



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](#)

공학박사 학위논문

묘박 선박의 안전을 고려한 정박지
용량 설계에 관한 연구

A Study on the Design Criteria of Anchorage Volume
Considering the Safety in a Anchoring Ship



지도교수 공길영

2016년 08월

한국해양대학교 대학원

항해학과

박준모

본 논문을 박준모의 공학박사 학위논문으로 인준함.

위원장 이 윤 석



위원 김 세 원



위원 김 종 성



위원 정 창 현



위원 공 길 영



2016년 06월 24일

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	v
List of Figures	viii
Abstract	xi
Nomenclature	xiv

제1장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구 동향	3
1.3 연구의 방법 및 범위	6
1.4 연구의 구성	9

제2장 정박지 지정에 대한 이론적 고찰

2.1 정박지 규모 결정 일반론	11
2.1.1 정박지의 개념	11
2.1.2 정박지 규모 결정 시 고려요소	11
2.2 정박지 규모 설계기준	12
2.2.1 국내 정박지 설계기준	12
2.2.2 국외 정박지 설계기준 및 연구결과	13
2.2.3 정박지 형태에 따른 설계기준	25
2.3 국내 항만의 정박지 규모 및 이용 현황 분석	30
2.3.1 국내 주요 무역항 정박지 지정 현황 조사	31
2.3.2 우리나라 주요 무역항 정박지 이용 선박 조사	48
2.4 요약	49

제3장 정박지 용량 분석 방법론

3.1 선행연구 분석	51
3.2 정박지 용량 개념 및 계산식 정의	55
3.2.1 정박지 점유 용량(Occupancy Volume of Anchorage)	55
3.2.2 필요 정박지 용량(Necessary Volume of Anchorage)	58
3.3 정박지 점유 용량에 영향을 미치는 요소	60
3.3.1 정박지 이용 선박 척수	61
3.3.2 정박지 대기시간	66
3.3.3 정박지 이용선박 길이(톤수)	69
3.3.4 환경요소	71

제4장 정박지 용량 분석 수치 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 시스템 모델 설계	75
4.1.1 선박 생성 및 속성할당 단계	78
4.1.2 정박지 선회반경 계산 및 정박지 할당 단계	80
4.1.3 정박지 점유 용량 분석 단계	86
4.2 MATLAB-SIMULINK을 이용한 시뮬레이션 시스템 설계	88
4.3 시뮬레이션 모델 타당성 검증	89
4.3.1 입력변수 설정	90
4.3.2 시뮬레이션 출력 결과	92
4.3.3 시뮬레이션 모델 검증	97
4.4 주요 항만의 필요 정박지 용량 분석	99
4.4.1 포항항 정박지 용량 분석	100
4.4.2 울산항 정박지 용량 분석	102
4.4.3 부산항 정박지 용량 분석	104
4.4.4 광양항 정박지 용량 분석	106
4.4.5 대산항 정박지 용량 분석	108
4.4.6 동해항 정박지 용량 분석	110
4.4.7 정박지 용량 분석 결과	112

제5장 정박지 용량 설계기준 수립

5.1 통계분석의 이론적 고찰 116

 5.1.1 상관분석 116

 5.1.2 다중회귀분석 117

 5.1.3 회귀식 검증 방법 119

5.2 정박지 용량 분석을 위한 다중 회귀분석 121

 5.2.1 변수 정의 및 자료 조사 121

 5.2.2 상관분석 124

 5.2.3 다중 회귀분석 125

 5.2.4 다중 회귀분석 결과 127

5.3 항만의 특성에 따른 정박지 용량 단순 회귀분석 128

 5.3.1 항만의 특성에 따른 그룹 분류 128

 5.3.2 항만 그룹별 정박지 용량 회귀분석 131

 5.3.3 정박지 용량 단순 회귀분석 결과 137

5.4 정박지 용량 회귀모델 검증 138

5.5 정박지 용량 설계기준 적용 140

 5.5.1 A 그룹 항만(부산항, 광양항)의 필요 정박지 용량 예측 141

 5.5.2 B 그룹 항만(울산항, 대산항)의 필요 정박지 용량 예측 142

 5.5.3 C 그룹 항만(포항항, 동해항)의 필요 정박지 용량 예측 143

 5.5.4 정박지 용량 설계기준 적용 요약 144

제6장 결론 145

참고문헌 149

부록 A. 선박 도착 간 시간간격 분포 검정 결과 155

부록 B. 정박지 대기시간 분포 검정 결과 162



List of Tables

Table 1 Previous Research in the field of Anchorage Volume	4
Table 2 The turning radius in accordance with the depth and length (Korea)	12
Table 3 The turning radius in accordance with the depth and length (UFC)	15
Table 4 Anchorage layout design criteria (UK)	16
Table 5 Anchorage layout design criteria (Spain)	17
Table 6 Additional notice margin in accordance with the environmental condition (PIANC)	19
Table 7 Anchorage layout design criteria (Japan)	20
Table 8 Comparative analysis of design criteria	22
Table 9 The scenario for comparison of the design criteria	23
Table 10 Ship's turning radius in according to the anchorage design criteria	23
Table 11 The advantages and disadvantages of anchorage assignment method	29
Table 12 The status of anchorage capacity, depth and bottom type	31
Table 13 The comparison of anchorage assignment method	46
Table 14 Total anchorage capacity	47
Table 15 Research of the number of ship incoming harbour and anchorage	48
Table 16 The comparison of previous research for anchorage capacity ..	54
Table 17 The summary of Consultation outline	59
Table 18 Result of consultation	59

Table 19	The criterion of One-sample Kolmogorov Smirnov test	63
Table 20	Statistical analysis of the inter arrival time	63
Table 21	Statistical analysis of the anchorage dwell time	68
Table 22	Statistical analysis of wind velocity	73
Table 23	General dimensions of cargo ship	82
Table 24	Additional notice margin in accordance with wind speed (PIANC)	83
Table 25	The input variables distribution of Ulsan port	91
Table 26	Technical analysis of the occupancy volume of anchorage	96
Table 27	Verification result for the number of ships incoming anchorage	97
Table 28	Verification result for the number of anchoring ship	98
Table 29	The input variables of Pohang port	100
Table 30	The simulation result of Pohang anchorage occupancy volume	101
Table 31	The input variables of Ulsan port	102
Table 32	The simulation result of Ulsan anchorage occupancy volume	103
Table 33	The input variables of Busan port	104
Table 34	The simulation result of Busan anchorage occupancy volume	105
Table 35	The input variables of Kwangyang port	106
Table 36	The simulation result of Kwangyang anchorage occupancy volume	107
Table 37	The input variables of Daesan port	108
Table 38	The simulation result of Daesan anchorage occupancy volume	109
Table 39	The input variables of Donghae port	110
Table 40	The simulation result of Donghae anchorage occupancy volume	111
Table 41	Summary of necessary occupancy volume of anchorage	112
Table 42	The comparison of necessary occupancy volume and current anchorage area	113
Table 43	The definition of variables	122
Table 44	Method for independent variables research	122

Table 45	The research of dependent and independent variables	123
Table 46	The result of correlation analysis	124
Table 47	Model summary of multiple regression equation	125
Table 48	Analysis of variance of Multiple regression equation	126
Table 49	The coefficients analysis of multiple regression equation	127
Table 50	The comparison of ship's type incoming harbour	129
Table 51	Grouping the ports according to ship's type	131
Table 52	Dependent and independent variables of Busan and Kwangyang port	132
Table 53	Model summary and parameter estimates of group A	133
Table 54	Dependent and independent variables of Ulsan and Daesan port	134
Table 55	Model summary and parameter estimates of group B	135
Table 56	Dependent and independent variables of Pohang and Donghae port	136
Table 57	Model summary and parameter estimates of group C	137
Table 58	Proposed anchorage volume design criteria according to the port group	138
Table 59	The calculation of anchorage design criteria fitness	139
Table 60	The prediction of necessary occupancy anchorage volume according to the group A ports development plan	141
Table 61	The prediction of necessary occupancy anchorage volume according to the group B ports development plan	142
Table 62	The prediction of necessary occupancy anchorage volume according to the group C ports development plan	143

List of Figures

Fig. 1 The status of ship incoming harbour and cargo volume on 2000~2014	1
Fig. 2 The research flow chart	8
Fig. 3 Anchorage layout design criteria (Korea)	13
Fig. 4 Anchorage layout design criteria (USACE)	14
Fig. 5 Comparative analysis of anchorage design criteria	24
Fig. 6 The assignment method of anchorage	25
Fig. 7 Anchorage designated as simple group anchorage	26
Fig. 8 Anchorage designated as simple group anchorage and circle anchorage	27
Fig. 9 Anchorage designated as simple group anchorage and point anchorage	27
Fig. 10 Anchorage designated as circle anchorage or point anchorage	28
Fig. 11 The status and position of major port	30
Fig. 12 The location of Incheon anchorage	38
Fig. 13 The location of Pyeongtek & Dangjin anchorage	39
Fig. 14 The location of Daesan anchorage	39
Fig. 15 The location of Mokpo anchorage	40
Fig. 16 The location of Janghang & Kunsan anchorage	40
Fig. 17 The location of Yeosu & Kwangyang anchorage	41
Fig. 18 The location of Busan anchorage	42
Fig. 19 The location of Ulsan anchorage	43
Fig. 20 The location of Pohang anchorage	44
Fig. 21 The location of Donghae & Mukho anchorage	45

Fig. 22	The comparison of total anchorage capacity	47
Fig. 23	Comparison of the number of ship incoming harbour and anchorage	49
Fig. 24	The relation with percent and standard deviation of the normal distribution	57
Fig. 25	The relation with exponential distribution and ship incoming harbour	65
Fig. 26	Ship's tonnage distribution of using anchorage	70
Fig. 27	The histogram of maximum wind speed	72
Fig. 28	The comparison of cumulative distribution function	73
Fig. 29	Simulation analysis procedures	75
Fig. 30	The system architecture of anchorage simulation	76
Fig. 31	Simulation model design	78
Fig. 32	Ship generation and attribute assignment algorithm	79
Fig. 33	Anchorage volume calculation algorithm	84
Fig. 34	Anchorage assignment algorithm	85
Fig. 35	Occupancy volume of anchorage calculation algorithm	87
Fig. 36	Simulation system model architecture using MATLAB-SIMULINK ..	88
Fig. 37	The number of generating ship in Ulsan E1 anchorage	92
Fig. 38	The number of generating ship in Ulsan E2 anchorage	92
Fig. 39	The number of generating ship in Ulsan E3 anchorage	93
Fig. 40	Occupancy volume of Ulsan E1 anchorage	93
Fig. 41	Occupancy volume of Ulsan E2 anchorage	94
Fig. 42	Occupancy volume of Ulsan E3 anchorage	94
Fig. 43	The number of ship in Ulsan E1 anchorage	95
Fig. 44	The number of ship in Ulsan E2 anchorage	95
Fig. 45	The number of ship in Ulsan E3 anchorage	95
Fig. 46	The CDF analysis of occupancy volume of anchorage	96
Fig. 47	The comparison of number of incoming ship for verification	97

Fig. 48	The comparison of the number of anchoring ship for verification	98
Fig. 49	The CDF analysis of Pohang anchorage occupancy volume	101
Fig. 50	The CDF analysis of Ulsan anchorage occupancy volume	103
Fig. 51	The CDF analysis of Busan anchorage occupancy volume	105
Fig. 52	The CDF analysis of Kwangyang anchorage occupancy volume	107
Fig. 53	The CDF analysis of Daesan anchorage occupancy volume	109
Fig. 54	The CDF analysis of Donghae anchorage occupancy volume	111
Fig. 55	The comparison of necessary occupancy volume of anchorage	112
Fig. 56	The comparison analysis of necessary occupancy volume and current anchorage area	113
Fig. 57	Research procedures for regression analysis	115
Fig. 58	The comparison analysis of ship's type incoming harbour	130
Fig. 59	A group trend line of simple regression analysis	133
Fig. 60	B group trend line of regression analysis	135
Fig. 61	C group trend line of regression analysis	137
Fig. 62	The comparison of anchorage design criteria fitness	139
Fig. 63	The comparison of necessary occupancy volume and current anchorage volume	144

A Study on the Design Criteria of Anchorage Volume Considering the Safety in a Anchoring Ship

Park, Jun Mo

Department of Navigation System Engineering
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

In recent years in Korea, there is a shortage of anchorage due to increased number of ship incoming harbour. Consequently maritime accident rate increase in anchorage therefore in order to solve this problem, there is an expansion of anchorage is being urged. However, the design criteria for anchorage capacity does not have a standard for quantitative anchorage design.

Accordingly, this research conducted following experiment in order to offer and apply the anchorage volume design criteria.

First, presented the concept of occupancy volume of anchorage and necessary occupancy volume of anchorage. In addition, through the simulation method, developed algorithms to derive an anchorage capacity and used program called MATLAB-SIMULKINK to conduct anchorage volume analysis.

As a result of the simulation, a port that had highest necessary volume

of anchorage rate over current anchorage volume as Ulsan port and its ratio was 114.29%. Hence it demonstrated that enlargement of anchorage in Ulsan is essential.

Secondly, defined necessary volume of anchorage as a dependent variable and the number of ship incoming harbor, the number of ship incoming anchorage, cargo volume, pier length of harbor, berthing capacity as an independent variables then conducted multiple regression analysis.

As a result, it is confirmed that there is a problem with multicollinearity and it is not applicable to be used as design criteria.

Thirdly, classified ports as A, B, C group, and set the necessary occupancy volume of anchorage as a dependent variable and cargo volume as an independent variable then conducted curve fitting simple regression analysis. As a result, the research presented anchorage capacity design criteria for significant port groups.

Lastly, predicted necessary volume of anchorage by applying anchorage volume design criteria to harbor development plan. Consequently, in year 2030 for Ulsan and accompanied port, it is predicted that necessary occupancy volume of anchorage over current anchorage volume is 149.5% and 183% which analyzed that political support is required for gradual enlargement of anchorage.

This study was to present anchorage volume design criteria though utilizing simulation to analyze anchorage volume and conducting regression analysis.

With this, the anchorage volume analyzing model using simulation is significant in that this research tried to analyze the volume of anchorage by similarly embodying the actual ship's harbor traffic system.

Also this research made it possible to review the volume of anchorage from the planning stage for harbour development by revealing the fact that the capacity of the anchorage and cargo volume has a causal relationship.

Furthermore, by presenting a simple design criteria to make it easier to determine the necessary occupancy volume of anchorage in harbor development planning, it is believed to have a value in availability side.

This research is the first to attempt to investigate the design criteria for determining necessary occupancy volume of anchorage. It is scheduled to determine validity of the model applied to other ports in days to come. Moreover, this research plan on designing anchorage volume by considering the various variable when operating anchorage volume analyze simulation algorithm and regression analysis in the future.



KEY WORDS: Design criteria; Occupancy rate; MATLAB-SIMULINK; Anchorage area; Simulation.

Nomenclature

L	선박 길이(m)
D	수심(m)
h_e	묘쇄공에서 수면까지의 거리(m)
T_c	묘쇄의 작업안전 하중(working load)(톤)
w	묘쇄의 단위길이 당 무게(톤)
C_j^A	정박지 용량
A_j^A	정박지 j 의 전체 면적(m ²)
D_{ij}^A	선박 i 가 j 정박지를 점유한 평균 시간(시간)
P_{ij}^A	선박 i 가 j 정박지에 입항할 평균 백분율(%)
O_i^A	선박 i 가 점유한 평균 면적(m ²)
T	정박지 전체 이용 시간(시간)
u_t	정박지 순간 이용률(%)
u_a	정박지 평균 이용률(%)
S_i	i 시점에 정박선이 점유한 정박지 면적(m ²)
A	정박지 전체 면적(m ²)
D_i	i 시점의 정박선 대기시간(시간)
A_{CB}	기본 정박지 용량
A_{CP}	실용 정박지 용량

$\bar{\rho}$	평균 정박선박 밀도
V_{oi}	정박지 점유 용량
V_k	i 시간 정박지에 정박하고 있는 선박의 점유 면적
V_o^M	최대 정박지 점유 용량
σ	시간별 정박지 점유 용량의 표준편차
V_o^A	평균 정박지 점유 용량
Y_{ex}	지수분포의 모수 λ
X_{ex}	정박지 입항선박 척수
μ_Y	로그정규분포의 형상모수
σ_Y	로그정규분포의 분포모수
r	상관계수
ϵ_i	오차항
SST	편차의 총 제곱합
SSR	회귀식으로 설명된 회귀 제곱합
SSE	설명 안된 오차의 제곱합
Y_{NA}	A 그룹 항만의 필요 정박지 용량(m^2)
X_{HA}	A 그룹 항만의 물동량(천톤)
Y_{NB}	B 그룹 항만의 필요 정박지 용량(m^2)
X_{HB}	B 그룹 항만의 물동량(천톤)
Y_{NC}	C 그룹 항만의 필요 정박지 용량(m^2)
X_{HC}	C 그룹 항만의 물동량(천톤)

제1장 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근의 해운산업은 개발도상국의 고도성장에 따른 항로 재편과 세계 경제의 글로벌화에 따른 물동량 증가로 인하여 급격한 환경변화에 직면해 있다. 이러한 변화의 대표적인 양상으로는 선박의 대형화, 항만 규모 확대 등을 들 수 있으며, 우리나라도 이와 유사한 형태를 보이고 있다.

2000년부터 2014년까지 우리나라의 항만 및 물동량 현황(해양수산부, 2014a)을 조사해 보면, Fig. 1과 같이 항만의 규모 확대 및 물동량 증가와 더불어 입·출항 선박의 증가와 대형화 추세가 뚜렷하다는 것을 알 수 있다.

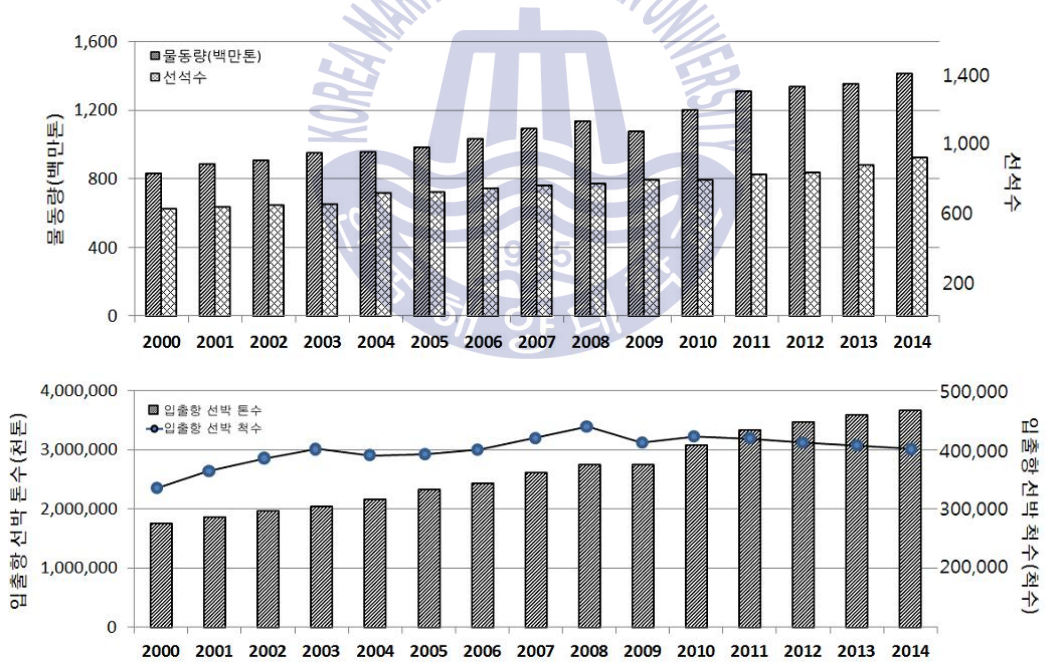


Fig. 1 The status of ship incoming harbour and cargo volume on 2000~2014

항만시설 확대 및 선적 수 증가와 같은 항만수역 설정·변경, 시설물 건설·부설 및 보수 등을 실시할 때에는 해사안전법(海事安全法) 상의

해상교통안전진단시행지침(해양수산부, 2014b)에 의거하여 실시한다. 이는 해상교통 흐름의 변화와 해상교통안전 등에 대하여 자격을 갖춘 전문가가 사전에 조사·측정 및 평가하여 항만시설 설계에 반영토록 함으로써, 선박통항 안전을 확보하고 해양사고 저감 방안을 위한 유무형의 대책을 마련하기 위해 실시하는 것이다(조익순, 2010).

해상교통안전진단은 해상교통현황조사, 현황측정 및 해상교통시스템 적정성 평가를 통해 선박의 안전한 입·출항 가능 여부를 분석하고, 항만의 수역시설 규모가 통항 선박 안전성 측면에서 적절한지 여부를 집중적으로 검토한다. 여기서, 수역시설(水域施設)이란 항만구역 및 임항구역 내에서 선박의 안전한 항행과 정박 그리고 원활한 조선과 하역을 목적으로 하는 정박지, 선회장, 항로, 선류장 등의 시설을 의미한다(김순갑, 2012).

따라서 해상교통안전진단을 실시할 때는 수역시설에 대한 충분한 검토가 이루어져야 할 것이다. 그러나 현재까지 수행된 해상교통안전진단을 살펴보면 수역시설 중 선회장(船回場), 항로, 선류장(船留場)에 대한 안전성 평가는 설계기준을 근거로 다양한 검토가 실시되었으나, 정박지에 대해서는 현황 조사 수준에 그치는 것이 대부분이었다.

해상교통에 있어서 정박지(碇泊地)는 선박의 안전한 정박, 원활한 조선 및 하역을 가능하게 하기 위한 충분한 넓이와 수심을 가진 해역을 의미하며, 항만의 사정상 입·출항 대기, 급유, 선박수리, 선용품 수급 및 악천후로부터의 피항지(避航地)로도 사용하도록 지정된 곳이다. 이렇게 항만의 운영에 있어 중요한 역할을 하는 정박지를 지정하기 위해서는 관련 설계기준에 따라 그 규모 및 용량을 결정해야 한다. 그러나 우리나라를 포함하여 전 세계적으로 정박지 설계기준은 정박 선박의 적당 점유수역에 대한 기준만을 제시하고 있을 뿐, 해당 정박지의 교통특성 및 환경요인 등을 고려한 정박지 용량 설계기준을 제시하고 있지 못한 것이 문제점으로 제기되고 있다.

정박지 용량에 대한 연구는 정박지를 설계하는데 있어 중요한 부분이다. 예컨대, 정박지 용량이 과도하게 확보할 경우 상대적으로 항만수역이 좁아져

불필요한 자원낭비를 초래하며, 준설, 어민보상 등에 대한 비용을 증가시킨다. 반대로 정박지의 용량이 협소할 경우 정박지를 이용하고자 하는 모든 선박의 요구를 만족시킬 수 없을 뿐만 아니라, 규정에서 요구하는 선박 간의 적정 이격거리를 준수하지 않고 정박하기 때문에 정박선의 안전에 문제가 발생할 수 있다. 그러므로 적당하고 합리적인 정박지 용량을 지정하는 것은 항만의 발전을 보장하고, 자원낭비를 막을 수 있을 뿐만 아니라 정박선의 안전을 확보할 수 있는 방법이기 때문에 매우 중요한 사항이라고 할 수 있다.

점차 가속화되는 항만 규모 확대 및 입·출항 선박의 증가로 인하여 정박지에 대한 수요가 증가하고 있는 현재 항만 상황에서 정박선의 안전을 고려했을 때 정박지 용량에 관한 설계기준을 어떻게 수립할 것인가? 그리고 제안된 설계기준을 국내 항만에 적용하였을 때 필요한 정박지 용량은 어느 정도인가? 에 대한 질문에 답하기 위해, 수치 시뮬레이션을 이용하여 정박지 용량 분석방법을 제시하고, 우리나라 주요 항만의 정박지 용량을 분석하였다. 그리고 이를 토대로 회귀분석을 실시하여 정박지 용량을 정량적으로 제시할 수 있는 근사식을 도출하였다. 또한 우리나라의 항만개발계획에 근거하여 가까운 미래에 필요한 정박지 용량을 추정하여 제시하였다.

본 연구는 정박지 용량에 대한 적정성을 검토하고, 미래의 해상 교통량 변화를 고려하였을 때 필요한 정박지 용량을 예측할 수 있는 합리적인 모델을 제시하는데 그 목적이 있다. 이러한 결과는 항만을 개발함에 따라 요구되는 정박지 용량을 제시함으로써 항만 및 선박의 안전을 도모할 수 있다. 또한 해상교통안전진단 시 정박지 용량의 적정성을 검토하기 위한 분석도구로 사용하여 정박선에 대한 해상교통 안전성 평가가 가능할 것으로 판단된다.

1.2 연구 동향

세계 물동량 및 입·출항 선박의 증가와 더불어 정박지 이용선박이 점점 증가함에 따라 정박지의 지정, 배치, 효율, 용량 등과 관련하여 다양한 연구가 실시되었으며, 그 내용을 요약하면 Table 1과 같다.

Table 1 Previous Research in the field of Anchorage Volume

구분	연구자	주요 내용	시기
정박지 사용·지정 및 운영에 관한 연구	박영돈	부산항 정박지의 통항 안전성 확보 방안	2006
	박건호	부산항 정박지의 정박지 운영 개선 방안	2007
	Huang 등	시뮬레이션을 이용한 정박지 면적의 이용률 향상 방안 제시	2009
	김아름	부산항 대기 정박지 운영 개선 방안	2014
	윤귀호	정박지의 효율적 운영을 위한 세척 개정 방안	2014
정박지 최적 위치 지정 연구	오세웅	공간분석, 순위가중치법을 이용한 입지평가	2008
	최자윤	부산항의 정박지 재배치 방안	2009
	이윤석 등	울산 미포항 비상 정박지 지정 방안	2012
	임남균 등	완도항의 피항 정박지 지정 방안	2012
묘박 안전성 연구	김세원	울산항 정박지의 정박 안전성 평가(M 정박지)	2009
	이윤석	울산항 정박지의 묘박 안전성 평가(E 정박지)	2014
	김정록	외해 개방형 정박지의 정박 안전 시스템 개발	2015
정박지 용량 연구	Deville	시뮬레이션을 이용한 정박지 가동률 평가	2011
	김부영	울산 신항 개발에 따른 정박지 확충기준 수립	2011
	Jia	대기이론을 이용한 최적의 정박지 개수 제안	2011
	Xiaoliang	대기모델 시뮬레이션을 이용한 정박지 용량분석	2012
	Deng	몬테카를로 모델을 활용한 정박지 용량 연구	2012
	Jun	정박지 가동률을 통한 정박지 필요 규모 분석	2013
	Zhang	항만 시뮬레이션으로 필요 정박지 개수 제안	2013
	이창현 이홍훈	평택항 물동량 증가에 따른 정박지 확장 방안	2014

박영돈(2006)의 부산항 정박지를 중심으로 통항 안전성 확보 방안에 대한 연구와 정박지의 효율적인 운영방법 개선에 대한 연구(박건호, 2007; 김아름, 2014; 윤귀호, 2014), 그리고 Huang, et al. (2009)의 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 정박지 면적 이용률 향상 방안을 제시한 연구에서는 정박지 이용 선박의 안전성 확보를 위하여 정박지 사용, 지정 및 운영에 대하여 정책적인 방향을 제시하였다.

물동량 증가 및 입·출항 선박 증가로 인하여 정박지의 추가 지정 필요성이 대두되면서 정박지의 최적 입지를 결정하기 위한 방법론적 연구(오세웅, 2008)와 실제 부산 신항, 완도항, 울산 미포항을 대상으로 정박지 지정을 위한 연구가 실시되었다(최자윤, 2009; 이윤석 등, 2012; 임남균 등, 2012). 이러한 연구는 최적의 정박 수역을 지정하기 위해 고려해야 할 사항을 제시하고 이를 실제 항만에 적용하여 최적의 위치를 제안하였다.

정박지를 이용하는 모든 선박은 파랑 또는 바람과 같은 외력의 영향을 받게 된다. 이 때 외력이 묘와 묘쇄가 형성하는 대항력인 좌주력(把駐力)을 초과할 경우 선박은 주요(走錨)되어 해양사고의 원인이 되곤 한다. 이에 따라 국내의 정박지 중 주요 발생 가능성이 있는 울산항 E 정박지와 M 정박지에 대하여 묘박 안전성에 대한 연구를 실시하고, 외력에 따른 주요 발생 가능성을 분석하였다(김세원, 2009; 이윤석, 2014). 또한 주요에 취약한 외해 개방형 정박지에 대해 바람과 조류의 세기에 따라 주요가 발생하는 시기를 분석하고 이를 해당 수역의 정박 가이드라인으로 제시하였다(김정록, 2015).

이러한 정박지의 운영 방안 개선 및 입지 결정 방법, 안전성 평가 연구는 현재의 정박지 규모에 대한 적정성 평가가 선행되었을 때 유의미한 연구라고 할 수 있다. 이에 따라 외국에서는 다양한 분석도구를 활용하여 정박지 규모의 적정성을 분석하는 연구가 실시되었다.

대표적으로 Deville(2011)은 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 로테르담항의 정박지 가동률을 분석하고, 각 정박지 별로 규모의 적정성 여부를 분석하였다. 그리고 Jun(2013)과 Zhang(2013)은 “선박도착-입항-화물작업-출항”의 과정을

컴퓨터 시뮬레이션으로 구축하여 정박지 수용 규모를 척수로서 제시하였다. 또한 Jia(2011)와 Xiaoliang, et al. (2012)은 선박의 “항만 도착 - 정박지 대기 - 출항” 시스템을 대기이론에 접목하여 컴퓨터 시뮬레이션으로 구현하였으며, 이를 통해 정박지 용량을 산출함으로써 좀 더 객관적이고, 과학적인 정박지 용량 연구를 실시하였다. 또한 Deng(2012)은 몬테카를로 기법을 정박지 교통 시스템에 적용하였으며, 이를 통해 이론적 방법에 입각한 정박지 용량 산출 방법을 제시하였다.

국내에서 실시된 정박지 용량에 대한 연구는 정박지 이용선박 척수 및 선석 규모에 따른 정박지 확장 규모를 이론적 근거에 바탕을 두고 제시하였다. 특히 김부영(2011)은 국내 주요 항만의 정박지 이용 현황 분석 자료를 토대로 각 항만의 정박지 효율 분석을 수행하고, 울산항 개발계획에 적용하여 적정 정박지 확충면적을 산출하여 제시하였다. 또한 이창현과 이홍훈(2014)은 과거 평택항 입항선박 현황과 정박지 투묘선박 현황을 비교하여 각 정박지의 이용률을 분석하였으며, 물동량을 단위선박 당 처리량으로 환산함으로써 장래 입항척수를 예측하였다.

하지만, 이러한 연구는 정박지 이용선박이 모두 입·출항 대기 선박이며, 정박지 도착시간, 대기시간, 환경조건이 모두 동일함을 전제 조건으로 설정했기 때문에 정박지의 교통특성 및 환경적 요소를 고려하지 못한 한계점이 있다.

따라서 본 논문은 항만의 현황과 정박지를 이용하는 선박의 안전을 고려했을 때 필요한 정박지 용량을 제시하고 항만의 개발에 따른 정박지 설계 시 정량적인 설계기준을 제시하는데 그 목적이 있다. 이러한 연구는 국내 모든 항만에서 활용될 수 있으며, 항만 개발 시 정박선의 안전을 도모할 수 있도록 해 주는 설계 지침서(Design Guideline)가 될 것이다.

1.3 연구의 방법 및 범위

연구방법으로는 컴퓨터 수치 시뮬레이션을 수행하여 필요 정박지 용량을 분석하였으며, 이 결과를 바탕으로 다중 회귀분석을 실시하여 정박지 용량에

대한 설계기준을 제시하였다. 더불어, 정박지 용량 설계기준을 항만개발계획에 적용하여 필요 정박지 용량을 추정하였다.

본 연구의 목적을 달성하기 위해서는 국내의 모든 정박지에 대한 조사를 실시하고, 외국의 항만에 대한 정박지 관련 자료를 분석해야 할 것이다. 그러나 자료 입수의 곤란함과 최근 국내의 무역항에서 발생하고 있는 정박지 부족 문제가 Deville(2011)이 제시한 바와 같이 전 세계적으로 발생하고 있는 현상일 뿐 아니라, 정박지 규모를 객관적으로 평가하고 정량적인 설계기준을 제시하는 것이 본 연구의 목적이기 때문에 국내의 주요 무역항 10곳에 대한 항만 및 정박지의 규모와 이용선박 척수를 조사·분석하였다. 또한 요즈음 대부분의 선박들이 선미 앵커를 가지고 있지 않고(Deville, 2011), 선수 단묘박이 실무에서 일반적으로 사용하는 투묘방법(윤점동, 2008)이므로, 본 논문에서는 정박지를 이용하는 모든 선박은 단묘박을 실시한다는 가정 하에 설계기준을 제시하였다.

또한 정박지는 입·출항 대기선박 이외에도 단순 정박, 급유, 급수, 선용품 수급, 화물작업 등을 위한 목적으로도 이용될 뿐만 아니라, 선박도착-대기-입항-화물작업-출항”의 항만교통시스템으로 구현하기에는 그 규모가 매우 방대하다. 따라서 본 논문에서는 정박지 용량 분석을 위한 수치 시뮬레이션 모델 설계 시 항만교통시스템 중에서 정박지를 중심으로 한 “선박도착-묘박-대기-출항”으로 한정하여 분석하였다.

연구의 수행절차 및 방법 등을 도식화하면 Fig. 2와 같다.

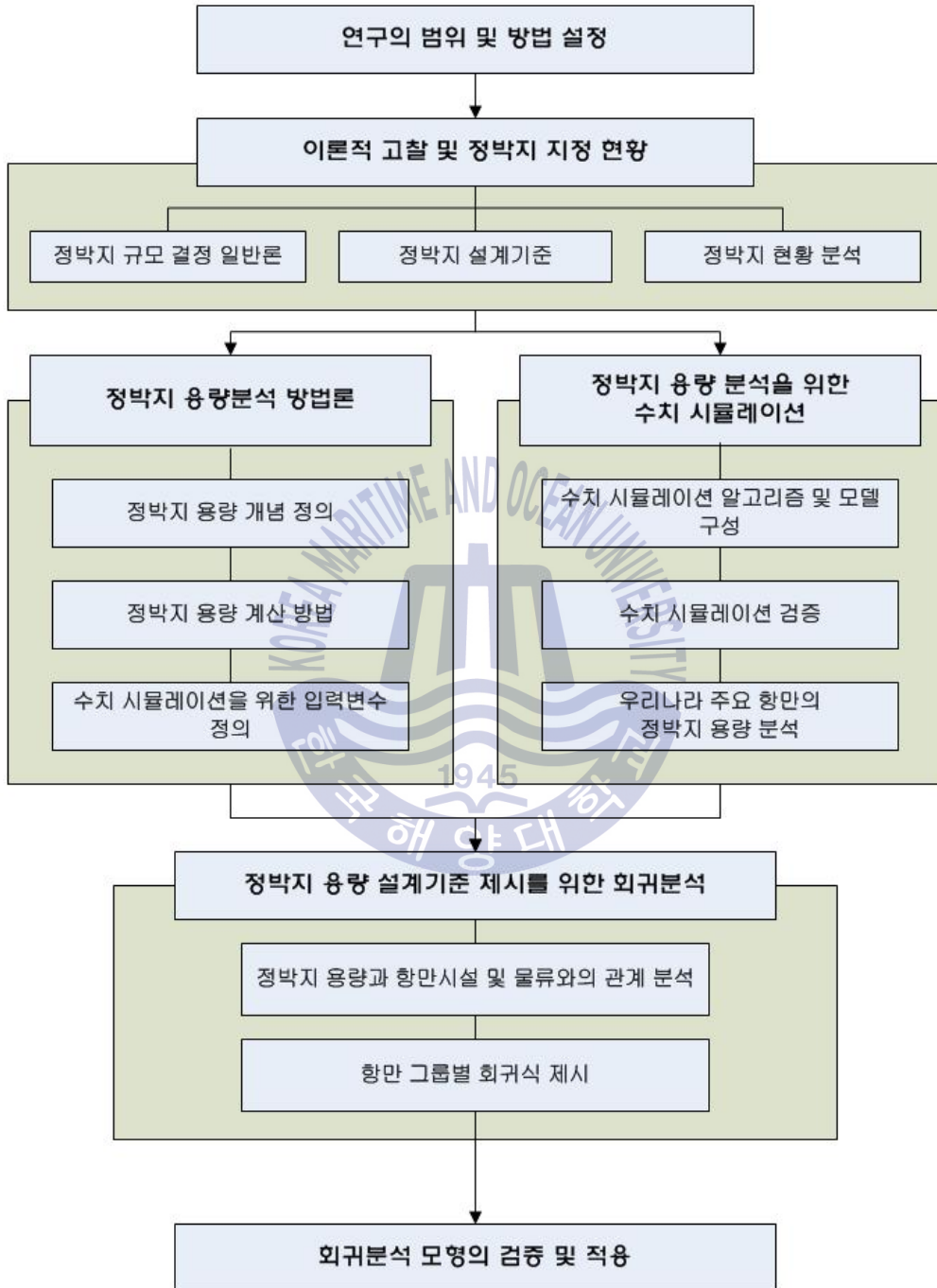


Fig. 2 The research flow chart

1.4 연구의 구성

묘박 선박의 안전을 고려한 정박지 용량 설계에 관한 연구의 각 장별 내용은 다음과 같다.

제1장은 서론으로, 연구의 배경 및 목적과 관련 연구 동향을 소개하였으며, 정박지 용량 설계기준 제시의 필요성과 연구 방법 등을 기술하였다.

제2장은 정박지 개념과 정박지 규모 결정에 있어서 고려해야 할 요소 및 정박지 설계 시 사용하고 있는 국내외 설계기준을 조사하였으며, 국내 주요 무역항의 정박지 현황 및 사용 실태를 살펴보았다.

제3장은 정박지 용량을 분석함에 있어서 필요한 정박지 용량에 대한 개념 및 산출식을 정의하였다. 그리고 컴퓨터 수치 시뮬레이션 시 입력변수로서 고려해야 하는 정박지 입항선박 척수, 톤수 규모, 정박지 대기시간 등의 요소를 조사하고, 이것의 통계적 특성을 분석하여 수치 시뮬레이션을 통한 정박지 용량 분석의 기초를 마련하였다.

제4장은 정박지 용량 산출을 위한 수치 시뮬레이션을 위해 알고리즘 및 모델을 설계하였으며, 검증을 통해 모델의 적정성을 확인하였다. 그리고 모델을 우리나라 주요 항만(부산항, 울산항, 포항항, 여수항, 광양항, 평택항)에 적용하여 2005년, 2010년, 2014년의 정박지 용량을 계산하여 제시하였다.

제5장은 제4장에서 도출된 정박지 용량과 항만 현황과의 상관관계 분석을 위하여 항만 입항 선박 척수, 정박지 입항 선박 척수, 물동량, 항만의 선석 수, 선석길이를 조사하였다. 그리고 정박지 용량을 종속변인으로 구성한 다중회귀 분석을 실시하여 항만의 특성별 회귀식을 도출하여 제시하였다. 최종적으로는 도출된 항만 특성별 회귀식의 검증을 실시하여 제시한 모델의 적정성을 검증하였으며, 이를 항만에 적용하여 2020년, 2030년에 필요한 정박지 용량을 제시하였다.

제6장은 연구결과와 함께 연구의 의의 및 한계와 향후 발전 방향에 대하여 기술하였다.



제2장 정박지 지정에 대한 이론적 고찰

2.1 정박지 규모 결정 일반론

2.1.1 정박지의 개념

정박지는 항만법 제2조 제5호에서 정의하고 있는 항만시설 중 기본시설의 하나로서 선박이 안전하게 정박하기 위한 수역을 말한다. 또한 검역(檢疫)을 받기 위한 장소, 하역을 위한 장소, 해당 항만에서 입·출항 대기, 작업대기 뿐만 아니라 급유, 급수, 선용품 수급 등을 위한 장소로 사용하기도 하는 일정한 수역을 말한다. 이러한 정박지는 우리나라의 주요 무역항에 약 148개소가 지정·고시 되어 있다.

정박지 지정·사용을 위한 법적 근거로는 선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률(이하, 선박입출항법) 제5조 1항, 동법 시행령 제6조가 있다. 선박입출항법에는 개항의 항계 안 등에 정박하는 선박은 선박의 종류·톤수·흘수 또는 적재물의 종류에 따라 해양수산부 장관이 지정·고시한 정박구역 또는 정박지에 정박해야 한다고 명시하고 있다. 그러나 항만의 확장 및 입·출항 선박의 증가로 인하여 정박지를 확대하거나, 협소한 항계와 해상 구조물 설치 등의 목적으로 기 지정되어 있던 정박지를 축소할 때 확보되어야 할 정박지 적정 규모에 대한 정확한 법적 근거는 없는 실정이다.

2.1.2 정박지 규모 결정 시 고려요소

정박지를 지정하고자 할 때는 선박의 안전한 계류, 조선의 용이, 하역의 효율성, 기상·해양조건, 항내 반사파·항주파 등의 영향 및 관련 시설과의 조화가 잘 이루어지도록 해야 하며, 기능상 다음의 조건이 만족될 때 양호한 정박수역으로 본다.

또한 정박지의 면적은 대상선박의 길이에 수심, 지형, 저질, 기상·해양, 기타 자연조건에 따른 적절한 여유 값을 가산한 값 이상으로 하고, 이용목적,

이용방식 등을 충분히 고려해야 한다. 또한 선박의 접·이안 및 묘박지에서의 투묘오차, 위험물 적재선박이 이용하는 정박지에서의 안전거리를 고려하여 그 규모를 설정할 필요가 있음을 제시하고 있다.

- ① 정온하고 충분한 수 면적
- ② 닻 놓기에 양호한 저질
- ③ 잘 정리되어 있는 부표
- ④ 바람, 조류 등의 양호한 기상, 해상조건

2.2 정박지 규모 설계기준

2.2.1 국내 정박지 설계기준

우리나라의 정박지 설계기준은 항만 및 어항 설계기준·해설(해양수산부, 2014c)을 따르고 있다. 이 기준에서는 정박지의 일반적 고려사항, 위치와 면적, 수심 및 정온도 등에 대하여 언급하고 있으며, 정박지 소요면적에 대해서는 구체적인 수치로 제시하고 있다. 여기에서 정박지의 규모는 해저에 놓인 체인의 길이를 고려하고, 회전의 중심이 되는 점으로부터 선수까지의 수평거리에 선박 길이를 합한 값을 반지름으로 하는 원의 크기로 정의하고 있다. 그리고 묘쇄 길이의 계산에 필요한 제원이 불분명할 때는 Table 2를 참고하여 정박지의 규모를 산정하도록 하고 있다.

Table 2 The turning radius in accordance with the depth and length (Korea)

이용목적	해저 저질 또는 풍속	선회반경(m)
외해대기 또는 하역	해저질이 닻 놓기에 양호	$L+6D$
	해저질이 닻 놓기에 불량	$L+6D+30$

여기서, L : 선박 길이(m)

D : 수심(m)

우리나라의 정박지 설계기준을 그림으로 나타내면 Fig. 3과 같이 정박선박의 선외반경은 해저저질이 양호한 경우, 선박 길이와 수심의 6배를 합한 값이며, 해저저질이 불량한 경우는 해저저질이 양호한 경우에 30m의 안전 이격거리를 추가하여 선외반경의 기준으로 제시하고 있다.

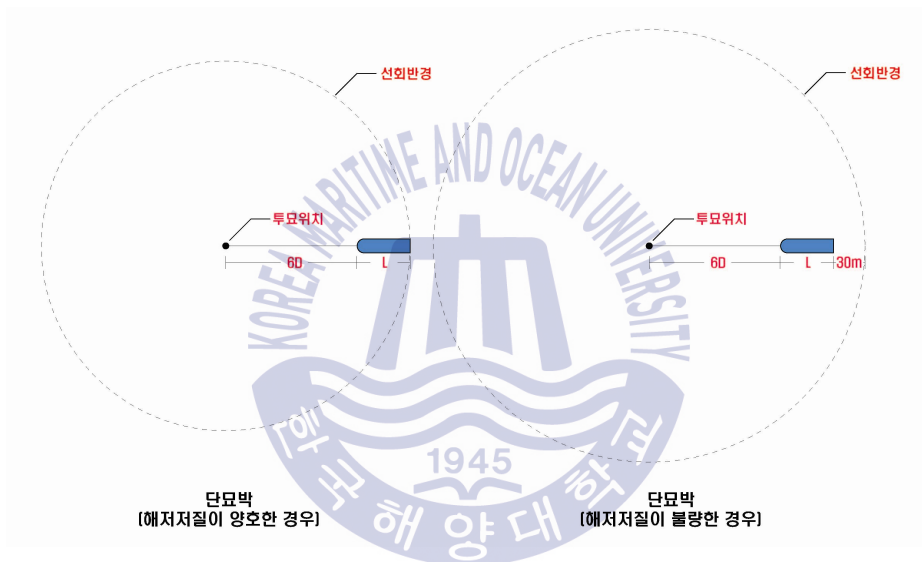


Fig. 3 Anchorage layout design criteria (Korea)

2.2.2 국외 정박지 설계기준 및 연구결과

2.2.2.1 미국의 정박지 설계기준

미국의 정박지 설계기준은 U.S Army Corps of Engineers(USACE) 및 미국 시설통합기준(UFC)을 주로 사용하며, 각 설계기준에서의 정박지 규모에 대한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

① U.S Army Corps of Engineers(USACE)

U.S Army Corps of Engineers(2006)의 정박지 설계기준을 살펴보면, 필요 정박지 규모는 선박의 계류방법, 정박지를 이용하고 있는 선박의 수와 크기 그리고 선박에 작용하는 외력(Environment Force)에 따라 결정됨을 언급하고 있다.

USACE의 정박지 설계기준을 그림으로 나타내면 Fig. 4와 같이 정박선의 선회직경은 선박길이의 3배가 필요하다. 또한 항로에 인접해 있는 정박지의 경우 정박지 내 투묘대기 중인 선박의 척수와 선박 길이를 곱한 값의 3배를 한 값을 기준으로 정박선의 선회반경과의 접선을 통해 정박지 경계를 지정해야 함을 제시하고 있다.

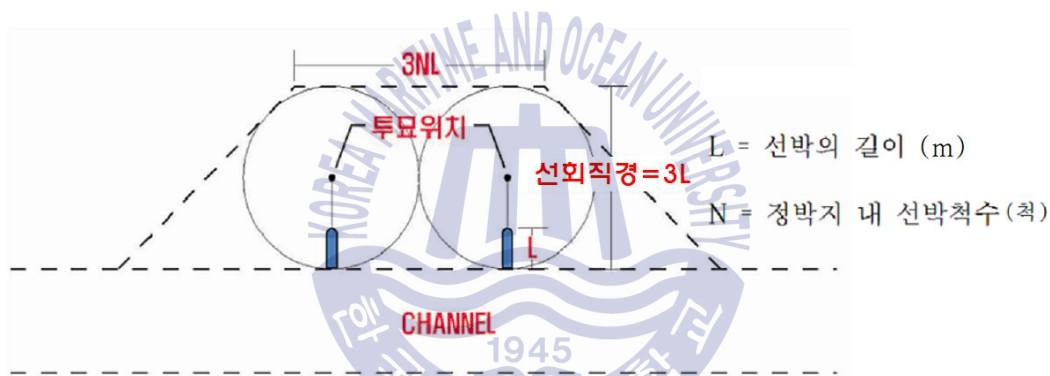


Fig. 4 Anchorage layout design criteria (USACE)

② 미국시설통합기준(UFC)

미국시설통합기준(Department of Defence, 2010)은 군사항 및 연안항 시설물에 대하여 시설의 설계, 시공 등에 대한 설계기준을 제시하고 있으며, 일반적으로 미국 공병단, 미해군 시설기술단, 미공군 토목기술단 등이 UFC의 설계기준을 준수한다.

미국시설통합기준에서 정박지 설계기준은 Table 3과 같이 선박의 길이와 수심에 따른 정박선박의 선회직경을 제시하고 있으며, 수심이 21.3m 이하에 투묘할 경우 수심의 6배에 해당하는 묘쇄를 신출하고, 주요선박에 대한 안전을

위하여 27.4m의 여유거리를 갖도록 하였다.

Table 3 The turning radius in accordance with the depth and length (UFC)

선박길이 수심	31	61	91	122	152	183	213	244	274	305	335	366
3.1	151	215	274	334	-	-	-	-	-	-	-	-
6.1	187	247	311	370	430	494	-	-	-	-	-	-
9.1	224	283	347	407	466	530	590	649	713	-	-	-
12.2	261	320	384	443	503	567	596	686	750	809	869	933
15.2	297	357	416	480	540	599	663	722	809	846	905	965
18.3	224	389	453	517	576	636	700	759	818	882	933	1,001
21.3	257	402	489	553	613	678	736	796	855	919	978	1,038
24.4	275	421	521	585	649	704	764	823	892	851	992	1,079
27.4	289	434	540	613	668	722	777	837	905	965	1,006	1,093
30.5	407	448	553	626	686	736	796	850	919	978	1,033	1,106
33.5	432	462	567	640	700	750	809	864	933	992	1,047	1,120
36.6	434	471	581	654	713	764	823	878	946	1,001	1,061	1,134
39.6	448	485	594	672	727	777	932	887	956	1,015	1,074	3,348
42.7	462	498	608	681	741	791	846	901	969	1,029	1,084	1,157
45.7	471	507	622	695	754	800	860	914	983	1,038	1,097	1,170
48.8	485	521	636	709	764	814	869	924	992	1,055	1,106	1,180
51.8	494	531	649	722	777	823	882	937	1,006	1,061	1,116	1,193
54.9	507	542	658	732	791	837	892	946	1,015	1,070	1,129	1,202
57.9	517	549	672	745	800	846	901	956	1,024	1,079	1,138	1,212
61	531	562	681	759	814	860	914	965	1,038	1,093	1,148	1,221

(단위: m)

2.2.2.2 영국의 정박지 설계기준

영국 및 그 인근 국가에서 항만 설계 시 가이드라인으로 사용하는 지침서는 Port Designer's Handbook: Recommendations and guidelines(Thoresen, 2007)이다. 이 설계기준은 정박지의 선회반경은 이용할 수 있는 계류 시스템들의 종류와 선박의 크기, 종류, 수에 따라 결정되며, 묘쇄의 길이와 해저 조건을 고려하여 정박지 수심이 대략 50m에서 60m를 넘지 않아야 함을 제시하고 있다. 그리고 일반적으로 정박선은 닻을 중심으로 회전을 하며, 조류와 바람에 평행하게 위치하기 때문에 환경적인 조건에 따른 정박선의 선회반경에 대해서 Table 4와 같이 제시하였다.

Table 4 Anchorage layout design criteria (UK)

정박지 이용 목적	해저저질 상태 또는 풍속	선회반경(m)
대기 혹은 화물작업	해저저질 상태 양호	$L+6D$
	해저저질 상태 불량	$L+6D+30$
정박	풍속 20m/s	$L+6D+90$
	풍속 30m/s	$L+6D+145$

여기서, L : 선박 길이(m)

D : 수심(m)

또한 정박 구역은 묘쇄를 수심의 약 3배 만큼 풀어줄 때는 주묘의 가능성이 있기 때문에 충분한 수역을 가지고 있어야 하며, 조위에 있어 저조일 경우 선박의 여유수심(UKC, Under Keel Clearance)이 약 3m~4m 이상이어야 함을 제시하였다. 또한 대략적으로 정박 선박이 신출해야 하는 묘쇄의 길이는 선박 길이의 약 1.5배가 필요함을 제시하고 있다.

2.2.2.3 스페인의 정박지 설계기준

정박지에 대한 광범위한 설계기준을 제시하고 있는 대표적인 지침서는 Recommendations for the design of the maritime configuration of ports: approach channels and harbour basins(Puertos del Estado, 2007)이며, 이는 스페인의 항만 및 수역시설 건설 시 설계기준으로 이용되고 있다. 이 설계기준은 Table 5의 요소를 고려한 결정론적 방법을 통해 정박선박의 선회반경을 제시하였다는 특징이 있다.

Table 5 Anchorage layout design criteria (Spain)

① 선박 길이 및 정박지에서 신출하는 체인의 길이		
② 투묘 위치의 부정확함에 따른 추가 안전거리 (추가 안전거리는 다양한 요소들을 고려해야 하나 대략적으로 선박 길이의 25%~50% 정도로 고려한다.)		
③ 해저저질과 풍속에 따른 주요 발생 가능성에 대한 여유거리		
정박 중 풍속	해저저질 상태 양호(m)	해저저질 상태 불량(m)
10m/s 이하	0	30
20m/s	60	90
30m/s	120	150
30m/s 초과	180	210
④ 선박 길이의 10% 정도의 안전 이격거리(최소 20m)		

스페인의 정박지 설계기준 특징은 정박지의 선회반경 규모를 정함에 있어 투묘 위치 부정확, 주요발생 가능성에 대한 여유거리, 안전 이격거리 등 선박 운항자가 정박지에 투묘함에 있어 발생할 수 있는 오류, 심리적인 이격거리 및

기상상황 악화 등으로 인한 위험상황 발생 가능성을 설계기준에 고려했다는 점이다. 또한 대부분의 정박지 규모 산정 설계기준에서는 신출해야 하는 체인의 길이를 전반적으로 상황이 양호한 경우에는 수심의 3배~4배, 그리고 장시간의 대기나 상황이 양호하지 않은 경우는 수심의 5배~7배의 묘쇄를 신출하도록 권고하고 있다. 그러나 선박의 체원을 정확히 알고 있을 경우 이상적인 묘쇄의 길이에 대하여 식 (1)과 같은 산출 공식을 제시하여 정박선박의 안전성을 고려한 부분은 타 정박지 설계기준과의 가장 큰 차이점이라고 할 수 있다.

$$\text{신출해야 할 묘쇄길이(m)} = \sqrt{(D+h_e)\left(\frac{T_c}{2w} - (D+h_e)\right)} \quad (1)$$

여기서, D : 수심(m)

h_e : 묘쇄공에서 수면까지의 거리(m)

T_c : 묘쇄의 작업안전 하중(working load)(톤)

w : 단위길이 당 묘쇄의 수중 무게(톤)

2.2.2.4 PIANC 해상항로 위원회 정박지 설계기준

PIANC(The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, 국제 수상교통 시설협회) 산하의 여러 위원회 중 해상항로 위원회(MARCOM)는 해양, 항만과 수로 문제에 관한 보고서를 출간하는데, 이를 통해 정박지 설계에 대한 국제적 가이드라인을 예상할 수 있다. 1885년 벨기에에서 처음 출발한 PIANC는 역사가 120주년이 넘는 국제주요 단체로 전 세계 65여 개국이 참가하고 있다.

Maritime Navigation Commission of the World Association for Waterborne Transport Infrastructure, 2014)에서 제시하고 있는 정박지 관련 기준을 분석해보면 정박지는 선박이 안전하게 정박할 수 있도록 충분한 수역이 필요함을 기술하고 있다. 또한 선박의 길이, 사용되는 묘쇄의 길이, 주요 선박이나

위험물로부터의 안전거리 등을 고려하도록 하고 있다. 그리고 정박지를 이용하는 선박은 풍속의 영향을 고려하지 않을 때 일반적으로 수심의 5배에 해당하는 묘쇄를 신출하며, 주요로 인한 여유거리는 30m 정도를 고려할 것을 권고하고 있으며, 식 (2)와 같은 수식을 제시하고 있다. 그러나 정박선은 바람의 영향을 많이 받기 때문에 풍속에 따른 선회반경의 크기를 달리 제시할 필요가 있다. 따라서 PIANC의 설계기준에서는 바람의 영향을 고려하지 않은 식 (2)의 설계기준에 Table 6의 여유거리를 추가하여 선회반경을 제시하였다.

$$\text{정박선의 선회반경(m)} = L + 5D + 30 \quad (2)$$

여기서, L : 선박 길이(m)

D : 수심(m)

Table 6 Additional notice margin in accordance with the environmental condition (PIANC)

해저저질 상태	조건	추가 여유거리(m)
해저저질이 양호한 경우	풍속이 10m/s 이하인 경우	0
	풍속이 20m/s 인 경우	60
	풍속이 30m/s 인 경우	120
	풍속이 30m/s 이상인 경우	180
해저저질이 불량한 경우	풍속이 10m/s 이하인 경우	30
	풍속이 20m/s 인 경우	90
	풍속이 30m/s 인 경우	150
	풍속이 30m/s 이상인 경우	210

2.2.2.5 일본의 정박지 설계기준

일본의 항구시설에 대한 기술기준(The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, 2009)에서 제시한 정박지 설계기준을 살펴보면, 약천후 시의 선회반경 기준을 제외하고 우리나라의 설계기준과 동일한 것을 알 수 있다. 즉, 정박지의 규모를 산정함에 있어 단묘박의 경우 Table 7과 같이 해저저질이 양호한 경우에는 정박선 길이에 수심의 6배를 더한 만큼의 선회반경이 필요하며, 해저저질이 불량한 경우에는 해저저질이 양호한 경우의 선회반경에 30m의 여유거리를 추가하여 선회반경을 산정하도록 하고 있다.

약천후 시 선박이 정박할 경우, 풍속이 20m/s일 때는 정박선의 길이에 수심의 6배를 더하고, 추가적으로 90m의 거리를 합한 만큼의 반경이 필요하며, 풍속이 30m/s일 때는 정박선의 길이에 수심의 6배를 더하고, 추가적으로 145m의 거리를 합한 만큼의 반경을 갖도록 하고 있다.

Table 7 Anchorage layout design criteria (Japan)

이용목적 환경조건	이용방법	해저질 또는 풍속	선회반경(m)
외해대기 또는 하역	단묘박	해저저질이 닛 농기에 양호	$L+6D$
		해저저질이 닛 농기에 불량	$L+6D+30$
약천후 시	-	풍속 20m/s	$L+6D+90$
	-	풍속 30m/s	$L+6D+145$

여기서, L : 선박 길이(m)

D : 수심(m)

2.2.2.6 중국의 정박지 설계기준

중국의 정박지 설계기준은 여타 설계기준과 달리 식 (3, 4)와 같이 선박이 정박지를 사용할 때 발생하는 풍속계급에 따른 선회반경을 제시하고 있다.(Jia,

2011 cite in Ministry of Transport of the People's Republic of China, 1999). 즉, 풍력계급 7 이하일 경우는 선박의 길이와 수심의 3배, 그리고 90m의 여유거리를 합한 값을 선회반경으로 한 정박수역이 필요하며, 풍력계급 7을 초과할 때에는 선박의 길이와 수심의 4배, 그리고 145m의 여유거리를 합한 값을 선회반경으로 한 정박수역이 필요함을 제시하였다.

$$\textcircled{1} \text{ 풍력계급이 7 이하일 경우의 선회반경(m) = } L+3D+90 \quad (3)$$

$$\textcircled{2} \text{ 풍력계급이 7 초과일 경우의 선회반경(m) = } L+4D+145 \quad (4)$$

여기서, L : 선박의 길이(m)

D : 정박지의 수심(m)

2.2.2.7 정박지 설계기준 검토 결과

정박지에 대한 국내외 설계기준을 비교·분석하면 Table 8과 같다.

정박지의 설계기준을 비교해 보면 기본적으로 선박의 길이와 정박지 수심에 따라서 선회반경을 산정하도록 하고 있다. 그리고 정박선의 안전에 가장 큰 영향을 미치는 바람과 관련해서 우리나라와 미국의 설계기준을 제외한 기준에서는 풍속에 따른 추가 이격거리를 고려하도록 제시하고 있다. 특이한 점으로는 스페인 설계기준의 경우 투묘하는 묘채의 길이를 묘채의 무게, 묘채공에서 수심까지의 거리를 기초로 산출할 수 있는 식을 제시했다는 점이다. 또한 선회반경의 산정에 있어 투묘지점의 부정확성에 대한 여유거리를 추가하도록 하는 등 정박선의 안전성을 최대한 고려한 설계기준이라고 할 수 있다.

선박 운항자는 정박지에 투묘를 할 때 주묘로 인한 사고를 방지하기 위해서 풍속 조건을 매우 중요하게 고려한다. 그러나 우리나라의 정박지 설계기준은 선회반경을 산정함에 있어 선박 길이, 수심, 저질만을 고려하도록 하고 있어 정박선의 특징을 제대로 반영하지 못하고 있으며, 안전 측면에서도 부족한 기준이라고 판단된다.

Table 8 Comparative analysis of design criteria

설계 기준	정박지의 선회반경 및 설계 시 고려사항		
우리 나라	<ul style="list-style-type: none"> • 선회반경(m) = $L + 6D$(저질양호) = $L + 6D + 30$(저질불량) 		
미국	USACE	• 선회직경(m) = $3L$	
	UFC	• 선박 길이와 수심에 따른 정박선의 선회반경을 표로 제시	
영국	<ul style="list-style-type: none"> • 선회반경(m) = $L + 6D$(저질 양호(대기)) = $L + 6D + 30$(저질 불량(단순대기)) = $L + 6D + 90$(풍속 20m/s(정박)) = $L + 6D + 145$(풍속 30m/s(정박)) • 수심은 60m를 넘지 않아야 하며, 저조일 경우 3m~4m의 여유 거리 필요 		
스페인	<ul style="list-style-type: none"> • 선회반경(m) = 투표 부정확에 따른 여유거리(선박 길이의 25~50%) + 주요 가능성에 따른 여유거리 + 신출한 묘쇄길이 + 선박길이 + 안전 여유거리(선박 길이의 10%) • 주요 가능성에 따른 여유거리 		
	정박 중 풍속	해저저질 상태 양호(m)	해저저질 상태 불량(m)
	10m/s 이하	190	30
	20m/s	60	90
	30m/s	120	150
30m/s 초과	180	210	
<ul style="list-style-type: none"> • 묘쇄길이(m) = $\sqrt{(D+h_e)\left(\frac{T_c}{2w} - (D+h_e)\right)}$ 			
PIANC	<ul style="list-style-type: none"> • 선회반경(m) = $L + 5D + 30$ • 바람 및 저질에 따른 여유거리는 스페인 기준과 동일 		
	<ul style="list-style-type: none"> • 선회반경(m) = $L + 6D$(저질양호) = $L + 6D + 30$(저질불량) = $L + 3D + 90$(풍속 20m/s 악천후) = $L + 4D + 145$(풍속 30m/s 악천후) 		
일본	<ul style="list-style-type: none"> • 선회반경(m) = $L + 3D + 90$(풍력 ≤ 7) = $L + 4D + 145$(풍력 > 7) 		
중국	<ul style="list-style-type: none"> • 선회반경(m) = $L + 3D + 90$(풍력 ≤ 7) = $L + 4D + 145$(풍력 > 7) 		

이에 각각의 정박지 설계기준에서 제시하고 있는 선회반경 규모의 차이를 시각적으로 비교하기 위해 Table 9와 같이 대상선박 및 정박지 환경조건에 대한 시나리오를 설정하였다.

Table 9 The scenario for comparison of the design criteria

대상선박	정박지 환경 조건
<ul style="list-style-type: none"> · 실습선 한바다호(6,000GT급) · 선박 길이 : 117.2m · 선박폭 : 17.8m 	<ul style="list-style-type: none"> · 수심 : 30m · 풍속 : 10m/s, 20m/s · 저질 : mud(진흙)

대상선박은 6,000GT급의 실습선 한바다호로 하였으며, 정박지의 환경조건은 수심 30m, 저질은 mud(진흙)으로 설정하였다. 또한 정박선의 안전에 밀접한 관련이 있는 풍속 조건에 관해서는 10m/s와 20m/s의 두 가지 조건에 대해 각각 분석하였다.

국내외 정박지 설계기준 별 선회반경의 규모를 상호 비교해 보면 Table 10과 Fig. 5와 같다.

Table 10 Ship's turning radius in according to the anchorage design criteria

설계기준		풍속조건	10m/s일 때 선회반경 (m)	20m/s일 때 선회반경 (m)
우리나라			297.2	297.2
미국	USACE		351.6	351.6
	UFC		614.7	614.7
영국			297.2	387.2
스페인			246.9	306.9
PIANC			267.2	327.2
일본			297.2	387.2
중국			237.2	382.2

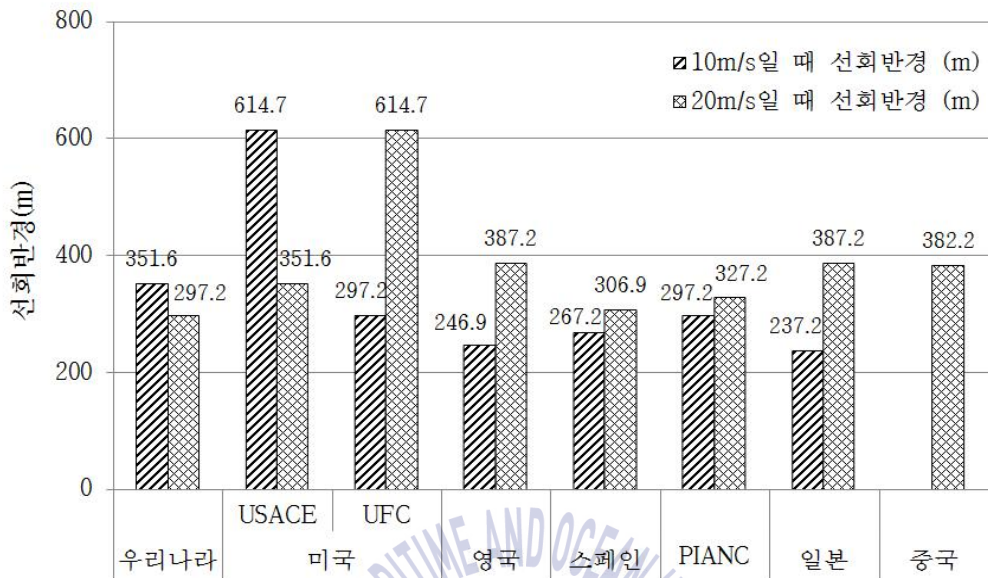


Fig. 5 Comparative analysis of anchorage design criteria

임의로 설정한 정박선 및 환경조건 하에서 정박지 설계조건에 따라 필요한 정박지 선회반경을 비교·분석하였다.

분석 결과, 미국의 UFC 설계기준을 적용하였을 때 필요한 선회반경이 614.7m로 가장 크고, 중국 설계기준에서 풍속이 10m/s 때의 필요 선회반경이 237.2m로 가장 작은 것으로 분석되었다.

이렇듯 각 정박지 설계기준에서 요구하는 정박선의 선회반경 규모가 같지 않으며, 그 편차도 큰 것을 알 수 있다. 특히 선박 한 척이 점유하는 선회반경만을 기준으로 제시하였을 뿐, 항만의 교통량이나 정박지 이용선박 현황에 따른 필요 정박지 수 혹은 규모에 대한 기준이 정해져 있지 않아 항만개발 또는 정박지 이용선박 척수 증가 등에 따라 정량적이고 객관적인 정박지의 규모 확대 또는 축소가 불가능한 상황이다.

도로교통에 있어서는 차량의 주차구역 규모(대수)에 대해서 주차장법 시행령 및 주택건설기준 등에 관한 규정에 거주구역의 규모에 따른 주차대수의 산정방법을 명시해 놓은 것과 비교할 때, 위에서 살펴본 정박지에 대한

설계기준과 대별된다고 할 수 있다. 따라서 정박지 설계기준과 더불어 항만별 정박지 적정 개수 및 정박선 간의 이격거리를 공학적인 방법을 통하여 정량적으로 제시할 필요가 있다.

2.2.3 정박지 형태에 따른 설계기준

정박지 지정에 대한 법률적 근거는 선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률 제5조 제1항의 규정에 의거하여 해양수산부장관이 지정·고시하도록 되어 있다.

정박지를 지정 혹은 설계하고자 할 때에는 묘박 중인 선박의 선회반경을 고려해야 할 뿐만 아니라, 항해자의 심리적인 이격거리 등도 감안해야 할 것이다. 그러나 각 항만 주변 해역의 지리적 특성에 따라 충분한 정박지를 확보하기에 곤란한 경우가 많아 항만별 사정에 따른 다양한 형태의 정박지를 운영하고 있는 실정이다. 최근 정박지 지정과 관련한 연구에서 Fig. 6과 같이 정박지의 운영 형태를 단순 집단 정박지 지정 방식, 집단 정박지와 원형 정박지를 혼합하는 방식, 집단 정박지와 포인트 정박지를 혼합하는 방식, 원형 정박지 지정 방식 및 포인트 정박지 지정 방식의 다섯 가지로 분류(울산항만공사, 2014)한 바 있으며, 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

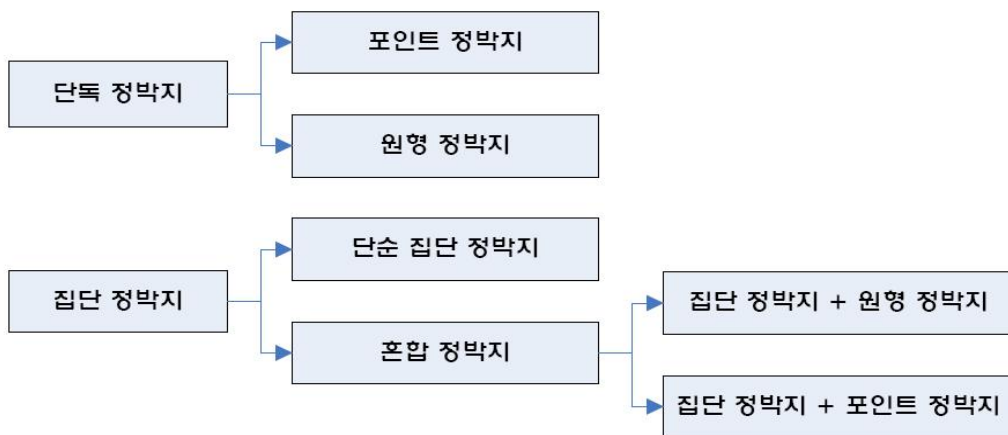


Fig. 6 The assignment method of anchorage

2.2.3.1 단순 집단 정박지 지정 방식

단순 집단 정박지 지정 방식은 정박 선박이 원하는 곳에 자유롭게 정박할 수 있어 안전 확보가 가능하며, 정박지의 외력조건이 좋고 나쁨에 따라 선박의 간격을 적절하게 조절할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 정박선박이 집단 정박지 내에 자유롭게 정박하다 보니 정박지 효율 면에서는 타 정박지 지정방식과 비교할 때 낮을 뿐만 아니라, 타 선박과 근접하여 정박할 경우나 기상조건이 나빠질 경우에 접촉 및 충돌사고의 원인이 될 수 있다는 단점이 있다. 이 지정방식은 Fig. 7과 같이 통항선박이 많은 울산항 M 정박지 및 부산항 남항 정박지 등에서 사용하고 있다.

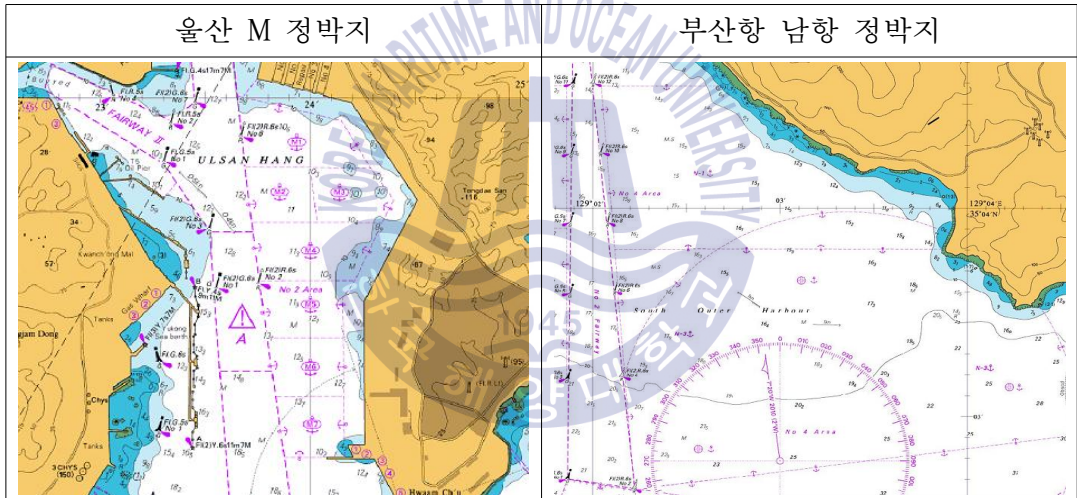


Fig. 7 Anchorage designated as simple group anchorage

2.2.3.2 집단 정박지와 원형 정박지를 혼합하는 방식

집단 정박지와 원형 정박지를 혼합하는 방식은 집단 정박지 내에 원형 정박지를 지정하는 방식이다. 이는 집단 정박지만을 지정할 경우 발생할 수 있는 정박지 효율 저하 및 선박사고 등을 방지할 수 있는 방식이며, 정박지의 외력조건에 따라 정박지를 탄력적으로 운영할 수 있는 장점이 있다. 이 지정방식은 Fig. 8과 같이 여수·광양항 입구 및 자카르타항 입구 수역 등에서 사용되고 있다.

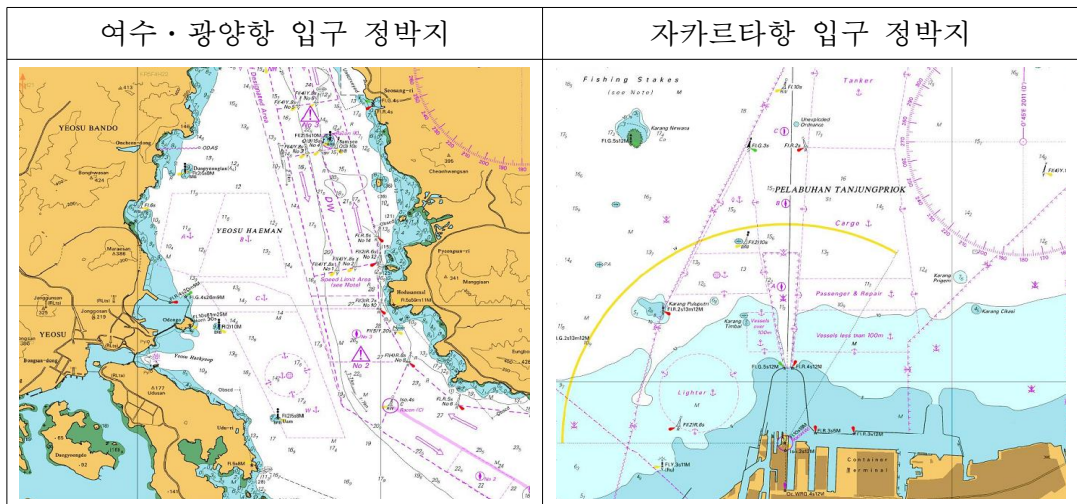


Fig. 8 Anchorage designated as simple group anchorage and circle anchorage

2.2.3.3 집단 정박지와 포인트 정박지를 혼합하는 방식

집단정박지 내에 정박 위치를 포인트로 지정하는 방식을 의미한다. 이는 여러 선박이 정박하려고 할 때 효율적인 정박이 가능하며, 환경적 요인에 따라 탄력적 운용이 가능한 장점이 있다. 그러나 정박 선박 간의 여유거리 확보가 필요하다는 단점이 있다. 이 지정방식은 Fig. 9와 같이 부산항 신항 입구 및 일본 오사카항 입구 정박지 등에서 사용되고 있다.

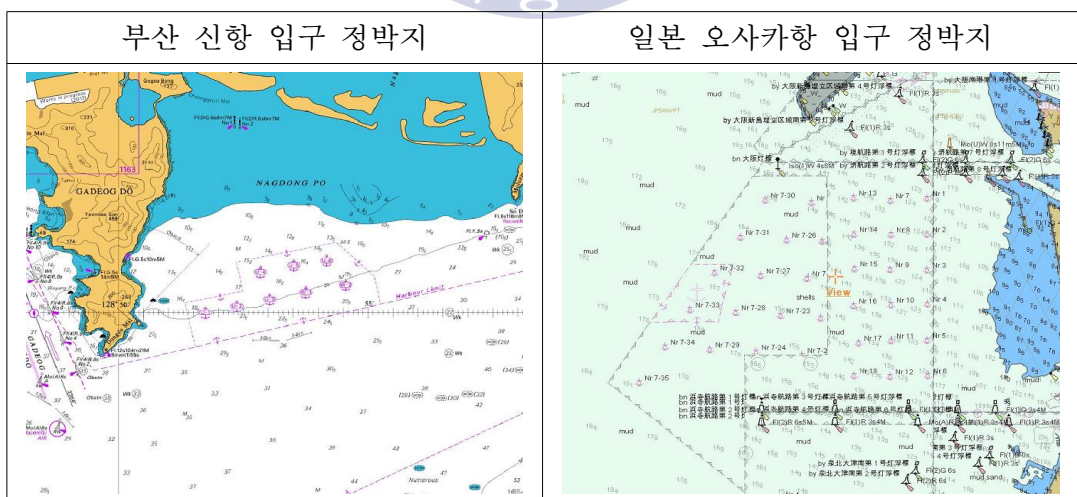


Fig. 9 Anchorage designated as simple group anchorage and point anchorage

2.2.3.4 원형 정박지 또는 포인트 정박지로 지정하는 방식

원형 정박지 또는 포인트로 정박지를 지정하는 방식은 한 척의 선박이 정박 서클 내에 정박하거나 정박 포인트에 정박하는 방식이다. 이는 타 선박과의 간섭현상이 없어, 선박사고의 가능성이 타 지정방식보다 낮다는 장점이 있다. 그러나 정박지의 외력조건에 따라 탄력적으로 정박지를 이용할 수 없다는 단점이 있다. 이 지정방식은 Fig. 10과 같이 광양항 인근, 호치민항 입구, 동해항 입구 정박지, 목포항 입구 정박지에서 사용되고 있다.

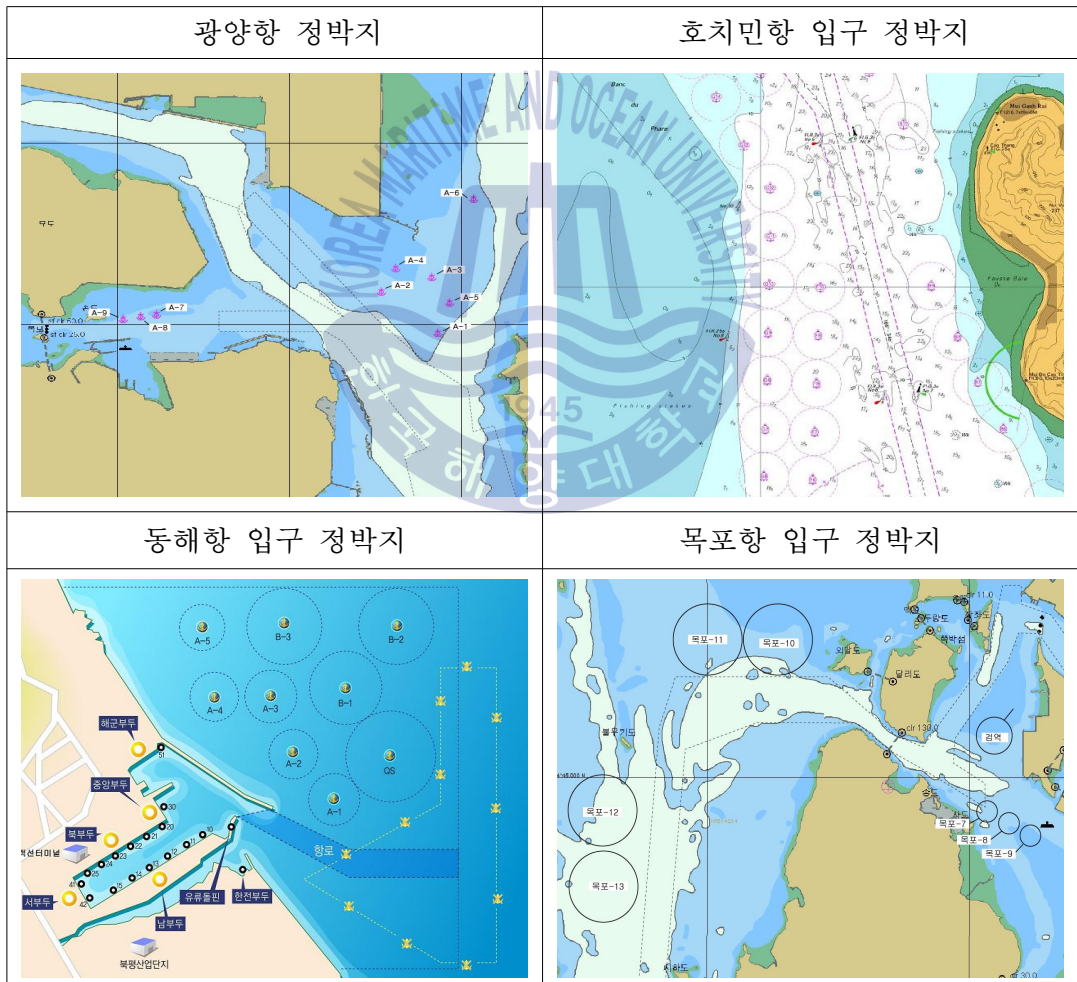


Fig. 10 Anchorage designated as circle anchorage or point anchorage

2.2.3.5 정박지 지정 방식 요약

정박지를 지정하고자 할 때는 항만 구역의 형태, 정박지 이용선박 수, 환경요소 뿐만 아니라 정박지 지정 방식의 장단점을 고려하여 결정해야 한다. 위에서 기술한 정박지 지정 방식의 장단점에 대해서 요약하면 Table 11과 같다(울산항만공사, 2014).

Table 11 The advantages and disadvantages of anchorage assignment method

유형	장점	단점
원형 정박지	<ul style="list-style-type: none"> · 타 선박과의 간섭이 적음 · 해역이 협소한 경우에 유리 · 선박의 크기별 정박지 규모가 확정되어 비교적 정박 선박의 안전관리 및 관제가 용이함 	<ul style="list-style-type: none"> · 해역이 협소하거나, 투묘 위치가 부정확 할 경우 정박지 운영 효율 및 타 선박에 지장을 초래할 우려가 있음
단순 집단 정박지	<ul style="list-style-type: none"> · 다수의 선박 수용이 가능함 · 투묘지점의 선택 편의성이 큼 · 기상이 양호하고 정박 선박이 많지 않을 경우 탄력적인 정박지 운영이 가능함 	<ul style="list-style-type: none"> · 최대 이용 선박 척수에 대한 논란과 함께 정박선의 안전관리 및 관제의 어려움 존재
혼합 방식	집단 정박지와 원형 정박지 혼합	<ul style="list-style-type: none"> · 위치가 확정되어 정박선의 안전관리 및 관제 용이성 · 기상 및 특별한 상황에서는 지정 위치에 정확히 투묘하지 못하는 경우 발생
	집단 정박지와 포인트 혼합	<ul style="list-style-type: none"> · 교통, 기상 상황에 따른 정박 선박 척수 제한 및 관리가 용이하여 정박지 효율성 증대 · 선박 운항자 투묘지점 선정의 유연성 및 확장성 부여 · 정박 척수가 한계에 도달할 경우 정박선 간 이격거리로 인한 해양사고 발생 개연성이 존재함

2.3 국내 항만의 정박지 규모 및 이용 현황 분석

정박지 규모 및 이용 실태 현황은 각 지방해양수산청 및 항만공사의 고시, Port-MIS 자료, 항해용 해도 및 ECDIS(Electronic Chart Display and Information System, 이하 전자해도)를 통해 조사하였다. 조사대상 수역은 Fig. 11과 같이 국내 주요 무역항(인천항, 평택·당진항, 대산항, 군산·장항항, 목포항, 여수·광양항, 부산항, 울산항, 포항항, 동해·목호항)으로 하였다.

국내 주요 무역항의 정박지 조사 항목으로는 정박지 위치, 정박지별 선박 수용능력 및 정박지 면적 등이며, 이를 통하여 국내 항만의 정박지 규모를 상호 비교하였다. 또한 정박지 이용 현황 분석은 2014년의 각 항만별 정박지 이용선박 척수, 톤급별 정박지 이용선박 척수 등을 조사하였다.



Fig. 11 The status and position of major port

2.3.1 국내 주요 무역항 정박지 지정 현황 조사

국내 주요 무역항의 정박지 현황을 파악하기 위해 정박지 위치, 수용능력, 수심, 저질, 면적 또는 반경, 정박지 지정 방식을 조사하였으며, 그 결과는 Table 12와 같다. 분석 결과, 정박지의 이용 가능한 규모는 총톤수를 기준으로 제한하고 있으며, 항만의 주요 입항 선박 톤수에 따라서 대형 선박의 정박지와 소형선 정박지가 다양하게 분포하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 12 ~ Fig. 21은 우리나라 주요 항만의 정박지 지정 수역 및 지정방식을 해도에 나타낸 것이다.

Table 12 The status of anchorage capacity, depth and bottom type

위 치	명 칭	선박수용 능력 (G/T)	수심 (m)	면적(km ²) or 반경(m)	저질	정박지 지정방식
인 천 항	W-1	50,000톤급	12.6	400m	sand	원형
	W-2	50,000톤급	9.3	400m	sand	원형
	W-3	50,000톤급	9.0	400m	sand	원형
	W-4	30,000톤급	9.0	280m	sand	원형
	W-5(우선피항)	-	7.9	300m	sand	원형
	W-9(비상대기)	30,000톤급	10.5	300m	sand	원형
	W-10	30,000톤급	11.5	300m	mud	원형
	W-11	20,000톤급	11.5	300m	mud	원형
	W-12	15,000톤급	12.0	300m	mud	원형
	W-13	15,000톤급	12.0	300m	sand	원형
	W-14	15,000톤급	12.0	300m	sand	원형
	W-15	2,000톤급	10.8	225m	rock	원형
	E-1	100,000톤급	14.0	400m	mud	원형

위 치	명 칭	선박수용 능력 (G/T)	수심 (m)	면적(km ²) or 반경(m)	저질	정박지 지정방식
인 천 항	E-2	10,000톤급	8.0	400m	sand	원형
	E-3	10,000톤급	6.1	400m	sand	원형
	E-4	5,000톤급	11.0	300m	mud	원형
	E-5	50,000톤급	11.0	300m	mud	원형
	E-6(비상대기)	20,000톤급	11.0	300m	mud	원형
	A-3	2,000톤급	4.8	300m	mud	원형
	A-4	2,000톤급	4.4	300m	mud	원형
	A-5	2,000톤급	4.0	300m	mud	원형
	A-6	4,000톤급	6.0	300m	mud	원형
	A-9(우선피항)	-	4.6~14.4	1.16km ²	mud	집단
	Q-1(검역)	5,000~50,000톤급	6~12	900m	sand	원형
	Y-1	76,000톤급	20.3	-	sand	집단
	제1대기정박지	-	23~28	6.77km ²	sand	집단
	제2대기정박지	-	10~30	39.76km ²	sand	집단
	제3대기정박지	-	7.6~20	10.77km ²	mud	집단
평 택 항 당 진 항	방도 정박지	150,000톤급	13.0	4.81km ²	sand	집단
	영암 정박지	50,000톤급	10.0	450m	mud	원형
		30,000톤급	12.0	300m	mud	
		30,000톤급	8.0	300m	mud	
	장안서 정박지	150,000톤급	22.0	900m	sand	원형
	입파도 정박지	150,000톤급	22.0	8.77km ²	mud	집단
	도리도 정박지	150,000톤급	17.0	2.25km ²	mud	집단
임시 정박지	50,000톤급	10.0	500m	rock	원형	

위 치	명 칭		선박수용 능력 (G/T)	수심 (m)	면적(km ²) or 반경(m)	저질	정박지 지정방식
대 산 항	A1	제 1 구	6,000톤급	9~11	5.00km ²	sand	집단+포인트
	A2		6,000톤급	12~16			
	A3		12,000톤급	19~23			
	A4	제 2 구	6,000톤급	26~27	2.44km ²	sand	집단+포인트
	A5		20,000톤급	25~29			
	A6	제 3 구	6,000톤급	33~36	8.27km ²	sand	집단+포인트
	A7		6,000톤급	31~32			
	A8		20,000톤급	32~34			
	A9		65,000톤급	33~35			
	A10		65,000톤급	26~33			
	QS		-	23~38	800m	sand	집단+원형
	A11		65,000톤 이상	32~36	600m	sand	원형
	A12		65,000톤 이상	29~31	600m	sand	원형
	A13		6,000톤 이하	12~14	300m	sand	원형
A14		12,000톤 이하	29~35	350m	sand	원형	
목 포 항	1		30,000톤급	12	250m	mud	원형
	2		30,000톤급	17	250m	mud	원형
	3		30,000톤급	18	250m	mud	원형
	4		10,000톤급	15	250m	mud	원형
	6		10,000톤급	15	250m	mud	원형
	7		30,000톤급	18	300m	mud	원형
	8		30,000톤급	15	300m	sand	원형

위 치	명 칭	선박수용 능력 (G/T)	수심 (m)	면적(km ²) or 반경(m)	저질	정박지 지정방식
목 포 항	9	5,000톤급	8	300m	mud	원형
	검역묘지	50,000톤급	6	500m	sand	원형
	10	20,000톤급	12	1,000m	gravel	원형
	11	50,000톤급	15	1,000m	gravel	원형
	12	100,000톤급	25	1,000m	mud	원형
	13	100,000톤급	25	1,000m	rock	원형
	14 (가사도)	200,000톤급	30	2,000m	gravel	원형
군 산 항 장 항	A0(임시)	50,000톤급	12~17	13.86km ²	mud	집단(10척)
	A1	50,000톤급	10~12	8.35km ²	mud	집단(5척)
	A2(검역)	30,000톤급	9~12	8.35km ²	mud	집단(10척)
	A3	20,000톤급	8~11	8.35km ²	mud	집단(7척)
	A4	7,000톤급	5~8	0.52km ²	mud	집단(1척)
여 수 항 광 양 항	1 정박지	1,000톤급	6	-	mud	포인트
	2 정박지	5,000톤급	8	-	mud	포인트
	1 정박지	50,000톤급	15	-	mud	포인트
	2 정박지	20,000톤급	15	-	mud	포인트
	3 정박지	5,000톤급	13	-	mud	포인트
	4 정박지	5,000톤급	8	-	mud	포인트
	5 정박지	20,000톤급	17	-	mud	포인트
	6 정박지	10,000톤급	18	-	mud	포인트
7 정박지	1,000톤급	10	-	mud	포인트	
8 정박지	1,000톤급	10	-	mud	포인트	

위 치	명 칭	선박수용 능력 (G/T)	수심 (m)	면적(km ²) or 반경(m)	저질	정박지 지정방식
여 수 항	9 정박지	1,000톤급	10	-	mud	포인트
	10 정박지	3,000톤급	8	-	mud	포인트
	11 정박지	3,000톤급	13	-	mud	포인트
	K-12 정박지	50,000톤급	9	0.50km ²	mud	집단
	K-13 정박지	5,000톤급	11	1.14km ²	mud	집단
	A 구역	흘수 8m	12	3.84km ²	mud	집단
	B 구역	흘수 11m	13	5.59km ²	mud	집단
	C 구역	흘수 13m	14	2.19km ²	mud	집단
	W 구역	흘수 14.5m	17	7.07km ²	mud	집단
	D-1 정박지	흘수 16m	26	24.12km ²	mud	집단
	D-2 정박지	흘수 16m	20	700m	mud	원형
	1점역 정박지	흘수 14.5m	17	700m	mud	원형
	2점역 정박지	흘수 14.5m	26	1,000m	mud	원형
부 산 항	E-1	5,000톤급	10	-	mud	포인트
	E-2	10,000톤급 이상	10	-	mud	포인트
	O-2	3,000톤급 미만	8	0.61km ²	mud	집단
	M-7	10,000톤급 미만	11	-	mud	포인트
	M-8	10,000톤급 이상	12	-	mud	포인트
	M-9	10,000톤급 이상	14	-	mud	포인트
	K-3	20,000톤급 미만	18	-	mud	포인트
	N-1	1,000톤급 미만	15	2.72km ²	mud	집단
	N-2	1,000~3,000	18	2.30km ²	mud	집단
	N-3	3,000~10,000	19	6.67km ²	mud	집단

위 치	명 칭	선박수용 능력 (G/T)	수심 (m)	면적(km ²) or 반경(m)	저질	정박지 지정방식
부 산 항	N-4	10,000톤급 이상	40	7.76km ²	mud	집단
	N-5	10,000톤급 이상	60	12.27km ²	mud	집단
	S-1	10,000톤급	11	300m	mud	원형
	W-1	80,000톤급	20	-	sand	집단+포인트
	W-2	80,000톤급	20	-	sand	집단+포인트
	U-1	30,000톤급	19	-	sand	집단+포인트
	U-2	30,000톤급	19	-	sand	집단+포인트
	U-3	30,000톤급	20	-	sand	집단+포인트
	U-4	30,000톤급	16	-	mud	집단+포인트
	U-5	30,000톤급	16	-	mud	집단+포인트
	U-6	30,000톤급	16	-	mud	집단+포인트
울 산 항	M1	2,000톤급	11	0.33km ²	mud	집단
	M2	2,000톤급	11	0.19km ²	mud	집단
	M3	2,000톤급	11	0.21km ²	mud	집단
	M4	2,000톤급	11	0.34km ²	mud	집단
	M5	2,000톤급	12	0.25km ²	mud	집단
	M6	2,000톤급	12	0.22km ²	mud	집단
	M7	2,000톤급	13	0.20km ²	mud	집단
	E1	10,000톤급	40	9.36km ²	mud	집단
	E2	30,000톤급	50	10.25km ²	mud	집단
	E3	150,000톤급	60	11.76km ²	mud	집단
	W1	20,000톤급	23	400m	mud	원형
	T1	3,000톤급	28	250m	mud	원형

위 치	명 칭	선박수용 능력 (G/T)	수심 (m)	면적(km ²) or 반경(m)	저질	정박지 지정방식	
울 산 항	T2	10,000톤급	26	300m	mud	원형	
	T3	10,000톤급	28	300m	mud	원형	
포 항 항	S1	-	15	3.84km ²	mud	집단	
	S2	-	20	7.09km ²	mud	집단	
	S3	-	16	6.35km ²	mud	집단	
	S4	-	22	9.39km ²	mud	집단	
	S5	-	26	5.88km ²	mud	집단	
동 해 항	A - 1	10,000톤급 이하	27	280m	sand	원형	
	A - 2	10,000톤급 이하	23	280m	sand	원형	
	A - 3	10,000톤급 이하	22	280m	sand	원형	
	A - 4	10,000톤급 이하	18	250m	sand	원형	
	A - 5	10,000톤급 이하	15	250m	sand	원형	
	B - 1	50,000톤급 이하	33	400m	sand	원형	
	B - 2	50,000톤급 이하	40	400m	sand	원형	
	B - 3	50,000톤급 이하	27	400m	sand	원형	
	묵 호 항	Q / S	-	35	500m	sand	원형
		A - 1	5,000톤급 이하	20	200m	sand	원형
A - 2		5,000톤급 이하	20	200m	sand	원형	
A - 3		5,000톤급 이하	18	200m	sand	원형	
B - 1		10,000톤급 이하	25	250m	sand	원형	
B - 2		10,000톤급 이하	22	250m	sand	원형	
Q/S		-	16	500m	sand	원형	

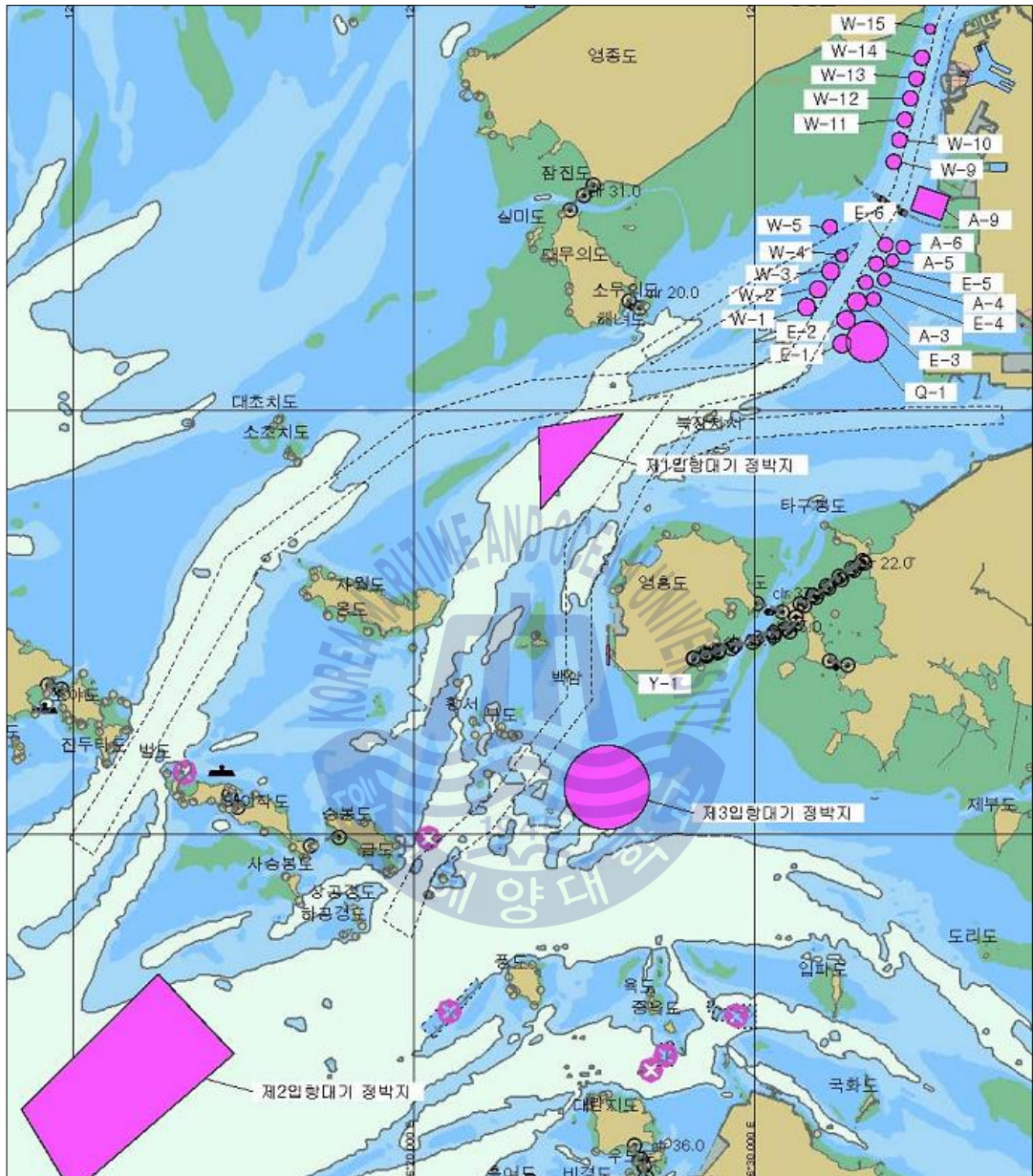


Fig. 12 The location of Incheon anchorage

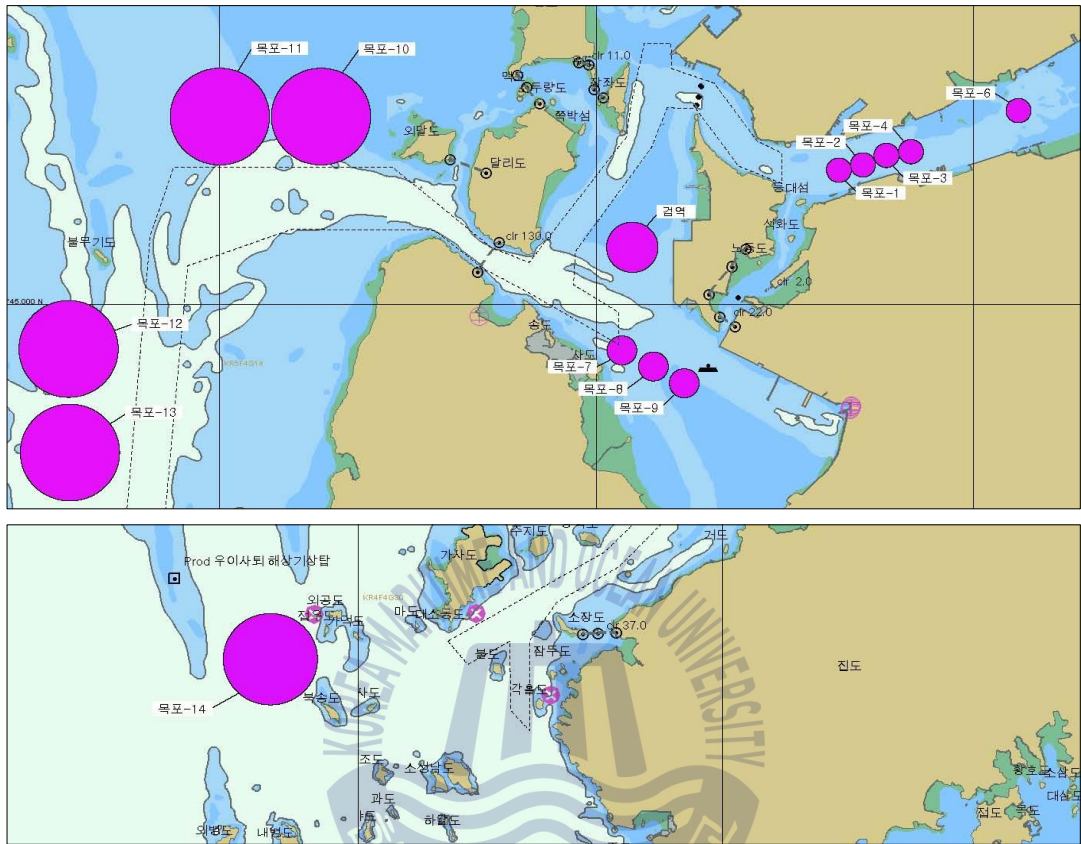


Fig. 15 The location of Mokpo anchorage

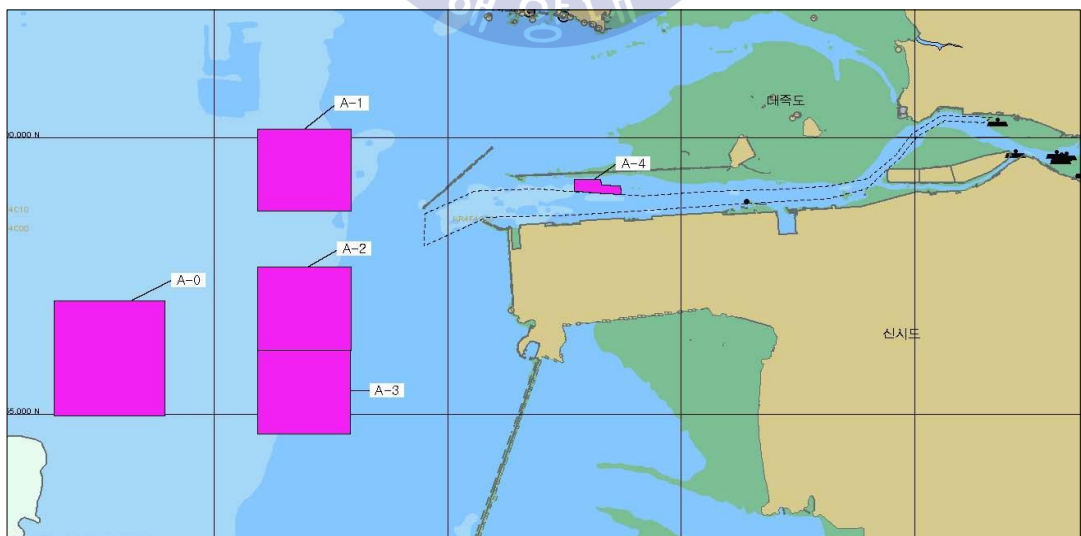


Fig. 16 The location of Janghang & Kunsan anchorage

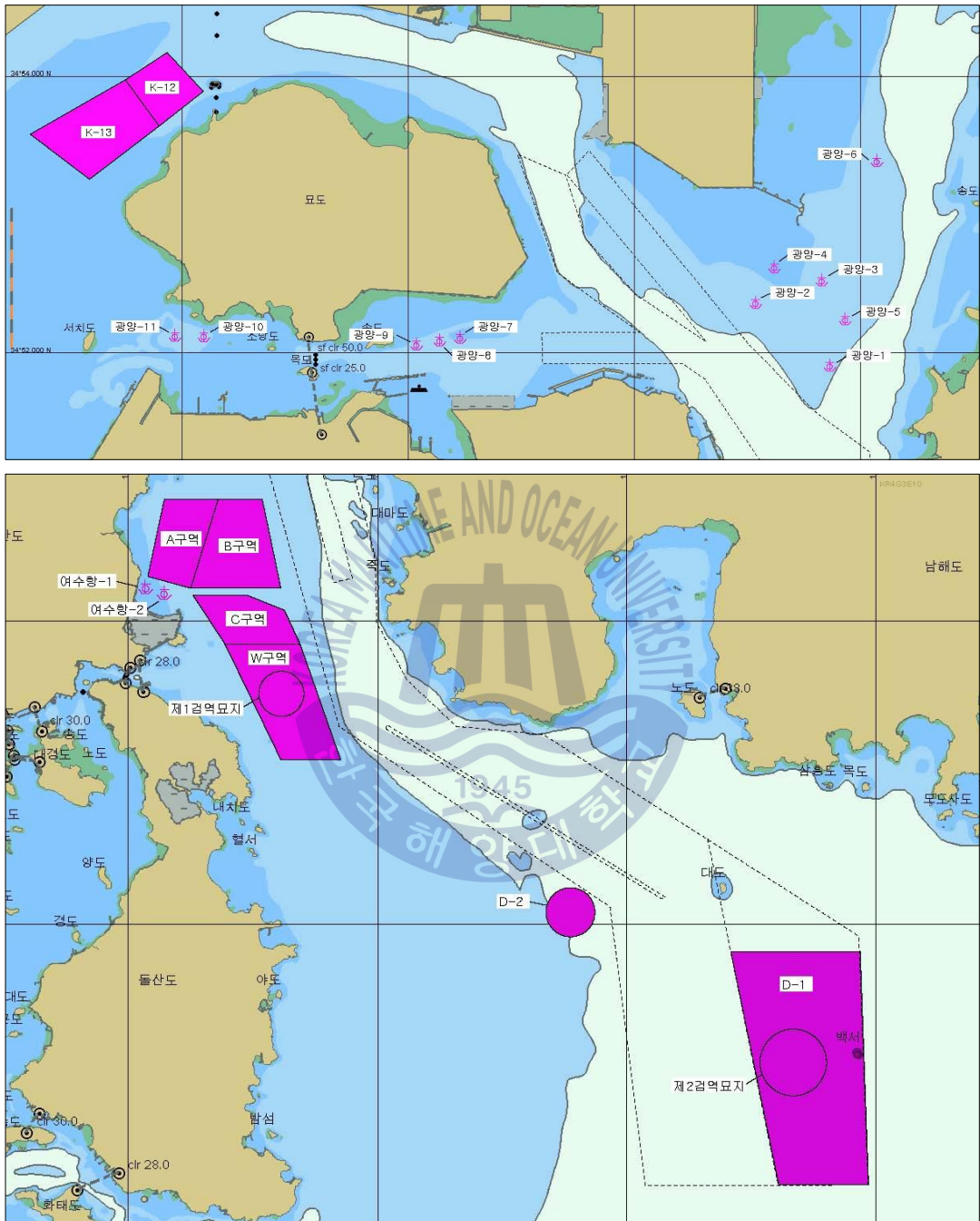


Fig. 17 The location of Yeosu & Kwangyang anchorage

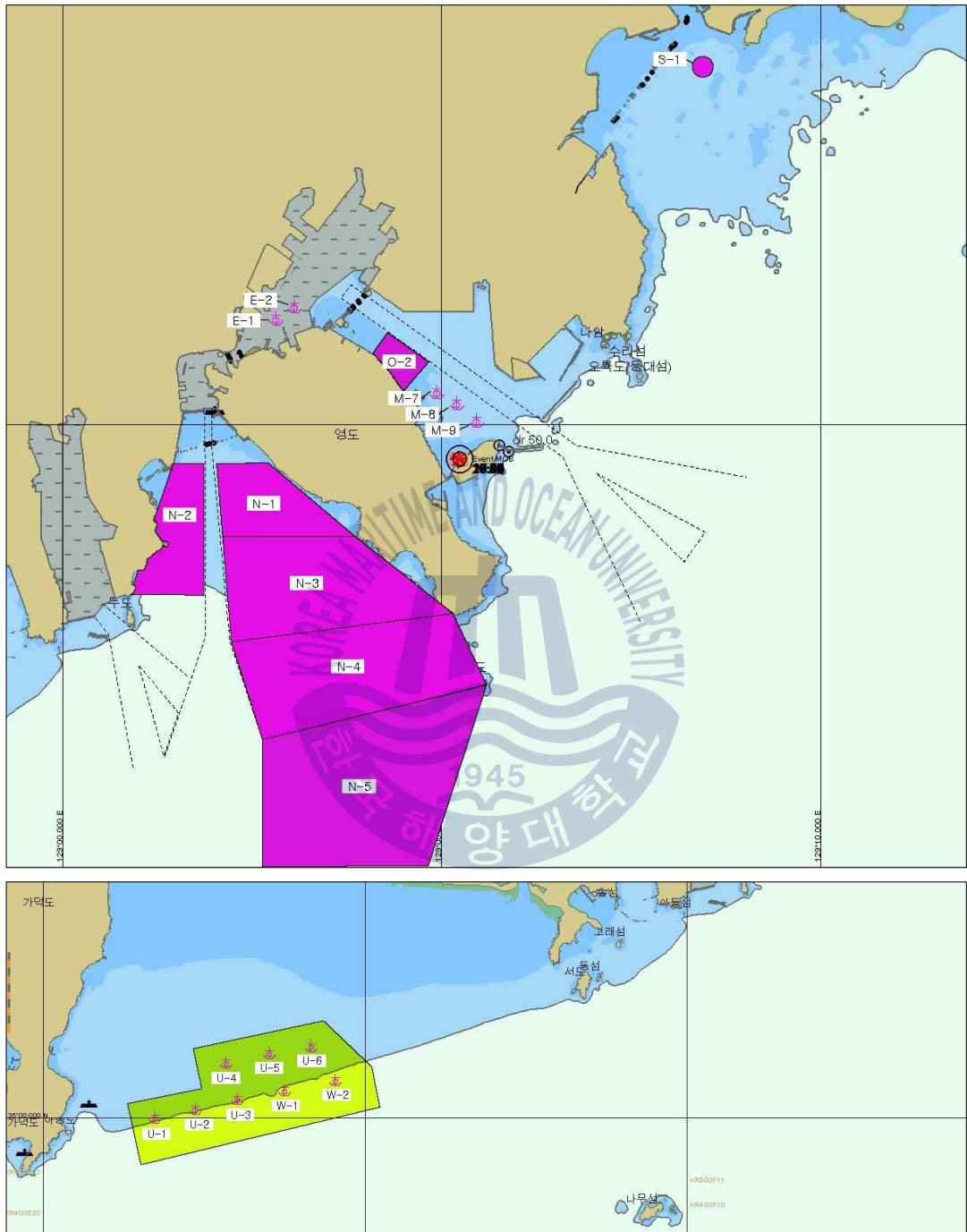


Fig. 18 The location of Busan anchorage

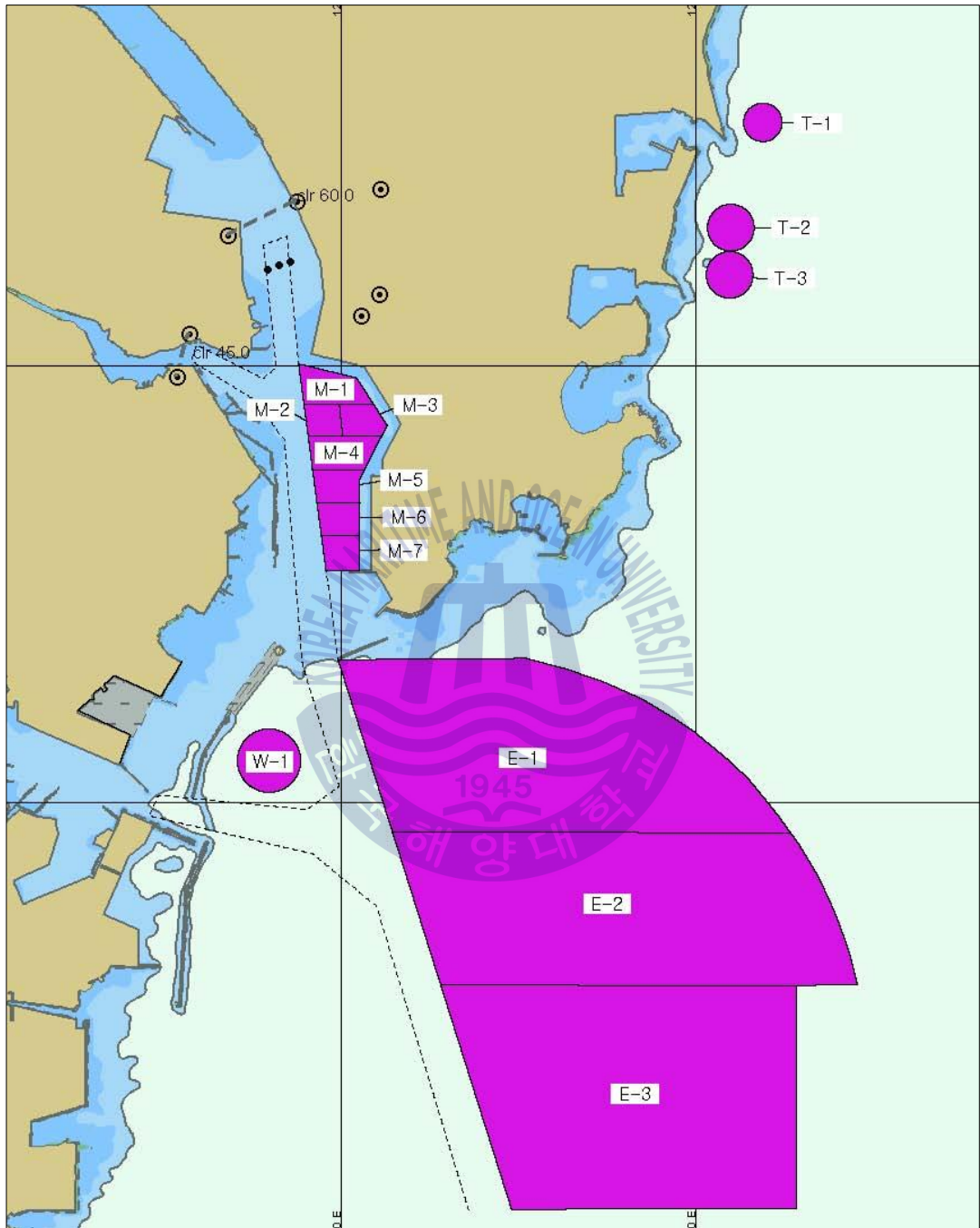


Fig. 19 The location of Ulsan anchorage

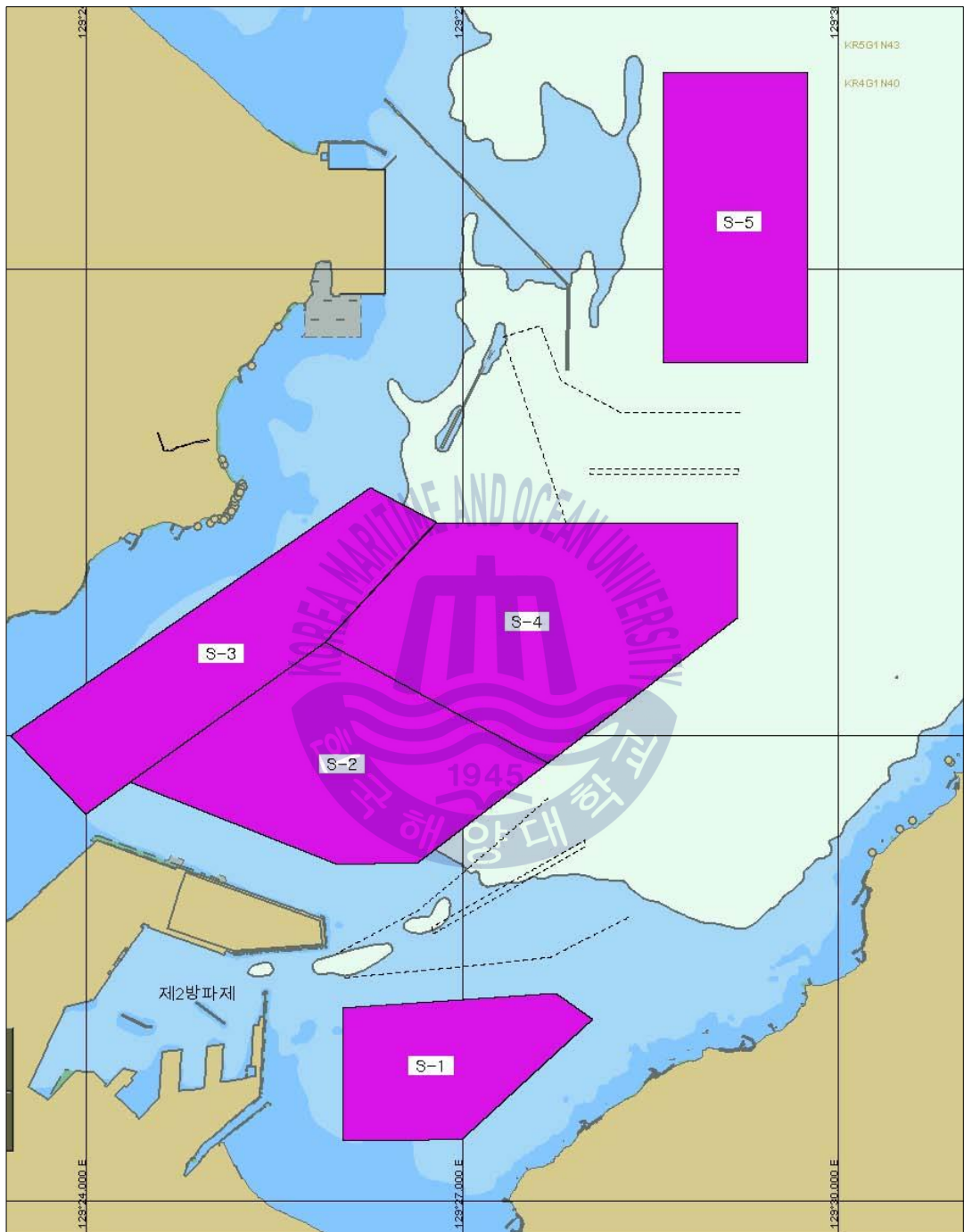


Fig. 20 The location of Pohang anchorage

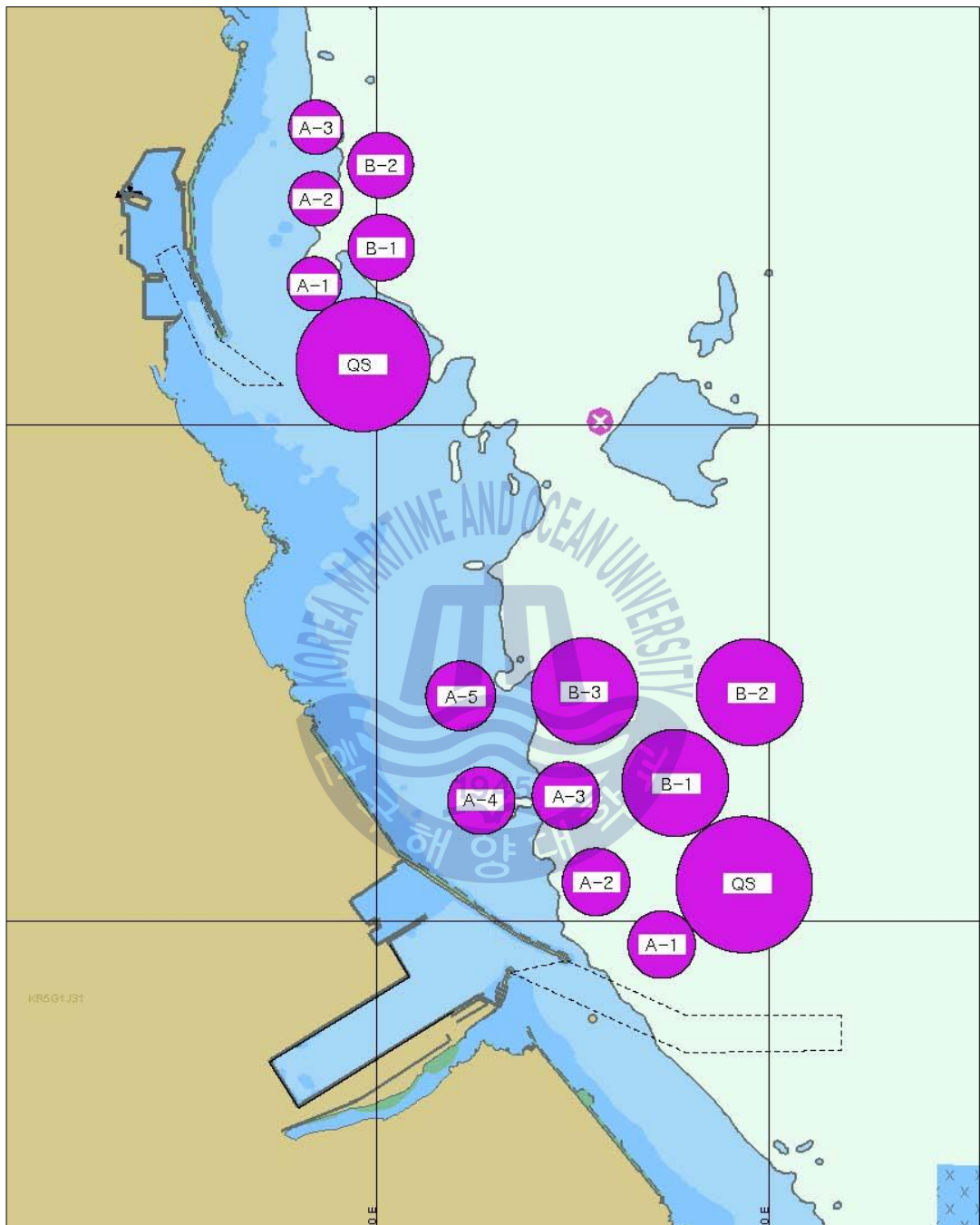


Fig. 21 The location of Donghae & Mukho anchorage

국내 주요 무역항의 정박지 지정 현황은 Table 13과 같이 총 정박지 개수는 148개소이며, 항만별로 평균 14.8개소가 지정되어 있다. 특히 인천항의 경우 정박지가 28개소 설치되어 있어 가장 많았으며, 군산·장항항 및 포항항은 5개소로 가장 적게 지정되어 있는 것을 알 수 있다.

국내 주요 무역항에서 사용하는 정박지 지정 방식은 주로 원형 및 단순 집단 정박지이며, 특히 원형 정박지를 가장 많이 사용하는 것을 알 수 있다. 그러나 집단 정박지에 원형 정박지를 혼합한 지정방식은 대부분 사용하지 않는 것으로 조사되었다.

Table 13 The comparison of anchorage assignment method

항만	정박지 개수	정박지 지정 방식				
		원형	포인트	단순 집단	집단+ 포인트	집단+ 원형
인천항	28	23	0	5	0	0
평택·당진항	8	5	0	3	0	0
대산항	15	4	0	0	10	1
군산·장항항	5	0	0	5	0	0
목포항	14	14	0	0	0	0
여수·광양항	23	3	13	7	0	0
부산항	21	1	6	6	8	0
울산항	14	4	0	10	0	0
포항항	5	0	0	5	0	0
동해·묵호항	15	15	0	0	0	0
합계	148	75	19	41	18	1
평균	14.8	13.09	3.45	7.45	3.00	0.17

(단위 : 개소)

국내 주요 항만의 정박지 전체 면적을 분석해 보면 Table 14와 Fig. 22와 같다. 여기서, 포인트 정박지 지정방식의 경우 선회반경 또는 정박지 면적이 명시되어 있지 않기 때문에 면적 계산이 불가능하다. 따라서 우리나라의 정박지 설계기준을 적용하여 해당 정박지의 수심, 저질에 따른 선회반경을 산출하고, 면적을 추정하였다.

Table 14 Total anchorage capacity

항만	정박지 면적 (km ²)	항만	정박지 면적 (km ²)
인천항	68.70	여수·광양항	52.28
평택·당진항	20.34	부산항	45.17
대산항	18.63	울산항	34.36
군산·장항항	39.43	포항항	32.55
목포항	27.73	동해·묵호항	4.98

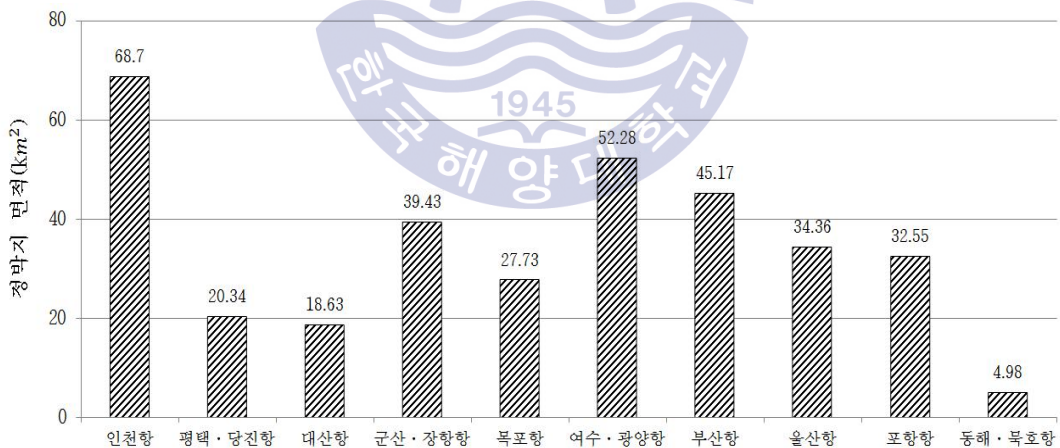


Fig. 22 The comparison of total anchorage capacity

분석 결과, 우리나라 항만의 평균 정박지 면적은 34.42km²이며, 평균보다 넓은 정박지 면적이 확보되어 있는 항만은 인천항, 여수·광양항, 부산항, 군산·장항항이며, 평균 이하인 항만은 울산항, 포항항, 목포항, 평택·당진항, 대산항, 그리고 동해·묵호항인 것으로 분석되었다.

2.3.2 우리나라 주요 무역항 정박지 이용 선박 조사

우리나라 주요 무역항의 2015년 입항선박 척수, 정박지 이용 선박 척수 및 정박지 이용선박 비율을 해양수산부의 Port-Mis자료를 이용하여 조사하였으며, 그 결과는 Table 15와 같다.

Table 15 Research of the number of ship incoming harbour and anchorage

척수 또는 비율 주요항만	입항선박 (척)	정박지 이용선박 (척)	입항선박 대비 정박지 이용선박 비율
인천항	17,962	5,571	31.0%
평택·당진항	9,304	4,933	53.0%
대산항	7,171	3,840	53.5%
군산·장항항	4,948	2,008	40.6%
목포항	9,565	2,594	27.1%
여수·광양항	29,730	12,529	42.1%
부산항	47,718	13,263	27.8%
울산항	25,717	13,001	50.6%
포항항	6,783	3,863	57.0%
동해·목호항	4,225	1,093	25.9%
평균	16,312	6,270	40.8%

항만에 입항하는 선박 중 정박지를 이용하는 선박의 비율을 살펴본 결과 평균 입항선박 척수는 16,312척, 평균 정박지 이용선박 척수는 6,270척으로 많은 선박이 정박지를 이용하는 것으로 나타났다. 특히 포항항의 경우 정박지 이용 선박 척수 3,863척, 입항선박 척수 6,783척이고 정박지 이용 선박 비율이 57.0%로 가장 높은 것으로 나타났다.

우리나라 주요항만 별 정박지 이용 선박 척수 비율을 비교·분석해 보면 Fig. 23과 같다. 즉, 정박지 이용 선박 척수 비율이 50%를 상회하는 항만은 평택·당진항, 대산항, 울산항, 포항항으로 상대적으로 많은 선박이 정박지를 이용하는 것으로 조사되었으며, 동해·목호항은 25.9%로 가장 낮은 정박지 이용 선박 척수 비율을 나타냈다.

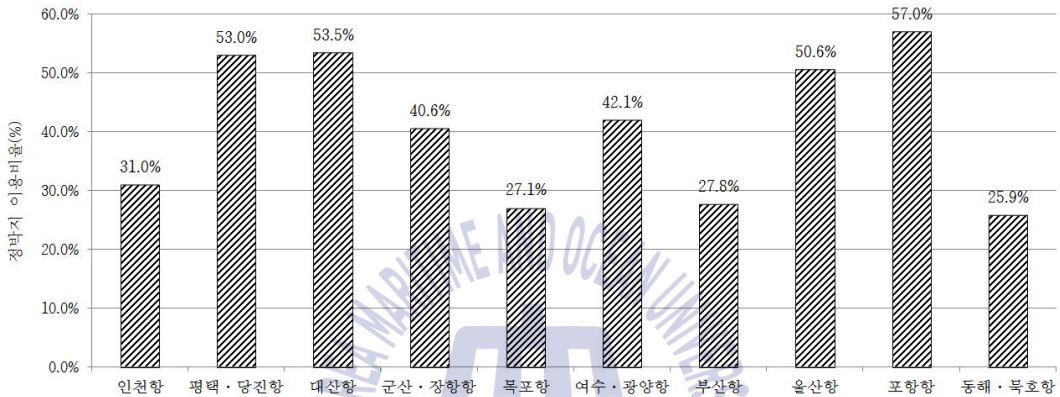


Fig. 23 Comparison of the number of ship incoming harbour and anchorage

2.4 요약

정박지와 관련하여 국내외의 설계기준에 대해서 조사하였으며, 국내의 정박지 위치, 규모, 지정형태 및 정박지 이용 현황에 대하여 분석하였다.

정박지에 대한 이론적 고찰 및 현황을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 정박지의 설계기준에 있어서 국내 및 국외의 설계기준을 조사해 본 결과, 모두 한 척의 정박선이 필요로 하는 정박지 크기는 제시하고 있지만, 항만의 규모 및 선박교통 특성 등을 고려한 전체 정박지의 규모에 대해서는 그 개념이나 설계방법을 제시하고 있는 사례는 없다.

둘째, 우리나라의 입항선박 대비 정박지 이용선박 척수는 대산항, 여수·광양항, 울산항의 경우 대부분 30%를 넘는 것으로 나타나 정박지를 이용하는 선박이 매우 많은 것으로 분석되었다.

정박지는 항만의 안전하고 원활한 운영을 위해 매우 중요하다. 그러나 우리나라는 항만에 필요한 정박지 면적 또는 용량과 같이 규모에 대한 설계기준이 마련되어 있지 않아 선박의 안전에 위해요소로 작용하고 있다. 또한 정박지를 이용하는 선박의 비율이 증가함에도 불구하고, 객관적인 설계기준이 부재하여 사용자와 항만당국 간 합의도출 과정에서 막대한 사회적 비용이 발생하고 있는 것이 현실이다. 따라서 국내외적으로 기존에 수행하지 않았던 정박지 용량에 대한 연구를 보완할 필요성이 있으며, 이를 통해 정박지 용량에 대한 설계기준을 제시할 필요가 있을 것으로 판단된다.



제3장 정박지 용량 분석 방법론

항만의 교통물류 특성과 더불어 정박지를 이용하는 선박 운항자의 심리적인 영향 등을 고려한 종합적인 정박지 규모의 적정성 분석하기 위해서는 먼저 정박지 면적에 대한 기준 정립이 필수적이다. 이를 위해 정박지 용량에 대한 선행연구를 조사하고, 이를 토대로 하여 정박지 용량 개념을 정의하였으며, 정의한 정박지 점유 용량에 영향을 미치는 요소를 식별하고 그 확률적 특징을 분석하였다.

3.1 선행연구 분석

정박지의 용량에 대한 연구를 살펴보면 정박지 규모에 대한 정의가 모두 동일하지 않지만 대부분 정박지 이용률, 가동률, 용량 개념을 사용한 것을 알 수 있다.

Usui and Inoue(1999)의 연구에서는 집단정박지 지정방식에서의 정박지 설계기준을 제시함에 있어 정박지 기본용량 및 실용용량 개념을 사용하였다.

정박지 기본용량은 컴퓨터 시뮬레이션 결과로 구할 수 있는 수용 척수로 정의하였으며, 이 개념을 정박지 설계의 기본 요소로 다루었다. 또한 정박지 실용용량은 정박지 내에서 실제로 수용할 수 있는 척수로 정의하였다. 이 연구에서는 정박지 용량을 면적 개념이 아닌 일정한 정박지 조건 하에서 정박지 내에 정박선을 몇 척 수용할 수 있는지에 대한 개념으로 사용하였다는 특징이 있다.

Fan and Cao(2000)의 연구에서는 정박지에 일정 기간 중 가장 많은 선박이 정박했을 때를 정박지의 점유 용량으로 정의하였고, 이는 정박지의 전체 면적, 선박의 크기, 정박지 점유 시간 비율, 선박의 종류에 따라 달라짐을 제시하였다. 그들의 연구에서는 정박지 용량을 산출하기 위해 식 (5)의 계산식을 제안하였으며, 그 특징으로는 항만의 전체 정박지 중 해당 정박지를 이용하는 비율을 적용하여 정박지 용량을 산출했다는 점이다.

$$C_j^A = \frac{T \times A_j^A}{\sum_{i=1}^N P_{ij}^A D_{ij}^A O_i^A} \quad (5)$$

여기서, C_j^A : 정박지 용량

A_j^A : 정박지 j 의 전체 면적(m^2)

D_{ij}^A : 선박 i 가 j 정박지를 점유한 평균 시간(이 시간은 선박 i 가 정박지에 입항하고 부터 출항할 때까지의 시간을 의미함)(시간)

P_{ij}^A : 선박 i 가 j 정박지에 입항할 평균 백분율(%)

O_i^A : 선박 i 가 점유한 평균 면적(m^2)

T : 정박지 전체 이용 시간(시간)

Huang et al. (2009)과 Deville(2011)의 연구에서는 정박지의 형태에 따른 정박지 면적의 효율성을 제시하기 위해 정박지 점유율(Occupancy), 효율(Capacity), 이용률(Utilization)의 개념을 사용하였으며, 그 산출식은 식 (6) 및 식 (7)과 같다.

$$u_t = \frac{\sum S_i}{A} \times 100 \quad (6)$$

$$u_a = \frac{\sum S_i \times D_i}{A \times T} \times 100 \quad (7)$$

여기서, u_t : 정박지 순간 이용률(%)

u_a : 정박지 평균 이용률(%)

S_i : i 시점에 정박선이 점유한 정박지 면적(m^2)

A : 정박지 전체 면적(m^2)

T : 정박지 전체 이용시간(시간)

D_i : i 시점의 정박선 대기시간(시간)

그들의 연구에 따르면 정박지 이용률은 정박선의 점유면적과 대기시간을 정박지 전체 면적과 전체 이용시간으로 나누어 산출하였다. 즉, 정박지에서 선박이 차지하고 있는 면적과 대기 시간을 정박지 이용률 개념을 수립하는데 사용하였다.

Jia(2011)의 연구에서는 정박지의 적정 용량을 제안하기 위해서 Usui and Inone(1999)가 제안한 것과 유사한 기본 정박지 용량, 실용 정박지 용량 개념을 사용하였으며, 그 산출식은 식 (8)과 식(9)와 같다.

$$A_{CB} = \frac{A}{\sum S_i} \quad (8)$$

$$A_{CP} = A_{CB} \times 0.75 \quad (9)$$

여기서, A_{CB} : 기본 정박지 용량

A_{CP} : 실용 정박지 용량

또한 정박지를 이용하는 선박의 밀집 정도와 정박지 이용 상황을 수치화하기 위해 정박선의 밀도에 대한 산출식을 식 (10)과 같이 제시하였다.

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_n}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \rho_i \quad (10)$$

여기서, $\bar{\rho}$: 평균 정박선박 밀도

N : 샘플 총 수

정박지 용량에 대한 선행연구 분석 내용을 요약하면 Table 16과 같다.

Table 16 The comparison of previous research for anchorage capacity

연구자	정박지 용량 정의	비고
Usui and Inoue(1999)	<ul style="list-style-type: none"> • 정박지 기본용량 • 정박지 실용용량 	정박지가 이론적으로 수용할 수 있는 선박 척수와 선박운항자의 심리적 영향을 고려한 실용용량 개념을 이용하여 정박지 용량 산출
Fan and Cao(2000)	$C_j^A = \frac{T \times A_j^A}{\sum_{i=1}^N P_{ij}^A D_{ij}^A O_i^A}$	<p>정박지 대기시간, 점유면적을 통해 정박지 이용률 개념을 정의하여 정박지 규모의 적정성을 분석</p> <p>정박지를 이용할 확률을 정박지 용량 개념에 적용함</p>
Huang(2009) Deville(2011)	<ul style="list-style-type: none"> • $u_t = \frac{\sum S_i}{A}$ • $u_a = \frac{\sum S_i \times D_i}{A \times T}$ 	기본적으로 Fan and Cao의 정박지 용량 개념과 동일
Jia(2011)	<ul style="list-style-type: none"> • $A_{CB} = \frac{A}{\sum S_i}$ • $A_{CP} = A_{CB} \times 0.75$ • $\bar{\rho} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_n}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \rho_i$ 	기본 및 실용 정박지 용량 개념을 통해 정박할 수 있는 선박의 척수를 분석하였으며, 정박선의 밀집정도를 수치화하기 위한 계산식 정의

정박지 용량에 대한 기존 연구자의 연구결과를 종합적으로 분석해 보면 정박지 용량 산출에 있어서 대부분 정박지 대기시간과 정박지 점유면적을 활용하였다는 점이다. 그리고 선박 운항자의 심리적 영향을 고려하여 정박지가 수용할 수 있는 선박척수를 정박지 용량으로 정의하기도 하였으며, 선박이 정박지를 이용할 확률을 백분율로 환산하여 정박지 용량 도출 시 반영하기도 하였다.

그러나 기존의 연구에서 제시한 정박지 용량 개념은 현재 지정되어 있는 정박지 구역의 적정성을 검토하기 위한 정박지 용량 개념이며, 향후 항만의 개발에 따른 필요 정박지 용량을 제시하지 못한 한계점이 있다. 또한 정박지를 이용하는 선박에 큰 영향을 미치는 환경적인 요인을 정박선이 점유하는 면적 도출 시 고려하지 않은 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 정박선이 점유하는 면적의 변동성, 정박지 형태에 따른 사용 가능한 정박지 비율, 정박지를 이용하는 선박 운항자의 운항 특성 등을 고려한 정박지 용량에 대한 정의를 제시하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

3.2 정박지 용량 개념 및 계산식 정의

항만에 필요한 정박지 용량을 분석하고 예측하기 위해서는 선박이 정박지를 이용할 때 점유하는 용량을 과학적이고 정량적으로 계산할 필요가 있다. 이를 위해 정박지의 교통 환경 특성을 고려하여 정박지 용량을 분석할 수 있는 지표로서 정박지 점유 용량, 필요 정박지 용량에 대한 개념을 정의하였다.

3.2.1 정박지 점유 용량(Occupancy Volume of Anchorage, V_{oi})

정박지를 이용하는 선박은 그 톤수가 다양하고, 대기시간이 서로 다를 뿐만 아니라 환경적인 영향도 불규칙하므로 정박선들이 점유한 용량은 시간에 따라 계속적으로 변화한다. 따라서 정박지 용량 평가를 위해서는 일정 시점에 정박지 점유 용량이 어느 정도인지 파악할 수 있어야 한다. 이를 위해 정박지 점유 용량을 다음과 같이 정의하며, 계산식은 식 (11)과 같다.

- i 시간에 정박선이 점유하고 있는 수역의 총 면적(m^2)
- 정박지 이용선박 척수, 대기시간, 선박크기, 환경요인 등을 고려한 컴퓨터 수치 시뮬레이션을 통해 도출된 점유 면적

$$V_{oi} = \sum V_k \quad (11)$$

여기서, V_k : i 시간 정박지에 정박하고 있는 선박의 점유 면적

3.2.1.1 평균 정박지 점유 용량(Average Occupancy Volume of Anchorage, V_{oA})

평균 정박지 점유 용량은 컴퓨터 수치 시뮬레이션을 통해 도출된 정박지 점유 용량(V_{oi})의 평균값으로서 식 (12)와 같이 정의한다.

$$V_{oA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{oi} (i=1,2,3,\dots,n) \quad (12)$$

여기서, n : 총 시간

3.2.1.2 최대 정박지 점유 용량(Maximum Occupancy Volume of Anchorage, V_o^M)

정박지는 항만의 입·출항 대기 혹은 화물작업, 유류공급, 선용품 선적 등의 목적으로 선박이 정박하는 장소로서, 가장 이상적인 정박지는 많은 선박이 동시에 입항하더라도 모든 선박에게 정박수역을 제공해 줄 수 있는 규모를 확보하고 있는 정박지일 것이다.

따라서 최대 정박지 점유 용량은 컴퓨터 수치 시뮬레이션을 통해 도출된 정박지 점유 용량 중 동시에 가장 많은 선박이 정박했을 때의 점유 면적으로 정의한다. 단, 악천후, 천재지변, 해양사고 등 예측 불가능한 상황으로 인하여

정박지 입항 선박이 점유한 정박지 면적이 갑자기 증가하는 경우는 제외하였다. 본 논문에서는 Fig. 24와 같이 이러한 예측 불가능한 상황을 상위 약 5% 수준으로 설정하였다.

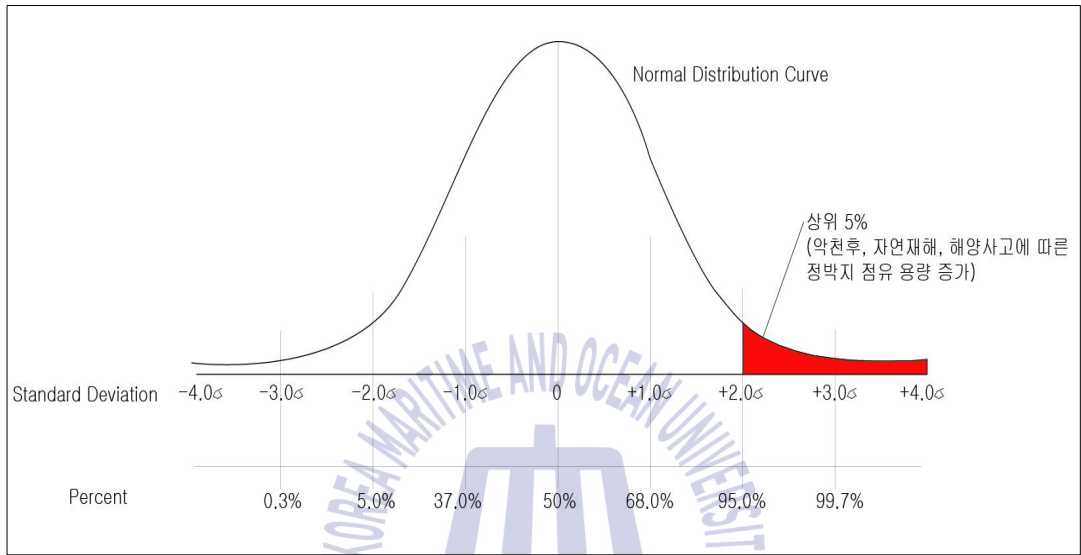


Fig. 24 The relation with percent and standard deviation of the normal distribution

정규분포 곡선에서 평균을 기준으로 상위 5%의 정박지 점유 용량을 제외한 최대 정박지 점유 용량은 식 (13)과 같이 정의할 수 있다.

$$V_o^M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{oi} + 2.0\sigma \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (13)$$

여기서, σ : 시간별 정박지 점유 용량의 표준편차

즉, 정규분포 곡선에서의 시그마 규칙(Three-sigma rule)에 따라서 95%는 평균에서 표준편차가 2인 범위 내에 있으므로 평균 정박지 점유 용량에 표준편차에 2배를 더하여 최대 정박지 점유 용량을 도출할 수 있는 계산식을

정의하였다.

3.2.2 필요 정박지 용량(Necessary Volume of Anchorage, V_N)

정박지 가동률 또는 효율 등을 제시한 국내외 연구결과를 살펴보면(Fan and Cao, 2000; Zhang, 2013; Jun, 2013; Deville, 2011) 정박지 규모를 제시함에 있어 대부분 평균값을 사용하였다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 정박선의 점유 용량은 각각의 편차가 있기 때문에 평균값을 사용할 경우 정박지를 이용하지 못하는 선박이 확률적으로 50% 발생하게 된다. 이 경우 선박은 정박지를 이용하지 못하고 항만 인근수역에 표류하거나 정박지로 고시되지 않은 수역에 불법적으로 투묘함에 따라서 해양사고 발생의 가능성이 매우 크다고 할 수 있다.

반대로 정박선의 점유 용량이 가장 높을 때를 기준으로 정박지 용량을 제시할 경우, 항계 수역이 상대적으로 협소한 우리나라의 특성 상 항만개발에 부정적인 영향을 끼칠 뿐만 아니라 항만 수역의 효율적인 이용 측면에서도 문제가 있을 것으로 판단된다.

따라서 정박선박의 안전과 항만의 운영 측면을 고려하였을 때, 정박지 용량을 어느 수준까지로 정할지에 대한 기준이 필요하다.

그러나 필요 정박지 용량에 얼마만큼의 안전계수를 고려해야 하는지에 대해 기준을 설정하는 것은 상당히 자의적일 수밖에 없다. 따라서 필요 정박지 용량을 결정할 때 안전을 고려한 적정 수준의 용량에 대하여 선박 운항자를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 정박선박의 안전을 고려한 필요 정박지 용량은 평균 정박지 점유 용량을 기준으로 어느 정도 수준까지 확보할 필요가 있는지에 대해서 인터뷰 방식으로 실시하였다.

설문조사의 개요에 대해 살펴보면, Table 17과 같이 총 39명의 선박 운항자를 대상으로 2015년 12월부터 2016년 2월까지 총 3개월간 실시하였다. 설문조사 대상자의 승선경력은 10년 초과자가 3명, 5년~10년 14명, 3년~5년 8명, 그리고 3년 미만의 승선경력자는 14명으로 구성되어 있다.

Table 17 The summary of Consultation outline

항목	설문조사 결과	
설문조사 그룹	선박 운항자	
해기면허 종류	1급 해기사: 7명, 2급 해기사: 18명, 3급 해기사: 14명	
설문조사 기간	2015년 12월 ~ 2016년 02월	
승선경력	승선경력	인원수(명)
	10년 이상	3
	5년 ~ 10년	14
	3년 ~ 5년	8
	3년 이하	14
설문조사 대상자 수 및 방식	총 39명 및 인터뷰 방식	

선박 운항자를 대상으로 설문조사를 실시한 결과는 Table 18과 같다.

Table 18 Result of consultation

필요 정박지 용량	설문조사 결과 (명)	백분율(%)
평균 정박지 점유 용량 + 0%	1	2.56
평균 정박지 점유 용량 + 5%	0	0.00
평균 정박지 점유 용량 + 10%	4	10.26
평균 정박지 점유 용량 + 15%	8	20.51
평균 정박지 점유 용량 + 20%	20	51.28
평균 정박지 점유 용량 + 25%	4	10.26
평균 정박지 점유 용량 + 30%	2	5.13

설문조사 결과 필요 정박지 용량을 평균 정박지 점유 용량 수준으로 제시한 선박

운항자는 1명(2.56%), 평균 정박지 점유 용량에 5% 정도의 여유 면적이 추가적으로 필요함을 제시한 선박 운항자는 0명(0%), 10%는 4명(10.26%), 15%는 8명(20.51%), 20%는 20명(51.28%), 25%는 4명(10.26%), 그리고 30%는 2명(5.13%)으로 조사되었다. 즉, 필요 정박지 용량의 기준을 제시할 때는 평균 정박지 점유 용량을 기준으로 20%의 추가 여유 면적이 필요함을 제시한 선박 운항자가 과반 이상을 차지하였다.

이를 통해 본 논문에서는 정박지를 점유하는 용량은 입항시간, 대기시간의 불규칙성, 선박규모의 다양함 등으로 인해 그 편차가 있음을 고려하고, 선박 운항자의 심리적 영향 및 운항 습관 등을 감안하였을 때, 필요한 정박지 점유수역의 규모를 필요 정박지 용량으로 정의하였다. 그리고 그 계산식은 최대 정박지 점유 용량 산출식과 같이 정규분포에서의 시그마 규칙에 따라서 평균값을 중심으로 20%까지를 포함하는 부분은 0.5σ 로 표현할 수 있으므로 필요 정박지 용량 산출식을 식 (14)와 같이 정의하였다.

$$V_N = V_o^A \times 0.5\sigma \quad (14)$$

여기서, V_o^A : 평균 정박지 점유 용량

σ : 표준편차

3.3 정박지 점유 용량에 영향을 미치는 요소

정박지 점유 용량에 영향을 미치는 요소는 정박지 이용선박 척수, 대기시간, 선박 규모(길이, 톤수) 등 정박지를 이용하는 선박의 특성 뿐 아니라 수심, 조류, 해당 수역에 작용하는 바람과 조류의 속력이 있다. 이러한 요소는 대부분 무작위적(random)인 특징을 나타내기 때문에 정박지 점유 용량을 효과적으로 분석하고 예측하기 위해서는 이들 요소에 대한 확률분포의 특성 분석이 필요하다.

따라서 정박지 점유 용량에 영향을 미치는 요소 중 정박지 이용선박 척수,

정박지 대기시간, 정박지 이용선박 규모(길이, 총톤수), 정박 중인 선박에게 영향을 미칠 수 있는 환경요소에 대한 확률변수 분포를 조사하였다. 그리고 이 확률변수가 특정한 확률분포(로그정규분포, 지수분포, 정규분포 등)와 유의성이 있는지 검증하였다.

3.3.1 정박지 이용 선박 척수

정박지를 이용하는 선박의 척수가 많을 경우 대규모의 정박지가 필요하며, 반대일 경우 소규모 용량의 정박지가 필요하기 때문에 선박의 척수는 정박지 점유 용량을 결정함에 있어 매우 중요한 요소이다.

선박이 정박지에 도착하는 과정은 대부분 무작위적(Random)인 특성을 띠기 때문에 정박지에 대기하는 선박 척수의 불규칙성이 발생하게 된다. 이러한 불규칙성 때문에 정박지 이용선박 척수가 같더라도, 선박도착 간 시간간격이 짧은 경우 한꺼번에 정박지에 입항하는 선박의 척수가 많아지고, 반대일 경우는 선박의 척수가 적어지게 된다. 따라서 정박지 이용선박 척수에 따른 정박지 용량을 분석하기 위해서는 정박지 이용선박 척수를 조사함과 동시에 정박지 도착 간 시간간격에 대한 고려가 필요하다.

먼저 정박지 도착 간 시간간격에 대한 기존의 연구 및 문헌을 살펴보면, 선박 도착 간 시간간격 패턴은 일반적으로 지수분포(Exponential Distribution)를 따르며(해양수산부, 1992, 1998; Christopher, 2003), 정박지를 입항하는 선박의 도착 간 시간간격 분포 또한 항만과 같은 지수분포를 따르는 것으로 밝혀져 있다(Deville, 2011). 따라서 정박지를 이용하는 선박의 선박도착 간 시간간격이 지수분포를 따르는 것으로 전제하고 정박지 용량을 분석하고 예측할 수 있다. 그러나 외국과 우리나라의 항만환경이 다를 뿐만 아니라, 항만별 입항선박의 패턴 또한 상이하기 때문에 우리나라 정박지를 이용하는 선박의 도착 간 시간간격 분포가 기존의 연구 및 문헌에서 제시한 것과 같이 지수분포를 따르는지에 대해 검증할 필요가 있다.

정박지 이용선박의 도착 간 시간간격 분석은 각 항만의 지방해양수산청에서

제공하는 Port-Mis(항만운영정보시스템) 자료를 활용하여 2015년 우리나라 주요 무역항(울산, 포항, 동해, 부산, 여수·광양, 목포, 평택 등) 중 대표적인 20개 정박지에 입항하는 선박을 대상으로 실시하였다. 그리고 정박지 도착 간 시간간격의 누적분포함수(Cumulative Distribution Function, 이하 CDF) 그래프를 도출하고, 여러 가지 확률분포(지수분포, 극단값 분포, GEV 분포, 일반파레토 분포, 로그정규 분포, 정규 분포, 레일리 분포, 웨이블 분포) 중 가장 유사한 분포를 선택하여 이를 One-sample Kolmogorov Smirnov 방법을 이용하여 검정하였다.

One-sample Kolmogorov Smirnov 검정은 하나의 모집단에서 추출한 확률분포가 어떤 특정한 분포형태를 따르는지 알아보는 적합도 검정의 일종이다. 이는 어떤 이론적 누적분포함수 $F_C(x)$ 를 표본의 누적분포함수 $F_S(x)$ 와 비교하여 검증하는 방법으로, 이론적인 누적분포가 표본의 누적분포와 거의 일치한다면 특정의 가설이 정당화된다. 그러나 두 누적분포의 차이가 어느 수준 이상으로 크다면 특정의 가설은 기각된다.

① 귀무가설 - $H_0 : F_C(x) = F_S(x)$

② 대립가설 - $H_1 : F_C(x) \neq F_S(x)$

이러한 가설의 검증을 위해서는 Table 19와 같이 One-sample Kolmogorov Smirnov 검정을 통해 도출되는 통계적 수치를 분석하여 누적분포와 표본의 누적분포가 유의성이 있는지를 판단하였다. 분석 방법으로는 p-값이 0.05보다 클 때와 가설검증(h)이 0일 때, 그리고 검정 통계량(ksstat)보다 기각역(cv) 값이 클 때가 귀무가설을 채택할 수 있는 조건으로서, 이때에 이론적인 누적분포와 표본의 누적분포가 유의하다고 간주하였다.

Table 19 The criterion of one-sample Kolmogorov Smirnov test

검정 통계량	설명	가설검증 방법
p	p-값	<ul style="list-style-type: none"> • $p > 0.05$이면 귀무가설 채택 • $p < 0.05$이면 귀무가설 기각
h	가설검증	<ul style="list-style-type: none"> • $h = 0$이면 귀무가설 채택 • $h = 1$은 귀무가설 기각
ksstat	검정 통계량	<ul style="list-style-type: none"> • $ksstat < cv$ 이면 귀무가설 채택
cv	기각역	<ul style="list-style-type: none"> • $ksstat > cv$이면 귀무가설 기각

One-sample Kolmogorov Smirnov를 실시하여 선박 도착 간 시간간격의 누적분포와 이론적 누적분포 중 지수분포와의 누적분포 그래프를 도출하였으며, 그 결과는 부록 A에 제시하였다. 또한 두 누적분포의 유의확률에 대한 통계량 분석 결과는 Table 20과 같다.

Table 20 Statistical analysis of the inter arrival time

정박지	통계량					가설검증 결과
	μ (평균)	h (가설 검증)	p 값	ksstat (검정 통계량)	cv (기각역)	
울산항 E1	1.76	0	0.06	0.03	0.03	귀무가설 채택
울산항 E2	27.72	0	0.93	0.04	0.11	귀무가설 채택
울산항 M2	11.40	0	0.63	0.03	0.05	귀무가설 채택
울산항 M3	15.42	0	0.23	0.04	0.06	귀무가설 채택
포항항 S4	9.31	0	0.15	0.04	0.04	귀무가설 채택
포항항 S5	11.54	0	0.54	0.03	0.05	귀무가설 채택

정박지	통계량					가설검증 결과
	μ (평균)	h (가설 검증)	p 값	ksstat (검정 통계량)	cv (기각역)	
부산항 M9	72.17	0	0.17	0.10	0.12	귀무가설 채택
부산항 N2	6.99	0	0.33	0.03	0.04	귀무가설 채택
여수항 A구역	12.05	0	0.79	0.02	0.05	귀무가설 채택
여수항 W구역	9.10	0	0.43	0.03	0.04	귀무가설 채택
목포항 10	41.73	0	0.60	0.05	0.09	귀무가설 채택
목포항 11	23.31	0	0.88	0.03	0.07	귀무가설 채택
동해항 B2	72.00	0	0.44	0.08	0.12	귀무가설 채택
동해항 QS	60.57	0	0.36	0.08	0.11	귀무가설 채택
대산항 A2	9.79	0	0.84	0.04	0.08	귀무가설 채택
대산항 A4	25.53	0	0.29	0.08	0.10	귀무가설 채택
평택항 방도	22.50	0	0.64	0.07	0.12	귀무가설 채택
평택항 장안서	9.65	0	0.33	0.06	0.08	귀무가설 채택
인천항 W10	75.39	0	0.43	0.08	0.13	귀무가설 채택
인천항 W11	79.01	0	0.20	0.10	0.13	귀무가설 채택

가설 검증 결과, 모든 정박지에서 귀무가설(정박지 도착 간 시간간격 분포는 지수분포와 유의하다.)이 채택됨에 따라 정박지 도착 간 시간간격은 최대 95%의 유의수준에서 지수분포를 따르는 것으로 확인되었다.

이러한 지수분포의 함수적 특징을 알아보기 위해서 지수함수를 누적분포 함수로 표현하면 식 (15)와 같다.

$$f(x; \lambda) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x} & \text{where } x \geq 0 \\ 0 & \text{where } x < 0 \end{cases} \quad (15)$$

여기서, λ : 빈도를 나타내는 모수

식 (15)에서 보는 바와 같이 지수분포는 모수 λ (평균)가 분포 형상(shape)을 결정하기 때문에 λ 값을 알면 정박지 도착 간 시간간격 분포를 지수분포 형태로 생성할 수 있다. 더불어 정박지 이용 선박 척수와 모수 λ 와의 상관관계 분석을 통하여 유의미한 결과가 도출된다면 정박지 이용선박 척수를 통해 정박지 도착 간 시간간격을 지수분포 형태로 쉽게 생성할 수 있을 것이다.

따라서 우리나라 주요 항만의 정박지를 이용하는 선박의 정박지 도착 간 시간간격에 대한 분석을 통하여 지수분포의 모수 λ 를 도출하였고, 이때의 정박지 입항선박 척수에 대하여 X-Y 그래프로 나타내었으며, 그 결과는 Fig. 25와 같다.

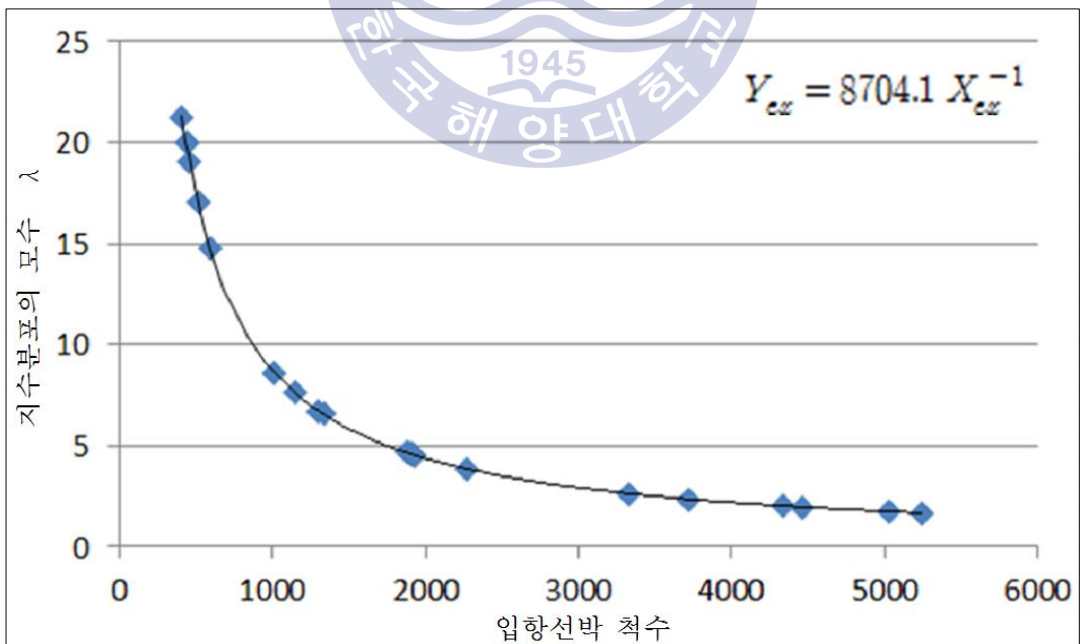


Fig. 25 The relation with exponential distribution and ship incoming harbour

정박지 입항선박 척수와 지수분포의 모수 λ 관계에 대하여 회귀분석을 실시한 결과 식 (16)의 회귀식이 도출되었으며, 이 근사식의 결정계수 R^2 은 1로서 입항선박 척수와 지수분포의 모수 λ 는 100% 범위에서 유의성이 있는 것으로 확인되었다.

$$Y_{ex} = 8704.1 X_{ex}^{-1} \quad (16)$$

여기서, Y_{ex} : 지수분포의 모수 λ

X_{ex} : 정박지 입항선박 척수

즉, 식 (16)을 통하여 정박지 입항선박 척수의 입력만으로 지수분포에 따라 입항하는 선박의 시간간격을 예측할 수 있다. 따라서 정박지 용량 분석을 위한 시뮬레이션 모델 설계 시 정박지 입항선박 척수와 식 (16)을 입력변수로 설정하여 정박지를 이용하는 선박이 지수분포에 따라 선박이 생성되도록 구현하였다.

3.3.2 정박지 대기시간

정박지에 투묘 대기 중인 선박의 척수가 많다 할지라도 대기시간이 짧으면 많은 선박이 정박할 수 있으며, 반대로 선박의 대기시간이 길면 상대적으로 적은 수의 선박만이 정박할 수 있다. 따라서 정박지 대기시간은 정박지 이용선박 척수와 더불어 정박지 용량 분석에 있어서 중요하게 고려해야 하는 요소이다.

정박지를 이용하는 선박의 대기시간 패턴 분석을 위해서는 항만운영시스템을 이용하여 선박의 입·출항 시간을 조사·분석하고, 정박지 대기시간을 도출해야 한다. 또한 대기시간 분포의 확률분포 검증은 대기시간 표본의 분포를 누적분포 함수로 나타낸 후, 근사할 수 있는 분포함수를 선택하고 비교함으로써 유의성을 검증해야 한다.

따라서 우리나라 주요 항만의 정박지 대기시간 분포와 이론적 누적분포와의 확률적 유의성을 분석하기 위해서 One-sample Kolmogorov-Smirnov 검정을 실시하였다. 즉, 정박지 대기시간의 누적분포와 이론적 누적분포 중 로그정규분포(Log-normal distribution)와의 누적분포 그래프를 도출하였으며, 그 결과는 부록 B에 제시하였다. 또한 두 누적분포의 유의확률에 대한 통계량 분석 결과는 Table 21과 같다.

가설 검증 결과, 모든 정박지에서 귀무가설(정박지 대기시간 분포는 로그정규분포와 유의하다.)이 채택됨에 따라 정박지 대기시간 분포는 최대 95%의 유의수준에서 로그정규분포를 따르는 것으로 확인되었다.

이러한 로그정규분포의 함수적 특징을 알아보기 위해서 로그정규함수를 누적분포 함수로 표현하면 식 (17)과 같다.

$$f(x; \mu_Y, \sigma_Y) = P[X \leq x] = P[\ln(X) \leq \ln(x)] \quad (17)$$

$$= P\left[Z \leq \frac{\ln x - \mu_Y}{\sigma_Y}\right] = \Phi\left[\frac{\ln x - \mu_Y}{\sigma_Y}\right]$$

여기서, μ_Y : 로그정규분포의 형상모수 ($\log(m^2/\sqrt{v+m^2})$)

σ_Y : 로그정규분포의 분포모수 ($\sqrt{\log(v/m^2+1)}$)

식 (17)과 같이 로그정규분포의 모수는 μ_Y 와 σ_Y 가 각각 평균과 표준편차를 나타내지 않고, 또한 모수가 2개이기 때문에 일정 변수를 통해 해당 수치를 비교·추정할 수 없다.

따라서 정박지 용량 분석 수치 시뮬레이션 시에는 정박지 대기시간에 대해서 실적자료를 바탕으로 형상모수(μ_Y)와, 분포모수(σ_Y)를 각각 도출하고 그 결과를 시뮬레이션의 입력변수로 입력하였다.

Table 21 Statistical analysis of the anchorage dwell time

정박지	통계량						가설검증 결과
	μ (형상 모수)	σ (분포 모수)	h (가설 검증)	p 값	ksstat (검정 통계량)	CV (기각역)	
울산항 E1	2.46	1.24	0	0.80	0.02	0.04	귀무가설 채택
울산항 E2	2.65	1.28	0	0.37	0.04	0.07	귀무가설 채택
울산항 M3	2.32	1.24	0	0.27	0.05	0.07	귀무가설 채택
울산항 M6	1.96	1.24	0	0.72	0.03	0.06	귀무가설 채택
포항항 S3	3.25	1.09	0	0.41	0.04	0.07	귀무가설 채택
포항항 S4	2.84	1.30	0	0.19	0.04	0.05	귀무가설 채택
부산항 M9	2.49	1.09	0	0.53	0.07	0.12	귀무가설 채택
부산항 N4	2.46	1.17	0	0.06	0.06	0.06	귀무가설 채택
여수항 A구역	1.52	1.12	0	0.90	0.05	0.11	귀무가설 채택
광양항 K1	2.27	1.40	0	0.21	0.11	0.15	귀무가설 채택
목포항 10	1.91	0.80	0	0.25	0.07	0.09	귀무가설 채택
목포항 11	2.15	1.01	0	0.42	0.05	0.07	귀무가설 채택
동해항 B2	3.30	0.99	0	0.37	0.08	0.12	귀무가설 채택
동해항 QS	2.56	1.14	0	0.52	0.07	0.11	귀무가설 채택
대산항 A2	2.60	0.14	0	0.15	0.07	0.09	귀무가설 채택
대산항 A4	2.68	1.09	0	0.20	0.08	0.10	귀무가설 채택
평택항 방도	1.66	0.25	0	0.10	0.12	0.15	귀무가설 채택
평택항 장안서	3.20	1.31	0	0.21	0.06	0.08	귀무가설 채택
인천항 W10	2.12	1.34	0	0.82	0.06	0.12	귀무가설 채택
인천항 W11	2.48	1.20	0	0.38	0.09	0.14	귀무가설 채택

3.3.3 정박지 이용선박 길이(톤수)

선박이 점점 대형화되고 이에 발맞추어 항만시설 또한 대형선의 입항이 가능하도록 선석의 규모가 더욱 확장하고 있을 뿐 아니라 정박지를 이용하는 선박의 규모 또한 점점 커지고 있는 추세에 있다.

이창현과 이홍훈(2014)의 연구에서는 미래에 평택항의 정박지를 이용하는 선박의 총톤수 분포를 예측할 때, 정박지 입·출항 실적자료 분석을 통해 도출한 정박지 이용 선박 중 각각의 톤수별 비율을 산출하였다. 그리고 향후 정박지에 입항할 것으로 예측되는 척수의 비율을 곱하여 향후 정박지 이용선박 톤수분포를 추정하였다. 즉, 정박지를 이용하는 선박의 척수는 증가하더라도 총톤수 비율은 변하지 않는다는 것을 전제하고 분석한 것이다.

그러나 정박지에 입항할 수 있는 선박의 톤수는 항만법 제2조 제5호의 규정에 의해 해당지역의 지방해양수산청에서 항만시설운영세칙을 통해 정박지를 이용할 수 있는 최대 규모 선박의 톤수를 총톤수로서 제시하고 있다. 따라서 기존 연구에서 제시한 바와 같이 정박지를 이용하는 선박의 규모(톤수)가 시간의 흐름에 따라 선형의 관계로서 계속적으로 증가하지는 않을 것으로 판단된다.

이에 실제 정박지를 이용하는 선박의 톤수 분포를 연도별로 비교하였을 때 톤수 비율이 변화하거나, 선박 대형화에 따라 선박 규모가 계속적으로 증가하는지 분석할 필요가 있다. 그래서 국내 주요 항만의 정박지를 이용하는 선박에 대하여 톤수별 분포를 누적분포로 나타내 비교해 보았으며, 그 결과는 Fig. 26과 같다.

정박지 톤수분포에 대한 누적분포 그래프를 분석해 보면, 정박선의 톤수 분포는 일정하게 유지하지 않고, 불규칙하게 변화하는 것을 확인할 수 있다. 또한 시간의 흐름에 따라 정박지 이용 선박의 대형화 추세가 뚜렷하지 않은 것을 알 수 있다.

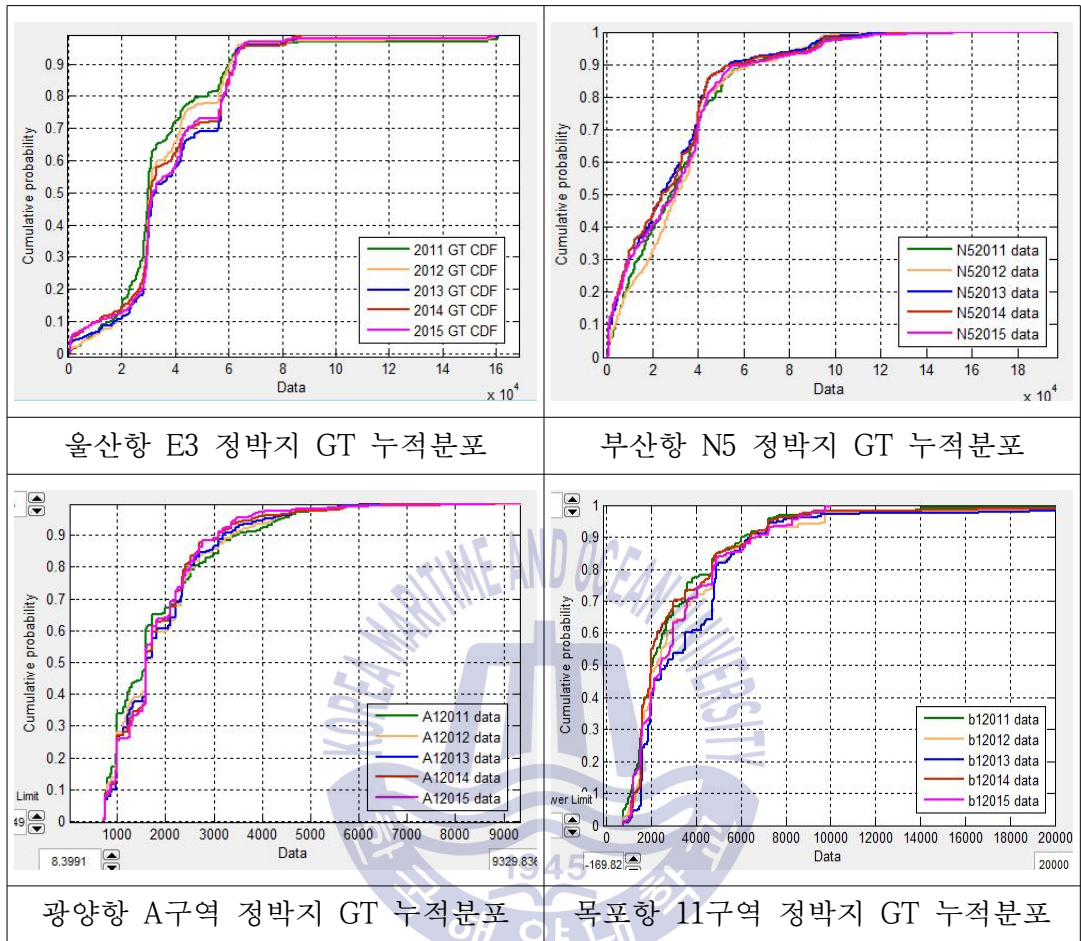


Fig. 26 Ship's tonnage distribution of using anchorage

따라서 정박지 용량 분석을 위한 컴퓨터 수치 시뮬레이션을 위해 기존 자료 분석을 통한 정박선의 톤수분포를 조사하고, 이를 이산형 분포(Discrete distribution)형태로 시뮬레이션에 입력하여 정박선박의 규모를 정확히 반영할 수 있도록 하였다. 여기서, 이산형 분포란 어떤 확률변수가 명시된 두 값 사이에 한정된 값만 취할 수 있으며, 그 상태 확률의 합계가 1이 되는 분포를 말한다. 즉, 이산형 분포를 사용함으로써 명시된 정박선의 톤수는 정박지를 이용하는 전체 선박 척수 중 해당 톤수의 선박이 차지하는 비율 분포에 따라 할당되어 정박선의 선회반경이 달라지는 특징을 반영할 수 있다.

3.3.4 환경요소

제2장에서 기술한 바와 같이 정박지를 지정하고자 할 때는 선박의 안전한 계류, 조선의 용이함 뿐 아니라 정온하고 충분한 수역 면적, 닻 놓기에 양호한 저질, 그리고 바람, 조류 등의 기상 및 해상조건을 고려해야 한다.

국내외 정박지 설계기준을 살펴보면, 대부분 정박선박 한 척이 점유하는 묘박반경의 크기는 조류에 대한 영향을 제외한 수심, 저질 및 바람에 따라 그 규모를 정하도록 규정하고 있다. 따라서 컴퓨터 수치 시뮬레이션을 통해 필요 정박지 용량을 도출하기 위해서는 정박지의 대표적인 수심, 저질 및 바람의 세기를 입력변수로 설정하여 환경요소를 고려한 정박선의 묘박반경 규모를 분석할 필요가 있다.

3.3.4.1 수심, 저질

정박지를 이용하는 선박은 기본적으로 수심에 따른 신출 묘쇄의 길이와 저질에 따른 추가 여유거리를 고려하여 선박의 선회반경 규모를 결정한다. 따라서 정박지 용량 분석을 위한 시뮬레이션 시 해당 정박지의 실제 수심 및 저질을 입력 변수로 설정할 필요가 있다. 그러나 정박지마다 수심의 깊이 및 저질의 종류가 다르고, 그 분포 또한 일정한 연속형 확률분포 특성을 나타내지 않는다. 따라서 수심과 저질의 분포가 비교적 균등한 정박지는 평균 수심과 대표 저질을 입력변수로 사용하고, 그렇지 않은 경우 그 분포를 분석하여 이산분포(Discrete distribution)의 형태로서 시뮬레이션에 입력하였다.

3.3.4.2 바람

선박 운항자는 투묘 시 선회반경의 크기를 결정함에 있어 바람의 세기를 매우 중요한 요소로 고려한다. 또한 투묘 후에도 바람의 변화 상황을 예의 주시하며 풍속이 증가할 경우, 추가적으로 묘쇄를 신출함으로써 주묘를 방지하려는 등의 노력을 기울인다. 따라서 정박지 점유 용량 및 필요 정박지 용량을 분석하기 위한 수치 시뮬레이션을 수행할 때 해당 수역에 작용하는

바람의 영향을 반드시 고려할 필요가 있다. 이를 위해 본 논문에서는 우리나라에 영향을 미치는 바람의 세기에 대한 분포 특성을 분석하여 어떠한 확률분포 형태와 유의성이 있는지 분석하였다.

바람의 세기에 대한 자료 조사는 기상청의 통계연보(기상청, 2014) 자료를 이용하여 일일 최대 풍속을 조사하고, 이를 도수분포표로 나타내어 발생하는 풍속별 밀도를 분석하였으며, 그 결과는 Fig. 27과 같다. 여기서 최대(最大) 풍속이란 관측 시간 직전 10분간의 평균 풍속 중에서 제일 큰 수치를 나타낸다.

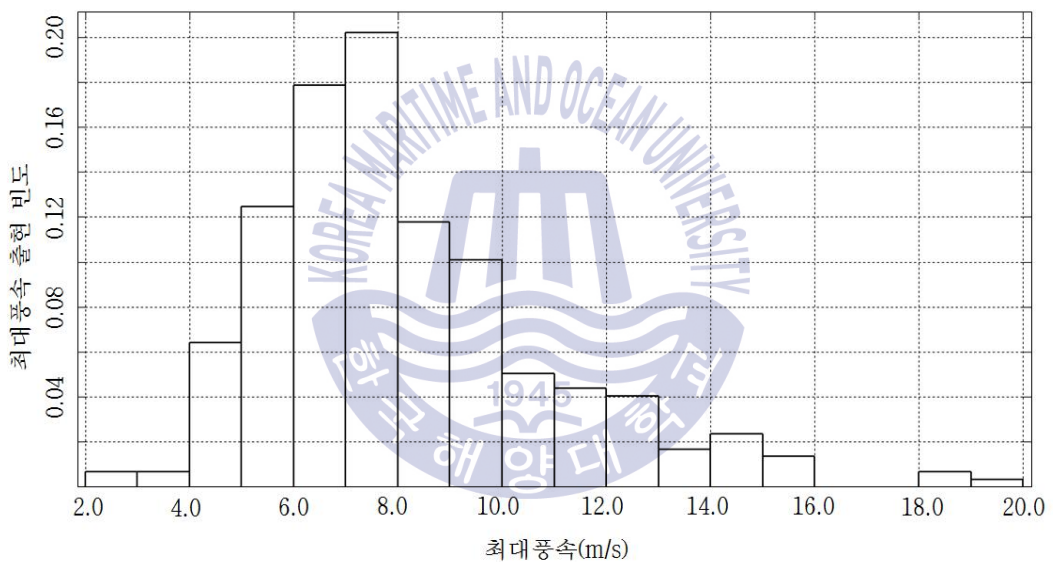


Fig. 27 The histogram of maximum wind speed

일일 최대 풍속의 히스토그램 분포를 분석한 결과 7~8m/s의 출현 빈도가 가장 높으며, 대부분 5~10m/s 수준의 풍속이 주를 이루고 있고, 최대 20m/s의 강한 풍속이 발생하기도 하는 것으로 분석된다.

최대 풍속 분포와 이론적 누적분포와의 확률적 유의성을 분석하기 위해서 3.3.1절에서 제시한 방법인 One-sample Kolmogorov-Smirnov 검정을 실시하였다. 그 결과 최대 풍속 분포는 Fig. 28과 같이 로그 정규분포

(Log-normal distribution)와 가장 유사한 분포 형태를 보이고 있으며, 이에 대한 통계량 분석 결과는 Table 22와 같다.

통계량 검토 결과를 토대로 가설 검증 결과, 귀무가설(최대풍속 분포는 로그 정규분포와 유의하다.)이 채택됨에 따라 최대 풍속 분포는 최대 95%의 유의 수준에서 로그 정규분포를 따르는 것으로 확인되었다. 따라서 우리나라 주요 항만의 정박지 용량 분석 시뮬레이션을 실시할 때 풍속은 로그 정규분포의 형상모수(μ) 2.04와 형태모수(σ) 0.33을 입력변수로 설정하여 정박선의 선회반경 계산 시 반영하였다.

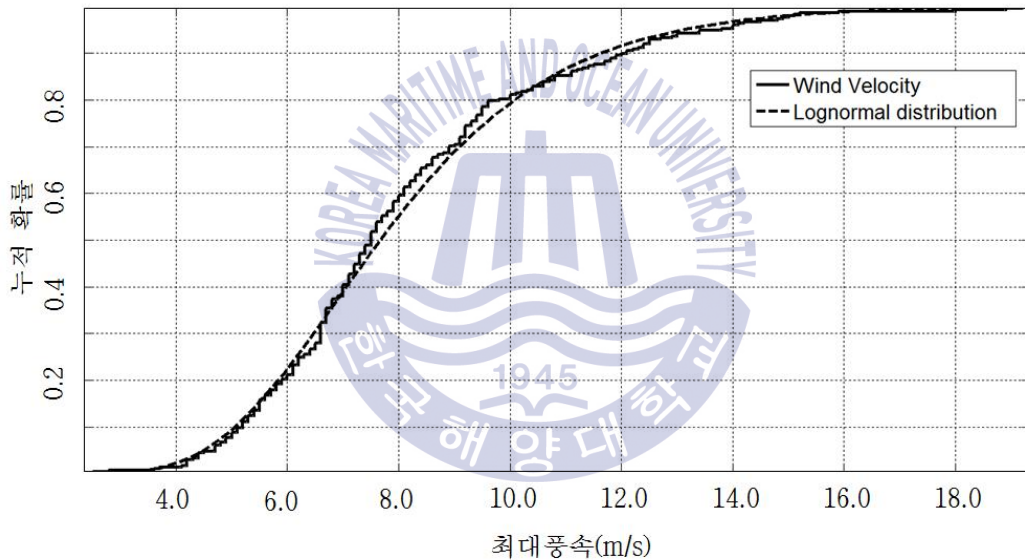


Fig. 28 The comparison of cumulative distribution function

Table 22 Statistical analysis of wind velocity

검증 대상	통계량						가설검증 결과
	μ (형상 모수)	σ (분포 모수)	h (가설 검증)	p	ksstat (검정 통계량)	cv (기각역)	
최대 풍속 분포	2.04	0.33	0	0.36	0.05	0.08	귀무가설 채택



제4장 정박지 용량 분석 수치 시뮬레이션

시뮬레이션은 시공간적 한계와 금전적인 이유로 실제 발생시키기 어려운 상황을 컴퓨터를 이용하여 가상으로 재현하고, 분석하고자 하는 대상을 프로그램 코딩을 통해서 쉽게 출력할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 논문에서는 컴퓨터 수치 시뮬레이션 방법을 이용하여 정박지 용량 분석을 실시하였다.

정박지 용량 분석을 위한 수치 시뮬레이션 모델을 설계할 때, 제3장에서 제시한 용량 개념을 바탕으로 결과를 도출할 수 있도록 구성하였으며, 각종 알고리즘 블록을 절차의 흐름에 따라 연결하여 정박지 이용 선박의 패턴을 유사하게 구현할 수 있도록 하였다.

정박지 용량 분석을 위한 수치 시뮬레이션의 분석 절차는 Fig. 29와 같다. 즉, 수치 시뮬레이션을 실시하기 위해서는 시뮬레이션 수행 목적에 따른 전체 시뮬레이션 모델에 대한 설계가 선행되어야 하며, 모델 내부에서 시뮬레이션이 수행될 수 있도록 세부적인 알고리즘을 구성해야 한다. 그리고 완성된 시뮬레이션 모델에 대한 검증작업을 통해 모델의 사용가능 여부를 판단한다. 마지막으로 이 모델을 실제 정박지 용량 분석에 적용하여 필요한 자료를 출력함으로써 필요 정박지 용량을 제시하는 것이다.

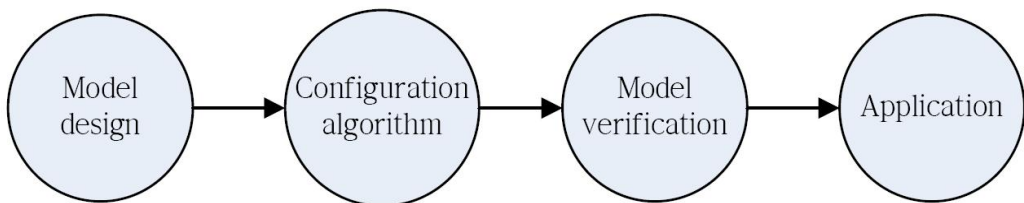


Fig. 29 Simulation analysis procedures

4.1 시뮬레이션 시스템 모델 설계

정박지 용량 분석을 위한 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 알고리즘 설계 및

시뮬레이션 프로그램으로 구현할 수 있도록 모델 설계 과정이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 복잡한 수학적 연산과 다양한 툴박스를 통해 특별한 기능을 제공하고, 쉽게 시뮬레이션 모델 설계가 가능한 MATLAB-SIMULINK 프로그램을 이용하였다.

정박지 용량 분석 시뮬레이션 시스템 개념도는 Fig. 30과 같이 시뮬레이션 모델에 입력변수를 입력하고, 각종 알고리즘을 통해 분석된 자료를 출력하는 시스템으로 구성하였다.

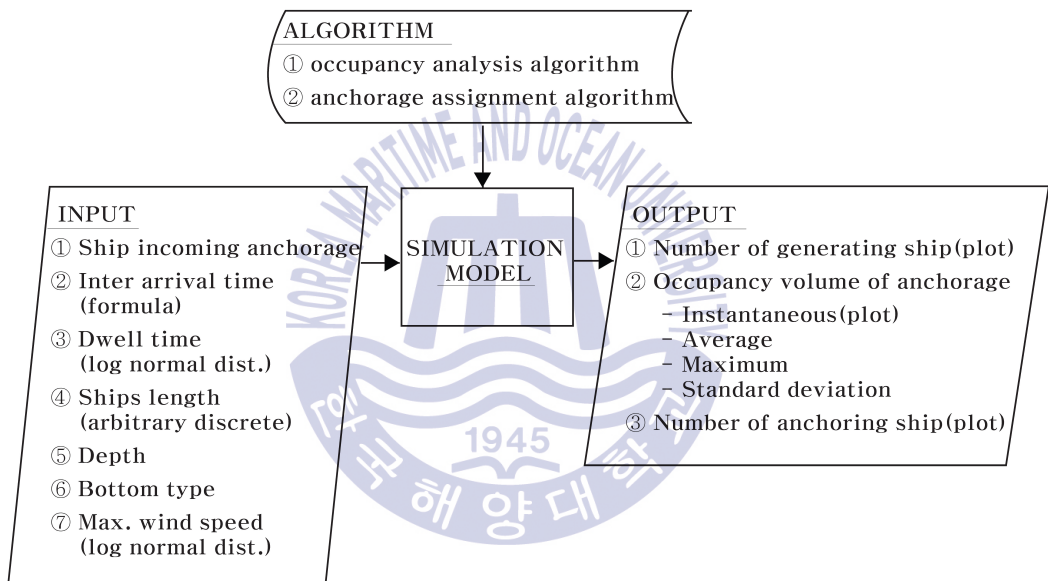


Fig. 30 The system architecture of anchorage simulation

입력 변수는 총 7가지로써 정박지 입항선박 척수, 선박 도착 간 시간간격, 대기시간, 선박 길이, 수심 분포, 해저저질 분포, 최대 풍속으로 구성하였다. 이 변수의 형식은 각각의 변수 특징에 따라서 고정 상수 또는 확률 분포, 함수식 형태로 수치 시뮬레이션에 입력하였다.

수치 시뮬레이션 모델은 변수를 입력받고 논리적 순서에 따라 시뮬레이션을 수행하는데, 이 때 정박지의 위치를 지정하기 위한 정박지 할당 알고리즘,

그리고 정박지 용량 분석을 위한 알고리즘을 통해 본 논문에서 필요로 하는 결과를 출력하게 된다.

출력값은 총 3가지로서 수치 시뮬레이션을 통해 생성되는 선박의 시간별 척수, 정박지 용량 분석 결과, 묘박 중인 선박 척수 등의 자료가 출력된다. 특히 정박지 용량 분석 결과는 실시간 결과, 평균, 최대값, 표준편차 값을 출력하도록 설계하였다.

시뮬레이션 모델 알고리즘은 크게 정박지에 도착하는 선박을 생성하고 속성을 할당하는 “선박생성 및 속성할당 단계”, 정박이 가능한 정박지에 위치를 할당하는 “정박지 위치 할당 단계”, 정박지에 대기하는 선박을 대상으로 정박지 용량을 분석하는 “정박지 용량 분석 단계”로 구성된다. 이러한 시뮬레이션 모델의 알고리즘을 순서도를 이용하여 세부적으로 나타내면 Fig. 31과 같다.

시뮬레이션 알고리즘은 시뮬레이션 시작 후 선박 도착 간 시간간격 분포에 따라서 선박이 생성되고, 생성된 선박에 특성을 부여한다. 즉, 정박선의 선회반경 및 정박지 용량 산출에 필요한 대기시간, 총톤수, 수심, 저질 및 풍속 조건이 생성된 선박에 할당되는 것이다. 그리고 설정한 정박지 설계기준 알고리즘에 따라 정박선의 선회반경 및 점유 용량이 계산되고, 이 또한 선박에 할당된다. 마지막으로 정박지에 투묘하고 있는 선박의 전체 용량을 합산하고, 이를 통해 실시간 정박지 점유 용량, 정박지 점유 용량의 평균, 최대값 및 표준편차를 계산하도록 설계하였다. 이러한 시뮬레이션 모델의 각 단계에 대한 자세한 알고리즘 설계 내용을 기술하면 다음과 같다.

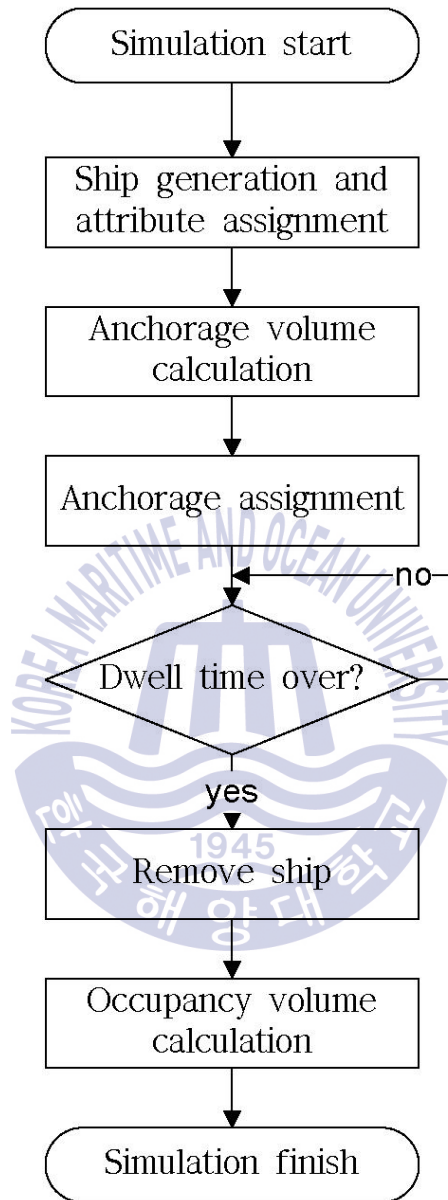


Fig. 31 Simulation model design

4.1.1 선박 생성 및 속성할당 단계

선박생성 및 속성할당 단계에 대한 세부적인 내부 알고리즘은 Fig. 32와 같다.

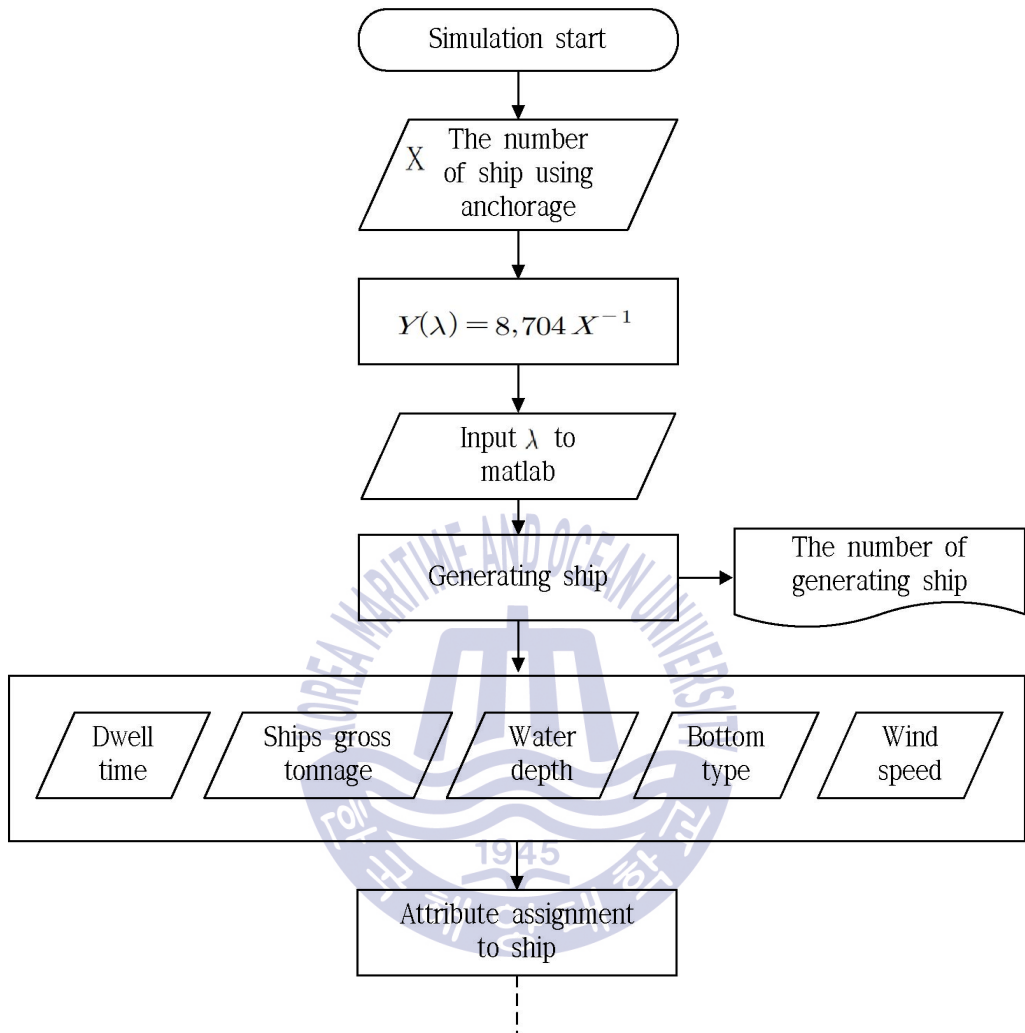


Fig. 32 Ship generation and attribute assignment algorithm

시뮬레이션이 시작되면 입력변수 중 정박지 이용선박 척수, 선박 도착 간 시간간격 분포의 함수식에 따라서 λ 를 계산하고, 이를 통해 지수분포를 생성한다. 그리고 이 지수분포에 따라 난수를 발생시키고, 이 난수가 발생할 때마다 선박이 생성될 수 있도록 설계하였다.

지수분포에 따라서 정박선이 생성되면 정박지 할당 전에 선박의 길이 및 톤수에 대한 선박의 특성 및 투묘하게 될 수역의 수심, 저질, 풍속, 조류 등의

환경조건을 선박에게 할당해 주어야 한다. 이를 위해서는 입력변수로 저장되어 있는 각종 속성을 호출하고, 각 변수 또한 각각의 확률분포 및 고정 값을 반환하여 선박에 할당하게 된다. 이렇게 할당된 속성은 시뮬레이션이 종료할 때까지 선박에 저장되며, 변화하지 않게 된다.

4.1.2 정박지 선회반경 계산 및 정박지 할당 단계

정박지 할당 단계는 선박이 정박할 수 있는 최대 규모의 정박지 총톤수 규정을 만족하며, 항만에 속해 있는 여러 정박지의 사용 비율을 고려하여 정박지를 할당한다.

우리나라 정박지는 정박지를 이용할 수 있는 선박의 최대 총톤수 기준에 따라 정박 수역이 결정되기 때문에, 정박지의 위치를 할당하는 일련의 과정을 시뮬레이션에 반영하기 위해서는 정박지를 입·출항하는 선박의 총톤수에 대한 분석이 필요하다. 또한 선박이 점유하게 되는 선회반경은 선박의 길이, 수심, 저질 및 풍속에 따른 여유거리 등에 따라 달라지기 때문에, 이 요소를 시뮬레이션에 입력하여 선회반경을 계산하는 과정이 필요하다.

그러나 본 논문에서 설계한 모델은 선박의 길이를 입력 변수로 설정하고 있지 않다. 이는 정박지 이용 선박에 대한 척수, 대기시간, 규모 등을 조사할 때 사용한 항만운영정보시스템에서는 선박의 총톤수 자료만을 제시하고 있고, 선박 길이에 대한 자료가 공개되어 있지 않기 때문이다.

따라서 선박의 총톤수와 선박 길이와의 상관관계를 제시한 연구 및 기준을 살펴보고, 적용 가능한 관계식을 선택하여 시뮬레이션 모델에 적용함으로써 정박선의 선회반경 계산 시 입력변수로 사용하도록 해야 할 것이다.

선박의 총톤수와 선박 길이의 관계에 대한 대표적인 연구결과는 다음의 세 가지로 볼 수 있다.

첫 번째로 Fujii(1971)의 연구에서는 선박 길이와 총톤수와의 상관함수를 분석하기 위해서 자국항만에 입·출항하는 선박들의 제원을 조사하고, 그 결과로 식 (18)의 근사식을 제시하였으며, 현재 많은 분야에서 이 근사식을

기준으로 선박의 총톤수와 선박 길이의 관계를 계산할 때 주로 사용하고 있다.

$$GT = 0.004 \times L^3 \quad (18)$$

여기서, GT : 총톤수

L : 선박 길이(m)

두 번째로 이윤석과 안영중(2014)의 연구에서는 선박의 대형화 및 선형변화가 많이 진행된 요즘, Fujii의 연구에서 제시하고 있는 선박 길이와 총톤수와의 상관관계가 현재 선박환경과 부합하지 않음을 회귀분석을 이용하여 분석하여 검증하였다. 그리고 총톤수와 선박 길이의 상관계수를 회귀함수를 이용하여 길이의 세제곱에 비례하는 총톤수 계수가 기존 0.004에서 0.00365로 변화했음을 검증하였으며, 연구의 결과로 식 (19)의 근사식을 제시하였다.

$$GT = 0.00365 \times L^3 \quad (19)$$

여기서, GT : 총톤수

L : 선박 길이(m)

마지막으로 우리나라의 항만 및 어항 설계기준·해설(해양수산부, 2014c)에서는 대상선박의 선박 톤수에 따른 전장(LOA), 수선간장(LBP), 형폭(B), 만재흘수(d)를 표로 제시하여 선박의 재화중량톤수(DWT) 또는 총톤수(GT)에 따른 선박 길이를 참고하도록 하고 있다.

기준에서 제시하고 있는 대상선박의 종류는 화물선, 컨테이너선, 유조선, 룰온·룰오프선, 자동차 전용선, LPG선, LNG선, 여객선, 페리선, 장거리 페리선 및 소형 화물선이 있는데, 대표적으로 화물선의 일반적 주요치수를 나타내면 Table 23과 같다.

Table 23 General dimensions of cargo ship

재화중량톤수 (DWT)	선박 길이 (m)	수선간장 (m)	선폭 (m)	흘수 (m)
1,000	67	61	10.7	3.8
2,000	82	75	13.1	4.8
3,000	92	85	14.7	5.5
5,000	107	99	17.0	6.4
10,000	132	123	20.7	8.1
12,000	139	130	21.8	8.6
18,000	156	147	24.4	9.8
20,000	161	152	25.1	9.9
30,000	182	171	28.3	10.5
40,000	198	187	30.7	11.5
50,000	211	200	32.7	12.4
55,000	217	206	33.6	12.8
70,000	233	222	36.0	13.8
90,000	251	239	38.7	15.0
100,000	259	247	39.8	15.5
120,000	274	261	42.0	16.5
150,000	292	279	44.7	17.7

위에서 살펴본 선박 길이와 총톤수와의 관계를 제시한 연구 및 기준 중에서 본 논문에서 필요로 하는 사항은 최근의 선박항행 환경을 반영할 수 있어야 하고, 시뮬레이션 환경에 쉽게 적용하여 선박의 선회반경 규모를 계산할 수 있어야 하는 것이다. 따라서 최근의 선박 대형화 추세 및 선형의 변화 등을 고려하여 선박의 길이와 총톤수와의 관계를 함수식으로 제시한 식 (19)의

관계식을 시뮬레이션에 적용하였다.

정박선의 선회반경을 계산할 때는 기본적으로 해양수산부(2014)에서 제시하고 있는 정박지 설계기준을 기준으로 한다. 그러나 우리나라의 정박지 설계기준은 제2장에서 제시한 바와 같이 정박선의 길이, 수심 및 저질의 종류에 따라서 선회반경의 규모를 결정하도록 되어 있어 정박선의 안전과 매우 밀접한 관계가 있는 외력을 고려하지 못한 한계가 있다.

따라서 정박선의 선회반경 계산을 위한 알고리즘 설계 시에는 기본적으로 우리나라의 정박지 설계기준과 더불어 Table 24와 같이 PIANC의 외력에 따른 추가 여유거리 기준을 도입하여 알고리즘을 설계하였으며, 그 결과는 Fig. 33과 같다.

Table 24 Additional notice margin in accordance with wind speed (PIANC)

풍속	추가 여유거리(m)	풍속	추가 여유거리(m)
$\leq 10\text{m/s}$	0	$= 30\text{m/s}$	120
$= 20\text{m/s}$	60	$\geq 30\text{m/s}$	180

알고리즘의 흐름을 살펴보면 식 (19)의 함수식을 시뮬레이션에 입력하여 선박에 할당된 총톤수를 선박 길이로 변환하고, 선박의 속성으로 재할당하였다. 또한 본 논문에서 정박선의 선회반경 계산식으로 사용하고 있는 기준에 따라 선박에 할당된 풍속 및 저질 조건 별로 선회반경이 규모가 다르게 계산될 수 있도록 설계하였다. 그리고 이 계산된 선회반경은 해당 선박에 다시 속성으로 할당되어 향후 정박지에서의 정박지 점유 용량 분석 시 사용할 수 있도록 하였다. 단, 3.3.4.2절에서 조사한 바와 같이 우리나라의 최대 풍속은 20m/s를 초과하는 경우가 관측되지 않았기 때문에 정박선의 선회반경을 계산할 때 풍속의 경우는 20m/s를 기준으로 그 미만인 경우와 20m/s인 경우에 대해 설계하였다.

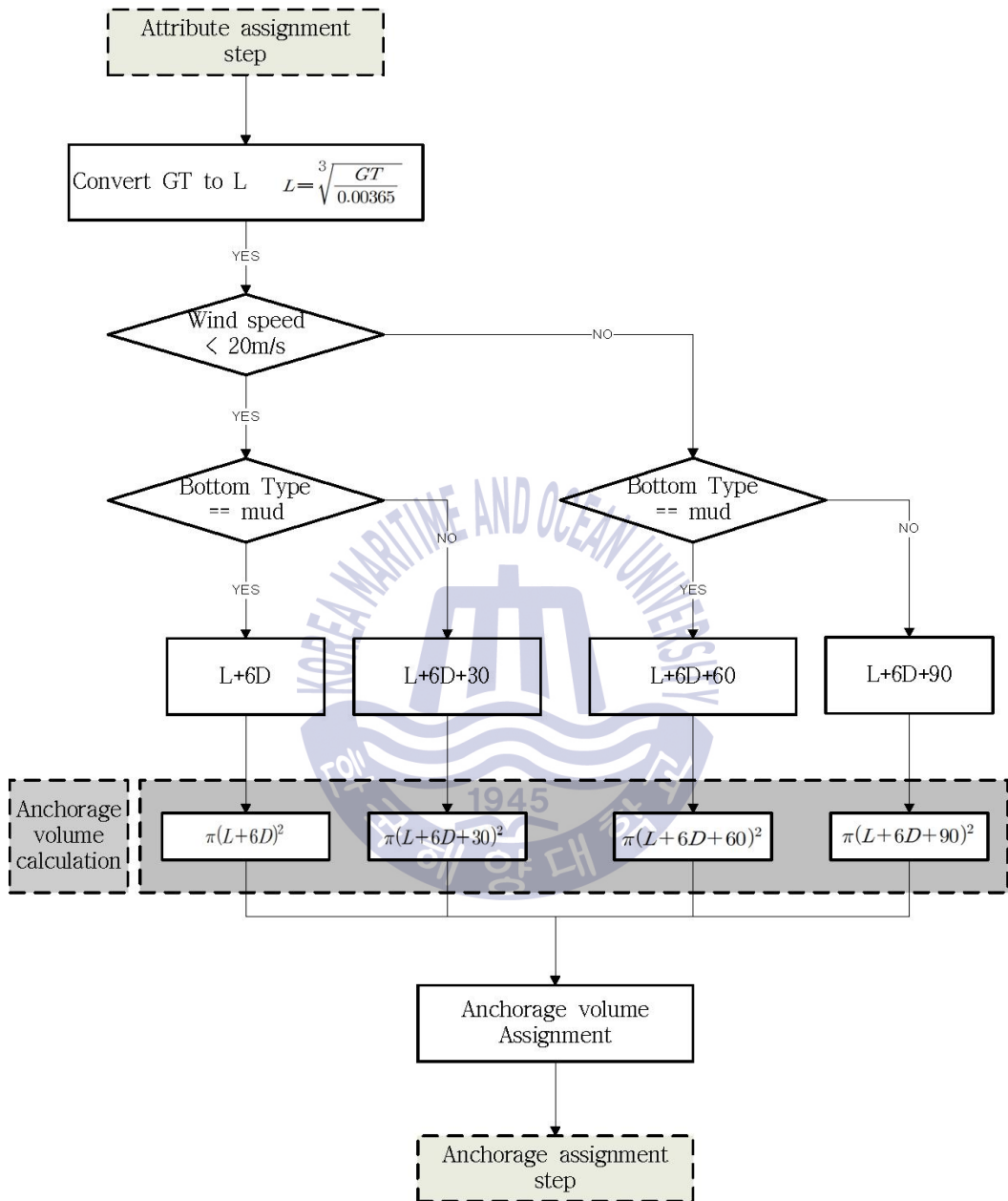


Fig. 33 Anchorage volume calculation algorithm

정박지 용량 계산을 위한 알고리즘 수행 후, 이어지는 과정은 정박지 할당 단계이다. 이 단계는 생성된 선박에 할당된 입력변수 중 총톤수를 이용하여,

정박지에 지정되어 있는 정박 가능 최대 톤수를 기준으로 정박지를 할당하는 과정으로, 예시로서 A~D 정박지의 할당과정을 순서도로 나타내면 Fig. 34와 같다.

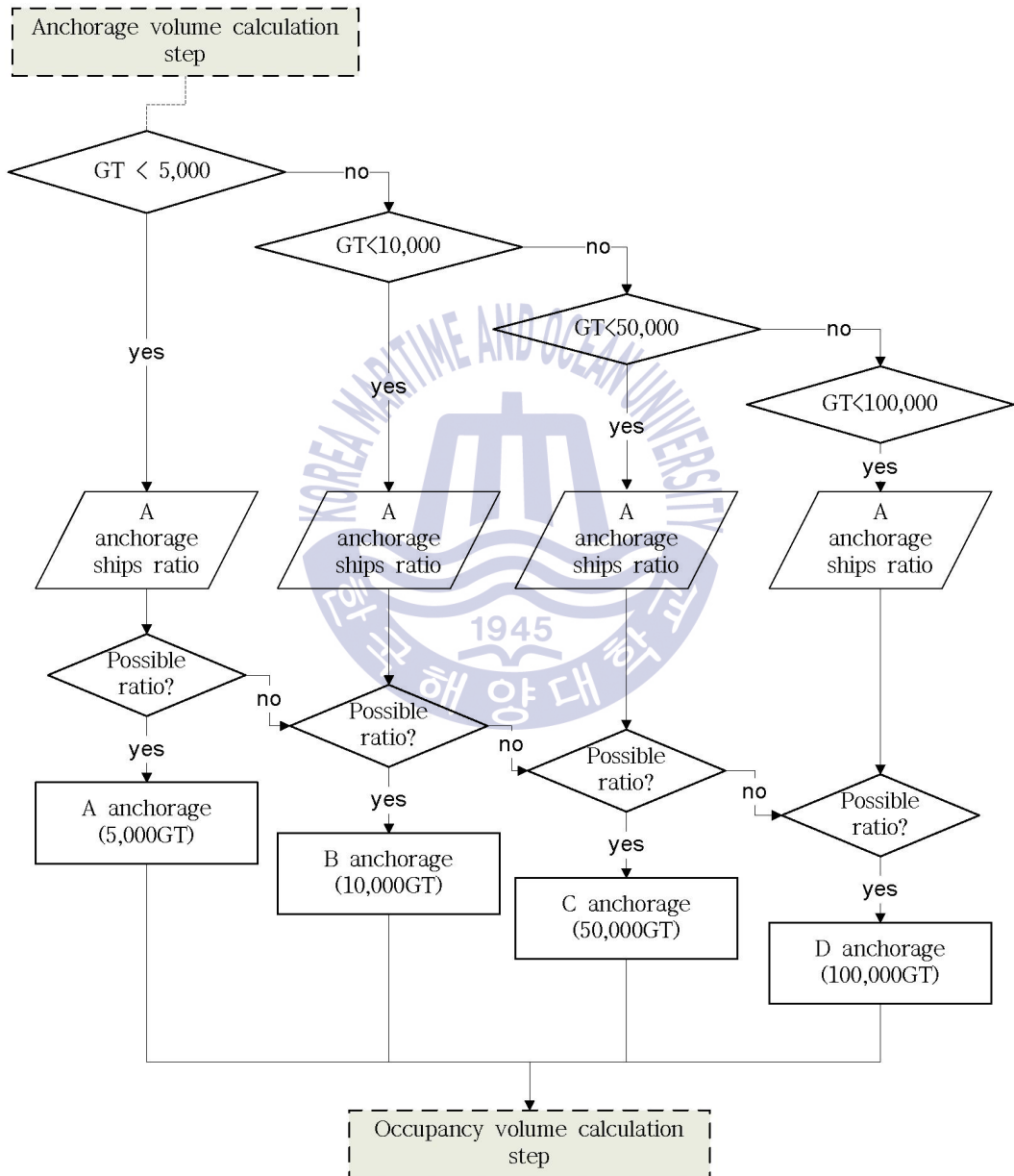


Fig. 34 Anchorage assignment algorithm

즉, 정박지 용량 할당이 완료된 선박은 정박지에 투묘 가능한 최대 톤수 기준에 따라서 각각의 정박지에 할당되도록 설계하였다.

선박 운항자가 자유롭게 투묘지점을 정할 수 있는 정박지의 경우, 일반적으로 선박의 흘수를 고려하여 깊지 않은 적정 수역에 투묘하고자 한다. 즉, 정박지를 선정할 때 투묘가 가능한 수준의 저 수심 수역부터 확인하며, 만약 선박의 밀집 등으로 인해 정박이 적절하지 않다고 판단할 경우에는 점점 수심이 깊은 곳으로 투묘 대상 수역을 넓혀간다. 따라서 정박지 할당 알고리즘은 선박의 총톤수 규모에 따라 적정한 정박지를 할당하기 위해서 정박지 톤수 조건에 따라 순차적으로 조건문을 실시하여 만족하는 정박지에 할당하도록 설계하였다. 그리고 조건문을 통과한 선박이 정박지에 할당되기 전 해당 정박지에 정박해 있는 선박의 톤수 비율을 확인하는 조건문을 설정하여 정박지를 이용하는 선박의 톤수 비율을 고려한 정박지 할당이 이루어지도록 추가 알고리즘을 설계하였다.

4.1.3 정박지 점유 용량 분석 단계

정박지에 입항해 있는 선박이 점유한 용량을 출력하기 위한 알고리즘은 Fig. 35와 같다.

해당 정박지에 할당된 선박이 입항하게 되면 선박의 정박지 점유 용량을 A 변수에 저장한다. 그리고 시간별로 투묘 대기 중인 선박의 점유 용량을 그래프 혹은 도표로 출력하도록 하였다. 그 다음으로는 선박의 대기 시간을 조건문을 통해서 확인한 후 조건을 만족할 때는 정박지를 이탈하고, 정박지를 떠나는 선박이 점유했던 용량을 B 변수로 저장한다. 여기서 A와 B 변수는 정박지를 입·출항하는 선박의 용량의 누적 합계이다. 이 후 변수 A와 B를 통해 정박지 점유 용량(V_{oi})을 계산하고, 해당 선박은 시뮬레이션 모델에서 제거된다.

정박지 점유 용량 알고리즘을 통해 도출된 V_{oi} 값을 이용하여 정박지 점유 용량의 평균, 표준편차, 최대값 계산 및 분석은 MATLAB-SIMULINK 프로그램을 이용하여 실시하였다.

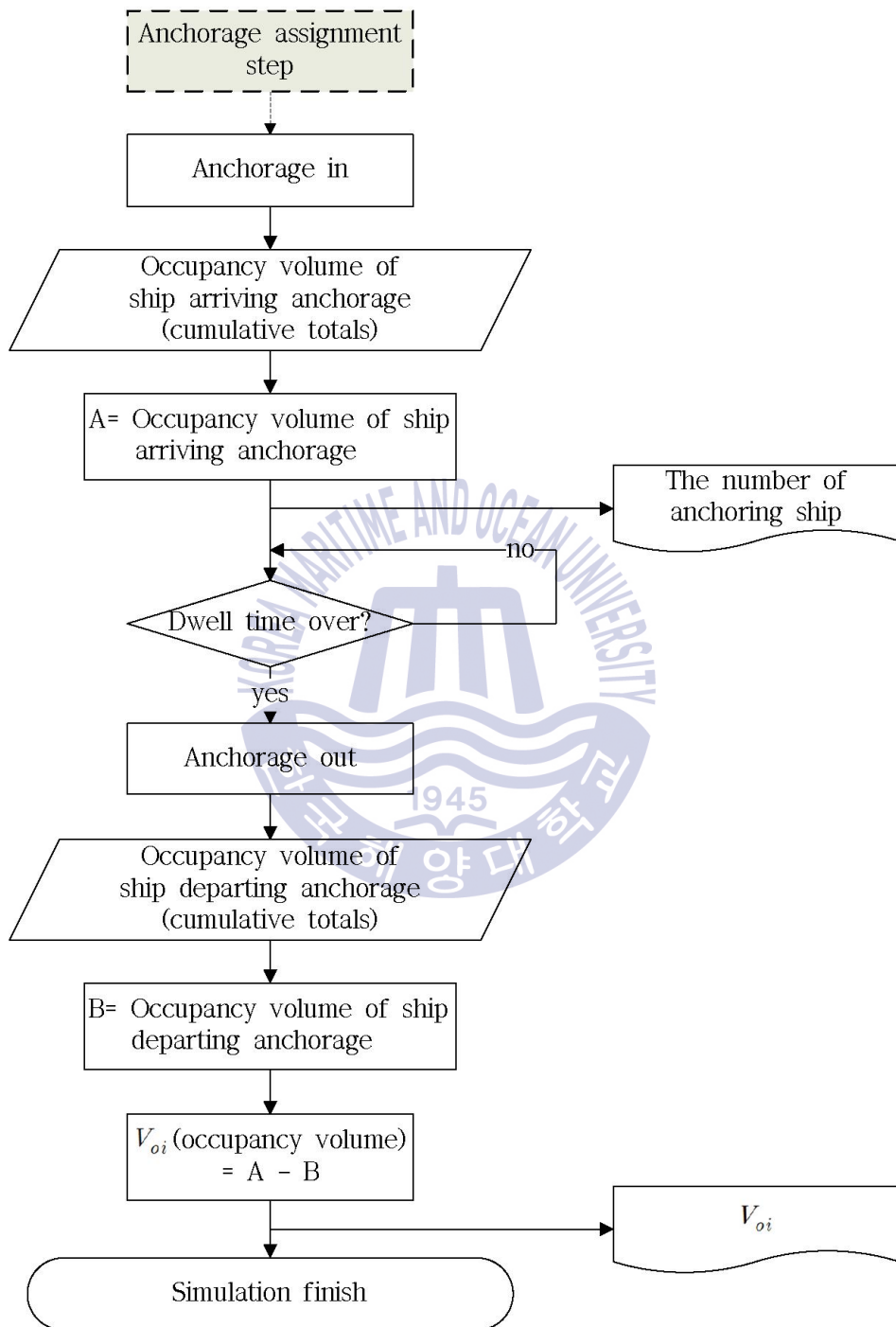


Fig. 35 Occupancy volume of anchorage calculation algorithm

4.2 MATLAB-SIMULINK을 이용한 시뮬레이션 시스템 설계

정박지 용량 분석을 위해 수치 시뮬레이션 범용 프로그램인 MATLAB-SIMULINK을 이용하여 모델을 개발하였으며, 그 결과는 Fig. 36과 같다.

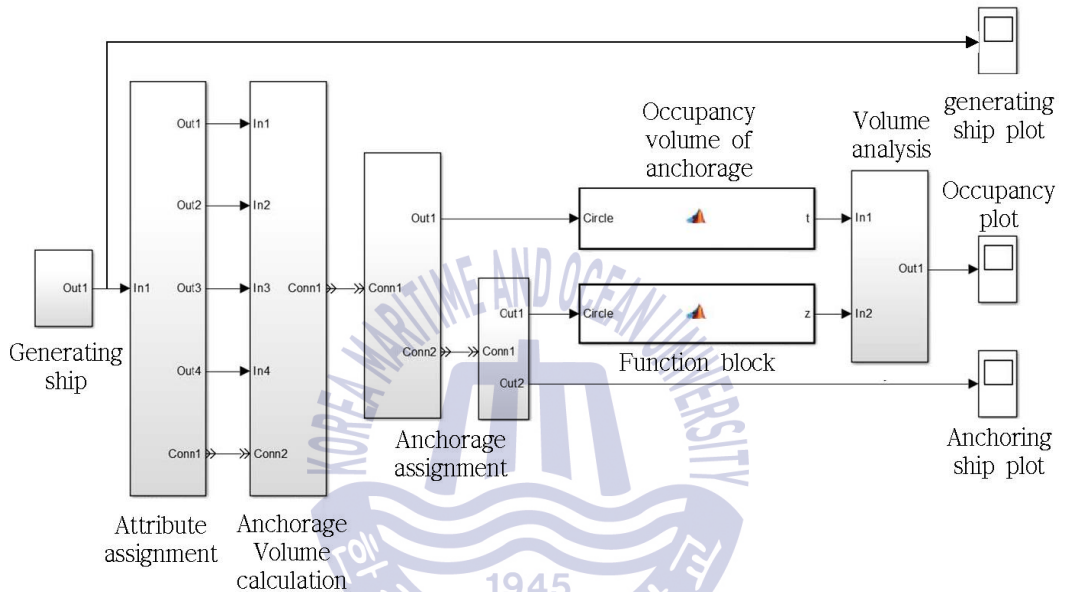


Fig. 36 Simulation system model architecture using MATLAB-SIMULINK

시뮬레이션 순서에 따른 해당 절차를 각 시뮬레이션 단계의 알고리즘을 형태에 따라서 부 프로그램(Subsystem) 형태로 나누어 설계함으로써 프로그램의 수정 및 보완을 손쉽게 할 수 있도록 개발하였다.

MATLAB-SIMULINK 프로그램을 이용한 정박지 용량 분석 모델의 흐름을 살펴보면 선박생성 블록, 속성할당 블록, 선박의 정박지 용량 계산 블록, 정박지 할당 블록, Function 블록을 이용한 정박지 용량 계산 블록, 마지막으로 계산된 정박지 용량을 토대로 평균, 최대값, 표준편차를 도출하는 정박지 용량 분석 블록으로 구분하여 모델을 설계하였다. 또한 각 블록에서 생성되는

출력자료를 그래프로 도출할 수 있도록 설계하였다.

4.3 시뮬레이션 모델 타당성 검증

4.2절에서 제시한 정박지 용량 분석 시뮬레이션 모델이 실제 정박지의 교통 상황을 반영하는지에 대한 검증을 통해 모델의 적정성을 확보할 필요가 있다. 따라서 정박지 용량 분석 수치 시뮬레이션 모델검증은 우리나라의 대표 액체화물 취급 항만인 울산항의 E1, E2, E3 정박지를 대상으로 시뮬레이션을 실시하여 출력 결과를 도출하고, 이를 토대로 정박지 용량 분석을 실시하여 모델의 적정성을 검증하였다.

울산항은 국제적인 유류화물 취급 거점항만으로 성장하고자 신항 개발 등 활발한 항만개발을 추진하고 있어, 항만 교통량 증가 추세가 뚜렷하다. 이에 따라 울산항 정박지를 이용하는 선박 척수는 점점 증가하고 있고, 정박지 부족현상 또한 뚜렷하게 나타나고 있다. 그리고 정박지 내에서 발생하는 선박사고 비율이 타 항만의 정박지와 달리 높은 항만이기도 하며, 최근 정박지 부족 문제를 해결하고자 정박지 확장에 대한 논의가 활발하게 진행되고 있다. 이렇게 울산항의 정박지는 이용 선박의 척수가 타 항만의 정박지에 비해 매우 많아 시뮬레이션 입력변수의 확률분포 및 전체 모델의 적절성을 검증하기에 적절한 항만이기 때문에 정박지 용량 분석 모델의 적정성 검증을 위한 항만으로 울산항을 선택하였다.

수치 시뮬레이션 모델의 검증 방법은 정박지 용량 분석모델을 통해 출력되는 결과 중 입항선박 척수와 정박지 대기선박 척수에 대해서 시뮬레이션 출력 결과와 과거 데이터를 비교하고, 이 값이 어느 정도 수준에서 정확도가 확보되는지 여부로 판단하였다.

수치 시뮬레이션 실행 기간은 출력 데이터의 극단값(Extreme value)으로 인한 출력 데이터의 정확도가 낮아지는 문제를 제거하기 위해 1년 동안의 시뮬레이션 수행 기간에 대해서는 안정화 기간으로서 배제하고, 이 후 1년 동안의 시뮬레이션 결과를 분석 데이터로 사용하였다.

또한 수치 시뮬레이션을 통해 도출된 출력 데이터의 유의성 확보 차원에서 다음의 항목을 전제조건으로 설정하였다.

- ① 모든 선박은 할당된 정박지의 규모에 관계없이 정박할 수 있다.
- ② 선박이 항만에 도착하여 정박지까지 이동하는 시간은 없다.
- ③ 선박이 정박지에서 대기한 후 출항 시 소요되는 시간은 없다.
- ④ “선박 입항 및 투묘 - 정박지 대기 - 양묘 후 출항” 으로 시뮬레이션 범위를 한정한다.
- ⑤ 정박지를 이용하는 모든 선박은 단묘박을 실시한다.

위의 전제조건은 현재의 정박지 이용선박이 선회반경 기준을 모두 준수하였을 때의 필요한 정박지 용량을 분석하기 위해 해당 정박지에 모든 선박이 정박할 수 있음을 가정하였다. 또한 정박지 설계기준에서 단묘박 및 쌍묘박 등에 따른 선회반경의 규모가 서로 다르며, 이러한 묘박 방법은 선박 운항자가 주관적으로 결정하는 사항이므로 시뮬레이션에서의 반영이 불가능하다. 따라서 정박지를 이용하는 모든 선박은 투묘 시 실무에서 일반적으로 사용하는 묘박 방법인 단묘박을 사용하는 것으로 전제하였다.

그리고 정박지에 입항하여 대기한 후 출항하는 일련의 과정은 항만해상교통 시스템의 일부이기 때문에 나누어서 다룰 수 없다. 그러나 항만교통시스템 전체를 수치 시뮬레이션으로 설계하는 것은 매우 어려운 일이며, 정박지를 이용하는 선박 중 일부는 항만에 입항하지 않고 필요 작업을 위해 묘박하는 경우도 있다. 따라서 본 논문에서는 시뮬레이션의 범위를 “선박 입항 및 투묘 - 대기 - 양묘 후 출항” 으로 한정하며, 입항 후 정박지 이동 시간, 투·양묘 시간은 없는 것으로 전제하였다.

4.3.1 입력변수 설정

수치 시뮬레이션 입력 변수는 부산지방해양수산청(2015)의 항만 관계현황

자료를 조사하였고, 수심 및 저질은 해도자료를 사용하였으며, 그 조사·분석 결과는 Table 25와 같다.

Table 25 The input variables distribution of Ulsan port

정박지	입력변수 종류	분포종류	척수	μ	σ
E1 정박지	입항선박 척수	-	5,779척	-	-
	대기시간	로그 정규분포	-	2.33	1.33
	최대풍속	로그 정규분포	-	2.04	0.33
	선박 총톤수	이산형 분포	-	-	-
	수심, 저질종류	40m, mud	-	-	-
E2 정박지	입항선박 척수	-	2,084척	-	-
	대기시간	로그 정규분포	-	2.49	1.32
	최대풍속	로그 정규분포	-	2.04	0.33
	선박 총톤수	이산형 분포	-	-	-
	수심, 저질종류	50m, mud	-	-	-
E3 정박지	입항선박 척수	-	1,409척	-	-
	대기시간	로그 정규분포	-	2.77	1.31
	최대풍속	로그 정규분포	-	2.04	0.33
	선박 총톤수	이산형 분포	-	-	-
	수심, 저질종류	60m, mud	-	-	-

입력변수 중 입항선박 척수는 실제 정박지 입항선박 척수, 대기시간과 최대 풍속 분포는 로그 정규분포의 모수 μ (형상모수)와 σ (분포모수) 값을 도출하여 입력하였다. 또한 정박지를 이용하는 선박의 총톤수는 특정 확률분포 형태를 취하지 않기 때문에 총톤수 비율에 따른 이산형 분포(Arbitrary discrete) 형태로 입력하였고, 수심 및 저질은 해당 정박지의 대표값으로 입력하였다.

4.3.2 시뮬레이션 출력 결과

정박지 용량 분석 수치 시뮬레이션의 결과로 출력되는 “시뮬레이션 생성 선박 척수”, “정박지 점유 용량”, “정박지 묘박 선박 척수” 결과를 그래프로 나타내면 다음과 같다.

4.3.2.1 시뮬레이션 생성 선박 척수

알고리즘에 따라 시뮬레이션 시작과 함께 생성되는 선박의 시간에 따른 누적 척수를 그래프로 나타내면 Fig. 37~Fig. 39와 같다. 즉, 1년 동안 시뮬레이션을 실행할 경우, 생성되는 선박의 총 누적 척수는 울산항 E1 정박지는 5,538척, E2 정박지는 1,990척, E3 정박지는 1,345척인 것을 알 수 있다.

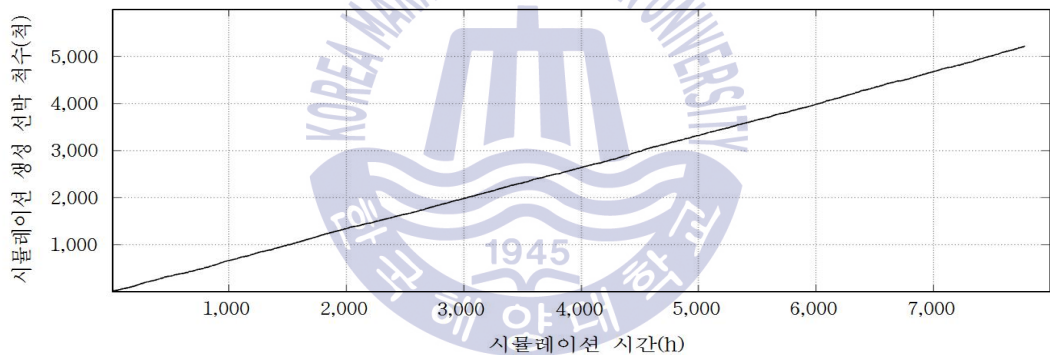


Fig. 37 The number of generating ship in Ulsan E1 anchorage

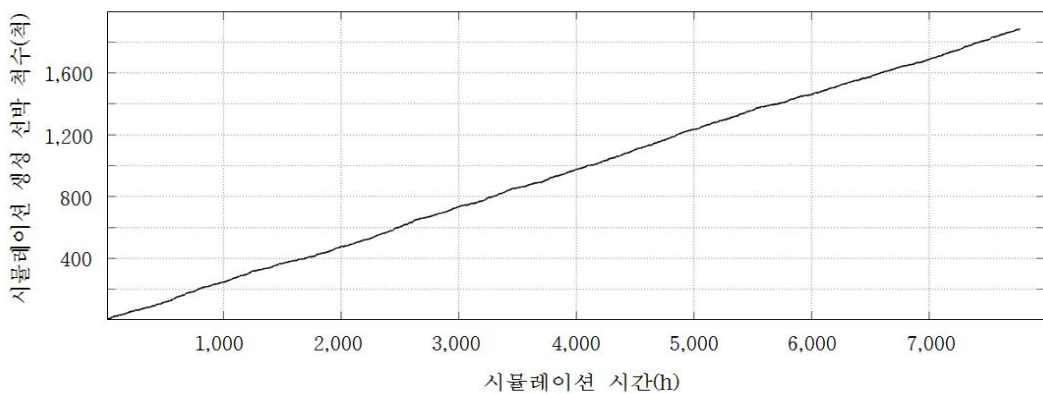


Fig. 38 The number of generating ship in Ulsan E2 anchorage

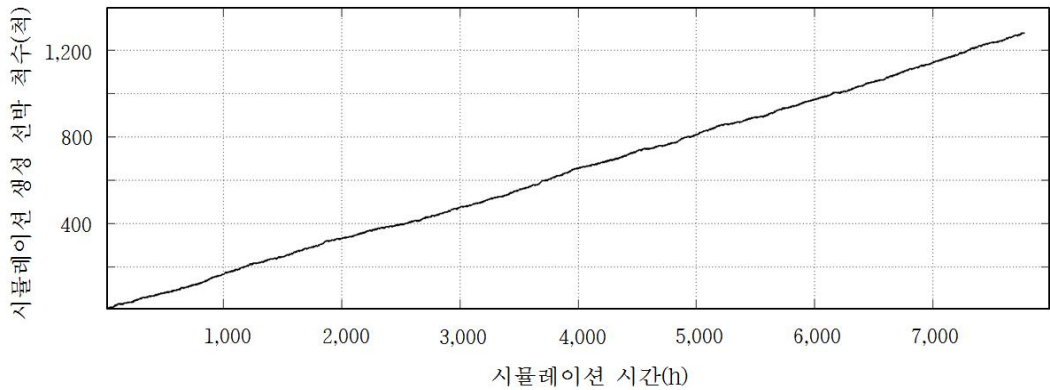


Fig. 39 The number of generating ship in Ulsan E3 anchorage

4.3.2.2 정박지 점유 용량

정박지 용량 분석 시뮬레이션을 1년 동안 실행했을 때, 울산항 E1, E2, E3 정박지에 투묘 대기하고 있는 선박이 점유한 수역의 총 면적을 그래프로 나타내면 Fig. 40~Fig. 42와 같다.

분석 결과, 선박의 규모, 대기시간, 환경요소 등에 따라 투묘 대기하는 선박이 점유하는 면적의 합은 매우 유동적인 것으로 나타났다. 그리고 1년간 시뮬레이션 수행 시 평균 정박지 점유 용량은 E1 정박지의 경우 약 $10,410,000\text{m}^2$, E2 정박지는 약 $6,690,000\text{m}^2$, E3 정박지는 약 $8,884,000\text{m}^2$ 인 것으로 도출되었다.

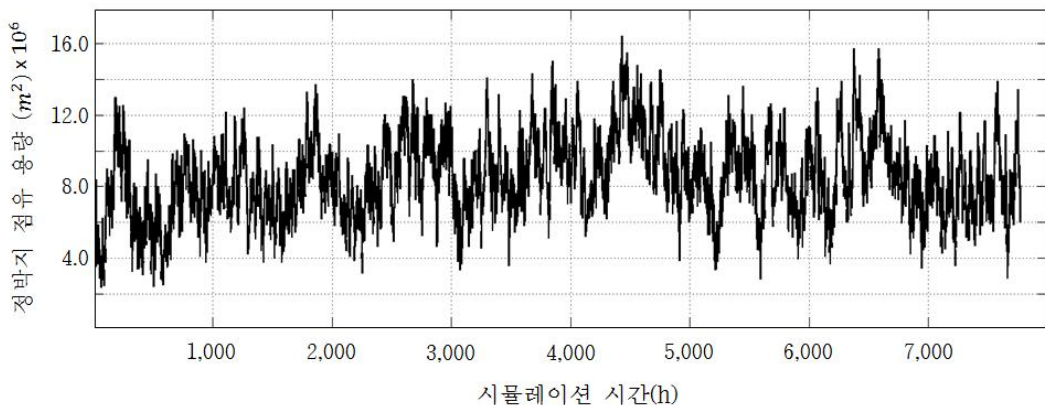


Fig. 40 Occupancy volume of Ulsan E1 anchorage

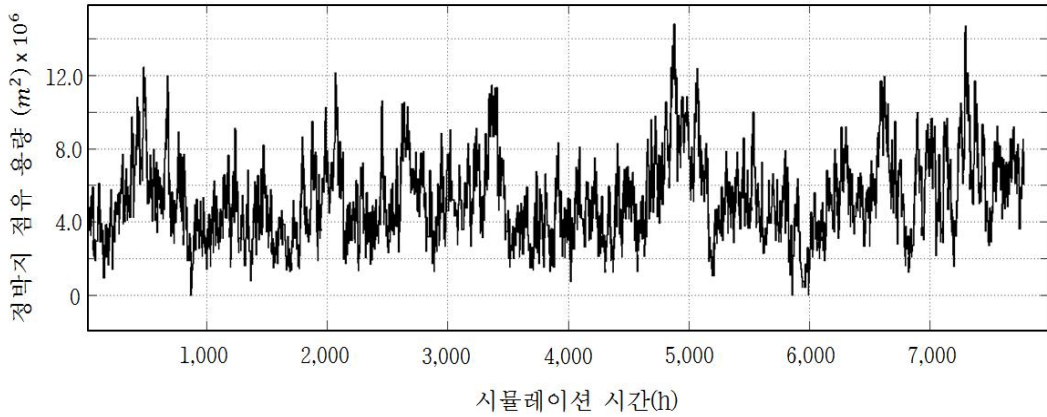


Fig. 41 Occupancy volume of Ulsan E2 anchorage

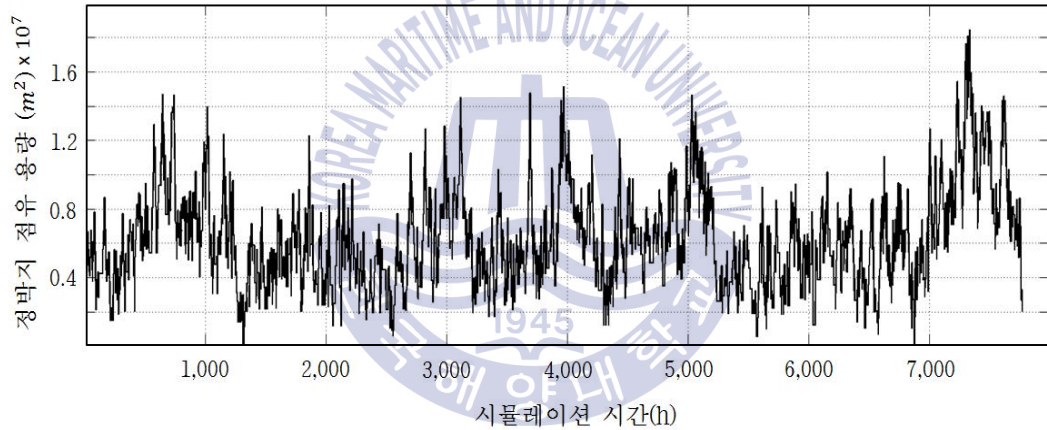


Fig. 42 Occupancy volume of Ulsan E3 anchorage

4.3.2.3 정박지 대기 선박 척수

울산항 E1, E2, E3 정박지에 투묘 대기하고 있는 선박의 시간별 척수를 그래프로 나타내면 Fig. 43~Fig. 45와 같다.

분석 결과, 1년간 시뮬레이션 수행 시 동시에 투묘하고 있는 척수의 평균값은 E1 정박지의 경우 약 17척, E2 정박지는 약 6.8척, E3 정박지는 약 5.4척인 것으로 도출되었다.

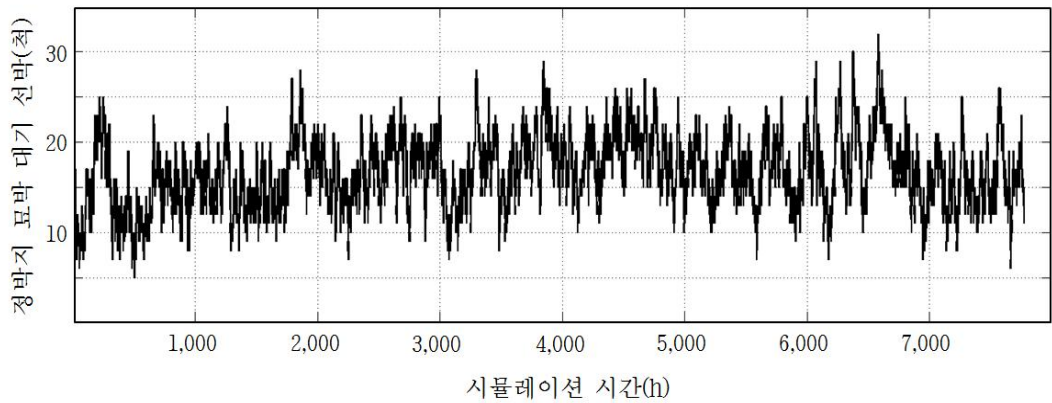


Fig. 43 The number of ship in Ulsan E1 anchorage

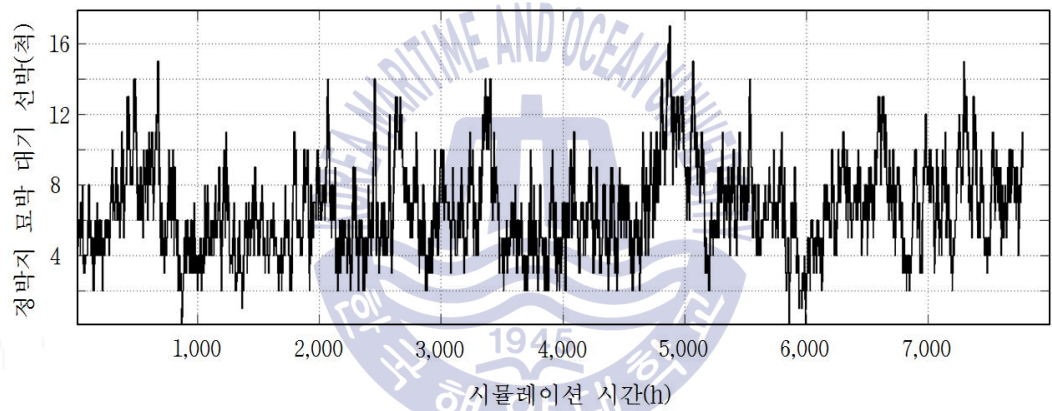


Fig. 44 The number of ship in Ulsan E2 anchorage

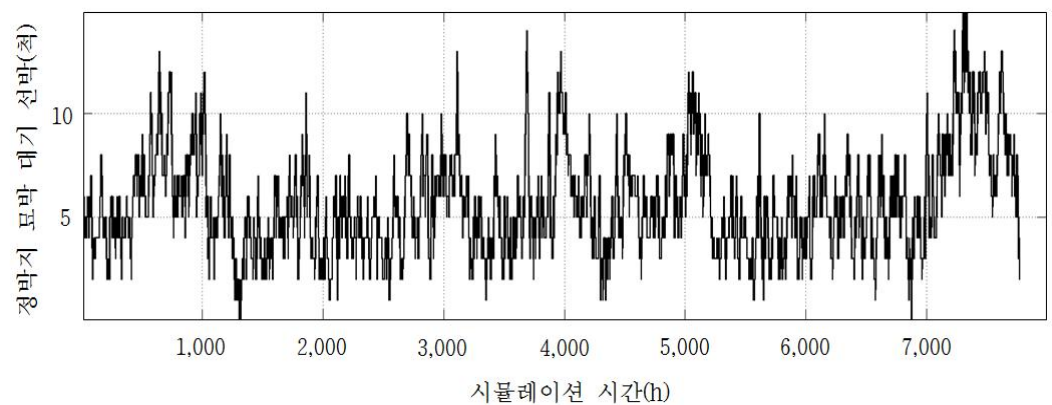


Fig. 45 The number of ship in Ulsan E3 anchorage

4.3.2.4 정박지 점유 용량 기술 분석

울산항 E1, E2, E3 정박지를 대상으로 실시한 시뮬레이션을 통해 시간별 점유 용량 결과를 도출하였고, 이를 누적분포함수 그래프로 나타내면 Fig. 46과 같다. 그리고 본 논문의 제3장에서 제시한 최대 정박지 점유 용량 및 필요 정박지 용량 계산식을 적용하여 필요 정박지 점유 용량을 도출하였으며, 그 과정 및 결과는 Table 26과 같다.

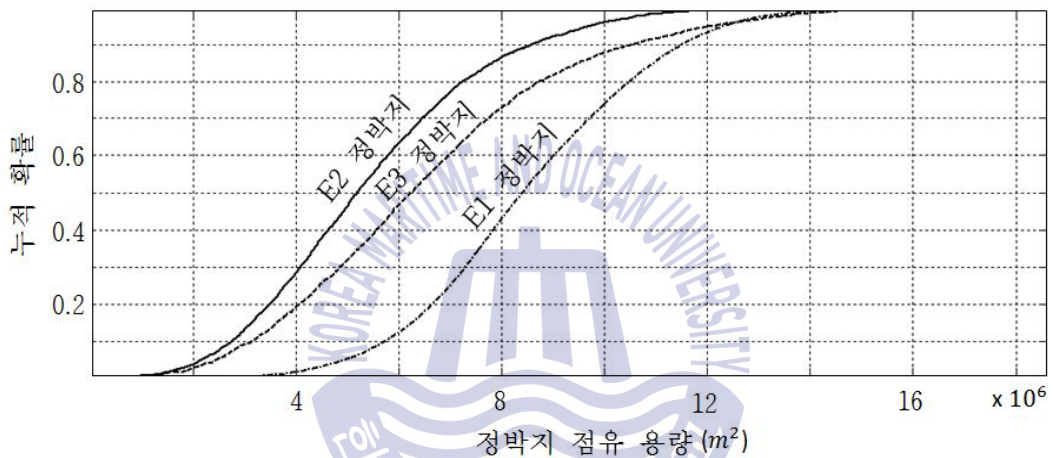


Fig. 46 The CDF analysis of occupancy volume of anchorage

Table 26 Technical analysis of the occupancy volume of anchorage

정박지	분석	정박지 용량 기술 분석			필요 정박지 용량
		평균	표준편차	최대 정박지 용량	
E1 정박지	정박지 용량	10,410,000	2,510,000	15,430,000	11,665,000
	표준오차	17,397	12,302		
E2 정박지	정박지 용량	6,690,000	2,728,000	12,146,000	8,054,000
	표준오차	31,453	22,243		
E3 정박지	정박지 용량	8,884,000	3,900,000	16,684,000	10,834,000
	표준오차	54,567	38,590		

(단위: m²)

4.3.3 시물레이션 모델 검증

시물레이션 모델의 검증은 시물레이션 결과와 실제 정박지 사용 실적과의 비교·분석을 통해 비율을 도출하고, 그 결과가 95%~105% 수준일 때 모델의 적정성이 검증된 것으로 판단하였다. 검증에 사용한 자료는 4.3.2절에서 도출한 시물레이션 결과 중 정박지 입항선박 척수, 정박지 투묘 대기 중인 선박 척수를 대상으로 실시하였다.

4.3.3.1 정박지 입항선박 척수 검증

시물레이션 모델 검증 방법 중 첫 번째로 정박지 입항선박 척수에 대해서 시물레이션을 통해 생성된 선박 척수와 2015년 울산항 정박지를 이용한 선박 척수 실적치를 비교·분석하였으며, 그 결과는 Table 27, Fig. 47과 같다.

Table 27 Verification result for the number of ships incoming anchorage

내 용	정 박 지		
	E1 정박지	E2 정박지	E3 정박지
시물레이션 결과(척)	5,538	1,990	1,345
2015년 정박지 이용선박 실적(척)	5,779	2,084	1,409
정박지 이용선박 실적 대비 시물레이션 결과 비율(%)	95.8	95.5	95.5

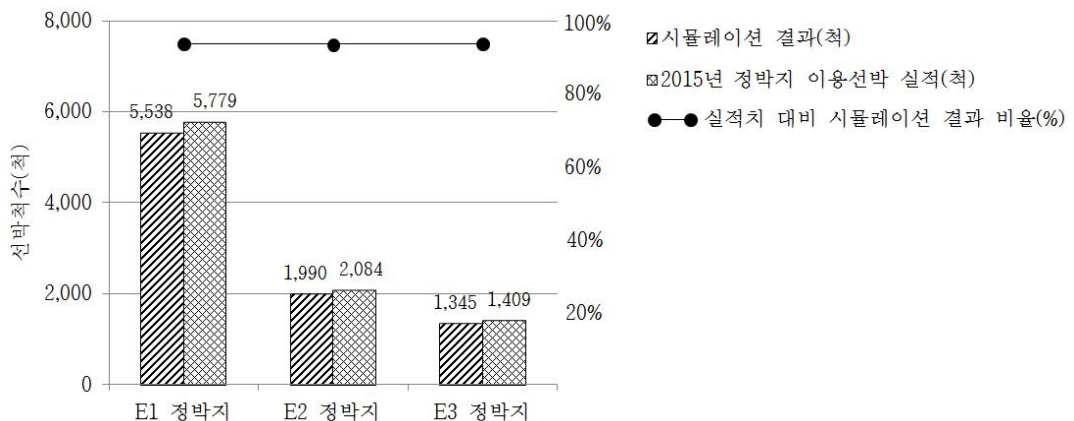


Fig. 47 The comparison of number of incoming ship for verification

울산항 정박지 입항선박 척수에 대하여 2015년 실적 대비 시뮬레이션 결과를 비교한 결과, E1 정박지는 95.8%, E2 정박지와 E3 정박지는 95.5%로 나타났다. 즉, 시뮬레이션 결과는 실제 정박지 이용 실적과 비교했을 때 모두 95% 이내의 수준을 나타내므로 모델의 적정성이 확보된 것으로 판단하였다.

4.3.3.2 정박지 대기 선박 척수 검증

시뮬레이션 모델 검증 방법 중 두 번째로 정박지에 대기 중인 선박 척수에 대해서 시뮬레이션 결과와 2015년의 울산항 정박지 실적치를 비교·분석 하였으며, 그 결과는 Table 28, Fig. 48과 같다.

Table 28 Verification result for the number of anchoring ship

내 용	정박지		
	E1 정박지	E2 정박지	E3 정박지
시뮬레이션 결과(척)	17.0	6.8	5.4
2015년 정박지 이용선박 실적(척)	16.9	6.6	5.1
정박지 이용선박 실적 대비 시뮬레이션 결과 비율(%)	100.1	103.0	105.8

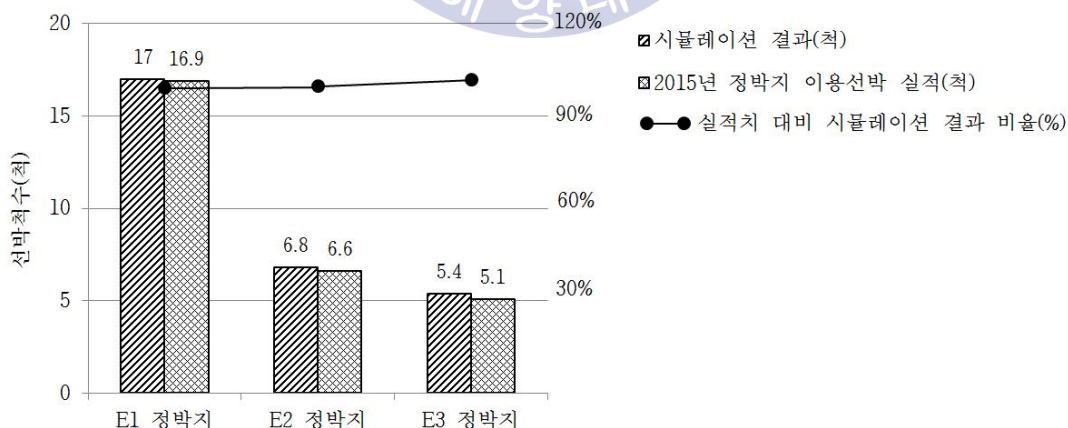


Fig. 48 The comparison of the number of anchoring ship for verification

울산항 정박지에 투묘 대기하고 있는 선박 척수에 대하여 2015년 실적 대비

시뮬레이션 결과를 비교한 결과, E1 정박지는 100.1%, E2 정박지는 103.0%, E3 정박지는 105.8%의 비율을 나타냈다. 즉, 시뮬레이션 모델은 실제 정박지 실적과 비교했을 때 모두 105% 이내의 수준을 나타내므로 모델의 적정성이 확보된 것으로 판단하였다.

시뮬레이션 모델의 타당성 검증을 통해 정박지 용량 분석 시뮬레이션 모델이 정박지 용량 평가 도구로서 사용 가능한 것으로 분석되었다. 따라서 이 모델을 우리나라 주요 항만의 정박지 현황에 적용하여 용량 분석을 실시함으로써 필요 정박지 용량을 도출하였다.

4.4 주요 항만의 필요 정박지 용량 분석

정박지 용량 분석 시뮬레이션 모델을 이용하여 우리나라 주요 항만의 정박지 점유 용량을 도출하였다. 그리고 이 결과를 통해 정박지 점유 용량의 평균, 표준편차, 최대값을 도출하고, 정박지 용량 산출식을 이용하여 필요 정박지 용량을 산출하였다.

정박지 용량 분석 대상항만에 대한 선택 기준은 우리나라의 주요 항만의 정박지 중 입항선박 척수가 많고, 정박지를 이용하는 선박 대부분이 복수의 항만을 이용하지 않는 곳을 대상으로 선택하였다. 왜냐하면 입항선박이 많으면 시뮬레이션 모델의 오차를 줄일 수 있고, 정박지를 이용하는 선박이 복수의 항만을 이용할 경우 항만의 물동량, 입항선박 척수와 필요 정박지 용량과의 상관관계 분석 시 오류가 포함될 가능성이 많기 때문이다.

분석 결과 부산항, 포항항, 울산항, 광양항, 대산항 및 동해항이 선택기준에 적합한 항만으로 분석되었으며, 이 항만을 대상으로 정박지 용량 분석을 실시하였다.

정박지 용량 분석 시기는 연도별 정박지 용량 변화를 쉽게 확인할 수 있고, 이후 필요 정박지 용량에 대한 다중회귀분석을 할 때 회귀성을 쉽게 판별할 수 있도록 그 시기를 설정하였다. 그 결과, 2005년~2014년 중 2005년, 2010년 및 2014년 등, 3년을 대상으로 정박지 용량 분석을 실시하였다.

4.4.1 포항항 정박지 용량 분석

4.4.1.1 입력변수 설정

포항항 정박지의 점유용량 분석을 위한 시뮬레이션 입력변수는 Table 29와 같다.

입력변수 조사 결과, 포항항의 입항선박 척수가 2005년에서 2010년은 증가하였으나, 2014년은 감소한 것으로 확인되었다. 또한 정박지에서의 평균 대기시간이 2005년은 24.26시간, 2010년은 28.64시간, 2014년은 32.40시간으로 꾸준히 증가 추세에 있는 것으로 분석되었으며, 정박지 이용선박 톤수도 2005년은 3,976톤, 2010년은 4,534톤, 2014년은 5,436톤으로 계속해서 증가추세에 있는 것으로 확인되었다.

Table 29 The input variables of Pohang port

입력변수		년도	2005	2010	2014
정박지 입항선박 척수(척)			4,044	4,349	3,863
대기시간	로그 정규분포(μ, σ)		2.49, 1.18	2.63, 1.20	3.06, 1.34
	평균 대기시간(시간)		24.26	28.64	32.40
정박지 입항 선박 평균 톤수(톤)			3,976	4,534	5,436
최대풍속의 로그 정규분포(μ, σ)			2.04, 0.33		
수심(m), 저질의 종류			15~26, 진흙(mud)		

4.4.1.2 정박지 용량 분석 결과

시뮬레이션을 통해 포항항 정박지의 점유 용량에 대한 평균값, 표준편차 및 최대값을 도출하고, 시간별 정박지 점유 용량에 대한 누적분포함수를 그래프로 나타내면 Fig. 49와 같다. 그리고 정박지 용량 계산식을 적용하여 최종적으로 필요 정박지 용량을 산출하였으며, 그 결과는 Table 30과 같다.

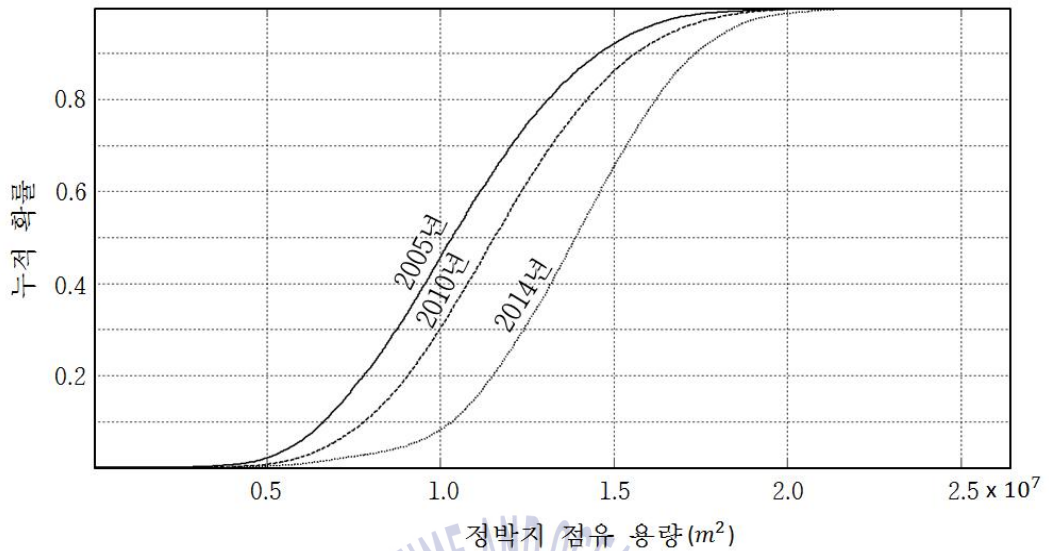


Fig. 49 The CDF analysis of Pohang anchorage occupancy volume

Table 30 The simulation result of Pohang anchorage occupancy volume

년도	분석	정박지 용량 기술 분석			필요 정박지 용량
		평균	표준편차	최대 정박지 용량	
2005	정박지 용량	10,161,600	2,779,200	15,720,000	11,551,200
	표준오차	12,916	9,133		
2010	정박지 용량	11,434,300	3,449,835	18,333,970	13,159,218
	표준오차	14,857	10,506		
2014	정박지 용량	13,030,757	4,929,851	22,890,459	15,495,683
	표준오차	20,479	14,482		

(단위: m²)

분석 결과, 포항항의 필요 정박지 용량은 계속적으로 증가하고 있으며, 이는 정박지를 이용하는 선박의 톤수 규모 증가 및 정박지 대기시간이 길어짐에 따른 결과라고 판단된다.

4.4.2 울산항 정박지 용량 분석

4.4.2.1 입력변수 설정

울산항 정박지의 점유용량 분석을 위한 시뮬레이션 입력변수는 Table 31과 같다.

입력변수 조사 결과, 울산항의 입항선박 척수는 2005년에 11,848척, 2010년에 12,682척, 2014년에 13,001척으로 조사기간 동안 꾸준히 증가한 것으로 확인되었다. 그리고 정박지 이용선박 톤수는 2005년에 3,541톤, 2010년에 4,117톤, 2014년에 4,273톤으로 증가추세에 있는 것으로 확인되었으며, 정박지에서의 평균 대기시간은 2005년은 18.56시간, 2010년은 19.37시간, 2014년은 26.80시간으로 증가한 것으로 분석되었다.

Table 31 The input variables of Ulsan port

입력변수		년도	2005	2010	2014
정박지 입항선박 척수(척)			11,848	12,682	13,001
대기시간	로그 정규분포(μ, σ)		2.24, 1.17	2.30, 1.20	2.45, 1.30
	평균 대기시간(시간)		18.56	19.37	26.80
정박지 입항 선박 평균 톤수(톤)			3,541	4,117	4,273
최대풍속의 로그 정규분포(μ, σ)			2.04, 0.33		
수심(m), 저질의 종류			10~70, mud		

4.4.2.2 정박지 용량 분석 결과

시뮬레이션을 통해 울산항 정박지의 점유 용량에 대한 평균값, 표준편차 및 최대값을 도출하고, 시간별 정박지 점유 용량에 대한 누적분포함수를 그래프로 나타내면 Fig. 50과 같다. 그리고 정박지 용량 계산식을 적용하여 최종적으로 필요 정박지 용량을 산출하였으며, 그 결과는 Table 32와 같다.

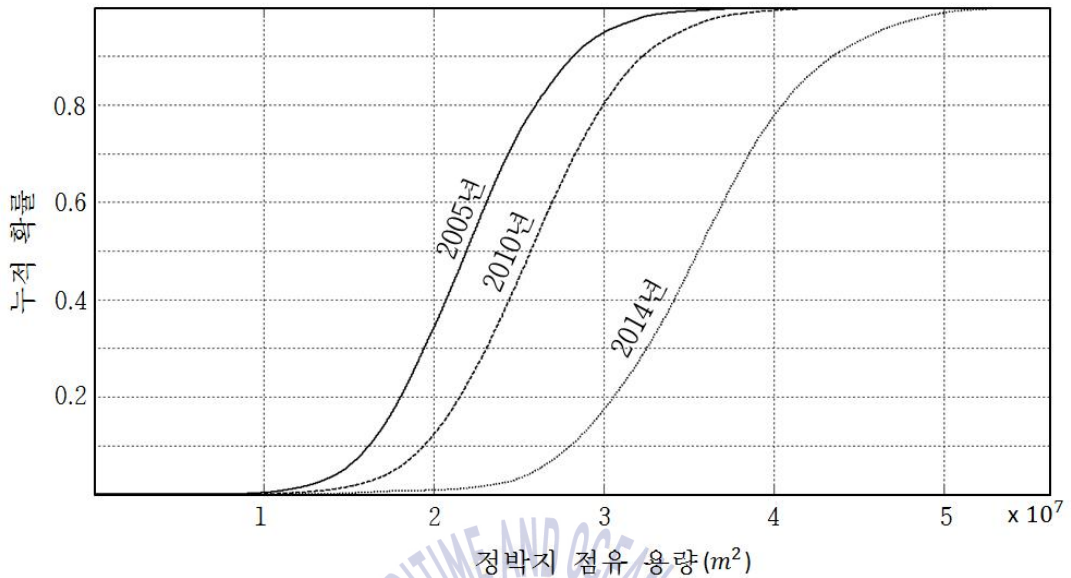


Fig. 50 The CDF analysis of Ulsan anchorage occupancy volume

Table 32 The simulation result of Ulsan anchorage occupancy volume

년도	분석	정박지 용량 기술 분석			필요 정박지 용량
		평균	표준편차	최대 정박지 용량	
2005	정박지 용량	22,771,268	2,530,104	27,831,475	24,036,320
	표준오차	10,780	7,623		
2010	정박지 용량	25,092,457	4,408,410	28,909,278	27,296,662
	표준오차	20,928	14,798		
2014	정박지 용량	35,791,200	6,951,636	49,694,472	39,267,018
	표준오차	29,338	20,745		

(단위: m²)

분석결과, 전체적으로 평균 대기시간, 정박선의 평균 길이와 정박 척수 측면에서 높은 수치를 보였던 2014년에 정박지 필요 정박지 용량이 가장 높은 것으로 분석되었다.

4.4.3 부산항 정박지 용량 분석

4.4.3.1 입력변수 설정

부산항 정박지의 점유용량 분석을 위한 시뮬레이션 입력변수는 Table 33과 같다.

입력변수 조사 결과 부산항의 정박지 대기시간, 선박의 총톤수 규모는 조사기간 동안 꾸준히 증가한 것으로 확인되었다. 그러나 정박지 입항척수는 2005년에 11,592척, 2010년에 11,174척, 2014년에 9,783척으로 감소 추세에 있는 것으로 확인되었다.

Table 33 The input variables of Busan port

입력변수		년도		
		2005	2010	2014
정박지 입항선박 척수(척)		11,592	11,174	9,783
대기시간	로그 정규분포(μ, σ)	2.20, 1.30	2.40, 1.29	2.55, 1.35
	평균 대기시간(시간)	19.48	22.58	24.44
정박지 입항 선박 평균 톤수(톤)		3,383	3,942	4,384
최대풍속의 로그 정규분포(μ, σ)		2.04, 0.33		
수심(m), 저질의 종류		11~60, mud		

4.4.3.2 정박지 용량 분석 결과

시뮬레이션을 통해 부산항 정박지의 점유 용량에 대한 평균값, 표준편차 및 최대값을 도출하고, 시간별 정박지 점유 용량에 대한 누적분포함수를 그래프로 나타내면 Fig. 51과 같다. 그리고 정박지 용량 계산식을 적용하여 최종적으로 필요 정박지 용량을 산출하였으며, 그 결과는 Table 34와 같다.

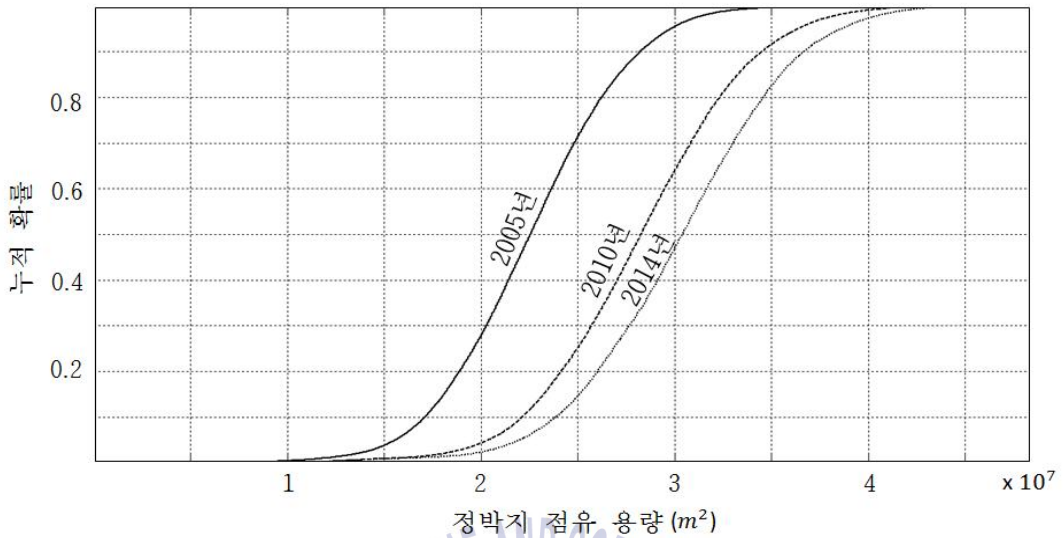


Fig. 51 The CDF analysis of Busan anchorage occupancy volume

Table 34 The simulation result of Busan anchorage occupancy volume

년도	분석	정박지 용량 기술 분석			필요 정박지 용량
		평균	표준편차	최대 정박지 용량	
2005	정박지 용량	23,101,014	1,337,658	25,776,332	23,769,845
	표준오차	10,746	7,599		
2010	정박지 용량	28,236,969	1,474,227	31,185,422	28,974,083
	표준오차	12,681	8,967		
2014	정박지 용량	30,218,676	1,522,721	33,264,117	30,980,037
	표준오차	14,221	10,056		

(단위: m²)

분석결과, 부산항의 필요 정박지 용량은 계속 증가한 것으로 분석되었다. 이는 부산항 정박지를 이용하는 선박이 줄어들고 있음에도 불구하고, 평균 대기시간 및 정박지 이용선박의 평균 길이가 늘어남에 따라서 필요 정박지 용량이 증가하는 것으로 판단된다.

4.4.4 광양항 정박지 용량 분석

4.4.4.1 입력변수 설정

광양항 정박지의 점유용량 분석을 위한 시뮬레이션 입력변수는 Table 35와 같다.

입력변수 조사 결과, 광양항 정박지의 입항선박은 꾸준히 증가하고 있는 추세에 있으며, 정박지 대기시간도 2005년에 20.00시간, 2010년에 27.70시간, 2014년에 29.09시간으로 늘어난 것으로 확인되었다. 또한 정박선의 평균 총톤수도 2005년에 3,738톤, 2010년에는 4,237톤, 2014년에는 5,046톤으로 점점 대형선의 입항이 증가하고 있는 것으로 확인되었다.

Table 35 The input variables of Kwangyang port

입력변수		년도	2005	2010	2014
정박지 입항선박 척수(척)			11,255	11,924	12,529
대기시간	로그 정규분포(μ, σ)		2.20, 1.33	2.45, 1.32	2.57, 1.34
	평균 대기시간(시간)		20.00	27.70	29.09
정박지 입항 선박 평균 톤수(톤)			3,738	4,237	5,046
최대풍속의 로그 정규분포(μ, σ)			2.04, 0.33		
수심(m), 저질의 종류			12~15, mud		

4.4.4.2 정박지 용량 분석 결과

시뮬레이션을 통해 광양항 정박지의 점유 용량에 대한 평균값, 표준편차 및 최대값을 도출하고, 시간별 정박지 점유 용량에 대한 누적분포함수를 그래프로 나타내면 Fig. 52와 같다. 그리고 정박지 용량 계산식을 적용하여 최종적으로 필요 정박지 용량을 산출하였으며, 그 결과는 Table 36과 같다.

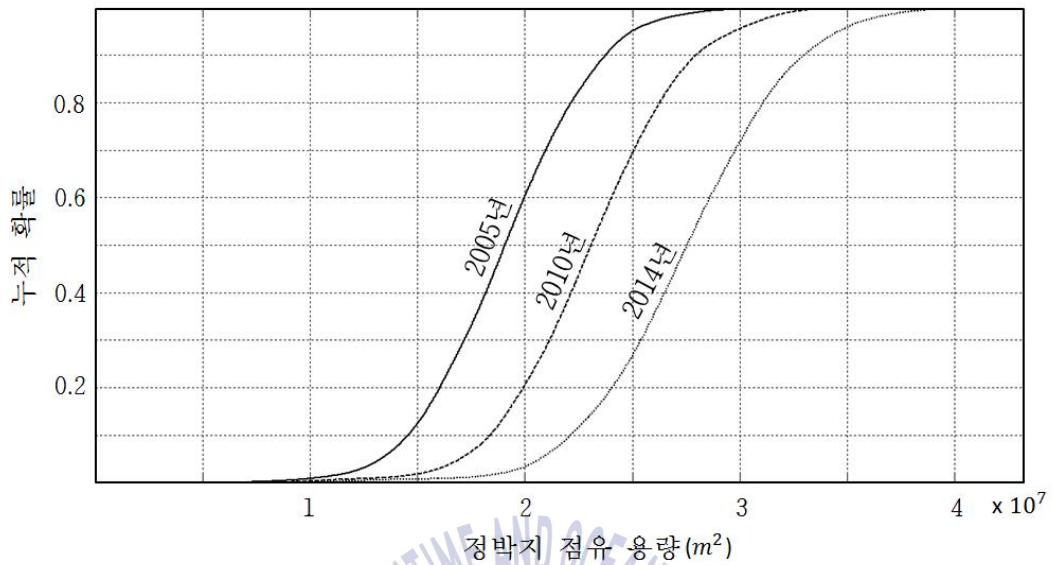


Fig. 52 The CDF analysis of Kwangyang anchorage occupancy volume

Table 36 The simulation result of Kwangyang anchorage occupancy volume

년도	분석	정박지 용량 기술 분석			필요 정박지 용량
		평균	표준편차	최대 정박지 용량	
2005	정박지 용량	19,130,514	3,765,315	26,661,144	21,013,172
	표준오차	8,959	6,334		
2010	정박지 용량	23,285,571	4,715,177	32,715,926	25,643,160
	표준오차	10,173	7,194		
2014	정박지 용량	27,464,915	5,879,130	39,223,175	30,404,480
	표준오차	11,749	8,308		

(단위: m²)

분석 결과, 광양항의 필요 정박지 용량은 계속적으로 증가하고 있으며, 이는 정박지를 이용하는 선박의 톤수 규모 증가 및 정박지 대기시간이 길어짐에 따른 결과라고 판단된다.

4.4.5 대산항 정박지 용량 분석

4.4.5.1 입력변수 설정

대산항 정박지의 점유용량 분석을 위한 시뮬레이션 입력변수는 Table 37과 같다.

입력변수 조사 결과, 대산항의 입항선박 척수는 2005년에 2,794척, 2010년에 3,168척, 2014년에 3,840척으로 계속적으로 증가한 것으로 확인되었다. 또한 정박지에서의 평균 대기시간이 2005년은 16.3시간, 2010년은 22.6시간, 2014년은 25.9시간으로 꾸준히 증가 추세에 있는 것으로 분석되었으며, 정박지 이용선박 톤수도 계속해서 증가추세에 있는 것으로 확인되었다.

Table 37 The input variables of Daesan port

입력변수		년도		
		2005	2010	2014
정박지 입항선박 척수(척)		2,794	3,168	3,840
대기시간	로그 정규분포(μ, σ)	2.23, 1.06	2.60, 1.12	2.58, 1.16
	평균 대기시간(시간)	16.30	22.60	25.90
정박지 입항 선박 평균 톤수(톤)		2,678	3,520	4,779
최대풍속의 로그 정규분포(μ, σ)		2.04, 0.33		
수심(m), 저질의 종류		12~15, mud		

4.4.5.2 정박지 필요 용량 출력 결과

시뮬레이션을 통해 대산항 정박지의 점유 용량에 대한 평균값, 표준편차 및 최대값을 도출하고, 시간별 정박지 점유 용량에 대한 누적분포함수를 그래프로 나타내면 Fig. 53과 같다. 그리고 정박지 용량 계산식을 적용하여 최종적으로 필요 정박지 용량을 산출하였으며, 그 결과는 Table 38과 같다.

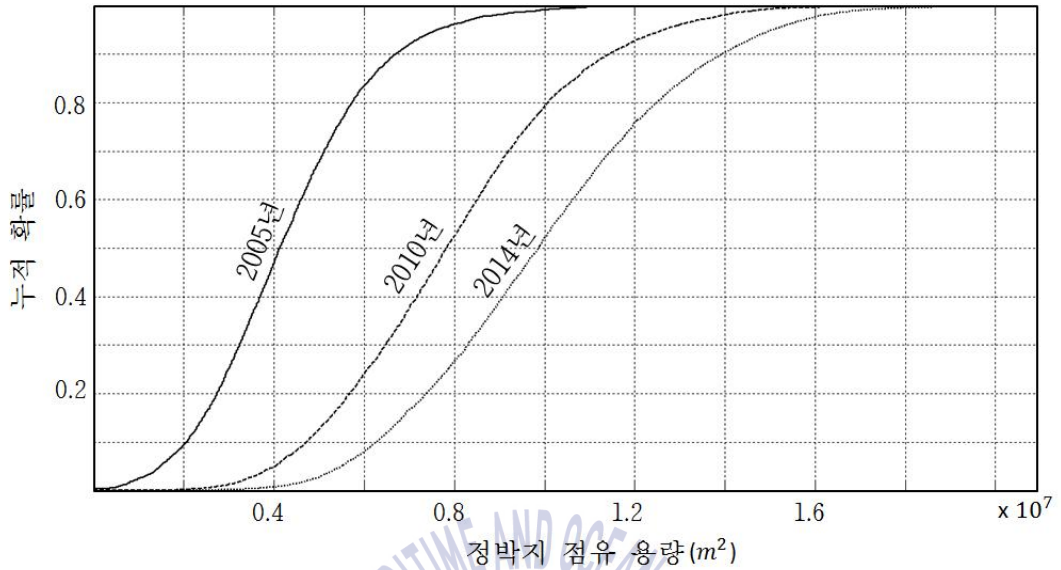


Fig. 53 The CDF analysis of Daesan anchorage occupancy volume

Table 38 The simulation result of Daesan anchorage occupancy volume

년도	분석	정박지 용량 기술 분석			필요 정박지 용량
		평균	표준편차	최대 정박지 용량	
2005	정박지 용량	4,356,754	1,492,264	7,341,281	5,102,886
	표준오차	9,368	6,625		
2010	정박지 용량	8,095,850	2,324,580	12,745,012	9,258,142
	표준오차	12,560	8,882		
2014	정박지 용량	10,702,800	2,860,140	16,423,080	12,132,870
	표준오차	13,496	9,543		

(단위: m²)

분석 결과, 대산항의 필요 정박지 용량은 계속적으로 증가하고 있으며, 이는 정박지를 이용하는 선박의 톤수 규모 증가 및 정박지 대기시간이 길어짐에 따른 결과라고 판단된다.

4.4.6 동해항 정박지 용량 분석

4.4.6.1 입력변수 설정

동해항 정박지의 점유용량 분석을 위한 시뮬레이션 입력변수는 Table 39와 같다.

입력변수 조사 결과, 동해항 정박지의 입항선박은 2005년에 724척, 2010년에 965척, 2014년에 1,349척으로 꾸준히 증가하고 있는 추세에 있으며, 정박지 대기시간도 2005년에 18.29시간, 2010년에 32.67시간, 2014년에 51.83시간으로 대폭 늘어난 것으로 확인되었다. 또한 정박지 이용선박의 평균 톤수도 2005년에 3,129톤, 2010년에 7,094톤, 2014년에 8,951톤으로 조사되어, 동해항 정박지를 이용하는 선박이 대형화되고 있는 것으로 분석되었다.

Table 39 The input variables of Donghae port

입력변수		년도	2005	2010	2014
		정박지 입항선박 척수(척)		724	965
대기시간	로그 정규분포(μ, σ)		2.27, 1.10	2.62, 1.32	2.77, 1.42
	평균 대기시간(시간)		18.29	32.67	51.83
정박지 입항 선박 평균 톤수(톤)			3,129	7,094	8,951
최대풍속의 로그 정규분포(μ, σ)			2.04, 0.33		
수심(m), 저질의 종류			12~15, mud		

4.4.6.2 정박지 필요 용량 출력 결과

시뮬레이션을 통해 동해항 정박지의 점유 용량에 대한 평균값, 표준편차 및 최대값을 도출하고, 시간별 정박지 점유 용량에 대한 누적분포함수를 그래프로 나타내면 Fig. 54와 같다. 그리고 정박지 용량 계산식을 적용하여 최종적으로 필요 정박지 용량을 산출하였으며, 그 결과는 Table 40과 같다.

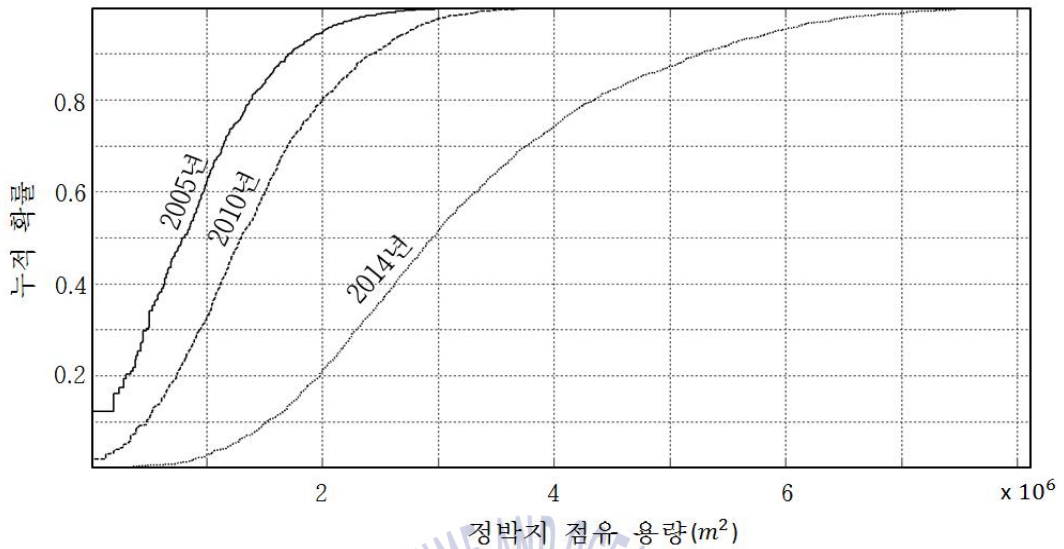


Fig. 54 The CDF analysis of Donghae anchorage occupancy volume

Table 40 The simulation result of Donghae anchorage occupancy volume

년도	분석	정박지 용량 기술 분석			필요 정박지 용량
		평균	표준편차	최대 정박지 용량	
2005	정박지 용량	840,871	119,272	1,079,417	900,508
	표준오차	18,247	12,909		
2010	정박지 용량	1,382,763	172,299	1,727,363	1,468,914
	표준오차	23,505	16,627		
2014	정박지 용량	3,137,565	301,356	3,740,277	3,288,243
	표준오차	17,224	6,534		

(단위: m²)

분석결과, 2005년부터 2014년까지 필요 정박지 용량이 계속 증가한 것으로 분석되었으며, 이는 정박지를 이용하는 선박의 톤수 규모 증가 및 정박지 대기시간 뿐 아니라 입항선박 척수가 증가함에 따른 결과라고 판단된다.

4.4.7 정박지 용량 분석 결과

우리나라 주요 항만의 정박지에 대하여 필요 정박지 용량 분석 결과를 정리해 보면 Table 41 및 Fig. 55와 같다.

필요 정박지 용량을 분석한 결과를 요약하면 울산항은 2014년에 39.27km²로 가장 높으며, 동해항이 3.29km²(2014년 기준)로 가장 낮은 것을 알 수 있다. 또한 6개 항만 모두 필요 정박지 용량이 년도에 따라서 꾸준히 상승한 것으로 볼 때, 향후 정박지 확대 필요성이 제기되는 항만이 지속적으로 증가할 것으로 판단된다.

Table 41 Summary of necessary occupancy volume of anchorage

항만 \ 년도	포항항	울산항	부산항	광양항	대산항	동해항
2005	11.55	24.04	23.77	21.01	5.10	0.90
2010	13.16	27.30	28.97	25.64	9.26	1.47
2014	15.50	39.27	30.98	30.40	12.13	3.29

(단위: km²)

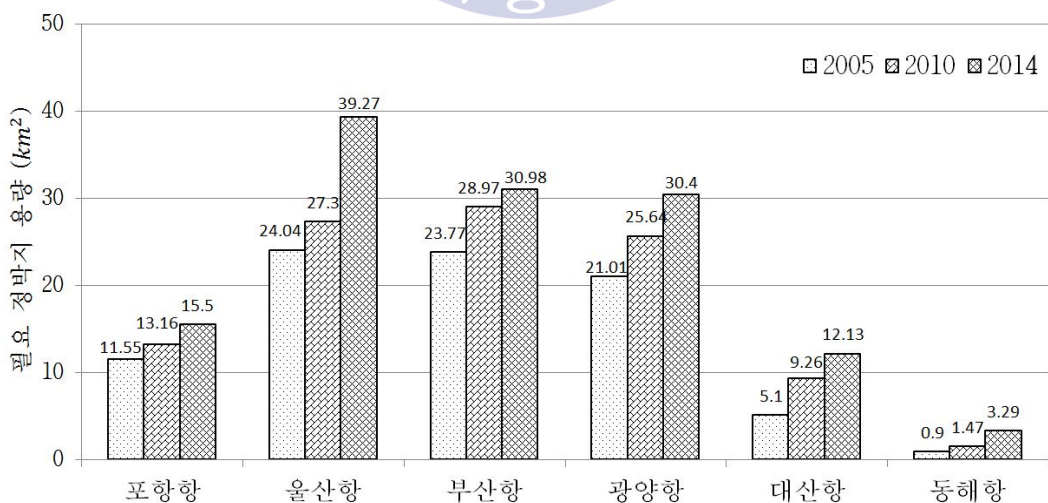


Fig. 55 The comparison of necessary occupancy volume of anchorage

정박지 용량 분석을 통해 도출된 2014년의 필요 정박지 용량과 실제 정박지 면적을 비교하면 Table 42 및 Fig. 56과 같다.

Table 42 The comparison of necessary occupancy volume and current anchorage area

용 량 \ 항 만	포항항	울산항	부산항	광양항	대산항	동해항
필요 정박지 용량 (km ²)	15.50	39.27	30.98	30.40	12.13	3.29
현재 정박지 용량 (km ²)	32.55	34.36	45.17	52.28	18.63	4.89
현재 용량 대비 필요 정박지 용량 비율 (%)	47.62	114.29	68.59	58.14	65.11	67.28

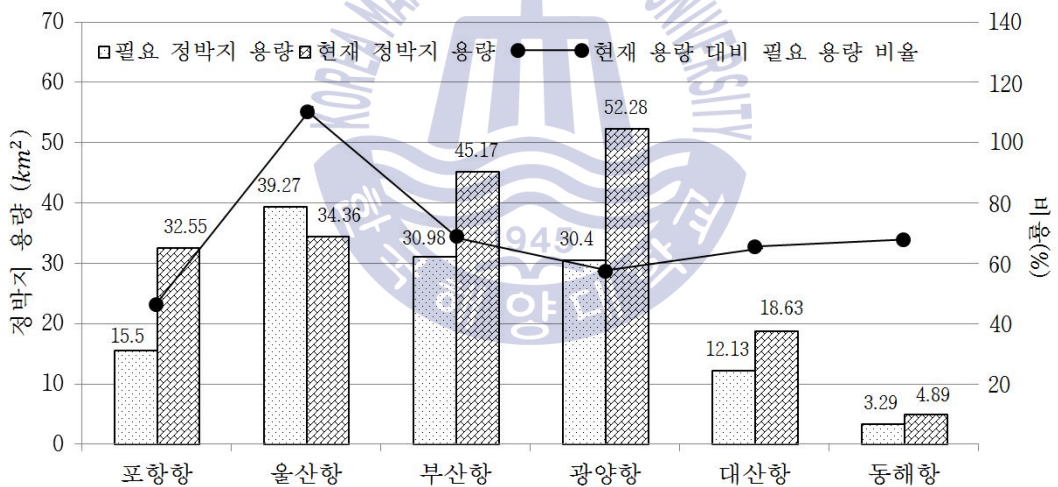


Fig. 56 The comparison analysis of necessary occupancy volume and current anchorage area

분석 결과, 울산항의 경우 실제 정박지 면적 대비 필요 정박지 용량 비율이 114.29%로 정박지가 수용할 수 있는 규모 이상의 선박이 정박지를 사용하고 있는 것으로 분석되었다. 또한 향후 정박지 이용선박 증가 또는 대기시간 증가, 정박지 입항선박 규모가 커질 경우 추가적인 정박지 지정이 필요할 것으로

확인되었다.

부산항, 울산항, 광양항, 대산항, 포항항의 필요 정박지 용량은 실제 정박지 면적의 약 47%~68% 수준으로 2014년까지는 충분한 수준의 정박지가 확보되어 있다고 볼 수 있으나, 향후 정박지 입항선박의 척수 및 총톤수 증가와 대기시간 등이 증가할 경우, 추가적인 정박지 지정이 필요할 것으로 판단된다.



제5장 정박지 용량 설계기준 수립

정박지 용량은 정박지를 이용하는 선박의 척수, 규모, 대기시간 및 해당 수역의 환경조건에 따라서 결정되며, 정박지 이용 선박의 규모는 다시 항만의 물동량, 입항선박 척수, 선석 규모 등에 따라 결정되는 상관관계를 가지고 있다. 따라서 항만의 현황과 제4장에서 제시한 필요 정박지 용량과의 관계를 분석하여 설계기준으로 제시한다면, 본 연구의 목적인 정박지 용량 설계기준 제시를 통한 항만개발 시의 정박지 용량 적정성 검토가 가능할 것이라고 판단된다. 이를 위해 본 논문에서는 정박지 용량 설계기준 제시를 위해 독립변수와 종속변수를 기반으로 변수(변인) 간의 함수관계를 밝히고, 이러한 함수관계를 이용하여 관심의 대상인 변수 값을 예측하기 위한 목적으로 가장 널리 사용되고 있는 통계분석기법인 회귀분석을 사용하였다.

정박지 용량 설계기준 수립을 위한 회귀분석 절차는 Fig. 57과 같으며, 그 세부내용은 다음과 같다.

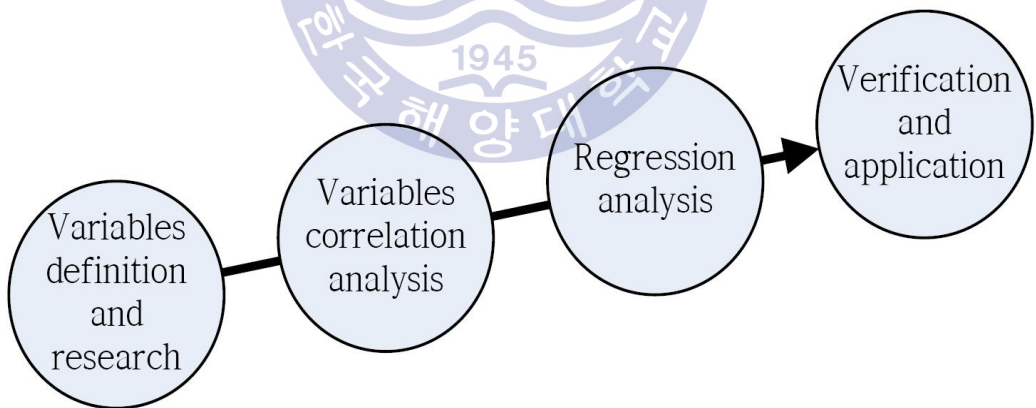


Fig. 57 Research procedures for regression analysis

회귀분석의 연구수행 절차는 첫 번째로 변수를 정의하고 조사하는 단계(Variables definition and research)이다. 즉, 제4장에서 도출한 필요 정박지 용량과 이와 인과관계가 있을 것으로 판단되는 변수를 정의하고, 정의한

자료를 수집하는 과정이다.

두 번째는 정의한 변수에 대한 상관관계를 분석하는 단계(Variables correlation analysis)이다. 이는 한 변수가 커지거나 혹은 작아질 때, 다른 변수의 변화 정도와 방향을 살펴봄으로써 변수 간의 관련성을 분석하고, 상관관계가 낮은 변수는 분석에서 제외함으로써, 회귀분석 실시 이전에 오류를 차단하기 위해 실시하는 과정이다.

마지막으로 회귀분석(Regression analysis)을 실시하여 정박지 용량 설계기준을 도출하고, 이 모델에 대한 유의성 검증(Verification)을 통해, 설계기준으로서 적합한 경우 실제 항만에 이를 적용(Application)하는 단계이다.

이러한 정박지 용량기준 제시를 위한 절차에 따라 회귀분석을 실시하고, 미래 항만 상황에 따른 필요 정박지 용량을 제시하여, 정박지 규모의 적정성을 분석하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

5.1 통계분석의 이론적 고찰

5.1.1 상관분석

변수 간의 밀접한 정도 즉, 상관관계를 분석하는 통계적 분석방법이 바로 상관관계 분석(Correlation Analysis)이다. 즉, 회귀분석에서 변수 사이의 관계식이 어느 정도 신빙성이 있는가를 살펴보는 것이라 할 수 있으며, 회귀분석에는 상관관계 분석이 필수적으로 수반되어야 한다. 이러한 상관분석에 있어서 두 변수 간의 상관관계를 알고 싶을 때, 우선적으로 산점도를 그려보고 필요에 따라 Pearson 상관계수, 편상관계수, Spearman 상관계수, 그리고 Kendall의 타우 등을 분석하여 볼 수 있다. 이 중 Pearson 상관계수는 두 변수가 모두 연속형 변수나 비율 척도인 경우에 두 변수 간에 단순상관계수를 구하여 사용한다(김진원, 2012).

Spearman 상관계수와 Kendall의 타우는 순서 척도 변수들 간의 상관관계를 계산하여 준다. Pearson 상관계수는 처음 K. Pearson에 의해서 고안된 상관

관계의 척도로서 Pearson 상관분석 또는 단순 상관분석이라고 부르며, 일반적으로 상관계수라 하면 Pearson 상관계수를 뜻한다. 이 상관계수 r 은 식 (20)을 통해 도출한다(이병훈, 2012).

$$r = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \times \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (20)$$

여기서, n : 표본크기

두 변수 간의 모집단 분포에서의 상관계수 r 이 취하는 범위는 -1.0에서 +1.0사이에 있게 된다. 상관계수 r 이 $-1.0 < r < 0$ 의 범위에 있을 때는 음상관이라고 하고, $0 < r < 1.0$ 의 범위이면 양상관이라고 한다. 상관계수가 0이면 무상관이라고 하며, $r=1.0$ 이면 완전상관이라 한다.

본 논문에서는 Pearson 상관계수를 이용하여 변수 간의 상관관계를 분석하고, 상관계수의 유의수준이 0.05 이하 기준을 만족하는 변수를 추출하여 회귀분석에 이용하였다.

5.1.2 다중회귀분석

회귀분석은 독립변수(Independent Variable)와 종속변수(Dependent Variable) 간의 관계를 검증하여 독립변수가 종속변수에 미치는 영향력을 알아보거나, 독립변수의 변화에 따라 종속변수의 변화를 예측하기 위해서 사용되는 통계적 분석방법이다. 회귀분석은 독립변수의 개수에 따라 독립변수가 한 개인 경우에는 단순 회귀분석(Simple Regression Analysis), 둘 이상인 경우는 다중 회귀분석(Multiple Regression Analysis)이라 한다. 단순 회귀모형은 하나의 독립변수와 종속변수로 구성된다. 그러나 실제로 단일 요인에 의해서 결정되는 현상은 매우 드물며, 대부분 인과관계 구조는 여러 요인들로 복잡하게 얽혀

있기 마련이기 때문에 다수의 독립변수를 모형에 포함시키는 다중 회귀분석이 불가피해진다. 이러한 다중 회귀분석은 오차분산(Error Variance)을 줄이고 종속변수에 대한 보다 충실한 설명이나 예견이 가능하고, 다른 독립변수의 값을 통제된 상태에서 특정 독립변수가 종속변수에 독립적으로 행사하는 영향력을 측정할 수 있으므로, 각 독립변수가 종속변수에 미치는 효과의 상대적인 비교보다 정밀한 인과관계의 분석이 가능하다는 장점을 가진다. 즉, 회귀분석기법은 가능한 모든 자료를 사용하여 통계적인 추론을 가능하게 한다는 특징을 가지고 있으며, 다른 기법에 비해 정확한 추정 및 예측의 틀을 제공할 수 있다는 장점이 있다(김윤식, 2010).

독립변수의 수가 k 개인 다중회귀 모형의 기본식은 식 (21)과 같이 표현된다.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (21)$$

단, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$: 모집단의 회귀계수(Standardized Beta Coefficient)

$X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_k$: 독립변수

ϵ_i : 오차항

다중 회귀분석에서 독립변수를 선정하는데 필요한 과정은 크게 3가지로 구분된다. 첫 번째는 종속변수에 영향을 미치는 독립변수가 통계적으로 유의한지를 판단하는 과정이다. 해당 변수가 통계적으로 유의한지를 검정하기 위해서는 해당 독립변수가 통계적으로 활용이 가능하도록 데이터를 선형적 관계에 있는지 확인하고, 비선형적 관계에 있는 경우 선형화가 가능하도록 척도 등을 수정하여 독립변수 데이터 그룹으로 활용을 하게 된다. 두 번째는 변수간의 상관관계 분석 및 종속변수와의 관계를 검토하여 비합리적인 변수는 제거하는 단계이다. 다중 회귀분석의 가장 큰 특징은 여러 가지 독립변수가 하나의 종속변수에 미치는 그 영향의 확인이 가능하다는 점인데, 여기서 전제조건은 각 독립변수가 하나의 종속변수에 일정 이상 동일한 영향을 미치는

경우에는 다중회귀식의 성립이 어렵다는 점이다. 세 번째는 이러한 독립 변수를 제거한 후 최종적인 독립변수 세트를 결정하고, 다양한 다중 회귀분석의 방법을 통해 회귀식을 완성하게 되는 것이다(김진언, 2014).

다중 회귀분석에서 독립변수를 투입하는 방법은 크게 선택 입력방식, 전진 입력방식, 후진 입력방식 및 단계적 입력방식으로 구분할 수 있으나, 본 논문에서는 다른 독립변수들이 통제된 상태에서 특정 독립변수의 영향력을 알 수 있고, 연구자가 고려하는 모든 독립변수들이 종속변수의 설명 정도를 동시에 확인할 수 있는 모두 입력방식(All positive selection)을 사용하였다.

5.1.3 회귀식 검증 방법

5.1.3.1 다중 공선성(Coefficient of correlation)

회귀분석을 이용하여 모형을 구축할 때, 기본적인 가정 중 하나는 독립변수들이 확률변수가 아닌 상수변수라고 가정하므로 입력변수들은 서로 독립성을 가지고 있다는 것이다. 이러한 가정이 무시될 때 발생하는 문제점이 바로 다중 공선성의 존재 여부이다(박지훈, 2010).

필요 정박지 용량 설계기준 수립을 위한 예측모형을 구축할 때 사용되는 독립변수들은 서로 상관관계가 존재한다. 이러한 상관관계가 매우 높은 독립변수를 동시에 사용한다면, 예측모형의 적합성은 높아지겠지만 통계적인 의미를 갖지 못할 수도 있다. 따라서 이러한 회귀분석에서 다중공선성 문제를 해결하기 위해 분산팽창계수(VIF: Variance Inflation Factor)를 확인하는 것이다(이종록, 2016). 일반적으로 분산팽창계수 값이 통상적으로 10 이상이면 다중 공선성이 있다고 판단하며, VIF의 역변환 값인 허용치(Tolerance)는 0.1보다 작으면 다중 공선성이 있다고 판단한다.

5.1.3.2 결정계수

결정계수(Coefficient of Determination)는 종속변수에 대한 독립변수의 설명력의 크기를 나타낸다. 즉, 종속변수의 분산 중에서 회귀식으로 설명되는

분산의 비율을 의미하며, 결정계수를 산정하기 위한 수식은 식 (22)와 같다.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{SST - SSE}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (22)$$

여기서 R^2 : 결정계수

SST : 편차의 총 제곱합

SSR : 회귀식으로 설명된 회귀 제곱합

SSE : 설명 안 된 오차의 제곱합

결정계수는 종속변수의 총 변동에 대한 독립변수들의 설명력의 크기를 나타내는 척도이기 때문에 $0 \leq R^2 \leq 1$ 의 범위를 갖게 된다. 결정계수 R^2 의 값이 1에 가까울수록 독립변수의 설명력이 크고 추정된 회귀식의 적합도가 높다는 것을 의미하며, 반대로 0에 가까워질수록 설명력이 약해지고 적합도도 떨어지게 된다(강남준과 김두섭, 2008).

정박지 용량 설계기준 수립을 위한 회귀분석 시 결정계수의 판단기준은 계수가 0.6 이상일 때 모델의 유용성이 확보된 것으로 판단하였다.

5.1.3.3 유의수준 검증

다중회귀모형에서 F 값이 유의하게 나온다면 두 개 이상의 독립변수가 종속변수를 통계적으로 유의하게 설명한다는 것을 의미하며, 여기서 F 값은 회귀식 자체가 유의한가를 확인하는 것이다. 그러나 F 값만으로 어느 독립변수가 통계적으로 유의한 독립변수인지 알 수 없기 때문에 다중회귀모형에서는 각 회귀계수들에 대한 유의수준 검증이 필수적으로 이루어져야 한다(김재호, 2013). 여기서, 유의수준이란 잘못된 판단할 가능성의 최대허용 한계치를 의미하며, 회귀계수의 유의수준(Significance Level)은 확률로 표현된 신뢰구간을 통하여 검증한다.

정박지 용량 기준 수립을 위한 회귀분석에서는 회귀계수에 대한 유의수준이 0.05 이내일 경우 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

5.1.3.4 오차항의 독립성 검정

오차항 간에 상관관계가 존재하여 변수의 독립성이 만족되지 않을 경우, 이를 자기상관(autocorrelation)이라고 한다. 이러한 오차항의 독립성 검증은 Durbin-Watson 통계량에 의하여 검정하며, 그 기준은 아래와 같이 계수가 2에 가까울수록 자기상관이 없으며, 0과 4에 가까울수록 각각 양과 음의 자기상관이 존재한다고 본다.

Durbin Watson 계수가 0에 가까울 경우 : 양의 자기상관이 존재
2에 가까울 경우 : 자기상관이 없음
4에 가까울 경우 : 음의 자기상관이 존재

정박지 용량 설계기준 수립을 위한 회귀분석 시 Durbin-Watson 계수가 1~3 사이일 때 오차항의 독립성을 만족한다고 판단하였다.

5.2 정박지 용량 분석을 위한 다중 회귀분석

5.2.1 변수 정의 및 자료 조사

필요 정박지 용량 설계기준 모델을 수립하기 위한 첫 번째 과정은 종속변수와 독립변수를 정의하고, 이에 대한 자료를 수집하는 것이다. 이를 위해 Table 43과 같이 제4장에서 도출한 필요 정박지 용량을 종속변수로 정의하고, 독립변수는 정박지 용량에 영향을 미칠 것으로 판단되는 항만의 입항선박 척수, 항만물동량, 항만 선석 수, 총 부두길이 및 정박지 입항 척수를 선정하였다.

사실 독립변수의 선정은 관련 전문가 혹은 종사자의 의견수렴을 거쳐 식별하는 것이 변수의 누락을 최소한으로 할 수 있어 일반적으로 사용하는

방법이다. 그러나 정박지를 이용하는 선박은 대부분 항만의 입·출항 대기하는 선박이며, 이러한 입·출항 대기는 항만의 상황과 밀접한 관계가 있다고 판단된다. 따라서 특별한 설문조사 없이 선박과 항만의 관계를 관련지을 수 있는 모든 요인(변수)들에 대하여 자체적으로 독립변수와 종속변수로 정의하였다.

Table 43 The definition of variables

구분	변수명	단위	변수 정의
종속변수	정박지 용량	m ²	항만에 필요한 정박지 면적
독립변수	항만입항 선박	척	연간 총 입항선박 척수
	정박지 입항 척수	척	정박지에 입항한 선박 척수
	항만 물동량	천톤	연간 항만 물동량
	항만 안벽길이	m	항만의 총 안벽길이
	접안능력	척	접안가능 척수

회귀분석의 독립변수로서 정의한 변수에 대한 자료 조사를 위해 Table 44와 같이 항만운영 정보시스템, 정보공개 시스템 및 해양수산부 통계시스템을 이용하였으며, 그 결과는 Table 45와 같다.

Table 44 Method for independent variables research

변수	자료조사 매체
항만입항 척수	지방해양수산청 Port-Mis(항만운영정보시스템)
정박지 입항 척수	지방해양수산청 Port-Mis(항만운영정보시스템)
항만 물동량	해양수산부 통계 시스템
항만 안벽길이	지방해양수산청 정보공개 시스템
접안능력	지방해양수산청 통계연보

Table 45 The research of dependent and independent variables

항만 시설	년도	종속변인	독립변인				
		필요 정박지 용량 (m ²)	항만 입항 선박 (척)	정박지 입항선박 (척)	항만 물동량 (천톤)	안벽길이 (m)	접안능력 (척)
포항항	2005	11,551,200	9,043	4,044	54,692	9,231	44
	2010	13,159,218	8,968	4,349	63,108	11,062	52
	2014	15,495,683	6,783	3,863	65,241	11,551	54
울산항	2005	24,036,320	25,710	11,848	162,414	15,432	91
	2010	27,296,662	25,543	12,682	171,664	18,038	100
	2014	39,267,018	25,717	13,001	191,717	19,948	114
부산항	2005	23,769,845	48,343	11,592	217,217	19,948	113
	2010	28,974,083	52,511	11,174	262,070	30,609	162
	2014	30,980,037	47,718	9,783	346,590	29,285	123
광양항	2005	21,013,172	21,713	11,255	177,483	14,790	70
	2010	25,643,160	22,915	11,924	206,691	19,158	88
	2014	30,404,480	23,371	12,529	253,256	24,645	101
대산항	2005	5,102,886	4,884	2,794	44,720	140	19
	2010	9,258,142	5,729	3,168	66,122	600	23
	2014	12,132,870	7,171	3,840	72,900	7,915	29
동해항	2005	900,508	4,806	581	19,923	4,553	21
	2010	1,468,914	3,696	844	28,030	776	7
	2014	3,288,243	4,225	1,093	32,540	4,407	23

변수조사 결과, 항만 입항 선박 척수는 부산항이 가장 많으며, 정박지 입항 선박은 울산항이 가장 많은 것으로 확인되었다. 또한 항만의 규모를 나타내는 수치인 안벽길이는 부산항이 가장 길며, 이에 따라 선박의 접안 능력 또한 부산항이 가장 높은 것을 알 수 있다.

5.2.2 상관분석

다중 회귀분석 모형에 사용되는 변수들의 관계성 정도를 알아보기 위해 통계적 분석 패키지 프로그램인 IBM SPSS Statistics Version. 20을 활용하여 상관분석을 실시하였으며, 그 결과는 Table 46과 같다.

Table 46 The result of correlation analysis

변수	통계값	필요 정박지 용량	항만 입항 선박	정박지 입항 선박	항만 물동량	안벽 길이	접안 능력
	정박지 용량	상관계수 유의수준	1 0.00	0.78 0.00	0.94 0.00	0.88 0.00	0.90 0.00
항만입항 선박	상관계수 유의수준	0.78 0.00	1 0.00	0.78 0.00	0.91 0.00	0.89 0.00	0.93 0.00
정박지 입항선박	상관계수 유의수준	0.94 0.00	0.78 0.00	1 0.00	0.86 0.00	0.84 0.00	0.88 0.00
항만 물동량	상관계수 유의수준	0.88 0.00	0.91 0.00	0.86 0.00	1 0.00	0.94 0.00	0.91 0.00
안벽길이	상관계수 유의수준	0.90 0.00	0.89 0.00	0.84 0.00	0.94 0.00	1 0.00	0.96 0.00
접안능력	상관계수 유의수준	0.91 0.00	0.93 0.00	0.88 0.00	0.91 0.00	0.96 0.00	1

회귀분석을 위한 변수의 상관관계 분석 결과 정박지 용량, 항만입항 척수, 정박지 입항 척수, 항만 물동량, 항만안벽 길이 및 접안능력 모두 높은 양의 상관관계를 나타냈다. 그리고 Pearson 상관계수 비교·분석을 통해 각 변수와 필요 정박지 용량과의 상관관계가 높은 순서대로 나열하면 정박지 입항 선박, 접안능력, 안벽길이, 항만 물동량, 항만 입항 선박 순이며, 상관계수가 모두 0.7 이상으로 매우 높은 상관관계가 있는 것으로 분석된다. 또한 각 Pearson 상관계수에 대한 유의확률은 모두 0.001 이하로 나타나, 통계적으로 유의한 상관관계인 것으로 나타났다. 따라서 상관관계 분석에서는 종속변수에 대한 독립변수의 상관관계가 매우 높게 확인되었기 때문에, 다중 회귀분석 시 독립변수로 정의한 5개 항목 모두에 대하여 분석을 실시하였다.

5.2.3 다중 회귀분석

정박지 용량 설계기준 수립을 위해 실시한 다중 회귀분석은 통계적 분석 패키지 프로그램인 IBM SPSS Statistics Version. 20을 활용하여 실시하였다.

회귀분석에 있어서 독립변수를 분석에 입력하는 방법은 모두 입력방식을 사용하였다. 그리고 도출된 회귀식의 통계적 적정성 검증을 위해 모형 요약, 회귀식의 적합성 검정을 위한 분산 분석, 그리고 회귀계수의 적합성 검증을 위한 계수 분석을 실시하였다.

5.2.3.1 결정계수 분석

회귀분석에 통해 도출된 결정계수 결과는 Table 47과 같다.

Table 47 Model summary of multiple regression equation

모델	R	R ²	수정된 R ²	표준 추정값 오류	Durbin-Watson
1	0.98	0.96	0.94	2,879,985.25	2.07

모델식의 결정계수 분석 결과, 독립변수가 종속변수를 얼마나 설명하는지를

의미하는 통계량인 R^2 (설명력)과 수정된 R^2 이 각각 0.96, 0.94로 매우 높은 설명력을 보였으며, 0.6이상의 수치를 나타내어 회귀식에 있어서 독립변수의 적정성은 확보된 것으로 분석된다. 또한 Durbin-Watson 통계량 계수가 2.07로 도출되어, 회귀식에 대한 잔차의 독립성은 문제없는 것으로 도출되었다.

5.2.3.2 분산 분석

회귀모델의 유의성 검토를 위한 분산 분석 결과, Table 48과 같이 F값에 대한 유의수준이 0.000로 도출되어, 귀무가설(회귀식이 유의하지 않다)을 기각하고 대립가설(회귀식이 유의하다)이 채택됨으로써 회귀모델이 통계적으로 의미가 있음을 확인하였다.

Table 48 Analysis of variance of Multiple regression equation

모형	항목	제곱합	자유도	평균제곱	F	p
1	회귀분석	2.15E+15	5	4.30E+14	51.84	0.000
	잔차	9.95E+13	12	8.29E+12		
	총계	2.25E+15	17			

5.2.3.3 계수 분석

회귀계수의 유의성 검토 결과, Table 49와 같이 공선성 통계의 분산팽창계수(VIF)를 보면, 항만 입항선박 척수, 항만 물동량, 안벽길이, 접안능력은 10 이상이고, 정박지 입항선박 척수는 10 미만으로서, 모델식의 독립변수 중 정박지 입항선박 척수 자료만 다중공선성에서 문제가 없는 것으로 분석되었다. 또한 계수 분석을 통해 도출된 유의수준을 분석한 결과, 회귀계수 중 유의수준 만족 기준인 0.05 이하를 나타낸 변수는 항만 입항 선박 척수, 접안능력인 것으로 분석되었다.

따라서 회귀식의 계수에 대한 유의성 검증에서 회귀계수의 대립가설이 채택된 독립변수는 항만 입항 선박 척수와 접안능력이다. 그러나 해당 변수가

다중 공선성을 만족하지 못하므로 계수분석에 있어서는 전체적으로 회귀모델이 적절하지 않은 것으로 판단된다.

Table 49 The coefficients analysis of multiple regression equation

모형	항목	비표준 계수		표준 오차	t	p값	공선성 통계	
		B	표준 오차	β			허용 오차	VIF
1	(상수)	-853,243.70	1,428,983.36		-0.60	0.56		
	항만 입항선박 척수	-523.15	171.20	-0.74	-3.06	0.01	0.06	15.90
	정박지 입항선박 척수	735.41	411.70	0.31	1.79	0.10	0.13	8.01
	항만 물동량	65.16	31.41	0.55	2.07	0.06	0.05	19.31
	안벽길이	-341.22	416.07	-0.28	-0.82	0.43	0.03	32.06
	접안능력	283,294.67	108,631.69	1.10	2.61	0.02	0.02	48.34

5.2.4 다중 회귀분석 결과

정박지 용량 설계기준 수립을 위해 필요 정박지 용량을 종속변수로 정의하고, 항만의 입항선박 척수, 정박지 입항선박 척수, 항만 물동량, 안벽길이, 접안능력을 독립변수로 설정하여 다중회귀분석을 실시하였다.

회귀분석 결과, 결정계수 분석 및 분산 분석 결과, 회귀식 및 일부 회귀계수에 대해서는 대립가설이 채택되었으나, 다중 공선성에서 문제가 있는 것으로 확인되었다. 따라서 최종적으로 다중 회귀분석을 통해 도출된 회귀식은 필요 정박지 용량을 산정을 위한 설계기준으로 사용하기에 통계적으로 의미가 없는 것으로 분석되었다.

다중 회귀분석을 위한 가설을 수립할 때 필요 정박지 용량과 항만의 물동량,

선석개수, 입항선박 척수는 항만교통시스템 내에서 이루어지기 때문에 필요 정박지 용량과 통계적으로 유의성이 있을 것으로 판단하였으나, 그렇지 않은 결과가 도출된 것은 항만의 화물 및 하역 특징, 그리고 입·출항하는 선박의 형태가 다른 것에서 그 원인을 찾을 수 있다.

항만에서 취급하는 화물이 주로 Bulk 화물인 경우 정박지에서 장기 대기하는 경우가 많이 발생하게 된다. 또한 Bulk 화물의 특성 상 하역 및 선적작업에 있어 타 선박의 경우와 비교하였을 때, 많은 시간이 소요되기 때문에 상대적으로 선박들이 정박지에 대기하는 시간이 길어진다.

한편 컨테이너 중심의 항만은 정시성을 중시하는 화물의 특성 상 대부분의 컨테이너 선박은 일정에 따라 정확한 시간에 입·출항하려는 특성을 보인다. 그리고 화물의 하역에 있어서도 부두가 전용화되어 있어서 빠른 시간에 화물의 적양하가 가능하기 때문에 Bulk 화물 중심의 항만과 비교하였을 때, 정박지 대기시간 및 정박지 이용 척수가 적을 것이다.

이러한 이유로 항만의 취급화물, 이용선박 종류 등에 따라 정박지의 용량이 달라지기 때문에 5.2절에서와 같이 항만 전체에 대한 회귀분석을 실시할 경우 통계적 유의성이 확보되지 않을 것은 당연하다 할 수 있다.

따라서 우리나라 항만의 취급 화물 및 선박의 입·출항 특성을 고려하여 항만을 분류하고, 다시 회귀분석을 실시함으로써 각각의 모델의 유의성을 검증하였다.

5.3 항만의 특성에 따른 정박지 용량 단순 회귀분석

5.3.1 항만의 특성에 따른 그룹 분류

항만의 주요 입항선박 종류를 분석하기 위해 해운항만물류정보센터(SP-IDC)에서 제공하는 2015년 선박 종류별 입항 척수(해양수산부, 2016a)를 기초로 항만별 입항선박의 종류를 분석하였으며, 그 결과는 Table 50 및 Fig. 58과 같다.

입항선박의 종류에 따라 항만을 분류해 보면, 풀 컨테이너선과 석유 정제품

운반선이 주로 입항하는 부산항(63.1%)과 광양항(51.1%), 석유정제품 운반선과 케미컬 운반선이 주로 입항하는 울산항(69.6%)과 대산항(76.8%), 마지막으로 일반화물선과 산물선이 주로 입항하는 포항항(69.6%)과 동해항 (53.9%)으로 나눌 수 있는 것으로 분석되었다.

Table 50 The comparison of ship's type incoming harbour

선종 \ 항만	부산	포항	울산	광양	대산	동해
여객선	3,250	21	5	4	0	98
산물선	1,170	1,450	611	2,061	129	569
원목 운반선	2	0	0	0	0	0
시멘트 운반선	338	167	271	449	0	506
자동차 운반선	313	26	677	631	0	0
햇코일 운반선	31	96	54	76	0	0
냉동.냉장선	1,153	0	0	0	0	13
일반화물선	4,915	2,449	1,628	3,244	109	1,068
풀 컨테이너선	14,792	294	1,767	4,222	325	36
썬미 컨테이너선	349	8	16	9	1	4
원유 운반선	670	8	548	569	226	0
석유정제품 운반선	10,180	1,045	10,446	6,721	2,870	527
케미컬 운반선	1,111	39	4,779	2,294	2,216	12
LPG, LNG 운반선	183	0	1,084	1,115	743	0
어선	1,097	0	1	0	0	202
합계	39,554	5,603	21,887	21,395	6,619	3,035

(단위: 척)

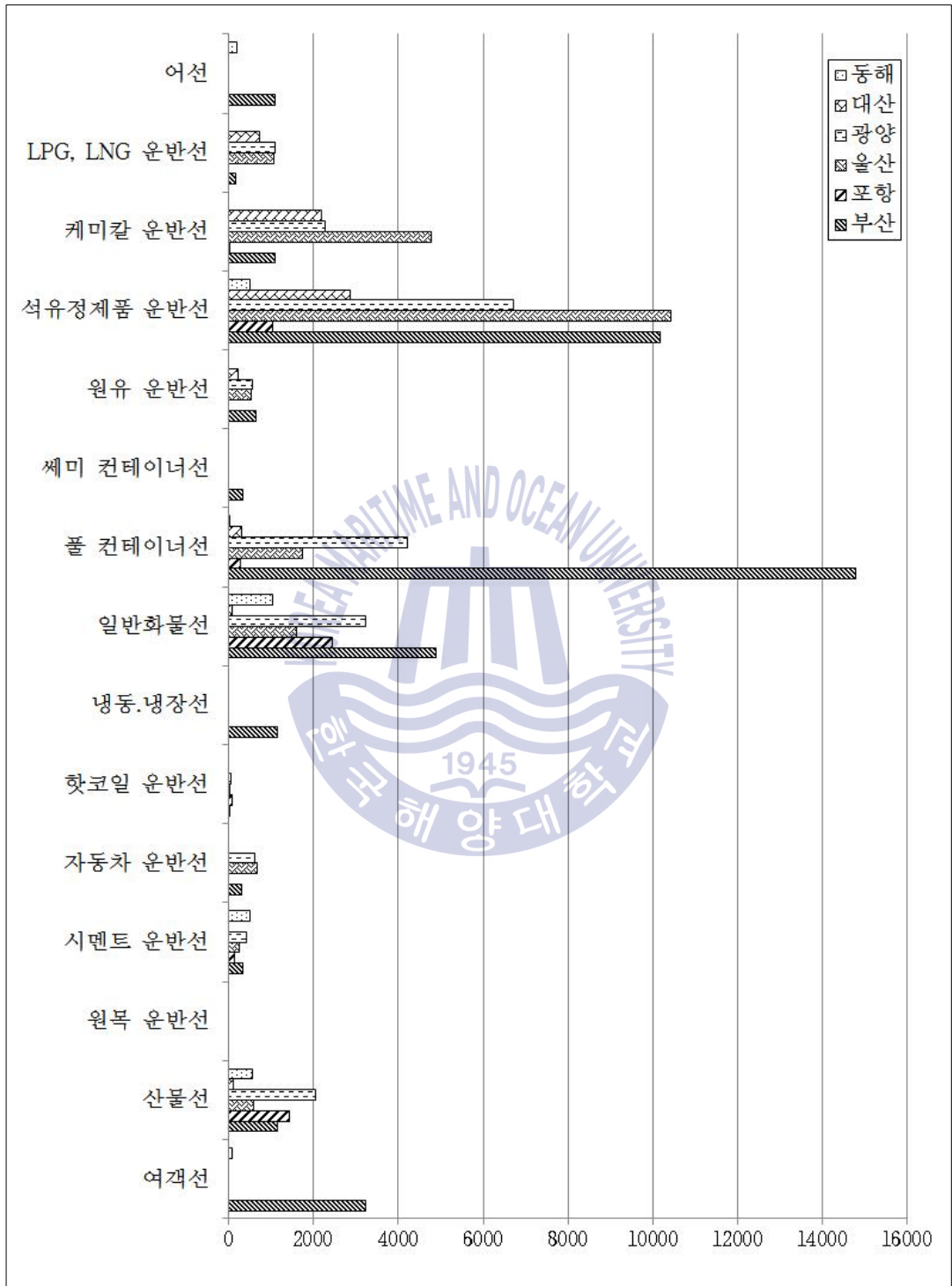


Fig. 58 The comparison analysis of ship's type incoming harbour

따라서 항만의 주요 입항선박 종류에 따라 Table 51과 같이 A, B, C그룹으로 분류할 수 있었다.

Table 51 Grouping the ports according to ship's type

그룹명	A그룹	B그룹	C그룹
입항선박 종류	컨테이너선,	액체화물 운반선	일반화물선
항만	부산항, 광양항	울산항, 대산항	포항항, 동해항

A그룹은 컨테이너 선박이 주종을 이루는 항만으로 부산항과 광양항이 이에 속한다. 이 그룹은 컨테이너 선박의 정시운항 및 상대적으로 빠른 화물작업으로 선박의 입·출항이 빈번한 특징이 있다.

B그룹은 석유제품 운반선, 위험물질 운반선 등의 액체화물 운반선이 주로 입항하는 울산항과 대산항이 이에 속한다. 이 그룹은 A그룹과 비교했을 때 상대적으로 입·출항 일정에 있어서 자유롭고, 적·양하 시간이 상대적으로 길어 정박지에서의 대기시간이 타 항만보다 긴 특징이 있다.

C그룹은 일반화물선, 시멘트 운반선 및 Bulk선이 주로 입항하는 항만으로 동해항과 포항항이 이에 속한다. 이 그룹은 A그룹, B그룹 항만과 비교했을 때 적·양하 시간이 가장 길어 정박지에서 대기하는 시간이 긴 특징이 있다.

5.3.2 항만 그룹별 정박지 용량 회귀분석

항만의 입항선박 종류 분석을 통해 도출된 A, B, C 그룹 각각에 대해서 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석 방법은 종속변수로서 필요 정박지 용량, 독립변수로서 항만 물동량을 설정하여 단순 회귀분석을 실시하였다. 왜냐하면 5.2.2절에서 분석한 바와 같이 독립변수 간의 상관관계가 매우 깊어 다중의 독립변수를 사용할 경우 다중 공선성 기준을 만족시키지 못할 가능성이 크기 때문이다. 또한 필요 정박지 용량의 추정을 위해서는 미래에 예상되는 입항선박 척수, 물동량, 선석 수 등의 변수에 대한 추정이 필요한데, 우리나라의 장기적 항만계획인 전국항만기본계획에는 10년 후, 20년 후의 항만개발에 따른 항만

물동량 추정치만을 제시하고 있다. 따라서 정박지 용량과 항만 물동량과의 회귀식을 도출함으로써 항만개발에 따른 필요 정박지 용량 규모를 쉽게 추정할 수 있기 때문이다.

항만 그룹별 정박지 용량 회귀분석은 두 변수의 관계에 대한 비선형(곡선회귀)을 가정하여 곡선추정 회귀분석을 이용하였다. 또한 분석방법에 대한 타당성 증명을 위해 선형 회귀분석과 곡선추정 회귀분석의 R²값을 비교한 후 가장 높은 설명력을 보이는 회귀분석 결과(정은미 등, 2012)를 채택하였다.

5.3.2.1 A그룹(부산항, 광양항) 항만 단순 회귀분석

A그룹 항만으로 분류된 부산항과 광양항을 대상으로 Table 52와 같이 필요 정박지 용량과 항만 물동량 변수에 대한 단순회귀분석을 실시하였다.

Table 52 Dependent and independent variables of Busan and Kwangyang port

항만 년도	부산항		광양항	
	정박지 용량 (m ²)	항만 물동량 (천톤)	정박지 용량 (m ²)	항만 물동량 (천톤)
2005	23,769,845	217,217	21,013,172	177,483
2010	28,974,083	262,070	25,643,160	206,691
2014	30,980,037	346,590	30,404,480	253,256

부산항과 광양항의 정박지 용량과 항만 물동량에 대한 선형 회귀분석모형 및 곡선 회귀모형을 그래프로 나타낸 결과는 Fig. 59와 같다.

선형 회귀모형과 로그함수 형태의 곡선회귀모형 모두 통계적으로 p<0.05 수준에서 유의한 것으로 나타났으나, Table 53과 같이 R²값에서 로그함수 형태의 곡선 회귀모형 설명력이 더 높게 나타났다. 또한 일정수준에서는 두 변수가 비례관계를 보이다 어느 정도 시점이 지나면 감소하는 로그함수 형태의 곡선 회귀모형이 더 적합한 것으로 판단된다.

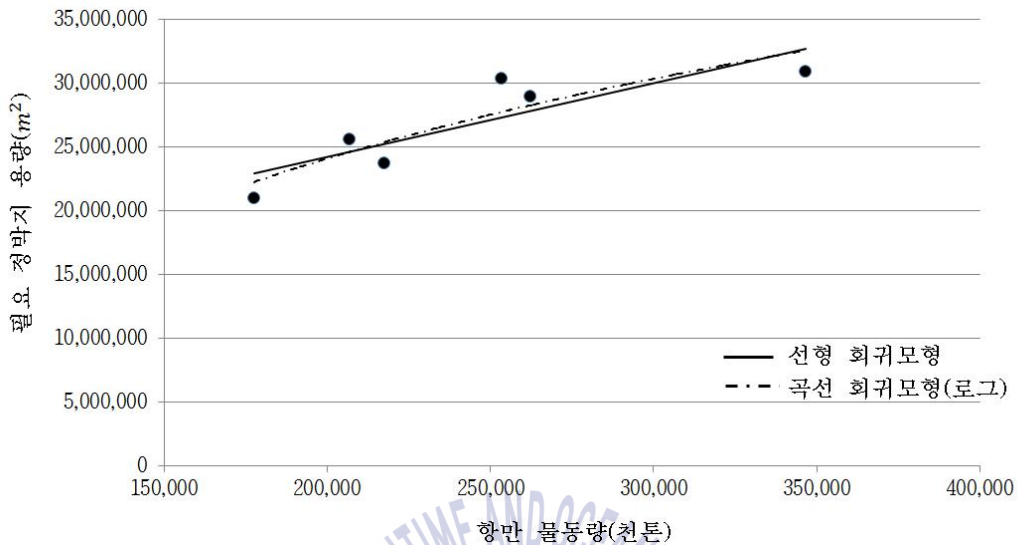


Fig. 59 A group trend line of simple regression analysis

Table 53 Model summary and parameter estimates of group A

분석 항목	모형 요약					모수 추정값	
	R ²	F	집단 간 자유도	집단 내 자유도	p값	상수항	b1
선형	0.74	11.28	1	4	0.03	12,688,175.56	57.85
로그	0.81	16.65	1	4	0.02	-164,059,282.00	15,414,736.36

따라서 단순 회귀분석의 곡선추정을 이용하여 도출한 그룹 A 항만의 로그함수 관계식은 식 (23)과 같다.

$$Y_{NA} = 15,414,736.36 \ln(X_{HA}) - 164,059,282 \quad (23)$$

여기서, Y_{NA} : A 그룹 항만의 필요 정박지 용량(m²)

X_{HA} : A 그룹 항만의 물동량(천톤)

5.3.2.2 B그룹(울산항, 대산항) 항만 단순 회귀분석

B그룹 항만으로 분류된 울산항과 대산항을 대상으로 Table 54와 같이 필요 정박지 용량과 항만 물동량 변수에 대한 단순회귀분석을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

Table 54 Dependent and independent variables of Ulsan and Daesan port

항만 년도	울산항		대산항	
	물동량 (m ²)	정박지 용량 (천톤)	물동량 (m ²)	정박지 용량 (천톤)
2005	162,414	24,036,320	44,720	5,102,886
2010	171,664	27,296,662	66,122	9,258,142
2014	191,717	39,267,018	72,900	12,132,870

울산항과 대산항의 정박지 용량과 항만 물동량에 대한 선형 회귀분석모형 및 곡선 회귀모형의 그래프로 나타낸 결과는 Fig. 60과 같다.

선형 회귀모형과 지수함수 형태의 곡선회귀모형 모두 통계적으로 $p < 0.05$ 수준에서 유의한 것으로 나타났으나, Table 55와 같이 R^2 값에서 지수함수 형태의 곡선 회귀모형 설명력이 더 높게 나타났다. 또한 일정수준에서 부터는 두 변수가 비례관계를 보이다 어느 정도 시점이 지나면서 소폭이지만 점점 증가하는 양상을 띠기 때문에 지수함수 형태의 곡선 회귀모형이 더 적합한 것으로 분석되었다.

그러나 선형 회귀모형과 지수함수 형태의 곡선 회귀모형의 설명력 R^2 과 유의확률(p)의 차이가 각각 0, 0.01로 지수함수의 설명력이 약간 높으나 매우 미미하다는 것과, 향후 정박지 용량 설계기준을 실무에 쉽게 적용할 수 있도록 할 필요가 있는 점 등을 고려했을 때, 지수함수보다 선형함수 형태가 훨씬 적절할 것으로 판단된다.

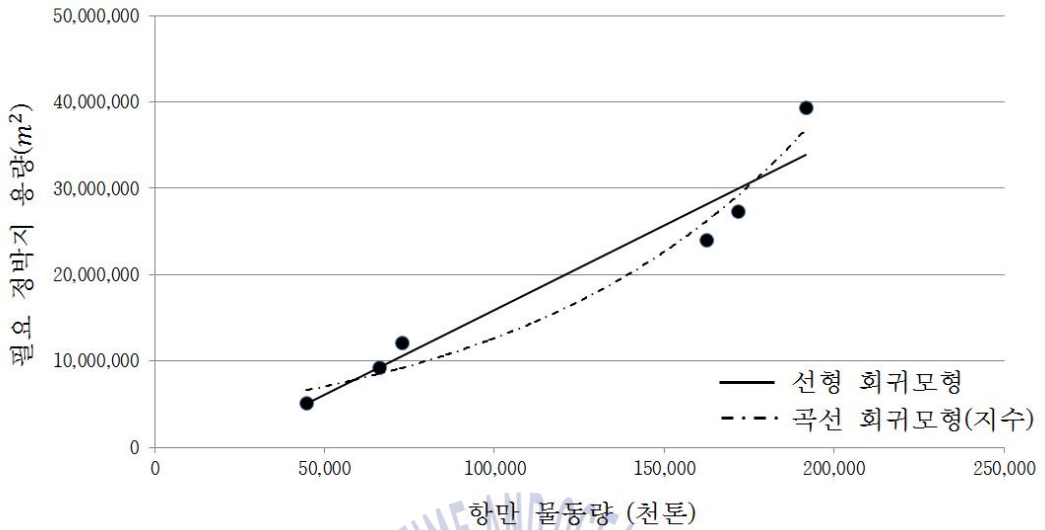


Fig. 60 B group trend line of regression analysis

Table 55 Model summary and parameter estimates of group B

분석 항목	모형 요약					모수 추정값	
	R ²	F	집단 간 자유도	집단 내 자유도	p값	상수항	b1
선형	0.93	56.72	1	4	0.00	-3,667,453.10	196.04
지수	0.94	66.25	1	4	0.00	3,947,068.06	1.17E-5

따라서 단순회귀분석의 곡선추정을 이용하여 도출한 그룹 B 항만의 정박지 용량 추정 관계식은 식 (24)와 같다.

$$Y_{NB} = 196.04X_{HB} - 3,667,453.10 \quad (24)$$

여기서, Y_{NB} : B 그룹 항만의 필요 정박지 용량(m²)

X_{HB} : B 그룹 항만의 물동량(천톤)

5.3.2.3 C그룹(포항항, 동해항) 항만 단순 회귀분석

C그룹 항만으로 분류된 포항항과 동해항을 대상으로 Table 56과 같이 필요 정박지 용량과 항만 물동량 변수에 대한 단순회귀분석을 실시하였다.

Table 56 Dependent and independent variables of Pohang and Donghae port

항만 년도	포항항		동해항	
	물동량 (천톤)	정박지 용량 (m ²)	물동량 (천톤)	정박지 용량 (m ²)
2005	54,692	11,551,200	19,923	900,508
2010	63,108	13,159,218	28,030	1,468,914
2014	65,241	15,495,683	32,540	3,288,243

포항항과 동해항의 정박지 용량과 항만 물동량에 대한 선형 회귀분형 및 곡선 회귀모형의 그래프로 나타낸 결과는 Fig. 61과 같다.

선형 회귀모형과 지수함수 형태의 곡선회귀모형 모두 통계적으로 $p < 0.05$ 수준에서 유의한 것으로 나타났으나, Table 57과 같이 R^2 값 및 유의확률(p 값)에서 지수함수 형태의 곡선 회귀모형 설명력과 유의수준이 더 높게 나타났다. 그러나 지수함수는 물동량이 증가할 경우 필요 정박지 용량이 기하급수적으로 증가하기 때문에 장기적으로는 정박지를 이용하는 선박과 물동량 관계를 설명하기 곤란할 것으로 판단된다. 따라서 단순회귀분석의 곡선추정을 이용하여 도출한 그룹 C 항만의 정박지 용량 추정 관계식은 식 (25)와 같다.

$$Y_{NC} = 329.44 X_{HC} - 6,825,835.43 \quad (25)$$

여기서, Y_{NC} : C 그룹 항만의 필요 정박지 용량(m²)

X_{HC} : C 그룹 항만의 물동량(천톤)

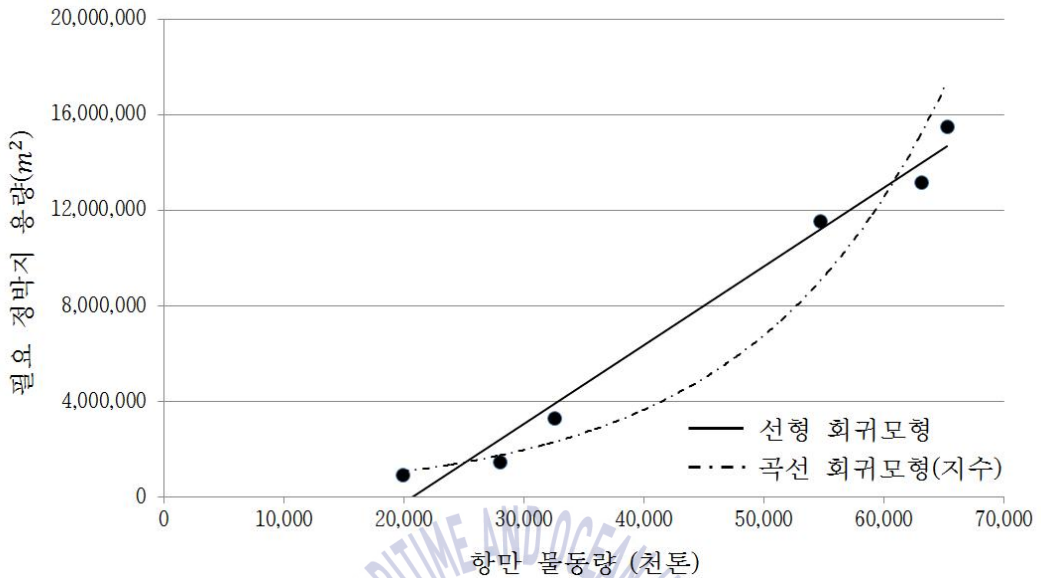


Fig. 61 C group trend line of regression analysis

Table 57 Model summary and parameter estimates of group C

분석 항목	모형 요약					모수 추정값	
	R ²	F	집단 간 자유도	집단 내 자유도	p값	상수항	b1
선형	0.98	202.50	1	4	0.00	-6,825,835.43	329.44
지수	0.96	105.02	1	4	0.00	309,712.41	6.17E-05

5.3.3 정박지 용량 단순 회귀분석 결과

필요 정박지 용량과 항만의 물동량, 선석개수, 입항선박 척수 등과의 다중 회귀분석을 실시한 결과 통계적으로 유의미한 결과가 도출되지 않았다. 이는 항만의 취급화물, 이용선박 종류 등에 따라 정박지의 용량이 달라지기 때문에 항만 전체에 대한 회귀분석을 실시할 경우 통계적 유의성이 확보되지 않은 것으로 확인되었다.

따라서 우리나라 항만의 취급 화물 및 선박의 입·출항 특성을 고려하여

항만을 A, B, C 그룹으로 분류하고, 종속변수로서 필요 정박지 용량, 독립변수로서 항만 물동량을 설정하여 곡선추정 단순 회귀분석을 실시하였으며, R²값을 비교한 후 가장 높은 설명력을 보이는 회귀분석 결과를 채택하였다.

분석 결과, Table 58과 같이 통계적으로 유의미한 항만그룹별 회귀모델 식을 도출하였다. 그리고 모델의 특징을 분석해 보면 A그룹 항만은 로그함수, B그룹은 1차 선형함수, C그룹은 1차 선형함수의 형태를 띠는 것을 알 수 있다.

Table 58 Proposed anchorage volume design criteria according to the port group

분류	항만그룹	회귀모델 식
A	부산항, 평택항	$Y_{NA} = 15,414,736.36 \ln(X_{HA}) - 164,059,282$
B	울산항, 대산항	$Y_{NB} = 196.04X_{HB} - 3,667,453.10$
C	포항항, 동해항	$Y_{NC} = 329.44 X_{HC} - 6,825,835.43$

필요 정박지 용량과 물동량과의 단순 회귀분석을 통해 제시한 항만 그룹별 정박지 용량 회귀모델 식은 현재 또는 미래의 정박지 용량을 분석하고 추정할 수 있는 설계기준으로서 사용 가능할 것으로 판단된다.

5.4 정박지 용량 회귀모델 검증

항만 그룹별 정박지 용량 회귀모델 식이 설계기준으로서의 적정성을 확보하고 실무에서 적용하기 위해서는 회귀모델의 검증이 필요하다.

따라서 모델 검증을 위해 수치 시뮬레이션으로 도출한 정박지 용량 대비, 항만 그룹별 정박지 용량 회귀모델을 적용하여 계산한 정박지 용량의 비율을 비교·분석하였다. 그리고 이 이용률 비율 80% 이상일 때 정박지 설계기준으로서 적합한 것으로 판단하였다.

정박지 용량 회귀모델의 검증을 위해 설계기준의 용량 비율을 도출하는 과정은 Table 59와 같고, 이를 비교하여 회귀모델의 만족 여부를 분석한 결과는 Fig. 62와 같다.

Table 59 The calculation of anchorage design criteria fitness

항목 항만 그룹	대상 항만	2014년 물동량 (천톤)	정박지 용량		시뮬레이션 용량 대비 설계기준 용량 비율 (%)
			시뮬레이션 출력 용량 (m ²)	설계기준 적용 용량 (m ²)	
A 그룹	부산항	346,590	30,980,037	32,569,520	105.0%
	광양항	253,256	30,404,480	27,733,274	92%
B 그룹	울산항	191,717	39,267,018	33,916,748	87%
	대산항	72,900	12,132,870	10,623,863	88%
C 그룹	포항항	65,241	15,495,683	14,667,224	95%
	동해항	32,540	3,288,243	3,894,174	118%

시뮬레이션 정박지 용량 대비 설계기준 용량 비율 분석 결과, 모든 항만에서 ±20% 범위를 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 단순 회귀분석 및 곡선추정을 통해 도출한 정박지 용량 회귀모델은 설계기준으로 사용 가능함을 검증하였다.

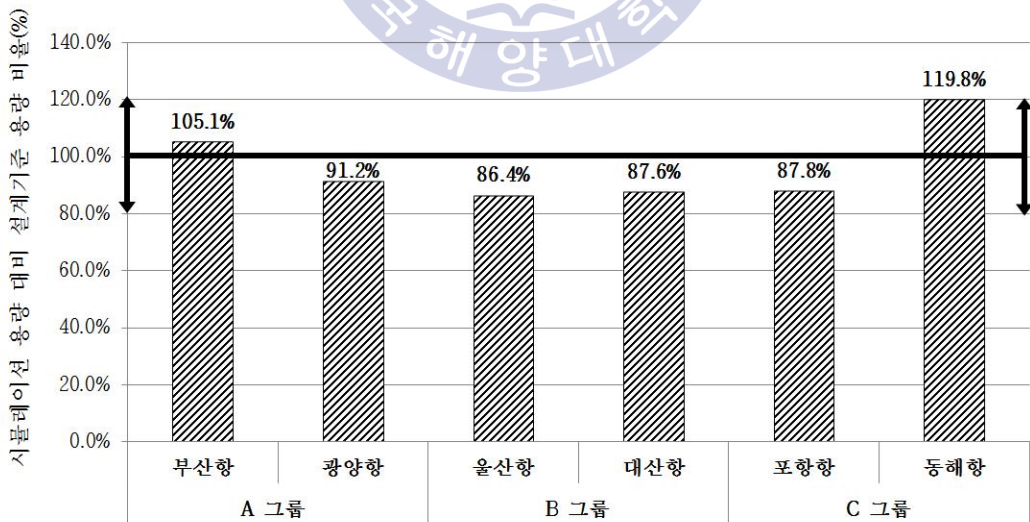


Fig. 62 The comparison of anchorage design criteria fitness

5.5 정박지 용량 설계기준 적용

정박지 용량 설계기준을 적용하여 미래의 필요 정박지 용량을 도출하기 위해서는 해당 년도의 항만 물동량을 추정해야 한다.

항만 물동량을 추정하는 방법에 대해서 기존에 많은 연구가 실시되었다. 김창범과 모수원(2003)은 ARIMA 모형을 설계하고, 추정모형의 결과를 통해 물동량을 예측했으며, 장봉규과 양항진(2005) 그리고 양항진(2006)은 1990~2004년의 분기별 자료를 이용하여 회귀분석을 실시함으로써 해상 물동량을 예측하였다. 또한 강달원 등(2008)은 항만의 하역능력, 선석 당 처리능력 등 항만시설의 효율성에 따른 해상 물동량을 예측하였으며, 이지훈 등(2008)은 회귀분석, 시계열 분석, 계량 경제모형을 적용하여 예측모형을 만들고 이를 실증 분석하여 물동량을 예측하였다. 마지막으로 국토교통부(2010)에서는 화물 종류별로 적합한 계량모형을 도출하고 이를 통해 물동량을 추정하였다.

그러나 이러한 항만 물동량 추정 방법은 그 계산과정이 쉽지 않고, 적용 방법에 따라 그 결과가 달라지기 때문에, 본 논문에서 요구하는 물동량 추정 방법으로는 적절하지 않은 것으로 판단된다.

따라서 본 논문에서는 항만 물동량을 쉽게 추정할 수 있고, 자료의 객관성이 확보된 제3차 전국항만기본계획(2011~2020)(해양수산부, 2011)의 10년 후, 20년 후 물동량 추정치를 이용하였다.

전국항만기본계획은 체계적이고 효율적인 항만 개발·운영을 위한 기본방향과 전략 등을 담은 항만관련 최상위 국가계획으로서, 국내외 산업구조와 항만물류 여건 변화 등에 맞추어 10년 단위로 수립한다. 이는 해운·물류 환경변화에 능동적으로 대응하고 항만 경쟁력을 강화하기 위하여 항만의 고부가 가치화, 항만별 특별 개발 및 산업 지원, 해양관광산업 활성화, 항만관리·운영 시스템의 선진화, 국토 균형발전 지원 등 항만개발 및 운영에 대한 중장기 기본방향을 담고 있다(해양수산부, 2016b).

5.5.1 A 그룹 항만(부산항, 광양항)의 필요 정박지 용량 예측

A 그룹 항만에 대한 필요 정박지 용량 예측 결과는 Table 60과 같다.

즉, A 그룹 항만인 부산항과 광양항에 대하여 2020년, 2030년에 예상되는 물동량 추정치를 기준으로 미래에 필요한 정박지 용량을 예측하였다. 또한 이 값을 현행 정박지 규모와 비교하여 정박지의 과·부족 여부를 분석하였다.

Table 60 The prediction of necessary occupancy anchorage volume according to the group A ports development plan

항목	항만			
	부산항	광양항		
정박지 용량 설계기준	$Y_{NA} = 15,414,736.36 \ln(X_{HA}) - 164,059,282$			
㉠ 현행 정박지 규모(km ²)	45.17		52.28	
항만 물동량 예측(천톤)	2020년	2030년	2020년	2030년
	416,732	629,382	321,374	421,067
㉡ 미래 필요 정박지 용량 예측 (m ²)	35,410,469	41,765,888	31,405,137	35,569,990
㉢=㉡/㉠ 필요 정박지 용량 비율(%)	78.4	92.4	60.1	68.0

분석 결과, 부산항과 광양항 모두 물동량이 2020년과 2030년에 계속적으로 늘어날 것으로 예측됨에 따라, 해당 년도에 예측된 필요 정박지 용량 또한 일정 수준 비례하여 증가한 것으로 분석되었다.

현행 정박지 규모 대비 미래 필요 정박지 용량 예측치의 비율은 부산항의 경우 2020년과 2030년에 각각 78.4%, 92.4%, 광양항의 경우는 60.1%, 68.0%로 나타났다. 즉, 2030년에는 부산항의 정박지 용량이 거의 포화상태에 다다를 것으로 분석된다. 그러나 광양항은 2030년에도 필요 정박지 용량 비율이 68.0%로 정박지 부족 현상은 나타나지 않을 것으로 판단된다.

5.5.2 B 그룹 항만(울산항, 대산항)의 필요 정박지 용량 예측

B 그룹 항만에 대한 필요 정박지 용량 예측 결과는 Table 61과 같다.

즉, B 그룹 항만인 울산항과 대산항에 대하여 2020년, 2030년에 예상되는 물동량 추정치를 기준으로 미래에 필요한 정박지 용량을 예측하였다. 또한 이 값을 현행 정박지 규모와 비교하여 정박지의 과·부족 여부를 분석하였다.

Table 61 The prediction of necessary occupancy anchorage volume according to the group B ports development plan

항목	항만		울산항		대산항	
	정박지 용량 설계기준	$Y_{NB} = 196.04X_{HB} - 3,667,453.10$				
㉠ 현행 정박지 규모(km ²)	34.36		18.63			
항만 물동량 예측(천톤)	2020년	2030년	2020년	2030년		
	252,611	280,677	90,492	109,210		
㉡ 미래 필요 정박지 용량 예측 (m ²)	45,854,407	51,356,466	14,072,599	17,742,075		
㉢=㉡/㉠ 필요 정박지 용량 비율(%)	133.5	149.5	75.5	95.2		

분석 결과, 울산항과 대산항 모두 물동량이 2020년과 2030년에 계속적으로 늘어날 것으로 예측됨에 따라, 해당 년도에 예측된 필요 정박지 용량 또한 일정 수준 비례하여 증가한 것으로 분석되었다.

현행 정박지 규모 대비 미래 필요 정박지 용량 예측치의 비율은 울산항의 경우 2020년과 2030년에 각각 133.5%, 149.5%, 대산항의 경우는 75.5%, 95.2%로 나타났다. 따라서 2030년의 필요 정박지 용량은 울산항의 경우 현재 용량의 약 1.5배가 필요하며, 대산항의 경우도 2030년 필요 정박지 용량 비율이 95.2%로 정박지 용량이 거의 포화상태에 다다를 것으로 예측되었다.

5.5.3 C 그룹 항만(포항항, 동해항)의 필요 정박지 용량 예측

C 그룹 항만에 대한 필요 정박지 용량 예측 결과는 Table 62와 같다.

즉, C 그룹 항만인 포항항과 동해항에 대하여 2020년, 2030년에 예상되는 물동량 추정치를 기준으로 미래에 필요한 정박지 용량을 예측하였다. 또한 이 값을 현행 정박지 규모와 비교하여 정박지의 과·부족 여부를 분석하였다.

Table 62 The prediction of necessary occupancy anchorage volume according to the group C ports development plan

항목	항만			
	포항항	동해항		
정박지 용량 설계기준	$Y_{NC} = 329.44 X_{HC} - 6,825,835.43$			
㉠ 현행 정박지 규모(km ²)	32.55		4.89	
항만 물동량 예측(천톤)	2020년	2030년	2020년	2030년
	84,695	99,069	41,064	47,899
㉡ 미래 필요 정박지 용량 예측 (m ²)	21,076,170	25,811,555	6,702,330	8,954,059
㉢=㉡/㉠ 현행 규모 대비 필요 용량%	64.8	79.3	137.1	183.1

분석 결과, 포항항과 동해항 모두 물동량이 2020년과 2030년에 계속적으로 늘어날 것으로 예측됨에 따라, 해당 년도의 필요 정박지 용량 또한 일정 수준 비례하여 증가한 것으로 분석되었다.

포항항의 필요 정박지 용량은 2030년에 현재 용량 대비 79.3%로 예측되어 해당 년도까지는 현재 정박지의 확대가 필요 없을 것으로 판단된다. 또한 동해항은 2020년의 필요 정박지 용량 예측치가 137%, 2030년에는 183.1%로 모두 현재 정박지 대비 각각 약 1.3배, 1.8배의 용량 확대가 필요한 것으로 분석되었다.

5.5.4 정박지 용량 설계기준 적용 요약

정박지 용량 설계기준을 적용하여 항만의 개발계획에 따른 필요한 정박지 용량을 예측하고, 현재 정박지 용량과의 비교를 통해서 정박지 확충여부를 분석하였으며, 그 결과는 Fig. 63과 같다.

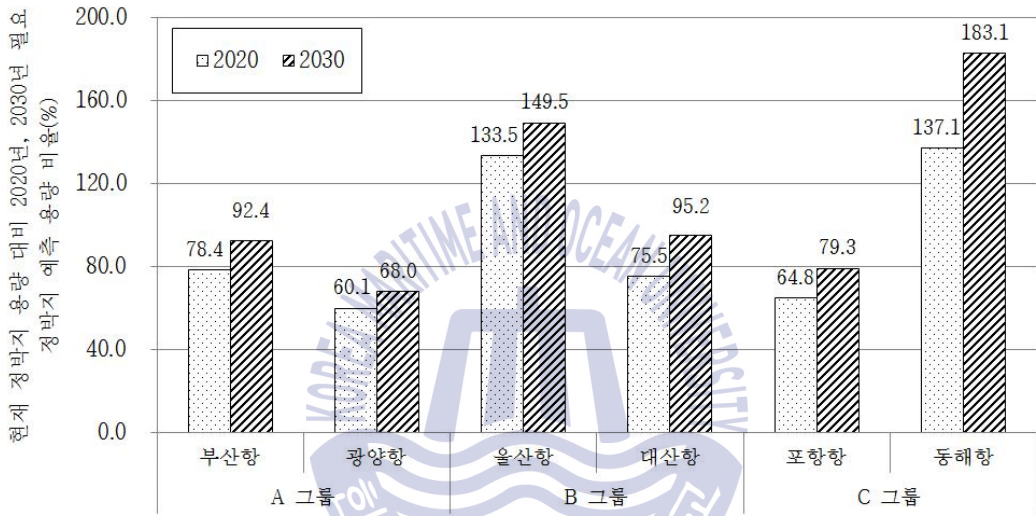


Fig. 63 The comparison of necessary occupancy volume and current anchorage volume

분석 결과, 6개 항만 중 2020년과 2030년의 필요 정박지 용량 증가로 인해 정박지 확충이 필요한 항만은 울산항과 동해항인 것으로 예측되었다. 특히 동해항은 2030년에 현행 정박지 규모 대비 약 1.8배의 확대가 필요한 것으로 예측되어 점진적인 정박지 확대를 위한 정책적인 뒷받침이 필요할 것으로 판단된다. 그리고 부산항, 광양항, 대산항, 포항항의 현행 정박지 면적 대비, 필요 정박지 용량이 100% 미만이므로 정박지를 확대할 필요는 없으나, 부산항과 대산항의 2030년 용량이 92%~95% 수준이므로, 정박지 용량이 거의 포화상태에 다다를 것으로 분석되어 장기적 차원에서 정박지 규모에 대한 점진적인 확대가 필요할 것으로 판단된다.

제6장 결론

최근 국내에서는 정박지 이용선박 척수 증가로 인하여 정박지 부족 현상이 심화되고 있고, 정박지 내에서의 해양사고 비율도 높아짐에 따라 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로서 정박지 확장 요구의 목소리가 커지고 있다. 그러나 정박지 규모에 대한 설계기준은 대상선박 제원 및 정박지의 환경요소에 따라 필요한 선회반경을 제시하고 있을 뿐, 정박지 용량에 대한 기준이 전무한 실정이다.

따라서 점차 가속화되는 항만 규모 확대 및 입·출항 선박의 증가로 인하여 정박지에 대한 수요가 증가하고 있는 현재 항만 상황에서 정박선박의 안전을 고려했을 때 정박지 용량에 관한 설계기준을 어떻게 수립할 것인가? 제안된 설계기준을 국내 항만에 적용하였을 때 필요한 정박지 용량은 어느 정도인가? 또한 항만개발계획 시 정박지 용량에 대한 검토가 이루어지고 있는가? 등에 대한 질문에 답하기 위해, 수치 시뮬레이션을 이용하여 정박지 용량 분석방법을 제시하였다. 그리고 이 방법을 이용하여 우리나라 주요 항만의 정박지 용량을 분석하였으며, 이를 토대로 회귀분석을 실시하여 정박지 용량을 정량적으로 제시할 수 있는 근사식을 도출하였다. 마지막으로 우리나라의 항만개발계획에 근거하여 가까운 미래에 필요한 정박지 용량을 추정하여 제시하였다.

이상과 같은 논문의 목적과 방법 하에서 수행한 연구 결과는 다음과 같다.

첫 번째로 정박지 점유 용량 및 필요 정박지 용량에 대한 개념을 제시하였다. 즉, 선박 1척이 점유하는 수역의 규모를 기초로 정박지에 투묘한 선박들이 점유한 면적의 합을 점유 용량으로 정의하였다. 또한 필요 정박지 용량을 제시함에 있어서는 선박 운항자를 대상으로 설문조사를 실시하였으며, 그 결과 평균 정박지 점유 용량을 중심으로 20%의 추가 여유 용량이 필요한 것으로 확인되었으며, 최종적으로 필요 정박지 용량은 평균 정박지 점유 용량에 0.5σ 를 추가한 값으로 정의하였다.

두 번째로 정박지 점유 용량에 영향을 미치는 요소를 정의하고, 이 요소의 특징을 분석하였으며, 정박지 용량 분석을 위한 시뮬레이션 모델을 개발하였다.

정박지 용량에 영향을 미치는 요소 중 선박 도착 간 시간간격은 지수분포를 따르며, 지수함수의 모수와 정박지 이용 선박 척수와의 관계를 밝혔을 뿐만 아니라, 정박지 대기시간과 우리나라의 최대풍속 분포가 로그정규 분포를 따르는 것을 규명하였다. 또한 정박지 용량 분석을 시뮬레이션 방법을 통해 도출하기 위해서 정박지 용량 산출 알고리즘을 개발하고 시뮬레이션 전용 소프트웨어인 MATLAB-SIMULINK 프로그램을 이용하여 구현하였다. 그리고 개발한 시뮬레이션 모델이 약 95% 수준에서 적정성을 확보한 것으로 검증을 통해 밝혔다.

또한 시뮬레이션 모델을 통해 필요 정박지 용량 분석을 실시하였으며, 그 결과 울산항의 경우 실제 정박지 면적 대비 필요 정박지 용량 비율이 114.29%로 정박지가 수용할 수 있는 규모 이상의 선박이 정박지를 사용하고 있는 것으로 분석되었다. 또한 부산항, 울산항, 광양항, 대산항, 포항항의 필요 정박지 용량은 실제 정박지 면적의 약 47%~68% 수준으로 2014년은 충분한 수준의 정박지가 확보되었었다고 볼 수 있으나, 향후 정박지 입항선박의 척수, 총톤수 규모 및 대기시간 등이 증가할 경우 추가적인 정박지 지정이 필요할 것으로 분석되었다.

세 번째로 정박지 용량 기준 수립을 위해 필요 정박지 용량을 종속변수로 정의하고, 항만의 입항선박 척수, 정박지 입항선박 척수, 항만 물동량, 안벽길이, 접안능력을 독립변수로 설정하여 다중 회귀분석을 실시하였다. 그 결과 결정계수 분석 및 분산 분석에서는 회귀식 및 일부 회귀계수의 대립가설이 채택되었으나, 다중 공선성에서 문제가 있는 것으로 확인됨에 따라 최종적으로 다중 회귀분석을 통해 도출된 회귀모델은 설계기준으로 사용할 수 없음을 밝혔다.

네 번째로 우리나라 항만의 취급 화물 및 선박의 입·출항 특성을 고려하여 항만을 A, B, C 그룹으로 분류하였다. 그리고 종속변수로서 필요 정박지 용량,

독립변수로서 항만 물동량을 설정하여 곡선추정 단순 회귀분석을 실시하고, R²값을 비교한 후 가장 높은 설명력을 보이는 회귀분석 결과를 채택하였다. 그 결과 아래와 같이 통계적으로 유의미한 항만그룹별 정박지 용량 설계기준 모델을 제시하였으며, 모델의 특징은 A그룹 항만은 로그함수, B그룹은 1차 선형함수, C그룹은 선형함수임을 발견하였다.

항만그룹	정박지 용량 설계기준 모델
A	$Y_{NA} = 15,414,736.36 \ln(X_{HA}) - 164,059,282$
B	$Y_{NB} = 196.04X_{HB} - 3,667,453.10$
C	$Y_{NC} = 329.44X_{HC} - 6,825,835.43$

시뮬레이션을 이용한 정박지 용량 대비 설계기준을 적용한 용량 비율 분석 결과, 모든 항만에서 ±20% 범위를 만족하는 것으로 분석되어, 단순 회귀분석 및 곡선추정을 통해 도출한 정박지 용량 회귀모델은 설계기준으로 사용 가능함을 밝혔다.

마지막으로 정박지 용량 설계기준을 적용하여 항만의 개발계획에 따른 필요한 정박지 용량을 예측하였다. 그 결과 2030년에 울산항 및 동해항의 경우 현행 정박지 면적 대비 필요 정박지 용량은 각각 149.5%, 183%로 예측되어 점진적인 정박지 확대를 위한 정책적인 뒷받침이 필요할 것으로 분석되었다.

본 연구는 정박지 용량 분석을 위한 수치 시뮬레이션을 개발하고, 필요 정박지 용량에 대한 결과를 토대로 회귀분석을 실시하여 정박지 용량에 대한 설계기준을 제시하고, 이를 검증 및 적용하였다. 여기서 시뮬레이션을 이용한 정박지 용량 분석 모델은 실제 정박지에서 이루어지는 선박의 해상교통 시스템을 구현하여 정박지 용량 분석 방법을 시도하였다는 점에서 그 의의가 있다. 또한 정박지 용량이 항만 물동량과 인과관계가 있다는 것을 밝혀 항만개발 계획단계에서부터 정박지 용량에 대한 검토를 가능하게 함으로서 그 활용성 측면에서 가치가 있다고 본다.

향후 과제로는 항만 물동량, 선석 수, 입항 척수, 선석 접안 시간 등과 정박지 필요 면적과의 상관관계를 분석하는 추가적인 연구를 통하여 물동량 증가와 더불어 선석 수 증가에 따라 설계해야 하는 정박지 면적을 정량적으로 제시할 필요가 있다. 또한 항만의 체선이 발생했을 때 일부 선박의 경우 정박지에서 투묘하여 대기하지 않고 외해에서 표류하거나, 정박지로 지정되지 않은 곳에 임시 대기하고, 선속조정을 통해 일정에 맞춰 입항하는 방법 등을 사용하고 있다. 따라서 시뮬레이션 입력 변수 설정 시 이러한 선박을 잠재적인 정박지 사용 선박으로 포함시키기 위한 방법론적 연구가 뒷받침될 필요가 있다. 또한 회귀분석을 실시함에 있어 변수의 양이 적어 결과의 객관성을 완벽히 증명하기에는 그 한계가 있으므로 좀 더 많은 정박지에 대한 조사를 통해 자료를 확보하여 추가적인 정박지 용량 분석 시뮬레이션 및 회귀분석을 실시하여, 그 결과를 살펴볼 필요성이 있다.

이번 연구는 필요 정박지 용량 결정을 위한 설계기준으로서 처음으로 시도된 연구이다. 향후 이 모델을 국외 항만에도 적용해 타당성을 검증해 볼 예정이며, 정박지 용량 분석 시뮬레이션 알고리즘과 회귀분석에 있어 다양한 변수를 적용하여 실제 정박지 현황을 정확히 반영한 정박지 용량 설계기준을 제시할 수 있도록 세부적으로 정비할 계획이다.

참고문헌

- [1] 강남준, 김두섭, 2008. 회귀분석 기초와 응용. 나남출판:서울.
- [2] 강달원, 곽규석, 남기찬 & 송용석, 2008. 물동량 추정 재검토를 통한 항만 경쟁력 제고에 관한 연구. 한국항해항만학회 2008 추계공동학술대회. 항해항만학회:부산, pp.291-292.
- [3] 국토교통부, 2010, 물동량 예측 방법. [online] (Updated 23 September 2010) Available at: <http://www.molit.go.kr> [Accessed 13 July 2016].
- [4] 기상청, 2014. 통계연보, 기상청.
- [5] 김부영, 2011. 울산신항 개발에 따른 정박지 확장기준 수립. 석사학위 논문. 부산:한국해양대학교.
- [6] 김세원, 2009. 울산항 M-10 정박지의 정박안전성 연구. 한국해양수산 교육학회, 21(2), pp.291-305.
- [7] 김순갑, 2012. 선박항해용어사전. 다솜출판사: 부산.
- [8] 김아름, 2014. 부산 남외항 대기 정박지 운영 개선에 관한 연구. 석사학위 논문. 부산:한국해양대학교.
- [9] 김윤식, 2010. 사업초기단계의 공사비 예측을 위한 CBR 기반 MRA 보정 모델. 석사학위 논문. 서울시립대학교.
- [10] 김재호, 2013. 다중회귀분석 기반 지하도상가 시설물의 유지관리비 예측. 석사학위 논문. 서울시립대학교.
- [10] 김정록, 2015. 외해 개방형 정박지의 선박 정박 안전시스템 개발에 관한 연구. 박사학위 논문. 부산:한국해양대학교.
- [11] 김진언, 2014. 다중회귀분석을 통한 건설 프로젝트 특성요인과 손익율의 영향관계 분석. 석사학위 논문. 서울:성균관대학교.
- [12] 김진원, 2012. 회귀분석을 이용한 교육시설의 공사비 예측모델에 관한 연

- 구: 경기도 지역 BTL 사업을 대상으로. 석사학위 논문. 서울:한양대학교.
- [13] 김창범, 모수원, 2003. 해상물동량의 추정과 예측, *한국해운물류학회*, 37(0), pp.1-8.
- [14] 박건호, 2007. 부산 북항 O-2 정박지의 운영 개선방안에 관한 연구. 석사학위 논문. 부산:한국해양대학교.
- [15] 박영돈, 2006. 부산항 대기정박지(N-ANCHORAGE) 이용 선박의 통항 안전성 확보 방안 연구. 석사학위 논문. 부산:한국해양대학교.
- [16] 박지훈, 2010. 입력변수 수준분류에 따른 공동주택 공사비 예측기법의 정확도 분석. 석사학위 논문. 부산:동아대학교.
- [17] 양항진, 2006. 우리나라 해상물동량 추정과 항만정책. 박사학위 논문. 경남:경상대학교.
- [18] 오세웅, 2008. 공간분석과 순위가중치평균법을 이용한 입지평가 연구. 박사학위 논문. 부산:한국해양대학교.
- [19] 부산지방해양수산청, 2015. *Port-Mis*. [online] (Updated 23 March 2016) Available at: <http://www.portbusan.go.kr> [Accessed 23 March 2016].
- [20] 울산항만공사, 2014. 정박지 운영 개선 및 기상악화 시 피항기준 마련을 위한 연구 용역, 울산항만공사.
- [21] 윤귀호, 2014. 정박지의 효율적 운영을 위한 세척 개정방안. *해양환경 안전학회지*, 20(4), pp.398-404.
- [22] 윤점동, 2008. 선박조종의 이론과 실무, 2008년도 개정판. 부산:세종 출판사.
- [23] 이병훈, 2012. 다중회귀분석을 통한 부동산투자회사(REITs) 수익률 영향 요인 분석: 오피스텔 빌딩을 중심으로. 석사학위 논문. 서울:한양대학교.
- [24] 이윤석, 김종성, 박준모, 윤귀호, 2012. 미포항 비상정박지 지정에 관한 연구. *해양환경안전학회지*, 18(4), pp.316-322.

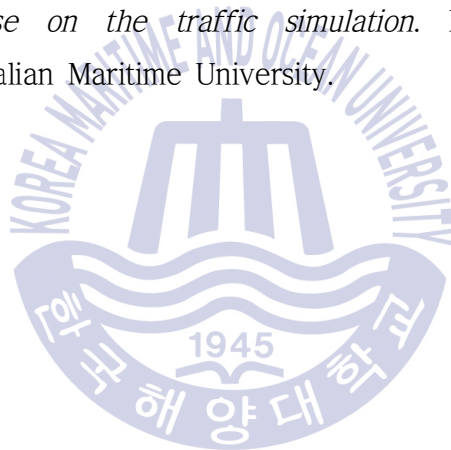
- [25] 이윤석, 2014. 울산항 E 집단정박지 묘박안전성 평가에 관한 연구. *해양환경안전학회지*, 20(2), pp.172-178.
- [26] 이윤석, 안영중, 2014. 국내 무역항의 표준 선박길이에 관한 연구, *해양환경안전학회지*, 19(2), pp.164-170.
- [27] 이종록, 2016. *회귀분석을 이용한 공동주택 전기·통신 공사비 예측 모델*. 석사학위 논문. 서울:성균관대학교.
- [28] 이지훈, 김울성, 신창훈, 2008. 항만물동량 예측기법의 비교에 관한 연구, *한국항해항만학회 2008 추계공동학술대회*. 항해항만학회:부산, pp.265-267.
- [29] 이창현, 이홍훈, 2014. 평택항 물동량 증가에 따른 정박지 확장 방안에 관한 연구. *해양환경안전학회지*, 20(6), pp.663-670.
- [30] 임남균, 김철승, 양형선, 이경우, 2012. 완도항 인근 수역 피항 정박지 지정 검토 연구. *해양환경안전학회지*, 14(1), pp.65-69.
- [31] 장봉규, 양항진, 2005. 우리나라 해산물동량 추정. *한국항만경제학회지*, 21(4). pp.255-274.
- [32] 정은미, 조민호, 김승철, 2012. 곡선추정 회귀분석을 통한 고객접착과 고객만족의 영향관계 분석: 항공사 기내서비스를 대상으로. *관광연구논총*, 24(1), pp.117-139.
- [33] 조익순, 2010. 해상교통안전진단제도를 통한 잠재적 해양사고 예방. 해양수산부, 제25차 해양사고방지 세미나. 부산상공회의소, July 3, 2010, pp.29-71.
- [34] 최자윤, 2009. *부산신항 정박지 재배치에 관한 연구*. 석사학위 논문. 부산:한국해양대학교.
- [35] 해양수산부, 1992. *항만 적정능력 산정 및 개발 기본계획 구상 1차 최종 보고서*. 해양수산부.

- [36] 해양수산부, 1998. *보령신항 건설 실시설계용역 보고서*, 해양수산부.
- [37] 해양수산부, 2011. *제3차 전국 항만기본계획(2011~2020)*, 해양수산부.
- [38] 해양수산부, 2014a. *2014 항만업무편람*, 해양수산부.
- [39] 해양수산부, 2014b. *해상교통안전진단시행지침*. 해양수산부.
- [40] 해양수산부, 2014c. *항만 및 어항 설계기준·해설*. 해양수산부.
- [41] 해양수산부, 2016a. *선박종류별 입항 척수 분석*. [online] (Updated 13 March 2016) Available at: <http://www.spidc.go.kr> [Accessed 13 March 2016].
- [42] 해양수산부, 2016b. *제3차 전국 항만기본계획 수정계획(안) 공청회 개최: 국내외 해운·물류환경 변화 등을 고려한 중장기 항만비전 제시*, 세종:해양수산부.
- [43] Christopher, A.C., 2003. *Simulation modeling handbook: A practical approach*, London: CRC Press.
- [44] Devill, S.B., 2011. *Port of rotterdam anchorage study: An occupancy evaluation using simulation*. Master of Science Thesis. Rotterdam: Delft University of Technology.
- [45] Deng, B., 2012. *Research on capacity of anchorage based on monte carlo algorism*. Degree of Master of Engineering. Dalian Maritime University.
- [46] Department of Defense, 2010. *United facilities criteria: military harbors and coastal facilities*, United States of America: Department of Defense.
- [47] Fan, S.L. & Cao, J.M., 2000. Sea space capacity and operation strategy analysis system. *Transportation Planning and Technology*, 24(1), pp.49-63.
- [48] Fujii, Y., 1971, Maritime traffic engineering. *Journal of Navigation*,

24(01), pp.24-34.

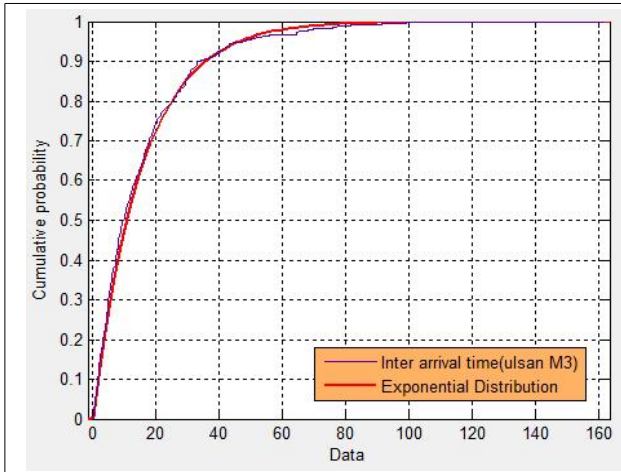
- [49] Huang, S.Y. et al., 2009. Anchorage research analysis using simulation. *The International Conference on Harbor, Maritime&Multimodal Logistics Modelling and Simulation*. pp.1-6.
- [50] Huang, S.Y., Hsu, W.J., & He, Y., 2011. *Assessing capacity and improving utilization of anchorages*. Transportation Research, Part E, pp. 216-227.
- [51] Jia, S.S., 2011. *Research on optimal number of anchorage for a port based on queueing theory*. Degree of Master of Engineering. Dalian Maritime University.
- [52] Jun, H.R., 2013. *A study on the anchorage capacity and planning of jiujiang port*. Degree of Master of Engineering. Hubei: Wuhan University of Technology.
- [53] Maritime Navigation Commission of the World Association for Water-borne Transport Infrastructure(PIANC MARCOM), 2014. *Harbour approach channels design guidelines*, Bruxelles: PIANC MARCOM.
- [54] Puertos del Estado, 2007. *ROM 3.1-99, Recommendations for the design of the maritime configuration of ports, approach channels and harbour basins*, Spain: V.A Impresores.
- [55] The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan(OCDI), 2009. *Technical standards and commentaries for port and harbour facilities in japan*, Tokyo: OCDI.
- [56] Thoresen, C.A., 2007. *Port designer's handbook: recommendations and guidelines*, United Kingdom: Lightning Source.
- [57] Usui, H. & Inoue, K., 1999. A method to estimate available number of anchorage. Japan institute of navigation, 101, pp.151-160.

- [58] Usui, H., 2002. *Navigation between anchored ships and manoeuvring difficulty*. The Journal of Navigation, 2002(5), pp.277-291.
- [59] US Army Corps of Engineers(USACE), 2006. *Engineering and design, hydraulic design of deep-draft navigation projects*, United States of America: USACE.
- [60] Xiaoling, M., Xing, Y. & Kezhong, L., 2012. Scale of anchorage simulation based on multi-leveal queuing model. *Journal of Wuhan University of Technology*, 36(3), pp.594-598.
- [61] Zhang, F.L., 2013. *Research on the demand of the number of anchorage base on the traffic simulation*. Degree of Master of Engineering. Dalian Maritime University.



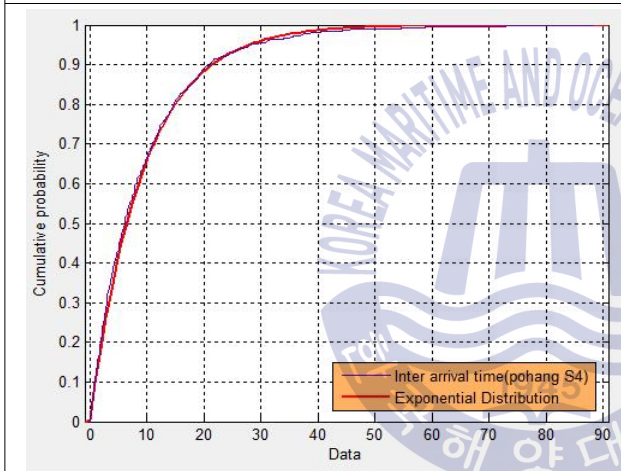
부록 A. 선박 도착 간 시간간격 분포 검정 결과

	<p>울산항 E1 정박지 시간간격</p> <ul style="list-style-type: none"> • μ : 1.76 • h : 0 • p : 0.06 • $ksstat$: 0.03 • cv : 0.03 <p>= 귀무가설 채택</p>
	<p>울산항 E2 정박지 시간간격</p> <ul style="list-style-type: none"> • μ : 27.72 • h : 0 • p : 0.93 • $ksstat$: 0.04 • cv : 0.11 <p>= 귀무가설 채택</p>
	<p>울산항 M2 정박지 시간간격</p> <ul style="list-style-type: none"> • μ : 11.40 • h : 0 • p : 0.63 • $ksstat$: 0.03 • cv : 0.05 <p>= 귀무가설 채택</p>



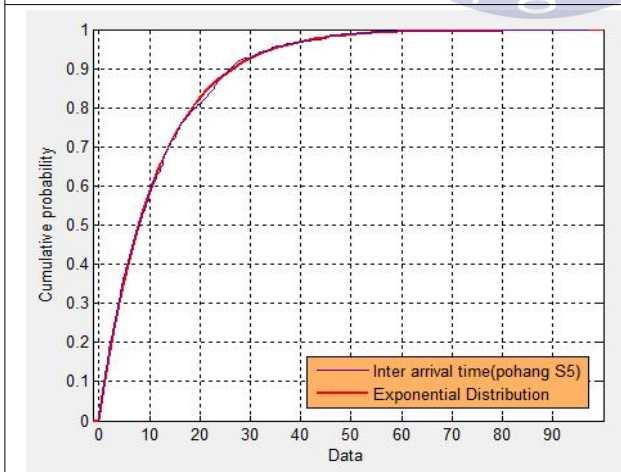
울산항 M3 정박지 시간간격

- μ : 15.42
 - h : 0
 - p : 0.23
 - $ksstat$: 0.04
 - cv : 0.06
- = 귀무가설 채택



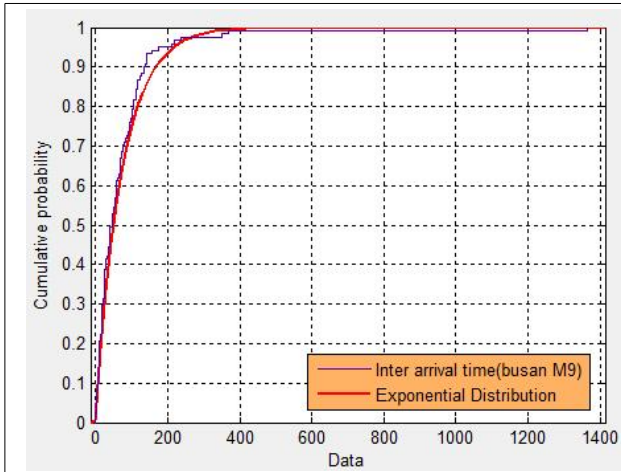
포항항 S4 정박지 시간간격

- μ : 9.31
 - h : 0
 - p : 0.15
 - $ksstat$: 0.04
 - cv : 0.04
- = 귀무가설 채택



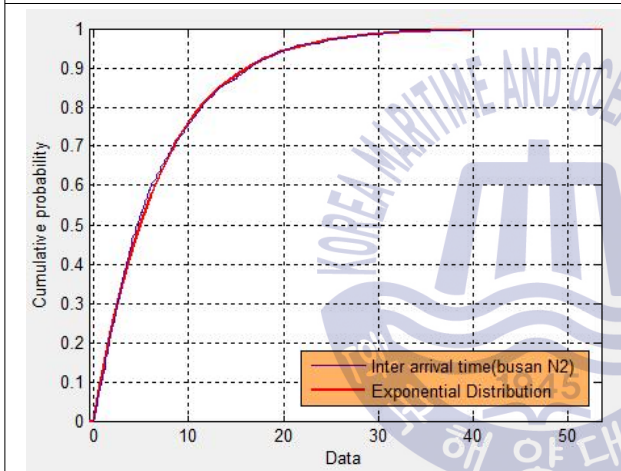
포항항 S5 정박지 시간간격

- μ : 11.54
 - h : 0
 - p : 0.54
 - $ksstat$: 0.03
 - cv : 0.05
- = 귀무가설 채택



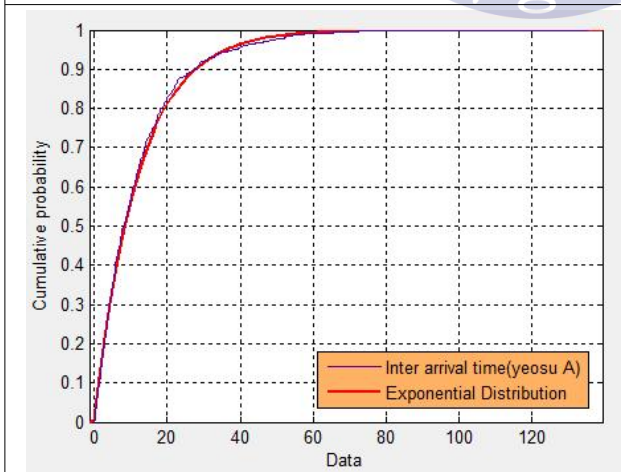
부산항 M9 정박지 시간간격

- μ : 72.17
 - h : 0
 - p : 0.17
 - $ksstat$: 0.10
 - cv : 0.12
- = 귀무가설 채택



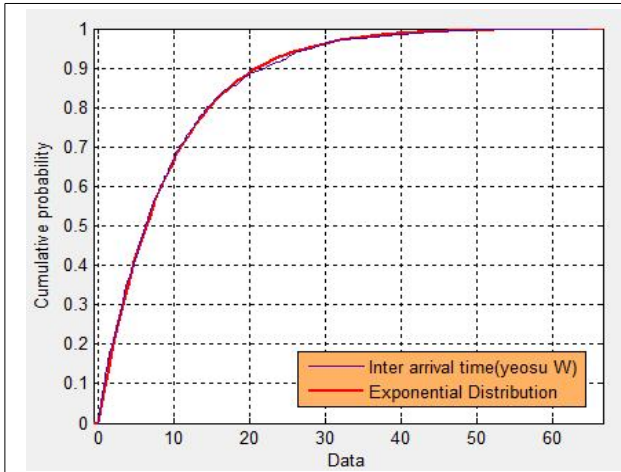
부산항 N2 정박지 시간간격

- μ : 6.99
 - h : 0
 - p : 0.33
 - $ksstat$: 0.03
 - cv : 0.04
- = 귀무가설 채택



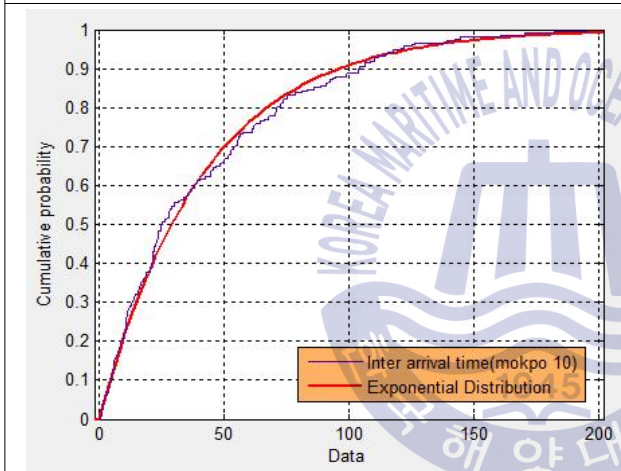
여수항 A 정박지 시간간격

- μ : 12.05
 - h : 0
 - p : 0.79
 - $ksstat$: 0.02
 - cv : 0.05
- = 귀무가설 채택



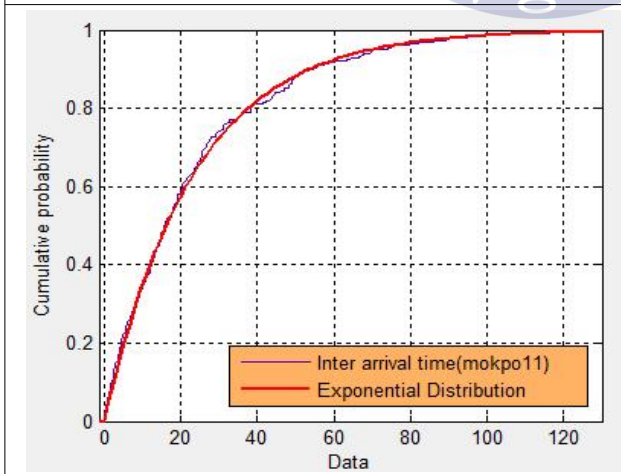
여수항 W 정박지 시간간격

- μ : 9.10
 - h : 0
 - p : 0.43
 - $ksstat$: 0.03
 - cv : 0.04
- = 귀무가설 채택



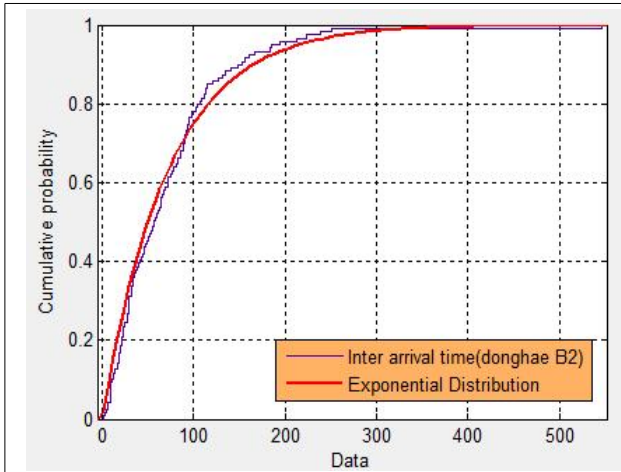
목포항 10 정박지 시간간격

- μ : 41.73
 - h : 0
 - p : 0.60
 - $ksstat$: 0.05
 - cv : 0.09
- = 귀무가설 채택



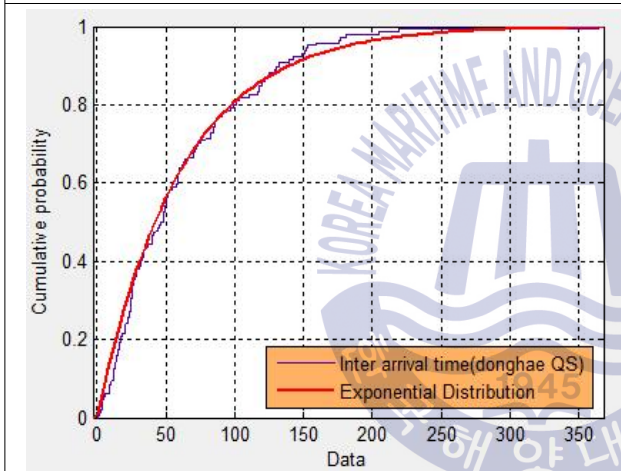
목포항 11 정박지 시간간격

- μ : 23.31
 - h : 0
 - p : 0.88
 - $ksstat$: 0.03
 - cv : 0.07
- = 귀무가설 채택



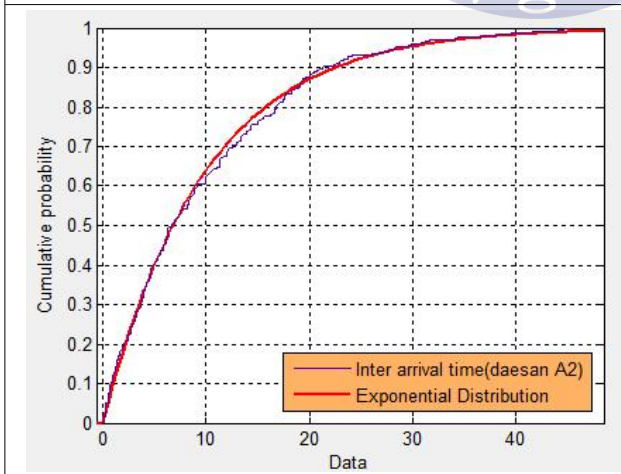
동해항 B2 정박지 시간간격

- μ : 72.00
 - h : 0
 - p : 0.44
 - $ksstat$: 0.08
 - cv : 0.12
- = 귀무가설 채택



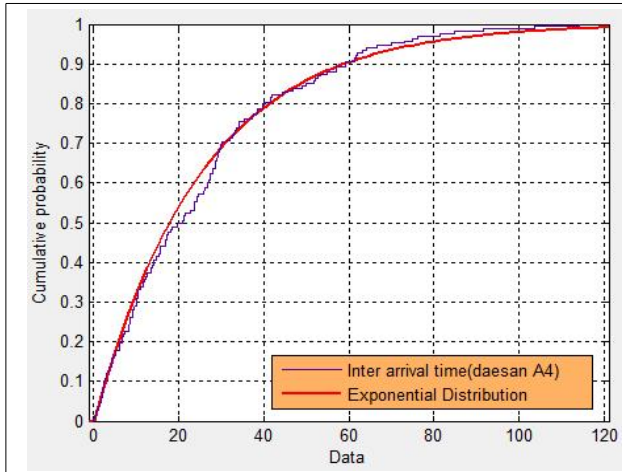
동해항 QS 정박지 시간간격

- μ : 60.57
 - h : 0
 - p : 0.36
 - $ksstat$: 0.08
 - cv : 0.11
- = 귀무가설 채택



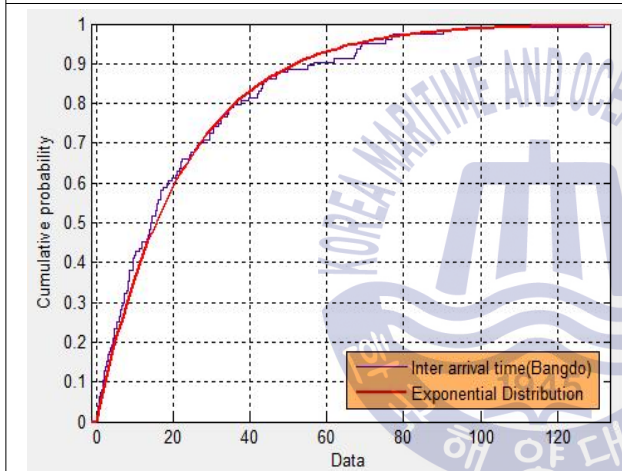
대산항 A2 정박지 시간간격

- μ : 9.79
 - h : 0
 - p : 0.84
 - $ksstat$: 0.04
 - cv : 0.08
- = 귀무가설 채택



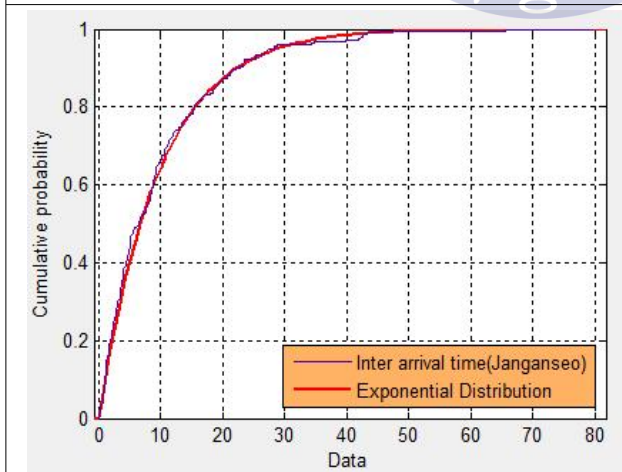
대산항 A4 정박지 시간간격

- μ : 25.53
 - h : 0
 - p : 0.29
 - $ksstat$: 0.08
 - cv : 0.10
- = 귀무가설 채택



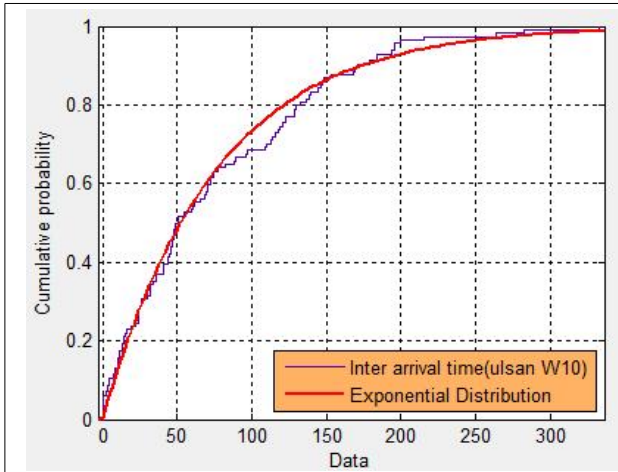
평택항 방도 정박지 시간간격

- μ : 22.50
 - h : 0
 - p : 0.64
 - $ksstat$: 0.07
 - cv : 0.12
- = 귀무가설 채택



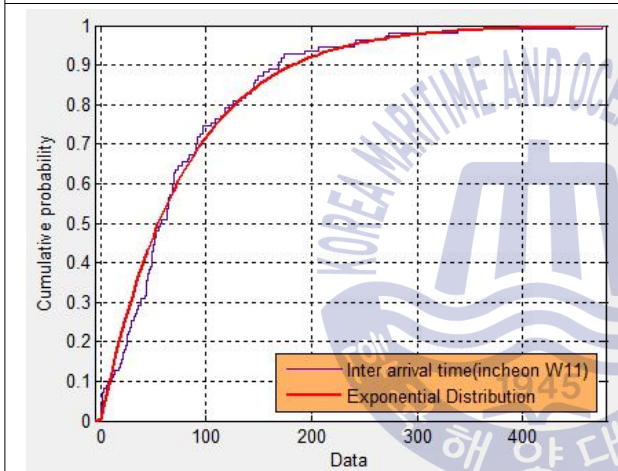
평택항 장안서 정박지 시간간격

- μ : 9.65
 - h : 0
 - p : 0.33
 - $ksstat$: 0.06
 - cv : 0.08
- = 귀무가설 채택



인천항 W10 정박지 시간간격

- μ : 75.39
 - h : 0
 - p : 0.43
 - $ksstat$: 0.08
 - cv : 0.13
- = 귀무가설 채택

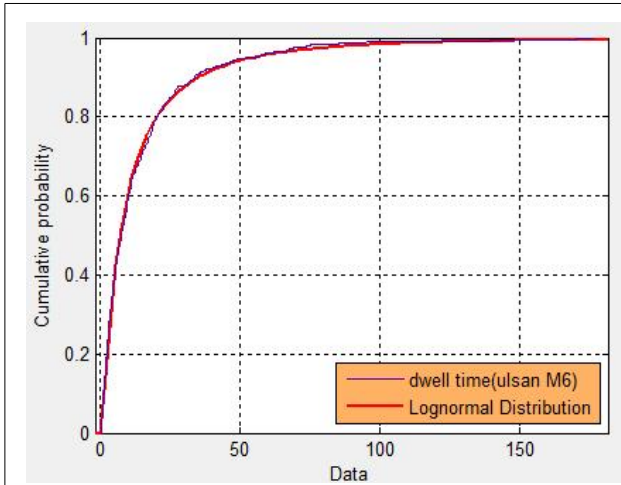


인천항 W11 정박지 시간간격

- μ : 79.01
 - h : 0
 - p : 0.20
 - $ksstat$: 0.10
 - cv : 0.13
- = 귀무가설 채택

부록 B. 정박지 대기시간 분포 검정 결과

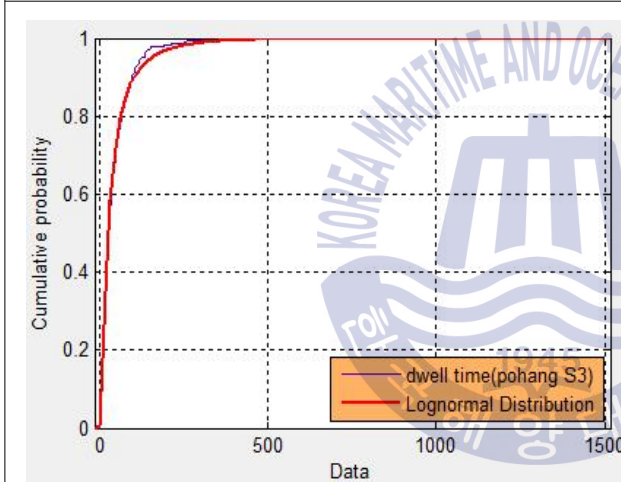
	<p>울산항 E1 정박지 대기시간</p> <ul style="list-style-type: none"> • μ (형상모수) : 2.46 • σ (분포모수) : 1.24 • h : 0 • p : 0.80 • $ksstat$: 0.02 • cv : 0.04 <p>= 귀무가설 채택</p>
	<p>울산항 E2 정박지 대기시간</p> <ul style="list-style-type: none"> • μ (형상모수) : 2.65 • σ (분포모수) : 1.28 • h : 0 • p : 0.37 • $ksstat$: 0.04 • cv : 0.07 <p>= 귀무가설 채택</p>
	<p>울산항 M3 정박지 대기시간</p> <ul style="list-style-type: none"> • μ (형상모수) : 2.32 • σ (분포모수) : 1.24 • h : 0 • p : 0.27 • $ksstat$: 0.05 • cv : 0.07 <p>= 귀무가설 채택</p>



울산항 M6 정박지 대기시간

- μ (형상모수) : 1.96
- σ (분포모수) : 1.24
- h : 0
- p : 0.72
- $ksstat$: 0.03
- cv : 0.06

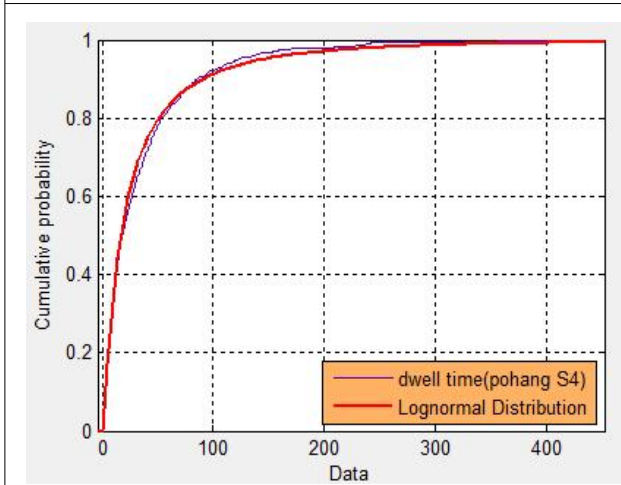
= 귀무가설 채택



포항항 S3 정박지 대기시간

- μ (형상모수) : 3.25
- σ (분포모수) : 1.09
- h : 0
- p : 0.41
- $ksstat$: 0.04
- cv : 0.07

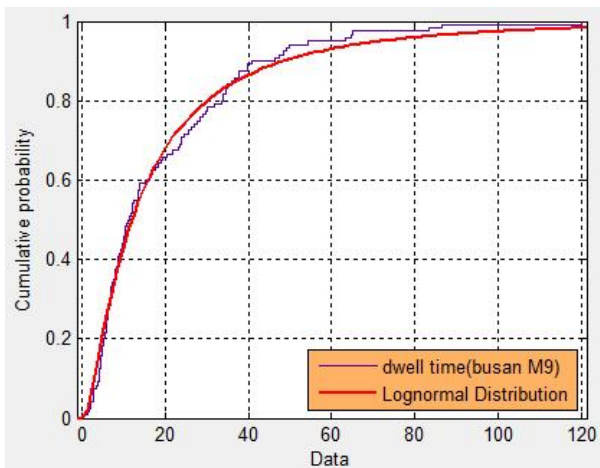
= 귀무가설 채택



포항항 S4 정박지 대기시간

- μ (형상모수) : 2.84
- σ (분포모수) : 1.30
- h : 0
- p : 0.19
- $ksstat$: 0.04
- cv : 0.05

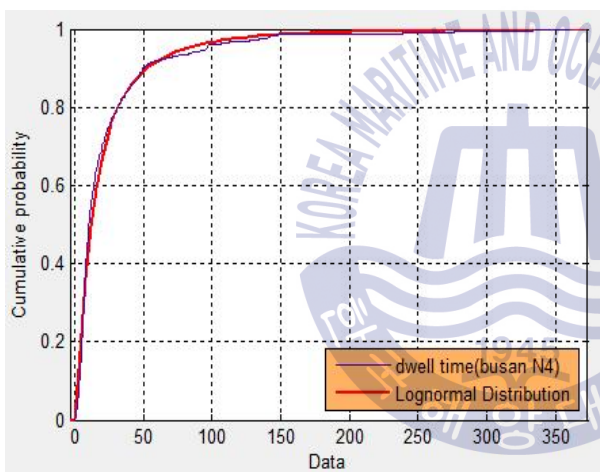
= 귀무가설 채택



부산항 M9 정박지 대기시간

- μ (형상모수) : 2.49
- σ (분포모수) : 1.09
- h : 0
- p : 0.53
- $ksstat$: 0.07
- cv : 0.12

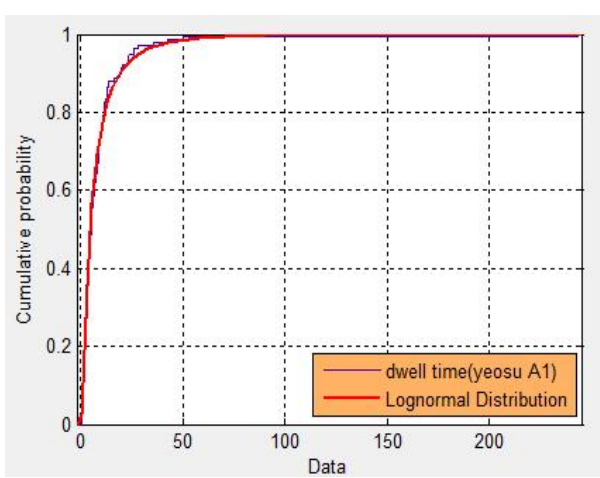
= 귀무가설 채택



부산항 N4 정박지 대기시간

- μ (형상모수) : 2.46
- σ (분포모수) : 1.17
- h : 0
- p : 0.06
- $ksstat$: 0.06
- cv : 0.06

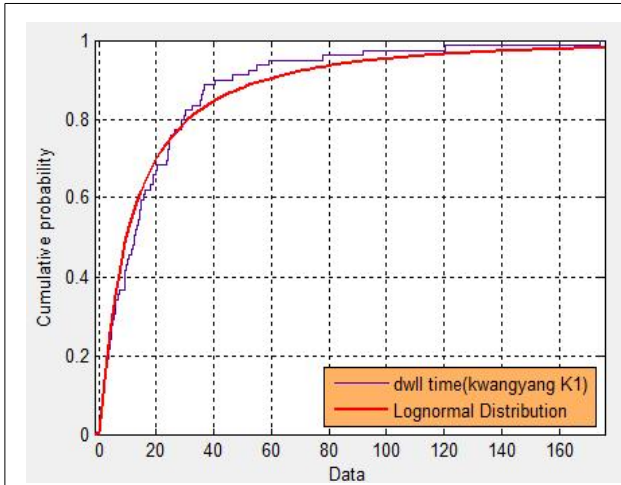
= 귀무가설 채택



여수항 A 정박지 대기시간

- μ (형상모수) : 1.52
- σ (분포모수) : 1.12
- h : 0
- p : 0.90
- $ksstat$: 0.05
- cv : 0.11

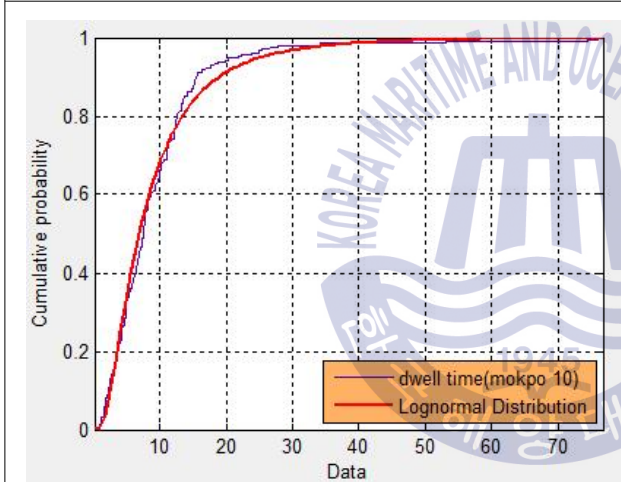
= 귀무가설 채택



광양항 K1 정박지 대기시간

- μ (형상모수) : 2.27
- σ (분포모수) : 1.40
- h : 0
- p : 0.21
- $ksstat$: 0.11
- cv : 0.15

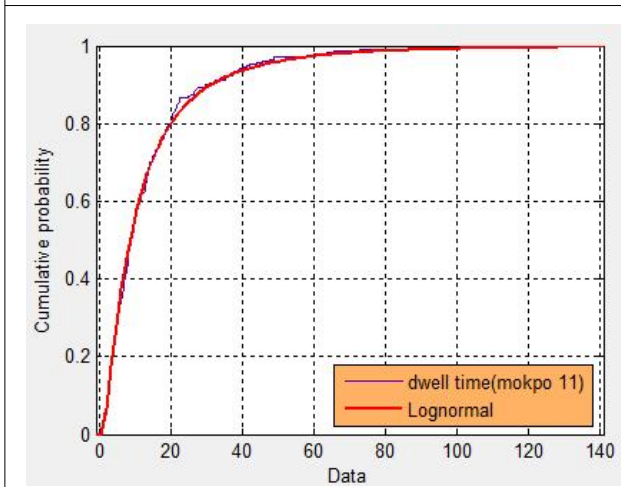
= 귀무가설 채택



목포항 10 정박지 대기시간

- μ (형상모수) : 1.91
- σ (분포모수) : 0.80
- h : 0
- p : 0.25
- $ksstat$: 0.07
- cv : 0.09

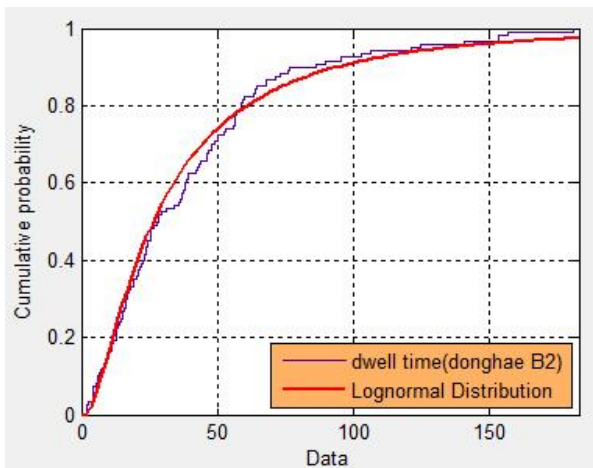
= 귀무가설 채택



목포항 11 정박지 대기시간

- μ (형상모수) : 2.15
- σ (분포모수) : 1.01
- h : 0
- p : 0.42
- $ksstat$: 0.05
- cv : 0.07

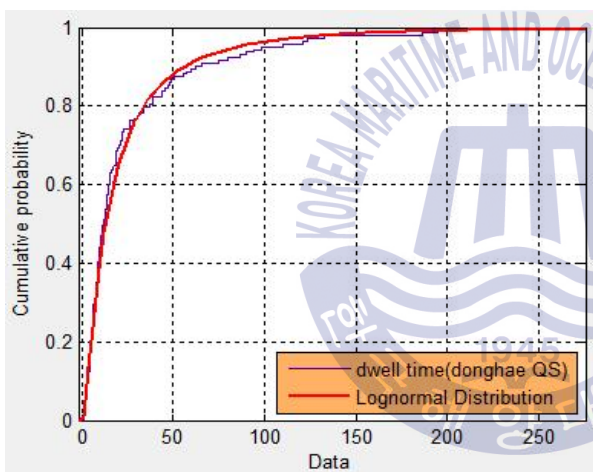
= 귀무가설 채택



동해항 B2 정박지 대기시간

- μ (형상모수) : 3.30
- σ (분포모수) : 0.99
- h : 0
- p : 0.37
- $ksstat$: 0.08
- cv : 0.12

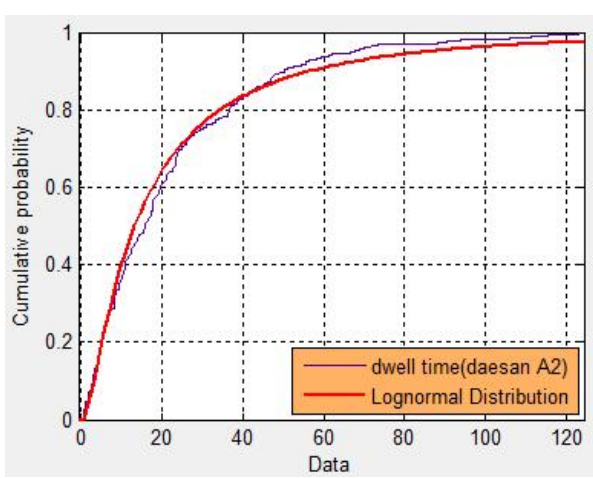
= 귀무가설 채택



동해항 QS 정박지 대기시간

- μ (형상모수) : 2.56
- σ (분포모수) : 1.14
- h : 0
- p : 0.52
- $ksstat$: 0.07
- cv : 0.11

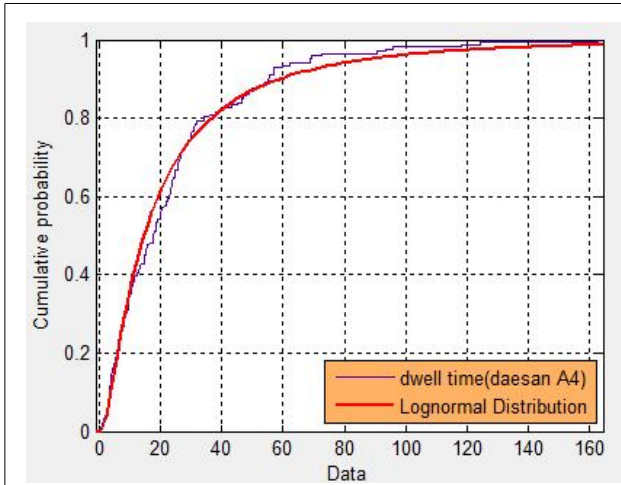
= 귀무가설 채택



대산항 A2 정박지 대기시간

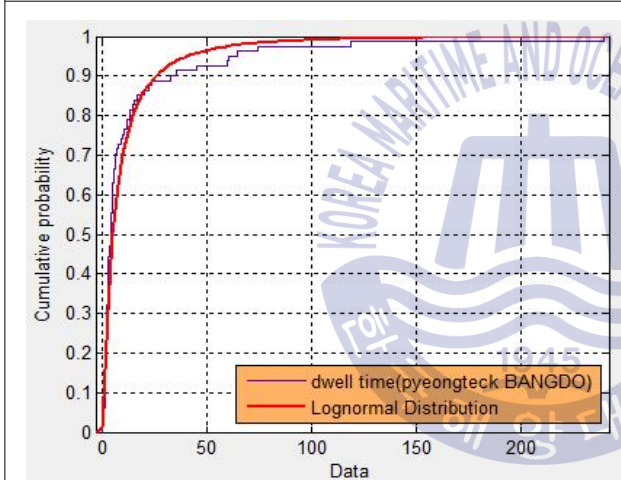
- μ (형상모수) : 2.60
- σ (분포모수) : 0.14
- h : 0
- p : 0.15
- $ksstat$: 0.07
- cv : 0.09

= 귀무가설 채택



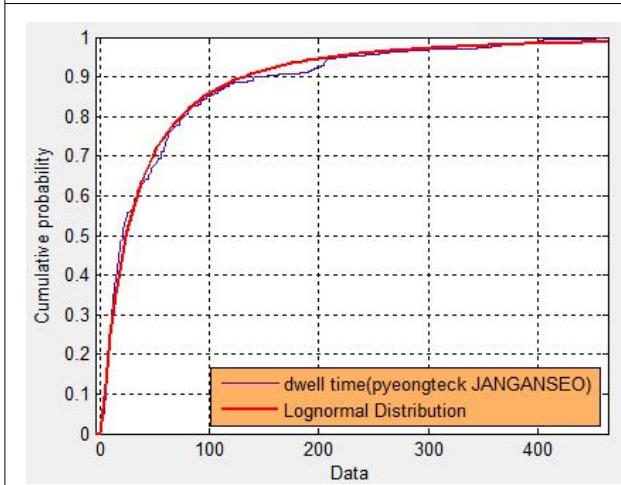
대산항 A4 정박지 대기시간

- μ (형상모수) : 2.68
 - σ (분포모수) : 1.09
 - h : 0
 - p : 0.20
 - $ksstat$: 0.08
 - cv : 0.10
- = 귀무가설 채택



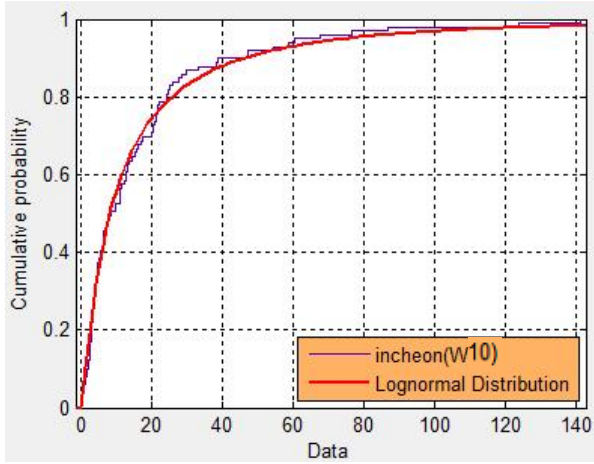
평택항 방도 정박지 대기시간

- μ (형상모수) : 1.66
 - σ (분포모수) : 0.25
 - h : 0
 - p : 0.10
 - $ksstat$: 0.12
 - cv : 0.15
- = 귀무가설 채택



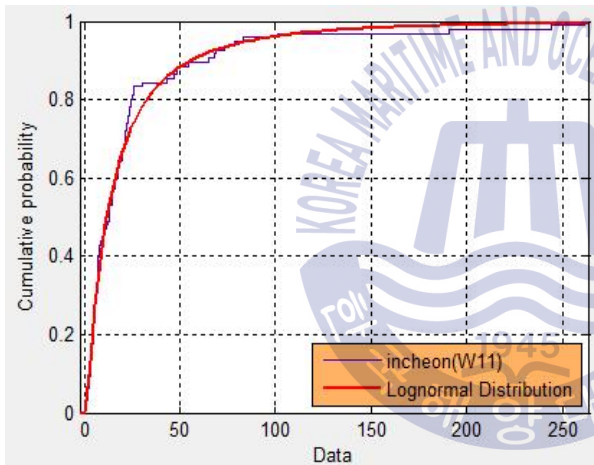
평택항 장안서 정박지 대기시간

- μ (형상모수) : 3.20
 - σ (분포모수) : 1.31
 - h : 0
 - p : 0.21
 - $ksstat$: 0.06
 - cv : 0.08
- = 귀무가설 채택



인천항 W10 정박지 대기시간

- μ (형상모수) : 2.12
 - σ (분포모수) : 1.34
 - h : 0
 - p : 0.82
 - $ksstat$: 0.06
 - cv : 0.12
- = 귀무가설 채택



인천항 W11 정박지 대기시간

- μ (형상모수) : 2.48
 - σ (분포모수) : 1.20
 - h : 0
 - p : 0.38
 - $ksstat$: 0.09
 - cv : 0.14
- = 귀무가설 채택