

증강현실을 활용한 수변지역 지하수 시설물 모니터링 솔루션 개발

신진수^{1,‡} · 성민준² · 이미진²

¹서울시립대학교

²(주)티아이랩

요 약

현재 우리나라의 지하수 정보관리는 국가지하수정보센터에서 IT 기반으로 구축 운영중에 있으며, 정보기술의 발전에 따라 최신 웹기반 시스템하에서 정보가 제공되고 있다. 본 연구에서는 웹기반으로 제공되는 지하수 정보를 3차원 증강현실 기술에 접목하여 수변지역 지하수 시설물 모니터링 솔루션을 개발하였다. 증강현실을 활용하여 하천변의 방사형집수정내에 설치된 다양한 계측 장치를 표출하고 지하수 관측정의 수위 및 수질 자료를 관리토록 하였다. 이를 통하여 현장에서 지하 시설 및 수리학적 특성을 보다 잘 이해할 수 있게 되었으며, 효율적인 시설관리가 가능하게 되었다. 본 연구를 통해 개발된 솔루션은 교량, 댐, 보 등에서 관리자 접근이 용이하지 않은 경우에 구조물 관리에 보다 효과적일 것이다.

주요어: 지하수 시설, 증강현실, 3D 지도, 지하수 모니터링

Jinsoo Shin, Minjoon Sung and Mijin Lee, 2016, Development of monitoring solution for riverside groundwater facilities using an augmented reality. Journal of the Geological Society of Korea. v. 52, no. 4, p. 501-510

ABSTRACT: In this country, groundwater information management with an IT-based system is conducted at the National Groundwater Information Center. Groundwater information is provided under the web-based procedure reflecting a new information technology. The purpose of this study is to develop an IT solution for the monitoring of groundwater facilities at the riverside with combining a web-based groundwater data and augmented reality technology including 3 dimensional mapping tool. It can express underground facility structure and all of the monitoring equipments, which are installed in a radial collector well at the riverside, and also manage groundwater level and quality data collected from the monitoring wells. This helps a manager to understand the facilities and hydrologic feature more in the field and therefore more effective facility management becomes possible. This kind of augmented reality technology will be effective to the cases of unaccessible dam, bridge, and barrage.

Key words: groundwater facility, augmented reality, 3D mapping, groundwater monitoring

(Jinsoo Shin, The University of Seoul, Seoul 02504, Republic of Korea; Minjoon Sung and Mijin Lee, TI-Lab Inc., Seoul 04793, Republic of Korea)

1. 서 론

원활한 물순환을 위하여 수변지역의 지하수 순환 시스템은 지속적인 개발과 계측이 이루어지고 있다. 지하수는 지표수와 달리 외부 요인에 민감하지 않고 영속성과 균질성을 갖고 있기 때문에 갈수기에 가장 중요한 대체수자원이며, 상수 공급이 원활하지 않은

지역에서는 유일한 생활용수 공급원의 역할을 하고 있다. 따라서 지하수의 수자원으로서의 기능을 제고 하여 안정적이고 지속적인 관리를 통한 가치 극대화 연구가 필요하다.

현재 우리나라의 지하수는 국가지하수정보센터를 기반으로 IT를 활용한 정보관리 체계가 잘 구축되어 있으며, 정보기술의 발전으로 원활한 웹기반

[‡] Corresponding author: +82-2-6233-8012, E-mail: jss@tilab.co.kr

정보제공이 가능하게 되었다. 체계적인 지하수 관리를 위한 시스템과 관련 기술에 대한 지속적인 연구가 이루어지고 있다. 한국농어촌공사에서는 GIS를 이용하여 지하수개발 적지선정에 활용 가능한 지하수관리 시스템구축 모델을 제시하고, 관정주제도, 지하수위 등고선도, 지하수 유동방향도, 가상관정포획구간도, 관정포획구간도의 관정분석 프로그램과 농촌지하수관리 시스템의 DB, 각종 주제도, 기본도 등을 이용하는 지하수모델링 연계프로그램을 개발한 바 있다(Lee *et al.*, 2002). 또한, GIS와 유비쿼터스 센서 노드를 접목한 u-GIS 환경에서 관정의 위치정보와 지하수 센싱 정보의 실시간 모니터링 및 분석이 가능한 지하수 관정 관리 시스템을 제안하고, UML 2.0을 활용하여 사용자의 요구사항과 시스템 내부 모듈들 간의 상호작용 및 데이터의 흐름을 분석하는 시스템을 모델링한 연구도 수행한 바 있다(Jung *et al.*, 2011). 이러한 연구는 GIS정보의 통합과 저장, 분석을 위한 기반 구축을 목표로 하였으며, 실시간 모니터링 개념을 도입하고자 한 것이다.

모바일 환경에서의 기술 개발과 관련하여, 수목 관리의 효율성을 극대화하고자 객체지향 설계 모델링을 이용한 GIS 및 스마트폰 기반의 유비쿼터스 수목관리 시스템을 개발하였으며(Jung and Sim, 2012), 모바일 웹 환경에서의 정보 이용이 증가함에 따라 정보의 상호 운용성을 보장하는 웹표준 기술로의 교체와 더불어 새로운 모바일 환경에 요구되는 인터페이스 개발을 제시한 바 있다(Yeon and Han, 2013). 이 두 연구에서는 현장 업무의 지원을 위한 모바일 환경 구축에 대한 필요성을 제시하였다.

지하수 시설물은 대부분이 지하공간에 매설되어 운영하고 있다. 지하에 매설된 시설물은 지상시설물보다 관리 및 모니터링이 어렵고 굴착 및 매립 사고 발생가능성이 높다. 이에 지하시설물의 체계적인 관리를 위해 정부에서는 도로기반 7대 지하시설물의 전산화 사업과 3D 기반의 지하공간 통합지도 구축 계획을 밝힌 바 있다(MLTM, 2008). 또한, 지하에 매립된 시설물의 시각화에 대하여 아산시를 대상으로 상수도관로 유지관리 모바일 시스템을 설계하고 도입 방안을 제시하였다(Choi, 2012). 모바일 시스템은 전문지식이 없는 사용자 측면으로 설계가 되어야 하며, 영상정보의 정합 오차의 최소화, 모바일 기기 응답 개선을 위한 장비 성능 개선, 상수도관로 위치

정보, DB의 정확도 개선, 서버의 효율적 관리가 중요한 요소라고 제안하였다. 지하 시설물의 경우, 지하에 매설되어 가시적인 확인이 어렵기 때문에 모바일을 이용한 작업자 중심의 시각화 시스템이 필요하다고 제안하였다(Kim *et al.*, 2014). 실내 환경에서 맨홀 검출과 특징점 추출 및 추적 방법들의 비교 분석을 통해 최적의 방법을 적용하여, 실제 환경에서의 폐색된 상/하수도 배관 증강을 통해 가능성을 확인하였다.

기존 연구에서 볼 수 있듯이 지하수 연구에 있어서 IT기술은 모바일과 GIS, 실시간 모니터링으로 대표되는 사용자의 작업 편리성 증진을 위한 도구로서 그 활용도가 높아지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 증강현실(AR; Augmented reality) 기술을 활용한 지하수 및 지하수 시설물을 시각화로 모바일 환경에서 GIS와 실시간 모니터링 데이터가 연동되는 기술을 개발하고자 하였다.

2. 증강현실 개발 툴킷

증강현실이란 실세계에 3차원 가상물체를 겹쳐 보여주는 기술로 사용자가 눈으로 보는 현실세계에 가상으로 객체를 겹쳐 보여주는 기술이다. 현실세계에 부가정보를 갖는 가상세계를 합쳐 하나의 영상으로 보여주므로 혼합현실(MR; Mixed Reality)이라고도 한다. 이는 가상현실(Virtual Reality)의 한 분야로서 실제 환경에 가상 사물을 합성하여 원래의 환경에 존재하는 사물처럼 보이도록 하는 컴퓨터 그래픽 기법이다.

증강현실 기술은 현실 세계에 부가적인 정보를 오버랩하여 볼 수 있기 때문에 기 구축된 GIS 및 GPS와 다른 데이터들을 매시업(Mash up)해 다양한 활용이 가능하다. 본 연구에서는 지하시설물중 특히 수변지역의 지하수 시설물에 대한 정보를 매시업하여 증강현실 기술을 활용한 첨단 지하수 관리 및 서비스 체계를 개발하고자 한다. 또한, 이를 수변지역의 지하수 시설물에 대한 3D 지도로 활용하고 지하수 실시간 계측 데이터와 연동시켜 이를 지하수와 지하수 시설물의 모니터링에 활용하고자 한다.

수변 지하수 시설물 모니터링 솔루션은 증강현실 개발 툴킷의 구현을 우선으로 하였다. 증강현실 기술의 구현에는 영상을 입력받을 수 있는 카메라, 그

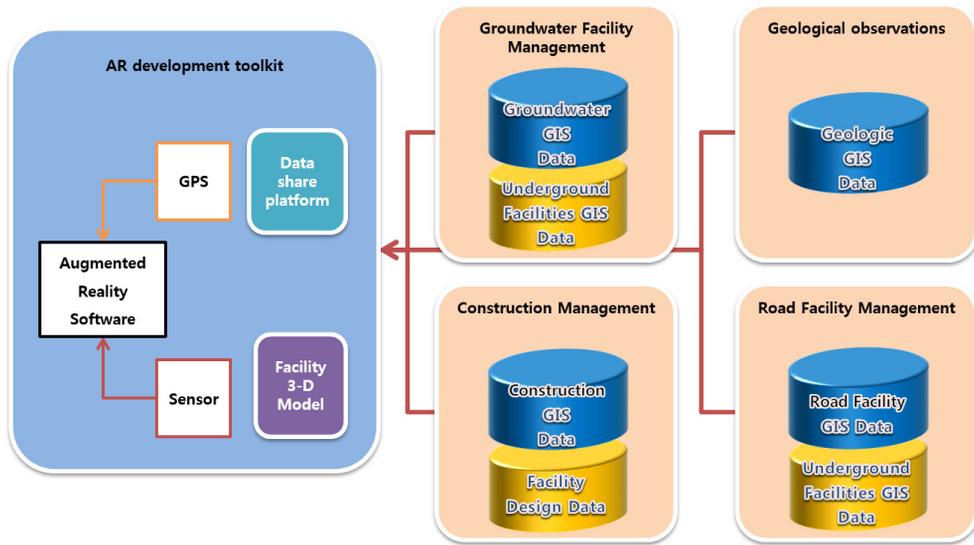


Fig. 1. Hardware configuration of augmented reality development toolkit.

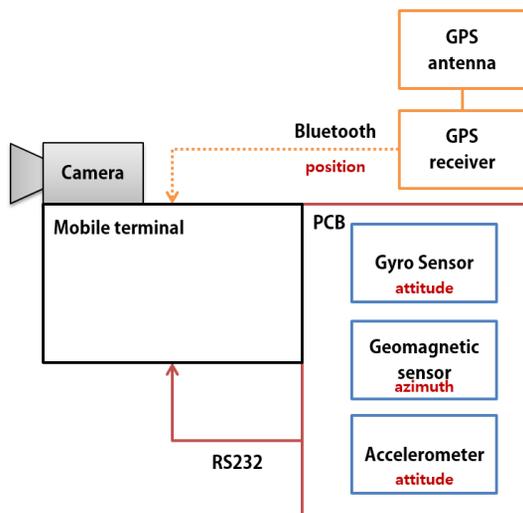


Fig. 2. Hardware configuration.

래픽 처리 능력을 갖춘 시스템, 사용자의 위치정보를 수신할 수 있는 위치센서(GPS), 시스템의 자세를 감지할 수 있는 자세센서, 각종 추가정보의 전송에 필요한 무선통신 모듈이 요구된다.

그림 1은 증강현실 개발 툴킷의 하드웨어 구성도이며, 고정밀 좌표취득용 위치센서, 스마트기기의 자세측정을 위한 센서통합장치, 증강현실 구현의 소프트웨어로 구성된다. 이는 지리정보를 이용하는 툴킷으로써 위치기반 방식으로 구현되며, 이동형단말기의

카메라로부터 입력받은 현실세계의 영상정보 위에 객체를 투사하는 Monitor-Based 방식으로 구현한다. 이렇게 개발된 툴킷은 지하수 데이터베이스와 연동되어 지하수정보의 표현에 특화된 솔루션을 구성한다. 툴킷은 지하수정보 외에도 지질정보(Geology), 도로정보(Road asset), 건설정보(Construction) 등 목적에 따라 다양한 정보의 표현이 가능하다.

고정밀 AR을 구현하기 위한 하드웨어 구성을 살펴보면 그림 2와 같다. 앞서 언급한 바와 같이 이동형단말기의 카메라를 통해 실제 환경의 영상정보를 취득한다. GPS 수신기와 안테나로 취득한 높은 정밀도의 위치정보를 이동형단말기에 bluetooth 방식으로 이동형단말기에 전송한다. 또한, 자이로센서, 지자기센서로 구성된 고정밀 AR용 하드웨어를 제작해 이동형단말기에 부착하여 사용하게 된다. 이 때, 자이로센서는 단말기의 자세정보를 취득하며, 지자기센서는 방향정보를 취득한다. 센서에서 취득한 정보는 RS232 통신 방식으로 이동형단말기에 송신된다.

2.1 위치센서(GPS)

2.1.1 센서 사양

본 연구에서 사용되는 위치센서는 25 cm 이내의 비교적 높은 정밀도를 요구하며, 후대가 용이하도록 수신기와 안테나가 작고 가벼울 필요가 있다. 또한 현장에서 직접 좌표취득 및 AR 구현에 이용하기 위

Table 1. Position sensor specifications.

Technical Specifications		
Channels	GPS	L1 C/A, L2E, L2C, L5
	BeiDou	B1, B2
	GLONASS	L1 C/A, L2 C/A, L3 CDMA
	Galileo	E1, E5A, E5B, E5AltBOC
	QZSS	L1 C/A, L1SAIF, L2C, L5
	SBAS	L1 C/A, L5
Reference outputs/input	CMR, CMR+, sCMRx, RTCM 2.1, 2.2, 2.3, 3.0, 3.1	
Outputs	ASCII : NMEA-0381 GSV, AVR, RMC, HDT, V GK, VHD, ROT, GGK, GGA, GSA, ZDA, VTG, GST, PJT, PJK, BPQ, GLL, GRS	
Performance Specifications		
Time to first fix	Cold start	< 45 seconds
	Warm start	< 30 seconds
	Signal Re-acquisition	< 2 seconds
Positioning specification		
DGNSS	Accuracy	0.25 m + 1 ppm Horizontal, 0.50 m + 1 ppm Vertical
	Latency	< 20 ms
	Maximum Rate	20 Hz

해서 실시간으로 높은 정밀도의 위치정보를 취득하기 위한 보정기능이 필요하다.

따라서 본 시스템에서 선정한 위치센서는 L1, L2 신호를 이용하며, 현장에서 직접 정밀한 위치보정이 가능한 위성항법보정시스템(DGPS; Differential GPS) 기술의 적용한다. 또한 단일 GPS 수신기로부터 DGPS 신호를 수신하기 위해 위성기반 위치보정시스템을 적용하고 있다.

통신방식은 Bluetooth, RS-232, USB 방식의 통신이 가능하며, NMEA, RTCM, Binary 방식의 포맷으로 20 Hz 까지 데이터 전송이 가능하다. 본 시스템에 사용된 위치센서의 사양 및 성능은 표 1과 같다.

2.1.2 신호의 보정

GPS 신호에서 발생한 오차는 DGPS를 통해 보정치를 계산한다. DGPS는 지역기반 위치보정시스템(LBAS; Local Based Augmentation System), 위성기반 위치보정시스템(SBAS; Satellite Based Augmentation System)과 같은 방법으로 오차를 보정하여 정밀도를 향상시킨다. 근접한 두 개의 GPS 수신기가 같은 위성으로부터 신호를 받아 자신의 위치를 계산할 때 각 수신기의 고유오차와 더불어 공통적인 오차가 존

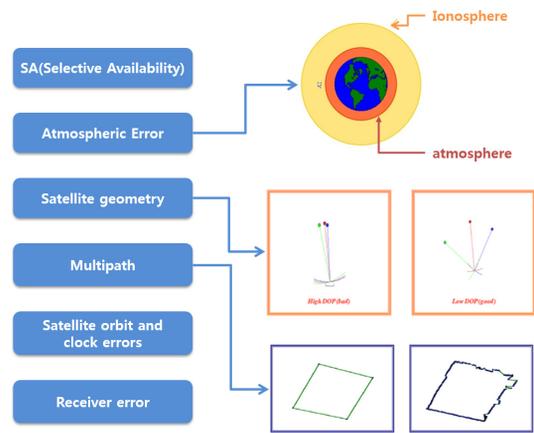


Fig. 3. Types of GPS error.

재한다(그림 3).

이들의 공통적인 오차를 제거하여 보다 정확한 위치측정을 하는 것이 DGPS의 기본개념이다. LBAS란 정확한 위치좌표가 알려진 지점에 기준국(Reference Station) 역할을 할 GPS 수신기를 설치하여 미리 계산된 보정오차를 로버 GPS에 전송하는 방식이다. 로버 GPS는 자신의 수신기에서 계산한 위치값에 적용되는 보정오차를 적용하여 공통오차를 제거함으로

써 단독 GPS보다 정확한 위치값을 계산한다(그림 4).

SBAS는 DGPS의 기본개념으로 LBAS와 동일하다. 다만 LBAS가 보정오차의 전송을 기준국 GPS에서 방송하는 것과 다르게 오차보정용 위성에서 보정오차를 방송한다. 사용자의 GPS는 오차보정용 위성에서 직접 보정오차를 수신하여 오차를 제거한다. SBAS는 지상관제 부문, 위성 부문, 사용자 부문으로 나눌 수 있다.

지상관제부는 해당 지역에 오차를 계산하여 오차보정용 위성으로 전송할 수 있는 기준국, 처리센터, 통신 네트워크로 구성되어 있다. 위성 부문은 오차보정용 정지 궤도 위성이 존재하고 있다. GPS 위성이 정해진 궤도를 일주하는 것과 달리 오차보정용 위성은 정해진 궤도상에서 지구와 함께 공전하며 정해진 지역을 포함하는 오차보정 신호를 방송한다. 사용자 부문

은 GPS 수신기와 안테나를 말하며, 사용자는 SBAS 신호를 수신할 수 있는 안테나와 수신기만으로 간편하게 DGPS를 이용할 수 있다.

2.2 자세센서(가속도, 자이로, 지자기)

자세센서는 가속도 센서, 자이로 센서, 지자기 센서로 구성되며 방위각인 Yaw 각과 Roll, Pitch 각을 측정하여 자세를 알려주는 일종의 통합 센서이다.

가속도 센서는 물체의 가속도, 중력 등을 감지하는 센서로 직선적인 움직임을 감지한다. MEMS (Micro Electro Mechanical System) 기술이 가속도 센서에 적용되면서 이는 소형화, 저전력화 되었다. 가속도 센서의 기본 원리는 단위시간당 속도의 변화를 검출하는 것이다. 종래에는 기계식 센서가 이용되었으나 현재에는 반도체식을 이용한 MEMS 제품이 주류를 이루고 있다. MEMS 제품은 소형이면서도 정밀한 측정이 가능하다는 장점이 있다.

가속도 센서는 1축, 2축, 3축 등 축의 수에 따라 분류되며, 3축 가속도 센서는 x, y, z, 3축의 방향으로 가속도를 측정할 수 있다. 이는 중력 가속도를 기준으로 물체의 기울어진 각도와 각방향의 가속도로부터 물체의 움직임을 검출할 수 있음을 의미한다.

지자기센서는 지자기를 검출하여 자북으로부터 시계방향으로 360°에 해당하는 방위를 나타낸다. 지자기의 크기는 0.5 G 정도로 아주 미소하지만 반도체형 자기센서로 검출이 가능하다. 그림 5는 지구 자기장 벡터의 3차원 표현이며 그림에서 방위각 α 는 수식 1과 같이 구할 수 있다. 식 1에서 He_y 는 y축 방향의 지구자기장 벡터이며, He_x 는 heading 또는 x축 방향으로의 지구자기장 벡터를 의미한다.

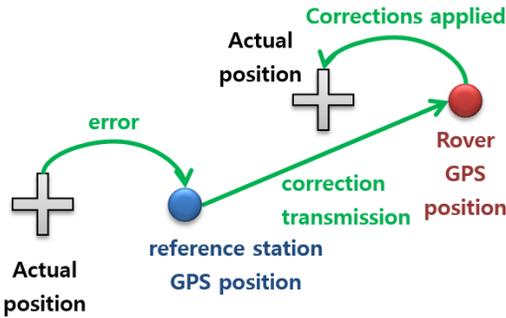


Fig. 4. LBAS (Local Based Augmentation System).

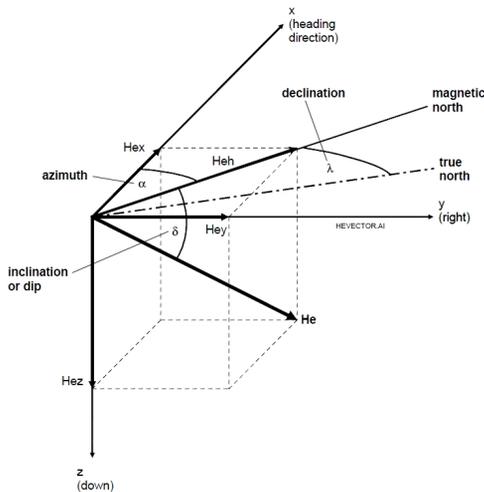


Fig. 5. Earth's magnetic field vector.

$$\alpha = \arctan \frac{He_y}{He_x} \tag{1}$$

질량을 가진 물체가 운동을 하면 각속도의 변동이 발생한다. 자이로센서는 각속도의 변동으로 인한 코리올리힘을 검출한다. 그림 6에 나타난 바와 같이 질량 m 에 작용하는 코리올리힘 F_c 는 속도 v , 각속도 Ω 의 벡터의 곱에 의해서 수식 2와 같이 주어진다.

$$F_c = 2mv \times \Omega \tag{2}$$

MEMS 센서들은 저가와 소형화를 이루었지만 바이어스의 안정성 저하와 노이즈 증가를 초래했다. 특히 자이로센서 값을 적분해서 자세를 계산하는 것은 센서의 드리프트로 인해 발산하는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 여러 센서들의 결합으로 극복하고자 가속도센서와 자이로센서를 보정하여 Roll, Pitch각을 측정하고 지자기센서로 Yaw각을 보정하는 방식의 장치로 구성하였다.

앞서 선정한 시스템, 위치센서, 자세센서를 포함한 증강현실 개발 툴킷의 하드웨어는 그림 7과 같이 제작했으며, 센서들을 사용하여 위치기반 증강현실을 구현할 수 있는 고정밀 증강 소프트웨어를 그림 8과 같이 구현하였다.

고정밀 증강 소프트웨어는 GPS 포트가 연결됨과 동시에 GPS 파싱과 지심좌표계 변환을 지속적으로 수행하며, 하드웨어 포트가 연결되면 이동형단말기의 자세결정을 지속적으로 수행한다. 위치 저장 버

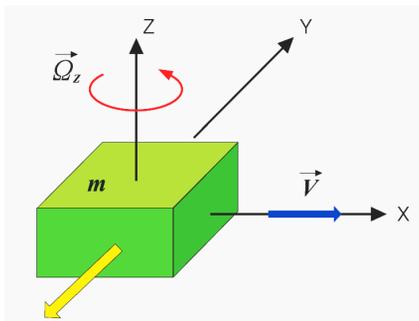


Fig. 6. Coriolis force.



Fig. 7. Hardware for SMART Groundwater management solutions.

튼을 클릭하면 현재 위치의 좌표를 텍스트형식으로 저장한다. 기 저장된 좌표가 있으면 현 위치와 자세 값을 이용해 기 저장된 좌표를 카메라 좌표계로 변환한다. 이어서 변환한 좌표에 대한 투영 변환을 수행하고, 투영점이 영상평면 상에 존재하면 좌표를 객체화하여 표현한다.

고정밀 증강 소프트웨어의 각 창 및 버튼의 기능으로 그림 8의 ①은 카메라를 통해 취득한 영상정보 및 증강현실로 구현한 좌표점이다. 붉은 점이 기 취득한 좌표를 나타내고 있으며 숫자 0은 좌표의 고유 번호이다. ②는 소프트웨어의 메시지창이다. 사용자가 명령한 동작에 따른 수행 성공여부를 메시지로 출력하게 된다. ③은 GPS에서 받은 좌표를 출력하는 창이다. 좌표는 위도, 경도, 고도, 지심좌표 x, y를 출력하며, GPS 신호의 상태를 보여준다. ④는 단말기의 자세값이다. 통합 센서 하드웨어에서 받은 Yaw, Roll, Pitch를 출력한다. ⑤는 GPS, 센서의 포트 선택 박스이다. 단말기에 연결된 포트들 중 원하는 포트를 직접 선택하게 된다. ⑥은 센서 통신 버튼이다. 'port open' 버튼으로 센서와 통신 시작, 'port close' 버튼으로 통신을 종료 할 수 있다. ⑦은 GPS 통신 버튼이다. 'GPS open' 버튼으로 GPS와 통신 시작, 'GPS close' 버튼으로 통신을 종료 할 수 있다. ⑧은 현재 위치 좌표 저장 버튼이다. 'New File' 버튼 혹은 'File Open' 버튼을 눌러 text 파일을 불러온 후 활성화되며 'save location' 버튼을 누를 때마다 현재의 좌표점이 텍스트파일에 저장된다.

3. 지도와 지하수 계측 데이터 연동

본 연구에서 구현한 고정밀 증강현실 소프트웨어

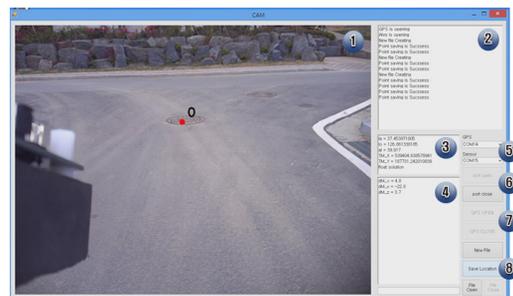


Fig. 8. Based software for High accuracy augmented reality.

에 수변지하수 시설물 중 방사형 집수정의 데이터를 연동하였다. 설계도면을 기반으로 3차원 모델링한 집수정에 방류펌프 가동상태, 취수펌프 가동상태, 배수펌프 가동상태, 채수펌프 가동상태, 집수밸브 상태, 집수정 수위, 수위 인터락, 방류펌프 회전수, 취수펌프 회전수, 방류압력, 취수압력, 방류유량, 취수유량, 집수관 유량, 유효전력, 유효전력량 등의 데이터를 연동하였다. 연동된 집수정 모델을 영상정보

위에 증강하여 지하수 GIS 증강현실 소프트웨어를 구현하였다(그림 9).

그림에서 ②는 사용자와 객체의 현재위치를 표현하는 미니맵이다. ①의 안내지도 기능을 통하여 더욱 자세하게 위치 확인이 가능하다. ③과 ④는 각각 센서의 연결 상태를 확인하는 상태등이다. 위치센서가 정상적으로 연결되어 있으면 ③번 등이, 자세센서가 정상적으로 연결되어 있으면 ④번 등이 각각 점등된

Table 2. Monitoring data representation.

Monitoring data	State	Representian	Monitoring data	State	Representian
Discharge pump operating status	Operation	Rotary pump	Collecting well water level	Groundwater level change	Value
	Non operation	Non-rotary pump	Water level interlock	Groundwater level	Flashes
	Disorder	Flashes pump	Discharge pump rotation	Rev count	Value
Water collecting pump operating status	Operation	Rotary pump	Water collecting pump rotation	Rev count	Value
	Non operation	Non-rotary pump	Discharge pressure	Pressure	Value
	Disorder	Flashes pump	Collecting pressure	Pressure	Value
Drainage pipe operating status	Operation	Pipe operation	Discharge flow rate	Rate of flow	Value
	Disorder	Pipe non operation	Collecting flow rate	Rate of flow	Value
Water sampling pipe operating status	Operation	Pipe operation	Collecting pipe flow rate	Rate of flow	Value
	Disorder	Pipe non operation	Effective power	Electricity	Value
Catchment valve status	OPEN	Pipe operation	Active power	Wattage	Value
	CLOSE	Pipe non operation			

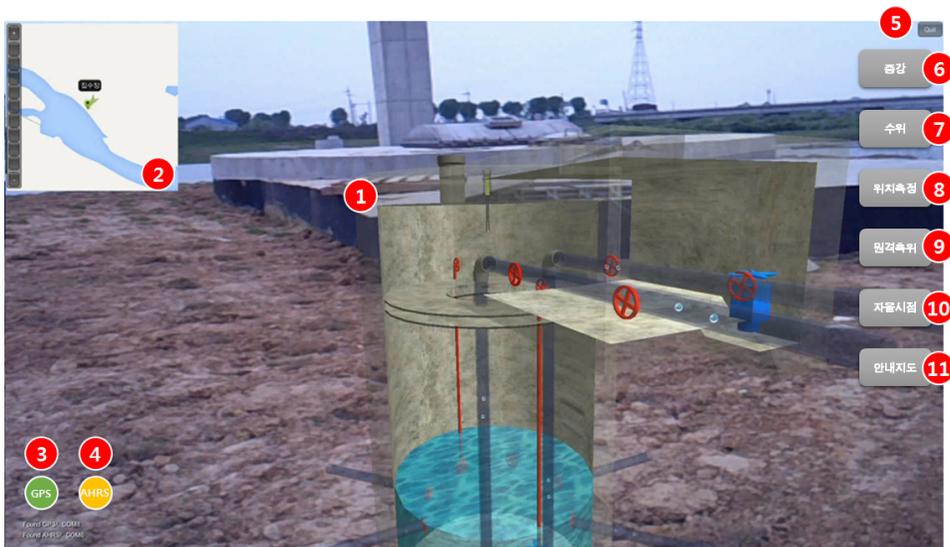


Fig. 9. Software for augmented raelity of collecting well.

다. ⑤는 프로그램의 종료 버튼이다. ⑥ ~ ⑪은 각각 프로그램의 기능을 구동하는 버튼이다. 본 시스템은 증강기능, 수위기능, 위치측정기능, 원격측위기능, 자율시점기능, 안내지도기능을 포함하고 있다.

증강현실 기능은 하드웨어의 카메라로 입력된 영상 위에 집수정의 각종 운영정보를 증강하여 모니터링하는 기능이다. GPS와 자세센서로부터 입력되는 하드웨어의 위치정보, 자세정보를 실시간으로 반영하여 정밀한 증강이 가능하다. 관제 시스템의 서버와 실시간으로 연동되어 각종 모니터링 데이터를 실시간으로 표현한다.

관제시스템으로부터 방류펌프 가동상태, 취수펌프 가동상태, 배수펌프 가동상태, 집수밸브 가동상태, 채수밸브 가동상태, 집수정수위, 수위인터락, 방류펌프 회전수, 취수펌프 회전수, 방류압력, 취수압력, 방류유량, 취수유량, 집수관 유량, 유효전력, 유효전력량, 각 관측소의 수위, 수온, 전도도, 수심의 정보를 모니터링하여 시각적, 수치적으로 표현가능하다. 모니터링 데이터에 대한 시각적, 수치적 표현 방식은 표 2에서 확인 할 수 있다.

수위증강 기능은 집수정 수위로부터 예상되는 등수위선과 수면저하곡선을 3D로 표현하는 기능이다. 본 시스템에서는 등수위선을 그리기 위해 식 3과 같은 평형방정식(equilibrium equation) 또는 Thiem의 방정식을 사용한다. 하천 수위와 동일한 수위(H)까지의 거리(R)를 계산하고 집수정의 중심에서 하천수면까지의 거리를 이용하여 등수위를 이루는 타원체를 정의하고 있다(그림 10). 식 3에서 Q는 양수

율(m^3/sec), K는 투수계수(m/sec)이며, r_1 은 집수정에서 관측정까지의 거리, h_1 은 관측정에서의 수위를 의미한다.

$$H = \sqrt{\frac{Q}{\pi K} \ln\left(\frac{R}{r_1}\right) + h_1^2} \quad (3)$$

본 시스템은 고정밀 위치센서를 통하여 사용자의 위치정보를 25 cm 이하의 정확도로 수신한다. 위치측정 기능은 버튼을 누르는 즉시 사용자의 현재 위치를 텍스트형태로 저장하는 기능이며, 위치정보는 안내지도 기능에서 실시간으로 확인이 가능하다. 또한, 하천, 펜스 등에 막혀 접근이 어렵거나 상부 구조물로 인해 GPS 위성신호의 수신이 어려운 목표물의 위치 좌표를 측정할 수 있도록 원거리 위치측정 기능을 구현하였다.

기능의 사용은 위치센서와 자세센서로부터 위치정보와 자세정보를 실시간으로 수신하고 있는 상태에서 이동형단말기로부터 취득된 영상의 중심점을 목표물에 대응시킨다. 서로 떨어진 두 지점에서 목표물을 향하고 있는 위치 정보와 자세 정보를 취득한다(그림 11). 첫 번째 지점에서 제1점 버튼을 클릭하여 첫 번째 지점의 좌표를 저장한 뒤, 두 번째 지점으로 이동하여 제2점 버튼을 클릭하여 두 번째 지점의 좌표를 저장한다. 취득한 두 지점의 정보를 기반으로 삼각한 수 및 삼각측량법을 이용해 원거리에 위치한 목표물의 좌표를 산출한다. 해당 좌표는 텍스트형태로 저장되며, 산출된 좌표의 정확도는 약 50 cm 이내이다.

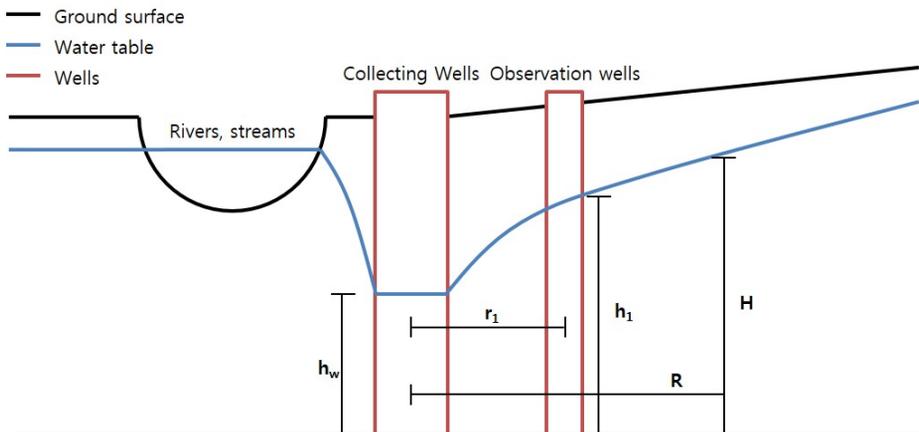


Fig. 10. Equipotential line model.

자율시점 기능은 집수정의 증강을 해제하고 사용자가 자유롭게 시점을 변경할 수 있는 기능이다. 상하좌우 이동, 회전, 확대축소를 통하여 위치를 이동

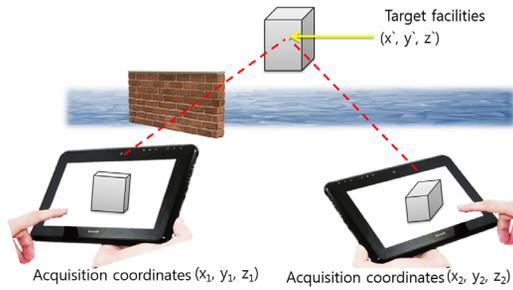


Fig. 11. Concept of remote location measurement.

하지 않고 사용자가 필요한 화면에서 집수정의 모니터링이 가능하다(그림 12). 안내지도 기능에서는 사용자의 위치 및 각 관정의 위치를 확인할 수 있다. 지도의 확대, 축소 및 이동이 가능하며, 사용자의 현재 위치를 트래킹한다. 또한 사용자의 방위, 자세정보를 실시간으로 확인이 가능하며, 위도, 경도, 고도의 수치를 확인할 수 있다(그림 13).

본 연구에서는 수변지하수 시설물 중 방사형 집수정의 데이터와 지하수의 실시간 계측 데이터와 연동하여 이를 지하수와 지하수 시설물의 모니터링 및 방사형 집수정의 3D 지도로 활용이 가능함을 확인하였다. 고정밀 증강현실 소프트웨어의 3D 모델링과 데이터 연동의 대상은 지하수 구조물뿐만 아니라



Fig. 12. Freeview function.

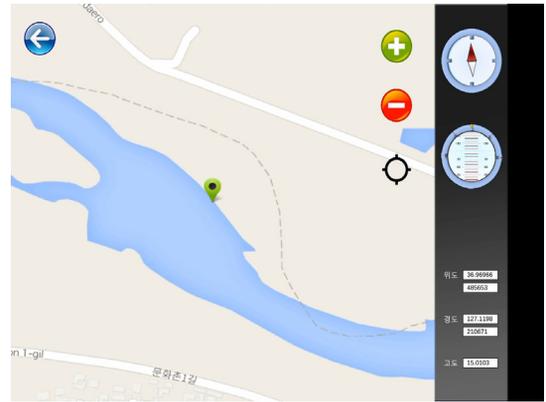


Fig. 13. Guide map function.

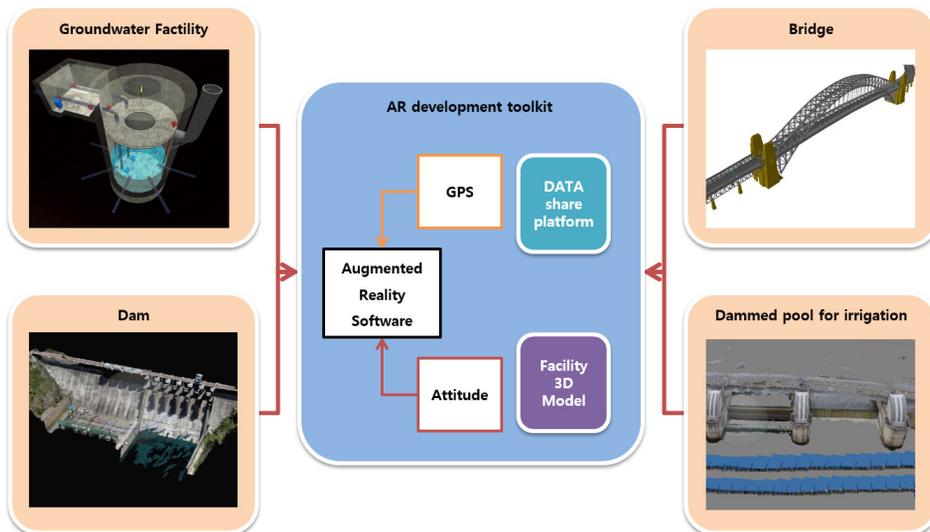


Fig. 14. Expand for Waterside structures 3D map.

교량, 댐, 교량, 보 등의 수변지역 구조물로의 확장이 가능하다(그림 14). 정밀 한 위치정보를 가진 수변구조물의 3D 모델은 수변구조물의 피해영역 추출 등에 활용할 수 있다(Kim *et al.*, 2016). 본 연구를 통하여 개발된 솔루션의 데이터 연동을 확장시킨다면 수변지역 구조물의 모니터링 및 재난 시 피해영역 감지 등에 활용될 수 있을 것으로 기대하는 바이다.

4. 결 론

본 연구에서는 증강현실 기술을 활용한 첨단 지하수 관리 및 서비스 체계를 개발하였다. 특히 지하 시설물 중 수변지역의 지하수 시설물에 대한 3D 지도로 활용하여 지하수의 실시간 계측 데이터와 연동시켜 이를 지하수와 지하수 시설물의 모니터링에 활용하고자 하였다.

이를 위하여 고정밀 위치센서, 자세센서를 결합한 하드웨어와 기반 증가 소프트웨어로 구성된 증강현실 개발 툴킷을 구현하였다. 고정밀 증가 소프트웨어에 수변지하수 시설물 중 방사형 집수정을 설계 도면을 기반으로 모델링하고 모니터링 데이터를 연동하였다. 모니터링 데이터를 연동한 집수정 모델을 영상정보 위에 증강하여 지하수 GIS 증강현실 소프트웨어를 구현하였다. 구현된 소프트웨어는 위치센서와 자세센서로부터 입력되는 데이터를 실시간으로 반영하여 기존의 증강현실 솔루션들에 비하여 정밀한 증강이 가능하였다. 또한 관계 시스템의 서버와 실시간으로 연동하여 모니터링을 위한 각종 데이터를 실시간으로 확인할 수 있었다.

본 연구에서 개발된 솔루션은 수변지하수의 구조물에 그 역할이 집중되어 있다. 그러나 본 솔루션은 연동되는 데이터에 따라서 확장이 가능하다. 지하수 시설 외에 교량, 댐, 보 등의 모니터링 데이터를 연동한다면 수변지역 구조물 모니터링 솔루션으로의 발전이 가능하다. 이는 수변지역 구조물을 현장에서 간편하고 직관적으로 모니터링이 가능하며, 더욱 정확하고 효율적인 의사결정에 도움을 줄 것으로 기대되는 바이다.

사 사

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 물관리연구사업(11기술

혁신C05)에 의한 '수변지하수활용 고도화 연구단'의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Choi, B.J., 2012, Introduction of Mobile AR for Water Supply Facilities Management System-Mainly with on Asan city. master's thesis, Myongji University, Yongin, 96 p (in Korean with English abstract).
- Jung, S.H., Kim, K.J. and Sim, C.B., 2011, Water-well management data modeling using UML 2.0 based in u-GIS environment. The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, 6, 523-531 (in Korean with English abstract).
- Jung, S.H. and Sim, C.B., 2012, A study on ubiquitous tree management system based on GIS and smart-phone for efficiency of arboreal growth management. Journal of the Korea Society of Computer and Information, 17, 119-130 (in Korean with English abstract).
- Kim, M.C., Yoon, H.J., Chang, H.J. and Yoo, J.S., 2016, Damage analysis and accuracy assessment for riverside facilities using UAV images. Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science, 24, 81-87 (in Korean with English abstract).
- Kim, T.H., Kim, B.H., Han, Y.S., Lee, S.H. and Choi, J.S., 2014, Implementation of constructor-oriented visualization system for occluded construction via mobile augmented-reality. Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, 51, 55-68 (in Korean with English abstract).
- Lee, B.H., Kim, Y.B., Seol, M.G., Song, Y.G. and Song, M.Y., 2002, Development study of ground water management system making use of GIS (well analysis program, connection program of ground water modeling). Proceedings of the KSEG Conference, 235 p (in Korean with English abstract).
- MLTM (Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs), 2008, Completed Report of Information Strategy Planning (ISP) for the Underground Facility Integrated Management. Seoul (in Korean).
- Yeon, Y.K. and Han, G.H., 2013, A Study on the implementation of standards-based web geographic information service. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 16, 47-58 (in Korean with English abstract).

Received : June 10, 2016
 Revised : June 27, 2016
 Accepted : June 28, 2016