

무인해양시스템의 자율 수준 분류 및 평가 방안

권 래 언^{*,1)}

¹⁾ 국방과학연구소 제6기술연구본부

Classification and Evaluation Method for Autonomy Levels of Unmanned Maritime Systems

Laeun Kwon^{*,1)}

¹⁾ The 6th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Republic of Korea

(Received 15 December 2015 / Revised 17 March 2016 / Accepted 20 May 2016)

ABSTRACT

Autonomy of unmanned systems is important because the unmanned system with high level of autonomy is able to perform desired tasks in unstructured environments without continuous human guidance. Evaluation of their autonomy is vital to realize the autonomous operation ability of unmanned system. Compared to the methods of evaluating the level of autonomy(LOA) for an unmanned ground vehicle(UGV) and unmanned aerial vehicle(UAV), the method of expressing the LOA of unmanned maritime system(UMS) is not established yet. Since UMS has a unique characteristics in terms of operational area, mission complexity and required technologies, compared to the UGV and UAV, it is required to establish for expressing the LOA for UMS. This paper reviews the current approaches to assess the LOA of unmanned system and proposes potential metrics for UMS in order to determine the autonomy levels of UMS.

Key Words : Level of Autonomy(자율 수준), Autonomy(자율), Unmanned Maritime System(무인해양시스템)

1. 서론

무인시스템의 적용이 민수 그리고 군수분야에 지속적으로 관심을 끌고 있으며, 다양한 기관에서 향후 무인시스템 적용을 위한 무인시스템의 역할을 구체화 하고 있다. 대표적인 무인시스템으로, 무인항공

기(Unmanned Aerial Vehicles, UAV), 무인지상차량(Unmanned Ground Vehicles, UGV)과 수상 또는 수중에서 운용되는 무인시스템을 통칭하는 무인해양시스템(Unmanned Maritime System, UMS)으로 분류할 수 있다. 무인해양시스템의 운용환경은 대양, 천해 연안, 항구, 항만, 호수, 강 등을 모두 포함한다.

무인시스템의 자율(Autonomy)은 운용자와 독립적으로 스스로 감지, 모델링, 계획 그리고 행동을 하는 것이다^[1]. 자기 관리 능력으로 가시거리 이상에서 작전

* Corresponding author, E-mail: lukwon@add.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

무인해양시스템의 자율 수준 분류 및 평가 방안

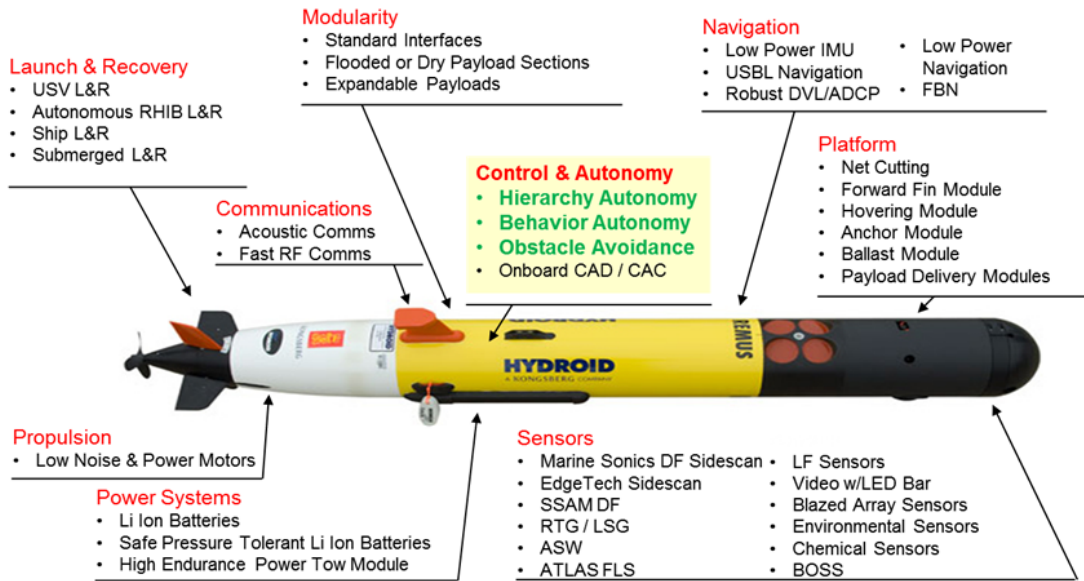


Fig. 1. Man portable and light weight UUVs technology

범위 향상과 더불어, 인력투입, 시간 그리고 통신 요구를 줄일 수 있는 이득이 있으며, 다수의 시스템과 함께 협동 및 상호운용성을 높일 수 있는 기반이 된다.

이러한 무인시스템의 자율 수준을 판단하는 것은 무인시스템의 초기 설계 단계와 개발된 시스템 평가 및 타 시스템과의 비교를 위해 필요하다. 이를 통해, 연구개발 중복 투자를 피할 수 있으며 중장기 연구계획 수립 및 추진에 도움이 된다.

Fig. 1은 무인해양시스템중 하나인 무인잠수정의 핵심기술을 나타낸다. 무인해양시스템 기술은 다른 무인시스템의 기술과 공통된 기술을 포함하고 있지만, Fig. 1에서 보듯이 진수 및 회수, 수중 통신, 센서, 플랫폼, 추진, 운항 등의 차별화된 기술을 보유하고 있다. 특히, 운용환경이 수중일 경우 전파를 사용할 수 없어 통신의 제약으로 인해 지상이나 공중 무인시스템보다 복잡도는 다소 낮을 수 있으나 고수준의 자율을 필요로 한다.

무인항공기, 무인지상차량 등 타 무인시스템에 대한 자율 수준을 판단 또는 평가하는 방법은 많이 검토되었으나, 무인해양시스템에 대해서는 아직 적절한 분류 및 평가 방법 연구가 활발히 이루어지지 못했다. 또한, 무인해양시스템은 타 무인시스템과는 임무의 복잡성, 운용환경 그리고 요구 기술수준이 다르기 때문에 무인해양시스템에 적합한 자율 수준을 분류 및 평

가할 방안이 필요하다.

본 논문에서는 무인시스템의 자율 수준 평가에 대한 선행논문에 대해 소개하고 분석한 뒤, 무인해양시스템에 적합한 자율 수준 분류 및 평가 방안에 대해 제시한다.

2. 무인시스템 자율 수준 평가 방법

무인시스템의 설계와 평가에 있어 자율 수준 평가는 중요하지만, 기술격차, 문화차이, 기술보안등의 문제로 널리 통용되는 자율 수준 평가안이 없는 실정이다. 대부분의 중요한 자율 수준 평가에 대한 연구는 The National Aeronautics and Space Administration(NASA), The US Department of Defense(DoD), The European Defense Agency(EDA) 그리고 The National Institute of Standards and Technology(NIST)에서 제시 되었다. 본 절에서는 기존에 발표되었던 자율 수준 평가 방법을 단계적 평가방법과 평가지표 개수에 따른 평가 방법, 그리고 공식화 자율 수준 평가 방법으로 분류하여 설명한다.

2.1 단계적 자율 수준 평가 방법

무인시스템의 자율 수준을 시스템의 성능 또는 인간

의 개입 정도에 따라 단계별로 등급을 부여하여 평가하는 방법이다. 자율 수준에 관련된 많은 연구들이 인간-컴퓨터간의 상호작용을 근거하여 작성된 Sheridan^[2]의 연구결과를 바탕으로 하고 있다. Table 1은 자율 수준 단계를 의사결정과 행동을 실시함에 있어 인간의 개입 정도에 따라 1부터 10까지 분류한 것이다. 자율 수준 1은 인간에 의해서 시스템이 운용되는 것을 말하며, 10은 인간의 개입이 없는 상태에서 의사결정과 행동을 하는 것을 뜻한다.

Young et al.^[3]은 무인항공기의 자율 수준을 인간의 개입정도에 따라 총 6단계(0 ~ 5)로 분류하였으며, 최상위 자율 수준은 무인항공기가 협동 임무를 수행하는 것으로 정의 하였다. Aerospace, Aviation & Defence Knowledge Transfer Network^[4]는 인간의 개입정도에 따라 무인시스템의 자율 수준을 6단계로 분류하였다.

Table 1. Sheridan's level of automation^[2]

Level	Description
1	The computer offers no assistance, human must do it all.
2	The computer offers a complete set of action alternatives, and
3	narrows the selection down to a few, or
4	suggests one, and
5	executes that suggestion if the human approves, or
6	allows the human a restricted time to veto before automatic execution, or
7	executes automatically, then necessarily informs the human, or
8	informs him after execution only if he asks, or
9	informs him after execution if it, the computer, decides to
10	The computer decides everything and acts autonomously, ignoring the human

DARPA, U.S. Air Force, 그리고 Boeing X-45 프로그램 개발팀에서는 자율 수준을 총 4단계로, 낮은 단계에서는 인간에 의해 원격으로 조정, 운용되며 단계가 높아질수록 인간의 개입 없이 무인시스템이 자율적으

로 운용된다고 정의 하였다^[5].

NATO Industrial Advisory Group(NIAG)는 시스템의 자체적인 학습능력이 증가하는 것을 기준으로 자율 수준을 총 4단계로 분류하였다^[6].

Sheridan^[2]의 연구결과를 바탕으로 Defense Evaluation Research Agency(DERA)는 무인항공기에 대한 조정권한과 임무제어에 초점을 두고 Pilot Authority and Control of Task(PACT)를 작성하여 자율 수준을 분류하였다. 임무 목적을 위한 개별적 행동에서 인간과 시스템간의 상호작용을 설명한 것으로, Table 2에 나타난 것처럼 자율 수준을 분류하였고, 4와 5단계에서의 명확한 구분 위해 두 개의 하위 단계를 제시하였다.

Table 2. Authority and control task levels^[8]

Locus of Authority	Computer Autonomy	Level	Description
Computer Monitored by Human	Full	5a	Computer does everything autonomously
		5b	Computer chooses action, performs it & informs human
Computer backed-up by Human	Action unless revoked	4a	Computer chooses action & performs it unless human disapproves
		4b	Computer chooses action & performs it if human approves
Human backed-up by computer	Advice, and if authorized action	3	Computer suggests options and proposes one of them
Human assisted by computer	Advice	2	Computer suggests options to human
Human assisted by computer only when requested	Advice only if requested	1	Human asks computer to suggest options and human selects
Human	None	0	Whole task done by human except for actual operation

Table 3. Autonomous mission control levels^[7]

	Level	Description
Group Autonomy	10	Fully Autonomous Systems
	9	Group Strategic Goals
	8	Distributed Control
	7	Group Tactical Goals
	6	Group Tactical Replan
	5	Group Coordination
Solo Autonomy	4	Onboard Route Replan
	3	Adapt to Flight and Failure Conditions
	2	Real Time Health Diagnosis
	1	Remotely Guided
	0	Remotely Piloted

Suresh and Ghose^[7]는 자율임무제어 관점에서 단일, 다중 시스템의 자율 수준을 Table 3과 같이 총 11단계로 정의하였다. 통신정보처리 과정이 자율 수준 평가에 가장 중요한 요소로 설명 하면서, 자율 수준이 향상됨에 따라 단독 운용에서 군집운용이 가능함을 제시하였다.

단계적 평가 방안은 자율 수준 평가에 있어 기본적인 절차이지만, 대부분의 평가방안이 의사결정 주체가 누구인지, 어떻게 그 결정을 실행 하는 지에만 근거를 두고 있어 자율 수준에 대한 개발자 및 사용자가 이해하기 어렵다. 또한 환경적인 요인 및 핵심기술을 고려하지 않아 명확하며 객관적으로 무인시스템의 자율 수준을 판단하기 어렵다.

2.2 세 평가지표에 의한 자율 수준 평가 방법

U.S. Department of Commerce(DoC), Defense(DoD), Energy(DoE) and Transportation(DoT)의 전문가들이 모여 세 가지 주요 지표, 임무 복잡성(Mission complexity), 환경 장애(Environmental difficulty), 인간 개입 정도(Human Independence)를 고려한 무인시스템의 자율 수준 평가안, Autonomy Levels For Unmanned Systems (ALFUS)를 제시하였다. Fig. 2와 같이 3가지 요소에 대해 3축으로 자율 수준을 도시함과 동시에, 수행 임무 분석을 통해 임무에 따르는 부수 임무를 확인한다.

그리고 세 요인에 따라 가중치를 부여하고 동일 수준의 임무에 대한 가중치 합을 평균하여 Fig. 3과 같이, 0에서 10까지 선형적으로 무인시스템의 자율 수준을 나타내었다. ALFUS방법은 무인시스템의 자율 수준을 포괄적으로 평가가 가능하며, 다른 방법에 비해 더 많은 시스템의 자율 요인을 고려한다.

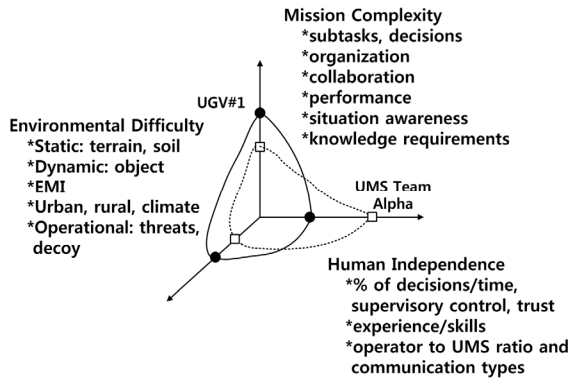


Fig. 2. Autonomy levels for unmanned system framework detailed model^[10]

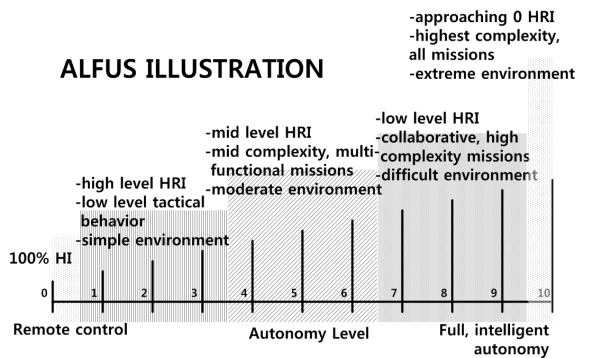


Fig. 3. Illustration of autonomy levels for unmanned system^[11]

하지만, 각 평가요소들 사이의 연결성과 독립성을 결정하기 어려우며, 각 축에 대한 요인을 어떻게 평가 하는지와 가중치 부여시 주관적인 견해가 포함되는 단점이 있다. ALFUS의 방법과 유사하게 The Research and Technology Organization of NATO^[11]에서는 운용환경의 복잡성, 수행임무의 복잡성, 그리고 무인시스템 간의 상호운용성을 자율 수준 평가지표로 선택하였다.

Cleary et al.^[12]는 자율 수준에 대한 Naval Research Office의 연구결과를 추가하여 Mobility control, Task

planning, Situational awareness의 세 가지 주요 지표로 자율 수준을 평가하고 세 평가 지표에 대 4가지 하위 개념으로 정립하였다. 무인체계의 운용적 측면을 고려하여 자율 수준 판단이 가능하지만, 3축으로 전체 지능공간을 주관적인 판단에 근거하여 판단하는 단점이 존재한다. 또한, Task planning의 경우 자율의 필수조건이 아니다. Hasslacher and Tilden^[13]은 생물학적 자율시스템에 대해 Mobility, Acquisition, Protection(MAP), 세 가지 지표로 자율수준을 평가하였다. 기계적 무인시스템과 달리 생물학적 자율시스템의 생존 자율성을 중요한 요소로 판단하였다. AFRL에서는 Hasslacher and Tilden^[13]의 MAP모델과 ACL Chart를 이용 UAV에 적합한 자율 수준을 레이다 차트를 이용하여 나타내었다. Fig. 4와 같이 세 축은 Situation awareness, Mobility control, Task Planning으로 구성되어 있다. 이질적인 지표에 대해 한 번에 표현이 가능하나, UAV나 USV에 적용 시 Mobility 한 축은 고정되는 반면 다른 축만 변하게 되는 단점이 있다. 또한 무인시스템의 운용특성과 협동성을 고려하지 못한다.

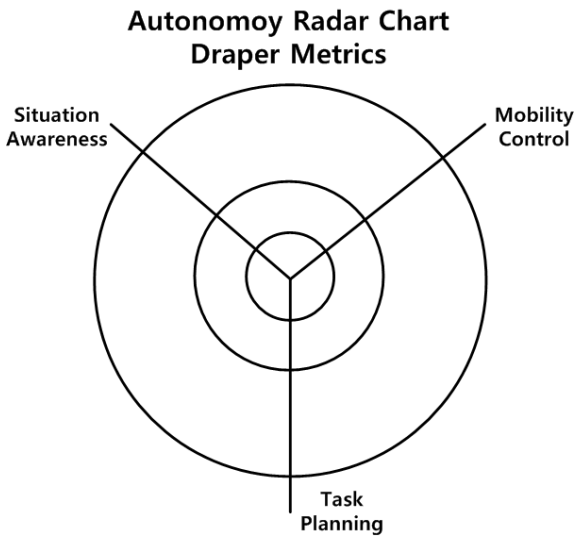


Fig. 4. Radar chart of draper metrics^[13]

무인항공기의 onboard Guidance, Navigation, Control (GNC) 기능을 바탕으로 자율 수준을 총 11가지로 제시하였다^[14]. 유도, 항법, 제어기능 수준이 증가할 수록 무인항공기의 자율 수준(독립성, 환경 복잡성, 임무 복잡성)이 증가한다고 제시하였다. 자율 수준 분석과 동시에 기술성숙도를 분석하여 각각에 대한 평가안을 제

시하였다.

2.3 네 개 이상 평가지표에 의한 자율 수준 평가 방법

Li and Wang^[15]은 Human interface, Situational awareness, Environmental adaptation, Decision-making, 4 가지 지표에 대해 정량적으로 자율 수준을 평가하기 위해 새로운 계층적 모델을 제시하였다. Global Hawk (UAV), Red FlagHQ3(UGV), Spartan Scout(USV)에 4가지 지표의 정량적인 점수를 계산하여 자율 수준을 Fig. 5와 같이 시각적으로 나타내었다.

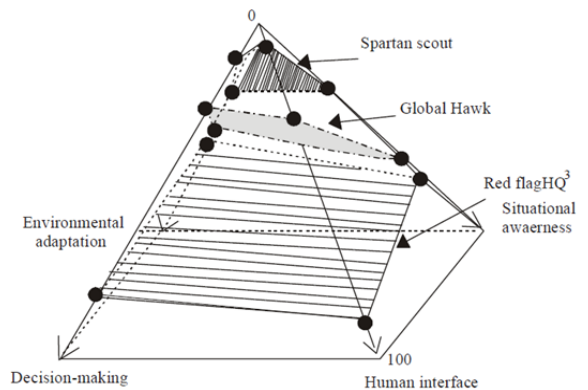


Fig. 5. The autonomy level pyramid chart^[15]

4가지 지표에 대한 하위 평가방안은 Table 4에 나타나 있다. 이 방법은 단일 무인시스템에만 적용이 가능하며 지표에 대한 점수는 주관적으로 판단되는 단점이 있다.

Wang and Liu은 기술성숙도를 고려하여 원점을 중심으로 여러 개의 방사형 축을 가진 거미집 평가방법을 제시하였다^[16]. 각 축은 무인시스템의 자율 수준을 평가하기 위한 핵심 기술을 나타내며 총 9개의 수준으로 자율기능을 분류하였다.

Fig. 6은 무인항공기의 주요 자율기능으로 Decision, Perception, Cooperation, Interaction, Navigation을 선정하여 Cobweb 평가모델에 도식한 것이다. AFRL에서는 무인시스템의 의사결정과정인 인간의 의사결정과 동일하게 일어난다는 가정으로 Observe-Orient-Decide-Act (OODA) loop개념^[17]을 적용하여 4가지 지표(Perception/Situational Awareness, Analysis/Coordination, Decision Making, Capability)를 가지고 총 11단계로 ACL 차트를 완성하였다.

Table 4. Sub-indicators on four kinds of hierarchical indicators^[15]

Level	Human Interface	Situational Awareness	Environmental Adaptation	Decision Making
1	Operator Control Time (0-100)	Attack Type	Environmental Type	Real-time diagnosis
2	Operator Control Number	Attack Frequency	Adaptation Time	Fault Self-repair
3	Operator Skill Level	Attack Risk Index	Adaptation Scope	Path Planning
4	Operator Workload	Reaction Time	-	Task Planning
5	-	-	-	Cooperation

NASA에서는 자율수준을 1단계에서부터 5단계까지 OODA의 관점에서 분류하였다. 1단계는 원격조정, 3단계는 원격과 자율운용, 5단계는 완전자율운용을 나타낸다. 비록 자율 수준을 세분화 하지는 않았지만, 5단계로 각기 다른 자율 수준에 대해 쉽고 분명한 정보를 제공한다^[18].

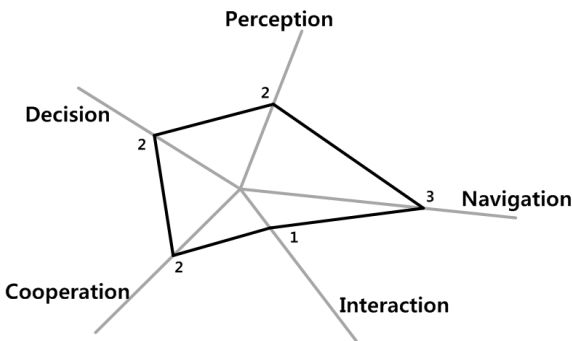


Fig. 6. Cobweb evaluation model of autonomy based on unmanned system technology^[16]

Pouly et al.^[19]는 우주시스템에 대한 자율 수준 평가 모델을 5가지 지표(Downloads planning, Mission data overwriting, Predicted acquisition volume, Ground planned acquisition cancelling, Acquisitions planning)로 설정한 다음, 각 지표의 행동이 지상 통제소에서 일어나는지,

시스템 자체에서 판단하는지에 따라 Table 5와 같이 자율 수준을 평가하였다. 이 평가방안은 Onboard Autonomy의 자율 수준을 평가한 것으로 환경복잡성이나 임무복잡성에 대한 고려가 없으며, 시스템 자체적인 성능만을 고려하였다.

Table 5. Definition of the five autonomy levels evaluated^[19]

Level	Download planning	Mission data overwriting	Predicted acquisition volume	Ground planned acquisition cancelling	Acquisition planning
1	Ground	Ground	Max size	Ground	Ground
2	On-board	Ground	Max size	Ground	Ground
3	On-board	On-board	Average size	Ground	Ground
4	On-board	On-board	Average size	On-board	Ground
5	On-board	On-board	Average size	N/A	On-board

Gancet and Lacroix^[20]는 4가지 주요지표(Supervision and execution, Coordination, Planning, Task allocation)의 의사결정 발생 장소에 따라 총 5단계로 자율 수준을 설정하였다. 1 ~ 3단계는 각 지표에 대한 의사결정이 중앙통제소에서 일어나기 때문에 낮은 자율 수준을 나타내고, 3단계와 4단계에서는 큰 수준 차이가 존재하며, 5단계는 완전 자율 수준을 나타낸다. 테이블에 각 자율 기능 의사결정의 장소를 체크하여, 무인시스템에 의해 의사결정이 일어나는 개수가 많을수록 자율 수준이 증가함을 나타내었다.

다변수 함수를 이용하여 자율 수준을 계산하는 방법으로 Curtin et al.^[21]은 무인잠수정의 자율 수준을 control bit, total message size, control time, total mission time 4가지 지표를 이용하여 식 (1)을 제시하였다. 식 (1)의 계수 C_n (mission connectivity index)과 지수 i 와 j 는 경험적으로 선정되는 값이다.

$$Autonomy = C_n \left[\frac{Control\ Bits}{Total\ Message\ Size} \right]^{-i} \times \left[\frac{Control\ Time}{Total\ Mission\ Time} \right]^{-j} \quad (1)$$

Doboli et al.^[22]는 복잡한 도시환경에서 자동적으로 제어되는 전등 및 교통 관리 시스템의 자율 수준 판단을 위해 Human Effort(HE), Performance(P), geographical area board(A), Time(T)을 이용하여 식 (2)를 제시하였다.

$$Autonomy = \int_{T_i}^{T_f} \int_{A_i}^{A_f} \int_{P_i}^{P_f} (HE)dPdAdT \quad (2)$$

다양한 평가지표를 활용하여 각 평가지표를 변수로 사용하는 공식화 자율 수준 판단은 정확한 수치를 제공함에 있어 의미가 있으나, 자율수준에 영향을 주는 지표 및 변수 설정에 어려움과 각 변수에 대한 가중치 부여에 있어 객관적이며, 신뢰성 및 공신력 있는 변수 선정이 필요하다.

3. 무인해양시스템 자율 수준 분류 방안

무인시스템의 자율 수준 평가 연구동향에서 알아보았듯이, 대부분의 자율 수준 평가는 무인항공기, 우주시스템, 지상 무인차량에 한정되어 있다.

무인해양시스템의 자율 수준 평가 분류 및 평가 방안 제시를 위해, 무인해양시스템의 특수성을 고려하여 임무복잡성과 운용환경 복잡성 지표, 그리고 기존 무인시스템의 자율 수준 평가에서 제시한 환경인식능력 과 의사결정 수준을 무인해양시스템 자율 수준 평가 지표로 제시한다. 제시된 평가 지표를 활용하여 임의의 무인해양시스템에 대한 자율 수준을 그래프에 도시한다.

3.1 임무 복잡성

무인해양시스템 중 무인수상정의 대표적인 임무와 각 임무별 운용개념은 RAND National Defense Research Institute에서 발간한 보고서에 나타나 있다^[23].

기술성숙도를 고려한, 구체적이고 세부적인 임무복잡성 단계를 구분하여 자율 수준을 평가하는 것이 필요하지만, 기술성숙도의 정의는 각 나라별로 상이하여 자율 수준 평가에 적용하기에는 적합하지 않으며, 각각의 임무에 따른 기술 수준과 무인시스템의 자율 수준과의 명확한 관계를 찾기 어렵다.

현 무인해양시스템은 매우 구체적이고 제한적인 임무를 위해 개발되고 있으며, 복잡하며 다양한 임무 수행을 위해서는 타 체계와의 합동 임무 능력이 요구된다.

Table 6. Definition of mission complexity levels

단계	임무분류	정의
1	단위임무	단일 플랫폼에서 한 가지 임무만을 수행할 수 있는 경우
2	복합임무	단일 무인플랫폼에서 최소 두 가지 이상의 임무를 수행할 수 있는 경우
3	편대임무	다수의 무인플랫폼이 하나의 편대를 이루며, 각 편대에서는 각기 다른 하나의 임무를 수행하여 복합적인 임무를 수행할 경우
4	군집임무	복수의 무인플랫폼이 하나의 편대를 이루며, 각 편대에서는 복합임무를 수행할 수 있어 복합적인 임무를 각 편대에서 모두 수행할 수 있는 경우

Table 6과 같이 무인해양시스템이 수행할 수 있는 임무 복잡성 수준을, 단위임무, 복합임무, 편대임무, 군집임무, 총 4개의 수준으로 분류하였다.

임무복잡성 3, 4단계의 차이점은, 3단계에서 각 편대는 특정한 한 개의 임무만 수행이 가능한 경우로써, 단위임무 수행이 가능 무인해양시스템이 편대를 이루어 작전범위의 향상을 가져오는 경우를 뜻한다. 4단계의 경우에는, 3 단계와 유사하나, 각 편대는 복합임무를 수행할 능력을 가지고 있어 작전범위의 향상뿐만 아니라, 작전 효율의 향상을 가져오는 경우를 뜻한다.

3.2 운용 환경 복잡성

무인시스템의 자율 수준 평가를 위해 Huang et al.^[10]는 무인시스템이 얼마나 복잡하고 어려운 환경에서 임무를 수행 할 수 있는지를 고려하기 위해, 장애물의 크기, 그리고 지형의 특성을 환경 복잡성에 고려하였다.

무인해양시스템은 타 무인시스템과 비교하여, 임무의 특수성과 복잡성으로 장기간 운용 능력이 요구되며, 해상상태에 따라 무인해양시스템의 운동에 제약을 많이 받기 때문에, 해양환경 상태를 함께 고려하였다. 마지막으로, 임무 수행 영역에서 예상 가능한 또는 예상 가능하지 못한 외부 환경(장애물 또는 해양 지형 등)에 적절히 대응하는지 여부를 고려하여 운용 환경 복잡성을 총 4단계로 구분하여, 무인해양시스템의 자율 수준 평가 분류방안에 반영하였다.

운용환경 복잡성 1단계는 1일 이하 임무수행이 가

능하며, SS 3이하의 해양환경에서 소수의 예상치 못한 또는 예상 가능한 외부환경에 극히 제한적으로 대응하며 임무를 수행을 하는 단계이다. 2단계는 1주 이하 운용/SS 4이하의 해양환경에서 소수의 예상치 못한 또는 예상 가능한 외부환경에 제한적으로 대응하며 임무를 수행하는 단계이다. 1달 이하 운용/SS 5이하의 해양환경에서 다수의 예상하지 못한 또는 예상 가능한 외부환경에 강건하게 대응이 가능한 단계를 3 단계로 제시한다. 4단계는 1달 이상 운용이 가능하며, SS 6이상의 해양환경에서 다수의 예상치 못한 또는 예상 가능한 외부환경을 극복하며 임무를 수행 하는 것을 뜻한다.

3.3 환경 인식

Fig. 1에서 설명한 무인해양시스템의 환경인식 기술은 센서 및 데이터 처리 기술로서, 목표물 탐지, 분류, 식별을 위한 기술로, 기뢰, 표적 및 장애물 탐지 범위의 확대와 식별의 정확성을 향상 시키는 기술이다. 또한, 고도화된 환경인식 기술을 바탕으로 다양한 임무를 수행할 수 있는 기반이 되는 기술이다. 환경인식기술을 자율 수준 판단에 기반이 되는 기술로 제시하여 총 4개 수준으로 분류하고 각 수준의 차이점을 Table 7에 나타내었다.

Table 7. Definition of level of autonomy in terms of environmental awareness

단계	환경인식	정의
1	인간 인식 Human monitored	원격운용을 위해, 무인해양시스템에 설치된 영상 및 수중음향 장치로부터 획득된 단순 정보가 인간에 의해 인식되는 단계
2	자동 탐지 Automated detection	목표물, 위협물 및 장애물이 무엇인지 구별하지 못하고 스스로 인식하는 단계
3	자동 분류 Automated classification	목표물, 위협물 및 장애물을 탐지한 다음 탐지된 물체에 대해 스스로 분류하는 단계
4	자율 식별 Autonomous identification	탐지 및 분류된 대상체를 무인해양시스템의 데이터 처리 기술을 바탕으로 구체적이고 명확하게 식별하는 단계

3.4 의사결정

자율 수준 평가 연구 동향에서 설명되었던, 단계적 자율수준 평가방법을 바탕으로 의사결정, 즉 무인해양시스템의 운용에 있어 인간의 개입정도 총 4단계로 구분하여 자율 수준 단계를 Table 8과 같이 분류한다. 인간의 개입정도에 따라 자율 수준을 단계화 하고, 인간의 개입이 작을수록 높은 자율 수준을 가진다고 정의한다.

Table 8. Definition of decision-making level for identifying level of autonomy

단계	의사결정	정의
1	Remote Control	인간에 의해 의사결정 모든 임무기능은 운용자에 의해 인식 및 실행
2	Autonomous by Consent (Human-directed)	무인시스템의 환경인식 능력으로 제안된 의사결정 선택 사항을 바탕으로 인간에 의한 의사결정
3	Semi-Autonomous (Human-aided)	운용자의 반응이 없을시, 무인시스템이 자동적으로 임무 관련 의사결정 및 실행
4	Fully Autonomous	완전자율 의사결정으로 인간의 개입이 전혀 없이 임무를 수행 함

3.5 무인해양시스템 자율 수준 분류방안

무인해양시스템의 자율 수준 평가 지표인, 임무 복잡성, 운용환경 복잡성, 환경인식 능력, 의사결정, 4개의 지표로 바탕으로 Fig. 7과 같이 방사형 구조로 자율 수준 평가 평가안을 제시한다. 앞서 설명한 바와 같이, 임무복잡성 수준은 4단계(단위, 복합, 편대, 군집), 의사결정은 총 4단계(Remote control, Autonomous by Consent, Semi-Autonomous, Fully Autonomous), 운용환경 복잡성은 해양상태, 운용지속능력, 그리고 외부환경에 적절히 대응하는지를 고려하여 4단계로 분류하였다. 마지막으로, 무인시스템의 자율 수준 향상에 핵심이 되는 환경인식을 4단계로 분류하여 자율 수준 평가안의 한 축에 표시하였다.

Fig. 7의 자율 수준 평가 안을 이용하여 임의의 무

인해양시스템인 무인잠수정과 무인수상정의 자율 수준을 그래프에 표시하였다. SS 5이하에서 1달 이하의 기간 동안, 위협 및 목표물에 대해 탐지, 분류가 가능한 환경인식 능력을 가진 무인잠수정이 단독으로 단일임무 수행이 가능하다고 가정하였다.

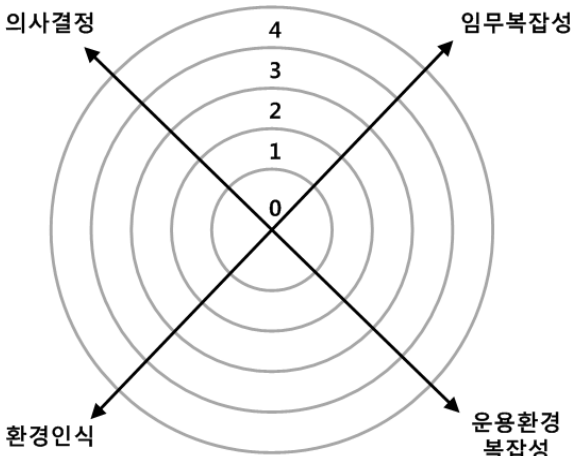


Fig. 7. Radar chart of level of autonomy for unmanned maritime systems

의사결정 단계에서는 목표물에 대해 운용자의 특별한 반응이 없이 스스로 임무 관련 의사결정과 실행을 한다고 가정하였다. 이 경우에, Fig. 8의 실선으로 연결한 것과 같이 자율 수준을 나타낼 수 있다.

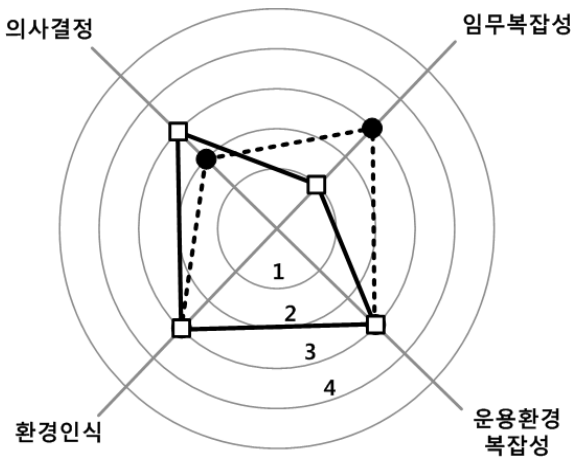


Fig. 8. Illustration of level of autonomy for unmanned maritime systems in the radar chart

SS 5이하에서 1달 이하의 기간 동안, 다수의 무인수상정이 1개의 편대를 이루어 2개의 편대가 있다고 가정한다. 1개의 편대는 기뢰탐색의 임무를 담당하고, 다른 하나의 편대는 기뢰 무력화, 기뢰 소해의 임무를 가지고 협력적으로 기뢰대향전 임무를 수행한다. 환경인식 기술을 바탕으로, 주변 대상체, 목표물에 대해 스스로 기뢰인지 여부를 분류할 수 있다. 무인수상정의 의사결정은 탐지 및 식별 관련 센서로부터 수집한 데이터를 바탕으로 인간에 의해 행동이 결정된다고 가정할 경우, Fig. 8의 점선으로 연결한 것과 같이 자율 수준을 나타낼 수 있다.

4. 결 론

지상, 항공 무인시스템의 자율 수준 평가에 비하여, 무인해양시스템의 자율 수준을 표준화 할 방안이 부족하다. 무인해양시스템의 자율 수준 분류 및 평가 방안 제시를 위해, 기 발표된 자율 수준 평가방안을 단계적 평가방법, 평가 지표 개수에 따른 평가 방법, 그리고 공식화 자율 수준 평가 방법으로 분류하여 소개한 다음, 각 평가 방법에 대한 장점과 단점을 요약, 분석 하였다.

무인해양시스템의 자율 수준 분류 및 평가 방안으로 4가지 평가 지표, 임무 복잡성, 운용 환경 복잡성, 환경인식 그리고 의사결정을 제시하였다. 기존 발표된 자율 수준 평가 방법과 달리, 무인해양시스템이 가지는 임무의 특수성을 고려하였고, 해양 운용환경에 따른 무인해양시스템에 요구되는 자율 수준을 운용환경 복잡성 평가지표로 제시하였다. 제시된 자율 수준 분류 및 평가안을 이용하여 임의의 UUV와 USV에 대한 자율수준을 그래프로 도시하였다.

무인해양시스템의 자율 수준에 대한 국내·외 연구 개발자, 사용자, 정책결정자 간의 의견을 바탕으로 조금 더 구체화, 수치화 및 객관적인 자율 수준 평가 방법이 필요하며, 이를 바탕으로 무인해양시스템 기술 연구방향 설정과 활성화를 기대해 본다.

References

[1] The Research and Technology Organisation of NATO, "Integration of Systems with Varying Levels

- of Autonomy,” TR-SCI-144, 2008.
- [2] Sheridan, T. B., “Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control,” The MIT Press. 1992.
- [3] Larry A. Young, Jeffrey A. Yetter, Mark D. Guynn, “System Analysis Applied to Autonomy: Application to High Altitude Long-Endurance Remotely Operated Aircraft,” American Institute of Aeronautics and Astronautics, pp. 1-32, 2009.
- [4] AAD Knowledge Transfer Network, “Autonomous Systems: Opportunities and Challenges for the UK,” Aerospace, Aviation & Defence Knowledge Transfer Network, 2012.
- [5] National Research Council, “Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations,” The National Academies Press., 2005.
- [6] NIAG(SG/75), “Pre-feasibility Study on UAV Autonomous Operations,” 2004.
- [7] M Suresh and D Ghose, “Role of Information and Communication in Redefining Unmanned Aerial Vehicle Autonomous Control Levels,” Journal of Aerospace Engineering, Vol. 224, pp. 171-197, 2009.
- [8] Alan F Hill, Fiona Cayzer, Peter R. Wilkinson, “Effective Operator Engagement with Variable Autonomy,” 2nd SEAS DTC Technical Conference - Edinburgh, 2007.
- [9] Susan A. Frost, Kai Goebel, Jose Celaya, “A Briefing on Metrics and Risks for Autonomous Decision Making in Aerospace Applications,” American Institute of Aeronautics and Astronautics, AIAA 2012-2402, pp. 1-13, 2012.
- [10] Hui-Min Huang, Kerry Pavek, Brian Novak, James Albus, Elena Messina, “A Framework for Autonomy Levels for Unmanned Systems(ALFUS),” Proceedings of the AUVSI’s Unmanned Systems North America, pp. 1-9, June, 2005.
- [11] Hui-Min Huang, “Autonomy Levels for Unmanned Systems(ALFUS),” NIST ALFUS Working Group SAE AS4D Commitee, 2005.
- [12] Michael E. Cleary, Mark Abramson, Milton B. Adams, Stephan Kolitz, “Metrics for Embedded Collaborative Intelligent Systems,” NIST Special Publication 970, pp. 295-301, 2000.
- [13] Brosl Hasslacher and Mark W. Tilden, “Living Machines,” Los Alamos National Laboratory, 1994.
- [14] Farid Kendoul, “Towards a Unified Framework for UAS Autonomy and Technology Readiness Assessment(ATRA),” Australian Research Centre for Aerospace Automation and CSIRO ICT Autonomous System Laboratory, 2011.
- [15] Yibo Li and Xinxing Wang, “Hierarchical Model and Evaluation Method for Autonomy Levels of Unmanned Platforms,” Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, Vol. 4, No. 11, pp. 1488-1493, 2012.
- [16] YueChao WANG and JinGuo Liu, “Evaluation Methods for the Autonomy of Unmanned Systems,” Chinese Science Bulletin, Vol. 57, No. 26, pp. 3410-3418, 2012.
- [17] Boyd, J. R. “The Essence of Winning and Losing,” Excerpts in Presentation Format Dated August 2010, April 2011.
- [18] Ryan W. Proud and Jeremy J. Hart, “FLOAAT, A Tool for Determining Levels of Autonomy and Automation, Applied to Human-Rated Space Systems,” American Institute of Aeronautics and Astronautics, AIAA 2005-7061, pp. 1-35, 2005.
- [19] Jeremie Pouly, Sylvain Jouanneau, Patxi Olhagaray, “Autonomous Mission Planning in Space : Mission Benefits and Real-Time Performances,” ETRS, pp. 1-7, 2014.
- [20] Jeremi Gancet and Simon Lacroix, “Embedding Heterogeneous Levels of Decisional Autonomy in Multi-Robot Systems,” Distributed Autonomous Robotics Systems 6, pp. 263-272, 2007.
- [21] Thomas B. Curtin, Denise M. Crimmins, Joseph Curcio, Michael Benjamin, Christopher Roper, “Autonomous Underwater Vehicles: Trends and Transformations,” Marine Technology Society Journal, Vol. 39, No. 3, pp. 65-75, 2005.
- [22] Alex Doboli, Daniel Curiaç, Dan Pescaru, Simona Doboli, Wendy Tang, Costantin Volosencu, Michael Gilberti, Ovidiu Baniias, Codruta Istin, “Cities of the Future: Employing Wireless Sensor Networks for Efficient Decision Making in Complex Environments,” CEAS Technical Report Nr831, 2008.

[23] Scott Savitz, Irv Blickstein, Peter Buryk, Robert W. Button, Paul DeLuca, James Dryden, Jason Mastbaum, Jan Osburg, Philip Padilla, Amy Potter, Carter C. Price, Lloyd Thrall, Susan K. Woodward,

Roland J. Yardley, John M. Yurchak, “U.S. Navy Employment Options for Unmanned Surface Vehicles (USVs),” RAND Cooperation, 2013.