

AHP를 이용한 선교항해장비의 상대적 중요도 평가

권소현* · † 정우리 · 문성배**

*한국해양대학교 대학원생, † 한국해양대학교 강사, **한국해양대학교 항해학부 교수

A Relative Importance Evaluation of Bridge Navigational Equipment Using AHP

So-Hyun Kwon* · † Woo-Lee Jeong · Serng-Bae Moon**

*Student, Graduate School, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

† Instructor, Division of Navigation Science, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

**Professor, Division of Navigation Science, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약 : IMO는 자율운항선박을 인간의 간섭으로부터 독립하여 다양한 수준으로 운용되는 선박으로 정의하였다. 자율운항선박 안전운항지원서비스는 항계 및 협수로 내에서 안전하게 항만에 접이안하여 화물을 신속하게 적양하 할 수 있도록 육상에서 지원하는 공공 서비스 개발을 통해 자율운항선박의 안전성과 효율성을 향상시키기 위함이다. 이를 위하여 안전운항지원서비스에는 자율운항지원, 접이안 및 계류지원, 화물 적양하 및 선박입출항 지원, PSC 점검 지원, 상태모니터링 지원, 사고대응지원의 6종 서비스 개발을 포함하고 있다. 이 중 사고대응지원 서비스를 위해 선교항해장비에 대한 상대적 중요도를 전문가 집단의 의사결정방법 중 하나인 AHP 방법을 사용하여 구체적이며 정량적인 방법을 통해 객관적인 판단으로 안전하고 효율적인 안전지원서비스 제공을 위한 선교항해장비를 계층화하여 상대적 중요도를 평가하였다. 자율운항선박 안전운항지원서비스 중 사고대응지원서비스를 위한 선교항해장비를 수심정보, 위치정보, 속력정보로 구분하여 설문조사를 실시하였다. AHP 적용결과, 수심정보, 위치정보, 속력정보의 순으로 중요도를 평가하였으며, 위치정보제공을 위한 장비별 상대적 중요도는 레이더, DGPS, ECDIS, 자이로 컴퍼스, 자동조타장치, AIS 순으로 평가하였다. 이는 항해사 장비별 활용도와 해양사고에 미치는 영향에 대한 설문조사결과와 유사함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 자율운항선박, 안전운항지원서비스, 사고대응지원, AHP, 선교안전, 항해장비, 상대적 중요도

Abstract : According to IMO, MASS is defined as a vessel operated at various levels independent of human interference. The safety navigation support service for MASS is designed to improve the safety and efficiency of MASS by developing public services on shore for ship arrivals/departures and for cargo handling. The safety navigation support service consists of a total of six types of services: autonomous operation, berthing/unberthing/mooring, cargo handling and ship arrival/departure service, PSC inspection, condition monitoring, and accident response support services. In order to support accident response service, the relative importance of a bridge navigational equipment was assessed by stratifying the navigation system to provide safe and efficient support services by objective judgment through specific and quantitative methods using AHP, one of decision-making methods used by an expert group. The survey was conducted by dividing the bridge navigational equipment into depth, location, and speed information. As a result of applying the AHP method, the importance of depth, location, and speed information was assessed. The relative importance of each equipment for providing location information was also assessed in order of Radar, DGPS, ECDIS, Gyro compass, Autopilot, and AIS. This was similar to survey results on the utilization of each operator's preference and its impact on marine accidents.

Key words : MASS, safety navigation support service, accident response support, AHP, bridge navigational equipment, relative importance

1. 서 론

IMO(International Maritime Organization, 국제해사기구)는 MASS(Maritime Autonomous Surface Ship, 자율운항선박)의 개념을 “인간의 간섭으로부터 독립하여 다양한 수준으로 운용되는 선박”으로 정의하고 총4단계의 선박 자율화 단계로 구분하였다. 1단계는 자율운항을 위한 부분적 자동화 및 선원

의 의사결정을 지원하는 기능을 가진 선박, 2단계는 선원이 승선하고 있고 원격으로 제어되는 선박으로 시스템 고장시 선원이 대응하도록 운영되며, 3단계는 선원이 승선하지 않고 원격으로 제어되는 선박으로 시스템 고장을 대비한 이중화 시스템이 구축되어 있으며, 4단계는 완전자율운항선박을 지칭한다 (Kwak and Kim, 2018).

우리나라의 경우 현재 해양수산부와 산업통상자원부가 공동

† Corresponding author : 종신회원, hdweworld@hanmail.net 051)410-4270

* sohyeon.kwon.0719@gmail.com 051)410-4280

** 종신회원, msbae@kmou.ac.kr 051)410-4280

으로 통합사업단을 설립하여 자율운항선박 기술개발연구를 조선분야와 해운분야 총 7개의 세부과제로 2020년부터 진행하고 있다. 이 중 자율운항시스템 원격관리 및 안전운영기술개발의 안전운항지원서비스는 자율운항지원, 접이안 및 계류지원, 화물 적양하 및 선박입출항 지원, PSC(Port State Control, 항만국통제) 점검 지원, 상태모니터링 지원, 사고대응지원의 6종 서비스 개발이 포함되어 있다(Jang et al., 2020). 이와 같은 안전운항지원 6종 서비스 중 사고대응지원서비스는 선박 운항시스템의 각종 데이터를 수집, 처리 및 관리하여, 자율운항선박의 위험도를 분석, 이에 대한 경보 등을 제공하여 자율운항선박의 안전운항을 지원할 수 있어야 한다. 해상에서 운항중인 선박의 안전관련 장비에 대한 모니터링을 통해서 선박의 실시간 상황을 판단하여 자율운항선박이 안정적이고 효율적으로 운영할 수 있을 것이다.

선박의 사고대응지원을 위해서는 선박의 각종 장비들에 대한 정보를 획득하고 활용할 수 있어야 한다. 선박운항시스템은 크게 기관설비와 선교항해장비로 구분할 수 있을 것이다. 기관설비는 선박운항시스템 구동을 위한 장비이며, 선교안전관련 항해장비를 통해 획득할 수 있는 정보는 위치정보, 속력정보, 수심정보로 구분, 각 정보를 획득하기 위한 다양한 장비들로 구분할 수 있다. 이러한 각종정보들을 통해 위험도를 판단하여 이에 대한 경보를 통해 안전운항지원서비스를 제공하고자 한다.

AHP(Analytic Hierarchy Process, 계층분석적의사결정) 방법은 이러한 선박의 안전관련 복수의 장비에 대하여 전문가 집단이나 여러 집단이 참여하여 여러 복잡한 의사결정문제를 수리적인 분석을 통하여 해결하는 방법론 중 하나이다. 선박의 운항시스템은 그 구성이 복잡하고 여러 모듈이 복합적으로 연결되어 있을 뿐만 아니라 그 기능 또한 적용환경에 따라 다르기 때문에 선박운항시스템의 항해장비 평가와 관련된 의사결정은 대부분의 경우 여러 전문가가 참여하는 집단의사결정의 형태로 이루어진다. 이러한 의사결정은 보다 객관적인 판단으로 대안을 선택하는 문제해결형 의사결정기법 중 하나가 계층분석적의사결정방법이다.

본 연구는 자율운항선박 안전운항지원서비스에 필요한 항해장비 중요도를 평가하기 위해, 전문가들의 복잡하고 다양한 의견을 AHP 방법을 적용하여 선교안전 관련 항해장비별 상대적 중요도를 평가하여 반영하고자 한다. 이를 위해 전·현직 항해사를 대상으로 설문조사를 시행하였으며, 선교안전 관련 항해장비별 상대적 중요도를 평가하기 위해 다음과 같이 세 가지 절차로 연구를 수행하였다.

첫째, 자율운항선박 안전운항지원서비스의 개요 및 연구방법인 AHP 방법의 기본개념을 정리하였다.

둘째, 선교안전 관련 항해장비의 상대적 중요도 평가를 위한 AHP 모델링을 실시하고 이를 적용하였다.

셋째, AHP 적용 결과를 토대로 선교안전 관련 항해장비 상대적 중요도를 도출하였다.

2. 이론적 배경

2.1 자율운항선박 안전운항지원 서비스

자율운항선박 안전운항지원 서비스는 자율운항선박 운용에 따른 항계 및 협수로 내에서 안전하게 항만에 접이안하여 화물을 신속하게 적양하 할 수 있도록 육상에서 지원하는 공공 서비스 개발을 통해 자율운항선박의 안전성과 효율성을 향상하기 위한 서비스이다. 먼저, 자율운항 지원서비스는 항계 내 또는 협수로에서 MASS가 안전하게 운항할 수 있도록 지원하는 서비스로 주변선박과 항로정보를 교환하고 환경정보를 수집하여 운항조정상황실에 제공, 위험도를 이용한 최저항로 분석 결과를 제공하는 기술이다. 둘째, 사고대응지원서비스는 해양 사고 발생 시 신속한 사고대응지원이 가능하도록 지원하는 서비스로 사고 발생시 유관기관으로 사고정보를 전파하고, 상황에 따라 의사결정지원을 위한 대응매뉴얼을 제시하며, 해양사고 골든타임을 준수하는 수색구조지원 등 비상상황에 대처하는 기술이다. 셋째, 접이안 및 계류지원서비스는 인공지능센서 융합기반으로 접이안 정보제공 및 계류상황을 지원하는 서비스이다. 넷째, 화물적양하 및 선박 입출항지원서비스로 화물 적양하작업과 입출항 작업에 대한 지원시스템을 제공하는 서비스이다. 다섯째, 상태모니터링 지원서비스는 선박의 주요 5종 기기에 대한 CBM(Condition Based Monitoring, 상태기반 모니터링) 정보와 PMS(Planned Maintenance System, 계획관리시스템) 정보를 통합 GUI형태로 구성하여 선박-해운사-메이커 간 최적의 상태모니터링을 지원하는 서비스이다. 마지막으로 PSC 점검 지원서비스는 항만국 PSC 점검 시 해당선박에 대한 PSC 결함항목 점검목록과 결함항목과 관련된 국제협약 근거를 제공하는 서비스이다.

안전운항지원 6종 서비스 중에서 사고대응지원서비스는 선박 내 주요 장비의 작동상황 정보를 수집하여 서비스 지원의 위험상황을 식별하여 위험상황 해소를 위한 해법을 제공해야 할 필요가 있다. 이를 위해서는 선박운항시스템의 각종 장비 정보를 수집, 분석하여 위험상황을 식별하고 상황별 위험도를 판단하고 이에 대한 대응서비스가 제공되어야 할 것이다.

2.2 계층분석적의사결정(AHP)

Saaty(1980)에 따르면, 계층분석적의사결정(Analytic Hierarchy Process, AHP) 방법은 의사결정자의 판단을 기반으로 하여, 의사결정 문제를 표현하고 대안에 대한 선호도를 개발하기 위해서 계층 혹은 네트워크 구조를 사용하는 다기준의사결정모델이다. 특히, 목표들 사이의 중요도를 계층적으로 나누어 파악한 후, 각 대안들의 중요도를 산정하여 최종적으로 의사결정 분석을 가장 효과적으로 지원하는 모델이다. AHP는 먼저 상위계층에 있는 요소를 기준으로 하위계층에 있는 각 요소의

가중치를 측정하는 방식을 통하여, 상위계층의 요소 하에서 각 하위요소가 다른 하위요소에 비하여 우수한 정도를 나타내주는 수치로 구성되는 쌍대비교행렬을 작성하게 된다. 그리고 이 행렬로부터 고유치 방법을 이용하여 계층의 각 레벨마다 정규화한 하나의 우선순위벡터를 산출한다. 마지막으로 계층의 최상위에 위치한 의사결정의 목적을 달성할 수 있도록 해주는 최하위 단계에 있는 대안들의 상대적인 우선순위를 나타내주는 전체계층에 대한 하나의 복합 우선순위벡터를 산출하게 된다. 상위계층에 있는 요소들의 목표를 달성하는데 공헌하는 직계하위계층에 있는 요소들을 쌍대비교하여 행렬을 작성한다. 쌍대비교를 통하여 상위요소에 기여하는 정도를 Table 1과 같이 9점 척도로 중요도를 부여하는데, 직계 하위계층이 n개의 요소로 구성되어 있다면 n(n-1)/2회의 비교를 필요로 하게 된다. 작성된 쌍대비교행렬 A는 다음 식(1)과 같이 행렬의 대각을 중심으로 역수의 형태를 취하게 된다.

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서, $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$, $a_{ii} = 1$ 이다.

AHP에서의 판단자료는 계층 내 요소 간의 쌍대비교를 통하여 도출한 요소 간의 상대적 중요도를 나타내는 추정치를 사용하는데, 쌍대비교를 통한 계량적인 판단을 수행하기 위해서는 신뢰할 만하고 이용가능한 척도가 필요하며, 이를 위하여 통상 9점 척도가 많이 이용되고 있다. 이에 본 연구에서도 9점 척도를 이용하였다(Cho, 2007).

Table 1 Definition of Judgement Criterion

Definition : Comparison of P_i and P_j	Judgment Criterion
P_i and P_j are of equal importance	1
P_i is weakly more important than P_j	3
P_i is strongly more important than P_j	5
P_i is very strongly more important than P_j	7
P_i is absolutely more important than P_j	9
Intermediate Values	2,4,6,8
Opposite situation : The reciprocal of the corresponding above numbers	

AHP 적용방법은 표본선정과 데이터 수집, 기초자료 평가의 과정을 거쳐 준비된 평가자료를 식(1)의 행렬 A로 요약할 수 있으며, 모든 요소 $a_{ij}(i, j = 1, 2, \dots, n)$ 는 기준 가중치의 몫이다. 다음 단계에서는 각 행렬이 정규화되고 상대 가중치가 산출된다. 상대 가중치는 가장 큰 고유값(λ_{max})에 해당하는 고유 벡터(w)에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$A_w = \lambda_{max} \times w \quad (2)$$

만약 쌍대비교가 완전히 일치한다면, 행렬 A는 1위가 되고, $\lambda_{max} = n$ 이 된다. 이 경우 행렬 A의 행이나 열을 정상화하면 가중치를 얻을 수 있다. AHP 결과값은 쌍대비교 판단의 일관성과 관련이 있으며, 일관성 지수(Consistency Index)는 다음 식(3)으로 계산할 수 있다(Saaty, 1980).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

마지막으로, 분석자료에 대한 신뢰도를 판단하기 위해 응답자 개개인의 판단상 오차 정도를 측정하여 일관성 비율(Consistency ratio, CR)로 산출한다. 일반적으로 일관성 비율은 0.1이하가 되어야 판단의 일관성이 있고 각 항목별 가중치가 의미있는 것으로 간주한다. 일관성 비율은 식(4)에 나타낸 것과 같이 CI와 Table 2의 랜덤지수(RI)의 비율로 계산되며, 최종 일관성 비율이 이 값을 초과할 경우 일관성 향상을 위해 평가 절차를 반복해야 한다(Boraji and Yakchali, 2011).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

Table 2 Random Index(RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

2.3 집단 의사결정과 AHP

집단 의사결정에 있어 AHP 적용은 기준과 대안 결정 등의 의사결정 계층구조 형성과 평가과정, 그리고 결과분석의 3단계를 거친다. 본 연구의 선교 안전관련 항해장비의 상대적 중요도에 대한 평가에 있어 자율운항선박의 안전성과 효율성 향상을 위해 선박시스템의 각종 장비들의 상대적 중요도를 반영할 필요가 있다. 이에 본 논문에서는 선박시스템의 다양한 장비들 간의 복잡한 문제를 세분화하고 계층화하여 중요도를 구분하기 위해, AHP 적용과정에서 전문가들의 더 많은 정보와 지식을 이용가능하고 많은 대안을 평가할 수 있을 것이다.

이러한 전문가 집단의 의사결정은 조직에서 개인이 의사결정을 하는 것과 마찬가지로 회의, 위원회, 팀 등을 통해 과업 해결을 도모하는 집단의 행위이다. 이러한 집단 의사결정 방법에는 다음과 같은 3가지 방법이 있다.

- 브레인스토밍(Brainstorming)
- 명목집단법
- 델파이(Delphi)법

이 중에서 델파이법은 어떤 문제에 대해 관련된 전문가들의 독립적인 의견을 수집하고, 이 의견들을 요약하여 그 결과를 전문가들에게 피드백시키는 절차를 일반적인 합의가 이루어질 때까지 서로의 아이디어에 대해 논평하는 방법이다(Crawford & Wright, 2016). 전문가의 의견을 수렴하기 위한 구조적 절차이며 이 기법의 특징으로는 익명성, 피드백, 통계 평가들을 들 수 있다(Jeong, 2014). 본 연구는 이러한 델파이법을 기본으로 하여 브레인스토밍과 명목집단법을 부분적으

로 취하고, 여기에 AHP가 적극적으로 활용되었다.

3. AHP 모델링 및 연구결과

자율운항선박 안전운항지원서비스의 실시간 모니터링은 다음과 같은 총 5가지 항목을 바탕으로 선교항해장비 중요도를 산정하였다.

- 기기 고장시 위험정도
- 항해장비 대체도
- 타 장비에 영향을 미치는 정도(연동성)
- 항해사 장비별 활용도
- 해양사고에 미치는 영향

항해장비 대체도와 연동성에 있어서는 선박에 설치된 항해장비를 바탕으로 적용이 가능하지만, 나머지 항목은 작성자의 주관적인 의견이 개입되어야 하기 때문에 객관적인 결과를 산정하기 위해 AHP 적용이 필요하다.

본 연구를 위한 설문조사는 2019년 8월 23일부터 2019년 10월 22일까지 인터넷을 통하여 총 121명의 설문응답을 수집하였으며, 이 중 유효응답은 119개였다. 설문조사 대상은 항해사(선장 포함) 84%, 관계기관 전문가(대학, 연구기관 등) 16%이며, 대부분 화물선 승선경력자이며, 여객선, 어선 승선경력자도 포함되어 있다.

3.1 AHP 모델링

AHP를 적용한 선교항해장비의 중요도 산정을 위한 계층구조는 속도정보, 위치정보, 수심정보로 구분하여 각각의 하위장비로 계층화하였다.

1) 선교항해장비(Bridge Navigational Equipment)

선교항해장비는 Fig. 1과 같이, 속도정보, 위치정보, 수심정보를 획득할 수 있는 장비로 구분하였다. 속도정보는 선속계, 위치정보는 AIS(Automatic Identification System, 자동식별장치), DGPS(Differential Global Positioning System, 위성항법장치), ECDIS(Electronic Chart Display and Information System, 전자해도표시정보시스템), 레이더, 자이로컴퍼스, 자동조타장치(Autopilot), 수심정보는 음향측심기(Echo Sounder)로 구분하였다. 이는 SOLAS(International Convention for the Safety of Life at Sea)의 강제 탑재장비들을 기반으로 하였으며, 이들 장비 중에는 속력, 위치정보, 수심정보 등을 동시에 수집이 가능한 장비도 있으나, 주요 정보 획득기능을 중심으로 구분하였다.

선속계는 일반적으로 도플러효과를 이용하여 선속을 측정하는 도플러 선속계이며, AIS는 VHF(Very High Frequency, 초단파)를 이용한 디지털 신호를 이용한 데이터 통신으로 선박과 선박, 선박과 관제센터 간 통항에 필요한 정보를 주고 받아 상호자동으로 식별할 수 있는 장비이다(Park et al, 2015). DGPS는 기존의 GPS가 갖는 위성의 위치에 따른 오차를 보정하여 정확도를 높이고자 지상에 위치를 정확히 알고 있는

기준국을 설치하고 이 기준국으로부터 보정신호를 받아 위성으로부터 수신된 위치신호의 오차를 보정하는 방식 위성항법 보정시스템이다. ECDIS는 항해사들이 종이해도상에서 해오던 항로계획, 항로감시와 선위확인을 편리하게 할 수 있도록 하면서, GPS에 의한 연속적인 선박위치를 모니터화면에 표시하고, 레이더 및 자동 레이더 플로팅장치 등을 연결하여 본선 주위의 타선박의 움직임에 관한 정보도 나타내는 동시에, 위험물에 대한 사전 경보기능도 가지고 있다(Jeong and Lee, 2012). 레이더는 전자파를 물체에 발사시켜 그 물체에서 반사되는 전자기파를 수신하여 물체와의 거리, 방향 고도 등을 알아내는 장치이다. 자이로컴퍼스는 고속으로 회전하는 자이로스코프를 이용한 장치로서, 기계역학적인 방법을 이용하여 선박의 진북을 측정하기 위한 장비이다(Yim, 2019). 자동조타장치는 선박의 변침 및 보침동작을 자동적으로 알아서 시행하는 장치를 말하며, 음향측심기는 음파가 일정한 속도로 진행하는 원리를 이용하여 수심을 측정하는 전기적인 장치이다(Jeong and Lee, 2012).

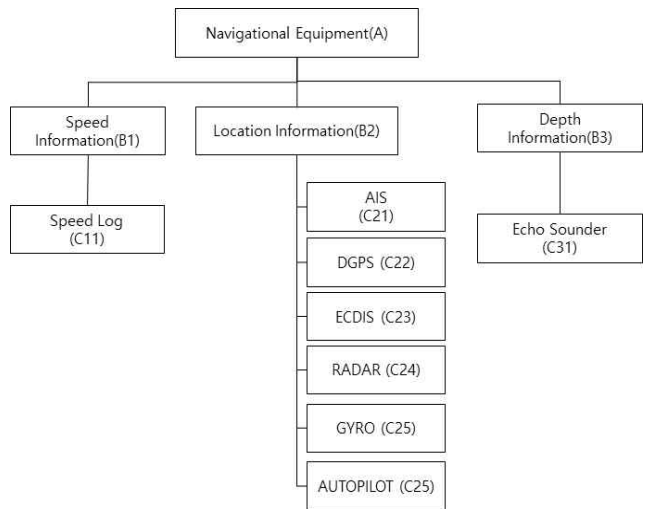


Fig. 1 Evaluation model of navigational equipment

3.2 AHP 분석

1) 항해장비 상대적 중요도 분석

상기 절차에 따라 가중치는 루트 방식으로 계산되었으며, Table 3, 4, 5, 6과 같이 쌍대비교 행렬에서 각 행의 기하학적 평균을 사용하여 계산하였다(Saaty, 1980). 먼저, Table 3은 항해장비(A)의 속도정보(B_1), 위치정보(B_2), 수심정보(B_3) 간의 상대적 중요도를 나타내고 있으며, Table 4는 속도정보(B_1)의 하위장비인 선속계(C_{11})의 상대적중요도를 나타내고 있다. Table 5는 위치정보(B_2)의 하위장비인 AIS(C_{21}), DGPS(C_{22}), ECDIS(C_{23}), 레이더(C_{24}), 자이로컴퍼스(C_{25}), 자동조타장치(C_{26})간의 상대적 중요도를 나타내고 있다.

Table 6은 수심정보(B_1)의 하위장비인 음향측심계(C_{31})의 상대적 중요도를 나타내고 있다. Table 7은 가중치를 나타내고 있다.

Table 3 Relative Importance of A as compared with B

A	B_1	B_2	B_3	W_{ij}
B_1	1.000	0.250	2.000	0.282
B_2	4.000	1.000	0.200	0.317
B_3	0.500	5.000	1.000	0.401

Table 4 Relative Importance of B_1 as compared with C

B_1	C_{11}	W_{ij}
C_{11}	1.000	1.000

Table 5 Relative Importance of B_2 as compared with C

B_2	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{25}	C_{26}	W_{ij}
C_{21}	1.000	0.333	0.333	0.250	0.333	1.000	0.065
C_{22}	3.000	1.000	3.000	1.000	3.000	3.000	0.281
C_{23}	3.000	0.333	1.000	0.333	1.000	3.000	0.140
C_{24}	4.000	1.000	3.000	1.000	4.000	3.000	0.309
C_{25}	3.000	0.333	1.000	0.250	1.000	3.000	0.135
C_{26}	1.000	0.333	0.333	0.333	0.333	1.000	0.069

Table 6 Relative Importance of B_3 as compared with C

B_3	C_{31}	W_{ij}
C_{31}	1.000	1.000

Table 7 Relative Weight of A as compared with C

Objective	Relative weight	Objective	Relative weight	Relative Weight of A as compared with C
B_1	0.282	C_{11}	1.000	0.282
B_2	0.317	C_{21}	0.065	0.021
		C_{22}	0.281	0.089
		C_{23}	0.140	0.044
		C_{24}	0.309	0.098
		C_{25}	0.135	0.043
		C_{26}	0.069	0.022
B_3	0.401	C_{31}	1.000	0.401

2) 일관성 평가

A와 $B=(B_1, B_2, B_3)^T$ 의 상대적 가중치는

$W_B=(W_{B_1}, W_{B_2}, W_{B_3})^T=(0.282, 0.317, 0.401)^T$ 이다. 최대 고유값과 일관성 평가는 다음 식(5), (6), (7)의 과정으로 계산된다.

$$A_{-A}W_B = \begin{bmatrix} 1 & 0.250 & 2 \\ 4 & 1 & 0.2 \\ 0.500 & 5 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.282 \\ 0.317 \\ 0.401 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.164 \\ 1.526 \\ 2.125 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(A_{-B}W_B)_i}{nW_B} = 3.044 \quad (6)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.022 \quad (7)$$

Table 2에서 랜덤지수(RI)는 3개의 항목이므로 $RI=0.58$ 이 된다. 이를 적용하여 일관성 비율(CR)은 다음 식(8)과 같다.

$$CR = \frac{CI}{RI} = 0.038 < 0.1 \quad (8)$$

일관성 비율(CR)은 0.1보다 작은 0.038로 일관성 있는 것으로 판단된다.

B_2 와 $C_2=(C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{24}, C_{25}, C_{26})^T$ 상대적 가중치와 일관성 비율은 다음 식(11)과 같으며, CR은 0.047로 일관성이 있는 것을 판단된다.

$$W_{C_1} = (W_{C_{21}}, W_{C_{22}}, W_{C_{23}}, W_{C_{24}}, W_{C_{25}}, W_{C_{26}})^T = (0.065, 0.281, 0.140, 0.309, 0.135, 0.069)^T$$

$$\lambda_{\max} = 6.290 \quad (9)$$

$$CI = 0.058 \quad (10)$$

$$RI = 1.24$$

$$CR = 0.047 < 0.1 \quad (11)$$

A와 $C=(C_{11}, C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{24}, C_{25}, C_{26}, C_{31})^T$ 의 상대적 가중치와 일관성 평가는 다음 식(14)와 같으며, 일관성 비율(CR)은 0.032로 일관성 있는 것으로 판단된다.

$$W_C = (W_{C_{11}}, W_{C_{21}}, W_{C_{22}}, W_{C_{23}}, W_{C_{24}}, W_{C_{25}}, W_{C_{26}}, W_{C_{31}})^T = (0.282, 0.021, 0.089, 0.044, 0.098, 0.043, 0.022, 0.401)^T$$

$$CI = 0.018 \quad (12)$$

$$RI = 0.556 \quad (13)$$

$$CR = 0.032 < 0.1 \quad (14)$$

상기 일관성 평가를 통해 설문조사의 결과는 일관성이 있음을 판단할 수 있다.

3.3 AHP 방법 분석결과

1) AHP 방법 분석결과

설문조사의 일관성 평가를 통해 선교항해장비(A)와 대분류(B)의 상대적 중요도는 B_3 수심정보(0.401), B_2 위치정보(0.317), B_1 속도정보(0.282)인 것으로 나타났으며, 선교항해장비(A)와 개별항해장비(C)의 상대적 중요도는 C_{31} Echo Sounder(0.401), C_{2x} 위치정보(0.317), C_{11} 선속계(0.282) 순이 된다. 여기에서, C_{2x} 위치정보의 장비는 C_{24} 레이더(0.309), C_{22} DGPS(0.281), C_{23} ECDIS(0.140), C_{25} 자이로컴퍼스(0.135), C_{26} 자동조타장치(0.069), C_{21} AIS(0.065) 순으로 나타났다.

2) 항해사 장비별 활용도

전문가 설문조사에서 항해당직 수행시 선교장비 중 가장 활용도가 높은 장비는 레이더(20%), DGPS(18%), ECDIS(17%), 자이로 컴퍼스(14%), 자동조타장치(12%), AIS(11%), 선속계

(3%), Echo Sounder(2%)순으로 집계되었다. 선교항해당직을 수행하는 항해사들이 선박의 안전운항을 위해 주변의 통항선박간의 조우상황을 판단하기 위해 레이더와 ECDIS, 자이로컴퍼스 등을 활용하여 자선의 위치 및 주변 선박 및 장애물을 식별하기 위해 가장 많이 활용되는 장비로 나타났다. 이외에도 상기 장비를 이용하여 선박 조종을 위해 자동조타장치를 활용하고 AIS, 수심측정장치 및 선속계를 활용하여 본선의 안전성을 평가하는데 활용하는 것을 알 수 있다. 이는 AHP 방법의 위치정보의 항해장비별 상대적 중요도와 일치한다.

3) 해양사고에 미치는 영향

선교 안전관련 항해장비별 해양사고에 미치는 영향이 큰 장비는 레이더(26%), ECDIS(23%), DGPS(20%), 자이로컴퍼스(14%), 자동조타장치(7%), Echo Sounder(4%), AIS(3%), 선속계(2%)순으로 집계되었다. 이는 항해장비별 활용도와 밀접한 관계가 있으며, 선교항해장비 중 고장 등으로 작동하지 않았을 경우 해양사고와 밀접한 관련이 있다고 생각하는 장비이다. 이는 Fig. 2와 같이, AHP의 위치정보의 항해장비별 상대적 중요도 결과와 유사한 것을 알 수 있다. 즉, AHP를 이용한 위치정보의 상대적 중요도가 레이더, DGPS, ECDIS, 자이로컴퍼스, 자동조타장치, AIS 순에서 ECDIS와 DGPS의 순위만 다르고 다른 장비의 분포는 일치한다.

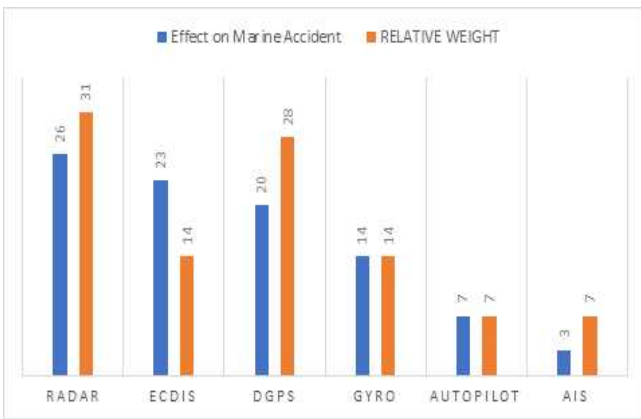


Fig. 2 Comparison Between Navigational Equipment Affecting Marine Accident and Relative Weight of B_2

4. 결 론

AHP 방법은 불확실성과 주관성이 개입될 여지가 있을 경우, 막연하거나 복잡한 문제를 점차 세부적이고 구체적 요소로 세분화하여 단순한 이원비교에 의한 판단으로 문제점들의 해결가능성을 높여주는 문제해결형 의사결정방식의 대표기법 중 하나이다. 자율운항선박 안전운항지원을 위한 6종 서비스는 자율운항지원, 접이안 및 계류지원, 화물적양하 및 선박 입출항 지원, PSC 점검 지원, 상태모니터링 지원, 사고대응지원 서비스로 구성되어져 있으며, 자율운항선박의 안전성과 효율

성을 향상시키기 위한 지원서비스이다. 이러한 6종 서비스 중 사고대응지원을 위해 각종 선박장비 정보를 수집, 처리하고, 위험을 분석, 평가하여 이에 대한 경보를 제공하고, 대응할 수 있도록 해야 한다. 본 연구에서는 자율운항선박의 안전운항지원서비스중 사고대응지원을 위해 선박운항에 필요한 항해장비에 대한 중요도에 따라 항해장비별 가중치를 적용하기 위해 선교항해장비들을 계층화하여, 전문가들을 대상으로 설문조사를 통해 각 장비별 중요도를 산정하기 위하여 AHP 기법을 적용하여 장비별 가중치를 계산하였다.

자율운항선박 안전운항지원 서비스 제공을 위해, 선교항해장비를 다음과 같이 구분하여 계층구조를 완성하였다.

- 속력정보
- 위치정보
- 수심정보로 구분하고, 위치정보는 1) AIS, 2) DGPS, 3) ECDIS, 4) 레이더, 5) 자이로컴퍼스, 6) 자동조타장치로 세분화하였다.

각각 쌍대비교 행렬계산을 통하여, 일관성 비율(CR)을 계산하여 각 데이터는 일관성이 있음을 알 수 있었으며, 수심정보, 위치정보, 속력정보의 순으로 중요도를 평가하였으며, 위치정보제공을 위한 장비별 상대적 중요도는 레이더, DGPS, ECDIS, 자이로 컴퍼스, 자동조타장치, AIS 순으로 평가하였다. 이는 항해사 장비별 활용도와 해양사고에 미치는 영향에 대한 설문조사결과와 유사함을 알 수 있었다. 이를 통해, 자율운항선박 안전운항지원 서비스 제공을 위해, 선교안전관련 항해장비의 중요도에 다른 가중치를 적용하여 반영할 필요가 있을 것이다. 향후, 선교항해장비를 세부지원 서비스별로 구분하여 보다 자율운항선박의 안전하고 효율적인 안전운항 지원서비스 제공을 위해 추가적으로 연구되어야 할 것이다.

References

- [1] Cho, Y. H.(2007), "A Study on the Application of AHP Method for Decision-Modeling of ITS Policy", Journal the Korean Cadastre Information Association, Vol. 9, No. 2, pp. 21-33.
- [2] Crawford, M. and Wright, G.(2016), "Delphi Method", ResearchGate, Wiley StatsRef : Statistics Reference Online, pp. 1-6.
- [3] Jang, H. S. et al.(2020), "Introduction of 6 Safe Assistance Services for MASS", Journal of Korean Navigation and Port Research, Proceeding, pp. 116-118.
- [4] Jeong, T. G.(2012), Theory of Navigational Equipments, Sejong Publishing, pp. 148, 247, 319-320.
- [5] Jeong, W. L.(2014), "A Study on the Activation Strategy for Female Maritime Officers using AHP", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 38, No. 1, pp. 1-9.

- [6] Kwak, Y. M. and Kim, K. H.(2018), “Trend of IMO MASS“, The Society of Naval Architects of Korea, Vol. 55, No. 3, pp. 33-35.
- [7] Park, Y. S., Park, J. S., Jeong J. Y. and Jeong, K. N.(2015), Theory of Maritime Traffic Safety, p. 67.
- [8] Saaty, T. L.(1980), The Analytic hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation, Mc Graw-Hill.
- [9] Yim, J. B.(2019), Navigational Equipments, p. 84.

Received 23 December 2020

Revised 04 January 2021

Accepted 12 January 2021