

Ubiquitous 기술과 GIS를 이용한 도시배수관망 유속측정 시스템 개발

Urban Runoff Network Flow Velocity Monitoring System Using Ubiquitous Technique and GIS

최창원* · 이재응**

Choi, Changwon · Yi, Jaeeung

Abstract

Reliable hydrologic data acquisition is the basic and essential requirement for efficient water management. Especially the acquisition of various stream data in a certain location is very important to construct an alarm system to respond to an urban flood which occurs frequently due to the effect of climate change. Although the frequency of stream inundation flood occurrence becomes low owing to the consistent stream improvement, the urban flood due to the drainage system problems such as deterioration and bad management occurs continuously. The consistent management and current status understanding of the urban drainage system is essential to reduce the urban flood. The purpose of this study is to develop the urban runoff network flow velocity monitoring system which has the capability of collecting stream data whenever, wherever and to whomever without expert knowledge using Code Division Multiple Access technique and Bluetooth near-distance wireless communication technique. The urban runoff network flow velocity monitoring system consists of three stages. In the first stage, the stream information obtained by using ubiquitous floater is transferred to the server computer. In the second stage, the current state of the urban drainage system is assessed through the server computer. In the last stage, the information is provided to the user through a GUI. As a result of applying the developed urban runoff network flow velocity monitoring system to Woncheon-Stream in Suwon, the information necessary for urban drainage management can be managed in real time.

Keywords : *ubiquitous floater, urban runoff network flow velocity monitoring system, CDMA, Bluetooth*

요 지

신뢰성 있는 수문자료의 획득은 효율적인 물 관리를 위한 가장 기본적인 조건인 동시에 가장 필수적인 조건이다. 특히 최근 이상기후의 영향으로 빈번하게 발생하고 있는 도시홍수에 대응하기 위한 경보체계 등을 구축하는데 있어 사용자가 관측하고자 하는 임의 지점에서 유황자료의 획득은 매우 중요하다. 지속적인 하천정비 사업을 통해 외수범람에 의한 홍수 발생빈도는 점차 낮아지고 있지만, 하수관거의 노후화, 관리 소홀 등의 원인으로 내수배제가 원활하지 못해서 발생하는 내수침수로 인한 도시홍수는 지속적으로 발생하고 있다. 이러한 도시홍수 저감을 위해서는 도시배수시스템에 대한 지속적인 관리와 현황 파악이 필수적이다. 본 연구에서는 CDMA(Code Division Multiple Access) 무선통신기술과 Bluetooth 근거리 무선통신기술을 사용하여 전문적인 지식이 없는 사용자라도 누구나 언제, 어디서든 도시배수시스템의 임의의 지점에서 유황을 파악하고, 배수관망에서는 유황 관측과 동시에 유출 경로 추적이 가능한 도시배수관망 유속측정 시스템의 개발을 목표로 하였다. 도시배수관망 유속측정 시스템은 세 단계로 구성되어 운영된다. 첫 번째 단계에서 ubiquitous floater를 사용하여 획득한 유황 정보를 서버로 전송하면, 두 번째 단계에서 서버 컴퓨터를 통해 도시 배수시스템의 현황을 판단하고, 마지막 단계에서 정보를 GUI(Graphic User Interface)를 통해 사용자에게 제공하게 된다. 개발된 도시배수관망 유속측정 시스템을 경기도 수원시 원천천에 위치한 배수관망에 적용하여 현장 실험한 결과, 도시 배수관리를 위해 필요한 정보들을 실시간으로 획득하고 관리할 수 있었다.

핵심용어 : ubiquitous floater, 도시배수관망 유속측정 시스템, CDMA, 블루투스

1. 서 론

신뢰성 있는 수문자료의 획득은 효과적인 물 관리를 위한 가장 기본적인 조건인 동시에 가장 중요하며 필수적인 조건

이다. 수자원과 관련된 계획과 정책의 수립에 있어서 효율성을 높이고, 유역의 상·하류를 연계한 유역계획을 수립하기 위해서 지속적이고 일관성 있는 유역의 기초자료가 수립되어야 한다. 우리나라의 우량관측은 조선시대 측우기를 사용

*정희원 · 아주대학교 대학원 건설교통공학과 박사과정 (E-mail : itsme99@ajou.ac.kr)

**정희원 · 교신저자 · 아주대학교 공과대학 환경건설교통공학부 교수 (E-mail : jeyi@ajou.ac.kr)

한 관측을 시작으로 현재에 이르기까지 오랜 관측 역사를 가지고 있으며 현재 국내에는 국토해양부, 한국수자원공사, 한국농어촌공사, 기상청 및 지자체 등의 여러 기관에서 관리하는 수문관측시설을 통해 자료가 수집되고 있다. 전국에 걸쳐 유량관측소는 총 2,894개소가 설치되어 개소 당 34 km²의 면적으로 세계기상기구(WMO: World Meteorological Organization)의 권장기준인 관측소당 100~250 km²의 기준을 대부분 만족하고 있다(조효섭, 2007). 근대적 개념의 수위관측은 일제시대인 1904년 전국에 걸쳐 본격적으로 실시되어, 현재 주요 지점을 중심으로 대한민국 전역에 걸쳐 521 개소의 관측소가 분포되어 있다(국토해양부, 2007a). 이는 일본의 수위관측소 관측밀도의 40% 수준으로 국가하천과 지방하천의 총연장이 29,783 km(국토해양부, 2007b)인 점을 감안할 경우 평균 하천을 따라 약 57 km당 수위관측소 한 개소가 위치하는 것으로 충분한 듯 보이지만, 실제 관측소는 주요지점을 중심으로 불균등하게 설치되어 있는 실정이다. 따라서 사용자가 원하는 임의의 시간과 지점에서 유황자료를 획득하는 것은 쉬운 일이 아니다.

한편, 세계적으로 관심이 높아지고 있는 지구온난화와 이에 따른 이상기후현상으로 인해 인명 및 재산피해가 증대되고 있으며, 특히 도시지역의 홍수피해가 심각한 상황이다. 우리나라의 도시화율은 2005년 현재 80.8%의 높은 도시화율을 보이고 있으며, 2010년 81.9%, 2015년 83.1%로 지속적으로 상승할 것으로 예상된다(UN, 2008). 도시화율의 변화를 살펴보면 70~80년대를 거친 급격한 산업화를 통해 1970년 40.7%로부터 2000년 79.6%로 증가하여 30년간 약 2배에 달하는 도시화가 진행된 것을 알 수 있다(그림 1). 도시지역은 불투수면적 비율이 높기 때문에 유출의 대부분이 직접유출로 발생하여 배수관망에 대한 중요성이 상대적으로 높다. 그럼에도 불구하고 현재 우리나라의 하수관리 사업은 하수처리사업에 편중되어 있어 배수관망에 대한 관리는 미흡한 실정이다. 따라서 노후되거나 부실한 배수관을 통해 우수나 하수가 토양으로 누수되거나, 관로 내에 누적된 퇴적물로 인한 환경의 축소 등으로 인해 우수가 원활하게 배제되지 못하고 지체되면서 인근지역의 침수피해를 증가시키고 있다. 이러한 피해를 경감시키기 위해 지속적이고 신뢰성 있는 배수관 내의 유황자료 획득이 시급한 상황이다.

사용자가 원하는 지점에서 신뢰성 있는 유황자료를 획득하기 위하여 다양한 연구들이 진행되고 있다. 우리나라의 유황측정에서 가장 기본적인 방법이며 가장 많이 사용되는 방법 중의 하나인 부자 유황 측정법은 불확실도가 높고 많은 인

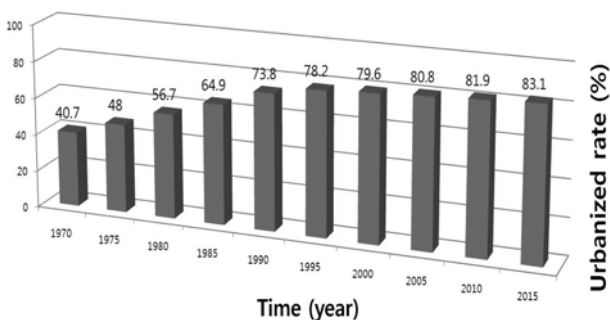


그림 1. 도시화율의 변화

원이 필요하며 야간이나 홍수기에 측정이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 최근 부자를 사용한 유속 측정법을 대체할 수 있는 자동화 및 무인화를 위한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 국외의 경우 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)를 활용한 연구가 활발하게 진행 중이며, Appell과 Williams (1993)는 ADCP의 현장 적용성에 대해 연구하였고, Calde 등(2000)은 ADCP를 활용하여 이머존 유역 조사를 실시하였다. 국내에서는 이상호 등(1997)이 전자파 표면 유속계의 실용성에 대하여 연구하였고, 이찬주 등(2007)은 ADCP를 이용한 유황측정을 실시하였다. 김원 등(2007)은 초음파 유량계, ADCP, 전자부자, LSPIV(Large Scale Particle Image Velocimetry) 등 최근 적용되고 있는 기술을 소개하였고, 조효섭(2007)은 수문조사 영역에서의 IT, NT, BT의 기술 적용에 대해 전망하였다. 사용자가 원하는 하천의 임의 지점에서 유황자료를 자동으로 수집하기 위해 이찬주 등(2009)은 GPS와 RFID 무선통신 기술을 사용한 전자부자를 연구하였으며, 이재용 등(2007)은 GIS와 CDMA(Code Division Multiple Access) 무선통신 기술과 Bluetooth 근거리 무선통신 기술을 이용하여 도시하천 임의의 지점에서 유황을 측정하여 모니터링 할 수 있는 도시하천 관리시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 도시하천의 유황관측에 사용된 기술을 활용하여 배수관망 임의의 지점에서의 유황을 관측하고, GIS 자료를 바탕으로 도시하천 및 배수관망의 유황과 유출경로 등을 관리할 수 있는 도시배수관망 유속측정 시스템을 개발하였다.

2. 도시배수관망 유속측정 시스템의 개발

도시배수관망 유속측정 시스템은 세 단계로 구성되어 운영된다. 첫 번째 단계에서는 기존 부자와 동일한 역할을 하는 ubiquitous floater를 사용하여 유출경로 및 유속 등의 기본 흐름 정보를 획득하고 무선통신 기술을 사용하여 그 정보를 서버로 전송한다. 두 번째 단계에서는 서버 컴퓨터에 미리 구축된 해당유역의 도시배수관망의 GIS에 전송받은 유황정보를 결합하여 도시배수시스템의 현황을 판단하게 된다. 마지막으로 사용자가 쉽게 접근하고 사용할 수 있는 GUI를 통해 배수시스템의 현황 정보를 제공한다.

2.1 Ubiquitous Floater

도시배수관망 유속측정 시스템의 첫 번째 구성요소인 ubiquitous floater를 이용한 유황측정은 CDMA 무선통신 기술과 bluetooth 근거리 무선통신 기술 및 GPS 기술을 적용하여 구성한다. 기본적인 ubiquitous floater 기술은 장복진 등(2005)이 개발한 Blu-Flo를 활용하였다(그림 2). 유속측정의 기본 원리는 기존의 부자를 이용한 측정방법과 동일하며, 부자를 대신하여 근거리 무선통신이 가능한 ubiquitous floater를 배수관망에 투하하고 기존의 계측인원을 대신하는 Bluetooth 수신기를 유속 측정을 하고자 하는 지점에 2대 이상 배치하여 유속, 유량 및 floater의 이동경로 등을 측정할 수 있도록 하였다.

본 연구에 사용된 floater에는 근거리 무선통신 기술을 활용하기 위해 Bluetooth 칩을 삽입하였고, floater의 이동경로

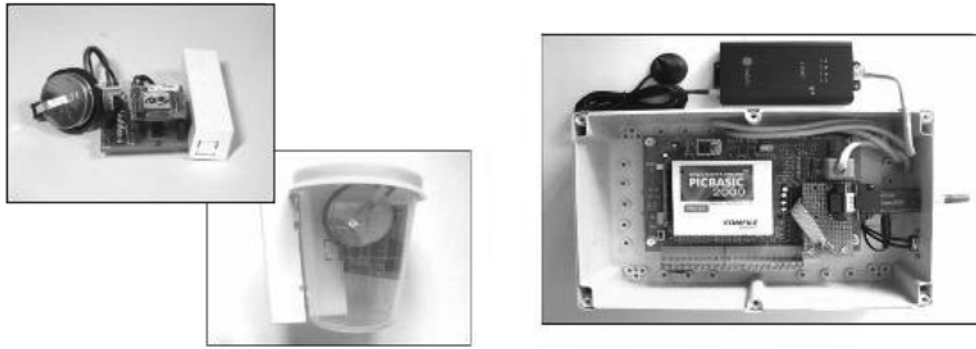


그림 2. Ubiquitous Floater 와 수신기

확인을 위한 수신기에는 floater에 장착된 Bluetooth 칩을 감지하기 위한 감지기와 수신기의 위치 확인을 위한 GPS 수신기 및 서버로 정보 송신을 위한 CDMA 모뎀을 장착하였다. GPS 수신기를 floater에 장착할 경우 좀 더 정확한 floater의 위치 이동을 파악할 수 있지만 floater의 부피와 중량이 증가하고, 생산비용이 증가된다는 단점이 있다. 또한 GPS는 위성의 신호를 받지 못하는 지하에서는 위치를 확인할 수 없기 때문에, 배수관망과 같은 조건에서는 GPS를 사용할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 floater의 경량화와 배수관망에의 적용 그리고 비용의 축소를 위해 floater에는 기본적인 Bluetooth 칩만을 삽입하였고, 위치 확인과 데이터 전송을 위한 장비들은 수신기에 장착하였다.

floater에 장착된 Bluetooth는 무선 주파수를 이용해서 수십 m까지 떨어진 사물이나 사람에 부착된 태그를 인식해 그 태그로부터 정보를 주고받을 수 있는 기술이다. Bluetooth는 12 자리의 16진수로 구성된 고유한 ID를 가지고 있어 많은 floater를 한 번에 혹은 다양한 시간 간격으로 장기간에 걸쳐 투하하더라도 각 floater의 정보를 개별적으로 수집 관리할 수 있다. 이러한 특성을 이용하여 floater의 정보가 수집된 수신기의 위치를 통해 floater의 이동 경로를 추적해가면 배수관망 내의 흐름 경로를 파악할 수 있게 된다.

수신기에는 GPS와 Bluetooth 감지기 및 CDMA 무선통신 모듈이 장착되어 있어 수신기의 위치와 함께 floater가 감지된 시간과 floater의 ID를 서버에 전송하게 된다. floater와 수신기로부터 전송된 자료는 서버에서 거리와 시간 차를 이용해 유속을 계산하며 floater가 3개 이상의 감지기를 통과할 경우 floater의 이동경로 정보를 실시간으로 데이터베이스에 저장할 수 있도록 시스템을 구축하였다.

2.2 GIS 활용을 위한 수치지도 구축

현장에 설치된 수신기로부터 전송받은 정보를 이용해 배수 시스템의 현황을 파악하기 위해서는 해당구역 도시배수관망의 GIS 정보를 사전에 구축하여야 한다. 현재 국토지리정보원에서는 전국에 대한 수치지도를 제작하여 제공하고 있지만, 방대한 양의 자료를 담고 있으며 DXF(Drawing eXchange Format) 파일로 작성되어 자료의 크기가 크고 배포에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 자료의 크기를 감소시키기 위하여 필요한 주제도를 선정·추출하고, 배포를 용이하게 하기 위해 ESRI의 shp 파일 형태로 변환하여 GIS를 구축하였다. 또, 구축된 GIS에 수신기의 위치정보를 도시하기 위

해 좌표변환을 실시하였다.

2.2.1 주제도 선정 및 추출

국토지리정보원에서 제공되는 수치지도의 원본 파일은 본 연구에서 개발하려는 도시배수관리 시스템에는 필요하지 않는 많은 자료들이 포함되어 있다. 본 연구에서 실질적으로 필요한 자료는 내배수관망에 대한 자료뿐이고, 지역의 위치와 특성을 파악하기 위해 추가적으로 필요한 자료는 건물, 도로, 하천의 주제도 정도이다. 따라서 본 연구에서 필요로 하지 않는 지형이나 교통 시설물 등의 데이터는 모두 삭제하였고, 현재 국토지리정보원에서 제공하는 수치지도에는 지하 매설 구조물에 대한 정보가 포함되어 있지 않기 때문에 건물, 도로, 하천 형상의 3개의 주제도를 수치지도로부터 추출하여 사용하였다. 수치지도에 포함되어 있지 않은 내배수관망의 자료는 관할 지자체에서 판매하는 종이지도 형태의 지도를 디지털화하여 주제도로 작성하였다.

2.2.2 데이터 형식의 변환

수치지도로부터 추출한 주제도는 DXF 파일로 필요한 layer만을 포함하고 있으나 여전히 파일 용량이 크므로, shp 형태의 파일로 변환시키는 작업을 수행하였다. shp 파일은 미국의 ESRI사에서 개발한 형식으로, 지형공간 자료에 대한 기하학적 위치와 속성정보를 저장할 수 있는 비위상구조의 파일 형태이다. shp 파일의 가장 큰 장점은 용량이 작으면서도 원래 수치지도의 형태를 왜곡시키지 않는다는 것이다. 동일한 형상을 표현하는데 있어 DXF 파일과 비교하여 대상을 왜곡하지 않으면서도 1/100 정도의 용량 밖에 필요로 하지 않는다. 뿐만 아니라 shp 파일은 ESRI라는 특정 기업에서 개발한 포맷임에도 불구하고, 그 구조가 공개되어 있어 관련된 프로그램을 개발하는데 큰 어려움이 없다는 장점을 가지고 있다.

2.2.3 좌표 변환

Ubiquitous floater를 이용한 도시배수관망 유속측정 시스템은 그림 3과 같은 시스템에 의해 구성된다. 여기에서 floater를 감지하는 감지기에 GPS가 장착되어 사용자의 컴퓨터에 다음과 같은 좌표 정보를 전송하게 된다.

11 23 14 127 3 87 37 33 10

여기에서 처음 세 숫자는 감지기가 floater를 감지한 시간,

Ubiquitous Urban Drainage Monitoring System

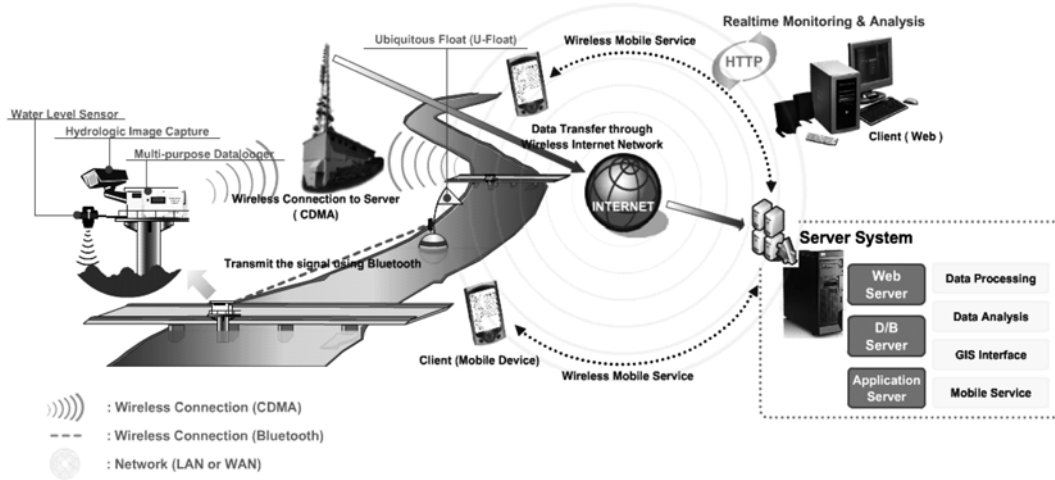


그림 3. 도시배수 관리 시스템 (Yi 등, 2006)

즉 시, 분, 초를 나타내고 뒤에 나온 숫자 조합은 감지기가 위치한 경위도 좌표를 의미한다. 그러나 GPS는 WGS-84를 좌표계로 사용하기 때문에 수치지도의 제작에 사용되는 TM 좌표계와 일치하지 않고, 따라서 좌표의 변환이 필요하다. 본 시스템에서는 GPS가 부착된 감지기에서 전송된 정보를 TM 좌표계로 좌표를 변환하여 다음과 같은 형태로 저장될 수 있도록 하였다.

```
File Name - float1.txt
11 23 14 203564.478073 464025.779498
11 24 55 203850.235778 464229.748245
```

이렇게 전송된 값들을 바탕으로 floater가 감지된 지점과 그 시점의 정보를 나타내고 이를 바탕으로 유속을 측정할 수 있다.

3. GUI의 개발

본 연구에서 사용하게 될 shp 파일은 용량이 작고, 구조가 공개되어 있다는 장점을 가지고 있지만, ESRI라는 특정 기업에서 개발한 포맷이기 때문에 이를 개발하고 사용하기 위해서는 ArcView, ArcInfo, 또는 ArcGIS와 같은 전용 프로그램을 필요로 한다. 본 연구에서는 shp 파일을 읽어서 화면에 표시할 수 있으면서도 특정 프로그램을 설치하지 않아도 사용할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 이러한 시스템은 특정 프로그램을 사용하여 시스템을 구축하는 것 보다 많은 인력과 시간이 요구되지만 다수의 사용자가 특별한 노력 없이 쉽게 서비스를 제공받을 수 있다는 점에서 의미가 있다. 본 연구에서는 Visual C++를 이용하여 시험유역의 GIS와 floater로부터 전송받은 유황정보를 사용자가 쉽게 접근할 수 있도록 지원하는 도시배수관망 유속측정 시스템의 GUI를 개발하였다.

GUI는 주제도 도시와 유황 측정 등의 기본적인 기능을 수행할 수 있다. 주제도는 수치지도로부터 미리 추출하여 shp 파일 형식으로 저장해둔 파일을 GUI 상에 도시할 수 있도록 하였다(그림 4). 메뉴 바에 기본적인 기능들을 배치하여 사용자의 편의에 따라 주제도를 확대, 축소, 이동할 수

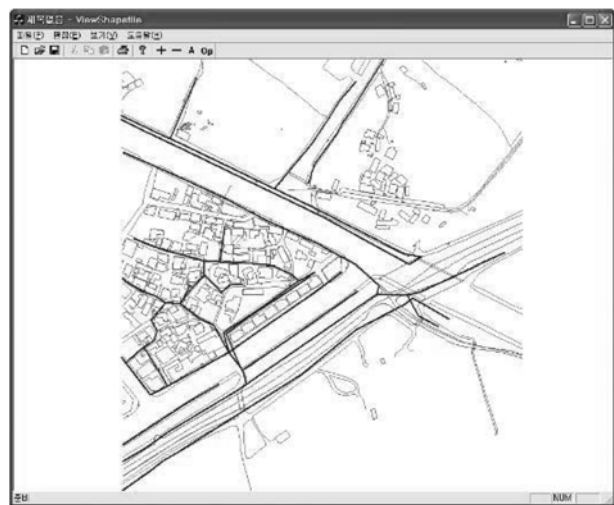


그림 4. GUI

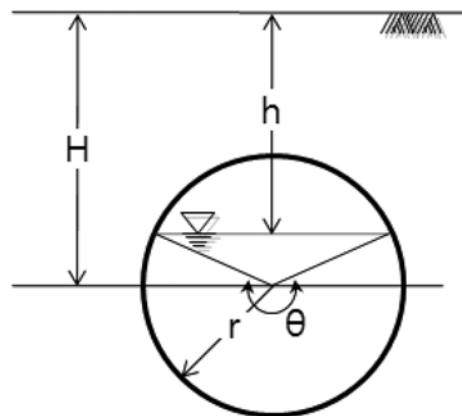


그림 5. 배수관의 단면적 계산

있도록 하였으며, 실행명령을 실행시킬 경우 floater와 수신기를 통해 수집한 유속 정보를 도시하고, 사용자가 배수관의 매설심도와 관경을 입력할 경우 유량 정보를 나타낼 수 있도록 구성하였다.

유속 자료로부터 배수관내의 유량을 산정하기 위해서 배수관의 매설심도와 관경 자료를 사용하여 수심에 따른 배수관의 단면적을 유도하였다. 현재는 측정된 유속을 확인하기 위해서 사용자가 GUI 상에 직접 배수관의 매설심도와 관경에

대한 정보를 입력하고 유속 측정 시 지표로부터 수면까지의 거리를 입력하면 floater에 의해 측정된 유속 정보와 함께 계산되어 GUI를 통해 사용자에게 제공한다. 배수관의 단면이 그림 5와 같을 때 다음과 같은 식을 통해 배수관을 흐르는 유체의 단면적을 계산할 수 있다.

$$A = \frac{r^2}{2}(\theta - \sin \theta) \quad (1)$$

$$\theta = 2\cos^{-1}\left(1 - 2 \times \frac{H-r-h}{2r}\right) \quad (2)$$

여기서 A 는 배수관 내의 유체 단면적(m^2), H 는 배수관의 매설심도(m)를 나타내며, h 는 지표면으로 부터의 수심(m), θ 는 관경, r 는 수면과 단면의 중심이 이루는 각을 나타낸다.

4. 현장 적용 실험

도시 하천의 유황 측정에 사용하였던 floater 및 수신기를 배수관망에 적용하기 위하여 수차례의 예비실험을 실시하였고, 예비실험을 통해 보완된 장비를 이용하여 추가적인 현장 실험을 실시하였다. 현장 적용 실험을 실시하기 위한 시험구역은 경기도 수원시 원천천 인근에 위치한 배수구역을 선정하였다.

4.1 시험 구역 선정

현재 내배수 시스템에서 관망내의 유형과 흐름의 경로를 파악할 수 없는 상황에서 복잡한 배수시스템이 설치된 구역에서 실험을 하게 될 경우 발생할 수 있는 문제들을 제거하

기 위해서 접근성이 높고, 관망이 복잡하지 않으며, floater의 수거가 비교적 용이하고, 맨홀의 위치가 수신기를 설치하고 관리하기 용이한 지역을 선정하였다. 또, 불투수 면적 비율이 높아 유출 시간이 짧은 도시 지역의 특성상 일정한 강우강도 이상의 집중호우 발생 시 단시간 내에 현장실험을 실시하기 위해 접근성이 높은 지역을 선정하는 것을 시험구역 선정에 가장 우선순위로 하였다. 본 연구에 사용한 ubiquitous floater에 적용된 Bluetooth 칩의 경우 반경 10 m의 거리까지 신호를 발생시킬 수 있는 강도를 가진 class 1을 사용하였으나 관로 내를 이동하는 경우 floater에서 발생된 신호가 더 멀리까지 도달할 가능성이 있다. 따라서 현장 적용 실험 시 활용할 네 곳의 맨홀(floater 투하지점, 관측지점 두 지점 및 회수지점)의 위치가 최소 50 m 이상(100 m 이상 권장)이며, 관측지점 두 곳은 최소 100 m의 유격거리를 필요로 한다. 본 연구에서는 위와 같은 조건을 만족시킴과 동시에 배수관 내의 토사퇴적 상태가 적정하며 강우 발생 시 측정을 위한 유량이 확보되는 지역으로 경기도 수원시의 원천천에 인접한 원천교 사거리 인근의 지역을 시험구역으로 선정하여 현장 적용 실험을 실시하였다(그림 6).

4.2 시험구역 내배수 시스템의 GIS 구축

국토지리정보원에서 제공되는 시험구역의 수치지도로부터 도로, 건물, 하천의 정보를 담고 있는 주제도를 추출하여 shp 파일로 변환하였다(그림 7). 현재 지하 매설 구조물에 대한 정보는 수치지도를 통해 제공되지 않기 때문에 종이지도 형태의 내배수 관망도를 이용하여 수치지도화 하였다(그림

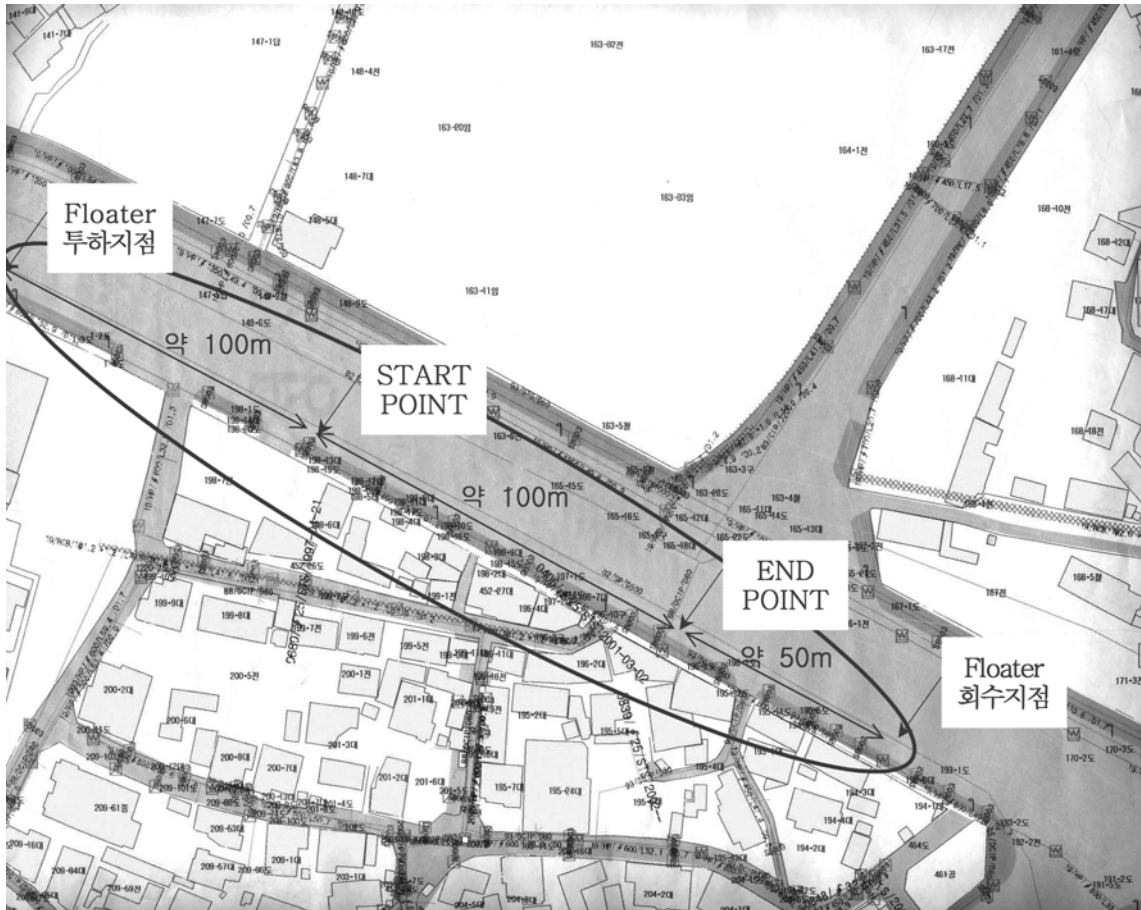


그림 6. 시험구역의 유역도

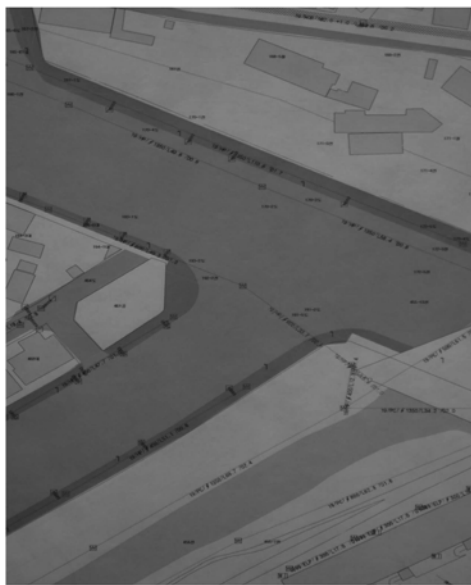


(a) road

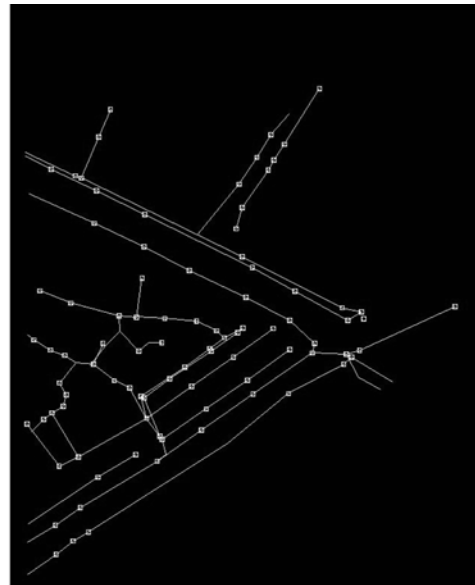
(b) building

(c) river

그림 7. 주제도



(a) paper map



(b) map for drainage network

그림 8. 배수관망의 수치지도화

8). 수치지도는 1:1,000 축척의 지도를 사용하였고, 수치지도와의 통일성을 위하여 수치지도와 동일한 축척의 종이지도를 사용하였다.

4.3 현장 실험

현장 실험은 2007년과 2008년 호우기에 이루어졌으며 2007년 실험은 주로 floaters와 수신기의 보완과 시스템 설정을 조절하기 위해 이루어졌으며, 2008년 실험을 통해 도시 배수관리 시스템을 운영하였다. 사전 실험은 도시 하천의 유황 측정에 사용하였던 floaters와 수신기를 보완하여 배수관망에 적용하기 위해 실시하였다. 기존의 floaters를 사용할 경우 퇴적된 토사나 관로 연결부 등에 가로막혀 정확한 유속 측정이 어려웠기 때문에 사전 실험을 통해 floaters에 사용하는 Bluetooth 칩의 크기와 배터리 등을 개선하여 소형화 및 경량화 하였다. 또한 다양한 형태의 용기를 사용하여 floaters를 만들어 실험을 실시한 결과, 주변에서 쉽게 구할 수 있는 소형 PET 병을 사용한 경우 가장 좋은 결과를 나타내었기

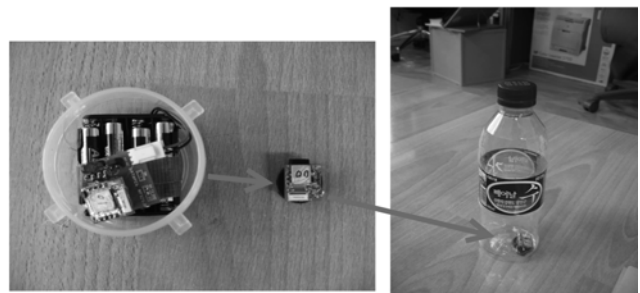


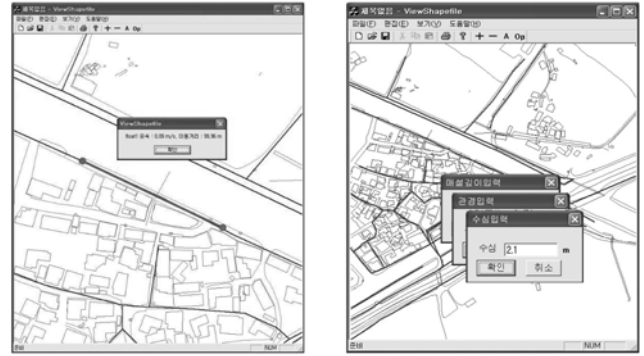
그림 9. Ubiquitous Floater

때문에 현장 실험 시에는 500 ml 소형 PET 병을 사용하였다(그림 9).

최종 실험은 2008년 8월 8일 실시하였으며, 측정 당일 시험유역에서는 7~10시 및 14~17시 경에 많은 강우가 발생하였다(표 1). 강우발생 경향과 배수관망의 유출량 증감 경향이 정확히 일치하지는 않았지만, 대체적으로 유사한 경향을 보였으며 최종 실험은 14시부터 18시까지 실시하였다. 배수

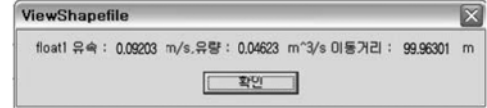
표 1. 최종 시험일 강우 관측결과 (2008년 8월 22일 인계동 AWS 자료)

시각	강수	강수15	강수60	시각	강수	강수15	강수60
0 시	○	0	0	12 시	●	0.5	0.5
1 시	○	0	0	13 시	○	1.5	2
2 시	○	0	0	14 시	○	1	4.5
3 시	○	0	0	15 시	●	1	5.5
4 시	○	0	0	16 시	●	1	4.5
5 시	○	0.5	1.5	17 시	●	2	3.5
6 시	○	0	0	18 시	○	0	1
7 시	●	1.5	4.5	19 시	○	0	0.5
8 시	●	1.5	6.5	20 시	○	0	0.5
9 시	●	1.5	7.5	21 시	○	0	0
10 시	●	1	7.5	22 시	○	1	2.5
11 시	○	0	3	23 시	○	0	0



(a) 유속의 측정

(b) 배수관망 자료 입력



(c) 유량 계산

그림 10. GUI 실행

관망 내에 유량이 비교적 많은 시간에 floater를 투하하였으며, 5회의 유속 측정 결과 3회의 측정이 가능하였다(표 2).

4.4 GUI 실행

GUI를 통해 시험구역의 지도를 불러오면 그림 4와 같이 해당 구역의 지도가 각 주제도 별로 다른 색깔로 나타난다. GUI의 main 화면에 시험 구역의 주제도가 표시된 후에 화면 상단의 **On** 버튼을 누르면 서버컴퓨터에 저장된 floater의 이동 경로 자료를 읽어서 그림 10(a)와 같이 floater의 이동 경로가 지도상에 나타나며, 유속과 이동거리는 팝업창을 통

해 표시하게 된다. 유속과 이동거리를 확인한 후 '확인'버튼을 누르고 매설깊이, 관경, 수심을 입력하게 되면 유속 뿐 아니라 배수관 내의 유량도 산정되도록 구성하였다(그림 10(b), (c)).

4.5 현장 실험 결과

본 연구에서는 2008년 8월 22일 현장 실험을 실시하였다. 전체 5회의 실험을 통해 총 20회의 유속측정을 실시하여 그 중 11회는 유속측정을 할 수 있었고 나머지 9회는 유속측정에 실패하였다. 유속측정이 가능했던 경우를 살펴보면 유속

표 1. 유속 측정 결과

실험	floater ID	Start point 통과 시각	End point 통과 시각	유속 (m/s)	평균유속 (m/s)	유속계 유속 (m/s)	편차 (%)
1차 실험	01	14:49:01	15:07:12	0.09	-	0.13	-
	02	-	-	-			
	04	14:55:22	-	-			
	05	-	-	-			
2차 실험	02	16:03:15	16:08:00	0.35	0.32	0.30	+6.67
	04	16:03:10	16:09:33	0.26			
	05	16:03:18	16:09:05	0.29			
	07	16:03:09	16:07:32	0.38			
3차 실험	02	-	-	-	0.34	0.32	+5.21
	04	16:22:20	16:27:13	0.34			
	05	16:22:19	16:27:12	0.34			
	07	16:22:23	16:27:25	0.33			
4차 실험	04	17:03:30	17:08:24	0.34	0.29	0.32	-9.37
	05	17:03:30	-	-			
	07	17:03:42	17:10:39	0.24			
	08	-	-	-			
5차 실험	04	17:20:39	-	-	-	0.10	-
	07	-	-	-			
	09	-	-	-			
	11	17:24:20	17:50:53	0.06			

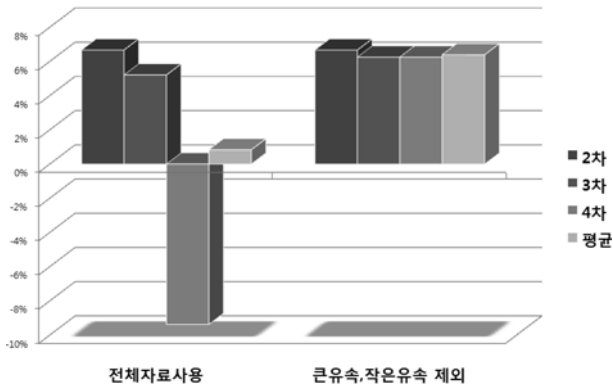


그림 11. 유속계 유속과 비교한 측정 유속

계 측정유속이 0.3 m/s 이상인 경우가 대부분이었고, 유속계 측정유속이 0.13 m/s 이하일 경우 유속측정이 어려웠다. 유속측정에 실패한 이유로는 floater에 누수가 발생하여 회로가 손상된 경우와 토사 등에 막혀 이동시간이 지체되어 유속측정이 무의미한 경우 등이 있었다.

유속측정이 가능했던 2~4차 실험 중, 2차와 3차 실험을 통해 floater로 측정된 평균유속은 유속계를 통해 측정된 유속보다 5.94% 크게 측정되었다. 이것은 퇴적물에 의해 floater의 이동이 지체되는 것을 막기 위해 부력을 많이 받도록 PET 병을 사용하여 floater가 수면 위에서 이동하기 때문에 평균유속보다 큰 유속을 나타낸 것으로 생각된다. 4차 실험에서는 유속계유속에 비해 9.37% 작은 유속을 나타내고 있는데 이것은 퇴적물에 막혀 이동이 느려진 floater의 유속이 고려된 것이 원인이라 생각된다. 각 실험에서 가장 큰 유속과 가장 작은 유속을 제외하고 평균유속을 계산할 경우 유속계를 사용한 유속에 비해 각각 6.67%, 6.67%, 6.25%의 편차를 나타내어 비교적 일관된 값을 보였다. 측정된 자료를 모두 사용하여 평균유속을 계산한 경우 유속계 유속에 비해 0.83% 크게 계산되었고, 각 실험에서 가장 큰 유속과 가장 작은 유속을 제외하고 평균유속을 계산한 경우 6.39% 크게 계산되었다(그림 11).

현장 실험에서의 floater의 이동경로와 유속, 이동거리 등을 GUI를 통해 확인할 수 있었고, 관의 매설깊이, 관경, 수심을 입력할 경우 유량을 산정할 수 있다. 실험구역의 GIS에 배수관의 매설깊이와 관경의 자료를 입력하고, 맨홀에 설치될 수신기에 거리계를 장착하여 현재의 수심을 실시간으로 측정하여 서버에서 확인이 가능하게 된다면 floater의 이동만으로 유속과 유량 자료를 실시간으로 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 도시하천의 유속계측을 위해 사용하였던 기술을 도시 내배수관망에 적용하여 배수관망 내의 유황을 측정하기 위한 연구를 수행하였다. 기존의 기술을 배수관망에 적용하기 위하여 floater의 크기를 축소하고 경량화 하였으며, 내배수 관망도를 수치화 하였고, 배수관 내의 유량을 산정할 수 있는 기능을 GUI에 추가하였다. 적용성을 검증하기 위한 실험은 경기도 수원시 원천천 일원의 소매수구역에서 실시했으며, 기존의 floater와 수신기를 배수관망에 적용하기 위

해 수치례의 사전실험을 수행한 후 2008년 8월 22일 현장 실험을 실시하였다. 총 5회의 실험을 실시하였으며, 측정 시 최대유속과 최소유속을 제외한 평균유속은 유속계를 이용한 평균유속에 비해 6.39% 크게 산정되었다. floater를 통해 측정된 정보는 수신기를 통해 서버로 전송되었고, GUI를 통해 floater의 이동경로와 이동거리, 유속, 내배수관내의 유량 등의 정보를 확인할 수 있다.

본 연구의 최종 실험 시 총 20회의 유속측정을 실시하였고 그 중 9회는 유속측정에 실패하였다. 유속측정에 실패한 것은 floater 용기에 누수가 발생하여 Bluetooth 칩이 신호 발생을 못하게 되거나 퇴적물 등에 가로막히는 등의 이유로 판단된다. 또 유속이 측정 되었더라도 토사 등에 막혀 장시간 정체되어 동일한 실험에서의 유속에 크게 못 미치는 경우도 발생하였다. 이러한 문제는 이후 현재 사용한 용기보다 밀폐가 잘 되어 방수효과가 우수하고, 가벼워서 부력을 잘 받으며, 구형으로 제작되어 장애물을 잘 피해 갈 수 있는 형태의 용기를 사용할 경우 상당부분 해소할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 국토해양부(2007a) 한국수문조사연보(수위편).
 국토해양부(2007b) 한국하천일람.
 김원, 김치영, 이찬주, 김동구(2007) 새로운 수문관측 기술의 개발. 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제40권 제12호, pp. 22-29.
 이상호, 김우구, 김영성(1997) 전자파 표면 유속계의 하천 유량 측정에 관한 실용성. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제30권 제6호, pp. 671-678.
 이재웅, 지정원, 최병규(2007) Ubiquitous Floater와 GIS를 활용한 도시하천 유속계측 시스템 개발. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제27권 제5B호, pp. 525-531.
 이찬주, 김원, 김치영, 김동구(2007) ADCP 정지측정법을 이용한 유량 측정. 2007 대한토목학회 정기학술대회, 대한토목학회, pp. 1249-1252.
 이찬주, 김원, 김치영, 김동구(2009) 전자부자 시스템을 활용한 자연하천의 유속과 유량 측정. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제29권 제4B호, pp. 329-337.
 장복진, 이종국, 여운광(2005) 유비쿼터스 기술을 이용한 수문계측 시스템: 블루투스를 이용한 하천유속 측정용 부자의 개발. 대한토목학회 2005년 정기 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp. 838-842.
 조효섭(2007) 디지털 시대의 새로운 수문조사 현황과 전망. 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제40권 제12호, pp. 38-43.
 Appell, G.F. and Williams, R.G. (1993) Laboratory and field measurements with a Broad Band ADCP. *Proc. of Oceans, IEEE*, N.Y., Vol. 3, pp. 390-393.
 Calde, J., Kosuth, P., Guyot, J.-L., and Guimaraes, V.S. (2000) Discharge determination by acoustic doppler current profilers (ADCP): A moving bottom error correction method and its application on the River Amazon at Obidos, *Hydrological Sciences Journal*, IAHS, Vol. 45, Issue 6, pp. 911-924.
 UN (2008) Population newsletter. *Department of Economic and Social Affairs, Population Division*, UN, No. 85.
 Yi, J., Lee, J., Kim, M., and Lee, J. (2006) Urban runoff management system combining a ubiquitous floater with GIS. *7th International Conference on Hydroinformatics*, Hydroinformatics, Nice, France, Vol. 3, pp. 2300-2307.

(접수일: 2010.6.3/심사일: 2010.7.14/심사완료일: 2010.8.8)