



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



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

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

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

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

[Disclaimer](#)

工學博士 學位論文

항로 안전성 확보를 위한 공간좌표기반의
해상교통 동적 항행패턴 분석에 관한 연구

A Study on the Analysis of Dynamic Navigation Pattern of
Maritime Traffic Based on Spatial Coordinates for
Ensuring Safety of Fairway



2019年 2月

韓國海洋大學校 大學院

航海學科

金鍾官

본 논문을 김종관의 공학박사 학위논문으로 인준함.

위원장 공학박사 이 윤 석



위 원 공학박사 김 세 원



위 원 공학박사 이 춘 기



위 원 공학박사 박 준 모



위 원 공학박사 임 정 빈



2018年 12月 21日

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	iv
List of Figures	vii
국문요약	xiv
Abstract	xvii
Definitions of Terms	xxi
Nomenclature	xxii
제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 항행분포 및 항행패턴에 관한 선행연구	5
1.3 연구의 방법 및 논문의 구성	9
제 2 장 대상항로 해상교통 특성 조사	12
2.1 대상항로 선정	12
2.1.1 부산 북항 및 제1항로의 교통환경	14
2.1.2 부산 신항 및 가덕수도의 교통환경	15
2.1.3 옹도 항로의 교통환경	16
2.2 대상항로 교통 현황 조사	18
2.2.1 해상교통조사 개요	18
2.2.2 부산 북항 제1항로 선박 통항 현황 조사	19
2.2.3 부산 신항 가덕수도 통항 현황 조사	30
2.2.4 옹도항로 통항 현황 조사	41

제 3 장 평면좌표기반의 해상교통 항행패턴 분석	52
3.1 평면좌표의 개요	52
3.2 최적 확률분포를 이용한 항행패턴 분석	54
3.2.1 확률분포의 이해	54
3.2.2 확률분포의 적합성 검정 방법	61
3.2.3. 대상항로의 최적 확률분포 분석	64
3.3 정규분포-침도-왜도 분석	77
3.3.1 정규분포 평가	77
3.3.2 침도 평가	80
3.3.3 왜도 평가	81
3.3.4 대상항로의 정규분포-침도-왜도 분석	83
3.4 최적 확률분포 분석과 정규분포-침도-왜도분석 결과	90
 제 4 장 공간좌표기반의 동적 항행패턴 개발	92
4.1 공간좌표 분석의 개요	92
4.2 해상교통 동적 항행패턴 개발	94
4.2.1 항로상 이동패턴의 정의	94
4.2.2 항로상 속력패턴의 정의	102
4.3 해상교통 동적 이동패턴 적용	103
4.3.1 부산 북항 제1항로 입항 동적 이동패턴 분석	103
4.3.2 부산 북항 제1항로 출항 동적 이동패턴 분석	106
4.3.3 부산 신항 가덕수도 입구항로 입항 이동패턴 분석	111
4.3.4 부산 신항 가덕수도 입구항로 출항 이동패턴 분석	114
4.3.5 옹도항로 입항 이동패턴 분석	118
4.3.6 옹도항로 출항 이동패턴 분석	122
4.4 해상교통 동적 속력패턴 적용	127
4.4.1 부산 북항 제1항로 입항 속력패턴 분석	127
4.4.2 부산 북항 제1항로 출항 속력패턴 분석	130
4.4.3 부산 신항 가덕수도 입구항로 입항 속력패턴 분석	133

4.4.4 부산 신항 가덕수도 입구항로 출항 속력패턴 분석	136
4.4.5 옹도항로 입항 속력패턴 분석	139
4.4.6 옹도항로 출항 속력패턴 분석	142
4.5 동적 항행패턴 분석 결과	145
 제 5 장 대상항로 동적 통항패턴의 적용	147
5.1 대상항로의 동적 통항 패턴의 이해	147
5.1.1 부산 북항 제1항로의 동적 통항 패턴	147
5.1.2 부산 신항 가덕수도 입구항로의 동적 통항 패턴	148
5.1.3 옹도항로의 동적 통항 패턴	149
5.2 대상항로의 해양사고 발생현황	150
5.2.1 부산 북항 제1항로 해양사고 발생현황	150
5.2.2 부산 신항 가덕수도 입구항로 해양사고 발생현황	152
5.2.3 옹도항로 해양사고 발생현황	154
5.3 대상항로 해양사고 발생과 동적 항행패턴의 활용	156
5.3.1 부산 북항 제1항로의 해양사고 발생과 동적 항행패턴의 활용	156
5.3.2 부산 신항 가덕수도 입구항로의 해양사고 발생과 동적 항행 패턴의 활용	157
5.3.3 옹도항로의 해양사고 발생과 동적 항행패턴의 활용	158
 제 6 장 결론	160
 참고문헌	164

List of Tables

Table 1	Details of traffic survey of three traffic route	18
Table 2	Type of vessel for inbound at Busan north port No. 1	21
Table 3	Number of vessel for inbound at Busan north port No. 1 for 3 days	24
Table 4	Type of vessel for outbound at Busan north port No. 1	25
Table 5	Number of vessel for outbound at Busan north port No. 1 for 3 days	29
Table 6	Type of vessel for inbound at <i>Gadeok-sudo</i>	32
Table 7	Number of vessel for inbound at <i>Gadeok-sudo</i> for 3 days	35
Table 8	Type of vessel for outbound at <i>Gadeok-sudo</i>	36
Table 9	Number of vessel for outbound at <i>Gadeok-sudo</i> for 3 days ...	40
Table 10	Type of vessel for inbound at Ongdo route	43
Table 11	Number of vessel for inbound at Ongdo route for 3 days ...	46
Table 12	Type of vessel for outbound at Ongdo route	47
Table 13	Number of vessel for outbound at Ongdo route for 3 days ·	51
Table 14	Single probability distribution adopting this study	58
Table 15	Goodness of fit result of 3rd gate line for inbound of small vessel at Busan north port No.1 route	65
Table 16	Goodness of fit result for inbound at Busan north port No.1 route	67
Table 17	Goodness of fit result for outbound at Busan north port No.1 route	68
Table 18	Goodness of fit result for inbound at <i>Gadeok-sudo</i>	69
Table 19	Goodness of fit result for outbound at <i>Gadeok-sudo</i>	70
Table 20	Goodness of fit result for inbound at Ongdo route	71
Table 21	Goodness of fit result for outbound at Ongdo route	72

Table 22	Goodness of fit result of sum of 10 gate lines for inbound of medium vessel at <i>Gadeok-sudo</i>	74
Table 23	Goodness of fit result of sum of 10 gate lines	76
Table 24	Example of <i>ND</i> test result	80
Table 25	<i>p-value</i> at three traffic route	84
Table 26	K_v at three traffic route	85
Table 27	S_v at three traffic route	86
Table 28	Summational <i>ND-K-S</i> test result at three traffic route	87
Table 29	Dynamic patterns for moving	101
Table 30	Dynamic patterns for speed	102
Table 31	Average and standard deviation of inbound on Busan north No.1 route	104
Table 32	Dynamic pattern for moving of inbound on Busan north No.1 route	106
Table 33	Average and standard deviation of outbound on Busan north No.1 route	108
Table 34	Dynamic pattern for moving of inbound on Busan north No.1 route	110
Table 35	Average and standard deviation of inbound on <i>Gadeok-sudo</i>	112
Table 36	Dynamic pattern for moving of inbound on <i>Gadeok-sudo</i> ...	114
Table 37	Average and standard deviation of outbound on <i>Gadeok-sudo</i>	116
Table 38	Dynamic pattern for moving of outbound on <i>Gadeok-sudo</i>	118
Table 39	Average and standard deviation of inbound on Ongdo route	120
Table 40	Dynamic pattern for moving of inbound on Ongdo route	122
Table 41	Average and standard deviation of outbound on Ongdo route	124
Table 42	Dynamic pattern for moving of outbound on Ongdo route ..	126
Table 43	SPD_d for inbound on Busan north port No.1 route	128
Table 44	SPD_d for outbound on Busan north port No.1 route	131

Table 45	SPD_d for inbound on <i>Gadeok-sudo</i>	134
Table 46	SPD_d for outbound on <i>Gadeok-sudo</i>	137
Table 47	SPD_d for inbound on Ongdo route	140
Table 48	SPD_d for outbound on Ongdo route	143
Table 49	Result of dynamic traffic pattern at 3 traffic route	145
Table 50	Type of marine accident on Busan north port No.1 route ..	151
Table 51	Type of marine accident on <i>Gadeok-sudo</i>	153
Table 52	Type of marine accident on Ongdo route	155
Table 53	Dynamic patterns for moving	162
Table 54	Dynamic patterns for speed	162



List of Figures

Fig. 1 Statistics of vessel arriving at Korea port	1
Fig. 2 Expansion plan of berth for cargo	2
Fig. 3 Capacity plan of berth for cargo	2
Fig. 4 Number of accident on port and approaching route	3
Fig. 5 Flow chart of the study	10
Fig. 6 Location of ship routing at Korea	12
Fig. 7 Panoramic view of Busan harbor bridge	14
Fig. 8 Panoramic view of Busan new port	16
Fig. 9 Panoramic view of Ongdo route	17
Fig. 10 Survey Area for Busan north port	19
Fig. 11 Gate Lines for Busan north port	20
Fig. 12 Type of vessel for inbound at Busan north port No. 1	20
Fig. 13 Number of vessel for inbound at Busan north port No. 1 on 1st day	22
Fig. 14 Number of vessel for inbound at Busan north port No. 1 on 2nd day	22
Fig. 15 Number of vessel for inbound at Busan north port No. 1 on 3rd day	23
Fig. 16 Type of vessel for outbound at Busan north port No. 1	25
Fig. 17 Number of vessel for outbound at Busan north port No. 1 on 1st day	27
Fig. 18 Number of vessel for outbound at Busan north port No. 1 on 2nd day	27
Fig. 19 Number of vessel for outbound at Busan north port No. 1 on 3rd day	28
Fig. 20 Survey Area for <i>Gadeok-sudo</i>	30

Fig. 21	Gate lines for inbound of <i>Gadeok-sudo</i>	30
Fig. 22	Gate lines for outbound of <i>Gadeok-sudo</i>	31
Fig. 23	Type of vessel for inbound at <i>Gadeok-sudo</i>	31
Fig. 24	Number of vessel for inbound at <i>Gadeok-sudo</i> on 1st day	33
Fig. 25	Number of vessel for inbound at <i>Gadeok-sudo</i> on 2nd day	33
Fig. 26	Number of vessel for inbound at <i>Gadeok-sudo</i> on 3rd day	34
Fig. 27	Type of vessel for outbound at <i>Gadeok-sudo</i>	36
Fig. 28	Number of vessel for outbound at <i>Gadeok-sudo</i> on 1st day	38
Fig. 29	Number of vessel for outbound at <i>Gadeok-sudo</i> on 2nd day ...	38
Fig. 30	Number of vessel for outbound at <i>Gadeok-sudo</i> on 3rd day ...	39
Fig. 31	Survey Area for Ongdo route	41
Fig. 32	Gate lines for inbound of Ongdo route	41
Fig. 33	Gate lines for outbound of Ongdo route	42
Fig. 34	Type of vessel for inbound at Ongdo route	42
Fig. 35	Number of vessel for inbound at Ongdo route on 1st day	44
Fig. 36	Number of vessel for inbound at Ongdo route on 2nd day	44
Fig. 37	Number of vessel for inbound at Ongdo route on 3rd day	45
Fig. 38	Type of vessel for outbound at Ongdo route	47
Fig. 39	Number of vessel for outbound at Ongdo route on 1st day	49
Fig. 40	Number of vessel for outbound at Ongdo route on 2nd day ...	49
Fig. 41	Number of vessel for outbound at Ongdo route on 3rd day	50
Fig. 42	Concept of plane coordinates analysis on route	52
Fig. 43	Example of bounded distribution(Beta distribution)	55
Fig. 44	Example of unbounded distribution(Cauchy distribution)	55
Fig. 45	Example of non-negative distribution(Weibull distribution)	57
Fig. 46	Example of advanced distribution(Wakeby distribution)	57
Fig. 47	Goodness of fit result for inbound of small vessel on 3rd gate line of Busan north port No.1 route	64

Fig. 48	Goodness of fit result for inbound of medium vessel of <i>Gadeok-sudo</i>	73
Fig. 49	Vessel sailing path with normal distribution	77
Fig. 50	Shape of kurtosis	81
Fig. 51	Shape of skewness	82
Fig. 52	Summational K_v for inbound of three routes	88
Fig. 53	Summational K_v for outbound of three routes	88
Fig. 54	Summational S_v for inbound of three routes	89
Fig. 55	Summational S_v for outbound of three routes	89
Fig. 56	Example of spatial coordinates	92
Fig. 57	Concept of spatial coordinates	93
Fig. 58	Expanded pattern	95
Fig. 59	Wedged pattern	96
Fig. 60	Symmetrical pattern	97
Fig. 61	Slash pattern	98
Fig. 62	Backslash pattern	99
Fig. 63	Straight pattern	99
Fig. 64	Dynamic patterns for moving of inbound small vessel on Busan north No.1 route	103
Fig. 65	Dynamic patterns for moving of inbound medium vessel on Busan north No.1 route	103
Fig. 66	Dynamic patterns for moving of inbound large vessel on Busan north No.1 route	104
Fig. 67	Average distance from reference line of inbound on Busan north No.1 route	105
Fig. 68	Standard deviation of inbound on Busan north No.1 route	105
Fig. 69	Dynamic patterns for moving of outbound small vessel on Busan north No.1 route	107

Fig. 70	Dynamic patterns for moving of outbound medium vessel on Busan north No.1 route	107
Fig. 71	Dynamic patterns for moving of inbound large vessel on Busan north No.1 route	108
Fig. 72	Average distance from reference line of outbound on Busan north No.1 route	109
Fig. 73	Standard deviation of outbound on Busan north No.1 route ...	109
Fig. 74	Dynamic patterns for moving of inbound small vessel on <i>Gadeok-sudo</i>	111
Fig. 75	Dynamic patterns for moving of inbound medium vessel on <i>Gadeok-sudo</i>	111
Fig. 76	Dynamic patterns for moving of inbound large vessel on <i>Gadeok-sudo</i>	112
Fig. 77	Average distance from reference line of inbound on <i>Gadeok-sudo</i>	113
Fig. 78	Standard deviation of inbound on <i>Gadeok-sudo</i>	113
Fig. 79	Dynamic patterns for moving of outbound small vessel on Gadeok sudo	115
Fig. 80	Dynamic patterns for moving of outbound medium vessel on <i>Gadeok-sudo</i>	115
Fig. 81	Dynamic patterns for moving of outbound large vessel on <i>Gadeok-sudo</i>	116
Fig. 82	Average distance from reference line of outbound on <i>Gadeok-sudo</i>	117
Fig. 83	Standard deviation of outbound on <i>Gadeok-sudo</i>	117
Fig. 84	Dynamic patterns for moving of inbound small vessel on Ongdo route	119
Fig. 85	Dynamic patterns for moving of inbound medium vessel on Ongdo route	119

Fig. 86	Dynamic patterns for moving of inbound large vessel on Ongdo route	120
Fig. 87	Average distance from reference line of inbound on Ongdo route	121
Fig. 88	Standard deviation of inbound on Ongdo route	121
Fig. 89	Dynamic patterns for moving of outbound small vessel on Ongdo route	123
Fig. 90	Dynamic patterns for moving of outbound medium vessel on Ongdo route	123
Fig. 91	Dynamic patterns for moving of outbound large vessel on Ongdo route	124
Fig. 92	Average distance from reference line of outbound on Ongdo route	125
Fig. 93	Standard deviation of outbound on Ongdo route	125
Fig. 94	Dynamic patterns for speed of inbound small vessel on Busan north port No.1 route	127
Fig. 95	Dynamic patterns for speed of inbound medium vessel on Busan north port No.1 route	127
Fig. 96	Dynamic patterns for speed of inbound large vessel on Busan north port No.1 route	128
Fig. 97	SPD_d for inbound on Busan north port No.1 route	129
Fig. 98	Dynamic patterns for speed of outbound small vessel on Busan north port No.1 route	130
Fig. 99	Dynamic patterns for speed of outbound medium vessel on Busan north port No.1 route	130
Fig. 100	Dynamic patterns for speed of outbound large vessel on Busan north port No.1 route	131
Fig. 101	SPD_d for outbound on Busan north port No.1 route	132
Fig. 102	Dynamic patterns for speed of inbound small vessel on	

<i>Gadeok-sudo</i>	133
Fig. 103 Dynamic patterns for speed of inbound medium vessel on <i>Gadeok-sudo</i>	133
Fig. 104 Dynamic patterns for speed of inbound large vessel on <i>Gadeok-sudo</i>	134
Fig. 105 SPD_d for inbound on <i>Gadeok-sudo</i>	135
Fig. 106 Dynamic patterns for speed of outbound small vessel on <i>Gadeok-sudo</i>	136
Fig. 107 Dynamic patterns for speed of outbound medium vessel on <i>Gadeok-sudo</i>	136
Fig. 108 Dynamic patterns for speed of outbound large vessel on <i>Gadeok-sudo</i>	137
Fig 109 SPD_d for outbound on <i>Gadeok-sudo</i>	138
Fig. 110 Dynamic patterns for speed of inbound small vessel on Ongdo route	139
Fig. 111 Dynamic patterns for speed of inbound medium vessel on Ongdo route	139
Fig. 112 Dynamic patterns for speed of inbound large vessel on Ongdo route	140
Fig. 113 SPD_d for inbound on Ongdo route	141
Fig. 114 Dynamic patterns for speed of outbound small vessel on Ongdo route	142
Fig. 115 Dynamic patterns for speed of outbound medium vessel on Ongdo route	142
Fig. 116 Dynamic patterns for speed of outbound large vessel on Ongdo route	143
Fig. 117 SPD_d for outbound on Ongdo route	144
Fig. 118 Dynamic pattern on Busan north port No.1 route	147

Fig. 119	Dynamic pattern on <i>Gadeok-sudo</i>	148
Fig. 120	Dynamic pattern on Ongdo route	149
Fig. 121	Position of marine accident on Busan north port No.1 route	150
Fig. 122	Position of marine accident on <i>Gadeok-sudo</i>	152
Fig. 123	Position of marine accident on Ongdo route	154
Fig. 124	Area of numerous marine accident on Busan north port No.1 route	156
Fig. 125	Area of numerous marine accident on <i>Gadeok-sudo</i>	157
Fig. 126	Area of numerous marine accident on Ongdo route	158



<국문초록>

항로 안전성 확보를 위한 공간좌표기반의 해상교통 동적 항행패턴 분석에 관한 연구

김종관

항해학과

한국해양대학교 대학원

요약

우리나라의 급속한 경제성장은 국가 간의 무역활동을 더욱 활발하게 만들었고, 그 결과 해운물동량과 선박 교통량도 증가하였다. 이렇게 늘어나는 선박 교통량을 수용하기 위하여 항만시설 또한 지속적으로 확충하고 있다. 하지만, 항만을 입항 및 출항하는 선박 교통량의 증가에 비해 해상교통 시설의 확충은 한계가 있으며, 그로 인하여 항로에서의 해양사고의 위험성이 증가되었다. 따라서 항로에서의 선박의 운항여건이 불리해졌으며, 항로의 개선 등의 시스템적인 안전성 향상 방안이 필요한 시점이다.

선행연구에서는 평면좌표를 이용하여 항로에서의 통항분포의 정규성, 최적 확률분포 및 선박의 항행 경로대를 파악하기 위한 연구가 많았고, 공간좌표를 이용하여 항로의 항행패턴을 연구한 연구는 부족하였다.

우선 본 연구에서는 항로의 항행패턴을 분석하기 위하여 우리나라의 주요 항로인 부산 북항 제1항로, 부산 신항 가덕수도 입구항로 및 옹도항로를

대상으로 3일간의 AIS와 GICOMS를 이용한 교통현황 조사를 시행하였고, 각 항로를 통과하는 선박의 크기는 소형선, 중형선 및 대형선으로 구분하였다.

교통현황자료를 바탕으로 기존의 선행연구에서 수행한 평면좌표기반의 분석방법인 최적 확률분포와 $ND-K-S$ 분석을 시행하였다. 각 항로의 10개의 각 목표선과 10개의 목표선의 합계 또는 평균에서의 최적 확률분포를 분석한 결과, 항로의 분포를 대표하는 분포를 찾기 어려웠다. 특히, 정규분포의 경우 분석된 최적 확률분포에서 1~2% 정도를 차지하였다. 따라서 최적 확률분포를 이용하여 항로의 항행패턴을 이해하는 데에는 다소 문제점이 있다. $ND-K-S$ 분석도 시행하였다. ND 분석 결과, 대형선은 항로특성에 관계없이 모두 정규분포의 통향분포를 보이는 것으로 분석되었고, 중형선은 편도항로에서 정규분포의 통향분포를 보이는 것으로 분석되었다. 반면 소형선은 정규분포를 적용하는 것에 다소 무리가 있는 것으로 분석되었다. K 분석의 결과, 편도항로에서는 항로를 고루 이용하는 통향패턴을 가지지만, 왕복항로에서는 항로의 일정부분에 집중하는 통향패턴을 가지는 것으로 분석되었다. S 분석의 결과, 편도항로에서는 항로의 중앙을 따라 항행하는 통향패턴을 가지지만, 왕복항로에서는 항로의 우측에 치우치는 통향패턴을 가지는 것으로 분석되었다. $ND-K-S$ 분석은 항로를 하나의 확률분포로 규정하여 항로와 목표선에 적용하기 쉽고 각 항행패턴을 개략적으로 이해하기는 편리하지만, 정규분포를 적용하기 곤란한 곳에 적용하거나 항로에서의 항행패턴을 쉽게 이해하기에는 다소 부족한 점이 있다.

이에 본 연구에서는 기존의 평면좌표기반의 분석이 아닌 공간좌표기반의 분석을 시행하였다. 또한 공간좌표를 표현하기 위하여 새로운 동적 항행패턴을 개발하였다. 항로에서의 해상교통 이동패턴은 크게 확산형, 썰기형, 대칭형으로 구분하였고 이를 다시 슬래시형, 백슬래시형, 직진형으로 구분하였다. 속력패턴은 가속구간, 정속구간, 감속구간으로 구분하였다.

동적 항행패턴을 항로에 적용한 결과는 다음 세 가지로 요약된다.

사례 1 : 부산 북항 제1항로의 경우 이동패턴은 대체적으로 대칭 슬래시형

으로 분석되었다. 속력 패턴의 경우 입항 시 소형선은 항로의 출구부에서 감속하고 나머지 크기의 선박은 정속구간으로 분석되었다. 출항 시 모든 선박은 항로의 입구부에서 가속하고, 이후 중소형 선박은 정속구간으로 분석되지만, 대형선의 경우에는 출구부에서 감속하는 패턴으로 분석되었다.

사례 2 : 부산 신항 가덕수도 입구항로의 경우 이동패턴은 대체적으로 입항 시 썰기 백슬래시형, 출항 시 확산 백슬래시형으로 분석되었다. 속력 패턴은 입항 및 출항 시 대부분 정속구간이나 입항 시 대형선의 경우에만 입구부에 가속구간으로 분석되었다.

사례 3 : 옹도항로의 경우 이동패턴은 입항 시 썰기 직진형, 출항 시 확산 백슬래시형으로 분석되었다. 속력패턴은 입항 및 출항 시 모두 정속구간으로 분석되었다.

항로 안전성 확보를 위하여 분석된 동적 항행패턴과 항로상 해양사고의 발생지점과의 관계를 분석하였다. 분석결과, 해양사고는 이동패턴의 경우 주로 썰기형의 모이는 부분이나 확산형이 시작되는 부분인 해상교통이 밀집되는 구역에서 발생하였고, 속력패턴의 경우 선속이 가속 또는 감속되는 구간에서 발생하였다.

연구 결과를 바탕으로 항로에서의 해양사고를 예방하고 감소하기 위하여 이러한 항행패턴이 나타나는 항로의 일정 수역에 대하여 ‘주의수역(Caution area)’으로 설정하고, 이 수역을 통항하는 모든 선박은 관련법에서 규정하고 있는 항법을 엄격하게 준수하고 극히 조심하여 통항하는 것이 적절하다고 판단된다. 또한 해당 해상교통관제센터에서는 해당 수역에 대하여 집중적이고 적극적인 통항관제를 시행하는 것이 적절하다고 판단된다.

다만, 본 연구는 우리나라의 3개 주요 항로를 대상으로 한정된 연구인만큼 향후 보다 다양한 환경에서의 통항패턴 분석 및 다양한 동적 통항패턴 모델이 개발되기 위하여 후속 연구가 필요하다.

핵심용어 : 항로, 동적항행패턴, 해상교통, 공간좌표, 항로의 안전

<영문초록>

A Study on the Analysis of Dynamic Navigation Pattern of Maritime Traffic Based on Spatial Coordinates for Ensuring Safety of Fairway

Kim, Jong Kwan

Department of Navigation Science

The Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

Rapid economic growth of Korea has made the trade very actively between nations, and as the result, shipping volume and ship traffic have also increased. Port facilities are also being continuously expanded to accommodate this increasing volume of traffic. However, there is a limit to the expansion of maritime traffic facilities in comparison with the increase in traffic volume of ships inbound toward ports or outbound from ports. As the result, the risk of marine accidents on the route was increased. The navigating conditions of the vessels on the route have been difficult so systematic safety improvement measures such as improvement of the route are needed.

The previous studies were mainly focused on finding the normal distribution, optimal probability distribution, and navigation route of the vessel using the plane coordinates. There is not enough a research on

the navigation pattern of the route using spatial coordinates.

This study was carried out traffic investigation for analysis of traffic pattern on traffic route such as Busan north port No.1 route, *Gadeok-sudo* and Ongdo route with AIS and GICOMS for 3 days. Each ship's size of passing the each route was divided into a small, medium and large one.

It was carried out the analysis method based on the plane coordinates such as optimal probability distribution and *ND-K-S* which are carried out previous study based on traffic investigation data. The optimal distribution on each 10 gate line and the total or average of 10 gate lines were analyzed. It was difficult to find a representative distribution on route as the results. In particular, the normal distribution is an optimal distribution only 1 to 2% of the total. There is a problem in understanding the navigation pattern on the route by using the optimal probability distribution. *ND-K-S* analysis was carried out. The result of the *ND* analysis, the large vessel has satisfied normal distribution at all cases, medium one has satisfied normal distribution in one-way route only, and small one has not satisfied normal distribution. As a result of the *K* analysis, it was analyzed that the one-way route vessels have traffic pattern that uses wide range on traffic route, but the two-way route vessels have the traffic pattern only focuses on a certain portion of the route. As a result of the *S* analysis, it was analyzed that the one-way route vessels have traffic pattern that uses a normal traffic pattern following the center line but, the two-way route vessels have the traffic pattern that shifted to the right side the route. The *ND-K-S* analysis is easy to apply the route as only one probability distribution and gate line as well as easy to understand roughly each navigation pattern. However, it cannot be applied to a route where it is difficult to apply the normal distribution and there

is a problem for understanding navigation patterns.

This study applied spatial coordinate, not plane coordinate which is previous analysis. A new dynamic navigation pattern has been developed to represent spatial coordinates. The movement pattern of the maritime traffic in the route is divided into the expanded pattern, the wedged pattern and the symmetric pattern. Those three patterns are specifically divided into the slash pattern, the backslash pattern and the straight pattern. And the speed pattern is classified into an acceleration section, fixed speed section and a deceleration section.

The results of applying the dynamic navigation pattern to three routes are as follows.

Case 1 - The movement pattern of Busan north port No. 1 route was analyzed as symmetrical slash pattern. When the vessel is inbound toward port, the speed pattern of the small vessel was decelerated at the end of the route and the other vessels were analyzed as the fixed speed section. When the vessel is outbound from the port, all vessels were accelerated at the start of the route. And then the small and medium one were analyzed as the fixed speed section, but the large one was analyzed as deceleration section at the end of the route.

Case 2 - The movement pattern of Busan new port *Gadeok-sudo* was analyzed by the wedged backslash pattern for inbound port and the expanded backslash pattern for outbound port. When the vessel is inbound toward port, the large vessel was analyzed as acceleration section at the start of the route. The others were analyzed as fixed speed section.

Case 3 - The movement pattern of Ongdo route was analyzed by the wedged straight pattern for inbound port and the expanded backslash

pattern for outbound port. All cases for speed patterns were analyzed as the fixed speed section through the route.

To ensure the safety of fairway, it was analyzed the relationship between the analyzed dynamic navigation pattern and the occurrence point of the marine accidents. As a result of the analysis, marine accidents occurred in wedged-pattern's gathering area or expanded-pattern's starting area being concentrated maritime traffic. Also, in the case of speed pattern, it occurs in a area where the speed is accelerated or decelerated.

In order to prevent and reduce the marine accidents on the route, the Caution area shall be set for the certain area of the route where the navigation pattern appears. It is considered appropriate that all vessels passing through this area strictly comply with the navigation laws prescribed by the relevant laws and vessels shall be navigated with extreme caution. In addition, it is appropriate to conduct intensive and active traffic control for the relevant area by the Vessel Traffic Service Center.

However, this study is limited to three main routes in Korea. Research is needed to develop a model of the traffic pattern and various dynamic traffic pattern models in the future.

KEY WORDS : Traffic route, Dynamic navigation pattern, Maritime traffic, Spatial Coordinates, Safety of fairway

Definitions of Terms

AASHTO : American Association of State Highway and Transportation

Officials, 미국도로교통공무원협회

AD : Anderson Darling, 앤더슨 달링 검증

AIS : Automatic Identification System, 선박 자동식별 장치

Ave. : Average

BIC : Bayesian Information Criterion, 베이지안 정보 척도

Gen. : Generalized, 일반화

GICOMS : General Information Center on Maritime Safety

and Security, 해양안전종합정보시스템

KS : Kolmogorov Smirnov, 콜모고로프 스미노프

Std. : Standard deviation

VTs : Vessel Traffic Service, 해상교통관제 시스템

Nomenclature

a	: 추세선의 기울기
$a_{ave.}$	: 평균 추세선의 기울기
a_{std}	: 표준편차 추세선의 기울기
b	: 추세선의 y절편 값
D_n	: KS 값
F	: 가정한 확률분포의 누적분포 함수
F_n	: 경험적 누적분포함수
K	: Kurtosis, 첨도
K_v	: K 평가 값
MLS_v	: 최소 자승 값
n	: 표본 데이터의 수
ND	: Normal Distribution, 표준정규분포
S	: Skewness, 왜도
S_n	: AD 값
S_v	: S 평가 값
SW_n	: SW 값
X	: 확률변수
$\bar{X}$	: X의 평균
χ^2	: Chi squared 카이제곱
α	: 유의수준

γ : 연속위치매개변수

σ : X의 표준편차

$p-value$: 추정 파라미터 수





제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라는 동북아 중심에 위치하여 동북아 물류 허브로서 유리한 지정학적 위치를 점하고 있다. 특히 삼면이 바다로 맞닿은 반도 국가로서 해운이 수출입의 첨병 역할을 수행하여 왔다. 우리나라의 경제성장과 맞물려 국가 간의 무역활동이 활발해 짐에 따라 해운물동량도 증가하였으며, 이로 인한 선박 교통량 역시 증가하였다. Fig. 1과 같이 해양수산부 입항선박통계별 통계(2018)에 의하면, 2000년 총 163,451척의 선박이 우리나라 항구에 입항하였지만, 2017년에는 196,112척의 선박이 입항하여 입항 척수 기준으로 2000년 대비 약 20%가 증가하였다. 또한 입항누적 톤수는 2000년에는 입항누적 선박톤수가 888,037,273톤이었으나, 해운이 발달함에 따라 선박의 대형화가 가속되어 2017년 입항 누적톤수는 2,033,622,745톤으로 2000년 대비 129%가 증가하였다.

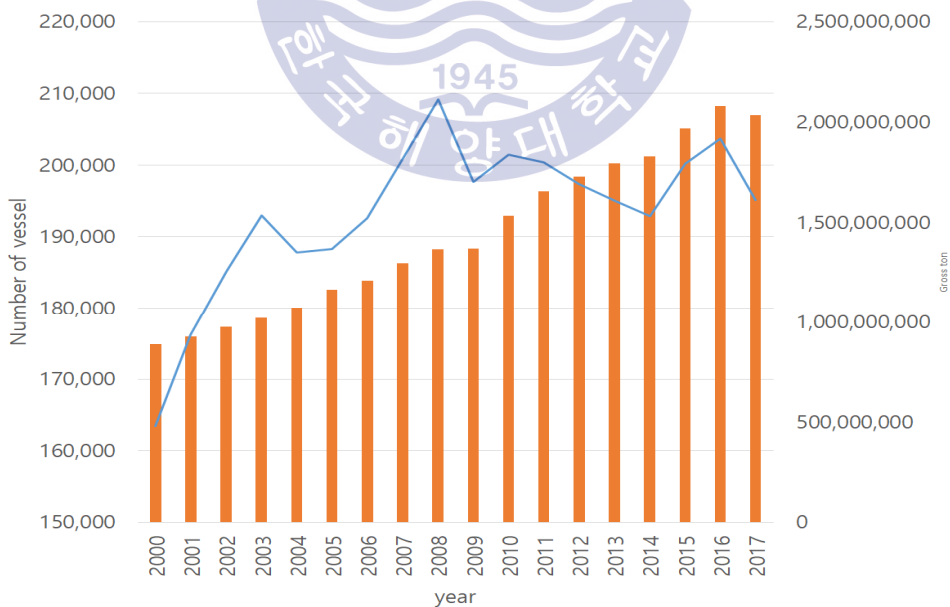


Fig. 1 Statistics of vessel arriving at Korea port

이러한 선박의 척수 증가와 대형화에 발맞추어 우리나라는 항만 및 항만 배후 단지의 추가 건설, 정박지 및 항로 지정 등을 늘렸다. 해양수산부 (2016)의 제3차 전국항만기본계획 수정계획에 따르면, Fig. 2와 같이 항만 화물부두 선석을 2016년 810개 선석에서 2020년까지 908개로 약 12% 추가 확충할 계획이며, Fig. 3과 같이 항만시설 수용능력도 2016년 113,952 만톤에서 2020년 140,303 만톤으로 약 23% 추가 확충될 계획이다.

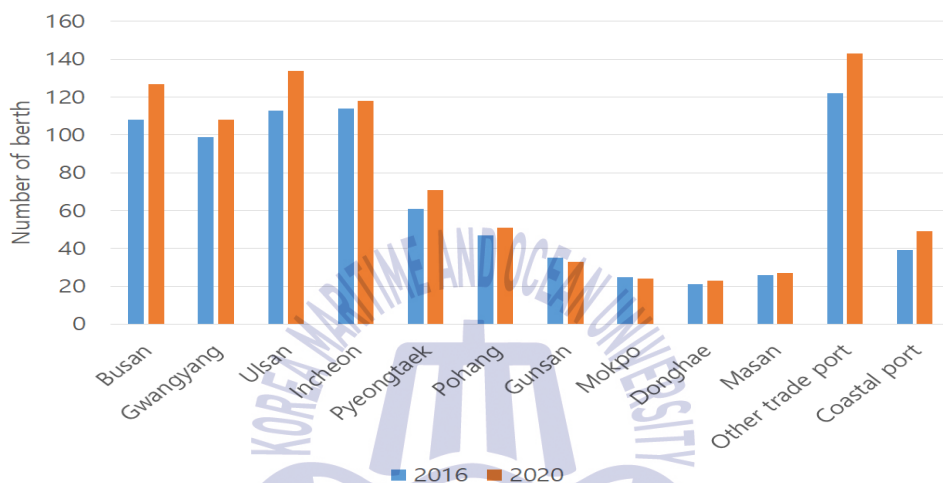


Fig. 2 Expansion plan of berth for cargo

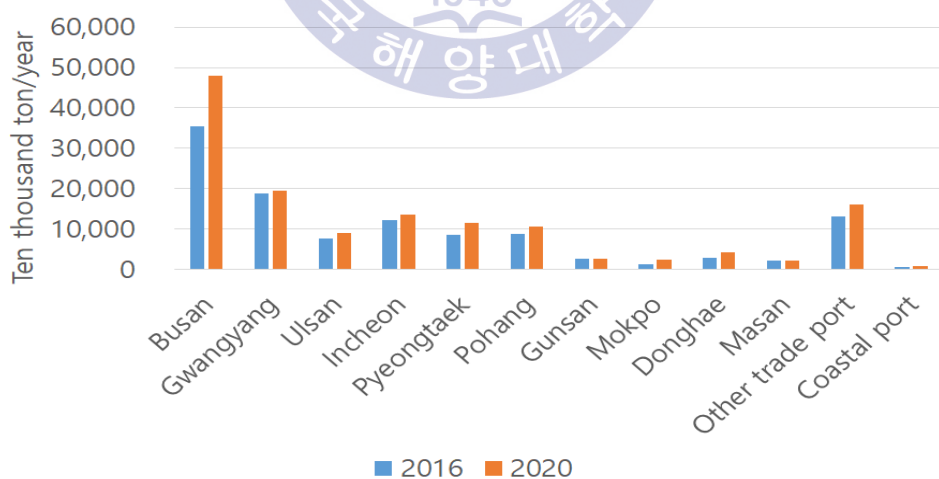


Fig. 3 Capacity plan of berth for cargo

이로 인해 선박의 통항량이 증가하고, 항만시설이 증가됨에 따라 항만의 입항 및 출항 등에 사용되는 항로 부근에서의 해양사고의 개연성이 높아졌다. Fig. 4와 같이 중앙해양안전심판원(2005; 2010; 2015; 2018)에 의하면, 2000년도에 개항 및 지정항로와 진입로에서의 해양사고는 84건이었던 반면에 2016년에 335건으로 약 369% 급증하였다. 이는 2014년 세월호 사고 이후 통계 집계 기준이 강화된 때문이기도 하지만 항로에서의 해양사고의 확률이 높아진 것만은 분명한 사실이라 할 수 있다.

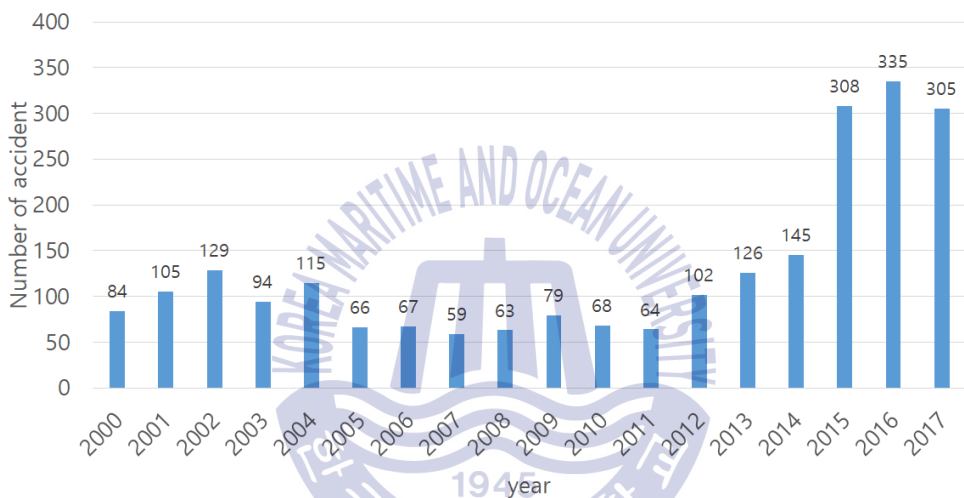


Fig. 4 Number of accident on port and approaching route

따라서 항로 등에서의 선박의 운항여건이 불리해졌으며, 항로의 개선 등의 대책이 필요해졌다. 항로의 개선은 항로를 확장하거나, 변경하는 등의 하드웨어적인 접근 방법도 있지만, 항로의 상황을 보다 면밀하게 분석하여 개선하는 시스템적인 접근 방법도 있을 수 있다. 더욱이 하드웨어적인 접근 방법은 어업권 보상 등의 예산상 문제가 발생할 수도 있어 추진에 다소 어려움이 따르기도 하지만 시스템적인 접근의 경우에는 항로 관제 방법 변경 등의 방법으로 접근 가능하므로 보다 효과적으로 대처할 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 항로의 시스템적 개선을 위하여 항로상 해상교통의 동적 항행패턴을 개발하고 이를 항로에 적용하여 항로상 동적 항행패턴과 해양

사고와의 관계를 파악하여 궁극적으로 항로의 안전성 향상에 도움을 준다.

항로에서의 해양사고가 증가하고 있는 현 상황에서 본 연구는 항로상 해상 교통의 동적 항행패턴을 개발하여 적용하고, 해양사고와의 관계 및 관제방안을 제시함으로써 항로상 해상교통의 안전한 선박항행에 기여할 것으로 판단된다.

이에 본 연구의 구체적인 목적은 다음의 다섯 가지로 요약할 수 있다.

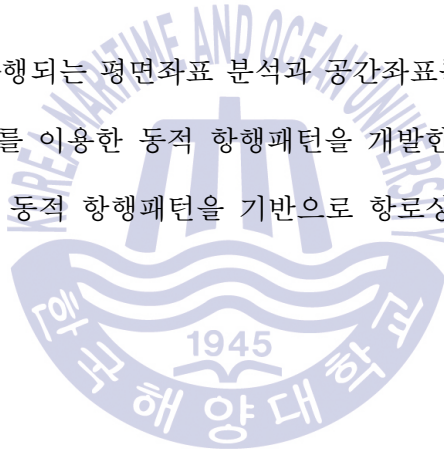
첫 번째, 항로의 항행현황을 분석하고자 한다. 본 연구의 대상항로상 3일간의 AIS 및 GICOMS 정보를 활용하여 선박항행 현황을 파악한다.

두 번째, 항로별 10개의 반 연속 목표선을 이용하여 항로별 평면좌표와 공간좌표를 선정한다.

세 번째, 기존에 수행되는 평면좌표 분석과 공간좌표를 비교하여 분석한다.

네 번째, 공간좌표를 이용한 동적 항행패턴을 개발한다.

다섯 번째, 개발된 동적 항행패턴을 기반으로 항로상 안전성 향상 방안을 제시한다.



1.2 항행분포 및 항행패턴에 관한 선행연구

항로의 항행패턴을 이해하기 위하여 항로의 항행분포 파악에 주력하기도 한다. 항로의 항행분포 관련 선행연구는 꾸준히 수행되어 왔으며, 대표적인 선행연구는 다음과 같다.

Inoue(1977)는 통항분리수역에서의 완충지대의 폭을 결정하기 위한 방법을 제안하기 위하여 좁은 수로에서의 선박의 움직임을 분포모델을 기반으로 해석하였다. 특히, 왕복항로와 편도항로의 항로 단면의 통항분포는 정규분포를 따른다는 검증을 하였으며, 이를 바탕으로 다양한 항로 폭과 선박 교통량에 따라 통항분리수역의 완충지역의 폭을 결정하는 회귀식을 제안하였다.

Franz(1981)는 시뮬레이터를 활용한 선박 조종 분석 연구에서 항로의 단면에서 정규분포를 이룬다고 가정하고, 선박 조종 데이터를 해석하였다.

양찬수 등(2004)은 목포 북항과 고하도를 연결하는 목포 연육교 건설에 따라 교량의 주경간 등 전반적인 배치 계획을 평가하기 위하여 선박 통항 안전성 평가를 선박시뮬레이션을 활용하여 수행하였다. 이 때 선박과 교각과의 충돌 위험도를 추정하기 위하여 항로상에서 선박의 항행 궤적 분포가 정규분포를 따른다는 가정 하에 통계적 분석을 수행하였다.

김현종과 홍태호(2007)는 해월송전선이 설치된 소록화도 송전탑과 거금도 송전탑을 대상으로 표본선박의 통항 안전성을 평가하였다. 이 때 위험기준을 침범할 확률을 표본선박의 통항 항적을 바탕으로 해당구간을 통과할 때의 값을 표준정규분포함수를 적용하여 구하였다.

김대희(2013)는 곡선항로상에 건설된 목포대교와 통항선박 사이의 충돌 위험을 평가하고 이를 일정한 숫자로 표시하여 사용자가 쉽게 알 수 있도록 하기 위한 해상대교 위기평가시스템의 개발하고, 그 성능을 확인하였다. 이 때 목포대교의 주 교각 사이를 목표선으로 선정하고 그 사이를 지나가는 선박의 이격거리를 정규분포를 이용하여 분석하였다.

Nguyen 등(2013)은 AIS 데이터 전 처리 프로그램을 개발을 개발하기 위해 IWRAP Mk2 프로그램을 사용하였다. 이렇게 개발된 프로그램의 검증을 위하

여 베트남 Vung Tau 해역의 AIS 수집 데이터를 수집하였고, 수집된 90일간의 교통량을 정규분포 곡선과 비교하여 검증하였다.

AASHTO에서는 선박과 해상교량 교각의 기하학적인 충돌확률을 정규분포로 가정하여 분석하고 있으며, 국내의 해상교통안전진단제도(해양수산부, 2017)에서도 정규분포를 가정하여 근접도 평가를 수행하고 있다.

따라서 상기의 선행연구와 AASHTO 및 해상교통안전진단제도에서는 항로에서의 항행분포를 정규분포로 가정하여 분석하였다.

하지만 근래에 들어 항로에서의 항행분포가 정규분포를 따르는가 하는 의문이 꾸준히 제기되어 왔다. 이에 항로에서의 항행분포가 정규분포를 따르는지에 대한 연구가 수행되었다.

Puszcz et al.(2011)은 선박 교통흐름의 시뮬레이션 모형을 구현하기 위해 폴란드 그단스크의 곡선항로에서 100m 이상과 100m 미만으로 선박을 구분하여 각각 로지스틱 분포와 와이블 분포를 이용하였다.

Itoh and Yakabe(2013)는 일본 노지마자키 연안해역에서 선박의 분포모형을 감마 분포를 이용하여 분석하였다.

Yeyes et al.(2014)은 인도네시아 마두라 해협에서의 해저에 송유관 설치에 따른 주요사고 안정성 평가를 위하여 로그정규 분포와 와이블 분포를 이용하여 분석하였다.

Nauyen 등(2015)은 말라카해협의 해상교통 평가를 위하여 직선항로에서 정규분포보다는 와이블 분포가 보다 적합한 것으로 평가하였다.

권유민(2015)은 인천대교와 목포대교를 대상으로 해상교량을 통행한 선박들의 항적분포가 정규분포를 따르지 않는 항적분포가 있다고 하였다. 특히, 톤수별 항적분포에서 톤수가 큰 선박일수록 정규분포에 따르는 경향이 있다고 하였다. 또한 인천대교의 경우 직선구간에서 입항 및 출항 선박이 항로의 우현 측으로 치우치는 선박 항적분포를 보였으며, 목포대교의 경우 입항선은 우현 측으로, 출항선은 항로의 중앙을 따르는 분포를 보인다고 하였다. 즉,

교량의 위치에 따라 선박의 입항 및 출항 패턴이 다르다고 하였으며, 이에 따라 선박의 분포도 다르다고 하였다. 따라서 실제 교량을 통항하는 선박의 항적분포는 정규분포를 따르지 않는 경우가 있으므로, 교량설계기준 및 해상교통안전진단에서 충돌확률 평가 시 정규분포를 가정하여 평가하는 것은 오류가 있다고 주장하였다.

유상록(2016)은 인천항 동수도, 서수도와 광양항 깊은 수심항로 및 출항항로를 대상으로 10일간의 AIS 실측데이터를 기반으로 선박 통항로에서의 최적 확률분포를 추정하였다. 특히, 모수적 확률분포와 비모수적 확률분포를 모두 사용하여 분포를 추정하였고, 그 결과 혼합 확률분포가 가장 적합하다고 하였으며, 이 혼합 확률분포는 모형선택 기준인 BIC를 활용하여 최적 확률분포를 도출할 수 있다고 하였다.

하지만 앞서 언급한 대부분의 연구는 항로의 한 단면에 국한한 목표선기반의 연구가 주류를 이루었다. 하지만 목표선 분석에 문제가 있어 반 연속 혹은 연속식 분석을 통하여 항로의 통항 특성을 파악한 논문은 다음과 같다.

Franz(1981)는 항로의 특성을 반영하기 위한 반 연속 분석에 대한 연구를 수행하였다.

정태권과 이동섭(2007)은 광양항 출입항로를 대상으로 선박조종시물레이션 근접도 계측에서 연속분석과 목표점 분석을 비교하였다. 목표점 분석에서는 복합 항적도 분석을 제대로 하지 못하여 목표점을 잘못 정하면 침범확률이 낮게 나타날 수 있어 연속분석을 병행하여 실시할 필요가 있다고 하였다. 또한 목표선 분석이 데이터의 처리, 분석 작업상 용이한 점이 있으나 표본이 적으면 정규분포라는 가정에 무리가 따를 수 있다고 하였다.

또 다른 연구의 방법으로 선박의 항행패턴을 이해하는 방법이 있으며, 이러한 연구도 다수 수행되었다. 선행연구는 주로 선박의 항행 경로대를 파악하기 위한 연구가 주를 이루고 있으며, 대표적인 선행연구는 다음과 같다.

송재욱 등(2005)은 포항항 항로지정을 위하여 포항항 인근해역의 해상교통조사를 시행하였고, 포항항의 주요 항행 경로대를 파악하였다. 또한 주요 항

행 경로대를 이용하는 선박의 통항특성과 특징을 분석하였다.

김세원 등(2006)은 부산 중앙부두 주변해역을 대상으로 해상교통조사 프로그램을 이용하여 교통흐름을 조사하였다. 또한 통항선박의 선종별, 톤수별 분포와 항적 분포를 분석하였으며, 이를 토대로 중앙부두 주변 해역의 교통흐름과 통항특성을 도출하였다. 도출된 자료를 바탕으로 통항안전성 향상 방안과 부두 재배치에 대해 제안하였다.

최경식과 박성용(2011)은 VTS 시스템에 도입된 통항분석 프로그램을 소개하고, 울산항을 대상으로 통항량 및 통항패턴 분석과 Ship near miss, 선속에 따른 패턴을 분석하였다.

양형선(2014)은 대정해상풍력발전단지 설치 해역과 인근수역을 이용하는 선박 교통량과 해상교통흐름의 패턴을 분석하고, 단지 조성 후 합리적인 대체통항로 지정에 따른 교통량을 예측하였다. 또한 예측된 교통량을 근거하여 통항로별 통항안전성을 평가하고 검토하였다.

오지현 등(2014)은 어선항적을 기초로 완도항 인근해역에서의 선박통항패턴을 분석하여 어선과 비어선 사이에서 충돌이 발생할 수 있는 충돌 위험해역을 분석하고 해상교통관제서비스의 향상방안을 제시하였다.

Michele V. et al.(2012)은 실시간 시스템에서 작동할 수 있는 AIS의 해상교통 패턴 정보를 자동으로 학습하기 위한 프레임워크를 제시하였다. 프레임워크를 만들기 위하여 AIS를 이용하여 아드리아 해와 아덴만과 홍해 등에서의 선박 통항패턴에 대해 분석하였다.

상기의 연구는 AIS 등을 이용한 선박의 흐름에 대한 연구로서 항로에서의 선박의 통항패턴에 대한 연구는 미흡한 것으로 판단된다.

이와 같이 항로에서의 해양사고가 급증하고, 항로의 환경이 변화함에 따라 항로의 항행패턴에 대한 연구가 수행되어야 하나, 다수의 선행연구에서 항로 항행패턴에 대한 연구는 미흡한 수준이다.

1.3 연구의 방법 및 논문의 구성

본 연구는 항로상 해상교통의 동적 항행패턴을 개발하고 이를 실제 항로에 적용하기 위한 연구이다. 이를 위해 우리나라의 대표적인 항로인 부산-신항-가덕수도-입구항로, 부산-북항-제1항로 및 연안항로인 옹도항로를 그 대상으로 하였다.

본 논문의 구체적인 연구 및 분석 방법은 다음의 네 가지로 요약된다.

첫 번째 대상 항로를 선정하고 그 항로의 3일간 해상교통현황을 조사하였다.

두 번째 평면좌표와 공간좌표를 선정하고, 기존연구에서 수행하였던 평면좌표를 이용한 최적분포분석 및 반-연속식 정규분포-첨도-왜도(Normal Distribution-Kurtosis-Skewness, 이하 $ND-K-S$)분석을 통한 항로상 항행패턴을 분석하였다.

세 번째 기존연구에서 수행한 분석 방법에 대한 문제점을 발견하고, 공간좌표기반의 새로운 해상교통 동적 항행패턴을 개발하였다.

네 번째 개발된 동적 항행패턴을 항로에 적용하고, 해양사고 발생과의 관계 및 해상교통 관제방안을 제시하였다.

이 연구의 방법을 도식화하면 Fig. 5와 같다.

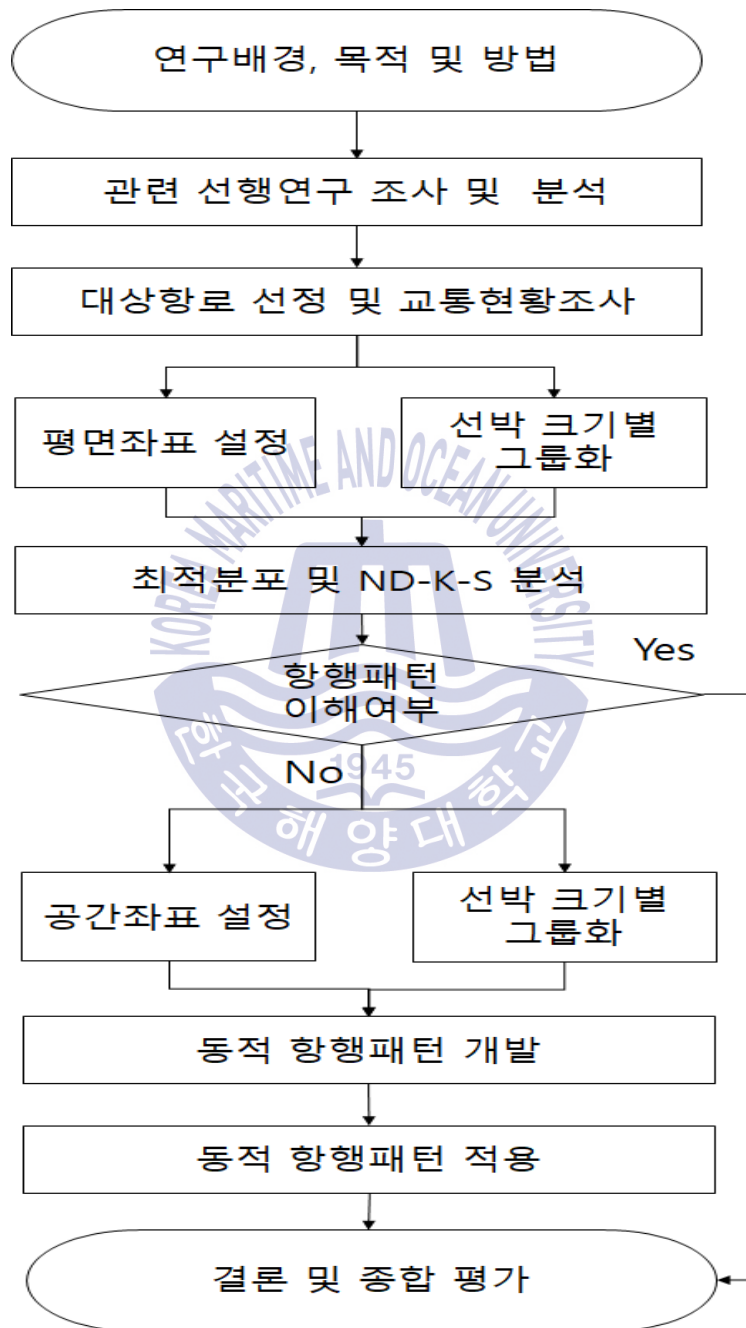


Fig. 5 Flow chart of the study

본 논문은 총 6개의 장으로 구성되어 있으며 그 상세는 다음과 같다.

제1장에서는 연구의 배경 및 목적, 선행연구, 연구 방법 등을 기술했다.

제2장에서는 본 연구의 재료가 되는 대상항로를 선정하고 그 대상항로를 대상으로 한 해상교통조사자료에 대해 기술하였다. 국내 주요항로인 부산 북항 제1항로, 부산신항 가덕수도 입구항로와 연안항로인 옹도항로를 그 대상으로 하였으며, 3일간의 AIS 또는 GICOMS 자료를 바탕으로 대상항로에서의 해상교통을 조사했다.

제3장에서는 제2장에서 조사한 해상교통 자료를 바탕으로 항로의 항행패턴을 이해하기 위하여 기존 연구에서 수행한 평면좌표기반의 분석을 수행하였다. 대표적인 분석방법으로 최적 확률분포와 *ND-K-S* 분석을 수행하였으며, 이를 통해 기존 연구가 가지고 있는 한계에 대해 기술했다.

제4장에서는 제3장에서 설명한 기존 연구가 가지는 한계를 보완할 공간좌표기반의 동적 항행패턴모델에 대해 기술하였다. 동적 항행패턴을 이동패턴과 속력패턴으로 구분하고 각각의 정의를 통해 실제 항로에서의 동적 항행 패턴을 분석했다.

제5장에서는 제4장에서 개발된 동적 항행패턴을 기반으로 실제 항로에 적용하고 동적 항행패턴과 해양사고의 관계에 대해 기술하였다. 이를 토대로 항로의 안전성 향상 및 해상교통관계 활용 방안에 대해서도 기술했다.

제6장에서는 본 연구의 결론과 활용방안 및 향후 연구과제 등을 기술했다.

제 2 장 대상항로 해상교통 특성 조사

2.1 대상항로 선정

우리나라에는 교통안전특정해역 5개소, 통항분리방식 3개소, 지방청 고시항로 26개소 등 총 34개의 항로가 지정되어 있으며, 각 항로의 위치는 Fig. 6과 같다(해양수산부, 2015).

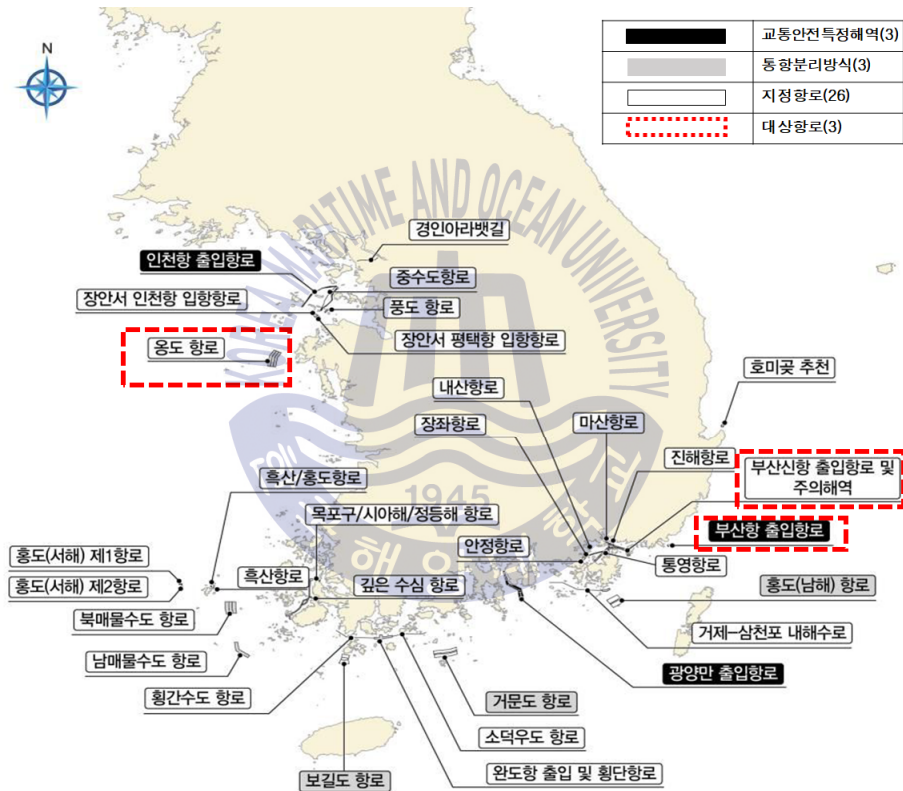


Fig. 6 Location of ship routing at Korea

출처 : 2015년 선박통항로 안전성 평가 보고서

총 34개의 항로 중에서 교통안전특정해역에서는 우리나라 제1의 항만인 부산항의 항만 내에 위치한 부산 북항 제1항로를 선정하였고, 지정항로 중 통항 분리방식이 채택되고 선박의 통항이 빈번하며 항만의 입항항로로 사용되는 부산 신항 항로인 가덕수도 입구항로를 선정하였으며, 연안항로 중 서해안에 위치하고 고시에 의해 관리되는 항로인 옹도항로를 선정하였다. 선박통항로 안전성평가 연구 보고서(해양수산부, 2015)에 따르면, 옹도항로는 2008년부터 2014년까지 7년간의 해양사고 분석 자료에서 지정항로 중 운항관련 사고인 충돌과 좌초사고가 17건으로 다른 연안항로 중 가장 많은 항로였다.

부산 북항 제1항로는 오륙도 방파제부터 부산항대교 주변까지의 항로로 왕복항로이며, 직선항로이다. 특히, 입구부 좌우로 방파제 부근과 출구부에 부산항대교의 주 교각이 위치하고 있어서 일시적으로 교통이 밀집되는 해역이기도 하다.

부산 신항 가덕수도 입구항로는 가덕도 입구부터 신항 입구 주변까지의 항로로 통항분리방식을 채택하고 있으며, 선박의 통항이 빈번하고, 횡단관계가 빈번히 발생하는 직선항로이다. 특히, 가덕수도 인근 수역과 진해만은 태풍이나 기타 기상 악화 시에 주로 피항지로 활용되어, 태풍의 내습 시에 남해안과 부산일대의 피항 선박들로 인해 일시적으로 교통이 폭주하는 곳이기도 하다.

옹도 항로는 우리나라의 주요 연안항로로 옹도 주변해역에서 가대암 주변해역까지의 항로이다. 옹도 항로는 가덕수도 입구항로와 동일하게 통항분리 방식을 채택하고 있으며, 인천, 평택 및 대산항을 출입하는 대형 컨테이너선과 원유운반선과 같은 거대형선 뿐만 아니라 인근의 모항항, 안흥항, 기타 신진도나 가의도 등의 어항 등을 출입하는 소형선박들의 출입이 많은 수역이다. 옹도 항로 중앙에는 흑도가 분리대 내에 위치하고 있으며, 다른 두 항로와 달리 직선항로가 아닌 흑도 부근에서 꺾이는 항로이다.

2.1.1 부산 북항 및 제1항로의 교통환경

부산 북항은 자성대, 신감만, 감만, 신전대 등 4개의 컨테이너 부두와, 1~4 부두, 5부두(양곡부두), 7~8부두, 중앙부두, 용호부두, 우암부두 및 일반부두 그리고 국제여객부두와 연안여객부두, 국제크루즈부두 등으로 구성되어 있고, 부산 신항이 개장되기 이전까지 북항은 가장 많은 물량을 처리하였으며, 주로 컨테이너와 여객선의 출입이 많은 곳이다.

부산 북항의 중앙에 위치한 제1항로는 영도와 오륙도 중앙에서 부산항대교 부근까지 남동~북서로 길이는 약 5.2km, 항로 폭은 약 340m이며, 항로입구 남동쪽에는 입항 및 출항 선박의 안전항행을 위하여 출입항로와 통항분리대를 운영하고 있다. 항로의 입구에는 좌우로 방파제가 있으며, 항로의 끝은 Fig. 7과 같이 항로를 가로지르는 대형 교량이 위치하고 있다.



Fig. 7 Panoramic view of Busan harbor bridge

또한 부산 북항은 교통안전특정해역으로 지정되어 해사안전법 제10조제2항 같은 법 시행규칙 제7조 제1항 제2호 및 별표 3에 의해 항로에서의 속력을 10노트로 제한하고 있으며, 방파제를 통과한 이후에는 입항선과 출항선이 모두 이용 가능한 왕복항로인 것이 특징이다. 또한 길이 20m 미만의 선박이나 범선은 입항 및 출항 시 제1항로의 바깥 해역을 이용하여 입항 및

출항할 수 있으나, 이때 입항 및 출항 항로를 따라 항행하는 다른 선박의 안전항행을 방해해서는 아니 되도록 규정되어 있다.

부산항 일대의 전반적인 조류 특성은 창조류는 오륙도 부근으로부터 태종대 남쪽(생도 방향)으로 흐르며, 이것의 일부가 내항으로 진입하여 영도대교를 지나 남항으로 흐르며, 낙조류는 창조류와 대체적으로 반대의 흐름을 보인다. 일반적으로 이러한 흐름은 강하지는 않으나, 외해와 접하는 해역에서는 약간 강한 흐름을 보여주고, 조류의 형태는 왕복성으로서 반일 주기가 주류를 이루며, 일조부등이 심하고 잔해조의 영향이 큰 편이다. 전반적으로는 낙조류가 창조류보다 우세하며, 낙조류의 지속시간은 7.0시간으로 창조류의 5.4시간보다 긴 것이 특징이다.

다만, 본 연구의 조사구역은 주류대를 벗어난 구역이며, 특히 항내는 유속이 미약하여 반류, 환류, 편류 등 극히 불규칙한 조류의 현상을 나타낸다.

2.1.2 부산 신항 및 가덕수도의 교통환경

부산 신항은 Fig. 8의 전경과 같이 북 컨테이너 및 남 컨테이너 부두와 자동차, 잡화 등 다목적 및 일반 부두를 가지고 있으며, 컨테이너 전문 항만으로서의 역할을 확대하기 위해 해양수산부(2016)의 제3차 전국 항만기본계획 수정계획에 따라 향후 서 컨테이너 부두 등이 개장할 예정이다. 또한 이 계획에 따라 부산 신항은 현재 22개 선석을 운영하고 있으며, 2020년 이후 44개 선석이 완전 개장하면 연 1,584만 TEU 이상의 컨테이너 화물 처리능력을 가지게 될 것이다.

부산 신항 접근항로는 가덕수도이며, 이 수도는 통항분리대 및 통항분리선을 운영하고 있어 대형선의 출입이 분리되어 있지만, 어선, 예부선 등 소형선박은 가덕수도를 횡단하여 거가대교 하단을 통과하기도 한다. 신항 항로의 입구에는 동방파제가, 항로의 중간부근에 연도에서 뺀 나온 서방파제가 있으며, 항로의 끝부분에 호란도와 토도가 위치하고 있으며, 토도는 제거공사가 진행되고 있다(해양수산부, 2016).



Fig. 8 Panoramic view of Busan new port

부산 신항 일대의 전반적인 조류 특성은 창조류는 다대포 부근으로부터 거제도 방향으로 흐르다가 거제도와 가덕도 사이의 가덕수도를 따라 진입하여 진해와 신항으로 흐르며, 낙조류는 창조류와 대체적으로 반대의 흐름을 보인다. 일반적으로 이러한 흐름은 강하지는 않으나, 외해와 접하는 해역에서는 약간 강한 흐름을 보여준다. 창조류는 서북서~북류이고, 낙조류는 동남동~남남동류이며, 유속분포는 0.3~0.7m/s 정도이다.

부산 북항은 횡방향의 조류에 의한 영향을 받는다면, 부산 신항은 선·수미방향의 조류의 영향을 받는 것이 특징이다.

2.1.3 용도 항로의 교통환경

용도항로는 해사안전법 제31조의 규정에 의하여 특정해역이 아닌 해역으로서 해양사고가 일어날 우려가 있다고 인정되는 해역이다. 따라서 이 해역은 대산지방해양수산청이 해역을 항행하는 선박의 안전에 관한 사항을 고시로 규정하고 있다.

Fig. 9의 전경을 가지는 용도항로는 지정항로로서 북쪽으로 항행하고자 할 때에는 동항로를, 남쪽으로 항행하여야 할 때에는 서항로를 항해하여야

하며, 지정항로를 항행하지 아니할 경우에는 지정항로로부터 충분히 떨어져 항행하여야 한다.

옹도항로의 항로 폭은 동항로가 약 1,990m, 서항로가 약 1,810m, 분리대가 약 1,950m이며, 길이는 분리대 중앙을 기준으로 약 15km 정도이다.



Fig. 9 Panoramic view of Ongdo route

옹도항로 일대의 전반적인 조류 특성은 왕복성 조류형태가 강하고 규칙적인 창조류와 낙조류가 일어나는 해역이다. 창조류는 남남서류이고, 낙조류는 북북동류이며, 유속분포는 1.59~1.70m/s 정도이다.

2.2 대상항로 교통 현황 조사

2.2.1 해상교통조사 개요

대상항로의 교통흐름을 분석하고 통항 특성을 검출하기 위해서는 해상교통조사를 시행하여야 한다. 유상록 등(2015)에 의하면 해상교통조사는 요일 변화지수를 고려하여 최소 1주일 실시하면 최대표준오차를 21.6% 이내로 산출할 수 있고, 3일간 실시하면 최대표준오차를 28.2% 이내로 산출할 수 있다고 하였다. 하지만, 상기 연구는 목포항에 한정된 연구이고 후속연구가 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 해사안전법에서 규정하고 있는 해상교통안전진단시행지침(해양수산부, 2017)을 준수하여 대상해역에서의 3일간 통항선박의 AIS 현장관측 자료를 이용하였다. 다만, GICOMS의 경우 7일의 자료를 활용하여야 하나 AIS 자료와의 동일한 조건으로 연구하기 위하여 3일간의 GICOMS 자료를 이용하여 조사하였으며, 그 상세는 Table 1과 같다

Table 1 Details of traffic survey of three traffic route

Traffic route	Source	Survey period	TSS route	Strait route
Busan north port No.1	AIS	2018. 01. 25. ~ 01. 27.	No	Yes
Gadeok-sudo	AIS	2017. 06. 29. ~ 07. 01.	Yes	Yes
Ongdo	GICOMS	2014. 01. 23. ~ 01. 25.	Yes	No

Table 1과 같이 부산 북항 제1항로는 2018년 1월 25일 00시부터 1월 27일 24시까지 연속 3일간의 AIS 현장조사 자료를, 부산 신항 가덕수도는 2017년 6월 29일 00시부터 7월 1일 24시까지 3일간의 AIS 현장조사 자료를 사용하였고, 옹도 항로는 2014년 1월 23일 00시부터 1월 25일 24시까지 3일간의 GICOMS 자료를 활용하였다.

또한 조사된 AIS 및 GICOMS 자료의 자료 중 선박의 크기를 구분하여 분석하였다. 선박의 크기 구분은 다양한 분류방법이 있지만, 해상교통공학에서 주로 분류하는 총톤수 1,000톤 미만인 선박(전장 70m)을 소형선, 해사안전법에서 거대선의 기준인 전장 200m 이상의 선박을 대형선, 전장 70m 이상 200m 미만의 선박을 중형선으로 크게 3분류로 구분하여 분석하였다.

2.2.2 부산 북항 제1항로 선박 통항 현황 조사

부산 북항 제1항로의 선박 통항 현황을 조사하기 위한 관측범위는 Fig. 10과 같으며, 선박들의 통항 분석을 위한 목표선은 Fig. 11과 같이 10개로 구분하였으며, 각 목표선을 통과하는 선박을 조사하였다.

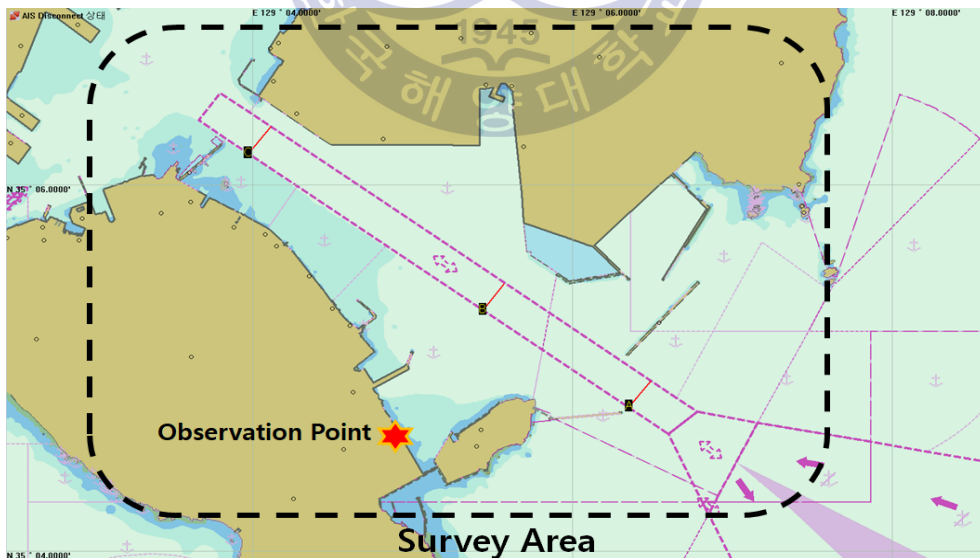


Fig. 10 Survey area for Busan north port

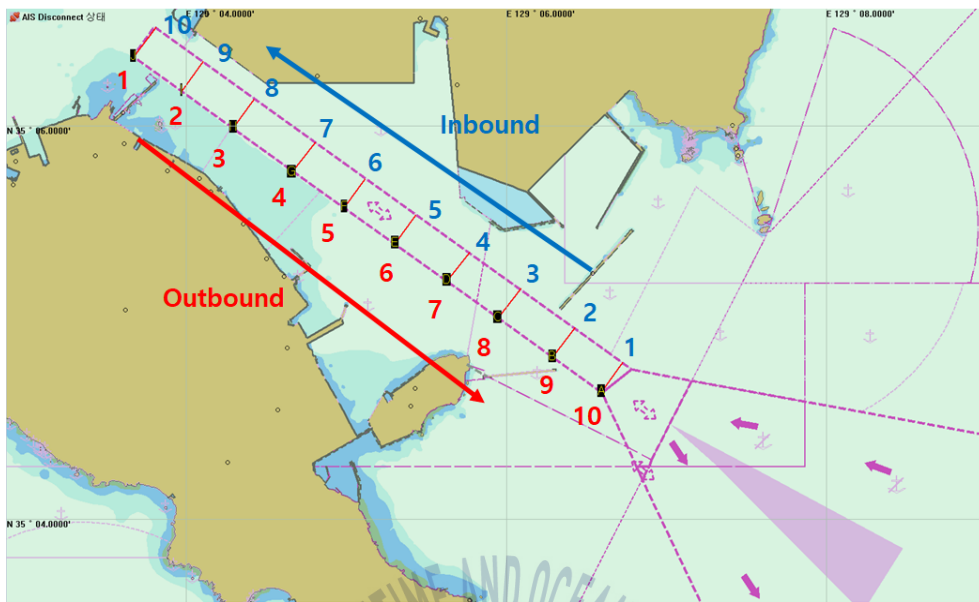


Fig. 11 Gate lines for Busan north port

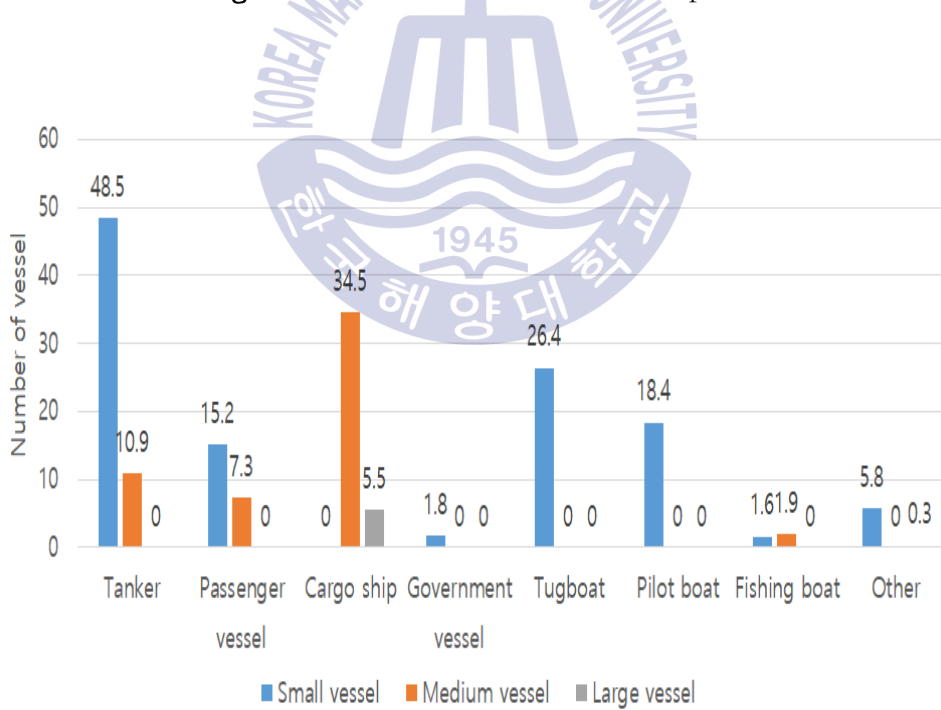


Fig. 12 Type of vessel for inbound at Busan north port No. 1

Table 2 Type of vessel for inbound at Busan north port No. 1

Unit : number(%)

Type of vessel	Small vessel	Medium vessel	Large vessel
Tanker	48.5 (41%)	10.9 (20%)	0 (0%)
Passenger vessel	15.2 (13%)	7.3 (13%)	0 (0%)
Cargo ship	0 (0%)	34.5 (63%)	5.5 (95%)
Government vessel	1.8 (2%)	0 (0%)	0 (0%)
Tugboat	26.4 (22%)	0 (0%)	0 (0%)
Pilot boat	18.4 (16%)	0 (0%)	0 (0%)
Fishing boat	1.6 (1%)	1.9 (3%)	0 (0%)
Other	5.8 (5%)	0 (0%)	0.3 (5%)
Total	117.7 (100%)	54.6 (100%)	5.8 (100%)

조사기간 동안에 선박의 입항 통항 현황은 Fig. 12 및 Table 2와 같다.

소형선은 부산 북항 제1항로 10개의 목표선을 평균 117.7척이 입항 통항하였다. 선종별로는 탱커가 평균 48.5척(41%)으로 가장 많았으며, 예부선이 평균 26.4척(22%), 도선이 평균 18.4척(16%)으로 상위 3개의 선종이 전체 소형선 입항 통항의 79%를 차지하였다.

중형선은 부산 북항 제1항로 10개의 목표선을 평균 54.6척이 입항 통항하였다. 선종별로는 화물선이 평균 34.5척(63%)으로 가장 많았으며, 그 다음으로 탱커가 평균 10.9척(20%), 여객선이 평균 7.3척(13%)으로 조사되었다.

대형선은 부산 북항 제1항로 10개의 목표선을 평균 5.8척이 입항 통항하였다. 선종별로는 화물선이 평균 5.5척(95%)으로 대부분을 차지하였고, 기타 선박이 0.3척(5%)으로 조사되었다.

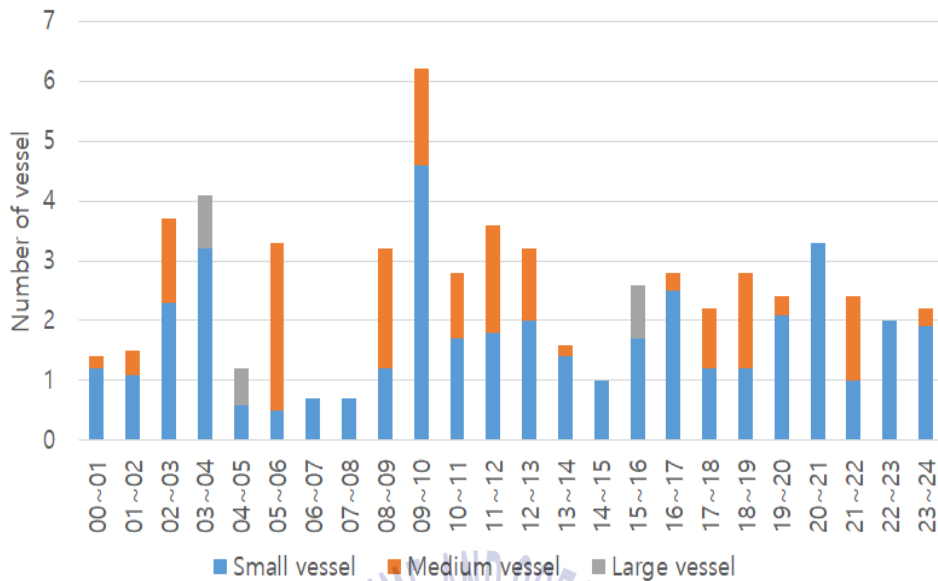


Fig. 13 Number of vessel for inbound at Busan north port No. 1 on 1st day

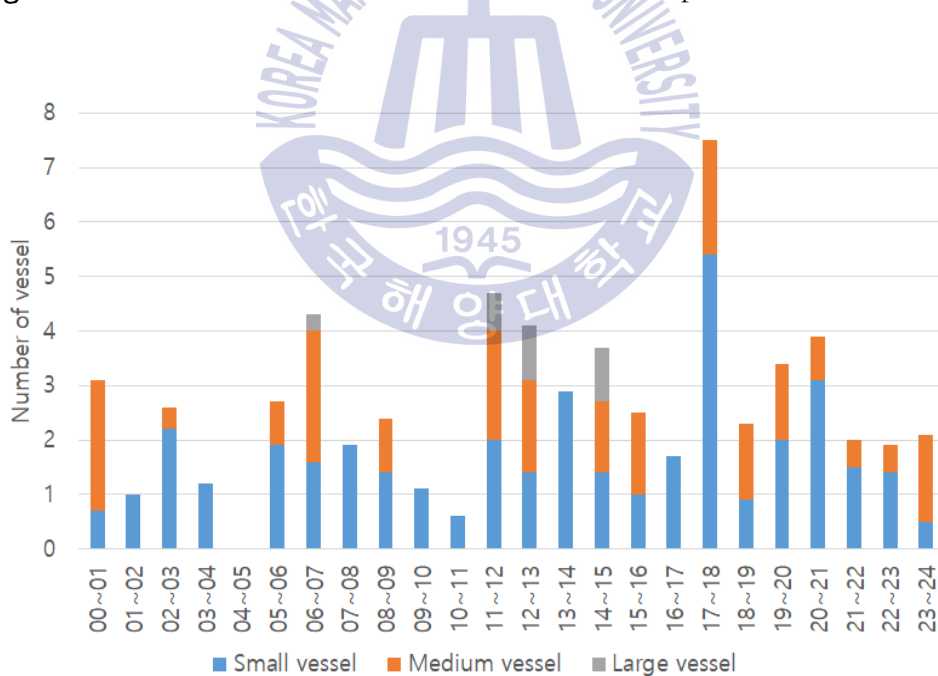


Fig. 14 Number of vessel for inbound at Busan north port No. 1 on 2nd day

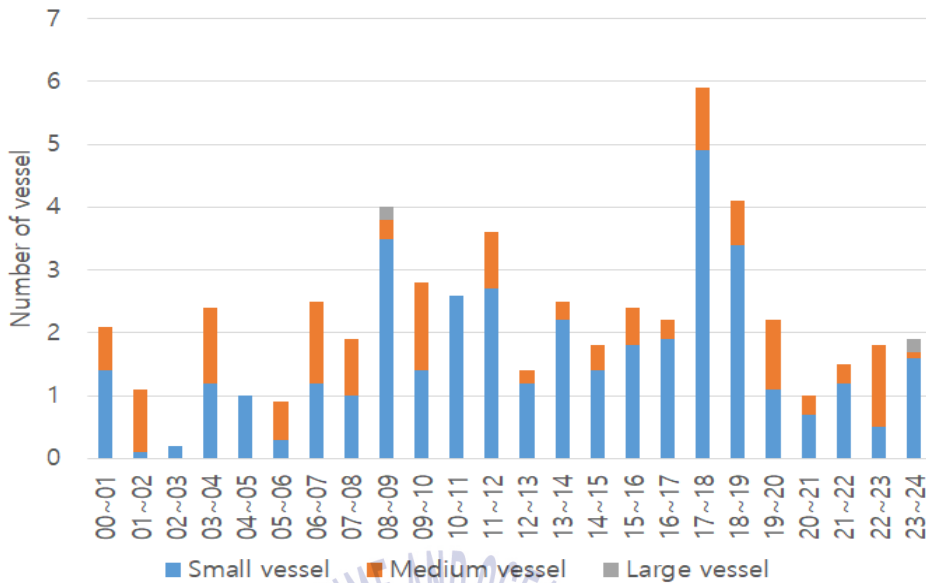


Fig. 15 Number of vessel for inbound at Busan north port No. 1 on 3rd day

조사기간 동안에 부산 북항 제1항로를 입항한 선박의 시간별 척수는 Fig. 13, Fig. 14, Fig. 15 및 Table 3와 같다.

조사기간 동안 소형선은 부산 북항 제1항로 10개의 목표선을 시간당 평균 1.6척, 중형선은 0.8척, 대형선은 0.1척 입항하였고, 선박이 최대로 통항한 척수는 2일째 17시~18시 사이로 평균 7.5척의 선박이 입항하였으며, 시간당 평균 0.8척의 선박이 부산 북항을 입항하는 것으로 분석되었다.

Table 3 Number of vessel for inbound at Busan north port No. 1 for 3 days

Unit : number

Time	1st day			2nd day			3rd day		
	Small	Medum	Large	Small	Medum	Large	Small	Medum	Large
00~01	1.2	0.2	0	0.7	2.4	0	1.4	0.7	0
01~02	1.1	0.4	0	1	0	0	0.1	1	0
02~03	2.3	1.4	0	2.2	0.4	0	0.2	0	0
03~04	3.2	0	0.9	1.2	0	0	1.2	1.2	0
04~05	0.6	0	0.6	0	0	0	1	0	0
05~06	0.5	2.8	0	1.9	0.8	0	0.3	0.6	0
06~07	0.7	0	0	1.6	2.4	0.3	1.2	1.3	0
07~08	0.7	0	0	1.9	0	0	1	0.9	0
08~09	1.2	2	0	1.4	1	0	3.5	0.3	0.2
09~10	4.6	1.6	0	1.1	0	0	1.4	1.4	0
10~11	1.7	1.1	0	0.6	0	0	2.6	0	0
11~12	1.8	1.8	0	2	2	0.7	2.7	0.9	0
12~13	2	1.2	0	1.4	1.7	1	1.2	0.2	0
13~14	1.4	0.2	0	2.9	0	0	2.2	0.3	0
14~15	1	0	0	1.4	1.3	1	1.4	0.4	0
15~16	1.7	0	0.9	1	1.5	0	1.8	0.6	0
16~17	2.5	0.3	0	1.7	0	0	1.9	0.3	0
17~18	1.2	1	0	5.4	2.1	0	4.9	1	0
18~19	1.2	1.6	0	0.9	1.4	0	3.4	0.7	0
19~20	2.1	0.3	0	2	1.4	0	1.1	1.1	0
20~21	3.3	0	0	3.1	0.8	0	0.7	0.3	0
21~22	1	1.4	0	1.5	0.5	0	1.2	0.3	0
22~23	2	0	0	1.4	0.5	0	0.5	1.3	0
23~24	1.9	0.3	0	0.5	1.6	0	1.6	0.1	0.2
Ave.	1.7	0.7	0.1	1.6	0.9	0.1	1.6	0.6	0.0

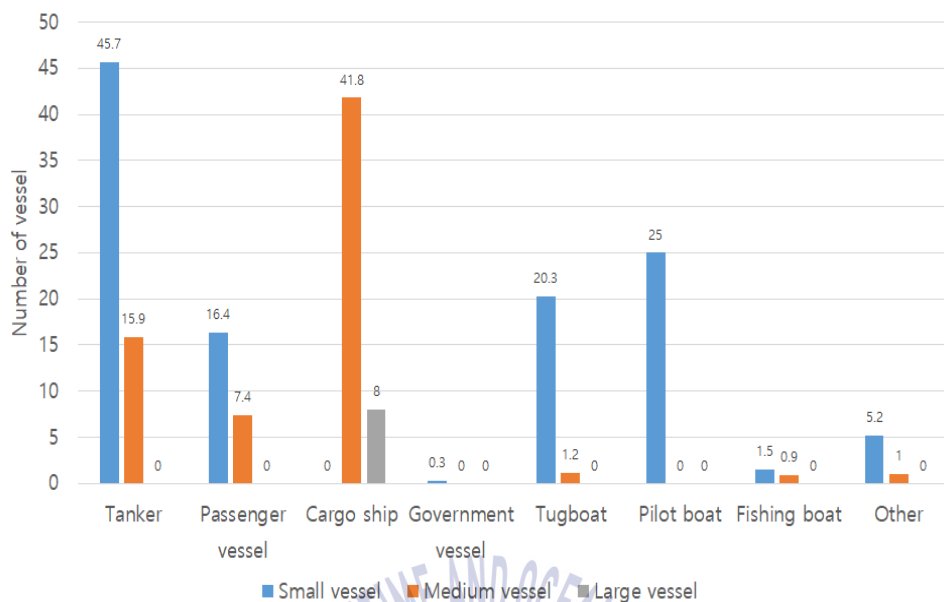


Fig. 16 Type of vessel for outbound at Busan north port No. 1

Table 4 Type of vessel for outbound at Busan north port No. 1

Unit : number(%)

Type of vessel	Small vessel	Medium vessel	Large vessel
Tanker	45.7 (40%)	15.9 (23%)	0 (0%)
Passenger vessel	16.4 (14%)	7.4 (11%)	0 (0%)
Cargo ship	0 (0%)	41.8 (61%)	8 (100%)
Government vessel	0.3 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Tugboat	20.3 (18%)	1.2 (2%)	0 (0%)
Pilot boat	25 (22%)	0 (0%)	0 (0%)
Fishing boat	1.5 (1%)	0.9 (1%)	0 (0%)
Other	5.2 (5%)	1 (1%)	0 (0%)
Total	114.4 (100%)	68.2 (0%)	8 (100%)

조사기간 동안 선박의 출항 통항 현황은 Fig. 16과 Table 4와 같다

소형선은 부산 북항 제1항로 10개의 목표선을 평균 114.4척이 출항 통항하였다. 선종별로는 탱커가 평균 45.7척(40%)으로 가장 많았으며, 도선이 평균 25.0척(22%), 예부선이 평균 20.3척(18%)으로 상위 3개의 선종이 전체 소형선 입항 통항의 약 80%를 차지하였다.

중형선은 부산 북항 제1항로 10개의 목표선을 평균 68.2척이 출항 통항하였다. 선종별로는 화물선이 평균 41.8척(61%)으로 가장 많았으며, 그 다음으로 탱커가 평균 15.9척(23%), 여객선이 평균 7.4척(11%)으로 조사되었다.

대형선은 부산 북항 제1항로 10개의 목표선을 평균 8.0척이 출항 통항하였다. 선종은 모두 화물선으로 조사되었다.



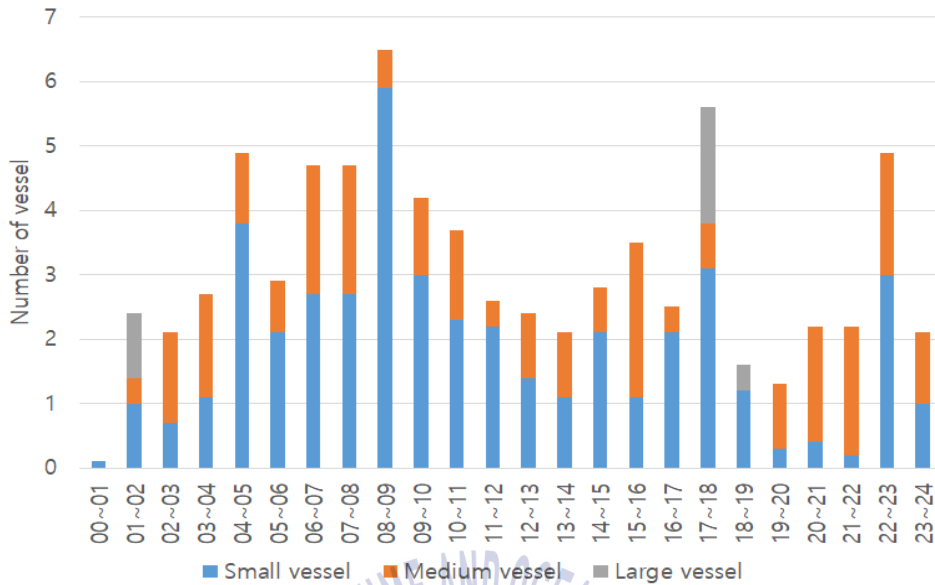


Fig. 17 Number of vessel for outbound at Busan north port No. 1 on 1st day

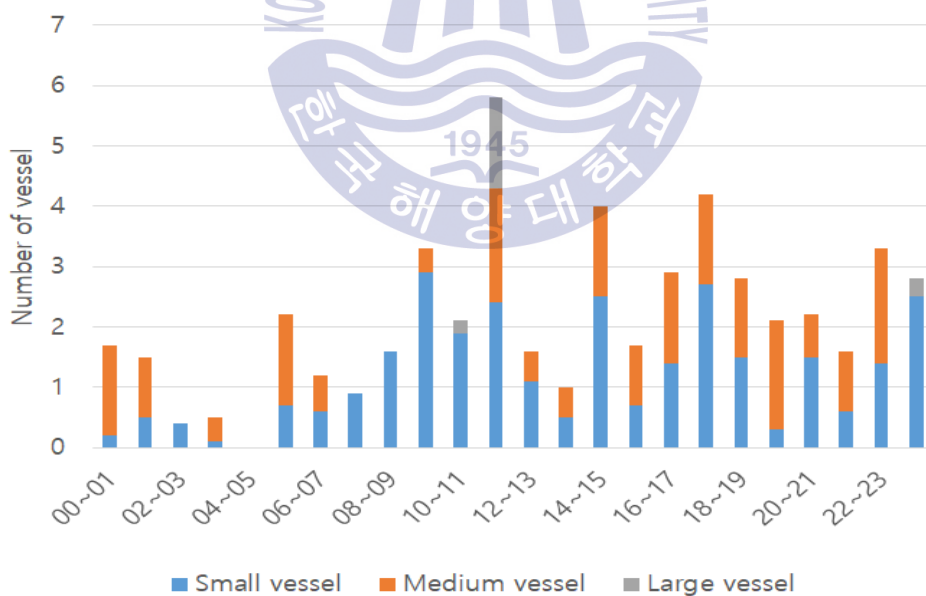


Fig. 18 Number of vessel for outbound at Busan north port No. 1 on 2nd day

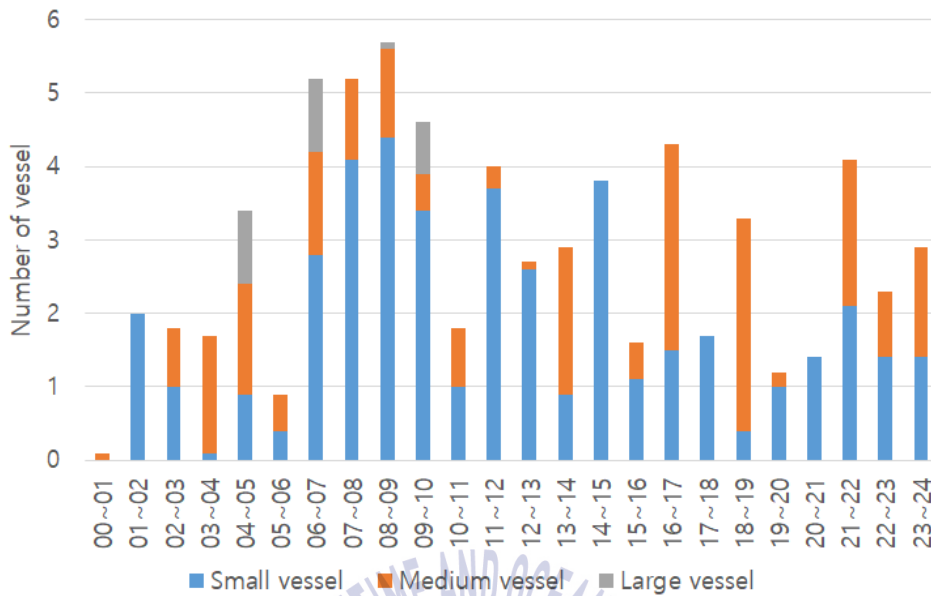


Fig. 19 Number of vessel for outbound at Busan north port No. 1 on 3rd day

조사기간 동안에 부산 북항 제1항로를 출항한 선박의 시간별 척수는 Fig. 17, Fig. 18, Fig. 19 및 Table 5와 같다.

조사기간 동안 소형선은 부산 북항 제1항로 10개의 목표선을 시간당 평균 1.6척, 중형선은 1.0척, 대형선은 0.1척 출항하였고, 선박이 최대출항한 척수는 1일째 08시~09시 사이로 평균 6.5척의 선박이 통항하였으며, 시간당 평균 0.9척의 선박이 부산 북항을 출항하는 것으로 분석되었다.

Table 5 Number of vessel for outbound at Busan north port No. 1 for 3 days

Unit : number

Time	1st day			2nd day			3rd day		
	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large
00-01	0.1	0	0	0.2	1.5	0	0	0.1	0
01-02	1	0.4	1	0.5	1	0	2	0	0
02-03	0.7	1.4	0	0.4	0	0	1	0.8	0
03-04	1.1	1.6	0	0.1	0.4	0	0.1	1.6	0
04-05	3.8	1.1	0	0	0	0	0.9	1.5	1
05-06	2.1	0.8	0	0.7	1.5	0	0.4	0.5	0
06-07	2.7	2	0	0.6	0.6	0	2.8	1.4	1
07-08	2.7	2	0	0.9	0	0	4.1	1.1	0
08-09	5.9	0.6	0	1.6	0	0	4.4	1.2	0.1
09-10	3	1.2	0	2.9	0.4	0	3.4	0.5	0.7
10-11	2.3	1.4	0	1.9	0	0.2	1	0.8	0
11-12	2.2	0.4	0	2.4	1.9	1.5	3.7	0.3	0
12-13	1.4	1	0	1.1	0.5	0	2.6	0.1	0
13-14	1.1	1	0	0.5	0.5	0	0.9	2	0
14-15	2.1	0.7	0	2.5	1.5	0	3.8	0	0
15-16	1.1	2.4	0	0.7	1	0	1.1	0.5	0
16-17	2.1	0.4	0	1.4	1.5	0	1.5	2.8	0
17-18	3.1	0.7	1.8	2.7	1.5	0	1.7	0	0
18-19	1.2	0	0.4	1.5	1.3	0	0.4	2.9	0
19-20	0.3	1	0	0.3	1.8	0	1	0.2	0
20-21	0.4	1.8	0	1.5	0.7	0	1.4	0	0
21-22	0.2	2	0	0.6	1	0	2.1	2	0
22-23	3	1.9	0	1.4	1.9	0	1.4	0.9	0
23-24	1	1.1	0	2.5	0	0.3	1.4	1.5	0
Ave.	1.9	1.1	0.1	1.2	0.9	0.1	1.8	1.0	0.1

2.2.3 부산 신항 가덕수도 통항 현황 조사

부산 신항 가덕수도의 선박 통항 현황을 조사하기 위한 관측범위는 Fig. 20과 같으며, 선박들의 통항 분석을 위하여 설정한 단면 목표선은 Fig. 21 및 Fig. 22와 같이 입항 및 출항 항로 각각 10개로 구분하였으며, 각 목표선을 통과하는 선박을 조사였다.

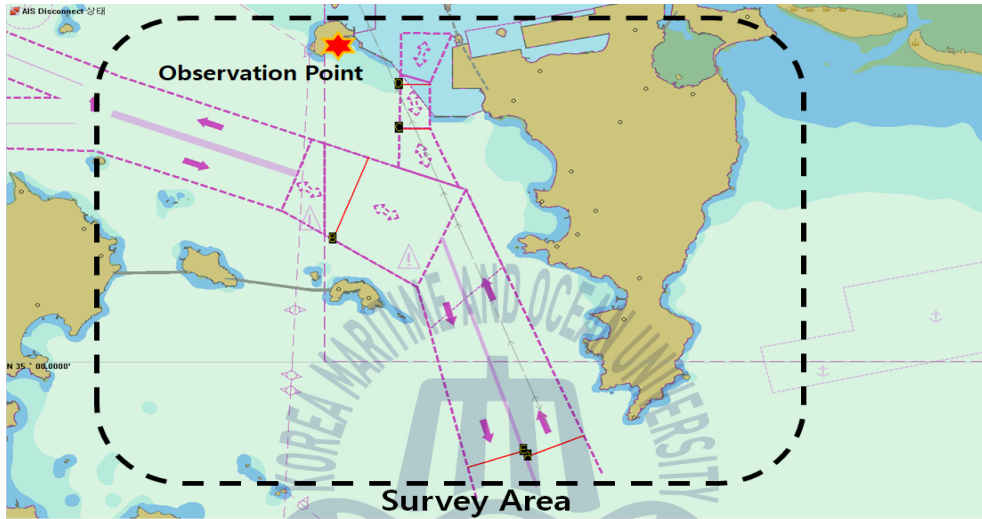


Fig. 20 Survey area for *Gadeok-sudo*

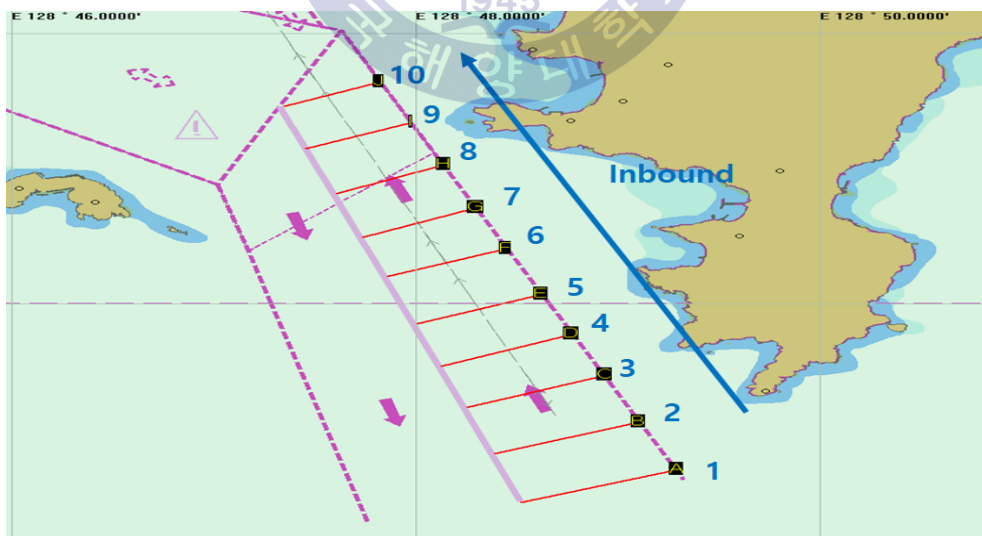


Fig. 21 Gate lines for inbound of *Gadeok-sudo*

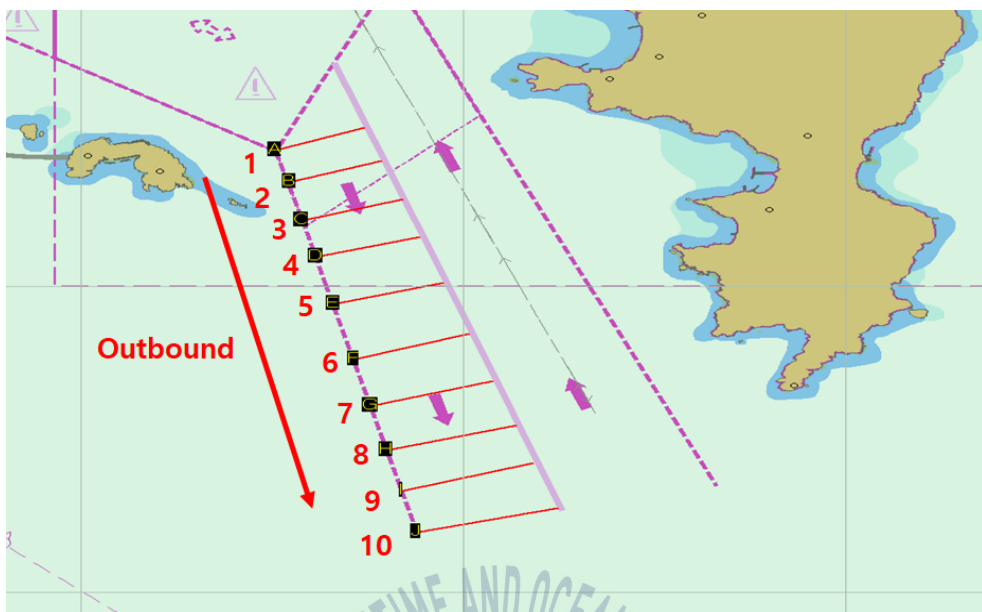


Fig. 22 Gate lines for outbound of *Gadeok-sudo*

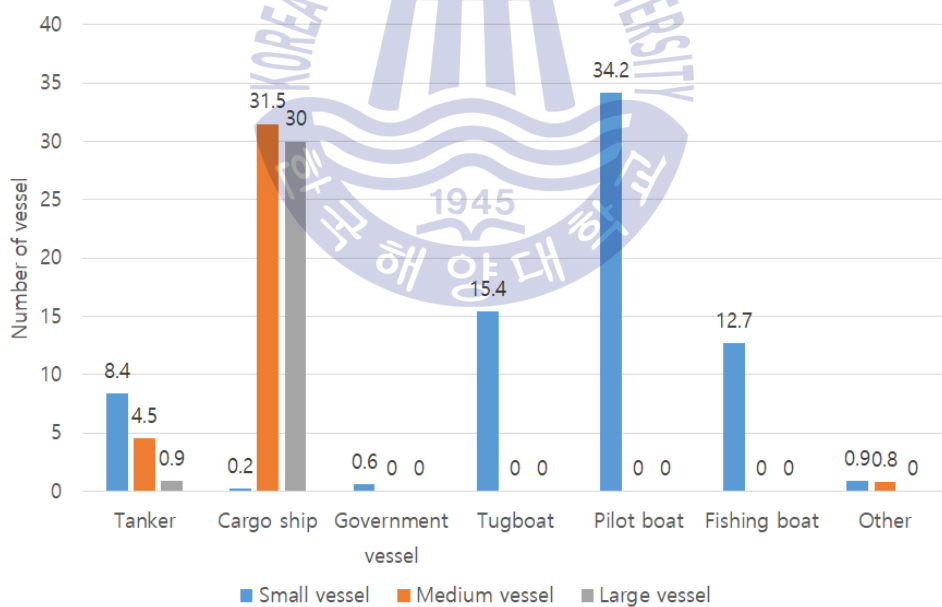


Fig. 23 Type of vessel for inbound at *Gadeok-sudo*

Table 6 Type of vessel for inbound at *Gadeok-sudo*

Unit : number(%)

Type of vessel	Small vessel	Medium vessel	Large vessel
Tanker	8.4 (12%)	4.5 (12%)	0.9 (3%)
Cargo ship	0.2 (0%)	31.5 (86%)	30 (97%)
Government vessel	0.6 (1%)	0 (0%)	0 (0%)
Tugboat	15.4 (21%)	0 (0%)	0 (0%)
Pilot boat	34.2 (47%)	0 (0%)	0 (0%)
Fishing boat	12.7 (18%)	0 (0%)	0 (0%)
Other	0.9 (1%)	0.8 (2%)	0 (0%)
Total	72.4 (100%)	36.8 (100%)	30.9 (100%)

조사기간 동안에 선박의 입항 통항 현황은 Fig. 23과 Table 6과 같다.

소형선은 부산 신항 가덕수도 10개의 목표선을 평균 72.4척이 입항 통항하였다. 선종별로는 도선이 평균 34.2척(47%)으로 가장 많았으며, 예부선이 평균 15.4척(21%), 어선이 평균 12.7척(18%)으로 상위 3개의 선종이 전체 소형선 입항 통항의 약 86%를 차지하였다.

중형선은 부산 신항 가덕수도 10개의 목표선을 평균 36.8척이 입항 통항하였다. 선종별로는 화물선이 평균 31.5척(86%)으로 가장 많았으며, 그 다음으로 탱커가 평균 4.5척(12%), 기타선박이 평균 0.2척(2%)으로 조사되었다.

대형선은 부산 신항 가덕수도 10개의 목표선을 평균 30.9척이 입항 통항하였다. 선종별로는 화물선이 평균 30.0척(97%)으로 가장 많았으며, 그 다음으로 탱커가 평균 0.9척(3%)으로 조사되었다.

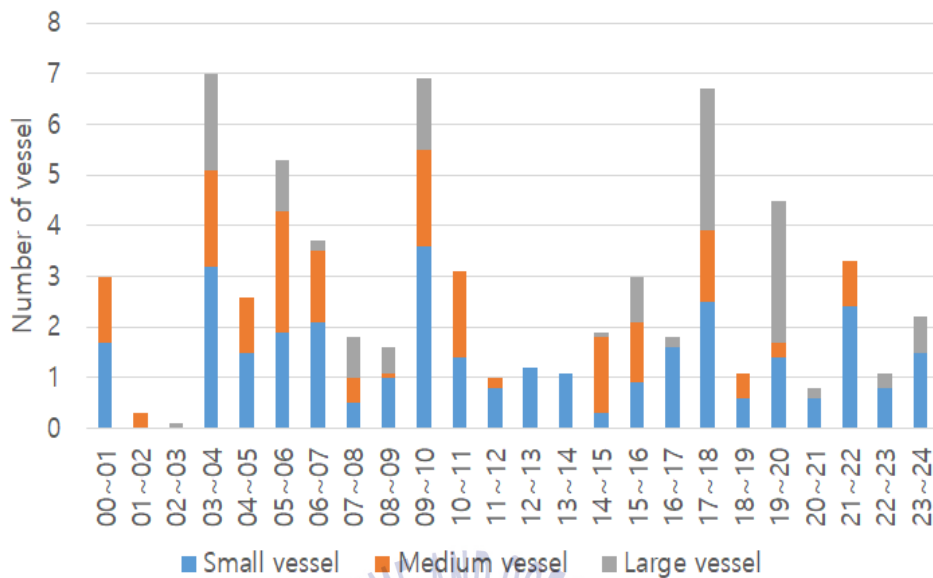


Fig. 24 Number of vessel for inbound at *Gadeok-sudo* on 1st day

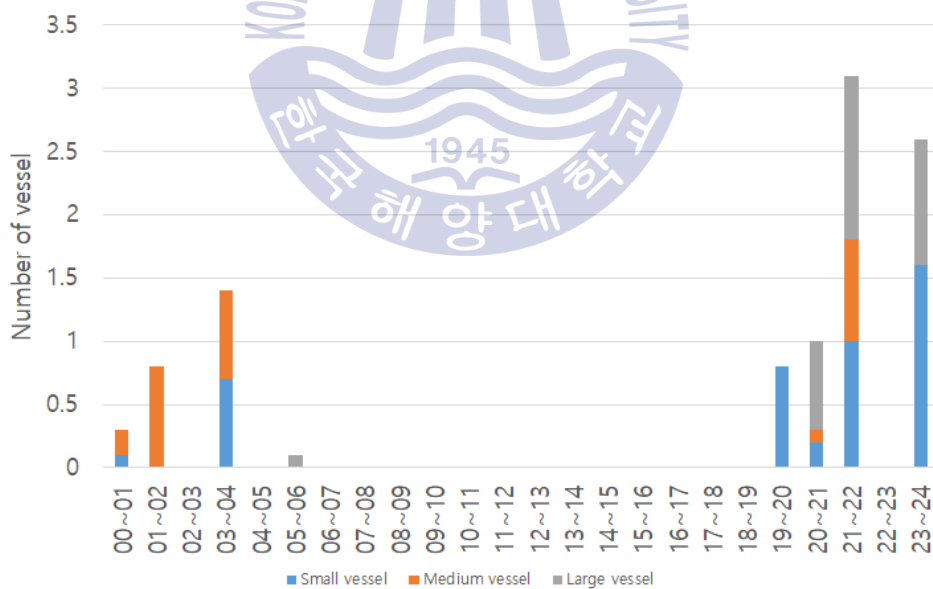


Fig. 25 Number of vessel for inbound at *Gadeok-sudo* on 2nd day

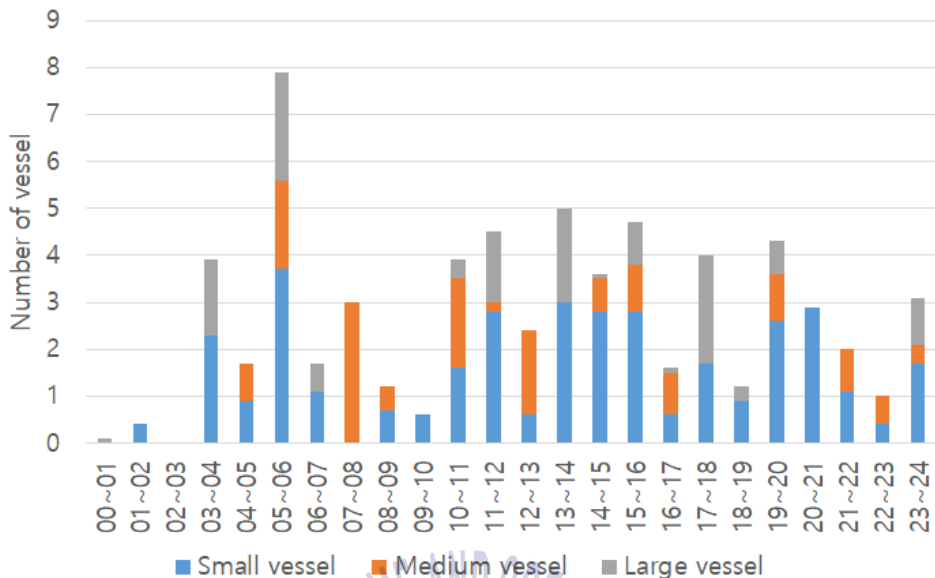


Fig. 26 Number of vessel for inbound at Gadeok-sudo on 3rd day

조사기간 동안에 부산 신항 가덕수도 입구항로를 입항한 선박의 시간별 척수는 Fig. 24, Fig. 25, Fig. 26 및 Table 7와 같다.

조사기간 동안 소형선은 부산 신항 가덕수도 입구항로 10개의 목표선을 시간당 평균 1.0척, 중형선은 0.5척, 대형선은 0.4척 입항하였고, 선박이 최대로 입항한 척수는 3일째 05시~06시 사이로 평균 7.9척의 선박이 통항하였으며, 시간당 평균 0.6척의 선박이 부산 신항 가덕수도를 입항하는 것으로 분석되었다.

Table 7 Number of vessel for inbound at *Gadeok-sudo* for 3 days

Unit : number

Time	1st day			2nd day			3rd day		
	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large
00~01	1.7	1.3	0	0.1	0.2	0	0	0	0.1
01~02	0	0.3	0	0	0.8	0	0.4	0	0
02~03	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0
03~04	3.2	1.9	1.9	0.7	0.7	0	2.3	0	1.6
04~05	1.5	1.1	0	0	0	0	0.9	0.8	0
05~06	1.9	2.4	1	0	0	0.1	3.7	1.9	2.3
06~07	2.1	1.4	0.2	0	0	0	1.1	0	0.6
07~08	0.5	0.5	0.8	0	0	0	0	3	0
08~09	1	0.1	0.5	0	0	0	0.7	0.5	0
09~10	3.6	1.9	1.4	0	0	0	0.6	0	0
10~11	1.4	1.7	0	0	0	0	1.6	1.9	0.4
11~12	0.8	0.2	0	0	0	0	2.8	0.2	1.5
12~13	1.2	0	0	0	0	0	0.6	1.8	0
13~14	1.1	0	0	0	0	0	3	0	2
14~15	0.3	1.5	0.1	0	0	0	2.8	0.7	0.1
15~16	0.9	1.2	0.9	0	0	0	2.8	1	0.9
16~17	1.6	0	0.2	0	0	0	0.6	0.9	0.1
17~18	2.5	1.4	2.8	0	0	0	1.7	0	2.3
18~19	0.6	0.5	0	0	0	0	0.9	0	0.3
19~20	1.4	0.3	2.8	0.8	0	0	2.6	1	0.7
20~21	0.6	0	0.2	0.2	0.1	0.7	2.9	0	0
21~22	2.4	0.9	0	1	0.8	1.3	1.1	0.9	0
22~23	0.8	0	0.3	0	0	0	0.4	0.6	0
23~24	1.5	0	0.7	1.6	0	1	1.7	0.4	1
Ave.	1.4	0.8	0.6	0.2	0.1	0.1	1.5	0.7	0.6

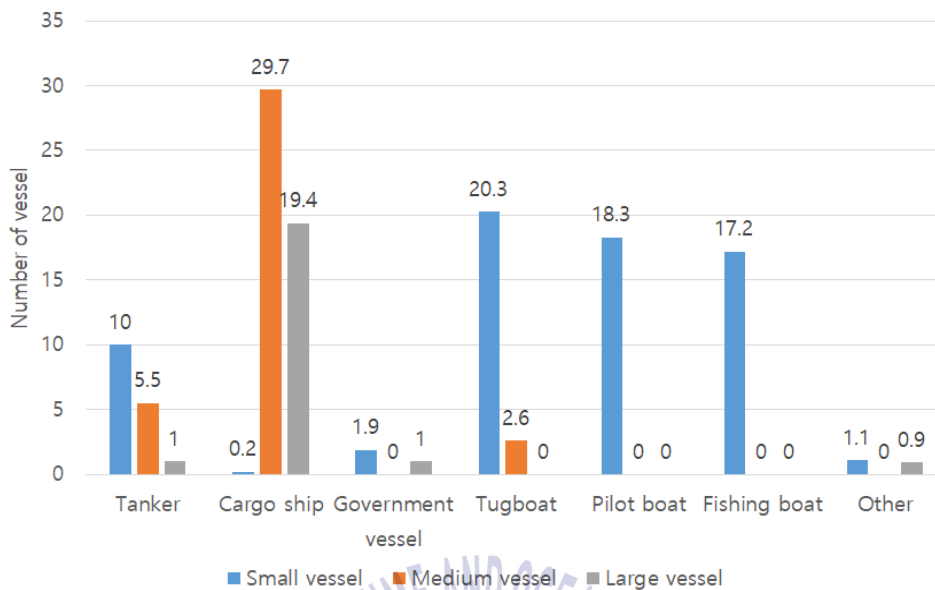


Fig. 27 Type of vessel for outbound at *Gadeok-sudo*

Table 8 Type of vessel for outbound at *Gadeok-sudo*

Unit : number(%)

Type of vessel	Small vessel	Medium vessel	Large vessel
Tanker	10 (14%)	5.5 (15%)	1 (4%)
Cargo ship	0.2 (0%)	29.7 (79%)	19.4 (87%)
Government vessel	1.9 (3%)	0 (0%)	1 (4%)
Tugboat	20.3 (29%)	2.6 (7%)	0 (0%)
Pilot boat	18.3 (27%)	0 (0%)	0 (0%)
Fishing boat	17.2 (25%)	0 (0%)	0 (0%)
Other	1.1 (2%)	0 (0%)	0.9 (4%)
Total	69.0 (100%)	37.8 (100%)	22.3 (100%)

조사기간 동안에 선박의 출항 통항 현황은 Fig. 27과 Table 8과 같다.

소형선은 부산 신항 가덕수도 10개의 목표선을 평균 69.0척이 출항 통항하였다. 선종별로는 예부선이 평균 20.3척(29%)으로 가장 많았으며, 도선이 평균 18.3척(27%), 어선이 평균 17.2척(25%)으로 상위 3개의 선종이 전체 소형선 입항 통항의 약 81%를 차지하였다.

중형선은 부산 신항 가덕수도 10개의 목표선을 평균 37.8척이 출항 통항하였다. 선종별로는 화물선이 평균 29.7척(79%)으로 가장 많았으며, 그 다음으로 탱커가 평균 5.5척(15%), 예부선이 평균 2.6척(7%)으로 조사되었다.

대형선은 부산 신항 가덕수도 10개의 목표선을 평균 22.3척이 출항 통항하였다. 선종별로는 화물선이 평균 19.4척(87%)으로 가장 많았으며, 그 다음으로 탱커와 관공선이 각각 평균 1.0척(4%), 기타선박이 평균 0.9척(4%)으로 조사되었다.



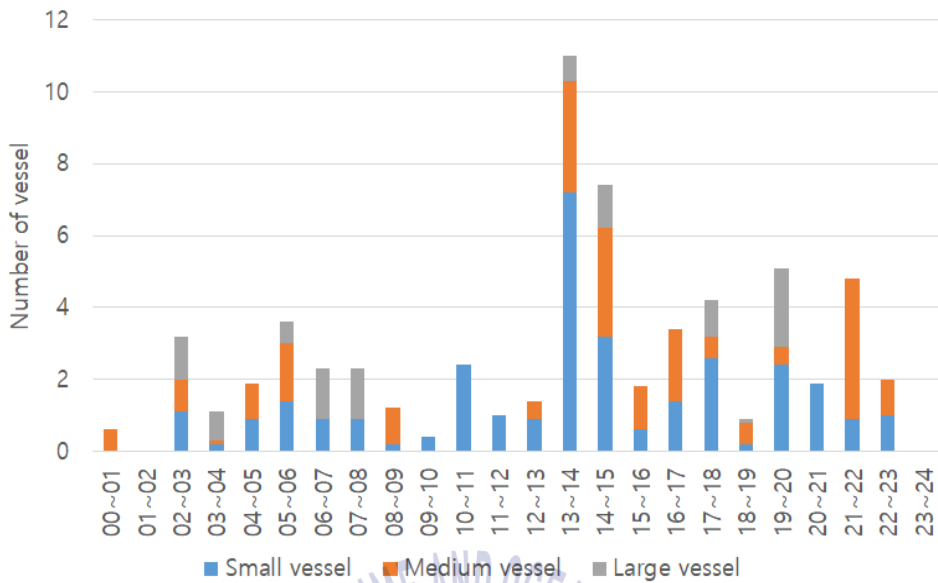


Fig. 28 Number of vessel for outbound at *Gadeok-sudo* on 1st day

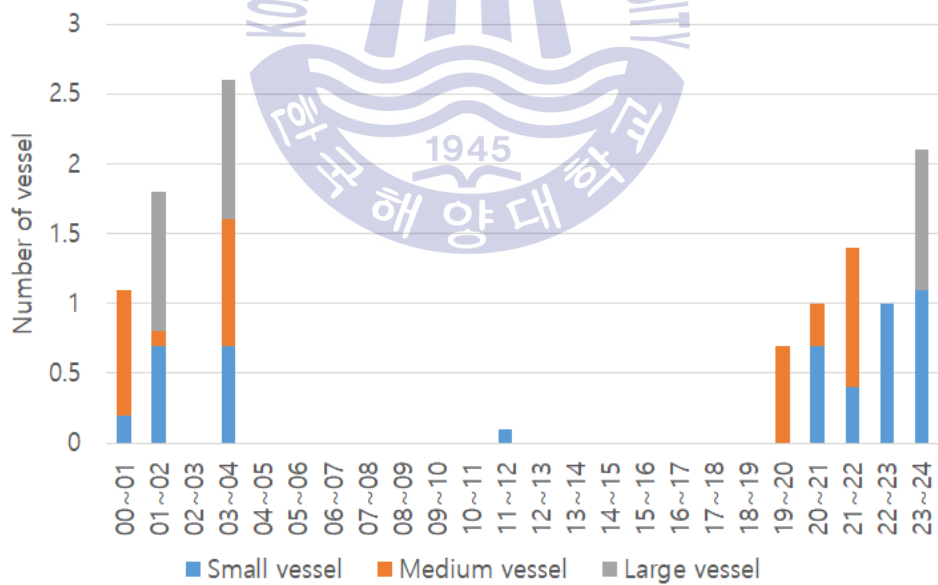


Fig. 29 Number of vessel for outbound at *Gadeok-sudo* on 2nd day

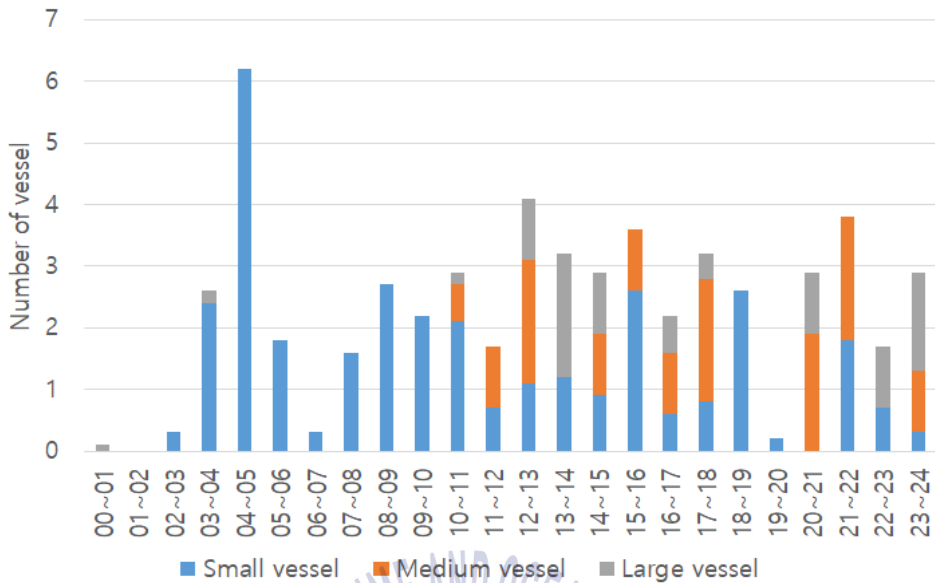


Fig. 30 Number of vessel for outbound at *Gadeok-sudo* on 3rd day

조사기간 동안에 부산 신항 가덕수도 입구항로를 출항한 선박의 시간별 척수는 Fig. 28, Fig. 29, Fig. 30 및 Table 9와 같다.

조사기간 동안 소형선은 부산 신항 가덕수도 입구항로 10개의 목표선을 시간당 평균 1.0척, 중형선은 0.5척, 대형선은 0.3척 출항하였고, 선박이 최대로 출항한 척수는 1일째 13시~14시 사이로 평균 11.0척의 선박이 통항하였으며, 시간당 평균 0.6척의 선박이 부산 신항 가덕수도를 출항하는 것으로 분석되었다.

Table 9 Number of vessel for outbound at *Gadeok-sudo* for 3 days

Unit : number

Time	1st day			2nd day			3rd day		
	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large
00~01	0	0.6	0	0.2	0.9	0	0	0	0.1
01~02	0	0	0	0.7	0.1	1	0	0	0
02~03	1.1	0.9	1.2	0	0	0	0.3	0	0
03~04	0.2	0.1	0.8	0.7	0.9	1	2.4	0	0.2
04~05	0.9	1	0	0	0	0	6.2	0	0
05~06	1.4	1.6	0.6	0	0	0	1.8	0	0
06~07	0.9	0	1.4	0	0	0	0.3	0	0
07~08	0.9	0	1.4	0	0	0	1.6	0	0
08~09	0.2	1	0	0	0	0	2.7	0	0
09~10	0.4	0	0	0	0	0	2.2	0	0
10~11	2.4	0	0	0	0	0	2.1	0.6	0.2
11~12	1	0	0	0.1	0	0	0.7	1	0
12~13	0.9	0.5	0	0	0	0	1.1	2	1
13~14	7.2	3.1	0.7	0	0	0	1.2	0	2
14~15	3.2	3	1.2	0	0	0	0.9	1	1
15~16	0.6	1.2	0	0	0	0	2.6	1	0
16~17	1.4	2	0	0	0	0	0.6	1	0.6
17~18	2.6	0.6	1	0	0	0	0.8	2	0.4
18~19	0.2	0.6	0.1	0	0	0	2.6	0	0
19~20	2.4	0.5	2.2	0	0.7	0	0.2	0	0
20~21	1.9	0	0	0.7	0.3	0	0	1.9	1
21~22	0.9	3.9	0	0.4	1	0	1.8	2	0
22~23	1	1	0	1	0	0	0.7	0	1
23~24	0	0	0	1.1	0	1	0.3	1	1.6
Ave.	1.3	0.9	0.4	0.2	0.2	0.1	1.4	0.6	0.4

2.2.4 옹도항로 통항 현황 조사

옹도항로의 선박 통항 현황을 조사하기 위한 관측범위는 Fig. 31과 같으며, 선박들의 통항 분석을 위하여 설정한 단면 목표선은 Fig. 32 및 Fig. 33과 같이 입항 및 출항(북향 및 남향) 항로 각각 10개로 구분하였으며, 각 목표선을 통과하는 선박을 조사였다.

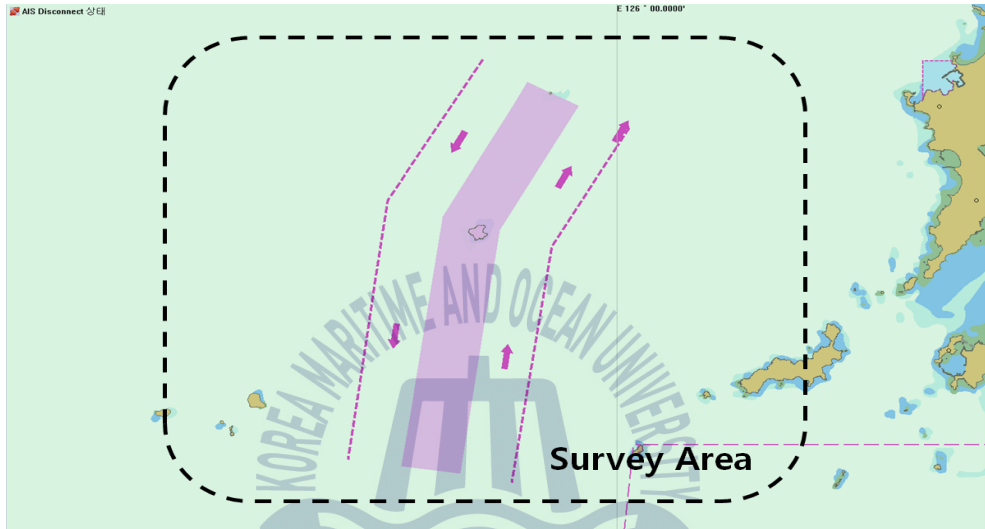


Fig. 31 Survey area for Ongdo route

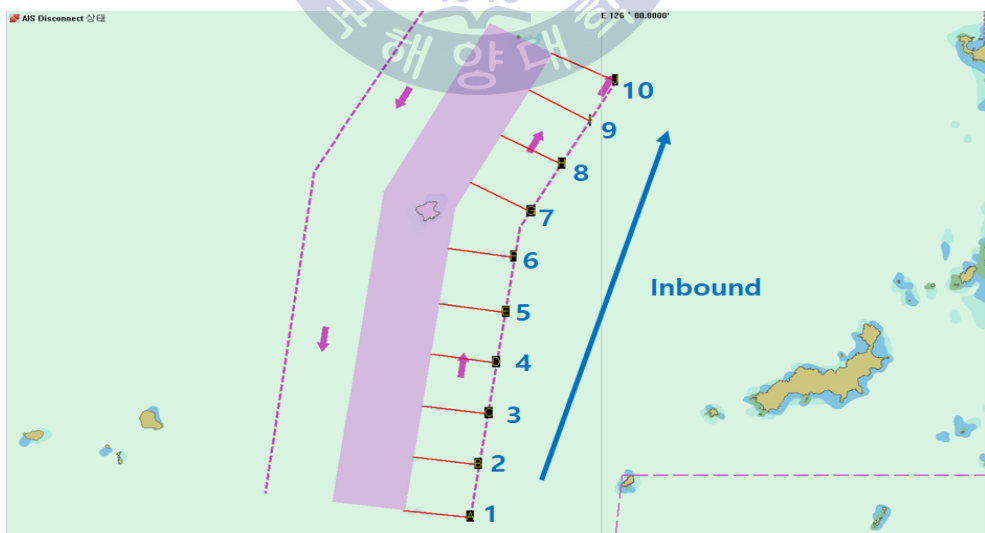


Fig. 32 Gate lines for inbound of Ongdo route

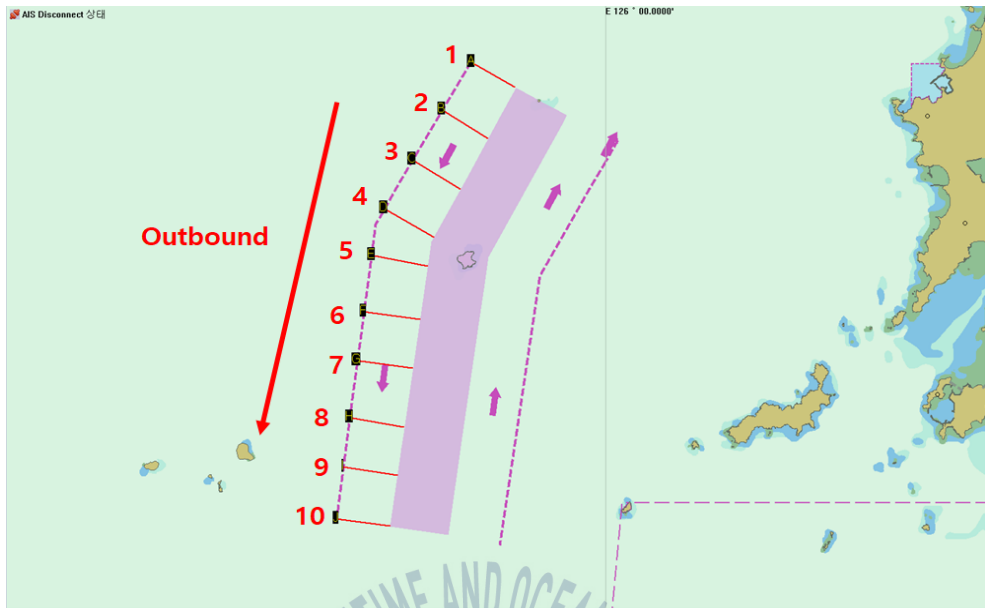


Fig. 33 Gate lines for outbound of Ongdo route

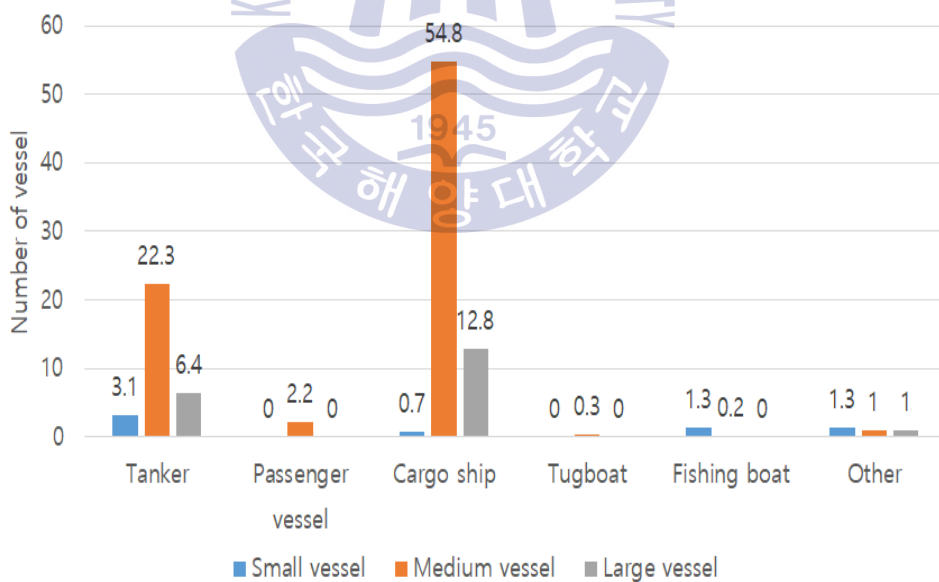


Fig. 34 Type of vessel for inbound at Ongdo route

Table 10 Type of vessel for inbound at Ongdo route

Unit : number(%)

Type of vessel	Small vessel	Medium vessel	Large vessel
Tanker	3.1 (48%)	22.3 (28%)	6.4 (32%)
Passenger vessel	0 (0%)	2.2 (3%)	0 (0%)
Cargo ship	0.7 (11%)	54.8 (68%)	12.8 (63%)
Tugboat	0 (0%)	0.3 (0%)	0 (0%)
Fishing boat	1.3 (20%)	0.2 (0%)	0 (0%)
Other	1.3 (20%)	1 (1%)	1 (5%)
Total	6.4 (100%)	80.8 (100%)	20.2 (100%)

조사기간 동안 선박의 입항(북항) 통항 현황은 Fig. 34와 Table 10과 같다.

소형선은 옹도항로 10개의 목표선을 평균 6.4척이 입항 통항하였다. 선종별로는 탱커선이 평균 3.1척(48%)으로 가장 많았으며, 화물선과 기타선박이 동일하게 평균 1.3척(20%)이었으며, 상위 3개의 선종이 전체 소형선 입항 통항의 약 89%를 차지하였다.

중형선은 옹도항로 10개의 목표선을 평균 80.8척이 입항 통항하였다. 선종별로는 화물선이 평균 54.8척(68%)으로 가장 많았으며, 그 다음으로 탱커가 평균 22.3척(28%), 여객선이 평균 2.2척(3%)으로 조사되었다.

대형선은 옹도항로 10개의 목표선을 평균 20.2척이 입항 통항하였다. 선종별로는 화물선이 평균 12.8척(63%)으로 가장 많았으며, 그 다음으로 탱커가 평균 6.4척(32%)으로 조사되었다.

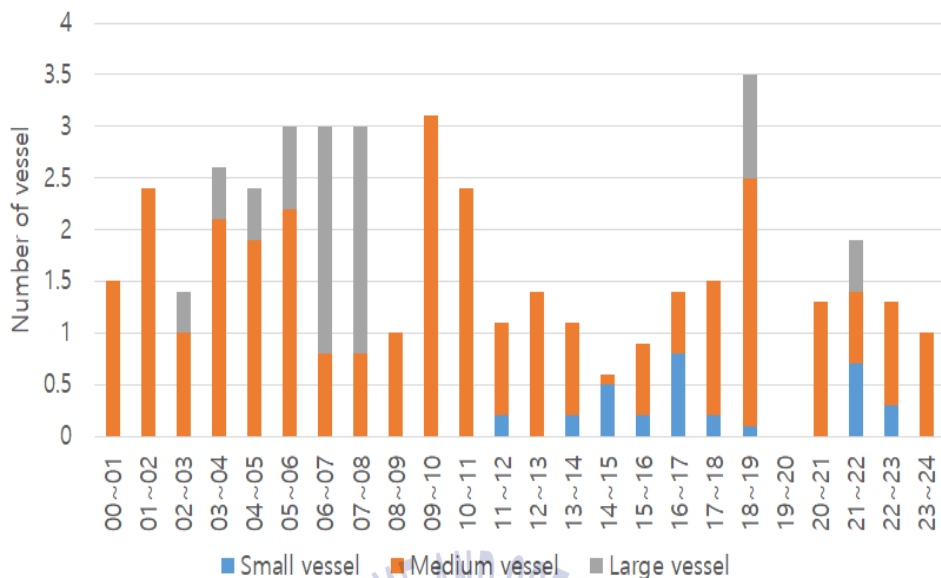


Fig. 35 Number of vessel for inbound at Ongdo route on 1st day

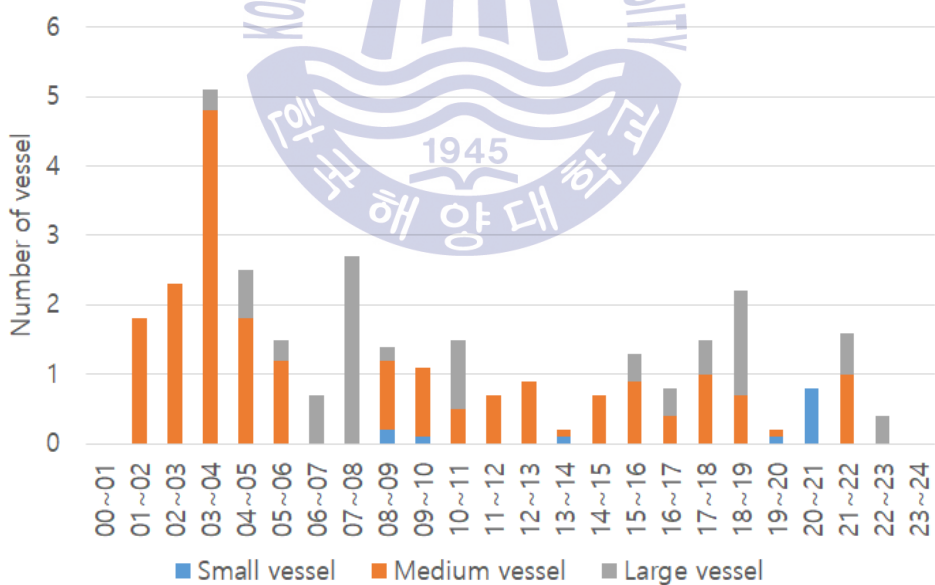


Fig. 36 Number of vessel for inbound at Ongdo route on 2nd day

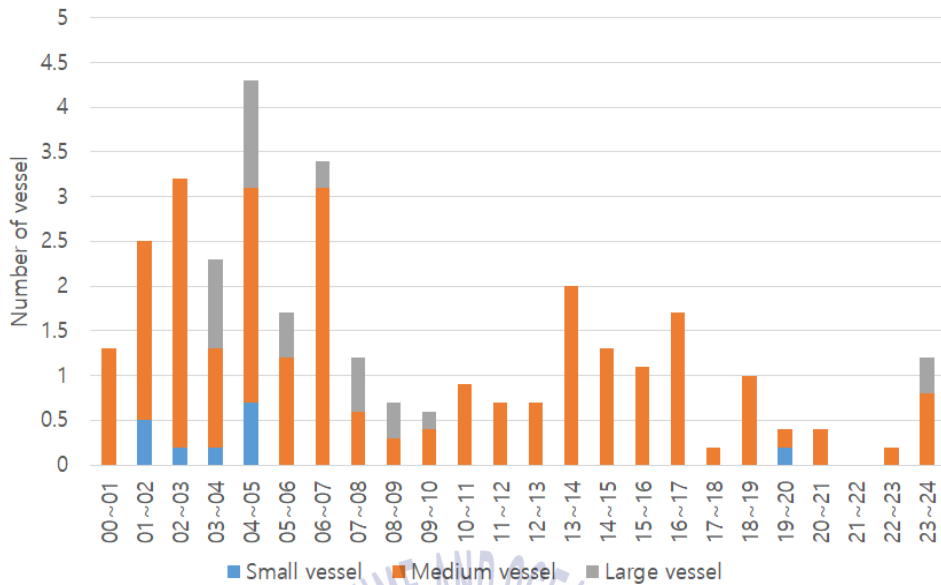


Fig. 37 Number of vessel for inbound at Ongdo route on 3rd day

조사기간 동안에 옹도항로를 입항한 선박의 시간별 척수는 Fig. 35, Fig. 36, Fig. 37 및 Table 11과 같다.

조사기간 동안 소형선은 옹도항로 10개의 목표선을 시간당 평균 0.1척, 중형선은 1.1척, 대형선은 0.3척 입항하였고, 조사기간 동안 선박이 최대로 입항한 척수는 2일째 3시~4시 사이로 평균 5.1척의 선박이 통항하였으며, 시간당 평균 0.5척의 선박이 옹도항로를 입항하는 것으로 분석되었다.

Table 11 Number of vessel for inbound at Ongdo route for 3 days

Unit : number

Time	1st day			2nd day			3rd day		
	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large
00~01	0	1.5	0	0	0	0	0	1.3	0
01~02	0	2.4	0	0	1.8	0	0.5	2	0
02~03	0	1	0.4	0	2.3	0	0.2	3	0
03~04	0	2.1	0.5	0	4.8	0.3	0.2	1.1	1
04~05	0	1.9	0.5	0	1.8	0.7	0.7	2.4	1.2
05~06	0	2.2	0.8	0	1.2	0.3	0	1.2	0.5
06~07	0	0.8	2.2	0	0	0.7	0	3.1	0.3
07~08	0	0.8	2.2	0	0	2.7	0	0.6	0.6
08~09	0	1	0	0.2	1	0.2	0	0.3	0.4
09~10	0	3.1	0	0.1	1	0	0	0.4	0.2
10~11	0	2.4	0	0	0.5	1	0	0.9	0
11~12	0.2	0.9	0	0	0.7	0	0	0.7	0
12~13	0	1.4	0	0	0.9	0	0	0.7	0
13~14	0.2	0.9	0	0.1	0.1	0	0	2	0
14~15	0.5	0.1	0	0	0.7	0	0	1.3	0
15~16	0.2	0.7	0	0	0.9	0.4	0	1.1	0
16~17	0.8	0.6	0	0	0.4	0.4	0	1.7	0
17~18	0.2	1.3	0	0	1	0.5	0	0.2	0
18~19	0.1	2.4	1	0	0.7	1.5	0	1	0
19~20	0	0	0	0.1	0.1	0	0.2	0.2	0
20~21	0	1.3	0	0.8	0	0	0	0.4	0
21~22	0.7	0.7	0.5	0	1	0.6	0	0	0
22~23	0.3	1	0	0	0	0.4	0	0.2	0
23~24	0	1	0	0	0	0	0	0.8	0.4
Ave.	0.1	1.3	0.3	0.1	0.9	0.4	0.1	1.1	0.2

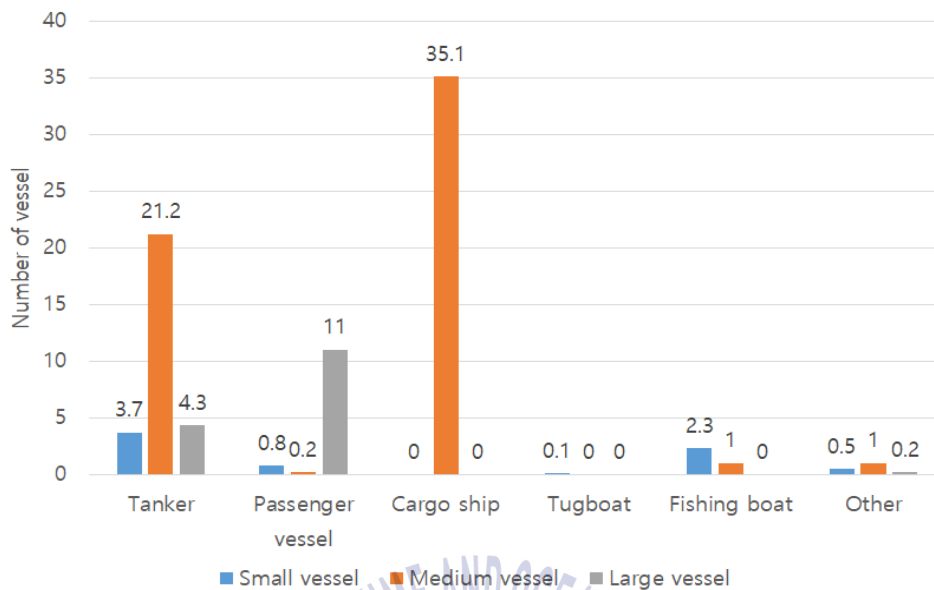


Fig. 38 Type of vessel for outbound at Ongdo route

Table 12 Type of vessel for outbound at Ongdo route

Unit : number(%)

Type of vessel	Small vessel	Medium vessel	Large vessel
Tanker	3.7 (50%)	21.2 (36%)	4.3 (28%)
Passenger vessel	0.8 (11%)	0.2 (0%)	11 (71%)
Cargo ship	0 (0%)	35.1 (60%)	0 (0%)
Tugboat	0.1 (1%)	0 (0%)	0 (0%)
Fishing boat	2.3 (31%)	1 (2%)	0 (0%)
Other	0.5 (7%)	1 (2%)	0.2 (1%)
Total	7.4 (100%)	58.5 (100%)	15.5 (100%)

조사기간 동안 선박의 출항(남향) 통항 현황은 Fig. 38과 Table 12와 같다.

소형선은 옹도항로 10개의 목표선을 평균 7.4척이 출항 통항하였다. 선종별로는 탱커선이 평균 3.7척(50%)으로 가장 많았으며, 어선이 평균 2.3척(31%), 여객선이 평균 0.8척(11%)으로 상위 3개의 선종이 전체 소형선 출항 통항의 약 92%를 차지하였다.

중형선은 옹도항로 10개의 목표선을 평균 58.5척이 출항 통항하였다. 선종별로는 화물선이 평균 35.1척(60%)으로 가장 많았으며, 그 다음으로 탱커선이 평균 21.2척(36%)으로 조사되었다.

대형선은 옹도항로 10개의 목표선을 평균 15.5척이 출항 통항하였다. 선종별로는 화물선이 평균 11척(71%)으로 가장 많았으며, 그 다음으로 탱커선이 평균 4.3척(28%)으로 조사되었다.



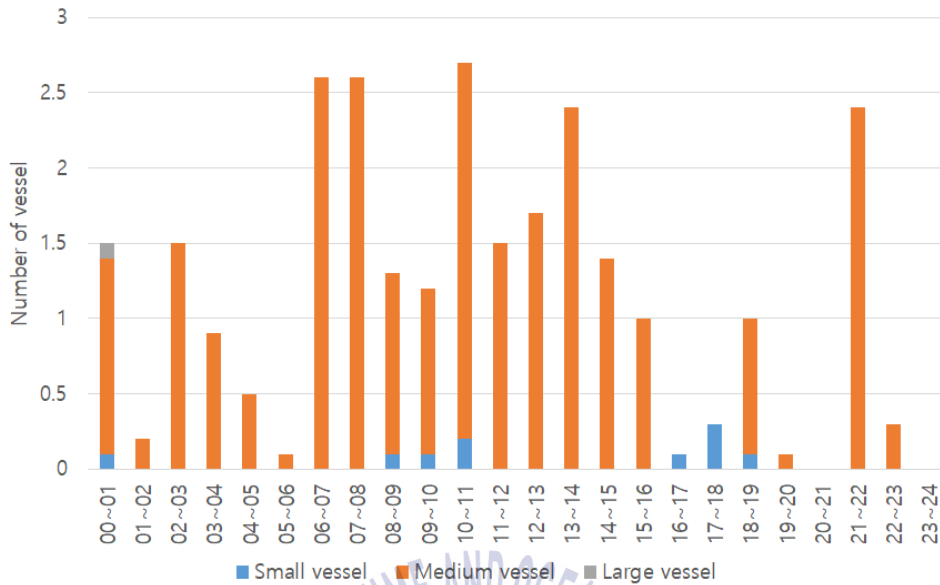


Fig. 39 Number of vessel for outbound at Ongdo route on 1st day

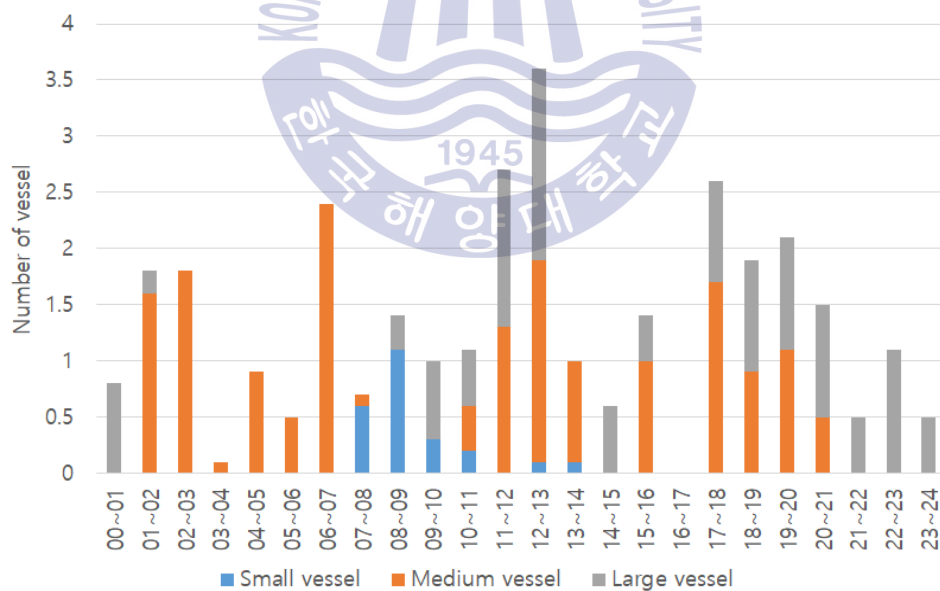


Fig. 40 Number of vessel for outbound at Ongdo route on 2nd day

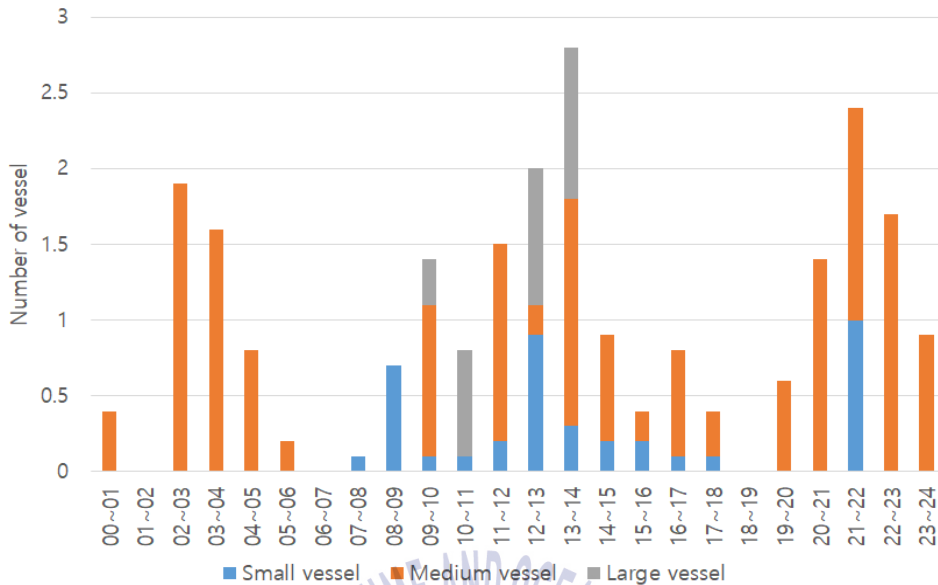


Fig. 41 Number of vessel for outbound at Ongdo route on 3rd day

조사기간 동안에 옹도항로를 출항한 선박의 시간별 척수는 Fig. 39, Fig. 40, Fig. 41 및 Table 13과 같다.

조사기간 동안 소형선은 옹도항로 10개의 목표선을 시간당 평균 0.1척, 중형선은 0.8척, 대형선은 0.2척 출항하였고, 선박이 최대로 출항한 척수는 2일째 12시~13시 사이로 평균 3.6척의 선박이 통항하였으며, 시간당 평균 0.4척의 선박이 옹도항로를 출항하는 것으로 분석되었다.

Table 13 Number of vessel for outbound at Ongdo route for 3 days

Unit : number

Time	1st day			2nd day			3rd day		
	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large
00~01	0.1	1.3	0.1	0	0	0.8	0	0.4	0
01~02	0	0.2	0	0	1.6	0.2	0	0	0
02~03	0	1.5	0	0	1.8	0	0	1.9	0
03~04	0	0.9	0	0	0.1	0	0	1.6	0
04~05	0	0.5	0	0	0.9	0	0	0.8	0
05~06	0	0.1	0	0	0.5	0	0	0.2	0
06~07	0	2.6	0	0	2.4	0	0	0	0
07~08	0	2.6	0	0.6	0.1	0	0.1	0	0
08~09	0.1	1.2	0	1.1	0	0.3	0.7	0	0
09~10	0.1	1.1	0	0.3	0	0.7	0.1	1	0.3
10~11	0.2	2.5	0	0.2	0.4	0.5	0.1	0	0.7
11~12	0	1.5	0	0	1.3	1.4	0.2	1.3	0
12~13	0	1.7	0	0.1	1.8	1.7	0.9	0.2	0.9
13~14	0	2.4	0	0.1	0.9	0	0.3	1.5	1
14~15	0	1.4	0	0	0	0.6	0.2	0.7	0
15~16	0	1	0	0	1	0.4	0.2	0.2	0
16~17	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.7	0
17~18	0.3	0	0	0	1.7	0.9	0.1	0.3	0
18~19	0.1	0.9	0	0	0.9	1	0	0	0
19~20	0	0.1	0	0	1.1	1	0	0.6	0
20~21	0	0	0	0	0.5	1	0	1.4	0
21~22	0	2.4	0	0	0	0.5	1	1.4	0
22~23	0	0.3	0	0	0	1.1	0	1.7	0
23~24	0	0	0	0	0	0.5	0	0.9	0
Ave.	0.0	1.1	0.0	0.1	0.7	0.5	0.2	0.7	0.1

제 3 장 평면좌표기반의 해상교통 항행패턴 분석

3.1 평면좌표의 개요

평면좌표(Plane coordinates)는 평면의 각 점을 한 쌍의 수로 나타내는 방법으로 직교좌표계와 극좌표계 등이 있다. 그 중에서 평면 직교좌표계는 평면에 특정한 한 점, 즉 원점을 지나는 수평축(x축)과 수직축(y축)이 주어졌을 때 각 축은 실수체와 일대일 대응을 하는데 보통 x축에서 오른 방향을 양의 방향, y축에서 위의 방향을 양의 방향으로 한다.

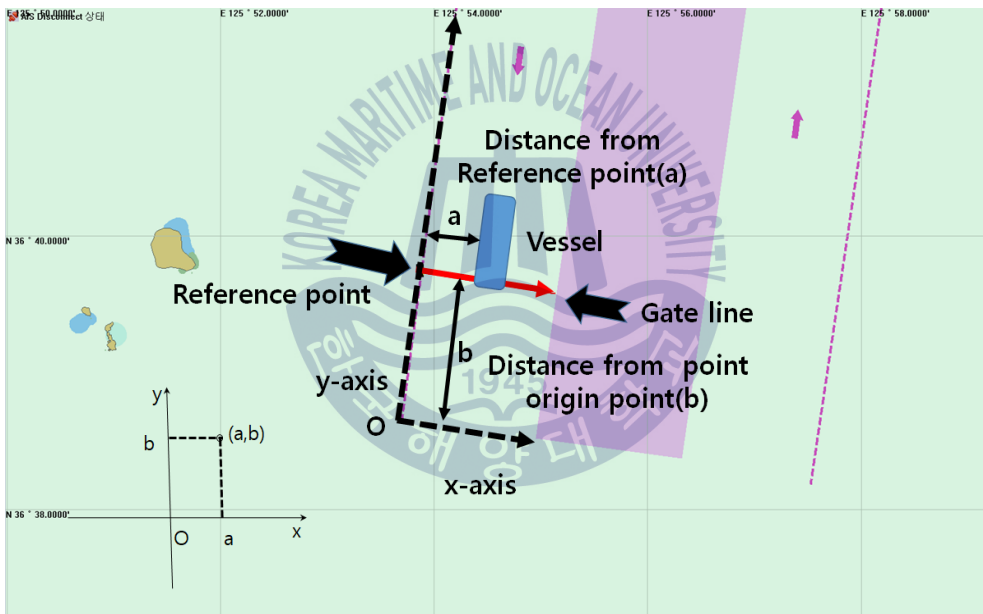


Fig. 42 Concept of plane coordinates analysis on route

이 때 Fig. 42와 같이 원점 O 를 수평축과 나란한 방향으로 a 만큼 또 수직축과 나란한 방향으로 b 만큼 이동한 위치에 있는 점을 한 쌍의 수 (a, b)로 나타낸 것을 직교좌표라 하고, 이런 방법으로 평면의 점을 표현하는 것을 평면 직교좌표계라 한다.

이러한 평면 직교좌표를 항로에 적용하기 위하여 항로의 폭 방향을 x축, 항로의 길이 방향을 y축이라고 하면 특정 y축 상에 한 점에서 x축의 방향으로 선

을 그으면 하나의 목표선이 된다. 이렇게 설정된 목표선 상에 x축 방향으로 지나가는 선박의 좌표를 표현하면 하나의 평면 직교좌표로 표현할 수 있다. 즉, 항로 길이 방향에 특정한 지점 혹은 선을 정하고 그 지점 혹은 선을 통과할 때의 기준점으로부터의 근접 거리 등을 구하여 평가하는 방법이라 할 수 있다. 이는 선행연구에서 언급하는 목표선 분석방법과 그 맥락을 같이한다 할 수 있다.

가령 Fig. 42와 같이 항로가 설정되어 있는 곳에서 특정한 목표선을 선정하고 선박이 목표선을 통과할 때 목표선의 기준점과의 거리를 측정한다. 특정기간동안 목표선을 통과하는 선박의 목표선의 기준점과의 거리를 모두 구한 후 해당 거리를 적당한 분포형을 적용하여 항로의 이탈 확률을 통계적으로 처리하는 방법인 것이다.

선행연구에서는 목표선을 주로 항로의 폭이 가장 좁은 부분 즉, 병목현상이 발생하는 부분이나 항로상의 장애물이 있는 부분에 정하고, 그 목표선 상의 선박 통항분포를 구하거나 구하여진 분포를 이용하여 선박의 위험성을 평가하였다.

이러한 평면좌표기반의 분석은 데이터의 처리가 쉽고, 분석 작업이 편리한 장점이 있지만 목표선을 잘못 정하는 경우 평가가 잘못될 수도 있고, 하나의 목표선이 해당 구역 전체를 대표한다고 보기 곤란하다는 단점이 있다. 특히, 정태권과 이동섭(2007)의 선행연구에서 평면좌표기반의 분석이 복합 항적도 분석을 제대로 하지 못하여 목표점을 잘못 정하면 침범확률 혹은 충돌확률이 낮게 나타날 수 있다고 하였다.

하지만 목표선에 한정한다면 목표선의 위치에서 선박의 위험지점 혹은 위험물과의 충돌확률이나 항로이탈확률을 구하고, 그 결과를 파악하는데 용이한 점이 있어 널리 쓰인다.

3.2 최적 확률분포를 이용한 항행패턴 분석

3.2.1 확률분포의 이해

해상교통의 항행패턴을 분석하기 위하여 가장 많이 사용하는 방법으로는 항로상의 최적 확률분포의 형태를 파악하는 방법이 있다. 확률분포는 확률변수의 분포를 함수로 나타낸 것으로서 연속확률변수 x 에 대하여 식 (1)이 성립된다.

$$f(x) > 0, \int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1 \quad (1)$$

이때 $f(x)$ 는 연속확률변수 x 의 확률분포라고 한다.

우선 본 연구에서는 해상교통의 항행패턴을 분석하기 위하여 가장 많이 사용하는 단일 확률분포를 사용하였다. 본 연구에서 적용한 단일 확률 분포는 다음과 같다(Mathwave, 2017a).

1) 경계분포(Bounded Distribution)

Fig. 43과 같이 연속확률분포의 구간이 $[a, b]$ 로 한정되는 함수를 경계분포(Bounded Distribution)라고 한다. 본 연구에서 사용한 경계분포는 베타분포(Beta Distribution) 존슨에스비분포(Johnson SB Distribution), 균일분포(Uniform Distribution), 퍼트분포(Pert Distribution), 검출력함수분포(Power Function Distribution) 등이다.

2) 비경계 함수(Unbounded Distribution)

Fig. 44와 같이 연속확률분포의 구간이 $[-\infty, +\infty]$ 인 함수를 비경계분포(Unbounded Distribution)라고 한다. 본 연구에 사용된 비경계함수는 코쉬분포(Cauchy Distribution), 오차분포(Error Distribution), 겐벨최소분포(Gumbell Min. Distribution), 존슨에스유분포(Johnson SU Distribution), 라플라스분포(Laplace Distribution), 로지스틱분포(Logistic Distribution), 정상분포(Normal Distribution), 쌍곡선시컨트분포(Hyperbolic Secant Distribution) 등이다.

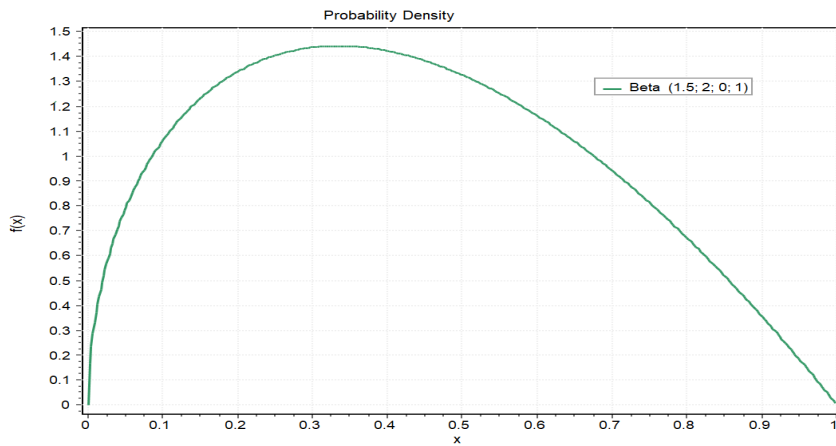


Fig. 43 Example of bounded distribution(Beta distribution)

출처 : StatAssist

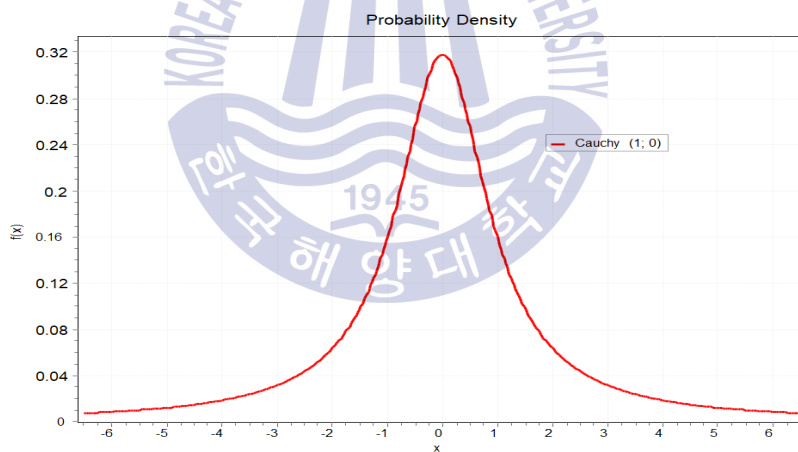


Fig. 44 Example of unbounded distribution(Cauchy distribution)

출처 : StatAssist

3) 비음수 함수(Non negative Distribution)

Fig. 45는 대표적인 비음수함수의 형태이다. 대부분의 비음수 함수는 $x \geq \gamma$, $x - \gamma \geq 0$ 로 정의할 수 있고, γ 는 연속 위치 매개변수이다.

비음수 함수는 위치 매개변수 γ 를 고정값 0으로 설정하면 단순화시킬 수 있고, 이렇게 단순화된 분포는 많은 응용프로그램에서 자주 사용된다. 그러나 경우에 따라서 위치 매개변수를 0이 아닌 값으로 하면 더 유효한 모델을 개발할 수 있다. 예를 들어 2개의 매개변수와 3개의 매개변수를 가지는 와이블 분포는 실제로 널리 사용된다. 따라서 대부분은 비음수 함수는 모든 매개변수를 활용하는 형태와 γ 를 0으로 놓은 단순화된 형태, 즉 두 가지 형태를 가지고 있다. 본 연구에서 사용한 비음수 함수는 버분포(Burr Distribution), 다금분포(Dagum Distribution), 일랑분포(Erlang Distribution), 피로수명분포(Fatigue Life Distribution), 프레셰분포(Frechet Distribution), 감마분포(Gamma Distribution), 일반화감마분포(Generalized Gamma Distribution), 역가우시안분포(Inverse Gaussian Distribution), 로그감마분포(Log-gamma Distribution), 로그로지스틱분포(Log-logistic Distribution), 로그정규분포(Log-normal Distribution), 와이블분포(Weibull Distribution) 피어슨-V 분포(Pearson-5 Distribution), 피어슨-VI 분포(Pearson-6 Distribution) 등이며, 매개변수를 모두 활용하는 형태로 분석하였다.

4) 고급분포(Advanced Distribution)

Fig. 46과 같이 연속분포분류 정의 범주에 속하지 않는 일부 함수가 있을 수 있다. 이러한 함수는 훨씬 더 유효한 모델일 수 있으며, 이러한 분포를 고급분포(Advanced Distribution)라고 한다. 본 연구에서 사용한 대표적인 고급 분포로는 일반화극치분포(Generalized Extreme Value Distribution), 일반화로지스틱분포(Generalized Logistic Distribution), 일반화파레토분포(Generalized Pareto Distribution), 로그피어슨-III 분포(Log-perason 3 Distribution), 웨이크비분포(Wakeby Distribution) 등이다.

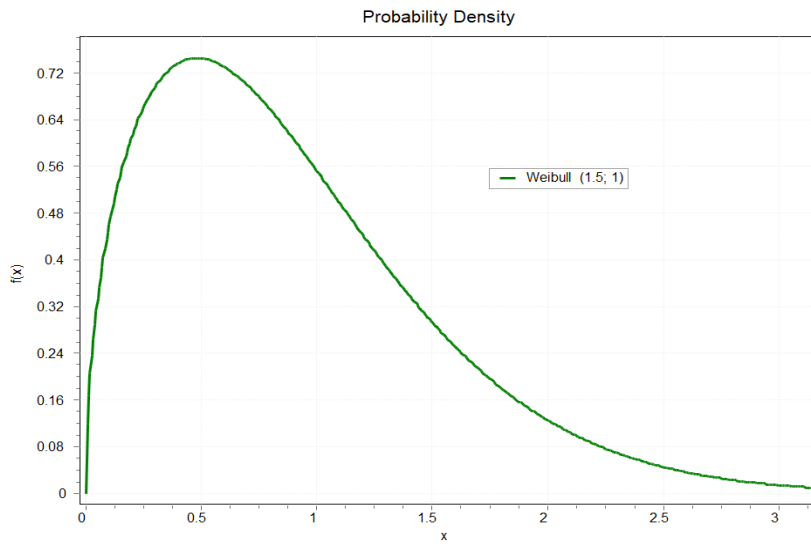


Fig. 45 Example of non-negative distribution(Weibull distribution)

출처 : StatAssist

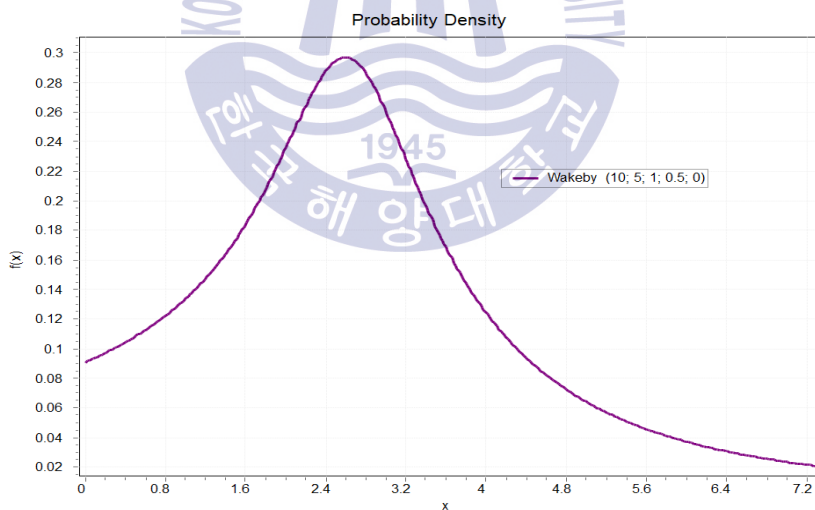


Fig. 46 Example of advanced distribution(Wakeby distribution)

출처 : StatAssist

Table 14는 본 연구에서 적용한 단일 확률분포의 확률밀도함수를 나타낸 것이다(Mathwave, 2017b).

Table 14 Single probability distribution adopting this study

Type of single probability distribution	Probability density function
Beta	$f(x) = \frac{1}{B(\alpha_1, \alpha_2)} \frac{(x-a)^{\alpha_1-1} (b-x)^{\alpha_2-1}}{(b-a)^{\alpha_1+\alpha_2-1}}$
Burr	$f(x) = \frac{\alpha k \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1}}{\beta \left(1 + \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right)^{k+1}}$
Cauchy	$f(x) = \left(\pi \sigma \left(1 + \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right)\right)^{-1}$
Dagum	$f(x) = \frac{\alpha k \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha k-1}}{\beta \left(1 + \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right)^{k+1}}$
Erlang	$f(x) = \frac{(x-\gamma)^{m-1}}{\beta^m \Gamma(m)} \exp(-(x-\gamma)/\beta)$
Error	$f(x) = c_1 \sigma^{-1} \exp(- c_0 z ^k)$
Fatigue Life	$f(x) = \frac{\sqrt{(x-\gamma)/\beta} + \sqrt{\beta/(x-\gamma)}}{2\alpha(x-\gamma)} \cdot \varnothing \left(\frac{1}{\alpha} \left(\sqrt{\frac{x-\gamma}{\beta}} - \sqrt{\frac{\beta}{x-\gamma}} \right) \right)$
Frechet	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{\beta}{x-\gamma}\right)^{\alpha+1} \exp\left(-\left(\frac{\beta}{x-\gamma}\right)^\alpha\right)$
Gamma	$f(x) = \frac{(x-\gamma)^{\alpha-1}}{\beta \Gamma(\alpha)} \exp(-(x-\gamma)/\beta)$

Gen. Extreme value	$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \exp(-(1+kz)^{-1/k})(1+kz)^{-1-1/k} & k \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} \exp(-z - \exp(-z)) & k = 0 \end{cases}$
Gen. Gamma	$f(x) = \frac{k(x-\gamma)^{k\alpha-1}}{\beta^{k\alpha} \Gamma(\alpha)} \exp(-((x-\gamma)/\beta)^k)$
Gen. Logistic	$f(x) = \begin{cases} \frac{(1+kz)^{-1-1/k}}{\sigma(1+(1+kz)^{-1/k})^2} & k \neq 0 \\ \frac{\exp(-z)}{\sigma(1+\exp(-z))^2} & k = 0 \end{cases}$
Gen. pareto	$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} (1+k \frac{(x-\mu)^{-1-1/k}}{\sigma}) & k \neq 0 \\ \frac{1}{\sigma} \exp(-\frac{(x-\mu)}{\sigma}) & k = 0 \end{cases}$
Gumbell Min	$f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp(z - \exp(z))$
Hypersecant	$f(x) = \frac{\operatorname{sech}(\frac{\pi(x-\mu)}{2\sigma})}{2\sigma}$
Inv. Gaussian	$f(x) = \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi(x-\gamma)^3}} \exp(-\frac{\lambda(x-\gamma-\mu)^2}{2\mu^2(x-\gamma)})$
Johnson SB	$f(x) = \frac{\delta}{\lambda \sqrt{2\pi} z(1-z)} \exp(-\frac{1}{2}(\gamma + \delta \ln(\frac{z}{1-z}))^2)$
Johnson SU	$f(x) = \frac{\delta}{\lambda \sqrt{2\pi} \sqrt{z^2+1}} \exp(-\frac{1}{2}(\gamma + \delta \ln(z + \sqrt{z^2+1}))^2)$
Laplace	$f(x) = \frac{\lambda}{2} \exp(-\lambda x-\mu)$
Log Gamma	$f(x) = \frac{(\ln(x))^{\alpha-1}}{x\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp(-\ln(x)/\beta)$

Log Logistic	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} \left(1 + \left(\frac{x-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha} \right)^{-2}$
Log normal	$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x-\gamma) - \mu}{\sigma} \right)^2\right)}{(x-\gamma)\sigma\sqrt{2\pi}}$
Log-pearson3	$f(x) = \frac{1}{x \beta \Gamma(\alpha)} \left(\frac{\ln(x) - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{\ln(x) - \gamma}{\beta}\right)$
Logistic	$f(x) = \frac{\exp(-z)}{\sigma(1 + \exp(-z))^2}$
Normal	$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2\right)}{\sigma\sqrt{2\pi}}$
Pearson5	$f(x) = \frac{\exp(-\beta/(x-\gamma))}{\beta\Gamma(\alpha) ((x-\gamma)/\beta)^{\alpha+1}}$
Pearson6	$f(x) = \frac{((x-\gamma)/\beta)^{\alpha_1-1}}{\beta(B(\alpha_1, \alpha_2)(1 + (x-\gamma)/\beta)^{\alpha_1+\alpha_2})}$
Pert	$f(x) = \frac{1}{B(\alpha_1, \alpha_2)} \frac{(x-a)^{\alpha_1-1} (b-x)^{\alpha_2-1}}{(b-a)^{\alpha_1+\alpha_2-1}}$
Power Function	$f(x) = \frac{\alpha(x-a)^{\alpha-1}}{(b-a)^{\alpha}}$
Uniform	$f(x) = \frac{x-a}{b-a}$
Wakeby	$x(F) = \zeta + \frac{\alpha}{\beta} (1 - (1-F)^{\beta}) - \frac{\gamma}{\delta} (1 - (1-F)^{-\delta})$
Weibull	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}\right)$

3.2.2 확률분포의 적합성 검정 방법

앞서 살펴본 확률분포 중 항로에서의 항행패턴을 가장 잘 나타낼 확률분포가 어느 것인지를 결정하기 위하여 확률분포의 적합성 검정(Goodness of Fit)을 시행하였다. 적합성 검정에는 일반적으로 카이제곱(Chi squared, 이하 χ^2)검정, 콜모고로프 스미노프(Kolmogorov Smirnov, 이하 KS)검정, 앤더슨 달링(Anderson Darling, 이하 AD)검정이 있다.

1) χ^2 검정

χ^2 검정은 식 (2)와 같이 데이터의 크기에 따라 k개의 계급으로 나누고, 관측값과 기댓값의 절대도수를 비교하는 방법이다(Wikipedia, 2018a).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(x_i - m_i)^2}{m_i} = \sum_{i=1}^k \frac{x_i^2}{m_i} - n \quad (2)$$

여기서,

k : 계급의 도수

x_i : i 번째 구간의 관측값

m_i : i 번째 구간에서의 가정한 누적분포함수

n : 표본 데이터의 수

χ^2 검정은 관측값이 기댓값에서 얼마나 멀리 떨어져 있는가를 알아보는 검정으로 기댓값에서 떨어진 정도는 (관측값-기댓값)으로 구할 수 있고, 이것을 제곱하면 (관측값-기댓값)²이 된다. 따라서 χ^2 값이 작을수록 가정한 확률분포가 데이터를 보다 잘 적합하였다는 것을 의미한다.

반면에 χ^2 검정은 각 구간에 대한 기댓값이 5이상 되어야 하며, 5보다 작으면 인접한 주위의 구간들을 합하여서 계산되므로 χ^2 검정은 표본으로부터 얻을 수 있는 정보를 상실시키는 단점이 있다.

2) KS 검정

KS test는 두 모집단이 서로 동일한 분포를 가지는지를 알아보기 위한 검정으로서 1933년 Kolmogorov에 의하여 제안되었고, 1939년 Smirnov에 의해 발전된 검정방법이다. KS 검정은 가정한 확률분포의 누적분포함수와 표본 데이터의 경험적 누적분포함수를 비교하여 검정한다. KS 검정은 변수의 모든 범위에 걸쳐서 누적분포함수와 가정한 확률분포의 누적분포함수 사이의 절대값 차이가 가장 큰 거리를 찾으며, 이는 식 (3)과 같다(Wikipedia, 2018b).

$$D_n = \max_{all x} |F_n(x) - F(x)| \quad (3)$$

여기서,

D_n : KS 값

F_n : 경험적 누적분포함수

F : 가정한 확률분포의 누적분포함수

D_n 이 유의수준 α 로 가정한 KS 임계치보다 크면 유의수준 α 에서 기각된다.

KS 검정은 χ^2 검정과 달리 원래의 빈도수를 그대로 사용할 수 있어 χ^2 검정의 단점을 보완한 것으로 표본크기에 의존하지 않는다는 장점이 있지만, 꼬리 부분보다는 관찰치가 많은 분포의 중앙 근처의 차이에 민감하다는 단점이 있다.

KS 검정은 경험적 누적분포함수와 가정한 분포의 누적분포함수 사이의 절대값 차이가 가장 큰 거리를 찾는 것으로 이 값이 작을수록 가정한 확률분포가 데이터에 잘 적합한다는 것을 의미한다.

3) AD 검정

AD 검정은 KS 검정과 동일하게 거리 검정법을 사용하며 식 (4)와 같다 (Wikipedia, 2018c).

$$S_n = \sum_{i=1}^n \frac{2i-1}{n} [\ln(F(x_i)) + \ln(1 - F(x_{n+1-i}))] \quad (4)$$

여기서,

S_n : AD 값

AD 검정에서는 S의 값이 작을수록 가정한 확률분포가 보다 더 잘 적합한 것을 의미한다. 이렇게 계산된 S가 유의수준 α 로 가정한 AD 임계치보다 크면 기각되는데, 이는 가정한 확률분포가 실제 데이터에 적합하지 않다는 것을 의미한다. AD 검정은 꼬리부분에 가중치를 더 부여함으로써 KS 검정이 가지고 있는 단점인 꼬리 부분 해석의 한계를 보완한 것이다.

따라서 본 연구에서는 χ^2 검정과 KS 검정의 한계를 보완한 AD 검정을 이용하여 항로에서의 최적 항행분포를 구하였다.

3.2.3. 대상항로의 최적 확률분포 분석

대상항로의 최적 확률분포 분석은 평면좌표를 이용하여 분석하였다. 항로의 10개의 목표선을 각각 분석하거나 10개의 목표선의 합계를 이용하여 항로의 각 구역과 합계 구역을 분석하였다.

최적 확률분포는 Mathwave사의 EasyFit 프로그램 Version 5.6 Professional을 사용하였으며, 검정에 사용된 32개의 확률분포에 적합시키기 위하여 각각의 목표선과 10개의 목표선의 합계 항행분포 정보를 20개의 히스토그램을 그려 평가하였으며, 분석 결과 적합성을 순위로 표시하였다. 표시된 순위 중 상위 3개의 분포를 분석하였다.

1) 각 목표선에서의 최적 확률분포 분석

3개의 대상항로의 입항 및 출항 및 소형선, 중형선, 대형선을 구분하여 10개의 목표선에서의 각각의 최적 확률분포를 분석하였다.

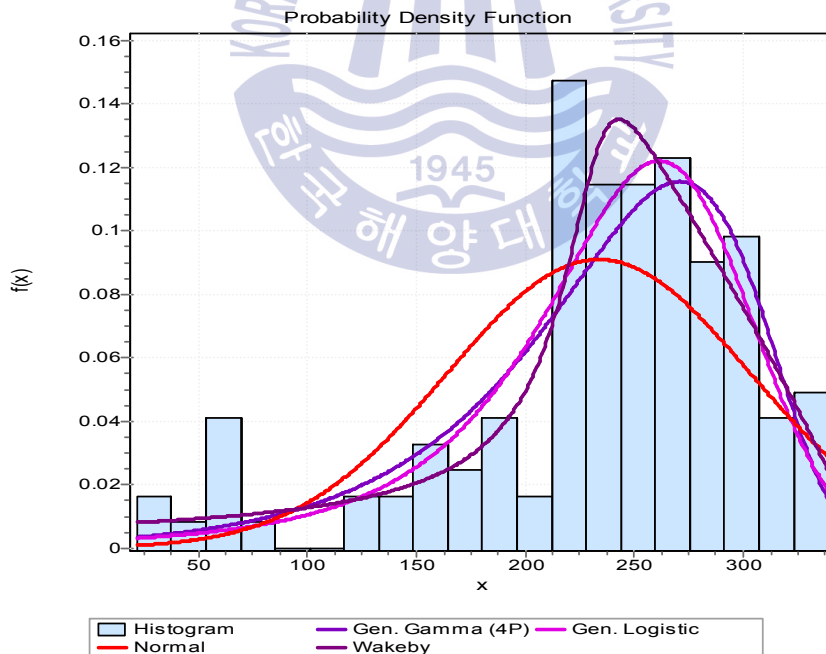


Table 15 Goodness of fit result of 3rd gate line for inbound of small vessel at Busan north port No.1 route

Distributions	S_n	Ranking
Wakeby	0.17835	1
Gen. Logistic	0.35576	2
Gen. Gamma	0.53531	3
Weibull	0.85872	4
Gumbell Min	0.68729	5
Dagum	1.6706	6
Cauchy	1.9458	7
Log-Logistic	1.9730	8
Beta	2.8456	9
Hypersecant	2.9361	10
Error	2.9804	11
Logistic	3.0152	12
Laplace	3.1932	13
Fatigue Life	3.5783	14
Pert	3.5904	15
Normal	3.5910	16
Inv. Gaussian	3.6034	17
Burr	3.7517	18
Log normal	3.8129	19
Power Function	3.8420	20
Erlang	4.4712	21
Gamma	4.6690	22
Pearson 6	5.5566	23
Log Gamma	13.222	24
Johnson SB	13.462	25
Pearson 5	16.914	26
Gen. Extreme value	19.851	27
Frechet	20.518	28
Log-pearson3	36.020	29
Uniform	37.611	30
Gen. pareto	49.069	31
Johnson SU	No fit	32

Fig. 47은 부산 북항 제1항로의 3변 목표선상 소형선의 입항 시 적합성을 분석한 그래프이며, Table 15는 동일 목표선에서 본 연구 적용대상 분포함수인 32개 분포함수의 순위를 분석한 표이다. Table 15와 같이 부산 북항 제1항로의 3변 목표선상 소형선의 입항 시 적합성은 Wakeby 분포함수가 가장 높은 적합도를 보였으며, Gen. Logistic, Gen. Gamma 분포함수 순으로 분석되었다.

Table 16에서 Table 21은 상기와 동일한 방법으로 3개의 대상항로에서의 소형선, 중형선, 대형선의 입항 및 출항 10개의 목표선상의 최적 분포분석을 시행한 결과 상위 3개의 분포를 나타낸 표이다.

부산 북항 제1항로는 Table 16에서 보는 바와 같이 입항에서 소형선은 Wakeby함수가, 중형선은 Gen. logistic 함수가, 대형선은 Johnson SB 함수가 최적 분포함수로 분석되었으며, Table 17에서 보는 바와 같이 출항에서는 소형선은 Burr와 Log logistic 함수가, 중형선과 대형선에서는 Wakeby함수가 최적 분포함수로 분석되었다.

부산 신항 가덕수도 입구항로는 Table 18에서 보는 바와 같이 입항에서 소형선은 Dagum, Error 및 Johnson SB 함수가, 중형선은 Gen. Extreme value 함수가, 대형선은 Wakeby 함수가 최적 분포함수로 분석되었으며, Table 19에서 보는 바와 같이 출항에서는 소형선은 Gen. Extreme value, Gen. Gamma, Johnson SB, Pert 및 Wakeby 함수가, 중형선과 대형선에서는 Wakeby함수가 최적 분포함수로 분석되었다.

웅도항로는 Table 20에서 보는 바와 같이 입항에서 소형선은 Gumbell Min과 Johnson SB 함수가, 중형선은 Gen. Extreme value 함수가, 대형선은 Wakeby 함수가 최적 분포함수로 분석되었으며, Table 21에서 보는 바와 같이 출항에서 소형선은 Gen. Extreme value, Johnson SB 및 Log pearson 3 함수가, 중형선은 Gen. Extreme value와 Johnson SB 함수가, 대형선에서는 Extreme value함수가 최적 분포함수로 분석되었다.

Table 16 Goodness of fit result for inbound at Busan north port No.1 route

	Vessel size	Ranking	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
In-bound	Small	1st	Johnson SB	Pert	Wakeby	Wakeby	Wakeby	Gen. Logistic	Wakeby	Wakeby	Wakeby	Dagum
		2nd	Wakeby	Gen. Extreme Value	Gen. Logistic	Gen. Logistic	Gen. Logistic	Weibull	Gen. Logistic	Gen. Logistic	Gen. Extreme Value	Weibull
		3rd	Dagum	Gumbell Min	Gen. Gamma	Gen. Gamma	Gen. Gamma	Gumbell Min	Gumbell Min	Weibull	Pert	Burr
	Medium	1st	Gen. Extreme Value	Gen. Logistic	Gen. Logistic	Wakeby	Wakeby	Gen. Logistic	Gen. Logistic	Laplace	Error	Wakeby
		2nd	Dagum	Johnson SU	Cauchy	Gen. Logistic	Error	Dagum	Johnson SU	Error	Normal	Cauchy
		3rd	Johnson SB	Weibull	Gumbell Min	Gen. Gamma	Hyper secant	Johnson SB	Weibull	Log logistic	Burr	Gen. Logistic
	Large	1st	N/A	Cauchy	Johnson SB	Wakeby	Wakeby	Johnson SB	Gen. Logistic	Johnson SB	N/A	N/A
		2nd	N/A	Johnson SB	Gen. Extreme Value	Gen. Logistic	Gen. pareto	Error	Johnson SU	Log Pearson3	N/A	N/A
		3rd	N/A	Gumbell Min	Wakeby	Hyper secant	Error	Uniform	Error	Gen. Logistic	N/A	N/A

Table 17 Goodness of fit result for outbound at Busan north port No.1 route

	Vessel size	Ranking	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Out-bound	Small	1st	Burr	Log normal	Dagum	Log logistic	Wakeby	Gen. Logistic	Burr	Dagum	Log Pearson3	Wakeby
		2nd	Fatigue Life	Log logistic	Burr	Log normal	Pearson 5	Log logistic	Gen. Logistic	Log logistic	Weibull	Johnson SB
		3rd	Gamma	Inv. Gaussian	Dagum	Dagum	Frechet	Burr	Log logistic	Burr	Power Function	Beta
	Medium	1st	Wakeby	Wakeby	Gamma	Dagum	Wakeby	Burr	Wakeby	Wakeby	Burr	Johnson SB
		2nd	Weibull	Burr	Gen. Gamma	Gen. Extreme Value	Dagum	Log logistic	Gen. Logistic	Burr	Log logistic	Weibull
		3rd	Johnson SB	Gen. Extreme Value	Fatigue Life	Pearson 5	Gen. Extreme Value	Burr	Pearson 5	Dagum	Gen. logistic	Gamma
	Large	1st	Wakeby	Laplace	Johnson SB	Gen. Logistic	Wakeby	Wakeby	Error	Log Pearson3	Johnson SB	Error
		2nd	Gamma	Cauchy	Gen. Extreme Value	Johnson SU	Cauchy	Log Logistic	Uniform	Frechet	Log Pearson3	Uniform
		3rd	Log Pearson3	Wakeby	Log Gamma	Error	Burr	Frechet	Gen. Parento	Pearson 5	Log Gamma	Gen. Extreme Value

Table 18 Goodness of fit result for inbound at *Gadeok-sudo*

	Vessel size	Ranking	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
In-bound	Small	1st	Johnson SB	Error	Wakeby	Wakeby	Error	Dagum	Error	Johnson SB	Gen. Gamma	Gen. Extreme Value
		2nd	Wakeby	Johnson SB	Gen. Pareto	Johnson SB	Gen. Gamma	Log Pearson3	Gen. Gamma	Error	Dagum	Wakeby
		3rd	Log Pearson3	Dagum	Dagum	Error	Power Function	Weibull	Johnson SB	Dagum	Power Function	Log Pearson3
	Medium	1st	Johnson SB	Gen. Gamma	Gen. Gamma	Error	Johnson SB	Wakeby	Johnson SB	Error	Gen. Extreme Value	Johnson SB
		2nd	Wakeby	Log Pearson3	Weibull	Johnson SB	Wakeby	Gen. Extreme Value	Gen. Extreme Value	Johnson SB	Error	Gen. Extreme Value
		3rd	Gen. Extreme Value	Weibull	Log Pearson3	Wakeby	Gen. Gamma	Gamma	Error	Gen. Gamma	Weibull	Gen. Pareto
	Large	1st	Wakeby	Wakeby	Wakeby	Laplace	Wakeby	Wakeby	Wakeby	Erlang	Wakeby	Wakeby
		2nd	Gen. Logistic	Laplace	Laplace	Wakeby	Cauchy	Gen. Logistic	Johnson SB	Gamma	Gen. Logistic	Gen. Extreme Value
		3rd	Logistic	Error	Hyper secant	Hyper secant	Laplace	Johnson SU	Gen. Extreme Value	Weibull	Cauchy	Johnson SB

Table 19 Goodness of fit result for outbound at *Gadeok-sudo*

	Vessel size	Ranking	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Out-bound	Small	1st	Gen. Extreme Value	Dagum	Gen. Gamma	Gen. Extreme Value	Pert	Wakeby	Wakeby	Pert	Wakeby	Johnson SB
		2nd	Error	Gen. Gamma	Johnson SB	Johnson SB	Gen. Extreme Value	Gen. Gamma	Gen. Gamma	Gen. Extreme Value	Gen. Pareto	Wakeby
		3rd	Pert	Johnson SB	Weibull	Gumbell Min	Beta	Pert	Gen. Logistic	Weibull	Log Pearson3	Gen. Pareto
	Medium	1st	Johnson SB	Johnson SB	Wakeby	Johnson SB	Johnson SB	Wakeby	Wakeby	Wakeby	Wakeby	Wakeby
		2nd	Wakeby	Gen. Pareto	Gen. Pareto	Wakeby	Wakeby	Gen. Extreme Value	Johnson SB	Gen. Logistic	Gen. Logistic	Error
		3rd	Weibull	Weibull	Weibull	Weibull	Gen. Extreme Value	Johnson SB	Gen. Extreme Value	Log-Logistic	Log-Logistic	Johnson SB
	Large	1st	Gen. Extreme Value	Wakeby	Error	Laplace	Wakeby	Wakeby	Gen. Extreme Value	Wakeby	Log Logistic	Log Pearson3
		2nd	Johnson SB	Gen. Logistic	Wakeby	Error	Gen. Logistic	Gen. Logistic	Wakeby	Log Logistic	Gen. Logistic	Johnson SB
		3rd	Wakeby	Johnson SB	Hyper secant	Hyper secant	Burr	Normal	Log Pearson3	Gen. Logistic	Gen. Extreme Value	Gen. Extreme Value

Table 20 Goodness of fit result for inbound at Ongdo route

	Vessel size	Ranking	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
In-bound	Small	1st	Cauchy	Johnson SB	Johnson SB	Johnson SB	Gen. Extreme Value	Gen. Extreme Value	Johnson SB	Johnson SB	Gen. Extreme Value	Gumbell Min
		2nd	Johnson SB	Gen. Logistic	Gen. Logistic	Gen. Logistic	Wakeby	Error	Gen. Extreme Value	Gen. Logistic	Gen. Logistic	Wakeby
		3rd	Gumbell Min	Gumbell Min	Gumbell Min	Gumbell Min	Gen. Pareto	Uniform	Gen. Pareto	Cauchy	Gumbell Min	Gen. Extreme Value
	Medium	1st	Gen. Logistic	Gen. Extreme Value	Gen. Extreme Value	Johnson SB	Johnson SU	Error	Log Pearson3	Wakeby	Error	Error
		2nd	Johnson SU	Log normal	Wakeby	Log Pearson3	Gen. Logistic	Johnson SB	Johnson SB	Gen. Extreme Value	Johnson SB	Johnson SB
		3rd	Log logistic	Gamma	Log Pearson3	Weibull	Log logistic	Gen. Extreme Value	Gen. Extreme Value	Normal	Gen. Extreme Value	Gen. Extreme Value
	Large	1st	Wakeby	Wakeby	Wakeby	Gen. Logistic	Wakeby	Gen. Extreme Value	Error	Johnson SB	Gen. Extreme Value	Hyper secant
		2nd	Gen. Extreme Value	Gen. Extreme Value	Error	Log Logistic	Laplace	Error	Uniform	Wakeby	Gen. Logistic	Logistic
		3rd	Johnson SB	Johnson SB	Johnson SB	Johnson SU	Gen. Logistic	Normal	Wakeby	Error	Johnson SB	Log Logistic

Table 21 Goodness of fit result for outbound at Ongdo route

	Vessel size	Ranking	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Out-bound	Small	1st	Wakeby	Wakeby	Johnson SB	Error	Wakeby	Error	Error	Johnson SB	Johnson SB	N/A
		2nd	Gen. Pareto	Log Gamma	Log Pearson3	Log Pearson3	Gen. Logistic	Uniform	Uniform	Log Pearson3	Log Pearson3	N/A
		3rd	Log Logistic	Gen. Extreme Value	Gen. Extreme Value	Johnson SB	Log Logistic	Gen. Extreme Value	Gen. Extreme Value	Inv. Gaussian	Log Gamma	N/A
	Medium	1st	Johnson SB	Wakeby	Wakeby	Error	Wakeby	Gamma	Gen. Gamma	Wakeby	Error	Wakeby
		2nd	Error	Johnson SB	Johnson SB	Log Pearson3	Gen. Extreme Value	Pearson 6	Normal	Gen. Extreme Value	Gen. Extreme Value	Weibull
		3rd	Gen. Extreme Value	Gen. Extreme Value	Gen. Extreme Value	Johnson SB	Pearson 5	Log normal	Gen. Extreme Value	Johnson SB	Johnson SB	Johnson SB
	Large	1st	Gen. Extreme Value	Wakeby	Frechet	Johnson SB	Cauchy	Wakeby	Gen. Extreme Value	Wakeby	Johnson SB	Johnson SB
		2nd	Log Pearson3	Gen. Extreme Value	Log Gamma	Error	Wakeby	Hyper secant	Log Logistic	Gen. Logistic	Gen. Extreme Value	Uniform
		3rd	Frechet	Log Pearson3	Error	Gen. Extreme Value	Laplace	Laplace	Log normal	Log Pearson3	Log Pearson3	Error

2) 10개의 목표선 합계의 최적 확률분포 분석

3개의 대상항로의 입항 및 출항 및 소형선, 중형선, 대형선을 구분하여 10개의 목표선의 합계를 이용하여 항로의 최적 확률분포를 분석하였다.

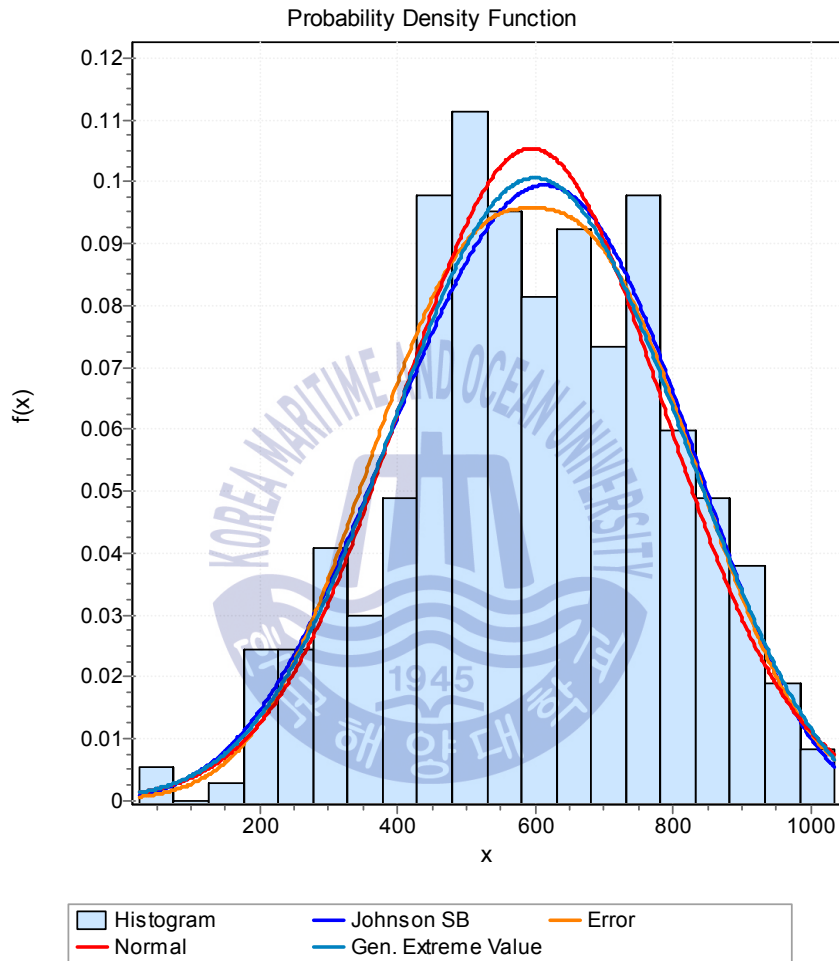


Table 22 Goodness of fit result of sum of 10 gate lines for inbound of medium vessel at *Gadeok-sudo*

Distributions	S_n	Ranking
Gen. Extreme value	0.2989	1
Johnson SB	0.32543	2
Error	0.3410	3
Weibull	0.45105	4
Burr	0.46494	5
Normal	0.51231	6
Dagum	0.99881	7
Gen. Logistic	1.2364	8
Logistic	1.7188	9
Pert	2.5149	10
Beta	2.5490	11
Gamma	3.0760	12
Hypersecant	3.1278	13
Gen. Gamma	3.3753	14
Cauchy	6.2177	15
Laplace	6.2457	16
Gumbell Min	6.3694	17
Inv. Gaussian	7.2419	18
Log normal	7.4115	19
Log-Logistic	7.6212	20
Log Gamma	8.5724	21
Pearson 6	8.9094	22
Wakeby	12.025	23
Fatigue Life	13.490	24
Erlang	16.261	25
Pearson 5	21.974	26
Frechet	28.220	27
Power Function	28.594	28
Gen. pareto	70.720	29
Uniform	80.181	30
Log-pearson3	187.08	31
Johnson SU	No fit	32

Fig. 48은 부산 신항 가덕수도 입구항로에 대한 중형선의 입항 시 적합성을 분석한 그래프이며, Table 22는 부산 신항 가덕수도 입구항로의 중형선의 입항 시 적합성을 본 연구 적용대상 분포함수인 32개 분포함수의 순위를 분석한 표이다. Table 22와 같이 부산 신항 가덕수도 입구항로의 중형선의 입항 시 적합성은 Gen. Extreme Value 분포함수가 가장 높은 적합도를 보였으며, Johnson SB, Error 분포함수 순이었다.

Table 23은 상기와 동일한 방법으로 3개의 대상항로에서의 소형선, 중형선, 대형선의 입항 및 출항 공간좌표의 최적 분포분석을 시행한 결과 상위 3개의 분포를 나타낸 표이다.

부산 북항 제1항로는 Table 23에서 보는 바와 같이 입항에서 소형선은 Log logistic 함수가, 중형선은 Wakeby 함수가, 대형선은 Johnson SB 함수가 최적 분포함수로 분석되었으며, 출항에서 소형선은 Log normal 함수가, 중형선은 Gen. logistic 함수가, 대형선에서는 Burr 함수가 최적 분포함수로 분석되었다.

부산 신항 가덕수도 입구항로는 Table 23에서 보는 바와 같이 입항에서 소형선은 Johnson SB 함수가, 중형선은 Gen. Extreme value 함수가, 대형선은 Gen. logistic 함수가 최적 분포함수로 분석되었으며, 출항에서 소형선은 Dagum 함수가, 중형선은 Johnson SB 함수가, 대형선에서는 Log logistic 함수가 최적 분포함수로 분석되었다.

용도항로는 Table 23에서 보는 바와 같이 입항에서 소형선은 Gumbel Min 함수가, 중형선은 Gen. Extreme value 함수가, 대형선은 Johnson SU 함수가 최적 분포함수로 분석되었으며, 출항에서 소형선은 Wakeby 함수가, 중형선은 Gen. Extreme value 함수가, 대형선에서는 Pearson 5 함수가 최적 분포함수로 분석되었다.

Table 23 Goodness of fit result of sum of 10 gate lines

Route		Ranking	Small vessel	Medium vessel	Large vessel
In-bound	Busan north port No.1	1st	Log logistic	Wakeby	Johnson SB
		2nd	Frechet	Log logistic	Gen. Extreme value
		3rd	Pearson 6	Gen. logistic	Gen. Gamma
	<i>Gadeok-sudo</i>	1st	Johnson SB	Gen. Extreme value	Gen. logistic
		2nd	Beta	Johnson SB	Log logistic
		3rd	Error	Error	Johnson SU
	Ongdo	1st	Gumbel Min	Gen. Extreme value	Johnson SU
		2nd	Weibull	Johnson SU	Gen. logistic
		3rd	Gen. Gamma	Normal	Weibull
	Out-bound	Busan north port No.1	1st	Log normal	Gen. logistic
2nd			Burr	Log logistic	Log logistic
3rd			Inv. Gaussian	Burr	Dagum
<i>Gadeok-sudo</i>		1st	Dagum	Johnson SB	Log logistic
		2nd	Johnson SB	Gen. Gamma	Gen. logistic
		3rd	Gen. Gamma	Weibull	Burr
Ongdo		1st	Wakeby	Gen. Extreme value	Pearson 5
		2nd	Gen. Extreme value	Error	Gen. Extreme value
		3rd	Fatigue Life	Johnson SB	Gamma

3.3 정규분포-침도-왜도 분석

3.3.1 정규분포 평가

선박이 항로를 통항할 경우, 일반적으로 항로 단면에서의 선박 항행 궤적의 분포는 Fig. 49와 같이 정규분포를 이루는 것으로 알려져 있다. 이는 선박 운항자가 항로의 중앙을 따라 운항하려는 경향이 강하므로, 항로의 중앙에 집중되는 정규분포에 근사하게 된다는 이론 때문이다(Franz, 1981).

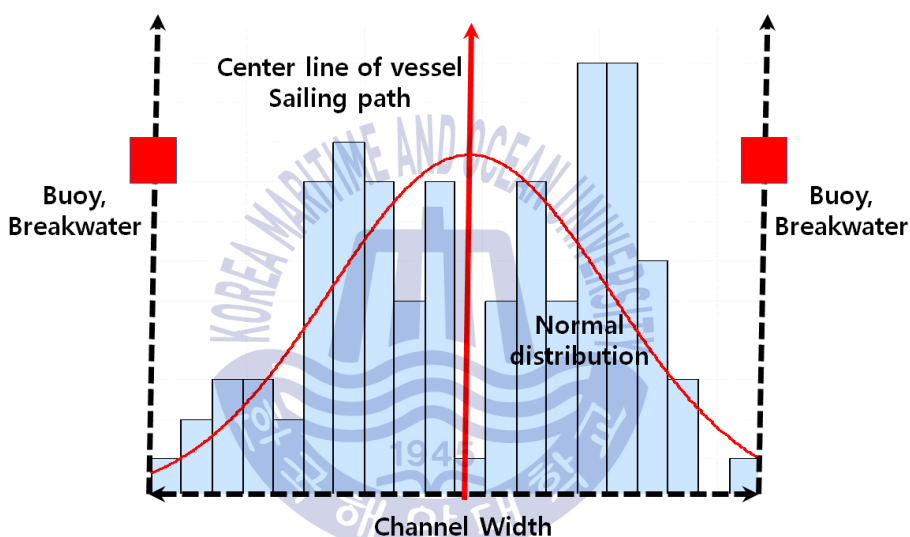


Fig. 49 Vessel sailing path with normal distribution

또한 상기의 경험학적 이론적 근거에 추가하여 통계적 이론도 존재한다(Franz, 1981). 예를 들어 선박이 항로를 따라 항행하는 경우, 두 개의 샘플링 구간인 t_1 과 t_2 를 지나갈 경우, t_1 에서의 선박의 위치와 t_2 에서의 선박의 위치는 통계학적으로 독립적이다. 이는 마치 바구니에 담겨 있는 여러 색깔의 공에서 2개의 같은 색 공을 취할 확률과 같은 것이다.

즉, 이러한 이항분포 ${}_nC_k p^k q^{n-k}$ (p 는 바라는 사건이 일어날 확률, $q = 1 - p$)에 따르는 확률변수를 X 라 하면 식 (5)가 성립된다.

$$X^* = \frac{X - \bar{X}}{\sqrt{\sigma}} \quad (5)$$

여기서,

$\bar{X}$: X의 평균

σ : X의 표준편차

식 (5)의 분포는 $n \rightarrow \infty$ 일 때 표준정규분포에 가까워진다.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_r(a \leq X^* \leq b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

이러한 이론을 중심극한정리(Central limit theorem)라고 한다. 이 이론은 “모집단의 실제 분포에 관계없이 표본 크기인 n 이 증가할수록 표본평균의 분포는 정규분포에 근사한다.”는 것을 말해주고 있다. 즉, 충분한 수의 통항이 이루어진다면 정규분포를 따른다고 보아도 무방하다는 것이며, 일반적으로 30회 이상인 경우 정규분포를 따른다고 알려져 있다(장석호, 2018). 이러한 경험학적, 통계학적 이론의 근거를 토대로 국내에서도 항행 선박의 항로 이탈 확률, 해상교량 교각과의 충돌확률 평가 등에 정규분포로 가정하여 분석하여 왔다. 특히, 최적 확률분포가 특정분포로 한정되지 않는 상황에서 정규분포를 적용할 것인가에 대한 부분은 추가 연구가 필요한 실정이다.

관측값들이 정규분포를 따르는 모집단에서 취하여 졌는지를 검정하는 것을 정규성 검정이라 하지만, 본 논문에서는 ND 평가라고 정의하였다. ND 평가는 선박의 통항분포를 분석하기 위한 평가로서 다양한 평가방법이 있으나, 본 연구에서는 KS 검정에 비해 더 강력한 Shapiro-Wilk (이하 SW)검정을 시행하였다(Stephens, 1974).

SW test는 1965년 Shapiro와 Wilk에 의해 제안된 정규성 검정방법으로 정규분포로 추출된 표본 $x_1, \dots, x_n$ 이 귀무가설을 따르는지를 점검하며, 검정 통계는 식 (6)과 같다(Wikipedia, 2018d).

$$SW_n = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

여기서,

SW_n : SW 값

$x_{(i)}$: i번째 차수 통계치, 예를 들면 표본에서 i번째 최솟값

$\bar{x}$: 표본의 평균

$$a_i : (a_1, \dots, a_n) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}}$$

여기서, $m = (m_1, \dots, m_n)^T$ 을 의미하고, $m_1, \dots, m_n$ 은 표준 정규분포로부터 추출된 확률변수의 순서 통계의 기댓값을 V 는 순서 통계의 공분산 행렬이다.

SW test의 귀무가설은 모집단이 정규분포를 따른다는 것이다.

n 과 SW_n 의 결과에 따라 p -value가 선정되고, 선정된 p -value가 α 값의 수준보다 작으면 기무가설은 기각되고, 정규분포를 따르지 않는다는 대립가설이 성립된다. 반면에 p -value가 선정된 α 값의 수준보다 높으면 귀무가설이 채택되어, 정규분포를 보인다고 할 수 있다.

ND 평가를 위하여 본 연구에서는 IBM사의 SPSS Statistics 프로그램 Version 22.0을 사용하였다. SPSS 프로그램은 앞서 설명한 KS test 및 SW test를 동시에 모두 지원하지만 앞서 설명한 대로 본 연구에서는 SW test를 ND 평가 방법으로 선택하였다. 본 연구에서의 p -value는 0.05를 기준으로 하였으며, 그에 따른 귀무가설과 대립가설은 다음과 같다.

귀무가설 H_0 : 표본이 정규분포를 따른다.

대립가설 H_1 : 표본이 정규분포를 따르지 않는다.

앞서 설명한 바와 같이 p -value ≥ 0.05 이면, 귀무가설이 채택되어 정규분포를 따르는 것이고, p -value < 0.05 이면, 귀무가설이 기각되고 대립가설이

채택되어 정규분포를 따르지 않는 것으로 하였다. Table 24는 *ND* Test의 한 예이다.

Table 24 Example of *ND* test result

Ship Size	Busan No.1 route inbound 1st gate line			
	SW_n	n	$p-value$	가설 성립여부
Small	.967	61	.095	H_0
Medium	.794	44	.000	H_1
Large	.976	3	.701	H_0

3.3.2 척도 평가

*ND*평가가 선박의 통항 분포에 대한 평가라면, K 와 S 평가는 선박 통항패턴에 대한 평가라고 할 수 있다.

관측값들의 산술평균 주위에 밀집된 정도를 측정하는 것을 척도라고 하고, 본 연구에서는 K 평가라고 정의하였다. K 평가를 위해서 *ND* 평가와 동일하게 SPSS 프로그램을 사용하였으며, K 평가 식은 (7)과 같다(Wikipedia, 2018e). 다만, 일반적으로 K_v 가 3에 가까우면 정규분포에 가까운 것이지만, SPSS와 같은 평가 프로그램을 이용할 경우에는 Fig. 50과 같이 K_v 가 0보다 크면 정규분포보다 뾰족한 분포를, 0보다 작으면 납작한 분포를 이룬다고 할 수 있다.

$$K_v = \frac{E[(X - \bar{X})^4]}{E[(X - \bar{X})^2]^2} = \frac{E[(X - \bar{X})^4]}{\sigma^4} \quad (7)$$

여기서,

K_v : K 평가 값

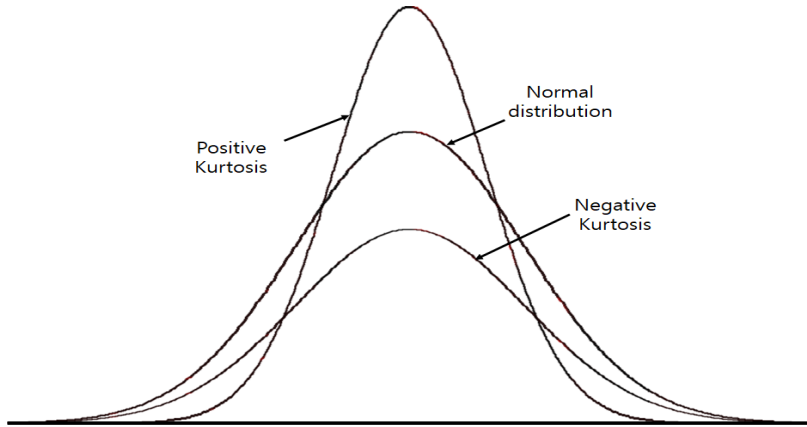


Fig. 50 Shape of kurtosis

Kline(2005)는 K_v 가 절대값 8 또는 10을 초과하면 극단적인 값으로 판단한다. 본 연구에서 K_v 는 항로에서 선박의 항로활용 폭을 추정하는데 사용한다. 즉, K_v 가 0보다 크면 항로를 좁게 이용하는 것이고, K_v 가 0보다 작으면 항로를 폭 넓게 이용하는 것으로 분석하였다.

3.3.3 왜도 평가

관측값들의 비대칭성을 측정하는 도구를 왜도라고 하고, 본 연구에서는 S 평가라고 정의하였다. S 평가를 위해서 본 연구의 다른 평가와 동일하게 SPSS 프로그램을 사용하였으며, 평가 식은 (8)과 같다(Wikipedia, 2018f).

$$S_v = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \quad (8)$$

여기서,

S_v : S 평가 값

x_i : 표본 집단의 자료

$\bar{x}$: 표본 집단의 평균

Fig. 51과 같이 S_v 가 0보다 크면 왼쪽으로 치우친 분포를, 0보다 작으면 오른쪽으로 치우친 분포를 이룬다고 할 수 있다.

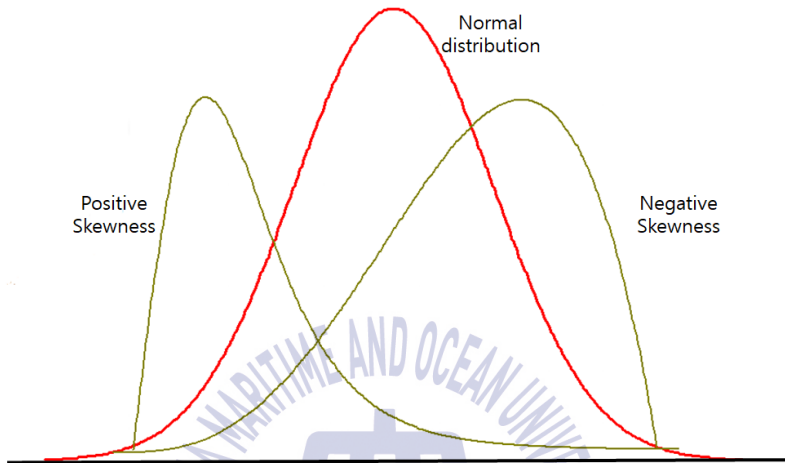


Fig. 51 Shape of skewness

Kline(2005)는 S_v 값이 절대값 3을 초과하면 극단적인 값으로 판단한다. 본 연구에서 S_v 값은 항로에서 선박 항로 이용 경향을 추정하는데 사용한다. 즉, S_v 값이 0보다 크면 항로의 좌측을 이용하는 것이고, S_v 값이 0보다 작으면 항로의 우측을 이용하는 것으로 분석하였다.

3.3.4 대상항로의 정규분포-침도-왜도 분석

대상항로의 $ND-K-S$ 분석은 평면좌표를 이용하여 분석하였다. 항로의 10개의 목표선을 각각 분석하거나 10개의 목표선의 합계를 이용하여 항로의 각 구역과 합계 구역을 분석하였다.

1) 각 목표선의 $ND-K-S$ 분석

Table 25는 각 항로의 10개의 목표선에서의 ND 분석 결과를 나타낸 $p-value$ 값이다. $p-value$ 가 0.05 이상인 경우, “정규분포를 따른다.”는 귀무가설이 성립하므로, 정규분포를 따른다고 할 수 있다.

ND 분석 결과, 가덕수도에서는 중형선과 대형선이 정규성을 보인다고 판단되고, 부산 북항 제1항로에서는 대형선만이 정규성을 보인다고 평가되며, 웅도항로는 모든 선박이 정규성을 보인다고 평가된다. 따라서 각 목표선 분석에서 대형선은 항로의 어느 부분에 한정하지 않고 정규분포를 적용할 수 있고, 중형선은 편도항로의 경우 정규분포를 적용할 수 있으나, 그 외의 경우에는 적절한 확률분포형을 구하여 적용하여야 하는 것으로 분석되었다.

Table 26은 각 항로의 10개의 목표선에서의 K 분석 결과를 나타낸 것이다. K_v 가 0보다 큰 경우 선박이 항로를 좁게 이용하는 것이고, K_v 가 0보다 작은 경우 선박이 항로를 넓게 이용하는 것으로 판단할 수 있다.

K 분석 결과, 편도항로가 왕복항로에 비해 항로를 넓게 이용하는 것으로 나타났으며, 소형선과 중형선이 대형선보다 항로를 넓게 이용하고, 항로의 중앙보다 항로의 입구와 출구 측에서 선박이 항로를 넓게 이용하는 것으로 분석되었다.

Table 27은 각 항로의 10개의 목표선에서의 S 분석 결과를 나타낸 것이다. S_v 가 0보다 큰 경우 항로의 좌측을, S_v 가 0보다 작은 경우 항로의 우측을 이용하는 것으로 판단할 수 있다.

Table 25 *p*–value at three traffic route

Traffic route		Busan North Port No.1			<i>Gadeok-sudo</i>			Ongdo traffic		
		Small	Medium	Large	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large
Inbound	1	.095	.000	.701	.025	.160	.530	.335	.869	.622
	2	.000	.002	.108	.108	.073	.128	.240	.844	.863
	3	.000	.000	.230	.000	.044	.497	.262	.681	.967
	4	.000	.000	.977	.003	.101	.848	.381	.992	.980
	5	.000	.221	.371	.001	.239	.385	.037	.707	.315
	6	.000	.000	.674	.002	.763	.316	.161	.822	.446
	7	.000	.002	.931	.012	.585	.178	.530	.995	.069
	8	.000	.052	.105	.012	.479	.671	.067	.463	.879
	9	.000	.993	.232	.008	.227	.036	.194	.413	.545
	10	.000	.002	.555	.329	.644	.009	.225	.113	.954
Outbound	1	.000	.001	.601	.003	.141	.208	.229	.259	.198
	2	.000	.003	.501	.003	.058	.740	.398	.074	.831
	3	.000	.383	.739	.063	.007	.449	.202	.144	.228
	4	.000	.079	.985	.000	.168	.051	.627	.503	.842
	5	.000	.000	.008	.000	.781	.858	.854	.505	.248
	6	.000	.000	.001	.001	.461	.784	.413	.978	.900
	7	.000	.000	.287	.000	.611	.478	.750	.589	.272
	8	.000	.000	.176	.002	.588	.824	.426	.110	.973
	9	.000	.000	.843	.020	.708	.417	.450	.897	.954
	10	.000	.044	.340	.032	.611	.481	.875	.090	.363

Table 26 K_v at three traffic route

Traffic route		Busan North Port No.1			<i>Gadeok-sudo</i>			Ongdo traffic		
		Small	Medium	Large	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large
Inbound	1	-.903	8.308	.000	-.991	-.861	.346	2.670	.093	-.566
	2	-1.047	1.381	2.594	-1.032	-1.265	2.045	2.014	-.348	-.369
	3	1.325	3.612	-1.034	-1.176	-1.234	.283	2.340	-.367	-.288
	4	1.674	4.472	.678	-1.103	-1.053	.698	1.960	-.133	.534
	5	.556	1.670	-1.714	-1.291	-.862	.148	-1.532	.594	.339
	6	2.328	3.634	-1.350	-1.239	-.352	1.231	-1.529	-.436	-.434
	7	4.829	3.903	.135	-1.170	-.481	-.442	-.694	-.278	-1.519
	8	3.622	1.725	2.909	-1.195	-.821	.420	3.777	-.352	-.743
	9	.669	-.014	2.383	-1.219	-.959	2.016	-.881	-.492	.462
	10	-1.004	.277	-1.427	-.110	-.860	3.308	-.972	-.675	.614
Outbound	1	-.522	1.201	.245	-1.034	-.624	.266	-.867	-.571	-1.219
	2	.323	1.607	2.103	-.708	-.651	.154	-.621	-.632	-.345
	3	1.495	.530	-.917	-.208	.681	1.956	.130	-.735	-1.114
	4	.954	.195	.153	.784	-.798	2.938	-1.063	-.317	-.772
	5	2.485	2.514	4.735	-.689	-.470	.419	-.071	-.368	.097
	6	7.074	3.837	6.972	-.905	-.680	-.348	-2.240	-.110	.597
	7	3.520	4.616	-1.764	.175	-.675	-.748	-1.451	.492	.340
	8	1.642	4.859	2.536	-1.082	.141	.307	.189	.380	-.017
	9	-1.250	8.830	-.326	-1.309	-.229	-.001	.036	-.406	-.452
	10	-.935	-.845	-2.628	-1.273	-.691	-.765	.647	.301	-1.087

Table 27 S_v at three traffic route

Traffic route		Busan North Port No.1			<i>Gadeok-sudo</i>			Ongdo traffic		
		Small	Medium	Large	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large
Inbound	1	-.243	-2.300	-.785	.274	-.309	.291	-1.241	-.197	-.191
	2	-.551	-.856	-1.367	-.045	.049	.675	-1.346	.053	-.333
	3	-1.201	-1.406	-.600	.395	-.018	-.004	-1.450	.194	.134
	4	-1.260	-1.681	-.213	-.048	.027	.026	-1.300	.147	.290
	5	-1.169	-.458	.414	.068	.177	.298	-.697	-.057	.435
	6	-1.212	-1.671	-.188	.054	.149	-.703	-.518	-.023	.179
	7	-1.980	-1.400	.072	.007	-.162	-.442	-.591	-.092	.105
	8	-1.604	.179	-1.655	-.002	-.152	.462	-1.875	-.034	.100
	9	-1.162	.026	-1.564	-.148	-.248	-1.044	-.634	-.047	-.601
	10	-.516	-.857	.749	-.417	.005	-1.440	-.601	.027	-.093
Outbound	1	-.813	-1.098	-.681	-.262	.448	-.788	.733	-.265	.068
	2	-1.104	-.887	-.287	-.461	.514	-.531	.666	-.385	.385
	3	-1.472	-.453	-.357	-.479	.959	-.614	1.034	-.283	.018
	4	-1.320	-.578	.220	-1.031	.358	-.295	.231	-.037	.087
	5	-1.465	-1.448	-2.042	-.753	.326	-.143	.398	.128	.316
	6	-2.440	-1.389	-2.535	-.448	.173	.098	-.230	-.011	.274
	7	-1.860	-1.713	-.137	-.978	.204	.096	-.157	-.322	.898
	8	-1.469	-1.854	-1.494	-.511	.462	.267	1.017	-.497	.354
	9	-.294	-2.413	-.531	-.111	.228	.445	.951	-.109	-.308
	10	-.308	-.452	-.095	.094	.022	.256	.714	-.661	.097

S 분석 결과 선박은 항로의 우측으로 항행하는 경향을 보이며, 이는 소형선과 중형선에 보다 두드러지게 나타는 것으로 분석되었다. 또한 항로길이의 중앙에서 이러한 현상은 두드러지며, 항로의 입구와 출구에서는 항로길이의 중앙에 비해서 항로 폭의 가운데를 항행하는 것으로 분석되었으며, 왕복항로에서보다 편도항로에서 우측으로 항행하는 경향이 보다 뚜렷한 것으로 분석되었다.

2) 10개의 목표선 합계의 $ND-K-S$ 분석

Table 28은 10개의 목표선 합계의 $ND-K-S$ 분석 결과를 나타낸 것이다.

10개의 목표선 합계의 ND 분석결과 대부분이 정규분포를 따르지 않는 것으로 분석되었고, K 분석결과 대상항로에서 선박의 규모가 작을수록 항로를 폭넓게 이용하는 것으로 분석되었으며, S 분석결과 대상항로의 선박 규모가 작을수록 항로의 우측으로 보다 편중하여 통항하는 것으로 분석되었다.

Table 28 Summational $ND-K-S$ test result at three traffic routes

Traffic route		Busan North Port No.1			Gadeok-sudo			Ongdo traffic		
		Small	Medium	Large	Small	Medium	Large	Small	Medium	Large
In-bound	$p-value$	.000	.000	.000	.000	.118	.130	.000	.003	.048
	K_v	.167	2.183	5.366	-1.039	-.370	.469	-.655	.206	.296
	S_v	-1.044	-1.015	-1.843	.107	-.130	-.112	-.681	-.259	-.401
Out-bound	$p-value$	.000	.000	.824	.000	.000	.000	.012	.001	.486
	K_v	.422	2.139	-.201	-.569	-.420	1.142	-.195	-.277	-.058
	S_v	-1.065	-.863	-.255	-.164	.350	.676	.632	-.207	.115

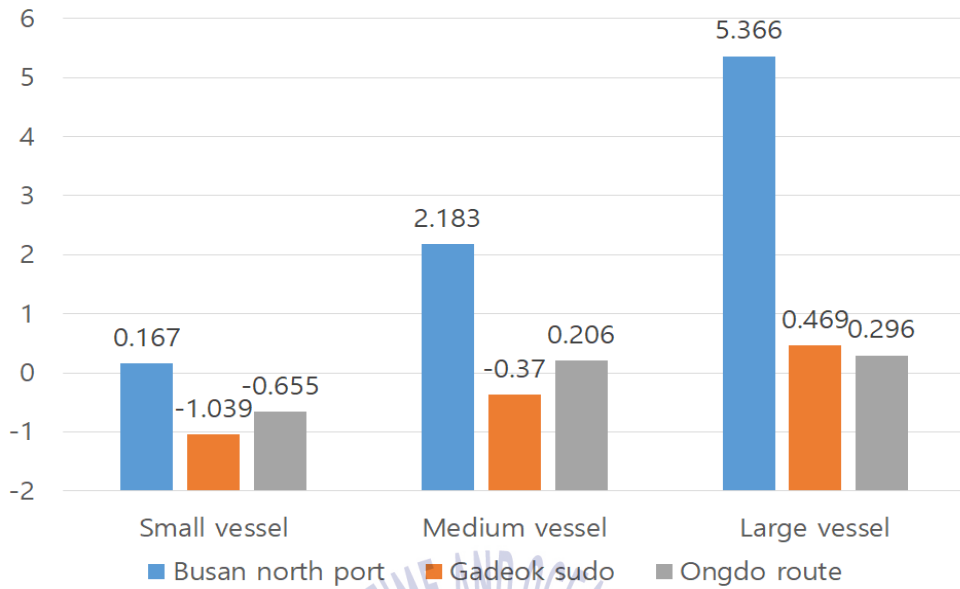


Fig. 52 Summational K_v for inbound of three routes

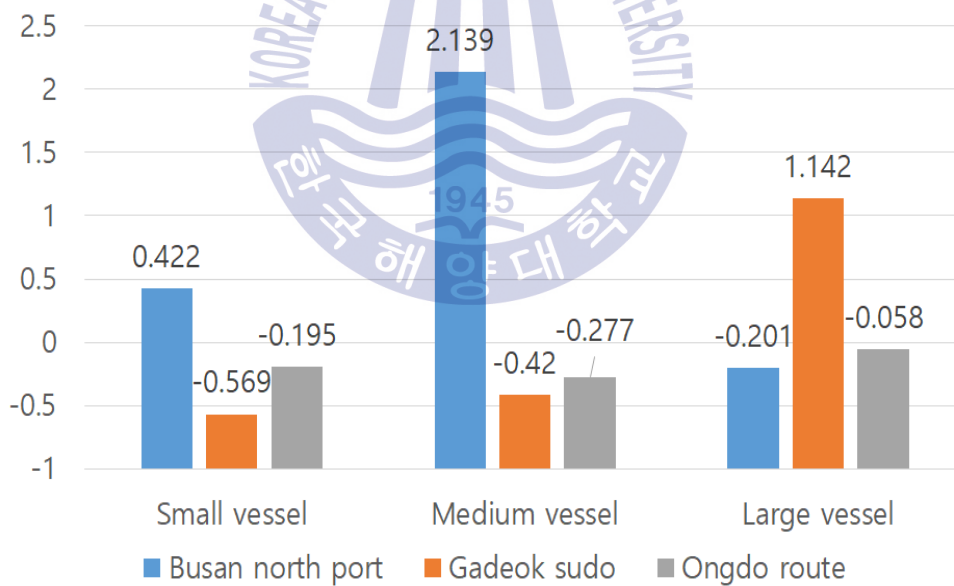


Fig. 53 Summational K_v for outbound of three routes

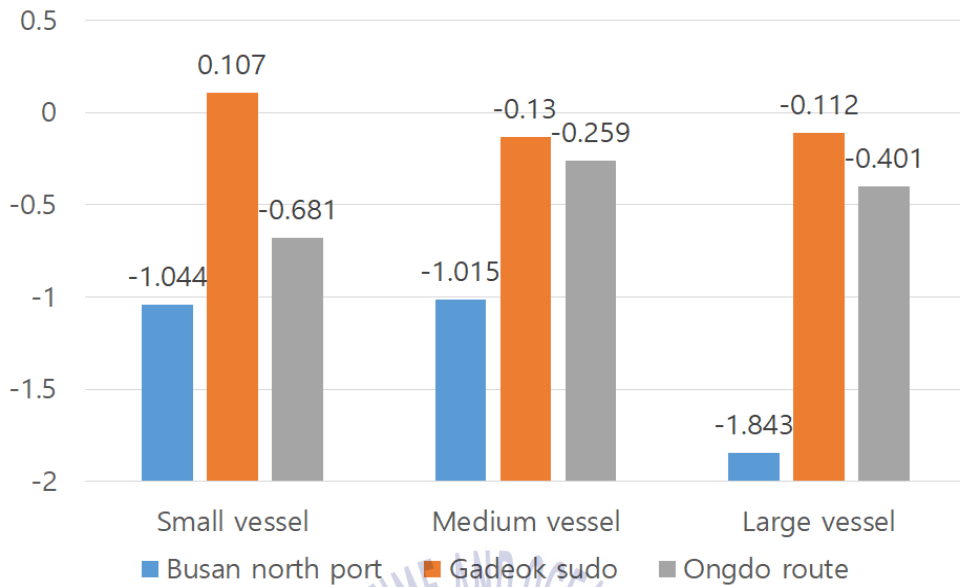


Fig. 54 Summational S_v for inbound of three routes

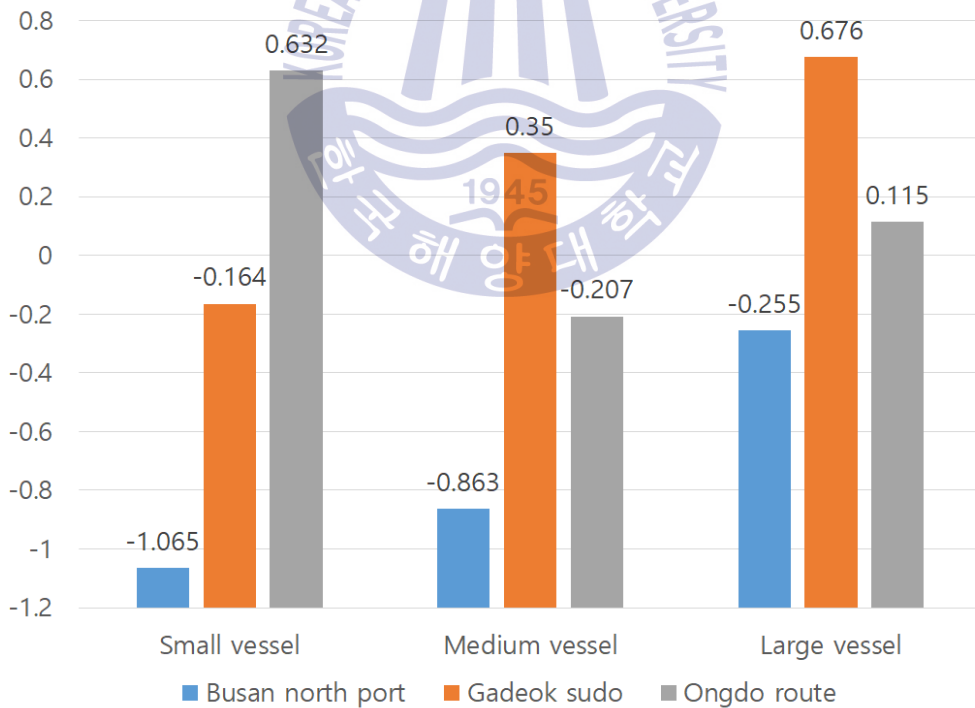


Fig. 55 Summational S_v for outbound of three routes

Fig. 52에서 Fig. 55까지는 10개의 목표선 합계의 $K-S$ 분석 결과를 나타낸 것이다.

$K-S$ 분석결과 왕복항로와 편도항로는 다소 구분되는 항행패턴을 가지는 것으로 분석되었으며, 편도항로에서 항로를 보다 좁게 이용하고 우측으로 치우쳐 항해하는 것으로 분석되었다.

3.4 최적 확률분포 분석과 정규분포-첨도-왜도 분석 결과

항로의 항행패턴 분석을 위하여 최적분포와 $ND-K-S$ 분석을 시행하였다.

최적 확률분포 분석은 선박의 항로상 항행패턴을 확률분포를 이용하여 정하는 방법으로 본 연구에선 32개의 단일 확률분포를 사용하여 항로상의 선박 항행패턴을 분석하였다. 기존의 각각의 목표선을 이용한 분석과 10개의 목표선 합계를 이용한 분석을 모두 수행하였으며, 그 결과는 세 가지로 요약되었다.

첫 번째 각 목표선에서 Wakeby와 Johnson SB, Gen. Extreme Value 함수가 상위의 확률분포형으로 분석되었으나, 각각 15%, 13%, 11%를 차지하는 것으로 분석되어 항로를 대표할 만한 분포로 보기 어려운 부분이 있다.

두 번째 10개의 목표선 합계에서 Log logistic, Johnson SB, Gen. Extreme Value 함수가 상위의 확률분포형으로 분석되었으나, 모두 11%를 차지하는 것으로 분석되어 항로를 대표할 만한 분포로 보기 어려운 부분이 있다.

세 번째, 목표선과 10개의 목표선 합계 분석에서 익히 알려진 정규분포의 경우, 각 목표선에서는 1%, 10개의 목표선 합계에선 2%만이 상위 분포로 적합하였다. 다만, 상위 적합성을 분석한 부분이므로 실제 적합도와는 다소 차이가 있다.

따라서 어느 한 확률분포를 적용하여 항행패턴을 분석하기에는 다소 무리가 있는 것으로 판단된다.

이에 따라서 $ND-K-S$ 분석을 추가로 시행하여 항로에서의 항행패턴을 분석하였으며, 최적 확률분포와 동일하게 목표선과 10개의 목표선 합계를 모두 분

석하였다.

ND-K-S 분석 결과는 네 가지로 요약된다.

첫 번째 각 목표선 분석에서 대형선은 편도항로와 왕복항로에서, 중형선은 편도항로에서 정규분포를 만족하는 것으로 분석되었으며, 그 외 경우에는 정규분포를 만족하지 않는 것으로 분석되었다. 따라서 소형선과 중형선의 왕복항로의 경우 적합한 분포형에 대한 검토 후 적용하는 것이 바람직할 것이다.

두 번째 10개의 목표선 합계 분석에서는 거의 모든 경우에서 정규분포를 만족하지 않는 것으로 분석되었다.

세 번째 *K* 분석의 경우, 선박의 항로 이용 폭을 평가하는 것으로 각 목표선 분석에서는 편도항로가 왕복항로에 비해 항로를 넓게 이용하는 것으로 나타났다. 소형선과 중형선이 대형선보다 항로를 넓게 이용하고, 항로길이의 중앙보다 항로의 입구와 출구 측에서 선박이 항로를 넓게 이용하는 것으로 분석되었다. 10개의 목표선 합계 분석에서도 동일한 분석의 결과가 도출되었다.

네 번째 *S* 분석의 경우, 선박의 항로 이용 편중을 평가하는 것으로, 각 목표선 분석에서 선박은 항로의 우측으로 항행하는 경향을 보이며, 이는 소형선과 중형선에서 보다 두드러지게 나타나는 것으로 분석되었다. 또한 항로길이의 중앙에서 이러한 현상은 두드러지며, 항로의 입구와 출구에서는 항로길이의 중앙에 비해서 항로 폭의 가운데를 항행하는 것으로 분석되었으며, 왕복항로에서 편도항로에 의해 우측으로 항행하는 경향이 보다 뚜렷한 것으로 분석되었다. 10개의 목표선 합계 분석에서도 동일한 분석의 결과가 도출되었다.

즉 *ND-K-S* 은 항로를 하나의 확률분포로 규정하여 항로와 목표선에 적용하기 용이하며, 각 항행패턴을 개략적으로 이해하기는 편리하나, 정규분포를 적용하기 곤란한 곳에 적용하거나 한눈에 항로에서의 항행패턴을 이해하기에는 다소 부족한 점이 있다.

제 4 장 공간좌표기반의 동적 항행패턴 개발

4.1 공간좌표 분석의 개요

공간좌표(Spatial Coordinates)는 공간상의 점에 대해 그 위치를 세 실수의 순서쌍으로 나타내는 방법으로 직교좌표계, 원기둥좌표계 및 구면좌표계 등이 있다. 그 중에서 직교좌표계는 공간에 특정한 한 점, 즉 원점을 지나는 세 수직 선 OX축(x축), OY축(y축), OZ(z축)이 주어졌을 때 각 축은 실수체와 일대일 대응한다. 즉, 원점 O에서 x축 방향으로 a만큼, y축 방향으로 b만큼, z축 방향으로 c만큼 이동한 위치에 있는 점을 세 실수의 쌍 (a, b, c)로 나타낸 것을 직교좌표라 하고, 이런 방법으로 공간의 점을 표현하는 것을 공간 직교좌표계라 한다.

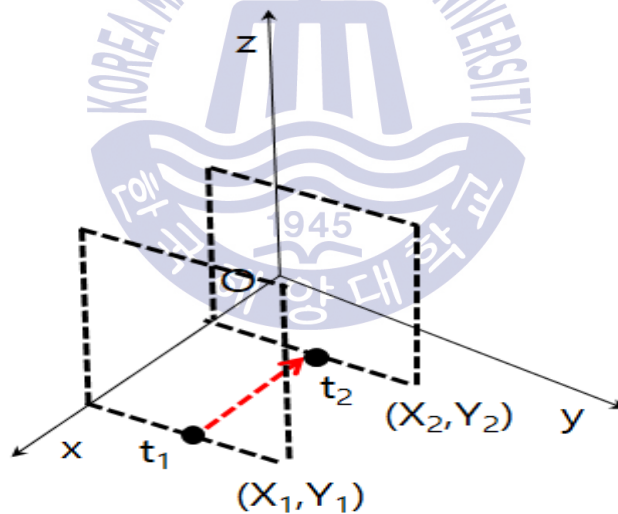


Fig. 56 Example of spatial coordinates

공간 직교좌표계는 앞서 설명한 평면좌표에 추가하여 Fig. 56과 같이 상하방향의 z축을 가지는 것이 일반적이고, 수면비행선박과 같이 일정높이를 항행하는 선박의 경우 이러한 공간 직교좌표계가 유용할 수 있다. 하지만, 일반적인 선박의 움직임은 상하 높이 방향의 항행이 없으며, 수면 상 파랑이 없는 조건

이러면, z축은 0으로 가정할 수 있다. 따라서 본 연구에서 공간 직교좌표계를 활용하기 위해서는 z축을 대신하여 Fig. 56과 같이 t축을 사용하였다. 즉, 평면 직교좌표와 같이 항로의 폭 방향을 x축, 항로의 길이 방향을 y축으로 하고, 평면좌표에 추가하여 선박이 이동해 나가는 시간 축을 t축이라고 하면 하나의 공간좌표가 된다. 이는 항로 길이 방향에 특정한 지점 혹은 선을 정하고 그 지점 혹은 선을 통과할 때의 기준점으로부터의 근접 거리와 선박의 이동에 따른 시간 등을 구하여 평가하는 방법이라 할 수 있다.

이러한 공간좌표는 선행연구에서 언급한 연속식 분석방법과 그 맥락을 같이 한다 할 수 있다. 가령 Fig. 57과 같이 항로가 설정되어 있는 곳에서 특정한 목표선을 선정하고 선박이 목표선을 통과할 때 목표선의 기준점과의 거리를 측정한다. 특정기간동안 목표선을 통과하는 선박의 목표선의 기준점과의 거리를 모두 구한 후 이를 항로를 항행할 때의 시간을 모두 합산하여 처리하는 방법인 것이다.

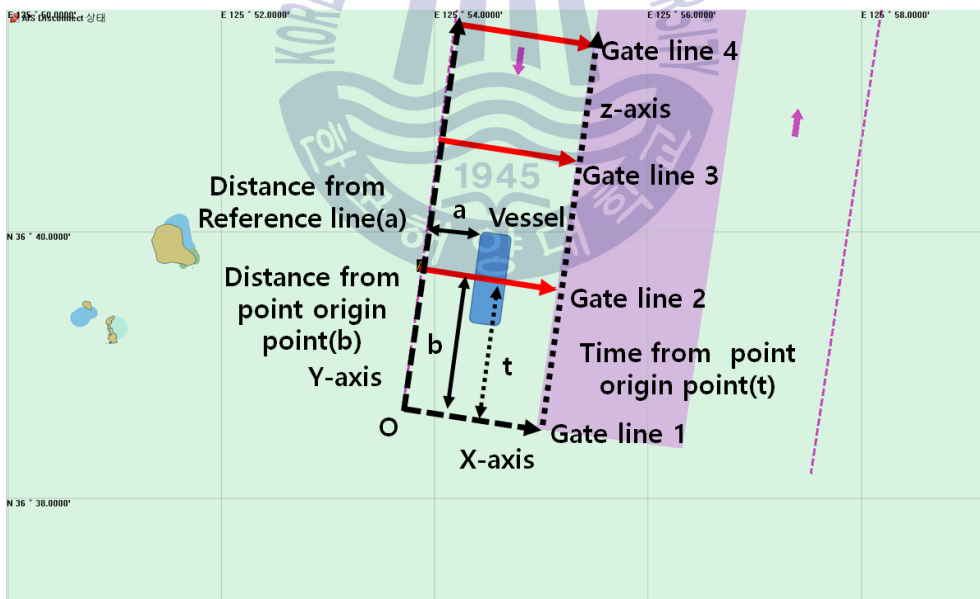


Fig. 57 Concept of spatial coordinates

4.2 해상교통 동적 항행패턴 개발

4.2.1 항로상 이동패턴의 정의

최적 확률분포형을 적용하거나 $ND-K-S$ 분석을 적용하여 항로의 항행패턴을 완전히 이해하기에는 다소 부족한 측면이 있었다. 또한 본 연구에서는 공간좌표로 보다 확장하였다. 따라서 기존의 분석 방법으로 항로의 동적 항행패턴을 이해하는데 다소 무리가 있다. 따라서 본 연구에서는 공간좌표기반의 동적 항행패턴을 개발하였다. 이는 기존의 방법과는 다르게 항로상 선박의 실제 항행패턴을 이해하고 분석하여 항로상 운항특성을 도출하는데 보다 편리한 방법이다.

동적 항행패턴을 표현하는 방식은 다양하게 존재하지만, 본 연구에서 항로상 이동패턴을 표현하는 방식은 주식의 주가패턴을 이해하는데 널리 사용되는 엘리엇 파동을 적용한 패턴의 개념을 차용하여 분석하였다. 엘리엇 파동은 R. N. Elliott(2006)의 이론으로 미국의 75년 동안의 주식시장의 움직임을 연구하여 파동이론을 완성하였다. 특히, 1935년 미국 증시 대폭락과 1987년 블랙먼데이를 예측하면서 유명해진 이론이다.

엘리엇 파동에서 패턴은 크게 확산형, 췌기형, 대칭형으로 구분되며, 이를 다시 상승형과 하락형으로 구분할 수 있다. 확산형은 아래와 위쪽 추세선이 시간이 지남에 따라 확장하는 패턴으로 아래쪽에 형성된 추세선이 위쪽 추세선 기울기보다 급하면 상승형, 위쪽에 형성된 추세선이 아래쪽에 형성된 추세선의 기울기보다 급하면 하락형으로 구분한다. 췌기형은 아래와 위쪽 추세선이 시간이 지남에 따라 수렴하는 패턴으로 아래쪽에 형성된 추세선이 위쪽 추세선 기울기보다 급하면 상승형, 위쪽에 형성된 추세선이 아래쪽에 형성된 추세선의 기울기보다 급하면 하락형으로 구분한다. 대칭형은 아래와 위쪽에 형성된 추세선의 기울기가 시간이 지남에 따라 유지되는 패턴으로 아래쪽에 형성된 추세선이 위쪽 추세선 기울기보다 급하면 상승형, 위쪽에 형성된 추세선이 아래쪽에 형성된 추세선의 기울기보다 급하면 하락형으로 구분한다.

본 연구에서는 엘리엇 파동의 패턴을 응용하여 선박이 항로를 항행할 때의 항로이용 패턴에 따라 확산형, 쐐기형, 대칭형으로 구분하였다.

Fig. 58과 같이 확산형(Expanded pattern)은 선박들이 항로를 항행할 때 입구부에서 이용하는 영역이 좁다가 점점 진행함에 따라 항로를 넓게 이용하는 패턴이다. 이는 표준편차로 해석할 수 있는데 입구부에서 출구부로 진행함에 따라 표준편차가 점점 커지는 경우다.

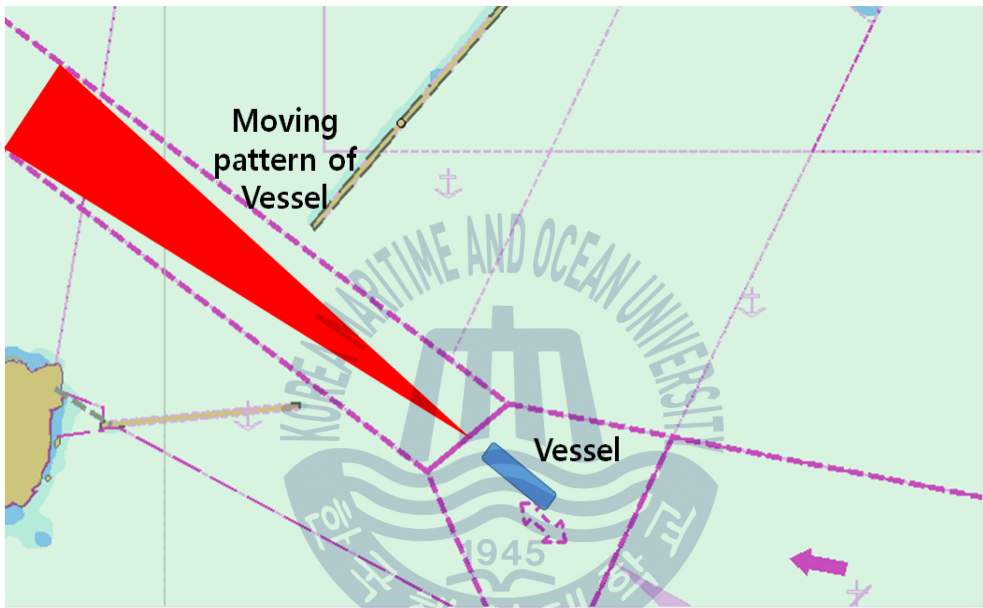


Fig. 58 Expanded pattern

Fig. 59와 같이 쐐기형(Wedged pattern)은 선박들이 항로를 항행할 때 입구부에서 이용하는 영역이 넓다가 점점 진행함에 따라 항로를 좁게 이용하는 패턴이다. 이는 확산형 패턴과 같이 표준편차로 해석할 수 있는데 입구부에서 출구부로 진행함에 따라 표준편차가 점점 작아지는 경우다.

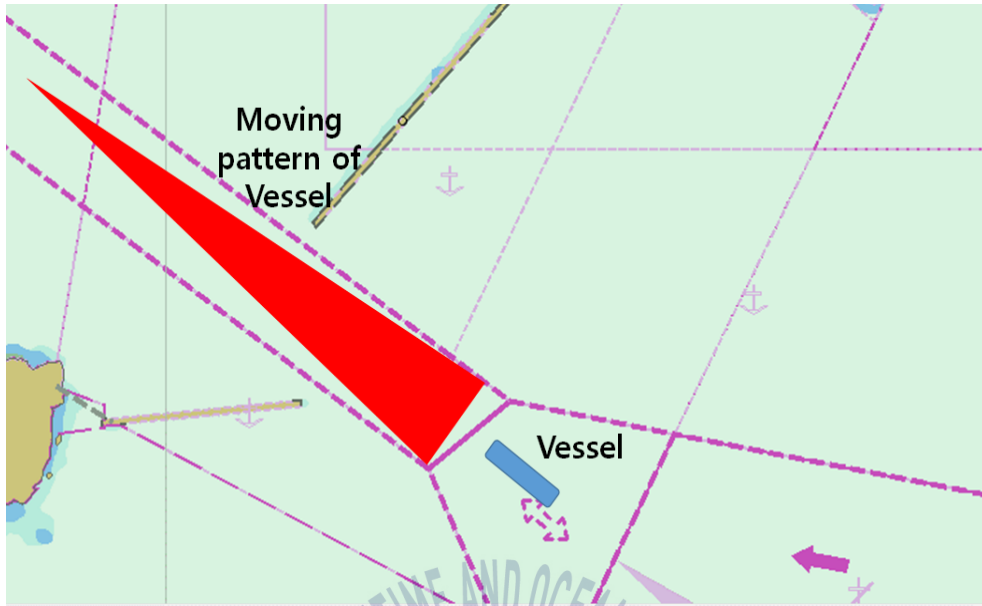


Fig. 59 Wedged pattern

Fig. 60과 같이 대칭형(Symmetrical pattern)은 선박들이 항로를 항행할 때 입구부에서 이용하는 항로의 영역과 출구부에서 이용하는 항로의 영역이 같거나 거의 같게 이용하는 패턴이다. 이는 확산형, 썰기형과 같이 표준편차로 해석할 수 있는데 입구부에서 출구부로 진행함에 따라 표준편차가 같거나 거의 같은 경우다.

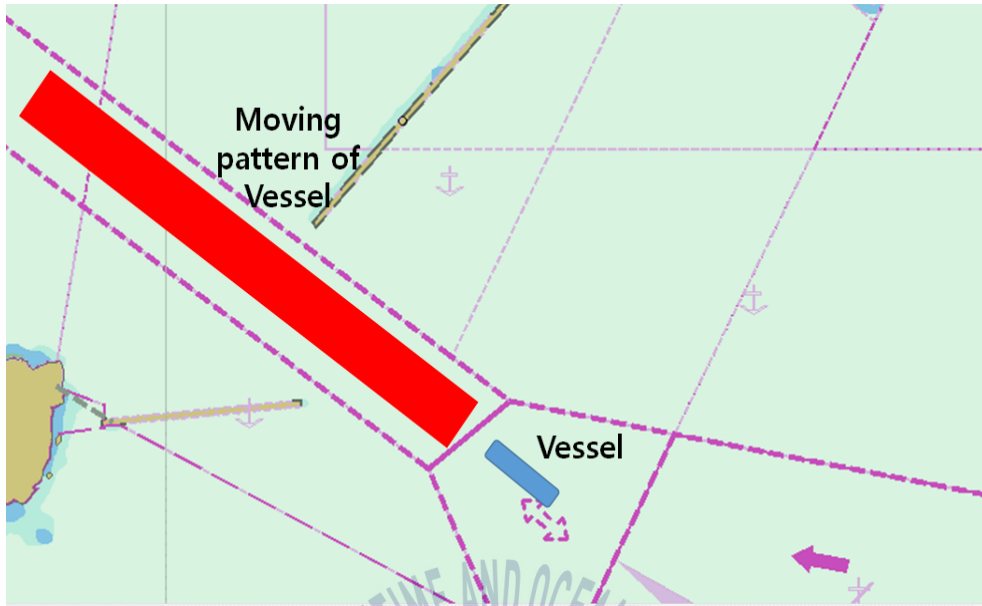


Fig. 60 Symmetrical pattern

또한 항로를 항행할 때의 선박항행 중심 이동패턴에 따라 슬래시형, 백슬래시형, 직진형으로 구분하였다.

Fig. 61과 같이 슬래시형(Slash pattern)은 선박들이 항로의 입구부에서 출구부를 항행할 때 좌에서 우로 횡단하여 항행하는 패턴이다. 이는 선박의 기준선으로부터의 이격거리로 해석할 수 있는데 입구부에서 출구부로 진행함에 따라 이격거리의 평균이 크다가 작아지는 경우다.

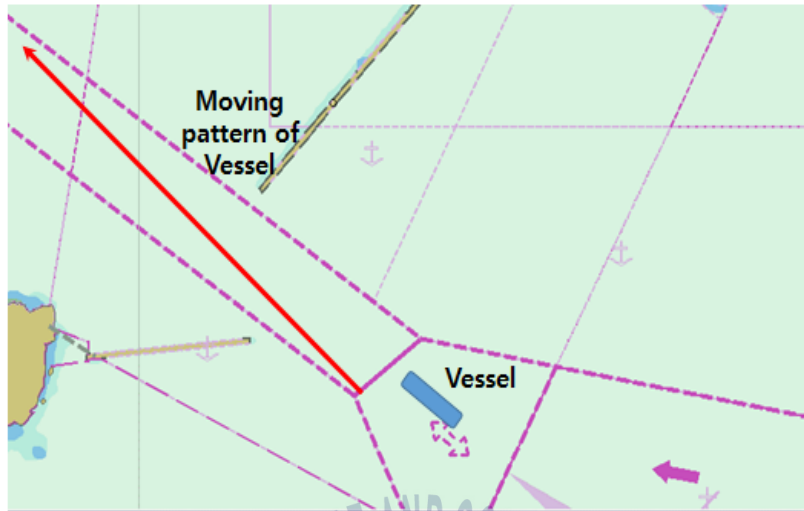


Fig. 61 Slash pattern

Fig. 62와 같이 백슬래시형(Backslash pattern)은 선박들이 항로의 입구부에서 출구부를 향해할 때 우에서 좌로 횡단하여 항행하는 패턴이다. 이는 선박의 기준선으로부터의 이격거리로 해석할 수 있는데 입구부에서 출구부로 진행함에 따라 이격거리의 평균이 작다가 커지는 경우다.

Fig. 63과 같이 직진형(Straight pattern)은 선박들이 항로의 입구부에서 출구부를 향해할 때 좌우의 편중 없이 똑바르게 항행하는 패턴이다. 이는 선박의 기준선으로부터의 이격거리로 해석할 수 있는데 입구부에서 출구부로 진행함에 따라 이격거리의 평균이 같거나 거의 같은 경우다.

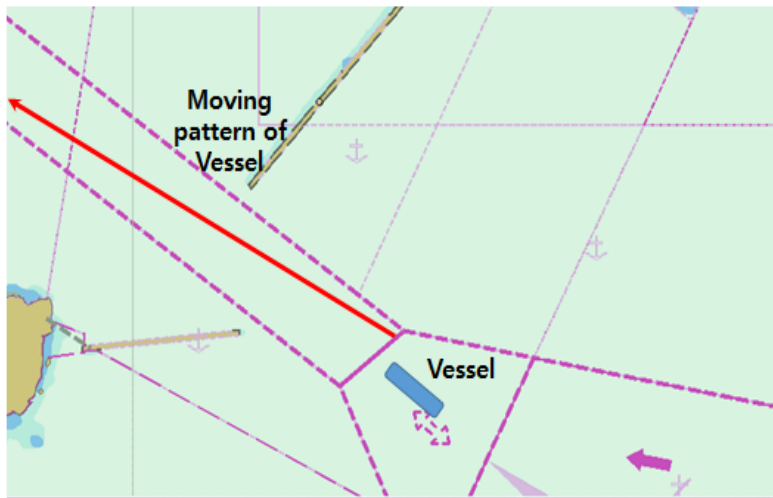


Fig. 62 Backslash pattern

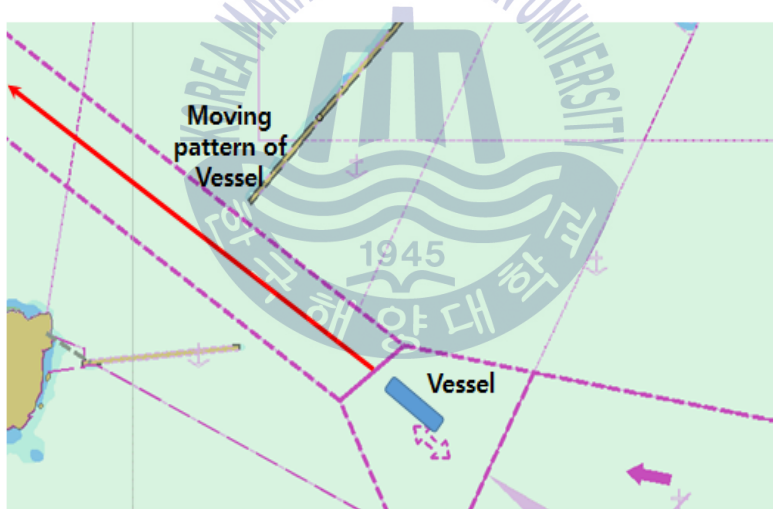


Fig. 63 Straight pattern

항로 이용패턴과 중심이동패턴은 공간좌표기반의 선박의 이동중심선의 추세와 표준편차의 추세로 파악할 수 있다. 따라서 각 항로에서의 선박의 공간좌표에서의 기준선으로부터의 선박의 이격거리의 평균과 표준편차를 구하고 이들의 추세선을 구하여야 한다.

본 연구에서의 추세선을 구하는 방법으로 Robert Hogg(2013)의 저서에서 언급한 최소자승법을 사용하였다. 최소자승법은 n 회 측정한 측정값 $y_1, y_2, \dots, y_n$ 이 어떤 다른 측정값 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 의 함수라고 추정할 수 있을 때 측정값 y_i 와 함수값 $f(x_i)$ 의 차이를 제곱한 것의 합인 식 (9)로 MLS_v 를 구한다.

$$MLS_v = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 \quad (9)$$

이렇게 구한 MLS_v 가 최소가 되도록 함수 $f(x)$ 를 구하는 것이 최소자승법의 원리이다.

본 연구에서는 최적함수 중 1차 방정식인 $y = ax + b$ 를 이용하여 동적 패턴을 정의하였다. 1차 방정식이 최적의 함수라면, MLS_v 이 최솟값을 가지도록 하여야 한다. 따라서 식 (9)는 식(10)으로 표현할 수 있다.

$$MLS_v = \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2 \quad (10)$$

여기서,

a: $f(x)$ 의 기울기

b : $f(x)$ 의 y절편 값

따라서 a와 b는 MLS_v 를 최소화하는 값이어야 하므로 a, b를 구하려면 a, b에 대해 각각 편미분한 값이 0이 되면 된다. 이를 식으로 표현하면 식 (11)과 식 (12)와 같다.

$$\frac{\partial x^2}{\partial a} = -2 \sum x_i y_i + 2b \sum x_i + 2a \sum x_i^2 = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial x^2}{\partial b} = -2 \sum y_i + 2a \sum x_i + 2bn = 0 \quad (12)$$

따라서 식 (11)과 식 (12)를 만족하는 a, b를 계산하면 식 (13)과 식 (14)와 같다.

$$a = \frac{n(\sum_{i=1}^n x_i y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n(\sum_{i=1}^n x_i^2) - ((\sum_{i=1}^n x_i)^2)} \quad (13)$$

$$b = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n x_i y_i)}{n(\sum_{i=1}^n x_i^2) - ((\sum_{i=1}^n x_i)^2)} \quad (14)$$

다만, 본 연구에서는 $f(x)$ 의 기울기인 a 값을 이용하여 이동 패턴을 정의하였다. 즉 평균의 $f(x)$ 의 기울기를 $a_{ave.}$, 표준편차의 $f(x)$ 의 기울기를 a_{std} 로 정의하고 그 상세 패턴의 정의는 Table 29와 같다.

Table 29 Dynamic patterns for moving

Item		Gradient of average trend line($a_{ave.}$)		
		$1 < a_{ave.}$	$a_{ave.} < -1$	$-1 \leq a_{ave.} \leq 1$
Gradient of standard deviation trend line (a_{std})	$1 < a_{std}$	Expanded backslash pattern	Expanded slash pattern	Expanded straight pattern
	$a_{std} < -1$	Wedged backslash pattern	Wedged slash pattern	Wedged straight pattern
	$-1 \leq a_{std} \leq 1$	Symmetrical backslash pattern	Symmetrical slash pattern	Symmetrical straight pattern

즉, $a_{ave.}$ 가 1보다 크면 백슬래시형, $a_{ave.}$ 가 -1보다 작으면 슬래시형, $a_{ave.}$ 가 -1과 1사이이면 직진형으로 정의하고, a_{std} 가 1보다 크면 확산형, a_{std} 가 -1보다 작으면 썬치형, a_{std} 가 1에서 -1사이이면 대칭형으로 정의하였다.

4.2.2 항로상 속도패턴의 정의

모든 교통수단은 고유의 속력을 가지고, 한 지점에서 다른 지점으로 이동한다. 기차의 경우에도 역과 역 사이를 운행함에 있어 일정한 속력을 가지고 있는데 출발역에서 도착역을 운행하는 동안 속력의 증감을 반복한다. 즉, 출발역에서 최대운행속력까지 속력을 올리는 가속구간, 최대운행속력을 유지하는 정속구간, 최대운행속력에서 도착역에 도착하기 위한 감속구간을 가진다.

선박이 운항하는 항로도 이와 유사하다. 항로에서도 선박은 고유의 속력을 가지고 있으며, 필요에 의해 속력을 증감한다. 본 연구에서는 항로에서의 속력의 패턴은 이전 구간의 평균속력에서 현 구간의 평균속력을 비교하여 식 (15)와 같이 구한다.

$$SPD_d(\%) = \frac{(Ave. SPD_p - Ave. SPD_f)}{Ave. SPD_f} \times 100 \quad (15)$$

여기서,

SPD_d : 이전구간과 현 구간의 평균속력의 차이(%)

SPD_p : 현 구간의 평균속력

SPD_f : 이전 구간의 평균속력

항로상 속력의 패턴을 표현하는 방식으로 가속구간, 정속구간, 감속구간으로 구분하였으며, 그 기준은 Table 30과 같다.

Table 30 Dynamic patterns for speed

$SPD_d > 10$	$-10 \leq SPD_d \leq 10$	$SPD_d < -10$
Acceleration section	Fixed speed section	Deceleration section

즉, 이전 구간에 비해 속력이 10% 상승하면 가속구간, 이전구간에 비해 10% 감속하면 감속구간, 속력이 10%와 -10%사이이면 정속구간으로 정의하였다.

4.3 해상교통 동적 이동패턴 적용

4.3.1 부산 북항 제1항로 입항 동적 이동패턴 분석

Fig. 64는 부산 북항 제1항로에서 소형선의 입항 시 동적 이동패턴을, Fig. 65은 중형선의 입항 시 동적 이동패턴을, Fig. 66은 대형선의 입항 시 동적 이동패턴을 나타낸 것이다.

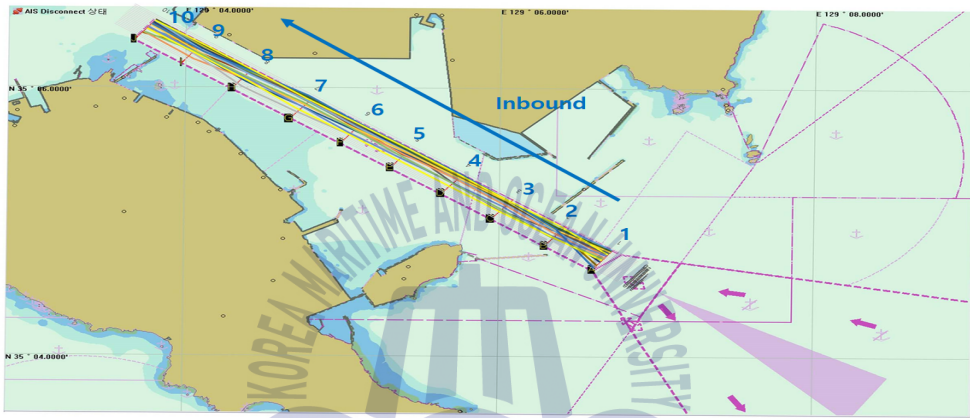


Fig. 64 Dynamic patterns for moving of inbound small vessel on Busan north No.1 route

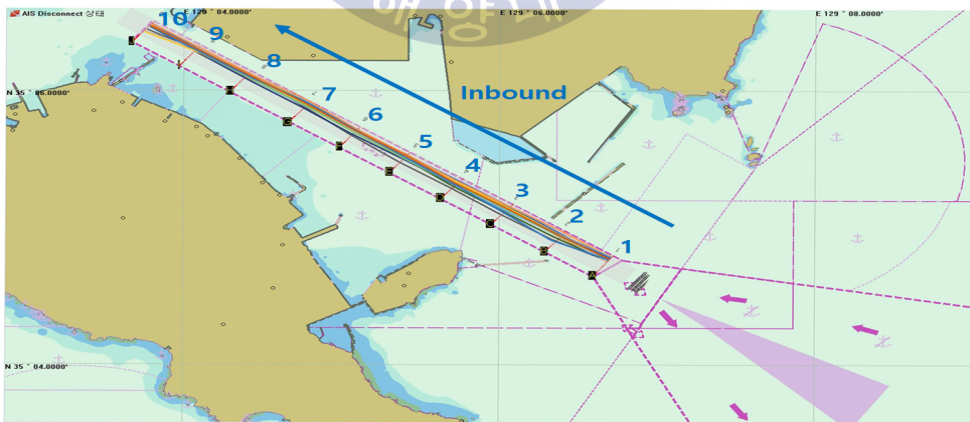


Fig. 65 Dynamic patterns for moving of inbound medium vessel on Busan north No.1 route

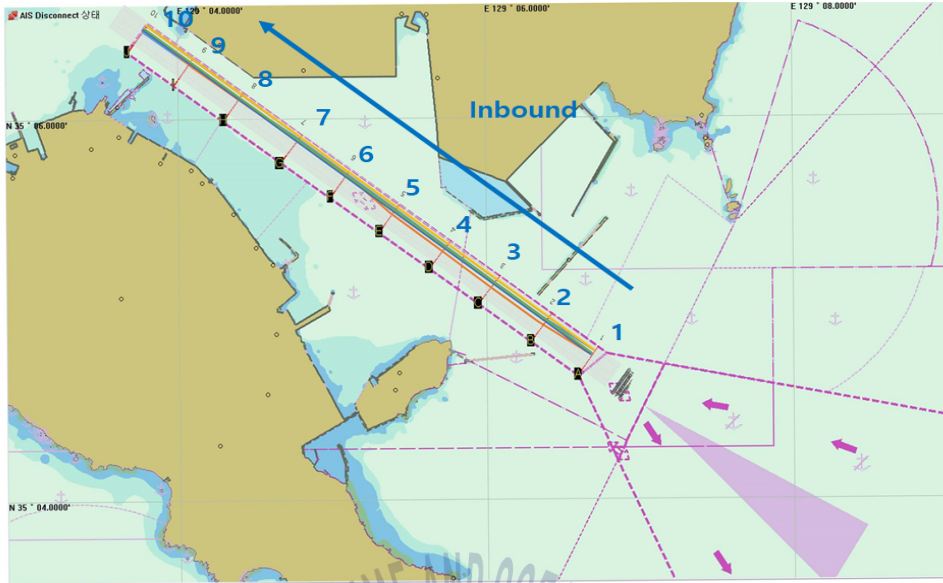


Fig. 66 Dynamic patterns for moving of inbound large vessel on Busan north No.1 route

Table 31은 부산 북항 제1항로에서 입항 시 선박의 항행에 따른 평균이격거리와 표준편차를 나타낸 것이다.

Table 31 Average and standard deviation of inbound on Busan north No.1 route

Unit : meter

Gate line	Small vessel		Medium vessel		Large vessel	
	Ave.	Std.	Ave.	Std.	Ave.	Std.
1	199.8	95.22	284	36.87	259.7	30.69
2	220.9	50.01	236.2	50.32	243.4	42.69
3	239.7	58.67	232.6	47.63	242.9	43.72
4	242.2	54.1	222.3	40.11	245.8	40.48
5	241.1	53.19	227.7	40.64	247.8	38.92
6	238.4	58.95	234.5	34.29	259.9	24.42
7	247.3	73.78	257.4	33.33	257	26.16
8	213.4	66.31	228.2	24.69	248.3	30.99
9	205.6	56.51	219.8	22.11	242.6	36.48
10	205.9	69.53	210	48.64	247.7	33.82

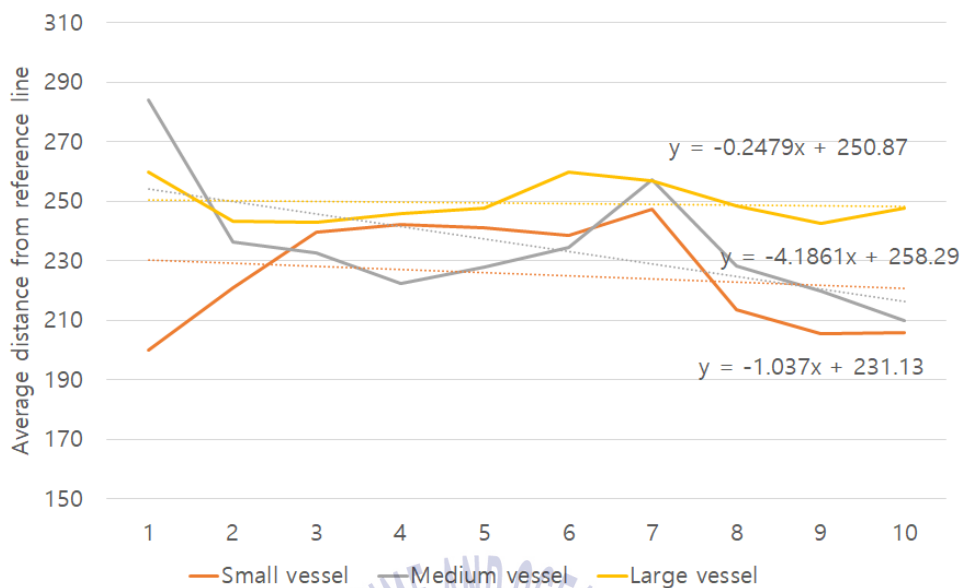


Fig. 67 Average distance from reference line of inbound on Busan north No.1 route

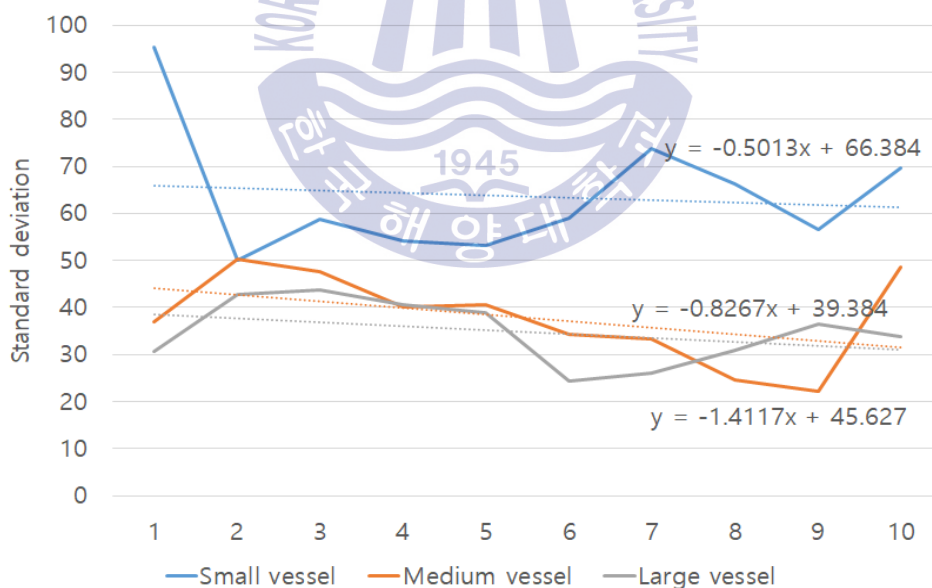


Fig. 68 Standard deviation of inbound on Busan north No.1 route

Fig. 67은 부산 북항 제1항로에서의 선박의 이동중심선의 추세를 나타낸 것이고, Fig. 68은 표준편차의 추세를 나타낸 것이다. 각 추세를 최소자승법에 의하여 추세선의 기울기를 구한 결과는 Table 32와 같다.

Table 32 Dynamic pattern for moving of inbound on Busan north No.1 route

Item	Small vessel		Medium vessel		Large vessel	
	$a_{ave.}$	a_{std}	$a_{ave.}$	a_{std}	$a_{ave.}$	a_{std}
Gradient	-1.037	-0.5013	-4.1861	-1.4117	-0.2479	-0.8267
Dynamic pattern for Moving	Symmetrical slash pattern		Wedge slash pattern		Symmetrical straight pattern	

Table 32와 같이 소형선은 평균 추세의 기울기가 -1보다 작고 표준편차 추세의 기울기가 -1과 1사이에 있어 대칭 슬래시형을, 중형선은 평균 추세의 기울기가 -1보다 작고 표준편차 추세의 기울기도 -1보다 작으므로 췌기 슬래시형을, 대형선은 평균과 표준편차 추세의 기울기가 모두 -1과 1 사이이므로 대칭 직진형을 보였다.

4.3.2 부산 북항 제1항로 출항 동적 이동패턴 분석

Fig. 69는 부산 북항 제1항로에서 소형선의 출항 시 동적 이동패턴을, Fig. 70은 중형선의 출항 시 동적 이동패턴을, Fig. 71은 대형선의 출항 시 동적 이동패턴을 나타낸 것이다.

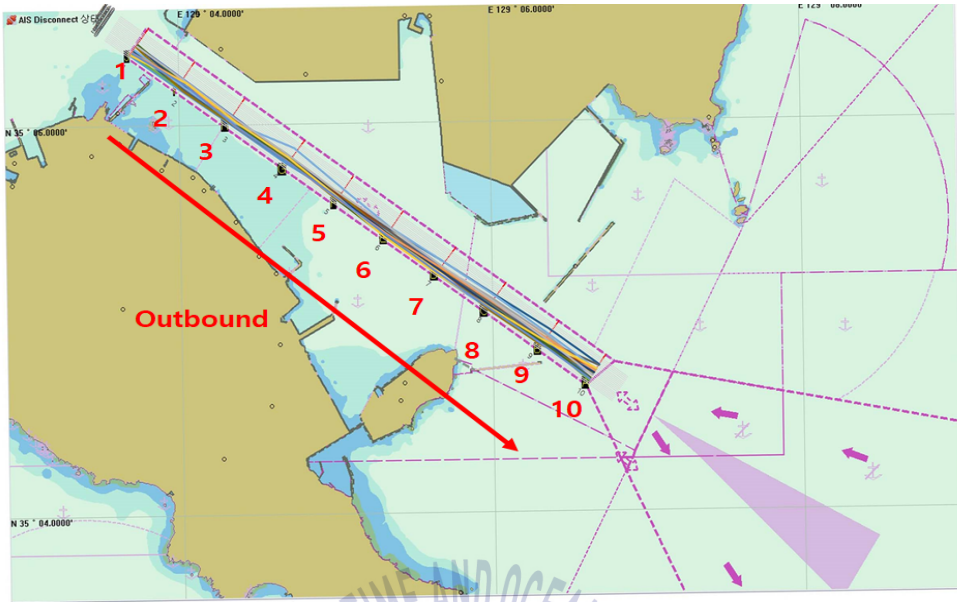


Fig. 69 Dynamic patterns for moving of outbound small vessel on Busan north No.1 route

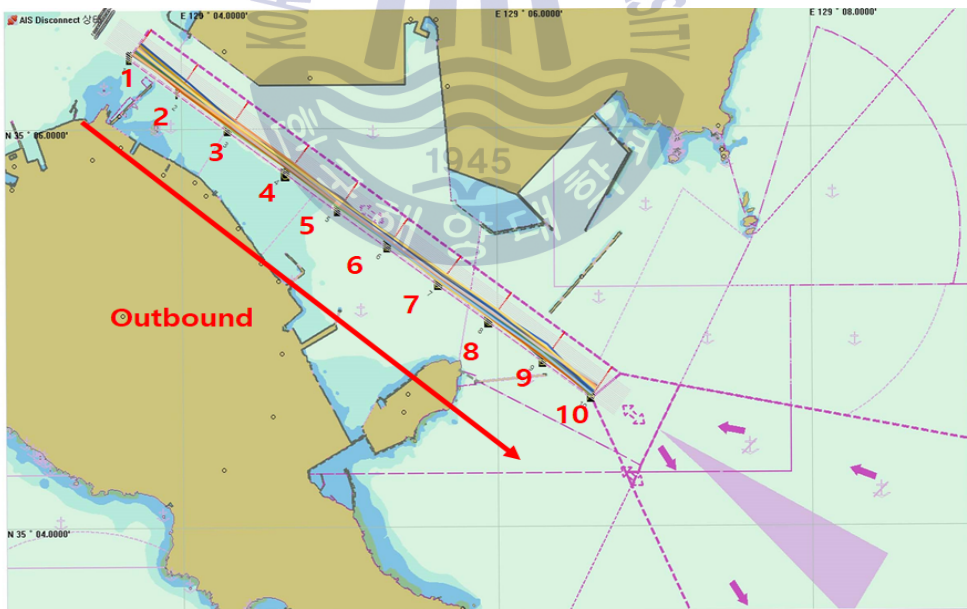


Fig. 70 Dynamic patterns for moving of outbound medium vessel on Busan north No.1 route

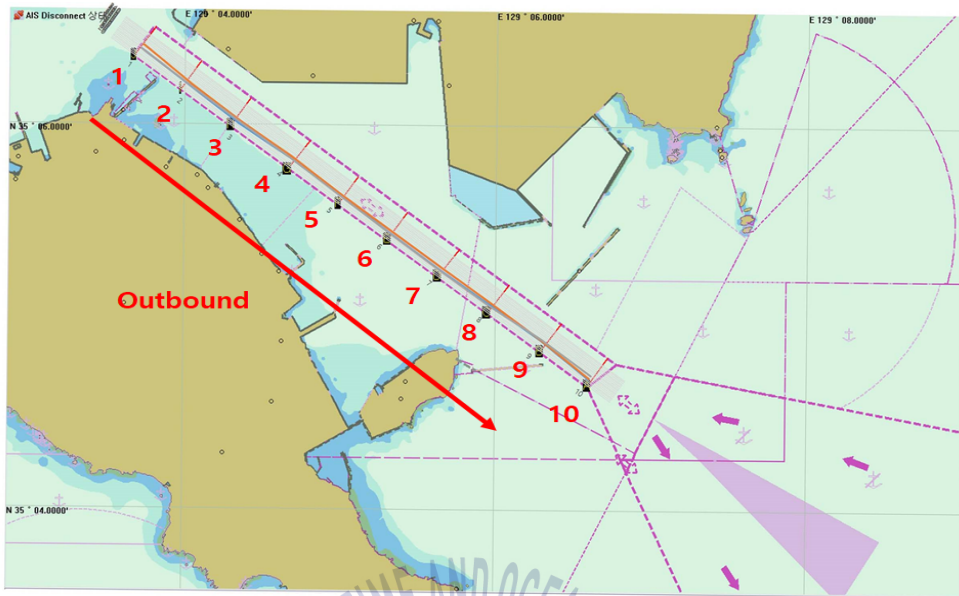


Fig. 71 Dynamic patterns for moving of inbound large vessel on Busan north No.1 route

Table 33은 부산 북항 제1항로에서 출항 시 선박의 항행에 따른 평균이격거리와 표준편차를 나타낸 것이다.

Table 33 Average and standard deviation of outbound on Busan north No.1 route

Unit : meter

Gate line	Small vessel		Medium vessel		Large vessel	
	Ave.	Std.	Ave.	Std.	Ave.	Std.
1	110.7	54.83	143.3	47.96	144.1	32.9
2	97.82	39.88	117.3	30.68	116.5	17.25
3	96.09	29.75	102.8	26.3	102.1	16.84
4	114.7	47.12	115.4	26.63	122	15.5
5	102.1	36.22	105.1	26.43	106.9	9.18
6	84.36	40.51	103.6	24.94	95.6	21.2
7	89.52	51.29	105	30.76	93.9	24.75
8	105.5	57.76	109.9	31.06	102.8	19.51
9	121.2	57.99	110.4	39.37	122.9	10.01
10	142.2	68.94	68.5	45.54	92.3	27.65

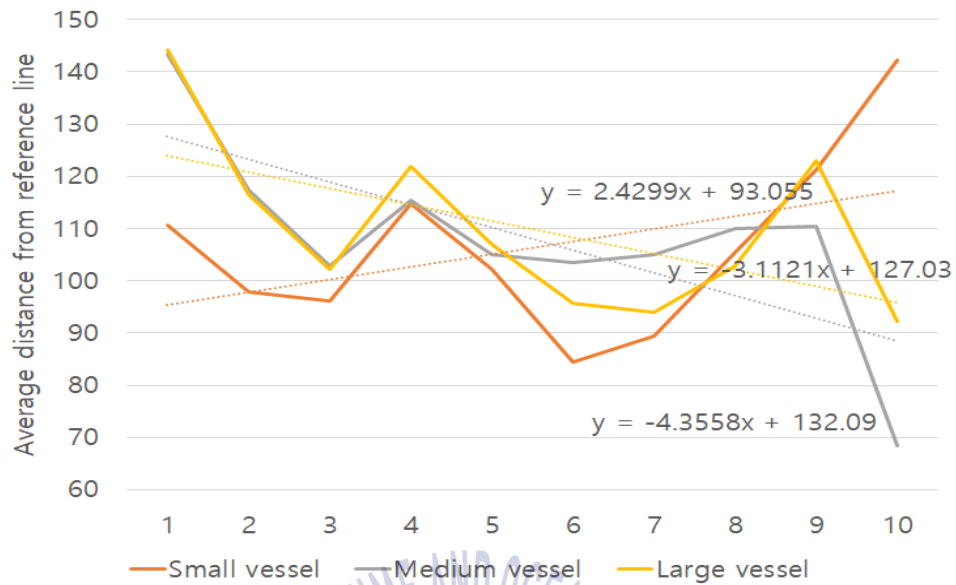


Fig. 72 Average distance from reference line of outbound on Busan north No.1 route

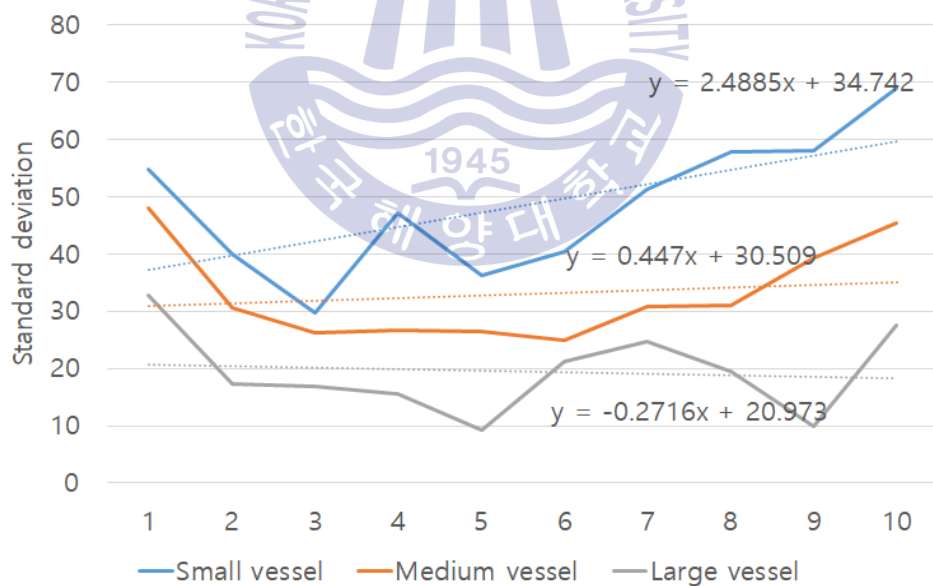


Fig. 73 Standard deviation of outbound on Busan north No.1 route

Fig. 72는 부산 북항 제1항로에서의 선박의 이동중심선의 추세를 나타낸 것이고, Fig. 73은 표준편차의 추세를 나타낸 것이다. 각 추세를 최소자승법에 의하여 추세선의 기울기를 구한 결과는 Table 34와 같다.

Table 34 Dynamic pattern for moving of inbound on Busan north No.1 route

Item	Small vessel		Medium vessel		Large vessel	
	$a_{ave.}$	a_{std}	$a_{ave.}$	a_{std}	$a_{ave.}$	a_{std}
Gradient	2.4299	2.4885	-4.3558	0.447	-3.1121	-0.2716
Dynamic pattern for Moving	Expanded backslash pattern		Symmetrical slash pattern		Symmetrical slash pattern	

Table 34와 같이 소형선은 평균과 표준편차 추세의 기울기가 모두 1보다 크므로 확장 백슬래시형을, 중형선은 평균 추세의 기울기가 -1보다 작고 표준편차 추세의 기울기가 -1과 1사이이므로 대칭 슬래시형을, 대형선은 평균 추세의 기울기가 -1보다 작고 표준편차 추세의 기울기가 -1과 1 사이이므로 대칭 슬래시형을 보였다.

4.3.3 부산 신항 가덕수도 입구항로 입항 이동패턴 분석

Fig. 74는 부산 신항 가덕수도 입구항로에서 소형선의 입항 시 동적 이동패턴을, Fig. 75는 중형선의 입항 시 동적 이동패턴을, Fig. 76은 대형선의 입항 시 동적 이동패턴을 나타낸 것이다.

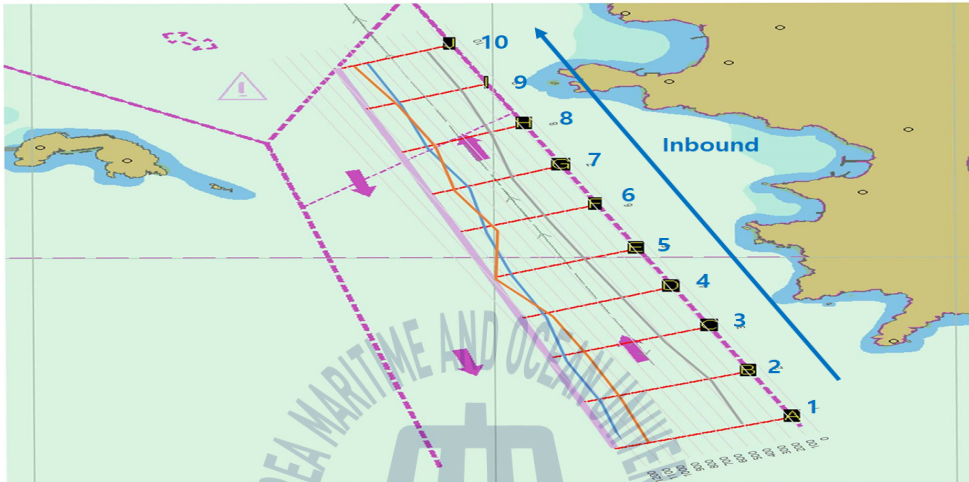


Fig. 74 Dynamic patterns for moving of inbound small vessel on *Gadeok-sudo*

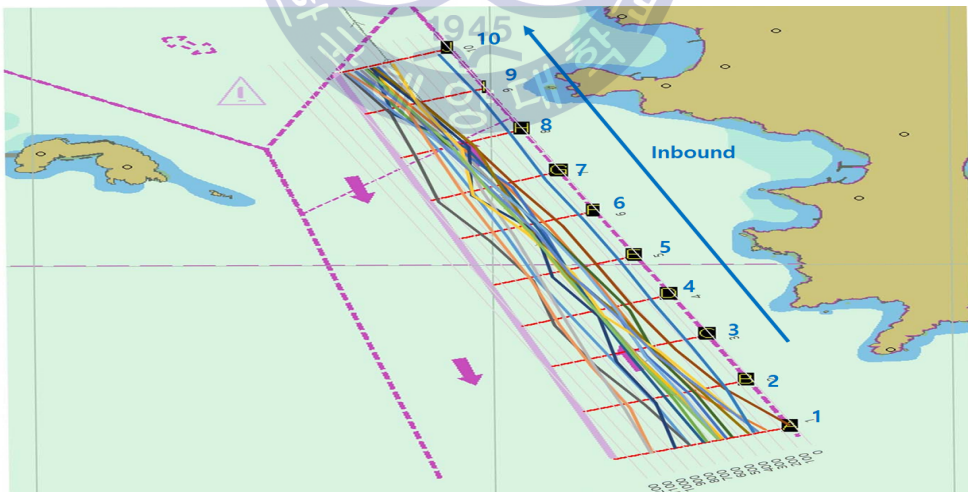


Fig. 75 Dynamic patterns for moving of inbound medium vessel on *Gadeok-sudo*

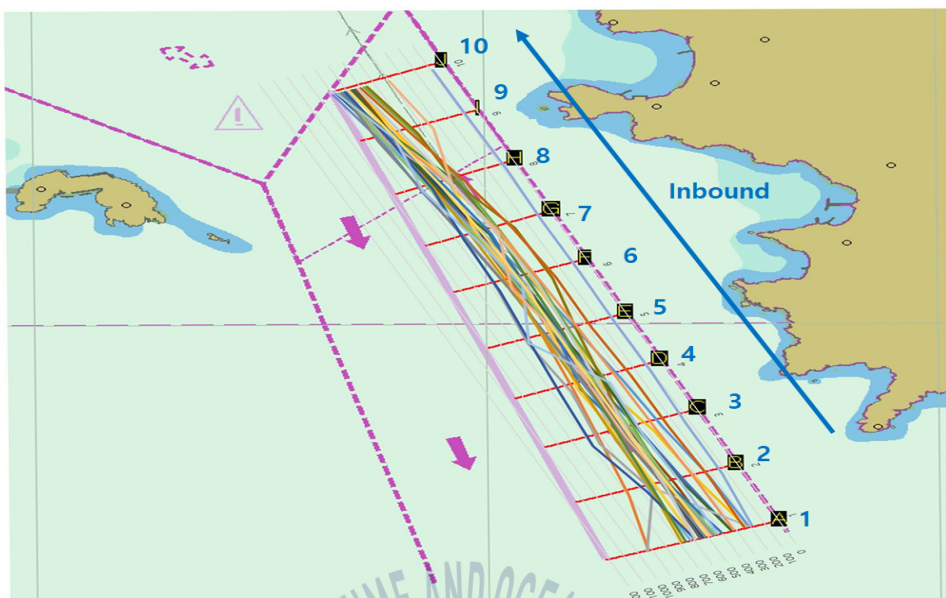


Fig. 76 Dynamic patterns for moving of inbound large vessel on *Gadeok-sudo*

Table 35는 부산 신항 가덕수도 입구항로에서 입항 시 선박의 항행에 따른 평균이격거리와 표준편차를 나타낸 것이다.

Table 35 Average and standard deviation of inbound on *Gadeok-sudo*

Unit : meter

Gate line	Small vessel		Medium vessel		Large vessel	
	Ave.	Std.	Ave.	Std.	Ave.	Std.
1	896.7	432.56	546.2	284.02	495.3	185.97
2	820	408.35	559.6	207.56	507.3	132.78
3	821.8	357.46	592.5	184.14	527.5	128.41
4	784.1	305.58	574.1	173.02	517.8	111.58
5	825.7	336.03	562.1	144.95	513.6	108.86
6	707.9	231.34	535.8	137.61	494.6	99.02
7	669.7	210.56	558.7	145.46	512.1	99.45
8	599.1	243.67	536.8	106.28	552	83.86
9	551.1	254.11	584.4	84.11	613.8	86.46
10	555.7	270.79	631.3	98.3	685.3	86.15

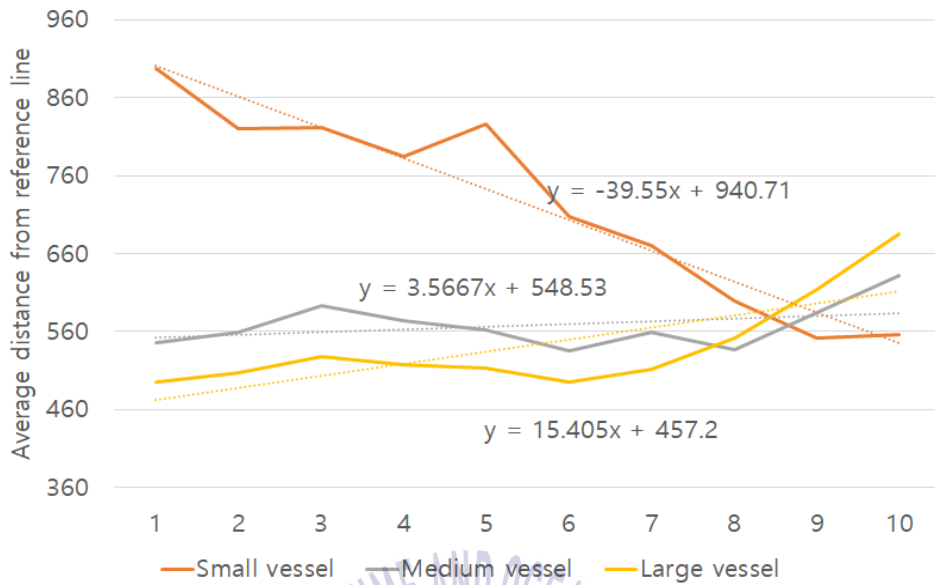


Fig. 77 Average distance from reference line of inbound on *Gadeok-sudo*

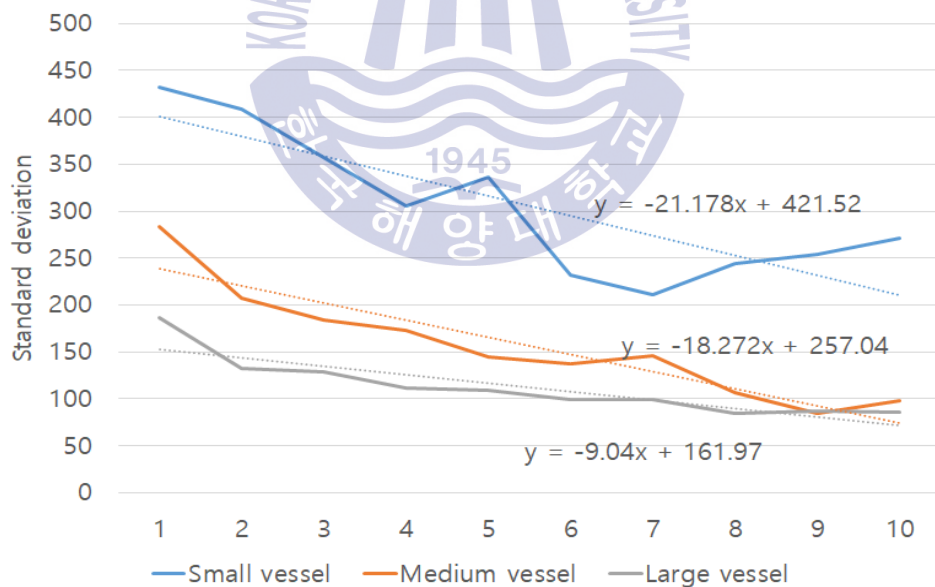


Fig. 78 Standard deviation of inbound on *Gadeok-sudo*

Fig. 77은 부산 신항 가덕수도 입구항로에서의 선박의 이동중심선의 추세를 나타낸 것이고, Fig. 78은 표준편차의 추세를 나타낸 것이다. 각 추세를 최소자승법에 의하여 추세선의 기울기를 구한 결과는 Table 36과 같다.

Table 36 Dynamic pattern for moving of inbound on *Gadeok-sudo*

Item	Small vessel		Medium vessel		Large vessel	
	$a_{ave.}$	a_{std}	$a_{ave.}$	a_{std}	$a_{ave.}$	a_{std}
Gradient	-39.55	-21.178	3.5667	-18.272	15.405	-9.04
Dynamic pattern for Moving	Wedged slash pattern		Wedged backslash pattern		Wedged backslash pattern	

Table 36과 같이 소형선은 평균과 표준편차 추세의 기울기가 모두 -1보다 작으므로 쐐기 슬래시형을, 중형선은 평균 추세의 기울기가 1보다 크고 표준편차 추세의 기울기가 -1보다 작으므로 쐐기 백슬래시형을, 대형선은 평균 추세의 기울기가 1보다 크고 표준편차 추세의 기울기가 -1보다 작으므로 쐐기 백슬래시형을 보였다.

4.3.4 부산 신항 가덕수도 입구항로 출항 이동패턴 분석

Fig. 79는 부산 신항 가덕수도 입구항로에서 소형선의 출항 시 동적 이동패턴을, Fig. 80은 중형선의 출항 시 동적 이동패턴을, Fig. 81은 대형선의 출항 시 동적 이동패턴을 나타낸 것이다.

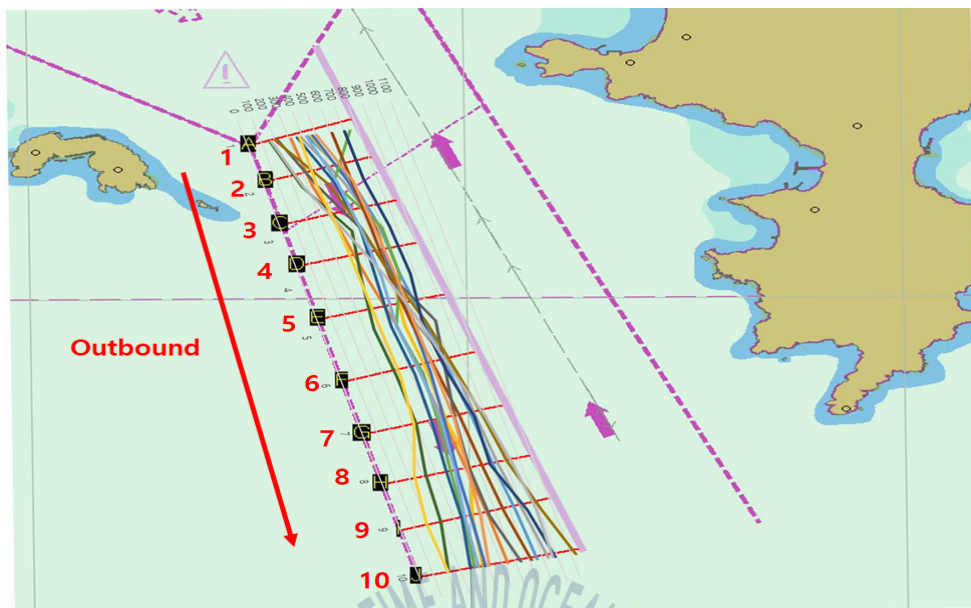


Fig. 79 Dynamic patterns for moving of outbound small vessel on *Gadeok-sudo*

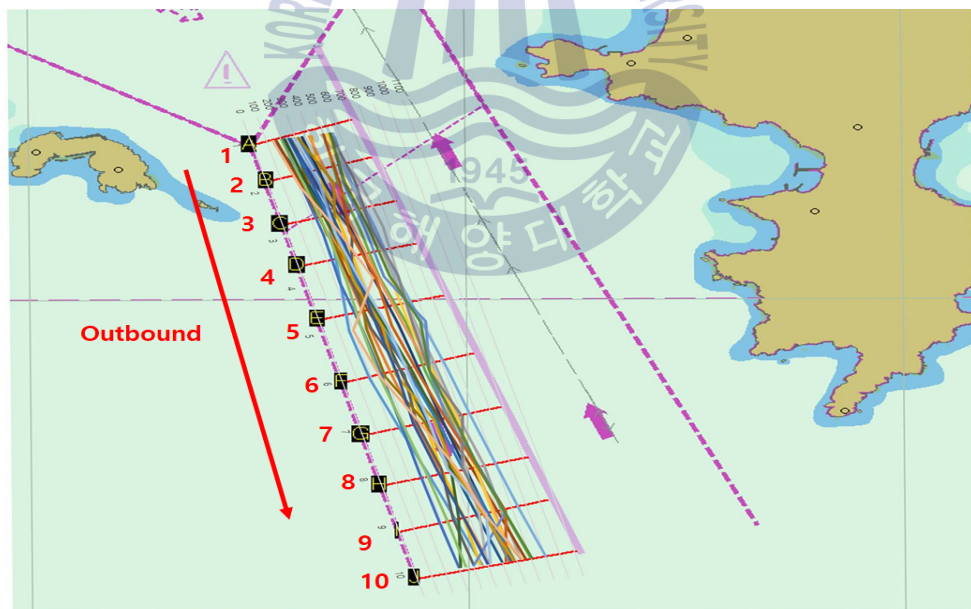


Fig. 80 Dynamic patterns for moving of outbound medium vessel on *Gadeok-sudo*

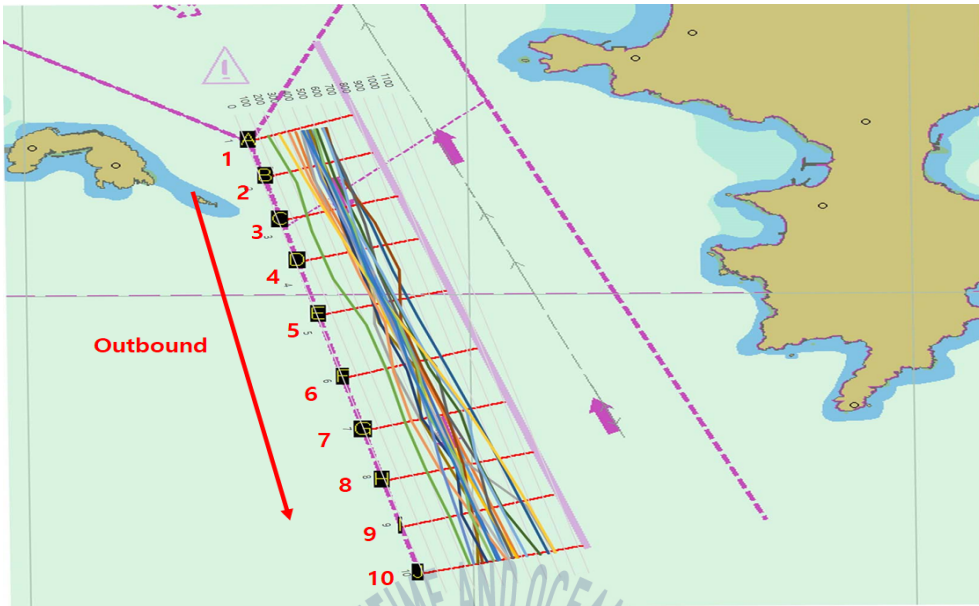


Fig. 81 Dynamic patterns for moving of outbound large vessel on *Gadeok-sudo*

Table 37은 부산 신항 가덕수도 입구항로에서 출항 시 선박의 항행에 따른 평균이격거리와 표준편차를 나타낸 것이다.

Table 37 Average and standard deviation of outbound on *Gadeok-sudo*

Unit : meter

Gate line	Small vessel		Medium vessel		Large vessel	
	Ave.	Std.	Ave.	Std.	Ave.	Std.
1	410.1	169.52	354.9	139.51	431.4	105.96
2	490.1	131.81	385.5	125.24	429.4	90.82
3	581.9	105.21	411.2	122.05	450.8	98.52
4	595.8	98.22	426	127.66	465.7	95.19
5	610.3	121.67	444.2	152.91	484.5	85.29
6	643.1	126.83	467.5	143.52	515.8	104.71
7	654.6	151.67	514	138.32	531.5	134.56
8	637.7	192.38	543.2	134.24	562.6	129.87
9	639	236.98	585.2	144.5	585.9	158.58
10	636.2	279.25	594.1	163.84	611.3	186.49

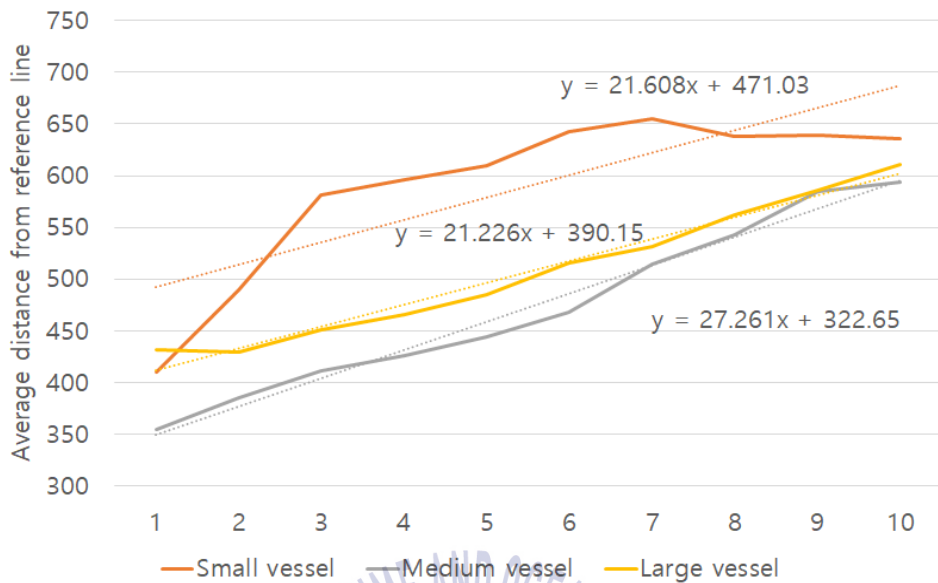


Fig. 82 Average distance from reference line of outbound on *Gadeok-sudo*

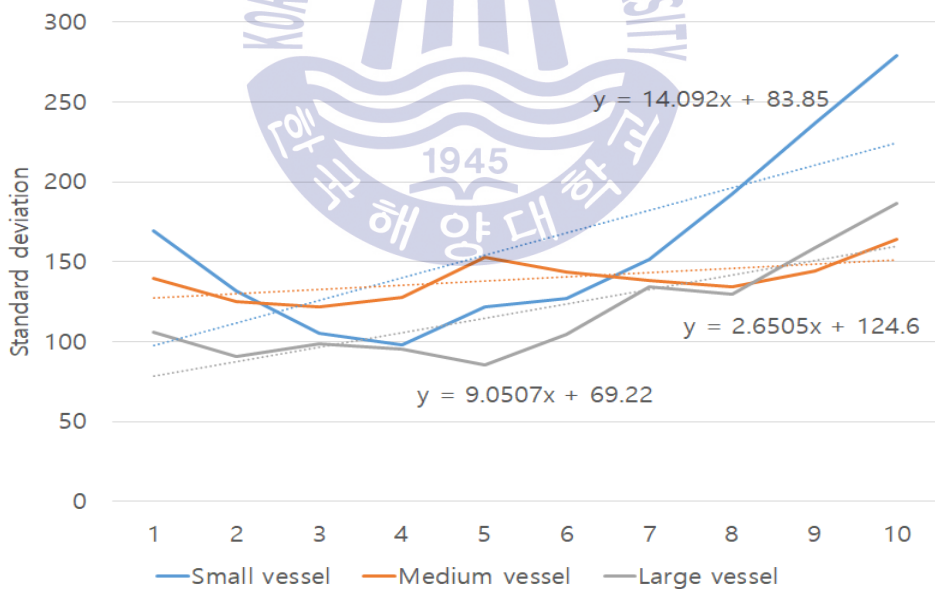


Fig. 83 Standard deviation of outbound on *Gadeok-sudo*

Fig. 82는 부산 신항 가덕수도 입구항로에서의 선박의 이동중심선의 추세를 나타낸 것이고, Fig. 83은 표준편차의 추세를 나타낸 것이다. 각 추세를 최소자승법에 의하여 추세선의 기울기를 구한 결과는 Table 38과 같다.

Table 38 Dynamic pattern for moving of outbound on *Gadeok-sudo*

Item	Small vessel		Medium vessel		Large vessel	
	$a_{ave.}$	a_{std}	$a_{ave.}$	a_{std}	$a_{ave.}$	a_{std}
Gradient	21.608	14.092	27.261	2.6505	21.226	9.0507
Dynamic pattern for Moving	Expanded backlash pattern		Expanded backlash pattern		Expanded backlash pattern	

Table 38과 같이 소형선, 중형선 및 대형선의 평균과 표준편차 추세의 기울기가 모두 1보다 크므로 확산 백슬래시형을 보였다.

4.3.5 용도항로 입항 이동패턴 분석

Fig. 84는 용도항로에서 소형선의 입항 시 동적 이동패턴을, Fig. 85는 중형선의 입항 시 동적 이동패턴을, Fig. 86은 대형선의 입항 시 동적 이동패턴을 나타낸 것이다.

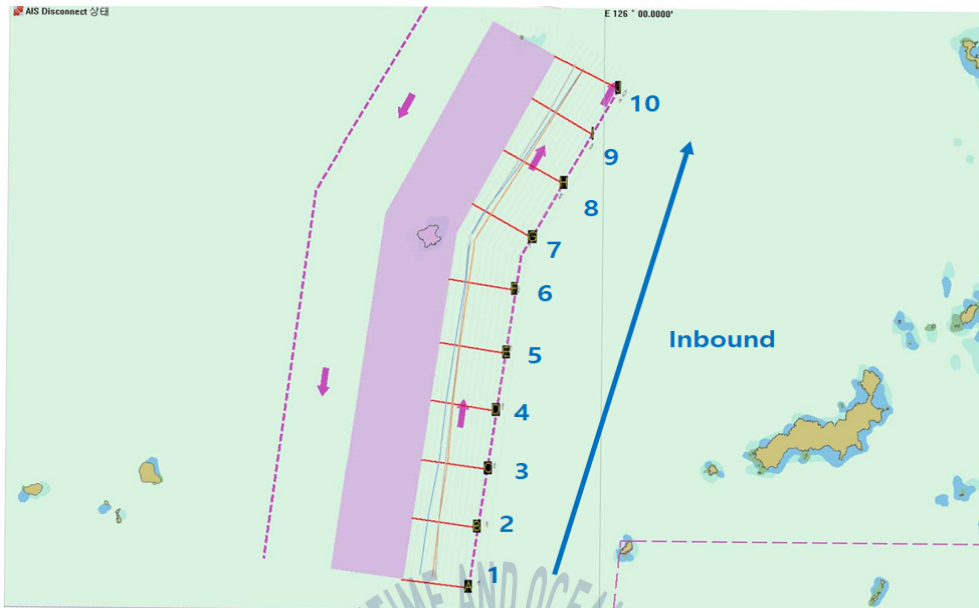


Fig. 84 Dynamic patterns for moving of inbound small vessel on Ongdo route

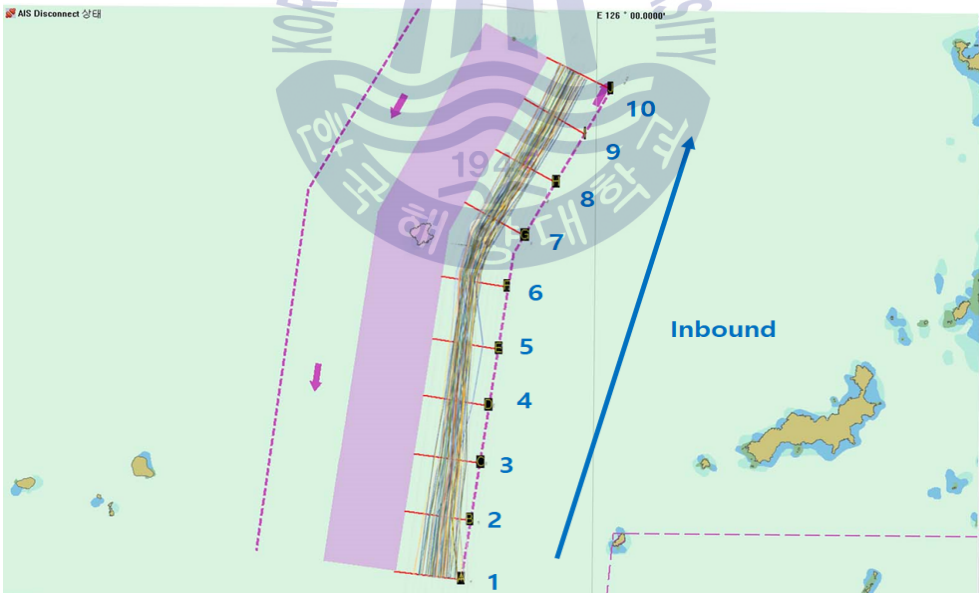


Fig. 85 Dynamic patterns for moving of inbound medium vessel on Ongdo route

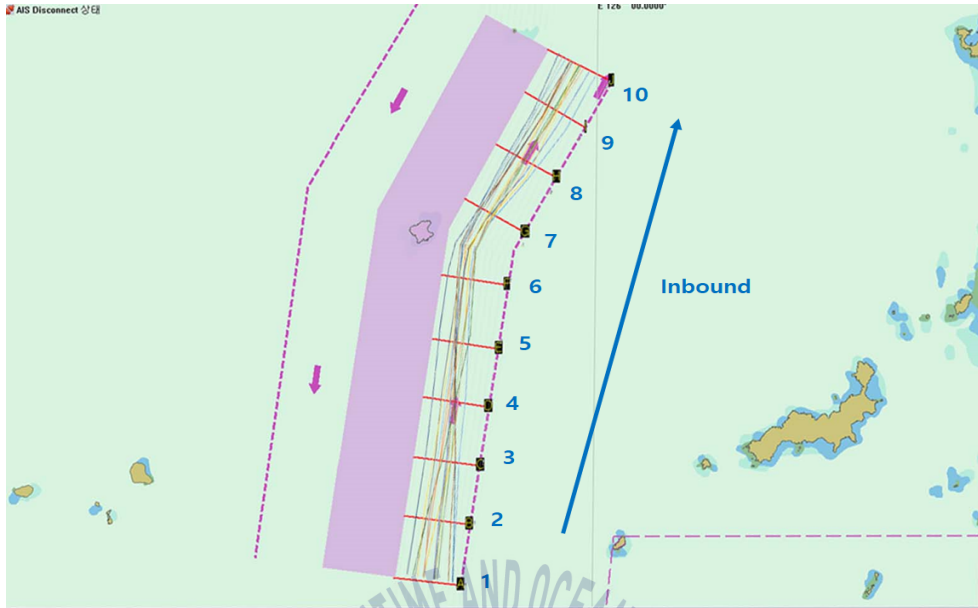


Fig. 86 Dynamic patterns for moving of inbound large vessel on Ongdo route

Table 39는 옹도항로에서 입항 시 선박의 항행에 따른 평균이격거리와 표준편차를 나타낸 것이다.

Table 39 Average and standard deviation of inbound on Ongdo route

Unit : meter

Gate line	Small vessel		Medium vessel		Large vessel	
	Ave.	Std.	Ave.	Std.	Ave.	Std.
1	1431.0	262.38	1009.4	384.08	1040.4	438.30
2	1480.1	199.18	1081.5	303.25	1103.7	361.80
3	1445.4	139.72	1083.9	252.05	1119.4	284.52
4	1503.7	113.76	1181.0	218.54	1213.8	246.73
5	1508.5	78.17	1252.3	205.95	1294.1	239.90
6	1500.3	54.93	1327.6	201.42	1386.8	223.61
7	1544.3	115.88	1396.2	224.98	1391.0	203.28
8	1466.6	86.03	1323.8	239.59	1219.0	282.73
9	1431.2	97.70	1249.5	256.49	1122.4	309.04
10	1445.8	163.1	1282.8	274.27	1114.6	342.03

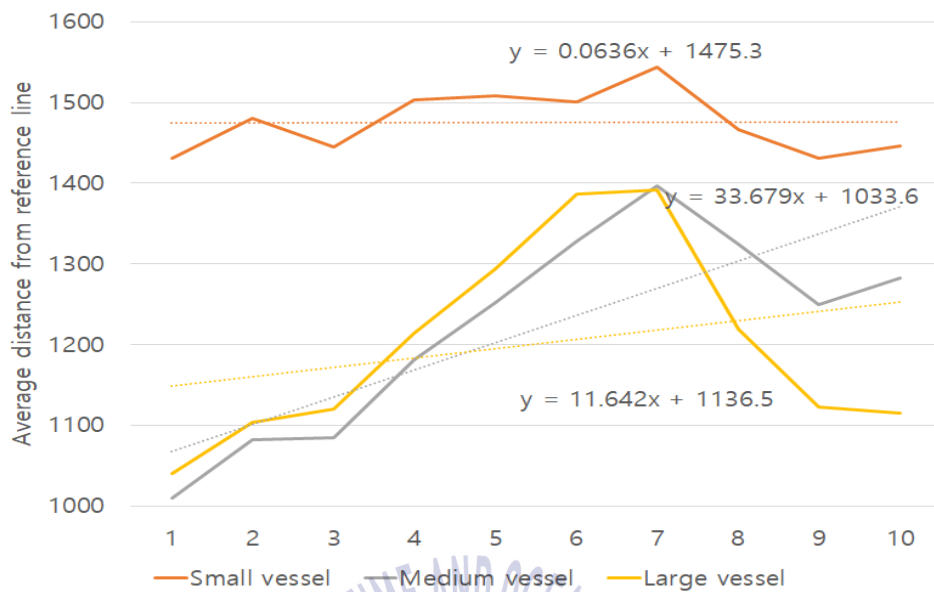


Fig. 87 Average distance from reference line of inbound on Ongdo route

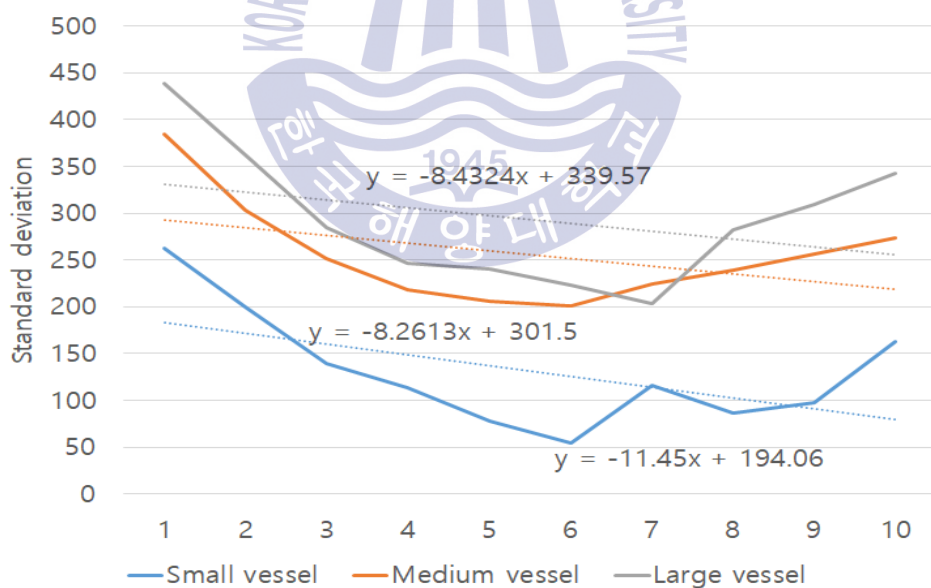


Fig. 88 Standard deviation of inbound on Ongdo route

Fig. 87은 옹도항로에서의 선박의 이동중심선의 추세를 나타낸 것이고, Fig. 88은 표준편차의 추세를 나타낸 것이다. 각 추세를 최소자승법에 의하여 추세선의 기울기를 구한 결과는 Table 40과 같다.

Table 40 Dynamic pattern for moving of inbound on Ongdo route

Item	Small vessel		Medium vessel		Large vessel	
	$a_{ave.}$	a_{std}	$a_{ave.}$	a_{std}	$a_{ave.}$	a_{std}
Gradient	0.0636	-11.45	33.679	-8.2613	11.642	-8.4324
Dynamic pattern for Moving	Wedged straight pattern		Wedged backlash pattern		Wedged backlash pattern	

Table 40과 같이 소형선 평균 추세의 기울기는 -1과 1사이이고 표준편차 추세의 기울기는 -1보다 작으므로 켜기 직진형을, 중형선과 대형선 평균 추세의 기울기는 1보다 크고, 표준편차 추세의 기울기는 -1보다 작으므로 켜기 백슬래시형을 보였다.

4.3.6 옹도항로 출항 이동패턴 분석

Fig. 89는 옹도항로에서 소형선의 출항 시 동적 이동패턴을, Fig. 90은 중형선의 출항 시 동적 이동패턴을, Fig. 91은 대형선의 출항 시 동적 이동패턴을 나타낸 것이다.

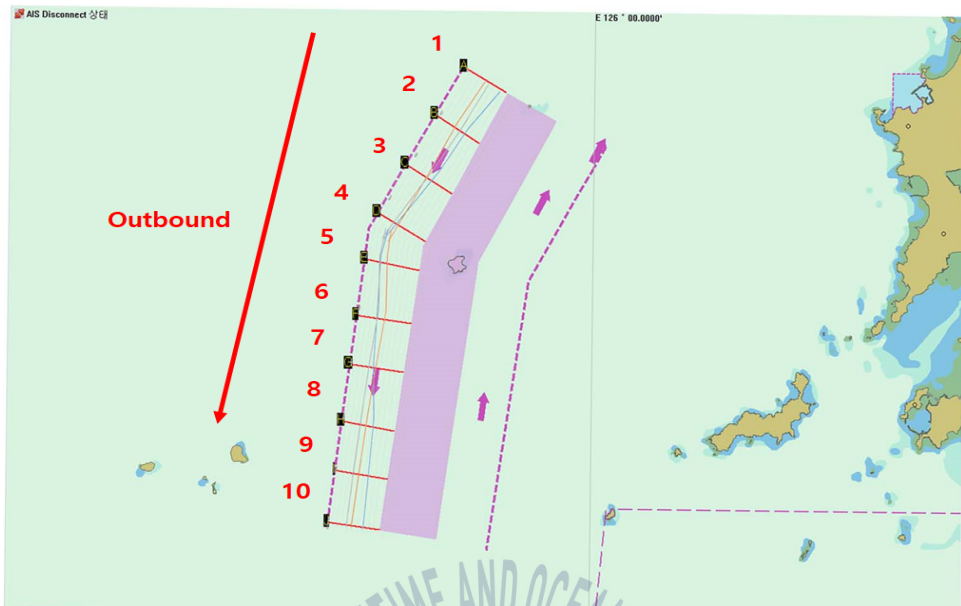


Fig. 89 Dynamic patterns for moving of outbound small vessel on Ongdo route

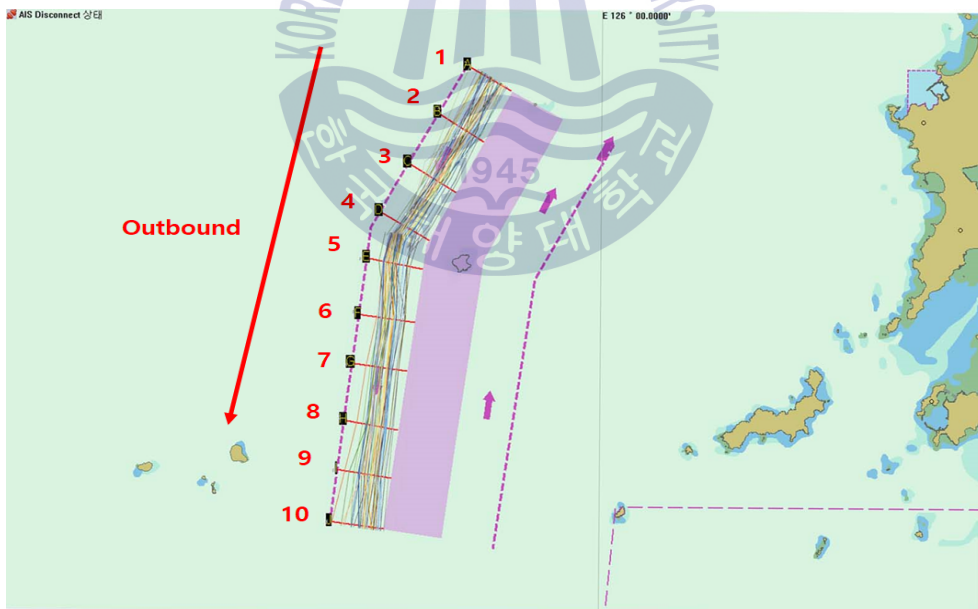


Fig. 90 Dynamic patterns for moving of outbound medium vessel on Ongdo route

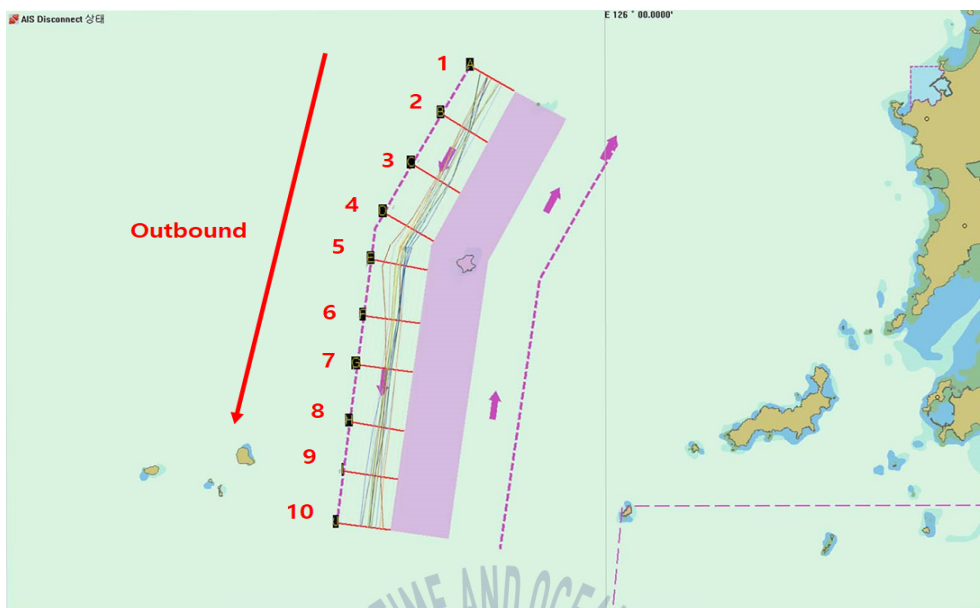


Fig. 91 Dynamic patterns for moving of outbound large vessel on Ongdo route

Table 41은 옹도항로에서 출항 시 선박의 항행에 따른 평균이격거리와 표준편차를 나타낸 것이다.

Table 41 Average and standard deviation of outbound on Ongdo route

Unit : meter

Gate line	Small vessel		Medium vessel		Large vessel	
	Ave.	Std.	Ave.	Std.	Ave.	Std.
1	921.8	338.62	1129.0	367.64	1006.7	306.60
2	788.1	223.29	1181.0	335.07	1090.5	201.82
3	755.0	151.89	1207.4	318.99	1200.8	224.92
4	620.4	81.14	1163.6	267.51	1152.2	211.79
5	483.0	153.91	1000.5	256.91	1007.2	235.70
6	705.1	178.74	1144.5	266.06	1133.7	169.48
7	706.3	138.99	1114.2	260.88	1123.7	143.16
8	790.3	245.88	1144.3	276.68	1140.0	168.57
9	820.1	292.47	1109.3	318.97	1135.8	179.82
10	857.8	327.88	1154.7	373.09	1183.1	245.97

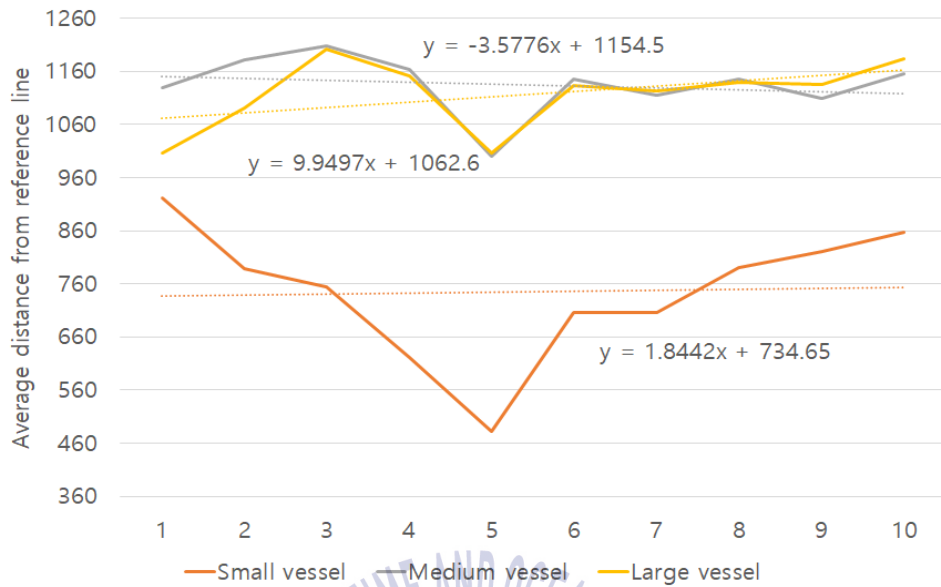


Fig. 92 Average distance from reference line of outbound on Ongdo route

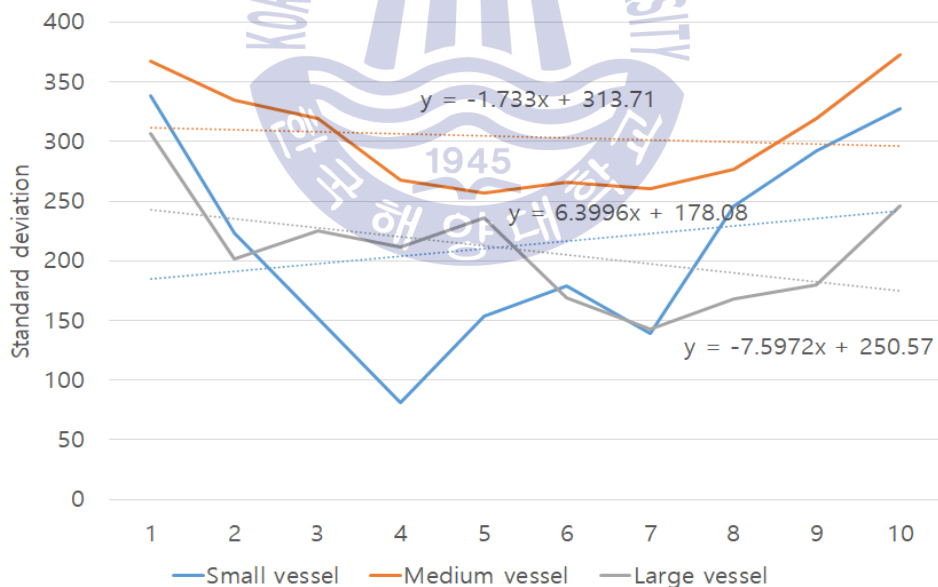


Fig. 93 Standard deviation of outbound on Ongdo route

Fig. 92는 옹도항로에서의 선박의 이동중심선의 추세를 나타낸 것이고, Fig. 93은 표준편차의 추세를 나타낸 것이다. 각 추세를 최소자승법에 의하여 추세선의 기울기를 구한 결과는 Table 42와 같다.

Table 42 Dynamic pattern for moving of outbound on Ongdo route

Item	Small vessel		Medium vessel		Large vessel	
	$a_{ave.}$	a_{std}	$a_{ave.}$	a_{std}	$a_{ave.}$	a_{std}
Gradient	1.8442	6.3996	-3.5776	-1.733	9.9497	-7.5972
Dynamic pattern for Moving	Expanded backlash pattern		Wedge slash pattern		Wedge backlash pattern	

Table 42와 같이 소형선 평균과 표준편차 추세의 기울기가 모두 1보다 크므로 확산 백슬래시형을, 중형선 평균과 표준편차 추세의 기울기가 모두 -1보다 작으므로 췌기 슬래시형을, 대형선 평균 추세의 기울기는 1보다 크고, 표준편차 추세의 기울기는 -1보다 작으므로 췌기 백슬래시형을 보였다.

4.4 해상교통 동적 속력패턴 적용

4.4.1 부산 북항 제1항로 입항 속력패턴 분석

Fig. 94, Fig. 95 및 Fig. 96은 부산 북항 제1항로 입항에 따른 각 선박 크기별 입항 속력 패턴을 나타낸 것이다.

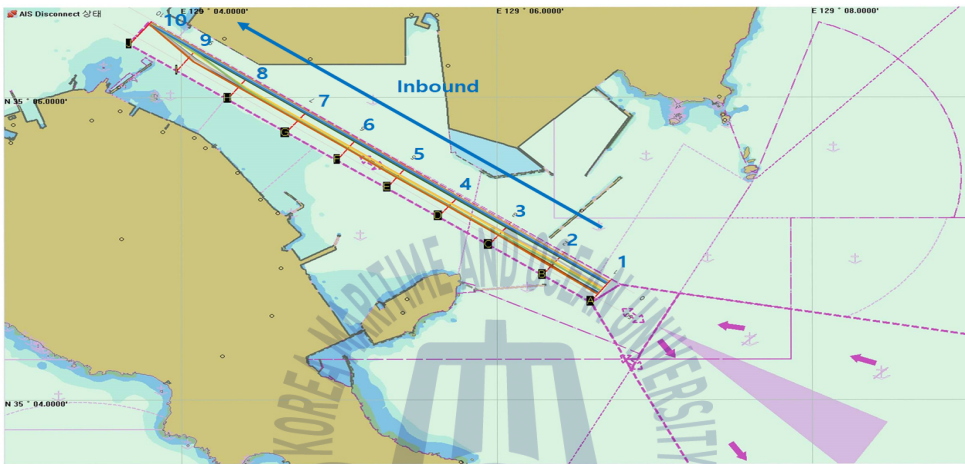


Fig. 94 Dynamic patterns for speed of inbound small vessel on Busan north port No.1 route



Fig. 95 Dynamic patterns for speed of inbound medium vessel on Busan north port No.1 route

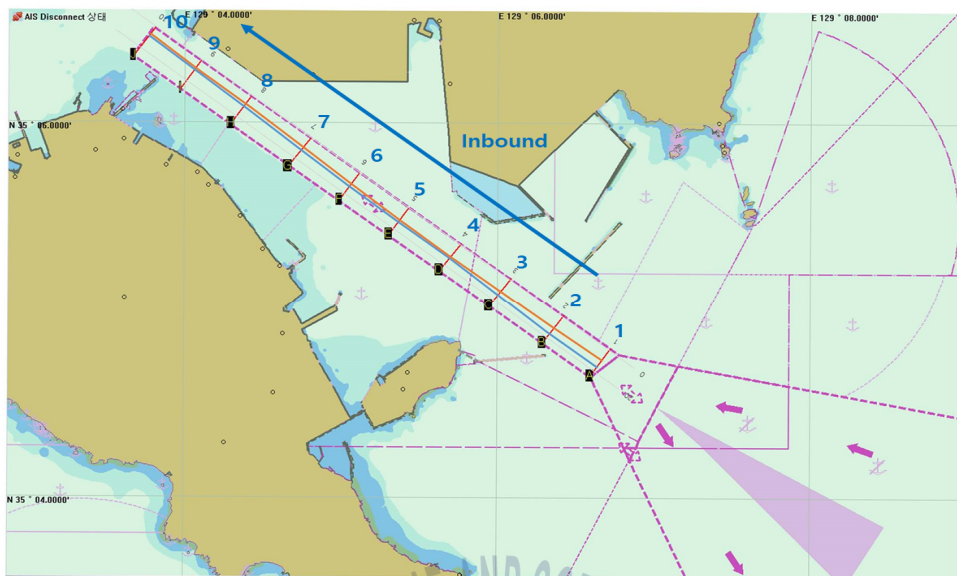


Fig. 96 Dynamic patterns for speed of inbound large vessel on Busan north port No.1 route

Table 43 SPD_d for inbound on Busan north port No.1 route

Unit : %

Sector (from ~ to)	Vessel size		
	Small	Medium	Large
1~2	-3.03	-1.97	-0.40
2~3	-0.16	-1.72	-3.74
3~4	1.89	-1.79	3.36
4~5	0.31	-1.43	0.20
5~6	-0.51	-2.43	0.61
6~7	-0.79	-2.39	-0.91
7~8	-1.13	-7.08	0.92
8~9	-14.00	-7.32	-1.01
9~10	-42.96	-9.46	-3.26

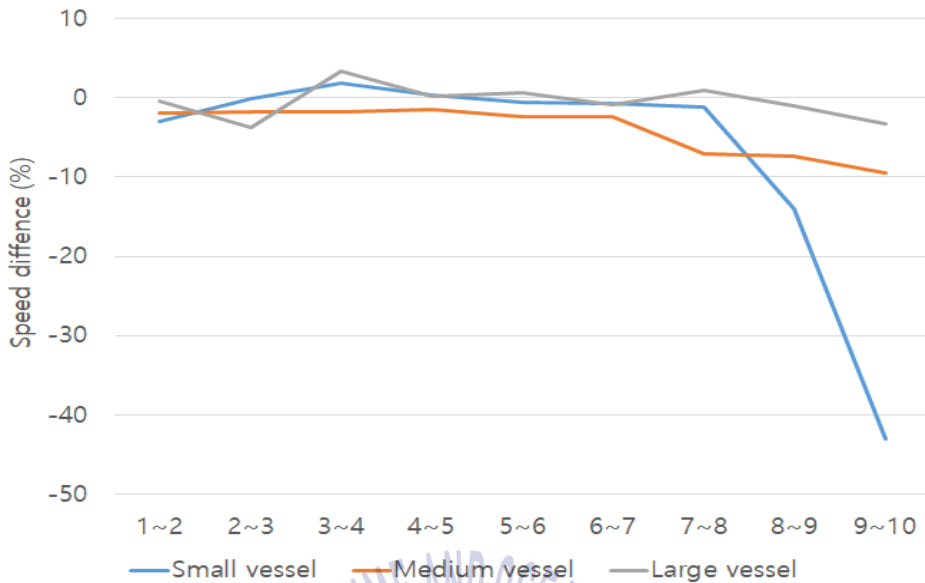


Fig. 97 SPD_d for inbound on Busan north port No.1 route

Table 43과 Fig. 97은 각 구간별 SPD_d 를 나타낸 것이다. Fig. 97에서 보는 바와 같이 소형선의 경우에는 8구간부터, 중형선의 경우에는 7구간부터, 대형선의 경우 9구간부터 속력의 감속이 이루어지기 시작하였다. 다만, 중형선과 대형선의 경우 속력의 감소가 10% 이상 이루어진 구간은 없었지만, 소형선의 경우 그 감소 폭이 약 -43%에 달할 정도로 심하였다. 이는 소형여객선이 이 구간에서 감속함으로써 나타난 결과이다.

따라서 본 연구에서 정의한 속력패턴에서 부산 북항 제1항로 입항에서 소형선의 경우는 8~10구간만이 감속구간이며, 나머지 구간은 모두 정속구간으로 분석되었다.

4.4.2 부산 북항 제1항로 출항 속력패턴 분석

Fig. 98, Fig. 99 및 Fig. 100은 부산 북항 제1항로 출항에 따른 각 선박 크기별 출항 속력 패턴을 나타낸 것이다.

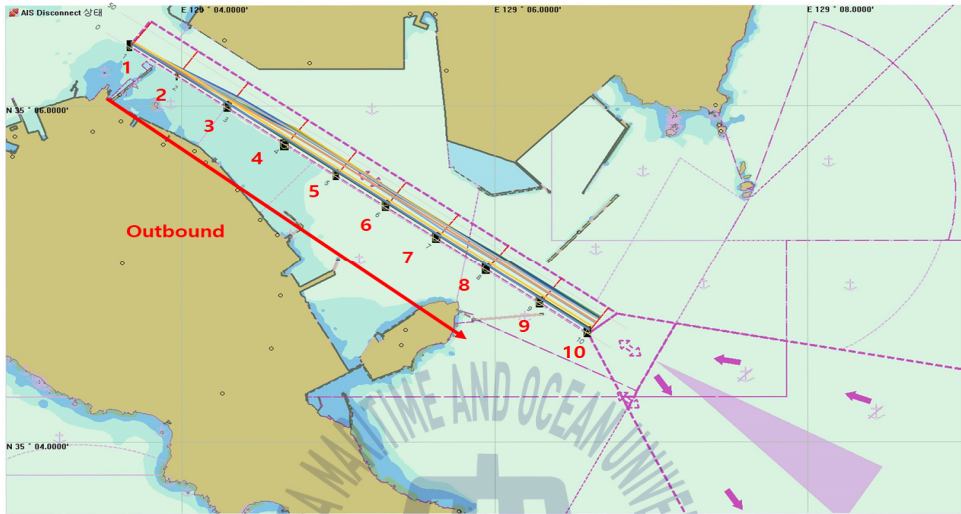


Fig. 98 Dynamic patterns for speed of outbound small vessel on Busan north port No.1 route

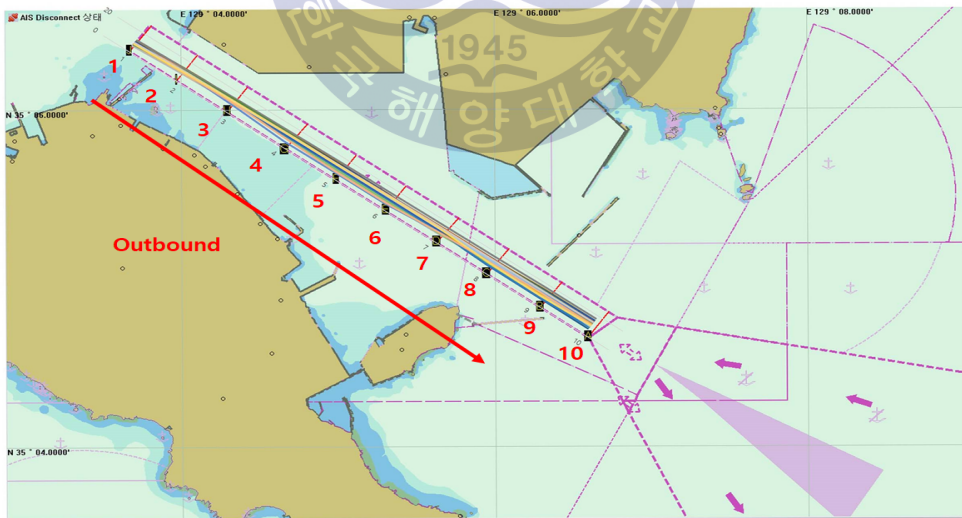


Fig. 99 Dynamic patterns for speed of outbound medium vessel on Busan north port No.1 route

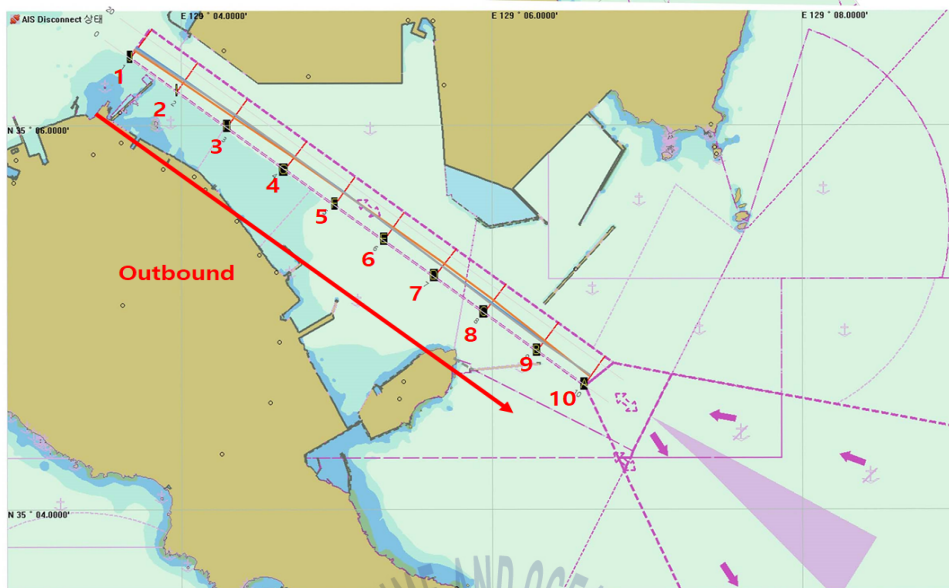


Fig. 100 Dynamic patterns for speed of outbound large vessel on Busan north port No.1 route

Table 44 SPD_d for outbound on Busan north port No.1 route

Unit : %

Sector (from ~ to)	Vessel size		
	Small	Medium	Large
1~2	42.70	15.24	18.44
2~3	22.62	5.46	13.15
3~4	30.97	1.02	7.34
4~5	-0.05	-0.39	1.71
5~6	-1.13	-1.80	-3.64
6~7	-0.39	1.24	-5.52
7~8	2.11	-0.49	-8.31
8~9	2.45	2.02	-11.74
9~10	3.17	-0.16	-7.60

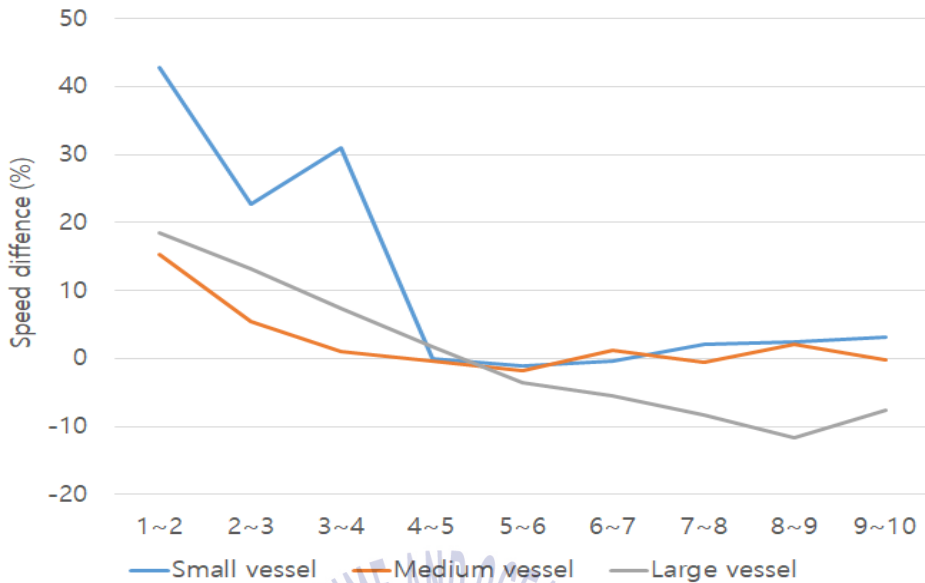


Fig. 101 SPD_d for outbound on Busan north port No.1 route

Table 44와 Fig. 101은 SPD_d 를 나타낸 것이다. Fig. 101에서 보는 바와 같이 소형선의 경우 1~5구간까지, 중형선의 경우 1~4구간까지, 대형선의 경우 1~5구간까지 꾸준히 속력을 올리고, 소형선과 중형선은 이후 속력을 유지하지만, 대형선의 경우 5구간부터 출구부까지 감속함을 알 수 있었다.

다만 속력의 10% 증감이 나타난 구간은 소형선은 1~4구간, 중형선은 1~2구간, 대형선은 1~3구간 속력이 10% 증가한 것으로 나타났으며, 대형선은 8~9구간에서 속력이 10% 감소함을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서의 정의한 속력패턴에서 부산 북항 제1항로 출항에서 소형선은 1~4구간, 중형선은 1~2구간, 대형선은 1~3구간이 가속구간이고, 대형선은 8~9구간은 감속구간이며, 나머지 구간은 모두 정속구간으로 분석되었다.

4.4.3 부산 신항 가덕수도 입구항로 입항 속력패턴 분석

Fig. 102, Fig. 103 및 Fig. 104는 부산 신항 가덕수도 입구항로 입항에 따른 각 선박 크기별 입항 속력 패턴을 나타낸 것이다.

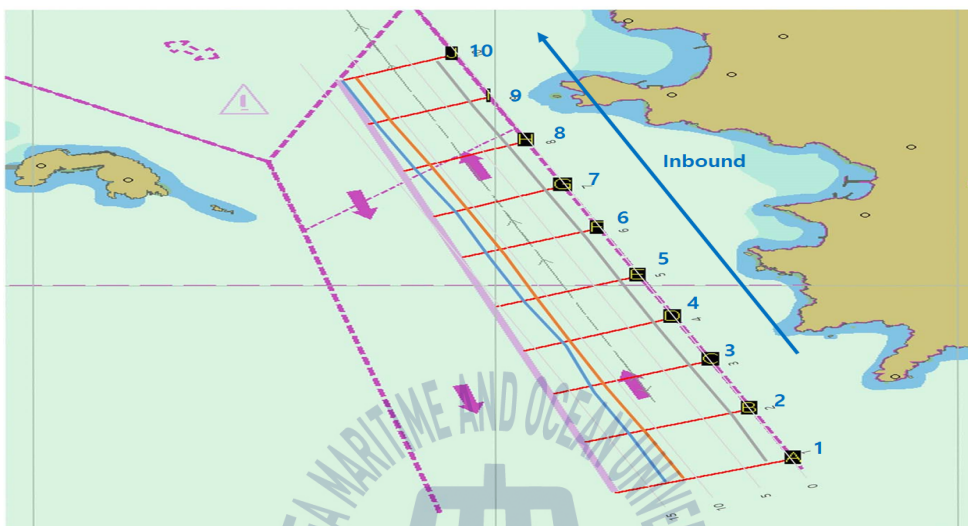


Fig. 102 Dynamic patterns for speed of inbound small vessel on *Gadeok-sudo*

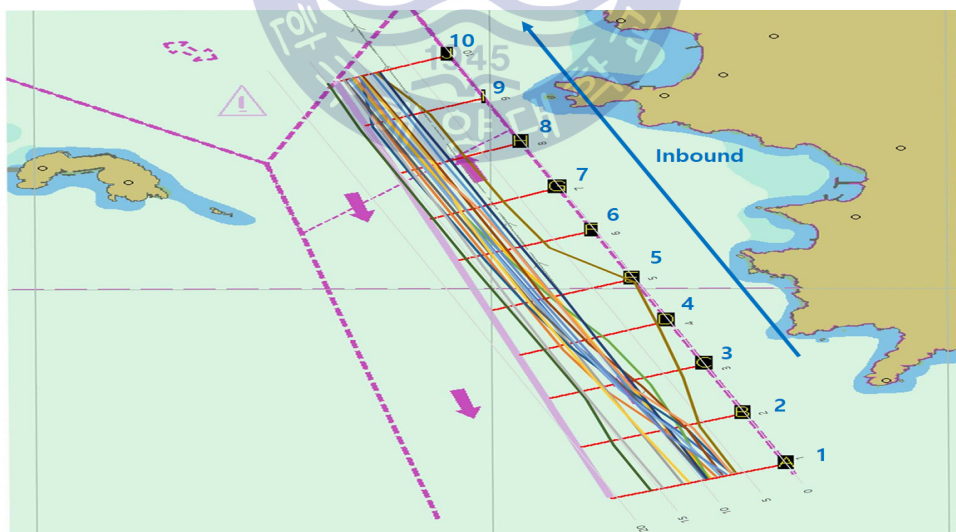


Fig. 103 Dynamic patterns for speed of inbound medium vessel on *Gadeok-sudo*

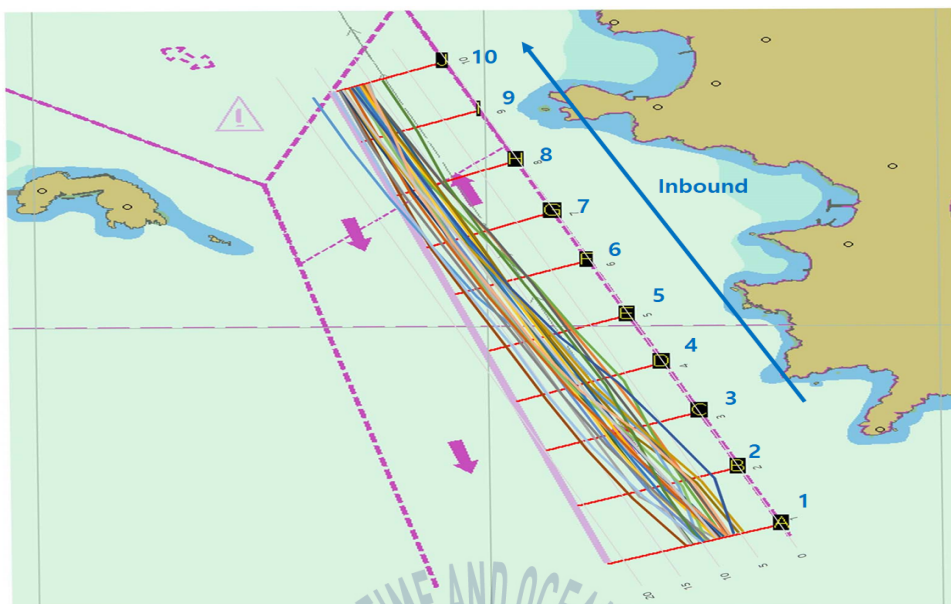


Fig. 104 Dynamic patterns for speed of inbound large vessel on *Gadeok-sudo*

Table 45 SPD_i for inbound on *Gadeok-sudo*

Unit : %

Sector (from ~ to)	Vessel size		
	Small	Medium	Large
1~2	-2.25	4.81	10.76
2~3	1.53	6.67	11.02
3~4	-3.40	4.82	8.17
4~5	0.78	2.57	6.47
5~6	-2.71	5.07	5.09
6~7	-0.80	1.17	3.12
7~8	2.81	0.25	1.67
8~9	2.34	0.45	-1.04
9~10	-1.15	-0.85	-1.92

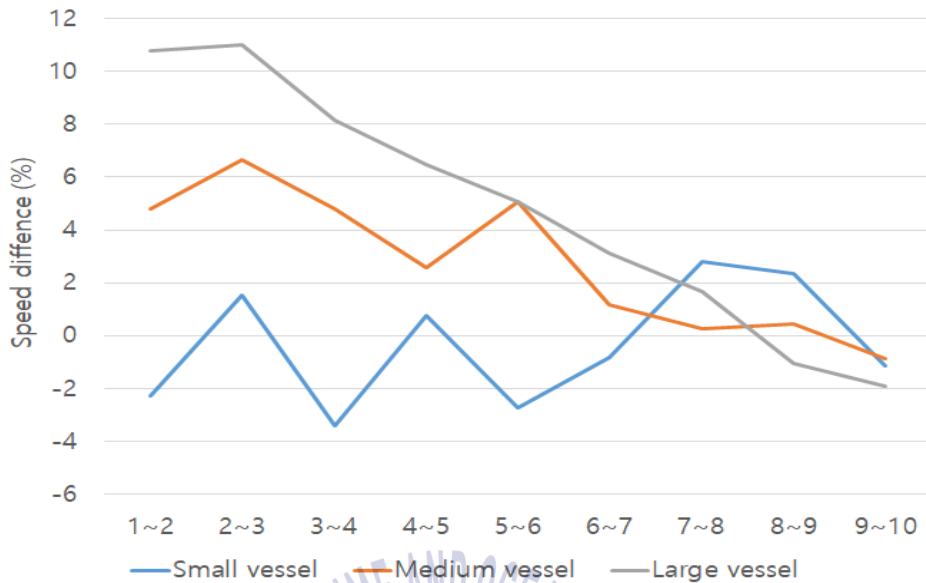


Fig. 105 SPD_d for inbound on Gadeok-sudo

Table 45와 Fig. 105는 SPD_d 를 나타낸 것이다. Fig. 105에서 보는 바와 같이 입항 시 대체로 항로 입구부에서 속력을 가속하며, 중형선과 대형선은 이후 꾸준히 속력을 올리고, 출구부에서 다소 감속함을 알 수 있었다.

다만, 10% 속력의 증감을 나타내는 구간은 소형선과 중형선 경우 없으며, 대형선의 경우 1~3구간에서 속력을 10%이상 증속함을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서의 정의한 속력패턴에서 부산 신항 가덕수도 입구항로 입항에서 대형선의 1~3구간 가속구간이고, 나머지 구간은 모두 정속구간으로 분석되었다.

4.4.4 부산 신항 가덕수도 입구항로 출항 속도패턴 분석

Fig. 106, Fig. 107 및 Fig. 108은 부산 신항 가덕수도 입구항로 출항에 따른 각 선박 크기별 출항 속도 패턴을 나타낸 것이다.

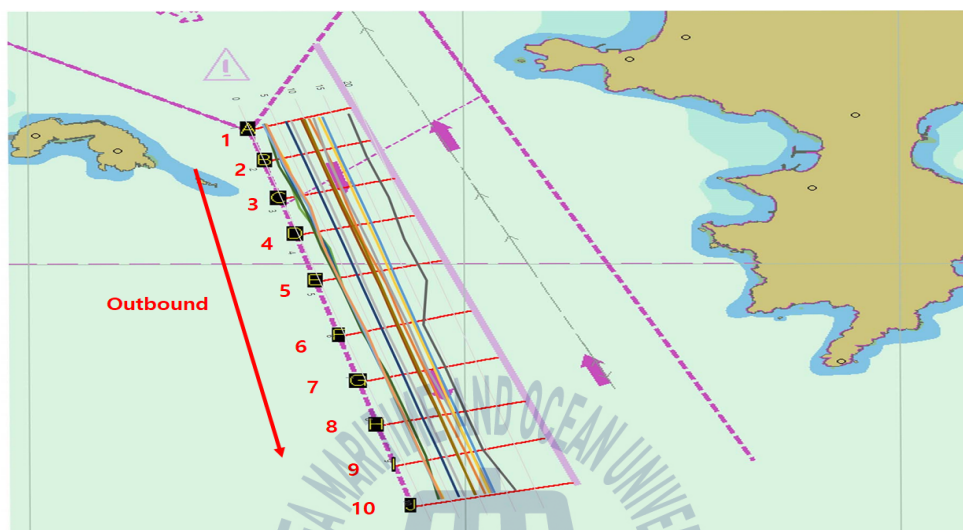


Fig. 106 Dynamic patterns for speed of outbound small vessel on *Gadeok-sudo*

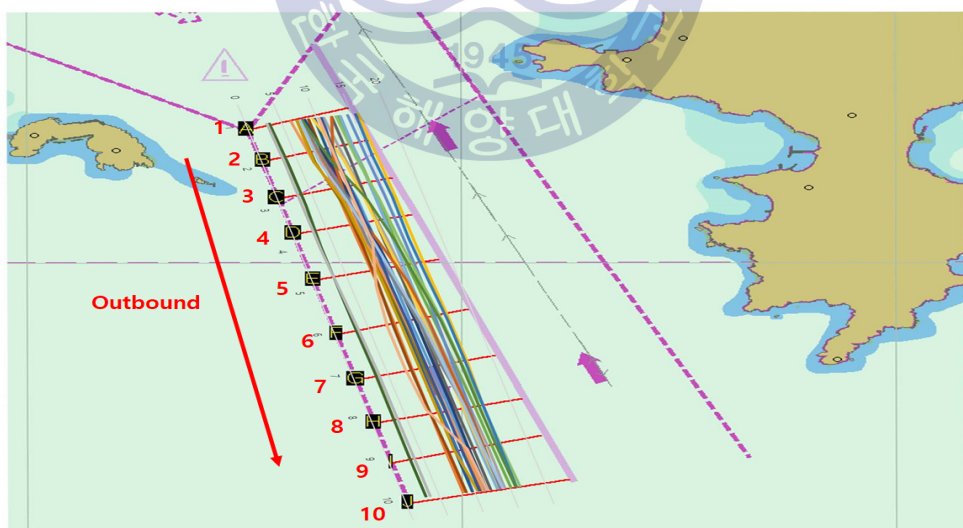


Fig. 107 Dynamic patterns for speed of outbound medium vessel on *Gadeok-sudo*

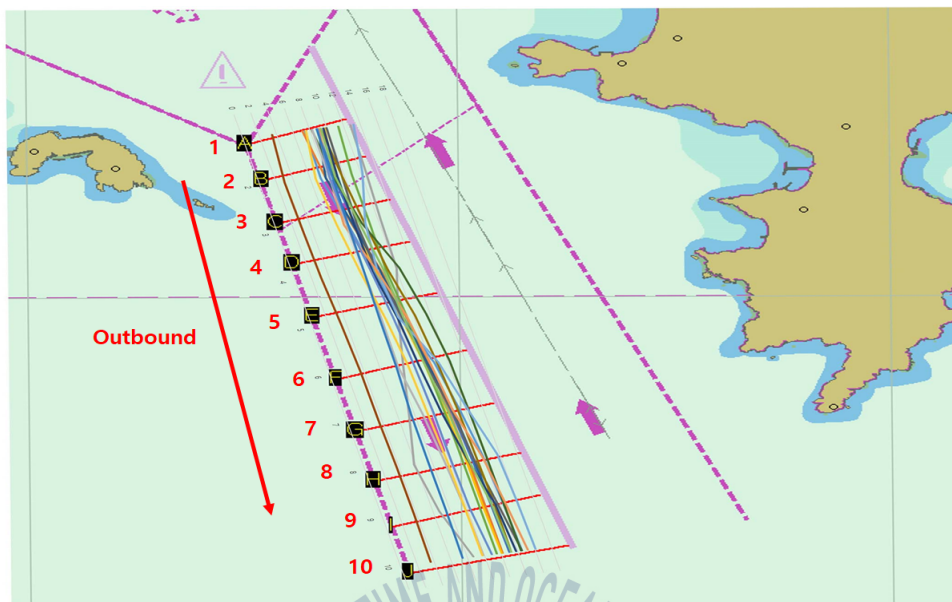


Fig. 108 Dynamic patterns for speed of outbound large vessel on *Gadeok-sudo*

Table 46 SPD_d for outbound on *Gadeok-sudo*

Unit : %

Sector (from ~ to)	Vessel size		
	Small	Medium	Large
1~2	-0.33	1.95	-3.90
2~3	1.67	5.77	2.48
3~4	1.48	3.33	6.67
4~5	-0.57	2.48	5.92
5~6	-2.45	1.78	5.59
6~7	1.09	0.70	3.81
7~8	0.58	0.97	2.76
8~9	0.25	1.25	2.97
9~10	1.15	0.81	2.34

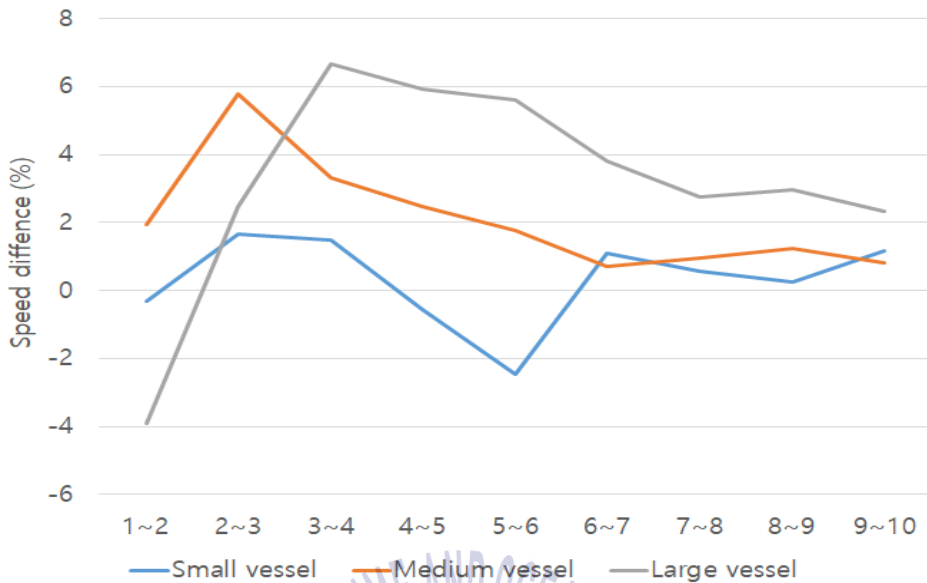


Fig 109 SPD_d for outbound on *Gadeok-sudo*

Table 46과 Fig. 109는 SPD_d 를 나타낸 것이다. Fig. 109에서 보는 바와 같이 출항 시 소형선의 경우 항로 입구부와 출구부에서 속력의 변화가 크지 않고, 중형선과 대형선은 대체로 가속함을 알 수 있었다.

다만, 10% 속력의 증감을 나타내는 구간은 소형선과 중형선, 대형선 모든 경우에서 나타나지 않음을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서의 정의한 속력패턴에서 부산 신항 가덕수도 입구항로 출항에서 전 구간은 모두 정속구간으로 분석되었다.

4.4.5 옹도항로 입항 속도패턴 분석

Fig. 110, Fig. 111 및 Fig. 112는 옹도항로 입항에 따른 각 선박 크기별 입항 속도 패턴을 나타낸 것이다.

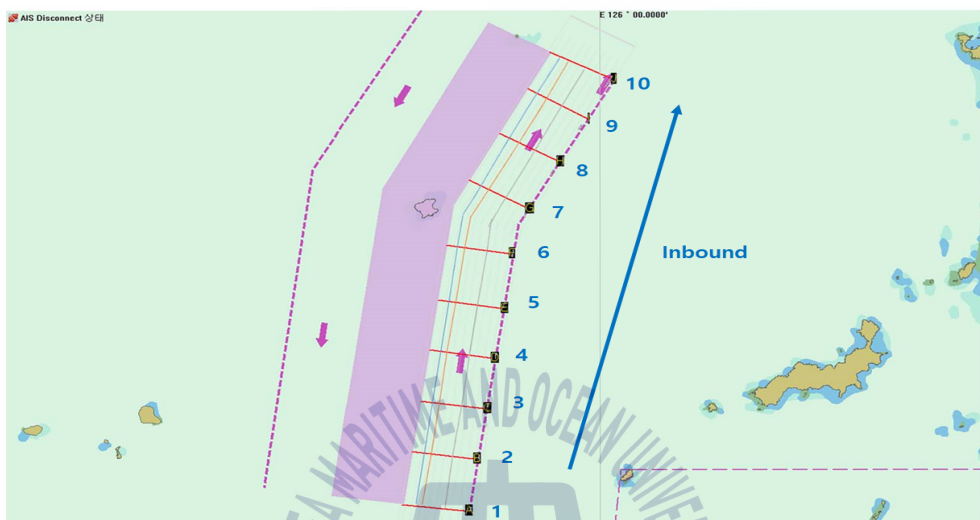


Fig. 110 Dynamic patterns for speed of inbound small vessel on Ongdo route

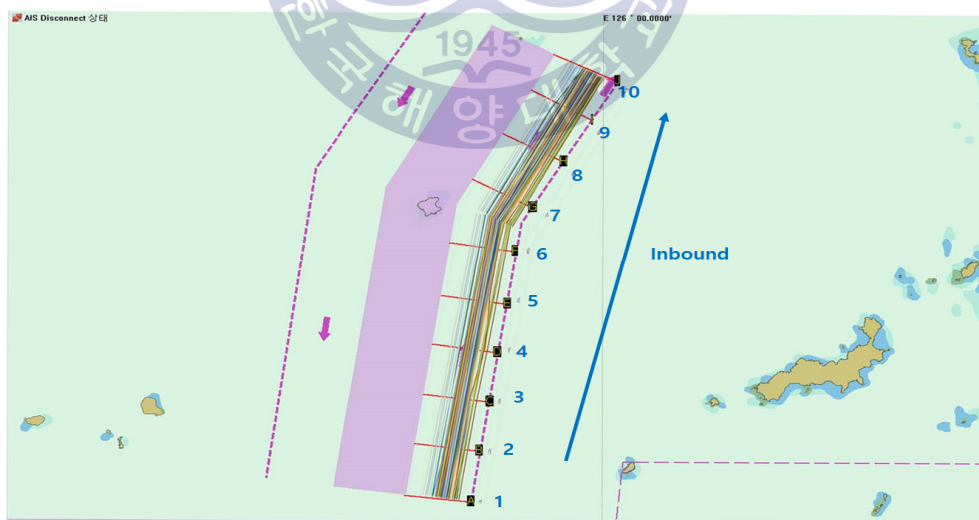


Fig. 111 Dynamic patterns for speed of inbound medium vessel on Ongdo route

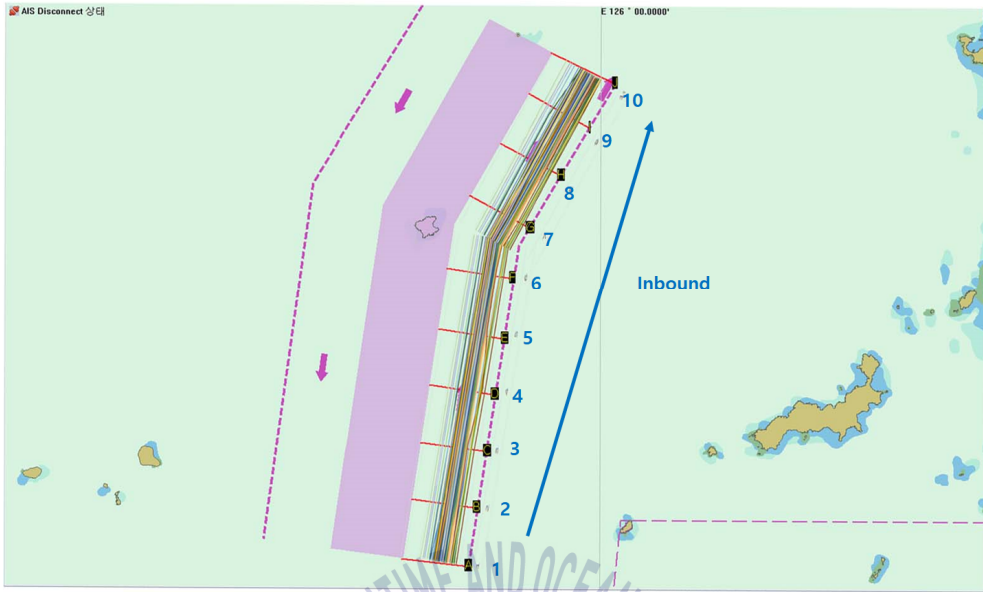


Fig. 112 Dynamic patterns for speed of inbound Large vessel on Ongdo route

Table 47 SPD_d for inbound on Ongdo route

Unit : %

Sector (from ~ to)	Vessel size		
	Small	Medium	Large
1~2	0.00	0.14	-0.80
2~3	0.00	0.28	0.19
3~4	0.98	-0.66	1.18
4~5	-0.65	-0.18	-0.93
5~6	0.00	-0.32	0.24
6~7	-0.65	-0.59	0.33
7~8	0.00	0.30	1.97
8~9	0.99	0.52	1.42
9~10	0.33	-0.28	-1.04

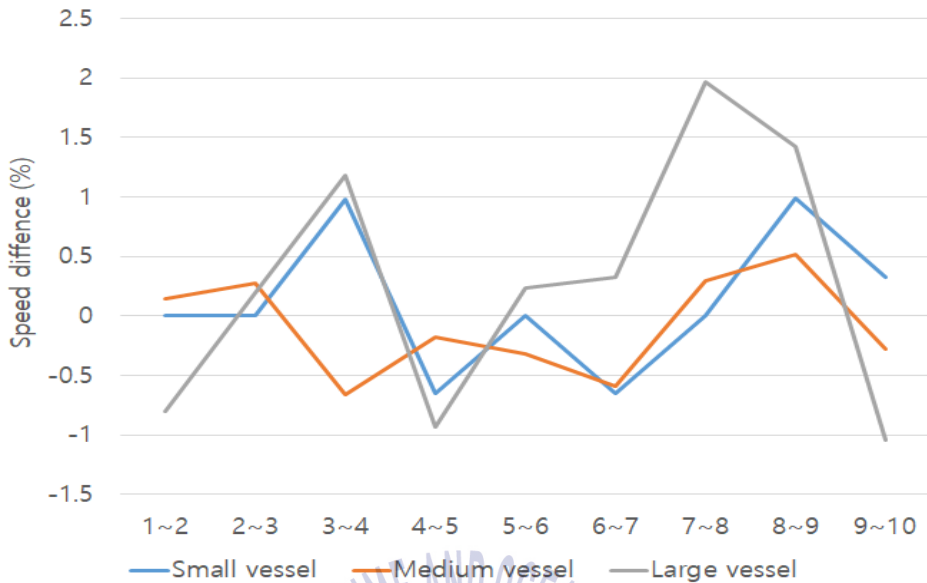


Fig. 113 SPD_d for inbound on Ongdo route

Table 47과 Fig. 113은 SPD_d 를 나타낸 것이다. Fig. 113에서 보는 바와 같이 웅도항로에서 입항은 선박의 크기와 관계없이 대부분의 구간에서 속력을 유지함을 알 수 있었다.

또한 10% 속력의 증감을 나타내는 구간도 소형선과 중형선, 대형선 모든 경우에서 나타나지 않음을 알 수 있었다.

따라서 웅도항로의 입항에서 구간은 모두 정속구간으로 분석되었다.

4.4.6 옹도항로 출항 속도패턴 분석

Fig. 114, Fig. 115 및 Fig. 116은 옹도항로 출항에 따른 각 선박 크기별 입항 속도 패턴을 나타낸 것이다.

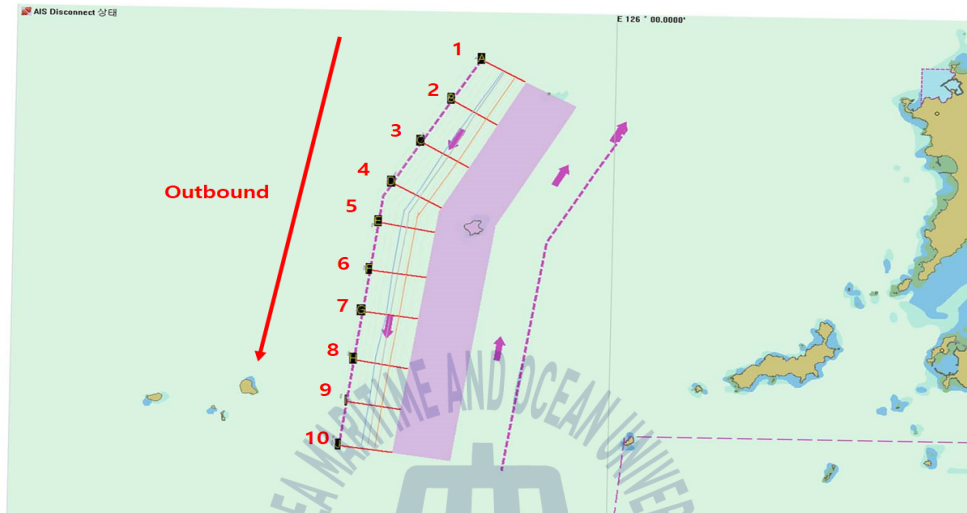


Fig. 114 Dynamic patterns for speed of outbound small vessel on Ongdo route

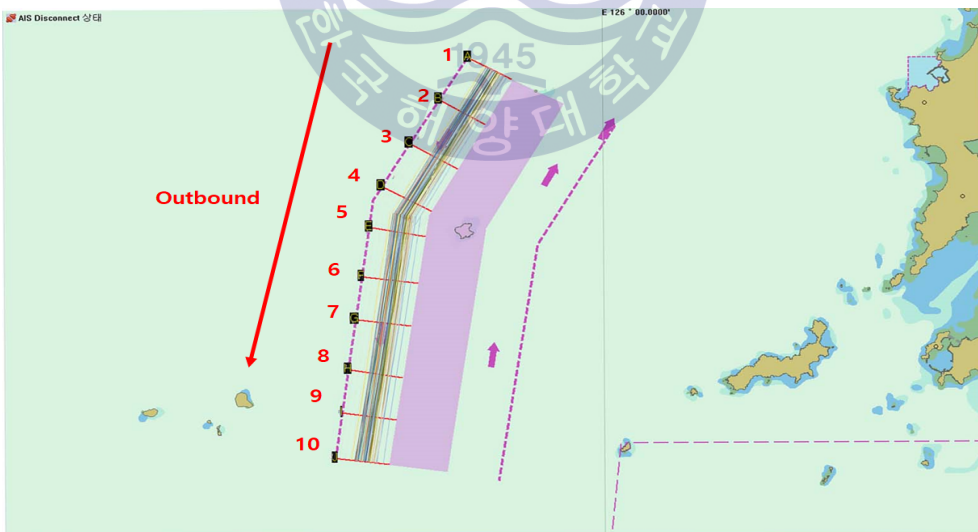


Fig. 115 Dynamic patterns for speed of outbound medium vessel on Ongdo route

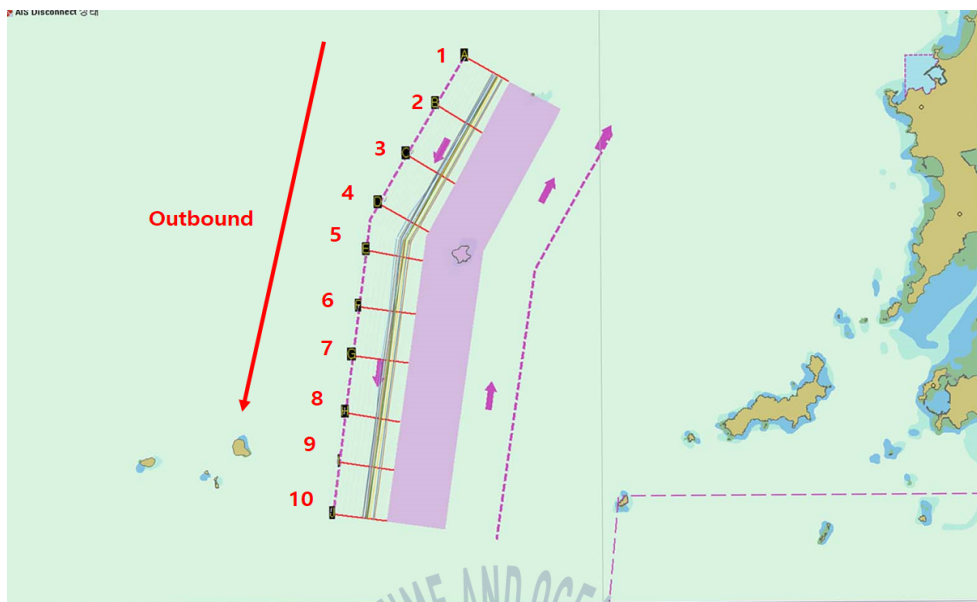


Fig. 116 Dynamic patterns for speed of outbound large vessel on Ongdo route

Table 48 SPD_d for outbound on Ongdo route

Unit : %

Sector (from ~ to)	Vessel size		
	Small	Medium	Large
1~2	-0.97	0.26	0.51
2~3	3.26	-0.78	-0.15
3~4	0.95	0.24	0.22
4~5	-1.25	-0.82	-2.40
5~6	-0.95	0.89	1.57
6~7	1.92	0.56	0.51
7~8	-2.82	-0.28	-0.15
8~9	1.61	-0.56	-0.15
9~10	1.27	-0.60	-0.29

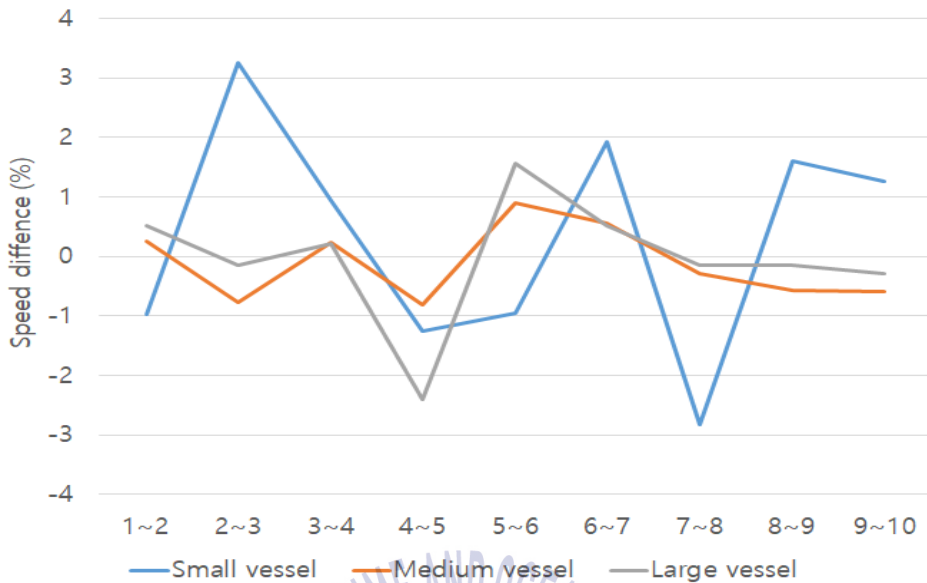


Fig. 117 SPD_d for outbound on Ongdo route

Table 48과 Fig. 117은 SPD_d 를 나타낸 것이다. Fig. 117에서 보는 바와 같이 옹도항로에서 출항은 선박의 크기와 관계없이 대부분의 구간에서 속력을 유지함을 알 수 있었다.

또한 10% 속력의 증감을 나타내는 구간도 소형선과 중형선, 대형선 모든 경우에서 나타나지 않음을 알 수 있었다.

따라서 옹도항로의 출항에서 구간은 모두 정속구간으로 분석되었다.

4.5 동적 항행패턴 분석 결과

Table 49 Result of dynamic traffic pattern at 3 traffic route

Item		Busan north port No.1 route			<i>Gadeok-sudo</i>			Ongdo route		
		Small vessel	Medium vessel	Large vessel	Small vessel	Medium vessel	Large vessel	Small vessel	Medium vessel	Large vessel
In bound	Moving	Symmetrical slash pattern	Wedged slash pattern	Symmetrical straight pattern	Wedged slash pattern	Wedged backlash pattern	Wedged backlash pattern	Wedged straight pattern	Wedged straight pattern	Wedged backlash pattern
	Speed	8~9 Deceleration section	Fixed speed section	Fixed speed section	Fixed speed section	Fixed speed section	1~3 Acceleration section	Fixed speed section	Fixed speed section	Fixed speed section
Out bound	Moving	Expanded backlash pattern	Symmetrical slash pattern	Symmetrical slash pattern	Expanded backlash pattern	Expanded backlash pattern	Expanded backlash pattern	Expanded backlash pattern	Expanded slash pattern	Wedged backlash pattern
	Speed	1~4 Acceleration section	1~2 Acceleration section	1~3 Acceleration section 8~9 Deceleration section	Fixed speed section	Fixed speed section	Fixed speed section	Fixed speed section	Fixed speed section	Fixed speed section

Table 49는 대상항로에서의 해상교통의 동적 통행패턴 분석 결과를 나타낸 것이다.

부산 북항 제1항로의 경우 이동패턴은 대체적으로 대칭 슬래시형으로 분석되었다. 속력 패턴은 입항 시 소형선은 항로의 출구부에서 감속하고 나머지는 정속구간으로 분석되었다. 출항 시 항로의 입구부에서 가속하고, 대형선의 경우 출구부에서 감속하는 패턴으로 분석되었다.

부산 신항 가덕수도 입구항로의 경우 이동패턴은 대체적으로 입항 시 켜기 슬래시형, 출항 시 확산 백슬래시형으로 분석되었다. 속력 패턴은 입항 및 출항 시 대부분 정속구간이나 입항 시 대형선의 경우에만 입구부에 가속구간으로 분석되었다.

옹도항로의 경우 이동패턴은 입항 시 켜기 직진형을, 출항 시 확산 백슬래시형으로 분석되었다. 속력패턴은 입항 및 출항 시 모두 정속구간으로 분석되었다.



제 5 장 대상항로 동적 통행패턴의 적용

5.1 대상항로의 동적 통행 패턴의 이해

5.1.1 부산 북항 제1항로의 동적 통행 패턴

부산 북항 제1항로는 왕복항로로서 입항과 출항이 동시에 일어나는 해역이다. 앞서 동적 항행패턴에서 소형선과 중형선은 입항 시 슬래시형으로, 대형선은 직선형을 가지고, 출항 시 소형선은 백슬래시형으로, 중형선과 대형선은 슬래시형으로 분석되었다. 또한 대부분의 구간에서 정속구간이나 부산항대교 부근에서 입항 시 감속이, 출항 시 증속이 일어나는 구간이다. 이를 도식화 하면 Fig. 118과 같다.

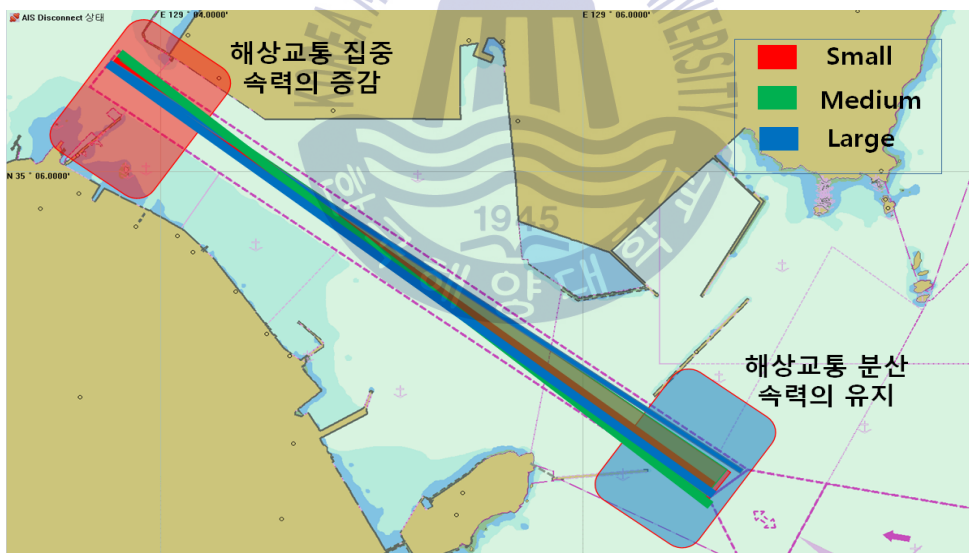


Fig. 118 Dynamic pattern on Busan north port No.1 route

Fig. 118에서 보는 바와 같이 부산 북항 제1항로 입항기준 입구부에서는 해상교통이 분산되는 패턴을, 출구부에서는 집중되는 패턴이다. 또한 집중되는 패턴부에서 속력의 증감도 같이 일어난다.

5.1.2 부산 신항 가덕수도 입구항로의 동적 통행 패턴

부산 신항 가덕수도 입구항로는 편도항로로서 통행이 분리된 해역이다. 앞서 동적 항행패턴에서 소형선은 입항 시 썰기 슬래시형으로, 중형선과 대형선은 썰기 백슬래시형으로 분석되었고, 출항 시 소형선, 중형선 및 대형선 모두 확산 백슬래시형으로 분석되었다. 또한 대부분의 구간에서 정속구간으로 분석되었다. 이를 도식화 하면 Fig. 119와 같다.

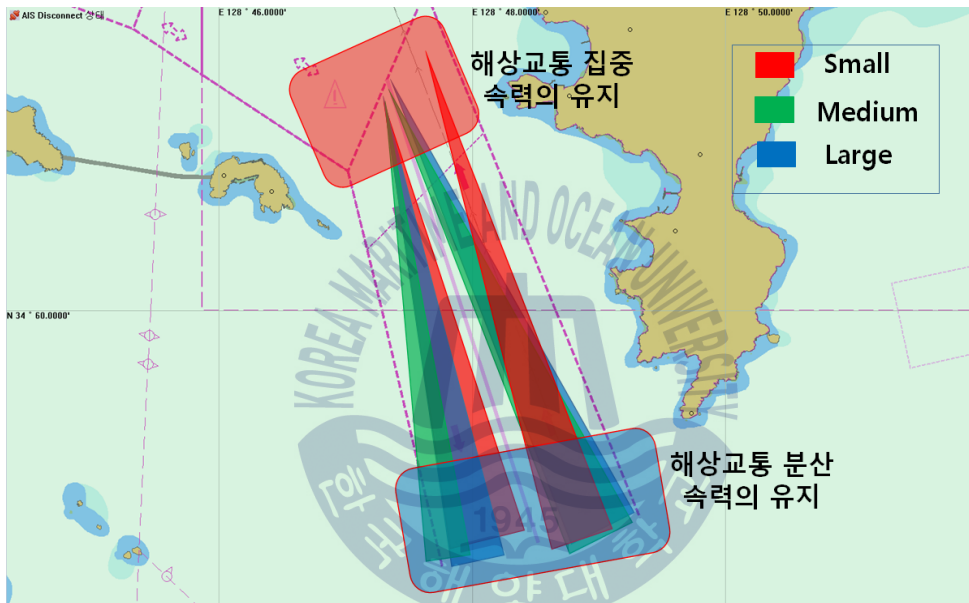


Fig. 119 Dynamic pattern on *Gadeok-sudo*

Fig. 119에서 보는 바와 같이 부산 신항 가덕수도 입구항로는 입항 시의 입구부와 출항 시의 출구부에서는 해상교통이 분산되는 패턴, 입항 시 출구부와 출항 시 입구부에서는 집중되는 패턴이다. 특히, 입항 및 출항 시 백슬래시형이므로 더욱 더 집중되는 패턴이다.

5.1.3 옹도항로의 동적 통항 패턴

옹도항로는 편도항로로서 입항과 출항이 분리된 해역이다. 앞서 동적 항행패턴에서 소형선과 중형선은 입항 시 썰기 직진형으로, 대형선은 썰기 백슬래시형으로 분석되었고, 출항 시 소형선은 확산 백슬래시형으로, 중형선은 확산 슬래시형으로, 대형선은 썰기 백슬래시형으로 분석되었다. 또한 대부분의 구간에서 정속구간으로 분석되었다. 다만, 옹도항로는 앞서 기술한 두 항로와는 달리 굽은 항로이므로 항로의 변침이 일어나기 전과 후를 따로 도식화하면 Fig. 120과 같다.

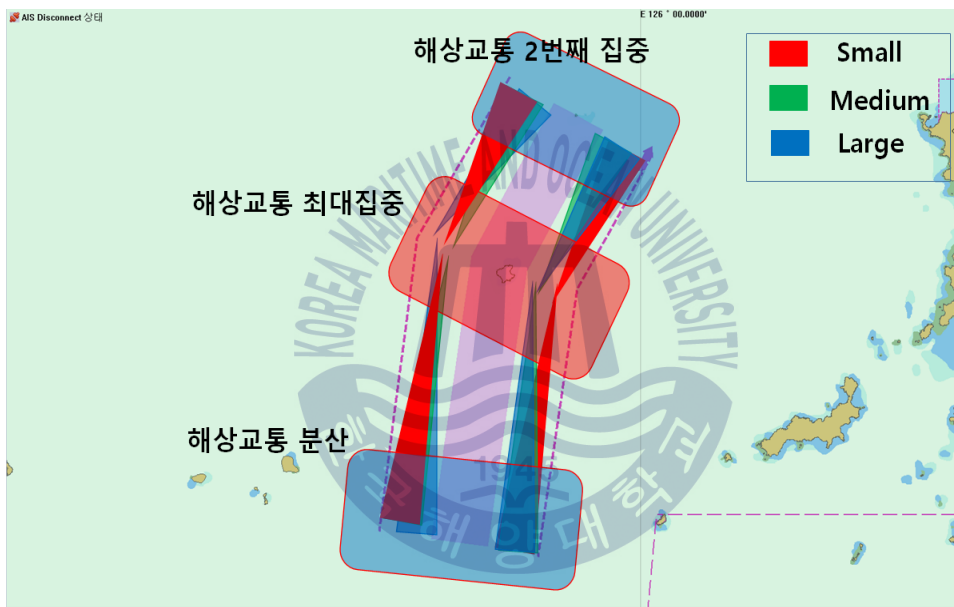


Fig. 120 Dynamic pattern on Ongdo route

Fig. 120에서 보는 바와 같이 옹도항로는 굴곡부에서 집중되는 패턴을, 입출구부에서는 분산되는 패턴이다. 또한 입항 시 썰기형, 출항 시 확산형이 시작되는 입항 시 출구부와 출항 시 입구부는 굴곡부 다음으로 해상교통이 집중되는 부분으로 분석되었다.

5.2 대상항로의 해양사고 발생현황

항로의 동적 항행패턴과 해양사고의 관계를 분석하고 동적 항행패턴의 활용방안을 제시하기 위하여 대상항로에서 발생한 해양사고 현황을 조사하였다. 해양사고조사 자료는 중앙해양안전심판원의 해양사고위치정보 서비스를 이용하여 2000년 1월 1일부터 2017년 12월 31일까지의 17년간 대상항로에서의 해양사고 발생현황을 조사하였다(해양수산부, 2018).

5.2.1 부산 북항 제1항로 해양사고 발생현황

Fig. 121은 지난 17년간 부산 북항 제1항로 주변에서 발생한 해양사고의 위치를 나타낸 것이다. 항로상에서의 해양사고는 주로 부산항대교 부근에서 많이 발생하였다.

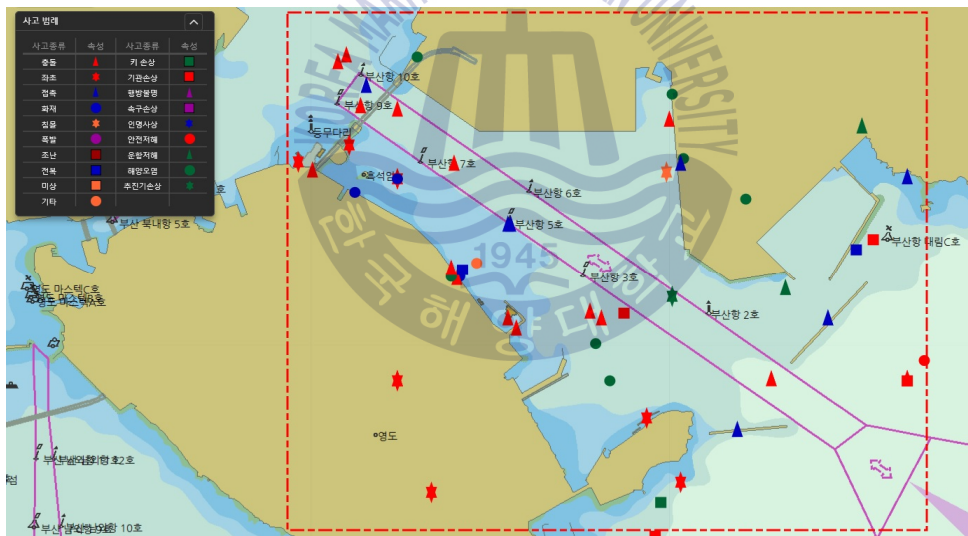


Fig. 121 Position of marine accident on Busan north port No.1 route

Table 50은 지난 17년간 부산 북항 제1항로 주변수역에서 발생한 해양사고의 종류와 항로상에서 발생한 해양사고의 종류를 나타낸 것이다.

Table 50에서 보는 바와 같이 17년간 총 55건의 해양사고가 발생하였고, 그중 10건의 해양사고가 항로상에서 발생하였다. 항로상에서는 충돌이 6건으로 가장 많았고, 접촉이 3건, 기관 손상이 1건이었다.

Table 50 Type of marine accident on Busan north port No.1 route

Unit : number

Type	On route	Out of route
Collision	6	11
Contact	3	4
Marine Pollution	0	7
Sinking	0	3
Stranding	0	7
Capsize	0	2
Engine damage	1	3
Thrust shaft damage	0	1
Fire	0	3
Steering gear damage	0	1
Person injured	0	0
Navigation hamper	2	2
Safety hamper	0	1
Other	0	1
Total	10	45

5.2.2 부산 신항 가덕수도 입구항로 해양사고 발생현황

Fig. 122는 지난 17년간 부산 신항 가덕수도 입구항로 주변수역에서 발생한 해양사고의 위치를 나타낸 것이다. 항로상의 사고는 주로 항로의 입·출구 부근에서 발생하였다.

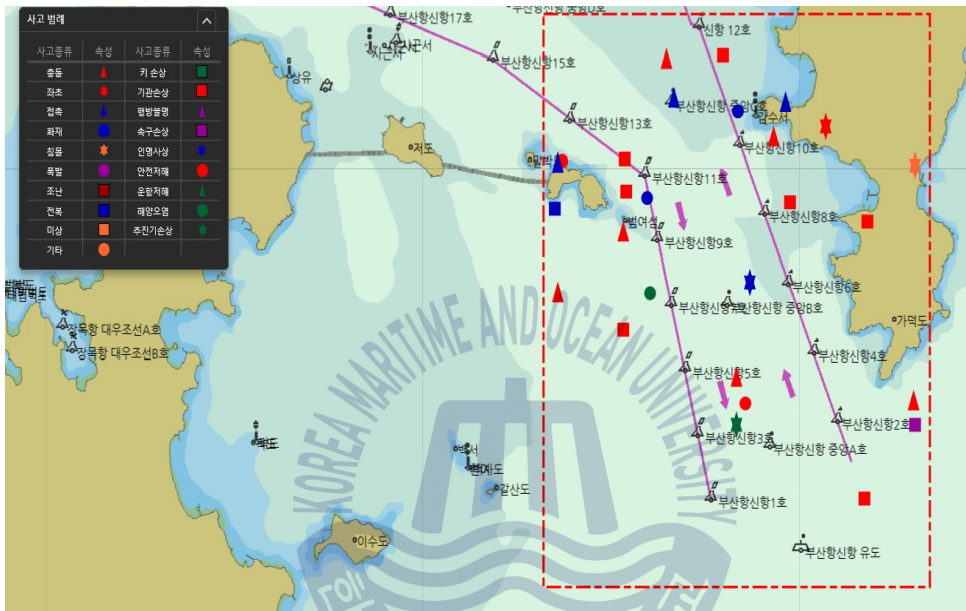


Fig. 122 Position of marine accident on Gadeok-sudo

Table 51은 17년간 부산 신항 가덕수도 입구항로 주변수역에서 발생한 해양사고의 종류와 항로상에서 발생한 해양사고의 종류를 나타낸 것이다.

Table 51에서 보는 바와 같이 17년간 총 26건의 해양사고가 발생하였고, 그중 6건의 해양사고가 항로상에서 발생하였다. 항로상에서는 충돌이 2건으로 가장 많았고, 접촉, 인명사상, 안전저해, 추진기 손상이 각각 1건씩이었다.

Table 51 Type of marine accident on *Gadeok-sudo*

Unit : number

Type	On route	Out of route
Collision	2	4
Contact	1	2
Marine Pollution	0	1
Sinking	0	1
Stranding	0	1
Capsize	0	1
Engine damage	1	6
Thrust shaft damage	0	1
Fire	0	2
Steering gear damage	0	0
Person injured	1	0
Navigation hamper	0	0
Safety hamper	1	1
Other	0	1
Total	6	20

5.2.3 옹도항로 해양사고 발생현황

Fig. 123은 지난 17년간 옹도항로 주변에서 발생한 해양사고의 위치를 나타낸 것이다. 항로상의 사고는 주로 흑도부근에서 발생하였고 항로상에서도 다수의 사고가 발생하였다.

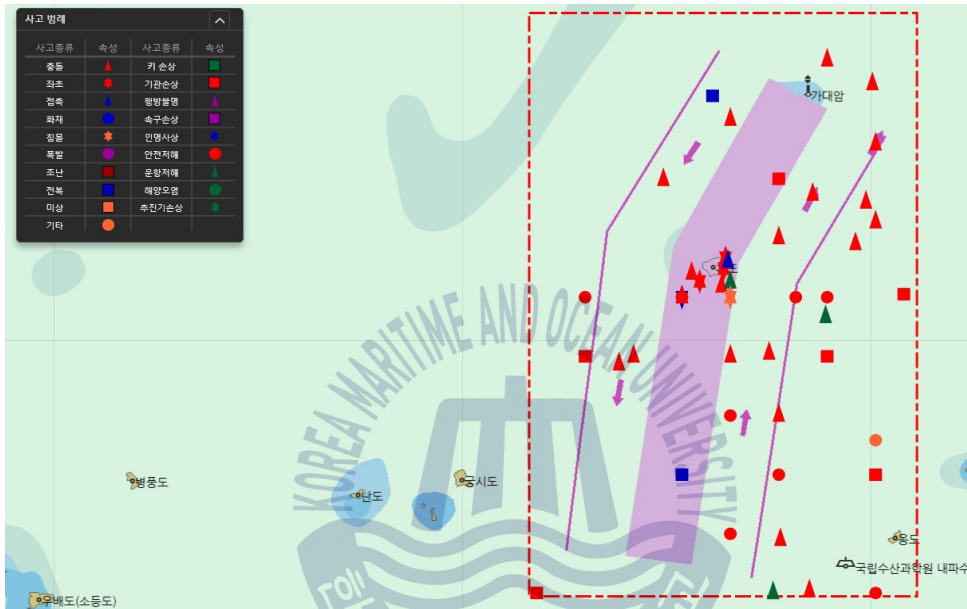


Fig. 123 Position of marine accident on Ongdo route

Table 52는 17년간 옹도항로 주변수역에서 발생한 해양사고의 종류와 항로상에서 발생한 해양사고의 종류를 나타낸 것이다.

Table 52에서 보는 바와 같이 17년간 총 48건의 해양사고가 발생하였고, 그중 14건의 해양사고가 항로상에서 발생하였다. 항로상에서는 충돌이 10건으로 가장 많았고, 안전저해가 3건, 전복이 1건이었다.

Table 52 Type of marine accident on Ongdo route

Unit : number

Type	On route	Out of route
Collision	10	10
Contact	0	1
Marine Pollution	0	0
Sinking	0	1
Stranding	0	3
Capsize	1	2
Engine damage	0	6
Thrust shaft damage	0	0
Fire	0	0
Steering gear damage	0	0
Person injured	0	1
Navigation hamper	3	3
Safety hamper	3	7
Other	0	1
Total	14	34

5.3 대상항로 해양사고 발생과 동적 항행패턴의 활용

5.3.1 부산 북항 제1항로의 해양사고 발생과 동적 항행패턴의 활용

Fig. 124와 같이 부산 북항 제1항로의 해양사고 다수 발생 구간은 부산항대교 인근으로 입항항로의 출구부, 출항항로의 입구부이다.

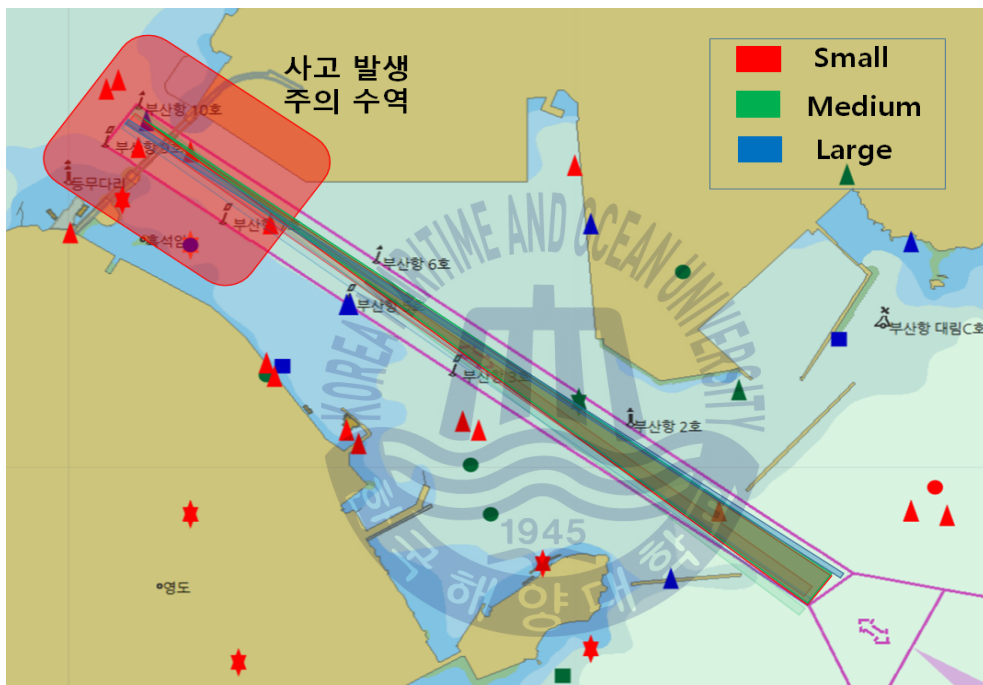


Fig. 124 Area of numerous marine accident on Busan north port No.1 route

부산 북항 제1항로의 해양사고 다수 발생구간은 본 연구에서 분석한 동적 항행패턴에서 입항과 출항 시 해상교통이 집중되고 속력의 증감이 나타나는 구간이다.

따라서 부산 북항 제1항로에서 선박의 속력을 가감하거나 해상교통이 집중되는 구간에서 선박의 해양사고가 발생할 우려가 높으므로 출입구 끝단을 중심으로 일정 수역에 대하여 ‘주의수역’으로 설정하여 이 수역을 진출입하는 모든 선박은 선박입출항법에서 규정하고 있는 항법을 엄격하게 지키고 극히 조심하여 운항하는 것이 적절하다고 판단된다. 또한 이 주의수역을 통항하는 모든 선박에 대하여 해당 해상교

통관제센터에서는 관제사가 해당 해역에 대하여 집중적이고 적극적인 통항관제를 시행하는 것이 적절하다고 판단된다.

5.3.2 부산 신항 가덕수도 입구항로의 해양사고 발생과 동적 항행패턴의 활용

Fig. 125와 같이 부산 신항 가덕수도 입구항로의 해양사고 다수 발생 구간은 부산 신항3호 등부표 부근이고, 또한 해상교통과 관련한 충돌 및 접촉 등의 해양사고가 다수 발생한 구간은 항로의 분기점 인근으로 입항항로의 출구부, 출항항로의 입구부 구역이다.

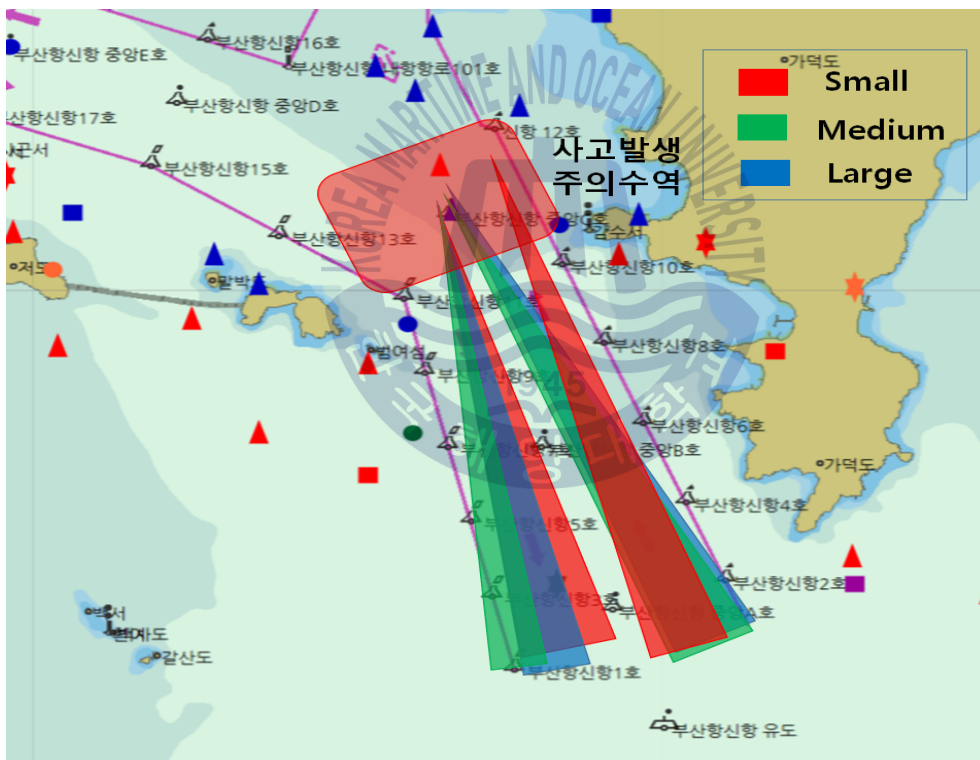


Fig. 125 Area of numerous marine accident on Gadeok-sudo

부산 신항 가덕수도의 입구항로에서의 해양사고 다수 발생구간은 본 연구에서 분석한 동적 항행패턴에서 입항과 출항 시 해상교통이 집중적으로 모이는 구간이다. 즉, 입항 시 썰기가 모이고, 출항 시 확산이 시작되는 부분이다. 다만, 이동항행패턴의 경우에는 선박의 속력을 유지하는 정속구간으로 판별된 구역이다.

따라서 부산 신항 가덕수도의 입구항로에서 썰기가 모이거나 확산이 시작되는 부분, 즉 해상교통이 집중되는 구간에서 선박의 해양사고가 발생할 우려가 높으므로 이 수역을 중심으로 일정 수역에 대하여 ‘주의수역’으로 설정하여 이 수역을 통항하는 모든 선박은 선박입출항법에서 규정하고 있는 항법을 엄격하게 준수하고 극히 조심하여 항행하는 것이 적절하다고 판단된다. 또한 이 주의수역을 항행하는 모든 선박에 대하여 해당 해상교통관제센터에서는 관제사가 해당 수역에 대하여 집중적이고 적극적인 통항관제를 시행하는 것이 적절하다고 판단된다.

5.3.3 옹도항로의 해양사고 발생과 동적 항행패턴의 활용

Fig. 126과 같이 옹도항로의 해양사고 다수 발생 구간은 흑도부근으로, 이 항로는 항만의 입항 및 출항 항로가 아닌 통항분리대가 설정되어 있는 일반 지정항로이므로 그곳을 제외하면 항로가 꺾이기 전과 후의 인근부 수역이다.

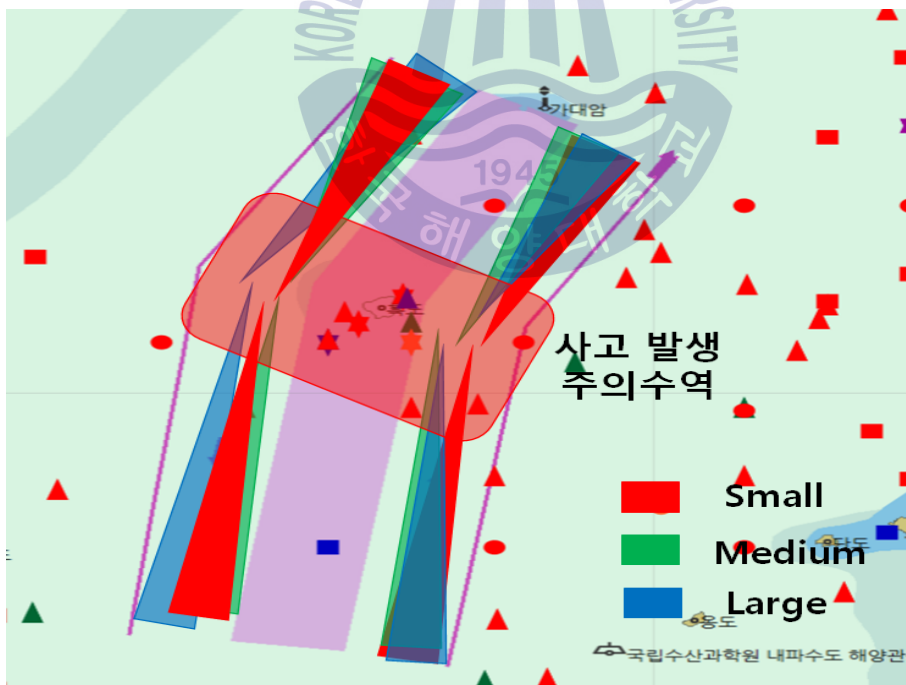


Fig. 126 Area of numerous marine accident on Ongdo route

옹도항로의 해양사고 다수 발생구간은 본 연구에서 분석한 동적 항행패턴에서 입항과 출항 시 모두 표준편차가 작고 변침전후의 항행하는 구간이다. 다만, 이동항행패턴의 경우에는 선박의 속력을 통상적인 항행상태로 유지하는 정속구간으로 판별된 수역이다.

따라서 옹도항로에서 표준편차가 작고 변침전후의 항행하는 구간에서는 선박의 해양사고가 발생할 우려가 높으므로 흑도를 중심으로 변침하는 일정 수역에 대하여 ‘주의수역’으로 설정하여 이 수역을 통항하는 모든 선박은 해사안전법에서 규정하고 있는 항법을 엄격하게 준수하고 극히 조심하여 항행하는 것이 적절하다고 판단된다. 또한 이 주의수역을 통항하는 모든 선박에 대하여 해당 해상교통관제센터에서는 관제사가 해당 수역에 대하여 집중적이고 적극적인 통항관제를 시행하는 것이 적절하다고 판단된다.



제 6 장 결 론

우리나라는 급속한 경제성장과 맞물려 국가 간의 무역활동이 활발해 짐에 따라 해운물동량도 급격히 증가하였으며, 이로 인한 선박 교통량도 증가하였다. 이렇게 늘어나는 선박 교통량을 수용하기 위하여 항만시설 또한 지속적으로 확충하고 있다. 하지만, 항만을 입항 및 출항하는 선박교통량의 증가에 따른 항만항로의 확장 같은 해상교통시설의 확충은 한계가 있어서 선박교통량 증가를 따라가지 못하는 수준에 머물고 있는 것이 현실이다. 그로 인하여 선박이 입항 및 출항하는 항로는 해양사고 위험의 개연성이 높아졌고, 항로에서의 선박의 운항여건이 불리해졌다. 이러한 것을 해결하기 위하여 항로의 개선 등의 시스템적인 안전접근 방법이 필요한 시점이다.

이에 본 연구에서는 항로의 시스템적 개선을 위하여 항로상 해상교통의 동적 항행패턴 개발하고, 이를 분석하여 항로상 안전성 향상 방안을 제시하였다.

선행 연구에서는 평면좌표를 이용한 항로에서의 통항분포의 정규성과 최적 확률분포 및 선박의 항행경로대를 파악하기 위한 연구가 다수였고, 공간좌표를 이용하여 항로에서의 항행패턴을 연구한 연구는 부족하였다.

이에 본 연구에서는 항로에서의 항행패턴을 분석하기 위하여 우리나라의 특징적인 항로인 부산 북항 제1항로, 부산 신항 가덕수도 입구항로 및 옹도항로를 대상항로로 선정하였다. 대상항로에서 3일간의 AIS와 GICOMS를 이용하여 교통현황 조사를 시행하였으며, 각 항로를 통과하는 선박의 크기는 소형선, 중형선 및 대형선으로 구분하였다.

교통현황자료를 바탕으로 기존의 연구에서 수행된 평면좌표기반의 분석방법인 최적 확률분포와 $ND-K-S$ 분석을 적용하여 항행패턴 분석을 분석하였다.

첫 번째 방법으로 항로상 선박의 최적 확률분포를 분석했다. 본 연구에서는 32개의 단일 확률분포를 적용하여 평면좌표, 즉 각 항로 10개의 각 목표선과 각 항로 10개의 목표선의 합 또는 평균을 이용하여 최적 확률분포를 분석했다. 분석결

과, 각 목표선과 10개의 목표선의 합 또는 평균에서 항로의 분포를 대표할 만한 분포를 찾기 어려웠다. 특히, 정규분포의 경우 분석된 최적 확률분포에서 1~2%정도를 차지하였다. 따라서 항로를 대표할 만한 분포가 특정되지 않으므로, 최적 확률분포를 이용하여 항로의 항행패턴을 이해하는 데에는 다소 부족한 점이 있었다.

두 번째 방법으로 항로의 항행은 정규분포를 따른다는 점에 착안하여 항로상 항행패턴을 분석하기 위하여 $ND-K-S$ 분석을 실시했다. ND 분석은 항로의 항행 분포가 정규분포를 따르는지를 분석하는 것이고, K 분석은 선박의 항로의 이용 폭을 분석하며, S 분석은 항로의 이용 편중을 분석하는 것이다. 우선 ND 평가에서는 대형선은 항로특성에 관계없이 모두 정규분포의 통항분포를 보이는 것으로 분석되었고, 중형선은 편도항로에서 정규분포의 통항분포를 보이는 것으로 분석되었다. 반면 소형선은 정규분포를 적용하는 것에 다소 무리가 있는 것으로 분석되었다. K 평가의 결과 편도항로에서는 항로를 고루 이용하는 통항패턴을 가지지만, 왕복항로에서는 항로의 일정부분에 집중하는 통항패턴을 가지는 것으로 분석되었다. S 평가의 결과 편도항로에서는 항로의 중앙을 따라 항행하는 통항패턴을 가지지만, 왕복항로에서는 항로의 우측에 치우치는 통항패턴을 가지는 것으로 분석되었다. $ND-K-S$ 분석은 항로를 하나의 확률분포로 규정하여 항로와 목표선에 적용하기 쉬우며, 각 항행패턴을 개략적으로 이해하기는 편리하나, 정규분포를 적용하기 곤란한 곳에 적용하거나 항로에서의 항행패턴을 쉽게 이해하기에는 다소 부족한 점이 있다.

이에 기존의 평면좌표기반의 분석방법을 공간좌표기반으로 확장하였다. 확장된 공간좌표를 표현하기 위하여 기존에 사용되던 분석방법이 아닌 새로운 동적 항행패턴을 개발하였다. 항로에서의 해상교통 이동패턴은 크게 확산형, 췌기형, 대칭형으로 구분하고, 이를 다시 슬래시형, 백슬래시형, 직진형으로 구분하였다. 속력패턴은 가속구간, 정속구간, 감속구간으로 구분하였고, 그 상세는 Table 53과 Table 54와 같다.

Table 53 Dynamic patterns for moving

Item		Gradient of average trend line($a_{ave.}$)		
		$1 < a_{ave.}$	$a_{ave.} < -1$	$-1 \leq a_{ave.} \leq 1$
Gradient of standard deviation trend line (a_{std})	$1 < a_{std}$	Expanded backslash pattern	Expanded slash pattern	Expanded straight pattern
	$a_{std} < -1$	Wedged backslash pattern	Wedged slash pattern	Wedged straight pattern
	$-1 \leq a_{std} \leq 1$	Symmetrical backslash pattern	Symmetrical slash pattern	Symmetrical straight pattern

Table 54 Dynamic patterns for speed

$SPD_d > 10$	$-10 \leq SPD_d \leq 10$	$SPD_d < -10$
Acceleration section	Fixed speed section	Deceleration section

대상항로의 동적 항행패턴 적용하여 분석 결과는 다음 세 가지로 요약된다.

첫 번째, 부산 북항 제1항로의 경우 이동패턴은 대체적으로 대칭 슬래시형으로 분석되었다. 속력 패턴의 경우 입항 시 소형선은 항로의 출구부에서 감속하고 나머지 크기의 선박은 정속구간으로 분석되었다. 출항 시 모든 선박은 항로의 입구부에서 가속하고, 이후 중소형 선박은 정속구간으로 분석되지만, 대형선의 경우에는 출구부에서 감속하는 패턴으로 분석되었다.

두 번째, 부산 신항 가덕수도 입구항로의 경우 이동패턴은 대체적으로 입항 시 켜기 백슬래시형, 출항 시 확산 백슬래시형으로 분석되었다. 속력 패턴은 입항 및 출항 시 대부분 정속구간이나 입항 시 대형선의 경우에만 입구부에 가속구간으로 분석되었다.

세 번째, 옹도항로의 경우 이동패턴은 입항 시 켜기 직진형, 출항 시 확산 백슬래시형으로 분석되었다. 속력패턴은 입항 및 출항 시 모두 정속구간으로 분석되

었다.

항로 안전성 확보를 위하여 분석된 동적 항행패턴과 항로상 해양사고의 발생지점과의 관계를 분석했다. 분석결과, 해양사고는 이동패턴의 경우 주로 썰기형의 모이는 부분이나 확산형이 시작되는 부분인 해상교통이 밀집되는 수역에서 발생하였고, 속력패턴의 경우 선속이 가속 또는 감속되는 구간에서 발생하였다.

연구 결과를 바탕으로 항로에서의 해양사고를 예방하고 감소하기 위하여 이러한 항행패턴이 나타나는 항로의 일정 수역에 대하여 ‘주의수역(Caution area)’으로 설정하고, 이 수역을 통항하는 모든 선박은 관련법에서 규정하고 있는 항법을 엄격하게 준수하고 극히 조심하여 항행하는 것이 적절하다고 판단된다. 또한 해당 해상교통관제센터에서는 해당 수역에 대하여 집중적이고 적극적인 통항관제를 시행하는 것이 적절하다고 판단된다.

이 연구의 성과는 세 가지로 요약된다.

첫 번째 기존의 항행분포와 항행패턴을 분석하기 위해 사용한 최적 확률분포 분석 및 ND-K-S 분석을 통하여 그 한계를 인식하고 그 문제점을 도출하였다.

두 번째, 항로의 해상교통 항행패턴을 분석하기 위하여 공간좌표를 기반으로 동적 항행패턴을 개발하였다.

세 번째, 개발된 동적 항행패턴과 해양사고발생위치와의 관계를 분석하였다.

이 연구의 시사점은 두 가지로 요약된다.

첫 번째 전반적인 항로에서의 동적 항행패턴을 이용하여 항로상 해상교통의 흐름을 이해하고, 이를 선박의 안전 운항 및 관제에 활용할 수 있다.

두 번째, 동적 항행패턴과 해양사고의 발생위치와의 관계를 분석함에 따라 향후 선박의 운항자 및 해상교통관제사가 이를 바탕으로 항로상 해양사고 발생을 줄이는데 기여할 것이다.

다만, 본 연구는 우리나라의 3개 주요 항로를 대상으로 한정된 연구인만큼 향후 보다 다양한 환경에서의 통항패턴 분석 및 다양한 동적 통항패턴 모델이 개발되기 위하여 후속 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] 권유민, 2015. 해상교통흐름분석을 통한 해상교량 통행선박 확률분포에 관한 연구, 석사학위논문. 목포: 목포해양대학교.
- [2] 김대희, 2013. 목포대교와 통항 선박 사이의 확률적인 충돌 평가 모델 구축에 관한 연구, 박사학위논문. 목포: 목포해양대학교.
- [3] 김세원, 이윤석, 박영수, 김종성, 윤귀호, 김대희, 2006. 부산 중앙부두 주변 해역의 교통흐름 및 통항특성에 관한 연구, 한국항해항만학회지, 30(1), pp.9-15.
- [4] 김현종, 홍태호, 2007. 해월송전선 하부의 선박 통항 안전성 평가에 관한 연구, 해양환경안전학회지, 13(1), pp.55-60.
- [5] 송재욱, 이윤석, 강정구, 박영수, 정민, 정창현, 2005. 포항항 항로지정을 위한 해상교통조사 분석 및 통항 특성에 관한 연구, 한국항해항만학회지, 29(9), pp.821-826.
- [6] 오지현, 김광일, 정중식, 박성용, 2014. 어선허적에 기초한 위험성 분석에 관한 연구, 한국항해항만학회, 2014년도 공동학술대회.
- [7] 양찬수, 공인영, 이창민, 2004. 목포 연육교 건설에 따른 선박 통항 안전성 평가, 한국항해항만학회지, 28(8), pp.735-743.
- [8] 양형선, 2014. 해상풍력발전단지의 대체통항로 통항안전성 평가에 관한 연구, 해양환경안전학회지, 20(2), pp.186-192.
- [9] 유상록, 박성복, 박영수, 정재용, 2015. 해상교통조사 관측일수에 관한 연구, 해양환경안전학회지, 21(4), pp.397-402.
- [10] 유상록, 2016. 선박 통항로에서의 최적 확률분포 추정에 관한 연구, 박사학위논문. 목포: 목포해양대학교.
- [11] 장석호, 2018. 알기 쉬운 경영통계학 및 자료해석 요점정리 노트, 좋은땅

- [12] 정태권, 이동섭, 2007. 선박조종시물레이션의 근접도 평가에서 연속 분석과 목표선 분석에 관한 비교 연구, *한국항해항만학회지*, 31(1), pp.1-6.
- [13] 중앙해양안전심판원, 2005. *해양사고통계연보(2004)*, 세종: 중앙해양안전심판원.
- [14] 중앙해양안전심판원, 2010. *해양사고통계연보(2009)*, 세종: 중앙해양안전심판원.
- [15] 중앙해양안전심판원, 2015. *해양사고통계연보(2014)*, 세종: 중앙해양안전심판원.
- [16] 중앙해양안전심판원, 2018. *해양사고통계연보(2017)*, 세종: 중앙해양안전심판원.
- [17] 중앙해양안전심판원, *해양사고 위치정보도서서비스*, 세종: 해양수산부 [Online] (Updated 31. October 2018) Available at: <http://www.kmst.go.kr/map/gmtViewNew.do> {Accessed 05 November 2018}.
- [18] 최경식, 박성용, 2011. VTS 시스템을 이용한 통항량 및 통항패턴 분석, *한국항해항만학회*, 2011년도 공동학술대회.
- [19] 해양수산부, 2015. *2015년 선박통항로 안전성평가 연구*, 세종: 해양수산부.
- [20] 해양수산부, 2016. *제3차 전국항만기본계획 수정계획*, 해양수산부 고시 제 2016-122호, 세종: 해양수산부.
- [21] 해양수산부, 2017. *해상교통안전진단시행지침*, 해양수산부 고시 제2017-21호, 세종: 해양수산부.
- [22] 해양수산부, 2018. *입항선박톤급별 통계*, 세종: 해양수산부 [Online] (Updated 31. January 2018) Available at: <https://www.mof.go.kr/statPortal/cate/statView.do> {Accessed 01 November 2018}.
- [23] AASHTO, 2014, *LRFD Bridge Design Specification*, Customary US. Units,

7th Edition, pp.141-161.

- [24] Inoue K., 1977. On the Separation of Traffic at Straight Waterway by Distribution Model of Ship, *Japan Institute of Navigation*, 56, pp. 103-115.
- [25] Franz G. J. Witt, 1981. Analysis of Simulated Maneuvers, *2nd International Conference on Marine Simulation 1981*
- [26] Itoh, H. and F. Yakabe, 2013. Modeling Ship Traffic Distributions in Coastal Areas, *Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers*, 19, pp.235-244.
- [27] Kline, T. J. (2005). *Psychological testing: A practical approach to design and evaluation*. Sage Publications.
- [28] Mathwave, 2017a. *EasyFit Help*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at: <http://www.mathwave.com/help/easyfit/index.html> {Accessed 01 November 2018}.
- [29] Mathwave, 2017b. *Beta distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at: <http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/beta.html> {Accessed 01 November 2018}.
- [30] Mathwave, 2017b. *Burr distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at: <http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/burr.html> {Accessed 01 November 2018}.
- [31] Mathwave, 2017b. *Cauchy distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at: <http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/cauchy.html> {Accessed 01 November 2018}.
- [32] Mathwave, 2017b. *Dagrm distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31.

December 2018) Available at:

<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/dagum.html>
{Accessed 01 November 2018}.

- [33] Mathwave, 2017b. *Erlang distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31.

December 2018) Available at:

<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/erlang.html>
{Accessed 01 November 2018}.

- [34] Mathwave, 2017b. *Error distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31.

December 2018) Available at:

<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/error.html>
{Accessed 01 November 2018}.

- [35] Mathwave, 2017b. *Fatigue life distribution*, Mathwave [Online] (Updated

31. December 2018) Available at:

http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/fatigue_life.html
{Accessed 01 November 2018}.

- [36] Mathwave, 2017b. *Frechet distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31.

December 2018) Available at:

<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/frechet.html>
{Accessed 01 November 2018}.

- [37] Mathwave, 2017b. *Gamma distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31.

December 2018) Available at:

<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/gamma.html>
{Accessed 01 November 2018}.

- [38] Mathwave, 2017b. *Gen. extreme value distribution*, Mathwave [Online]

(Updated 31. December 2018) Available at:

http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/gen_extreme.html
{Accessed 01 November 2018}.

- [39] Mathwave, 2017b. *Gen. gamma distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at:
http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/gen_gamma.html
{Accessed 01 November 2018}.
- [40] Mathwave, 2017b. *Gen. logistic distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at:
http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/gen_logistic.html
{Accessed 01 November 2018}.
- [41] Mathwave, 2017b. *Gen. pareto distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at:
http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/gen_pareto.html
{Accessed 01 November 2018}.
- [42] Mathwave, 2017b. *Gumbel Min. distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at:
http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/gumbel_min.html{Acce
ssed 01 November 2018}.
- [43] Mathwave, 2017b. *Hypersecant distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at:
<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/hypersecant.html>{Acces
sed 01 November 2018}.
- [44] Mathwave, 2017b. *Inv. Gaussian distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at:
http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/inv_gaussian.html{Acce
ssed 01 November 2018}.
- [45] Mathwave, 2017b. *Johnson SB distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at:
http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/johnson_sb.html

- {Accessed 01 November 2018}.
- [46] Mathwave, 2017b. *Johnson SU distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at:
http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/johnson_su.html
{Accessed 01 November 2018}.
- [47] Mathwave, 2017b. *Laplace distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at:
<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/laplace.html>
{Accessed 01 November 2018}.
- [48] Mathwave, 2017b. *Log gamma distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at:
<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/log-gamma.html>
{Accessed 01 November 2018}.
- [49] Mathwave, 2017b. *Logistic distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at:
<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/logistic.html>
{Accessed 01 November 2018}.
- [50] Mathwave, 2017b. *Log logistic distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at:
<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/log-logistic.html>
{Accessed 01 November 2018}.
- [51] Mathwave, 2017b. *Log normal distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at:
<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/lognormal.html>
{Accessed 01 November 2018}.
- [52] Mathwave, 2017b. *Log-pearson 3 distribution*, Mathwave [Online] (Updated

31. December 2018) Available at:
<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/log-pearson3.html>{Acce
ssed 01 November 2018].
- [53] Mathwave, 2017b. *Normal distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31.
December 2018) Available at:
<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/normal.html>{Acce
ssed 01 November 2018].
- [54] Mathwave, 2017b. *Pearson 5 distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31.
December 2018) Available at:
<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/pearson5.html>
{Accessed 01 November 2018].
- [55] Mathwave, 2017b. *Pearson 6 distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31.
December 2018) Available at:
<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/pearson6.html>{Acce
ssed 01 November 2018].
- [56] Mathwave, 2017b. *Pert distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31.
December 2018) Available at:
<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/pert.html>
{Accessed 01 November 2018].
- [57] Mathwave, 2017b. *Power function distribution*, Mathwave [Online]
(Updated 31. December 2018) Available at:
http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/power_func.html
{Accessed 01 November 2018].
- [58] Mathwave, 2017b. *Uniform distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31.
December 2018) Available at:
<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/uniform.html>
{Accessed 01 November 2018].

- [59] Mathwave, 2017b. *Wakeby distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at:
<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/wakeby.html>
{Accessed 01 November 2018}.
- [60] Mathwave, 2017b. *Weibull distribution*, Mathwave [Online] (Updated 31. December 2018) Available at:
<http://www.mathwave.com/help/easyfit/html/analyses/distributions/weibull.html>
{Accessed 01 November 2018}.
- [61] Michele Vespe, Ingrid Visentini, Karna Bryan, Paola Braca, 2012. Unsupervised learning of maritime traffic patterns for anomaly detection, *9th IET Data fusion target tracking conference 2012*
- [62] Nguyen, X. T. 박영수, 박진수, 정재용, 2013. eveloping a Program to Pre-process AIS Data and applying to Vung Tau Waterway in Vietnam : Based on the IWRAP Mk2 program, *해양환경안전학회지*, 19(4), pp.345-351.
- [63] Nguyen, X. T., 박영수, 박진수, 김태균, 2015. A Study on the Marine Traffic Assessment based on Traffic Distribution in the Strait of Malacca, *해양환경안전학회지*, 21(1), pp.25-33.
- [64] Puszcz, Agnieszka, Lucian Gucma and Maciej Gucma, 2011. Development of a Model for Simulation of Vessel Traffic Streams, *The 14th International Conference on Transport Science-ICTS*, pp. 1-10.
- [65] R.N. Elliott, 2006. *엘리어트 파동이론*, 이레미디어.
- [66] Robert Hogg, 2013. *Introduction to Mathematical Statistics*, 2nd edition, Pearson Higher Education.
- [67] Stephens, M.A., 1974. EDF statistics for goodness of fit and some comparisons, *Journal of the American Statistical Association*, 69, pp.

730-737.

- [68] Wikipedia, 2018a. *Chi squared test*, [Online] (Updated 13. November 2018) Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Chi-squared_test {Accessed 15 November 2018}.
- [69] Wikipedia, 2018b. *KS test*, [Online] (Updated 13. November 2018) Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Anderson%E2%80%93Darling_test {Accessed 14 December 2018}.
- [70] Wikipedia, 2018c. *AD test*, [Online] (Updated 13. November 2018) Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Anderson%E2%80%93Darling_test {Accessed 14 December 2018}.
- [71] Wikipedia, 2018d. *Shapiro–Wilk test*, [Online] (Updated 3. December 2018) Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Shapiro%E2%80%93Wilk_test {Accessed 14 December 2018}.
- [72] Wikipedia, 2018e. *Kurtosis*, [Online] (Updated 18. December 2018) Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Kurtosis> {Accessed 24 December 2018}.
- [73] Wikipedia, 2018f. *Skewness*, [Online] (Updated 3. December 2018) Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Skewness> {Accessed 14 December 2018}.
- [74] Yeyes M., W. Nobukazu, K. Eiichi and P. Trika, 2014. Estimation Method for Dragged Anchor Accident Frequency on Subsea Pipelines in Busy Port Areas, *Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineer*, 20, pp.173-183.