

태풍 시 플로팅도크 안벽 계류 로프 설계

김호경

국립목포대학교 조선해양공학과

Design of quay mooring rope of Floating Dock against Typhoon

Ho-Kyeong Kim

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Mokpo National University

요약 플로팅도크는 육상에서 건조된 선박을 해상으로 진수하기 위한 주요한 설비이다. 2000년대 초반 국내에서 육상에서 건조한 선박을 플로팅도크를 이용하여 진수할 수 있는 육상 건조 공법이 개발 적용됨에 따라 드라이도크에 대한 투자 없이 신조 사업에 참여할 수 있는 기회가 대폭 확대되었다. 본 논문에서는 이러한 육상 건조 공법을 활용하여 드라이도크를 보유하지 않은 중소기업에서 건조한 선박을 진수시킬 수 있는 플로팅도크의 안전한 계류를 위한 기본 계산을 수행하고 이를 기반으로 계류 시스템을 설계하였다. 본 논문은 적재 중량 4,000 Ton급 플로팅도크를 대상으로 하여, 플로팅도크가 설치되어 운영될 대불부두의 환경 요건 중 가장 심각한 상황인 태풍 상황을 고려하여 수행되었다. 설계 하중의 계산은 국제적으로 통용되는 기준을 따라 풍하중, 조류하중, 파에 의한 하중을 고려하였다. 대불 부두의 기존 계류 설비를 활용하여 플로팅 도크의 계류 로프 초기 배치를 수행한 후 주어진 하중에 따라 계류 로프별로 최소 파단 강도를 계산하였다. 계산 결과를 바탕으로 최소 파단 강도를 줄일 수 있도록 계류 배치를 일부 수정하였으며 최종 계류 라인의 규격을 선정하였다.

Abstract A floating dock is the main facility for launching ships. In the early 2000s, ship-launching technology using floating docks was developed in Korea. Therefore, the opportunity to participate in new construction projects without investment in dry docks has expanded. In this paper, a basic calculation for the safe mooring of a floating dock was performed, and a mooring system was designed based on this. This study was conducted considering the typhoon situation, which is the most serious environmental requirements of Daebul Pier, a site to be installed and operated, for a floating dock. The design load was calculated by wind load, tidal load, and wave-induced load in accordance with the internationally accepted standards. After performing the initial arrangement of the mooring line of the floating dock using the existing mooring facilities of Daebul Pier, the minimum breaking load for each mooring line was calculated for the given load. Based on the calculation, the mooring arrangement was modified to minimize the breaking load, and a final specification of each mooring line was selected.

Keywords : Floating Dock, Launching, Mooring Arrangement, Typhoon Situation, Mooring Line

1. 서론

플로팅도크는 육상에서 건조된 선박을 해상으로 진수하기 위한 주요한 설비이다. 전통적으로 대형 선박은 드

라이도크에서 최종 완성되어 드라이도크에 주수 후 도크 게이트를 개방하여 진수하는 방식을 따르게 된다. 이러한 방법은 드라이도크라는 거대한 기반 시설이 필요하게 되므로 신조선 시장 진입의 진입 장벽이 되어 왔다. 2000

본 논문은 2019학년도 목포대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Ho-Kyeong Kim(Mokpo Univ.)

email: crossho@mokpo.ac.kr

Received June 4, 2020

Accepted September 4, 2020

Revised August 28, 2020

Published September 30, 2020

년대 초반 국내에서 육상에서 건조한 선박을 플로팅도크를 이용하여 진수할 수 있는 육상 건조 공법이 개발 적용됨에 따라 드라이도크에 대한 투자 없이 신조 사업에 참여할 기회가 대폭 확대되었다[1].

본 논문에서는 이러한 육상 건조 공법을 활용하여 중소기업에서 건조한 선박을 진수시킬 수 있는 플로팅도크의 안전한 계류를 위한 기본 계산을 수행하고 이를 기반으로 계류 시스템을 설계하였다[2,3]. 계류 장치는 부두나 안벽에 선박을 안전하게 접안하기 위한 목적으로 사용되는 접안용 로프 및 로프의 고정을 위한 블라드, 비트 등을 지칭한다. 접안용 로프는 안벽과 선박의 상대 운동을 구속하는 역할을 수행하며 이 과정에서 외부 하중에 의해 파단이 발생하지 않도록 충분한 강도를 가지도록 설계되어야 한다. 이를 위하여 플로팅도크가 운영될 대물부두의 환경 조건과 안벽 설비를 우선 검토하여 설계 하중과 계류 배치 초안을 작성하였다[4,5]. 계류 설계 환경 조건으로는 풍속, 조류, 파고에 의한 하중을 고려하여야 하며, 이러한 설계 하중은 국제적으로 통용되는 API Recommended Practice 2SK Third Edition에 의해 계산하였다[6]. 이 하중을 바탕으로 태풍 시에 플로팅도크가 안전하게 계류될 수 있는 계류 로프의 규격을 최종 선정하였다.

2. 본론

2.1 플로팅도크 제원

플로팅도크의 계류는 플로팅도크의 제원과 운영(operation) 정보, 계류 위치 정보, 환경 조건에 따라 설계되어야 한다. 본 논문에서 대상으로 삼는 플로팅도크는 대물국가산업단지 내 대물부두에서 운영될 예정인 적재중량 4,000 Ton급 플로팅도크를 대상으로 수행하였다. 해당 플로팅도크는 서남권에 위치한 여러 중소 블록제작업체들의 경영 위기 극복을 위하여 100m급 선박의 신조를 위한 공동 기반 구축을 위하여 도입이 진행되고 있으며 Fig. 1에 표시한 바와 같이 대물부두에 배치되고 운영되게 된다. 플로팅도크의 주요 제원은 Fig. 2 및 Table 1과 같다.

공용부두로 사용되고 있는 현지의 운영 효율화를 위하여 플로팅도크의 계류는 세 가지 경우에 대하여 상이하게 설계하였다. 계류로프의 구분을 위하여 선수 쪽과 연결된 로프는 FB, 선미 쪽은 FS, 앵커 쪽은 FH로 표기하였다.



Fig. 1. Operating site

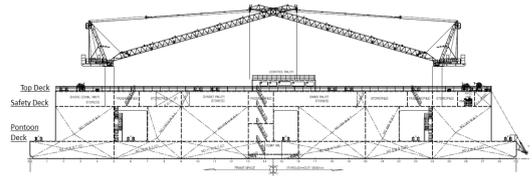


Fig. 2. Floating dock profile

Table 1. Principal particular

| | |
|------------------------------------|----------|
| Length O.A.(Overall) | 114.40 m |
| Length B.P.(Between Perpendicular) | 104.40 m |
| Breadth (outside) | 34.00 m |
| Breadth (inside) | 28.00 m |
| Depth (pontoon) | 3.50 m |
| Depth (top deck) | 13.50 m |
| Draft | 3.00 m |

우선 플로팅도크의 본 임무인 선박의 적재작업(load out)이 진행될 때에는 적재되는 선박의 진입과 진수를 위하여 Fig. 3(a)와 같이 안벽에 수직인 상태로 계류되도록 4개의 계류 로프를 배치하였다. 평상시에는 안벽의 활용률을 높이기 위하여 Fig. 3(b)와 같이 안벽의 끝부분에 안벽과 평행으로 계류되도록 4개의 계류 로프와 1개의 본선 앵커를 배치하였다. 태풍을 고려한 비상시에는 안전을 위하여 Fig. 3(c)와 같이 안벽과 플로팅도크의 한 면이 완전히 접하도록 10개의 계류 로프를 배치하였다.

플로팅도크가 운영될 지역의 기상 조건을 바탕으로 도출된 설계 요구 조건은 Table 2와 같다.

Table 2. Weather conditions

| Item | | Value |
|--------------------|-----------|-------------|
| Wind speed | Ordinary | 16 m/sec |
| | Load-out | 10 m/sec |
| | Emergency | 55 m/sec |
| Wave height | | 2.0 m |
| Current speed | Normal | 1.029 m/sec |
| | Discharge | 3.0 m/sec |
| Seafloor condition | | Mud |

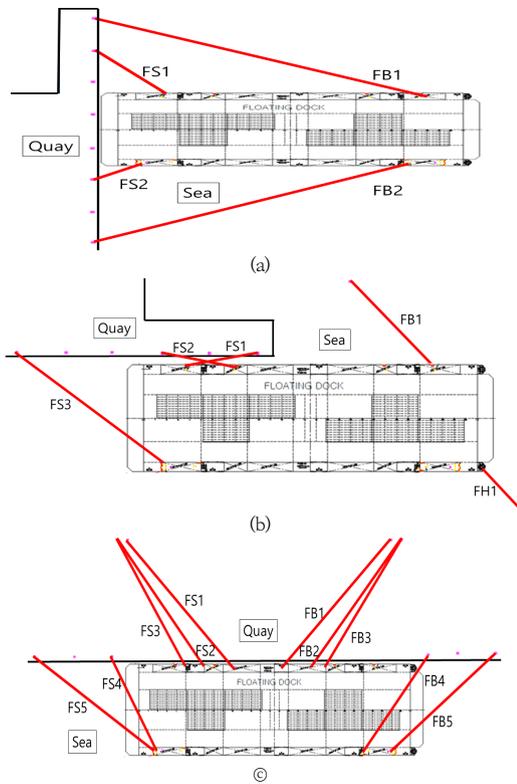


Fig. 3. Mooring arrangement
(a) Load-out (b) Ordinary (c) Emergency

바람은 플로팅도크가 일상적으로 계류되는 경우와 진수작업을 하는 경우, 태풍 등 비상 상황에 따라 세 가지 경우로 고려하였다. 적재작업 시에는 일기가 좋은 날을 택하여 작업을 진행함에 따라 일상 계류 시보다 낮은 풍속을 고려하게 된다. 조류의 경우는 설치될 부두의 상류에 위치하는 영산강 하구둑의 방류 시와 평상시의 조건에 따라 두 가지 경우를 고려하였다.

2.2 설계 하중

설계 하중은 API Recommended Practice 2SK Third Edition에 기초하여 풍하중, 조류하중, 파력을 합산하여 계산하였다[6].

풍하중은 식 (1)과 같이 계산한다.

$$F_w = C_w \sum (C_s C_h A) V_w^2 \quad (1)$$

여기서, F_w : 풍하중 (kgf),

$$C_w: 0.0625 \text{ kgf sec}^2/\text{m}^4,$$

C_s : 형상계수,

C_h : 높이 계수,

A : 수직 단면적(m^2),

V_w : 풍속 (m/sec)

태풍 시의 풍하중 계산을 위하여 각각의 계수 및 단면적은 Table 3,4와 같이 높이에 따라 계산하였으며, 해수면 10m 이상에서의 1분간 평균 풍속 55m/s를 고려하였다.

Table 3. Area and coefficients for longitudinal direction

| Height(m) | | C_s | C_h | $A(\text{m}^2)$ |
|-----------|-------|-------|-------|-----------------|
| over | below | | | |
| 0.0 | 15.3 | 1.00 | 1.00 | 109.5 |
| 15.3 | 30.5 | 1.50 | 1.18 | 17.3 |
| 30.5 | 46.0 | 1.00 | 1.31 | 0.0 |

Table 4. Area and coefficients for transverse direction

| Height(m) | | C_s | C_h | $A(\text{m}^2)$ |
|-----------|-------|-------|-------|-----------------|
| over | below | | | |
| 0.0 | 15.3 | 1.00 | 1.00 | 1178.7 |
| 15.3 | 30.5 | 1.50 | 1.18 | 160.9 |
| 30.5 | 46.0 | 1.00 | 1.31 | 0.0 |

조류하중은 식 (2)와 같이 계산한다.

$$F_c = C_{ss} (C_d A_c + C_d A_f) V_c^2 \quad (2)$$

여기서, F_c 는 조류하중 (kgf),

$$C_{ss} \text{ 는 조류계수}(52.57 \text{ kgf sec}^2/\text{m}^4),$$

C_d 는 항력계수,

A_c 는 수선 하부 원통 투영 단면적(m^2),

A_f 는 수선 하부 평면 단면적(m^2),

V_c 는 조류속도 (m/sec)

여기서, 플로팅도크 수선면 하부 형상은 전부 평면이므로 C_d 는 1.5를 적용하였고, 태풍 시의 플로팅도크 계류 배치가 안벽과 수평이므로 조류의 방향은 선수 방향으로 하구둑 방류 시의 조건을 사용하였다.

파에 의한 하중은 Fig. 4를 이용하여 계산한다. 파에 의한 하중 역시 선측에서 발생하는 파에 의한 하중은 플로팅도크가 안벽과 접하여 있는 배치 특성으로 고려할 필요가 없고 선수 방향의 파에 의한 하중만을 고려하였다. 플로팅도크가 설치될 해역의 유효파고를 고려하여 Fig. 4의 그래프로부터 파에 의한 하중을 계산하였다.

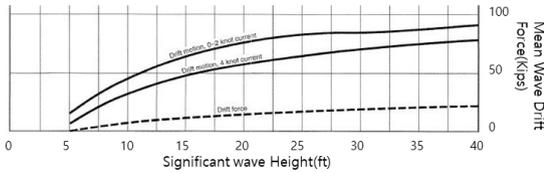


Fig. 4. Wave drift force(bow seas)

최종 설계 하중은 위의 각 성분에 대하여 계산한 값을 합산하여 식 (3)에 의해 계산하였다.

$$F_T = F_w + F_c + F_d \quad (3)$$

여기서, F_T : 최종합력 (kgf),

F_d : 파에 의한 하중(kgf)

바람, 파, 조류 등이 작용하는 방향의 변화에 따른 설계 하중의 계산은 식 (4)에 따른다.

$$F_\phi = F_x \left[\frac{2\cos^2\phi}{1+\cos^2\phi} \right] + F_y \left[\frac{2\sin^2\phi}{1+\sin^2\phi} \right] \quad (4)$$

여기서, ϕ 는 외력 작용 방향,

F_x 선수 방향 외력 작용 시 하중,

F_y 선측 방향 외력 작용 시 하중

하중의 방향(ϕ)은 Fig. 5와 같이 선미에서 선수 방향을 0도로 하고, 시계 방향으로 15도씩 증가시키면서 90도까지 계산하였다.

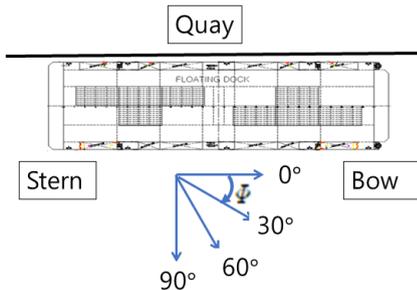


Fig. 5. Loading direction

위와 같이 태풍 시의 계류 조건을 고려하여 각각의 하중을 계산한 결과는 Table 5와 같다. 하중의 계산 결과를 보면 외력 중 바람에 의한 하중이 지배적이며, 하중이 작용하는 면이 최대가 되는 선측 방향에서 바람이 작용하는 경우가 가장 큰 값을 보임을 확인할 수 있다.

Table 5. Environmental forces(ton)

| Environment | Direction(degree) | | | | | | |
|-------------|-------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 |
| Wind | 30 | 68 | 149 | 226 | 276 | 301 | 308 |
| Current | 7 | 6 | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 |
| Wave | 10 | 9 | 8 | 7 | 4 | 1 | 0 |
| Total | 47 | 84 | 163 | 237 | 283 | 303 | 308 |

2.3 태풍 시 계류 해석

계산된 하중을 바탕으로 각각의 계류 로프에 걸리는 인장력을 계산하고 안전율을 고려하여 계류 로프의 규격 요구사항을 결정하였다. 이때 각 계류 로프에 걸리는 인장력은 모든 계류 로프가 정상 상태일 경우와 어느 한 로프가 파손된 상황을 모두 고려하여야 한다. 각각의 계류 로프에 발생하는 인장력은 플로팅도크를 강체로 보고 플로팅도크의 중심부에 설계 하중을 가한 상태에서 부정정 해석을 통하여 계산할 수 있다. Fig. 3(c)와 같은 계류 배치에 따라서 정상 상태의 각 계류 로프에 걸리는 장력을 계산하면 Table 6과 같다.

Table 6. Tension in intact condition (ton)

| Line | Direction(Degree) | | | | | | |
|------|-------------------|----|----|----|----|----|----|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 |
| FS1 | 21 | 28 | 39 | 42 | 33 | 36 | 37 |
| FS2 | 20 | 27 | 37 | 40 | 35 | 40 | 41 |
| FS3 | 19 | 25 | 34 | 37 | 38 | 44 | 45 |
| FS4 | 44 | 58 | 82 | 87 | 69 | 49 | 50 |
| FS5 | 34 | 45 | 64 | 68 | 54 | 28 | 24 |
| FB1 | 0 | 4 | 14 | 25 | 34 | 39 | 40 |
| FB2 | 0 | 5 | 14 | 26 | 35 | 40 | 42 |
| FB3 | 0 | 5 | 15 | 28 | 39 | 45 | 46 |
| FB4 | 0 | 6 | 19 | 35 | 48 | 55 | 56 |
| FB5 | 0 | 3 | 9 | 16 | 23 | 26 | 26 |

파손 상황의 계산은 하나의 계류 로프가 기능을 상실한 경우로 가정하여 나머지 9개 로프에 걸리는 장력을 계산하였다. 예를 들어 FS1 로프가 손상된 경우 나머지 계류 로프에 발생하는 장력은 Table 7과 같다.

Table 7. Tension in FS1 line damaged condition (ton)

| Line | Direction(Degree) | | | | | | |
|------|-------------------|----|----|-----|----|----|----|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 |
| FS1 | - | - | - | - | - | - | - |
| FS2 | 23 | 31 | 43 | 46 | 38 | 44 | 45 |
| FS3 | 21 | 28 | 40 | 42 | 42 | 48 | 50 |
| FS4 | 50 | 67 | 94 | 100 | 80 | 54 | 56 |
| FS5 | 40 | 52 | 73 | 78 | 62 | 33 | 26 |
| FB1 | 0 | 5 | 15 | 28 | 38 | 43 | 45 |
| FB2 | 0 | 5 | 15 | 29 | 39 | 45 | 46 |
| FB3 | 0 | 6 | 17 | 32 | 43 | 49 | 51 |
| FB4 | 0 | 7 | 21 | 39 | 53 | 61 | 62 |
| FB5 | 0 | 3 | 10 | 18 | 25 | 28 | 29 |

임의의 한 로프가 손상되는 경우의 수는 모두 열 가지 이므로, 열 가지 경우에 대해 각각 해석을 수행한 후 각 계류 로프에 걸리는 장력의 최대값을 취합 정리하면 Table 8과 같다.

Table 8. Maximum tension in damaged condition (ton)

| Line | Direction(Degree) | | | | | | |
|------|-------------------|----|-----|-----|-----|----|----|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 |
| FS1 | 32 | 43 | 60 | 64 | 51 | 42 | 43 |
| FS2 | 31 | 41 | 57 | 61 | 48 | 46 | 47 |
| FS3 | 28 | 38 | 53 | 56 | 45 | 50 | 52 |
| FS4 | 65 | 85 | 119 | 127 | 101 | 56 | 58 |
| FS5 | 53 | 69 | 97 | 104 | 82 | 44 | 27 |
| FB1 | 0 | 5 | 16 | 29 | 40 | 45 | 46 |
| FB2 | 0 | 5 | 16 | 30 | 41 | 47 | 48 |
| FB3 | 0 | 6 | 18 | 33 | 45 | 51 | 53 |
| FB4 | 0 | 7 | 22 | 40 | 55 | 63 | 65 |
| FB5 | 0 | 3 | 10 | 19 | 26 | 30 | 31 |

계산된 정상 상태와 파손된 상태의 장력에 안전율을 고려하여 각 로프에 걸리는 최종 설계 장력을 산정한다. 안전율은 API Recommended Practice 2SK Third Edition에 따라 정상 상태에는 2.0, 파손 상태 1.43을 고려하였다[6]. 하중 및 계류 배치의 대칭성을 고려하여 계산된 최종 로프별 파단 강도 요구치는 Table 9와 같다. Table 9의 결과를 보면 FB4와 FS4에서 최대 장력이 요구됨을 알 수 있다. 이는 상대적으로 짧은 FB4와 FS4 계류 로프의 길이에 기인한 것으로 판단되었다. 이에 부두 설비의 추가 수정 없이 계류 로프의 길이를 비슷하게 할 수 있도록 FB4와 FS4의 배치를 변경하여 계산을 다시 수행하였다.

Table 9. Required minimum tensions

| Line | FB1, FS1 | FB2, FS2 | FB3, FS3 | FB4, FS4 | FB5, FS5 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tension (ton) | 91 | 87 | 92 | 182 | 148 |

변경된 FB4와 FS4의 배치는 Fig. 6과 같이 계류 로프의 길이가 길어질 수 있도록 안벽에 고박 되는 비트의 위치를 하나씩 옆으로 수평 이동하였다.

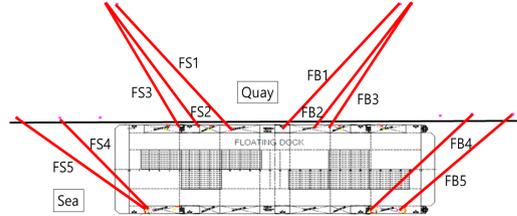


Fig. 6. Modified mooring arrangement

변경된 계류 배치에 대해 다시 계산된 최종 로프별 파단 강도 요구치는 Table 10과 같다. Table 10의 결과를 보면 재배치된 FS4와 FB4의 파단강도 요구치가 Table 9에 비해 15% 감소됨을 확인할 수 있다.

Table 10. Required minimum tensions

| Line | FB1, FS1 | FB2, FS2 | FB3, FS3 | FB4, FS4 | FB5, FS5 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tension (ton) | 96 | 93 | 95 | 154 | 145 |

Table 10의 결과를 만족하는 최종 선정된 계류 로프의 규격은 Table 11과 같다.

Table 11. Mooring rope specification

| Line | Diameter (mm) | Weight (Kg/100m) | Breaking Load (ton) |
|------------------------------|---------------|------------------|---------------------|
| FB1, FB2, FB3, FS1, FS2, FS3 | 34 | 62.5 | 96.0 |
| FB4, FB5, FS4, FS5 | 46 | 111.0 | 165.0 |

3. 결론

본 연구에서는 적재 중량 4,000 Ton급 플로팅도크를 대상으로, 설치되어 운영될 사이트인 대불부두의 환경 요건 중 가장 심각한 상황인 태풍 상황을 고려하여 계류 설계를 수행하였다. 계류 시스템의 초기 배치는 부두의 기존 계류 설비를 활용할 수 있도록 총 10개의 계류 로프 설치를 우선 고려하였다.

API Recommended Practice 2SK Third Edition에 따라 계류 로프에 걸리는 장력의 해석 절차를 수립하고 설계 하중인 풍하중, 조류하중, 파에 의한 하중을 고려하여 설계 하중을 계산하였다. 설계 하중 계산 결과 외력 중 바람에 의한 하중이 지배적이며, 하중이 작용하는 면이 최대가 되는 선측 방향에서 바람이 작용하는 경우가 가장 큰 값을 보임을 확인할 수 있다.

설계 하중에 따라 계류 로프에 발생하는 최대 인장력을 산출하는 부정정 구조해석식을 도출하였으며, 도출된 구조해석식을 이용하여 하중의 방향과 로프의 이상 유무에 따라 계류 로프에 발생하는 인장력을 계산하였다.

계산된 결과로부터 계류 로프의 방향과 길이가 각각의 로프에 발생하는 최소 파단 강도 요구치의 주요 인자임을 확인할 수 있었다. 이를 이용하여 간단하게 계류 배치를 변경하였고 강도 요구치를 15% 정도 감소시키는 결과를 얻었다.

최종 계산된 파단강도를 만족하는 계류 로프의 규격을 선정하였다.

향후 본 논문의 결과를 바탕으로 정상상태와 적재작업 상황에서의 계류 로프를 설계하고 운용 효율성을 고려하여 최종적으로 계류 로프의 규격을 확정된 후 계류 시스템을 구축할 예정이다.

김 호 경(Ho-Kyeong Kim)

[정회원]



- 1996년 2월 : 서울대학교 공과대학 조선해양공학과(공학석사)
- 2002년 8월 : 서울대학교 공과대학 조선해양공학과(공학박사)
- 2003년 8월 ~ 2015년 3월: STX 조선해양 기술연구소
- 2016년 3월 ~ 현재 목포대학교 조선해양공학과 교수

〈관심분야〉

선박생산자동화, 선박 건조 기술

References

- [1] K. Y. Yoon, "Innovation of Hyundai Heavy Industry-On-Ground-Built", Innovation studies, Vol.1, No.1, pp.15-33, Dec. 2006.
- [2] J.W. Cho, S.W. Yun, B.J. Kim, J.W. Choi, B.K Kim, S.H. Yang, "Quayside Mooring System Design of Prelude FLNG for Extreme Environmental Condition", Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol.32, No.1, pp.21-27, February 2018.
DOI: <https://doi.org/10.26748/KSOE.2018.2.32.1.021>
- [3] T.M. Oh, D.J. Yum, "Quay Mooring Analysis", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol.27, No.3, pp.47-56, September 1990
- [4] KR, "Standards for Floating Structure", Korean Resister, pp. 7-13, 2010
- [5] KR, "KR-Rules & Guidance", Korean Resister, pp. 123-126, 2010
- [6] API, "Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures", American Petroleum Institute, pp. 17-24, 2005