

해양교통시설 운영관리 시스템 구축 및 합리화 방안

전민수* · † 이종우

* 항로표지기술협회 운영관리팀장, † 한국해양대학교 건설공학과 교수

Development and Rationalization of Maritime Traffic Facilities Management System

Min-Su Jeon* · † Joong-Woo Lee

* Korea Association of Aids to Navigation, Seoul 153-768, Korea

† Professor of Civil Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 항만건설 및 운영에서 해양교통시설의 설치와 운영은 해상충돌방지 및 안전에서 매우 중요한 인자이다. 그리고, 해상교통시설의 설치 및 운영은 IMO SOLAS 5장 제13조에 의하여 당국의 의무사항으로 규정되어 있다. 해양교통시설은 과거의 시각적(광학, 형상) 시설에서 AIS, DGPS 및 기타 전파표지 등을 활용한 e-Navigation의 개념으로 발전하고 있다. 그러나 이러한 해양교통시설의 자동화 흐름에도 불구하고 선박의 안전한 항해를 위한 광파표지 및 형상표지의 역할은 여전히 절대적이다. 본 연구에서는 시각표지의 운영관리 효율을 향상시키기 위한 해양교통시설 서비스수준의 결정방법으로 해상교통관련 전체 시설을 하나의 관리시스템으로 조합하고 더욱 효율적인 시스템 관리방안으로서 항로표지 운영율을 제안하였다. 해외의 서비스 수준에 대한 비교와 이론적 배경을 분석하고, 제안된 서비스수준을 인천해역에 실제 적용하여 항로의 안전성을 평가한 사례를 제시하였다.

핵심용어 : 충돌방지, 해상교통시스템, 서비스수준, 항로표지 운영율, 위험관리모델

Abstract: Establishment and operation of Aids to Navigation in the process of port design, construction and management are crucial factor of maritime safety and collision prevention. According to the IMO SOLAS Chapter 5, regulation 13, the establishment and operation of maritime safety facilities are mandated for the competent authorities. The facilities of Aids to Navigations are moving to a concept of e-Navigation with state-of-the-art technology of radio navigation equipments such as AIS, DGPS and e-Loran from the traditional visual facilities (optics, shape). Although the autonomous maritime traffic system is a new trend, yet the traditional and conventional Aids to Navigation like lighthouses and beacons are still imperative for vessel's safe navigation. In this paper, for decision of service level of maritime traffic facilities to enhance the efficiency of visual navigation system management it was proposed the Aids to Navigation availability as an efficient management system incorporating the whole maritime traffic facilities under one management system. Comparison of foreign level of services and analysis of the theoretical background of them were analyzed and the proposed LOS was applied to Incheon area to evaluate the safety of navigation routes.

Key words: Collision prevention, Maritime traffic system, Level of service, Aids to Navigation availability, Risk assessment model

1. 서 론

해양교통시설(항로표지, Aids to Navigation; AtoN)의 설치, 운영 및 관리는 선박의 안전하고 효율적인 항해를 위하여 필수적인 인자이고, IMO(International Maritime Organization) SOLAS 5장 제13조에 의하여 당국의 의무사항으로 규정되어 있다. 해양교통시설은 설치목적에 따라서 육지초인표지, 연안표지, 항만인지표지, 유도표지 및 장애표지 등으로 구분되고, 종류에 따라 광파표지, 형상표지, 전파

표지, 음파표지 및 특수표지 등으로 구분이 가능하다.

현대의 해양교통시설은 과거 항해자의 시각에 의존한 광파표지나 형상표지의 한계를 넘어 AIS(자동식별장치), DGPS 및 기타 선상, 육상의 전자장비를 활용한 e-Navigation의 개념으로 발전하고 있다. 선박의 자동화 및 해양교통의 전자화에도 불구하고 항해자는 항해시 자신의 시각에 절대적으로 의존한다. 이러한 측면에서 시각표지(광파표지, 형상표지)의 역할은 안전항해를 위하여 여전히 절대적이라고 할 수 있고, Jeong(2010)은 e-Navigation 시대

* 주저자 : 종신회원, minsuids@hanmail.net 02)2627-8312

† Corresponding author : 종신회원, jwlee@hhu.ac.kr 051)410-4461

(주) 이 논문은 “해양교통시설 운영관리 시스템 구축 및 체계화 방안”에 관한 연구”란 제목으로 “2013 공동학술대회 한국항해항만학회 논문집(해군사관학교, 2013.6.27, pp.37-38)”에 발표되었음.

에서 전통적인 항로표지의 역할의 중요성에 대하여 강조하였다. 해양교통시설의 유지관리는 항로표지당국인 해양수산부 산하의 각 지방해양항만청 해사안전시설과의 주업무이며, 해양교통시설 운영관리시스템의 체계화는 같은 비용으로서 해양교통시설 서비스의 품질을 향상시킬 수 있는 효율적인 방안이다. 전체적인 시스템의 효율성을 향상시키기 위하여 주비용유발인자의 도출을 통한 집중관리는 항로표지당국이 핵심 업무에 집중할 수 있도록 해준다는 점에서 그 중요성이 높다고 할 수 있다.

국제항로표지협회(IALA, International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities)에서는 해양교통시설의 운영에 관한 정의 및 권고수준을 각종 지침서에서 권고하고 있으며, 시설 관리 당국이 운영을 근거로 하여 항로표지 서비스수준(LOS, Level of Service)제도를 결정하여 운영하는 것이 효율적이라고 밝히고 있다.

여기에서는 해양교통시설 운영관리 시스템의 효율을 향상시키기 위한 방안으로 우리나라에 적합한 항로표지 서비스수준 제도를 검토하여 서비스수준 관련 이론 및 효과를 분석하였고, 관련 이론을 실험역에 적용하였다. 새로운 서비스수준에 관한 기준의 적용으로 해양교통시설 운영관리 시스템의 적용방안에 관한 방법론을 제시하여 전체 해양교통시설 시스템의 효율을 향상시키는 계기로 활용하고자 한다.

2. 해양교통시설 운영관리 현황

2.1 해양교통시설 현황

항로표지법(법률제11809호) 제2조에서 해양교통시설은 유·무인등대, 등주, 등표, 등부표, 도등 및 지향등 등을 포함하는 광파표지, 입표, 두표 및 교량표지 등을 포함하는 형상표지, 전기훈, 에어사이렌 등을 포함하는 음파표지, 레이더비콘, 로란 및 위성항법보정시스템 등을 포함하는 전파표지 및 조류신호표지, 자동위치식별신호표지 등의 특수신호표지로 구분된다. IALA는 해양교통시설을 광파표지와 형상표지를 포함하는 시각표지, 레이콘 등의 전파표지, 위성항법시스템(GNSS), AIS 및 VTS 등으로 구분하고 있다.

해양수산부 해양교통시설연보(MOF, 2012)에 의하면 전국에 설치된 해양교통시설의 수는 Table 1에 요약한 바와 같이 2012년 12월 기준으로 전체 해안에 4,420기가 설치되어 있다. 이중 국유표지가 2,717기로 61.5%에 해당하며, 사설표지 기수는 1,703기로 국유의 약 60% 정도가 설치되어 있다. 분포 지역은 해양교통시설은 해안선이 복잡하고 인천, 여수 등 서해권역에 가장 집중되어 있는 것으로 나타났다. Table 2는 해양교통시설 사고자료(MOF, 2012년)를 분석한 결과를 요약한 것으로 사고기수는 여수 36기, 진도 32기 및 부산 29기의 순이며, 사고일수는 제주, 진도 및 포항의 순으로 나타났다.

Table 1 Number of AtoN along the regional maritime offices

대상역 구분	계	부산	제주	인천	여수	마산	울산
총 계	4,420	789	220	628	491	521	172
국유표지	2,717	641	167	247	281	312	81
사유표지	1,703	148	53	381	210	209	91
대상역	동해	군산	목포	진도	포항	평택	대산
총 계	298	315	484	428	350	256	452
국유표지	172	197	295	254	214	158	307
사유표지	126	118	189	174	136	98	145

Fig.1은 국내항로표지시설의 구축현황을 표시한 것이다. 해양교통시설의 사고는 해안선이 복잡하고 유속이 빠른 곳에서 사고가 잦고 태풍으로 인한 파손사고 발생시 수리를 위한 공사기간이 길게 소요되는 것으로 분석되었다. 그리고 해양교통시설의 즉각적인 유지복구를 위한 선박의 수가 부족한 것도 해양교통시설 사고일수를 증가시키는 요인인 것으로 나타났다.

Table 2 Breakdown and damage statistics of AtoN of the regional maritime offices for 2012

대상역 구분	계	부산	제주	인천	여수	마산	울산
사고기수	224	29	21	11	36	25	3
사고일수	2,123	98	442	38	240	75	17
점검실적	29,316	8,860	3,789	2,304	2,156	2,901	1,380
운영율	99.78	99.95	99.27	99.95	99.76	99.93	99.94
대상역	동해	군산	목포	진도	포항	평택	대산
사고기수	7	6	5	32	13	23	13
사고일수	9	80	232	426	313	51	102
점검실적	913	1,057	1,022	1,311	1,100	1,157	1,366
운영율	99.98	99.81	99.66	99.33	99.37	99.85	99.8

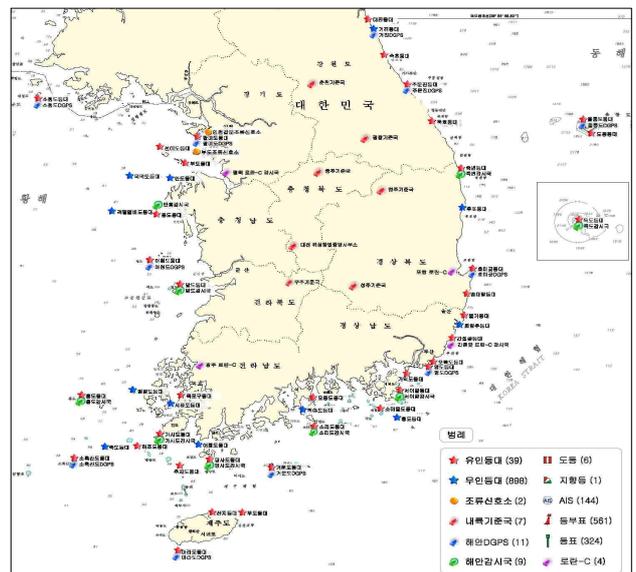


Fig. 1 Aids to Navigation network of Korea

2.2 해양교통시설 운영관리 조직 및 시설

해양수산부 소속 11개 지방해양항만청 해사안전시설과에서 각 관할 해역 해양교통시설의 설치·유지관리 및 운영 등을 담당하고 있다. 해양교통시설관련 전체 (운영) 인원은 Table 3과 같이 2011년 기준으로 438명이며, 유인등대에서 근무하는 인원은 157명 그리고 선박에 근무하는 인원은 111명이며 나머지는 내근직으로 조사되었다(MOF, 2012).

Table 3 Number of officers for AtoN management

총원	유인등대	선박직	내근직
438	157(36%)	111(25%)	170(39%)

지방해양항만청은 각 청별로 1, 2척의 항로표지업무용 선박을 운영하며 4천여기의 해양교통시설을 유지관리하고 있다. 각 지방청의 항로표지업무용 선박은 평균적으로 50~500톤급, 11-15노트의 강선으로, 저수심구역 해양교통시설의 유지관리를 위한 전마선을 동시에 운영하고 있다.

2.3 해양교통시설 관리운영 제도

관련 제도로써 해양수산부는 해양교통시설을 관리하기 위하여 항로표지시설 관리지침 [해양수산부예규 제8호, 2013.5.8]을 마련하여 시설을 합리적으로 관리운영하고 있다. 관리지침에 의하면 각 지방해양항만청 해사안전시설과장은 표지시설의 관리자가 되며, 표지시설에 대한 점검계획 수립 및 시행 등의 업무를 수행한다.

통상 해양교통시설의 정비점검 주기는 Table 4와 같이 유인등대를 제외하고 무인등대는 2개월에 1회 이상, 등표는 1개월에 1회 이상, 등부표는 1개월에 1회 이상 등의 기준을 수립하여 시행하고 있다.

지방해양항만청에서는 해양교통시설 장비용품관리, 각종 통계관리 업무 등을 통한 업무효율을 향상시키기 위하여 해양교통시설 전산관리시스템을 구축하고 각종 장비용품, 제작·설치·교체·사고·복구 등의 이력관리 및 작업완료보고서 등을 관리할 수 있도록 하고 있다.

지방해양항만청의 해양교통시설의 관리운영 실태를 조사한 결과 관할구역을 설정하고 항로표지선으로 유지관리업무를 수행하고 있다. 이러한 단순한 구역 기준의 관리방식은 모든 해양교통시설을 하나의 운영관리기준에 의하여 관리한다는 점에서 한계가 있고 효율이 낮다. Fig.2는 마산지방해양항만청에서 관할해역을 6구역으로 구분하여 항로표지시설을 관리현황을 나타낸 사례이다.

Table 4 Aids to Navigation management periods

구분	유인등대	무인등대	등표	등부표
주기	상시	2개월	1개월	1개월

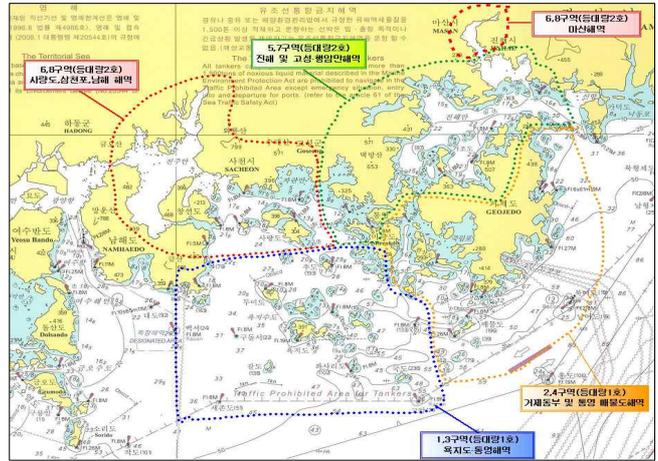


Fig. 2 AtoN management map of Masan

3. 서비스수준 관련 국제기준 및 시스템체계화의 효용성

3.1 해양교통시설 운영관리 시스템 서비스수준

현재 대한민국의 해양교통시설은 항로표지 운영율(Availability)에 근거하여 유지관리 되고 있으며 해양수산부는 항로표지 운영율을 조사하여 매달 공표하고 있다.

Fig. 3에서 나타난 바와 같이, 해양수산부의 통계에 의하면, 2012년도 12월말을 기준으로 각 지방해양항만청의 해양교통시설 운영율은 각 지방청별 관할해역 및 담당기수의 차이가 있기는 하지만 최고 99.98%에서 최저 99.27%이며 평균 99.78%에 육박하는 것으로 나타났다. 이는 우리나라의 모든 해양교통시설의 서비스 수준이 Table 5에서와 같이 IALA가 제시(IALA, 2004)하는 카테고리 1급(99.8%) 즉, “육지초인표지등 항해에 필수적이고 기본적인 항로표지”로서 유지관리 되고 있다는 의미이다.

해양수산부는 관할 대상인 해양교통시설물에 전체 평균운영율을 적용하여 관리중이나, 이러한 전체 평균적인 관리는 각 시설물에 대한 운영율의 관리효율을 떨어뜨린다. 여기서는 항로표지 서비스수준제도의 도입을 통한 해양교통시설의 신규설치에서 유지관리까지 좀 더 효율적이고 체계적인 계획수립 방식을 제안한다.

Table 5 IALA availability and objects

카테고리	운영율(%)	대상
1	99.8	육지초인표지등 항해에 필수적이고 기본적인 항로표지
2	99	중요 항로에 설치하는 항로표지
3	97.0	항해에 필요하다고 판단되는 항로표지

서비스수준제도에서는 중요성이 높은 해양교통시설의 중요성을 더욱 높이기 위하여 점검주기를 짧히고 상대적으로

중요성이 낮은 해양교통시설의 경우 점검주기를 늘림으로써 해양교통시설의 관리 효율성 및 체계적인 유지가 가능하도록 할 수 있다.

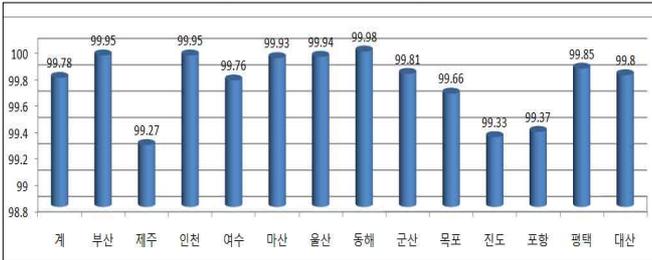


Fig. 3 Availability graph for the regional maritime affairs offices

3.2 서비스수준(LOS)의 개념

서비스수준의 명시란, 서비스를 제공하는 제공자의 입장에서 서비스를 제공받는 자에게 제공하는 서비스의 정확한 수준을 명시하는 것이다(IALA, 2013). 해양교통시설분야에서는 항로표지당국인 해양수산부가 항로를 운항하는 선박에 동 항로에서 정확히 어떤 종류의 항로표지 시설을 어디에 몇 퍼센트의 확인 가능한 확률로 서비스하고 있다는 것을 명확히 밝히는 것으로 볼 수 있다. 항해자는 운항해역에서 자신이 어떠한 수준의 항로표지 서비스를 제공받는지 아는 것이 중요한 문제이고, 항로표지 당국으로서도 이는 서비스의 객관적인 지표로 사용될 수 있다.

해양교통시설을 위한 서비스수준(LOS)에 대한 개념을 명확히 하고 그 차이점을 분명히 하기 위하여 국토교통부에서 정의하는 LOS의 사례를 살펴보고자 한다.

국토교통부 도로용량편람(MOLIT, 2013)에 의하면 육상교통에서의 서비스수준이란 통행속도, 통행시간, 통행 자유도, 안락감 그리고 교통안전 등 도로의 운행상태를 설명하는 개념으로서, 수준은 A-F까지 6등급으로 나누어진다. 국토교통부에서는 고속도로, 다차로도로, 교차로, 일반도로 및 보행자시설 등에 대하여 교통류의 상태에 따른 서비스수준을 고려하여 시설을 설계, 유지관리 하고 있다.

한편, 해양교통시설에서의 서비스수준은 범위, 양 및 질로서 구분 가능하다. 여기서는 Fig. 4와 같이 서비스수준삼각형(Level of service triangle)을 제안한다. 서비스수준삼각형을 활용하여 각 지방해양항만청의 서비스수준 및 다른 국가의 해양교통시설 서비스수준을 직접적으로 비교해 볼 수 있을 것이다.

서비스수준에서 범위(Extent)는 어느 구역에서 해양교통시설 서비스를 제공받을 수 있고 어떤 구역에서는 제공 받을 수 없는지를 나타내는 지표이고, 수량(Quantity)은 얼마나 많은 수의 해양교통시설이 어느 위치에 설치되어 있는지를 나타내나 이는 표지간 간격을 고려한 밀도로 나타나

는 지표가 되며, 품질(Quality)은 그 해양교통시설 시스템의 신뢰성이 어느 정도인지를 나타낸다. 해양교통시설의 서비스수준은 각 항로에서 상선, 어선 등 이용자 층별로 다른 요구사항을 필요로 한다. 서비스수준은 대상 해역의 기상학적 특성(저시정 등)을 고려한 실제 서비스 확인가능시간, 이론적 고장시간 등을 고려한 운영율 등을 포함하여 정의되어야 한다.

특정해역에서 LOS의 결정시 고려되어야 할 요소는 다음과 같다.

- ① 동 해역의 1차 이용자, 2차 이용자 정의 및 이용자의 견수율
- ② 서비스수준의 결정을 위한 항로의 위험분석(대상해역의 교통밀도 및 패턴분석)
- ③ 비용/편익 분석
- ④ 유지관리 방법 결정

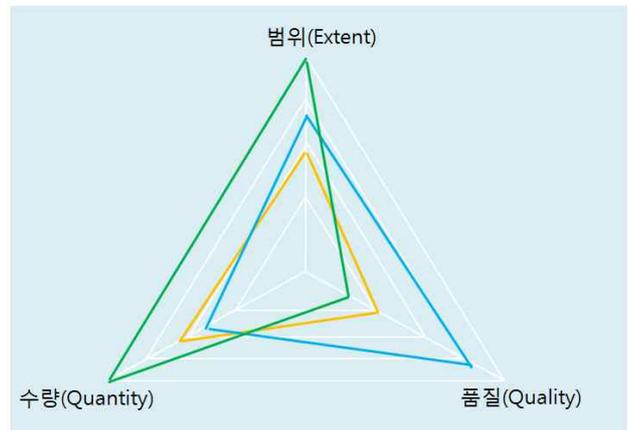


Fig. 4 Level of service triangle

3.3 서비스수준 제도 도입 사례 및 관련 이론

1) 서비스수준 제도 도입 사례

외국의 사례를 조사한 결과 일부 국가에서는 해양교통시설에 관한 중요도를 카테고리 구분하여 유지관리의 기준으로 활용하고 있고 이를 홈페이지 등을 활용하여 고시, 공표하고 있다. 이러한 기준은 선박이 항해시 자신이 확인 가능한 해양교통시설의 종류와 품질 등에 관한 서비스수준을 파악하는데 도움이 되며 선박은 이를 활용하여 운항계획을 수립하는데 활용 가능하다.

캐나다의 해양교통시설 설치, 유지 및 관리를 담당하는 캐나다해양경찰(CCG, 2013)은 서비스수준을 수립하여 홈페이지 및 등대표(List of lights)를 통해서 서비스수준을 공표하고 있다. 캐나다는 서비스수준을 해양교통시설에 국한하지 않고 CCG의 주요업무인 해양환경, 보안, 수색구조(SAR) 및 항로관리에 관하여도 제도를 수립하여 운영하고 있다. 홈페이지에 따르면 해양교통시설의 설치목적, 설치범위 및 서비스표준에 관하여 Table 6과 같이 명시하고 있다.

Table 6 CCG level of service for Aids to Navigation

프로그램	· 해양교통시설(Aids to Navigation)
서비스	· 시각표지(등표, 등대 및 (등)부표류, 음파표지(무선 호기) 17,000여기
대상	· 항만공사 및 CCG가 관리하는 항만 · 캐나다해도에 명시된 해역 · 일부 고립해역
분류	· 육지초인, 항만입출항 및 항로표지 · 수로표지 · 위험물표지 · 권고항로표지 · 항로분리 · 투묘지표지
서비스 표준	· 시각표지는 최악의 기상상황시 최소 75%의 인지 확률로 설계됨 · 음파표지 및 레이더표지는 시각표지가 75% 이상의 인지확률을 보장하지 못할시 추가적으로 사용 · 전체 해양교통시스템의 목표는 3년을 기준으로 서비스수준 99%

Arabian Maritime and Navigation Aids Services (Oman, 2013)는 전 해역을 배타적경제구역, 아라비안해구역-살라라진입구역, 오만만-라살하트TSS 등 11개구역으로 구분하여 각 구역에 적합한 서비스수준을 수립, 명시하고 있다. 항해자에게는 각 해역에서의 해양교통시설의 위치, 수량, 특성 및 고려사항에 관하여 공개하며 운영율(평균 85%)을 제공함으로써 대상 해역을 이용하는 선박에 해양교통시설 서비스수준을 공표하고 있는 수준이다.

2) 서비스수준 관련 IALA 이론 및 기준

해양교통시설의 서비스수준에 관한 척도로서 활용가능한 해양교통시설의 운영율은 국제항로표지협회(IALA, 2004)의 기준에 의하면 전체 운영시간대비 비운영시간 즉, 고장시간을 제외한 시간의 비로서 나타낸다. 항로표지운영율(A)은 해양교통시설 시스템의 신뢰성을 나타내는 척도가 되며, 해양교통시설 관리당국의 행정처리 및 사고복구에 관한 자원 및 기술능력을 나타내는 도구가 된다.

$$A = \frac{\text{총운영시간}(TT) - \text{고장시간}(DT)}{\text{총운영시간}(TT)} \quad (1)$$

IALA기준에 의한 항로표지 시설의 효율성을 표현하기 위하여 고장간 평균시간(MTBF, Mean Time Between Failure) 및 평균수리시간(MTTR, Mean Time To Repair)를 정의하고 아래의 식으로 나타낸다.

$$MTBF = 1 / \text{고장주기}(FailureRate) \quad (2)$$

$$MTTR = \frac{\text{고장시간}(DownTime)}{\text{고장횟수}(Number\ of\ Failure)} \text{ hours} \quad (3)$$

$$\therefore A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (4)$$

식 (4)를 정리하여 고장간 평균시간으로 나타내면

$$MTBF = MTTR \frac{A}{(1-A)} \quad (5)$$

평균수리시간은 평균고장 대응시간(MFRT), 평균보고시간, 평균준비시간, 평균도착시간, 평균현장수리시간 등의 합으로 정리할 수 있다(IALA, 2011).

해양교통시설시스템을 모델링화하기 위하여 전체 신뢰성에 관한 이론적 통계화가 필요하며 임의의 기간동안 지수 분포함수 MTBF를 평균으로 하여 다음의 식으로 표현이 가능하다(IALA, 2011).

$$f(t) = \frac{1}{MTBF} \cdot e^{-\frac{t}{MTBF}} \quad (6)$$

이 분포의 신뢰도함수 R(t)는 다음의 식으로 표현된다.

$$R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}} \quad (7)$$

서비스수준에 관한 품질은 Fig.5의 욱조곡선의 형태를 보이는데 실선으로 나타낸 고장율과 점선으로 나타낸 고장간 평균시간은 반비례하는 것으로 나타났고, 시간의 흐름에 따라 시스템의 고장율은 재료의 결함, 조립실수, 설계실수 또는 결함부품의 사용에 의한 초기고장 및 장비의 내용연수 이후 기계적 마모, 베어링 등 사용수명이 다한 부품으로 인한 노후마모(Wear Out) 시에 가장 많은 고장률을 나타낸다(IALA, 2011).

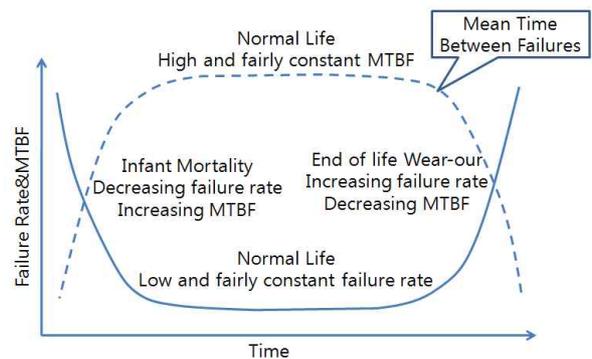


Fig. 5 Bathtub curve for mean time between failure

3.4 서비스수준 제도의 도입의 필요성

과거의 해양교통시설 서비스는 해양관련 기술의 발전과 선박의 고속화, 대형화 등의 변화에 따라 지속적으로 변화하고 있다. 최신 전기전자 기술에 의한 위성항법시스템 등은 전통적인 항로표지시설에도 영향을 미치고 있으며 일부 음파표지 등은 가까운 미래에 사라질 종류의 항로표지 시설이다. 이렇게 항로표지 LOS는 동시대의 과학기술 및 이

용자의 요구사항 등에 따라 계속 변화해오고 있다. 그러나 전파표지의 지속적인 발전에도 Fig. 6과 같이 광파표지 및 형상표지는 여전히 전체 해양교통시설의 90%가량을 차지하고 있고, 이들 시설 및 시스템을 운영·관리하는 비용이 전체 예산의 대부분을 차지하고 있다.

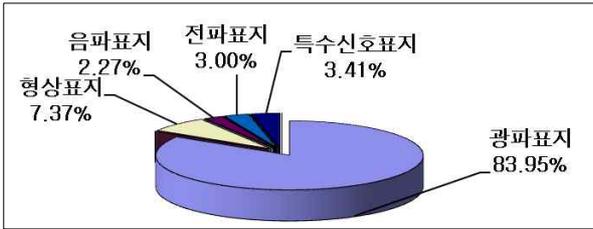


Fig. 6 Proportion of Aids to Navigation classification

해양교통시설의 기본적인 목적은 항해자로 하여금 자선의 위치를 확인하고, 안전항로로 선박을 유도하며, 항해자에게 위험구역을 표시함으로써 안전하고 경제적인 항해가 가능하도록 하는 것이다.

이런 목적으로서 전체평균 99.78%의 운영율은 아주 만족할만한 수치이나, 해양교통시설물의 유지관리 측면에서는 그렇지 아니다. 해양교통시설물이 설치된 위치 및 항로의 중요도에 따라서 실제로 중요도가 상대적으로 더 높은 시설물들이 존재한다. 이러한 시설은 중요도가 낮은 해양교통시설을 유지관리 하는 것 보다 더 많은 시간, 예산 및 인력을 집중 투입하여 유지 관리하는 것이 전체적인 효율 측면에서 유리하다고 할 수 있다. 해양교통시설의 운영율 향상과 그에 따른 비용을 전체비용으로 나타내면 Fig. 7과 같다. 해양교통시설의 운영율을 향상시키기 위한 초기구입비용은 목표 운영율이 높으면 높을수록 비례하여 증가하지만 이에 따른 유지관리비는 낮아진다. 두 가지를 전체비용으로 표현하였을 때 경제적운영율은 운영율을 상대적으로 너무 높이는 것이 경제적이지 못하다는 것을 도표에서 알 수 있다.

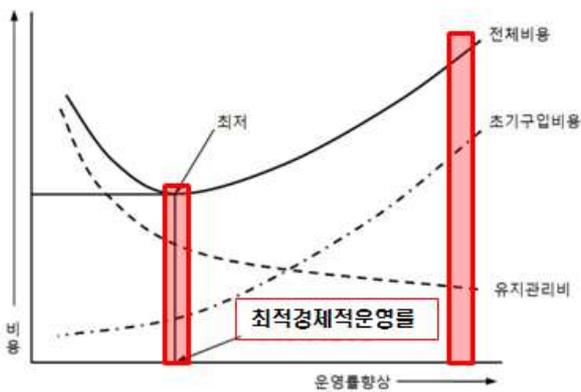


Fig. 7 Cost and availability comparison graph

LOS 도입의 장점은 해양교통시설의 우선순위 결정을 통한 유지관리의 효율성 향상 및 이용자가 제공받는 해양교통시설 서비스에 관한 분명한 이해 등이다. 이러한 관점에서 LOS의 결정에는 항로표지당국의 유지관리 관점뿐만 아니라 항해자의 관점에서 운항계획을 고려하는 것 또한 중요하다. 현재의 해양교통시설 신규설치시 고려하는 것처럼 개별적인 시설물에 대한 판단으로 LOS가 결정되어서는 안 되고 전체 해역의 LOS를 고려한 시스템의 일부로서 수준이 검토되고 결정되어야 한다. LOS는 해양교통시설의 예비율 결정에도 중요한 인자가 된다.

4. 해양교통시설 운영관리 시스템 체계화 방안

4.1 서비스수준 수립 절차

서비스수준의 결정은 Fig. 8과 같이 위험요소의 결정, 운항계획의 개발 및 LOS결정 순으로 진행된다. 위험요소의 결정단계에서는 대상해상환경의 특성을 분석하고 통항하는 해상교통을 분석하여 현존하는 항해위험요소를 결정하게 된다. 운항계획개발에서는 항해자의 입장에서 선박통행량 집중 및 항로교차 등을 판단하여 운항계획을 수립하게 된다. 그리고 마지막으로 LOS결정 단계에서 신뢰성 및 효율성을 판단하여 LOS를 결정하게 된다.



Fig. 8 LOS development process

4.2 서비스수준 수립 방법

1) 위험요소의 결정

해양교통시설의 신규설치 및 유지관리 계획을 위한 대상해역의 수심, 조위 및 조류등을 판단할 필요가 있다. 수심은 (등)부표류의 설치 및 유지관리를 위한 계류구의 설계를 위하여 사용되고 조위는 무인등대나 등표의 설치시 구조물의 높이 및 도색을 위한 기준으로서 활용된다. 조류는 해양교통시설의 종류의 결정에 영향을 미친다.

미해안경비대(USCG, 2005)는 단거리용 항로표지의 설계시 인지(Perception) 거리에 대한 정량적인 근거를 제시하고 있다. 해양교통시설의 인지를 위한 필요거리(P)는 Fig. 9에서 표현하는 바와 같이, 위험구역과의 거리(Danger Area,

D) 및 선박의 크기, 속도 및 조향능력 등에 근거한 안전폭 (Safety Margin, S) 및 선위측정오차(Radial Error)에 의한 거리(R)로 표현할 수 있다. 여기서 위험구역과의 거리, 안전폭 및 선위측정오차는 각 해역별, 각 선박의 특성별 상이하게 나타난다.

$$P = D + S + R \tag{8}$$

해안선의 구조적인 특성이나 항해상 위험물 또한 중요한 고려요소가 되고, 항만 배후광이나 일출몰시 태양의 위치에 따라서 해양교통시설의 광도 및 설치위치 등의 조정이 필요하다. 해상교통 분석을 위하여 통항선박량, 항로 및 선속, 화물의 종류 등을 분석할 필요가 있으며 이때는 기 설치된 항로표지의 상대적인 영향도 고려하여야 한다.

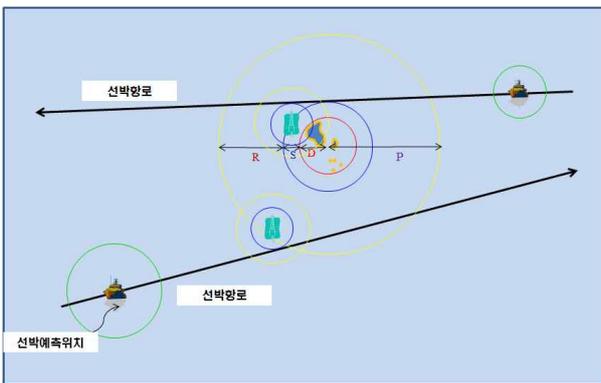


Fig. 9 Illustration of the perception distance calculation

2) 항로의 제시

선박의 운항계획은 해양교통시설의 유지관리에서 중요한 부분을 차지한다. 해양교통시설은 안전한 선박의 항해를 돕는 것이고 선박의 입장에서는 일반적으로 해상환경이 열악한 곳에서 이러한 보조적인 시설물을 필요로 한다. 조류가 강한 곳이나 기상이 자주 나쁜 곳에서는 특히 해양교통시설의 요구가 증대한다. Fig.10의 운항계획에서는 해양교통시설의 배치 및 광달거리 등을 검토하여 주야간, 기상이 좋을 때와 나쁠 때를 구분하여 해양교통시설의 고장시 대체 시설까지 고려한 운항계획이 수립되어야 한다. 유럽의 스웨덴(SMA, 2013) 등 국가에서도 Route Plan이라는 선박의 운항계획을 수립하여 인터넷상에 공개함으로써 선박의 안전한 통항을 유도하고 있다. 아울러 선박 통행량 집중 등 기본적인 항해 위험, 선박의 항로교차 등 선박에 의한 위험, 해상사고로 인한 해양환경 오염 위험 사항들에 대한 분석이 병행되어야 할 것이다.

이러한 항로표지 현황도를 고려하여 선박은 운항계획의 수립이 가능하며 이러한 운항계획을 기초자료로 해양교통시설의 LOS가 선정되어야 한다. 항로의 위험도는 IALA에서 권고하는(IALA, 2010) 정량적 해상안전성 평가모델인 IWRAP(IALA Waterway Risk Assessment Program) 등을

활용한 세부적인 분석이 필요하다.

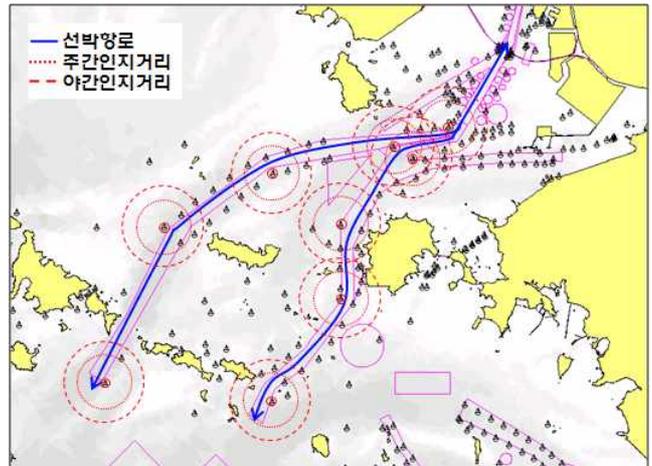


Fig. 10 Example of navigation plan for Incheon

3) LOS의 기준

해양교통시설의 서비스수준을 결정하기 위한 가장 기초자료로서 선박의 항적데이터를 활용할 수 있다. 항적데이터는 AIS 자료와 현장에 ARPA레이더의 설치를 통한 항적데이터의 입수가 가능하다. 여기서 입수된 항적데이터의 분석을 통한 중요 항로의 결정이 가능하고 중요항로에 근거한 해양교통시설의 중요성을 평가할 수 있다. LOS 1,2,3종을 판단하기 위한 기준은 항로표지 설치위치의 선박통항량, 선박의 종류, 선박운반 화물의 종류(위험물), 항로표지의 중요성 및 목적, 대상해역의 자연환경의 중요성 등에 의하여 판단되어야 한다. 여기서는 LOS의 결정을 위한 정량적인 도구로서 항로의 위치와 항로의 위험도를 고려한 Table 7의 해양교통시설을 위한 항로위험도 매트릭스를 제안한다. 해양교통시설의 서비스수준을 결정하기 위한 기초자료로서 항로의 위험도 및 항로의 위치를 검토하여야 한다. 해양교통시설을 위한 항로의 위험도는 Table 8과 같이 통항선박 대비 항로폭 확보여부, 상선의 항로 이용여부, 도선사 서비스, 선박의 특성 및 선박의 야간 통행여부 등을 고려하여 A(높음)-E(낮음) 단계까지 5단계로 결정된다. 이때 위험도 수준은 각 해역의 특성을 고려하여 각 위험도별 정량적 기준을 산정하여 제시되어야 하며, 평가사항의 중요도에 대한 가중치를 부여함으로써 각 해역간의 상이성을 상쇄할 수 있다.

Table 7 Matrix to calculate the Level of Service

구분		항로의 위험도(높음-낮음)				
		A	B	C	D	E
항로의 위치 (위험-안전)	a	1	1	1	2	2
	b	1	1	2	2	3
	c	1	2	2	3	3
	d	2	2	3	3	3
	e	2	3	3	3	3

Table 8 Matrix for the danger level of navigation route

평가사항	A	B	C	D	E
통항선박 대비 항로폭 확보여부(Width/Breadth비)		✓			
상선의 항로 이용여부			✓		
도선사 서비스 가능여부					✓
위험물 운반선 통항여부	✓				
항로표지의 설치 및 상태				✓	
선박의 야간 통항여부			✓		
합 계	1	1	2	1	1

항로의 위치는 실제 AIS항적도 및 레이더항적도를 이용하여 실제 교통량에 근거하여 a(위험)-e(안전)로 구분하여 적용가능하다. 일반적으로 항로의 위치 a는 주요무역항로, b는 연안항로 및 해양환경 중요지역, c는 일반항로, d는 교통량이 적은 항로, e는 교통량이 거의 없는 항로 등으로 구분이 가능하다.

4) 실해역 적용

본 논문에서는 제안하는 LOS의 도입을 실해역에서 적용하기 위하여 인천항을 대상으로 현재의 평균고장대응시간을 산출하였다. Table 1의 인천지방해양항만청 운영을 A=0.9981를 기준으로 MTBF를 14,000시간, 평균보고시간을 5시간, 정비선의 평균 준비시간을 4시간, 평균현장도착시간을 5시간, 현장에서의 평균수리시간을 2시간으로 가정시, MTTR은 평균고장대응시간, 평균보고시간, 평균준비시간, 평균현장도착시간 및 현장에서의 평균수리시간의 합으로 나타낼 수 있고, 위의 값을 적용시 인천지방해양항만청의 해양교통시설 고장시 평균고장대응시간(MFRT)은 10.6시간으로 계산된다.

2011.6.23~6.27일간 인천시 영흥면 내리 해안지역에서 해상교통량 조사를 실시하였다. 조사방식은 선박의 MMSI (Maritime Mobile Service Identity)를 추적하여 식별하고 이외 식별이 곤란한 소형선박은 레이더 영상, 이동속도 및 이동방향 등을 추적하여 관측하였다. Fig.11에서 나타난 선박 항적도와 같이 72시간동안 수행된 관측을 통한 추적선박수는 487척이었고 선박의 크기별로는 100톤 미만의 선박이 151척으로 31%의 주종으로 나타났으며, 항로별 선박통항량이 100척이 넘는 항로를 a, 80척이 넘는 항로를 b, 60척을 c, 40척을 d, 40척이하를 e로 산정하여 선박들의 통항로와 항로별 통항량을 근거로 Fig.12의 LOS를 선정하였다. Fig. 11과 12에서 그림으로 표현하고 Table 10에서 Matrix로 분석한 바와 같이 인천항 제1항로, 동수도, 서수도 및 평택항 진입항로 등의 주요구간은 항로의 위치가 수준 a 및 b로 분석되었고, 항로의 위험도를 고려시 LOS 1종 항로(가장중요)로 판단되었다.

이러한 LOS의 도입을 통한 인천항 항로표지의 유지관리 주기 등의 조정시 해양교통시설 관점에서의 중요 항로의 전체적인 효율성 또한 향상될 것 이라고 판단된다.

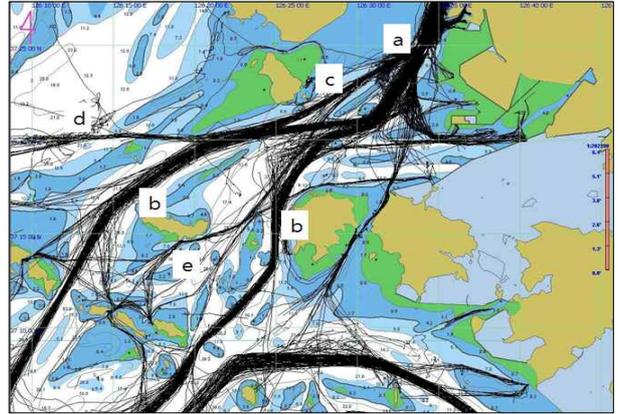


Fig. 11 Vessel tracks by AIS observation (06.23~06.27)

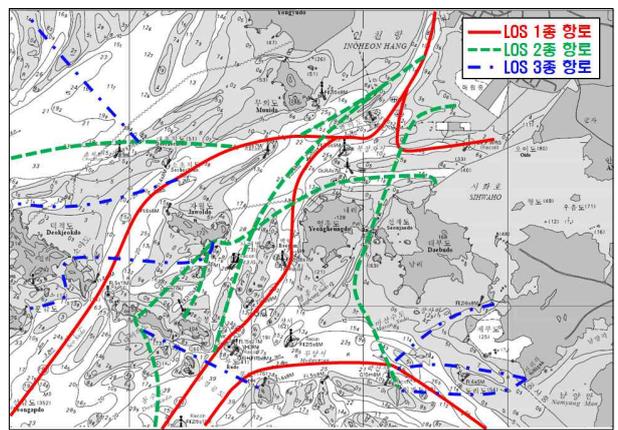


Fig. 12 Decision of LOS from the analysis of vessel tracks

Table 9 Level of Service Matrix for Incheon port area

구분	항로의 위험도(높음-낮음)				
	A	B	C	D	E
항로의 위치 (위험-안전)	a	인천항제1항로		여객선항로	
	b		동수도, 서수도	영흥수도	
	c				
	d				연평도항로
	e			입파도항로	

4.3 서비스수준의 결정

항로표지 당국은 앞서 제안한 서비스수준의 도출방법에 의하여 각 해역에 적합한 기준을 마련후 서비스수준을 결정하여야 한다. 서비스수준은 선박(항해자)이 항로를 안전하게 운항할 수 있도록 항해자의 관점에서 서비스를 제공하여야 하며, 높은 수준의 정확도, 운영을 그리고 신뢰성을 고려하여 시설물을 가장 효율적이고 경제적으로 유지관리하여야 한다.

Fig. 13에서 표시한 바와 같이 높은 수준의 해양교통시설 서비스를 제공하는 것과 효율적이고 경제적인 유지관리는 상충되는 개념으로서, 이 두가지 개념을 적절히 조정하는

것이 해양교통시설 서비스수준 제도의 핵심이 된다. 제정된 해양교통시설의 서비스수준은 관련 기술의 발전과 변화 그리고 자연환경의 변화 등에 의하여 지속적으로 재검토되고 수정되어야 한다.

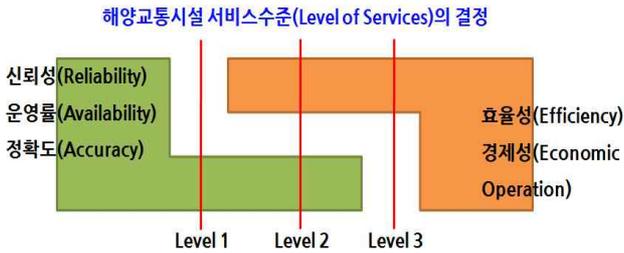


Fig. 13 Decision of the level of service

4.4 서비스수준의 공표 및 전파

항로표지의 서비스수준은 대상해역의 선박통행량(Volume of Traffic)과 위험수준(Degree of Risk)에 의하여 결정되어야 한다. 이러한 서비스수준은 동 항로를 이용하는 모든 이용자가 공유할 수 있어야 한다. 그리고 신규 항로표지의 설치 및 현황 변경시에는 이용자가 미리 인지할 수 있도록 시간적인 여유를 제공하여야 한다. 비용관리는 해양교통시설의 계획 및 예산관리 측면에서 중요하게 활용될 수 있다.

5. 결론 및 제언

해양교통시설은 항만을 입출항하는 선박의 안전에 필수적인 인프라시설이다. 현대의 해양교통시설은 시각에 의존한 과거의 시설을 넘어서 AIS, DGPS 및 전파표지를 활용한 e-Navigation의 개념으로 발전하고 있으나 이러한 해상교통의 자동화 및 전자화에도 불구하고 시각표지(광파, 형상)는 여전히 항해자의 신뢰성이 가장 높은 항행안전 보조시설이다. 우리나라 해양교통시설의 운영관리 시스템의 현황을 조사한 결과 해양교통시설은 총 4,420여기가 2.86마일당 1기가 설치되어 있으며, 지방해양항만청에서는 주기적으로 점검정비를 시행하고 있으나 시설물의 공간적 위치를 고려한 계획을 수립하여 관리하고 있다.

본 연구에서는 해양교통시설의 최적 서비스수준을 고려한 운영관리 시스템 체계화 방안을 제시하기 위하여 해상교통관련 전체 시설을 하나의 관리시스템으로서 관리하고 해역 및 항로의 중요도를 고려한 새로운 시스템의 적용 방법론을 제시하였다.

LOS 도입의 최종목표는 항로표지 당국의 목적과 정책을 고려하여 선박의 안전한 항해를 유도하기 위하여 가장 효율적이고 경제적인 서비스를 제공할 수 있도록 하는 것이다. LOS제도 도입의 장점은, ①항해자에게 제공되는 서비스의 신뢰성에 관한 객관적인 지표제시, ②항로표지서비스의 효과와 효율성 제시, ③유사한 시스템의 성능비교, ④

시스템의 설계, 조달, 장비선정 및 관리절차 등의 수립시 활용, ⑤시스템관리의 효율성 향상 등을 들 수 있다.

또한, 우리나라에 적합한 LOS 마련을 위한 절차 및 방법 등을 제안하였으며 이를 육상교통에서 사용되는 서비스수준과 외국에서 사용하는 서비스수준과 비교하였다.

아울러 우리나라 해역에 적합가능한 항로의 위험도 및 위치를 고려한 정량적인 기준 마련방안을 제시하여 이를 실험해역에 적용함으로써 적용가능성을 검증하였다.

그리고 본 연구에서 도출된 운영관리 시스템의 체계화 방안은 해양교통시설의 신규설치 및 재검토를 위한 분석시 활용가능하며, 시설물의 효율적인 유지관리 및 이용자 효율증대를 위한 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다. 결과적으로 본 연구에서 제시하는 LOS는 해양교통시설의 최저 경제적인운영의 도출이 가능하도록 하며 이를 통한 전체적인 관리 효율을 향상시킬 것으로 판단된다.

향후 추진과제로서 교통류 시스템 모델링, 해양교통시설 인지필요거리 및 위험도기준에 대한 현장 적용을 통한 검증이 필요하다.

References

- [1] CCG (2013), Aids to Navigation Program, http://www.ccg-gcc.gc.ca/eng/Ccg/atn_Home.
- [2] IALA (2004), "Availability and Reliability of Aids to Navigation", IALA Guideline 1035.
- [3] IALA (2010), "Aids to Navigation Manual", IALA Navguide.
- [4] IALA (2011), "Categorization and Availability Objectives for Short Range Aids to Navigation", IALA Recommendation O-130.
- [5] IALA (2013), "Level of Service", Guideline 1004.
- [6] Jeong, J. K. (2010), "The Role and Evolution of Traditional Aids to Navigation in an e-Navigation era", Proceedings of the KINPR Conference, pp. 473-480.
- [7] MOF (2012), "Aids to Navigation Annals"
- [8] MOLIT (2013), "Korea Highway Capacity Manual 2013"
- [9] Oman (2013), Arabian Maritime and Navigation Aids Services LLC, <http://www.amnas-oman.com/>
- [10] SMA (2013), Route plans (routes) outwards Karlshamn in Transas file format, <http://www.sjofartsverket.se/>
- [11] USCG (2005), "Aids to Navigation Manual Administration"

원고접수일 : 2013년 8월 20일
 심사완료일 : 2013년 12월 17일
 원고채택일 : 2013년 12월 18일