GIS-GPS 기술을 이용한 저수지 수심측정 무인보트의 자율항법시스템 개발

Development of Automatic Cruise System of Unmanned Boat for Surveying Water Depth in Reservoir Using GIS-GPS Technologies

김대식* · 김진택**† · 표기형*** · 이진범***

Kim, Dae Sik · Kim, Jin Taek · Pyo, Ki Hyong · Lee, Jin Bum

ABSTRACT

In this paper, an automatic cruise system of unmanned boat was developed for surveying water depth in reservoir using GIS (geographic information system)-GPS (global positioning system) Technologies. the automatic cruise system consisted of an automatic path generation program (APGP) and an automatic boat control program (ABCP). A grid processing method with 3×3 roving window in GIS function was used to develop the APGP. For development of the ABCP, GPS and its coordinate calculation technique were introduced. The developed system was tested to verify the applicability for a sample reservoir, Misan reservoir located on Ansan city of Kyunggi province. From the test results, this study found the APGP generated cruise path automatically according to input condition on grid size of 5 m, 10 m, and 20 m, as well as, the ABCP also tracked well the cruise paths with high position accuracy. Another verification result on surveying time for 20 ha of water area also showed that the new system could survey water depth of reservoir quickly, including very high quality of spatial resolution.

Keywords: GIS; GPS; unmanned boat; automatic path generation; reservoir

1. 서 론

국내 농업저수지는 전체 농업용수 공급의 약 60 %에 달하는 많은 양을 담당하고 있으며 전국에 약 18,000개소가 과거 수 백년전부터 축조되어 농업용수의 이수, 가뭄 및 홍수에 대한 치수 기능을 하는 등 주요 농업기반시설로서 그 역할을 하고 있다. 2007년 현재 한국농어촌공사의 농업기반공사시설관리시스템에 등록·관리되고 있는 저수지는 3,316개소이며 주수원공 1,811개소 (54.6 %), 보조수원공 1,477개소 (44.5 %), 부속시설 28개소 (0.9 %)로 구분되어 있다. 총저수량은 2,481백만 m^3 , 유효저수량 2,368백만 m^3 이고 유역면적은 1,794천 ha, 수혜면적 409천 ha이다. 주수원공 저수지가 전체 저수지의 총저수량의 약 84 %를 차지하고 있으며, 수혜면적은 약 83 %를 차지하고 있다. 저수지 개소당 평균치를 살펴보면 총저수

량은 767천 m^3 , 유효저수량 732천 m^3 이고 유역면적 541 ha, 수혜면적 126ha이다 (KRC, 2007). 향후, 신규저수지개발은 여러 가지 반대 요인에 의하여 더욱 어려운 실정이므로, 현재 보유하고 있는 저수지를 잘 관리하고, 유효저수량을 늘릴 수 있는 방안에 집중할 필요가 있다. 저수지의 효율적인 관리를 위해서는 우선 저수지들의 정확한 용적과 저수량 등을 합리적인 방법으로 신속하게 그리고 주기적으로 파악할 수 있어야 한다. 그 다음 저수지의 설계시 보다 유효저수량이 감소된 저수지의 경우에는 준설을 통하여 유효 저수량을 지속적으로 확보할 수 있도록 조치를 하여야 한다. 이러한 맥락에서 한국농어촌공사 및 각 지자체에서는 지속적인 저수지 준설사업을 시행하고 있으며 이에 대한 저수지 기초자료 확보와 체계적인 유지관리를 위하여 저수지 수심측량을 통한 정기적인 내용적 측정조사사업을 수행하고 있다. 그러나 저수지 수심측량은 현재 고가의 수입장비로 구성된 유인탐사선으로 인력에 의한 수동 작업에 의존하고 있어, 비용, 안전성, 주기적으로 신속함 등 많은 부분에 있어서 개선해야 할 점이 많은 실정에 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 측정 장비의 가격을 저가로 하고 유지관리가 용이하며 수질 및 환경오염을 피할 수 있는 저수지 무인수심측량시스템의 개발이 필요하다 (MIFAFF, 2009).

저수지 수심을 무인으로 측정할 수 있는 장비의 필요성은 저

* 충남대학교 농업생명과학대학 지역환경토목학과

** 한국농어촌공사 농어촌연구원

*** 대우조선해양 E&R 주식회사

† Corresponding author Tel.: +82-31-400-1860

Fax: +82-31-409-6055

E-mail: dr_kim@hanmail.net

2010년 7월 12일 투고

2010년 9월 19일 심사완료

2010년 9월 24일 게재확정

수지 수위-내용적 곡선의 정교함이 농업용저수지의 물관리를 효율적으로 수행하는데 반드시 필요한 것과 동반되어 그 중요성이 부각되어 왔다. 기존에는 보트와 인력을 동원하여 수동으로 계측함으로써 측정하는 시간과 경제성 문제, 자료의 신뢰성 문제와 더불어 수시로 계측하여 자료를 갱신하기 어려운 많은 애로사항을 가지고 있었다. 대부분 소규모로 이루어져 있는 우리나라 농업용 저수지의 특성상, 지금까지 중규모 저수지를 중심으로 간헐적으로 수위-내용적 곡선을 조사하여 활용하여 왔으나, 전국적으로 소규모의 저수지에 대해서도 정확한 내용적 파악이 필요한 시기가 도래하였다고 볼 수 있다. 무인보트에 의한 수심측량 자료수집을 위해서는 자료 측정 전단계인 경계조건의 설정, 자료의 취득, 사후처리 등 3단계에 이르는 표준화가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 이 3단계 중에서 1단계인 경계조건 설정 방안에 대해서 논하고자 한다. 이 단계에서는 저수지 경계측량 방안과 저수지 수심 측량 순회 노선 설정 방안, 즉, 자동항법 알고리즘 기술을 개발하고 현장 실험을 통하여 결과를 검증하고자 한다.

무인보트의 자율운항을 위해서는 적절한 방법이 필요하다. 항법에 주로 사용되는 방법으로는 추측방법, 천체항법, 관성항법, 전자 혹은 전파항법이 있다. 추측방법은 현재 위치로부터의 이동속도와 방향을 계산하여 다음 위치를 추정하는 방법이며, 천체항법은 천체를 정밀 측정하여 위치를 판별하는 방법이다. 관성항법은 자이로스코프에 의존하여 속도와 이동방향을 측정하는 방법이며, 전자 혹은 전파항법은 전파의 전달시간을 측정하여 위치를 결정하는 방법으로서 GPS (Global Positioning System)는 가장 진보된 전파항법의 형태로서 인공위성을 이용하는 측위 시스템으로 알려져 있으며, 최근에는 관성항법과 GPS를 결합한 형태의 항법 등이 많이 활용되고 있다 (Lim and Kang, 2004). 이러한 무인 주행에 관한 연구는 인간의 노동력을 무인 기계로 대체함으로써 작업효율증대 및 성과의 극대화를 위하여 다양한 실용화에 응용되어 왔다. 항만 컨테이너 무인선의 운항에 관한 연구 (Jeong et al, 2002), 공중감시정찰을 목적으로 소형 무인헬리콥터의 개발 연구 (Chun, et al, 2010), 무인주행 지뢰제거 로봇 개발 (Jeong et al, 2005), 지능형 무인 굴삭기 개발 연구 (Park et al, 2010), 자율이동 지능형 청소로봇에 관한 연구 (Rye, et al, 2006) 등이 이에 해당된다. 동 연구분야 중에서도 계획된 경로를 자동으로 추종 (추적)하는 연구는 주로 차량에 대하여 많은 연구가 이루어져 왔다. 차량이 스스로 주차공간을 인식하여 장애물을 회피하는 주차경로를 생성한 후 그 경로를 추종하도록 제어하는 연구 (Chang et al, 2009), 자동차 스스로 도로 주행 환경을 인식하여 운전자를 돕거나 운전을 대신하는 지능형 차량 (Intelligent Vehicle) 개발

의 일환으로 GPS와 비전시스템을 접목하여 골프카의 자율운행 시스템을 개발한 연구 (Jung et al, 2009), 차량항법용 GPS를 이용하여 위치를 추적하고 추측항법 센서를 결합하여 목적지까지 주어진 경로를 추종하는 자율주행차량시스템 개발 연구 (Jung et al, 2008), 차량 스스로 경로를 생성하여 주행하는 자율주행 연구로서 기준경로를 추종하는 제어기를 개발한 연구 (Ahn, et al, 2000), 퍼진이론을 도입하여 목적지까지 스스로 주행계획에 의해 자율적으로 안전한 주행을 할 수 있도록 한 연구 (Kim and Joo, 2000) 등이 여기에 속한다. 그러나, 수심을 측정하기 위한 무인 보트에 관한 연구는 희박할 뿐만 아니라, 특히, GIS (Geographic Information System)를 도입하여 자동으로 기준경로를 생성하는 자동항법장치 개발에 관한 연구는 더욱 미흡하였다.

본 연구에서는 저수지 전체를 순회할 수 있는 항로 (계획 경로 또는 기준 경로)를 자동생성하는 프로그램을 개발하기 위하여 GIS의 격자추적기법을 응용하고, 생성된 항로를 무인보트가 GPS 위치수신에 의하여 자동으로 추적하는 항로제어기술을 개발하고자 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 수심을 측정하고자 하는 저수지의 수면 전체를 커버하는 가장 효율적인 항로를 자동으로 생성하는 알고리즘을 개발하고 무인보트의 순항 시험을 통하여 검증하는 것이 주요 목적에 해당된다.

II. 시스템의 개발

1. 저수지 수심자동측정 무인탐사선의 개요

본 연구에서 개발한 Fig. 1과 같은 무인탐사선의 운용 개념도에서 보는 바와 같이, 자율항법 무인탐사선은 크게 탐사선 파트 기술개발과 육상 파트 기술개발로 구분된다. 탐사선 파트는 저수지를 자율운항 또는 원격 조정에 의해 운항하는 시스템으로 지정된 위치로 이동하기 위한 추진체와 수심측량을 위한 음향측심센서, 탐사선 위치를 파악하기 위한 DGPS, 탐사선을 감시, 제어하는 제어 컨트롤 모듈 및 육상 통신을 위한 RF 통신 모듈로 구성되어 있다. 육상 파트는 사용자 인터페이스, 측량 사전 계획 수립 및 측량 사후 처리를 위한 컨트롤 모듈과 탐사선과 통신을 위한 RF 통신 모듈로 구성되며 배터리 충전, 컴퓨터 전원장치 및 기타장치들로 구성되어 있다. 개발된 무인탐사선의 음향 측심기, 육상제어모듈, 그리고 무선통신 시스템 등 각 기계부품과 각 성능에 관한 자세한 설계와 기술적 부분은 본 보에서 생략하고 자율항법에 관한 내용을 중심으로 상술하고자 한다. 무인 탐사선의 사양으로서, 선체의 길이는 1,800 mm이며 전체 중량은 39 kg이고 기타 주요제원은 Table 1과 같다 (MIFAFF, 2009).

Fig. 1 Operation concept of unmanned boat system

Table 1 Spec of unmanned boat system

Item	Contents
Boat size	1,800 × 600 × 320 (L×W×H, mm)
Material	FRP (Fiberglass Reinforced Plastics)
Weight	39 kg (Not included Battery)
Distance of remote control	1,500 m Max
Distance of data transmission	1,000 m Max
Speed	1.0 m/s normal (1.5 m/s max)
Working hour	4 hours Max @12 V/55 Ah
Power	DC 12 V
Control frequency	40.830 MHz, High-performance 9-ch, PCM
Accuracy of position	within ± 1.0 m
Accuracy of water depth	within ± (10 cm + Z / 1,000)

2. 격자추적 기법의 알고리즘 개요

본 연구에서는 무인탐사선의 항로를 자동으로 생성하기 위한 알고리즘을 개발하기 위하여 지리정보시스템의 격자기반 추적 알고리즘을 도입하였다. 저수지의 경계내에서 무인탐사선이 전체를 순회하는 항로를 생성하기 위해서, 우선 저수지와 육상부의 경계를 추적하므로써 시작될 수 있다. 경계격자가 추적되면 그 내부에 대하여 경계격자를 추적하는 순서를 반복하므로써 모든 격자에 대한 순회 항로를 생성할 수 있는 알고리즘을 개발하였는데, 이를 위하여 Kim and Chung (2002)에 의하여 마을 개발 지구의 외곽도로를 자동으로 생성하도록 개발된 격자 추적 알고리즘 및 프로그램코드를 사용하였다. 이 알고리즘은 Fig. 2와 같이 격자기반의 3×3 러빙윈도우를 사용하여 주변 8개 격자를 검색하고, 논리식에 의하여 외곽격자를 구별하도록 구성되어 있다. Fig. 2에서 계산격자 (processing cell)는 외곽격자가 되며, 다른 외곽격자를 검색하는 시작점이 되는 것이다. 격자를 추적하는 구체적인 논리식을 저수지 순회알고리즘으로 전개하면 다음과 같다 (Kim and Chung, 2002).

Fig. 2 Searching algorithm of boundary grid

Fig. 3 Search of boundary grid in the case of $B_{ij} = 0.75$ (built area = inner boundary, ring road = boundary grid)

외곽격자 시작 격자는 다음과 같이 간단한 논리식으로 검색할 수 있다.

$$CO_{ij} = b_{ij}x_{ij} \quad (1)$$

여기서 CO_{ij} 는 i, j 격자의 값으로 $CO_{ij} = 1$ 이면 i, j 격자는 외곽격자이다. x_{ij} 는 더미변수로서 i, j 격자가 장축구획도로 격자이면 1, 그렇지 않으면 0이다. 여기서 b_{ij} 는 다음 식 (2)의 주위격자 검색 방식에 의해 판정되는 것으로 1 또는 0의 값을 가진다.

$$B_{ij} = \frac{1}{8} \left(\sum_{n=0}^7 v_n \right) \quad (2)$$

여기서 B_{ij} 는 계산격자 i, j 의 주위에 있는 8개 격자 중에서 측정대상 격자가 차지하는 비율이며, n 은 Fig. 2에 있는 러빙윈도우의 주위격자를 나타내는 첨자, v_n 은 주위격자의 상태를 나타내는 것으로 측정대상 격자이면 1, 그렇지 않으면 0이다. 식 (2)로부터 b_{ij} 는 다음과 같이 구한다.

$$b_{ij} = 1, \text{ if } B_{ij} < 0.75, b_{ij} = 0, \text{ else} \quad (3)$$

여기서 $B_{ij} = 1$ 이면 i, j 격자는 주거지 내부격자이므로 $B_{ij} \leq 0.875$ 이면 (7/8이 주거지) i, j 격자는 경계선에 있는 격자가 된다. 그러나 주위격자 중에 먼저 생성된 외곽격자가 최소한 1

Fig. 4 Search method of boundary grid considering neighborhood grids

개는 있어야 하므로 $B_{ij} \leq 0.75$ 일 경우에 i, j 격자가 외곽격자가 된다. 그런데 여기서 $B_{ij} = 0.75$ 일 경우에는 다음 Fig. 3의 경우에 해당되는데, 이때 외곽격자가 i, j 와 $i-1, j$ 로 중복되므로 i, j 격자는 외곽격자에서 제외된다. 그러므로 식 (3)의 경우에 i, j 격자가 외곽격자의 범주에 들어가는 것이다.

외곽 시작 격자로부터 외곽격자를 구하는 알고리즘을 식 (1)로부터 다음과 같이 정의하였다.

$$CO_{ij} = g_{ij}b_{ij}x_{ij} \quad (4)$$

$$g_{ij} = o_{ij}p_{ij} \quad (5)$$

여기서 o_{ij} 와 p_{ij} 는 i, j 격자 주위에 각각 측정대상 격자와 외곽격자의 유무에 따라 1 또는 0의 값을 가지는 것으로서 Fig. 3과 같이 외곽격자의 위치와 인접격자의 상태에 따라 8가지 경우로 구분하여 정의할 수 있다. Fig. 4에서 ①의 경우에 대해서 대표적으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} o_{ij} &= 1, v_{i,j-1} \neq \text{저수지 내부격자} \text{ or } v_{i,j+1} \neq \text{저수지 내부격자} \\ p_{ij} &= 1, v_{i,j-1} \neq \text{외곽격자} \text{ or } v_{i,j+1} \neq \text{외곽격자} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $i, j-1$ 과 $i, j+1$ 격자는 ①에서 $\times$ 표시한 격자들이다.

3. 자율항법 시스템 개발

가. 자율항법 알고리즘 구성

무인탐사선의 자율운항을 위한 자율항법 알고리즘은 Fig. 5와 같이 유도 시스템, 제어시스템 및 운항시스템으로 구성된다. 자율항법 알고리즘은 기본적으로 Feedback 구조로 되어 있으며, 현재 상태 정보를 Feedback 받아 다음 운항 정보를 산출한다. 유도 시스템은 기 입력된 이동경로 정보와 운항시스템으로부터 받은 현재 위치, 방향 정보를 기반으로 이동 궤적을 생성하여 제어 시스템에 보내주며, 제어 시스템은 유도 시스템에서 넘어온 정보와 운항시스템에서 받은 정보를 기반으로 탐사선 제어 변수를 생성하여 무인 탐사선을 제어한다. 제어시스템의 Control Allocation은 추진체를 직접적으로 제어하는

Fig. 5 Algorithmic diagram of automatic cruise system

부분이며, Autopilot은 무인탐사선 운동량을 기초한 변수를 생성한다.

나. 자율항법 무인탐사 운영프로그램

자율항법 무인탐사선에 탑재 되는 프로그램은 탐사선 파트와 육상 파트에서 운용되는 프로그램으로 구동된다. 탐사선 파트는 원격 조정 또는 자율운항을 하면서 탐사선에 부착되어 있는 센서와 추진체를 실시간으로 제어하며, 탐사선의 상태 정보 및 측량 정보를 실시간으로 육상 파트로 전송한다. 육상 파트는 저수지 내용적 측량을 위한 저수지 경계 설정, 탐사선 선회 설정, 탐사선 운항 제어 및 GUI를 통한 실시간으로 탐사선의 상태 정보 및 측량 데이터 전신을 주 기능으로 한다. 또한 측량 사후 처리를 통한 측량 데이터 산출물을 제공하는 기능도 가지고 있다.

1) 항로 생성 알고리즘

무인자동측정 탐사선이 가장 최단시간에 저수지 전체를 측량할 수 있는 최적화된 루트를 설정해주어야 한다. 순회 방식은 동심원 또는 일정방향으로 무인탐사선이 자동으로 순회할 수 있도록 경로를 설정하며 사용자가 측정대상 저수지의 만수면적도를 무인탐사선 조작 화면에 띄워, 화면상에서 마우스로 무인탐사선 순회할 루트를 만들어 주는 수동입력 방법과 자동생성 방법으로 구분된다.

순회루트의 자동생성은 저수지 측량지역을 격자 (cell)로 표현하고 러빙윈도우를 이용하여 순회루트를 추적하는 알고리즘으로서 러빙윈도우의 중간에 무인탐사선이 위치하고 주변 격자를 검색하여 경계격자, 기 측량격자, 그리고 향후 측량할 격자 등을

Fig. 6 Concept of automatic path generation and main screen for operation

검색할 수 있는 알고리즘이다.

항로생성 알고리즘은 외곽 경계격자 추적 알고리즘에 의해 생성된 외곽 경계격자를 바탕으로 DGPS의 위도, 경도 좌표에 대하여 운항 Way-Point를 생성한다. 전체 경계격자에 사용자가 지정하는 탐색영역 (5 m~10 m Region)을 설정한 후 시작 탐색 영역부터 종료 탐색 영역까지의 전체 탐색영역을 생성한다. 결과적으로 항로 생성 알고리즘은 불규칙적인 저수지 및 댐의 실제 정보를 바탕으로 불가능 영역이 5 m 영역 설정 시 약 10 m 미만으로 계산함으로써 전체 면적에 대한 정밀한 탐색 자료를 얻을 수 있다. Fig. 6은 항로생성 알고리즘의 동작도와 실제 운용 장비에서의 알고리즘 결과이다.

2) 항로 제어 알고리즘

항로 제어 알고리즘은 Fig. 7에서와 같이 수상에서 생기는 예측 불가능한 자연환경 (바람 세기의 변화, 수상 물결의 높이, 임의 장애물)에 최적으로 적용 및 적응시키기 위하여 고안하였다. 항로 제어 알고리즘은 생성된 항로에서 방향성이 변하는 점을 Way-point 즉, 목표 (Target)로 선정하여 제어하며, 각 Way-point를 주목표 (Main Target)와 현재위치와의 차에 의한 거리를 몇 개의 부목표 (Sub Target)로 나누어 구성한다. 이때 모션센서의 해딩 (Heading)과 DGPS의 위도, 경도 데이터를 바탕으로 무인탐사선의 현재 위치와 Main Target과의 각도를 실시간 계산하여 각도가 임계치 이상 커지면 Sub Target으로 전환하여 탐사선을 제어한다. 결론적으로 Main Target과 탐사선의 각도를 실시간으로 계산하여 Sub-Target을 선정, 지속적으로 각도를 좁혀 나가는 제어 알고리즘이다.

3) 운영 제어 프로그램

저수지 내용적 측량을 위한 자율항법 시스템의 운영 제어 프

Fig. 7 Path control algorithm for keeping way-point

Fig. 8 Main screen of boat control program

로그램은 첫째 육상유닛에서 보트유닛의 상태정보 표시, 자율항법 알고리즘의 동작, 사용자 GUI로 구성되는 BoatControl 프로그램, 둘째 보트유닛의 Processing Unit에 탑재되어 데이터의 측정, 제어 및 통신하는 BoatPilot 프로그램, 셋째 육상유닛에서 저수지 내용적 측량 완료 후 측정된 데이터들을 분석하는 NaviAnal 프로그램으로 구성되어 있다. BoatControl 프

그럼은 저수지 내용적 측량을 위한 자율항법 시스템의 육상파트의 사용자 응용프로그램으로써 Fig. 8과 같이 측량을 위한 시스템의 전반적인 설정, 상태, 제어, 저장 등의 기능이 있다.

III. 시스템의 시험적용

1. 시스템의 시험적용 대상 및 경계조건 설정

가. 탐사선 운항 설정

자율항법 탐사선 시스템의 시험운영 및 평가를 위하여 경기도 안산의 미산저수지에서 시험 운영 및 평가를 실시하였다. 저수지 시험을 위하여 미산저수지의 만수면적도, 현재 수위에 따른 수심 경계 도면을 운용 프로그램에 입력하는 방식을 사용하였다. 사용자 프로그램은 DGPS가 사용하는 WGS-84 좌표계를 사용하기 위하여 일반적으로 각 저수지의 지리정보 도면 파일(*.dxf)이 TM 좌표계를 사용하기 때문에 이를 WGS-84 좌표계로 변환하여 사용자 화면에 나타낸다. 변환된 좌표는 사용자 운용 프로그램에 지형정보를 나타내 주며 자율항로 생성 알고리즘을 구동하기 위한 WGS-84 좌표계의 지리적 정보 데이터를 나타낸다.

나. 외곽 경계면 설정 및 시험

미산저수지의 운항경계면에 대하여 운영 시스템은 설정된 저

수지 외형에 대하여 외형탐사를 실시한다. 외형탐사는 수심경계도면을 바탕으로 생성된 외형이 실제와 일치하는지에 대한 검사와 불일치 시에 이에 대한 경계를 수정을 하기 위함이다. 따라서 경계에 대한 외형탐사를 실시 한 후 정확한 측심 자료를 생성하기 위하여 실시한다. Fig. 9는 외형탐사에 대한 사용자 화면을 나타낸다. 그림에서 시작위치에 대한 DGPS 좌표를 설정 후 경로 설정을 하면 사용자 화면에 외형탐사 경로가 생성되며 이에 대한 탐사를 실시한다. 만일 설정된 경계와 실제와 차이가 있는 격자가 발생할 경우 이를 추가 및 삭제를 용이하도록 한다. 실제와의 차이에 대한 판단은 외형운항 시 수심정보가 통상 1 m 이내가 발생하는 경우와 측정자 시각에 의한 경우에 한하여 실시한다.

다. 자율 항로 생성 시험

미산저수지 시험평가를 위한 항로생성은 진북을 기준으로 사용자화면에 표시된 지리정보 화면에 대하여 나선, 수평왕복, 수직왕복의 3가지로 생성한다. 3가지의 항로생성 알고리즘은 해당 저수지의 지리 정보의 형태가 불규칙적이며 다양한 형상에 따라 가장 적절한 방법을 선택하여야 한다. 미산저수지의 경우 지형의 특성상 상하가 긴 형상을 가졌으며 이에 대한 항로생성 시험 시 최적으로 생성하는 방법은 수평왕복에 의한 생성이다. Fig. 10은 미산저수지의 각 항로생성을 실시한 사용자 화면이다.

2. 시험 운용 결과

개발된 시스템을 실제 저수지에 시험운용하였다. 1차 대상저수지 시험은 2008년 5월 9일 경기도 안산의 미산저수지에서 5 m, 10 m, 20 m 격자에 대하여 자율운항 시험을 실시하였다. 시험 결과, Fig. 11~Fig. 13에서 보는 바와 같이 생성된 항로를 따라 항로를 제어하면서 무인보트가 자동으로 운행하는 매우 양호한 결과를 보였다. 직선구간에서는 작은 오차를 보였

Fig. 9 Search screen of boundary grid

Fig. 10 Results of automatic path generation for Misan reservoir

Fig. 11 Test results of automatic path generation and tracking for 5 m grid

Fig. 12 Test results of automatic path generation and tracking for 10 m grid

Fig. 13 Test results of automatic path generation and tracking for 20 m grid

으나 회전구간 등에서는 제어 시 Way-point 범위에서 항로를 바깥쪽으로 벗어나는 오버슈트 (Overshoot)와 안쪽으로 벗어나는 언더슈트 (Undershoot)가 발생하였다. 그러나 그 크기는 1 m 미만으로 나타났으며, 자동제어에 의하여 정해진 항로를 계속유지하면서 순항하는 결과를 볼 수 있었다. 이로부터 저수지 전체를 커버하는 항로의 자동생성이 가능함을 보여주었으며, 이 항로를 따라 무인보트가 자동제어를 하면서 순항하는 결과를 확인하였다.

3. 시험결과의 검증

자율항법시스템에 의한 무인측정보트의 효율성 평가를 시도하

Table 2 Analysis of time consumption for Misan reservoir (unit: min)

Item	Existing method	New method	Remark
Total	645	335	
□ Setting and checking	165	65	
□ Sum of surveying time	480	270	Survey area: 20.0ha Fuel and battery change
- Water depth survey	420	270	
- Mid-term checking	60	-	
* Grid size	20-50 m	10 m	

였다. 저수지 전체를 순회하면서 측정하는데 소요되는 시간과 항로의 순회 정도를 평가하기 위하여 재차 시험측정을 시도하였다. 경기도 안산의 미산저수지를 대상으로 2009년 3월 27일에 10 m 격자에 대하여 자율운항 시험으로 저수지 전체에 대한 측정을 실시하였다. 또한 기존의 유인보트에 의한 일반측량 방법으로도 저수지 전체의 측정을 시도하였다. 본 논문에서는 자율항법시스템의 측량시간 효율성에 관한 자료만 Table 2에 나타내었다. 수심에 관한 측정자료는 수동으로 측정하는 경우와 자율항법으로 측정하는 경우가 동일한 음향측심의 원리를 사용하기 때문에 본 논문에서는 음향측심기의 성능을 비교하는 부분은 별도의 모듈로 고려하여 제외하였으며, 항로의 자동생성과 이를 무인보트가 추적하면서 측정하는 효율성만 비교 분석하고자 하였다. 결과에서 보는 바와 같이 측량에 소요되는 전체시간이 일반측량방법으로 645분이 소요된 반면 자율항법시스템에 의해서는 335분 소요되는 결과를 얻었다. 또한 일반측량방법으로는 측정간 간격 (격자로 표현)이 20-50 m로 설정된 반면, 자율항법시스템은 10 m로 균질하며 조밀한 공간해상도를 얻을 수 있었다.

4. 결과 고찰

본 연구에서 개발된 격자단위의 외곽격자 추적 알고리즘에 의하여 무인보트의 항로생성을 자동으로 할 수 있었으며, 사용자 편의시스템에 의하여 격자의 크기를 자유롭게 설정할 수 있는 등 저수지 전체를 순회하는 항로생성 알고리즘의 실용성을 확인하였다. 미산저수지를 시험대상으로 5 m, 10 m, 20 m 격자를 임의생성하고, 이에 대한 순회항로를 자동으로 생성할 수 있었으며, 이 항로를 따라 무인보트의 항로제어프로그램도 성공적으로 작동함을 알 수 있었다. 다만 바람의 영향으로 정확한 항로를 약간 벗어나는 현상을 보이지만 자동제어에 의하여 항로를 유지하는 현상을 볼 수 있었다. 바람에 의한 오차의 문제는 무인측정보트의 운행과 관리에 대한 조건으로 기상이 양호하고 풍속이 어느 정도 이하인 경우에 사용하도록 제약한다면 해결될 수 있을 것으로 판단되었다.

그러나 바람에 의하여 항로를 수평방향으로 약간 벗어나거나, 파랑에 의하여 수직방향으로 진동을 하더라도 GPS에 의하여 그 위치의 절대좌표를 기록할 수 있으며, 그 위치에서 상대적 수심측량결과를 확보함으로써 결과적으로 저수지의 수심측량 값을 확보하는데는 별다른 어려움이 없을 것을 판단된다. 또한 한 격자내에서 수십개의 측량 값을 확보할 수 있기 때문에 필터링 과정을 거치거나 평균 등 통계적 방법을 통하여 격자를 대표하는 수심측량 값의 확보에는 무리가 없을 것으로 보인다.

또한 기존의 측량방법에 비하여 조밀하고도 균질한 공간해상도를 확보할 수 있었으며, 측량시간도 획기적으로 단축되는 등 본 연구에서 개발한 자율항법시스템에 의한 측량이 매우 효율적임을 확인하였다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 농업용 저수지의 내용적 관리를 위하여 저수지 수심측정에 필요한 기존의 일반측량방법을 개선하는 목적으로 무인측정보트의 자율항법시스템을 개발하였다. 자율항법시스템에 필요한 저수지 순회 항로를 자동으로 생성하기 위하여 GIS의 격자추적기법을 활용하였다. 개발된 시스템을 실제 저수지에 시험운용하여 시스템의 실용성을 평가하였다.

순회항로 자동생성프로그램은 격자단위에서 3×3 격자의 러빙윈도우를 사용하여 외곽격자를 추적하는 알고리즘을 저수지에 적용하였다. 자동으로 생성된 항로를 따라 무인보트가 자동으로 제어하면서 순회할 수 있도록 항로제어프로그램을 개발하였다. 항로생성프로그램과 항로제어프로그램으로 구성된 자율항법시스템을 탑재한 무인보트를 경기도 안산시에 위치한 미산저수지에 시험운용하였다. 그 결과 항로생성프로그램에 의하여 자동으로 생성된 항로를 따라 무인보트가 매우 정교하게 측정을 수행하였다. 또한 기존의 측량방법과 자율항법에 의하여 미산저수지 전체를 측정하여 효율성을 비교한 결과, 측정시간은 기존측량방법으로 645분, 자율항법시스템으로 335분이 소요되어 측량시간은 절반정도로 줄어들었으며, 측량자료의 공간해상도도 격자크기의 입력조건에 따라 매우 균질하며 일정하게 확보할 수 있었다.

이와 같이 본 연구에서 개발된 자율항법시스템에 의한 저수지 수심측정기술은 저비용과 신속측량 등의 장점을 갖추고 있으므로 기존의 측량방법의 고비용과 시간소요 등으로 시도하지 못하였던 일정규모 이상의 저수지만 선별적 측량, 측량빈도의 부족, 수심측량자료의 지속적 관리 등 여러가지 문제점들을 개선할 수 있을 것으로 판단된다. 나아가 농업용 저수지뿐만 아니라 일반 호소 및 하천 등 다양한 분야에도 적용이 가능할 것으로 보인다.

본 논문은 2008-2009년 농림기술센터의 “자율항법 음향측심기술에 의한 농업용저수지 내용적측정관리시스템 개발연구” 과제의 일환으로 수행된 결과임

REFERENCES

1. Ahn, J. W., T. J. Park, T. J. Kweon, and C. S. Han, 2000. A path tracking control algorithm for autonomous vehicles. *J. of the Korean Society of Precision Engineering* 17(4): 121-128 (in Korean).
2. Chang, H. W., and C. H. Kim, 2009. Autonomous Parking of a Model Car with Trajectory Tracking Motion Control using ANFIS. *J. of the Korean Society of Precision Engineering* 27(12): 69-77 (in Korean).
3. Chun, J. H., Y. S. Byun, B. E. Lee, W. J. Song, J. Kim, and B. S. Kang, 2010. Preliminary Study on Development of Length-Variable Rotor Blade for Unmanned Helicopter. *J. of the Korean Society of Precision Engineering* 27(3): 73-79 (in Korean).
4. Jeong, H. K., H. D. Choi, S. D. Kim, and Y. K. Kwak, 2005. Clearance depth control for the non-explosive demining system of a tracked mobile robot. *J. of the Korean Society of Precision Engineering* 22(9): 155-161 (in Korean).
5. Jeong, S. G., I. S. Kim, S. C. Kim, J. Y. Choi, S. K. Yoon, and M. H. Lee, 2002. Development of steering control system for UCT (Unmanned Container Transporter) using robust control. *J. of the Korean Society of Precision Engineering* 19(10): 178-176 (in Korean).
6. Jung, B. M., J. W. Seok, C. S. Cho, and J. W. Lee, 2008. Autonomous tracking control of intelligent vehicle using GPS information. *J. of the Korean Society of Precision Engineering* 25(10): 58-66 (in Korean).
7. Jung, B. M., I. J. Yeo, and C. S. Cho, 2009. Autonomous Traveling of Unmanned Golf-Car using GPS and Vision system. *J. of the Korean Society of Precision Engineering* 26(6): 74-80 (in Korean).
8. Kim, D. S., and H. W. Chung, 2002. A Spatial Planning Model for Supporting Facilities Allocation and Visual Evaluation in Improvement of Rural Villages. *J. of the Korean Society of Agricultural Engineers* 44(6):

- 71-82 (in Korean).
9. Kim, E. S., and K. S. Joo, 2000. Moving path following of autonomous mobile robot using fuzzy. *J. of the Korean Society of Precision Engineering* 17(5): 84-92 (in Korean).
10. Kim, J. T., H. S. Park, and Y. J. Lee, 2009. Reservoir Capacity Survey System with Autopilot Echo Sounding. 2009 Annual Conference Proceeding of KSAE 70 (in Korean).
11. Korea Rural Community Corporation (KRC), 2007. Report of dredging target reservoir by change of water volume (in Korean).
12. Lim, J. H., and C. U. Kang, 2002. Grid-based localization of a mobile robot using sonar sensors. *KSME Int. J.* 6(3): 302-309 (in Korean).
13. Lim, J. H., and C. U. Kang, 2004. Development of a small unmanned marine prober and navigation. *J. of the Korean Society of Precesion Engineering* 21(3): 59-65 (in Korean).
14. Lo, Albert C. P., and K. W. Yeung, 2002. Concepts and Techniques of Geographic Information Systems, Prentice Hall: 143-191.
15. MIFAFF, 2009, Agricultural Reservoir Capacity Survey and Management System with Autopilot Echo Sounding: 46-114.
16. Park, H. J., J. H. Bae, and D. H. Hong, 2010. A Path Planning for Autonomous Excavation Based On Energy Function Minimization, *J. of the Korean Society of Precision Engineering* 27(1): 76-83 (in Korean).
17. Rye, J. C., K. H. Park, S. G. Lee, and S. S. Rhim, 2006. A study on development of performance metrics for autonomous clearing robot. *J. of the Korean Society of Precision Engineering* 23(7), 7-13 (in Korean).