

예산 제약하 관제구역 최대화를 위한 추가적인 해상교통관제서비스(VTS)의 입지 선정 문제

한준수 · 김현우 · 정승은 · 이진호[†]

해군사관학교 국방경영학과

Additional Vessel Traffic Services (VTSs) Location Problem for Maximizing Control Area Subject to Budget Limitation

Junsoo Han · Hyunwoo Kim · Seungeun Jung · Jinho Lee

Department of National Defense Management, Korea Naval Academy

Vessel Traffic Service (VTS) is the service that provides ships navigating on a sea transportation route with guidance and advice about geographical environment and other attentive information for their safety. In this study we point out that currently, constructing additional VTSs is required to prevent ships from unexpected accident on their navigation. We first select several candidate locations for constructing VTSs, based on the amount of marine transportation and its potential development possibility. Then, we present an optimization model in which the maximum area coverage is achieved by determining new locations of VTS subject to budget limitation. The problem can be modeled as a binary integer program and it provides an optimal solution for new VTS locations to be constructed under the consideration of the currently located VTSs in Korea.

Keywords: Vessel traffic service, Maximal covering location problem, Integer programming

1. 서론

선박을 이용한 해상 운송은 오랜 기간 인류의 교류와 발전에 크게 이바지하여 왔다. 해상을 통한 수송은 오늘날에도 여전히 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 우리나라도 물류의 99%가 해상을 통해 이루어지고 있다(Korean Statistical Information Service, 2013). 또한 해상 운송량은 해마다 증가하고 있으며, 늘어나는 해상 운송량에 발맞추어 선박 또한 대형화 및 전문화되고 있다. 이렇듯 물류 이동에 중요한 역할을 담당하고 있는 해상 운송은 항해 중 해양사고가 발생할 경우에 그 피해규모 또한 매우 심각한 수준이다. 이는 해양사고를 통해 손실되는 인적, 물적 피해 뿐만 아니라 사고를 통해 발생하는 해양오염 및 재난구조에 투입되는 자산까지 고려되어야 하기 때문이다. 그 대표적인 예로써, 2007년 충남 태안반도에서 유조선-크레인 간 발생한 충돌

사고는 1만 톤이 넘는 원유의 유출로 엄청난 자연환경 파괴와 이로 인한 지역주민의 생업에 막대한 지장을 초래하였다(Jeong, 2007). 또한 2014년 2월 부산 앞바다의 유조선 기름 유출 사고는 조류의 흐름으로 거제지역에까지 피해를 입혔다(Lee, 2014). 무엇보다도 가장 최근에 발생한 세월호 여객선 침몰은 300명에 달하는 어마어마한 인명의 목숨을 앗아가는 비극적인 사고였다. 이처럼 해양사고 발생 시 그 피해규모는 예측할 수 없을 정도로 상당하며 단순히 경제적인 피해뿐만 아니라 인명 피해와 해양 오염 등에 대한 심각성도 치명적이다.

이러한 해양사고를 사전에 방지하고 항만 운영의 효율성 제고를 위하여 항만 VTS(Vessel Traffic Service)가 1993년 1월 포항항에 처음 도입된 이후 현재까지 여수, 울산, 마산, 인천, 경인, 대산, 평택, 부산, 동해, 제주, 목포, 군산, 부산 신항, 완도 등 전국 15개 주요 항만에 설치되어 운영되고 있다(Shipping and

제3회 산업융합 활성화 방안 연구논문 공모전 수상작.

[†] 연락저자 : 이진호 교수, 645-797 경남 창원시 진해구 중원로 1 사서함 88-1 해군사관학교 국방경영학과, Tel : 055-549-1234, Fax : 055-549-0033, E-mail : jinholee@utexas.edu

2015년 2월 9일 접수, 2015년 3월 15일 수정본 접수, 2015년 5월 11일 게재 확정

Port Integrated Data Center, 2014). 또한 항만 VTS에 추가하여, 연안에서 항해중인 선박의 안전과 원활한 운항을 지원하기 위해 해경에서 운영하는 연안 VTS가 진도, 여수, 통영에 설치되어 있다(Korea Coast Guard, 2013). 그럼에도 불구하고, 2014년 4월 16일 진도 앞바다에서 발생한 세월호 침몰사고는 크나큰 인명 손실을 가져왔고 이 사고를 계기로 우리 사회에서 VTS의 역할 및 중요성에 대한 문제가 큰 이슈로 떠오르게 되었다.

VTS 시스템은 해상사고를 사전에 예방하고 사고가 발생했을 경우 효과적인 대응을 위해 설치되어 온 것으로(Vessel Traffic Services Center, 2014), 레이더, 해상교통관제 상황을 실시간으로 저장하여 재생할 수 있는 녹화 장비, 각종 신호정보를 전송하기 위한 설비, 초단파대 무선통신 장비, 방향탐지기, 기상관측 장비, 폐쇄회로 텔레비전, 선박 자동식별 장치와 항만 및 연안 해역에서 선박의 이동을 관측할 수 있는 선박 모니터링 시스템 등으로 구성되어 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2012). 다시 말해 VTS는 해양교통관제서비스를 제공하는 시스템으로서 선박통항의 안전과 효율성을 증진시키고 해양환경을 보호하고자 하는 목적으로 항만과 출입항로를 항해하거나 이동하는 선박의 움직임을 레이더, CCTV, VHF 등의 전자통신장비로 관찰 또는 교신하여 선장의 권한을 침해하거나 의무를 면제하지 않는 범위 내에서 안전 운항을 위한 조언 또는 필요한 정보를 제공하는 서비스 업무를 말한다.

앞서 언급되었듯이 VTS는 크게 항만 VTS와 연안 VTS로 구별되는데, 항만 VTS는 주로 항구 또는 항만까지의 선박통항에 관련된 것이며 연안 VTS는 해당 연안을 통과하는 선박에 대해 안전 운항 정보를 제공하는 서비스 업무이다(Jeong *et al.*, 2013). 이에 따라 항만 VTS는 통상 항행지원서비스와 통항관리서비스를 제공하며, 연안 VTS는 정보제공서비스만 지원한다. 기능과 역할이 다른 탓에 그 소속도 다르게 편성되어 있는데, 항만 VTS는 해양수산부(Ministry of Maritime Affairs and Fisheries)에 소속되어 관할 항만 및 해역, 교통안전 특정해역을 관제구역으

로 지정하여 운영하고 있으며, 연안 VTS는 해양경찰청에 소속되어 연안해역을 담당하고 있다(Jeong, 2014).

현재 총 15개의 항만 VTS가 우리나라 전 해역에 걸쳐 운용되고 있으나, 하나의 VTS에서 관제할 수 있는 최대 관제범위는 반경 12마일이며, 이는 우리나라 연안해역을 모두 감시하여 선박 운항에 대한 서비스를 제공하기에는 부족한 실정이다(Kang, 2014). 그러므로 관제범위를 벗어나서 항해하는 선박들에 대해 긴급 상황 발생 시 적시에 적절한 조치를 치하기가 어려운 상황이다. 최근 5년간(2009~2013년) 연평균 발생한 해양사고는 754건에 달하는데 이 가운데 VTS 관제구역 내에서 발생한 사고는 40~50건으로 전체의 5~6%에 지나지 않는다(Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, 2014a). 이처럼 VTS가 관제할 수 있는 영역 내에서는 해양사고의 발생 빈도가 낮게 나타나지만 VTS 관제를 벗어난 음영구역에서는 사고 발생 횟수가 높게 나타나고 있다. 이러한 문제점에 대한 대안으로 한국해양수산개발원은 광역관제 체계를 구축하고 도서 및 해상 장애물 등에 의해 발생하는 음영구역을 별도로 감시할 수 있도록 레이더 기지를 추가로 설치해야 한다고 밝힌 바 있다(Park, 2014). 해경은 현재 3개를 보유하고 있는 연안 VTS를 2020년까지 동해, 서해, 남해 전 해역에 8개를 추가 설치하여 총 11개의 VTS 체계를 구축한다는 계획을 가지고 있다(Park, 2014). 또한 기획재정부와 해양수산부에 따르면, 정부는 2015년 해양수산부 예산으로 4조 6000억 원을 투입하고 이 중 해양재난 및 안전관리 강화 예산으로 총 1조 4340억을 편성했다(Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, 2014b). 그 중 1458억 원을 세월호 사고 후속대책으로 투입하기로 하였는데 이는 세월호 참사와 같은 비극이 되풀이 되지 않도록 하기 위한 안전교육, 장비보강, 시스템 개선 등에 주로 사용될 예정이다(Baek, 2014). 특히 VTS 구축에 대한 예산은 235억 원이 책정될 정도로 현재 VTS 추가 구축은 정부 차원에서 추진하는 정책이자 추가적인 대형 참사를 막기 위해 시급한 과제 중 하나로 떠오르게 된 것이다(<Table 1> 및 <Figure 1> 참조).

Table 1. Annual budgets assigned for follow-up of Sewol accident in 2015

Classification	Assigned Budget (amount increased) *unit : 100 million won(₩)	Detailed contents
Education and Training	345 (+96)	Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology Support : 209 Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology Educational Equipment Change : 111 Ship Transport Safety Secure(Education) : 25
System Improvement	452 (+135)	Ship Transport Safety Secure(System Improvement) : 20 Marine Accident Preventive Action Support : 53 VTS Construction : 235 Korea Ship Safety Technology Authority Support : 134 Port Passenger Terminal Operation : 10
Equipment/ Facility Reinforcement	660 (+108)	Fleet Structure Improvement Fund Support : 40 State Coffers Passenger Ship Building : 72 Facility Expansion : 548
Total	1,458	-

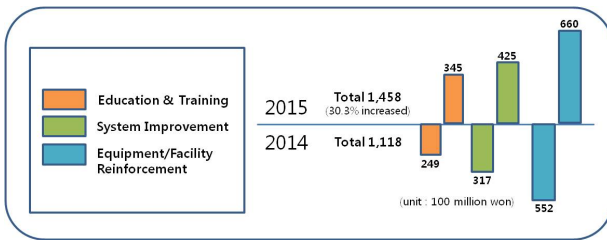


Figure 1. Annual budgets in 2015 compared to the one in 2014

해상에서 발생하는 재난 및 그에 따른 구조 대책은 다양한 분야와 범위에서부터 이루어져야 할 것이다. 이는 VTS의 추가 설치뿐만 아니라 선박에 대한 규제, 승무원 교육, 정보교환 시스템 이외에도 관련 법규와 제도의 개선 등 다방면에서 추진되어야 할 것이다. 본 연구에서는 정부에서 세월호 후속대책으로 추진하는 다양한 과제 중 VTS의 추가 설치 문제를 고려한다. 먼저 추가 설치할 후보 장소(후보항)를 선정하고, 다음으로 최적화 모형을 통해 설치 장소를 결정하고자 한다. 이는 정부에서 추진하고자 하는 정책에 대하여 경영과학적 의사결정기법을 활용함으로써 정책 입안자에게 참고자료를 제공하고 정책을 뒷받침하는데 그 의의가 있다고 할 수 있다.

2. 관련 연구 현황

VTS와 관련한 연구들은 최근에 비교적 많은 관심을 받으며 학술적, 실용적 측면에서 뿐만 아니라 법적 측면에서도 진행되어 왔다. 가장 기본적으로는 VTS의 역할에 대해 고찰하는 연구에서부터 시스템의 기능과 기술적인 개선방안에 대한 제한 및 운용상의 효율성을 증대시키기 위한 방안에 이르기까지 다양한 연구결과들이 발표되었다.

먼저 VTS 관련 법제에 대한 연구를 살펴보면, Kim(2009)은 향후 VTS 확대 시행에 예상되는 상황을 고려한 입법적 해결 방안을 제시하였고, Ko *et al.*(2011)은 해상교통 관제제도에 관한 미흡한 법률과 이로 인한 문제점 그리고 개선방안을 제안하였다. Park and Lee(2011)는 항공교통관제제도와 비교하여 국내 VTS 관련 법제를 비교하였고, Kim *et al.*(2012)은 현행 VTS의 미비점을 보완하고 현장집행능력의 강화에 따른 성과를 고찰한 연구를 제시하였다. 이처럼 최근 5년 사이에 VTS 관련 법제에 대한 문제점을 제기하고 그에 대한 해결책을 제시하고자 하는 연구들이 비교적 활발히 진행되어 왔다.

다음으로 해상교통관제의 발전방안과 시스템 및 기능의 개선방안에 대한 선행 연구들도 발표되어 왔다. Ryu(2009)는 선진 외국의 VTS 운용 실태를 분석하여 우리나라 실정에 맞는 VTS 운용체제에 대한 발전방안을 제시하였고, 이보다 앞서 Kim(2003)은 3차원 항만 영상 제작 방법을 다루는 VTS 시스템의 확장 및 개선 등 시스템 자체의 기술적 부분에 대해 연구하였다. 그 외에도 Lee *et al.*(2009)은 해양사고 통계분석을 통한 VTS 개선방안을 제시하였으며, VTS 기능을 비교한 개선방안

(Kim *et al.*, 2012) 및 VTS 데이터 공유를 위한 IVEF 데이터 및 프로토콜 개선방안(Lee *et al.*, 2012)과 e-VTS 시스템에 대한 연구(Jeong, 2008) 등 다양한 연구가 진행되어 왔다. 따라서 법률적 검토뿐만 아니라 통계분석과 데이터 공유에 관한 문제 등을 다루는 기술적 검토도 함께 이루어져 온 것이다.

마지막으로 VTS의 운영과 관련하여 효율성 제고를 위한 연구들은 다음과 같다. Ki(2010)는 VTS 센터의 효과적인 근무체계, 조직구조 및 인력관리에 대한 개선방안을 제시하였고, VTS 관제구역을 서비스로 분할함으로써 효율적인 서비스 구역 설정을 위한 방안을 제시하는 연구(Park *et al.*, 2012)와 적절한 VTS 서비스 구역과 범위를 설정하고자 하는 연구(Park and Kim, 2000)도 진행되었다. 또한 Kim and Park(1998)은 인천항 VTS의 효율적인 운영방안을 제시하였고, 더욱 최근에 Kim(2010)은 연안 VTS 시스템의 효율적인 운영방안을 제안하였다. 그 밖에도 VTS 관제사의 최소 안전거리에 관한 연구(Kim, 2013), VTS 교신효율을 증진하기 위한 연구(Park *et al.*, 2012), 분산처리 네트워크 방식에 의한 VTS 시스템 확장(Kim, 2003) 등 VTS 운영상의 효율성 추구를 위한 연구는 지속적으로 진행되어 왔다.

이처럼 VTS에 대하여 관련 법규상의 문제점 도출 및 개선방안, 시스템의 기술적인 발전을 도모하고자 하는 연구, 운영상의 효율성을 증진하고자 하는 연구가 지속적으로 진행되어 왔음을 볼 수 있다. 그럼에도 불구하고 최근에 발생한 세월호 침몰사고는 단순히 선박을 운항하는 선장과 승무원의 부주의나 무책임으로 국한하기보다는 해상교통관제 전반에 큰 문제점이 있는 것으로 인식되고 있다. 본 연구에서는 그 동안 학술적으로 진행되어 온 VTS에 대한 다방면의 연구에 추가하여, 현 VTS의 운영으로 전 해역을 모두 관제할 수 없다는 문제점을 개선하고자 추가적인 VTS의 설치 방안에 대하여 고려하고자 한다. 이는 현재 정부에서 예산을 편성하여 추가 설치하고자 하는 정책에 대한 의사결정을 지원할 뿐만 아니라, VTS가 없는 항행구역에서 더욱 빈번한 사고가 발생하였다는 점을 고려했을 때 추가 설치하는 사고 발생을 사전에 예방하는 데 많은 역할을 할 것으로 기대할 수 있다. 본 논문에서는 가용한 예산 범위 내에서 추가적으로 VTS를 설치하고자 할 경우 어느 지역에 설치하는 것이 가장 많은 관제구역을 확보할 수 있는지에 대해 최적화 모델을 통해 접근한다.

3. 물동량과 발전가능성을 고려한 VTS 추가 설치 후보항 선정

지금까지 VTS와 관련한 다방면의 검토 및 연구결과에 대하여 요약적으로 확인하였다. 앞에서 살펴본 바와 같이 항해 안전보장 및 원활한 항만 운영을 위해서는 VTS의 추가적인 설치가 필요함을 알 수 있다. 이에 따라 추가적인 설치를 위한 후보지역을 먼저 선정하고 선정된 후보지역 중에서 예산 범위 내에서 실제 설치 위치를 결정해야 할 것이다. 본 장에서

는 해상 물동량과 항후 발전 가능성을 토대로 보령항, 구시포항, 진도항(팽목항), 삼천포항, 통영항, 후포항, 속초항, 서귀포항 등 총 8개의 후보항을 선정하였고, 각각의 선정 사유는 다음과 같다.

3.1 보령항

충남 지역에 위치한 보령항은 입·출항 항로가 28Km에 이르는 데다 어선 1300여척과 4개 항로 여객선이 교차하면서 최근 10년간 5건의 침몰사고가 발생한 곳이다. 또한 대형 벌크선 입·출항이 잦은 지역임에도 해상관계는 VTS 대신에 VHF 통신망을 이용해 이루어지고 있다. 2013년 정부 입항로 징수 실적에 따르면 충남 지역 항만시설사용료는 모두 131억 원이며, 보령항은 이 중에서 약 65%에 해당하는 85억 원을 냈는데 여전히 기존 무선통신방식인 VHF를 통해 관계가 이루어지고 있는 반면, 인근의 태안항은 연간 46억 원을 내고도 VTS가 설치되어 운영 중이다. 보령항은 2012년 1200여만 톤의 누적 물동량을 기록했으며, 2013년에는 1300여 만 톤의 누적 물동량을 기록하여 7.4%가 증가했다. 이는 전체 항만의 평균 증가율이 1.5%임을 감안하였을 때 상당한 수치라 볼 수 있다(Shipping and Port Integrated Data Center, 2014).

3.2 구시포항

전남 고창군에 위치한 구시포항은 ‘국가어항 이용고도화사업’ 공모사업에서 최종 선정된 곳이며, ‘국가어항 이용고도화사업’이란 기존 어항 위주의 개발에서 어장, 어촌, 관광 및 배후지역과 연계한 종합개발로 전환하는 사업으로서 수산물 생산지원은 물론 위판, 가공, 유통, 판매, 소비의 중심 역할을 수행할 수 있는 수산 관련 가능시설을 확충하고, 배후 관광 기반을 조성하는 사업이다(Yoo, 2012). 이 사업에 구시포항이 최종 선정됨에 따라 2014년부터 2018년까지 구시포 국가어항 25만 205m²에 이르는 면적에 911억 원의 사업비를 투자해 기반시설인 방파제, 물량장, 부지조성 등과 체험어장, 청소년 교육장 생태 체험장, 축제거리 등을 조성할 계획이다. 이 사업이 완료되면 경제적, 사회적, 관광적 측면에서 상당한 효과를 볼 것으로 예측되고 있으며, 특히 경제적 측면에서 고용창출 및 소득 증대로 인해 가져올 생산효과가 4576억 원이나 될 것으로 추산하고 있다(Yoo, 2012).

3.3 진도항(팽목항)

진도항(팽목항)은 서남해안 해양관광과 물류 거점항으로 조성중인 진도항 배후지 개발 사업이 진행되고 있는 곳이다. 전남도의 승인 완료 후 진도군은 토지 매입비를 2014년 본예산에 편성, 감정평가를 거쳐 주민 보상을 완료한 후 본격적인 개발을 시작할 계획이다. 진도군이 진도항 배후지 기반 정비를

위해 정부에 요구한 국비 72억 원(배후지 개발 60억 원, 팽목연안항 2단계 사업 12억 원)이 반영되어 공사가 진행될 예정이다. 진도항은 전체 면적 953만m²에 2025년까지 단계적 개발을 통한 크루즈, 마리나 항만 등 해양레저복합시설과 해양박물관, 가족호텔 등 관광휴양시설, 대규모 수산물 종합 가공단지가 들어서는 해양레저, 휴양, 산업시설을 갖춘 종합항만으로 조성될 계획이다. 이 개발사업과 관련하여 진도군은 “K-water 광주·전남본부와 배후지 광역상수도 공급 협의를 완료했으며, 실시 계획 승인이 전남도에 완료되면 보배섬 진도의 지역 발전을 이끌 대역사인 진도항이 본격 추진된다”고 밝힌 바 있다(Park, 2013).

3.4 통영항

통영항은 전액 국비 지원 사업인 다목적부두 건설공사가 본격 추진되어 2016년 7월 준공 예정이다. 경남도는 총사업비 110억 원이 투입되는 ‘통영항 다목적부두 건설’에 2013년도 50억 원에 이어 2014년도에는 30억 원을 투입하여 사업에 박차를 가하고 있다. ‘통영항 다목적부두 건설’은 정부의 남해안 관광벨트 연계사업 활성화 방안에 따른 크루즈 기반시설 구축 사업으로, 관광항으로서의 기능 확충과 기존의 통영항 화물부두와 연계, 원활한 수출입 화물의 처리를 위한 5천 톤급 1선석(51m×150m)의 다목적부두를 축조하는 사업이다. 2013년에 물밀 작업인 항로 및 박지 준설을 완료하였고, 올해에는 화물선의 접안을 위한 안벽축조공사를 본격적으로 시행할 계획이다(Civil Engineering Research Information Center, 2014).

3.5 삼천포항

삼천포항은 2012년 누적 물동량 1218만 톤, 2013년에는 1229만 톤을 기록하였는데(Shipping and Port Integrated Data Center, 2014), 이는 보령항과 비슷한 수치이다. 또한 2013년에는 삼천포항과 일본 시모노세키 항을 잇는 크루즈노선 운행이 추진되었다(Lee, 2013). 따라서 앞으로 물동량 증가 및 지속적인 발전이 예상되는 항구이다. 다만, 인근에 위치한 또 다른 후보항인 통영항과 이미 VTS가 운영 중인 여수항과는 지리적으로 근거리에 위치해 있어 이 점은 다소 단점으로 작용할 수도 있다.

3.6 후포항

후포항은 동해안 마리나 중심항으로 개발된다. 경북도에 따르면 2013년 전국 6개 거점형 마리나의 하나로 선정된 울진 후포항에 대한 기본설계용역이 2014년 8월 완료되었다. 거점형 마리나 항만은 국가의 예산 우선 지원으로 마리나 항만을 조성하는 사업으로, 해양수산부는 마리나 항만 기본계획상 전국 46개소 중에서 거점형 마리나 6개소를 선정하였다. 동해안 권에는 후포항이 울산 진하와 함께 거점형 마리나로 선정되어

방파제 등 기반시설 조성에 최대 300억 원 이내의 국비지원을 받게 된다. 거점형 마rina 항의 개발로 육상 및 해상기능시설, 육상지원시설, 배후권 연계시설이 유기적으로 계획돼 동해안의 마rina 관련 산업육성에도 시너지 효과를 극대화할 수 있을 것으로 기대된다(Yang, 2014). 이렇듯 후포항의 발전 가능성은 충분히 긍정적인 시각으로 보일 수 있지만, 현재까지는 후포항의 물동량이 어선에만 국한되어 있어 그 중요도가 다른 항에 비해 상대적으로 미약하며, 후포항 출입선박의 물동량이 집계된 자료 또한 존재하지 않는 실정이다.

3.7 속초항

속초항은 2012년 누적 물동량 36,730톤, 2013년 83,094톤으로 보령항이나 삼천포항보다는 적지만 126%의 성장률을 나타냈다(Shipping and Port Integrated Data Center, 2014). 또한 속초항 여객부두에 50억 원, 여객터미널에 25억 원의 국가 예산이 배정된 것으로 알려지면서 2018년 동계올림픽 중심항만 육성에 탄력이 예상되고 있으며, 강원발전연구원에서 수행한 '강원도 크루즈 및 해운산업 발전전략 연구용역'에서 크루즈 및 항만 특성화 전략으로 속초항과 동해항, 호산항을 각각의 주변 산업 및 철도, 도로망을 감안해 육성하는 방안을 마련하였고, 특히 속초항은 여객 중심의 관광 거점항으로 추진된다(Park, 2014).

3.8 서귀포항

마지막으로 서귀포항은 제주해군기지의 건설과 맞물려 개발되고 있다. 한 때 논란이었던 크루즈 선박의 해군기지 이용 가능성에 대하여 정부는 2012년 8월 24일 항만법 시행령을 개정함으로써 그 근거를 마련하였고, 해군기지 일대 수역을 기존 서귀포항 해상구역에 포함해 무역항으로 지정함으로써 국내외 선적의 크루즈선 입·출항이 가능하도록 하였다(Ko, 2013). 따라서 제주해군기지의 건설이 계획대로 진행된다면 서귀포항은 일반 여객선과 군함이 드나드는 다목적 항으로서의 역할을 수행할 것으로 보인다. 이는 기존 2013년 누적 물동량 514,956톤(Shipping and Port Integrated Data Center, 2014)에 비해 크게 증가할 것으로 예상된다. 그러나 현재 제주 지역에는 제주항에만 VTS가 설치되어 있고 서귀포항에는 설치되어 있지 않으므로 추가 설치의 후보항으로서 선정될 필요성이 있다.

4. 관제구역 최대화를 위한 최적화 모형

일반적으로 설비입지선정문제(Location Problem)는 크게 최대 지역커버문제(Maximal Covering Location Problem)와 고정비를 가지는 설비입지선정문제(Fixed Charge Facility Location Problem)으로 구분되며(Hong and Lee, 2004), 본 연구에서 제

시하는 관제구역을 최대화하는 모형은 최대지역커버문제로 분류된다. 고정비를 가지는 설비입지선정문제에 대해서는 Choi and Lee(2007), Kim and Choi(2011), Lee and Baek(2006), Song and Lee(2011)이 제시하는 모형들을 참고할 수 있다.

제 3장에서 해상물동량과 발전가능성을 바탕으로 추가 설치를 위한 후보항을 선정하였고, 본 장에서는 이 후보항 중에서 가용한 예산 범위 내에서 추가 설치할 경우 어느 항구에 설치하는 것이 가장 관제구역을 최대화할 수 있는지 수리계획법으로 모델링한다. 본 수리계획법에서 고려되어야 할 사항은 현재 설치된 15개의 VTS 위치를 기준으로 현 관제구역을 나타내고, 추가 설치될 때 기존에 설치되어 있는 관제구역과의 중복을 모델링에서 표현할 수 있어야 한다. 또한 각 후보항들의 물동량 또는 교통흐름량을 파악하여 출입이 잦거나 교통흐름이 많은 지역에 우선적으로 추가 설치할 수 있도록 가중치를 달리 부여할 수 있어야 한다.

구체적인 수리 모형을 제안하기에 앞서, 우선 결정변수를 정의하고 설치할 경우 관제구역이 얼마나 늘어나는지를 나타내기 위하여 지도를 활용한다. <Figure 2>는 우리나라 동·서·남해안 전 해역을 보여주는 지도이다. 지도에서 보는 바와 같이 먼저 종·횡으로 6마일(해상마일 : Nautical Mile, 1 Nautical Mile = 1.852Km)의 간격으로 격자를 그리게 되며, 각 정사각형은 하나의 셀(Cell)로 고려된다. 이 때 정사각형 하나는 $6 \times 6 = 36$ 마일제곱으로 표시될 수 있다. 6마일 단위로 셀을 선택한 이유는 VTS의 평균 관제범위가 설치 지역으로부터 12마일이므로 6마일 단위로 구분하였다. 따라서 만약 특정 셀에 VTS가 설치되면 좌우 및 상하 단위로 각각 두 개의 셀이 설치된 VTS에 의해 관제가 가능한 구역이 되도록 하였다. 각 셀을 $i \in N, j \in N$ 의 기호(Index) 및 집합 N 의 원소로 정의하며, 결정변수 x_j 를 다음과 같이 표현한다.

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{셀 } j \text{에 VTS가 설치될 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

다음으로 VTS 설치에 의해 관제가 가능하게 되는지의 여부를 나타내기 위하여 추가적으로 결정변수 y_i 를 다음과 같이 정의한다.

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{셀 } i \text{가 관제 가능구역인 경우} \\ 0, & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

마지막으로 전체 셀의 집합인 N 의 부분집합으로서 N_j 를 정의하고,

$$N_j = \text{셀 } j \text{에 VTS가 설치될 경우 관제 가능한 셀의 집합}$$

으로 표현한다. 지금까지의 기호 및 집합, 결정변수를 이용하여 다음과 같이 관제구역을 최대화하는 수리계획법을 제시한다.

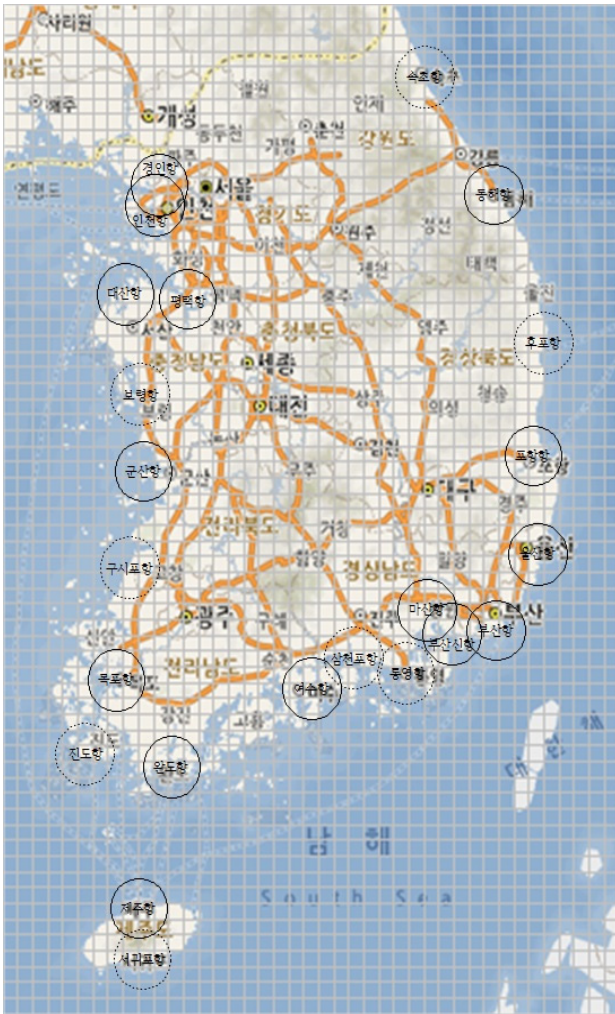


Figure 2. A map considered for VTS installation that are partitioned by 6 × 6 NM cells (Ports surrounded by solid line mean the current VTSs with their control areas, and the ones surrounded by dotted line mean the candidate VTS locations and their control areas if constructed.)

$$\begin{aligned}
 & \max \sum_{i \in N} w_i y_i && \text{모형 (1)} \\
 & \text{s.t. } y_i \leq \sum_{j \in N_i} x_j, i \in N, \\
 & \sum_{j \in N} c_j x_j \leq B, \\
 & y_i \in \{0, 1\}, i \in N, \\
 & x_j \in \{0, 1\}, j \in N.
 \end{aligned}$$

목적함수는 관계 가능한 구역을 최대화한다. 이 때 각 셀 i 에서의 물동량 또는 교통흐름량에 기반하여 가중치 w_i 를 부여한다. 만약 별도의 가중치를 부여하지 않고 관계구역만 최대화하고자 한다면, $w_i = 1, \forall i \in N$ 으로 설정할 수 있다. 첫 번째 제약식은 특정한 셀 i 가 관계 가능한 지역으로 구분되기 위해서는 해당 셀 i 를 관계구역으로 포함하는 설치장소 중 적어도 한 장소에 VTS가 설치되어야 함을 의미한다. 두 번째 제

약식은 VTS의 추가설치에 소요되는 비용이 총 예산 B 를 초과하지 못하도록 한다. 마지막 두 개의 제약식은 결정변수 x, y 를 이진변수로 제약하는 식이다. 즉, x 는 VTS의 설치 여부를 나타내며, y 는 관계 가능 구역에 포함될지의 여부를 나타낸다. y 를 이진변수로 정의하였으므로 두 번째 제약식의 우변항에서 아무리 많은 VTS가 설치되더라도 좌변항은 1의 값만을 갖도록 한다. 이것은 목적함수가 최대화 모형이고, w_i 는 항상 양수이므로 y_i 는 반드시 1의 값을 갖게 된다. 본 모형에서 만약 $\sum_{j \in N} c_j x_j \leq B$ 와 $x_j \in \{0, 1\}, \forall j \in N$ 을 만족하는 x 가 주어진다면 선형계획법으로 이완하여 문제를 풀어도 나머지 결정변수 y 는 항상 0 또는 1의 값을 갖는 최적해를 도출할 것이다.

(모형 1)에서 기존에 이미 설치되어 있는 VTS를 고려하기 위해서 다음의 제약식을 추가한다.

$$x_j = 1, j \in \bar{N} \subset N.$$

여기서 집합 \bar{N} 는 전체 셀의 집합 N 의 부분집합으로서 기존에 VTS가 설치되어 있는 15개 셀의 집합을 의미한다. 따라서 본 제약식의 추가는 이 15개 지역에 대하여 이미 VTS가 설치되어 있음을 나타낸다. 다음으로 모형(1)에서 표현한 가용 예산 범위에서의 VTS 추가 설치(두 번째 제약식)는 이미 설치되어 있는 지역을 제외하고 표현되어야 하므로, 다음과 같이 변경되어야 한다.

$$\sum_{j \in N - \bar{N}} c_j x_j \leq B.$$

만약 각 지역에 VTS를 추가 설치하는 비용이 지역마다 큰 차이가 없이 동일하다고 가정한다면 본 제약식을 조금 더 단순화시킬 수 있다. 즉, $c_j = c, \forall j \in N - \bar{N}$ 이라면 최대 가능한 VTS의 설치 개수는 $k = \lfloor \frac{B}{c} \rfloor$ 가 될 것이다. 여기서 $\lfloor a \rfloor$ 는 a 보다 작거나 같은 최대 정수를 의미한다. 따라서 두 번째 제약식은 다음과 같이 더욱 단순화될 수 있다.

$$\sum_{j \in N - \bar{N}} x_j \leq k.$$

지금까지 일반적인 형태의 모형 (1)에서 변환된 모형을 모형 (2)라고 할 때, 모형 (2)는 다음과 같이 정리되어 나타날 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \max \sum_{i \in N} w_i y_i && \text{모형 (2)} \\
 & \text{s.t. } y_i \leq \sum_{j \in N_i} x_j, i \in N, \\
 & \sum_{j \in N - \bar{N}} x_j \leq k, \\
 & x_j = 1, j \in \bar{N} \\
 & y_i \in \{0, 1\}, i \in N, \\
 & x_j \in \{0, 1\}, j \in N - \bar{N}.
 \end{aligned}$$

5. 실험 결과

제 3장에서 선정한 후보항을 대상으로 제 4장에서 제시한 최적화 모형을 이용하여 가장 관제구역을 많이 확보할 수 있는 VTS 추가 설치 지역을 결정하기 위해 계산실험을 수행하였다. 먼저 각 후보항에 VTS가 설치될 경우 커버되는 지역 i 에 대한 가중치 w_i 를 설정하기 위하여 각 후보항들의 2013년 누적 물동량을 관찰해 보았다. <Table 2>는 후보항 8개 지역에 대한 2013년도 누적 물동량을 나타낸다.

Table 2. Cumulated amount of logistics on 8 candidate VTS locations

Candidacy	Logistics amount (ton)	Candidacy	Logistics amount (ton)
Boryung	13,449,433	Samcheonpo	12,297,322
Koosipo*	N/A	Tongyoung	152,229
Jindo*	31,000	Hoopo*	21,000
Seogyipo	514,956	Sokcho	83,094

*The one for Hoopo port refers to “A basic plan for coastal ports that government manages in 2013.”

Jindo port refers to coastal logistics amount of 2011 forecasted in 2002 (no more data exist), and Koosipo port does not have any data available, to the best knowledge of us.

산출된 물동량을 기준으로 물동량이 많으면 높은 가중치를 받도록 부여하였는데, 5점 척도를 이용하여 20만 톤 이상은 5, 15만 톤 이상은 4, 10만 톤 이상은 3, 5만 톤 이상은 2, 1만 톤 이상은 1로 가중치를 부여하였다. 단, 구시포항 주변의 관제구역은 현재 어선의 출·입항만 이루어지는 구역인 점을 감안하여 1의 가중치를 부여하기로 한다. 다음으로, 각 후보항들에 VTS가 설치될 경우에 커버되는 셀 i 의 집합을 지도를 통해 분류한 결과 총 47개의 셀이 후보항 8개에 의해 관제 가능한 구역에 포함될 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 결정변수 y_i 의 개수가 총 47개이며, 그 중 후보항이 속한 셀 j 가 8개이므로 x_j 의 개수는 8개이다. 마지막으로 추가 설치할 VTS의 개수 k 는 해양수산부에서 발표한 예산 중 VTS 구축에 할당된 235억을 기준으로 VTS 1개소 구축에 약 90억이 소요(Lee, 2014)되는 것을 감안하여 2~3으로 설정하였다.

계산실험은 GAMS 프로그램(GAMS Development Corporation, 2014)을 이용하여 최적해를 도출하였으며 그 결과는 <Table 3>과 같다.

Table 3. Optimal VTS locations depending on k

k	Selected locations	k	Selected locations
2	Boryung, Tongyoung	6	Jindo
3	Seogyipo	7	Goosipo
4	Sokcho	8	Hoopo
5	Samcheonpo		

Note : When $k \geq 3$, an additionally selected port is indicated from the early k locations.

먼저, 2개의 VTS를 추가 설치한다고 할 경우 보령항과 통영항이 선정되었다. 다시 말해, 물동량의 가중치가 포함된 관제구역의 최대화를 얻기 위한 후보항 2곳으로 보령항과 통영항이 최적이라는 의미이다. $k=3$ 으로 설정하여 다시 최적해를 도출한 결과, 보령항 및 통영항에 이어 서귀포항이 선정되었으며, $k=8$ 까지 점진적으로 k 를 증가시켰을 때 후보항 8개의 우선순위는 보령항, 통영항, 서귀포항, 속초항, 삼천포항, 진도항, 구시포 및 후포항 순으로 나타났다. 주목할 만 한 점은 삼천포항의 경우 전체 8개 후보항 중에서 2위에 해당하는 물동량으로 많은 가중치를 부여받았지만 VTS가 설치되었을 경우 인근의 기존 VTS 관제구역과의 중첩성과 삼천포항 근처에 산재해 있는 도서 지역들에 의해 커버되는 관제구역 자체가 타 후보항에 비해 작으므로 5순위에 해당하는 결과가 나왔다.

만약 가중치를 부여하지 않고 관제구역의 면적만을 최대화하고자 할 경우에는 모든 w_i 를 1로 설정하여 최적해를 도출할 수 있는데, 이 경우에는 보령항, 진도항, 통영항, 속초항이 동일한 면적의 추가적인 관제구역을 제공하므로, 이 중 어느 두 곳 또는 세 곳($k=2$ 또는 $k=3$ 인 경우)을 임의로 선택하면 모두 최적이라 할 수 있다. 따라서 물동량을 토대로 후보항 별로 가중치를 달리 부여한 문제와, 그렇지 않고 모든 항을 동일한 중요도로 인식하여 관제구역을 최대화하는 문제는 다소 다른 결과의 최적해를 제공함을 알 수 있으며 가중치가 해의 도출에 영향을 끼침을 알 수 있다. 또한 가중치가 높더라도 해당 관제구역이 넓지 않으면 추가 설치 지역으로 고려되지 않을 수도 있음을 확인할 수 있다. 그러므로 가중치를 얼마나 객관적이고 정확하게 부여하느냐가 입지 선정에 하나의 중요한 요인이 될 수 있으며, 설치시 커버되는 관제구역의 크기도 영향을 끼침을 알 수 있다.

6. 결론 및 향후 연구방향

최근 발생한 세월호 침몰사고 이후 해상에서 재난안전의 중요성이 심각하게 대두되었다. 이에 따라 정부는 각종 정책 및 대책, 추가 조치, 예산 반영 등을 통해 해상사고를 사전에 예방하고 항해 선박의 관제를 더욱 원활하게 하고자 하는 노력을 기울이고 있다. 본 연구에서는 그 일환으로 해상교통관제서비스(VTS)의 추가 설치에 대한 문제를 다루었다. 이는 VTS의 추가 설치에 대한 정부의 발표에 대해 구체적으로 어느 곳에 우선적으로 설치하는 것이 바람직한지에 대해 경영과학적 의사결정 기법을 도입하여 적용했다는 것에 그 의미가 있다고 할 수 있다.

후보항을 선정하는데 있어 각 지방자치단체에서 관할하는 항구에 대한 개발 사업 등을 토대로 해당 항구의 미래 발전 가능성에 대해 고려함과 동시에 현재 통행하는 선박의 물동량을 고려하였다. 이렇게 선정된 후보항 중에서 관제구역을 가장 최대화하는 VTS의 추가 설치 위치를 결정하기 위하여 최적화 모델을 제시하였다. 물론 공공사업의 의사결정이 수리적 모델의 결과로 결정되기에는 부족한 점이 많이 있겠지만, 본 논문

에서 제시한 경영과학적 기법이 의사결정을 지원하는데 참고 자료로 활용될 수는 있을 것이다.

본 연구에서 제시한 모델이 가지는 의의도 있겠지만, 또한 제한점도 함께 지적되어야 할 것이다. 제시된 수리 모형은 가중치를 어떻게 설정하느냐에 따라 VTS가 설치되는 위치가 충분히 바뀔 수도 있다. 본 논문에서는 물동량만을 고려하여 가중치를 부여하였으나, 물동량 이외에도 다른 요소들이 충분히 고려될 수 있을 것이다. 그 외에도 가중치를 부여하는 방법으로 널리 사용되고 있는 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법 등의 적용도 고려해 볼 수 있다. 다음으로, 본 연구에서 제시된 이진정수계획법 모형은 기존의 최대지역 커버 문제에 적용되어 오던 일반적인 형태의 수리계획법으로서 모델링 자체의 이론적 공헌보다는 현안 문제에 적용하여 해를 도출하였다는 점이다. 다시 말해, 새로운 수리적 모델을 제시하거나 일반적인 정수계획법에서 나타나는 대형사이즈 최적화 문제에 대한 해결 능력 측면에서는 다소 부족한 것이 사실이다. 그렇긴 하지만, 본 연구는 주어진 현실적인 문제를 해결하고자 기존 이론적 모델의 실제 적용을 통한 해의 도출에 기여하였다는 점에 그 의의를 가질 수 있을 것이다.

본 논문에서 보여준 문제 및 접근방식은 정책적인 의사결정을 지원하고자 할 때 경영과학적 기법의 도입이 경험적이거나 주관적인 요소를 배제하고 객관적이며 과학적인 결론에 다다를 수 있음을 보여준다. 특히 이처럼 사회적으로 크게 주목받고 있는 문제를 다룸으로서 정책 입안자 또는 의사결정자에게 경영과학이 많은 대안 중 하나를 제시할 수 있음을 시사한다. 마지막으로, 시스템적인 체계의 구축으로 해상에서의 치명적인 사고를 예방하여 다시는 세월호 사고와 같은 비극적인 사고가 발생하지 않기를 바라는 바이다.

참고문헌

- Baek, S.-C. (2014), A budget reserved for the Sewol accident following countermeasures, *The Newsone*, September 22, Korea.
- Choi, S.-S. and Lee, Y.-H. (2007), The multi-period demand changing location problem, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 33, 439-446.
- Civil Engineering Research Information Center (2014), <http://www.ceric.net>, Korea.
- GAMS Development Corporation (2014), The general algebraic modeling system (GAMS). Available from : <http://www.gams.com/> (Accessed 3 March 2014).
- Hong, S. H. and Lee, Y. H. (2004), The maximal covering location problem with cost restrictions, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 30, 93-106.
- Jeong, J.-H. (2007), Oil that infiltrated into the mud flat is destructing ecosystem, *SBS Broadcasting*, December 12, Korea.
- Jeong, J.-Y. (2014), A consideration of VTS roles, *Proc. 2014 Conf. of Korean Society of Marine Environment and Safety*, 236-238.
- Jeong, J.-Y., Choi, S., Yoon, J.-D., Han, S.-J., and Kang, D.-H. (2013), The need of connection between harbor VTS and coast VTS, *Proc. 2013 Spring Conf. of Korean Institute of Navigation and Port Research*, 417-419.
- Jeong, M. (2008), A study on the development of e-VTS for improving efficiency of marine traffic management system, PhD Dissertation, Korea Maritime and Ocean University, Korea.
- Kang, T. (2013), Expansion of Vessel Traffic Control Area up to 12 nautical miles, *The KyungSang Ilbo*, March 31, Korea.
- Ki, C. I. (2010), A study on the improvement of VTS human resources management for the efficiency of VTS operation with Incheon Port, Master's Thesis, Incheon University, Korea.
- Kim, C. and Choi, G. (2011), Adaptive mean value cross decomposition algorithms for capacitated facility location problems, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 37, 124-131.
- Kim, J.-S. (2013), A basic study on the VTS operator's minimum safe distance, *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*, 19, 476-482.
- Kim, J.-W., Lee, C.-R., Baek, N.-H. and Sung, Y.-C. (2012), A study on capability reinforcement plan for the coast VTS, *Proc. 2012 Spring Conf. of Korean Institute of Navigation and Port Research*, 200-202.
- Kim, K. B. (2009), A study on the legislation of Vessel Traffic Service system of the Republic of Korea, Master's Thesis, Korea Maritime and Ocean University, Korea.
- Kim, M. C., Kim, B. S. and Ryu, S. R. (2012), Deducing improvement plan through comparing VTS functions, *Proc. 2012 Spring Conf. of Korean Institute of Navigation and Port Research*, 526-528.
- Kim, S.-H. and Park, J.-S. (1998), A study on the efficient operation of VTS in Incheon, *Proc. 1998 Fall Conf. of Korean Institute of Navigation and Port Research*, 11-25.
- Kim, W.-W. (2003), A study on extension and improvement of VTS system, Master's Thesis, Korea Maritime and Ocean University, Korea.
- Kim, Y.-S. (2010), A study on the improvement of VTS efficiency by analyzing causes of marine accidents relevant to activities of Busan VTS, PhD Dissertation, Korea Maritime and Ocean University, Korea.
- Ko, S. S. (2013), A verification of the Jeju Navy Base as a multi-purposed port for both the civil and the military, *Yonhap News Agency*, March 11, Korea.
- Ko, Y. S., Lee, N. Y., and Kim, H. S. (2011), A need for supplementing VTS-related regulations, *Proc. 2011 Spring Conf. of Korean Institute of Navigation and Port Research*, 167-169.
- Korea Coast Guard (2013), Coast guard, operating Yeosoo coast VTS in earnest, <http://www.kcg.go.kr>, 2013, Korea.
- Korean Statistical Information Service (2013), Logistics statistics of export and import. Available at <http://www.kosis.kr>.
- Lee, B.-K., Kim, B.-D., Cho, H.-S., Lee, S.-K., and Seo, H.-Y. (2012), An improvement plan for IVEF data and protocol for sharing the VTS data, *Proc. 2012 Spring Conf. of Korean Institute of Navigation and Port Research*, 487-489.
- Lee, H.-G. (2013), Samchunpo port, starting to run cruise routes, *Kyungnam News*, February 6, Korea.
- Lee, H.-K. (2014), A damage of the oil-spoil near Busan up to Geojae island, *Kyungnam News*, February 24, Korea.
- Lee, H.-K., Chang, S.-R., and Park, Y.-S. (2009), A fundamental study on advanced VTS system through statistic analyzing traffic accidents in VTS area, *Journal of Navigation and Port Research*, 33, 519-524.
- Lee, J.-B. (2014), A threat from the accidents in the sea due to the lack of VTS facilities, *Daejeon Today*, August 24, Korea.
- Lee, S.-H. and Baek, D.-H. (2006), The maximal profit location problem with multi-product, *Journal of the Korean Operations Research and*

- Management Science Society*, **31**, 139-155.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2012), Main policy : Equipments used to VTS. Available at <http://www.molit.go.kr>.
- Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (2014a), Reducing accidents by expanding the coverage area, <http://www.mof.go.kr>, 2014, Korea.
- Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (2014b), A next year's budget increased by 30.3% for reducing accidents in the sea, <http://www.mof.go.kr>, 2014, Korea.
- Park, C.-J. (2014), A defenseless state of VTS due to coverage blind spots, *The Segye Times*, April **24**, Korea.
- Park, J.-K. (2013), Constructing Jindo port as a multiple port hinterland including port leisure, etc., *Asia News Agency*, September **17**, Korea.
- Park, J.-S. and Kim, J.-O. (2000), A study on the establishment of VTS service area in Pohang, *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*, **6**, 1-15.
- Park, J.-W., Jeong, J.-S., and Park, K.-K. (2012), A study on the partitioning plan for VTS coverage area into subsections, *Proc. 2012 Fall Conf. of Korean Society of Marine Environment and Safety*, 181-183.
- Park, K.-Y. (2014), National budget assigned to Sok-Cho sea port, *Kangwon News*, September **5**, Korea.
- Park, S.-H. and Lee, S.-I. (2011), A study on the improvement of legislation of Vessel Traffic Service-Focused on comparison with Air Traffic Control, *Maritime Law Research*, **23**, 127-152.
- Park, S.-J. (2014), A tragic accident at sea, coast guard responsible for Jindo VTS, *Ajou News*, April **22**, Korea.
- Park, S.-W., Cho, H.-N. and Seo, S.-H. (2012), 24-hour communication analysis for improving the VTS communication efficiency, *Proc. 2012 Spring Conf. of Korean Institute of Navigation and Port Research*, 545-547.
- Ryu, H.-K. (2009), A study on the improvement method of Vessel Traffic Service, Master's Thesis, Inha University, Korea.
- Shipping and Port Integrated Data Center, Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (2014), <http://www.spidc.go.kr>, 2014, Korea.
- Song, S.-H. and Lee, S.-H. (2011), Endosymbiotic evolutionary algorithm for the combined location routing and inventory problem with budget constrained, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **37**, 1-9.
- Vessel Traffic Services Center, Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (2014), Introduction to VTS : A present condition of VTS, <http://www.vtskorea.info>, 2014, Korea.
- Yang, S.-B. (2014), Hupo port, selected as the marina-centered port in East Sea, *Kyungbook Ilbo*, April **21**, Korea.
- Yoo, Y.-S. (2012), Koosipo port, selected as the one of the national fishing harbor use enhancing business, *Newsis*, January **5**, Korea.