

해상교통로 상 주요 위협별 전투 효과 측정을 통한 해양 유·무인 복합체계 발전방향

김용훈¹, 하용훈^{2*}

¹국방대학교 국방과학학과 석사과정, ²국방대학교 국방과학학과 부교수

Development Direction of Maritime Manned-Unmanned Systems through Measurement of Combat Effectiveness against Major Threats on Sea Lines of Communication

Yong-Hoon Kim¹, Yonghoon Ha^{2*}

¹Student, Dept. of National Defense Science, Korea National Defense University

²Associate Professor, Dept. of National Defense Science, Korea National Defense University

요약 본 연구에서는 미래 대한민국 해군의 주요 전력으로 활용될 해양 유·무인 복합체계의 해상교통로 보호 작전 수행을 가정하여 주요 위협별 전투 효과를 측정하였으며, 이를 통해 유·무인 복합체계의 발전방향을 도출하였다. 전투 효과 측정을 위해 다기준 의사 결정기법인 델파이 및 AHP 기법을 사용하였고, AHP 설문은 무기체계 전투 효과 및 유·무인 복합체계에 이해가 깊은 영관급 장교 25명 등 40명의 해군 장교를 대상으로 실시하였다. 전투 효과 측정의 평가지표로 OODA loop를 주속성으로 설정하였으며 측정 결과, Observe(0.358), Orient(0.315), Act(0.217), Decide(0.110) 순으로 나타났다. 최하위 대안인 해상교통로 상 주요 위협별 전투 효과는 대북한 위협 대응이 주변국 해상갈등 대응보다 1.68배, 초국가적 위협 대응보다는 3.61배 높게 측정되었다. 이러한 연구결과는 해양 유·무인 복합체계 획득 시 요구 기술 수준 판단 및 전력 운용 방안을 정립하는 데에 합리적인 의사결정을 지원할 수 있을 것으로 기대된다.

키워드 : 해양 유·무인 복합체계, 전투효과, 해상교통로, AHP 기법, 델파이 기법

Abstract In this study, assuming that the maritime manned-unmanned systems, which will be used as the main force of the ROK Navy in the future, conducts its sea line of communication(SLOC) protection operations, the combat effectiveness against major threats was measured, and through this, the development direction of the manned-unmanned systems was suggested. Multi-criteria decision-making techniques such as Delphi and AHP were used to measure combat effectiveness, and the AHP survey was conducted on 40 naval officers, including 25 senior officers who are well-understood in the combat effectiveness of the weapons system and MUM-T. As an evaluation index for measuring combat effectiveness, the OODA loop was set as the main attribute, followed by Observe(0.358), Orient(0.315), Act(0.217), and Decide(0.110). The combat effectiveness of each major threat in SLOC, the lowest alternative, was measured to be 1.68 times higher than the response to maritime conflicts in neighboring countries and 3.61 times higher than the response to transnational threats. These results are expected to support rational decision-making in determining the level of technology required for acquisition of marine manned-unmanned systems and establishing operational plans for naval forces.

Key Words : Maritime manned-unmanned systems, Combat effectiveness, Sea lines of communication, AHP method, Delphi method

*Corresponding Author : Yonghoon Ha(yonghoonha@korea.kr)

Received August 24, 2023

Accepted November 20, 2023

Revised October 5, 2023

Published November 28, 2023

1. 서론

2017년 미국 방위고등연구계획국(DARPA)이 제시한 모자이크전(mosaic warfare)은 유·무인 복합체계 및 다영역 C2노드 등을 마치 모자이크처럼 자유롭고 재빠르게 구성하여 전투를 수행하는 새로운 미래 전투 수행개념이다[1]. 모자이크전을 통해 아군의 전력구성과 전술 의도 파악을 어렵게 하고 궁극적으로 적의 의사결정체계를 붕괴시켜 아군에게 더 많은 융통성과 기회를 부여하는 것이 미군이 구상하는 미래전의 양상이며 효과적인 미래전 수행을 위해 인공지능(AI)과 자율체계 기술 구현에 박차를 가하고 있다[2]. 따라서, 인공지능 기반의 의사결정, 유·무인 복합체계에 의한 전투 수행은 미래 전쟁 패러다임을 주도할 것이며 우리 해군 또한, “Navy Sea GHOST” 프로젝트를 진행하며 해양 유·무인 복합체계로의 전환을 위한 전력 소요 및 핵심기술을 발전시키고 있다[3]. 그러나 육·공군에서 활용하는 무인체계에 비해 해군의 무인체계는 복잡한 작전환경, 그로 인한 협업 기술 성숙화의 어려움으로 인해 후발주자에 위치한 상황이다.

따라서 본 연구의 목적은 개발 초기 단계에 있는 해양 유·무인 복합체계가 해군의 주요 작전 중 하나인 해상교통로 보호작전을 수행 시 주요 위협별 전투 효과를 측정할 수 있도록 이에 기반한 작전 요구성능 등 군 주도의 발전 방향을 제시함에 있다. 해양 유·무인 복합체계는 개발 초기 단계에 있어 사전제원 입력을 통한 시뮬레이션 기반 전투 효과 측정이 제한되므로 정태적 기법인 AHP 기법을 활용하여 전투 효과를 측정하고자 한다. 또한, 본 연구에서는 다수 전문가의 의견을 반영할 수 있는 델파이 기법을 이용하여 전투 효과 측정 평가지표를 선정하였다.

델파이와 AHP 기법을 활용한 최신 연구로서 송민구는 영화 흥행에 영향을 미치는 독립변수들의 상관 정도를 찾아내기 위해 영화 전문가들에 대해 설문 조사하여 측정요인별 중요도를 평가하였고[4], 김동일은 전문가 패널을 대상으로 설문 조사하여 클라우드 기반의 회계 정보시스템의 성공적 도입에 영향을 미치는 주요 요인을 탐색하였다[5]. 과학기술의 발달로 신규 무기체계의 전투 효과 측정에 관한 연구도 활발히 진행되고 있는데, 김기태 등은 기존의 해역함대 작전을 수행하고 있는 호위함(FF, FFG Batch-I, II)과 차기 호위함(FFG Batch-III)의 전투 효과를, 권오정 등은 개인 휴대 전투 드론의 전투 효과를 AHP 기법을 활용하여 측정하였다[6, 7]. 이재문 등은 육

군 항공분석모델과 AHP 기법을 통해 육군 공격 헬기의 전투 효과를 측정하였고[8], 조기홍은 차기 다련장 로켓의 전투력 상승효과를 AHP 기법을 활용하여 측정하였다[9]. 그러나 선행연구들은 기존에 이미 도입되었거나 곧 전력화될 무기체계를 대상으로 전투 효과를 측정하였기 때문에 미래 전투 수행개념의 변화를 반영하지 못했다. 또한, 전투 효과를 측정하는 평가지표를 정립함에 있어 기존의 논문 등 문헌 조사와 단순 설문을 실시함으로써 다수 전문가의 의견이 반영되지 못한 한계가 있었다. 본 연구는 해양 유·무인 복합체계가 수행할 미래 전투 수행개념(ODA loop)을 도입하여 전투 효과 평가지표를 선정하였고 보다 신뢰성 있는 평가지표 정립을 위해 전문가 집단에 의한 델파이 설문을 활용한 것에 차별성이 있다.

2. 해양 유·무인 복합체계의 미래 전투 수행개념



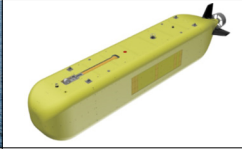

2.1 해양 유·무인 복합체계 개요

해양 유·무인 복합체계란 해양영역에서 AI, 초연결, 초지능을 기반으로 유인 전력과 무인 전력을 효과적으로 통합운영하여 작전·임무 수행능력을 극대화하는 체계로, 유·무인 복합체계 운용을 통해 4D(Dangerous, Difficult, Dirty, Dull) 임무를 무인 전력이 우선 수행함으로써 치명성·생존성·지속성을 향상시키는 것이 목적이다[3]. 우리 해군은 Table 1과 같이 수상·수중·공중 영역에서 AI 첨단기술 기반의 무인 전력을 도입하여 원격 통제(단순감시, 정찰 임무 등)에서 자율 복합 전투 임무 수행이 가능하도록 해양 유·무인 복합체계를 단계적으로 발전시킬 계획을 세우고 있다. 고기성 등은 해상작전에 기여할 수 있는 유·무인 복합체계 운용방안에 대해 연구하였으며[10], 박선준 등은 향후 대한민국 해군이 지향하는 해양 유·무인 복합체계에서 유인전력의 역할과 발전방향을 제시하였다[11]. 선진해군인 미국 해군성은 국방전략(National Defense Strategy) 구현을 위해 아래와 같이 3가지 중점에 따라 무인체계 개발전략을 수립하여 전력을 획득하고 운용개념을 정립하고 있다[12].

- AI 기술의 완전한 수용
- 분산 해양작전을 위한 전력 전환
- 무인함대 건설을 위한 확충

해양 유·무인 복합체계는 수상·수중·공중 등 다양

Table 1. Maritime manned-unmanned systems development road-map[3]

Contents	Manned Systems	Unmanned Systems Mounted on Ship		
	Unmanned Systems C2 ship	USV	Reconnaissance UUV	Reconnaissance UAV
Shape				
Concept of Operation	Performing observation, orientation, decision and action by simultaneously and integratedly operating various types of manned and unmanned systems	Operation in the sea where the mother ship cannot operate and check the proximity of the target as an extension of the ship sensor & weapon system	Early warning by identifying targets in threatened areas based on acoustic information, disseminate water and electronic information	Surveillance of ships reconnaissance of targets in blank areas, collection of threat signals and identification of high-value targets in wide sea

한 변수가 존재하는 전장환경의 특수성으로 인해 기술 개발이 활용 전술과 운영개념보다 먼저 발전하고 있는 추세다. 따라서 본 연구에서는 해양 유·무인 복합체계의 미래 전투 수행개념을 기반으로 AHP 기법을 활용한 전투 효과를 측정하여 군 주도의 발전방향을 도출하고자 한다.

2.2 OODA Loop 기반 미래 전투 수행개념

앞서 서술한 모자이크전은 AI와 자율시스템을 활용하여 적이 효과적으로 대응할 수 없을 정도로 많은 공격방책을 만들어 적의 의사결정체계를 무력화하는 “의사결정 중심전(Decision Centric Warfare)”의 한가지 접근방식으로 Fig. 1과 같이 킬체인(의 진화과정과 연관성이 있다[2].

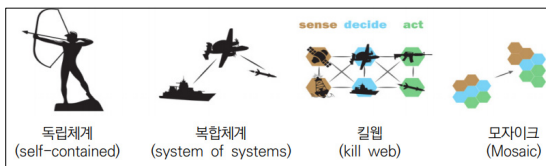


Fig. 1. Development of kill-chain[2]

최초의 킬체인은 인간이 직접 보고, 판단하고 결심하여 목표를 공격하는 것이었다.(독립체계, self-contained) 이후 제3의 전력으로 공격하는 복합체계(system-of-systems)로 발전하였으며 기술의 발전으로 다양한 센서, 기동전력, 타격체계가 네트워크에 연결된 kill web으로 진화하였다. 모자이크전은 이러한 kill web에서 더 진화한 것으로, 기존의 전력을 지휘통제(C2), 탐지(sense), 타격(act) 체계로 세분화하여 융통성 있는 조합을 구성하는 adaptable kill web을 구성한다. 지휘통제는 통상 사람이 탑승한 유인 전투체계가 수행하며, 탐지 및 타격은 무

인 전투체계를 활용한다는 개념이다.

미래전 모델인 모자이크전에 대해 다수의 군사 전문가들은 OODA loop를 통해 구현할 수 있다고 주장한다 [13]. OODA loop는 미국의 공군 대령 존 보이드(John Boyd)에 의해 제시된 의사결정 모델로, 의사결정 중심전의 정수인 모자이크전은 관찰(Observe), 판단(Orient), 결심(Decide), 행동(Act)의 의사결정 과정의 순환을 더 빠르게 수행하는 쪽이 승리할 가능성이 크다는 것이다 [1]. 우리 군 또한 Fig. 2와 같이 OODA loop에 따라 미래 전투 수행개념을 정립하고 이에 맞춰 전력 건설 방향을 정립하고 있다[11]. 따라서 본 연구에서는 해양 유·무인 복합체계 전투 효과 측정을 위해 OODA loop에 따라 평가지표를 정립하고자 한다.

3. 전투효과의 평가지표 정립과 측정

3.1 델파이 기법을 활용한 전투 효과 평가지표 정립

정성적 가치판단을 통해 대안의 우선순위를 결정하는 의사결정 방법에는 Table 2와 같이 델파이·AHP·ANP·TOPSIS 기법 등이 있다[14]. 본 연구에서 해양 유·무인 복합체계 전투 효과 평가지표를 정립하기 위해 델파이 기법을 활용한 이유는 관련 선행연구가 부족하여 전문가 집단의 의견을 수렴하여 초기 의사결정체계를 정립하는데 해당 기법이 용이하기 때문이다. 또한, 전투 효과 측정을 위해 AHP 기법을 활용한 이유는 동일 계층구조 내 전투 효과 측정요소가 상호 독립적이며 대안별 가중치를 산출하기 용이하기 때문이다.

반면, ANP 기법의 경우 계층 내외의 종속성 판단을 위해 많은 평가 요소 간의 쌍대비교가 필요하여 설문자로

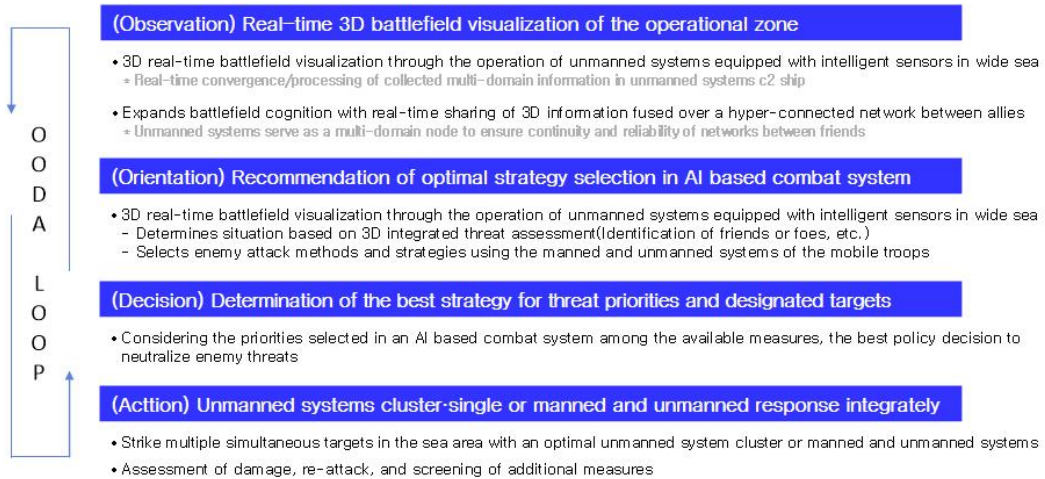


Fig. 2. Concept of OODA loop[9]

하여금 과중한 부담을 주어 설문지의 신뢰성이 저하될 우려가 있다. 또한, TOPSIS 기법은 가중치 값을 선정하는 방법이 명확하지 않아 위협별 전투 효과 측정 및 비교를 하기 위한 본 연구의 목적에 맞지 않다고 판단하였다.

델파이 기법은 동일한 설문집단을 대상으로 수 회의 설문을 반복 실시하고 각 대상으로부터 도출된 결과를 공유함으로써 설문지 반복됨에 따라 의견의 합의를 도출하는 장점을 가진 의사결정 기법이다[15].

전투 효과 평가지표 도출을 위해 본 연구에서 활용한 델파이 설문 절차는 Table 3과 같다.

전투 효과 측정과 관련된 기존의 선행연구 분석을 통해 예비평가지표(30개)를 도출하였으며 3차에 걸친 델파이 조사를 통해 전문가의 다양한 의견을 수렴하였다. 델파이 조사에서는 전문가의 자질이 매우 중요한 요소이므로[16], 본 연구에서는 해상교통로 보호작전 및 유·무인 복합체계에 대해 충분한 이해가 있으며 10년 이상의 근

무경력을 보유한 해군대학 정규과정 영관장교를 대상으로 총 25명의 패널을 구성하였다. 25명의 패널은 Table 4와 같이 청해부대 파병경력 보유 장교 4명, 1급함 부서

Table 3. Delphi survey process

Order	Contents
Pretest	<ul style="list-style-type: none"> • Literature survey about a combat effectiveness and MUM-T • Categorization and classification of the effectiveness
Panel Selection	• Composition of experts panel
1 st Survey	• Consists of the open and closed questions
1 st Analysis	• Obtain the preliminary effectiveness indexes by assessment of CVR(Content Validity Ratio) and open survey
2 nd Survey	• Reevaluation of the primary research index
2 nd Analysis	• Calculation of Median, quartile (IQR) and frequency analysis
3 rd Survey	• Reevaluation of the Second research index
3 rd Analysis	• Obtain of final performance evaluation indexes for AHP analysis

Table 2. Characteristics of alternative prioritization method[14]

Method	Delphi Method	AHP	ANP	TOPSIS Method
Characteristics	Procedures for synthesizing experts' views on a problem and organizing it into a collective judgment	Multiple evaluation criteria & decision-making by multiple entities on multiple alternatives	A type of AHP, considering dependencies among assessment criteria	Methodology to compare multiple alternatives using geometric distance calculations between each alternative and the ideal solution
Pros	Ease of designing early decision-making layers by collecting diverse opinions from experts	Ease of deriving relative importance for each alternative by considering a number of factors influencing decision making	Identifying the influence each element exerts within the network	Ease of calculating and expressing the evaluation results of all alternatives from a multi-attribute perspective
Cons	Possibility of errors by the bias of a group of experts within questionnaire	Possibility of producing biased results due to a flaw in the questionnaire itself	Possibility of declining reliability by overburdening surveyors	Absence of a method of weighting

장 이상 수행경력 보유 장교 16명, 해군본부 정책부서 근 무경력 보유 장교 5명으로 구성되었다.

Table 4. Field of the personnel for delphi research

Field	Cheong-hae Unit	1 st Rate Ship Head of Dept.	Navy Hq.
Personnel	4	16	5

1차 델파이 설문지는 개방형과 폐쇄형이 혼합된 형태로 작성되었다. 개방형 문항은 전문가들의 관점에서 추가적인 평가지표 도출을 위해, 폐쇄형 문항은 예비평가지표가 전투 효과를 측정하는 지표에 부합하는지 평가하기 위해 구성되었다. 폐쇄형 문항 중 내용타당도(CVR : Content Validity Ratio)를 충족한 항목에 대해 2차 델파이 조사항목을 선정하였다. CVR은 패널의 수에 따른 최솟값 이상이 되었을 때 전문가들의 의견에 대한 CVR이 있는 것으로 판단하며 다음 식(1)에 의해 산정된다[17].

$$CVR = \frac{n_e - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}} \quad (1)$$

n_e 는 해당 항목이 타당하다고 응답한 전문가의 수이며 N 은 연구에 참여한 전체 전문가의 수를 의미한다. CVR은 전문가의 수에 따라 Table 5와 같이 최솟값을 결정할 수 있다.

Table 5. Minimum CVR by respondents

Respondents	CVR	Respondents	CVR
10	0.62	20	0.42
11	0.59	25	0.37
12	0.56	30	0.33
13	0.54	35	0.31
14	0.51	40	0.29
15	0.49	-	-

본 델파이 설문조사에서는 총 25명의 전문가가 참가하였으므로 최소 CVR은 0.37 이상을 기준으로 하였다. 1차 델파이 설문 시 평가지표 30개 중 25개 지표가 최소 CVR을 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 개방형 설문 시 전문가 집단에 의해 3개의 평가지표가 추가 도출되어 2차 델파이 설문에서는 총 28개의 설문 항목을 구성하게 되었다. 2차 델파이 설문 이후 평균, 표준편차, 중앙값, 최빈값

및 CVR을 산출하고 해당 항목의 타당성과 전문가들의 의견 수렴 여부를 확인하기 위하여 합의도(Agreement)를 산출하였다. 합의도는 4분편차와 중앙값을 이용하여 Q_3 와 Q_1 사이의 값을 나타냄으로써 응답자들 사이의 합의가 얼마만큼 이뤄졌는가를 검증하는 방법이다. 합의도는 다음 식(2)에 의해 산정된다[18].

$$Agreement = 1 - \frac{Q_3 - Q_1}{M_d} \quad (2)$$

Q_3, Q_1 : 3/4분위수, 1/4분위수
 M_d : 중앙값

Table 6. The final results of delphi-survey

Criteria	Evaluation Index		CVR	Average Weight
	Sub-Criteria-1	Sub-Criteria-2		
Observe	Surveillance	Long Distance	0.75	28.75
		Small Target	0.42	26.46
		Multi Tracking	0.50	23.75
		Continuous Tracking	0.50	21.04
		Communication Relay	0.36	-
	Identification	Acoustic	0.33	32.50
		Video	0.69	37.29
		Electronic	0.58	30.20
		Voice	0.28	-
	Recognition	Real-Time Information	0.67	35.63
		Battlefield Visualization	0.67	24.79
		Early Warning	0.64	25.00
		Recognition of the Formation	0.44	14.58
		BDA Evaluation	0.36	-
Orient	Selection	Target Management	0.58	32.29
		Friend or Foe	0.56	36.04
		Threat Analysis	0.73	32.08
	Recommendation	Threat Priority	0.36	-
		Target Rec'	0.67	31.16
		Weapon Rec'	0.63	33.50
Decide	Decision	Maneuvering Rec'	0.71	35.75
		Function Assignment	0.67	28.75
		Decision Support	0.75	39.38
Act	Response	Control MUM-T	0.75	31.88
		ASW	0.25	19.58
		ASuW	0.60	25.42
		AAW	0	15.63
		MCW	0.44	22.71
	Survive	EW	0.38	16.67
		Stealth	0.69	32.71
		Damage Control	0.28	-
		Resistance	0.60	26.04
		Anti-Jamming	0.50	41.25

3차 델파이 설문은 평가지표별 중요도를 재평가하기 위해 2차 설문에 의해 도출된 집단의견과 본인의 의견을 비교하고, 필요시 수정할 수 있도록 유도하였다. Table 6은 2·3차 델파이 설문에 의한 최종 설문결과로, 1차 델파이 설문 시 제외된 5개 항목은 위 Table에서 보는 것과 같이 '평균 가중치'가 계산되지 않았다. 합의도 및 가중치, 평가 현실성을 고려하여 최종적으로 22개의 평가지표가 AHP 설문 항목으로 선정되었으며 아래 Fig. 3의 AHP 계층구조 상 부속성으로 활용하였다.

3.2 AHP 기법을 적용한 전투 효과 측정

델파이 설문결과를 토대로 Fig. 3과 같이 해양 유·무인 복합체계의 전투 효과를 측정하기 위한 AHP 계층구조를 작성하였다. 최상위 계층에는 해양 유·무인 복합체계의 전투 효과 측정을 목표로 두고 하위 계층에는 전투 수행개념인 OODA loop를 주속성으로 하였다. 부속성은 델파이 설문결과에 따라 주속성에 적합한 가장 핵심적인 기능 22가지를 두었으며 해상교통로 상 주요 위협 3가지를 최하위 계층에 두었다.

AHP 기법은 계층화된 구조 내 각 평가 요소들의 쌍대 비교를 통해 상대적 중요도인 가중치를 산출하는 것으로 본 연구에서는 Fig. 4의 절차로 수행하였다. 쌍대 비교는 동일한 상위계층에 포함되어 하위계층을 이루고 있는 요인들이 갖는 상대적 중요성을 상호 비교하여 비교척도를 산출하기 위한 행렬을 구하고자 실시한다. 선택 기준이 다수인 경우 평가 기준의 상대적 중요도, 즉 가중치를 기준으로 각 대안의 선호도가 결정된다. AHP 기법에서는

평가 기준의 가중치와 대안의 선호도를 결정할 때 대안 및 평가항목별 쌍대 비교를 실시한다[19].

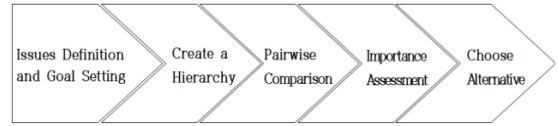


Fig. 4. AHP survey process

계층구조 내 속성들의 가중치를 측정하기 위해 각 계층 내에서 속성을 2개씩 선정하여 비교하고 그 결과를 식 (3)과 같이 쌍대 비교 행렬(Pairwise Comparison Matrix) A로 나타내었으며, 본 연구에서는 9점 척도를 사용하였다. 중요도의 척도에 따라 쌍대 비교를 통해 A가 구성되는데 이는 주대각선의 원소들이 모두 1이 되는 역수 행렬(Reciprocal Matrix)이다. 이 행렬에서 w_i 와 w_j 는 i 번째 속성과 j 번째 속성의 가중치를 나타낸다.

$$A = \begin{bmatrix} w_1 & w_1 & \dots & w_1 \\ w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ w_2 & w_2 & \dots & w_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n & w_n & \dots & w_n \\ w_1 & w_2 & \dots & w_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

가중치 계산을 위해 고유벡터법을 적용하였다. 행렬 A에 상대적 중요도를 나타내는 열벡터 $w^T=(w_1, w_2, \dots,$

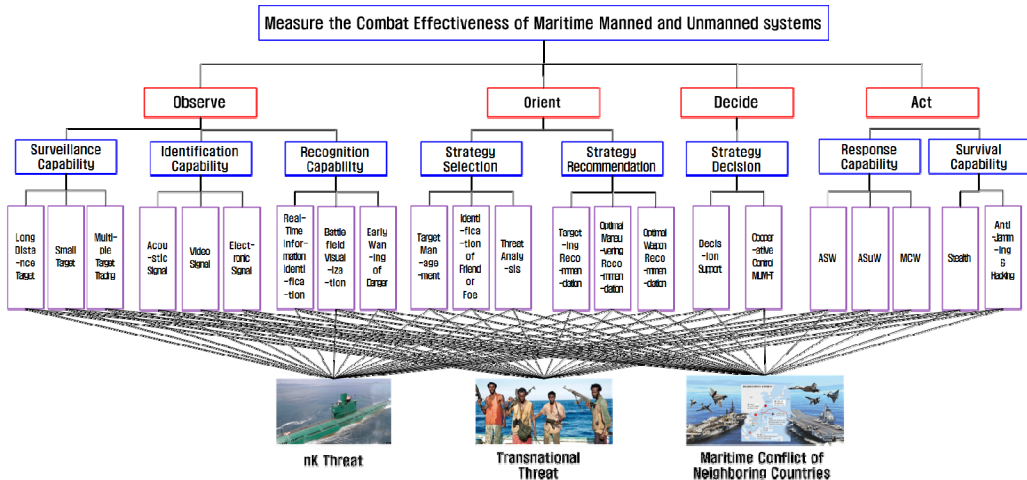


Fig. 3. Hierarchical structure for measuring maritime manned and unmanned systems combat effectiveness

w_n)을 곱한 결과는 $A_w = \lambda_w$ 가 되고 행렬 A를 알고 있다면 식 (4)와 같은 특성방정식으로 표현될 수 있다.

$$(A - \lambda I)w = 0 \tag{4}$$

λ : 행렬 A의 고유값(Eigen Value)
 I : 단위행렬(Identity Matrix)
 w : 고유벡터(Eigen Vector)

행렬 A가 기본적인 일관성(Cardinal Consistency)이 있다면 특성방정식의 근 $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 는 가장 큰 근 하나만이 $\lambda_{max} = n$ 을 가지며 나머지 근들은 0이 된다. 따라서 고유벡터 w 를 구하고 $\sum w_j = 1$ 을 만들고자 정규화하면 이는 각 속성의 가중치가 된다. 쌍대 비교 후 측정 결과의 일관성 검증에 위해 일관성 비율(CR, Consistency Ratio)을 이용한다. 일관성 비율은 일관성 지수(CI, Consistency Index)를 평균 무작위 지수(RI, random consistency index)로 나눠 구할 수 있으며 이는 식 (5)와 같다.[19]

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{5}$$

무작위 지수(RI)는 1 ~ 9까지 정수들을 무작위로 추출하여 역수 행렬을 작성한 후 일치지수를 구한 것이며 일관성 지수(CI)는 $\lambda_{max} = n$ 이 일치되는 정도를 지수로 나타낸 것이며 식 (6)과 같다.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{6}$$

일관성 비율(CR)이 0.1 이내인 경우는 합리적인 일관성을 갖는 결과, 0.2 이내인 경우는 용납할 수 있는 결과, 0.2 이상이면 일관성이 부족한 결과로 판단하였으며[19], 따라서 본 연구에서 설정한 일관성 비율은 0.2 이하이다.

4. 해양 유·무인 복합체계의 전투 효과 분석 결과

AHP 기법은 전문가 집단의 의견을 종합하여 의사결정을 하는 방법으로 결과의 객관성을 지니기 위해선 해당 분야에 대해 충분한 지식과 이해관계를 가진 전문가를 선정해야 한다[19]. 따라서 본 AHP 설문에서는 앞서 델파

이 설문조사를 실시했던 영관급 장교 25명과 대위급 함정 병과 장교 15명 등 총 40명을 대상으로 하였다. 추가로 선정된 15명의 대위급 장교는 해군의 필수 보수교육인 해상전 고등군사반을 수료 중인 장교들로서 Table 7, 8과 같이 5년 이상의 근무경력과 더불어 고속정 정장, 2급함 부서장, 이를 지휘하는 상급부대인 전투전대 참모 수행경력 등을 보유하고 있다.

Table 7. Field of the personnel for AHP research

Field	Capt. of Fast boat	2 nd Rate Ship Head of Dept.	Combat Squadron
Personnel	3	8	4

Table 8. Career of the personnel for AHP research

Career	5 ~ 7 years	Over 7 years
Personnel	12	3

4.1 속성별 복합 가중치 산출

쌍대 비교 및 고유벡터법을 이용하여 해양 유·무인 복합체계 전투 효과 측정을 위한 속성별 복합 가중치를 산출하였으며 결과는 Table 9와 같다. 전문가 40명 중 일관성 비율(CR)이 0.2 이하를 만족하는 인원은 35명(87.5%)이었으며 이들의 설문결과를 활용하여 가중치를 산출하였다. 그 결과, 1계층 OODA loop 전투 수행개념의 가중치 평가결과는 Observe(0.358), Orient(0.315), Act(0.217), Decide(0.110) 순으로 나타났다. 이는 전문가 집단의 관점에서 기존의 유인체계 대비 적은 전투 인원이 구성되는 해양 유·무인 복합체계의 특성을 고려, 선제적인 탐지 및 전장 인식, 이를 바탕으로 한 방책 판단을 지원하는 능력을 전투 효과의 중요한 요소로 평가한 것이라 할 수 있다.

본 연구에서는 대항목과 소항목의 상대적 가중치의 곱으로 소항목별 최종가중치를 구하는 AHP 적용상의 문제점을 수정하기 위해 수정가중치 모형을 적용하였다. 각 계층 내 항목별로 쌍대 비교하여 상대적 가중치를 구하고, 각 가중치들의 합은 1이 되어야 하는 AHP 계층구조의 특성상 대항목을 구성하는 소항목들의 개수가 다를 경우 최종가중치 결과값에 있어 오류가 발생한다[20]. 다시 말해, 소항목의 개수가 적은 항목은 동일 계층 내 소항목이 많은 항목보다 최종가중치가 높게 평가될 수 있는 등 전문가 집단의 실제 의견(순위)과 다를 수 있음을 의미한다. 이를 개선하기 위해 각 소항목으로 구성된 계층 내 구

Table 9. Attributes and complex weights

Criteria (A)	Weight of each criteria		Complex Weight (A×B×C)	
	Sub-criteria-1(B)	Sub-criteria-2 (C)	First	Revised
Observe (0.358)	Surveillance (0.331)	Long Distance(0.354)	0.042	0.044
		Small Target(0.441)	0.052	0.055
		Multi Tracking(0.205)	0.024	0.026
	Identification (0.456)	Acoustic(0.449)	0.073	0.078
		Video(0.335)	0.054	0.058
		Electronic(0.216)	0.035	0.037
	Recognition (0.213)	Real-Time Information (0.453)	0.034	0.037
		Battlefield Visualization(0.333)	0.025	0.027
Early Warning(0.215)		0.016	0.017	
Orient (0.315)	Selection (0.591)	Target Management(0.199)	0.037	0.039
		Friend or Foe(0.436)	0.081	0.086
		Threat Analysis(0.365)	0.067	0.072
	Recommendation (0.409)	Target Rec'(0.542)	0.069	0.074
		Maneuvering Rec'(0.170)	0.021	0.023
		Weapon Rec'(0.288)	0.037	0.039
Decide (0.110)	Decision	Decision Support(0.624)	0.069	0.048
		Control MUM-T(0.376)	0.041	0.029
Act (0.217)	Response (0.726)	ASW(0.157)	0.025	0.026
		ASUW(0.474)	0.075	0.079
		MCW(0.369)	0.058	0.061
	Survive (0.274)	Stealth(0.363)	0.021	0.015
		Anti Jamming(0.637)	0.038	0.027

모를 동일하게 만들기 위해 1차적으로 소항목별 최종가중치에 식 (7)을 곱한다.

$$Normalization Model = \frac{HN_i}{\sum_{i=1}^n HN_i} \quad (7)$$

HN_i : i 대항목에 속한 소항목의 개수

HN_i 가 i 대항목에 속한 소항목의 개수이므로 $\sum_{i=1}^n HN_i$ 는 AHP 계층구조에 존재하는 모든 소항목의 총 개수가 된다. 본 연구의 AHP 계층구조에 속한 소항목의 총 개수는 22개이고 식 (8)을 적용하면 소항목이 다른 대항목별 규모를 동일하게 할 수 있다. 위 과정을 거쳐 개선된 소항목별 최종가중치의 합은 0.129가 되기 때문에 이 합의 역수(1/0.129)를 소항목별 최종가중치에 곱하여 AHP 계층구조의 특징인 최종가중치의 합을 1로 만드는 정규화 과정을 거쳤다.

주 항목 Act의 복합 가중치를 예시로 확인하면 3계층 내 소항목의 개수가 2개인 항목의 최종가중치는 낮게 조정되었고(스텔스 : 0.021 → 0.015, 항재밍·해킹 : 0.038

→ 0.027) 3개인 항목의 최종가중치는 높게 조정되었다(대함전 : 0.025 → 0.026, 대잠전 : 0.075 → 0.079, 기뢰 대항작전 : 0.058 → 0.061). 이러한 절차를 바탕으로 산출된 해양 유·무인 복합체계 전투 효과를 측정하는 22개 속성의 복합 가중치를 분석한 결과, Observe-표적식별-음향신호분석(0.078), Orient-방책선별-적·아 식별(0.086), Act-유형 작전별 대응능력-대잠전(0.079)이 높게 나타났다. 이는 전문가 집단의 관점에서 해양 유·무인 복합체계가 해상교통로 보호작전 수행 시 대응할 주요 위협은 잠수함정에 대한 위협이 가장 큰 것으로 평가되며, 따라서 표적식별과 교전능력이 중요하게 작용함을 알 수 있다.

4.2 해상교통로 위협별 가중치 산출

대한민국 해상교통로는 수출·입 화물의 물동량과 경제 영향성을 고려하여 한·중 항로, 한·일 항로, 북방항로, 서남항로, 동남항로 총 5개의 항로로 구분할 수 있다. 본 연구에서 가중치를 선정하기 위해 AHP 구조의 최하위 대안으로 선정한 해상교통로 위협별 주요 내용을 전문가 집단에게 Fig. 5와 같이 제공하였다. 쌍대 비교 및 고유벡터법을 이용하여 22개 부속성별 가중치를 총점 100점을



Fig. 5. Summary of major threats on maritime transportation routes[21]

Table 10. Weight by major threat

Evaluation Index		Threat Classification		
		nK	Neigh- boring	Trans- national
Observe	Long Distance	40.2	43.1	16.8
	Small Target	48.3	15.8	35.9
	Multi Tracking	51.8	28.6	19.6
	Acoustic	52.9	39.7	7.4
	Video	53.1	32.4	14.5
	Electronic	50.1	42.4	7.5
	Real-Time Information	61.3	26.2	12.5
	Battlefield Visualization	57.6	30	12.5
Orient	Early Warning	53.8	31.4	14.8
	Target Management	46.6	29.9	23.5
	Friend or Foe	30.8	49.7	19.5
	Threat Analysis	67.2	14.8	17.9
	Target Rec'	48.5	36.9	14.7
	Maneuvering Rec'	60.7	29.5	9.8
Decide	Weapon Rec'	57.8	27.7	14.5
	Decision Support	63.1	26.9	10
	Control MUM-T	42.1	33.3	24.6
Act	ASW	40.6	51.1	8.3
	ASUW	72.2	21	6.7
	MCW	64.4	24.7	10.9
	Stealth	52.8	33.5	13.7
	Anti Jamming	53.4	38.2	8.4

기준으로 산출하였으며 결과는 Table 10과 같다. 주요 위협별 가중치 분석결과, '대북한 위협'의 상대적 점수가 전체적으로 높게 형성되었으며 이는 해상교통로 보호작전 중 대북한 위협 대응 시 타 위협 대비 해양 유·무인 복

합체계의 작전성능이 높게 요구됨을 알 수 있다.

4.3 전투 효과 분석 결과

해상교통로 상 주요 위협별 해양 유·무인 복합체계 전투 효과를 산출하기 위해 Table 9에서 산출한 22개 부속성에 대한 복합 가중치(A)와 Table 10에서 산출한 위협별 가중치(S)를 가중합 하였으며, 식 (8)과 같다.

$$E_k = \sum_{i=1}^n A_i \times S_{ik} \quad (8)$$

E_k : 해양 유·무인 복합체계 전투 효과

A_i : 부속성 i 의 복합 가중치

S_{ik} : 부속성 i 의 해양 유·무인 복합체계 상대적 점수

n : 부속성 i 의 수

Observe(관찰) 주속성에 대한 해양 유·무인 복합체계 전투 효과는 Table 11과 같다. 전반적으로 대북한 위협에 대한 전투 효과가 높게 측정되었으며 일부 항목(장거리탐지, 음향신호 분석, 전자정보 분석 등)에선 주변국 해상갈등에 의한 위협 또한 전투 효과가 비교적 높게 측정되었다. 이는 주변국 해상전력의 탐지능력과 위협을 고려, 조기 탐지 및 전투정보 분석이 중요함을 알 수 있다.

또한, 초국가적 위협 대응 시 소형표적 탐지 부속성이 높게 측정되었는데 이는 해적이나 해상테러리즘 대응 시 소형표적에 대한 대응능력이 높게 요구됨을 알 수 있다.

Table 11. Combat effectiveness of observe attribute

Evaluation Index	nK	Neighboring	Transnational
Long Distance	1.77	1.9	0.74
Small Target	2.66	0.87	1.97
Multi Tracking	1.35	0.74	0.51
Acoustic	4.13	3.10	0.58
Video	3.08	1.88	0.84
Electronic	1.85	1.57	0.28
Real-Time Information	2.27	0.97	0.46
Battlefield Visualization	1.56	0.81	0.34
Early Warning	0.91	0.53	0.25
Total	19.57	12.37	5.97

Orient(판단) 주속성에 대한 해양 유·무인 복합체계 전투 효과는 Table 12와 같다. 적·아식별 부속성에서 주변국 해상갈등에 대한 위협 대응 시 타 위협대비 전투 효과가 1.6 ~ 2.5배 높게 측정되었으며, 이는 주변국 전력과 대치 시 우군과의 오인 교전 방지를 위해 전문가 집단에 의해 높은 가중치를 받은 것으로 평가할 수 있다.

Table 12. Combat effectiveness of orient attribute

Evaluation Index	nK	Neighboring	Transnational
Target Management	1.82	1.17	0.92
Friend or Foe	2.65	4.27	1.68
Threat Analysis	4.84	1.07	1.29
Target Rec'	3.59	2.73	1.09
Maneuvering Rec'	1.40	0.68	0.23
Weapon Rec'	2.25	1.08	0.57
Total	16.54	10.10	5.76

Decide(결심) 주속성에 대한 해양 유·무인 복합체계 전투 효과는 Table 13과 같다. 지휘결심 지원 부속성에서 대북한 위협 대응 시 타 위협대비 전투 효과가 1.9 ~ 3.6배 높게 측정되었다. 이는 대북한 위협 대응 시 다수·다종 위협 대응으로, 신속한 판단 및 결심을 위해 전문가 집단에 의해 높은 가중치를 받은 것으로 평가할 수 있다.

Act(행동) 주속성에 대한 해양 유·무인 복합체계 전투 효과는 Table 14와 같다. 대함전 부속성에서 주변국 해상갈등에 의한 위협 대응 시 전투 효과가 타 위협대비 1.3 ~ 6.2배 높게 측정되었다. 이를 통해 주변국과의 해상갈등에 의한 위협 발생 시 수상함 전력과의 교전능력이 더 높게 요구됨을 알 수 있다.

Table 13. Combat effectiveness of decide attribute

Evaluation Index	nK	Neighboring	Transnational
Decision Support	3.03	1.29	0.48
Control MUM-T	1.22	0.97	0.71
Total	4.25	2.26	1.19

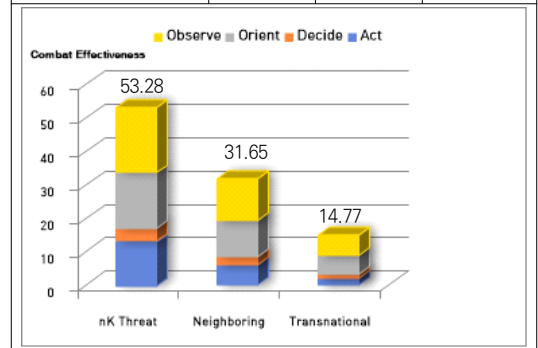
Table 14. Combat effectiveness of act attribute

Evaluation Index	nK	Neighboring	Transnational
ASW	1.06	1.33	0.22
ASUW	5.70	1.66	0.53
MCW	3.93	1.51	0.66
Stealth	0.79	0.50	0.21
Anti Jamming	1.44	1.03	0.23
Total	12.92	6.03	1.84

4개의 주속성에 대한 결과를 바탕으로 해상교통로 상주 위협별 해양 유·무인 복합체계 전투 효과를 종합 산출하였으며 결과는 Table 15와 같다. 대북한 위협 대응 시 전투 효과가 주변국 해상갈등 대응 시 보다는 1.7배, 초국가적 위협 대응시 보다 3.6배 높게 측정되었다. 이 결과를 토대로 해상교통로 보호를 위한 우리 해군의 발전방향을 단기 및 중·장기적 관점에서 살펴볼 수 있다.

Table 15. Aggregation of combat effectiveness

Evaluation Index	nK	Neighboring	Transnational
Observe	19.57	12.37	5.97
Orient	16.54	10.99	5.76
Decide	4.25	2.26	1.19
Act	12.92	6.03	1.84
Total	53.28	31.65	14.77



4.4 해양 유·무인 복합체계 발전방향

전투 효과 측정 결과를 종합하여 우리 해군의 전력 운용 측면에서 단기적으로 살펴본다면, 현재 유인체제로 구성된 해역함대 및 해상교통로 보호 전력의 비중을 해상교통로 위협에 대한 정량적 평가에 기반하여 조정할 수 있

다. 최근 한반도 해역 내 대북한 및 주변국 해상갈등의 효과적 대응을 위해 청해부대 파병전력을 기존 DDH-II급에서 DDH-I급 함정으로 조정할 것이 대표적 사례다[22]. 중·장기적 측면에서는 두 가지 관점에 따라 해양 유·무인 복합체계 발전방향을 제시할 수 있다. 하나는 해상교통로 위협별 전투 효과 측정결과에 따라 미래 도입될 해양 유·무인 복합체계 도입수량을 결정하는 등 국방전략기술 연구개발 및 획득예산의 비중을 판단하는 것이다. 다른 하나는 개별 전투 효과 측정 결과를 토대로 무인 전력지휘 통제함 및 무인 체계(USV, UUV, UAV) 등 해양 유·무인 복합체계의 요구 기술 수준을 정량적으로 판단하는 것으로, 이는 무인 체계 장비가 아닌 무인 체계 능력을 중시하는 미국 해군의 무인 체계 개발전략의 추세를 따르는 것이다[23].

미국 해군은 급속히 발전하는 무인 체계 관련 방산기술을 받아들이기 위해 신속 자율통합 연구소(Rapid Autonomy Integration Lab)을 통해 방산업체 간 협조체계를 증진하여 최신 기술을 가장 경제적인 비용으로 도입하고 있으며 개발 전대(DEVRONs) 및 전투 수행 발전센터(NWDC)를 통해 매년 시험을 수행, 해군 능력 통합절차를 걸치고 있다[24]. 우리 해군 또한 관련 무인 체계 기술이 해군의 전투능력과 결합 될 수 있도록 전투 실험을 통한 해군 능력과의 통합화 및 소요제기를 해야 한다.

5. 결론

본 연구에서는 해양 유·무인 복합체계가 해상교통로 보호작전 수행 시 전투 효과를 측정하여 발전방향을 살펴 보았다. 이미 도입되었거나 일부 성능개량 된 무기체계에 대한 전투 효과를 측정한 선행연구와 달리 본 연구는 미래 도입될 해양 유·무인 복합체계의 전투 효과를 미래 전투 수행개념인 OODA loop를 기반으로 전투 효과를 측정함에 의의가 있다. 또한, 선행연구는 문헌 조사 및 단순 설문 조사를 통해 전투 효과 평가지표를 정립한 반면, 본 연구는 전문가들의 다양한 의견 수렴을 위해 델파이 기법을 활용하였다. 델파이 설문은 해군 영관급 장교 25명에게, AHP 설문은 영관급 장교 25명 및 대위급 장교 15명 등 40명을 대상으로 실시하였다. 델파이 설문결과, 평가지표로 22개의 부속성을 선정하였고 AHP 설문에 응답한 인원 40명 중 일관성 비율을 충족한 인원은 35명의 의견을 종합하여 전투 효과를 측정하였다.

AHP 설문을 통해 해양 유·무인 복합체계의 전투 효과를 측정된 결과, 주속성 4개 요소에 대한 가중치는 Observe(0.358), Orient(0.315), Act(0.217), Decide(0.11) 순으로 나타났으며 22개 부속성에 대한 최종적인 복합 가중치를 산출한 결과, Observe-표적식별-음향신호 분석(0.078), Orient-방책선별-적·아 식별(0.086), Act-유형작전별 대응능력-대잠전(0.079)이 높게 나타났다. 또한 해상교통로 상 주요 위협 3가지 대안에 대한 전투 효과를 측정된 결과, 대북한 위협 대응시 주변국 해상갈등 대응 시보다 1.7배, 초국가적 위협 대응 시보다 3.6배 높게 측정되었다. 이는 향후 미래 해군의 주요 전력으로 도입될 해양 유·무인 복합체계의 요구 기술수준과 획득예산의 비중을 정량적으로 판단 가능하다.

본 연구를 토대로 해양 유·무인 복합체계의 성능이나 제원이 구체화되어 시뮬레이션 모델에 의해 동태적인 전투 효과를 측정할 수 있다면 해군의 작전 수행에 기여할 수 있는 해양 유·무인 복합체계 발전방향을 보다 구체적으로 제시할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] D. H. Nam & T.H. Lim & D. J. Lee & S. K. Cho. (2020). Mosaic Warfare of the Fourth Industrial Revolution, *National Defense Research*, 63(3), 141-170. DOI : 10.23011/jnds.2020.63.3.006
- [2] J. O. Jang & J. Y. Jung. (2020). Suggestions for the Development of the Korean Armed Forces for Future War, *Maritime Security*, 1(1), 215-240.
- [3] ROK Navy Headquarters. (2022). *Comprehensive Development Plan for the of the Maritime Combined Manned and Unmanned Systems*, Gye-Ryong.
- [4] M. G. Song. (2022). Development of Demand Prediction Model for Video Contents Using Digital Big Data. *Journal of Industrial Convergence*, 20(4), 31-37. DOI : 10.22678/JIC.2022.20.4.031
- [5] D. I. Kim. (2022). A Study on the Integrated Approach Methodology for Evaluating the Performance of the Cloud-based AIS - Comparative study of Korea and the US. *Journal of Industrial Convergence*, 20(7), 21-30. DOI : 10.22678/JIC.2022.20.7.021

- [6] K. T. Kim & Y. J. Lim. (2022). A Study on the Measuring of Combat Effectiveness for Naval Frigates Using Analytic Hierarchy Process. *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 44(1), 9-16.
- [7] O. J. Kwon & Y. H. Song & J. G. Kim & N. S. Cho. (2021). A Study on Combat Effectiveness of Personal Combat Drone using Analytic Hierarchy Process Method. *Military Operations Research Society of Korea*, 47(2), 36-49.
- [8] J. M. Lee & C.Y. Jeong & J.Y. Lee. (2010). The Combat Effectiveness Analysis of Attack Helicopter Using Simulation and AHP. *Journal of the Korea Society for Simulation*, 19(3), 63-70.
- [9] K. H. Cho. (2010). A Study on the Analysis of the Cost-Effectiveness for the New Generation Multiple Launcher Rocket System Using AHP & Parametric Estimating. *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, 13(1), 84-90.
- [10] G. S. Ko & J. H. Koh & W. K. Kim & Y. H. Jang & G. S. Kim. (2022). A study on the MUM-T Operation Plan and Airworthiness Certification Based on Maritime Operations. *Journal of the Korea Society for Naval Science and technology*, 5(2), 107-114.
DOI : 10.31818/JKNST.2022.09.5.2.107
- [11] S. J. Park & K. W. Oh. (2023). A study on the Role of Human in the MUM-T. *Journal of the Korea Society for Naval Science and technology*, 6(1), 34-48.
DOI : 10.31818/JKNST.2023.03.6.1.34
- [12] U. S. Navy. (2021). Science & Technology Strategy for Intelligent Autonomous Systems. Pennsylvania : Department of U. S. Navy.
- [13] W. Yang. (2023) Future Exhibition of Decision-Central Exhibition through Mosaic Warfare. *The Asan Institute for Policy Studies*.
- [14] O. J. Kwon. (2018). *Theory and Application of Multi-criteria Decision Making Methodology*. Seoul : Bookskill.
- [15] Ziglio. (1996). *The delphi method and its contribution to decision-making*. M. Adler & E. Ziglio(Eds). *Gazing into the oracle: the Delphi method and its application to social policy and public health*. London : Jessica Kingsley Publishers.
- [16] T. I. Kwon. (2008). *Study on drawing priority of the influence factors of tourist resort remodeling business: Delphi Technic & Analytic Hierarchy Process*. Seoul : Sejong University
- [17] Lawshe. (1975). A quatitative approach to content validity. *Personnel Psychology*, 563-575.
- [18] Upton. (1996). *Understanding statistics*. London : Oxford Press.
- [19] T. L. Saaty. (1982). *Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process Decisions in an Complex World*. Pittsburgh : RWS Publications
- [20] M. C. Choi. (2020). Problems of AHP Analysis and Development of Modified Weight Model. *Daehan Academy of Management Information Systems*, 39(2), 145-162.
DOI : 10.29214/damis.2020.39.2.009
- [21] J. H. Park., D. H. Park & J. H. Kim. (2020). *A Study on the Development of Naval Force for the Protection of Maritime Transportation*. Seoul : Security Management Institute
- [22] J. H. Kim. (2022. 12. 11.). Pushing to Send 'Smaller Destroyer' to Cheonghae Unit... strengthening of forces against North Korea. *Yeon-Hap News*.
- [23] ROK Navy Headquarters. (2022, November). *Debate on the Comprehensive Development of the Maritime Manned and Unmanned Systems*. Gye-Ryong : ROK Navy.
- [24] U. S. Navy. (2021). *Unmanned Campaign Framework*. Pennsylvania : Department of U. S. Navy.

김 용 훈(Yong-Hoon Kim)

[정회원]



- 2014년 2월 : 해군사관학교(문학사)
- 2022년 1월~현재 : 국방대학교 석사과정

- 관심분야 : 유·무인 복합체계, 잠수함, 획득, 의사결정기법, 인공지능
- E-Mail : dapakimyh@naver.com

하 용 훈(Yonghoon Ha)

[정회원]



- 1994년 : 해군사관학교(해양학 학사)
- 1997년 : 서울대학교(해양학 학사)
- 2000년 : 미국 Naval Postgraduate School(공학음향학 석사)
- 2009년 : 서울대학교(조선해양공학 박사)

- 2019년~현재 : 국방대학교 국방과학학과 부교수
- 관심분야 : ISR 무기체계, 인공지능 표적탐지 및 추적, 수중음향 및 대잠전 관련 M&S, 해군무기체계
- E-Mail : yonghoonha@korea.kr