



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



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

항로표지시설인프라 표준평가모델
개발에 관한 연구

A Study on the Standard Evaluation Model Development
of Aids to Navigation Infrastructures



2017년 2월

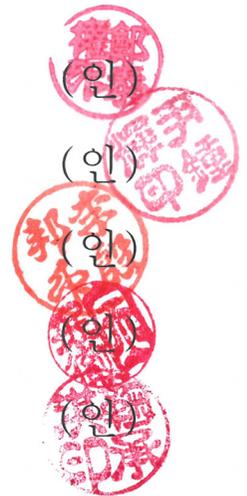
한국해양대학교 대학원

해양경찰학과

박혜리

본 논문을 박혜리의 공학박사 학위논문으로 인준함.

위원장 정 태 권
위원 윤 중 휘
위원 이 은 방
위원 김 민 철
위원 국 승 기



2016년 12월 22일

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	iv
List of Figures	vi
Abstract	viii

제 1 장 서론

1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 방법	3
1.3 연구의 내용 및 절차	5

제 2 장 항로표지시설인프라 평가의 이론적 고찰

2.1 항로표지시설인프라의 개요	8
2.2 항로표지시설 평가의 이론적 고찰	11
2.3 소결	21

제 3 장 항로표지시설인프라의 표준 평가 기준 선정

3.1 표준 평가기준 선정 개요	24
3.2 항로표지시설인프라 표준 평가기준 설계	25
3.3 소결	36

제 4 장 항로표지시설인프라 표준평가모델의 개발

4.1 표준평가모델의 개요	38
4.2 항로표지시설인프라의 정량적 평가 방법	42
4.3 평가항목별 가중치 산정	54
4.4 소결	57

제 5 장 항로표지시설인프라 표준평가모델의 적용 및 검증

5.1 분석대상 선정 59

5.2 해상기반의 항로표지시설인프라에 대한 평가 62

5.3 육상기반의 항로표지시설인프라에 대한 평가 84

5.4 소결 107

제 6 장 결 론

참고문헌 113



List of Tables

Table 1	IALA 지침서의 항로표지 가용성 및 신뢰성 성과지표	13
Table 2	국가별 공공건설 사업평가 중점요소	18
Table 3	국내 EDCF 지원사업의 평가 논점	20
Table 4	항로표지시설인프라 평가를 위한 평가기준 검토결과	23
Table 5	항로표지시설인프라 표준평가 기준 및 항목	41
Table 6	적절성 평가점수 배치표	42
Table 7	효과성 평가점수 배치표	44
Table 8	효율성 평가점수 배치표	45
Table 9	지속가능성 평가점수 배치표	47
Table 10	해상기반시설의 항로표지안전시설 기능평가 점수표	48
Table 11	업무지원 기능평가 점수표	50
Table 12	해상기반시설의 영향력 평가점수 배치표	50
Table 13	육상기반시설의 영향력 평가점수 배치표	52
Table 14	AHP 기법의 특징	55
Table 15	Questionnaire on AHP(Analytic Hierarchy Process)	56
Table 16	Questionnaire on Likert scale	58
Table 17	부산해역 항로표지 운영현황	60
Table 18	부산신항 가덕수도 항로표지 현황	62
Table 19	안개 발생일수(2006년-2015년)	63
Table 20	태풍 발생일수(2006년-2015년)	64
Table 21	풍랑주의보 발생일수(2006년-2015년)	64
Table 22	풍랑경보 발생일수(2006년-2015년)	65
Table 23	LL-28 및 LL-26(M) 표준형 등부표 제원 비교표	66
Table 24	최근 10년간(2004~2013) 전국 무역항 입출항현황	69
Table 25	가덕수도 항로표지 기능중복성 분석결과	71
Table 26	부산항 가덕수도 시설 활용도 분석결과	72
Table 27	가덕수도 항로표지 해양교통안전시설 기능분석결과	74

Table 28	부산항 가덕수도 항로표지 위해요소 영향평가 결과	76
Table 29	부산항 인근 선박통항량	77
Table 30	가덕수도 항로표지의 정량적 평가 종합결과 분석표	80
Table 31	평가기준별 상대적 중요도 분석결과(평균값 적용)	81
Table 32	평가기준별 가중치 산정결과	81
Table 33	가덕수도 항로표지시설인프라 가중치 반영 종합평가 결과 분석표	82
Table 34	유인등대별 해양환경특성 평가결과	85
Table 35	유인등대별 항로표지형식의 적합성 평가결과	86
Table 36	유인등대별 해양교통환경조성 기여도 평가결과	88
Table 37	유인등대별 기능중복성 분석결과	90
Table 38	유인등대별 시설 활용도 분석결과	91
Table 39	유인등대별 해양교통안전시설 기능평가 결과	93
Table 40	유인등대별 다목적시설 기능분석 결과	94
Table 41	유인등대별 광역관리 영향평가 평가결과	97
Table 42	유인등대별 광역관리 영향평가 평가결과	98
Table 43	유인등대 시설인프라의 정량적 평가 종합결과 분석표	101
Table 44	평가기준별 상대적 중요도 분석결과(평균값 적용)	103
Table 45	평가기준별 가중치 산정결과	103
Table 46	유인등대 시설인프라의 가중치 반영 종합평가 결과 분석표	104
Table 47	가덕수도 항로표지시설인프라 표준평가 결과 및 기능재검토 대상 선정	108
Table 48	유인등대 시설인프라의 표준평가 결과 및 기능재검토 대상 선정	108

List of Figures

Fig. 1 항로표지시설인프라 표준평가모델 흐름도	7
Fig. 2 Number of AtoN in Korea	9
Fig. 3 지방청별 항로표지 운영현황	9
Fig. 4 Total cost & Improvement in reliability(IALA, 2004)	12
Fig. 5 해상교통안전시설의 사업평가 방법 (해양수산부, 2006)	14
Fig. 6 해양교통시설 운영효과 분석 흐름도(해양수산부, 2006)	15
Fig. 7 EU에서의 사업절차 및 평가요소 (송도흙, 2015)	19
Fig. 8 항로표지시설인프라 적절성 평가 논점	26
Fig. 9 항로표지시설인프라 효과성 평가 논점	28
Fig. 10 Gas molecular collision image calculation image	29
Fig. 11 항로표지시설인프라 효율성 평가 논점	30
Fig. 12 항로표지시설인프라 지속가능성 평가 논점	32
Fig. 13 The Radius of Curvature on Fairway Bend	33
Fig. 14 항로표지시설인프라 지속가능성 평가 논점	34
Fig. 15 항로표지시설인프라 표준평가모델	39
Fig. 16 표준평가기준별 평가목적 및 대상	40
Fig. 17 시설인프라의 적합성 평가 순서도	43
Fig. 18 부산신항 및 가덕수도 위치도(해양수산부, 2012)	60
Fig. 19 항로표지별 표준형등부표형식 배치도	66
Fig. 20 부산신항 가덕수도 항로표지의 적절성 평가 결과	67
Fig. 21 부산해역 위험도분석 결과	68
Fig. 22 가덕수도 위험도분석	68
Fig. 23 최근 10년간(2004~2013) 전국 무역항 입출항 변화	69
Fig. 24 가덕수도 항로표지의 효과성 평가 결과	70
Fig. 25 가덕수도 항로표지의 효율성 평가 결과	73
Fig. 26 가덕수도 항로표지의 지속가능성 평가 결과	75

Fig. 27 가덕수로 해상교통량 현황	77
Fig. 28 가덕수도 항로표지의 영향력 평가 결과	78
Fig. 29 가덕수도 항로표지의 정량적 평가 종합결과	79
Fig. 30 가덕수도 항로표지시설인프라 가중치 반영 종합평가 결과	82
Fig. 31 하위 25% 항로표지 위치도	83
Fig. 32 유인등대 위치도	84
Fig. 33 유인등대 시설인프라에 대한 적절성 평가 결과	87
Fig. 34 유인등대 시설인프라에 대한 효과성 평가 결과	89
Fig. 35 유인등대 시설인프라에 대한 효율성 평가 결과	92
Fig. 36 유인등대 시설인프라에 대한 지속가능성 평가 결과	96
Fig. 37 유인등대 시설인프라에 대한 영향력 평가 결과	99
Fig. 38 유인등대 시설인프라의 정량적 평가 종합결과	100
Fig. 39 유인등대 시설인프라의 가중치 반영 종합평가 결과	104



A Study on the Standard Evaluation Model Development of Aids to Navigation Infrastructures

PARK, Hye Ri

Department of Coast Guard Studies
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

The basic elements in maritime safety can be typically divided into human factor, physical factor and environment factor, among which the environmental factor aims at the safety and efficiency of maritime transportation environment for shipping areas. For such maritime transportation environment development, systematic construction and operation of aids to navigation infrastructures might be indispensable.

Infrastructure is a basic framework forming the basis of production activity like a building and equipment, etc., which means necessary resource for achieving a specific purpose. Aids to Navigation(AtoN) Infrastructures, as a core resource of public purposes for maritime transportation environment development from the maritime safety aspect, should be provided so that it can be managed and operated systematically and complexly with the state as the center. The significance and necessity of AtoN infrastructure are expanding according as development of port and continuous increase in trade scale. It is necessary to do continuous and

systematic operation of public AtoN infrastructure for providing high-reliability service and system to users.

This study establishes the Standard Evaluation Model of Aids to Navigation Infrastructures as ex-post evaluation models which includes risk elements and environmental change after the opening of a port. This study makes a design to evaluate the effectiveness and utility of AtoN infrastructures, the whole process from the needs to the outcomes. The model evaluates the public infrastructure resources in relation to state-centered overall operation, complex utilization, and systematic performance in the aspect of maritime safety. First, this study is to divide the AtoN infrastructures into maritime infra and overland infra in the light of the difference in facility purpose. Then, a quantitative evaluations are conducted by the five common evaluation standards, i.e. Relevance(R_A), Effectiveness(F_A), Efficiency(E_A), Sustainability(S_A) and Impact(I_A). This quantitative evaluations can examine the change and influence of the surrounding environment, validity of infrastructures, and consumer-side satisfaction, etc. through the Standard Evaluation Model of AtoN Infrastructures. For the verification and application to this model, this study makes an evaluation of the currently operated maritime infra and overland infra to expand the reliability and usefulness of this model.

The standard evaluation model for the AtoN infrastructures can be used as the basic tool for re-arranging a core resource of public purposes and planning a similar facility operation in marine traffic environment. Also, it will be a means of maximizing and improving safety and efficiency of marine traffic environment on the basis of each evaluation content.

KEY WORDS : Aids to Navigation Infrastructures 항로표지시설인프라; Standard Evaluation Model 표준평가모델; Relevance 적절성; Effectiveness 효율성; Efficiency 효과성; Sustainability 지속가능성; Impact 영향력.

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

해양안전을 위한 기본요소는 대표적으로 인적요인, 물적요인, 환경요인으로 구분할 수 있으며, 그 중 환경요인은 안전하고 효율적인 선박 항해를 위한 해양교통 환경조성 등의 목적을 가진다. 이러한 해양교통 환경조성을 위해 종합적이고 체계적인 항로표지시설인프라 구축 및 관리는 필수적이라 할 수 있다.

항로표지시설인프라(Aids to Navigation Infrastructures)란 해양안전 측면에서 해양교통 환경조성을 위한 공공 목적의 핵심 자원으로서 국가를 중심으로 하여 종합적이고 체계적으로 관리·운영하고 복합적으로 활용할 수 있도록 제공해야 하는 인프라를 말한다. 인프라는 생산 활동의 기반을 형성하는 기초적인 틀(Basic Framework)으로써 어떤 행위를 수행하는데 있어 요구되어지는 건물, 장비 등의 자원으로 즉, 특정한 목적을 달성하기 위해서 필요한 기반시설을 의미한다. 해양안전 측면에서의 항로표지시설인프라라 함은 선박의 안전하고 효율적인 항해를 목적으로 설치 및 운영되는 시스템 또는 시설 등의 자원으로 안전하고 효율적인 해상교통 환경 조성 등의 목적을 가진다고 할 수 있다.

이러한 항로표지시설인프라는 무역규모의 지속적인 증대와 함께 국가관리항 및 연안항만의 발전이 꾸준히 이어짐에 따라 그 기능 및 그 필요성이 확대되고 있는 추세이다. 우리나라 IT 기술을 바탕으로 첨단 항로표지시설인프라를 도입·운영하여 이용자에게 한층 강화된 서비스를 제공하고 있으며, 현재보다 더욱 진보된 시스템 도입 및 운영이 절실히 요구되고 있다. 현재보다 진보된 항로표지시설인프라 도입 및 운영을 통해 안전한 해양교통 환경 조성을 조성하고 이용자에게 신뢰성 높은 시설인프라 서비스를 제공하기 위하여 공공 시설인프라에 대해 지속적이고 체계적인 관리·운영이 필요하다.

그러나 해양안전 관련 연구 및 국가정책에서는 선박 및 인적요소와 관련하여 다양하고 지속적으로 이루어진데 반해 환경요인 즉, 해양교통환경 측면에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 현재 항로표지시설인프라에 대한 선행연구를 살펴보면 국제항로표지협회(IALA, International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities) 등 국제규정에 따른 평가 및 국내 해양교통시설 운영효과분석 연구가 대표적이다.

국제항로표지협회(2014)에서는 ‘항로표지란 최적의 항로의 위치에 대한 조언을 하거나 위험 또는 장애를 경고하여 항해사가 선위 및 항로를 결정하는데 도움을 주기 위한 선박 외부 장치 또는 시스템’이라 정의하고 있다. IALA(2004)는 5개 성과지표를 기준으로 항로표지의 가용성 및 신뢰성을 평가하도록 권고하고 있으며 가용성(Availability), 신뢰성(Reliability), 평균시간(MTBF, Mean Time Between Failures), 평균 수리시간(MTTR, Mean Time to Repair), 계속성(Continuity)의 성과지표를 기준으로 항로표지시설 관리·운영 측면에서의 가용성 및 항로표지에 대한 유지관리의 평가 척도를 제시하고 있다. 이러한 척도는 항로표지의 설치에 따른 효과 및 그 기능에 대한 평가는 이루어지지 않고, 특정한 항로표지의 설계 목적에 따라 그 기능을 수행할 경우 가용성을 가지는 것으로 평가할 수 있으며, 시설인프라에 대한 기능의 적정성 또는 효용성 평가와는 차이가 있다.

또한 국내 항로표지시설의 경우 해양수산부(2015b)에서 안전하고 효율적인 해상교통 환경 조성을 목적으로 10년 단위의 기본계획을 수립·시행하고 있고, 이에 대한 기본계획의 타당성 검토를 통해 5년마다 조정하고 있다. 해상에서의 환경변화 또는 새로운 항로표지 방식의 도입 등에 따라 기본계획을 변경할 필요가 있다고 인정되는 경우 변경 할 수 있도록 하고 있으나, 객관적인 평가 기준이나 제도는 마련되어 있지 않다. 이와 유사하게 우리나라 항만에 대한 해양교통안전성 평가의 경우 해사안전법 제15조에 의거하여 해상교통안전에 영향을 미치는 사업으로 발생 할 수 있는 항행안전 위험 요인이 있을 때 해양교통안전진단체도를 통해 조사·측정하고 평가하도록 하고 있으나(해양수산부, 2015d), 항로표지시설인프라에 대한 평가는 포함하지 않는다.

그러므로 안전하고 효율적인 해양교통 환경 조성을 위한 공공 목적의 핵심 자원인 항로표지시설인프라는 국가 중심의 종합적인 관리·운영과 복합적인 활용을

위하여 체계적인 성과 및 효과에 대한 사후평가 과정을 통해 시설인프라의 중요한 제반 측면과 그 가치를 분석하고 운영 성과에 대한 신뢰성 및 유용성을 확대하기 위한 방안을 마련할 필요가 있다. 현재 우리나라는 국가, 지방자치단체, 공공단체 등이 공공의 이익을 도모하기 위해 공공의 재원을 이용하여 사회간접자본 등의 각종 시설을 건설하고 유지하는 사업에 대하여 사후평가 과정을 통해 공공 시설인프라에 대한 성과 관리 및 효과 분석을 위한 제도를 시행하고 있으며, 이러한 제도를 기반으로 하여 해양안전 분야 역시 항로표지시설인프라 특징 및 기능을 고려한 표준평가모델 설계가 필수적이다.

본 논문에서는 선박의 안전하고 효율적인 항해를 목적으로 설치 및 운영되는 등 공공 시설인프라 자원인 항로표지시설인프라에 대하여 국가 중심의 종합적인 관리·운영과 복합적 활용, 체계적인 성과 및 효과 등 사후평가를 위한 표준평가 모델을 개발하고자 한다. 항로표지시설인프라의 특성 상 항해사, 관리·감독자, 운영자, 이용자 등 검토 및 평가하는 주체에 따라 그 기능 및 적정성에 대한 평가가 다르게 이루어 질 수 있으므로 신뢰성 있는 평가를 위해 객관적이고 종합적인 평가모델을 설계한다.

1.2 연구의 방법

본 연구에서는 해양교통환경 조성을 위한 공공 목적의 해양안전 핵심 자원인 항로표지시설인프라에 대한 표준평가 모델을 개발한다. 우선 항로표지시설의 형태에 따라 시설의 기능 및 목적의 차이가 있음을 고려하여 항로표지시설인프라를 해상기반시설과 육상기반시설로 구분하고 각 시설의 특징을 고려한 체계적인 평가가 이루어질 수 있도록 한다. 이러한 시설인프라에 대한 체계적 성과 및 효과의 사후평가 과정을 통해 시설인프라의 중요한 제반 측면과 그 가치를 분석하고 운영 결과에 대한 신뢰성 및 유용성을 확대할 수 있다.

항로표지시설인프라 표준평가모델은 시설인프라에 대한 수요(Needs)부터 활용(Outcomes)까지 전체 과정에 대한 실효성 및 효용성에 대해 평가한다. 항로표지 시설에 관한 평가기준 및 선행연구를 바탕으로 5개 공통된 평가기준을 선정하고,

적절성(Relevance), 효과성(Effectiveness), 효율성(Efficiency), 영향력(Impact), 지속가능성(Sustainability)의 평가 목적에 부합하는 세부 평가 항목을 다음과 같이 구성하여 시설인프라에 대한 정량적인 평가를 하고자 한다.

우선 항로표지시설인프라의 적절성(Relevance)은 설계 시점의 항로표지시설인프라 필요성 및 우선순위 등 제반 목표가 설치 계획 단계에서 해역의 위치 및 여건을 고려하여 시설이 적절하게 설정되어 설치되었는가를 평가하기 위하여 해양환경특성(Maritime Environment)과 시설인프라의 적합성(Standard Type)에 대해 분석한다. 항로표지시설인프라의 효과성(Effectiveness)은 항로표지시설인프라 설계 당시 수립된 목적 대비 현재 시점의 효과 및 결과를 평가하기 위한 것으로 사업의 결과가 사업의 목표를 달성하는데 얼마나 기여하였는가를 평가하기 위하여 해상교통안전 공헌도(Marine Traffic Safety Contribution)와 해상교통 환경조성 기여도(Marine Traffic Environment Contribution)에 대해 분석한다. 또한 항로표지시설인프라의 효율성(Efficiency)은 실제로 이용자측면에서 항로표지시설인프라 설치 목적과 비교하여 투입된 자원이 얼마나 경제적으로 사용되어 결과물 및 중간 결과로 전환되었는가를 평가하기 위하여 기능중복성(Duplication of Function)과 시설의 활용도(Utilization)에 대해 분석한다. 항로표지시설인프라의 지속가능성(Sustainability)은 설계 시점의 항로표지시설인프라 필요성 및 우선순위 등 타당성 평가 결과 대비 설치 이후 인적·제도적·재정적 자원을 활용한 수요 측면에서의 시설운영의 성과의 지속가능성을 평가하기 위하여 해상교통안전시설 기능(Maritime Traffic Safety Facility)과 다목적시설 기능(Additional Facility)에 대해 분석한다. 마지막으로 항로표지시설인프라의 영향력(Impact)은 항로표지시설인프라 설치·운영에 따라 직·간접적으로 초래된 제도적, 사회·경제적, 환경적, 기술적 변화 등에 대한 영향력을 평가하기 위한 것으로 항로표지시설의 형태에 따라 해상기반시설의 경우 위해요소 영향(Hazard Factors) 및 자유통항선박 영향(Fishing Factors)에 대해 분석한다. 또한 육상기반시설의 경우 광역관리 영향(District management) 및 해양문화유산 영향(Maritime cultural heritage)에 대해 분석한다.

1.3 연구의 내용 및 절차

본 논문의 각 장별 내용 및 절차는 다음과 같다.

제1장 서론에서는 항로표지시설 관련 동향 및 선행연구를 통해 항로표지시설인프라에 대한 표준평가의 필요성을 제시하고, 공공 시설인프라의 지속적이고 체계적인 관리·운영을 위한 표준평가모델 개발의 연구 목적 및 방법을 제시한다.

제2장 항로표지시설인프라 평가의 이론적 고찰에서는 항로표지시설인프라의 특징 및 기능을 분석하고, 항로표지시설인프라 표준평가모델 개발을 위하여 항로표지시설에 관한 평가기준 및 선행연구를 바탕으로 IALA 등 국제규정에 따른 평가방법, 해양교통시설 운영효과분석 연구, 공공시설인프라 평가제도 등을 검토한다. 이를 바탕으로 표준평가 모델의 평가기준 설계를 위한 기초 자료로 활용하고, 항로표지시설인프라와 유사한 형태인 공공시설건설사업에 대한 사후평가제도 등 해양분야 이외에 도로, 항공, 철도 등 기타 분야에서의 평가 사례를 분석한다.

제3장 항로표지시설인프라의 표준 평가기준 선정에서는 제2장 항로표지시설인프라 평가의 이론적 고찰을 통해 항로표지시설인프라 표준평가 모델의 목적 및 표준평가 기준을 선정하고 평가내용을 구체화한다. 해양안전 측면의 해양교통환경 조성을 위한 공공 목적의 핵심 자원인 항로표지시설인프라는 국가를 중심으로 종합적이고 복합적으로 관리·운영이 필요한 공공시설인프라로서 체계적인 성과 및 효과 사후평가 과정을 통해 시설인프라의 중요한 제반 측면과 그 가치를 분석하고 평가결과의 신뢰성과 유용성을 추구하기 위한 표준 평가기준의 선정이 필수적이다.

제4장 항로표지시설인프라 표준평가모델의 개발에서는 항해하는 선박의 안전 및 효율적인 항해와 해양교통환경 조성 등 공공목적의 핵심 시설인프라에 대한 종합적이고 체계적으로 관리·운영을 통하여 복합적으로 활용될 있도록 해양환경

및 항만여건 변화 등을 고려한 항로표지시설인프라의 사후평가모형을 Fig. 1과 같이 설계한다. 제3장에서 선정된 5개의 평가기준에 따라 각 기준별 평가 목적에 부합하는 세부 평가 항목을 통해 정량적 평가가 이루어진다. 항로표지시설인프라에 대한 표준평가기준은 적절성(Relevance), 효과성(Effectiveness), 효율성(Efficiency), 영향력(Impact), 지속가능성(Sustainability)으로 구분하고, 기존의 국내의 항로표지시설에 대한 평가 및 각 기준별 평가 목적을 고려하여 10개의 세부 평가항목으로 구성된다. 이때 각 평가기준별 중요도 차이를 가지므로 관련 학계, 기관 등 전문가 의견수렴을 통한 AHP 기법을 적용하여 전략적 평가 결과를 바탕으로 각 기준별 가중치를 $\alpha_1 \sim \alpha_5$ 까지 산정하여 평가한다. 항로표지시설인프라 평가 기준별 가중치를 반영한 평가 후 항로표지시설인프라의 특성 상 기초 기능분석을 통해 그 기능이 충분히 인식되었으나 주변 환경의 여건, 통항선박의 특징, 국가 정책, 설계자의 관점차이에 따라 설치·운영이 어려운 경우가 있을 수 있으므로 리커트척도(Likert scale)를 활용하여 항로표지시설인프라에 대한 특수성분석을 통해 기능분석 결과에 대한 검증과정을 거쳐 최종 평가결과를 도출한다.

제5장 항로표지시설인프라 표준평가모형의 적용 및 검증에서는 제4장에서 개발된 항로표지시설인프라 표준평가모형을 현재 운영 중인 해상기반시설 및 육상기반시설에 적용하여 개발된 모형의 완성도를 검증하고, 표준평가모형을 통해 평가된 결과를 분석을 통해 표준평가모형의 효용성 및 활용성을 검증하고자 한다. 해상기반시설의 경우 우리나라 최대 항만이 부산항을 분석대상으로 선정하고 현재 부산항의 항로표지시설인프라 현황 및 문제점에 대해 1차 검토 후 개발된 표준평가모형을 통해 적절성, 효과성, 효율성, 영향력, 지속가능성 측면의 평가결과 도출한다. 또한 육상기반시설의 경우 가장 대표적인 등대를 평가 대상으로 선정하고 우리나라 전 해역에서 운영 중인 유인등대에 대하여 평가모형 적용하고 우리나라 주요 항만에 위치한 유인등대의 적절성, 효과성, 효율성, 영향력, 지속가능성 측면에 대해 평가한다.

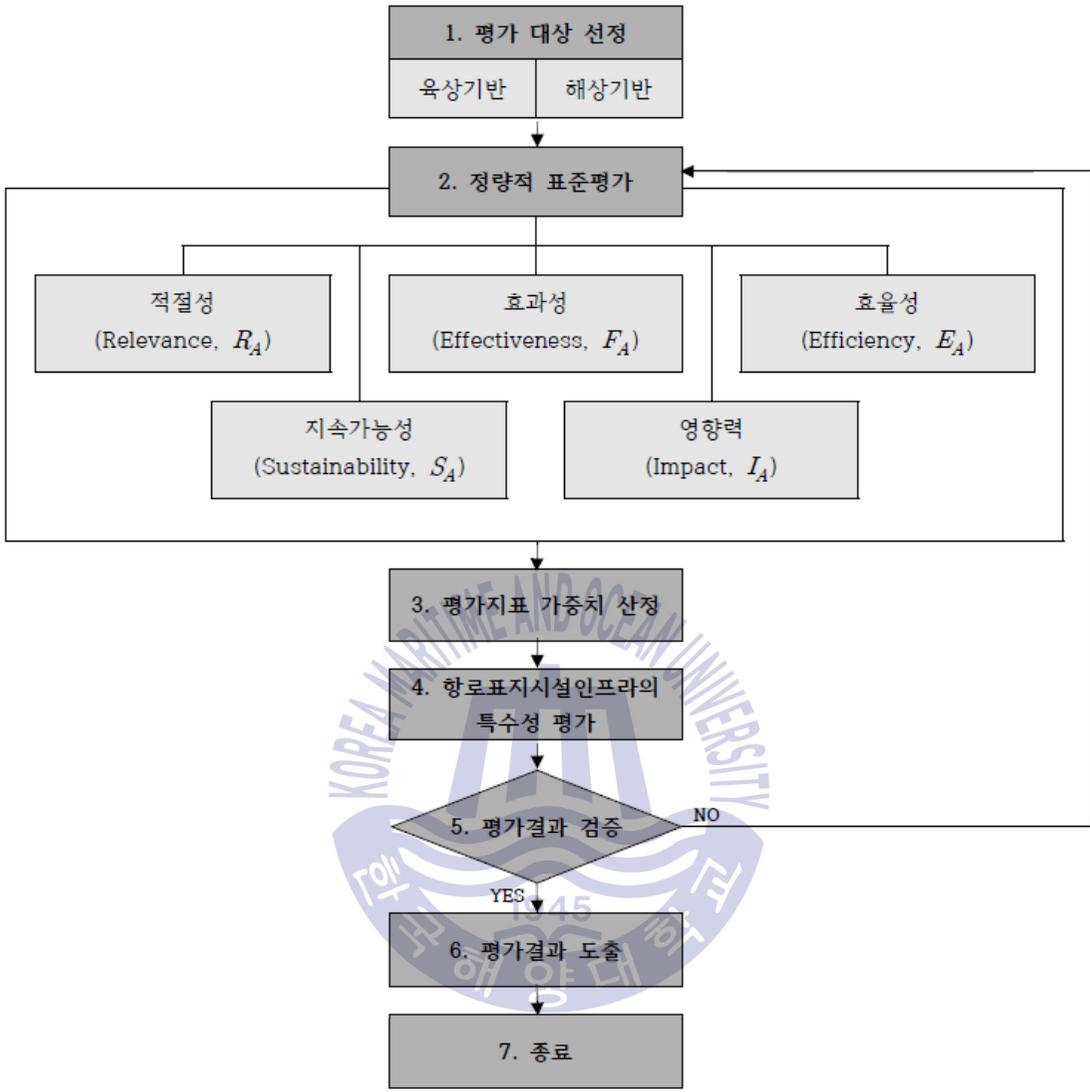


Fig. 1 항로표지시설인프라 표준평가모델 흐름도

제 2 장 항로표지시설인프라 평가의 이론적 고찰

2.1 항로표지시설인프라의 개요

우리나라는 삼면이 바다인 지형적 특성이 있으며 과거에 비해 해상교통량 증가 및 해양 환경의 특성이 지속적으로 변하고 있다. 특히 우리나라의 서해안과 남해안은 크고 작은 도서와 암초가 많아 선박 안전 항해에 위해요소가 크게 작용하고 있다. 지난 몇 년간 해양사고는 감소하고 있으나, 해상물동량 및 교통량의 지속적인 증가와 선박의 대형화, 고속화에 따라 대형 해양사고의 위험성은 상존하고 있으며, 해양사고 발생 시 재산 및 인명피해뿐만 아니라 유류오염으로 인한 해양환경 피해는 이루 말할 수 없다.

해양안전을 위한 기본요소로서 인적요인, 물적요인, 환경요인 등으로 구분할 수 있으며, 그 중 환경요인은 해양교통 환경을 의미는 것으로 안전하고 효율적인 해양교통 환경 조성 등의 목적을 가진다. 이러한 해양교통 환경 조성을 위하여 항로표지시설인프라가 필수적으로 해양사고의 예방과 통항선박의 안전 확보를 위해 전 세계적으로는 지속적인 항로표지 개발 및 서비스 증진에 많은 노력과 재원을 투자하고 있다.

항로표지란 등광·형상·색채·음향·전파 등을 수단으로 항·만·해협, 그 밖의 대한민국의 내수·영해 및 배타적 경제수역을 항행하는 선박에게 지표가 되는 등대, 등표, 입표, 부표, 안개신호, 전파표지, 특수신호표지 등을 의미하며(해양수산부, 2015b), 해상교통의 안전을 도모하고 선박운항의 능률성을 향상시키기 위한 목적으로 설치·운영되어 Fig.2와 같이 우리나라 역시 지속적으로 증가하여 현재 약 4,722기의 항로표지가 설치·운영 중에 있다.

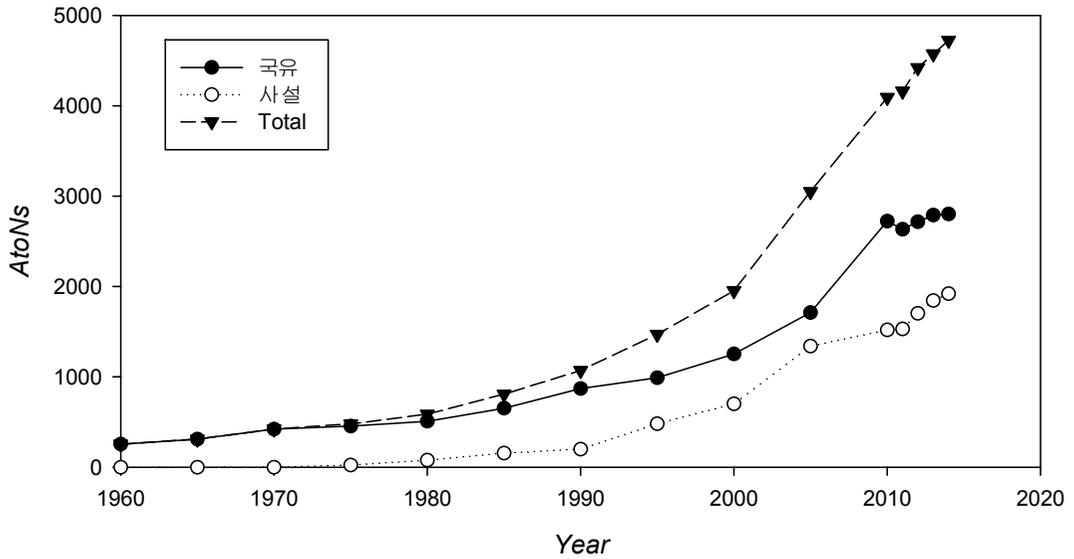


Fig. 2 Number of AtoN in Korea

각 지방청별로 운영 중인 항로표지 현황을 살펴보면 Fig. 3과 같으며, 부산청이 718기로 가장 많고 인천청 671기, 마산청 537기, 여수 524기 순으로 설치·운영 중에 있다. 이는 항만의 규모 및 선박의 통항량 등을 고려하여 안전하고 효율적인 해양교통 환경 조성을 목적으로 하여 설치·운영 중인 것으로 분석되었다.

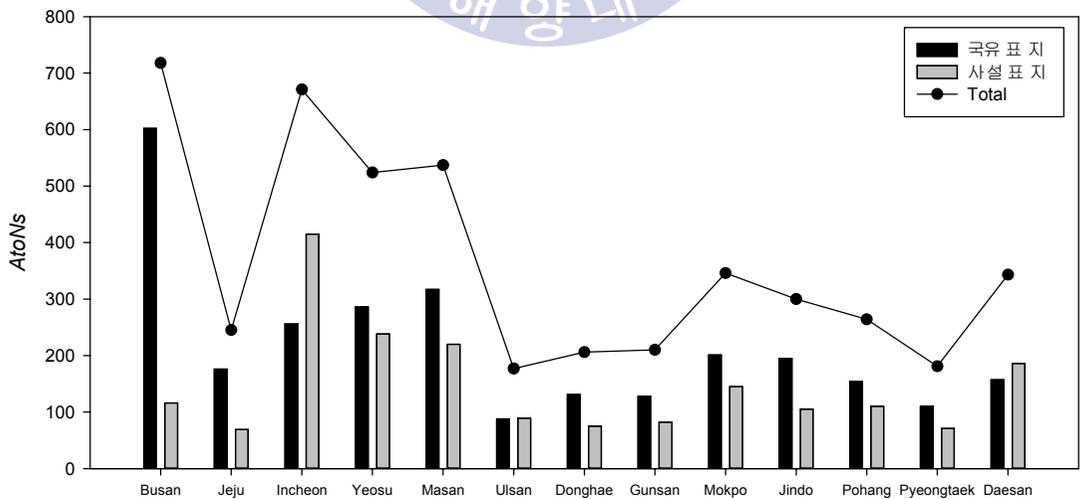


Fig. 3 지방청별 항로표지 운영현황

이러한 항로표지시설은 해양교통환경 조성을 위한 공공 목적의 핵심 자원으로써 국가를 중심으로 종합적이고 체계적으로 관리·운영하여 복합적으로 활용될 수 있도록 관리·운영되어야 한다. 해양안전 측면에서의 항로표지시설은 선박의 안전하고 효율적인 항해의 목적을 달성하기 위해 필요한 기반시설로 안전하고 효율적인 해상교통 환경 조성 등 공공의 목적을 가진 ‘시설인프라’라 할 수 있다. 인프라(Infrastructure)란 생산 활동의 기반을 형성하는 기초적인 틀(Basic Framework)으로써 어떤 행위를 수행하는데 있어 요구되어지는 건물, 장비, 시설 등의 자원으로 특정한 목적을 달성하기 위해서 필요한 기반시설을 의미한다.

우리나라의 항로표지 개발 및 설계의 경우 해양수산부에서 안전하고 효율적인 해상교통 환경 조성을 목적으로 10년 단위로 하여 기본계획을 수립·시행하고 있으며, 이에 대한 기본계획의 타당성 검토를 통해 5년마다 조정하고 있다(해양수산부, 2015b). 또한 해상에서의 환경변화 또는 새로운 항로표지 방식의 도입 등에 따라 기본계획을 변경할 필요가 있다고 인정되는 경우 변경 할 수 있도록 하고 있다.

우리나라 IT 기술을 바탕으로 첨단 항로표지시설인프라를 도입·운영하여 이용자에게 한층 강화된 서비스를 제공하고 있으며, 현재보다 더욱 진보된 시스템 도입 및 운영이 절실히 요구되고 있다. 현재보다 진보된 항로표지시설인프라 도입 및 운영으로 안전한 해양교통 환경 조성과 신뢰성 높은 시설인프라 서비스를 이용자에게 제공하기 위하여 공공 시설인프라에 대한 지속적이고 체계적인 관리·운영이 필요하다.

2.2 항로표지시설 평가의 이론적 고찰

항로표지시설인프라 표준평가모델 개발을 위하여 항로표지시설에 관한 평가기준 및 선행연구를 바탕으로 IALA 등 국제규정에 따른 평가방법, 해양교통시설 운영효과분석 연구, 공공시설인프라 평가제도 등을 검토 한다.

2.2.1 IALA의 항로표지 가용성 평가

국제항로표지협회(International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, IALA)에서는 항로표지 특정시스템 및 장비 성과를 측정, 분석 및 모니터하는데 사용될 수 있는 관리도구로 사용될 수 있는 중요한 성과지표로 항로표지의 가용성(Availability) 및 신뢰성(Reliability)을 평가하도록 하고 있다.

IALA(2004)는 항로표지의 운영 역할에 기초하여 정해지는 항로표지 가용성 및 신뢰성 평가를 통해 유지관리, 물류 및 장비의 신뢰성의 적절한 조합을 통한 목표 달성을 목적으로 하고 있다. 기술이 진보됨에 따라 보다 나은 항로표지 및 서비스 제공이 가능하며, 이는 인간의 신뢰성 대신 장비 자체의 신뢰성에 더욱 의존하게 된다. 일반적으로 신뢰성에는 비용적인 측면의 투자가 증가하게 되고, 개발설계 및 제조 등 장비조달비용 역시 신뢰성 확대를 위해 점차 증가한다. 후자는 예방적 유지관리와 운영 중인 장비의 고장 시 가동할 수 있는 1개 이상의 예비품 형태로 예비품 공급을 통해 전체 구성 및 서비스의 질을 향상시킬 수 있으며, 또한 이것은 초기 투자자본 비용을 증가시킬 수 있다. 그러나 항로표지시설이 특성 상 신뢰할 수 없음은 유지관리 비용의 증가 등 기타관련비용의 형태로 추가 비용을 발생시킨다. 이러한 관계는 복잡하나 Fig. 4와 같이 일반원칙 상 신뢰성 비용과 실패 비용이 최소화되는 곳에 균형점이 있다. 신뢰성과 함께 증가하는 조달비용과 그에 상응하여 감소하는 유지관리 비용을 고려하여 최소비용으로 최적의 신뢰성을 제공하는 것이라 할 수 있다.

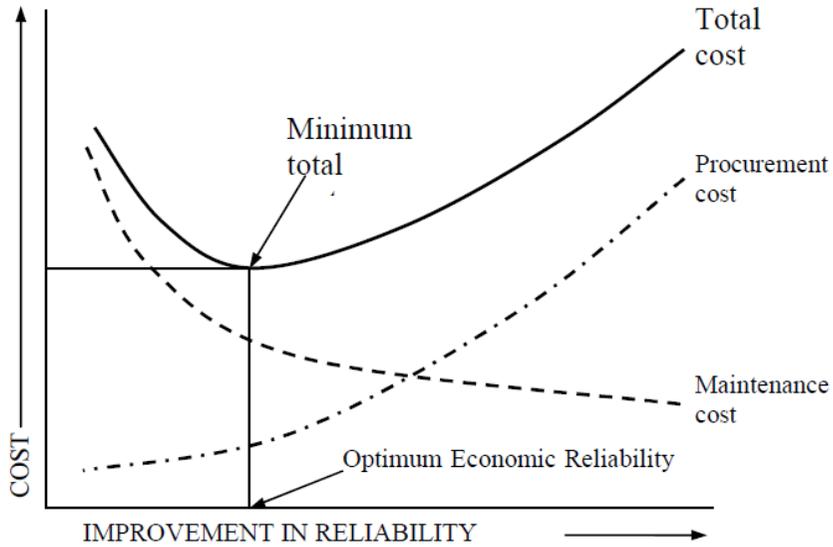


Fig. 4 Total cost & Improvement in reliability(IALA, 2004)

신뢰성과 함께 증가하는 소요비용과 그에 상응하여 하락하는 유지관리관련 비용을 통해 최적의 신뢰성이 최소 수치를 가지는 총계(Total)를 산출한다, 그러나 최소비용이 반드시 최적의 신뢰도를 결정하는데 결정적 요소가 되는 것은 아니며, 비용 증가에 관계없이 보다 안전 등 높은 신뢰성을 요구하는 또 다른 요소들이 결합된다. 그러므로 높은 수준의 항로표지 신뢰성 및 이용성은 비용의 경제성 등 관련된 모든 요소들을 고려하여 결정해야 한다.

IALA(2004)에서는 Table 1과 같이 5개 성과지표를 기준으로 항로표지의 가용성 및 신뢰성을 평가하도록 권고하고 있다.

Table 1 IALA 지침서(Guideline)의 항로표지 가용성 및 신뢰성 성과지표

구분	평가 내용
가용성 (Availability)	관리 당국에 의해 규정된 항로표지 또는 시스템이 무작위로 선정된 시간에 특정한 기능을 수행해야하는 가용성(확률)으로 항해자에게 제공되는 서비스의 척도
신뢰성 (Reliability)	가용 항로표지가 특정한 시간동안 주어진 조건 아래서 고장 없이 특정기능을 수행하는 확률로 항로표지 장비의 성과 척도
고장간평균시간 (MTBF, Mean Time Between Failures)	수리 가능한 항로표지, 시스템 또는 장비의 연속적인 고장 간 평균시간이며 신뢰성의 척도
평균 수리시간 (MTTR, Mean Time to Repair)	항로표지의 고장 후 정상운영으로 회복하는데 걸리는 시간이며 관리 당국의 행정처리, 결함을 시정하는 자원 및 기술능력의 척도이며, 사실상 유지보수팀의 성과척도
계속성 (Continuity)	항로표지 또는 시스템이 특정한 시간동안 방해받지 않고, 특정한 기능을 수행할 확률이며 주로 무선표지시스템에 사용

IALA(2004)에서 권고하고 있는 사항은 주로 관리·운영 측면에서 가용성을 평가하기 위한 것으로 항로표지에 대한 유지관리의 척도를 제시하고 있다. 이는 항로표지의 설치에 따른 효과 및 그 기능에 대한 평가는 이루어지지 않으며, 특정한 항로표지가 설계한대로 운영이 된다면 그 기능을 충분히 수행하고 있음을 의미하며, 시설 자체 기능의 적정성 또는 효용성 평가와는 차이가 있는 것으로 분석 되었다.

2.2.2 해양교통시설 운영효과 분석 연구

해양수산부(2006)는 해상교통안전시설에 대한 운영 효과분석 방법 및 모델 구축, 평가 제도를 개발하였으며, 운영효과 분석 모델을 통해 평가방법을 이론화 하였다. 해상교통안전시설의 사업평가는 사업의 효율성, 지역과의 조정상황, 국제적 동향 등의 측면에서 Fig. 5와 같이 종합적·체계적으로 행해지는 것을 의미한다.



Fig. 5 해상교통안전시설의 사업평가 방법 (해양수산부, 2006)

해상교통안전시설의 운영효과분석은 Fig. 6과 같이 해상교통안전시설의 역할을 고려하여 해상교통안전시설의 사업 수행여부에 대한 의사결정을 위해 객관적인 자료를 제공을 목적으로 한다. 사회경제적 효율성 관점에서 해상교통안전시설 사업 실시의 타당성을 분석하기 위한 것으로 수요동향분석, 비용편익분석, 정량적 평가, 정성적 평가로 구분할 수 있다.

수요동향분석은 사업 대상해역에 있어서 해상교통안전시설 운영에 대한 필요성의 확인과 장래의 통항선박의 종류나 톤급 및 교통량의 변동 유무를 검토하여 분석하고, 비용편익분석은 사회경제적 효율성이라는 관점에서 본 효과를 화폐가치 환산을 하고 건설비나 유지비 등을 포함한 필요 경비와 비교·분석하여 사업의 효율성을 평가하였다. 이는 평가 대상의 해상교통안전시설운영에 의해 발생하는 모든 효과를 조사하여 그 효과를 가능한 한 화폐가치로 편익으로 산출한다. 정량적 수치데이터를 기반으로 비용과 편익을 비교하여 정량적 평가를 하고, 직접적 정량화가 어려운 경우 예상되는 효과를 정성적으로 기술하여 평가한다.

이때 해양교통안전시설에 대한 안전편익, 수송편익, 기타편익으로 구분하며, 해상교통안전시설사업은 각각 대상사업의 특징에 따라 편익 발생구조가 차이가 있으므로 대상사업이 하는 역할, 목적을 고려한 후에 산출할 편익을 선정한다. 안전편익은 해상교통안전시설사업을 실시함으로써 사업 대상해역의 해상교통 안전성 향상 효과를 평가하며 해양사고 감소 효과를 화폐가치로 환산하여 기대손실 회피비용으로 산출하여 계산한다. 수송편익은 해상교통안전시설사업운영을 실시함에 따라 사업 대상해역을 통항하는 선박의 통항시간, 운항경비 절감 효과를 평가하기 위한 것으로 대상해역에서의 통항선박의 운항시간 단축률 및 운항경비 절감비용을 산출하여 계산한다. 또한 기타 편익은 해상교통안전시설을 통한 기술의 발전 및 새로운 장비 등의 수요로 인한 효과를 평가하는 것으로 안전편익, 수송편익을 제외한 모든 편익을 포함한다.

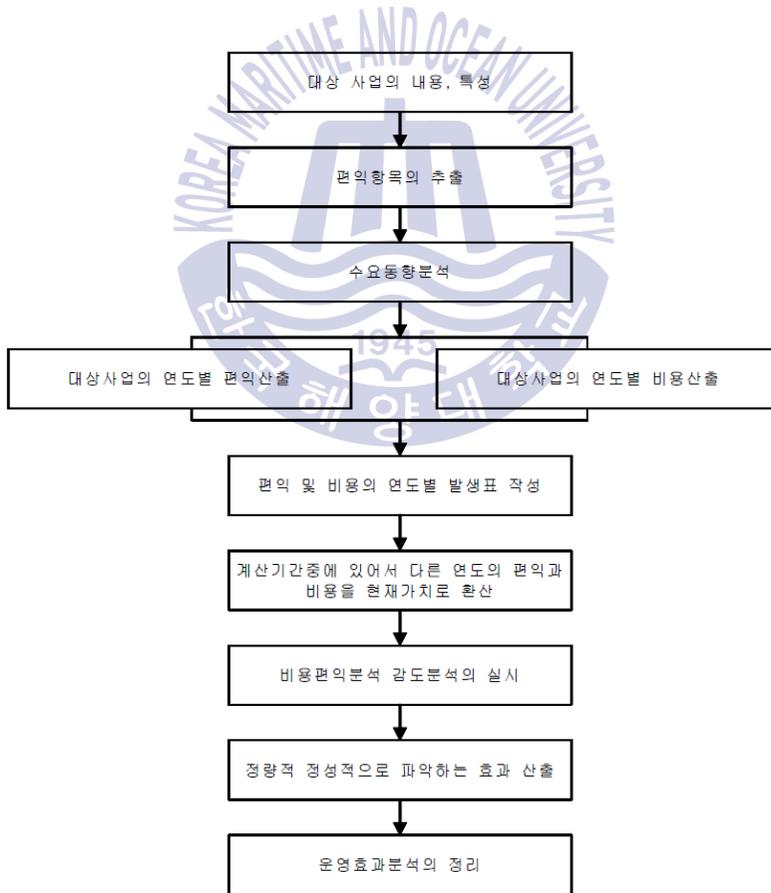


Fig. 6 해양교통시설 운영효과 분석 흐름도(해양수산부, 2006)

이 모델은 비용 대비 편익에 대한 사회경제적 효율성 측면에서 평가하는 모델로 안전시설로서의 해양교통시설에 대해 사업의 경제성을 적용하여 평가하는 것은 과도한 비용이 발생할 경우 해양교통안전시설의 기능 및 효율성이 낮게 판단될 우려가 있다. 또한 해양교통안전시설의 편익의 산출 기준을 안전편익, 수송편익, 기타편익으로 단순화하여 해양교통안전시설의 기능이 점차 확대됨에 따라 기능 및 효과에 대한 세부적인 평가가 이루어지지 않을 수 있다.

2.2.3 공공시설인프라 평가제도

항로표지시설의 경우 안전하고 효율적인 해양교통 환경 조성을 위한 공공 목적의 핵심 자원으로서 국가를 중심으로 종합적이고 체계적으로 관리·운영하여 복합적으로 활용될 수 있도록 관리·운영되어야 하며, 해양안전 측면에서의 항로표지시설은 선박의 안전하고 효율적인 항해의 목적을 달성하기 위해 필요한 ‘시설인프라’이다. 즉 공공사업 평가 기준을 고려하여 공공시설에 적합한 표준 평가 모델을 설계할 필요가 있다.

우리나라는 국가, 지방자치단체, 공공단체 등이 공공의 이익을 도모하기 위해 공공의 재원을 이용하여 사회간접자본 등의 각종 시설을 건설하고 유지하는 사업에 대하여 사후평가 과정을 통해 공공시설인프라에 대한 성과 관리 및 효과 분석을 위한 제도를 시행하고 있다(한국조세연구원, 2010).

특히 우리나라 공공건설사업에 대한 성과관리 및 사후 평가는 예산당국인 기획재정부에서 실행하는 제도와 발주기관에서 시행하는 제도를 통하여 (1) 사업 구상, (2) 예비타당성조사 및 타당성조사, (3) 기본설계, (4) 실시설계, (5) 공사발주 및 입찰·계약, (6) 시공, (7) 준공, (8) 유지보수 및 사후평가를 실시한다. 우리나라 건설공사 사후평가제도의 경우 1999년 ‘공공건설사업 효율화 종합대책’ 이후 과거 공공건설사업의 비효율적 운용을 해결하기 위해 제도화 되었다. 이는 정부에서 건설공사 완료 후 타당성분석 결과를 검증하여 방만한 사업추진을 방지하고, 공사 내용 및 효과를 분석하여 향후 유사한 건설공사의 효율적 수행을 위한 자료로 활용하기 위해 건설공사 사후평가 제도를 도입하였다.

건설사업 사후평가 수행 매뉴얼(국토해양부, 2009)에 따르면 도로부문, 철도부문, 수자원부문, 항만부문, 공항부문, 기타부문에 구분하여 각 부문별 사업효율, 사업수행성과, 파급효과를 평가하도록 하고 있다. 그 중 해양시설 중 하나인 항만의 경우 국민의 생산 및 소비활동, 부가가치 창출, 사회활동, 위락활동 및 국민복지 증진과 같이 국가의 경제·사회 전반에 미치는 영향이 지대하면서 공공적 성격이 매우 강한 국가의 주요 기간산업시설로 평가하고 있다. 그 중 국민경제와 공공의 이해에 밀접한 관계가 있는 항만으로 대통령령으로 그 명칭·위치 및 구역이 지정된 지정항만으로 한정하여 적용하고 있다. 사업기획 시 예측한 수요 및 기대효과와 사업 완료후의 실제수요 및 사업효과를 비교·분석, 당해 건설사업의 문제점과 개선방안, 주민의 호응도 및 사용자 만족도, 건설사업 시행단계별 발생하는 건설정보의 내용 및 조치계획, 사업비, 사업기간, 효과 등 당해 건설 사업에 대한 전반적인 평가, 당해 건설 사업에 따른 주변 환경의 변화 및 영향, 자원조달의 타당성 등 기타 발주처에서 필요하다고 인정되는 사항들을 평가하게 된다. 하지만 이와 같은 평가내용은 해양 분야 중 항만건설을 중심으로 설계되었으며 경제지표(B/C, 수요) 등의 검토에 집중되어 공공 안전시설 목적에 따른 평가에 적용하기에는 어려움이 있을 것으로 판단된다.

공공건설사업에 대한 평가는 특정 사업의 중요한 제반 측면과 그 가치를 체계적이고 분석적으로 평가하고, 평가결과의 신뢰성과 유용성을 추구하기 위한 것이라고 정의하고 있다(OECD, 1999 cited in 송도흠, 2015). 즉 평가내용은 분석적이고 체계적으로 구성되어 신뢰성을 확보하고, 평가체계는 중점요소를 기반으로 수립되어야 한다. 이러한 공공사업평가는 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 적용되고 있으며, Table 2와 같이 각 국가별로 공공건설 사업평가의 중점 요소를 살펴보면 사업의 적절성, 효율성, 효과성 등 사업과 관련된 중요한 평가요소들을 중심으로 구성하여 평가한다(송도흠, 2015).

Table 2 국가별 공공건설 사업평가 중점요소

국가	EU (1997)	캐나다		일본 (2001)
		1981	1991	
평가 요소	적절성	정당성	적절성	필요성
	효율성	대안	비용효과성	효율성
	효과성	영향과 효과	성공여부	유효성
	효용성	목적의 달성 여부		
	지속가능성			
	-	-	-	공평성, 우선성

우선 EU의 경우 사업절차를 Fig. 7과 같이 경제사회적 문제 단계, 사업단계, 평가단계로 나누며, 그 중 평가단계에서의 중점요소는 5개의 평가 요소로 적절성 (Relevance), 효율성(Efficiency), 효과성(Effectiveness), 효용성(Utility), 지속가능성 (Sustainability)으로 구분하고 있다. 적절성(Relevance)은 사업의 제반 목표가 사업의 수요를 충족시키기 위해 얼마나 잘 설정되어 있으며 정부정책의 우선순위와 얼마나 부합하고 있는가를 평가하고, 효율성(Efficiency)은 투입된 자원이 얼마나 경제적으로 사용되어 결과물 및 중간 결과로 전환되었는가를 평가하고, 효과성 (Effectiveness)은 사업의 결과가 사업의 목표를 달성하는데 얼마나 기여하였는가를 평가한다. 효용성(Utility)은 사업의 결과가 실제로 사업의 수요를 얼마나 충족시키고 있는가, 지속가능성(Sustainability)은 사업이 중단되었을 때 사업의 수요 측면에서 긍정적인 변화가 얼마나 오랫동안 지속될 수 있을 것인가를 평가한다.

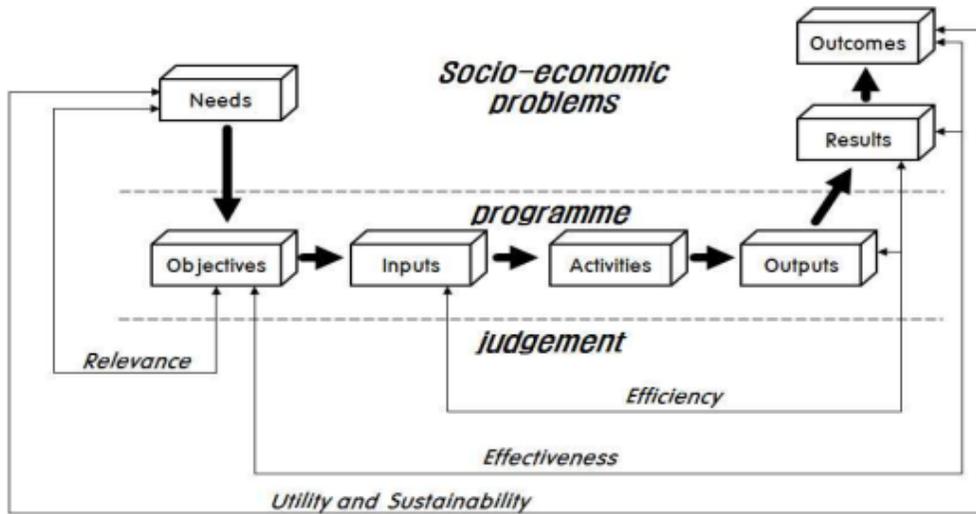


Fig. 7 EU에서의 사업절차 및 평가요소 (송도흠, 2015)

캐나다의 경우 4개 요소를 기준으로 평가해오다가 1991년 이후 3개 요소를 기준으로 통합하여 평가하고 있다. 정당성은 사업의 산출물이 사업의 목표와 일치되어 있으며 목표와 효과의 달성에 연결되어 있는가를 평가하기 위함이고, 대안은 보다 비용-효과적으로 현재의 사업을 추진할 수 있는 방법은 없는가를 평가한다. 영향과 효과는 어떤 방식으로 또 어느 정도로 그 사업이 다른 사업을 보완하거나 다른 사업과 중복되거나 아니면 상충되는가를 평가하고, 목적의 달성여부를 평가한다.

일본의 경우 5개의 평가요소를 기준으로 구분하며, 필요성은 현재 사업 추진이 필요한가를 평가하고, 효율성은 투입 자원의 양에 알맞은 산출을 얻을 수 있는가를 평가하고, 유효성은 기대되는 결과를 얻을 수 있는가를 평가한다. 공평성은 정책 효과의 수익이나 비용의 부담이 공평하게 배분되는가를 평가하고, 우선성은 상기 요소에서의 평가를 근거로 하여 다른 정책보다 우선적으로 실시해야 할 필요성 등을 평가하고 있다.

이와 유사하게 우리나라의 대외경제협력기금(EDCF, Economic Development Dooperation Fund)을 통한 지원 사업의 경우 역시 사후평가를 통해 개발 사업에 대한 결과 및 성과에 대한 평가가 이루어지고 있으며, 주요 논점은 Table 3과 같다(한국수출입은행, 2011).

Table 3 국내 EDCF 지원사업의 평가 논점

구분	평가 내용
사업의 적절성 (Relevance)	사업 설계 시점에 설정된 목표가 사업의 우선순위 및 분야별 지원전략과 일치하여 적절하게 수립되었는가를 평가하는 것
사업의 효과성 (Effectiveness)	사업의 성과를 달성했는가를 효과성 기준으로 판단하는 것으로, 사업 설계 시점에 설정된 목표가 현재에서 어느 정도 달성되었는가를 평가하는 것
사업의 효율성 (Efficiency)	제안된 성과 및 목적을 달성하기 위해 자원을 얼마나 잘 활용하였는지를 나타내는 것으로 투입된 인적·물적 자원이 어떻게 사업 성과로 이어졌는가를 평가하는 것
사업의 영향력 (Impact)	영향력이란 평가 대상 사업의 수행 결과 직·간접적으로 초래된 제도적, 사회·경제적, 환경적, 기술적 변화를 의미하며, 긍정적 변화와 부정적 변화, 의도한 결과와 의도하지 않은 결과를 모두 포함하여 평가하는 것
사업의 지속가능성 (Sustainability)	지속가능성이란 사업 완공 후에도 사업의 효과가 지속되는 정도를 의미하는 것으로 사업에 투입된 인적·제도적·재정적 자원들이 당해 사업으로 달성된 성과를 미래에도 지속시킬 수 있는지를 평가하는 것

2.3 소결

해양안전을 위한 기본요소 중 환경요인은 해양교통 환경을 의미는 것으로 안전하고 효율적인 해양교통 환경 조성을 위하여 항로표지시설인프라 설치·운영이 필수적이다. 이러한 항로표지시설은 해양안전 측면에서 해양교통환경 조성을 위한 핵심 자원의 공공시설 인프라로서 국가를 중심으로 종합적이고 체계적으로 관리·운영하여 복합적으로 활용될 수 있도록 관리·운영되어야 한다.

우리나라 IT 기술을 바탕으로 첨단 항로표지시설인프라를 도입·운영하여 이용자에게 한층 강화된 서비스를 제공하고 있으며, 현재보다 더욱 진보된 시스템 도입 및 운영이 절실히 요구되고 있다. 현재보다 진보된 항로표지시설인프라 도입 및 운영으로 안전한 해양교통 환경 조성 및 신뢰성 높은 시설인프라 서비스를 이용자에게 제공하기 위하여 공공시설 인프라에 대한 지속적이고 체계적인 관리·운영이 필요한 실정이다.

현재 항로표지시설인프라에 대한 평가기준 및 선행연구를 살펴보면, IALA 등 국제규정에 따른 평가 및 국내 해양교통시설 운영효과분석 연구가 대표적이다. IALA(2004)에서는 5개 성과지표를 기준으로 항로표지의 가용성 및 신뢰성을 평가하도록 권고하고 있으며 가용성(Availability), 신뢰성(Reliability), 평균시간(MTBF), 평균 수리시간(MTTR), 계속성(Continuity)의 성과지표를 기준으로 평가하도록 권고하고 있다. 즉 항로표지시설 관리·운영 측면에서의 가용성을 평가하기 위한 것으로 항로표지에 대한 유지관리의 평가 척도를 제시하고 있다. 이는 항로표지의 설치에 따른 효과 및 그 기능에 대한 평가는 이루어지지 않으며, 특정한 항로표지가 설계한대로 운영이 된다면 그 기능을 충분히 수행하고 있음을 의미하고 시설의 기능 적정성 또는 효용성 평가와는 차이가 있다.

또한 국내 해양교통안전시설 운영효과 분석에 대한 연구에서는 해양교통안전시설 운영효과분석 연구를 통해 사회경제적 효율성 관점에서 해상교통안전시설 사업 실시의 타당성하고자 하였다. 그 효과를 안전편익, 수송편익, 기타편익으로 구분하고 해상교통안전시설사업의 특징에 따라 편익 발생구조가 차이가 있으므로 대상사업이 하는 역할, 목적을 고려한 후에 산출할 편익을 선정하였다. 그러나 해양교통안전시설의 편익의 산출 기준을 단순화 하여 계속적으로 해양교통안전시설

의 기능이 점차 확대됨에 따라 기능 및 효과에 대한 세부적인 평가가 이루어지지 않을 우려가 있고, 안전시설에 대하여 사업의 경제성 및 효율성 측면에서 비용 대비 편익의 경제적 지표로 평가할 경우 실제 해양교통안전시설의 기능 및 효율성이 낮게 판단될 우려가 있다.

항로표지시설의 경우 안전하고 효율적인 해양교통 환경 조성을 위한 공공 목적의 핵심 자원으로써 국가를 중심으로 종합적이고 체계적으로 관리·운영하여 복합적으로 활용될 수 있도록 관리·운영되어야 하며, 해양안전 측면에서의 항로표지시설은 선박의 안전하고 효율적인 항해의 목적을 달성하기 위해 필요한 ‘시설 인프라’라고 할 수 있으며, 공공시설 인프라에 적합한 표준 평가 모델을 설계할 필요가 있다.

우리나라는 국가, 지방자치단체, 공공단체 등이 공공의 이익을 도모하기 위해 공공의 재원을 이용하여 사회간접자본 등의 각종 시설을 건설하고 유지하는 사업에 대하여 사후평가 과정을 통해 공공시설 인프라에 대한 성과 관리 및 효과 분석을 위한 제도를 시행하고 있으며, 사후평가(Ex-post Evaluation)란 사업이 완료되고 난 후 내용 및 효과를 조사·분석하기 위해 실시하는 것으로 타당성조사 등 사업 계획과정 및 예측치·실측치의 종합적인 분석 및 평가를 포함한다. 공공건설사업에 대한 평가는 특정 사업의 중요한 제반 측면과 그 가치를 체계적이고 분석적으로 평가하고, 평가결과의 신뢰성과 유용성을 추구하기 위한 것으로 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 적용되고 있다.

국내 건설사업 사후평가 수행 매뉴얼에 따르면 도로부문, 철도부문, 수자원부문, 항만부문, 공항부문, 기타부문으로 구분하여 각 부문별 사업효율, 사업수행성과, 파급효과를 평가하도록 하고 있다. 그 중 해양시설 중 하나인 항만의 경우 국민의 생산 및 소비활동, 부가가치 창출, 사회활동, 위락활동 및 국민복지 증진과 같이 국가의 경제·사회 전반에 미치는 영향이 지대하면서 공공적 성격이 매우 강한 국가의 주요 기간산업시설로 평가하고 있다. 그러나 국민경제와 공공의 이해에 밀접한 관계가 있는 항만으로 대통령령으로 그 명칭·위치 및 구역이 지정된 지정항만으로 한정하여 적용하고 있으며, 평가내용은 해양 분야 중 항만건설을 중심으로 경제적 지표(B/C, 수요) 등의 검정에 집중되어 공공 안전시설 목적에 따른 평가에 적용하기에는 어려움이 있을 것으로 판단된다. 그러므로 공공건설사업

의 일종인 항로표지시설인프라 역시 사후관리 및 평가가 이루어질 필요가 있다. 또한 국외 공공건설사업 평가요소를 살펴보면 사업의 적절성, 효율성, 효과성 등 사업과 관련된 중요한 평가요소들을 중심으로 평가가 이루어지도록 하고 있다.

공공시설인프라 또는 공공사업과 유사한 형태로 국내 대외경제협력기금(EDCF)을 통한 지원 사업 역시 사후평가를 통해 개발 사업에 대한 결과 및 성과에 대한 평가가 이루어지고 있으며, 사업의 적절성, 효율성, 효과성, 영향력, 지속가능성 등을 기준으로 평가하고 있다.

항로표지시설인프라 표준평가모델 개발을 위해 항로표지시설에 관한 평가기준 및 선행연구를 바탕으로 IALA 등 국제규정에 따른 평가방법, 해양교통시설 운영효과분석 연구, 국내외 공공시설인프라 평가제도 등을 검토한 결과 Table 4와 같다.

Table 4 항로표지시설인프라 평가를 위한 평가기준 검토결과

구분		평가요소					
IALA 권고서	-	신뢰성	가용성	-	계속성	고장간평균시간 평균수리시간	
해양교통안전시설 운영효과분석	-	비용효과	-	-	-	-	
국내 EDCF 사업	적절성	효율성	효과성	영향력	지속가능성	-	
국외 공공 사업	EU	적절성	효율성	효과성	효용성	지속가능성	-
	캐나다	정당성	대안	영향/효과	목적의 달성 여부		-
		적절성	비용효과	성공여부			-
일본	필요성	효율성	유효성			공평성 우선성	

제 3 장 항로표지시설인프라의 표준 평가 기준 선정

이 장에서는 제2장 항로표지시설인프라 평가의 이론적 고찰을 통해 검토한 항로표지시설 운영 및 선행연구를 바탕으로 항로표지시설인프라 표준평가 모델의 목적 및 표준 평가 기준을 선정하고 평가내용을 구체화한다.

3.1 표준 평가 기준 선정 개요

해양안전 측면의 해양교통환경 조성을 위한 공공 목적의 핵심 자원인 항로표지시설인프라는 국가를 중심으로 종합적이고 복합적으로 관리·운영이 필요한 공공시설인프라로서 체계적인 성과 및 효과 사후평가 과정을 통해 시설인프라의 중요한 제반 측면과 그 가치를 분석하고 평가결과의 신뢰성과 유용성을 추구하기 위한 표준 평가기준을 선정할 필요가 있다.

본 연구에서는 항로표지시설의 형태에 따라 시설의 기능 및 목적의 차이가 있으므로 항로표지시설인프라를 해상기반시설과 육상기반시설로 구분하고 각 시설의 특징을 고려한 체계적인 평가가 이루어질 수 있도록 한다.

해상기반시설이란 주변 해역을 항해하는 선박의 안전 및 효율적인 항해 등 해양안전시설로 해상에 위치한 부유식 시설의 형태로 항만 또는 최적의 항로의 위치에 대한 조언 및 위험요소에 대한 경고 등의 기능을 수행하는 항로표지시설인프라이다. 부표 및 등부표가 가장 대표적이며, 일반적으로 선박이 항해하는 해역 인근에 위치하여 환경적 및 기술적 변화에 따라 유동적 요소를 가지는 것이 특징이다. 이는 경우에 따라 부정적 변화 또는 의도하지 않은 결과 등을 발생 할 가능성을 가지며, 비교적 사회·경제적, 환경적 변화의 영향을 많이 받게 된다.

또한 육상기반시설이란 주변 해역을 항해하는 선박의 안전 및 효율적인 항해 등 해양안전시설로 해안선 또는 수역에 가까운 육지 상에 위치한 대형 구조물 형태로 비교적 광범위한 권역 내의 선박을 위해 해역 여건의 특징 및 선위 측정 등을 위한 정보제공 기능을 수행하는 항로표지시설인프라이다. 등대 및 등표가 가장 대표적이며, 형상 및 색상 등 시각요소, 전파요소, 음파요소 등 다양한 형태의 신호를 통해 광범위한 권역 내에서 항해하는 선박에게 관련 정보를 제공한다.

항로표지시설인프라 표준평가모델 개발을 위하여 항로표지시설에 관한 평가기준 및 선행연구를 바탕으로 IALA 등 국제규정에 따른 평가방법, 해양교통시설 운영효과분석 연구, 국내외 공공시설인프라 평가제도 등을 검토한 결과 5개의 공통된 평가기준을 통해 항로표지시설 또는 공공시설인프라에 대한 평가가 이루어지는 것으로 분석되었다. 이에 항로표지시설인프라에 대한 표준 평가기준은 적절성(Relevance), 효과성(Effectiveness), 효율성(Efficiency), 영향력(Impact), 지속가능성(Sustainability)을 선정하고, 기존의 국내외 항로표지시설에 대한 평가 방법 및 기준을 고려하여 세부 평가항목으로 구성하였다.

3.2 항로표지시설인프라 표준 평가기준 설계

3.2.1 항로표지시설인프라 적절성(Relevance)

항로표지시설인프라 적절성은 Fig. 8과 같이 설계 시점의 항로표지시설인프라 필요성 및 우선순위 등 제반 목표가 설치 계획 단계에서 해역의 위치 및 여건을 고려하여 적절하게 설정되어 인프라가 설치되었는가를 평가하기 위한 기준이다. 항로표지시설인프라 설계 시점의 설치해역의 여건 및 환경적 특성을 고려하여 항로표지시설인프라 필요성 및 우선순위 등 제반 목표가 설정된 이후 해역 및 항만의 특성 변화에 따라 현 시점에서의 시설 운영의 적절성 검토를 위해 현재 시점의 해양환경특성과 이에 적합한 항로표지시설인프라 형태인가를 평가한다.

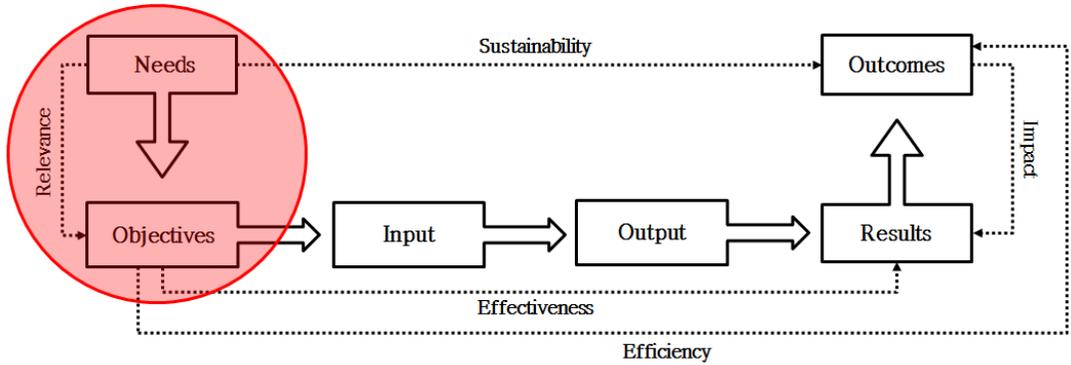


Fig. 8 항로표지시설인프라 적절성 평가 논점

우선 해양환경특성(Maritime Environment)은 주변 해양환경 여건을 고려한 항로 표지시설인프라 설치 및 운영의 적절성을 평가하기 위한 항목으로 해양환경 여건이라 함은 해역의 조류·조석, 해저지형, 기상조건 등을 모두 해양환경요소에 대한 분석이 필요하겠으나 항로표지시설인프라 운영 목적 상 선박의 안전 및 효율적 항해를 위해 설치하여 운영되므로 선박 항해 시 위험요소로 작용할 수 있는 기상악화 조건만을 평가항목 설계하였다. 국제해상충돌예방규칙에 따라 선박 항해 시 시계가 제한될 경우 선박운항 절차를 고려하여 주의 깊게 항해하기 위하여 안전한 속력으로 낮추어 운항하고, 레이더 등 주변 상황을 파악하기 위해 필요한 항해 장비를 활용하여 견시를 더욱 주의 깊게 해야 한다. 이에 기상악화 시 항로 표지시설인프라의 효과가 상대적으로 높아진다고 할 수 있으며, 선박 항해 중 안전항해를 위협할 수 있는 시계제한조건으로 안개일수, 태풍일수, 풍랑주의보·풍랑경보발생일수를 포함한다.

이에 기상청에서 규정하고 있는 용어에 따라 안개는 가시거리 1km 미만인 경우, 태풍은 중심최대풍속이 17m/s 이상인 경우, 풍랑주의보는 최대풍속 13.9m/s (27 knots)이상인 경우로 규정하고 이를 대상으로 평가기간 중 시계제한조건 발생 일수 비율에 대해 시설인프라의 적절성을 평가한다.

시설인프라의 적합성(Standard Type)은 설치해역의 특성 및 여건을 고려하여 적합한 시설인프라의 종류 및 형식을 적용하여 운영하고 있는가를 평가한다. 항로 표지시설은 형태 및 종류에 따라 설치 목적 및 여건 등을 다르게 규정하고 있으

며, 그 특성을 고려하여 항로표지시설인프라를 선정하도록 하고 있다.

육상기반시설의 등대는 지정된 지리적 위치에 직립된 탑이나 견고한 건축물 또는 구조물로 설치하여 신호등 역할과 주간표지로서의 역할과 함께 야간에는 고유한 등광으로 먼 거리 또는 중장거리에서 이용할 수 시설로, 안전항행을 지원하기 위하여 등탑 상부에 위성항법보정시스템(DGNSS), 레이콘, 항로표지용 선박자동식별장치(AtoN AIS), 지향등 등을 병설할 수 있다(해양수산부, 2015c). 또한 등표는 수중 또는 수상의 암초 또는 해저면에 설치하는 고정 항로표지로서 형상이나 색상, 형식, 두표, 등광의 특성 또는 이들의 결합에 의해 기능을 판별할 수 있도록 설치된 시설이다(해양수산부, 2015c). 반면 해상기반시설의 등부표는 항해하는 선박에게 암초나 천소 등 장애물의 존재를 알려주거나 항로를 표시하기 위하여 침추를 해저에 정치하여 해면상에 뜨게 한 구조물로서 등광을 발하는 것으로 등광을 발하지 않고 주로 주간에만 이용하는 것을 부표라고 정의하고 있다.

이러한 항로표지시설을 설치하고자 할 때 이용자의 요구, 해안가의 특성, 수로의 물리·환경상태와 수로에서의 해상교통 형태 및 교통 밀집도 등을 고려하여 부표의 설치위치, 종류 및 규격을 결정해야 한다(해양수산부, 2015c). 특히 부표 설치 시 표준형부표 제작 및 품질관리 기준에 관한 규정(해양수산부, 2015a)에 의거하여 설치 해역의 수심, 해저지형, 조류 및 파고 등 해상여건 및 이용선박의 규모 등에 따라 표준형 등부표의 종류 및 규격을 결정해야 한다. 이에 설치해역의 특성 및 여건을 고려하여 시설인프라의 적합성을 평가한다.

3.2.2 항로표지시설인프라 효과성

항로표지시설인프라의 효과성(Effectiveness)은 Fig. 9와 같이 항로표지시설인프라 설계 당시 수립된 목적 대비 현재 시점의 효과 및 결과를 평가하기 위한 것으로 사업의 결과가 사업의 목표를 달성하는데 얼마나 기여하였는가를 평가하기 위한 기준이다.

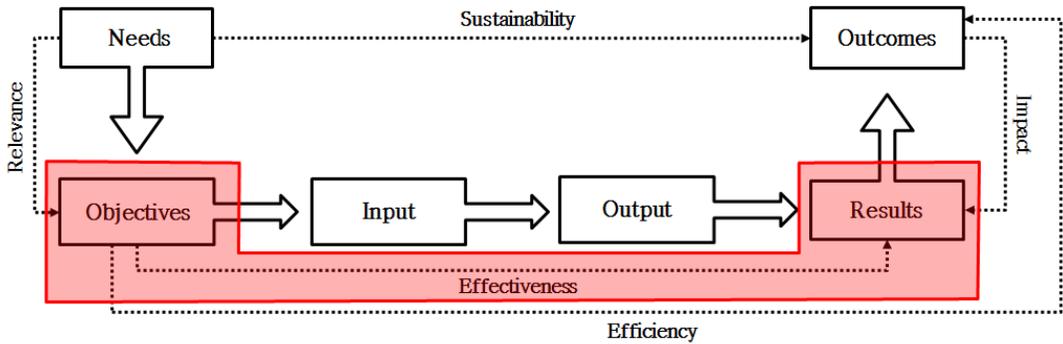


Fig. 9 항로표지시설인프라 효과성 평가 논점

항로표지시설인프라 설치에 따른 효과를 평가하기 위하여 직접적 발생효과 및 간접적 발생효과로 구분하고, 항로표지시설인프라 설치 및 운영에 따라 해당 해역 직접적으로 영향을 미친 해양교통안전에 대한 공헌도와 직접적인 시설 이용 및 활용 이외 안전한 해상교통 환경조성에 대한 기여도에 대하여 분석한다.

해양교통안전 공헌도(Marine Traffic Safety Contribution)는 직접적으로 항로표지시설인프라 설치 및 운영에 따라 해당 해역의 해상교통량을 기반으로 항로표지시설인프라의 설치 효과 및 공헌도를 평가한다. 항로표지시설인프라의 설치 목적상 설치 해역의 해상교통량을 기반 위험도가 높을수록 그 효과 및 공헌도가 높다고 평가할 수 있으며, 해상교통량 분석 방법은 Gas 모델 기반의 충돌모델(Fukuda G. 등, 2013)을 적용하여 단위면적 당 선박통항량 및 여건에 따른 해상교통위험도를 평가한다. Gas 모델 기반의 충돌모델(GUG. 등, 2014)은 Fig. 10과 같이 Gas 모델을 기반으로 하여 선박 간 위험도를 평가한 모델로 선박 i 와 선박 j 간 상대속도 V_{ij} 를 통해 충돌위험범위($R.area$)를 설정하여 식(1)과 같이 산출한다.

$$R.area = D_{ij} V_{ij} t \quad (1)$$

- $R.area$: Risk area
- D_{ij} : The geometrical collision diameter of ships i and j
- V_{ij} : The relative speed of two ships i and j
- t : The sampling time

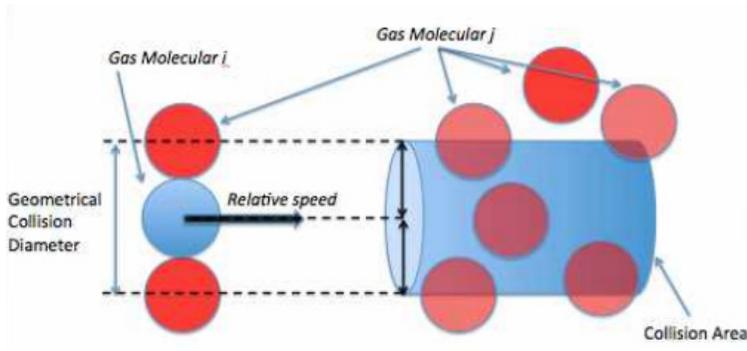


Fig. 10 Gas molecular collision image calculation image

이를 바탕으로 설정된 충돌위험범위 내 교통량 밀도에 대하여 해상교통위험도 (R_{unit})를 식(2)와 같이 분석하여 시설인프라의 효과성을 평가한다.

$$R_{unit} = \frac{\sigma_{cell}}{N} \sum_{i=1} \sum_{j=i} D_{ij} V_{ij} t \quad (2)$$

- R_{unit} : 해상교통위험도(%)
- σ_{cell} : 단위 셀당 선박의 밀도
- N : 분석기간 동안의 단위 셀당 선박통항척수

해상교통 환경조성 기여도(Marine Traffic Environment Contribution)는 직접적인 시설 이용 및 활용 이외 안전한 해상교통 환경조성과 신뢰성 높은 해상교통시설인프라 서비스 제공 측면에서의 기여도를 평가한다. 항로표지시설인프라는 항만을 통항하는 선박의 안전 및 항해의 효율, 항만 관리 등의 목적으로 운영하고 있으며, 이는 주변을 통항하는 선박들에게 직접적인 항로표지시설인프라 이용 및 활용 이외에도 안전한 해양교통 환경조성과 신뢰성 높은 항로표지시설인프라 서비스를 이용자에게 제공하는 기여를 하고 있는 것으로 평가 할 수 있다. 전국 무역항 입출항 통계 대비 평가 해역의 입출항 통계 현황 기반의 평가 해역의 통항규모에 대한 해상교통 환경조성 기여도를 바탕으로 시설인프라의 효과성을 평가한다.

3.2.3 항로표지시설인프라 효율성

항로표지시설인프라의 효율성(Efficiency)은 Fig. 11과 같이 실제로 이용자측면에서 항로표지시설인프라 설치 목적과 비교하여 투입된 자원이 얼마나 경제적으로 사용되어 결과물 및 중간 결과로 전환되었는가를 평가한다. 항로표지시설인프라 설치 성과 및 목적을 달성하기 위해 투입된 인적, 물적 자원의 효율적·경제적 활용여부를 검토한다. 특정 권역 내 유사 기능을 수행할 수 있는 항로표지시설인프라에 대한 기능중복성을 평가하고, 실제 이용자 측면에서의 항로표지시설인프라 수요를 평가하기 위하여 항로표지시설인프라의 활용도를 평가한다.

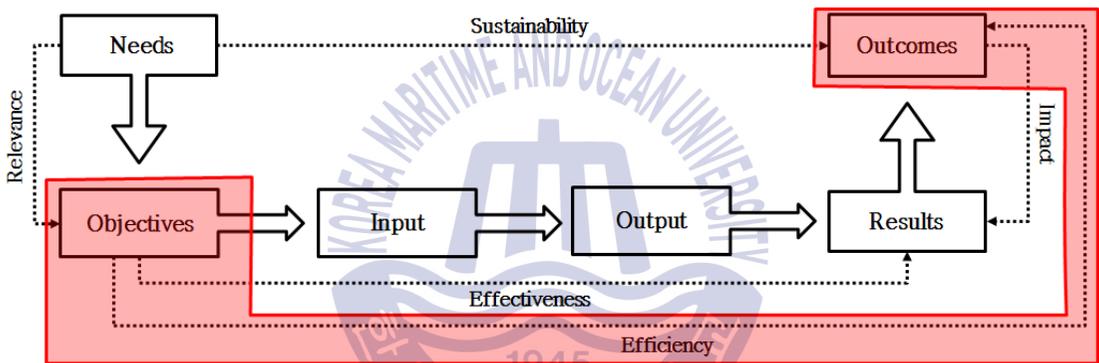


Fig. 11 항로표지시설인프라 효율성 평가 논점

항로표지시설인프라 기능중복성(Duplication of Function)은 항로표지시설인프라가 1기당 100%의 기본기능 효과를 가진다고 가정하고, 평가 대상 항로표지시설인프라를 기준으로 특정 권역 내 유사 기능을 수행할 수 있는 시설인프라에 대한 기능의 중복성을 평가한다. 이는 항로표지 종류에 따라 권역의 범위 및 유사기능 대상의 차이가 있음을 고려하여 육상기반시설과 해상기반시설의 평가 방법을 구분하여 설계하였다.

해상기반시설의 경우 수로에서의 해상교통 형태 및 교통 밀집도 등을 고려하여 설치위치, 종류 및 규격을 결정하도록 하고 있으나 일반적인 부표 배치기준의 경우 항로표지의 기능 및 규격에 관한 기준(해양수산부, 2015c)에서 규정하고 있다.

안전항로에서 선박 항해 시 사용하는 레이더 Scale을 고려하여 3마일을 초과하지 못하고, 선박에서 가장 가까운 부표의 접근 전 약 100m 이상에서 연속된 2개의 부표를 식별할 수 있는 간격으로 배치하도록 하고 있다. 그러므로 관련 규정 및 선박 이용자를 고려하여 3마일 이내를 권역으로 설정하고, 이 권역 내 유사기능을 수행하고 있는 항로표지에 대한 시설인프라의 효율성을 평가한다.

반면 육상기반시설의 경우 비교적 광범위한 권역 내의 선박을 위해 해역 여건의 특징 및 선위 측정 등을 위한 정보제공 기능을 수행하므로 최대 광달거리를 기준으로 20마일 이내를 권역으로 설정하고, 이 권역 내 유사기능을 수행하고 있는 항로표지시설인프라와의 중첩범위를 분석한다. 광범위한 권역에 대하여 기능을 수행하므로 등부표·부표와 같이 시설의 개수를 기준으로 평가하기보다 항로표지시설인프라의 기능중복 비율(%)로 시설인프라의 효율성을 평가한다.

항로표지시설인프라 활용도(Utilization)는 실사용자를 대상으로 항로표지시설인프라 기능 및 활용도 설문조사를 통해 항로표지시설인프라의 수요를 평가한다. 도선사협회, 해양수산부, 해양경비안전서, 선사를 대상으로 항로표지시설인프라의 이용도, 기능(등질, 등고, 광달거리 등)의 적정성, 위치의 적정성에 대한 방문면담 및 설문조사를 실시한다. 조사된 항로표지시설인프라 기능 및 활용도를 바탕으로 항로표지시설인프라 이용도, 기능의 적정성, 설치 위치의 적정성에 대하여 이용자 측면의 시설인프라 효율성을 평가한다.

3.2.4 항로표지시설인프라 지속가능성

항로표지시설인프라의 지속가능성(Sustainability)은 Fig. 12와 같이 설계 시점의 항로표지시설인프라 필요성 및 우선순위 등 타당성평가 결과 대비 설치 이후 인적, 제도적, 재정적 자원을 활용한 수요 측면에서의 시설운영의 성과의 지속가능성을 평가한다. 항로표지시설인프라는 최적의 항로의 위치에 대한 조언을 하거나 위험 또는 장애를 경고하여 항해안전에 도움을 주는 해양교통안전시설로서의 기능을 주목적으로 하여 이러한 기본목적이외에 항로표지시설인프라를 활용한 다목적 기능을 수행하고 있음을 고려하여 평가한다.

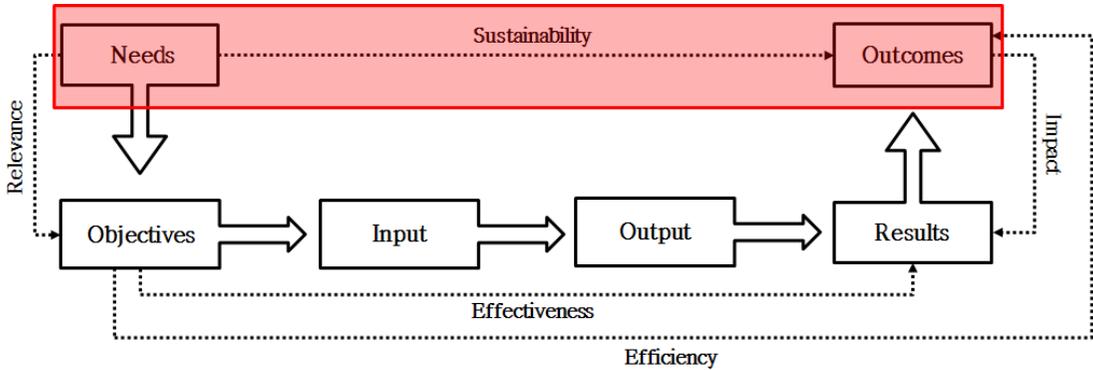


Fig. 12 항로표지시설인프라 지속가능성 평가 논점

항로표지안전시설기능(Maritime Traffic Safety Facility)은 항로표지시설인프라의 기본기능인 최적의 항로의 위치에 대한 조언 또는 위험·장애에 대한 경고 등 항해안전에 도움을 주기 위한 기능을 바탕으로 항로표지시설인프라 필요성 및 우선순위 등 수요측면에서의 시설운영 성과의 지속가능성을 평가한다. 이는 항로표지 종류에 따라 설치의 목적 및 기능의 차이가 있음을 고려하여 육상기반시설과 해상기반시설의 평가 방법을 구분하여 설계하였다.

해상기반시설에 대한 항로표지안전시설기능은 항로요소와 항해위험요소로 구분하여 설치 해역 및 항만의 특성을 고려한 해양안전시설로서의 기능 및 성과를 평가한다. 항로표지시설인프라는 최적의 항로의 위치에 대한 조언을 하거나 위험 또는 장애를 경고하여 항해사가 선위 및 항로를 결정하는데 도움을 주기 위한 선박 외부 장치 또는 시스템으로 항로의 특성 및 항해위험요소에 따라 그 위치와 필요성이 결정된다고 할 수 있다. 이에 항로표지시설인프라의 주된 목적인 항로표지안전시설로서의 기능을 평가하기 위한 것으로 항로요소에서는 항로의 폭 및 형태를 평가요소로 하여 항해사 측면에서 위태요소로 작용할 수 있는 것을 평가요소 설계하였다. 항만 및 어항 설계기준(해양수산부, 2014)에 따르면 항로는 선박이 안전하게 항행할 수 있는 적정 수심과 폭이 유지되어야 하며, 항로의 굴곡부는 Fig. 13과 같이 중심선의 교각이 되도록 작아야하고 최대 30°를 넘지 않도록 권고하고 있다. 또한 항해위험요소에서는 자연·인공장애물(방파제, 다리, 어장, 암초, 공사 등) 및 항계, 정박지 등 선박 항해 시 위험요소로 작용할 수 있는 것을 평가요소 설계하였다.

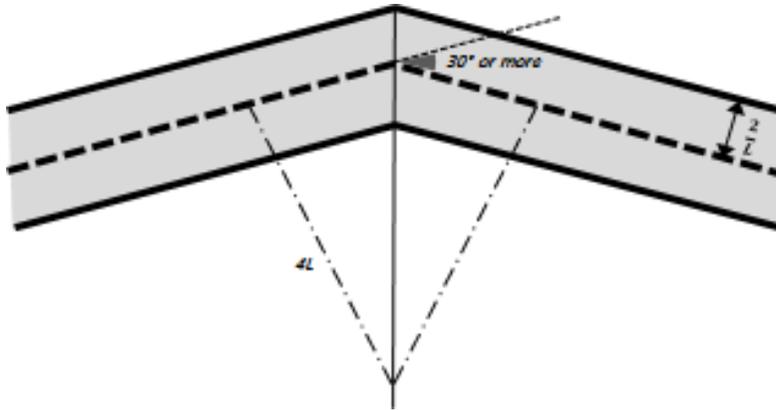


Fig. 13 The Radius of Curvature on Fairway Bend

육상기반시설에 대한 해양교통안전시설기능은 광범위한 해역에 대한 해양안전 시설로서의 기능 및 성과를 평가한다. 육상기반시설의 경우 해상기반시설에 비해 광범위한 권역에 대하여 영향을 미치므로 근접하여 항해하는 선박뿐만 아니라 권역 내에서 통항하는 선박의 안전 항해를 위해 항로표지시설인프라의 주된 목적인 해양교통안전시설로서의 기능 수행하고 있다고 평가할 수 있으며, 권역 내에서 발생한 해양사고를 대상으로 선박의 통항량 대비 해상교통안전시설기능에 대한 시설운영의 성과를 평가한다.

다목적기능(Additional Facility)은 해양안전시설로서의 기본목적외에 시설을 활용 측면에서의 다목적 기능 수행성과를 평가하기 위하여 해양영토관리기능 및 업무지원기능 등 다목적 기능을 고려한 시설운영 성과의 지속가능성을 평가한다. 항로표지시설인프라는 기본목적외에 시설을 활용하여 다목적 기능 수행하고 있으며, 시설 활용측면에서 시설인프라의 효용성을 확대하였다고 할 수 있다. 해양영토관리기능은 국가 영토관리를 위한 해양영토의 중요성은 매우 크며 항로표지 시설인프라는 해양영토관리 지점으로 해양영토관리 및 국가정책에 따라 관리할 필요가 있다. 이에 국토끝단 및 접경지역에 위치하여 항로표지로서의 기능이외에 해양 영토 관리 측면에서의 지리적 중요도를 평가한다. 또한 업무지원기능은 해양안전시설로서의 기본 기능외의 관계기관의 장비 운영(기상, 위치 등) 및 어업지원 업무 등 부가지원기능에 대해 평가한다.

3.2.5 항로표지시설인프라 영향력

항로표지시설인프라의 영향력(Impact)은 Fig. 14와 같이 항로표지시설인프라 설치·운영에 따라 직·간접적으로 초래된 제도적, 사회·경제적, 환경적, 기술적 변화 등에 대한 영향력을 평가한다. 본 연구에서는 해상기반시설과 육상기반시설의 설치 위치의 특성 상 부정적인 변화 및 결과를 초래할 가능성의 차이를 가지므로 세부 항목을 구분하여 설계하였다. 해상기반시설은 부정적 변화 또는 의도하지 않은 결과 등에 대하여 위해요소 영향평가와 자유통항선박 영향평가로 구분한다. 또한 육상기반시설은 긍정적 변화 또는 의도하지 않은 결과 등에 대하여 광역관리 영향평가와 해양문화유산 영향평가로 구분한다.

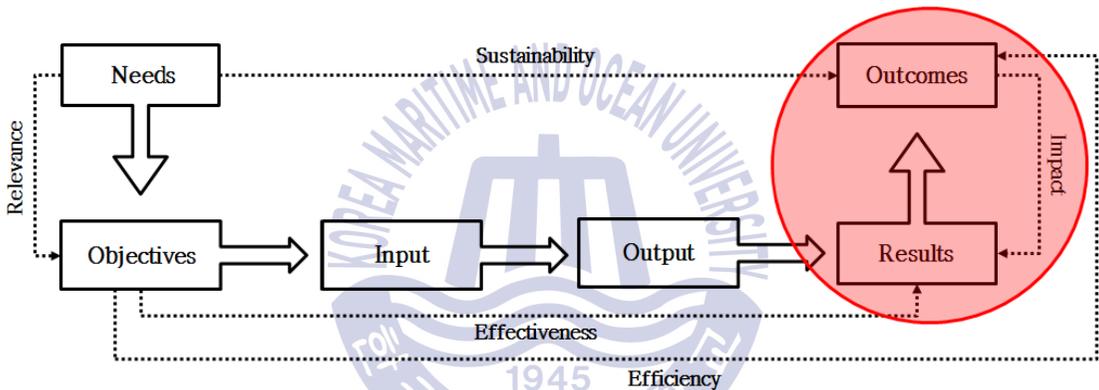


Fig. 14 항로표지시설인프라 지속가능성 평가 논점

1) 해상기반시설에 대한 영향력 평가

해상기반시설은 해상에 설치·운영되는 특성 상 위치에 따라 실제 선박 항해 시 새로운 위험요소로 작용할 수 있으며, 시설인프라에 대한 긍정적 변화 또는 의도적 변화에 대한 영향력 평가가 효과성 및 효율성 평가 등에서 충분이 이루어졌음에도 불구하고 부정적인 영향에 대한 평가는 이루어지지 않았다. 이에 해상기반시설의 영향력은 위해요소 영향 및 자유통항선박 영향으로 구분하여 평가한다.

위해요소가능성 영향(Hazard Factors)은 항로표지시설인프라가 설치됨에 따라 새로운 위험요소로서의 작용 가능성을 평가한다. 항로표지시설인프라는 최적의 항로의 위치에 대한 조언 또는 위험에 대한 경고를 목적으로 선박의 안전하고 효

울적인 항해를 위해 설치 운영하지만 위치 및 여건에 따라 새로운 위험물로서 작용하여 예상하지 못한 위험을 발생할 우려가 있다. 이에 항로표지시설인프라 설치 이후 발생한 사고 데이터를 기반으로 하여 해양사고 중 직접적으로 항로표지시설의 영향으로 인해 발생한 사고사례를 분석하여 그 원인 및 피해결과 분석을 통해 위해요소가능성을 평가하고자 한다. 항로표지시설의 영향으로 인해 발생한 사고발생규모를 바탕으로 하여 주요 항만 또는 항로에서 직접적으로 항로표지시설로 인해 발생한 전체 사고발생 규모 대비 평가대상 시설인프라의 사고발생 규모로 평가한다.

또한 자유통항선박현황 영향(Fishing Factors)은 어선, 부선, 관공선 등 기타 자유통항선박의 통항현황을 기반으로 하여 지정항로 이외 항로 이용선박 현황에 대한 영향평가이다. 자유통항선박이란 길이 20미터 미만인 선박, 어선, 특수선, 관공선 등의 소형선박으로 일반선박에 비해 정해진 항로 이외의 해역으로 통항하는 등 자유롭게 통항하는 것이 특징이다. 이흥훈(2014)은 해상교통환경 통합위해도를 평가하기 위하여 자유이용선박 조건을 별도로 고려하여 평가하였으며, 이전 해상교통 위험도분석 모델과의 가장 큰 차이점으로 통합위해도 분석의 신뢰도를 향상하였다고 판단된다. 이에 본 논문에서는 일반선박과 별도로 자유통항선박 통항데이터를 분석하여 자유통항선박 항해 시 항로표지시설인프라의 새로운 위해요소가능성을 평가한다.

2) 육상기반시설에 대한 영향력 평가

육상기반시설의 경우 항로표지시설인프라 설치 및 운영에 따라 간접적으로 초래될 수 있는 변화에 대한 가능성 평가를 위하여 육상기반시설 주변의 시설인프라에 대한 광역관리요소로서의 영향평가와 육상기반시설을 활용한 해양문화유산으로서의 영향평가로 구분하여 평가한다.

광역관리 영향평가(District management)는 항로표지시설인프라의 설치 및 운영에 따라 육상기반시설을 중심으로 인근에서 운영 중인 시설인프라에 대한 광역관리 기능을 수행하는 영향력을 평가하기 위한 항목으로 주변 항로표지시설인프라

규모 및 주변 항로표지시설인프라 산포도를 분석한다. 주변 항로표지시설인프라 규모는 등대·등표 주변 긴급 상황 발생 시 대응가능범위 내에 위치한 항로표지시설인프라의 규모를 평가하며, 대응가능범위는 차량속력 60km/h, 선박속력 10knots로 가정하고 항로표지시설인프라 긴급 상황 발생 시 4시간 이내(왕복 2시간, 수리 2시간)에 대응 가능한 해상 10마일, 육상 32.4마일로 하여 대응가능범위 내 항로표지시설인프라 기수를 평가요소 설계하였다. 또한 주변 항로표지시설인프라 산포도는 등대·등표를 중심으로 긴급대응 가능범위 내 항로표지시설인프라의 산포도에 대해 평가한다.

해양문화유산 영향평가(Maritime cultural heritage)는 항로표지시설인프라의 설치 및 운영에 따라 육상기반시설이 가지는 해양문화유산으로서의 영향력을 평가하기 위한 항목으로 항로표지시설인프라의 문화유산으로서의 상징성과 현재 해양문화공간운영에 따른 활성화현황으로 구분하여 평가한다. 항로표지시설인프라의 상징성 평가는 육상기반시설의 역사적 가치 및 문화유산으로서의 가능성을 평가하기 위하여 현재 국가 또는 지자체에서의 문화재 등록현황을 평가요소로 설계하였다. 또한 현재 해양문화공간운영에 따른 활성화현황 평가는 해양레저 및 친수문화공간으로서 활용도를 평가하기 위하여 연간 방문객 현황에 대하여 평가한다.

3.3 소결

해양교통환경 조성을 위한 공공 목적의 핵심 자원인 항로표지시설인프라의 표준평가모델 개발을 위하여 항로표지시설에 관한 평가기준 및 선행연구를 바탕으로 IALA 등 국제규정에 따른 평가, 해양교통시설 운영효과분석 연구, 국내외 공공시설인프라 평가제도 등을 검토한 결과 5개의 공통된 평가기준을 통해 항로표지시설 또는 공공시설 인프라에 대한 평가가 이루어지는 것으로 분석되었다. 이에 항로표지시설인프라의 적절성(Relevance), 효과성(Effectiveness), 효율성(Efficiency), 영향력(Impact), 지속가능성(Sustainability) 측면의 5개 평가기준을 선정하고, 기존의 국내외 항로표지시설에 대한 평가 방법 및 기능을 고려하여 세부 평가항목으로 구성하였다.

우선 항로표지시설인프라의 적절성(Relevance)은 설계 시점의 항로표지시설인프라 필요성 및 우선순위 등 제반 목표가 설치 계획 단계에서 해역의 위치 및 여건을 고려하여 시설이 적절하게 설정되어 설치되었는가를 평가하기 위하여 해양환경특성(Maritime Environment)과 시설인프라의 적합성(Standard Type)에 대해 분석하고 평가하고자 하였다.

항로표지시설인프라의 효과성(Effectiveness)은 항로표지시설인프라 설계 당시 수립된 목적 대비 현재 시점의 효과 및 결과를 평가하기 위한 것으로 사업의 결과가 사업의 목표를 달성하는데 얼마나 기여하였는가를 평가하기 위하여 해상교통안전 공헌도(Marine Traffic Safety Contribution)와 해상교통 환경조성 기여도(Marine Traffic Environment Contribution)에 대해 분석하고 평가하고자 하였다.

또한 항로표지시설인프라의 효율성(Efficiency)은 실제로 이용자측면에서 항로표지시설인프라 설치 목적과 비교하여 투입된 자원이 얼마나 경제적으로 사용되어 결과물 및 중간 결과로 전환되었는가를 평가하기 위하여 기능중복성(Duplication of Function)과 시설의 활용도(Utilization)에 대해 분석하고 평가하고자 하였다.

항로표지시설인프라의 지속가능성(Sustainability)은 설계 시점의 항로표지시설인프라 필요성 및 우선순위 등 타당성평가 결과 대비 설치 이후 인적·제도적·재정적 자원을 활용한 수요 측면에서의 시설운영의 성과의 지속가능성을 평가하기 위하여 해상교통안전시설 기능(Maritime Traffic Safety Facility)과 다목적시설 기능(Additional Facility)에 대해 분석하고 평가하고자 하였다.

마지막으로 항로표지시설인프라의 영향력(Impact)은 항로표지시설인프라 설치·운영에 따라 직·간접적으로 초래된 제도적, 사회·경제적, 환경적, 기술적 변화 등에 대한 영향력을 평가하기 위한 것으로 항로표지시설의 형태에 따라 해상기반시설의 경우 위해요소 영향(Hazard Factors) 및 자유통항선박 영향(Fishing Factors)에 대해 분석하고 평가하고자 하였다. 또한 육상기반시설의 경우 광역관리 영향(District management) 및 해양문화유산 영향(Maritime cultural heritage)에 대해 분석하고 평가하고자 하였다.

제 4 장 항로표지시설인프라 표준평가모델의 개발

4.1 표준평가모델의 개요

항로표지시설인프라 표준평가모델은 항해하는 선박의 안전 및 효율적인 항해와 해양교통환경 조성 등 공공목적의 핵심 시설인프라에 대한 종합적이고 체계적으로 관리·운영을 통하여 복합적으로 활용될 있도록 해양환경 및 항만여건 변화를 고려한 항로표지시설인프라의 사후평가를 위한 모델이다.

항로표지시설인프라는 공공시설인프라로서 사업 계획단계에서의 타당성평가 등을 통해 시설의 목적 및 우선순위에 입각한 사전검토를 통해 안전하고 효율적인 해양환경 조성을 위한 시설로 설치·운영되고 있다. 이러한 공공시설인프라를 대상으로 하여 체계적인 성과 및 효과 사후평가 과정을 통해 시설인프라의 중요한 제반 측면과 그 가치를 분석하고, 항로표지시설인프라에 대한 종합적인 분석 및 평가를 통해 주변 환경의 변화 및 영향, 시설 운영의 타당성, 수요자 측면의 만족도 등을 검토한다. 표준평가모델은 유사 시설운영 계획 검토 및 효율성 향상을 위한 자료로 활용할 수 있으며, 각 평가내용을 바탕으로 시설 운영 문제를 개선하고 신뢰성 확보를 통해 해양 안전시설로서의 기능 및 효율적 해양환경 조성 등을 최대화 할 수 있다.

항로표지시설인프라 표준평가모델은 Fig. 15와 같은 평가 흐름도에 따라 이루어지며 평가 대상 선정 후 5개의 평가기준에 따라 시설인프라에 대해 평가하고, 각 기준별 중요도 차이를 고려하여 쌍대비교를 통한 가중치 적용을 통해 평가결과의 오류를 최소화하고 신뢰성과 유용성을 확대하고자 한다. 또한 평가과정 중 항로표지시설인프라에 대한 특수성분석을 통해 표준평가 결과에 대한 검증단계를 거쳐 최종 평가결과를 도출한다.

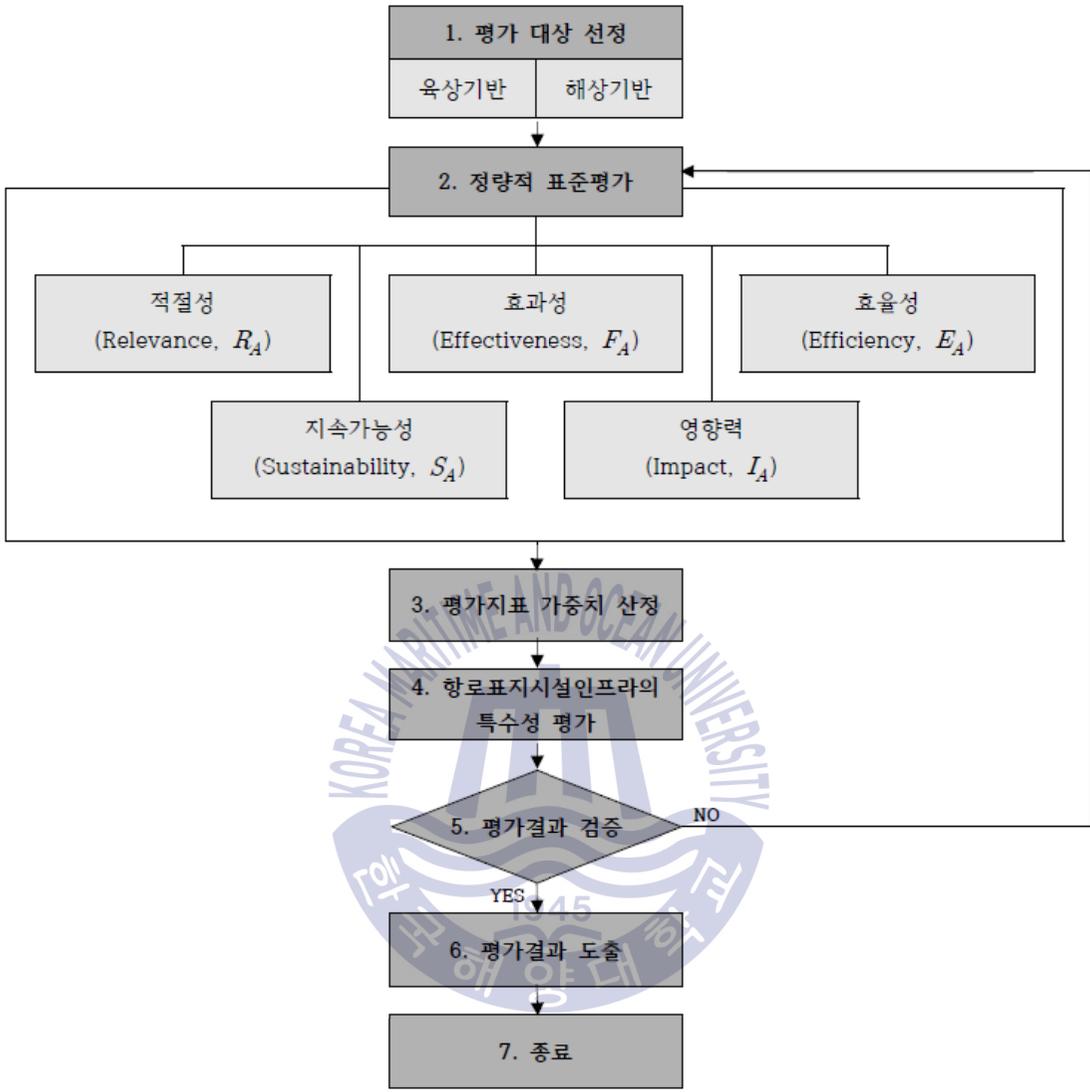


Fig. 15 항로표지시설인프라 표준평가모델

항로표지시설인프라 표준평가모델은 Fig. 16과 같이 시설인프라에 대한 수요 (Needs)부터 활용(Outcomes)까지 전체 과정에 대한 실효성 및 효용성 평가가 이루어 질 수 있도록 설계한다. 우선 항로표지시설인프라의 사후 평가 필요성이 인지된 평가대상을 선정하고 현재 항로표지시설인프라 운영현황 및 문제점에 대한 기초자료를 검토한다.

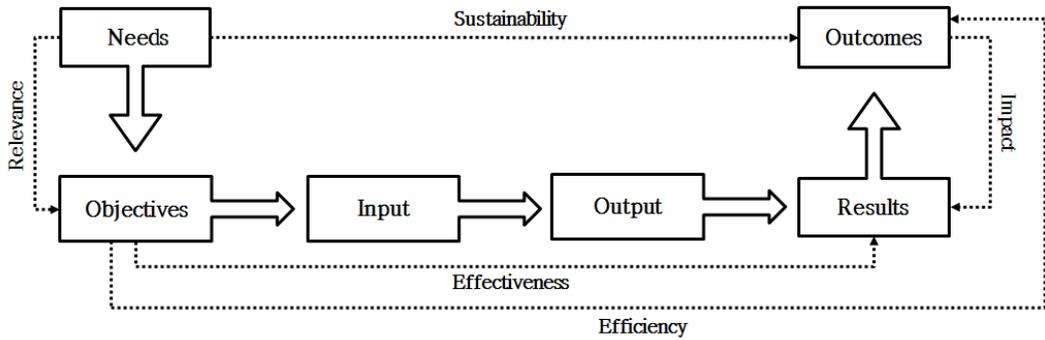


Fig. 16 표준평가기준별 평가목적 및 대상

이를 바탕으로 향로표지시설인프라 표준평가모델을 활용한 5개의 평가기준에 따라 각 기준별 목적에 부합하는 세부 평가 항목을 통해 정량적 평가가 이루어진다. 향로표지시설인프라에 대한 표준 평가기준은 적절성(Relevance), 효과성(Effectiveness), 효율성(Efficiency), 영향력(Impact), 지속가능성(Sustainability)으로 구분하고, 기존의 국내외 향로표지시설에 대한 평가 및 각 기준별 평가 목적을 고려하여 10개의 세부 평가항목으로 구성하였으며, 평가기준별 목적 및 세부 평가항목은 Table 5와 같다. 이때 각 평가기준별 중요도 차이를 가지므로 관련 학계, 기관 등 전문가 의견수렴을 통한 AHP 기법을 적용하여 정략적 평가 결과를 바탕으로 식(3)과 같이 각 기준별 가중치를 $\alpha_1 \sim \alpha_5$ 까지 산정하여 평가한다. 이러한 과정을 통해 평가모델 및 분석 결과에 대한 신뢰성과 유용성을 향상 시킨다.

$$SEM = \alpha_1 R_A + \alpha_2 F_A + \alpha_3 E_A + \alpha_4 S_A + \alpha_5 I_A \quad (3)$$

향로표지시설인프라 평가기준별 가중치를 반영한 평가 후 향로표지시설인프라의 특성 상 기초 기능분석을 통해 그 기능성이 충분히 인식되었으나 주변 환경의 여건, 통항선박의 특징, 국가정책, 설계자의 관점차이에 따라 설치·운영이 어려운 경우가 있을 수 있으므로 관련 전문가의 의견수렴 등 리커트척도(Likert scale)를 활용하여 향로표지시설인프라에 대한 특수성분석을 통해 기능분석 결과에 대한 검증과정을 거쳐 최종 평가결과를 도출한다.

Table 5 항로표지시설인프라 표준평가 기준 및 항목

	기준	목적	항 목	
1	적절성 Relevance (R_A)	설계 시점의 항로표지시설인프라 필요성 및 우선순위 등 제반 목표가 설치 계획 단계에서 해역의 위치 및 여건을 고려하여 적절하게 설정되어 설치되었는가를 평가하는 것	해양환경특성 평가 (Maritime Environment, E_n)	
			시설인프라의 적합성평가 (Standard Type, St)	
2	효과성 Effectiveness (F_A)	항로표지시설인프라 설계 당시 수립된 목적 대비 현재 시점의 효과 및 결과를 평가하기 위한 것으로 사업의 결과가 사업의 목표를 달성하는데 얼마나 기여하였는가를 평가하는 것	해양교통안전 공헌도평가 (Marine Traffic Safety Contribution, Sc)	
			해양교통 환경조성 기여도평가 (Marine Traffic Environment Contribution, Ec)	
3	효율성 Efficiency (E_A)	실제로 이용자측면에서 항로표지시설인프라 설치 목적과 비교하여 투입된 자원이 얼마나 경제적으로 사용되어 결과물 및 중간 결과로 전환되었는가를 평가하는 것	기능중복성 평가 (Duplication of Function, Du)	
			시설 활용도 평가 (Utilization, Ut)	
4	지속가능성 Sustainability (S_A)	설계 시점의 항로표지시설인프라 필요성 및 우선순위 등 타당성평가 결과 대비 설치 이후 인적·제도적·재정적 자원을 활용한 수요 측면에서의 시설운영의 성과의 지속가능성을 평가하는 것	해양교통안전시설 기능평가 (Maritime Traffic Safety Facility, Sf)	
			다목적시설 기능평가 (Additional Facility, Ad)	
5	영향력 Impact (I_A)	항로표지시설인프라 설치·운영에 따라 직·간접적으로 초래된 제도적, 사회·경제적, 환경적, 기술적 변화에 대하여 평가하는 것	해양 기반 시설	위해요소 영향평가 (Hazard Factors, H_z)
				자유통항선박 영향평가 (Fishing Factors, Fr)
			육상 기반 시설	광역관리 영향평가 (District management, Dm)
				해양문화유산 영향평가 (Maritime cultural heritage, Ch)

4.2 항로표지시설인프라의 정량적 평가 방법

4.2.1 적절성(R_A) 평가

항로표지시설인프라 적절성(R_A)은 해양환경특성 평가(En) 및 시설인프라의 적합성 평가(St)를 기반으로 하여 설치 계획 단계의 항로표지시설인프라 필요성 및 제반목표 설정에 대한 적합 여부와 이후 해역·항만의 특성 변화를 고려한 시설인프라 운영의 적절성을 평가한다. 현재 시점에서 평가대상 인근의 해양환경특성을 평가하고, 이에 적합한 항로표지시설인프라 형태인가를 검토할 수 있도록 식 (4) 및 Table 6에 따라 평가한다.

$$R_A = En + St \quad (4)$$

Table 6 적절성(R_A) 평가점수 배치표

구분	2점	4점	6점	8점	10점
En	0 ~ 20%	20 ~ 40%	40 ~ 60%	60 ~ 80%	80 ~ 100%
St	매우부적합	부적합	보통	적합	매우적합

해양환경특성 평가항목(En)은 선박 항해 중 안전항해를 위협할 수 있는 시계제한조건으로 안개일수(F_d), 태풍일수(T_d), 풍랑주의보·풍랑경보발생일수(W_d)를 평가요소를 대상으로 분석기간 중 발생일수 비율을 식 (5)와 같이 분석하고, 분석결과에 대하여 Table 6 평가점수 배치표에 따라 평가한다.

$$En = \frac{(F_d + T_d + W_d)}{D} \times 100\% \quad (5)$$

- En : 시계제한조건 발생일수 비율(%)
- F_d : 안개일수
- T_d : 태풍일수

- W_d : 풍랑주의보 · 풍랑경보일수
- D : 분석기간 전체일수

시설인프라의 적합성 평가항목(S_t)은 설치 해역의 수심, 해저지형, 조류 및 파고 등 해상여건 및 이용선박의 규모를 대상으로 시설인프라의 적합성을 Fig. 17과 같은 순서도에 따라 평가한다.

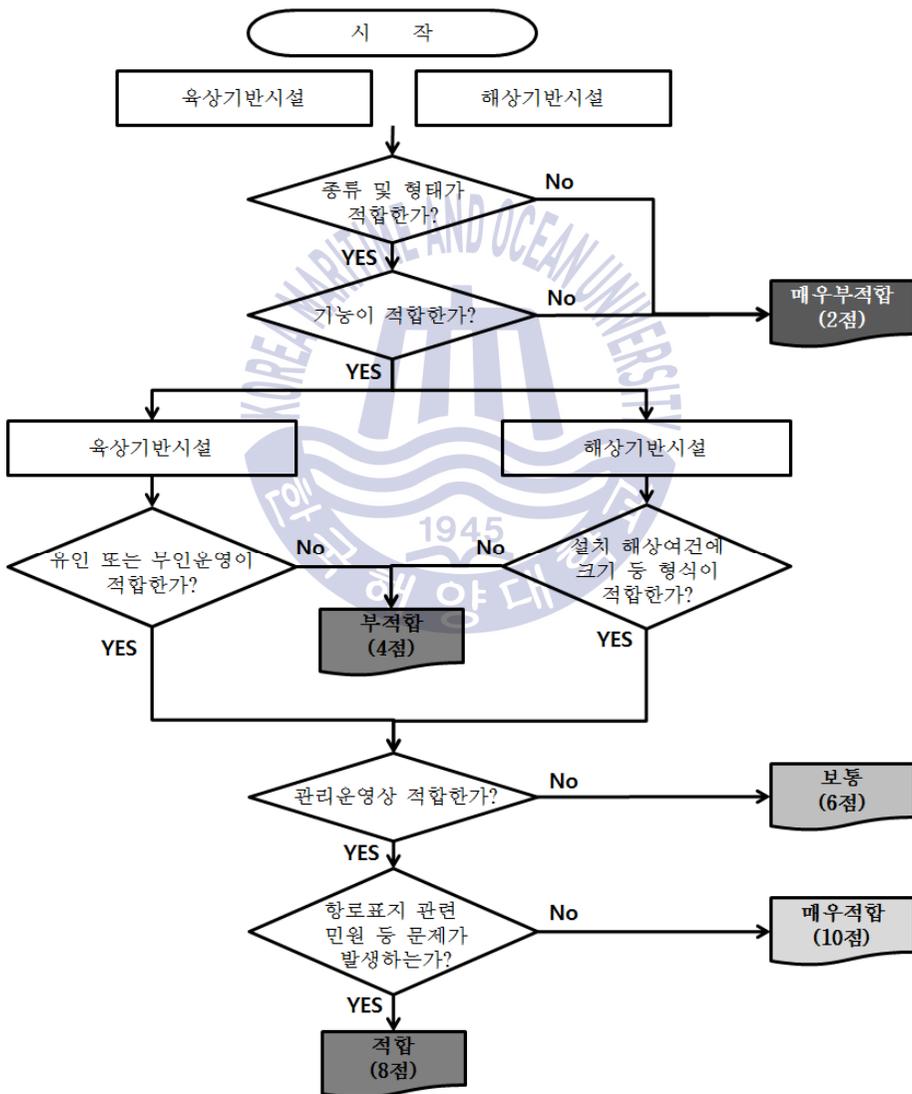


Fig. 17 시설인프라의 적합성 평가(S_t) 순서도

4.2.2 효과성(F_A) 평가

항로표지시설인프라의 효과성(F_A)은 해상교통안전 공헌도 평가(Sc) 및 해상교통 환경조성 기여도평가(Ec)를 기반으로 하여 항로표지시설인프라 설계 당시 수립된 목적과 비교하여 현재시점의 시설인프라 운영 결과 및 효과를 평가한다. 즉 사업의 결과가 사업의 목표를 달성하는데 얼마나 기여하였는가를 평가하기 위한 것으로 직접적 발생효과와 간접적 발생효과로 구분하여 항로표지시설인프라 운영에 따른 인근 해역의 해양교통안전에 대한 직접적 영향을 평가하고, 직접적인 시설 활용 이외에 안전한 해상교통 환경조성에 대한 간접적 기여도를 식(6) 및 Table 7에 따라 평가한다.

$$F_A = Sc + Ec \quad (6)$$

Table 7 효과성(F_A) 평가점수 배치표

구분	2점	4점	6점	8점	10점
Sc	매우안전	안전	보통	위험	고위험
Ec	5% 미만	5 ~ 15%	15 ~ 20%	20 ~ 30%	30% 이상

해상교통안전 공헌도 평가항목(Sc)은 충돌위험범위(R_{area})에서의 교통량 밀도에 대하여 해상교통위험도(R_{unit})를 식(7)과 같이 분석하고, 분석결과에 대하여 Table 7 평가점수 배치표에 따라 평가한다.

$$R_{unit} = \frac{\sigma_{cell}}{N} \sum_{i=1} \sum_{j=i} D_{ij} V_{ij} t \quad (7)$$

- R_{unit} : 해상교통위험도(%)
- σ_{cell} : 단위 셀당 선박의 밀도
- N : 분석기간 동안의 단위 셀당 선박통항척수

해상교통환경조성 기여도평가항목(E_c)은 항로표지시설인프라를 기준으로 평가해역의 선박교통량을 대상으로 하여 최근 10년간 전국 무역항 입출항현황에 대한 통항규모를 식(8)과 같이 분석하고, 해상교통시설인프라 서비스 제공 및 해양교통환경조성 측면에서의 기여도를 Table 7 평가점수 배치표에 따라 평가한다.

$$E_c = \frac{T_{aton}}{T_{all}} \times 100\% \quad (8)$$

- T_{all} : 최근 10년간 전국 무역항 입출항 전체교통량(척수)
- T_{aton} : 해양교통시설인프라 인근 주요 항만 또는 항로의 교통량(척수)

4.2.3 효율성(E_A) 평가

항로표지시설인프라의 효율성(E_A)은 항로표지시설인프라 기능중복성 평가(Du) 및 항로표지시설인프라 활용도 평가(Ut)를 기반으로 하여 선박의 안전 및 항해의 효율, 항만 관리 등 항로표지시설인프라 설치목적과 비교하여 실제 활용(Outcomes) 측면에서 투입된 인적, 물적 자원에 대한 효율적, 경제적 활용여부를 평가한다. 특정 권역 내 유사 기능을 수행할 수 있는 항로표지시설인프라에 대한 기능중복성을 평가하고, 실제 이용자 측면에서의 항로표지시설인프라 수요도를 검토하여 식(9) 및 Table 8에 따라 평가한다.

$$E_A = Du + Ut \quad (9)$$

Table 8 효율성(E_A) 평가점수 배치표

구분		2점	4점	6점	8점	10점
Du	해상기반	10기 이상	6 ~ 10기	3 ~ 6기	1 ~ 3기	0개
	육상기반	80%~100%	60%~80%	40%~60%	20%~40%	20% 이하
Ut	Us	매우낮음	낮음	보통	높음	매우높음
	Sp	매우부적절	부적절	보통	적절	매우적절
	Po	매우부적절	부적절	보통	적절	매우적절

항로표지시설인프라 기능중복성 평가항목(Du)은 항로표지시설인프라 1기당 100%의 기본기능 효과를 수행한다고 가정하고, 평가대상 항로표지시설인프라 기준 특정 권역 내에서 유사 기능을 수행할 수 있는 항로표지시설인프라에 대한 기능의 중복성을 평가한다. 이는 제3장에서 검토한 결과를 바탕으로 하여 육상기반 시설과 해상기반시설의 권역의 범위 및 평가방법을 구분하여 설계한다. 해상기반 시설의 경우 3마일 이내를 권역으로 설정하고 이 권역 내 유사기능을 수행하고 있는 해양교통시설인프라에 대하여 식(10)과 같이 분석하고, Table 8 평가점수 배치표에 따라 평가한다.

$$Du = \sum_{n=1}^N N \quad (10)$$

- Du : 해상기반시설 기능중복성
- $\sum_{n=1}^N N$: 권역내 유사기능을 가진 시설의 개수

또한 육상기반시설의 경우 20마일 이내를 권역으로 설정하고 이 권역 내 유사 기능을 수행하고 있는 해양교통시설인프라에 대하여 식(11)과 같이 분석하고, Table 8 평가점수 배치표에 따라 평가한다.

$$Du = \sum_{n=1}^N \frac{D(x)}{A(x)} \quad (11)$$

- Du : 육상기반시설 기능중복성
- $D(x)$: 권역내 유사기능을 가진 시설과의 중첩범위
- $A(x)$: 해당 육상기반시설의 권역범위

항로표지시설인프라 활용도 평가항목(Ut)은 도선사협회, 해양수산부, 해양경비 안전서, 선사 등 실사용자를 대상으로 항로표지시설인프라의 이용도, 항로표지시설인프라 기능(등질, 등고, 광달거리 등)의 적정성, 위치의 적정성에 대하여 방문 면담 및 설문조사를 통해 항로표지시설인프라 기능 및 활용도를 식(12)와 같이 분석하고, Table 8 평가점수 배치표에 따라 평가한다.

$$Ut = \frac{Us + Li + Po}{3} \quad (12)$$

- Ut : 실사용자 대상 해양교통시설인프라 활용도
- Us : 해양교통시설인프라 이용도
- Sp : 해양교통시설인프라 기능(등질, 등고, 광달거리 등)의 적정성
- Po : 위치의 적정성

4.2.4 지속가능성(S_A) 평가

항로표지시설인프라의 지속가능성(S_A)은 항로표지안전시설기능 평가(S_f) 및 다목적기능 평가(Ad)를 기반으로 하여 설계 시점의 시설인프라에 대한 수요(Needs)와 비교하여 설치 이후 인적, 제도적, 재정적 자원 활용(Outcomes) 측면에서의 시설운영의 성과를 통한 지속가능성을 평가한다. 항해안전에 도움을 주는 해양교통안전시설로서의 기본 기능과 기본목적 이외 항로표지시설인프라를 활용한 다목적 기능을 검토하여 식(13) 및 Table 9에 따라 평가한다.

$$S_A = S_f + Ad \quad (13)$$

Table 9 지속가능성(S_A) 평가점수 배치표

구분			1점	2점	3점	4점	5점
S_f	해상 기반	R_f	매우단순	단순	보통	복잡	매우복잡
		D_f	없음	통항가능	위험	고위험	통항불가
	육상기반		80 ~ 100%	60 ~ 80%	40 ~ 60%	20 ~ 40%	상위 20% 이내
Ad	T_m		7마일이상	5~7마일	3~5마일	1~3마일	1마일 이내
	W_m		기본기능	1개	2개	3개	4개 이상

항로표지안전시설기능 평가항목(S_f)은 항로표지시설인프라라는 최적의 항로의 위치에 대한 조언을 하거나 위험 또는 장애를 경고하여 항해사가 선위 및 항로를 결정하는데 도움을 주기 위한 선박 외부 장치 또는 시스템으로서 항로의 특성 및 항해위험요소에 따라 그 위치와 필요성이 결정된다고 할 수 있다. 이에 항로표지시설인프라 필요성 및 우선순위 등의 수요 측면에서 시설운영 성과의 지속가능성을 평가하고, 항로표지 종류에 따라 설치의 목적 및 기능의 차이를 고려하여 육상기반시설과 해상기반시설의 평가 방법을 구분하여 설계하였다.

1) 해상기반시설의 경우

해상기반시설에 대한 항로표지안전시설기능 평가항목(S_f)은 항로요소(R_f)와 항해위험요소(D_f)로 구분하여 설치 해역 및 항만의 특성을 고려한 해양안전시설로서의 기능 및 성과를 평가한다. 항로요소(R_f)는 국내외 규정을 고려하여 90° 이상인 항로를 매우복잡, 45~90° 복잡, 30~45° 보통, 15~30° 단순, 15° 미만 매우단순으로 구분하여 평가하고, 항해위험요소(D_f)는 자연·인공장애물(방파제, 다리, 어장, 암초, 공사 등) 및 항계, 정박지 등 선박 항해 시 위험요소로 작용할 수 있는 것을 평가요소 수준에 따라 구분하여 평가한다. 각 평가요소별 5단계로 구분하여 Table 10 항로표지안전시설기능평가 점수표에 따라 식(14)와 같이 분석하고 Table 9에 따라 평가한다.

$$S_f = R_f + D_f \quad (14)$$

Table 10 해상기반시설의 항로표지안전시설 기능평가(S_f) 점수표

$R_f \backslash D_f$	매우단순 (15°)	단순 (15~30°)	보통 (30~45°)	복잡 (45~90°)	매우복잡 (90° 이상)
없음	2	3	4	5	6
통항가능	3	4	5	6	7
위험	4	5	6	7	8
고위험	5	6	7	8	9
통항불가	6	7	8	9	10

2) 육상기반시설의 경우

육상기반시설에 대한 해양교통안전시설기능 평가항목(Sf)은 광범위한 해역에 대한 해양안전시설로서의 기능 및 성과를 평가한다. 권역 내에서 통항하는 선박의 안전 향해를 위한 해양교통안전시설로서의 기능을 평가하기 위하여 분석기간동안 권역 내에서 발생한 해양사고를 대상으로 선박의 통항량 대비 해상교통안전시설기능을 식(15)와 같이 분석하고, Table 9 평가점수 배치표에 따라 평가한다.

$$Sf = \frac{\sum_{n=1} A_n}{T_{vol}} \quad (15)$$

- $\sum_{n=1} A_n$: 분석기간동안의 권역 내에서 발생한 해양사고 건수의 합
- T_{vol} : 분석기간동안의 권역 내에서 통항한 선박교통량

다목적기능 평가항목(Ad)은 해양영토관리기능요소(T_m) 및 업무지원기능요소(W_m)로 구분하여 기본목적이외에 시설을 활용한 다목적 기능 수행성과를 평가한다. 해양영토관리기능요소(T_m)는 국토끝단 및 접경지역에 위치하여 항로표지로서의 기능이외에 해양 영토 관리 측면에서의 지리적 중요도를 평가하고, 업무지원기능요소(W_m)는 관계기관의 장비 운영 및 어업지원 업무 등 부가지원기능에 대한 성과를 평가한다. 각 평가요소별 5단계로 구분하여 Table 11 업무지원 기능평가 점수표에 따라 식(16)과 같이 분석하고 Table 9에 따라 평가한다.

$$Ad = T_m + W_m \quad (16)$$

Table 11 업무지원 기능평가(W_m) 점수표

$W_m \backslash T_m$	7마일이상	5~7마일	3~5마일	1~3마일	1마일이내
기본기능	2	3	4	5	6
1개	3	4	5	6	7
2개	4	5	6	7	8
3개	5	6	7	8	9
4개 이상	6	7	8	9	10

4.2.5 영향력(I_A) 평가

항로표지시설인프라의 영향력(I_A)은 항로표지시설인프라 설치·운영에 따라 직·간접적으로 초래된 제도적, 사회·경제적, 환경적, 기술적 변화 등에 대한 영향력을 평가한다. 제3장에서 검토한 결과를 바탕으로 하여 육상기반시설과 해상기반시설의 권역의 범위 및 평가방법을 구분하여 설계한다.

1) 해상기반시설의 평가

해상기반시설의 영향력(I_{A_s})은 해상에 설치·운영되는 특성 상 위치에 따라 실제 선박 항해 시 새로운 위험요소로 작용할 수 있으므로 부정적 변화 또는 의도하지 않은 결과 등에 대하여 위험요소 영향평가(H_z)와 자유통항선박 영향평가(Fr)로 구분하여 식(17) 및 Table 12에 따라 평가한다.

$$I_{A_s} = H_z + Fr \quad (17)$$

Table 12 해상기반시설의 영향력(I_{A_s}) 평가점수 배치표

구분	2점	4점	6점	8점	10점
H_z	50% 이상	40 ~ 50%	20 ~ 40%	10 ~ 20%	10% 이하
Fr	80% 이상	60 ~ 80%	40 ~ 60%	20 ~ 40%	20% 이하

위해요소 영향평가(Hz)는 항로표지시설인프라 설치 이후 발생한 사고 데이터를 기반으로 하여 해양사고 중 직접적으로 항로표지시설의 영향으로 인해 발생한 사고사례를 분석하여 분석기간 중 항로표지시설의 영향으로 인해 발생한 사고건수 및 피해비용 기반의 사고발생 규모(V_{acc})를 식(18)과 같이 산정한다.

$$V_{acc} = n \sum_{r=1}^N C_r \quad (18)$$

- V_{acc} : 항로표지시설인프라 사고발생 규모
- n : 분석기간 중 항로표지시설의 영향으로 인해 발생한 사고 발생건수
- C_r : 사고발생에 따른 피해비용

이를 바탕으로 평가대상 인근 주요 해역에서 발생한 전체 사고발생 규모 대비 평가대상 시설의 사고발생 규모 비율을 식(19)와 같이 분석하여 Table 12에 따라 평가한다.

$$Hz = \frac{V_{acc}}{\sum_{n=1}^N V_{acc.all}} \times 100\% \quad (19)$$

- $\sum_{n=1}^N V_{acc.all}$: 인근 주요 항만 또는 항로의 전체 항로표지시설 사고발생 규모

자유통항선박 영향평가(Fr)는 어선, 부선, 관공선 등 기타 자유통항선박에 대한 항로표지시설인프라의 위해요소 영향 가능성을 식(20)과 같이 분석하여 Table 12에 따라 평가한다.

$$Fr = \frac{F_{aton}}{T_{all}} \times 100\% \quad (20)$$

- T_{all} : 항로표지 인근 주요 항만 또는 항로의 전체교통량(척수)
- F_{aton} : 권역 내 자유통항선박교통량(척수)

2) 육상기반시설의 평가

육상기반시설의 영향력(I_{A_L})은 항로표지시설인프라 설치 및 운영에 따라 간접적으로 초래될 수 있는 변화에 대하여 육상기반시설 주변의 시설인프라에 대한 광역관리요소로서의 영향평가(D_m)와 육상기반시설을 활용한 해양문화유산으로서의 영향평가(Ch)로 구분하여 식(21) 및 Table 13에 따라 평가한다.

$$I_{A_L} = D_m + Ch \quad (21)$$

Table 13 육상기반시설의 영향력(I_{A_L}) 평가점수 배치표

구분		1점	2점	3점	4점	5점
D_m	D_n	없음	1 ~ 20기	21 ~ 40기	41 ~ 60기	61기 이상
	D_w	1시간이상	45분~1시간	30분~45분	15분~30분	15분 이내
Ch	N_h	없음	검토중	등록 문화재	시도 문화재	국가문화재
	N_v	5만 이하	5만~15만	15만~30만	30만~50만	50만 이상

광역관리 영향평가항목(D_m)은 항로표지시설인프라의 설치 및 운영에 따라 육상기반시설을 중심으로 인근에서 운영 중인 시설인프라에 대한 광역관리 기능을 수행하는 영향력을 평가하기 위한 항목으로 주변 항로표지시설인프라 규모(D_n)와 주변 항로표지시설인프라 산포도(D_w)로 구분하여 식(22) 및 Table 13에 따라 평가한다.

$$D_m = D_n + D_w \quad (22)$$

주변 항로표지시설인프라 규모(D_n)는 긴급대응 가능범위 내 위치한 항로표지시설인프라의 규모를 평가하고, 주변 항로표지시설인프라 산포도(D_w)는 긴급대응 가능범위 내 항로표지시설인프라의 산포도를 식(23)과 같이 평가한다.

$$D_w = \frac{t_l + t_s}{N} \quad (23)$$

- t_l, t_s : 육상기반시설에서 긴급대응 가능범위 내 시설까지 도달시간의 총합
- N : 육상기반시설에서 긴급대응 가능범위 내 시설 개수

해양문화유산 영향평가항목(Ch)은 항로표지시설인프라의 설치 및 운영에 따라 육상기반시설이 가지는 해양문화유산으로서의 영향력을 평가하기 위한 항목으로 항로표지시설인프라의 문화유산으로서의 상징성(N_h)과 현재 해양문화공간운영에 따른 활성화현황(N_v)으로 구분하여 평가한다. 항로표지시설인프라의 상징성평가(N_h)는 육상기반시설의 역사적 가치 및 문화유산으로서의 가능성을 평가하기 위하여 현재 국가 또는 지자체에서의 문화재 등록현황을 분석한다. 또한 현재 해양문화공간운영에 따른 활성화현황평가(N_v)는 해양레저 및 친수문화공간으로서 활용도를 평가하기 위하여 연간 방문객 현황에 대하여 분석한다. 각 평가요소별 5단계로 구분하여 식(24) 및 Table 13에 따라 평가한다.

$$Ch = N_h + N_v \quad (24)$$

4.3 평가항목별 가중치 산정

4.3.1 평가항목별 가중치 산정 목적

항로표지시설인프라에 대한 정량적 평가는 객관적인 데이터에 따라 모든 항로표지시설인프라에 대하여 공통적으로 적용하여 평가 및 분석한다. 그러나 항로표지시설인프라에 대한 표준평가 기준별 중요도는 차이가 있으며, 동일한 비율로 적용하여 평가를 할 경우 오류가 발생할 가능성이 크다.

그러므로 항로표지시설인프라 기능분석 기준에 대한 가중치를 적용하여 평가모델 및 분석 결과에 대한 신뢰도 향상 시키고자 하였으며, 관련 학계, 기관 등 전문가 의견수렴을 통해 가중치를 산정하고, 항로표지시설인프라에 대한 정량적 평가 결과를 바탕으로 식(25)와 같이 각 기준별 가중치를 $\alpha_1 \sim \alpha_5$ 까지 반영하여 평가한다.

$$SEM = \alpha_1 R_A + \alpha_2 F_A + \alpha_3 E_A + \alpha_4 S_A + \alpha_5 I_A \quad (25)$$

4.3.2 평가항목별 가중치 산정 방법

계층분석과정(AHP, Analytic Hierarchy Process) 기법이란 다수의 평가 기준에 대한 의사 결정 방법 중 하나로 전문가의 의견을 바탕으로 각 기준별 가중치를 산정하기 위한 방법으로 두뇌가 단계적 또는 위계적 분석과정을 활용한다는 사실에 착안하여 Thomas L. Saaty 교수가 고안한 계산모델이다.

이 기법은 의사결정의 전 과정을 다단계로 나눈 후 이를 단계별로 분석 해결함으로써 최종적인 의사결정에 이르는 방법으로 행렬을 이용한 가중치 산정법으로 AHP의 연구적 실효성은 Table 14와 같이 계층적 구조와 측정, 일관성 검증, 그룹 의사결정, 과정의 반복, 민감도 분석에 따라 살펴볼 수 있다. 이는 인간의 사고과정을 반영하여 의사결정 구조요소를 계층으로 나누어 최종목표에 대한 평가기준의 중요도를 책정하고, 각 평가기준에 대하여 대체안의 중요성을 평가할 수 있다.

Table 14 AHP 기법의 특징

구분	특징
계층적 구조	- 인간의 자연적인 사고과정을 반영 - 의사결정 구조요소를 목표, 평가기준, 대안 등의 계층으로 나누어 판단
측정	- 정량적 요소와 정성적 요소의 동시적 반영가능 - 상이한 척도를 가진 요소들의 비교 통합 가능 - 9점 척도 쌍대비교 결과의 신뢰성 입증
일관성 검증	- 우선순위를 결정하는데 이용되는 평가자의 판단에 대한 논리적 일관성 검증 가능
그룹의사결정	- 개별평가 결과의 합리적인 통합을 통해 집단의사의 효과적 결정이 가능
과정의 반복	- 문제의 정의를 수정할 수 있게 해 주며, 반복을 통해 판단과 이해를 수정할 수 있음
민감도 분석	- 의사결정과 관련된 요소 또는 정보의 변화에 따른 민감도 분석이 가능

또한 정략적·정성적 요소에 대한 분석이 가능하여 서로 다른 변수에 대한 비교분석을 할 수 있으며, 9점 척도를 사용한 쌍대비교 결과의 신뢰성에 대한 입증이 가능하다. 또한, Consistency index를 통하여 평가의 논리적 일관성을 검증할 수 있고, 여러 단계의 의사결정내용을 통합하여 함축된 지표를 나타낼 수 있으며, 문제의 정의나 관련 요소 또는 정보의 변화에 따른 수정이 가능한 분석 방법이다 (송의근, 2007).

본 논문에서는 평가기준별 가중치 산정을 위해 계층분석과정(AHP) 기법을 적용하여 항로표지시설인프라에 대한 표준평가 기준별 상이한 조건을 고려하여 기준별 쌍대비교를 통한 중요도를 산정하고 상대적 중요도 기반의 가중치를 적용한다. 5개의 평가기준별로 $\alpha_1 \sim \alpha_5$ 까지 가중치를 산정하기 위하여 학계, 기관, 등 전문가를 대상으로 Table 18과 같은 설문지를 배부하고, 각 지표 간 쌍대비교를

통하여 상대적 중요도를 분석하여 가중치를 적용한다. 전문가 선정 시 전문가그룹은 가중치 산정 결과의 신뢰도 향상을 위해 5명이내로 하여 정책결정자, 업무책임자, 학계 전문가(교수 등)를 대상으로 조사·분석한다.

Table 15 Questionnaire on AHP(Analytic Hierarchy Process)

※ 항로표지시설인프라 표준평가 기준별 가중치 산정											
α_1	적절성 (R_A)	α_2	효과성 (F_A)	α_3	효율성 (E_A)	α_4	지속가능성 (S_A)	α_5	영향력 (I_A)		
Question							9	7	5	3	1
※ If the inverse, enter "1/X"											
1	How much is ' α_1 ' more important than ' α_2 ' ?										
2	How much is ' α_1 ' more important than ' α_3 ' ?										
3	How much is ' α_1 ' more important than ' α_4 ' ?										
4	How much is ' α_1 ' more important than ' α_5 ' ?										
5	How much is ' α_2 ' more important than ' α_3 ' ?										
6	How much is ' α_2 ' more important than ' α_4 ' ?										
7	How much is ' α_2 ' more important than ' α_5 ' ?										
8	How much is ' α_3 ' more important than ' α_4 ' ?										
9	How much is ' α_3 ' more important than ' α_5 ' ?										

이때 설문응답에 대한 신뢰도 평가를 위해 Consistency Index(CI)를 산정하게 되는데, Consistency Index(CI)란 비교수행자가 얼마만큼의 일관성을 가지고 결과를 적었는가를 보여주는 지표로 응답에 있어서의 논리적인 모순 평가하기 위한 지표이다. 응답자가 논리적으로 모순을 유발하게 되면 지표값이 상승하게 되며 일반적으로 CI가 0.1이상이면 응답자의 답변을 신뢰할 수 없다고 본다.

4.4 소결

항로표지시설인프라 중 사후평가의 필요가 있는 평가분석 대상에 대하여 5개의 평가기준 및 10개 세부 평가항목에 따라 정량적 평가 후 항로표지시설인프라 평가기준별 중요도 차이를 고려하여 가중치를 적용하여 평가한다.

항로표지시설인프라의 특성 상 기초 검토를 통해 그 필요성 및 기능성은 충분히 인식되었으나 주변 환경의 여건, 통항선박의 특징, 국가정책, 설계자의 관점차이에 따라 실제 운영 상 특수한 경우가 발생하거나 운영의 어려움이 있을 수 있으며, 각각의 항로표지시설인프라가 가지는 기능 및 효용성에 대한 평가는 다를 수 있다. 그러므로 본 모델에서는 관련 전문가의 의견수렴을 통해 항로표지시설인프라에 대한 표준평가 결과 검증 과정을 통해 최종 평가 결과를 도출하여 개발된 모델의 신뢰성 및 실용성을 높이고자 한다. 항로표지시설인프라 특수성 측정을 위해 특정대상에 대한 개인의 생각을 측정하는 척도 중 하나인 리커트척도 기법을 적용하였으며, 항로표지시설인프라에 대한 전문가 의견을 바탕으로 그 대상의 기능성 및 유효성을 조사·분석하여 정량적 평가결과 대해 모델 자체에서 검증과정을 거쳐 최종 평가결과에 반영 할 수 있도록 하였다.

리커트척도(Likert scale)란 개인의 태도나 심리적 특성을 측정하는데 사용되는 척도 유형 중 하나이며, Likert에 의해 5점 응답점수(강한 반대, 반대, 중간, 찬성, 강한 찬성)로 개발되어 학문적인 영역부터 실용적인 영역까지 널리 사용되는 대표적인 척도법이다. 리커트척도는 모든 문항이 동일한 가중치를 가진다고 가정하고 응답자가 선택한 응답점수의 합을 개인의 태도점수로 보는 합산적 평정 방법으로 이 척도에서는 응답점수를 부여할 때 가장 비우호적인 응답점수부터 가장 우호적인 응답점수까지 응답방향을 고려하여 일관되게 1점 단위씩 증가하도록 균등하게 부여한다(강혜영, 2015). 응답형식 및 문항의 경우 Likert(1932 cited in 강혜영, 2015)가 최초 개발한 리커트척도는 5개의 응답반응 수로 구성되었으나 응답반응을 명확하게 결정하는 원칙이 없었기 때문에 각 문항과 연구자가 원하는 정보의 양과 질에 의해 다양화되었으며, 응답반응 수는 최대 10점, 11점까지 사용되기는 하나(Loken et al., 1987 cited in 강혜영, 2015) 일반적으로는 5점에서 7점 사이를 사용한다(Malhotra & Peterson, 2006 cited in 강혜영, 2015).

항로표지시설인프라 표준평가 모델에서는 정책결정자, 업무책임자, 학계 전문가(교수) 등 전문가 의견을 바탕으로 그 대상의 기능성 및 유효성을 분석하고, 정량적 평가결과에 대해 모델 자체에서 검증과정을 거쳐 실제 운영 상 특수한 경우가 발생하거나 운영의 어려움이 있을 수 있는 경우에 대해 특수성을 측정한다. 리커트척도 질문지는 Table 16과 같이 응답문항은 총 7단계로 구분하여 표 한 칸에 평가대상 전체 중 1개만 작성하여 동일 항로표지시설인프라의 중복 작성을 불가하도록 한다.

Table 16 Questionnaire on Likert scale

1	2	3	4	5	6	7

이와 같이 실제 운영 상 항로표지시설인프라의 특수성 측정 및 검증과정을 통해 최종 평가 결과를 도출한다. 이때 항로표지시설인프라에 대한 모든 평가기준 기반의 종합적 평가결과도 중요하겠으나 각 평가기준에 따른 분석 과정을 통해 항로표지시설인프라가 가지는 과거, 현재, 미래예측 자료를 통한 복합적 평가결과이므로 각각의 평가기준 결과 또한 검토해 볼 필요가 있다. 또한 항로표지시설인프라 표준평가 모델에 따른 평가결과를 바탕으로 필요에 따라 가상 시뮬레이션을 통해 관리자 및 이용자 측면에서 항로표지시설인프라 개선 필요에 대한 적용가능성 및 적정성 검토가 추가로 이루어질 필요가 있다. 이러한 과정 중 항로표지시설인프라의 특성 상 특수한 경우 과거 및 현재 기능분석 결과와 상이하게 시뮬레이션 및 관리자·이용자 검토과정에서 부적절함의 결과가 나올 수 있으며, 경우에 따라 항로표지시설인프라의 특수성 및 전문가의견수렴을 통해 지속적인 검토를 통해 피드백과정이 필요하다.

제 5 장 항로표지시설인프라 표준평가모델의 적용 및 검증

이 장에서는 제4장에서 개발된 항로표지시설인프라 표준평가모델을 현재 운영 중인 해상기반시설 및 육상기반시설에 대해 적용하여 개발된 모델의 완성도를 검증하고, 표준평가모델을 통해 평가된 결과를 분석을 통해 표준평가모델의 효용성 및 활용성을 검증하고자 한다.

5.1 분석대상 선정

5.1.1 해상기반시설의 분석대상 선정

부산항은 우리나라 남동쪽 끝단에 위치하여 1910년 개항 이후 부산북항, 부산신항, 감천항, 다대포항 등을 개발하여 현재 국내 최대항만 및 국제항만으로서 기능을 수행하고 있다. 총 5개의 항로로 구성되어 현재 Table 17과 같이 총 760기(국유표지 637기, 사설표지 123기)의 항로표지를 운영 중에 있다.

최근 부산북항은 국제해양관광 거점 개발 및 친환경 워터프론트 조성을 위해 북항 재래부두 경쟁력을 강화하고 물류 중심의 항만기능 상업·문화 항만을 조성하는 등 부산북항 재개발사업 추진 중에 있다. 또한 부산신항 역시 Fig. 18과 같이 21세기를 대비한 동북아 국제 물류중심 항만으로 발전함에 따라 항만여건 등 선박의 통항 안정성을 위해 항만 안전시설 전반에 대한 재검토 및 평가가 필요한 실정이다. 이에 선박의 통항안정성 확보 및 안전한 항로조성을 목적으로 항로표지시설인프라에 대한 검토를 위해 항로표지시설인프라 표준평가 모델을 적용하여 현재 운영 중인 항로표지시설인프라에 평가하고자 한다.

Table 17 부산해역 항로표지 운영현황(2016.6.30. 기준)

종류별		국유표지	사설표지	계
계		637	123	760
광파표지	유인등대	3	-	3
	무인등대	78	20	98
	등표	20	4	24
	도등	5	-	5
	등주	391	5	396
	등부표	83	51	134
형상표지	입표	5	-	5
	부표	-	5	5
	교량(주/야)	3/3	17/19	20/22
음파표지	전기혼	3	-	3
전파표지	RACON	10	1	11
특수신호표지	기상신호표지	12	-	12
	AtoN AIS	21	1	22



Fig. 18 부산신항 및 가덕수도 위치도(해양수산부, 2012)

5.1.2 육상기반시설의 분석대상 선정

등대는 광파표지로 지정된 지리적 위치에 직립된 탑이나 견고한 건축물 또는 구조물로 설치하여 신호등 역할과 주간표지로서의 역할과 함께 야간에는 고유한 등광으로 먼 거리 또는 중장거리에서 이용할 수 있도록 하는 항로표지시설이다(해양수산부, 2015b). 그 중 유인등대는 등대원이 24시간 상주하며 주·야간 항로표지로서의 기능수행을 위해 감시·관리가 이루어지는 등대로 1994년도까지 전국 49기의 유인등대가 추가로 설치되었으나 첨단 무선통신시스템 및 전파항법시스템, 항로표지용품의 발전 등으로 인해 12기를 무인화등대로 전환하여 현재 전국 37기 유인등대가 운영 중에 있다(해양수산부, 2015c).

2000년부터 유인등대는 종합정비 및 리모델링을 통해 조류신호소, 위성항법보정 기준국(감시국), 항로표지집약관리센터 등의 항로표지시스템 운영센터로 기능을 확대하여 항로표지 통합관리센터로 운영하고 있다. 등대 기능은 고유기능인 항로표지 기능의 유지관리 및 등대 시설·장비 유지관리와 등대해양문화공간 및 관계기관 장비 관리 등 부가기능으로 구분할 수 있다. 유인등대 시설을 활용하여 무신호기, DGPS, AIS, Loran-C, RACON 등의 항로표지용 장비 및 시스템과 지리적·자연 환경적으로 중요한 유인등대의 경우 기상청 및 기타 관계기관의 관측 장비 등을 운영하고 있다. 또한 국민의 해양사상과 해양문화 해양예술진흥의 발전 및 해양교통교육을 위하여 등대의 고유 기능 이외의 전시실, 전망대, 영상관, 체험숙소, 야외시설 등을 포함한 등대해양문화공간을 조성하여 운영하고 있다. 그러나 고유기능의 경우 유인등대의 복구체계 및 관련 장비의 첨단화·자동화에 따라 고장 발생 빈도가 낮은 반면 기능복구 및 고장수리를 위한 전문 기술자의 필요성 증가로 등대원의 업무는 기술과 기능 업무 영역이 좁아지고 반복적 단순 업무가 증가하고 있는 실정이다. 또한 지방청 및 유인등대 여건에 따라 인근 무인표지 정비 및 점검기능을 직접수행하고 있거나 등대해양문화공간 운영, 관계기관 장비 관리 감시, 기상관측 업무, 공인업무(어선 입출항) 등 추가적인 기능 수행으로 인해 운영 상 문제가 발생하고 있다. 특히 등대해양문화공간 운영에 관한 활성화방안 연구 등은 활발하게 진행되고 있는 반면 그에 대한 효율적 운영 및 등대고유기능 수행에 대한 영향에 대한 평가 및 분석은 미흡한 실정이다.

5.2 해상기반의 항로표지시설인프라에 대한 평가

해상기반시설에 대한 적용 및 검증을 위하여 부산신항 인근 가덕수도에 설치된 항로표지를 평가한다. 가덕수도는 거제도 북동부와 가덕도 사이의 길이 8.6마일, 폭 0.9~1.3마일, 수심 약 20m의 수도로 부산신항 및 마산항, 통영항으로 통항하는 선박이 대부분 이용하며, 해상교통이 밀집하는 해역으로 해양사고 예방 및 안전항해를 목적으로 통항분리방식을 적용하여 지정항로로 운영 중이다(국립해양조사원, 2015). 가덕수도에는 선박 통항안전을 위하여 유도등부표, 등부표, 유·무인등대, 도등 등의 항로표지가 설치되어 운영 중이며 세부사항은 Table 18과 같다.

Table 18 부산신항 가덕수도 항로표지 현황

명칭	위 치 (WGS-84)	등질	광달거리	비고
부산신항유도 등부표	35-58.00N / 128-48.78E	Mo(A)W8s	12	안전수역표지 Racon
가덕도등대	35-59.37N / 128-49.75E	FIW12s	21	AIS, Air Siren 명호 223-137
부산신항중앙A호등부표	34-58.79N / 128-48.42E	Mo(A)W8s	7	안전수역표지
부산신항중앙B호등부표	34-59.89N / 128-47.94E	Mo(A)W8s	7	안전수역표지
부산신항중앙C호등부표	35-01.44N / 128-47.31E	Mo(A)W8s	7	안전수역표지 Racon
부산신항중앙D호등부표	35-02.20N / 128-45.50E	Mo(A)W8s	7	안전수역표지
부산신항1호등부표	34-58.39N / 128-47.76E	FI(4)G8s	8	-
부산신항2호등부표	34-58.99N / 128-49.18E	FI(4)R8s	7	-
부산신항3호등부표	34-58.88N / 128-47.61E	FI(4)G8s	8	-
부산신항4호등부표	34-59.52N / 128-48.91E	FI(4)R8s	7	-
부산신항5호등부표	34-59.38N / 128-47.47E	FI(4)G8s	8	-
부산신항6호등부표	35-00.05N / 128-48.62E	FI(4)R8s	7	-
부산신항7호등부표	34-59.88N / 128-47.31E	FI(4)G8s	8	-
부산신항8호등부표	35-00.58N / 128-48.36E	FI(4)R8s	7	-
부산신항9호등부표	35-00.38N / 128-47.17E	FI(4)G8s	8	-
부산신항10호등부표	35-01.11N / 128-48.08E	FI(4)R8s	7	-
부산신항11호등부표	35-00.88N / 128-47.02E	Q(9)G15s	8	-
부산신항12호등부표	35-02.02N / 128-47.63E	FI(4)R8s	7	-

명칭	위 치 (WGS-84)	등질	광달거리	비고
부산신항13호등부표	35-01.30N / 128-46.18E	FI(4)G8s	8	-
부산신항15호등부표	35-01.78N / 128-45.32E	FI(4)G8s	8	-
부산신항16호등부표	35-02.63N / 128-45.71E	FI(4)R8s	7	-
부산신항17호등부표	35-02.12N / 128-44.17E	FI(4)G6s	8	-
부산신항18호등부표	35-02.98N / 128-44.57E	FI(4)R6s	7	-
부산신항19호등부표	35-02.48N / 128-43.00E	FI(4)G5s	8	-
부산신항20호등부표	35-03.33N / 128-43.39E	FI(4)R5s	7	-

5.2.1 적절성(R_d) 평가

부산신항의 해양환경 여건은 우리나라 남동쪽 끝단에 위치하여 비교적 바람이 강한 것이 특징이며 11월~5월까지 북/북서풍, 6월~10월까지 남서풍 또는 북동풍이 주로 나타난다. 해양환경특성 평가(En)를 위해 부산해역에서 발생한 선박 항해 중 안전항해를 위협할 수 있는 시계제한조건 안개일수(F_d), 태풍일수(T_d), 풍랑주의보일수(W_d)에 대해 분석하였다. 안개일수는 시정 1km 미만의 안개와 낮은 안개가 나타난 일수로(기상청, 2015), Table 19와 같이 최근 10년간(2006년~2015년) 부산해역에서 전체 100일간 안개가 발생하였으며 월별 통계분석 결과 5월, 6월, 7월에 전체 발생일수 중 81%(81일)가 집중되어 발생한 것으로 분석되었다.

Table 19 안개 발생일수(2006년-2015년)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
2006				1	9	2	7			1			20
2007		1		1	2	4	5	1					14
2008					1		3						4
2009			1			5	1						7
2010			1	1	4	2	4	1					13
2011			1		3	5	4						13
2012				2	1	1	1						5
2013					2	1	3	2					8
2014					1		1						2
2015	1		1	2		4	5	1					14
계	1	1	4	7	23	24	34	5	0	1	0	0	100

최근 10년간(2006년~2015년) 발생한 태풍은 Table 20과 같이 전체 232회이며, 그 중 부산해역에 영향을 미친 태풍은 27회로 연 평균 2.7회 태풍의 영향을 받는 것으로 분석 되었다. 부산해역은 다른 항만에 비해 비교적 태풍의 영향을 많이 받으며 여름철에 집중하여 나타나는 것이 특징이다. 연도별 분석결과 2008년에 1회, 2009년에 0회로 비교적 낮게 영향을 받았고, 8월에 10회, 7월 8회로 대부분 7월~8월에 집중한 것으로 분석되었다.

Table 20 태풍 발생일수(2006년-2015년)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
2006							1	1	1			0	3
2007							1	1	1				3
2008							1						1
2009													0
2010								2	1				3
2011						1		1	1				3
2012							1	1	1				3
2013						1		1		1			3
2014							1	2		1			4
2015							3	1					4
계	0	0	0	0	0	2	8	10	5	2	0	0	27

최근 10년간(2006년~2015년) 부산 인근 해상에서 발생한 풍랑주의보는 Table 21과 같이 전체 401일 발효되어 연평균 40.1일로 4월 53일, 9월 52일 발효된 것으로 분석되었다.

Table 21 풍랑주의보 발생일수(2006년-2015년)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
2006	3	3	1	9	5	2	1	3	9	3	5	3	47
2007	2	2	6	5	2	2	2	6	12	1	0	1	41
2008	3	2	1	1	3	5	1	2	0	1	4	3	26
2009	4	2	7	3	5	1	3	7	3	3	6	3	47
2010	3	6	11	8	7	0	2	3	10	7	3	9	69
2011	7	5	2	9	6	2	4	2	7	2	4	3	53
2012	2	2	8	7	0	2	3	5	2	2	2	3	38
2013	1	1	3	6	2	0	1	0	2	4	5	4	29
2014	0	7	1	2	2	1	1	3	2	7	1	4	31
2015	0	0	0	3	1	0	3	2	5	1	3	2	20
계	25	30	40	53	33	15	21	33	52	31	33	35	401

풍랑경보의 경우 Table 22와 같이 최근 10년간 14일 발효되어 연평균 1.4일로 2월 및 11월에 3회씩 발효된 것으로 분석되었다.

Table 22 풍랑경보 발생일수(2006년-2015년)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
2006				1							1		2
2007									1				1
2008													0
2009			1							1	1		3
2010		1											1
2011	1							1			1		3
2012				1									1
2013													0
2014		2								1			3
2015													0
계	1	3	1	2	0	0	0	1	1	2	3	0	14

가덕수도의 해역 특성 및 여건을 고려하여 현재 운영 중인 25기의 항로표지의 종류 및 형식을 조사해보면 Fig. 19와 같이 LL-28 또는 LL-26(M)을 대부분 설치하여 운영 중에 있다. 가덕수도는 거제도 북동부와 가덕도 사이의 길이 8.6마일, 폭 0.9~1.3마일, 수심 약 20m의 수도로 부산신항 및 마산항, 통영항으로 통항하는 선박이 대부분 이용하며, 해상교통이 밀집하는 해역으로 해양사고 예방 및 안전항해를 목적으로 통항분리방식을 적용하여 지정항로로 운영 중이다(국립해양조사원, 2015). 두 표준형 등부표 제원은 Table 23과 같으며, 가덕수도 해역 특성 상 수심 약 20m 정도로 LL-28 및 LL-26(M) 모두 적합하다. 그러나 조류는 창조류 북북서~북서류이고, 낙조류 남동~남남동류로 최강유속이 1.2kn로 조류가 약한 해역임을 고려했을 때 LL-26(M)의 적합성이 더 높다고 할 수 있다. 또한 크기는 설치 해역의 여건 상 복잡하거나 통항량이 많아 항로표지사고의 우려가 있는 경우 LL-26(M)이 운영 상 효율성을 높고, 시설 관리 측면에서 LL-28이 LL-26(M)에 비해 크기가 크고 등부표 상부에 안전시설이 없어 기상악화 시 안전사고 발생 우려가 높아 운영 상 효율성이 낮게 분석되었다.



Fig. 19 항로표지별 표준형등부표형식 배치도

Table 23 LL-28 및 LL-26(M) 표준형 등부표 제원 비교표

형식	LL-28	LL-26(M)
설치장소	전 해역, 강조류 (7kt이하)	전 해역(3kt 이하)
수심	10 ~ 40 m	10 ~ 30 m
높이	10,526mm	9,415mm
지름	2,800mm	2,600mm
설치도		

부산신항 가덕수도에 운영 중인 25기의 항로표지에 대한 적절성(R_A) 평가 결과 Fig. 20과 같고, 전체 평균 10.72점으로 부산신항유도등부표, 부산신항중앙C호등부표, 부산신항1호등부표, 부산신항10호등부표, 부산신항12호등부표가 14점으로 높게 평가 되었다.

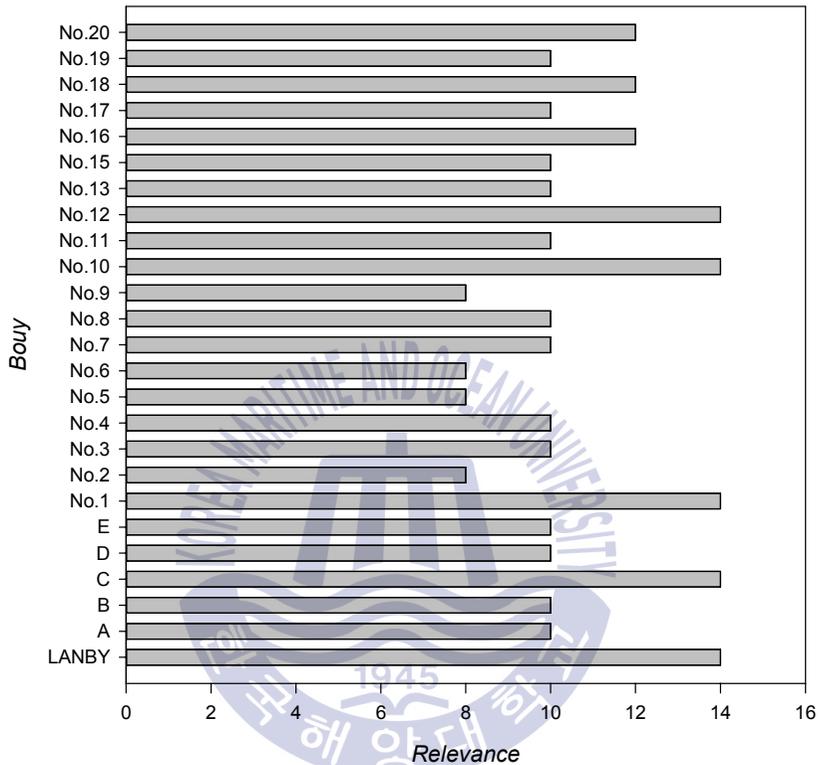


Fig. 20 부산신항 가덕수도 항로표지의 적절성(R_A) 평가 결과

5.2.2 효과성(F_A) 평가

해상교통안전 공헌도 평가(S_c)를 위해 Gas 모델 기반의 충돌모델을 통한 부산해역 전체에 대한 위험도분석 결과 Fig. 21과 같이 부산북항, 부산신항, 가덕수도 인근(가덕도 남쪽해역)이 고위험 해역으로 분석되었다. 특히 가덕수도 인근(가덕도 남쪽해역)의 경우 Fig. 22과 같이 선박 항적이 직각으로 교차하는 형태로 해상교통량 대비 사고 위험성이 가장 높은 것으로 분석 되었다.

해상교통안전 공헌도(S_c) 평가결과 부산신항유도등부표, 부산신항중앙B호등부표, 부산신항1호등부표, 부산신항7호등부표, 부산신항11호등부표가 고위험해역에 위치하여 해상교통안전 공헌도가 가장 높은 것으로 평가되었다. 또한 부산신항중앙A호등부표, 부산신항중앙C호등부표, 부산신항2호등부표, 부산신항3호등부표, 부산신항8호등부표, 부산신항9호등부표의 경우 위험해역 위치하여 해상교통안전 공헌도가 비교적 높게 평가되었다.

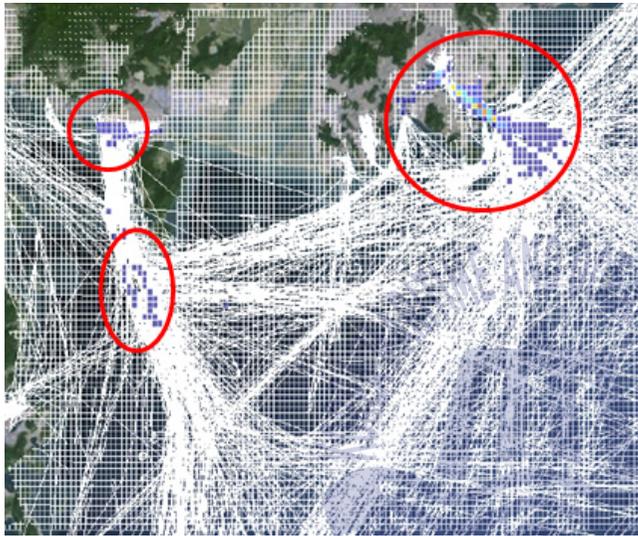


Fig. 21 부산해역 위험도분석 결과

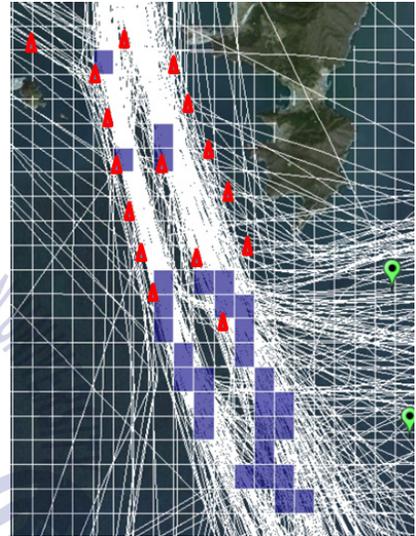


Fig. 22 가덕수도 위험도분석

해상교통환경조성 기여도평가(E_c)를 위해 전국 무역항의 입출항 현황을 분석해보면 Table 24와 같이 30,000척 이상의 선박이 우리나라 무역항을 통해 입출항한 것으로 분석되었으며, 연도별 분석결과 Fig. 23과 같이 2008년 41만척 이상으로 가장 많은 선박이 통항하였으나 이후 해운경기의 영향으로 점차 감소 추세인 것으로 분석되었다. 그중 부산항의 입출항 현황을 분석해보면 평균적으로 연간 10만 여척에 달하여 매년 가장 높은 비중(25.8%)을 차지하고 있으며, 울산항이 13.2%로 두 번째 많은 비중을 차지하고 있지만 최근 10년간 부산항은 울산항의 1.9배 이상의 선박이 통항한 것으로 분석되었다. 이에 부산항에서 운영 중인 항로 표지의 경우 해상교통안전환경조성에 대한 기여도가 전국 통항량 기반 25.8%의 공헌도로 높게 평가 되었다.

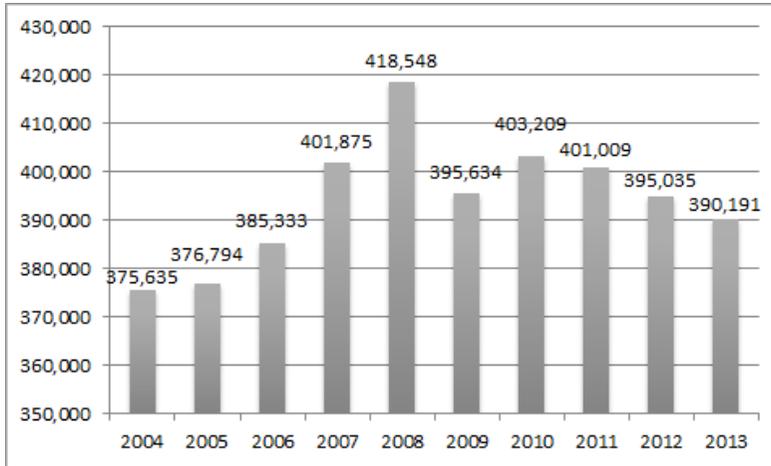


Fig. 23 최근 10년간(2004~2013) 전국 무역항 입출항 변화

Table 24 최근 10년간(2004~2013) 전국 무역항 입출항현황

구분	계	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
계	3,943,263	375,635	376,794	385,333	401,875	418,548	395,634	403,209	401,009	395,035	390,191
부산	1,019,687	97,329	96,711	100,787	102,852	115,931	100,113	104,995	100,875	100,845	99,249
인천	401,558	40,414	42,463	41,905	43,351	41,453	39,982	42,563	39,028	35,162	35,237
평택당진	151,781	11,094	11,852	11,709	12,818	13,756	15,032	18,542	18,841	19,243	18,894
경인	1,099	-	-	-	-	-	-	-	-	567	532
동해북호	87,004	11,346	9,736	9,226	9,625	9,093	8,327	7,396	7,396	7,642	7,217
삼척	24,649	2,431	2,100	2,464	2,469	2,606	2,430	2,448	2,660	2,398	2,643
속초	9,087	1,042	1,075	1,380	1,285	1,051	1,201	881	311	371	490
옥계	22,302	2,090	2,198	2,331	2,323	2,430	2,552	2,188	2,153	1,904	2,133
대산	114,892	9,260	9,753	10,312	11,221	11,791	12,486	11,462	11,862	12,656	14,089
보령	7,343	935	517	613	677	697	822	918	817	683	664
태안	7,064	588	622	517	666	746	810	771	848	723	773
군산	86,410	8,502	8,584	8,340	8,517	8,779	9,236	8,968	8,637	8,135	8,712
장항	12,881	1,134	1,776	1,545	1,837	1,528	1,237	1,152	783	1,162	727
목포	187,181	19,929	18,706	19,176	18,771	18,425	19,344	17,657	17,528	18,411	19,234
완도	35,555	2,117	2,192	2,283	3,227	2,529	3,093	4,280	5,514	5,784	4,536
여수	117,289	11,024	10,066	10,296	11,991	12,141	12,942	14,212	12,324	11,154	11,139
광양	450,410	44,209	43,425	43,645	44,616	43,977	42,142	45,813	47,832	48,277	46,474
포항	176,875	17,641	18,097	19,445	18,851	20,453	17,234	17,905	16,789	15,958	14,502
마산	193,441	16,070	18,587	19,259	20,834	22,617	23,269	19,714	19,113	17,750	16,228
삼천포	26,756	3,357	2,778	2,436	2,333	2,524	2,753	2,221	2,724	2,741	2,889

구분	계	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
옥포	53,047	4,076	4,960	4,693	4,477	5,358	5,120	5,692	6,315	6,085	6,271
장승포	552	150	29	25	31	42	65	28	84	62	36
진해	52,761	1,179	1,508	2,817	4,218	4,704	6,134	6,618	8,721	8,824	8,038
통영	38,782	3,485	3,206	4,168	4,242	5,240	4,978	3,692	4,482	2,827	2,462
고현	69,415	6,265	7,041	6,744	7,875	9,164	6,868	4,638	6,173	7,444	7,203
울산	521,589	52,130	51,489	52,080	55,979	55,098	51,019	50,975	51,799	50,502	50,518
하동	3,048	-	-	-	-	-	-	897	767	676	708
제주	50,767	5,664	5,356	5,201	5,118	5,068	4,857	4,830	4,390	4,891	5,392
서귀포	12,679	1,450	1,285	1,245	1,019	825	946	942	1,305	1,195	2,467
기타	7,359	724	682	691	652	522	642	811	938	963	734

부산신항 가덕수도에 운영 중인 25기의 항로표지에 대한 효과성(F_A) 평가결과 Fig. 24와 같고, 전체 평균 10.64점으로 부산신항유도등부표, 부산신항중앙B호등부표, 부산신항1호등부표, 부산신항7호등부표, 부산신항7호등부표가 14점으로 높게 평가 되었다.

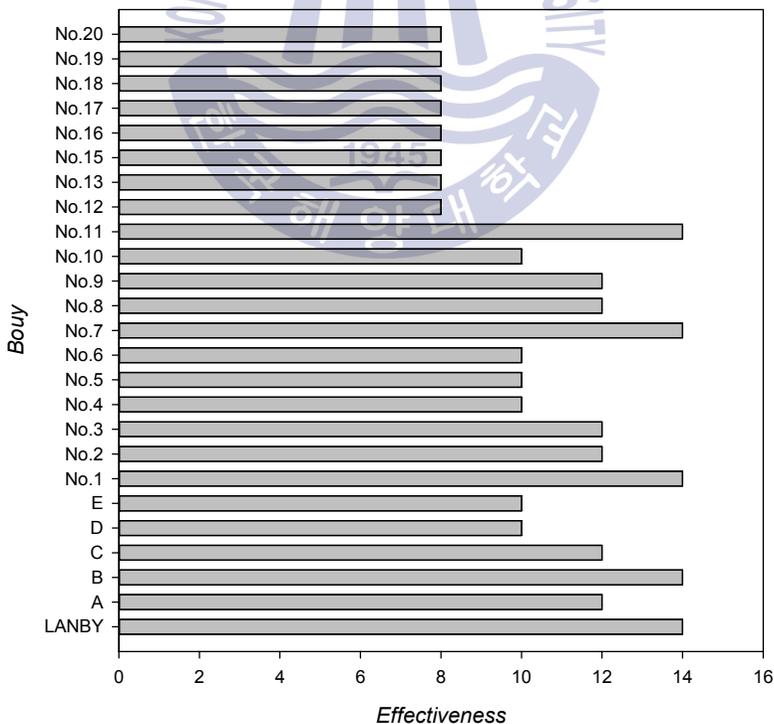


Fig. 24 가덕수도 항로표지의 효과성(F_A) 평가 결과

5.2.3 효율성(E_A) 평가

해양교통시설인프라 기능중복성 평가(Du)를 위해 가덕수도의 항로표지에 대해 권역별로 분석해보면, 현재 가덕수도 전체 해역에 안전수역표지 5기, 유도등부표 1기, 등부표 19기가 설치되어 운영 중에 있으며, 평균 0.3마일~0.5마일 간격으로 배치되어 다른 항만 및 항로에 비해 그 간격이 좁아 Table 25와 같이 평균 4.24 기의 항로표지가 권역 내에서 유사기능을 수행하고 있는 것으로 분석되었다.

Table 25 가덕수도 항로표지 기능중복성 분석결과

명칭	기능중복기수	명칭	기능중복기수
부산신항유도등부표	0	부산신항8호등부표	5
부산신항중앙A호등부표	1	부산신항9호등부표	7
부산신항중앙B호등부표	2	부산신항10호등부표	6
부산신항중앙C호등부표	3	부산신항11호등부표	8
부산신항중앙D호등부표	2	부산신항12호등부표	6
부산신항중앙E호등부표	2	부산신항13호등부표	6
부산신항1호등부표	5	부산신항15호등부표	5
부산신항2호등부표	4	부산신항16호등부표	4
부산신항3호등부표	6	부산신항17호등부표	4
부산신항4호등부표	5	부산신항18호등부표	2
부산신항5호등부표	6	부산신항19호등부표	3
부산신항6호등부표	5	부산신항20호등부표	2
부산신항7호등부표	7	-	-

실사용자를 대상으로 항로표지시설인프라 기능 및 활용도 설문조사를 통해 해양교통시설인프라 활용도(U_i)를 평가하였다. 설문결과 Table 26과 같이 부산신항 유도등부표 및 부산신항중앙등부표의 활용도가 높은 것으로 분석 되었으며, 나머지 항로표지시설인프라의 경우 설문조사 대상별로 자주 이용하는 항로의 위치 및 선박의 특징에 따라 활용도의 차이가 있는 것으로 분석되었다.

Table 26 부산항 가덕수도 시설 활용도 분석결과

명칭	이용도 (U_s)	기능 (Sp)	설치위치 (P_o)	합계
부산신항유도등부표	9.33	10.00	8.00	27.33
부산신항중앙A호등부표	8.67	10.00	8.00	26.67
부산신항중앙B호등부표	7.33	10.00	7.33	24.67
부산신항중앙C호등부표	6.67	10.00	5.33	22.00
부산신항중앙D호등부표	4.67	10.00	7.33	22.00
부산신항중앙E호등부표	4.67	10.00	7.33	22.00
부산신항1호등부표	4.67	10.00	2.67	17.33
부산신항2호등부표	6.67	10.00	3.33	20.00
부산신항3호등부표	5.33	10.00	3.33	18.67
부산신항4호등부표	5.33	10.00	4.67	20.00
부산신항5호등부표	5.33	10.00	3.33	18.67
부산신항6호등부표	5.33	10.00	4.00	19.33
부산신항7호등부표	5.33	10.00	4.00	19.33
부산신항8호등부표	5.33	10.00	5.33	20.67
부산신항9호등부표	5.33	10.00	4.67	20.00
부산신항10호등부표	5.33	10.00	5.33	20.67
부산신항11호등부표	5.33	10.00	5.33	20.67
부산신항12호등부표	4.00	10.00	5.33	19.33
부산신항13호등부표	4.00	10.00	5.33	19.33
부산신항15호등부표	4.00	10.00	5.33	19.33
부산신항16호등부표	4.00	10.00	5.33	19.33
부산신항17호등부표	4.00	10.00	5.33	19.33
부산신항18호등부표	4.00	10.00	5.33	19.33
부산신항19호등부표	4.00	10.00	5.33	19.33
부산신항20호등부표	4.00	10.00	5.33	19.33

부산신항 가덕수도에 운영 중인 25기의 항로표지에 대한 효율성(E_A) 평가결과 Fig. 25와 같고, 전체 평균 12.86점으로 부산신항유도등부표가 19.11점으로 가장 높고, 부산신항중앙A호등부표, 부산신항중앙B호등부표 순으로 낮게 평가 되었다.

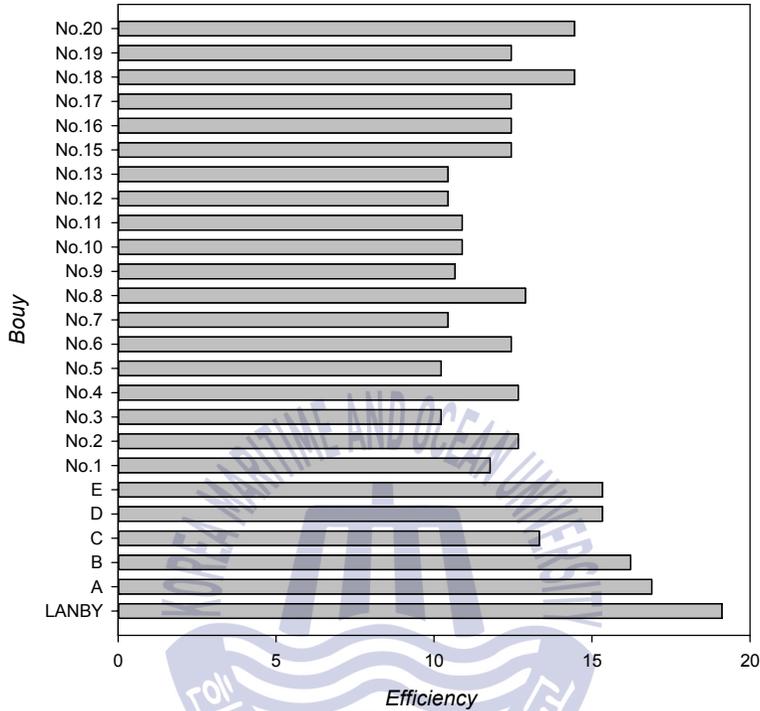


Fig. 25 가덕수도 항로표지의 효율성(E_A) 평가 결과

5.2.4 지속가능성(S_A) 평가

가덕수도의 해양교통안전시설기능 평가(S_f)를 위해 항로요소(R_f) 및 항해위험요소(D_f)를 분석해보면 항로요소의 경우 수심은 12m~35m정도로 선박이 항해하기에 좋은 수심을 가지고 있으나 항로의 굴곡부의 중심선 교각이 47° 로 복잡한 항로의 형태이며, 자연·인공장애물(방파제, 다리, 어장, 암초, 공사 등) 및 항계, 정박지 등 선박 항해 시 위험요소의 경우 평균 2.64점으로 비교적 낮게 평가 되었다. 각 항로표지별 해양교통안전시설기능 분석 결과 Table 27과 같다.

Table 27 가덕수도 항로표지 해양교통안전시설 기능분석결과

명칭	R_f	D_f	명칭	R_f	D_f
부산신항유도등부표	1	1	부산신항8호등부표	5	3
부산신항중앙A호등부표	5	2	부산신항9호등부표	5	4
부산신항중앙B호등부표	5	2	부산신항10호등부표	5	4
부산신항중앙C호등부표	5	2	부산신항11호등부표	5	4
부산신항중앙D호등부표	5	2	부산신항12호등부표	5	3
부산신항중앙E호등부표	5	2	부산신항13호등부표	5	4
부산신항1호등부표	5	2	부산신항15호등부표	5	2
부산신항2호등부표	5	3	부산신항16호등부표	5	2
부산신항3호등부표	5	2	부산신항17호등부표	5	4
부산신항4호등부표	5	3	부산신항18호등부표	5	2
부산신항5호등부표	5	2	부산신항19호등부표	5	4
부산신항6호등부표	5	3	부산신항20호등부표	5	2
부산신항7호등부표	5	2	-	-	-

다목적기능 평가(A_d)를 위해 기본목적이외에 시설을 활용 측면에서의 다목적 기능 수행성과를 분석해보면 가덕수로의 항로표지의 경우 해양영토관리 측면 및 업무지원 기능 비교적 낮게 분석 되고, 그 중 부산신항유도등부표 및 부산신항중앙C호등부표의 경우 RACON을 설치하여 이용자들에게 정보를 제공하고 있음을 고려하여 부가지원기능 수행성과를 평가하였다.

부산신항 가덕수도에 운영 중인 25기의 항로표지에 대한 지속가능성(S_A) 평가 결과 Fig. 26과 같고, 전체 평균 9.56점으로 5개의 평가기준 중 지속가능성 측면에서의 평가가 가장 낮게 분석되었다.

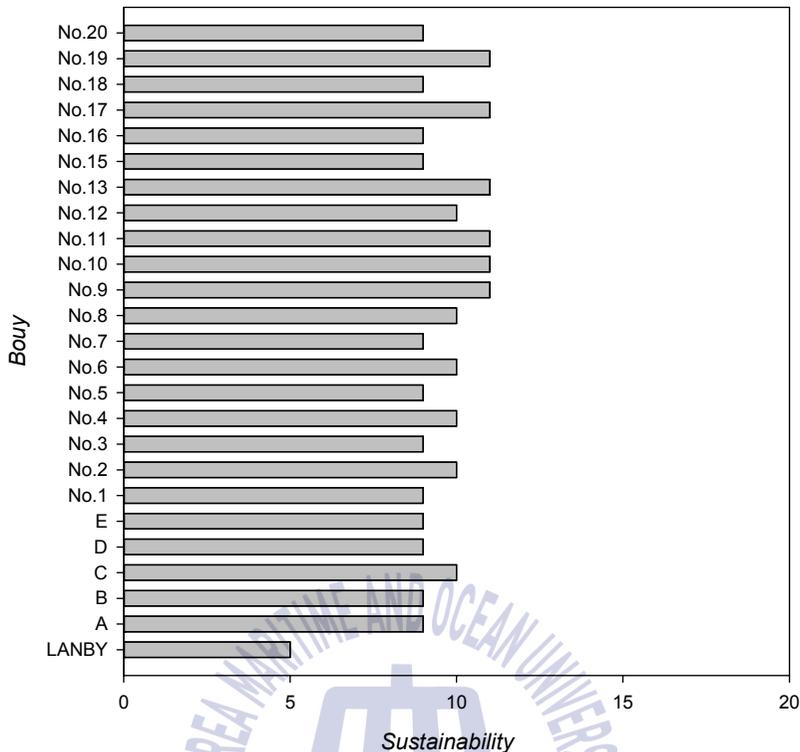


Fig. 26 가덕수도 항로표지의 지속가능성(S_A) 평가 결과

5.2.5 영향력(I_A) 평가

위해요소가능성 평가(H_z)를 위해 부산지방해양수산청 자료를 근거로 최근 10년간(2006년~2015년) 발생한 항로표지관련 사고를 분석하였다. 부산해역 전체에서 총 222건의 항로표지 사고가 발생하였고, 그 중 가덕수도의 경우 Table 28과 같이 총 46건의 사고가 발생한 것으로 조사되었다. 각 항로표지별 분석결과 부산신항1호등부표 8건, 부산신항2호등부표 11건으로 가덕도 남서쪽 부근 가덕수로 입구에 위치한 등부표에서 가장 많이 발생하였고, 대다수 사고의 결과 표체 손상인 것으로 분석되었다. 이는 가덕수도 입구 위치 특성 상 항적 단축 및 연료 절약 등을 목적으로 어선, 예부선, 공사작업선, 급유선 등 소형선박의 통항이 많아 사고가 발생한 것으로 평가된다. 또한 부산신항중앙C호등부표의 경우 부산신항 출항선과 마산 방향 출항선이 조우하는 상황이 자주 발생하는 위치로 안전수역표지

중 가장 많은 사고(5건)가 발생한 것으로 분석된다. 사고규모 평가를 위하여 항로 표지 사고로 발생한 피해비용 산정은 부산지방해양수산청의 피해 및 복구 금액이 기록된 자료를 근거로 하여 최대·최소비용을 제외하고 유실 13,462,500원, 장비 유실 및 체인절단 3,875,000원, 표체손상 21,359,410원으로 산정하였다.

Table 28 부산항 가덕수도 항로표지 위해요소 영향평가 결과

명칭	건수	사고결과	사고발생 규모	위해요소영향(%)
부산신항유도등부표	2	-	-	-
부산신항중앙A호등부표	2	-	-	-
부산신항중앙B호등부표	0	-	-	-
부산신항중앙C호등부표	5	-	-	-
부산신항중앙D호등부표	0	-	-	-
부산신항중앙E호등부표	0	-	-	-
부산신항1호등부표	8	표체손상	170,875,280	23.93%
부산신항2호등부표	11	표체손상 10	213,594,100	30.45%
		장비유실 1	3,875,000	
부산신항3호등부표	2	유실	26,925,000	3.77%
부산신항4호등부표	3	표체손상	64,078,230	8.97%
부산신항5호등부표	1	표체손상	21,359,410	2.99%
부산신항6호등부표	3	표체손상 2	42,718,820	6.52%
		체인절단 1	3,875,000	
부산신항7호등부표	2	표체손상	42,718,820	5.98%
부산신항8호등부표	1	체인절단	3,875,000	0.54%
부산신항9호등부표	1	표체손상	21,359,410	2.99%
부산신항10호등부표	0	-	-	-
부산신항11호등부표	0	-	-	-
부산신항12호등부표	0	-	-	-
부산신항13호등부표	1	유실	13,462,500	1.89%
부산신항15호등부표	2	표체손상	42,718,820	5.98%
부산신항16호등부표	0	-	-	-
부산신항17호등부표	0	-	-	-
부산신항18호등부표	2	표체손상	42,718,820	5.98%
부산신항19호등부표	0	-	-	-
부산신항20호등부표	0	-	-	-
계	46	-	714,154,210	-

자유통항선박 영향평가(If)을 위한 부산신항(가덕수도) 인근 선박통항량 및 자유통항선박 현황조사는 Fig. 27과 같이 해상교통량조사 기반으로 선박통항항적 분석하였으며, 평가결과 Table 35와 같이 전체 391척이 통항하였으며 선종별 분석 결과 기타 및 Unknown 선박을 제외하고 컨테이너 82척, 20%이상으로 주종을 이루었고, 톤수별 분석결과 Unknown 선박을 제외하고 다양한 크기의 선박이 고루 분포된 것으로 분석되었다.

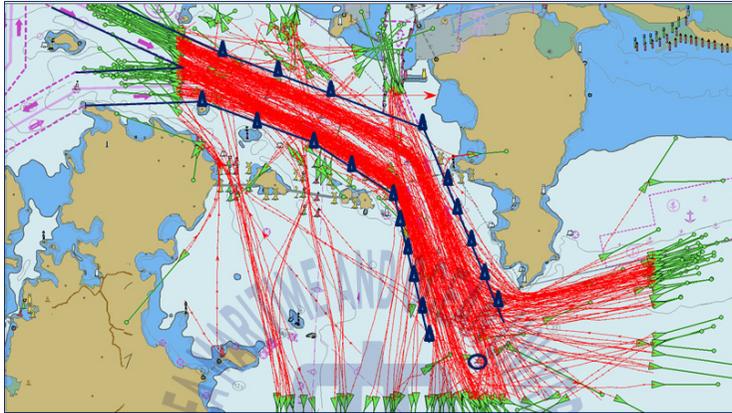


Fig. 27 가덕수로 해상교통량 현황

Table 29 부산항 인근 선박통항량

선종별	선박수	비율	톤수별	선박수	비율
어선	10	2.56%	100톤미만	0	0.00%
일반 화물선	61	15.60%	100~500톤	25	6.39%
탱커	38	9.72%	500~1000톤	8	2.05%
컨테이너	82	20.97%	1k~3k톤	19	4.86%
카케리어	3	0.77%	3k~5k톤	17	4.35%
가스 운반선	2	0.51%	5k~7k톤	11	2.81%
여객선	6	1.53%	7k~10k톤	19	4.86%
기타	110	28.13%	10k~15k톤	5	1.28%
Unknown	79	20.20%	15k~20k톤	7	1.79%
계	391	100.00%	20k~25k톤	5	1.28%
			25k~30k톤	6	1.53%
			30k~50k톤	11	2.81%
			50k~60k톤	9	2.30%
			60k~75k톤	12	3.07%
			75k~100k톤	14	3.58%
			100k톤이상	11	2.81%
			Unknown	212	54.22%
			계	391	100.00%

자유통항선박을 선종별 분석결과 중 어선, 기타, Unknown 선박을 대상으로 하여 총 199척의 자유통항선박이 통항한 것으로 평가되었고, 자유통항선박의 주요 항로를 살펴보면 Fig. 28과 같이 가덕수도 출항로에서 항적 단축 및 연료 절약을 위하여 항로를 횡단하여 부산쪽으로 향해하는 선박(어선, 예부선, 공사작업선, 급유선 등)이 다수 존재하여 부산신항 입구부에 통항량이 많아 위험도가 높은 것으로 평가되었다. 또한 부산신항18호등부표 북쪽으로 성어기에 명치잡이 어군이 형성되어 항행장애를 유발하고, 항로 내 소형통발 불법어로행위가 빈발하는 것으로 조사되었다.

부산신항 가덕수도에 운영 중인 25기의 항로표지에 대한 영향력(I_4) 평가결과 Fig. 29와 같고, 전체 평균 15.2점으로 5개의 평가기준 중 영향력 측면에서의 평가가 가장 높게 분석되었다. 특히 부산신항1호등부표 및 부산신항2호등부표의 경우 선박통항량이 많은 해역의 특성 상 실제 선박 항해 시 새로운 위험요소로 작용하여 부정적 변화 또는 의도하지 않은 결과를 초래할 가능성이 높게 평가되었다.

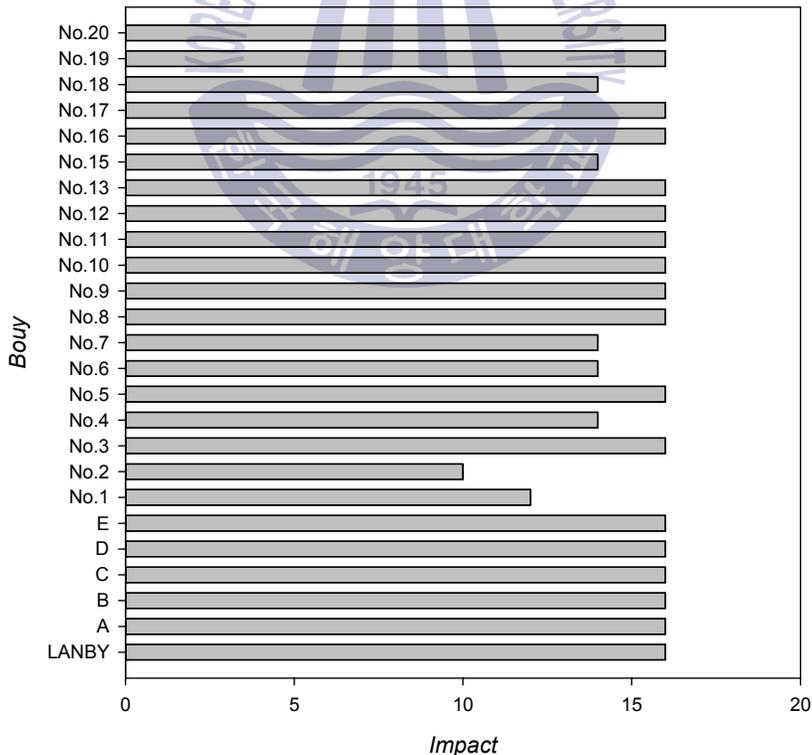


Fig. 28 가덕수도 항로표지의 영향력(I_4) 평가 결과

5.2.6 정략적 평가 결과 및 가중치 산정

가덕수도에 운영 중인 25기에 대한 기능분석 결과 평균 58.98점의 기능을 수행하고 있는 것으로 분석되었다. 각 평가 항목별분석 결과 Fig. 30과 같이 항로표지시설인프라의 적절성 10.72점, 항로표지시설인프라의 효과성 10.64점, 항로표지시설인프라의 효율성 12.86점, 항로표지시설인프라의 지속가능성 9.56점, 항로표지시설인프라의 영향력 15.05점으로 항로표지시설인프라 영향력 측면에서 높게 평가되었고, 해역의 위치적 특성 상 다목적 기능 측면에서 낮게 평가 되었다. 각 항로표지별 상세 평가결과는 Table 30과 같다.

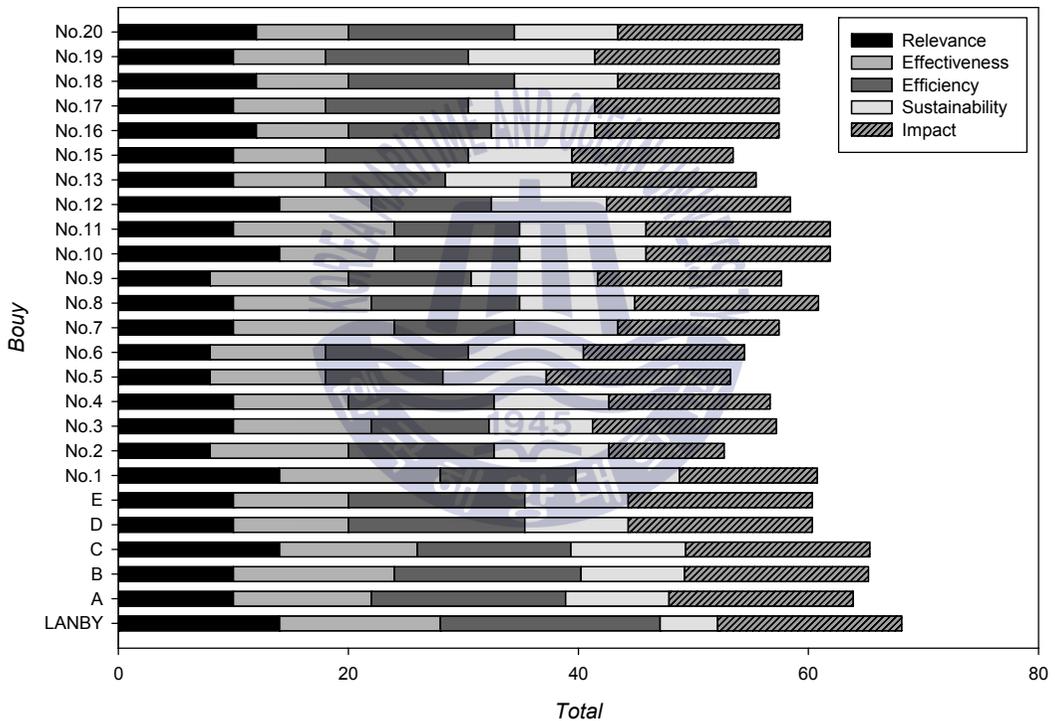


Fig. 29 가덕수도 항로표지의 정량적 평가 종합결과

Table 30 가덕수도 항로표지의 정량적 평가 종합결과 분석표

구분	적절성(R_A)		효과성(F_A)		효율성(E_A)		지속가능성(S_A)		영향력(U_A)		계
	En	St	C_{unit}	R_{unit}	Du	Ut	F_{main}	F_{add}	H_f	T_f	
평균	4	6.72	4	6.64	6	6.86	7.48	2.08	9.05	6	58.83
부산신항유도등부표	4	10	4	10	10	9.11	2	3	10	6	68.11
부산신항중앙A호등부표	4	6	4	8	8	8.89	7	2	10	6	63.89
부산신항중앙B호등부표	4	6	4	10	8	8.22	7	2	10	6	65.22
부산신항중앙C호등부표	4	10	4	8	6	7.33	7	3	10	6	65.33
부산신항중앙D호등부표	4	6	4	6	8	7.33	7	2	10	6	60.33
부산신항중앙E호등부표	4	6	4	6	8	7.33	7	2	10	6	60.33
부산신항1호등부표	4	10	4	10	6	5.78	7	2	6	6	60.78
부산신항2호등부표	4	4	4	8	6	6.67	8	2	4	6	52.67
부산신항3호등부표	4	6	4	8	4	6.22	7	2	10	6	57.22
부산신항4호등부표	4	6	4	6	6	6.67	8	2	8	6	56.67
부산신항5호등부표	4	4	4	6	4	6.22	7	2	10	6	53.22
부산신항6호등부표	4	4	4	6	6	6.44	8	2	8	6	54.44
부산신항7호등부표	4	6	4	10	4	6.44	7	2	8	6	57.44
부산신항8호등부표	4	6	4	8	6	6.89	8	2	10	6	60.89
부산신항9호등부표	4	4	4	8	4	6.67	9	2	10	6	57.67
부산신항10호등부표	4	10	4	6	4	6.89	9	2	10	6	61.89
부산신항11호등부표	4	6	4	10	4	6.89	9	2	10	6	61.89
부산신항12호등부표	4	10	4	4	4	6.44	8	2	10	6	58.44
부산신항13호등부표	4	6	4	4	4	6.44	9	2	10	6	55.44
부산신항15호등부표	4	6	4	4	6	6.44	7	2	8	6	53.44
부산신항16호등부표	4	8	4	4	6	6.44	7	2	10	6	57.44
부산신항17호등부표	4	6	4	4	6	6.44	9	2	10	6	57.44
부산신항18호등부표	4	8	4	4	8	6.44	7	2	8	6	57.44
부산신항19호등부표	4	6	4	4	6	6.44	9	2	10	6	57.44
부산신항20호등부표	4	8	4	4	8	6.44	7	2	10	6	59.44

가덕수도 항로표지에 대한 표준평가를 위해 현재 부산항 항로표지 재배치 연구를 수행 중인 연구진 및 관계자를 전문가그룹으로 구성하여 항로표지시설인프라 기능분석 기준별 쌍대비교를 통해 상대적 중요도 기반 가중치를 산정하였다. 기준별 쌍대비교를 통해 상대적 중요도 조사결과 Table 31과 같이 분석되었고, 이를 바탕으로 Table 32과 같이 가중치를 산정하여 적용하였다. 전문가그룹 설문답안의 경우 Consistency Index 0.023로 일관성 있는 답변을 작성하여 신뢰성이 높은 것으로 판단하였고, 평가기준별 가중치 산정결과 항로표지시설인프라의 적절성 및 항로표지시설인프라의 효율성에 관한 중요도가 높은 것으로 분석되었다.

Table 31 평가기준별 상대적 중요도 분석결과(평균값 적용)

구분	적절성	효과성	효율성	지속가능성	영향력
적절성	1.00000	2.51111	1.17778	2.71428	3.66667
효과성	0.39823	1.00000	1.17778	2.46667	1.84444
효율성	0.84906	0.84906	1.00000	2.77778	2.73333
지속가능성	0.36842	0.40541	0.36000	1.00000	1.15873
영향력	0.27273	0.54217	0.36585	0.86301	1.00000

Table 32 평가기준별 가중치 산정결과

구분	적절성(α_1)	효과성(α_2)	효율성(α_3)	지속가능성(α_4)	영향력(α_5)
Weight	0.350	0.209	0.246	0.100	0.094

※ Consistency Index : 0.023

5.2.7 종합 평가결과

가덕수도 항로표지시설인프라에 대한 가중치 반영 종합평가 결과 Fig. 31과 같고, 각 항로표지시설인프라에 대한 상세 평가 분석결과 Table 33과 같다.

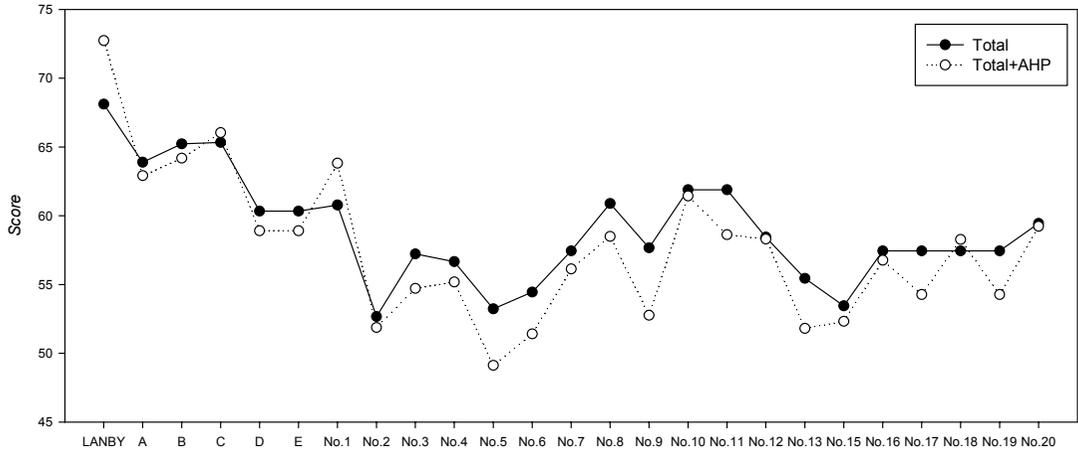


Fig. 30 가덕수도 항로표지시설인프라 가중치 반영 종합평가 결과

Table 33 가덕수도 항로표지시설인프라 가중치 반영 종합평가 결과 분석표

구분	R_A	F_A	E_A	S_A	I_A	계	순위
부산신항유도등부표	24.50	14.63	23.51	2.50	7.60	72.74	1
부산신항중앙A호등부표	17.50	12.54	20.77	4.50	7.60	62.91	5
부산신항중앙B호등부표	17.50	14.63	19.95	4.50	7.60	64.18	3
부산신항중앙C호등부표	24.50	12.54	16.40	5.00	7.60	66.04	2
부산신항중앙D호등부표	17.50	10.45	18.86	4.50	7.60	58.91	8
부산신항중앙E호등부표	17.50	10.45	18.86	4.50	7.60	58.91	8
부산신항1호등부표	24.50	14.63	14.49	4.50	5.70	63.82	4
부산신항2호등부표	14.00	12.54	15.58	5.00	4.75	51.87	22
부산신항3호등부표	17.50	12.54	12.57	4.50	7.60	54.71	17
부산신항4호등부표	17.50	10.45	15.58	5.00	6.65	55.18	16
부산신항5호등부표	14.00	10.45	12.57	4.50	7.60	49.12	25
부산신항6호등부표	14.00	10.45	15.31	5.00	6.65	51.41	24
부산신항7호등부표	17.50	14.63	12.85	4.50	6.65	56.13	15
부산신항8호등부표	17.50	12.54	15.85	5.00	7.60	58.49	11
부산신항9호등부표	14.00	12.54	13.12	5.50	7.60	52.76	20
부산신항10호등부표	24.50	10.45	13.39	5.50	7.60	61.44	6
부산신항11호등부표	17.50	14.63	13.39	5.50	7.60	58.62	10
부산신항12호등부표	24.50	8.36	12.85	5.00	7.60	58.31	12
부산신항13호등부표	17.50	8.36	12.85	5.50	7.60	51.81	23
부산신항15호등부표	17.50	8.36	15.31	4.50	6.65	52.32	21
부산신항16호등부표	21.00	8.36	15.31	4.50	7.60	56.77	14
부산신항17호등부표	17.50	8.36	15.31	5.50	7.60	54.27	18
부산신항18호등부표	21.00	8.36	17.77	4.50	6.65	58.28	13
부산신항19호등부표	17.50	8.36	15.31	5.50	7.60	54.27	18
부산신항20호등부표	21.00	8.36	17.77	4.50	7.60	59.23	7

가덕수도 항로표지시설인프라에 대한 가중치 반영 종합평가 결과 Fig. 31과 같이 총 6기로 부산신항2호등부표, 부산신항5호등부표, 부산신항6호등부표, 부산신항9호등부표, 부산신항13호등부표, 부산신항15호등부표가 하위 25%로 비교적 낮게 평가 되었다. 6기의 항로표지는 평가기준별 분석 과정에서 운영상 문제점 및 개선의 필요성이 인식되었으며, 이에 대한 기능 재검토 및 개선방안을 수립 할 필요성이 있다고 할 수 있다.

그러나 부산신항1호등부표의 경우 기능분석 결과 60.33점, 가중치 반영 결과 63.82점으로 높게 평가되었으나, 항로표지사고 및 관리자·이용자 의견수렴을 검토한 결과 주변 환경의 여건 및 통항선박의 특징 등을 고려하여 개선의 필요성이 인식되어 실제 항로표지로 인해 선박 항해의 위험성을 더 높일 가능성이 있는 것으로 평가되었다. 이에 가덕수도 항로표지에 대한 표준평가에서는 부산신항1호등부표의 특수성을 고려하여 기능재검토 대상으로 선정하고 이후 세부평가를 통해 추가 검토할 필요가 있다.

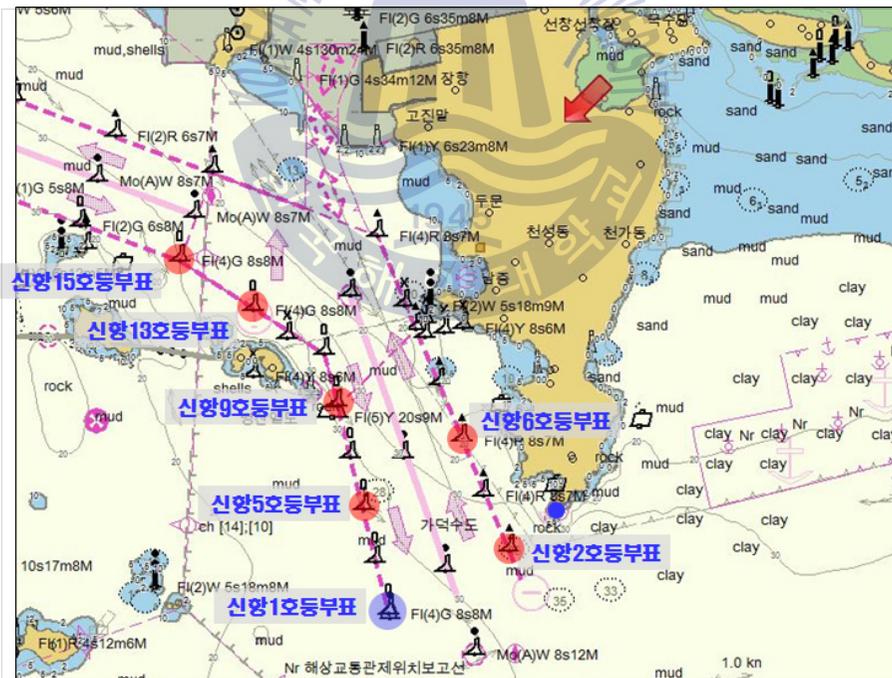


Fig. 31 하위 25% 항로표지 위치도

5.3 육상기반의 항로표지시설인프라에 대한 평가

육상기반시설에 대한 적용 및 검증을 위하여 전국 37기의 유인등대 시설인프라에 대해 평가하고자 한다. 유인등대는 등대원이 24시간 상주하며 주·야간 항로표지로서의 기능수행을 위해 감시·관리가 이루어지는 등대로 팔미도등대가 1903년 6월 1일 점등되면서 등대원이 상주하는 형태인 유인등대를 운영하기 시작하여 1994년도까지 전국 49기의 유인등대가 추가로 설치되었다. 그러나 첨단 무선통신시스템 및 전파항법시스템, 항로표지용품의 발전 등으로 인해 12기를 무인화등대로 전환하여 현재 우리나라는 Fig.32와 같이 전국 37기 유인등대가 운영 중에 있다(해양수산부, 2015c).

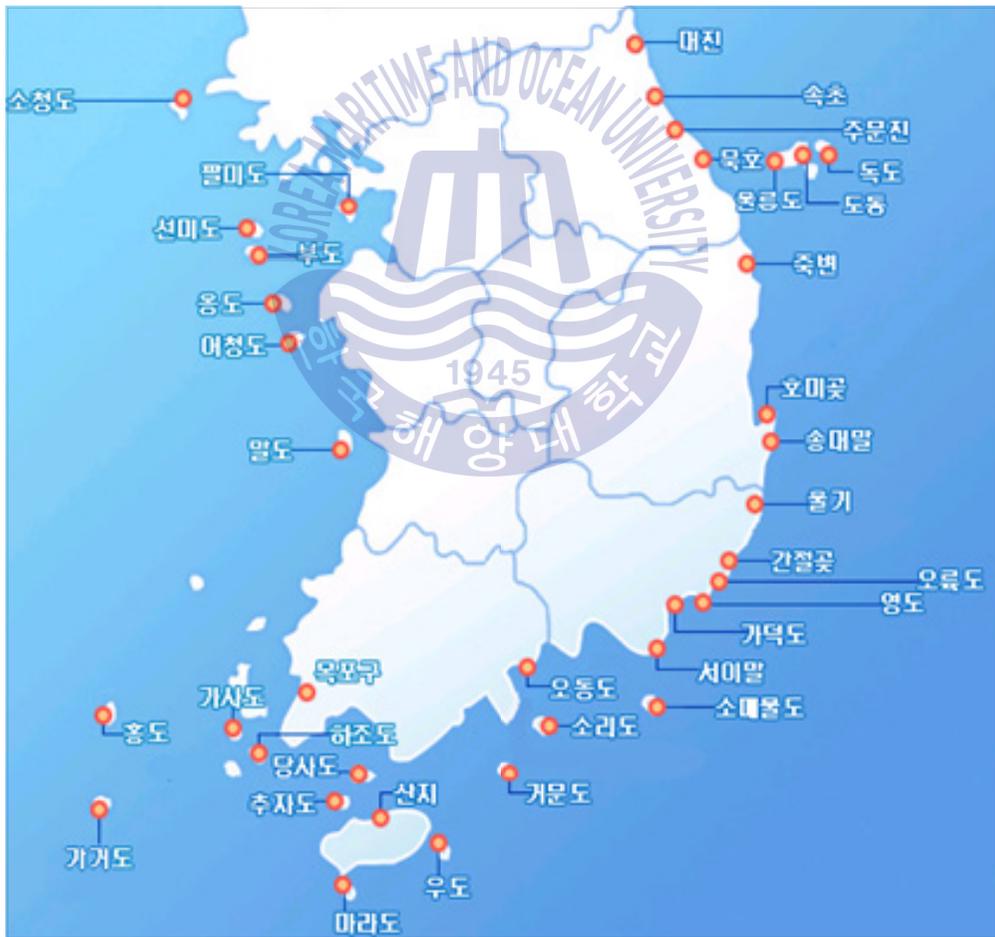


Fig. 32 유인등대 위치도

5.3.1 적절성(R_d) 평가

유인등대는 주요 항만 및 국토 끝단에 위치하여 육지초인표지로서의 기능을 수행하고 있어 다른 항로표지에 비해 반경 약 20마일 이상의 광달거리를 가지는 것이 특징이다. 유인등대 시설인프라에 대한 해양환경특성 평가(En)를 위해 인근 해역의 선박 항해 중 안전항해를 위협할 수 있는 시계제한조건으로 안개일수(F_d), 태풍일수(T_d), 풍랑주의보일수(W_d)에 대해 분석한 결과 Table 34와 같다. 각 유인등대별 분석결과를 살펴보면 소청도 35.23%, 홍도 및 가거도 36.77%로 가장 높은 수치를 보였고 이는 유인등대의 위치 상 시계제한조건의 발생 비율이 높은 것으로 분석된다. 각 조건별로 살펴보면 안개는 5년간 평균 160.32일 발생하였으며 소청도 및 목포해역 인근에서 발생비율이 높은 것으로 분석되었다. 또한 태풍의 경우 5년간 평균 31.38일 발생하였고, 태풍의 경로 상 남해권 해역에 위치한 유인등대가 많은 영향을 받은 것으로 분석되었다.

Table 34 유인등대별 해양환경특성 평가결과

구분	F_d	T_d	W_d	발생일수비율	구분	F_d	T_d	W_d	발생일수비율
소청도	543	33	67	35.23%	소리도	99	33	94	12.38%
팔미도	235	33	8	15.12%	서미도	74	26	13	6.19%
부도	235	33	8	15.12%	소매물도	74	26	13	6.19%
선미도	235	33	8	15.12%	가덕도	41	26	16	4.55%
용도	243	33	5	15.40%	오륙도	41	26	16	4.55%
어청도	188	34	6	12.49%	영도	41	26	16	4.55%
말도	188	34	6	12.49%	간절곶	6	30	0	1.97%
목포구	122	38	22	9.97%	울기	6	30	0	1.97%
홍도	459	38	174	36.77%	송대말	5	23	0	1.53%
가거도	459	38	174	36.77%	호미곶	5	23	0	1.53%
가사도	474	38	35	29.97%	죽변	78	23	2	5.64%
하조도	474	38	35	29.97%	독도	239	26	62	17.92%
당사도	85	38	26	8.16%	울릉도	239	26	62	17.92%
추자도	72	46	13	7.18%	도동	239	26	62	17.92%
마라도	85	46	5	7.45%	목호	11	20	7	2.08%
산지	72	46	13	7.18%	주문진	115	20	0	7.40%
우도	100	46	10	8.55%	속초	76	20	1	5.32%
거문도	99	33	94	12.38%	대진	76	20	1	5.32%
오동도	99	33	94	12.38%	-	-	-	-	-

시설인프라의 적합성 평가(SI)를 위해 시설인프라의 종류 및 형식을 검토하였다. 항로표지의 종류는 광과표지, 형상표지, 음과표지, 전과표지, 특수번호표지로 구분되며, 유인등대의 경우 광과표지 중 유인등대에 포함된다. 그 중 유인등대는 등대원이 24시간 상주하며 주·야간 항로표지로서의 기능수행을 위해 감시·관리가 이루어지는 등대이다. 현재 운영 중인 유인등대의 경우 설치기준 등에 의거하여 항로표지의 종류 및 기능에 대하여 적합하게 설치·운영되고 있다. 그러나 24시간 등대원이 근무하는 유인등대의 경우 지리적 특성상 육지로부터 멀리 떨어져 있어 식량, 연료 및 식수와 같은 생활물자의 공급 및 업무지원 등의 문제로 유인등대의 경우 업무상 어려움이 발생하고, 기술과 기능 업무 영역이 좁아지고 있는 실정을 고려하여 유인등대의 접근성을 기준으로 유인 또는 무인운영의 적합성을 판단하였다. 유인등대의 접근성을 기준으로 2시간이상 소요되는 경우 무인운영에 대한 적합성을 검토할 필요가 있다고 판단하고 현재 항로표지형식이 부적합한 것으로 분석하였으며, 1시간이내에 접근이 가능한 경우 적합, 육상에서 접근이 가능한 경우 매우 적합한 것으로 분석하여 Table 35와 같이 평가되었다.

Table 35 유인등대별 항로표지형식의 적합성 평가결과

구분	접근방법	적합성	구분	접근방법	적합성
소청도	선박 240분	부적합	소리도	선박 180분	부적합
팔미도	선박 60분	적합	서이말	선박 300분	부적합
부도	선박 120분	보통	소매물도	육상	매우적합
선미도	선박 120분	보통	가덕도	육상	매우적합
옹도	표지선20분	적합	오륙도	선박 40분	적합
어청도	선박 130분	보통	영도	육상	매우적합
말도	선박 90분	보통	간절곶	육상	매우적합
목포구	육상	매우적합	울기	육상	매우적합
홍도	선박 240분	부적합	송대말	육상	매우적합
가거도	선박 420분	부적합	호미곶	육상	매우적합
가사도	선박 30분	적합	죽변	육상	매우적합
하조도	선박 40분	적합	독도	선박 350분	부적합
당사도	선박 180분	부적합	울릉도	선박 210분	부적합
추자도	선박 120분	보통	도동	선박 210분	부적합
마라도	선박 120분	보통	목호	육상	매우적합
산지	육상	매우적합	주문진	육상	매우적합
우도	선박 120분	보통	속초	육상	매우적합
거문도	선박 90분	보통	대진	육상	매우적합
오동도	육상	매우적합	-	-	-

37기의 유인등대 시설인프라에 대한 적절성(R_A) 평가결과 Fig. 33과 같고, 전체 평균 9.17점으로 5개의 평가기준 중 적절성 측면에서의 평가가 가장 낮게 분석되었다. 특히 도동등대, 울릉도등대, 독도등대, 서이말등대, 소리도등대의 경우 시설인프라의 접근성 낮아 시설인프라의 적합성(S_f) 측면에서 낮게 평가되었다.

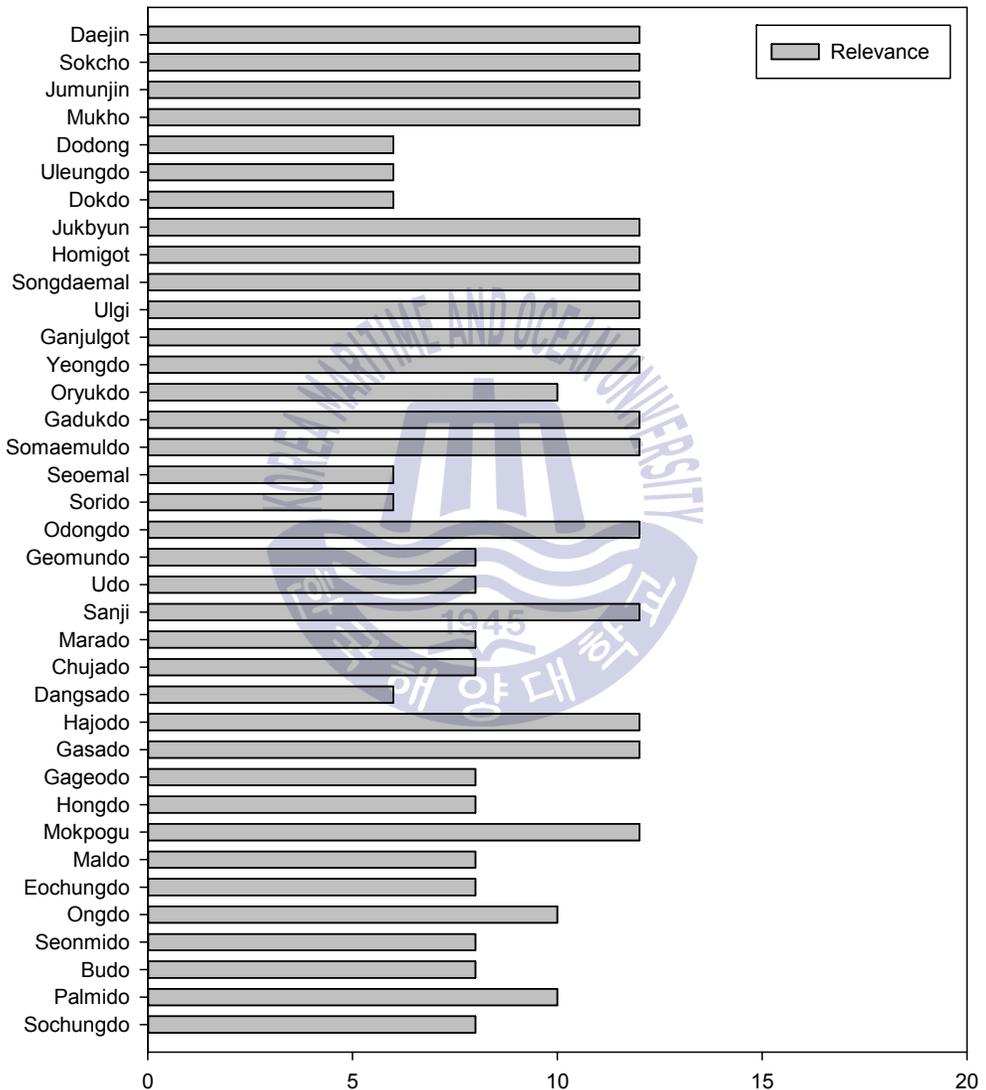


Fig. 33 유인등대 시설인프라에 대한 적절성(R_A) 평가 결과

5.3.2 효과성(F_A) 평가

해양교통환경조성 기여도평가(Ec)를 위해 전국 무역항의 입출항 현황을 분석해 보면 30,000척 이상의 선박이 우리나라 무역항을 통해 입출항 한 것으로 분석되었으며, 연도별 분석결과 2008년 41만척 이상으로 가장 많은 선박이 통항하였고 2013년 39만척 이상이 우리나라 주요 항만을 입출항 하였다. 유인등대 시설인프라의 권역 내에 위치한 주요항만의 입출항선박을 대상으로 평가하였고 분석결과 Table 36과 같다.

Table 36 유인등대별 해양교통환경조성 기여도 평가결과

구분	T_{aton}	해양교통환경조성 기여도(%)	구분	T_{aton}	해양교통환경조성 기여도(%)
소청도	62,027	3.12%	소리도	54,225	2.73%
팔미도	50,897	2.56%	서이말	190,227	9.58%
부도	44,918	2.26%	소매물도	190,227	9.58%
선미도	31,587	1.59%	가덕도	194,914	9.82%
용도	13,524	0.68%	오륙도	159,812	8.05%
어청도	10,915	0.55%	영도	159,812	8.05%
말도	16,383	0.83%	간절곶	88,463	4.46%
목포구	6,801	0.34%	울기	88,463	4.46%
홍도	131,634	6.63%	송대말	27,433	1.38%
가거도	131,634	6.63%	호미곶	27,860	1.40%
가사도	6,801	0.34%	죽변	7,765	0.39%
하조도	267	0.01%	독도	11,707	0.59%
당사도	24,992	1.26%	울릉도	11,707	0.59%
추자도	155,160	7.82%	도동	11,707	0.59%
마라도	1,280	0.06%	묵호	8,148	0.41%
산지	17,888	0.90%	주문진	1,277	0.06%
우도	900	0.05%	속초	676	0.03%
거문도	271,974	13.70%	대진	676	0.03%
오동도	78,404	3.95%	-	-	-

37기의 유인등대 시설인프라에 대한 효과성(F_A) 평가결과 Fig. 34와 같고, 전체 평균 9.67점으로 영도등대, 오륙도등대, 가덕도등대, 소매물도등대, 서이말등대의 경우 14점으로 높게 평가되었다.

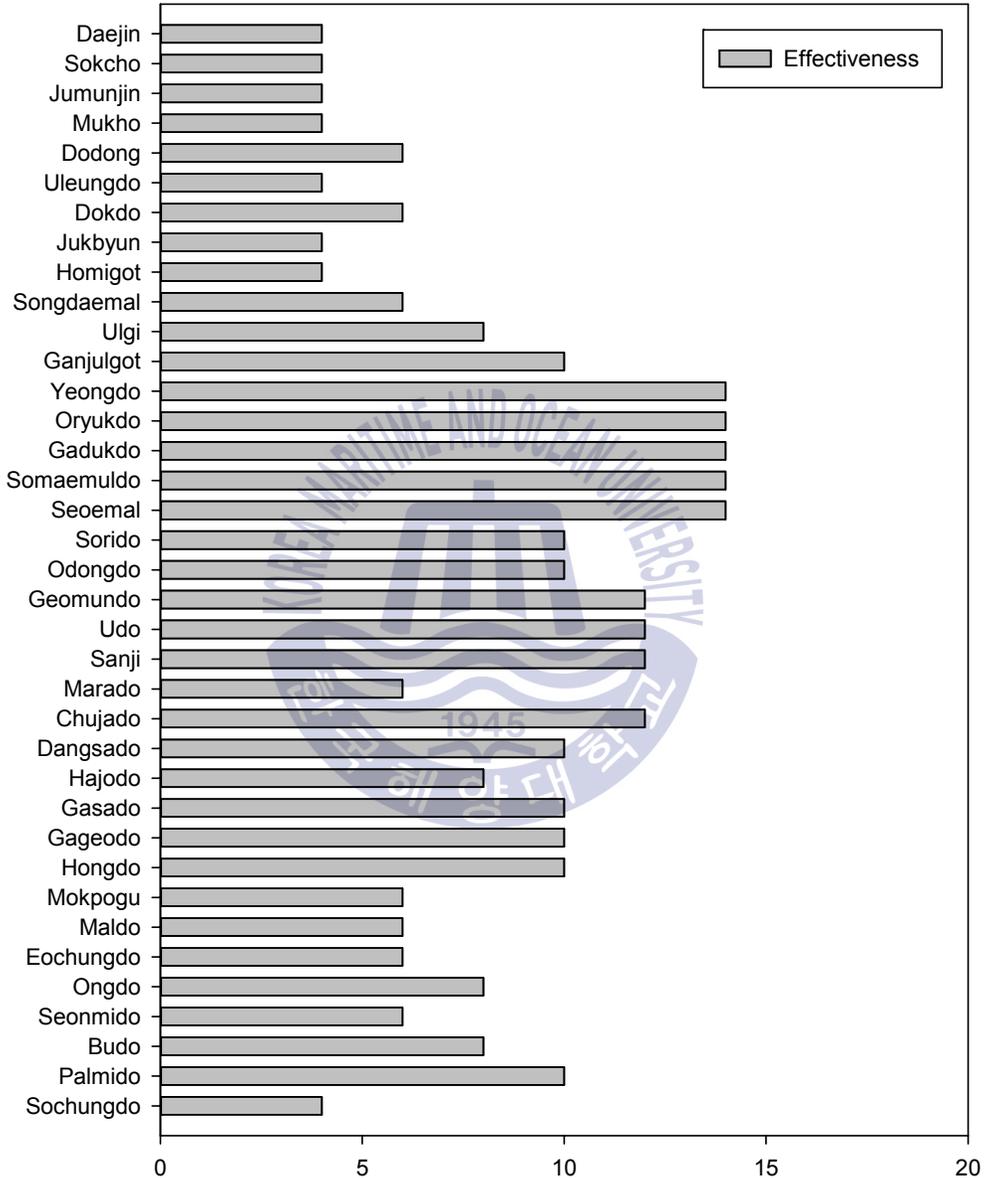


Fig. 34 유인등대 시설인프라에 대한 효과성(F_A) 평가 결과

5.3.3 효율성(E_A) 평가

37기의 유인등대 시설인프라에 대해 해양교통시설인프라 기능중복성(Du) 평가 결과 유인등대간 거리는 다른 항로표지시설에 비해 비교적 넓게 분포하고 있으며, Table 37과 같이 평균 68.31%의 중복비율로 유인등대시설 권역 내에서 유사 기능을 수행하고 있는 것으로 분석되었다.

Table 37 유인등대별 기능중복성 분석결과

구분	기능중복비율(%)	구분	기능중복비율(%)
소청도	0.0	소리도	79.2
팔미도	69.2	서이말	93.1
부도	93.4	소매물도	82.0
선미도	71.8	가덕도	93.0
용도	53.3	오륙도	99.0
어청도	71.0	영도	98.0
말도	44.0	간절곶	96.01
목포구	49.3	울기	95.65
홍도	25.0	송대말	93.06
가거도	30.3	호미곶	76.52
가사도	98.8	죽변	17.36
하조도	100.0	독도	0.00
당사도	87.2	울릉도	82.89
추자도	82.4	도동	82.89
마라도	32.0	묵호	41.19
산지	99.3	주문진	84.34
우도	68.5	속초	90.27
거문도	38.0	대진	52.56
오동도	57.1	-	-

실사용자를 대상으로 유인등대 시설인프라 기능 및 활용도 설문조사를 통해 항로표지시설인프라 활용도(U_i)를 평가하였다. 설문결과 Table 38과 같이 마라도등대, 오류도등대, 옹도등대의 활용도가 높은 것으로 분석되었으며, 나머지 항로표지의 경우 설문조사 대상별로 자주 이용하는 항로의 위치 및 선박의 특징에 따라 활용도의 차이가 있는 것으로 분석되었다.

Table 38 유인등대별 시설 활용도 분석결과

명칭	U_s	Sp	Po	합계	명칭	U_s	Sp	Po	합계
소청도	7.2	7.84	7.9	22.94	소리도	7.86	7.58	8	23.44
팔미도	8.4	8.38	8.2	24.98	서이말	7.7	7.8	7.88	23.38
부도	7.86	8.02	7.88	23.76	소매물도	8.36	8.28	8.74	25.38
선미도	7.64	7.96	8.06	23.66	가덕도	7.7	7.94	7.82	23.46
옹도	8	9.62	8.28	25.9	오류도	9.26	8.18	8.52	25.96
어청도	7.94	8.04	7.9	23.88	영도	8.08	7.64	8.12	23.84
말도	7.76	7.76	7.5	23.02	간절곶	7.26	7.76	7.38	22.4
목포구	9.14	7.96	8.14	25.24	울기	6.34	6.66	6.88	19.88
홍도	8.24	8.04	8.42	24.7	송대말	6.34	6.84	6.34	19.52
가거도	8.34	8.16	8.54	25.04	호미곶	7.28	7	7	21.28
가사도	8.08	7.88	7.96	23.92	죽변	7.7	7.7	8.16	23.56
하조도	7.66	7.88	8.12	23.66	독도	6.76	6.92	7.24	20.92
당사도	7.6	7.52	7.6	22.72	울릉도	7.38	7.24	7.7	22.32
추자도	8.52	8.34	8.76	25.62	도동	6.42	7	7.72	21.14
마라도	8.96	8.32	8.78	26.06	묵호	6.8	6.42	6.8	20.02
산지	7.76	7.92	8	23.68	주문진	7	8	7	22
우도	8.4	8.22	8.4	25.02	속초	6.36	6.9	6.36	19.62
거문도	8.06	7.86	8.14	24.06	대진	6.6	6.2	6.6	19.4
오동도	8.04	7.8	8.14	23.98	-	-	-	-	-

37기의 유인등대 시설인프라에 대한 효율성(E_A) 평가결과 Fig. 35와 같고, 전체 평균 12.52점으로 5개의 평가기준 중 효율성 측면에서의 평가가 가장 높게 분석되었다. 특히 소청도등대, 죽변등대, 독도등대, 마라도등대의 경우 지리적 특성 및 기능으로 시설인프라의 활용 및 성과가 높게 평가 되었다.

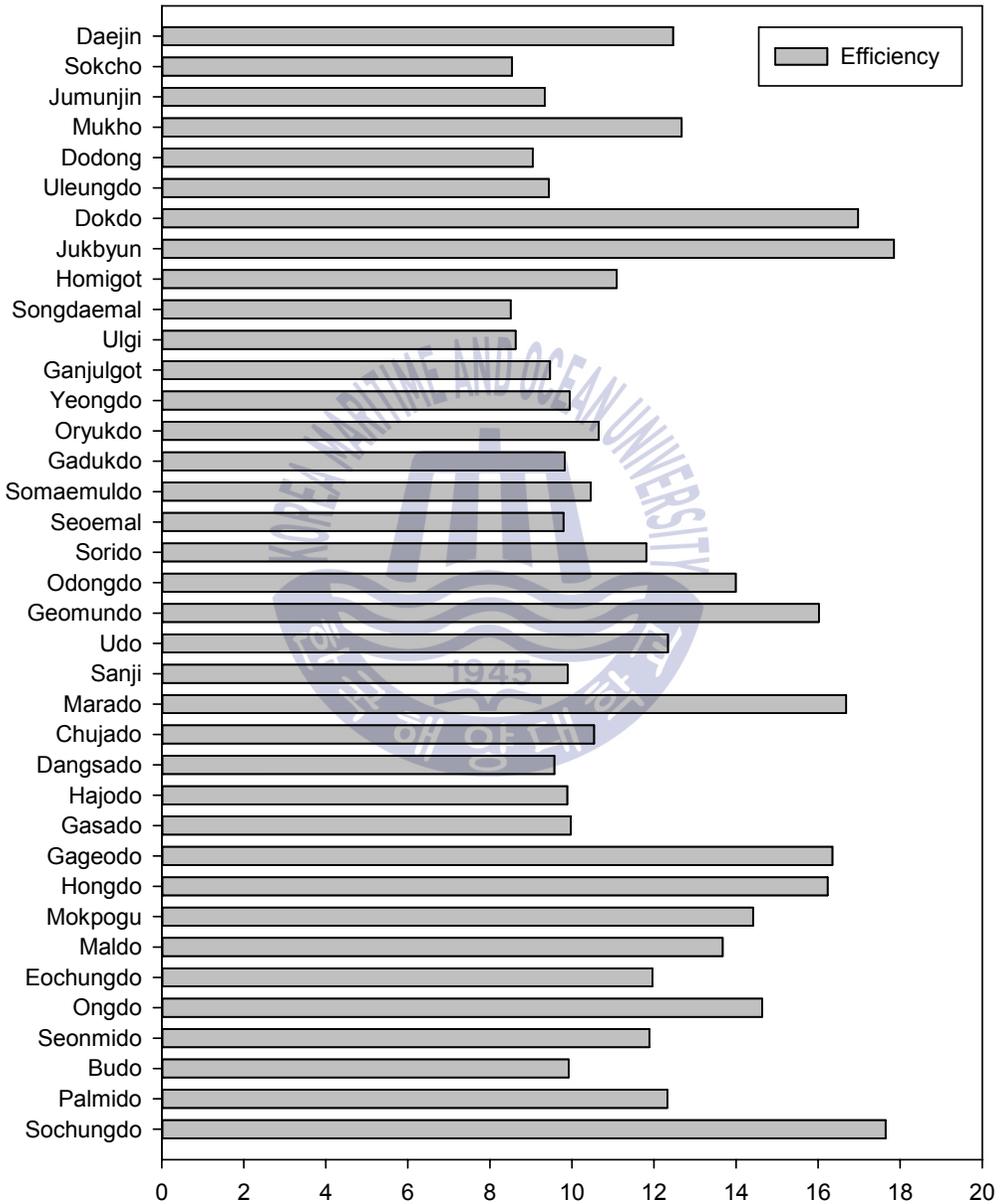


Fig. 35 유인등대 시설인프라에 대한 효율성(E_A) 평가 결과

5.3.4 지속가능성(S_A) 평가

유인등대 시설인프라에 대한 해양교통안전시설기능 평가(S_f)를 위해 유인등대 인근해역에서 최근 5년간(2010년~2014년) 발생한 해양사고를 분석하였다. 선박의 통항량 대비 해양사고에 대한 유인등대의 해상교통안전시설기능은 Table 39와 같이 평균 0.463% 정도 역할을 하고 있는 것으로 분석되었고, 하조도등대, 우도등대, 마라도등대, 대진등대의 경우 선박통항량 대비 해양사고 발생 비율이 높아 해상교통안전시설로서의 기능이 높게 분석되었다.

Table 39 유인등대별 해양교통안전시설 기능평가 결과

구분	T_{vol}	$\sum_{n=1} A_n$	해양교통안전시설기능	백분위(%)
소청도	62,027	1	0.002%	97.37%
팔미도	50,897	43	0.084%	47.37%
부도	44,918	67	0.149%	36.84%
선미도	31,587	56	0.177%	26.32%
옹도	13,524	41	0.303%	21.05%
어청도	10,915	19	0.174%	28.95%
말도	16,383	21	0.128%	39.47%
목포구	6,801	21	0.309%	18.42%
홍도	131,634	2	0.002%	100.00%
가거도	131,634	6	0.005%	92.11%
가사도	6,801	30	0.441%	13.16%
하조도	267	27	10.112%	2.63%
당사도	24,992	28	0.112%	44.74%
추자도	155,160	31	0.020%	84.21%
마라도	1,280	18	1.406%	7.89%
산지	17,888	31	0.173%	31.58%
우도	900	18	2.000%	5.26%
거문도	271,974	11	0.004%	94.74%
오동도	78,404	27	0.034%	73.68%
소리도	54,225	13	0.024%	81.58%
서이말	190,227	89	0.047%	63.16%
소매물도	190,227	75	0.039%	68.42%

구분	T_{vol}	$\sum_{n=1} A_n$	해양교통안전시설기능	백분위(%)
가덕도	194,914	107	0.055%	60.53%
오륙도	159,812	97	0.061%	55.26%
영도	159,812	97	0.061%	55.26%
간절곶	88,463	14	0.016%	89.47%
울기	88,463	15	0.017%	86.84%
송대말	27,433	10	0.036%	71.05%
호미곶	27,860	17	0.061%	52.63%
죽변	7,765	9	0.116%	42.11%
독도	11,707	4	0.034%	76.32%
울릉도	11,707	3	0.026%	78.95%
도동	11,707	5	0.043%	65.79%
목호	8,148	6	0.074%	50.00%
주문진	1,277	2	0.157%	34.21%
속초	676	2	0.296%	23.68%
대진	676	3	0.444%	10.53%

유인등대 시설인프라에 대한 다목적기능 평가(Ad)를 위해 기본목적 이외에 시설을 활용 측면에서의 다목적 기능 수행성과를 분석해보면 Table 40과 같다. 모든 유인등대에서의 고유기능인 항로표지 기능의 유지관리 및 등대 시설·장비 유지관리 기능 이외에 관계기관 장비 관리, 등대해양문화공간 운영, 기타 지원기능 등 다목적기능을 수행하고 있는 유인등대는 마라도등대, 우도등대, 영도등대, 오동도등대, 속초등대로 조사되었다. 또한 지리적 특성 상 해양영토관리 측면에서 그 기능이 높은 것은 북서쪽 끝단의 소청도등대, 북동쪽 끝단의 대진등대의 기능이 높게 평가되었다.

Table 40 유인등대별 다목적시설 기능분석 결과

명칭	위치 (m)	다목적기능 종류
소청도	0.6	DGPS 기준국, 무인표지정비
팔미도	28	DGPS 기준국, 홍보관, 개방숙소, 태양광발전시스템
부도	34	RACON, AIS, 조류신호시스템, 태양광발전시스템
선미도	25	목덕도 원격제어, 산책로, 전망대, 기상관측, 태양광발전시스템

명칭	위치 (m)	다목적기능 종류
옹도	32.5	RACON, AIS, 문화광장, 태양광발전시스템
어청도	12	AIS, DGPS 기준국, 문화광장, 기상관측
말도	23	RACON, AIS, DGPS 감시국
목포구	48	AIS, 홍보관, 전시관, 전망대, 기상관측
홍도	12	AIS, DGPS 감시국
가거도	12	DGPS 기준국, 기상관측
가사도	45	AIS, DGPS 감시국, 기상관측
하조도	37	AIS, 전망대, 영상관, 산책로
죽도	29	AIS
당사도	25	AIS, DGPS 감시국, 태양광발전시스템
추자도	20	집약관리시스템, 홍보관
마라도	12	DGPS 기준국, 집약관리시스템, 산책로, 전망대, 휴게시설, 문화광장, 태양광발전시스템, 풍력발전시스템
산지	23	집약관리시스템, 개방속소, 기상관측
우도	12	집약관리시스템, 홍보관, 전시실, 체험관, 영상관, 공연장, 기상관측
거문도	12	DGPS 기준국, 홍보관, 전망대
오동도	38	AIS, 원격관리시스템, 홍보관, 전망대, 문화광장, 공연장, 개방속소
소리도	20	DGPS 감시국
서이말	17.5	DGPS 감시국, 원격관리시스템, 기상관측
소매물도	20	산책로, 전망대, 휴게시설, 태양광발전시스템, 기상관측
가덕도	20	100주년 기념관, 세미나실, 개방속소, 기상관측
오륙도	12	전망대, 태양광발전시스템, 기상관측
영도	12	DGPS 기준국, 갤러리, 자연사전시실, 전망대, 영상관, 도서관, 공연장, 기상관측
간절곶	12	Loran, 홍보관, 전망대, 개방속소, 기상관측
울기	12	홍보관, 공연장, 개방속소, 기상관측
송대말	12	홍보관, 공인업무
호미곶	12	DGPS 기준국, 개방속소, 기상관측
죽변	12	DGPS 감시국, 원격감시시스템, 전망대, 공인업무, 해군파랑관측
독도	12	DGPS 감시국, AIS, RACON, 기상관측
울릉도	12	DGPS 기준국, AIS, 홍보관, 기상청 관측 장비
도동	12	무인표지정비, 홍보관
목호	12	AIS, 무인표지정비, 홍보관
주문진	12	DGPS 기준국, AIS, 무인표지정비, 전망대, 개방속소
속초	12	DGPS 감시국, AIS, 무인표지정비, 홍보관, 전망대, 공연장, 개방속소
대진	8	AIS, 무인표지정비, 전망대, 기상관측

37기의 유인등대 시설인프라에 대한 지속가능성(S_A) 평가결과 Fig. 36과 같고, 전체 평균 12.00점으로 대진등대, 우도등대, 마라도등대의 경우 해양교통안전시설 기능 및 다목적시설 기능이 높은 것으로 평가 되었다.

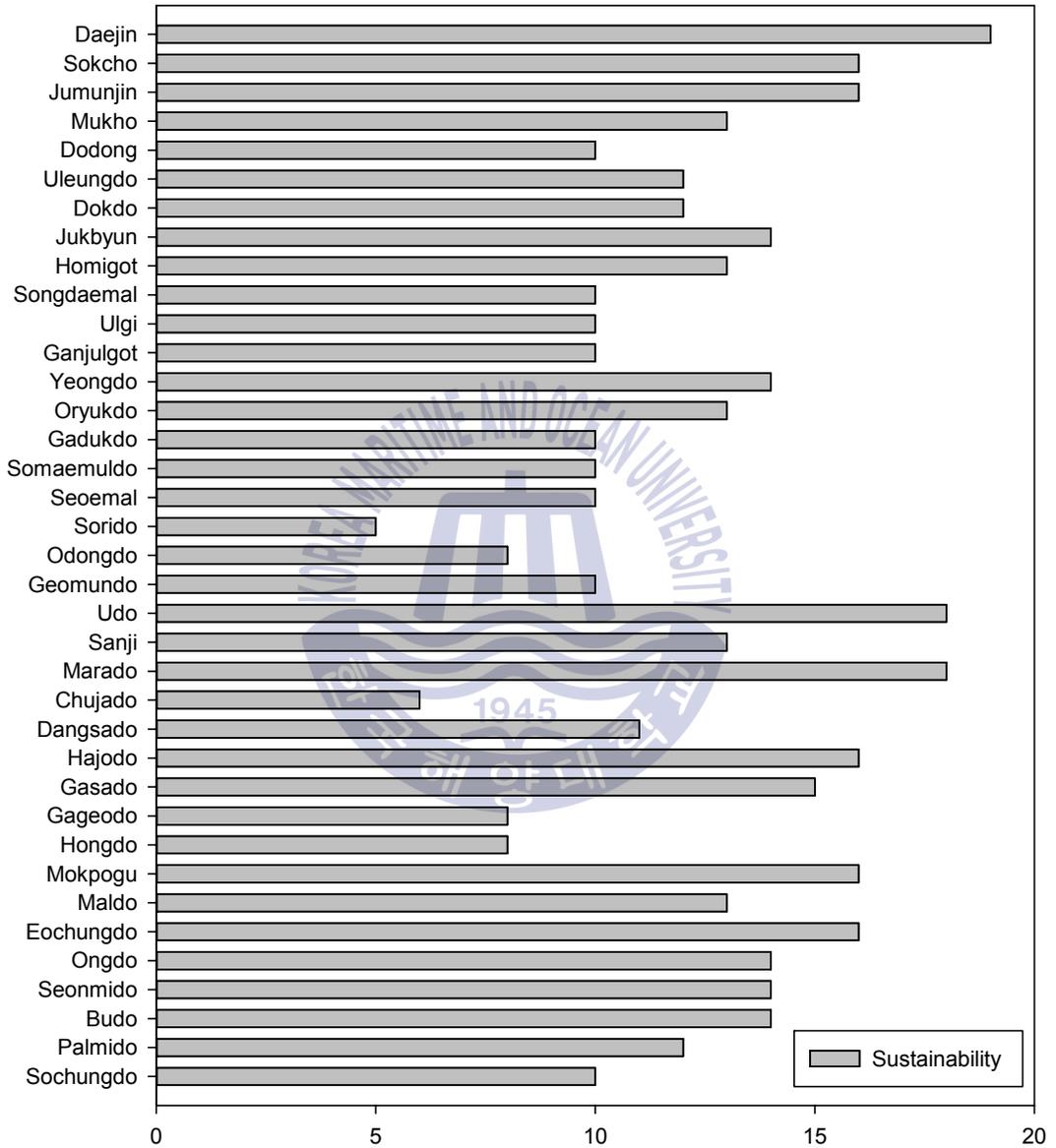


Fig. 36 유인등대 시설인프라에 대한 지속가능성(S_A) 평가 결과

5.3.5 영향력(I_A) 평가

유인등대 주변의 항로표지시설인프라에 대한 광역관리 기능을 수행하는 영향력을 평가 결과 Table 41과 같다. 긴급 상황 발생 시 대응가능범위 내에 위치한 주변 항로표지시설인프라 규모(D_n)를 평가한 결과 유인등대를 중심으로 평균 62.08기의 항로표지시설인프라가 운영 중인 것으로 분석 되었으며, 주요항만 및 지리적 여건 상 도서지역에 위치한 유인등대의 주변 항로표지시설인프라 규모가 높은 것으로 분석되었다. 이를 대상으로 주변 항로표지시설인프라 산포도(D_w) 분석 결과 평균 27.7분 이내에 접근 가능한 거리에 집중되어 위치하는 것으로 분석되었다.

Table 41 유인등대별 광역관리 영향평가 평가결과

구분	D_n (기수)	D_w (분)	구분	D_n (기수)	D_w (분)
소청도	2	25.2	소리도	8	31.2
팔미도	135	38.4	서이말	59	24.6
부도	460	37.8	소매물도	22	38.4
선미도	24	42.6	가덕도	524	37.2
용도	21	46.8	오륙도	99	31.2
어청도	10	32.4	영도	130	27.6
말도	35	37.8	간절곶	58	31.2
목포구	66	27.6	울기	66	23.4
홍도	2	12	송대말	33	18
가거도	3	19.8	호미곶	77	28.8
가사도	37	39	죽변	20	25.8
하조도	18	33.6	독도	0	0
당사도	35	38.4	울릉도	3	7.8
추자도	17	15.6	도동	8	15
마라도	15	33.6	목호	50	29.4
산지	52	27	주문진	39	26.4
우도	21	25.8	속초	46	17.4
거문도	11	15	대진	34	21
오동도	109	34.2	-	-	-

유인등대 시설인프라에 대한 해양문화유산 영향평가(Ch)를 위해 해양문화유산 영향력을 평가하였으며, Table 42와 같이 현재 항로표지시설인프라의 문화유산으로서의 상징성을 가지는 등대는 팔미도등대, 어청도등대, 목포구등대, 소매물도등대, 가덕도등대, 울기등대, 호미곶등대, 죽변등대가 문화재로 등록되어 해양문화유산으로서의 상징성을 가지는 것으로 분석되었다. 또한 현재 해양문화공간 운영에 따른 유인등대의 활성화현황을 살펴보면, 최근 3년 기준 234,718명의 방문객이 방문한 것으로 조사 되었으며 마라도등대, 소매물도등대, 영도등대가 가장 활성화되어 있는 것으로 분석되었다.

Table 42 유인등대별 광역관리 영향평가 평가결과

구분	상징성	이용객수	구분	상징성	이용객수
소청도	-	1,393	소리도	-	3,091
팔미도	시도유형문화재제 40호	88,845	서이말	-	69,371
부도	-	531	소매물도	명승제18호	820,718
선미도	-	39	가덕도	시도유형문화재 제50호	2,977
옹도	-	65,602	오륙도	-	16,463
어청도	등록문화재378호	8,318	영도	-	1,037,635
말도	-	3,022	간절곶	-	381,245
목포구	등록문화재379호	56,710	울기	등록문화재 제106호	230,585
홍도	-	15,909	송대말	-	29,205
가거도	-	8,371	호미곶	시도기념물제39호	77,470
가사도	-	3,766	죽변	시도기념물 제154호	10,724
하조도	-	46,963	독도	-	387
당사도	-	1,267	울릉도	-	37,060
추자도	-	13,162	도동	-	59,843
마라도	-	1,250,293	묵호	-	157,661
산지	-	85,353	주문진	-	44,518
우도	-	2,231,612	속초	-	325,545
거문도	-	108,777	대진	-	9,207
오동도	-	1,615,636	-	-	-

37기의 유인등대 시설인프라에 대한 영향력(I_A) 평가결과 Fig. 37과 같고, 전체 평균 9.29점으로 호미곶등대, 울기등대의 경우 15점으로 높게 평가 되었다.

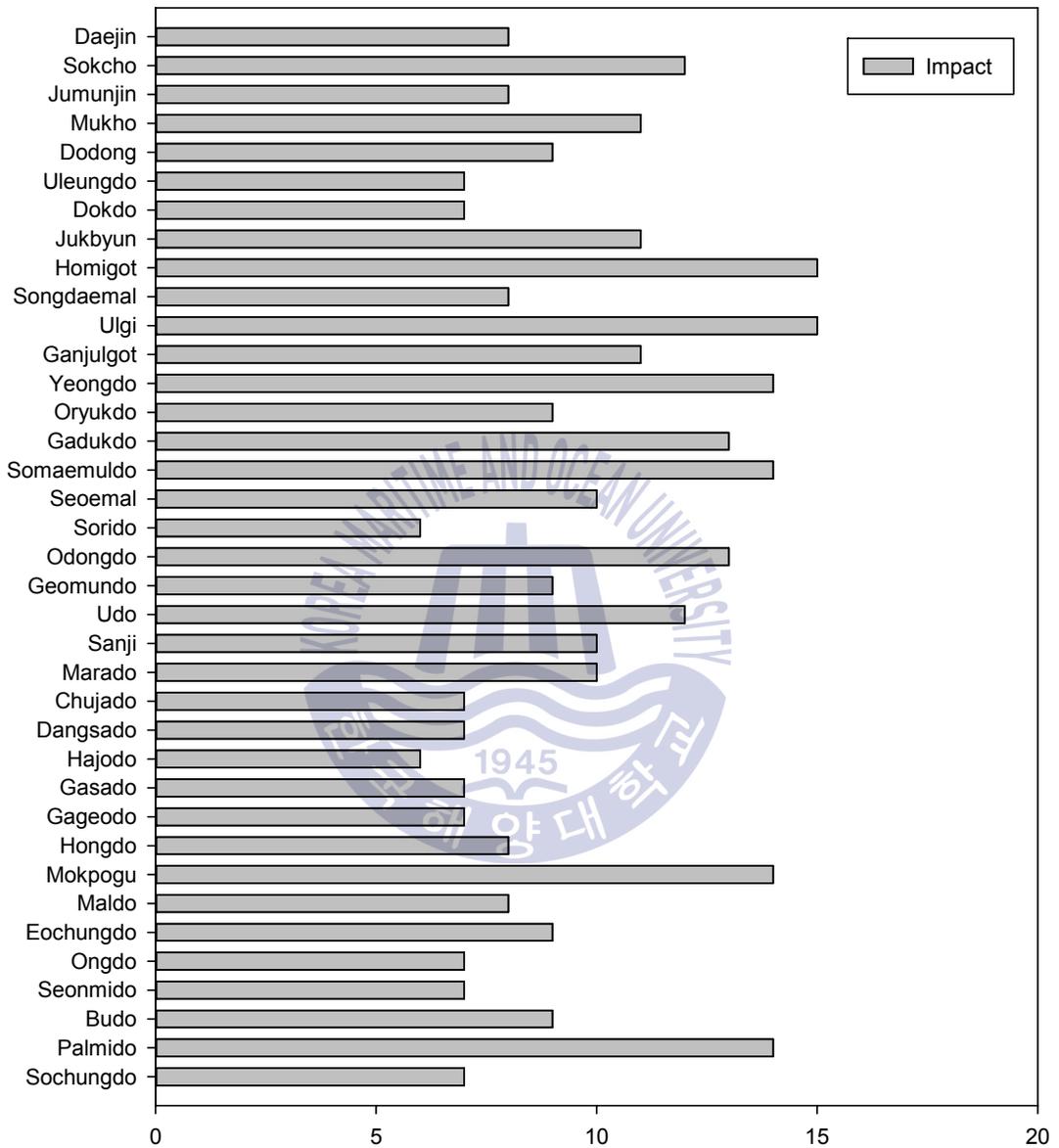


Fig. 37 유인등대 시설인프라에 대한 영향력(I_A) 평가 결과

5.3.6 정략적 평가 결과 및 가중치 산정

현재 운영 중인 37기 유인등대 시설인프라에 대한 기능분석 결과 평균 51.96점의 기능을 수행하고 있는 것으로 분석되었다. 각 평가 항목별 분석결과 Fig. 38과 같이 항로표지의 적절성 9.68점, 항로표지의 효과성 8.37점, 항로표지의 효율성 11.96점, 항로표지의 지속가능성 12.37점, 항로표지의 영향력 9.58점으로 항로표지 지속가능성 측면에서 높게 평가 되었다. 각 유인등대 시설인프라별 상세 평가결과는 Table 43과 같다.

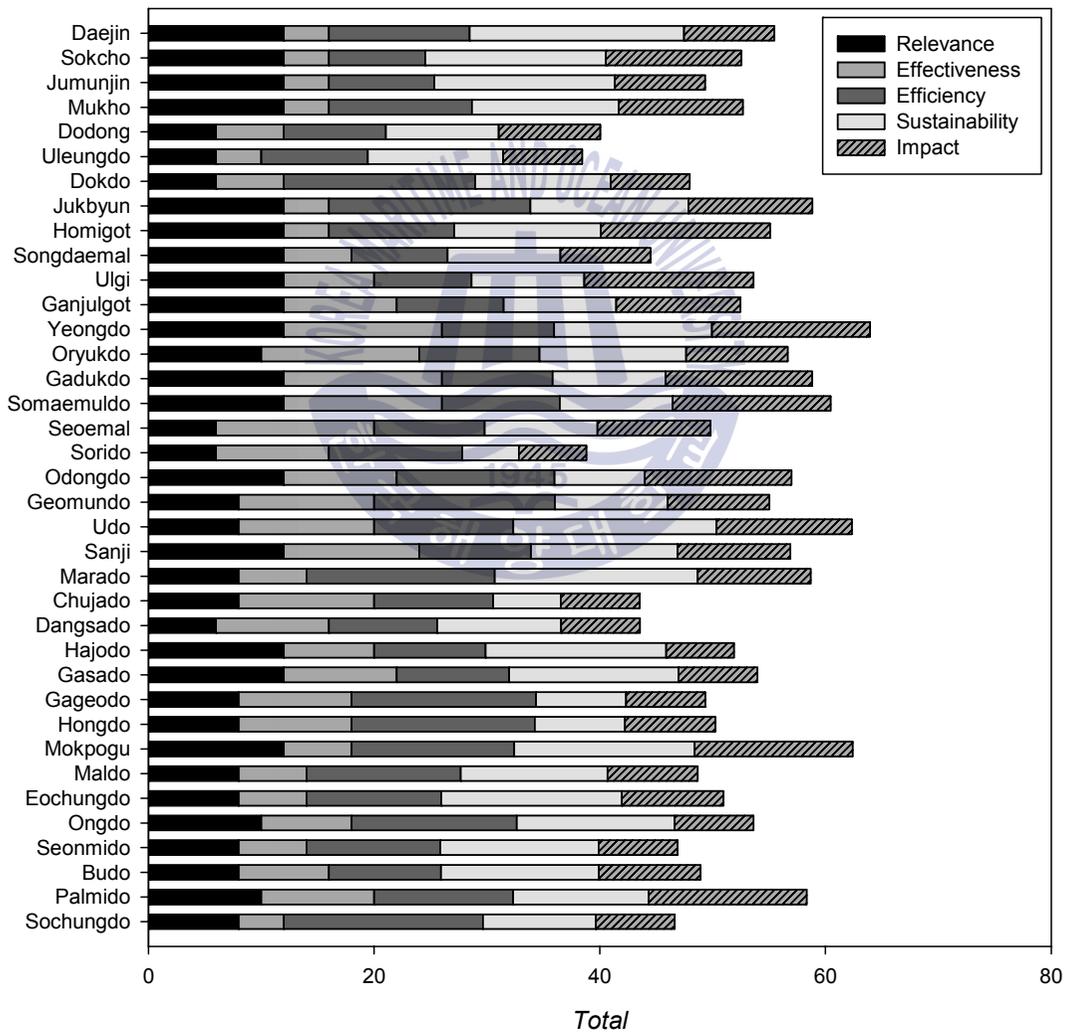


Fig. 38 유인등대 시설인프라의 정량적 평가 종합결과

Table 43 유인등대 시설인프라의 정량적 평가 종합결과 분석표

구분	적질성(R_A)		효과성(F_A)		효율성(E_A)		지속가능성(S_A)		영향력(I_A)		계
	Eh	St	C_{unit}	R_{unit}	Du	Ut	F_{main}	F_{add}	H_f	T_f	
평균	2.26	7.42	2.47	5.89	4.21	7.74	5.84	6.53	6.87	2.71	51.96
소청도	4	4	2	2	10	7.65	2	8	6	1	46.65
팔미도	2	8	2	8	4	8.33	6	6	8	6	58.33
부도	2	6	2	6	2	7.92	8	6	8	1	48.92
선미도	2	6	2	4	4	7.89	8	6	6	1	46.89
옹도	2	8	2	6	6	8.63	8	6	5	2	53.63
어청도	2	6	2	4	4	7.96	8	8	5	4	50.96
말도	2	6	2	4	6	7.67	8	5	7	1	48.67
목포구	2	10	2	4	6	8.41	10	6	9	5	62.41
홍도	4	4	4	6	8	8.23	2	6	7	1	50.23
가거도	4	4	4	6	8	8.35	2	6	6	1	49.35
가사도	4	8	2	8	2	7.97	10	5	6	1	53.97
하조도	4	8	2	6	2	7.89	10	6	5	1	51.89
죽도	2	8	2	6	2	7.85	10	3	5	0	45.85
당사도	2	4	2	8	2	7.57	6	5	6	1	43.57
추자도	2	6	4	8	2	8.54	2	4	6	1	43.54
마라도	2	6	2	4	8	8.69	10	8	5	5	58.69
산지	2	10	2	10	2	7.89	8	5	8	2	56.89
우도	2	6	2	10	4	8.34	10	8	7	5	62.34
거문도	2	6	4	8	8	8.02	2	8	7	2	55.02
오동도	2	10	2	8	6	7.99	2	6	8	5	56.99
소리도	2	4	2	8	4	7.81	2	3	5	1	38.81

구분	적절성(R_A)		효과성(F_A)		효율성(E_A)		지속가능성(S_A)		영향력(I_A)		계
	En	St	C_{unit}	R_{unit}	Du	Ut	F_{main}	F_{odd}	H_f	T_f	
서이말	2	4	4	10	2	7.79	4	6	8	2	49.79
소매물도	2	10	4	10	2	8.46	4	6	6	8	60.46
가덕도	2	10	4	10	2	7.82	4	6	8	5	58.82
오륙도	2	8	4	10	2	8.65	6	7	8	1	56.65
영도	2	10	4	10	2	7.95	6	8	9	5	63.95
간절곶	2	10	2	8	2	7.47	2	8	7	4	52.47
울기	2	10	2	6	2	6.63	2	8	9	6	53.63
송대말	2	10	2	4	2	6.51	4	6	7	1	44.51
호미곶	2	10	2	2	4	7.09	6	7	9	6	55.09
죽변	2	10	2	2	10	7.85	6	8	6	5	58.85
독도	2	4	2	4	10	6.97	4	8	6	1	47.97
울릉도	2	4	2	2	2	7.44	4	8	6	1	38.44
도동	2	4	2	4	2	7.05	4	6	7	2	40.05
묵호	2	10	2	2	6	6.67	6	7	8	3	52.67
주문진	2	10	2	2	2	7.33	8	8	7	1	49.33
속초	2	10	2	2	2	6.54	8	8	8	4	52.54
대진	2	10	2	2	6	6.47	10	9	7	1	55.47

유인등대 시설인프라에 대한 표준평가를 위해 직접적 관리자인 3명의 정책결정자를 전문가그룹으로 구성하여 항로표지시설인프라 기능분석 기준별 쌍대비교를 통해 상대적 중요도 기반 가중치를 산정하였다. 기준별 쌍대비교를 통해 상대적 중요도 조사결과 Table 44와 같이 분석되었고, 이를 바탕으로 Table 45와 같이 가중치를 산정하여 적용하였다.

전문가그룹 설문답안의 경우 Consistency Index 0.043으로 일관성 있는 답변을 작성하여 신뢰성이 높은 것으로 판단하였고, 평가기준별 가중치 산정결과 항로표지시설인프라의 적절성 및 항로표지시설인프라의 효율성에 관한 중요도가 높은 것으로 분석되었다.

Table 44 평가기준별 상대적 중요도 분석결과(평균값 적용)

구분	적절성	효과성	효율성	지속가능성	영향력
적절성	1.00000	0.22540	0.28889	0.15132	2.04762
효과성	4.43664	1.00000	2.77778	1.15873	5.40000
효율성	3.46157	0.36000	1.00000	0.24444	3.44444
지속가능성	6.60841	0.86302	4.09093	1.00000	6.33333
영향력	0.48837	0.18519	0.29032	0.15789	1.00000

Table 45 평가기준별 가중치 산정결과

구분	적절성(α_1)	효과성(α_2)	효율성(α_3)	지속가능성(α_4)	영향력(α_5)
Weight	0.064	0.339	0.148	0.402	0.047

※ Consistency Index : 0.043

5.3.6 종합 평가결과

유인등대 시설인프라에 대한 가중치 반영 종합평가 결과 Fig. 39와 같고, 각 시설인프라에 대한 상세 평가 분석결과 Table 46과 같다.

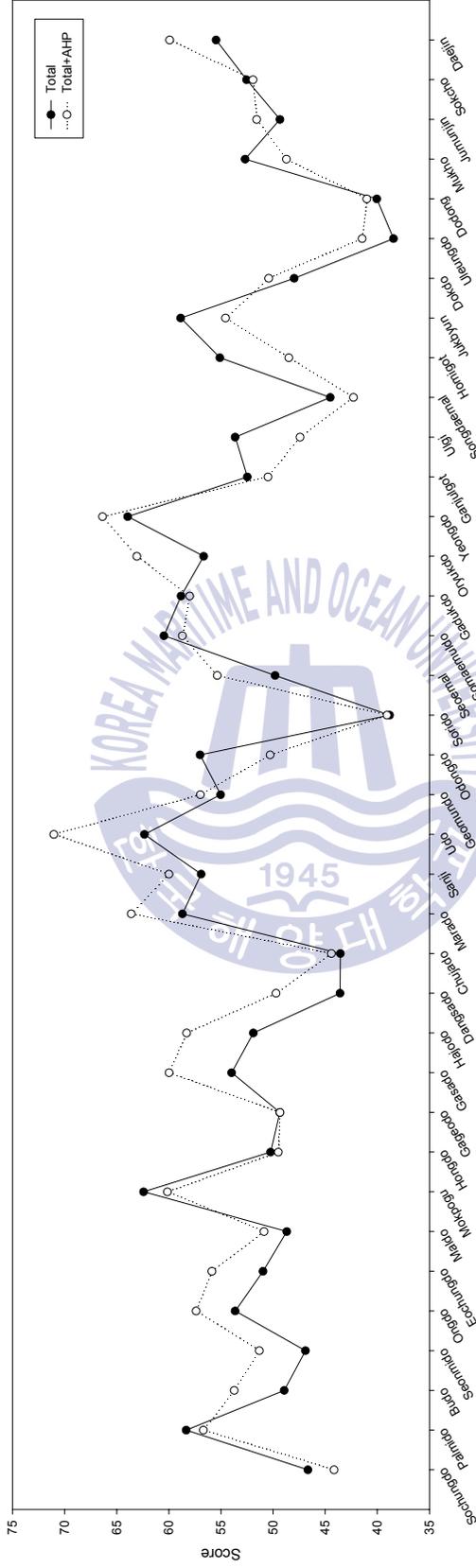


Fig. 39 유인등대 시설인프라의 가중치 반영 종합평가 결과

Table 46 유인등대 시설인프라의 가중치 반영 종합평가 결과 분석표

구분	적절성(R_A)	효과성(F_A)	효율성(E_A)	지속가능성(S_A)	영향력(I_A)	계	순위
평균	2.94	16.27	9.19	24.20	2.14	54.75	
노성도	2.56	6.78	13.06	20.10	1.65	44.14	33
팔미도	3.20	16.95	9.12	24.12	3.29	56.68	14
부도	2.56	13.56	7.34	28.14	2.12	53.72	18
선미도	2.56	10.17	8.80	28.14	1.65	51.31	21
옹도	3.20	13.56	10.83	28.14	1.65	57.37	12
어청도	2.56	10.17	8.85	32.16	2.12	55.86	15
말도	2.56	10.17	10.12	26.13	1.88	50.86	22
목포구	3.84	10.17	10.67	32.16	3.29	60.13	5
홍도	2.56	16.95	12.01	16.08	1.88	49.48	27
가거도	2.56	16.95	12.10	16.08	1.65	49.33	28
가사도	3.84	16.95	7.38	30.15	1.65	59.97	7
하조도	3.84	13.56	7.32	32.16	1.41	58.29	10
당사도	1.92	16.95	7.08	22.11	1.65	49.71	26
추자도	2.56	20.34	7.80	12.06	1.65	44.40	32
마라도	2.56	10.17	12.35	36.18	2.35	63.61	3
산지	3.84	20.34	7.32	26.13	2.35	59.98	6
우도	2.56	20.34	9.13	36.18	2.82	71.03	1
거문도	2.56	20.34	11.85	20.10	2.12	56.97	13
오동도	3.84	16.95	10.36	16.08	3.06	50.28	25

구분	적절성(R_A)	효과성(F_A)	효율성(E_A)	지속가능성(S_A)	영향력(I_A)	계	순위
순위도	1.92	16.95	8.74	10.05	1.41	39.07	37
서이말	1.92	23.73	7.25	20.10	2.35	55.35	16
소매물도	3.84	23.73	7.74	20.10	3.29	58.70	9
가덕도	3.84	23.73	7.27	20.10	3.06	57.99	11
오륙도	3.20	23.73	7.88	26.13	2.12	63.06	4
영도	3.84	23.73	7.36	28.14	3.29	66.36	2
간절곶	3.84	16.95	7.01	20.10	2.59	50.48	23
울기	3.84	13.56	6.38	20.10	3.53	47.41	31
총대말	3.84	10.17	6.29	20.10	1.88	42.28	34
호미곶	3.84	6.78	8.21	26.13	3.53	48.48	30
죽변	3.84	6.78	13.21	28.14	2.59	54.56	17
독도	1.92	10.17	12.56	24.12	1.65	50.42	24
울릉도	1.92	6.78	6.99	24.12	1.65	41.45	35
도동	1.92	10.17	6.69	20.10	2.12	41.00	36
묵호	3.84	6.78	9.38	26.13	2.59	48.71	29
주문진	3.84	6.78	6.91	32.16	1.88	51.57	20
속초	3.84	6.78	6.32	32.16	2.82	51.92	19
대진	3.84	6.78	9.23	38.19	1.88	59.92	8

유인등대 시설인프라에 대한 가중치 반영 종합평가 결과 우도등대, 영도등대, 마라도등대, 오륙도등대, 목포구등대 순으로 항로표지시설인프라로서의 기능이 높은 것으로 분석되었다. 반면 소리도등대, 도동등대, 울릉도등대, 송대말등대, 소청도등대, 추자도등대, 울기등대가 표준평가 결과 하위 15%로 비교적으로 낮게 평가 되어 이에 대한 기능 재검토 및 개선방안을 수립 할 필요성이 있다고 할 수 있다. 그러나 유인등대 시설인프라에 대한 전문가 대상 리커트척도 분석 결과 6기의 유인등대에 대한 특수성이 높게 측정 되었으며, 유인등대 시설인프라 정량적 평가 결과에 따른 기능재검토 대상에서 특수성을 고려하여 소청도등대 및 도동등대를 제외 하였다. 유인등대의 특수성평가를 통해 예외대상으로 선정된 소청도등대 및 도동등대를 제외하고, 총 5기(소리도등대, 울릉도등대, 송대말등대, 추자도등대, 울기등대)에 대한 기능 재검토를 통해 시설 운영 문제를 개선하고 신뢰성 확보를 통해 해양안전시설로서의 기능 및 효율적 해양환경 조성 등을 최대화 할 수 있도록 해야 한다.

5.4 소결

해상기반시설에 대한 표준평가모델의 적용 및 평가결과 가덕수도에 운영 중인 25기는 평균 58.98점의 기능을 수행하고 있는 것으로 분석되었고, 적절성 10.72점, 효과성 10.64점, 효율성 12.86점, 지속가능성 9.56점, 영향력 15.05점으로 항로표지 시설인프라 영향력 측면에서 높게 평가 되었다. 가덕수도 항로표지시설인프라 25기 중 총 7기의 항로표지시설에 대하여 Table 47과 같이 재검토 필요성이 있는 것으로 분석되었고, 세부 평가 분석 내용을 고려하여 시설 운영 문제를 개선하고 신뢰성 확보를 통해 해양안전시설로서의 기능 및 효율적 해양환경 조성 등을 최대화 할 수 있도록 해야 한다.

Table 47 가덕수도 향로표지시설인프라 표준평가 결과 및 기능재검토 대상 선정

명칭	기능분석 결과	가중치 반영결과	평가 순위	특수성	종합결과
부산신항1호등부표	60.33	63.82	4	○	기능재검토
부산신항2호등부표	60.78	51.87	22	-	기능재검토
부산신항5호등부표	56.67	49.12	25	-	기능재검토
부산신항6호등부표	53.22	51.41	24	-	기능재검토
부산신항9호등부표	60.89	52.76	20	-	기능재검토
부산신항13호등부표	58.44	51.81	23	-	기능재검토
부산신항15호등부표	55.44	52.32	21	-	기능재검토

또한 육상기반시설에 대한 표준평가모델의 적용 및 평가결과 37기의 유인등대 시설인프라는 평균 52.37점의 기능을 수행하고 있는 것으로 분석되었고, 각 항목 별로 향로표지시설인프라의 적절성 9.2점, 향로표지시설인프라의 효과성 9.6점, 향로표지시설인프라의 효율성 12.41점, 향로표지시설인프라의 지속가능성 12.04점, 향로표지시설인프라의 영향력 9.12점으로 분석되었다. 유인등대 시설인프라 37기 중 총 5기(소리도등대, 울릉도등대, 송대말등대, 추자도등대, 울기등대)에 대하여 Table 48과 같이 기능 재검토를 통해 시설 운영 문제를 개선하고 신뢰성 확보를 통해 해양안전시설로서의 기능 및 효율적 해양환경 조성 등을 최대화 할 수 있도록 해야 한다.

Table 48 유인등대 시설인프라의 표준평가 결과 및 기능재검토 대상 선정

명칭	기능분석결과	가중치반영결과	평가순위	특수성	종합결과
추자도	43.54	44.40	32	-	기능재검토
소리도	38.81	39.07	37	-	기능재검토
간절곶	52.47	50.48	23	○	-
울기	53.63	47.41	31	-	기능재검토
송대말	44.51	42.28	34	-	기능재검토
호미곶	55.09	48.48	30	○	-
울릉도	38.44	41.45	35	-	기능재검토
도동	40.05	41.00	36	○	-
속초	52.54	51.92	19	○	-

제 6 장 결 론

해양안전을 위한 기본요소 중 하나인 환경요인은 해양교통 환경을 의미는 것으로 안전하고 효율적인 해양교통 환경 조성 등의 목적을 가진다. 이러한 해양교통 환경 조성을 위하여 항로표지시설인프라가 필수적이며, 무역규모의 지속적인 증대와 함께 국가관리항 및 연안항만의 발전이 꾸준하게 이어짐에 따라 항로표지시설인프라의 기능 및 그 필요성이 확대되고 있는 추세이다. 인프라(Infrastructure)는 특정한 목적을 달성하기 위해서 필요한 기반시설로 해양안전 측면에서의 항로표지시설인프라라 함은 선박의 안전하고 효율적인 항해를 위하여 설치 및 운영되는 시스템 및 시설 등을 의미하는 것으로 안전하고 효율적인 해상교통 환경 조성 등의 목적을 가진다고 할 수 있다. 국제항로표지협회(IALA)에서는 ‘최적의 항로의 위치에 대한 조언을 하거나 위험 또는 장애를 경고하여 항해사가 선위 및 항로를 결정하는데 도움을 주기 위한 선박 외부 장치 또는 시스템’이라 정의하고 있다(IALA, 2014). 이러한 항로표지시설의 경우 해양교통환경 조성을 위한 핵심인프라 자원으로서 종합적이고 체계적으로 관리·운영할 수 있고, 복합적으로 활용될 수 있도록 해야 한다.

그러나 해양안전 관련 연구 및 국가정책에서는 선박 및 인적요소와 관련하여 다양하고 지속적으로 이루어진데 반해 환경요인 즉 해양교통환경 측면에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이며, 선박 및 항만운영 측면에서의 해상교통 위험도분석 및 모델 개발에 관한 연구와 정책개발, 관련 평가제도 도입 등 다양하게 수행되어 왔으나 항해하는 선박의 안전 및 효율적인 항해를 위하여 설치 및 운영되는 항로표지시설인프라에 대한 평가는 항만설계 및 개발 시 제안된 내용만을 고려하여 설치·운영되고 있어 해양교통 환경 조성을 위한 핵심인프라 자원으로서 종합적이고 체계적인 관리·운영 및 복합적 활용을 위한 연구가 절실하다.

본 논문에서는 선박의 안전하고 효율적인 항해를 목적으로 설치 및 운영되는 등 공공 시설인프라 자원인 항로표지시설인프라에 대하여 국가 중심의 종합적인 관리·운영과 복합적 활용, 체계적인 성과 및 효과에 대한 사후평가모델로서 항로표지시설인프라 표준평가모델을 개발하였다. 항로표지시설의 형태에 따라 시설의 기능 및 목적의 차이가 있음을 고려하여 항로표지시설인프라를 해상기반시설과 육상기반시설로 구분하고 각 시설의 특징을 고려한 체계적인 평가가 이루어질 수 있도록 하여 평가결과에 대한 신뢰성 및 유용성을 확대할 수 있도록 하였다.

제2장에서는 항로표지시설인프라에 대한 평가기준 및 선행연구를 바탕으로 IALA 등 국제규정에 따른 평가방법, 해양교통시설 운영효과분석 연구, 국내외 공공시설인프라 평가제도 등을 검토하였다. 항로표지시설의 경우 안전하고 효율적인 해양교통 환경 조성을 위한 공공 목적의 핵심 자원으로서 국가를 중심으로 종합적이고 체계적으로 관리·운영할 필요가 있으므로 공공시설인프라에 적합한 표준 평가 모델을 설계하고자 하였다.

제3장에서는 제2장에서 검토한 결과를 바탕으로 항로표지시설인프라에 대한 표준평가 기준을 선정하고 평가내용을 구체화하였다. 항로표지시설의 형태에 따라 시설의 기능 및 목적의 차이가 있으므로 항로표지시설인프라를 해상기반시설과 육상기반시설로 구분하였다. 항로표지시설인프라에 대한 표준 평가기준은 적절성(Relevance), 효과성(Effectiveness), 효율성(Efficiency), 영향력(Impact), 지속가능성(Sustainability)으로 구성하고, 각 기준별 평가목적 및 방법을 설계하였다.

제4장에서는 제3장에서 구성한 5개의 평가기준을 바탕으로 항로표지시설인프라 표준평가모델을 개발하였다. 시설인프라에 대한 수요(Needs)부터 활용(Outcomes)까지 전체 과정에 대한 실효성 및 효용성 평가가 이루어지고, 각 기준별 목적에 부합하는 10개의 세부평가 방법 및 내용을 설계하였다. 이때 각 평가기준별 중요도 차이를 가지므로 관련 학계, 기관 등 전문가 의견수렴을 통한 AHP 기법을 적용하여 정략적 평가 결과를 바탕으로 각 기준별 가중치를 $\alpha_1 \sim \alpha_5$ 까지 산정하여 평가하였다. 항로표지시설인프라 평가기준별 가중치를 반영한 평가 후 항로표지시설인프라의 특성 상 기초 기능분석을 통해 그 기능성이 충분히 인식되었으나 주변 환경의 여건, 통항선박의 특징, 국가정책, 설계자의 관점차이에 따라 설치·운영이 어려운 경우가 있을 수 있으므로 관련 전문가의 의견수렴 등 리커트척도

(Likert scale)를 활용하여 항로표지시설인프라에 대한 특수성분석을 통해 기능분석 결과에 대한 검증과정을 거쳐 최종 평가결과를 도출한다.

제5장에서는 제4장에서 개발된 표준평가모델의 적용 및 검증을 위하여 해상기반시설의 경우 우리나라 최대 항만이 부산항을 대상으로 운영 중인 항로표지 25기에 대해 평가하였다. 또한 육상기반시설의 경우 전국 37기를 운영 중인 유인등을 대상으로 항로표지시설인프라로서의 기능 및 효용성을 평가하였다. 해상기반시설 및 육상기반시설에 대한 평가 및 적용을 통해 개발된 모델의 완성도와 표준평가모델을 통한 평가 결과의 신뢰성을 검증하였다. 리커트척도 분석을 통한 실제 운영 상 항로표지시설인프라의 특수성 측정 및 검증결과와의 비교 분석을 통해 표준평가모델 평가 결과의 효용성 및 활용성을 확대하였다.

우리나라는 삼면이 바다인 지형적 특성이 있으며 과거에 비해 해상교통량 증가 및 항로표지시설인프라 환경이 날로 급변하고 있으며, 특히 우리나라의 서해안과 남해안의 경우 크고 작은 도서와 암초가 많아 선박 안전 항해에 위해요소가 크게 작용하고 있다. 지난 몇 년간 해양사고는 감소하고 있으나, 해상물동량 및 교통량의 지속적인 증가와 선박의 대형화, 고속화에 따라 대형 해양사고의 위험성은 상존하고 있으며, 해양사고 발생 시 재산 및 인명피해뿐만 아니라 유류오염으로 인한 해양환경 피해는 이루 말할 수 없다. 이러한 해양사고의 예방과 통항선박의 안전 확보를 위해 전 세계적으로는 지속적인 항로표지시설인프라 개발 및 서비스 증진에 많은 노력과 재원을 투자하고 있으며, 우리나라 역시 약 4,722기의 항로표지가 설치·운영 중으로 국가관리항 및 연안항만의 발전에 따라 추가 설치·운영되는 항로표지시설인프라 지속적으로 증가할 것이다.

첨단 항로표지 시스템을 통해 이용자에게 한층 강화된 서비스를 제공하고 있으며, 현재보다 더욱 진보된 시스템 도입 및 운영분석을 통해 안전한 해양교통환경 조성 및 신뢰성 높은 항로표지시설인프라 서비스 제공을 위해 지속적인 연구가 필요하다. 이번 연구를 통해 안전하고 효율적인 해양교통 환경 조성을 위한 공공목적의 핵심 자원인 항로표지시설인프라를 위한 국가 중심의 종합적인 관리·운영과 복합적인 활용, 체계적인 성과 및 효과의 사후평가 과정을 통해 시설인프라의 중요한 제반 측면과 그 가치를 분석하고 운영 결과에 대한 신뢰성 및 유용성을 추구하기 위한 방안을 마련하고자 하였다. 체계적인 성과 및 효과 사후평가

과정을 통해 평가모델 및 분석 결과에 대한 신뢰성과 유용성을 확대하고, 항로표지시설인프라에 대한 종합적인 분석 및 평가를 통해 주변 환경의 변화 및 영향, 시설 운영의 타당성, 수요자 측면의 만족도 등을 검토한다. 표준평가모델은 유사 시설운영 계획 검토 및 효율성 향상을 위한 자료로 활용할 수 있으며, 각 평가내용을 바탕으로 시설 운영 문제를 개선하고 신뢰성 확보를 통해 해양 안전시설로서의 기능 및 효율적 해양환경 조성 등을 최대화하기 위한 기초자료 및 수단으로 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.



참고문헌

- [1] 강혜영, 2015. 리커트척도(Likert Scale) 응답 형식 검사의 조건에 따른 기준 점설정 방법 비교 연구, 서울여자대학교 박사학위 논문
- [2] 국가연구시설장비진흥센터, 2012. 과학기술인프라의 개념 이해와 정의 및 범위, POLISSUE 제5호, pp 5-9
- [3] 국립해양조사원, 2015. 남해안 항로지, pp 48-51
- [4] 국립해양조사원, 2016. 등대표, pp 135-137
- [5] 국토해양부, 2009. 건설사업 사후평가 수행 매뉴얼, pp 18-111
- [6] 기상청, 2006-2015. 기상연보, pp 123-125
- [7] 김수엽 외 3명, 2013. 해양교통안전시설의 경제적 효과분석에 관한 연구, 한국해양수산개발원, pp 1-8
- [8] 나유성, 2016. 건설공사 사후평가제도 운영실태와 활용도 향상을 위한 과제, 국토연구원, pp 31-35
- [9] 박영남, 2007. 해상교통안전시설에 대한 운영효과의 편익산출 모델에 관한 연구, 한국해양대학교 박사학위 논문
- [10] 박혜리, 국승기, 2016. 항로표지시설 효용성분석 모델(ANEffic) 개발에 관한 연구-유인등대에 적용하여, 한국항해항만학회지, Vol 22, No 6, pp 647-653
- [11] 송도흠, 2015. 공공건축사업 유형별 사후평가모델에 관한 연구, 전남대학교 박사학위 논문

- [12] 송의근, 2007. AHP를 활용한 정보통신비 투자산업 우선순위 결정에 관한 연구, 대구가톨릭대학교 박사학위 논문, p 59
- [13] 이홍훈, 2014. 해상교통환경 통합위해도 평가모델 개발에 관한 연구, 목포해양대학교 박사학위 논문
- [14] 한국수출입은행, 2011. 사후평가보고서 작성 가이드라인, pp 11-21
- [15] 한국조세연구원, 2010. 공공건설사업 효율화 방안에 관한 연구, pp 6
- [16] 해양수산부, 2006. 해상교통안전시설의 운영효과 분석·조사 연구
- [17] 해양수산부, 2012. 전국 해상교통관제 안내서
- [18] 해양수산부, 2014. 항만 및 어항 설계기준·해설
- [19] 해양수산부, 2015a. 표준형부표 제작 및 품질관리 기준에 관한 규정 [Online] (Updated 15 July 2015) Available at: <http://www.law.go.kr/>.
- [20] 해양수산부, 2015b. 항로표지법 [Online] (Updated 27 March 2015) Available at: <http://www.law.go.kr/>.
- [21] 해양수산부, 2015c. 항로표지의 기능 및 규격에 관한 기준 [Online] (Updated 15 July 2015) Available at: <http://www.law.go.kr/>.
- [22] 해양수산부, 2015d. 해사안전법 [Online] (Updated 22 June 2015) Available at: <http://www.law.go.kr/>.
- [23] 해양수산부, 2015e. 해양안전시설연보
- [24] 해양수산부, 2016. 항로표지법 시행규칙 [Online] (Updated 30 June 2016) Available at: <http://www.law.go.kr/>.
- [25] Fukuda, G, Gug, S, Cho, A and Park, H, 2013. "Traffic Risk Analysis Applying the Gas Model method in Busan Port", Asia Navigation Conference 2013, 해양수산연수원, 2013.10.24.-26
- [26] GUG Seung-Gi 외 3명, 2014. Collision Risk Analysis in Busan Harbour, 한국항해항만학회지, 제38권 제1호

- [27] Hauke L. Kite-Powell, Di Jin and Scott Farrow, 1997. Expected Safety Benefits of Electronic Chart and Integrated Navigation Systems, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 31, No. 2, pp. 147-162
- [28] Hazilla, M., and R. Kop, 1990. Social Cost of Environmental Quality Regulations: A General Equilibrium Analysis, *Journal of Political Economy*, Vol. 98, No. 4, pp. 853-873
- [29] Hormazabal Poblete, N. A. 외1명, "Post-occupancy evaluation of a healthy design in Quilpue: an experimental single family house built on local and traditional materials", *Conference internationale energie solalreet batiment*, Vol 2005, 2005, pp. 406-407
- [30] IALA, 2004. IALA Guideline No. 1035 to Availability and Reliability to Aids to Navigation, pp. 4-18.
- [31] IALA, 2014. IALA NAVGUIDE 2014, p. 76.
- [32] IALA, 2009. IALA Recommendation O-134 Risk Management Tool for Ports and Restricted Waterways, pp. 18-22
- [33] Likert, R., 1932. A Technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 140, pp. 1-55.
- [34] Loken, B., Pirie, P., & Virnig, K., 1987. The use of 0 - 10 scales in telephone surveys. *Journal of the Market Research Society*, 29(3), pp. 353 - 362.
- [35] Malhotra, N. & Peterson, M., 2006. *Basic Marketing Research: A Decision-Making Approach* (2nd edn). New Jersey: Prentice Hall.
- [36] Office of Management and Budget(OMB), 2016. *Capital Programming Guide*, V 3.0, pp. 32
- [37] The operations Evaluation Department(OED), 1999. *Project Cycle*, pp. 46