

파랑 및 지진하중을 받는 스틸자켓의 동적해석 II : 전/후처리 및 수치해석에

Dynamic Analysis of Steel Jackets under Wave and Earthquake Loadings II : Pre/Post Processor and Numerical Analysis

김 문 영* 박 기 현** 이 상 호*** 김 동 옥****
Kim, Moon Young Park, Ki Hyun Lee, Sang Ho Kim, Dong Ook

국문요약

연계논문⁽¹⁾에서는 해양환경하중을 받는 스틸자켓의 기하학적 비선형성을 고려한 정적 및 동적해석을 위한 유한요소 정식화 과정을 제시하였다. 또한, 스틸자켓의 극한거동을 추적하기 위하여 뼈대구조의 소성힌지 해석법을 적용하였다. 본 연구에서는 스틸자켓의 통합해석 프로그램 OSA2000을 개발한다. 연계논문에서 제시된 주처리 프로그램의 내용을 제외하고, visual basic과 OpenGL 그래픽 라이브러리를 사용하여 데이터 입력을 효과적으로 수행하기 위한 전처리 프로그램과 해석결과 분석을 위한 후처리 프로그램을 개발한 내용을 요약한다. 또한, 다양한 예제해석을 통하여 프로그램의 검증 및 해석결과를 제시한다.

주요어 : 스틸자켓, visual basic, OpenGL, 전처리, 후처리

ABSTRACT

In the companion paper,⁽¹⁾ F. E. formulation for the geometric and plastic non-linear analysis of steel jacket structures subjected to wave and earthquake loadings was presented and the main processor was developed. In this paper, the pre/post processor are developed in order to analyze the output results effectively as well as to prepare the input data efficiently. Furthermore, the numerical examples are presented and discussed for linear and non-linear analysis of steel jackets under environmental loadings.

Key words : steel jacket, visual basic, OpenGL, pre-processor, post-processor

1. 서 론

해양구조물의 설계기술은 종합적인 것으로 해상에 설치된 상태에서 받게 되는 작용하중에 대한 규명 그 작용하중에 대한 구조물의 응답연구 및 제작에서 마지막 사용목적 달성 시까지의 운송 및 설치 전과정에서 야기되는 운용조건에 대한 규명 등을 포함하는 다양성을 가진 복합기술이라 하겠다. 우리 나라의 경우 해양구조물의 제작기술은 과거 수십년간의 경험과 노력으로 높은 수준이라 할 수 있으나 제작사업 일변도의 산업구조로 인해 다양하고 복잡한 설계기술은 외국에 비해 상대적으로 많이 뒤떨어져 있다고 본다. 국내에서도 많은 연구를 통해 설계프로그램이 나왔으나, 실제 설계시 사용하기에는 많은 어려움이 따르고 있는 실정이다. 이를 해결하기 위하여 해양구조물 설계 및 해석프로그램인 OSA2000을 개발하였다. OSA2000은 사용자와 주처리 프로그램간의 인터페이스를 크게 향상시킨 프로그램으로 해양구조물을 설계하는 기술자의 업무에 실질적으로 활용되어 보다 효율적인 결과를 검토하는데 도움이 될 수 있으리라 생각된다.

연계논문⁽¹⁾에서는 파랑하중 및 지진하중을 받는 스틸자켓

해양구조물의 기하학적 비선형성을 고려한 정적 및 동적해석을 위한 유한요소 정식화 과정을 제시하였다. 또한, 스틸자켓의 극한거동을 추적하기 위하여 뼈대구조의 소성힌지 해석법을 적용하였다. 본 연구에서는 OSA2000의 주처리 프로그램을 제외한 전, 후처리의 개발내용을 제시한다. visual basic과 OpenGL 그래픽 라이브러리를 사용하여 데이터 입력을 효율적으로 수행하기 위한 전처리 프로그램과 해석결과 분석을 위한 후처리 프로그램을 설명한다. 아울러 해양환경하중을 받는 스틸자켓의 선형 및 비선형해석결과를 제시하고 이를 고찰한다.

2. Pre/Post processor

통합프로그램의 주처리 부분을 제외한 전, 후처리부분은 visual basic을 사용하여 작성되었으며 3차원 그래픽처리를 위해서는 OpenGL⁽²⁾ 그래픽 라이브러리를 사용하였다. 이는 visual basic에서 제공하는 기본적인 그래픽처리 함수들만으로는 만족할만한 결과를 가져오기가 힘들고 다른 방법으로 operating system(Windows98)이 지원하는 API(application programming interface)를 이용하기에는 그 사용이 너무 복잡하면서 더욱이 시스템의 충돌요소가 다분히 존재하기 때문에 프로그램에서의 그래픽처리는 OpenGL을 사용한 것이다. 따라서 프로그램의 전, 후처리에서는 OpenGL이 가진 강력한 기능들을 이용하여 효과적인 그래픽처리가 가능하다.

* 정회원 · 성균관대학교 토목환경공학과, 교수(대표저자 : kmye@yurim.skku.ac.kr)

** Midas, 과장

*** 성균관대학교 토목환경공학과, 박사과정

**** 성균관대학교 토목환경공학과, 석사과정

본 논문에 대한 토의를 2001년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다. (논문접수일 : 2001. 2. 21 / 심사종료일 : 2001. 5. 28)

2.1 일반사항

본 절에서는 OSA2000의 GUI(graphic user interface)를 간략히 설명한다. 먼저, 메뉴를 선택함으로써 모든 작업을 할 수 있다. 메뉴는 3개로 구성되는데, 'File'은 작업화일의 조작에 관한 것이고 'Input'은 전처리를 위한 메뉴이고 후처리를 위한 메뉴는 'View'이다. 또한 'Toolbar'에는 자주 사용하는 기능들이 포함되어 있어 'Toolbar'만 가지고도 간단한 조작들을 할 수가 있다. View point window는 전처리작업이나 또는 해석이 끝난 후 후처리작업중에 대상 구조물의 viewpoint에 관한 정보를 나타낸다. 모델링된 구조물의 3차원 공간상에서 viewpoint는 사용자가 구조물에 대한 확대나 축소 그리고 회전 같은 조작을 할 때에 현재 상태가 어떠한지를 알 수 있기 때문에 유용하다. Information view는 사용자가 작업하는 화일과 관련된 정보를 나타낸다. 이들 정보는 작업화일의 이름, 모델을 구성하고 있는 절점과 부재의 갯수 그리고 이와 관계있는 구속 조건들이다.

Analysis result option 부분은 해석이 끝난 후 후처리과정에서 사용자가 원하는 형태의 정보를 얻고자 할 때 사용할 수 있는 option들로 구성되어 있다. 즉, 보고자 하는 모우드를 'Total Mode Combo Box'를 이용하여 선택할 수 있으며 또한 선택되어진 모우드의 고유진동수값도 화면상에서 얻을 수 있다. 또한 scale factor를 이용하면 변형된 구조물의 변위와 모우드 형상의 크기를 적당하게 사용자가 조절할 수 있으며 변형 후의 상태만을 보고자 할 때에는 변형 전 원래 구조물의 형상을 화면상에서 보이지 않게 할 수 있다. 마지막으로 지진해석을 수행했을 경우에 'Show Time History' 버튼을 클릭하면 해석결과에서 시간이력에 관한 그래프를 볼 수 있다.

2.2 전처리(pre-processor)

먼저 새로 작업화일을 생성하거나 기존에 작업하던 화일들을 불러들일 경우 가장 처음 화면에 나타나는 것이 'General Information'창이다. 'General Information'창으로부터 우선 해석을 수행할 구조물의 차원(2, 3차원)을 결정하여 계산의 효율을 높일 수 있다. 부재의 안정성을 추가적인 기준들에 따라 검사할 수 있도록 check element stability를 선택할 수도 있다. 또한 direction and angle of X-axis항목으로써 wave와 X축과의 방향을 선택할 수 있고 그 각도는 'Angle' 입력란을 통해 지정할 수 있다. 지진하중의 데이터도 사용자 임의에 따라 선택하여 사용할 수 있도록 'Seismic Data'항에 추가하였다.

Nodal coordinate는 구조물을 모델링할 때 가장 기본이 되는 절점의 좌표들에 대한 정보들을 입력하는 창이다. 절점들에 대한 좌표 값은 리스트박스상에 나타나는데 이러한 값들은 해당 절점번호를 선택함으로써 수정과 삽입이 가능하다. 또한 increment quantity와 end node값을 입력하는 과정을 통해 절점좌표값에 대한 generation기능을 수행할 수 있다. 절점들에 대한 좌표값들을 입력하면 절점들로 구성된 부재들을 정의해야 한다. 즉 2개의 절점들로 이루어진 frame 부재들의 정보를 입력해야 한다. 절점좌표 입력창과 동일하게

입력된 값들은 리스트박스상에 나타난다. 여기서 material property set No.와 sectional property set No.는 부재의 재료와 단면상수들에 대한 것들로 절점으로 이루어진 부재의 재료와 단면상수들을 지정할 때 사용한다.

이제 구조물의 모델링에 대한 기본적인 입력이 끝나면 해석을 위해 구조물의 구속조건을 설정해야 한다. 구속조건이 필요한 절점의 번호를 입력하고 자유도에 따라 필요한 조건(free, restraint, support motion)을 부여한다. 이렇게 입력된 조건들은 리스트박스를 통해 확인할 수 있다.

집중하중은 부재에 작용하는 하중정보를 통해 입력할 수 있다. 부재가 공기 중에 있을 때와 부력을 받는 경우를 구분하여 자중을 고려한 해석을 수행할 수 있다. 집중질량 관련항은 집중하중과 동일한 입력구조를 갖고 모두 리스트박스를 통해 입력된 하중정보를 확인하고 편집할 수 있다. 'Support Elastic Spring Constant'에서는 지반에 상응하는 효과를 나타낼 수 있는데, 이 때 입력해야 할 항목들은 지반에 의해 지지되고 있는 절점들의 번호와 이에 해당되는 translational load 그리고 rotational load들로 사용자는 리스트박스에 보여지는 값들을 확인하면서 입력작업을 수행할 수 있다.

지진하중에 관련된 정보에서 가속도 유형은 입력되는 지진의 자료가 가지는 특성에 맞게 선택할 수 있도록 acceleration과 time+acceleration으로 구성되었다. OSA2000에서 사용되는 실제 지진데이터는 SIMQKE에 의해 생성되는 인공지진가속도를 사용하였다. 추가적으로 가진된 절점의 갯수, 지진이력과 시간증분값의 수 그리고 시간증분값, scale과 관련된 계수와 각 방향의 비는 지진 데이터의 입력항을 통해 부여된다. 가진된 절점번호와 그 절점에서의 지진의 가진방향에 대한 정보는 가진방향 입력정보를 이용, 리스트박스상에 나타난 입력값들을 확인하면서 작업할 수 있다.

파랑하중과 관련된 정보들은 다음과 같은 방법을 통해 입력한다. 'Wave' 항목에서 사용자는 파랑하중산정에 적용할 파 이론(비규칙파, 선형 Airy파, 5차 Stokes 파)을 선택한다. 파 이론을 선택하면, 선택한 이론에 필요한 입력항들을 볼 수 있다. 'Wave Information'항에서는 파랑하중산정에 필요한 기타 정보들을 입력할 수 있다. 이들 입력자료들은 다음과 같이 반복 횟수, 수심, 해수밀도, 바닥좌표, 바람에 의한 조류의 속도, 조수에 의한 조류의 속도, 파와 조류의 입사각의 차이, 항력 및 관성계수, 지반가속도 그리고 시간의 증분값으로 구성된다.

동적해석방법과 이와 관련된 정보들은 'Method'창을 통해 사용자가 임의로 선택하여 입력할 수 있다. 동적해석방법은 'Select Method'항에 mode superposition과 Newmark- β method가 있다. 'Time History Number'항에서는 구하고자 하는 변위 및 응력의 갯수를 사용자가 지정할 수 있도록 하였다. 또한 탭(tab)인터페이스를 이용하여 변위, 응력 그리고 감쇠비에 관한 정보들을 화면을 통해 입력하도록 하였다.

2.3 후처리(post-processor)

전처리과정을 통해 대상 구조물의 모델링이 끝나면 해석을 수행한다. 해석은 toolbar를 이용하여 수행할 수 있고, 해

석이 성공적으로 수행된다면 그림 1과 같은 정상적인 후처리화면을 볼 수 있다. 후처리화면은 그림에서처럼 room, front, top, right의 4개 화면으로 나누어진다. 여기서 room은 3차원공간상의 모델링된 구조물을 보여주며 나머지 3개 화면은 각각 위, 정면, 오른쪽에서 구조물을 바라본 형상을 2차원상에서 나타내준다.

후처리화면에서 절점과 구속조건 그리고 하중조건을 표시할 경우에는 toolbar를 이용하거나 'View' 메뉴의 node point, restraints, load condition를 선택하면 그림 2와 같이 화면상에서 모델링된 구조물의 절점들을 볼 수 있다. 또한, 해석이 끝난 후 변형된 형상(그림 3)을 보기 위해선 'View' 메뉴의 displacement를 선택하거나 toolbar를 이용할 수도 있다. 그림 4에 보이는 default display는 변형되기 전 즉, 해석하기전의 상태의 모델링의 원형을 보여준다. 변형된 형상의 스케일은 사용자가 임의의 값을 analysis result option 항의

scale factor란에 입력하여 조절할 수 있다. 그리고 OpenGL의 zoom과 rotation기능을 이용하면 모델링된 구조물을 사용자가 확대, 회전시킬 수 있는데 확대는 마우스의 오른쪽버튼을 누른 상태에서 움직이면 확대, 축소가 가능하고 왼쪽버튼을 누르고 움직이면 모델을 회전시킬 수 있다.

동적해석을 수행하여 얻어진 mode shape은 analysis result option항에서 사용자가 초기에 입력했던 mode수만큼 combo 박스상에 나타난다. 얻어진 mode shape을 선택하여 원하는 형상을 볼 수 있으며, 각 mode에 대한 eigenvalue값 역시 analysis result option항에서 얻을 수 있다. 아울러 지진해석을 수행한 후 사용자가 입력한 시간 내에서 어느 한 절점의 시간에 따른 변위값들을 나타내주는 창으로 analysis result option항에서 'Show Time History' 버튼을 선택하여 나타낼

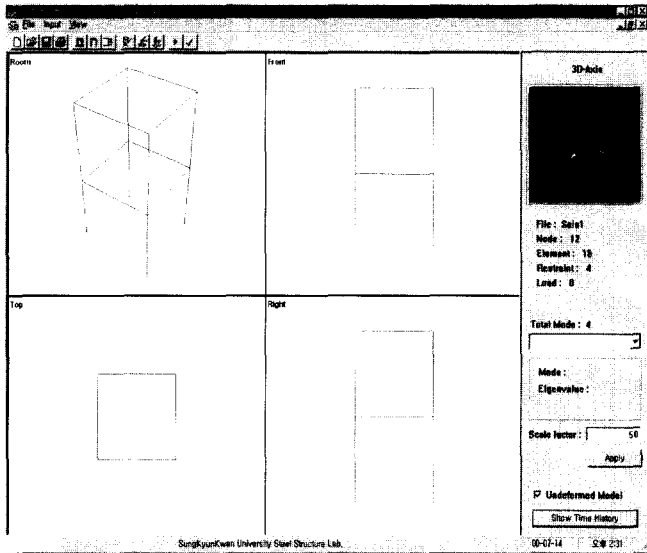


그림 1 Post-processor window

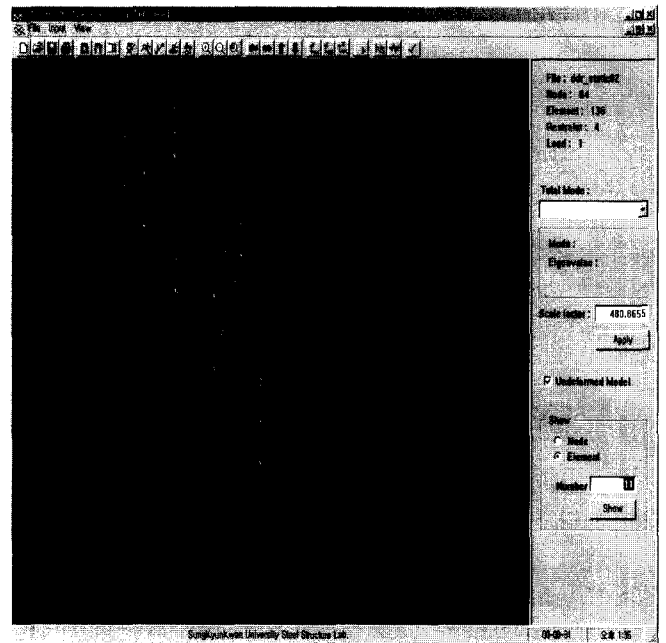


그림 3 Displacement, animation of displacement

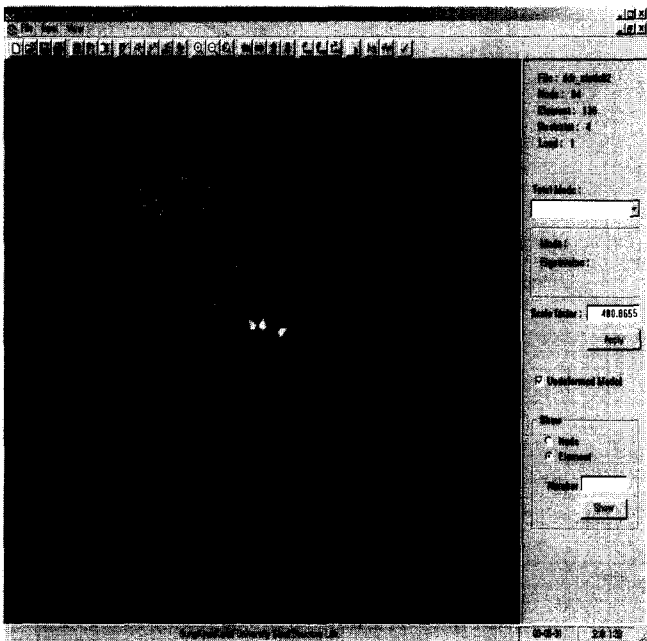


그림 2 Information display

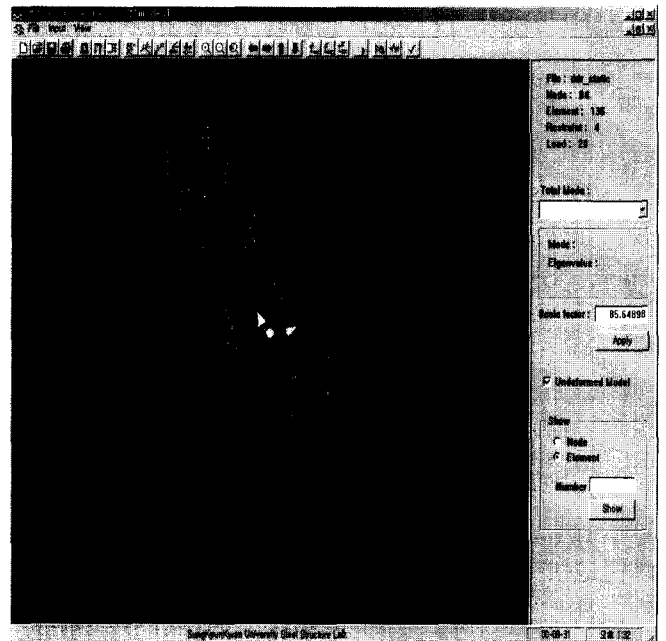


그림 4 Default display after analysis

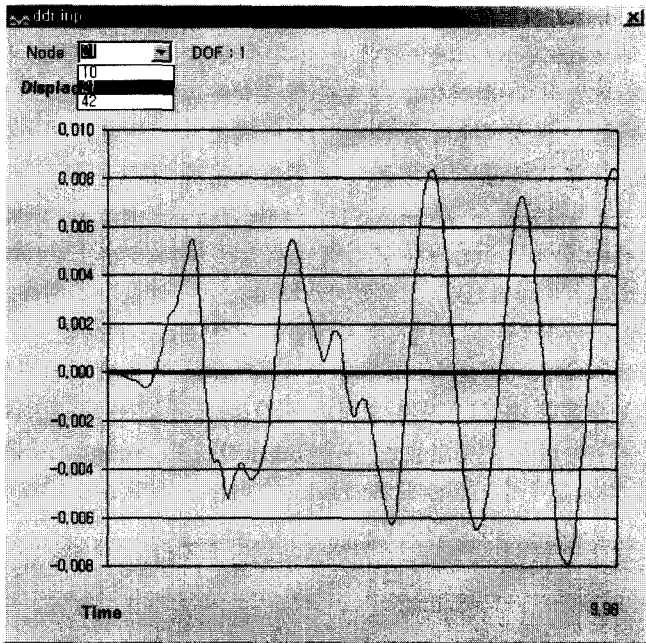


그림 5 Time history at the specific node

수 있다(그림 5).

요약하면, 프로그램의 post-processor의 주요 기능은 위의 내용과 같으며 이러한 것들은 toolbar나 view menu를 통해서 해석이 끝난 구조물에 대해 쉽게 구현할 수 있다.

3. 수치해석 예

본 장에서는 OSA2000을 이용하여 다양한 수치해석 예를 제시한다.

3.1 기하학적 비선형성을 고려한 집중하중을 받는 양단 고정보의 동적해석

기하학적 비선형성을 고려한 동적해석 결과의 타당성을 검증하기 위하여, 그림 6과 같이 경간 중앙점에 충격하중으로 주어진 집중하중을 받는 양단 고정 탄성보를 생각한다.

이는 중앙점을 기준으로 좌우 대칭이므로 절반만을 모델

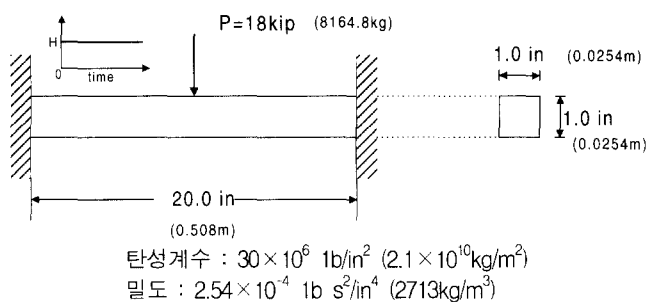


그림 6 Fixed elastic beam under a central loading

링하여 해석할 수 있다.

중앙 절점에서의 수직 변위가 본 프로그램과 범용 해석프로그램인 ABAQUS⁽⁴⁾에서 각각 계산되었다. 그림 7에서 보는 바와 같이 ABAQUS에서 나온 기하학적 비선형 해석 결과와 본 연구에 의한 결과가 잘 일치함을 알 수 있다.

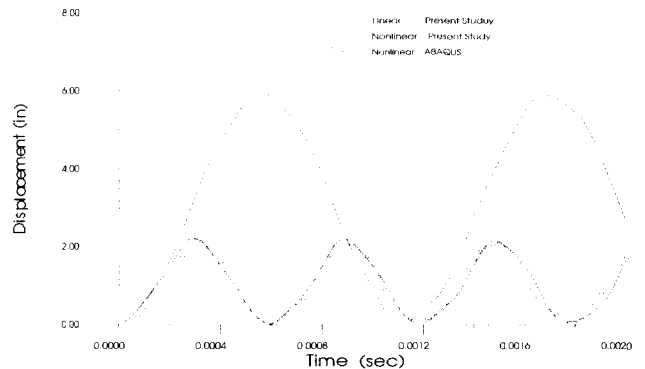


그림 7 Linear and nonlinear dynamic analysis of the fixed beam

3.2 대변형을 고려한 자켓의 탄소성 유한요소해석

3차원 자켓 구조물에 관하여 대변형효과를 고려하는 경우 (large deformation analysis; LD)와 이를 무시하는 경우 (small deformation analysis; SD)에 탄소성거동을 고려한 유한요소 해석을 수행하였다. 또한 각 경우에 대하여 imperfection을 가했을 때와 그렇지 않았을 때를 각각 해석하여 비교하였다. 그림 8과 표 1은 각각 자켓 구조물의 모델과 부재단면 제원을 나타내고 있다.

유한요소 해석시에 imperfection을 고려한 경우(SD(I), LD(I))에는 44개의 요소로, 그렇지 않은 경우(SD, LD)에는 36개의 요

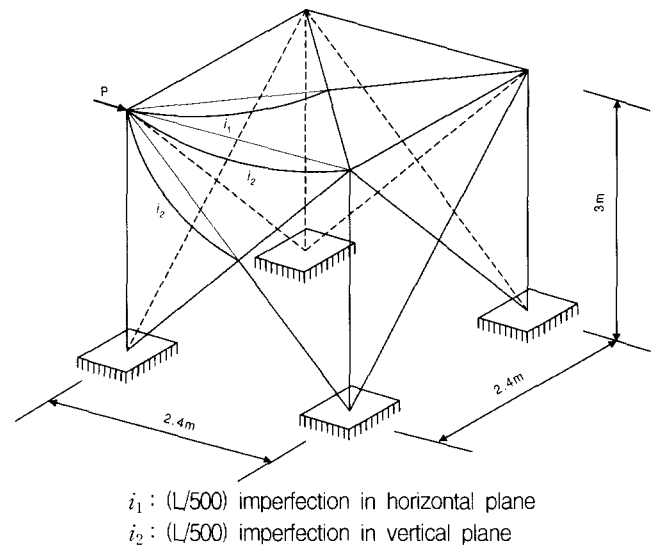


그림 8 Geometry and load condition of steel jacket

표 1 Cross section and material properties

	Section(mm ²)	E(N/mm ²)	σ_y (N/mm ²)	A(cm ²)	F _U (N)	M _{U1} (N · cm)	M _{U2} (N · cm)	M _{U3} (N · cm)
Vertical legs	Tubular $\phi 270 \times 6$	2.10E5	300	49.763	1.49E6	1.14E7	1.25E7	1.25E7
Other members	Tubular $\phi 9 \times 3$		350	.19955	2.87E5	7.21E5	7.95E5	7.95E5

소로 모델링하였다. 그림 9에서 보듯이 imperfection를 고려한 경우에 극한하중의 값이 현저하게 줄어들며, 소성힌지가 발생함에 따라 하중-처짐곡선의 기울기가 급격하게 감소한다. 그림 10(a)와 그림 10(b)는 대변형을 고려한 해석(LD, LD(I))에서 하중을 가한 절점의 변위가 8cm일 때 소성힌지가 발생한 위치를 나타낸 것이다.

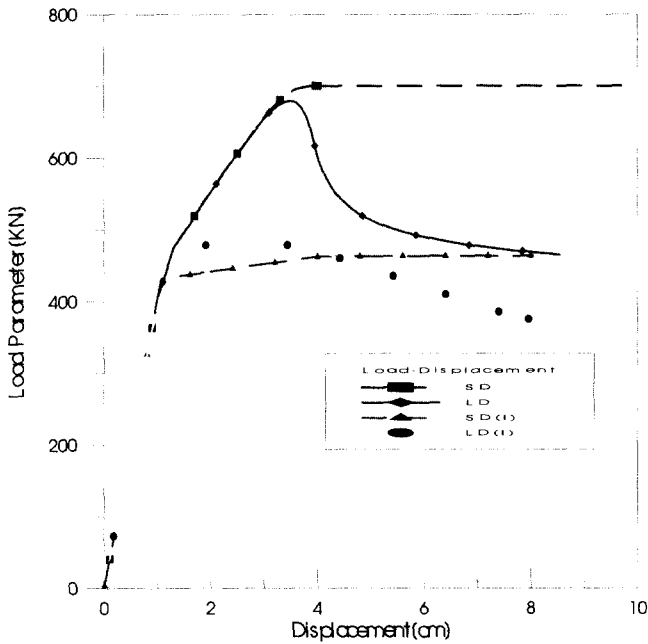
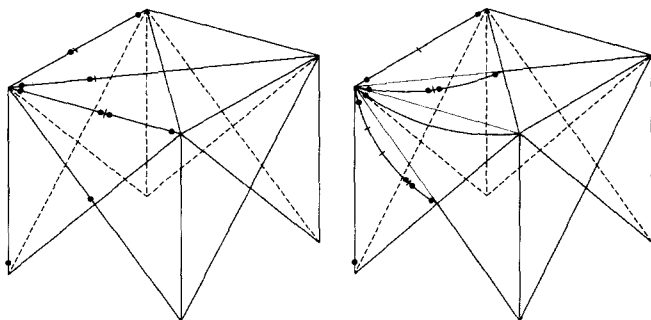
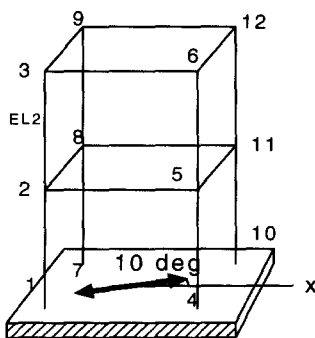


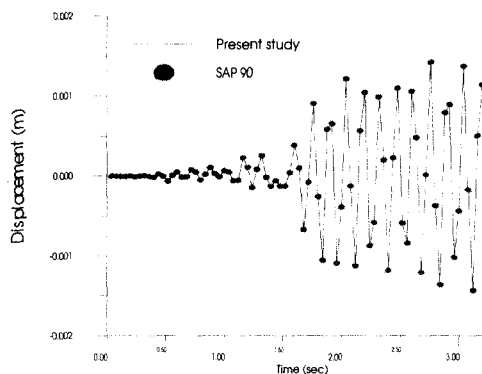
그림 9 Load-displacement curves



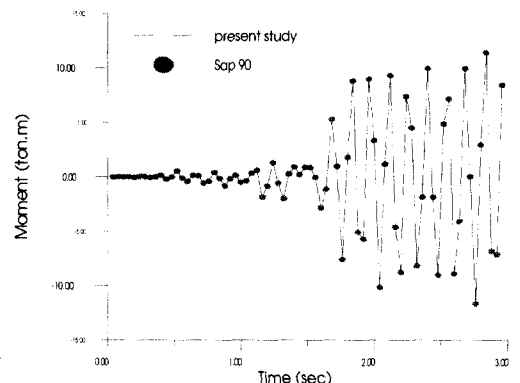
(a) Collapse mechanism(LD) (b) Collapse mechanism(LD(I))
그림 10 Collapse mechanism with and without imperfection



(a) analysis model



(b) displacement in the direction of x-axis at node 3



(c) M_3 in element 2

그림 11 Space frame model and responses under earthquake load

3.3 지진하중을 받는 이중 공간빔대 구조

지진하중을 받는 공간 빔대구조에 대하여, 범용 해석프로그램인 SAP 90⁽⁶⁾에서의 지진 해석 결과와 비교 검토하여 본 해석 프로그램의 결과의 타당성을 검증하였다. 입력 지진 가속도는 Elcentro Data를 사용하였다. 해석에 사용된 단면은 모두 정사각형($b=h=1m$)이며 탄성계수값은 $1.0E7$ 이 사용되었다. 모든 부재의 길이는 1m로 일정하고, 모우드중첩법을 적용하는 경우에 4개의 모우드를 고려하였다.

그림 11과 같은 공간 빔대 구조물에 지반 진동이 전역 x방향과 10° 의 각으로 작용되었을 때 3번 절점의 x방향 변위를 선형 해석한 결과, 두 유한요소 해석결과는 정확히 일치하였다

3.4 부가질량의 영향에 대한 검토

그림 12는 수직 실린더 부재가 규칙파에 의한 파랑하중을 받았을 때 부가질량의 적용에 따라 구조물 상단 수평 변위의 시간에 따른 변화를 비교하였다. 부가질량의 영향은 일반적으로 운동방정식의 질량행렬에 포함되어 하중에 저항하는 항으로 적용되어 그림 12(a)와 같이 변위를 감소시키지만, 질량행렬의 영향으로 구조물의 고유진동수에 파랑하중의 주기가 근접할 경우에는 그림 12(b)와 같이 구조물의 변위를 증폭시키기도 하므로 그 영향을 일률적으로 설명할 수 없다.

그림 13은 부가감쇠의 영향이 생략되었을 경우에, 가상의 sine파와 지진하중을 받는 수직 실린더의 변위 응답에 대한 부가질량의 영향을 조사한 것이다. 일반적으로 지진하중은 구조 시스템의 노드별 질량과 지반 가속도를 곱으로 계산된다. 따라서, 부가질량의 영향이 지진하중의 증가로 반영되어 구조물의 변위를 증가시킬 수 있음을 보여준다.

3.5 Dolphin 구조물

선박을 접안하는데 사용되는 실제 Dolphin 구조물(그림 14)의 정적해석 및 지진해석을 수행하였다. 해석시 사용한 제한은 표 2에 제시하였다.

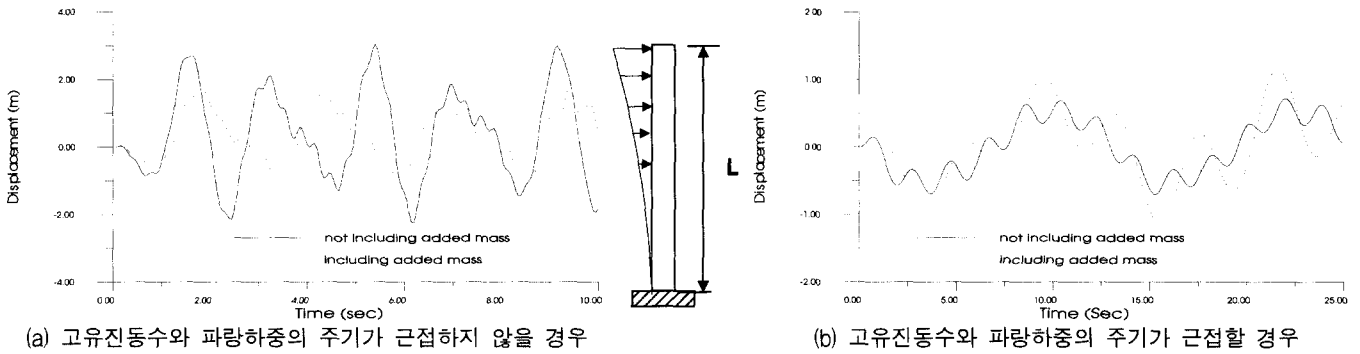


그림 12 Effect of added mass for response of vertical cylinder under wave force

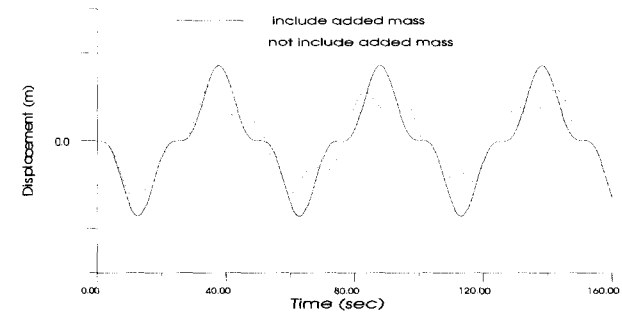


그림 13 Effect of added mass for response of vertical cylinder under imaginary sine ground motion

절점 수 : 84개 요소 수 : 136개
 탄성 계수 : $2.1 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$ 밀도 : 7800 kg/m^3

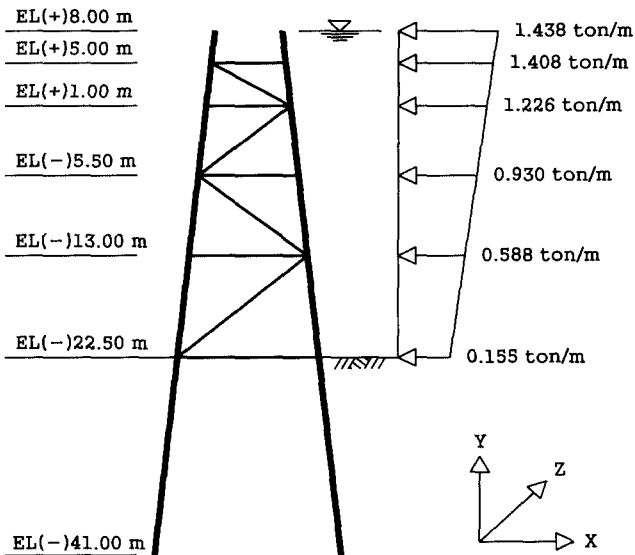


그림 14 Dolphin structure

또한, 파일부분의 지반은 수평방향 스프링으로 모델링(표 3 참조)하고, 파력은 등가 정적하중으로 치환하여 정적선형해석을 수행하였다. 표 4는 정적해석에 의한 변위를 산정하여 본 연구의 해석결과와 Sap 90⁽⁵⁾의 결과를 비교한 것이다. 서로 잘 일치함을 알 수 있다. 또한, 표 5와 그림 15는 각각 자유진동

표 2 Cross sectional properties of dolphin structure

단면	구분	면적(A) (m ²)	관성모멘트(Iy) (m ⁴)	관성모멘트(Iz) (m ⁴)	비틀림상수(J) (m ⁴)
1	Jacket	0.00438	2.3804×10^{-5}	2.3804×10^{-5}	4.7608×10^{-5}
2		0.00659	8.0949×10^{-5}	8.0949×10^{-5}	1.6189×10^{-4}
3		0.00888	1.0748×10^{-4}	1.0748×10^{-4}	2.1496×10^{-4}
4		0.01147	1.6721×10^{-4}	1.6721×10^{-4}	3.3443×10^{-4}
5		0.01352	2.5921×10^{-4}	2.5921×10^{-4}	5.1842×10^{-4}
6		0.02328	5.5415×10^{-4}	5.5415×10^{-4}	1.1083×10^{-3}
7	Pin pile	0.08297	8.0486×10^{-3}	8.0486×10^{-3}	1.6097×10^{-2}
8	Jacket pile	0.117	1.2270×10^{-2}	1.2270×10^{-2}	0.0245

표 3 Spring constants

지점	X 방향 (ton/m)	Z 방향 (ton/m)
EL(-)24.50	10.9	10.9
EL(-)26.50	10.9	10.9
EL(-)28.50	43.7	43.7
EL(-)30.50	43.7	43.7
EL(-)32.50	43.7	43.7
EL(-)34.50	54.6	54.6
EL(-)36.50	54.6	54.6
EL(-)38.50	137.0	137.0
EL(-)40.50	137.0	137.0

표 4 Displacements at node 5 by static linear analysis

구분	NODE	U1	U2	U3	R1	R2	R3
OSA2000	5	4.14×10^{-2}	-4.15×10^{-2}	-2.53×10^{-3}	-4.04×10^{-4}	-3.48×10^{-4}	-1.54×10^{-5}
SAP 90	5	4.14×10^{-2}	-4.15×10^{-2}	-2.53×10^{-3}	-4.04×10^{-4}	-3.48×10^{-4}	-1.55×10^{-5}

표 5 Natural circular frequencies(rad/sec)

mode	1	2	3	4	5
OSA2000	3.411382	3.422086	4.287170	1.239931×10	1.245250×10
SAP 90	3.439321	3.450101	4.226598	1.219632×10	1.224596×10

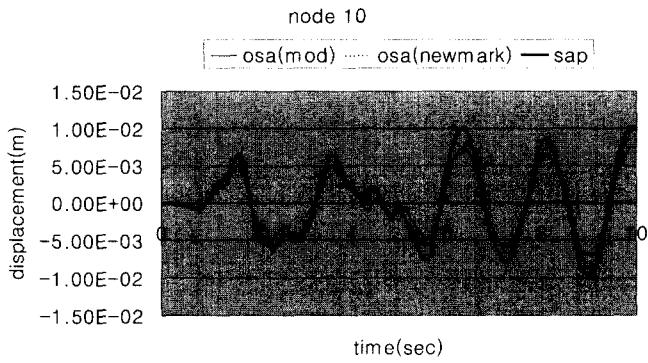


그림 15 Time history curve for displacement of node 10 in the direction of x-axis

해석과 Elcentro 지진가속도 데이터를 사용하여 모우드중첩 법과 Newmark법으로 동적해석을 수행한 결과를 보여준다. 본 연구의 해석결과와 Sap 90의 결과를 함께 비교하였는데, 대체로 잘 일치함을 관찰할 수 있다.

3.6 스틸자켓 구조물

스틸자켓 구조에 지진하중 또는 파랑하중 작용할 때 동적 해석한 예를 제시하고, 해석 절차 및 입력 내용 및 결과를 제시한다. 지진 데이터는 인공 지진 가속도 발생 프로그램에 의한 SIMQKE를 이용하여 세가지 형태의 입력 가속도를 사용하였다. 그림 16에서 보는, 스틸자켓은 2차원 해석모델에서의 부재 재원 등을 참고하여 3차원 해석 모형으로 모델링한 것이다. 기본적인 부재 재원 및 파랑 환경에 대한 입력 데이터는 표 6, 7과 같다.

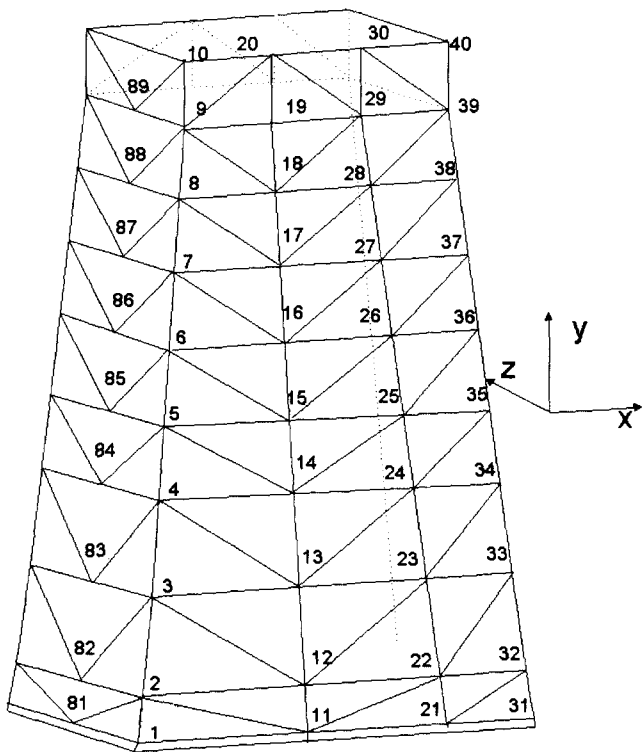


그림 16 Steel jacket

표 6 Structural and material data

부재재원	파랑동적해석
* 절 점 수 : 98개	* 평균수심 : 175m
* 요 소 수 : 260개	* 파 고 : 20m
* 탄성계수 : $2.1 \times 10^{10} \text{kg/m}^2$	* 주 파 수 : 0.6379rad/s
* 프와송비 : 0.3	* 해수밀도 : 1020kg/m^3
* 질 량 : 7800kg/m^3	* 항력계수 : 1.0
	* 관성계수 : 2.0
	* Eigenvalue problem : Jacobi method
	* 동적해석법 : mode superposition
	* damping 계수 : 0.05

표 7 Cross sectional properties of steel jacket

단면종류	면적(A) (m ²)	관성모멘트(Iy) (m ⁴)	관성모멘트(Iz) (m ⁴)	비틀림상수(J) (m ⁴)
1	0.361	0.0310	0.0310	0.120
2	0.370	0.0321	0.0321	0.110
3	0.506	0.0329	0.0329	0.100
4	0.547	0.0335	0.0335	0.090
5	0.580	0.0338	0.0338	0.080
6	0.0198	0.000529	0.000529	0.030

3.6.1 규칙파를 받는 steel jacket의 동적해석

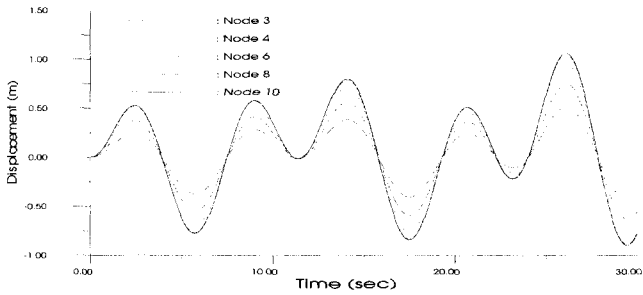
그림 17은 원진동수 0.5rad/sec의 20m의 파고를 받는 steel jacket 모델의 선형 및 비선형 해석결과를 보여준다. 그림 17(a)와 (b)는 파의 진행 방향이 x축과 일치할 때 선형해석과 기하학적 비선형 해석 결과를 보여 주고 있다.

그림 18(a)는 z방향으로 진행되는 파의 주기가 구조시스템의 1번째 고유주기와 일치하였을 경우의 20번 절점에서의 z 방향 변위가 공진 현상을 보여주고 있음을 볼 수 있다. 그림 18(b)는 x방향으로 진행되는 파의 주기가 구조시스템의 11번째 고유주기와 일치하였을 때 x방향의 변위가 공진 현상이 발생함을 보여 주고 있다. 1~10 번째 까지의 고유주기와 x방향으로 진행되는 파의 주기가 일치하였을 경우에는 x방향 변위의 공진현상이 발생하지 않았는데, 그 이유는 1~10 까지의 모드 형상이 z방향으로 모드 변위가 생기고 x방향으로는 모드 변위가 거의 생기지 않아 파력 방향과 일치하지 않았기 때문으로 판단된다. 이 결과에서 볼 수 있듯이 하중의 방향과 모드 형상의 변위 방향은 밀접한 관계를 가지는 것을 알 수 있다. 따라서, 본 해석 모델과 같은 복잡한 형상을 가진 구조물에서는 저차 모드의 경우에 고유주기와 파의 주기가 일치하는 경우라도 모드 형상과 하중의 방향이 일치하는 경우에 한해서 구조물의 변위가 증폭되는 경향을 보이기 때문에, 3차원 모델을 모드 중첩법으로 동적해석 할 경우 충분한 수의 모드수가 선택되어야 할 것으로 판단된다.

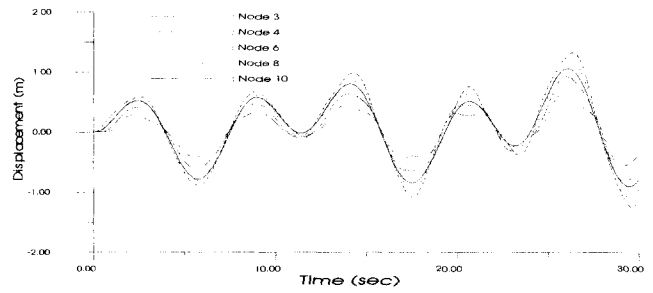
그림 19는 수심/파장(d/L)=0.4, 파고 H=20m인 Stoke 5차 파에 의한 변위 및 모멘트 응답을 보여준다.

3.6.2 불규칙파를 받는 steel jacket의 동적해석

그림 20은 H_s=20m의 불규칙파를 받는 스틸자켓의 선형 및

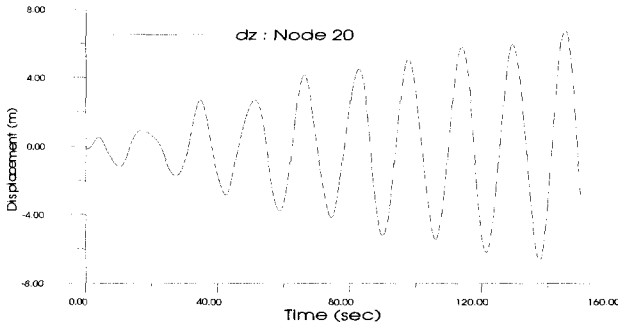


(a) Displacement in the x-axis for wave in the direction of x-axis by linear analysis

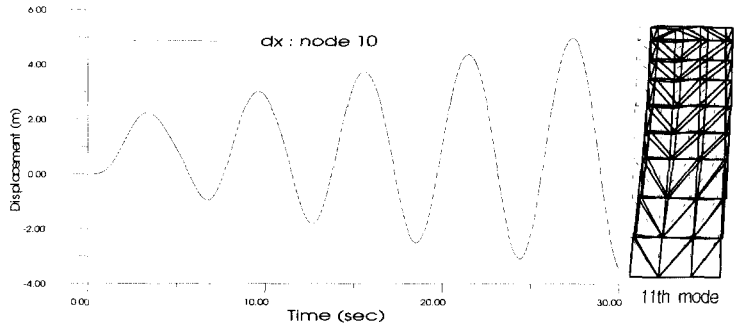


(b) Displacement in the x-axis for wave in the direction of x-axis by nonlinear analysis

그림 17 Displacement response of steel jacket model by linear regular wave

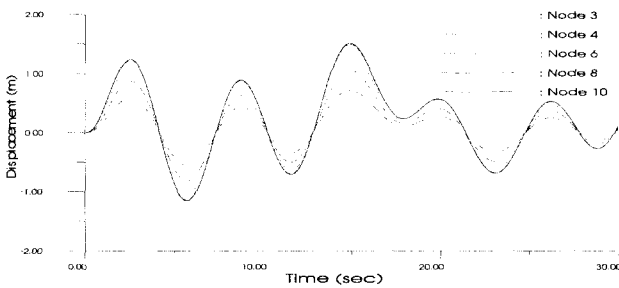


(a) Resonance appearance for the first natural frequency \approx wave frequency

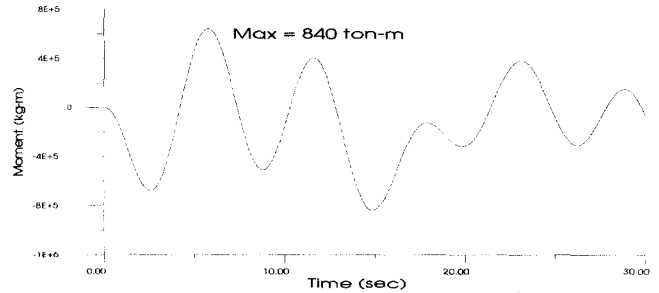


(b) Resonance appearance for the 11th natural frequency \approx wave frequency

그림 18 Resonance response of steel jacket using linear analysis by linear regular wave



(a) Displacement in the x-axis for wave in the direction of x-axis by linear analysis



(b) Moment 3 of element 1 for wave in the direction of x-axis by linear analysis

그림 19 Displacement response of steel jacket model by stoke fifth-order regular wave

비선형 해석결과를 보여준다. 그림 20(a)는 파의 진행 방향이 z축과 일치할 때 선형 해석 결과를 보여 주고 있다. 그림 20(b)와 (c)는 파의 진행 방향이 x축과 일치할 때 선형해석과 기하학적 비선형 해석 결과를 보여 주고 있다. 그림 20(d)는 불규칙 파에 1.5m/sec 유속의 조류가 동시에 작용할 때 발생하는 x 방향 변위의 결과를 보여준다.

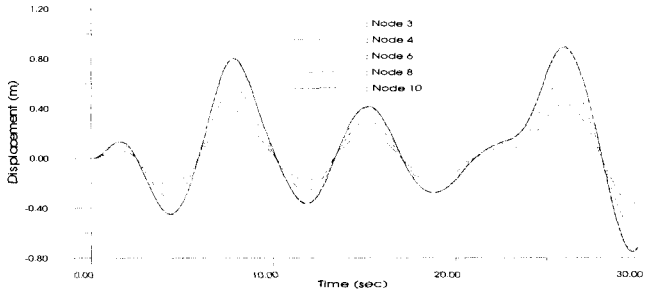
3.6.3 지진하중을 받는 steel jacket의 동적해석

입력 지진 가속도를 선정하기 위하여 인공지진 발생 프로그램인 SIMQKE를 사용하였다. 최대 지반 가속도=0.14g~0.6g, 진동 기간=20초, 가속도 생성 시간 간격=0.01초, 감쇠비=2%, 그리고 목표 응답 스펙트럼을 입력 값으로 하는 임의의 지진 가속도들을 생성하였다. 그리고, 응답 스펙트럼은 구조 시스템의 1~10차 모드까지의 고유 주기가 6초~15초까지 분포하므로, 장주기 파의 분포를 크게 정하

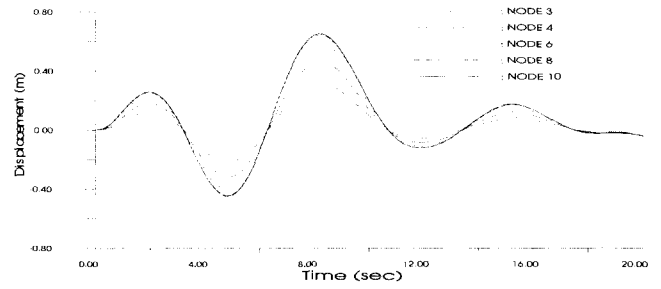
였다.

이들 각각의 지진 가속도를 본 해석모델에 x, y, z 방향으로 각각 1.0, 0.3 비율로 입력하여 해석하였다. 다음은 그림 21에 제시한 입력 응답 스펙트럼으로부터 생성된 2가지 지진 모델에 대하여 입력 지진 가속도의 시간이력과 해석 결과를 보여 주고 있다. SIMQKE의 입력 데이터는 inch 단위로 규정되고, 결과는 중력가속도에 대한 비의 값으로 계산된다.

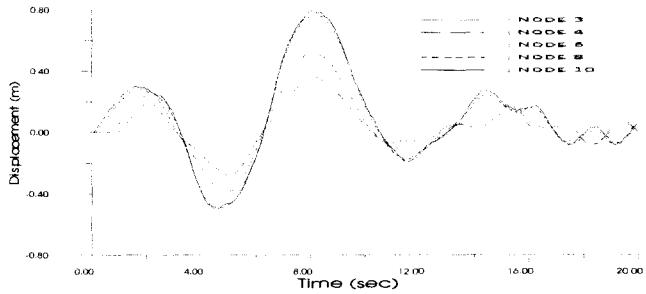
① 그림 22는 최대 지반 가속도가 0.17g로써 국내 지방서의 최대 지진 가속도 0.14를 기준으로 하였고, 그림 21의 case 1에서 제시된 응답 스펙트럼으로부터 생성된 지진 가속도 시간 이력과 구조물 응답의 해석 결과이다. 그림 22(a)와 (b)에서 보는 바와 같이, 지진 데이터는 단주기파는 적고 장주기 지진파성분을 많이 포함되어 있음을 알 수 있다.



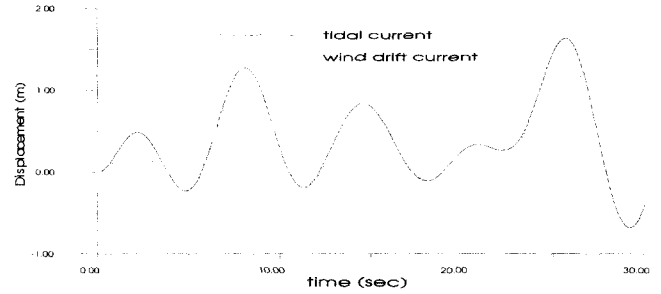
(a) Displacement in the z-axis for wave in the direction of z-axis by linear analysis



(b) Displacement in the x-axis for wave in the direction of x-axis by linear analysis



(c) Displacement in the x-axis for wave in the direction of x-axis by nonlinear analysis



(d) Displacement of node 10 in the x-axis for irregular wave+1.5m/sec current

그림 20 Displacement response of steel jacket model by irregular wave

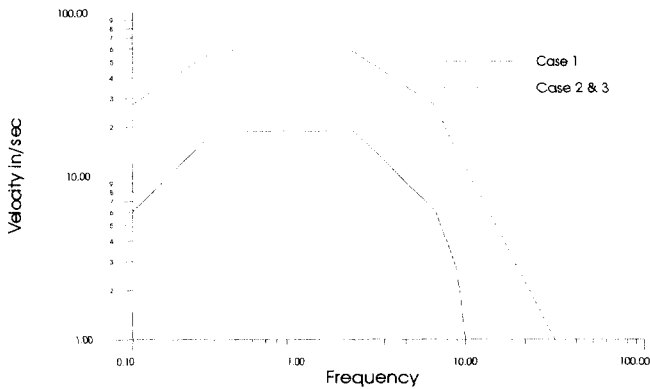


그림 21 Input response spectrum

② 그림 23은 최대 가속도가 0.58g로써, 그림 21의 case 2에서 제시한 응답 속도 스펙트럼으로부터 생성된 지진 가속도 시간이력과 구조물 응답의 해석 결과이다. 그림 23(a)와 (b)에서 볼 수 있듯이, 지진 데이터는 단주기파 성분이 많이 포함되어 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

부재 직경이 비교적 작은 스틸자켓 해양 플랫폼에 대하여 파랑하중, 지진하중 등과 같은 외적 환경하중을 실제 상황과 유사하게 모형화하고 구조물을 해석하는데 주요 연구 목표를 두고 있다. 본 연구를 통하여 파랑하중과 지진하중을 받는 스틸자켓 구조물의 정적 및 동적해석을 수행하는 해석 프로그램 『OSA 2000』을 개발하였다.

1. 해양구조물 해석시 전처리 및 후처리 프로그램을 개발하여 사용하므로 데이터 입력을 효율적으로 수행할 수 있었고, 해석결과를 즉시 화면상으로 검토할 수 있으므로 해석결과 분석에 소요되었던 시간과 노력을 절감시킬 수 있었다.
2. 인공 지진 발생 프로그램인 SIMQKE를 수정 사용하여 필요에 맞는 다양한 형태의 지진 진동을 발생시킬 수 있었다. 그리고, 본 연구에서 계산된 지진하중의 적정성을 검증하기 위하여 범용 해석 프로그램인 SAP 90의 해석 결과와 비교 검토한 결과 서로 잘 일치함을 알 수 있었다.
3. 기하학적 비선형성을 고려한 정적 및 동적해석의 타당성을 검토하기 위하여, 특정 예제를 엄밀해 및 범용 해석 프로그램 ABAQUS의 해석 결과와 비교 검토한 결과 서로 일치함을 알 수 있었다.
4. 극한하중하에서 대변형 및 소성현미 효과를 고려한 스틸자켓 구조물의 소성붕괴거동을 추적할 수 있었다.
5. 결과적으로 스틸자켓 해양구조물 설계시 대부분 외국선진기술에 의존하고 있는 실정에서 본 연구에서 개발한 프로그램은 국내기술을 한 차원 끌어올리는 데 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부에서 시행하는 중점국가 연구개발사업의 하나인 자연재해방재기술개발 사업으로 수행된 것이다.

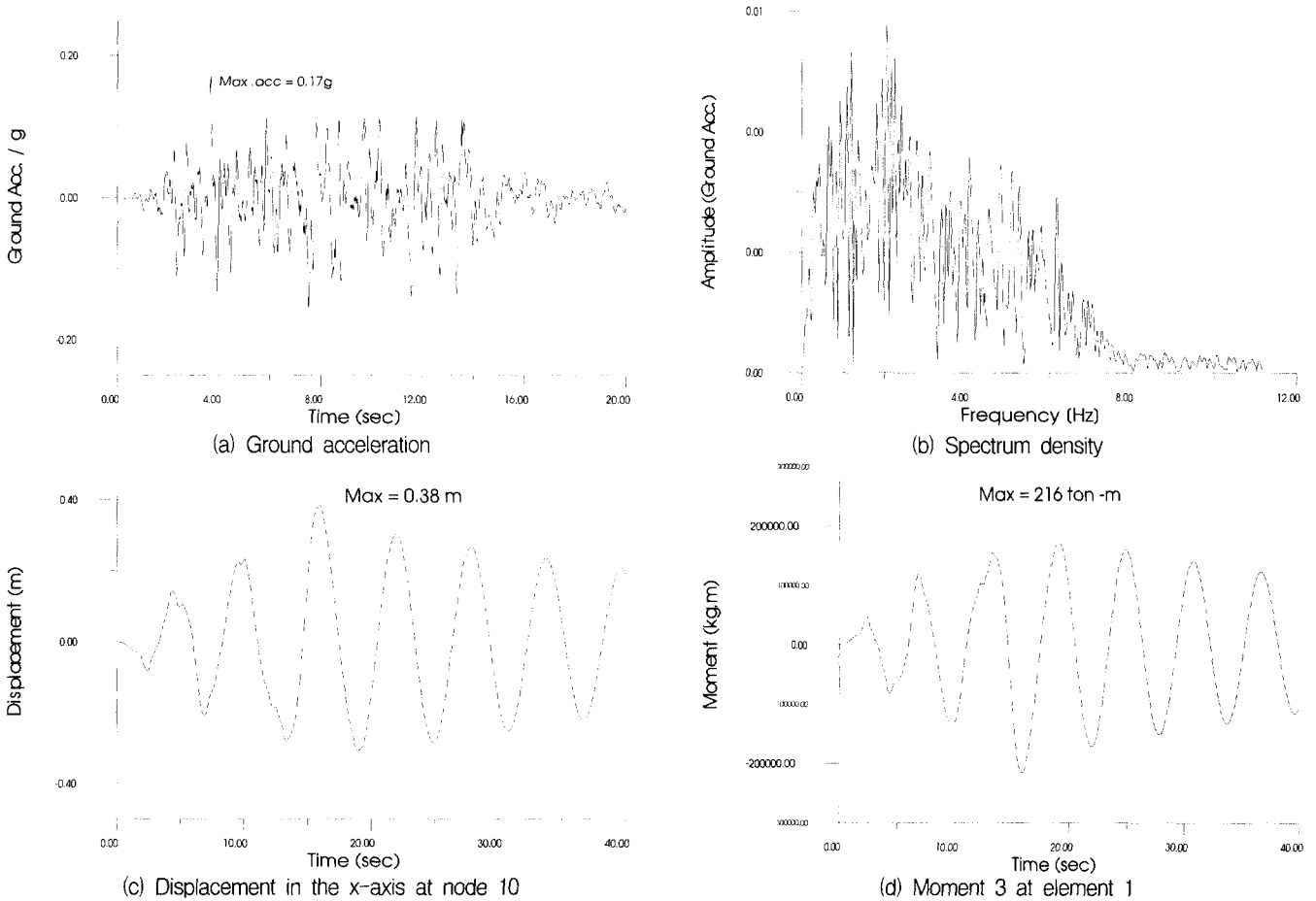


그림 22 Input ground excitation and response for seismic model 1

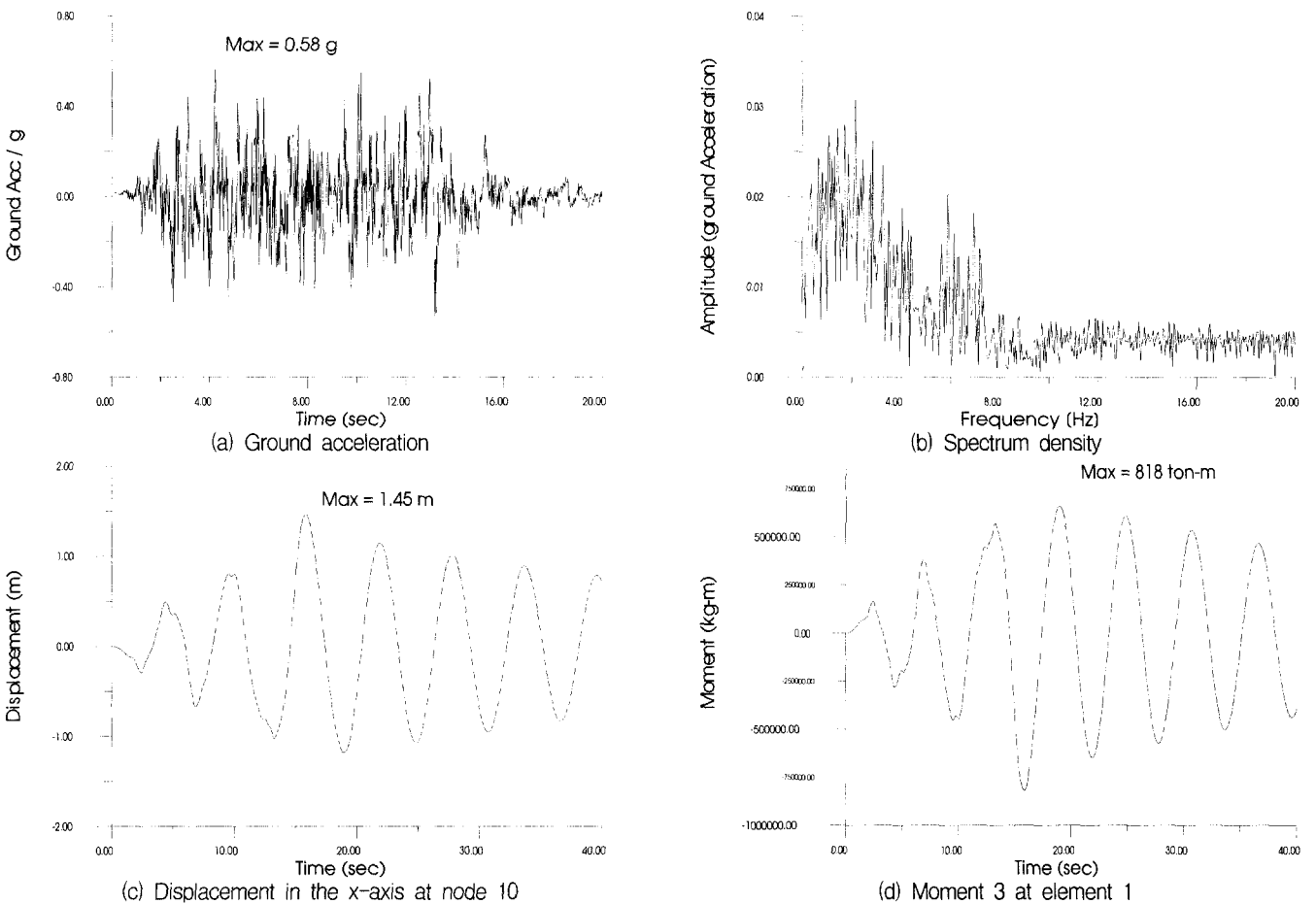


그림 23 Input ground excitation and response for seismic model 2

참 고 문 헌

1. 김문영, 백인열, 박기현, 고진석, "파랑 및 지진하중을 받는 스틸자켓의 동적해석 I: 선형 및 비선형 유한요소정식화", 한국지진공학회 논문집, 2001, 심사중.
2. Wright, R. W. and Sweet, M., *OpenGL Super Bible*, Waite Group Press, 1998.
3. Argyris, J. H., Hilpert, O., Malejannakis, G. A., and Scharpf, D. W., "On the geometrical stiffness of a beam in space - A consistent v. w. approach," *Comp. Methods in Appl. Mech. and Engrg.*, Vol. 20, 1979, pp. 105-131.
4. Hibbit, *ABAQUS User's manual Vol. I and II, Ver. 5.2*, Karlsson & Sorenen, Inc., 1992.
5. Wilson, E. L. and Habibullah, A., *SAP90 User's manual*, Computers & Structures, Inc., 1989.
6. Bathe, K. J., *Finite Element Procedures in Engineering Analysis* Prentice-Hall, New Jersey, 1996.