

IoT 기반 지능형 수위 모니터링 플랫폼 설계 및 구현

박지훈 · 강문성* · 송정현 · 전상민

서울대학교 생태조경·지역시스템공학부

*서울대학교 조경·지역시스템공학부, 서울대학교 농업생명과학연구원

서울대학교 그린바이오과학기술연구원

Design and Implementation of IoT-Based Intelligent Platform for Water Level Monitoring

Park, Jihoon · Kang, Moon Seong* · Song, Jung-Hun · Jun, Sang Min

Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University

**Department of Rural Systems Engineering, Seoul National University, Research Institute for Agricultural and Life Sciences, Seoul National University, Institute of Green Bio Science and Technology, Seoul National University*

ABSTRACT : The main objective of this study was to assess the applicability of IoT (Internet of Things)-based flood management under climate change by developing intelligent water level monitoring platform based on IoT. In this study, Arduino Uno was selected as the development board, which is an open-source electronic platform. Arduino Uno was designed to connect the ultrasonic sensor, temperature sensor, and data logger shield for implementing IoT. Arduino IDE (Integrated Development Environment) was selected as the Arduino software and used to develop the intelligent algorithm to measure and calibrate the real-time water level automatically. The intelligent water level monitoring platform consists of water level measurement, temperature calibration, data calibration, stage-discharge relationship, and data logger algorithms. Water level measurement and temperature calibration algorithm corrected the bias inherent in the ultrasonic sensor. Data calibration algorithm analyzed and corrected the outliers during the measurement process. The verification of the intelligent water level measurement algorithm was performed by comparing water levels using the tape and ultrasonic sensor, which was generated by measuring water levels at regular intervals up to the maximum level. The statistics of the slope of the regression line and R^2 were 1.00 and 0.99, respectively which were considered acceptable. The error was 0.0575 cm. The verification of data calibration algorithm was performed by analyzing water levels containing all error codes in a time series graph. The intelligent platform developed in this study may contribute to the public IoT service, which is applicable to intelligent flood management under climate change.

Key words : Internet of Things, Hyper-connected watershed, Intelligent Platform, Arduino, Water Level Monitoring

1. 서론

전 세계적으로 홍수와 태풍과 같은 자연재해 발생 빈도가 증가하는 추세이며, 최근 들어 홍수와 연관되어 발생하는 재해가 급격히 증가하였다 (UNISDR, 2015). 우리

나라에서 발생하는 자연재해도 집중호우, 태풍 등과 같은 기상학적 사건 (meteorological event)으로 인해 발생하는 경우가 대부분인 것으로 집계되었으며 이는 직간접적인 인명피해로 귀결된다 (NDIC, 2015).

IPCC(2014)는 자연 재해로부터 야기되는 피해를 저감하기 위해 기후변화를 이상 기후의 한 원인으로 규명하여 기후변화로 인한 영향을 최소화하는 적응에 대한 중요성을 강조하였다. 적응 정책을 충실히 이행하기 위해

Corresponding author : Kang, Moon Seong

Tel. : 02-880-4582

E-mail : mskang@snu.ac.kr

서는 기후변화, 사회/경제적 변화, 유역환경변화 등과 같이 다양한 요인에 내포한 복잡한 상호작용을 고려하고 실시간으로 변화하는 유역의 물순환 과정을 정량적으로 평가할 수 있어야 한다. 현재 홍수 관리 기법은 기후변화로 인해 변동성이 큰 기상자료와 유역의 환경 변화를 고려하여 피드백 과정을 통한 유역의 물순환을 해석하기에는 부족한 실정이다. 기후변화로 인해 실시간으로 변화하는 정보와 환경 변화를 고려하기 위해서는 피드백(feedback)이 가능한 지능형 홍수 관리 패러다임(paradigm)으로 전환이 필요하다.

지능형 홍수 관리를 실현하기 위해서는 우선적으로 실시간 정보 교환이 가능해야 하며 이를 바탕으로 정보의 피드백 과정이 수행되어야 한다. 유역을 하나의 관리 단위로 가정하여 유역 내에서 발생하는 다양한 정보를 수집, 분석, 이용하기 위해서는 초연결유역(hyper-connected watershed)의 구현이 필요하다. 초연결유역은 초연결이라는 개념에서 도입하여 정의하였다(WEF, 2012). 초연결유역은 유역 내의 기상/지형/수리/수문 등의 다양한 요소(component)를 독립된 객체로 인식하여 네트워크로 연결하고 객체가 제공하는 정보를 실시간으로 공유하는 유역을 의미한다. 초연결유역은 유역 내에서 물리적으로 연결된 요소를 대상으로 하는 것을 기본으로 하나 유역 단위의 연결을 구현할 때에는 네트워크로 연결되어 정보만 공유할 수도 있다. 초연결유역은 지능형 홍수 관리 플랫폼을 설계하는데 기반을 제공할 수 있다.

최근 들어 주목을 받고 있는 사물인터넷(Internet of Things, IoT)의 발현은 초연결유역을 구현하는 과정에 성장 동력을 제공한다. 유역을 구성하는 다양한 요소는 사물인터넷에 바탕을 둔 단위 객체로 구현하여 객체간 정보를 공유하도록 설계할 수 있다. 초연결유역을 바탕으로 설계한 단위 요소를 바탕으로 피드백이 가능한 지능형 홍수 관리 기법을 개발하기 위해서는 초연결유역에

대한 모니터링이 우선적으로 필요하다.

사물인터넷에 대한 연구는 지능형 교통시스템(Intelligent Transportation System, ITS), 지능형 자동차(intelligent automobile), 지능형 로봇(intelligent robot) 등과 같은 분야에서 선도하여 수행되었다. Miles et al.(2011)은 지능형 교통시스템을 유럽에 적용하는 가이드를 제시한 바 있다. Larue et al.(2015)은 ITS를 철도 산업에 적용하여 효과를 평가한 바 있으며, Kanarachos와 Kanarachos(2015)는 혼합 유전 알고리즘을 사용하여 지능형 도로 적용형 현가 장치를 개발한 바 있다. 사물인터넷에 대한 연구는 시스템 설계에 초점을 맞추어 수행하였으며 가전, 전력, 의료, 자동차 등과 같은 다양한 분야에 적용하고 있다. 기후변화 대응 유역단위의 수자원 관리에 대한 사물인터넷의 인식성은 높은 편으로 평가할 수 있으나 지능형 홍수 관리를 수행하기 위한 사물인터넷의 실제적인 적용은 부족한 실정이다.

본 연구의 목적은 사물인터넷 기반의 지능형 수위 모니터링 플랫폼을 설계하고 구현하여 기후변화에 대응한 IoT 기술의 홍수 관리 적용성을 평가하는데 있다.

II. 사물인터넷 기반 지능형 수위 모니터링 플랫폼 설계

1. 사물인터넷 개요

사물인터넷은 언제나(any time connection), 어느 곳(any place connection), 어떤 사물(any thing connection)과도 접속 가능한 것을 의미한다(ITU, 2005). 사물인터넷은 인터넷에서 시작하여 모바일 인터넷을 거쳐 발전하였으며 사람이 아니라 사물이 정보를 생산하여 활용하는 주체가 된다(Cha and Jin, 2015). 객체별로 독립적인 개

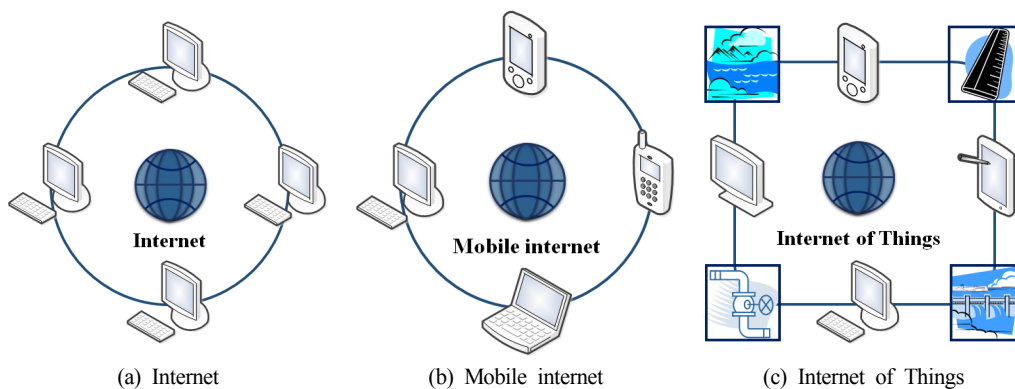


Figure 1. Generation process of the Internet of Things (Cha and Jin, 2015)

별 네트워크를 운영하는 것에서 탈피하여 상호 연결된 지능형 네트워크를 구성한다.

미국 국가정보위원회 (National Intelligence Council, NIC)는 사물인터넷을 국가 경쟁력에 영향을 미칠 6대 기술 중 하나로 선정하여 기술로드맵을 제시하였다 (NIC and SRI Consulting, 2008). 우리나라도 사물인터넷 기본계획을 발표하여 창의적이고 역동적인 사물인터넷 시장을 창출하기 위해 노력을 기울이고 있다. 우리나라는 사물인터넷의 주요 적용 분야를 개인 IoT, 산업 IoT, 공공 IoT로 구분하여 제시하고 있다. 공공 IoT는 재난, 재해를 방지, 환경 관리, 에너지 관리 등을 포함하며 수자원을 포함한 자원 관리도 해당된다고 볼 수 있다. Figure 1은 사물인터넷의 발생과정을 도시하고 있다.

2. 아두이노 개요

아두이노 (Arduino)는 사용하기 쉬운 하드웨어와 소프트웨어를 제공하는 오픈소스 (open-source) 기반의 단일 보드 마이크로컨트롤러 (microcontroller)이다 (Arduino, 2015). Massimo Banzi와 David Cuartielles가 고안하였으며, 하드웨어 및 소프트웨어 개발이 용이하여 다양한 상호작용 (interactive) 프로젝트에 사용되고 있다. 아두이노를 활용한 연구는 자동차의 비선형 군집주행 등과 같은 제어 시스템과 무선통신을 활용한 환경 모니터링 등이 있다 (Yue et al., 2015; Ferdoush and Li, 2014). 본 연구에서는 아두이노 우노 (Arduino Uno)를 개발보드로 선택하였으며, 아두이노 통합개발환경 (Integrated Development Environment, IDE)을 이용하여 소프트웨어를 개발하였다. 본 연구에서 사용한 하드웨어와 소프트웨어에 대한 자세한 내용은 아두이노 홈페이지 (<https://www.arduino.cc>)에서 확인할 수 있다.

3. 지능형 수위 모니터링 플랫폼

지능형 수위 모니터링은 인터넷 연결을 통해 현장에서 실시간 모니터링 자료의 이상치와 오차를 자동으로 보정하여 자료의 신뢰성을 안정적으로 확보하는 알고리즘을 수행하는 것을 의미한다. 지능형 수위 모니터링 플랫폼 개발은 하드웨어와 소프트웨어로 나누어 진행하였다. 먼저 지능형 수위 모니터링 플랫폼 설계에 필요한 하드웨어를 물리적으로 연결하여 시제품 (prototype)을 제작하였다. 시제품을 제작하는 과정에서 센서와 쉘드 등의 부품은 브레드보드 (breadboard)를 사용하여 핀 (pin)으로 연결하였다. 하드웨어 제작을 완료한 다음 아두이노 IDE를 이용하여 소프트웨어를 개발하였다. 소프

트웨어는 수위 측정 알고리즘, 온도 보정 알고리즘, 자료 보정 알고리즘, 수위-유량 관계 곡선식, 데이터 로거 알고리즘으로 구분할 수 있다. 수위 측정 알고리즘은 초음파 센서를 이용하여 정해진 시간마다 수위를 측정하여 기록한다. 온도 보정 알고리즘은 초음파 센서가 가지고 있는 온도에 따른 오차를 보정한다. 자료 보정 알고리즘은 품질 관리 기준을 적용하여 수위 자료를 최종적으로 분석하고 보정한다. 수위-유량 관계 곡선식은 측정한 수위를 유량으로 변환하며, 데이터 로거 알고리즘은 시간, 온도, 수위, 유량, 에러코드 등의 자료를 외부메모리에 저장한다. Figure 2는 지능형 수위 모니터링 플랫폼을 설계하는 전체적인 흐름도를 설명하고 있다.

III. 사물인터넷 기반 지능형 수위 모니터링 플랫폼 구현

지능형 수위 모니터링 플랫폼은 Figure 2에서 제시한 설계 방법에 따라 아두이노와 알고리즘으로 구현하였다. Table 1은 지능형 수위 모니터링 플랫폼을 개발하는 과정에서 사용한 하드웨어 부품 목록을 나타내고 있다. Figure 3은 본 연구에서 하드웨어를 전체적으로 연결하여 구현한 모습을 보여주고 있다. 아두이노 보드가 하드웨어 설계에서 기반이 되며 아두이노 보드 위에 데이터 로거 쉘드가 부착되어 사용된다. 데이터 로거 쉘드에 RTC (Real Time Clock) 모듈과 SD카드 모듈이 장착되어 있다. 초음파 센서, 온도 센서, LCD 등의 모듈은 아두이노 보드와 직접 연결되어 작동된다. 알고리즘은 수위 측정, 온도 보정, 자료 보정, 데이터 로거 알고리즘으로 구성된다. 지능형 수위 모니터링 플랫폼의 전체적인 알고리즘 코드를 제시한 다음 각 세부 알고리즘을 제시하였다.

지능형 수위 모니터링 플랫폼의 전체적인 알고리즘 코드는 다음과 같다. 먼저 `measureTemperature()` 함수를 이용하여 현재 온도를 측정한다. 측정한 현재 온도를 `measureWaterLevel(temperature)` 함수에 대입하여 온도를 고려하여 보정한 수위를 측정한다. 다음으로 `averageWaterLevel(dis)`를 이용하여 평균 수위를 계산한 다음 `calibration(averagedData2)` 함수에 대입하여 이상치를 자동으로 보정하고 최종 수위 자료로 저장한다. `stageDischargeRelationship(averagedWaterLevel_Final)` 함수를 이용하여 측정한 최종 수위를 잠정 유량으로 변환하고 `writeDateAndWaterLevel(averagedWaterLevel_Final, averagedData3, discharge_Final)` 함수를 이용하여 측정한 자료를 저장한다.

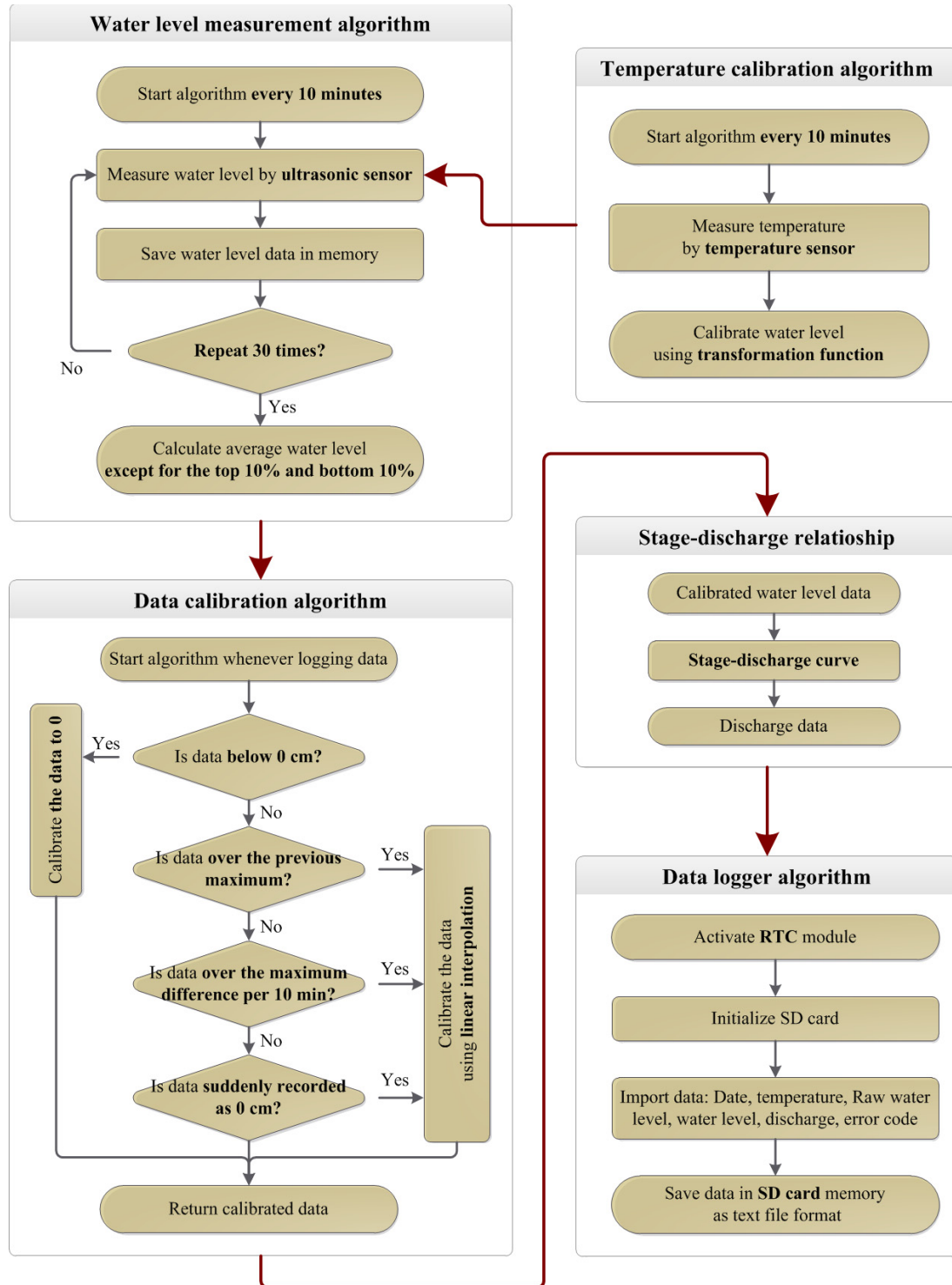


Figure 2. Procedure of developing IoT-based intelligent water level monitoring platform

Table 1. Items list using the hardware development of IoT-based intelligent water level monitoring platform

Item	Model	Quantity
Arduino board	Arduino Uno R3	1
Data logger shield	Adafruit data logger shield	1
Real time clock	DS1387 (included in data logger shield)	1
SD card	Sandisk SD card 2.0 GB	1
Ultrasonic sensor	HC-SR04	1
Temperature sensor	DHT 11	1
LCD	16×2 character LCD Blue	1
Breadboard	Breadboard clear self-adhesive	1
Breadboard	Breadboard mini self-adhesive white	1
DC adapter	9V 1A DC adapter	1

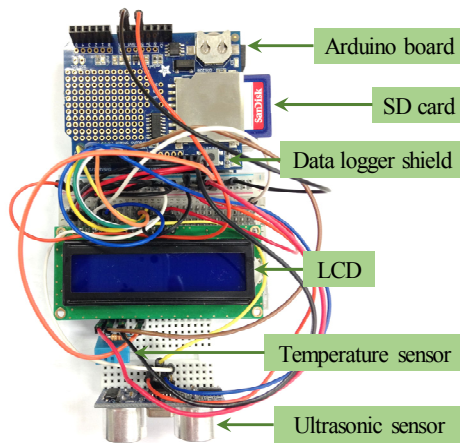


Figure 3. Experimental setup of IoT-based intelligent water level monitoring platform

```

int i;
float temperature;
float averagedData1;
float averagedData2;
float averagedData3;
float dis[30] = {0};
float tem[30] = {0};
float averagedWaterLevel_Final;
float discharge_Final;
digitalWrite(13, HIGH);

for (i = 0; i < 30; i++) {
    temperature = measureTemperature();
    averagedData1 = measureWaterLevel(temperature);
    tem[i] = temperature;

```

```

    dis[i] = averagedData1;
    delay(10);
}

averagedData2 = averageWaterLevel(dis);
averagedData3 = averageWaterLevel(tem);
averagedWaterLevel_Final = calibration(averagedData2);
discharge_Final =
stageDischargeRelationship(averagedWaterLevel_Final);
writeDateAndWaterLevel(averagedWaterLevel_Final,
averagedData3, discharge_Final);

```

1. 수위 측정 알고리즘

초음파를 이용한 수위 측정은 수면의 변화, 수면과 초음파 센서 사이의 장애물 등으로 인한 불확실성을 내포하고 있다. 수위 측정의 정도를 높이기 위해서 수위를 측정할 때 마다 한번에 30회를 측정하여 상위 10%와 하위 10%의 값을 배제한 다음 평균 수위를 산정하였다 (Jeong et al., 2013). 수위 측정 알고리즘은 정해진 시간 간격마다 실행되도록 설계하였으며 현재 온도 값을 매개 변수로 받아 실행한다.

2. 온도 보정 알고리즘

초음파를 이용한 수위 측정은 온도에 대한 민감도가 높다. 본 연구에서는 온도에 따른 초음파 수위계의 오차를 보정하기 위해 온도 센서를 부착하여 수위를 측정할 때마다 온도를 측정하도록 설계하였다. 온도에 따른 수위 보정은 식 (1)과 같이 수행하였다 (Baek and Kim, 2010).

$$WL = BD - \left(\frac{331.5 + 0.60714 \times T}{100} \right) \times \left(\frac{0.5 \times t}{100} \right) \quad (1)$$

WL 은 수위 (cm), BD 는 초음파 센서로부터 지표면까지의 거리 (cm), T 는 온도 (°C), t 는 초음파가 수면에 반사되어 돌아오는 시간 (s)을 의미한다. 초음파 센서는 수면까지의 거리를 측정하기 때문에 초음파 센서로부터 지표면까지의 거리를 먼저 측정한 다음 초음파 센서로부터 수면까지의 거리를 제하여 수위를 산정한다.

수위 측정 및 온도 보정 알고리즘 코드는 다음과 같다.

```
float measureWaterLevel(float data) {
    float temp = data;
    float time = 0;
    float dis = 0;
    digitalWrite(trig, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trig, LOW);
    time = pulseIn(echo, HIGH);
    dis = bottomDistance - ((331.5 + 0.60714 * temp) * (
time / 2) / 10000);
    return dis;
}

float averageWaterLevel(float data[]) {
    int i = 0;
    int count = 30;
    sort(data, 30);
    float sum = 0;
    for(i = 3; i < (count-3); i++) {
        sum = sum + data[i];
    }
}
```

```
float averagedWaterlevel = sum / 24.0;
return averagedWaterlevel;
}

float measureTemperature() {
    int err;
    float temp, humi;
    if((err=dht11.read(humi, temp))==0) {
        return temp;
    }
    delay(DHT11_RETRY_DELAY);
}
```

3. 자료 보정 알고리즘

초음파를 이용한 수위 측정은 수위계를 설치한 지점 주변 환경 변화에 많은 영향을 받는다. 초음파 수위계와 수면사이에 임시적으로 장애물이 위치하거나 폭우 등의 이유로 지형이 변화하는 경우 여러 종류의 이상치(outlier)가 발생한다. 수위 자료의 정도 관리는 수위 측정 순간에 발생하는 이상치를 신속하게 분석하고 알고리즘이 필수적이다. 본 연구에서는 이상치의 종류를 총 4가지로 구분하여 자동으로 분석 및 보정할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. ① 수위가 저수위 부근에서 0 cm 이하로 측정되는 경우가 발생하면 지형변화로 인한 바닥 거리가 변화하여 발생한 이상치로 판단하고 수위를 0 cm로 보정한다. ② 수위가 미리 설정한 최대 수위를 초과하는 경우가 발생하면 임시적으로 장애물이 위치하여 발생한 이상치로 판단하고 수위를 최대 수위로 보정한다. 최대 수위는 초음파 수위계 설치 지점마다 미리 설정할 수 있으며 수위계를 설치할 지점에 사전 현장 조사를 수행하여 결정한다. ③ 수위가 미리 설정한 10분 동안의 최대 수위 변화를 초과하는 경우가 발생하면 이상치로 판단하고 수위를 선형 보간을 사용해서 보정한다. ④ 수위가 갑자기 0 cm으로 측정되는 경우가 발생하면

Table 2. Calibration criteria for water level outliers

Outlier and missing data type	Criteria	Error code	Reference
The water level is measured below 0 cm	Calibrate the water level to 0 cm	1	(KICT, 2004)
The water level exceeds the maximum level, which may vary from sites	Fix the water level to the maximum level	2	
The water level exceeds the maximum difference for 10 minutes	Calibrate the water level using linear interpolation	3	
The water level is suddenly measured as 0 cm		4	

이상치로 판단하고 수위를 선형 보간을 사용해서 보정한다. 각 이상치가 발생하면 에러코드를 기록하여 추후 자료의 정도를 확인할 수 있다. Table 2는 수위 자료의 이상치 종류와 보정 기준을 구분하여 보여주고 있다.

자료 보정 알고리즘 코드는 다음과 같다.

```
float calibration(float data1) {
    float result = data1;
    if (data1 < 0) {
        result = 0;
        errorCode = 1;
    }
    else if (data1 > MAX) {
        result = MAX;
        errorCode = 2;
    }
    else if(abs(data1-y2) >= DF) {
        result = linearInterpolation();
        errorCode = 3;
        linearCount = linearCount + 1;
    }
    else if(data1 == 0) {
        result = linearInterpolation();
        errorCode = 4;
        linearCount = linearCount + 1;
    }
    else {
        errorCode = 0;
        linearCount = 0;
    }
    return result;
}
```

4. 수위-유량 관계 곡선식

수위계를 이용하여 측정한 수위 자료는 수위-유량 관계 곡선식을 이용하여 잠정 유량으로 변환할 수 있다. 수위-유량 관계 곡선식은 최근에 측정한 유량자료를 이용하여 산정한 식을 사용한다. 본 연구에서는 한강하류 유역 내에 위치하는 청미천 상류 유역 한 지점 (PW-02)의 수위-유량 관계 곡선식을 선정하여 수위-유량 관계 곡선식 코드에 적용하였다. 수위-유량 관계 곡선식은 계수를 매개변수로 설정하여 유역에 따라 다르게 적용할 수 있다. 식 (2)는 본 연구에서 사용한 식을 나타내고 있다.

$$Discharge = 386.05 \times stage^{2.8023} \quad (2)$$

수위-유량 관계 곡선식 코드는 다음과 같다.

```
float stageDischargeRelationship(float data1) {
    float discharge = 0;
    float stage = data1*0.01; //m
    discharge = 386.05*pow(stage, 2.8023); //cms
    if (discharge <= 0) {
        discharge = 0;
    }
    return discharge;
}
```

5. 데이터 로거 알고리즘

지능형 수위 모니터링 플랫폼은 측정시간, 측정 온도, 보정 전 수위, 보정 후 수위, 유량, 에러코드 등 총 6가지의 자료를 SD카드에 저장한다. 외부 메모리 장치에 자료를 저장하는 데이터 로거 알고리즘은 데이터 로거 쉘드를 아두이노 보드에 연결해야 사용할 수 있다. 데이터 로거 쉘드에 부착되어있는 RTC 모듈을 활성화하여 측정시간을 불러온다. SD카드 초기화를 실시하여 카드 이상 유무 등의 정보를 확인한다. 앞서 수행한 알고리즘을 통해 측정한 온도, 수위, 유량 등의 자료를 매개변수로 가져와 SD카드에 텍스트 파일 (text file) 형식으로 저장한다. 저장주기는 10분으로 수위 측정 주기와 같으며 수위 자료 종류에 따라 변경할 수 있다.

데이터 로거 알고리즘 코드는 다음과 같다.

```
void writeDateAndWaterLevel(float data1, float data2,
float data3) {
    float averagedWaterLevel = data1;
    float temperature = data2;
    float discharge = data3;

    DateTime now = rtc.now();

    File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);

    dataFile.print(now.minute(), DEC);
    dataFile.print(temperature);
    dataFile.print(averagedWaterLevel);
    dataFile.print(discharge);
}
```

```
dataFile.print(errorCode);
dataFile.close();
}
```

IV. 사물인터넷 기반 지능형 수위 모니터링 플랫폼 실내 실험 검증

본 연구에서 개발한 지능형 수위 모니터링 플랫폼은 수위 측정과 자료 보정 알고리즘을 검증하여 평가하였다. Table 3은 실내 실험 검증을 위해 설정한 초기 값을 정리하여 나타내고 있다.

1. 수위 측정 알고리즘 검증

본 연구에서는 수위 측정 알고리즘 검증을 수행하기 위해 미리 설정한 지표면에서부터 최대 수위까지 일정한 간격으로 수위를 증가시켜 자와 초음파 수위계로 측정한 수위 자료를 수집하였다. 수위 측정 알고리즘 검증은 정

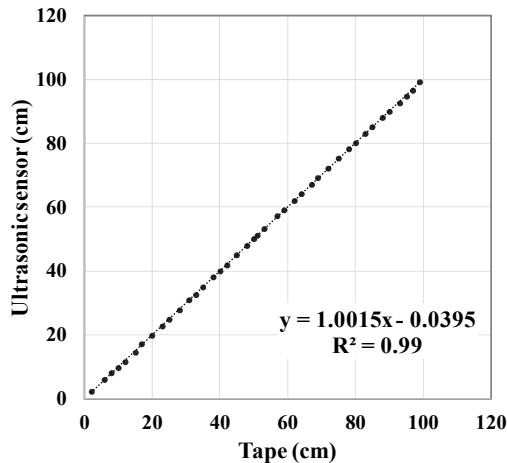


Figure 4. Scatter plot of the measured water levels with steel tape and ultrasonic water gauge

성적인 방법인 산포도를 이용하여 평가하였다. 산포도에 추세선을 도시하여 추세선의 기울기와 자료 간의 R^2 를 이용하여 평가하였다 (Cheng et al., 2014; Saunders et al., 2012; Moriasi et al., 2007). 산포도를 분석한 결과 추세선의 기울기는 1.00, R^2 는 0.99로 초음파 수위계가 실측치를 정확하게 측정하는 것으로 나타났다. 초음파 수위계로 측정한 수위와 실측치 간의 오차는 0.0575 cm로 나타났다. Figure 4는 자와 초음파 수위계로 측정한 수위 자료들에 대한 산포도를 보여주고 있다.

2. 자료 보정 알고리즘 검증

자료 보정 알고리즘 검증은 에러코드 종류별 이상치를 모두 발생시켜 보정 여부를 확인하는 방법으로 수행하였다. 본 연구에서는 자료 보정을 위해 정상적으로 수위를 측정하는 과정 중 발생할 수 있는 4종류의 에러코드를 가정하였다. 본 연구에서 가정한 4종류의 이상치를 인위적으로 모두 발생시킨 다음 자료 보정 알고리즘이 정상적으로 실행이 되었는지 확인하였다. Figure 5는 에러코드 종류별 이상치와 자료 보정 결과를 시계열로 보여주고 있다. 원모양의 표식은 보정 전 수위를 나타내며, 실선은 자동 보정 알고리즘을 적용하여 보정한 수위를 나타낸다. 본 연구에서 서술한 4종류의 에러코드가 발생하였을 때 실선으로 수위가 자동으로 보정되어 기록되는 것을 확인할 수 있다. 첫 번째 발생한 에러코드 3은 수위가 점차 증가하면서 미리 설정한 10분 동안의 최대 수위 변화를 초과하는 경우이다. 10분 동안 13.5 cm의 수위가 증가하여 본 연구에서 설정한 10분 동안의 최대 수위 변화 10 cm를 초과하므로 이상치로 판단하고 이전 수위의 증가율을 이용하여 보정하였다. 다음으로 발생한 에러코드 2는 고수위가 측정되는 동안 미리 설정한 최대 수위를 초과하는 경우이다. 지속적으로 100 cm 미만의 수위가 측정되는 동안 본 연구에서 설정한 최대 수위 100 cm로 초과하여 이상치로 판단하고 최대 수위를 유지하도록 보정하였다. 다음으로 발생한 에러코드 3은 수

Table 3. Initial value of IoT-based intelligent water level monitoring platform for the laboratory verification

Variable type and name	Description	Value
float bottomDistance	The distance between the bottom surface and the ultrasonic sensor	108 cm
float MAX	The maximum water level	100 cm
float DF	The maximum water level difference for 10 minutes	10 cm

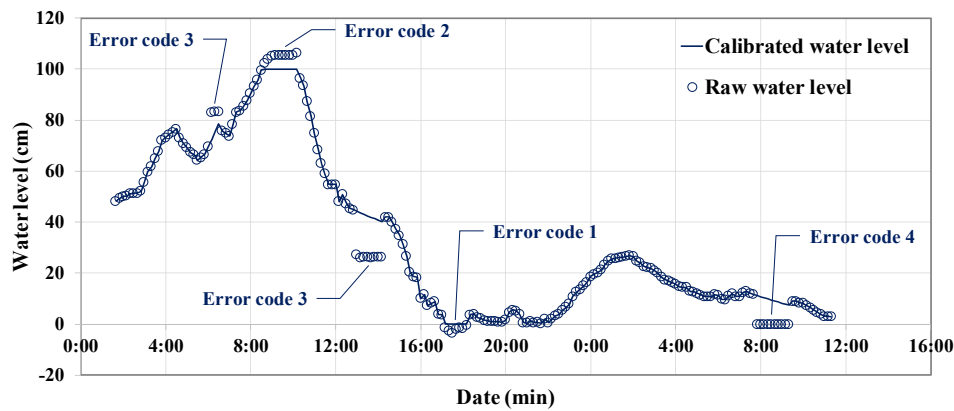


Figure 5. Result of intelligent water level verification for outliers

위가 점차 감소하면서 미리 설정한 10분 동안의 최대 수위 변화를 초과하는 경우이다. 10분 동안 17.4 cm의 수위가 감소하여 본 연구에서 설정한 10분 동안의 최대 수위 변화 10 cm를 초과하므로 이상치로 판단하고 이전 수위의 감소율을 이용하여 보정하였다. 다음으로 발생한 에러코드 1은 수위가 저수위 부근에서 0 cm 이하로 측정되는 경우이다. 수위가 저수위 부근에서 0 cm 이하로 측정되면 처음에 바닥거리를 설정할 때와 비교하여 지형이 변화하여 음의 수위 값이 측정된 것으로 판단하고 수위를 0 cm로 보정하였다. 마지막으로 발생한 에러코드 4는 수위가 갑자기 0 cm으로 측정되는 경우이다. 수위가 정상적으로 측정되는 도중 갑자기 0 cm로 측정되면 센서 오작동 등으로 인해 발생하는 이상치로 판단하고 이전 수위의 변화율을 고려하여 보정하였다.

V. 요약 및 결론

본 연구에서는 사물인터넷 기반의 플랫폼을 설계하고 구현하여 지능형 수위 모니터링의 적용성을 평가하였다. 지능형 수위 모니터링 플랫폼 개발을 위해 필요한 하드웨어는 아두이노 우노를 개발보드로 선정하고 수위, 온도 센서 및 데이터 로거 쉘드 등을 연결하여 설계하였다. 소프트웨어는 아두이노 통합개발환경을 사용하여 지능형 수위를 측정하는 알고리즘을 개발하였다.

지능형 수위 모니터링 플랫폼은 수위 측정 알고리즘, 온도 보정 알고리즘, 자료 보정 알고리즘, 수위-유량 관계 곡선식, 데이터 로거 알고리즘으로 구성하였다. 수위 측정 알고리즘은 초음파 센서에 내재된 기계적 오차를 보정할 수 있도록 구현하였으며, 온도에 따른 수위 보정이 가능하도록 구성하였다. 또한 개발된 플랫폼은 측정된 자료의 이상치 발생에 따른 자료 보정 알고리즘을 이

용하여 보정이 가능하도록 구현하였다. 수위-유량 관계 곡선식은 측정된 수위를 유량으로 변환하며, 데이터 로거 알고리즘은 측정시간, 측정 온도, 보정 전 수위, 보정 후 수위, 유량, 에러코드 등 총 6가지의 자료를 외부메모리에 저장할 수 있도록 구현하였다.

지능형 수위 모니터링 플랫폼에 대한 검증은 수위 측정과 자료 보정 알고리즘에 대해 실내 실험을 통해 수행하였다. 에러코드 종류별 이상치를 모두 발생시켜서 보정 전 수위와 보정 후 수위를 확인하고 시계열 그래프로 도시하여 자료 보정 알고리즘이 정상적으로 수행되었는지 분석하였다. 실내실험 결과, 실측수위와 초음파 수위계로 측정된 수위의 추세선 기울기는 1.00, R^2 는 0.99, 오차는 0.0575 cm로 나타났다. 본 연구에서 개발한 지능형 수위 모니터링 플랫폼의 수위 측정 정확도와 보정 효과가 높은 것으로 나타났으며 지능형 홍수 관리 플랫폼을 설계하는 단위 요소로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서 개발한 지능형 수위 모니터링 플랫폼은 아두이노를 활용하여 실시간 수위를 측정하고 자동으로 품질을 관리할 수 있다. 또한 유동적으로 변화하는 유역의 정보와 환경 변화를 정밀하게 모니터링 할 수 있으며, 통신 모듈을 추가하여 유역을 관리하는 마이크로컴퓨터와 네트워크로 연결하면 초연결유역을 구성하는 단위 요소로 사용할 수 있다. 저수지를 구성하는 물넘이, 취수탑 등과 같은 시설에 사물인터넷 기술을 적용하면 기후변화에 선제적으로 대응할 수 있는 유역단위의 지능형 물관리를 유도할 수 있다.

본 연구를 통해 개발한 플랫폼은 기후변화를 고려한 홍수 관리 기법에 적용하여 공공 IoT 서비스를 제공하는 데 기여할 수 있으며, 사물인터넷 기반의 수자원 해석 기술력을 선점하여 수자원 분야에 새로운 분석 기반을 조성하고 지속적인 수자원 관리에 기여할 수 있을 것으

로 사료된다.

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2015R1A2A2A01008152).

References

1. Arduino, 2015, <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>, Accessed 15 Dec. 2015.
2. Baek, S.H. and Kim, Y.H., 2010, Design of multi position tracking system using ultrasonic sensor module, *Proceedings of Symposium on Ultrasonic Electronics* 31: 479-480.
3. Cha, D.W. and Jin, Y.H., 2015, *Hyper-connected era, future of the sharing economy and Internet of Things*, Seoul: Hans Media.
4. Cheng, C.-L., Shalabh, and Garg, G., 2014, Coefficient of determination for multiple measurement error models, *Journal of Multivariate Analysis* 126: 137-152.
5. Ferdoush, S. and Li, X., 2014, Wireless sensor network system design using Raspberry Pi and Arduino for environmental monitoring applications, *Procedia Computer Science* 34: 103-110.
6. International Telecommunication Union (ITU), 2005, *The Internet of Things-ITU internet reports*, 1-8.
7. IPCC, 2014, *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge and New York: Cambridge University Press.
8. Jeong, Y., Park, H.S., Kim, B.H., and Kim, Y., 2013, Combined filtering model using voting rule and median absolute deviation for travel time estimation, *Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems* 12(6): 10-21.
9. Kanarachos, S. and Kanarachos, A., 2015, Intelligent road adaptive suspension system design using an experts' based hybrid genetic algorithm, *Expert Systems with Applications* 42: 8232-8242.
10. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT), 2004, *Technology for surface water resources investigation*, 1483-1501.
11. Larue, G.S., Kim, I., Rakotonirainy, A., Haworth, N.L., and Ferreira, L., 2015, Driver's behavioural changes with new intelligent transport system interventions at railway level crossings—A driving simulator study, *Accident Analysis and Prevention* 81: 74-85.
12. Miles, J., McKenzie, F., and Keen, K., 2011, *The intelligent transport systems (its) practitioners' guide to EUROPE*, 9-14, London: RTI Focus (UK) Ltd.
13. Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., and Veith, T.L., 2007, Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, *Transactions of the ASABE* 50(3): 885-900.
14. National Disaster Information Center (NDIC), 2015, [Http://www.safekorea.go.kr](http://www.safekorea.go.kr), Accessed 21 Jul. 2015.
15. NIC and SRI Consulting, 2008, *Disruptive civil technologies: six technologies with potential impacts on US interests out to 2025*, 27-31.
16. Saunders, L.J., Russell, R.A., and Crabb, D.P., 2012, The coefficient of determination: what determines a useful R2 statistic?, *Investigative Ophthalmology & Visual Science* October 53: 6830-6832.
17. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), 2015, [Http://www.unisdr.org](http://www.unisdr.org), Accessed 21 Jul. 2015.
18. World Economic Forum (WEF), 2012, *The Global Information Technology Report 2012 Living in a Hyperconnected World*, 3-4.
19. Yue, W., Guo, G., Wang, L., and Wang, W., 2015, Nonlinear platoon control of Arduino cars with range-limited sensors, *International Journal of Control* 88(5): 1037-1050.

-
- Received 15 November 2015
 - First Revised 4 December 2015
 - Finally Revised 22 December 2015
 - Accepted 22 December 2015