Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography
Vol. 35, No. 6, 527-534, 2017
https://doi.org/10.7848/ksgpc.2017.35.6.527

ISSN 1598-4850(Print)
ISSN 2288-260X(Online)
Original article

수질측정 방법 개선을 위한 무인 탐사체의 채수장치 개발방안

Development of a Water Sampling System for Unmanned Probe for Improvement of Water Quality Measurement

정진우[1)] · 조광희[2)] · 김민지[3)]
Jung, Jin Woo · Cho, Kwang Hee · Kim, Min Ji

Abstract

The purpose of this study is to develop unmanned equipment that can automatically move to the desired point and measure water quality at the correct depth. For this purpose, we constructed a water sampling lift and water sampling container, an unmanned vessel equipped with a VRS-GPS, an acoustic echo sounder, and a water quality sensor. Also, we developed an automatic navigation algorithm and program, an automatic water sampling program, and a water quality map generation program. As a result of the experiment in the detention pond, the unmanned vessel sailed along the planned route with an accuracy of about 93% within the error range of 3m. In addition, the water quality sensor installed in the lift was able to acquire the water quality of the target area in real time and transmit it to the server via wireless Internet, and it was possible to monitor the water quality of each site in real time. Through field experiments, the water sampling lift was able to control the desired length with an accuracy of about 94%. The stretch length accuracy experiment of the water sampling lift was impossible to measure directly in the water, so it was replaced land-based experiment. We also found some unstable problems due to the weight of the water sampling lift and the weight of the air compressor to operate the water container. Except these two problems, we accomplished purpose of this study. An automated water quality measurement method using an unmanned vessel can be used to measure the quality of water in a difficult to access area and to secure the safety of the worker.

Keywords: Unmanned Vessel, Water Quality Measurement, Auto-sailing, Automatic Water Sampling, Realtime Monitoring of Water Quality

초 록

이 연구의 목적은 원하는 지점까지 자동으로 이동하고 정확한 수심에서 채수하고 수질을 측정할 수 있는 무인 장비를 개발하는데 있다. 이를 위해 채수 리프트 및 채수 컨테이너를 제작하고, VRS-GPS, 음향측심기, 및 수질 측정기를 장착한 무인 탐사체를 제작하였으며, 자동운항 알고리즘 및 프로그램, 자동 채수 프로그램, 수질분포도 작성 프로그램을 개발하였다. 유수지에서 실험한 결과 무인 탐사체는 오차범위 3m 내에서 약 93%의 정확도로 계획 경로를 따라 운항하였다. 또한 채수 리프트에 장착한 수질측정 센서로 대상지역의 수질을 실시간으로 획득하고 무선 인터넷을 통하여 서버에 전송하여 각 지점의 수질을 실시간으로 모니터링 할 수 있었다. 육상에서의 실험을 통해 채수 리프트는 약 94%의 정확도로 원하는 길이를 조절할 수 있었다. 무인 탐사체를 활용하여 자동화된 수질측정 방법은 접근이 어려운 지역에서의 수질측정이 가능하고, 작업자의 안전을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심어 : 무인 탐사체, 수질측정, 자동항해, 자동채수, 실시간 수질 모니터링

Received 2017. 11. 22, Revised 2017. 12. 10, Accepted 2017. 12. 31
1) CEO, Korea KGT Consultant (E-mail: kgt0514@naver.com)
2) Corresponding Author, Research Director, Korea KGT Consultant (E-mail: kgt0514@naver.com)
3) Researcher, Korea KGT Consultant (E-mail: minji7372@naver.com)

1. 서 론

우리나라는 최근 인구증가와 도시의 산업화로 인한 하천의 수질오염 문제는 날로 그 심각함을 더하고 있으며 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 큰 관심과 우려의 대상이 되고 있다(Kim, 2011). 하천의 허용 부하량을 고려하지 않는 배출허용기준 중심의 농도규제는 배출허용기준이하 오폐수의 양적 팽창에 따른 오염부하의 증가를 통제할 수 없어 수질개선에 한계가 있으며, 오염원이 밀접한 경우에는 지나치게 무력하고 오염원이 희소한 경우에는 지나치게 엄격한 규제가 되는 제도적 한계가 있다. 하천의 중, 하류에 인구 및 산업시설이 과도하게 밀집되어 있는 우리나라 수계 특성상 하천의 환경기준 달성에 근본적으로 한계가 있으므로 오염부하량의 양적 증가를 적정하게 통제하기 위하여 수계에 유입되는 오염원이 하천의 수질에 미치는 영향을 정량적으로 평가내지는 예측할 수 있는 수단이 필요하다고 제시하였다. 국가수질자동측정망을 비롯한 실시간 환경감시를 위한 환경자동측정망은 정밀측정장비와 데이터로거 등 전자통신장비로 구성되어 있으며 가공선로를 통한 전력 수전 및 양방향 통신으로 직격뢰 또는 유도뢰에 의하여 장비가 손상되는 빈도가 높아지고 있다(Jang, 2011). 따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 개선하고자 자동으로 운항하는 무인 탐사체를 활용하여 정확한 위치에서 안전하게 수질을 측정할 수 있는 방법을 연구하고자 한다.

2. 수질측정용 시료채취 현황 및 개선

하천수 등 수질조사를 위한 시료채취는 시료의 성상, 유량, 유속 등의 시간에 따른 변화 (폐수의 경우 조업상황 등)를 고려하여 현장물의 성질을 대표할 수 있도록 채취하여야 하며, 수질 또는 유량의 변화가 심하다고 판단될 때에는 오염상태를 잘 알 수 있도록 시료의 채취횟수를 늘려야 하며, 이때에는 채취시의 유량에 비례하여 시료를 서로 섞은 다음 단일시료로 하여야 한다(Ministry of Environment, 2014).

수질오염공정시험기준에 의하면 하천수의 시료 채취 지점은 하천수의 오염 및 용수의 목적에 따라 채수지점을 선정하며 하천본류와 하천지류가 합류하는 경우에는 Fig. 1의 합류 이전의 각 지점과 합류이후 충분히 혼합된 지점에서 각각 채수하여야 한다.

하천의 단면에서 수심이 가장 깊은 수면의 지점과 그 지점을 중심으로 하여 좌우로 수면폭을 2등분한 각각의 지점의 수면으로 부터 수심 2 m미만일 때에는 수심의⅓에서, 수심이 2 m이상일 때에는 수심의 ⅓ 및 ⅔에서 각각 채수하여야 한다.

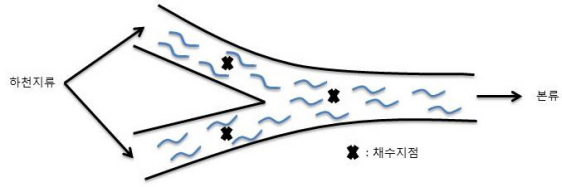

Fig. 1. Water supply point of river water

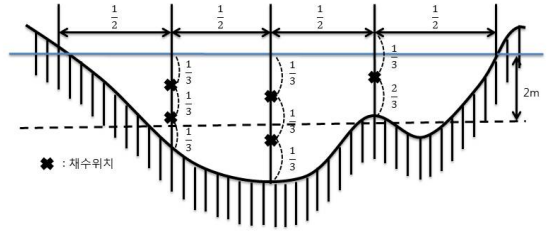

Fig. 2. Location of river water

이 연구에서는 측정항목 중에서 생물수소이온농도(pH), 온도, 용존산소(Do), 잔류염소, 전기전도도 총 5가지 항목을 실시간으로 측정하였다. 현재 수질환경보전법에 의거한 하천의 생활환경 수질측정 항목 5가지 중에서 수소이온농도(pH), 용존산소(Do)는 실시간으로 측정이 가능하다. 무인 탐사체를 활용하여 실시간으로 수집된 수질측정 일반항목 5가지 이외의 항목은 시료채취로 수질측정을 하도록 설정하였다. 채수를 통한 수질측정 방법은 실험실에서 정량법의 종류에 따른 수질 측정항목으로 나눌 수 있다.

기존의 수질측정방법은 물가에서 직접 채수하여 실험실에서 수질을 측정하거나, 휴대용 장비를 이용하여 직접 수질을 측정하고 있다. 이는 채수하여 운송하는 과정에서 시료가 변질할 수 있으며, 실험실에서 직접 수질측정을 해야 하는 번거로움 등 효율적이지 못하다. 기존 채수통은 간단한 기계장치에 의해 줄로 뚜껑을 열고 닫을 수 있는데 채수통 안에 들어있는 공기의 부력으로 인해 원하는 수심까지 들어가지 못하고 유속에 의해 원하는 위치에서의 채수가 불가능하다. 또한 잠수식 수질 관측장비의 경우 실시간 탐지가 불가능하며, 비용이 많이 들어가고 장기간 수중 계류 후 회수를 해야 한다. 본 연구에서는 정확한 지점에서의 수평위치와 수직위치를 고려하여 채수하기 위해 Fig. 4와 같은 채수 리프트를 제작하고 무인 탐사체에 탑재하였다. 채수 리프트를 하강시켜 채수 컨테이너를 개폐하고 시료를 담아 채수 리프트가 원점으로 복귀할 수 있도록 수질측정방법을 개선하였다.

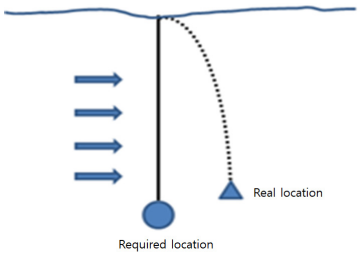

Fig. 3. Problems of existing sampling methods

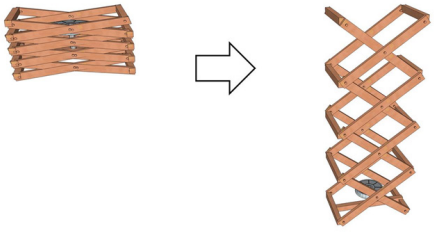

Fig. 4. Improved water quality measurement

3. 무인 탐사체의 자동운항 알고리즘

무인 탐사체의 자동유도 알고리즘은 채수를 자동으로 수행할 수 있는 무인 탐사체가 미리 지정된 항로를 따라 사람이 조작하지 않고 스스로 목표지점까지 운항할 수 있도록 기본 알고리즘을 정립하였다. 무인 탐사체의 자동운항에 영향을 미치는 요소로는 유속과 바람이 있는데 저수지를 우선 적용 대상으로 정하였으므로, 바람에 의한 영향은 없는 것으로 가정하였으며, 자동운항 알고리즘은 벡터 계산을 기본으로 하였다. 개략적인 알고리즘은 Fig. 5와 같다.

무인 탐사체가 이동할 때 유속에 의해 이동 방향 및 속도가 변하게 되므로 이를 계산하여 이동할 수 있도록 해야 한다. 원격 탐사체가 작동을 시작하면 자체 추진력인 추진기를 정지한 채로 물살의 흐름에 따라 자유롭게 이동하도록 한다. 일정 시간 동안 무인 탐사체가 자유 이동을 하면서 VRS-GPS로 획득한 위치 좌표를 이용하여 유속벡터를 구한다. 유속벡터를 구한 다음 무인 탐사체를 일정 시간 직진시키며 VRS-GPS가 획득한 위치 좌표를 이용해 속도벡터를 구하고 방향을 설정한다. 방향이 결정되면 무인 탐사체를 목표지점의 방향으로 회전시키고 운항을 시작한다. 무인 탐사체의 위치를 1초 단위로 체크하여 계획항로와 수직거리가 3m 이상이 되면 유속벡터와 속도벡터를 계산하여 계획항로 방향으로 회전시키는 과정을 반복하면서 목표지점까지 운항한다. 이격 거리를 3m로 설정한 이유는 수로측량 업무규정의 수로측량기준 중에서 수로측량 등급 1b(수심 100m보다 얕은 해역으로 통항 선박의 형태에 선저통과 수심이 고려되지 않는 해역)의 총수평불확실도인 5m+수심의 5%를 개략적으로 계산한 값 6m의 절반을 적용하였다.

4. 수질측정을 위한 무인 탐사체의 구성

4.1 무인 탐사체의 구성

본 연구에서 활용되는 무인 탐사체의 선체는 쌍동선 형태로 개발되었다. 좌우 부양체(Hull)에 의해 무게가 선체 전체로 분배되어 파도 등에 대한 선체 복원력이 뛰어나며, 좌우 양단의 두 쌍의 추진기를 이용하여 속도 및 방향을 모두 조절함으로써 구조가 단순해지고 열 및 진동의 영향을 최소화할 수 있다(Choi, 2005, Cho, 2006). Fig. 6은 선체의 구성을 나타내고 있다.

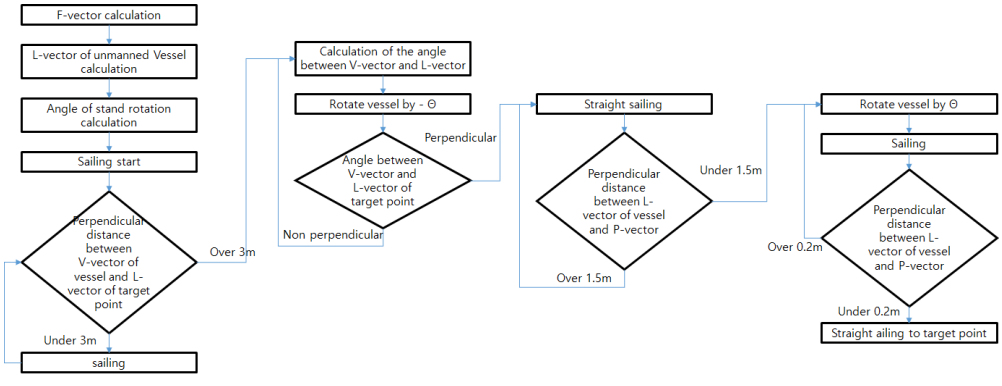

Fig. 5. Automatic sailing algorithm of unmanned vessel

선체의 동력원으로 리튬 이온 폴리머 배터리를 사용하였다. 리튬 이온 폴리머 배터리는 폭발위험성이 있는 액체 전해질 대신 화학적으로 가장 안정적인 Polymer(고체 또는 젤 형태의 고분자 중합체) 상태의 전해질을 사용하여 누액과 폭발의 위험성이 적다. 본 제작된 배터리는 기본적인 보호회로(PCM)에 각 셀의 전압을 일정하게 조절(BMS)할 수 있다.

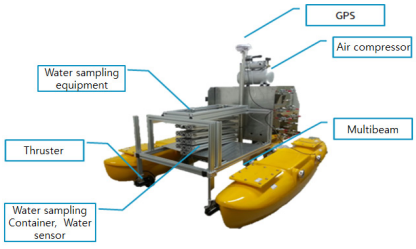

Fig. 6. Construction of the unmanned vessel

상용화된 추진기의 거치 방식은 선체의 후위 끝단에 위치하여 좌┌우 회전 시에 모멘트의 중심이 선체 후위 중심에 위치하므로 선체의 길이를 고려하였을 때, 회전각이 작기 때문에 회전반경이 클 수밖에 없다. 반면 무인 탐사체에 거치된 추진기의 경우, 선체의 전후 양단에 위치하여 좌┌우 회전시에 모멘트의 중심이 선체의 중심에 위치하므로 회전각은 크며, 회전반경은 작게 할 수 있다. 또한 좌┌우 추진기의 방향을 서로 달리하여 제자리에서 회전할 수 있는 장점이 있다. 이는 유속을 고려하지 않았으므로 유속에 따른 오차를 고려해야 한다.

4.2 무인 탐사체의 채수부 개발

무인 탐사체의 채수부는 정확한 위치에서 자동으로 채수하기 위해 채수 리프트와 채수 컨테이너로 구성하였다. 채수 컨테이너는 수중에서의 방수, 부력, 정밀한 제어 문제로 인해 자동 개폐가 용이하고 채수통의 탈부착이 용이한 카트리지형으로 개발하였다. 자동 개폐장치는 Fig. 7과 같은 기계식 공압밸브로 채수 컨테이너 상부의 밸브를 자동 개폐할 수 있도록 개발하였다.

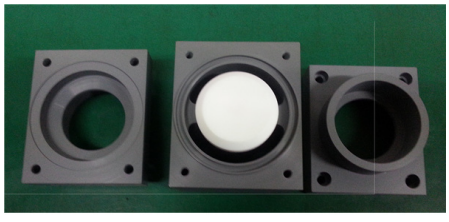

Fig. 7. Opening and closing device using mechanical pneumatic valve

채수 컨테이너는 채수 리프트 바닥에서 수면으로 돌출 되도록 개발하여 무인 탐사체 상부에서 채수가 완료되도록 개발하였다. 또한 채수통과 밸브의 연결 부분은 수밀성을 확보하기 위해 나사선 간격을 조밀하게 제작하고, 연결부분에 고무링을 삽입하여 개발하였다. 채수 리프트 하단부에 위치하는 채수 컨테이너는 수중에서 작동하므로 개폐작동에 있어 전기적 요인을 제외한 공압으로 개발하였다.

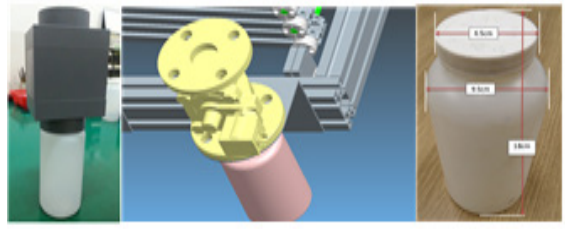

Fig. 8. Developed cartridge type water container

채수 리프트는 관절형식의 신축장치를 이용하여 개발하였다. 이러한 관절형식의 신축장치는 여러 개의 단으로 구성할 경우 동일한 수평 이동거리에 따라 몇 배의 수직 이동이 가능하게 된다. 즉, 관절을 5단으로 구성하여 수평으로 약 30cm 이동 시킬 경우 최대 수직으로 약 2.5m까지 이동이 가능하다. 이는 부재 길이의 최대 8개 이상 되는 길이이다. Fig. 9은 채수 리프트의 설계도를 나타내고 있다. Fig. 10은 수평이동 거리에 따른 수직 이동 거리를 나타내고 있다. 수평이동 거리가 증

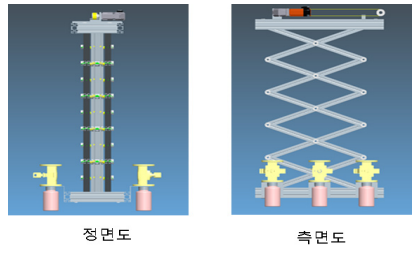

Fig. 9. Float lift plan

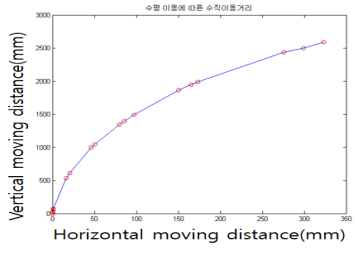

Fig. 10. Vertical moving distance according to horizontal moving distance

가할수록 수직 이동 거리도 증가함으로 비례함을 알 수 있다.

또한, 채수장치의 구동장치로는 정밀하게 제어되는 모터를 이용하여 수평이동이 이루어지고 관절형식 신축장치는 하강하게 된다. Fig. 11는 채수 리프트의 구동장치로 사용되는 스태핑 모터를 나타내고 있다

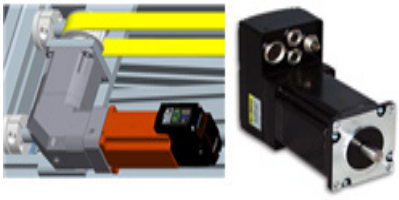

Fig. 11. Power transmission for lowering of water supply lift

모터에 의한 회전수에 따른 하강 깊이의 관계식은 다음과 같다.

$$H = \sqrt{D^2 - [D - (N_r \times \frac{2\pi r}{100})]^2)} \quad (1)$$

여기서, H : 하강 깊이(5단 연결일 경우 5배),

D : 관절의 길이(mm)

N_r : 모터의 회전수

r : 모터에 연결된 기어의 반지름(mm)

하강 깊이에 따른 모터의 회전수 관계식은 다음과 같다.

$$N_r = \frac{D - \sqrt{D^2 - \Delta H^2}}{2\pi r} \times 100 \quad (2)$$

여기서, ΔH : 채수 리프트의 최소 길이(22.68mm)가 포함된 채수 깊이

예) 1단 사용시 : 100mm 하강 요구시 ΔH 는 122.680mm

5단 사용시 : 500mm 하강 요구시 ΔH 는 104.536mm

Table 1. Number of revolutions according to required depth

	Required depth (mm)	ΔH (mm)	Rotational speed (Nr)
5단	500	104.536	5.55
	600	124.536	7.90
	700	144.536	10.68
	800	164.536	13.89
	900	184.536	17.55
	1000	204.536	21.67
	1500	304.536	49.71
	2000	404.536	92.67
	2500	504.536	157.61
	3000	604.536	269.80

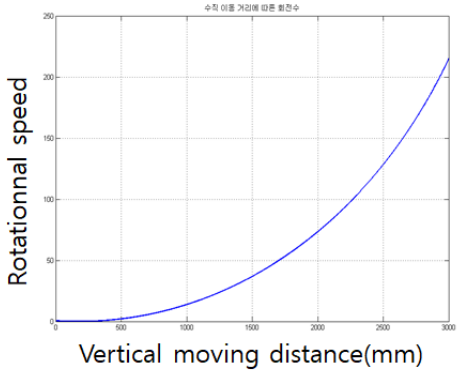

Fig. 12. Rotational speed of motor according to required depth

또한 채수 리프트는 소형선박에 적합하도록 중량을 최소화 하면서 유속에 의한 영향을 최소화하기 위해, 관절형식이 유지되도록 총 15개(1단에 3개)로 개발하였으며, 프레임의 재질을 알루미늄 프로파일로 무게를 줄여 개발하였다. Fig. 13은 수평이동 변화에 따른 채수 리프트의 하강 시뮬레이션을 나타내고 있다.

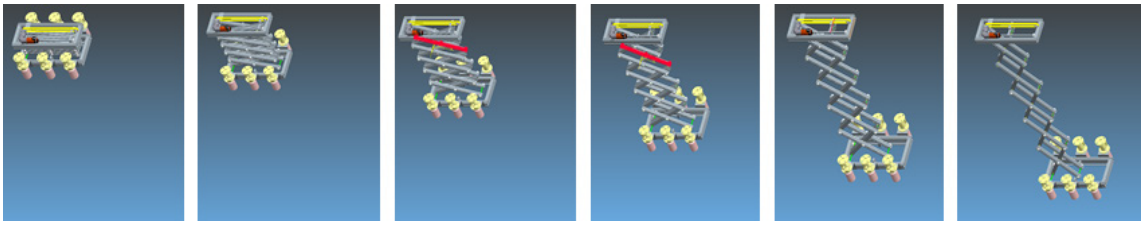

Fig. 13. Simulation of descent of water system with horizontal movement

5. 현장 적용 및 분석

5.1 자동운항 실험 및 분석

개발한 무인 탐사체에 채수 리프트 및 채수 컨테이너를 탑재하고 성능을 실험하였다. 대상지역은 인천광역시 연수구 송도동에 위치한 유수지에서 수행하였으며, 2017년 9월 15일부터 2017년 9월 30일까지 15일간 1시간 36분 30초 동안 운항하였으며, 이 중에서 일부 데이터가 누락된 데이터세트를 제외한 1,003개의 데이터세트를 분석하였다. 유효 데이터를 획득한 운항 시간은 1시간 23분 34초이고 총 운항거리는 8.14km, 평균 속도는 시속 5.85km였다.

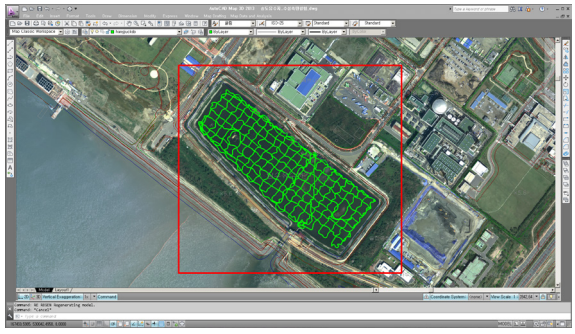

Fig. 14. Sailing routes overlapped with aerial photographs

계획항로와 실제 자동운항 항로의 일치율을 분석하기 위해 ArcGIS의 인접성 분석 툴을 이용하였다. 전체 데이터 중에서 바람에 의해 무인 탐사체가 밀려난 지역과 수심이 얕아 정상 운항이 어려운 지역을 제외한 777개의 관측점 데이터를 분석한 결과 허용범위 3m를 벗어난 관측점은 총 51개로 전체의 약 7%에 해당한다. 따라서 계획항로와 실제 자동운항 항로의 일치율은 약 93%라고 할 수 있다.

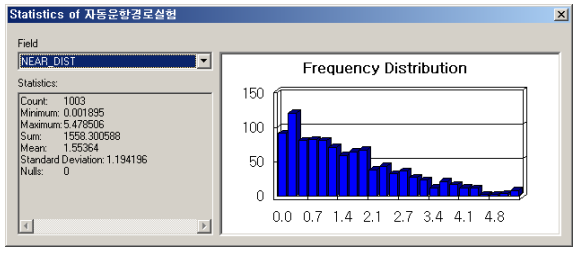

Fig. 15. Results of Near-Dist analysis

5.2 수질 측정 실험

채수 리프트에 채수 컨테이너 대신 수질측정 센서를 장착하여 수질을 측정하였다. 수면, 수심 1/3지점 및 수심 2/3 지점에서 수온, 전도도, 염도도, pH, 산화환원전위, HDO 등 6개 항목을 측정하였으며 이를 전체 유수지에 대한 분포도로 작성하였다. Fig. 16은 이중 수면에 대한 분포도를 나타낸다.

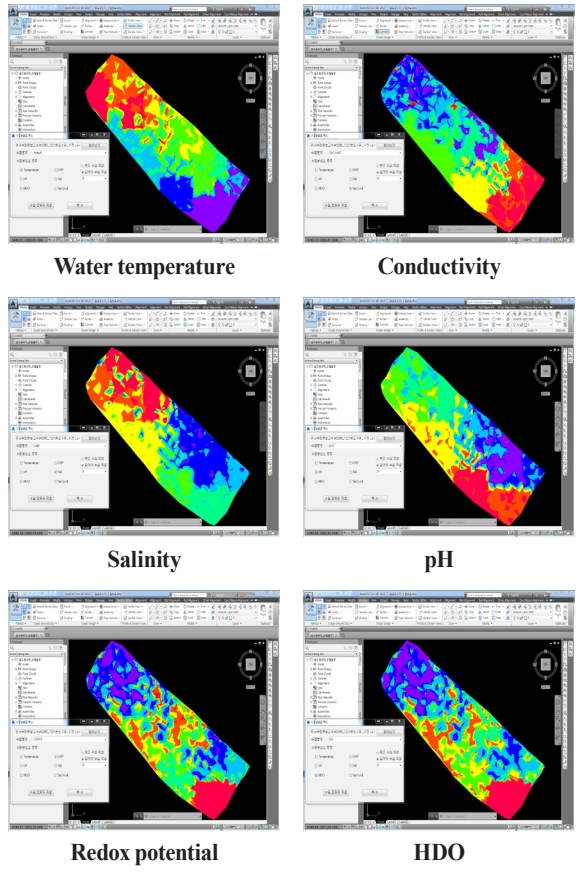

Fig. 16. Surface water quality map of detention pond

5.3 자동채수 실험 및 분석

채수 리프트는 원하는 수심까지 늘어났는지 직접 측정하기가 불가능하여 육상에서 성능을 실험하였다. 리프트 작동 프로그램에 수심을 입력하고 실행시키면 리프트가 얼마나 늘어났는지를 측정하였다. 50cm에서 280cm까지 10cm 단위로 늘려가면서 각각 10회씩 총 230회를 실행하였으며, 입력한 수심과 늘어난 길이가 1cm 이상 차이나는 경우는 13회가 있었다. 이런 경우는 서보모터의 회전운동을 직선 운동으로 바꿔주는 부분이 정상적으로 작동하지 않는 문제 때문에 발생했으며 이 문제를 해결하기 위해서는 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

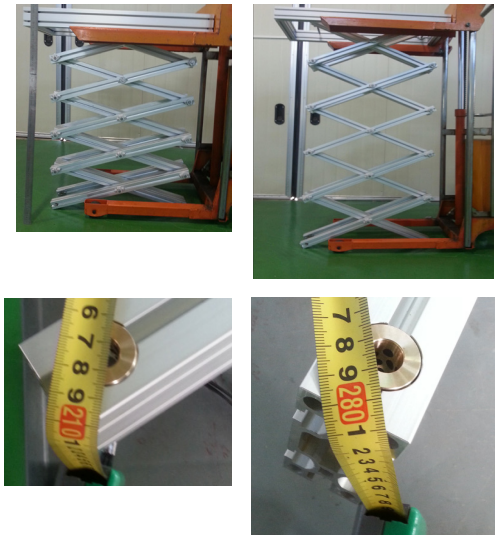

Fig. 17. Test of water sampling lift

Fig. 18. Test of water sampling container

6. 결 론

본 연구에서는 VRS-GPS 및 음향측심기 등을 이용하여 정확한 위치정보의 획득과 이동이 가능하며, 자동으로 시료를 채수하고 실시간으로 모니터링 할 수 있는 무인 탐사체의 개발을 통하여 하천 및 호소에서 정확하고 효율적인 수질을 측정하기 위한 방법에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 이 연구에서 개발된 무인 탐사체는 오차범위 내에서 계획경로와의 인접률이 평균 약 93% 이상으로 바람이나 지형지물의 영향을 고려할 때 비교적 정확한 위치로의 이동이 가능하며, 채수 컨테이너는 계획 수심으로의 이동률이 평균 약 94% 이상으로 정확한 지점에서의 채수가 가능함을 알 수 있었다.

둘째, 무인 탐사체 하부에 탑재된 자동수질측정 센서를 이용하여 대상지역의 수질을 실시간으로 획득하고 무선 인터넷을 통하여 서버에 전송함으로써 지점별 수질 상태를 상시적으로 모니터링 할 수 있음을 알 수 있었다.

향후, 하천 및 호소 등 다양한 대상지역에서 무인 탐사체를 활용한 수질측정 방법을 적용하여 다양한 환경조건에서 안전하고 효율적으로 수질정보를 획득할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 국토교통부 국토교통기술사업화지원 사업의 연구비 지원(17TBIP-C126571-01)에 의해 수행되었습니다.

References

Bae, J.W. (2013), *Study on the Efficient Operation Plan of National Water Quality Measurement : Focused on Water Quality Monitoring through Volunteer*, Master's thesis, Sogang University, Seoul, Korea.

Chang, H.S. (2011), *Improvement of Lightning Protection for Water Quality Tele-Monitoring System*, Master's thesis, Kyungpook National University, Daegu, Korea.

Cho, K.H. (2006), *A Study on Remote Depth Measurement Using DGPS and Robot-Ship*, Ph.D. dissertation, University of Incheon, Incheon, Korea.

Choi, B.G. (2005), *Development of Remote Control Robot-Ship Using Wireless Internet and DGPS*, Report, University of Incheon, Incheon.

Jeong, Y.D. (2002), Measuring water depth by using a combination of GPS/Echosounder, *Journal of Korean Society of Surveying*, Vol. 20, No. 4, Korean Surveying Society, pp. 375-381. (in Korean with English abstract)

Kammerer, E.L.L. (2000), *A New Method for the Removal of Refraction Artifacts in Multibeam Echosounder systems*, Ph.D dissertation, University of New Brunswick, New Brunswick, Canada.

Kim, E.C. (2011), *The Study of Effect on Removal Project for Total Pollution Loads Control by Namwon River*, Master's thesis, Seonam University, Namwon, Korea.

Lee, C.J. (2008), *A Study on the Improvement of Remote Automatic Control System of Unmanned Surveyor*, Ph.D. dissertation, University of Incheon, Incheon, Korea.

Lee, Y.C. (2000), Application of WADGPS method for navigation and acquisition of the geo-spatial information, *Proceedings of Korean Society of Civil Engineer-2000*, Korean Society of Civil Engineer, 27-28 October, Yongpyung, Korea, Vol. Ⅳ, pp. 569-572.

Ministry of Environment (2014), *Water Pollution Process Test Standard*, Report, Ministry of Environment, Sejong.

(Endnotes)