



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

효율적 해상교통관제를 위한 의사결정지원
모델 개발에 관한 연구

A Study on Development of Decision Making Support Model for
Efficient Vessel Traffic Service

지도교수 박 영 수

2020 년 2 월

한국해양대학교 대학원

항해학과
박 상 원

본 논문을 박상원의 공학박사 학위논문으로 인준함.

위원장 공학박사 박진수



위원 공학박사 국승기



위원 공학박사 조익순



위원 공학박사 장은규



위원 공학박사 박영수



2019년 12월 19일

한국해양대학교 대학원

목 차

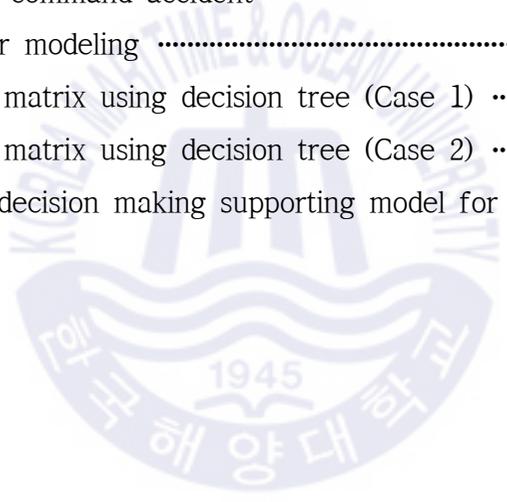
List of Tables	iii
List of Figures	v
Definitions of Terms	viii
Abstract	ix
제 1 장 서론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구방법 및 내용	3
제 2 장 의사결정지원 모델	6
2.1 해상교통관제의 정의와 목적	6
2.2 해상교통관제의 서비스	6
2.3 해상교통관제 의사결정지원 모델의 정의	11
제 3 장 통항안전 확보를 위한 시간·공간 관리 방안	15
3.1 해상교통관제 시간적 교신 시점	15
3.1.1 관제구역 내 위험상황 파악을 위한 교신분석	15
3.1.2 위험상황 발생간격 예측	22
3.2 해상교통관제 공간적 교신 시점	32
3.2.1 공간적 교신시점 파악을 위한 요인분석	33
3.2.2 공간적 교신시점 제안	37
3.3 소결	54
3.3.1 시간적 교신 시점 도출	54

3.3.2 공간적 교신 시점 도출	55
제 4 장 원활한 관제 교신을 위한 의사소통관리 방안	59
4.1 대기행렬을 이용한 관제구역 교신 시간 분석	62
4.1.1 대기행렬 모델 소개	62
4.1.2 교신분석 대상	66
4.1.3 부산항 북항 관제구역 교신현황	68
4.2 해상교통관제 채널의 효율적 운영 방안	77
4.2.1 주간시간대 복수의 관제채널 운용	79
4.2.2 통과보고 간소화 방안	81
4.2.3 선박동정보고 시간 축소 방안	84
4.3 소결	86
제 5 장 지정항로의 효율적 운영을 위한 안전운항관리 방안	89
5.1 효율적 운영을 위한 최저속력 제한	89
5.1.1 속력제한 사례연구	89
5.1.2 속력제한을 통한 수로 운영의 필요성	95
5.1.3 최저속력 제한 효과 검증을 위한 시뮬레이션	96
5.2 안전운항관리를 위한 고장선박 판단기법	113
5.2.1 고장선박 식별 필요성	113
5.2.2 고장상황 판단기법	116
5.2.3 판단기법을 이용한 고장선박 분류	119
5.3 소결	129
5.3.1 효율적 운영을 위한 최저속력 제한	129
5.3.2 안전운항관리를 위한 고장선박 판단기법	131
제 6 장 결론	132
참고문헌	137

List of Tables

Table 1	Concept of decision making support for VTS	14
Table 2	Number of communication via VHF Ch.12 for 7days	17
Table 3	Number of VTS's communication contents for 7days	18
Table 4	Comparison of traffic volume and number of communication	19
Table 5	Number of vessel's communication contents via VHF Ch.12 for 7days	21
Table 6	Chi-square test for validation of the poisson distribution on VTS control (N=84)	25
Table 7	Chi-square test for validation of the poisson distribution for daytime (N=84)	28
Table 8	Chi-square test for validation of the poisson distribution on VTS monitoring (N=84)	31
Table 9	Summary of literature review	37
Table 10	Number of inbound/outbound vessel of VTS installed ports by year	40
Table 11	The number of ships and L2 conversion traffic per 1minute in zone	45
Table 12	The number of ships per unit area(km ²)	47
Table 13	Percentage of ships with risk level 5 or higher in each zone	49
Table 14	Marine accident around Busan new port VTS area (collision)	53
Table 15	Analysis result by factor	56
Table 16	Road traffic speed limit	91
Table 17	Speed limit in Korean harbours	92
Table 18	Speed limit on approaching routes in Korea	93
Table 19	World wide speed limit on approaching routes	94
Table 20	Effectiveness of minimum speed limit	96
Table 21	Vessel representative length ratio	106
Table 22	Case of arrival interval is earlier than service time (5 ships/h)	107

Table 23	Case of arrival interval is earlier than service time (10 ships/h)	108
Table 24	Case of arrival interval is earlier than service time (15 ships/h)	108
Table 25	Average waiting time (5 ships/h)	110
Table 26	Average waiting time (10 ships/h)	110
Table 27	Average waiting time (15 ships/h)	111
Table 28	regression analysis result	112
Table 29	Marine accidents for 5 years	114
Table 30	Marine accident types	114
Table 31	Decision tree node	118
Table 32	Not under command accident	119
Table 33	Factors for modeling	121
Table 34	Confusion matrix using decision tree (Case 1)	124
Table 35	Confusion matrix using decision tree (Case 2)	127
Table 36	Result of decision making supporting model for VTS operators	134



List of Figures

Figure 1	Flow chart of study	5
Figure 2	VTSO' s advice starting point by risk level	20
Figure 3	Passing vessel's communication starting point by risk level	22
Figure 4	Observation No. and probability of control for dangerous ships in VTS area	24
Figure 5	Probability of control for next dangerous ships in Busan VTS area	26
Figure 6	Observation No. and probability of control for dangerous ships for daytime	27
Figure 7	Probability of control for next dangerous ships for daytime	29
Figure 8	Observation No. and probability of dangerous ship's communications	30
Figure 9	Probability of monitoring next dangerous ships	32
Figure 10	Risk level determination using PARK model	39
Figure 11	Traffic zone divided by the characteristics of traffic flow	42
Figure 12	Heatmap of traffic density around Busan new port	43
Figure 13	Heatmap of traffic density in Busan new port	44
Figure 14	Distribution of risk level in VTS area	49
Figure 15	Distribution of separation distance by zone	52
Figure 16	Position of collision accident around Busan new port VTS area	54
Figure 17	VHF communication concept in VTS area	62
Figure 18	Correlation between the number of communications and arrival and departure of ships	66
Figure 19	Study area (Busan port)	67
Figure 20	VHF communication data analysis process	68
Figure 21	Number of communication by time slot	68
Figure 22	Classification by contents of communication	69

Figure 23	Distribution of time until next arrival	71
Figure 24	Distribution of communication time	72
Figure 25	Utilization of communication channel	73
Figure 26	Waiting time in queue line	74
Figure 27	Service time in VTS area	75
Figure 28	Waiting ships in queue line	76
Figure 29	Vessels serviced in VTS area	77
Figure 30	Proposed utilization of communication channel	78
Figure 31	Change in utilization when installing VTS channel (1st day)	80
Figure 32	Change in utilization when installing VTS channel (2nd day)	80
Figure 33	Change in utilization when installing VTS channel (3rd day)	81
Figure 34	Change in utilization when installing VTS channel (4th day)	81
Figure 35	Change in utilization when passing report excluded (1st day)	82
Figure 36	Change in utilization when passing report excluded (2nd day)	83
Figure 37	Change in utilization when passing report excluded (3rd day)	83
Figure 38	Change in utilization when passing report excluded (4th day)	84
Figure 39	Change in utilization rate when ship reporting time is reduced (1st day)	85
Figure 40	Change in utilization rate when ship reporting time is reduced (2nd day)	85
Figure 41	Change in utilization rate when ship reporting time is reduced (3rd day)	86
Figure 42	Change in utilization rate when ship reporting time is reduced (4th day)	86
Figure 43	Vessel speed distribution in Busan North VTS area (0~15kt)	97
Figure 44	Vessel speed distribution in Busan North VTS area (15~30kt)	97
Figure 45	Speed distribution of vessels arriving Busan north port	98
Figure 46	Distribution of ships by time taken until the next ship arrives in Busan north port	99
Figure 47	Percentage of arrival ship' s length in Busan north port	100
Figure 48	Number of L conversion ship	105
Figure 49	Effect of speed limit	109

Figure 50	Effect of speed limit	111
Figure 51	Concept diagram of ship movement anomaly detection model	115
Figure 52	Not under command ship trajectory	120
Figure 53	Scatter plot and correlation coefficient for explanatory variable	122
Figure 54	Decision tree result (Case 1)	124
Figure 55	Decision tree result (Case 2)	126
Figure 56	Prediction using decision trees in Busan port	128
Figure 57	Commonly predicted failures	129
Figure 58	PARK model & traffic density map (day time)	136



Definitions of Terms

간접관제	: 관제채널 내에서 선박과 선박이 서로 호출하여 의도를 표명하고 안전통항을 위한 합의를 하는 것
관제구역	: 해상교통관제를 시행하는 구역
관제섹터	: 관제구역 내 분할된 운영 구역
관제센터	: 해상교통관제가 이루어지는 센터
관제채널	: 관제구역에 지정된 VHF 채널
연안 VTS	: 연안의 일정 구역을 통과하는 선박을 관제하는 VTS
직접관제	: VTS가 먼저 선박을 VHF로 호출하여 권고 및 지시를 하는 관제형태
항만 VTS	: 주로 항만 부근의 선박통항을 관제하는 VTS
해상교통관제사	: 자격을 갖추고 해상교통관제를 시행하는 사람
AIS	: 선박자동식별장치로, 선박의 안전항행, 환경보호 및 VTS 운용을 지원하기 위하여 국제해사기구에서 채택한 장비
VTS 서비스	: 관제구역 내의 선박에게 안전에 관한 정보 및 항만의 효율적 운영에 필요한 항만운영정보를 제공하는 것으로 INS, NAS, TOS를 포함함

A Study on Development of Decision Making Support Model for Efficient Vessel Traffic Service

Park, Sang Won

Department of Navigation Science
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

The purpose of this study is to propose a quantitative standard to provide decision making supporting so that a VTS operator can provide optimal information for efficient maritime traffic control.

To achieve this purpose, the following research questions were posed;

First, under what circumstances should a VTS operator begin control?

Second, is there any way to effectively use a VHF communication channel to avoid congestion?

Third, is there any way to use efficient waterways in the situation where safety is guaranteed?

Fourth, can't a VTS operator quickly identify vessel failures?

To respond to these questions, three types of data (marine traffic surveys, VHF communication, and marine accidents) were investigated and analyzed.

The findings of this study are as follows;

First, the Busan North Port VHF communication analysis confirmed that the

probability of controlling vessels with a risk level of 5.0 or higher by the PARK model per unit time in the VTS area was based on the poisson distribution. Through this, it was possible to predict the time interval for controlling a vessel at future risk 5.0, which can help a VTS operator to decide the timing of the time communication. In addition, a relatively dangerous zone could be derived by performing spatial analysis and the PARK model risk assessment using marine traffic survey data near Busan New Port. This can assist a VTS operator in making decisions about when to communicate spatially.

Second, a quantitative analysis of VHF communication status in the Busan North Port was conducted using queuing theory and three ways to reduce traffic congestion for safe and efficient maritime traffic management. The queue theory consists of the increase of communication channels, the elimination of passing reports, and the reduction of basic ship traffic information.

Third, as a basic step to design the minimum speed for efficient operation of the route in VTS areas, the impact on the waiting time of the ship to approach the route when the minimum speed was limited was analyzed. Performed the simulation designed using the data from the Busan North Port, the results showed that latency and speed limit had a negative relationship. In other words, the higher the speed limit, the lower the waiting time. In addition, the positive relationships were identified not only between safety distance and waiting time but also between traffic volume and waiting time.

Forth, based on the AIS data of the actual accident ship, a model was designed in order to identify the accidents of not under command ships including engine failure and steering failure that occur most frequently in Korea's waters. In addition, it was applied to the Busan North Port VTS area, and the ratio of the current speed to the average speed was the most important factor in determining/identifying the failure. However, it was

difficult to distinguish ships in anchorages, docks, and pilot station, therefore further studies should be conducted.

The result of this study will help VTS operators decide quantitatively and ship operator also will be provided with the same service under the same circumstances. Moreover, as this study aimed at the port VTS, if the consecutive study includes the coastal VTS, it can be developed into a model that can cover the entire sea area of Korea.

KEY WORDS : VTS, Marine traffic, VTS communication, Risk analysis, Decision making support



제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 목적

우리나라는 3면이 바다인 지리학적 특징으로 해상운송이 활발하게 발달했으며, 이에 따라 해상물동량은 지속적으로 증가하고 있다. 더불어 주 52시간 근무 시행과 해양관광의 지속적인 홍보로 해양레저 스포츠, 섬 여행 등을 즐기는 국민들이 증가하고 있다. 즉 물동량 증가로 인한 해상교통 증가와 더불어 해양을 이용하는 국민도 증가하여 해사안전에 대한 중요성이 더욱 높아졌다는 것을 알 수 있다. 그러나 '18년도 해양사고 현황 보고서에 따르면, 해양사고는 '18년도에 2,671건이 발생했으며 이는 최근 5년간 가장 많은 건수 이다. 그리고 공해를 제외한 영해 내 해양사고를 살펴봐도 2,392건이 발생하여 5년간 평균인 1,916건보다 약 1.2배 많이 발생한 것을 알 수 있다. 해사안전의 중요성은 지속적으로 고조되고 있으나, 해양사고는 증가하고 있어 이에 대한 대책이 시급한 것으로 판단된다(해양수산부, 2019).

이러한 해양사고 위험을 감소시키고 선박통항의 안전과 효율성을 증진하기 위하여 국제해사기구(International Maritime Organization, 이하 IMO)에서는 각국의 주관청이 해상교통이 야기할 수 있는 유해한 영향으로부터 연안해상설비, 해양환경 보호, 항해의 효율성과 안전, 인명의 보호를 위해 필요한 지역에 해상교통관제(Vessel Traffic Service, 이하 VTS)를 설치·운영하도록 하고 있다(IMO, 1997).

우리나라는 VTS 서비스를 '93년 1월 포항항에서 처음 시작했다. 현재('19년 10월)는 '18년 8월에 운영을 시작한 태안연안 VTS까지 총 20개소의 항만 및 연안에서 VTS가 운영되고 있다. 그리고 해양경찰청 계획에 따르면, '21년 군산, 목포 연안, '22년 제주, 서귀포, 포항, 동해연안까지 VTS가 설치될 예정이며 이를 통해 우리나라 전 해역에 대해 해상교통의 관제가 이루어질 수 있을 것으로 전망된다(국민안전처, 2016).

해상교통관제사(이하 관제사)는 선박의 충돌사고 예방과 원활한 교통흐름을 위해 VTS 시스템을 통해 선박의 움직임을 실시간으로 모니터링하고 충돌위험 상황을 인지하는 업무를 수행한다. 그리고 관제대상 선박이 적절한 조치를 하여 사고를 미연에 방지할 수 있도록 정보제공, 조언, 권고, 지시 등을 한다. VTS의 근본적인 목적은 관제구역 내 선박이 안전하지 않은 상황이 발생하기 전에 최적의 정보를 항해사나 도선사에게 제공하여 사고를 예방하는 것이다. 그러므로 어떤 시점에, 누구에게, 어떤 위치에서, 사고 예방을 위한 정보를 어떻게 제공해야하는지가 관제사에게는 매우 중요하다고 할 수 있다.

이러한 정보제공을 위한 관제절차의 가이드라인은 IALA VTS Manual, 「선박교통관제의 시행 등에 관한 규칙」 제3조(선박교통관제에 관한 절차) 및 「선박교통관제 운영규칙」 제14조(관제절차) 따라 설정되어 있다. 하지만 정량적인 기준을 제시하지는 않고 있어, 유사한 교통 상황에서도 관제사의 조치는 관제사마다 다르다.

한편 해양경찰청(2018)의 설문조사 결과에 따르면, 관제 업무 중 선박교통위험예측 항목이 가장 중요한 업무이며, 작업부하는 관제정보제공 항목이 가장 높은 것으로 나타났다. 즉 관제사는 VTS의 근본적인 목적인 사고 방지를 위한 정보제공을 관제사의 역할로 정확히 파악하고 있으며, 이에 대한 부담도 많이 받고 있는 것으로 해석할 수 있다. 그러므로 관제사의 의사결정을 지원하기 위한 수단이 필요하며, 이와 관련하여 IALA Guideline 1110에서는 일반적 혹은 비일반적 상황에서 관제사의 의사결정을 돕는 방법을 의사결정도구라 정의하고 있다. 그리고 의사결정을 위한 항목으로는 충돌 회피, 앵커위치, 좌초 방지, 금지구역, 속력제한, 사고 관리 등이 있다(IALA, 2014).

따라서 본 논문에서는 효율적인 해상교통관제를 위해서 관제구역의 교신 데이터, 해상교통조사 데이터, 해상교통관련 사고 데이터의 분석을 실시하고, 이를 통해 관제사의 의사결정을 지원할 수 있는 정량적인 기준을 제안하고자 한다.

1.2 연구방법 및 내용

관제사의 의사결정을 지원할 수 있는 정량적인 기준을 제안하기 위해 VTS가 제공하는 서비스의 특징을 확인하고 해상교통관제 의사결정지원 모델의 정의를 수립했다. 그리고 의사결정지원 모델 개발을 위해 우리나라의 대표적인 항만인 부산항과 부산신항의 AIS 실측 데이터와 관제구역의 VHF 교신 데이터를 수집했다. Inoue & Hara(1973)는 해상교통량의 주변화를 고려해서 6~7일의 해상교통 관측일수가 적당하다고 했으며, 우리나라 「해상교통안전진단 시행지침」 별표2 안전진단항목별 기술기준에 따르면 AIS를 이용한 관측은 72시간(3일) 이상 현장관측을 하도록 정하고 있다(법제처, 2019). 본 논문에서는 가능한 7일간, 최소한 3일 이상의 실측 데이터를 이용했다.

먼저 관제구역에서 운영되는 VHF 교신 데이터를 분석했다. 교신 데이터를 통해 관제사가 관제를 실시한 교신에 대해 충돌위험도 모델을 적용해서 위험한 상황을 도출했다. 도출된 위험상황은 일정한 분포에 따라 발생한다는 것을 확인했으며, 이는 관제구역 내에서 관제사가 위험한 순간이라 판단해서 관제에 개입하는 시간을 예측할 수 있다는 것을 의미한다. 그리고 관제구역의 해상교통조사 데이터 분석을 통해 관제구역 내 집중적으로 감시되어야 할 구역을 도출할 수 있는 방안을 제시하고자 했다. 이를 통해 관제사가 시간적·공간적으로 교신시점의 결정을 지원할 수 있는 모델을 도출하고자 했다.

그리고 관제구역에서 발생하는 교신을 서비스로 간주했을 때 교신시간은 대기행렬을 따름을 증명했다. 대기행렬에 따라 관제구역의 교신의 혼잡도를 분석하고 혼잡도를 줄이기 위한 방안을 3가지 제시하고자 했다. 이를 통해 관제구역에서 제공되는 서비스의 내용 결정이나 효율적인 관제인원 운영의 결정을 지원할 수 있는 의사소통 모델을 도출하고자 했다.

그리고 관제구역 항로로 들어오는 선박의 속력을 분석하여, 항로의 혼잡도, 안전거리에 따라 선박 대기시간에 미치는 영향을 도출했다. 또한 가장 빈번하게 발생하는 기관고장 사고를 포함한 조종불능상황을 대상으로 관제구역에서 얻을 수 있는 선박 데이터(AIS)를 이용하여 고장 선박을 예측할 수 있는 방안을

제시했다. 이를 통해 관제사가 안전운항을 위한 의사결정을 지원 할 수 있는 모델을 도출하고자 했다.

끝으로 이 연구의 결과와 내용을 요약하고 연구결과가 의미하는 시사점 및 연구의 한계를 서술하여 향후 연구 방향을 제시했다.

이와 같이 본 연구의 진행과정을 도식화하면 Figure 1과 같다.



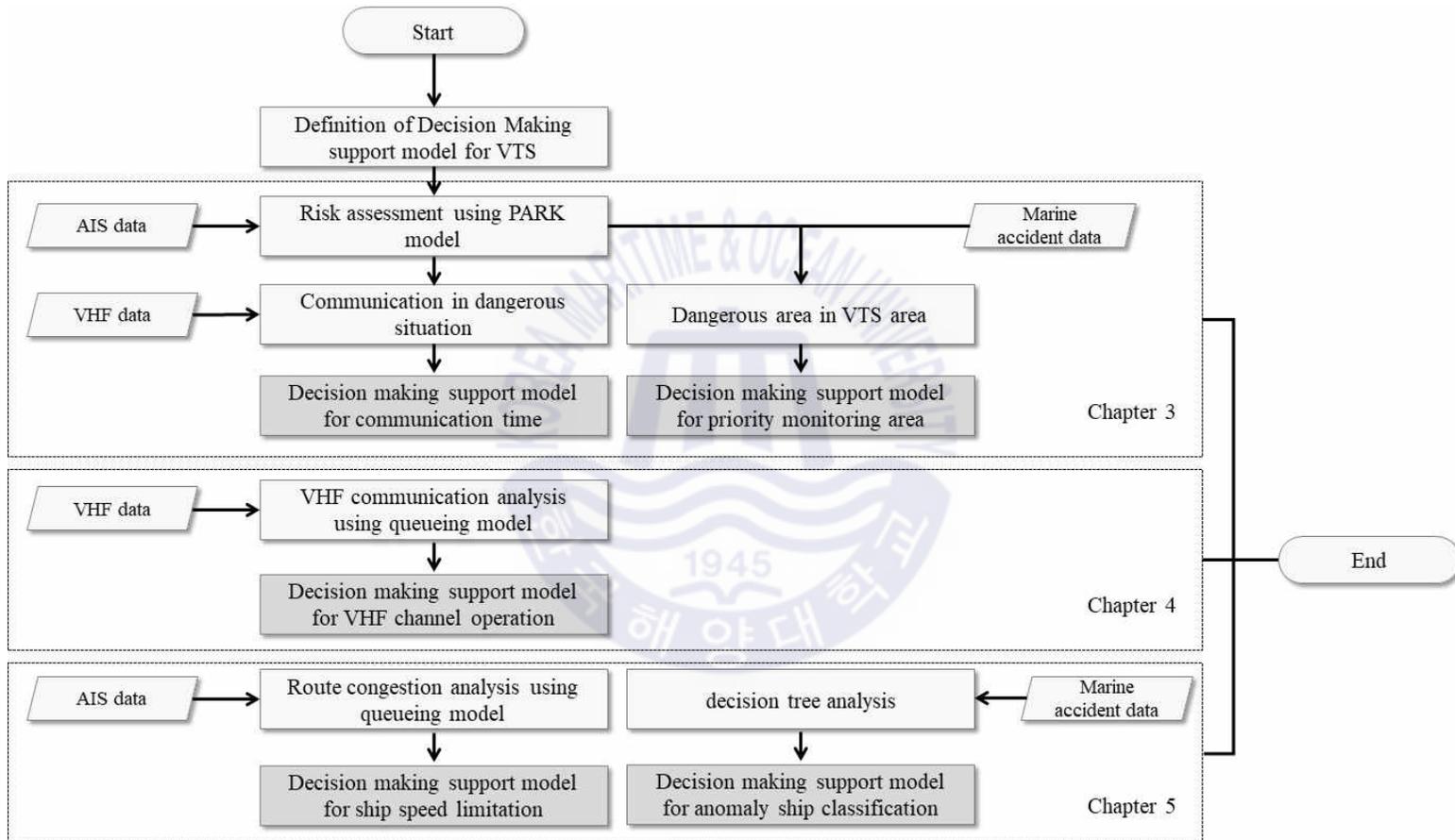


Figure 1 Flow chart of study

제 2 장 의사결정지원 모델

2.1 해상교통관제의 정의와 목적

IMO는 결의서를 통해 “VTS란 선박통항의 안전과 효율을 증진시키고 환경을 보호하기 위해 주무관청이 제공하는 서비스로, 이러한 서비스는 VTS 구역 내에서 일어나는 교통상황과 상호 작용하여 대응할 수 있어야 한다.” 라고 정의하고 있으며(IMO, 1997), SOLAS협약 제5장 12규칙에는 “VTS는 해상교통이 야기할 수 있는 유해한 영향으로부터 연안해상설비와 해상작업위치, 근접해안지역, 해양환경의 보호, 항해의 효율성과 안전 그리고 해상에서의 인명의 안전에 기여한다” 라고 규정되어 있다.

우리나라는 「해사안전법」 제2조(정의)에서 “선박교통관제란 선박교통의 안전 및 효율성을 증진하고 해양환경과 해양시설을 보호하기 위하여 선박의 위치를 탐지하고 선박과 통신할 수 있는 설비를 설치·운영함으로써 선박의 동정을 관찰하며 선박에 대하여 안전한 정보를 제공하는 것” 이라고 정의하고 있다.

IMO, SOLAS 협약 및 우리나라 국내법의 정의에 따라 VTS는 “항해의 안전과 효율성 증진, 해상에서의 인명 안전 및 해양환경의 보호를 위한 정보 제공 서비스” 라 정의할 수 있다. 이와 같이 해상교통안전을 위해 VTS는 선박의 식별과 감시, 선박이동의 전략수립, 항행정보 제공과 원조 등의 서비스를 제공한다. 그러므로 VTS는 정보제공 서비스의 시기나 방법 등이 중요하며, 이를 관할하는 관제사는 꼭 필요한 정보가 무엇인지 파악하고 적시적소에 제공할 수 있는 능력과 위험 상황에 즉각적으로 대응할 수 있는 능력이 필요하다. 그렇기 때문에 정보 제공 서비스에 대한 시기와 방법 등의 정량적인 기준이 있다면, 관제사의 의사결정판단에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

2.2 해상교통관제의 서비스

VTS는 일반적으로 관제구역 내의 주변상황, 교통현황을 적시에 제공하여 선

박의 항해 의사결정을 지원한다. 특히 시정제한, 기상 악화 시에 선박의 항해안전 지원을 위한 정보를 제공하고 관제구역 내의 위험상황의 전개 방지 및 선박의 안전하고 효율적인 이동을 위해 해상교통지원서비스를 제공한다. 또한 선박보고 부담 최소화 및 VTS 효과 극대화를 위해 정보수집, 평가 및 원활한 자료제공의 기능을 수행한다. VTS 초기에는 선박의 안전운항을 위한 정보제공에 국한되었으나, 해상교통의 폭주, 위험화물의 증가와 잠재적인 환경오염의 위험으로 인하여 항만의 안전 또는 항만의 효율성 제고 측면에서 VTS의 역할과 기능은 더욱 커지게 되었다(국토해양부, 2013).

한편 IMO와 국제항로표지협회(International Association of Maritime Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, 이하 IALA)에서는 VTS Manual을 통해 VTS가 제공하는 서비스를 정보서비스(Information Service), 항행지원서비스(Navigation Assistance Service) 및 교통관리서비스(Traffic Organization Service)로 구분하고 있다(IALA, 2016). 정보서비스는 독립적일지라도, 항행지원서비스는 정보서비스를 포함하고, 교통관리서비스는 정상적으로 정보와 항행지원서비스를 포함하며, 제공되는 서비스에 따라 VTS의 형태가 달라진다.

(1) 정보서비스(Information Service)

정보서비스는 관제구역 내의 주변상황, 교통현황에 대한 정보를 적시에 제공하여 선박의 항해의사결정을 지원하기 위한 서비스로 아래와 관련된 내용들이다. 이러한 정보는 정해진 시간에 전체적으로 또는 개별적으로 VTS의 일방적인 통보에 의해 시행되는 것이 특징이다.

- ① 주변 선박의 위치, 조선의도 및 목적지
- ② 경계, 절차, 무선채널 혹은 주파수, 보고지점 등과 같은 관제구역과 관련된 정보의 수정과 변경
- ③ 항행과 관련된 기상, 수로, 항로고시, 항로표지, 교통혼잡, 조종성능제한 등 잠재적 위험을 가진 선박들에 대한 정보

④ 선박의 안전한 항해에 관련한 정보

(2) 교통관리서비스(Traffic Organization Service)

교통관리서비스는 VTS 관제구역 내에서 위험한 통항상황의 예방 및 안전하고 효율적인 해상교통 흐름을 위해 제공되는 서비스이다. 따라서 통항 흐름을 사전에 계획하는 것에 집중하게 되며, 혼잡한 교통상황이나 특정한 선박의 이동이 다른 선박의 항행에 지장을 초래할 때 유용하다. 특히, 교통혼잡 및 특별한 이동활동이 다른 교통의 흐름에 영향을 줄 때 이루어진다. 그리고 이러한 절차는 개별선박의 항행 계획에 따라 각 선박과 VTS 센터 간 동의를 이루어져야 하며, 사전에 약속된 항행 계획들은 중요한 정보가 된다.

이러한 서비스의 내용은 다음과 같다.

- ① 이동 우선순위의 결정, 수역의 배치, 강제적인 이동보고, 제한속력 구간의 설정 등
- ② 통항분리 시스템의 설치와 운영
- ③ 통항계획을 수립하여 선석, 정박지역에서의 입출항 예정시간, 관련 서비스와의 협조를 통한 감시, 선종별·화물별 통항계획 수립
- ④ 해양작업(준설선 또는 해저케이블 설치) 등으로 선박 이동이 제한을 받는 경우의 통항계획
- ⑤ 위험화물 운반 선박으로 인해 선박 이동이 제한을 받는 경우의 통항계획

(3) 항행지원서비스(Navigational Assistance Service)

항행지원서비스는 특별히 항행이 어려운 수역이나 상황에서 선박의 항해의사 결정을 지원하고 특히, 시정제한·기상 악화 시에 도움을 주기 위한 서비스로 시작과 종료시간이 명확하며, 다음과 같은 정보를 제공한다. 이러한 서비스는 선박이 요청하거나 VTS 센터가 필요하다고 판단한 경우 개별적으로 제공한다.

- ① 선박의 올바른 침로와 속력
- ② 항로 및 변침점과 관련된 위치
- ③ 주위 교통의 위치, 식별 및 의도

주무관청은 항행정보와 항행조언의 차이점을 알고 있어야 하며, 항행조언을 육상으로부터 수행 할 수 있는지, 만일 그렇다면 어떤 상황 하에서 그리고 어느 범위까지인지를 결정해야 한다. 독일의 경우 선박의 요청에 의해서나 특별한 상황(시정제한, 빙하로 인한 부표 소실, 악천후로 인한 도선사 미운영 등) 하에서 VTS센터에 근무하는 도선사들에 의해 항행지원서비스가 제공된다(손회동, 2004). 그리고 IALA Manual에서는 항해지원서비스 제공의 예로 좌초위험 시, 계획된 항로에서의 이로 시, 묘박지까지의 이동 시, 항해기기 고장선박에 대한 지원, 선박 간 충돌 위험상황 발생 시, 고정 물표와의 충돌 위험상황 발생 시 등을 제시하고 있다(IALA, 2016).

(4) 기타 서비스

위에서 언급한 3가지 서비스 이외에 IALA manual에서는 VTS 데이터를 사용하여 보다 효과적으로 업무를 수행할 수 있는 기타 서비스를 제시하고 있다. 이러한 기타 서비스는 보안, 해양환경 보호, 해상교통의 효율성, 수색구조와 함께 수행할 수 있다(IALA, 2016).

손회동(2004)은 VTS의 기타 서비스로 수색구조(Search and Rescue)와 오염통제를 제시했으며, 이를 대비하기 위해 비상계획(Contingency Plan)이 설정되어 있어야 한다고 했다. 이를 통해 VTS가 1차적인 응급조치를 할 수 있도록 하며, VTS가 보유한 통신장비와 자료를 이용함으로써 적은 비용으로 해양오염 통제 센터로 활용될 수 있다고 했다.

한편, VTS 센터에서 제공되는 서비스의 내용은 다음과 같다.

- ① 시정이 제한된 상태에서 통항하는 선박에 대한 지원

- ② 기상 상태가 좋지 않은 경우의 지원
- ③ 교통이 혼잡한 지역에서의 통항 선박에 대한 지원
- ④ 어선 또는 소형선이 밀집해 있는 지역에서의 지원
- ⑤ 협수로 등에서의 지원
- ⑥ 항법 위반선박 또는 결함선박이 있는 경우의 지원
- ⑦ 긴급 상태에 있는 선박에 대한 지원

이상의 서비스는 관제사에 의해서 관제구역 내의 선박에게 제공되며, 서비스 제공은 「선박교통관제 운영규칙」 제14조(관제절차)에 따라 시행된다. 규칙에 따르면, 관제구역에서 운항하는 선박에 대한 효율적인 관제업무 수행을 위하여 관제상황에 따라 관제사는 1단계(관찰확인)→2단계(정보제공)→3단계(조언·권고)→4단계(지시)의 순으로 관제를 시행한다. 그리고 사고위험 등 긴급한 사유가 있는 경우 절차 중 일부를 생략하고 상위 단계를 시행 할 수 있다(법제처, 2019). 관찰확인은 관제구역 내에서 관제대상선박이 충돌 등의 위험이 있는지 모니터링 하는 것을 말하며, 정보제공은 필요한 경우 항해안전을 위한 정보를 제공하는 것을 말한다. 1,2단계는 선박의 통항과 관련한 교통흐름, 시정상태, 수로정보, 항행장애물 등의 정보를 제공하여 선박의 항해를 도울 수 있다.

한편, 조언은 관제사가 인지하고 있는 정보 및 지식·경험을 토대로 안전운항에 참고할 정보를 제공하는 것을 말하며, 권고는 따라주기를 바라는 적극성을 가진 조언을 말한다. 또한 지시란 명백한 사고위험이 우려되는 경우의 시정 및 안전조치를 요구하는 것이나, 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 제20조(선박교통관제의 운영 등) 및 「해사안전법」 제36조(선박교통관제의 시행)에 따라 선장의 전문적인 판단을 방해하거나 간섭할 순 없다. 3,4단계는 VTS와 선박 간 상호 즉각적이고 지속적인 소통이 필수 요소이다.

그리고 VTS는 관제구역에 따라 항만 VTS와 연안 VTS로 구분된다. IMO는 항만 VTS와 연안 VTS는 명확한 구분이 필요하며, 항만 VTS는 주로 항만 부근의 선박통항에 관련된 것이며, 연안 VTS는 주로 그 구역을 통과하는 선박에 관한

것이라 정의하고 있다(IMO, 1997). 보통 항만 VTS는 항행지원서비스와 교통관리서비스를 제공하고, 연안 VTS는 정보서비스가 주어진다. 우리나라는 「해양경찰청과 그 소속기관 직제」 제32조와 「선박교통관제 운영규칙」 제2조에 따라 항만교통관제센터와 연안교통관제센터로 구분하고 있다.

VTS의 정의 및 서비스를 통해서 살펴보면, 선박 안전을 위한 최종적인 판단은 본선에서 담당하며, VTS는 안전항해 및 의사결정을 지원하기 위한 시설임을 알 수 있다. 그리고 VTS가 제공해야하는 서비스의 종류와 제공 절차는 IALA VTS Manual이나 국내법을 통해 정의가 되어 있으며, 항만 VTS는 주로 항행지원서비스와 교통관리서비스를 제공하고 연안 VTS는 주로 정보서비스를 제공한다. 하지만 실질적으로 관제사가 제공해야하는 서비스에 대한 정량적인 기준은 정해져 있지 않다. 다시 말해서 VTS는 관제구역 내 선박의 올바른 항행을 위한 서비스를 제공해야 하며, 그 서비스는 선박에서 의사결정을 함에 있어 적절한 시기, 위치 그리고 적절한 수단에 의해 제공 되어야 할 것이다. 그러므로 관제사도 객관적인 서비스를 제공하기 위한 적절한 의사결정지원 수단이 필요하다.

2.3 해상교통관제 의사결정지원 모델의 정의

의사결정은 여러 대안 중에서 하나의 행동을 고르는 일을 해내는 정신적 지각활동이다. 모든 의사결정의 과정은 하나의 최종적 선택을 가지게 되며 이 선택의 결과로 어떤 행동 또는 선택에 대한 의견이 나오게 된다(Reason, 1997). 정보처리 관점에서 의사결정은 정보와 반응 사이의 다대일 대응으로 나타난다고 볼 수 있다. 즉, 많은 정보를 지각하고 평가하여 하나의 선택을 하는 것이다(Christopher et al., 2003).

모든 과학연구에 있어서 의사결정은 반드시 주어진 정보와 지식에 기초하여 결정하여야 하는 논리적 의사결정이어야 한다. 하지만 예를 들어 의학적 결정을 위해서 진단과 처방을 통해 의사결정을 하는 경우 대단히 시간에 쫓기고, 위험도가 높으며 불확실성이 크다. 따라서 최적의 의사결정을 내리는 것이 쉽지 않으며 불확실한 가운데에서도 최적의 의사결정을 위한 여러가지 방법이 의사결정분석을 통해 이루어져야 한다.

VTS와 관련한 의사결정지원 기법은 IALA Guideline 1110에서 소개되고 있다. 의사결정지원은 관제사가 일반적인 혹은 비일반적인 상황에서의 의사결정을 돕는 수단이며, 의사결정지원 도구는 관제사를 지원하면서 상황인식을 높이고, 전략적이며 적극적인 의사결정을 도와줄 수 있다. 그리고 의사결정지원 도구는 교통상황과 관련된 실시간 위험도 평가가 바탕이 되어야 하며, 다음의 역할을 수행해야 한다(IALA, 2014).

- ① 알람 제공(청각적 혹은 시각적)
- ② 업무부하 감소
- ③ 정확한 실시간 정보제공
- ④ 지역 VTS 운영절차와 구성 가능
- ⑤ 관제사 의사결정을 용이하게 지원
- ⑥ IALA Recommendation V-125(VTS 센터에서의 심볼 사용과 표시)를 따름
- ⑦ 녹음 기능 포함

또한, 사전에 설정한 위험도 수준을 초과하는 상황이 발생하면, 위험도를 완화할 수 있는 방안을 조언할 수 있어야 한다. 이러한 의사결정지원 도구가 사용될 수 있는 예는 다음과 같다.

- ① 충돌 회피
- ② 표박 감시
- ③ UKC
- ④ 좌초 회피
- ⑤ Air draft clearance
- ⑥ 주요 변침점
- ⑦ 접근제한 및 금지 구역

- ⑧ 속력제한
- ⑨ 항해계획 준수
- ⑩ 해양사고 관리

종합하면 IALA에서 권고하는 의사결정지원 도구는 실시간으로 위험 혹은 이상상황이 되면 청각적(또는 시각적)으로 관제사에게 알려주며, 설정한 위험상황 이상 시에는 이를 해소할 방안을 제공하는 장비를 의미하는 것을 알 수 있다.

이러한 관점에서 본 논문의 해상교통관제 의사결정지원 모델은 정보제공 뿐만아니라 교통관리서비스, 항행지원서비스까지 제공하는 항만 VTS를 대상으로 위험도평가를 이용한 위험식별과 안전이 담보된 상황에서 효율적으로 관제사가 의사결정을 할 수 있는 정량적 기준을 마련하고자 한다. 해상교통관제 의사결정지원 모델은 Table 1과 같이 관제센터에서 얻을 수 있는 정보를 이용해서 서비스 제공을 결정하는 것이며, 의사결정지원 모델은 다음의 내용을 포함한다.

- ① 시·공간적 관리방안
- ② 의사소통 관리방안
- ③ 안전운항 관리방안

Table 1 Concept of decision making support for VTS

관제센터 정보	의사결정지원을 위한 결과	의사결정
시간당 선박 척수	당직시간 내 위험한 선박에 대한 교신이 일어날 횟수	시간 관리방안
당직시간대	관제구역 내 교통 밀집지역 및 위험밀집 지역	공간 관리방안
AIS 데이터 (위험도평가)	교신채널혼잡 정도에 따른 교신채널 완화 방안 제시	의사소통 관리방안
교신시간	항로 평균대기시간 및 제한속력	안전운항 관리방안
안전거리	고장선박의 식별	안전운항 관리방안

관제사 입장에서 위험선박의 교신을 예측할 수 있다면, 어느 시점에 직접적인 교신이 진행되어야하는지 결정할 수 있다. 그리고 관제구역 내 교통흐름을 통해 위험이 밀집되는 구역이 제시되면, 어떤 구역의 선박을 호출해야 할 지 결정할 수 있다. 또한 VHF 교신시간 데이터를 이용해 VHF 채널이 혼잡한 시기를 알고 이를 효율적으로 운영하기 위한 결정을 할 수 있다. 한편 관제구역 내 수로를 이용함에 있어 이를 이용하기 위한 타선박의 평균대기시간을 통해 구역의 최저속력을 제한할 수 있다. 마지막으로 선박 AIS 데이터를 이용해 이상 선박을 식별하고 이에 대한 집중적인 관제에 대한 의사를 결정할 수 있다. 이렇게 관제센터에서 생산되는 데이터를 이용해 관련된 의사결정을 좀 더 객관적으로 지원 받을 수 있으며, 본 연구에서는 시·공간적 관리방안, 의사소통 관리방안, 안전운항 관리방안을 제안하는 것을 의사결정지원 모델로 정의한다.

제 3 장 통항안전 확보를 위한 시간·공간 관리 방안

3.1 해상교통관제 시간적 교신 시점

항만 VTS는 관제구역의 관제채널을 이용하여 선박을 관제하며, 통항하는 선박은 동정을 VTS에 보고하거나 조우관계의 선박과 교신하여 위험상황을 회피한다. 관제구역 내 선박의 관제는 대부분 VHF(초단파, Very High Frequency)를 통해서 이루어지므로, 관제구역 내 VHF 관제 채널에서 이루어지는 교신 내용 분석을 통하여 항만 내의 선박 움직임이나 관제사의 관제 패턴 등을 파악하는 것이 가능하다고 사료된다. 특히 관제사가 관제를 시작하는 시점과 당시 선박이 당면한 상황(위험도 등)을 함께 확인할 수 있다면, 관제시점 제안 및 이를 예측할 수 있을 것이다.

Kim(2015)은 VTS 교신 분석을 통하여 관제사가 다양한 측면에서 관제정보를 획득할 수 있는 방식을 제시했으며, Park(2015)은 VTS 교신 분석을 통하여 선박의 조우 상황별로 적정한 관제시기를 제안했다. 하지만, VHF 교신 분석을 통하여 관제하는 선박의 위험도를 분석하고, 분석된 위험도로 관제구역 내 위험상황 발생 간격을 예측하는 연구는 없었다.

따라서 본 절에서는 VTS의 교신내용을 청취하여 관제사가 직·간접적으로 관제를 실시한 시기를 분석하고, 이때 선박운항자의 의식이 반영된 위험도 모델(PARK 모델)을 이용하여 VTS 서비스 이용자인 선박운항자의 위험도를 평가했다. 평가된 위험도 중 일정 위험도 이상의 상황이 발생하는 빈도확률이 푸아송 분포를 따름을 검증하고, 관제구역 내 교통 위험상황의 발생간격을 예측하고자 한다.

3.1.1 관제구역 내 위험상황 파악을 위한 교신분석

(1) 조사 방법 및 대상

부산북항 VTS 관제구역 내 VHF 교신을 분석하고 통항선박의 위험한 조우상

황을 식별하기 위해 '15.4.6.(월) 08:00~9.(목) 08:00까지 3일간, '15.12.11.(금) 14:00~14.(월) 14:00까지 4일간, 총 7일간(168시간) 부산항 VTS 관제구역 중 VHF 채널 12번(부산북항 주변)의 교신 내용을 수집하고, 동일한 시기에 선박의 AIS 정보를 수집하여 해상교통 위험도를 계산했다.

(2) 위험상황 파악을 위한 선박운항자 의식기반 위험도 모델

관제사는 관제 시 DCPA, TCPA 및 선박 간의 조우관계 정보를 많이 사용하고 있지만(Lee et al., 2015), 이는 선박 간의 거리, 속력, 침로의 요소를 이용하여 나타낸 값이다. 하지만, 선박운항자는 선박의 크기, 조우형태, 주변해역 등과 같은 요소들도 반영하여 선박 간 위험도를 판단하는 것이 일반적이다.

따라서 이번 연구에서는 Kim(2014)이 조사한 PAWSA, IWRAP, ES model 등의 여러 가지 위험도 평가모델 중에서 우리나라의 실제 연안해역을 항해하는 선박 운항자가 느끼는 위험도를 대상으로 만들어진 PARK(The Potential Assessment of Risk) 모델을 이용하고자 한다. 이 모델은 선박 종류, 톤수, 선박길이, 선박 폭, 타선이 접근하는 각도 및 방향, 항내 및 항외, 선박 간 속력 차이, 선박 간 거리, 운항자의 경력, 직급, 면허 등을 고려하여 선박의 위험도를 나타내는 모델이며, 식(1)로 표현할 수 있다(Park et al., 2016).

$$Risk = 5.081905 + (T_p + T_f + L_f + W_f + C_f + L_{of} + P_f) + (0.002517L + C_f + S_f + Hh/o + S_p - 0.004930S_d - 0.430710D) \quad (1)$$

여기서, T_p : own ship's type factor

T_f : own ship's ton (GT) factor

L_f : own ship's length (m) factor

W_f : own ship's width factor (m)

C_f : own ship operator's career factor

L_f : own ship operator's license factor

- P_f : own ship operator's position factor
- L : target ship's LOA (m)
- C_f : approaching crossing factor of target ship
- S_f : approaching side factor of target ship
- $H_{i/o}$: in/out harbor factor of own ship
- S_p : speed (kt) factor between ships
- S_d : speed (kt) difference between ships
- D : distance between ships (NM)

PARK 모델의 위험도(이하 위험도)는 1~7 범위로 1~3은 안전하다고 식별된 상황, 3~5은 안전하지도 위험하지도 않은 상황, 5 이상은 위험한 상황으로 구분하여 판단하며, 여기에서는 위험한 상황으로 판단하는 위험도 값 5.0 이상의 관제교신을 대상으로 분석했다.

(3) 교신분석 기반의 위험상황 식별

부산항 VHF 교신을 교신시작 주체를 기준으로 선박에서 VTS를 호출하는 경우, VTS에서 선박을 호출하는 경우, 그리고 선박과 선박 간 호출하는 경우로 분류했다. Table 2는 조사 기간 동안의 교신량을 나타낸다.

Table 2 Number of communication via VHF Ch.12 for 7days

(단위 : 건)

일 \ 교신시작주체	Ship→VTS 호출	VTS→Ship 호출	선박 간 호출	합계
1일차	739	143	93	975
2일차	702	132	102	936
3일차	787	149	118	1,054
4일차	553	99	62	714
5일차	641	172	88	901
6일차	847	135	130	1,112
7일차	853	167	98	1,118
합계	5,122	997	691	6,810

7일간 총 6,810건의 교신이 부산항 VTS VHF 채널 12번에서 이루어졌으며, 시간당 평균 40.54건, 1.5분에 한 번씩 교신이 있는 것으로 조사되었다. 교신 내용 중에서 관제사가 통항선박에 개입하여 직접관제를 실시하는 경우를 식별하기 위해 VTS가 선박을 호출하는 경우를 권고 및 지시, 감도체크, 의도확인, 정보제공, 미확인 선박식별, 채널변경, 기타의 7개 항목으로 세분화했다. 또한, 관제사의 간접관제를 식별하기 위해 선박과 선박 간에 교신하는 경우를 의도 확인, 채널변경, 잡담, 기타의 4개 항목으로 세분화하여 분석했다.

Table 3은 7일간 VTS가 선박을 호출하는 경우의 내용과 교신 건수를 시간대 별로 나타내고 있다.

Table 3 Number of VTS's communication contents for 7days

(단위 : 건)

시간대	권고 및 지시	감도체크	의도확인	정보제공	미확인 선박식별	채널변경	기타	합계
0000-0200	18	0	1	9	6	2	2	38
0200-0400	12	0	3	6	4	1	0	26
0400-0600	16	0	2	9	8	0	4	39
0600-0800	86	0	7	19	9	1	12	134
0800-1000	44	1	6	30	10	1	8	100
1000-1200	43	3	2	24	11	2	5	90
1200-1400	47	0	5	24	14	3	5	98
1400-1600	48	0	4	19	15	0	8	94
1600-1800	68	0	5	25	15	2	11	126
1800-2000	81	0	7	12	14	2	12	128
2000-2200	30	0	6	8	6	0	10	60
2200-2400	35	0	1	15	12	0	2	65
합계	528	4	49	200	124	14	79	998

시간대별 교신량을 살펴보면, 주간시간대(06:00-18:00)는 642건, 야간시간대(18:00-익일 06:00)는 356건으로 주간시간대가 약 1.8배 교신건수가 많은 것으로 조사되었다. Table 4는 주·야간시간 통항량과 교신량을 비교한 것으로, 주간시간에 통항하는 선박량이 많아 VTS가 선박을 호출하는 교신이 많은 것으로 보인다.

Table 4 Comparison of traffic volume and number of communication

주간시간		야간시간	
교통량(척)	교신량(건)	교통량(척)	교신량(건)
2,230	642	819	356

한편, 관제사의 직접관제를 분석하기 위해 7일간 VTS가 선박을 호출하여 권고 및 지시를 실시한 528건의 교신 중 두 척이상의 선박에 직접적인 개입이 있었던 145건의 상황을 추출했다. 단, 이번 연구에서는 AIS 정보가 없는 경우, 상대선이 없는 접·이안선과 타선박과 교행이 없는 경우를 제외했다. 그리고 교신량이 상대적으로 많았던 06:00부터 18:00까지의 12시간을 주간시간대로 분리하여 분석했다.

관제사의 직접 개입이 있었던 145건의 상황 중 주간시간대는 94건, 야간시간대는 51건으로 주간시간대가 야간시간대 보다 1.84배 많았으며, 관제사는 주간시간대에 더 많이 통항선박에 대하여 직접 개입하여 관제 하는 것을 확인 할 수 있었다.

관제사가 통항 선박에 대하여 권고 및 지시를 하는 경우의 위험도를 살펴보기 위하여 추출한 145건의 교신이 이루어진 선박의 위치를 Figure 2와 같이 나타냈다. 이때, 선박의 위치는 위험수준에 따라 색상을 달리 했으며, 안전상황(1~3)은 녹색, 안전하지도 위험하지도 않은 상황(3~5)은 노란색, 위험한 상황(5~7)은 빨간색으로 표시했다.

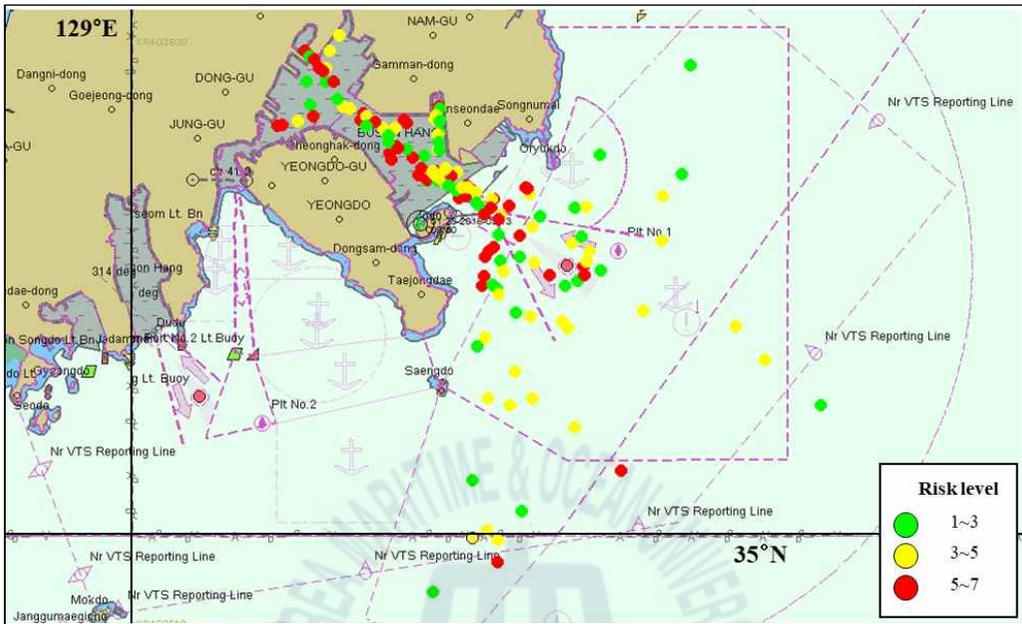


Figure 2 VTSO's advice starting point by risk level

관제사가 통항선박에 권고 및 지시를 하는 경우 위험도 5.0 이상의 교신은 145건 중 48건(33.1%)이 있었으며, 대부분은 항내에서 이루어졌다.

Table 5는 7일간 관제채널을 통해 통항선박 간 교신한 경우의 내용과 교신 건수를 시간대 별로 나타내고 있다.

Table 5 Number of vessel's communication contents via VHF Ch.12 for 7days

(단위 : 건)

시간대	의도확인	채널변경	잡담	기타	합계
0000-0200	8	0	1	0	9
0200-0400	36	2	3	0	41
0400-0600	30	2	2	0	34
0600-0800	71	4	12	4	91
0800-1000	68	3	9	0	80
1000-1200	60	4	4	0	68
1200-1400	57	3	8	0	68
1400-1600	57	3	10	2	72
1600-1800	70	6	5	1	82
1800-2000	46	8	3	0	57
2000-2200	38	3	3	1	45
2200-2400	39	3	2	0	44
합계	580	41	62	8	691

관제구역 내에서 부산항 VTS 채널로 통항선박 간 교신하는 내용은 관제사들도 청취할 수 있으므로 이는 관제절차 1단계인 관찰 확인의 일환으로 볼 수 있다. 특히, 통항에 관한 의도확인 교신의 경우 당시의 교통상황이 적합하다고 판단되면 VTS는 그 상황에 개입하지 않고 감시할 수 있다.

부산항 관제채널을 통해 통항선박 간 실시한 교신 580건 중 AIS 정보가 없는 경우를 제외하고, 두 척이상의 선박에 교신이 있었던 145건을 추출했다. 추출한 145건의 선박위치와 위험도는 Figure 3과 같이 표시했다. 이때, 위험도를 색상으로 구분하여 1~3의 위험도는 녹색, 3~5의 위험도는 노란색, 5~7의 위험도는 빨간색으로 표시했다.

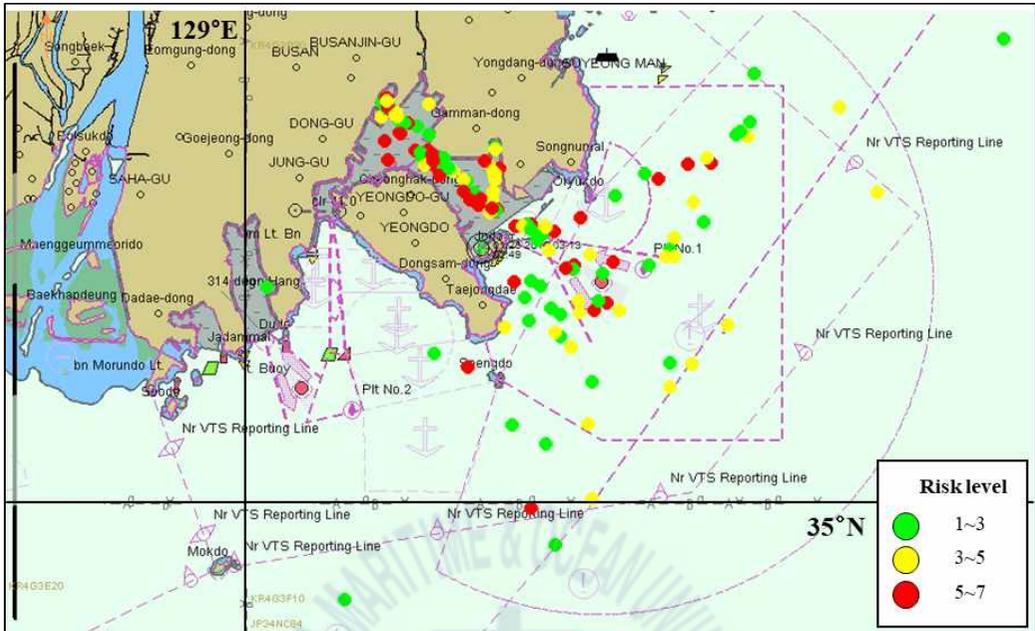


Figure 3 Passing vessel's communication starting point by risk level

통항선박 간 교신한 경우 위험도 5.0 이상의 교신은 145건 중 44건(30.3%)이 있었으며, VTS의 직접관제보다는 상대적으로 관제구역 전역에 걸쳐서 교신을 하는 것을 확인 할 수 있었다.

3.1.2 위험상황 발생간격 예측

(1) 위험상황 간격 분석 방법

푸아송 분포는 많은 사건 중에서 특정한 사건이 발생할 가능성이 적은 확률 변수가 갖는 분포이다. 또한 단위시간 안에 어떤 사건이 몇 번 발생할 것인지를 표현하는 이산확률 분포이다. 그러므로 푸아송 분포는 일정한 시간과 공간에서 발생하는 사건의 발생횟수를 파악할 때 사용한다. 이러한 푸아송 분포는 단위시간당(시간) 교차로를 지나가는 자동차의 대수(발생횟수)의 발생확률 산출

등 도로교통에서도 사용되며, 해상에서는 단위시간당(시간) Gate Line을 지나가는 선박의 척수(발생횟수)를 파악할 때도 사용되고 있다(Park et al., 2013).

본 연구에서는 단위시간당 관제사가 관제구역 내에서 위험한 상황을 관제할 빈도확률을 푸아송 분포를 이용하여 예측하고자 한다. 푸아송 분포는 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$f(x_a) = \frac{\lambda_a^{x_a} e^{-\lambda_a}}{x_a!} \quad (2)$$

여기서, x_a : 단위시간 동안 위험도 5.0 이상의 교신 횟수

λ_a : 관제구역 내에서 단위시간 동안 위험도 5.0 이상을 관제할 기댓값

e : 근사값이 2.718281828... 인 자연로그의 밑

지수분포는 사건과 사건 사이의 경과시간을 확률변수로 하는 확률분포이며, 어느 사건이 푸아송 분포 확률에 따라 발생한다면, 이 사건이 발생하는 사이에 경과되는 시간은 지수분포를 따르게 된다(Park et al., 2013). 본 연구에서는 단위시간당 위험도 5.0 이상의 선박을 관제한 교신의 빈도가 푸아송 분포의 확률을 따른다는 것을 검증하고자 한다. 이는 위험한 상황의 관제를 실시한 후 다음 위험한 상황 관제까지의 시간간격은 지수분포를 따른다는 것을 의미하며, 이 지수분포를 이용하여 위험한 선박의 관제 간격을 예측하고자 한다.

(2) 관제구역 내의 위험상황 간격 분석 및 예측

7일간 부산항 관제구역의 교신을 바탕으로 관제사가 직·간접적으로 위험한 통항선박에 대하여 단위시간당 몇 번 관제를 수행했는지 분석했다.

Figure 4는 부산항 관제구역 내에서 관제사가 2시간 간격으로 위험한 선박(위험도 5.0 이상)에 대하여 관제한 빈도 및 식(2)에 의한 발생확률을 그래프로 나타낸 것이다.

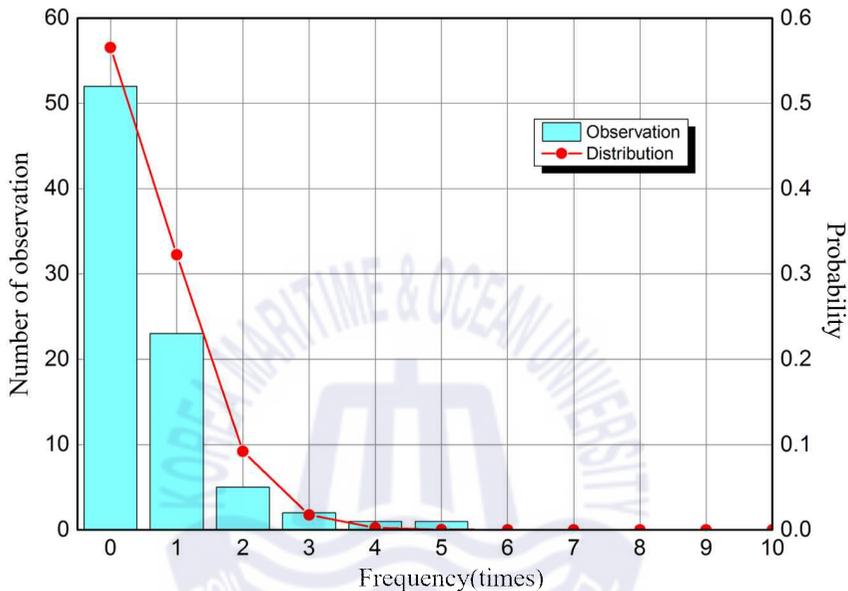


Figure 4 Observation No. and probability of control for dangerous ships in VTS area

Figure 4의 데이터를 이용하여 이 분포가 푸아송 분포를 따르는지의 검증은 7일(168시간)을 단위시간(2시간)으로 나눈 84개의 샘플을 대상으로 카이제곱을 이용하여 실시했다. 카이제곱의 검증 시 관측빈도가 5 이하일 때 기대 빈도 값에 영향을 미치므로 표본의 크기를 증가시키거나, 둘 이상의 범주를 하나로 축소·통합하여야 한다(Tabata, 1994). 본 논문은 검증을 위해 2~5회의 범주의 관측빈도를 9로 통합했다.

Table 6은 카이제곱검증 결과를 나타내고 있으며, p 값이 0.29로 관측빈도와 예상빈도가 차이가 없다는 귀무가설을 5% 유의 수준 하에서 기각하지 못하여,

이 분포는 푸아송 확률을 따른다고 할 수 있다.

Table 6 Chi-square test for validation of the poisson distribution on VTS control (N=84)

분류	기댓값	관측값	자유도	$\chi^2(p)$
0	47.43	52	1	1.08* (0.29)
1	27.10	23		
2	7.74 (9.44)	5 (9)		
3	1.47 (0)	2 (0)		
4	0.21 (0)	1 (0)		
5	0.02 (0)	1 (0)		

*p>.05

2시간당 관제사가 위험도 5.0 이상의 선박을 관제하는 빈도가 푸아송 분포를 따름을 증명하였으므로, 단위시간당 평균 0.57회 위험도 5.0 이상의 선박을 관제한다고 볼 수 있다. 그리고 다음의 위험도 5.0 이상의 선박을 관제할 때까지의 대기시간은 기댓값이 0.57인 지수분포를 따르며, 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(T_b) = 0.57e^{-0.57T_b} (T_b \geq 0) \quad (3)$$

여기서, T_b : 다음 위험도 5.0 이상의 교신까지의 대기시간(단위 : 2시간)

Figure 5는 부산항 관제구역 내에서 위험도 5.0 이상의 선박을 관제할 때까지의 대기시간을 지수분포로 나타낸 그래프로, x축은 다음 위험도 5.0 이상의 선

박을 관제할 때까지의 대기시간, y축은 그에 따른 확률을 나타낸다. 예를 들어 위험도 5.0 이상의 선박을 관제하고 2시간 뒤에 다시 위험도 5.0 이상을 관제할 확률은 32.2%가 되는 것을 알 수 있다.

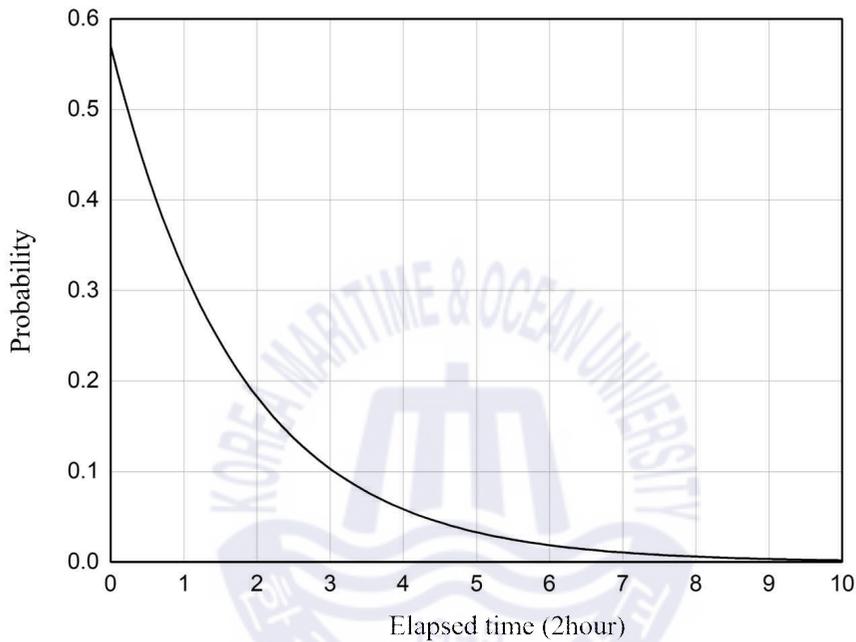


Figure 5 Probability of control for next dangerous ships in Busan VTS area

관제구역에서 2시간 동안 위험도 5.0이상을 관제할 기댓값은 0.57(회/단위시간)이므로 관제시간간격 확률변수의 평균은 1.75 단위시간(2시간)이다. 그러므로 관제사는 3.5시간마다 한번 씩 위험한 상황의 선박을 관제하는 것으로 분석되었다.

Figure 6은 부산항 관제구역에서 주간시간대 1시간 간격으로 위험한 선박(위험도 5.0 이상)에 대하여 관제한 빈도 및 식(2)에 의한 발생확률을 그래프로 나타낸 것이다.

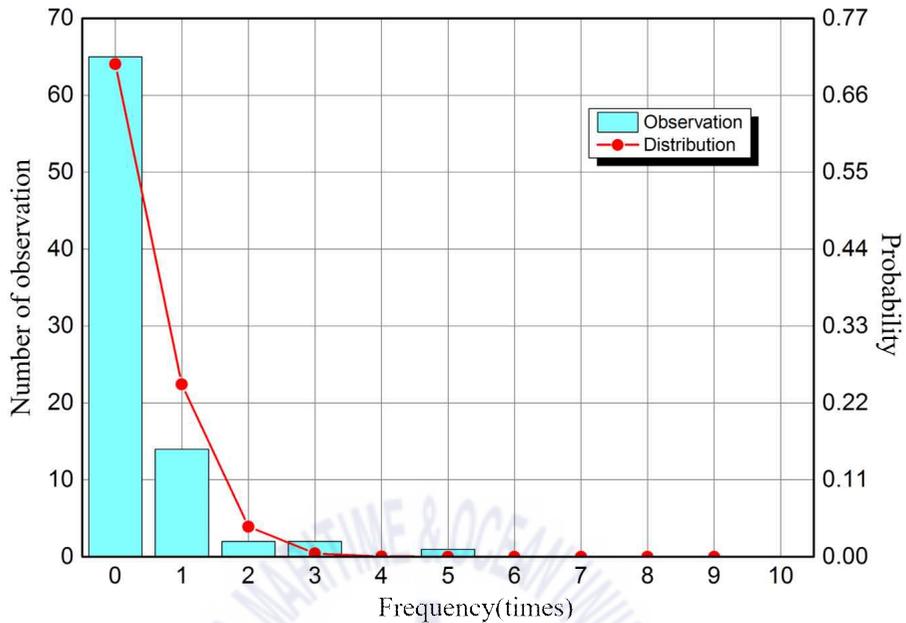


Figure 6 Observation No. and probability of control for dangerous ships for daytime

이 분포가 푸아송 분포를 따르는지의 검증은 7일(168시간) 중 주간시간대 84시간(84개의 샘플)을 대상으로 카이제곱을 이용하여 실시했으며, 2~5회의 범주의 관측빈도를 5로 통합했다.

Table 7은 카이제곱검증 결과를 나타내고 있으며, p 값이 0.09로 약하지만, 관측빈도와 예상빈도가 차이가 없다는 귀무가설을 5% 유의 수준 하에서 기각하지 못하여 5% 유의 수준 하에서는 푸아송 분포를 따른다고 할 수 있다.

Table 7 Chi-square test for validation of the poisson distribution for daytime
(N=84)

분류	기댓값	관측값	자유도	$\chi^2(p)$
0	59.47	65	1	2.85* (0.09)
1	20.53	14		
2	3.54 (3.98)	2 (5)		
3	0.40 (0)	2 (0)		
4	0.03 (0)	0 (0)		
5	0.01 (0)	1 (0)		

*p>.05

주간시간대에서 1시간당 관제사가 위험도 5.0 이상의 선박을 관제하는 횟수는 푸아송 분포를 따름을 증명했으므로, 주간시간대에는 1시간당 평균 0.35회 위험도 5.0 이상의 선박을 관제한다고 볼 수 있다. 주간시간 내 다음 위험도 5.0 이상의 선박을 관제할 때까지의 대기시간은 지수분포를 따르며 식(4)와 같다.

$$f(T_c) = 0.35e^{-0.35T_c} (T_c \geq 0) \quad (4)$$

여기서, T_c : 주간시간 내 다음 위험도 5.0 이상의 교신까지의 대기시간 (단위 : 1시간)

Figure 7은 주간시간 동안 다음 위험도 5.0 이상의 선박을 관제할 때까지의 대기시간을 지수분포로 나타낸 그래프이다.

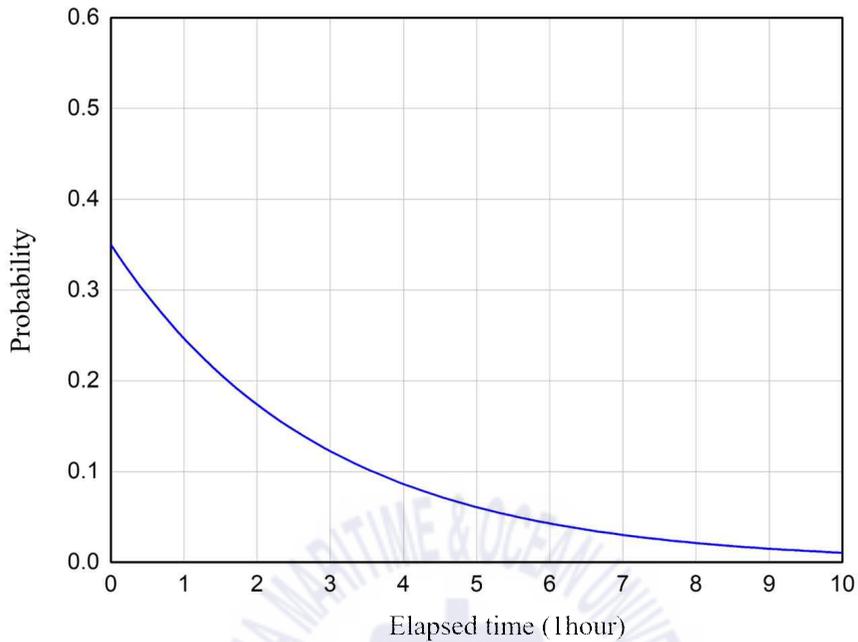


Figure 7 Probability of control for next dangerous ships for daytime

예를 들어 주간시간 동안 교신을 통한 위험도 5.0 이상의 선박을 관제하고 1시간 뒤에 다시 위험도 5.0 이상을 관제할 확률은 24.6%가 되는 것을 확인할 수 있다. 주간시간 내 1시간 동안 위험도 5.0 이상을 관제할 기댓값은 0.35(회/단위시간)이므로 관제시간간격 확률변수의 평균은 2.85시간이다. 그러므로 관제사는 2.85시간마다 한 번씩 위험한 상황의 선박을 주간시간대에 관제하는 것으로 분석되었다.

Figure 8은 부산항 관제구역 내에서 관제채널을 통해 교행하는 선박이 교신할 때 선박 간 위험도가 5.0이상인 경우를 2시간을 단위시간으로 하여 빈도 및 식(2)에 의한 발생확률을 그래프로 나타낸 것이다.

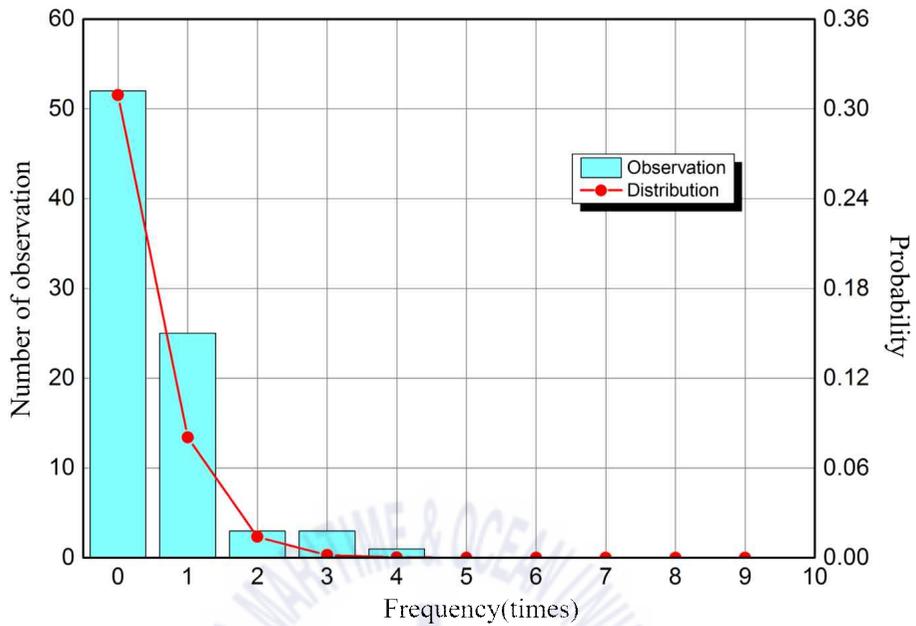


Figure 8 Observation No. and probability of dangerous ship's communications

이 분포가 푸아송 분포를 따르는지의 검증은 7일(168시간)을 단위시간(2시간)으로 나눈 84개의 샘플을 대상으로 카이제곱을 이용하여 실시하였으며, 2~4회의 범주의 관측빈도를 7로 통합했다.

Table 8은 카이제곱검증 결과를 나타내고 있으며, p 값이 0.11로 관측빈도와 예상빈도가 차이가 없다는 귀무가설을 5% 유의 수준 하에서 기각하지 못하여 5% 유의 수준 하에서는 푸아송 분포를 따른다고 할 수 있다.

Table 8 Chi-square test for validation of the poisson distribution on VTS monitoring (N=84)

분류	기댓값	관측값	자유도	$\chi^2(p)$
0	61.90	52	1	2.55* (0.11)
1	29.76	25		
2	3.57 (8.33)	3 (7)		
3	3.57 (0)	3 (0)		
4	1.19 (0)	1 (0)		

*p>.05

Figure 9는 위험도 5.0이상의 선박 간 교신이 다시 발생할 때까지의 경과시간을 지수분포로 나타낸 그래프이다.

예를 들어 관제구역 내 위험도 5.0 이상의 선박 간 교신이 발생하고, 2시간 뒤에 다시 위험도 5.0 이상의 선박이 상호간에 교신을 할 확률은 31.0%가 되는 것을 확인할 수 있다.

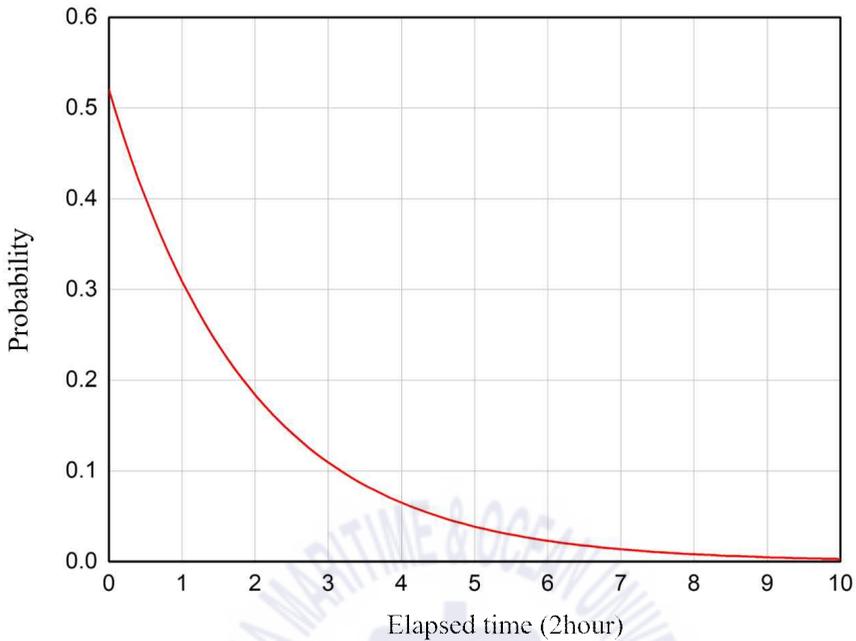


Figure 9 Probability of monitoring next dangerous ships

2시간 동안 위험도 5.0이상의 선박이 교신할 기댓값은 0.52(회/단위시간)이므로 관제시간간격 확률변수의 평균은 1.92 단위시간(2시간)이다. 그러므로 관제구역에서는 3.84시간 마다 한번 씩 위험도 5.0 이상의 선박이 교신하는 것으로 분석되었다.

3.2 해상교통관제 공간적 교신 시점

관제사는 지정된 관제구역에서 통항하는 선박의 동정을 관찰하는 역할 뿐만 아니라 적시에 정보도 제공해야하므로 상황인식을 통한 의사결정이 필수적이다.

그러나 관제구역 내의 다수의 선박과 연관되는 관계를 제한된 시간에 살펴보고 동시에 관제하는 것은 어려운 일이며, 필요한 상황에서 선택적으로 관제를

할 수 밖에 없는 실정이다. 그리고 국내법에 VTS 관제구역 및 Sector는 구분되어 있으나 어떤 상황이나 구역을 우선 혹은 집중적으로 관제해야 하는지 등에 대한 우선순위의 구분은 없다.

본 절은 효율적인 해상교통관제를 위해 공간적 측면의 관제시점을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 문헌연구를 통해 해상교통관제에 필수 요소를 살펴보고, 관제구역의 교통 밀도, 선박충돌위험도, 최소이격거리를 이용해 집중관제가 필요한 구역을 제시하고자 한다. 그리고 관제구역 부근 해양사고와 제시한 구역을 비교해보고자 한다.

3.2.1 공간적 교신시점 파악을 위한 요인분석

(1) VTS 관제구역의 고찰

집중관제 구역을 도출하기 위해 VTS 관제구역 설정과 관련한 선행연구 및 문헌을 조사했다. IMO는 VTS 관제구역 설정에 관하여 다음의 권고사항을 제시하고 있다(IMO, 1997).

- 높은 교통밀도
- 유해화물을 운송하는 교통
- 상충되고 복잡한 항행형태
- 어려운 수로학상, 수문학상 및 기상학상의 요소
- 움직이는 모래톱(shoals)이나 다른 위험요소
- 환경적 고려사항
- 다른 해상 활동에 의한 선박 교통의 방해
- 해양사고의 기록
- 인접수역에 상존하거나 계획된 해상교통관제와 적절하다면 이웃 국가들 사이의 협력을 위한 필요성
- 협수로, 항로배치, 교량 및 선박의 진행이 제한될 수 있는 구역

- 구역 내 항만이나 연안터미널 개발 혹은 연안의 자원탐사와 이용으로부터 교통형태에서 존재하거나 예견되는 변화

박진수와 김준옥(2000)은 포항항의 VTS 서비스구역을 제안하기 위해 포항항의 교통량, 어장형성, 해양사고 실태조사와 레이더 탐지범위 등을 분석했으며, 최종적으로 교통밀도, 항행형태, 어장형성, 자연조건, 레이더탐지범위를 고려해서 포항항의 VTS 서비스구역을 제안했다.

문범식 등(2002)은 해양사고를 예방하기 위해 선박에게 정보를 제공하고 선박을 통제할 수 있는 제도적 장치의 필요성을 언급했다. 특히, 선박의 교통밀도가 높은 연안해역 및 수로의 선박교통 관리가 필요하며 목포해역을 대상으로 해상교통조사를 실시해서 연안 VTS 센터 및 레이더사이트 위치를 제안했다.

손희동(2004)은 IMO에 따른 VTS 설치구역 및 조건과 부산신항의 현황, 교통량 조사, 해양사고 실태조사와 레이더 탐지 및 인접항만의 서비스 범위를 고려하여 부산신항의 합리적이고 효율적인 VTS 서비스구역을 제시했다.

김경태(2008)는 해양사고 수와 해상교통관련 위험인자 간 상관관계를 중회귀 분석을 통해 밝혀냈으며, 위험인자는 Peak time 입항선박 수, L^2 환산교통량이 었다. 이를 토대로 해상교통량 통제에 의해 해양사고를 줄일 수 있는 방안을 제시했다. 그리고 부산항의 경우 해상교통량에 비해 관제범위가 좁아 이를 확장하는 방안을 제시했다.

이형기 등(2009)은 관제구역의 범위가 넓어지면 주시, 감시 및 통제해야하는 관제범위가 늘어남으로서 적절한 관제업무 수행에 차질을 가져올 수 있다고 했으며, 이러한 이유로 각 VTS 센터에서는 관제지역을 몇 개의 Sector로 분할하여 관리한다고 했다. 또한 교통관련사고 예측모형을 통해 VTS 관제구역 내 교통관련사고는 교통량에 절대적인 영향(88.4%)을 받고 있음을 밝혔다.

김종관(2018)은 항로의 항행패턴을 분석하기 위해 교통현황조사를 하고 조사된 자료를 바탕으로 동적항행패턴을 개발했다. 동적항행패턴을 이용해 항로를 이용하는 선박의 패턴을 분석한 결과, 부산신항 가덕수도의 입구항로는 입항시 교통흐름이 모이고, 출항시 확산이 시작되는 부분으로 해당 구역의 관제사

는 집중적이고 적극적인 통항관제를 실시하는 것이 적절하다고 판단했다. 종합하면, VTS 관제구역은 교통밀도, 항행형태, 해양사고 발생 위치 등이 고려되는 것을 알 수 있다.

관제사의 업무부하에 관련해서는 S. Kum, et al.(2007)은 관제사의 업무부하를 측정하기 위해 각 상황별 심장박동수와의 상관관계를 살펴봤고 교통량, 선박과의 의사소통능력, 선박제원(크기, 속력, 흘수)이 업무부하에 영향을 미친다고 밝혔다.

박성용 등(2008)은 VTS 관제사 관점의 업무부담을 정량적으로 분석했으며, 업무부담에 영향을 미치는 요소는 교통량, 관제구역의 크기, 해양사고 빈도, 대형선, 위험물운반선 임을 식별했다. 김정호(2016)는 관제사의 직무스트레스가 높을 경우 인적과실의 발생이 높게 나타남을 확인했고, 상황인식능력이 인적과실로 인한 사고의 발생을 예측할 수 있는 중요한 요인임을 밝혔다. 종합하면, 관제사에게 해상교통량이 업무부담에 미치는 영향은 크며, 업무부담은 곧 인적과실로 인한 사고로 연결될 수 있음을 알 수 있었다.

관제구역 내 위험도에 관련해서 김광일 등(2012)은 실시간 관측한 AIS 데이터를 이용해서 해상교통특성을 나타내는 선박통항량 및 통항분포, 속력분포를 계산한 후, 충돌위험성 평가를 위한 기하학적 충돌빈도를 선박의 조우관계별로 계산하는 시뮬레이터를 개발했다. 개발된 시뮬레이터는 관제사가 체계화된 교통관제서비스를 제공하는데 유용하게 사용할 수 있을 것이라 밝혔다.

남해지방해양경비안전본부(2014) 보고서에서는 부산권 해역의 해상교통관제를 선박의 교통흐름과 통일시켜 교통관리의 효과를 더욱 향상시킬 수 있도록 제안한 바 있다. 특히, 신항 관제구역의 목도북측과 남측에 항로 지정을 제안했다.

양영훈과 오세웅(2016)은 해양수산부 주도하에 진행되고 있는 한국형 e-Navigation 서비스 핵심기술 개발에 대해서 소개했으며, 특히 종합상황인식 및 대응기술 개발 분야의 사고 취약선박 모니터링 지원 서비스를 언급했다. 이 지원 서비스는 해양안전과 관련한 빅데이터 분석 결과를 바탕으로 해상교통상황에 따른 선박의 항해 위험도를 평가하고 효과적으로 상황대응을 지원하는 것이며, 이에

대한 연구 필요성을 제기했다.

장은규와 김정호(2017)는 관제사 행동패턴을 분석한 결과 선박교통 상황과악 및 위험예측이 71.2%였으며, 전문가 자문내용을 기반으로 관제사 행동패턴을 종합하면 관제 시스템 운영을 제외한 99.9%의 행동이 모두 해상교통관리를 위한 행동이나 예비행동으로 볼 수 있다고 했다.

즉, 관제사의 핵심직무역량을 해상교통관리역량으로 볼 수 있으며, 관제사의 역할 중 해상교통관리가 가장 중요하다는 것을 시사한다. 종합하면 관제구역 내 정량적인 위험도는 해상교통관제 서비스 제공에 유용하게 사용될 수 있으며, e-Navigation 서비스의 핵심기술 중 하나로 분류되어 있다.

이상의 문헌 연구는 Table 9와 같이 요약했다.

Table 9 Summary of literature review

주제	문헌 저자	주요내용
VTS 서비스구역 설정	IMO	VTS 서비스구역 설정 권고사항
	박진수 · 김준욱	교통밀도, 항행형태, 어장형성, 자연조건, 레이더탐지범위를 고려해서 포항항의 VTS 서비스구역을 제안
	문범식 · 정재용 · 국승기 · 김세원 · 박영수	선박의 교통밀도가 높고 선박교통 관리가 필요한 목포해역을 대상으로 해상교통조사를 실시, 연안VTS 센터 및 레이더사이트 위치를 제안
	손휘동	부산신항의 현황, 교통량 조사, 해양사고 실태조사와 레이더 탐지 및 인접항만의 서비스 범위를 고려하여 부산신항 VTS 구역 제시
	김경태	해양사고 수와 해상교통관련 위험인자(Peak time 입항선박 수, L^2 환산교통량) 간 상관관계를 중회귀분석을 통해 분석
	이형기 · 장성록 · 박영수	교통관련사고 예측모형을 통해 VTS 관제구역 내 교통관련사고와 교통량간 영향(88.4%)을 정량적으로 밝힘
	김종관	부산신항 가덕수도의 입구항로는 입항 시 교통흐름이 모이고, 출항 시 확산이 시작되는 부분으로 해당 구역 관제사는 집중적이며 적극적인 통항관제를 실시하는 것이 적절하다고 판단

주제	문헌 저자	주요내용
관제사 업무부하	S. Kum, Furusho, Duru&Satir	상황별 심장박동수 측정을 통해 교통량, 선박과의 의사소통능력, 선박제원(크기, 속력, 흘수)이 관제사의 업무부하에 영향을 미친다고 밝힘
	김정호	관제사는 직무스트레스가 높을 경우 인적과실의 발생이 높게 나타남을 확인, 상황인식능력이 인적과실로 인한 사고의 발생을 예측할 수 있는 중요한 요인임을 밝힘
관제구역 내 위험도	김광일	실시간 관측한 AIS 데이터를 이용, 충돌위험성 평가를 위한 기하학적 충돌빈도를 선박의 조우관계별로 계산하는 시뮬레이터를 개발
	남해지방해양경비안전 본부	부산권 해역의 해상교통관제를 선박의 교통흐름과 통일시켜 교통관리의 효과를 더욱 향상시킬 수 있도록 제안
	양영훈	한국형 e-Navigation 서비스 핵심기술 소개, 해상교통상황에 따른 선박의 항해 위험도를 평가하고 효과적으로 상황대응을 지원할 수 있는 연구 필요성을 제기
	장은규·김정호	관제사의 핵심직무역량을 해상교통관리역량으로 판단

본 연구는 선행연구에서 관제구역의 요소 중 중요한 요소로 제시된 해상교통량을 이용해서 관제구역의 위험도를 평가하고 효율적인 서비스 제공을 위한 공간적 측면의 교신시점을 제시하고자 한다.

3.2.2 공간적 교신시점 제안

(1) 위험구역 도출 방법

히트맵은 공간 데이터의 분포를 가시화하기 위한 방법으로 대상 이미지 위에 열분포 형태로 데이터를 표시하는 것이다(김혜진과 오재용, 2018). 히트맵은 대상의 분포를 직관적으로 보여주는 것이 특징이며, 이미지의 중첩을 통해 출력하는 것이 일반적이다. 공간데이터의 히트맵을 생성하기 위해서는 일정 크기의 격자로 구분하고 대상 데이터 중 격자에 포함되는 데이터 값을 누적한다. 그리고 누적된 데이터는 크기에 따라 상대적으로 값이 높으면 붉은색, 값이 낮으면 파란색으로 분류한다. 본 연구에서는 관제구역 내 선박 밀도 분포를 가시화하

기 위해 관제구역을 일정 크기의 격자로 구분하고 1분 간격으로 선박의 경위도 좌표를 누적했다. 분석을 위한 선박 경위도 데이터는 '17.7.6(목)~7.10(화) 5일간의 AIS 자료를 이용했다.

'14년 관제사를 대상으로 시행한 설문조사에 따르면, 관제사는 패턴을 통한 예측(38%), CPA 및 TCPA(32%) 등으로 선박이 근접하는 상황을 인지한다고 답했다(남해지방해양경비안전본부, 2014). 이는 선박 간의 거리, 속력, 침로의 요소를 이용하여 나타낸 값이다. 하지만, 선박운항자는 선박의 크기, 조우형태, 주변해역 등과 같은 요소들도 반영하여 선박 간 위험도를 판단하는 것이 일반적이다. 따라서 이번 연구에서는 우리나라의 실제 연안해역을 항해하는 선박운항자의 안전의식을 반영하여 구현된 PARK 모델을 이용하고자 하며, 공간적 교신시점을 도출하기 위해 위험도 5이상의 조우상황이 발생한 해역을 조사했다.

일반적으로 항법 적용의 시점은 마스트등(6마일)과 선미등(2마일)의 광달거리를 기준으로 마주치는 경우와 횡단하는 경우는 6마일, 추월항법의 경우 2마일 떨어진 거리에서부터 적용한다(이창희, 2013). Figure 10은 PARK 모델을 이용해서 해역의 위험도를 도출하는 방법을 나타낸 것이다. 이때 해역의 위험도는 조우관계가 시작되는 최소거리인 2마일 이내 선박을 대상으로 위험도를 계산하고 이 중 가장 높은 위험도의 값을 해역의 위험도로 나타냈다.

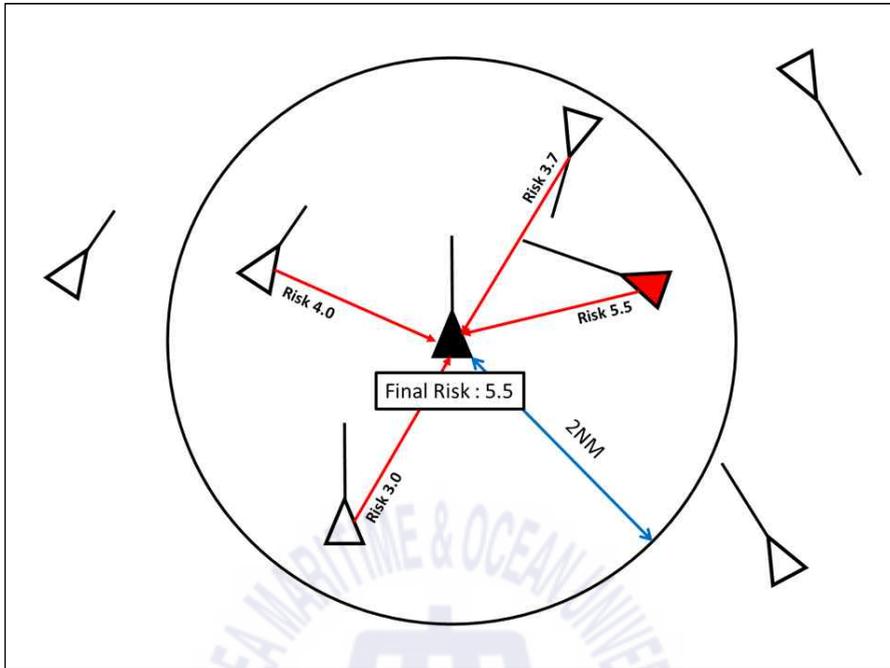


Figure 10 Risk level determination using PARK model

「해양사고의 조사 및 심판에 관한 법률 시행규칙」 제2조(준해양사고)에 따르면 준사고는 해상교통과 관련해서는 항해 중 운항부주의로 다른선박에 근접하여 충돌할 상황이 발생한 것을 의미한다. Inoue & Kawase(2007)는 통항량이 밀집된 항로 및 교차점에서 선박 간 근접통항이 빈번하게 발생되며, 이러한 혼잡해역에서 충돌 빈도가 높다고 언급했다. 그러므로 해상에서 관심해역의 위험도 평가는 해양사고 통계보다는 준사고 데이터에 기초를 두고 분석하는 것이 합리적이라 했다. Lee(2019)는 항해사가 위험을 판단하는데 가장 중요한 요소는 타선박과의 이격거리이며, 위험도 평가의 요소 중에서도 타선과의 이격거리가 가장 민감도가 큰 요소임을 확인했다. 김광일(2014)은 근접사고 판별은 선박의 선회반경을 기준으로 설정된 타원반경 내 상대선의 존재유무를 판별하여 결정했다. W.Zhang(2015) 등은 타선과의 거리, 상대속력, 교각을 이용해서 준사고를 판별했다. Yoo(2018)는 준사고 판단기준을 $d_{cpa} < 0.1nm$, $t_{cpa} < 3min$, $\Delta(\text{거리 변화율}) < 0.3nm$ 로 했다. 이와 같이 준사고는 다른 선박과 근접하여 발생하는

것이며, 해역 위험도평가에 이용할 수가 있으나 그 기준은 다양한 것으로 보인다. 그러므로 본 연구에서는 준사고 개념의 범위를 한정하지 않고, 많은 연구에서 적용하는 타선과의 이격거리를 분석하여 구역의 위험 현황을 살펴보고자 한다.

(2) 대상구역 설정

Table 10은 VTS 설치 항만의 선박 입출항 현황을 해양수산부 통합 항만 운영정보시스템(Port Management Information System, Port-MIS) 자료를 활용하여 나타낸 것이다. 통계에 따르면, 우리나라의 VTS가 설치된 항만 중 선박 입출항이 가장 많은 곳은 부산항이었다. 부산항은 지난 5년간 지속해서 가장 많은 선박이 입출항 한 것으로 조사되었으며, 부산신항을 포함해서 연간 평균 109,225 척이 입출항했다.

Table 10 Number of inbound/outbound vessel of VTS installed ports by year

(단위 : 척)

연도	2014	2015	2016	2017	2018	평균
부산항	79,547	80,463	82,710	81,891	76,610	80,244
부산신항	15,831	17,624	17,487	17,796	18,206	28,981
인천	35,363	37,560	37,407	36,215	31,351	35,579
평택	18,591	19,383	19,924	19,442	18,829	19,234
경인	528	914	524	534	360	572
동해·묵호	8,447	8,081	7,961	8,525	8,053	8,213
대산	14,346	15,070	15,957	14,548	14,334	14,851
군산	8,745	8,539	8,022	6,963	6,830	7,820
목포	19,157	19,040	17,344	16,987	16,960	17,898
완도	2,962	3,517	3,849	4,086	3,774	3,638
여수·광양	12,695	12,579	15,091	14,775	14,465	13,921
포항	13,984	13,452	13,606	12,908	12,902	13,370
마산	14,350	15,849	16,151	12,334	10,465	13,830

울산	51,565	51,525	50,495	48,182	46,664	49,686
제주	5,542	6,973	13,048	12,687	11,848	10,020

주 : 부산항은 부산북항, 감천항 포함 입출항 선박 척수

자료 : 통합 PORT-MIS, 2019

한편 정부는 '18년 3월 부산항 미래비전 선포식을 통해 부산항을 세계 최고의 물류허브 항만으로 구축하기 위한 계획을 제시했다. 특히, 부산신항의 경우 선언문에서 메가포트로 발전할 수 있도록 현재 21선석의 규모를 2020년까지 29선석, 2030년에는 40선석까지 확대하겠다고 밝혀, 부산신항 발전을 시사했다(청와대, 2018). 그러므로 본 연구는 선석 확대에 따라 입출항 선박이 빈번하여 해상교통 혼잡도가 증가할 것으로 예상되는 부산신항을 대상으로 분석을 실시했다. 본 연구에서는 관제구역을 교통 흐름의 특징별로 4구역으로 나눴다. 1구역은 주의해역을 포함한 부산신항 접근 항로, 2구역은 통항분리대가 있는 가덕수도, 3구역은 출·입항 선박과 가덕수도를 통과하는 선박의 교행이 많은 구역, 4구역은 교통 분리가 안 된 부산북항과 신항사이의 연안구역이다. Figure 11은 부산신항 관제구역을 교통 흐름의 특징별로 4구역으로 나눈 것을 나타낸 것이다.



Figure 11 Traffic zone divided by the characteristics of traffic flow

(3) 대상구역의 위험구역 제안

Figure 12는 관제구역 주변의 교통 분포를 히트맵으로 나타낸 그림이다. 구분된 격자 내 선박의 수가 상대적으로 적으면 파란색, 선박의 수가 상대적으로 많으면 붉은색으로 표시했다. 신항 터미널 내가 상대적으로 교통 밀도가 높은 곳으로 나타났으며, 이는 선박이 접안해 있어 장시간 동안 동일한 격자 내에 존재하여 누적되었기 때문이다. 가덕수로 접근 해역을 보면 외해 쪽 보다는 연안에 가까운 해역에서 노란색이 더 많이 나타났다.

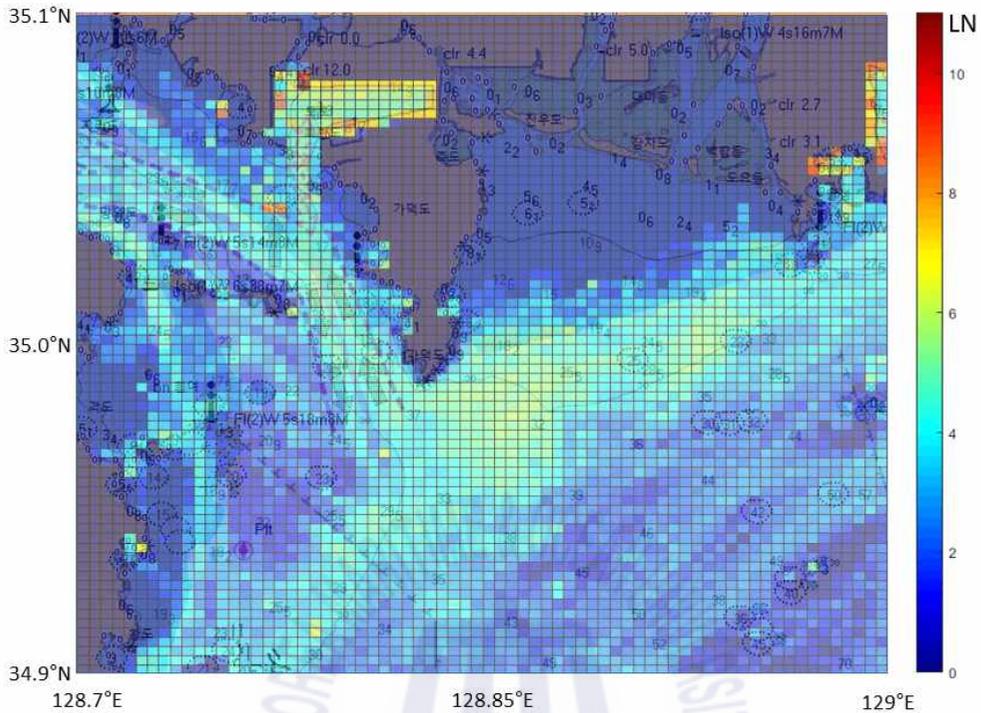


Figure 12 Heatmap of traffic density around Busan new port

Figure 13은 관제구역 내 교통 분포를 히트맵으로 나타낸 그림이다. 히트맵으로 나타낸 결과, 1구역과 부산북항과 신항사이의 4구역에서 교통 밀도가 상대적으로 높게 나타났다. 1구역의 경우 신항 입출항 선박과 마산항 입출항 선박이 모이는 지점이며, 신항 입항을 위해 속력을 줄이는 선박이 많고, 4구역의 경우 연안으로 바짝 붙어 항해하는 선박이 많아 상대적으로 밀도가 높은 것으로 사료된다.

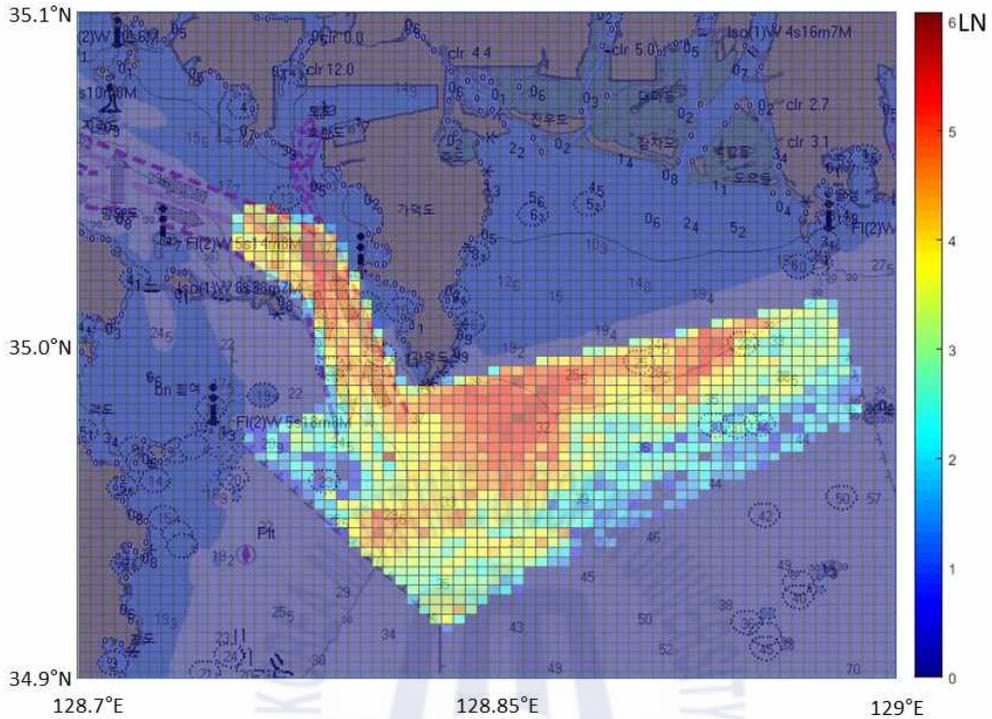


Figure 13 Heatmap of traffic density in Busan new port

정량적인 비교를 위해 각 구역 내 시간대별 1일 평균 선박 척수를 살펴봤다. 그리고 같은 1척의 선박이 관제구역에 안으로 들어오더라도 통항선박의 점유영역은 서로 다르기 때문에 총톤수 1,000톤, 길이 70m인 선박의 L 환산계수를 1로 하여 환산한 교통량을 도출했다(박성용 등, 2008). Table 11은 각 구역 내 시간대별 1일 평균 선박 척수 및 L^2 환산 교통량을 나타내고 있다. 구역별 1일 평균 선박 척수는 1구역 50.3척, 2구역 32.6척, 3구역 84.1척, 4구역 293.6척이며, 4구역이 다른구역에 비해 최대 9배 많은 것으로 나타났다. 1일 평균 L^2 환산 교통량은 1구역 123.4척, 2구역 115.5척, 3구역 214.1척, 4구역 196.1척이며, 3구역이 다른구역에 비해 최대 1.85배 많은 것으로 나타났다. 선박 척당 L^2 환산 교통량을 살펴보면, 1구역 2.45척, 2구역 3.55척, 3구역 2.55척, 4구역 0.67척으로 4구

역이 1, 2, 3구역에 비해 크기가 작은 선박이 주로 항해하는 것을 알 수 있다. 즉, 4구역은 소형선박이 다수 항해하며, 관제구역을 점용하는 크기가 작다는 의미이다. 반면 2구역은 상대적으로 대형선박이 항해하며, 관제구역을 점용하는 크기가 크다.

한편, 선박 교통량의 표준편차를 살펴보면, 1구역 28.1척, 2구역 18.2척, 3구역 94.1척, 4구역 404.1척으로 4구역이 다른 구역에 비해 표준편차가 커 시간대별 교통량의 변동이 큰 것을 알 수 있다. L^2 환산 교통량의 표준편차를 살펴보면, 1구역 59.6척, 2구역 57.6척, 3구역 154.7척, 4구역 224.0척으로 선박교통량과 같이 4구역이 시간대별 교통량 변동이 큰 것을 확인했다. 특히, 5-11시 시간대가 다른 시간대에 비해 선박교통량은 6.5배, L^2 환산 교통량은 2.8배 높은 것으로 분석되었다.

Table 11 The number of ships and L^2 conversion traffic per 1minute in zone

(단위 : 척)

시간대	1구역	2구역	3구역	4구역	평균
00-01시	24.8 (74.5)	11.4 (36.7)	11.2 (95.1)	27.2 (23.2)	18.65 (57.38)
01-02시	30.0 (77.9)	20.8 (103.3)	20.6 (124.0)	24.0 (32.3)	23.85 (84.38)
02-03시	60.2 (231.1)	29.6 (217.4)	22.8 (191.0)	4.6 (7.1)	29.30 (161.65)
03-04시	45.0 (162.9)	20.0 (123.5)	22.0 (218.0)	29.6 (27.8)	29.15 (133.05)
04-05시	139.4 (108.6)	89.4 (96.8)	361.6 (580.3)	495.8 (411.7)	271.55 (299.35)
05-06시	122.0 (295.4)	61.0 (279.4)	324.4 (572.0)	1211.0 (728.7)	429.60 (468.88)
06-07시	50.4 (29.4)	23.2 (72.4)	150.8 (463.9)	1161.4 (651.4)	346.45 (304.27)
07-08시	45.2 (190.1)	36.0 (166.4)	140.2 (145.9)	1073.2 (566.4)	323.65 (267.20)
08-09시	37.8 (133.6)	16.4 (77.8)	105.4 (396.2)	835.4 (460.1)	248.75 (266.93)
09-10시	55.8 (135.6)	40.2 (202.7)	151.0 (292.1)	821.6 (452.0)	267.15 (270.60)

(단위 : 척)

시간대	1구역	2구역	3구역	4구역	평균
10-11시	61.4 (103.7)	56.8 (55.1)	140.0 (103.7)	362.2 (195.7)	155.10 (114.55)
11-12시	49.8 (115.3)	29.0 (143.0)	129.0 (249.1)	121.4 (66.6)	82.30 (143.50)
12-13시	67.2 (185.2)	53.6 (148.6)	55.2 (227.9)	144.4 (211.9)	80.10 (193.40)
13-14시	41.6 (97.5)	31.2 (129.0)	30.6 (221.3)	70.8 (33.5)	43.55 (120.33)
14-15시	52.0 (144.6)	33.4 (93.0)	28.2 (140.8)	115.6 (108.6)	57.30 (121.75)
15-16시	36.6 (118.6)	33.2 (134.7)	51.4 (184.4)	144.4 (168.2)	66.40 (151.48)
16-17시	44.6 (141.6)	35.8 (133.2)	68.8 (265.1)	124.6 (73.9)	68.45 (153.45)
17-18시	32.8 (40.0)	34.8 (57.0)	77.2 (92.3)	60.8 (18.7)	51.40 (52.00)
18-19시	60.0 (100.1)	38.4 (96.9)	65.8 (263.2)	52.8 (87.8)	54.25 (137.00)
19-20시	46.6 (89.0)	18.8 (92.7)	9.2 (28.5)	38.4 (41.1)	28.25 (62.83)
20-21시	38.0 (96.4)	28.4 (40.9)	22.4 (58.2)	62.0 (255.4)	37.70 (112.73)
21-22시	24.8 (66.5)	13.2 (95.1)	9.0 (64.4)	38.0 (32.2)	21.25 (64.55)
22-23시	25.6 (144.3)	15.2 (81.9)	11.4 (43.1)	18.4 (43.6)	17.65 (78.22)
23-24시	16.0 (81.0)	12.2 (95.2)	9.2 (117.4)	8.0 (7.7)	11.35 (75.33)
평균	50.3 (123.4)	32.6 (115.5)	84.1 (214.1)	293.6 (196.1)	
표준편차	28.1 (59.6)	18.2 (57.6)	94.1 (154.7)	404.1 (224.0)	

주 : ()안은 L^2 환산 교통량

그러나 단순히 구역 내 선박 척수 및 L^2 환산 교통량으로는 구역의 면적이 다르기 때문에 정확한 비교가 어렵다. 그러므로 단위면적(km^2) 당 1일 선박 척수 및 L^2 환산 교통량을 시간대별로 Table 12와 같이 나타냈다. 단위면적(km^2) 당 1일 선박 척수는 1구역 4.84척, 2구역 3.66척, 3구역 2.09척, 4구역 4.29척이며, 1구역이 다른구역에 비해 최대 2.3배 많은 것으로 나타났다. 단위면적 당 1일 L^2

환산 교통량은 1구역 11.87척, 2구역 12.98척, 3구역 5.33척, 4구역 2.87척이며, 2구역이 다른구역에 비해 최대 4.5배 많은 것으로 나타났다. 이는 단위면적 당 선박 수는 1구역이 많지만, 2구역이 단위면적당 더 큰 선박이 통항하는 것을 의미한다.

한편, 단위면적당 선박교통량의 표준편차를 살펴보면, 1구역 2.7척, 2구역 2.04척, 3구역 2.34척, 4구역 5.91척으로 4구역이 다른 구역에 비해 표준편차가 커 시간대별 교통량의 변동이 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. L^2 환산 교통량의 표준편차를 살펴보면, 1구역 5.73척, 2구역 6.47척, 3구역 3.85척, 4구역 3.27척으로 2구역이 시간대별 교통량 변동이 상대적으로 큰 것을 확인했다. 특히, 5-11시 시간대가 다른 시간대에 비해 4구역 선박교통량은 11배, 2구역 L^2 환산 교통량은 1.33배 높은 것으로 분석되었다.

Table 12 The number of ships per unit area(km²)

(단위 : 척/km²)

시간대	1구역 (10.4km ²)	2구역 (8.9km ²)	3구역 (40.2km ²)	4구역 (68.4km ²)	평균
00-01시	2.38 (7.17)	1.28 (4.12)	0.28 (2.37)	0.40 (0.34)	1.09 (3.50)
01-02시	2.88 (7.49)	2.34 (11.61)	0.51 (3.08)	0.35 (0.47)	1.52 (5.66)
02-03시	5.79 (22.22)	3.33 (24.43)	0.57 (4.75)	0.07 (0.10)	2.44 (12.88)
03-04시	4.33 (15.66)	2.25 (13.88)	0.55 (5.42)	0.43 (0.41)	1.89 (8.84)
04-05시	13.40 (10.44)	10.04 (10.88)	9.00 (14.44)	7.25 (6.02)	9.92 (10.45)
05-06시	11.73 (28.41)	6.85 (31.40)	8.07 (14.23)	17.70 (10.65)	11.09 (21.17)
06-07시	4.85 (2.82)	2.61 (8.13)	3.75 (11.54)	16.98 (9.52)	7.05 (8.00)
07-08시	4.35 (18.28)	4.04 (18.70)	3.49 (3.63)	15.69 (8.28)	6.89 (12.22)
08-09시	3.63 (12.84)	1.84 (8.74)	2.62 (9.85)	12.21 (6.73)	5.08 (9.54)
09-10시	5.37 (13.04)	4.52 (22.78)	3.76 (7.27)	12.01 (6.61)	6.42 (12.43)
10-11시	5.90 (9.97)	6.38 (6.19)	3.48 (2.58)	5.30 (2.86)	5.27 (5.40)

(단위 : 척/km²)

시간대	1구역 (10.4km ²)	2구역 (8.9km ²)	3구역 (40.2km ²)	4구역 (68.4km ²)	평균
11-12시	4.79 (11.09)	3.26 (16.07)	3.21 (6.20)	1.77 (0.97)	3.26 (8.58)
12-13시	6.46 (17.81)	6.02 (16.69)	1.37 (5.67)	2.11 (3.10)	3.99 (10.82)
13-14시	4.00 (9.37)	3.51 (14.50)	0.76 (5.51)	1.04 (0.49)	2.33 (7.47)
14-15시	5.00 (13.91)	3.75 (10.45)	0.70 (3.50)	1.69 (1.59)	2.79 (7.36)
15-16시	3.52 (11.40)	3.73 (15.13)	1.28 (4.59)	2.11 (2.46)	2.66 (8.40)
16-17시	4.29 (13.61)	4.02 (14.96)	1.71 (6.59)	1.82 (1.08)	2.96 (9.06)
17-18시	3.15 (3.85)	3.91 (6.41)	1.92 (2.30)	0.89 (0.27)	2.47 (3.21)
18-19시	5.77 (9.62)	4.31 (10.89)	1.64 (6.55)	0.77 (1.28)	3.12 (7.09)
19-20시	4.48 (8.55)	2.11 (10.41)	0.23 (0.71)	0.56 (0.60)	1.85 (5.07)
20-21시	3.65 (9.26)	3.19 (4.60)	0.56 (1.45)	0.91 (3.73)	2.08 (4.76)
21-22시	2.38 (6.40)	1.48 (10.68)	0.22 (1.60)	0.56 (0.47)	1.16 (4.79)
22-23시	2.46 (13.87)	1.71 (9.20)	0.28 (1.07)	0.27 (0.64)	1.18 (6.20)
23-24시	1.54 (7.79)	1.37 (10.70)	0.23 (2.92)	0.12 (0.11)	0.82 (5.38)
평균	4.84 (11.87)	3.66 (12.98)	2.09 (5.33)	4.29 (2.87)	
표준편차	2.70 (5.73)	2.04 (6.47)	2.34 (3.85)	5.91 (3.27)	

주 : ()안은 L² 환산 교통량

Figure 14는 관제구역의 위험도 분포를 나타낸 그림이다. 붉은색은 위험도 6~7, 주황색은 위험도 5~6, 노란색은 위험도 4~5, 초록색은 위험도 4미만을 나타낸다. 위험한 상황을 나타내는 위험도 5이상(주황색, 붉은색)은 구역 전반적으로 펼쳐져 있다. 그리고 위험도 6의 경우 가덕수도와 신항 입구의 주의해역까지 출입항 향로에 걸쳐 분포하고 있다.

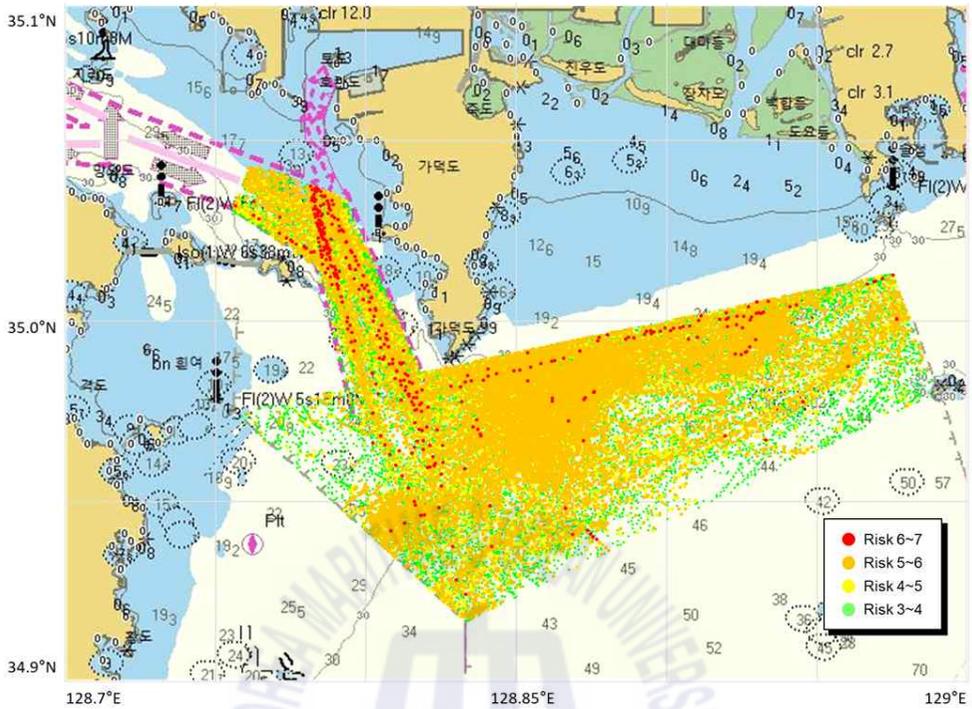


Figure 14 Distribution of risk level in VTS area

정량적 비교를 위해 각 구역의 위험도 비율을 확인했다. Table 13은 위험도 5이상 선박의 비율을 나타낸다. 위험도 비율의 최대값은 4구역의 06-07시 시간대의 67.73%로 나타났으며, 평균 위험도 비율은 3구역→4구역→1구역→2구역 순으로 나타났다. 반면 위험도가 6이상 되는 선박의 비율은 1구역→2구역→3구역→4구역 순으로 나타났다. 그리고 05-11시 시간대의 위험도 비율 평균이 37.6%로 타 시간대 평균보다 약 2.4배 높은 것으로 나타났다.

Table 13 Percentage of ships with risk level 5 or higher in each zone

(단위 : %)					
시간대	1구역	2구역	3구역	4구역	평균
00-01시	6.45 (0.00)	0.00 (0.00)	10.71 (0.00)	5.15 (0.00)	5.58 (0.00)
01-02시	19.33	11.54	5.83	0.83	9.38

(단위 : %)

시간대	1구역	2구역	3구역	4구역	평균
	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)
02-03시	20.27 (4.98)	18.92 (1.35)	35.09 (2.63)	0.00 (0.00)	18.57 (2.24)
03-04시	20.00 (0.44)	32.00 (0.00)	18.18 (1.82)	4.73 (0.68)	18.73 (0.74)
04-05시	36.59 (0.00)	40.27 (0.45)	50.00 (0.39)	55.02 (0.40)	45.47 (0.31)
05-06시	43.61 (1.15)	33.11 (1.97)	48.64 (0.12)	66.74 (0.15)	48.03 (0.85)
06-07시	26.98 (0.00)	25.00 (5.17)	46.29 (1.59)	67.73 (0.05)	41.50 (1.70)
07-08시	24.78 (3.10)	11.67 (0.56)	43.51 (0.00)	57.73 (0.00)	34.42 (0.92)
08-09시	11.11 (5.29)	6.10 (0.00)	30.93 (0.00)	62.22 (0.38)	27.59 (1.42)
09-10시	13.98 (2.15)	17.91 (1.00)	31.26 (1.59)	51.17 (0.05)	28.58 (1.20)
10-11시	17.26 (0.65)	17.96 (0.00)	21.57 (0.29)	40.81 (0.00)	24.40 (0.24)
11-12시	22.49 (4.82)	29.66 (0.00)	26.51 (0.16)	13.01 (0.00)	22.92 (1.25)
12-13시	16.96 (4.46)	11.94 (0.00)	18.12 (0.00)	18.84 (1.52)	16.47 (1.50)
13-14시	14.90 (0.00)	8.33 (0.00)	24.18 (0.00)	8.76 (0.00)	14.04 (0.00)
14-15시	13.08 (1.54)	10.78 (4.19)	19.15 (0.71)	12.11 (0.17)	13.78 (1.65)
15-16시	29.51 (3.28)	20.48 (0.60)	17.90 (0.39)	19.39 (0.00)	21.82 (1.07)
16-17시	16.14	27.93	24.42	14.29	20.70

(단위 : %)

시간대	1구역	2구역	3구역	4구역	평균
	(2.24)	(2.79)	(1.16)	(0.00)	(1.55)
17-18시	10.98 (0.00)	5.17 (0.00)	16.84 (0.00)	7.89 (0.00)	10.22 (0.00)
18-19시	20.67 (1.33)	15.10 (0.52)	13.98 (0.61)	3.03 (0.00)	13.20 (0.62)
19-20시	27.90 (1.72)	19.15 (0.00)	8.70 (0.00)	2.60 (0.00)	14.59 (0.43)
20-21시	33.16 (10.53)	13.38 (3.52)	15.18 (0.00)	3.55 (0.00)	16.32 (3.51)
21-22시	6.45 (0.00)	4.55 (0.00)	20.00 (8.89)	22.63 (11.05)	13.41 (4.99)
22-23시	11.72 (0.00)	19.74 (1.32)	15.79 (1.75)	5.43 (5.43)	13.17 (2.13)
23-24시	5.00 (0.00)	14.75 (0.00)	19.57 (0.00)	0.00 (0.00)	9.83 (0.00)
평균	19.55 (1.99)	14.75 (0.98)	24.26 (0.92)	22.65 (0.83)	

주 : ()안은 위험도 6이상 선박 비율

Figure 15는 구역별 이격거리 비율의 분포를 나타내는 그래프이다. 이는 이격거리 2마일 내 선박 중 타선과 이격거리의 분포를 나타내는 것으로 4cable (0.1 마일)을 기준으로 그래프 상 큰 변화가 있는 것으로 나타났다. 최소이격거리는 1분마다 선박과 선박 간 최소이격거리를 측정했기 때문에 선박의 속력이 느리다면, 일정 시간 내 구역 안에 있는 선박 척수가 많아진다는 의미이며, 이는 관제사가 담당 관제구역에서 관제해야하는 선박이 많아지는 것이기도 하다. 4구역의 경우, 타선과 이격거리가 1cable 미만의 비율이 35.5%로 나타났다. 즉, 2마일 내 선박이 10척 있다면, 이 중 약 4척이 1cable 미만의 이격거리를 두고 항해한다는 의미이다. 반면 4cable 이상의 이격거리는 각 5% 이하로, 4구역을 항해하는 선박의 77.6%는 4cable 이하의 이격거리를 두고 항해하는 것으로 분

석된다. 3구역에서는 55.8%, 2구역에서는 27.3%, 1구역에서는 32.2%의 선박들이 4cable 이하의 이격거리를 두고 항해하고 있다. 이격거리가 가까울수록 준사고가 발생할 확률이 높다고 단정할 순 없지만, 4구역이 근접한 선박이 상대적으로 많기 때문에 준사고 발생 가능성이 높은 구역이라 할 수 있다.

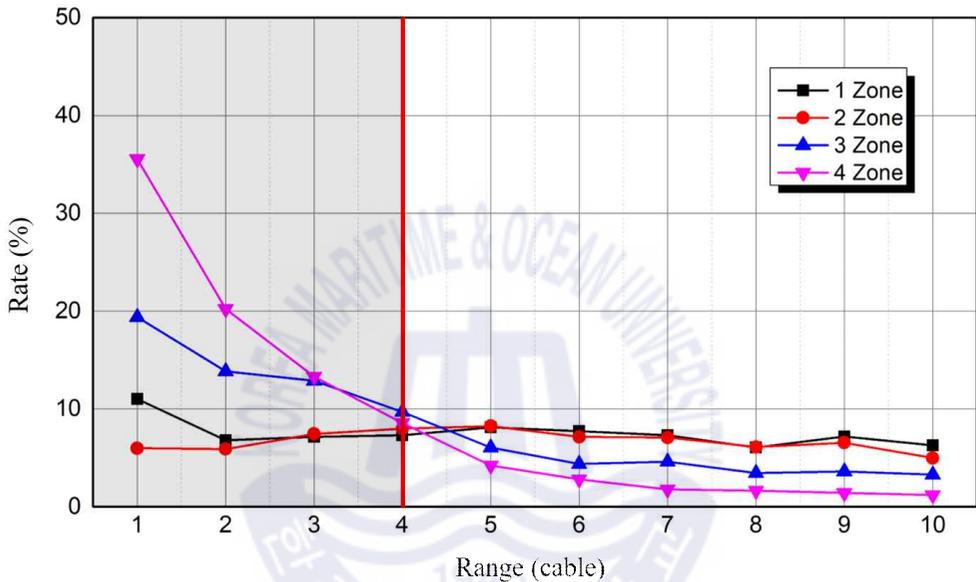


Figure 15 Distribution of separation distance by zone

Table 14는 부산신항 VTS 개소('05.12.16) 이후 관제구역 내에서 발생한 충돌 사고를 조사한 결과이다. 지난 14년간 관제구역 부근 충돌사고는 총 12건으로 나타났다. 관제대상의 선박이 아니더라도 관제구역에서 사고가 발생할 경우, 관제대상 선박의 교통 흐름에 지장이 발생할 수 있으므로 관제구역 내 발생한 모든 선종의 충돌사고를 조사했다. 시간대를 살펴보면 12건 중 8건은 새벽시간에 발생했으며, 2건은 오전시간대, 2건은 오후시간대에 발생해 새벽시간에 해양사고가 많이 발생하는 것으로 분석되었다. 또한, 선종별로 살펴보면 1구역과 2구역에서는 화물선 관련, 3구역과 4구역에서는 예인선 및 어선관련 사고가 발생

한 것이 특징이다.

Table 14 Marine accident around Busan new port VTS area (collision)

	일시	사고위치	개 요
1	'06.06.05 05:50	북위 35도 01분 48초 동경 128도 47분 13초	피에인부선 좌현선수와 컨테이너선 선수와 충돌
2	'06.10.18 04:50	북위 35도 01분 00초 동경 128도 56분 00초	어선 간 충돌
3	'07.6.27 05:40	북위 35도 03분 00초 동경 128도 44분 54초	항행중인 화물선과 투망중인 어선이 충돌
4	'07.09.30 17:10	북위 35도 00분 06초 동경 128도 53분 30초	예인선 피에인부선과 투묘 중이 던 화물선이 충돌
5	'09.09.16 03:50	북위 34도 59분 46초 동경 128도 52분 32초	예인선의 부선과 조업대기 중인 어선이 충돌, 어선 전복
6	'10.03.23 06:00	북위 34도 58분 48초 동경 128도 58분 00초	어선 간 충돌
7	'10.07.07 03:25	북위 34도 58분 55초 동경 128도 50분 54초	예인선과 어선 간 충돌
8	'11.06.02 03:50	북위 34도 57분 24초 동경 128도 51분 07초	컨테이너선과 자동차운반선이 충돌
9	'15.12.21 08:10	북위 34도 57분 00초 동경 128도 48분 00초	어선 간 충돌
10	'17.03.18 03:22	북위 35도 00분 00초 동경 128도 53분 00초	예인선과 묘박 중인 화물선이 충돌
11	'17.04.04 18:48	북위 34도 59분 21초 동경 128도 48분 00초	화물선간 충돌
12	'17.07.21 08:18	북위 34도 55분 39초 동경 128도 45분 37초	예인선과 어선 간 충돌

자료 : 해양안전심판원

Figure 16은 조사된 해양사고의 위치를 해도에 표시한 그림이다. 1구역 부근의 해양사고는 2건¹⁾ (1, 3), 2구역 부근의 해양사고는 1건(11), 3구역 부근의 해양사고는 3건(8, 9, 12), 4구역 부근의 해양사고는 6건(2, 4, 5, 6, 7, 10)으로 4구

1) 괄호 안 표기된 번호는 사고 위치를 의미함

역 부근에서 가장 많은 사고가 발생한 것으로 나타났다.

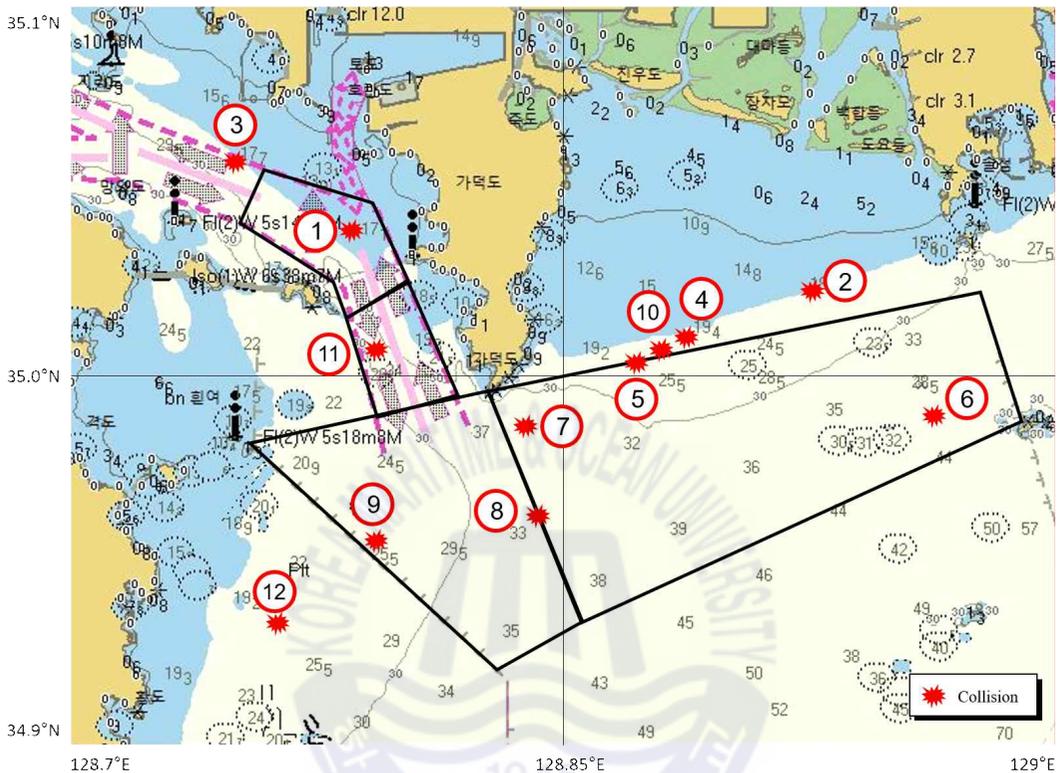


Figure 16 Position of collision accident around Busan new port VTS area

3.3 소결

3.3.1 시간적 교신 시점 도출

관제사와 선박운항자가 관제구역 내에서 VHF로 안전운항을 위하여 실시한 교신은 관제사나 선박운항자의 위험에 대한 인식이나 범위, 의도 등이 반영되어 있어, 관제구역 내의 위험도를 측정할 수 있는 자료로 활용 될 수 있다.

이번 연구는 부산항 VHF 교신을 분석하여, PARK 모델에 의한 위험도 5.0 이상의 선박을 관제구역 내에서 단위시간 당 관제할 확률이 푸아송 분포를 따름

을 확인하였으며, 이를 통하여 장애의 위험도 5.0 선박을 관제할 시간간격을 예측했다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

(1) 7일간 총 6,810건의 교신이 부산항 VTS VHF 채널 12번에서 있었으며, 시간당 평균 교신이 40.54건, 1.5분에 한번씩 있는 것으로 조사되었다. 이 중 관제사가 선박을 호출한 교신은 주간시간대가 야간시간대보다 약 1.82배 교신량이 많은 것으로 분석되었다.

(2) 관제구역 내에서 관제사가 단위시간 동안 위험한 상황(위험도 5.0 이상)의 선박을 직접 관제할 확률, 특히 주간시간대에 관제 교신할 확률, 위험한 선박 간 교신할 확률은 푸아송 분포를 따르는 것으로 분석되었다.

(3) 푸아송 분포의 검증 결과, 관제사는 위험한 상황을 식별하여 평균 3.50시간 마다 선박을 직접관제했다. 특히, 주간시간에는 평균 2.85시간마다 직접 관제하는 것으로 분석되었다. 그리고 평균 3.84시간 마다 관제 채널 청취를 통하여 위험 상황 선박을 간접관제 하는 것으로 분석되었다.

시간적 교신 시점 도출을 위한 연구에서는 관제구역 내 위험한 선박을 관제할 확률이 푸아송 분포를 따른다는 것을 검증했다. 추후에는 푸아송 분포의 확률과 실제 해양사고와의 연관관계를 도출하여 보완한다면, 해당 해역의 사고건수를 사전에 예상할 수 있는 모델을 구성할 수 있을 것이다.

3.3.2 공간적 교신 시점 도출

관제구역 내 공간적 교신 시점을 도출하기 위해 부산신항 관제구역을 대상으로 선박밀도, 위험도, 최소이격거리 및 해양사고 발생 위치를 살펴보았다. Table 15는 분석 요인 별 분석 결과를 나타내는 표이다. 단위면적 당 선박밀도는 1구역, 4구역이 높지만, 선박의 점용영역을 고려한 L^2 환산 교통량을 적용하면, 1구역과 2구역이 상대적으로 높게 분석되었다. 다시 말해서 1구역은 통항선박이 많으며, 상대적으로 대형선이 많이 통항한다는 의미이다.

위험도를 이용한 분석결과는 모델에서 위험한 수치인 위험도 5.0이상의 선박

은 3구역 4구역에서 많았으나, 위험도 6이상의 비율은 오히려 1구역에서 가장 높은 것으로 분석되었다. 이는 최소이격거리 비율의 결과와 같이 본다면, 이격거리가 가까운 선박의 비율이 높아 위험도가 높아지고, 1구역은 이격거리에 관한 영향뿐만 아니라 대형선의 통항이 많아 위험도 비율이 높아진 것으로 사료된다. 해양사고는 4구역에서 가장 많이 발생했으며, 선종으로 구분하면, 1, 2구역에는 화물선관련 사고, 4구역은 예인선 및 어선관련 사고가 발생한 것으로 분석되었다. 종합하면, 1구역과 2구역은 상대적으로 통항량이 많은 대형선을, 4구역은 이격거리가 짧은 소형선을 그리고 5-11시 시간대에 집중적으로 관제해야 할 것으로 사료된다.

Table 15 Analysis result by factor

구분	1구역	2구역	3구역	4구역
단위면적 당 선박밀도(척/km ²) (L ² 환산 교통량)	4.84 (11.87)	3.66 (12.98)	2.09 (5.33)	4.29 (2.87)
위험도 5이상 비율 (%) (위험도 6이상)	19.55 (1.99)	14.75 (0.98)	24.26 (0.92)	22.65 (0.83)
최소이격거리 비율 (%) (4cable 기준)	32.2	27.3	55.8	77.6
해양사고 건수	2건	1건	3건	6건

우리나라는 항만 및 연안해역의 선박교통안전과 효율성을 확보하기 위해 관제구역을 지정해서 선박 동정을 관찰하고 필요 정보를 제공하고 있다. 이러한 관제 서비스는 관제구역 내 필요한 선박에게 동시에 제공되어야 하나, 사람이 관제하는 이상 제한된 시간에 관제구역 전반을 관리하기는 쉽지 않다. 그러므로 본 연구는 효율적인 관제를 위해 공간적 교신 시점을 제시하고자 했다. 본 연구의 결과는 다음과 같다

- (1) 문헌조사를 통해 관제구역은 교통밀도, 항행형태, 해양사고 발생 위치 등

이 고려됨을 확인했다. 그리고 관제사 업무와 관련해서는 해상교통량이 업무 부담에 미치는 영향이 크고 이러한 업무부담은 인적과실로 인한 해양사고로 연결될 수 있음을 알 수 있었다. 이는 관제구역과 관제사의 업무는 해상교통량과 밀접한 연관이 있음을 의미하며, 본 연구는 해상교통량을 기반으로 공간적 교신 시점을 설정했다.

(2) 공간적 교신 시점을 도출하기 위해 히트맵을 이용한 공간분석, 위험도 모델을 이용한 분석, 타선과의 최소 이격거리를 이용한 분석을 실시했으며, 해양 사고 발생 위치와 비교를 했다. 히트맵을 이용한 공간분석 결과 교통밀도는 1구역과 2구역이 높았으며, L^2 환산 교통량 비교 결과 1구역과 2구역에서 상대적으로 큰 선박이 통항하는 것으로 분석되었다. 그리고 5-11시 시간대에 교통밀도가 높은 것으로 분석되었다.

위험도를 이용한 분석 결과 평균 위험도 비율은 3구역과 4구역이 높았으나, 매우 위험한 위험도(위험도 6)는 1구역에서 가장 높았다. 그리고 5-11시 시간대의 위험도 비율이 37.6%로 가장 높은 것으로 분석되었다.

타선과의 최소 이격거리를 분석한 결과, 4구역을 항행하는 선박의 77.6%가 4cable 이하의 이격거리를 두고 항해하는 것으로 분석되어, 4구역이 가장 짧은 이격거리를 갖고 항행하는 것으로 나타났다.

부산신항 VTS 개소('05.12.16) 이후 선박 충돌사고를 조사한 결과 4구역에서 총 6건의 사고가 발생하여 가장 많은 사고가 발생한 구역으로 분석되었으며, 시간대는 새벽 시간대 총 8건의 사고가 발생했다.

분석 방법 별로 공간적 교신시점의 대상 구역은 달랐다. 하지만 05-11 시간대에는 모든 구역의 집중관제가 필요한 것으로 분석되었으며, 1구역, 2구역은 대형선의 통항이 많아 이를 집중적으로 관제해야하며, 4구역은 이격거리가 짧은 소형선들의 통항을 집중적으로 관제해야할 것으로 사료된다. 본 연구는 해상교통량을 기반으로 공간적 교신시점을 도출하기 위해 다양한 방법으로 관제 구역의 해상교통량을 분석했다는 것에 의의가 있다.

하지만 관제 대상 선박과 비관제 대상의 선박 구분 없이 관제구역 내 모든

선박에 대해 일률적으로 분석한 점이 한계점으로 남는다. 추후에는 관제 선박과 비관제선박을 서로 다른 가중치를 주어 연구를 진행한다면, 관제사에게 효율적인 의사결정을 지원할 수 있는 모델로 발전될 수 있을 것이다.



제 4 장 원활한 관제 교신을 위한 의사소통관리 방안

항만 구역 내 선박의 효율적이고 안전한 접근을 위해 1948년 처음 시행된 VTS는 기술의 발전과 함께 더욱 확대되었고, 그 중요성이 더욱 커지고 있다 (IALA, 2016). VTS는 해역의 안전과 효율성을 위해 선박에게 INS, TOS, NAS의 3가지 서비스를 제공하고 있다. VTS의 서비스는 VHF radio, phone, fax, e-mail and AIS 등을 통해 다양하게 제공되고 있지만, VHF radio가 교신에 가장 중요한 역할을 하고 있다(Nautical Institute, 2018).

VHF radio의 경우 각 구역마다 할당된 주파수가 있으며, 선박과 VTS 간 지정된 주파수를 이용해서 교신 할 수 있다. VHF radio를 통한 소통(communication)은 sender의 메시지 전달과 receiver의 이해 및 feedback으로 구성되어 있어 two-way communication이라 할 수 있다. 다시 말해서 VHF radio는 양방향 교신이기 때문에 대화 중간에 다른 대화가 끼어 들어가기 어렵다. 그러므로 VHF radio를 통한 교신은 일종의 대기행렬 시스템으로 이해할 수 있다.

대기행렬은 고객의 도착시간, 서비스시간 등의 확률을 이용하여 서비스 시설의 적정 규모를 연구하는 이론을 말하며, 고객들의 도착과정, 서비스시간, 서버로 구성되어있다. VTS에 대기행렬 이론을 적용한다면 VHF 교신 도착과정, 교신시간, 교신채널의 수가 구성요소가 되고, 관제구역 내에서 VHF 교신을 통해 이루어지는 서비스를 정량적으로 분석 할 수 있다.

본 장의 목적은 대기행렬 이론을 이용해서 관제구역 내 VHF 교신 내용을 정량적으로 분석하여 원활한 관제 교신을 위한 의사소통관리 방안을 제시하는 것이다. 이를 위해서 부산항의 4일간 VHF 교신을 분석하고, VHF 교신이 대기행렬을 따른다는 것을 증명했다. 그리고 부산항 VTS 센터의 원활한 관제 교신을 위한 개선방안 3가지를 제시하고자 한다.

IALA는 효과적인 VTS VHF 통신이 항법 안전 및 효율성에 직접 기여한다고 밝혔다(IALA, 2017). 그리고 IALA Workshop을 통해 VTS 문구 및 음성통신 표준을 위해 SMCP의 VTS 섹션 수정, 통신 가이드라인 개발, 이에 대한 교육의

필요성 등에 대해서 언급한 바 있다(IALA, 2017; IALA, 2019).

Robert(1997)는 대기행렬을 이용해 뉴욕 항만 VTS 관제구역의 교신을 정량적으로 분석했다. 메시지의 도착 비율은 선박의 출입항, 보고지점의 위치, 관제구역 내 마주치는 선박의 횡수를 통해서 가정하여 제시했으며, 교신시간은 샌프란시스코 항만의 교신 데이터를 이용하여 관제구역 내 교신은 대기행렬을 따름을 증명했다.

Park, Cho and Seo(2012)은 VHF 교신효율의 저해요소를 정량적으로 분석하기 위해 인천항을 대상으로 24시간동안 VHF 교신을 분석했으며, 초기응답이 빠르고 재송신의 발생을 줄일수록 교신 효율이 증대하는 것을 밝혀냈다.

Kim(2015)은 VTS 관제구역 내 위해요소를 파악하기 위해 부산북항을 대상으로 3일간 관제 교신 데이터를 분석했다. 그 결과 부산북항은 특정시간대의 교신은 복잡하며, 급유선 및 예인선과 같은 항만운송사업선의 통신이 월등히 많은 것을 밝혀냈다. 그리고 관제사들은 주관적으로 관제하고 있다는 것을 밝혀냈다.

Park and Park(2015)은 관제사들의 주관적인 관제기법을 정량화하기 위해 관제구역 내 선박 조우 상황별로 적정한 관제 개입 거리 및 충돌 위험도를 제시했다.

한편 대기행렬은 적정 서비스 규모를 정량적으로 산정할 수 있어 대기가 많이 이루어지는 항만 분야에서 많은 연구가 되고 있다. Jang(1991)은 항만의 서비스 지표로 선박당 대기시간을 제시하고 도착시간분포와 서비스시간 분포가 얼랑분포를 나타낼 때 대기추정식을 이용할 수 있다고 밝혔다. Baek(1998)은 대기행렬이론을 적용해서 선박의 도착형태와 부두서비스 시간을 분석하고 평균선석점유율과 예상되는 선박의 대기시간과의 관계를 규명했다.

Lee et al.(2015)은 항만의 서비스 지표를 개발하기 위한 방안으로 항만의 대기율 및 선석점유율을 산정했다. 대기율 산정 결과 일반화물선과 벌크선의 영향으로 포항항이 높게 나왔으며, 선석점유율은 포항신항에서 높게 나왔다. Lee and Park(2018)은 터미널 운영자료를 이용해서 이론적 대기행렬의 대기율과 실

제 대기율의 차이를 도출했으며, 이론적인 계산과 실체는 큰 차이가 존재하는 것을 밝혀냈다.

Kos(2007)은 벌크 화물 처리 터미널의 운영이 대기행렬 모형을 따름을 증명했다. 그리고 제안된 모형은 실제 벌크 터미널에 적용했으며, 효율적인 작업을 위한 의사결정에 도움이 되는 것을 확인했다. Park et al.(1991)은 대기행렬 이론과 시뮬레이션을 통해 1989년 BCTOC의 컨테이너선 입출항시스템에 대해 분석하고 실제 컨테이너 터미널 화물 처리시스템을 대기행렬모형으로 체계화 하고 시뮬레이션 결과와 비교하여 터미널의 운영상태를 분석했다.

Koo(1997)는 선박이 항로를 이용할 때 적정 안전거리까지 이동하는 데 걸리는 시간을 서비스로 간주하고 대기행렬 이론을 이용해 항로의 혼잡도를 계산했다. 기존의 연구는 항만을 이용한 유형의 선박에 집중하여 대기행렬 이론을 사용했으나 항만 내에서 이루어지고 있는 무형의 교신 서비스를 이용한 연구는 없었다. 이번 연구는 항만의 서비스 중의 하나인 VTS에 대하여 교신 서비스를 대기행렬을 통해 정량적으로 분석하고 효율적인 의사소통관리를 위한 정량 기준을 제시하고자 한다.

관제구역 내의 VTS 서비스는 VTS가 서비스를 제공하고 선박은 받은 서비스에 대한 피드백을 일정 목적이 달성 될 때까지 주고 받는 일련의 과정이라 볼 수 있다. 다시 말해서 VTS는 효과적인 목적 달성을 위해 통신시설을 이용해서 선박과 상호작용을 하고 있다. 오직 무형의 통신으로만 정보제공이 이루어지고 있으므로 관제구역 내 정확한 교신 분석이 필요하며, 이를 통해 VTS가 항만의 안전을 위해 어떤 노력을 하는지 확인 할 수 있을 것이다. Figure 17은 관제구역 내에서 이루어지는 서비스의 형태를 나타낸다. 관제구역 내에서는 VHF를 통해 각종 보고 및 관제서비스가 같이 이루어지고 있다. 구역 내 지정된 주파수가 정해져 있으므로 서비스를 요구하는 고객(선박)은 제한이 없으나, 서비스의 통로는 제한되어 있는 형태이다.

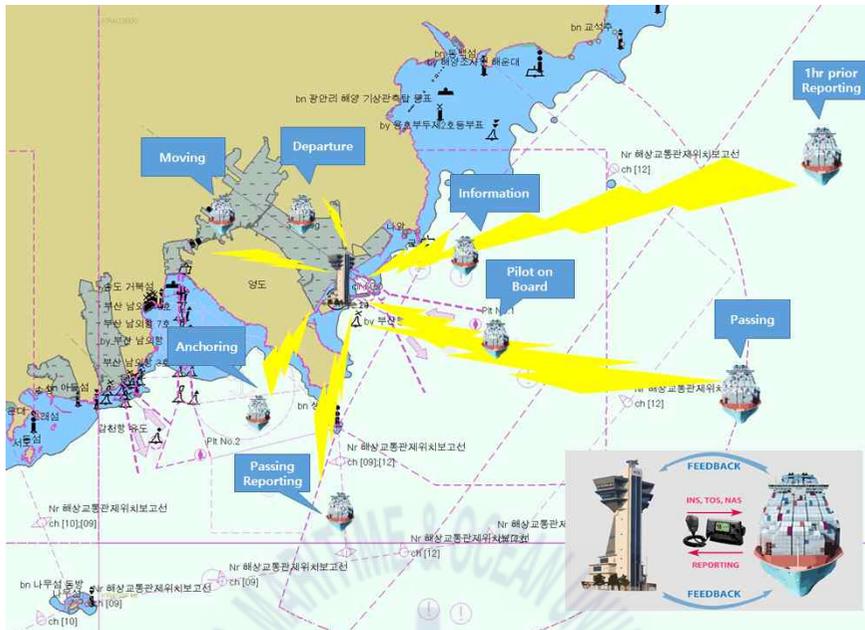


Figure 17 VHF communication concept in VTS area

4.1 대기행렬을 이용한 관제구역 교신 시간 분석

4.1.1 대기행렬 모델 소개

대기행렬은 서비스 시설에 있어서 서비스 제공자가 고객들이 요구하는 서비스를 만족시키는 과정에서 그 순서를 기다리는 고객들이 행렬을 이루게 되는 것을 말한다. 그러므로 대기행렬의 상황을 이해하기 위해서는 고객의 도착과 서비스의 제공이라는 두 가지의 기본적인 행위에 대해 관찰 할 필요가 있다. 관심의 초점이 되는 것은 결과적으로 이 두 행위의 상호작용에 의해 발생하는 결과로서 몇 사람의 고객이 대기행렬 시스템 내에 있으며, 그들이 얼마나 긴 시간을 대기행렬 시스템 내에서 소비했는가 된다. 따라서 고객의 관점에서는 참가하는 새로운 고객의 수에 관심이 생기고, 서비스를 제공하는 입장에서는 서비스를 떠나는 고객의 숫자가 문제가 될 것이다. 대기행렬 이론은 이러한 도

착율과 서비스율의 분포를 통계적 확률모형과 대비하여 해석함으로써 여러 가지 현상을 수식으로 표현한 것이다. 대기행렬의 특징적 요소를 표현하는 방법으로는 다음의 기호가 있다.

$$(x/y/z) : (u/v/w)$$

여기서, x : Arrival distribution

y : service time(or departures) distribution

z : number of paralld servers ($z=1,2, \dots, \infty$)

u : service discipline

v : maximum number allowed in system ($v=1,2, \dots, \infty$)

w : size of calling source ($w=1,2, \dots, \infty$)

도착분포와 서비스시간이 푸아송분포인 경우 M, 일정시간 간격인 경우 D, 계차-k의 열랑분포(Erlang distribution of order-k)의 경우 Ek, 카이제공분포의 경우 K, 초월지수분포는 HE로 표기한다. 그리고 특정 분포 형태가 보이지 않는 경우에는 도착률은 GI, 서비스율은 G로 표시한다.

Service 규칙은 FCFS(First come, first served), LCFS(Last come, first served), SIRO(Service in random order), SRT(Shortest Processing Time), GD(General Service Discipline)로 구분된다. 본 연구에서는 관제구역 내 실제 교신을 M/G/1 모형, FCFS 규칙에 적용했다(Robert, 1977).

(1) 교신도착과정

도착과정이 푸아송분포를 따른다면, 다음을 적용할 수 있다.

$p_n(t)$ 는 (0,t) 시간 동안 n번 도착할 확률이라 정의한다. 이때 푸아송 과정의

가정은

$$p_1(h) = \lambda \Delta t + o(\Delta t) \quad (5)$$

여기서, λ 는 상수이며 $t \geq 0$ 그리고 $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} o(\Delta t) = 0$, $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} p_{n>1}(\Delta t) = 0$

그리고 $o(\Delta t)$ 는 $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{f(\Delta t)}{\Delta t} = 0$ 인 모든 함수 f 를 의미한다.

위의 확률은 독립이며, 무기억 성질을 지닌다. 확률 $p_n(t + \Delta t), \Delta t \rightarrow 0$ 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$p_n(t + \Delta t) = p_n[1 - \lambda \Delta t] + p_{n-1}(t)\lambda \Delta t,$$

$$p_0(t + \Delta t) = p_0[1 - \lambda \Delta t]$$

Δt 가 작기 때문에, 좌현을 미분하면

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{p_n(t + \Delta t) - p_n(t)}{\Delta t} = -\lambda p_n(t) + \lambda p_{n-1}(t),$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{p_0(t + \Delta t) - p_0(t)}{\Delta t} = -\lambda p_0(t)$$

이는

$$\frac{dp_n(t)}{dt} = -\lambda p_n(t) + \lambda p_{n-1}(t),$$

$$\frac{dp_0(t)}{dt} = -\lambda p_0(t).$$

이 식을 다르게 표현하면,

$$p_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad (6)$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$

여기서 n 은 발생횟수

λ 는 시간당 평균 발생횟수

(2) 대기행렬 결과

M/G/1 모형에서 도출할 수 있는 값은 다음과 같다.

평균도착률(단위시간 당 도착하는 평균 고객 수) : λ

평균서비스율(단위시간 당 서비스를 받는 고객의 평균) : μ

시스템을 이용할 확률 또는 임의의 시점에서 서비스를 받고 있는 고객의 수

서비스시설의 이용률(utilization factor) : $\rho = \lambda / \mu$

시스템이 비어있을 확률 (채널 내 교신 관계가 없을 확률)

$$p(0) = 1 - \rho \quad (7)$$

대기행렬 내 평균 고객 수 (교신 관계를 위해 대기 중인 평균 고객 수)

$$L_q = \frac{\lambda^2 E(S^2)}{2(1 - \rho)} \quad (8)$$

시스템 내의 평균 고객 수 (서비스를 받고 있는 고객 수)

$$L_s = \rho + L_q \quad (9)$$

대기행렬에서의 평균 대기시간

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (10)$$

시스템 내에서 소비하는 평균시간(서비스시간)

$$W_s = W_q + \frac{1}{\lambda} \quad (11)$$

4.1.2 교신분석 대상

(1) 연구범위

VTS 관제 교신은 VTS 관제사와 선박 항해사 간 상호 통신으로 이루어진다. 그러므로 선박의 입·출항과 관제 교신은 강한 관계가 있을 것으로 예상된다. 이를 확인하기 위해서 Figure 18과 같이 부산항의 시간당 교신 건수와 시간당 입출항 선박수의 상관관계를 살펴보았다. 피어슨 상관관계 분석 결과 p-value 0.000 으로 상관관계가 있는 것으로 분석되었으며, 상관계수 0.691로 양의 강한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 다시 말해서 선박 입·출항이 많은 항만은 교신 건수도 많다는 것을 의미한다.

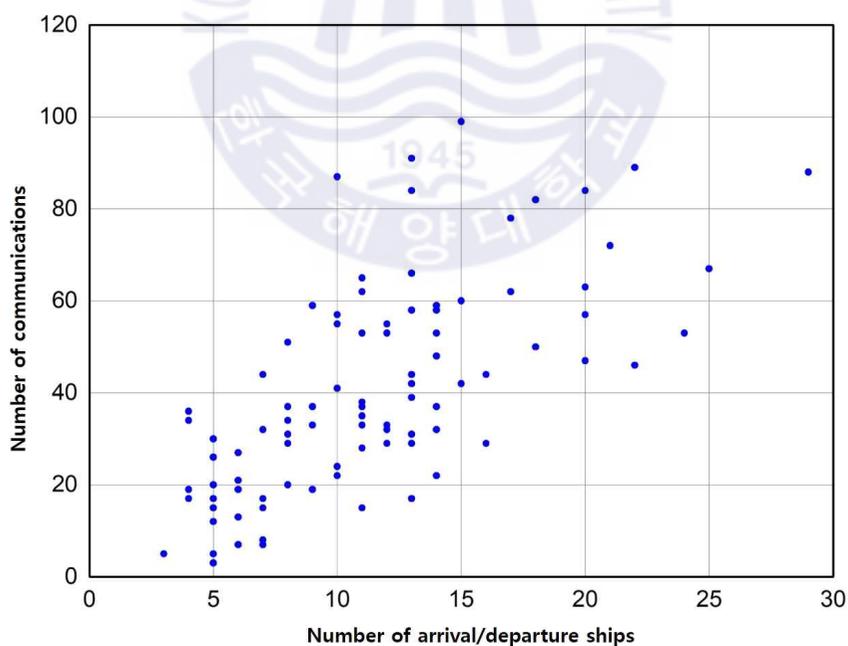


Figure 18 Correlation between the number of communications and arrival and departure of ships

그러므로 본 연구에서는 VTS 교신의 정량적 분석을 위해 관제구역 중 입·출항이 가장 많은 부산항을 연구대상으로 설정했다. Figure 19는 부산항의 VHF 채널과 구역을 나타낸다. 부산항은 채널 12(부산북항), 09(감천항), 10(부산신항) 그리고 비상용으로 16번 채널이 있다. 그리고 본 연구에서는 채널 12번으로 연구를 한정했다.

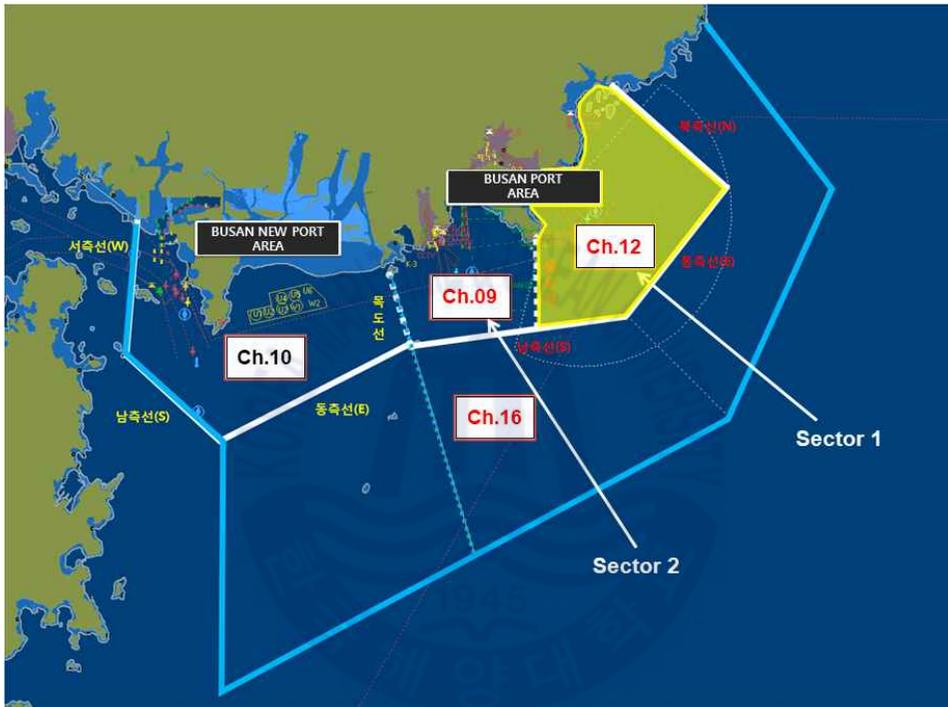


Figure 19 Study area (Busan port)

(2) 연구자료 수집

본 연구는 임의의 시간대 '15.12.11.(금) 15:00 ~ 14.(월) 16:00까지 총 4일간(96 시간) 부산항 관제구역 중 VHF 채널 12번을 청취했다. Figure 20은 자료수집과정을 나타낸다. 청취한 메시지는 이중 확인을 위해 동시에 녹음한 자료를 한번 더 듣고 데이터를 정리 했다. 데이터는 교신시작 시간, 교신종료 시간, 소모 시간, 교신 내용 및 교신시작의 주체로 구분하여 정리했다.

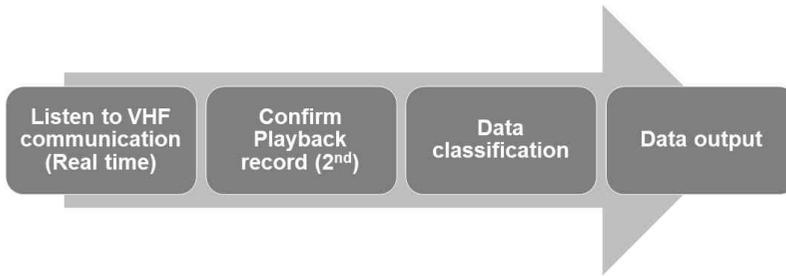


Figure 20 VHF communication data analysis process

4.1.3 부산항 북항 관제구역 교신현황

(1) 시간대별 교신건수

Figure 21은 시간대별 교신건수(4일 누적)를 나타내는 그래프이다. 주간시간(6시~19시)의 경우 시간당 평균 52.71건의 교신이 있었고, 야간시간(19시~다음날 6시)에는 시간당 평균 24.79건의 교신이 있어 주간시간에 이루어지는 교신이 야간에 이루어지는 교신보다 2.12배 많았다. 그러므로 본 연구에서는 주간시간과 야간시간을 구분해서 분석하고자 한다.

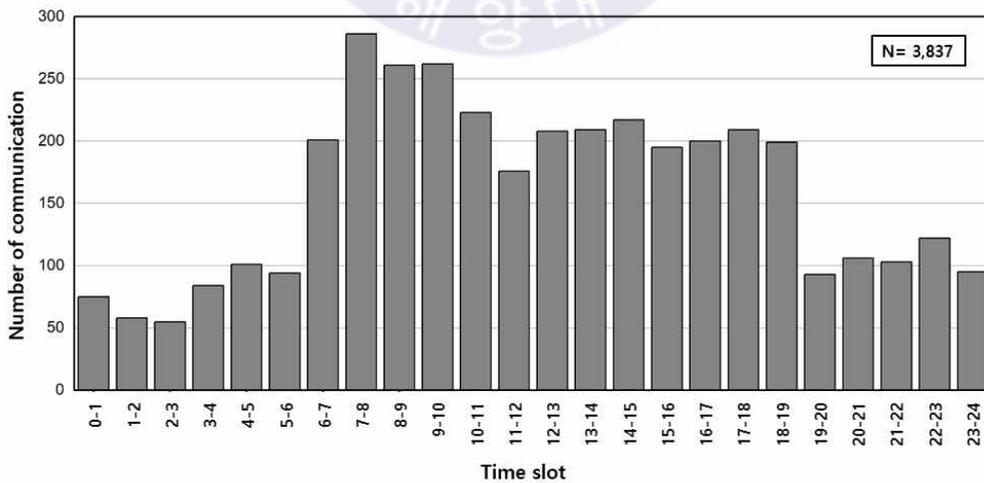


Figure 21 Number of communication by time slot

(2) 교신내용 분석

관제구역의 교신은 발신자에 따라 선박이 VTS에게 교신한 경우, VTS가 선박에게 교신한 경우, 선박 간 교신한 경우로 분류했다(Figure 22(a)). 4일간의 교신 3,837건 중 선박이 VTS에게 교신한 건수는 2,879건(75%), VTS가 선박에게 교신한 경우는 578건(15.1%), 선박 간 교신한 경우는 376건(9.8%) 이었다. 이 중 가장 많은 비율을 차지하는 선박이 VTS에게 교신하는 경우는 출항, 통과, 이동, 입항, 문의, 도선사, 앵커링, 의도보고로 분류할 수 있다(Figure 22(b)). 교신 건수는 각각 입항 관련 교신 826건(28.7%), 통과 관련 교신 517건(18.0%), 이동 관련 교신 510건(17.7%), 출항 관련 교신 452건(15.7%), 문의교신 256건(8.9%), 도선사 관련 교신 225건(7.8%), 투묘 관련 교신 54건(1.9%), 의도보고 39건(1.4%)으로 조사되었다. 관제센터별 관제대상선박 보고시점 및 보고내용에 따르면, 부산항 관제구역에서 선박은 선박동정보고를 하도록 되어있으며, 보고내용은 통과보고, 입항보고(예보 포함), 출항보고(예보 포함), 이동보고(예보 포함)이다(법제처, 2019). 즉, 전체 교신 중 2,359건 (61.4%)이 선박동정보고가 차지하고 있는 것을 알 수 있다.

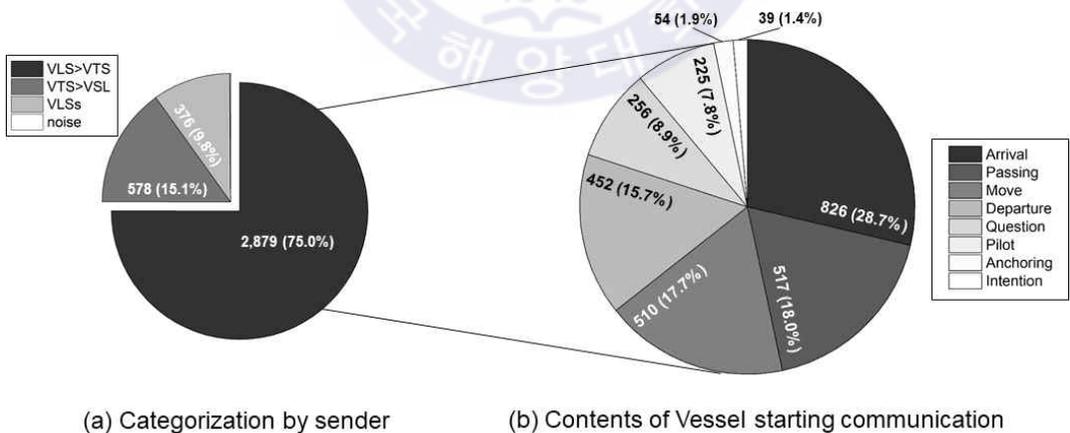


Figure 22 Classification by contents of communication

(3) 교신 시간 간격 분석

푸아송분포는 단위시간에 발생하는 사건의 횟수를 확률변수로 하는 확률분포이다. 여기서 다음시간이 발생하기까지의 시간을 t 라 두고 t 시간 내 사건이 발생하는 빈도수를 확률변수로 한다면, 처음 사건이 발생하기 전까지 확률변수는 0이 된다. 그리고 t 시간동안 평균발생빈도수는 $\text{Lambda} \times t$ 가 된다. 식(12)는 푸아송분포의 확률질량함수를 나타낸다.

$$f(0;\lambda t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^0}{0!} = e^{-\lambda t} \quad (12)$$

어떤 사건이 처음 발생할 때까지 걸린 시간을 확률변수 X 라 두고 이 확률변수 X 가 시간 t 를 초과하는 것은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(X > t) = e^{-\lambda t} \quad (13)$$

여기서 확률변수 X 에 대한 누적분포함수는 다음과 같다.

$$P(0 \leq X \leq t) = F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (14)$$

여기서 누적분포함수를 미분하면, 다음과 같다.

$$\frac{dF(t)}{dt} = \frac{d}{dt}(1 - e^{-\lambda t})$$
$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (15)$$

모수가 ($\lambda \times t$)인 푸아송 분포에서 연속적으로 발생하는 두 사건의 경과 시간을 확률변수로 했을 때 확률변수 X 는 지수분포를 따른다는 의미이다. Figure 23은 다음 교신까지 경과시간을 그래프로 나타낸 것이다. 식(12) ~ 식(15)에 따라 다음 교신까지 경과되는 시간이 지수분포면, 단위시간당 교신건수는 푸아송분포를 따른다는 것을 의미한다. 지수분포를 따르는지 확인하기 위해 chi-square 검증을 했으며, 검증 결과 p-value 0.38으로 지수분포를 따름을 확인했다. 그리고 1시간 당 약 39.58건의 교신이 관제구역 내에 있었다.

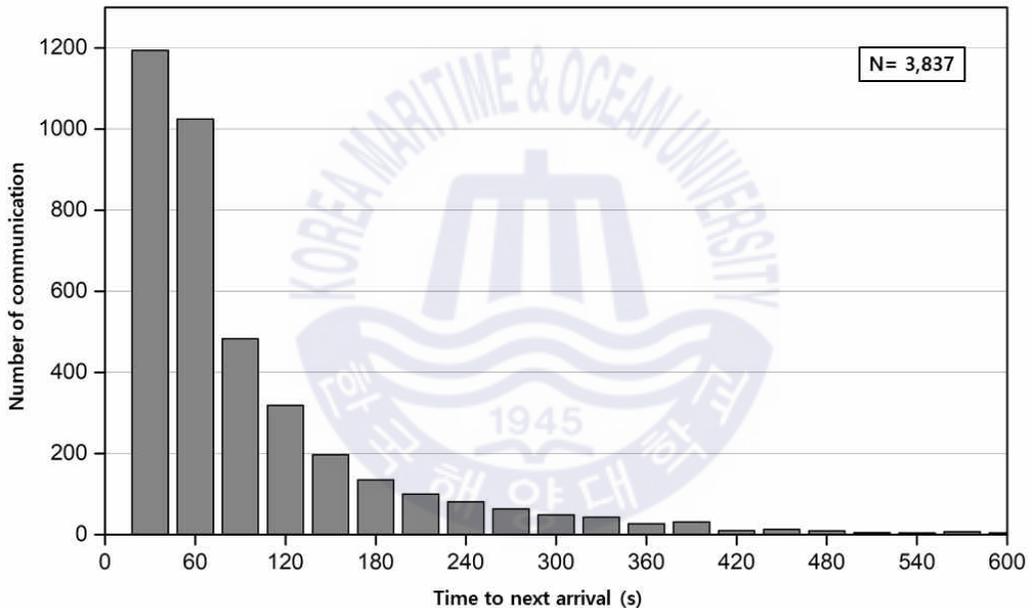


Figure 23 Distribution of time until next arrival

(4) 교신시간 분석

Figure 24는 교신시간의 분포를 확인하기 위해 교신시간을 5초 단위의 히스토그램으로 표현한 그림이다. 조사기간 내 VHF를 통한 평균 교신시간(서비스시간)은 23.5초, 표준편차 18.6초로 조사되었다. 교신시간은 감마분포를 따를 것이

라 가설을 세운 후, Chi-square test를 실시했다. 실시 결과 영가설인 감마분포를 따르는 것을 p-value 5% 수준에서 기각할 수 없어(p-value 0.527) 교신시간 (서비스시간)은 감마분포를 따른다고 할 수 있다.

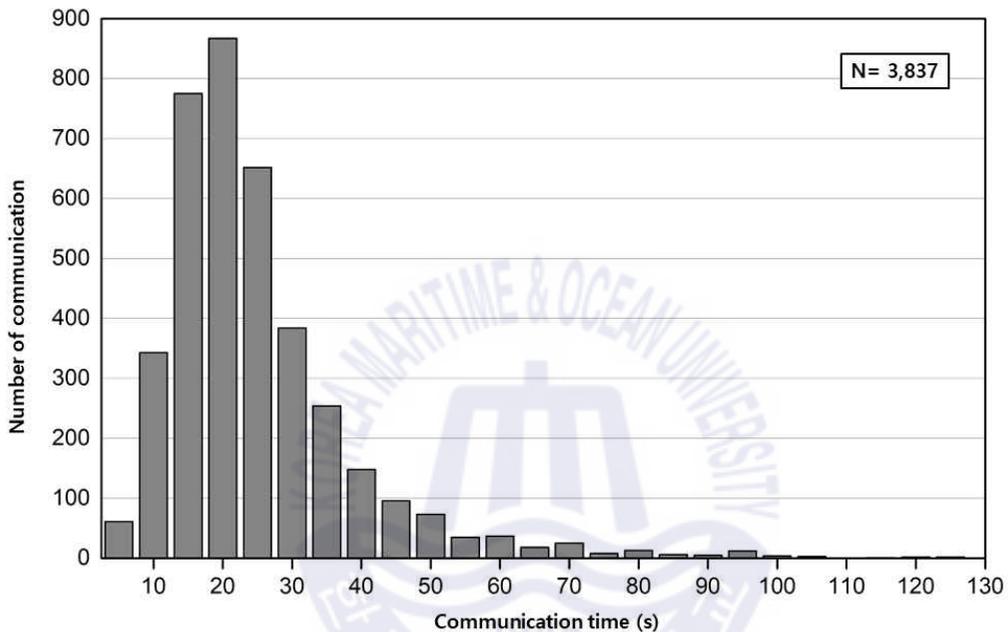


Figure 24 Distribution of communication time

(5) 대기행렬 결과

다음 교신까지의 걸리는 시간이 지수분포를 따르고, 교신시간이 감마분포를 따르는 것을 증명했으므로 관제구역 내에서 이루어지는 교신은 대기행렬 이론을 따르는 것으로 볼 수 있다. Figure 25는 VHF 교신 채널의 이용률 현황을 살펴보기 위해 교신을 한 시간 단위로 나누어 교신시간의 평균과 1분당 교신건수를 플로팅 한 그래프이다. 야간시간대의 교신은 모두 이용률 40% 이하였으며, 주간시간대의 경우 이용률이 최대 68.11%로 조사되었다. Robert L(1977)은 40% ~ 60% 사이를 적정 이용률로 제안했으며, 부산항의 4일간 대기행렬에 따른 VHF 이용률 현황을 분석한 결과 60%이상의 이용률은 2건 있었다. 즉 부산항은

적정 이용률을 유지하고 있다는 의미이다.

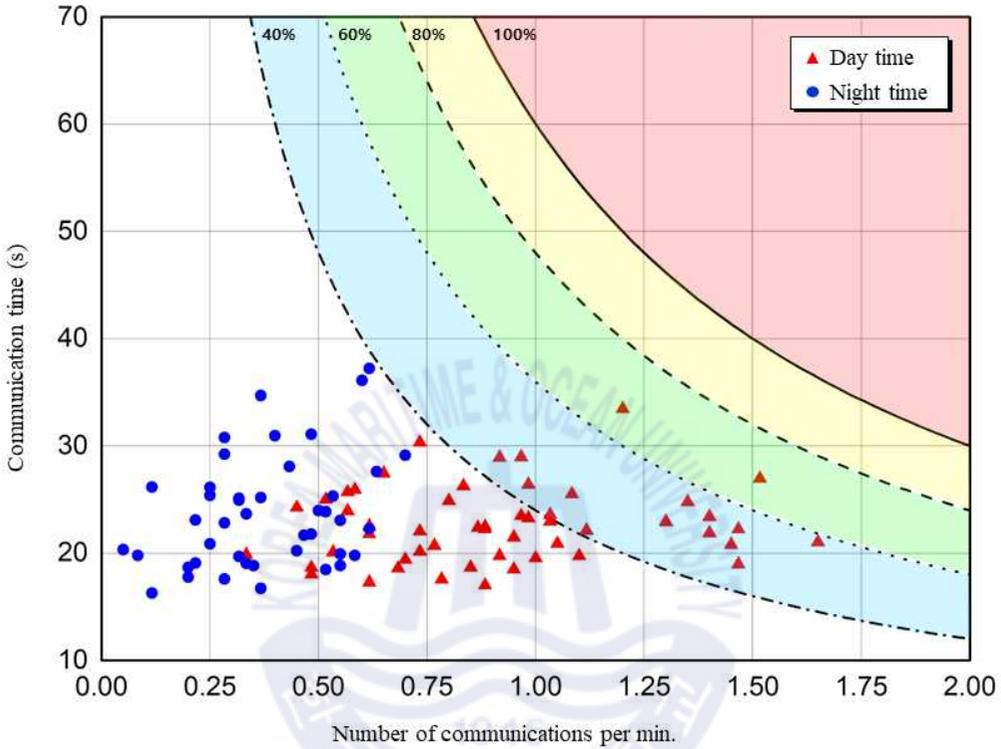


Figure 25 Utilization of communication channel

Figure 26은 식(10)을 이용한 이용률 별 대기행렬 내 대기시간을 나타내는 그래프이다. 이용률이 증가할수록 임의의 선박이 관제구역 내에서 채널 12번을 통해 교신을 하기 위해서 대기해야 하는 시간은 증가한 것으로 나타났다. 특히, 이용률이 약 70%가 되면 약 40초 대기 해야한다. 주·야간시간대로 구분하면, 주간시간에는 평균 10.36초, 야간시간에는 평균 3.44초를 대기해야 하는 것으로 분석되었다.

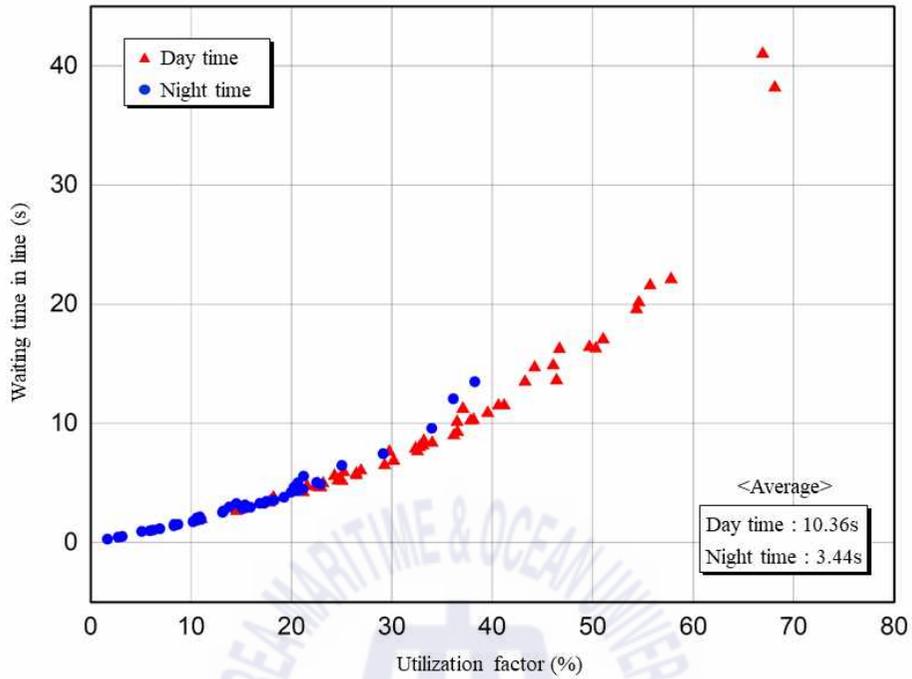


Figure 26 Waiting time in queue line

Figure 27은 관제구역 내 서비스 소요시간을 나타내는 그래프이다. 이는 관제 구역 내에서 교신을 하기 위해서 기다리는 시간과 실제 교신을 하는데 소요된 시간의 총합으로 구역 내에서의 전체 서비스시간을 의미한다. 즉, 부산북항에서 VTS 서비스를 받기 위해서는 주간시간에는 평균 32.94초, 야간시간에는 평균 27.10초 시간이 소요된다는 것을 알 수 있다.

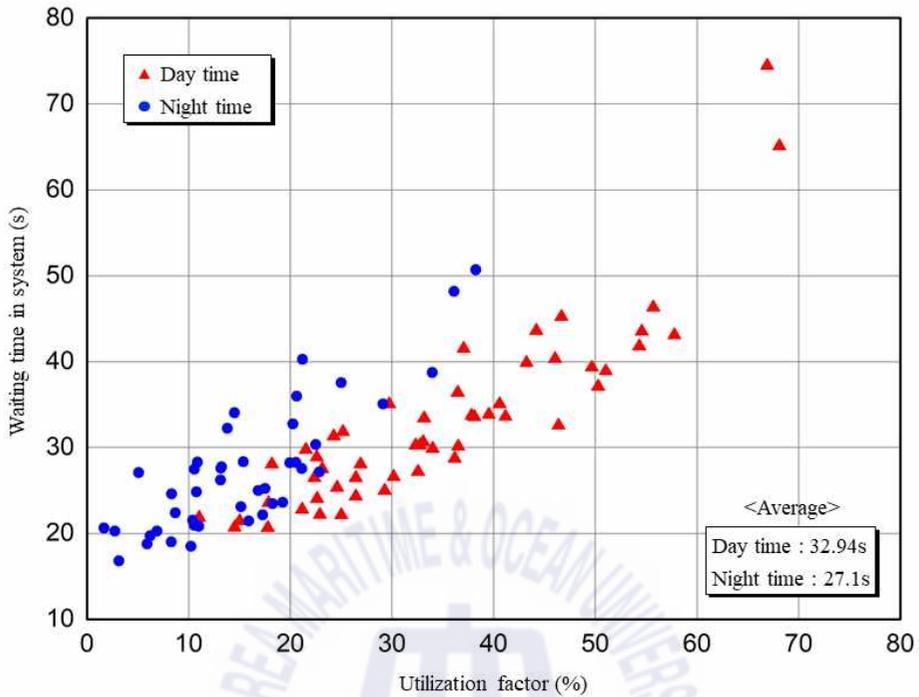


Figure 27 Service time in VTS area

Figure 28은 대기행렬 내 대기하는 선박의 척수를 나타낸 그래프이다. 주간시간의 경우 평균 0.18척 대기, 야간시간의 경우 평균 0.02척 대기하는 것으로 분석되었다. 그리고 이용률이 올라 갈수록 대기하는 선박은 늘어나는 경향을 보였지만, 최대 대기 선박의 척수는 0.96척으로 나타났다.

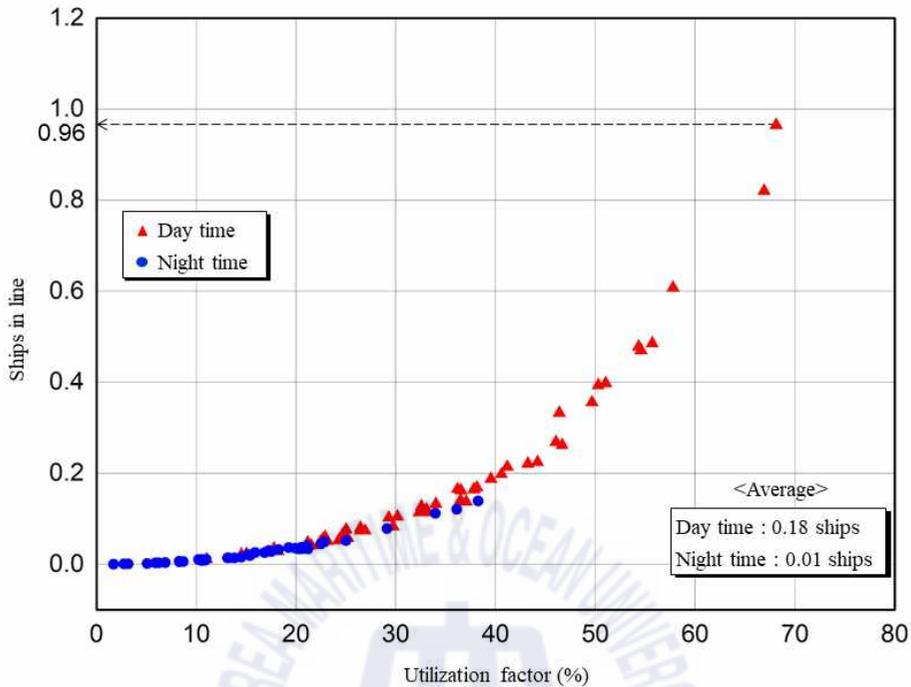


Figure 28 Waiting ships in queue line

Figure 29는 관제구역 내 서비스를 받는 선박의 수를 나타낸 그래프이다. 부산북항에서는 관제구역 내에 서비스를 받는 선박의 척수는 주간시간 평균 0.53척, 야간시간 평균 0.17척이며, 최대 1.64척 서비스를 받고 있는 것으로 나타났다. 피크시간대의 일부를 제외하면, 1척이상의 대기는 발생하지 않고 VTS 서비스가 이루어지는 것으로 보인다.

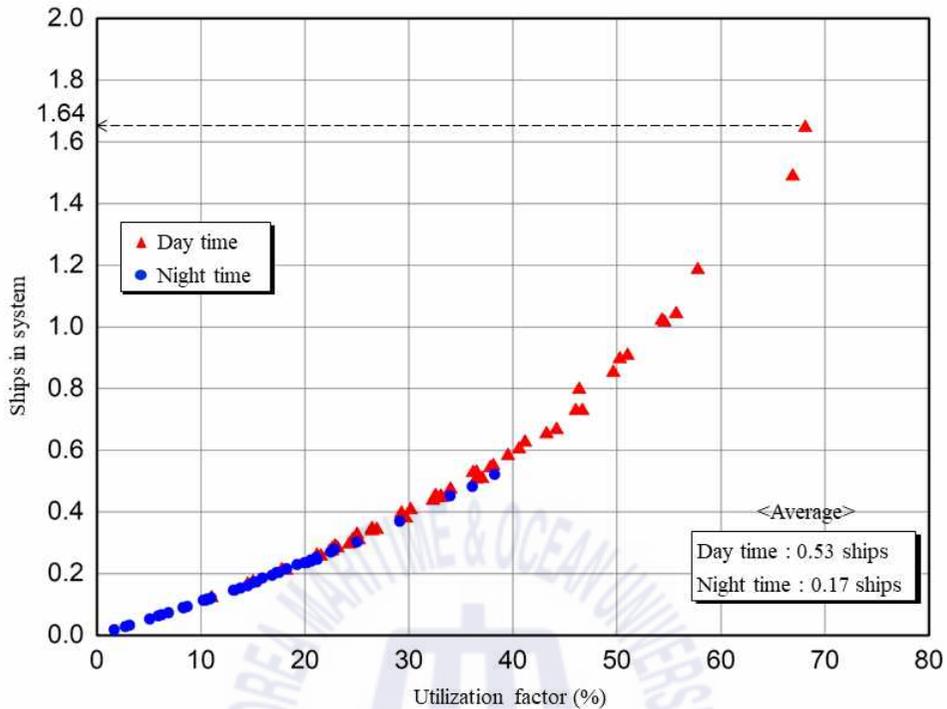


Figure 29 Vessels serviced in VTS area

4.2 해상교통관제 채널의 효율적 운영 방안

2007년, 2014년 수행된 설문조사에 따르면 선박운항자나 VTS 관제사는 원하는 상황에 교신하지 못해서 대기하는 상황이 존재하고 통보내용 및 절차 간소화로 채널의 혼잡을 줄이는 것이 필요하다는 의견을 제시한 바 있다. 특히 교통량 폭주 시간대에 VTS와의 통신상황은 설문자의 61%가 원활하지 않다고 답했다. 그리고 Lee and Park(2018)은 이론적 대기율과 실제 대기율은 다르다고 밝힌바 있다. 즉, 단순히 이론에 입각한 채널의 혼잡도와 실제 이용자 측면의 혼잡도는 다르다는 것이다. 이는 실제 교신데이터는 채널이 하나이기 때문에, 이용률이 100%가 넘을 수 없으며, 어떤 선박이 교신에 참여하기 위해 대기하고 있는지를 알 수 없기 때문이다.

그러므로 본 연구에서는 관제구역 내에서 선박이 긴급한 상황에 대비해 적어

도 한 번의 교신 시간(23.5초)은 비워야 한다고 가정하고, 서비스시간을 조정했다. 즉, 교신 한 건당 소요되는 평균시간을 포함한 새로운 서비스시간을 다음과 같이 μ' 로 정의 했다.

$$\mu' = \mu + \alpha$$

여기서, α = 평균 서비스시간

단, 이용률(ρ) < 1

Figure 30은 새로운 서비스시간을 이용해서 작성한 평균 교신시간과 1분당 교신건수의 산포도이다. 주간시간의 59.6%는 이용률의 60% 이상, 야간시간의 4.5%는 이용률의 60% 이상으로 분석되었다. 그리고 제안된 이용률은 종래의 이용률보다 주간시간에는 1.96배 (34.5%→67.7%) 증가, 야간시간에는 (15.2%→29.6%) 1.94배 증가했다.

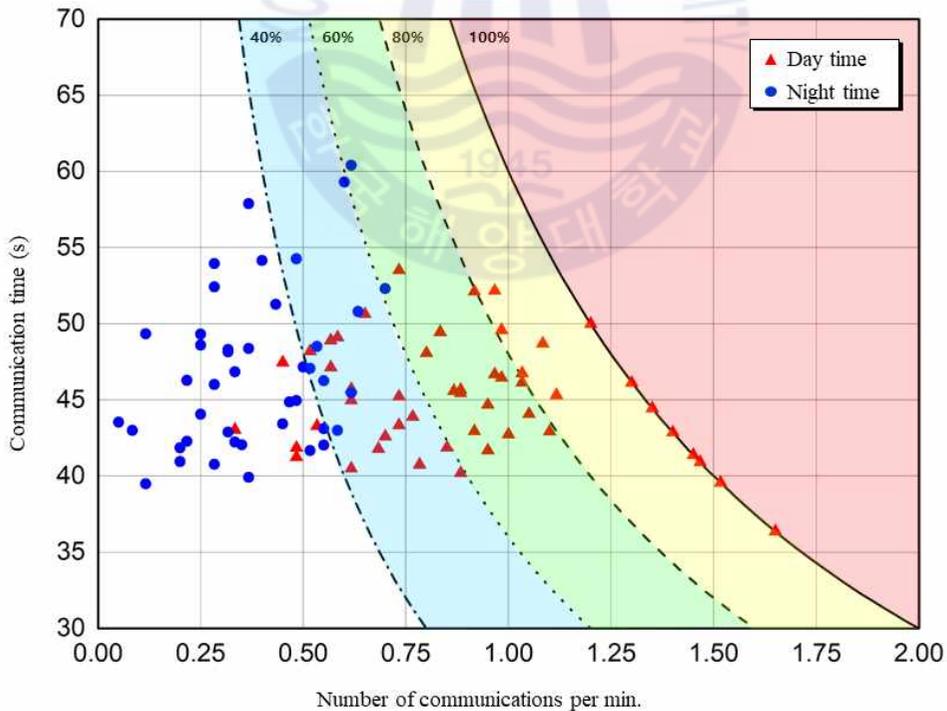


Figure 30 Proposed utilization of communication channel

4.2.1 주간시간대 복수의 관제채널 운용

관제구역에서 이루어지는 교신을 내용에 따라 분류하면, 선박동정보고와 관제서비스로 구분할 수 있다. 이에 착안하여, 주간시간대 채널을 개설하여 선박동정보고용 채널, 관제서비스용 채널로 복수 채널을 운용하는 것을 제안한다. 이는 대기행렬 이론에서 서버 하나를 특정 시간대에 늘리는 것이다. Figure 31~Figure 34는 관제채널 증설 시 이용률 변화를 1시간 단위로 나타낸 그래프이다. 그래프의 붉은 박스는 Peak time으로 관제채널을 증설한 06:00~19:00 시간대이다. 관제를 증설한 시간대에는 채널 1개 있을 때의 이용률, 선박동정보고 채널과 관제서비스용 채널의 이용률을 각각 표시했다. 1일차의 경우 12:00~13:00 시간대의 최대 84.3% 이용률을 선박동정보고용 채널 40.1%, 관제서비스용 채널 44.2%로 감소가 가능했으며, 피크타임 평균 이용률은 각각 35.2%, 21.2%였다. 2일차의 경우 14:00~15:00 시간대의 최대 99.9% 이용률을 선박동정보고용 채널 53.0%, 관제서비스용 채널 52.0%로 감소가 가능했으며, 피크타임 평균 이용률은 각각 37.3%, 28.4%였다. 3일차의 경우 10:00~11:00 시간대의 최대 99.9% 이용률을 선박동정보고용 채널 66.9%, 관제서비스용 채널 44.0%로 감소가 가능했으며, 피크타임 평균 이용률은 각각 52.1%, 26.7%였다. 4일차의 경우 09:00~10:00 시간대의 최대 99.9% 이용률을 선박동정보고용 채널 72.0%, 관제서비스용 채널 36.6%로 감소가 가능했으며, 피크타임 평균 이용률은 각각 47.7%, 30.1%였다. 종합하자면, 피크타임의 관제 채널 개설을 통해서 평균 67.7%의 이용률을 각 43.1%와 26.6%로 나눌 수 있었으며, 24.6%, 41.1% 감소가 가능했다.

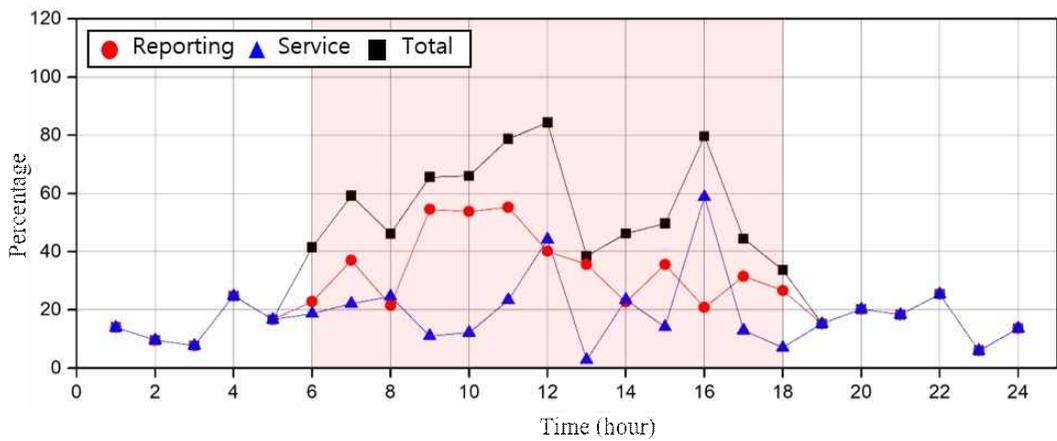


Figure 31 Change in utilization when installing VTS channel (1st day)

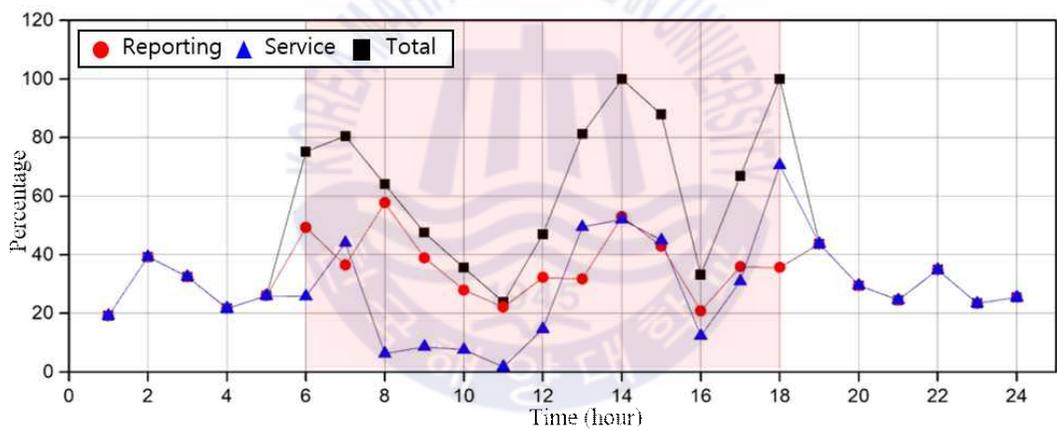


Figure 32 Change in utilization when installing VTS channel (2nd day)

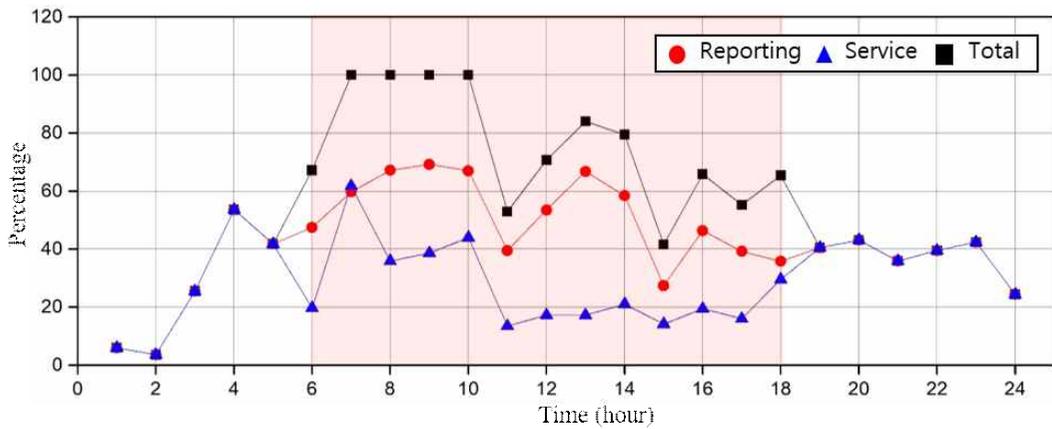


Figure 33 Change in utilization when installing VTS channel (3rd day)

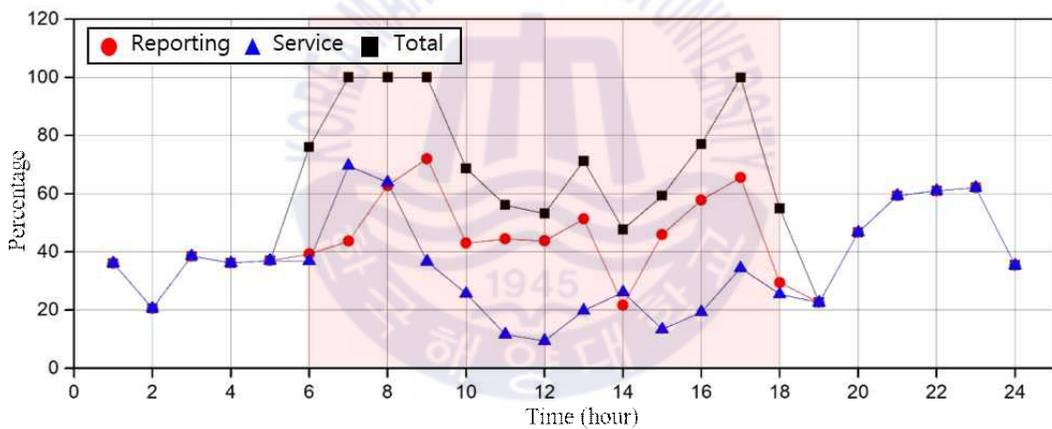


Figure 34 Change in utilization when installing VTS channel (4th day)

4.2.2 통과보고 간소화 방안

선박은 관제구역을 통과하면서 보고를 해야한다. 이는 관제구역에 출입함을 관제사에게 알림과 동시에 선박이 지정된 채널을 잘 청취하고 있다는 일종의 확인 작업이기도 하다. 이러한 통과보고는 4일간 517건으로 전체 교신의 13.4%

를 차지하며, 평균 23초 동안 교신하는 것으로 조사되었다. 한편 2014년에 수행된 설문조사에 따르면, 설문대상자 66%가 통과보고의 간소화가 필요하다는 의견을 제시했으며, 이는 관제구역의 출입은 교신을 통한 확인 이외에 선박의 AIS 신호만으로도 확인 할 수 있기 때문이다(남해지방해양경비안전본부, 2014). 그러므로 본 연구에서는 VHF를 통한 통과보고를 생략하고 관제사가 AIS로만 선박을 감시 했을 경우 이용률 변화를 살펴보았다. 이는 대기행렬 이론에서 고객의 도착수를 조절 하는 것이다. Figure 35 ~ Figure 38은 관제구역 내 통과보고를 제외 시 이용률 변화를 1시간 단위로 나타낸 그래프이다. 1일차 이용률의 평균은 37.7%이며, 통과보고를 제외하면 32.9%로 4.8% 감소가 가능했다. 특히, 11:00-12:00에는 이용률이 14.5% 감소했다. 2일차 이용률의 평균은 48.4%이며, 통과보고를 제외하면 41.4%로 7% 감소가 가능했다. 특히, 08:00-09:00에는 이용률이 12.6% 감소했다. 3일차 이용률의 평균은 55.7%이며, 통과보고를 제외하면 49.1%로 6.6% 감소가 가능했다. 특히, 13:00-14:00에는 이용률이 19.4% 감소했다. 4일차 이용률 평균은 59.1%이며, 통과보고를 제외하면 54.6%로 4.5% 감소가 가능했다. 특히, 13:00-14:00에는 이용률이 14.4% 감소가 가능했다. 4일 종합하면, 통과보고 제외를 통해서 평균 5.7% 이용률 감소가 가능했다.

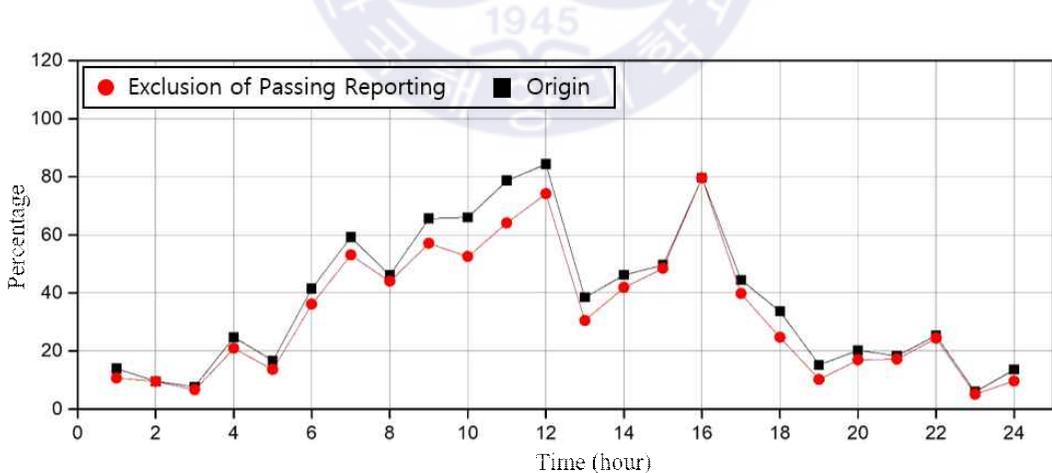


Figure 35 Change in utilization when passing report excluded (1st day)

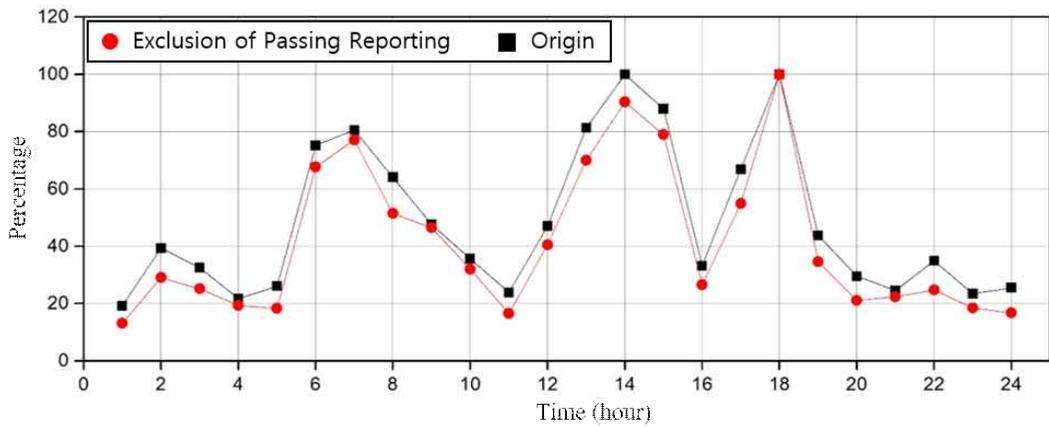


Figure 36 Change in utilization when passing report excluded (2nd day)

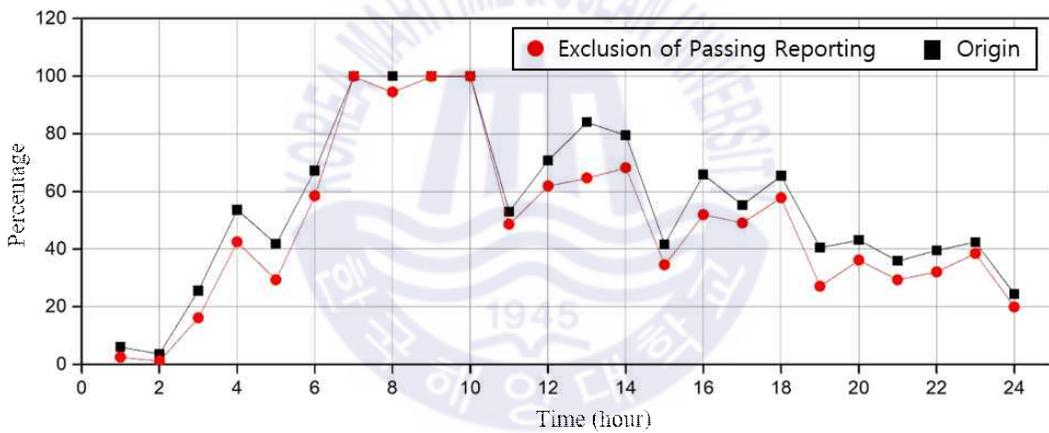


Figure 37 Change in utilization when passing report excluded (3rd day)

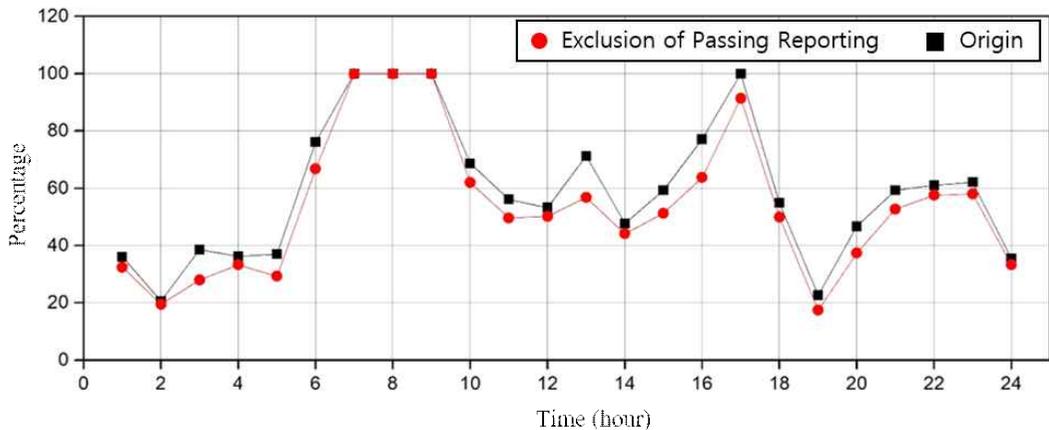


Figure 38 Change in utilization when passing report excluded (4th day)

4.2.3 선박동정보고 시간 축소 방안

관제구역 내 교신의 61.4%를 차지하고 있는 선박동정보고의 교신시간을 줄일 때 이용률의 감소를 확인하고자 한다. 이는 대기행렬 이론에서 서비스시간을 조절 하는 것이다. Figure 39 ~ Figure 42는 선박동정보고 시간을 20%, 40%, 60% 감소 시 이용률 변화를 나타낸 그래프이다. 다른 선박이 한 번의 교신에 들어올 수 있는 시간을 고려한 선박동정보고 소요 시간의 평균은 46초이며, 20% 감소 시 평균 36.8초, 40% 감소 시 평균 27.6초, 60% 감소 시 평균 18.4초 소요된다고 볼 수 있다. 교신시간을 20% 감소한 경우 13:00-14:00 시간대 최대 7.82% 이용률 감소가 있었으며, 평균 이용률 47.69%로 원래의 이용률보다 2.59% 감소가 가능했다. 40% 감소한 경우 13:00-14:00 시간대 최대 15.64% 이용률 감소가 있었으며, 평균 이용률 44.87%로 원래의 이용률보다 5.40% 감소가 가능했다. 60% 감소한 경우 13:00-14:00 시간대 최대 23.47% 이용률 감소가 있었으며, 평균 이용률 41.93%로 원래의 이용률보다 8.35% 감소가 가능했다. 종합하면, 선박동정보고 시간 20% 줄이면, 평균 2.59%, 40% 줄이면 5.40%, 60% 감소한 경우 8.35% 관제구역 교신 채널의 이용률을 줄일 수 있었다.

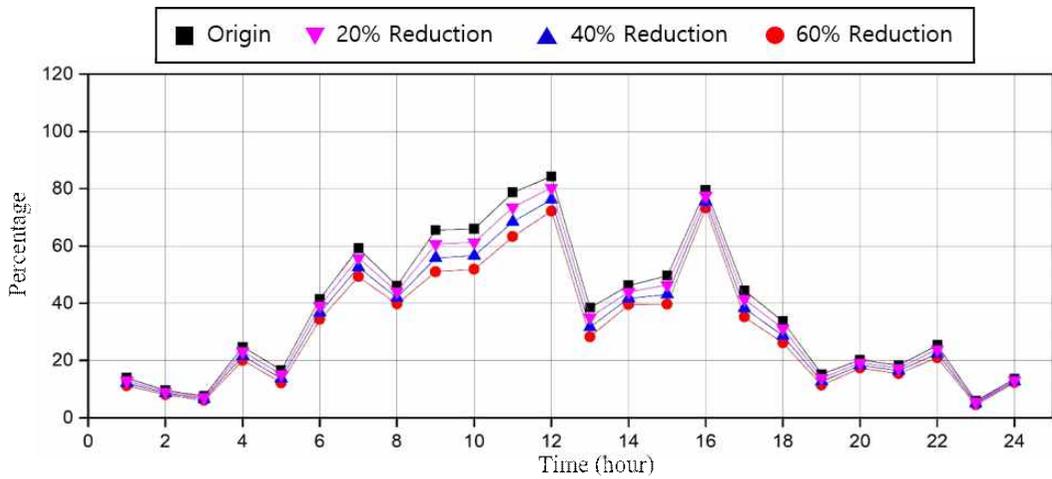


Figure 39 Change in utilization rate when ship reporting time is reduced (1st day)

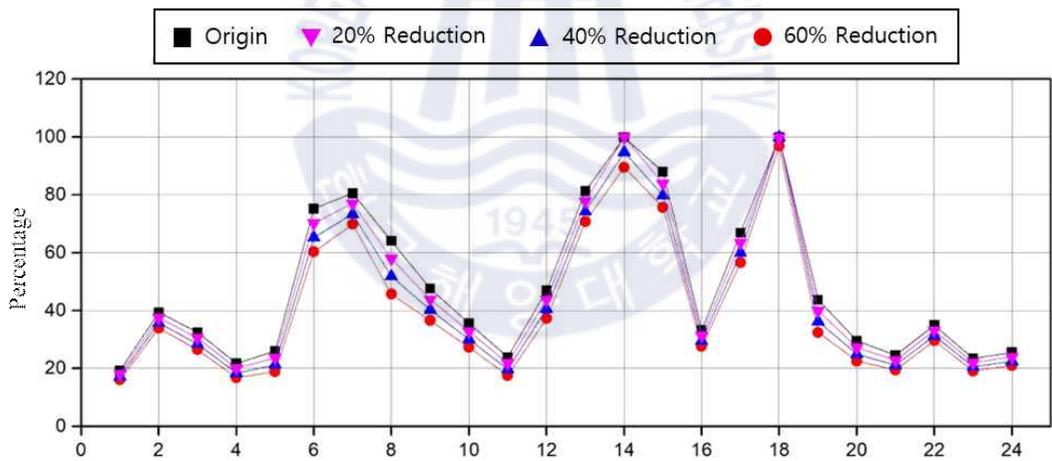


Figure 40 Change in utilization rate when ship reporting time is reduced (2nd day)

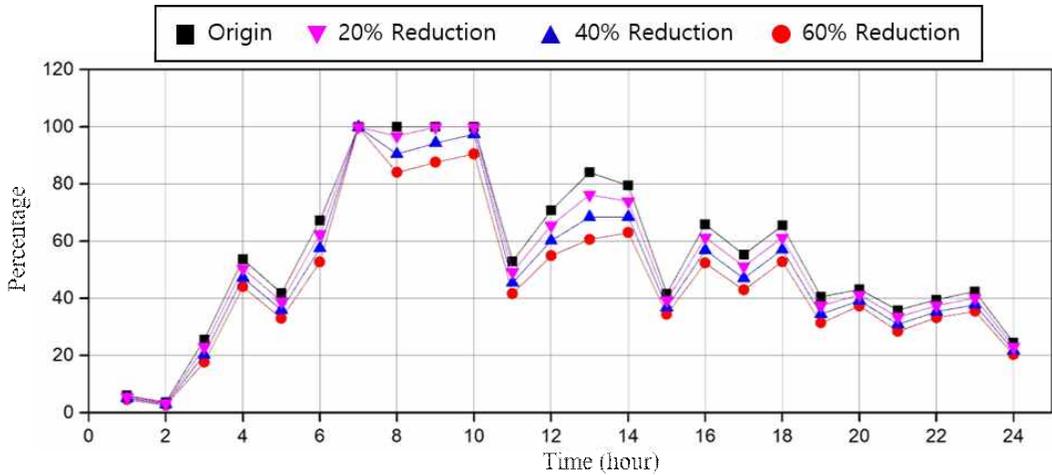


Figure 41 Change in utilization rate when ship reporting time is reduced (3rd day)

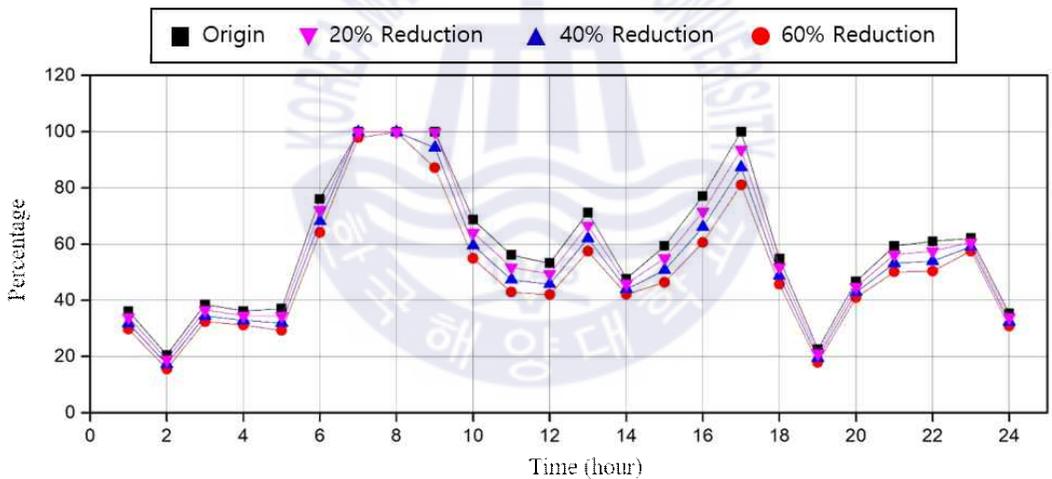


Figure 42 Change in utilization rate when ship reporting time is reduced (4th day)

4.3 소결

관제구역 내 교신은 VHF를 통해 음성으로 전달되며, 양방향 교신이기 때문에 대화 중간에 다른 대화가 들어가기 어렵다. 그러므로 VHF를 통한 교신은 일종의 대기행렬 시스템으로 이해할 수가 있다. 본 연구는 대기행렬 이론을 이용해

서 항만 내 VHF radio 교신 현황을 정량적으로 분석하고 안전하고 효율적인 해상교통 관리를 위한 의사소통관리 방안을 제시했다. 요약하자면 다음과 같다.

(1) 관제구역 내 교신을 분석하기 위해 4일간 부산북항 VTS 채널 12번을 청취했다. 분석결과 4일간 총 3,837건의 교신이 있었으며, 주간시간대가 야간보다 약 2.12배 많은 교신이 이루어졌다. 교신 내용은 VTS가 선박을 호출한 경우, 선박이 VTS를 호출한 경우, 선박 간에 교신을 한 경우가 있으며, 선박이 VTS를 호출한 선박동정보고가 전체 교신의 61.4%를 차지하는 것으로 분석되었다. 즉, 규정에 의한 보고가 현재 교신 내용 중 가장 많은 비율을 차지하는 것으로 보인다.

(2) 관제 채널에서 1시간당 발생한 교신 건수는 푸아송분포를 따르고, 교신이 시작해서 끝날 때까지의 시간분포는 감마분포를 따르며, 교신 하고 있는 도중에 다른 교신이 동시에 할 수 없으므로 서버가 1개 인 것을 이용해서 M/G/1 대기행렬을 따름을 증명했다. 그 결과 1시간당 평균 39.58건의 교신이 관제구역 내에서 발생했으며, 교신시간의 평균은 23.5초였다. 그리고 4일간 이용률은 주간시간 34.5%, 야간시간 15.2%로 나타났다. 이를 이용해 분석한 결과 관제구역 내 서비스를 이용하는 선박과 대기선박은 주간시간 평균 0.53척, 야간시간 0.17척 이며, 관제구역 내 대기시간을 포함해 서비스를 완료하는데 걸리는 시간은 주간시간에는 평균 32.9초, 야간시간에는 27.1초 걸리는 것으로 나타났다.

(3) 그러나 이론적 대기시간과 현실의 대기시간은 차이가 있으며, 이용자 측면에서는 피크타임 시 채널이 혼잡하다는 의견이 있어, 긴급한 교신을 할 수 있는 여유를 포함한 새로운 교신시간을 가정했다. 그 결과 이용률은 주간시간에는 67.7%로 기존보다 1.96배, 야간시간에는 29.6%로 기존보다 1.94배 증가한 것으로 나타났다.

(4) 교신 채널 내 혼잡을 줄이기 위해 주간시간대 복수채널 운용, 통과보고의 간소화, 선박동정보고 시간 축소를 제안했다. 피크타임 관제 채널 분리 시 이용률은 최대 41.1% 감소, 통과보고 생략 시 이용률은 5.7%, 선박동정보고의 시간 60% 감소 시 이용률을 8.35% 감소가 가능 한 것으로 분석되었다.

본 연구의 결과는 관제구역 교신내용을 분석하고 이용률을 줄이기 위한 정량적인 방안을 제시한 것에 의의가 있으며, 추후 관제구역의 복수채널운용, 의무보고 사항 조정 등 교신 채널의 혼잡도를 줄이기 위한 정책의 기초 자료로 사용될 수 있을 것이다. 그러나 부산북항으로만 제한한 점, 4일간의 다소 짧은 기간의 자료를 이용한 점, 관제구역 내 새로운 이용률을 제안하기 위해 한 톨의 시간(23.5초)을 교신시간에 추가한 가정은 본 논문의 한계이며, 추후 이를 보완한 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.



제 5 장 지정항로의 효율적 운영을 위한 안전운항관리 방안

5.1 효율적 운영을 위한 최저속력 제한

VTS manual에 따르면, VTS는 두 가지 측면에서 해상교통의 효율성을 증대하도록 한다. 첫 번째는 해양사고의 감소이며, 두 번째는 수로나 항만시설 등 인프라 이용률의 증대이다(IALA, 2016). 다시 말해서 해양사고 예방을 위한 안전 측면의 노력뿐만 아니라, 항만 내 시설의 효율적인 이용을 위한 조치도 수행해야 한다는 의미이다. 항만 내 시설의 효율적 이용 측면에서 살펴본다면, VTS의 적절한 관제를 통해 항로 내 선박의 불필요한 대기 시간을 줄일 수 있으며, 불필요한 대기 시간의 감소는 선사나 항만 터미널의 경제적 이익으로 이어질 수 있을 것이다.

또한 예부선이나 작업선 등은 운반하는 선박구조물의 특성상 저속으로 항행하는 경우가 많다. 이런 선박들이 출입항 항로에 있다면, 항로에서 추월이 금지되어 있으므로 뒤따라오는 선박은 감속할 수밖에 없으며 항로 전체적으로는 효율이 감소할 것이다. 그리고 예상치 못한 상황으로 저속 선박을 추월해야 하는 상황이 발생한다면 항로의 위험도는 높아질 것이다.

그러나 김득봉(2014) 연구에 따르면, 우리나라의 항만에는 안전을 위한 최고 속력은 제한되어 있으나 최저속력의 규제는 없는 상황이다. 그러므로 본 절에서는 관제구역 내 안전이 담보된 상황에서 항로의 효율적 운영을 위해 최저속력을 제한했을 때 항로에 접근하기 위한 선박의 대기시간에 미치는 영향을 확인하고자 했다. 이를 위해 부산북항의 접근수로를 대상으로 7일간 해상교통조사를 실시한 데이터를 기반으로 시뮬레이션을 구성하고, 최저속력 규제에 따른 선박 대기시간의 변화를 살펴봤다.

5.1.1 속력제한 사례연구

(1) 도로교통 속력제한 사례

제한속력(speed limit 또는 regulatory speed limit)은 도로나 철도 등에 있어서 정해진 법령에 따라 차량이 일정한 범위 안의 속력을 내도록 강제하는 수단이다(김득봉, 2014). 또한 제한속력은 교통류의 소통과 안전을 위하여 도로상에서 주행할 수 있는 차량의 최고속력과 최저속력을 정한 것으로, 법률적 강제력과 효과를 가지고 있다.

황상호(2005)는 도로를 주행하는 운전자는 도로의 기하학적 조건, 교통상황, 차량의 성능, 제한속력과 단속의 수준, 통행 가치 등 다양한 요소를 고려하여 차량의 속력을 선택한다고 했다. 또한, 제한속력이 안전운전에 도움이 된다는 것을 인식하면서도 실제 도로의 조건, 타인의 주행속도 등 외부의 환경 요인으로 준수하기 힘들다는 이중적 태도를 보이고 있다고 했다.

도로교통안전관리공단(1998)은 우리나라 도로의 제한속력 준수율이 30%에 미치지 못하고 있다고 지적했다. 운전자가 선택하는 속력과 제한속력의 관계에서 대부분의 운전자는 어떤 상태에서 운전자가 받아들일 수 있는 속력으로 운전을 하며, 실제상황과 제한속력이 서로 다른 경우에 제한속력의 영향은 거의 없다고 하였다. 또한 비현실적인 제한속력은 지켜지지 않으며, 오히려 사고를 조장하게 된다는 점을 인식시켰다.

이남수(2007)는 도로교통에서 합리적인 제한속력은 출퇴근 통행자와 같이 주기적으로 통행하는 운전자가 양호한 교통환경과 도로상태에서 최대한 안전하게 주행할 수 있는 안전속력으로 정의된다고 했다.

도로교통공학적 관점에서 적당한 제한속력은 자유교통류 상태에서 주행속력을 조사하여 대다수(통상 85%)가 통행하는 속력, 또는 사고의 위험성을 최소화 하면서 운전자가 허용하는 최대속력을 말한다고 했다. 즉 합리적인 제한속력은 운영의 효율성, 안전성을 모두 고려한 최적의 속력으로 정의 될 수 있다고 했다.

「도로교통법」 제17조(자동차등과 노면전차의속도)에 따라 도로에서 일어나는 위험을 방지하고 교통의 안전과 원활한 소통을 확보하기 위해 필요한 경우

Table 16과 같이 최고, 최저로 속도를 제한할 수 있다. 일반도로의 경우 60km/h 이내의 최고속도만 제한하고 있는 반면, 자동차 전용도로와 고속도로는 최고속도와 최저속도 모두를 제한하고 있다. 이는 최저속도 규제는 원활한 소통을 도모하며, 최저속도 미만의 자동차는 원활한 교통류를 방해한다는 것을 의미한다. 즉 자동차 전용도로와 고속도로는 최고속도 제한을 통해 안전확보 뿐만 아니라, 최저속도 제한을 통해 효율적인 도로 운영을 하고 있다고 볼 수 있다.

Table 16 Road traffic speed limit

구분		최고속도	최저속도	비고
일반도로(고속도로 및 자동차전용도로 외의 모든 도로)		60km/h이내	-	단, 편도 2차로 이상의 도로는 80km/h이내
자동차 전용도로		90km/h	30km/h	
고속 도로	편도 1차로	80km/h	50km/h	
	편도 2차로 이상	100km/h	50km/h	
	편도 2차로 이상 (원활한 소통 필요시)	120km/h	50km/h	

자료 : 도로교통법 제17조

(2) 해상교통 속력제한 사례

해상교통에서 제한속력은 해사 관련 법령 등에 명확히 명시되어 있지는 않으나 제한속력의 제정 목적과 취지는 도로교통과 큰 차이가 없다고 볼 수 있다. 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 제17조(속력 등의 제한)에 따르면 선박이 빠른속도로 항행하여 다른선박의 안전 운항에 지장을 초래할 우려가 있다고 인정되는 무역항의 수상구역에 대해서 선박 항행 최고속력을 지정할 수 있다고 규정하고 있다. 도로교통에서는 최고제한속력과 최저제한속력 모두 사용하고 있는 반면, 해상에서는 최고제한속력만을 사용하고 있으며, 최저속력에 대한 제한은 없다.

우리나라는 '89년 해상교통안전법(현, 해사안전법)을 제정하면서 인천항과 광양항 출입항로에 대하여 대수속력 12kt의 제한속력을 지정했으며, '91년 추가로 부산항 출입항로에 대하여 10kt 제한속력을 지정했다(김득봉, 2014). 그리고 여러 차례 개정이 이루어지면서 인천항 출입항로에 대한 제한속력은 삭제되고 현재는 광양항 출입항로 12kt(위험물운반선 10kt), 부산항 출입항로 10kt의 제한속력이 남아있다(법제처, 2019).

Table 17은 항만 내 제한속력 지정 현황을 나타낸 것이다. 항만 내 제한속력은 5~15kt 범위이다. 포항(구항) 같이 항만의 수로 폭이 좁아 접안 선박과 통항 선박 간의 거리가 좁은 항만(50~340m 이내)에서는 5kt의 제한속력이 있는 반면, 기타 지역은 약 10kt로 제한하고 있다.

Table 17 Speed limit in Korean harbours

항만명	제한속력(kt)	비고	
인천	8	영종대교와 인천대교 부근 남측경계선 사이는 12kt	
경인	12		
대산	10		
평택·당진	15/12/8	여객선 제외, 부두 인접 수역 8kt	
목포	12/5	고속훼리 20kt, 여객선 부두 5kt	
여수	12		
광양	12	위험물운반선 : 10kt	
마산	10		
진해	10		
부산	북내항	8	여객선 500톤 이상 : 12kt
	감천항	10	
	다대포항	7	
	북외항	7	1,000톤 이상 (권고사항)
	오륙도 및 조도 인근 좁은 수로	8	
	가덕수로 주의항로	12	
포항 (구항)	5		

Table 18은 각 항만의 출입항로에 대한 제한속력을 나타낸 것이다. 부산항과 광양항 출입항로에 대한 제한속력은 해사안전법에 명시되어 있으며, 인천항 출입항로, 부산신항 출입항로, 진해만(마산항로, 안정항로, 통영항로) 출입항로에

대한 규제는 해당 지방청에서 고시로 지정한 것이다. 출입항로의 제한속력에서 가장 높은 곳이 마산항로로 15kt이며, 그 밖의 항로는 12kt였다. 부산항 출입항로의 제한속력은 가장 낮은 8kt이다.

Table 18 Speed limit on approaching routes in Korea

출입항로		제한속력(kt)	비고
인천항 출입항로 (인천대교 부근)		10	총톤수 50,000톤 이상
광양항 출입항로		12	위험물운반선 : 10kt
부산항 출입항로		8	
부산 신항 출입항로		12	
진해만 출입항로	마산항로	15	
	진해항로	12	
	고현항로	12	
	원정항로	12	
	안정항로	12	

Table 19는 세계 주요 무역항의 제한속력을 나타낸 것이다. 일본 비산세토 항로는 오사카 항과 고베 항을 출입하는 약 10,000톤급 이하 선박들이 주로 이용하는 출입항로로 원활한 해상교통 질서 유지와 해양사고 방지를 위해 제한속력을 12kt로 지정하고 있다(Japan Coast Guard, 2010).

중국 홍콩항은 교통 밀집 지역과 비 밀집 지역, 선박의 길이가 60m 이상 선박과 미만 선박으로 구분하여 제한속력을 달리하고 있다. 교통 밀집 지역은 10kt 제한속력이 적용되며, 비 밀집 지역은 15kt이다. 항로 부근에 부두가 있는 경우에는 제한속력이 8kt이다(Mardep, 2014).

싱가포르항은 수로의 폭이 비교적 넓은 East Johor Strait(수로 폭 1,140m)는 12kt의 제한속력이 있는 반면, 수로의 폭이 좁은 West Johor Strait(수로 폭 700m)는 6kt로 제한하고 있다(MPA, 2009).

영국 런던, 네덜란드 로테르담, 독일 함부르크항과 같이 긴 강을 따라 발달된

항만에서는 고속 항해 선박에 의한 항주파 영향에서 접안 선박과 하역 작업 안전, 마리나 시설 등의 보호를 위해 제한속력이 지정되었다(Port of London Authority, 2012 ; Port of Rotterdam, 2014 ; BSH, 2014).

미국 샌프란시스코 출입항로는 2007년 Cosco Busan호와 Oakland bay bridge 충돌사고로 항법 규정이 강화되면서 현재 15kt의 제한속력이 설정되어 있다. 한편 미국 캘리포니아 연안 해역의 경우 환경단체의 요구로 고래 보호를 위해 10kt의 제한속력이 있다.

미국 시애틀항과 캐나다 빅토리아항, 호주 시드니항과 같이 수로의 폭이 좁고 마리나 시설 등이 밀집된 지역에서는 3~5kt의 제한속력이 있다. 미국과 캐나다는 마리나 시설 지역이나 수상 레저 활동 지역에서 제한속력을 초과하여 높은 항주파를 발생시킨 선박에 대해 엄중히 처벌하고 있는 실정이다(NOAA, 2011 ; SPD, 2013 ; NSW, 2013).

일본의 간몬해협은 역조를 받으며 항해할 때 적어도 대지속력 4kt 이상의 속력으로 항해하도록 최소속력을 규정하고 있다. 이는 강한 조류로 인해 선박이 정침하기 위한 최소 조건이며, 만약 강한 조류가 있을 시에는 항로 밖에서 대기토록 하고 있다(The Maritime Human Resource Institute, 2012).

Table 19 World wide speed limit on approaching routes

국가	항만 또는 항로	제한속력	설정 목적
일본	Bisan seto	12	교통 안전
	Kanmon Kaikyo	4	선박 보침
중국	Hong kong	15/10/8	교통/항만 안전
싱가포르	Johor strait	12/6	교통/항만 안전
오스트레일리아	Sydney	15/8/4	교통/항만 안전
영국	Thames river	8	교통/항만 안전
네덜란드	Rotterdam	7	교통/항만 안전
독일	Hamburg	12	교통/항만 안전
캐나다	Victoria	7/5	교통/항만 안전
미국	Seattle	7/3	교통/항만 안전
	San francisco	15	교통/항만 안전
	California coast	10	고래보호

5.1.2 속력제한을 통한 수로 운영의 필요성

앞서 언급한 바와 같이 VTS는 관제구역의 안전 뿐만아니라 수로나 항만시설 등 인프라 이용률의 증대를 위해서도 운영되어야 한다. 즉 안전하고 효율적인 운영이 필요하다는 의미이다. 도로교통에서는 안전을 위해 최고속력을 제한하고 효율적인 도로운영을 위해서 최저속력을 제한하고 있음을 확인했다. 반면, 해상교통에서는 안전을 위한 최고속력 제한은 있으나, 최저속력제한은 조류 때문에 선박 조종이 가능한 최저속력을 제한한 간몬해협을 제외하고는 효율성을 위한 최저속력 제한 사례는 없는 것으로 나타났다. 한편 최저속력 제한에 관한 연구로 박영수(2009)는 ES Model을 이용하여 최저속력규제 효과를 분석한 결과를 Table 20과 같이 제시했다. 위험부담 감소효과가 없는 경우는 ×, 위험부담 감소 효과가 0.1~5%미만의 경우 △, 위험부담 감소 효과가 5~15%미만의 경우 ○, 위험부담 감소 효과가 15% 이상의 경우에는 ◎로 표시했다. 그 결과 시간당 통항척수가 5척의 경우에 최저속력규제 5kt 및 7kt에서 속력 규제 효과가 높았고, 통항척수가 10척 이상의 경우(항로 폭 500m 이하)에는 최저속력 7kt 이상으로 설정하여야 최저속력규제 효과가 발생한다는 연구결과를 제시했다. 이와 같이 통항척수가 많을 경우 최저속력규제의 효과가 미미한 것은 상대속력 차이가 적은 선박들이 동일한 해역에 다수 존재 하므로 선박 간 이격거리가 좁아지면서 장시간 항행해야 하기 때문으로 추정된다고 했다.

Table 20 Effectiveness of minimum speed limit

	교통량	3kt	5kt	7kt
항로 폭 300m	5척/시간	○	◎	◎
	10척/시간	×	×	○
	15척/시간	×	×	○
	20척/시간	×	×	△
항로 폭 500m	5척/시간	△	◎	◎
	10척/시간	×	×	△
	15척/시간	×	×	△
	20척/시간	×	×	△
항로 폭 700m	5척/시간	×	◎	◎
	10척/시간	×	×	×
	15척/시간	×	×	×

	20척/시간	×	×	×
여기서, △ : 효과 미미 (위험 감소 효과 0.1 ~ 5% 미만)				
○ : 효과 있음 (위험 감소 효과 5 ~ 15% 미만)				
◎ : 효과 높음 (위험 감소 효과 15% 이상)				

자료 : 박영수(2009)

이 연구는 최저 속력의 제한을 위험부담에 따라 분석했다. 즉, 안전의 측면에서 속력제한의 효과를 분석한 것이다. 안전이 담보된다면, 효율적인 항로 운영이 필요하기 때문에 본 연구에서는 효율적 측면에서 최저속력 제한을 제시하고자 한다.

5.1.3 최저속력 제한 효과 검증을 위한 시뮬레이션

(1) 시뮬레이션 구성 요소

① 대상 해역의 교통현황

시뮬레이션을 설계하기 위한 대상해역은 부산북항의 관제구역으로 선정했다. 대상해역의 교통현황을 확인하기 위해 '19.2.26.(화)~ '19.3.4(월)까지 총 7일간 교통조사를 실시했다.

Figure 43은 부산북항 VTS 관제구역 내 15kt 이하 선박 속력분포를 나타내는 그림이다. (a)는 0~5kt 속력 분포이며, 남항 아래의 묘박지로 이동하는 선박과 묘박지의 선박, 저속으로 이동하는 예인선 등이 관제구역에서 이동하는 선박이 많으며 특징적인 흐름은 없다. 다만, 북항 접근 항로에서는 5kt 이하의 선박이 상대적으로 많은 것으로 분석되었다. (b)는 5~10kt 속력 분포이며, 북항 접근항로를 출입항하는 선박, 관제구역을 횡단하는 선박의 분포로 교통 흐름이 눈에 띈다. (c)는 10~15kt 속력 분포이며, 5~10kt 속력분포와 흐름은 유사하나, 교통량은 10~15kt 속력의 선박분포가 더 많다.

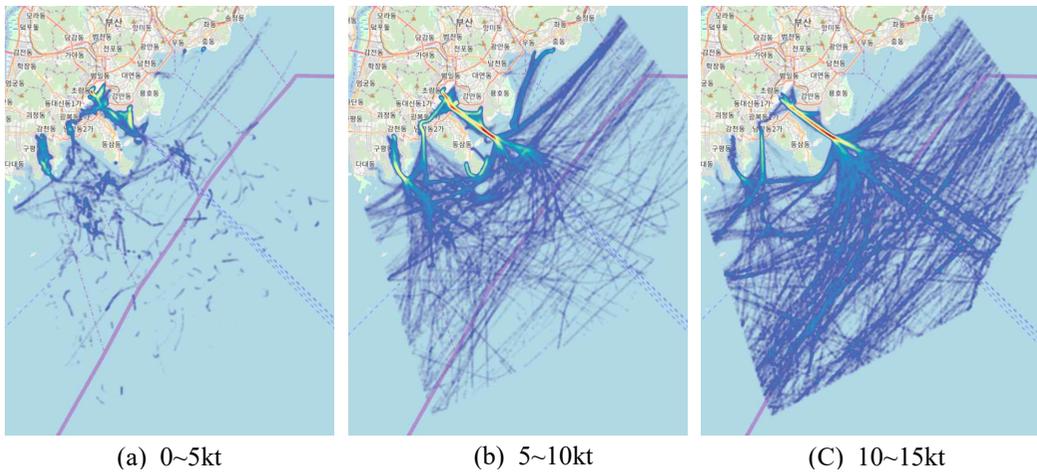


Figure 43 Vessel speed distribution in Busan North VTS area (0~15kt)

Figure 44는 부산북항 VTS 관제구역 내 15~30kt 선박 속도분포를 나타내는 그림이다. (a)는 15~20kt 속도 분포이며, 북항 접근항로를 출입항 하는 선박과 횡단하는 선박이 주로 분포하고 있다. (b)는 20~25kt 속도 분포이며, 주로 북항 접근항로를 출입항하는 선박이 분포한다. 부산-일본 구간을 항행하는 쾌속여객선으로 판단된다. (c)는 25~30kt 속도 분포이며, 20~25kt 속도분포와 같이 쾌속여객선의 북항 접근항로 출입항으로 판단된다.

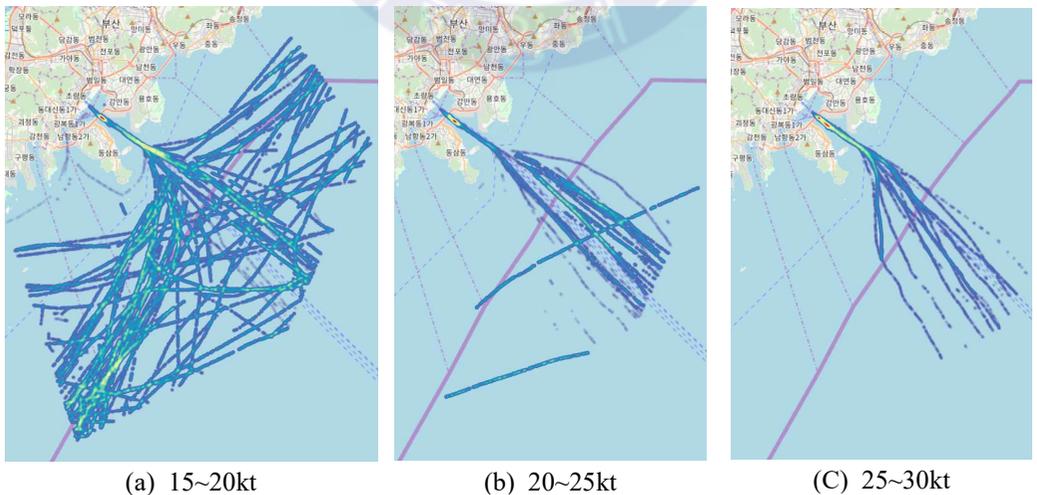


Figure 44 Vessel speed distribution in Busan North VTS area (15~30kt)

고속으로 항행하는 쾌속여객선을 제외하면, 부산항 북항 관제구역 주변 해역의 선박은 주로 20kt 이하로 다니는 것을 확인 할 수 있다. 쾌속여객선의 항로 이용은 부산항 북항만의 특징이므로 시뮬레이션 자료에서는 제외하고 진행한다.

② 선박 속력

시뮬레이션 설계를 위해 쾌속여객선을 제외한 부산항 북항 접근항로를 입항하는 선박의 속력 현황을 살펴봤다. Figure 45는 부산항 북항 접근항로를 입항하는 선박의 속력분포 및 속력의 백분율을 나타낸다. 도로교통공학의 관점에서는 적당한 제한속력은 자유교통류 상태에서 주행속력을 조사하여 대다수가 통행하는 속력으로 정하고 있으며, 사고의 위험성을 최소화하면서 운전자의 승낙을 최대로 하는 속력을 통상 85% 정도로 하고 있다.

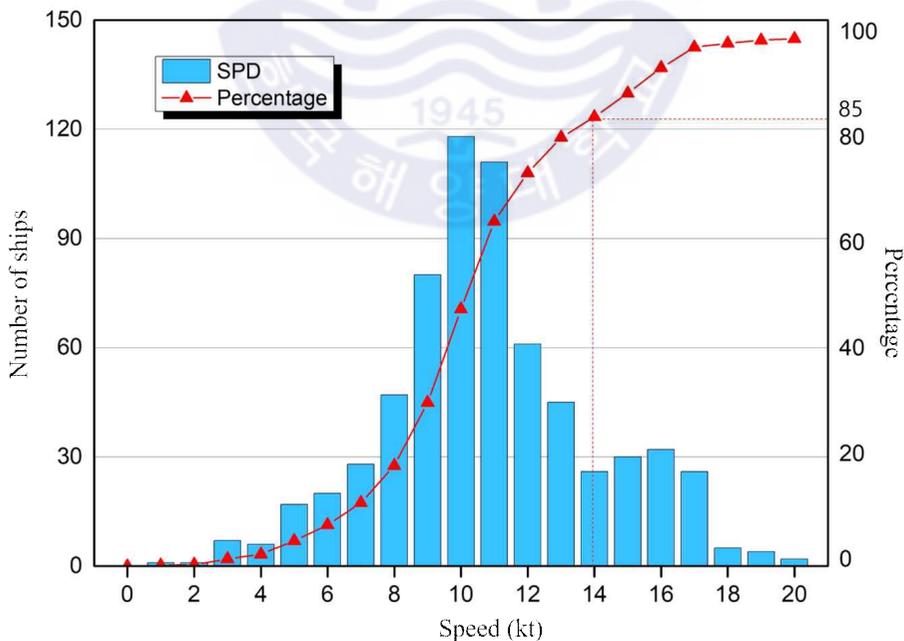


Figure 45 Speed distribution of vessels arriving Busan north port

부산북항을 입항하는 선박의 속력은 평균 10.4kt이며, 표준편차 3.1kt의 정규 분포를 따르는 것으로 분석되었다. 「부산항 항법 등에 관한 규칙」 별표4에 따르면 오류도 및 조도 인근 좁은수로(부산북항 방파제 입구) 최대 속력은 8kt로 지정되어 있으나 방파제 입구의 조류로 대지속력은 더 높게 측정된 것으로 판단된다. 그리고 백분율 85%의 속력은 약 14kt로 분석되었다. 이에 따라 시뮬레이션 구성 시 선박의 속력은 평균 10.4kt, 표준편차 3.1kt의 정규분포에 따라 발생시키고자 한다.

③ 선박이 수로로 접근 하는 횟수

Figure 46은 다음 선박이 도착할 때까지 걸린 시간의 분포를 나타내는 그래프이다.

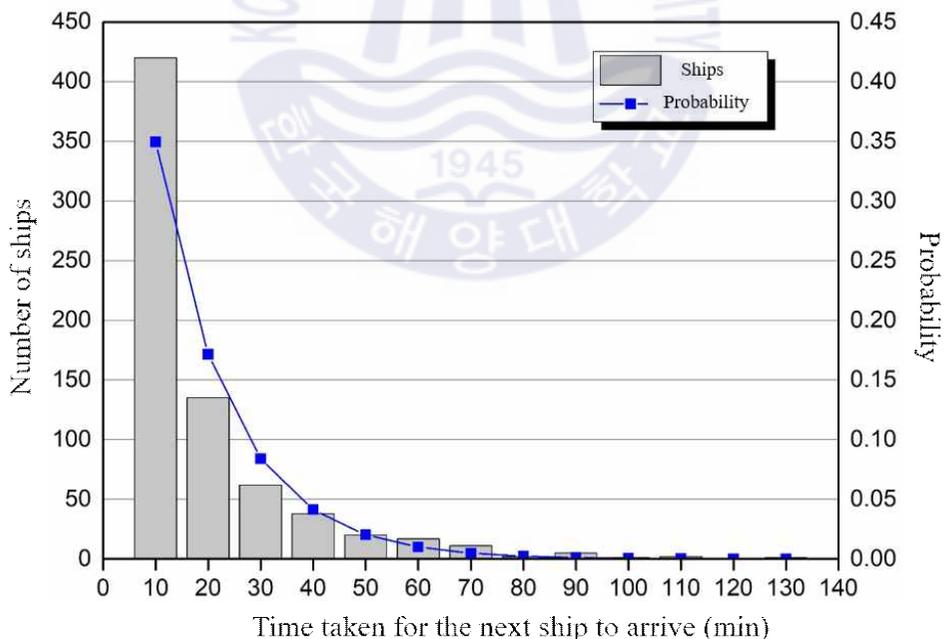


Figure 46 Distribution of ships by time taken until the next ship arrives in Busan north port

부산북항 접근항로에 한 선박이 들어온 후 다음 선박이 항로에 들어오기 까지 걸린 시간은 평균 14.05분인 것으로 나타났다. 그리고 지수분포를 따르는지 확인하기 위해 카이제곱검증을 이용했으며, p-value가 0.12로 95% 유의수준에서는 다음 선박이 도착할 때까지 걸린 시간의 분포는 지수분포를 따름을 검증했다. 그러므로 시뮬레이션 구성 시 선박이 수로로 들어오는 횟수는 푸아송분포를 이용하고자 한다.

④ 선박 길이

부산북항을 입항하는 선박의 길이 평균은 64m로 분석되었다. 현행 해상교통 안전진단에서 사용하고 있는 표준 선박 길이 70m 보다는 다소 작게 나타났다 (엄한찬 등, 2012). 이를 통해 부산북항을 이용하는 선박은 평균보다 작은 크기의 선박이라는 것을 알 수 있다. Figure 47은 부산북항 접근항로를 이용해 입항하는 선박의 길이 분포를 나타낸 그래프이다.

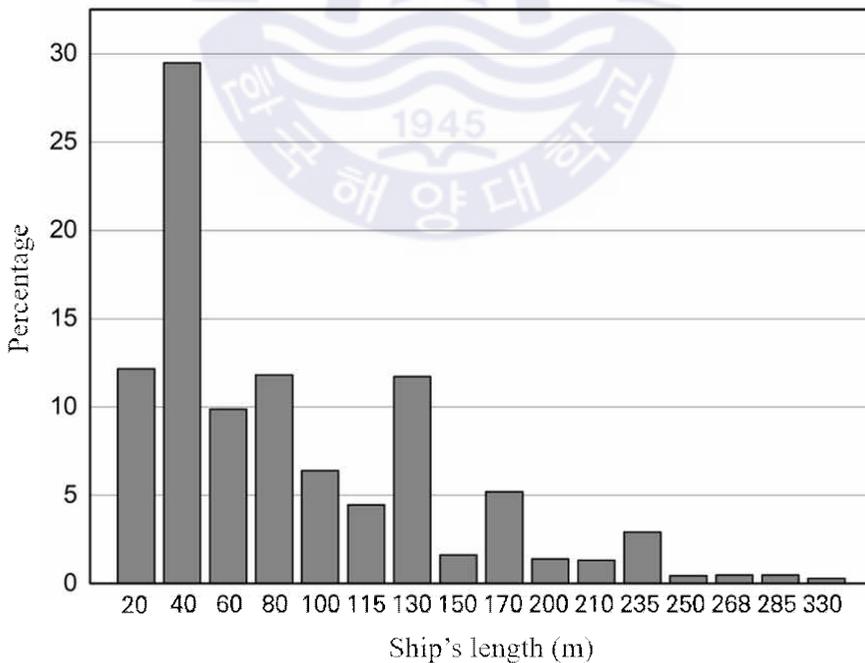


Figure 47 Percentage of arrival ship's length in Busan north port

그래프에서 보는 것과 같이 선박길이는 일정한 분포를 따르지 않으며, 길이 70m 이하 선박이 69.5%를 차지하는 것으로 분석되었다. 그러므로 시뮬레이션 설계 시 선박길이의 비율에 따라 선박을 발생 시키고자 한다.

⑤ 대기행렬에 따른 평균 대기시간

「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 제12조(항로에서의 항법) 4항에 따르면, 추월하려는 선박을 눈으로 볼 수 있고 안전하게 추월할 수 있다고 판단되는 경우를 제외하고는 항로에서 다른 선박을 추월하지 못하도록 규정하고 있다. 특히 대상해역인 부산북항 방파제부근은 강한 조류영향이 있으므로 본 연구에서는 항로 입구에서 추월은 없다고 가정한다. 그러므로 선박이 항로에 진입할 때 앞선 선박과 간격이 충분하지 않는 경우는 대기하고 선행선박이 안전거리 이상을 진행했을 때 진입하는 형태를 대기행렬이론의 형태로 볼 수 있다.

즉 선박이 항로에 진입하여 일정거리를 진행하는 시간은 선행 사용자가 어떤 시설을 이용하는 혹은 서비스를 제공받는 시간으로 볼 수 있다. 정리하면 선행 선박이 안전거리를 이동하는 시간을 대기행렬이론에서의 서비스시간으로 보고, 항로의 입구 부분을 서버로 해석 할 수 있다. 따라서 선박이 항로를 이용할 때 발생하는 대기시간은 대기행렬이론을 이용해서 산정할 수 있다(구자윤, 1997).

항로에 적용하는 대기행렬 모델은 M/G/1 모델로 볼 수 있다. 이는 도착분포는 지수분포이며, 서비스시간은 일반분포, 서버는 하나인 형태이다. M/G/1 대기행렬 모델에서 서비스시간은 지수분포를 따르지 않기 때문에, 서비스를 받고 있는 고객의 잔여서비스시간은 그 고객이 이미 받은 서비스의 양(경과서비스시간)에 의존하며 이는 미래와 과거의 영향을 받는 다는 것의 의미한다. 항로에 적용하면, 선행선박이 항로를 이용하는 시간은 항로에 진입하여 진행한 시간에 영향을 받는다고 볼 수 있다. 대기행렬의 모델을 항로에 적용하면 평균대기시간 W_q 는 다음의 식으로 표현 될 수 있다.

$$W_q = \frac{\rho^2 + \lambda^2 \sigma_s^2}{2\lambda(1-\rho)} \quad (16)$$

여기서, W_q : 항로에 들어오는 선박의 평균대기시간

ρ : 항로의 이용률

λ : 선박의 도착률

μ : 선박의 출발률

σ_s : 서비스시간의 표준편차

그리고 서비스시간은 항로로 들어오는 선박의 안전거리와 선행선박의 속력으로 다음의 식으로 표현 될 수 있다.

$$s = \frac{SD}{v_a} \quad (17)$$

여기서, s : 항로로 진입한 선박의 서비스시간 (s)

SD : 항로로 들어오는 선박의 안전거리 (m)

v_a : 선행선박의 속도 (m/s)

⑥ 안전거리

전술한 바와 같이 항로에서 서비스시간은 선박의 안전거리와 선행선박의 속력을 이용해서 구할 수 있다. 여기서 안전거리는 선박과 선박 간의 최소한의 안전거리로 본 연구에서는 Ship domain을 이용하고자 한다.

Ship domain은 본선을 조종하는 항해사가 타 선박이나 장애물의 진입을 허용하지 않는 본선주위의 일정한 영역을 말하며, 타선박이 들어오지 않았을 때 안전하다고 판단한다. 그리고 잠재적인 선박 간의 조우는 Ship domain에 따라 결정되며, Ship domain은 특히 제한 수역의 경우 해상교통상황(수로의 환경, 교통

밀도, VTS 관리수준)과 환경조건(바람, 시정)에 영향을 많이 받는다(PIANC, 2014).

Fujii(1971)는 1960년대 후반 일본 해역을 관측한 결과로 선박을 중심으로 선 수미 방향을 장직경, 정횡 방향을 단직경으로 한 타원형을 Ship domain으로 봤 으며, 넓은 수역은 장직경 8L, 단직경 3.2L, 좁은 수역은 장직경 6L, 단직경 1.6L로 평균값을 도출했다. 여기서 넓은 수역은 충분한 수역이 갖추어져 있어 선박이 최대 속도(10~16kts)으로 자유롭게 항해할 수 있고 수로에 장애물(섬, 천 수 등)이 없는 상태를 말하며, 좁은 수역은 상황에 따라 선박이 감속(6~8kt)하여 진행하여야 하며 마주치는 상황, 추월 및 횡단하는 선박이 없는 좁은 수로나 항내를 말한다.

Coldwell은 제한 수로에서 마주침 상황과 추월 상황에 따른 Domain을 제안하 고, 국제해상충돌예방규칙이 항해사에게 미치는 영향을 반영하여 마주침 상황 에서 선박의 중심을 좌현으로 이동했다(Coldwell, 1983).

Goodwin은 북해 지역의 선박 교통을 조사하여 레이더 시뮬레이터 충돌 실험 결과 섹터 형태의 Domain을 제안했다(Goodwin, 1975). Domain은 선박을 중심으 로 3 섹터로 나누어 $0^{\circ} \sim 112.5^{\circ}$ 구역은 0.85마일, $112.5^{\circ} \sim 247.5^{\circ}$ 구역은 0.45 마일, 그리고 $247.5^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 구역은 0.7마일의 부채꼴 형태이며, 국제해상충돌예 방규칙이 항해사에게 미치는 영향을 적용하여 우현이 좌현보다 더 크고 선미 쪽이 가장 작다.

Goodwin이 제안한 Domain은 불연속적인 형태로 컴퓨터 시뮬레이션 실행 시 적합하지 않아 Davis는 이들 섹터의 거리를 합쳐 원을 만들어 선박의 중심 위 치를 이동하고, 항해사가 충돌 회피 동작을 취할 수 있는 시간을 결정하기 위 해 Arena 개념을 제안했다(Davis et al., 1980, 1982). Arena는 자선의 Ship domain보다 큰 영역으로 타 선박이 이 영역으로 들어올 때 이 선박이 자선의 domain을 침범하는지에 따라 항해사의 행동을 결정한다. 만약 Arena에 있는 타 선박이 자선의 domain을 침범하는 침로와 속도일 경우 항해사는 피항 조치를 하게 된다.

정재용 등(2006)은 중국 상하이 입항 시 실습선을 중심으로 레이더 상에 통항했던 타 선박의 항적을 조사해 선박 점용영역을 분석했으며, 점용영역은 장직경 5.9L, 단직경 2.2L로 도출되었다.

박영수 등(2010)은 선박운항자 안전 의식에 기초한 선박통항 최소 이격거리를 시정(시정)이 양호한 주간(주간)의 경우 장직경 7.5L, 단직경 5.2L로 제시했다.

김중성(2013)은 관제사를 대상으로 관제 시 최소안전거리에 관해 설문조사를 실시했으며, 주간시간을 기준으로 장직경 최소 2.9L(목포), 최대 16.8L(동해)이 최소안전거리로 분석되어, 관제구역의 환경별로 안전거리가 상이한 것을 밝혔다. 본 연구의 대상해역인 부산항은 주간시간 장직경 4L로 분석되었다.

박영수 등(2014)은 선박통항이 가장 많을 것으로 추정되는 진해항 태풍 피항 이후 회항하는 시기에 대한 교통자료를 이용해 선박 점용영역을 장직경 3.2L, 단직경 2L로 도출했다.

이진석(2017)은 우리나라 관제사의 최소 안전거리를 도출하기 위해 관제사 70명을 대상으로 설문조사를 실시했으며, Domain은 평균 장직경 11.3L, 단직경 8.7L로 나타났다.

본 논문에서는 부산항 관제사 설문조사로 도출된 장직경 4L, 우리나라 해상 교통안전진단에서 사용하고 있는 좁은 수역의 장직경 6L, 관제사의 설문조사를 통해 도출된 장직경 11.3L을 안전거리로 이용하고자 한다.

(2) 시뮬레이션 설계

관제구역 항로 내 선박의 속력 제어가 항로이용의 혼잡도와 접근수로에 입항하고자 하는 선박의 대기시간에 미치는 영향을 분석하기 위해 시뮬레이션을 실시했다.

① 선박척수 및 선박크기 분포

우리나라 주요 항만의 선박통항 척수는 시간당 5-20척의 분포가 가장 많아 5척, 10척, 15척으로 설정했다(박성용 등, 2008; 박영수, 2009). 이때 선박의 척수는 선박의 크기에 따라 관제사가 느끼는 정도가 다르기 때문에, L 환산을 통해 표준화했다. 즉 선박의 크기를 고려한 선박을 5척, 10척, 15척을 발생했다. Figure 48은 L 환산에 따른 발생 선박 척수를 나타내는 그래프이다.

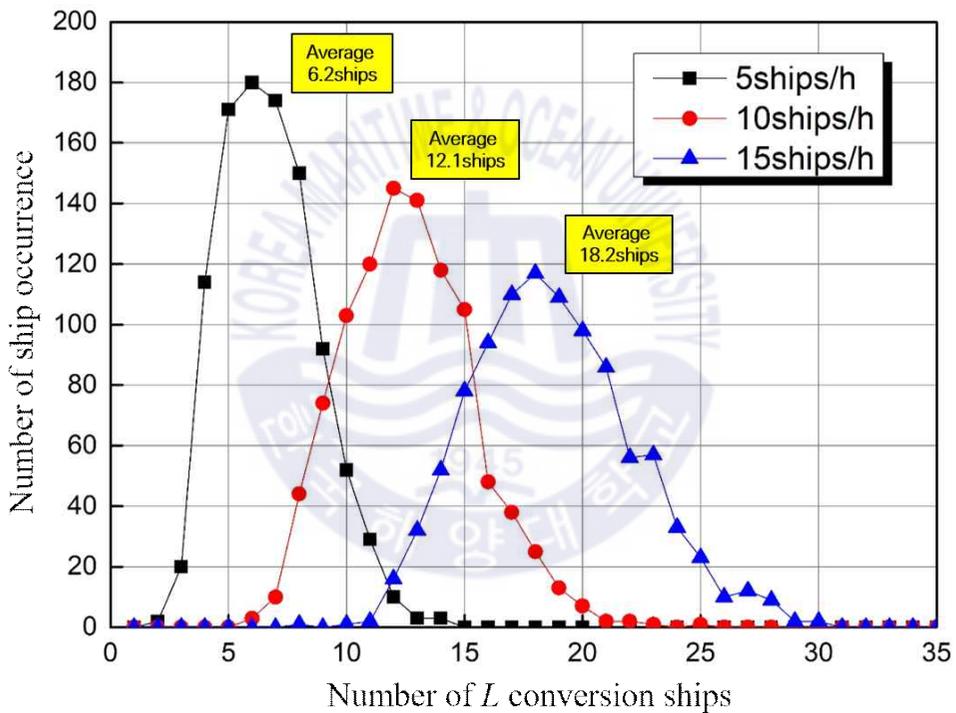


Figure 48 Number of L conversion ship

L 환산 5척의 경우 평균 6.2척, L 환산 10척의 경우 평균 12.1척, L 환산 15척의 경우 평균 18.2척 선박이 발생했다. 여기서 지정한 척수보다 L 환산 선박수가 많다는 의미는 표준선박인 70m 보다 큰 선박이 더 많다는 것을 의미하며,

관제사 입장에서는 부담되는 선박이 더 많이 입항했다는 것을 의미한다. 부산 북항은 자료 수집기간에 선박 평균길이가 64m로 표준선박의 길이보다 작았지만, 표준선박에 비해 80m이상 선박의 입항 비율이 높았기 때문에 L 환산 척수가 많은 것으로 분석된다.

Table 21은 대표길이별 비율을 나타낸다. 해상교통조사결과 선박의 크기는 일정한 분포를 따르지 않았기 때문에 조사기간 얻은 데이터의 선박크기 비율에 따라 시뮬레이션을 설계했다.

Table 21 Vessel representative length ratio

대표길이(m)	20	40	60	80	100	115	130	150
비율(%)	12.15	29.48	9.86	11.82	6.40	4.45	11.71	1.61
대표길이(m)	170	200	210	235	250	268	285	330
비율(%)	5.20	1.40	1.32	2.92	0.44	0.47	0.48	0.29

② 선박속력 분포

해상교통조사 기간 내 부산북항을 입항하는 선박의 속력은 평균 10.4kt이며, 표준편차 4.1kt의 정규분포를 따르는 것으로 분석되었기 때문에 이를 이용해서 선박을 발생시켰으며, 속력규제가 없는 경우, 속력규제 3kt, 속력규제 5kt, 속력규제 7kt로 4가지의 시나리오를 구성했다. 발생된 속력이 제시한 규제속력보다 작을 경우는 최소속력으로 설정했으며, 시나리오별로 각 1,000회씩 시뮬레이션을 실시했다.

(3) 시뮬레이션 결과 및 효과검증

① 도착간격시간이 서비스시간보다 빠른 경우

속력 규제의 효과를 확인하기 위해 도착간격시간이 서비스시간 보다 빠른 경우를 규제속력 및 안전거리별로 구분했다. 도착간격시간이 서비스시간 보다 빠

른 경우는 선박이 관제사별 지정된 안전거리까지 이동하기 전에 타선박이 접근
 향로로 진입하는 것으로 대기행렬에서는 도착간격이 서비스시간보다 빠르면,
 대기시간이 무한대가 된다. 그리고 이러한 경우는 단위시간당 선박 도착 횟수
 가 많거나, 안전거리까지 이동하는 시간이 오래 걸릴 경우 발생할 수 있다.

Table 22는 1시간당 선박이 5척 발생할 경우 안전거리와 규제에 따른 도착간
 격시간이 서비스시간보다 빠른 경우를 나타내는 표이다. 안전거리가 증가할수
 록 도착간격보다 서비스시간이 빠른 경우가 많이 발생했다. 그리고 동일 안전
 거리일 때 최저 제한속력이 클수록 도착간격시간이 서비스시간보다 빠른 경우
 가 적었다.

Table 22 Case of arrival interval is earlier than service time (5 ships/h)

(단위 : 건)

	안전거리 4L	안전거리 6L	안전거리 11L
제한없음	4	7	34
3kt 규제	0	1	23
5kt 규제	0	2	30
7kt 규제	0	0	22

Table 23은 1시간당 선박이 10척 발생할 경우 안전거리와 규제에 따른 도착
 간격시간이 서비스시간보다 빠른 경우를 나타내는 표이다. 안전거리가 증가할
 수록 도착간격보다 서비스시간이 빠른 경우가 많이 발생했다. 그리고 동일 안
 전거리일 때 최저 제한속력이 클수록 도착간격시간이 서비스시간보다 빠른 경
 우가 적었다.

Table 23 Case of arrival interval is earlier than service time (10 ships/h)

(단위 : 건)

	안전거리 4L	안전거리 6L	안전거리 11L
제한없음	5	12	157
3kt 규제	0	6	145
5kt 규제	0	10	153
7kt 규제	0	6	116

Table 24는 1시간당 선박이 15척 발생할 경우 안전거리와 규제에 따른 도착 간격시간이 서비스시간보다 빠른 경우를 나타내는 표이다. 안전거리가 증가할 수록 도착간격보다 서비스시간이 빠른 경우가 많이 발생했다. 그리고 동일 안전거리일 때 최저 제한속력이 클수록 도착간격시간이 서비스시간보다 빠른 경우가 적었다.

Table 24 Case of arrival interval is earlier than service time (15 ships/h)

(단위 : 건)

	안전거리 4L	안전거리 6L	안전거리 11L
제한없음	10	55	464
3kt 규제	1	38	488
5kt 규제	2	37	406
7kt 규제	0	30	397

Figure 49는 속도규제효과를 나타내는 그래프이다. 속도 규제에 따른 도착 시간간격이 서비스시간보다 빠른 경우는 안전거리가 클수록 많아지고, 시간당 선박발생 척수가 많을수록 즉 교통량이 혼잡할수록 많은 것을 알 수 있다. 도착 시간간격과 서비스시간의 비율을 규제효과로 본다면, 안전거리가 클수록 그리고 교통량이 많을수록 규제 효과가 크다고 할 수 있다.

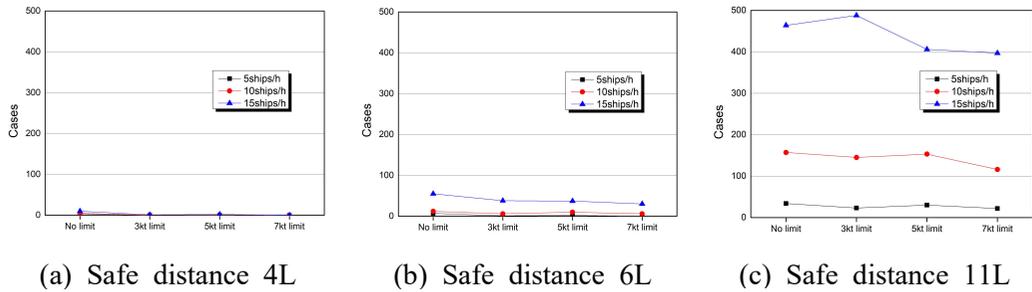


Figure 49 Effect of speed limit

② 평균대기시간의 비교

속력 규제의 효과를 확인하기 위해 대기행렬을 활용한 평균대기시간을 규제 속력 및 안전거리별로 구분했다. 평균대기시간은 대기행렬에서 대기공간이 무한하다고 가정했을 때, 항로에 진입하기 위해서 선박이 대기해야하는 평균 시간을 의미하는 것으로 단위시간당 선박 도착 횟수가 많거나, 안전거리까지 이동하는 시간이 오래 걸릴 경우 대기시간이 길어 질 수 있다. 그리고 도착간격이 서비스시간보다 빠르면, 대기시간은 무한대가 된다. 시뮬레이션의 경우 도착 시간이 서비스시간보다 빠른 경우가 발생하기 때문에 이를 제외한 95% 범위 내에서 대기시간을 도출했다.

Table 25는 1시간당 선박이 5척 발생할 경우 안전거리와 규제에 따른 평균대기시간을 나타내는 표이다. 안전거리가 증가할수록 대기시간이 길어졌다. 그리고 동일 안전거리일 때 최저 제한속력이 클수록 대기시간이 짧아졌다.

Table 25 Average waiting time (5 ships/h)

(단위 : 분)

	안전거리 4L	안전거리 6L	안전거리 11L
제한없음	0.16	0.41	1.81
3kt 규제	0.15	0.38	1.76
5kt 규제	0.15	0.38	1.71
7kt 규제	0.14	0.36	1.60

Table 26은 1시간당 선박이 10척 발생할 경우 안전거리와 규제에 따른 평균 대기시간을 나타내는 표이다. 안전거리가 증가할수록 대기시간이 길어졌다. 그리고 동일 안전거리일 때 최저 제한속력이 클수록 대기시간이 짧아졌다.

Table 26 Average waiting time (10 ships/h)

(단위 : 분)

	안전거리 4L	안전거리 6L	안전거리 11L
제한없음	0.36	1.07	6.52
3kt 규제	0.35	1.02	6.46
5kt 규제	0.33	0.94	5.53
7kt 규제	0.28	0.77	3.96

Table 27은 1시간당 선박이 15척 발생할 경우 안전거리와 규제에 따른 평균 대기시간을 나타내는 표이다. 안전거리가 증가할수록 대기시간이 길어졌다. 그리고 동일 안전거리일 때 최저 제한속력이 클수록 대기시간이 짧아졌다.

Table 27 Average waiting time (15 ships/h)

(단위 : 분)

	안전거리 4L	안전거리 6L	안전거리 11L
제한없음	0.72	2.54	13.86
3kt 규제	0.66	2.37	13.12
5kt 규제	0.58	1.98	11.29
7kt 규제	0.50	1.63	9.73

Figure 50은 속력규제효과를 나타내는 그래프이다. 속력 규제에 따른 대기시간은 안전거리가 길어지고, 시간당 선박발생 척수가 많을수록 즉 교통량이 혼잡할수록 대기시간이 길어지는 것을 알 수 있다. 대기시간을 규제효과로 본다면, 안전거리가 길수록 그리고 교통량이 많을수록 규제 효과가 크다고 할 수 있다.

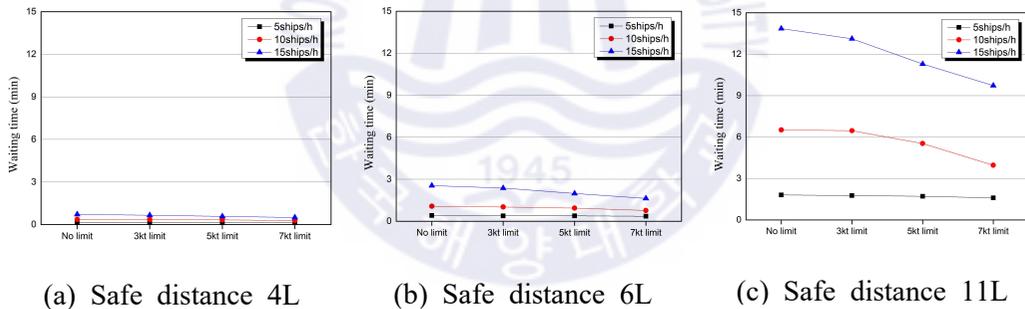


Figure 50 Effect of speed limit

③ 회귀분석을 통한 효과검증

대기시간에 대한 환산척수, 속력규제, 혼잡도, 안전거리가 미치는 정량적인 요인을 확인하기 위해 시나리오 별로 회귀분석을 실시했다. 요인의 간격을 줄이기 위해 요인별로 로그화를 했으며, Table 28은 회귀분석의 결과를 나타내는 표이다.

Table 28 regression analysis result

	시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3
환산척수 (척)	0.1995***	0.1754***	0.1549***
속력규제 (kt)	-0.0599***	-0.0606***	-0.0575***
혼잡도 (척/시간)		0.0364***	
안전거리 (m)			0.007***

주) 1. 제시된 계수는 표준화된 계수이다.

2. ***, **, *는 각각 1%, 5%, 10% 수준에서 통계적으로 유의함

환산척수와 대기시간은 회귀분석 결과 양의 상관관계를 보였으며, 환산척수가 1.5% ~ 1.9% 증가할 경우 대기시간은 10% 증가하는 것으로 나타났다. 속력규제는 대기시간과 음의 상관관계를 보였으며, 속력규제가 5% ~ 6% 증가할 경우 대기시간은 1% 감소하는 것으로 나타났다. 혼잡도와 대기시간은 양의 상관관계를 보였으며, 혼잡도가 3% 증가할 경우 대기시간은 1% 증가하는 것으로 나타났다. 마지막으로 안전거리는 대기시간과 양의 상관관계를 보였으며, 안전거리가 0.7% 증가할 경우 대기시간은 1% 증가하는 것으로 나타났다.

시나리오 1에 따른 대기시간은 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$y_1 = e^{0.1995con_1 - 0.0599spd_1} \quad (18)$$

여기서, y_1 : 시나리오 1에 따른 대기시간 (분)

con_1 : 시나리오 1에 따른 환산척수 (척)

spd_1 : 시나리오 1에 따른 속력규제 (kt)

시나리오 2에 따른 대기시간은 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$y_2 = e^{0.1754con_2 - 0.0606spd_2 + 0.0364busy_2} \quad (19)$$

여기서, y_2 : 시나리오 2에 따른 대기시간 (분)

con_2 : 시나리오 2에 따른 환산척수 (척)

spd_2 : 시나리오 2에 따른 속도규제 (kt)

$busy_2$: 시나리오 2에 따른 혼잡도 (척/시간)

시나리오 3에 따른 대기시간은 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$y_2 = e^{0.1549con_3 - 0.0575spd_3 + 0.007dist_3} \quad (20)$$

여기서, y_3 : 시나리오 3에 따른 대기시간 (분)

con_3 : 시나리오 3에 따른 환산척수 (척)

spd_3 : 시나리오 3에 따른 속도규제 (kt)

$dist_3$: 시나리오 3에 따른 안전거리 (m)

즉, 속도규제는 대기시간의 결정요인이며, 속도규제가 커질수록 대기시간이 줄어드는 것을 검증할 수 있었다.

5.2 안전운항관리를 위한 고장선박 판단기법

5.2.1 고장선박 식별 필요성

'18년 해양사고 현황(해양수산부, 2018)에 따르면, 최근 5년간 해양사고는 평균 2,198건 발생했다. 발생척수를 기준으로 하면 평균 2,465건 발생했다. Table 29는 선박등록척수 대비 해양사고 발생척수 및 발생건수를 나타내는 표이다.

해양사고 발생건수는 2014년 대비 2015년 58.0%로 큰 폭으로 증가했으며, 지속 증가 중이다. 발생척수도 2014년 대비 2015년 59.0%로 큰 폭으로 증가했으

며, 지속 증가 중이다.

Table 29 Marine accidents for 5 years

척수/건수 연도	2014	2015	2016	2017	2018	평균
선박등록척수(A)	77,730	76,500	76,152	75,815	-	-
해양사고발생척수(B)	1,565	2,362	2,549	2,882	2,968	2,465
발생척수 증감율	-	50.9%	7.9%	13.1%	3.0%	18.7%
해양사고발생건수	1,330	2,101	2,307	2,582	2,671	2,198
발생건수 증감율	-	58.0%	9.8%	11.9%	3.4%	20.8%
해양사고발생률(B/A)	2.01%	3.09%	3.35%	3.80%	-	-

자료 : 해양수산부, 2018년 해양사고 현황

해양사고를 사고 종류별로 구분하면, 기관손상이 5년 평균 698건(31.7%)으로 가장 많았으며, 부유물감김, 충돌 순으로 발생했다. Table 30은 해양사고 종류별 사고 현황이다. 기관손상은 2014년 대비 2015년 사고 건수가 약 2배이상 증가했으며, 매년 증가하고 있다.

Table 30 Marine accident types

연도 사고종류	충돌	접촉	좌초	전복	화재 폭발	침몰	기관 손상	안전 사고	부유물 감김	운항 저해	해양 오염	기타	계
2014	180	19	96	35	97	19	339	113	205	-	-	227	1,330
2015	235	28	84	32	100	31	703	144	331	-	-	413	2,101
2016	209	23	137	49	113	27	755	131	390	-	-	473	2,309
2017	258	25	149	65	96	29	838	160	311	131	-	520	2,582
2018	250	20	142	46	119	38	856	162	278	155	80	525	2,671
평균	226	23	121	45	105	28	698	142	303	143	80	431	2,198

주 : 기타는 침수, 추진축계손상, 조타장치손상, 속구손상, 시설물손상, 행방불명 등

자료 : 해양수산부, 2018년 해양사고 현황

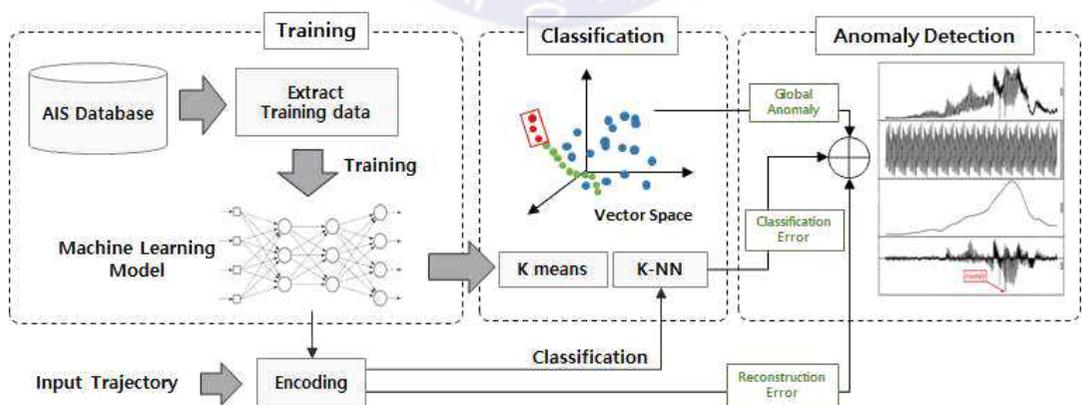
한편, 손상별 해양사고를 살펴보면, 경손이 6,558건으로 가장 많았으며, 기관 손상의 경우 경손이 3,165건, 무손이 116건으로 전체 선박 피해 중 99.9%는 경

미한 손상인 것으로 나타났다. 다시 말해서 기관손상은 해양사고 중에서 가장 빈번하게 발생하지만 경미한 사고인 것을 알 수 있다.

그러나 기관사고가 선박의 입출항으로 혼잡한 항만 입구를 포함한 관제구역에서 발생한다면, 선박교통의 원활한 흐름을 방해하며 이로 인한 2차사고로 이어질 가능성이 높다.

Yang Z et al.(2013)은 지도/비지도 학습법을 기반으로 선박 행동을 클러스터링하고 특징적인 클러스터를 식별했다. 그리고 선박 특성(Length, Beam)에 따라 선박을 식별된 행동 클러스터로 분류하여 선박의 움직임을 예측할 수 있는 모형을 개발 했다. 이를 위해 k-mean 이론을 기반으로 Naive Bayesian 분류 원칙에 따라 선박 통항 패턴을 분류했다. 개발한 모델은 로테르담 항만을 출입항하는 선박에 적용하여, 통항패턴을 검증했다.

오재용 등(2018)은 비지도 학습법을 기반으로 항적 데이터를 자동으로 분류하여 통항 패턴을 학습하고, 항적의 군집화와 분류 과정을 통해 이상 거동 선박을 실시간으로 식별하는 방안을 제안했다. Figure 51은 연구에서 제안된 모델의 컨셉이며, 학습된 항적 모델과 다른 패턴의 항적은 이상 거동 상태일 확률이 높다고 가정했다.



자료 : 오재용 등(2018)

Figure 51 Concept diagram of ship movement anomaly detection model

모델의 첫 단계에서는 AIS 데이터베이스로부터 학습 데이터를 추출하고, 이를 이용해서 기계학습 모델을 학습한다. 그리고 비지도 학습 방법을 이용해서 데이터의 자체 특성을 압축한 저차원의 벡터공간을 생성한다. 입력된 항적 데이터는 벡터공간에 다시 투영되어 유사한 특징을 가지는 데이터별로 군집화된다. 마지막 단계에서는 새롭게 입력되는 항적 데이터를 벡터공간에 투영 후 학습된 상태 그룹으로 분류해 이상치를 계산한다. 구현된 모델은 시뮬레이션을 통한 가상 항적데이터와 실제 항적데이터를 이용해서 이상식별이 가능했다.

Giuliana Pallotta et al.(2019)은 비지도 학습법을 기반으로 선박 통항 패턴을 추출하여 자동으로 이상선박을 탐지하고, 현재 항적을 기반으로 움직임 예측한 TREAD(Traffic Route Extraction and Anomaly Detection)를 개발한 바 있다.

이상의 선행연구의 경우 선박의 항적 패턴의 학습을 통해 이상 선박의 탐지 및 향후 움직임을 예측했다. 그러나 본 연구에서는 선박 항적이 아닌 VTS에서 실시간으로 이용 가능한 AIS 데이터를 기반한 선박의 SPD 변화율 및 Course 변화율 등을 이용해서 선박이 고장 상태인지를 식별하는 방안을 설계하고자 한다.

5.2.2 고장상황 판단기법

본 연구에서는 표본 집단을 특정 기준 값에 의해 유사한 집단으로 분류하고, 분류된 하위집단을 다시 특정 기준을 찾아 분류하는 과정을 반복함으로써 종속변인과 독립변인들 또는 목표변수와 입력변인들 간의 패턴이나 관계를 찾아내는 분석방법인 의사결정나무기법을 사용하고자 한다. 의사결정나무기법은 종속변인에 가장 큰 영향을 주는 독립변인의 특정 값을 기준으로 표본 집단에 대한 최초 분리가 이루어지며 순차적으로 더 이상의 분리가 이루어지지 않을 때까지 분리를 수행한다. 의사결정나무 기법은 다양한 알고리즘에 의해 분리가 이루어지고 나무구조로 표현되며 나무구조가 시작되는 뿌리마디(root node), 하나의 마디로부터 분리되어 나간 두 개 이상의 마디들인 자식마디(child node), 자식마

디의 상위마디인 부모마디(parent node), 각 나무줄기의 끝에 위치하고 있는 끝마디(terminal node) 등 여러 가지의 마디(node)라고 불리는 구성요소들로 이루어져 있다.

(1) 의사결정나무 분석

의사결정나무는 의사결정규칙을 도표화하여 관심대상이 되는 집단을 몇 개의 소집단으로 분류하거나 예측을 수행 하는 분석방법이다. 분석과정이 나무구조에 의해서 표현되기 때문에, 신경망(neural networks), 판별분석(discriminant analysis), 회귀분석과 같은 방법들에 비해, 연구자가 분석과정을 쉽게 이해하고 설명할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 의사결정나무는 분류 또는 예측을 목적으로 하는 어떤 경우에도 사용될 수 있으나 분석의 정확도보다는 분석과정의 설명이 필요한 경우에 더 유용하게 사용된다(신혜정, 2016). 그러므로 관제사를 위한 의사결정지원 모델 개발의 측면에서 고장선박의 분석 과정 및 중요요인을 도출하기 위해 의사결정나무 기법이 적당하다고 판단했다.

일반적으로 의사결정나무 분석은 다음과 같은 단계를 거친다.

- 의사결정나무의 형성 : 분석의 목적과 자료구조에 따라서 적절한 분리기준(split criterion)과 정지규칙(stopping rule)을 지정하여 의사결정나무를 얻는다.
- 가지치기 : 오분류(classification error)를 크게 할 위험(risk)이 높거나 부적절한 추론규칙을 가지고 있는 가지(branch)를 제거한다.
- 타당성평가 : 이익도표(gains chart)나 위험도표(risk chart)는 검정용 자료(test data)에 의한 교차타당성(cross validation)등을 이용하여 의사결정나무를 평가한다.
- 해석 및 예측 : 의사결정나무를 해석하고 분류 및 예측모형을 설정한다. 이상과 같은 정지기준, 분리기준, 평가기준 등을 어떻게 지정하느냐에 따라서 서로 다른 의사결정나무가 형성된다.

(2) 의사결정나무의 구성

의사결정나무는 하나의 나무구조를 이루고 있으며 마디(node)라고 불리는 구성요소들로 이루어져 있다. 뿌리마디에서 어느 한 끝마디 (leafnode)로 가는 길은 유일하며 그 길은 규칙으로 표현가능하며 서로 다른 끝마디들이 같은 분류를 만들 수도 있지만 각 끝마디는 서로 다른 근거에 의해 그 분류를 만든다. Table 31은 의사결정 나무의 마디 종류 및 설명을 나타내고 있다.

Table 31 Decision tree node

분류	설명
뿌리마디 (Root node)	나무구조가 시작되는 마디로써 전체 자료로 이루어짐
자식마디 (Child node)	하나의 마디로부터 분리되어 나간 두 개 이상의 마디들을 의미함
부모마디 (Parent node)	자식마디의 상위마디를 의미함
중간마디 (Terminal node)	각 나무줄기의 끝에 위치하고 있는 마디로써 잎(Leaf)이라고도 하며, 결국 끝 마디의 개수만큼 분류규칙이 생성되는 것임
가지 (Branch)	하나의 마디로부터 끝마디까지 연결된 일련의 마디들을 의미하며, 이때 가지를 이루고 있는 마디의 개수를 깊이(depth)라 하며, 가지수와 깊이는 다양함

(3) 의사결정나무 기법의 장점 및 한계점

의사결정나무 기법의 장점들을 다음과 같다. 첫째, 분류 또는 예측의 과정이 나무구조에 의해서 표현되기 때문에 분석자가 그 과정을 쉽게 이해하고 설명할 수 있다는 점이다. 즉, 특정 데이터의 개체가 어떤 집단에 속하게 되는지를 나무구조 만에 의해서도 시각적으로 파악되기 때문에 해석이 편리하다는 장점을 가지고 있다. 둘째, 변인들 간의 상호작용효과(interaction effects)를 파악할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

한편 의사결정나무 기법은 연속형 변인(continuous variable)을 비연속적인 값으로 취급하기 때문에 분리의 경계점 부근에서는 오류가 발생할 확률이 높다는

단점을 지니고 있다. 이러한 장단점을 통해 본 연구에서 사용하는 의사결정나 무기법은 관제사 입장에서 고장선박으로 판별하는 요인들을 쉽게 확인 할 수 있으나 속력이나 침로 등 연속적인 데이터에 대해서는 판별 시는 오류가 발생할 확률이 높음을 주의할 해야 할 것이다.

5.2.3 판단기법을 이용한 고장선박 분류

(1) 긴급고장 적용 대상

판단 기법에 적용하기 위한 학습데이터는 실제 우리나라 해역에서 발생 했던 기관고장 및 조타장치 사고의 AIS 데이터를 이용했다. 그리고 기상에 따른 요인을 배제하기 위해 해상상태가 대체로 양호한 날의 사고 데이터를 이용했다. Table 32는 기관고장과 조타장치사고 요약한 표이며, Figure 52는 사고 선박의 항적을 나타낸다.

Table 32 Not under command accident

	날짜	시간	해역	내용
1	2014.2.18	15:55	목포	여객선 A호 조타장치고장사건
2	2014.5.4	17:20	웅진	여객선 B호 기관손상사건
3	2014.5.8	11:30	태안	국제여객선 C호 기관손상사건
4	2014.10.26	13:12	제주	여객선 D호 기관손상사건
5	2014.5.10	08:50	인천	여객선 E호 기관손상사건
6	2014.5.20	12:21	제주	유조선 F호 기관손상사건
7	2014.5.21	08:28	제주	화물선 G호 기관손상사건

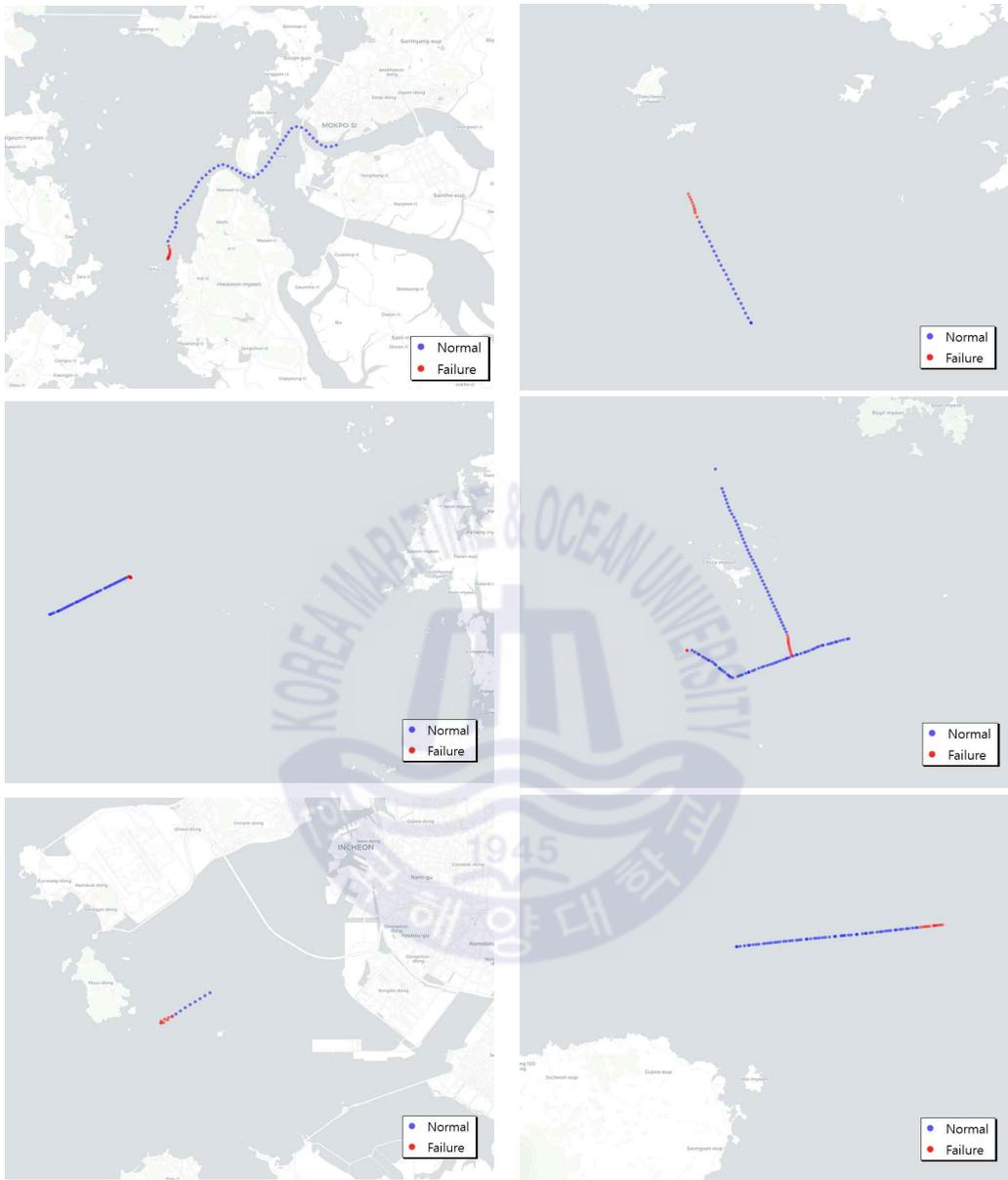


Figure 52 Not under command ship trajectory

(2) 데이터 정리

설명변수는 관제센터에서 얻을 수 있는 자료(AIS기준)를 위주로 선택했으며,

속력변화율(1분전), 속력변화율(2분전), 평균속력대비 현재속력 비율, 침로변화율(1분전), 현재속력이며, 종속변수는 고장유무이다. Table 33은 각 요소들 단위 및 내용을 설명하는 표이다.

Table 33 Factors for modeling

구분	요인	단위	내용
종속변수	고장유무	-	고장은 1, 정상은 0으로 구분
설명변수	속력변화율(1분간)	kt	절대값 (현재속력 - 1분전 속력)
	속력변화율(2분간)	kt	절대값 (현재속력 - 2분전 속력)
	현재속력 비율	%	현 시점까지의 평균속력 대비 현재속력의 비율
	침로변화율	degree	절대값 (현재침로 - 1분전 침로)
	현재속력	kt	측정 당시의 속력

(3) 적용 결과

① 설명변수 간 다중공선성 확인

회귀모형의 경우 설명변수 간 독립성을 가정하고 있으므로, 다중공선성이 존재하는지를 확인해야한다. 설명변수들 간에 강한 상관성이 있는 다중공선성이 존재하면 추정된 회귀계수의 분산이 매우 커지게 되어 추정된 회귀계수를 신뢰하기 힘들다. 다시 말해서 다중공선성이 있는 설명변수를 이용해 회귀계수를 추정하면, 유의미하지 않은 설명변수가 회귀계수 검정 결과 유의미하게 나올 수도 있다는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 설명변수 간 산점도와 상관계수를 이용해 다중공선성 발생 가능성이 큰지 확인했다. Figure 53은 각 설명변수 간 상관관계를 나타낸 그림이다. 상관계수가 0.9이상의 경우 다중공선성을 강하게 의심할 수 있으나, 조종불능 사고 분류를 위한 설명변수인 속력변화율(1분전), 속력변화율(2분전), 평균속력대비 현재속력 비율, 침로변화율(1분전), 현재속력 간 상관관계는 상관계수가 0.9이상인 경우는 없었으며, 속력변화율 간 상관계수는 0.8로 비교적 높은 편으로 나타났다.

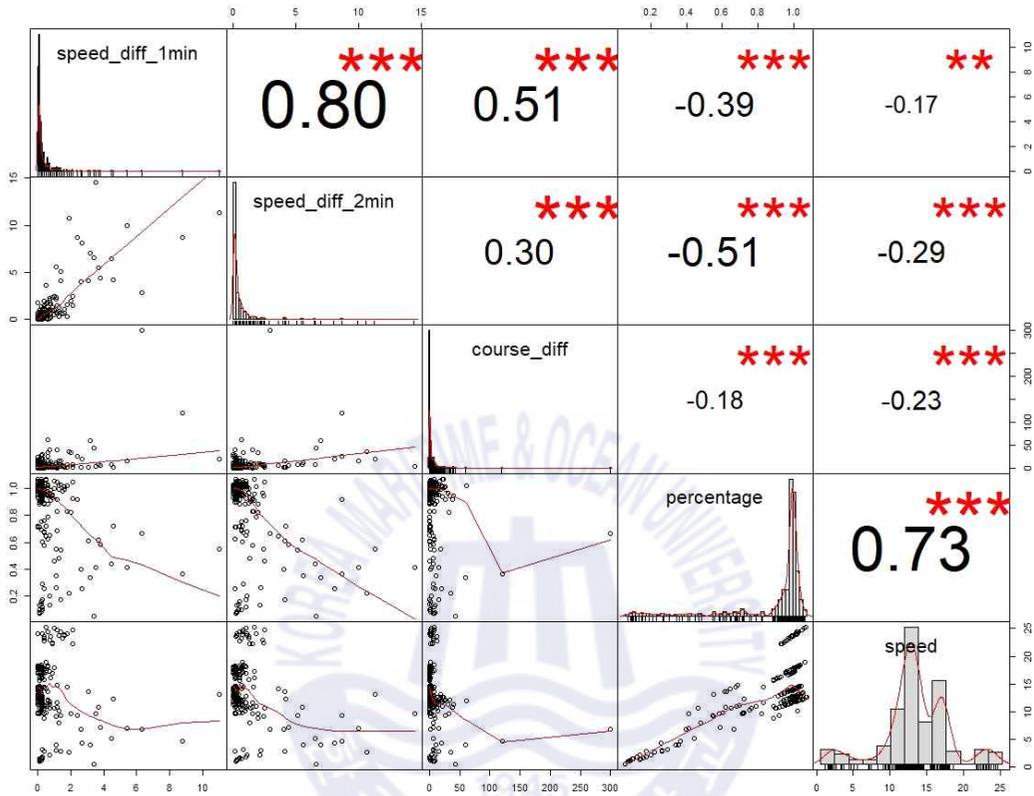


Figure 53 Scatter plot and correlation coefficient for explanatory variable

② 의사결정나무 적용

대표적인 의사결정나무 알고리즘을²⁾ 이용해서 조종불능을 예측하는 모형을 만들었다. 모형은 Table 33에서 제시한 요인을 모두 사용한 Case와 가장 설명력이 좋은 속력비율을 제외한 Case, 두 가지로 만들었다. Case를 두 개로 구분

2) R에서 제공하는 패키지 중 'Party' 패키지를 이용함. 본 패키지는 조건부 추론방법에 이론적 바탕을 둔 반복분할 방법으로 다중검정을 이용한 정지 규칙을 이용함. 또한 반응변수와 설명변수들 간의 관계를 나타내는 통계량의 조건부 분포를 이용하며, 다중검정 방법을 이용하여 유의확률을 보정함으로써 과적합 문제를 해결함. 또한 유의확률을 기준으로 사용하고 있으므로 변수의 측정단위가 달라도 영향을 받지 않는 특징이 있음(신혜정, 2016).

한 이유는 직전 속력까지의 데이터가 쌓여있지 않아 현재속력 대비 비율을 도출하기 어려운 경우를 대비하고 모형의 다양화를 위해서이다.

Figure 54는 속력변화율(1분전), 속력변화율(2분전), 평균속력대비 현재속력 비율, 침로변화율(1분전), 현재속력을 이용한 의사결정나무 모형이다. 데이터 342개 중 7:3의 비율로 훈련용과 검증용으로 나뉘었다.

평균속력대비 현재속력 비율(Percentage)은 p-value가 0.001보다 작아 채택되었으며, 88.6%를 기준으로 작거나 같을 경우 Node2로 넘어가며 훈련데이터에서는 42건이 고장으로 분류되었다. 88.6%보다 큰 경우에는 속력변화율(speed_diff_2min)로 넘어가며, 0.8kt를 기준으로 판별한다. 속력변화율이 0.8kt보다 큰 경우에는 본 훈련데이터에서 15건 있었으며, 약 80%는 정상으로 분류되었다. 그리고 속력변화율이 0.9kt보다 작거나 같은 경우에는 다시 현재속력 비율(Percentage)과 비교하며 93%를 기준으로 높은 경우는 176건으로 정상으로 분류, 기준보다 낮거나 같은 경우는 7건이 있었으며, 이중 약 80%는 정상으로 분류되었다. 종합하면, 현재속력 비율로 42건의 고장을 바로 분류할 수 있었으며, 나머지 조종불능 상황은 속력변화율 및 현재속력비율을 조합해서 분류할 수 있었다. 그러므로 고장판별은 현재속력 비율, 속력변화율(2분간), 현재속력의 요인으로 가능했으며 현재속력의 비율이 가장 영향이 큰 요소였다.

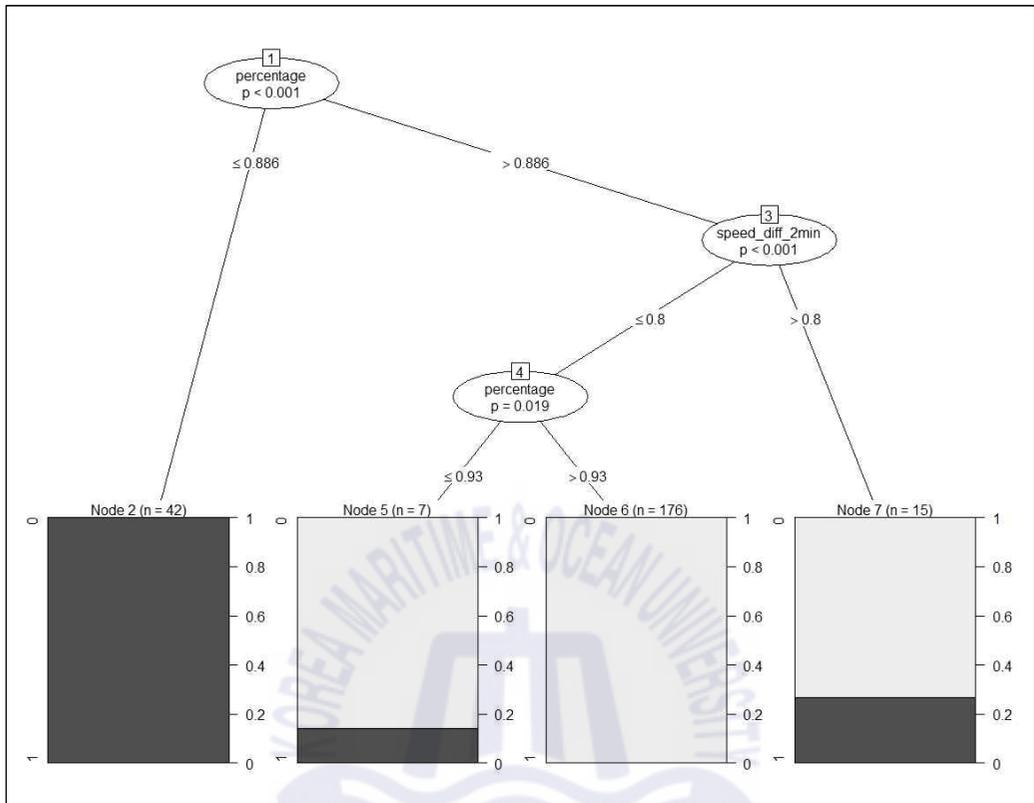


Figure 54 Decision tree result (Case 1)

Table 34는 Case 1 모형의 예측을 나타내는 표이다. Case 1 모형은 True 84건 중 84건, False 18건 중 18건 모두 적중했다.

Table 34 Confusion matrix using decision tree (Case 1)

	True(예측)	False(예측)
True(실제)	84	0
False(실제)	0	18

이를 정밀도(Precision), 재현율(Recall), 정확도(Accuracy), Fall-out으로 나누면, 다음의 식과 같다.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (21)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (22)$$

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN} \quad (23)$$

$$Fall-out(FPR) = \frac{FP}{TN + FP} \quad (24)$$

여기서, TP : True Positive (실제 True인 정답을 True라고 예측)

FP : False Positive (실제 False인 정답을 True라고 예측)

FN : False Negative (실제 True인 정답을 False라고 예측)

TN : True Negative (실제 False인 정답을 False라고 예측)

Case 1의 정밀도는 True라고 분류한 것 중에 실제 True의 비율을 나타내며, 1이다. 재현율은 실제 True인 것 중에서 모델이 True라고 예측한 것의 비율이며, 그 값은 1이다. 정확도는 True 뿐만 아니라 False에 관한 사항도 고려해서 모델의 성능을 평가할 수 있는 지표이며, 그 값은 1이다. Fall-out은 실제 False인 데이터 중에서 모델이 True라고 예측한 비율이며, 그 값은 0이다.

Figure 55는 설명력이 가장 좋았던 평균속력대비 현재속력 비율을 제외한 속력변화율(1분전), 속력변화율(2분전), 침로변화율(1분전), 현재속력을 이용한 의사결정나무 모형이다. 데이터 342개 중 7:3의 비율로 훈련용과 검증용으로 나뉘었다.

평균속력대비 현재속력(Speed)은 p-value가 0.001보다 작아 채택되었으며, 10.6kt를 기준으로 작거나 같을 경우 Node2로 넘어가며 훈련데이터에서 37건이 조종불능으로 분류되었다. 10.6kt보다 큰 경우는 속력변화율(2분전) 0.8kt로 분

류하며, 0.7kt보다 큰 경우 중에서 현재속력이 14.5kt이하일 때 약 80% 비율로 조종불능 판별을 한다. 그리고 속력변화율(2분전)이 0.8kt보다 작거나 같은 경우에는 속력변화율(1분전)로 비교하여 0.5kt 이상일 때 20% 비율로 고장 판별을 한다. 그러므로 고장판별은 현재속력, 속력변화율(2분간), 속력변화율(1분간)로 가능했으며 현재속력이 가장 영향이 큰 요소였다.

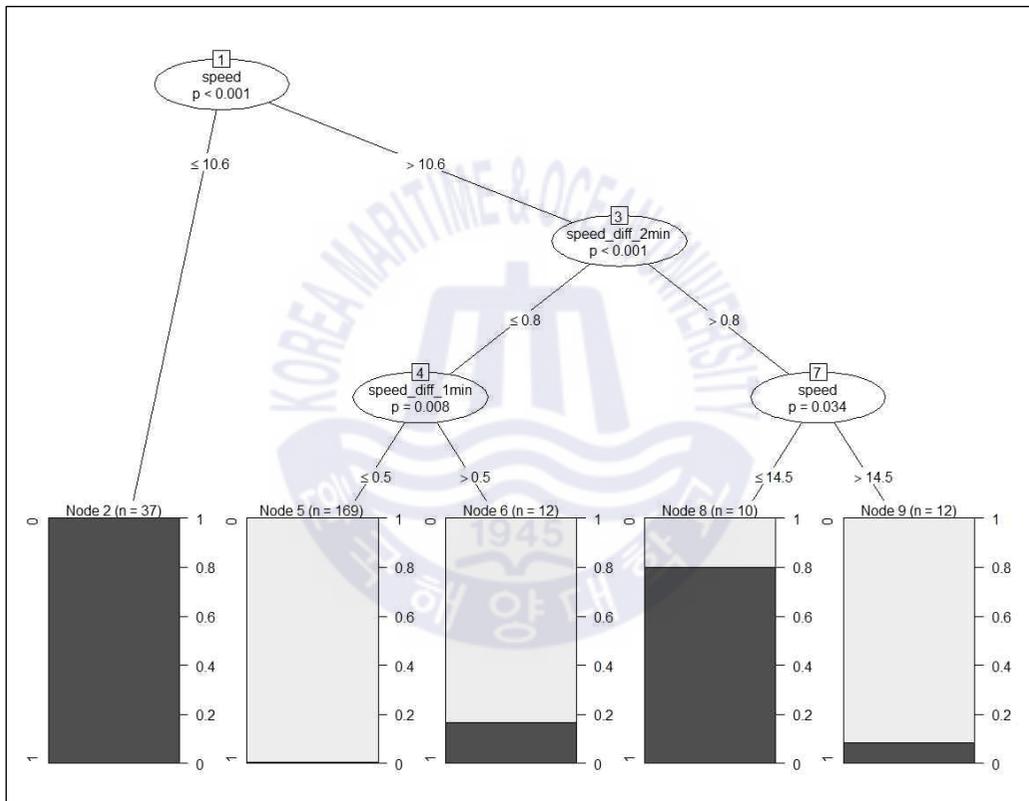


Figure 55 Decision tree result (Case 2)

Table 35는 Case 2 모형의 예측을 나타내는 표이다. 정확도는 0.96로 나타났다.

Table 35 Confusion matrix using decision tree (Case 2)

	True(예측)	False(예측)
True(실제)	84	0
False(실제)	4	14

Case 2의 정밀도는 True라고 분류한 것 중에 실제 True의 비율을 나타내며, 0.95이다. 재현율은 실제 True인 것 중에서 모델이 True라고 예측한 것의 비율이며, 그 값은 1이다. 정확도는 True 뿐만 아니라 False에 관한 사항도 고려해서 모델의 성능을 평가할 수 있는 지표이며, 그 값은 0.96이다. Fall-out은 실제 False인 데이터 중에서 모델이 True라고 예측한 비율이며, 그 값은 0.77이다.

(4) 적용 및 결정요인 제시

관제구역에 적용 가능성을 확인하기 위해 실제 기관 및 타기 고장 사고의 데이터를 이용해서 만든 예측 모델을 부산항 관제구역 1일 해상교통 조사 자료('19.8.19.(월) 12:50 ~ 8.20.(화) 12:50)에 적용했다. 그러나 AIS 데이터는 동적 정보 전송 주기가 다르며, 통신량 부하가 높을 경우 제대로 수신되지 못하는 경우가 발생하기 때문에 선박 간 시간을 1분간 동기화 했으며, 데이터 소실이 발생한 경우, 전·후의 시간을 고려해 데이터를 생성했다(해양수산부, 2016).

Figure 56은 의사결정나무 모델로 부산항에 적용한 그림이다. 1분당 선박의 위치를 플로팅한 것이며, 노란색은 정상으로 판단한 것, 붉은색은 고장으로 판단한 것을 의미한다. 고장으로 판단한 선박은 북항, 남항, 감천항에 근접해 있으며, 제2항로 부근의 집단정박지에도 주로 분포해 있는 것으로 나타났다. 이는 속력이 주요 변수이기 때문에, 부두 근처로 입·출항하는 선박의 속력변화와 투·양묘를 하는 선박의 속력변화를 고장상황과 구분하지 못하는 것으로 볼 수 있다. 한편 교통조사 기간의 모든 선박이 정상항해 중이었다고 가정했을 때, 전체 24,259개의 데이터 중 6,058개의 데이터를 고장상황이라 판정했으므로,

75.02%의 정확도를 보인다고 할 수 있다.

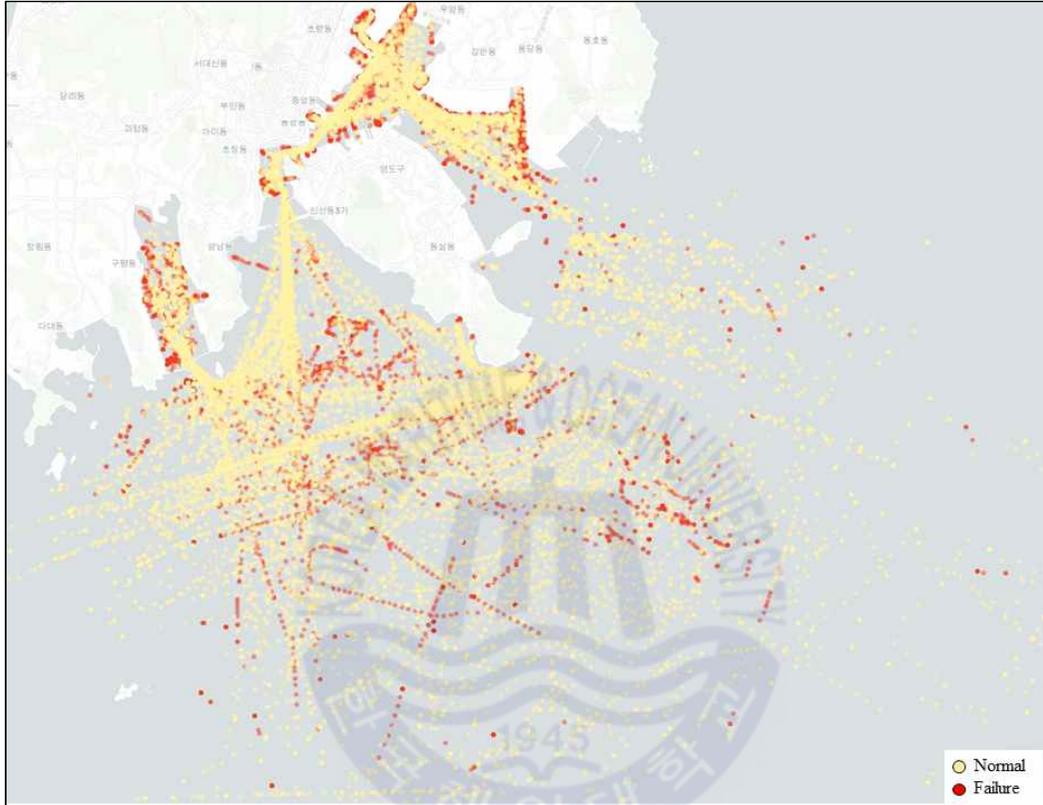


Figure 56 Prediction using decision trees in Busan port

Figure 57은 고장으로 판단한 선박의 위치를 플로팅한 그림이다. 부두 근처의 선박, 집단 정박지 부근에 선박이 몰려있는 것으로 나타나 부두에 접근하기 위해 선속을 줄이는 선박, 도선점에 다가와 선속을 줄이는 선박, 표박지에 접근하기 위해 선속을 줄이는 선박, 시운전, 속력 변화가 쉬운 어선, 유선 등을 고려한 알고리즘 개선이 필요할 것으로 사료된다.

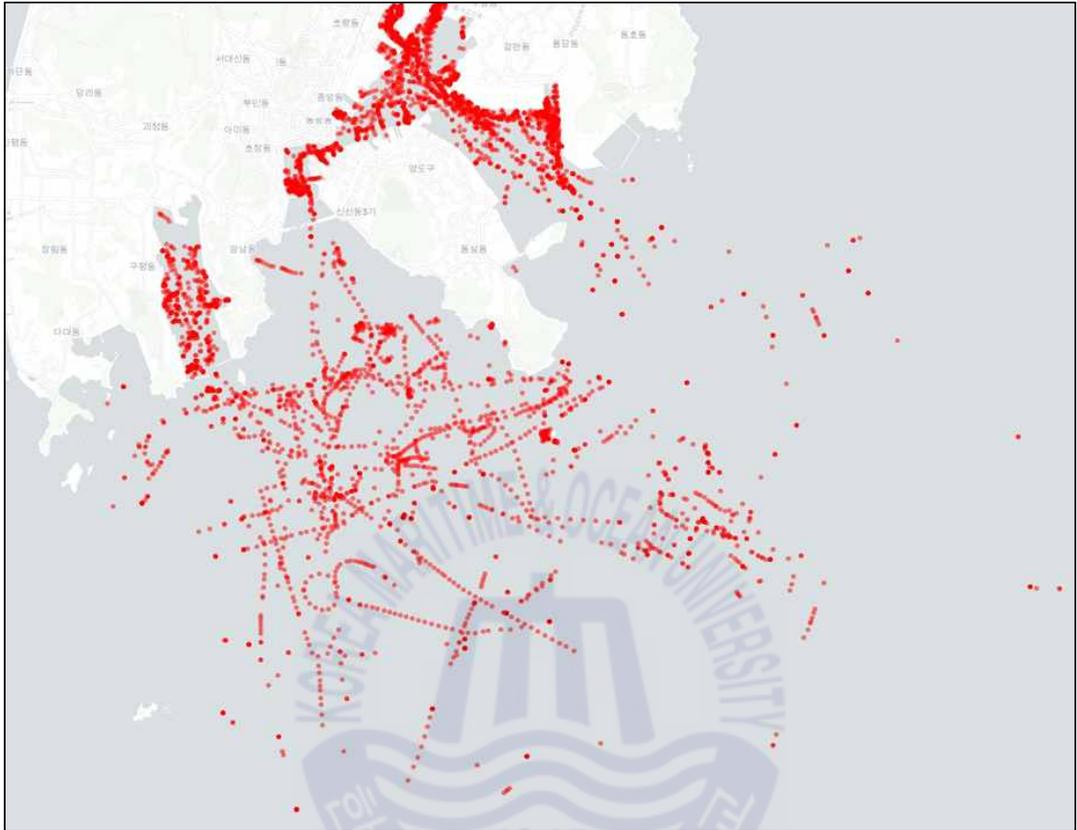


Figure 57 Commonly predicted failures

그러나 제한된 VTS에서 수신 가능한 자료를 바탕으로 모델을 도출한 결과 본 연구에서는 평균속력 대비 현재속력의 비율이 고장으로 분류하는데 가장 큰 결정요인으로 나타났다.

5.3 소결

5.3.1 효율적 운영을 위한 최저속력 제한

본 연구는 안전운항관리를 위해 효율성 측면의 속력제한에 따른 대기시간 감소 효과를 분석했다. 본 연구를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

(1) 우리나라에서 통항량이 가장 많은 부산북항을 대상으로 7일간 해상교통조사를 실시했으며, 부산북항 접근항로 내 선박의 평균선속은 약 10.4kt였으며, 정규분포를 따르는 것을 확인했다. 그리고 항로에 입항하는 선박의 척수는 푸아송분포를 따름을 확인했다.

(2) 선박이 항로에 접근하기까지의 대기시간을 도출하기 위해 대기행렬 이론을 적용했으며, 서비스시간은 안전거리까지 이동하는데 선박이 걸리는 시간으로 가정했다. 입항하는 척수는 푸아송분포, 서비스시간은 일반분포를 따름으로 하여 M/G/1 모델을 적용해서 대기시간을 도출했다.

(3) 선행연구의 기준에 따라 속력의 제한을 0kt, 3kt, 5kt, 7kt로 설정, 안전거리를 4L, 6L, 11L로 설정, 교통량을 시간당 5척, 10척, 15척으로 설정하여 시뮬레이션을 실시했다. 시뮬레이션 결과 환산척수와 대기시간은 양의 상관관계를 보였으며, 환산척수가 1.5% ~ 1.9% 증가할 경우 대기시간은 10% 증가하는 것으로 나타났다. 속력규제는 대기시간과 음의 상관관계를 보였으며, 속력규제가 5% ~ 6% 증가할 경우 대기시간은 1% 감소하는 것으로 나타났다. 혼잡도와 대기시간은 양의 상관관계를 보였으며, 혼잡도가 3% 증가할 경우 대기시간은 1% 증가하는 것으로 나타났다. 마지막으로 안전거리는 대기시간과 양의 상관관계를 보였으며, 안전거리가 0.7% 증가할 경우 대기시간은 1% 증가하는 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 최저속력을 제한했을 경우 대기시간이 줄어들며, 안전거리가 늘어날수록, 교통량이 늘어날수록 대기시간은 늘어나는 것을 확인했다. 그리고 부산북항 접근항로를 대상으로 한 회귀식을 도출했다. 그러나 각 항로마다 환경이 다르기 때문에 일률적으로 적용하기는 어려운 것이 한계점이며, 추후 타항만의 데이터를 이용해서 전국 항만 내 수로의 최저속력 설계에 대한 연구를 지속해야 할 것이다.

5.3.2 안전운항관리를 위한 고장선박 판단기법

(1) 최근 5년간 우리나라 해역에서 발생한 해양사고를 종류별로 구분하면, 기관고장 사고가 연간 평균 698건으로 가장 많이 발생했다. 그러나 손상 측면에서는 99.9%가 경손으로 선박 자체의 피해는 크지 않은 편이나, 항만 부근 등 제한된 수역에서 기관고장 등을 포함한 조종불능 사고가 발생하면 2차 사고가 예상 될 수 있다.

(2) 관제구역을 포함한 제한된 수역에서 고장 사고를 예측하기 위해 VTS에서 획득할 수 있는 AIS 데이터를 변수로 예측 모델을 만들었다. Case는 요인들을 모두 포함한 경우와 가장 설명력이 좋은 평균속력 대비 현재속력의 비율을 제외한 경우, 두 가지로 분류했다. 90%이상의 정확도를 좋은 모델로 평가하며, 의사결정나무로 도출된 예측 모델은 모두 설명력 있는 모델로 볼 수 있다.

(3) 실험역에 적용했을 때, 의사결정나무 모델은 75.02%로 다소 낮은 정확도를 보였다. 이는 사용한 데이터가 7개 사고의 342건 데이터로 비교적 적었으며, 선박을 접안하기 위해 속력을 줄이는 선박이나 묘박을 하기 위해 속력을 줄이는 경우가 있으므로, 위치에 따른 요인 (묘박지 구역 내·외, 부두 주변 구역 등)은 고려되어야 할 것으로 사료된다.

추후에는 이러한 사항을 포함하여 관제구역 내 고장 상황을 판단하는 모델 개발의 지속적인 연구가 필요할 것이다.

제 6 장 결론

3면이 바다인 지리학적 특징으로 우리나라는 해상운송이 활발하게 발달했으며, 이에 따라 해상물동량은 지속 증가하고 있다. 더불어 해양관광의 지속적인 홍보로 해양레저 스포츠, 섬 여행 등을 즐기는 국민들이 증가하고 있다. 즉 물동량 증가로 인한 해상교통 증가와 더불어 해양을 이용하는 국민도 증가하여 해상안전에 대한 중요성이 더욱 높아졌다는 것을 알 수 있다.

관제사는 선박의 충돌사고 예방과 원활한 교통흐름을 위해 VTS 시스템을 통해 선박의 움직임을 실시간으로 모니터링하고 충돌위험 상황을 인지하는 업무를 수행한다. 그리고 관제대상 선박이 적절한 조치를 하여 사고를 미연에 방지할 수 있도록 정보제공, 조언, 권고, 지시 등을 한다. VTS의 근본적인 목적은 관제구역 내 선박이 안전하지 못한 상황이 발생하기 전에 최적의 정보를 항해사나 도선사에게 제공하여 사고를 예방하는 것이다. 그러므로 어느시점에, 누구에게, 어느위치에서 정보를 어떻게 효율적으로 제공해야하는지에 대한 의사결정 판단이 관제사에게는 매우 중요하다고 할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 효율적인 해상교통관제를 위해 관제구역의 교신 데이터, 해상교통조사 데이터, 해상교통관련 사고 데이터를 분석을 통해 관제사의 의사결정을 지원할 수 있는 기준을 제시하고자 했다.

본 연구를 종합하면 다음과 같다.

제1장에서는 효율적인 해상교통관제를 위한 의사결정지원 모델의 필요성을 언급하고 의사결정지원 모델 개발을 목적으로 연구흐름을 제시했다.

제2장에서는 해상교통관제의 정의, 서비스와 관제사에게 필요한 의사결정지원 모델에 대해 고찰했다.

제3장에서는 부산북항 VHF 교신 분석을 통해 PARK 모델에 의한 위험도 5.0 이상의 선박을 관제구역 내에서 단위시간 당 관제할 확률이 푸아송 분포를 따름을 확인했다. 이를 통하여 장래의 위험도 5.0의 선박을 관제할 시간간격을 예

측할 수 있었으며, 이는 관제사에게 시간적 교신 시점에 대한 의사결정을 지원할 수 있다.

한편 관제사는 해상교통량이 업무 부담에 미치는 영향이 크고 이러한 업무부담은 인적과실로 인한 해양사고로 연결될 수 있음을 선행연구를 통해 확인했다. 이를 기반으로 부산신항 부근의 해상교통조사 데이터를 이용해 공간분석, PARK 모델 위험도 평가를 실시함으로써 상대적으로 위험한 구역을 도출할 수 있었다. 이는 관제사에게 공간적 교신 시점에 대한 의사결정을 지원할 수 있다.

제4장에서는 대기행렬 이론을 이용해 부산북항 내 VHF 교신 현황을 정량적으로 분석하고 안전하고 효율적인 해상교통 관리를 위해 교신 혼잡도를 줄이는 방안을 3가지 제시했다. 이는 대기행렬 이론의 각 요소로 교신 채널의 증대, 통과 보고의 생략, 선박 동정보고시간의 감소이다.

제5장에서는 관제구역 내 항로의 효율적인 운영을 위해 최소 속력을 설계하기 위한 기초 단계로, 최소 속력을 제한했을 때 항로로 접근하기 위한 선박의 대기시간에 미치는 영향을 분석했다. 부산북항의 해상교통조사 데이터를 이용해 시뮬레이션을 설계했으며, 시뮬레이션 결과 대기시간과 속력 제한은 음의 관계가 있었다. 다시 말해서 속력제한이 높을수록 대기시간을 줄여주고, 속력제한이 낮아지면 대기시간이 늘어난다는 의미이다. 더불어 안전거리와 대기시간은 양의 관계, 교통량과 대기시간은 양의 관계로 분석되었다. 그리고 우리나라 해역에서 가장 빈번하게 발생하고 있는 기관고장 및 타기고장을 포함한 조종불능 선박을 AIS 데이터를 기반하여 사고 유무를 식별할 수 있는 모델을 만들고자 했다. 실제 사고가 발생한 데이터를 이용해서 모델을 만들었으며, 높은 설명력을 나타냈다. 그러나 실제 부산북항 해상교통조사 데이터에 적용했을 때에는 정확도가 다소 떨어졌으며, 부두, 묘박지, 도선점으로 접근하는 선박에 대한 추가 조건에 대한 연구가 필요할 것으로 분석되었다.

Table 36은 본 연구에서 도출된 의사결정을 위한 결정요인 및 이에 따른 결과를 나타내는 표이다. 의사결정지원 대상은 시간적/공간적 교신시점, 의사소통 관리방안, 안전운항 관리방안이다. 그리고 결정요인은 관제센터에서 얻을 수 있

는 데이터를 이용했으며, 이에 따른 결과는 아래와 같다.

Table 36 Result of decision making supporting model for VTS operators

대상	결정요인	결과	해역
시간적 교신시점	당직시간대 PARK 모델 위험도 교신시간	<ul style="list-style-type: none"> 주간시간대 2.85시간당 1회 위험상황 직접관제 3.84시간당 1회 관제채널 내 선박 간 교신을 통해 위험상황 간접관제 	부산 북항
공간적 교신시점	PARK 모델 위험도 선박 수	<ul style="list-style-type: none"> PARK 모델 위험도 및 단위면적당 L^2 환산교통량 수는 2구역(가덕수도) 및 1구역(주의해역)이 상대적으로 높음 	부산 신항
의사소통 관리방안	교신시간	<ul style="list-style-type: none"> 피크타임 관제 채널 분리 시 최대 41.1% 감소 통과보고 생략 시 이용률 5.7% 감소 선박동정보고의 시간 감소 시 이용률 최대 8.35% 감소 	부산 북항
안전운항 관리방안	시간당 선박 척수 안전거리	<ul style="list-style-type: none"> 3kt 속력 규제 시 대기시간 최대 16% 감소 5kt 속력 규제 시 대기시간 최대 25% 감소 7kt 속력 규제 시 대기시간 최대 34% 감소 	부산 북항
안전운항 관리방안	AIS 데이터	<ul style="list-style-type: none"> 평균속력대비 현재속력 비율이 88.6% 보다 작은 경우 평균속력대비 현재속력 비율이 88.6% 보다 크며, 속력변화율이 0.8kt 보다 큰 경우 평균속력대비 현재속력 비율이 88.6% 보다 크며, 속력변화율이 0.8kt 보다 작으며, 속력비율이 99.3%보다 작을 경우 단, 묘박지, 부두, 도선점 접근선박을 제외 	부산 북항

- (1) 부산북항의 경우 주간시간 2.85시간당 1회 위험상황의 관제 교신이 존재하며, 3.84시간당 1회 위험상황에 대한 선박 간 교신이 존재함
- (2) 부산신항의 경우 PARK 모델 위험도평가 및 단위면적당 L^2 환산교통량을 이용한 밀집도 평가 결과, 2구역(가덕수도) 및 1구역(신항입구)이 상대적으로 우선관제가 필요한 구역임
- (3) 부산북항의 경우 피크타임 (06:00~19:00) 관제 채널 분리 시 관제채널 이용률이 최대 41.1% 감소하며, 통과보고를 생략 시 관제채널 이용률 최대 5.7%

감소함. 아울러 출·입항 보고 등의 의무인 선박동정보고 시간을 20% 감소 시 관제채널 이용률 2.59%, 40% 감소 시 관제채널 이용률 5.40%, 60% 감소 시 관제채널 이용률 8.35%가 감소함

- (4) 부산북항의 경우 3kt 속력 규제 시 대기시간 최대 16%, 5kt 속력 규제 시 대기시간 최대 25%, 7kt 속력 규제 시 대기시간 최대 34% 감소함
- (5) 고장선박을 분류하기 위해 가장 큰 영향을 미치는 요인은 평균속력 대비 현재속력의 비율임. 그리고 평균속력대비 현재속력 비율이 88.6% 보다 작은 경우, 평균속력대비 현재속력 비율이 88.6% 보다 크며, 속력변화율이 0.8kt 보다 큰 경우, 평균속력대비 현재속력 비율이 88.6% 보다 크며, 속력변화율이 0.8kt 보다 작으며, 속력비율이 99.3%보다 작을 경우는 고장선박으로 분류함. 그러나 묘박지, 부두, 도선점으로 접근하는 선박을 구분하는 연구가 추가적으로 필요함

본 논문의 결과를 적용하면, 관제사는 의사결정을 위해 다음의 정보를 얻을 수 있다.

- (1) 주간시간을 기준으로 먼저 Figure 58을 통해 관제구역 1,2항로 및 N-5 정박지 부근이 선박 통항량이 많고(b) 위험도가 높은 것(a)을 알 수 있다.
- (2) 당직 중 2.85시간 당 1회 위험한 상황의 관제가 있을 것으로 예상하며, VHF 관제 채널을 통해 3.84시간당 1회 위험상황의 선박 간 교신이 있을 것으로 예상할 수 있다.
- (3) VHF 채널이 혼잡 시 관제채널의 증설, 선박동정보고 시간의 감소, 통과보고 생략을 통해 채널 이용률을 최대 41.1% 감소시킬 수 있다.
- (4) 안전에 지장이 없다면, 1항로 방파제 부근의 혼잡을 피하기 위해 항로의 최저속력을 3kt 제한했을 때, 대기시간 16%, 5kt 제한했을 때, 대기시간 25%, 7kt 제한했을 때, 대기시간 34% 감소가 가능하다.
- (5) 묘박지, 부두, 도선점으로 접근하는 선박을 제외하고는 평균속력대비 현재속력 비율로 75% 정확도의 고장선박의 분류가 가능하며, 이를 중점적으로

관제할 수 있다.

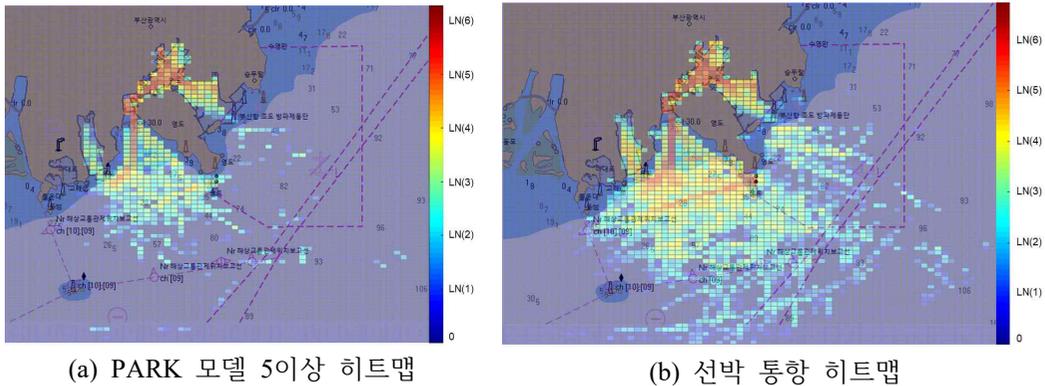


Figure 58 PARK model & traffic density map (day time)

이와 같이 본 연구는 효율적인 해상교통관제를 위한 관제사 의사결정지원 모델을 제안하고자 했다. 이를 위해 실해역 해상교통조사 데이터 및 관제구역의 교신자료를 이용했다. 그리고 각각의 결정요소별 데이터를 통한 정량적 결과와 이에 대한 의사결정 기술을 제시했다. 본 연구에서는 부산항을 대상으로 실증을 했으나, 제시한 기술을 우리나라 VTS가 설치된 항만에 적용한다면 우리나라 모든 항만 VTS에서 사용할 수 있는 의사결정지원 모델로 발전할 수 있을 것으로 사료된다. 아울러 본 연구에서는 다루지 못했지만, 일부 설치되어 운영 중이며, 추후에는 우리나라 해역의 전역에 설치될 연안 VTS에 대한 의사결정 지원 기술도 확장되어 연구가 되어야 할 것이다.

참고문헌

- 국민안전처, 2016. *보도자료 : 전국 해상교통관제 센터장 한자리에 모여*
- 국토해양부, 2013. *해상교통관제 백서*.
- 김광일, 정중식, 박계각, 2012. 해상교통류 평가모델 개발에 관한 연구. *한국지능시스템학회*, 22(6), pp.761-767.
- 김광일, 정중식, 박계각, 2014. 선박위치 클러스터링을 활용한 해상교통 근접사고 산출에 관한 연구. *한국지능시스템학회*, 24(6), pp.603-608.
- 김경태, 2008. *남해안 주요항만 위험도 분석을 통한 집중 안전관리 방안에 관한 연구*. 박사학위논문. 목포해양대학교 대학원.
- 김득봉, 2014. *항만과 수로의 제한속력 설정 모델 개발에 관한 연구*. 박사학위논문. 부산:한국해양대학교 대학원.
- 김봉현, 2015. *VTS 통신 분석을 통한 해상 위험 요소 식별에 관한 연구*, 석사학위논문. 부산:한국해양대학교 대학원.
- 김정호, 2016. *해상교통관제사의 직무 스트레스와 상황인식이 관제 인적과실에 미치는 영향*. 석사학위논문. 부산대학교 대학원.
- 김종관, 2018. *항로 안전성 확보를 위한 공간좌표기반의 해상교통 동적 항행패턴 분석에 관한 연구*. 박사학위논문. 부산:한국해양대학교 대학원.
- 김종성, VTS관제사의 최소안전거리에 관한 기초 연구, 2013, *해양환경안전학회지*, 19(5), pp.476-482.
- 김혜진, 오재용, 2018. 중심점 기법을 이용한 통항패턴 분석에 관한 연구. *한국항해항만학회지*, 42(6), pp.453-458.
- 남해지방해양경비안전본부, 2014. *부산권해역 VTS 체계개선 기본조사설계 용역 최종보고서*, 남해지방해양경비안전본부.
- 도로교통안전관리공단, 1988. *과속 교통사고 방지 종합대책*, 서울:도로교통공단.
- 문범식, 정재용, 국승기, 김세원, 박진수, 2002. 목포연안에서의 연안VTS설치에

- 관한 연구. *한국항해항만학회지*, 26(2), pp.1-8.
- 박성용, 박진수, 강정구, 박영수, 2008, 교통량 분석을 통한 항만 VTS 관제사의 업무량 평가. *한국항해항만학회지*, 32(8), pp.569-576.
- 박영수, 2009. 우리나라 항만에서의 항행 최저속력 규제에 관한 연구. *한국항해항만학회지*, 33(1), pp.1-7.
- 박영수, 정재용, 김종성, 2010. 선박운항자 안전 의식에 기초한 선박통항 최소 이격거리에 관한 연구. *해양환경안전학회지*, 16(4), pp.401-406.
- 박영수, 정재용, 2014. 선박 점용영역 분석을 통한 해상교통혼잡도 고찰. *해양환경안전학회지*, 20(5), pp.535-542.
- 박진수, 김준옥, 2000. 포항항의 VTS 서비스구역 설정에 관한 연구, *해양환경안전학회지*, 6(2), pp.1-15.
- 박창이, 김진석. (2008) R을 이용한 데이터마이닝. 교우사
- 손휘동, 2004. 부산신항 VTS서비스 범위에 관한 연구, 석사학위논문. 부산:한국해양대학교 대학원.
- 신혜정, 2016. 의사결정 분류나무를 위한 다양한 R패키지들에 대한 비교 분석. 석사학위논문. 서울:이화여자대학교 대학원.
- 양영훈, 오세웅, 2016. 해양사고 예방을 위한 한국형 e-Navigation 서비스 핵심 기술 개발 방향에 관한 연구, *한국해양경찰학회보*, 6(2), pp.63-76.
- 엄한찬, 장운재, 조정민, 조익순, 2012. 해상교통혼잡도 평가현황 분석을 통한 진단기술기준 개선연구, *해양환경안전학회지*, 18(5), pp.416-422.
- 오재용, 김혜진, 박세길, 2018. AIS 데이터 분석을 통한 이상 거동 선박의 식별에 관한 연구, *한국항해항만학회지*, 42(4), pp.277-282.
- 이진석, 2017. 해상교통관제사 관점에서의 선박충돌위험도 평가모델 개발에 관한 연구, 박사학위논문, 부산:한국해양대학교 대학원.
- 이진석, 정민, 송재욱, 2015. 최근접점 상대방위에 따른 선박충돌위험알고리즘 개발에 관한 연구. *한국항해항만학회지*, 39(6), pp.493-498.
- 이창희, 2013. 항법적용의 시점에 관한 소고. *도선논단*, pp.56-61.

- 이형기, 장성록, 박영수, 2009. 해양사고 통계분석을 통한 VTS 개선방안에 관한 기초연구, *한국항해항만학회지*, 33(8), pp.519-524.
- 장은규, 김정호, 2017. VTS 시뮬레이터 기반 해상교통관제사 직무역량분석. *한국해양경찰학회보*, 7(3), pp.139-158.
- 청와대, 2018. 부산항 미래비전 선포식 축사. Available at: <http://www1.president.go.kr/c/president-speeches?page=19/> [Accessed : 30 April, 2019].
- 충북대학교, 2018. 해상교통관제(VTS) 인력 효율적 증장기 운영방안 연구용역, 해양경찰청.
- 해양수산부, 2016. 선박자동식별시스템 수신을 향상을 위한 개선방안 마련 연구
- 해양수산부, 2019. 해양사고위치정보. Available at: <http://www.kmst.go.kr/> [Accessed : 1 April, 2019].
- 해양수산부, 2019. 해양사고 현황 보고서, 해양수산부.
- Baek, I. H., 1998. An Analysis of Ship Turnaround Time in the Port of Incheon. *The Journal of the Korean Society for Fisheries and Marine Sciences Education*, 10(1), 1-14.
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie(BSH), 2014. *German Traffic Regulations for Navigable Maritime Waterways*, Hamburg:BSH.
- Coldwell TG., 1983. Marine traffic behaviour in restricted waters. *Journal of Navigation*, 36(3), pp. 430-444.
- Christopher D. Wickens, Justin G. Hollands, Simon Banbury, Raja, 2003. *공학심리학*, 시그마프레스.
- Davis PV, Dove MJ, & Stockel CT., 1980. A computer simulation of marine traffic using domains and arenas. *Journal of Navigation*, 33(1), pp. 215-222.
- Davis PV, Dove MJ, & Stockel CT., 1982. Computer simulation of multi-ship encounters. *Journal of Navigation*, 35(2), pp. 347-352.
- Dittman, D.J., Khoshgoftaar, T.M., & Napolitano, A., 2015. The effect of data sampling when using random forest on imbalanced bioinformatics data.

- Information Reuse and Integration (IRI) 2015 IEEE International Conference*, pp.457-463.
- Fujii Y, Tanaka K., 1971. Traffic capacity. *Journal of Navigation*, 24(4), pp. 543-552.
- Goodwin EM., 1975. A statistical study of ship domains. *Journal of Navigation*, 28(03), pp.328-344.
- Giulianana Pallotta, Michele Vespe & Karna Bryan, 2013, Vessel Pattern Knowledge Discovery from AIS data: A framework for anomaly detection and route prediction. *entropy*, 5, pp.2218-2245.
- Hess, M., Kos, S., & Hess, S., 2007. Queueing System in Optimization Function of Port's Bulk Unloading Terminal. *Promet - Traffic&Transportation*, 19(2), 61-70.
- Inoue, K., Hara, K., 1973. Relations between the Number of Observational Days and the Accuracy on the Estimation of Average Annual Daily Traffic Volume, *Japan Institute Navigation*, 50, pp.1-8.
- Inoue, K., Kawase, M., 2007. Innovative Probabilistic Prediction of Accident Occurrence. *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 1(1), pp.19-22.
- International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA), 2014. IALA Guideline 1110 Use of decision support tools for VTS personnel
- International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA), 2016. *Vessel Traffic Services Manual - Edition 6*
- International Maritime Organization (IMO), 1997. *Guidelines for Vessel Traffic Services*, Assembly Resolution A.867(20).
- Jang, Y.T., 1991. A Methodology on the Estimation of Ship Waiting Times in a Port. *Ocean and Polar Research*, 13(2), pp.57-67.
- Jeong, J.Y, Park, Y.S., Park, J.S., 2006. A Study on the Ship's Domain in the

- Restricted Water(I), *Proceeding of Navigation and Port Research*, 30(2), pp.5-7.
- Japan Coast Guard, 2010. *Sailing Directions for Seto Naikai*, Pub.303, Tokyo:Hydrographic and Oceanographic Department.
- Kim, B.H., 2015. *A Study on the analysis of VTS communications for the identification of marine risk factors*. Master Thesis, Korea Maritime and Ocean University.
- Kim, J.S., 2014. *A Study on the Development of Marine Traffic Assessment Model based on Vessel Operator's Risk Consciousness*, PhD. Dissertation, Mokpo Maritime University.
- Kim, S.J., 2015. *A Basic Study on Operation Effectiveness of Vessel Traffic Service(VTS)*, Master thesis, Korea Maritime and Ocean University.
- Koo, J.Y., 1997. Evaluation of Traffic Congestion in Channels within Harbour Limit - On Channels in Ulsan New Port Development. *Journal of Port and Harbor Research*, 8, pp.61-77.
- Korea Coast Guard, 2019. *Communication process in Busan port*, Available at: <http://www.kcg.go.kr/kcg/vts/main.do>. [Assessed 6 May 2019].
- Lee, M.K., S.W. Park, Y.S. Park, M.J. Park & E.K. Lee, 2019. Analyzing the Factor Affecting the Safe Maritime Navigation for Training Apprentice Officers. *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 13(2), pp.393-399.
- Lee, H.W., 1998, *Queuing Theory*. Sigma press.
- Lee, J.H., Park, N.K., 2018. A Study on the Gap between Theoretical and Actual Ship Waiting Ratio of Container Terminals: The Case of a Terminal in Busan New Port. *Journal of Korea Port Economic Association*, 34(2), pp.69-82.
- Lee, K.Y., Lee, G.S., Kim, E.S., & Jeong, M.Y., 2015. Evaluation of Waiting Ratio to Develop Port Service Index for Domestic Ports. *Proceedings of Korean Institute Industrial Engineers in Jeju*, pp.111-115.

- Marine Department(Mardep) Hong Kong, 2019, Publications and Press Releases, Available at:<http://www.mardep.gov.hk>, [Accessed 8 Nov. 2019].
- Maritime and Port Authority of Singapore(MPA), 2009. *Speed Limit at the West Coast Pier(WCP)*, Singapore:MPA.
- Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, Jorg Sander & Xiaowei Xu., 1996. A Density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. *KDD-96 Proceedings*, pp.226-231.
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), 2007. *Basic research for harmonious operation of Vessel Traffic Service system - final report*.
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), 2019. *The number of vessels that depart and arrive on South Korea port*, Available at : <http://portmis.go.kr>. [Accessed 6 May 2019].
- Ministry of oceans and fisheries (MOF), 2015. *The number of vessels that depart and arrive*, Available at: <http://www.spidc.go.kr> [Accessed : 1 June. 2016].
- Navarro, M.M., Bano, R.M.L.P., Cheng, M.D.C., Torres, M.B., Kurata, Y.B. & Gutierrez, M.T.E., 2015. Queuing Theory Application using Model Simulation: Solution to address Manila Port Congestion. *Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference*, pp.1109-1114.
- National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA), 2011, Petition to Establish a 10 knot Speed Limit for Vessel Traffic within National Marine Sanctuaries Off the California Coast, Washington DC:NOAA.
- New South Wales Government(NSW), 2019. Marine Safety Act 1998 No 121, Available at: <https://www.legislation.nsw.gov.au>, [Accessed 9 Nov. 2019].
- Nguyen, X.T., 2014. *A Study on the Development of Real Time Supporting System (RTSS) for VTS Officers*. Ph D. thesis, Korea maritime and ocean university.
- Park, J.S., Park, Y.S. & Lee, H.K., 2013. *Marine Traffic Engineering*, Dasom.

- Park, S.W., 2015. *A Basic Study on guideline to proper control time on each ship's encounter situation*, Master thesis, Korea Maritime and Ocean University.
- Park, S.W. & Park Y.S., 2016. A Basic Study on Development of VTS Control Guideline based on ship's operator's Consciousness, *Journal of Korean Institute of Navigation and Port Research*, 40(3), pp.105-111.
- Park, M.S., Park, B.I. & Park, K.T., 1999. An Analysis on the Ship Handling System at a Container Terminal using Queueing Theory and Simulation simultaneously. *Korean Academic Society of Business Administration*, 28(1), pp.151-166.
- Park, S.W., Cho, H.N. & Seo, S.H., 2012. 24 hour communication analysis for improving VTS communication efficiency. *Proceedings of the Journal of Navigation and Port Research*, pp.545-547.
- PIANC, 2014, *Harbour approach channels design guidelines*
- Port of London Authority, 2012. *Port of London Thames Byelaws 2012*, London :Port of London Authority.
- Port of Rotterdam, 2014. *Port Information Guide*, Rotterdam:Harbour Master Port of Rotterdam.
- Reason, J.T., 1997. *Managing the risks of organizational accidents*, Ashgate.
- Rafal Szlapczynski, 2011. Evolutionary Sets Of Safe Ship Trajectories: A New Approach To Collision Avoidance. *The Journal of Navigation*, 64, pp.169-181.
- Robert, L., 1977. A Queuing System Approach for the Design of Coast Guard Vessel Traffic Services Communications. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 25(4), pp.239-246.
- Seattle Police Department (SPD), 2013. *Boating Regulations & Information*, Available at:<http://www.seattle.gov>, [Accessed 8 NOV. 2019].
- Sheng-Long Kao, Kuo-Tien Lee, Ki-Yin Chang & Min-Der Ko, 2007. A Fuzzy Logic Method for Collision Avoidance in Vessel Traffic Service, *The Journal*

- of Navigation*, 60, pp.17-31.
- S. Kum, M. Furusho, O. Duru & T. Satir, 2007. Mental Workload of the VTS Operatos by Utilising Heart Rate, *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 1(2), pp.145-151.
- Tabata, Y., 1994. *Basic Statistics*, Samyoungsa.
- The Maritime Human Resource Institute, 2012. *Safe Navigation in the Kanmon Kaikyo*
- The Nautical Institute, 2018. *Vessel Traffic Services - how to take the right direction*
- Tsou, M.-C., Kao, S.-L., and Su, C.-M., 2010. Decision Support from Genetic Algorithms for Ship Collision Avoidance Route Planning and Alerts. *The Journal of Navigation*, 63, pp.167-182.
- Yang Zhou, Winnie Daamen, Tiedo Vellinga, Serge P. hoogendoorn, 2019. Ship classification based on ship behavior clustering from AIS data, *Ocean Engineering*, 175, pp.176-187.
- Yoo Sang-Lok, 2018. Near-miss density map for safe navigation of ships, *Ocean Engineering*, 163, pp.15-21.
- Weibin Zhang, Floris Goerlandt, Jakub Montewka & Pentti Kujala, 2015. A method for detecting possible near miss ship collisions from AIS data, *Ocean Engineering*, 107, pp.60-69.