지질학회지 제 50권 제 5호, p. 689-696, (2014년 10월)
J. Geol. Soc. Korea, v. 50, no. 5, p. 689-696, (October 2014)
DOI http://dx.doi.org/10.14770/jgsk.2014.50.5.689

ISSN 0435-4036 (Print)
ISSN 2288-7377 (Online)

<Technical Report>
원격제어 기능을 갖춘 지하수 관측시스템의 개발 및 적용

임우석[1] · 현민호[1] · 김규범[2,‡]
[1](주)하이드로넷
[2]K-water연구원

요 약

지하수 관측은 지하수 고갈, 오염 등을 사전에 예측하고 피해를 최소화하는데 필요한 감시 역할을 수행한다. 국내에서는 1990년대초 이후 관측 장비 일부에 대한 국산화가 이루어져 지하수 관리에 기여해 오고 있다. 기후변화와 오염 관련 정책 등은 정부 주도의 지하수 관측 필요성을 증가 시키고 있으나, 설치 및 유지관리 비용의 문제는 사업 추진의 걸림돌로 작용하고 있다. 본 연구에서 개발된 관정에 부착되는 원격제어 지하수 관측시스템은 데이터 로거 및 통신시스템을 소형화하여 관측정 내부에 위치함으로써 설치 공간 및 비용을 최소화하였을 뿐 아니라 시스템 업그레이드 및 다운로드 등을 원격으로 제어할 수 있게 함으로써 운영 관리비를 줄일 수 있게 되었다. 또한, 현재 후속과제로 센서 모듈(온도, 수위, 전기전도도 및 DO)의 국산화를 추진 중으로서 발전된 지하수 관측 기술을 확보할 것으로 기대한다.

주요어: 원격제어, 관정 부착 방식, 지하수 관측, CDMA

Woo-Seok Lim, Min-Ho Hyun and Gyoo-Bum Kim, 2014, New development and application of a remote controlled groundwater monitoring equipment. Journal of the Geological Society of Korea. v. 50, no. 5, p. 689-696

ABSTRACT: Groundwater monitoring system is supporting to observe and to forecast the groundwater depletion and pollution phenomena, and also to diminish their damage. Home production for some parts of groundwater monitoring equipment has been begun since early 1990's in this country and it has contributed to groundwater management technology. Though the government activates groundwater monitoring policy considering a recent climate change and pollution phenomena, the high cost is still an issue for groundwater monitoring. This report introduces the newly developed remotely controlled groundwater monitoring system, which is minimizing the size of data logger and tele-communication system installed inside the borehole. This space and cost-saving system will lower the cost of the monitoring well completion and other facilities in the station, and will easily manage the equipment. The future ongoing study on the sensor modules of temperature, water level, electric conductivity and dissolved oxygen will be continuously conducting the localization of the groundwater monitoring system and will lower the overall cost, too.

Key words: Remote control, Built-in system, Groundwater monitoring, CDMA

(Woo-Seok Lim and Min-Ho Hyun, Hydronet Co. Ltd., Seongnam 462-807, Republic of Korea; Gyoo-Bum Kim, K-water Institute, K-Water, Daejeon 305-730, Republic of Korea)

1. 서 론

국내 지하수 이용은 1993년 지하수법 제정 이후 지속적으로 증가하여 왔으며, 국내 지하수 통계가 작성되기 시작한 1994년(25.7억 m^3/y)에 비하여 2010년(38.1억 m^3/y)에는 1.48배 증가하여 매년 2.6%의 증가세를 보이고 있다(MLTM, 2012). 이 양은 지하수 개발가능량 128.9억 m^3/y의 29.5%에 해당하는 것으로서 일부 지역의 경우 50% 이상을 차지하고 있다. 한편, 국가지하수관측망의 지하수위의 선형 추세 분석 결과에 의하면 총 224개 관측정 중에서 15개는 상승 추세, 25개는 하강 추세를 보이는데, 특히

‡ Corresponding author: +82-42-870-7600, E-mail: gbkim@kwater.or.kr

충적층 지하수 관측정 수위의 경우에는 11.6%가 하강 추세를 보이고 있어 지하수 양수에 의한 영향이 반영됨을 시사하고 있다(MLTM, 2012). 지하수의 효율적인 관리를 위해서는 법, 제도, 정책 등의 경영 시스템과 조사, 관측 및 정보화 등의 기술 시스템이 적절히 조화를 갖추고 시행되어야 한다.

지하수 관측망은 수위 및 수질 변동을 지속적으로 감시 관측하여 지하수 장해를 사전에 방지하고 지하수의 합리적인 개발 이용 및 보전 관리에 필요한 기초 정보를 제공하는 것으로서, 현재 국내에는 다양한 종류의 지하수 관측망이 설치되어 있다(표 1). 2011년 현재 국가지하수관측망(NGMN)은 전국적으로 348개소, 지역지하수관측망(SGMN)은 1,123개소, 국가지하수수질측정망(GQMN)은 91개소, 농촌지하수관리관측망(GMFA)은 84개소 및 해수침투관측망(SIMN)은 167개소를 운영 중에 있다. 정부에서는 2021년까지 국가지하수관측망(NGMN) 519개소, 지역지하수관측망(SGMN)은 3,000개소(4개/100 km^2), 농촌지하수관리관측망(GMFA)은 1,056개소 구축을 계획하고 있으며, 국가지하수수질측정망(GQMN)의 경우는 2030년까지 3,469개소로 확충할 계획을 갖고 있다(Lee *et al.*, 2007; MLTM, 2012; Kim, 2014; Kim *et al.*, 2014).

국가 지하수 관측망은 1994년부터 설치되기 시작하여 전국을 대상으로 매년 수 십 개소의 지점에 설치되어 왔으며, 이와 함께 관측기기에 대한 일부 국산화가 이루어지면서 국내 기술 개발 및 산업 발전에 기여해 오고 있다. 위에서 언급한 바와 같이 지속적으로 관측지점이 증가하고 기후 변화 및 오염 등으로 인한 데이터의 중요성이 부각됨으로 인하여 지하수 관측기기 분야는 산업 규모가 지속적으로 확대될 전망이다.

본 연구에서는 그 동안 국내에 설치되어 온 지하

Table 1. Classification of groundwater monitoring station in South Korea (revised from Kim, 2014).

Department	Function	Title of station	Location
MOLIT[1)]	To provide a basic data for water level to prevent groundwater reduction and land subsidence on a national scale	NGMN[4)] SGMN[5)]	Nationwide Specific area
ME[2)]	To provide a basic data for water quality to prevent quality deterioration and contamination	GQMN[6)]	Nationwide Specific area
MAFRA[3)]	To provide groundwater level and quality for an irrigation purpose	SIMN[7)] GMFA[8)]	Specific area
Private agency	To observe any change in groundwater level and quality for a pumping activity	DWMN[9)] HSMN[10)]	Specific area

Remark) [1)]Ministry of land, infrastructure and transport, [2)]Ministry of environment, [3)]Ministry of food and rural affairs, [4)]National groundwater monitoring network, [5)]Subsidiary groundwater monitoring network, [6)]Groundwater quality monitoring network, [7)]Seawater intrusion monitoring network, [8)]Groundwater monitoring network in farming area, [9)]Drinking water monitoring network, [10)]Hot spring monitoring network.

(a) Distribution ratio of end products (b) Distribution ratio of home production parts

Fig. 1. Market share of groundwater monitoring equipment (a) and its parts (b) in Korea (WSS, 2012).

수 관측 설비의 현황을 살펴보고, 국가 위탁 연구를 통하여 개발된 원격 제어 가능한 소형화된 관측 시스템의 주요 성능을 소개하고 적용에 따른 장점을 제시하고자 하였다.

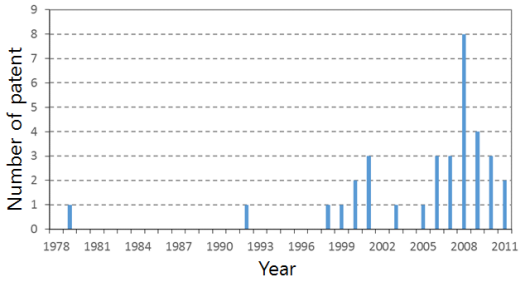
2. 지하수 관측 기기 현황 및 기술동향

현재 국내에 설치 운영 중인 지하수 관측 기기는 주기적인 데이터 전송에 의하여 관측 자료를 수집하는 시스템으로 개발되어 있어 실시간 데이터 호출 및 연동은 이루어지지 못하고 있다. 이와 같은 시스템은 호우 및 하천 범람 등과 같이 비상시의 지하수위 변화를 실시간으로 파악하지 못하여 신속한 분석 및 대처에 비효율적이다. 국내 설치된 지하수 관측 기기는 일부분 국산 제품(전체의 약 15%)이나 수입 완제품을 사용하고 있으며(그림 1a), 국산 제품의 경우에도 센서 소자(Device), 센서 전극(Probe 및 electrode) 및 모듈 등은 수입에 의존(국산율 25%)하고 있는 실정으로서 가격 상승의 요인으로도 작용하고 있다(그림 1b).

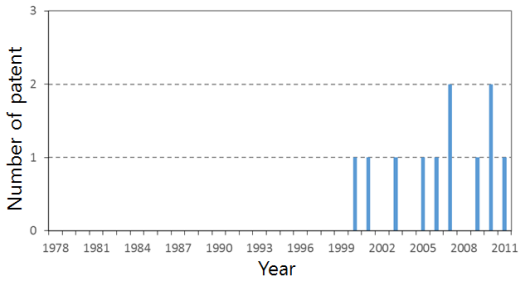
지하수 관측 기기의 기술 개발은 주로 미국, 유럽 및 일본 등에서 선도해 왔다. 일본은 센서 부품 분야의 강국으로서 센서 연구에 대한 전문 그룹이 다양하게 형성되어 있고 기술적인 네트워크 및 정보 분석이 신속히 이루어지고 있으며, 과거에 축적된 기술과 미래 기술 투자가 지속적으로 이루어져 센서 분야 선도를 지속할 것으로 예상된다. 미국와 영국은 환경 센서, 스위스와 스웨덴은 정교한 화학센서 개발에 적극성을 보이고 있다. 최근에는 광학기술을 이용하여 보다 정교하고 수명이 긴 센서를 개발하는데 기술 투자를 하고 있다(K-water and Hydronet Co., 2013). 2011년까지의 지하수 관측 분야 총 34건의 특허 출원을 분석해 보면 일본 13건, 한국 18건, 미국 3건 등으로서 최근에 우리나라의 관측 분야 기술 개발이 활발히 진행되는 편이다(WSS, 2012).

지하수 관측 분야 중 자동관측 장치의 특허 동향을 살펴보면, 2000년대를 지나면서 특허 출원이 증가하여 매년 약 2 건 정도 출원되고 있으며 2008년에 정점을 보이다가 다소 감소하고 있다(그림 2a). 세부 분야별로는, 데이터 통신에 대한 CDMA 기술 특허가 지속적으로 출원되는 것이 특징이나, 관정 부착 방식의 기술과 원격제어 분야가 접목된 지하수 관측 기술은 개발되지 않고 있다(그림 2b). 수질 관측용 센서의 경우에는, 2000년대 후반에 특허 출원이 급증하였으며 최근에는 다소 감소한 경향을 보인다(그림 2c).

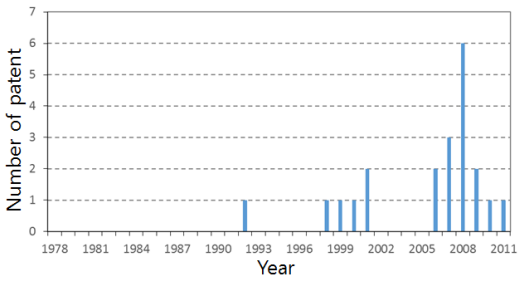
국내 설치 운영 중인 기존의 지하수 관측 기기는 관측정 외부에 별도의 데이터 로거 및 통신 시스템이 설치되고 보호시설이 필요한 관계로 부지 면적을 넓게(약 6 m^2) 차지하고 있으며, 지하수 관측 지점이 격오지인 경우 전원 공급의 한계점이 존재하고 있다. 또한, CDMA 통신망을 사용하는 경우 1:1 통신 방식을 채택하고 있으며 단방향성 데이터 수집만이 가능한 실정이다. 이와 같은 단방향성은 데이터 관측 간격 조절 등 관리자의 용도에 맞추어 관측 시스템 조정이 필요하거나 업그레이드가 요구되는 경우



(a) Automatic groundwater monitoring equipment



(b) CDMA for data transmission



(c) Groundwater quality sensor

Fig. 2. Recent increase of the groundwater monitoring system patents on automatic monitoring (a), CDMA data transmission (b), and quality sensor (c) (WSS, 2012).

기술자가 직접 현장 방문을 통하여 가능하였다. 또한, 센서의 대부분을 외국 수입에 의존함으로 인하여 센서의 유지보수 및 교체 등에 시간이 소요되거나 비용이 과다 추가되는 경우가 존재하였다. 기존 시스템은 전력 소모량이 비교적 높아 대용량 배터리 또는 대용량 태양 전지판이 요구되어 이에 대한 개선도 필요한 실정이다. 따라서, 기존 시스템과 달리 집적도를 높여 소형화하고, 저전력 소모 시스템으로 개선하며, 설치 비용 절감 및 설치 공간에 대한 제약점 해소 등을 모두 충족할 수 있는 시스템 개발이 요구된다.

3. 양 방향 원격 제어 체계의 적용

국내 및 해외의 일반적인 지하수 관측 관련 원격장치는 모뎀형과 Box형 등으로서 모뎀형은 원격검침 시스템, Box형은 관측 자료의 원격모니터링 용도로 설치되어 있으며, 최근에는 USV (Unmanned surface vehicle) 형이 하천 수질 감시 등의 용도로 사용되고 있다.

원격장치의 핵심기술은 데이터의 전송 방식과 통신망 기술로서, 전송 방식은 개발사의 독자적인 기술로 보호되고 있으며, 통신망 기술은 RF (Radio frequency) 방식, 2.4 GHz 대역 확산/주파수 도약 방식, 무선 랜 및 블루투스(BT) 방식, 전력선 통신 (PLC, Power line communication), CDMA (Code division multiple access), WCDMA (Wideband CDMA), GSM (Global system for mobile), GPRS (General packet radio service), USN (Ubiquitous sensor network), RFID (Radio frequency identification), Zigbee 및 WiFi 등이 사용되고 있다.

이중에서 RF, BT, Zigbee, RFID는 근거리 통신망 구축에 사용되며 특히 USN을 구축하는데 Wireless infrastructure에 해당되는 무선 기술이다. WiFi는 무선 인터넷을 직접 연결할 수 있는 효율적인 솔루션에 해당되나 WiFi Zone이 형성된 지역 내에서만 가능하다는 제약 조건이 있으며, 전력선 통신(PLC)은 기존의 광범위한 전력선 인프라를 활용한 유선 방식의 원격제어체계를 구성한다는 측면에서 무선의 효과를 낼 수 있는 유일한 유선 솔루션이지만 국내에 한정 된다는 단점이 있다. 원격제어 체계에 있어서 세계적으로 활용하고 있는 통신망 기술은 GSM, CDMA, GPRS, WCDMA와 같은 개인 휴대 통신망이다. GSM은 유럽에서 사용되는 2G 방식의 개인 휴대통신 시스템으로 TDMA (Time division multiple access) 기술을 원천기술로 하며 전 세계 80% 정도가 이용한다. 통상 국내에서 원격제어에 이용되는 CDMA 기술은 비동기식 2.5G 방식 휴대통신망(IS-2000)이

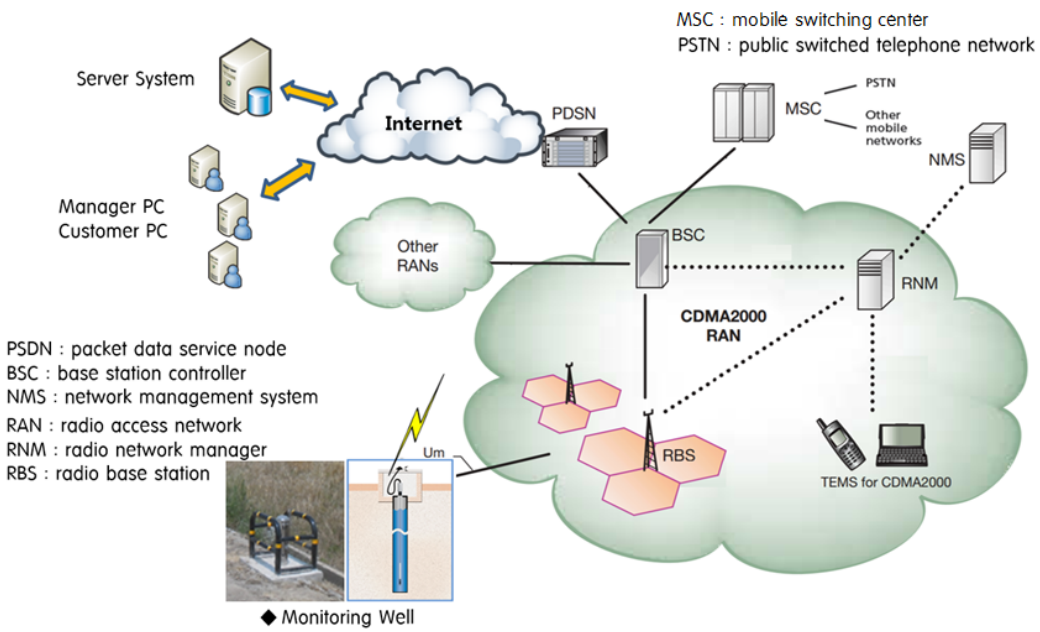
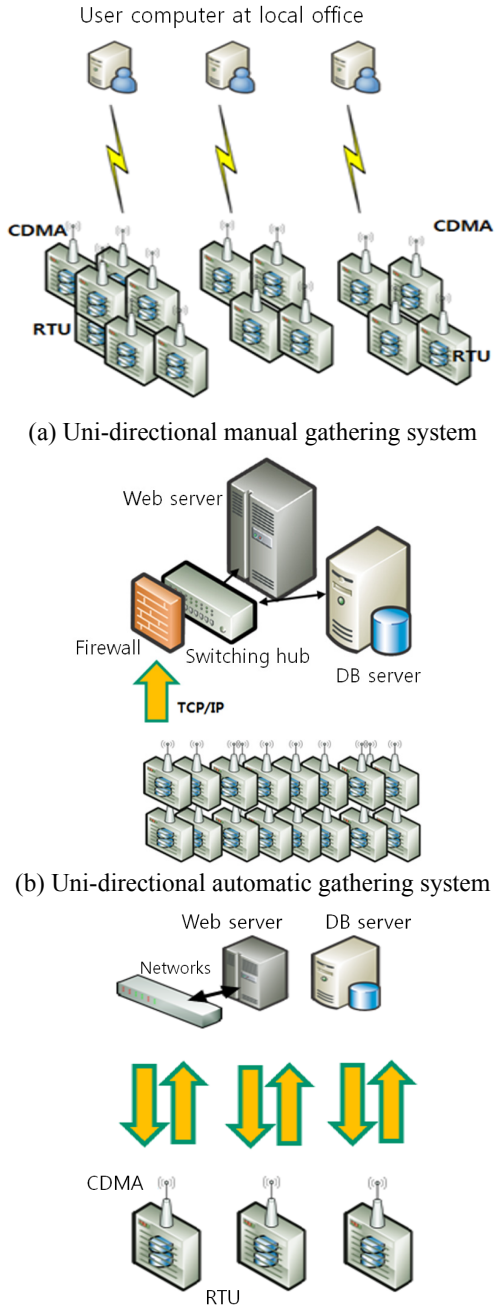


Fig. 3. Conceptual diagram of the remotely controlled groundwater monitoring system.

고 CDMA2000 1xRTT로 알려져 있다. GSM 기술의 연장선인 동기식 2.5G GPRS 방식은 유럽에서 사용되고 있다. WCDMA는 3G에 해당되는 유럽 방식의 서



(a) Uni-directional manual gathering system

(b) Uni-directional automatic gathering system

(c) Bi-directional automatic gathering system

Fig. 4. Comparison of data gathering modules at the remotely controlled groundwater monitoring system.

비스망으로서 미국식 IS-856 (CDMA2000 1xEV-DO)에 대응되며 유럽식인 비동기식 WCDMA와 미국식인 동기식 IS-856 (CDMA2000 1xEV-DO)을 하나로 묶어 IMT2000이라고 한다. 현재 국내의 3G망은 유럽식인 WCDMA를 택하고 있는데, 본 연구에서도 CDMA와 함께 WCDMA를 지원 가능하도록 개발하였다. 아래 그림은 국내 통신사의 2.5G CDMA 망을 사용할 경우의 지하수 관측망에 대한 원격제어체계를 도시한 것으로서, 계통도 상의 서비스 장비 및 기술을 WCDMA로 변경하여 적용할 수 있다(그림 3).

기존의 단방향 데이터 수집 체계는 현장에서 측정된 지하수 계측 데이터를 수동으로 호출하여 전송받는 경우(그림 4a)와 자동으로 설정된 시점에 데이터를 전송 받는 유형(그림 4b)으로 운영되고 있다. 이들 경우에는 관리자가 필요한 시기에 데이터를 받음으로써 전력 소모량을 최소화할 수 있으나, 운영자측과 원격장치측 모두 CDMA 모뎀이 설치되어야 하며 1:1 통신 방식을 선택하므로 다수의 지하수 관측정에 동시 접속은 불가능하며 동시에 데이터를 받지 못하고 순차적으로 접속하여 취합하게 된다. 반면에, 본 연구에서 개발된 양방향 자동 데이터 수집 체계는 운영자측 서버에는 CDMA 설치가 불필요하며, 관측 장치에 설치된 CDMA를 통하여 무선 인터넷(TCP/IP)으로 연결되는 방식을 채택하고 있다(그림 4c). 사전에 결정된 데이터 전송 시간 간격마다 원격장치로부터 데이터 전송이 이루어지며, 필요할 경우에는 관리자가 별도의 시간 간격 설정 등 원격 조절이 가능하여 즉각적인 데이터 원격 수신이 이루어진다. 또한, 무엇보다도 제조사로부터 장비의 S/W 업그레이드가 원격으로 가능하여 불필요한 유지 경비를 절감할 수 있는 장점이 있다. 아울러, 이와 같은 원격 데이터 수집 체계는 수질사고 등 비상시 지하수 계측 데이터의 신속한 취합 및 분석 등을 가능하게 하는 장점이 있다.

4. 원격제어 방식의 지하수 관측시스템 개발

본 연구에서 개발된 지하수 관측 시스템은 원격제어 기능을 보유하면서 관정에 부착되는 소형화한 지하수 관측 시스템으로서, 지하수 관측정 내부에 센서, 데이터 로거 및 통신 시스템을 모두 설치할 수 있도록 통합 소형화함과 동시에 양방향 통신에 의한

관측 기기의 원격 제어가 가능하고, 관측정 주변에서 휴대폰, 노트북 등을 무선으로 연결하여 자료의 확인이 가능하도록 근거리 통신망인 블루투스를 장착한 시스템이다(그림 5). 또한, Regulator 회로 및 절전회로 등을 동작 특성에 적합하게 설계하여 전력 소모를 줄임으로써 태양광에 의한 전력 충전만으로 충분히 동작 하도록 구성하였으며, 내장 배터리는 최장 90일까지(하루 1시간 데이터 전송 및 상시 동작 상태 유지의 경우임. 데이터 미 전송 기간에 Sleep Mode 대기 조건으로 1년까지 가능) 동작이 가능하도록 구성하였다. 관리자의 편의를 위하여 전원, 주요 기능, 주변 온도, 통신 상태 및 자료 저장 기능 등에 대한 자기 진단 기능을 갖추었으며 이상 발생 시 SMS등 비상 통보 기능이 작동하도록 하였다.

본 시스템에 적용된 중요 하드웨어 구조는 CDMA 모뎀 블록, 통신 형태 및 프로토콜 변환 블록, 메모리 회로 블록, 태양 전지에 의한 배터리 충전회로 블록 및 전력 공급 회로 블록으로 구분된다. 1) CDMA 모뎀 블록은 기록된 데이터를 관제 컴퓨터로 전송하거나 관제 센터에서 제어 신호를 관측정으로 전송하여 원격장치를 제어할 수 있도록 하였다. 2) 이 경우에 적용된 통신 및 프로토콜 변환 기술은 CDMA 망을 이용하여 무선 인터넷 방식인 TCP/IP로 연결하여 Packet 단위로 통신하게 된다. 특히 양방향 데이터 통신은 임베디드 웹서버를 사용하지 않으며, 직접 개발된 양방향 통신 프로토콜이 적용되었다. 3) 원격제어 장치의 메모리 기술은 센서 관측 데이터 및 장비의 동작 상태 정보를 저장하는 공간으로서, 저장된 데이터는 TCP/IP 접속에 의한 서버 전송 또는 Debug port를 통한 직접 접속에 의하여 전송 받을 수 있다. 4) 또한, 배터리와 전력 부분 기술로는 원격제어 장치가 격오지에 설치될 경우에 대비하여 태양전지에 의한 전원 공급이 가능하도록 배터리 전원과 함께 태양전지에 의한 충전 방식을 동시에 사용할 수 있도록 하였으며, 초저 전력 소모 방식을 채택하여 점검을 최소화할 수 있도록 하였다.

(a) Model S-Cap (b) Model WBI-R10

Fig. 5. Recently developed remote controlled groundwater monitoring system (Model WBI-R10 is placed in the model S-cap).

특히, 전력 사용 부분에서 많은 기술 발전이 이루어졌는데, 본 시스템에서는 초 저전력 소모형 32 bit MCU (Micro controller unit)를 채택하여 12 MHz Clock의 외부 공급을 MCU 내부에서 72 MHz로 동작시킴으로써 0.0138 μs의 수행 속도를 확보하였다. 또한, 소형화를 위하여 태양광 충전 제어는 전용 LSI (Large scale integration) 칩을 선택하였으며, 전원 공급 회로 및 주변 회로는 태양광 전력과 대용량 리튬이온 배터리 전력이 자동으로 전환, 사용토록 하여 효율성을 높였다. 이로서 태양광에 의한 충전이 충분하지 않을 경우에도 원격 장치가 스스로 판단하여 전원공급원을 변경 사용할 수 있도록 함으로써 안정성을 확보하였다. 1.6 W의 태양전지판을 사용하고 1000 mA의 리튬폴리머 충전지를 적용함으로써 소형화 하였다. 또한, 관측 센서와의 인터페이스는 다양한 수입 센서에 대해서도 연결이 가능하도록 센서의 통신방식에 따라 자동으로 통신방식이 전환되거나 관리자가 원격으로도 전환할 수 있도록 특허 회로를 개발, 적용하였으며, 관측센서 자체에 데이터 저장 기능이 없는 경우도 사용할 수 있도록 자체에 데이터 저장 메모리 공간을 추가하여 설계하였다.

상시 전력의 공급 없이 안정적으로 작동하기 위하여 태양전지 셀 뿐 아니라 풍력 발전에 의한 전력 생산 방식을 채택하였다. 풍력발전시스템은 태양전지 셀 하단부에 설치하여 미세한 바람에 의해서도 회전에 의한 전력 생산이 가능하도록 구성하였다. 평상시 전력이 충분할 때는 발생된 전력을 2차 전지에 충전함과 동시에 시스템에 전력을 공급토록 제어 회로를 구성하였다. 야간이나 바람이 없을 때는 2차 전지에 충전되어 있던 전력을 시스템에 공급하는데, 2차 전지의 용량이 크지 않기 때문에(미충전시 약 20일) 일광의 저하 및 풍력 발전이 불가능한 경우를

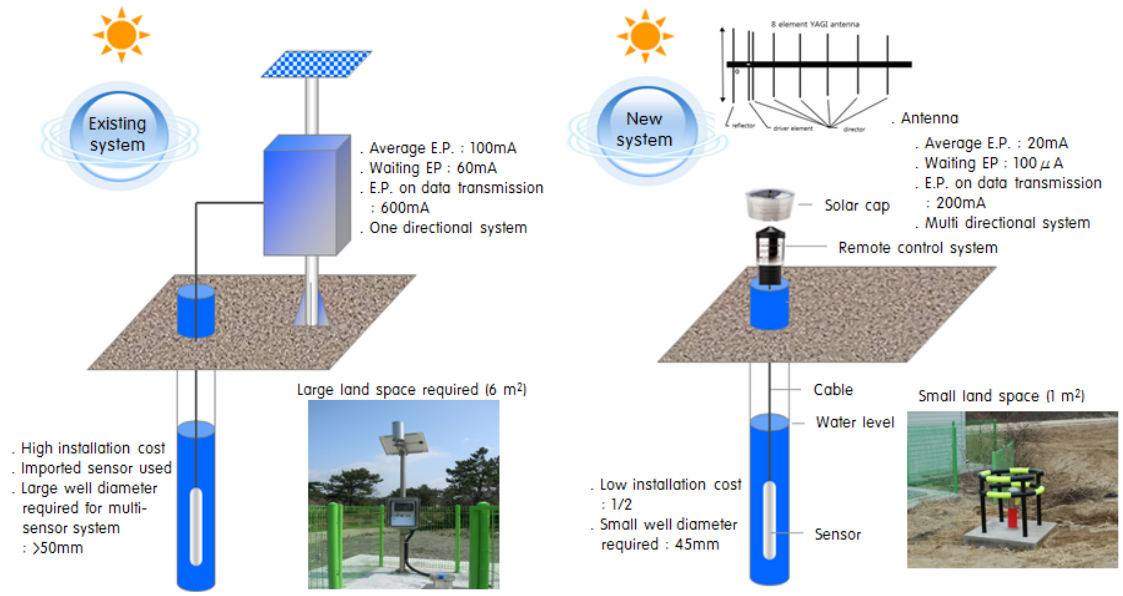
대비하여야 한다. 이와 같이 충전이 부족하여 2차 전지 전력이 충분하지 않을 경우에는 1차 전지로 전력공급이 자동 전환되도록 설계하였으며, 충전 전력이 충분하게 되었을 때는 2차 전지로 전력공급이 재 전환되도록 전력공급 자동 선택 회로(Automatic power selection circuit)를 개발, 적용하였다. 본 지하수 관측 시스템은 1차 전지로 1시간 마다 데이터를 전송할 경우 약 1년 정도 사용이 가능한 것으로 평가되었다.

본 연구를 통하여 개발된 원격제어 지하수 관측 시스템의 사양은 다음과 같다.

- 재질 : STS304, Acetal, PC, PE
- 사용 환경 : -20℃ ~ 85℃ 이내
- CPU : 32bit RISC Core
  (Cortex M3 Micro Controller Unit)
- 측정자료 및 환경설정변수 저장용 메모리
  : 4MByte flash memory
- 1차 전지 : 액상 Li-ion 14.4 Volt 19,000 mA
- 2차 전지 : Li-Polymer 12.6 Volt 1,000 mA
- 발전방식 1 : Solar cell
  (맑은 날 14:00 기준 DC16V 100 mA)
- 발전방식 2 : Wind power
  (5700 RPM/DC24V 70 mA)
- 동작 가능 입력전원 : DC 6 V ~ 18 V
- 소비 전류(Typical)
  : 동작시 20 mA 12 V DC [CDMA 제외],
  대기시 0.1 mA 12 V DC
- 센서 통신 방식 : RS232 / RS485 / IR 겸용
- CDMA 모뎀 통신 방식 : RS232 (TTL 방식)
- 외부 I/F용 포트
  - 유선 : RS232
  - 무선 : Bluetooth 근거리 무선 통신
- Operation clock frequency
  : Internal PLL 72 MHz
- External clock frequency chip
  : 12 MHz (12 MHz ⇒ PLL x 6 ⇒ 72 MHz)

5. 현장 적용

개발된 지하수 관측 시스템은 현재 전국 주요 지점에 설치 운영 중에 있으며, 다양한 장점을 갖고 있다(그림 6). 관정 부착 방식으로 소형화하여 개발함으로써 좁은 지역(< 1 m^2)에서도 설치가 가능하여 보호시설 설치 및 부지 사용료 등을 절감함으로서 설치 비용을 1/2로 줄일 수 있었다. 소형화된 관측



(a) Existing monitoring system

(b) Newly developed remotely controlled groundwater monitoring system

Fig. 6. New development of the remotely controlled groundwater monitoring system (b) compared with the existing system (a).

센서부는 기존의 일반적인 지하수 관측망의 구경(100 mm 이상)보다 적은 최소 45 mm 구경의 관측정에 설치가 가능하여 굴착 비용을 절감하게 된다. 원격제어 장치는 구경 90 mm, 연장 200 mm로서 지하수 관측정 상부 케이싱에 연결 장착이 가능하며, 상부 태양 전지판의 확장 캡은 166 mm 이내로 설계되어 하부의 원격제어 장치와 연결을 하는 소형화된 구조를 갖추었다. 실제 현장을 방문하지 않고서도 양방향 원격제어 기능을 활용하여 관측 기기의 기능 변경 등을 업그레이드할 수 있도록 함으로써 운영관리비도 절감할 수 있다. 또한, 초저전력을 소모하도록 구성하여 에너지 소모량을 현저히 줄였으며, 다양한 그린에너지 활용을 위하여 태양 전지 뿐 아니라 소형 풍력 발전 기술을 접목하여 오지에서의 활용성을 극대화하였다. 금회 개발된 원격제어 시스템은 다양한 수입 관측 기기(Troll, Diver, Solinst, YSI 등)의 연결도 가능하여 확장성을 높였으며, 하나의 원격제어 시스템으로 다심도 관측 및 2개 관측정을 연결할 수 있도록 하여 단일화된 원격 관리도 가능하도록 설계되었다.

6. 결 언

지하수 관측은 지하수 고갈, 수질 오염 등을 사전에 예측하고 피해를 최소화하는데 필요한 감시 역할로서 중요한 의미를 갖고 있다. 20세기 이후 전세계적으로 확대되고 있는 환경 피해는 다양한 관측 산업의 발전을 가져왔으며, 지하수 분야에서도 1993년 지하수법 제정 이후 국가 및 민간 분야에서의 지하수 관측이 지속 확대되고 있다. 그러나 일반적인 지하수 관측 시스템은 초기 시공비 뿐 아니라 장비의 노후화 등으로 발생되는 유지관리비가 지속 반영되어야 하는데, 이와 같은 예산의 문제점은 국가 주도의 지하수 관측 시설 확대의 걸림돌로 작용되어 왔다. 본 연구에서 개발된 원격제어 지하수 관측 시스템은 건설 공사비의 절감 뿐 아니라 원격제어로 인한 현장 점검 관리비용의 절감도 기대할 수 있다. 또한, 지하수 관측 분야에 원격제어 및 소형화 기술을 접목, 완성함으로써 선도적 역할이 기대된다.

한편, 센서 분야는 외국에 의존성이 높아 추가적인 기술 개발이 요구되는데, 지하수 분야에서 가장 보편적인 항목인 온도, 수위, 전기전도도 및 DO 센서 모듈에 대한 개발이 시급하다. 현재 본 연구의 연계 과제로서 센서 모듈(센서 소자 또는 센서 전극에서 생성된 미세신호를 증폭하고 노이즈 등에 영향받지 않고 안정적으로 출력하는 Black box 형태의 모듈)에 대한 국산화 및 제품화가 진행 중에 있어 본 제품이 완성되면 발전된 지하수 관측 기술이 확보될 것으로 기대되며, 아울러 국가에서 장기적으로 추진하고 있는 지하수 관측망 구축 사업 뿐 아니라 각종 공사 현장에서의 지하수 관측을 통한 안정성 확보에도 기여할 것으로 전망된다.

사 사

본 연구는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원에서 위탁 시행한 물관리연구사업(11기술혁신C05)에 의한 '수변지하수활용고도화' 연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Kim, G.B., 2014, A theoretical approach to the optimal distribution of regional groundwater monitoring wells near the river barrages of the 4MRRP, South Korea. Environmental Earth Sciences (Accepted).

Kim, J.W., Seo, Y.K., Kim, R.H. and Cheon, J.Y., 2014, The importance of monitoring wells maintenance in improving groundwater quality. The Journal of Engineering Geology, 24(2), 283-295 (in Korean with English Abstract).

K-water and Hydronet Co. Ltd., 2013, Report on the Development of a Remote-controlled Groundwater Monitoring System (2nd Year). Daejeon, 86 p (in Korean).

Lee, J.Y., Yi, M.J., Yoo, Y.K., Ahn, K.H., Kim, G.B. and Won, J.H., 2007, A review of the national groundwater monitoring network in Korea. Hydrological processes, 21(7), 907-919.

MLTM (Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs), 2012, Master Plan of Groundwater in South Korea (2012~2021). Seoul, 154 p (in Korean).

WSS (Wellture Synergy and Solution), 2012, Consulting Report on Patent Analysis and Success Strategy Establishment for the Maximization of Groundwater Value. Seoul, 84 p (in Korean).

투 고 일 : 2014년 8월 18일
심 사 일 : 2014년 8월 20일
심사완료일 : 2014년 10월 1일