0.37	0.00001	0.00001	-0.00017
19	7.60	-14.12	0.00	-0.00	-0.00	-1.28	0.00001	0.00002	-0.00017
20	7.60	0.00	0.00	0.14	-0.00	-1.66	0.00000	0.00004	-0.00028



화물창 예제 실행 화면

