

# 탱카선의 실행분석에 따른 돌핀부두의 설계조건에 관한 연구

강석진\* · 이중우† · 이형하\*\*

\*금석종합건설(주), † 한국해양대학교 건설공학과, \*\*부산항만공사

**요 약** : 유가의 상승에 따른 에너지확보는 매년 국가의 중요한 정책의 하나로 되었으며, 전세계적으로 다양한 탱카선이 건조되어왔고 이들 선박의 운항에 따라 국내에서도 탱카선을 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 탱카선의 자료를 수집하고 톤수에 따른 선형을 분석하여 돌핀부두내 작업돌핀, 접안돌핀, 계류돌핀의 적정 간격과 계류안정성의 평가에 반영하고, 설계기준의 보완에 대한 의견을 제시하고자 하였다. 분석에는 전세계 250여척의 탱카선의 선형을 조사하였고, 미국, 영국, 캐나다 등 외국의 설계기준과 국내기준의 비교가 이루어졌다.

**핵심용어** : 탱카선, 돌핀부두, 하역부두, 계류안정성, 접안돌핀

## 1. 서 론

세계 해상물동량은 1990년 이후 연평균 3.6%를 증가해오면서 원유 및 석유제품이 전체물동량의 1/3을 차지하고 있다. Clarkson(2012)의 자료에 의하면 수요일면에서 탱카선의 물동량은 연평균 2.7%(‘00-’10년기준)가 증가하고 있으며 이중 원유는 1.9%, 석유제품은 4.8% 증가로 나타났다. 비교적 안정적인 원유출하량과 에너지 수요의 증가로 타 선종대비 변화폭이 크지 않은 편이나 유로존 재정위기와 신재생에너지 수요증가로 둔화가능성을 배제할 수 없는 실정이다. 한편 공급면에서는 이 기간동안 탱카선의 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 과다발주된 선박인도량이 증가하고 있어서 전반적으로 선령이 젊은 편이다.

그러나, 이들 선박을 지원하기 위한 부두시설의 경우 건설초기에 과거의 선형에 근거한 지침에 따라 부두가 설계, 건설되어 운영되고 있으나 소형에서 초대형에 이르는 탱카선을 서비스 하기위한 계류시설은 최근 선형변화를 반영하지 못해 신규 부두에서도 적용이 곤란한 상태도 나타나, 부두내 QRH의 위치, 작업용 Dolphin (W/P, Working Platform)에서 하역설비 (Loading Arm, L/Arm)의 위치 이동, 부돌핀(Sub-Dolphin)의 추가축조, 유연작업호스(Flexible Hose)의 도입, 서비스 선박의 부두이동 등 다양한 검토가 운영과정에서 이루어지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 현재 전세계에서 운항중인 탱카선의 선형자료를 분석하여 돌핀부두내 작업용 돌핀, 접안돌핀(B/D,

Breasting Dolphin), 계류돌핀(M/D, Mooring Dolphin)의 적정 간격과 계류안정성의 평가에 반영하고, 국내외 돌핀부두의 설계기준 및 지침 (해양수산부, 1999; 일본항만협회,1999; US Navy,1986; BSI, 1994; OCIMF,2009)을 분석하여 국내설계기준의 보완에 대한 의견을 제시하고자 한다.

## 2. 돌핀부두의 특성

계류시설의 구조형식의 선정에 있어서는 자연조건, 시공조건, 공기, 경제성, 시설의 이용효율 및 관리 등을 고려하여 결정한다. 탱카부두의 구조형식은 고정식과 부표식이 있으며 실제로 사용되고 있는 구조형식으로는 고정식 계류시설인 Dolphin Type가 대부분이고, 잔교 Type은 적다. 돌핀도 말뚝식, Jacket 식, 강제 Cell식, Caisson식으로 구분된다. Dolphin Type은 하역기능으로서의 W/P, 접안기능으로서의 B/D, 계선기능으로서의 M/D 및 이들 간 또는 W/P와 육측을 연결하는 연락교 (Trestle)로 되어있다. 통상의 Dolphin Type에는 W/P 1기, B/D 2기, M/D 4기가 있다(Fig.1 참조).

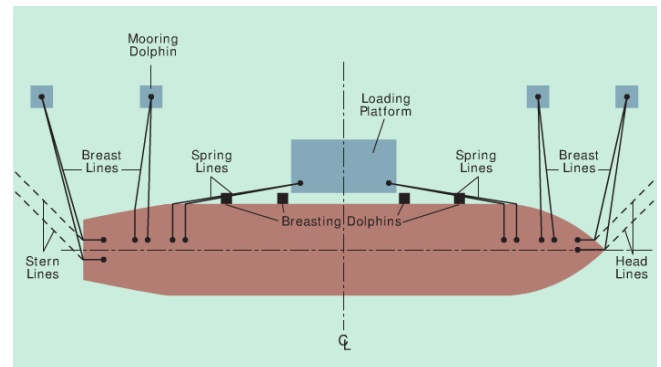


Fig.1 Mooring pattern for dolphin pier

\* 정희원, [ksone77@yahoo.co.kr](mailto:ksone77@yahoo.co.kr), 051)515-8050

† 교신저자(종신회원), [jwlee@hhu.ac.kr](mailto:jwlee@hhu.ac.kr) 051)410-4461

\*\* 정희원, [hhlce@busanpa.com](mailto:hhlce@busanpa.com), 051)999-3231

### 3. 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 고정식계류시설의 설계에 있어서도 부두 본체의 설계에 대해서는 탱카부두기준을 준용하고 있다.

요약된 국내의 설계기준 및 지침을 통해서 핵심사항으로는 B/D의 간격을 우리나라나 일본의 경우 탱카의 현측직선구간에 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 선박간조추이를 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/D는 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.

Table 1 Summary of design criteria for dolphin pier

구분	한국/일본	미국, MOTEMS	영국	캐나다	OCIMF	
선박제원	선수및선미부: 1/8L은 곡선 중앙부: 3/4L은 직선					
돌핀의 간격	대상선박이 정해져 있을 때: 1/3L 대상선박이 불규칙할 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	
계류라인 배치	Breast Line	선박중측과 직각방향 15°이내	선박중측과 직각방향 15°이내	측에 대하여 45°~90°	Fairlead에 대해 수평각 90°정도	선박중측과 직각방향 15°이내
	Head&Stern line	접안선과 30°~45°이내	접안선과 30°~45°이내	측에 대하여 45°~90°	측과의 수평각이 약 45°를 유지	접안선과 75°이내
	Spring Line	선박중측과 평행방향 10°이내	선박중측과 평행방향 10°이내	선박중측과 평행방향 10°이내	선박중측과 평행방향 0°이내	선박중측과 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	
계류점 길이	접안선에서 30~50m				접안선에서 35~50m	
배치 높이	최고운영수위 +1.5m				최고운영수위 +1.5m	

### 4. 탱카선의 추이와 부두의 실태

#### 4.1 탱카선의 추이

선형별 운항실적을 정리한 자료에서는 125,000~199,000DWT

의 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 높아지는 것으로 나타났다. 따라서, 장래 이러한 추이에 대응한 부두운영계획이 있어야 한다. 현존하는 탱카선의 자료를 분석하여 선박 DWT 별, 선장(LOA), 현측직선구간(PBL), PBL/LOA 비를 구하여 Fig.2에 정리하였다. 적용한 선박은 2012년도 전세계에서 운항 중인 250여척의 탱카선을 대상으로 하였으며, 이 중 PBL의 자료가 불분명한 것은 제외시켰다. 자료가 부족한 DWT에 대해서는 정리된 자료를 거듭제곱식으로 Curve fitting 시켜서 그 추이를 도출하였다. 추산한 PBL은 대표적으로 만재상태에서 0.47L, 통상발라스트적재상태에서 0.45L, 경하상태에서는 0.32L로 나타났다.

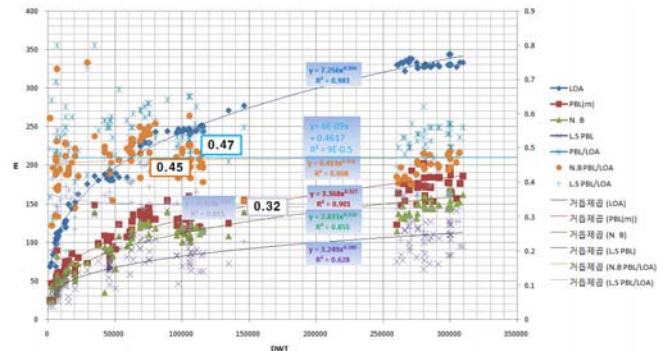


Fig.2 The trend of change for tankership pattern (250 tankers)

Table 2 Comparison of Tanker patterns between statistics and existing tankers

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	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	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	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	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	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	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	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	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	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 국내돌핀부두의 실태

과거 국내 유류부두에서의 돌핀은 현재의 설계기준을 적용하여 설계, 건설되었으며, 본 연구와 관련해서는 대산항 유류부두, 여수 오일부두, 인천북항의 유류하역부두, 인천항동물류센타 돌핀부두, 대산항 유류하역부두와 호주, 사우디아라비아, 쿠웨이트, 베트남 등의 최근 부두설계자료를 검토하였다.

## 5. 돌핀부두 설계의 실증분석

돌핀부두 설계의 실증분석은 국내 신규유류기지의 돌핀부두를 대상으로 계획선박과 부두시설에 대한 평가를 수행하고 최근 탱카선의 변화추이에 따른 대응방안을 다루었으며, 선형특성상 서비스가 불가능한 소형선박은 다른부두에 이동하여 접안토록 하는 부두운영지침으로 해소하거나 Sub Dolphin의 추가 등 최소한의 개선안을 도출하였다.

특히, 앞 절에서 분석한 탱카선의 건조 및 운항추이 분석을 통해서 설계기준에서의 접안가능한 최소선박의 크기에서는 계획과 다른 부분이 나타나 설계에서 반영한 계류돌핀간격을 0.25L~0.4L에 대해 실선분석을 통한 0.45L을 적용하여 새롭게 도출하였다.

## 6. 결론 및 제언

요약된 국내외 설계기준 및 지침 분석으로 돌핀부두에서 B/D의 간격을 일반적으로 1/3L 이격하거나 대상선박의 제원이 명확하지 않은 경우에는 0.25L~0.4L 범위내 배치하는 것을 수정하여 선박건조추이를 반영하여 PBL 0.45L이 표준이 되도록 미국에서 적용하는 범위인 0.3L~0.5L에 해당하는 것으로 수정할 것을 건의한다.

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° ~ 45° 이내로 되도록 배치하는 것이 바람직하며 M/D에서 Breast line은 부두법선과 15° 이내, B/D에서 Spring Line은 10° 이내를 유지하는 것이 좋다.

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

## 참 고 문 헌

- [1] 일본항만협회(1999), 항만시설의 기술상 기준, 동해설
- [2] 해양수산부(1999), 항만 시설물 설계 기준서 (상,하)
- [3] Clarkson Tanker Register(2012), World Fleet Register CD
- [4] US Navy (1986), Design Manual 26.4 (NAVFAC DM26.4), Fixed Moorings, Department of Navy
- [5] Heidenreich Innovations(2012), Q88.Com
- [6] BSI (1994), BS Code for Maritime Structures, Part 4
- [7] OCIMF(2009), "Mooring Equipment Guidelines", 3rd Ed., London, England.
- [8] Transport Canada mooring guidelines and codes for oil terminals : Transport Canada, TERMPOL Review Process (TRP) for Marine Terminals. (TP 743 E) Appendix 3 Berth, Mooring and Fendering