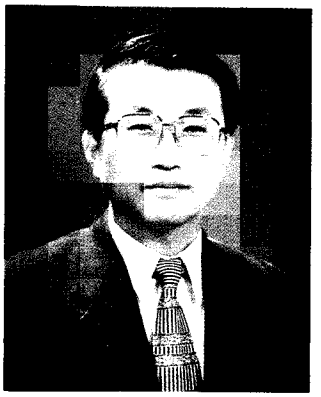
特 輯

부유식 해상구조물(BMP)의 구조 설계



조 규 남(홍익대학교)

72-76 서울대학교 조선해양공학과(학사)
80-81 미국 University of Michigan 조선해양공학(석사)
81-82 미국 University of Michigan 응용역학(석사)
82-85 미국 University of Michigan 조선해양공학(박사)
85-93 현대 선박해양연구소 책임연구원
93-현재 홍익대학교 조선해양공학과 교수
95-현재 홍익대학교 해양시스템연구센터 소장

1. 서론

오늘날 경제성장과 고도의 산업화에 따라 각종 산업시설의 증설이 계속되고 있으나, 육상의 공간부족, 지가상승, 지역 주민들과의 마찰, 공해문제등 각종 난제로 인하여 육상에서의 새로운 산업시설 입지확보는 크게 어려워지고 있다. 이러한 입지문제의 해결뿐만 아니라 건설기간을 단축하고 건설경비를 절감할 수 있는 대안이 해안공간을 이용한 부유식 해상구조물 BMP(barge mounted plant)의 개발이라고 할 수 있다. 이러한 부선설치 산업시설은 육상시설에 비하여 다음과 같은 장점을 가지고 있다.[1,2]

- 고급 제작 시설과 기술인력이 집중되고 있는 일정한 장소에서 건조될 뿐만아니라 육상시설의 토목공사에 해당되는 부선과 플랜트 시설을 동시에 건조하므로 건조기간이 크게 단축된다.
- 인구 밀집지역으로 부터 멀리 떨어진 곳에 설치하므로 지역주민들과의 마찰이나 공해문제가 없다.
- 건조기간의 단축과 입지 구입비의 불필요로 경비가 절감된다.
- 필요에 따라 위치를 변경할 수 있다.

우리나라는 초대형 해수처리시설과 부선발전시설을 건조하여 수출한 경험이 있으며, 일본에서는 다수의 부선발전시설 건조 실적이 있고 부유식 LNG저장탱크의 개념설계를 완료하는등 세계 여러나라에서도 이 분야 연구에 관심을 기울이고 있다.[8,10,11,13]

지금까지의 실적, 연구내용등을 조사해보면 부선설치플랜트의 종류에는 발전소, LNG 저장탱크, 메타놀플랜트, 하수처리장, 해수처리시설등이 있으며 설치방법에는 해안이나 강변에 접하여 부유형 또는 착저형으로 설치하는 방법, 해안에서 떨어진 해상에 부유형 또는 착저형으로 설치하는 방법등이 있다.

본 소고에서는 이러한 해양공간 이용 대형 복합플랜트의 개념설계에 대해서 논의하고 부유식 해상구조물 플랜트의 구조설계에 촛점을 맞추어 각종 관련 설계기법에 대해서 기술하고자 한다.

2. BMP의 개념 설계 요소 분류[4-12]

해양공간 이용 대형 복합 플랜트의 개념 설계를 위하여 필수적으로 고려되어야 할 요소를 분류해 보기로 하자. 개념설계의 요소를 이루는 것으로 다음의 다섯가지의 요소를 들 수 있겠으며 각 요소에 대해서 그 특징을 고찰해 보기로 하자.

첫째, 자연 환경 시스템에 대한 총괄적 문제
둘째, 설계인자 선정에 대한 문제
셋째, 각종 국가 법규 및 현행 선급 rule의 적용 문제
넷째, 부유체의 일반적 형태 및 설계 기법 문제
다섯째, 플랜트 자체의 일반적 형태 및 설계기법 문제

2.1 자연 환경 시스템에 대한 총괄적 문제

BMP의 후보지 선정에는 기상, 해상 등의 자연조건을 충분히 고려해야 한다. 자연환경은 BMP의 설계하중의 선정 또는 기설정된 설계하중의 만족 여부를 결정하는 요소가 된다. BMP에 영향을 미치는 자연환경 시스템의 일반적 사항은 다음과 같으며, 설계하중 조건 선정 또는 기설정된 설계하중 조건에 자연환경의 각 항목이 적합한가를 파악하기 위해 항목의 자료가 어떠한 것이 필요하며 그 자료의 취득원이 어디인가등이 조사되어야 한다.

자연환경 시스템에 대한 일반적 사항에 포함되어야 하는 것들은

1. 위치선정 문제점 및 분석
2. 기상 상태의 영향 및 분석
3. 해상 상태의 영향 및 분석
4. 해저 지형의 영향 및 분석
5. 해저 지질의 영향 및 분석
6. 지진의 영향 및 분석

등이다.

2.2 설계인자 선정에 대한 문제

BMP는 해상에 설치되므로 기존의 반잠수식 시추장치 및 고정식 해양구조물등 각종 해양구조물의 경우와 같이 설계하중으로서 파랑, 바람, 조류, 조위 등의 환경하중을 고려해야 한다. 이러한 환경 하중은 모든 이용가능한 자료를 수집하고 또한 필요하다면 직접 관측을 통해서 측정하여 정확한 설계기준이 되도록 하여야, 안정성과 경제성을 동시에 만족하는 BMP의 설계가 이루어질 수 있을 것이다. 즉 파랑, 바람, 조류, 조위등 외부환경으로부터 BMP에 작용하는 제반 하중의 일반적인 사항과 이들 하중의 선정 방법에 관하여 조사하여야 한다.

외부환경에 의한 하중은 BMP의 각 단계에 따라 각각 선정될 수 있다. 즉 BMP의 운송시와 설치시 그리고 설치된 후의 작업시의 설계하중은 달라질 수가 있다. BMP가 설치된 후의 설계 하중조건은 크게 운전하중과 극한하중으로 나눌 수 있다. 운전하중은 BMP가 가동되는 동안 빈번하게 만나는 하중을 의미하며 보통 그 상황의 반복주기를 1달 혹은 1년으로 잡고 있다. 극한하중은 보통 BMP의 수명이 수십년으로 예상되므로 그 기간 동안중 가장 가혹한 상황에 처한 경우의 하

중을 지칭하며 그 반복주기를 100년으로 정하는 것이 보통이다.

2.3 각종 국가 법규 및 현행 선급 rule의 적용문제

플랜트를 탑재한 바지는 이동식 해양 구조물이므로 구조물 전체의 강도와 플랜트 가동시의 모든 안전성은 선급협회 및 관계당국의 승인을 얻어야 한다.[3-6]

바지 구조는 선체 외판, 격벽, 보강재와 플랜트 지지 구조물로 구성되어 있으며, 이들은 아래의 기능들을 만족하도록 설계되어야 한다.

- 내부시설 및 내장물을 보호하는 격납 용기로서의 기능
- 내부시설 및 탑재시설을 지지하는 기초물로서의 기능
- 도크에서 건조후 내부시설과 탑재시설을 탑재하여 현지까지 운반하는 운반선으로서의 기능

플랜트 시설은 발전시설, 공해처리장 등을 들 수 있으며, 육상에서와 다른 설치 해상에서의 환경하에서 가동하도록 설계되어야 한다.

2.3.1 국가 법규

플랜트 탑재 구조물의 목적, 형태, 설치장소에 따라 수 많은 법규의 적용을 받으므로 공사 시행전에 이에 관련된 사항들을 검토하여야 하며 관련 법규는 크게 아래의 4가지로 나눌 수 있다.

(1) 적용수역에 관한 법규 : 공유수면 매립법, 항만법, 어업법 등
(2) 건조물에 관한 법규 : 건축기준법, 전기사업법 등
(3) 환경보호에 관한 법규 : 대기오염 방지법, 수질오염 방지법, 해양오염 방지법, 소음 방지법등
(4) 안전에 관한 법규 : 소방법, 항로 표식법 등

2.3.2 각종 선급 rule

플랜트 탑재 바지도 일종의 선박이므로 선급협회에 따라 일반상선의 rule이나 바지의 rule 등에 따라 설계되며 이에 해당되는 대표적인 rule들은 아래와 같다.

미국 선급협회(ABS) rule
rules for building and classing
- steel vessels
- steel vessels for service on rivers and intracoastal waterways
- steel barges for offshore service

영국 선급협회(LR) rule
rules and regulations for the classification of
- ships
- mobile offshore units
- fixed offshore installations

노르웨이 선급협회(DnV) rule
rules for classification of
- steel ships
- mobile offshore units

rules for offshore structures

2.4 부유체의 일반적 형태 및 설계기법 문제

바지는 일반적으로 갑판, 측외판, 저판, 이중저, 종/횡격벽 및 이를 보강하는 각종 방요재와 형재들로 구성되어 있으며, 이들을 적절히 배치하여 필요한 기자재를 설치, 저장하기에 편리하고 구조적으로도 안전하게 해야한다.

이를 위하여 구조부재와 전체 구조물의 강도는 선급협회 rule에 따라 설계한다. 그러나 플랜트 탑재바지는 일반적인 바지와는 달리 발전기와 터빈 같이 중량이 큰 구조물을 싣고 있고, 짧은 예인기

간외의 긴 기간동안 해저지반 또는 해상의 설치 장소에서 가동해야 하므로 해당바지의 제반특성을 고려하여 여러 가지 전산 해석을 수행하여야 한다.[2,13,14,16]

2.5 플랜트 자체의 일반적 형태 및 설계기법 문제

BMP의 구조물은 크게 상부구조물과 하부구조물로 나눌 수 있다. 상부구조물은 BMP를 가동시키는 각종 설비를 모듈화하여 제작하고 하부구조물은 주로 바지 형태로 제작되어 부유형 또는 착저형의 형태로 상부구조물을 지지하게 된다. 상부구조물의 구조형태는 전체 부선설치 플랜트의 종류, 형식, 규모에 따라 결정되나 일반적으로 구성 플랜트의 배치에 따라 각 설비를 설치할 건물과 조정과 관리를 위한 건물등이 상부구조물의 중요 항목이 된다.

BMP는 모든 종류의 육상 플랜트를 부선상에 설치하여 운용할 수 있겠으나 현재까지의 실적과 제안문헌 등을 보면 발전소, LNG저장탱크, 메타놀 플랜트, 하수처리장등이 있다. 특히 전력공급이 긴급하게 요구되는 지역에서의 부선설치 발전소의 수요가 많음을 알 수 있다. BMP의 상부구조물로는 주요 플랜트 설비외에도 저장시설, 관리시설, 지원시설등 관련 설비도 포함되어야 한다.

BMP의 설계는 상부와 하부구조물을 거의 동시에 하게 되는데 상부구조물 설계가 선행되어야 플랜트의 위치, 하중, 설비 각각의 무게중심등이 미리 하부구조물 설계자에게 제공될 수 있을 것이다. 상부구조물 설계시 육상설치용 플랜트 자체의 설계기준에 맞추어 설계를 하여야 하겠지만 여기에 더하여 BMP는 해상에 설치되어 운용되므로 부선설치 플랜트의 운반시 또는 설치 및 운용시의 해상조건도 설계 및 해석에 고려하여야 할 것이다.[13,15,16]

3. BMP 설계를 위한 부선의 구조설계 및 해석[3-13]

부선은 일반적으로 갑판, 측외판, 이중저, 종/횡격벽 및 이를 보강하는 각종 방요재와 형재들로 구성되어 있으며, 이들을 적절히 배치하여 필요한 기자재를 설치, 저장하기에 편리하고 구조적으로도 안전하게 해야한다. 이를 위한 주요구조부재의 선정방법과 구조설계기법에 대해서 고찰해 보기로 하자.

3.1 주요 구조부재 선정 방법

바지구조는 발전 또는 생산등에 필요한 각종 기자재를 설치, 저장하기에 편리하고 구조적으로도 안전하도록 설계되어야 한다.

즉, 갑판을 구성하고 있는 각종 판을 종 혹은 횡방향 방요재(stiffener)로 보강하고 이 방요재는 비교적 강성이 큰 종 혹은 횡방향 거더(girder)로 지지되며 이 거더는 기둥(pillar) 혹은 격벽(bulkhead)으로 견고히 지지된다. 구조물 내부에는 종 및 횡격벽을 적절히 설치하여 내부를 유효적절한 각종 구획실로 구분할 뿐만 아니라, 설치해역으로 이동시 요구되는 종 및 횡강도를 보유케 한다.

따라서 바지는 갑판(deck plate), 측외판(side shell plate), 저판(bottom plate), 이중저(double bottom) 및 종/횡격벽(longitudinal/transverse bulkhead)으로 구성된 격자구조(grillage structure)로 취급되는 완전수밀 상자형 부선이라 볼 수 있다. 갑판위에는 플랜트를 설치하고, 이외에도 계류장치, 헬리콥터 착륙장 및 작업원 거주실을 설치한다. 내부구획실에는 각종 보조기계와 창고 및 작업장이 설치된다. 중요한 기자재 설치 장소 및 저장실 하부에는 이중저를 설치하여 외판손상시에도 구조물을 안전하게 보호할 수 있도록 한다.

여기서 바지를 구성하는 주요부재들의 일반적인 기능 및 구조설계기법등을 정리하면 다음과 같다.

갑판

바지는 이동식 해양구조물이므로 구조물 전체의 강도와 복원성을 포함한 모든 안정성은 선급

협회 및 관계 당국의 승인을 얻어야 한다. 따라서 구조물 구성부재의 칫수는 입급선급협회 규정에 따라 결정하여야 한다. 주갑판의 설계하중은 각 선급협회에서 규정하고 있으나, 일반적으로 선주가 건조사양서에 명기하는 것이 관습으로 되어있다. 갑판은 일반적으로 610~1000 mm 간격으로 설치한 방요재로 방요되고, 이 방요재는 2~4 m 간격으로 설치한 거더로 지지된다. 이 방요재와 거더 간격의 적절한 선택은 구조물 최적설계의 가장 중요한 요소의 하나이며 인건비 및 각 조선소의 사정을 고려한 최적 설계법에 따라 적절한 방요재 및 거더 간격을 선정한다.

측구조(side structure)

해상에 따른 파도의 직접적인 영향을 받는 측외판(side shell plate), 이를 방요하는 side frame 또는 side longitudinal, 이 방요재를 지지하며 갑판 구조물의 횡강도를 부여해주는 부재인 side stringer(때로는 수평 diaphragm)등을 배치한다.

이중저(double bottom)

이중저는 바지가 설치해역으로 이동시 갑판아래 구획실에 설치 또는 저장된 기자재를 보호함과 동시에, 충분한 홀수를 얻기 위한 ballast tank의 역할도 한다. 이는 또한 바지의 종강도를 부여하게 하는 부재군의 하나로서, 그 구조는 저판(bottom plate)으로부터 1~2 m의 적절한 높이에 내저판(inner bottom plate)을 설치하고, 이들 판을 방요하기 위하여 610~1000 mm 간격으로 방요재를 설치하고, 이 방요재들은 2~4m의 적절한 간격으로 설치한 bottom floor나 3~5m 간격으로 설치한 bottom girder로 지지한 형식으로 배치한다. 따라서 이중저는 판, 방요재, bottom girder로 구성된 격자구조물 형식으로서 이중저 강도를 보유하고 있다.

격벽구조

격벽은 바지 내부를 유효적절한 구획으로 나눌 뿐만 아니라, 종격벽은 종강도를, 횡격벽은 횡강도의 주된 역할을 하는 부재가 된다. 기자재의 설치 및 저장 장소 주변에 설치한 것을 수밀격벽(watertight bulkhead), 연료, 청수, 및 해수탱크주변(wet space)에 설치한 것을 유밀격벽(oiltight 또는 deep tank bulkhead)이라고 부른다.

- 종격벽 : 주로 측구조와 더불어 preload tank를 형성하는 장소 또는 구조물 내부 구획상 필요한 장소에 설치되며 측구조와 유사한 구조형태를 가진다. 또한 측외판과 같이 종강도에 크게 기여하는 부재의 하나이다.
- 횡격벽 : 주로 좌우현 preload tank 사이에 적절한 간격으로, 또는 구조물 내부구획상 필요한 곳에 설치하며 횡강도의 주부재이다. 횡격벽의 수직방요재를 지지하는 수평종재는 바지의 깊이에 따라 0~3 열로 설치한다. 1~3열의 수평종재를 설치할 경우, 그 위치를 적절히 선택함으로써 격벽판 방요구조의 최적설계를 기할 수 있다. 수평종재로써 지지되는 각 구간의 수직방요재에 유발되는 굽힘 모멘트가 같아지도록 하는 수평종재의 배치가 가장 바람직하다.
- 수밀격벽 : 바지구조물의 일부구획 침수에 따른 일시적인 침수를 타구획으로 확산을 방지하기 위한 격벽이다.
- 유밀격벽 : preload tank 및 액체저장 탱크의 주변격벽으로서 내부액체의 동요 및 심한 부식영향을 고려하여 부재 칫수를 결정한다.

헬리콥터 착륙장(heliport)

구조물의 보수를 위한 기기의 부속품 및 보급품의 운반, 교체, 긴급환자의 수송, 기타 긴급을 요하는 업무수행을 위하여 해양구조물에는 보통 heliport를 설치한다. 육지와의 거리가 50 마일 이내이면 보급선을, 이를 초과할 경우에는 헬리콥터를 이용하는 것이 일반적인 경향이다. heliport는 갑판 상에 여유공간이 있을 때에는 갑판 상에 설치하나, 그렇지 못할 경우 거주구상부 또는 바지 외측으로 튀어나온 외팔보 구조(cantilever type truss structure) 상부에 설치한다.

3.2 선급 rule에 따른 부재 구조설계법

바지는 이동식 해양구조물이므로 구조부재와 전체구조물의 강도는 선급협회의 승인을 얻어야 한다. 여기서는 ABS rule을 기준으로 바지부재의 구조설계방법을 제시하였다.[4]

종강도(longitudinal hull-girder strength)

바지를 설치해역으로 이동할 때에는 해상상태에 따라 상자형 해상부유물에는 파랑굽힘 모멘트가 작용한다. 따라서 바지는 이와 같은 굽힘모멘트에 충분히 저항할 수 있도록 설계되어야 한다.

갑판구조

- 판 두께 : Timoshenko의 판이론에 따라 Roark가 발표한 식에 적절한 허용응력 σ_{ab}를 선택하므로서 판두께(t)를 결정할 수 있으나, 각 선급협회에서 규정하고 있는 식에 따라 재검토되어야 한다.[17]
- 방요재 : 일반적으로 방요재의 단면계수(Zr)는 다음식을 만족하여야 한다.

$$Zr = M / \sigma_{ab} \quad (cm^3)$$

위식에서 M : 최대 굽힘 모멘트(kg. cm)
σ_{ab} : 허용굽힘 응력으로서 0.6~0.66 σ_y를 취한다.

- 형재(deck transverse and deck girder) : 주부재의 과도한 처짐은 종속부재에 과도한 추가응력을 유발시키기 때문에 일반적으로 l / 360을 초과하지 않을 것을 추천하고 있다.

이중저구조

- 판(floor plate)두께 : floor plate는 이중저 내부에 설치한 종방향 방요재를 지지하는 부재이므로 갑판의 형재와 비슷한 역할을 한다. 그러나 floor plate는 저판과 내저판 사이에 있으며 bottom girder와 더불어 격자구조를 형성하고 있으므로, 굽힘모멘트에는 매우 강하다. 따라서 주로 전단응력과 좌굴강도를 고려하여 그 두께를 정한다.

측 구조(side structure)

- 외판두께 : $t = 0.0643L + 0.0075s$ (mm)

위식에서 L : 바지의 길이 (m)
s : 방요재 간격 (mm)

장소가 탱크로 사용될 때는 설계수두(h)를 이용하여 아래식을 만족하도록 한다.

$$t = s\sqrt{h}/254 + 2.54 \text{ (mm)}$$

- 방요재 : 종 방요재는 갑판 방요재와 같은 방법으로 부재 칫수를 계산한다.

격벽구조

유밀격벽의 경우 :

- 판두께

$$t = s\sqrt{h}/254 + 2.54 \text{ (mm)}$$

위식에서 h는 판바닥에서, 탱크 최상부로 부터 0.76~0.91m 까지의 거리와 overflow 최상부까지 거리의 2/3중 큰 값을 택한다.

- 방요재 : $Z_R = 7.9\ chsl^2$ (cm^3)

위식에서, c = 0.9 (양쪽 Clip지지, 한쪽 Clip지지에 한쪽 거더지지)
= 1.0 (양단 거더지지)
h : 구간의 중앙점에서 격벽판의 수두 측정점 까지의 거리(m)

수밀격벽의 경우 :

· 판 두께 : $t = s\sqrt{h}/254 + 2.54$ (mm)

위식에서 h는 판하단에서 갑판선 까지 깊이의 70%를 취한다.

· 방요재 : $Z_R = 7.9\ chsl^2$ (cm^3)

위식에서 L≥65.5m의 경우,

c = 0.56 (양단고정),

c = 0.60 (양단미고정)

L≤45m의 경우,

c = 0.46 (양단고정),

c = 0.58 (양단미고정)

3.3 전산구조해석에 의한 부선구조설계

바지선체의 설계는 해당선급의 rule에 따라 수행된다. 그러나 플랜트 탑재바지는 발전기나 터빈과 같이 매우 큰 중량의 구조물을 싣고 설치장소에서 가동되어야 하므로 항상 바지로만 간주되어서는 안된다. 따라서 rule에 따른 일반적인 설계만으로는 충분치 않으므로 해당바지의 제반 특성을 고려하여, 여러 필요한 해석이 수행되어야 한다. 바지 해석시 아래와 같은 5개의 기간으로 나누어 각 기간의 상황을 고려하여 안전성을 검토해야 한다.

· 기간 C : 건조시 (construction)
· 기간 T : 예인시 (transportation)
· 기간 I : 설치시 (installation)
· 기간 O : 가동시 (operation)
· 기간 R : 철거시 (retrieval)

그리고 안전성 검토시는 아래의 4가지 한계상태에 대해서 수행한다.

· 최종한계 상태(ULS) : 구조물의 부재에 좌굴, 대변형등이 발생하여 안정된 기능을 상실한 상태
· 사용한계 상태(SLS) : 구조물 또는 부재가 과도한 변형, 진동등을 일으켜, 정상 사용이 불가능하거나, 내구성을 잃어버린 상태
· 진행성 파괴한계 상태 (PLS) : 사고등에 의한 구조물의 손상에 의해 진행성 파괴가 발생하며 구조물이 붕괴되는 상태
· 피로한계 상태(FLS) : 구조물의 부재가 변동하중의 반복된 작용에 의해 피로 파괴되는 상태

하중의 분류

구조물에 작용하는 하중을, 다음 5개로 분류해서 고려한다.

· 영구하중(P) : 중력에 의해서 유발되는 하중으로서 변하지 않음(구조물 자중, 정수압등)
· 활 하중(L) : 가동 또는 통상의 사용으로 인하여 유발되는 하중(저장물의 중량, 저장물의 내압, 기기조작하중, 계선하중등)
· 변동하중(D) : 변형으로 인하여 유발되는 하중, (prestress력, 온도, 크리프, 수축에 의한 하중등)
· 환경하중(E) : 바람, 파도, 조류, 지진등 환경조건에 의하여 발생하는 하중
· 사고하중(A) : 사고등의 예외적인 조건에 의하여 발생하는 하중(충돌, 화재, 유사이래 최대급의 지진등)

재료계수

재료계수는 아래사항들을 고려하기 위한 것이다.

· 재료강도의 특성치에 대한 고려
· 재료강도 시험치와 실제 사용된 상황에서 재료강도의 차이에 대한 고려
· 강도의 결정과정 중 내재력의 불확실에 대한 고려

하중계수

하중계수는 아래 사항들을 고려하기 위한 것이다.

- 하중의 특성치에 대한 고려
- 여러개의 하중이 동시에 작용할 가능성에 대한 고려
- 하중의 구조물에 대한 효과

바지의 안정성 해석

바지의 안정성에 대한 검토는 파력, 조류력, 풍력등의 일반 환경하중과 지지력에 대해서 행해야 된다. 그러나 전자가 바지의 동요, 전복에 대한 검토임에 대해서, 후자는 전복을 금지하고, 동요에 대해서는 바지탑재설비의 기능을 잃지 않는 범위에서 이것을 허용한다.

- 바지로서의 안정성 검토기간 (T)

바지의 예인시 안정성은, 파랑등에 의해서 바지의 경사가 생길 때에 충분한 복원성능을 가지고 있는가의 여부에 따라 정해진다. 이것을 처리하는 지표로서 메타센터 높이(GM)가 충분한 값을 가지고 있음을 확인하는 것에 의해, 예인시의 안정성을 보증하는 것이 된다.[18]

- 착저후의 안정성 검토 기간(I 및 O)

착저후 바지의 안정성 해석은, 지반의 지지력 및 전단저항력이 외력에 대해서 충분히 안정함을 증명하는 것이다.

i) 지반의 지지력 검토

지반의 지지력은, 전연직력을 유효기초면적에서 제하고 구해진 설계지반력보다 크지 않으면 안된다.

ii) 지반의 전단저항력의 검토

지반 전단저항력은, 전수평력을 유효기초면적에서 제하고 구해진 설계전단력 보다 크지 않으면 안된다.

바지전체의 구조강도 검토

바지의 예인시 파랑굽힘모멘트 및 전단력과 착저후의 하중에 의한 굽힘모멘트 및 전단력은 바지의 허용력보다 작다는 것을 확인하여야 한다. 또, 콘크리트 구조물의 경우 전체 굽힘모멘트에 대해서는, 그 굽힘모멘트에 의한 저판 및 갑판에 축인장력이 작용하지 않는 형태의 prestress를 도입하는 것에 의해 저항하는 구조로 한다. 바지의 전체전단력에 대해서는, 바지의 외벽 및 격벽의 콘크리트의 전단저항력 및 그들의 벽에 도입한 prestress의 축력에 의한 전단저항력에 의해 저항하는 구조로 한다.

- 부재강도의 검토

부재강도의 검토는 바지를 구성하는 각 부재가 전체 기간을 통해서 각 한계상황(ULS, SLS, PLS, FLS)에 대해서 안전한지를 확인하는 것이다. ULS 및 SLS의 검토는 DnV의 규칙에 따라 ULS에 대해서는 부재의 최종내력이 외력에 대해서 충분히 안정하다는 것을 조사하고 SLS에 대해서는 사용시 응력이 DnV규칙의 허용응력 보다 작다는 것을 조사하는 것이다.[6]

i) ULS에 대한 검토

ULS에 대한 검토는 설계하중강도 P_d가 최종한계하중 P_u 보다도 작지 않다는 것이 확인되면 된다. 그때의 최종한계하중강도는 항복선이론에 의해서 산출된다.

ii) SLS에 대한 검토

SLS에 대한 검토로서 균열폭, 변형량등의 제어를 행한다. DnV 규칙에 의하면 균열폭의 제어는 철근의 응력도를 일정수준이하로 유지하지만, 이전에는 균열폭을 직접 산정하는 것에 의해 행한다.

내진성의 검토

- 검토방법

연착저식구조물의 내진설계에 관해서는 그림 1과 같은 과정에 따라 내진성 검토를 한다.

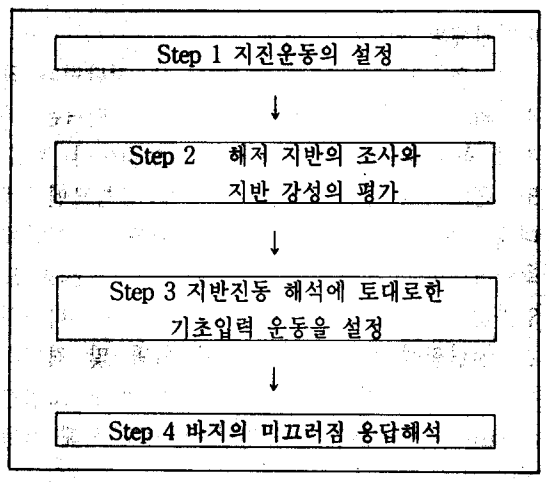


그림 1 내진성의 검토 과정

· 내진성의 검토

i) Step 1 : 지진운동의 설정

내진해석에 사용되는 지진운동의 최대 가속도는 설치점의 주변에서 일어난 과거의 지진의 통계적 검토 및 구체적인 가정에 따라 정한다.

ii) Step 2 : 지진강성의 평가

해저지반은 해저지반의 보링자료등을 기초로 모델화 한다. 지반의 초기전단 강성에 대해서는 리차드의 제안식 등으로 계산해서 응답결과를 비교한다.

iii) Step 3 : 지반진동해석

일차원파동론에 의해서 지반의 강성저하를 등가선형법으로 모델화하여 비선형해석을 행한다. 지반강성의 모델화 방법은 입력지진파에 의해서 결과는 달라지지만, 해저면에서의 가속도, 즉 바지에서의 입력가속도 300 gal 정도가 적당하다고 생각된다.

iv) Step 4 : 미끄러짐 응답해석

동수압은 부가질량으로 평가하고, 마찰계수는 실험 결과를 토대로 정한다.

4. 결론

본 소고에서는 해양공간 이용 대형 복합 플랜트(BMP)의 개념 설계를 위하여 여러가지 인자를 검토하였으며, BMP의 구조설계 관점에서 접근기법 등에 대해서 기술 하였다.

BMP의 설계는 많은 분야의 연구가 종합적으로 이루어진 후 가능할 것이나, 구조설계 관점에서는 몇가지 결론을 내릴 수 있겠다.

첫째, BMP의 제작 및 설치, 운용은 여러 가지 현행규칙이나 국가법규등의 제약을 받지만, 구조적 관점에서 보면 각종 선급 규칙이나 고정식 및 부유식 해양구조물의 규칙을 적용하여 설계 및 해석을 수행하면 초기 설계시에는 큰 무리가 없다. 그러나 2차적인 사항, 즉 플랜트의 탑재 상황, 을 고려한 BMP 구조설계는 기존의 방법에서 한 차원 더 개발된 새로운 설계기법이 요구된다.

둘째, BMP의 하부구조물은 주로 바지형태로 제작되어 그위에 산업시설인 상부구조물이 탑재된다. 하부 및 상부구조물의 설계는 플랜트 엔지니어링과 조선기술이 결합되어 진행되며 기존의 해상용 바지, 고정식 및 부유식 해양구조물의 구조를 "Parent Ship" 으로 간주하여 참조하면 된다.

셋째, BMP 설계 및 해석에 있어서 상부 플랜트 설계는 각종 시설들의 배치, 적당한 사양의 장비선택을 수행하는 것으로서, 이는 플랜트 엔지니어링 분야로 전문회사 및 전문가의 설계가 요구된다. 상부플랜트 설계가 선행되어야 하부구조물의 설계가 원활히 수행될 수 있다.

넷째, 본 소고에서는 부유식 해상구조물의 구조설계를 위한 설계기법으로, 선급 rule에 의한 설계/해석방법 및 전산구조해석에 의한 설계/해석방법을 검토였으며 이 방법들은 향후 실질적인 BMP 설계를 위한 기본지침으로 사용될 수 있겠다.

참 고 문 헌

[1] 한국기계연구원, 해양공간이용 대형 복합 플랜트 개발, 연구기획사업 공청회 자료, 1996

[2] 조규남, "BMP설계를 위한 구조해석 연구", 대한조선학회 선구회 논문집, 1995

[3] Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms, API RP 2A Sixteenth Edition, American Petroleum Institute, 1986
[4] Rules for Building and Classing, American Bureau of Shipping, 1985
[5] Rules and Regulations for the Classification of Ships, Part 7 Other Ship Types and Systems, Lloyd's Register of Shipping, 1989
[6] Rules for Classification of Steel Ships, Det Norske Veritas, 1989
[7] 이재신, 해양구조물 설계개요, 광문출판사, 1989
[8] 해저석유개발을 위한 Offshore Platform 설계기술개발, 제1권 서론 및 제반 하중, 한국과학기술원, 1985
[9] 해저석유개발을 위한 Offshore Platform 설계기술개발, 제2권 Deck 구조설계, 한국과학기술원, 1985
[10] 해상에네르기 총합플랜트 시스템 연구개발 조사보고서, 일본해양개발 산업협회, 1983
[11] 착저형 해상 석탄 화력 발전 시스템의 연구개발 보조사업성과보고서, 일본해양개발산업협회, 1987
[12] 해저석유개발을 위한 Offshore Platform 설계기술개발, 제4권 기초해석 및 설계, 한국과학기술원, 1985
[13] Yoon, H.W., Keller, J.J., "Design and Construction of Khanom Barge Mounted Power Plant", Proceeding of the American Power Conference, 1989
[14] 조규남, 해양구조물의 설계 해석론, 일중사, 1994
[15] 고왕인, "부유생산개념의 도입과 전망", 대한광산학회지 Vol. 22, 1985
[16] 과학기술처, 현대중공업, 한국형 해저원유 초기 생산 시스템 개발, 현대 종합연구소, 1986
[17] Roark, R. J., Young, W. C., Formulas for Stress and Strain, McGraw-Hill Book Co., 1975
[18] Lewis, E. V., Principles of Naval Architecture, Second Edition, SNAME, 1988