



Received: 2020/06/22  
Revised: 2020/07/07  
Accepted: 2020/08/13  
Published: 2020/08/29

**\*Corresponding Author:**

**Hyo-Soon Choi**

Tel: +82-42-553-5247

E-mail: hoaiiba@hotmail.com

# 수상/수중 무인체계의 자율화수준 및 적용방안에 대한 연구

## A Study of Autonomous Level and Application Plan for Unmanned Surface/underwater Systems

최효순\*, 김정규

해군본부 무장/무인체계과

Hyo-Soon Choi\*, Jeong-Gyu Kim

Armed/Unmanned Systems Division, Republic of Korea Navy Headquarter

**Abstract**

4차 산업혁명의 첨단기술의 발전으로 무인체계의 군사적 활용이 요구되고 있다. 이러한 무인체계의 가장 중요한 능력 중 하나인 자율화 수준에 대한 군의 요구사항을 제시하기 위한 방법으로 본 연구를 진행하였다. 과거 자율화 수준에 대한 연구사례를 분석을 통해 공통적으로 운용자의 개입 정도를 이용하는 것을 식별하였다. 따라서 수상/수중 무인체계의 자율화 수준 및 적용방안으로 운용자의 개입 정도를 기준으로 자율화 수준을 총 5단계로 선정하고, 수상/수중 무인체계의 임무 및 기능을 유형별로 세분화하여 자율화 수준을 적용하는 복잡임무형 자율화 수준을 제시하였다.

With the development of advanced technology in the 4th industrial revolution, military use of unmanned systems is required. This study was conducted as a method to present the military's requirements for the level of autonomy, one of the most important capabilities of such unmanned systems. Through the analysis of research cases on the level of autonomy in the past, it was identified that the level of operator intervention was commonly used. Therefore, the method of defining and applying the level of autonomy of the unmanned surface/underwater system, "the complex autonomous levels" is presented by this study. Based on the level of operator intervention, the level of autonomy is selected in 5 phases, and the level of autonomy is applied by subdividing the missions and functions of unmanned water/underwater systems by type.

**Keywords**

자율화(Autonomous),  
무인체계(Unmanned System),  
자율화 수준(Autonomous Level),  
수상무인체계(Unmanned Surface System),  
수중무인체계(Unmanned Underwater System)

**Acknowledgement**

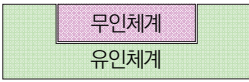

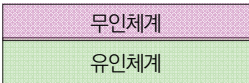

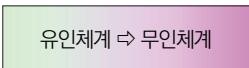

본 논문은 해군과학기술학회 2020년 추계학술대회 발표논문을 기반으로 작성되었습니다.

### 1. 서론

인공지능, 빅데이터 등 첨단기술이 급격하게 발전함에 따라 다양한 분야의 무인체계 개발이 활발하게 진행되고 있다. 이러한 무인체계는 획득하고자 하는 목적(유인과의 관계)에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다. 먼저 '보완'으로 기존 유인전력의 부족한 능력을 무인체계로 보충하는 개념이다. 소해함이 수중자율기뢰탐색체를 운용하여 계획보다 빨리 지정된 구역에 대해 기뢰탐색을 완료하는 것을 예로 들 수 있다. 다음은 '확장'으로 기존 유인전력으로 수행할 수 없는 임무를 무인체계를 통해 수행하는 개념이다. 무인수상정을 활용하여 유도무기 시험시 표적으로 활용하는 것을 예로 들 수 있다. 마지막으로 '대체'로 기존의 유인전력이 수행하던 임무를 무인체계가 수행하는 개념이다. 급조폭발물 발견시 사람이 직접 확인하고 조치하던 것을 EOD로봇을 이용하여 임무를 수행하는 것을 예로 들 수 있다. 이와 같은 분류방법 및 적용사례를 정리하면 Table 1과 같이 요약할 수 있다.

이와 같은 목적으로 개발 및 확보 예정인 무인체계는 다양한 능력이 요구되지만, 무인으로 운용되면서 임무를 수행하는 체계의 특성을 고려시 가장 중요한 능력 중 하나가 바로 자율화 능력이다. 자율화 능력의 수준과 관련하여 자율주행차량 등 민간에서 활용하는 무인체계의 국내·외 연구사례는 다양하지만, 군사적 운용 특성을 고려한 수상/수중 무인체계의 자율화 능력 수준에 대해서는 아직까지 많은 연구가 수행되지 않았다. 특히, 무인체계를 군사적으로 사용하기 위해 획득할 경우 소요결정 단계시 작전운용 성능(ROC, requirement of capability)을 설정하고, 개발 간 성능의 충족 여부에 대한 평가가 필요하다. 하지만 현재 자율화 능력의 수준에 대한 명

**Table 1.** Classification of unmanned system by acquire object

구분	정의	예시
보완	기존 전력의 부족한 능력을 무인체계로 보충 	 <수중자율기뢰탐색체>
확장	기존 전력이 수행할 수 없는 임무를 무인체계로 수행 	 <무인표적정>
대체	기존 전력이 수행하는 임무를 무인체계로 수행 	 <EOD로봇>

확한 기준이 정립되어 있지 않아 이에 대한 작전운용성능을 요구하고, 성능의 충족 여부에 대한 평가가 제한될 것으로 예상된다. 또한 수상/수중 무인체계 획득, 개발시 소요군과 개발기관/업체 간 자율화 수준에 대한 이견이 발생할 가능성이 높다.

본 논문에서는 수상/수중 무인체계 획득, 개발시 자율화 능력에 대한 군의 요구사항을 제시하고 목표수준을 공유하기 위한 자율화수준 및 적용방안을 제시하고자 한다.

## 2. 국내·외 자율화수준 연구사례

먼저 자동화와 자율화의 개념을 살펴볼 필요가 있다. 자동화란 “정해진 규칙에 따라 계속적으로 작동하는 것[1]”으로 공장에서 기계를 조립하는 로봇처럼 단순한 상황 또는 조건에 대해 if~ then 방식으로 반복적으로 행하는 것을 뜻한다. 반면에 자율화란 “어떤 일을 구속하지 아니하고 자기 스스로의 원칙에 따라 하도록 하는 것[1]”으로 자율주차시스템과 같이 자동차가 운전자의 도움 없이 스스로 주변 차량 및 공간을 인식하고 방향조절 등을 통해 주차공간으로 차를 움직이는 것을 예로 들 수 있다. 이와 같이 자율화는 다양한 상황에서 시스템이 스스로 최적의 방안을 판단하고 운영하는 것으로 인공지능화된 자동화로 볼 수 있다. Table 2는 자동화와 자율화가 적용된 사례로 두 개념의 차이를 쉽게 이해할 수 있다.

**Table 2.** Automation and autonomy

자동화	자율화
 <지문인식출입>	 <자동차조립>
	 <무인주행버스>

자율화 수준은 다양한 방법으로 그 정도를 정의하고 적용할 것인지에 대해 많은 연구가 이루어졌으며 이를 분석해보면 크게 3가지 방법으로 분류할 수 있다.

첫 번째는 단계형 평가[2]로 시스템의 성능, 운용자의 개입 등 하나의 지표를 기준으로 평가하는 방식이다. 美 고등연구계획국, 美 자동차공학회, 국과연(지상기술연구원) 등에서 이와 같은 방식으로 자율화 수준 분류방안을 제시하였으며 Table 3에 각 기관에서 제시한 방법을 정리하였다[2-5].

**Table 3.** Evaluation of step

구분	평가지표
美 고등연구계획국	운용자의 개입 정도(4단계)
美 자동차공학회	운용자의 개입 정도(6단계)
국제해사기구	운용자의 개입 정도(4단계)
국과연 (지상원)	제어범위 및 운용자의 개입 정도(10단계)

가장 대중적으로 많이 사용되고 있는 美 자동차공학회(SAE, Society of Automotive Engineers)의 자율화 수준을 구체적으로 살펴보면 아래 Table 4와 같으며[4], 주행과 관련된 기능 중 운전자가 어디까지 직접 조작하고 개입하는지를 기준으로 자율화수준을 분류한 것을 알 수 있다.

**Table 4.** SAE's Autonomous level

구분	적용개념
0단계 비자동화	자율주행 기능 없음
1단계 운전자 지원	운전자 운전 상태에서 핸들 조향 또는 감속 등 일부 기능만 지원
2단계 부분 자동화	핸들 방향 조종과 가 · 감속 등 하나 이상의 자동화 기능 포함
3단계 조건부 자동화	차량이 주변 환경을 파악해 운행 (특정 상황시 운전자 개입)
4단계 고도의 자동화	운전자 개입 없이 차량 스스로 주행 (돌발 상황에만 주의)

이와 같이 단계형 평가는 자율화 수준을 직관적으로 표현하고 누구나 쉽게 이해할 수 있는 장점이 있다. 따라서 현재 자율주행차량 등 민간 영역에서 자율화 수준의 기준으로 활용 중이다. 그러나 자율화에 영향을 줄 수 있는 많은 지표들이 고려되지 않아 수행임무가 복잡한 수상/수중 무인체계의 자율화 수준으로 적용하는 것은 제한될 것으로 판단된다.

두 번째는 평가지수에 의한 평가로 자율화에 영향을 미치는 다양한 평가지표를 활용하여 자율화 수준을 평가하고 이를 도식화하여 자율화수준을 표현하는 방법이다. 美 국방부, 국과연 해양기술연구원 등에서 이와 같은 방식으로 자율화 수준 분류방안을 제시하였으며, 평가지표는 Table 5와 같은 요소들을 활용하였다[2].

**Table 5.** Evaluation by factor

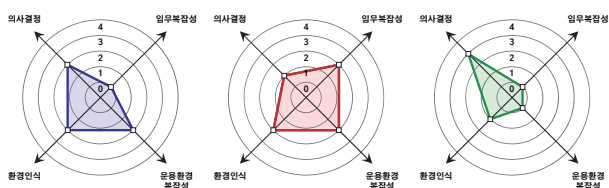
구분	평가지표
美 국방부	운용자 개입, 임무복잡성, 환경장애
NATO	운용환경의 복잡성, 수행임무의 복잡성, 무인시스템 간 상호운용성
국과연 (해양원)	임무복잡성, 환경복잡성, 환경인식, 의사결정

국과연(해양원)에서 제시한 자율화 수준을 살펴보면 Table 6과 같이 해양환경과 무인체계 임무수행 난이도 등을 고려하여 총 4개의 지표를 선정하고 각 지표별 수준을 4단계로 구분하였으며, 이를 기준으로 Fig. 1과 같이 자율화 수준을 도식화할 수 있다[2].

**Table 6.** Factor of evaluation autonomous level

구분	1단계	2단계	3단계	4단계
임무복잡성	단위임무	복합임무	편대임무	군집임무
환경복잡성	SS 3 이상, 1일 이하	SS 4 이상, 1일 이하	SS 5 이상, 1주 이하	SS 6 이상, 1주 이상
환경인식	운용자인식	자동탐지	자동분류	자율식별
의사결정	원격제어	운용자 권고	운용자 감독	완전자율화

\*SS: Sea State



**Fig. 1.** Illustration of level of autonomy[2]

평가지수에 의한 자율화수준 평가는 다양한 분야의 지표들을 한번에 표현이 가능하며, 자율화 수준의 포괄적 평가를 통해 체계 간 비교가 용이한 장점이 있다. 그러나 각 지표들의 평가기준이 상이하며, 지표에 대한 가중치 등에 주관적 판단이 포함되어 객관적 자율화 수준 판단이 제한되는 단점이 있다.

마지막으로 공식화 평가[2]로 자율화에 영향을 미치는 평가지표를 선정하고 이를 반영한 특정 함수식을 설정하여 자율화 능력 수준을 계산 및 평가는 방식이다. Curtin, Dobioli 등이 이와 같은 방식으로 자율화수준 분류방안을 제시하였으며 Table 7과 같은 요소들을 계산하는 지표로 반영하였다.

**Table 7.** Evaluation by formulas

구분	평가지표
Curtin	자율수준(제어시간, 통제 메시지 비율), 지능(임무달성 현황, 소요시간)
Dobioli	운용자 효과, 성능, 시간, 환경인식

Curtin이 제시한 자율화 수준 평가공식을 살펴보면 아래 식 (1), 식 (2)와 같으며[6], 임무를 수행하는 동안 운용자가 개입한 시간과 통제메세지의 비율을 운용사례 등을 기반으로 산출한 계수( $C_n, C_x$ )와 지수( $i, j, m, n$ )를 활용하여 계산하는 방식이다.

$$Autonomy = C_n \left[ \frac{Control\ bits}{Total\ message\ size} \right]^{-i} \times \left[ \frac{Control\ time}{Total\ mission\ time} \right]^{-j} \tag{1}$$

$$Intelligence = C_x \left[ \frac{Mission\ completion\ time}{Maximum\ endurance} \right]^{-m} \times \left[ \frac{Achieved\ result}{Objective} \right]^{-n} \tag{2}$$

공식화 평가는 무인체계 자율화와 관련된 데이터를 기반으로 자율화능력에 대한 결과를 제시함으로써 정량적 평가가 가능한 장점이 있다. 그러나 자율수준에 영향을 주는 지표 및 변수 설정이 어려우며, 객관적인 평가를 위해 신뢰성, 공신력 있는 변수 설정을 필요로 한다[2].

자율화 수준에 대한 연구사례를 종합적으로 분석해보면 다양한 기준을 적용하여 자율화 수준(안)을 제시하고 있으나, 공통적으로 운용자 개입 정도를 평가지표에 포함하고 있는 것을 알 수 있다.

### 3. 수상/수중 무인체계 자율화수준 적용방안

수상/수중 무인체계의 자율화 수준 적용방안 도출을 위해서는 자율화 수준에 대한 군의 명확한 요구사항을 제시할 수 있어야 하고, 다양한 임무를 수행하는 수상/수중 무인체계 특성을 고려해야 할 것이다.

국내외 연구사례, 활용목적 등을 종합적으로 고려하여 자율화 수준 적용(안)을 복합단계형 방안으로 정의하였다. 가장 기본적인 자율화 수준 평가 절차인 단계형 평가에 수상/수중 무인체계 임무특성을 추가(복합)한 자율화 수준 적용 방안이다. 제시된 방안을 세부적으로 설명하면 국내외 연구사례 분석을 통해 자율화 수준의 가장 큰 요소가 바로 운용자의 개입 정도이므로 의사결정 과정에서 운용자 개입 정도를 기준으로 자율화 수준을 선정한다. 그리고 활용목적을 고려하여 수상/수중 무인체계의 임무 및 기능을 유형별로 세분화하여 자율화 수준을 적용하였다.

구체적인 자율화 수준(안)은 운용자의 개입 정도를 기준으로 Table 8과 같이 총 5단계로 구분하였다.

Table 8. Autonomous levels

구분	적용개념
Phase 1 (원격제어)	운용자가 직접 무인체계의 장비를 조종 및 통제
Phase 2 (운용권고)	운용자의 의사결정을 위한 대안을 제공하며 명령에 따라 임무를 수행
Phase 3 (부분위임)	운용자로부터 위임된 일부 임무에 한하여 자율적으로 수행
Phase 4 (위임/감독)	무인체계가 주변 환경을 파악해 자율적으로 임무를 수행하지만 특정 상황시 운용자 개입
Phase 5 (자율화)	운용자의 개입 없이 무인체계가 모든 것을 스스로 결정하고 임무를 수행

제안하는 방법을 수상/수중 무인체계 기동을 예로 설명하면, Phase 1은 운용자가 원격으로 실시간 조종 및 통제하는 수준이다. Phase 2는 수상/수중 무인체계가 센서정보를 융합하여 운용자에게 변칙 또는 중/감속을 권고하는 수준이다. Phase 3은 운용자가 기동경로를 설정하면 수상/수중 무인체계가 스스로 기동경로를 추종하면서 장애물을 회피하는 수준이다. Phase 4는 운용자가 출발지와 도착지, 이동속도를 설정하면, 센서정보를 활용, 스스로 주변 환경을 파악하고 무인체계가 기동경로를 설정하는 등 자율적으로 임무를 수행한다. 단, 다수 장애물 등의 상황에서는 장애물 사

이의 단순 회피만을 수행하는 수준으로 필요시 해당구역의 우회 등 기동경로 자체를 재설정하는 등 운용자가 모니터링 및 개입은 필요한 수준이다. Phase 5는 스스로 경로를 설정하여 기동하며, 상급제대의 승인이 필요한 기동은 의도를 보고하고 승인 후 시행하는 등 실제 사람이 운용하는 것과 같은 형태로 기동하는 수준이다.

이와 같이 정의한 자율화 수준(안)을 해군의 수상/수중 무인체계별 임무와 특성을 고려하여 세분화하여 각 분야별로 적용한다면 Table 9와 같이 적용할 수 있을 것이다.

Table 9. Example of combined autonomous levels

대상체계	기동	임무				무장 운용
		정찰/감시	기뢰탐색	소해	...	
정찰용 USV	Phase 3	Phase 4	Phase 2	-	...	Phase 2
기뢰전 USV	Phase 3	Phase 3	Phase 4	Phase 4	...	Phase 2
기뢰탐색용 UUV	Phase 4	-	Phase 4	-	...	-

복합단계형 자율화 수준 적용방안은 수상/수중 무인체계의 운용개념을 고려하여 임무 및 기능별로 명확한 자율화 요구수준(목표) 제시가 가능한 장점이 있으며 이를 통해 작전운용성능을 제시하고, 향후 이를 평가하기 위한 기준으로 활용이 가능할 것으로 생각한다.

### 4. 결론

인공지능과 빅데이터 등 4차 산업혁명 기술의 발전에 따라 무인화된 체계에 대한 자율화 수준 또한 지속적으로 발전할 것이다.

본 연구를 통해 수상/수중 무인체계의 소요결정 및 개발간 자율화에 대한 요구수준을 명확하게 제시하기 위해 자율화 수준 및 적용방안을 제시하였다. 제시된 방안을 실제 적용하기 위해서는 소요군과 개발기관 및 업체와의 공감대를 형성하고 관련내용을 규정에 반영할 필요가 있다. 또한 필요시 Phase 3-A/B 등 자율화 수준을 세부수준을 추가로 정립하고, 각 단계별 핵심요소(선결조건)를 식별하여 상·하위 단계 간 명확한 구비조건을 구체화할 필요가 있다. 그리고 수상/수중 무인체계별 수행임무를 구체화하고 각 임무별 관계를 분석하여 최적의 임무수행 여건을 보장하기 위한 적절한 자율화 수준에 대한 검토 및 요구가 필요하다.

## 후기

본논문의 내용은 해군의 공식적인 의견이 아니며, 개인 연구결과임을 밝힙니다.

## 참고문헌

- [1] 국방과학기술용어사전, “자율화”, “자동화”,  
<<http://dtims.dtaq.mnd.mil:8070/search/main/index.do>>  
(접속일 : 2020. 6.17.)
- [2] Laeun Kwon, “Classification and Evaluation Method for Autonomy Levels”, Journal of the KIMST, 2016, Vol. 19, No. 3, pp. 404-414.
- [3] Taehyung Lee, Yongseok Seo, Ji-Hoon Choi, “A study on the the Evaluation Method according to Change of Autonomous Level of Ground Autonomous Robot”, Journal of KIMST, 2019, pp. 1865-1866
- [4] SAE J3016, Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems, 2014
- [5] 박혜리, 박한선, 김보람, 자율운항선박 도입 관련 대응정책 방향 연구, 한국해양수산개발원, 부산, 2018
- [6] Thomas B. Curtin, Denise M. Crimmins, Joseph Curcio, Michael Benjamin, Christopher Roper, “Autonomous Underwater Vehicles: Trends and Transformations,” Marine Technology Society Journal, 2005, Vol. 39, No. 3, pp. 65-75.