



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](#)

工學碩士 學位論文

선박 조종시뮬레이터를 활용한 국내 항만의
최소 필요 항로 폭 산정에 관한 연구

A Study on Minimum Required Channel Width in Domestic port
by using Ship Handling Simulator

指導教授

李 允 石

2019年 08月

韓國海洋大學校 大學院

海 洋 警 察 學 科

金 賢 碩

본 논문을 김현석의 공학석사 학위논문으로 인준함.

위원장 : 윤 귀 호 

위 원 : 조 익 순 

위 원 : 이 윤 석 

2019 년 6 월

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	iv
List of Figures	viii
Abstract	xi

제 1 장 서 론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구의 구성	3
1.3 선행연구	7

제 2 장 국내·외 항로 설계기준 현황	9
2.1 국내 항로 설계기준	9
2.2 국외 항로 설계기준	12
2.2.1 PIANC Guidelines	12
2.2.2 JAPAN Guidelines	21
2.2.3 USACE Guidelines	25
2.3 국내·외 설계기준 비교 분석	30

제 3 장 국내 항만 주요 항로 설정 현황	33
3.1 개요	33
3.2 국내 항만 주요 항로 현황	34
3.2.1 Busan Port	37
3.2.2 Kwangyang Port	38

3.2.3 Ulsan Port	40
3.2.4 Incheon Port	42
3.2.5 Pyeongtaek·Dangjin Port	44
3.2.6 Daesan Port	45
3.2.7 Jeju Port	47
3.3 국내 항만 설계기준에 따른 항로 폭 적정성 검토	49
제 4 장 국내 항만 적정 항로 폭 분석	52
4.1 개요	52
4.2 대상선박 제원	53
4.3 적정 항로 폭 분석	55
4.3.1 국내 항로 설계기준 적용	55
4.3.2 국외 항로 설계기준 적용	56
4.4 비교 분석 결과	61
제 5 장 배속 시뮬레이션 평가	63
5.1 개요	63
5.2 시뮬레이션 수학 모델	66
5.3 배속 시뮬레이션 설계	68
5.3.1 개요	68
5.3.2 Vessel Modeling	70
5.3.3 Channel & Environment Modeling	80
5.3.4 Environment-Vessel relations with Modeling	82
5.3.5 Scenario Design	83
5.4 배속 시뮬레이션 평가	86
5.4.1 150K GT Cruise ship	88
5.4.2 12K TEU Container ship	97
5.4.3 300K DWT VLCC	106
5.5 최소 필요 항로 폭 분석	115

5.5.1 외력 조건별 민감도 변화	115
5.5.2 최소 필요 항로 폭 평가 결과 비교	120
제 6 장 결 론	124
6.1 연구 결과	124
6.2 향후 후속 연구 과제	129

List of Tables

Table 1	Channel width of Two-way for fishing boat – KOREA Guidelines	11
Table 2	Basic Manoeuvring Lane – PIANC Guidelines	16
Table 3	Additional width for straight channel sections – PIANC Guidelines	17
Table 4	Additional width for bank clearance – PIANC Guidelines	19
Table 5	Additional width for passing distance in two-way-traffic – PIANC	20
Table 6	One-way ship traffic channel width design criteria – USACE	26
Table 7	Two-way ship traffic channel width design criteria – USACE	28
Table 8	Comparison of appropriate channel width in design criteria	31
Table 9	Channel characteristics in Domestic Ports	34
Table 10	Group of channel width and length	36
Table 11	Busan Port characteristics	38
Table 12	Kwangyang Port characteristics	39
Table 13	Ulsan Port characteristics	41
Table 14	Incheon Port characteristics	43
Table 15	Pyeongtaek·Dangjin Port characteristics	45
Table 16	Daesan Port characteristics	46
Table 17	Jeju Port characteristics	48
Table 18	Application according to KOREA Guidelines	49
Table 19	Appropriate channel width in Domestic Ports – KOREA Guidelines	51
Table 20	Dimension of Traffic ship(Max. size) - Domestic Ports	52
Table 21	Basic maneuvering – PIANC Guidelines	53
Table 22	Ship's particular	54
Table 23	Photo of ship - $TS_{\max}$	54

Table 24	Channel width criteria – KOREA Guidelines	55
Table 25	Appropriate channel width – KOREA Guidelines	55
Table 26	Channel width criteria – PIANC Guidelines	56
Table 27	Appropriate channel width – PIANC Guidelines	57
Table 28	Channel width criteria – JAPAN Guidelines	58
Table 29	Appropriate channel width – JAPAN Guidelines	58
Table 30	Channel width criteria – USACE Guidelines	59
Table 31	Appropriate channel width – USACE Guidelines	60
Table 32	Appropriate channel width – Domestic and Foreign Design Criteria ...	62
Table 33	Comparison between FTS and RTS	64
Table 34	FTS Simulation plan	69
Table 35	Ship's Dimension – 150k GT Cruise ship	70
Table 36	Ship's Rpm & Speed – 150k GT Cruise ship	71
Table 37	Turning circle 35°– 150k GT Cruise ship	71
Table 38	Zig-Zag(10°/ 10°, 20°/ 20°) – 150k GT Cruise ship	72
Table 39	Ship's Dimension – 12K TEU Container ship	74
Table 40	Ship's Rpm & Speed – 12K TEU Container ship	74
Table 41	Turning circle 35°– 12K TEU Container ship	75
Table 42	Zig-Zag(10°/ 10°, 20°/ 20°) – 12K TEU Container ship	75
Table 43	Ship's Dimension – 300K DWT VLCC	77
Table 44	Ship's Rpm & Speed – 300K DWT VLCC	77
Table 45	Turning circle 35°– 300K DWT VLCC	78
Table 46	Zig-Zag(10°/ 10°, 20°/ 20°) – 300K DWT VLCC	78
Table 47	Review of Vessel speed for modeling	82
Table 48	Scenario for Fast-Time Simulation	84
Table 49	Simulation results of Cruise ship(V_{s1}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$) ...	89
Table 50	Simulation results of Cruise ship(V_{s2}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$) ...	90

Table 51	Simulation results of Cruise ship(V_{s3}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$) $\cdots$	91
Table 52	Simulation results of Cruise ship(V_{s1}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$) $\cdots$	92
Table 53	Simulation results of Cruise ship(V_{s2}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$) $\cdots$	93
Table 54	Simulation results of Cruise ship(V_{s3}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$) $\cdots$	94
Table 55	Simulation results of Cruise ship(V_{s1}, V_{s2}) by wave height($E_{h1} \sim E_{h3}$) $\cdots$	95
Table 56	Simulation results of Cruise ship(V_{s3}) by wave height($E_{h1} \sim E_{h3}$) $\cdots$	96
Table 57	Simulation results of Container ship(V_{s1}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$) $\cdots$	98
Table 58	Simulation results of Container ship(V_{s2}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$) $\cdots$	99
Table 59	Simulation results of Container ship(V_{s3}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$) $\cdot$	100
Table 60	Simulation results of Container ship(V_{s1}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$) $\cdot$	101
Table 61	Simulation results of Container ship(V_{s2}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$) $\cdot$	102
Table 62	Simulation results of Container ship(V_{s3}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$) $\cdot$	103
Table 63	Simulation results of Container ship(V_{s1}, V_{s2}) by wave height($E_{h1} \sim E_{h3}$) $\cdot$	104
Table 64	Simulation results of Container ship(V_{s3}) by wave height($E_{h1} \sim E_{h3}$) $\cdots$	105
Table 65	Simulation results of VLCC(V_{s1}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$) $\cdots$	107
Table 66	Simulation results of VLCC(V_{s2}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$) $\cdots$	108
Table 67	Simulation results of VLCC(V_{s3}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$) $\cdots$	109
Table 68	Simulation results of VLCC(V_{s1}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$) $\cdots$	110
Table 69	Simulation results of VLCC(V_{s2}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$) $\cdots$	111
Table 70	Simulation results of VLCC(V_{s3}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$) $\cdots$	112
Table 71	Simulation results of VLCC(V_{s1}, V_{s2}) by wave height($E_{h1} \sim E_{h3}$) $\cdots$	113
Table 72	Simulation results of VLCC(V_{s3}) by wave height($E_{h1} \sim E_{h3}$) $\cdots$	114
Table 73	Simulation results of 150K GT Cruise ship $\cdots$	115
Table 74	Simulation results of 12K TEU Container ship $\cdots$	117
Table 75	Simulation results of 300K DWT VLCC $\cdots$	118

Table 76	Minimum required channel width for Cruise ship	121
Table 77	Minimum required channel width for Container ship	122
Table 78	Minimum required channel width for VLCC	123
Table 79	Suggestion of minimum required channel width(W_s)	128

List of Figures

Fig. 1 Passing Vessel	2
Fig. 2 Flow Chart of Study	6
Fig. 3 Channel width of One-way and Two-way - KOREA Guidelines ...	10
Fig. 4 Channel width of One-way and Two-way in fishing port - KOREA Guidelines	11
Fig. 5 Ship course under strong wind conditions - PIANC Guidelines ...	13
Fig. 6 Elements of channel width - PIANC Guidelines	14
Fig. 7 Bank clearance - PIANC Guidelines	19
Fig. 8 Width requisite against wind and current forces - JAPAN Guidelines ...	23
Fig. 9 Width requisite against yawing motion - JAPAN Guidelines	23
Fig. 10 Width requisite for drift detection - JAPAN Guidelines	24
Fig. 11 Channel cross sections - USACE Guidelines	26
Fig. 12 Channel design width - USACE Guidelines	27
Fig. 13 Comparison between CW and CL in Domestic Ports	35
Fig. 14 No. 1, 5 Channel - Busan Port	37
Fig. 15 Traffic data of No. 1, 5 Channel - Busan Port	37
Fig. 16 No. 2, 3, 4 Channel - Kwangyang Port	38
Fig. 17 Traffic data of No. 2, 3, 4 Channel - Kwangyang Port	39
Fig. 18 No. 1, 2, 3, 4 Channel - Ulsan Port	40
Fig. 19 Traffic data of No. 1, 2, 3, 4 Channel - Ulsan Port	41
Fig. 20 No. 1, 3 Channel - Incheon Port	42
Fig. 21 Traffic data of No. 1, 3 Channel - Incheon Port	43
Fig. 22 Channel - Pyeongtaek · Dangjin Port	44

Fig. 23	Traffic data of Channel - Pyeongtaek · Dangjin Port	44
Fig. 24	No. 1, 2 Channel - Daesan Port	45
Fig. 25	Traffic data of No. 1, 2 Channel - Daesan Port	46
Fig. 26	Channel - Jeju Port	47
Fig. 27	Traffic data of Channel - Jeju Port	47
Fig. 28	Channel width in Domestic Port - KOREA Guidelines	50
Fig. 29	Coordinate system of ship manoeuvring motion	66
Fig. 30	Turning Trajectory for 35°Port Rudder Turn	72
Fig. 31	Turning Trajectory for 35°Stbd Rudder Turn	72
Fig. 32	Time History of Heading Angle for 10°/ 10°Zig-Zag	72
Fig. 33	Time History of Heading Angle for 20°/ 20°Zig-Zag	72
Fig. 34	Predicted Results of Spiral Maneuver	73
Fig. 35	Turning Trajectory for 35°Port Rudder Turn	75
Fig. 36	Turning Trajectory for 35°Stbd Rudder Turn	75
Fig. 37	Time History of Heading Angle for 10°/ 10°Zig-Zag	76
Fig. 38	Time History of Heading Angle for 20°/ 20°Zig-Zag	76
Fig. 39	Predicted Results of Spiral Maneuver	76
Fig. 40	Turning Trajectory for 35°Port Rudder Turn	78
Fig. 41	Turning Trajectory for 35°Stbd Rudder Turn	78
Fig. 42	Time History of Heading Angle for 10°/ 10°Zig-Zag	79
Fig. 43	Time History of Heading Angle for 20°/ 20°Zig-Zag	79
Fig. 44	Predicted Results of Spiral Maneuver	79
Fig. 45	Modeling of Channel	80
Fig. 46	Condition of wind, current, wave	81
Fig. 47	Analysis of appropriate channel width according to Fast-Time simulation	87
Fig. 48	Minimum required channel width for 150K GT Cruise ship	116
Fig. 49	Minimum required channel width for 12K TEU Container ship ..	117

Fig. 50	Minimum required channel width for 300K DWT VLCC	119
Fig. 51	Comparison of minimum required channel width for Cruise ship	121
Fig. 52	Comparison of minimum required channel width for Container ship	122
Fig. 53	Comparison of minimum required channel width for VLCC	123
Fig. 54	Suggestion of minimum required channel(W_s)	128

A Study on Minimum Required Channel Width in Domestic port by using Ship Handling Simulator

Kim HyunSuk

Department of Coast Guards Studies

Graduate School of Korea Maritime & Ocean University

Abstract

As the shipbuilding industry and cutting-edge scientific technology have developed globally, all the countries of the world have expanded vessels competitively. Also, the vessel enlargement and its speedup have accelerated due to increase in quantity of goods transported in the port and cost reduction in the marine transport. This situation has spurred the necessity of considering every aspects that can happen in the port in different perspectives and dealing with them.

Especially, the safety in passage depending on large vessel's arrival/departure in the waterway should be top priority in respect of marine transportation. As the windage area in the vessel as well as area below water line increased, the influence of the wind and current increased, resulting in the increase of influence on the safety of vessel's course in the arrival/departure of the waterway. And also, the level of

influence by the wind and current will be varied depending on the speed of the vessel. Thus, the waterway are closely associated with external factors such as the size of vessel, maneuverability and sailing environment.

The waterway means channel which is officially designated and announced to use as an access way. The waterway should be designed, taking the maritime traffic environment, terrain, weather and marine condition into account so as to ensure the safe navigation and facilitate shipbuilding. And the waterway width should be determined in consideration of the weather and marine condition including the vessel data, waterway traffic, traffic flow, waterway length, marine traffic volume, current intensity and direction and natural environment.

The waterway design is essential ingredient to construct the port in safe, efficient way from the point of view of vessel's operator and also, the vessel's course keeping ability greatly affects determining waterway width when designing the waterway. In addition, the breadth has increased to improve the transport ability when the waterway depth is limited. Thus, the determination of waterway width becomes more significant factor in designing the waterway.

The safe shipbuilding are dependent upon the vessel factors such as the size of vessel which will use the waterway and maneuverability; environmental factors such as wind, current and wave; the aids to navigation factors such as placement of aids to navigation and its performance; and human factors including experience and judgement of master and pilot.

Therefore, the purpose of this study is to examine the present state of domestic and foreign design criteria, especially regarding the determination of appropriate channel width, specify the vessel based on general

maneuverability and estimate the appropriate waterway width, considering the evaluation elements suggested by each criteria. Also, this study aims to design the simulation scenario including environmental factors and vessel's maneuverability and analyze the correlation with evaluation elements that affect the determination of minimum required channel width through the assessment of Fast-time simulation.

When the waterway will be determined in future for development or redevelopment, these study results can be utilized for the waterway design that takes the size of vessel, maneuverability and sailing environment into consideration.

KEY WORDS: Minimum required channel width, Domestic and Foreign Design Criteria, Fast-Time Simulation, Ship Factor, Environmental Factor

제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 목적

오늘날 전 세계적으로 조선 산업의 발달과 첨단 과학 기술의 발전으로 인하여 세계 각국에서는 경쟁적으로 선박을 확충하고 있는 실정이다. 또한, 항만 물동량 증가와 해운 원가 절감 등의 이유로 선박의 대형화 및 고속화는 더욱 급속히 진행되고 있다. 이러한 선박의 대형화 및 고속화 추세에 따라 항만에서는 발생할 수 있는 모든 영향을 다양한 관점에서 고려하고 대응하는 것이 필요하다.

특히, 해상교통 관점에서는 항로 상에서 대형선박 입출항에 따른 통항 안전성을 우선적으로 고려해야 한다. 선박의 풍압면적과 수선하 면적의 증가로 인하여 바람 및 조류의 영향이 증가되고 이로 인하여 입출항 항로 상에서 선박의 침로 안전성에 미치는 영향력이 높아지며 선박의 속력에 따라서도 바람과 조류에 압류되는 정도가 달라지기 때문이다. 따라서, 항로는 선박의 규모 및 조종성능, 운항 환경 등의 외부요인과 밀접한 관계를 갖고 있다고 볼 수 있다.

항로란 선박의 출입 통로로 이용하기 위하여 지정·고시한 수로를 말한다. 항로 설정은 선박의 안전항행을 보장하고 조선이 용이하도록 해상교통 환경, 지형, 기상·해상조건과 관련시설간의 조화가 이루어지도록 하여야 하며 항로 폭은 대상선박의 제원, 항로의 교통상황 및 교통흐름, 항로 길이, 해상교통량, 조류의 세기나 방향 등과 같은 기상·해상 조건과 그 외의 자연 상황 등을 충분히 고려하여 정하여야 한다.(항만 및 어항 설계기준, 2017)

선박운항자의 관점에서 항만접근수로의 설계는 안전하고 효율적인 항만 건설을 위한 필수 요소이며, 항로설계 시 선박의 침로유지 능력은 항로 폭 결정에 큰 영향을 미친다. 또한 항로의 수심이 제한된 상태에서 선박의 운송능력을 높이기 위한 선평이 증가하고 있어 항로 폭의 결정은 항로 설계에 더욱더 중요한 요

인이 되고 있다.(조익순 등, 2015)

출입항 선박의 안전 조선은 항로를 이용하게 될 선박의 크기 및 조종성과 같은 선박 요인, 바람, 조류 및 파도 등의 환경적 요인, 항로표지의 배치 및 성능과 같은 항로표지 요인, 그리고 선장 및 도선사의 경험과 판단력 등을 포함하는 인적 요인에 의해 좌우된다고 볼 수 있다.(김환수, 1993)



Fig. 1 Passing Vessel

우리나라에서는 2009년 11월 28일 해사안전법 개정을 통하여 해양개발사업(안전진단대상사업)으로 발생할 수 있는 항행안전에 미치는 영향을 사전에 전문적으로 조사 및 측정, 평가하여 설계에 반영토록 함으로써 보다 미래지향적이고 안전 친화적인 개발이 되도록 하는 해상교통안전진단 제도를 마련하였다. 이러한 해상교통안전진단 제도를 통하여 항로 설계 단계에서의 적정 항로 폭을 산정하거나 또는 현재 운영 중인 항로의 적정성 여부를 검토하기 위한 평가 도구는 다양한 방법이 존재한다. 일반적으로 국내 및 국외 항만설계기준에 따른 적정 항로 폭 산정 및 선박조종시물레이션을 의한 검증 방법이 있으며 추가적으로 해상교통 혼잡도 평가 및 해역 이용자(도선사 및 선장 등)의 경험, 유관

기관 의견수렴, 설문조사 등에 따른 항로의 적정성 평가 방법이 존재한다.

현재, 국내 항만 설계기준에는 항로 폭 산정에 대한 일반적인 가이드라인이 제시되어 있으나 국외 항만 설계기준과 비교하여 볼 때, 항로 폭 추정에 고려되어야 할 선박 요인(선박 규모, 통항 선속, 조종성능 등), 환경적 요인(바람, 조류, 파랑 등) 등의 세부적인 검토 기준은 미흡한 실정이다. 특히, 우리나라는 주변 항만 시설에 따라 항로를 이용하는 선박의 종류 및 규모, 조종성능, 통항 선속이 상이하고 항로의 지리적인 특성에 따라 조류, 바람, 파랑 등의 환경적인 특성이 상이하기 때문에 항로 폭을 산정함에 있어 대상 해역의 선박 및 환경적 특성은 반드시 고려되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 항로 폭 설계 단계에서 고려해야 할 많은 독립 변수(선박 요인, 환경적 요인, 인적 요인, 통항 형태에 따른 선박간의 interaction 요인 등) 들이 있지만, 그 중에서도 선박 요인과 환경적 요인을 중점으로 하여 직선 항로에서 단독 통항에 대한 배속 시뮬레이션을 수행하고 각각의 평가 요인에 따른 항로 폭 변화를 분석하였으며 대형 선박의 최소 필요 항로 폭 산정을 위한 기준을 제시하고자 하였다.

향후, 항만 개발 또는 재개발 등으로 인하여 항로를 설정하게 되는 경우, 일률적인 기준의 적용보다는 최악의 외력 조건 등을 고려하여 본 연구에서 제시한 최소 필요 항로 폭 기준의 범위 내에서 만족하도록 적용이 필요하며 이는 국내 항로 폭 산정 기준과 더불어 각 항로의 특성을 반영한 세부적인 항로 폭을 산정함에 있어 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다.

1.2 연구의 구성

본 연구는 총 6장으로 구성되어 있으며, 각 장의 주요 내용 및 연구 과정의 흐름을 도식화한 것은 Fig. 2와 같다.

제 1장에서는 본 연구의 배경 및 목적, 연구 범위 및 방법, 선행연구 등에 대하여 기술하였다.

제 2장에서는 적정 항로 폭 산정에 관한 국내·외 항만 설계기준 현황을 조사

하고, 세부 사항에 대하여 검토하였다. 현재, 적정 항로 폭 산정에 관한 항로 설계 기준은 선박의 길이(Loa)를 대상으로 하는 국내 항만 및 어항 설계기준(해양수산부, 2017)과 일본 항만 설계기준(Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in JAPAN, 2009)이 있으며 선박의 폭(Beam)을 대상으로 하는 Harbour Approach Channels Design Guidelines(PIANC, 2014)과 미국 육군 공병대 설계기준(Hydraulic Design of Deep-Draft Navigation Projects, 2006) 등이 존재한다.

제 3장에서는 현재 국내 무역항에서 운영 중인 항로의 적정성을 검토하기 위하여 주요 항로에 대한 일반 제원(항로 폭 및 길이, 수심) 및 항로 이용 선박 중 최대 크기급 선박의 제원, 통항 선박 평균 선속 등을 조사하였으며 항로 위치에 따른 대상 해역에서의 환경적 특성을 검토하기 위해 외력(바람 및 조류) 조건에 대해서도 함께 조사하였다. 조사된 자료를 바탕으로, 국내 항만 설계기준에서 제시하고 있는 항로 폭 기준과 비교 검토를 수행하고, 항로의 적정성을 제시하였다.

제 4장에서는 국내 항만의 항로를 이용하고 있는 대형 선박 현황과 PIANC Guidelines에서 제시하고 있는 일반적인 조종성능별 선종 분류 기준을 참고하여 3종류의 대상 선박을 설정하였다. 그리고 각각의 대상 선박에 대해 국내·외 항만 설계기준에서 제시하는 평가요소를 적용하여 선박 통항에 필요한 적정 항로 폭을 추정하고, 기준에 따른 적정 항로 폭 차이를 비교 검토하였다.

제 5장에서는 대상 선박 및 해역, 해상/기상 조건(바람, 조류, 파랑 등)이 종합적으로 반영된 평가 시나리오를 설계하여 선박 조종시뮬레이션(FTS)을 수행하고 결과 분석을 통해 선박과 환경적 요인 변화에 대한 실험 조건별 항로 폭 기준을 제시하였다. 또한, 평가 결과에 영향을 미치는 요소를 분석하여 적정 항로 폭과 독립 변수와의 관계를 분석하였다.

제 6장에서는 본 연구에 대한 결론으로 최소 필요 항로 폭에 대한 산정기준을 제안하고 적정 항로 폭 산정을 위하여 고려해야 할 사항을 검토하였으며 아울러 연속적인 연구의 필요성 등을 제시하였다.

이 연구를 바탕으로 계속되어야 할 연구로는 현재 운영 중인 직선 항로를 대상으로 해상교통현황 조사를 수행하여 대상 선박별로 통항 시에 점용하는 항로 폭을 분석하고 그 당시의 선박 및 환경적 요인과 비교함으로써 본 연구에서 제시한 적정 항로 폭 결과 값의 적정성을 검토하는 것이 필요하다.

또한, 선박 및 환경적 요인 이외에 선박 운항자의 경험과 판단력에 따른 인적 요인 및 기타 요인(항로 통항 형태에 따른 선박 추월 및 교행 상황 등 통항 형태에 따른 선박간의 interaction 요인, 항계선과의 위치 및 장애물 등에 따른 심리적 요인 등)에 대한 변수를 종합적으로 고려하여 국내 항만의 특성이 반영된 항로 폭 추정 모델을 개발하고 실제 운영 중인 항로에 적용하여 신뢰성을 검증하는 추가 연구가 필요한 것으로 사료된다.

선박 조종시뮬레이터를 활용한 국내 항만의 최소 필요 항로 폭 산정에 관한 연구

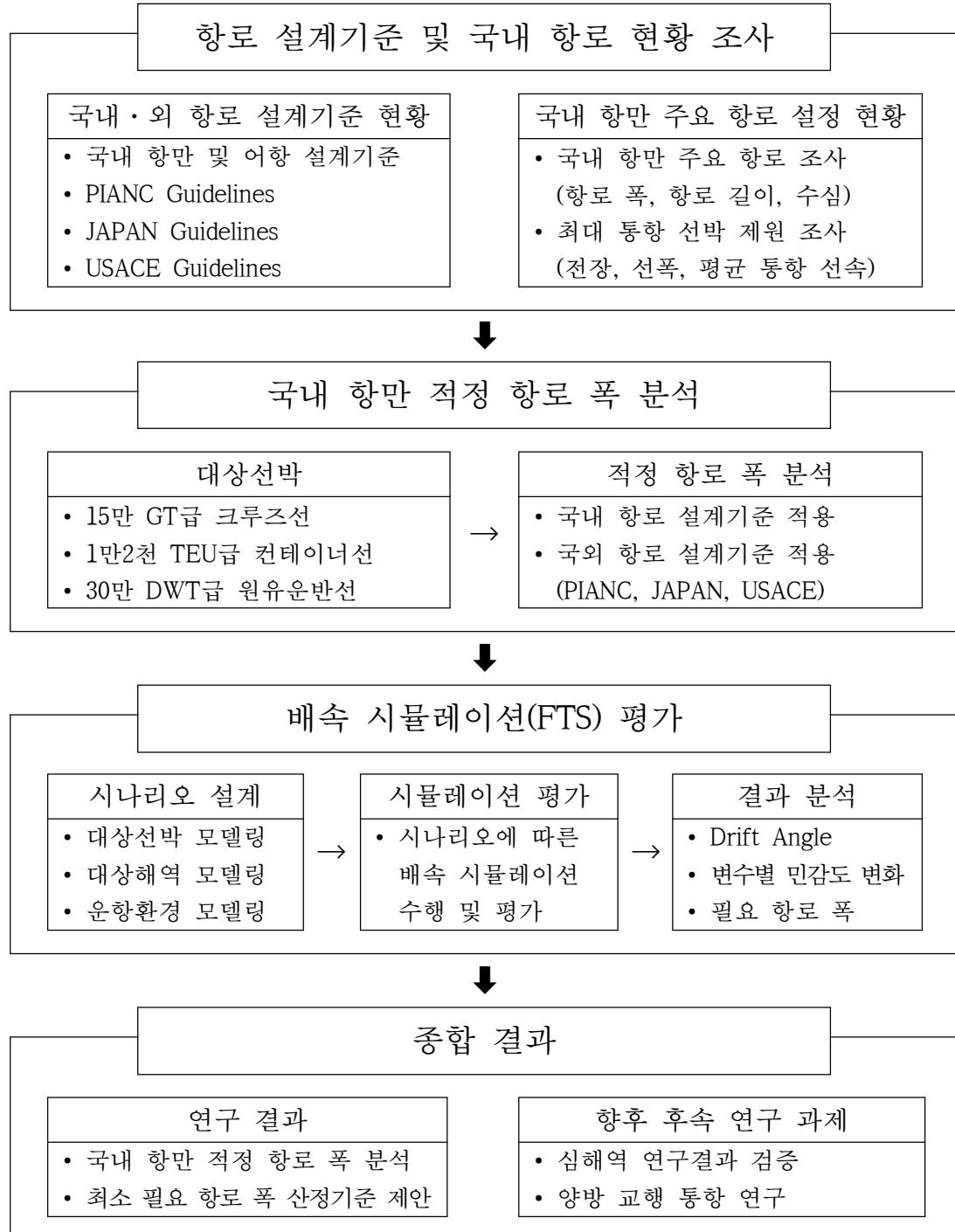


Fig. 2 Flow Chart of Study

1.3 선행연구

국내 항만에서의 적정 항로 폭 산정 및 기준과 관련된 국내 연구로는 “선박의 안전을 위한 최적 항로배치 및 항로 폭 결정에 관한 연구” (김환수, 1995), “우리나라 내륙수로 설계기준 설정에 관한 연구-경인 아라뱃길 선박조종시물레이션을 중심으로” (박준모, 2011), “교통용량에 따른 운항위험도와 항로 폭과의 관계에 관한 연구” (성유창, 2014), “PIANC 1997 및 2014의 항로 폭 설계기준 비교 분석” (조익순, 조장원, 2015), “선박의 상호간섭을 고려한 안전통항 거리에 관한 연구” (이상도, 2017) 등이 있다.

김환수(1995)는 항로배치 및 항로 폭 결정에 영향을 미치는 요인들에 대해 검토한 뒤, 외국 각국의 항만 설계 지침 내용을 분석하고, 항만 설계 시물레이션 기법을 이용하여 항로에 대한 안전 최저 폭을 확인해보는 방법을 통해, 우리나라에서 이용할 수 있는 항로배치 및 항로 폭에 관한 구체적인 가이드라인을 제시하였다. 실험에는 영국 Maritime Dynamics사에 의해 개발된 Off-line port and waterway simulator를 사용하였으며, 대상선박을 조종성능이 양호, 보통, 나쁨으로 설정하여, 바람(25 knots, 정횡풍) 조건에 대한 통항 선박의 필요 항로 폭을 분석하고, 최종적으로 선박조종성능을 감안하여, 일방통항 항로에서는 4B~6B, 양방통행 항로에서는 8B~12B의 항로 폭을 제시하였다.

박준모(2011)는 외국의 내륙수로 설계지침을 비교·분석하고, 경인 아라뱃길 선박조종시물레이션 결과와 선박운항자의 의견을 종합해서 우리나라 선박 운항자의 안전의식에 입각한 내륙수로 설계기준을 제시하였다. 선박 운항자 의견을 고려한 경인 아라뱃길의 최소 수로 폭은 교행 통항 시, 8B가 필요하고, 자연환경적인 영향을 고려해 수로 폭의 확장이 필요하다는 의견을 확인하였다.

성유창(2014)은 현행 항로 폭 설계법은 해당 수역을 통항하는 최대 선박의 운동 성능을 중심으로 설계되고 있지만 다양한 종류의 선박이 혼재되어 운항하고 있는 해상교통 환경을 고려하여 교통 흐름에 대응하는 적절한 항로 폭 결정 방법이 필요하다고 제시하였다. 시물레이션을 수행하여 운항 위험도를 평가하고 선종별 선형 구성 및 교통량에 따른 적절한 항로 폭을 추정하였으며 결과에 따

른 모델식을 확인하였다.

조익순 등(2015)은 PIANC에서 항로 폭 설계 시 고려해야 하는 주요 변수(선박의 대형화 및 항해 보조설비의 발전 등)의 변화를 반영하여 2014년 항로 설계기준을 개정함에 따라 1997년 기준과 2014년 기준을 비교하여 항로 폭 결정에 반영되는 주요 변수들을 분석하여 제시하였다. 최근 초대형 선박의 운항으로 풍압면적의 증가에 따른 횡풍의 영향 증대, 심 흘수로 인한 수선 하 면적의 증가로 선박 침로 안전성에 횡 조류 영향의 증대 등 외력의 영향력이 커져 항로 폭 설정 시 고려되는 외력(W_i)의 영향에 의한 추가 항로 폭 설정 값을 높이기 위함인 것으로 확인하였다. 또한, 선박의 안전한 통항로 확보를 위하여 개정된 기준을 적용하여 국내 주요 항구의 Approach channels의 적정성 검토가 필요할 것으로 제시하였다.

이상도(2017)는 선박이 통항하는 항로에서 두 선박 간의 안전통항거리에 관한 정량적인 지표가 마련되지 않음에 따라 다양한 선박과 영향 요소를 고려한 구체적인 표준화의 필요성을 제시하였다. 항내에서 간섭력이 발생하는 3가지의 근접상황(부두에 접안한 계류선을 통과하는 상황, 두 선박이 마주치며 통과하는 상황, 타 선박을 추월하는 상황)에 대하여 표준화된 안전통항거리를 도출하였으며 수심/흘수 비가 1.2~1.5일 때 항내 Manoeuvring speed로 통항하는 파나마급 컨테이너선이나 VLCC는 계류선 통과 시, 마주치며 통과 시, 추월 통과시에 약 0.7L의 안전 통항거리가 필요한 것으로 확인하였다.

이와 같이, 국내에서는 적정 항로 폭 산정 및 기준과 관련한 다양한 연구가 수행되었으며 현재에도 지속적인 연구가 이루어지고 있는 것으로 검토되었다. 그러나, 항로 폭 설계 단계에서 고려해야 할 독립 변수(선박 요인, 환경적 요인, 인적 요인, 기타 요인 등)들과 그 영향으로 인하여 변화되는 필요 항로 폭에 대한 관련 연구는 아직 수행되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 항로 폭 설계 단계에서 고려해야 할 많은 독립 변수(선박 요인, 환경적 요인, 인적 요인, 통항 형태에 따른 선박간의 interaction 요인 등) 들이 있지만 그 중에서도 선박 요인과 환경적 요인을 중점으로 하여 직선 항로에서 단독 통항에 대한 배속 시뮬레이션을 수행하고 각각의 평가 요인에 따른 항로 폭 변화를 분석하였으며 대형 선박의 최소 필요 항로 폭 산정을 위한 가이드라인을 제시하고자 하였다.

제 2 장 국내·외 항로 설계기준 현황

2.1 국내 항로 설계기준

우리나라의 경우, 항만 건설 계획 수립 및 설계 단계에서 보다 환경 친화적이며 미래 지향적인 항만의 건설을 위하여, 설계업무에 체계적으로 적용할 수 있도록 해양수산부에서 제시한 “항만 및 어항 설계기준”을 준용하고 있다.

이 지침서는 항만법 제29조 항만시설의 기술기준에 따라 수역시설, 외곽시설, 계류시설, 그 밖에 대통령령으로 정하는 항만시설에 대하여 기술기준을 정의 및 고시하고 있으며 항만공사를 설계하거나 시공하려는 자는 각각의 기준에 맞게 설계하거나 시공하도록 제시하고 있다.

제6편 제1장 수역시설(水域施設)에서는 항로, 박지, 선회장, 선유장 등을 계획하는 단계에서 고려해야 할 사항들에 대하여 상세히 제시하고 있다. 특히, 수역시설을 이용하게 될 대상선박들의 특성과 조종성능, 적재화물 등에 대한 특수성, 그리고 선박의 대형화 추세 등을 고려할 필요성에 대하여 명시하고 있다.

아울러, 항로, 항입구 등 선박의 조선(操船)수역을 계획할 때에는 운항자, 도선사(導船士, PILOT), 해상교통안전진단사, 해상교통관제센터 등 선박운항관계자의 의견을 충분히 청취하여 시설계획에 반영하고 필요시 선박조종시물레이션 수행 결과를 반영하도록 제시하고 있다.

국내 항만 및 어항설계기준에서는 일반항로에서의 항로 폭 설계 시, 선박이 운항 중에 교행(交行) 가능성이 없는 경우와 교행(交行) 가능성이 있는 경우를 우선적으로 구분하며 다음 값을 참고하여 적용하도록 권고하고 있다.(여기서, L은 대상선박의 전장(全長)을 말한다.)

선박이 운항 중 교행 가능성이 없는 항로에서는 0.5L 이상의 적절한 폭으로 적용하도록 한다. 그러나, 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. 항로의 길이가 비교적 긴 경우 또는 대상선박들이 항로 항행 중 빈번하게 교행할 경우에는 1.5L을 적용하고 대상선박들이 항로 항행 중 빈번히 교행하고 항로의 길이가 비교적 긴 경우에는 2.0L을 적용한다.

또한, 일반항로에서 통항량이 아주 많은 항로, 항로를 횡단하는 선박이 예상되는 항로, 초대형선을 대상선박으로 하는 항로, 기상·해상 조건이 열악하여 이에 영향을 많이 받는 항로 등 특수한 항로에서는 일반항로의 표준 값에 실태에 따라 운항자, 도선사 등 선박관계자 의견을 수렴하고 선박조종시물레이션을 수행하여 검토 결과가 고려된 항로 폭을 설정하도록 제시하고 있다.

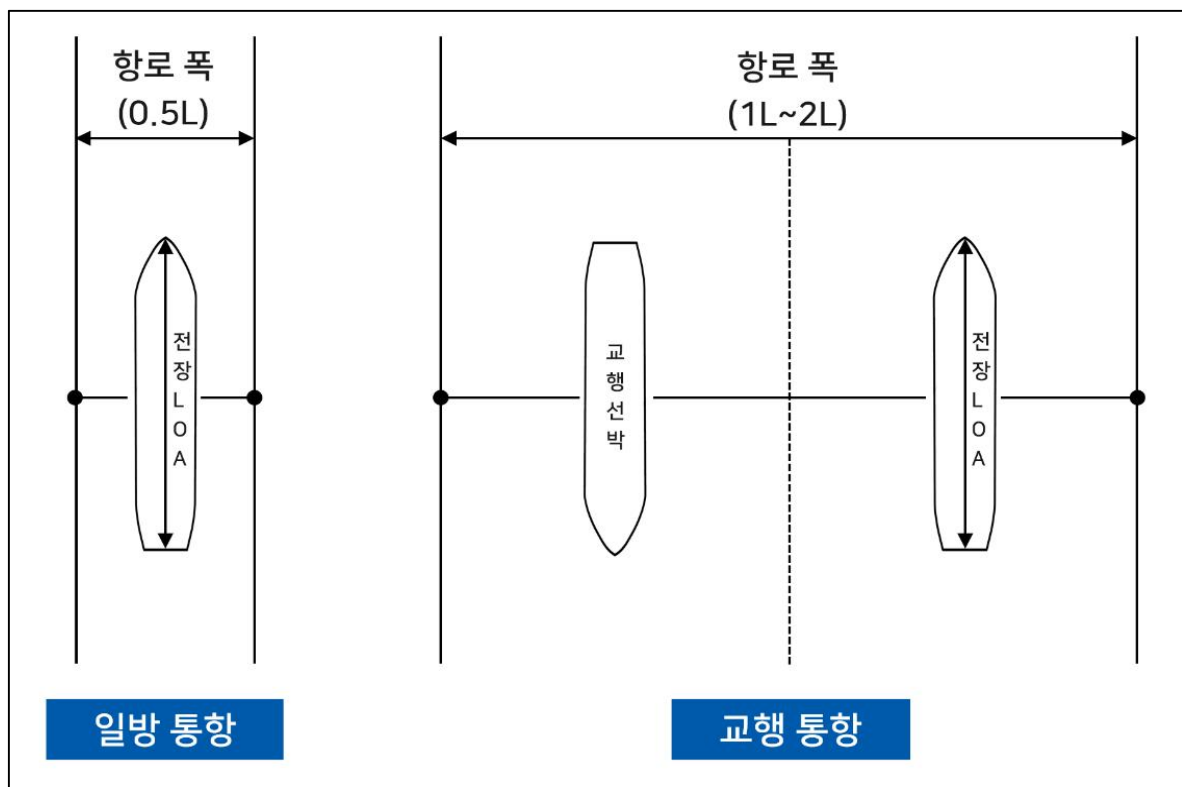


Fig. 3 Channel width of One-way and Two-way
- KOREA Guidelines

어선 또는 500 G/T 미만인 선박을 대상으로 하는 항로의 폭은 이용실태에 따라 적절하게 정하며 어선을 대상으로 하는 항로 폭은 대상어선의 크기, 통행량 및 지형, 자연조건 등을 고려하여 다음의 값을 참고하여 정한다.(여기서, B는 대상선박의 선폭을 말한다.)

Table 1 Channel width of Two-way for fishing boat - KOREA Guidelines

Position of Channel	Channel Width Criteria	Remark
외해에서 외항으로 들어오는 항로	6B~8B	악천후 파랑에 대한 여유를 고려
외항에서 내항으로 들어오는 항로	5B~6B	

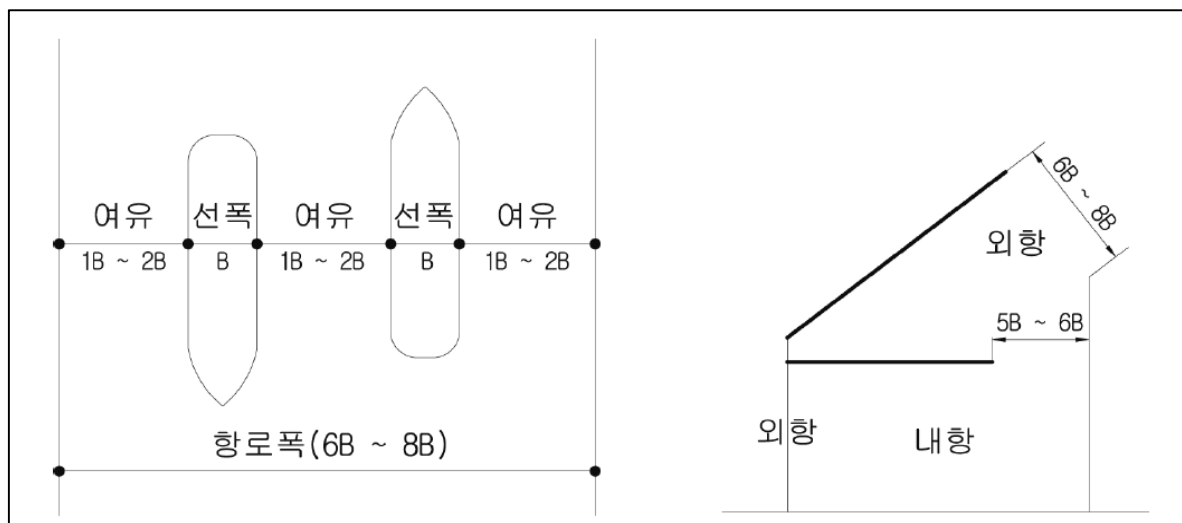


Fig. 4 Channel width of One-way and Two-way in fishing port
- KOREA Guidelines

2.2 국외 항로 설계기준

2.2.1 PIANC Guidelines

PIANC(Permanent International Association of Navigation Congress, 국제수상 교통시설협회)는 하천이나 운하를 이용한 내륙수운이 발달한 유럽에서 교통·교역을 원활하게 하기 위한 국제간 협의를 목적으로 개최된 국제항로회의(International Navigation Congress)를 계기로 1885년에 설립된 비정치, 비영리 단체이다.

PIANC 지침은 유럽지역을 중심으로 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 항로 설계 지침이며 유럽 지역의 항만 및 항로 설계 전문가, 선체 운동에 관한 연구자 및 항해 전문가들로 구성된 ICORELS(International Commission for the Reception of Large Ships)의 제4연구소위원회가 2년간의 연구를 거쳐 1980년도에 최초로 발표하였다. 이후 PIANC에서는 항로 폭 설계 시 고려해야 하는 주요 변수(선박의 대형화 및 항해 보조설비의 발전 등)의 변화를 반영하여 2014년 항로 설계 기준(Harbour Approach Channels Design Guidelines)을 개정하였다.

제3장 항로 폭 및 항만 입구, 통항 및 정박 구역에서는 항만과 접근항로 배치 등을 계획하는 단계에서 고려해야 할 사항들에 대하여 개념 설계(Concept Design) 및 상세 설계(Detailed Design) 단계로 구분하여 상세히 제시하고 있다.

개념 설계 방법은 항로를 이용할 것으로 예상되는 가장 대표적인 선박을 나타내는 설계 선박에 대한 초기 전제를 근거로 하여 항로 폭 및 수심, 배치 등에 대하여 추정하는 방법이다.

상세 설계 방법은 개념 설계보다 정교한 프로세스이며 선박조종, 교통 흐름, 위험 분석과 같은 측면에 대해 세부적인 사항을 제공하기 위하여 시뮬레이션 모델을 활용하고 항로 폭 및 수심, 배치 등에 대한 정밀한 추정 값을 검토할 수 있다.

항로는 횡풍, 조류, 그리고 파랑으로 인한 외력 등의 영향을 고려하여 안전한 항행을 보장할 수 있도록 항로 폭은 충분히 넓어야 한다.

횡풍(Cross wind)은 모든 속도에서 통항 선박에 영향을 발생시키며, 선박의 속도가 낮은 경우 가장 큰 영향을 발생시킨다. 횡풍은 선박이 측면으로 표류하게 하거나 풍압차를 발생시키는데 이 같은 사유로 인하여 필요한 항로 폭이 증가하게 되며 횡풍의 영향은 다음에 요인에 따라 발생하게 된다.

- Ship speed
- Windage of the vessel(relative to lateral submerged area)
- Depth/draught ratio
- Wind speed and direction relative to the ship

횡풍 조건하에서 항로 내 보침성을 유지하기 위해서는 선수각 변화에 대한 적절한 표류각 변화를 발생시키기 위하여 반대 방향으로 조타해야 한다. 따라서, 횡풍에 대한 항로 폭 산정 시에는 선박이 사선으로 비스듬하게 운항하는 조건을 고려하여 추정해야 한다.

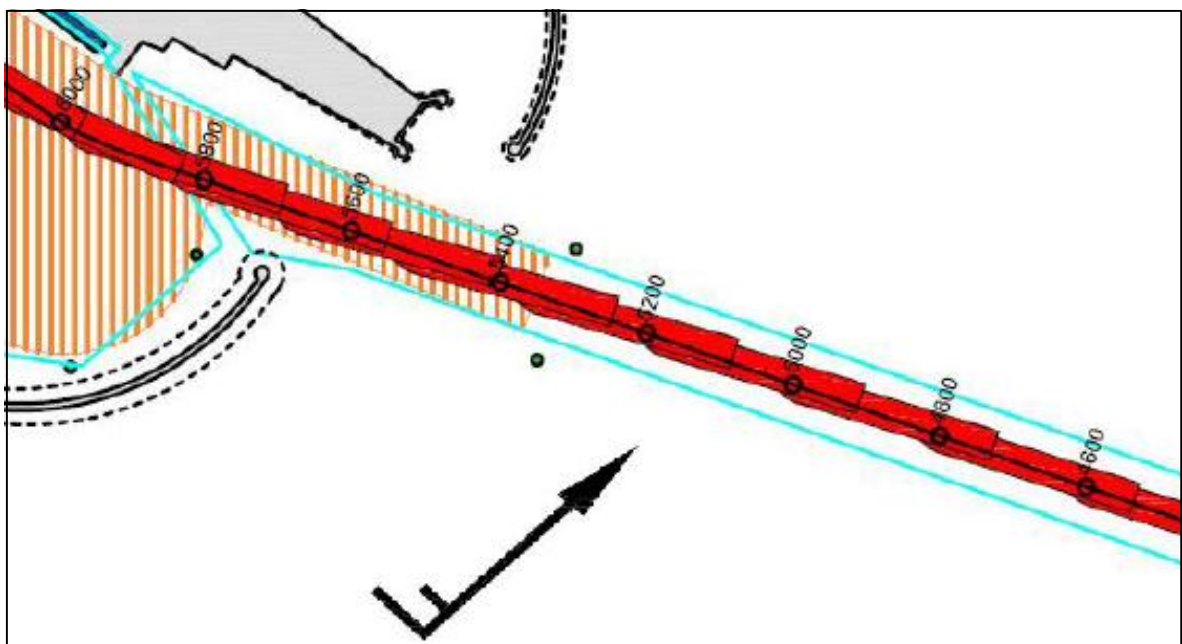


Fig. 5 Ship course under strong wind conditions - PIANC Guidelines

조류는 선박의 경로 유지 능력에 영향을 미치는 횡방향 조류(Cross currents)와 조종 성능과 정지 능력에 영향을 미치는 종방향 조류(Longitudinal currents)가 존재하며 수심/흘수 비가 1에 근접할 경우 선박의 조종성능은 변하게 된다.

선박이 횡방향 조류가 흐르는 상태에서 항로 내 보침성을 유지하기 위해서는 선박이 원하는 경로에 직각으로 작용하는 조류 속도에 대응하기 위해 횡풍과 같이 사선 방향으로 운항하는 것이 바람직하다.

조류는 거리와 조수 주기가 짧은 시간일 때에는 그 방향과 세기가 변할 수 있음에 유의해야 하며 방파제나 부두에 접근할 경우 조류의 높은 기울기는 선박의 경로에 영향을 미칠 수 있는 점을 고려해야 한다.

파랑은 선박의 수직운동(상하, 전후 및 좌우 동요) 결과에 따라 항로 수심 및 폭 설계에 대한 영향을 미친다. 선박은 불안정한 파력으로 인해 선수 동요(yawing) 운동을 하게 되며 항로 폭 설계 시, 선수 동요로 인한 표류를 포함해야 한다.

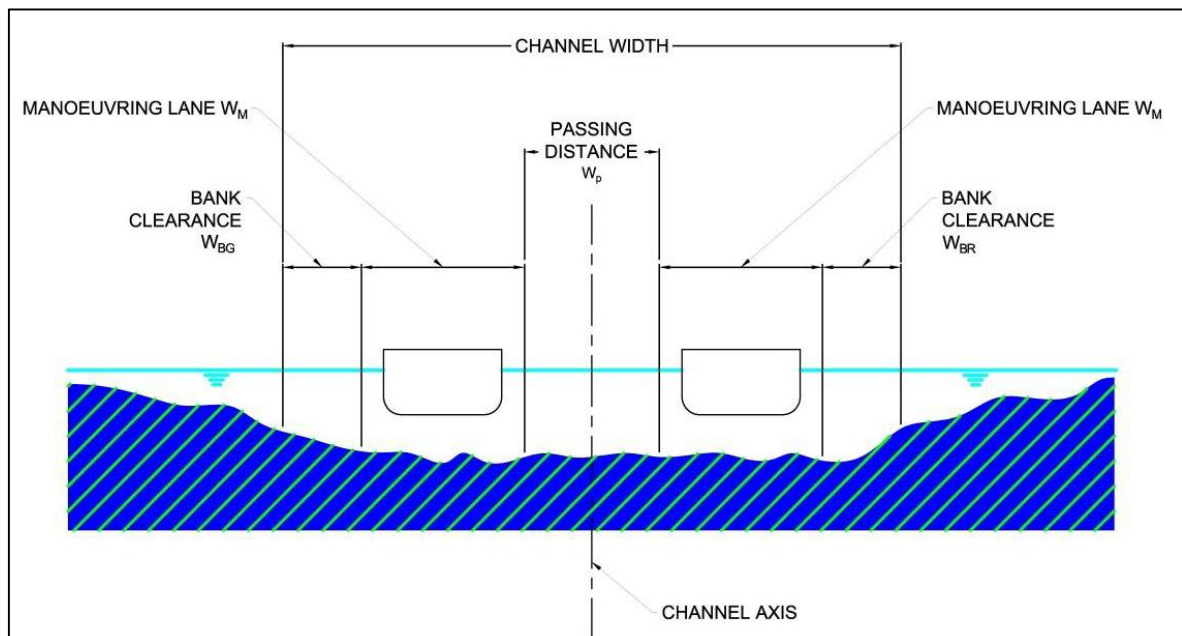


Fig. 6 Elements of channel width – PIANC Guidelines

항로는 외부항로(Outer Channel)와 내부항로(Inner Channel)로 구분할 수 있다. 외부항로는 먼 연안에 위치하며 선박에 상당한 상하, 전후 및 좌우 동요를 유발할 수 있는 파랑 작용에 노출될 수 있다. 내부항로는 주로 내륙에 위치하며 통상 파랑 작용으로부터 보호된다.

직선부가 있는 접근 항로의 수로 폭은 바람, 조류 등과 같은 자연 환경적인 영향뿐만 아니라 선박 간의 상호 작용 및, 측벽 현상 등의 유체역학적 영향을 고려하여 일방 통행 항로에 대해서는 [식 2.1]과 같이 나타낸다.

$$W_{PIANC} = W_{BM} + \sum W_i + W_{BR} + W_{BG} = W_M + W_{BR} + W_{BG} \quad (\text{식 2.1})$$

교행 통행 항로에 대해서는 [식 2.2]와 같이 나타낸다.

$$W_{PIANC} = 2W_{BM} + 2\sum W_i + W_{BR} + W_{BG} + \sum W_p = 2W_M + W_{BR} + \sum W_p + W_{BG} \quad (\text{식 2.2})$$

여기서,

W_{BM} : width of basic manoeuvring lane as a multiple of the design ship's beam B

$\sum W_i$: additional widths to allow for the effects of wind, current, etc

W_{BR}, W_{BG} : bank clearance on the 'red' and 'green' sides of the channel

$\sum W_p$: passing distance, comprising the sum of a separation distance between both manoeuvring lanes W_M and additional distance for traffic density

1) Basic Manoeuvring Lane, W_{BM}

선박이 안전하게 항행할 수 있도록 최소한으로 필요한 선박의 항로 폭을 말하며 선박의 조종 성능(양호, 보통, 불량)의 특성에 따라 제시되어 있다. 트윈 프로펠러(Twin-propeller) 선박 및 페리선, 크루즈선은 조종성능 양호로 구분하며 LNG선 및 LPG 운반선은 조종성능 보통, 유조선과 산적 화물선은 조종성능 불량으로 고려하였다.

Table 2 Basic Manoeuvring Lane – PIANC Guidelines

Ship Manoeuvrability	Good	Moderate	Poor
Basic Manoeuvring Lane, W_{BM}	1.3B	1.5B	1.8B

2) Environmental and Other Factors, W_i

기본 항로 폭(W_{BM})에 추가하여, 바람, 조류 등의 환경적 영향 및 항로표지, 항로 수심 등에 따른 기타 요인(W_i)등에 따른 필요 항로 폭은 Table 3과 같이 제시되어 있다.

Table 3 Additional width for straight channel sections – PIANC Guidelines

Environmental and Other Factors, W_i	Vessel Speed	Outer Channel (Open water)	Inner Channel (Protected water)
(a) Vessel speed V_s (kts)			
$V_s \geq 12$ kts	Fast		0.1B
$8 \text{ kts} \leq V_s < 12 \text{ kts}$	Mod		0.0B
$5 \text{ kts} \leq V_s < 8 \text{ kts}$	Slow		0.0B
(b) Prevailing cross wind V_{cw} (kts)			
- mild	Fast		0.1B
$V_{cw} < 15$ kts	Mod		0.2B
(< Beaufort 4)	Slow		0.3B
- moderate	Fast		0.3B
$15 \text{ kts} \leq V_{cw} < 33 \text{ kts}$	Mod		0.4B
(Beaufort 4 - 7)	Slow		0.6B
- strong	Fast		0.5B
$33 \text{ kts} \leq V_{cw} < 48 \text{ kts}$	Mod		0.7B
(Beaufort 7 - 9)	Slow		1.1B
(c) Prevailing cross current V_{cc} (kts)			
$V_{cc} < 0.2$ kts	All	0.0B	0.0B
- negligible	Fast	0.2B	0.1B
$V_{cc} < 0.2$ kts	Mod	0.25B	0.2B
- low	Slow	0.3B	0.3B
$0.2 \text{ kts} \leq V_{cc} < 0.5 \text{ kts}$	Fast	0.5B	0.4B
- moderate	Mod	0.7B	0.6B
$0.5 \text{ kts} \leq V_{cc} < 1.5 \text{ kts}$	Slow	1.0B	0.8B
- strong	Fast	1.0B	0.0B
$1.5 \text{ kts} \leq V_{cc} < 2.0 \text{ kts}$	Mod	1.2B	0.0B
	Slow	1.6B	0.0B

Environmental and Other Factors, W_i	Vessel Speed	Outer Channel (Open water)		Inner Channel (Protected water)	
(d) Prevailing longitudinal current V_{IC} (kts) - low $V_{IC} < 1.5$ kts - moderate $1.5 \text{ kts} \leq V_{IC} < 3.0 \text{ kts}$ - strong $V_{IC} \geq 3.0 \text{ kts}$	All Fast Mod Slow Fast Mod Slow	0.0B 0.0B 0.1B 0.2B 0.1B 0.2B 0.4B			
(e) Beam and stern quartering wave height H_S (m) - $H_S \leq 1 \text{ m}$ - $1 \text{ m} < H_S < 3 \text{ m}$ - $H_S \geq 3 \text{ m}$	All All All	0.0B $\sim 0.5B$ $\sim 1.0B$		0.0B 0.0B 0.0B	
(f) Aids to Navigation(A to N) - excellent - good - moderate		0.0B 0.2B 0.4B			
(g) Bottom surface - if depth $h \geq 1.5 \text{ T}$ - if depth $h < 1.5 \text{ T}$ then - smooth and soft - rough and hard		0.0B 0.1B 0.2B			
(h) Depth of waterway h		$h \geq 1.5T$ $1.5T > h \geq 1.25T$ $h < 1.25T$	0.0B 0.1B 0.2B	$h \geq 1.5T$ $1.5T > h \geq 1.15T$ $h < 1.15T$	0.0B 0.2B 0.4B
(i) High cargo hazards		Cargo hazards are as prescribed in IMO and national regulations and include			

3) Additional Width for Bank Clearance, W_{BR} , W_{BG}

경사진 항로의 가장자리에 대한 여유 항로 폭은 Fig. 7 및 Table 4와 같이 정의된다. 항로의 가장자리에 가깝게 있는 선박은 측벽의 영향을 받으며 안전 항해에 영향을 미치기 때문에 측벽의 구조와 선박의 속력을 고려한 여유 항로 폭이 필요하다.(단, 항로의 측벽 간격에 대한 여유 항로 폭은 외부항로와 내부항로에 동일한 값을 적용한다.)

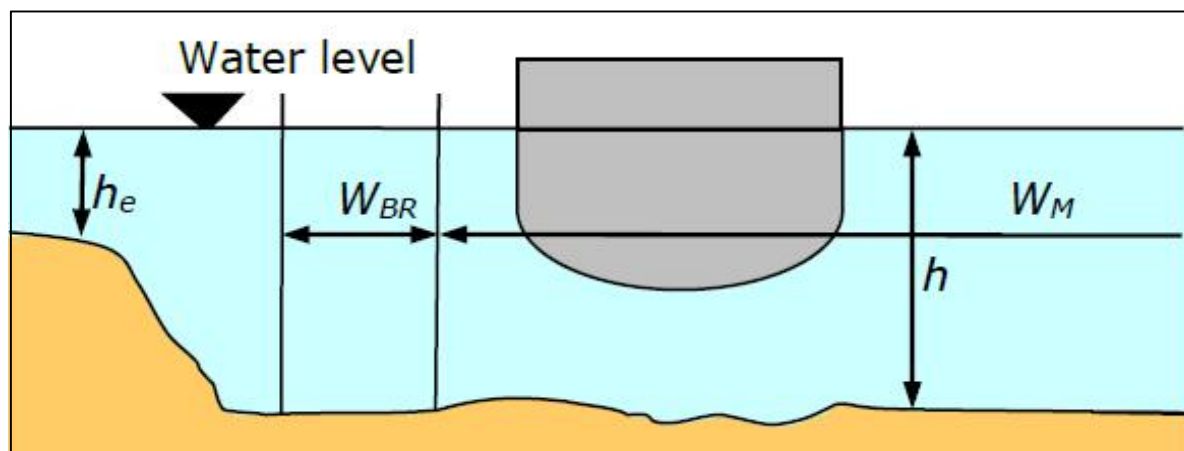


Fig. 7 Bank clearance – PIANC Guidelines

Table 4 Additional width for bank clearance – PIANC Guidelines

Additional Width for Bank Clearance (W_{BR} and/or W_{BG})	Vessel Speed	Outer Channel (Open water)	Inner Channel (Protected water)
Gentle underwater channel slope(1:10 or less steep)	fast	0.2B	0.2B
	mod	0.1B	0.1B
	slow	0.0B	0.0B
Sloping channel edges and shoals	fast	0.7B	0.7B
	mod	0.5B	0.5B
	slow	0.3B	0.3B
Steep and hard embankments, structures	fast	1.3B	1.3B
	mod	1.0B	1.0B
	slow	0.5B	0.5B
Note: W_{BR} and W_{BG} are widths on 'red' and 'green' sides of channel			

4) Additional Width for Passing Distance in Two-way traffic, W_p

교행 통항 항로에서의 통항 거리에 대한 추가 항로 폭을 결정하려면 설계 선박의 여부와 관계없이 통항하는 가장 큰 대형 선박의 선폭(Beam)을 사용한다. 통항에 비해 추월의 경우에는 더 넓은 항로 폭이 필요하지만 일반적으로 추월은 개념 설계 단계에서는 고려하지 않는다.

교행 통항 항로에서 선속에 따른 통항 거리의 추가 항로 폭은 Table 5와 같다.

Table 5 Additional width for passing distance in two-way-traffic
– PIANC Guidelines

Additional Width for Passing Distance in Two-way traffic, W_p	Outer Channel (Open water)	Inner Channel (Protected water)
Vessel speed V_s (knots)		
- Fast : $V_s \geq 12$	2.0B	1.8B
- Moderate : $8 \leq V_s < 12$	1.6B	1.4B
- Slow : $5 \leq V_s < 8$	1.2B	1.0B

2.2.2 JAPAN Guidelines

일본의 항구 및 항만 기술에 대한 첫 번째 기준은 1943년에 발표되었으며, 그 이후로 몇 차례에 걸쳐 개정되었다. 현재의 항만 설계기준은 1979년 일본 항만 협회에서 최초로 발간되었으며 2007년 5월 항만법을 개정함에 따라 항만 시설의 기술상 기준을 규정화 하였다.

일본 항만 설계기준에서의 항로는 주변 수역의 사용 조건과 함께 지질 공학의 특성, 파랑, 조류, 바람의 조건 등이 국토교통부 장관이 지정한 요건을 만족해야 하고 선박의 안전한 항행을 보장해야 한다.

일본 항만 설계기준 제3편 시설 중 제3장 항로 및 박지 부분에서는 항로 폭의 기술 기준에 대하여 상세히 제시되어 있으며 특히, 항로 폭 검토 시, 대상 선박 및 항행 환경을 특정할 수 있는지 또는 없는지에 따라 다음과 같이 2종류로 구분하여 적용해야 한다.

1) Verification for Class 1(Empirical Approach)

- ① 선박이 운항 중 교행 가능성이 없는 항로에서는 0.5L 이상의 적절한 폭으로 적용하도록 한다. 그러나, 항로 폭이 1.0L이 되지 않을 경우, 항행 지원 시설의 정비 등에 대한 안전상의 충분한 대비를 하도록 권고하고 있다.(여기서, L은 대상선박의 전장(全長)을 말한다.)
- ② 선박이 운항 중 교행 가능성이 있는 항로에서는 1.0L 이상의 적절한 폭으로 적용하도록 한다.
 - (a) 항로의 길이가 비교적 긴 경우 : 1.5L
 - (b) 대상선박들이 항로 항행 중 빈번하게 교행할 경우 : 1.5L
 - (c) 대상선박들이 항로 항행 중 빈번히 교행하고 항로의 길이가 비교적 긴 경우 : 2.0L

2) Verification for Class 2(Performance-based Approach)

항로 폭 결정을 위한 기본 식은 [식 2.3]과 같다.

$$W_{JAPAN} = W_{BM} + W_{IF} \quad (\text{식 2.3})$$

여기서,

W_{BM} : width of basic maneuvering lane

W_{IF} : additional width requisite against interaction forces

기본 항로 폭 W_{BM} 은 [식 2.4]와 같이, 4가지의 요소로 구성되어 있다.

$$W_{BM} = a(W_{WF} + W_{CF} + W_{YM} + W_{DD}) \quad (\text{식 2.4})$$

여기서,

W_{WF} : Width requisite against Wind Forces

W_{CF} : Width requisite against Current Forces

W_{YM} : Width requisite against Yawing Motion

W_{DD} : Width requisite for Drift Detection

JAPAN Guidelines에서는 W_{BM} 에 대한 각각의 요소를 Fig. 8~Fig. 10과 같이 나타내며 유체역학적인 선박의 동적 거동을 고려하여 대상 선박별로 산출하고 있다. 다만 여기에서의 W_{BM} 은 PIANC Guidelines에서는 대상 선박의 조종 성능이 결정되면 Wind/Currents/Wave 등에 따라 대상 선박의 필요 항로 폭 범위가 결정된다는 점에서 차별화된다고 볼 수 있다.

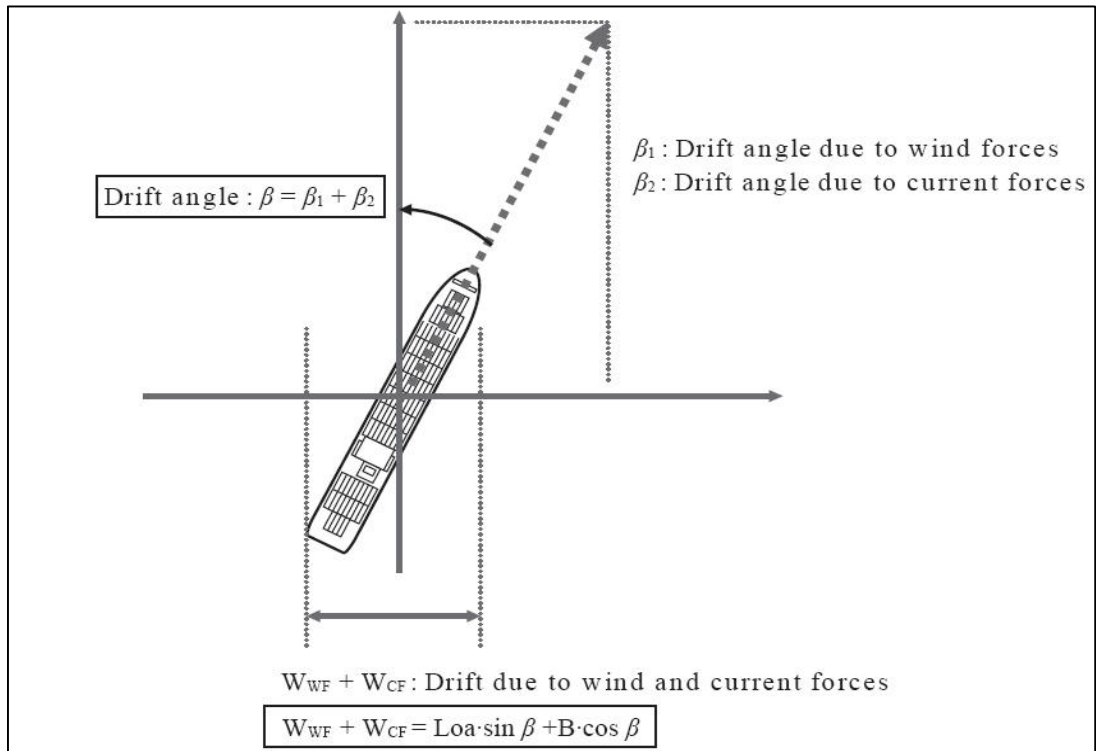


Fig. 8 Width requisite against wind and current forces – JAPAN Guidelines

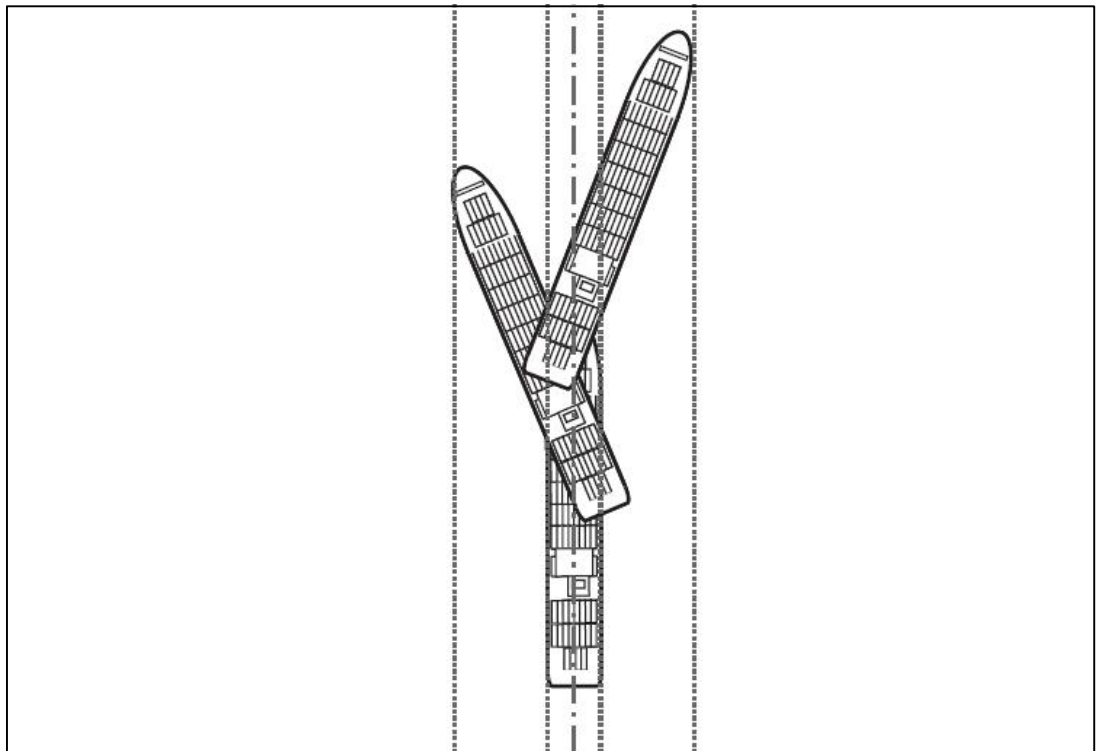


Fig. 9 Width requisite against yawing motion – JAPAN Guidelines

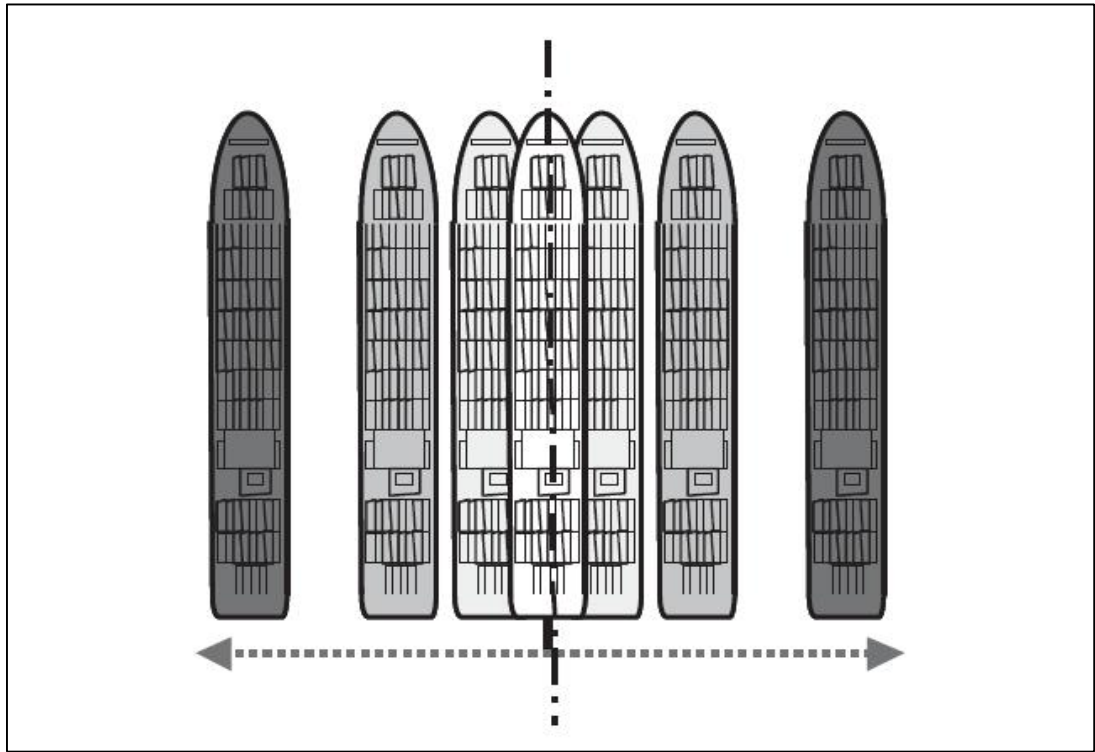


Fig. 10 Width requisite for drift detection – JAPAN Guidelines

또한, 상호 작용에 필요한 추가 항로 폭 W_{IF} 는 [식 2.5]와 같이 3가지의 요소로 구성되어 있다.

$$W_{IF} = W_{BA} + bW_{PA} + cW_{OV} \quad (\text{식 2.5})$$

여기서,

W_{BA} : width requisite against Bank Effect forces

W_{PA} : width requisite against two-ship interaction in Passing

W_{OV} : width requisite against two-ship interaction in Overtaking

[식 2.4] 및 [식 2.5]에서 계수 a, b, c는 다음과 같다.

a=1 and b=c=0 : for one-way channel

a=2, b=1 and c=0 : for two-way channel

a=4, b=1 and c=2 : for four-way channel

2.2.3 USACE Guidelines

미국 육군 공병대(US. Army Corps of Engineers_USACE)에서 1983년에 발표하고 2006년에 개정한 Hydraulic Design of Deep Draft Navigation Projects에서는 항로의 수심, 항로의 폭과 배치, 선회수역 크기 등 항만 건설에 관한 전반적인 가이드라인이 제시되어 있다. 본 지침은 항만을 이용하게 될 선박이 안전하고 효율적으로 운항할 수 있도록 최적의 항만 설계를 목표로 하는 지침이다. 특히, 항로 설계 및 항로에서의 선박 운항, 수역 시설 설계 및 관리, 항해 보조시설의 설치 등에 관련된 상세 내용이 제시되어 있다.

미국 육군 공병대 설계기준(USACE)에서 제시하고 있는 직선 항로의 항로 폭 설계 고려사항은 다음과 같다.

- 1) Traffic pattern(one-way or two-way)
- 2) Design ship beam and length
- 3) Channel cross section shape
- 4) Current speed and direction
- 5) Quality and accuracy of aids to navigation
- 6) Variability of channel and currents

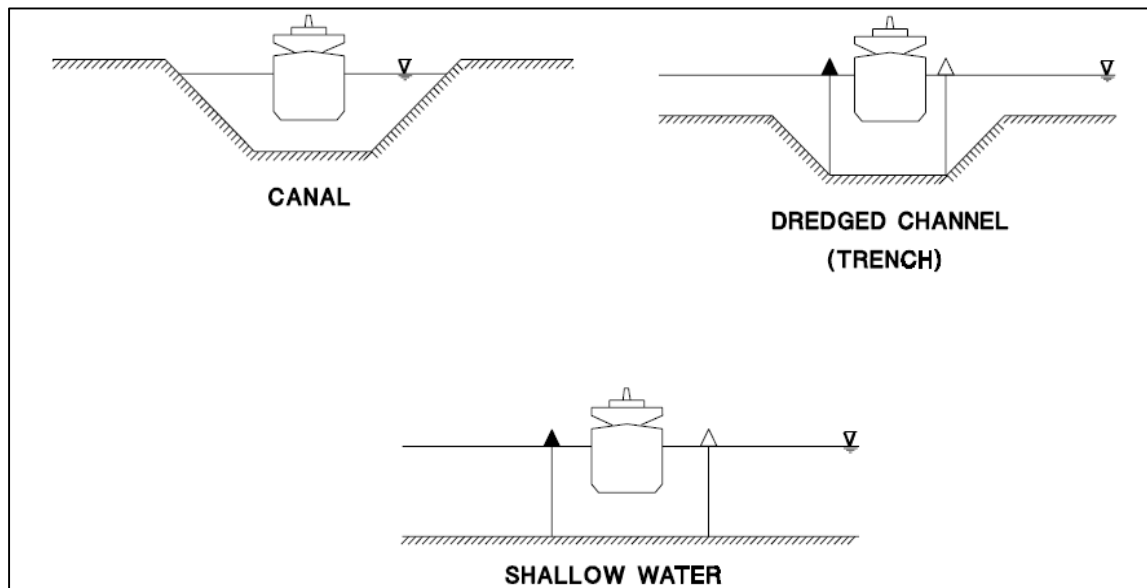


Fig. 11 Channel cross sections – USACE Guidelines

미국 육군 공병대 설계기준(USACE)에 따른 일방 통항에서의 필요 항로 폭 기준은 Table 6과 같다.

Table 6 One-way ship traffic channel width design criteria
– USACE Guidelines

Division	Design Ship Beam Multipliers for Maximum Current		
	0.0 ~ 0.5 knots	0.5 ~ 1.5 knots	1.5 ~ 3.0 knots
Best Aids to Navigation			
Shallow water	3.0B	4.0B	5.0B
Canal	2.5B	3.0B	3.5B
Trench	2.75B	3.25B	4.0B
Average Aids to Navigation			
Shallow water	3.5B	4.5B	5.5B
Canal	3.0B	3.5B	4.0B
Trench	3.5B	4.0B	5.0B

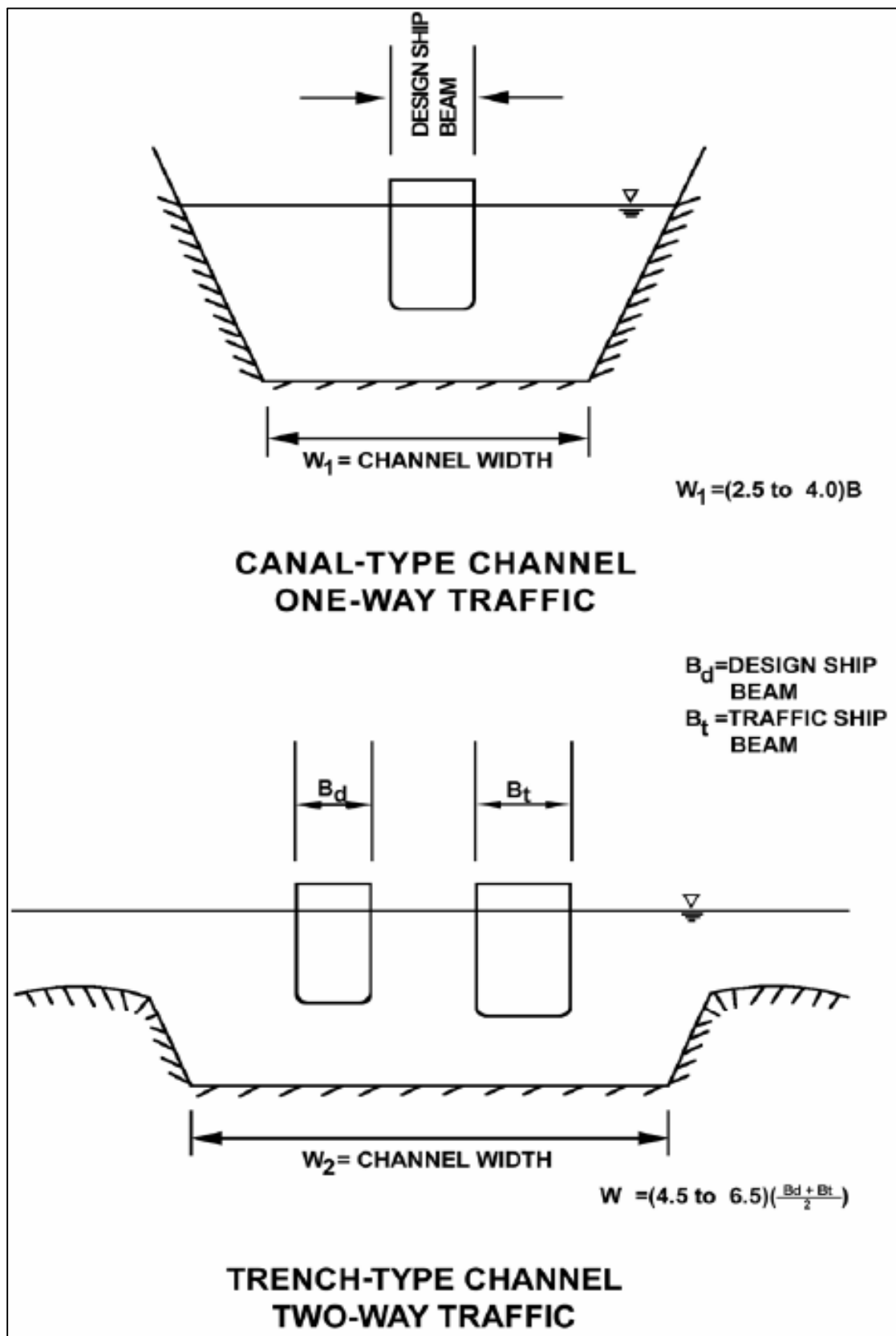


Fig. 12 Channel design width – USACE Guidelines

일방 통행 항로의 항로 폭은 천해(Shallow water)와 같이 항로의 수심이 낮으며 조류의 세기가 강할수록 많은 항로 폭을 필요로 하고 있다. 또한, 항행보조시설이 잘 갖추어져 있는 항로 폭이 일반적인 항행보조시설을 갖추고 있는 항로보다 필요 항로 폭이 작은 것이 특징이다.

Canal-Type Channel에서의 일방 통행인 경우, 필요 항로 폭(W_1)은 [식 2.6]과 같이 구할 수 있다.

$$W_{USACE} = W_1 = (2.5 \sim 4.0) \times B \quad (\text{식 2.6})$$

미국 육군 공병대 설계기준(USACE)에 따른 교행 통행 항로에서의 필요 항로 폭 기준은 Table 7과 같다.

Table 7 Two-way ship traffic channel width design criteria
- USACE Guidelines

Division	Design Ship Beam Multipliers for Maximum Current		
	0.0 ~ 0.5 knots	0.5 ~ 1.5 knots	1.5 ~ 3.0 knots
Best Aids to Navigation			
Shallow water	5.0B	6.0B	8.0B
Canal	4.0B	4.5B	5.5B
Trench	4.5B	5.5B	6.5B

교행 통행 항로의 항로 폭도 일방 통행 항로와 같이, 항로의 수심이 낮으며 조류의 세기가 강할수록 많은 항로 폭을 필요로 하고 있다.

Trench-Type Channel에서의 교행 통행인 경우, 필요 항로 폭(W_2)은 [식 2.7]과 같이 구할 수 있다.

$$W_{USACE} = W_2 = (4.5 \text{ to } 6.5) \left(\frac{B_d + B_t}{2} \right) \quad (\text{식 2.7})$$

여기서,

B_d : Design ship Beam

B_t : Traffic ship Beam

2.3 국내·외 설계기준 비교 분석

앞서 조사한 바와 같이, 적정 항로 폭 산정에 관한 국내 항만 및 어항 설계 기준과 국외 PIANC Guidelines, JAPAN Guidelines, USACE Guidelines에서 제시하고 있는 주요 검토 사항을 정리하면 다음과 같다.

- 국내 항만 및 어항 설계기준에서는 선박의 길이(Loa)를 기준으로 하여 선박 교행 여부에 따른 필요 항로 폭 산정
- PIANC Guidelines에서는 선박의 폭(Beam)을 기준으로 하여 선박 요인(조종 성능 및 선속) 및 환경적 요인(바람, 조류, 파랑, 해저면 상태, 항로 수심, 항로 측벽 형태), 기타 요인(항행표지시설 성능, 교행 통항에 대한 추가 항로 폭, 산적 화물 위험도) 등을 종합적으로 고려하여 필요 항로 폭 산정
- JAPAN Guidelines에서는 대상 선박과 항행 환경을 특정할 수 있는 경우, 유체 역학적인 선박의 동적 거동을 고려하여 대상 선박별로 필요 항로 폭 산정 (단, 대상 선박과 항행 환경을 특정할 수 없는 경우, 선박의 길이(Loa)를 기준으로 하여, 선박 교행 여부에 따른 필요 항로 폭 산정)
- USACE Guidelines에서는 선박의 폭(Beam)을 기준으로 하여 환경적 요인(조류, 항로 형태) 및 기타 요인(통항 형태, 항행 보조시설 및 항해 기기의 성능) 등에 따른 필요 항로 폭 산정

Table 8 Comparison of appropriate channel width in design criteria

Div.	KOREA Guidelines	PIANC Guidelines	JAPAN Guidelines	USACE Guidelines
One way	0.5L~1.0L	1.5B~9.3B	0.5L~1.0L	2.5B~5.5B
Two way	1.0L~2.0L	4.2B~18.0B	1.0L~2.0L	4.0B~8.0B
Basic consi dera tion	- 항로의 길이 - 선박 교행 유무	- 선박 요인 (조종성능, 선속) - 환경적 요인 (바람, 조류, 파랑, 해저면 상태, 항로 수심, 항로 측벽 형태) - 기타 요인 (항행표지시설 성능, 교행 통항에 대한 추가 항로 폭, 산적 화물 위험도)	- 항로의 길이 - 선박 교행 유무	- 선박 요인 (폭) - 환경적 요인 (조류, 항로 형태) - 기타 요인 (통항 형태, 항행 보조시설 및 항해 기기의 성능)

Div.	KOREA Guidelines	PIANC Guidelines	JAPAN Guidelines	USACE Guidelines
Add itional consi dera tion	- 선박 관계자 의견 수렴 및 선박조종시물 레이선 결과 반영 필요 1) 통항량이 많은 항로 2) 횡단하는 흐름이 예상되는 항로 3) 초대형선을 대상으로 하는 항로 4) 기상·해상 조건이 열악한 항로	- 풍압면적이 높은 페리선 및 RoRo선, 자동차 운반선 등에 대해서는 기본 값에 추가하여 0.2B 추가 - 가능한 경우, 높은 횡조류는 피할 수 있도록 항로 조정 권장	- 대상 선박 및 항행 환경을 특정할 수 있는 경우 고려사항 1) 풍력, 조류력, 선수동요, 횡이동에 대한 기본 항로 폭 2) 안벽효과 및 교행 통항, 추월 통항에 대한 추가 항로 폭	- 3 knots 이상의 큰 조류속을 갖는 항로를 설계할 경우, 선박 시뮬레이터 설계를 통한 검토 필요

제 3 장 국내 항만 주요 항로 설정 현황

3.1 개요

앞서, 서론에서 언급한 바와 같이, 오늘날 전 세계적으로 조선 산업의 발달과 첨단 과학 기술의 발전으로 인하여 선박의 대형화 및 고속화는 급속히 진행되고 있다. 이러한 영향으로 인하여 국내 항만의 경우에도 대형 선박의 입출항 빈도가 점차 증가하고 있으며 이에 따라, 현재 시점에서 과거에 설계된 항로에 대하여 적정성을 검토하고 필요 시 변화 추세에 대한 개선이 필요한 실정이다.

따라서, 본 장에서는 현재 운영 중인 주요 항로의 적정성을 검토하기 위하여 국내 항만에 설정되어 있는 항로에 대해 일반 제원(항로 폭 및 길이, 수심) 및 항로 이용 선박 중 최대 크기급 선박의 제원, 통항 선박 평균 선속을 조사하였으며 국내 항만 설계기준에서 제시하고 있는 항로 폭 기준과 비교 검토를 수행하였다. 이에 추가하여, 항로 위치에 따른 대상 해역에서의 환경적 특성을 검토하기 위해 외력(바람 및 조류) 조건에 대해서도 함께 조사하였다.

대상 항로 선정 시에는 항로를 이용하는 실제 해상교통량을 참고하여 대형 선박이 빈번하게 통항하고 항계 내측에 위치한 항로를 우선적으로 설정하였으며 부산항(2개 항로), 광양항(3개 항로), 울산항(4개 항로), 인천항(2개 항로), 평택·당진항(1개 항로), 대산항(2개 항로), 제주항(1개 항로) 등에 대하여 분석을 수행하였다.

본 연구에서는 연구를 목적으로 수집한 72시간 해상교통현황 조사 결과 및 GICOMS Data(해양수산부)를 활용하여 국내 항만 주요 항로에서의 선박 통항 흐름 및 최대 크기급 선박을 분석하였다.

3.2 국내 항만 주요 항로 현황

국내 주요 무역항에 위치한 항로의 폭 및 길이, 수심과 항로를 이용하는 최대 통항 선박의 일반 제원(전장 및 선평), 통항 선속 조사 결과는 Table 9와 같다. 여기서, 항로의 폭(Channel Width)은 *CW*, 항로의 길이(Channel Length)는 *CL*, 항로의 수심(Channel Depth)은 *CD*로 표현하고자 한다. (*CW*의 경우, 대형 선박이 이용하는 항로 구간 중 가장 폭이 좁은 구간을 측정하여 제시하였음.)

Table 9 Channel characteristics in Domestic Ports

Division (Port / Channel)		<i>CW</i> (m)	<i>CL</i> (km)	<i>CD</i> (m)	Traffic ship (Max. size)		Traffic Ship Avg. Speed (kts)
					Loa (m)	Beam (m)	
Busan	No. 1	340	5	DL(-) 13.4	366	51	10.0
	No. 5	770	3	DL(-) 16.4	400	59	11.7
Kwang yang	No. 2	400	2	DL(-) 14.5	183	32	8.8
	No. 3	380	3	DL(-) 20.9	339	46	9.9
	No. 4	420	3	DL(-) 13.1	339	60	9.8
Ulsan	No. 1	480	12	DL(-) 11.8	333	60	7.8
	No. 2	190	1	DL(-) 12.4	229	32	9.3
	No. 3	300	3	DL(-) 18.7	260	32	9.5
	No. 4	300	5	DL(-) 25.0	245	42	9.4
Incheon	No. 1	410	23	DL(-) 9.0	348	47	9.7
	No. 3	830	13	DL(-) 12.1	345	55	8.4
Pyeong Taek · Dangiin	Passage	740	15	DL(-) 12.4	345	55	9.3
Daesan	No. 1	870	14	DL(-) 21.0	333	60	11.3
	No. 2	290	2	DL(-) 13.5	123	20	10.6
Jeju	Passage	90	1	DL(-) 6.8	192	27	9.5

국내 항만 주요 항로 현황 조사 결과를 바탕으로 Fig. 13과 같이 CW 및 CL 에 따라 총 4개의 그룹(A~D)으로 분류하였으며 평균 항로 폭($CW_{Avg.}$)은 약 454m, 평균 항로 길이($CL_{Avg.}$)는 약 7 km로 분석되었다.

조사된 항로의 통항 형태가 일반적으로 교행 통항(Two-way)이 이루어지고 있는 점을 고려할 때, Group A는 항로 폭이 비교적 좁고 항로 길이가 비교적 긴 특징이 있으며 인천항 제1항로가 포함된다. Group B는 항로 폭이 비교적 넓고 항로 길이가 비교적 긴 특징이 있으며 인천항 제3항로 및 울산항 제1항로, 평택·당진항 진입항로, 대산항 제1항로 등이 포함된다. Group C는 항로 폭이 비교적 좁고 항로 길이도 비교적 짧은 특징이 있으며 부산항 제1항로 및 광양항 제2~4항로, 울산항 제2~4항로, 대산항 제2항로, 제주항 내항항로 등이 포함된다. Group D는 항로 폭이 비교적 넓고 항로 길이는 비교적 짧은 특징이 있으며, 부산항 제5항로 등이 포함된다.

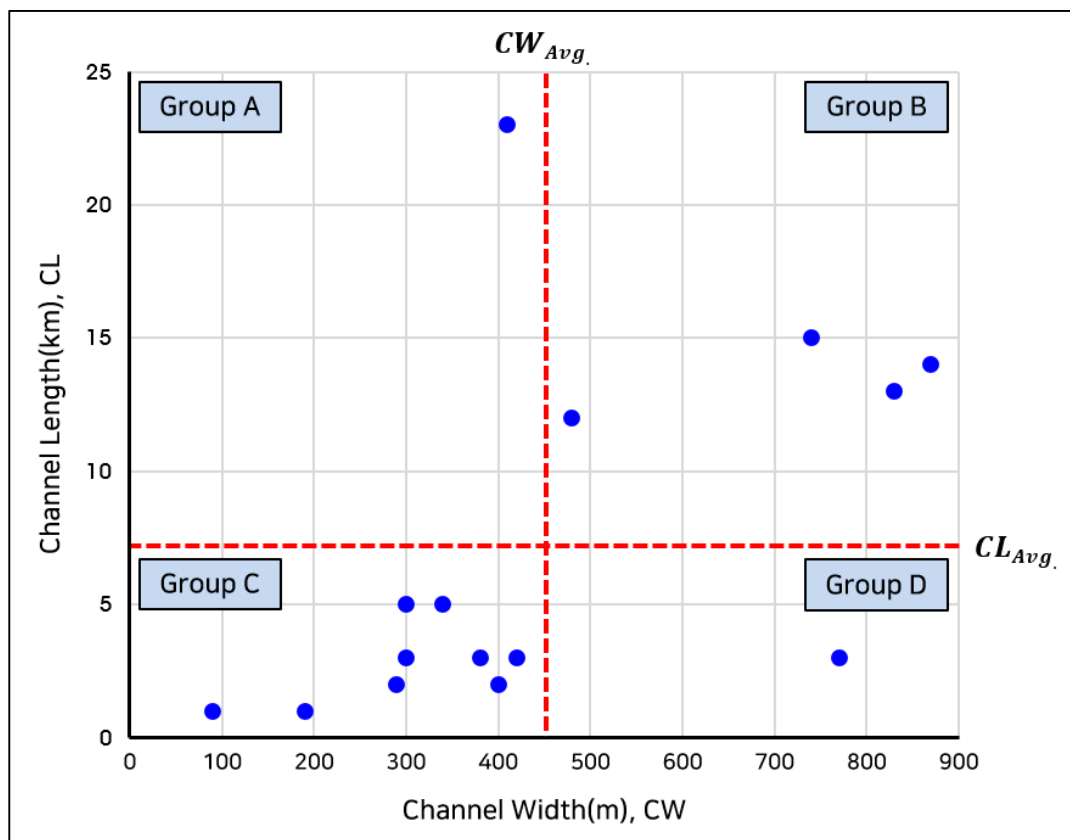


Fig. 13 Comparison between CW and CL in Domestic Ports

각 Group별 항만 및 항로 현황은 Table 10과 같으며 CW 와 CL 를 비교 분석한 결과 전반적으로 국내 항만의 주요 항로는 Group C와 같이 항로 폭이 평균보다 작은 편($CW < CW_{Avg.}$)에 속하며 항로 길이 또한 평균보다 짧은 형태($CL < CL_{Avg.}$)의 항로 형식을 취하고 있는 것으로 조사되었다.

Table 10 Group of channel width and length

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

3.2.1 Busan Port

부산항은 제1항로 및 제5항로에서 대형 선박이 주로 통항하고 있으며, 최소 항로 폭의 경우, 제1항로는 약 340m, 제5항로는 약 770m이다. 항로를 통항하는 최대 크기급 선박(Max size Traffic ship : TS_{max})의 경우, 제1항로는 컨테이너선(L:366m, B:51m), 제5항로는 컨테이너선(L:400m, B:59m)으로 조사되었으며 평균 통항 선속의 경우, 제1항로는 약 10.0 knots, 제5항로는 약 11.7 knots로 분석되었다.



Fig. 14 No. 1, 5 Channel - Busan Port

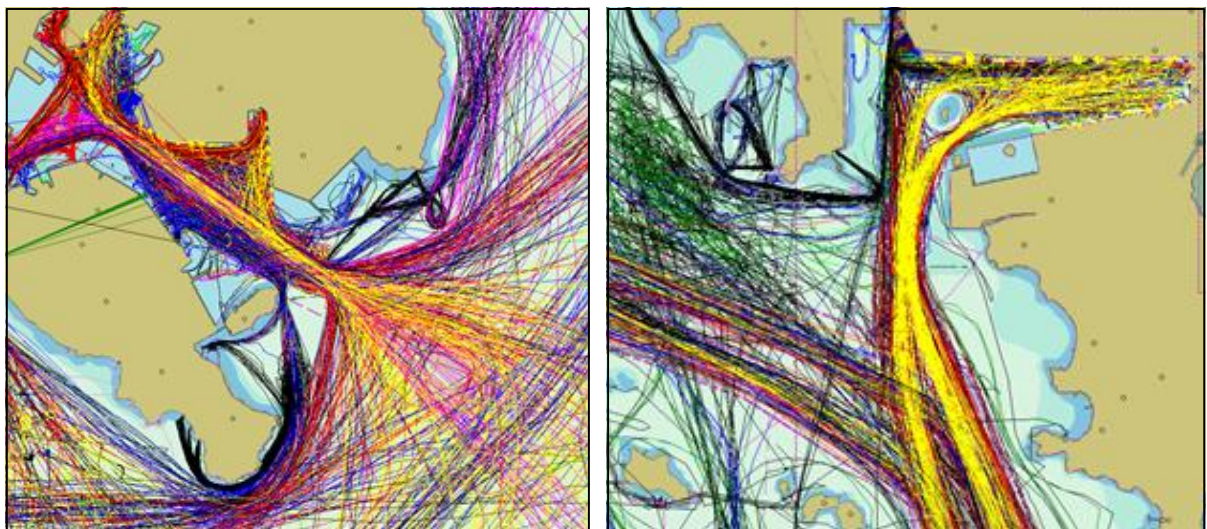


Fig. 15 Traffic data of No. 1, 5 Channel - Busan Port

Table 11 Busan Port characteristics

Division (Port / Channel)		TS_{max}			
		Type	Loa (m)	Beam (m)	Avg. speed (kts)
Busan	No. 1	Container ship	366	51	10.0
	No. 5	Container ship	400	59	11.7
· Wind : Avg. speed 8 knots / Max. speed 51 knots · Current : Max. speed(0.6~2.0 knots)					

3.2.2 Kwangyang Port

광양항은 제2항로 및 제3항로, 제4항로에서 대형 선박이 주로 통항하고 있으며 최소 항로 폭의 경우, 제2항로는 약 400m, 제3항로는 약 380m, 제4항로는 약 420m이다. 항로를 통항하는 최대 크기급 선박(TS_{max})의 경우, 제2항로는 탱커선(L:183m, B:32m), 제3항로는 컨테이너선(L:339m, B:46m), 제4항로는 컨테이너선(L:339m, B:60m)으로 조사되었으며 평균 통항 선속의 경우, 제2항로는 약 8.8 knots, 제3항로는 약 9.9 knots, 제4항로는 약 9.8 knots로 분석되었다.



Fig. 16 No. 2, 3, 4 Channel - Kwangyang Port

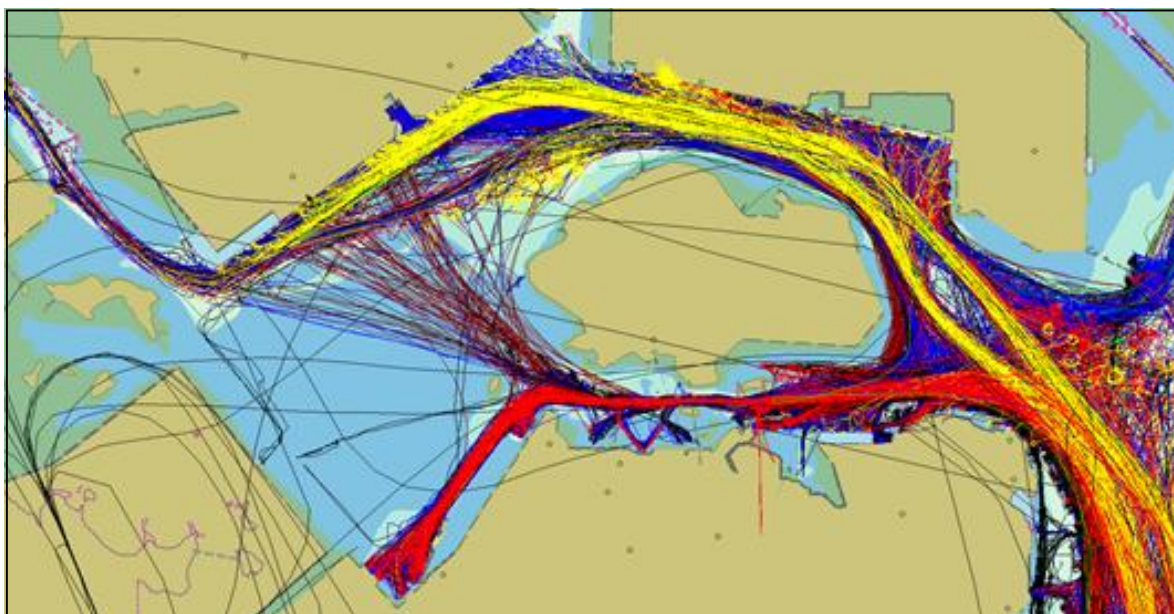


Fig. 17 Traffic data of No. 2, 3, 4 Channel - Kwangyang Port

Table 12 Kwangyang Port characteristics

Division (Port / Channel)		$TS_{\max}$			
		Type	Loa (m)	Beam (m)	Avg. speed (kts)
Kwangyang	No. 2	Tanker	183	32	8.8
	No. 3	Container ship	339	46	9.9
	No. 4	Container ship	339	60	9.8
• Wind : Avg. speed 8 knots / Max. speed 70 knots • Current : Max. speed(1.4 knots)					

3.2.3 Ulsan Port

울산항은 제1항로 및 제2항로, 제3항로, 제4항로에서 대형 선박이 주로 통항하고 있으며 최소 항로 폭의 경우, 제1항로는 약 480m, 제2항로는 약 190m, 제3항로는 약 300m, 제4항로는 약 300m이다. 항로를 통항하는 최대 크기급 선박(TS_{max})의 경우, 제1항로는 VLCC선(L:333m, B:60m), 제2항로는 화물선(L:229m, B:32m), 제3항로는 탱커선(L:260m, B:32m), 제4항로는 탱커선(L:245m, B:42m)으로 조사되었으며 평균 통항 선속의 경우, 제1항로는 약 7.8 knots, 제2항로는 약 9.3 knots, 제3항로는 약 9.5 knots, 제4항로는 약 9.4 knots로 분석되었다.



Fig. 18 No. 1, 2, 3, 4 Channel - Ulsan Port

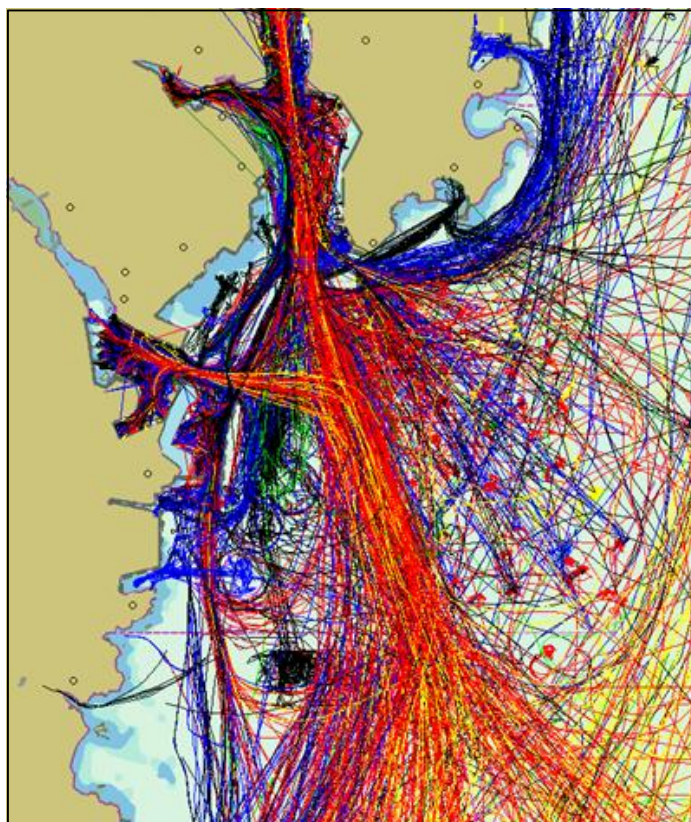


Fig. 19 Traffic data of No. 1, 2, 3, 4 Channel
- Ulsan Port

Table 13 Ulsan Port characteristics

Division (Port / Channel)		TS_{max}			
		Type	Loa (m)	Beam (m)	Avg. speed (kts)
Ulsan	No. 1	VLCC	333	60	7.8
	No. 2	Bulk Carriers	229	32	9.3
	No. 3	Tanker	260	32	9.5
	No. 4	Tanker	245	42	9.4
· Wind : Avg. speed 4 knots / Max. speed 35 knots · Current : Max. speed(0.2~0.8 knots)					

3.2.4 Incheon Port

인천항은 제1항로 및 제3항로에서 대형 선박이 주로 통항하고 있으며 최소 항로 폭의 경우, 제1항로는 약 410m, 제3항로는 약 830m이다. 항로를 통항하는 최대 크기급 선박(TS_{max})의 경우, 제1항로는 크루즈선(L:348m, B:47m), 제3항로는 LNG 운반선(L:345m, B:55m)으로 조사되었으며 평균 통항 선속의 경우, 제1항로는 약 9.7 knots, 제3항로는 약 8.4 knots로 분석되었다.



Fig. 20 No. 1, 3 Channel - Incheon Port

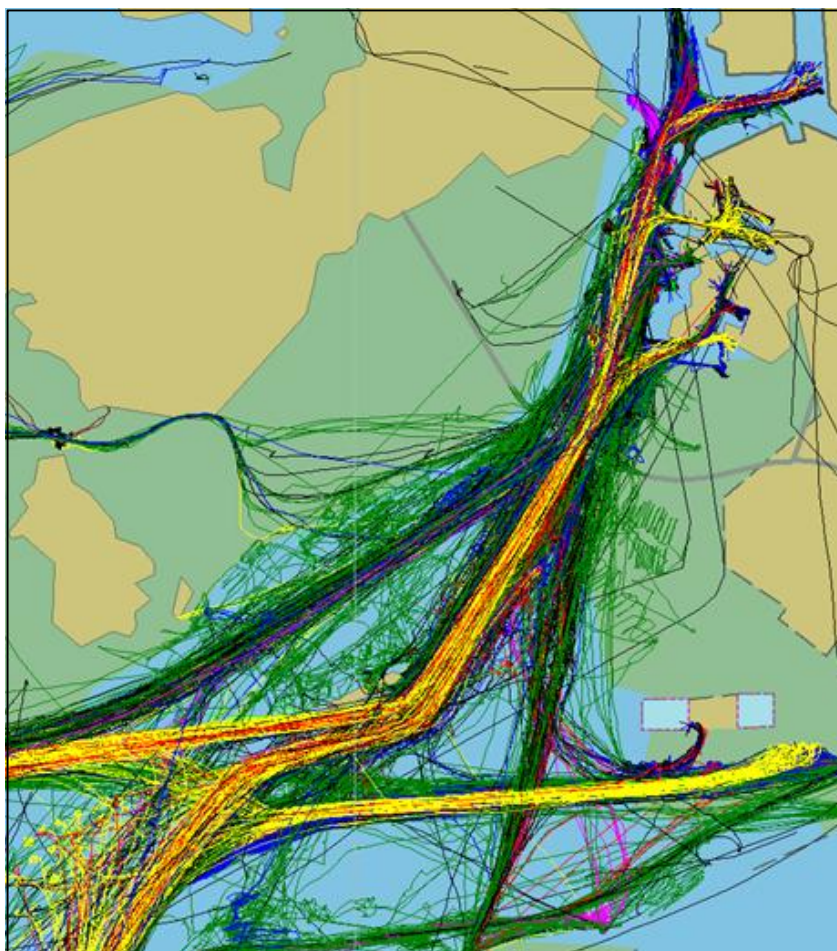


Fig. 21 Traffic data of No. 1, 3 Channel
- Incheon Port

Table 14 Incheon Port characteristics

Division (Port / Channel)		$TS_{\max}$			
		Type	Loa (m)	Beam (m)	Avg. speed (kts)
Incheon	No. 1	Cruise ship	348	47	9.7
	No. 3	LNG vessel	345	55	8.4
· Wind : Avg. speed 6 knots / Max. speed 41 knots · Current : Max. speed(2.0~2.5 knots)					

3.2.5 Pyeongtaek · DangJin Port

평택·당진항은 항계 내 진입항로에서 대형 선박이 주로 통항하고 있으며 최소 항로 폭의 경우, 약 740m이다. 항로를 통항하는 최대 크기급 선박(TS_{max})의 경우, LNG 운반선(L:345m, B:55m)으로 조사되었으며 평균 통항 선속의 경우, 약 9.3 knots로 분석되었다.

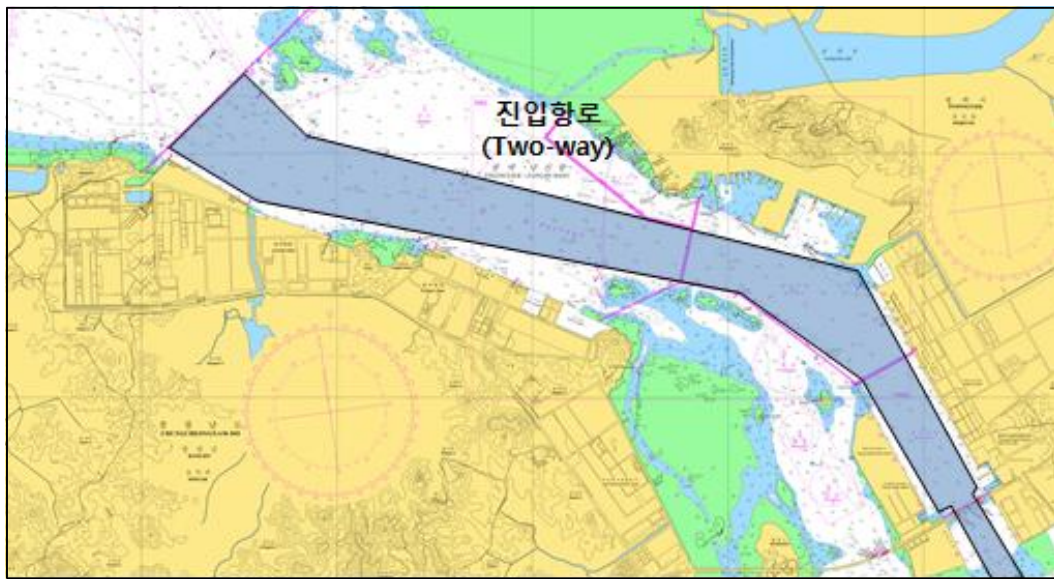


Fig. 22 Channel - Pyeongtaek · Dangjin Port

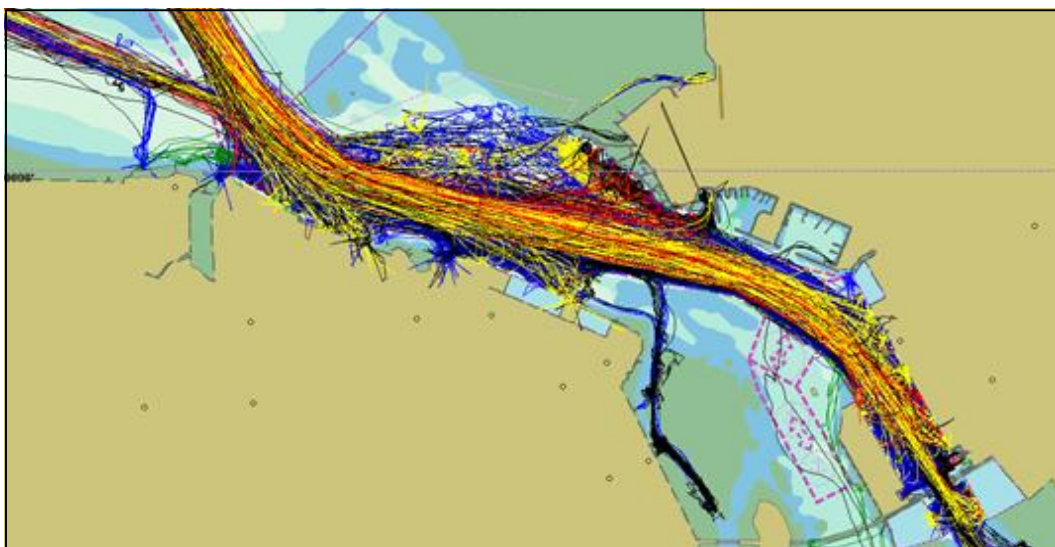


Fig. 23 Traffic data of Channel - Pyeongtaek · Dangjin Port

Table 15 Pyeongtaek · Dangjin Port characteristics

Division (Port / Channel)		TS_{max}			
		Type	Loa (m)	Beam (m)	Avg. speed (kts)
Pyeongtaek · Dangjin	Passage	LNG vessel	345	55	9.3
· Wind : Avg. speed 4 knots / Max. speed 27 knots · Current : Max. speed(2.9 knots)					

3.2.6 Daesan Port

대산항은 제1항로 및 제2항로에서 대형 선박이 주로 통항하고 있으며 최소 항로 폭의 경우, 제1항로는 약 870m, 제2항로는 약 290m이다. 항로를 통항하는 최대 크기급 선박(TS_{max})의 경우, 제1항로는 VLCC선(L:333m, B:60m), 제2항로는 탱커선(L:123m, B:20m)으로 조사되었으며 평균 통항 선속의 경우, 제1항로는 약 11.3 knots, 제2항로는 약 10.6 knots로 분석되었다.



Fig. 24 No. 1, 2 Channel - Daesan Port

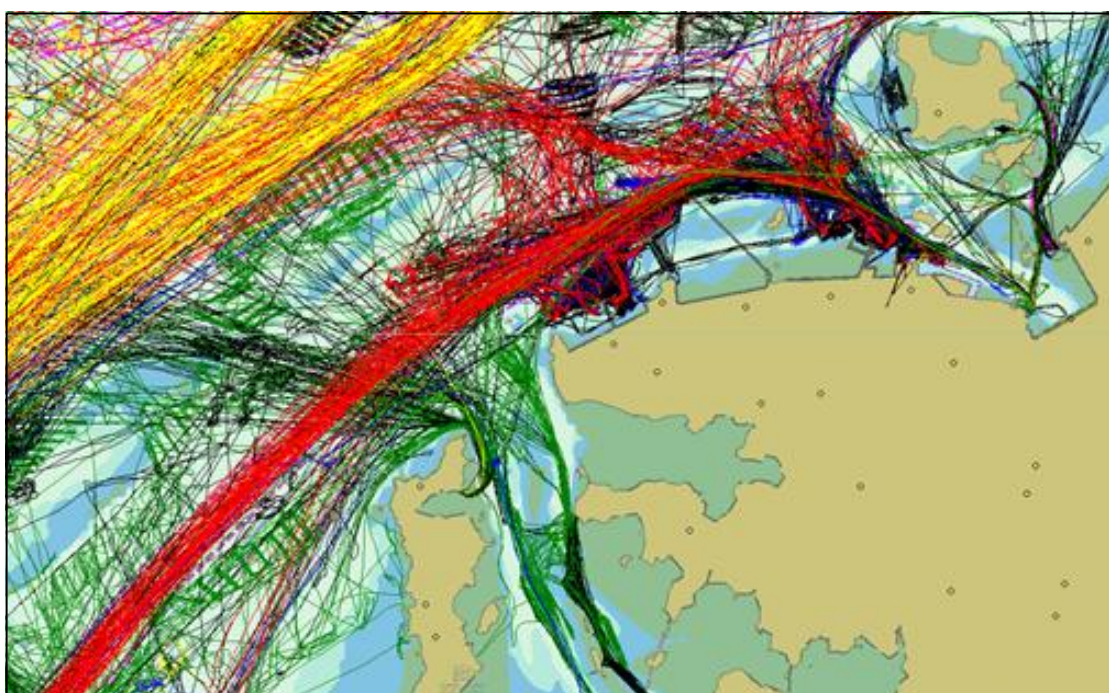


Fig. 25 Traffic data of No. 1, 2 Channel - Daesan Port

Table 16 Daesan Port characteristics

Division (Port / Channel)		$TS_{\max}$			
		Type	Loa (m)	Beam (m)	Avg. speed (kts)
Daesan	No. 1	VLCC	333	60	11.3
	No. 2	Tanker	123	20	10.6
· Wind : Avg. speed 6 knots / Max. speed 52 knots · Current : Max. speed(3.1~3.2 knots)					

3.2.7 Jeju Port

제주항은 내항 진입항로에 중형 여객선이 주로 통항하고 있으며 최소 항로 폭의 경우, 약 90m이다. 항로를 통항하는 최대 크기급 선박(TS_{max})의 경우, 여객선(L:192m, B:27m)으로 조사되었으며 평균 통항 선속의 경우, 약 9.5 knots로 분석되었다.



Fig. 26 Channel - Jeju Port

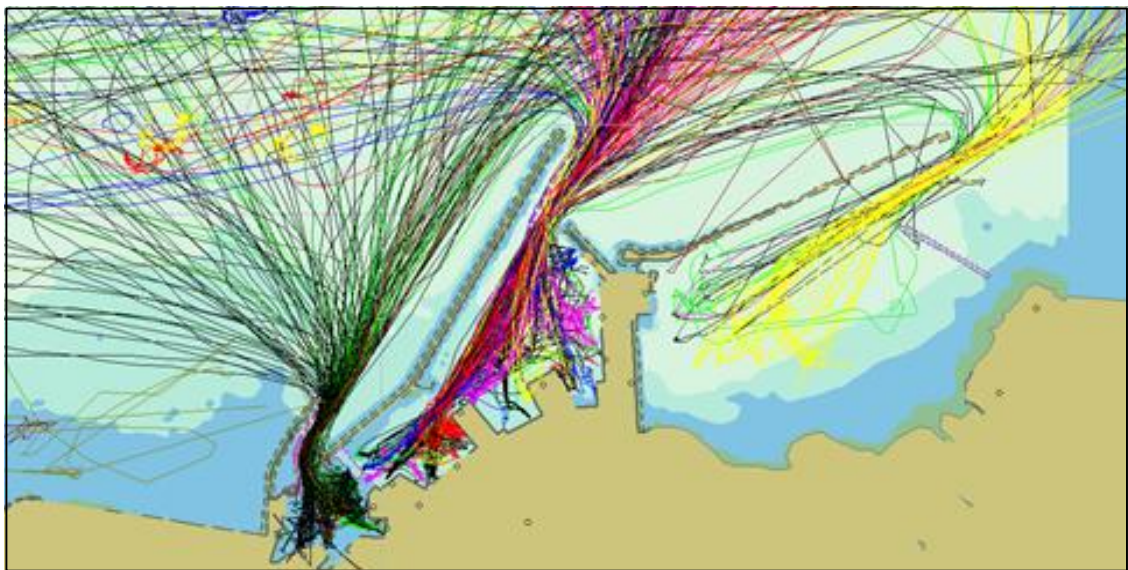


Fig. 27 Traffic data of Channel - Jeju Port

Table 17 Jeju Port characteristics

Division (Port / Channel)		$TS_{\max}$			
		Type	Loa (m)	Beam (m)	Avg. speed (kts)
Jeju	Passage	Ferry	192	27	9.5
· Wind : Avg. speed 6 knots / Max. speed 78 knots · Current : Max. speed(0.4 knots)					

3.3 국내 항만 설계기준에 따른 항로 폭 적정성 검토

각 Group별 항로 현황을 바탕으로, 통항 선박 중 최대 크기급 선박에 대하여 국내 항만 설계기준에 따른 항로 폭 기준(One-way 0.5L, Two-way 2.0L)을 적용한 결과는 Table 18과 같다.

Table 18 Application according to KOREA Guidelines

Division (Group / Port / Channel)			CW (m)	CL (km)	TS_{max} (Loa, m)	KOREA Guidelines	
						One way	Two way
Group A	Incheon	No. 1	410	23	348	0.5L	2.0L
Group B	Incheon	No. 3	830	13	345		
	Ulsan	No. 1	480	12	333		
	Pyeongtaek ·Dangjin	Passage	740	15	345		
	Daesan	No. 1	870	14	333		
Group C	Busan	No. 1	340	5	366		
	Kwangyang	No. 2	400	2	183		
		No. 3	380	3	339		
		No. 4	420	3	339		
	Ulsan	No. 2	190	1	229		
		No. 3	300	3	260		
		No. 4	300	5	245		
	Daesan	No. 2	290	2	123		
	Jeju	Passage	90	1	192		
Group D	Busan	No. 5	770	3	400		

분석 결과, Fig. 28 및 Table 19와 같이 일방 통항 항로에서는 Group C의 제주항(내항항로)을 제외한 항만의 항로는 통항 선박(최대 크기급) 길이 대비 적정 항로 폭 기준(0.5L)을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 교행 통항 항로에서는 Group B의 인천항(제3항로), 평택·당진항(진입항로), 대산항(제1항로), Group C의 광양항(제2항로), 대산항(제2항로)의 항로가 적정 항로 폭 기준(2.0L)을 만족하는 것으로 검토되었다.

교행 통항 항로에서 적정항로 폭 기준을 만족하지 못하는 경우, 관할 항만 해상교통관제센터의 관제 또는 교행 선박간의 상호 교신을 통하여 최소 항로 폭 구간에서 일방 통항을 유도할 수 있으므로 일시적인 해소는 가능한 것으로 판단된다. 그러나, 장기적인 관점에서는 항로상에서 선박의 안전항행을 위하여 대안 설계를 통한 항로 또는 항만의 확대를 고려하는 것이 필요하며 물리적으로 불가능한 경우에는 대형 선박과 관련된 항만 기능의 재이전 등 항로 폭 개선에 대한 대책이 필요한 것으로 사료된다.

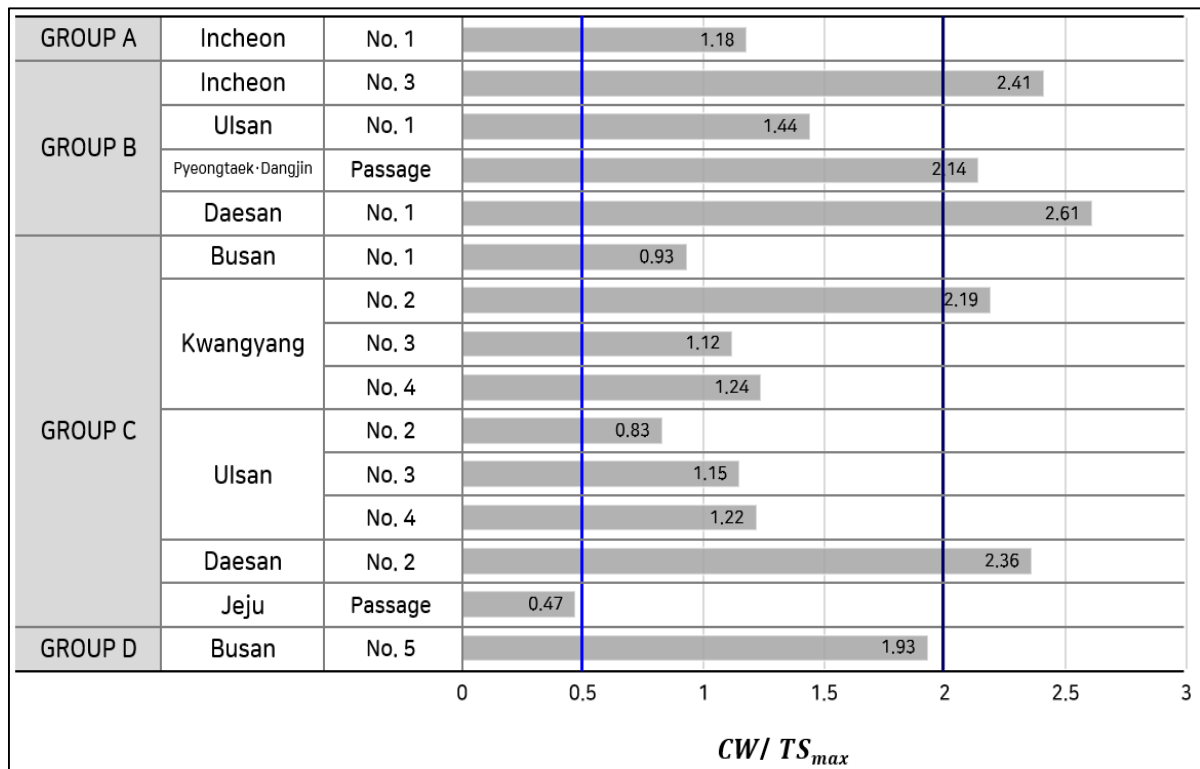


Fig. 28 Channel width in Domestic Ports – KOREA Guidelines

Table 19 Appropriate channel width in Domestic Ports – KOREA Guidelines

Division (Group / Port / Channel)			CW (m)	$TS_{\max}$ (Loa, m)	$CW / TS_{\max}$ (Loa)	KOREA Guidelines*			
						One-way		Two-way	
Group A	Incheon	No. 1	410	348	1.18L	174	S	696	I
Group B	Incheon	No. 3	830	345	2.41L	173	S	690	S
	Ulsan	No. 1	480	333	1.44L	167	S	666	I
	Pyeongtaek ·Dangjin	Pass -age	740	345	2.14L	173	S	690	S
	Daesan	No. 1	870	333	2.61L	167	S	666	S
Group C	Busan	No. 1	340	366	0.93L	183	S	732	I
	Kwangyang	No. 2	400	183	2.19L	92	S	366	S
		No. 3	380	339	1.12L	170	S	678	I
		No. 4	420	339	1.24L	170	S	678	I
	Ulsan	No. 2	190	229	0.83L	115	S	458	I
		No. 3	300	260	1.15L	130	S	520	I
		No. 4	300	245	1.22L	123	S	490	I
	Daesan	No. 2	290	123	2.36L	62	S	246	S
	Jeju	Pass -age	90	192	0.47L	96	I	384	I
Group D	Busan	No. 5	770	400	1.93L	200	S	800	I

* S : Sufficient, / I : Insufficient

제 4 장 국내 항만 적정 항로 폭 분석

4.1 개요

제 3장에서는 국내 주요 무역항에 위치한 항로를 대상으로 항로의 일반 제원 및 항로 이용 선박 중 최대 크기급 선박의 제원을 조사하고 국내 항만 설계기준에서 제시하고 있는 적정 항로 폭 기준과 비교 검토를 수행하였다.

국내 주요 항만에 위치하고 있는 항로 별로 최대 크기급 선박의 제원을 검토한 결과, 대형 선박의 선종은 주로 컨테이너선, VLCC선, 크루즈선, LNG 운반선 등으로 조사되었으며 선박 길이(Loa)와 선폭(Beam)의 경우, 선종마다 차이가 있지만 대부분 길이 300m 이상, 선폭 40m 이상의 규모로 조사되었다.

Table 20 Dimension of Traffic ship(Max. size) - Domestic Ports

Division (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 · Dangiin	LNG vessel	345	55
Daesan	VLCC	333	60
Jeju	Ferry	192	27

이에 따라, 제 4장에서는 국내 항만의 항로를 이용하고 있는 대형 선박 현황 결과를 바탕으로 PIANC Guidelines에서 제시하고 있는 일반적인 조종성능별 선종 분류 기준을 참고하여 3종류의 대상 선박(Basic maneuvering Good : 크루즈선, Basic maneuvering Moderate : 컨테이너선, Basic maneuvering Poor VLCC선)을 설정하였다.

그리고 각각의 대상 선박을 바탕으로 하여 국내 항만에 신규 항로가 개설된다는 가정 하에 국내·외 항만 설계기준에서 제시하는 평가요소를 적용하여 선박 통항에 필요한 적정 항로 폭을 추정하고 기준에 따른 필요 항로 폭 차이를 비교 검토하고자 하였다.

Table 21 Basic maneuvering – PIANC Guidelines

Division		Description
Ship Manoeuvrability	Good	- Twin-propeller ships - Ferries and Cruise vessels
	Moderate	- Container vessels - Car carriers, RoRo vessels - LNG, LPG vessels
	Poor	- Bulk Carriers - Tanker

4.2 대상선박 제원

대상선박 제원의 경우, 앞서, 일반적인 조종성능에 따라 분류한 크루즈선, 컨테이너선, VLCC선 등의 선종을 기준으로 하되 평가를 위한 상세 제원은 국내·외 항만 설계기준과 선박조종시뮬레이터를 활용한 필요 항로 폭과의 비교 검토를 수행하기 위하여 연구를 목적으로 수집한 동일 선종의 실선 Data 및 선박 모델링 자료를 활용하였다.

평가 대상선박은 국내 주요 항만의 항로를 이용하고 있는 최대크기급 선박과 유사한 규모 및 제원으로 설정하였으며 크루즈선(150K GT)은 전장 약 344m, 선폭 약 41m, 컨테이너선(12K TEU)은 전장 약 358m, 선폭 약 49m, VLCC선(300K DWT)은 전장 약 350m, 선폭 약 63m이다.

Table 22 Ship' s particular

Division		Loa (m)	Lbp (m)	Beam (m)	Draft (m)
A	150K GT Cruise ship	344	301	41	10.3
B	12K TEU Container ship	358	340	49	15.2
C	300K DWT VLCC	350	344	63	21.0

Table 23 Photo of ship - $TS_{\max}$

A	B	C
150K GT Cruise ship	12K TEU Container ship	300K DWT VLCC
		

4.3 적정 항로 폭 분석

4.3.1 국내 항로 설계기준 적용

국내 항만 및 어항설계기준에서는 항로 폭 설계 시, 선박의 길이(Loa)를 대상으로 하고 있으며 선박이 운항 중 교행 가능성이 없는 일방 통항 항로에서는 0.5L~1.0L을 적용한다. 교행 가능성이 있는 교행 통항 항로에서는 항로의 길이와 교행의 빈도 등을 고려하여 1.0L~2.0L을 적용한다.

Table 24 Channel width criteria – KOREA Guidelines

Division	One-way	Two-way
Harbour Design Criteria in Korea	0.5L ~ 1.0L	1.0L ~ 2.0L

국내 항만 및 어항설계기준에 따른 대상 선박별 필요 항로 폭 분석 결과, 12K TEU Container ship이 일방 통항 시 최대 358m, 교행 통항 시 최대 716m의 항로 폭이 필요한 것으로 분석되었다.

Table 25와 같이 국내 기준에서는 선박 길이 factor만 일률적으로 고려하며 대상 선박의 선형 및 조종특성, 외력 조건 등의 추가 고려 사항이 반영되지 않고 있다. 따라서, 필요 항로 폭을 고려함에 있어 국내 기준 상의 한계점이 있는 것으로 판단된다.

Table 25 Appropriate channel width – KOREA Guidelines

Division	Loa (m)	One-way Criteria	One-way result	Two-way Criteria	Two-way result
150K GT Cruise ship	344	0.5L~1.0L	172~344m	1.0L~2.0L	344~688m
12K TEU Container ship	358		179~358m		358~716m
300K DWT VLCC	350		175~350m		350~700m

4.3.2 국외 항로 설계기준 적용

가. PIANC Guidelines

PIANC Guidelines에서는 항로 폭 설계 시, 선박의 폭(Beam)을 대상으로 하고 있으며 선박 요인(조종성능 및 통항 선속 등)과 환경적 요인(바람, 조류, 파랑, 기타 항로표지 설치 유무, 항로 외측 지형 요인 등)을 우선적으로 제시하고 있다. 또한, 항로에 위치에 따라 외부항로(Outer Channel)와 내부항로(Inner Channel)로 구분하며 각각의 항로에서의 선박 교행 여부에 따라 기준 값을 다르게 적용한다.

Table 26 Channel width criteria – PIANC Guidelines

Division		Outer Channel (Open water)	Inner Channel (Protected water)
PIANC Guidelines	Basic Manoeuvring Lane (W_{BM})	1.3B~1.8B	1.3B~1.8B
	Environmental and Other Factors (W_i)	0.2B~4.9B	0.2B~3.3B
	Additional Width for Bank Clearance (W_{BR} or W_{BG})	0.0B~1.3B	0.0B~1.3B
	One-way Total	$W_{BM} + W_i + W_{BR} + W_{BG}$	
		1.5B~9.3B	1.5B~7.7B
	Additional Width for Passing Distance in Two-way traffic (W_p)	1.2B~2.0B	1.0B~1.8B
	Two-way Total	$2W_{BM} + 2W_i + W_{BR} + W_{BG} + W_p$	
		4.2B~18.0B	4.0B~14.6B

PIANC Guidelines에 따른 대상 선박별 필요 항로 폭 분석 시에는 선박의 조종 성능(W_{BM}) 기준에 따라 150K GT Cruise ship은 1.3B, 12K TEU Container ship은 1.5B, 300K DWT VLCC은 1.8B를 적용하였으며 환경적 요인(W_i)과 기타 요인(W_{BR} or W_{BG} , W_p)에 대해서는 항목별 최소~최대 기준 값을 적용하여 분석하였다.

분석 결과, Table 27과 같이 300K DWT VLCC이 일방 통항 시 Outer Channel에서 최대 586m, Inner Channel에서 485m로 분석되었으며 교행 통항 시 Outer Channel에서 최대 1,134m, Inner Channel에서 920m의 항로 폭이 필요한 것으로 분석되었다.

Table 27 Appropriate channel width - PIANC Guidelines

Division	B (m)	Outer Channel Criteria		Outer Channel result	Inner Channel Criteria		Inner Channel result
150K GT Cruise ship	41	One way	1.5B ~ 8.8B	62~361m	One way	1.5B ~ 7.2B	62~295m
		Two way	4.2B ~ 17.0B	172~697m	Two way	4.0B ~ 13.6B	164~558m
12K TEU Container ship	49	One way	1.7B ~ 9.0B	83~441m	One way	1.7B ~ 7.4B	83~363m
		Two way	4.6B ~ 17.4B	225~853m	Two way	4.4B ~ 14.0B	216~686m
300K DWT VLCC	63	One way	2.0B ~ 9.3B	126~586m	One way	2.0B ~ 7.7B	126~485m
		Two way	5.2B ~ 18.0B	328~1,134m	Two way	5.0B ~ 14.6B	315~920m

나. JAPAN Guidelines

일본 항만 설계기준에서는 항로 폭 설계 시, 국내 항만 설계기준과 동일하게 선박의 길이(Loa)를 대상으로 하고 있으며 대상 선박 및 항행 환경을 특정할 수 없는 경우(Class 1)와 특정할 수 있는 경우(Class 2)로 구분하여 적용하고 있다.

본 검토의 경우, 대상 선박은 3종류로 설정하였으나 기타 운항 환경을 특정할 수 없으므로 대상 선박 및 항행 환경을 특정할 수 없는 경우(Class 1)에 대한 기준을 활용하여 검토를 수행하였다.

Class 1에서는 선박이 운항 중 교행 가능성이 없는 편도항로에서는 0.5L~1.0L을 적용하며 교행 가능성이 있는 왕복항로에서는 항로의 길이와 교행의 빈도 등을 고려하여 1.0L~2.0L을 적용한다.

Table 28 Channel width criteria - JAPAN Guidelines

Division	One-way	Two-way
JAPAN Guidelines	0.5L ~ 1.0L	1.0L ~ 2.0L

분석 결과, Table 29와 같이 12K TEU Container ship이 일방 통항 시 최대 358m, 교행 통항 시 최대 716m의 항로 폭이 필요한 것으로 분석되었다.

Table 29 Appropriate channel width - JAPAN Guidelines

Division	Loa (m)	One-way Criteria	One-way result	Two-way Criteria	Two-way result
150K GT Cruise ship	344	0.5L~1.0L	172~344m	1.0L~2.0L	344~688m
12K TEU Container ship	358		179~358m		358~716m
300K DWT VLCC	350		175~350m		350~700m

다. USACE Guidelines

미국 육군 공병대 설계기준에서는 항로 폭 설계 시, 선박의 폭(Beam)을 대상으로 하고 있으며 항해 기기의 성능 및 항로의 변화성, 항로의 형태, 조류의 세기 등에 따라 항로 폭을 다르게 적용하고 있다.

본 검토의 경우, 왕복항로 검토 시, 설계 선박과 실제 통행 선박의 선폭이 동일한 것으로 가정하여 검토를 수행하였다.

Table 30 Channel width criteria – USACE Guidelines

Division			Maximum Current		
			0.0~0.5 knots	0.5~1.5 knots	1.5~3.0 knots
USACE Guidelines	One way	Shallow water	3.0~3.5B	4.0~4.5B	5.0~5.5B
		Canal	2.5~3.0B	3.0~3.5B	3.5~4.0B
		Trench	2.75~3.5B	3.25~4.0B	4.0~5.0B
	Two way	Shallow water	5.0B	6.0B	8.0B
		Canal	4.0B	4.5B	5.5B
		Trench	4.5B	5.5B	6.5B

분석 결과, Table 31과 같이 300K DWT VLCC가 Shallow water에서 일방 통항 시 최대 347m, 교행 통항 시 최대 504m의 항로 폭이 필요한 것으로 분석되었다.

Table 31 Appropriate channel width - USACE Guidelines

Division	B (m)	Channel cross section	One-way Criteria	One-way result	Two-way Criteria	Two-way result
150K GT Cruise ship	41	Shallow water	3.0B ~5.5B	123~226m	5.0B ~8.0B	205~328m
		Canal	2.5B ~4.0B	103~164m	4.0B ~5.5B	164~226m
		Trench	2.75B ~5.0B	113~205m	4.5B ~6.5B	185~267m
12K TEU Container ship	49	Shallow water	3.0B ~5.5B	147~270m	5.0B ~8.0B	245~392m
		Canal	2.5B ~4.0B	123~196m	4.0B ~5.5B	196~270m
		Trench	2.75B ~5.0B	135~245m	4.5B ~6.5B	221~319m
300K DWT VLCC	63	Shallow water	3.0B ~5.5B	189~347m	5.0B ~8.0B	315~504m
		Canal	2.5B ~4.0B	158~252m	4.0B ~5.5B	252~347m
		Trench	2.75B ~5.0B	173~315m	4.5B ~6.5B	284~410m

4.4 비교 분석 결과

대상 선박에 대한 국내·외 항로 폭 설계기준별 필요 항로 폭 분석 결과, Table 32와 같이 PIANC Guidelines에 따른 필요 항로 폭이 가장 큰 것으로 나타났다으며 이는 항로 폭에 영향을 미칠 수 있는 평가 요소(선박 요인, 환경적 요인, 기타 요인)가 구체화되어 있기 때문인 것으로 분석되었다.

- 150K GT Cruise ship : 일방 통항 항로에서 최대 361m, 교행 통항 항로에서 최대 697m의 항로 폭 필요
- 12K TEU Container ship : 일방 통항 항로에서 최대 441m, 교행 통항 항로에서 최대 853m의 항로 폭 필요
- 300K DWT VLCC : 일방 통항 항로에서 최대 586m, 교행 통항 항로에서 최대 1,134m의 항로 폭 필요

또한, 국내·외 항로 폭 설계기준에 따른 평가 요소가 상이함에 따라 동일 선박에 대해서도 필요 항로 폭 추정 결과가 다른 것으로 분석되었다.

따라서, 국내에서도 신규 항로 개설에 따른 항로 폭 설계 단계에서는 항로 폭에 영향을 미칠 수 있는 평가 요소를 선박 요인, 환경적 요인, 기타 요인 등으로 구체화하여 추정하고 객관적인 평가 방법에 의한 검토가 필요하다. 아울러, 선박조종시물레이션 평가를 통하여 추정 값에 대한 최종적인 검증을 수행하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

Table 32 Appropriate channel width - Domestic and Foreign Design Criteria

Division		One-way Criteria	One-way result	Two-way Criteria	Two-way result
150K GT Cruise ship · Loa : 344m · B : 41m	KOREA Guidelines	0.5~1.0L	172~344m	1.0~2.0L	344~688m
	PIANC Guidelines	1.5~8.8B	62~361m	4.2~17.0B	172~697m
	JAPAN Guidelines	0.5~1.0L	172~344m	1.0~2.0L	344~688m
	USACE Guidelines	2.5~5.5B	103~226m	4.0~8.0B	164~328m
12K TEU Container ship · Loa : 358m · B : 49m	KOREA Guidelines	0.5~1.0L	179~358m	1.0~2.0L	358~716m
	PIANC Guidelines	1.7~9.0B	83~441m	4.6~17.4B	225~853m
	JAPAN Guidelines	0.5~1.0L	179~358m	1.0~2.0L	358~716m
	USACE Guidelines	2.5~5.5B	123~270m	4.0~8.0B	196~392m
300K DWT VLCC · Loa : 350m · B : 63m	KOREA Guidelines	0.5~1.0L	175~350m	1.0~2.0L	350~700m
	PIANC Guidelines	2.0~9.3B	126~586m	5.2~18.0B	328~1,134m
	JAPAN Guidelines	0.5~1.0L	175~350m	1.0~2.0L	350~700m
	USACE Guidelines	2.5~5.5B	158~347m	4.0~8.0B	252~504m

제 5 장 배속 시뮬레이션 평가

5.1 개요

본 장에서는 대상 선박 및 해역, 해상/기상 조건(바람, 조류, 파랑 등)이 종합적으로 반영된 평가 시나리오를 설계하고, 선박과 환경적 요인의 변화가 대상 선박의 적정 항로 폭 산정에 미치는 영향을 정량적으로 평가하기 위해 선박 조종시뮬레이션을 수행하였다.

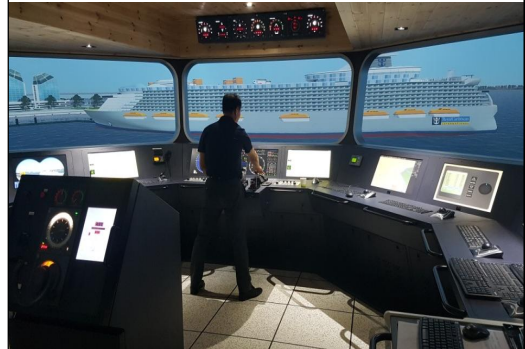
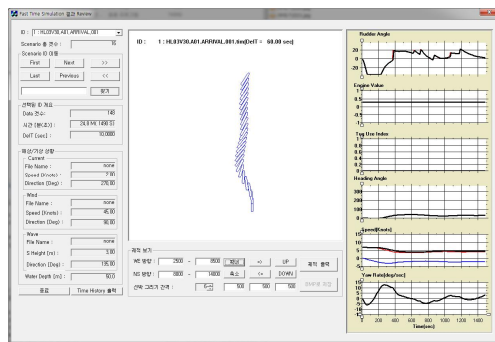
선박조종시뮬레이션은 인간의 판단 기능을 모델링한 자동운항 알고리즘에 의한 배속 시뮬레이션(FTS : Fast Time Simulation)과 실제 선박 운항자가 실험에 참여하는 실시간 시뮬레이션(RTS : Real Time Simulation)으로 구분되어진다.

배속 시뮬레이션은 실시간(實施間) 시뮬레이션의 한계를 극복하고 단점을 보완하기 위하여 개발된 기법이다. 배속 시뮬레이션의 장점은 선박 운항 시뮬레이션에 인간이 직접적으로 개입하지 않고 별도로 구성된 판단 로직에 의하여 시뮬레이션이 수행되므로 고속의 시뮬레이션이 가능하고 그에 따른 시간적, 경제적 제약이 줄어들어 체계적이고 다양한 조건에서의 시뮬레이션이 가능하다는 장점 외에 보다 객관적인 선박 운항 안전성 평가가 가능하다는 점을 들 수 있다.

항해사 자격증 소지자 등 조선자에 의한 운항 안전성 평가의 경우, 시간적 및 경제적인 제약으로 인하여 모든 경우에 대한 시뮬레이션 평가가 사실상 불가능하다. 또한, 선박 운항자의 개인적인 조선 특성과 숙련 정도 등 주관적인 요인이나 반복되는 시뮬레이션에 의한 학습 효과 등에 의해 그 결과가 달라져서 객관적인 분석 및 평가가 곤란해지는 경우가 종종 있다.

Table 33 Comparison between FTS(Fast Time Simulation) and RTS(Real Time Simulation)

Division	FTS (Fast Time Simulation)	RTS (Real Time Simulation)
Characteristics	- 컴퓨터의 자동운항 알고리즘에 의한 배속(Fast Time) Off-Line Simulation [PC] - 별도로 구성된 판단 로직에 의한 고속 시뮬레이션 수행 [시간적 경제적 제약 小] - 다양한 환경조건의 조합에 대한 객관적 및 정량적 평가 가능	- 항해사의 실제 조선에 의한 실시간(Real Time) On-Line Simulation [Human] - 항해사 자격증 소지자 등 조선자에 의한 시뮬레이션 수행 [시간적 경제적 제약 多] - 다양한 환경조건의 조합에 대한 주관적 및 정성적 평가 가능



선박 자동운항 알고리즘을 이용한 시뮬레이션이 실제 숙련된 운항자가 사용하는 선박 운항 방식과 다소 차이가 있을 수 있으나 이러한 차이는 Way Point 등 대상 선박의 자동운항 알고리즘 설계 시 항해 전문가의 의견을 최대한 반영함으로써 극복할 수 있다.

이러한 자동 운항 알고리즘에 의한 배속 선박 운항 시뮬레이션은 운항 조건의 미묘한 변화가 선박 운항에 미치는 영향 등 인간에 의한 시뮬레이션으로는 정량적인 비교가 어려운 상황까지도 그 차이를 명확하게 나타내줄 수 있다. 또한, 객관적이고 정량적인 평가가 필요하거나 다양한 환경조건에 대한 시뮬레이션이 필요한 경우 유용하게 적용될 수 있다. 이러한 배속 시뮬레이션은 그 해역에서의 바람, 조류와 같은 환경특성이 선박운항에 전반적으로 얼마나 영향을 미치는지를 파악하기 위한, 항행환경민감도 분석 등에 사용되기도 한다.

선박 자동 운항 알고리즘이란, 일종의 선박의 자동 조타 장치로서 원칙적으로 조선자 없이도 미리 입력된 침로를 따라 선박의 자동항해가 가능하게끔 선박의 움직임을 제어하는 장치를 말한다. 제어 대상은 크게 두 가지로 구분하며 하나는 선수각(Heading Angle)의 제어이고, 다른 하나는 침로 유지와 관련된 제어이다. 선수각의 제어는 선박의 현재 위치와 다음 변침점과의 각도를 고려하여 선박의 타를 제어함으로써 일정한 선수각을 유지하게끔 만들어주는 것을 말하며 침로 유지는 결정된 침로로부터의 침로 이탈(Deviation)을 최소화하게끔 타를 제어하는 것을 말한다.

선박조종시뮬레이션 평가 시 선박 요인(선박 규모, 조종성능 등) 및 환경적 요인(바람, 조류, 파랑 등), 기타 인적 요인(선장 및 항해사, 도선사 등) 등에 따라 발생할 수 있는 항로 폭의 변화와 상관관계 분석을 위하여 배속 시뮬레이션(FTS) 및 실시간 시뮬레이션(RTS)을 함께 수행하고 그에 따른 검토 결과를 비교해야 하나 모든 실험 시나리오에 적용하기에는 시간적, 경제적인 문제로 인한 현실적인 한계점이 존재한다.

따라서, 본 검토에서는 선박 요인(선박 규모, 조종성능)과 환경적 요인(바람, 조류, 파랑)을 주요 평가 요소로 결정하여, 세부적인 환경조건에 대한 객관적인 평가 시뮬레이션을 수행하기 위해 배속(FTS) 시뮬레이션을 활용하여 평가를 수행하고 각각의 시나리오에 대한 검토 결과를 정량적으로 분석하였다.

5.2 시뮬레이션 수학 모델

본 검토에서는 선박에 작용하는 힘을 선체, 프로펠러, 타의 유체력에 대한 성능을 기준으로 이들 사이의 상호작용에 의한 영향을 단독 성능에 추가하여, 복합적인 전체 유체력을 표현한 MMG(Modular Maneuvering Model) 수학 모델이 반영된 시뮬레이터를 사용하여 평가하였다.

수학 모델에서 Fig. 29와 같이 고정 좌표계를 설정하고, 원점(O)을 선체 중앙(Midship)에서 x, y축 방향의 힘 X, Y와 z축 방향을 중심으로 한 선회 모멘트 N, 횡동요에 대한 횡요 모멘트 K를 구분하면, [식 5.1]~[식 5.4]와 같은 조종운동 방정식으로 표현된다.

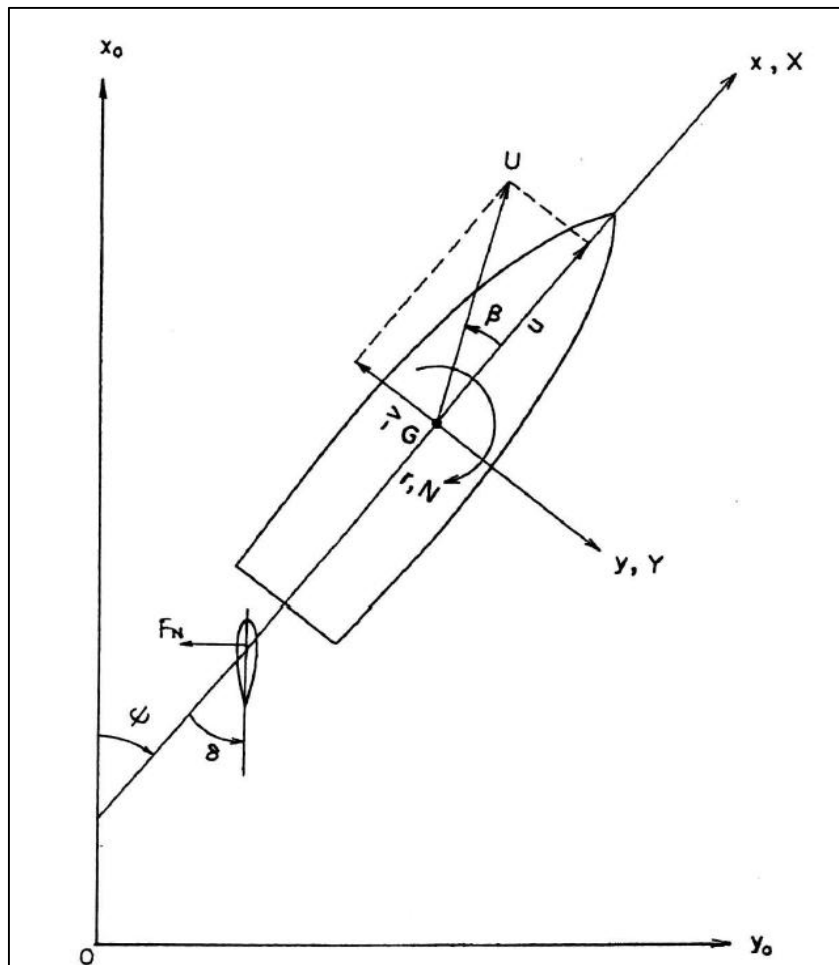


Fig. 29 Coordinate system of ship manoeuvring motion

$$\text{Surge} : m(\dot{u} - vr - x_G \dot{r}^2) = X_H + X_P + X_R + X_{EXT} \quad (\text{식 } 5.1)$$

$$\text{Sway} : m(\dot{v} + ur + x_G \dot{r}) = Y_H + Y_P + Y_R + Y_{EXT} \quad (\text{식 } 5.2)$$

$$\text{Yaw} : I_{ZZ} \dot{r} + mx_G(\dot{v} + ur) = N_H + N_P + N_R + N_{EXT} \quad (\text{식 } 5.3)$$

$$\text{Roll} : I_{ZZ} \dot{p} = K_H + K_P + K_R + K_{EXT} \quad (\text{식 } 5.4)$$

여기서,

u, v, r, p : 선체 중앙에서의 x축 방향, y축 방향, z축 방향, 횡동요 속도

$\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}, \dot{p}$: u, v, r, p 의 시간에 대한 도함수

m : 선체 질량

x_G : 선체 무게 중심의 x 좌표

I_{ZZ} : z축 주위의 관성모멘트

그리고, 첨자들은 각각 다음을 의미한다.

H : 선체에 작용하는 유체력 및 모멘트

R : 타에 작용하는 유체력 및 모멘트

P : 프로펠러에 기인하는 유체력 및 모멘트

EXT : 바람 및 파도 등 외력 및 기타 영향에 의한 유체력 및 모멘트

5.3 배속 시뮬레이션 설계

5.3.1 개요

적정 항로 폭(CW) 산정에 영향을 미치는 요소는 항로를 이용하고 있는 또는 이용하게 될 대상 선박의 크기 및 조종성능, 통항 속도와 같은 선박 요인(V_i), 바람 및 조류, 파랑 등의 환경적 요인(E_i), 항로의 위치 및 길이, 형태, 수심 등과 같은 지리적 상태 요인(S_i), 항로 표지의 배치 및 성능과 같은 항로 표지 요인(A_i), 그리고 선장 및 도선사의 경험과 판단력 등의 인적 요인(H_i) 등으로 매우 다양하며, [식 5.5]와 같이 정의할 수 있다.

$$CW \propto f(V_i, E_i, S_i, A_i, H_i) \quad (\text{식 5.5})$$

여기서,

V_i : Vessel factors

(vessel size, vessel type, vessel speed, manoeuvring)

E_i : Environmental factors

(wind, current, wave)

S_i : State factors

(channel position, channel length, channel depth, traffic pattern)

A_i : Aids to navigation factors

(quality and spacing of navigation aids)

H_i : Human factors

(experience and judgement of Pilot/Master)

적정 항로 폭 산정 시에는 항로 폭에 영향을 미치는 모든 요소를 종합적으로 고려하여 다각적인 검토가 필요하나, 본 실험에서는 배속 시뮬레이션을 통해 Table 34와 같이, 선박 요인(V_i), 환경적 요인(E_i), 지리적 상태 요인(S_i) 등에 대하여 우선적으로 평가하기 위한 조건을 설정하였으며, 각각의 조건에서 검토된 물리적인 항로 폭에 대하여 중점적으로 분석을 수행하였다.

Table 34 FTS Simulation plan

Division		Details	Description
CW	V_i	vessel size	• Large vessel(Loa over 300m)
		vessel type	• Cruise ship • Container ship • VLCC
		vessel speed	• Fast (13kts) • Moderate (10kts) • Slow (7kts)
		manoeuvring	• Apply to IMO maneuvering standards
	E_i	wind	• Direction : Cross • Speed : 5~45kts
		current	• Direction : Cross • Speed : 0.5~2.0kts
		wave	• Direction : Cross • Height : 1~3m
	S_i	channel position	• Outer channel (Straight channel)
		channel length	• 2 nm
		channel depth	• $H > 1.5T$
		traffic pattern	• One-way

5.3.2 Vessel Modeling

대상 선박 모델링은 실제 운항중인 선박의 제원을 참고하였으며, IMO 조종성능 기준을 만족하도록 모델링하였다. 선종의 특성상 일반적인 조종성능의 차이가 있으며, 또한 상부 구조물에 따른 풍압면적과 흘수에 따른 수선하 면적의 차이가 존재한다.

15만 GT급 크루즈선 및 1만 2천 TEU급 컨테이너선, 30만 DWT급 원유운반선의 일반제원 및 선회시험(Turning Test), Zig-zag 시험($10^\circ / 10^\circ$, $20^\circ / 20^\circ$), 나선형 조종 시험(Spiral Test) 등은 다음과 같다.

5.3.2.1 150K GT Cruise ship

(1) Ship' s Dimension

15만 GT급 크루즈선의 주요 제원은 Table 35와 같으며, Lbp/Beam 7.3, Lbp/Draft 29.2, Projected Area는 A_F 3,300 m^2 , A_L 15,000 m^2 이다.

Table 35 Ship' s Dimension - 150K GT Cruise ship

Division	Loa (m)	Lbp (m)	Beam (m)	Draft (m)	L/B	L/D	Projected Area	
							$A_F(m^2)$	$A_L(m^2)$
150K GT Cruise ship	344	301	41	10.3	7.3	29.2	3,300	15,000

(2) Ship' s Rpm & Speed

15만 GT급 크루즈선의 Rpm & Speed는 Table 36과 같다.

Table 36 Ship' s Rpm & Speed – 150K GT Cruise ship

Division	Rpm		Speed(knots)
150K GT Cruise ship	Full Ahead	191	26.0
	Half Ahead	151	20.9
	Slow Ahead	111	15.4
	Dead Slow Ahead	61	8.3
	-	-	0.0
	Dead Slow Astern	56	-7.5
	Slow Astern	103	-13.9
	Half Astern	140	-18.9
	Full Astern	187	-20.0

(3) Ship' s Manoeuvring

15만 GT급 크루즈선의 Turning Circle 35° 및 Zig-zag 10° /10° , 20° /20° , Spiral test 결과는 Table 37~38 및 Fig. 30~34와 같다.

A. Turning Circle 35° (Port & STBD)

Table 37 Turning circle 35° – 150K GT Cruise ship

Rudder Angle (deg.)	Advance (Lpp.)	Transfer (Lpp.)	Tact. Diam. (Lpp.)	Steady Drift Angle(deg.)	Remark
35.0	2.82	1.41	3.45	13.6	심수역
-35.0	2.82	-1.41	3.45	-13.6	

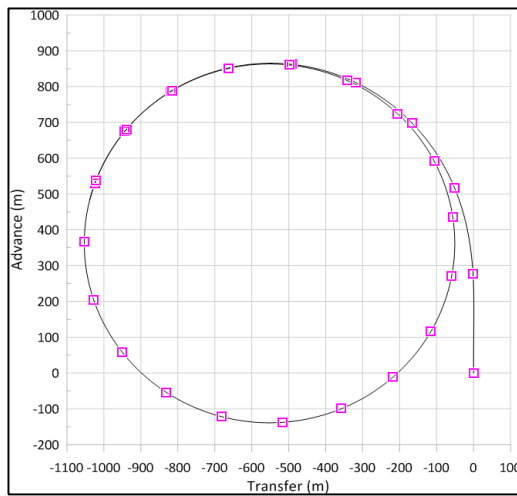


Fig. 30 Turning Trajectory for 35° Port Rudder Turn

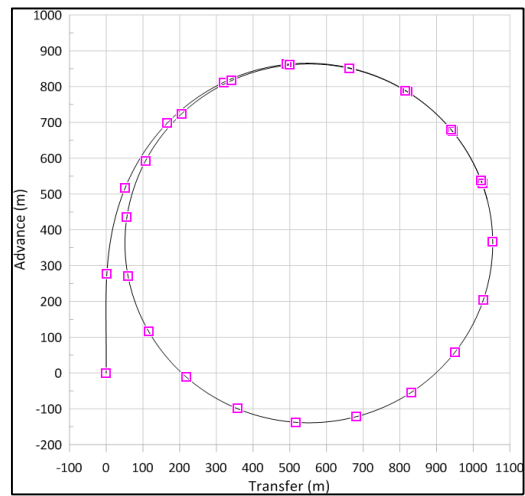


Fig. 31 Turning Trajectory for 35° Stbd Rudder Turn

B. Zig-zag (10° / 10° , 20° / 20°)

Table 38 Zig-Zag(10° / 10° , 20° / 20°) – 150k GT Cruise ship

Rudder Angle (deg.)	1 st Overshoot Angle(deg.)	2 nd Overshoot Angle(deg.)	3 rd Overshoot Angle(deg.)	Remark
10° / 10°	5.85	6.46	6.42	심수역
20° / 20°	11.06	10.15	9.92	

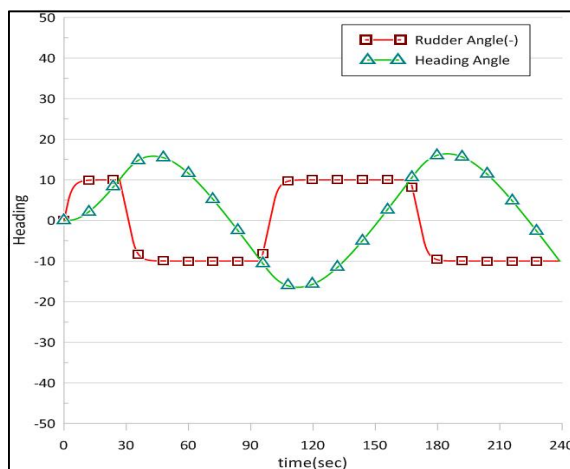


Fig. 32 Time History of Heading Angle for 10° / 10° Zig-Zag

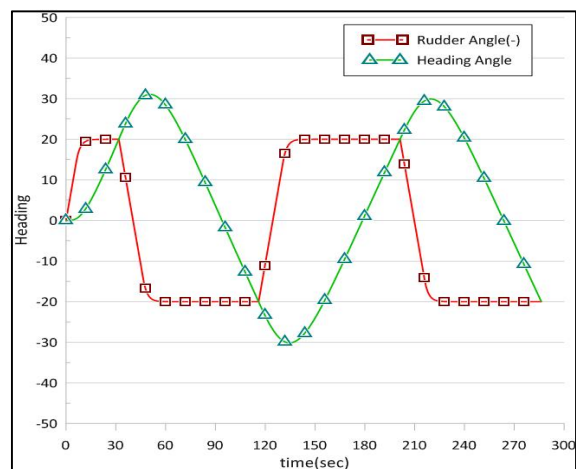


Fig. 33 Time History of Heading Angle for 20° / 20° Zig-Zag

C. Spiral

- Spiral Width : 0.888 deg.
- Spiral Height : 0.342 deg/sec

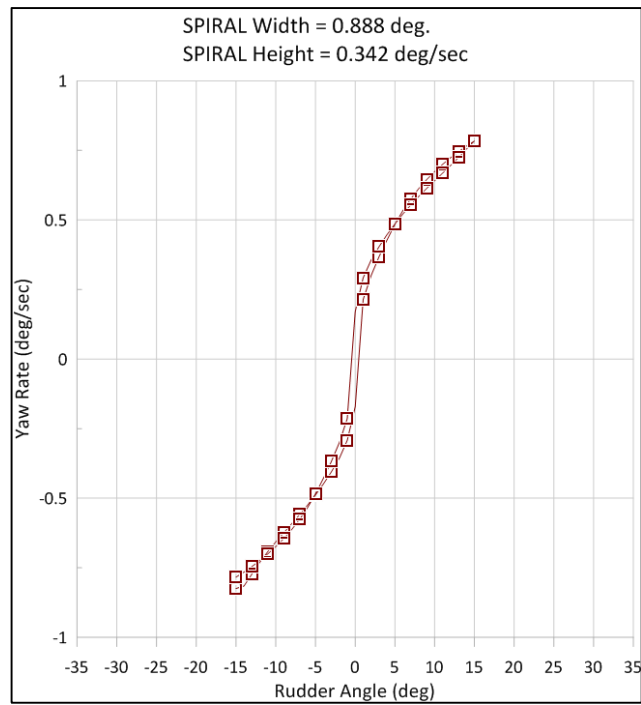


Fig. 34 Predicted Results of
Spiral Maneuver

5.3.2.2 12K TEU Container ship

(1) Ship' s Dimension

1만 2천 TEU급 컨테이너선의 주요 제원은 Table 39와 같으며, Lbp/Beam 6.9 Lbp/Draft 22.4, Projected Area는 A_F 1,800 m^2 , A_L 10,700 m^2 이다.

Table 39 Ship' s Dimension - 12K TEU Container ship

Division	Loa (m)	Lbp (m)	Beam (m)	Draft (m)	L/B	L/D	Projected Area	
							$A_F(m^2)$	$A_L(m^2)$
12K TEU Container ship	358	340	49	15.2	6.9	22.4	1,800	10,700

(2) Ship' s Rpm & Speed

1만 2천 TEU급 컨테이너선의 Rpm & Speed는 Table 40과 같다.

Table 40 Ship' s Rpm & Speed - 12K TEU Container ship

Division	Rpm		Speed(knots)
12K TEU Container ship	Full Ahead	92	25.8
	Half Ahead	73	20.8
	Slow Ahead	54	14.9
	Dead Slow Ahead	29	6.7
	-	0	0.0
	Dead Slow Astern	27	-4.2
	Slow Astern	50	-9.2
	Half Astern	68	-13.0
	Full Astern	90	-17.5

(3) Ship' s Manoeuvring

1만 2천 TEU급 컨테이너선의 Turning Circle 35° 및 Zig-zag $10^\circ / 10^\circ$, $20^\circ / 20^\circ$, Spiral test 결과는 Table 41~42 및 Fig. 35~39와 같다.

A. Turning Circle 35° (Port & STBD)

Table 41 Turning circle 35° - 12K TEU Container ship

Rudder Angle (deg.)	Advance (Lpp.)	Transfer (Lpp.)	Tact. Diam. (Lpp.)	Steady Drift Angle(deg.)	Remark
35.0	3.41	1.82	4.06	12.3	심수역
-35.0	3.41	-1.82	4.06	-12.3	

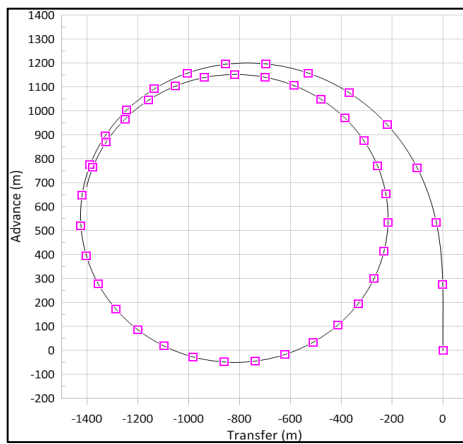


Fig. 35 Turning Trajectory
for 35° Port Rudder Turn

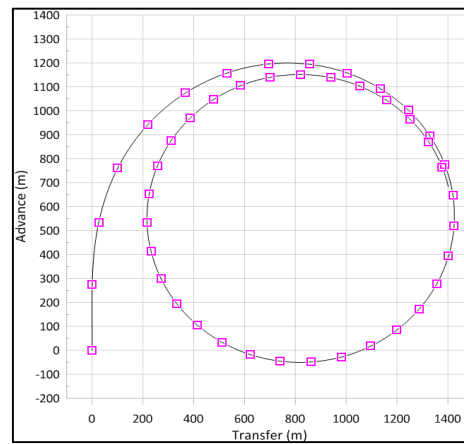


Fig. 36 Turning Trajectory
for 35° Stbd Rudder Turn

B. Zig-zag ($10^\circ / 10^\circ$, $20^\circ / 20^\circ$)

Table 42 Zig-Zag($10^\circ / 10^\circ$, $20^\circ / 20^\circ$) - 12K TEU Container ship

Rudder Angle (deg.)	1 st Overshoot Angle(deg.)	2 nd Overshoot Angle(deg.)	3 rd Overshoot Angle(deg.)	Remark
$10^\circ / 10^\circ$	5.16	6.73	6.60	심수역
$20^\circ / 20^\circ$	9.84	9.64	9.10	

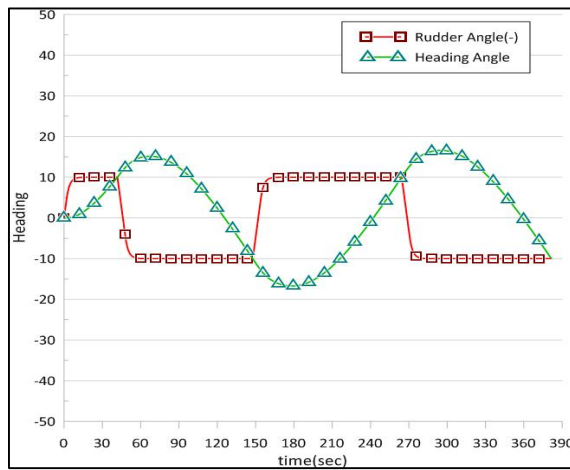


Fig. 37 Time History of Heading Angle for $10^\circ / 10^\circ$ Zig-Zag

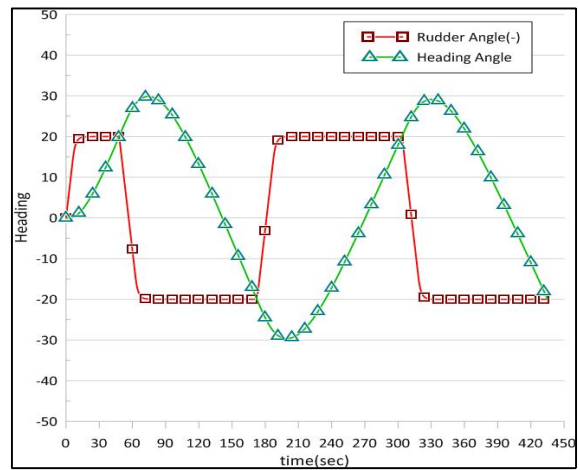


Fig. 38 Time History of Heading Angle for $20^\circ / 20^\circ$ Zig-Zag

C. Spiral

- Spiral Width : 1.060 deg.
- Spiral Height : 0.266 deg.

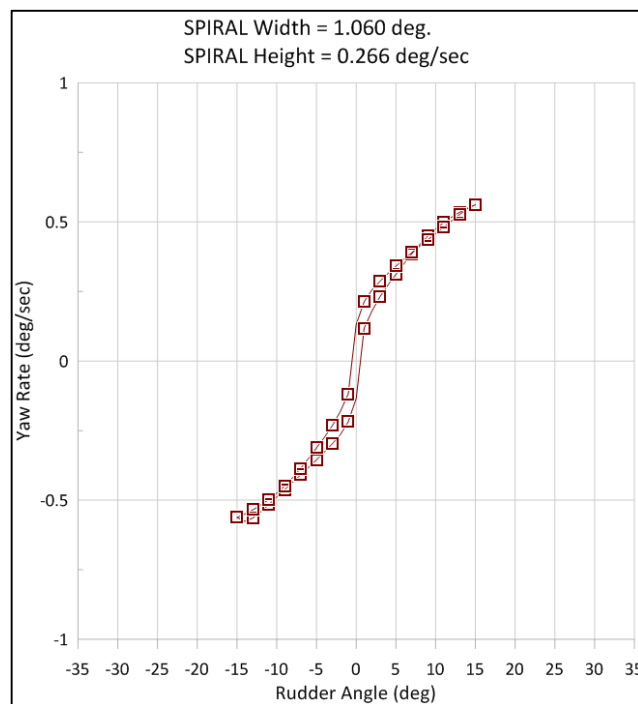


Fig. 39 Predicted Results of Spiral Maneuver

5.3.2.3 300K DWT VLCC

(1) Ship' s Dimension

30만 DWT급 원유운반선의 주요 제원은 Table 43과 같으며, Lbp/Beam 5.5 Lbp/Draft 16.4, Projected Area는 A_F 1,100 m^2 , A_L 4,100 m^2 이다.

Table 43 Ship' s Dimension - 300K DWT VLCC

Division	Loa (m)	Lbp (m)	Beam (m)	Draft (m)	L/B	L/D	Projected Area	
							$A_F(m^2)$	$A_L(m^2)$
300K DWT VLCC	350	344	63	21.0	5.5	16.4	1,100	4,100

(2) Ship' s Rpm & Speed

30만 DWT급 원유운반선의 Rpm & Speed는 Table 44와 같다.

Table 44 Ship' s Rpm & Speed - 300K DWT VLCC

Division	Rpm		Speed(knots)
300K DWT VLCC	Full Ahead	73	16.2
	Half Ahead	58	12.0
	Slow Ahead	42	7.9
	Dead Slow Ahead	23	3.0
	-	0	0.0
	Dead Slow Astern	21	-2.1
	Slow Astern	39	-5.3
	Half Astern	54	-8.0
	Full Astern	80	-11.2

(3) Ship' s Manoeuvring

30만 DWT급 원유운반선의 Turning Circle 35° 및 Zig-zag 10° /10° , 20° /20° , Spiral test 결과는 Table 45~46 및 Fig. 40~44와 같다.

A. Turning Circle 35° (Port & STBD)

Table 45 Turning circle 35° - 300K DWT VLCC

Rudder Angle (deg.)	Advance (Lpp.)	Transfer (Lpp.)	Tact. Diam. (Lpp.)	Steady Drift Angle(deg.)	Remark
35.0	3.51	1.69	3.77	18.9	심수역
-35.0	3.51	-1.69	3.77	-18.9	

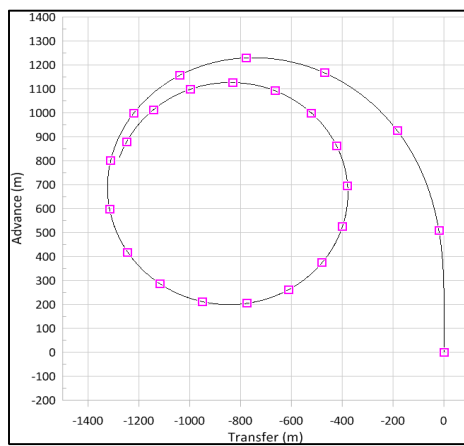


Fig. 40 Turning Trajectory
for 35° Port Rudder Turn

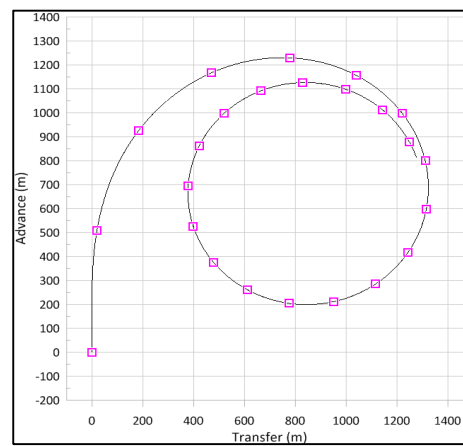


Fig. 41 Turning Trajectory
for 35° Stbd Rudder Turn

B. Zig-zag (10° / 10° , 20° / 20°)

Table 46 Zig-Zag(10° / 10° , 20° / 20°) - 300K DWT VLCC

Rudder Angle (deg.)	1 st Overshoot Angle(Lpp.)	2 nd Overshoot Angle(Lpp.)	3 rd Overshoot Angle(Lpp.)	Remark
10° / 10°	5.47	8.84	8.99	심수역
20° / 20°	9.37	10.52	9.62	

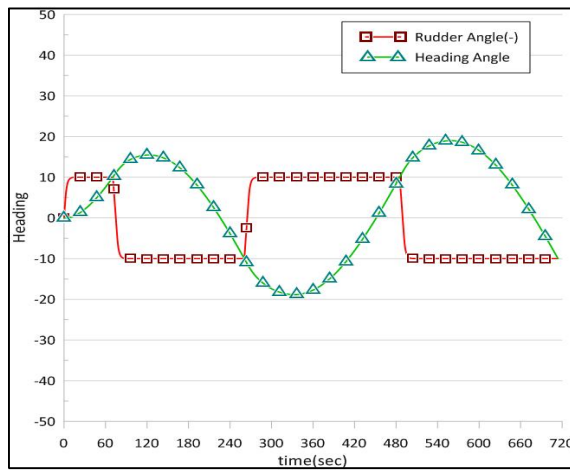


Fig. 42 Time History of Heading Angle for $10^\circ / 10^\circ$ Zig-Zag

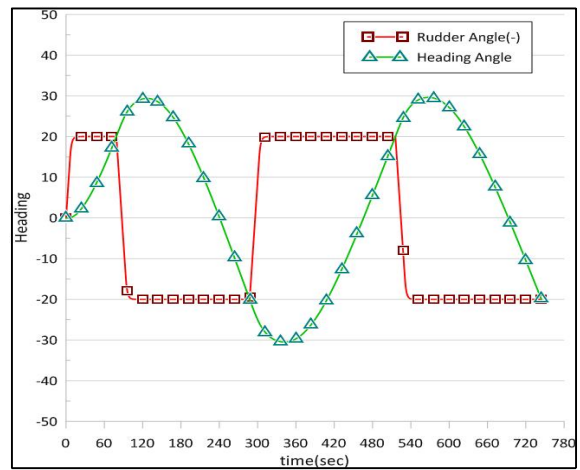


Fig. 43 Time History of Heading Angle for $20^\circ / 20^\circ$ Zig-Zag

C. Spiral

- Spiral Width : 3.099 deg.
- Spiral Height : 0.375 deg/sec.

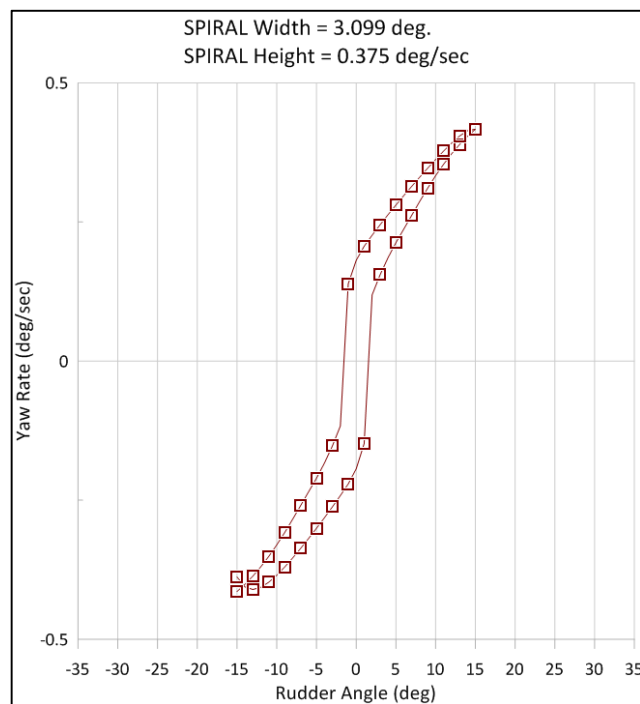


Fig. 44 Predicted Results of Spiral Maneuver

5.3.3 Channel & Environment Modeling

5.3.3.1 Channel Modeling

대상 해역 모델링 시에는 앞서 설정한 평가 선박이 항계 내 적정 수심을 확보한 직선향로에서 단독 통항하는 경우, 바람 및 조류 파랑 등 환경적 영향에 따른 최소한의 물리적 항로 폭이 어느 정도 필요한지를 검토하기 위해 Fig. 45와 같이, 적정 항로 수심이 확보($H > 1.5T$)된 직선향로 및 선박의 단독 통항 조건을 설정하였다. 아울러, 항로 길이는 현재, 국내 부산항(제5항로) 및 광양항(제3항로, 제4항로)의 경우, 약 3km(약 1.6nm)로 설정되어 있고 대형 선박의 통항이 빈번하게 이루어지고 있는 점을 감안하여 본 실험에서도 최소 항로 길이 약 2NM(약 3.7 km)를 설정하고, 항로 폭은 좌우로 약 600m(최대 통항 선박 선평 63m 기준 9.5B)를 설정하였다.

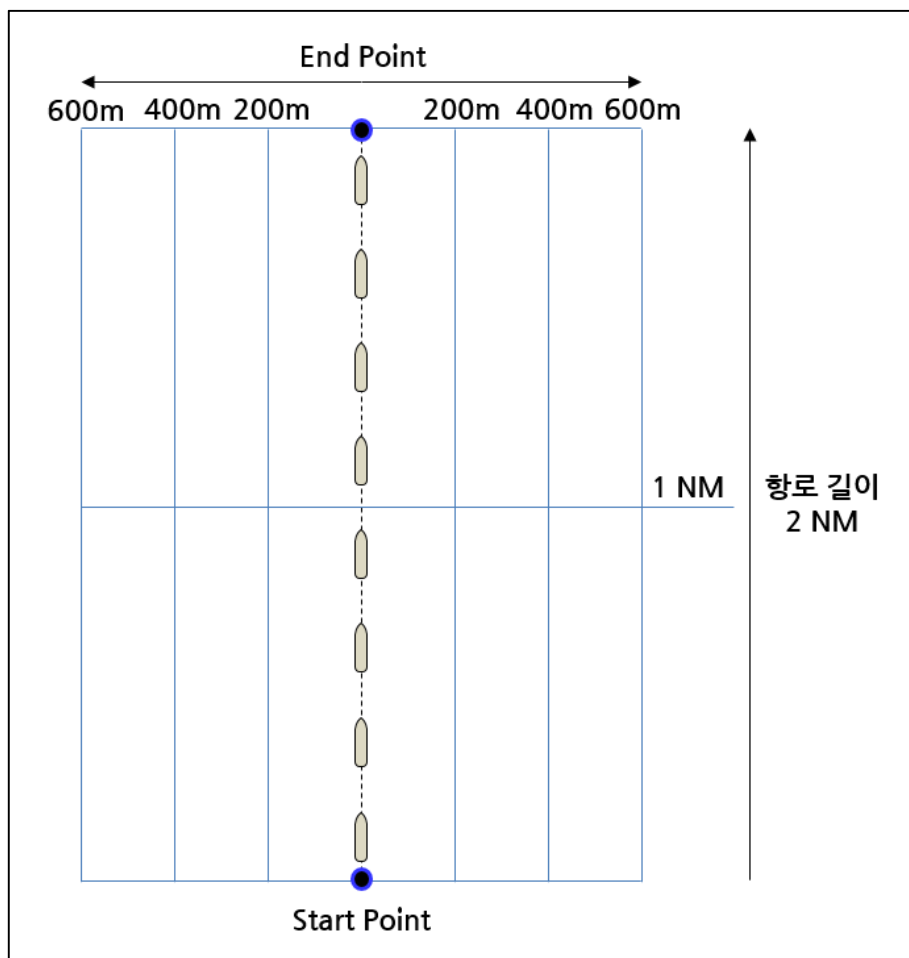


Fig. 45 Modeling of Channel

5.3.3.2 Environment Modeling

바람 및 조류, 파랑 조건의 경우, 대상 선박이 Start point에서 출발하여 End point까지 직선 항로(침로 000°)를 항행할 때 외력 조건의 진행 방향은 모두 동일하게 횡방향으로 설정하여 선박조종시뮬레이션에 반영하였다.

바람 조건에서 풍속은 풍랑 경보(21m/s) 수준을 고려하여 최소 5 knots에서 최대 45 knots까지 10 knots 단위로 변화시켜 적용하였으며 풍향은 횡풍(90°에서 불어오는 바람)을 적용하였다.

조류 조건에서 유속은 국내 주요 항만에 위치하고 있는 항로에서의 유속 현황을 참고하여 최소 0.5 knots에서 최대 2.0 knots까지 0.5 knots 단위로 변화시켜 적용하였으며 유향은 횡조류(270°로 흘러가는 조류)를 적용하였다.

파랑 조건에서 파고는 일반적으로 항만에서 입출항 선박의 접이안을 위한 도선선이 운용 가능한 조건(약 3m)을 고려하여 최소 1m에서 3m까지 1m 단위로 변화시켜 적용하였으며 파향은 횡파(270°로 흘러가는 파랑)를 적용하였다.

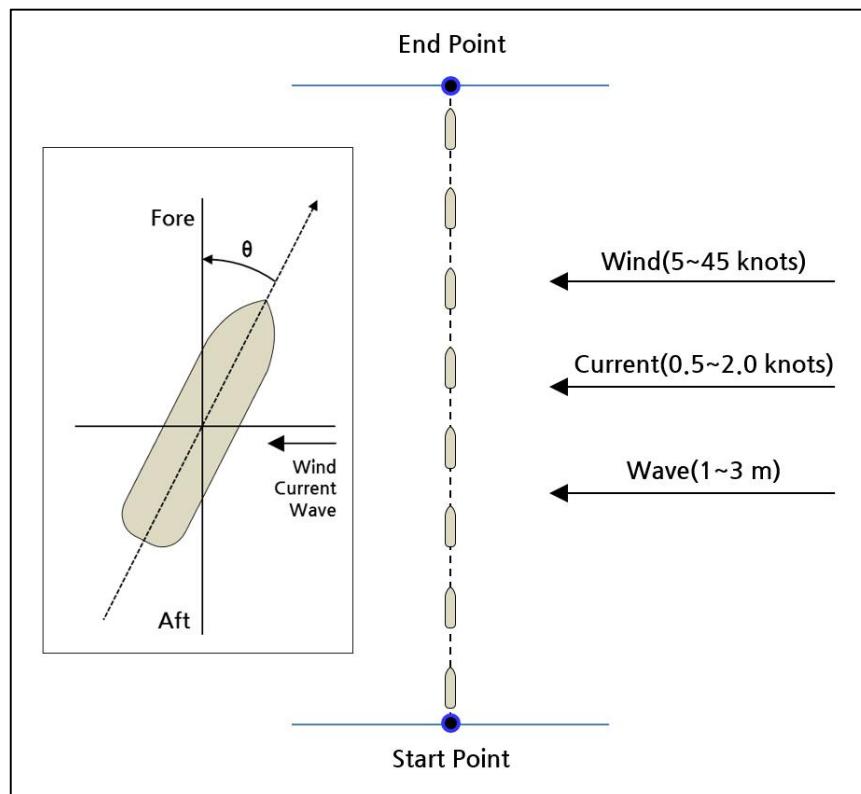


Fig. 46 Condition of wind, current, wave

5.3.4 Environment-Vessel relations with Modeling

환경-선박간의 모델링을 위한 통항 선박의 속력 조건은 Table 47과 같이 PIANC Guidelines 및 국내 주요 항만의 해상교통흐름 분석 결과를 참고하였다.

최소 7 knots에서 최대 13 knots까지 3 knots 단위로 변화시켜 $V_{s1} \sim V_{s3}$ 와 같이 적용하였으며 대상 선박이 start point부터 end point까지 항행하는 동안 외부환경 조건의 변화와 관계없이 engine rpm은 동일하게 유지하도록 설정하였다.

Table 47 Review of Vessel speed for modeling

Division	Vessel speed (V_s)
PIANC Guidelines (Concept Design Methods for Straight Channel)	· Fast : $V_s \geq 12$ kts · Moderate : $8 \text{ kts} \leq V_s < 12 \text{ kts}$ · Slow : $5 \text{ kts} \leq V_s < 8 \text{ kts}$
Analysis of Maritime traffic flow (Traffic Ship avg. speed at Domestic Ports)	· Busan (No. 1, 5 Channel) : 10.0~11.7 kts · Kwangyang (No. 2, 3, 4 Channel) : 8.8~9.9 kts · Ulsan (No. 1, 2, 3, 4 Channel) : 7.8~9.5 kts · Incheon (No. 1, 3 Channel) : 8.4~9.7 kts · PyeongTaek · Dangjin (Passage) : 9.3 kts · Daesan (No. 1, 2 Channel) : 10.6~11.3 kts · Jeju (Passage) : 9.5 kts

5.3.5 Scenario Design

적정 항로 폭 검토를 위한 배속 시뮬레이션과 관련하여 시나리오 설계 시에는 선박의 선종 및 성능에 따라 3종류의 대상 선박을 A~C(A: 150 GT Cruise ship, B: 12K TEU Container ship, C: 300K DWT VLCC)로 설정하고 선박의 속력 (V_{si})을 $V_{s1} \sim V_{s3}$ 으로 적용하였다.

또한, 항로에서의 바람 영향에 따른 변화를 검토하기 위하여 바람(E_{wi})은 횡방향의 $E_{w1} \sim E_{w5}$, 조류 영향에 따른 변화를 검토하기 위하여 조류(E_{ci})는 횡방향의 $E_{c1} \sim E_{c4}$, 파랑 영향에 따른 변화를 검토하기 위하여 파랑(E_{hi})은 횡방향의 $E_{h1} \sim E_{h3}$ 를 설정하였다.

배속 시뮬레이션 수행을 위한 대상 선박별 상세 시나리오는 Table 48과 같다.

Table 48 Scenario for Fast-Time Simulation

Division		Vessel speed (V_{si}) (kts)		Wind (E_{wi}) (knots)		Current (E_{ci}) (knots)		Wave (E_{hi}) (m)		Remark
No.	Target Ship									
1	A: 150K GT Cruise ship B: 12K TEU Container ship C: 300K DWT VLCC	V_{s1}	7	E_{w1}	5	-		-		Wind effect ($E_{w1} \sim E_{w5}$)
2				E_{w2}	15					
3				E_{w3}	25					
4				E_{w4}	35					
5				E_{w5}	45					
6				-		E_{c1}	0.5			Current effect ($E_{c1} \sim E_{c4}$)
7						E_{c2}	1.0			
8						E_{c3}	1.5			
9						E_{c4}	2.0			
10						-		E_{h1}	1	Wave effect ($E_{h1} \sim E_{h3}$)
11								E_{h2}	2	
12								E_{h3}	3	
13		V_{s2}	10	E_{w1}	5	-		-		Wind effect ($E_{w1} \sim E_{w5}$)
14				E_{w2}	15					
15				E_{w3}	25					
16				E_{w4}	35					
17				E_{w5}	45					
18				-		E_{c1}	0.5			Current effect ($E_{c1} \sim E_{c4}$)
19						E_{c2}	1.0			
20						E_{c3}	1.5			
21						E_{c4}	2.0			
22						-		E_{h1}	1	Wave effect ($E_{h1} \sim E_{h3}$)
23								E_{h2}	2	
24								E_{h3}	3	

Division		Vessel speed (V_{si}) (kts)		Wind (E_{wi}) (knots)		Current (E_{ci}) (knots)		Wave (E_{hi}) (m)		Remark												
No.	Target Ship																					
25	A: 150K GT Cruise ship B: 12K TEU Container ship C: 300K DWT VLCC	V_{s3}	13	E_{w1}	5	-		-		Wind effect ($E_{w1} \sim E_{w5}$)												
26				E_{w2}	15																	
27				E_{w3}	25																	
28				E_{w4}	35																	
29				E_{w5}	45																	
30				-		-						Current effect ($E_{c1} \sim E_{c4}$)										
31													E_{c1}	0.5								
32													E_{c2}	1.0								
33													E_{c3}	1.5								
34													E_{c4}	2.0								
35													-							Wave effect ($E_{h1} \sim E_{h3}$)		
36																					E_{h1}	1
																					E_{h2}	2
► Scenario total 108 times A: 150K GT Cruise ship : 36 times B: 12K TEU Container ship : 36 times C: 300K DWT VLCC : 36 times ► Vessel Speed (V_{si}) : 7 / 10 / 13 knots ► Wind (E_{wi}) : Direction(Cross), Speed(5 / 15 / 25 / 35 / 45 knots) ► Current (E_{ci}) : Direction(Cross), Speed(0.5 / 1.0 / 1.5 / 2.0 knots) ► Wave (E_{hi}) : Direction(Cross), Height(1 / 2 / 3 m)																						

5.4 배속 시뮬레이션 평가

대상 선박별 적정 항로 폭 검토를 위하여 배속(FTS) 시뮬레이션을 수행하였으며 각각의 시나리오에 대한 선박 항적 및 필요 항로 폭을 분석하여 대상 선박 별로 선박 길이(L) 값에 따른 항로 폭 기준을 제시하였다.

배속 시뮬레이션 평가에 따른 단독 통항 항로 폭(W_S)은 [식 5.5]를 바탕으로 시나리오 설계 단계에서 설정한 선박 요인과 환경적 요인, 지리적 상태 요인의 특성을 모두 고려하였으며 [식 5.6]과 같이 정의할 수 있다.

이는 JAPAN Guidelines의 [식 2.3] 및 [식 2.4]와 일부 유사하지만, Fig. 47과 같이 대상 선박이 정적 상태에서의 계산 값이 아닌 연속적으로 항행하는 동적(Dynamic) 상태에서 항로 폭 요소를 반영하고 복합적인 외력상태에 추가적으로 발생하는 선체 거동(항적)을 포함한다는 점에서 차이가 있다.

$$W_S = W_{BM} + W_{YD} + W_{DM} \quad (\text{식 5.6})$$

여기서,

W_{BM} : Drift angle에 따른 항로 폭, $(Loa \cdot \sin\beta + B \cdot \cos\beta)$

W_{YD} : Yawing motion과 Drift Detection에 따른 항로 폭

W_{DM} : 연속적으로 항행 중인 동적(Dynamic) 상태에 따른 항로 폭
(복합적인 외력 상태에서 추가적으로 발생하는 선체 거동 포함)

각각의 시나리오에 따른 배속 시뮬레이션 평가 결과를 바탕으로 대상 선박이 Start Point로부터 End Point까지 직선향로에서 단독 통항하는 경우에 필요한 항로 폭(W_S)은 항로 중심선을 기준으로 우측 및 좌측에서의 최대 점용 구간이

다. 아울러, W_s 는 항로 경계선에 대한 운항자의 심리적 요인이나 항로 표지의 위치 및 성능, 항로 외측 형태 및 영향 등에 따른 요인은 포함되지 않았다.

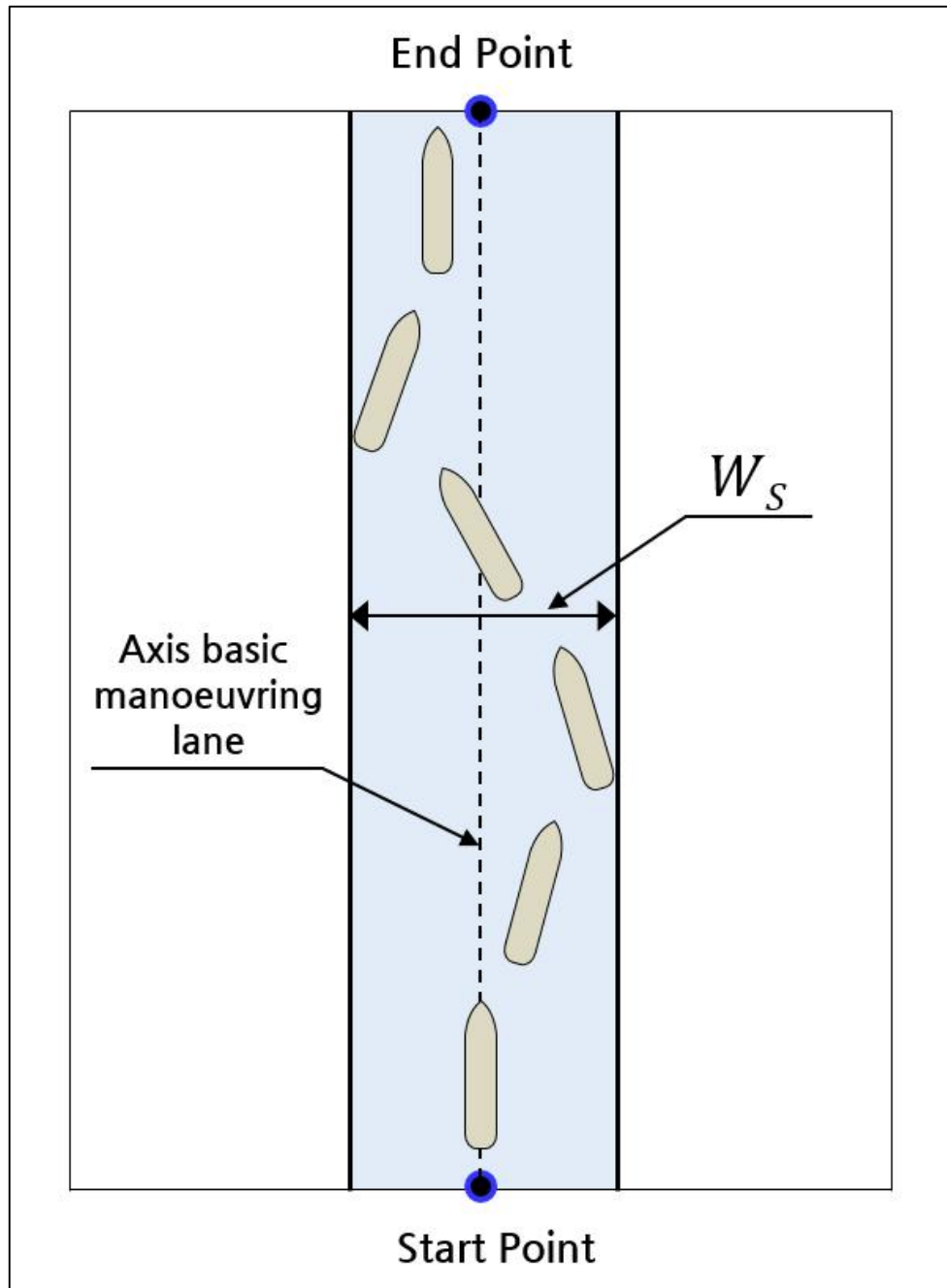


Fig. 47 Analysis of appropriate channel width according to Fast-Time simulation

5.4.1 150K GT Cruise ship

횡풍(90° 에서 불어오는 방향) 및 속도 5~45 knots의 바람 조건에서 선속 7 knots로 통항하는 경우, 최소 86m(0.25L)~최대 220m(0.64L), 선속 10 knots로 통항하는 경우, 최소 78m(0.23L)~최대 143m(0.42L), 선속 13 knots로 통항하는 경우, 최소 73m(0.21L)~최대 114m(0.33L)의 항로 폭이 필요한 것으로 검토되었다.

횡조류(270° 로 흘러가는 방향) 및 속도 0.5~2.0 knots의 조류 조건에서 선속 7 knots로 통항하는 경우, 최소 72m(0.21L)~최대 114m(0.33L), 선속 10 knots로 통항하는 경우, 최소 65m(0.19L)~최대 94m(0.27L), 선속 13 knots로 통항하는 경우, 최소 61m(0.18L)~최대 77m(0.22L)의 항로 폭이 필요한 것으로 검토되었다.

횡파(270° 로 흘러가는 방향) 및 높이 1~3 m의 파랑 조건에서 선속 7 knots로 통항하는 경우, 최소 82m(0.24L)~최대 85m(0.25L), 선속 10 knots로 통항하는 경우, 최소 73m(0.21L)~최대 75m(0.22L), 선속 13 knots로 통항하는 경우, 최소 71m(0.21L)~최대 73m(0.21L)의 항로 폭이 필요한 것으로 검토되었다.

15만 GT급 크루즈선의 경우, 풍압면적이 일반 선박에 비해 큰 편이므로 실험에 적용한 환경 요소 중 선박의 횡측으로부터 부는 바람에 크게 영향을 받는 것으로 나타났으며 통항 선박의 선속이 증가할수록 필요한 항로 폭이 감소되는 것으로 분석되었다.

15만 GT급 크루즈선의 통항 선속별 각각의 시나리오에 대한 선박 항적 및 필요 항로 폭은 다음과 같다.

Table 49 Simulation results of Cruise ship(V_{s1}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$)

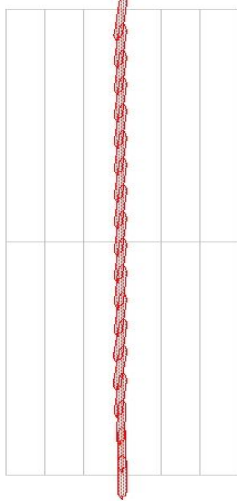
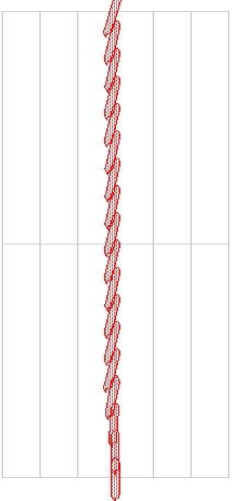
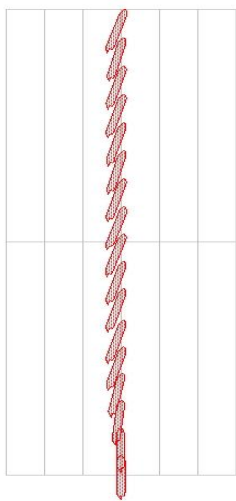
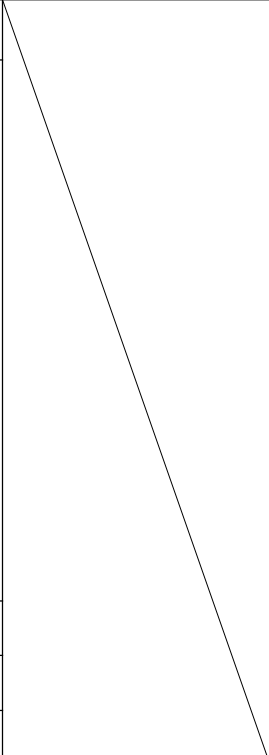
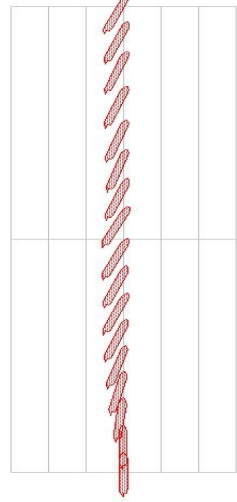
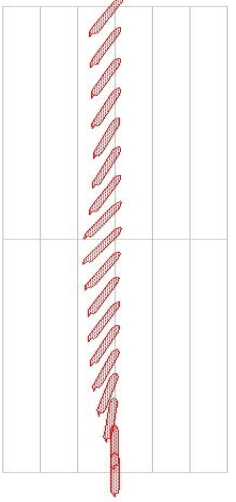
Division	Simulation result			Remark
150K GT Cruise ship - V_{s1}	E_{w1}	E_{w2}	E_{w3}	Scenario No. 1~5
				
	W_S : 86m(0.25L)	W_S : 94m(0.27L)	W_S : 113m(0.33L)	
	W_{BM} : 65m	W_{BM} : 83m	W_{BM} : 100m	
	Drift angle: 4°	Drift angle: 7°	Drift angle: 10°	
	E_{w4}	E_{w5}		
				
	W_S : 150m(0.44L)	W_S : 220m(0.64L)		
	W_{BM} : 140m	W_{BM} : 203m		
	Drift angle: 17°	Drift angle: 29°		

Table 50 Simulation results of Cruise ship(V_{s2}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$)

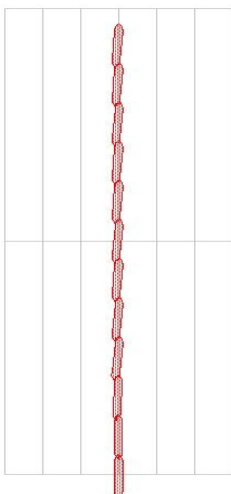
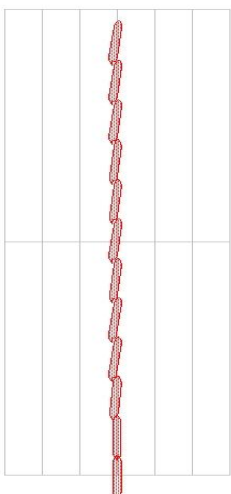
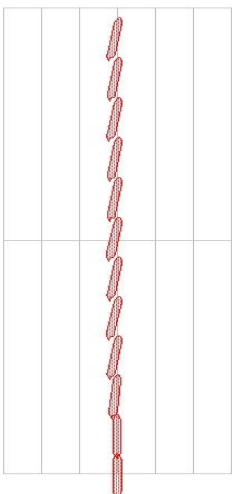
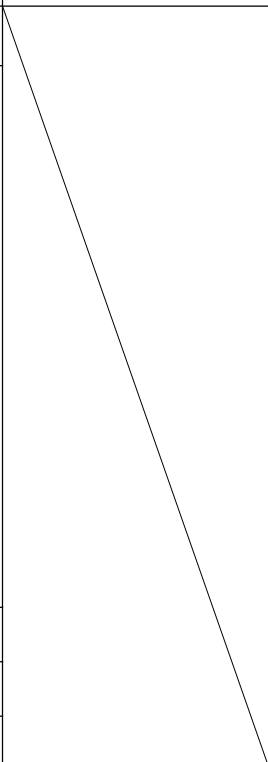
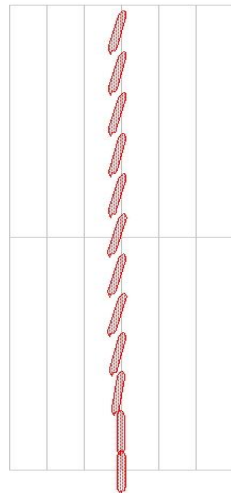
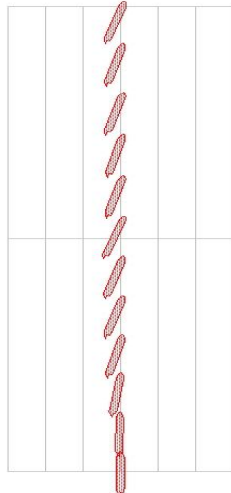
Division	Simulation result			Remark
150K GT Cruise ship - V_{s2}	E_{w1}	E_{w2}	E_{w3}	Scenario No. 13~17
				
	W_S : 78m(0.23L)	W_S : 82m(0.24L)	W_S : 92m(0.27L)	
	W_{BM} : 59m	W_{BM} : 71m	W_{BM} : 83m	
	Drift angle: 3°	Drift angle: 5°	Drift angle: 7°	
	E_{w4}	E_{w5}		
				
	W_S : 110m(0.32L)	W_S : 143m(0.42L)		
	W_{BM} : 100m	W_{BM} : 134m		
	Drift angle: 10°	Drift angle: 16°		

Table 51 Simulation results of Cruise ship(V_{s3}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$)

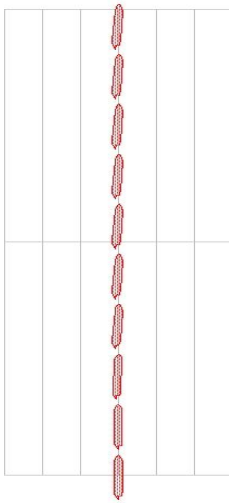
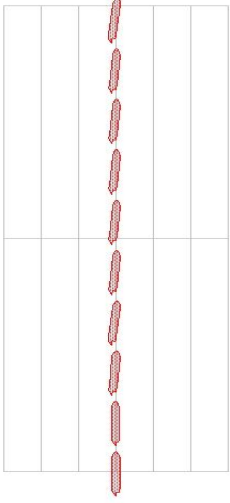
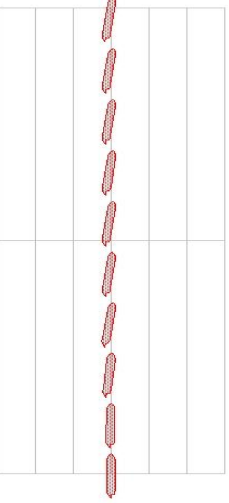
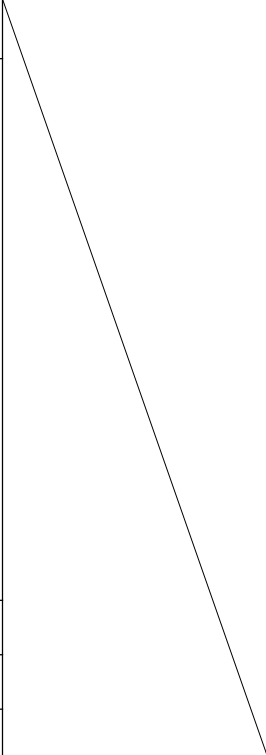
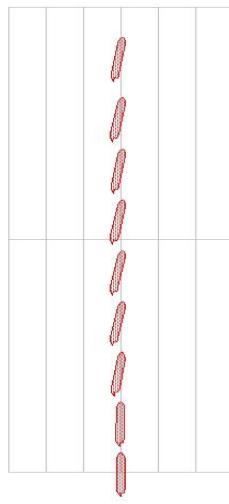
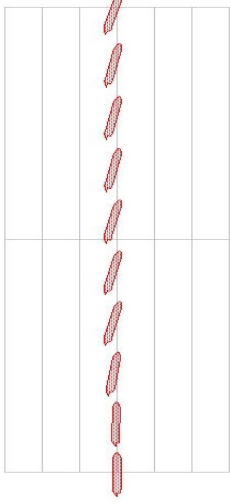
Division	Simulation result			Remark
150K GT Cruise ship - V_{s3}	E_{w1}	E_{w2}	E_{w3}	Scenario No. 25~29
				
	W_S : 73m(0.21L)	W_S : 76m(0.22L)	W_S : 83m(0.24L)	
	W_{BM} : 59m	W_{BM} : 65m	W_{BM} : 77m	
	Drift angle: 3°	Drift angle: 4°	Drift angle: 6°	
	E_{w4}	E_{w5}		
				
	W_S : 95m(0.28L)	W_S : 114m(0.33L)		
	W_{BM} : 88m	W_{BM} : 106m		
	Drift angle: 8°	Drift angle: 11°		

Table 52 Simulation results of Cruise ship(V_{s1}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$)

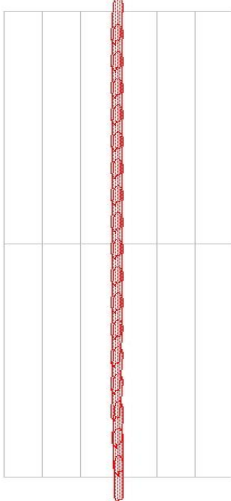
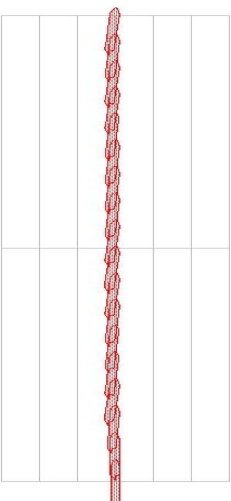
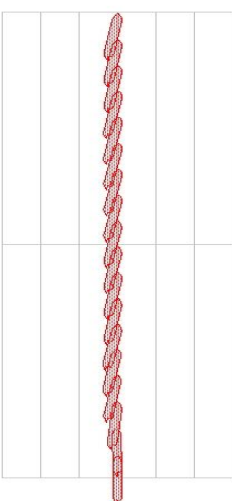
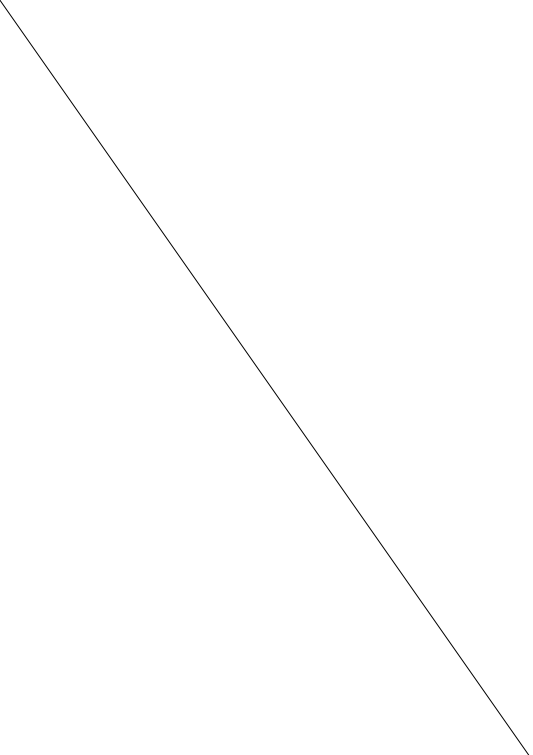
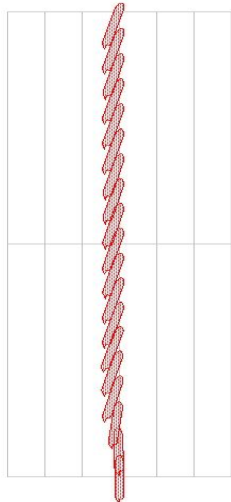
Division	Simulation result			Remark
150K GT Cruise ship - V_{s1}	E_{c1}	E_{c2}	E_{c3}	Scenario No. 6~9
				
	W_S : 72m(0.21L)	W_S : 77m(0.22L)	W_S : 89m(0.26L)	
	W_{BM} : 59m	W_{BM} : 71m	W_{BM} : 83m	
	Drift angle: 3°	Drift angle: 5°	Drift angle: 7°	
	E_{c4}			
				
	W_S : 114m(0.33L)			
	W_{BM} : 106m			
	Drift angle: 11°			

Table 53 Simulation results of Cruise ship(V_{s2}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$)

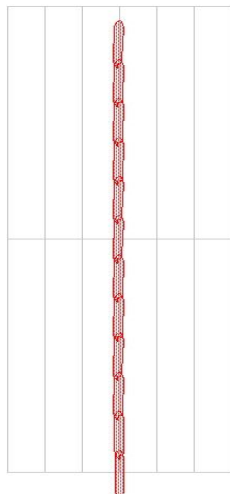
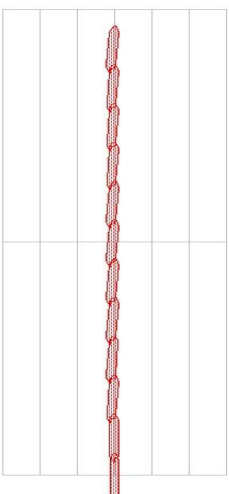
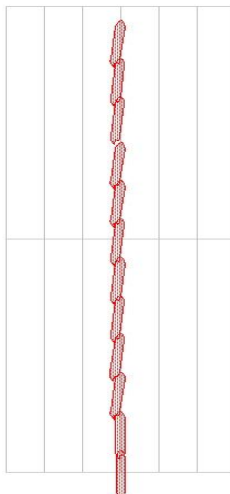
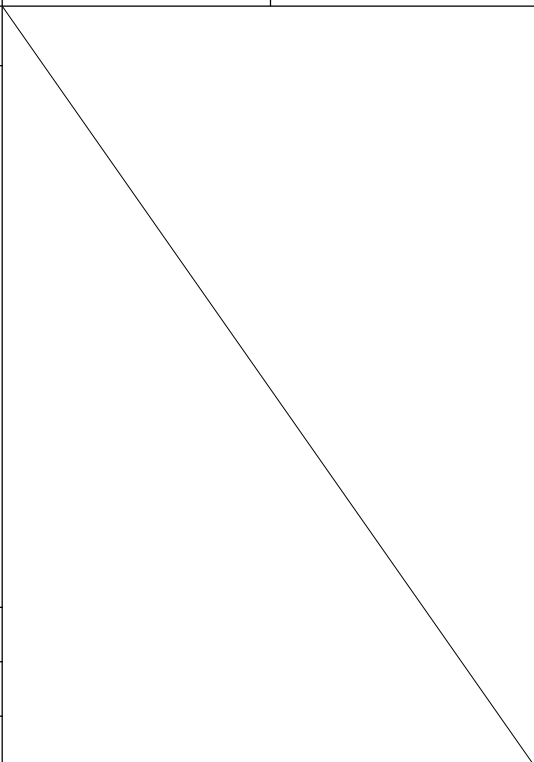
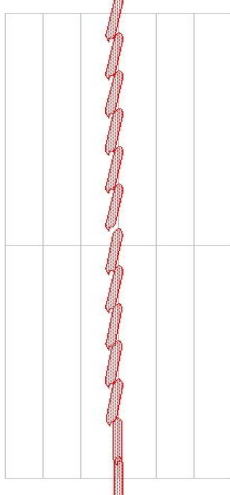
Division	Simulation result			Remark
150K GT Cruise ship - V_{s2}	E_{c1}	E_{c2}	E_{c3}	Scenario No. 18~21
				
	W_S : 65m(0.19L)	W_S : 68m(0.20L)	W_S : 77m(0.22L)	
	W_{BM} : 53m	W_{BM} : 65m	W_{BM} : 71m	
	Drift angle: 2°	Drift angle: 4°	Drift angle: 5°	
	E_{c4}			
				
	W_S : 94m(0.27L)			
	W_{BM} : 88m			
	Drift angle: 8°			

Table 54 Simulation results of Cruise ship(V_{s3}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$)

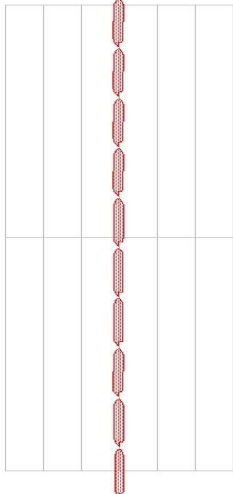
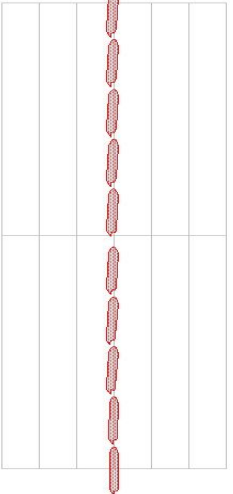
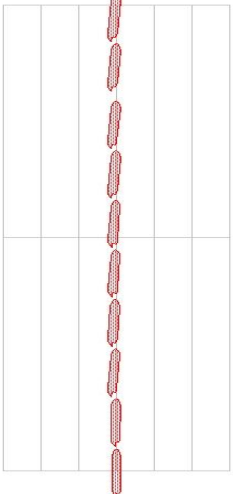
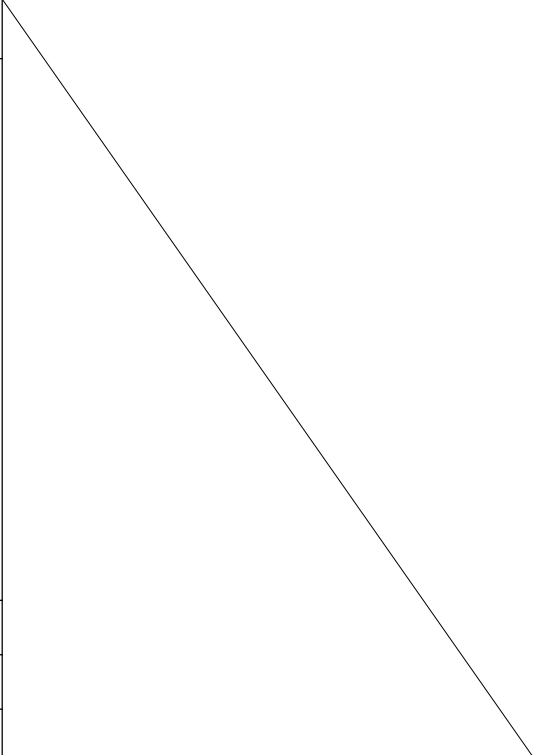
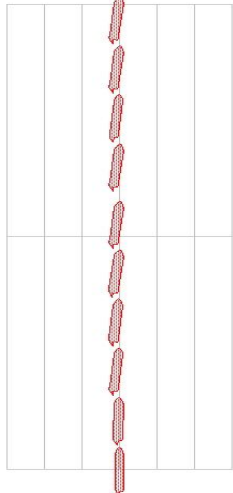
Division	Simulation result			Remark
150K GT Cruise ship - V_{s3}	E_{c1}	E_{c2}	E_{c3}	Scenario No. 30~33
				
	W_S : 61m(0.18L)	W_S : 63m(0.18L)	W_S : 68m(0.20L)	
	W_{BM} : 47m	W_{BM} : 53m	W_{BM} : 59m	
	Drift angle: 1°	Drift angle: 2°	Drift angle: 3°	
	E_{c4}			
				
	W_S : 77m(0.22L)			
	W_{BM} : 71m			
	Drift angle: 5°			

Table 55 Simulation results of Cruise ship(V_{s1} , V_{s2}) by wave height($E_{h1} \sim E_{h3}$)

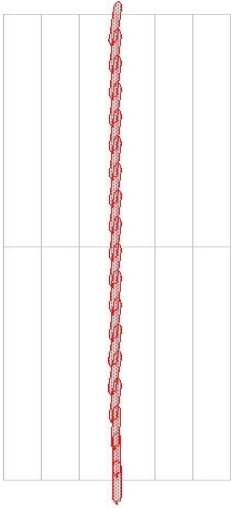
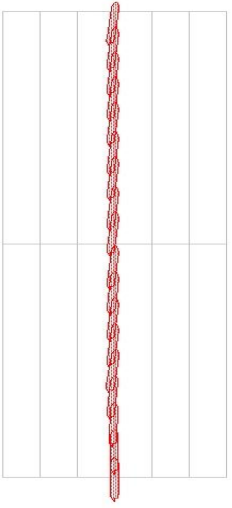
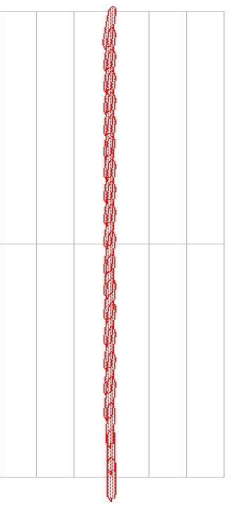
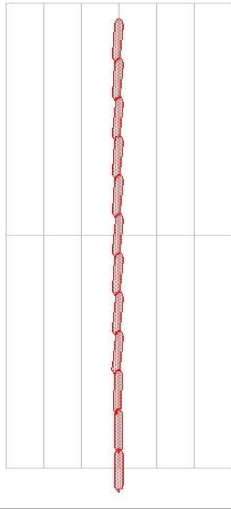
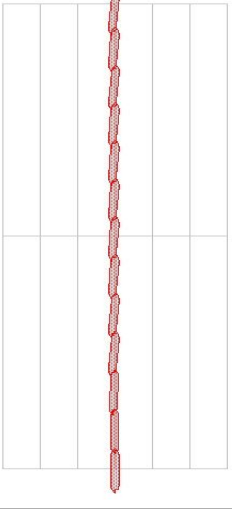
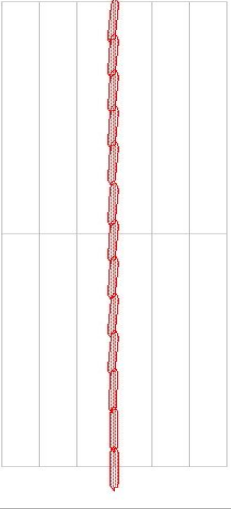
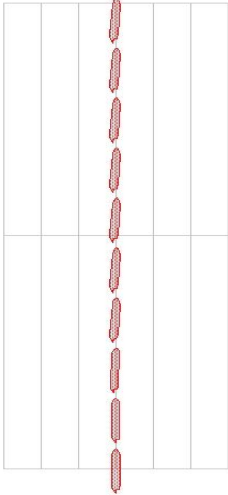
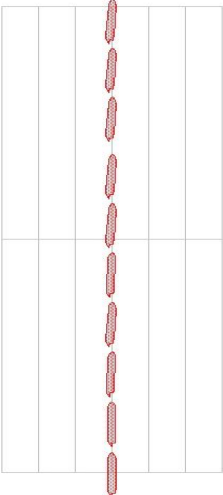
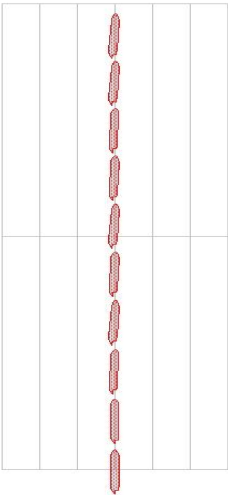
Division	Simulation result			Remark
150K GT Cruise ship - V_{s1}	E_{h1}	E_{h2}	E_{h3}	Scenario No. 10~12
				
	W_S : 82m(0.24L)	W_S : 83m(0.24L)	W_S : 85m(0.25L)	
	W_{BM} : 77m	W_{BM} : 77m	W_{BM} : 77m	
	Drift angle: 6°	Drift angle: 6°	Drift angle: 6°	
150K GT Cruise ship - V_{s2}	E_{h1}	E_{h2}	E_{h3}	Scenario No. 22~24
				
	W_S : 73m(0.21L)	W_S : 74m(0.22L)	W_S : 75m(0.22L)	
	W_{BM} : 65m	W_{BM} : 65m	W_{BM} : 65m	
	Drift angle: 4°	Drift angle: 4°	Drift angle: 4°	

Table 56 Simulation results of Cruise ship(V_{s3}) by wave height($E_{h1} \sim E_{h3}$)

Division	Simulation result			Remark
150K GT Cruise ship - V_{s3}	E_{h1}	E_{h2}	E_{h3}	Scenario No. 34~36
				
	W_S : 71m(0.21L)	W_S : 72m(0.21L)	W_S : 73m(0.21L)	
	W_{BM} : 59m	W_{BM} : 59m	W_{BM} : 59m	
	Drift angle: 3°	Drift angle: 3°	Drift angle: 3°	

5.4.2 12K TEU Container ship

횡풍(90° 에서 불어오는 방향) 및 속도 5~45 knots의 바람 조건에서 선속 7 knots로 통항하는 경우, 최소 102m(0.28L)~최대 187m(0.52L), 선속 10 knots로 통항하는 경우, 최소 91m(0.25L)~최대 143m(0.40L), 선속 13 knots로 통항하는 경우, 최소 86m(0.24L)~최대 118m(0.33L)의 항로 폭이 필요한 것으로 검토되었다.

횡조류(270° 로 흘러가는 방향) 및 속도 0.5~2.0 knots의 조류 조건에서 선속 7 knots로 통항하는 경우, 최소 103m(0.29L)~최대 188m(0.53L), 선속 10 knots로 통항하는 경우, 최소 92m(0.26L)~최대 149m(0.42L), 선속 13 knots로 통항하는 경우, 최소 78m(0.22L)~최대 104m(0.29L)의 항로 폭이 필요한 것으로 검토되었다.

횡파(270° 로 흘러가는 방향) 및 높이 1~3 m의 파랑 조건에서 선속 7 knots로 통항하는 경우, 최소 102m(0.28L)~최대 106m(0.30L), 선속 10 knots로 통항하는 경우, 최소 84m(0.23L)~최대 88m(0.25L), 선속 13 knots로 통항하는 경우, 최소 82m(0.23L)~최대 86m(0.24L)의 항로 폭이 필요한 것으로 검토되었다.

1만 2천 TEU급 컨테이너선의 경우, 풍압면적과 수선하 면적이 일반 선박에 비해 큰 편이므로 실험에 적용한 환경 요소 중 선박의 횡측으로부터 부는 바람과 조류에 크게 영향을 받는 것으로 나타났으며 통항 선박의 선속이 증가할수록 필요한 항로 폭이 감소되는 것으로 분석되었다.

1만 2천 TEU급 컨테이너선의 통항 선속별 각각의 시나리오에 대한 선박 항적 및 필요 항로 폭은 다음과 같다.

Table 57 Simulation results of Container ship(V_{s1}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$)

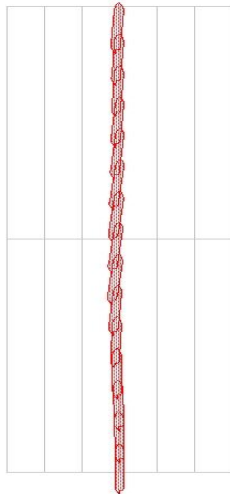
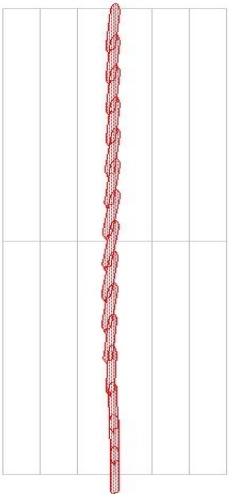
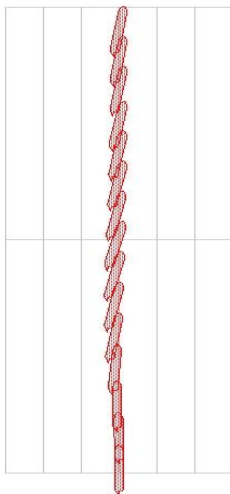
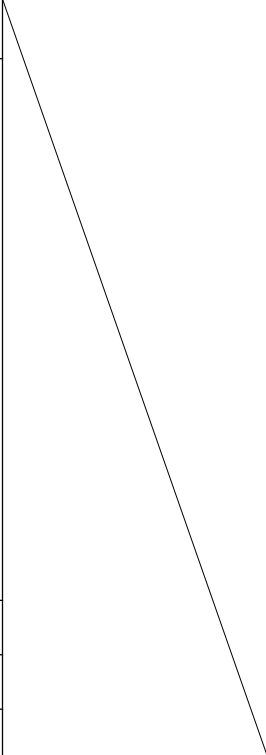
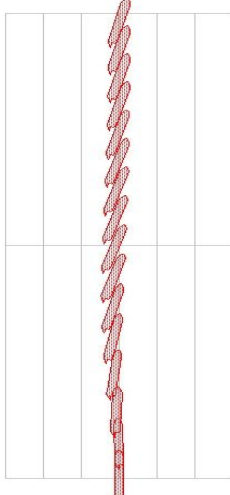
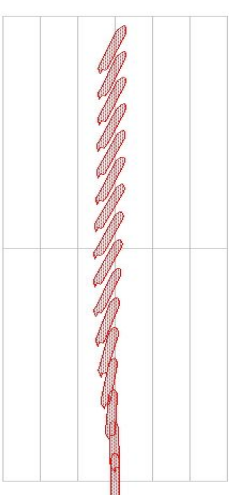
Division	Simulation result			Remark
12K TEU Container ship - V_{s1}	E_{w1}	E_{w2}	E_{w3}	Scenario No. 1~5
				
	W_S : 102m(0.28L)	W_S : 108m(0.30L)	W_S : 122m(0.34L)	
	W_{BM} : 86m	W_{BM} : 98m	W_{BM} : 110m	
	Drift angle: 6°	Drift angle: 8°	Drift angle: 10°	
	E_{w4}	E_{w5}		
				
	W_S : 147m(0.41L)	W_S : 187m(0.52L)		
	W_{BM} : 134m	W_{BM} : 174m		
	Drift angle: 14°	Drift angle: 21°		

Table 58 Simulation results of Container ship(V_{s2}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$)

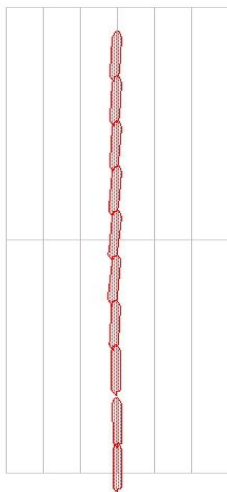
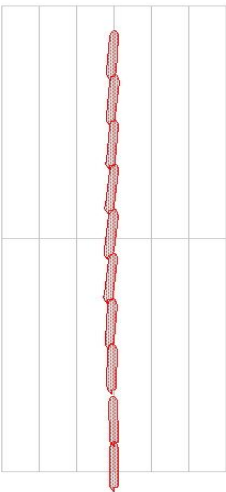
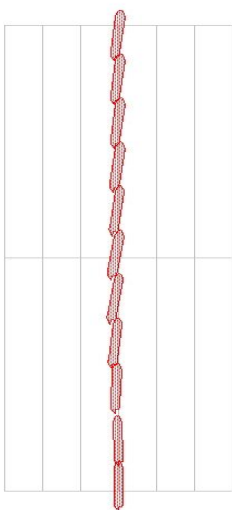
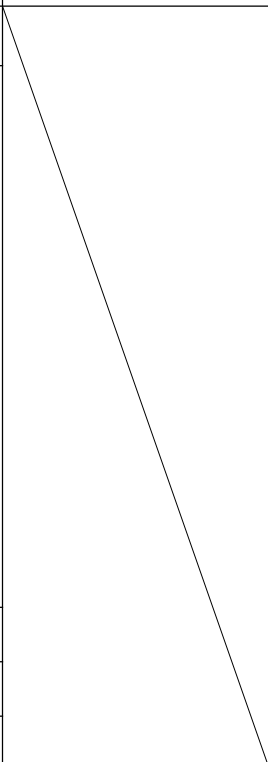
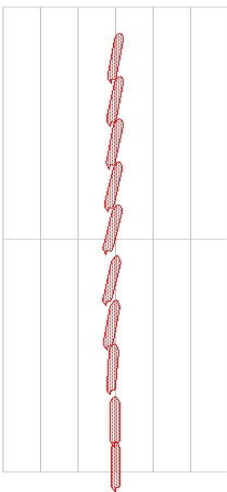
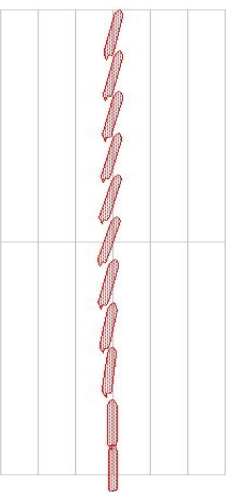
Division	Simulation result			Remark
12K TEU Container ship - V_{s2}	E_{w1}	E_{w2}	E_{w3}	Scenario No. 13~17
				
	W_S : 91m(0.25L)	W_S : 95m(0.27L)	W_S : 104m(0.29L)	
	W_{BM} : 74m	W_{BM} : 80m	W_{BM} : 92m	
	Drift angle: 4°	Drift angle: 5°	Drift angle: 7°	
	E_{w4}	E_{w5}		
				
	W_S : 119m(0.33L)	W_S : 143m(0.40L)		
	W_{BM} : 104m	W_{BM} : 128m		
	Drift angle: 9°	Drift angle: 13°		

Table 59 Simulation results of Container ship(V_{s3}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$)

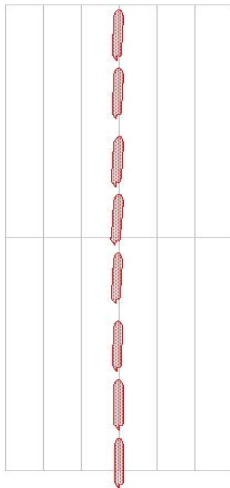
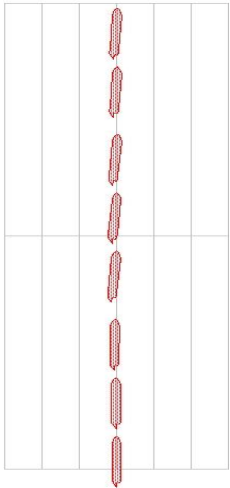
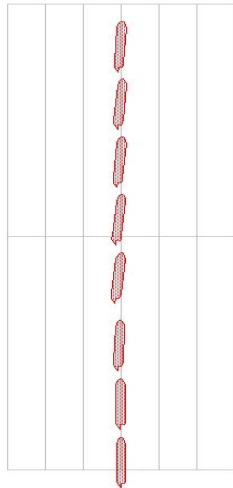
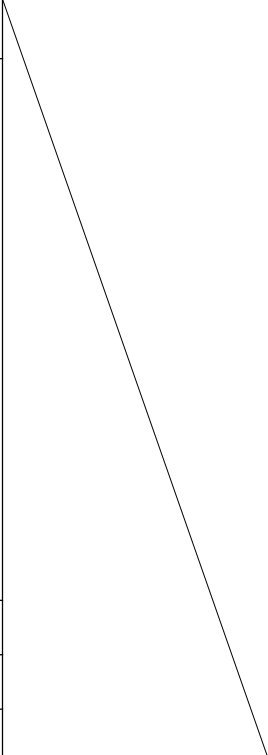
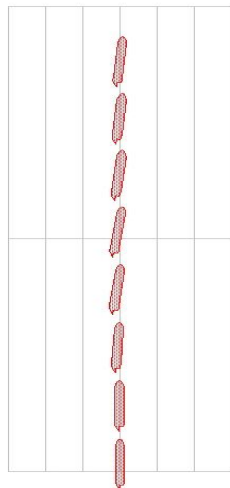
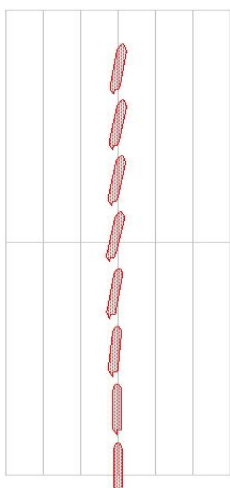
Division	Simulation result			Remark
12K TEU Container ship - V_{s3}	E_{w1}	E_{w2}	E_{w3}	Scenario No. 25~29
				
	W_S : 86m(0.24L)	W_S : 89m(0.25L)	W_S : 94m(0.26L)	
	W_{BM} : 68m	W_{BM} : 74m	W_{BM} : 80m	
	Drift angle: 3°	Drift angle: 4°	Drift angle: 5°	
	E_{w4}	E_{w5}		
				
	W_S : 103m(0.29L)	W_S : 118m(0.33L)		
	W_{BM} : 92m	W_{BM} : 104m		
	Drift angle: 7°	Drift angle: 9°		

Table 60 Simulation results of Container ship(V_{s1}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$)

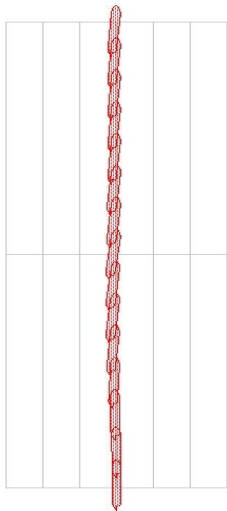
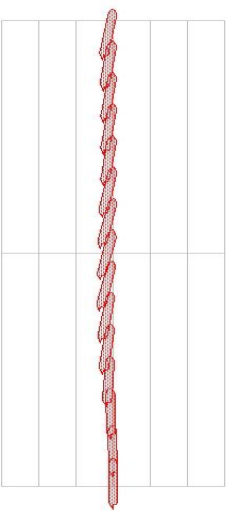
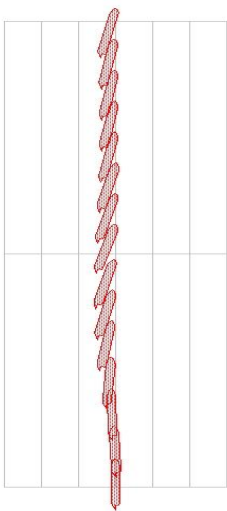
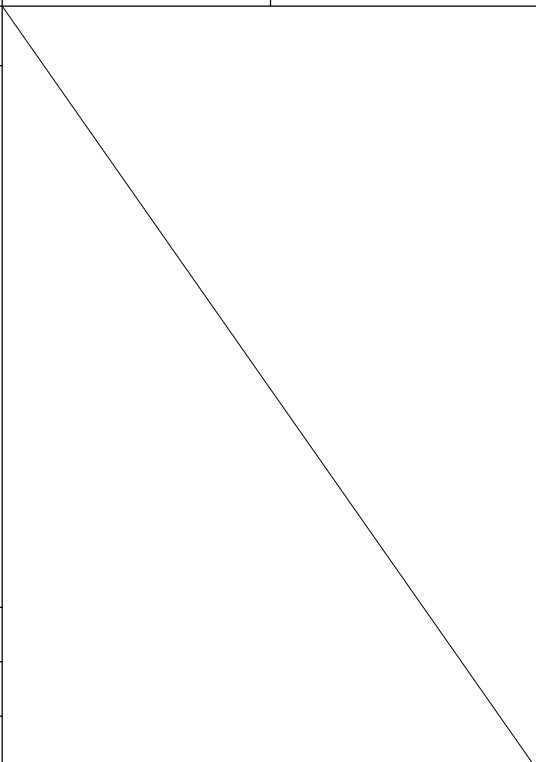
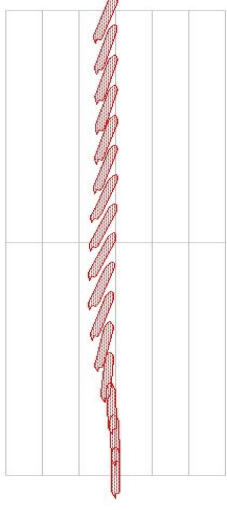
Division	Simulation result			Remark
12K TEU Container ship - V_{s1}	E_{c1}	E_{c2}	E_{c3}	Scenario No. 6~9
				
	W_S : 103m(0.29L)	W_S : 113m(0.32L)	W_S : 138m(0.39L)	
	W_{BM} : 86m	W_{BM} : 104m	W_{BM} : 128m	
	Drift angle: 6°	Drift angle: 9°	Drift angle: 13°	
	E_{c4}			
				
	W_S : 188m(0.53L)			
	W_{BM} : 174m			
	Drift angle: 21°			

Table 61 Simulation results of Container ship(V_{s2}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$)

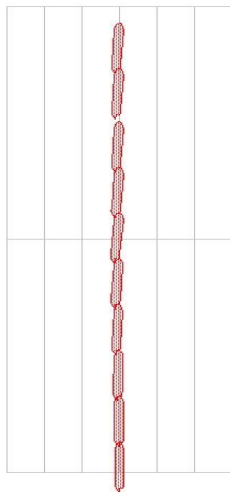
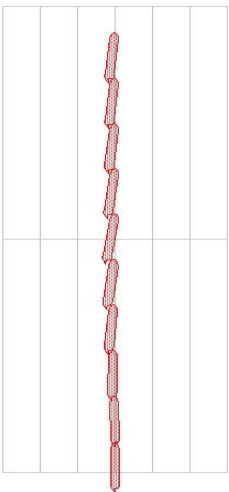
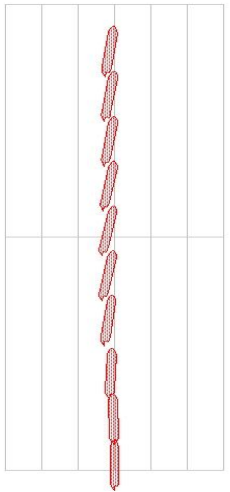
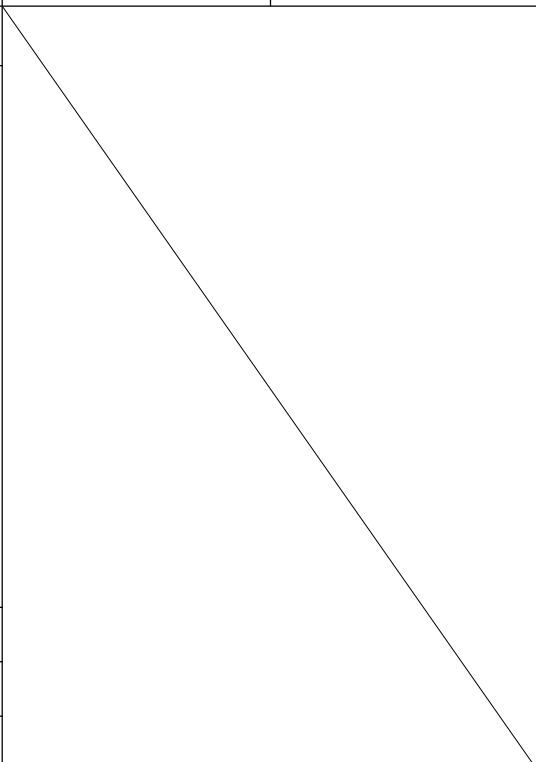
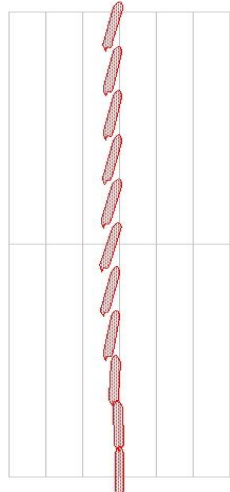
Division	Simulation result			Remark
12K TEU Container ship - V_{s2}	E_{c1}	E_{c2}	E_{c3}	Scenario No. 18~21
				
	W_S : 92m(0.26L)	W_S : 98m(0.27L)	W_S : 115m(0.32L)	
	W_{BM} : 74m	W_{BM} : 86m	W_{BM} : 104m	
	Drift angle: 4°	Drift angle: 6°	Drift angle: 9°	
	E_{c4}			
				
	W_S : 149m(0.42L)			
	W_{BM} : 128m			
	Drift angle: 13°			

Table 62 Simulation results of Container ship(V_{s3}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$)

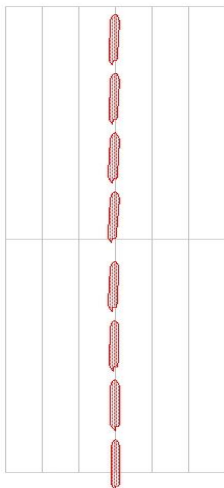
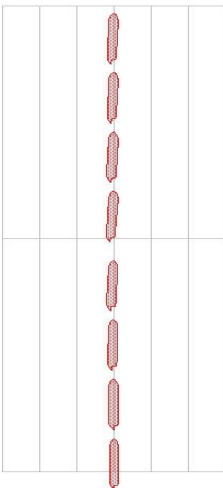
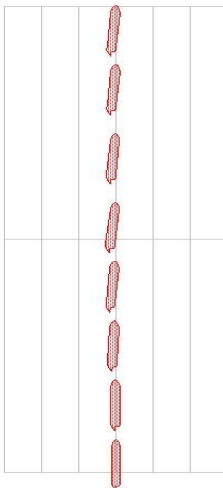
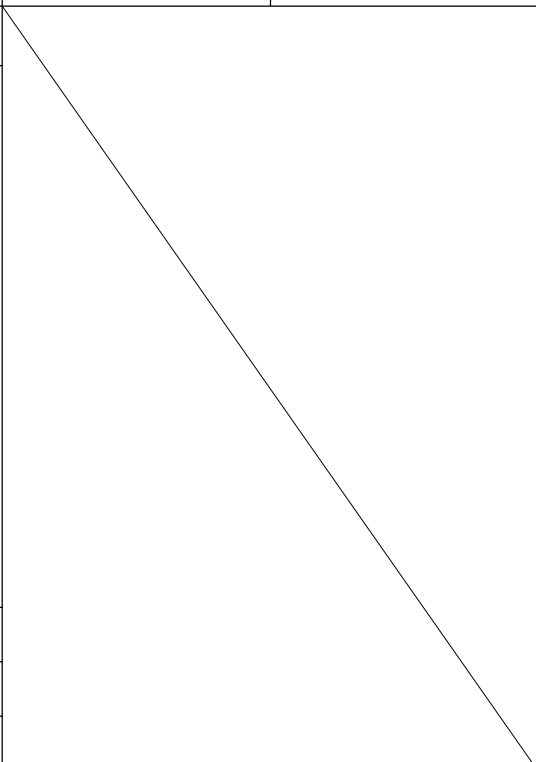
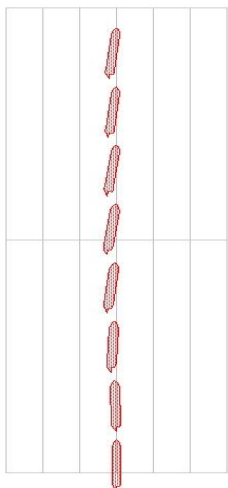
Division	Simulation result			Remark
12K TEU Container ship - V_{s3}	E_{c1}	E_{c2}	E_{c3}	Scenario No. 30~33
				
	W_S : 78m(0.22L)	W_S : 82m(0.23L)	W_S : 90m(0.25L)	
	W_{BM} : 68m	W_{BM} : 68m	W_{BM} : 80m	
	Drift angle: 3°	Drift angle: 3°	Drift angle: 5°	
	E_{c4}			
				
	W_S : 104m(0.29L)			
	W_{BM} : 92m			
	Drift angle: 7°			

Table 63 Simulation results of Container ship(V_{s1} , V_{s2}) by wave height($E_{h1} \sim E_{h3}$)

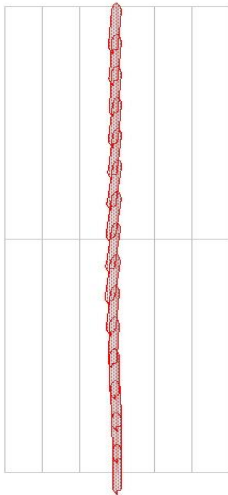
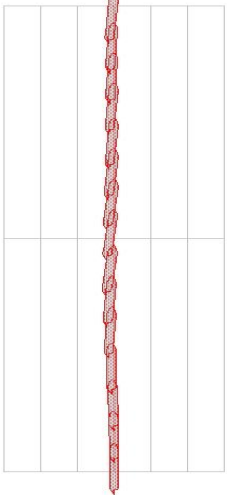
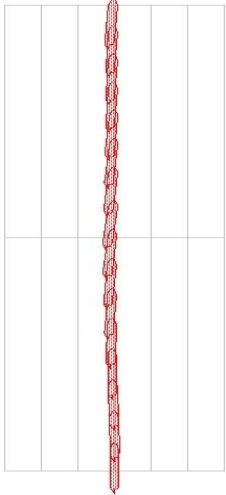
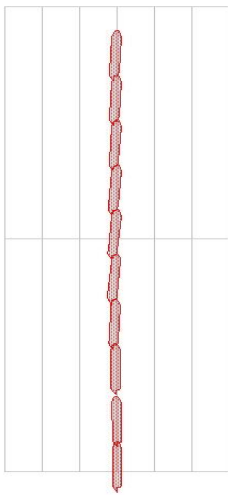
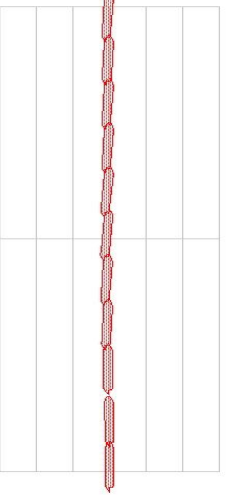
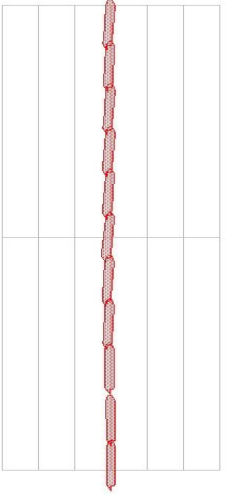
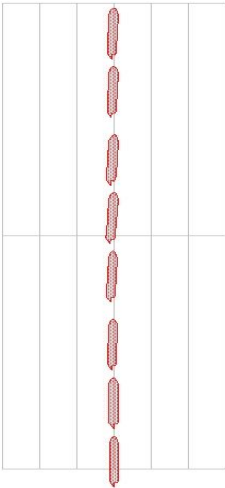
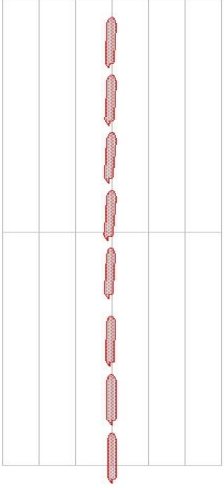
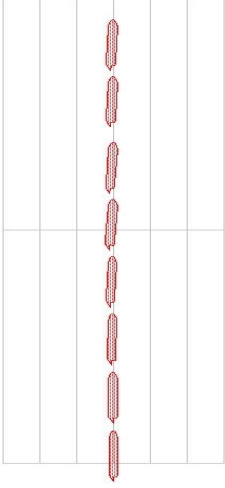
Division	Simulation result			Remark
12K TEU Container ship - V_{s1}	E_{h1}	E_{h2}	E_{h3}	Scenario No. 10~12
				
	W_S : 102m(0.28L)	W_S : 104m(0.29L)	W_S : 106m(0.30L)	
	W_{BM} : 86m	W_{BM} : 86m	W_{BM} : 86m	
	Drift angle: 6°	Drift angle: 6°	Drift angle: 6°	
12K TEU Container ship - V_{s2}	E_{h1}	E_{h2}	E_{h3}	Scenario No. 22~24
				
	W_S : 84m(0.23L)	W_S : 86m(0.24L)	W_S : 88m(0.25L)	
	W_{BM} : 74m	W_{BM} : 74m	W_{BM} : 74m	
	Drift angle: 4°	Drift angle: 4°	Drift angle: 4°	

Table 64 Simulation results of Container ship(V_{s3}) by wave height($E_{h1} \sim E_{h3}$)

Division	Simulation result			Remark
12K TEU Container ship - V_{s3}	E_{h1}	E_{h2}	E_{h3}	Scenario No. 34~36
				
	W_S : 82m(0.23L)	W_S : 84m(0.23L)	W_S : 86m(0.24L)	
	W_{BM} : 68m	W_{BM} : 68m	W_{BM} : 68m	
	Drift angle: 3°	Drift angle: 3°	Drift angle: 3°	

5.4.3 300K DWT VLCC

황풍(90°에서 불어오는 방향) 및 속도 5~45 knots의 바람 조건에서 선속 7 knots로 통항하는 경우, 최소 125m(0.36L)~최대 158m(0.45L), 선속 10 knots로 통항하는 경우, 최소 102m(0.29L)~최대 125m(0.36L), 선속 13 knots로 통항하는 경우, 최소 98m(0.28L)~최대 115m(0.33L)의 항로 폭이 필요한 것으로 검토되었다.

황조류(270°로 흘러가는 방향) 및 속도 0.5~2.0 knots의 조류 조건에서 선속 7 knots로 통항하는 경우, 최소 133m(0.38L)~최대 302m(0.86L), 선속 10 knots로 통항하는 경우, 최소 117m(0.33L)~최대 203m(0.58L), 선속 13 knots로 통항하는 경우, 최소 106m(0.30L)~최대 151m(0.43L)의 항로 폭이 필요한 것으로 검토되었다.

황파(270°로 흘러가는 방향) 및 높이 1~3 m의 파랑 조건에서 선속 7 knots로 통항하는 경우, 최소 118m(0.34L)~최대 123m(0.35L), 선속 10 knots로 통항하는 경우, 최소 108m(0.31L)~최대 113m(0.32L), 선속 13 knots로 통항하는 경우, 최소 102m(0.29L)~최대 106m(0.30L)의 항로 폭이 필요한 것으로 검토되었다.

30만 DWT급 원유운반선의 경우, 수선하 면적이 일반 선박에 비해 큰 편이므로 실험에 적용한 환경 요소 중 선박의 횡측으로부터 진행되는 조류에 크게 영향을 받는 것으로 나타났으며 통항 선박의 선속이 증가할수록 필요한 항로 폭이 감소되는 것으로 분석되었다.

30만 DWT급 원유운반선의 통항 선속별 각각의 시나리오에 대한 선박 항적 및 필요 항로 폭은 다음과 같다.

Table 65 Simulation results of VLCC(V_{s1}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$)

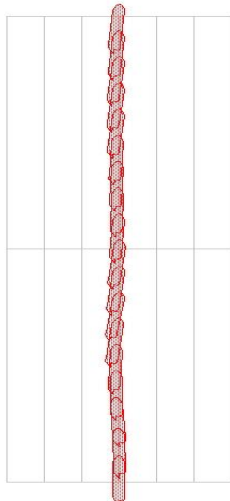
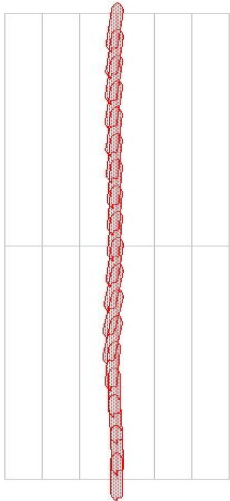
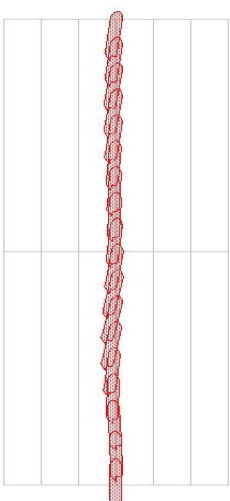
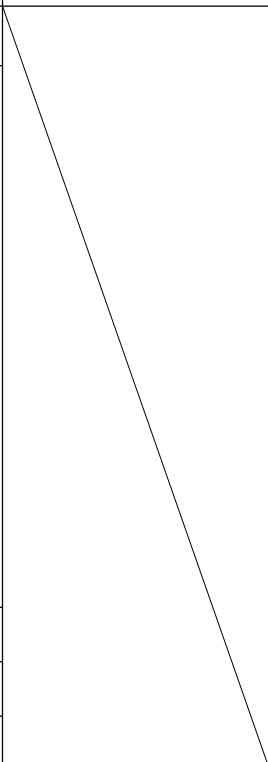
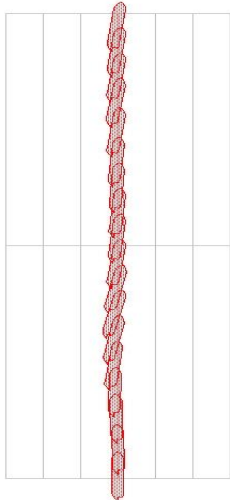
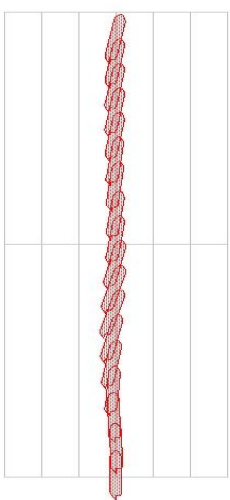
Division	Simulation result			Remark
300K DWT VLCC - V_{s1}	E_{w1}	E_{w2}	E_{w3}	Scenario No. 1~5
				
	W_S : 125m(0.36L)	W_S : 127m(0.36L)	W_S : 132m(0.38L)	
	W_{BM} : 99m	W_{BM} : 105m	W_{BM} : 111m	
	Drift angle: 6°	Drift angle: 7°	Drift angle: 8°	
	E_{w4}	E_{w5}		
				
	W_S : 141m(0.40L)	W_S : 158m(0.45L)		
	W_{BM} : 123m	W_{BM} : 134m		
	Drift angle: 10°	Drift angle: 12°		

Table 66 Simulation results of VLCC(V_{s2}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$)

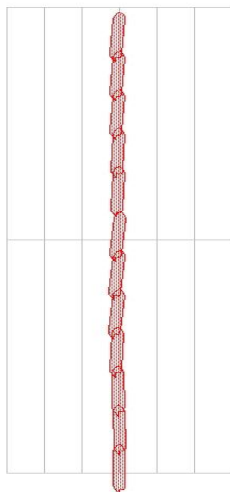
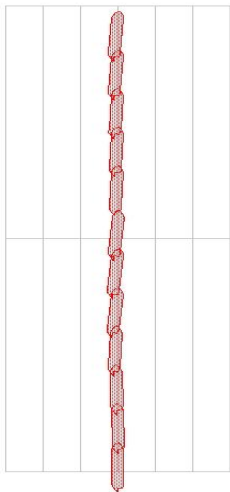
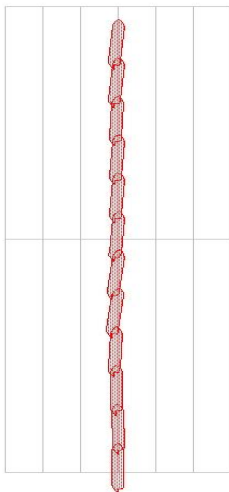
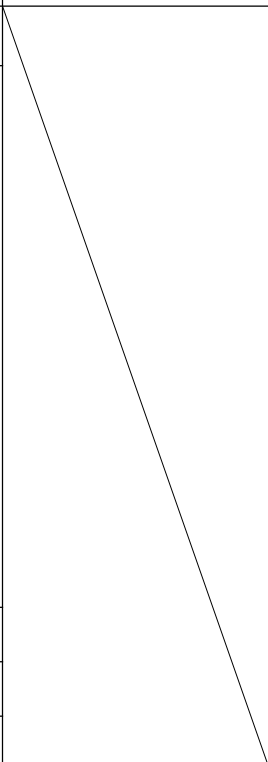
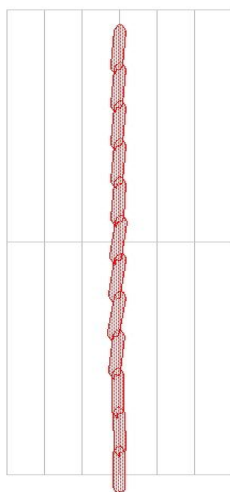
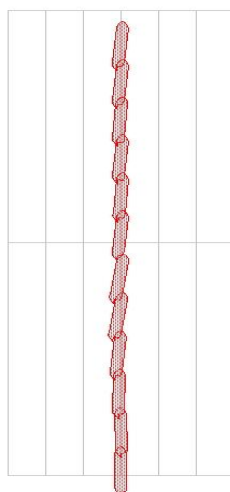
Division	Simulation result			Remark
300K DWT VLCC - V_{s2}	E_{w1}	E_{w2}	E_{w3}	Scenario No. 13~17
				
	W_S : 102m(0.29L)	W_S : 104m(0.30L)	W_S : 108m(0.31L)	
	W_{BM} : 87m	W_{BM} : 93m	W_{BM} : 93m	
	Drift angle: 4°	Drift angle: 5°	Drift angle: 5°	
	E_{w4}	E_{w5}		
				
	W_S : 115m(0.33L)	W_S : 125m(0.36L)		
	W_{BM} : 105m	W_{BM} : 111m		
	Drift angle: 7°	Drift angle: 8°		

Table 67 Simulation results of VLCC(V_{s3}) by wind speed($E_{w1} \sim E_{w5}$)

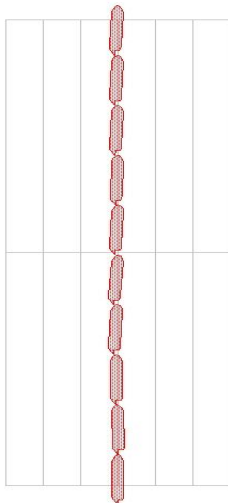
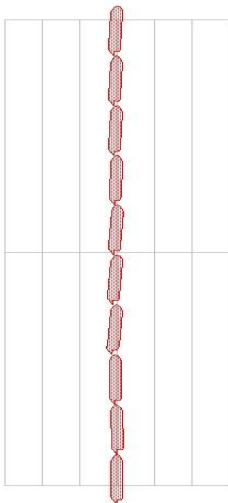
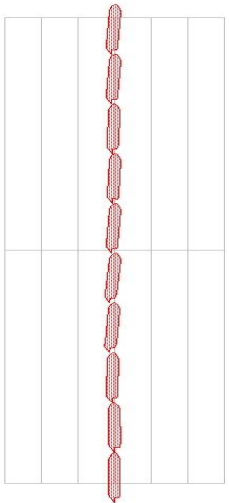
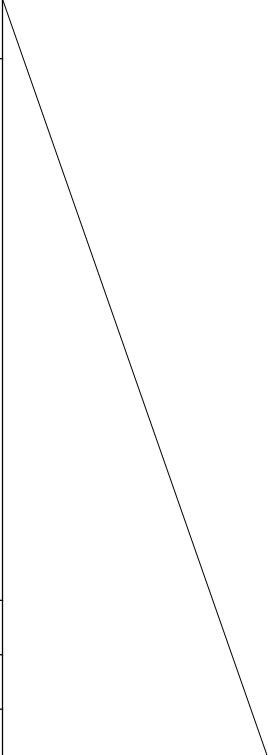
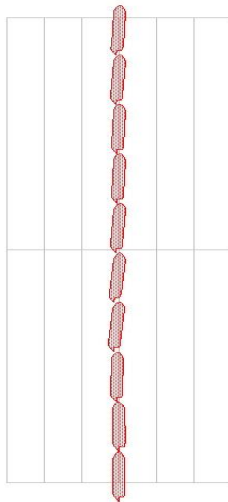
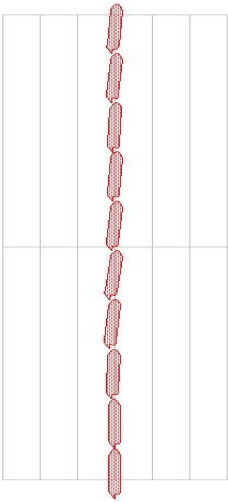
Division	Simulation result			Remark
300K DWT VLCC - V_{s3}	E_{w1}	E_{w2}	E_{w3}	Scenario No. 25~29
				
	W_S : 98m(0.28L)	W_S : 99m(0.28L)	W_S : 102m(0.29L)	
	W_{BM} : 87m	W_{BM} : 87m	W_{BM} : 87m	
	Drift angle: 4°	Drift angle: 4°	Drift angle: 4°	
	E_{w4}	E_{w5}		
				
	W_S : 107m(0.31L)	W_S : 115m(0.33L)		
	W_{BM} : 93m	W_{BM} : 99m		
	Drift angle: 5°	Drift angle: 6°		

Table 68 Simulation results of VLCC(V_{s1}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$)

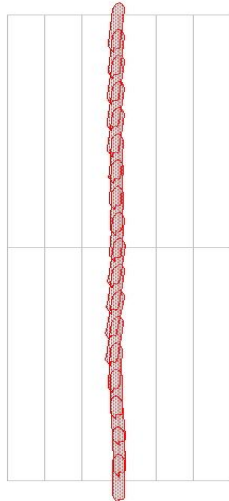
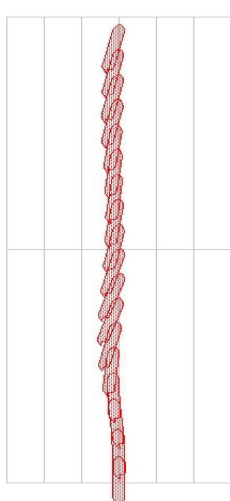
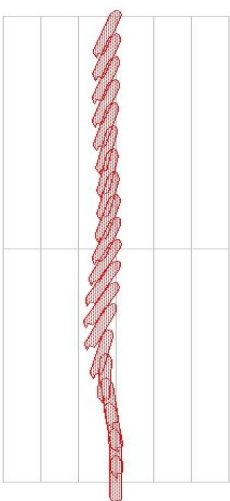
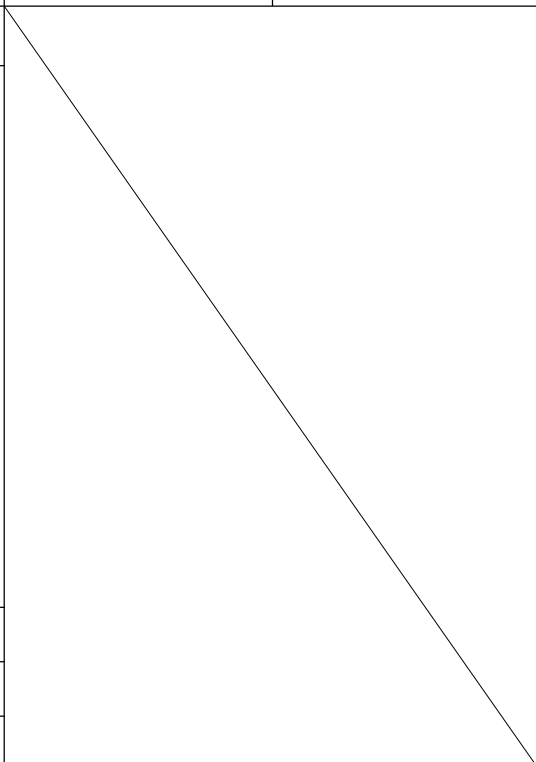
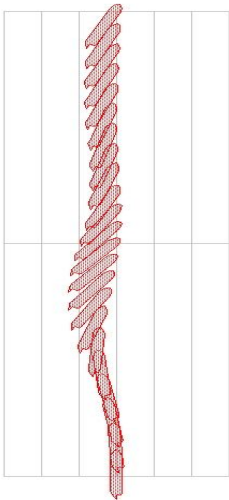
Division	Simulation result			Remark	
300K DWT VLCC - V_{s1}	E_{c1}	E_{c2}	E_{c3}	Scenario No. 6~9	
					
	W_S : 133m(0.38L)	W_S : 154m(0.44L)	W_S : 203m(0.58L)		
	W_{BM} : 111m	W_{BM} : 140m	W_{BM} : 184m		
	Drift angle: 8°	Drift angle: 13°	Drift angle: 21°		
	E_{c4}				
					
	W_S : 302m(0.86L)				
	W_{BM} : 277m				
	Drift angle: 41°				

Table 69 Simulation results of VLCC(V_{s2}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$)

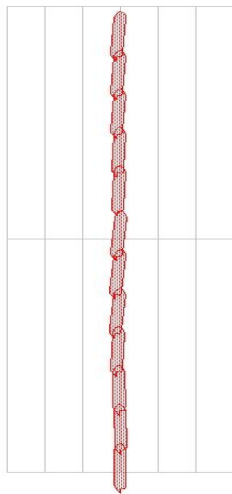
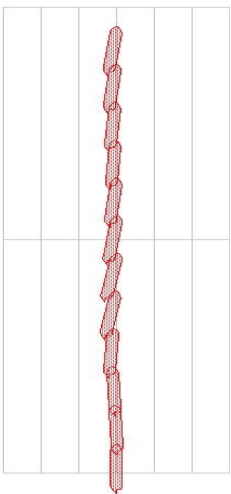
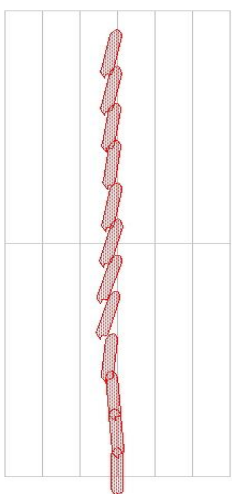
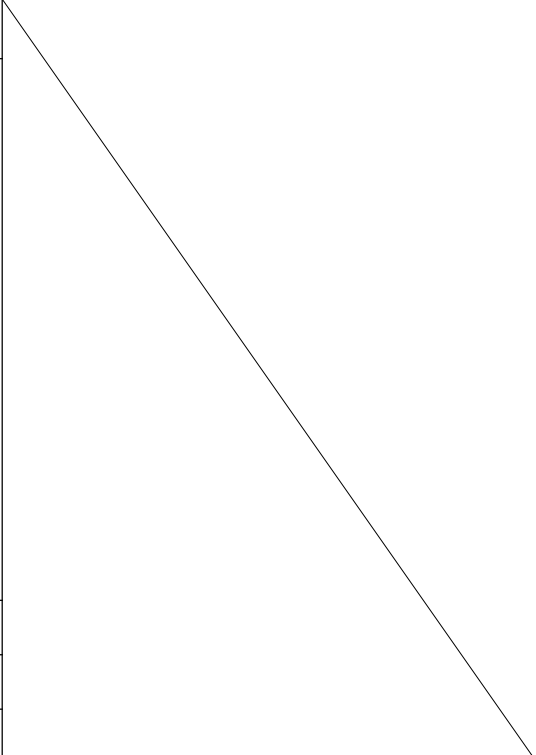
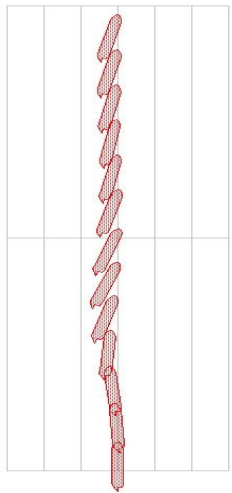
Division	Simulation result			Remark	
300K DWT VLCC - V_{s2}	E_{c1}	E_{c2}	E_{c3}	Scenario No. 18~21	
					
	W_S : 117m(0.33L)	W_S : 125m(0.36L)	W_S : 155m(0.44L)		
	W_{BM} : 93m	W_{BM} : 111m	W_{BM} : 140m		
	Drift angle: 5°	Drift angle: 8°	Drift angle: 13°		
	E_{c4}				
					
	W_S : 203m(0.58L)				
	W_{BM} : 179m				
	Drift angle: 20°				

Table 70 Simulation results of VLCC(V_{s3}) by current speed($E_{c1} \sim E_{c4}$)

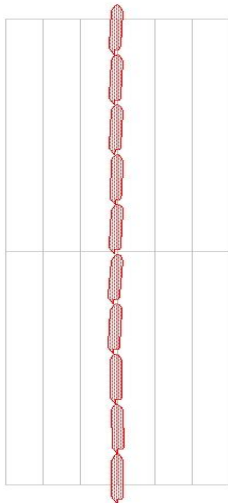
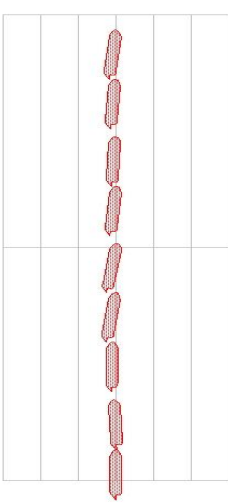
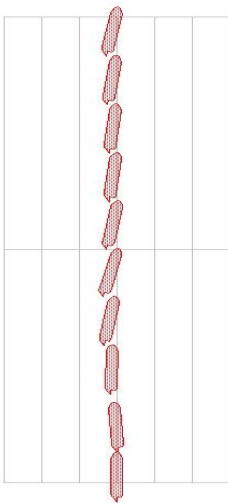
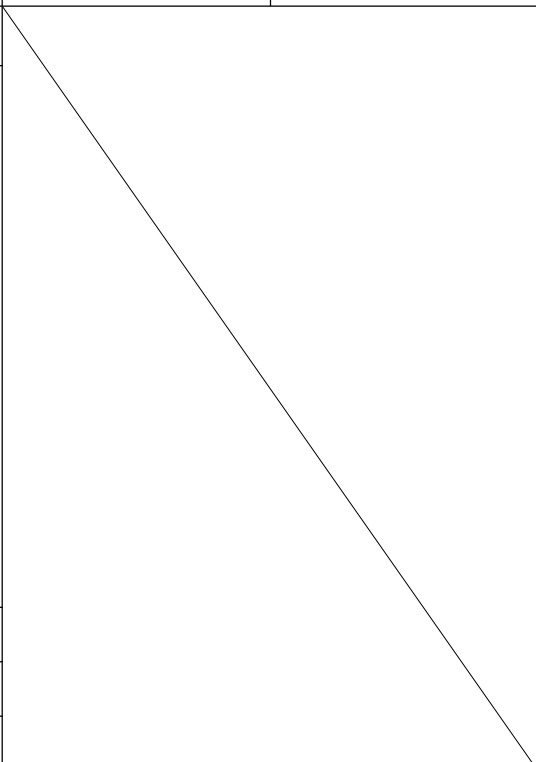
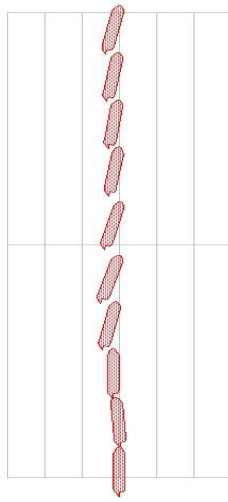
Division	Simulation result			Remark	
300K DWT VLCC - V_{s3}	E_{c1}	E_{c2}	E_{c3}	Scenario No. 30~33	
					
	W_S : 106m(0.30L)	W_S : 112m(0.32L)	W_S : 126m(0.36L)		
	W_{BM} : 87m	W_{BM} : 99m	W_{BM} : 111m		
	Drift angle: 4°	Drift angle: 6°	Drift angle: 8°		
	E_{c4}				
					
	W_S : 151m(0.43L)				
	W_{BM} : 140m				
	Drift angle: 13°				

Table 71 Simulation results of VLCC(V_{s1} , V_{s2}) by wave height($E_{h1} \sim E_{h3}$)

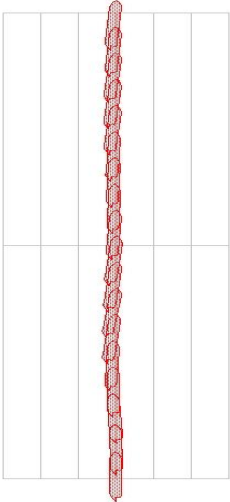
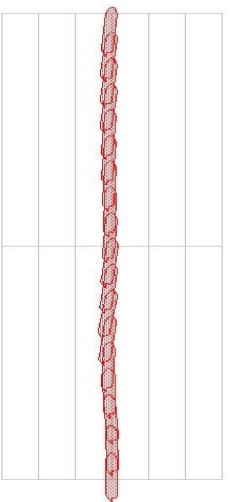
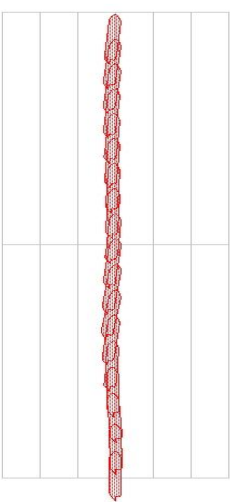
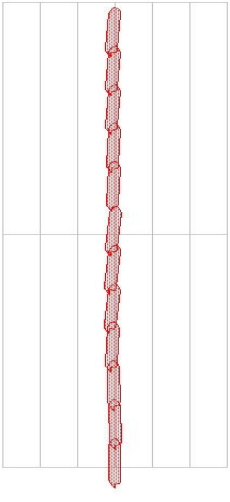
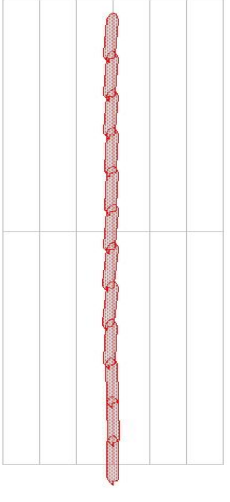
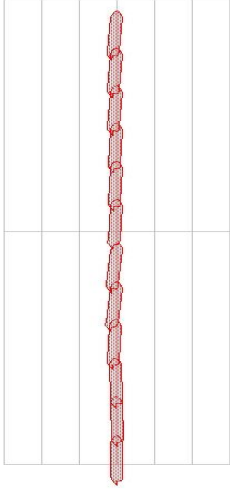
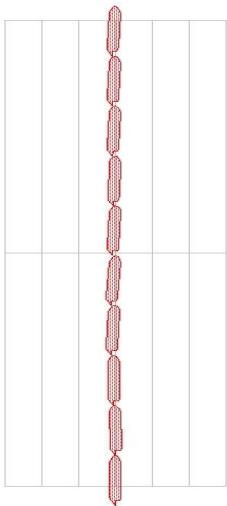
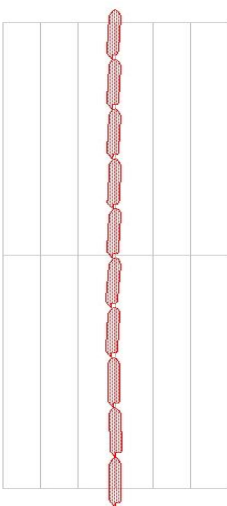
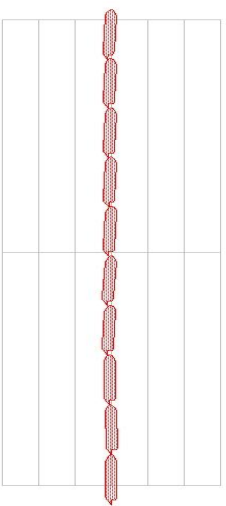
Division	Simulation result			Remark
300K DWT VLCC - V_{s1}	E_{h1}	E_{h2}	E_{h3}	Scenario No. 10~12
				
	W_S : 118m(0.34L)	W_S : 120m(0.34L)	W_S : 123m(0.35L)	
	W_{BM} : 105m	W_{BM} : 105m	W_{BM} : 105m	
	Drift angle: 7°	Drift angle: 7°	Drift angle: 7°	
300K DWT VLCC - V_{s2}	E_{h1}	E_{h2}	E_{h3}	Scenario No. 22~24
				
	W_S : 108m(0.31L)	W_S : 110m(0.31L)	W_S : 113m(0.32L)	
	W_{BM} : 93m	W_{BM} : 93m	W_{BM} : 93m	
	Drift angle: 5°	Drift angle: 5°	Drift angle: 5°	

Table 72 Simulation results of VLCC(V_{s3}) by wave height($E_{h1} \sim E_{h3}$)

Division	Simulation result			Remark
300K DWT VLCC - V_{s3}	E_{h1}	E_{h2}	E_{h3}	Scenario No. 34~36
				
	W_S : 102m(0.29L)	W_S : 104m(0.30L)	W_S : 106m(0.30L)	
	W_{BM} : 87m	W_{BM} : 87m	W_{BM} : 87m	
	Drift angle: 4°	Drift angle: 4°	Drift angle: 4°	

5.5 최소 필요 항로 폭 분석

5.5.1 외력 조건별 민감도 변화

대상선박별 평가 시나리오에 따라 배속 시뮬레이션을 수행하여 최소 필요 항로 폭(W_S)을 분석하고 통항 선속과 바람 및 조류, 파랑 등의 외력 조건 변화에 따른 민감도 변화를 검토하여 다음과 같이 제시하였다.

15만 GT급 크루즈선의 경우, V_{s1} 조건에서 E_{w5} 일 때 W_S 는 0.64L, E_{c4} 일 때 W_S 는 0.33L, E_{h3} 일 때 W_S 는 0.25L로 나타나 바람 조건에 따른 민감도가 가장 높은 것으로 분석되었다. 또한, V_{s1} 조건에서 V_{s2} 및 V_{s3} 조건으로 변화할수록 민감도 변화는 작아지는 것으로 분석되었다.

Table 73 Simulation results of 150K GT Cruise ship

Division		Vessel speed(V_{si})					
		V_{s1}		V_{s2}		V_{s3}	
		W_S	Variation	W_S	Variation	W_S	Variation
Wind (E_{wi})	E_{w1}	0.25L	-	0.23L	-	0.21L	-
	E_{w2}	0.27L	+ 0.02L	0.24L	+ 0.01L	0.22L	+ 0.01L
	E_{w3}	0.33L	+ 0.06L	0.27L	+ 0.03L	0.24L	+ 0.02L
	E_{w4}	0.44L	+ 0.11L	0.32L	+ 0.05L	0.28L	+ 0.04L
	E_{w5}	0.64L	+ 0.20L	0.42L	+ 0.10L	0.33L	+ 0.05L
Current (E_{ci})	E_{c1}	0.21L	-	0.19L	-	0.18L	-
	E_{c2}	0.22L	+ 0.01L	0.20L	+ 0.01L	0.18L	+ 0.00L
	E_{c3}	0.26L	+ 0.04L	0.22L	+ 0.02L	0.20L	+ 0.02L
	E_{c4}	0.33L	+ 0.07L	0.27L	+ 0.05L	0.22L	+ 0.02L
Wave (E_{hi})	E_{h1}	0.24L	-	0.21L	-	0.21L	-
	E_{h2}	0.24L	+ 0.00L	0.22L	+ 0.01L	0.21L	+ 0.00L
	E_{h3}	0.25L	+ 0.01L	0.22L	+ 0.00L	0.21L	+ 0.00L

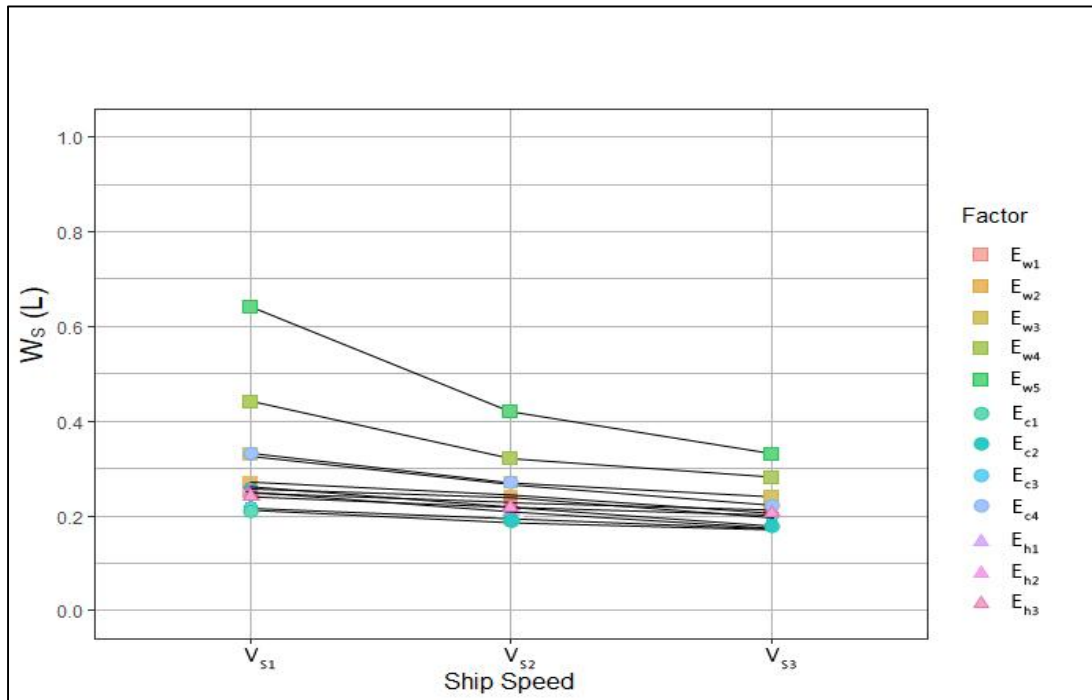


Fig. 48 Minimum required channel width for 150K GT Cruise ship

1만 2천 TEU급 컨테이너선의 경우, V_{s1} 조건에서 E_{w5} 일 때 W_s 는 0.52L, E_{c4} 일 때 W_s 는 0.53L, E_{h3} 일 때 W_s 는 0.30L로 나타나 바람 및 조류 조건에 따른 민감도가 가장 높은 것으로 분석되었다. 또한, V_{s1} 조건에서 V_{s2} 및 V_{s3} 조건으로 변화할수록 민감도 변화는 작아지는 것으로 분석되었다.

Table 74 Simulation results of 12K TEU Container ship

Division		Vessel speed(V_{si})					
		V_{s1}		V_{s2}		V_{s3}	
		W_s	Variation	W_s	Variation	W_s	Variation
Wind (E_{wi})	E_{w1}	0.28L	-	0.25L	-	0.24L	-
	E_{w2}	0.30L	+ 0.02L	0.27L	+ 0.02L	0.25L	+ 0.01L
	E_{w3}	0.34L	+ 0.04L	0.29L	+ 0.02L	0.26L	+ 0.01L
	E_{w4}	0.41L	+ 0.07L	0.33L	+ 0.04L	0.29L	+ 0.03L
	E_{w5}	0.52L	+ 0.11L	0.40L	+ 0.07L	0.33L	+ 0.04L
Current (E_{ci})	E_{c1}	0.29L	-	0.26L	-	0.22L	-
	E_{c2}	0.32L	+ 0.03L	0.27L	+ 0.01L	0.23L	+ 0.01L
	E_{c3}	0.39L	+ 0.07L	0.32L	+ 0.05L	0.25L	+ 0.02L
	E_{c4}	0.53L	+ 0.14L	0.42L	+ 0.10L	0.29L	+ 0.04L
Wave (E_{hi})	E_{h1}	0.28L	-	0.23L	-	0.23L	-
	E_{h2}	0.29L	+ 0.01L	0.24L	+ 0.01L	0.23L	+ 0.00L
	E_{h3}	0.30L	+ 0.01L	0.25L	+ 0.01L	0.24L	+ 0.01L

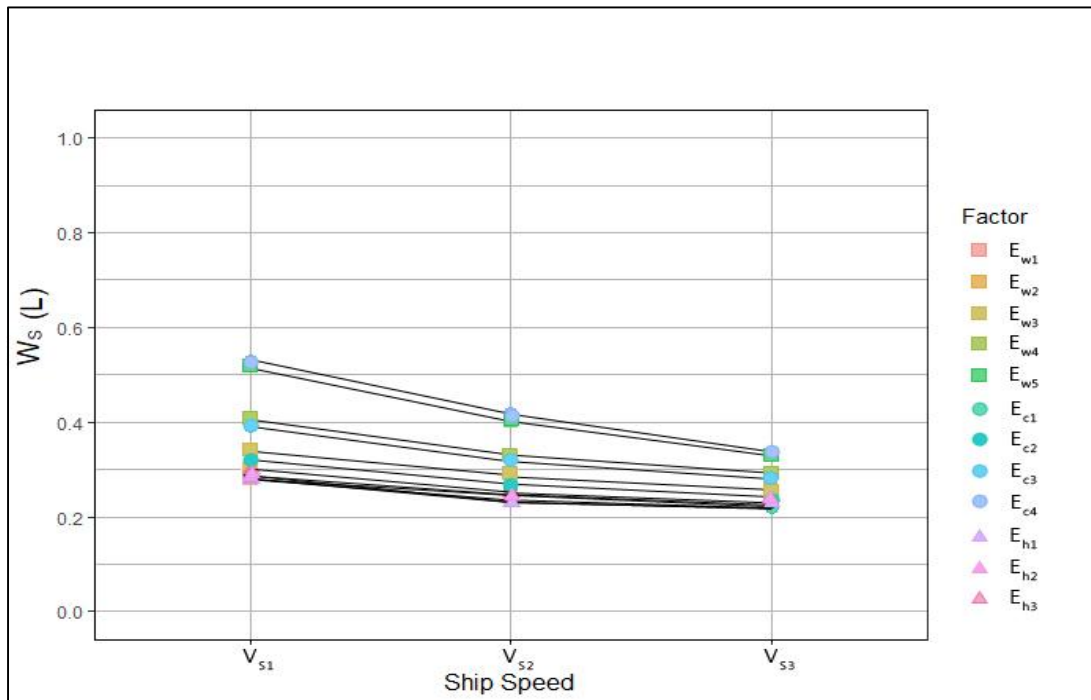


Fig. 49 Minimum required channel width for 12K TEU Container ship

30만 DWT급 원유운반선의 경우, V_{s1} 조건에서 E_{w5} 일 때 W_S 는 0.45L, E_{c4} 일 때 W_S 는 0.86L, E_{h3} 일 때 W_S 는 0.35L로 나타나 조류 조건에 따른 민감도가 가장 높은 것으로 분석되었다. 또한, V_{s1} 조건에서 V_{s2} 및 V_{s3} 조건으로 변화할 수록 민감도 변화는 작아지는 것으로 분석되었다.

Table 75 Simulation results of 300K DWT VLCC

Division		Vessel speed(V_{si})					
		V_{s1}		V_{s2}		V_{s3}	
		W_S	Variation	W_S	Variation	W_S	Variation
Wind (E_{wi})	E_{w1}	0.36L	-	0.29L	-	0.28L	-
	E_{w2}	0.36L	+ 0.00L	0.30L	+ 0.01L	0.28L	+ 0.00L
	E_{w3}	0.38L	+ 0.02L	0.31L	+ 0.01L	0.29L	+ 0.01L
	E_{w4}	0.40L	+ 0.02L	0.33L	+ 0.02L	0.31L	+ 0.02L
	E_{w5}	0.45L	+ 0.05L	0.36L	+ 0.03L	0.33L	+ 0.02L
Current (E_{ci})	E_{c1}	0.38L	-	0.33L	-	0.30L	-
	E_{c2}	0.44L	+ 0.06L	0.36L	+ 0.03L	0.32L	+ 0.02L
	E_{c3}	0.58L	+ 0.14L	0.44L	+ 0.08L	0.36L	+ 0.04L
	E_{c4}	0.86L	+ 0.28L	0.58L	+ 0.14L	0.43L	+ 0.07L
Wave (E_{hi})	E_{h1}	0.34L	-	0.31L	-	0.29L	-
	E_{h2}	0.34L	+ 0.00L	0.31L	+ 0.00L	0.30L	+ 0.01L
	E_{h3}	0.35L	+ 0.01L	0.32L	+ 0.01L	0.30L	+ 0.00L

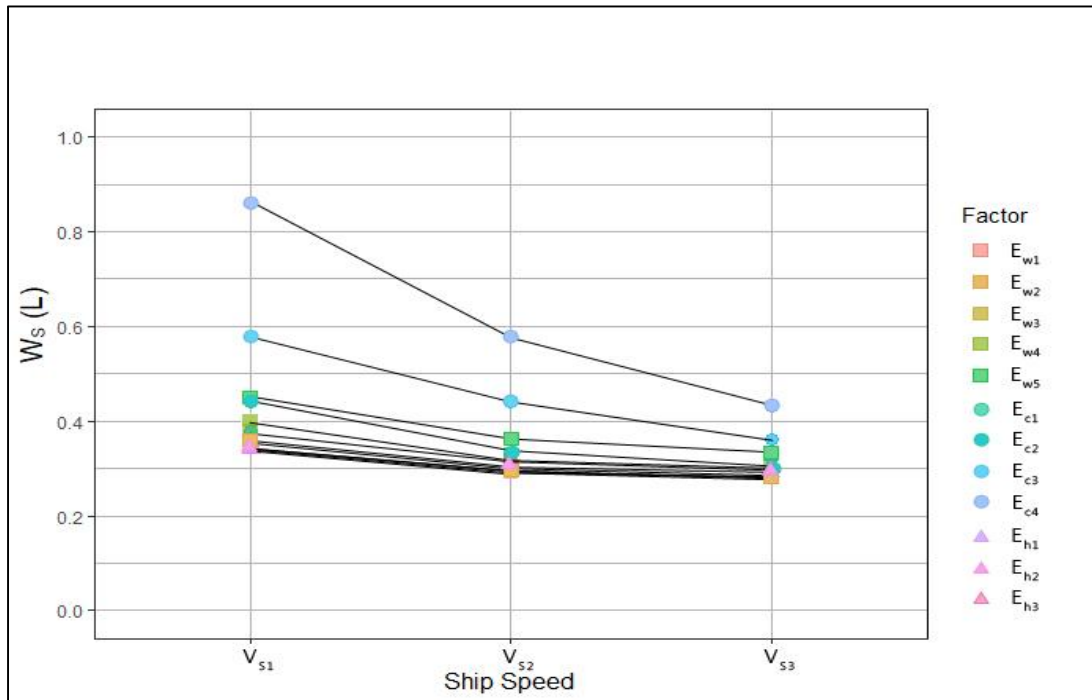


Fig. 50 Minimum required channel width for 300K DWT VLCC

배속 시뮬레이션(FTS) 검토 결과, 대상 선박별 최소 필요 항로 폭은 선박 요인 및 환경적 요인과 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다.

선박의 조종성능이 좋을수록 필요 항로 폭 값이 작아지며 조종성능이 나쁠수록 필요 항로 폭 값이 커지는 것은 일반적인 사실이나 항로 폭 설계에 있어서 선박의 풍압면적과 수선한 면적 등과 같은 선종의 특수성과 통항 선속, 그리고 항로의 위치가 바람의 영향이 강한 해역인지, 아니면 조류의 영향이 강한 해역인지에 따라 필요 항로 폭에 미치는 영향이 큰 것으로 검토되었다. 따라서, 항로 폭 설계 시에는 일반적인 검토 사항에 선박 요인과 환경적 요인의 관계를 추가적으로 고려하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

5.5.2 최소 필요 항로 폭 평가 결과 비교

15만 GT급 크루즈선 및 1만 2천 TEU급 컨테이너선, 30만 DWT급 원유운반선을 대상으로 배속 시뮬레이션(FTS) 평가를 통해 도출된 항로 폭 산정 결과를 국내 항만 설계기준 및 PIANC Guidelines에 따른 항로 폭 산정 결과와 비교한 결과는 Table 76~78 및 Fig. 51~53과 같다.

대상선박이 직선 항로에서 단독 통항 시, 최소 필요 항로 폭에 대한 비교는 배속 시뮬레이션 시나리오 및 국내 항만 설계기준, PIANC Guidelines에 따른 외력 조건별 항로 폭 기준이 상이함에 따라 본 검토에서는 배속 시뮬레이션 시나리오에 따른 독립변수(V_{si} , E_{wi} , E_{ci} , E_{hi} 등)를 기준으로 하여 검토하였다.

15만 GT급 크루즈선의 경우, 배속 시뮬레이션 평가 결과 약 0.60~1.22L(약 206~419m), 국내 항만설계기준 적용 결과 약 0.5~1.0L(약 172~344m), PIANC Guidelines 적용 결과 약 2.1~5.3B(약 86~217m)의 항로 폭이 필요한 것으로 분석되었다.

1만 2천 TEU급 컨테이너선의 경우, 배속 시뮬레이션 평가 결과 약 0.69~1.35L(약 247~483m), 국내 항만설계기준 적용 결과 약 0.5~1.0L(약 179~358m), PIANC Guidelines 적용 결과 약 2.3~5.5B(약 113~270m)의 항로 폭이 필요한 것으로 분석되었다.

30만 DWT급 원유운반선의 경우, 배속 시뮬레이션 평가 결과 약 0.87~1.66L(약 305~581m), 국내 항만설계기준 적용 결과 약 0.5~1.0L(약 175~350m), PIANC Guidelines 적용 결과 약 2.4~5.6B(약 151~353m)의 항로 폭이 필요한 것으로 분석되었다.

대상 선박별 적정 항로 폭 평가에 대한 비교 검토 결과, 배속 시뮬레이션 및 PIANC Guidelines에서는 선박 요인과 환경적 요인이 반영됨에 따라 각각의 변수에 따른 필요 항로 폭 변화가 다양하게 나타났으나 국내 항만설계기준은 선박의 전장에 따라서만 필요 항로 폭이 결정되어 세부적인 항로 폭 추정에 있어서는 미흡한 점이 있는 것으로 분석되었다.

Table 76 Minimum required channel width for Cruise ship

Division			FTS Simulation	KOREA Guidelines	PIANC Guidelines
150K GT Cruise ship · L: 344m · B: 41m	W_{BM}		-	-	1.3B
	Ship speed (V_{si})	$V_{s1} \sim V_{s3}$	-	-	0.0~0.1B
	Wind (E_{wi})	$E_{w1} \sim E_{w5}$	0.21~0.64L	-	0.1~1.1B
	Current (E_{ci})	$E_{c1} \sim E_{c4}$	0.18~0.33L	-	0.5~1.6B
	Wave (E_{hi})	$E_{h1} \sim E_{h3}$	0.21~0.25L	-	0.0~1.0B
	Etc.(Projected area)		-	-	0.2B
	Total (W_S)		0.60~1.22L	0.5~1.0L	2.1~5.3B
			206m~419m	172~344m	86~217m

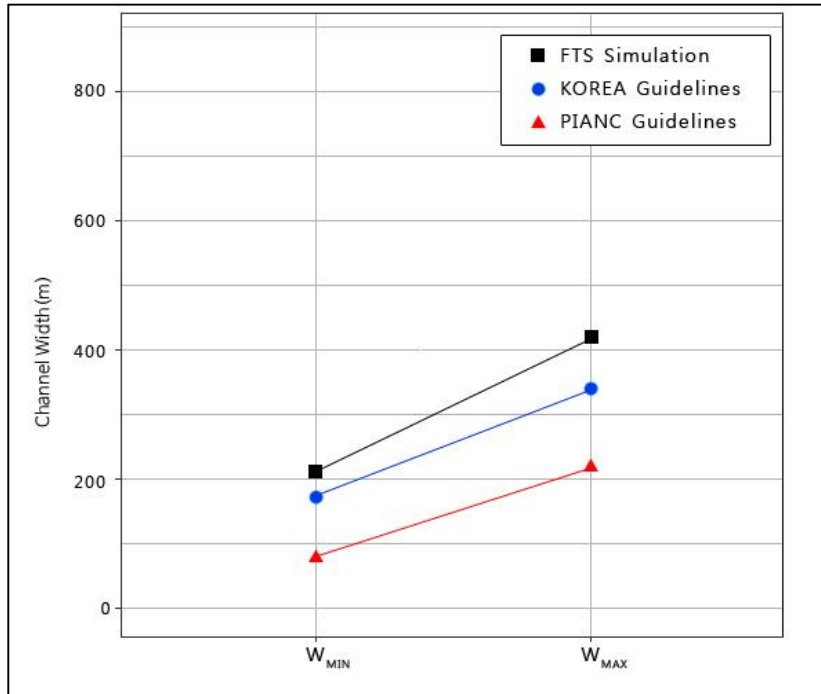


Fig. 51 Comparison of minimum required channel width for Cruise ship

Table 77 Minimum required channel width for Container ship

Division			FTS Simulation	KOREA Guidelines	PIANC Guidelines
12K TEU Container ship · L: 358m · B: 49m	W_{BM}		-	-	1.5B
	Ship speed (V_{si})	$V_{s1} \sim V_{s3}$	-	-	0.0~0.1B
	Wind (E_{wi})	$E_{w1} \sim E_{w5}$	0.24~0.52L	-	0.1~1.1B
	Current (E_{ci})	$E_{c1} \sim E_{c4}$	0.22~0.53L	-	0.5~1.6B
	Wave (E_{hi})	$E_{h1} \sim E_{h3}$	0.23~0.30L	-	0.0~1.0B
	Etc.(Projected area)		-	-	0.2B
	Total (W_S)		0.69~1.35L	0.5~1.0L	2.3~5.5B
			247m~483m	179~358m	113~270m

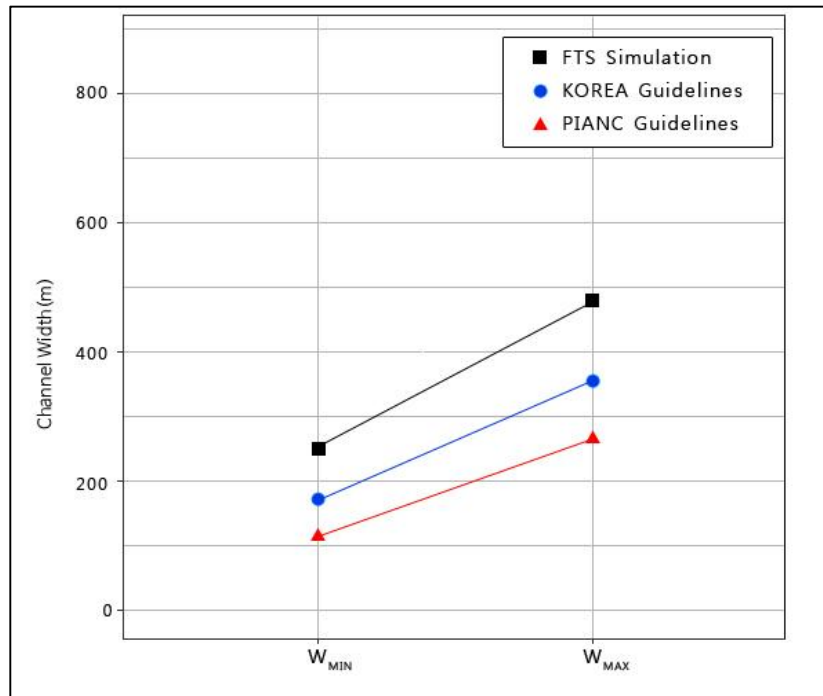


Fig. 52 Comparison of minimum required channel width for Container ship

Table 78 Minimum required channel width for VLCC

Division			FTS Simulation	KOREA Guidelines	PIANC Guidelines
300K DWT VLCC · L: 350m · B: 63m	W_{BM}		-	-	1.8B
	Ship speed (V_{si})	$V_{s1} \sim V_{s3}$	-	-	0.0~0.1B
	Wind (E_{wi})	$E_{w1} \sim E_{w5}$	0.28~0.45L	-	0.1~1.1B
	Current (E_{ci})	$E_{c1} \sim E_{c4}$	0.30~0.86L	-	0.5~1.6B
	Wave (E_{hi})	$E_{h1} \sim E_{h3}$	0.29~0.35L	-	0.0~1.0B
	Etc.(Projected area)		-	-	-
	Total (W_S)		0.87~1.66L	0.5~1.0L	2.4~5.6B
			305m~581m	175~350m	151~353m

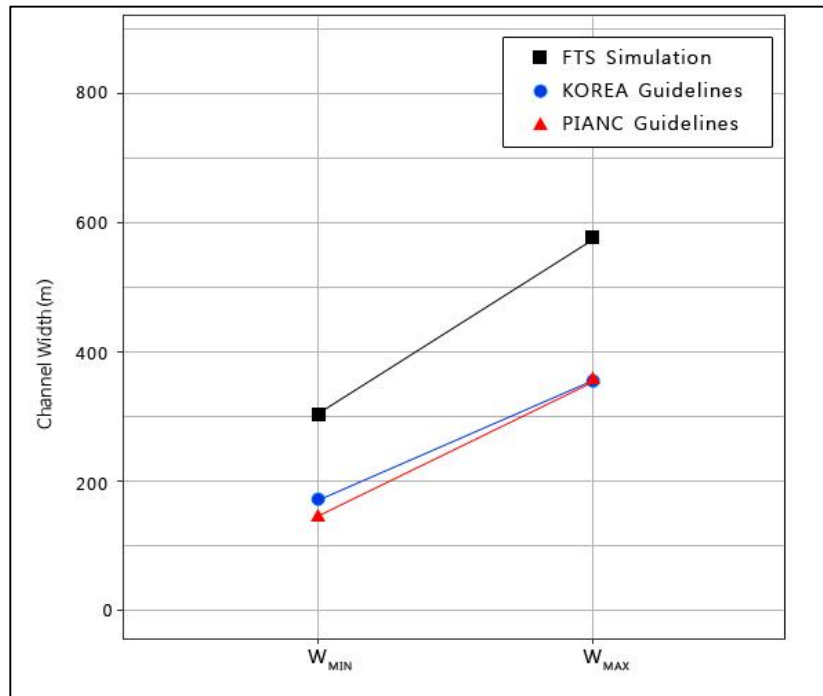


Fig. 53 Comparison of minimum required channel width for VLCC

제 6 장 결 론

6.1 연구 결과

현재, 국내 항만 설계기준에는 항로 폭 산정에 대한 일반적인 가이드라인이 제시되어 있으나 국외 항만 설계기준과 비교하여 볼 때 항로 폭 추정에 고려되어야 할 선박 요인(선박 규모, 통항 선속, 조종성능 등), 환경적 요인(바람, 조류, 파랑 등) 등의 세부적인 검토 기준은 미흡한 실정이다. 특히, 우리나라는 주변 항만 시설에 따라 항로를 이용하는 선박의 종류 및 규모, 조종성능, 통항 선속이 상이하고 항로의 지리적인 특성에 따라 조류, 바람, 파랑 등의 환경적인 특성이 상이하기 때문에 항로 폭을 산정함에 있어 대상 해역의 선박 및 환경적 특성은 반드시 고려되어야 한다.

따라서, 본 연구에서는 적정 항로 폭 산정에 관한 국내·외 항만 설계기준 현황을 조사 및 검토하고 이를 바탕으로 하여 현재 국내 무역항에서 운영 중인 항로의 적정성을 검토하였다. 또한, 항로 폭 설계 단계에서 고려해야 할 많은 독립 변수(선박 요인, 환경적 요인, 인적 요인, 통항 형태에 따른 선박간의 interaction 요인 등) 들이 있지만 그 중에서도 선박 요인과 환경적 요인을 중점으로 하여 직선 항로에서 단독 통항에 대한 배속 시뮬레이션을 수행하고 각각의 평가 요인에 따른 항로 폭 변화를 분석하였으며 대형 선박의 최소 필요 항로 폭 산정을 위한 기준을 제시하고자 하였다.

상기와 같은 본 연구의 목적과 방법에 따라 수행한 연구결과는 다음과 같다.

첫 번째로 국내·외 항만 설계기준에 따른 최소 필요 항로 폭 기준을 비교분석하여 각 기준별 특이사항을 도출하였다.

국내 항만 및 어항설계기준에서는 선박의 길이(Loa)를 기준으로 하여 선박 교행 여부에 따른 필요 항로 폭을 산정하고 있다. 그러나, 선박 길이 factor만 일

률적으로 고려함에 따라 대상 선박의 선형 및 조종특성, 외력 조건 등의 추가 고려 사항이 반영되지 않아 필요 항로 폭을 고려함에 있어 일부 한계점이 존재하는 것으로 분석되었다.

PIANC Guidelines에서는 선박의 폭(Beam)을 기준으로 하여 선박 요인(조종성능 및 통항 선속)과 환경적 요인(바람, 조류, 파랑, 해저면 상태, 항로 수심, 항로 측벽 형태), 기타 요인(항행표지시설 성능, 교행 통항에 대한 추가 항로 폭, 산적 화물 위험도)등 항로 폭에 영향을 미칠 수 있는 평가요소를 종합적 및 단계별로 제시함에 따라 구체적인 항로 폭 추정이 가능한 것으로 분석되었다.

JAPAN Guidelines에서는 대상 선박과 항행 환경을 특정할 수 있는 경우, 유체역학적인 선박의 동적 거동을 고려하여 대상 선박별로 필요 항로 폭 산정하고 있으며 대상 선박과 항행 환경을 특정할 수 없는 경우에는 선박의 길이(Loa)를 기준으로 하여 선박 교행 여부에 따른 필요 항로 폭 산정하는 것으로 분석되었다.

USACE Guidelines에서는 선박의 폭(Beam)을 기준으로 하여 환경적 요인(조류, 항로 형태) 및 기타 요인(통항 형태, 항행 보조시설 및 항해기기의 성능) 등에 따라 필요 항로 폭을 산정하는 것으로 분석되었다.

두 번째로 국내 항만 주요 항로 설정 현황을 조사하고 항로 이용 선박 중 최대 크기급 선박을 대상으로 국내 설계기준에 따른 항로의 적정성을 검토하였다.

국내 7개 항만의 15개 항로를 대상으로 72시간 해상교통현황 조사 결과 및 GICOMS Data(해양수산부)를 활용하여 분석한 결과, 전반적으로 국내 항만의 주요 항로는 항로 폭이 평균보다 작은 편($CW < CW_{Avg.}$, 약 454m)에 속하며 항로 길이 또한 평균보다 짧은 형태($CL < CL_{Avg.}$, 약 7km)의 항로 형식을 취하고 있는 것으로 조사되었다. 일방 통항 항로에서는 제주항(내항항로)을 제외한 항만의 항로는 통항 선박(최대 크기급) 길이 대비, 적정 항로 폭 기준(0.5L)을 모두 만족하는 것으로 나타났으며 교행 통항 항로에서는 인천항(제3항로), 평택·당진항(진입항로), 대산항(제1항로), 광양항(제2항로), 대산항(제2항로)의 항로가 적정 항로 폭 기준(2.0L)을 만족하는 것으로 분석되었다.

세 번째로 국내 항만에 신규 항로가 개설되는 경우 최대 크기급 선박(Cruise

ship, Container ship, VLCC)에 대하여 국내·외 항만 설계기준에서 제시하는 평가요소를 적용 시, 선박 통항에 필요한 적정 항로 폭을 추정하고 기준에 따른 필요 항로 폭 차이를 비교 검토하였다. 150K GT Cruise ship은 일방 통항 항로에서 최대 361m, 교행 통항 항로에서 최대 697m의 항로 폭이 필요하며 12K TEU Container ship은 일방 통항 항로에서 최대 361m, 교행 통항 항로에서 최대 697m의 항로 폭이 필요하다. 300K DWT VLCC은 일방 통항 항로에서 최대 586m, 교행 통항 항로에서 최대 1,134m의 항로 폭이 필요한 것으로 분석되었다. 대상 선박 모두 PIANC Guidelines에 따른 필요 항로 폭이 가장 큰 것으로 나타났으며, 이는 항로 폭에 영향을 미칠 수 있는 평가 요소(선박 요인, 환경적 요인, 기타 요인)가 구체화되어 있기 때문인 것으로 분석되었다.

네 번째로 배속(FTS) 시뮬레이션을 활용하여, 선박 요인 및 환경적 요인 변화에 대한 대상 선박(Cruise ship, Container ship, VLCC)의 최소 필요 항로 폭 및 외력 조건별 민감도 변화를 분석하였다.

15만 GT급 크루즈선의 경우, V_{s1} 조건에서 E_{w5} 일 때 W_s 는 0.64L, E_{c4} 일 때 W_s 는 0.33L, E_{h3} 일 때 W_s 는 0.25L로 나타나, 바람 조건에 따른 민감도가 가장 높은 것으로 분석되었다. 1만 2천 TEU급 컨테이너선의 경우, V_{s1} 조건에서 E_{w5} 일 때 W_s 는 0.52L, E_{c4} 일 때 W_s 는 0.53L, E_{h3} 일 때 W_s 는 0.30L로 나타나, 바람 및 조류 조건에 따른 민감도가 가장 높은 것으로 분석되었다. 30만 DWT급 원유운반선의 경우, V_{s1} 조건에서 E_{w5} 일 때 W_s 는 0.45L, E_{c4} 일 때 W_s 는 0.86L, E_{h3} 일 때 W_s 는 0.35L로 나타나 조류 조건에 따른 민감도가 가장 높은 것으로 분석되었다. 또한, 대상 선박 모두 V_{s1} 조건에서 V_{s2} 및 V_{s3} 조건으로 변화할수록 민감도 변화는 작아지는 것으로 분석되었다.

배속 시뮬레이션(FTS) 검토 결과, 대상 선박별 최소 필요 항로 폭은 선박 요인 및 환경적 요인과 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다. 선박의 조종성능이 좋을수록 필요 항로 폭 값이 작아지며, 조종성능이 나쁠수록 필요 항로 폭 값이 커지는 것은 일반적인 사실이나 항로 폭 설계에 있어서 선박의 풍압면적과 수선한 면적 등과 같은 선종의 특수성과 통항 선속, 그리고 항로의 위치가 바

람의 영향이 강한 해역인지, 아니면 조류의 영향이 강한 해역인지에 따라 필요 항로 폭에 미치는 영향이 큰 것으로 분석되었다. 따라서, 항로 폭 설계 시에는 일반적인 검토 사항에 선박 요인과 환경적 요인의 관계를 추가적으로 고려하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

또한, 대상 선박별 적정 항로 폭 평가에 대한 비교 검토 결과, 배속 시뮬레이션 및 PIANC Guidelines에서는 선박 요인과 환경적 요인이 반영됨에 따라 각각의 변수에 따른 필요 항로 폭 변화가 다양하게 나타났으나 국내 항만설계기준은 선박의 전장에 따라서만 필요 항로 폭이 결정되어 세부적인 항로 폭 추정에 있어서는 미흡한 점이 있는 것으로 분석되었다.

다섯 번째로 본 연구에서 수행한 배속 시뮬레이션(FTS) 평가 결과를 활용하고 현재 국내에서 운영 중인 해상교통안전진단제도 상의 자연환경 설정기준(바람, 조류, 파랑 등)을 참고하여, 대형 선박의 최소 필요 항로 폭 산정기준을 제안하고자 하였다.

배속 시뮬레이션 평가 결과, Table 79 및 Fig 54와 같이 통항 선속 7~13 knots일 때 횡방향 조건의 바람 25 knots 및 조류 2.0 knots, 파랑 3m인 경우 PIANC Guidelines 상의 조종성능이 Good으로 분류된 15만 GT급 크루즈선은 최대 0.91L, Moderate로 분류된 1만 2천 TEU급 컨테이너선은 1.17L로 나타나 국내 일방 통항항로 기준(0.5L~1.0L)과 유사한 범위의 항로 폭이 필요한 것으로 분석되었다. 그러나, 조종성능이 Poor로 분류된 30만 DWT급 원유운반선은 최대 1.59L의 항로 폭이 필요한 것으로 나타나, 국내 일방 통항항로 기준을 상당부분 초과하는 것으로 분석되었다. 이는 대상 선박별로 조종성능의 차이가 필요 항로 폭에 미치는 영향이 큰 것이기 때문인 것으로 분석되었다.

따라서, 항로 폭 설계 시에는 선박의 길이(Loa) Factor에 대한 일률적인 기준의 적용보다는 선박 요인 및 환경적 요인, 기타 요인 등을 종합적으로 고려하고 최악의 외력 조건 등을 함께 반영하는 것이 필요하다. 또한, 본 연구에서 배속 시뮬레이션 평가를 통해 제안한 최소 필요 항로 폭 산정기준의 범위 내에서 만족하도록 적용이 필요하며 이는 국내 항로 폭 산정 기준과 더불어 각 항로의 특성을 반영한 세부적인 항로 폭을 산정함에 있어 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다.

Table 79 Suggestion of minimum required channel width(W_s)

Minimum required channel width		150K GT Cruise ship			12K TEU Container ship			300K DWT VLCC		
		7 kts	10 kts	13kts	7 kts	10 kts	13kts	7 kts	10 kts	13kts
E_{w3}	Wind (25 knots)	0.33L	0.27L	0.24L	0.34L	0.29L	0.26L	0.38L	0.31L	0.29L
E_{c4}	Current (2.0 knots)	0.33L	0.27L	0.22L	0.53L	0.42L	0.29L	0.86L	0.58L	0.43L
E_{h3}	Wave (3 m)	0.25L	0.22L	0.21L	0.30L	0.25L	0.24L	0.35L	0.32L	0.30L
W_s		0.91L	0.76L	0.67L	1.17L	0.96L	0.79L	1.59L	1.21L	1.02L

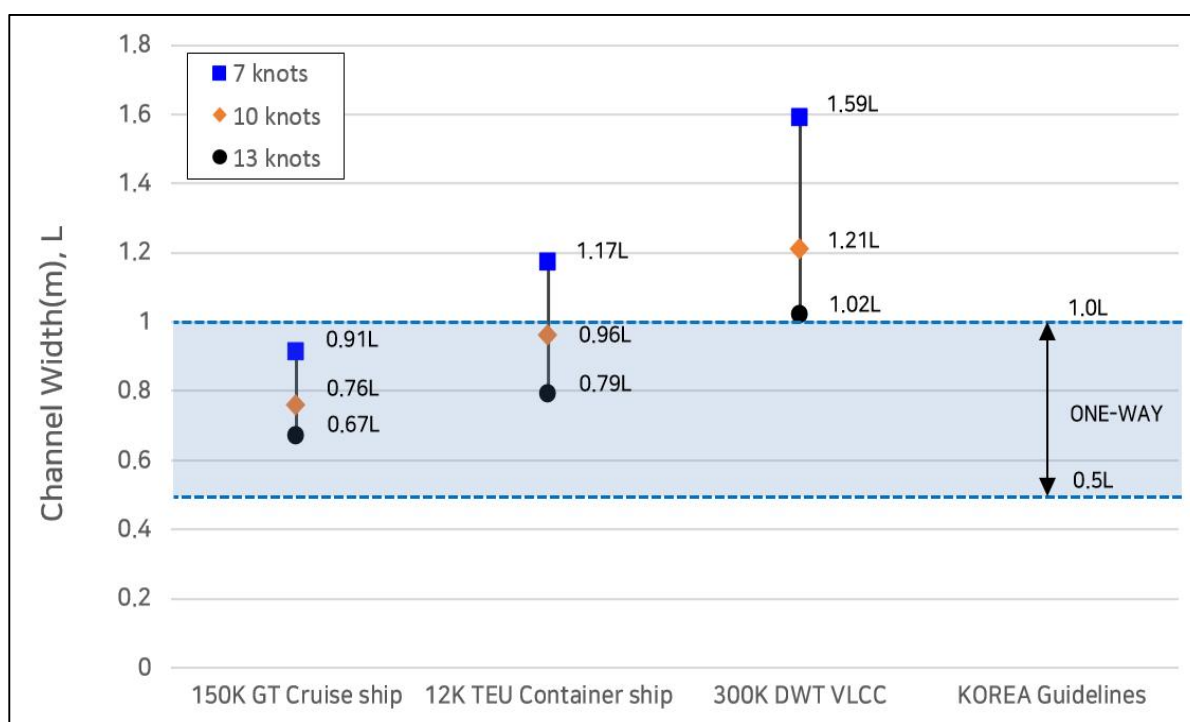


Fig. 54 Suggestion of minimum required channel width(W_s)

6.2 향후 후속 연구 과제

본 연구에서는 물리적 영향에 따른 최소 필요 항로 폭 검토를 위해 배속 시뮬레이션(FTS)을 이용함에 따라, 항로 경계면에 위치한 항로 표지 및 장애물(어구, 어망) 그리고 타선과의 교행 통항 요소, 선박 운항자 등의 인적요소를 적용하기에는 한계가 있지만, 대상 선박이 직선향로에서 단독 통항하는 경우, 선박 요인과 환경적인 요인에 따라 요구되는 물리적인 항로 폭 변화를 제시함으로써, 항로 설계 시, 항로의 특성을 반영한 세부적인 항로 폭을 산정하는데 참고 기준이 될 수 있다는 점에 의의가 있다고 판단된다.

이 연구를 바탕으로 계속되어야 할 연구로는 현재 운영 중인 직선향로를 대상으로 해상교통현황 조사를 수행하여 대상 선박별로 통항 시에 점용하는 항로 폭을 분석하고, 그 당시의 선박 및 환경적 요인과 비교함으로써 본 연구에서 제시한 심해역에서의 최소 필요 항로 폭 결과 값에 대한 적정성을 검토하는 것이 필요하다.

또한, 선박 및 환경적 요인 이외에 선박 운항자의 경험과 판단력에 따른 인적 요인 및 기타 요인(항로 통항 형태에 따른 선박 추월 및 교행 상황 등 통항 형태에 따른 선박간의 interaction 요인, 항계선과의 위치 및 장애물 등에 따른 심리적 요인 등)에 대한 변수를 종합적으로 고려하여, 국내 항만의 특성이 반영된 항로 폭 추정 모델을 개발하고, 실제 운영 중인 양방 교행 통항 항로에 적용하여 신뢰성을 검증하는 추가 연구가 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 해양수산부, 2018. 선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률
- [2] 조익순, 조장원, 2015. PIANC 1997 및 2014의 항로 폭 설계기준 비교분석. 한국연안방재학회지, 제3회 연례학술대회 초록집, pp. 69-70
- [3] 김환수, 1993. 선박의 안전을 위한 최적 항로배치 및 항로폭 결정에 관한 연구. 해양환경안전학회지, 제1권, 제1호, pp. 9-25
- [4] www.afcan.org(The Navigating in Tidal Rivers, The Access to Major Locks, and Mooring Problems for ULCoCs)
- [5] 해양수산부, 2017. 해사안전법, 해사안전법 시행령, 해사안전법 시행규칙, 해상교통안전진단 시행지침
- [6] 해양수산부, 2017. 항만 및 어항 설계기준·해설(설계코드 KDS 64 00 00)
- [7] Ports and Harbours Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism(MLIT), 2009. Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in JAPAN, Part III Facilities, pp. 552-575
- [8] PIANC, 2014. Harbour Approach Channels Design Guidelines, pp. 72-106p.
- [9] 한국수상교통시설협회, 2017, 항만 접근항로 설계기준
- [10] US Army Corps of Engineers, 2006. Hydraulic Design of Deep-Draft Navigation Projects, chapter 8, pp. 1-11
- [11] 성유창, 2014. 교통용량에 따른 운항위험도와 항로폭과의 관계에 관한 연구, 한국항해항만학회지 제38권 제3호, pp. 253-259
- [12] 이상도, 2017. 선박의 상호간섭을 고려한 안전통항거리에 관한 연구, 박사학위 논문, 한국해양대학교
- [13] 해양수산부, 2018. 항만법
- [14] ICORELS of PIANC, 1980. “Optimal Lay-out and dimensions for the adjustment to large ships of maritime fairways in shallow seas, Seastraits and Maritime Waterways” , Report of Working Group 4 of PIANC

- [15] 박준모, 2011. 우리나라 내륙수로 설계기준 설정에 관한 연구(경인 아라뱃길 선박조종시뮬레이션을 중심으로), 석사학위논문, 한국해양대학교
- [16] 해양수산부, 2016, 2016년 선박 통항로 안전성 평가 연구용역 보고서
- [17] 해양수산부, 2015, 2015년 선박 통항로 안전성 평가 연구용역 보고서
- [18] Yasukawa, T., Yoshimura, Y. 2015. Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 20, Issue 1, pp. 37-52
- [19] 공인영 등, 2010. 선박조종 시뮬레이션에 사용되는 선박 모델의 표준성능 및 각종 영향 검증 방안, 제1차 해상교통안전진단 대행기관 Workshop 발표자료
- [20] 한국해양연구원 해양시스템안전연구소, 2004. 부산신항 남컨테이너부두(2-2 단계, 하부) 축조공사 대안설계 용역 중 선박 조종 시뮬레이션 보고서
- [21] 공인영 등, 2010. 선박의 조종성능 모델링이 선박운항 시뮬레이션 결과에 미치는 영향에 관한 검토, 해상교통안전진단제도 고도화 세미나 발표자료
- [22] 윤점동, 2016. 선박조종의 이론과 실무, 세종출판사, pp. 192-204
- [23] 이윤석, 2013. 크루즈선의 조종특성 및 제주 강정항 수역시설 적정성 분석 연구, 한국항해항만학회 2013년도 춘계학술대회 논문집, pp. 485-487