



IoT기반 저수지/사방댐 담수량 및 토사량 모니터링 시스템 설계 및 구현

홍성표

조선대학교 IT융합대학 컴퓨터공학과

Design and Implementation of amount of contained water, earth and sand Monitoring System based on IoT

Seong-Pyo Hong

Department of Computer Engineering, Chosun University, 309 Pilmun-Daero, Dong-Gu, Gwang-ju 61452, Korea

[요 약]

본 논문은 기존의 단순한 수위측정 방식과는 달리 저수지 및 사방댐 등의 담수량 및 토사의 퇴적량을 단위체적블록 객체모델링을 통하여 실시간 측정하고, 해당 정보를 영상 정보와 같이 제공하는 IoT기반 소규모 저수지/사방댐 담수량 및 토사량 모니터링 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 점차 강화되고 있는 사방댐 관리규정과 함께 보다 정확한 준설계획의 수립과 효율적인 물 관리가 가능하고, 산사태 등의 재해사고 방지에 매우 효과적이다.

[Abstract]

This paper proposes the IoT based monitoring system to reservoir and erosion control dam that measure amount of contained water and amount of sediment by real time through unit volume block object modeling and support the related image. The proposed system is more effective in establishing a more accurate dredging plan and effectively managing efficient water management plans, and effectively preventing accidents such as landslides, etc.

색인어 : 사물인터넷, 모니터링 시스템, 다중센서, 임펄스레이더, 초광대역, 3차원 지리정보시스템

Key word : IoT(Internet of Things), Monitoring system, Multiple Sensor, Impulse-Radar, UWB(Ultra-wideband), Three-dimensional GIS

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2017.18.4.787>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 20 July 2017; Revised 27 July 2017

Accepted 28 July 2017

*Corresponding Author; Seong-Pyo Hong

Tel: +82-062-230-7758

E-mail: hongsp@chosun.ac.kr

I. 서론

집중호우나 태풍 시 쓸려 내려오는 토사나 유목을 막아줌으로써 산사태 및 수해방지에 큰 역할을 하고 있는 사방댐은 전국의 산림 내 계곡 등 재해우려지역에 약 5,500여개가 설치되어 있으며 지속적으로 확대되고 있는 추세다. 이러한 저수지나 사방댐은 안정적인 저수용량 확보나 산사태 방지 등, 본연의 기능을 수행하기 위해서는 반드시 준설작업이 필요하고, 정확한 준설시기와 준설규모 파악을 위해서는 무엇보다도 담수량과 토사량의 정확한 측정이 매우 중요하다.

기존의 측정방법 중 수위표지판을 이용한 방법은 기준이 되는 바닥이 고정된 상태여서 바닥면과 수위면 사이에 토사나 부유물의 침적으로 인한 기준면 변화에 대응 하지 못하는 문제점이 있으며, 수압센서를 이용한 측정 방법은 토사나 부유물의 침적으로 인한 센서 하중의 변화를 보정할 수 없어 실제 수량과 차이를 보이는 경우가 많다. 최근 많이 사용되고 있는 초음파센서를 이용한 수위 측정 방법의 경우 음파를 이용하기 때문에 기후 변화에 따른 매질 밀도 변화에 측정 결과가 달라지는 경우가 있어 주기적이고 상시적인 보정 및 관리가 필요하며, 일부 GIS 기술을 활용하고 있는 기술의 경우 수동 또는 반자동으로 바닥의 수심 데이터를 측정한 후 GIS 데이터와 매칭 하는 형태다.[1][2]

본 연구에서 제안하는 IoT기반[3] 소규모 저수지/사방댐 담수량 및 토사량 모니터링 시스템은 담수량 및 토사의 퇴적량을 단위체적블록 객체모델링을 통하여 실시간 측정하고, 해당 정보를 영상 정보와 같이 제공함으로써, 저수지 및 사방댐 등의 상태 변화 및 위험 감지와 정확한 준설시기 및 준설규모 파악을 위한 정보를 제공하는 시스템을 개발 하고자 한다.

II. 관련 연구

2-1 국내외 연구 현황

담수량 및 토사량 모니터링 시스템분야는 기존 국내 하천이나 댐 등이 대규모 준설사업을 주기적으로 수행할 이유가 거의 없었기 때문에 준설에 대한 연구가 미진하였으며, 정확한 측정에 의한 데이터보다는 대부분 실무진들의 현장경험에 의존하는 경우가 많았다.

담수량과 토사량의 측정방법은 표 1과 같이 발전해 왔다. 2세대 기술인 수압센서를 이용한 측정 방법은 토사나 부유물의 침적으로 인한 센서 하중의 변화를 보정할 수 없어 실제 수량과 차이를 보이는 경우가 많고, 최근 많이 사용되고 있는 3세대 기술인 초음파센서를 이용한 수위 측정 방법의 경우 음파를 이용하기 때문에 기후 변화에 따른 매질 밀도 변화에 측정 결과가 달라지는 경우가 있어 주기적이고 상시적인 보정 및 관리가 필요하다. 기타 하상 및 항만 준설을 위한 물리적 측량 기술로는

시추(보링;Boring)에 의해 직접 시료를 채취 후 측량 하는 방법, 2주파 형식의 수심 측정기로 퇴적층을 분석하는 방법, GPS와 음향측심기를 이용하여 위치자료와 수심자료를 측정하여 GIS를 이용한 3차원 하상 측정법 등이 있다. [4]

한편 정보통신기술의 발전과 공간정보 서비스의 다양화로 인해 다양한 측정 장비와 방법들이 개발되고 있는데 레이더, 광학카메라 등 다양한 센서를 기반으로 한 모델링 기법들이 이용되고 있다. 그러나, 이러한 모델링 기법들은 대용량의 공간자료에 대한 처리속도, 3차원 처리기술, 가상현실 처리기술 등의 제약조건으로 인해 일부 전문가들의 공간 분석시스템이나, 건축토목공사를 위한 시뮬레이션 등 정보의 구축 및 유지관리를 통한 지속적사용의 목적보다는 단기간의 프로젝트에 제한적으로 사용되고 있고, 일부 GIS 기술을 활용하고 있는 기술의 경우 그림 1과 같이 수동 또는 반자동으로 바닥의 수심 데이터를 측정한 후 GIS 데이터와 매칭 하는 형태이다.[5]

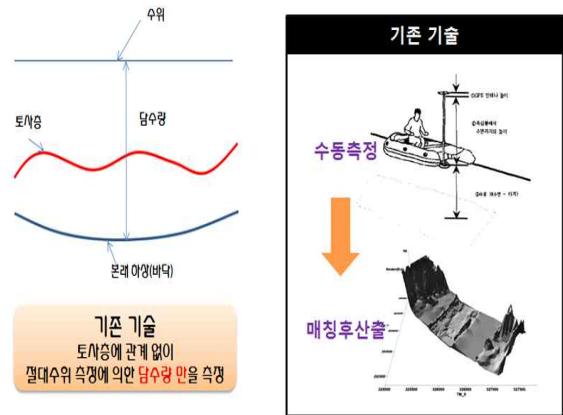


그림 1. 수위측정 및 GIS 적용(기존)

Fig. 1. Measurement of water level and applies the GIS

표 1. 관련 기술의 발전 현황

Table. 1. Status of development of related technologies

	Generation 1	Generation 2	Generation 3
Monitoring methods	Visual inspection	Water level sensing	Water level and Earthy materials sensing
Measuring device	Water level sign	Ultrasonic waves, Hydraulic pressure sensor	Multiple sensor
Measurement technique	Vertical weight method	Sensor, Database	Sensor, Database + GIS

국외의 연구현황은 다음과 같다.

미국의 경우 D2M2(Dredged Material Disposal Management), DREDGE 모형, ST-FATE(Short-Term Fate)와 LTFATE(Long-Term Fate)등의 준설사업 모형기술 등을 미육군공병단에서 준설계획 시 사용하고 있으며, ADCPs(Acoustic Doppler Current

Profilers)기술을 이용한 하상측정 시스템도 개발되어 있다.

ADCP는 그림 2와 같이 4개의 빔에서 쏘아진 초음파의 도플러 효과를 이용하여 유속을 측정하며, 이때 4개의 빔을 통해 초음파를 한번쏘아 반사파를 받은 후 위상차로 유속을 산정하는 비 간섭성 맥동 대 맥동방식(pulse to pulse incoherent or smart pulse off option) 방식과 4개의 빔을 통해 초음파를 두 번 연속으로 발사한 후 수신된 2개의 초음파의 위상차를 통해 유속을 산정하는 간섭성 맥동 대 맥동 방식(pulse to pulse coherent or smart pulse on option) 방식이 있다. 일반적으로 pulse to pulse coherent 방식이 동일한 수심에서 보다 많은 수의 유속분포를 얻을 수 있으며, 일반적으로 수심이 10m이하의 중소규모 하천에서는 pulse to pulse coherent 방식이 많이 사용되고 있고, 그 이상의 수심인 경우에는 pulse to pulse incoherent 방식으로 측정한다. 그러나 상기 기술은 센서 활용에 제약이 있고, 장기적인 데이터 축적 및 분석이 불가능하며, 실시간으로 데이터를 받을 수 없다는 단점이 존재한다.[6][7]

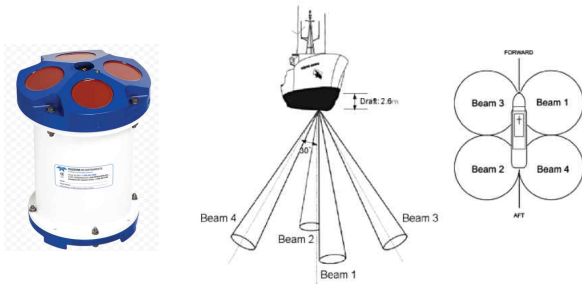


그림 2. ADCPs 기술 개념도
Fig. 2. ADCPs technical concept diagram

2-2 UWB 무선통신 및 UWB 레이더

UWB(ultra wide band) 무선기술은 무선반송파를 사용하지 않고 그림 3과 같이 기저대역에서 수 Ghz 대의 매우 넓은 주파수를 사용하여 통신이나 레이더 등에 응용되고 있는 새로운 무선 기술이다. 특히 이 기술은 수 나노 혹은 수 피코 초의 매우 좁은 펄스를 사용함으로써 기존의 무선 시스템의 잡음과 같은 매우 낮은 스펙트럼 전력으로 기존의 이동통신, 방송, 위성 등의 기존 통신 시스템과 상호간섭 영향 없이 주파수를 공유하여 사용할 수 있으므로 주파수의 제약 없이 사용 가능한 시스템으로 새롭게 대두되고 있다.

미국의 경우에 UWB에 관한 연구는 1994년 이전에는 보안으로 분류되었으나, 그 이후에는 많은 부분이 군사보안에서 해제됨으로써 Time Domain Corp., Multispectral Solution Inc., Pulse-Link Inc. 등 미국 내 여러 업체들에서 이 기술의 상업화를 위한 개발에 박차를 가하고 있다. FCC가 제한적이지만 2002년 UWB 시스템을 3.1Ghz 이상의 주파수 대역에서 제한된 용도로 사용할 수 있도록 허가하였으며, IEEE 산하 802.15.3

working group에서는 무선 개인통신 방식으로 UWB 시스템을 사용하기 위한 표준화 작업도 활발히 진행 중이다.[8]

레이더는 그림 4와 같이 전파를 방사하여 그 반사파에 의해 목표의 존재 유무, 거리, 상태 등을 확인하기 위한 무선장치를 말한다. 일반적으로 레이더는 가능한 많은 신호를 수신할 수 있도록 탐사해상도를 높이고 다양한 정보를 추출할 수 있다.

UWB 레이더에서도 펄스의 크기가 매우 짧을수록 많은 정보를 포함할 수 있게 된다. 이러한 장점은 현재의 일반적 레이더의 제한적 특성을 개선할 수 있으며, 기존에 사용되는 펄스 레이더에 비해 UWB 레이더가 가지는 장점은 다음과 같다.[9]-[10]

- 측정된 목표물에 대한 정밀도가 향상된다.
- 비나 눈, 안개 등의 자연적인 환경에 대한 영향이 줄어든다.
- 목표물에 대한 검출확률과 검출된 목표물에 대한 지속적인 관찰 성능이 개선된다.
- 방사된 신호의 특성을 변화시켜 아주 좁은 안테나 패턴을 만들 수 있다.

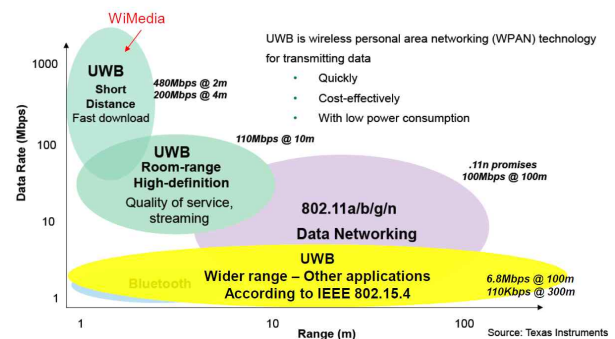


그림 3. UWB 스펙트럼
Fig. 3. UWB spectrum

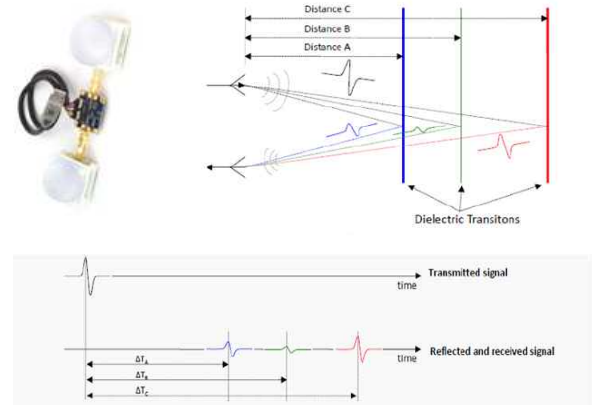


그림 4. UWB 레이더 센서
Fig. 4. UWB Radar Sensor

III. 시스템 설계 및 구현

3-1 시스템 플랫폼 설계

본 연구에서는 담수량 및 토사의 퇴적량을 단위체적블록 객체모델링을 통하여 실시간 측정하고, 해당 정보를 영상 정보와 같이 제공함으로써, 저수지 및 사방댐 등의 상태 변화 및 위험 감지와 정확한 준설시기 및 준설규모 파악을 위한 정보를 제공하는데 목적이 있다. 담수량 및 토사량 모니터링 시스템을 구현을 위해 그림 5와 같이 하드웨어 플랫폼을 설계하였으며, 시스템 진행 흐름은 그림 6과 같다.



그림 5. 시스템 구성도
Fig. 5. Structure of the proposed systems



그림 6. 시스템 진행 흐름도
Fig. 6. System Progress Diagram

3-2 다중센서 모듈 설계 및 구현

물과 ‘토사’ 등 서로 다른 매질의 경계면 데이터 측정 및 거리 검출을 위해 그림 7과 같이 마이크로웨이브 대역의 임펄스-

레이더[11]와 초음파대역을 사용하는 소나-사운드어 GPS 및 고도계를 결합한 다중센서 모듈을 설계 및 구현하였다. 다중센서는 마이크로웨이브와 초음파를 동시에 발진함으로써 하상에서 반사되어 되돌아오는 신호를 수신하여 퇴적층을 분석하게 되는데, UWB 마이크로파는 수면에서 반사가 되며 2중 주파수 초음파는 수면을 투과하여 반사가 되므로 퇴적층의 두께를 판단할 수 있다.

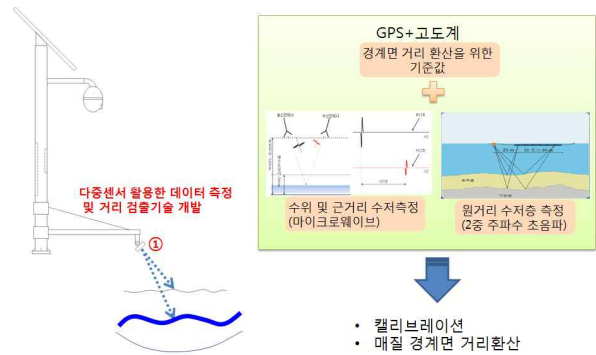


그림 7. 다중센서 모듈
Fig. 7. Multiple sensor module

임펄스-레이더 모듈의 아키텍처는 그림 8과 같이 지향성 초광대역 안테나, 임펄스 신호발생기, 임펄스 검출기, 고속의 A/D 변환기, 신호처리기 등으로 구성되어 있으며, 구현된 임펄스-레이더 모듈로 전라남도 화순군 장치저수지의 취수장에서 현장실험을 실시한 결과 표 2에서 보는바와 같이 목적피사체 및 투과매질에 따라 최대검출거리와 최대오차 값에서 차이가 있음을 확인하였으나, 오차 값은 소프트웨어를 통해 보정이 가능

하고, 검출거리의 경우 본 시스템은 소규모 저수지 및 사방댐을 대상으로 운영하기 때문에 현장 운영에 적합한 것으로 평가되었다.

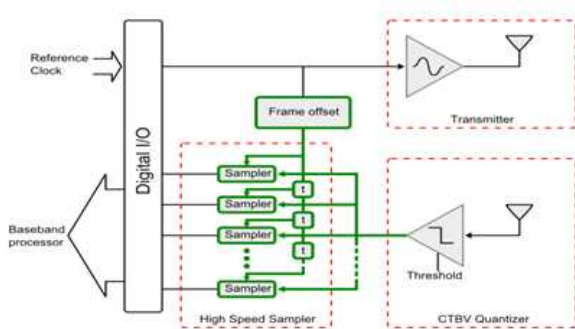


그림 8. 임펄스센서 모듈 아키텍처
Fig. 8. Multiple sensor module

표 2. 임펄스레이더 모듈 특성시험

Table. 2. A feature of impulse-Radar module

Goal Subject	Permeable medium	Maximum detectable distance	Sensitivity	Maximum error value
Metal	Atmosphere	1200.8 cm	-70dBm	0.8 cm
Water	Atmosphere	1199.6 cm	-85dBm	2 cm
Earthy materials	Atmosphere /Water	674.6 cm	-91dBm	7 cm

3-3 단위체적블록 객체 모델링 및 체적량 산출 설계 및 구현

사전에 드론, UAV와 GPS를 이용하여 지형정보를 습득한 후 그림 9의 수치표고형 생성 알고리즘을 이용하여 대상지형물의 GIS 정보를 바탕으로 저수지, 댐의 하상에 고도 값을 갖는 수치표고모형(DEM) 파일[12]을 제작하고, 하상 곡면 3D 모델링 기술을 적용하여 정확한 기초 데이터를 확보한 후, 그림 10의 단위체적블록의 객체모델링과 체적량 연산 알고리즘을 통해 정확한 체적량을 산출할 수 있도록 하였다.

단위체적블록 합계 프로세스는 다음과 같다.

- 셀의 표고 값을 결정 후 DEM파일을 이용하여 재 렌더링
- 저수지 전체(본래바닥과 만수위까지)를 톤 단위의 표고 값으로 블록화 한 객체로 제작
- 퇴적층 계산을 위한 벡터 분할객체 생성
- 매질의 경계면 단위로 담수량과 토사 퇴적량을 샘플링해서 DB화
- 기준이 되는 센서와 수위층의 좌표 값을 거리 값으로 환산하고 샘플링 데이터를 통해 담수량과 퇴적량을 산출

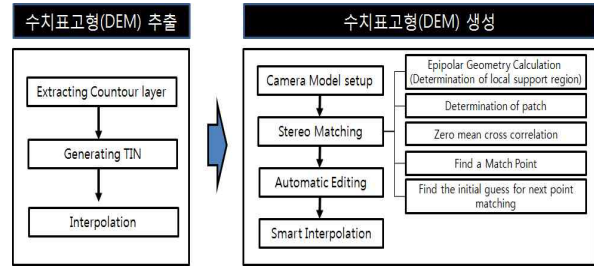


그림 9. 수치표고모형(DEM) 생성 알고리즘
Fig. 9. Generation algorithm of DEM

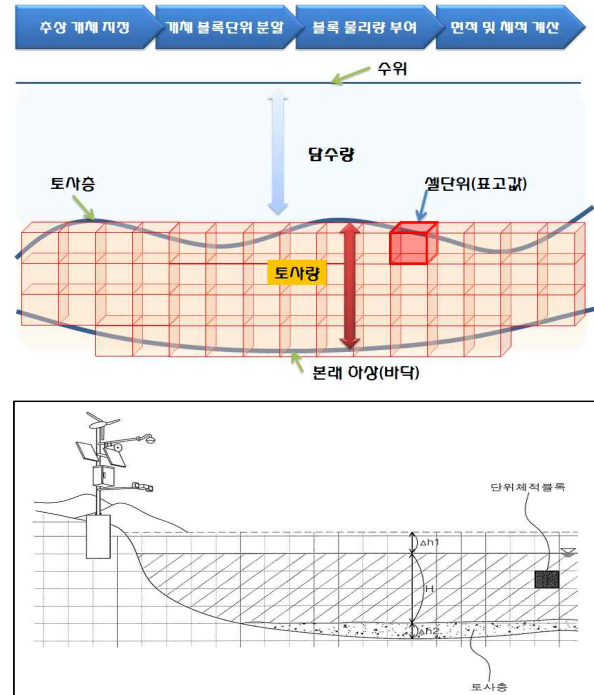


그림 10. 블록 객체를 이용한 담수량 및 토사 퇴적량 산출 알고리즘
Fig. 10. Algorithm of yields amount of contained water, earth and sand

3-4 관리용 UI 개발

시스템운영자의 사용 편의성을 위해 다음의 기능을 제공하는 관리용 UI를 구현하였다.

- 지역별, 촬영 시점별 축적 관리되고 있는 영상정보를 검색하고 사용자가 쉽게 해당 위치를 화면에서 확인할 수 있도록 조회하는 기능 추가
- 시스템에서 빠르게 데이터영상을 표출하고 서비스하기 위한 웹서비스용 타일 맵(Tiled Map) 생성 기능과 취득된 사진측량 영상의 개별 또는 일괄 등록 관리 기능
- Device API 표준을 이용하여 웹 애플리케이션이 디바이스의 자원들(GPS, 센서, 카메라 제어, 배터리 정보)을 접근 가능

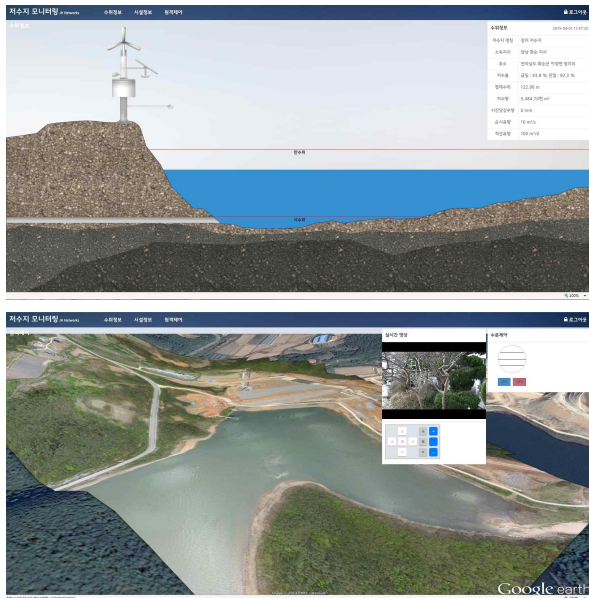


그림 11. 관리용 UI 화면
 Fig. 11. Snapshots of management UI

IV. 결 론

기후변화에 따라 홍수와 가뭄이 심화되고 있어 제방을 높이 쌓는 일차원적 대책으로는 침수피해 가능성 대비에 한계가 있으므로, 집중호우로 인한 도심 하천 범람을 막기 위해서는 사전에 퇴적토 등을 모니터링하고, 퇴적량 통계 D/B를 구축하여 정확한 준설계획을 수립할 필요가 있다.

IoT기반 소규모 저수지/사방댐 담수량 및 토사량 모니터링 시스템은 기존의 단순한 수위측정 방식과는 달리 저수지 및 사방댐 등의 담수량 및 토사의 퇴적량을 단위체적블록 객체모델링을 통하여 실시간 측정하고, 해당 정보를 영상 정보와 같이 제공함으로써 보다 정확한 준설계획의 수립과 효율적인 물관리 가능하여 산사태 등의 재해 사고를 예방 할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 본 시스템을 활용하여 현재수위 및 토사 그리고 시간당 강우량 데이터를 분석하여 수위에 따른 하천 수문 자동개폐 시스템으로 활용이 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] D. J. Daniels, Surface-Penetrating Radar, Sonar, Navigation and Series, *Institute of Electrical & Electronics Enginee*, pp.156-160, 1996.
- [2] John M. Reynold, An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, *John Wiley & Sons*, pp.674-689, 2011.
- [3] Sang-Gi Lee, Sei-Yoon Lee, Jeong-Chul Kim, “A Study on Security Vulnerability Management in Electric Power Industry IoT”, *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 17 No. 6, pp.499-507, Dec 2016.
- [4] Cam Nguyen, “Subsurface Sensors and Applications”, *Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering*, Vol 41, 2002.
- [5] Hofmann-Wellenhof, B., Lichenegger, H., and Collins, J, GPS, Theory and Practice, *Springer Veriag*, Austria, 1997.
- [6] Muste, M., Kim, D.S., and Gonzalez-Castro, J.A., “Near-Transducer Errors in ADCP Measurements: Experimental Findings”, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 136, No. 5, pp. 275-289, 2010.
- [7] Muste, M., Vermeyen, T., Hotchkiss, R., and Oberg, K. , “Acoustic velocimetry for riverine environments.” *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 115, No. 12, pp. 1297-1298, 2007.
- [8] L. Q. Yang and G. B. Giannakis, “Ultra-wideband communications: an idea whose time has come”, in *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 21, pp. 26-54, Nov.2004.
- [9] Igor Y. Immoreev, Sergey V. Samkov, The-Ho Tao, “Short-Distance Ultra-Wideband Radars. Theory and Designing”, *Aerospace and Electronic Systems Magazine*, Vol. 20, Issue 6, pp. 9-14, June 2005.
- [10] Yang-Sun Lee, Heau-Jo Kang, “Performance Improvement of TH PPM UWB-IR System with CCI Cancellor in Multi-User Interference Environment”, *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 5 No. 3, pp.171-175, Sep 2004.
- [11] Wehr, A. and Lohr, U., “Airborne Laser Scanning-An Introduction and Overview”, *ISPRS Journal of photogrammetry & Remote Sensing*, pp. 68-82, 2001.
- [12] Prima Oky Dicky Ardiansyah and Ryuzo Yokoyama, “DEM generation method from contour lines based on the steepest slope segment chain and monotone interpolation function”, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, pp. 86-101, 2002.



홍성표(SeongPyo Hong)

2001년 : 조선대학교 대학원 (공학석사)

2005년 : 조선대학교 대학원 (공학박사-시스템소프트웨어)

2006년~2012년: 조선대학교 산학협력단 BK21 연구교수

2015년~현 재: 조선대학교 IT융합대학 컴퓨터공학과 초빙객원교수

※ 관심분야 : 정보보호(Personal Information), IoT, 임베디드시스템 등