



해상 석탄하역 시설의 구조해석

남 이 현* 서 봉 재**

1. 서 론

여러 해상 구조물들 중에서 화력발전소 연료인 석탄의 하역 부두시설에 대해 실제 설계측면에서 기술하고자 한다. 지형조건, 특히 수심에 따라 해안선과 평행하게 구축될 수 있는 단순 콘크리트 구조 또는 해안선에 직각방향으로 구축될 수 있는 jetty 구조로 양분될 수 있으며, 석탄운반선의 배수량이 200,000 DWT급의 대형선이며 깊은 수심조건이 요구되므로 steel pile의 하부구조 및 철골과 콘크리트 혼합 구조물의 상부 구조의 jetty로 이루어진다

이 구조에는 여러 부속물 및 다른 구조물들이 있지만 여기에서는 jetty steel structure에 국한하여 방법 및 설계조건에 대해 설명하고자 한다.

Jetty steel structure 설계방법으로는 허용응력설계법(ASD) 및 하중저항계수설계법(LRFD)이 널리 사용되고 있으며, 허용응력설계법은 부재의 응력을 선형탄성해석에 의하여 구하며 기하학적 비선형성은 설계식에서 보완하는 형식을 취하며, 하중저항계수설계법은 선형탄성해석을 한 후 기하학적 비선형성을 고려하는 형식이나, 상기 두 방법의 해석결과

큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타나고 있다.

2. 구조물의 개요

- Approach Jetty : 길이-1886m, 폭-12m, 높이-12m
- Main Unloading Pier : 길이-280m, 폭-24m, 높이-15m
- Mooring Dolphin : 지름-2.6m, 개수-9개
- Breasting Dolphin : 지름-2.8m, 개수-8개
- 수심 : 0.0m~25.4m

3. 설계개요

이 구조물은 전체길이가 2.8km 이상의 대형 구조물로 설계조건이 육상조건보다 까다로우며, 특히 wave 조건이 이 구조물 설계에 중요한 요소로 작용하게 된다. 일반적으로 심해 및 천해에 따라 wave length 및 주기가 다르며, 각 수심에 따른 wave 이론이 세워져 있다. 일반적으로 많이 이용되는 wave 이론으로는 Stream Function Theory,

* 현대 중공업 설치기술부, 차장

** 현대 중공업 설치기술부, 과장

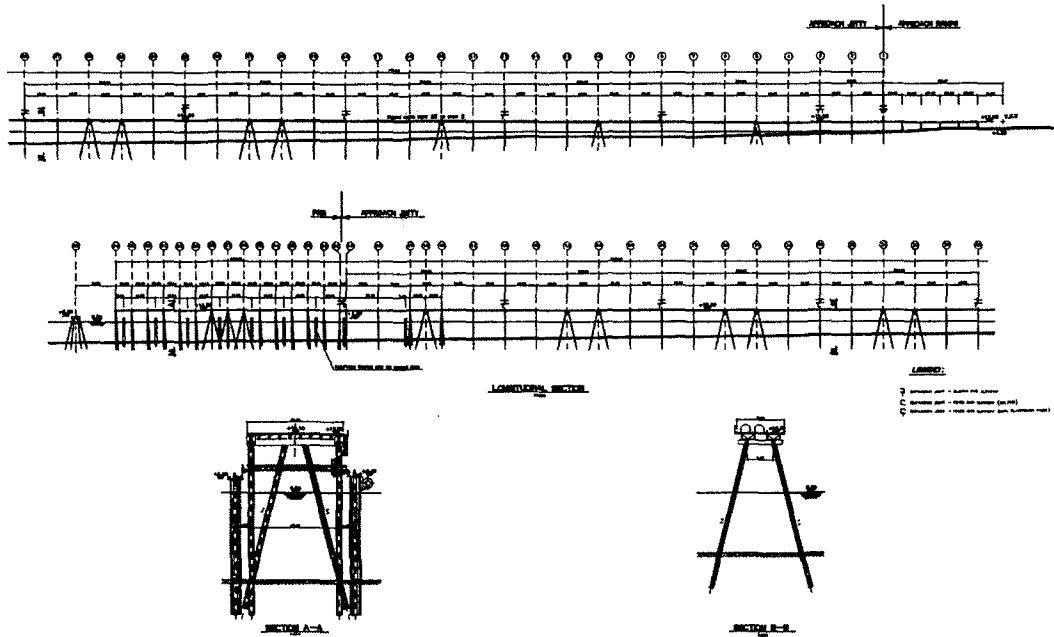


그림 1 단면도

Cnoidal Wave Theory, Stocks 5th Theory 등이 있으며, 본 해석에서는 Cnoidal Wave 이론이 적용되었다. 구조물 길이에 비해 wave length가 비교적 짧기 때문에, 2.8km구간 내에 여러 개의 wave crest 및 trough가 존재하게 되어 각 wave가 구조물에 미치는 외력이 매우 복잡한 형태로 나타나게 된다. 따라서 이 구조물을 일체의 한 구조물로 설계하기에는 무리가 따르므로, 일정한 길이마다 하나의 독립된 군으로 나뉘어진 구조물로 되어야 경제적인 설계라 할 수 있다. 각군의 구조물 사이에는 상대변위가 다르므로, 컴퓨터 해석을 통하여 그 값을 구한 후 각군 구조물 사이에 상대변위를 흡수할 수 있는 expansion joint를 설치함으로써 구조적인 안정성을 확보하게 된다.

본 구조물 해석을 위해 사용되었던 컴퓨터 프로그램은 steel structure 해석용의 SACS, StruCAD *3D, soil과 steel pile의 거동해석용으로 LPILE이 사용되었다.

4. 컴퓨터 프로그램 소개

* SACS (Structural Analysis Computer System)
SACS는 미국 EDI사에서 개발된 프로그램으로

로 주로 해상구조물의 설계용으로 많이 사용되어지고 있으며, 프로그램의 구성은 아래와 같은 각각의 Module로 구성되어 있다.

- PRECEDE : Interactive Full Screen Color Graphics Modeler
- SACSDGN : Interactive data generation for all programs
- SEASTATE : Environmental Loads Generator
- SACS IV : Static and F.E Analysis, Code Check & Redesign
- SUPERELEMENT : Automated Substructure Creation and Application
- POSTVUE : Interactive Graphics Postprocessor
- REVIEW : Interactive Code Checking and Post Plotting
- JOINT CAN : Tubular Joint Code Check and Redesign
- FATIGUE/IFATIGUE : Fatigue Life Evaluation and Redesign
- CONE : Conical Transition Code Check and Redesign

- PSI : Pile Structure Interaction
- PILE : Isolated Pile Analysis
- COMBINE : Common Solution File Utility
- PROBABILITY : Statistical Analysis
- DYNPAC : Dynamic Characteristics
- WAVE RESPONSE : Dynamic Wave Response
- DYNAMIC RESPONSE : Dynamic Response and Earthquake Analysis
- LAUNCH : Jacket Launch Analysis
- FLOTATION : Jacket Floation and Upend-ing Analysis
- SACS TOW : Transportation Inertia Load Generator
- GAP : Non-linear Analysis with One-way Ele-ments
- MTO : Material Take-off and Cost Estimation
- LDF : Large Deflection Analysis
- RIGID : Rigid Body
- SACS3D : 3-D Structural Plotting & F.E Modeler
- PRECAD : Full Screen Drafting and Detailing

- 1200 on 6-12 ton axles @ 1.7m spacing
- Four outrigger point loads, 35tons maximum, on 0.5×0.5 base plates at 5.3m spacing
- Deformation Loads : The design temperature variation shall be 20C
- Seismic Loads : Seismic Zone factor Z=0.075
Base Shear=0.06g
- Wind : Maximum base wind velocity (44m/sec)
- Current : 2.0m/sec
- Wave : Cnoidal wave theory (Hs=8.7m, T=15sec)
- Soil : Clay with sandstone
- Scour : Global 2m, Local 3m from seabed

본 해석을 위해 다음과 같은 하중조합이 사용되어진다.

- (a) 1.3P+1.3L+1.0D+1.3E (at Hs=2.5)
 - (b) 1.3P+1.3L+1.0D+0.7E (at Hs=8.7)
 - (c) 1.0P+1.0L+1.0D+1.3E (at Hs=8.7)
 - (d) 1.3P+1.3L+1.0D+0.7E (at Hs=7.5)
- P - Dead Loads
L - Live Loads
D - Deformation Loads
E - Environmental Loads

5. 설계예제

5.1 구조물 형상

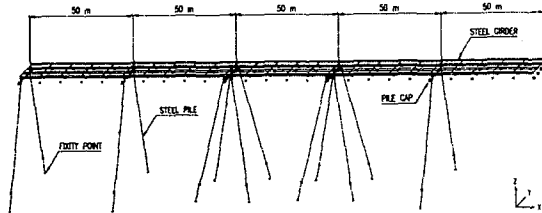


그림 2 구조물 형상

5.2 설계조건

- Conveyor Loads : Dead Load-400kg/m, Live Load-320kg/m
- Other Live Loads : Uniformly Distribution Load (U.D.L)-0.5t/cm²
Knife Edge Load (K.E.L)- 4.0t/m
- Travelling Crane Load : 72ton Liebherr LTM

5.2.1 Slamming Force

본 해석에서 구조물 상부에 미치는 slamming force는 아래식에 따라 계산되어지며, 실제 max. wave height에서 그 크기는 무시 할 수 없는 요소로 고려되어져야 한다.

$$F_s = \frac{1}{2} PC_s C_b^2 A$$

- δ = mass density of fluid (10.1kN/m³)
- C_s = 3.0 slamming coefficient
- A = area impacted by upper 10% of wave crest
- C_b = velocity of water surface normal to the surface of the member (m/sec)

- crest elevation of wave H =15.30m ; T=15sec ;
d=18.60m : +30.80m(12.8 above m.s.l.)
- surface horizontal velocity : 21.63m/sec

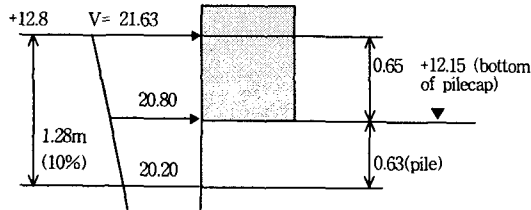


그림 3 Slamming force

5.2.2 Steel Pile K Value

1) four pile bents : $K_y=K_z=0.85$

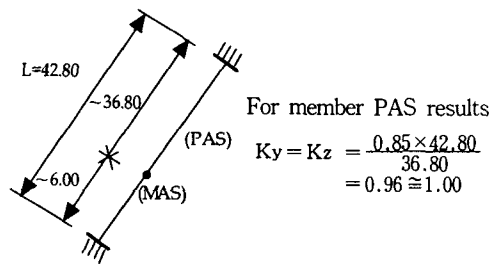


그림 4 Four pile bents

2) two pile bents; $K_y=1.00$; $K_z=0.85$

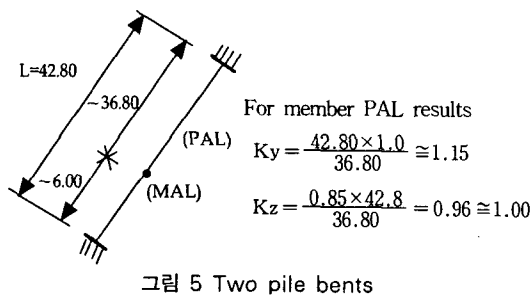


그림 5 Two pile bents

5.3 경계조건

본 해석에서의 soil과 steel structure와의 boundary condition을 구하기 위해 모든 steel structure pile의 fixity point는 sea bed로부터 식 $[1.85 T + 5.00m(\text{general erosion} + \text{local scour})]$ 에 따라 구하였다.

여기서,

$$T = (E I / K)^{0.20}$$

$$K = 1350 T / m^3 = 1.35 \text{ kg/cm}^2$$

(horizontal soil modulus)

$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2$$

$$I = 1.91 \times 10^6 \text{ cm}^2 \text{ (longest file } 52'' \times 7/8'')$$

따라서, $T=3.13m$, steel pile의 fixity point는 sea bed로 부터 11m

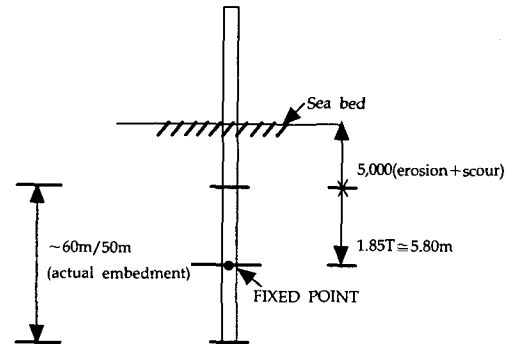


그림 6 Fixed point

5.4 해석

본 해석에서 구조물의 모든 load case를 고려하는 것은 매우 중요한 요소가 되고 있으며, 설계조건에서 load combination을 제시 했지만, 실제적인 컴퓨터 해석을 위해 아래와 같이 기본적인 load case와 각 load case 조합에 대해 서술 하고자 한다.

5.4.1 기본 Load Cases

- N° 1 Piles and pile caps weight
(calculated by SACS Program)
- N° 2 Main longitudinal beams weight
- N° 3 UDL on first span of portion and on fifth span of previous portion
- N° 4 UDL on second span
- N° 5 UDL on third span
- N° 6 UDL on fourth span
- N° 7 UDL on fifth span
- N° 8 K.E.L. on first pile cap
(first for service ptf)
- N° 9 K.E.L. on second pile cap
(third for service ptf)
- N° 10 K.E.L. on third pile cap
(fourth for service ptf)
- N° 11 K.E.L. on fourth pile cap
(fifth for service ptf)
- N° 12 wave+current-crest position $L=0.00m$ $\delta=0.00$
- N° 13 slamming on pile cap $L=0.00m$ $\delta=0.00$

2. AISC(American Institute of Steel Construction),
Manual of Steel Construction Load and Resistance Factor Design, Second Edition, 1994
3. ANSI/AWS(American Welding Society) Structural Welding Code D 1.1-92
4. DNV(Det Norske Veritas) Classification AS Publications, *Rules for Classification of Fixed Off-Shore Installations-Structural-Design General*, (Part 3, Chapter 1) July, 1993 