

# 배속 시뮬레이션 기반의 선종별 최소 항로 폭에 관한 연구

김현석\* · 이윤석\*\*†

\* (주)세이프텍리서치 선임연구원, \*\* 한국해양대학교 선박운항과 교수

## A Study on Decision of Minimum Required Channel Width Considering Ship Types by Fast Time Simulation

Hyun-suk Kim\* · Yun-sok Lee\*\*†

\* Senior Researcher, SafeTechResearch, Daejeon, Republic of Korea

\*\* Professor, Department of Ship Operation, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Republic of Korea

**요 약 :** 항만 진입항로 설계 시에는 선박 입출항에 따른 통항 안전성이 우선적으로 확보될 수 있도록 적절한 항로 폭이 고려되어야 한다. 통항 안전성에 요구되는 최소 항로 폭 산출은 선종별 선박의 크기와 운항 속도 등에 따라 상이하게 나타나는 조종성능을 포함한 선박 요소, 바람, 조류 및 파랑에 따른 환경적 요소, 그리고 운항자 개인별 경험과 판단력 등에 따른 인적 요소 및 해상교통량, 항해지원 시설 등의 기타 요소를 종합적으로 검토하여 결정해야 한다. 그러나, 우리나라 항로 폭 설계 기준이 국제수상교통시설협회나 미국, 일본 등의 기준과 비교할 때 단순히 선박 길이 요소만으로 산정하고 있어, 이에 대한 개선이 요구된다. 본 연구에서는 배속 선박조종시뮬레이션을 활용하여 다양한 형태의 선박 및 환경적 요소를 고려하여, 직선항로에서 일방통항에 요구되는 적정 항로 폭에 대한 평가를 실시하였다. 대표적인 연구 결과로 일반적인 운항 선속 10노트 기준 풍속 25노트의 바람과 유속 2노트의 조류, 파고 약 3m의 파랑이 작용할 경우, 15만 GT급 크루즈선은 선박 길이(L) 대비 0.67~0.91, 1만 2천 TEU급 컨테이너선은 0.79~1.17, 30만 DWT급 원유운반선은 1.02~1.59에 해당되는 최소 항로 폭이 필요한 것으로 분석되었다. 해당 결과는 우리나라 항로 설계기준의 개선 필요성 및 선박 대형화에 따른 통항 안전성 확보에 요구되는 최소 항로 폭 결정 등에 직접적으로 활용이 가능할 것이라 판단된다.

**핵심용어 :** 최소 항로 폭, 배속 시뮬레이터, 항로 설계기준, 직선항로, 단독통항

**Abstract :** Waterway design should prioritize appropriate channel width to ensure preferential safe passage for the arrival and departure of vessels. To calculate the minimum channel width required for safe passage a comprehensive review of several factors is required. These factors include vessel maneuverability, determined by vessel size, type and speed; environmental factors such as wind, tide, and wave action; human factors, including personal experience and operator judgment as well as marine traffic and navigation support facilities for decision making. However, the Korean channel width design standard is based only on vessel length, and requires improvement when compared with the standards of PLANC, USA, and Japan. This study aims to estimate the appropriate channel width required for one-way traffic in a straight channel, considering various vessel and environmental factors, using Fast Time Simulation (FTS). When the wind speed is 25 knots, with a current speed of 2 knots and a normal vessel speed of 10 knots FTS shows that a 150K GT Cruise Ship requires a minimum channel width of 0.67-0.91 the vessel length (L), whereas a 120K TEU Container Ship and a 300K DWT VLCC require 0.79-1.17 and 1.02-1.59, respectively. Such results can be used to calculate the minimum channel width required for safe passage as an improved Korean design standard.

**Key Words :** Minimum Required Channel Width, Fast Time Simulation, Channel Design Criteria, Straight Channel, One-way

\* First Author : david0221@strkorea.co.kr, 042-867-1862

† Corresponding Author : lys@kmou.ac.kr, 051-410-5098

※ 이 논문은 “배속 시뮬레이션을 활용한 적정 항로 폭 산정에 관한 연구”라는 제목으로 “2019년 (사)해양환경안전학회 춘계공동학술대회(목포해양대학교 제2공학관, 2019. 4.25.-26, p. 147)”에 발표되었음.

## 1. 서론

오늘날의 해상교통 환경은 해상 물동량 증가와 해운 원가 절감 등의 원인으로 선박의 대형화 및 고속화는 더욱 급속히 진행되고 있다. 이러한 해상교통 환경의 변화 추세에 따라 항만에서는 발생할 수 있는 모든 영향을 다양한 관점에서 고려하고 안전성 확보를 위한 대응 방안에 대하여 검토가 필요하다. 특히, 항만의 진출입을 위한 입구부, 즉 항만 진입항로의 설계는 안전하고 효율적인 항만 건설을 위한 필수 요소이며(Cho and Cho, 2015), 이러한 관점에서, 출입항 선박의 안전 조선은 선박 요인 및 인적 요인, 환경 요인 등의 요소로 나누어 볼 수 있다(Kim, 1995).

다만, 해상교통 안전관리 측면에서 인적 요인은 선원의 훈련, 자격증명 및 당직근무 기준에 관한 협약(STCW) 등에 기초하여 선박 운항자의 지식 및 기술이 향상되고 있으므로(Kim and Cho, 2020), 선박 및 환경 요인에 대한 개선방안을 검토하는 것이 바람직하다.

이와 관련하여, 국내 항만 설계기준의 항로 폭 설계 기준은 해당 수역을 통항하는 최대 선박의 운동 성능을 중심으로 설계되고 있으나(Seong, 2014), 국외 항만 설계기준과 비교하여 볼 때, 항로 폭 산정에 고려되어야 할 선박의 종류 및 환경적 요소 등에 대한 세부적인 검토 기준은 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 우리나라 항로 설계기준의 개선 필요성을 제시하고 선종별로 통항 안전성 확보에 요구되는 최소 항로 폭을 검토하기 위하여, 국내·외 항로설계기준 현황을 조사하고, 국내 항만 주요 진입항로에 대한 적정성을 검토하였다. 아울러, 배속 시뮬레이터를 활용하여 다양한 종류의 선박 및 환경적 요소를 고려함으로써, 직선항로에서 일방통항에 요구되는 최소 항로 폭에 대한 평가를 실시하였다.

## 2. 항로 설계기준 현황

### 2.1 국내 항로 설계기준

국내 항만 및 어항설계기준(2017)에서는 일반항로에서의 항로 폭 설계 시, 선박의 길이(Loa)를 기준으로 선박 운항 중 교행(交行) 가능성 존재 유무에 따라 구분하고 있다.

선박이 운항 중 교행 가능성이 없는 항로에서는 0.5L 이상의 적절한 폭으로 적용하도록 하며, 항로 폭이 1.0L이 되지 않을 경우, 항행지원 시설의 정비 등에 대한 안전상의 충분한 대비를 하도록 권고하고 있다.

선박이 운항 중 교행 가능성이 있는 항로에서는 1.0L 이상의 적절한 폭으로 적용하도록 한다. 단, 항로의 길이가 비교적 긴 경우 또는 대상선박들이 항로 항행 중 빈번하게 교

행 할 경우에는 1.5L 이상을 적용하고, 항로의 길이가 비교적 길며 대상선박들의 교행이 빈번한 경우에는 2.0L 이상으로 적용한다(MOF, 2017).

### 2.2 해외 항로 설계기준

#### 2.2.1 PIANC Guidelines(2014)

국제수상교통시설협회(Permanent International Association of Navigation Congress)에서는 직선부가 있는 접근 항로 폭 산정 시, 바람 및 조류 등의 자연 환경적인 영향뿐만 아니라 측벽 형태 및 선박간의 상호 작용에 따른 유체역학적 영향을 고려하고 있다. 선박의 폭(Beam)을 기준으로 일방통항을 위한 항로 폭은 다음 식(1)과 같이 나타내며, 교행통항을 위한 항로 폭은 다음 식(2)와 같이 나타내고 있다(PIANC, 2014).

$$W_{One-way} = W_{BM} + \sum W_i + W_{BR} + W_{BG} \quad (1)$$

$$W_{Two-way} = 2W_{BM} + 2\sum W_i + W_{BR} + W_{BG} + \sum W_p \quad (2)$$

여기서,  $W_{BM}$ : 선폭(Beam)의 배수로써 선박 조종성능 특성에 따른 기본 항로 폭

$\sum W_i$ : 환경적 및 기타 요인에 따른 항로 폭 합계

$W_{BR}, W_{BG}$ : 항로 측벽에 대한 여유 항로 폭

$\sum W_p$ : 교행통항 항로에서 선박간 이격거리 합계

#### 2.2.2 JAPAN Guidelines(2009)

일본 항만시설 기술기준(Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan)에서는 항로 폭 산정 시 대상 선박 및 항행 환경을 특정할 수 있는 지의 여부에 따라 경험적 접근방법(Empirical Approach)과 성능 기반의 접근방법(Performance-based Approach)으로 구분하고 있다.

대상 선박 및 항행 환경을 특정할 수 없는 경우 경험적 접근방법을 활용하며, 국내 기준과 동일하게 선박 길이를 기준으로 교행 가능성이 없을 시, 0.5L 이상, 교행 가능성이 있을 시, 1.0L 이상의 적절한 폭으로 적용하도록 한다.

대상 선박 및 항행 환경을 특정할 수 있는 경우 성능 기반의 접근방법을 활용하며, 대상 선박별로 기본 항로 폭을 다음 식(3)과 같이 산정하고 있다(MLIT, 2009).

$$W = W_{BM} + W_{IF} \quad (3)$$

여기서,  $W_{BM}$ : Wind Force, Current Force, Yawing motion, Drift Detection이 반영된 기본 항로 폭

$W_{IF}$ : Bank Effect, Passing, Overtaking 등 상호작용에 따른 추가 항로 폭

### 2.2.3 USACE Guidelines(2006)

USACE(U.S. Army Corps of Engineers)에서는 항로 폭 설계 시, 항로 형태 및 조류 세기, 항행지원시설 등을 고려하고 있다. Shallow water 구간에서의 필요 항로 폭은 선박의 폭(Beam)을 기준으로 일방통항은 다음 식(4)와 같이 나타내며, 교행통항은 다음 식(5)와 같이 나타내고 있다(USACE, 2006).

$$W_{One-way} = (3.0 \sim 5.5)B \quad (4)$$

$$W_{Two-way} = (4.5 \sim 6.5) \left( \frac{B_d + B_t}{2} \right) \quad (5)$$

여기서,  $B_d$  : 설계 선박(Design Ship)의 폭  
 $B_t$  : 통항 선박(Traffic Ship)의 폭

## 3. 국내 항만 진입항로 분석

### 3.1 대상 항로

국내 항만 주요 진입항로의 현황을 분석하고자, 총 7개 무역항(부산항, 광양항, 울산항, 인천항, 평택·당진항, 대산항, 제주항)의 15개 항로를 대상 항로로 설정하였다. 또한, 항로 폭(Channel Width, 이하  $CW$ )과 항로 길이(Channel Length, 이하  $CL$ )의 평균( $CW_{avg}$ , 및  $CL_{avg}$ )을 기준으로 총 4개의 Group으로 구분하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Group of Channel by  $CW$  &  $CL$

Group	Port	Channel	$CW$ (m)	$CL$ (km)	Remark
A	Incheon	No.1	410	23	$CW < CW_{avg}$ $CL > CL_{avg}$
		No.3	830	13	
B	Ulsan	No.1	480	12	$CW > CW_{avg}$ $CL > CL_{avg}$
	Pyeongtaek	Passage	740	15	
	Daesan	No.1	870	14	
	Busan	No.1	340	5	
C	Kwangyang	No.2	400	2	$CW < CW_{avg}$ $CL < CL_{avg}$
		No.3	380	3	
		No.4	420	3	
		No.2	190	1	
	Ulsan	No.3	300	3	
		No.4	300	5	
		Daesan	No.2	290	
Jeju	Passage	90	1		
D	Busan	No.5	770	3	$CW > CW_{avg}$ $CL < CL_{avg}$

국내 항만 주요 진입항로의  $CW$  및  $CL$ 을 고려하는 경우, Fig. 1과 같이, 평균 항로 폭( $CW_{avg}$ )은 약 454 m, 평균 항로 길이( $CL_{avg}$ )는 약 7 km로 분석되었다.

전반적으로 국내 항만 주요 진입항로는 Group C에 속하는 것으로 나타나, 항로 폭이 평균보다 비교적 좁고( $CW < CW_{avg}$ ), 항로 길이가 평균보다 비교적 짧은( $CL < CL_{avg}$ ) 형태로 조사되었다.

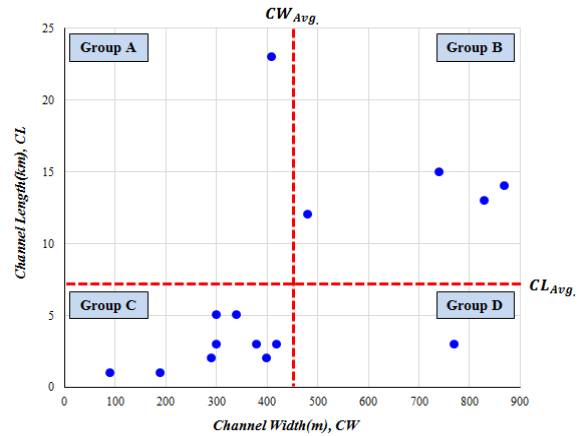


Fig. 1. Group of Channel by  $CW$  &  $CL$

### 3.2 국내 항로 설계기준을 이용한 항로 폭 적정성 평가

국내 항로 설계기준에 따른 항로 폭 적정성 평가를 위해 연구를 목적으로 수집한 해상교통현황 자료 및 선박 AIS Data(2014년~2018년)를 활용하였으며, 국내 항만별 최대 통항 선박(Max Size Traffic Ship, 이하  $TS_{max}$ )의 일반 제원은 Table 2와 같다.

각 항만별 최대 통항 선박의 선종은 Container Ship 및 Cruise Ship, LNG vessel, VLCC, Ferry 등으로 조사되었으며, 이는 항만별 주요 취급화물의 종류와 항만시설의 목적이 모두 다르기 때문인 것으로 판단된다.

Table 2. Dimension of  $TS_{max}$  at Domestic ports

Port	$TS_{max}$		
	Type	Loa (m)	Beam (m)
Busan	Container Ship	400	59
Kwangyang	Container Ship	339	60
Ulsan	VLCC	333	60
Incheon	Cruise Ship	348	47
Pyeongtaek	LNG vessel	345	55
Daesan	VLCC	333	60
Jeju	Ferry	192	27

각 Group별 항로를 통항한 최대 크기급 선박( $TS_{max}$ )을 대상으로 국내 항만 설계기준(Korea Design Standard, 이하 KDS)의 일방통항(One-way, 0.5 L) 및 교행통항(Two-way, 1.0 L)에 따른 항로 폭 기준을 적용하고 각각의 적정성을 검토한 결과는 Table 3 및 Fig. 2와 같다.

국내 항만에 위치한 주요 항로는 대부분 일방통항 최소 기준인 0.5L을 만족하는 것으로 나타났으나, 제주항(진입항로)은  $TS_{max}$  대비  $CW$ 가 0.47L로 분석되어 일방통항 기준을 만족하지 못하는 것으로 검토되었다. 또한, 교행통항 최소 기준인 1.0L을 적용하는 경우, 부산항(제1항로)은 0.93L, 울산항(제2항로)은 0.83L로 분석되어, 국내 항만 설계기준상의 교행통항 기준을 만족하지 못하는 것으로 검토되었다.

Table 3. Result of  $CW$  appropriateness evaluation by KDS

Group	Port	Channel	$TS_{max}$ (L, m)	$CW/TS_{max}$	KDS	
					One way	Two way
A	Incheon	No.1	348	1.18L	O	O
	Incheon	No.3	345	2.41L	O	O
B	Ulsan	No.1	333	1.44L	O	O
	Pyeongtaek	Passage	345	2.14L	O	O
	Daesan	No.1	333	2.61L	O	O
C	Busan	No.1	366	0.93L	O	X
		No.2	183	2.19L	O	O
	Kwangyang	No.3	339	1.12L	O	O
		No.4	339	1.24L	O	O
D	Ulsan	No.2	229	0.83L	O	X
		No.3	260	1.15L	O	O
	Daesan	No.4	245	1.22L	O	O
		No.2	123	2.36L	O	O
Jeju	Passage	192	0.47L	X	X	
D	Busan	No.5	400	1.93L	O	O

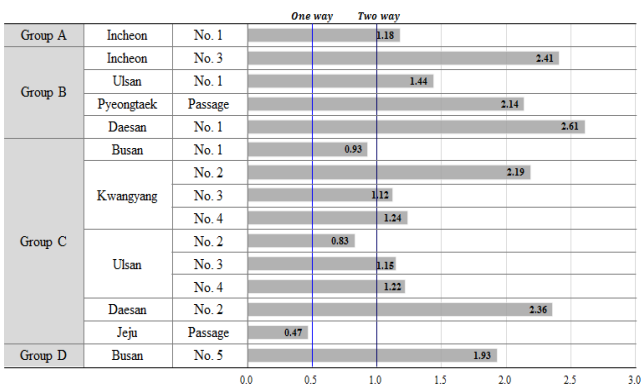


Fig. 2. Result of  $CW$  appropriateness evaluation by KDS.

#### 4. 배속 시뮬레이션 기반 최소 항로 폭 평가

##### 4.1 시뮬레이션 개요

선박조종시뮬레이션은 실제 선박 운항자가 실험에 참여하는 실시간 시뮬레이션(Real Time Simulation, 이하 RTS)과 인간의 판단 기능을 모델링하여 자동운항 알고리즘에 의해 수행되는 배속 시뮬레이션(Fast Time Simulation, 이하 FTS)으로 구분되어 진다. RTS의 경우, 운항자의 경험과 판단력을 대상으로 다양한 환경조건의 조합에 대한 주관적 및 정성적 평가가 가능하며, FTS의 경우, 별도로 구성된 판단 로직에 의하여 동일한 실험조건에 대해 객관적 및 정량적 평가가 가능하다(Gong et al., 2008).

일반적으로 FTS의 자동운항 알고리즘은 선박 운항자의 역량에는 미치지 못하지만, 선박 요소( $V_i$ ) 및 환경적 요소( $E_i$ )의 변화로 인해 항로 폭 산정에 미치는 영향을 객관적이며 정량적으로 평가하고, 항로의 적정성을 검토하는 과정에서 안전마진을 확보하는 것이 주 목적이기 때문에 배속 시뮬레이션(FTS)을 활용하여 평가를 수행하였다. 아울러 본 실험에서는 MMG(Modular Maneuvering Model) 수학 모델링이 반영되어 있는 시뮬레이터를 사용하였으며, 고정 좌표계는 Fig. 3과 같다(Yasukawa and Yoshimura, 2015).

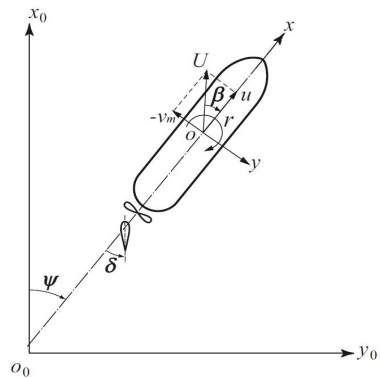


Fig. 3. Coordinate system of ship manoeuvring motion.

##### 4.2 시뮬레이션 시나리오 구성

배속 시뮬레이션 시나리오 구성을 위한 선박( $V_i$ ) 및 환경적 요소( $E_i$ )의 상세 내용은 Table 4와 같다.

선박 요소( $V_i$ )의 경우, 길이 300m 이상의 대형선 3척을 대상으로 Cruise Ship, Container Ship, VLCC 등의 선종으로 설정하였으며, 통항 선속은 PIANC Guidelines 상의 선속 자료(Fast :  $V_S \geq 12$  kts, Moderate :  $8 \text{ kts} \leq V_S < 12$  kts, Slow :  $5 \text{ kts} \leq V_S < 8$  kts)와 국내 항만 주요 진입항로에서의 평균 선속 조사 결과(약 7.8~11.7kts)를 참고하여, 7, 10, 13 kts 등으로 설정하

였다. 환경적 요인( $E_i$ )의 경우, 바람( $E_W$ ) 및 조류( $E_C$ ), 파랑( $E_H$ ) 등의 요소로 구분하여 각 파라미터별 변화에 따른 민감도를 분석하고자 하였다.

바람 조건( $E_W$ )의 경우, 국내 기상 특보 기준 중 풍랑 경보(21 m/s) 수준을 고려하여 풍속은 최소 5 kts에서 최대 45 kts 까지 10 kts 단위로 변화시켜 적용하였다.

조류 조건( $E_C$ )의 경우, 국내 주요 항만에 위치하고 있는 항로에서의 유속 현황을 참고하여, 최소 0.5 kts에서 최대 2.0 kts 까지 0.5 kts 단위로 변화시켜 적용하였다.

파랑 조건( $E_H$ )의 경우, 일반적으로 항만에서 입출항 선박의 접이안 작업 시, 도선선의 운용 가능한 조건(약 3 m)을 고려하여, 최소 1 m에서 3 m까지 1 m 단위로 변화시켜 적용하였다. 아울러, 바람 및 조류, 파랑 등 외력조건에 대한 진행 방향은 평가 대상선박에 대해 일률적으로 적용하고자, 모두 선박 진행 방향에 횡방향으로 동일하게 설정하였다.

Table 4. Description of each factor for FTS Simulation

Category		Description	
$V_i$	Type	Ship A 150K GT Cruise Ship	
		Ship B 12K TEU Container Ship	
		Ship C 300K DWT VLCC	
Speed	$V_{S1}/S2/S3$	7/10/13 knots	
Wind	$E_{W1}/W2/W3/W4/W5$	5/15/25/35/45 knots	
$E_i$	Current	$E_{C1}/C2/C3/C4$	0.5/1.0/1.5/2.0 knots
	Wave	$E_{H1}/H2/H3$	1/2/3 m

선종별 최소 항로 폭 추정을 위하여, 선박 및 환경적 요소를 반영한 배속 시뮬레이션 시나리오는 Table 5와 같다.

Table 5. Simulation scenario

Division	$V_S$	$E_W$	$E_C$	$E_H$
Case	Ship	(kts)	(kts)	(m)
1~5		$E_{W1} \sim E_{W5}$		
6~9	$V_{S1}$	$E_{C1} \sim E_{C4}$		
10~12		$E_{H1} \sim E_{H3}$		
13~17	A	$E_{W1} \sim E_{W5}$		
18~21	B	$V_{S2}$	$E_{C1} \sim E_{C4}$	
22~24	C		$E_{H1} \sim E_{H3}$	
25~29		$E_{W1} \sim E_{W5}$		
30~33	$V_{S3}$	$E_{C1} \sim E_{C4}$		
34~36		$E_{H1} \sim E_{H3}$		

항행 환경은 대상 선박 흘수 대비 수심이 충분히 확보( $H > 1.5T$ )된 직선항로를 대상으로 통항 선박의 일방통행 형태를 가정하였다. 항로 길이는 앞서 검토한 국내 항만 주요 항로 현황 중 Group C의 평균 길이를 반영하여 2NM로 설정하였다.

대상 선박이 Fig. 4와 같이 시작 지점(Start Point)으로부터 종료 지점(End Point)까지 직선항로에서 단독 통항하는 경우에 필요한 항로 폭( $W_S$ )은 항로 중심선을 기준으로 우측 및 좌측에서의 최대 점용 구간을 나타낸다.

이는 선박의 정적(Static) 상태에서의 계산 값이 아닌 연속적으로 항행하는 동적(Dynamic) 상태에서의 항로 폭 요소가 반영되어 있고, 복합적인 외력 상태에 추가적으로 발생하는 선체 거동(항적)이 포함되어 있다고 볼 수 있다.

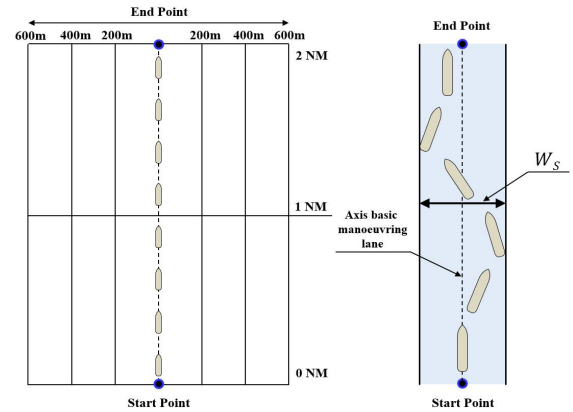


Fig. 4. Analysis of appropriate channel width according to Simulation.

### 4.3 대상 선박별 적정 항로 폭 해석

선박조종시뮬레이션 수행 결과, 대상 선박별로 통항 선속( $V_{S1} \sim V_{S3}$ ) 및 바람( $E_{W1} \sim E_{W5}$ ), 조류( $E_{C1} \sim E_{C4}$ ), 파랑( $E_{H1} \sim E_{H3}$ ) 등의 변화에 따른 항적 및 필요 항로 폭( $W_S$ ) 검토 결과는 Table 6과 같다.

15만 GT급 크루즈선의  $W_S$ 는  $V_{S1}$ 에서  $E_{W5}$ 일 때 0.64 L,  $E_{C4}$ 일 때 0.33 L,  $E_{H3}$ 일 때 0.25 L로 나타나 바람 조건에 따른 민감도 변화가 높은 것으로 분석되었다.

1만 2천 TEU급 컨테이너선의  $W_S$ 는  $V_{S1}$ 에서  $E_{W5}$ 일 때 0.52 L,  $E_{C4}$ 일 때 0.53 L,  $E_{H3}$ 일 때 0.30 L로 나타나 바람 및 조류 조건에 따른 민감도 변화가 높은 것으로 분석되었다.

30만 DWT급 원유운반선의  $W_S$ 는  $V_{S1}$ 에서  $E_{W5}$ 일 때 0.45 L,  $E_{C4}$ 일 때 0.86 L,  $E_{H3}$ 일 때 0.35 L로 나타나 조류 조건에 따른 민감도 변화가 높은 것으로 분석되었다.

평가 대상 선박 모두  $V_{S1}$  조건에서  $V_{S3}$  조건으로 증가할 수록  $W_S$  및 민감도 변화는 감소하는 것으로 분석되었다.

Table 6. Result of  $W_S$  by Fast Time Simulation

Division	Ship Track ( $V_{S1}$ )			Minimum required $CW$	
	$E_{W5}$	$E_{C4}$	$E_{IB}$		
150K GT Cruise Ship (Ship A)					
	$W_S$	0.64 L 220 m	0.33 L 114 m	0.25 L 85 m	
12K TEU Container Ship (Ship B)					
	$W_S$	0.52 L 187 m	0.53 L 188 m	0.30 L 106 m	
300K DWT VLCC (Ship C)					
	$W_S$	0.45 L 158 m	0.86 L 302 m	0.35 L 123 m	

#### 4.4 최소 항로 폭 기준 검토

배속 시뮬레이션 평가를 통해 검토된 대상 선박별 필요 항로 폭을 항만 설계기준 상에서 권고하고 있는 항로 폭과의 비교 검토를 위하여, 국내에서 시행 중인 해상교통안전 진단제도의 자연환경 설정기준(바람, 조류, 파랑 등)을 참고하였다.

선박조종시뮬레이션을 활용한 항로 폭 적정성 평가 결과, 항로에서의 통항 선속이  $V_{S1} \sim V_{S3}$ 일 때, 바람 약 25 kts( $E_{W3}$ ), 조류 약 2 kts( $E_{C4}$ ), 파랑 약 3 m( $E_{IB}$ )의 조건을 적용하는 경우, 15만 GT급 크루즈선은 0.67 L~0.91 L, 1만 2천 TEU급 컨테이너선은 0.79 L~1.17 L, 30만 DWT급 원유운반선은 1.02 L~1.59 L의 항로 폭이 필요한 것으로 검토되었다.

국내 항만 설계기준상에 제시된 일방 통항을 위한 항로 폭 기준(0.5L~1.0 L)과 비교하는 경우, Fig. 5와 같이, 15만 GT급 크루즈선은 최대 0.91 L로 나타나 국내 기준과 유사한 수준으로 분석되었다. 그러나, 1만 2천 TEU급 컨테이너선은 최대 1.17 L, 30만 DWT급 원유운반선은 최대 1.59 L의 항로 폭이 필요한 것으로 나타나 국내 항만 설계기준상 일방통항 항로 기준을 상당부분 초과하는 수준으로 분석되었다.

이를 통하여 대상 선박의 종류 및 규모, 조종성능, 통항 선속 등 선박 요인과 바람, 조류, 파랑 등 환경적 요인간의 상관관계가 적정 항로 폭 산정에 미치는 영향이 비교적 상당하다는 것을 알 수 있다.

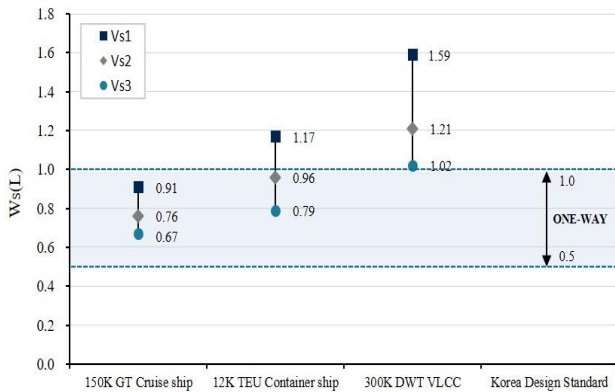


Fig. 5. Comparison of required CW between FTS and KDS.

현재, 국내 항만에 위치한 주요 항로에서 통항 선박을 대상으로 일방 및 교행통항에 대한 적정성을 검토할 시에는 국내 설계기준을 이용하여 비교적 간단하게 추정이 가능하다. 그러나, 해상교통안전 관점에서 본다면, 국내 항만 및 항로의 환경적인 특성과 해상교통현황에 따른 대상 선박의 특성을 종합적으로 고려하여 안전이 충분히 확보된 항로 폭을 추정하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

### 5. 결론

우리나라의 경우, 주변 항만 시설의 목적에 따라 항로를 이용하는 선박의 종류 및 규모, 조종성능, 통항 선속이 상이하고, 아울러, 항로의 위치에 따라 조류, 바람, 파랑 등의 환경적인 특성이 상이하기 때문에 적정 항로 폭 산정을 위해서는 반드시 대상선박과 대상해역의 특성이 반영되어야 한다.

그러나, 국내 항만 설계기준에서는 대상선박의 일방 및 교행통항 여부를 우선적으로 기준하여 선박 길이(Loa) 요소만을 일률적으로 적용하는 방식으로 항로 폭 설정을 규정하고 있다.

반면에, 국제수상교통시설협회(PIANC) 기준에서는 대상선박과 대상해역의 특성을 종합적으로 고려하여, 각각의 파라미터에 대한 필요 항로 폭을 세부적으로 제안함으로써, 국내 항만 설계기준보다 비교적 정량적인 수치를 제시하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 항만 진입항로 설계 단계에서 고려해야 할 많은 요소들이 있지만, 그 중에서도 선박 및 환경적 요소를 대상으로 배속 시뮬레이션을 활용하여, 직선 항로에서 일방통항에 요구되는 적정 항로 폭에 대한 평가를 실시하였다.

평가 결과, 선박 및 환경적 요소의 관계에 따라 필요 항로 폭의 변화를 정량적으로 제시함으로써, 우리나라 항로 설계

기준의 개선 필요성 및 대형 선박의 통항 안전성 확보에 요구되는 최소 항로 폭 결정 등에 직접적으로 활용이 가능할 것이라 사료된다.

그러나, 본 논문에는 다음과 같은 한계점이 존재한다. 첫째, 일반적으로 FTS는 선박운항자의 역량 및 경험을 반영하지 못하므로 보다 정확한 항로 폭을 산정함에 있어 부족함이 있을 수 있다. 둘째, 본 논문에서는 일방통항 형태에 대한 평가만을 수행함에 따라, 교행 선박의 영향이나 장애물 등으로 인한 심리적 요소의 영향 등은 배제되었다.

따라서, 후속 연구에서는 선박 및 환경적 요소 이외에 선박 운항자의 경험과 판단력에 따른 인적 요소, 항로 통항 형태에 따른 선박 추월, 교행 상황 등 선박간의 Interaction, 항로 경계선과의 위치 및 장애물 등에 따른 심리적인 요소 등을 종합적으로 고려한 적정 항로 폭 추정에 관한 연구가 필요하다.

### References

- [1] Cho, I. S. and J. W. Cho(2015), Comparative Analysis of Harbour Approach Channels Design Guidelines PIANC 97 and 14, Journal of Coastal Disaster Prevention, Proceedings of the 3rd. Annual Conference 2015, pp. 69-70.
- [2] Gong, I. Y., S. H. Kwon, and S. Y. Kim(2008), Determination of Simulation Conditions for Ship-handling Safety Assessment, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 32, No. 3, pp. 207-213.
- [3] Kim, I. C. and I. S. Cho(2020), Maritime Safety & Governance, pp. 61-63.
- [4] Kim, W. S.(1995), A Study on the Safe Width and Alignment of the Navigational Channel, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 1, No. 1, pp. 9-25.
- [5] MLIT(2009), Ports and Harbours Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, Part III Facilities, pp. 552-575.
- [6] MOF(2017), Ministry of Oceans and Fisheries, Harbour and Fishery Design Criteria, KDS 64 40 10:2017, pp. 4-8.
- [7] PIANC(2014), Harbour Approach Channels Design Guidelines, pp. 72-106.
- [8] Seong, Y. C.(2014), Assessment on Navigational Stress and Fairway Width according to Traffic Flow, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 38, No. 3, pp. 253-259.
- [9] USACE(2006), U.S. Army Corps of Engineers, Hydraulic

Design of Deep-Draft Navigation Projects, Chapter 8, pp. 1-11.

- [10] Yasukawa, T. and Y. Yoshimura(2015), Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 20, Issue 1, pp. 37-52.

---

Received : 2020. 03. 25.

Revised : 2020. 04. 24. (1st)

: 2020. 05. 12. (2nd)

Accepted : 2020. 06. 26.