



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學博士 學位論文

탱커선대의 실형분석에 따른
돌핀부두의 설계조건에 관한 연구

A Study on Design Condition for Dolphin Berth
by Tanker Fleet Analysis



韓國海洋大學校 大學院
土木環境工學科
강 석 진

本 論文을 강석진의 工學博士 學位論文으로 認准함

委員長 구 자 윤 印

委 員 김 태 형 印

委 員 국 승 기 印

委 員 정 대 득 印

委 員 이 중 우 印



2013年 2月

韓國海洋大學校 大學院

A Study on Design Condition for Dolphin Berth by Tanker Fleet Analysis

by

SeokJin Kang

*Department of Civil and Environmental Engineering
Graduate School of Korea Maritime University*

Abstract

The issue of energy acquisition due to the increase of oil price is one of the most important issue and policy of every nation. Various tankers have been built in the world and sent to the trade market. It is necessary to build the port infrastructure and facilities to give them proper services such as mooring, packing, storing, and tranship, etc. However, The domestic guidelines or standards for design and construction for the dolphin berth among these facilities are out of date and do not meet the recent trend of tanker types. Therefore, it requires amendment on the guidelines or standards.

In this study, a detailed analysis of the tanker fleet, covering 8,000 ships under operation and order to build, is made to estimate the proper PBL of each tanker class. After discussion and comparison on the dolphin berth design and construction code of various countries, those are the leading countries of tanker operation and management, suggestion to amend on the design code. The referred codes are of Korea, Japan, UK, USA, and Canada. In order to verify the deduced amendment on the domestic design code for

dolphin berth, it was selected one of the domestic dolphin berth, located at the Yeosu oil terminal, which is almost completed to construct. The design criteria and expected tankers to moor in that terminal were analyzed and the appropriateness and countermeasure for deficiency were summarized as follows:

1) From the 8,000 tankers in operation in the worldwide trade, the trend of LOA, PBL, PBL/LOA under full loading condition, normal ballast condition and lightship condition with respect to DWT were deduced by the least square method to fit the curve. The estimated PBLs were 0.47L for full loading condition, 0.45 for normal ballast condition, and 0.32L for lightship condition, respectively.

2) In order to figure out the fore & aft mooring and breast line linking points of ship side on the design plan, the analyzed tankers' general arrangement drawings show that the fore & aft mooring winch are located at 3.7m~24.7m from the ship's edges and breast winch is located at 3m~5m from those winches.

3) Precaution is necessary to the PBL because it is varying depending on the cargo loading condition on the tankers. Under the normal ballast condition, PBL is 79~98% of the full loading condition and the lightship condition gives PBL 50~85% of the full loading condition. Therefore, the loading condition will change the mooring status at the breasting dolphins(B/D)and the limit of B/D interval will be changed, too. It is necessary to prepare for the shorten PBL with respect to the B/D intervals of each pier.

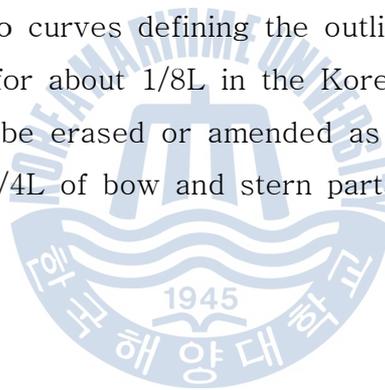
4) The interval of B/D in the design code taking account of the actual variation of geometry of the vessels to be berthed, from the trend of tanker type should be in the range of 0.3L ~ 0.5L as US code. The analysis of tanker fleet shows the PBL as 0.45L under the normal ballast condition.

5) The number of B/D is usually two and M/D is four to six,

depending of the size of tanker. B/D interval should be such as to allow the smallest design tanker to be able to lie alongside with at least two dolphins in contact with the straight run of the hul (PBL). Where the range of tanker sizes is large, then provision of two sub B/D may be necessary.

6) The present design code for horizontal mooring line angles is proper for the tanker fleet mooring such that the angles between fore & aft lines and the vessel's should not be smaller than $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$. The breast mooring line angles do not exceed 10° at M/D and the spring mooring line angles do not exceed 10° at B/D, too.

7) As per the analysis of the tanker fleets in the world trade service, the straight line defining the outline of the central part which accounts for about $3/4L$ and two curves defining the outline of the bow and stern parts which accounts for about $1/8L$ in the Korean and Japanese dolphin design codes need to be erased or amended as $1/2L$ of central part for the straight line and $1/4L$ of bow and stern parts for the curve.



목 차

ABSTRACT	i
LIST OF TABLES	vii
LIST OF FIGURES	xi

제1장 서론

1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 내용 및 방법	7

제2장 돌핀부두의 구성과 안정성

2.1 돌핀부두의 구성	8
2.1.1 하역돌핀	10
2.1.2 접안돌핀	11
2.1.3 계류돌핀	12
2.1.4 도교 및 부대시설	13
2.1.5 수역시설	14
2.2 돌핀부두의 안정성	15
2.2.1 설계조건 검토	15
2.2.2 접안력	15
2.2.3 계류력	16

제3장 돌핀부두의 설계조건 비교

3.1 계류시설의 구조 기준	21
3.1.1 국내 설계 기준	21
3.1.2 일본 설계 기준	25
3.1.3 미국 설계 기준	27
3.1.4 영국 설계 기준	31
3.2 계류시설의 배치 기준	34
3.2.1 국내 및 일본 설계 기준	34
3.2.2 미국 설계 기준	39
3.2.3 영국 설계 기준	44
3.2.4 캐나다 설계 기준	46
3.2.5 OCIMF 및 MOTEMS 기준	49
3.3 설계기준의 요약	54

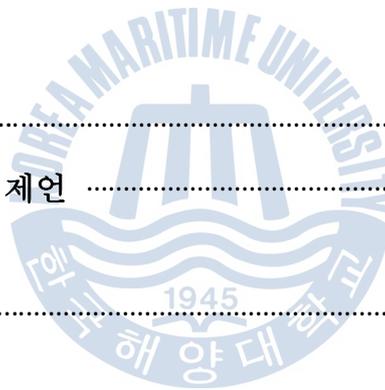
제4장 탱커의 추이와 부두의 실태

4.1 탱커의 추이 분석	55
4.1.1 실존 유조선의 분석	55
4.1.2 개별 DWT급에 대한 LOA, PBL, PBL/LOA 분석	58
4.1.3 DWT 급수별 LOA, PBL, BEAM, Draught 분석	60
4.1.4 선형 종합 분석	72
4.2 국내 돌핀부두의 실태 분석	73
4.2.1 돌핀부두의 검토 대상	73
4.2.2 국내 돌핀부두의 실태	79

제5장 돌핀부두 설계의 실증 분석

5.1 실증 분석 대상 시설	92
-----------------------	----

5.1.1 계류시설의 평면배치와 적용선박	92
5.1.2 설계부두의 접안돌핀 간격 검토	93
5.1.3 설계부두의 계류돌핀 계류각의 검토	100
5.2 부두 접안가능 선박 분석	128
5.2.1 부두 접안가능 최소선박의 분석	128
5.2.2 대상 부두에 대한 처리 방안	135
5.3 부두 설계의 혁신 방안	138
5.3.1 기존시설 보강 및 대책	138
5.3.2 L/Arm 편위의 검토	139
5.3.3 W/P의 규격조정 및 Sub B/D 설치안의 검토	143
제6장 결론 및 제언	
6.1 종합 결론	148
6.2 실증분석을 통한 제언	150
참고 문헌	152



LIST OF TABLES

Table 1.1 Remain of shipbuilding order with respect to the fleet in operation	2
Table 1.2 The trend of tanker and oil & product cargo	3
Table 1.3 The fleet type of tanker	5
Table 3.1 Intervals of breasting dolphin and minimum required mooring angles	37
Table 3.2 Summary of design criteria for dolphin pier	54
Table 4.1 The status of existing tanker size (2012)	57
Table 4.2 Analyzed LOA, PBL, beam, and draught of all tankers	59
Table 4.3 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 1,000DWT class tankers	69
Table 4.4 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 10,000DWT class tankers	69
Table 4.5 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 30,000DWT class tankers	69
Table 4.6 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 45,000DWT class tankers	70
Table 4.7 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 80,000DWT class tankers	70
Table 4.8 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 120,000DWT class tankers	70
Table 4.9 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 150,000DWT class tankers	71
Table 4.10 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 1200,000DWT class tankers	71
Table 4.11 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 320,000DWT class tankers	71
Table 4.12 Comparison of the existing tankers with the statistic results	72
Table 4.13 Analyzed mooring winch position for tankers	79
Table 4.14 Specification of KNOC dolphin facilities and structure types	80
Table 4.15 Specification of STC No.2 dolphin facilities and structure types	83
Table 4.16 Specification of Dangjin dolphin facilities and structure types	86
Table 4.17 Specification of Onsan S-Oil dolphin facilities and structure types	88
Table 5.1 Evaluation sheet for B/D intervals of Yeosu berth	95
Table 5.2 Evaluation sheet for the specification of tankers between the planned and	

statistic values(case for L/Arm at the center of W/P)	97
Table 5.3 Evaluation sheet for the specification of tankers between the planned and statistic values(case for shift of L/Arm at W/P) ...	99
Table 5.4 Summary of horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D	110
Table 5.5 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm	112
Table 5.6 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm at pier 1 (referenced to F.O. Manifold)	113
Table 5.7 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm at pier 1 (referenced to Product Manifold)	114
Table 5.8 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm at pier 2 (referenced to C.O./F.O. Manifold)	115
Table 5.9 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm at pier 2 (referenced to Product Manifold)	116
Table 5.10 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm at pier 3 (referenced to C.O./F.O. Manifold)	1176
Table 5.11 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm at pier 3 (referenced to Product Manifold)	118
Table 5.12 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm at pier 4	

(referenced to F.O. Manifold)	119
Table 5.13 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm at pier 4 (referenced to Product Manifold)	120
Table 5.14 Horizontal mooring angles at B/D and M/D	127
Table 5.15 Comparison of berth length between the plan and by tanker statistic analysis	129
Table 5.16 Summary of possible smallest tanker at each pier by statistic analysis (L/Arm at the center of W/P)	132
Table 5.17 Summary of possible smallest tanker at each pier	132
Table 5.18 Comparison of possible smallest tanker at each pier by statistic analysis (Full Loading)	132
Table 5.18 Comparison of possible smallest tanker at each pier by statistic analysis (Full Loading)	133
Table 5.19 Comparison of possible smallest tanker at each pier by statistic analysis (Normal Ballast)	133
Table 5.20 Comparison of possible smallest tanker at each pier by statistic analysis (Light Ship)	133
Table 5.21 Summary of possible smallest tanker at each pier	135
Table 5.22 Reinforcement of B/D and supporting facilities at each piers	138
Table 5.23 The present construction specification of piers	140
Table 5.24 Analysis of B/D intervals for the shift of L/Arm at each piers	141
Table 5.25 Summary of pier modification (shift of L/Arm)	141
Table 5.26 Summary of J-4 pier modification	142
Table 5.27 Status of J-1, J-2, and J-3 pier mooring	143

LIST OF FIGURES

Fig. 1.1 Remain of world shipbuilding order with respect to the fleet in operation	2
Fig. 1.2 The trend of tanker building order with respect to the fleet in operation	3
Fig. 1.3 The trend of oil & product cargo with respect to the tanker fleet in operation	4
Fig. 1.4 The ship order ratio of the tanker fleet (Clarkson, 2012)	4
Fig. 1.5 Examples of damage of mooring facilities	6
Fig. 2.1 Mooring pattern for dolphin pier	8
Fig. 2.2 View of mooring at dolphin pier	9
Fig. 2.3 View of working platform(W/P)or loading platform(L/P)	10
Fig. 2.4 View of breasting dolphin (B/D)	11
Fig. 2.5 View of mooring dolphin (M/D)	13
Fig. 2.6 View of trestle (Plate girder type and truss type)	14
Fig. 3.1 Classification of berthing facilities	22
Fig. 3.2 Pile type dolphin berth 1 (Korean design standard)	23
Fig. 3.3 Pile type dolphin berth 2 (Korean design standard)	23
Fig. 3.4 Jacket type dolphin berth (Korean design standard)	24
Fig. 3.5 Cell type dolphin berth (Korean design standard)	24
Fig. 3.6 Pile type dolphin berth (Japanese design standard)	25
Fig. 3.7 Jacket type dolphin berth (Japanese design standard)	26
Fig. 3.8 Cell type dolphin berth (Japanese design standard)	26
Fig. 3.9 Typical fixed mooring berth (US NAVFAC DM)	27
Fig. 3.10 Rigid breasting platform (US NAVFAC DM)	28
Fig. 3.11 Two types of flexible breasting platform (US NAVFAC DM)	29

Fig. 3.12 Typical pile type breasting platform of dolphins (US NAVFAC DM) ...	30
Fig. 3.13 General arrangement of single island berth (BS Code)	32
Fig. 3.14 General arrangement of three-island berth (BS Code)	32
Fig. 3.15 General arrangement five-island berth (BS Code)	33
Fig. 3.16 Fender layout on a continuous quay (BS Code)	33
Fig. 3.17 Distance between breasting dolphins respect to water depth	35
Fig. 3.18 Typical arrangement of mooring lines	36
Fig. 3.19 Example of mooring load distribution depending on types, length, and thickness of mooring lines	39
Fig. 3.20 Line angles for a typical fixed mooring (US NAVFAC DM) ...	40
Fig. 3.21 Vessel response to wind and current loading (US NAVFAC DM)	42
Fig. 3.22 Mooring load analysis at dolphin pier (US NAVFAC DM)	43
Fig. 3.23 Typical mooring patterns (BS Code)	44
Fig. 3.24 Optimum angles of mooring lines for dolphin pier (BS Code) ...	45
Fig. 3.25 Minimum mooring line arrangement for tanker ship (Transport Canada TEMPOL Review Code)	48
Fig. 3.26 Typical mooring pattern (OCIMF)	50
Fig. 3.27 Typical horizontal mooring layout (OCIMF)	50
Fig. 3.28 Typical vertical mooring layout (OCIMF)	51
Fig. 3.29 Line orientation on restraint capacity (OCIMF)	52
Fig. 3.30 Horizontal mooring line angles (MOTEMS)	53
Fig. 3.31 Vertical mooring line angles (MOTEMS)	53
Fig. 4.1 The recent status of tanker fleet operation and demand	56
Fig. 4.2 The recent trend for capacity and size of tankers	59
Fig. 4.3 LOA, PBL, beam, and draught of 1,000DWT class tankers	58
Fig. 4.4 LOA, beam, and draught of 1,000DWT class tankers versus built year	60
Fig. 4.5 LOA, PBL, beam, and draught of 10,000DWT class tankers	61

Fig. 4.6 LOA, beam, and draught of 10,000DWT class tankers versus built year	61
Fig. 4.7 LOA, PBL, beam, and draught of 30,000DWT class tankers	62
Fig. 4.8 LOA, beam, and draught of 30,000DWT class tankers versus built year	62
Fig. 4.9 LOA, PBL, beam, and draught of 45,000DWT class tankers	63
Fig. 4.10 LOA, beam, and draught of 45,000DWT class tankers versus built year	63
Fig. 4.11 LOA, PBL, beam, and draught of 80,000DWT class tankers	64
Fig. 4.12 LOA, beam, and draught of 80,000DWT class tankers versus built year	64
Fig. 4.13 LOA, PBL, beam, and draught of 120,000DWT class tankers	65
Fig. 4.14 LOA, beam, and draught of 120,000DWT class tankers versus built year	65
Fig. 4.15 LOA, PBL, beam, and draught of 150,000DWT class tankers	66
Fig. 4.16 LOA, beam, and draught of 150,000DWT class tankers versus built year	66
Fig. 4.17 LOA, PBL, beam, and draught of 200,000DWT class tankers	67
Fig. 4.18 LOA, beam, and draught of 200,000DWT class tankers versus built year	67
Fig. 4.19 LOA, PBL, beam, and draught of 320,000DWT class tankers	68
Fig. 4.20 LOA, beam, and draught of 320,000DWT class tankers versus built year	68
Fig. 4.21 Evaluation parameters of B/D span at dolphin berth	74
Fig. 4.22 Typical mooring arrangement of a tanker at the berth 1 (OCIMF)	74
Fig. 4.23 Typical mooring arrangement of a tanker at the berth 2 (OCIMF)	75
Fig. 4.24 Tanker mooring arrangement on the fore deck (OCIMF)	76
Fig. 4.25 Tanker mooring arrangement on the aft deck (OCIMF)	77
Fig. 4.26 The trend for fore and aft mooring winch location of tankers	78
Fig. 4.27 View of KNOC dolphin berth	80
Fig. 4.28 Plan view of KNOC dolphin berth	81

Fig. 4.29 Working Platform deck plan of KNOC dolphin berth	81
Fig. 4.30 General arrangement of KNOC ③ dolphin berth	82
Fig. 4.31 View of STC No.2 dolphin berth	82
Fig. 4.32 Plan view of STC No.2 dolphin berth	84
Fig. 4.33 Working Platform deck plan of KNOC dolphin berth	84
Fig. 4.34 Birdeye view of STC No.2 dolphin berth	85
Fig. 4.35 General arrangement of Danjin dolphin berth	85
Fig. 4.36 Plan view of Dangjin dolphin berth	86
Fig. 4.37 Working Platform deck plan of Dangjin dolphin berth	87
Fig. 4.38 General arrangement of Onsan S-Oil dolphin berth	88
Fig. 4.39 Plan view of Onsan S-Oil dolphin berth	89
Fig. 4.40 Working Platform deck plan of Onsan S-Oil dolphin berth	90
Fig. 4.41 General arrangement of Jangsaengpo SK No.3 dolphin berth	91
Fig. 4.42 Plan view of Jangsaengpo SK No.3 dolphin berth	91
Fig. 5.1 General arrangement of tankers at the dolphin berth of Yeosu berth	93
Fig. 5.2 Variation of PBL with respect to cargo loading condition	96
Fig. 5.3 Variation of PBL due to shift of L/Arm at W/P	98
Fig. 5.4 Comparison of horizontal mooring angles for different tanker types at J-1 pier plan	102
Fig. 5.5 Comparison of horizontal mooring angles for different tanker types at J-2 pier plan	103
Fig. 5.6 Comparison of horizontal mooring angles for different tanker types at J-3 pier plan	104
Fig. 5.7 Comparison of horizontal mooring angles for different tanker types at J-4 pier plan	105
Fig. 5.8 Comparison of horizontal mooring angles for the existing tanker types at J-1 pier	106

Fig. 5.9 Comparison of horizontal mooring angles for the existing tanker types at J-2 pier	107
Fig. 5.10 Comparison of horizontal mooring angles for the existing tanker types at J-3 pier	108
Fig. 5.11 Comparison of horizontal mooring angles for the existing tanker types at J-4 pier	109
Fig. 5.12 Variation of PBL and B/D interval due to shift of L/Arm at W/P	111
Fig. 5.13 Mooring Line Elevation 1 for 320,000DWT Tanker at J-3	121
Fig. 5.14 Mooring Line Elevation 2 for 320,000DWT Tanker at J-3	121
Fig. 5.15 Mooring Line Elevation for 200,000DWT Tanker at J-3	122
Fig. 5.16 Mooring Line Elevation for 150,000DWT Tanker at J-3	122
Fig. 5.17 Mooring Line Elevation for 120,000DWT Tanker at J-3	123
Fig. 5.18 Mooring Line Elevation for 80,000DWT Tanker at J-3	123
Fig. 5.19 Mooring Line Elevation for 45,000DWT Tanker at J-1,2,3	124
Fig. 5.20 Mooring Line Elevation for 30,000DWT Tanker at J-1,2,3	124
Fig. 5.21 Mooring Line Elevation for 10,000DWT Tanker at J-1	125
Fig. 5.22 Mooring Line Elevation for 10,000DWT Tanker at J-4	125
Fig. 5.23 Mooring Line Elevation for 1,000DWT Tanker at J-4	126
Fig. 5.24 Prediction of possible smallest tanker at each pier by statistic analysis (0.45L)	130
Fig. 5.25 Prediction of possible smallest tanker at each pier by statistic analysis (0.47L)	131
Fig. 5.26 Prediction of possible smallest tanker at each pier by statistic analysis (0.32L)	131
Fig. 5.27 Prediction of possible smallest tanker for the shift of L/Arm at W/P by statistic analysis (0.45L)	134
Fig. 5.28 Adjusted B/D intervals and possible mooring tankers at each piers ..	144

Fig. 5.29 Arrangement of Sub B/D with the adjustment of W/P (J-1,J-2) .. 145
Fig. 5.29 Arrangement of Sub B/D with the adjustment of W/P (J-3,J-4) .. 146
Fig. 5.30 Arrangement of lowered Sub B/D with the adjustment of W/P 147



제1장 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

세계 해상물동량은 1990년 이후 연평균 3.6%를 증가해오면서 원유 및 석유제품이 전체물동량의 1/3을 차지하고 있다. Clarkson(2012)의 자료에 의하면 수요면에서 탱커의 물동량은 연평균 2.7%(2000~2010년 기준)가 증가하고 있으며 이중 원유는 1.9%, 석유제품은 4.8% 증가로 나타났다. 비교적 안정적인 원유 출하량과 에너지 수요의 증가로 타 선종대비 변화폭이 크지 않은 편이나 유로존 재정위기와 신재생에너지 수요증가로 둔화가능성을 배제할 수 없는 실정이다. 한편 공급면에서는 이 기간동안 탱커의 선복량은 연평균 4.4% 증가를 나타내고 있는데, 2010년 단일선체 교체 등으로 개선되다가 최근 인도량의 증가로 2011년에는 56백만DWT가 인도되었으며, 9백만DWT 정도가 해체되어 리비아 사태 이후 유가와 운임이 하락하면서 수급상황의 개선은 뚜렷하지 않다. 단일선체 교체에 따른 폐선이 마무리되면서 호황기에 과다 발주된 선박 인도량이 증가하고 있어서 전반적으로 선령이 젊은 편이다.

2011년 전 세계에서 건조되어 인도된 선박량은 164백만 DWT 규모로 2000~2011년 사이에 연평균 11.1%의 증가를 나타내었으며, 이중 탱커가 24.5%를 나타내었다. <Fig.1.2>는 전세계 탱커 선복량 대비 발주잔량 현황을 나타낸 것으로 선복량은 꾸준히 늘고 있으나 2008년 이후 발주잔량은 급격히 감소하고 있음을 나타낸다. 그러나, 컨테이너선이나 벌크선에 비하여 발주잔량의 변화폭은 완만한 것으로 분석되었다.

Table 1.1 Remain of shipbuilding order with respect to the fleet in operation

단위(%)

구분	'07년	'08년	'09년	'10년	'11년	'12년 (E)
컨 선복량 (m.TEU, A)	10.8	12.2	12.9	14.2	15.3	16.4
컨선 발주잔량(m.TEU, B)	6.6	6.2	4.9	3.8	4.3	4.1
B/A	61.1	50.8	38.0	26.8	28.1	25.0
벌커 선복량 (m.DWT, C)	398.5	422.3	461.7	539.9	616.5	690.9
벌커 발주잔량 (m.DWT, D)	245.3	322.2	303.7	301.2	223.7	191.5
D/C	61.6	76.3	65.8	55.8	36.3	27.7
탱커 선복량 (m.DWT, E)	388.3	406.0	435.6	454.0	480.3	498.7
탱커 발주잔량 (m.DWT, F)	167.0	179.4	142.1	129.2	87.4	79.7
F/E	43.0	44.2	32.6	28.5	18.2	16.0

자료: Clarkson

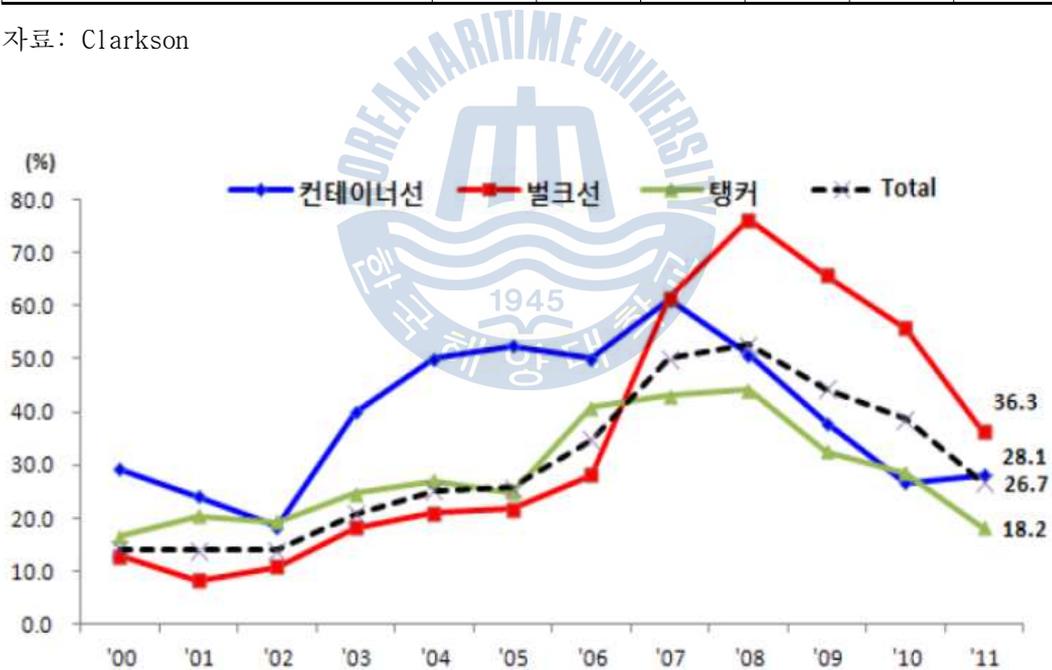


Fig. 1.1 Remain of world shipbuilding order with respect to the fleet in operation



Fig. 1.2 The trend of tanker building order with respect to the fleet in operation

한편, 2005년부터 탱커의 선복량 공급과잉이 지속되다가 2009년부터 그 추세가 둔화되고 있으며, 석유제품운반선(Product tanker)이 원유운반선(Oil tanker)에 비해 더 큰 폭의 공급과잉이 발생하면서 선가 및 운임의 하락을 주도하고 있다. 선박의 공급과잉에 따라 중형선 중심의 친환경선박 수주가 늘어나는 추세에 있다.

Table 1.2 The trend of oil & product tanker and cargo

구분		'07년	'08년	'09년	'10년	'11년
Oil Tanker	선복량증가율	6.0%	2.7%	5.1%	3.3%	6.7%
	물동량증가율	2.6%	-1.0%	-3.7%	3.9%	2.5%
Product Tanker	선복량증가율	8.2%	8.8%	11.4%	10.3%	5.1%
	물동량증가율	3.5%	2.0%	-3.6%	4.0%	3.0%

자료: Clarkson, Oil & Tanker Trades Outlook (March, 2011)

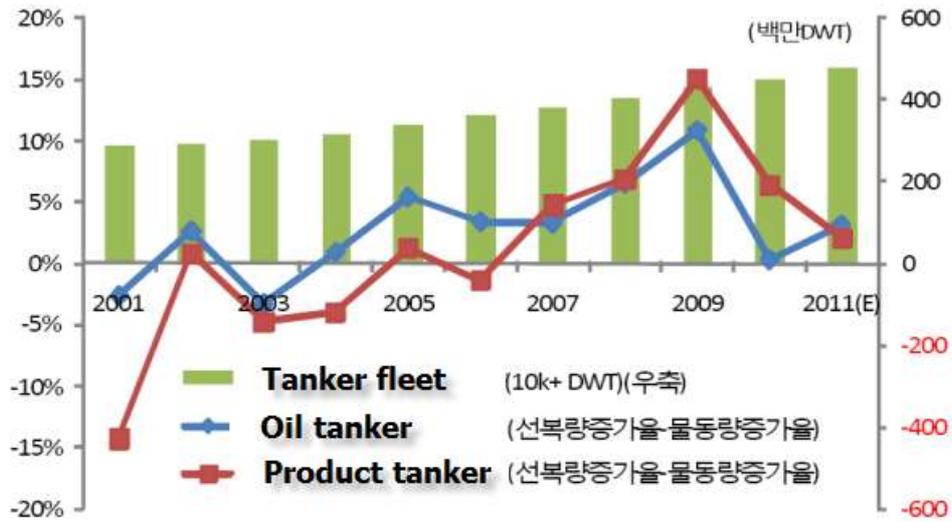


Fig. 1.3 The trend of oil & product cargo with respect to the tanker fleet in operation

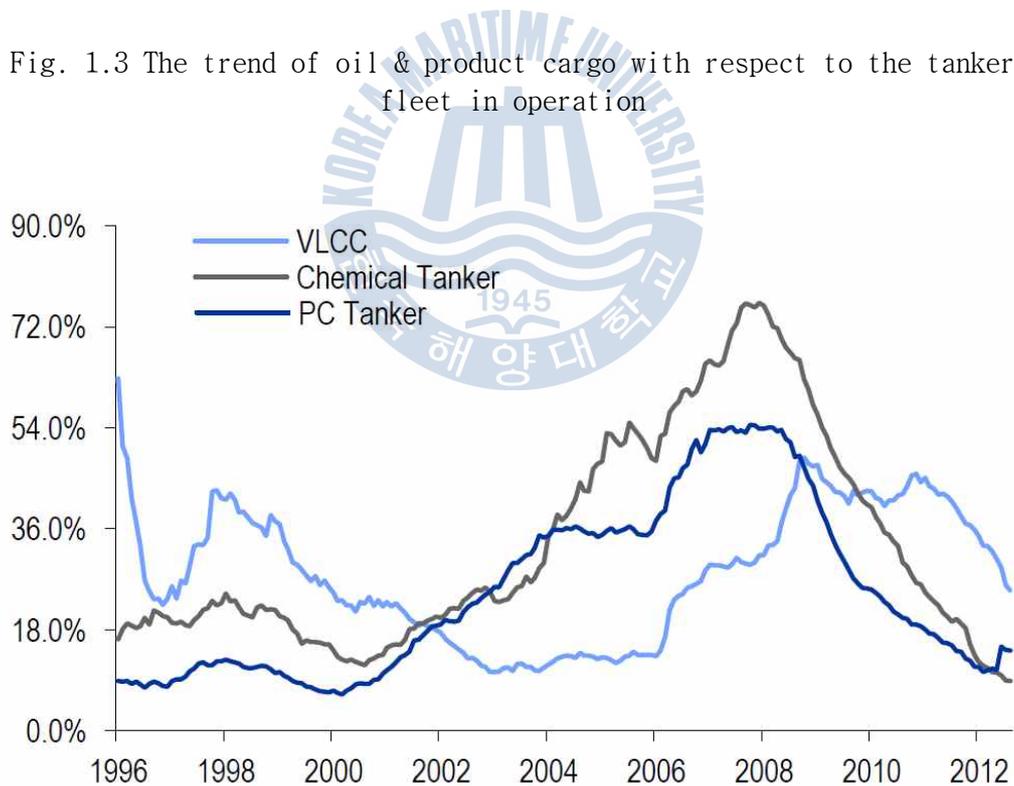


Fig. 1.4 The ship order ratio of the tanker fleet (Clarkson, 2012)

Table 1.3 The fleet type of tanker

(단위: 백만DWT)

구분	선복량	수주잔량	수주잔량/ 선복량	20년이상 선박	노후선 비중
VLCC	166.1	56.2	33.8%	3.5	2.1%
Suezmax	64.2	23.2	36.1%	1.8	2.8%
Aframax	93.5	14.8	15.8%	4.9	5.2%
Panamax	28.7	5.8	20.2%	1.9	6.6%
Handy(Products)	101.8	17.7	17.3%	11.8	11.6%
Small	21.6	2.1	0.9%	3.7	17.1%
계	352.5	100	25.1%	32.1	5.8%

자료: Clackson Oil&Tanker Trades Outlook (March, 2011)

탱커의 선형별 현황은 Table 1.3에 요약한 바와 같이 현재운항중인 선복량을 기준으로 했을 때 20만DWT이상의 VLCC가 47.1%, 12만~20만DWT의 Suezmax가 18.2%, 8만~12만DWT의 Aframax가 26.5%, 6만~8만DWT의 Panamax는 8.1%, 1만~6만의 석유제품운반선인 Handy가 28.9%, 그 외 1만DWT 이하의 소형선이 6.1%를 차지하고 있다. Clarkson(2012)의 전망에 따르면 2014년까지 수주잔량을 합한 선복량은 VLCC가 49.1%, Suezmax가 19.3%, Aframax는 23.9%, Panamax가 7.6%, Handy는 26.4%, 소형선이 5.2%로 나타났다.

그러나, 이들 선박을 지원하기 위한 부두시설의 경우 건설초기에 1990년 이전 과거의 선형에 근거한 지침에 따라 부두가 설계, 건설되어 운영되고 있으나 소형에서 초대형에 이르는 탱커를 서비스 하기위한 계류시설은 최근의 선형변화를 반영하지 못해 신규부두에서도 적용이 곤란한 상태도 나타나고 있어서, 설계기준에 대한 보완이 필요한 실정이다. 아울러 현행기준에 근거하여 설계가 이루어져 건설된 부두의 경우에도 탱커의 접안을 위해 부두내 QRH(Quick Release Hook)의 위치 이동, 작업 Dolphin (W/P, Working Platform)에서 하역설비(Loading Arm, L/Arm)의 위치 이동, 부돌핀(Sub-Dolphin)의 추가 축조, 유연작업호스(Flexible Hose)의 도입, 서비스 선

박의 부두이동 등 다양한 검토가 운영과정에서 이루어지고 있다. 실제로 선형의 분석이 이루어지지 않은 상태에서의 부두운영은 Fig. 1.5에서와 같은 다양한 접안사고와 유류유출사고와 연계될 수 있다.



Fig. 1.5 Examples of damage of mooring facilities

따라서, 본 연구에서는 현재 전세계에서 운항중인 탱커의 선형자료를 분석하여 돌핀부두내 작업용 하역돌핀(W/P, Working Platform), 접안돌핀(B/D, Breasting Dolphin), 계류돌핀(M/D, Mooring Dolphin)의 적정 간격과 계류 안정성의 평가에 반영하고, 국내외 돌핀부두의 설계기준 및 지침(해양수산부, 1999; 일본항만협회, 1999; US Navy, 1986; MOTEMS, 2002; BSI, 1994; OCIMF, 2009)을 분석하여 국내설계기준의 보완에 대한 의견을 제시하고자 한다.

특히, 현존하는 돌핀부두에 대해 크기가 다른 다양한 선형을 서비스하기 위한 최소한의 보완에 대한 설계변경 및 운영지침에 대한 사항도 분석에 반영하고자 하였다.

1.2 연구의 내용 및 방법

돌핀부두의 설계에서는 대상해역에서 해상환경조건과 선박접이안시 접안력 및 계류력 등 외력을 고려한 부두의 안정성을 평가하게 되는데, 부두를 구성하고 있는 계류시설의 형식과 대상선박의 선형에 따라 부두 규모나 간격이 달라지므로 선형분석이 최우선적으로 이루어져야 한다. 계류시설의 검토는 기본 설계시 적용된 구조형식에 대하여 구조물 별로 상부에 설치되는 시설물, 설비 조작의 용이성, 구조물의 산전성, 경제성 등을 고려하여 적정성을 검토한다.

본 연구에서는 돌핀부두의 특성을 분석하고, 전세계에서 운항되고 있거나 건조될 탱커의 선복량과 선형의 추이를 조사하여 이를 부두설계에 적용하는 것을 목표로 하고 있으나, 국내외 제반 지침 및 기준에서 차이가 나타나므로 이를 비교 분석하고 선형에 따른 적정한 기준의 제시가 수반되어야 한다.

제1장 서론에서 이러한 배경과 목적을 분석한 후 적용할 돌핀 부두의 특성과 안정성을 제2장에서 다룬다. 제3장에서는 한국 및 일본은 물론, 영국(BS Code), 미국과 캐나다, 특히, 탱커의 제반 운영에 관련된 기관인 OCIMF(Oil Companies International Marine Forum)의 지침 등과 비교 분석을 통하여 돌핀부두 설계에 주요사항을 도출한다.

제4장에서는 전 세계에서 실제 운항중인 탱커의 DWT별 선형특성을 분석하는 단계로서 선박계류의 관점에서 본 국내 돌핀 부두의 실태를 조사한다.

제5장에서는 이상에서 분석한 선박 및 부두의 실태를 바탕으로 특정 돌핀부두에서 설계에 적용한 사례를 중심으로 설계기준에 대한 평가와 기존 시설물에 대한 합리적인 운영방안 및 설계의 개선안에 대해 논한다.

제6장에서는 앞에서 제시된 내용을 종합하여 요약과 결론을 도출하고, 아울러 앞으로 반영하여야 할 발전 방향에 대하여도 종합하여 제시한다.

제2장 돌핀부두의 구성과 안정성

2.1 돌핀부두의 구성

계류시설의 구조형식의 선정에 있어서는 자연조건, 시공조건, 공기, 경제성, 시설의 이용효율 및 관리 등을 고려하여 결정한다. 탱커부두의 구조형식은 고정식과 부표식이 있으며 실제로 사용되고 있는 구조형식으로는 고정식 계류시설인 돌핀형이 대부분이고, 잔교형은 적다. 돌핀도 말뚝식, Jacket식, 강제 Cell식, Caisson식으로 구분된다. 돌핀의 구성은 하역기능으로서의 W/P, 접안기능으로서의 B/D, 계류기능으로서의 M/D, 이들 Dolphin 간을 연결하는 Catwalk 및 하역 돌핀과 육상저장 시설을 연결하는 도교(Trestle)로 되어있다. 통상의 돌핀형식에는 W/P 1기, B/D 2기, M/D 4기가 있다(Fig. 2.1 참조).

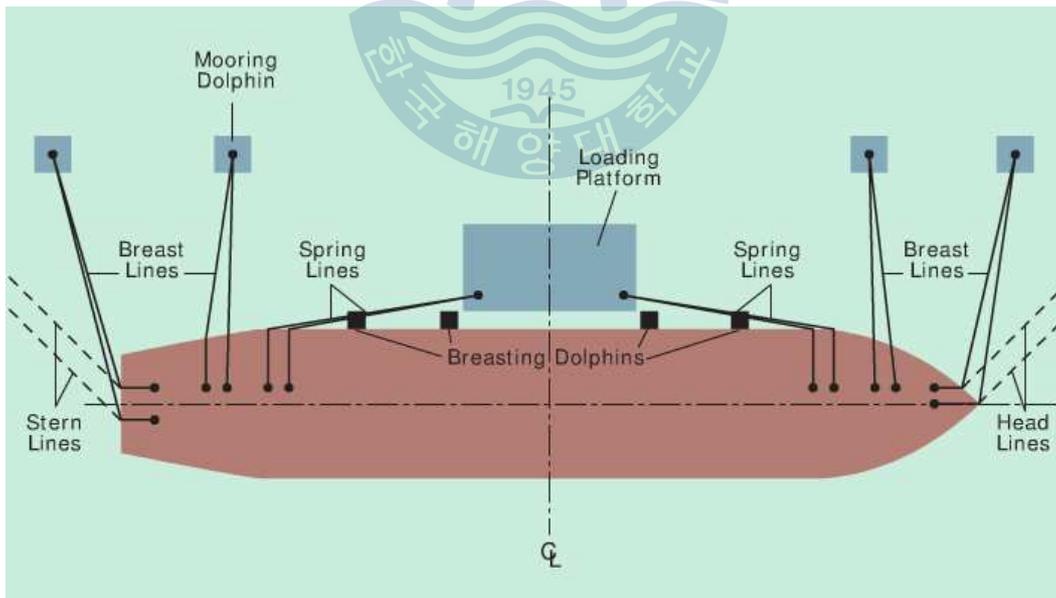


Fig.2.1 Mooring pattern for dolphin pier



Fig.2.2 View of mooring at dolphin pier

계류시설의 검토는 기본 설계시 적용된 구조형식에 대하여 구조물 별로 상부에 설치되는 시설물, 설비조작의 용이성, 구조물의 안전성, 경제성 등을 고려하여 적정성을 검토한다.

돌핀부두에서 대상선박의 범위는 1,000DWT~320,000DWT 정도로서 부두별 대상선박들이 안전하게 접안하고 계류시 선박의 안전유지 및 원유, 제품유의 원활한 입·출하를 위하여 다른 돌핀부두와 충분한 이격거리를 확보하여야 하고, 해안에서 멀리 이격하여야 하며, 최고 조류 방향과 평행하여야 한다.

2.1.1 하역돌핀

하역돌핀(Working Platform, W/P 또는 Loading Platform, L/P)은 원유 및 제품유 등을 하역하는 Jetty시설의 주요 구조물로서 상부에는 Trestle Pipeway, Loading Arm, Gangway Tower, 소방설비, 배전설비 및 기타 대상선박 접안과 하역에 필요한 주요기기들이 위치한다. W/P 상부구조 형식은 공기단축, 경제성 및 시공성을 고려하여 선정하며, 구조물의 품질이 달라지나 현지여건을 고려하여 육상 또는 해상제작이 이루어지고 P.C Beam & Slab 구조형식을 따르게 된다.

W/P의 하부구조형식은 대상지역의 해상조건, 수심조건 및 지반조건 등과 대상선박 규모를 고려한 결과 중력식과 말뚝식이 있으나, 대상지역의 지반조사 결과를 반영하여 말뚝식이나 중력식을 적용하게 되는데 중력식은 필요에 따라 별도의 지반개량공법을 고려하여야 하는 경우도 발생한다. 구조형식을 선정시에는 지지력과 인발력에 충분히 안정성을 확보할 수 있도록 암반지지층까지 충분히 근입하도록 계획하여야 한다.



Fig.2.1 View of working platform(W/P)or loading platform(L/P)

2.1.2 접안돌핀

접안돌핀(Breasting Dolphin, B/D)은 대상선박이 접안시 충격력을 최소화하기 위하여 Fender가 설치되는 구조물로서, 선박접안시 접안에너지를 흡수하여 안전한 정선을 보장하는 것이 주기능이다. B/D는 대상선박의 접안력을 산출하고 이에 따른 접안력에 대해 저항하는 파일배치 및 간격에 따라 상부공의 규격을 결정하며, 대상선박의 출선접안 및 입선 접안이 용이하도록 B/D를 계획한다. 일반적으로 대상선박의 규격에 따라 B/D는 4기 또는 대형의 2기 등으로 계획되어지는데, B/D 사용성은 떨어지지만 Jetty의 접근성과 출선접안의 용이성 및 경제성 등을 고려하여 각각의 B/D의 간격 및 상부공의 규격을 계획하게 된다. B/D의 배치 간격은 항만 및 어항 설계 기준과 OCIMF를 참고로 하여 보통 0.25L~0.4L의 값으로 결정하며, 선박의 LOA 값은 입찰 안내서와 항만 및 어항 설계기준을 참고하게 된다.



Fig. 2.2 View of breasting dolphin (B/D)

B/D의 상부구조형식은 수평하중에 의해 발생하는 말뚝의 인발력에 저항하기 위해 중량콘크리트 Flat 형식으로 적용한다. B/D의 하부구조 형식은 크게 형식별로 말뚝식, Jacket식 및 중력식(케이슨)으로 적용 가능하나, 대상지역의 해상조건, 수심조건 및 지반조건 등과 대상선박 규모를 고려하고, 말뚝식과 Jacket식에 대하여 비교 검토를 실시한 이후 시공이 용이하고 경제성 측면에서 유리한 구조형식을 적용한다. 또한 지지력과 인발력에 대해 충분히 안정성을 확보할 수 있도록 암반지지층(풍화암)까지 충분히 근입하도록 하여야 한다.

2.1.3 계류돌핀

계류돌핀(Mooring Dolphin, M/D)은 대상선박의 계류시, 선미측과 선수측에 계류라인을 고정하기 때문에 이에 따른 안정성을 유지하여야 하며, 선수측의 bow line, 선미측의 stern line, 현측의 breast line 및 선박측면의 spring line을 고정하기 위한 것으로 구분된다. M/D의 배치는 입찰안내서, 항만 및 어항 설계 기준과 OCIMF를 참고로 하여 결정한다.

M/D은 대상선박의 견인력을 산출하고 이에 따른 견인력에 대해 저항하는 파일 배치 및 간격에 따라 상부공의 규격이 결정 된다. 돌핀구조물은 상부공의 자중에 의해 주하중(견인력)에 저항하므로 파일 간격 및 상부공의 하중을 해석하여 돌핀구조물의 상부공의 규격을 결정하게 된다.

또한 M/D의 개수는 대상선박의 규격별 견인력에 따라 Mooring line의 개수 및 각도가 정해지며, 견인력은 자연조건 및 대상선박의 규모에 따라 결정 된다.

M/D의 상부구조형식은 수평하중에 의해 발생하는 말뚝의 인발력에 저항하기 위해 B/D형식과 동일하게 중량콘크리트 Flat 형식을 적용한다. M/D의 하부구조형식은 형식별로 말뚝식, Jacket식 및 중력식(케이슨)으로 적용 가능하나, 대상지역의 해상조건, 수심조건 및 지반조건 등과 대상선박 규모를 고려하여 구조 형식을 적용하여야 한다. 또한 지지력과 인발력에 대해 충분히 안정성을 확보할 수 있도록 암반지지층까지 충분히 근입시켜야 한다.



Fig. 2.3 View of mooring dolphin (M/D)

2.1.4 도교 및 부대시설

진입도교(Approaching Trestle)는 육상과 하역돌핀(W/D)간을 연결하는 Truss 구조물을 지지하기 위하여 기초를 설치하는데 기반암층의 심도에 따라 강관 Pile식 또는 중력식(Caisson식)으로 구조형식 계획한다. 육상과 접안시설을 연결하는 구조물로서 사람과 작업차량이 통행하는 Roadway와 원유 수송 및 기타 배관설치를 위한 Pipeway로 구성되며 통상 Roadway부 4m, Pipeway부 5m 등을 합쳐 총 14m의 폭으로 계획하지만 부두의 수에 따라 이를 확대하거나 높이를 2층구조 등으로 하며, Truss 부재는 보통 외력에 강관 H-Beam을 사용한다. 한편, 각 돌핀간을 연결하여 사람의 통행과 전기·통신 시설을 설치하기 위한 Truss 구조로 Catwalk가 있으며, Abutment는 하역돌핀과 육상을 연결하는 구조물인 Truss가 육상부에 놓여지기 위한 하부 기초를 가리키는데 이는 Truss 하중을 충분히 지지할 수 있는 구조로 하고, 해안도로의 기능을 갖는 기존 호

안의 법선을 침범하지 않도록 호안사면의 해측에 콘크리트 형식으로 배치한다.



Fig. 2.4 View of trestle (plate girder type and truss type)

2.1.5 수역시설

수역시설은 항로, 선회장, 박지, 항행보조시설 등으로 구성된다. 이 중 항로 및 선회장 이용조건은 입·출하부두 입지선정 조건의 가장 중요한 요소이며, 건설비용과 선박의 항행 및 접안, 계류, 하역조건에 막대한 영향을 미친다. 수역시설은 초대형 유조선이 이용하는 것임을 감안하여 안전한 항행, 정박, 원활한 조선 및 하역을 할 수 있도록 기 조사된 지형, 지질, 해상조선, 자연조건, 인접시설물 현황 등을 충분히 검토하여 최적의 수역시설이 될 수 있어야 한다.

부두 진출입 항로는 기존의 특정해역 왕복항로를 이용하고, 부두 진입 전용 항로는 설계기준, 관련 문헌을 종합적으로 비교 분석하여 계획한다.

항로폭의 산정은 UNCTAD(무역과 개발에 관한 국제연합 협의체) 기준과 항만 및 어항설계 기준(해양수산부, 2005)을 비교하여 더 엄격한 기준을 적용하고 항로 폭원 산정기준 대상선박은 대형선을 기준으로 적용한다. 또한, 굴곡부 항로 중심선의 교각은 30° 를 넘지 않는 것이 바람직하다.

2.2 돌핀부두의 안정성

2.2.1 설계조건 검토

접안 시설 설계를 위해 국내 설계 기준으로는 항만 및 어항 설계 기준, 도로교 설계 기준, 콘크리트 구조설계 기준 등을 참조하였으며, 해외 설계 기준으로는 일본의 항만시설의 기술상 기준 및 동해설, BS code 및 OCIMF 등을 참고로 하여 검토하였다.

(1) 해상환경조건

해상 환경 조건은 해당지역 기상청의 최근 30년간의 기상 관측 자료를 적용한다. 대상항목은 설계조위, 조류, 심해 및 천해 설계과고, 수심, 설계풍속, 저질 등을 고려하고, 지역 수로 및 통항조건을 반영한다.

(2) 선박접안시 외력산정

해상 구조물에 선박 접안시 발생하는 외력은 접안력과 계류력으로 구분되며, 설계 적용 검토를 위해 ‘항만 및 어항 설계기준 2-2(선박에 의하여 발생하는 외력)’에 의거하여 산정한다. 이를 위해서는 대상선박의 제원, 접안력, 계류력을 반영하여야 한다.

2.2.2 접안력

대상선박이 결정되면 선박의 접안에너지를 구하게 되는데 이 방법은 운동역학적인 계산식을 일반적으로 사용하며, 다음 식에 의하여 계산한다.

$$E_f = \frac{M_s V^2}{2} \times C_e \times C_m \times C_s \times C_c \quad (2.1)$$

여기서, E_f : 선박의 접안에너지
 M_s : 선박의 질량
 V : 선박의 접안속도
 C_e : 편심계수
 C_m : 가상질량계수
 C_s : 유연성계수 (1.0이 표준)
 C_c : 선석의 형상계수 (1.0이 표준)

이때 접안속도 및 접안각도에 따라 접안에너지가 달라진다.

2.2.3 계류력

계류시 선박에 의해 계류시설에 작용하는 외력은 대상선박의 체원, 계류시설의 구조, 계류방법, 계류시스템의 성질, 바람, 파도, 조류 등의 상호작용에 의하여 복잡한 6자유 운동 특성(Surge, Sway, Heave, Roll, Pitch, Yaw)을 나타낸다.

(1) 풍하중

바람은 선체의 수면 상부 부분과 갑판 위구조물에 풍압력을 가하여 선체에 변위를 일으키고 계류로프에 장력이 걸리게 한다. 계류선박에 작용하는 풍하중은 풍속의 시간적 변동성, 선체의 단면 형상에 따라 풍항력 계수의 특성을 배려하여 구하는 것이 바람직하다.

선박에 작용하는 풍하중은 x, y방향의 풍항력계수 C_x , C_y 와 선박중심축 회전 의 풍압모멘트계수 C_M 을 써서 다음 식으로 구한다.

$$\begin{aligned}
 R_x &= \frac{1}{2} \rho_a U^2 A_r C_x \\
 R_y &= \frac{1}{2} \rho_a U^2 A_L C_y \\
 R_M &= \frac{1}{2} \rho_a U^2 A_L L_{pp} C_M
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

여기서, C_x : x방향(선체 정면방향)의 풍항력 계수
 C_y : y방향(선체 측면방향)의 풍항력 계수
 C_M : 선체중양 주위의 풍압 모멘트 계수
 R_x : 풍하중 합력의 x방향 성분(kN)
 R_y : 풍하중 합력의 y방향 성분(kN)
 R_M : 풍하중 합력의 선박중심축 회전의 모멘트(kN·m)
 ρ_a : 공기의 밀도, $\rho_a = 1.23 \times 10^{-3}(\text{t/m}^3)$
 U : 풍속(m/s)
 A_r : 수면상 선체 정면 투영면적(m^2)
 A_L : 수면상 선체 측면 투영면적(m^2)
 L_{pp} : 수선간 길이(m)

선박에 작용하는 풍하중 합력은 다음과 같은 Hughes의 식을 사용하여 계산할 수 있다.

$$R = 0.5\rho_a U^2 C_W (A_T \cos^2\theta + A_L \sin^2\theta) \quad (2.3)$$

여기서, R : 풍하중 합력(kN)
 θ : 풍향(degree)
 C_W : 풍항력 계수

(2) 조류력

선박에 작용하는 조류에 의한 유압력은 선수방향과 선측방향으로 나누어산정한다. 선수 방향에서 흐름과 선박 사이에서 발생하는 유압력은 다음 식으로 계산된다.

$$R_f = 0.0014SV^2 \quad (2.4)$$

여기서, R_f : 유압력(kN)
 S : 침수면적(m^2)
 V : 유속(m/s)

한편, 선측 방향에서 흐름에 의한 유압력은 다음 식으로 계산된다.

$$R = 0.5\rho_o CV^2 B \quad (2.5)$$

여기서, R : 유압력(kN)
 ρ_o : 해수의 밀도(t/m^3), (표준값 : $\rho_o = 1.03t/m^3$)
 C : 유압계수
 V : 유속(m/s)
 B : 흘수선 밑의 선체 측면 투영면적(m^2)

(3) 파력

계류선박에 작용하는 파력은 선형이나 파의 제원을 고려하여 적절한 방법으로 계산한다. 계류선박에 작용하는 파력은 스트립법, 특이점분포법, 경계요소법, 유한요소법 중 적절한 방법을 사용하지만 선박에서는 스트립법을 가장 많이 사용한다. 선체전체에 작용하는 파력은 입사파에 의한 변동압력인 프루드 크릴로프의 힘(Froude Kriloff force)과 선체에 의한 반사파의 힘(diffraction force)의 합으로 된다.

프루드 크릴로프의 힘은 선체를 통과하는 파에 의한 힘으로 입사파의 힘과 접안시설에 의한 반사파에 의한 힘의 합으로 된다. 선박에 의한 반사파의 힘은 입사파가 선체에 의해 산란될 때의 압력장의 변화로 인해 발생하는 힘으로 이 압력장의 변화를 상대적으로 선체를 운동하게 하여 라디에이션의 유체력(radiation force), 즉 정지유체 속을 선박이 어느 정도의 속도로 운동할 때

의 조파 저항력으로 바꾸어 추정할 수 있다. 이때의 선박속도는 선체 단면과 입사파의 수립자와의 상대속도와 동일하다고 가정한다.

(4) 조위

항로 및 부두의 소요수심을 확보하기 위해 고조위 이용가능 시간 및 계획수심에 대해 계산을 수행하여야 한다. 설계에서는 약최고고조위, 평균고조위, 소조평균고조위 등을 도출하여 입출항 가능상태를 파악하여야 한다. 조위를 이용한 선박 입출항 이용시간은 실제 현지 해역특성에 따라서 다를 수 있고 변화될 수 있으므로 안전한 부두의 접이안 및 입출항을 위해 계획된 박지 및 항로수심을 고려하여 적정 만재흘수조건의 대상선박으로 이용되어야 한다.

장래의 이용선박에 대한 적재물량을 Full로 또는 어느 정도 적재물량을 선적하여 입출항 할지는 현재로서는 알 수 없는 실정이다. 이는 부두운영에 대한 박지의 소요수심과 깊은 관계가 있으며 운영선박의 적재화물량에 따라 선박의 흘수는 설계나 시공팀에서 알 수 없고 운영선박의 선사에서 제공되는 사항이다. 장래 운영계획상의 선박에 대해서는 대상부두에 대해 준설계획을 수립하고, 장래 소요수심 확보는 이용선박의 운영 적재흘수가 결정되고 장래 준설계획 등 발주처의 장래 부두운영계획에 의해 조위를 이용한 입출항계획을 수립하게 된다.

제3장 돌핀부두의 설계조건 비교

중량 톤수 10만톤급 이상의 석유탱커(초대형석유탱커)가 이용하는 항만시설에 대해서는 설계기준에 적합하도록 건설하고 개량하고 또는 유지하는 것으로 하고 있다. 단, 중량 톤수 10만톤 미만, 5만톤 이상의 석유탱커가 이용하는 항만의 시설에 대해서도 기존의 취지에 따라 그 안전 확보를 도모하여야 한다. 액화천연가스, 철광석 등을 취급하는 초대형선이 이용하는 고정식 계류시설의 설계에 있어서도 부두 본체의 설계에 대해서는 탱커부두기준을 준용하고 있다.

요약된 국내외 설계기준 및 지침을 통해서 핵심사항으로는 B/D의 간격을 우리나라나 일본의 경우 탱커의 현측 직선구간에 B/D를 접하는 것으로 계획하여 최소의 B/D간격을 일반적으로 1/3L 이격하거나 대상선박의 제원이 명확하지 않은 경우에는 0.25L~0.4L 범위내 배치하는 것으로 하게 되어 있다. 그러나 선박 건조추이를 볼 때 장래에는 미국에서 적용하는 범위인 0.3L~0.5L에 해당하는 PBL 0.45L을 표준으로 하여 B/D 설계에 반영하는 것을 고려해 볼 수 있을 것이다.

M/D의 수는 대상선박의 크기에 따라 좌우되며 일반적으로 선수 및 선미부측에 각각 2~3개씩 설치하는 것이 일반적이고 B/D은 선박의 중앙부에서 좌우로 1개, 선석당 2개를 설치하는 것으로 하고 있다.

부두법선과 Bow 및 Stern Line이 이루는 각은 30° ~ 45° 이내로 되도록 배치하며 M/D에서 Breast line은 부두법선과 15° 이내, B/D에서 Spring Line은 10° 이내를 유지하는 것을 원칙으로 하고 있으나 각 선석에서 여러 가지 크기의 선박을 서비스하고 있으므로 각국의 지침에서 수평 및 수직각의 값에 다소 변화가 있는 편이다.

3.1 계류시설의 구조 기준

3.1.1 국내 설계기준

계류시의 본선의 안전에 대한 Swell의 영향에 대하여는, 鞠谷 & 岩井의 실험(1972)에 의하면 파장이 본선 길이의 1/3로서 파고가 3m인 파에서, 선수미 방향으로부터 좌우 30° 이상인 경우에는 선박의 움직임이 커지고 현재의 계류 방법으로는 안전을 유지하는 것은 불가능하다. 또, 谷本 등의 실험(1973)에 의하면 Breasting Dolphin에 작용하는 계류중의 선박 접안력은 주기가 8초 및 11초(파고1.0m)인 파의 경우, 파향이 선미 방향으로부터 0° 및 30° 일 때 변화는 없다. 그러나, 주기가 15초 및 21초의 파에서는, 파향이 30° 인 경우는 0° 와 비교하여 상당히 증대한다. 그리고 계류색의 장력은, 계류색의 특성에 따라 다르며 위에서 언급한 접안력과 거의 같은 경향을 나타내고 있다.

계류시설의 구조형식의 선정에 있어서는 자연조건, 시공조건, 공기, 경제성, 시설의 이용효율 및 관리 등을 고려하여 결정한다. 탱커부두의 구조형식은 고정식과 부표식이 있으며 실제로 사용되고 있는 구조형식으로는 고정식 계류시설이 Dolphin Type이 대부분이고, 잔교식은 적다. 고정식에 대한 평면도 및 단면도의 사례는 첨부한 Fig. 3.2~Fig.3.5와 같다.

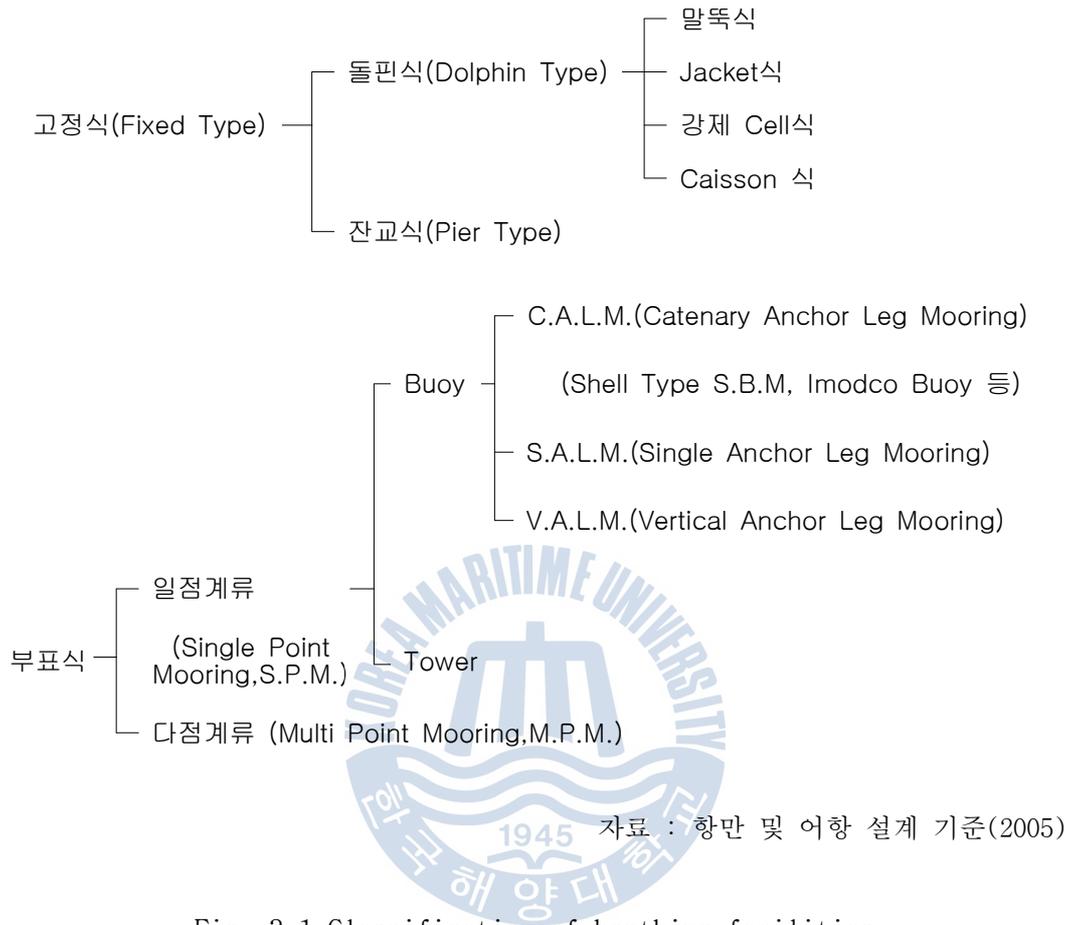


Fig. 3.1 Classification of berthing facilities

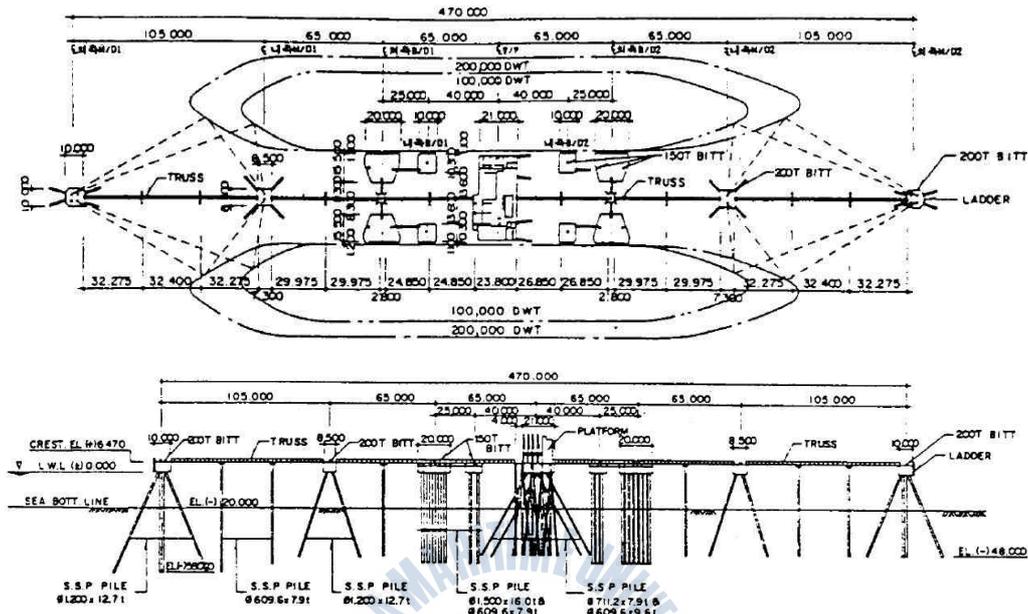


Fig.3.2 Pile type dolphin berth 1 (Korean design standard)

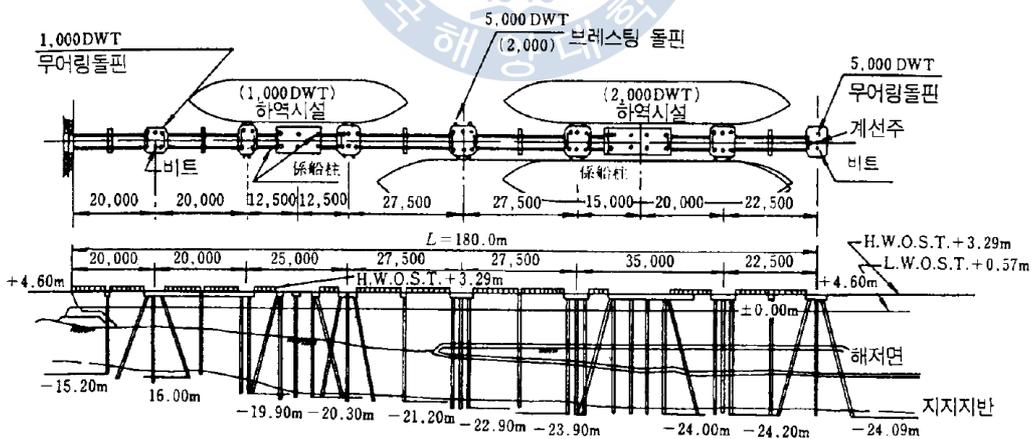


Fig.3.3 Pile type dolphin berth 2 (Korean design standard)

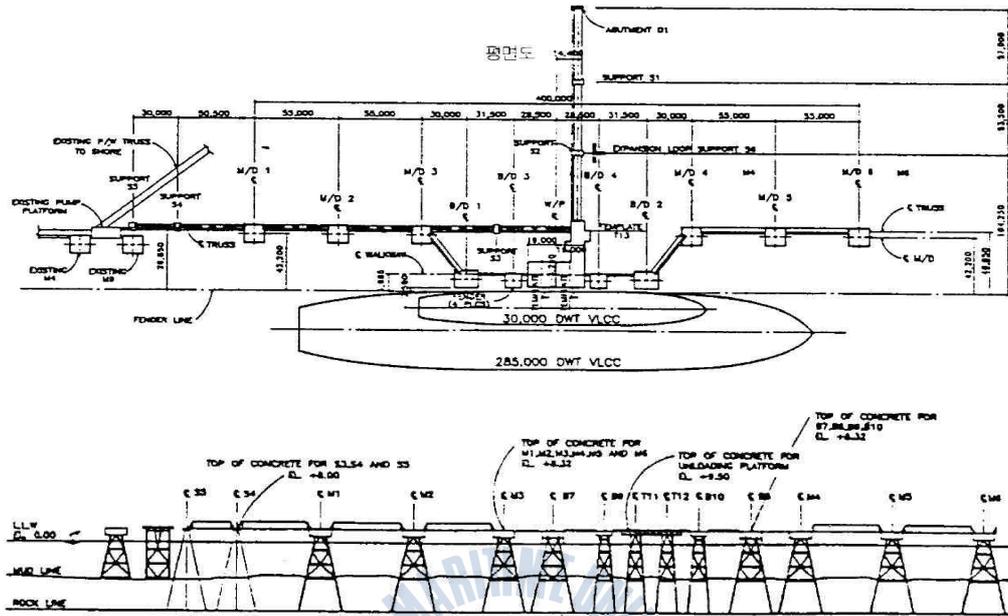


Fig. 3.4 Jacket type dolphin berth (Korean design standard)

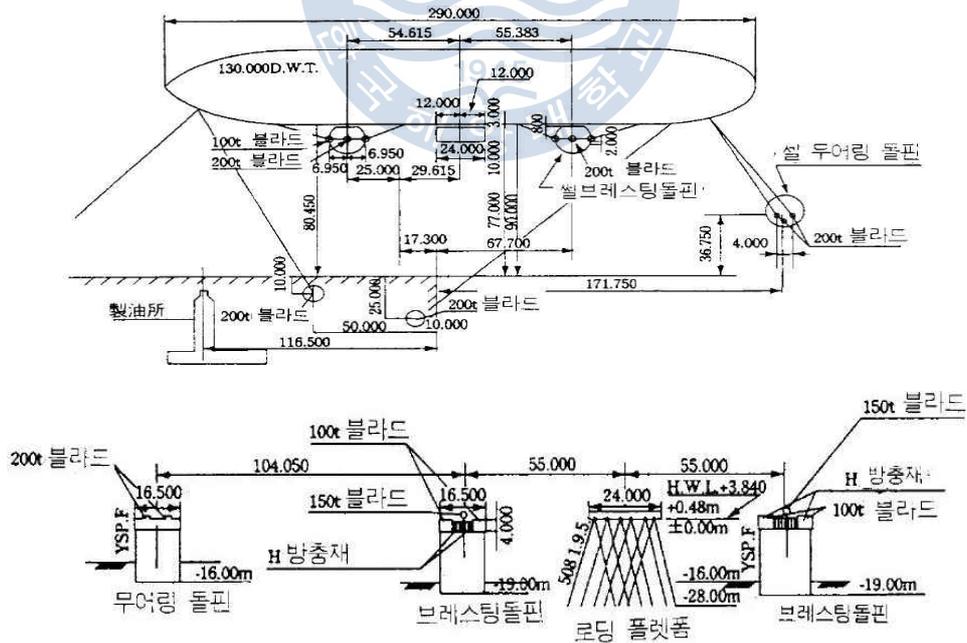


Fig. 3.5 Cell type dolphin berth (Korean design standard)

3.1.2 일본 설계 기준

항만시설의 일본설계 기준과 우리나라의 설계기준은 동일하며 구조형식에서 사례로 제시된 도면에 약간의 차이만 발견된다. 실제로 사용되고 있는 구조형식으로는 고정식 계류시설에서 Dolphin Type이 대부분이고, 잔교식은 적다. 또한, 부표식에는 일점계류형식이 다점계류에 비하여 많이 사용되고 있다. 이 상에 기술한 형식에 관하여 평면도 및 단면도는 Fig. 3.6~Fig.3.8와 같다.

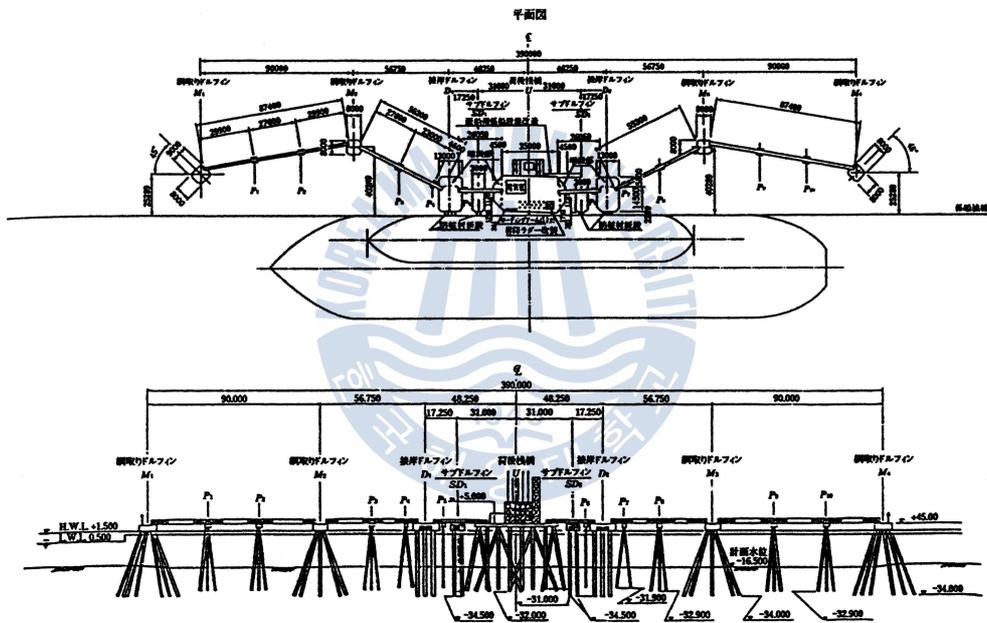


Fig. 3.6 Pile type dolphin berth (Japanese design standard)

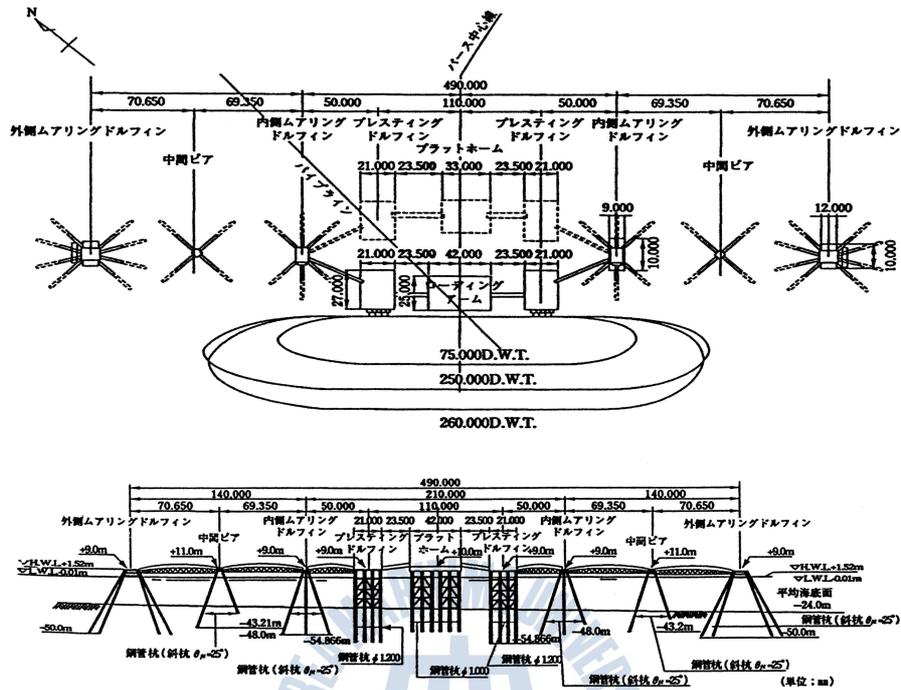


Fig. 3.7 Jacket type dolphin berth (Japanese design standard)

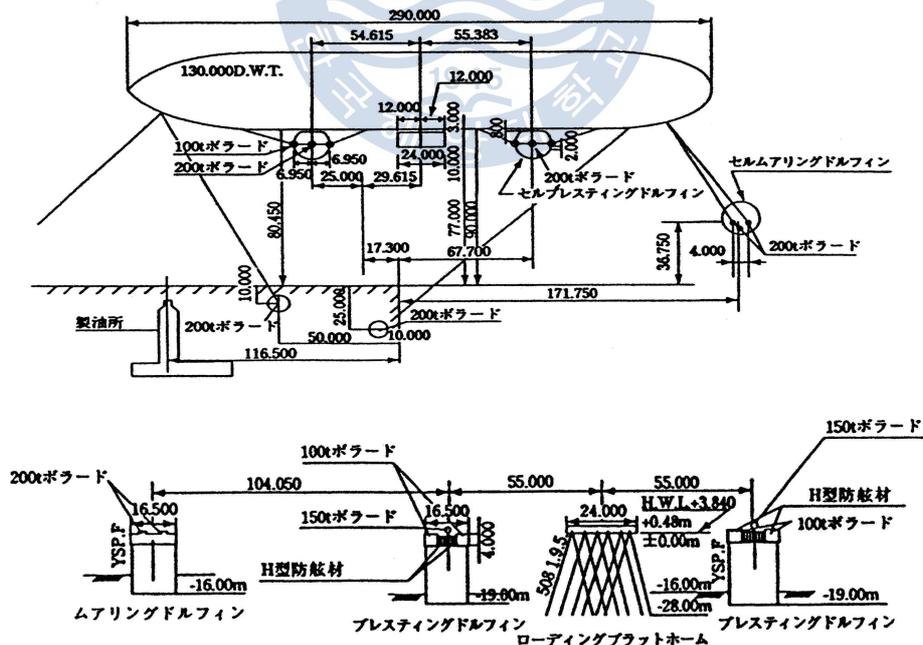


Fig. 3.8 Cell type dolphin berth (Japanese design standard)

3.1.3 미국 설계 기준

항만시설의 미해군 고정식 계류시설에 대한 지침(Design Manual 26.4)에서 구조형식에서 사례로 제시된 돌핀구조물의 배치는 Fig. 3.9와 같다.

고정식 계류시설은 외부환경에서의 하중을 최소화하기 위하여 잘 보호된 해역에 위치시켜야 하는데 대부분의 경우 항만내에 위치하고 있다. 가능하면 계류시설의 배치는 선체중축선이 바람, 파랑 및 흐름의 방향과 나란하도록 하여야 한다. 고정식 계류시설은 대상지역에 따라 다르나 기본요소는 방충공(Fender)을 포함한 하역돌핀, 계류돌핀, 접안돌핀, 도교(Trestle), 도교(Catwalk), 계류색(Mooring lines), 데크상의 QRH(Quick Release Hook), Bollard or Bitts 등을 정의하고 있다.

W/P, B/D, M/D은 Fig. 3.10~Fig. 3.12와 같이 고립된 콘크리트, 강재, 목재 데크를 콘크리트, 강재, 목재 파일로 직항 및 사향으로 데크를 지지하는 구조로 되어 있고, B/D은 선박 접안시의 충격력을 흡수하도록 방충공가 설치하도록 되어있다. M/D과 B/D의 구조물은 수심이 40ft 이상의 장소에서 원통형 시트파일 또는 콘크리트케이슨을 적용하는 대신 파일 데크식으로 하며, 특히 지반이 연약한 곳에는 이 파일 데크식이 이용된다.

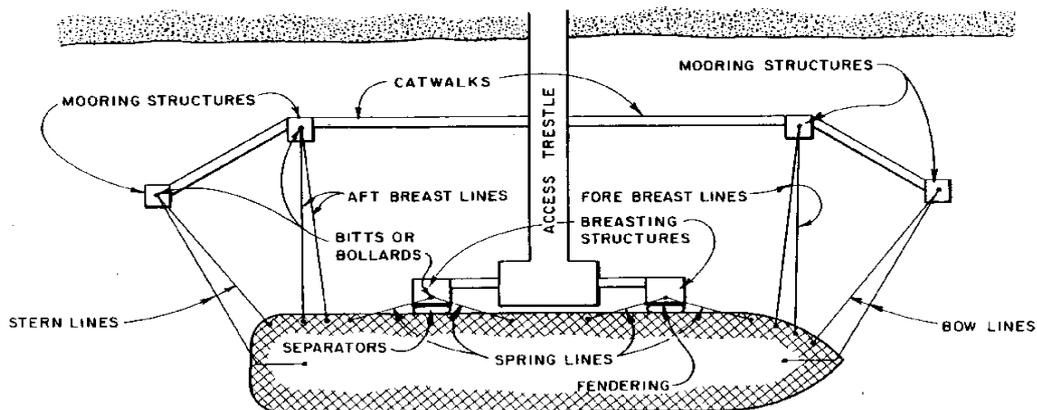


Fig. 3.9 Typical fixed mooring berth (US NAVFAC DM)

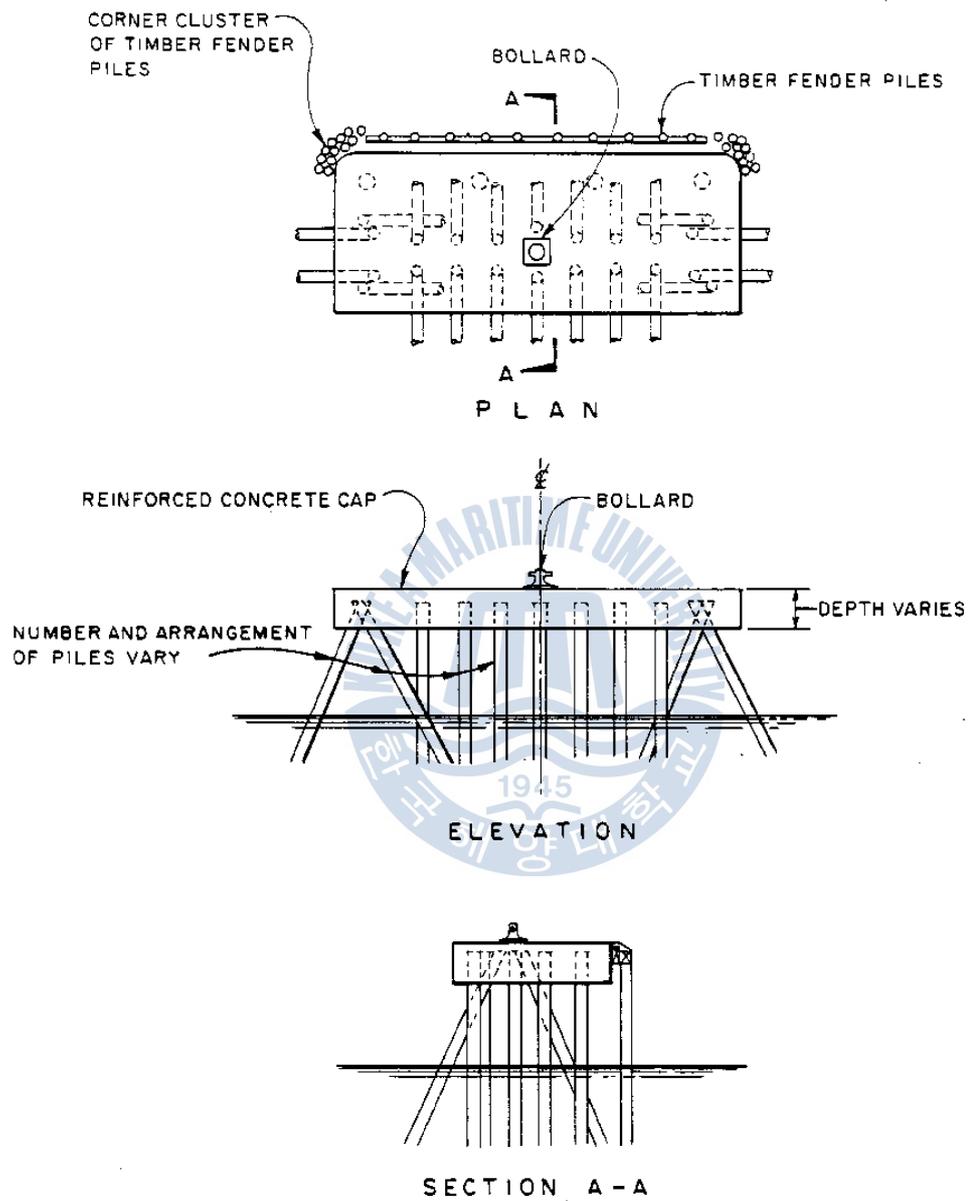


Fig. 3.10 Rigid breasting platform (US NAVFAC DM)

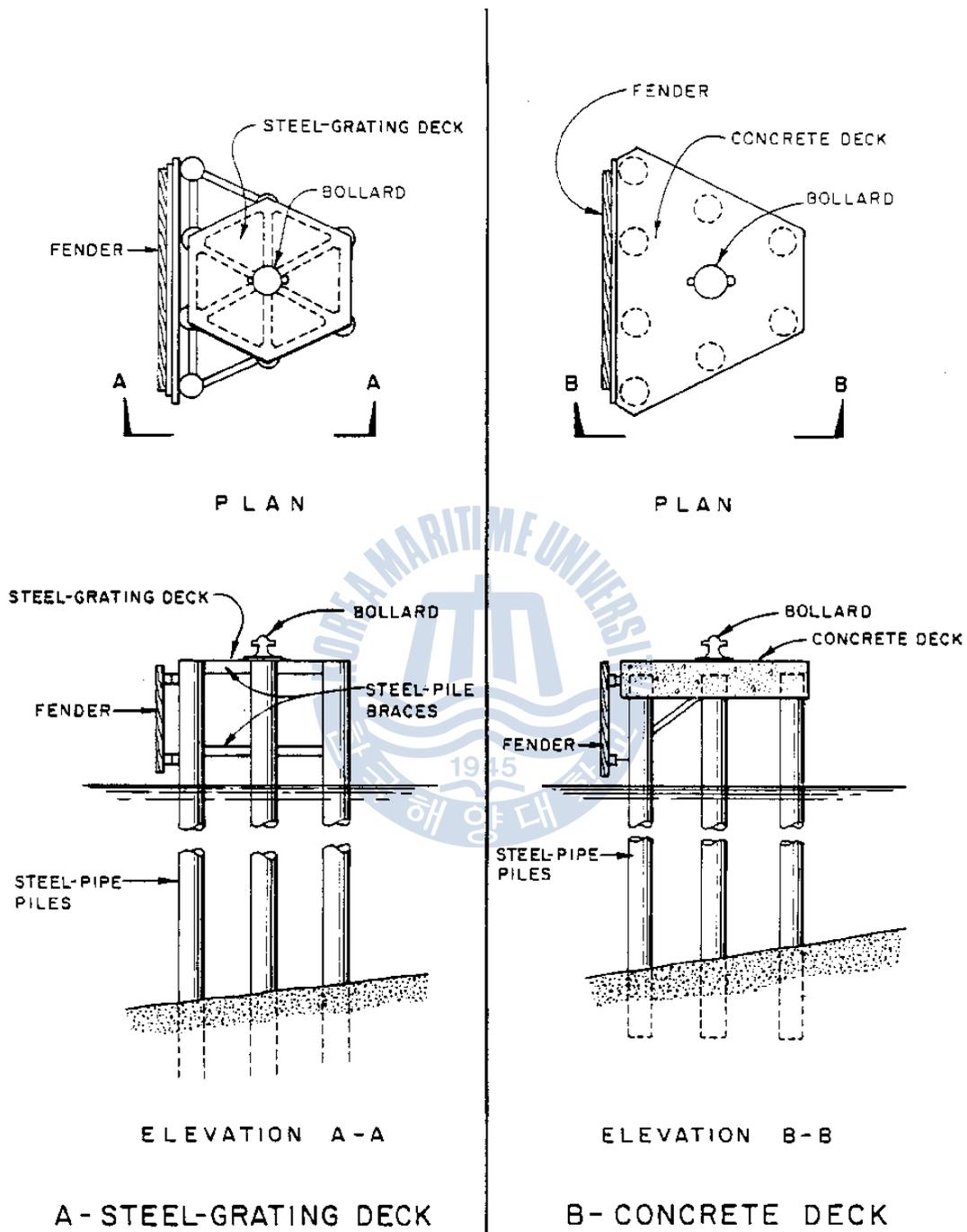


Fig. 3.11 Two types of flexible breasting platform (US NAVFAC DM)

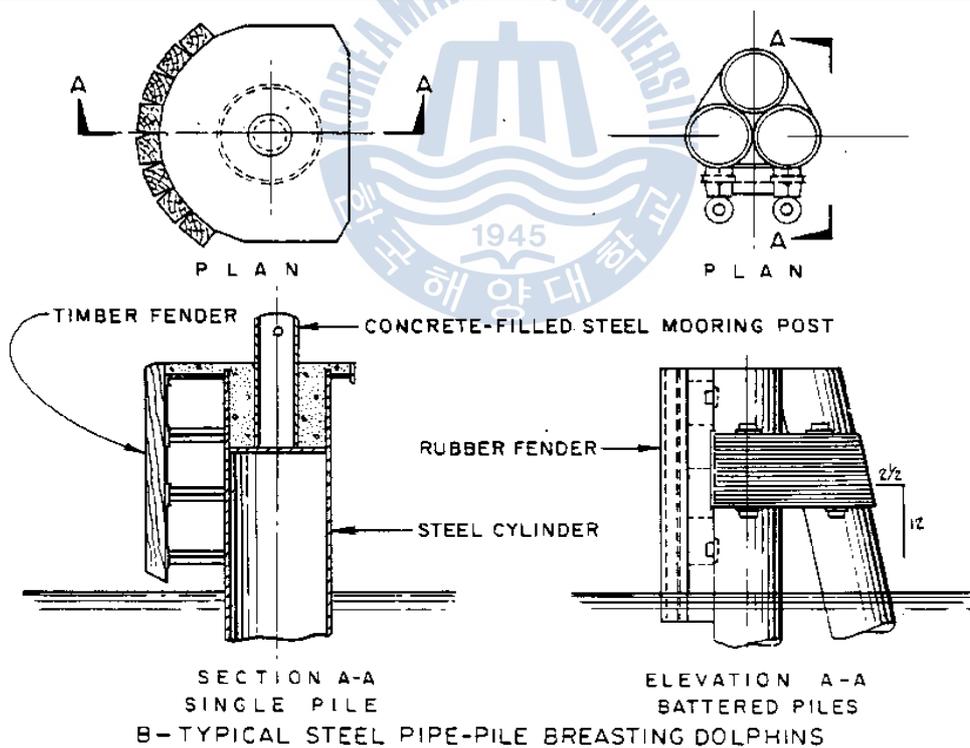
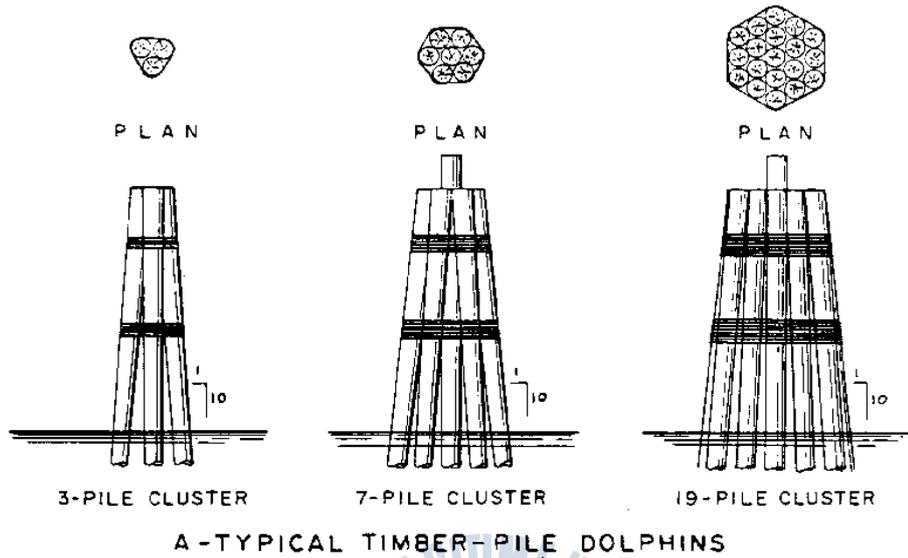


Fig. 3.12 Typical pile type breasting platform of dolphins (US NAVFAC DM)

3.1.4 영국 설계 기준

항만시설의 영국(BS Code) 지침에서는 Oil loading arm과 같은 고정식 계류 시설에 계류하는 선박은 2개 또는 그 이상의 점에 집중된 접안에너지를 흡수하기 위한 방충공을 계획한다. 이는 하역부두(W/P) 및 분리된 하역부두 주위의 접안돌핀으로 해결한다. 전형적인 부두배치형식은 Fig. 3.13~Fig. 3.14와 같다.

방충공의 간격은 부두에 접안할 실제 선형을 고려하여야 하지만 계류할 선박의 길이 L 에 대해 $0.3L \sim 0.4L$ 의 범위에 있어야 한다. 선박크기의 범위가 커지면 Fig. 3.15에서와 같이 주 방충공 내외측에 보조 방충공을 고려할 필요가 있다.

예선, 수리 유지선 등 기타 소형 선박이 하역부두에 계류하는 경우의 운영 조건은 보조 방현시스템을 제공할 필요가 있으며, 이들의 설계에서는 특별히 다음 사항을 고려하여야 한다.

- 하역부두상의 제반 장비와 선박사이에서 직접적 충격의 방지
- 충격으로 인한 하역부두의 수평이탈이 데크에 높은 제반 장비의 충격허용 한계 이내로 할 것

따라서, 방충공의 최대압축상태에서 선박이 부두를 강타하지 않게 하거나 보조방충공에 과도한 하중이 전달되지 않도록 접안면이 하역부두 경계선보다 충분히 전방에 위치하여야 한다.

돌핀은 계류시스템의 주된 것으로 탄성식, 중력식, 고정식의 에너지 흡수 방충공을 구비하고 있다. 방충공의 간격은 최소설계선박이 최소한 2개의 돌핀에서 선체의 직선구간에 접하도록 하여야 한다. 돌핀의 최대 간격은 Fig. 3.16과 같이 최소 설계선박 길이 L_s 에 대해 0.25배를 권고하는데, 돌핀의 도움이 필요없이 안전하게 접안 가능한 예선과 소형 연안선박은 제외한다.

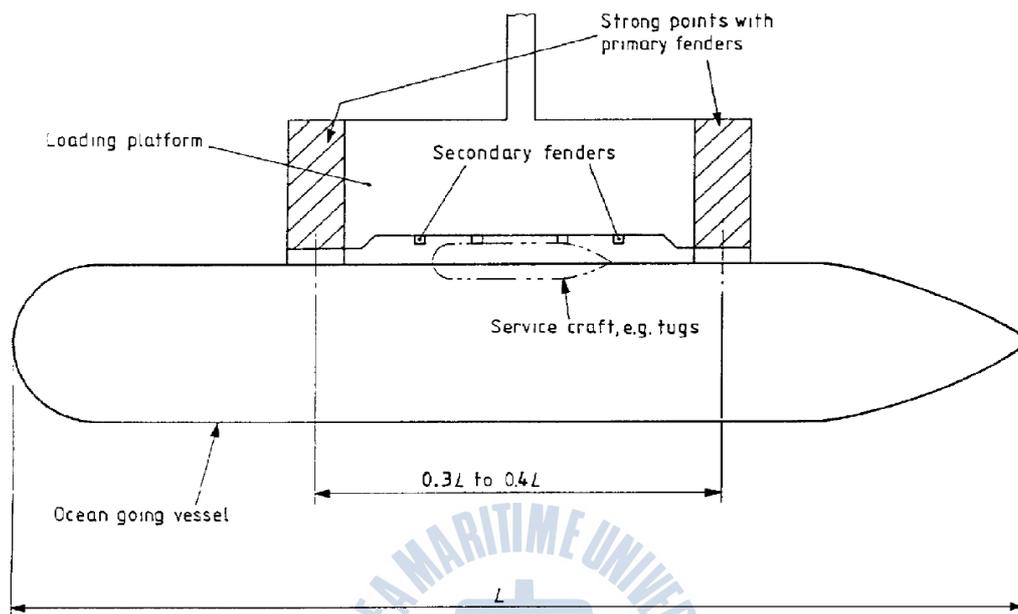


Fig. 3.13 General arrangement of single island berth (BS Code)

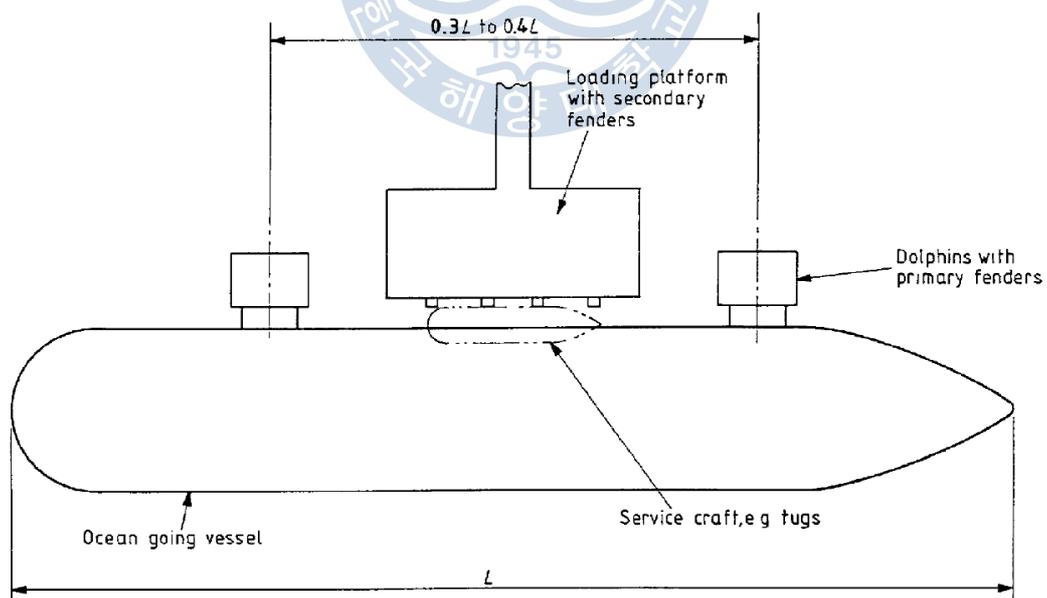


Fig. 3.14 General arrangement of three-island berth (BS Code)

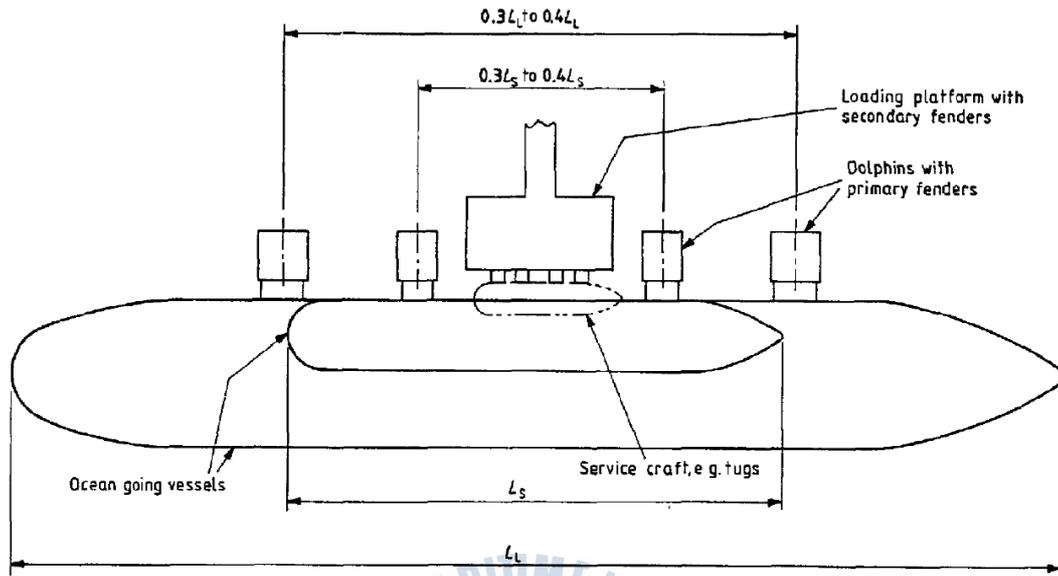


Fig. 3.15 General arrangement five-island berth (BS Code)

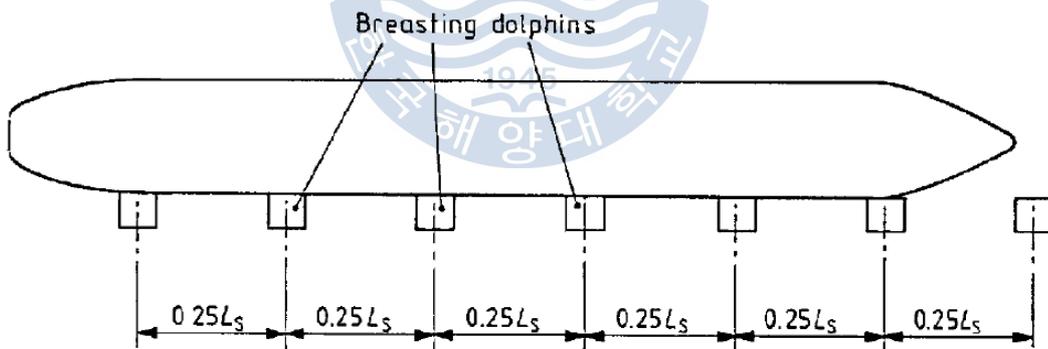


Fig. 3.16 Fender layout on a continuous quay (BS Code)

3.2 계류시설의 배치기준

3.2.1 국내 및 일본 설계 기준

고정식 탱커부두의 계류시설 배치에 관한 한·일의 설계기준은 동일하다. 유류하역의 경우 탱커의 Manifold와 Loading Arm의 접속에 의하여 하역이 행해지고 하역위치가 정해지므로 접안, 하역 및 계류설비가 분리되어 있는 Dolphin Type이 탱커용 시설로 채용되고 있다.

(1) 접안돌핀(B/D)의 배치

돌핀의 대상선박이 되는 대형 선박의 현측은, 보통 선수 및 선미부에서 선박 길이(L)의 1/8정도의 범위가 곡선으로 되어 있는데, 중앙구간의 3/4L은 직선으로 되어 있다. 돌핀을 이 직선부내에 접현할 수 있도록 배치하는 것이 좋다.

B/D의 간격은 일반적으로 1/3L 길이만큼 이격하는 것이 보통이며 선박의 배관분기관(Piping Manifold)을 중심으로 대칭으로 설치되도록 하는 것이 바람직하다. B/D의 간격은 멀리 이격시킬수록 구조적으로 유리하나 선박 측현의 직선구간 내에 들어와야 하므로 대상선박의 제원이 명확하지 않는 경우는 0.25L~0.4L 범위 내에 있도록 배치하는 것이 좋다. 또, 최근 탱커의 Parallel Body 길이가 짧아지는 경향이 있으므로, 실제에는 접안하는 탱커의 선형에 적합한 배치로 하는 것이 필요하다(항만 및 어항 설계기준 제14편 7-2참조).

B/D에 계류점(Mooring Point)을 설치하는 경우 Spring Line으로 사용하게 되므로 계류색이 허용양각(25°) 이내에 들어오도록 충분한 길이를 확보할 수 있는 위치에 설치하여야 한다.

B/D의 수는 일반적으로 전후부에 각각 1개씩으로 하는데, 대형선과 소형선이 겸용하는 경우는 2개씩 설치할 수 있으며 그 위치는 일직선상에 있어야 한다.

유류돌핀과 같이 특별한 하역기계를 필요로 하는 돌핀에서는, 중앙부에 하

역기계용의 돌핀을 1기 더 설치하는데 B/D보다 조금 육지쪽에 배치하도록 하여서 선박의 충격력이 직접 작용하지 않도록 계획하는 것이 좋다.

돌핀의 배치는 될 수 있는 대로 풍향, 파향, 조류와 평행으로 하는 것이 좋다. 이것은 접안할 때와 이안할 때의 조선을 쉽게 하고 또 계류 중에 돌핀에 작용하는 외력을 작게 하기 위함이다. 바람 등의 방향과 해안선의 방향이 다르고, 또 해안에 가깝게 돌핀의 건설할 경우에는 돌핀의 배치방향이 수역의 이용면에서 해안선에 평행하게 하는 수가 많다. 일반적으로 해안에 가까운 중형 이하의 선박을 대상으로 하는 돌핀은, 풍하중이 그다지 크지 않으므로 해안에 평행하게 하여도 무방하다. 현지반의 수심으로 계획수심을 확보할 수 있는 위치가 유리하다.

B/D의 간격은 대상선박의 전장과 밀접한 관계가 있으며, Fig. 3.17은 B/D 간격과 수심의 관계를 과거의 시공예로부터 조사한 것이다.

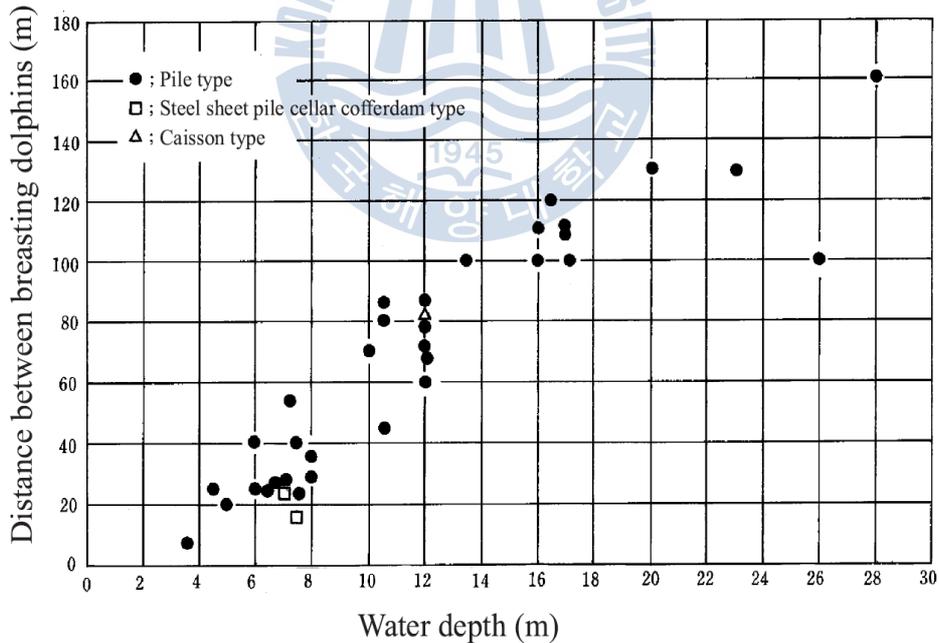


Fig. 3.17 Distance between breasting dolphins respect to water depth

(2) 계류 돌핀(M/D)의 배치

접안할 때와 계류할 때, 배를 로우프로 매는 계선주는, 해안에 가까운 경우는, 육상에 설치하는 수도 있으나, 일반적으로 M/D를 축조하여 이것에 계선주를 설치한다. M/D의 수는 대상선박의 크기에 따라 좌우되지만 일반적으로 선수 및 선미부측에 각각 2기씩이지만, 대상선박의 선형이 큰 경우나 계류 중의 기상·해상조건이 좋지 않은 경우에는 각 3기씩 설치하는 경우도 있다.

이상적인 계류 시스템은 Head 및 Stern Line과 2개의 Breast line 및 4개의 Mooring Line으로 계획하는 것이나 추천되는 계류 시스템은 Breast 및 Spring line만 가지고도 선박을 안전하게 계류할 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 그 이유는 Bow 및 Stern Line은 계류색이 타 계류색보다 길이가 길어 선박을 계류하는데 비효율적이 되기 때문이다(선박의 구속능력은 계류색 길이에 비례).

Breast Line은 선박의 종축과 직각방향으로 계획하되 15° 이상 벗어나지 않도록 하여야 한다. Head 및 Stern Line은 접안선과 $30^\circ \sim 45^\circ$ 이내로 하는 것이 바람직하다. Spring Line은 선박의 종축과 평행한 방향으로 계획하되 10° 이내로 하여야 한다.

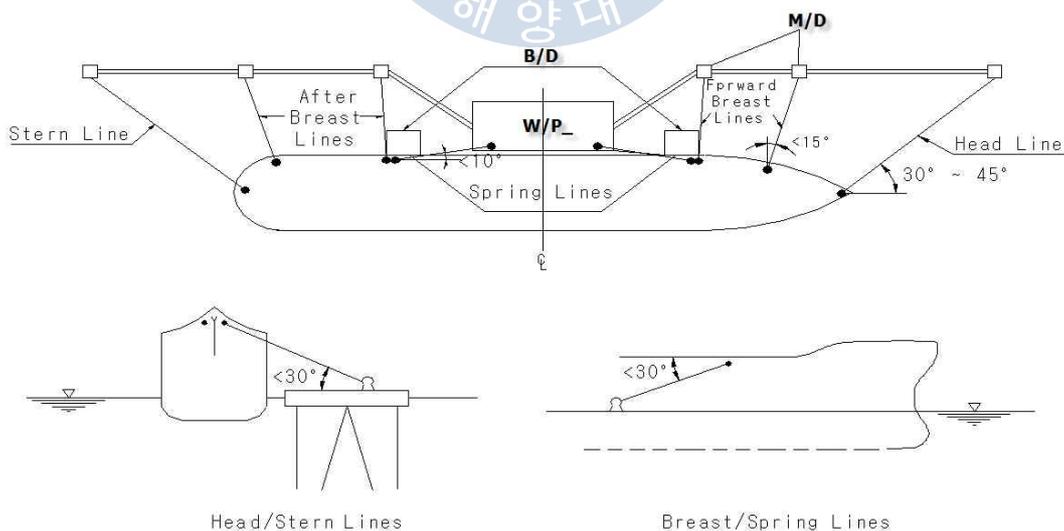
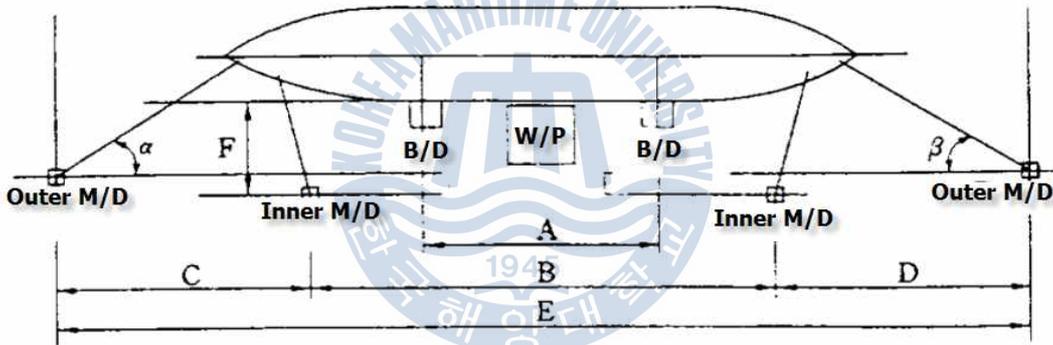


Fig. 3.18 Typical arrangement of mooring lines

계류 Line의 양각은 25° 이내로 계획하는 것이 바람직하며 어떠한 경우에도 30° 를 초과해서는 안된다.

Table 3.1 Intervals of breasting dolphin and minimum required mooring angles

선형 \ 제원	A (m)	C (m)	E (m)	F (m)	α (°)	β (°)
10만 DWT급	~90~	~110~	~450~	~30~	45°이하	45°이하
20만 DWT급	~105~	~120~	~480~	~40~	"	"
30만 DWT급	~120~	~130~	~530~	~50~	"	"
50만 DWT급	~130~	~140~	~580~	~60~	"	"



계류점은 접안선에서 35~50m 범위내에 위치하는 것이 바람직하며 계류점의 높이는 항시 수상에 노출 될 수 있도록 조석 및 파랑의 영향이 고려된 최고 운영수위보다 1.5m 이상 위에 있어야 한다.

VLCC의 계류점에는 Quick Release Hook(QRH)을 사용하여야 하며 계류력이 가장 크게 작용되는 곳은 3개 Hook의 QRH가 바람직하다. Breast 및 Spring Line으로만 계류하도록 계획한 이상적인 Mooring System에는 4개 Hook의 QRH를 사용하여야 한다.

(3) 하역 돌핀(W/P)의 배치

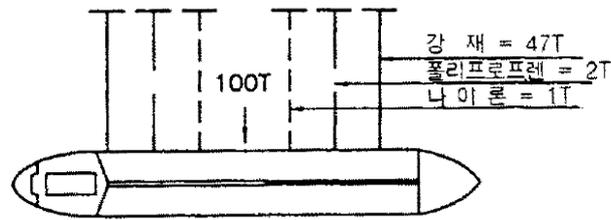
W/P은 상면이 넓고 재하중이 크기 때문에, 파력의 영향을 극히 적게 함과 동시에 상부기능이 지장을 받지 않도록 상면의 높이를 충분히 높게 하는 것이 바람직하나, 너무 높으면 Loading Arm의 작동범위를 넘어버릴 우려가 있다. 따라서, 높이의 결정에 있어서는 과거의 최대파의 파정고를 고려하는 것은 물론이지만, Loading Arm의 작동범위에도 유의하여야 한다. W/P의 마루높이는 파의 영향이 큰 곳에서는, 삭망평균만조위+편차+최대파고시의 파정고로 하고 있지만, 최대파고시의 파정고를 $1/2 \times$ 최대파고로 하고 있는 경우도 있다.

B/D은 선박의 접안력을 유효하게 받아들이기 위하여, 방충공의 연결위치를 너무 높게 할 수 없으므로, 상면의 높이의 결정에 있어서는 W/P과 어느 정도 다른 관점에서 고려하여야 한다. B/D의 마루높이는 파랑조건 이외에 간만 및 만재 또는 공선 시 Tanker deck의 변동을 고려하여 방충공이 적절한 위치가 되도록 정할 필요가 있다.

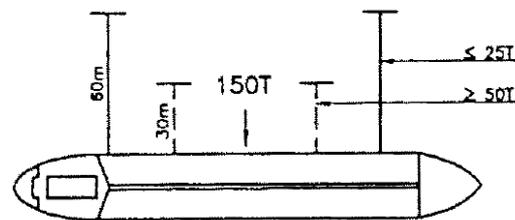
M/D의 상면을 너무 높게 하면 만재시의 선박의 갑판고가 낮으므로 계류색을 연결했을 때, Fair Leader로부터 계류색이 벗어나는 것도 생각되므로, 높이의 결정에 있어서는 파력의 영향의 이외에 이러한 조사를 행할 필요가 있다.

M/D의 마루높이는 파랑조건 이외에 이미 기술한 바와 같이 계선 Line의 양각을 배려하여야 한다. M/D 위에는 계선설비로서 Capstan, 계선 Hook, 유압 Unit가 설치되므로, 월파하는 것은 바람직하지 않다. 이런 의미로부터 높이는 높은 쪽이 좋으나, 너무 높으면 최저 갑판고일 경우 양각이 Minus(-)가 되어 Fair Leader로부터 Line이 벗어나 버리는 결과가 된다. 양각이 최고 갑판고에서 30° 정도, 최저 갑판고 0° 이상이 되도록 마루높이를 결정할 필요가 있다. 일반적으로 보아 대부분의 부두에서 M/D과 같은 Level로 되어 있다.

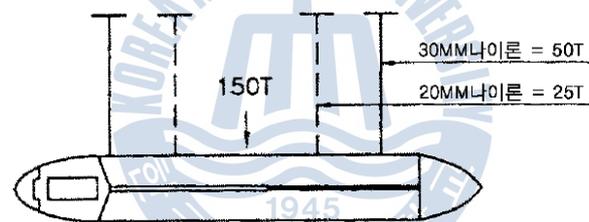
계류색의 길이가 같은 경우 계류색의 재질에 따라 선박에 의해 분배되는 계류력은 강재, 폴리프로플렌, 나이론 순으로 커지며 같은 재질인 경우의 계류력은 계류색 길이에 비례하여 작아지고, 단면적에 비례하여 커진다.



A) 계류선 재질의 영향(같은 길이 및 굵기)



B) 계류선 길이의 영향(같은 재질 및 굵기)



C) 계류선 굵기의 영향(같은 길이 및 재질)

Fig. 3.19 Example of mooring load distribution depending on types, length, and thickness of mooring lines

3.2.2 미국 설계 기준

아래 그림은 전형적 고정식 계류시설을 나타내는데 B/D, M/D 및 계류선의 배치, 계류방법, 계류를 위한 허용공간, 계류선박의 크기, 계류 및 접안 하중, 선박운동한계, 본선 계류선의 수·크기, 본선에서 계류선의 설치위치(계류 윈치), 선호하는 현존선박 교통형태와 선박회두반경, 동력 또는 다른 시설

접근성 등에 따라 달라진다.

최소 2개의 B/D이 고정식 계류에 필요하며, B/D의 위치는 계류시 방현시스템으로 선박의 접안에너지를 흡수할 수 있는 규모에 영향을 미친다. 계류 동역학의 이론적 해석(Coasta, 1973)에서 선박의 중심과 방충공과 선박간의 접촉점 사이의 거리가 증가할수록 B/D의 방충공에 전달되는 접안에너지의 양은 감소하는 것으로 나타났다. 따라서, 설계시 B/D를 가능하면 떨어져 배치하여야 한다. 그러나, B/D의 방충공은 선체의 직선부에 접촉하여야 한다.

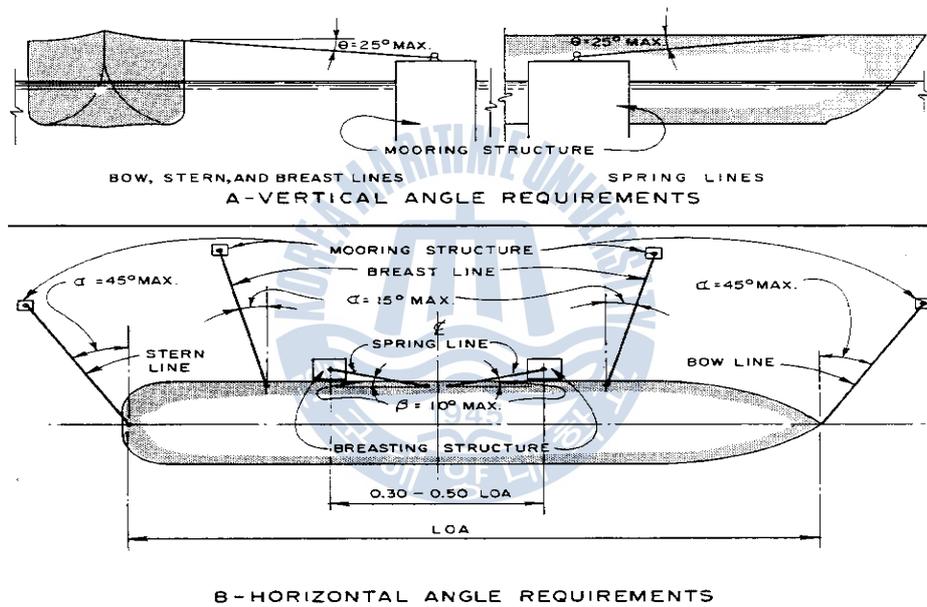


Fig. 3.20 Line angles for a typical fixed mooring (US NAVFAC DM)

Piaseckj(1977)에 B/D의 가장 보편적인 간격은 계류선박 전장(LOA)의 30%로 하였지만 그 간격으로 22~50%가 사용되어져 왔으며, 30~50%를 사용하도록 권고하고 있다.

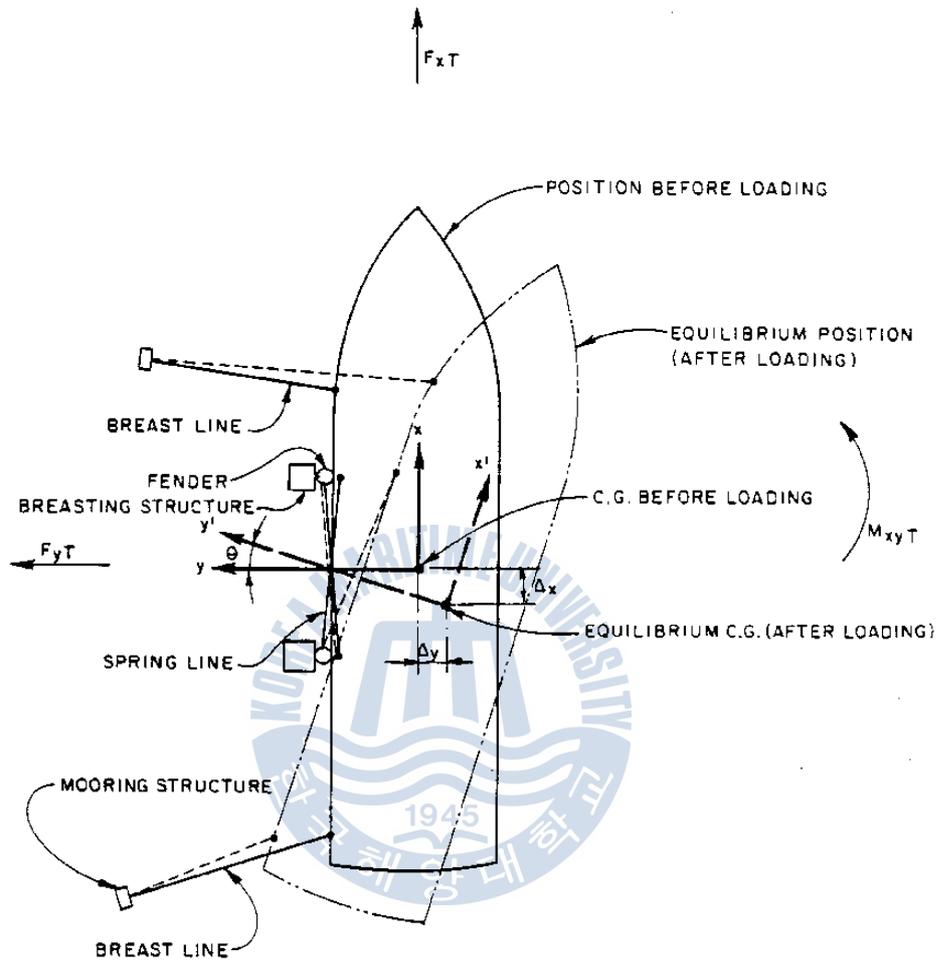
M/D은 계류하중을 균형적으로 분포시키기 위하여 계류 중앙선에 대하여 대칭으로 배치하여야 한다. M/D은 계류색을 제어하고자 하는 하중에 대해 나란

하게 하도록 배치하는데 소형선의 경우에는 2개의 M/D가 필요한 반면, 대형선의 경우는 4개 이상을 필요로 한다. M/D의 데크는 조석, 폭풍고조, 파랑을 포함한 최고조위(Highest Water Level)보다 5ft 높은 위치에 설치하여야 한다.

선수미 계류색과 Breast line은 수평방향 계류하중에 저항하며 최대 계류색의 각도는 연직각(θ)이 25° 또는 그 이하를 유지하여야 하는데 연직각은 계류돌핀의 높이와 계류색의 길이에 관계된다. 이들 계류색은 작은 연직각일 때 횡방향하중을 억제하는데 유효하다. 한편, 횡방향 계류하중에 견딜 수 있도록, 수평각(α)는 선수미 계류색이 선체 횡방향에 대해 45° 또는 그 이하, Breast line은 15° 또는 그 이하가 되어야 한다.

Spring line은 선체종방향의 계류하중에 저항하며 최대 계류색의 각도는 연직각(θ)이 25° 또는 그 이하를 유지하여야 하는데 연직각은 계류돌핀의 높이와 계류색의 길이에 관계된다. 이들 계류색은 작은 연직각일 때 횡방향 하중을 억제하는데 유효하다. 한편, 횡방향 계류하중에 견딜 수 있도록, 수평각(β)는 선체종방향에 대해 10° 또는 그 이하가 되어야 한다.

계류선박에 작용하는 바람, 파랑, 흐름 등 선체 횡방향의 선수측 하중(F_yB)과 선미측 하중(F_yS)으로 인한 계류선박의 거동에 대한 해석은 Fig. 3.21 및 Fig. 3.22와 같으며, 부두운영시 관리자가 파악해두어야 할 사항이다.



F_{xT} = TOTAL FORCE ALONG X-AXIS
 F_{yT} = TOTAL FORCE ALONG Y-AXIS
 M_{xyT} = TOTAL YAW MOMENT ABOUT CENTER OF GRAVITY (C.G.)
 Δx = SURGE DISPLACEMENT
 Δy = SWAY DISPLACEMENT
 θ = YAW ROTATION

Fig. 3.21 Vessel response to wind and current loading (US NAVFAC DM)

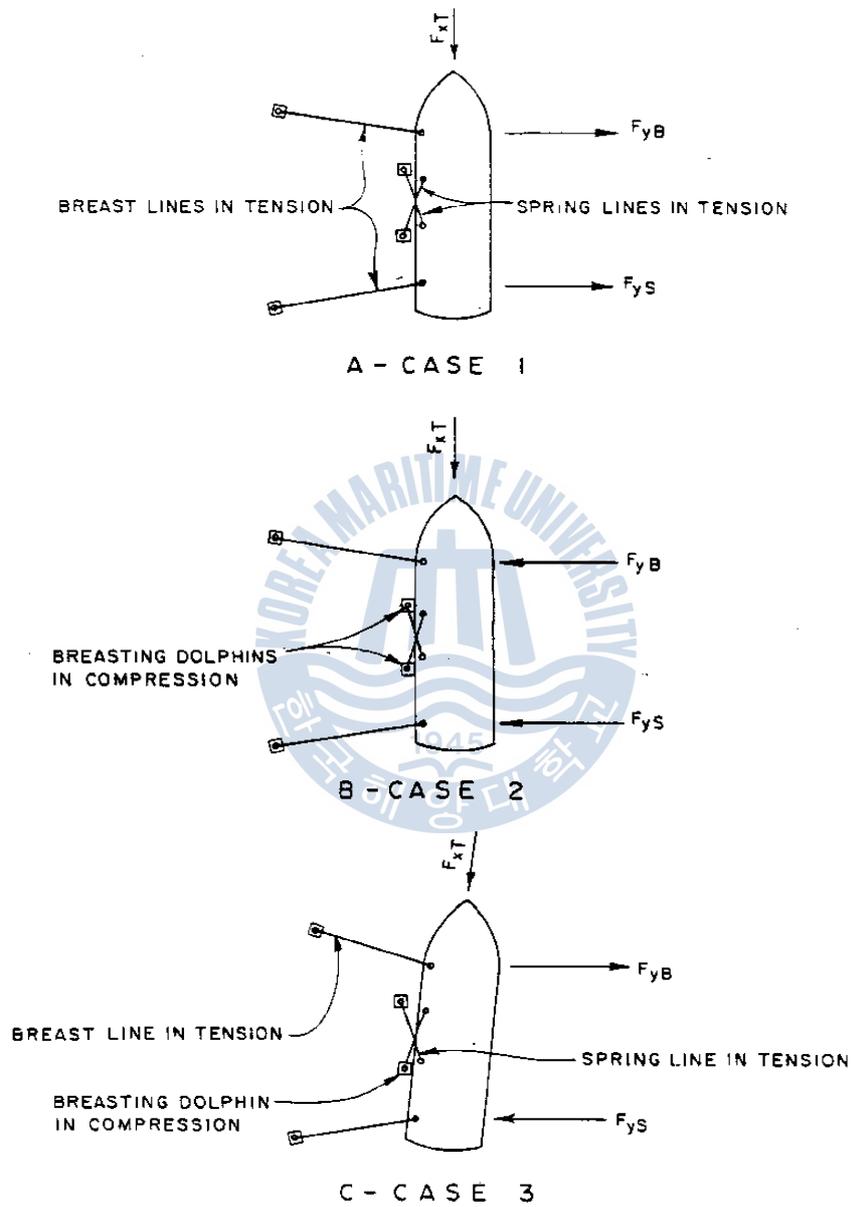


Fig. 3.22 Mooring load analysis at dolphin pier (US NAVFAC DM)

3.2.3 영국 설계 기준

보통 계류형식은 선박의 극한상태를 나타내는 Head line, Breast line, Stern line의 수평각도가 아래 그림과 같이 축에 대하여 각각 45° , -90° , -45° 를 이루고, Spring line은 선체 종축선과 나란하게 배치하되 10° 정도를 유지하는 것으로 한다.

T형 부두에서 선박의 양단에서 계류색을 연결하는 Breast line의 계류점은 계류선에서 매우 멀어지게 되는데 횡방향 제지력을 최대화하기 위하여 가능하면 선박의 축에서 직각에 가깝게 위치시킨다. Spring line도 종방향 제지력을 확보하기 위하여 충분히 많은 계류색을 이용한다.

부두가 연속적으로 배치된 경우에 최소의 계류색으로 선박의 제지력을 최대한으로 작용하도록 하기 위해서는 각 계류색이 최적 작용선으로 목적인 역할을 담당하도록 선박계류배치를 계획하여야 한다. 이러한 배치에는 부두에서 Bollard의 상대적 위치, 간격과 강도가 계류하는 선박의 크기와 선형에 부응하여야 한다. 일반적으로 부두에서 Bollard의 간격은 중앙 30m 정도이다.

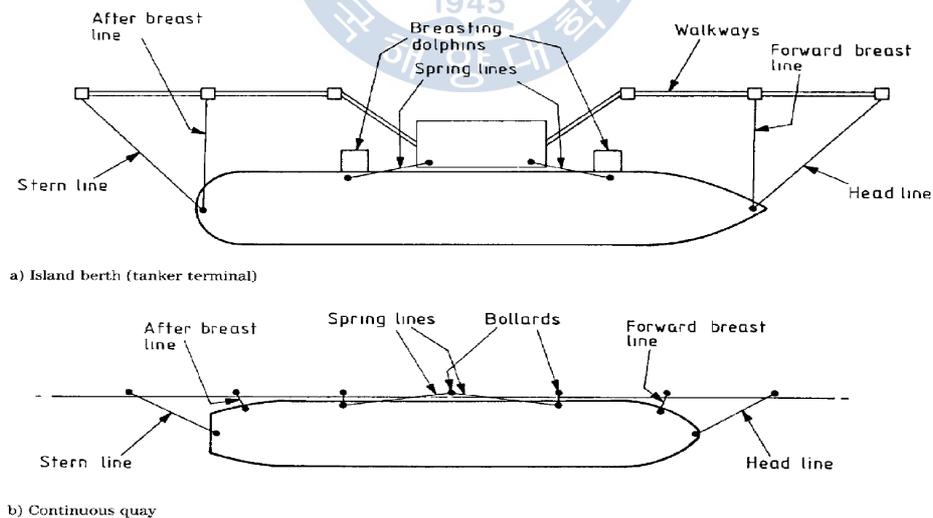


Fig. 3.23 Typical mooring patterns (BS Code)

아울러 선체 제지력이 균등하게 분포되도록 하기 위해서는 선체중앙에서 계류색이 대칭형을 이루도록 하여야 하고 특히 선미부분에서 선체측면을 계류색이 문지르지 않도록 하여야 한다. 계류색의 최적 길이는 대형선에 대하여 35m~50m의 범위 내에 있는 것이 보통이다.

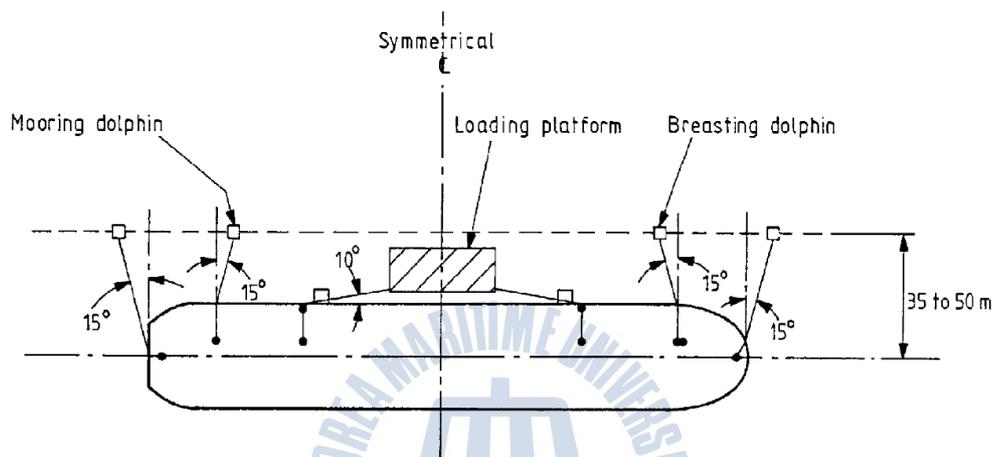


Fig. 3.24 Optimum angles of mooring lines for dolphin pier (BS Code)

선수미 계류색은 선체중축에 대하여 이루는 각도에 따라서 부분적으로 Breast line이나 Spring line에 영향을 미친다. 선수미 계류색은 넓은 간격을 가진 돌핀부두에서 넓은 간격의 계류지점에 사용된다.

- 대형선이 소형선이 계류하는 부두를 이용하는 경우 계류색이 부두에 있는 Bollard에 과도한 하중이 걸리지 않도록 하여야 한다.
- 소형선이 VLCC 부두에 계류하는 경우에는 부두의 Bollard가 너무 떨어져 있어서 본선의 몇몇 계류색은 선수미 계류색의 형태로 나타난다.

3.2.4 캐나다 설계 기준

캐나다 설계기준(Canadian Code)에서는 계류시설이 모든 선박에 대해 과도한 부하없이 종방향 및 횡방향의 제지력을 제공할 수 있도록 배치하여야 하며, 선체중량, 흐름, 바람, 파랑 및 빙하 등의 외력에 반하여 운영기준을 만족하도록 설계되어야 한다.

선수미 계류색을 고정하기 위한 2개의 외측 M/D은 계류색과 부두면 축과의 수평각이 약 45° 를 유지하도록 계획한다. Breast line을 고정하기 위한 2개의 내측 B/D은 수직각이 45° 가 넘지 않도록, 또한 Fairlead에 대해 수평각이 90° 부근이 되도록 하여야 한다.

최소의 선박 계류를 위한 계류제한조건을 만족하도록 계획된 부두에서 계류 돌핀의 위치는 계류색의 강도, Fairlead의 수와 위치 등을 고려하였는지를 점검하여야 한다. 선내 Fairlead와 계류시설간의 계류색에는 장애물이 없어야 한다.

선박 계류를 위한 계류 시설의 위치는 만재상태나 공선상태, 달리 단일 접안을 명시하여 설계하지 않는 한 입선 접안 및 해람의 계류 형태 등의 모든 선박조건에 대해 만족한 계류형태를 입증하여야 하며, 계류시설은 부두운영조건 범위내에서 어떠한 방향에서든 흐름, 가장 격한 바람 및 빙하상태의 조합하에서 공선상태 및 만재상태의 최대선박으로 인한 외력에 대응하도록 설계하여야 한다.

100,000DWT이상의 선박에 대한 부두설계에서는 계류시설 중에 Quick Release Hook(QRH)를 비치하여야 하며 각각은 모든 계류색 각도에 대해 수직 및 수평면에 자유롭게 회전할 수 있어야 한다. 계류시설 및 계류장치의 각 구성부분의 최소안전계수는 1.6이며 최대계류하중으로 공장실험을 할 때마다 자격있는 검사관이 입회하여야 한다. 각 장치는 계류색을 사고로 풀어버리지 않도록 잠금장치를 하여야 한다. 전기장치는 기상조건에 대해 보호되어야 하며 모터도 완전히 케이스내부에 장착되어야 한다. 이 장치가 위해한 곳에 위치한다.

경우는 Canadian Electric Code에 따라서 승인을 받아야 한다.

B/D의 간격은 계류할 최대설계선박 전장의 35%보다 작지 않아야 하며, 최소 설계선박 전장의 50%를 초과해서는 안된다. 선수미 계류색 및 Breast line을 연결하는 M/D은 Diagram B를 따라야 한다.

계류색은 선박의 중앙에서 가능한 한 대칭으로 배치하여야 하며, Breast line은 선박의 종축선에 가능하면 직교하도록 배치하고, Spring Line은 선박의 종축선에 가능한 한 나란하게 배치하여야 한다. 계류색의 연직각은 최소화 되도록 유지한다.

일반적으로 계류색은 같은 크기의 같은 재질을 사용하도록 하여야 하는데 만약 이것이 불가능 할 경우에는 같은 역할을 하는 계류색에 대해서만큼은 동일한 크기와 재료로 하도록 한다.



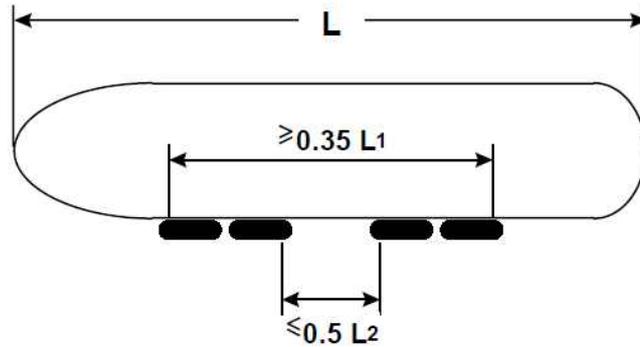


Diagram A: Breasting Arrangement

L1 = largest design ship

L2 = smallest design ship

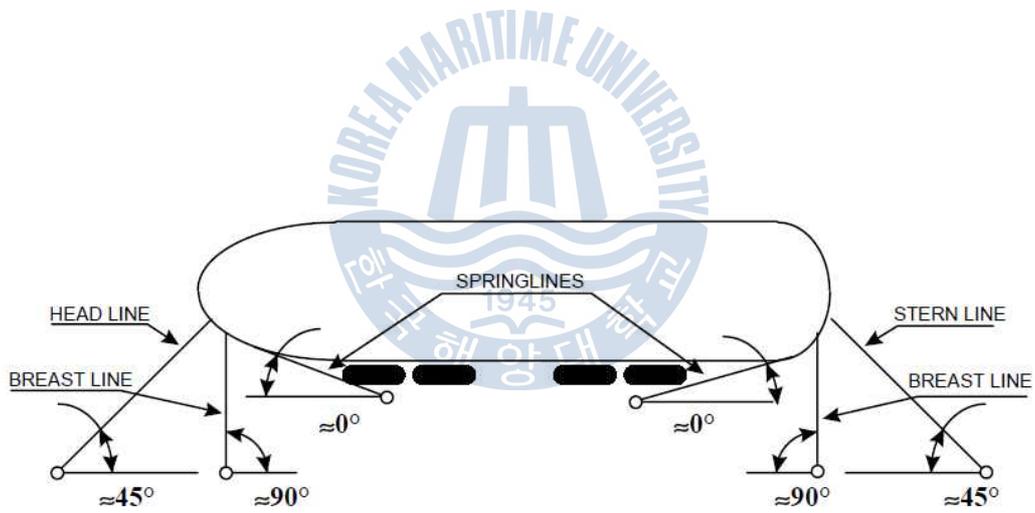


Diagram B: Mooring Points

Fig. 3.25 Minimum mooring line arrangement for tanker ship
(Transport Canada TEMPOL Review Code)

3.2.5 OCIMF 및 MOTEMS 기준

OCIMF(Oil Companies International Marine Forum)는 오일 탱커 및 터미널 산업에서 표준과 기술적 기준을 제공하고 있으며, 특히 안전 및 환경지침과 권고안을 설정하여 부두설계시에 중요한 지침이 되고 있다. 아래에서는 OCIMF의 Mooring Equipment Guideline (3rd Ed., MEG3, 2009)에서 제시된 계류지침을 요약하여 나타내었다. 이와 유사하나 MOTEMS(Marine Oil Terminal Engineering and Maintenance Standards)는 미 캘리포니아주의 해양시설국(Marine Facilities Division)에서 중요한 재해완화를 위한 규정(2006)으로 제시되고 있으므로, 이를 요약하여 나타내었다.

계류선의 배치는 선체 중심에 대해 대칭이어야 한다. 선수미 계류선의 수평각(α)는 선체 횡방향에 대해 15° 를 초과해서는 안되며, Breast line은 15° 또는 그 이하가 되어야 한다.

Spring line은 선체 종방향 축에 대한 수평각(β)이 10° 를 넘지 말아야 하며, 연직각(θ)이 25° 를 초과해서는 안된다. 연직각은 접안돌핀 및 계류돌핀의 수면에서 최소한계가 1.5m인 표준 계류에 대한 것으로 화물 적재상태에 따라 돌핀과 선박간의 거리를 고려하여 연직각을 계산한다.

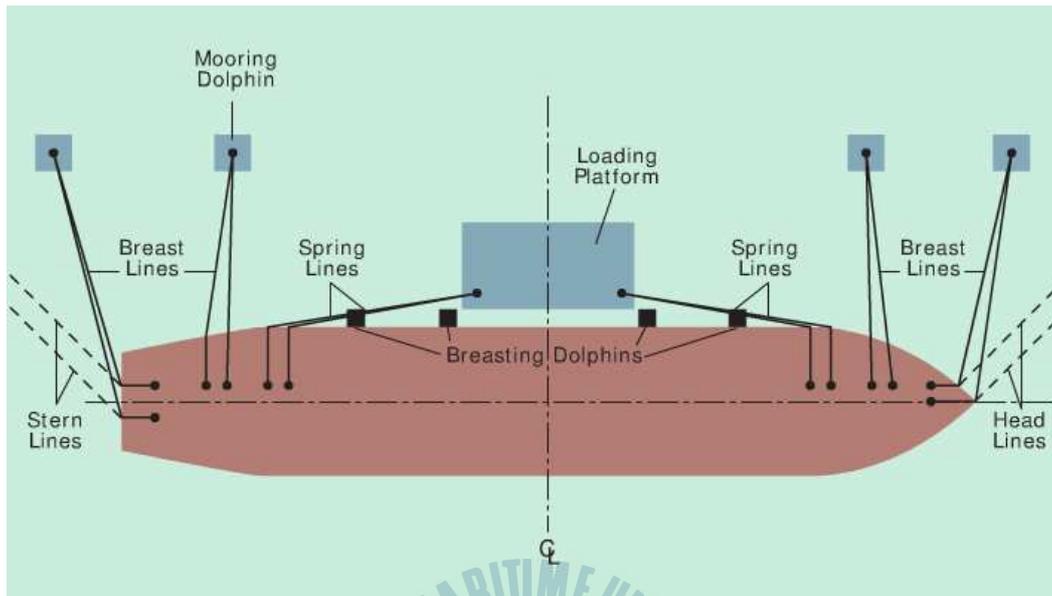


Fig. 3.26 Typical mooring pattern (OCIMF)

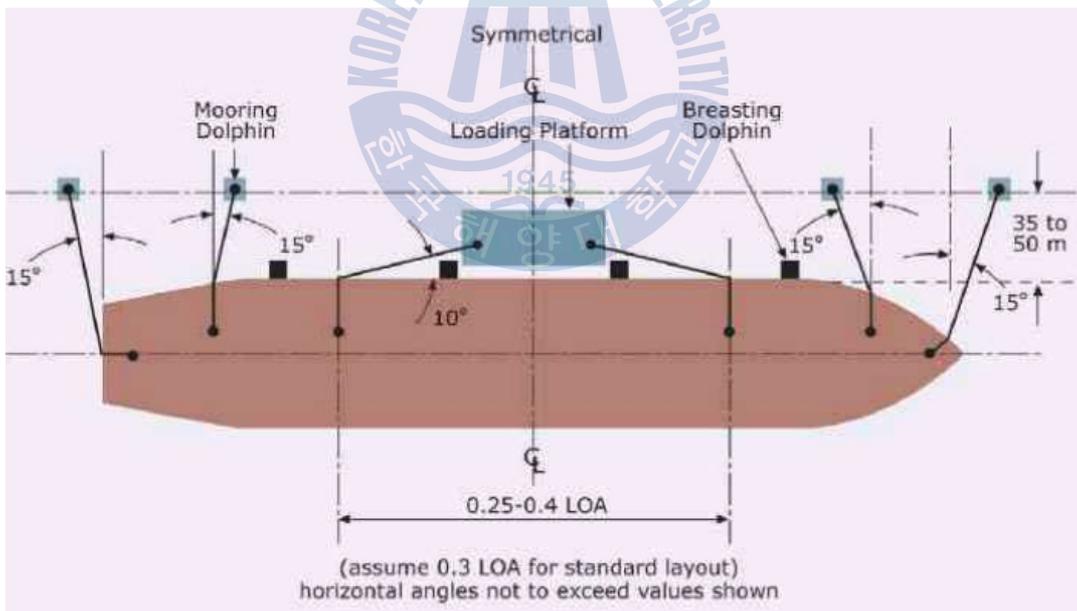


Fig. 3.27 Typical horizontal mooring layout (OCIMF)

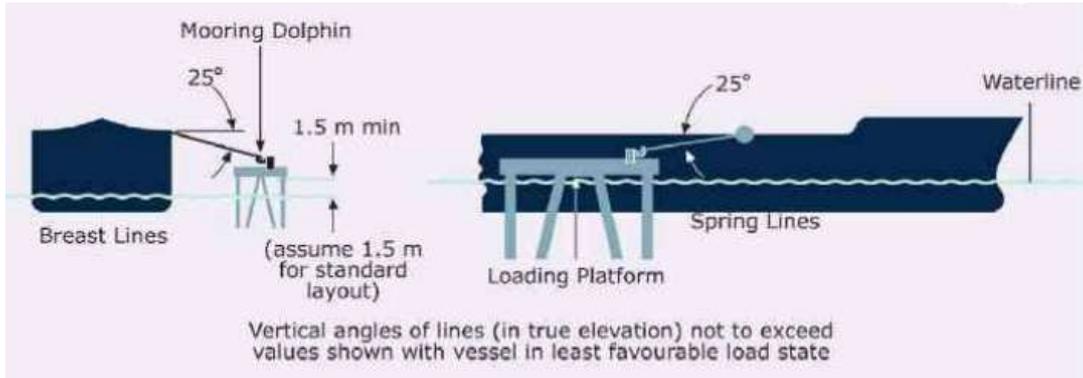


Fig. 3.28 Typical vertical mooring layout (OCIMF)

제시된 수평 및 수직각은 최대치를 나타내는데, 최악의 계류상태에서도 이 수치를 초과하지 않도록 권고하고 있다. Fig.3.29에서 계류시 수직각이 거의 0에 가까운 수평의 경우 측방향 제지력은 측방향만, 종방향 제지력은 종방향으로만 작용하고, 수직각이 양각으로 값을 가지는 경우는 그 제지력이 해당하는 경사각 만큼 sine 및 cosine 함수로 감소하게 되므로 해당 한계각을 준수하여야 목표 설계치를 만족할 수 있다.

한편 MOTEMS에서의 계류선의 배치는 선체중심에 대해 대칭이어야 하는 것은 동일하며, 선수미 계류선의 수평각(α)는 선체 횡방향에 대해 45° 를 초과해서는 안되고, Breast line은 15° 또는 그 이하가 되어야 하는 것으로 정의하고 있다. Spring line은 선체 종방향 축에 대한 수평각(β)이 10° 를 넘지 말아야 하며, 연직각(θ)이 25° 를 초과해서는 안된다.

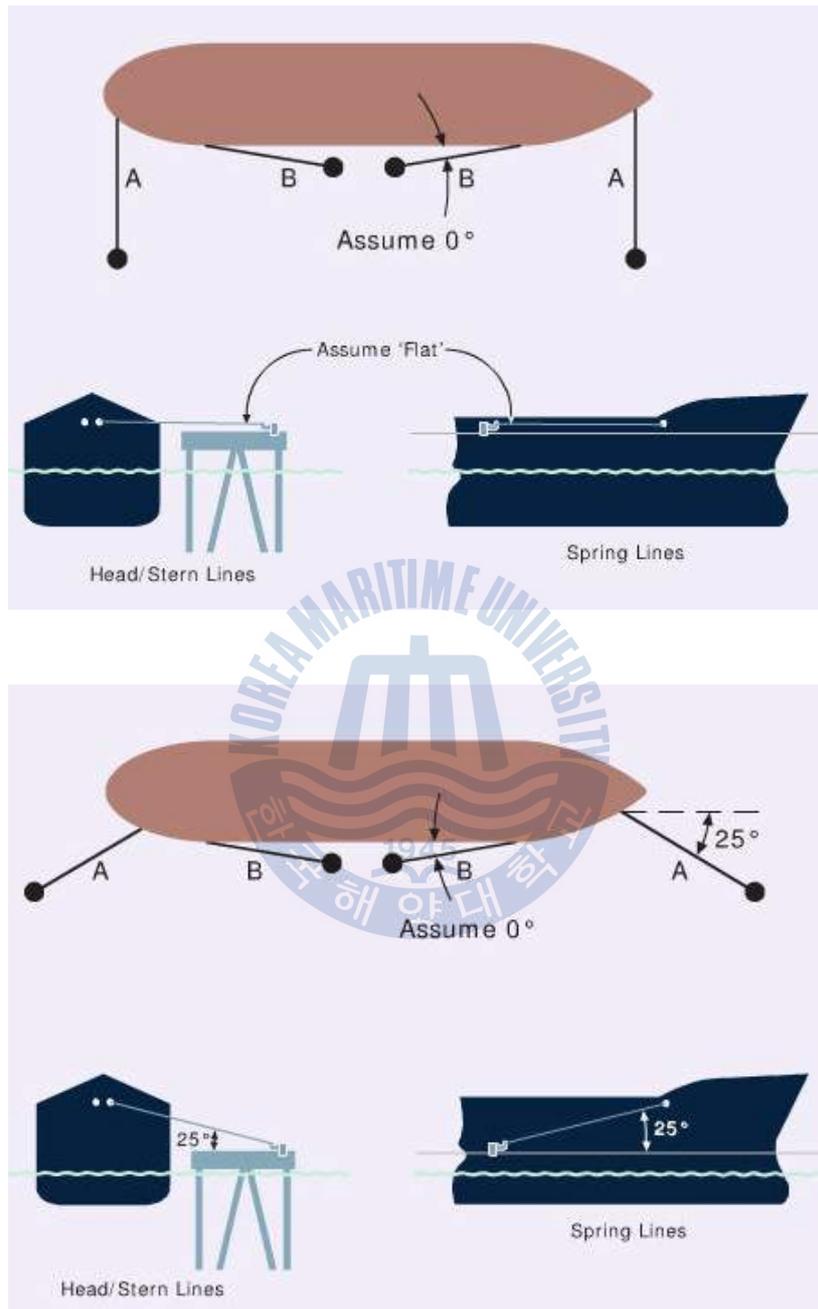


Fig. 3.29 Line orientation on restraint capacity (OCIMF)

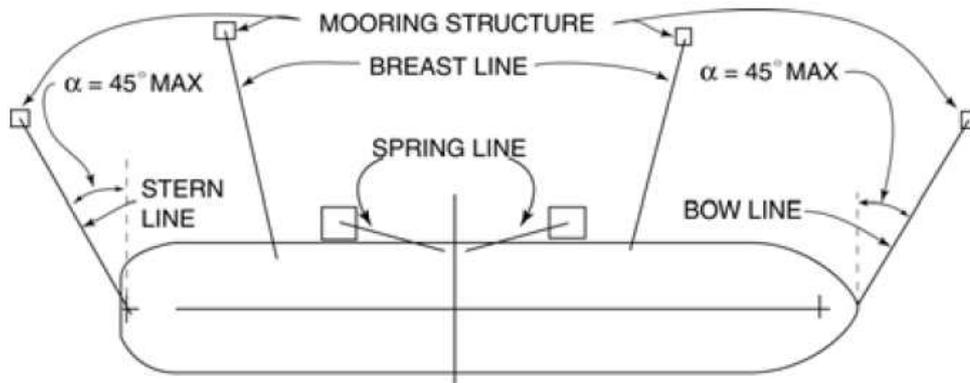


Fig. 3.30 Horizontal mooring line angles (MOTEMS)

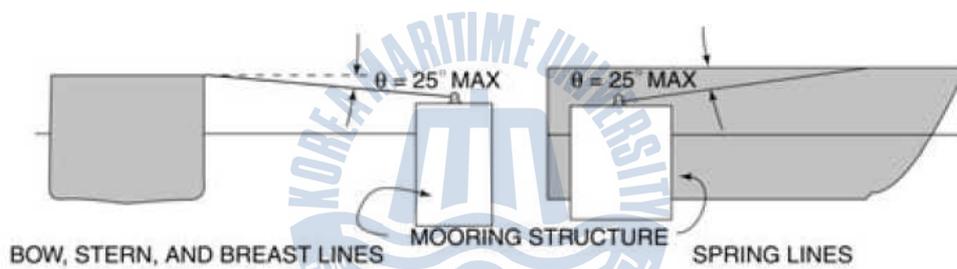


Fig. 3.31 Vertical mooring line angles (MOTEMS)

3.3 설계기준의 요약

탱커용 고정식 계류시설에 대한 각국의 설계 기준 및 지침을 분석하여 정리한 결과는 Table 3.2와 같다.

Table 3.2 Summary of design criteria for dolphin pier

구분	한국/일본	미국, MOTEMS	영국	캐나다 TEMPOL	OCIMF	
선박제원	선수및선미부:1/8L은 곡선중양부: 3/4L은 직선					
돌핀의 간격	대상선박이 정해져 있을 때 : 1/3L 대상선박이 불규칙 할 때 : 0.25L~0.4L	0.3~0.5 LOA	0.3L~0.4L 또는 최소설계선박 길이의 0.25배	최대설계선박 > 0.35L 최소설계선박 < 0.5L	0.25~0.4 LOA이나 표준은 0.3L	
계류 라인 배치	Breast Line	선박중축과 직각방향 15°이내	선박중축과 직각방향 15°이내	축에 대하여 45°~90°	Fairlead에 대해 수평각 90°정도	선박중축과 직각방향 15°이내
	Head& Stern line	접안선과 30°~45°이내	접안선과 30°~45°이내	축에 대하여 45°~90°	축과의 수평각이 약 45°를 유지	접안선과 75°이내
	Spring Line	선박중축과 평행방향 10°이내	선박중축과 평행방향 10°이내	선박중축과 평행방향 10°이내	선박중축과 평행방향 0°이내	선박중축과 평행방향 10°이내
	양각	25°~30°이내	25°이내	25°이내	45° 이내	25°이내
BD 개수	2~4개	2~4개	2~4개	2~4개	2~4개	
MD 개수	4~6개	4~6개	4~6개	4~6개	4~6개	
계류점의배치	길이	접안선에서30~50m				접안선에서35~50m
	높이	최고운영수위 +1.5m				최고운영수위 +1.5m

제4장 탱커의 추이와 부두의 실태

돌핀부두의 설계에는 현재 운항중인 유류 및 가스운반선이 원활하게 계류할 수 있도록 계선돌핀 및 접안 돌핀의 간격이 중요하므로 앞 장에서 분석한 각국의 설계기준 및 지침에 실선의 선형이 부합한가를 평가하는 것이 중요하다. 부두운영의 관점에서는 특정선형의 탱커만 계류하는 것이 아니라 여러 선형을 접안시켜 하역서비스를 제공하도록 하는 것이 목표이다. 돌핀부두의 특성상 일정선형 이하의 선박은 접안이 불가능한 상태가 나타나므로 설계초기에 선형에 대한 분석이 필연적이다. 따라서, 본 장에서는 실제 건조되거나 운항중인 탱커의 선형을 분석하여 부두에 계류한계를 파악하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

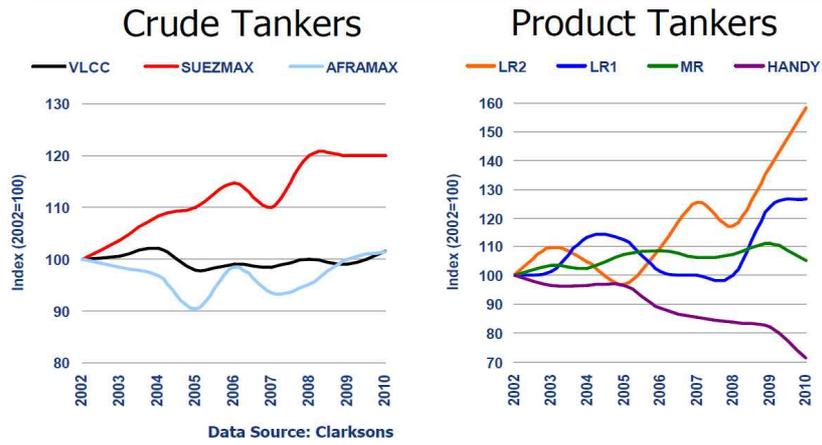
4.1 탱커의 추이 분석

4.1.1 실존 유조선의 분석

2012년 전세계 운항중인 실존 유조선 8,001척의 톤수별 전장(LOA), 흘수(Draught)를 계급별로 정리한 것은 Table 4.1과 같다. 이들 선박 중에서 현측 직선구간(PBL)이 명시된 자료를 접안가능선박의 분석에 활용한다.

선형별 운항실적을 정리한 자료에서는 125,000~199,000DWT의 Suezmax급의 운항이 200,000DWT 이상의 VLCC나 85,000~124,000DWT의 Aframax급 보다 20% 정도 더 많은 것으로 나타났으며, Product tanker의 경우는 Handy 급(25,000~39,000DWT)보다 MR(40,000~54,000DWT, Medium range) 급 및 LR(100,000DWT, Long range) 의 수요가 높은 것으로 나타났다. 따라서, 장래 이러한 추이에 대응한 부두운영계획이 있어야 할 것이다.

Voyage Distance Index - Spot



Tanker Orderbook Development

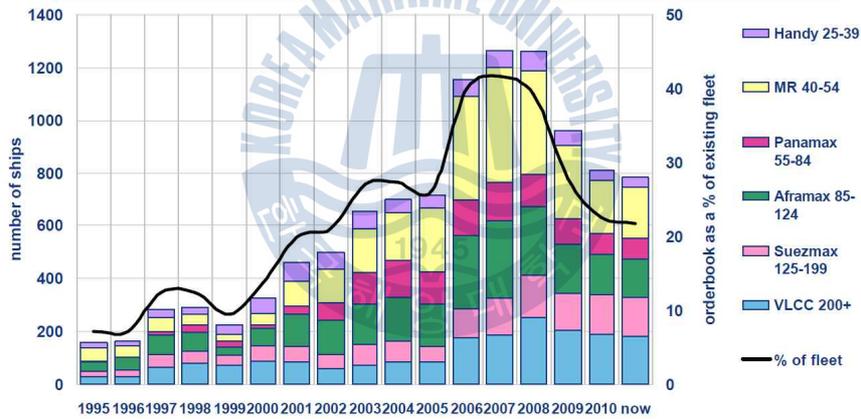


Fig. 4.1 The recent status of tanker fleet operation and demand

Table 4.1 The status of existing tanker size (2012)

DWT 구분	Number of ships	Average Data			Class
		LOA	Draught	DWT	
1,000 ~ 4,999	834	83.50	5.18	2,917	Small Tanker
5,000 ~ 9,999	1,439	111.25	6.74	7,001	
10,000 ~ 14,999	664	129.70	8.33	12,440	Handy Size
15,000 ~ 19,999	575	148.23	9.07	18,046	
20,000 ~ 24,999	82	160.09	9.70	22,298	
25,000 ~ 29,999	161	171.42	10.29	27,785	
30,000 ~ 34,999	181	178.16	10.92	35,802	
35,000 ~ 39,999	420	181.48	11.16	37,500	
40,000 ~ 44,999	253	181.18	11.42	42,019	
45,000 ~ 49,999	706	182.98	12.28	46,830	
50,000 ~ 54,999	277	184.26	13.02	51,121	
55,000 ~ 59,999	10	211.29	12.13	56,167	
60,000 ~ 64,999	31	214.43	12.59	62,626	
65,000 ~ 69,999	79	224.25	13.10	68,041	
70,000 ~ 74,999	269	228.71	14.14	73,502	
75,000 ~ 79,999	42	228.75	14.41	76,102	
80,000 ~ 89,999	45	236.23	14.60	84,941	
90,000 ~ 99,999	133	242.65	13.78	96,777	Aframax
100,000 ~ 109,999	502	242.92	14.85	106,295	
110,000 ~ 119,999	253	248.52	14.83	114,252	
120,000 ~ 129,999	26	261.22	15.60	124,462	Suezmax
130,000 ~ 139,999	9	265.18	16.20	133,796	
140,000 ~ 149,999	107	263.03	16.43	148,298	
150,000 ~ 159,999	248	274.25	16.91	156,992	
160,000 ~ 169,999	64	276.59	17.07	164,639	
170,000 ~ 279,999	22	318.78	19.76	249,661	
280,000 ~ 289,999	25	329.78	20.55	282,558	VLCC
290,000 ~ 299,999	185	331.78	21.40	298,286	
300,000 ~ 309,999	185	332.86	21.80	304,599	
310,000 ~ 319,999	143	333.48	22.02	316,685	
320,000 ~ over	31	335.81	22.51	328,572	

Total 8,001

4.1.2 개별 DWT급에 대한 LOA, PBL, PBL/LOA 분석

돌핀 부두의 접안 가능성 여부를 분석하기 위하여 현존하는 탱커의 자료를 분석하여 선박 DWT별, 전장(LOA), 현측직선구간(PBL), PBL/LOA 비를 구하여 Fig. 4.2에 정리하였다. 적용한 선박은 2012년도 전세계에서 운항중인 250여 척의 탱커선을 대상으로 하였으며, 이중 PBL의 자료가 불분명한 것은 제외시켰다.

자료가 부족한 DWT에 대해서는 정리된 자료를 거듭제곱식으로 Curve fitting 시켜서 그 추이를 도출하였다. Curve fitting에 의한 수식은 Table 4.2에 정리한 바와 같다. 추산한 PBL은 대표적으로 만재상태에서 0.47L, 통상 발라스트 적재상태에서 0.45L, 경하상태에서는 0.32L로 나타났다.



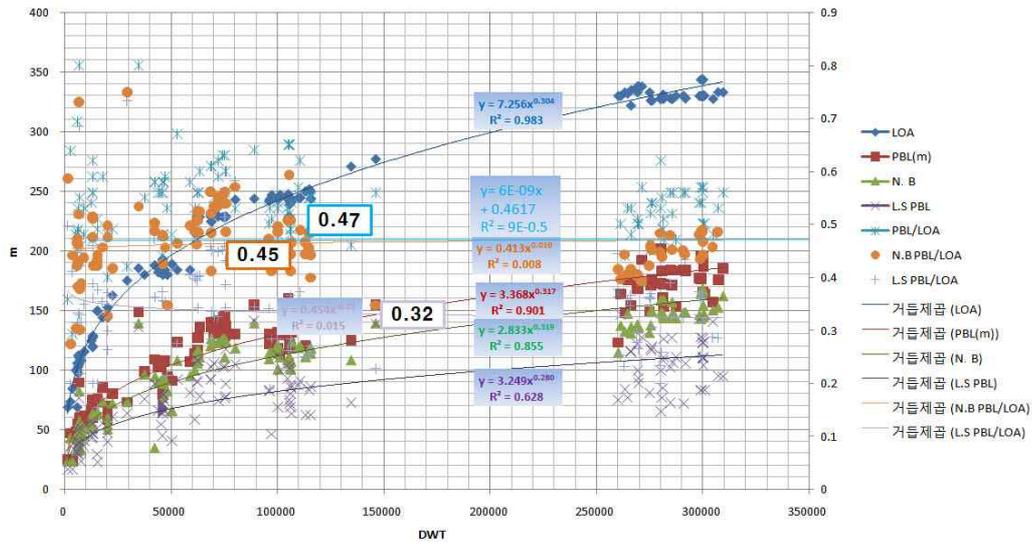


Fig. 4.2 The recent trend for capacity and size of tankers

Table 4.2 Analyzed LOA, PBL, beam, and draught of all tankers

구 분	LOA	PBL	N.B PBL	L.S PBL	PBL/ LOA	N.S PBL/ LOA	L.S PBL/ LOA
min	64.95	19.06	23.09	16.79	0.19918	0.18	0.15
max	343.71	193.75	174.8	147	0.74932	0.75	0.73
대표값	290.0	134.8	110.34	82.18	0.47	0.45	0.32
DWT범위	1,114 ~ 330,550 DWT						
그래프공식	$y = 7.6746x^{0.3009}$	$y = 0.8617x^{0.3198}$	$y = 2.833x^{0.319}$	$y = 3.249x^{0.280}$	$y = 6E-09x + 0.4617$	$y = 0.413x^{0.010}$	$y = 0.454x^{-0.02}$

4.1.3 DWT 급수별 LOA, PBL, BEAM, Draught 분석

각 DWT 급별 LOA, PBL, 형폭, 흘수의 분석결과는 다음과 같다.

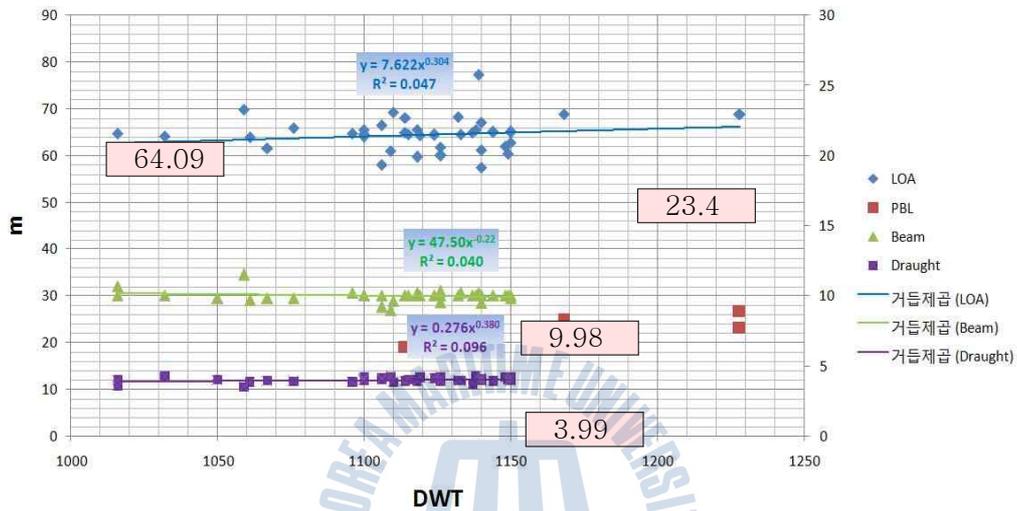


Fig. 4.3 LOA, PBL, beam, and draught of 1,000DWT class tankers

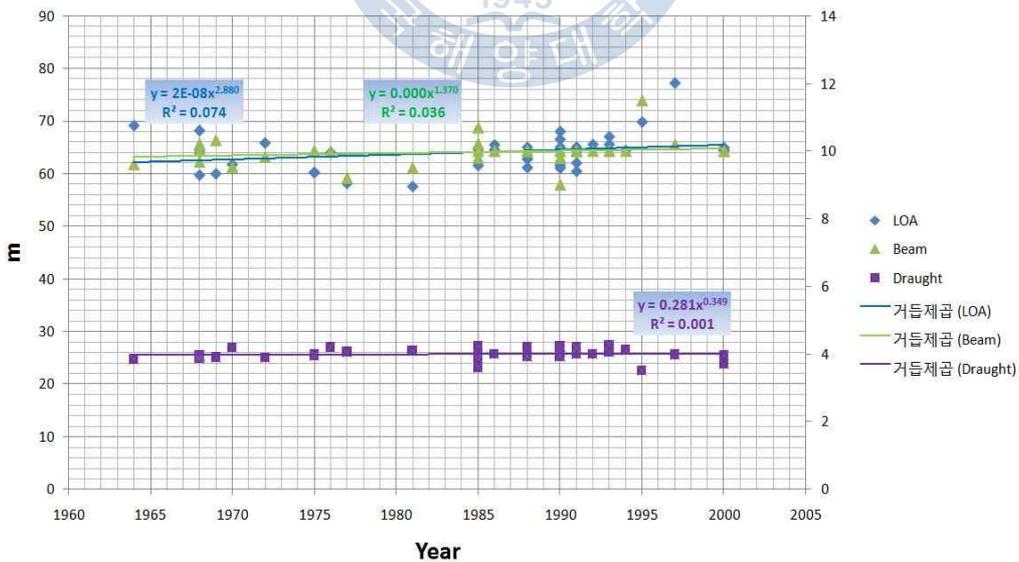


Fig. 4.4 LOA, beam, and draught of 1,000DWT class tankers versus built year

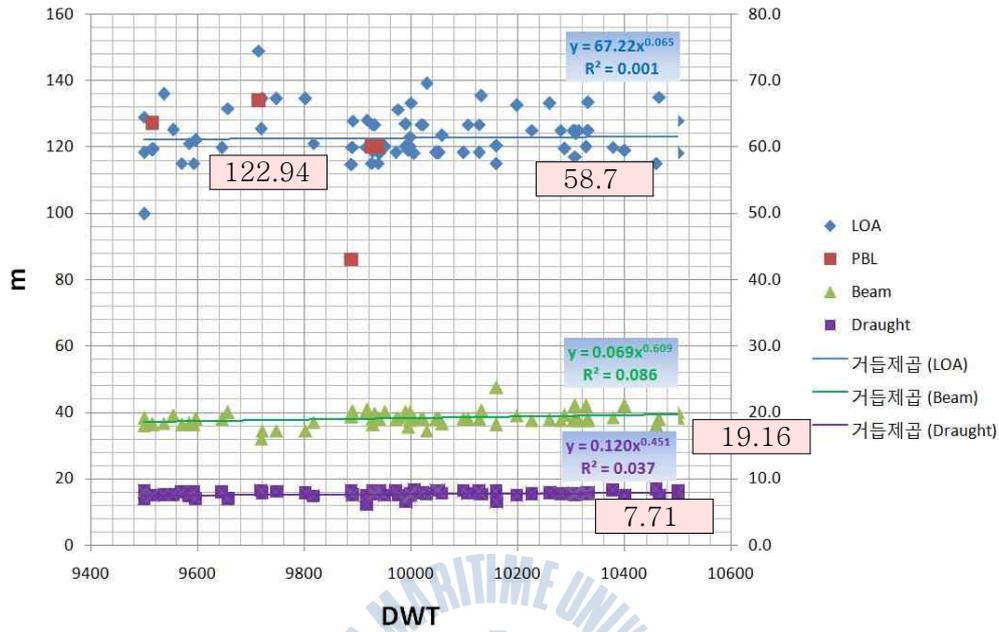


Fig. 4.5 LOA, PBL, beam, and draught of 10,000DWT class tankers

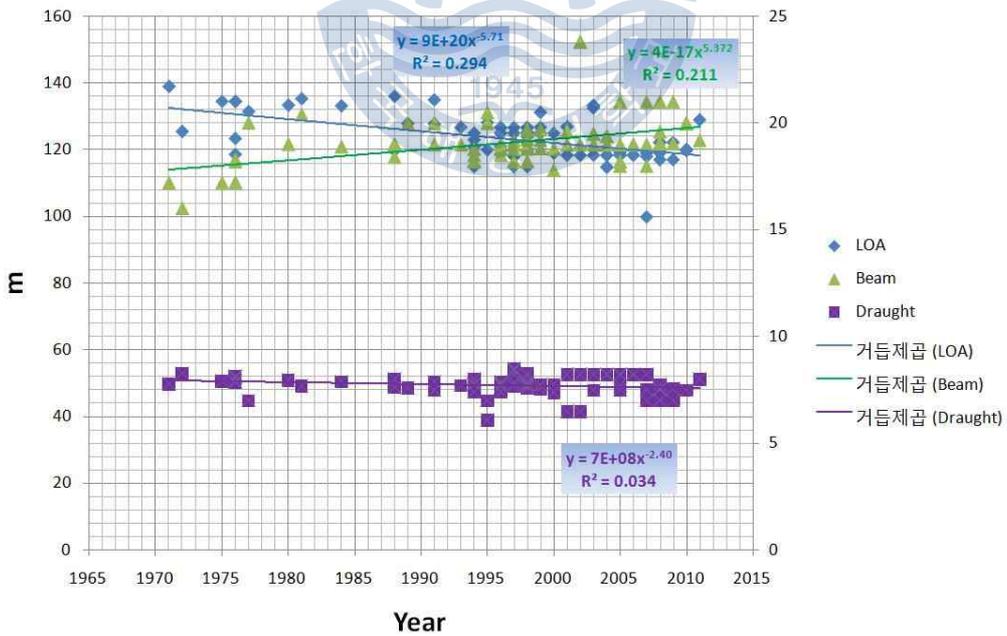


Fig. 4.6 LOA, beam, and draught of 10,000DWT class tankers versus built year

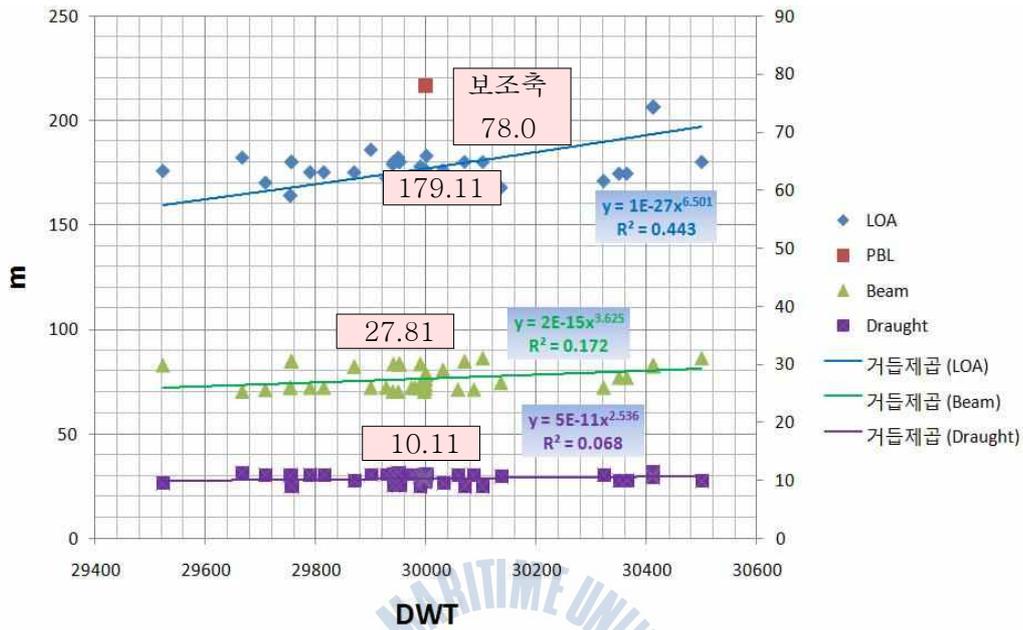


Fig. 4.7 LOA, PBL, beam, and draught of 30,000DWT class tankers

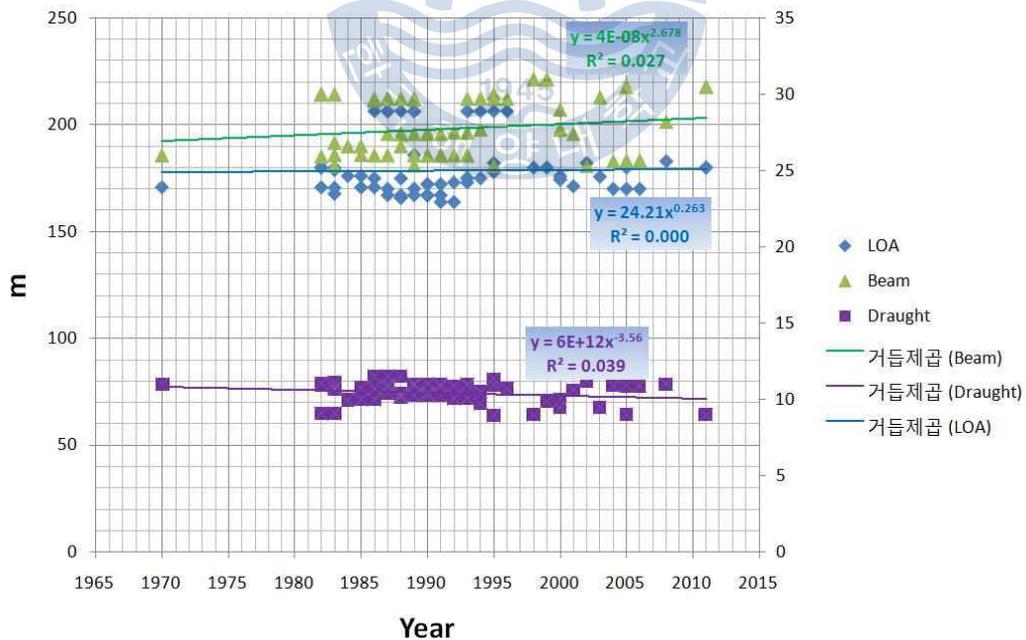


Fig. 4.8 LOA, beam, and draught of 30,000DWT class tankers versus built

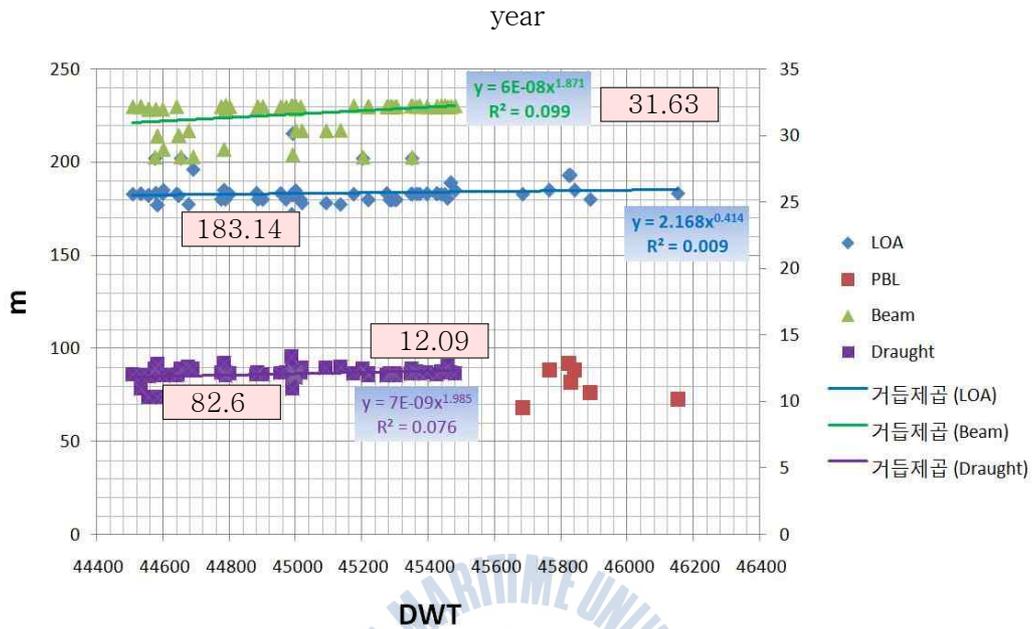


Fig. 4.9 LOA, PBL, beam, and draught of 45,000DWT class tankers

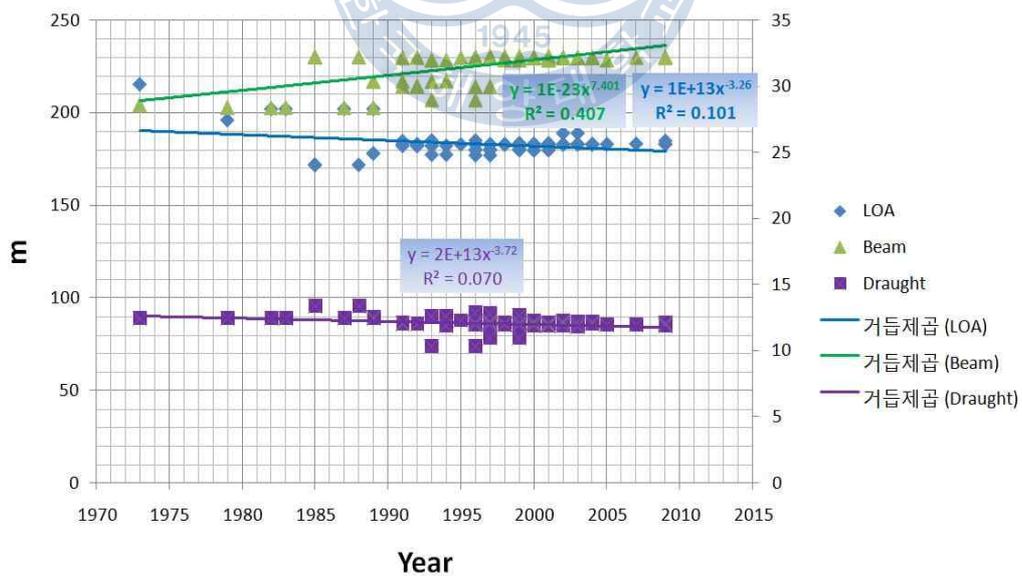


Fig. 4.10 LOA, beam, and draught of 45,000DWT class tankers versus built year

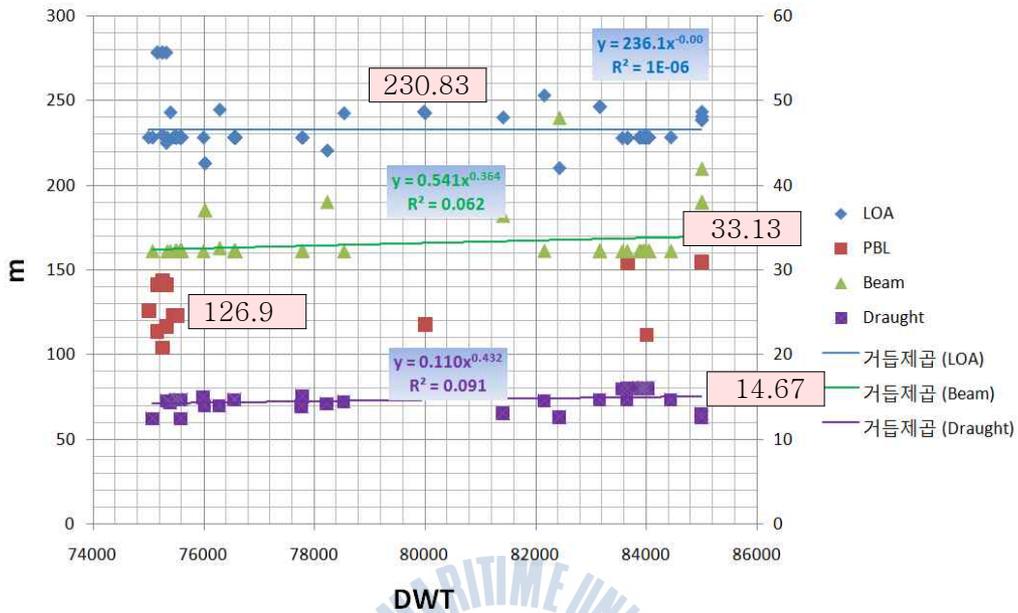


Fig. 4.11 LOA, PBL, beam, and draught of 80,000DWT class tankers

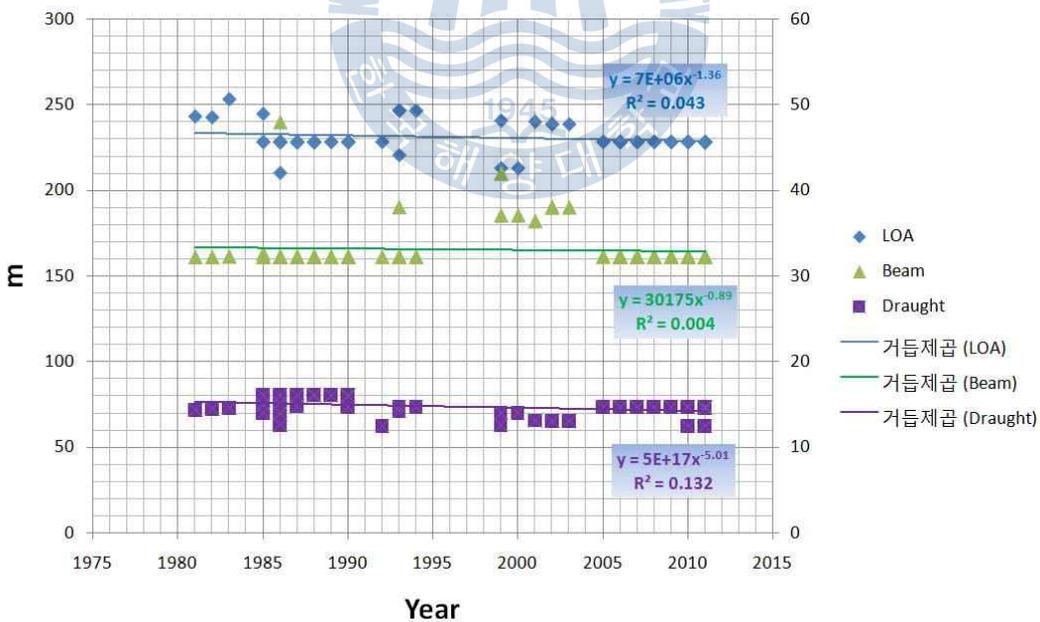


Fig. 4.12 LOA, beam, and draught of 80,000DWT class tankers versus built year

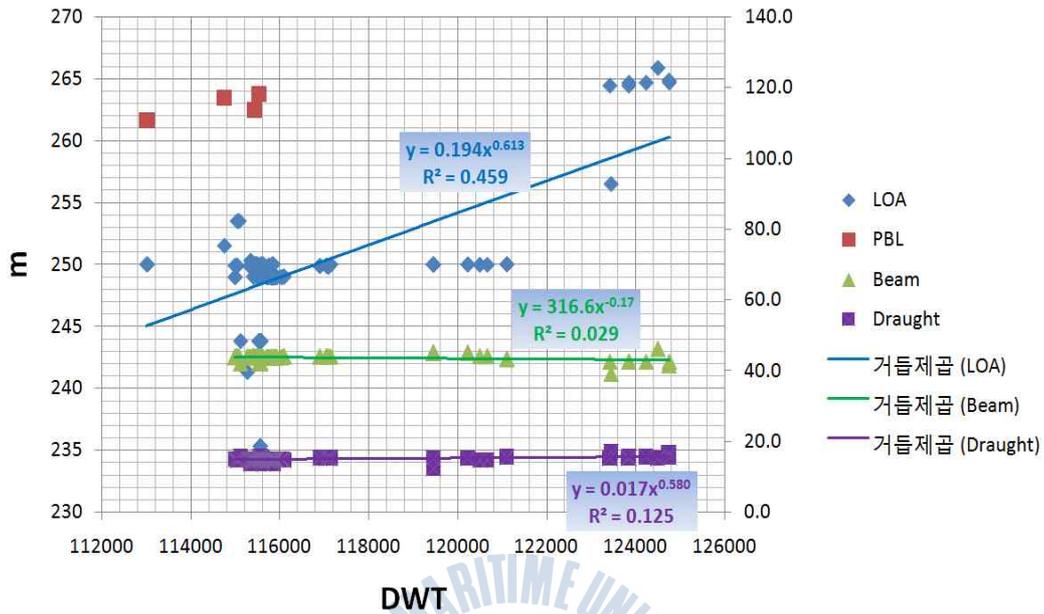


Fig. 4.13 LOA, PBL, beam, and draught of 120,000DWT class tankers

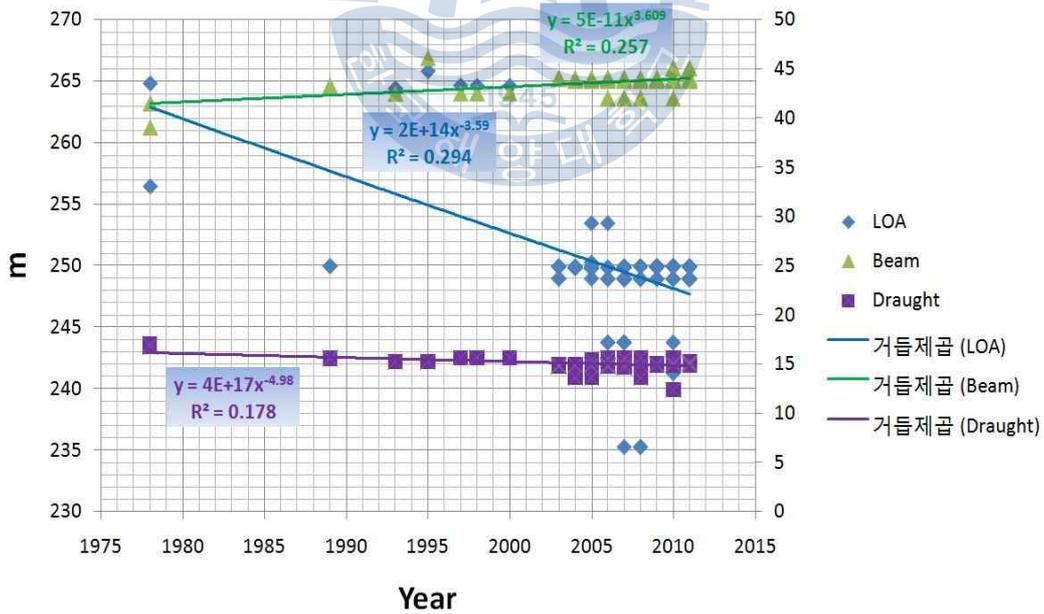


Fig. 4.14 LOA, beam, and draught of 120,000DWT class tankers versus built year

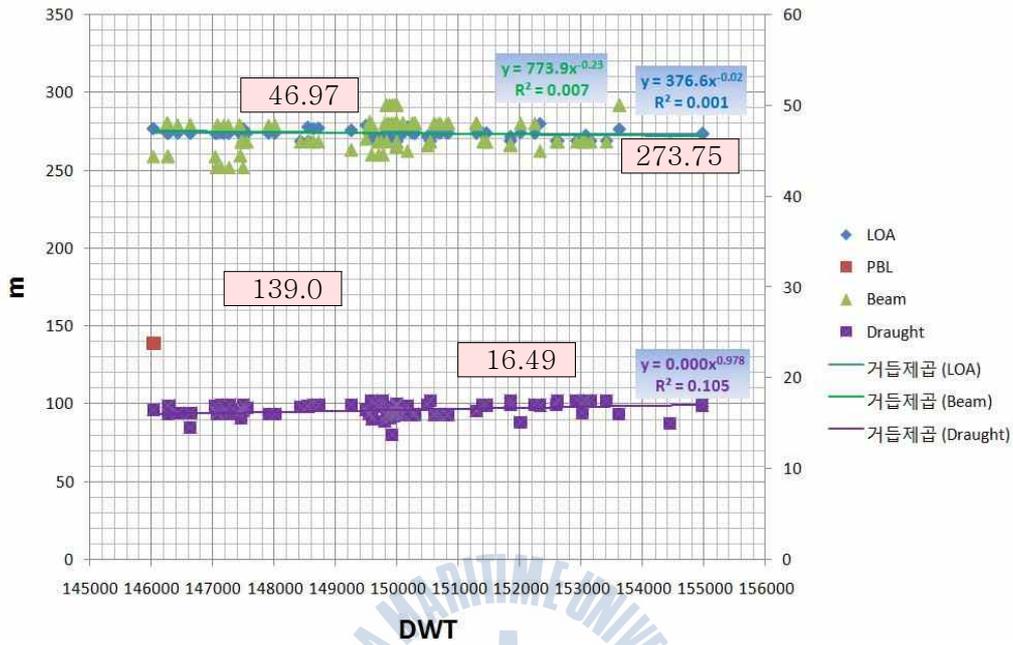


Fig. 4.15 LOA, PBL, beam, and draught of 150,000DWT class tankers

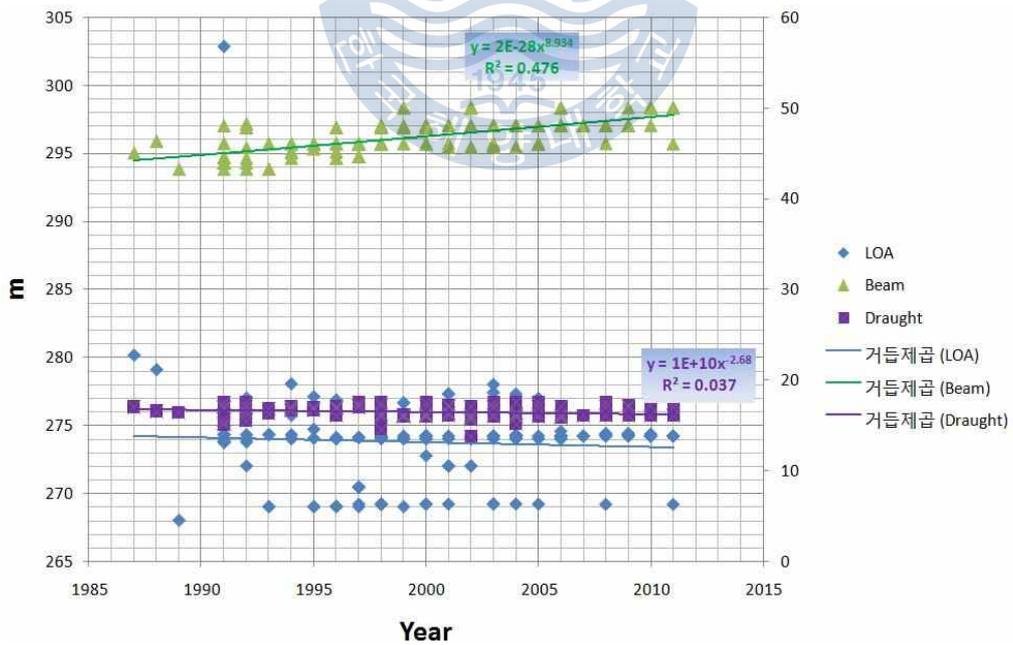


Fig. 4.16 LOA, beam, and draught of 150,000DWT class tankers versus built year

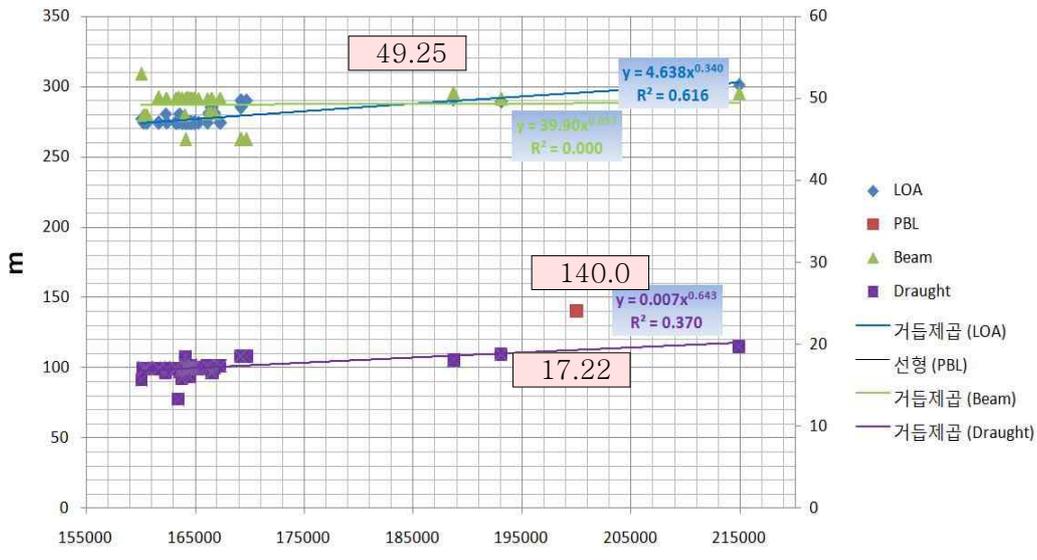


Fig. 4.17 LOA, PBL, beam, and draught of 200,000DWT class tankers

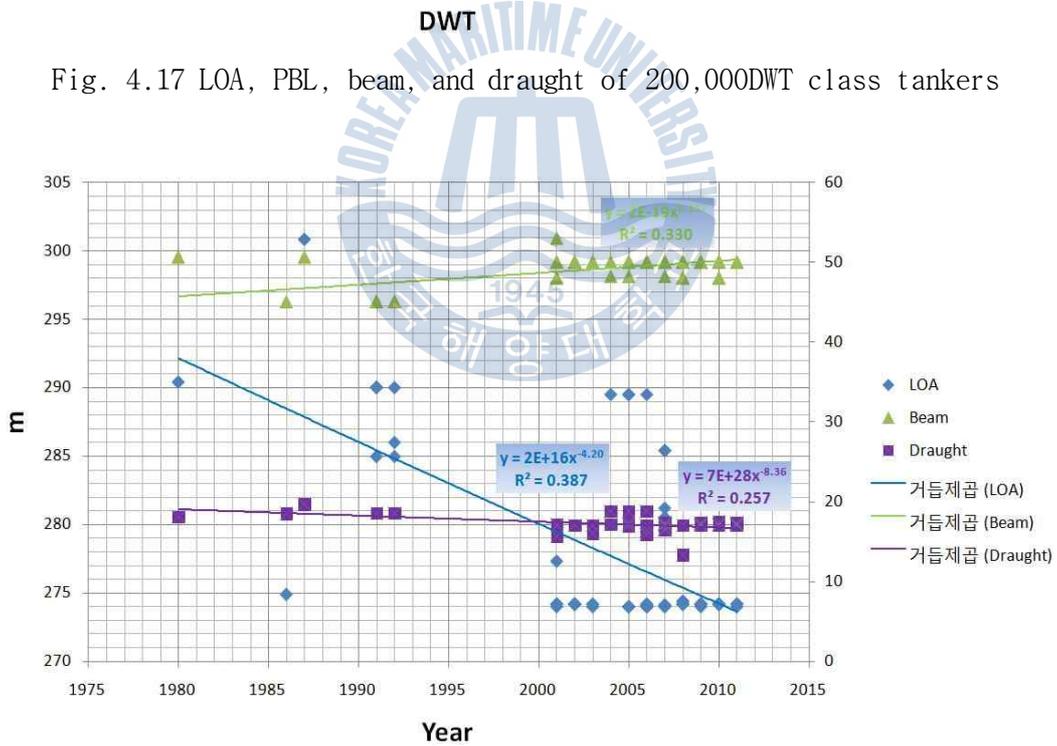


Fig. 4.18 LOA, beam, and draught of 200,000DWT class tankers versus built year

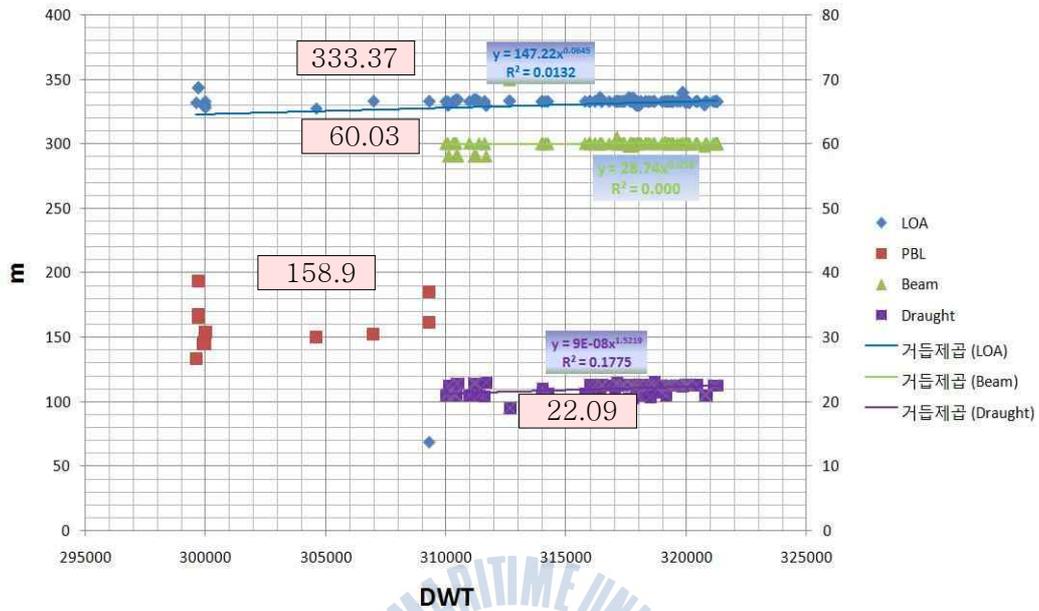


Fig. 4.19 LOA, PBL, beam, and draught of 320,000DWT class tankers

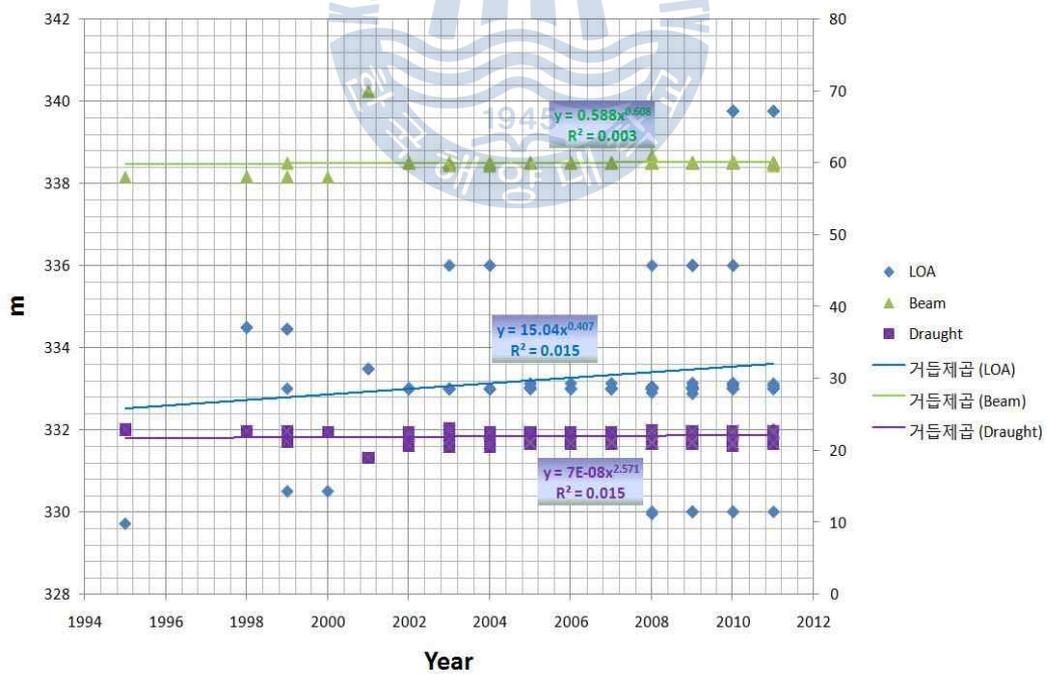


Fig. 4.20 LOA, beam, and draught of 320,000DWT class tankers versus built year

Table 4.3 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 1,000DWT class tankers

대표치	LOA	Beam	Draught	PBL	PBL/LOA
min	57.5	9	3.51	19.1	0.29
max	77.23	11.5	4.26	26.6	0.39
대표값	64.09	9.97	3.99	23.4	0.34
DWT범위	1,000DWT class (1,016 ~ 1,150)				
그래프공식	$y = 40.672x^{0.0647}$	$y = 47.504x^{-0.223}$	$y = 0.2762x^{0.3808}$		

Table 4.4 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 10,000DWT class tankers

대표치	LOA	Beam	Draught	PBL	PBL/LOA
min	99.8	16.02	6.08	43.0	0.37
max	139.05	23.8	8.5	67.0	0.53
대표값	122.94	19.16	7.71	58.7	0.48
DWT범위	10,000DWT class (9,500 ~ 10,500)				
그래프공식	$y = 46.424x^{0.1036}$	$y = 0.0698x^{0.6094}$	$y = 0.1205x^{0.4512}$		

Table 4.5 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 30,000DWT class tankers

대표치	LOA	Beam	Draught	PBL	PBL/LOA
min	163.8	25.3	8.96	78.0	0.49
max	206.51	31	11.53	78.0	0.49
대표값	179.11	27.81	10.42	78.0	0.49
DWT범위	30,000DWT class (29,523 ~ 30,500)				
그래프공식	$y = 7E-30x^{7.0038}$	$y = 2E-15x^{3.6256}$	$y = 5E-11x^{2.5362}$		

Table 4.6 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 45,000DWT class tankers

대표치	LOA	LBP	Beam	Draught	PBL	PBL/LOA
min	171.8	164	28.4	10.33	68.4	0.37
max	215.34	200.82	32.3	13.4	92.0	0.48
대표값	183.14	174.04	31.63	12.09	82.6	0.44
DWT범위	45,000DWT class (44,508 ~ 45,480)					
그래프공식	$y = 246.73x^{-0.028}$	$y = 12.950x^{0.2424}$	$y = 6E-08x^{1.8715}$	$y = 7E-09x^{1.9859}$		

Table 4.7 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 80,000DWT class tankers

대표치	LOA	Beam	Draught	PBL	PBL/LOA
min	210.49	21.2	12.5	99.2	0.41
max	253.5	48	16.09	155.0	0.67
대표값	230.83	33.13	14.67	126.9	0.52
DWT범위	80,000DWT class (75,071 ~ 84,999)				
그래프공식	$y = 22.354x^{0.2069}$	$y = 0.5418x^{0.3645}$	$y = 0.1109x^{0.4329}$		

Table 4.8 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 120,000DWT class tankers

대표치	LOA	Beam	Draught	PBL	PBL/LOA
min	235.3	39.04	12.39	110.8	0.44
max	265.88	46.1	17.07	118.1	0.48
대표값	249.81	43.71	15.05	114.1	0.46
DWT범위	120,000DWT class (115,000 ~ 124,758)				
그래프공식	$y = 0.1374x^{0.6433}$	$y = 316.67x^{-0.17}$	$y = 0.0172x^{0.5807}$		

Table 4.9 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 150,000DWT class tankers

대표치	LOA	Beam	Draught	PBL	PBL/LOA
min	268	43.2	13.77	139.0	0.50
max	302.88	50.04	17.52	139.0	0.50
대표값	273.75	46.97	16.49	139.0	0.50
DWT범위	150,000DWT class (146,041 ~ 154,970)				
그래프공식	$y = 331.9x^{-0.016}$	$y = 773.98x^{-0.235}$	$y = 0.0001x^{0.9782}$		

Table 4.10 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 200,000DWT class tankers

대표치	LOA	Beam	Draught	PBL	PBL/LOA
min	274	45	13.29	140.0	0.47
max	300.84	53	19.68	140.0	0.47
대표값	277.87	49.25	17.22	140.0	0.47
DWT범위	200,000DWT class (160,044 ~ 214,862)				
그래프공식	$y = -0.5955x+1474.2$	$y = 2E-19x^{6.1576}$	$y = 7E+28x^{-8.361}$		

Table 4.11 Analyzed LOA, PBL, Beam, and Draught of 320,000DWT class tankers

대표치	LOA	Beam	Draught	PBL	PBL/LOA
min	329.71	58	19	133.4	0.40
max	339.76	70	23.07	193.8	0.56
대표값	333.37	60.03	22.09	158.9	0.47
DWT범위	320,000DWT class (310,000 ~ 321,300)				
그래프공식	$y = 147.22x^{0.0645}$	$y = 28.744x^{0.0581}$	$y = 9E-08x^{1.5219}$		

4.1.4 선형 종합 분석

Fig 4.3 ~ Fig 4.20 및 Table 4.3 ~ Fig.4.11의 추산된 자료 중 대표치를 정리하여 요약하면 Table 4.12와 같다. 이들 자료는 돌핀 부두의 접안돌핀 (B/D)간격의 적정성을 평가하는데 활용되며, 우측의 흘수(Draught)와 건현 (Free board)은 추후 선박의 부두계류시 수직 계선각의 평가에 활용된다.

Table 4.12 Comparison of the existing tankers with the statistic results

DWT (ton)	LOA (m)	NBPBL (m)	NBPBL /LOA	Beam (m)	Draught (m)			Free Board (m)			
					SF	LS	NB	SF	LS	NB	
1,000	64.09	23.4	0.34	9.97	3.99						
1,228 No.2 Yeosu Pioneer	68.80	23.09	0.34	10.82	3.96	1.6	3.2	0.7	3.0	1.4	
10,000	122.94	58.7	0.48	19.16	7.71						
9,515.8 M.T Golden Grace	119.2	63.61	0.53	18.2	7.51	2.35	4.6	2.5	7.8	5.6	
30,000	179.11	78.0	0.49	27.81	10.42						
29,098 MESSENGER	175.06	72.96	0.42	26.0	11.02	2.9	6.5	3.6	11.7	7.9	
45,000	183.14	82.6	0.44	31.63	12.09						
44,999 Overseas Kimolos	183	90.96	0.50	32.2	11.95	2.5	7.4	7.29	16.6	11.7	
80,000	230.83	126.9	0.52	33.13	14.67						
79,999 FENG LIN WAN	243	118.0	0.49	42.0	11.77	2.4	7.0	8.9	18.2	13.7	
120,000	249.81	114.1	0.46	43.71	15.25						
115,536 FORWARD FLAIR	243.8	118.1	0.48	42.04	15.64	2.5	9.1	5.9	19.1	12.4	
150,000	273.75	139.0	0.50	46.97	16.49						
146,041 New Fortuner	277.0	139.0	0.50	44.4	16.55	2.3	7.4	7.6	21.8	16.7	
200,000	277.87	140.0	0.47	49.25	17.22						
260,039 Tinos	330.0	114.5	0.35	60.03	19.73	2.55	10.74	7.7	27.2	19.0	
320,000	333.37	158.9	0.47	60.03	22.09						
309,316 UNIVERSAL CROWN	333.12	161.83	0.49	60.0	21.02	3.1	9.2	5.6	23.5	17.4	
전체 선형에 대한		통상발라스트 PBL/LOA 비율 평균치						NB PBL/LOA = 0.45			
Remark		SF : Summer Full Loading condition LS : Light Ship condition NB : Normal Ballast condition									

4.2 국내 돌핀부두의 실태 분석

유류부두 설치시 대상선박에 따른 Working Platform, Breasting Dolphin, Mooring Dolphin, Trestle 등의 규모 및 구조형식, 상부시설물 배치 현황을 조사하여 돌핀부두 설계 평가 자료로 활용한다. 과거 국내 유류부두에서의 돌핀은 현재의 설계기준을 적용하여 설계, 건설되었으며, 본 연구와 관련해서는 대산항 유류부두, 여수 오일부두, 인천북항의 유류하역부두, 인천항 물류센터 돌핀부두, 대산항 유류하역부두 등의 최근 부두의 설계자료를 검토하였다.

4.2.1 돌핀부두의 검토 대상

돌핀부두에서 선박의 계류에 중요한 인자는 선박의 직선구간(PBL)으로 계류 돌핀(B/D)에 직접 접촉하여 선체의 충격을 완화하는 부분이 된다. 따라서 돌핀부두의 B/D 간격의 결정에 따라 계류할 수 있는 최소선박이 결정되게 된다. 그리고, 일반적으로 부두에 계류하는 경우 탱커의 중앙부를 부두의 W/P 중앙과 일치시키게 되는데, W/P에서 Loading Arm의 위치가 W/P의 중앙에 위치하지 않아서 이의 편위에 따른 평가가 필요하게 된다.

돌핀부두에서 B/D의 적정간격 산정을 통해 부두 보강방안을 검토하고자 기존 계획에서 현재 부두상태에서 적용할 수 있는 W/P의 Loading Arm의 편위, QRH의 편위, Sub B/D의 계획 및 Fender의 규격 변경, 기타 보조시설 설치 등 여러 가지 방안을 고려할 수 있다. 설계에서 고려할 수 있는 대상시설과 B/D 간격에 관련된 인자를 그림으로 나타내면 Fig. 4.21과 같다.

Fig. 4.21에서 CMMF는 선체 중앙부 Manifold에서 선수방향 계류원치까지의 거리를, CMMP는 선체 중앙부 Manifold에서 선미방향 계류원치까지의 거리를 나타내며, 추후 Loading Arm을 편위시킴에 따라 고려할 수 있는 계류색의 계류각도를 검토하여 허용여부를 평가하는데 활용하게 된다.

OCIMF가 권유하고 있는 계류시설의 상세는 Fig. 4.22 및 Fig. 4.23과 같다. Spring line은 그림의 ⑩의 bollard를 통해 육상의 bollard에 고정되므로 이

들은 통상 B/D보다 선수미측으로 위치하게 된다.

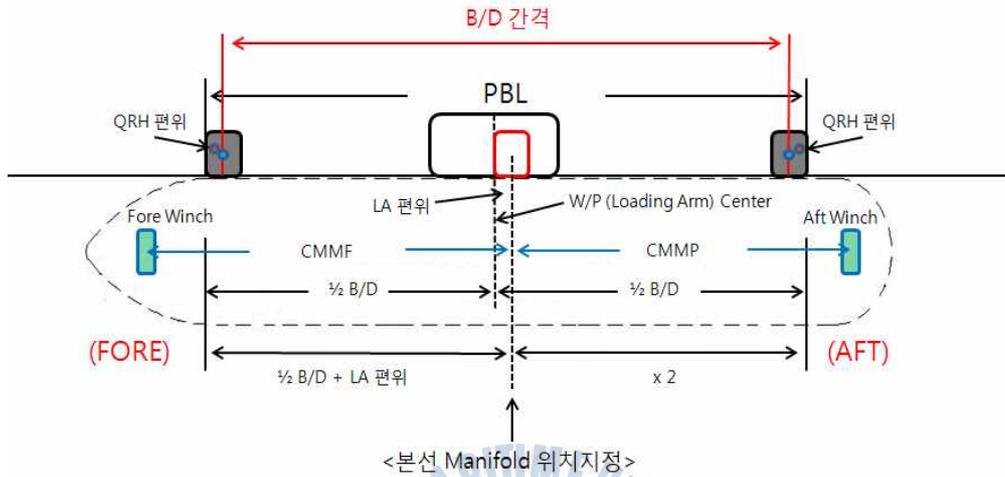


Fig. 4.21 Evaluation parameters of B/D span at dolphin berth

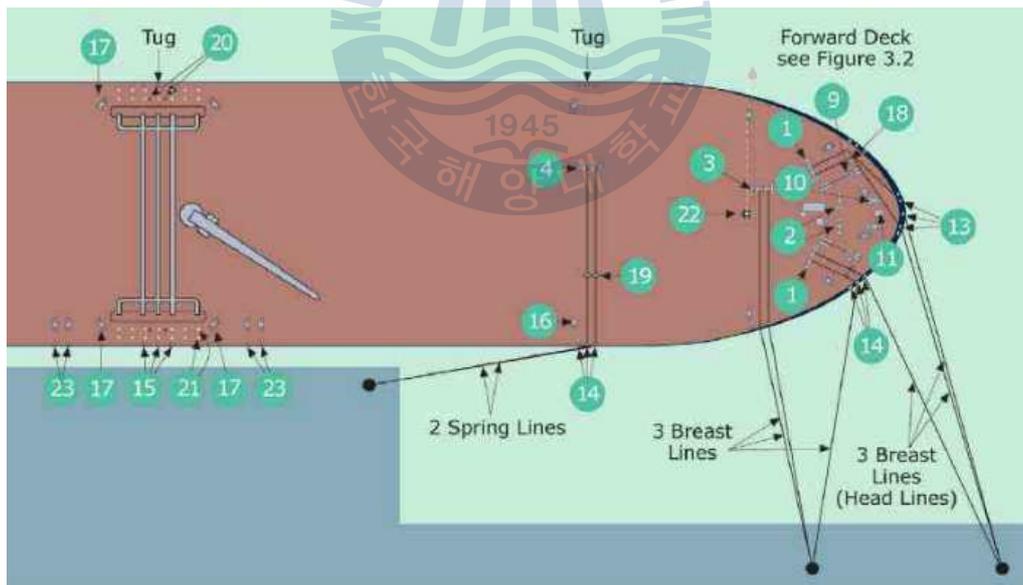
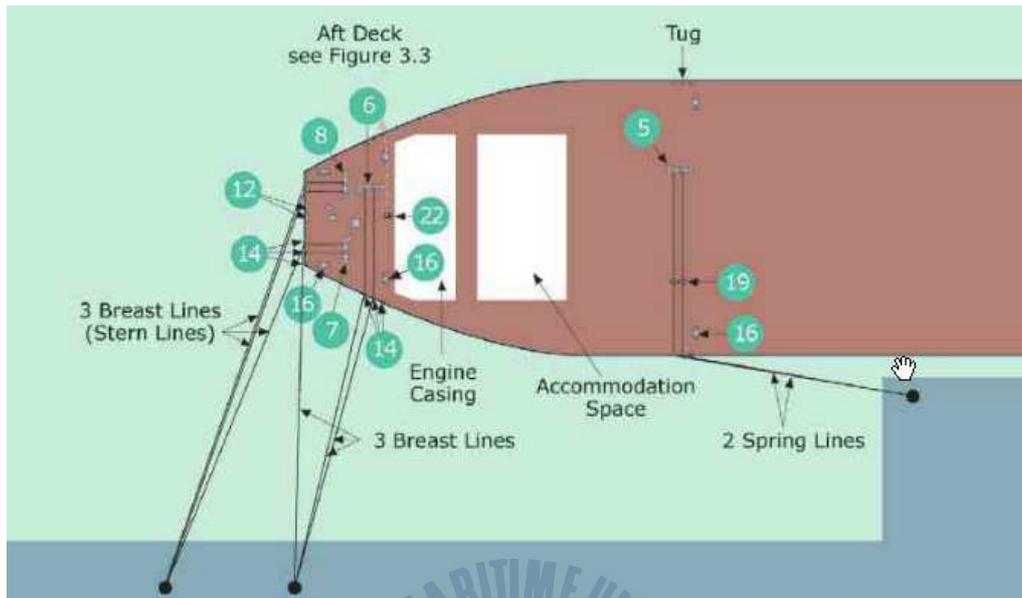


Fig. 4.22 Typical mooring arrangement of a tanker at the berth 1 (OCIMF)



Item	Description
1	Combined Anchor Windlass/Mooring Winch
2	SPM Pick-up Rope Winch
3, 4, 5, 6, 7, 8	Mooring Winch (Double Drum)
9	Anchor Chain Stopper
10	Bow Chain Stopper
11	Emergency Towing System (Forward)
12	Emergency Towing System (Aft) and Escort Pullback
13	Mooring Chock (600 x 450) for SPM, ETS
14	Mooring Chock (400 x 250) for Mooring
15	Mooring Chock (400 x 250) for Cargo Manifold
16	Bollard
17	Bollard for Cargo Manifold Fitting
18	Pedestal Fairlead
19	Horizontal Rope Guide (Roller or Pipe)
20	Cruciform Bollard for Cargo Manifold
21	Eye Plates for Cargo Manifold
22	Emergency Towing-off Pennant
23	Mooring Chock (500 x 400) and Bollard for STS within 35 metres of Manifold for Discharging Ship

Fig. 4.23 Typical mooring arrangement of a tanker at the berth 2 (OCIMF)

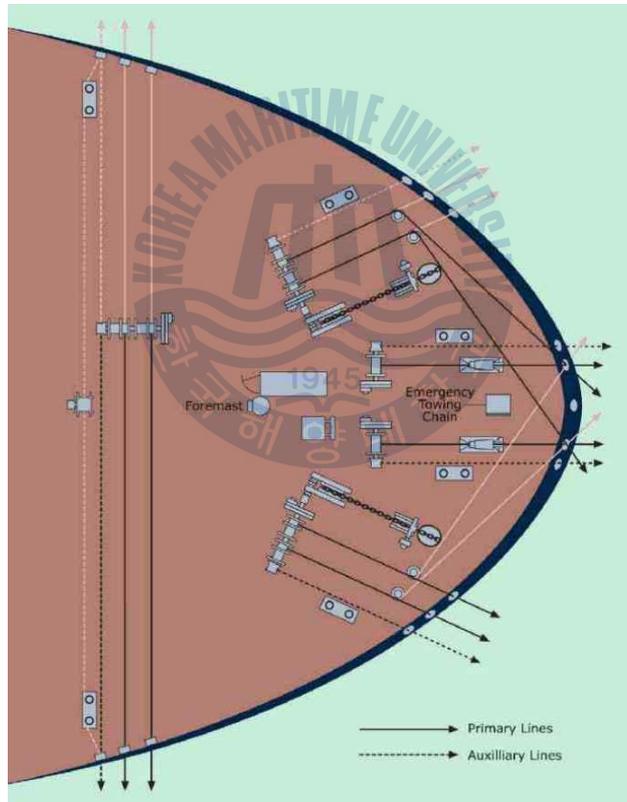


Fig. 4.24 Tanker mooring arrangement on the fore deck (OCIMF)

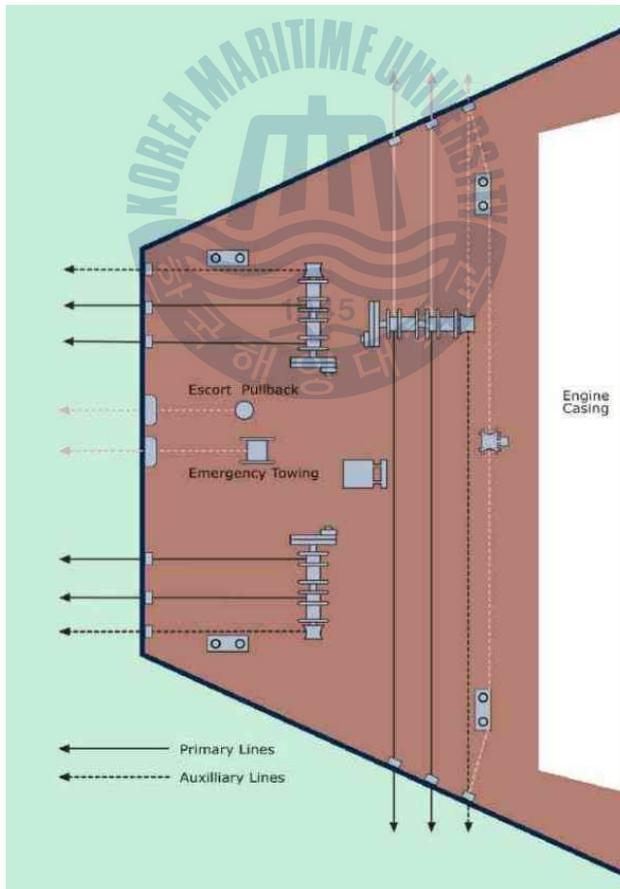


Fig. 4.25 Tanker mooring arrangement on the aft deck (OCIMF)

계류선박의 선수미 계류색 및 Breast Line의 본선 연결지점을 파악하기 위하여 현재 국내외에 운항되고 있는 탱커를 대상으로 설문을 통해 선박 80여척의 상세를 확보하였으며 Fig. 4.26은 이를 정리한 것이다. 계류원치에 관한 자료는 선급이나 Tanker Register에서도 파악할 수 없는 자료로 선사의 도움을 받아 분석하였다. 선수미 원치의 간격은 선수 또는 선미에서 3.7m ~ 24.7m 안쪽에 위치해 있으며 평균적으로 9.2m 정도로 Breast Line 및 선수미 계류색의 본선 연결점 파악에 활용되어 수평계류각의 산정에서 활용된다. 보통 Spring line의 원치는 보통 선체의 직선부 구간 한계 내에 위치하는 것이 일반적이거나, OCIMF(2008)의 가이드에 따르면 구형 또는 실린더형 탱크를 가진 LNG, LPG 가스운반선의 경우 Spring line을 이 선수미 원치에서 계류하는 경우도 있다.

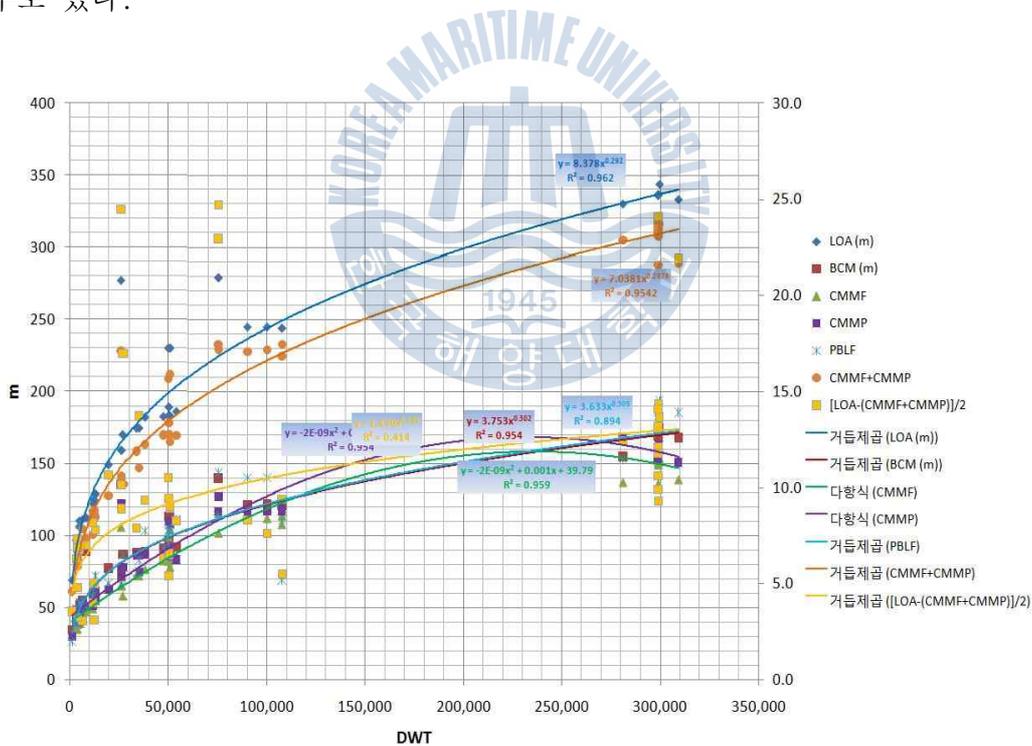


Fig. 4.26 The trend for fore and aft mooring winch location of tankers

Table 4.13 Analyzed mooring winch position for tankers

대표치	LOA (m)	BCM (m)	CMMF (m)	CMMP (m)	CMMF + CMMP	PBLF (m)	[LOA-(CMMF+CMMP)] /2 (m)
min	68.8	34.44	31.4	30.3	61.7	26.64	3.1
max	343.71	174.86	160.0	168.3	318.0	193.75	24.7
대표값	186.4	92.40	81.0	86.8	167.74	93.19	9.2
DWT 범위	1,128 ~ 309,316 DWT						
그래프 공식	$y = 8.378x^{0.292}$ $R^2 = 0.962$	$y = 3.753x^{0.302}$ $R^2 = 0.954$	$y = -2E-09x^2 + 0.001x + 39.79$ $R^2 = 0.959$	$y = -2E-09x^2 + 0.001x + 43.53$ $R^2 = 0.954$	$y = 7.0381x^{0.2978}$ $R^2 = 0.9542$	$y = 3.633x^{0.305}$ $R^2 = 0.894$	$y = 1.120x^{0.194}$ $R^2 = 0.414$

4.2.2 국내 돌핀부두의 실태

국내 돌핀부두의 실태조사 대상항으로는 대산항의 한국석유공사 돌핀, STC 2 돌핀, 당진 액체화물부두 돌핀, 온산항 S-Oil 제3돌핀 등을 들 수 있다.

(1) 대산항 한국석유공사 부두

Fig. 4.27과 Table 4.14는 대산항에 위치한 한국석유공사(KNOC) 돌핀부두의 현황 및 시설물 제원과 구조형식을 나타낸다. 대상선박은 5,000~325,000DWT 급 1선석으로 Pier의 외측에 계류하는 것으로 건설하였다. 규모는 W/P 1기, B/D 4기(내, 외측 각 2기), M/D 4기(내, 외측 각 2기)에 QRH가 상부시설로 건설되었다. Fig. 4.28 ~ Fig. 4.29는 설계도상에 나타난 각각 계류시설의 평면배치도와 하역 돌핀(W/P)의 deck 계획을 표시한 것이다. Fig. 4.30은 대산항에서 한국석유공사 돌핀부두의 위치(③)를 나타낸 것이다. 도면에서 계획하고 있는 선박은 5,000 ~ 325,000DWT급이나 B/D간격이 내측으로 55m, 외측으로 120m를 계획하고 있어서 50,000DWT급의 접안에 어려움이 예상된다.



Fig. 4.27 View of KNOC dolphin berth

Table 4.14 Specification of KNOC dolphin facilities and structure types

구분	Working Platform	Breasting Dolphin		Mooring Dolphin	
		Outer	Inner	Outer	Inner
규모	40.0×30.0m	16.0×21.25m	12.0×15.5m	14.0×14.0m	14.0×14.0m
수량	1기	2기	2기	2기	4기
구조 형식	Jacket식 (34.0B×24.0L×37.6H)	Jacket식 (14.0B×17.75 L×36.6H)	Jacket식 (10.0B×12.0L ×36.6H)	Jacket식 (11.60B×11. 6L×33.1H)	Jacket식 (11.6B×11.6 L×29.1H)
상부 시설	<ul style="list-style-type: none"> ·Personnel House - 7.0×6.0m×1동 ·Form House - 6.0×4.0m×1동 ·Unloading Arm - Φ16"×3EA - Φ12"×2EA ·Gangway - 4.0×3.0×1EA 	<ul style="list-style-type: none"> ·Q.R.H - Outer B/D : 100ton×2Hook - Inner B/D : 100ton×2Hook ·Fender System - Outer B/D : TR-2.25H×2.22L - Inner B/D : TR-1.6H×1.22L 	<ul style="list-style-type: none"> ·Q.R.H - M/D-4 : 100ton×3Hook - M/D-5 : 100ton×3Hook - M/D-6 : 100ton×2Hook×2set 		

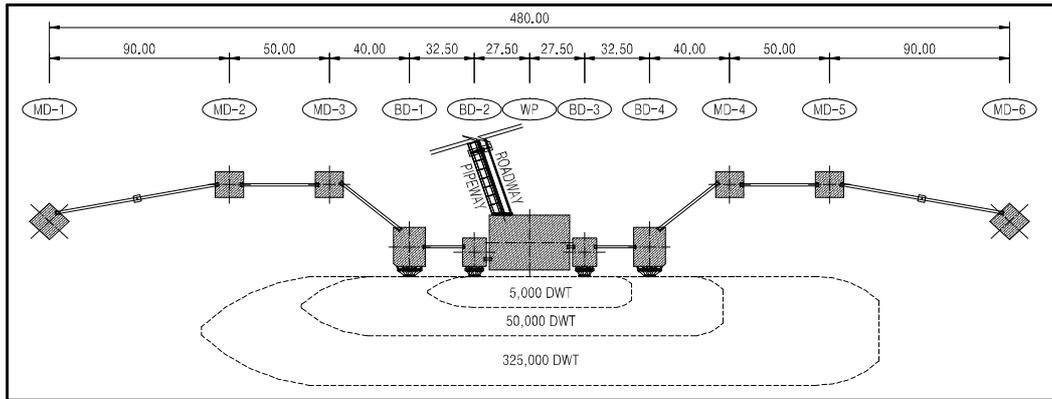


Fig. 4.28 Plan view of KNOC dolphin berth

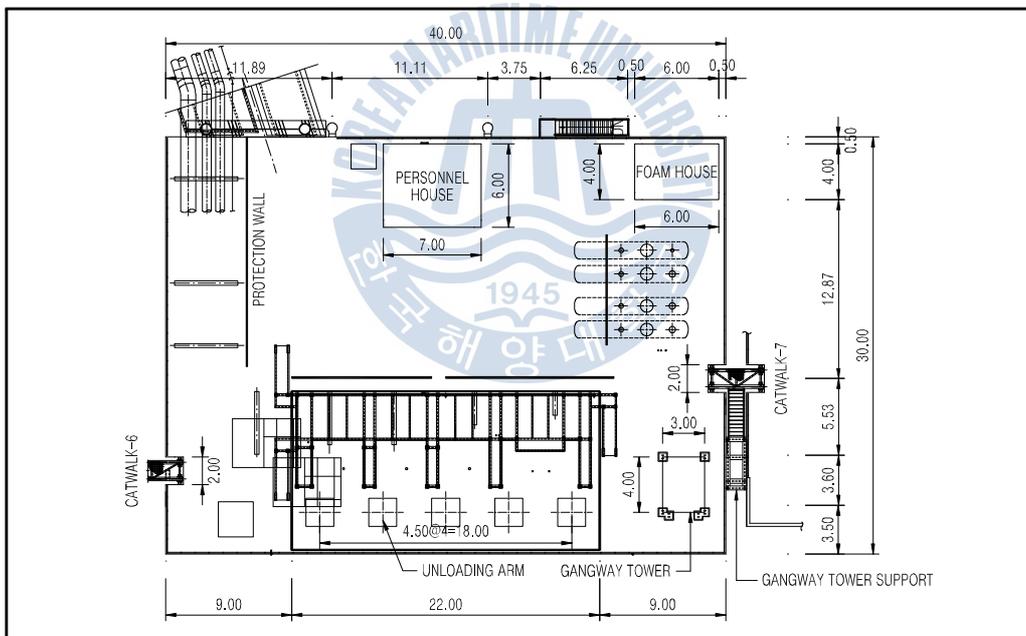


Fig. 4.29 Working Platform deck plan of KNOC dolphin berth



Fig. 4.30 General arrangement of KNOC ③ dolphin berth

(2) 대산항 STC 제2부두

대산항에서 삼성토탈(STC)돌핀부두(Fig. 4.30 ① 참조)의 대상선박은 10,000 ~ 100,000DWT 급 3선석으로 Pier의 내외측에 계류하는 것으로 계획하였다. 규모는 W/P 3기, B/D 8기(내 2기, 외측 6기), M/D 4기(내, 외측 각 2기)에 QRH가 상부시설로 건설되었다. 석유화학의 주원료인 납사 반입 및 제품출하를 위해 이미 돌핀부두 5선석을 운영 중에 있지만, 공장의 확대로 물동량 급증과 선박대형화에 맞추어 신규접안시설로 100,000DWT급과 170,000DWT급의 전용 돌핀 부두 2선석의 추가도 건설 중에 있다. 기존부두의 B/D간격은 내측으로 65m, 외측으로 99m를 반영하고 있다.



Fig. 4.31 View of STC No.2 dolphin berth

Table 4.15 Specification of STC No.2 dolphin facilities and structure types

구분	Working Platform		Breasting Dolphin			Mooring Dolphin	
			Outer	Inner		Outer	Inner
규모	45.0×45.0m	60.0×30.0m	160×200m	120×40m	120×155m	12.0×14.0m	11.0×14.0m
수량	1기	2기	4기	2기	2기	2기	2기
구조 형식	File식 (Φ914.4 × 16t)						
상부 시설	<ul style="list-style-type: none"> ·Control Room - WP-1 ~ 3 : 4.0×6.0m×1동 ·Loading Arm - WP-1,3 : Φ8"×9EA - WP-2 : Φ8"×7EA, Φ16"×2EA ·Gangway - WP-1 ~ 3 : 4.0×4.0m×1EA 		<ul style="list-style-type: none"> ·Q.R.H - Outer B/D : 60ton×2Hook - Inner B/D : 60ton×2Hook ·Fender System - Outer B/D : Rubber-0.8H×2.0L : TTV-1.6H×1.6L - Inner B/D : TTV-1.6H×1.2L 			<ul style="list-style-type: none"> ·Q.R.H - Outer M/D : 80ton×3Hook - Inner M/D : 60ton×2Hook 	

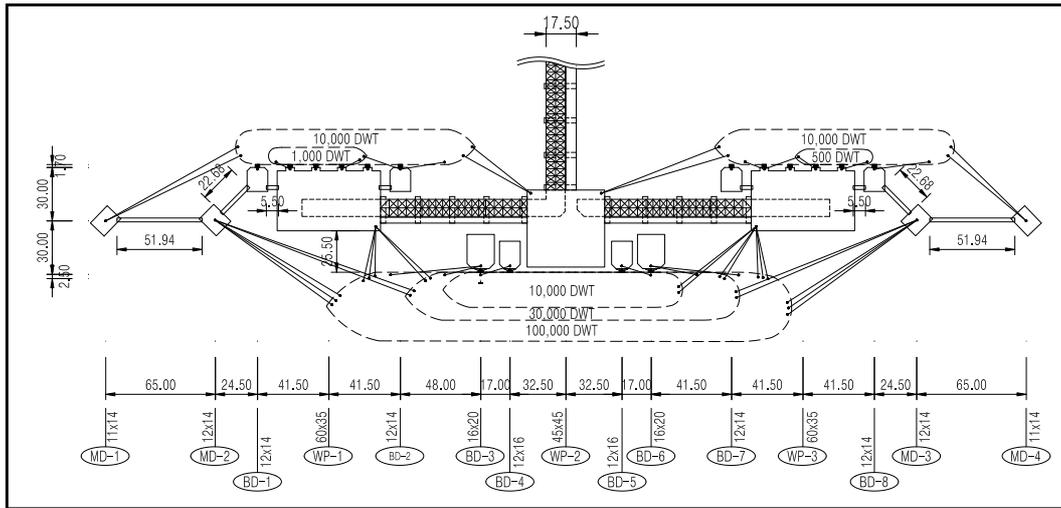


Fig. 4.32 Plan view of STC No.2 dolphin berth

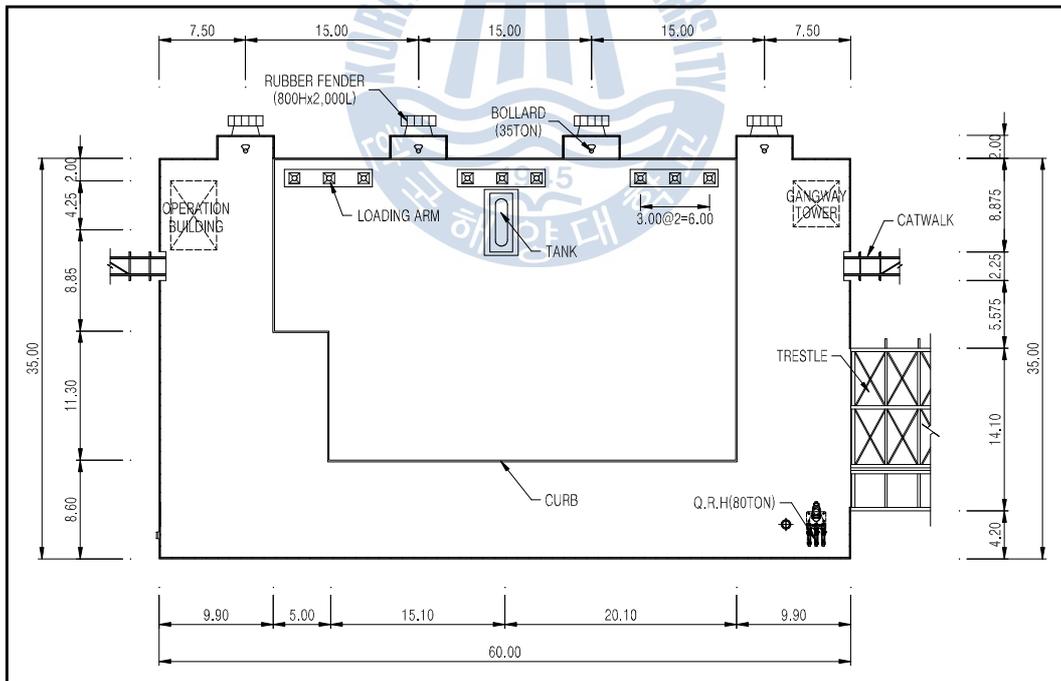


Fig. 4.33 Working Platform deck plan of STC No.2 dolphin berth



Fig. 4.34 Birdeye view of STC No.2 dolphin berth

(3) 당진 액체화물부두 돌핀

당진 액체화물부두 돌핀의 대상선박은 50,000DWT 급 1선석으로 규모는 W/P 1기, B/D 2기, M/D 4기(내,외측 각 2기)에 QRH가 상부시설로 건설되었다. B/D의 간격은 74m로 해당선박의 계류에는 문제가 없는 것으로 나타났다.



Fig. 4.35 General arrangement of Dangjin dolphin berth

Table 4.16 Specification of Dangjin dolphin facilities and structure types

구분	Working Platform	Breasting Dolphin	Mooring Dolphin	
			Outer	Inner
규모	20.6×20.6m	10.8×10.8m	10.8×10.8m	8.8×8.8m
수량	1기	2기	2기	2기
구조 형식	Caisson식 (8.8B×8.8L×22.0H×4EA)	Caisson식 (10.8B×10.8L×20.0H)	Caisson식 (10.8B×10.8L×20.0H)	Caisson식 (8.8B×8.8L×20.0H)
상부 시설	<ul style="list-style-type: none"> ·Operation Building - 10.0×6.0m×1동 ·Loading Arm 3EA ·Gangway 4.0×3.0×1EA ·Q.R.H 60ton×2Hook×2set ·Fender System - TR-1.8H×1.0L 	<ul style="list-style-type: none"> ·Q.R.H - B/D-1 : 60ton×2Hook - B/D-2 : 60ton×2Hook ·Fender System - TR-1.8H×1.0L 	<ul style="list-style-type: none"> ·Q.R.H - M/D-1 : 75ton×3Hook - M/D-2 : 75ton×3Hook - M/D-3 : 75ton×3Hook - M/D-4 : 75ton×3Hook 	

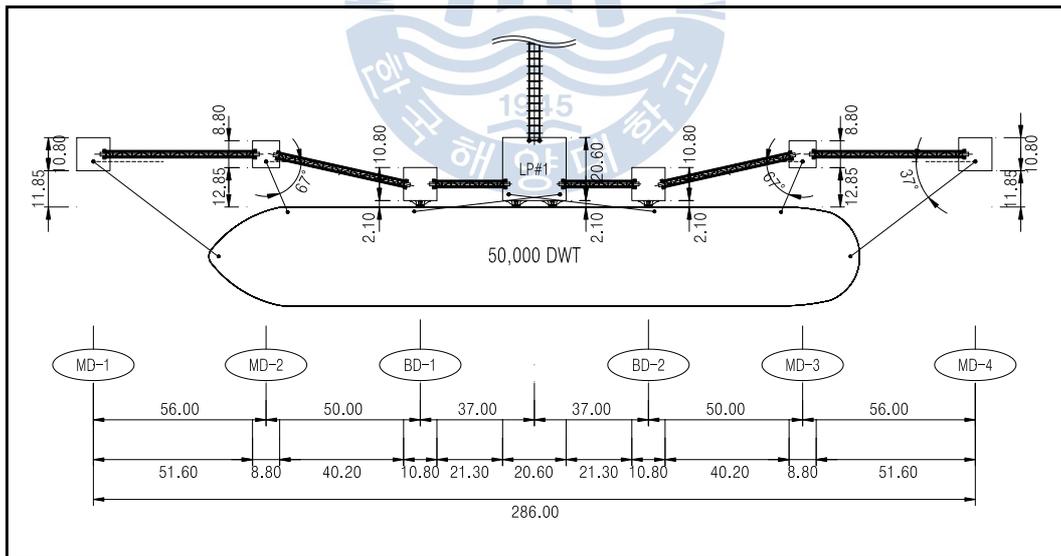


Fig. 4.36 Plan view of Dangjin dolphin berth

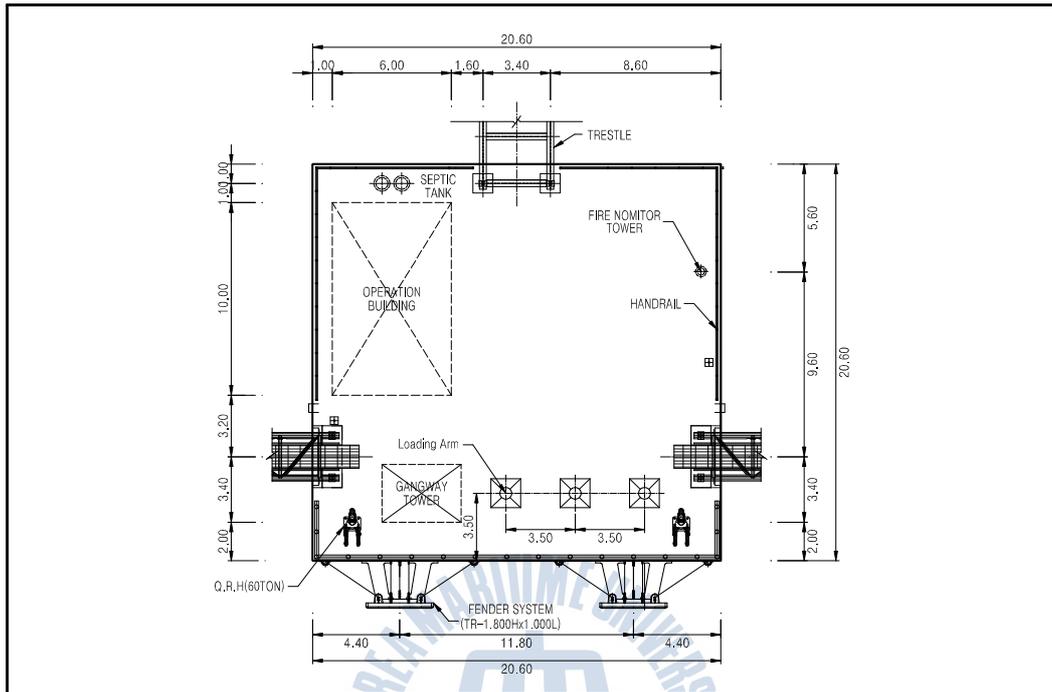


Fig. 4.37 Working Platform deck plan of Dangjin dolphin berth

(4) 온산항 S-Oil 부두 제3돌핀

유조선 접안시설이 호안법선에서 약 280m 정도 해상으로 떨어져 위치하여 도쿄(Trestle)에 의해 연결되므로 원유의 하역설비 설치면적, 작업공간, 작업차량의 원활한 회전공간 등을 하역돌핀(W/P)상에 확보하고, Loading Arm, Gangway Tower, QRH, Bollard 등을 배치하고 있다. 대상선박은 10,000~50,000DWT급으로 이에 부합하는 방충재를 적정 배치기준에 따라 배치하여 대상선박이 직접 접안할 수 있도록 50m×32m의 크기로 설계하였다.

접안돌핀(B/D)은 선박이 안전하게 접안할 수 있도록 설치되는 구조물로서 충격력을 효과적으로 흡수할 수 있고 선박이 안전하게 계류할 수 있도록 구조물 전면에는 방충재를 설치하고 상부에는 QRH와 Bollard를 설치하였다. 선박의 접안을 위한 접안돌핀의 간격은 선박길이의 0.25~0.4배 범위내로 배치하는 것을 기준으로 하여 좌현 또는 우현접안이 가능하도록 좌우 대칭으로 배치하

고, 방충재의 중심간격은 84m, B/D의 크기는 32m×16m로 W/P 좌우에 1기씩 배치하였으며, 구조물의 지지층인 기반암층이 해저 지반으로 부터 얇게 분포되어 있어 중력식(Caisson식)으로 건설하였다.



Fig. 4.38 General arrangement of Onsan S-Oil dolphin berth

Table 4.17 Specification of Onsan S-Oil dolphin facilities and structure types

구분	Working Plat form	Breasting Dolphin	Mooring Dolphin	
			Outer	Inner
규모	32.0×50.0m	32.0×16.0m	22.0×10.0m	10.0×10.0m
수량	1기	2기	3기	3기
구조 형식	Caisson식 (10.5B×16.0L×17.1H×3EA)	Caisson식 (15.0B×16.0L×17.1H)	Pile식 (Φ812.8×14t)	Caisson식 (10.0B×10.0L×10.5H)
상부 시설	<ul style="list-style-type: none"> ·Loading Arm 12EA ·Gangway 0.0×3.0×2EA ·Q.R.H <ul style="list-style-type: none"> - 100ton×2Hook×2set ·Fender System <ul style="list-style-type: none"> - TTV-1.8H×2.0L - TTV-1.0H×2.0L 	<ul style="list-style-type: none"> ·Q.R.H <ul style="list-style-type: none"> - 100ton×2Hook ·Fender System <ul style="list-style-type: none"> - TTV-1.8H×2.0L - TTV-1.0H×2.0L 	<ul style="list-style-type: none"> ·Q.R.H <ul style="list-style-type: none"> - Outer M/D : 150ton×2Hook - Inner M/D : 150ton×2Hook ·Fender System <ul style="list-style-type: none"> - Inner M/D : TTV-1.8H×2.0L 	

계선돌핀(M/D)는 선박의 계류시 계류삭을 걸어 선박의 안정된 정박을 하기 위한 기능을 가진 구조물로 선수 및 선미측 Mooring Line은 계류시 선축으로부터 45° 이하를 유지하고 측현의 Breast Line 90° ±15° 를 유지할 수 있도록 M/D를 배치하였다. 기반암층의 심도에 따라 M/D-1,2,3은 22m×10m 크기의 강관 Pile식, M/D-4,5,6은 10m×10m 크기의 중력식(Caisson식) 구조물을 좌우에 3기씩 6기로 계획하고, B/D에 선박 접안시 인근 M/D와의 충돌 가능성에 대비하여 M/D 구조물 전면에 방충재를 설치하였다. 설계 B/D간격으로는 목표한 선박의 계류는 가능하지만 하부의 10,000DWT급의 접안에는 어려움이 예상된다.

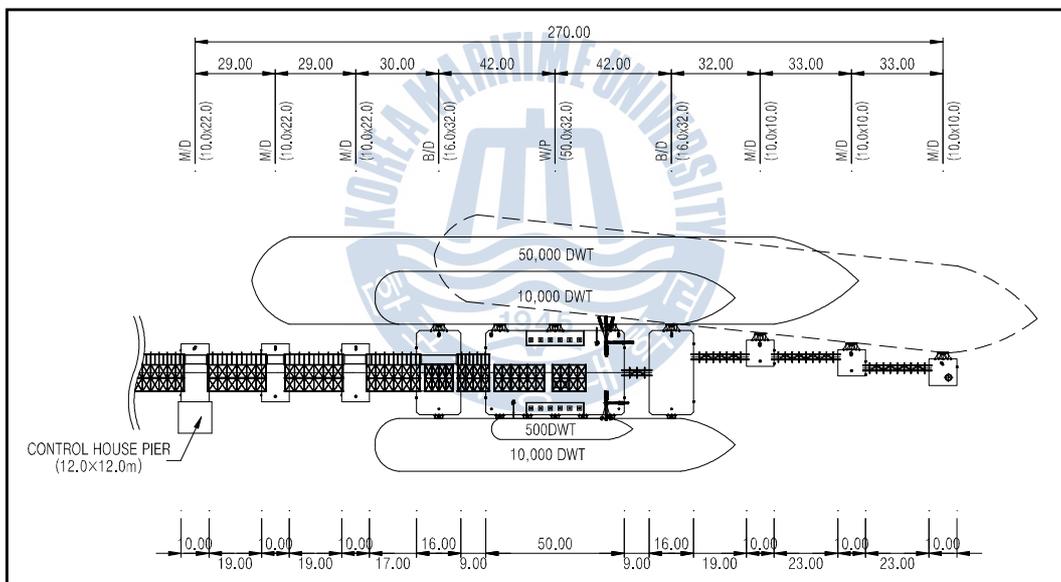


Fig. 4.39 Plan view of Onsan S-Oil dolphin berth

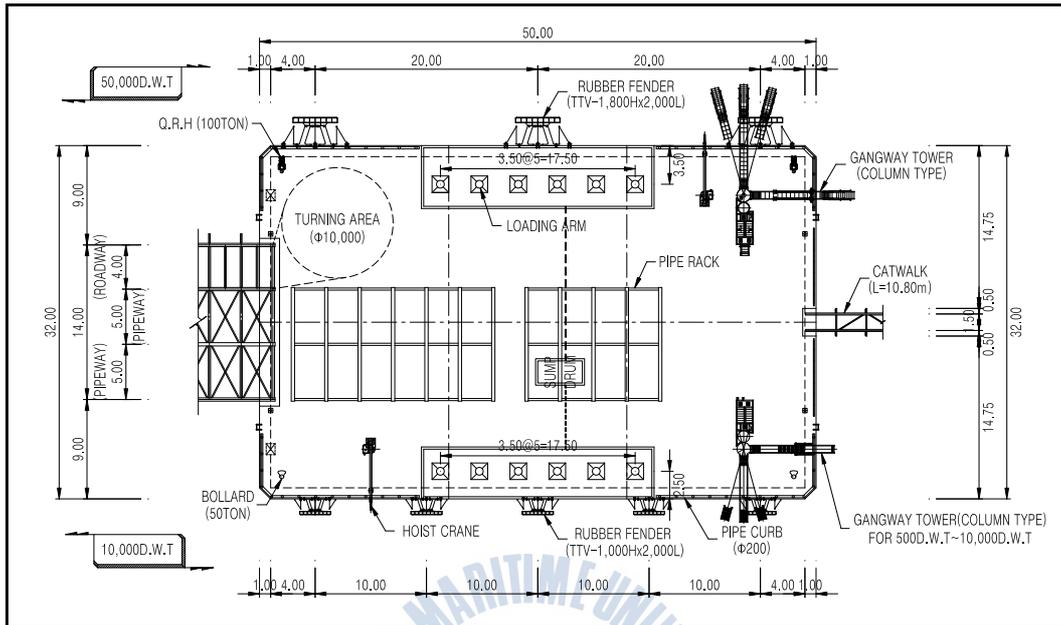


Fig. 4.40 Working Platform deck plan of Onsan S-Oil dolphin berth

(5) 장생포 SK 제3부두 가스돌핀

울산 장생포의 SK 석유가스 터미널 제3부두는 현재 35,000DWT급 부두로 축조되어 운영 중에 있으며, 선형중대 추세에 따라 부두 가동율 향상을 꾀함과 아울러 안정적인 접안 능력을 확보하도록 이를 50,000DWT급 선박이 접안 가능하도록 증설하고 있다. 이에 따라, 기존의 M/D 2기를 철거하고 새로운 선형의 크기에 따라 M/D 4기를 확장하도록 건설 중이다. 여기에 2기의 Catwalk pier를 추가하여 6개의 Catwalk truss로 연결하게 된다.



Fig. 4.41 General arrangement of Jangsaengpo SK No.3 dolphin berth

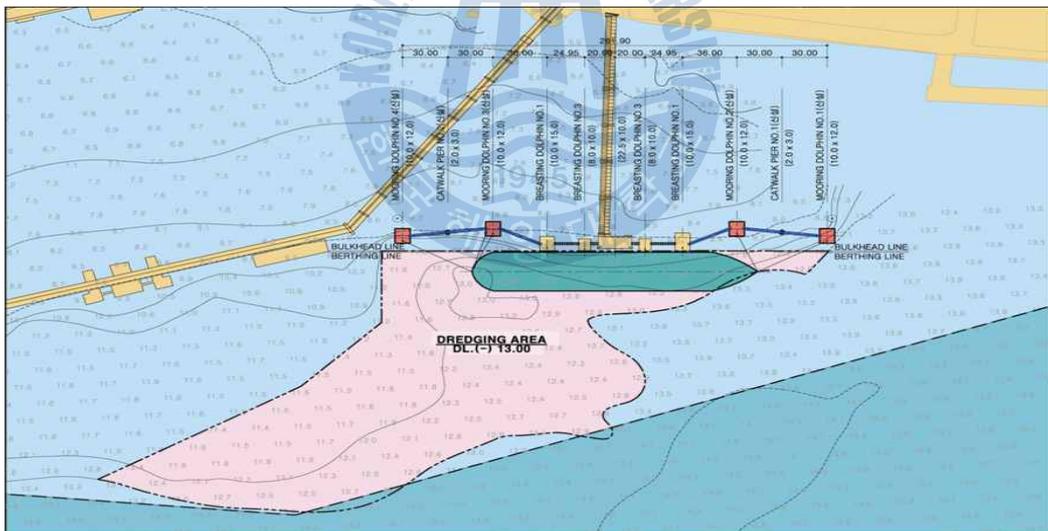


Fig. 4.42 Plan view of Jangsaengpo SK No.3 dolphin berth

제5장 돌핀부두 설계의 실증 분석

돌핀부두 설계의 실증분석은 국내 신규유류기지의 돌핀부두를 대상으로 계획선박과 부두시설에 대한 평가를 수행하고 최근 탱커의 변화추이에 따른 대응방안을 다루었으며, 선형특성상 서비스가 불가능한 소형선박은 다른 부두에 이동하여 접안토록 하는 부두운영지침으로 해소하거나 부돌핀(Sub Dolphin)의 추가 등 최소한의 개선안을 도출하였다.

특히, 앞 절에서 분석한 탱커의 건조 및 운항추이 분석을 통해서 설계기준에서의 접안가능한 최소선박의 크기에서는 계획과 다른 부분이 나타나 설계에서 반영한 계류돌핀 간격을 0.25L~0.4L에 대해 실선분석을 통한 0.45L을 적용하여 새롭게 도출하였다. 대상부두는 여수 석유부두의 B/D 및 M/D의 배치와 선박계류 한계를 반영하여 부두 보강 방안에 대하여 정리하였으며, 부두 건설 후 운영과정에서 해결해나가는 내용을 제시하고자 한다.

5.1 실증 분석 대상 시설

5.1.1 계류시설의 평면배치와 적용선박

여수석유 부두설계 당시의 자료와 최근 부두 보강계획을 구하여, 최근 전세계의 탱커 변화 추이를 분석한 결과를 비교하고 제3장에서 논의한 각국의 설계 지침상에서의 한계를 적용하여 과업의 목표인 각 부두에서 접안가능한 최소선박의 크기를 논하고, 아울러 효과적인 부두 운영을 위하여 계획한 선박의 접안에 필요한 접안돌핀(B/D)의 추가 및 배치간격에 대하여 분석하였다.

여수석유 부두설계 당시 대상선박의 범위가 Fig. 4.2와 같이 1,000DWT ~ 320,000DWT으로 그 범위가 다양하며, 앞절에서 실제 선형의 추이분석을 통해 도출된 선박의 전장(LOA), 통상발라스트 상태의 선체직선구간(NBPBL) 및 비율(NBPBL/LOA)을 부두설계 당시의 계획치와 비교하여 분석할 필요가 있다. 돌핀

부두의 이용선박 증대 가능성은 접안돌핀(B/D) 및 계류돌핀(M/D)의 간격이 부두보강 여부를 가늠하는 결정적 요소이므로 이들의 적정성을 우선 검토하였다.

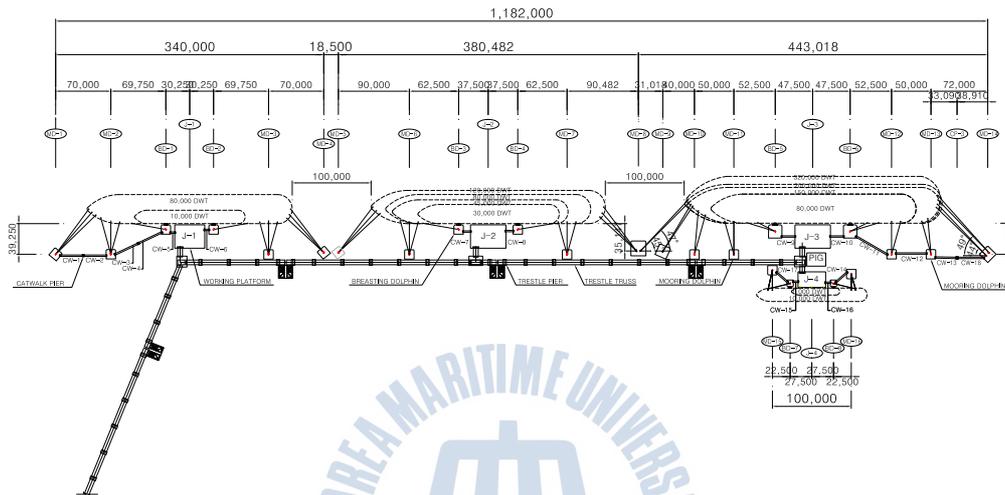


Fig 5.1 General arrangement of tankers at the dolphin berth of Yeosu berth

5.1.2 설계부두의 접안돌핀 간격 검토

(1) 설계 시공자료의 분석

요약된 국내의 설계기준 및 지침을 통해서 핵심사항으로는 B/D의 간격을 우리나라나 일본의 경우 탱커의 현측직선구간에 B/D를 접하는 것으로 계획하여 최소의 B/D간격을 일반적으로 $1/3L$ 이격하거나 대상선박의 제원이 명확하지 않은 경우에는 $0.25L \sim 0.4L$ 범위내 배치하는 것으로 되어 있다. 설계서에서도 이를 반영하여 설계적용 거리로 계획하였으나 각 부두에서 제시하고 있는 최소선박의 경우는 Table 5.1과 같이 부적합한 것으로 나타났다. 보다 현실적인 평가는 Table 5.2의 현존하는 실제 선박통계치로 반영하는 것이 합리적일 것이다.

계획 대상선박의 폭이 크고, 항만 및 어항설계 기준 및 특히 탱커부두에서 OCIMF 기준에 따라 B/D 설계시 간격이 넓은 경우 Sub B/D 혹은 Sub Fender 등을 고려하는 것을 권장하고 있으므로 J-4부두의 경우도 현재 Sub B/D의 간격을 검토하고 있어서 합리적이거나 일정규모 이하의 소형선에 대해서는 Sub B/D 외에 계류선박의 한 측면이 W/P에 접촉이 불가피한 실정이다.

또한 대상선박은 화물적재상태에 따라 직선구간(PBL)이 변하게 되는데 Fig.5.2는 현재운항중인 유조선에 대한화물의 적재상태에 따른 PBL 변화를 선장 및 DWT별로 정리한 것이다. 선형이 다양하여 만재상태의 PBL에 대해 통상의 발라스트 항해에서는 이 길이의 79 ~ 98%, 화물을 양하한 상태인 경하상태에서는 50 ~ 85% 수준으로 짧아지므로 적재화물 중량에 따라 계선돌핀(B/D)과의 접촉지점에 변화를 가져오게 되어 설계시에는 통상의 발라스트 상태로 B/D 간격을 평가하기로 한다.

따라서, 부두에 계류한 상태에서의 변화는 선체중앙부분이 하역돌핀(W/P)에 선박의 계류하중이 영향을 미치게 된다. 이러한 상태로 통상의 돌핀부두 설계에서는 하역부두의 하역장비(Loading Arm)의 보호를 위해 W/P를 B/D 선보다 1.5m ~ 2.5m 후퇴하여 설계에 반영하고 있는 것이다. 초기설계에서는 이 부분을 반영하지 않았거나 미흡한 상태로 나타났다.

Table 5.1 Evaluation sheet for B/D intervals of Yeosu berth

부 두	선박크기 (DWT)	선박길이 (L, m)	접안돌핀 간격기준 (1/3L)	선박제원 불분명시		설계적용 거리	검토 결과 (설계상 적합여부)
				0.25L 이상	0.4L 이하		
J-1	10,000	140	42.0	35.0	56.0	60.5	부적합
	80,000	260	78.0	65.0	104		부적합
J-2	30,000	187	56.1	46.8	74.8	75.0	부적합
	120,000	297	89.1	74.3	118.8		적합 ※
J-3	80,000	260	78.0	65.0	104.0	95.0	적합 ※
	320,000	322	96.6	80.5	128.8		적합 ※
J-4	1,000	61	18.3	15.3	24.4	55.0	적합 ※
	3,000	90	30.0	22.5	36.0		부적합
	5,000	104	31.2	26.0	41.6		부적합
	7,000	116	34.8	29.0	46.4		부적합
	10,000	140	42.0	35.0	56.0		적합 ※

※는 Loading Arm 편위를 고려하지 않고 W/P 중심을 기준으로 할 경우이다.

아울러 W/P상의 Loading Arm 의 수와 위치는 선박계류시의 중심결정에 중요한 인자가 되므로, L/Arm 중앙의 위치가 W/P에서의 편위된 양을 B/D의 간격 검토에 반영하였다.

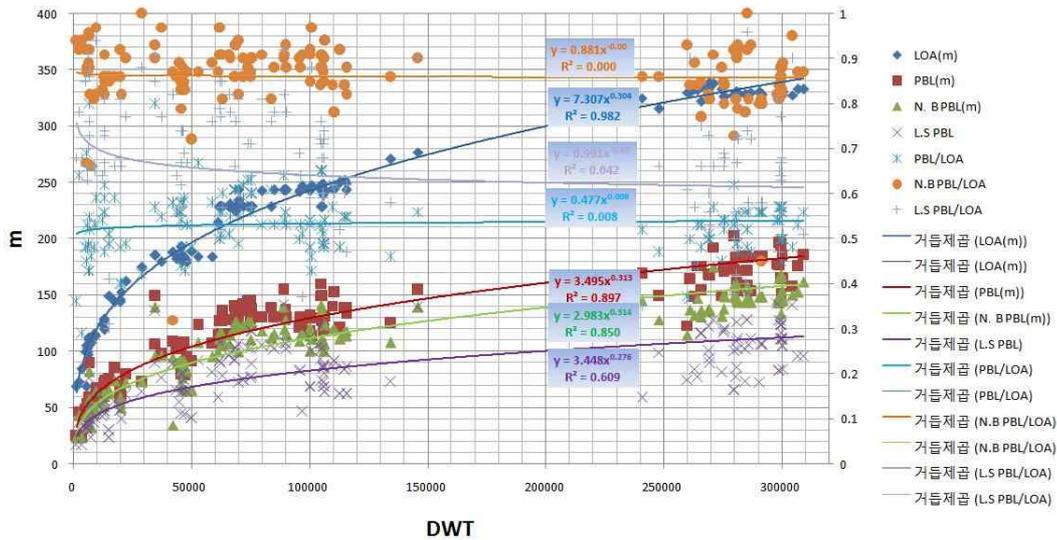


Fig. 5.2 Variation of PBL with respect to cargo loading condition

(2) 실제 선박자료의 분석

요약된 실제 운항중인 유조선의 현측 직선구간(PBL)은 Table 5.2에서와 같이 선박의 크기에 따라 달라서 설계서상의 선박에 대해서는 0.37~0.55의 범위에 있게 되고 이의 대표치는 통상의 발라스트 조건으로 해서 0.45L에 해당한다.

① L/Arm이 W/P 중앙에 위치한 경우

요약된 실제 각 부두별 접안 선박별 PBL에서 Table 5.2의 우측과 같이 실제 선박으로 PBL을 추정된 자료로 해당 PBL을 0.25 ~ 0.4L의 설계기준에 적용하면 J-1부두 10,000DWT, J-2 부두 30,000DWT와 45,000DWT, J-3 부두 80,000DWT, J-4 10,000DWT급 선박접안은 부적합한 것으로 나타난다. 그러나 NB PBL의 비율을 0.45L을 적용하면, J-1부두 10,000DWT급을 제외하고는 모두 적합한 것으로 볼 수 있으며, J-4 부두의 1,000DWT급은 B/D간격을 16m로 설계서상에 나타나 있으나 이는 실제와 다르게 W/P에 Fender의 계획과 계선주를 활용하는 것을 반영한 것이다.

Table 5.2 Evaluation sheet for the specification of tankers between the planned and statistic values (case for L/Arm at the center of W/P)

구조물	대상선박	설계치				실제선박통계치						평가
		LOA (m)	B/D간격 0.25~0.4L	(m)	M/D (m)	LOA (m)	PBL (m)	PBL/ LOA	적용치의 비교(m)			
									0.45L	0.25~0.4L		
Jetty 1	10,000DWT	140.0	35.0~56.0	60.5	340.0	122.94	58.7	0.48	55.3	30.7~49.2	부적합	
	80,000DWT	260.0	65.0~104.0			230.83	126.9	0.52	103.9	57.7~92.3	적합	
Jetty 2	30,000DWT	187.0	46.75~74.8	75.0	380.48	179.11	78.0	0.49	80.6	44.8~71.6	적합	
	45,000DWT	223.0	55.75~89.2			183.14	82.6	0.44	82.4	45.8~73.3	적합	
	80,000DWT	260.0	65.0~104.0			230.83	126.9	0.52	103.9	57.7~92.3	적합	
	120,000DWT	297.0	74.25~118.8			249.81	114.1	0.46	112.4	62.5~99.9	적합	
Jetty 3	80,000DWT	260.0	65.0~104.0	95.0	443.02	230.83	126.9	0.52	103.9	57.7~92.3	적합	
	150,000DWT	320.0	80.0~128.0			273.75	139.0	0.50	123.2	68.4~109.5	적합	
	200,000DWT	326.0	81.5~130.4			277.87	140.0	0.47	125.0	69.5~111.1	적합	
	320,000DWT	322.0	80.5~128.8			333.37	158.9	0.47	150.0	83.3~133.3	적합	
Jetty 4	1,000DWT	61.0	15.25~24.4	16.0	100.0	64.09	23.4	0.34	28.8	16.0~25.6	적합	
	10,000DWT	140.0	35.0~56.0	55.0		122.94	58.7	0.48	55.3	30.7~49.2	적합	

② L/Arm이 W/P 중앙에서 편위한 경우

실제 각 부두에서의 L/Arm은 편위가 된 상태로 편위에 따른 접안 가능한 최소선박을 평가할 필요가 있다. 편위가 이루어진 경우 추정된 최소선박은 설계 기준의 0.4L을 적용하면, J-1부두 31,000DWT, J-2 부두 44,000DWT, J-3 부두 100,000DWT, J-4 15,000DWT급(Sub B/D 계획시 6,000DWT)으로 추정되었으며, 전체부두가 부적합한 것으로 나타났다.

L/Arm의 편위에 의한 접안가능 최소선박의 추정은 B/D간격의 1/2에 L/Arm의 편위거리를 더한 후 이를 2배하여 부두에 접안할 수 있는 최소한계선박으로 정의한다. Table 5.3은 0.45L로 추정된 결과를 나타낸다.

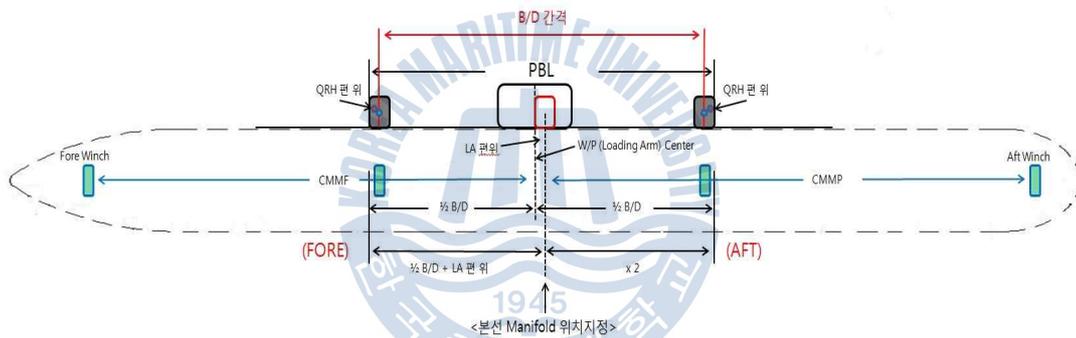


Fig. 5.3 Variation of PBL due to shift of L/Arm at W/P

Table 5.3 Evaluation sheet for the specification of tankers between the planned and statistic values(case for shift of L/Arm at W/P)

부두	L/Arm 편위		BD 간격	BD/2 ②	L/Arm ~BD ③=①+ ②	최소한 계 PBL ④=③× 2	(LOA)	LOA계산	DWT추정	평가
	구분	①					DWT	④÷0.4	실선기준	
J-1	F.O.	N 7.5	60.5	30.3	37.8	75.5	(140.0)	188.8	41,000	부적합
	Product	S 4.5	60.5	30.3	34.8	69.5	10,000	173.8	31,000	부적합
J-2	C.O/F.O	N 1	75.0	37.5	38.5	77.0	(187.0)	192.5	44,000	부적합
	Product	N 13	75.0	37.5	50.5	101.0	30,000	252.5	119,000	부적합
J-3	C.O/F.O	S 1.5	95.0	47.5	49.0	98.0	(260.0)	245.0	100,000	부적합
	Product	N 12.5	95.0	47.5	60.0	120.0	80,000	300.0	260,000	부적합
J-4	F.O.	N 12	55.0	27.5	39.5	79.0	(140.0)	197.5	48,000	부적합
	Product	N 0.5	55.0	27.5	28.0	56.0	10,000	140.0	15,000	부적합
	F.O.	N 12	40.9	20.5	32.5	64.9	(61.0)	162.3	25,000	부적합
	Product	N 0.5	40.9	20.5	21.0	41.9	1,000	104.8	6,000	부적합

5.1.3 설계부두의 계류돌핀 계선각의 검토

M/D의 수는 대상선박의 크기에 따라 좌우되며 일반적으로 선수 및 선미부측에 각각 2~3개씩 설치하는 것이 일반적이고 B/D은 선박의 중앙부에서 좌우로 1개, 선석당 2개를 설치한다. 다만 여러 종류의 선박을 계류하기 위한 부두에서는 소형선박의 계류를 위해 2개의 B/D 사이에 Sub Dolphin 2개를 설치하기도 한다.

부두법선과 Bow 및 Stern Line이 이루는 각은 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 이내로 되도록 배치하는 것이 바람직하며 M/D에서 Breast line은 부두법선과 15° 이내, B/D에서 Spring Line은 10° 이내를 유지하는 것이 좋다.

(1) 부두별 선박별 수평방향 Mooring Line의 분석

① L/Arm이 W/P 중앙에 위치한 경우

각 부두별 Mooring Line의 수평계선각을 설계 시공자료와 실제선형을 통계 처리로 대표치를 구해 반영한 것을 비교하여 정리하였다. 특히, J-3부두의 선형에 대해 설계에 반영한 150,000DWT ~ 300,000DWT의 전장(LOA)은 차이가 거의 없어서, 실제선형을 반영한 때에는 수평계선각에 차이가 있는 것으로 나타났다.

1) J-1 부두

J-1 부두에서 수평계선각은 80,000DWT에 대하여 M/D-1과 M/D-4에서 설계 시공값은 Fig. 5.4와 같이 각각 49° 와 48° 로 권장 계선각의 한계를 초과하나, 실선자료인 Fig. 5.8에서는 각각 45° 와 37° 로 권장 계선각 한계 이내로 적합하다. 10,000DWT에 대해서는 B/D-1과 B/D-2에서 설계치나 실선자료와 큰 차이를 나타내지 않았다.

2) J-2 부두

J-2 부두에서는 수평계선각은 120,000DWT에 대하여 M/D-5와 M/D-8에서 설계 시공값은 Fig. 5.5와 같이 각각 48° 로 권장 계선각의 한계를 초과하나, 실선자료인 Fig. 5.9에서는 각각 44° 및 30° 로 권장 계선각 한계 이내로 적합

하다. 30,000DWT에 대해서도 B/D-3과 B/D-4에서 한계를 초과하나, 실선자료에 서는 한계 이내의 값을 나타내었다. 그 이외의 선박은 모두 권장 계선각 한계 이내로 적합하다.

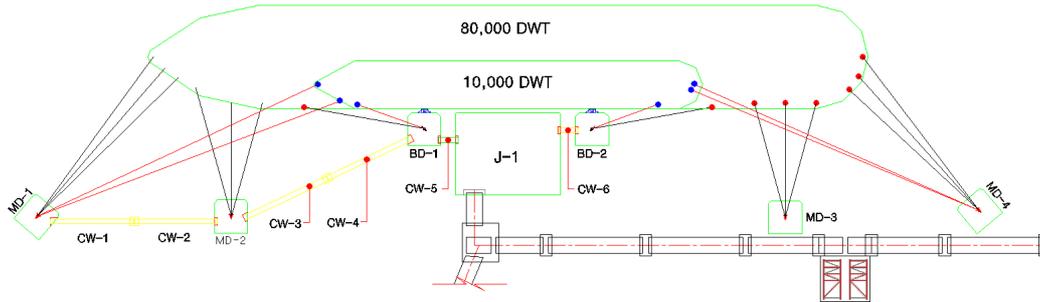
3) J-3 부두

J-3 부두에서는 수평계선각은 Fig. 5.6과 같이 전체 선박에 대하여 B/D-5, B/D-6의 Spring Line에서 한계를 초과하고 있으며, M/D-9에서 선수 계류색이 150,000DWT 이상 선박들에 대해 권장 한계를 초과하고 있다. 그러나 M/D-9의 선수계류색의 경우는 M/D-8로 옮겨 연결할 수 있으므로 한계 이내로 접합하다고 볼 수 있다. 한편, Fig. 5.10과 같이 실선박의 경우는 선체길이에 설계치 보다 크기 때문에 200,000DWT급 이상의 대형선에 대해서는 부두운영에 주의가 필요할 것이다.

4) J-4 부두

J-4 부두에서는 수평계선각은 Fig. 5.7 및 Fig. 5.11과 같이 1,000DWT 선박에 대하여 B/D-7, B/D-8의 Spring Line에서 한계를 초과하고 있으나, Sub B/D 을 현재의 B/D 내측에 계획하는 것으로 변경하고 있어서 1,000DWT에 대해서는 적합하다고 본다. 실선박의 자료에서도 유사한 경향을 나타내어서 10,000DWT 선박의 경우는 선수미 계류색의 수평각이 한계를 넘으므로 빈번하게 부두를 이용하게 되는 10,000DWT 이하의 선박을 고려하여 부두 운영시 비상용 예선의 활용을 검토하는 것이 바람직하다.

Table 5.4는 실제선박에 적용한 수평계선각을 총정리한 것을 나타낸다. 이상의 수평계선각의 분석에서는 설계에 반영한 선박에 대해 한계각을 넘는 부두가 일부 나타나지만, 실제선박을 적용할 경우 일부 부두에서는 개선이 되나 상대적으로 권장 수평계산각의 한계를 초과하는 경우가 있다.



대상 선박	J-1	Bow			Stern		비 고
	M/D-1	M/D-2	B/D-1	B/D-2	M/D-3	M/D-4	
80,000D.W.T	49°	15°	10°	10°	15°	48°	한계초과
10,000D.W.T	23°	-	20°	20°	-	23°	한계초과
권장 수평계선각	30° ~45°	15°	10°	10°	15°	30° ~45°	

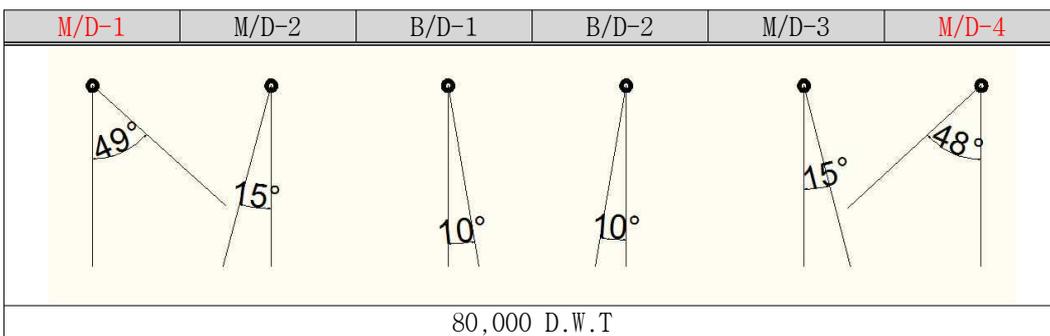
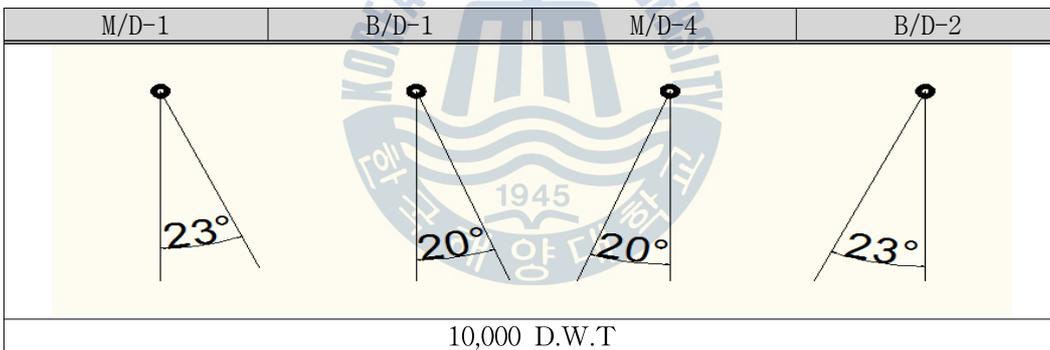
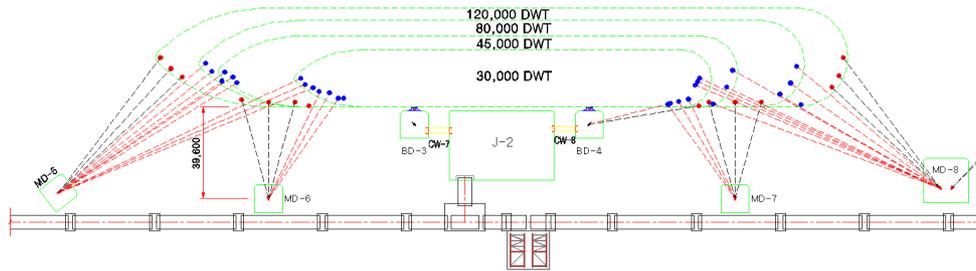


Fig. 5.4 Comparison of horizontal mooring angles for different tanker types at J-1 pier plan



대상 선박	J-2		Bow			Stern		비 고
	M/D-5	M/D-6	B/D-3	B/D-4	M/D-7	M/D-8		
120,000D.W.T	48°	15°	10°	10°	15°	48°	한계초과	
80,000D.W.T	39°	15°	10°	10°	15°	35°	적 합	
45,000D.W.T	34°	15°	10°	10°	15°	25°	적 합	
30,000D.W.T	24°	30°	20°	15°	30°	24°	한계초과	
권장 수평계선각	30° ~45°		15°	10°	10°	15°	30° ~45°	

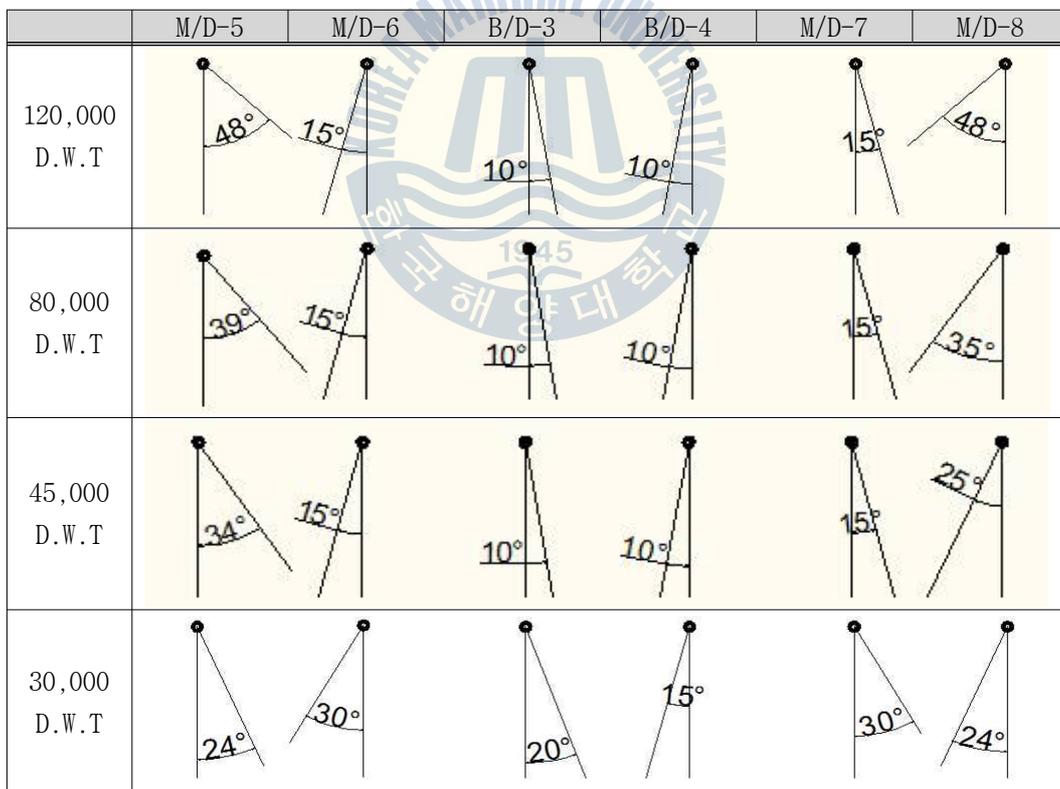
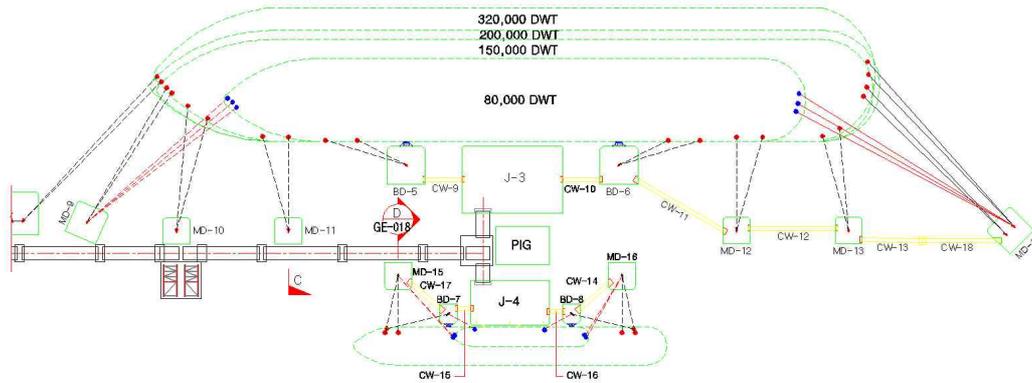


Fig. 5.5 Comparison of horizontal mooring angles for different tanker types at J-2 pier plan



대상 선박	J-3		Bow				Stern				비고
	M/D-8	M/D-9	M/D-10	M/D-11	B/D-5	B/D-6	M/D-12	M/D-13	M/D-14		
320,000D.W.T	46°	58°	10°	15°	22°	22°	15°	10°	46°	한계초과	
200,000D.W.T	46°	58°	10°	15°	22°	22°	15°	10°	46°	한계초과	
150,000D.W.T	46°	58°	10°	15°	22°	22°	15°	10°	46°	한계초과	
80,000D.W.T	-	40°	-	15°	22°	22°	15°	-	30°	한계초과	
권장수평계선각	30° ~ 45°	30° ~ 45°	15°	15°	10°	10°	15°	15°	30° ~ 45°		

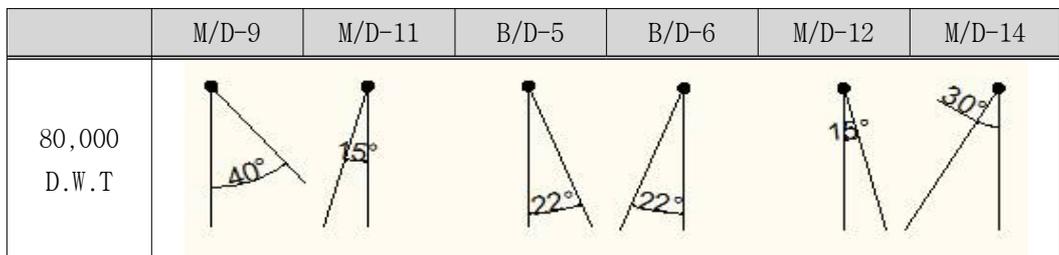
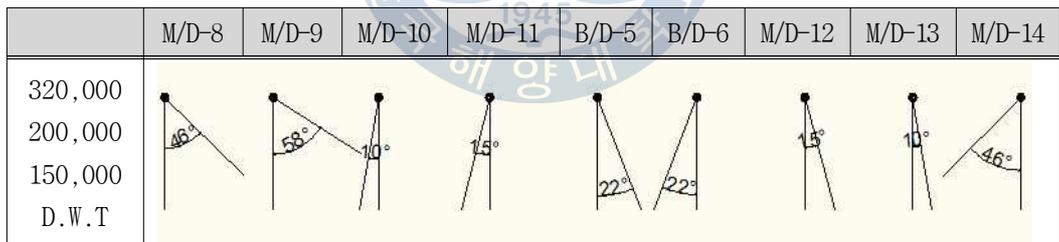


Fig. 5.6 Comparison of horizontal mooring angles for different tanker types at J-3 pier plan

대상 선박	Bow		Stern		비 고
	M/D-15	B/D-7	B/D-8	M/D-16	
10,000D.W.T	13°	14°	14°	13°	한계초과
1,000D.W.T	42°	30°	30°	31°	한계초과
권장 수평계선각	30° ~45°	10°	10°	30° ~45°	

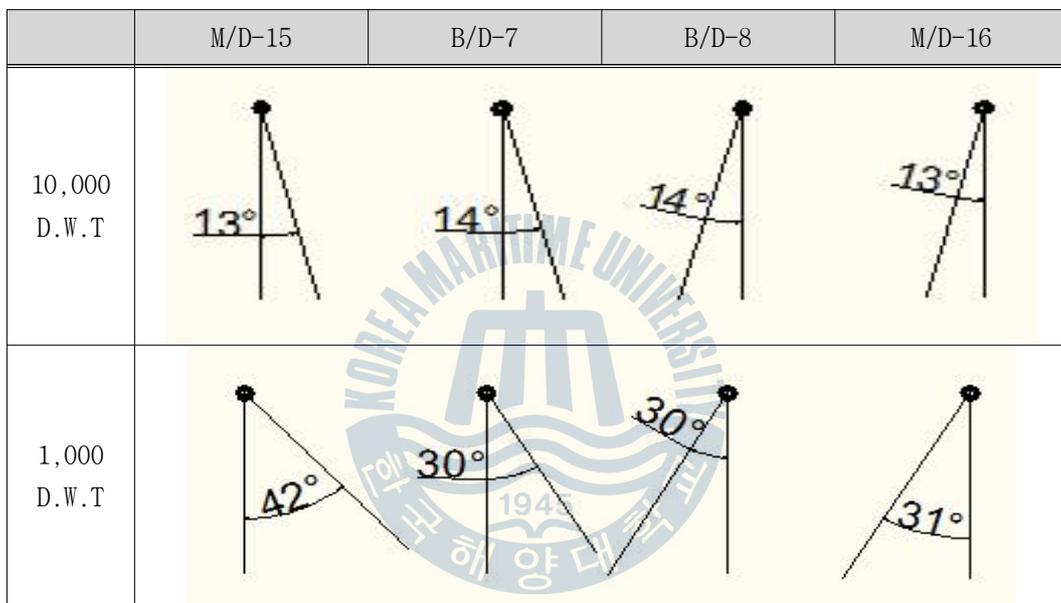
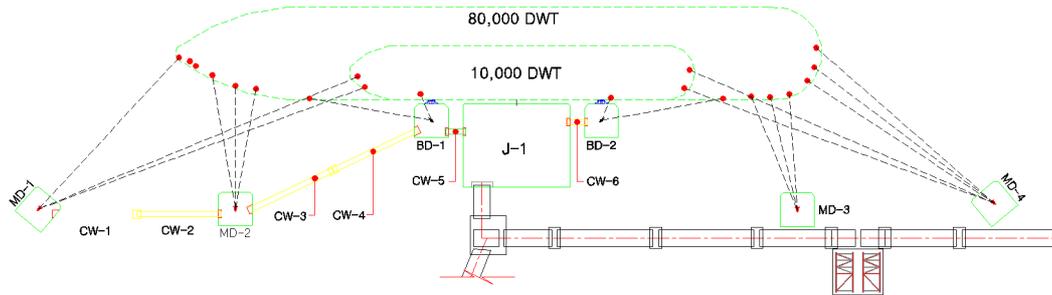


Fig. 5.7 Comparison of horizontal mooring angles for different tanker types at J-4 pier plan



대상 선박	J-1	Bow			Stern		비 고	
		M/D-1	M/D-2	B/D-1	B/D-2	M/D-3		M/D-4
80,000D.W.T		45°	10°	10°	10°	13°	37°	적 합
10,000D.W.T		22°	-	22°	22°	-	22°	한계초과
권장 수평계선각		30° ~45°	15°	10°	10°	15°	30° ~45°	

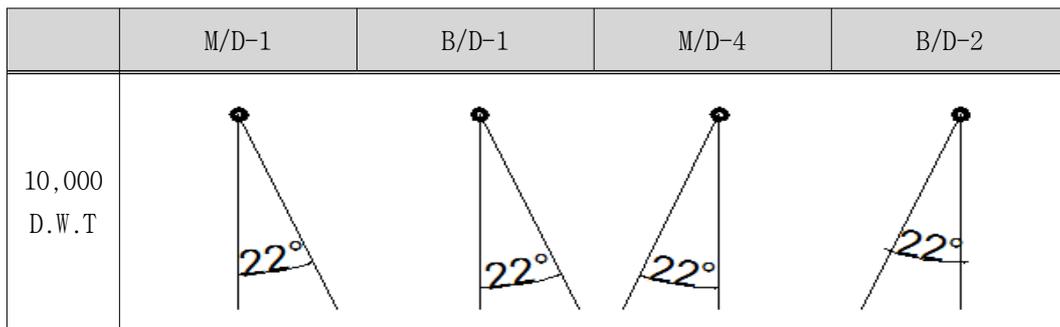
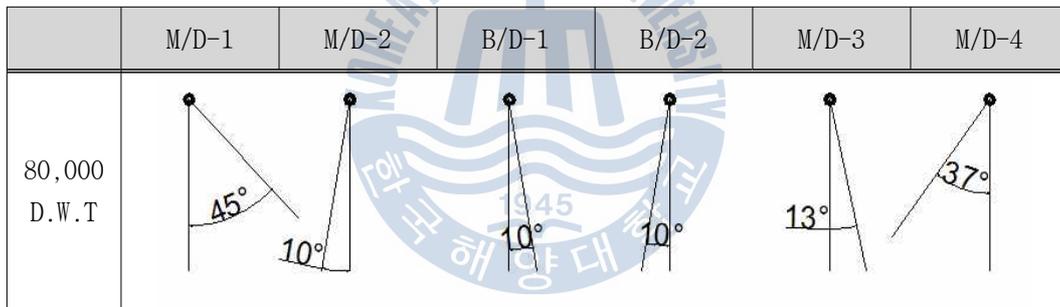
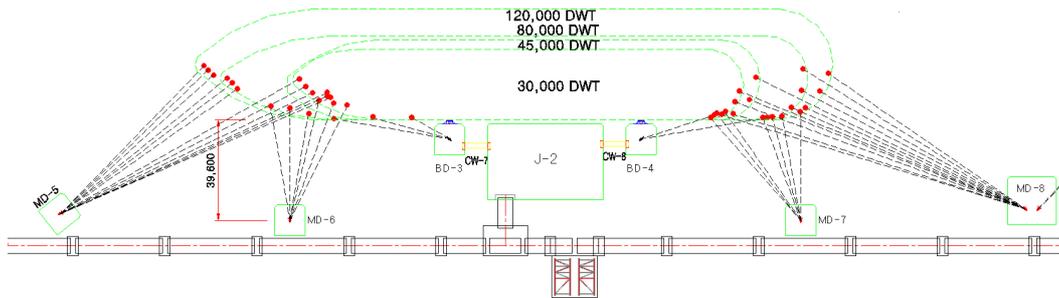


Fig. 5.8 Comparison of horizontal mooring angles for the existing tanker types at J-1 pier



대상 선박	J-2	Bow			Stern		비 고	
		M/D-5	M/D-6	B/D-3	B/D-4	M/D-7		M/D-8
120,000D.W.T		44°	10°	10°	10°	13°	30°	적 합
80,000D.W.T		37°	10°	10°	10°	15°	28°	적 합
45,000D.W.T		28°	20°	15°	18°	38°	22°	한계초과
30,000D.W.T		24°	20°	30°	18°	38°	20°	한계초과
권장 수평계선각		30° ~45°	15°	10°	10°	15°	30° ~45°	

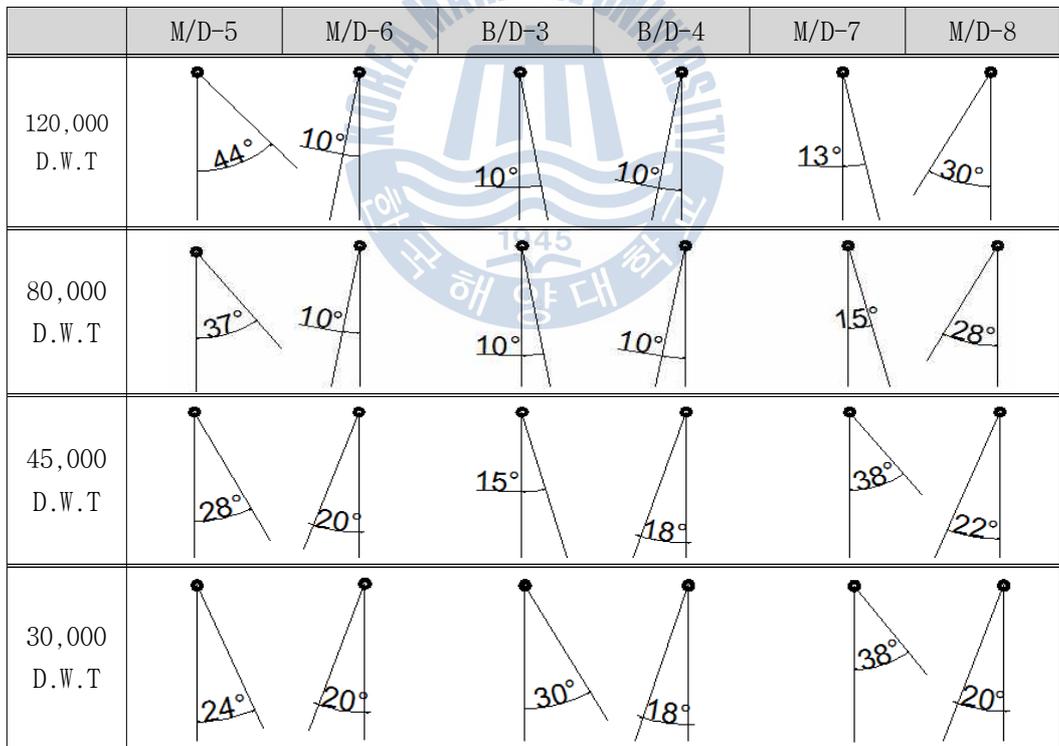
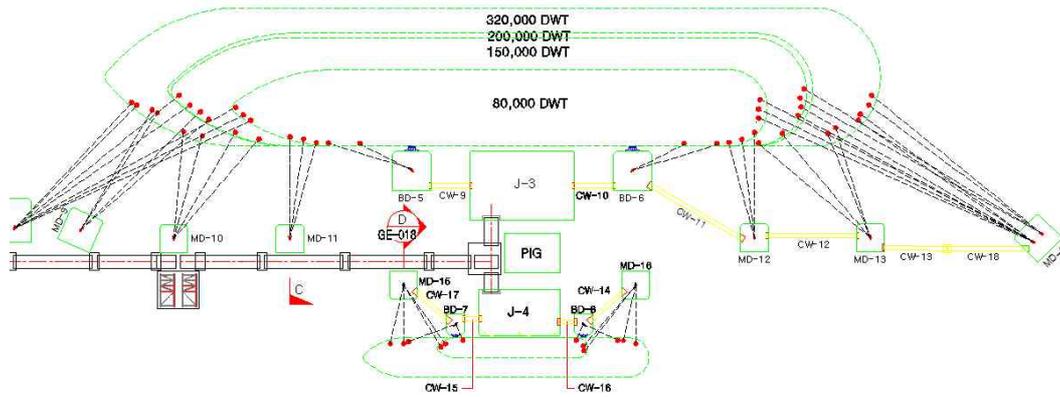


Fig. 5.9 Comparison of horizontal mooring angles for the existing tanker types at J-2 pier



대상 선박	Bow					Stern				비고
	M/D-8	M/D-9	M/D-10	M/D-11	B/D-5	B/D-6	M/D-12	M/D-13	M/D-14	
320,000D.W.T	46°	58°	10°	15°	22°	22°	15°	20°	36°	한계초과
200,000D.W.T	37°	43°	35°	15°	22°	22°	15°	45°	36°	한계초과
150,000D.W.T	37°	43°	35°	15°	22°	22°	15°	45°	36°	한계초과
80,000D.W.T	-	27°	-	15°	27°	27°	15°	-	26°	한계초과
권장수평계선각	30° ~ 45°	30° ~ 45°	15°	15°	10°	10°	15°	15°	30° ~ 45°	

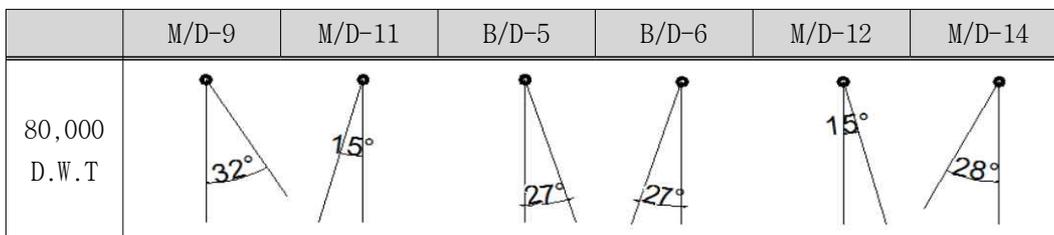
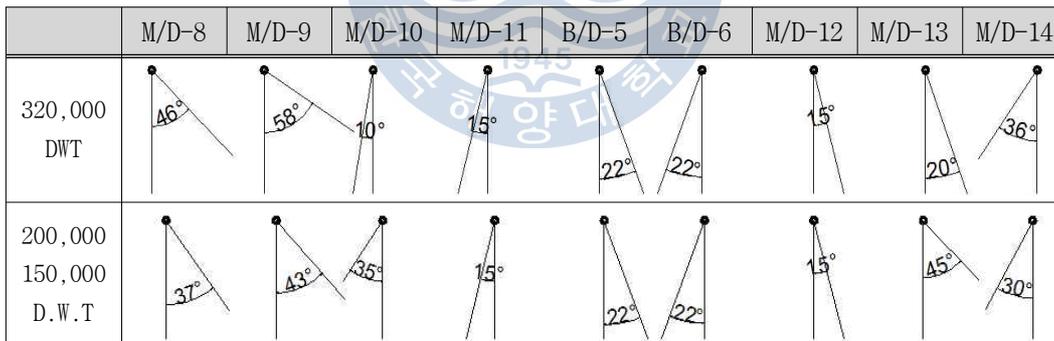


Fig. 5.10 Comparison of horizontal mooring angles for the existing tanker types at J-3 pier

대상 선박	J-4		Bow		Stern		비 고
	M/D-15	B/D-7	B/D-8	M/D-16			
10,000D.W.T	13°	20°	25°	13°			한계초과
1,000D.W.T	33°	25°	25°	39°			한계초과
권장 수평계선각	30° ~45°	10°	10°	30° ~45°			

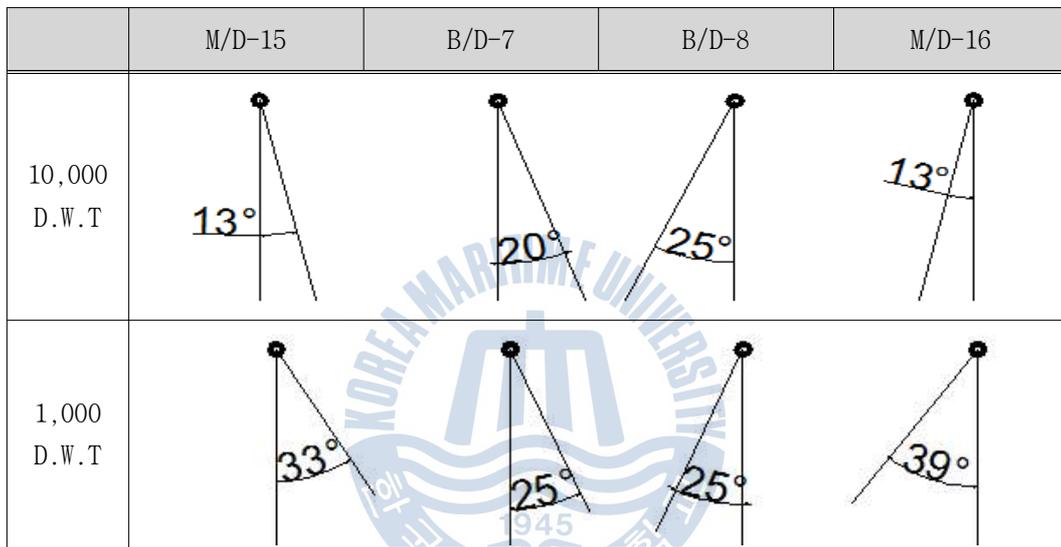


Fig. 5.11 Comparison of horizontal mooring angles for the existing tanker types at J-4 pier

Table 5.4 Summary of horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D

대상 선박	Bow			Stern			비 고
	M/D-1	M/D-2	B/D-1	B/D-2	M/D-3	M/D-4	
80,000D.W.T	45°	10°	10°	10°	13°	37°	적 합
10,000D.W.T	22°	-	22°	22°	-	22°	한계초과
권장 수평계선각	30° ~45°	15°	10°	10°	15°	30° ~45°	

대상 선박	Bow			Stern			비 고
	M/D-5	M/D-6	B/D-3	B/D-4	M/D-7	M/D-8	
120,000D.W.T	44°	10°	10°	10°	13°	30°	적 합
80,000D.W.T	37°	10°	10°	10°	15°	28°	적 합
45,000D.W.T	28°	20°	15°	18°	38°	22°	한계초과
30,000D.W.T	24°	20°	30°	18°	38°	20°	한계초과
권장 수평계선각	30° ~45°	15°	10°	10°	15°	30° ~45°	

대상 선박	Bow					Stern				비 고
	M/D-8	M/D-9	M/D-10	M/D-11	B/D-5	B/D-6	M/D-12	M/D-13	M/D-14	
320,000D.W.T	46°	58°	10°	15°	22°	22°	15°	20°	36°	한계초과
200,000D.W.T	37°	43°	35°	15°	22°	22°	15°	45°	36°	한계초과
150,000D.W.T	37°	43°	35°	15°	22°	22°	15°	45°	36°	한계초과
80,000D.W.T	-	27°	-	15°	27°	27°	15°	-	26°	한계초과
권장수평계선각	30° ~45°	30° ~45°	15°	15°	10°	10°	15°	15°	30° ~45°	

대상 선박	Bow		Stern		비 고
	M/D-15	B/D-7	B/D-8	M/D-16	
10,000D.W.T	13°	20°	25°	13°	한계초과
1,000D.W.T	33°	25°	25°	39°	한계초과
권장 수평계선각	30° ~45°	10°	10°	30° ~45°	

② L/Arm이 W/P 중앙에서 편위한 경우

Loading Arm 만을 편위시켰을 때 Spring Line의 배치안정성을 검토하였다. 다만, L/Arm 만의 편위에 따른 효과는 크지 않은 것으로 나타났다.

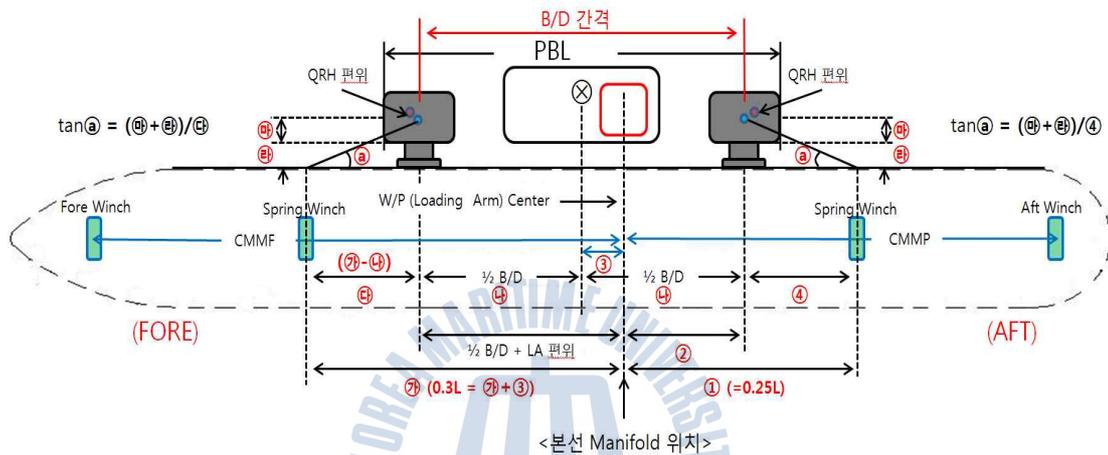


Fig. 5.12 Variation of PBL and B/D interval due to shift of L/Arm at W/P

Loading Arm을 W/P의 중앙에 위치한 경우에 대표적으로 SMD (Spring line Mooring winch Distance)를 0.3L 적용하여 전체부두에 대한 Spring Line의 수평각을 계산으로 산정한 결과에서는 각 부두에서 최대선박만 설계지침 이내인 것으로 나타났다.

Table 5.5 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm

	DWT	L	가	나	다	라	마	tan @	@
	ton	m	m	m	m	m	m		deg.
J - 1	10,000	122	36.6	30.25	6.35	1.55	6	1.1890	49.93
	30,000	181	54.3	30.25	24.05	1.55	6	0.3139	17.43
	50,000	184	55.2	30.25	24.95	1.55	6	0.3026	16.84
	80,000	230	69.0	30.25	38.75	1.55	6	0.1948	11.03
J - 2	30,000	174	52.2	37.5	14.7	2.1	6	0.5510	28.86
	50,000	184	55.2	37.5	17.7	2.1	6	0.4576	24.59
	80,000	230	69.0	37.5	31.5	2.1	6	0.2571	14.42
	120,000	250	75.0	37.5	37.5	2.1	6	0.2160	12.19
J - 3	80,000	230	69.0	47.5	21.5	2.7	8.5	0.5209	27.52
	120,000	250	75.0	47.5	27.5	2.7	8.5	0.4073	22.16
	150,000	267	80.1	47.5	32.6	2.7	8.5	0.3436	18.96
	320,000	333	99.9	47.5	52.4	2.7	8.5	0.2137	12.06
J - 4	5,000	104	31.2	27.5	3.7	1.5	4.5	1.6216	58.34
	8,000	115	34.5	27.5	7.0	1.5	4.5	0.8571	40.60
	10,000	122	36.6	27.5	9.1	1.5	4.5	0.6593	33.40
	30,000	181	54.3	27.5	26.8	1.5	4.5	0.2239	12.62

① J-1 부두

(가) F.O. Manifold 기준시 (ϕ에서 North 쪽으로 7.5m 편위)

Table 5.6 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm at pier 1 (referenced to F.O. Manifold)

- Aft Spring Line (ϕ에서 0.25L 선미측)

	DWT	L	①	②	③	④	㉔	㉕	㉖	tan @	@ (deg.)
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
N Aft	10,000	122	30.5	22.75	7.5	7.75	30.25	1.55	6	0.9742	44.25
	30,000	181	45.3	22.75	7.5	22.5	30.25	1.55	6	0.3356	18.55
	50,000	184	46.0	22.75	7.5	23.25	30.25	1.55	6	0.3247	17.99
	80,000	230	57.5	22.75	7.5	34.75	30.25	1.55	6	0.2173	12.26

- Fwd Spring Line (ϕ에서 0.3L 선수측 기준)

	DWT	L	㉗	②	③	㉔	㉕	㉖	㉗	tan @	@ (deg.)
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
S Fwd	10,000	122	29.1	22.75	7.5	-1.15	30.25	1.55	6	-6.562	-81.34
	30,000	181	46.8	22.75	7.5	16.55	30.25	1.55	6	0.4562	24.52
	50,000	184	47.7	22.75	7.5	17.45	30.25	1.55	6	0.4327	23.40
	80,000	230	64.5	22.75	7.5	31.25	30.25	1.55	6	0.2416	13.58

(나) PRODUCT Manifold 기준시 (ø에서 South 쪽으로 4.5m 편위)

Table 5.7 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm at pier 1 (referenced to Product Manifold)

- Aft Spring Line (0.25L 기준)

	DWT	L	①	②	③	④	㉠	㉡	㉢	tan @	@ (deg.)
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
S Aft	10,000	122	30.5	22.75	7.5	4.75	30.25	1.55	6	1.5895	57.82
	30,000	181	45.3	22.75	7.5	19.5	30.25	1.55	6	0.3872	21.17
	50,000	184	46.0	22.75	7.5	20.25	30.25	1.55	6	0.3728	20.45
	80,000	230	57.5	22.75	7.5	31.75	30.25	1.55	6	0.2378	13.38

- Fwd Spring Line (0.3L 기준)

	DWT	L	㉠	②	③	㉡	㉠	㉡	㉢	tan @	@ (deg.)
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
N Fwd	10,000	122	32.1	22.75	7.5	1.85	30.25	1.55	6	4.0811	76.23
	30,000	181	49.8	22.75	7.5	19.55	30.25	1.55	6	0.3862	21.12
	50,000	184	50.7	22.75	7.5	20.45	30.25	1.55	6	0.3692	20.26
	80,000	230	64.5	22.75	7.5	34.25	30.25	1.55	6	0.2204	12.43

② J-2 부두

(가) C.O./F.O. Manifold 기준시 (ϕ에서 North 쪽으로 1.0m 편위)

Table 5.8 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm at pier 2 (referenced to C.O./F.O. Manifold)

- Aft Spring Line (0.25L 기준)

	DWT	L	①	②	③	④	㉠	㉡	㉢	tan @	@
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
N Aft	30,000	181	45.3	36.5	1	8.75	37.5	2.1	6	0.9257	42.79
	50,000	184	46.0	36.5	1	9.5	37.5	2.1	6	0.8526	40.45
	80,000	230	57.5	36.5	1	21	37.5	2.1	6	0.3857	21.09
	120,000	250	62.5	36.5	1	26	37.5	2.1	6	0.3115	17.30

- Fwd Spring Line (0.3L 기준)

	DWT	L	㉠	②	③	㉡	㉢	㉣	㉤	tan @	@
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
S Fwd	30,000	181	53.3	36.5	1	15.8	37.5	2.1	6	0.5127	27.14
	50,000	184	54.2	36.5	1	16.7	37.5	2.1	6	0.4850	25.87
	80,000	230	68	36.5	1	30.5	37.5	2.1	6	0.2656	14.87
	120,000	250	74	36.5	1	36.5	37.5	2.1	6	0.2219	12.51

(나) PRODUCT Manifold 기준시 (ø에서 South 쪽으로 13.0m 편위)

Table 5.9 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm at pier 2 (referenced to Product Manifold)

- Aft Spring Line (0.25L 기준)

	DWT	L	①	②	③	④	㉠	㉡	㉢	tan @	@ (deg.)
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
N Aft	30,000	181	45.3	24.5	13	20.75	37.5	2.1	6	0.3904	21.32
	50,000	184	46.0	24.5	13	21.5	37.5	2.1	6	0.3767	20.64
	80,000	230	57.5	24.5	13	33	37.5	2.1	6	0.2455	13.79
	120,000	250	62.5	24.5	13	38	37.5	2.1	6	0.2132	12.03

- Fwd Spring Line (0.3L 기준)

	DWT	L	㉠	②	③	㉡	㉠	㉡	㉢	tan @	@ (deg.)
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
S Fwd	30,000	181	41.3	24.5	13	3.8	37.5	2.1	6	2.1316	64.87
	50,000	184	42.2	24.5	13	4.7	37.5	2.1	6	1.7234	59.88
	80,000	230	56	24.5	13	18.5	37.5	2.1	6	0.4378	23.65
	120,000	250	62	24.5	13	24.5	37.5	2.1	6	0.3306	18.29

③ J-3 부두

(가) C.O./F.O. Manifold 기준시 (ϕ에서 South 쪽으로 1.5m 편위)

Table 5.10 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm at pier 3 (referenced to C.O./F.O. Manifold)

- Aft Spring Line (0.25L 기준)

	DWT	L	①	②	③	④	㉠	㉡	㉢	tan @	@
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
S Aft	80,000	230	57.5	46	1.5	11.5	47.5	2.7	8.5	0.9739	44.24
	120,000	250	62.5	46	1.5	16.5	47.5	2.7	8.5	0.6788	34.17
	150,000	274	68.5	46	1.5	22.5	47.5	2.7	8.5	0.4978	26.46
	320,000	333	83.3	46	1.5	37.3	47.5	2.7	8.5	0.3007	16.73

- Fwd Spring Line (0.3L 기준)

	DWT	L	㉠	②	③	㉡	㉢	㉣	㉤	tan @	@
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
N Fwd	80,000	230	67.5	46	1.5	20	47.5	2.7	8.5	0.5600	29.25
	120,000	250	73.5	46	1.5	26	47.5	2.7	8.5	0.4308	23.30
	150,000	274	80.7	46	1.5	33.2	47.5	2.7	8.5	0.3373	18.64
	320,000	333	98.4	46	1.5	50.9	47.5	2.7	8.5	0.2200	12.41

(나) PRODUCT Manifold 기준시 (ø에서 South 쪽으로 12.5m 편위)

Table 5.11 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm at pier 3 (referenced to Product Manifold)

- Aft Spring Line (0.25L 기준)

	DWT	L	①	②	③	④	㉠	㉡	㉢	tan @	@ (deg.)
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
N Aft	80,000	230	57.5	35	12.5	22.5	47.5	2.7	8.5	0.4978	26.46
	120,000	250	62.5	35	12.5	27.5	47.5	2.7	8.5	0.4073	22.16
	150,000	274	68.5	35	12.5	33.5	47.5	2.7	8.5	0.3343	18.49
	320,000	333	83.3	35	12.5	48.26	47.5	2.7	8.5	0.2321	13.07

- Fwd Spring Line (0.3L 기준)

	DWT	L	㉣	②	③	㉠	㉡	㉢	㉣	tan @	@ (deg.)
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
S Fwd	80,000	230	56.5	35	12.5	9	47.5	2.7	8.5	1.2444	51.22
	120,000	250	62.5	35	12.5	15	47.5	2.7	8.5	0.7467	36.75
	150,000	274	49.7	35	12.5	22.2	47.5	2.7	8.5	0.5045	26.77
	320,000	333	87.4	35	12.5	39.9	47.5	2.7	8.5	0.2807	15.68

④ J-4 부두

(가) F.O. Manifold 기준시 (ϕ에서 North 쪽으로 12m 편위)

Table 5.12 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm at pier 4 (referenced to F.O. Manifold)

- Aft Spring Line (Mooring Winch : 0.25L 기준)

	DWT	L	①	②	③	④	㉠	㉡	㉢	tan @	@ (deg.)
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
S Aft	5,000	104	26.0	15.5	12	10.5	27.5	1.5	4.5	0.5714	29.74
	8,000	115	28.8	15.5	12	13.3	27.5	1.5	4.5	0.4528	24.36
	10,000	122	30.5	15.5	12	15.0	27.5	1.5	4.5	0.4000	21.80
	30,000	181	45.3	15.5	12	29.8	27.5	1.5	4.5	0.2017	11.40

- Fwd Spring Line (Mooring Winch : 0.3L 기준)

	DWT	L	㉣	②	③	㉠	㉡	㉢	tan @	@ (deg.)	
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)			
N Fwd	5,000	104	19.2	15.5	12	-8.3	27.5	1.5	4.5	-0.7229	-35.86
	8,000	115	22.5	15.5	12	-5	27.5	1.5	4.5	-1.2000	-50.19
	10,000	122	24.6	15.5	12	-2.9	27.5	1.5	4.5	-2.0690	-64.20
	30,000	181	42.3	15.5	12	14.8	27.5	1.5	4.5	0.4054	22.07

(나) PRODUCT Manifold 기준시 (ø에서 North 쪽으로 0.5m 편위)

Table 5.13 Calculation sheet for horizontal mooring angles for the existing tanker types at B/D and M/D with the shift of L/Arm at pier 4 (referenced to Product Manifold)

- Aft Spring Line (Mooring Winch : 0.25L 기준)

	DWT	L	①	②	③	④	㉠	㉡	㉢	tan @	@ (deg.)
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
N Aft	5,000	104	26.0	27	0.5	-1.5	27.5	1.5	4.5	-4.0000	-75.96
	8,000	115	28.8	27	0.5	1.25	27.5	1.5	4.5	4.8000	78.23
	10,000	122	30.5	27	0.5	3	27.5	1.5	4.5	2.0000	63.43
	30,000	181	45.3	27	0.5	17.75	27.5	1.5	4.5	0.3380	18.68

- Fwd Spring Line (Mooring Winch : 0.3L 기준)

	DWT	L	㉣	②	③	㉠	㉡	㉢	tan @	@ (deg.)	
	(ton)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)			
S Fwd	5,000	104	30.7	27	0.5	3.2	27.5	1.5	4.5	1.8750	61.93
	8,000	115	34.0	27	0.5	6.5	27.5	1.5	4.5	0.9231	42.71
	10,000	122	36.1	27	0.5	8.6	27.5	1.5	4.5	0.6977	34.90
	30,000	181	53.8	27	0.5	26.3	27.5	1.5	4.5	0.2281	12.85

(2) 부두별 선박별 수직방향 Mooring Line의 분석

각 부두별 Mooring Line의 수직계선각(양각)을 계획선박별로 정리하면 다음 그림과 같다.

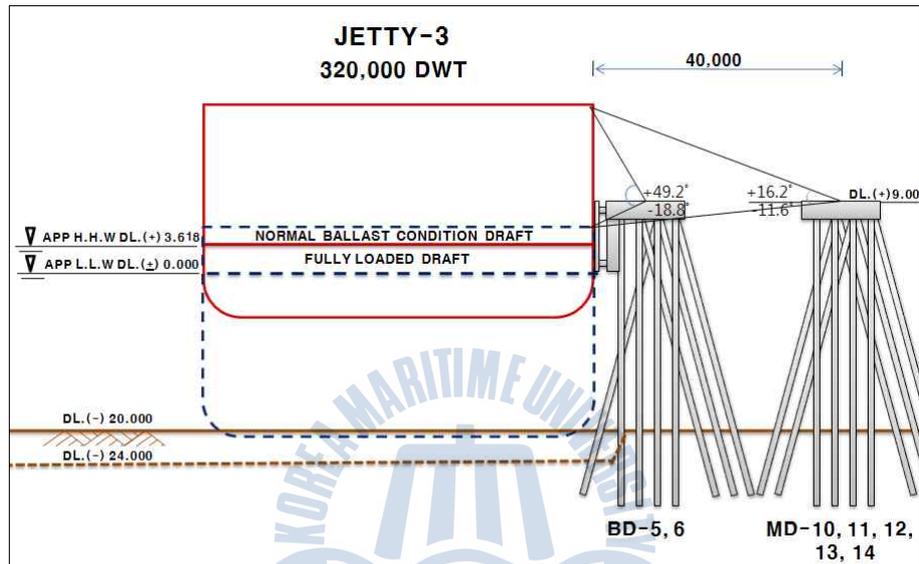


Fig. 5.13 Mooring Line Elevation 1 for 320,000DWT Tanker at J-3

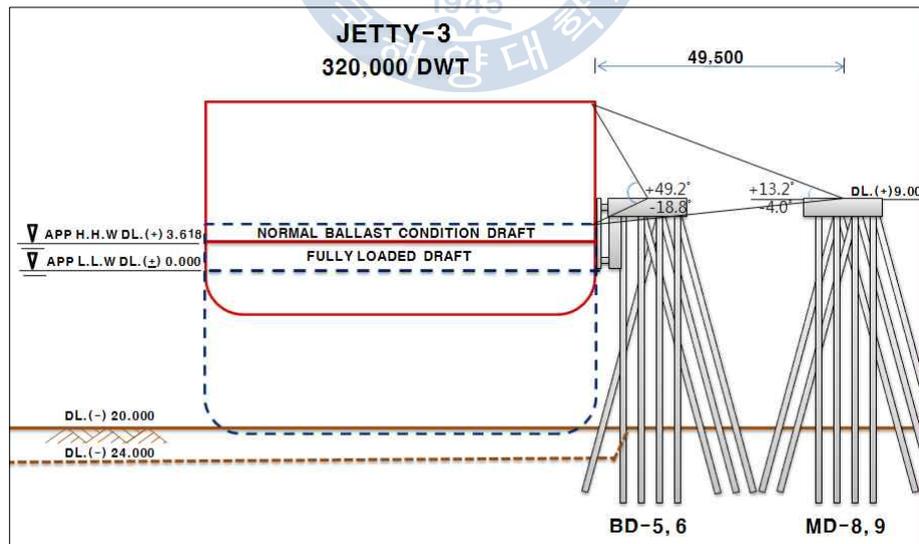


Fig. 5.14 Mooring Line Elevation 2 for 320,000DWT Tanker at J-3

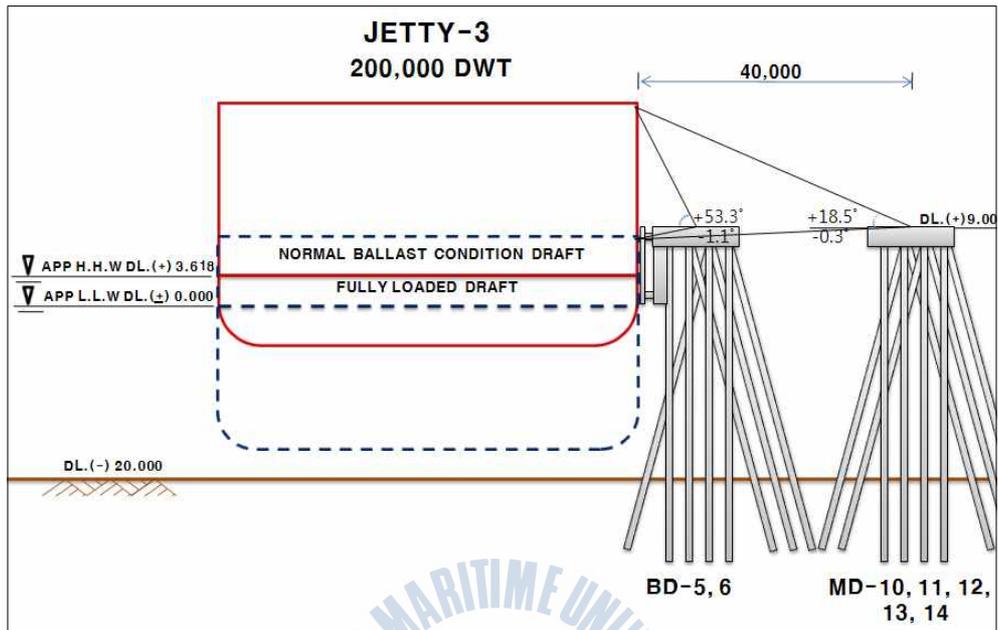


Fig. 5.15 Mooring Line Elevation for 200,000DWT Tanker at J-3

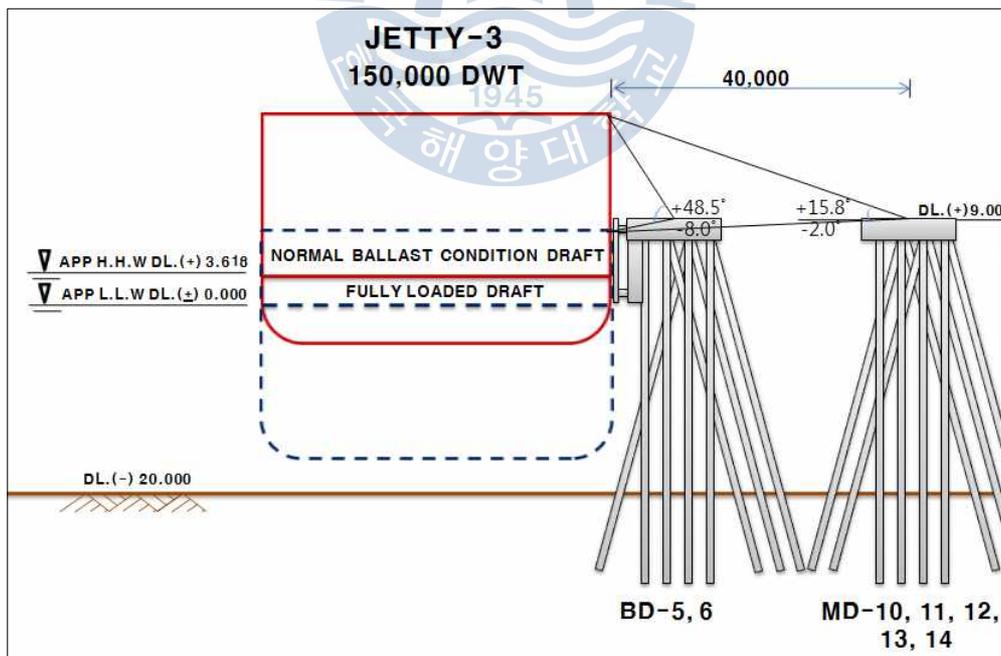


Fig. 5.16 Mooring Line Elevation for 150,000DWT Tanker at J-3

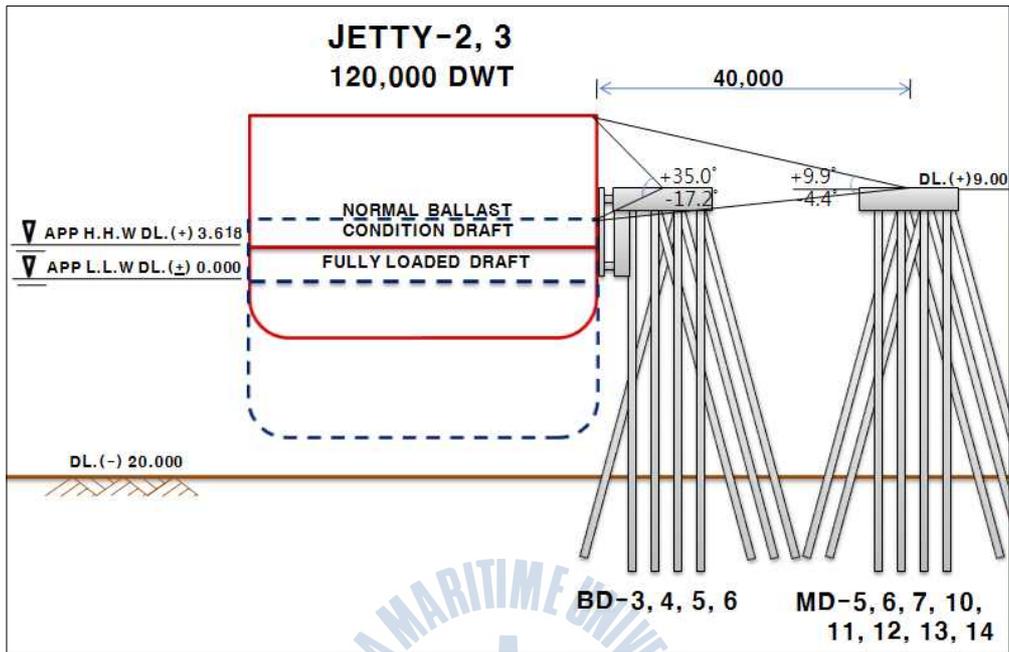


Fig. 5.17 Mooring Line Elevation for 120,000DWT Tanker at J-3

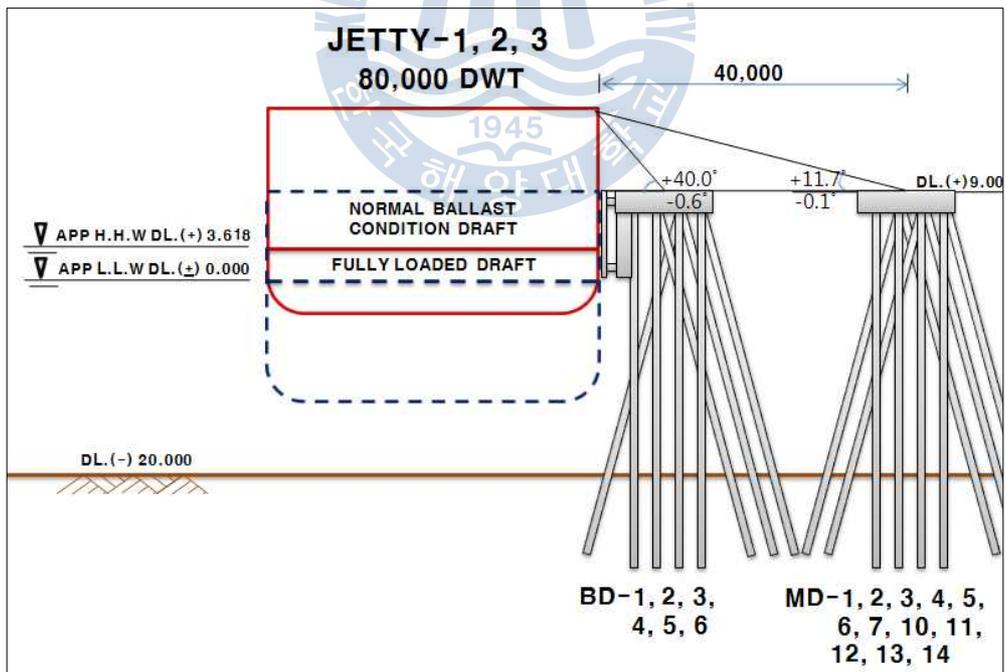


Fig. 5.18 Mooring Line Elevation for 80,000DWT Tanker at J-3

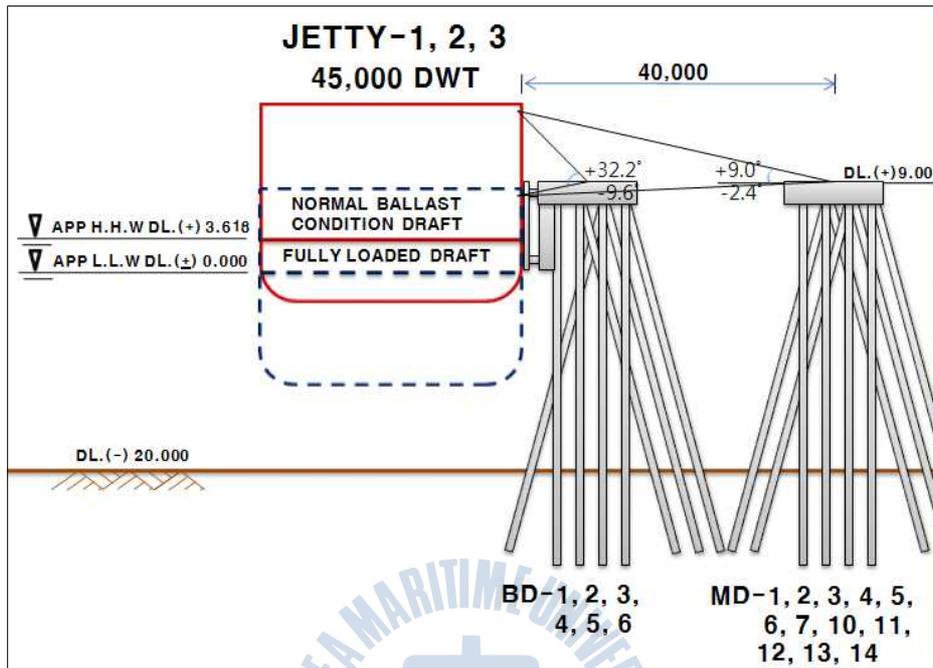


Fig. 5.19 Mooring Line Elevation for 45,000DWT Tanker at J-1,2,3

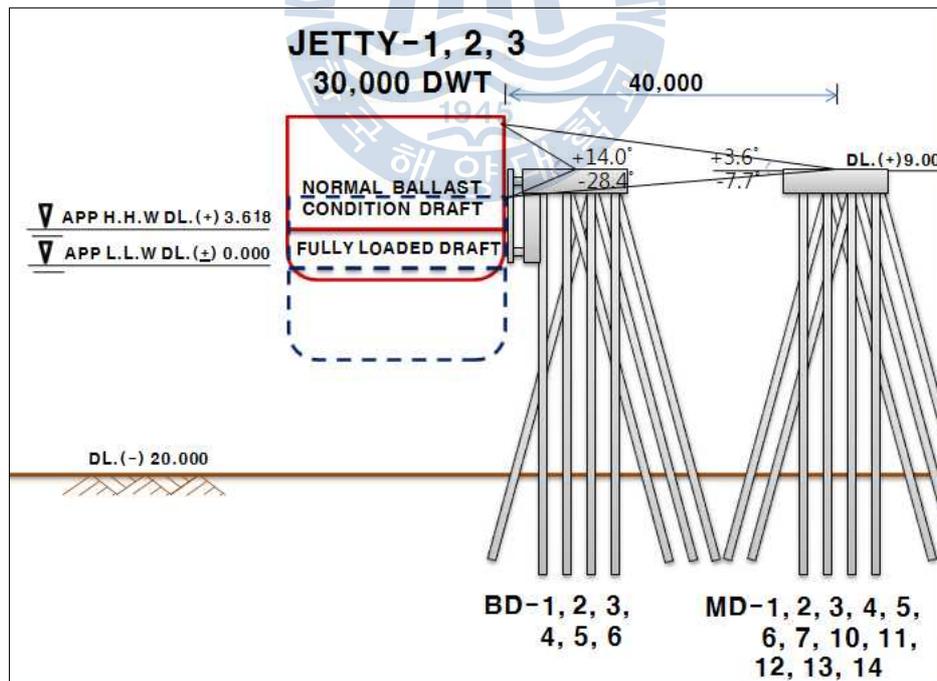


Fig. 5.20 Mooring Line Elevation for 30,000DWT Tanker at J-1,2,3

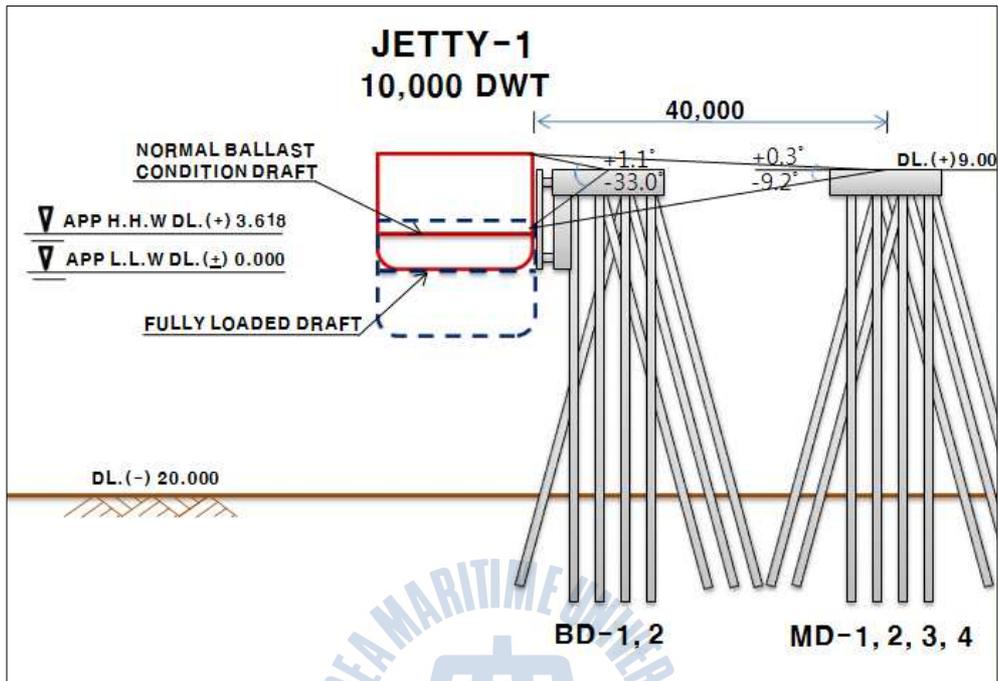


Fig. 5.21 Mooring Line Elevation for 10,000DWT Tanker at J-1

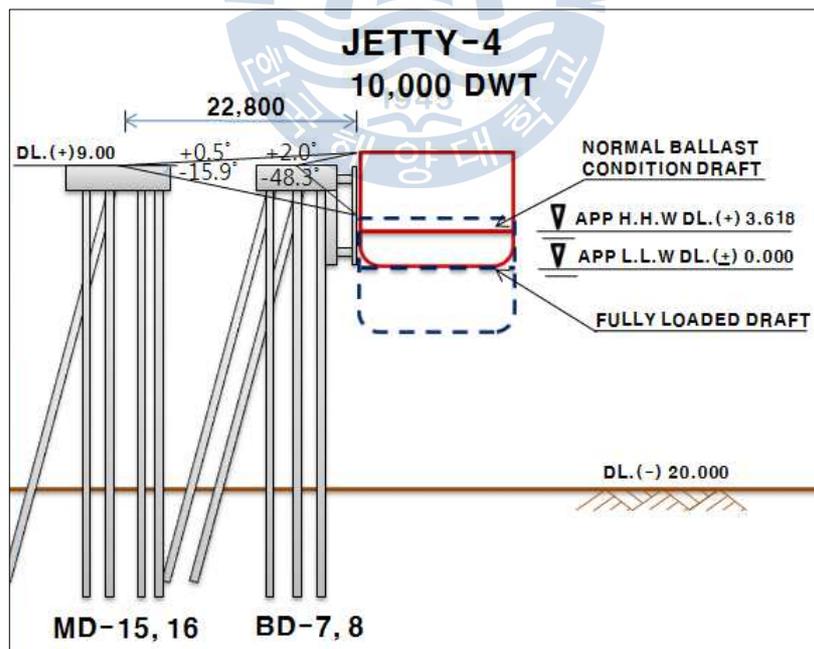


Fig. 5.22 Mooring Line Elevation for 10,000DWT Tanker at J-4

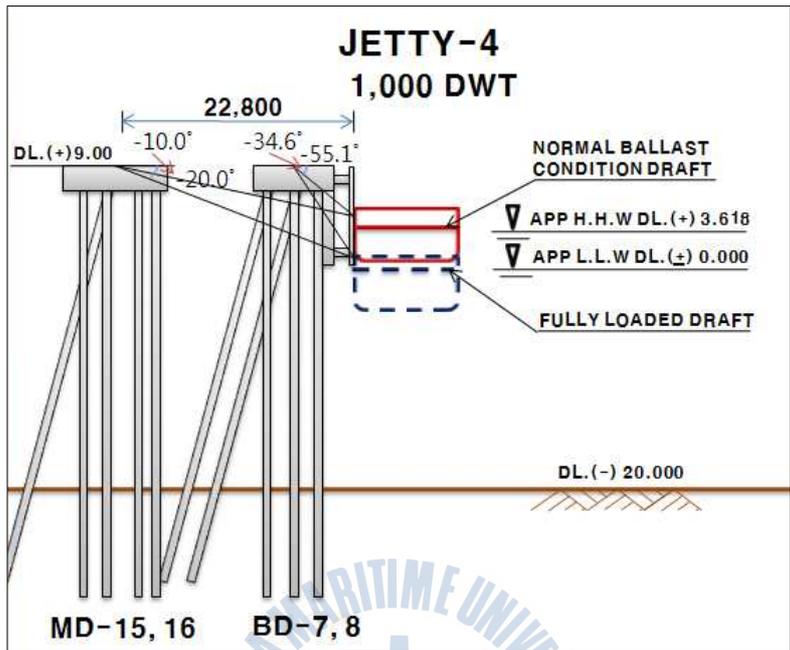


Fig. 5.23 Mooring Line Elevation for 1,000DWT Tanker at J-4

Mooring Line의 수직 계선각(양각)을 요약하면 다음 Table 5.14와 같다. 수직 계선각은 선박의 화물적재상태(만재, 경하, 통상밸러스트항해)와 선박의 Free Board, 홀수 및 해당부두에서의 조위변화에 밀접한 관계가 있다. 그림에서 저조위시에는 만재상태로, 고조위시에는 통상의 발라스트 항해조건에 대해 적용하여, 부두의 상태에 따라 수직 계선각을 계산한 것으로 일부 조건에 대해서는 지나친 상태가 발생하므로 부두운영시 주의를 기울일 필요가 있다.

수직 계선각은 J-1 부두에서 10,000DWT, J-2 부두에서 45,000DWT급 이하의 계류에서 권장 한계내에 있으나 그 이외의 경우 과도한 수직각을 나타내고 있다. 다만, 여기서 설계에 반영한 조차는 년중 최대조차를 반영하였으므로 실제부두에서는 다소 낮게 나타날 수 있지만, 화물의 적재상태에 따라 수직계선각이 달라지는 만큼 선박의 양하작업이 후반에 고조시와 겹친 경우의 양각에 대해서는 주의가 필요하다. 양하작업을 위해 최초부두에 계류하거나 화물출하시 적하작업 후반에 저조시와 겹친 경우는 상기의 도면에서 반영하였으므로 변화는 없을 것이다.

Table 5.14 Horizontal mooring angles at B/D and M/D

대상 선박	Bow		Stern				비 고
	M/D-1	B/D-1	M/D-2	M/D-4	B/D-2	M/D-3	
80,000D.W.T	+11.7° -0.1°	+40.0° -0.6°	+11.7° -0.1°	+11.7° -0.1°	+40.0° -0.6°	+11.7° -0.1°	한계 초과
10,000D.W.T	+0.3° -9.2°	+1.1° -33.0°	+0.3° -9.2°	+0.3° -9.2°	+1.1° -33.0°	+0.3° -9.2°	적 합
권장수직계선각	25° ~ 30° 이내						

대상 선박	Bow			Stern			비 고
	M/D-5	B/D-3	M/D-6	M/D-8	B/D-4	M/D-7	
120,000D.W.T	+9.9° -4.4°	+35.0° -17.2°	+9.9° -4.4°	+18.1° -3.6°	+35.0° -17.2°	+9.9° -4.4°	한계 초과
80,000D.W.T	+11.7° -0.1°	+40.0° -0.6°	+11.7° -0.1°	+11.7° -0.1°	+40.0° -0.6°	+11.7° -0.1°	한계 초과
45,000D.W.T	+9.0° -2.4°	+32.2° -9.6°	+9.0° -2.4°	+15.7° -2.0°	+32.2° -9.6°	+9.0° -2.4°	적 합
30,000D.W.T	+3.6° -7.7°	+14.0° -28.4°	+3.6° -7.7°	+10.5° -6.2°	+14.0° -28.4°	+3.6° -7.7°	적 합
권장수직계선각	25° ~ 30° 이내						

대상 선박	Bow					Stern				비 고
	M/D-8	M/D-9	B/D-5	M/D-10	M/D-11	M/D-14	B/D-6	M/D-12	M/D-13	
320,000D.W.T	+10.3° -3.1°	+11.1° -3.3°	+49.2° -18.8°	+16.2° -11.6°	+16.2° -11.6°	+16.2° -11.6°	+49.2° -18.8°	+16.2° -11.6°	+16.2° -11.6°	한계 초과
200,000D.W.T	+11.9° -0.2°	+12.8° -0.2°	+53.3° -1.1°	+18.5° -0.3°	+18.5° -0.3°	+18.5° -0.3°	+53.3° -1.1°	+18.5° -0.3°	+18.5° -0.3°	한계 초과
150,000D.W.T	+10.1° -1.3°	+10.8° -1.4°	+48.5° -8.0°	+15.8° -2.0°	+15.8° -2.0°	+15.8° -2.0°	+48.5° -8.0°	+15.8° -2.0°	+15.8° -2.0°	한계 초과
80,000D.W.T	+14.3° -2.8°	+15.3° -3.0°	+40.0° -0.6°	+11.7° -0.1°	+11.7° -0.1°	+11.7° -0.1°	+40.0° -0.6°	+11.7° -0.1°	+11.7° -0.1°	한계 초과
권장수직계선각	25° ~ 30° 이내									

대상 선박	Bow		Stern		비 고
	M/D-15	B/D-7	M/D-16	B/D-8	
10,000D.W.T	+0.5° -15.9°	+2.0° -48.3°	+0.5° -15.9°	+2.0° -48.3°	한계 초과
1,000D.W.T	-10.0° -20.0°	-34.6° -55.1°	-10.0° -20.0°	-34.6° -55.1°	한계 초과
권장 수직계선각	25° ~ 30° 이내				

5.2 부두 접안가능 선박 분석

5.2.1 부두 접안가능 최소선박의 분석

여기서는 각 부두별로 접안가능한 최소선박의 크기는 5.1절에서 정리한 실제 운항중이거나 건조중인 탱커를 대상으로 통계처리하여 단순 지표상에 나타난 설계상의 한계를 평가한다.

(1) 부두별 선석길이(M/D 간격) 분석

각 부두의 계류돌핀 (M/D) 간격은 1선석의 길이를 결정하는 인자이다. Table 5.15에서 M/D는 각 부두에서 최장의 계류돌핀 M/D 사이의 간격으로 J-1 부두 340m, J-2 부두 380.48m, J-3 부두 443.02m, J-4 부두 100.0m로 각 부두에서 최대 설계선박 중 실제선박을 기준으로 하여 1.2L을 산정하면 J-1에서 277m, J-2에서 300m, J-3에서 400m, J-4에서 148m가 되어 J-4 부두가 선수미 계류색의 권장 한계에 미치지 못하므로 부두 운영시 보완대책이 필요할 것이다.

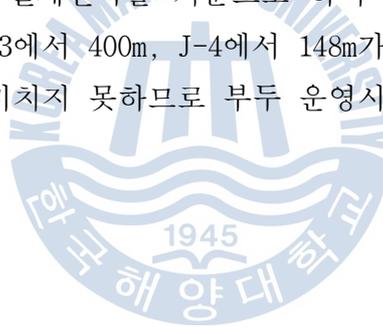


Table 5.15 Comparison of berth length between the plan and by tanker statistic analysis

구조물	대상선박	설계치			실제선박통계치		평 가
		LOA (m)	M/D간격 (m)	1.2L (m)	LOA (m)	1.2L (m)	
Jetty 1	10,000DWT	140.0	340.0	168.0	122.94	147.5	적 합
	80,000DWT	260.0		312.0	230.83	277.0	적 합
Jetty 2	30,000DWT	187.0	380.48	224.4	179.11	214.0	적 합
	45,000DWT	223.0		267.6	183.14	217.6	적 합
	80,000DWT	260.0		312.0	230.83	277.0	적 합
	120,000DWT	297.0		356.4	249.81	300.0	적 합
Jetty 3	80,000DWT	260.0	443.02	312.0	230.83	277.0	적 합
	150,000DWT	320.0		384.0	273.75	328.5	적 합
	200,000DWT	326.0		391.2	277.87	333.4	적 합
	320,000DWT	322.0		386.4	333.37	400.0	적 합
Jetty 4	1,000DWT	61.0	100.0	73.2	64.09	76.9	적 합
	10,000DWT	140.0		168.0	122.94	147.5	부적합

(2) 부두별 접안돌핀 (B/D 간격) 분석

① L/Arm이 W/P 중앙에 위치한 경우

다음 Fig.5.24 ~ Fig.5.26은 5.1절의 전 세계 탱커선의 운항실태의 자료를 수집하고 주요 항목에 대한 통계적 분석을 기하여 선박의 DWT별, 전장(LOA), PBL 및 PBL/LOA의 비를 그래프로 정리한 것에서 가장 보편적인 PBL/LOA 비율로 통상 발라스트 상태의 대표치인 0.45L, 만재상태인 0.47L, 경하상태인 0.32L을 적용하여 L/Arm이 W/P의 중앙에 위치한 것으로 하여 도출하였으며, 이를 실선 통계자료에서 각 부두별로 적용하여 접안 가능한 최소선박을 DWT로 찾아내었다. 그래프에 의한 접안가능한 최소선박 추정치의 요약은 Table 5.16 과 같이 각 부두에서 화물적재상태에 따라 PBL과 부두의 B/D 간격을 비교하여 얻을 수 있는데, 검토대상은 주로 통상의 발라스트 적재상태의 조건이 0.45L로 하여 J-1부두 11,000DWT, J-2 부두 24,000DWT, J-3 부두 53,000DWT, J-4부두 9,000DWT(현재 설계기준), 3,000DWT(Sub B/D 신설시)로 나타났다.

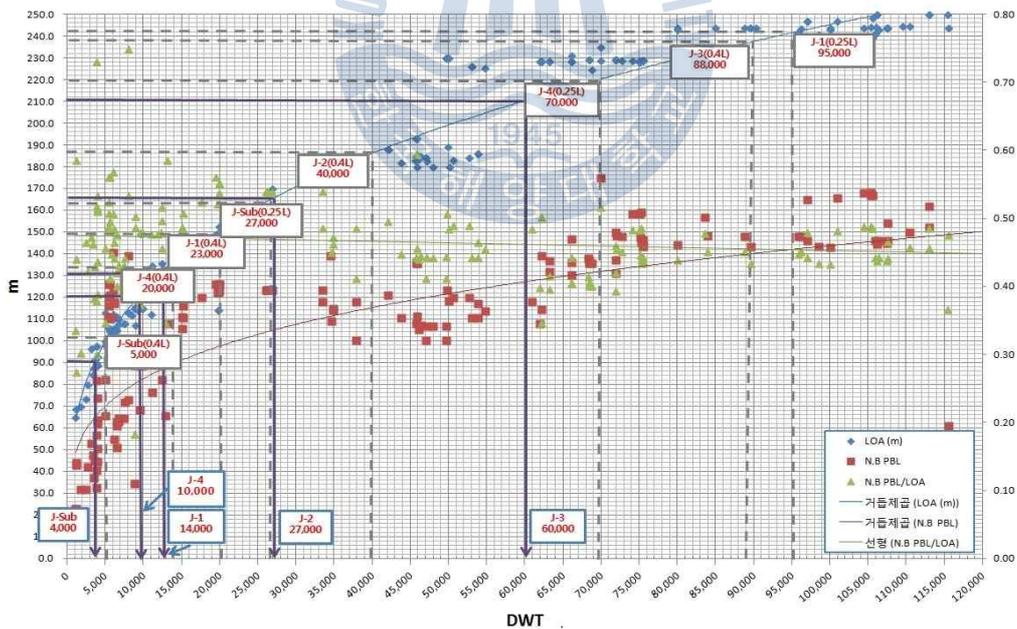


Fig 5.24 Prediction of possible smallest tanker at each pier by statistic analysis (0.45L)

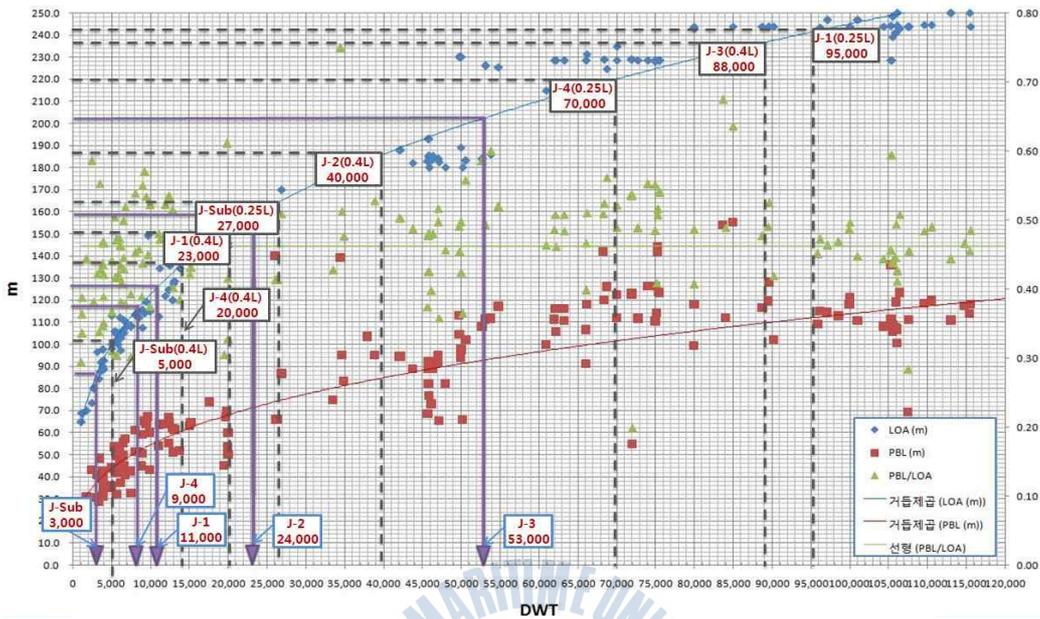


Fig 5.25 Prediction of possible smallest tanker at each pier by statistic analysis (0.47L)

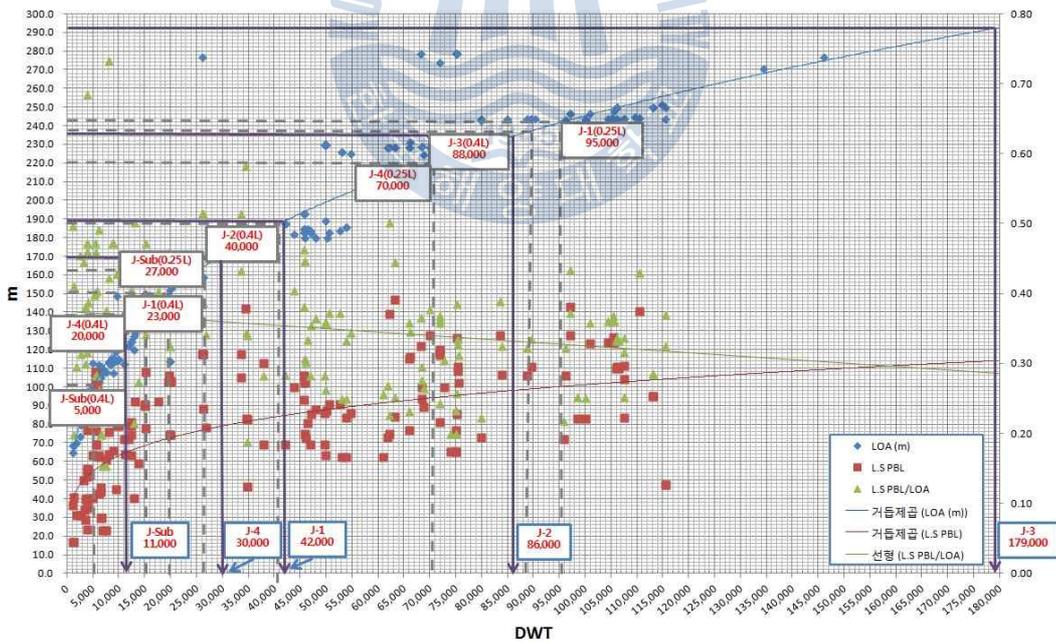


Fig 5.26 Prediction of possible smallest tanker at each pier by statistic analysis (0.32L)

이들 선박의 특성을 조사한 것은 Table 5.17과 같다. 이 표에서는 설계기준 0.25L~0.4L과, 경하상태 0.32L, 만재상태 0.47L인 경우까지 정리해서 비교하였다.

그러나 설계기준 (0.25L~0.4L)의 적용으로 추산한 최소선박의 범위는 Table 5.17의 결과와 같이 0.25L의 경우는 대형선박만이 접안 가능한 상태로 나타났으며, 0.4L의 경우도 J-1 부두 및 J-4 부두에서 각각 23,000DWT, 20,000DWT가 접안가능 최소선박으로 분류되어 현실성이 결여되는 것으로 보인다.

따라서 소형 탱커의 선형에 다소 차이가 있지만 0.45L로 적용한 접안가능 최소선박의 추산치가 합리적인 것으로 판단된다.

Table 5.16 Summary of possible smallest tanker at each pier by statistic analysis (L/Arm at the center of W/P)

부 두	B/D 간격 (m)	실선 PBL 비율 적용 LOA(m)			지침비율 적용 LOA(m)		최소 접안가능 선박 (DWT)			
		32% (0.32L)	45% (0.45L)	47% (0.47L)	25% (0.25L)	40% (0.4L)	실선 (32%)	실선 (45%)	실선 47%	설계
J-1	60.5	189.1	134.4	128.7	242	151.3	42,000	14,000	11,000	10,000
J-2	75	234.4	166.7	159.6	300	187.5	86,000	27,000	24,000	30,000
J-3	95	296.9	211.1	202.1	380	237.5	179,000	60,000	53,000	80,000
J-4	55	171.9	122.2	117.0	220	137.5	30,000	10,000	9,000	10,000
J-SUB	41	128.1	91.1	87.23	164	102.5	11,000	4,000	3,000	1,000

Table 5.17 Summary of possible smallest tanker at each pier

부 두	B/D 간격 (m)	PBL비율 적용 LOA(m)와 최소DWT										설계상 최소 DWT
		0.25L (DWT)		0.32L (DWT)		0.4L (DWT)		0.45L (DWT)		0.47L (DWT)		
J-1	60.5	242	95,000	189.1	42,000	151.3	23,000	134.4	14,000	128.7	11,000	10,000
J-2	75	300	(193,000)	234.4	86,000	187.5	39,500	166.7	27,000	159.6	23,500	30,000
J-3	95	380	(400,000)	296.9	179,000	237.5	88,000	211.1	60,000	202.1	53,000	80,000
J-4	55	220	70,000	171.9	30,000	137.5	20,000	122.2	10,000	117.0	8,400	10,000
J-SUB	41	164	26,500	128.1	11,000	102.5	5,000	91.1	4,000	87.23	3,000	1,000

Table 5.18 ~ Table 5.20은 부두에 접안가능한 최소선박의 특성을 각각 0.47L, 0.45L, 0.32L로 현존하는 실선의 특성치인 DWT, 폭, PBL, 흘수, 건현 등을 정리한 것이다.

Table 5.18 Comparison of possible smallest tanker at each pier by statistic analysis (Full Loading)

부 두	B/D 간격 (m)	통계분석치		실제선박				Draught			Freeboard		
		0.47L	DWT	DWT	LOA	EB	NBPBL	SF	LS	NB	SF	LS	NB
J-1	60.5	128.7	11,000	12,866	120.0	20.4	75.0	8.7	2.3	4.7	3.3	9.7	7.2
J-2	75	159.6	24,000	22,198	162.6	23.7	79.8	10.1	3.1	6.8	3.3	10.9	6.6
J-3	95	202.1	53,000	52,687	184.0	32.3	123.4	13.3	2.9	6.7	5.6	15.9	12.2
J-4	55	117.0	9,000	8,964	115.6	18.8	61.8	7.6	2.3	4.7	2.7	8.1	5.8
J-SUB	41	87.23	3,000	3,415	84.4	14.0	24.6	5.8	1.9	2.8	1.0	4.9	3.9

*Source : www.Q88.com

Table 5.19 Comparison of possible smallest tanker at each pier by statistic analysis (Normal Ballast)

부 두	B/D 간격 (m)	통계분석치		실제선박				Draught			Freeboard		
		0.45L	DWT	DWT	LOA	EB	NBPBL	SF	LS	NB	SF	LS	NB
J-1	60.5	134.4	14,000	13,022	128.6	20.4	61.2	8.7	2.5	5.8	2.8	9.0	5.8
J-2	75	166.7	27,000	29,098	175.1	26.0	72.9	11.0	2.9	3.6	3.6	11.7	7.9
J-3	95	211.1	60,000	60,959	214.8	32.2	99.5	12.9	2.3	7.1	6.1	16.7	11.9
J-4	55	122.2	10,000	8,964	115.6	18.8	61.8	7.6	2.3	4.7	2.7	8.1	5.8
J-SUB	41	91.1	4,000	3,415	84.4	14.0	23.1	5.8	1.9	2.8	1.0	4.9	3.9

*Source : www.Q88.com

Table 5.20 Comparison of possible smallest tanker at each pier by statistic analysis (Light Ship)

부 두	B/D 간격 (m)	통계분석치		실제선박				Draught			Freeboard		
		0.32L	DWT	DWT	LOA	EB	LSPBL	SF	LS	NB	SF	LS	NB
J-1	60.5	189.1	42,000	42,053	187.8	31.5	88.8	11.3	2.6	6.9	5.5	14.2	9.9
J-2	75	234.4	86,000	88,878	243.8	40.0	142.0	13.1	2.4	7.4	6.7	17.4	12.4
J-3	95	296.9	179,000	146,041	277.0	44.4	139.0	16.6	2.3	16.7	7.6	21.8	7.4
J-4	55	171.9	30,000	29,098	175.1	26.0	63.8	11.0	2.9	6.3	3.6	11.7	7.9
J-SUB	41	128.1	11,000	12,866	120.0	20.4	55.3	8.7	2.3	4.7	3.3	9.7	7.2

*Source : www.Q88.com

② L/Arm이 W/P 중앙에서 편위한 경우

Fig.5.27은 통상발라스트상태의 대표치인 0.45L을 적용하고 Table 5.21과 같이 L/Arm이 편위한 것으로 하여 도출하였으며, 각 부두별로 적용하여 접안 가능한 최소선박을 DWT로 찾아내었다.

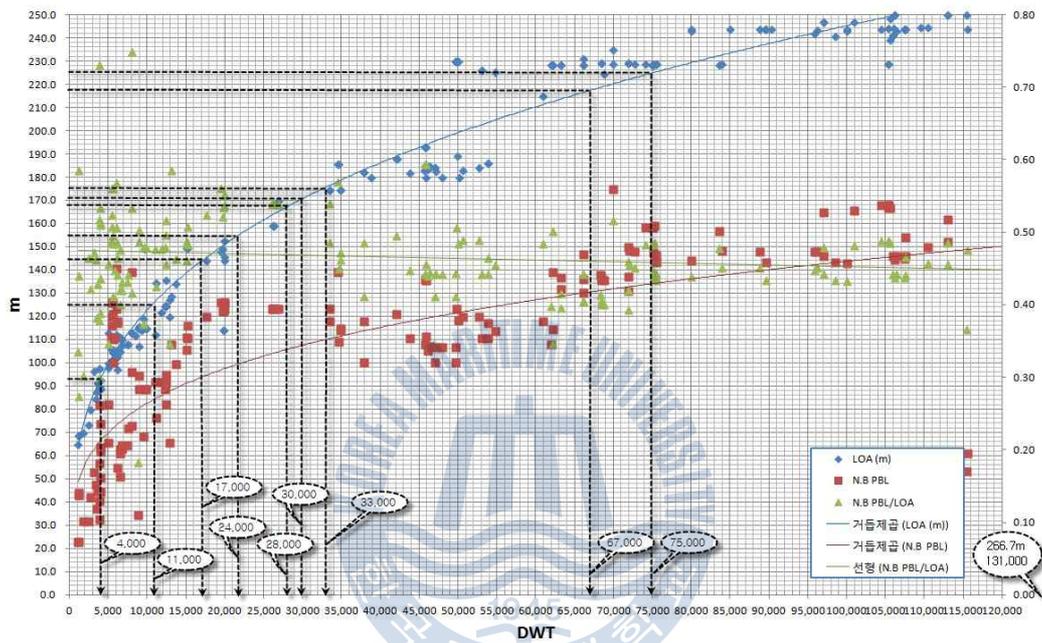


Fig 5.27 Prediction of possible smallest tanker for the shift of L/Arm at W/P by statistic analysis (0.45L)

Table 5.21 Summary of possible smallest tanker at each pier

부두	L/Arm 편위			BD 간격	최소한계 PBL ㉠	설계(LOA) DWT	LOA계산 ㉠ ÷ 0.45	최소선박 DWT추정	
	구분	방향	편위량					편위시	중양위치
J-1	F.O.	N	7.5	60.5	75.5	(140.0)	167.8	28,000	14,000
	Product	S	4.5	60.5	69.5	10,000	154.4	24,000	
J-2	C.O/F.O	N	1	75.0	77.0	(187.0)	171.1	30,000	27,000
	Product	N	13	75.0	101.0	30,000	224.4	75,000	
J-3	C.O/F.O	S	1.5	95.0	98.0	(260.0)	217.8	67,000	60,000
	Product	N	12.5	95.0	120.0	80,000	266.7	131,000	
J-4	F.O	N	12	55.0	79.0	(140.0)	175.6	33,000	10,000
	Product	N	0.5	55.0	56.0	10,000	124.4	11,000	
	F.O	N	12	40.9	64.9	(61.0)	144.2	17,000	4,000
	Product	N	0.5	40.9	41.9	1,000	93.1	4,000	

5.2.2 대상 부두에 대한 처리 방안

(1) 설계기준에 따른 최소선박 접안 가능성 검토

각 부두별 L/Arm 위치를 변경하지 않고 중앙에 위치한 경우 접안 가능 실존 최소선박 LOA/PBL 검토표(Table 5.16 참조)와 같이 선박의 PBL을 실제 선박의 건조추세에 따라 0.45L를 적용하였을 때 J-1에서 계획한 10,000DWT의 접안은 불가하며, J-2 및 J-3의 경우는 가능하나 J-4는 10,000DWT가 한계로 나타난다. 한편, J-4의 경우 Sub B/D를 40.9m를 적용하였을 때도 4,000DWT가 최소한계로 나타났다. 또한 실제 선박의 LOA/PBL이 어느 정도 차이가 있다는 점과, 선박의 화물적하상태 및 조위에 따라 PBL이 변하는 것을 감안하면 이들 선박의 접안에 어려움이 가중될 것으로 판단한다.

각 부두별 L/Arm 위치를 편위시킨 경우에 접안 가능 실존 최소선박 LOA/PBL 검토표(Table 5.21 참조)와 같이 J-1에서는 L/Arm의 FO측이 28,000DWT, Product측은 24,000DWT가 한계이며, J-2에서는 CO/FO측이 30,000DWT, Product측은 75,000DWT, J-3에서는 CO/FO측이 67,000DWT, Product측은 131,000DWT, J-4에서는 FO측이 33,000DWT, Product측은 11,000DWT가 한계로 나타났다. 한

편, J-4의 경우 Sub B/D를 40.9m를 적용하였을 때는 FO측이 17,000DWT, Product측은 4,000DWT가 한계로 나타나 소형선박의 계류에서는 별도의 Fender 및 Bollard 설치가 필요할 것이다.

부두의 효율성을 위해서는 J-1, J-2, J-3 각 부두에 Sub B/D를 설치하여 최소선박의 DWT를 가능한 한 낮추는 방안이 합리적이다. 다만, 현재 상태대로 운영을 해야 한다면 운영매뉴얼상의 최소선박 기준을 설계기준보다 실제 운항되거나 건조되고 있는 선박의 LOA(PBL) 기준으로 하고 최대선박은 현재 계획한 바와 같이 DWT 기준으로 부두 운영에 반영하되 실제로 J-1에 부합되지 않은 최소선박들은 J-4 부두에 Sub B/D를 반영한 후 접안토록하는 방안이 경제적인 것으로 판단한다.

(2) 계류안정성을 위한 시설보완

J-1, J-2, J-3, J-4 부두 : Fender 의 크기 보완으로 B/D선과 W/P사이의 간격을 1.5m~2.7m로 하여 접안시 W/P에 선박의 충격력이 가해지지 않도록 변경하는 것이 합리적이다.

J-4 부두 : 10,000DWT급 이하 소형선박에 부합하도록 Sub B/D 혹은 Sub Fender 추가를 반드시 검토하여야 한다. J-4 부두에서 Sub B/D를 계획할 때에는 최대한 W/P쪽으로 가까이 설치하여 10,000DWT 이하의 선박을 안전하게 접안시키도록 하여야 하는데, 특히 J-4부두는 W/P의 구조물과 선박의 범선과의 간격이 설계서상에는 0.8m 밖에 되지 않으므로 선박접안시 Fender의 최대 수축범위 약 50%를 감안하면 불과 0.4m의 여유밖에 없다. 따라서, W/P의 하역설비인 Loading Arm 등 구조물에 손상을 가져올 때에는 상당한 기간의 터미널 폐쇄를 초래할 수 있으므로 B/D의 Fender 규격을 1.5m 높이의 것으로 상향 조정하는 것은 바람직하다.

B/D와 W/P사이에 Sub B/D를 설치하더라도 Sub Fender와 Bollard가 필요하다. J-4 부두에서 접안시 선박의 선수부 또는 선미부 한쪽은 B/D에 접촉이 되더라도 다른 한쪽은 W/P에 접촉할 수 밖에 없다. 이 경우 W/P상 기존의 Fender 간격으로는 선수 또는 선미 굴곡부에 접하게 되어 선체손상의 우려와

W/P의 안정이 염려된다. 따라서, W/P상의 기존 Fender 사이에 Sub Fender의 설치와 W/P상에 Bollard의 추가가 도움이 될 것으로 본다.

한편, 위와 같이 소형선의 접안시 충격으로부터 W/P를 보호하고 선박을 안전하게 접안시키기 위한 대책으로 도선법에 의거한 예인선사용(1,000DWT이상 의무 사용)에 1척을 지원하여 선박이 평행상태로 접안하도록 유도하여 W/P에 최소한의 영향이 미치도록 하고, 비상시 이 예선을 방제선 겸용으로 운영하는 방안을 검토할 필요가 있다.



5.3 부두 설계의 혁신 방안

5.3.1 기존시설 보강 및 대책

돌핀부두의 초기 설계에서 B/D의 규격, 간격, QRH의 규격 및 Fender의 변경 사항을 정리하면 Table 5.22와 같다. 이 중 Fender는 W/P과의 간격과 충격력을 고려하여 규격을 크게 하여 J-1 부두 1.55m, J-2 부두 2.1m, J-3 부두 2.7m, J-4 부두 1.5m 정도의 범선간격을 확보하였으며 평균적으로 30cm~50cm 높아져 W/P과 선박측면과의 간격을 넓혀 안정을 꾀하였으며, 이는 B/D 간격 및 Spring Line의 수평계선각의 산정에 반영하였다.

Table 5.22 Reinforcement of B/D and supporting facilities at each piers

Dolphin No.		J-1 (B/D-1,2)	J-2 (B/D-3,4)	J-3 (B/D-5,6)	J-4 (B/D-7,8)
Dimension(m)		12.0×12.0	12.0×12.0	17.0×17.0	8.0×9.6
Interval between B/D(m)		60.5	75.0	95.0	55.0
Q. R. H		75tonf × 2	75tonf × 2	150tonf × 3	60tonf × 1
		2기	2기	2기	2기
FENDER (REEL TYPE)	설계	1,200H×2	1,700H×2	2,250H×2	1,150H×2
	수량	2 SET	2 SET	2 SET	2 SET

초기 설계에서 반영한 B/D상의 Reel type Fender는 해당선박의 접안에너지를 흡수하도록 설계되었으나 W/P과 선박접안선과의 간격을 고려하여 전체적으로 변경을 가하였다. W/P의 Fender는 실린더형으로 J-4 부두 W/P 전면에 16m의 간격으로 52kNm의 2개 1조가 설계되어있으나 1,000DWT급 이하의 소형선 계류를 위해 두 Fender 사이에 보조 Fender 1기 추가하여 운영하는 것으로 반영하였다.

J-4 부두에서 B/D 간격 (B/D-7, B/D-8)이 55m의 경우는 10,000DWT급 선박이 본선 Manifold와 부두의 L/Arm 위치가 일치할 경우에만 겨우 계류가능한 상태이므로 10,000 ~ 1,000DWT 사이의 대부분의 선박은 접안시에 B/D의 양쪽 모두

에서 떨어지거나 한쪽에만 접안되므로 Sub B/D은 반드시 필요하다.

J-4 부두에서 Sub B/D의 도입은 40.9m 간격으로 하여 설계되고 있지만 실선 분석에 따르면 이를 설치한 경우에 4,000DWT까지 계류가능하며, L/Arm의 편위 시에는 FO는 17,000DWT, Product는 4,000DWT가 한계이므로 그 이하의 선박에 대해서는 여전히 W/P Fender 한 곳에만 접안하는 결과가 나타나므로 이에 대한 대책이 필요하다.

이와 병행하여 W/P의 Fender에 선체 한쪽이 접촉하여 계류하게 되는 경우에는 선박 접안에너지를 B/D의 Fender에서 전체를 흡수할 수 있도록 계획하여야 하며, 이 경우에도 W/P의 L/Arm의 위치가 본선 Manifold와 일치된다는 전제이므로 L/Arm이 편위되어 선박의 위치가 문제가 되는 경우 L/Arm 부근에 Flexible Hose를 연결할 수 있도록 하여 L/Arm 대신 사용할 수 있도록 Hose를 이동시킬 소형 Crane과 같은 부대시설을 갖추어야 한다.

5.3.2 L/Arm 편위의 검토

(1) L/Arm 편위에 의한 접안가능 최소 선박의 검토

현재 설계가 완료되어 시공되고 있는 각 부두의 B/D 간격, 검토선박 및 펜더의 선박접안에너지 흡수량에 대한 계산치는 Table 5.23과 같다. 선박접안에너지는 항만설계기준 상의 $E = \frac{mv^2}{2} \times C_2 \times C_m \times C_s \times C_c$ 로 계산하고 상세한 계산내용은 제2장의 기존설계자료 분석에서 언급된 바와 같다. 단, 30,000DWT 선박의 경우 선박의 배수량 $m=39,000 \text{ ton}$, $v=0.15 \text{ m/s}$ 를 기준으로 하면 선박접안에너지는 약 581 kV.m 가 된다.

현재의 상태에서 각 부두에서 접안가능 최소선박은 설계지침상의 한계 0.25L~0.4L의 상한인 0.4L로 한 경우 선택한 LOA에서 Table 5.17과 같이 모든 부두에서 설계선박의 접안이 불가능하며, 실제선형 0.45L을 반영하더라도 J-1과 J-4 부두(Sub B/D 적용)에서도 접안이 불가능하다. 5.2절의 Table 5.21에서 접안가능 최소선박의 분석에서 L/Arm을 편위한 경우에는 화물에 따라 J-1 부두 28,000DWT/24,000DWT, J-2 부두 30,000DWT/75,000DWT, J-3 부두 67,000DWT/ 131,000DWT, J-4 부두 4,000DWT~33,000DWT를 한계로 한다.

Table 5.23 The present construction specification of piers

부두	설계규모 (DWT)	B/D간격 (m)	펜터흡수 E_f (kN.m)	검토선박 (DWT)	선박접안 E_f (kN.m)	LOA(m)		PBL(m) 0.45L	
						설계	실제	설계	실제
J-1	10,000 ~80,000	60.5	1,070	10,000	234.1	140	122	63	55
J-2	30,000 ~120,000	75	2,900	30,000	581.0	187	181	84	81
J-3	80,000 ~320,000	95	6,420	80,000	1,575	260	232	117	104
J-4	1,000 ~10,000	55	510	10,000	234.1	140	122	63	55
		(w/p)16	52	1,000	10	61	64	27	29

L/Arm의 위치를 편위하였을 때의 변화를 분석하였다. 편위량은 W/P의 규모와 부두시설의 상황에 따라 현장에서의 실태에 따른 검토 결과를 여기에서 정리한다. 이때 편위의 정의는 W/P (B/D사이)의 중심선에서 해당 L/Arm(들)까지의 거리로 Table 5.24와 같이 적용하였다. 여기서 현재의 L/Arm의 위치에서 N은 North편향, S는 South편향을 나타내며 ① 선박의 중심에서 옆면 편위한 곳 끝까지의 거리 (Fender가 위치해야 하는 거리), ② 선박의 중심을 L/Arm에 맞출 경우 선박의 중심에서 B/D간의 거리(BD간격/2 + 편위), ③ Diff.('+ ' 값이면 선박의 PBL이 B/D 간격보다 크므로 안정된 접안이고 '-' 값이면 선박의 PBL이 B/D 간격보다 작아 선박의 옆면과 펜더가 닿지 않으므로 안정된 접안이 될 수 없는 상태를 나타낸다.

L/Arm을 편위시키지 않은 W/P의 중앙에 L/Arm을 위치시킨 것으로는 부두에 따라 0.1m~8m정도가 최소선박의 접안에 부족한 것으로 나타나며 J-3부두에서는 접안에 4.5m의 여유가 있다. L/Arm의 편위에 따른 안정성 평가는 상대적으로 PBL이 B/D간격보다 1.0m~13.1m 정도로 감소되어, 전체 부두에서 설계당시의 최소선박이 안정된 접안을 할 수 없는 것으로 나타난다. 실제선박에서 선형이 유사한 DWT 상태에서도 PBL에 다소 차이가 있으므로 접안가능 최소선박을 기준으로 각 부두의 한계를 정하고, 이를 초과하는 선박의 경우는 J-3 ⇒ J-2 ⇒ J-1 ⇒ J-4 부두의 수순으로 이동시켜 접안하는 부두운용의 수칙 및 지침을 정하는 것이 필요하다. L/Arm의 편위로 Spring Line 및 Breast Line의 수평계선각의 개선에는 도움이 된다.

Table 5.24 Analysis of B/D intervals for the shift of L/Arm at each piers

부두	L/Arm			B.D 간격 (m)	검토 선박 (DWT)	LOA(m)		PBL(m)0.4L		① PBL/2	② φ-B/D	③Diff =①-②	
	구분	편위(m)				설계	실제	설계	실제			편위	중량
J-1	F.O	N	7.5	60.5	10,000	140	122	56.0	48.8	28.0	37.8	-9.8	-2.3
	Product	S	4.5									-6.8	-2.3
J-2	C.O/F.O	N	1	75	30,000	187	181	74.8	72.4	37.4	38.5	-1.1	-0.1
	Product	S	13									-13.1	-0.1
J-3	C.O/F.O	N	1.5	95	80,000	260	232	104.0	92.8	52.0	49.0	3.0	4.5
	Product	S	12.5									-8.0	4.5
J-4	F.O	N	12	55	10,000	140	122	56.0	48.8	28.0	39.5	-11.5	-8.0
	Product	N	0.5									28.0	0.0
(W.P-4)	F.O	N	12	16	1,000	61	64	24.4	25.6	12.2	20.0	-7.8	-4.3
	Product	N	0.5									8.5	3.7

(2) 부두 보강안의 요약

① W/P의 L/Arm 위치 이동

각 부두에서 W/P의 L/Arm의 이동으로 Spring Line의 수평계류각의 변화를 검토하여 여러 사항 중 다음을 반영하였다.

Table 5.25 Summary of pier modification (shift of L/Arm)

부두	W/P의 L/Arm 이동 방향 및 거리			
J-1	F.O	N 7.5m	Product	S 4.5m
J-2	C.O/F.O	N 1.0m	Product	S 13.0m
J-3	C.O/F.O	N 1.5m	Product	N 12.5m
J-4	F.O	N 12.0m	Product	N 0.5m

② J-4 부두 B/D 소형선박용 Fender 3식 설치 Plan
J-4부두에 접안하는 선박과 부두시설은 아래와 같다.

초기에 선박접안 돌핀 간격을 10,000DWT, 1,000DWT에 맞추어 설계하였지만 실제 선형을 분석한 결과 10,000DWT 이하 선박 중 4,000DWT까지는 Sub B/D에 접안계류가 이루어지지만, 그 이하의 선박이 접안시에 각각의 B/D 팬더에 접촉이 이루어지지 않으므로 W/P상 Fender를 추가할 필요가 있다. 즉, J-4 부두는 FUEL OIL/MOGAS /GASOIL/MTBE 등 다수의 유종을 입출하함에 따라 5개의 L/Arm이 설치되어 있으므로 L/Arm의 위치에 따라 선박접안시는 Sub B/D를 설치한 경우에도 4,000DWT급 이하의 선박에서 한쪽 B/D에만 접촉될 수 있기 때문이다.

Table 5.26 Summary of J-4 pier modification

선박크기	현재 B/D, W/P상 Fender	돌핀간격
10,000DWT	BREASTING DOLPHIN (B/D-7, B/D-8) 2개소	55M
1,000DWT	WORKING PLATFORM(WP-4) 2개소	16M

W/P 좌우에 Sub B/D(보조돌핀) 각 1기씩 추가하고 W/P 중앙에 Sub Fender (보조팬더, 실린더형) 1기를 추가(총 3조, 8m 간격)할 필요가 있다. 아울러 유종별 L/Arm에 따라서도 B/D 팬더에 접촉되지 않을 경우가 있으므로 L/Arm을 이용한 입/출하 외에 Flexible Hose를 이용한 입/출하 방안도 강구할 필요가 있다.

③ J-1, J-2, J-3 부두 접안 변경

제4장에서 분석한 바와 같이 J-1, J-2, J-3 부두에서 계획한 최소선박의 경우는 접안이 불가하므로 부두간 최소선박을 조정하고 J-3의 최소선박은, J-2 부두, J-2부두의 최소선박은 J-1부두, J-1부두의 최소선박은 J-4부두로 이동하는 부두의 운영방침에 반영할 필요가 있다.

Table 5.27 Status of J-1, J-2, and J-3 pier mooring

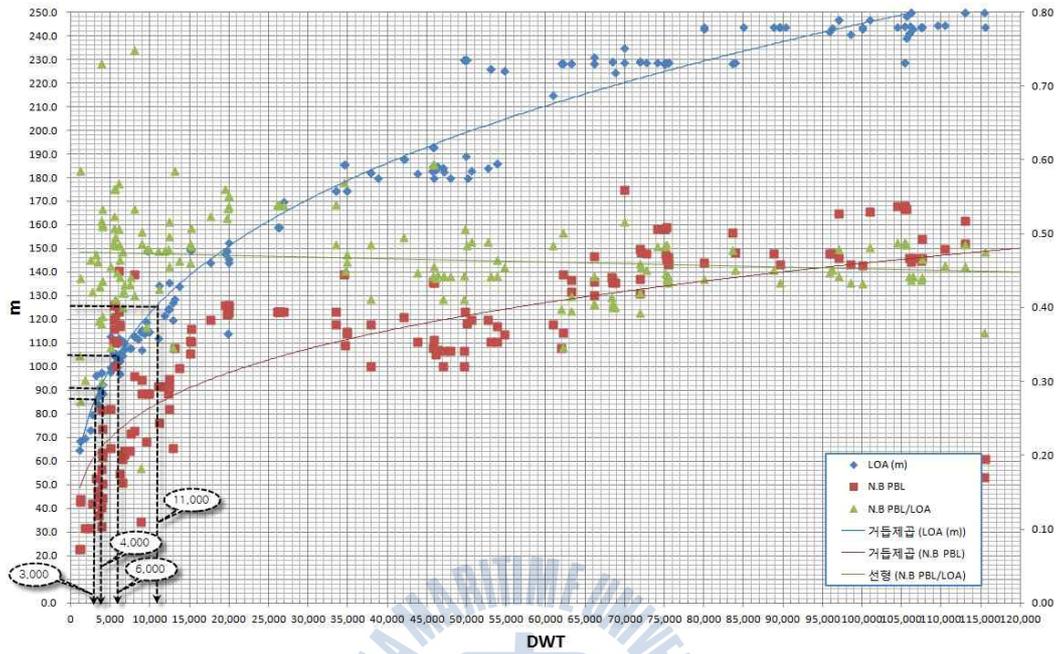
부두	최소선박 (DWT)	선박접안 검토결과	최소선박 DWT (편위시)	비 고
J-1	10,000	접안불가	28,000 / 24,000	소형선박은 B/D(접안돌핀)간 거리가 멀어 접촉불가
J-2	30,000	접안불가	30,000 / 75,000	
J-3	80,000	접안불가	67,000 / 131,000	

5.3.3 W/P의 규격조정 및 Sub B/D 설치안의 검토

(1) W/P의 규격 조정

다음 Fig. 5.28은 각 부두에서 접안가능한 최소선박의 한계를 조정하기 위하여 기존 현재 설계된 W/P의 규모를 작업을 위한 최소 길이로 조정하고 구간 조정으로 나타난 공간에 기존 B/D과 W/P 사이에 Sub B/D을 추가하여 최소선박의 접안을 가능토록 하는 방안을 검토한 것으로 장래 부두의 설계에서 참고로 이용할 수 있도록 첨부하였다.

Fig. 5.29와 Fig. 5.30에서와 같이 Sub B/D의 간격 축소로 통상 발라스트 조건에서 각 부두에서 설계당시의 최소선박보다 소형선까지 접안이 가능한 것으로 나타났다. 다만, 이는 W/P의 안정성을 확보하면서 최소화하는 부분을 검토하여야 하며, 필요시에는 길이를 조정하되 폭의 조정으로 W/P 안정성을 검토할 수 있을 것이다.



부두	최소선박 (DWT)	현재 B/D간격	W/P길이		조정후 B/D간격 [㉠]	현재 최소선박 DWT		조정후 L/A 중앙	
			현재	조정후		L/A 중앙	L/A 편위	$\text{㉠} \div 0.45$	최소DWT
J-1	10,000	60.5	38.0	25.0	38.5	14,000	24,000	85.6	3,000
J-2	30,000	75.0	45.0	36.0	47.0	27,000	30,000	104.4	6,000
J-3	80,000	95.0	45.0	35.0	56.5	60,000	67,000	125.6	11,000
J-4	10,000 (1,000)	55.0	35.0	35.0	40.9	10,000	17,000	90.9	4,000

Fig. 5.28 Adjusted B/D intervals and possible mooring tankers at each piers

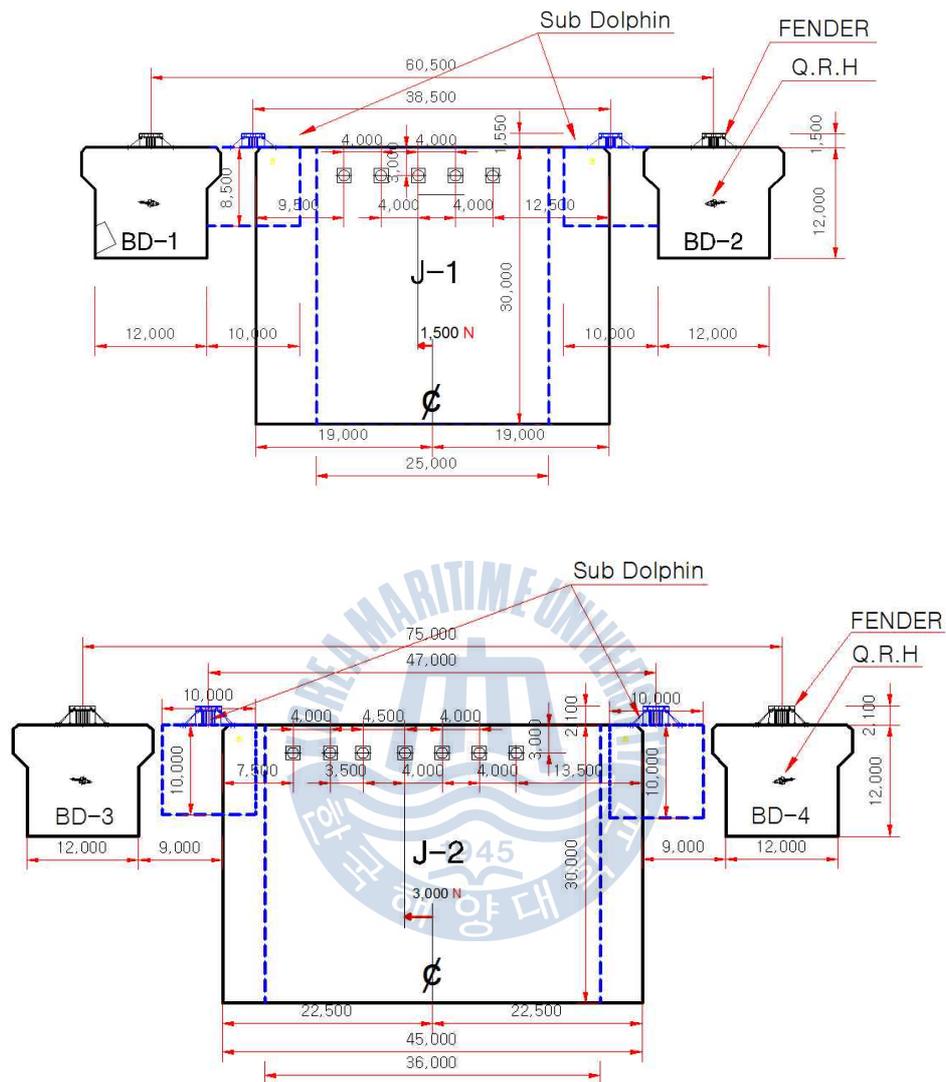


Fig. 5.29 Arrangement of Sub B/D with the adjustment of W/P (J-1,J-2)

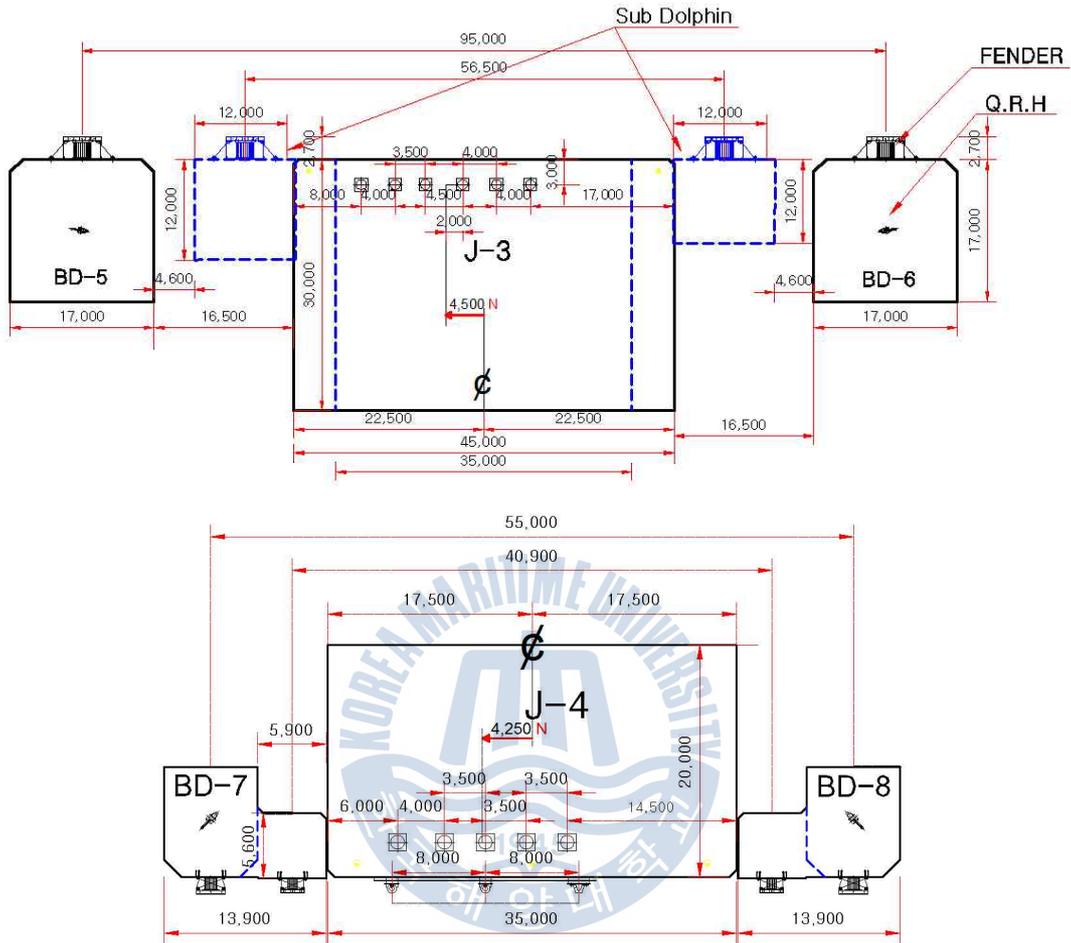


Fig. 5.30 Arrangement of Sub B/D with the adjustment of W/P (J-3,J-4)

(2) W/P의 폭 및 Sub B/D 높이 조정

특별히, W/P의 규모 중에서 길이를 조정하는 것보다 폭과 위치를 조정하여 W/P의 위치를 전면의 Sub B/D의 규모만큼 후진시키되 W/P의 높이는 그대로 유지하는 대신, Sub B/D의 경우는 Spring Line과 Loading Arm의 교차를 줄이기 위하여 단차를 두어 낮게 설계(Fig. 5.31 참조)하여 최소선박의 계류를 허용 하면서 Sub B/D이 W/P을 보호하는 기능을 담당하는 것이 가능하다고 본다.

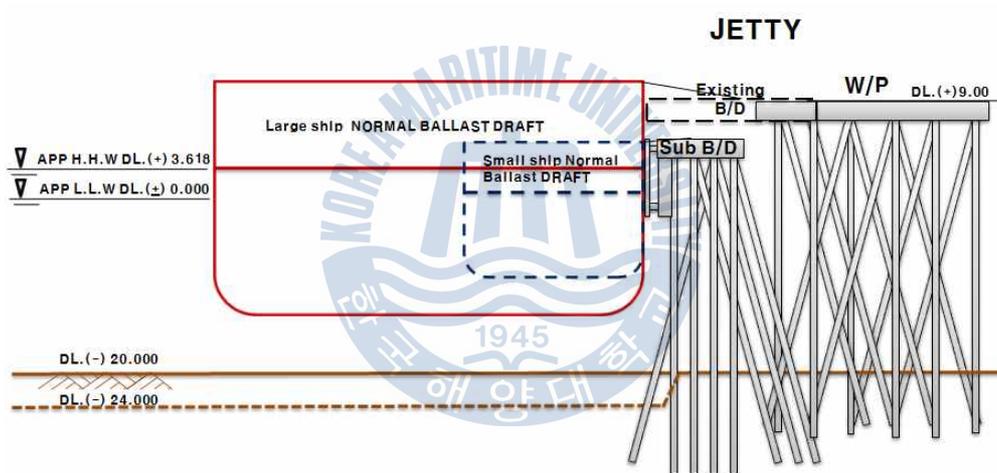
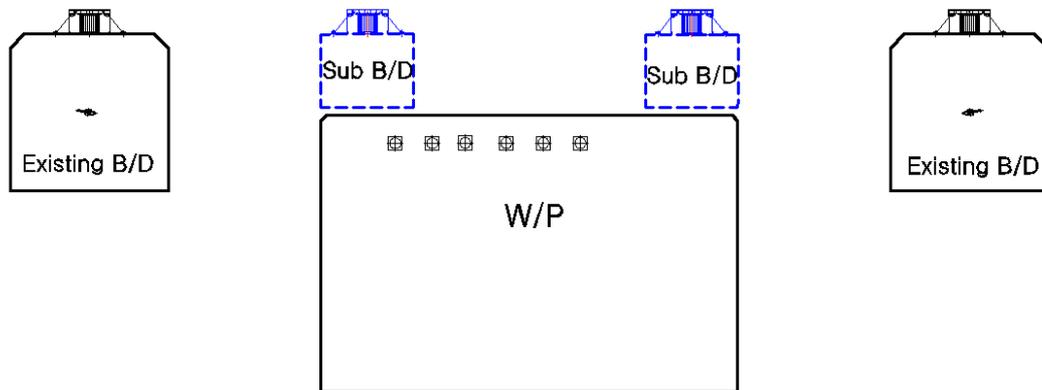


Fig.5.31 Arrangement of lowered Sub B/D with the adjustment of W/P

제6장 결론 및 제언

유가의 상승에 따른 에너지확보는 매년 국가의 중요한 정책의 하나로 되었으며, 전세계적으로 다양한 탱커가이 건조되어 왔고 이들 선박의 운항에 따라 국내에서도 탱커를 서비스 하기위한 계류, 저장, 이송 시설 등 항만인프라의 구축이 원활하게 이루어지고 있다. 그러나, 이들 시설 중 돌핀부두에의 접안안을 위한 시설의 국내 설계기준은 오래전에 설정된 것으로 보완이 필요한 것으로 나타났다. 본 연구에서는 현재 건조되어 운항되고 있는 전세계의 탱커 자료를 수집하고 톤수에 따른 선형을 분석하여 돌핀부두내 작업돌핀, 접안돌핀, 계류돌핀의 적정간격과 계류안정성의 평가에 반영하고, 설계기준의 보완에 대한 의견을 제시하고자 하였다. 분석에는 전세계 운항중인 8,000여척의 탱커의 선형을 조사하였고, 일본, 미국, 영국, 캐나다 등 외국의 설계기준과 국내기준의 비교가 이루어졌다. 돌핀부두의 설계지침의 보완을 입증하기 위해 국내 유류돌핀부두를 선정하고 설계조건과 대상선박의 실태를 분석하여 적정성은 물론 효과적인 대책 방안에 대해서도 다루었다.

6.1 종합 결론

1) 전세계에서 운항중인 8,000여척의 탱커를 대상으로 정리된 자료를 거듭제곱식으로 Curve fitting 시켜서 전장(LOA), 현측직선구간(PBL), PBL/LOA 비의 추이를 도출하였다. 추산한 PBL은 대표적으로 만재상태에서 0.47L, 통상발라스트 조건에서 0.45L, 경하상태에서 0.32L로 나타났다.

2) 설계도상에 나타난 계류선박의 선수미 계류색 및 Breast Line의 본선 연결지점을 파악하기 위하여 현재 국내외에 운항되고 있는 탱커를 대상으로 분석한 결과 선박의 전체 길이에 대한 선수미 윈치의 위치는 선수 또는 선미에서 3.7m~24.7m 안쪽에 위치해 있으며 평균적으로 9.2m 정도를 나타내었다.

3) 또한 대상선박은 화물적재상태에 따라 직선구간(PBL)이 변하게 되는데 만재상태의 PBL에 대하여 통상의 발라스트 항해에서는 이 길이의 79~98%, 화물을 양하한 상태인 경하상태에서는 50~85%수준으로 짧아지므로 적재화물 중량에 따라 계선돌핀(B/D)와의 접촉지점에 변화를 가져오게 되어 계획한 B/D 간격 이하로 나타날 상황에 대비하여야 한다.

4) 요약된 국내외 설계기준 및 지침을 통해서 핵심사항으로는 B/D의 간격을 우리나라나 일본의 경우 탱커의 현측 직선구간에 B/D를 접하는 것으로 계획하여 최소의 B/D간격을 일반적으로 1/3L 이격하거나 대상선박의 제원이 명확하지 않은 경우에는 0.25L ~ 0.4L 범위내 배치하는 것으로 하게 되어 있다. 그러나 선박건조추이를 볼 때 장래에는 PBL 0.45L을 표준으로 하여 미국에서 적용하는 범위인 0.3L ~ 0.5L로 하여 B/D 간격을 설계에 반영할 필요가 있다.

5) M/D의 수는 대상선박의 크기에 따라 좌우되며 일반적으로 선수 및 선미 부측에 각각 2~3개씩 설치하는 것이 일반적이고 B/D는 선박의 중앙부에서 좌우로 1개, 선석당 2개를 설치한다. 다만 여러 종류의 선박을 계류하기 위한 부두에서는 소형선박의 계류를 위해 2개의 B/D 사이에 Sub Dolphin 2개를 설치하기도 한다.

6) 부두법선과 Bow 및 Stern Line이 이루는 각은 30° ~ 45° 이내로 되도록 배치하는 것이 바람직하며 M/D에서 Breast line은 부두법선과 15° 이내, B/D에서 Spring Line은 10° 이내를 유지하는 현행 지침은 바람직하다.

7) 선수 및 선미부에서 1/8L을 곡선부, 중앙부의 3/4L을 직선부로 정의한 한국 및 일본의 설계지침은 현재 운항중인 탱커의 규격에 부합되지 않으므로 이를 삭제하거나 선수 및 선미부에서 1/4L을 곡선부, 중앙부의 1/2L을 직선부로 하는 수정이 필요하다.

6.2 실증분석을 통한 제언

1) 설계상의 접안 및 계류돌핀의 간격 검토결과, 접안돌핀(B/D) 간격은 허용기준 0.25L ~ 0.40L 범위를 적용한 것으로, 현재 운항중인 선박특성인 PBL 0.45L 및 W/P상의 L/Arm 편위를 추가로 고려해야 한다.

2) 각 부두에서 그래프에 의한 접안가능한 최소선박 추정치를 정리하면 L/Arm이 W/P의 중앙에 위치한 경우에는 J-1부두 14,000DWT, J-2 부두 27,000DWT, J-3 부두 60,000DWT, J-4부두 10,000DWT (현재 설계기준), 4,000DWT (Sub B/D 신설시)로 나타났다.

3) 각 부두에서 실선자료의 분석에 의한 접안가능한 최소선박 추정치는 화물별 L/Arm의 편위를 반영하여 J-1부두 28,000DWT/24,000DWT, J-2 부두 30,000DWT/75,000DWT, J-3 부두 67,000DWT/131,000DWT, J-4부두 33,000DWT/11,000DWT (현재 설계기준), 17,000DWT/4,000DWT (Sub B/D 신설시)로 나타났다.

4) L/Arm의 편위에 따른 안정성 평가에서 상대적으로 PBL이 B/D간격보다 감소되어, 전체부두에서 설계당시의 최소선박이 안정된 접안을 할 수 없는 것으로 나타나므로 접안가능 최소선박을 기준으로 각 부두의 한계를 정하고, 이를 초과하는 선박은 J-3 ⇒ J-2 ⇒ J-1 ⇒ J-4 부두의 수순으로 이동시켜 접안하는 부두운용의 수칙 및 지침을 정하는 것이 필요하다.

5) 기존의 설계를 보완하는 방향으로 검토한다면 부두별 최소선박의 한계를 조정할 필요가 있으며, 설계당시의 최소선박을 접안시키고자 하는 경우 전체 부두에 Sub B/D를 추가하는 것이 최적여건이 되지만, 과도한 시설투자비가 문제된다. 따라서, 현재 진행 중인 부두보완방향이 최소한의 방안으로 판단된다.

6) 새로운 기지 및 부두의 건설을 고려한다면 W/P의 규격조정 및 Sub B/D의 위치 및 디자인 변경으로 대형선박에서 소형선박을 함께 이용할 수 있는 부두의 건설이 가능하다. 즉, W/P의 길이 단축과 계류선에서 후퇴한 배치, Sub B/D의 높이 축소로 대형선을 위한 B/D 간격 내에 소형선을 위한 Sub B/D를 반영하여 B/D을 선석당 4기(혹은 2 big B/D)로 접안돌핀을 배치하여 부두 건설목적에 따라 조정할 수 있다.



참고 문헌

- 국립해양조사원, 여수항 및 여수해만 조류도, Pub. No.621-2.
- 국립해양조사원, 조석표, Pub. No.1202-1.
- 국토해양부, 제3차 전국무역항 기본계획보고서 (13권 여수항, 14권 광양항).
- 대영엔지니어링(2000), LG-Caltex정유 주식회사 인천북항 유류 하역시설(돌핀
축조공사 실시설계보고서.
- 도화종합기술공사(2006), S-Oil(주) 제3돌핀식 부두 건설사업 실시계획설계보
고서.
- 한국석유공사(2001), 동해-1 가스생산시설공사 실시설계보고서,
- 삼성토탈주식회사(2012), STC#2 접안시설 축조공사 기본 및 실시설계보고서.
- 에스오일주식회사(2006), S-Oil(주) 제3돌핀식 부두 건설사업에 따른 사전재
해영향성검토 협의요청서.
- 에스케이주식회사(2003), 인천(항동) 물류센타 돌핀증대 설계용역 타당성검토
보고서.
- 에스케이주식회사(2010), SK 3부두 부두능력증대공사 실시설계보고서.
- 조양화학공업주식회사(2000), 조양화학 폐기물 수송선 돌핀 접안시설공사 설계서.
- 홍보산업주식회사(2004), 인천북항 폐기물 운반선 접안시설(돌핀식) 실시설계서.
- 한화에너지주식회사(1997), 한화유류 출하부두 기본 및 실시설계보고서.
- 해양수산부(1999), 항만 및 어항 설계기준 (상,하).

해양수산부(2005), 항만 시설물 설계 기준서 (상,하).

鞠谷宏士,岩井 聰 (1972),超大型ドルフィン係留模型實驗(第2報), 日本航海學會論文集 47号, pp.53~61.

谷本勝利,小船浩治,北谷高雄,高橋重雄,山本壓一,小松和彦,轟 正彦 (1973), 抗式シーバースの波力の問題, 港灣技術研究所講演會講演集, pp.1~45.

日本港灣協會(1999), 港灣の施設の技術上の基準・同解説.

日本全局漁港協會(1999), 漁港の技術指針(上,下).

日本土木學會(2000), 日本 海岸施設 設計便覽.

Agerschou, H. and Lungdren, H.(1983), Planning and Design of Ports and marine Ternimals, John Wiley & Sons Ltd.

BSI (1994), BS Code for Maritime Structures, Part 4.

BSI (1994), British Standard 6349-4 Code of Practice for design of fendering and mooring systems.

California State Lands Commission, Marine Oil Terminal engineering and Maintenance Standards, Marine Facility Division

Carl AA. Thoresen, Port Design Guidlines and Recommendations

Clackson (2011), Oil&Tanker Trades Outlook.

Clarkson (2012), World Fleet Register CD

Costa, F. V. (1973), "Dynamics of Berthing Impacts," Papers Presented at NATO Advanced Study Institute on Analytical Treatment of Problems in the Berthing and Mooring of Ships, Wallingford, England, pp. 1-26.

Gregory P. Tsinker, Handbook of Port and harbor engineering

Handbook of Port and Harbor Engineering (Tsinker, G. P.)

Heidenreich Innovations (2012), Q88.Com

HDEC(2010), NSRP Complex Project - Marine Works Technical Proposal, Vietnam.

OCIMF (2009), "Mooring Equipment Guidelines", 3rd Ed., London, England.

OCIMF (1977), "Prediction of Wind and Current Loads on VLCCs," London, England.

PIANC Bulletin and Technical Report

Piaseckyj, P. J.(1977), "State of the Art of Fender Design," 24th International Navigation Congress.

Port Design Guidelines and Recommendations (Thoresen, C. A.)

SMH(2006), New Refinery Project(NRP) for KNPC at Al-Zour, Kuwait.

Technical Standards and commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan

Tension Technology International(2005), Develop Effective Moorings for Tanker and Gas Carrier Terminals Exposed to Waves, Joint Industry Project Proposal from TTI, Sussex, UK.

Thoresen, C.A.(1988), Port Design Guidelines and Recommendations, Tapir Publishers, Norway.

Transport Canada (1977), TERMPOL Code; Transport Canada mooring guidelines and codes for oil terminals.

Transport Canada (2001), TERMPOL Review Process (TRP) for Marine Terminals. (TP 743 E) Appendix 3 Berth, Mooring and Fendering.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (2007), Al Basrah Oil Treatment Basrah, Iraq, SPECIAL INSPECTOR GENERAL FOR IRAQ RECONSTRUCTION

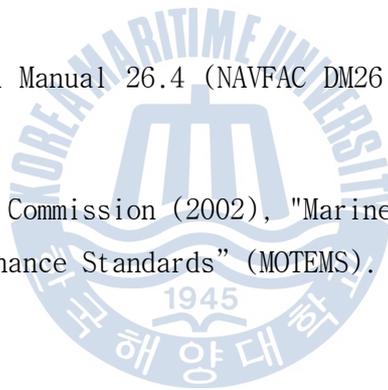
US CERC (1984), Shore Protection Manual & Technical Manual.

US Department of Defense(1999), "Mooring Design," Handbook, MIL-HDBK-1026/4A, Alexandria, VA, USA.

US Navy (1984), Harbors Design Manual 26.1 (NAVFAC DM26.1), 1. Harbors, Department of Navy.

US Navy (1986), Design Manual 26.4 (NAVFAC DM26.4), 5. Fixed Moorings, Department of Navy.

California State Lands Commission (2002), "Marine Oil Terminal Engineering and Maintenance Standards" (MOTEMS).



감사^{感謝}의 글

새로운 꿈과 또 다른 도전^{挑戰}을 위해 시작한 만학^{晩學}의 길^道이었으나, 걸어갈수록 더 넓어지고 더 나아가야 하는 큰 길^{大道}였음을 새삼 새겨봅니다.

그래서 「학문^{學文}의 길은 끝이 없다」했나 봅니다.

늦게 시작한 만학^{晩學}의 과정이 쉽지 않을 거라는 주변의 우려도 있었지만 그래도 격려와 성원이 더 많았던 시간들이었기에 학문의 기쁨도 더 크게 느껴집니다.

과연 중단하지 않고 결실^{結實}을 맺을 수 있을까? 라는 걱정이 앞섰던 그 시기에 넓은 배려로 깊이 있는 학문에 정진^{精進}할 수 있도록 지도해 주신 이종우 지도교수님께 진심으로 감사를 드립니다.

또한 논문^{論文} 발표 및 심사^{審査} 과정에서 미흡한 부분을 세밀^{細密}하게, 검토^{검토}, 보완^{補完} 해주신 구자윤교수님, 김태형교수님, 국승기교수님, 목포해양대 정대득교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

그리고 6년 동안 영도^{影島} 아치섬을 수없이 오가며 각별한 정^情이 들었던 항만연구실의 동료선·후배님들께도 고마운 마음을 가득 전하고 싶고, 항상 푸근함으로 격려와 성원해 주신 오원수 형님께도 감사드립니다.

끝으로 항상 가까이에서 지켜봐준 사랑하는 가족들에게 이 논문의 영광^{榮光}을 함께 나누며, 이 소중한 결실이 또 다른 시작을 위한 초석^{礎石}이 될 것임을 다짐하면서 더욱더 발전^{發展}해 나가겠습니다.
감사합니다.

2013년 1월

강 석 진