

AHP 분석 기반 항해사 필요 선박조종성능 식별 연구

강석용* · 안영중** · 유용웅*** · 이윤석****†

* 한국해양수산연수원 능력평가팀 교수, ** 한국해양대학교 항해융합학부 교수,

*** 한국해양대학교 박사후 연구원, **** 한국해양대학교 해양경찰학과 교수

Study on the Identification of Ship Maneuverability Required for Navigational Officers based on AHP Analysis

Suk-Young Kang* · Young-Joong Ahn** · Yong-Ung Yu*** · Yun-Sok Lee****†

* Professor, Test Evaluation Team, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 606-773, Korea

** Division of Navigation Convergence Studies, Korea Maritime & Ocean University, Busan

*** Postdoctoral researcher, Research institute of maritime industry, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Republic of Korea

**** Professor, Division of Coast Guard Studies, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Republic of Korea

요 약 : 국제해사기구에서는 해상에서의 선박의 충돌방지과 그로 인한 해양환경의 보호를 목적으로 1993년 11월 선박조종성능에 대한 잠정지침을 채택한 이후, 축적된 데이터를 바탕으로 2002년 12월 선박조종성능에 대한 확정된 지침을 채택하였다. 하지만 채택된 지침은 만재상태, 등흘수 및 선박의 최대 출력(MCR)의 85%에 해당되는 선속의 최소 90% 이상에서의 지침으로, 동 지침은 항해사에게 필요한 실 항해조건에서의 조종성능 정보를 제공하는 데 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 항해사, 선장 및 선박조종에 대한 식견을 갖추고 있는 전문가를 대상으로 빈도분석과 AHP 분석기법을 실시하여 현 지침에 대한 활용도 및 실제 선박조종에 필요한 정보가 무엇인지를 식별하였다. 연구결과 선박을 운항하는 항해사에게 필요한 조종성능 정보는 5~10°의 소각도에서의 선회권 정보, 항해속력(Sea speed)이 아닌 조종속력(Maneuvering speed)에서의 z-test 정보라는 것을 확인하였고, 속도제어 관련하여서는 항해속력 및 만재상태에서의 정지성능에 대한 정보보다 감속타력, 가속타력 등에 대한 정보가 더 필요하다는 것을 확인하였다. 도출된 결과는 선박을 조종하는 항해사에게 필요한 선박조종성능기준 지침 마련에 대한 기초자료로 활용도가 높을 것으로 사료된다.

핵심용어 : IMO 선박 조종성 기준, 빈도분석, AHP 분석, 항해사 필요 사항, 선박조종성능

Abstract : The International Maritime Organization adopted the interim standards for ship maneuverability in November 1993 for preventing collision of ships at sea and for protecting the marine environment, and based on the accumulated data, in December 2002, the established standards for ship maneuverability were adopted. However, the standards adopted are those at full load, even keel, and at least 90% of the ship speed at 85% of the ship's maximum power. Moreover, these standards have limitations in providing information on maneuverability under actual navigational conditions. Therefore, in this study, frequency analysis AHP analysis techniques were studied by consulting navigational officers, captains, and experts, who have significant knowledge on ship maneuverability, utilization of the current standards, and the information necessary for the operation of the actual ship. The results of this study confirmed that the necessary information on maneuverability for the navigational officer operating the vessel is information about the turning circle at a small angle of 5° - 10° and z-test information at maneuvering speed, not sea speed. Additionally, in relation to speed control, additional information on deceleration inertia and acceleration inertia is needed than the information on the stopping ability at sea speed and full loaded condition. The derived results are considered to be useful as basic data for preparing guidelines for ship maneuverability necessary for navigational officers who operate ships.

Key Words : IMO maneuverability standards of vessels, Frequency analysis, AHP analysis, Requirements for navigational officer, Vessel maneuverability

* First Author : sykang53@seaman.or.kr, 051-620-5802

† Corresponding Author : lys@kmou.ac.kr, 051-410-4471

1. 서론

1.1 연구의 배경

Kang(2020)은 그의 연구에서 해양사고를 예방하기 위한 끊임없는 노력에도 불구하고 해양사고는 지속해서 발생하고 있음을 언급한 바 있으며, 이는 2022년 3월 24일 공표된 중앙해양안전심판원의 5년간 해양사고 통계자료에서도 확인할 수 있다.

Fig. 1은 해양사고 종류 중 상위빈도 6개 종류의 5년간 추세 변화를 보여주며, 매년 비슷한 수치로 발생하고 있음을 알 수 있다. 이 중 선박의 조종성능과 관련 있는 충돌은 기관손상과 부유물 감김에 이어 3번째로 높다(KMST, 2022).

한편 국제해사기구(International Maritime Organization, 이하 IMO)에서는 해상에서의 선박의 충돌 방지와 그로 인한 해양환경의 보호를 목적으로 선박의 조종성능에 대한 지침을 채택하게 된다(IMO, 1993; Woo, 2007).

선박의 조종성능에 대한 IMO 지침은 1993년 11월 4일 잠정지침이 채택되어 이 지침을 5년간 상용하여 축적된 자료를 근거로 기준의 개정을 논의하기로 하였고(IMO, 1993; Sohn, 2002), 2002년 12월 4일 마침내 선박의 조종성능에 대한 확정된 지침이 채택되었다(IMO, 2002a).

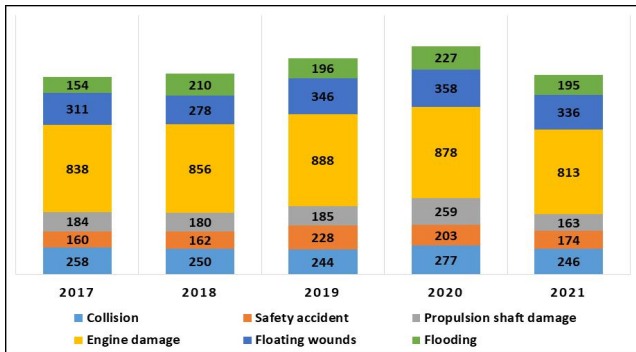


Fig. 1. Marine accident statistics.

(Source: <https://www.kmst.go.kr/> modified by author)

1.2 선행연구 분석

선박의 조종성능에 관해서는 이미 많은 연구가 진행되었다. Sohn(2002)은 선박조종시뮬레이터(Ship Handling Simulator, 이하 SHS)를 활용하여 세 가지 형태의 선박을 대상으로 스파이럴루프폭을 변화시키면서 선박조종성능을 분석하는 연구를 진행하였고, Lee(2005)는 대형선박에 대한 최초 설계단계에서의 자료를 이용하여 침로안정성에 관한 수치계산을 수행하였으며, Jeong(2020)은 선박의 조종성능지수를 이용하여 효율적인 인수자를 구조하는 조선법에 관한 연구를 시행하기도 하였다.

어선의 조종성능에 관한 연구로는 Kim et al.(2020b)이 설계단계에서의 트롤어선 조종성능의 추정 정확성을 향상시키는 연구를 진행하였고, Lee et al.(2018)은 상선과 다른 어선의 조종성능 특성에 관한 연구를 진행하였으며, Kim et al.(2020a)은 트롤어선 선종의 선형 특성 계수에 관한 연구를 진행하였다.

한편 계층화분석(Analytic Hierarchy Process, 이하 AHP분석)을 이용한 우선순위에 대한 연구도 다양하게 진행되었다.

Cho(2007)는 AHP분석을 활용하여 의복평가기준의 우선순위를 분석하는 연구를 진행하였고, Kim and Shim(2018)은 2017년 부산국제광고제 애드텍 2017 사례를 중심으로 디지털 마케팅 구성요인의 중요도를 분석하는 연구를 진행하였으며, Song(2004)은 영남권 신 국제공항건설을 중심으로 공항 입지선정의 중요도를 분석하여 최종 후보 대안지를 도출하기도 하였다.

1.3 연구의 목적 및 방향

살펴본 바와 같이 선박의 조종성능에 관한 연구 및 다양한 주제에 관한 AHP분석을 활용한 우선순위 선정에 대한 연구는 많이 진행되었지만, IMO에서 채택한 선박조종성 기준에 관한 항해사의 인식조사나 실제 항해 조건에서 필요한 선박의 조종성능 식별에 관한 연구는 부재하다.

따라서 본 연구에서는 선행연구와 달리 다음과 같은 내용과 순서로 연구를 진행하였다.

- (1) 2002년 채택된 IMO 선박조종성 기준을 분석하여 동 지침은 항해사가 실제 항해조건에서 필요한 선박의 조종성능에 관한 정보를 제공하는 데 한계가 있음을 식별하였다.
- (2) 또한 현재 선박에 승선하고 있는 항해사, 선장 및 선박의 조종성능에 대한 이해도가 높은 전문가를 대상으로 선박조종성능에 관한 설문을 진행하였다. 설문은 크게 선박조종성능에 대한 정보 제공현황 및 실제 선박조종에 필요한 정보의 종류 및 우선순위로 나눌 수 있다.

연구기법으로 빈도분석과 AHP분석을 사용하였고, 사용된 프로그램은 SPSS 28.0.1 및 AHP분석이 가능하도록 코딩된 Microsoft Excel 2021을 이용하였다.

2. IMO 선박조종성 기준

2.1 IMO 선박조종성 기준 주요 내용

전술한 바와 같이 IMO 선박조종성 기준은 1993년 잠정지침이 채택된 후(IMO, 1993), 축적된 데이터를 바탕으로 일부 수정을 거쳐 2002년 12월 4일 제76차 해사안전위원회(Maritime Safety Committee, 이하 MSC)에서 확정된 지침이 채택되었고(IMO, 2002a), 회람문서인 MSC/Circ.1053에 세부기준 및 각 기준에 대한 테스트 방법 등이 기술되어 있으며(IMO, 2002b)

주요 내용은 Table 1과 같다.

Table 1. Main contents of standards for ship maneuverability

	Contents
Application	<ul style="list-style-type: none"> - Ships of all rudder and propulsion types, of 100 m in length and over - Chemical tankers and gas carriers regardless of the length
Test Condition	<ul style="list-style-type: none"> - Test speed: a speed of at least 90 % of the ship's speed corresponding to 85 % of the maximum engine output - Deep, unrestricted water - Calm environment - Full load (summer load line draught), even keel condition
Criteria	<ul style="list-style-type: none"> - Turning ability(Turning circle): not exceeding 4.5L of advance, 5.0L of Tactical diameter - Initial turning ability(Zig-zag test): with the application of 10° rudder angle not exceeding 2.5L of travelling distance by the time the 10° heading change from the original heading - Yaw-checking and course-keeping abilities (Zig-zag test) <ul style="list-style-type: none"> ▪ The first overshoot angle in the 10°/10 zig-zag test <ol style="list-style-type: none"> 1) 10° if L/V is less than 10 s; 2) 20° if L/V is 30 s or more; and 3) $(5 + 1/2(L/V))$ degrees if L/V is 10 s or more, but less than 30 s, ▪ The second overshoot angle in the 10°/10 zig-zag test <ol style="list-style-type: none"> 1) .1 25°, if L/V is less than 10 s; 2) .2 40°, if L/V is 30 s or more; and 3) .3 $(17.5 + 0.75(L/V))^2$, if L/V is 10 s or more, but less than 30 s. ▪ The first overshoot angle in the 20°/20 zig-zag test <ol style="list-style-type: none"> 1) Not exceeding of 25° - Stopping ability(Crash astern test): track reach not exceeding 15L(not exceeding 20L in case of ships of large displacement)

Source: Resolution MSC.137(76) / summarized by author

현 지침의 적용대상은 위험 선박인 케미컬운반선과 액화가스운반선 및 선종과 관계없이 길이가 100 m 이상인 선박이다. 주요 테스트 항목은 4가지로 선박의 선회성능, 초기선회성능, 선수요 저지 및 보침성능과 정지성능으로 구분된다. 선회성능은 최대 전타각(35°)을 사용하여 선박을 좌우로 각각 360° 선회시켜 측정된 선회권의 횡거(Advance) 및 선회

경(Tactical diameter)의 크기를 가지고 판단한다. 초기선회성능은 10°의 타를 사용하여 선박을 선회시켜 선수각이 10° 변할 때까지 선박이 이동한 거리로 판단한다.

선수요 저지 및 보침성능은 10°/10° 및 20°/20° Zig-zag test를 시행하고, 이때 측정된 선수 과도각(Overshoot angle, 이하 OA)을 가지고 판단한다. 여기서 10°/10°는 10°의 타를 사용하여 10°만큼 선수각이 변했을 때 반대타 10°의 조타명령을 준 뒤 OA를 측정하는 것을 의미하며, 20°/20°는 타각 20°를 사용하여 20°만큼 선수각이 변했을 때 반대타 20°의 조타명령을 준 뒤 OA를 측정하는 것을 의미한다.

마지막으로 정지성능은 테스트 스피드에서 기관을 전속 후진하여 이때 측정된 항적(Track reach)을 가지고 판단한다.

2.2 IMO 선박조종성 기준의 실무 적용상 한계점

살펴본 바와 같이 2002년 채택된 IMO 선박조종성 기준은 선박의 건조단계에서 선박조종에 필요한 최소한의 조종성능을 충족하도록 하여, 긴급 상황에서 그 능력을 발휘하여 해양사고 방지에 도움을 준다는 점에서 큰 의미가 있다.

하지만 현 지침의 테스트 조건은 Table 1과 같이 만재상태, 등출수 및 항해속력(이하, sea speed)으로 동 조건에 기반을 둔 선박조종성능 결과를 실제 선박의 항해조건에서 적용하여 사용하는 데 한계를 가진다.

예를 들어 선수요 저지 및 보침성능을 위한 Zig-zag test는 변침 중 선박을 정침할 때 OA를 알고, 선박의 정침을 위한 반대타 사용 시점을 결정할 때 사용된다. 하지만 동 지침의 적용대상인 중·대형선박들은 긴급 상황을 제외하고, sea speed에서 10°, 20°등의 대각도 타를 사용하여 변침하거나 정침을 하지 않는 것이 일반적이다.

또한 최대전타각에서 선회권 정보에 대한 활용도도 매우 낮다. 선회권은 선박이 선회 시 필요한 공간에 대한 정보를 제공함으로써 현 상태에서 선박을 선회할 때 안전한지를 판단할 수 있는 근거를 제공한다. 하지만 실제 선박을 조선할 때 sea speed 상태에서 최대전타각으로 선박을 회두할 경우도 드물고, 실제 항해사들은 선회권 정보에서 변침에 필요한 선회반경, 전심(Reach) 등의 정보를 얻는 데 활용하는 것이 일반적이다.

동 지침에 따른 정지성능에 관한 결과도 선박이 sea speed 상태에서 기관을 역진시킬 경우가 매우 드물어서 활용도는 매우 낮다고 판단되며, 항해사들이 선박을 조선할 때 필요한 엔진성능에 대한 정보는 감속타력, 가속타력, 정지타력 등이라고 사료된다.

Kang et al.(2021)과 Kang and Lee(2022)는 각각 그의 연구에서 선박에 제공되는 시운전 결과(Result of Sea trial) 및 Maneuvering booklet의 정보가 실제 선박운항에 필요한 정보를 제공하는 데 한계가 있음을 지적하기도 하였다.

AHP 분석 기반 항해사 필요 선박조종성능 식별 연구

이처럼 IMO 선박조종성 기준은 선박을 조종하는 항해사에게 필요한 정보를 제공하기보다는 선박의 건조단계에서 선박의 운항에 필요한 최소한 지침만을 제공하고 있어 실제 선박을 조종할 때 필요한 정보제공에는 한계를 가지고 있으므로 실제 선박의 항해조건에서 필요한 선박조종성능에 대한 정보제공이 필요하다고 판단된다.

3. 전문가 설문

3.1 설문의 설계 및 시행

IMO 선박조종성 기준에 대한 객관적인 인식분석 및 실제 선박조종에 필요한 정보의 우선순위 식별을 위하여 현재 선박에 승선하고 있는 항해사, 선장 및 선박조종에 대한 전문가를 대상으로 설문을 시행하였다. 설문은 한국해양수산연수원 및 한국해양대학교의 전문가 7인을 대상으로 Brain storming을 시행하여 설계하였고, 설문의 대상 및 주요 내용 등 설문 개요는 Table 2와 같다.

Table 2. Overview of the survey on the perception of ship manoeuvrability

	Frequency analysis	AHP analysis
Who	<ul style="list-style-type: none"> - Captain: 24 - Chief officer: 45 - Second officer: 34 	<ul style="list-style-type: none"> - Captain: 10 - Chief officer: 15 - Second officer: 5 - CR value greater than 0.1: 15 (excluded from statistics)
Survey method	<ul style="list-style-type: none"> - Group survey using class hours in KIMFT (Specialized Training Course for Gas Carrier, SHS, Advance course for Ocean going vessel etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Individual in-depth interview
Main contents of the survey	<ul style="list-style-type: none"> 1. Person information 2. Current status of ship maneuvering information provided to ships <ul style="list-style-type: none"> 1) Turning circle 2) Zig-zag 3) Inertia 3. Necessary ship maneuvering information for officer <ul style="list-style-type: none"> 1) Turning circle 2) Zig-zag 3) Inertia 	<ul style="list-style-type: none"> 1. Person information 2. Priority of ship maneuvering information required for ship operation <ul style="list-style-type: none"> 1) Turning circle 2) Zig-zag 3) Inertia
Time taken	<ul style="list-style-type: none"> - about 15 min per person 	<ul style="list-style-type: none"> - about 1hrs per person

빈도분석은 선박에 제공되는 선박조종성능에 대한 정보 현황 및 필요정보에 대한 경향분석을 위해 시행되었고, 원양선 직무 항해과정 등 한국해양수산연수원의 상위 교육에 참여한 교육생을 대상으로 15분 정도의 소요시간으로 진행되었다. AHP분석은 항해사에게 필요한 선박조종성능 정보의 우선순위를 식별하기 위하여 개인 심층 면담 형식으로 인당 1시간 정도 진행하였다.

설문 내용의 전문성으로, 모든 설문대상자는 선박을 잘 이해하는 2등 항해사 이상의 경력을 갖춘 자를 대상으로 하였고, 특별히 AHP분석은 답변의 일관성 확보를 위하여 전문 식견을 갖춘 자로 선장경력 또는 1급 항해사 면장을 소유한 한국해양대학교, 목포해양대학교, 한국해양수산연수원의 교수가 포함되었다.

3.2 빈도분석 결과

빈도분석에 참여한 사람은 2등 항해사 이상의 경력을 갖춘 자로 총 103명이며, 2급 항해면허 이상 소지자가 99명으로 전체 응답자의 96.1%를 차지하고, 응답자의 선종은 10개 선종으로 Container 24명, LPG tanker 21명, Car carrier 14명 순으로 container에 승선한 사람이 가장 많았다.

선박조종성능 정보제공현황에 대한 빈도분석은 선회권에 대하여 11가지 항목, 지그재그 테스트에 관하여 9가지 항목 그리고 엔진의 성능을 알 수 있는 관성에 관하여 10가지 항목을 질문하였고, 결과에 대한 예는 Fig. 2와 같으며 질문 내용은 공선상태에서 엔진 RPM 구간별 감속에 대한 정보를 알 수 있는 감속타력에 대한 정보가 제공되느냐는 질문으로 응답자의 79.6%인 82명이 제공되지 않는다고 응답하였다.

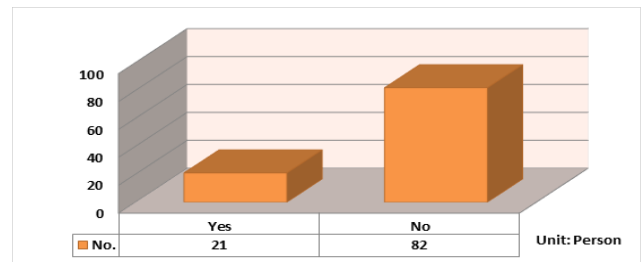


Fig. 2. Result of survey on information provision status for deceleration inertia (Ballast, ahead eng.-> ahead eng.)

항해사에게 필요한 선박조종성능 정보에 대한 경향분석은 5점 척도로 하였고, 선회권에 대하여 11가지 항목, 지그재그 테스트에 관하여 8가지 항목 그리고 엔진의 성능을 알 수 있는 관성에 관하여 9가지 항목을 질문하였다. 결과에 대한 예는 Fig. 3과 같으며 질문 내용은 '만선상태, 등흡수, Sea speed 상태에서 타각 10도에 대한 선회권 정보의 필요여부'로 응답자의 84.4%인 87명이 필요하다고 응답하였다.

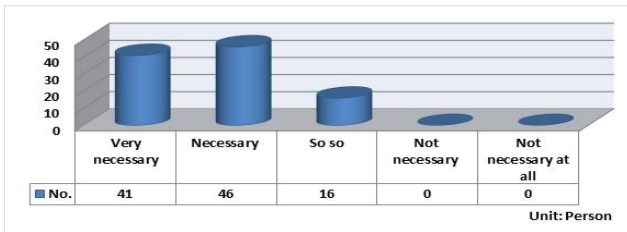


Fig. 3. Result of survey on identification of needs for turning circle information (Sea speed, Full load, even keel, rudder 10°).

동일한 요령으로 진행한 정보제공현황 및 항해사에게 필요한 선박조종성능 정보에 대한 빈도분석 결과 요약은 Table 3과 같다.

Table 3. Summary of Frequency Analysis Results

Frequency analysis	
Personal information	<ul style="list-style-type: none"> - Level 2 or higher license holder: 96.1 % - 1st officer or above: 68.9 % - More than 5 years of experience on board: 62.14 % - Type of vessel: 10 types
Current status of ship maneuvering information provided to ships	<ul style="list-style-type: none"> - In most cases, only test results of IMO ship manoeuvrability standards are provided - Current status of providing information on ship manoeuvrability other than IMO standards for ship manoeuvrability <ul style="list-style-type: none"> ▪ Negative answer for turning circle: 42.7 % ~ 96.1 % ▪ Negative answer for zig-zag test: 53.3 % ~ 95.1 % ▪ Negative answer for inertia: 44.6 % ~ 95.1 %
Necessary ship maneuvering information for navigational officer	<ul style="list-style-type: none"> - High frequency for turning circle <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sea speed, full load, even keel, rudder 35° : 90.3 % ▪ Sea speed, full load, even keel, rudder 5° ~ 10° : 83.4 ~ 84.4 % ▪ Sea speed, ballast, rudder 5°~10° : 82.5 ~ 84.4 % - High frequency for zig-zag test <ul style="list-style-type: none"> ▪ Maneuvering half ahead, full load (ballast) : 96.1 ~ 98.1 % ▪ Maneuvering slow ahead, full load (ballast) : 94.2 ~ 96.1 % - High frequency for inertia <ul style="list-style-type: none"> ▪ Accelerating inertia, full load (ballast) : 96.1 ~ 98.1 % ▪ Decelerating inertia, full load (ballast) : 95.2 ~ 97.1 %

정보제공현황에 관한 결과를 살펴보면 IMO 선박조종성 기준에 대한 정보 외에 실제 선박의 운항 조건에 맞는 선회권, zig-zag, 타력에 대한 정보가 제공되지 않는다는 부정적인 응답이 가장 높게는 96.1%까지 조사되어 전반적으로 운항에 필요한 선박조종성능 정보제공이 매우 미흡한 것으로 조사되었다.

항해사에게 필요한 선박조종성능 정보에 대한 경향도 유사한 것으로 분석된다. 응답자의 빈도가 높은 응답은 96.1 ~ 98.1%로 조종속력(이하, Maneuvering speed)에서의 zig-zag 정보, 감속타력, 가속타력 등 현재 선박에 대부분 제공되지 않는 정보로, 실제 선박의 조선에 적용 가능한 항목이 상위빈도를 나타내었다.

3.3 AHP 분석을 위한 설계

AHP분석은 Saaty에 의하여 개발된 분석기법으로 의사결정의 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대비교에 의한 판단을 통하여 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착하고자 하는 하나의 의사결정방법론이다. AHP는 이론의 단순성, 명확성, 적용의 간편성 및 범용성이라는 특징으로 여러 의사결정분야에서 응용되어 왔다(Choe et al., 2003; Cho, 2007).

AHP분석 순서는 첫째 최종 목표의 설정과 평가요인들의 계층화, 둘째 평가요인들 간의 쌍대비교를 통한 상대적 가중치 추정, 셋째 평가에 대한 논리적인 일관성 검증, 넷째 가중치를 종합하는 과정으로(Song, 2004; Kim and Shim, 2018), 본 연구에 적용하면 다음과 같다.

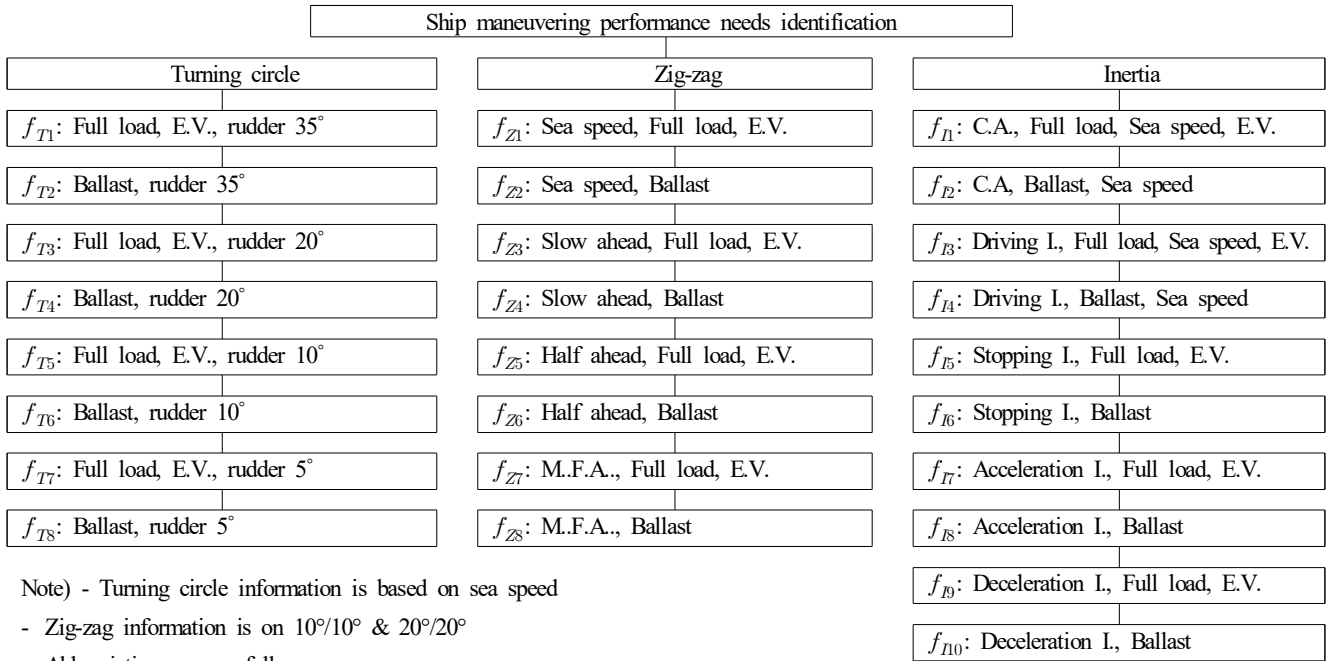
(1) **최종 목표의 설정과 평가요인들의 계층화:** 실제 항해사가 선박조종을 하는데 필요한 정보에 대한 전문가 인식 식별을 최종 목표로 하여 Fig. 4와 같이 선회권, 지그재그, 관성 등 3가지로 계층화시켰다. 그 하위로 선회권은 $f_{T1} \sim f_{T8}$ 8항목, 지그재그는 $f_{Z1} \sim f_{Z8}$ 8항목, 관성은 $f_{I1} \sim f_{I10}$ 10항목으로 계층화시켰다

Table 4. 9-point scale paired comparing questionnaire

		←									→										
		Very important									Very important										
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B			
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9				

(2) **평가요인들 간의 쌍대비교를 통한 상대적 가중치 추정:** 평가요인들 간의 쌍대비교를 위하여 먼저 상위계층인

AHP 분석 기반 항해사 필요 선박조종성능 식별 연구



Note) - Turning circle information is based on sea speed

- Zig-zag information is on 10°/10° & 20°/20°

- Abbreviations are as follows

- E.V.: Even Keel, M.F.A.: Maneuvering Full Ahead, C.A.: Crash Astern, I: Inertia

Fig. 4. Hierarchical structure diagram for identification of ship maneuvering performance.

선회권, 지그재그 및 타력 3항목간 쌍대비교를 시행하였고, 두 번째로 하위계층인 선회권의 8항목끼리, 지그재그의 8항목끼리, 관성의 10항목끼리 각각 쌍대비교를 시행하였다.

평가척도는 Saaty가 제안한 9점 척도가 가장 많이 이용되므로(Saaty, 1980), Table 4와 같이 항목별 점수를 구분하였고, 비교 항목 대비 중요도가 가장 높다고 판단되면 9점을 부여하며, 1점은 비교항목 간 중요도가 동일함을 의미한다.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Fig. 5. Comparison matrix.

만약 A항목이 B항목보다 7만큼 중요하다고 생각하면 7점을 부여하고, 반대로 B항목이 7만큼 중요하다고 생각하면 1/7점을 부여하는 식이다.

유효한 설문 응답자 30명에 대하여 이와 같은 방법으로 비교항목 간 부여된 점수를 Fig. 5와 같이 비교행렬로 풀어내었고, 작성된 행렬의 대각을 중심으로 역수의 형태를 취하게 되고, 평가항목에 대한 응답자의 가중치 합(\sum_{w1}^n)은

1이 된다.

(3) 평가에 대한 논리적인 일관성 검증: 응답자의 답변에 대한 일관성 검증은 일관성 지표(Consistency Index, 이하 CI)를 무작위 지표(Random Index, 이하 RI)로 나눈 일관성 비율(Consistency Ratio, 이하 CR)로 하며, CR값이 0.1 이하일 때 일관성이 있는 것으로 간주한다(Song, 2004).

따라서 Table 2와 같이 AHP분석에 참여한 45명 중 CR값이 0.1보다 큰 15명의 응답자는 유효하지 않은 값으로 간주하여 설문 집계에서 제외하였다.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{1}$$

CI는 일치성의 정도를 나타내는 것으로 값이 0이면 완전한 일관성을 갖는 것으로 구하는 식은 (1)과 같다.

Table 5. Random Index

n	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.4
n	9	10	11	12	13	14	15	
RI	1.45	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59	

Table 6. Summary of AHP analysis

Higher Components			Lower Components			Composive Priorities	
Evaluation item	Weight average	Rank	Evaluation item	Weight average	Rank	Weight average	Rank
f_T : Turning circle	0.2468	3	f_{T1} : Full load, E.V., rudder 35°	0.0797	6	0.0197	19
			f_{T2} : Ballast, rudder 35°	0.0565	8	0.0139	26
			f_{T3} : Full load, E.V., rudder 20°	0.0777	7	0.0192	20
			f_{T4} : Ballast, rudder 20°	0.0816	5	0.0201	18
			f_{T5} : Full load, E.V., rudder 10°	0.2060	1	0.0508	6
			f_{T6} : Ballast, rudder 10°	0.1960	2	0.0484	9
			f_{T7} : Full load, E.V., rudder 5°	0.1596	3	0.0394	14
			f_{T8} : Ballast, rudder 5°	0.1430	4	0.0353	16
f_Z : Zig-zag	0.3351	2	f_{Z1} : Sea speed, Full load, E.V.	0.0568	7	0.0190	21
			f_{Z2} : Sea speed, Ballast	0.0450	8	0.0151	24
			f_{Z3} : Slow ahead, Full load, E.V.	0.1632	3	0.0547	5
			f_{Z4} : Slow ahead, Ballast	0.1497	4	0.0502	7
			f_{Z5} : Half ahead, Full load, E.V.	0.1763	1	0.0591	3
			f_{Z6} : Half ahead, Ballast	0.1758	2	0.0589	4
			f_{Z7} : M.F.A., Full load, E.V.	0.1203	5	0.0403	13
			f_{Z8} : M.F.A., Ballast	0.1129	6	0.0378	15
f_I : Inertia	0.4181	1	f_{I1} : C.A., Full load, Sea speed, E.V.	0.0545	7	0.0228	17
			f_{I2} : C.A, Ballast, Sea speed	0.0346	10	0.0145	25
			f_{I3} : Driving I., Full load, Sea speed, E.V.	0.0428	8	0.0179	22
			f_{I4} : Driving I., Ballast, Sea speed	0.0370	9	0.0155	23
			f_{I5} : Stopping I., Full load, E.V.	0.1088	5	0.0455	11
			f_{I6} : Stopping I., Ballast	0.1162	3	0.0486	8
			f_{I7} : Acceleration I., Full load, E.V.	0.1117	4	0.0467	10
			f_{I8} : Acceleration I., Ballast	0.1019	6	0.0426	12
			f_{I9} : Deceleration I., Full load, E.V.	0.2024	1	0.0846	1
			f_{I10} : Deceleration I., Ballast	0.1901	2	0.0795	2

RI는 1에서 9까지 수치를 임의로 설정하여 역수행렬을 작성하고, 이 행렬의 평균 일관성 지수를 산출한 값으로 일관성의 허용 한도를 나타내며, Table 5는 n이 1에서 15까지 변화할 때의 RI를 나타낸다.

(4) **가중치 종합:** 계산된 평가항목의 가중치를 종합하는 과정으로 CR값이 0.1 이하인 응답자의 답변을 항목별로 합산하여 상위계층의 가중치와 하위계층의 가중치를 이용하여 평가항목의 최종 가중치를 구하여 항해사에게 필요한 선박조종성능의 우선순위를 식별하였다.

3.4 AHP 분석 결과

Fig. 6은 상위계층의 AHP분석결과이며, 타력, 지그재그 및 선회권의 순으로 중요도가 분석되었다.

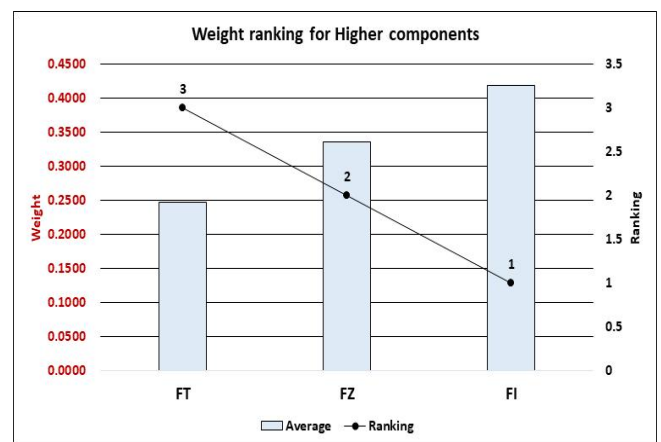


Fig. 6. Weight ranking for turning circles.

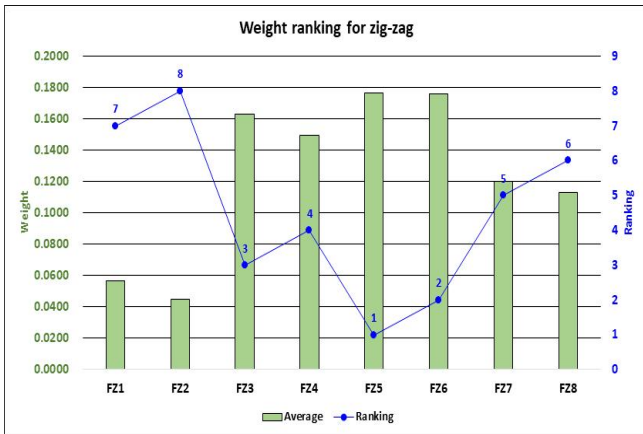


Fig. 7. Weight ranking for zig-zag.

Fig. 7은 하위계층 중 zig-zag 항목에 대한 AHP분석결과를 그래프로 나타낸 예이며, Table 6은 AHP분석결과를 전체적으로 요약한 표이다.

가중치 종합 결과 f_{T9} (D.I., Full load, E.V.)가 가장 우선순위가 높았고, 이는 만재상태, 등흘수에서의 감속타력에 대한 정보이다.

지그재그의 경우 f_{Z5} (Half ahead, Full load, E.V.)의 우선순위가 전체 4위로 가장 높았고, 이는 Half ahead 속도, 만재상태, 등흘수에서의 10°/10°, 20°/20° zig-zag 정보이다.

선회권의 경우 f_{T5} (Full load, E.V., rudder 10°)의 우선순위가 전체 6위로 가장 높았고, 이는 Sea speed, 만재흘수, 등흘수상태에서 타각 10°도를 사용한 선회권 정보이다.

이와 같이 AHP분석결과 중요도 상위 항목은 현 지침에서 제공하는 선박조종성능 정보가 아닌 실제 항해 조건에서 필요한 선박조종성능인 것으로 분석되었다.

4. 결론

2002년 선박의 충돌방지 및 해양환경의 보호를 목적으로 IMO 선박조종성 기준이 채택되었지만 동 지침은 선박의 건조단계에서 선박의 운항에 필요한 최소한 지침만을 제공하고 있어 항해사의 운항에 필요한 정보제공에는 한계가 있다.

이를 확인하기 위하여 먼저 IMO 선박조종성 기준을 분석하였고, 둘째 전문가 대상으로 설문을 진행하여 선박조종성능에 대한 정보 제공현황 및 실제 선박조종에 필요한 정보와 우선순위를 식별하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) IMO 선박조종성 기준은 만재상태, 등흘수, Sea speed에 가까운 속도에서의 실험결과에 대한 기준으로 항해사에게 필요한 선박조종성능 정보제공에는 한계가 있다.

(2) 항해사에게 필요한 선박조종성능에 관한 정보는 실제 항해 조건에서 자주 활용할 수 있는 정보여야 한다.

(3) 빈도분석 결과 IMO 선박조종성 기준을 근거로 제공되는 정보에 대한 항해사의 활용도는 매우 낮고, 실제 선박조종에 필요한 정보제공은 미흡하다.

(4) AHP분석 결과 선회권의 경우 sea speed 기준 타각 5° ~ 10° 소각도에서의 선회권 정보에 대한 필요성이 가장 높게 나왔고, 지그재그의 경우 sea speed가 아닌 maneuvering speed에서의 정보에 대한 필요성이 가장 높게 나왔으며, 타력의 경우 엔진 구간별 속도변화에 대한 감속타력, 가속타력 정보에 대한 우선순위가 높게 도출되었다.

본 연구는 항해사에게 필요한 선박조종성능에 관한 기초 연구로 현 IMO 선박조종성 기준과는 별도로 추후 SHS 및 실선 등을 활용하여 실제 항해조건에 부합한 선박조종성능 제공 필요성에 관한 추가 연구가 진행된다면 실 운항에 도움을 주는 연구로서의 가치가 더욱 높을 것으로 사료된다.

References

- [1] Choe, G. T., Y. G. Cho, and H. S. Kang(2003), Hierarchical decision making (of leading leaders), Donghyeon, ISBN 8978531067, 9788978531061, p. 3, pp. 23-27.
- [2] Cho, Y. J.(2007), An Analysis on Priority of Clothing Evaluative Criteria using AHP, J. Kor. Soc. Cloth. Ind. Vol. 9, No. 1, pp. 81-88.
- [3] IMO(1993), Resolution A.751(18) Interim Standards for Ship Manoeuvrability, pp. 1-5.
- [4] IMO(2002a), Resolution MSC.137(76) Standards for Ship Manoeuvrability, pp. 1-6.
- [5] IMO(2002b), MSC/Cir1.1053 Explanatory Notes to the Standards for Ship Manoeuvrability, pp. 1-39.
- [6] Jeong, S. B.(2020), A Study on Effective Recovery Manoeuvre for MOB based on Ship Manoeuvrability Index, KMOU, pp. 1-83.
- [7] Kang, S. Y.(2020), A Study on the Revision of the Notification Form and Procedures of Marine Incident, The Journal of Korean Society on Marine Environment & Safety, Vol. 26, No. 1, pp. 39-46.
- [8] Kang, S. Y., J. P. Kim, and Y. S. Lee(2021), A basic study on the deterioration of the ship's maneuverability in the partially submerged propeller condition, Presented at 2021 Spring Conference of KOSOMES, p. 25.
- [9] Kang, S. Y. and Y. S. Lee(2022), A study on the empirical test for turning circle according to the change in draft,

Presented at 2022 Spring Conference of KOSOMES, p. 137.

- [10] Kim, S. H., C. K. Lee, and M. S. Kim(2020a), A study on the characteristics of hull shape parameter of fishing vessel types, *J Korean Soc Fish Ocean Technol*, 56(2), pp. 163-171.
- [11] Kim, S. H., C. K. Lee, and M. G. Lee(2020b), A study on the improvement of the accuracy of fishing trawlers maneuverability estimation at the design stage, *J Korean Soc Fish Ocean Technol*, 56(4), pp. 374-383.
- [12] Kim, S. Y. and S. W. Shim(2018), The Study on the importance of Next Digital Marketing Factors by Using AHP Method: AD STARS Ad Tech 2017 Case, *Vol. 19, No. 1*, pp. 1-10.
- [13] KMST(2022), <https://www.kmst.go.kr>.
- [14] Lee, C. K.(2005), A Study on the Evaluation and Validation of IMO Manoeuvrability Standards of Vessels, *The Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 29, No. 5, pp. 365-370.
- [15] Lee, C. K., S. H. Kim, J. G. Lee, S. M. Lee, and M. S. Kim(2018), A study on the characteristics of manoeuvrability of fishing vessel, *J Korean Soc Fish Ocean Technol*, 54(3), pp. 239-245.
- [16] Saaty, T. L.(1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill International, New York, pp. 14-20.
- [17] Sohn, K. H.(2002), A Simulator Study on Validation of IMO's Ship Manoeuvrability Standards with Particular Reference to Yaw-Checking and Course-Keeping Ability, *KMOU*, pp. 1-45.
- [18] Song, K. I.(2004), A Study pm Selection of an Airport Site Using AHP Method (Focused on the New International Airport Construction in Kyungsang Province, *UOU*, pp. 1-48.
- [19] Woo, B. G.(2007), A Review on IMO Ship Maneuverability Test Standards and shipbuilding law, *Korea Pilots Association*, pp. 36-47.

Received : 2022. 07. 28.

Revised : 2022. 08. 16. (1st)

: 2022. 08. 26. (2nd)

Accepted : 2022. 08. 29.