

무인자율잠수정(AUV)의 안전 운항: 제약과 극복

우종식, 이철원, 오영석
대우조선공업(주) 선박해양기술연구소

A Study on the Obstacle and Its Removal during the Mission of the AUV

Jong-Sik Woo, Chul-Won Lee, Young-Seok Oh

Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering Co., Ltd.

KEY WORDS: AUV, 감내 한계, 임무 수행, 위험 요소, 위험 요소 처리 algorithm

ABSTRACT: This paper deals with the ways how the AUV can detect and treat possible emergency situations during the mission. The emergency situations can be divided into two parts according to the zones where the situations take place - inner zone, and outer zone. This paper explains how each element of emergency situation is detected and treated, and as a result, introduce the algorithm of this procedure for the autonomous cruising.

1. 서 론

해양은 21세기를 맞으면서 인류의 새로운 활동공간 및 고갈되어 가고 있는 육지 자원을 대체할 새로운 자원으로 그 중요성을 더해가고 있다. 일반적으로 해양개발은 인간의 잠수 한계를 넘어서는 수심에서의 작업 또는 인간이 수중에서 직접 할 수 없는 작업들을 필요로 한다. 현재 이러한 환경에서 인간을 대신해 원하는 작업을 수행하기 위한 장비로서 AUV(Autonomous Underwater Vehicle)와 ROV(Remotely Operated Vehicle)가 있다. ROV는 통상 수상 모선과 연결된 줄(Tether)을 이용하여 모선으로부터 전력 및 명령을 전달받아 운용된다. 그러나 AUV는 ROV와 달리 줄 없이 독립적이고 자율적(Autonomously)으로 주어진 임무를 수행한다. 이와 같이 AUV는 일단 그 운용에 들어가면 운용자와 분리된 상태에서 독립적으로 임무를 수행하게 되므로 AUV 설계시 가장 우선적으로 고려할 점은 AUV가 자체적으로 자신의 위험 상황 및 손상 정도를 판단 분석하여 이에 능동적으로 대처하며 주어진 임무를 수행하게 하는 기능을 갖게 하는 것

이다.

본 논문에서는 대우조선공업(주)에서 제작한 6,000m급 AUV의 설계 및 운용 경험을 바탕으로 AUV 설계시 설계자가 고려해야만 하는 수중에서 만날 수 있는 비상상황을 소개하고, 이들을 원인별, 결과별 특성에 따라 분류하여 이들 각각에 대한 판단 방법 및 대처 방안을 설정하였으며, 이의 감내 한계가 AUV의 거동 및 안전에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 바탕으로 AUV가 소기의 목적을 최대한 달성하기 위한 감내 알고리즘을 제안하였다.

2. AUV의 임무 수행 중 위험요소 및 위험요소 자체 판단 기법

AUV는 임무 수행 중 다양한 형태의 위험 요소를 만나게 된다. 이들은 크게 내부적 요소와 외부적 요소로 분류되어질 수 있다. 이러한 위험 요소들을 AUV는 자체 진단 장비에 의해 일부는 직접적으로 판단할 수 있으나, 일부는 설계자가 진단 장비들로부터의 정보를 바탕으로 AUV로 하여금 예측할 수 있도록 설계하여야 한다. 또한 감지된 위험 요소들

의 감내 정도를 판단하여 AUV가 임무를 계속 수행할지의 여부를 판단하도록 하여야 한다. 본 논문에서는 대우조선공업(주)에서 개발한 AUV를 바탕으로 하여 각 위험 요소들의 감지 방법 및 이의 처리 방법에 대하여 설명하고, 이를 바탕으로 AUV의 위험 요소에 대한 감내 알고리즘을 제안한다.

Table 1 The Risk Factors of AUV Mission

내부적 요소	외부적 요소
<ul style="list-style-type: none"> * 전력 공급 이상 * 운용 장비 이상 <ul style="list-style-type: none"> - Video Camera - Still camera - Side scan sonar * 센서 이상 <ul style="list-style-type: none"> - Depth sensor, - Obstacle avoidance Sonars - Temperature and Conductivity Sensor - Gyro Compass etc. * 운용 컴퓨터 이상 * Program 이상 * 누수(Leakage) * Thruster 이상 	<ul style="list-style-type: none"> * 조류 * 해수의 밀도 변화에 의한 부력이상 * 급격한 지형 변화 * 수중 소음

2.1 AUV의 임무 수행중 위험 요소

AUV의 임무 수행 중 위험요소는 발생 유형별로 크게 내부적 요소와 외부적 요소로 분류되어질 수 있으며 표 1과 같다.

위험 요소들 중 주요한 내부적 요소의 원인은 다음과 같다.

- ① 전력 공급이상; AUV의 동력원인 배터리 특성상 충전 및 방전 상태가 시간이 지남에 따라 불규칙해짐
- ② 운용 장비 및 센서이상; 장비 자체의 전기적 고장, 누수, 프로그램의 오작동, 전력 공급 이상
- ③ 운용 컴퓨터 이상; 누수, 프로그램의 오작동, 전력 공급 이상
- ④ 누수; 압력 용기 내부의 O-ring 및 Gasket 이상
- ⑤ Thruster 이상; 전력 공급 이상, 부력, 조류 등의 외부조건 극복을 위한 과부하, 그물 등의 장애물에 의한 과부하

또, 위험 요소들 중 주요한 외부적 요소의 원인은 다음과 같다.

- ① 조류; 표층뿐 아니라 심해저 수중산(Seamount)

- 이 많은 지역에서의 강한 해저 조류
- ② 부력변화; 중성부력상태를 방해하는 염도변화에 기인한 부력변화
- ③ 급격한 지형변화; 장애물 회피 능력을 초과하는 험한 지형 또는 해저 동굴
- ④ 수중소음; 수상의 본선과 정상적인 통신을 방해하는 동물(고래 등)의 소리 또는 수상선으로부터의 다양한 수중 초음파

이상의 예와 같이 AUV의 정상적인 임무 수행에 대한 방해 또는 분실에 대한 위험은 단순히 AUV 내부적 구성요소의 고장이 원인이 될 수도 있으나, 작업환경에 대한 사전조사 및 경험의 부족으로 인한 외부적 요소가 복합적으로 나타난 결과에 기인하는 경우가 많다.

2.2 AUV의 임무 수행중 위험 요소 자체 판단 기법

전 절에서와 같이 AUV는 임무 수행 중 다양한 위험 요소에 접할 수 있다. 그러나 AUV는 이러한 위험 요소를 일부분은 자체 진단 장비에 의해서 직접적으로 판단할 수 있으나, 일부분은 AUV가 내장하고 있는 여러가지 감지 장비로부터의 정보를 종합하여 AUV가 어떠한 위험요소에 처해있는지 판단하도록 하여야 한다.

AUV가 일반적으로 보유하고 있는 감지장비는 다음과 같이 분류할 수 있다.

- ① 자체 거동 감지 장비
 - Depth sensor, 음향 sensor인 OAS(Obstacle Avoidance System), Heading sensor, Pitch sensor, Speed logger
- ② 동력 공급 감지 장비
 - AD converter
- ③ 프로그램
 - Real time OS를 이용하는 경우 일반적으로 Processor interrupt
- ④ 누수
 - 해수의 전해성을 이용한 집지

이상의 자체 감지 장비를 이용하여 위험 요소 중 내적 요소는 직접적으로 감지되어지나 외적 요소는 거동 감지 장비의 정보들을 바탕으로 하여 간접적으로 처리하도록 하여야 한다. 이러한 외적 요소들의 판단 예는 다음과 같다.

- ① 조류
 - Heading의 급격한 변화, 목표 heading과의 과도한 차이의 지속, 목표 속도와의 과도한 차이의 지속
- ② 부력 이상
 - 상하 운동용 thruster의 지속적 과부하, 과도한 pitch 조정 angle

③ 급격한 지형 변화

Heading, pitch의 과도한 변화

④ 수중 소음

OAS 등 음향 장비의 과도한 noise

3. 위험 요소별 감내 한계

이상과 같이 AUV가 각종 위험 요소를 판단하면 AUV는 각각의 위험 요소가 자신이 감내할 수 있는지에 대하여 판단 하여야 한다. 이의 판단 기준은 크게 위험 요소가 AUV 자체의 안전에 심각한 위험을 초래할 수 있는가와 임무 수행 가능 여부이다.

또, AUV의 안전에 심각한 위험을 초래하는 위험 요소는 크게 AUV의 회수 가능 여부와 위험 요소가 한 부분의 고장으로부터 다른 요소의 고장으로 까지 확대될 수 있는지의 여부이다. 일반적으로 AUV는 그 특성상 자체 수리 기능을 내장하지 않으므로 AUV 설계자가 할 수 있는 일은 AUV가 위험 요소를 감지 한 경우 이 위험요소의 감내 한계를 설정하여 AUV가 임무를 계속 수행할지 아니면 임무를 포기하고 부상할지를 정해 주어야만 한다.

3.1 AUV의 안전에 심각한 영향을 끼치는 위험 요소

AUV의 안전에 심각한 영향을 끼치는 위험요소는 크게 AUV의 회수가능 여부와 확대 가능성이 있는 위험 요소로 분류되어 질 수 있다.

① AUV의 회수에 영향을 끼치는 위험요소

AUV는 일반적으로 잠수용 weight와 부상용 weight 2개를 부착하고 잠수한 후 목표 수심에 도달하면 잠수용 weight를 이탈시킨 후 중성 부력 상태에서 임무를 수행한 후 임무가 완료되면 부상용 weight를 이탈시켜 부상하는 형태로 운영된다. 결국 AUV의 회수에 영향을 주는 위험요소는 누수이다. AUV는 각종 장비를 담고있는 여러 압력용기로 이루어지며 각 압력용기마다 누수 sensor에 의해서 누수 여부를 탐지한다. 각 압력 용기의 누수량의 총합이 부상용 weight보다 커지면 AUV는 부상할 수 없게 된다. 결국 AUV 설계자는 적정량의 누수 허용치를 설정하여야만 한다.

② 확대 가능성이 있는 위험요소

AUV는 여러 전자 전기장비의 조합으로 이루어져 있으며 한 부분의 전기적 고장이 연쇄적으로 다른 부분의 고장으로 이어 질 수 있다. 그리고 고압 상태의 심해저에서 하나의 압력용기의 파괴는 인접한 압력용기들의 파괴로 이어질 수 있으므로 설계자는 인식된 위험요소가 다른 부분으로 확대되었을

때의 결과를 예측하여야 한다.

3.2 임무 수행에 영향을 주는 위험 요소

임무 수행에 영향을 주는 위험요소는 크게 임무 자체에 영향을 주는 위험요소와 임무를 수행하기 위한 보조 기능에 영향을 주는 요소로 구분할 수 있다. AUV의 임무 자체에 영향을 주는 위험요소는 주로 AUV의 임무수행용 장비의 고장이다. AUV는 side scan sonar, video, still camera등의 여러 임무 수행용 장비를 내장하고 있다. AUV가 임무 수행중 이들 장비가 고장이 난 경우 이 고장난 장비가 임무에 미치는 영향의 비중에 따라 AUV는 부상할지 여부를 판단하여야 한다. 임무 수행을 위한 보조 기능에 영향을 주는 위험요소로는 주로 AUV의 운항에 관한 위험요소이다. 이러한 위험요소로는 depth sensor, OAS, heading sensor, pitch sensor, speed logger등의 운항 계측장비의 고장, 추진 장치의 고장, 조류로 인한 주어진 항로의 유지불능, 급격한 지형변화로 인한 장애물, 배터리 용량 부족으로 분류되어 질 수 있으며 각 요소별 판단 기준은 다음과 같다.

① 계측 장비의 고장

계측 장비의 고장이 임무 수행에 미치는 영향은 크게 보완적 장치가 있는 경우와 반드시 모니터링을 하여야 하는 경우로 분류 할 수 있으며 AUV의 상호 보완적 계측 장치의 예로는 depth sensor와 bottom sonar가 있다. Depth sensor는 수면으로부터의 수심을 계측하는 기능을 하며 bottom sonar는 해저 면으로부터의 고도를 계측한다. 해저 지형의 변화가 심하지 않은 경우 고도와 깊이의 합은 일정하다는 가정 하에서 한가지 계측 장비가 고장 시 대응되는 장비를 이용하여 고장난 장비를 대처 할 수 있다. 침몰 물체 탐색의 경우와 같이 기록된 자료의 위치 정보가 반드시 필요한 경우는 heading sensor와 같은 위치 sensor의 중요도가 크나 망간 단괴와 같이 해저물의 분포 조사와 같은 경우 이의 고장은 무시할 수 있다. 또한 깊은 수심의 해상에서 얕은 깊이의 임무에서는 고도 sensor의 모니터링은 그 중요도가 적어지며 반대의 경우도 마찬가지이다. 이상과 같이 설계자는 계측장비의 고장의 경우 각각의 계측 장비가 보완적 장비가 있는지 없는지 계측 장비로부터의 자료의 중요도를 바탕으로 임무 수행 지속 여부를 AUV가 판단하도록 설계하여야만 한다.

② 추진 장치의 고장

AUV의 각 운동 방향에 대해 필요한 속도와 moment를 발생시킬 수 있는 모든 조합의 힘을 추

진기가 낼 수 없을 때 AUV는 더 이상 임무를 수행할 수 없다. 따라서 설계자는 AUV의 운동특성에 따라 각 thruster의 고장을 다른 thruster가 대체할 수 있는지의 여부를 AUV가 판단하여 임무 수행 여부를 결정하도록 하여야 한다.

③ 항로 유지 불능

AUV의 항로는 주로 heading과 속도, 깊이, 고도로 나타내어진다. AUV가 항로 유지가 불가능한 경우는 크게 조류에 의하여 AUV가 밀리는 경우와 장애물에 의한 경우이다. 각각은 운용자가 원하는 항로로부터 AUV를 이탈시키는 역할을 하게 된다. 설계자는 AUV의 임무에 따른 항로로부터의 오차 한계를 주어 임무의 수행 여부를 판단하게 하여야 한다.

④ 배터리 용량 부족

운용중 배터리 용량부족은 크게 자체 충전량의 부족 또는 부력 불균형에 의한 깊이 및 고도 유지를 위하여 AUV가 과도하게 thruster를 회전시키는 경우, 역방향 조류에 의해 전진을 위해 과도한 thruster 운용에서 비롯된다. 배터리 용량에 대한 측정은 AUV가 임무를 시작하기 전 자체적으로 판단하여 초기에 임무 시작 여부를 판단하는 것이 가장 합리적이거나 임무 수행적 외적 요소에 의한 배터리 부족 사태는 일반적으로 AUV의 안전보다는 임무를 완료하지 못하는 문제점만을 발생시킨다. 이 경우 배터리가 어느 적정수준 이하로 떨어지면 자동적으로 부상하는 것이 일반적인 해결 방법이나 근래 연구 중인 수중 급전(給電) 방식이 개발되면 장시간 수면으로 부상하지 않고 연속작업이 가능해질 것이다.

이상과 같이 각 위험 요소에 대한 AUV의 감내 한계는 한가지 요소가 만으로 단독적으로 결정되어 지는 것이 아니라 여러 다른 요소들과의 연관 관계 또는 각 임무의 특성과 같이 종합적으로 판단되어진다.

4. 위험요소 판단 및 처리 알고리즘

AUV의 임무 수행 중 접할 수 있는 위험 요소의 분류 및 이의 탐지 방법, 감내 한계를 바탕으로 하여 AUV의 위험 요소에 대한 처리 과정은 크게 4 단계로 표현되어 질 수 있으며 각 단계는 다음과 같다.

- ① 위험 요소 탐지
- ② 감내 한계 판단
- ③ 임무 수행 지속 여부 판단
- ④ 부상 또는 임무의 지속적 처리

이상의 내용을 바탕으로 하여 각 위험 상황에 따른 AUV의 위험상황 판단 및 처리 알고리즘은 그림 1, 2, 3으로 나타낼 수 있다.

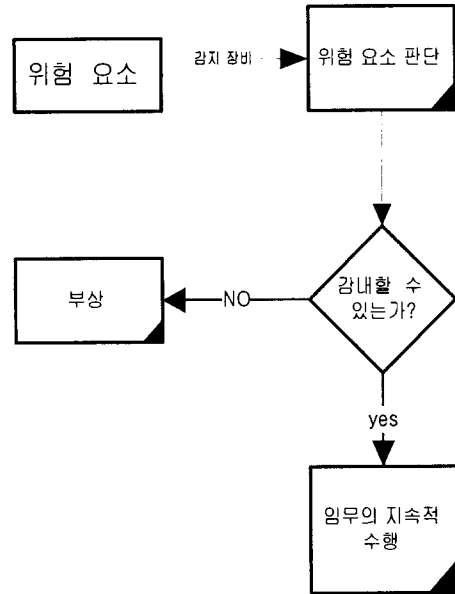


Fig.1 The algorithm for the fault tolerance of AUV's safety

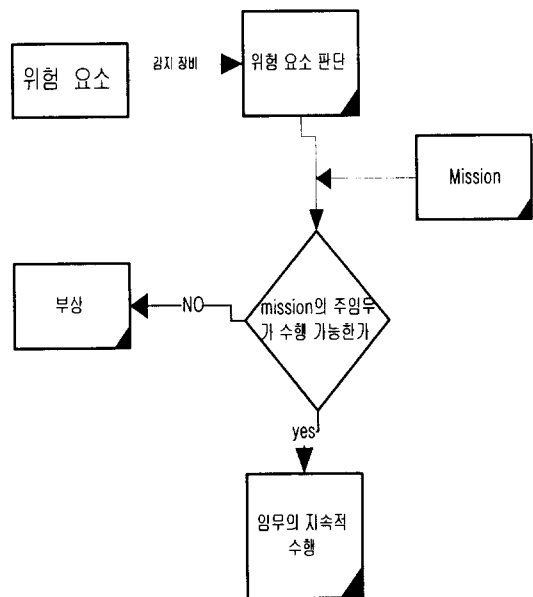


Fig. 2 The algorithm for treating emergency situation for AUV's main mission

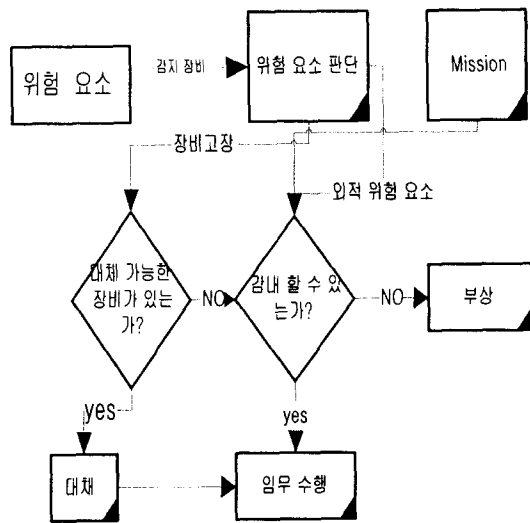


Fig. 3 The algorithm for treating emergency situation during AUV's operation

5. 결론

본 논문을 통하여, 통상적인 AUV의 운용상 발생할 수 있는 위험 상황을 원인 별 - 외적 요소와 내적 요소 - 로 분류할 수 있음을 알 수 있었고, 이를 바탕으로 이러한 위험 요소를 AUV가 탐지할 수 있는 방법을 제시할 수 있었다. 또한 각각의 위험 요소가 AUV의 안전 및 임무 수행에 미치는 영향을 분석하여 각 위험 요소에 따른 처리 방법을 제시할 수 있었으며 이의 자동화 알고리즘을 제시하였다.

참고 문헌

- 이봉익 외 2인 "무인 수중운동체를 위한 지능 제어시스템 설계", 제어·자동화·시스템 공학 논문지, Vol.3, No.3, June, 1997.
- Pan-Mook Lee 외 2인 (KRISO), "Self-tuning control of autonomous underwater vehicles based on discrete variable structure system", 수중로봇기술 연구회, 1997.
- 류민철 외 8인, "해저 6,000m급 무인 잠수정(AUV)개발 OKPO-6000", 제31차 KTTC 내항성 및 조종성분과 Workshop 논문집, Jan 1996.
- Jamie M Anderson (Woods Hole Oceanographic Institution), "Model development for control of the autonomous Benthic explorer", Proceedings of the

second(1992) international offshore and polar engineering conference sanfrancisco, USA, 14-19 June 1992.

Albert M. Bradley (Woods Hole Oceanographic Institution), "Low power navigation and control for long range Autonomous Underwater Vehicles", Proceedings of the second(1992) international offshore and polar engineering conference sanfrancisco, USA, 14-19 June 1992.

J. Yuh, V.Adivi and S. K. Choi(University of Hawaii), "Development of 3D graphic test platform for underwater robotic vehicles", Proceedings of the second(1992) international offshore and polar engineering conference sanfrancisco, USA, 14-19 June 1992.

A. J. Healey and D. B. Marco(Naval postgraduate School), "Slow speed flight control of autonomous underwater vehicles: Experimental results with NPS AUV II", Proceedings of the second(1992) international offshore and polar engineering conference sanfrancisco, USA, 14-19 June 1992.

G. J. S. Rae and S. E. Dunn(Florida Atlantic Univ.), "On-line damage detection for autonomous underwater vehicles", Proceedings of the second(1992) international offshore and polar engineering conference sanfrancisco, USA, 14-19, June 1992.