

원격수심측정을 위한 로봇시스템의 개발

Development of Remote Control Robot-ship for Measuring Water Depth

최병길¹⁾ · 조광희²⁾

Choi, Byoung Gil · Cho, Kwang Hee

Abstract

This study is aimed to develop a remote control robot-ship system using wireless communication and DGPS, which it is an automatic system for measuring exact depth and bed topography of reservoir or dam. Robot-ship is equipped with GPS and echosounder, and it is controled remotely using wireless internet. Robot-ship is consist of frame, each module and control board. Control segment is consisted of a processing system for positioning data and remote control system. A wireless communication system is developed which can communicate interactively between robot-ship and control segment, and it is developed in two channel system of RF modem and wireless internet. The robot-ship could be used acquire economically and exactly the water depth and bed topography of reservoirs, dams, rivers and so on.

Keywords : DGPS, Echosounder, Depth measuring, Robot-ship, Wireless internet

요 지

본 연구의 목적은 DGPS와 무선통신을 이용하여 저수지, 댐 등의 수심 및 수중지형 정보를 획득할 수 있는 원격 수심측정시스템을 개발하는데 있다. GPS와 에코사운더를 장착한 로봇선은 무선 인터넷을 이용하여 원격으로 제어된다. 로봇선체는 선체, 개별 모듈 및 제어보드로 구성되었으며, 제어국은 위치데이터 처리시스템과 원격 제어시스템으로 구성되었다. 통신시스템은 로봇선과 제어국이 정보를 교환할 수 있도록 개발하였으며, RF 모듈과 무선 인터넷의 2채널 시스템으로 구성되었다. 본 연구에서 개발된 원격측정 로봇선은 저수지, 댐, 하천 등의 수심 및 하상지형 정보를 경제적으로 정확하게 획득하는데 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 디지피에스, 에코사운더, 수심측정, 로봇선, 무선인터넷

1. 서 론

본 연구에서는 무선 인터넷을 이용하여 로봇선의 위치를 원격으로 제어하고 이에 장착된 GPS(Global Positioning System, 위성측위시스템) 및 에코사운더(Echosounder, 음향측심기) 등의 센서를 이용하여 저수지, 댐 등의 수심 및 수중 지형정보를 취득할 수 있는 원격 수심측정시스템을 개발하였다.

지금까지의 수심측량은 측량선에 각종 장비를 설치하고 현장 조건에 맞도록 매개변수들을 변경해야하는 불편

함이 있다. 측량선, GPS, 에코사운더, 운영소프트웨어 등의 복합시스템으로 구성된 선박을 사람이 직접 현장까지 운반하여 이루어지는데, 측량선은 대부분 현지에서 조달하기 때문에 대상지역이 변경될 때마다 각종 장비를 새로 설치해야 하는 불편이 따르며, 선박의 조향도 항해사의 운전능력에 따라서 그 정확성이 상당히 큰 영향을 받게 된다. 또한 지역이나 환경 조건에 제약을 많이 받고 있다. 댐 및 저수지에서는 측량선의 운반이 거의 불가능하며, 일반적인 선박을 이용할 경우 자체의 무게로 인해 수심 1.5m 이하의 얕은 지역에 대해서는 접근이 어렵다. 이 때

1) 정희원 · 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수(E-mail: bgchoi@incheon.ac.kr)

2) 연결저자 · 정희원 · 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 박사수료(E-mail: raphael@incheon.ac.kr)

문에 이들 지역에 대한 수심정보는 고무보트를 이용하고 있으나 사고의 위험을 내포하고 있으며, 사람의 접근이 어려운 오염지역 등에 대한 수심의 측정은 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

따라서 지역이나 환경 조건에 제약을 받지 않고, 장비 설치 및 매개변수 설정 등 준비작업이 필요 없으며, 소수의 인원으로 필요한 수심정보를 취득할 수 있는 자동화된 측정 장비가 필요하다.

본 연구에서 개발한 원격측정 로봇선은 DGPS를 이용한 자동화 유도방법에 의하여 정형화된 정보를 취득하므로 신뢰도를 향상시킬 수 있고, 필요한 장비들을 내장하고 있으므로 장비설치나 매개변수 설정 작업이 필요 없으며, 지역이나 환경 조건에 제약을 받지 않고 필요한 정보를 취득할 수 있는 시스템이다. 또한 취득한 정보들은 무선 인터넷에 의해 자동으로 서버에 저장되므로 데이터 입력 오류 또는 분실 등의 문제점도 해결할 수 있는 자동화된 측정 장비로서 저수지, 댐 등의 수심 및 수중지형정보를 효과적이고 정확하게 획득하기 위해서 반드시 개발할 필요가 있는 시스템이라 할 수 있다.

2. 연구동향 및 이론적 배경

2.1 연구동향

GPS와 에코사운더를 통합하여 수심을 측정하거나 수중지형정보를 획득하는 연구는 활발히 진행되어 왔다. 해양의 경우에는 고영호(1993)의 마산항 수심분포 측정, 서용운 등(2000)의 영일 신항만의 방파제 사석투하 토공물량 산정, 박운용 등(2003)의 부산 해운대 해저 지형 분석 및 하구하상 측량 정밀도 향상 연구 등이 있고, 내륙의 경우에는 정영동 등(2002)의 영산강 수심측정, 강효섭(2004)의 저수지 지형분석 연구 등이 있다. 그러나 이러한 연구는 측량선 또는 고무보트에 장비를 탑재하고 사람이 승선하여 수심 및 수중지형정보를 획득한 사례이며, 무인 로봇선을 이용하여 수심 및 수중지형정보를 획득하는 사례는 조사되지 않고 있다.

2.2 GPS를 이용한 위치정보 획득

GPS를 이용한 이동체의 위치측정에 대한 연구는 국내 외에서 활발히 수행 중에 있다. 본 연구에서는 DGPS 기법중에서 고정밀 실시간 이동측위기법인 RTK OTF(Real Time Kinematic On The Fly, 실시간 동적측위)기법을 사

용하였다.

GPS는 여러 가지 오차를 포함하고 있으며 사이클 슬립(Cycle slip)이나 다중경로(Multi-pass) 등 오차를 유발시키는 요인을 잠재하고 있다. 그러나 GPS는 시간, 시야, 기후에 제약이 적으며 휴대가 편리하고 상대적인 위치측정이 상당히 정확하기 때문에 이동체의 위치추적에 이용되고 있다. 또한 GPS는 1초마다 한번씩 위치를 측정하므로 이동하는 물체의 경우 이동 경로 및 위치를 확인할 수 있다. 이러한 방법을 응용하여 이동체의 실시간 위치를 측정하고 측정된 위치 좌표를 수치지도 상에 표시함으로써 위치를 추적할 수 있게 된다.

GPS의 신호 체계상 반송파에 의한 위치결정 방법이 코드에 의한 위치결정보다 정밀도 측면에서 큰 이득을 주지만, 반송파에 의한 단독측위 역시 후처리 상대측위 기법보다는 정밀도가 떨어지는 단점을 가지고 있다. 광범위한 관측점의 정밀 좌표들을 빠른 시간내에 획득하기 위해서는 이동측량을 수행하는 동시에 후처리 자료처리 기법이 갖는 정밀도에 근접한 결과를 산출할 수 있는 방법이 요구된다. 이러한 목적을 위해 개발된 것이 DGPS(Differential GPS, 상대측위) 기법이다.

DGPS 기법은 두 대 이상의 GPS 수신기를 이용하는 기법으로서, 한 대의 수신기는 위치정보를 알고 있는 기지국(Reference)에 설치하고, 다른 한대는 위치를 알고자 하는 지점으로 이동하는 이동국(Rover)이 되며, 두 대의 수신기는 똑같은 신호를 독립적으로 수신하기 때문에 발생하는 오차가 같게 된다. 기지점에서는 수신된 신호를 분석하여 오차발생요인을 파악하고 오차보정정보를 이동국에 전송하면, 이동국에서는 보정정보를 이용하여 정확한 위치정보를 획득하게 된다. 이러한 DGPS 기법은 정지측위 및 이동측위에 모두 사용되며, 데이터의 보정도 실시간 처리, 후처리 등의 방법으로 이루어진다. DGPS 기법 중의 하나인 실시간 이동 측위 기법은 정밀한 위치를 확보한 기준점의 반송파 오차 보정치를 이용하여 사용자가 실시간으로 수 cm의 정밀도를 유지하는 관측치를 얻을 수 있게 하는 것이다.

2.3 Echosounder를 이용한 수심정보 획득

수심측량은 계획된 측심선에 따라 수면위치측량과 수심측량을 동시에 실시한다. 수면위치측량 방법에는 직선 유도법, 3점 양각법, 전자위치측정법, DGPS 방법 등이 있는데, 최근 DGPS 장비의 정확성이 향상되면서 DGPS

방법이 활발하게 사용되고 있다(조홍연 2003). 수심측정은 대상지역에 따라 수심측정방법이 달라지는데 일반적으로 수심이 얇은 곳에서는 측심봉과 측심추를 이용하고, 수심이 깊은 곳에서는 Echosounder가 이용된다. Echosounder는 수면에서 매우 짧은 시간 지속하는 음파를 수저에 발사하는데, 발사된 음파는 사방에 확산하여 전파된다. 일부는 수직으로 수저방향에 전파되고, 수저면에서 일부는 투과되나 대부분은 반사되어 수면부근에 도달한다. 음파신호는 일정한 범위로 확산되지만 평탄한 수저에서는 수직방향 부근의 음파신호가 가장 강하게 검출된다. 송신음파와 수신음파의 도달시간차 T를 정확히 측정하고, 수중음속 V를 알면 수심 Z는 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$Z = \frac{1}{2} VT$$

일반적으로 음향측심기는 가정음속 $V = 1,500m/sec$ 를 기준으로 설계되며, 시간차는 0.003sec 단위로 관측된다. 따라서, $\frac{V}{2}$ 를 K라 하면, $Z = KT$ 가 되어 시간만의 함수로 표시되므로 음파신호의 도달시간만 알면, 바로 이에 대응하는 수심을 알 수 있다.

그러나, 실제 수중의 음속은 염분, 수온, 수압 등에 의하여 미소하게 변화하므로 엄밀한 관측값을 구하려면 관측 당시의 실제 음속을 구하여 음속도 보정해 주어야 한다. 또한 해수의 경우 수심의 기준면과 관측시 해수위 차이를 고려한 조위보정, 수면으로부터 음파송출기까지의 깊이를 고려하는 흘수보정이 필요하며, 선박의 운동, 자료 측정시점의 일치화 등에 의한 오차요인에 대하여 보정해주어야 한다.

음속의 보정방법에는 바-체크(Bar-Check)에 의한 방법, 해수의 염분, 온도 등의 데이터를 이용한 계산방법, 속도계로 직접 음속도를 구하는 방법 등이 있다. 바-체크법은 Echosounder의 음속도 보정방법으로 수심 30m~50m 미만의 수심에 사용한다. 음파를 반사할 수 있는 판에 1m 간격으로 길이를 표시한 와이어를 연결한 것을 바-판(Bar-Plate)이라고 한다. 측량선에 Echosounder를 설치하고 측량대상 구역 중 파고가 없는 곳을 택하여 수중으로 바-판을 1m~2m 간격으로 침하시키면서 Echosounder의 기록수심과 바의 수심을 동기화하기 위하여 온도, 염도 등의 해수조건에 대한 음속도를 보정하는 것을 바-체크라고 한다. 데이터 수치계산법은 해수의 깊이에 따른 각 층의 염분, 수온, 수압을 직접 관측하여 정확한 음속도를 계

산하고 가정음속과의 보정량을 구하는 방법으로, 계산식에는 Willson식, Matthew식, 우리나라 해양연구소 KORDI 식 있다(이석우 외, 1996).

정밀수심측량을 수행하는 선박의 Echosounder는 선박의 운동에 영향을 받기 때문에 선박의 운동을 고려한 보정이 필요하다. 특히, 상하운동(Heave), 좌우회전운동(Pitch) 및 전후회전운동(Roll)에 대한 보정은 가장 기본적이고 중요한 인자이다. 일반적으로 선박의 전후운동(Surge) 및 좌우운동(Sway)은 평면위치변화에만 영향을 미치며, 중심축을 따른 선박의 회전운동(Yaw)은 Echosounder가 선박의 중심지점에 설치된 경우 오차는 무시할만한 정도가 된다. 측정시점의 일치에 의한 오차는 측정장비의 측정간격을 조정하면 감소시킬 수 있다.

2.4 로봇선의 자동화 유도

본 연구에서는 길이 1.2m, 폭 0.8m의 로봇선에 GPS, 에코사운더를 탑재하여 위치 및 수심정보를 획득하고, 원격지에서 로봇선의 이동을 수동 및 자동으로 제어하며 무선통신을 이용하여 위치 및 수심정보와 로봇선 제어정보를 교환할 수 있는 자동화된 원격 수심측정시스템을 개발하였다. 시스템 개발에는 GPS, 수심측정, 무선통신, 수동 및 자동화 유도와 관련된 이론들이 적용되었으며, 이 중에서 시스템의 핵심이라고 할 수 있는 자동화 유도 이론을 살펴보면 다음과 같다.

로봇선의 유도는 인위적인 조작에 의하여 유도하는 수동화 유도와 로봇선 고유의 기계적인 상수값을 얻어서 소프트웨어 방식으로 유도하는 자동화 유도가 있다. 수동화 유도는 제어국에서 로봇선의 위치를 모니터링하면서 로봇선의 속도와 방향을 설정하는 방법이고, 자동화 유도는 GPS에 의하여 실시간으로 그 위치를 구하고 벡터 변위량을 산출하며 이동경로를 예측함으로써 로봇선의 속도와 방향을 자동으로 조절하는 방법이다.

로봇선을 이동시킬 경우, 순간위치와 사전에 설계한 경로를 비교하여 오차를 찾아낼 수 있으며, 이 순간 위치에 대하여 현재의 위치로부터 다음 점에 대한 이동체의 위치를 매번 추정하게 된다. GPS의 경우 데이터가 불안정하여 발생하는 과대오차를 알고리즘에 의하여 보정하여야 한다. GPS에 의하여 구한 측위정보(시간, 위치, 속도, 방향 등)와 로봇선의 물리적인 법칙에 의한 2종류의 자료로부터 제어운동을 모델화하여 로봇선 유도의 문제를 해결하게 된다. 이러한 해결 방법들은 이동체의 벡터운동에

대한 모델링의 경우 물리적인 운동법칙에 따라서 다음의 3가지 가정을 두고 있다. 즉, 정지상태의 물체는 계속 정지하려 하고 움직이는 물체는 운동을 멈추려 한다는 것, 주어진 모든 힘의 합이 이동체의 위치이동에 사용되며 이에 대한 반대방향의 저항력이 있다는 것, 정확한 위치로 이동하려면 조정이 필요하다는 것이다. 이러한 3가지 조정개념은 1997년 Christopher와 Arius Kaufmann이 VMS(Vector Movement System)를 소개하였다. 이 방법은 이동체 운동을 6각형으로 구성하여 수직선으로 이등분 한 2개의 도식과 하단의 전후 좌우, 현재-좌우 난을 이용하여 기수(Odd)와 우수(Even)로 서로 교대해 가면서 이동체의 방향을 작성하는 개념이다. 이동체가 이동을 하면 선박의 이동방향에 화살표를 그려넣고, 선박의 방향을 화살표로 나타낸 후, 선박을 회전한다. 정해진 경로를 통과하는 경우에는 현재의 속도와 방향을 6각형의 좌측에 기입하고 우측에는 로봇선의 방향표시를 나타내는데 사용한 조작사항을 기록한다.

계획경로를 점선으로, 실제경로를 실선으로 나타내었을 때, 그림 1과 같이 두 경로에 오차가 발생하게 된다. 이러한 오차를 알기 위해서는 실시간으로 이동방향과 경로에 대하여 매 시간마다 위치를 추정하는 방법을 사용하여야 한다. 이동체의 위치를 실시간으로 화면상에 나타내기 위하여 많은 데이터 중에서 필요한 요소만을 선택하는 여과과정이 필요하다. 계산위치에서 위치수정과 동시에 예측을 하여야 하며 추정에서 완만화를 하게 된다. 이러한 3가지 문제를 수학적으로 처리하는 방법은 여러 가지가 있으나 칼만 방법이 3가지 문제를 해결하는데 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 이러한 칼만

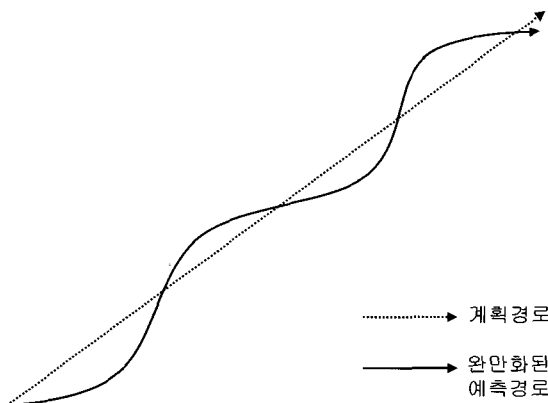


그림 1. 칼만 방법에 의한 완만화

방법을 이용하여 로봇선의 자동화 유도 알고리즘을 개발하였다.

3. 원격수심측정시스템 개발

3.1 로봇선 개발

3.1.1 선체 제작

로봇선의 선체는 전복에 따른 위치정보 손실 및 장비의 결손 등을 사전에 방지하고 안정적인 조항을 할 수 있도록 물리역학적인 측면을 고려하여 측량법에 규정된 범위 내에서 안정적인 작업이 가능하도록 제작하였다. 선체의 재질은 충격에 강한 FRP(Fiber Reinforced Polyester, 강화 플라스틱 섬유)로 제작하여 파손에 대비하였다. 선체는 본체 좌우에 소형 날개 두 대를 연결하는 형태로 제작하여 안정성을 확보하였다. 선체 및 윙의 크기는 운반 및 차량 적재가 용이하도록 소형화 하면서도 모든 장비를 선체 내부에 적재할 수 있도록 공간의 활용성을 극대화하였다. 선수부분 내부에 연료탱크 및 측정장비를 적재하였으며, 선미부분에는 내연엔진 및 배터리를 적재하여 동력원을 확보하였다. 그림 2는 제작한 로봇선의 사진이다. 엔진은 수냉식 엔진을 사용하여 혹서기에 엔진과열 및 기온 상승으로 인해 정지하는 경우를 대비하였으며, 원격시동 장치를 장착하여 작업도중 조작미숙 등으로 인하여 시동이 꺼질 경우를 대비하였다. 또한 속도를 조절하는 스크류와 방향을 조절하는 키가 외부의 장애물에 보호될 수 있도록 제작하였다.

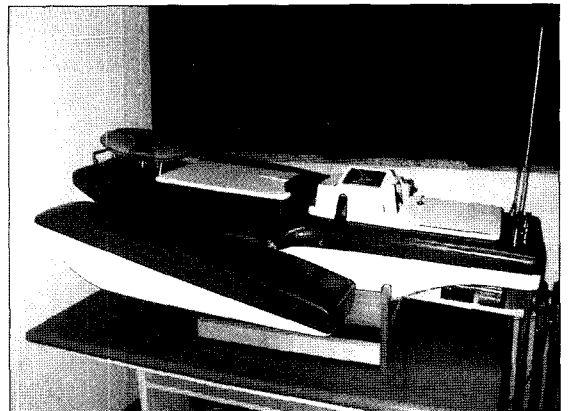


그림 2. 개발한 로봇선의 모습

3.1.2 개별모듈 개발

1) GPS 및 Echosounder 정보 변환모듈 개발

본 연구에서는 로봇선의 위치를 추적하기 위한 GPS 정보와 수심을 측정할 수 있는 Echosounder 정보를 동시에 변환할 수 있는 GPS 및 Echosounder 정보변환모듈을 개발하였다. 연구에 사용된 GPS는 일본 TOPCON 사의 Legacy-H 모델로서 제원은 표 1과 같다. 그림 3은 GPS의 센서 및 통신용 CDMA 모듈이고, Echosounder는 호주 BRUTTOUR 사의 CEESTAR 모델로서 제원은 표 2와 같다. 그림 4는 Echosounder의 사진이다.

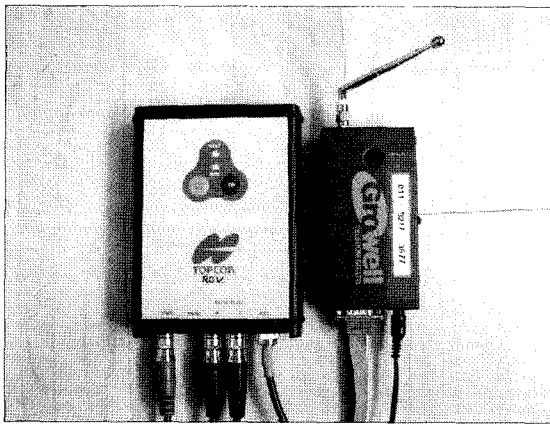


그림 3. GPS 센서 및 CDMA 무선 모듈

표 1. GPS의 제원

항 목	제 원
정확도 (2주파 수신에 의한 RTK일 경우)	수평 10mm+1.5ppm 수직 20mm 1.5ppm
통신속도	최소 300baud ~ 최대 406,800 baud
사용시간	7시간(전용 배터리)

표 2. Echosounder의 제원

항목	제원
주파수	200Khz
음향발산각도	8도
측정 깊이	0.3m ~ 99.99m
정확도	깊이의 2ppm 또는 최대 1cm
통신속도	최소 4,800baud ~ 최대 115,200baud

2) 중앙제어보드 개발

중앙제어보드는 하드웨어의 구동을 직접 제어함으로써 데이터의 처리효율을 높이고 데이터의 처리시간을 단축하기 위하여 마이크로 컨트롤러(Micro controller)인 PIC (Programmable Interrupter Controller, 프로그램이 가능한 인터럽터 제어기) 단일기판의 형태로 개발하였으며, 통합된 GPS 및 Echosounder의 데이터와 모터제어 명령을 동시에 처리하도록 개발하였다. 처음 설계할 당시, 모터 드라이브가 모터를 조절하도록 하였으나, 마이크로 컨트롤러의 용량이 커지고 다양한 개발언어를 지원하는 등 성능이 개선되어 따로 개발할 필요성이 없어지게 되었다. 시리얼 포트 2개가 지원되므로 하나의 포트는 GPS 및 Echosounder의 신호를 받는데 이용하고, 다른 하나의 포트는 통신포트를 연결하는데 이용하며, 모터는 중앙제어보드에 바로 연결하여 모든 기능을 중앙제어보드에서 수

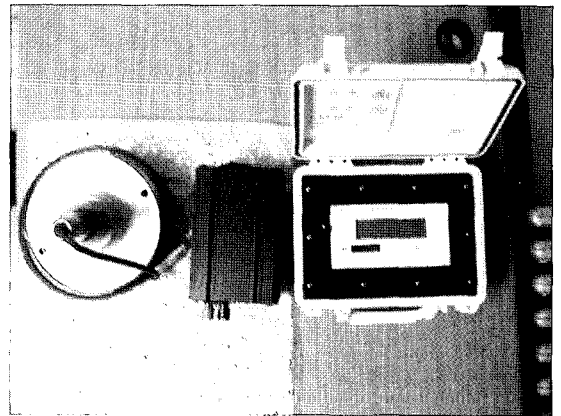


그림 4. Echosounder의 센서, 전원 및 컨트롤러

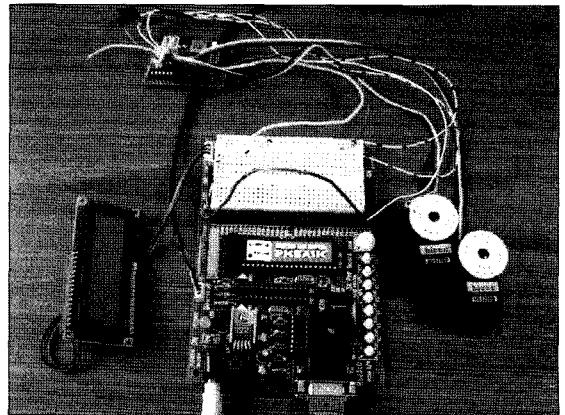


그림 5. 중앙제어보드

행할 수 있도록 개발하였으며, 그림 5와 같다.

3.2 제어시스템 개발

속도조절 및 조향키의 조작에 필요한 내부 및 외부 파라미터들에 대하여 분석하고, 속도의 증감 및 방향 전환을 정량화하였으며, 사용자가 로봇선을 원하는 지점으로 보낼 수 있도록 수동 및 자동화 알고리즘에 대하여 연구하였다. 물의 저항으로 인해 스크류 및 키의 회전이 제조사의 성능과 다르게 나타나므로, 로봇선을 실제로 물에 띄운 후, 진행속도 및 회전반경을 정량화하였다. 수동 및 자동화 알고리즘은 분석된 내부 및 외부 파라미터들을 적용하여 CAD 기반에서 계획한 이동경로를 따라 이동할 수 있도록 속도조절 및 회전반경에 대한 데이터를 얻은 후 이를 기반으로 프로그래밍하였다.

3.3 통신시스템 개발

로봇선과 제어국간의 통신시스템은 이동통신 서비스망을 이용한 무선인터넷과 RF(Radio Frequency, 라디오 주파수) 모뎀을 이용한 2채널 보안시스템으로 구성하였다. 기본적인 통신 수단으로는 CDMA(Code Division Multiple Access, 코드 분할 다중 접속) 모뎀을 이용한 무선인터넷 통신을 이용하고 RF 모뎀을 이용한 통신은 보조적인 수단으로 이용하였다. 연구에 사용된 CDMA 무선모뎀은 국내 Growell 사의 EK-001B 모델이며, RF 모뎀은 미국 Free Wave Technologies 사의 Spread Spectra Wireless Data Transceiver 모델이다.

4. 로봇선을 이용한 자동수심측정 결과 및 분석

4.1 에코사운더 성능 실험 및 분석

에코사운더의 성능을 분석하기 위하여 깊이가 일정한 수조에서 수심측정 실험을 수행하였다. 농업기반공사 농어촌연구원에 축조된 가로 16m, 세로 10m, 깊이 1.5m의 수조에서 실험을 수행하였으며, 실험당시 수심은 1.4m, 수온은 6.4℃, 측정간격은 1초였으며, 측정 데이터의 변위량은 그림 6과 같다.

수조실험에서 에코사운더의 성능을 측정된 결과 측정값의 평균은 139.99cm, 표준편차는 0.006cm, 최대편차는 1cm였다. 본 연구에서 사용된 Echosounder의 기기오차는 측정된 깊이의 2ppm(Z/5,000) 또는 1cm로서 깊이 1.4m의 수심에서 발생하는 오차는 이론상 0.028cm 또는

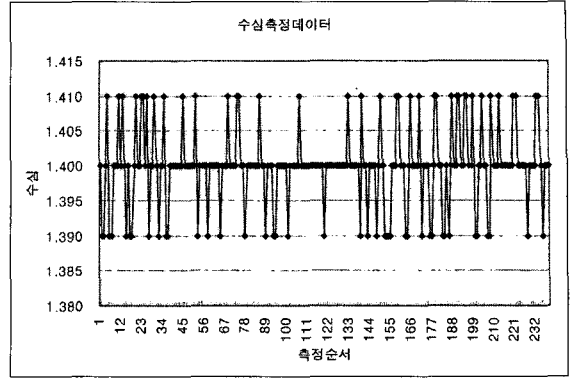


그림 6. 수심측정 데이터의 변위량

1cm이다. 즉, 원격측정 로봇선에 장착된 에코사운더의 정확도는 매우 높다고 할 수 있다. 또한 국내 저수지의 관리 및 수심측량을 담당하고 있는 농업기반공사에서는 수심측량시 수심 정확도를 $\pm 10\text{cm} + Z/1,000$ 까지 허용하므로 수심이 1.4m인 본 실험의 경우 허용오차는 $\pm 10 + 140/1,000 = \pm 10.14\text{cm}$ 라고 할 수 있다. 따라서 로봇선에 의하여 측정되는 수심의 정확도는 매우 높으며 충분히 수심측량의 허용기준을 만족한다고 할 수 있다. 또한 국립해양조사원의 수로측량업무규정의 수심정확도(1.4m일 경우 25cm)와 미국 공병단의 수심측량 매뉴얼(E1110-2-1003)의 수심정확도(수심 15ft=4.62m 이하일 경우, 15cm) 허용범위에도 만족한다.

4.2 제어정확도 분석

에코사운더의 정확도를 분석한 후 실제 저수지의 수심 데이터를 획득하였으며, 인천광역시 강화군 길상면에 위치한 길정저수지를 대상지역으로 하였다. 대상지역은 종방향 약 1.6km, 횡방향 약 0.16km로서 남북 방향으로 긴 형태이며, 길정저수지의 특성상 종방향 측량계획선을 규칙적으로 배열하기 어려운 점이 있어 종방향을 3등분하여 분할측정하고 분할된 지역이 중첩되도록 하였다. 그림 7은 자동운항중인 로봇선이고 그림 8은 로봇선이 운항한 항적도이다.

로봇선의 수심측정은 수동제어와 자동제어의 두 가지 방법을 이용하였다. 수동제어를 이용한 수심측정 실험을 위하여 노트북에서 프로그램을 실행시키고 대상 유수지의 수치지도를 띄운 다음, 로봇선의 이동계획선을 작성하였다. 조작자는 노트북의 화면만을 보고 키보드의 방향키 및 프로그램상의 이동조절 아이콘을 이용하여 로봇선이

이동계획선을 따라서 이동할 수 있도록 제어를 수행하였다. 키보드의 방향키를 이용할 경우, 방향조절은 좌, 우 방향키를 이용하고 속도조절은 상, 하 방향키를 이용하도록 하였다. 방향키를 한번 누르거나 이동조절 아이콘을 한번 클릭 할 때마다 모터가 단위회전각 만큼만 회전하도록 하였다.

자동제어를 이용한 수심측정은 노트북에서 프로그램을 실행시키고 대상 유수지의 수치지도를 띄운 다음, 로봇선의 이동계획선을 작성하는 과정까지는 수동제어와 같다. 다음 과정으로서 자동운행 버튼을 클릭하면 본 연구에서 개발한 로봇선 자동유도 알고리즘에 의하여 이동계획선을 따라 운항하게 하였다. 로봇선이 자신의 위치와 이동계획선의 좌표를 주기적으로 비교하면서 이동계획선에서 일정 범위 이상 벗어날 경우 자동으로 방향을 수정하여 운항하도록 하였다.

방향키를 사용하여 이동시켰을 때와 프로그램의 아이콘을 클릭하여 이동시켰을 때 모두 특별히 문제가 되는 점은 발견할 수 없었다. 수동제어에서는 조작자가 로봇선의 이동 속도 및 방향을 결정하므로 이동계획선을 따라 로봇선을 수동으로 이동시키기 위해서는 조작자의 숙련

도가 매우 중요하다고 할 수 있다. 자동제어 프로그램을 이용하여 로봇선을 자동운행한 결과는 그림 9와 같다.

계획선을 기준으로 진행방향의 좌측을 +, 우측을 -로 하였다. 계획선과의 최대 변위량은 35.75cm였으며, 평균 변위량은 14.23cm, 표준편차는 9.50cm였다. 이는 공공측량 작업규정 세부기준 운용세칙에 명시된 측정간격의 범위가 GPS를 이용할 경우 5m~20m, 농업기반공사에서 제시하고 있는 측정간격의 범위가 20m~40m임을 감안할 때 매우 정확하게 계획선을 따라 이동한다고 할 수 있다. 그림 10은 측정한 수심데이터를 이용하여 작성한 등

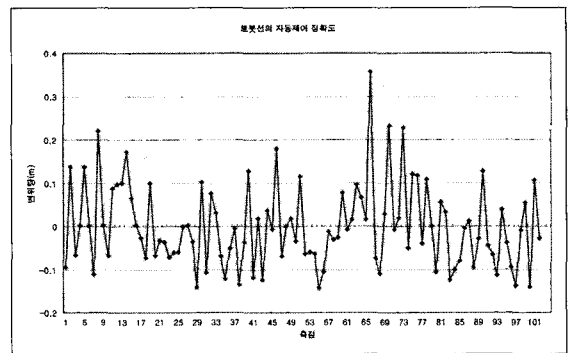


그림 9. 로봇선의 자동제어 정확도



그림 7. 로봇선 자동운항

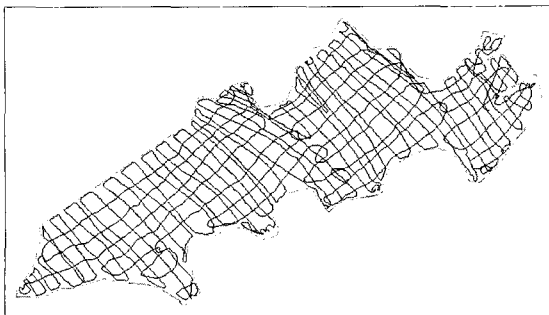


그림 8. 로봇선의 항적도

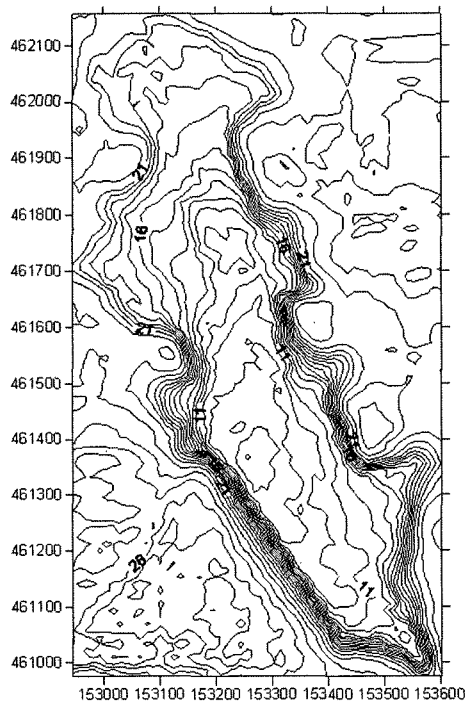


그림 10. 등심선도

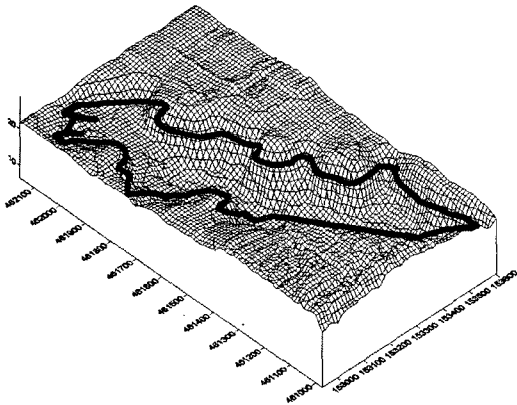


그림 11. 3차원 수중지형도

심선도이고, 그림 11은 3차원 수중지형도이다.

로봇선 선체에 GPS 및 에코사운더가 장착되어 있기 때문에 장비 장착에 소요되는 시간을 절감할 수 있었다. 또한 고정된 위치에 볼트로 장비를 장착하는 형태이기 때문에 현장에서 장착하더라도 소요시간을 절감할 수 있었으며, 매번 장비를 장착할 때마다 매개변수를 찾는데 소요되는 시간을 절감할 수 있었다. 수동제어 프로그램을 사용할 경우 노트북의 수치지도 상에 로봇선의 운항궤적이 실시간으로 표시되기 때문에 계획선과 비교하면서 키보드만으로 측량 계획선을 따라 로봇선을 이동시킬 수 있었다. 자동제어 프로그램을 사용할 경우, 작업자는 로봇선이 측량 계획선을 따라 이동하는지 확인하는 작업만 수행하면 되므로 작업능률이 매우 우수하였으며, 수심측정 데이터가 화면에 수치로 표시되므로 실시간으로 데이터의 오류를 확인할 수 있었다. 로봇선을 경량화 하였기 때문에 2인이 운반할 수 있었으며, 내부 장비를 탈착할 경우 1인이 운반하는 것도 가능하다. 따라서, 원격측정 로봇선을 이용하여 실제 저수지 수심측량을 수행한 결과 기존 수심측량 방법에 비하여 작업 편의성 및 효율이 매우 우수함을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 무선 인터넷을 이용하여 로봇선의 위치를 원격으로 제어하고 이에 장착된 GPS와 Echosounder 등의 센서를 이용하여 저수지, 댐, 하천 등의 수심 및 해저 지형정보를 취득할 수 있는 시스템을 개발하였다.

현장실험결과 위치 및 수심측정의 정확도는 국내 저수

지의 관리 및 수심측량을 관할하고 있는 농업기반공사의 규정을 충분히 만족하고 있음을 알 수 있었다. 또한 측정 및 제어 데이터가 누락 및 시간의 지연 없이 송수신되며, 로봇선이 프로그램에 계획된 대로 수동 및 자동으로 제어, 운항됨을 알 수 있었다. 실제 저수지의 수심측량을 실시한 결과 본 연구에서 개발한 로봇선 시스템이 기존의 방법에 비하여 매우 효율적으로 3차원 하저지형정보를 측정할 수 있음을 알 수 있었다.

원격측정 로봇선은 측량선 운반 등에 따르는 여러 가지 문제점들로 인해 데이터 획득이 어려웠던 저수지, 댐, 하천 등의 수심 및 하상지형 정보를 경제적으로 정확하게 획득할 수 있으므로, 하상지형도 작성, 담수량 산정 등을 통해 수자원 관리, 홍수시의 피해 예방 대책 수립 등에 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 산학연 공동연구개발사업(산학연02C01-03) 과제의 성과물 중 일부이며 현재 특허(제 2004-100573호) 출원중입니다. 연구를 지원해주신 건설교통부에 감사드립니다.

참고문헌

- 김정하, 박일경, 이운성 (1997), 병렬구조형 1/2 Size 차량 운전 모사장치의 설계 및 특성연구, 제어계측자동화로봇믹스연구회 합동학술발표회, pp. 49-43.
- 박운용, 김천영, 김용보 (2003), 하구하상 측량 정밀도 향상에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 21권 제 2호, pp. 137-145.
- 서용운, 최운수 (2000), 실시간 DGPS & Echo-Sounding 데이터를 이용한 방파제사석투하 토공물량 확인, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 18권 제 4호, pp. 343-350.
- 이석우, 김근식 (1996), 해양측량학, 집문당.
- 정영동, 강상구 (2002), 음향측심기와 위성항법을 이용한 하천의 수심측량, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 20권 제 4호, pp. 375-381.
- 조흥연 (2003), 연안해역의 정밀 수심측량기법, 한국수자원학회 학술발표회 논문집(I), pp. 513-516.
- 차득기 (2000), 실시간 DGPS에 의한 원격측위 및 자동화유도에 관한 연구, 박사학위논문, 경기대학교 대학원, pp. 35-78.
- Comfile Technology (2001), *Manual of Servo Motor Controller*, pp. 1-4.
- Comfile Technology (2000), *PICBASIC 2000 Data Book*, pp. 78-79.
- Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J. (1997),

- Global Positioning System Theory and Practice 4th revised edition*, Springer Wein NewYork.
- Kammerer, E. L. L. (2000), *A New Method for the Removal of Refraction Artifacts in Multibeam Echosounder Systems*, Ph.D. Dissertation, The University of New Brunswick, September.
- Lee, Y. C. (2000), Application of WADGPS method for Navigation and Acquisition of the Geo-Spatial Information, *Proceedings of Korean Society of Civil Engineer*, Vol. IV, pp. 569-572.
- O'connor, M. L. (1998), *Carrier-Phase Differential GPS for Automatic Control of Land Vehicles*, Ph.D. Dissertation, Stanford University, December.
- Sohn, H. G. (2000), A Study on the Improvement of GPS Position Accuracy for Car Navigation System, *Proceeding of Korean Society of Civil Engineer*, Vol. IV, pp. 565-568.
- Stephens, R. (1999), *Visual Basic Graphic Programming*, Wiley.

(접수일 2005. 12. 7, 심사일 2005. 12. 12, 심사완료일 2005. 12. 28)