

부두 입출항 선박을 위한 선회수역 크기에 관한 고찰

김세원[†] · 이윤석* · 박영수
(한국해양대학교)

A Study on the Size of Turning Basin for Vessels of Arrival & Departure in the Berths

Se-Won KIM[†] · Yoon-Suk LEE* · Young-Soo PARK
(Korea Maritime University)

Abstract

Generally the determination of turning basin for vessels of entering & sailing in the berth has been considered in the design standard of harbor construction rules of the port. In this regard, the turning basin has been determined by the max size of entering vessel of the berth/port. But the size of turning basin may considered the ship's maneuvering ability, operator's skillful power, mooring equipments of the berth, arrangement of the fairway and the environment condition of weather & seas around the designated port area.

So this paper suggested the optimum size of turning basin after studying the harbour design rules of the advanced marine countries and using by maneuvering simulator for turning basin size and also evaluated the design standard of harbor construction rules and minimum size of turning basin against ship's length at the Gangjung civil/naval port of Jeju Island.

Key words : Turning basin, Harbour construction rule, Maneuvering, Simulation, Ship's length

I. 서론

일반적으로 선박의 선회장은 지정된 항만에 입출항하고자 하는 최대크기의 대상선박이 대상부두에 안전하게 접·이안하기 위하여 진입항로나 부두 전면수역에서 선체를 180° 선회하는데 필요로 하는 가항수역의 범위를 의미한다고 정의할 수 있다. 이러한 항만시설은 대상선박의 조종성능과 조종자의 운항능력, 대상부두의 계류시설, 항로의 배치 그리고 그 대상수역의 기상 및 해상 자연환경 조건 등을 충분히 고려해서 결정되어야

한다.

최근 들어서 선박이 대형화되면서 이러한 선회장을 포함한 항만시설들이 기존의 항만설계기준을 충족하지 못하여 문제가 되고 있다. 이를 해결하기 위한 최선의 방안은 항만시설을 기준에 맞게 늘리는 것이지만 항만의 지형적, 물리적인 한계로 인하여 현실적으로 어려움이 많다. 따라서 이를 해결하기 위하여 선진 항만에서는 선수미 스티어링과 같은 선박 자체의 조종성능과 예선을 포함한 보조장비의 성능을 대폭적으로 향상시켜서 항만시설의 설계기준을 상대적으로 축소

[†] 1st author : 051-410-4278, swkim@hhu.ac.kr,

* Corresponding author : 051-410-4201, yslee@hhu.ac.kr

시키고 있다.

따라서 이 연구에서는 최근 제주도 민군복합미항(강정항)에서 문제화되고 있는 선회장의 크기와 관련하여 최근의 선진 해운국들의 항만설계기준을 검토 고찰하고, 우리나라의 항만설계와 관련된 기준인 '항만 및 어항 설계지침'(2005년, 해양수산부)에서 규정하고 있는 선회장 크기 및 항로 등에 대하여 선박조종 시뮬레이션을 통한 설계기준의 적정성을 비교, 고찰하도록 한다.

II. 선박 선회장 크기에 대한 이론적인 검토

특정 선박이 예인선에 의해 부두 전면수역에서 180° 선회를 수행할 경우, 실질적인 선회권은 예인선의 척수에 따라 달라질 수 있다. 예인선을 1척과 2척 사용할 경우의 선회권의 일반적인 산출 방법은 다음과 같다.

1. 예인선 1척을 사용할 경우

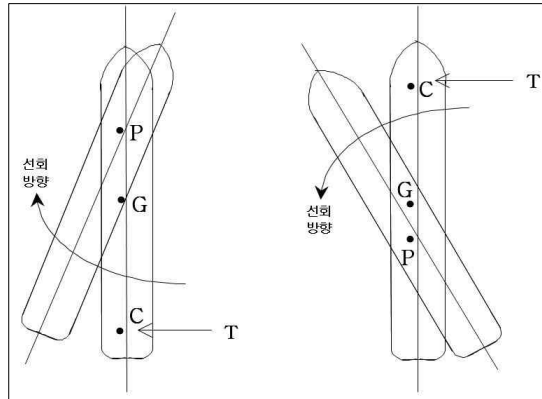
[그림 1]과 같이 선수 또는 선미(A점)에서 1척의 예인선(예인력 T)을 이용하여 선체를 예인선으로 밀거나 끌면서 선수를 회두시키고자 할 경우, 선회중심이 되는 전심위치(Pivot point)는 힘의 작용점(C)으로부터 선체 길이의 2/3 정도 되는 선체 후방(또는 전방)에 위치하게 된다.

일반적으로 선체의 중심위치로부터 선회 중심점까지의 위치는 다음 식과 같이 산출할 수 있다.

$$GP = k^2 / GC \text{ ----- (식. 1)}$$

중심 G를 통한 수직축 회전관성모멘트의 선회 반경인 k는 일반적으로 0.35L 정도이므로, 예인선의 예인력 작용위치인 GC를 0.4L, 0.3L, 0.2L로 가정하면 GP의 값은 각각 0.31L, 0.41L, 0.61L이 된다. 결국 예인선 1척의 지원을 받는 선박의 회두점은 예인선의 예인력과는 거의 무관하며, 단

지 예인력이 작용하는 C점에 의해 좌우된다. 또한 전심위치 P점은 G점을 기준으로 예인력이 작용하는 C와 반대방향의 선수미선 상에 존재한다.



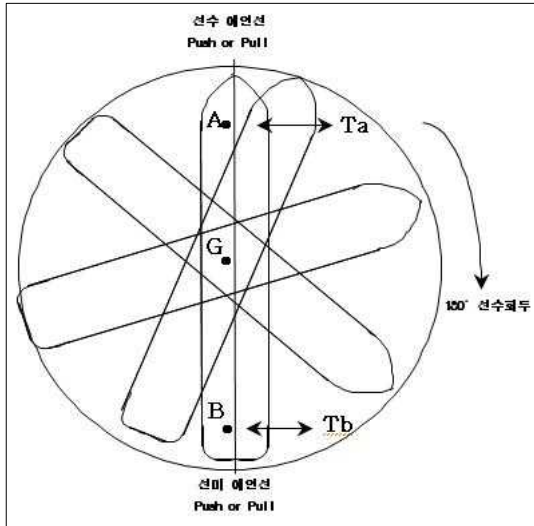
[그림 1] 중심위치와 전심과의 관계(예선 1척 사용 경우)

따라서, 예인선을 1척만 사용할 경우의 선회장은 선회점인 전심위치 P를 중심으로 한 반경 GP+0.5L 이상(0.81L, 0.91L, 1.11L)의 선회장이 요구된다. 그러므로 본선의 주기관을 사용하지 않고 외력의 작용을 무시할 경우, 1척의 예인선만으로 선회가 가능한 직경은 대략 2.0L 정도가 된다.

2. 예인선 2척을 사용할 경우

선체가 정선하고 있는 상태에서 선수 및 선미에서 2척의 예인선을 이용하여 선체를 선회시키면, 전심의 위치는 무게중심인 G점에 가까이 위치하게 된다. 따라서 본선의 주기관을 사용하지 않고 외력에 의한 선체가 압류되는 현상을 무시하면, [그림 2]와 같이 선박의 길이 0.5L 이상의 반경 정도가 선회권이 된다. 따라서 동일한 예인력의 예인선 2척이 선수 또는 선미에서 각각 반대방향으로 선박을 밀거나 끌(또는 선수미 Thruster 사용) 경우, 필요한 최소 선회권은 선체 길이 정도인 약 1.0L이 될 것으로 사료된다. 다만, 실무적으로는 외력에 따라 선회 중에 압류

현상이 발생하므로, 이에 대한 영향을 고려해야 한다.



[그림 2] 에인선 2척 사용 선회 반경

Ⅲ. 선박 선회장 크기 관련 각국의 설계기준 검토

선박 선회장의 크기에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 대상수역에서의 자연환경 조건이고, 그 다음으로는 대상선박의 크기, 조종성능 및 선회장치와 조종자의 조종능력이라고 말할 수 있다. 이에 따라서 선진 해운국들은 그 나라의 위도 및 자연환경 조건과 선박의 선회 조종성능에 따라서 그 크기를 다르게 규정하고 있다.

우리나라의 선박 선회장과 관련된 규정은 '항만 및 어항 설계지침'에서 일본과 거의 동일하게 규정하고 있고, 유럽에서는 일반적으로 PIANC규칙, 미국은 해군 및 공병대의 설계기준 등을 사용하고 있다. 이들 기준은 주로 조류의 세기에 따라서 각각 다르게 규정하고 있고, 또한 일정 크기 이상의 외력조건에서는 대상 항만 및 선박의 3차원 모델링을 구축하여 선박조종 시뮬레이터의 사용을 통하여 그 크기를 결정할 것을 권고하고 있다.

선진 해운국가들의 선회장 크기에 대한 규정의 내용을 비교하면 다음과 같다.

1. 한국

우리나라의 선박선회장 규정은 항만 및 어항 설계지침(2005년, 해양수산부), 제6편 수역시설 및 준설·매립, 제1장 수역시설에서 규정하고 있다. 이 항만 및 어항 설계지침(2005년, 해양수산부)의 내용을 요약 정리하면 <표 1>과 같으며, 일본의 2007년 이전 '항만 설계의 기술 기준 및 동 해설' 내용과 동일하다.

<표 1> 우리나라의 선회장 크기 설계기준

조 건		크기(L: LOA)
해설 (2)	① 자력에 의한 회전 의 경우	3L을 지름으로 하는 원
	② 끌배에 의하여 회전하는 경우 (충분한 스러스터 장착선 포함)	2L을 지름으로 하는 원
해설 (3)	소형선 등은 지형여건 등으로 어쩔 수 없는 경우에는 계류 앵커, 바람 또는 조류를 이용하여 다음의 값까지 내릴 수 있다.	
	① 자력에 의한 회전 의 경우	2L을 지름으로 하는 원
해설 (4)	② 끌배에 의하여 회전하는 경우	1.5L을 지름으로 하는 원
	지형상의 제약 등으로 표준값의 규모를 확보할 수 없는 경우나, 항로가 인접하여 있는 등 긴급시에 대응 가능한 수역이 확보될 수 있는 경우 등, 안전상 지장이 없다고 판단되면 선회장 규모 기준을 표준값보다 작게 할 수 있다.	

2. 일본

일본의 선박 선회장 관련 법령은 '항만의 설계 기술상의 기준 및 동 해설(2007년, 사단법인 일본 항만협회, 국토교통성 항만국 監修)'의 하권, 제4

편 시설편, 제3장 수역시설에서 선회장 규정을 두고 있으며, 박지(泊地)의 성능규정에서 <표 2>와 같이 규정하고 있다.

<표 2> 일본의 선회장 크기 설계기준

선수의 회전용으로 제공되는 박지	
(a) 선수의 회두용으로 제공되는 박지는 선회장을 의미하며, 해당 박지의 성능조사에 있어서 박지규모 설정은 대상선박의 회두형태, 회두성능, 계류시설 및 항로배치 등을 적절히 고려해야 한다. 또한 선회장의 규모를 필요로 하지 아니하는 경우의 회두형태라는 것은 예선, 충분한 추력을 갖는 스러스터, 앵커 등을 이용한 회두 등을 의미한다.	
영향 미치 않는 규모	1) 박지의 성능조사에 있어서 박지규모 설정은 안전한 회전에 지장을 초래하지 않는 규모로 다음의 값을 이용할 수 있다. 그리고 충분한 스러스터를 활용한 회두의 경우에 있어서는 예선을 활용한 회두의 경우에 준하여 적용한다.
	(b) 안전 전 한
	2) 소형 선박 등의 특수한 경우 - 자력에 의한 회두의 경우: 대상선박 전장의 2배를 직경으로 하는 원 - 예선을 활용한 회두의 경우: 대상선박 전장의 1.5배를 직경으로 하는 원
3) 기타 특수한 경우 - 당해 박지의 지형상의 제약 등으로 안전한 회두에 지장을 초래하지 않는 규모를 확보할 수 없는 상황에 있어서는 해당 박지에 인접한 항로 등을 박지로서 긴급시에 활용할 수 있는 가능한 수역이 확보된다면 대상선박의 제원, 운동성능 등이 명확하고, 안전이용에 지장이 없다고 판단할 수 있는 경우라면 앞에서 기술한 규모보다 작은 값을 이용할 수 있다. - 계류시설과 항로위치 관계에 따라서는 대상선박의 정박 또는 계류에 필요한 회두각도가 대략 90°를 넘지 않는 범위 내에서 선박의 안전한 회두가 가능하다고 판단되면, 박지의 형상을 당해 박지가 처해진 상황 및 대상선박의 조종 방법에 따라서 적절한 형태로 할 수 있다.	

3. 유럽

유럽의 선박 선회장과 관련된 규정으로는 국제적으로 가장 많이 이용하고 있는 PIANC 에서 다음과 같이 규정하고 있다.

<표 3> PIANC의 선회장 크기 설계기준

항 목	Diameter of Turning Basin
예선 도움	2.0L
예선 도움없음	4.0L

다만, 양호한 조건(good condition) 하에서의 최소한의 선회경은 예선의 도움이 있으면 1.5L, 예선의 도움이 없으면 3.0L로 줄일 수 있다. 여기서 L은 선박의 전장을 나타낸다.

4. 미해군의 설계기준

미해군의 선박 선회장 관련 규정은 'Naval Facilities Engineering Command: VAVFAC, DM-26.1'의 제5장(Chapter V-5-7, Other Project Features)에서 선회장 규정을 두고 있으며, 그 내용은 다음과 같이 규정하고 있다.

가. Chapter V-5-7(기타 설계 특성)

a. 선회장(Turning basins)

선회장은 일반적으로 선박이 긴 거리를 후진함이 없이 반대방향으로 선회를 허용하기 위하여 설치한다. 선회장은 편리하게(안전하게) 선회하기 위하여 필요한 특별히 넓은 폭을 확보하는 것이다. 선회장은 일반적으로 접근수로 내측의 상류 끝단(흐름을 거슬러 올라가는 끝단)에 위치한다.

긴 수로안에 있는 많은 부두설비의 편의를 위한 특별한 선회장은 각각 집단으로 구성되어 있는 부두들(group of docks)의 상류끝단에 위치할 수 있다. 정상적인 선박운용에 있어서 대형선들은 도선사와 예선의 도움으로 선회를 한다.

(1) 최소한의 선회장 크기는 1.2L의 직경을 갖는 원으로 설치하며, 여기서 L은 설계선박의 길이이다([그림 3]). 조류가 있을 때에는 선회의 어

려움이 뚜렷하게 증가한다. 만일 조류속력이 0.5 m/s(1.0노트)이면, 선회장은 그림에서 표시한 것과 같이 증가되어야 한다. 만일 조류속력이 0.8 m/s(1.5노트)를 초과하면, 원형형상은 더 이상 충분하지 못하다. 선회장은 조류의 흐름의 방향으로 그림에 표시한 것과 같이 연장되어야만 한다. 강조류가 있는 곳의 선회장 형태의 규모는 선박 시뮬레이터로서 결정되어야 한다(part V-5-10). 만일 선회운동이 큰 돛면적을 가진 범선과 풍속이 12.0 m/s(25노트) 이상의 조건에서는 선박시뮬레이터로서 설계하여야 한다.

(2) 소형선을 위한 선회수역은 후진이나 (예선) 도움없이 선회가 가능하도록 충분하여야 한다. 필요수역은 설계에서 사용하는 선형에 좌우되지만 그러나 설계수로의 폭은 일반적으로 선회가 편리(안전)하여야 한다.

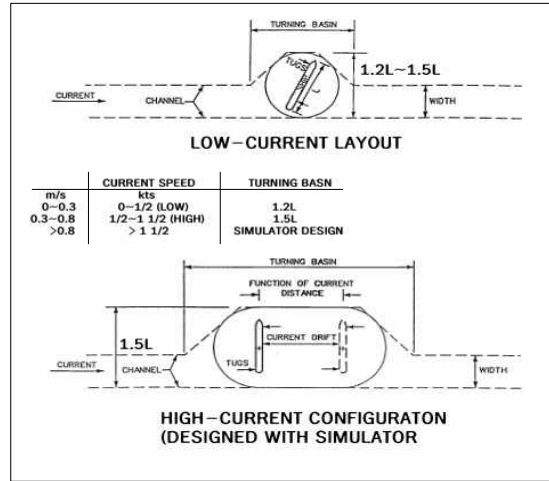
(3) 선회장의 설계수심은 통상적으로 인근수로의 수심과 일치한다. 그러한 선회장은 전형적으로 항해수로보다 더 넓고 더 낮은 조류가 흐르기 때문에 퇴적물에 접촉하기 쉽다. 또한 항해수로의 상방향 끝단에 위치하기 때문에 그 선회장은 강물로 인하여 생겨난 퇴적물의 영향을 받아서 종종 첫 번째의 준설구역이 된다. 잠재적인 여울목(퇴적물이 쌓이는 것) 문제는 선회장 위치의 주의깊은 선택과 퇴적물의 가능성을 감소시키는 형상과 물흐름의 조장에 의하여 감소시킬 수 있다.

이상의 미해군의 항만설계기준[EM 1110-2-1100 (Part V), 1 Aug 08 (Change 2)]의 내용을 요약 정리하면 다음과 같다.

나. 선회수역(Turning Basins)

- 최소 선회장(조류 0.5노트 이하, 도선사와 예선 도움) : 1.2L
- 최소 선회장(조류 0.5~1.0노트, 도선사와 예선 도움) : 1.5L
- 최소 선회장(조류 1.5노트 이상, 도선사와 예선 도움) : 시뮬레이터 이용으로 설계

- 최소 선회장(풍력 25노트 이상) : 시뮬레이터 이용으로 설계



[그림 3] 미해군의 조류력의 크기에 따른 선회수역의 설계기준

5. 미육군 공병대의 설계기준

미육군 공병대의 선박 선회장 관련 규정은 US Army Corps of Engineers(USACE)에서 선회장 규정을 두고 있으며, 그 내용을 요약하면 다음과 같이 규정하고 있다.

가. 위치(Location)

- 통상 설계수로의 상류끝단, 긴 수로의 경우 터미널측과 부두들의 상류부분, 접안시설을 갖춘 수로 끝에서 입구부분 사이에 위치하도록 함
- 설계선박이 예선의 사용 가능 및 선수미 스텔러스터를 사용하여 선회할 수 있는 충분한 수역을 가지도록 설계하여야 함
- 이 그림은 약조류와 강조류에 따른 권고하는 선회장의 형태와 크기를 나타냄

나. 크기(size)

- 최소 선회장(조류 0.5노트 이하) : 1.2L
- 최소 선회장(조류 1.5노트 이하) : 1.5L(ERDC/WES의 시뮬레이션 연구로 검증됨)
- 최소 선회장(조류 1.5노트 이상) : 조류방향으로

- 로 연장 필요(시뮬레이터 테스트로 설계함)
- 공선상태 유조선 및 높은 돛을 가진 범선 및 풍력 25노트 이상 : 선박 시뮬레이터 사용을 위해서 특수한 설계 연구가 필요함
 - 교통여건 감안시 선회장은 항로를 선회수역의 일부로 사용 가능함
 - 선회장의 형태는 일반적으로 사다리꼴(부등변사각형)임
 - 조류방향 또는 수로끝단으로 확장시 짧은 쪽은 1.2L 또는 1.5L(조류방향에 따름)
 - [그림 3]에서 사다리꼴(부등변사각형) 선회장 측부는 Channel의 끝단과 45도(점선으로 표시한 부분) 또는 그 보다 작은 각도로 하여야 하고, 선회장 형태의 변경은 지역적인 선박운용의 특성을 고려하여 변경이 가능함.

6. 미국 통합시설 기준

미국 통합시설 기준(UFC)은 군사항 및 연안항 시설물에 대하여 정하고 있으며, 그 내용은 다음과 같다.

가. 선회장(Turning Basins)

선회장의 확보는 부두 부근 수역의 어디든지 가능하지만, 가능하면 예선사용을 최소화 하도록 하여야 한다. 그러나 선회장 확보가 제한되는 수역에서는 선박선회에 예선을 충분히 이용하여야 하고, 그렇게 함으로써 충분한 크기의 선회장의 필요성을 축소시킬 수 있다.

나. 위치(Location)

다음의 위치 요구조건이 충족되어야 한다.

- 항해항로의 끝단(head of navigation)에 제1의 선회장이 위치
- 방파제 바로 안쪽에 제2의 선회장이 위치
- 특별히 해상교통량이 붐비는 예상수역은 선박폭주를 감소시키고 시간절약을 위하여 중간선회장(intermediate basins)을 확보
- 실행가능하거나, 항만의 수역을 사용하는 경우에는 그 항의 자연그대로 상태에서의 크기와

수심을 갖도록 함.

- 선회장은 입거선거 또는 긴 부두의 육지쪽 끝단이나 부두 내측이나 또는 복합적인 길이의 접안시설이 있는 부두를 위하여 입구에 선회장을 두는 것이 가끔 유리할 때가 있음

다. 크기 및 형상(Size and Form)

경험적으로는 선박길이의 2배의 직경에서 안전하게 선회할 수 있고, 또는 아무런 문제도 없는 선박조종이 쉬운 곳에서는 선박길이의 동일한 직경에서 가능하다. 선박을 위한 예선의 도움이 있으면 더 짧은 선회장이 필요하다. 또한 이 경우에는 조류와 바람의 영향이 위험(critical)하지 않고, 해군함정은 선박길이의 1.5배 직경에서 선회할 수 있다.

<표 4>는 현존하는 대표적인 항만의 선회장의 직경을 나타낸다.

<표 4> 미국의 대표적인 항만의 선회장 규격

Turning basin location	Depth (m)	Dimension (m)
port Arthur (East)	11	128×549
port Arthur (West)	111	183×519
Brazosport	9.8	213×213
norfolk harbor	10.7	183×183
Wilmington harbor	9.8	305×244
Miami harbor	9.1	411×427
Tampa harbor	9.1	213×266
Alameda harbor	12.8	1219×762
San Diego harbor	12.2	732×914

7. 캐나다 안전수로 기준

(항로의 설계, 유지, 안전한 사용에 관한 사용자의 지침서)

가. 상항의 안전수로 설계를 위한 지침

항로폭, 수심, 경사면, 만곡부, 선교 여유 등에 대하여만 규정하고 있고, 선회장에 대해서는 수량적으로 규정해 놓은 것은 없고, 다만 항행중의

Ship's Reach와 Advance에 대하여 기술하고 있다. 그리고 가이드라인의 각종 설계기준을 적용할 경우에는 양호한 판단(good judgement), 경험(experience), 상식적인 감각(common sense) 등이 필요하다고 기술하고 있다.

나. 항로폭

양쪽 측면이 경사진 수로에서 항로의 전체 폭은 설계흘수에서 양쪽 측면의 경사진 곳에서 경사진 곳까지 측정된 수평거리로 나타내며, 다음 식으로 표시한다.

$$\text{전체 폭} = \text{설계 폭} + \text{여유 폭}$$

설계 폭은 다음과 같은 필요 폭을 더하여 결정한다.

- (1) 선박의 조종성능
- (2) 선박이 교행항로에서 만나거나 통과시의 유체의 상호작용
- (3) 횡방향 바람과 조류의 반작용
- (4) 측벽의 반작용
- (5) 항로표지 시설(도선사 포함)

여유 폭은 측벽의 몰입과 침식, 퇴적물의 이동 및 침전, 측벽의 형상 등과 같은 요인에 대하여 추가적으로 증가시킨 폭을 말한다.

다. 조종 항로폭

선박이 항진할 때의 조종 항로폭은 선박의 Sway와 Yaw의 상호작용에 의하여 좌우로 진동운동을 하면서 필요로 하는 여유폭을 말한다. 이 진동운동은 선박이 진행하면서 침로안정성이나, 타작용에 대한 반응이나, 침로이탈에 대한 조타수의 대응이 안정되지 않을 경우에 부분적으로 선박에 작용하는 힘으로 나타난다. 조종 항로폭은 예상되는 선형에 가장 크고 자주 일어나는 값으로 계산하여야 하고, 그 결과값은 필요한 최대의 조종 항로폭으로 적용하여야 한다.

어떤 경우에는 통항구조에 따라서, 항로폭은 특정 선박의 크기에서 교행이 가능하지만, 더 큰 교통량의 경우에는 단독통항으로 조정할 수 있다. 선박의 항로 사용빈도는 필요로 하는 항로폭

의 크기를 결정하기 위하여 사용할 수 있다. 이것은 또한 선박통항의 서비스와 통항계획의 적절한 운영을 통하여 최적화할 수 있다.

선박 조종폭의 설계는 대상선박의 조종특성의 요소에 의하여 결정되고, <표 5>는 선박의 조종성능의 요소에 따라서 대상선박이 입항할 때 필요로 하는 조종 항로폭을 나타낸다. 여기서 조종 항로폭의 결정을 위하여 조종성능지수(manoeuvrability coefficient)에 대상선박의 선평(B)를 곱해서 나타내었다.

<표 5> 캐나다의 안전수로 기준

Manoeuver ability Coefficients for Various Vessel Types			
Vessel	Manoeuver ability	Manoeuver ability Coefficient	Manoeuvring Lane Width
Naval fighting vessels, Victory class freighters	Excellent	1.3	1.3 B
Tankers, new ore ships, Liberty class freighters	Good	1.5	1.5 B
Old ore ships, damaged vessels	Poor	1.8	1.8 B

IV. 선회장 산정을 위한 선박 선회시물레이션

1. 울산대교의 적정 이격거리 산정을 위한 선박 선회시물레이션

가. 대상 선박을 이용한 선회시물레이션

40,000 DWT급 선박(L; 200m)의 선회장을 검토하기 위해 울산대교 인근 해역인 8부두와 9부두 전면해역에서 풍속을 30kts로 고정된 상태에서 예인선 2척에 의해 선박을 180° 선회시킬 경우에 대한 선회권 시물레이션을 조류가 140° 방향으로 1.0kts로 작용하는 상황 하에서 풍향이 East와

West인 경우에 대하여 각각 수행하였다.

이 시뮬레이션 시험 결과에 대한 선회장의 크기를 분석하면 <표 6>과 같다.

<표 6> 40,000 DWT급 선박의 시뮬레이션 결과에 따른 선회권 크기

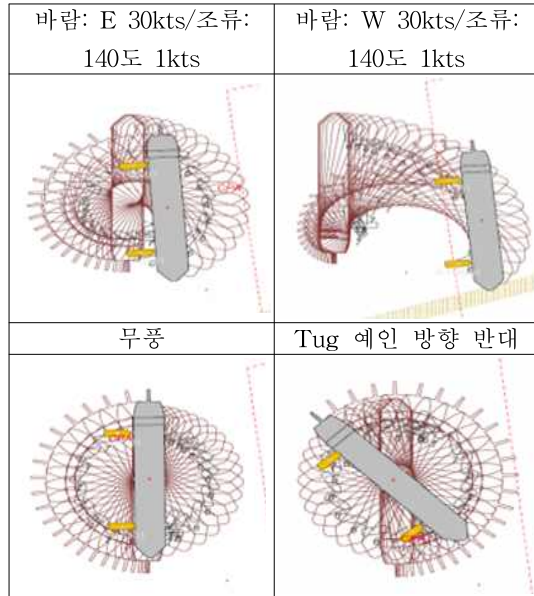
분류	환경		적정 선회권 (m)
	바람	조류	
예선 시계 방향	E-30kts	140° 1.0kts	226
예선 반시계 방향	W-30kts	140° 1.0kts	236
무풍	-	-	205
예선 반시계 방향	-	-	200
최대 선회권(m)	236(1.18L)		

나. 선회장 크기 산정을 위한 선박조종 시뮬레이션

울산대교 교각에서 부두까지의 적정 이격거리는 선박이 교각과 부두사이에서 접이안을 위해 선체를 180° 선회 가능한 해역에 대한 문제에 해당된다. 우리나라 항만 및 설계 기준에서 제안하고 있는 기준은 선박 길이에 2.0L을 요구하고 있지만, 8부두와 9부두 전면에 가항 수역이 존재하고 항로가 인접하므로 “지형상의 제약 등으로 표준값의 규모를 확보할 수 없는 상황”을 적용하여 실질적인 선회장에 대한 이론 검토 및 40,000 DWT급 선박에 대한 선회권 시뮬레이션을 수행하였다.

선회장에 대한 이론 검토 결과 40,000 DWT급 선박이 2척의 예인선을 사용하여 선회할 경우에는 외력을 무시하면 최소 1.0L 정도의 선회권이 요구되었다. 다음으로 실제 외력 등을 감안하여 다양한 선회권 시뮬레이션을 수행한 결과 실질적인 선회장은 236m(1.18L)로 분석되었다. 이는 우리나라 수역 시설의 지침에서 제안하고 있는 표준값인 2.0L 보다는 작으나 선회장 주변에 인접한 항로가 마련되어 있고 긴급 시에 활용 가능한

충분한 가항 수역이 8부두와 9부두 전면에 확보되어 있어 236m의 선회장으로도 안전상 지장이 없다고 판단된다.



[그림 4] 예인선 2척 사용에 따른 풍속/조류 크기별 선회시뮬레이션

따라서 울산대교의 교각과의 적정 이격거리는 8부두와 9부두 이용 최대 선형인 40,000 DWT급 선박의 안전한 선회가 가능한 236m 이상(1.18L)이 확보되어야 할 것으로 판단된다.

2. 제주 민관복합미항 선회장 검증을 위한 선박 선회시뮬레이션

제주 민관복합미항(강정항 해군기지)의 선회장 규모 문제는 선박이 부두에 안전하게 접이안하기 위해 선체를 180° 선회하는데 사용되는 가항 수역의 범위를 의미한다. 일반적으로 선회장의 크기는 선박의 조종성능, 계류시설, 항로의 배치, 기상 및 해상 조건 등을 충분히 고려해서 결정되어야 한다. 선회장 선박조종 시뮬레이션은 국내외 항로 지침에서 제안하고 있는 선회권의 크기에 대한 분석과 함께 실질적인 선회권에 대한 이

론적 검토를 기초로 특정 외력 하에서 선박을 선 회시키는데 필요한 실제 수역의 크기(선회권)을 선박조종시물레이션을 수행하여 도출한다.

강정항 해군기지의 경우, 방파제 진입 항로부 근에 이용 가능한 가항 수역이 확보되어 있다는 점을 고려하여 볼 때, 단순히 선회장에 대한 우리나라의 항만 설계지침만을 적용하기 보다는 실질적인 선회장을 분석할 필요가 있다.

따라서 선회장 설계 표준값보다 작게 설정할 경우, 어느 정도가 적정 거리인지 분석하기 위하여 실질적인 선회권에 대한 이론 검토와 선박조종 시물레이션을 수행하였다.

대상선박은 15만 총톤급 Cruise로서 현존하는 Queen Mary 2호로 결정되었다. 이 Cruise의 주요제원은 <표 7>과 같다.

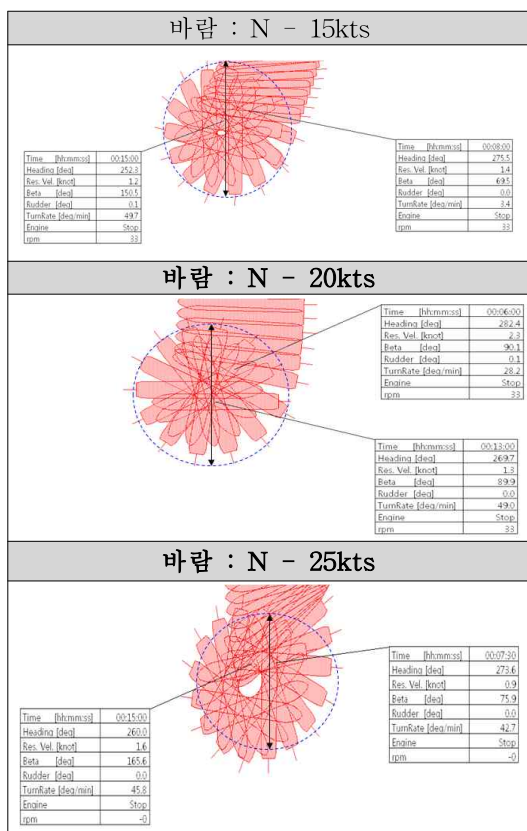
<표 7> 대상선박(Q/M 2)의 주요 제원

대상선박	길이(m)	폭(m)	흘수(m)	풍압면적(m ²)
15만 GT급 Cruise	345	41	10	횡:13,915중: 2,234
선수 Thruster	3 × 3,200 kW			
선미 Thruster	2 × 21,500 kW (2 Fixed Pod & 2 Az.pod)			

15만 GT급 크루선 선박의 선수미 Thruster를 이용하여 특정 외력(풍속: 15-30kts, 조류: 0.7kts) 하에서 선체를 360° 선회하는 시물레이션 결과를 기초로 선회장의 크기를 분석하면 다음과 같다.

<표 8> 강정항의 외력에 따른 선회장 크기

환경조건 바람/조류	적정 선회권 (m)
North 15/0.7kts	408m(1.18L)
North 20/0.7kts	415m(1.20L)
North 25/0.7kts	440m(1.27L)
North 30/0.7kts	풍상측으로 선회 불가 (선수미 Thruster 용량이 풍압력보다 적음)
최대 선회권 풍속 25kts 1.27L	



[그림 5] 강정항의 크루즈 선회시물레이션

3. 부산 신선대부두 1만 TEU급 컨테이너선 선회장 설정 선회시물레이션

가. 선회장 크기 검증을 위한 선박 선회시물레이션

신선대 부두 전면수역에서 표와 같은 대상선박 10,000 TEU급 컨테이너선이 안전하게 접이안할 수 있는 선회장 수역 확보를 위하여 입출항 시물레이션을 수행하였다.

대상선박의 제원은 <표 9>와 같다.

<표 9> 10,000 TEU급 컨테이너선 제원

선종	전장(m)	선폭(m)	흘수(m)
10,000 TEU급 컨테이너선	363	45.6	14

나. 10,000 TEU급 컨테이너선의 시뮬레이션의 환경 조건

10,000 TEU급 컨테이너선의 안전한 부두 입출항을 위하여 해상교통안전진단에서 규정하고 있는 대상수역에서의 아래와 같은 최악의 기상-해상조건에서 접이안 시뮬레이션을 수행하였다.

이 시뮬레이션을 통한 180도 선회에 필요한 항로방향 및 부두 정횡방향의 점유수역은 [그림 6]과 같으며, 선박길이 대비 평균 선회장은 <표 10>과 같다.

(1) 입항 시뮬레이션 1

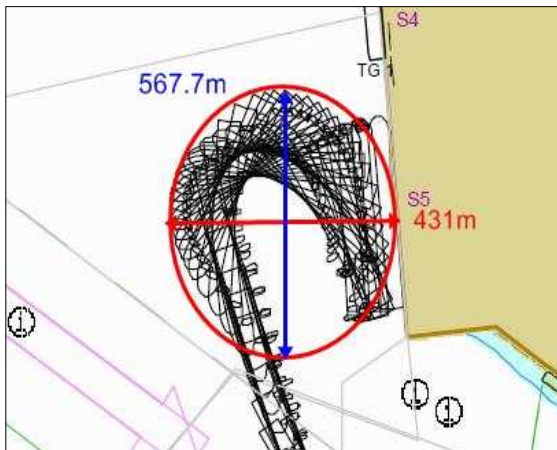
풍향: 045°(NE) / 27kts, 조류: 225°/1.9kts (방파제 외곽), 305°/0.3kts(부두 부근), 파고: 3m

(2) 입항 시뮬레이션 2

풍향: 270°(W) /27kts, 조류: 225°/1.9kts(방파제 외곽), 305°/0.3kts(부두 부근), 파고: 3m

(3) 출항 시뮬레이션

풍향: 270°(W) /27kts, 조류: 045°/1.6kts(방파제 외곽), 125°/0.3kts(부두 부근), 파고: 3m



[그림 6] 신선대부두 접근 항로길이의 점유수역

실제 외력 등을 감안하여 다양한 접이안 시뮬레이션을 수행한 결과, 평균 선회장은 항로길이 방향으로 567.7m(1.564L), 부두 횡방향으로는 431m(1.187L)로 분석되었다.

이는 우리나라 수역 시설의 지침에서 제안하고

있는 표준값인 2.0L 보다는 작으나 선회장 주변에 인접한 항로가 마련되어 있고 긴급 시에 활용 가능한 충분한 가항 수역이 전면에 확보되어 있어서 약 1.2L의 선회장으로도 안전상 지장이 없는 것으로 판단된다.

<표 10> 10,000 TEU급 컨테이너선의 선회장

항목	1회	2회	3회	평균
길이방향	576m	580m	547m	567.7m (1.564L)
정횡방향	414m	439m	440m	431m (1.187L)

V. 결론

이 연구에서는 우리나라의 항만 설계기준에서 규정하고 있는 항만 선회수역에서의 선회장 크기의 적정성에 대하여 이론적 검토와 선박조종시뮬레이터를 이용한 실측을 통하여 검토하였다. 설계기준에서의 선회장은 그 항만을 입출항하는 최대크기의 선박을 기준으로 선박 길이의 2배를 요구하고 있다. 그러나 항구의 환경이 제각각 다르므로 실제적으로는 일률적으로 결정하는 것은 매우 부적절한 것으로 판단된다. 따라서 실제로 당해 항구의 적절한 선회장의 크기는 미국의 여러 규정과 같이 그 항만의 여러 환경요소를 고려한 시뮬레이션 결과가 매우 합리적이라 생각한다.

이를 위하여, 우리나라의 부산항, 울산항 및 제주 강정항에 대한 선회 시뮬레이션을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 선회장에 대한 이론 검토 결과, 외력 조건을 무시할 경우, 예선 1척(선수 또는 선미 Thruster 이용시)이면 최소 1.11L이 필요하고 선수미 예선 2척(선수 또는 선미 Thruster 각각 사용시)이면 실질적인 선회장은 최소 1.0L에서 선회가 가능한 것으로 분석되었다.

(2) 선박조종 시뮬레이터를 활용한 선박 선회 시뮬레이션 결과, 바람조건에 따라 풍속별(15kts, 20kts, 25kts) 선회장 규모는 각각 1.18L, 1.20L,

1.27L로 분석되었다.

(3) 제주 강정항의 선회장의 경우는 항만설계 지침에서 명시하고 있는 예선을 이용한 선회장의 표준값인 2.0L을 만족하지 못하지만, 방파제 진입 항로 주변에 가항구역이 마련되어 있어서 긴급시에 활용이 가능하고, 선회장 관련 이론 검토 및 선회 시뮬레이션 결과 풍속 25kts 이하에서는 최대 1.27L 수준에서 선회가 가능한 것으로 판단된다.

(4) 제주 강정항의 바람의 크기별 선박조종 시뮬레이션 결과를 종합하면, 15만 GT급 크루즈선(Q/M 2)의 선수 스티스터 3기, 선미 스티스터 4기를 이용하여 특정 외력 하에서 선체를 360°선회하는 선박조종 시뮬레이션을 수행한 결과, 다음과 같은 선회권을 얻을 수 있었다.

- North 풍속 15kts 및 조류 0.7kts에서 적정 선회권은 약 1.18L

- North 풍속 20kts 및 조류 0.7kts에서 적정 선회권은 약 1.20L

- North 풍속 25kts 및 조류 0.7kts에서 적정 선회권은 약 1.27L

- North 풍속 30kts 및 조류 0.7kts에서 선수미 Thruster 용량이 풍압력보다 적어서 풍상측으로 선회가 불가능하였음.

(5) 울산대교의 교각과의 적정 이격거리는 선박조종시뮬레이션 수행 결과, 이곳을 통항하는 최대 선형인 40,000 DWT급 선박의 안전한 선회가 가능한 1.18L 이상이 확보되어야 할 것으로 판단되었다.

(6) 부산항 신선대부두에서 10,000 DWT급 컨테이너선의 안전한 접·이안을 위한 최악의 환경 조건(풍속 27kts, 조류 1.9kts)에서 수행한 선박조종시뮬레이션의 결과, 평균 선회장은 항로 길이 방향으로 1.564L, 부두 횡방향으로는 1.187L이 필요한 것으로 분석되었다.

최근 들어서 선박이 대형화되면서 선회장을 포함한 기존의 항만시설들이 항만설계기준을 충족하지 못하는 문제가 대두되고 있다. 이러한 항만

의 지형적, 물리적인 한계에 대하여 선진 해운국의 설계기준과 같이 선박 자체의 조종성능 및 예선을 포함한 보조장비의 성능을 대폭적으로 향상시켜서 항만시설의 설계기준을 상대적으로 축소시키는 방안을 적극 검토할 필요가 있다.

참고 문헌

- 공길영 · 김철승(2002). 선회중 전복한 저건현 내항 탱커의 복원성에 관한 연구, 한국항해항만학회 26(1), 1~7.
- 김민석(2009). 신침로거리와 전타시점에 관한 연구, 수산해양교육연구 21(4), 586~591.
- 김민석(2009). 실습선 가야호 충돌회피동작에 관한 연구, 수산해양교육연구 21(1), 52~58.
- 김민석 · 신형일 · 김종화 · 강일권(2009). 실습선 가야호의 조종성능에 관한 연구, 수산해양교육연구 21(1), 59~67.
- 김세원 · 박영수 · 김태민(2011). 경인항 인천컨테이너터미널의 최적 부두길이 산정에 관한 연구, 수산해양교육연구 23(1), 210~220.
- 윤점동(2002). 선박조종의 이론과 실무, 세종출판사, 52~79
- 이동섭 · 정태권(2007). 선박조종 시뮬레이션의 근접도 평가에서 연속분석과 목표선 분석에 관한 비교 연구, 한국항해항만학회 31(1), 1~6.
- 이윤석 · 조익순 · 조주현 · 송재욱(2008). 국내 항만항단 해상교량 관련 선박조종 시뮬레이션 분석, 한국항해항만학회, 32(5), 321~326.
- 일본항만협회(2007). 항만시설의 기술상의 기준 및 해설.
- 정창현 · 박영수 · 김종성 · 김세원(2012). 어선의 전복사고 원인별 분석에 관한 연구, 수산해양교육연구 24(1), 1~8.
- 정호순 · 서병귀 · 김성기(2007). 감천항내 연근해 어선 출·입항에 따른 안전성 연구, 수산해양교육연구, 29(3), 441~456.
- (사)한국항만협회(2005). 항만 및 어항 시설물 설계기준(하권). 해양수산부(국토해양부), 681~700
- PIANC(Permanent International Association of Navigation Congresses), Planning and Design Process port Engineering; Planning, construction, maintenance and security.
- USACE(2006), US Army Corps of Engineers, Hydraulic Design of Deep-Draft Navigation

Projects Engineering and Design(EM
1110-2-1613, 31 May 2006).
UFC 4-150-06, 12 December 2001, With Change
1, 19 October 2010.

-
- 논문접수일 : 2012년 10월 10일
 - 심사완료일 : 1차 - 2012년 10월 25일
2차 - 2012년 11월 07일
 - 게재확정일 : 2012년 11월 09일