

군집비행 기술을 활용한 무인항공 수질측정 시스템 개발

송지홍*, 허성필^o

Development of UAVs System Based on Cluster Drones Flight Technology for Water Quality Measurement

Ji-hong Song*, Sung-phil Heo^o

요 약

본 논문에서는 많은 환경의 변화로 인해 최근 그 출현 빈도가 급격히 늘고 있는 녹조와 적조 현상에 효율적으로 대비하기 위하여 다수의 무인항공기를 활용한 수질측정 시스템과 지상통제시스템 구성에 대해 제시한다. 이를 위해 녹조와 적조로 발생하는 직·간접적 피해를 최소화하기 위하여 관련 기관에서 행해지고 있는 대표적 수질측정 업무를 분석하였고 이를 통해 기존의 방법론이 많은 비용과 시간을 소모하고 있는 것을 확인하였으며 동시에 다수의 드론을 활용한 수질측정 시스템의 필요성을 도출하였다. 다수의 군집비행 드론을 이용한 수질측정의 효율성을 시험하기 위해 하나의 지상통제시스템과 8대의 무인항공기로 구성된 군집 비행 시스템을 구현하였고 그 성능을 시험하였다. 그 결과 다수의 군집 비행 기술을 활용한 수질측정 시스템이 기존 수질측정 방법을 보완할 수 있을 것이라 확인되어 실운용 가능 시스템 개발 내용을 소개한다.

Key Words : UAV, Drone, Swarm, Water quality, GCS

ABSTRACT

In this paper, due to the recent changes in the environment, the development of unmanned aerial systems for measuring water quality is proposed for the purpose of preparing for water pollution, which is rapidly increasing the frequency of algal bloom and red tides. In order to minimize the direct and indirect damages caused by the tides of algal bloom, it analyzed the representative water quality measurement work undertaken by the relevant agencies, and determined that the existing methodology was used to determine the need for a large quantity of cost and time, and derive the need for water quality measurement systems. To test the efficiency of the water quality measurement using cluster drones, a community flight system consisting of one ground control system(GCS) and eight unmanned aerial aircraft were developed and tested. As a result, the water quality measuring system utilizing a number of cluster drones technologies is provided to supplement the existing water quality measurement system.

I. 서 론

오래전부터 대한민국은 전세계적으로 단위면적당 인구밀도가 높은 편에 속하고 지난 10년간 높은 도시

화율을 이뤄내며 비약적으로 첨단산업화국가로 성장해가고 있다. 이렇듯 고도화되고 산업화되는 환경에서는 많은 에너지 사용이 뒤따를 수밖에 없고 그에 따라 필요한 에너지를 공급하기 위해서는 대표적 에너지

* First Author : (ORCID:0000-0002-2321-6109)Metismake, jh.song@metismake.co.kr, 정희원

^o Corresponding Author : (ORCID:0000-0001-6786-3300)Department of Unmanned and Autonomous Vehicle Engineering, Kyungwoon University, sungphil.heo@ikw.ac.kr, 정희원

논문번호 : KICS2017-10-308, Received October 13, 2017; Revised January 29, 2018; Accepted January 29, 2018

원인 석탄과 원자력의 사용이 지배적이다 하겠다. 그 결과로 선진국 못지않게 이산화탄소를 배출하고 있고 각종 환경오염 문제의 원인이 되는 생화학 폐기물 등의 쓰레기가 넘쳐나고 있다. 또한 대규모 농가의 축산 폐수가 수질오염을 일으키고 있는 실정에서 우리가 주시해야할 분야는 바로 수질오염이다.

수질오염이 가장 중요한 부분으로 인식되는 것은 생명과 직결되는 물과 관련된 오염이기 때문인데 수질오염은 우리 사회의 구성원들에게 치명적인 요소로 다가올 수 있기에 더욱 관리되어야 하는 대상으로 인식된다. 현재 우리나라의 식수원은 대부분이 하천이기 때문에 하천의 수질보전은 국민보건과 삶의 질에 직결되어 있다 해도 과언이 아니다.

따라서 본 논문에서는 환경부에서 관리하는 수질측정망 중 가장 많은 호소수를 보유하고 있는 한국농어촌공사의 관리 호소에 대한 조사 대상을 선정하고 조사 방법에 대한 분석을 진행하여 현행 수질조사의 한계를 보완하는 효과적인 드론 활용 수질조사 연구 진행 방향을 기술하는데 목적을 둔다.

II. 본 론

2.1 한국농어촌공사 수질측정 조사 지점

본 논문에서 선정한 농어촌공사의 농업용수 조사시설은 주요 저수지 및 담수호 800개소이며, 환경부 호소 수질측정망 조사 시설 중 농업용 호수 25개소(저수지 15개소, 담수호 10개소)를 포함하여 전체 825개소 농업용 호소가 있으며, 지역별 수질측정망 조사시설은 전남지역이 173개소로 가장 많이 분포하고 있고 경북지역이 그 다음으로 많은 분포를 이루고 있다. 조사대상 시설의 지역별 분포현황 및 시설제원은 표 1과 같다.

2.2 수질측정 현장조사

수질 측정 현장 조사는 환경부에서 정한 시료 채취 지점을 선정하고 조사 빈도와 조사 주기를 차등화 하여 진행하는데 수질측정 조사 항목 및 채수 부위에 대한 선정은 아래와 같이 나타나고 있다.

2.2.1 수질측정 조사 항목

대상호소의 호소환경조사 조사 항목은 호소현황, 수리/수문, 호소수의 용수이용 등으로 현장조사 및 기존자료를 활용하여 자료를 수집한다. 수질측정 조사 항목으로는 표 2같이 나타나고 있다.

항목별 수질조사 항목(수온, pH, EC, DO, BOD, 투명도 등)은 종합수질 측정기(다항목 수질 측정장비),

표 1. 시·도별 농업용수 수질측정망 조사시설 분포현황
Table 1. Municipality distribution of agricultural water quality monitoring network

	total	Busan	Daegu	Incheon	Kwangju
total	825 (867)	3 (3)	7 (7)	13 (13)	1 (1)
agricultural water quality monitoring	800 (805)	3 (3)	7 (7)	13 (13)	1 (1)
agricultural water reservoir monitoring*	25 (62)	-	-	-	-
	Daejeon	Ulsan	Sejong	Kyunggi	Kangwon
total	2 (2)	7 (7)	1 (1)	55 (64)	53 (53)
agricultural water quality monitoring	2 (2)	7 (7)	1 (1)	50 (50)	53 (53)
agricultural water reservoir monitoring*	-	-	-	5 (14)	-
	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Kyungbuk
total	73 (74)	106 (118)	98 (103)	173 (184)	145 (148)
agricultural water quality monitoring	73 (74)	100 (101)	94 (94)	165 (165)	144 (146)
agricultural water reservoir monitoring*	-	6 (17)	4 (9)	8 (19)	1 (2)

* 농업용호소 수질측정망 : 환경부에서 수질측정망을 운영하고 있는 농업용호소(담수호 10, 저수지 15개소)

※ 비교 : () - 조사 지점수 (유표저수량 2천만m3 이상 또는 수혜면적 1,500ha 이상인 농업용 호소 : 2지점 조사)
2지점 조사 농업용호소 : 충북(진천, 백곡), 충남(보령, 청천), 경북(문경, 경천, 성주), 경남(하동)-

Winkler Azide화 변법 등을 이용하여 현장에서 측정한다. 또한 현장 수질조사 항목 측정방법은 표 3과 같이 나타내고 있다.

표 2. 농업용수 수질조사사업
Table 2. Project of water quality of agricultural water

agricultural water quality monitoring	
field test (5 items)	temperature, transparency, pH, EC, DO
indoor analysis test (14 items)	COD, T-N, T-P, Cu, Pb, Cd, Hg, CN, Cr6+, As, SS, Cl- Chl-a, TOC
survey of water quality	
simple test (17,439 sites)	investigation of appearance and characteristics (smell, color, floaters)
indoor analysis test (4,499 sites)	pH, COD, TOC, T-N, T-P, SS (6 items)
공사관리 저수지 수질전수조사	
pH, COD, SS, TN, TP (5 items)	

표 3. 현장 수질조사 항목 측정방법
Table 3. Method of on-site water quality survey items

	measurement method
water temperature	현장에서 종합수질측정기(다항목수질측정장비)를 이용하여 측정
BOD (biochemical oxygen demand)	표준회석법에 근거하여 20℃의 휴대용 인큐베이터에서 5일간 배양 후 용존산소 농도차에 의해 BOD를 산출
pH	휴대용 pH meter나 종합수질측정기(다항목수질측정장비)를 이용하여 측정
dissolved oxygen	종합수질측정기(다항목수질측정장비)로 측정하거나 Winkler Azide 변법에 의해 측정
electric conductivity	종합수질측정기(다항목수질측정장비)로 측정
transparency	투명도판(Secchi disk)을 사용하여 측정 (* 사람이 판단)

2.2.2 시료 채취 지점 선정

수질 측정을 위한 시료 채취 지점을 선정하는 방법은 수역 전체의 수질 특성을 가장 대표할 수 있는 저수지 중심부 또는 수심이 가장 깊은 지점(최심점)을 선정한다. 그리고 농업용수로 이용하기 위하여 취수 또는 양수하는 지점, 수질의 오염추세 및 유입 오염물질의 영향을 파악하기 적합한 지점, 주요 하천수가 유입된 후 혼합된 지점, 오염물질이 유입하는 농업용 호소의 상·하류 지점, 폐수나 하수의 유입으로 수질 오염이 심한 지점 또는 오염 우려 지점등을 선정한다. 호소의 채수 부위는 호소의 수리적 조건 및 수질 특성을 충분히 고려할 수 있도록 수심별 일정 간격(0.5m~1.0m)으로 수온을 측정하여 수온의 수직분포와 성층 현상 등을 조사한 후 수체를 대표할 수 있는 수심을 선정하여 채수하는 방법으로 진행한다. 그 진행 방법을 정리하면 표 4와 같이 나타내고 있다.

표 4. 채수부위 결정방법
Table 4. Determination of water sampling point

	case 1 : 5 m under
sampling point	upper water only
water level	-upper water : between surface and 1/2 of total depth -middle water : 1/2 of total depth -bottom water : between bottom 1/2 of total depth
	case 2 : 5 m ~ 10 m
sampling point	select three or more points
water level	-upper water : between surface and 1/2 of total depth -middle water : 1/2 of total depth -bottom water : between bottom 1/2 of total depth
	case 3 : 10 m over
sampling point	select three or more points
water level	-upper water : 5 m under from surface -middle water : 1/2 of total depth -bottom water : 5 m over from bottom

수심별 현장수질 측정결과 성층현상이 발생하는 호소인 경우, 표층수, 변수층(수온약층), 심수층에 해당하는 수심에서 각각 채수를 진행해야 하며 표층에 육안으로 현저한 수준의 조류가 분포할 때에는 평균적 수질자료를 얻을 수 있도록 채수지점이 증가된다. 그림 1은 저수지 샘플링 지점 선정 원리를 나타내고 있다.



그림 1. 저수지 샘플링 지점 선정원리
Fig. 1. Selection principle of reservoir sampling point

2.2.3 수질 조사방법

현재 한국농어촌공사에서 가장 흔하게 쓰는 방법인 선박을 이용한 직접 채수가 대부분이며 일부 교량 및 취수탑에서도 현장조사를 실시하고 있다. 교량 및 취수탑에서의 시료 채취는 수평, 수직 위치 통제가 가능하다는 장점이 있지만 저수지 중앙이나 최심점이 아닌 경우가 많아 위치적으로 한계가 있다. 또한 모든 호소에서 교량과 취수탑이 존재하지 않아 기대하기 어렵다. 또한 높은 곳에서의 시료 취수 방법은 안전사고 위험이 그만큼 높다 하겠다. 또한 선박을 이용한 현장 수질 조사는 무거운 장비를 준비하고 이동시켜야 하는 문제가 있으며, 전문 현장팀이 직접 조사를 하다 보니 선박 전복 등 안전사고의 위험이 도사리고 있다. 유속이 크거나 장애물이 있을 경우 그 위험은 더욱 커진다 하겠다. 위와 같은 수질조사 방법에 대한 사례는 그림 2와 같이 나타내고 있다.

저수지 장애물들이 호수 표면에 위치하고 있으면 이동성이 저하되고 시료 채취에 제한이 있으므로 현장에서 그림 3과 같이 정확한 채수 활동이 진행되기 어렵다고 볼 수 있다. 또한 그림 4와 같이 매년 발생하는 수질 측정을 위한 안전사고 교육 및 소모되는 비용과 노동력에 비해 많은 수질측정의 정량적 데이터의 정확도를 높이기 위한 효과를 거두기 어려운 실정



(a) 취수탑 채수방법 (b) 선박채수방법

그림 2. 안전사고 발생 위험이 있는 시료 채취 현장
Fig. 2. Water sampling site at risk of safety accidents



그림 3. 저수지 장애물들
Fig. 3. Reservoir obstacles

이다. 장소 및 도구별 현장 측정 방법의 특징은 표 5와 같이 나타내고 있다.

앞에서 정리한 것처럼 현행 수질조사의 한계는 각 호소의 전체적인 수질 상태의 확인을 위해 상대적으로 넓은 영역을 커버할 수 없다는 위치적 한계와 안전사고의 가능성이 도사리고 있다는 것이다. 따라서 원격지에서 공중으로 원하는 지점으로 비행을 하여 정해진 위치 지점에서 수질조사를 할 수 있는 시스템이 필요하다고 볼 수 있다.



그림 4. 많은 시간과 비용이 소모되는 수질조사교육
Fig. 4. Much time and money consuming water quality survey training

표 5. 장소 및 도구에 따른 현장조사 특징
Table 5. Features on-spot investigation by location and tools

구분	교량
특징	-경제적으로 시료 채취 가능 -각종 장비 이동 불필요 -수평, 수직 위치 통제 가능
한계	-저수지 중앙이나 최심점이 아닌 경우가 많아 위치적 한계가 있음 -모든 호소에 교량과 취수탑이 존재하지 않음 -높은 곳에 위치한 경우 안전사고 가능성
구분	취수탑
특징	-경제적으로 시료 채취 가능 -각종 장비 이동 불필요 -수평, 수직 위치 통제 가능
한계	-저수지 중앙이나 최심점이 아닌 경우가 많아 위치적 한계가 있음 -모든 호소에 교량과 취수탑이 존재하지 않음 -높은 곳에 위치한 경우 안전사고 가능성
구분	선박
특징	-대부분의 현장조사 시 이용 -지점 이동의 융통성 있음
한계	-호소가 큰 경우 위치별이 어려움 -전복 등 안전사고 가능성 -각종 장비 이동 불편 -빠른 유속 및 장애물 있을 시 채취 불편

2.3 스마트 수질측정 드론 개발 타당성

수질측정을 위한 현장조사의 방법에 대한 분석으로 무인 항공 드론을 활용하여 사람의 접근이 불가능한 지점까지 수질 측정을 위한 정량적 샘플 취득을 가능하게 할 수 있다면 수질분석 결과의 정확도를 높일 수 있다는 가정을 하였다. 그림 5와 같이 국내 대부분의 호소는 길이가 길고 폭이 좁은 형태를 갖추고 있는데 드론의 이륙점으로부터 최심점까지는 대략 50~60m에 위치해 있다고 분석하였다. 그래서 평균 10m/s의 속도를 가지는 드론을 활용한다면 순수 비행거리 대비 왕복 비행시간을 계산하면 분당 600 미터의 이동거리가 나온다. 이륙하여 임무지점으로 이동하는 고도를 지표면 기준 10 미터로 잡아도 전체 이동거리는 100 미터 내외 이므로 수질측정에 필요한 표본을 채수하기 위한 최심점 진입에 대한 비행시간 및 공간적 문제는 해결될 수 있을 것으로 예측되었다. 따라서 사람이 직접 접근하여 표본을 채수하는 방법보다 많은 효과를 볼 수 있다.

따라서 위 가정을 검증하기 위해 실험에 적당한 드론과 그 운용 시스템을 설계하였으며 이에 따른 드론을 활용한 수질측정 시스템의 운용 시나리오와 구성 요소는 다음과 같이 정의하였다.



그림 5. 국내 강·하천 모습
Fig. 5. Appearance of domestic river

2.3.1 무인항공 수질 측정 시스템 운용 시나리오

무인 자율 항공 드론을 통한 자동 수질측정 시스템의 운용 시나리오는 다음과 같이 정의된다. 먼저 수질 검사 계획을 작성하고 비행경로를 수립한 후 수질 조사 대상 지역으로 이동하여 시스템을 전개한다. 전개가 완료되면 비행 점검 후 지상통제 시스템을 이용한 자동 비행경로를 현장에 맞게 검증하고 비행체로 진입한다. 이후 지상통제 장치의 원격 이륙 명령 버튼을 눌러 이륙 후 자동 경로 비행을 통하여 조사지로 이동하고 목표지점 상공에서 하방 감시카메라를 영상으로 확인한 후 수상 착륙을 진행한다. 수질조사 임무 장치를 통해서 수질 검사 및 깊이별 채수를 진행하고 임무



그림 6. 임무 운용 시나리오
Fig. 6. Scenario of mission operating

완료 후 자동 복귀 로직에 의하여 이륙지점으로 돌아와 임무를 종료하는 것으로 구성하였다. 이에 대한 운용 시나리오의 도식화는 그림 6과 같이 나타내고 있다.

2.3.2 시스템 구성

무인 자율 항공 드론을 통한 자동 수질측정 시스템에는 무인 항공기 플랫폼인 무인 자율 항공 드론과 자동 수질측정을 위한 수질조사 임무장치, 그리고 무인 자율 항공 로봇과 수질조사 임무장치를 제어하기 위한 무선통신 장치로 설계하였으며 그림 7과 같이 나타내고 있다.

현행 수질조사 방법은 현장에서 고무튜브 배로 이동하여 수질센서를 수중에 고정된 지점으로 넣어 한 곳의 데이터를 측정하거나 수중펌프를 이용하여 하천변 또는 저수지 주변에 설치한 측정소 내부로 물을 보내 내부에서 수질을 측정하는 방식이 대부분이다. 이러한 방식은 2명 이상의 인원이 고무보트를 전개하고 이동해서 수작업으로 수질 측정 및 취수를 하고 다른 장소로 이동해서 같은 방식으로 진행하기 때문에 한 지점을 조사하는데 1시간 이상의 많은 시간이 소요되며, 고무튜브배로 작업자가 수질 측정 지점으로 이동해야 하기 때문에 안전상 문제가 되는 단점이 있다. 이에 스마트 무인 자율 항공 드론을 활용하여 원하는 지점의 수심별 수질 데이터를 측정하고 자동 채수장치를 통하여 사용자가 원하는 지점 또는 상층수, 중층



그림 7. 전체 시스템 구성도
Fig. 7. Diagram of overall system configuration

수, 하층수 세 지점의 시료를 취수할 수 있도록 한다. 수질조사 임무장치의 주요 기능은 수질측정 데이터 (수심별 수온, 염분, DO, pH, EC) 측정 후 무선 전송을 하고, 수질조사를 위한 상층수, 중층수, 하층수 자동 채수(5L)를 한다. 또한 전방/하방 감시 카메라를 통한 환경 감시를 수행한다.

수질조사 임무 장치의 운용 개념은 그림 8과 같이 시나리오로 정의하였다.

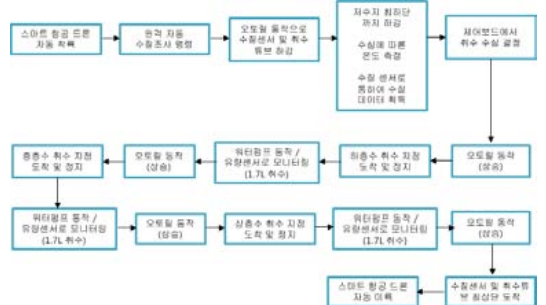


그림 8. 수질조사 임무장치 운용 개념도
Fig. 8. Conceptual diagram of water quality inspection mission equipment operation

2.3.3 하중 분석에 따른 타당성 분석

항공 분야에서의 무게는 운용시간 및 안정성에 중요한 부분이며 임무를 수행하는 성능지표의 기준 잣대이다. 그래서 지상통제 임무장치 개발을 진행할 때 무게에 대한 면밀한 분석을 통해 트레이드오프(Trade-off)를 수행해야 하는데 임무장비 구축에 포함되는 각 후보 부품 레벨의 질량을 살펴보고 품목별 예상 감량 목표치는 표 6과 같이 나타내고 있다.

단일 기체에 장착되어야 할 임무장비를 구축하는 것만으로도 이미 14 kg의 무게를 넘어선다. 임무장비의 무게가 15 kg 가까이 된다는 것은 최대이륙중량(MTOW, Maximum Takeoff Weight)이 헬콥터의 형태로 고중량을 들어올리는 농업용 방제드론의 평균 자체 중량 23 kg으로 계산하고 보면 MTOW는 38kg 이상이 된다. 표 7의 기준 기체는 자체 개발한 방제드론 20 리터급 기체의 상세 스펙을 기준으로 분석하였으며, 그림 9는 해당 기체의 형상을 나타내고 있다.

실질적으로 농업방제용으로 사용하는 위 기체는 20 리터의 방제용 약제를 탑재하고 살포하면서 무게가 줄어듬에도 5분에서 6분 남짓한 비행시간을 가지고 있으며 1회 비행에 3천평 정도의 방제 면적을 가지고 있다. 따라서 위와 같은 기체는 방제용 목적에는 부합할 수 있으나 현실적으로 채수와 실시간 수질측정 데이터의 모니터링을 하나의 드론에 장착하여 비행을

표 6. 품목별 예상 감량 목표

Table 6. Expected weight reduction goal by items

품 목	임무장비 장착 UAV 질량 (kg)
수질측정 센서	1.5
무선통신 장치	0.5
위티펄프	1
오토튠 장치	3.3
채수통 (시료 5L 포함)	5.1
전방감시 카메라	0.5
채수튜브 및 수질측정 센서 하네스	2
외형 케이스	0.8
제어보드	0.2
합 계	14.9
품 목	감량가능 최소 임무장비 장착 UAV 질량 (kg)
수질측정 센서	1.5
무선통신 장치	0.4
위티펄프	1
오토튠 장치	3.0
채수통 (시료 5L 포함)	5.1
전방감시 카메라	0.4
채수튜브 및 수질측정 센서 하네스	1.8
외형 케이스	0.7
제어보드	0.12
합 계	14.9
품 목	비고
수질측정 센서	감량 불가
무선통신 장치	케이스 감량
위티펄프	감량 불가
오토튠 장치	기계부 감량
채수통 (시료 5L 포함)	감량 불가
전방감시 카메라	케이스 감량
채수튜브 및 수질측정 센서 하네스	재질 변경
외형 케이스	구조의 단순화
제어보드	케이스 감량
합 계	0.7 kg(약 700g) 감량

한다는 것은 드론의 크기와 무게가 거대해 진다는 것을 의미하고 오히려 비행 중 무게가 점점 늘어나는 수질조사 업무에는 오히려 대형 드론이 불리하다는 것을 확인할 수 있었다. 또 이런 20리터급 대형 드론은 단순한 농약살포 펌프를 달고 비행을 함에도 12kg의 무게를 넘어서는 기체이므로 항공법상 안전성 인증 검사를 거쳐야 하고 그에 따라 대당 가격이 2~3천만 원에 달한다. 이러한 대형급 드론으로 운용함에 있어서 최소 2인이 운용을 하게 된다면 1대로 많은 지점에 대해서 수질측정을 수행할 수 없을 것이라고 판단되

표 7. 방제드론 최대이륙중량 및 최대비행시간

Table 7. Controlled drones Maximum takeoff weight and maximum flight times

items	criteria
배터리 포함 자체중량 (20리터급 방제드론 평균값)	약 23 kg 기준
Payload 무게(임무장비포함)	약 15 kg
최대 비행시간(20리터탑재)	5-6분
최대 비행시간(자체중량)	25분
최대이륙중량	약 38 kg 이상



그림 9. 방제량 20리터 급 드론 실험 기체
Fig. 9. 20 liters of experimental controlled -drone

었다. 따라서 단일기체의 스마트한 임무장비를 장착하여 1대로 운용하는 것을 목표로 개발하는 것보다 각각의 수질측정과 환경오염 모니터링 임무를 세분화하여 각각의 단일 임무를 수행할 수 있는 다수의 드론으로 소형화하고 이를 클러스터링한 군집 비행 형태로 구현하여 시스템적으로 동시에 임무 비행을 수행하게 한다면 적은 무게와 단일 기체당 부여되는 임무의 단순성으로 인해 임무 수행의 성공률과 완성도를 높일 수 있다는 사실을 확인하였다. 이에 소형화 드론 제작과 지상통제시스템(GCS)을 개발하여 단일 기체의 성능을 산출하고 그 결과를 기준으로 다수의 드론을 동시에 운용하는 시나리오로 실험을 하여 수질조사의 효율성을 검증하기로 하였다.

III. 실 험

3.1 소형화한 단일기체를 활용한 비행실험 검증

3.1.1 실험용 기체 제작

소형화한 단일 기체를 이용한 수질측정 및 채수를 진행하는 비행실험은 1차적으로 수질측정을 위한 비행성능 검증을 위해 H 자형 프레임 기체를 쿼드콥터 형태로 자체 제작하여 수면위로 비행시간 및 자동비행 시험을 진행하는 것으로 방향을 잡았다. 실제로 실험에 사용한 기체와 내부 비행제어 시스템 구성은 오픈 아키텍처 기반의 공용 모듈인 픽스호크(Pixhawk)

를 사용하였으며 내부 항진 시스템 구성은 그림 10과 같이 나타내고 있다. 또한 개발한 소형 기체의 규격은 표 8과 그림 11과 같이 나타내고 있다.

대형급 드론에 대한 현실적 운용 한계성으로 인한 소형화된 실험 기체의 최대이륙중량을 표 9와 같이 설계하였으며, 임무장비의 개발에 앞서 충분한 비행시간을 확보할 수 있는지를 우선적으로 실험하기 위해 Payload의 무게는 더미로 가정하고 실험을 진행하였다.

또한 실제 모든 임무장비와 통신장비를 통해 데이터의 원활한 송수신을 위하여 공용모듈인 Pixhawk 기



그림 10. 소형 실험 기체
Fig. 10. Small experimental UAV

표 8. 소형화된 실험기체의 규격
Table 8. Specification of miniaturized experimental UAV

항목	내용
비행체 타입	쿼드콥터
MTOW	5.5 kg
축간 거리	550 mm
Battery	3 cell 4000 mAh

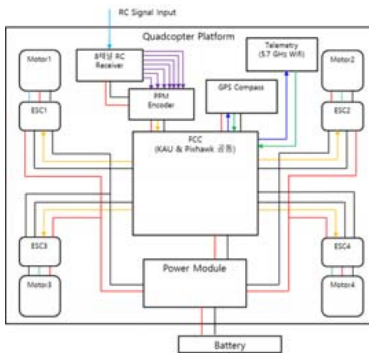


그림 11. 내부 시스템 구성도
Fig. 11. Internal system diagram

표 9. 소형화된 실험기체의 최대 이륙중량
Table 9. Maximum take-off weight of miniaturized experimental UAV

항목	Criteria
배터리 포함 자체중량	약 3.5 kg
Payload 무게(임무장비포함)	약 2.0 kg
최대이륙중량	약 5.5 kg

반의 FCC(Flight Control Computer)와 2.4G와 5.7G 대역의 듀얼밴드 지원 Complex Embedded WiFi AP를 장착하여 지상과의 비행데이터를 송·수신하도록 구성하였다. Pixhawk의 I/O 포트 중 Telemetry Port가 2개가 있는데 Pixhawk는 Mavlink(Micro Air Vehicle Link)라고 하는 프로토콜을 이용하여 데이터를 송수신하는데 Mavlink의 프로토콜은 그림 12와 같이 구성이 되어있다.

Mavlink는 최근 소형 무인기에서 많이 사용하고 있는 프로토콜이며 총 8 바이트로 메시지 아이디어가 0인 값을 Heartbeat 신호로 정의하여 각 시스템의 종단간 서로의 생존을 확인할 수 있다. 이를 통해 통신링크 두절 상태를 확인할 수 있다. Mavlink 프로토콜의 각 바이트별 구성은 그림 13과 같이 나타내고 있다.

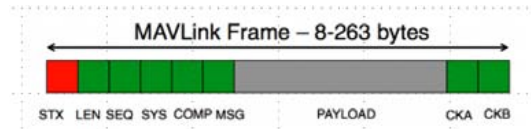


그림 12. Mavlink 프로토콜
Fig. 12. Protocol of Mavlink

Byte Index	Content	Value	Explanation
0	Packet start sign	v1 0: 0xFE (v0 9: 0xA5)	Indicates the start of a new packet
1	Payload length	0 - 255	Indicates length of the following payload.
2	Packet sequence	0 - 255	Each component counts up his send sequence. Allows to detect packet loss.
3	System ID	1 - 255	ID of the SENDING system. Allows to differentiate different MAVs on the same network.
4	Component ID	0 - 255	ID of the SENDING component. Allows to differentiate different components of the same system, e.g. the IMU and the autopilot.
5	Message ID	0 - 255	ID of the message - the id defines what the payload "means" and how it should be correctly decoded.
6 to (n+6)	Data	(0 - 255) bytes	Data of the message, depends on the message id.
(n+7) to (n+8)	Checksum (low to high byte)	ITU X.25/SAE AS-4 hash, excluding packet start sign, so bytes 1..(n+6)	Note: The checksum also includes MAVLINK_CRC_EXTRA (number computed from message fields). Protects the packet from decoding a different version of the same packet but with different variables.

그림 13. Mavlink 바이트별 구성
Fig. 13. Byte configuration of Mavlink

3.1.2 지상통제시스템의 구성

지상통제시스템은 .Net Framework 기반의 C#과 WPF를 이용하여 GCS 소프트웨어를 개발하였으며 객체지향프로그래밍으로써 유연하고 사용자 편의적으로 개발하였다. 비행실험에 대한 검증용을 위해 자동 비행 통제도 필요하지만 기체의 비행데이터 확인을 위한 분석 소프트웨어로 개발하여 비행성능에 대한 데이터를 실시간 차트로 확인할 수 있도록 하였다. 이에 따른 지상통제시스템의 실험 구성은 그림 14와 같이 나타내고 있다.

기본적으로 데이터통신을 담당하는 5기가 대역 무지향성 안테나와 WiFi AP를 구성하고 랩탑에 유선 이더넷 케이블을 연결하여 데이터링크를 구축하였다. 이 때 사용하는 AP는 기체에 탑재한 Compex Embedded 보드를 이용한 AP와 동일한 보드로 구성하였다. 사용자 인터페이스는 내비게이션 맵 기반의 비행체로 명령을 즉각 전송할 수 있는 손쉬운 원클릭 방식의 버튼으로 구성하고 각 상태 및 위치를 아이콘화하여 확인할 수 있도록 개발하였다. GCS 소프트웨어 및 비행데이터 분석 소프트웨어의 개발 화면은 그림 15와 그림 16과 같이 나타내고 있다.



그림 14. 지상통제시스템(GCS) 구성
Fig. 14. Configuration of ground control system



그림 15. 지상통제(GCS) 소프트웨어
Fig. 15. Software of ground control system

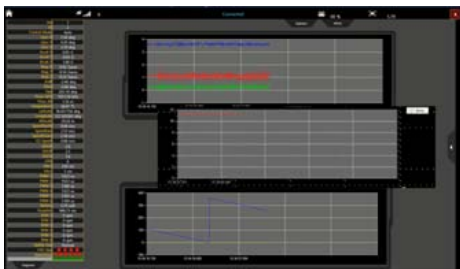


그림 16. 비행데이터 분석 소프트웨어
Fig. 16. Software of flight data analysis

3.1.3 실험 시나리오

수면 위 비행을 위해 기체에 장착할 플로터에 대한 제작 전에 실험용으로 플라스틱 페트병을 양쪽에 장착하여 수면 이착륙 및 비행시간과 비행 안정성에 대한 실험을 진행하였다. 플라스틱 페트병에는 채수를 진행했을 당시의 무게를 감안하여 약 1000 ml의 물을 채우고 실험은 채수를 위한 임의의 고정 지점까지의 최대 거리를 60 m로 맞추고 측정지점으로 이동하는 시간과 배터리 잔여량이 25% 이하가 되면 복귀하는 시나리오로 MTOW를 3.5kg에 맞춰 가능한 최대 비행시간을 측정하는 것으로 10소터 임무 비행시간의 평균을 측정하였으며 실험기준과 수면 비행 실험용 기체는 표 10과 그림 17과 같이 나타내고 있다.

GCS를 이용한 비행경로는 표10과 같은 기준으로 비행경로는 그림 18과 같이 생성하여 실험하였다.

표 10. 실험기준
Table 10. Experimental criteria

item	criteria
max. vertical height	10 m
max horizontal height	60 m
quantity of water sampling	1000 ml
battery fail safe condition	25 %
MTOW	3.5 kg
total flight sortie	10 times



그림 17. 수면비행 실험용 기체
Fig. 17. Experimental UAV of water surface



그림 18. 실험 비행경로
Fig. 18. Experimental flight path

실험에 사용한 수상 착륙용 기체의 형상은 그림 17과 같이 구성하여 이용하였으며 측정된 각 소티브 임무 가능 비행시간은 표 11과 그림 19와 같이 나타내고 있다.

위 결과에 따라 평균적으로 약 10초 정도의 비행시간을 유지한다고 실험결과를 확인할 수 있었다.

표 11. 소티브 측정 비행시간
Table 11. Sortie of measurement times

number of sortie	flight time
1	10.8
2	9.4
3	10.5
4	11.3
5	11.7
6	10.7
7	8.5
8	11.4
9	10.2
10	9.8
average	10.43

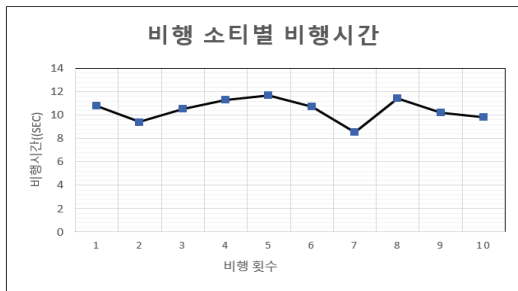


그림 19. 비행 횟수별 비행시간
Fig. 19. Flight time by number of flights

3.2 다수의 기체를 활용한 수질조사 성능지수 검출
위 실험결과에서 나타나는 것과 같이 드론 자체 중량을 제외한 임무장비(채수통 장착-플라스틱 페트병으로 대체)를 장착한 비행체의 최대 비행시간은 채수량 1000 ml(약 1리터)와 실험기체 규격 기준평균 Li-Po 3 셀 배터리 4000 mAh 배터리를 이용하여 배터리 Failsafe 모드 진입 잔여율을 25%로 설정했을 때 10분 내외의 비행을 가능하게 한다는 것을 확인하였다. 두 번째 실험은 동일 기체 8대를 20m 간격으로 배치하고 각기 다른 임의의 지점으로의 경로비행을 각 기체마다 60m 지점으로 채수지점을 정하고 표 12, 그림 20, 그림 21과 같이 설정한 후 실험을 수행하였다.

표 12. 편대비행 실험기준
Table 12. Experimental criteria of cluster drones

item	criteria
max. vertical height	10 m
max horizontal height	60 m
quantity of water sampling	1000 ml
battery fail safe condition	25 %
MTOW	3.5 kg
placement interval of drones	20 m



그림 20. 8대 실험기체의 군집비행 이륙 전 배치
Fig. 20. Eight experimental UAVs were deployed before take-off



그림 21. 8대 실험기체의 군집비행 이륙 후 호버링
Fig. 21. Hovering of 8 experimental UAVs after take-off

그림 8에서 보는 것과 같이 자체적으로 8대의 쿼드콥터를 자체 개발·제작하여 군집 비행 실험을 진행하였고 각 기체별로 그림 22와 같은 비행경로로 각각 장입하여 동시에 군집 실험 시나리오에 따라서 비행하였다.

단순한 비행 패턴이지만 전체 8대의 기체 모두 10초 내외의 비행을 수행하였고 각 기체별 GPS 정밀 오



그림 22. 동시 8대 실험 비행경로
Fig. 22. Path of simultaneous 8 experimental UAV

표 13. 군집비행의 수질조사용 채수량 성능지표
Table 13. Water sampling performance index of cluster drones

item	performance of result
sweep length of cluster drones	160 m
sweep area of cluster drones	9600 m ² = 0.1 ha(hectare)
total water sampling of cluster drones	8 liter

차로 인해 육안으로 1m 내외의 위치 오차가 나타나기는 하였으나 전반적으로 비행경로를 따라 수질조사를 진행할 수 있다는 결과를 확인하였고 가능한 대수를 점점 늘린다면 수질조사를 위한 채수량이 높아지고 단위 시간당 수질조사 면적과 1인당 수질조사 소요시간이 대폭 줄어들 수 있다는 것을 확인하였으며 표 13과 같이 나타내고 있다.

IV. 결 론

단일 드론을 이용하여 실시간 수질 측정 및 다양한 수질 분석을 위한 채수량 5 리터급을 목표로 무인항공 수질측정 시스템을 개발하여 수질조사의 효율성을 높일 수 있을 것이라고 예상하였지만 실질적으로 드론의 크기와 무게가 무거워질 수밖에 없고 실제로 5분에서 6분 남짓한 비행시간을 넘길 수 없다는 한계를 확인하였다. 따라서 각각의 수질측정을 위한 업무를 세분화하여 각각의 임무에 맞는 센서와 채수통을 장착하고 기체를 소형화하여 이동성과 휴대성을 가지며 동시에 군집 비행 가능한 드론 운용시스템이 수질 측정을 위한 효과적 도구로서의 기능을 수행할 수 있다는 것을 확인하였다.

References

[1] Ministry of Environment, *Korea's environment in statistics*, pp. 109, 2004.
 [2] Korea Rural Community Corporation's, *Agricultural water quality measuring network report*, 2014.
 [3] http://www.ekr.or.kr/Kkrpub/cms/index.krc?MENUMST_ID=21449.
 [4] UNESCO/WHO/UNEP, 1996.
 [5] *Pixhawk*, <http://www.pixhawk.org>.
 [6] S. P. Heo, "Standardized open platform for M2M/IoT services," in *Proc. 20th Korean*

Internet Conf., 2012.

[7] K. S. Kim, J.I. Jung, Y. J. Kim, S. P. Heo, "WiBro/LTE based M2M terminal reference and standard platform," *KICS Inf. and Commun. Mag.*, vol. 30, no. 2, pp. 18-28, 2013.
 [8] S. P. Heo, "M2M based convergence service technology of Korea Telecom," The 22nd High-Speed Network Workshop, 2012.
 [9] S. T. Moon, D. H. Jo, D. Y. Ryu, E. S. Shim, "Development of indoor multiple AR.Drone controller system based on motion capture," in *Proc. The Korean Soc. for Aeronautical & Space Sci.*, pp. 896-899, Nov. 2013.
 [10] G. Vasarhelyi, "Outdoor flocking and formation flight with autonomous aerial robots," *Intell. Robots and Syst. (IROS)*, pp. 3866-3873, 2014.
 [11] A. Resch and R. Pfeil, "Review of the LPM local positioning measurement system," *ICL-GNSS*, pp. 1-5, 2012.
 [12] P. Bristeau and F. Callou, "The navigation and control technology inside the AR.Drone micro UAV," *IFAC*, pp. 1477-1484, 2011.
 [13] D. Fleet and W. Yair, "Optical flow estimation," *Handbook of Math. Models in Comput. Vision*, Springer US, pp. 237-257, 2006.
 [14] T. Krajuik, V. Vonasek, D. Fiser, and J. Faigl, "AR-Drone as a platform for robotic research and education" *EUROBOT-2011*, pp. 172-186, 2011.
 [15] T. Juul, "Evaluation of multipath error and signal propagation in a complex scenario for GPS multipath identification" *IEEE 4th Int. Symp. Spread Spectrum Techniques and Appl. Proc.*, vol. 2, pp. 872-876, 1996.
 [16] S. Katzberg and J. Garrison, "Utilizing GPS to determine ionospheric delay over the ocean," *NASA Tech. Memo. 4750*, Dec. 1996.

송 지 흥 (Ji-hong Song)



2008년 9월 : 충남대학교 항공
우주공학과 졸업
2009년 2월~현재 : 충남대학교
항공우주공학 석박통합과정
2015년 7월 : LG CNS 융합기
술원 책연
2016년 6월~현재 : Metismake
이사

<관심분야> 항공우주공학, 무인기시스템, CFD,
Computer Graphics, AI

허 성 필 (Sung-Phil Heo)



2004년 3월 : 도호쿠대(Tohoku
Univ.) 정보통신전공 박사
1993년~2014년 : KT 중앙연구
소 수석연구원/부장/팀장
2014년~2016년 : 금오공과대학
교 교수
2016년~현재 : 경운대학교 무인
기공학과 교수/학과장

<관심분야> 무인기시스템, UAV, IoT/M2M(사물인
터넷), 내용기반 멀티미디어 검색, 차세대 무선통
신