

자동수위관측기를 이용한 농업용 저수지 모니터링 시스템

Reservoir Water Monitoring System with Automatic Level Meter

김진택* 박기욱** 주옥중***
Kim, Jin Taek · Park, Ki Wook · Ju, Uk Jong

Abstract

The purpose of this study is to develop the reservoir water monitoring system with automatic level meter. Until now, installation of water level meter for reservoir stage monitoring were not widely spread in agricultural area. This has several reason : too much installation costs, lack of compatibility, difficulty in the operation and management. To overcome current restrictions, we need to development low cost, easily access system for operation and management, and to ensure reliability in the water measurement process. Water monitoring system were developed using ultra sonic, water pressure type sensor and controller for low energy consumption, power system using solar energy and data transmission system using wireless internet technique.

1. 서론

국내 농업용 저수지는 전국에 약 18,000여 개가 축조되었으며, 농업용수의 약 60%의 물을 공급하고 있다. 농업용 저수지는 농업용수의 이수, 가뭄 및 홍수에 대한 치수 기능을 하는 등 주요 농업기반시설로서 그 역할을 담당하고 있다. 근래에 전 세계적인 물부족 심화 현상과 함께 우리나라에도 가뭄과 홍수가 빈번해지는 등 농업용 저수지의 과학적이고 효율적인 운영이 절실히 필요한 실정이다.

농업용 저수지의 본래의 기능인 농업용수 공급과 더불어 홍수예방을 수행하기 위해서는 저수지의 저수위와 그에 따른 저수량 자료의 확보가 필수적으로 선행되어야 한다. 정확하고 신뢰성 있는 저수위 계측자료로부터 저수량과 저수위를 산정하게 되며, 이는 효율적인 물관리를 위한 저수지 적정 운영의 판단자료로 활용되므로 농업용 저수지의 저수위 측정은 대단히 중요하다.

그러나 국내 농업용 저수지에 있어서 자동수위관측기가 설치된 경우는 전체의 약 1% 정도로

*농업기반공사 농어촌연구원 (jtkim@karico.co.kr)
**농업기반공사 농어촌연구원 (pku@karico.co.kr)
***농업기반공사 농어촌연구원 (juj11@karico.co.kr)

키워드 : 자동수위관측기, 물관리, 농업용 저수지 저수위, 저수지모니터링

극히 미진한 상태에 있다. 이러한 원인은 농업용 저수지의 저수위관측을 위한 기존의 자동관측기들이 농촌에 산재되어 있는 저수위 계측환경을 적절하게 고려하지 못하고 있으며, 주로 외국 제품이어서 시설설치비가 비싸고, 설치후에도 시설의 수리, 점검 등 유지관리에 어려운 것에 기인한다. 이러한 어려움을 해결하기 위해서는 저수위 관측기의 가격을 저가로 하고 유지관리가 용이하며 관측자료의 신뢰성이 있는 자동수위관측기의 개발이 필요한 실정이다.

본 연구의 목적은 농업용 저수지의 저수위 관측을 위한 저전력 소모형 수위계측 센서와 제어기, 부대설치와 관리가 용이한 태양전원을 이용한 계측기전원장치, 무선 데이터통신 기술을 활용한 관측자료 통신장치 등으로 구성된 자동수위관측기를 개발하고, 시험지구의 적용을 통하여 개발된 관측기의 작동성능을 시험하고, 농업용 저수지 모니터링 시스템을 구축하는 것이다.

II. 농업용 저수지 수위 관측 현황

국내 농업용 저수지의 규모별 저수위 관측 현황은 관개면적이 100ha 이상인 627개 저수지를 대상으로 조사한 보고서(농어촌진흥공사, 1999)에 의하면 Table 1에서와 같이 초음파식 혹은 부표식 등 수위계가 설치된 경우가 18개소로 전체의 3% 미만이며 단순히 수위표가 부착된 경우를 포함하면 20% 정도의 저수지에서 수위가 관측되고 있는 실정이다. 또한, 대부분의 경우 수위계가 설치되어 있지 않은 100ha 이하 1,000 개소의 저수지를 포함한다면 전체 농업용 저수지의 약 1% 정도에 대해 수위계에 의한 자동 저수위관측이 이루어지고 있는 실정이다.

농업기반공사에서 관리하고 있는 3,382개 농업용 저수지를 대상으로 관개면적별 취수시설 형식을 조사한 결과, Fig. 1에 나타낸 바와 같이 취수탑 형식의 저수지가 33%, 사통형식의 저수지가 51%로 농업용 저수지의 대부분이 수혜

Table 1. Irrigation reservoir monitoring status

Irrigation area			Total	Over 300ha	200~300ha	100~200ha
Number			627 (100)	181 (29)	151 (24)	295 (47)
Area(ha)			276,653 (100)	199,475 (72)	36,479 (13)	40,699 (15)
Water measuring device	Exist	Total	133 (21)	67 (37)	32 (21)	34 (12)
		Sonic sensor	1	1	-	-
		Ultrasonic sensor	7	4	1	2
		Float sensor	10	10	-	-
		Staff	115	52	31	32
	Not exist		494 (79)	114 (63)	119 (79)	261 (88)

* () Percent(%)

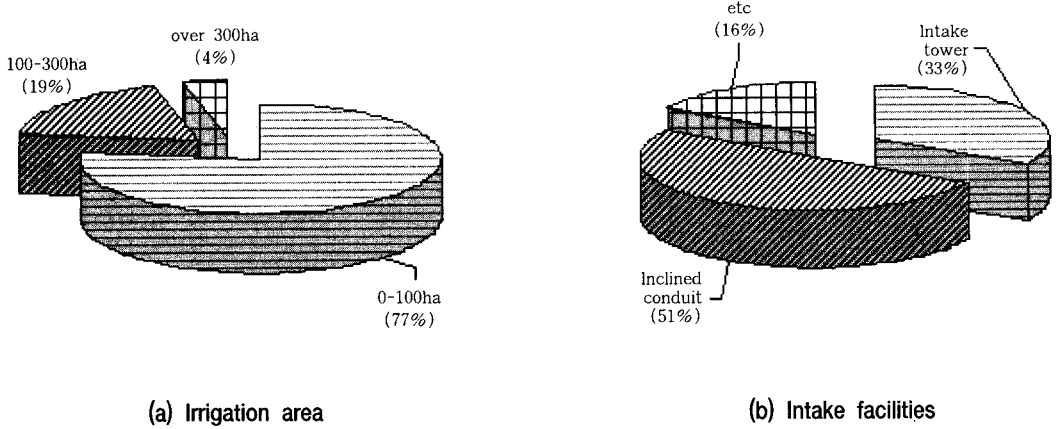


Fig. 1. Classification of irrigation reservoirs

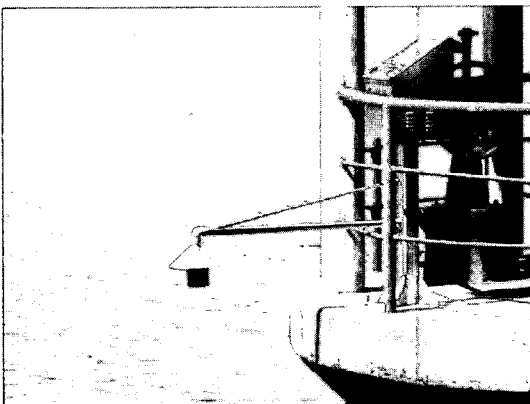
면적이 100ha이상이고, 취수탑과 사통형식의 취수시설로 구성되어 있다.

III. 모니터링 시스템 개발

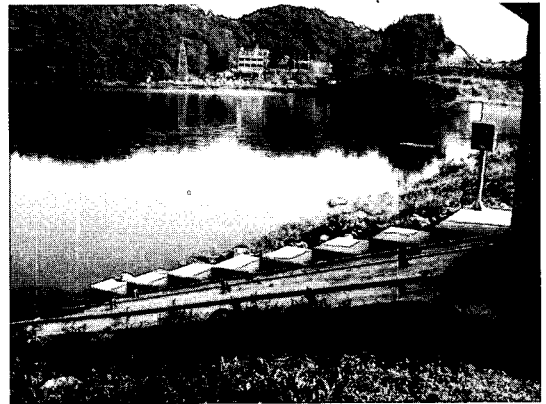
1. 대상지구 선정 및 시험운영

자동수위계의 현장 시험을 위하여 시험설치 저수지의 선정은 개발된 수위관측기의 저수위

계측값의 검측이 가능하도록 기존 관측시설이 있는 곳, 유지관리를 위해 접근이 용이한 곳, 저수지 수위-내용적 자료 등 저수지 제원 자료가 있는 곳을 위주로 선정하였다. 이상의 기준을 고려하여 농업기반공사 농어촌연구원에서 관리하고 있고 기존의 관측시설이 설치되어 과거 관측기록이 있으며 계기 검증 또한 수시로 이루어지고 있는 경기도의 이동, 용덕, 반월저수지 등 총 6개소를 선정하였다.



(a) Ultrasonic sensor



(b) Water pressure sensor

Fig. 2. System installation of automatic level meter

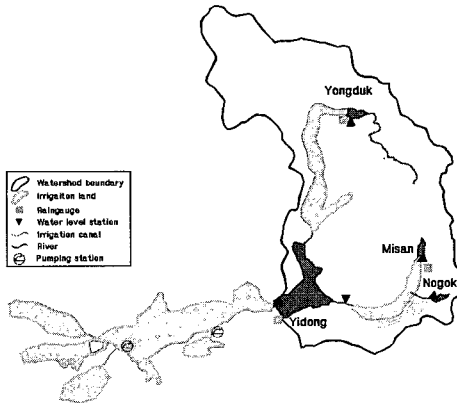


Fig. 3. Location map of selected reservoir

시험대상 저수지인 이동저수지는 유효저수량이 17,200천 m^3 인 규모가 큰 농업용 저수지이고 용덕저수지와 미산저수지는 유효저수량이 각각 1,003천 m^3 , 1,698천 m^3 인 중소규모 저수지이다. 개발된 수위관측기는 이동저수지와 용덕저수지는 취수탑, 미산저수지는 사통부에 설치하였으며, 설치된 현황과 경기도 용인지역에 위치한 4개의 저수지는 Fig. 2 및 Fig. 3에 나타낸 바와 같다.

2. 자동 수위관측기의 개발

가. 자동 수위관측기의 개요

자동 수위관측기의 구성은 농업용 저수지 현장에 설치되는 자동 수위관측기와 현장 관측자료를 유무선으로 통신하는 이동통신망과 정보통신망(LAN) 그리고 자료관리 서버와 데이터베이스 등으로 구성되어 있다. 저수지 관측현장에 설치되는 자동 수위관측기는 수위계측 센서부, 처리부, 전원부 및 통신부로 구성되어 있고, 현장 관측자료의 통신은 일반 이동전화에서도 사용되고 있는 상용 CDMA망을 이용하고 있으며

자료관리 서버는 개인용 컴퓨터에서 비주얼베 이직언어 등으로 구축되었다.

나. 자동 수위관측기의 기능

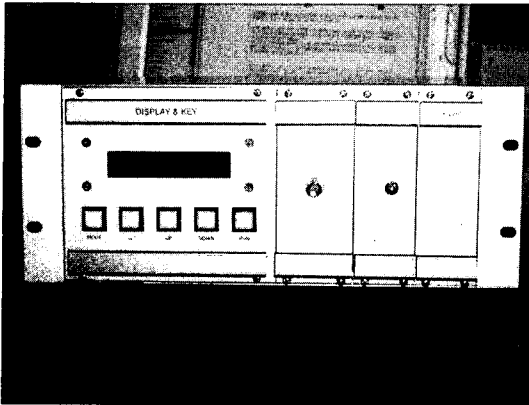
개발된 자동 수위관측기는 수위계측 기능과 더불어 저전력 기능, 자동복구 기능, 자체진단 기능, 다양한 데이터 전송방식, Data logging기능 등을 포함하도록 하여 자동 수위관측기로서의 역할을 할 수 있도록 하였다.

태양전원을 사용하기 위하여 수위관측과 통신에 소모되는 정격전압을 배터리전압(DC 12V)과 일치시키고, 소비전류도 적정화하도록 하였다. 또한 계측기를 통하여 수위관측 및 자료전송이 완료되면 자동적으로 대기모드로 전환하여 기본 동작부 이외의 전원을 차단함으로써 기존 방식에 비해 30%이하의 전력을 소모하도록 하였다.

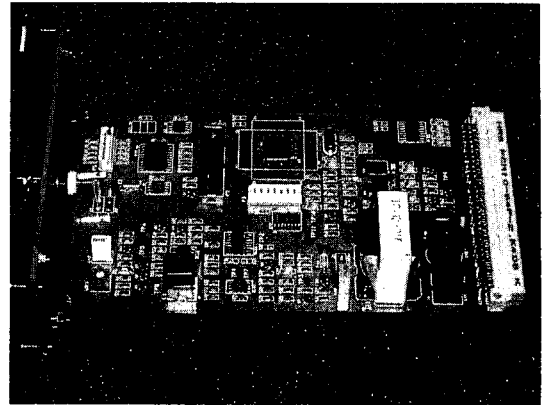
자체진단 및 자동복구(Watch Dog) 기능은 기기 동작상태, 전원 준위 등을 현장 및 원격에서 확인 및 제어가 가능하며, 배터리의 전압 상태, 시스템의 이상 유무를 판단하여 서버에 자동적으로 전송하도록 하였다.

계측된 자료의 전송을 위한 자료전송방식은 Remote 설정과 Local 설정을 선택할 수 있는데, Remote 설정으로 휴대폰 SMS 혹은 중앙관리실의 M2M을 이용하여 현장 계측기를 원격설정할 수 있고, Local 설정으로 노트북이나 PDA를 이용하여 자료전송 및 계측기의 현장 설정을 할 수 있도록 하였다.

개발된 수위계측 제어기는 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 각 부분을 기능에 따른 모듈로 개발하여 고장시 모듈의 간단한 교체로 유지관리가 편리하고 계측기의 기능 안정화를 향상하도록 하였다.



(a) main controller



(b) ECU board

Fig. 4. Main control module

다. 전원용량 결정

태양전원을 위한 자동 수위관측기의 전원부는 태양전지와 배터리로 구성된다. 태양전지는 태양광으로부터 얻어지는 전력을 수위관측시스템에 공급하여 시스템을 가동시키고, 배터리는 일조시간에 태양전지에 의해 충전된 전력을 일몰 후와 같이 태양전지로부터 출력이 없을 때나 흐린날, 우천시와 같이 태양전지의 출력이 부족할 때 방전하여 시스템에 전력을 공급하게 된다. 따라서 자동 수위관측기의 원활한 운영을 위해서는 태양전지 및 배터리의 충분한 용량이 확보되어야 할 것이다.

저전력 소모기능을 갖도록 개발된 자동 수위관측기는 시간당 최대 소비전류가 약 35mA이다. 따라서 1일 소모전류는 시간당 최대 소비전류로부터 0.84A가 소모되는 것으로 산정된다. 우리나라의 기후조건을 고려해 볼 때 3일에 하루정도 3~4시간정도 충전되는 것으로 하여 태양전지의 용량을 계산하였다. 계산된 3일간 소모전류 및 적정 용량은 다음 식(1) 및 식(2)에 나타난 바와 같이 720mA 이상의 용량을 가진 태양전지가 필요하고, 이 기준에 따른 태양전지를

설계 및 현장설치에 적용하였다.

$$3\text{일간 소모전류} = 0.84\text{A} \times 3\text{Day} = 2.52\text{A} \quad (1)$$

$$\text{태양전지용량} = 3\text{일간소모전류}/\text{하루충전시간} \\ = 2.52\text{A}/3.5\text{hr} = 720\text{mA} \quad (2)$$

배터리 용량의 결정을 위해 서울, 경기 지방의 6개 측후소의 약 30년의 기상자료로부터 일조시간 자료를 분석한 결과, 일조시간 3시간 이하를 기록한 일수가 월별 평균 8일로 분석되었으며, 이에 따라 최대 20일의 연속일수를 고려하는 것이 우리나라의 기후조건에 충분할 것으로 판단되었다. 따라서 배터리에서 공급되는 전원은 만충전된 상태에서 최대 20일동안 공급할 수 있는 용량을 기준으로 한다. 외부전원의 공급없이 1일 최대 0.84mA의 전류를 소모할 때, 20일간 배터리만으로 전력을 공급하기 위해서는 16.8Ah가 소모된다. 배터리의 운영에 따른 온도인자 1.2~1.3 및 만충전계수 0.8~0.9를 고려하면 필요로 하는 배터리의 적정용량을 결정할 수 있다. 자동 수위관측기의 운영을 위한 배터리의 적정용량은 다음 식(3) 및(4)에 결정된다.

$$\text{총 소모전력} = 16.8\text{Ah} \times 1.2 = 20.16\text{Ah} \quad (3)$$

$$\text{배터리 용량} = 20.16\text{Ah}/0.9 = 22.5\text{Ah} \quad (4)$$

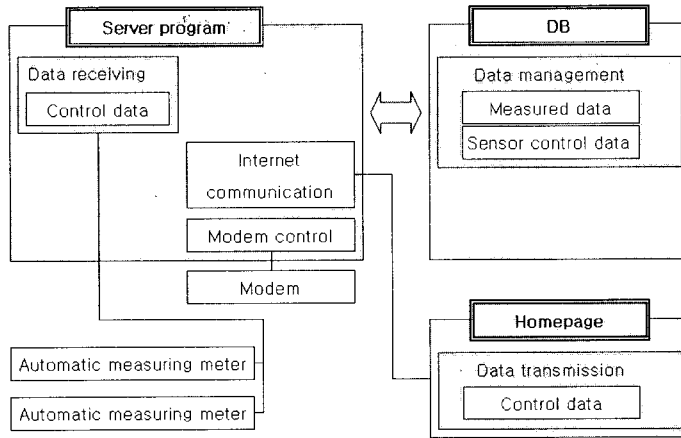


Fig. 5. Conceptual diagram of reservoir monitoring

마. 서버 프로그램 개발

서버 프로그램은 양방향 데이터 송수신, 모뎀 컨트롤, 웹 운영을 위한 모듈로 구성되며, 계측기의 제어기에서 센서, 모뎀을 제어하고, 관측된 수위를 제어하기 위한 프로그램으로 자동 수위 관측기를 구성하는 모든 하드웨어를 제어하는 알고리즘을 개발하였다. 개발된 서버프로그램의 개요는 Fig. 5와 같다.

3. 모니터링 시스템의 개발

가. 모니터링 시스템의 개요

저수위 관리시스템은 언제 어디서나 접근이 가능하고 자료공유를 용이하게 하기 위하여 웹 기반으로 작성하였다. 농업용 저수지의 관리는 전국의 농촌지역에 위치하고 있는 각 지사에서 관리하고 있으며, 저수위자료는 현재 1일단위로 각 지사별로 조사하고, 본사로 송신하여 집계되어 관리하고 있는 상황이다. 농업용 저수지의

수위자료는 물관리의 방향 및 용수사용 전망에 대한 파악을 위하여 지사에서 뿐만아니라 도본부, 본사에서 필요로 한다. 웹기반으로 저수위 자료를 공유하였을 경우 농업분야 이외에 수자원분야, 이수분야, 치수분야 등에서도 그 자료를 활용할 수 있기 때문에 자료의 이용면에서 개방성이 우수하다.

자동 수위관측기에서 수집된 데이터는 CDMA 방식의 무선인터넷을 통하여 서버에 저장되며, 시스템의 적절한 운영을 위한 설정값은 서버 컴퓨터의 무선모뎀을 통하여 자동 수위관측기로 전송하게 된다. 사용자의 편의를 위하여 그래픽기반(GUI)의 웹페이지를 서버컴퓨터에 구성하여 인터넷을 통하여 어디서든 측정데이터를 확인할 수 있으며 설정값을 변경할 수 있도록 구성하였다. 또한 자동 수위관측기가 설치된 저수지의 관리자가 편리하게 관리할 수 있도록 일지 작성 및 이상체크 기능을 가지고 있다. 프로그램의 주요 기능 중 데이터 관리를 위하여 DB서버를 구성하였으며, 이 DB서버를 이용하여 저수위 자료를 저수율, 저수량 자료로 변환하고 이를 집계·통계분석할 수 있도록 하였다.

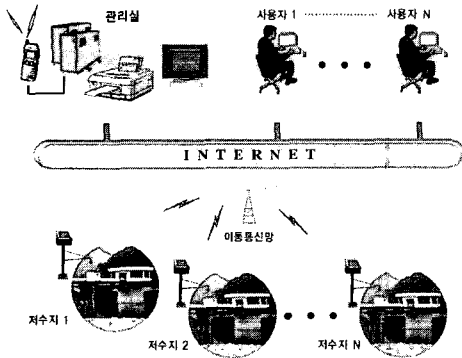


Fig. 6. Schematic diagram for the system

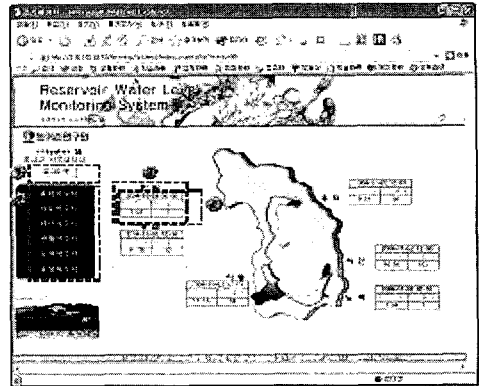


Fig. 7. Reservoir water monitoring system

나. 모니터링 시스템의 기능

농업용 저수지 모니터링 시스템을 사용하기 위한 사용자 인터페이스는 초기화면, 저수지별 계측화면이 있으며, 각 저수지별 계측상황, 데이터검색, 관측DB, 시설물 제원의 화면으로 구분된다. 농업용 저수지의 수위관리를 위한 시스템의 개념도 및 화면에는 Fig. 6 및 Fig. 7에 나타낸 바와 같다.

(1) 계측 상황

계측상황은 현재 선택된 저수지의 자동 수위 관측기 상태와 저수위 현황을 파악할 수 있으며 해당 자동 수위관측기의 설정값을 변경할 수 있으며, 현재값 전송, 설정값 변경을 사용자의 요구에 따라 실행할 수 있도록 구성되어 있다.

(2) 데이터 검색

데이터 검색에서는 검색하려는 데이터 기간을 입력하고 DB에 저장된 데이터를 읽을 수 있으며, 검색된 데이터를 인쇄, 저장 및 보기 등을 할 수 있다. 그래프의 경우는 수위그래프와 저수율그래프 두 가지 방법으로 나타낼 수 있다. 데이터검색에서 표시되는 데이터는 날짜, 수위, 저수율, 배터리상태, 태양전지상태, 수위상태 등이다.

(3) 관측 DB

관측 DB는 계측된 데이터를 수위, 저수율 및 저수량에 대하여 월단위, 일단위, 시간단위로 나타낼 수 있게 작성하였다. 월단위, 일단위, 시간단위는 해당 기간에 계측된 데이터들의 평균값을 표시하도록 하였다. 계측된 수위자료를 저수량으로 환산하기 위한 수위-내용적 관계는 현장 조사를 통하여 얻은 결과를 이용하였으며, Table 2 및 Fig. 8에 나타낸 바와 같다.

(4) 시설물 제원

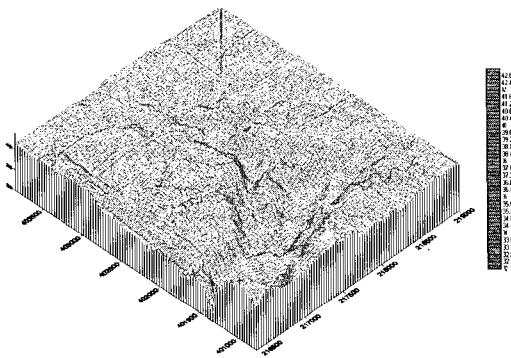
시설물제원은 해당 저수지에 대한 일반적인 제원을 표시하며, 각각의 시설물에 대하여 전경, 위치도, 내용적, 여수토, 취수시설, 수위계 등의 자료를 사진 및 그래프로 나타낸다.

IV. 현장 운영평가

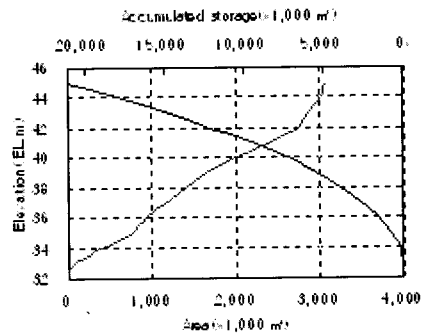
본 연구에서는 양방향 수위관측기의 현장시험을 통해서 계측 성능을 평가하였으며, 현장 검증결과 개발된 관측기를 통해 수집된 자료를 기존의 자동수위계 계측값과 비교해볼 때 FS(Full Scale) 0.25% 이하의 우수한 성능을 나타내었으며, 운영중 일부 자료의 DATA TREND가

Table 2. Stage-storage relationship for irrigation reservoir

Name	Method	Year	stage-storage relationship
Yidong	GPS	2003	$Y = 566.44 X^3 + 131,346 X^2 + 190,596 X + 90,400$
Yongdun	GPS	2003	$Y = 77.628 X^4 - 2,244.3 X^3 + 21,299 X^2 - 59,740 X + 47,088$
Misan	GPS	2003	$Y = 5,424.1 X^2 + 20,818 X + 2,912.6$
Yongsul	-	2003	$Y = 26,871 X^2 - 30,051 X + 25,028$
Nogok	GPS	2003	$Y = 17.648 X^5 - 461.56 X^4 + 4,155.3 X^3 - 9,370.4 X^2 + 11,697 X - 8,629.5$
Barwol	GPS	2003	$Y = 26,871 X^2 - 30,051 X + 25,028$



(a) Reservoir storage projection map



(b) Stage-storage curve

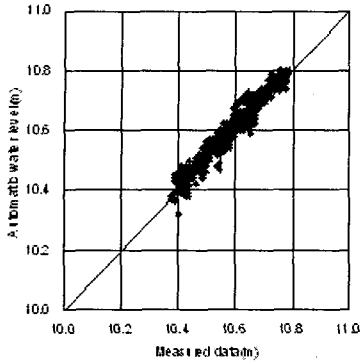
Fig. 8. Stage-storage relationship for Yidong reservoir

불안한 현상이 발생하였으나, 보정과 원인해결을 통하여 개선하였다.

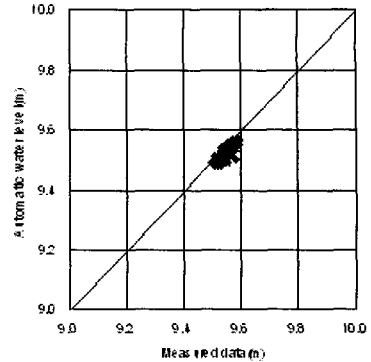
수집된 자료의 개선을 위해 측정주기마다 Tracking을 풀었던 방식에서 600회 정도 측정시마다 Tracking을 푸는 방식으로 계측간격을 조정하고, 직사광선으로 인한 영향을 피하기 위해서 그늘막(갓)을 설치하여 관측기의 성능을 보완할 수 있도록 하였다. 서버 프로그램의 변경 전후의 계측기의 성능을 비교한 결과는 Table 3에 보여주고 있고, 자동 수위관측기의 수집자료 및 현장값의 비교결과는 Fig. 9에 나타난 바와 같다.

Table 3. Comparison of measured data

Items	Before	After
Speed	100m/min	1000m/min
Accuracy	0.25%(F.S),3mm	0.25%(F.S),2mm
Interval	0.5sec	4.5sec
Tracking	per 10 min	680 measuring



(a) Yidong reservoir



(b) Yongduk reservoir

Fig. 9. Measured data comparison with automatic water level

V. 결론

본 연구에서는 농업용 저수지 자동 수위관측기 개발을 위하여 저전력 소모형 수위계측 센서와 제어기, 부대설치와 관리가 용이한 태양전원을 이용한 계측기전원시설 및 무선 데이터통신 기술을 활용한 관측자료 통신과 관측기 원격제어기 등을 개발하였고, 현장 운영시험을 통하여 우리나라의 실정에 맞는 농업용 저수지 모니터링 시스템을 개발하였다.

개발된 시스템의 현장 운영시험을 위하여 경기도의 이동저수지 등 6개 저수지에 설치하여 2개년동안 시험운영을 실시하였다. 시험적용결과 상당히 정확한 계측정도를 가지고 있는 것으로 판단되어 시설의 유지관리 및 물관리자의 활용성도 높은 것으로 판단되었다.

농업용 저수지의 농업용수 공급 및 홍수에방 기능을 위해서는 자동 수위관측기의 현장 설치의 확대가 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김철주의 3인, 1991, 자동관개 시스템을 이용한 시설에 대한 연구, 한국농공학회지, 33(1), pp.89-99.
2. 김진택의 2인, 2003, 농업저수지 자동 수위관측기 개발-저전력 원격제어 수위관측기 중심-, 2003년 한국농공학회 학술발표회 자료집.
3. 김진택의 3인, 2004, 농업저수지 자동수위관측시스템 개발 및 현장적용, 2004년 한국농공학회 학술발표회 자료집.
4. 농어촌진흥공사, 1999, 농업·농촌용수 종합이용계획, 농어촌진흥공사.
5. 농업기반공사, 2003, 자동수위계 설치 대상지구 선정보고서, 농업기반공사.
6. 농림부, 2004, 농업저수지 자동수위관측기 개발 연구(최종보고서).
7. 박성천, 이강일, 1997, Cherepnov 송수기에 대한 배수제어방식의 실험적 특성, 한국농공학회지, 39(6), pp.67-79.
8. 자동제어계측사, 1998, 자동제어계측(월간지).
9. 정하우 외 5인, 1994, 논물관리의 자동화시스템 개발, 한국농공학회지, 36(3), pp.67-73.

본 논문은 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 2002년~2004년까지 수행한 “농업저수지 자동 수위관측기 개발” 연구 결과의 일부임.