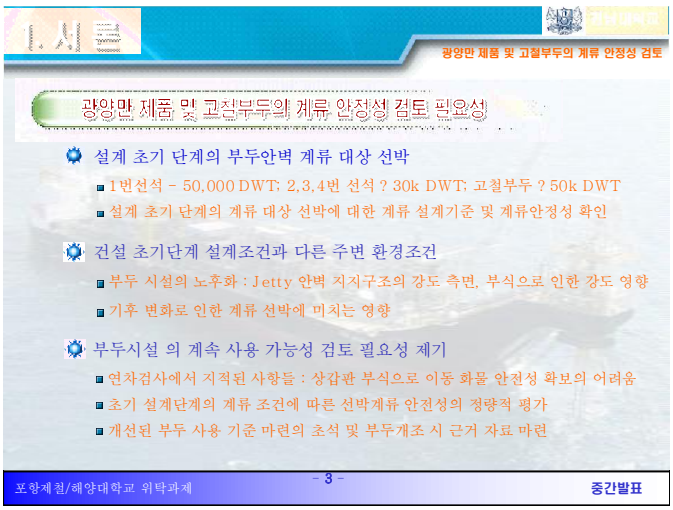
광양만 제품부두 1, 2, 3, 4 선석 및 고철부두의 계류안정성 검토

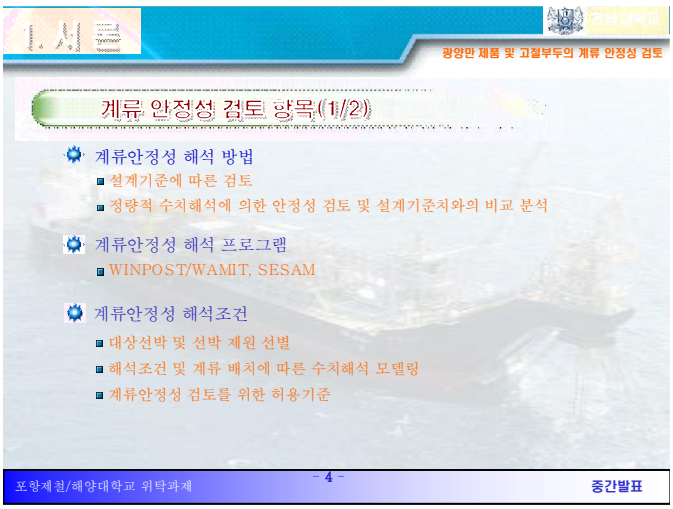
김 영복* · 김 세원** · † 정 태권

*경남대학교 조선해양IT공학과 교수, ** † 한국해양대학교 항해학부 교수

요 약 : 광양제철소의 광양만 제품부두에 접안하여 양하역 할 대상선박에 대해 여러 가지 해상조건에 대해 계류해석을 수행하였으며, 이를 통해 광양만 부두에서의 계류 적정선박을 선정하기 위한 기준 설정의 기초자료를 만들기 위해 노력하였다.

핵심용어 : 다물체 상호작용 영향, 안벽효과, 첨수효과, 비트 계류력, 볼라드 계류력, 휀더 계류력





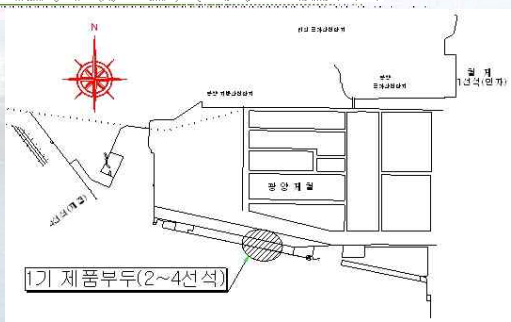
* 대표저자 정회원) ybkim-1@kyungnam.ac.kr

** 정회원) swkim@hhu.ac.kr, † 교신저자 tgjeong@hhu.ac.kr

2. 주요 설계 데이터

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

제품부두 및 고철부두의 주요 제원(1/5)



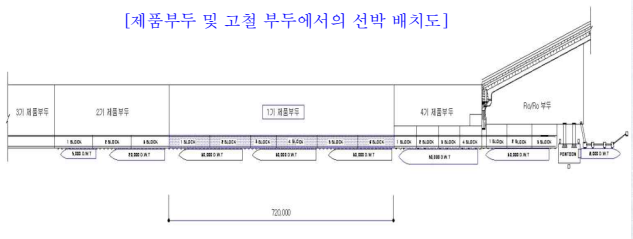
[제품부두 및 고철부두의 위치]

2. 주요 설계 데이터

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

제품부두 및 고철부두의 주요 제원(2/5)

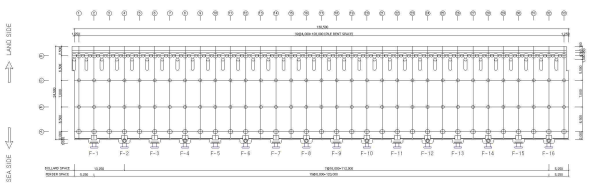
[제품부두 및 고철 부두에서의 선박 배치도]



2. 주요 설계 데이터

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

제품부두 및 고철부두의 주요 제원(3/5)

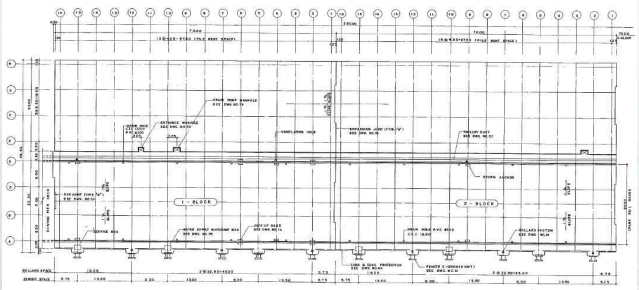


[부두의 Bitt와 Fender 배치도]

2. 주요 설계 데이터

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

제품부두 및 고철부두의 주요 제원(4/5)

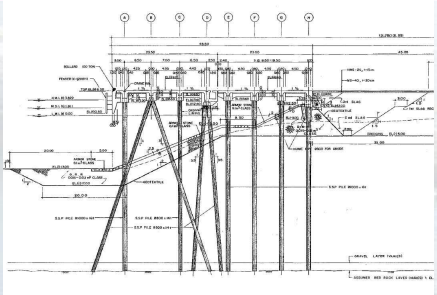


[4기 부두(1번 선석) 설계도 - 상부]

2. 주요 설계 데이터

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

제품부두 및 고철부두의 주요 제원(5/5)



[4기 부두(1번 선석) 설계도 - 하부]

2. 주요 설계 데이터

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

제품부두 및 고철부두의 현황

구분	주요 작업명	DWT	수심	부두길이
1기	코일, 슬라브	30,000 - 3	- 12 m	720 m
2기	코일, 슬라브	20,000 - 2 5,000 - 1	- 11 m - 7 m	366 m
3기	코일, 슬라브	5,000 - 4 3,500 - 1	- 7 m	507 m
4기	코일, 슬라브	50,000 - 1	- 14 m	280 m
전천후	코일	3,500 - 1	- 7 m	107 m
고철	고철 하역 코일, 슬라브	50,000 - 1	- 14 m	270 m
로로	코일, 슬라브	30,000 -2	- 12 m	352 m
돌핀	-	-	-	80 m
계				2,682 m

2. 주요 설계 데이터

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

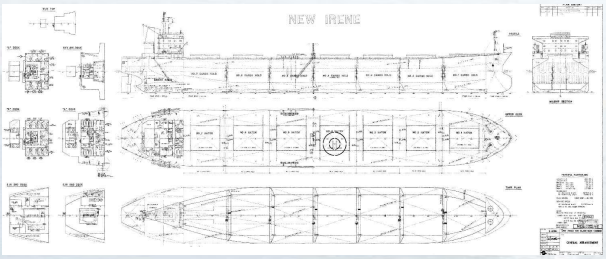
대상 선박의 주요 제원

선석별 대상선박	1번 선석	1-2번 선석	2, 3, 4번 선석
선종/선명 (선령)	Bulk(Coal/Ore)/New Irene (13년)		Bulk Carrier/ New Navigation (7년)
계획 톤수	75,364 TON		53,579 TON
LBP	216 m		184 m
Breadth	32.24 m		32.26 m
Depth	19.1 m		17.0 m
Designed Draft	14.5 m		12.54 m
Cb	0.814	0.804	0.789
입항시 적재량	50k DWT	40k DWT	30k DWT
입항시 Draft (광양부두)	8.6 m	7.0 m	6.5 m

2. 주요 설계 데이터

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

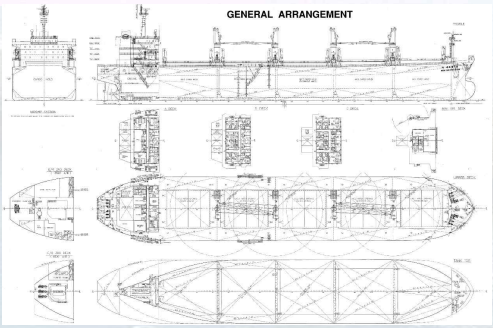
대상 선박의 형상 (70k Bulk Carrier)



2. 주요 설계 데이터

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

대상 선박의 형상 (50k Bulk Carrier)



2. 주요 설계 데이터

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

부두설계조건

? 1번 선석(4기 부두)

구분	대상선박	50,000 DWT
선박제원	선장(LOA)	235.0 m
	선폭(Bradth)	32.0 m
	형심(D, mld)	16.5 m
	만재흘수(T, design)	11.9 m
연안제원	천단고	DL(+) 6.0
	계획수심	DL(-) 13.0
	Berth 장	280.0 m
※ 설계파랑	파고(H1/3) = 1.0 m (SE 방향)	
	파장(L1/3) = 24.0 m	
	주기(T1/3) = 3.94 sec	
※ 설계파랑	구조물에 대하여 50m/s	

2. 주요 설계 데이터

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

계류선박의 선상 작업 운동 허용 기준

Ship Type	Cargo Handling Equipment	Surge (m)	Sway (m)	Heave (m)	Yaw (°)	Pitch (°)	Roll (°)
Fishing vessels	Elevator crane	0.15	0.15	-	-	-	-
10-3000 GRT[2]	Lift-on/off	1.0	1.0	0.4	3	3	3
	Suction pump	2.0	1.0	-	-	-	-
Freighters & Coasters	Ship's gear	1.0	1.2	0.6	1	1	2
<10000 DWT[2]	Quarry cranes	1.0	1.2	0.8	2	1	3
Ferries, Roll-On/ Roll-off (RO/RO)	Side ramp[3]	0.6	0.6	0.6	1	1	2
	Dew/storm ramp	0.8	0.6	0.8	1	1	4
	Linkspan	0.4	0.6	0.8	3	2	4
	Rail ramp	0.1	0.1	0.4	-	1	1
General cargo 5000-10000 DWT	-	2.0	1.5	1.0	3	2	5
Container vessels	100% efficient	1.0	0.6	0.8	1	1	3
	50% efficient	2.0	1.2	1.2	1.5	2	6
Bulk carriers 30000-150000 DWT	Cranes	2.0	1.0	1.0	2	2	6
	Elevator/ bucket-wheel	1.0	0.5	1.0	2	2	2
	Conveyor belt	5.0	2.5	-	3	-	-
Oil tankers	Loading arms	3.0[1]	3.0	-	-	-	-
Gas tankers	Loading arms	2.0	2.0	-	2	2	2

Notes for Table 10(b):
[1]Motions refer to peak-to-peak values (except for sway, which is zero-to-peak)
[2]GRT = Gross Registered Tons expressed as internal volume of ship in units of 100 ft^3 (2.83 m^3)

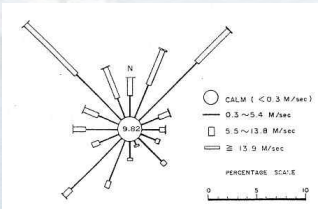
※ 참조: "Mooring Design & Inspection Criteria", Technical Report (TR-6009-OCN), Pub. By Naval Facilities Engineering Service Center(1999.04)

2. 주요 설계 데이터

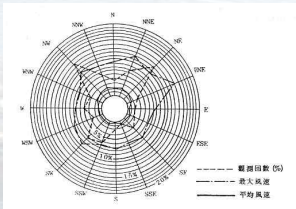
광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

광양만 환경 조건

? 광양만 부두의 wind rose 와 풍향 풍속도



[광양만 부두의 wind rose]



[광양만 부두의 풍향 풍속도]

2. 주요 설계 데이터

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

환경 외력 조건 (부두 작업가능 조건)

? Sea state 2 or 3:

Sea State	Significant Wave Height(m)		Modal Wave Period(sec)		Sustained Wind Speed(knots)	
	Range	Mean	Range	Most Probable	Range	Mean
0~1	0~0.1	0.05	–	–	0~6	3
2	0.1~0.5	0.3	5.1~14.9	6.8	7~10	8.5
3	0.5~1.25	0.88	5.8~16.1	7.5	11~16	13.5
4	1.25~2.5	1.88	6.1~17.2	8.8	17~21	19
5	2.5~4	3.25	7.7~17.8	9.7	22~27	24.5
6	4~6	5	10.0~18.7	12.4	28~47	37.5
7	6~9	7.5	11.7~19.8	15	48~55	51.5
8	9~14	11.5	14.5~21.5	16.4	56~63	59.5

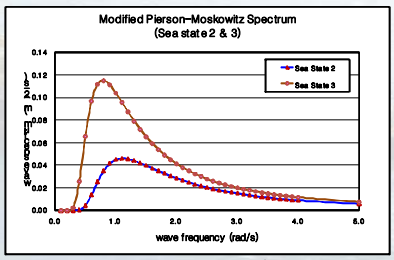
※ wind가 선수방향부터 선미방향으로 부는 조건을 15도 간격으로 고려

2. 주요 설계 데이터

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

Wave

? Wave spectrum



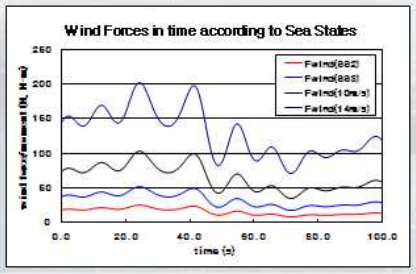
$$S_\eta(\omega) = \frac{A'}{\omega^2} e^{-B/\omega^2}, \quad \text{where } A' = \frac{488H^2}{T_m^4}, \; B = \frac{1948}{T_m^4}$$

2. 주요 설계 데이터

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

Wind

O Wind force (API) : $F_w = \frac{1}{2} C_D \rho_{air} A_p V^2$

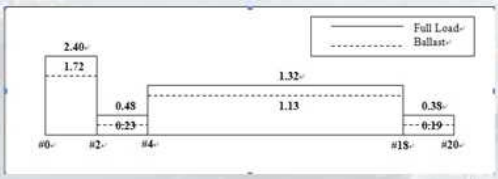


2. 주요 설계 데이터

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

Wind & Current

O Current force (Dr. J.E.W. Wichers) $F_c = \frac{1}{2} C_D \rho_{sw} L_{by} T V_c^2$

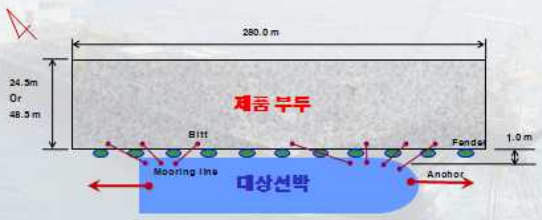


2. 주요 설계 데이터

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

부두와 선박의 상대위치 및 계류라인 배치

O Side-by-side mooring & anchoring in sea w.r.t. the wind heading



2. 주요 설계 데이터

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

계류라인과 Fender의 강성

O 70k Bulk Carrier(50k DWT) – No. 1 Berth

mooring line

No	Quay(Origin = Ship Origin)			Ship(Origin = Ship Origin)			Stiffness(EA)	Dry weight	wet weight	Inertia force	Drag force	Pretension
	x	y	z	x	y	z	N	kg/m	kg/m	kg/m	kg/m	N
1	1.25	1.5	2	106	16	10.5	2.44E+06	15.5	-	-	-	1.93E+03
2	55	1.5	2	76	16	10.5	2.44E+06	15.5	-	-	-	1.93E+03
3	45	1.5	2	60	16	10.5	2.44E+06	15.5	-	-	-	1.93E+03
4	5	1.5	2	10	16	10.5	2.44E+06	15.5	-	-	-	1.93E+03
5	-25	1.5	2	-10	16	10.5	2.44E+06	15.5	-	-	-	1.73E+03
6	-75	1.5	2	-60	16	10.5	2.44E+06	15.5	-	-	-	1.53E+03
7	-115	1.5	2	-105	16	10.5	2.44E+06	15.5	-	-	-	1.41E+03

Anchor

No	Sea bed(Origin = Ship Origin)			Ship(Origin = Ship Origin)			Stiffness(EA)	Dry weight	wet weight	Inertia force	Drag force	Pretension
	x	y	z	x	y	z	N	kg/m	kg/m	kg/m	kg/m	N
1	126.4852152	0	-54	105	0	0	2.55E+10	587.7	492.96	147.46	310.219	44.46+04
2	-126.48521	0	-54	-105.5	0	0	2.55E+10	587.7	492.96	147.46	310.219	44.46+04

Fender

No	Quay(Origin = Quay Origin)			Ship(Origin = Ship Origin)			Stiffness(EA)	Dry weight	wet weight	Inertia force	Drag force
	x	y	z	x	y	z	N	kg/m	kg/m	kg/m	kg/m
1	100	-12.75	0	80	16.13	0	8.48E+04	-	-	-	-
2	60	-12.75	0	60	16.13	0	8.48E+04	-	-	-	-
3	20	-12.75	0	20	16.13	0	8.48E+04	-	-	-	-
4	-20	-12.75	0	-20	16.13	0	8.48E+04	-	-	-	-
5	-60	-12.75	0	-60	16.13	0	8.48E+04	-	-	-	-
6	-100	-12.75	0	-80	16.13	0	8.48E+04	-	-	-	-

2. 주요 설계 데이터

경남대학교

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

계류라인과 Fender의 강성

O 50k Bulk Carrier(30k DWT) – No. 2, 3, 4 Berth

mooring line

No.	Quay(Origin = Ship Origin)			Ship(Origin = Ship Origin)			Stiffness(EA)	Dry weight	wet weight	Inertia force	Drag force	Pretension
	x	y	z	x	y	z	N	kg/m	kg/m	kg/m	kg/m	N
1	125	18	2	91.2	16	10.5	2.57E+05	2.21	-	-	-	1.60E+02
2	95	18	2	75	16	10.5	2.57E+05	2.21	-	-	-	5.61E+02
3	65	18	2	60	16	10.5	2.57E+05	2.21	-	-	-	7.70E+02
4	5	18	2	10	16	10.5	2.57E+05	2.21	-	-	-	9.02E+02
5	-35	18	2	-10	16	10.5	2.57E+05	2.21	-	-	-	8.99E+02
6	-75	18	2	-60	16	10.5	2.57E+05	2.21	-	-	-	7.70E+02
7	-115	18	2	-110	16	10.5	2.57E+05	2.21	-	-	-	9.98E+02

Anchor

No.	Sea bed(Origin = Ship Origin)			Ship(Origin = Ship Origin)			Stiffness(EA)	Dry weight	wet weight	Inertia force	Drag force	Pretension
	x	y	z	x	y	z	N	kg/m	kg/m	kg/m	kg/m	N
1	110.279166	0	-12	91.2	0	0	2.69E+10	587.7	492.96	147.48	210.219	6.05E+04
2	110.279166	0	-12	91.2	0	0	2.69E+10	587.7	492.96	147.48	210.219	6.05E+04

Fender

No.	Quay(Origin = Quay Origin)			Ship(Origin = Ship Origin)			Stiffness(EA)	Dry weight	wet weight	Inertia force	Drag force
	x	y	z	x	y	z	N	kg/m	kg/m	kg/m	kg/m
1	80	-12.75	0	80	16.13	0	2.26E+04	-	-	-	-
2	60	-12.75	0	60	16.13	0	2.26E+04	-	-	-	-
3	30	-12.75	0	30	16.13	0	2.26E+04	-	-	-	-
4	0	-12.75	0	0	16.13	0	2.26E+04	-	-	-	-
5	-30	-12.75	0	-30	16.13	0	2.26E+04	-	-	-	-
6	-60	-12.75	0	-60	16.13	0	2.26E+04	-	-	-	-
7	-80	-12.75	0	-80	16.13	0	2.26E+04	-	-	-	-

2. 주요 설계 데이터

경남대학교

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

계류라인과 Fender의 강성

O 70k Bulk Carrier(40k DWT) – Berth b/w No.1 & No. 2

mooring line

No.	Quay(Origin = Ship Origin)			Ship(Origin = Ship Origin)			Stiffness(EA)	Dry weight	wet weight	Inertia force	Drag force	Pretension
	x	y	z	x	y	z	N	kg/m	kg/m	kg/m	kg/m	N
1	125	18	2	108	16	10.5	2.57E+05	2.21	-	-	-	1.83E+02
2	85	18	2	75	16	10.5	2.57E+05	2.21	-	-	-	3.55E+02
3	45	18	2	60	16	10.5	2.57E+05	2.21	-	-	-	4.26E+02
4	5	18	2	10	16	10.5	2.57E+05	2.21	-	-	-	7.59E+02
5	-35	18	2	-10	16	10.5	2.57E+05	2.21	-	-	-	2.59E+02
6	-75	18	2	-60	16	10.5	2.57E+05	2.21	-	-	-	4.26E+02
7	-115	18	2	-108	16	10.5	2.57E+05	2.21	-	-	-	1.08E+04

Anchor

No.	Sea bed(Origin = Ship Origin)			Ship(Origin = Ship Origin)			Stiffness(EA)	Dry weight	wet weight	Inertia force	Drag force	Pretension
	x	y	z	x	y	z	N	kg/m	kg/m	kg/m	kg/m	N
1	127.270071	0	-12	108	0	0	2.69E+10	587.7	492.96	147.48	210.219	2.27E+04
2	127.270071	0	-12	108	0	0	2.69E+10	587.7	492.96	147.48	210.219	2.27E+04

Fender

No.	Quay(Origin = Quay Origin)			Ship(Origin = Ship Origin)			Stiffness(EA)	Dry weight	wet weight	Inertia force	Drag force
	x	y	z	x	y	z	N	kg/m	kg/m	kg/m	kg/m
1	100	-12.75	0	80	16.13	0	6.46E+04	-	-	-	-
2	60	-12.75	0	60	16.13	0	6.46E+04	-	-	-	-
3	20	-12.75	0	20	16.13	0	6.46E+04	-	-	-	-
4	-20	-12.75	0	-20	16.13	0	6.46E+04	-	-	-	-
5	-60	-12.75	0	-60	16.13	0	6.46E+04	-	-	-	-
6	-100	-12.75	0	-80	16.13	0	6.46E+04	-	-	-	-

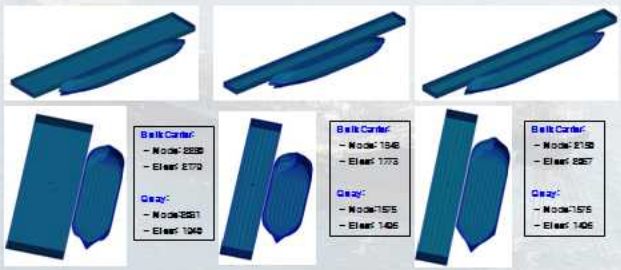
4. 부두 계류안정성 해석결과

경남대학교

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

유체력 및 운동 RAO 계산을 위한 유체 부분 Modeling

O Bulk Carrier 단독 운동 RAO와 부두-선박의 다중부유체운동 RAO의 비교



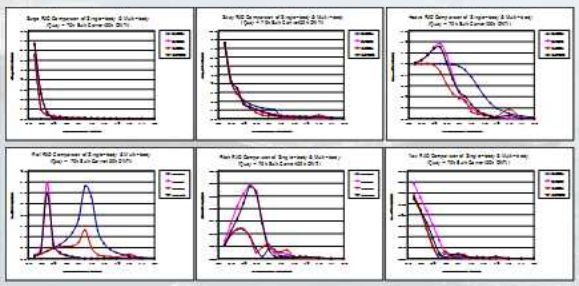
4. 부두 계류안정성 해석결과

경남대학교

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

운동 RAO 해석결과 비교

O 70k Bulker(50k DWT) 운동 RAO와 부두-선박의 다중부유체운동 RAO의 비교



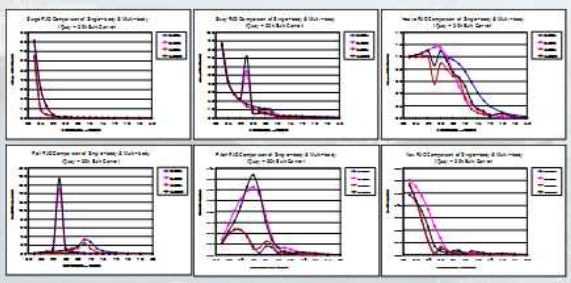
4. 부두 계류안정성 해석결과

경남대학교

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

운동 RAO 해석결과 비교

O 50k Bulk Carrier 단독 운동 RAO와 부두-선박의 다중부유체 운동 RAO의 비교



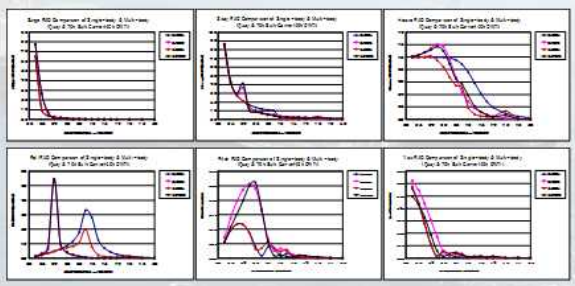
4. 부두 계류안정성 해석결과

경남대학교

광양만 제품 및 고철부두의 계류 안정성 검토

운동 RAO 해석결과 비교

O 70k Bulker(40k DWT) 운동 RAO와 부두-선박의 다중부유체운동 RAO의 비교



5. 결 론

- 운동응답 결과
  - 1번선석에서 70k 화물선에 50k ton 적재된 선박이 입항 경우 풍속 7m/s 전 풍향에 대해 부두 선상 작업가능
  - 2,3,4 번 선석의 허역선박은 50k 화물선에 30k ton 적재된 선박인 경우는 풍속 7m/s 이하이고 풍향이 East 인 조건 만 제외하면 부두 선상 작업 가능
  - 1-2번 사이 선석에서는 70k 화물선에 40k ton 적재선박의 경우 풍속 7m/s에 풍향 ENE 또는 E등 제외하면 부두 선상 작업 가능
- 계류해석 결과
  - 1번선석의 70k 화물선 최대 장력이 77 ton으로 계류안전치 내에 있음.
  - 2, 3, 4번선석의 50k 화물선 최대 장력은 21.7 ton으로 전혀 문제 없음.
  - 1-2번 사이 선석의 70k 화물선 최대 장력은 36 ton으로 부두의 Bitt 사용에 문제 없음.
  - 부두의 fender에 작용하는 외력은 최대 64.4 ton으로, 이에 대한 Jetty 안벽의 구조강도 검토 필요

포항제철/한국해양대학 위탁과제 중간발표

5. 결 론

- 수치해석 결과에 따른 평가
  - 풍향이 270도 기준 동풍일 경우 보다 북풍일 경우의 응답치가 크게 나오는 경향
    => 계류라인을 선수방향(4라인)과 선미 방향(3라인)에 달리 설치한 것에 기인
  - NFSCE의 작업기준치는 운동응답해석 중 최대나 최소치와 비교하기에는 무리가 있음(재평가 필요)
  - 풍속이 14m/s인 경우에도 계류라인을 적절히 배치한다면 부두 안벽 계류 가능할 것으로 판단됨
  - 선박이 클수록, 배수량이 클수록 운동응답과 라인 텐션이 크게 걸리는 경향을 보이나, 큰 차이는 아님
    => 배의 크기나 배수량에 따라 입항기준을 설정하는 것은 무리임.
    => 입항예정 선박에 대해 운동 및 계류해석을 한 결과에 따라 입항 허가 여부 결정이 바람직함.

포항제철/한국해양대학 위탁과제 중간발표