

GIS기반 실시간 용수 모니터링 기법 연구

A Research on the Development of a GIS-Based Real-Time Water Monitoring Technique

김성훈* · 이시형** · 김동문*** · 김의명**** · 박재국*****

Kim, Seong Hoon · Lee, Si Hyoung · Kim, Dong Moon · Kim, Eui Myoung · Park, Jae Kook

要 旨

본 논문에서는 도시용수의 효율적인 관리 상 문제점을 파악하고 이를 개선하는 방안을 제시하는데 목적을 두었다. 데이터 모니터링부터 정보화과정 까지를 포함하는 실시간 모니터링 기법을 통해 센싱 데이터를 취득하고 데이터 분석을 통해 용수사용 예측행정에 도움이 되는 일련의 방법론을 제시했다. 또한 센싱 데이터 중 일부 샘플자료를 사용하여 다항식모형을 이용한 추세분석을 실시했다. 연구결과 제시된 실시간 모니터링 기법 및 분석결과는 도시 용수 건전성 향상을 위해 중요한 정보제공을 할 것으로 기대된다.

핵심용어 : 도시용수, 모니터링, 실시간 데이터, 유량센서, 지리정보, 추세분석

Abstract

The purposes of this study are to raise the awareness of urban water not being efficiently managed and to propose a method for resolving this issue. To serve these purposes, a methodology was proposed to obtain sensing data in a real-time monitoring method and to build them into a GIS. Some sample data among sensing data was used to perform a series of trend analyses using several polynomial models. As a result of the aforementioned research, the proposed monitoring technique is expected to offer some important information in order to improve the reliability of urban water

Keywords : urban water, monitoring, realtime data, flux sensor, GIS, trend analysis

1. 서 론

도시용수는 인류의 생존에 필요한 라이프라인 중 하나로서 생활의 윤택과 안락을 가져다주는 환경 요소로 사회의 존립기반이자 경제적, 사회적 발전의 잠재적인 힘이 되는 소중한 자원이다(박진혁, 2008). 그렇기 때문에 항상 안전한 상태로 충분히 공급되어야 함에도 불구하고 물 부족 현상은 전 세계적으로 확산되고 있는 추세이다. 국제연합 국제인구행동연구소(PAI : Population Action International)의 분석에 따르면 1인당 연간 물 사용 가능량이 1,000m³ 미만은 물 기근국가, 1000~1,700m³는 물 부족국가, 1,700m³ 이상은 물 풍요국가로 분류되는데 우리나라는 1993년부터 약 1,400m³을 유지

하면서 물 부족국가로 분류되고 우리나라의 미래 물 사용가능량을 분석해본 결과 2025년에는 약 1,100m³~1,300m³정도를 유지하며 여전히 물 부족 현상이 지속될 것이라고 전망하였다. 이러한 물 부족 현상을 해결하기 위해서는 공급확대 또는 효율적인 물 사용관리를 통해 용수공급의 효율성을 확보해야하는데 현재 국내 현황은 공급확대뿐 아니라 공급관리 측면에서도 많은 개선필요사항이 있는 것으로 조사되었다.

이에 본 연구에서는 상기 2가지 해법 중 하나인 공급 효율화 측면을 지원할 수 있는 한 가지 방안을 제시하고자 한다. 이 방안은 실시간 데이터의 모니터링, 분석, 정보화 과정을 수반한다.

2010년 2월 17일 접수, 2010년 3월 13일 채택

- * 정희원 · 남서울대학교 지리정보학과 부교수(gotit@nsu.ac.kr)
- ** 교신저자 · 남서울대학교 지리정보공학전공 석사과정(tlgudsla1234@naver.com)
- *** 남서울대학교 지리정보공학과 전임강사(david@nsu.ac.kr)
- **** 정희원 · 남서울대학교 지리정보공학과 조교수(kemyoung@nsu.ac.kr)
- ***** 남서울대학교 지리정보공학과 전임강사(gisdata@nsu.ac.kr)

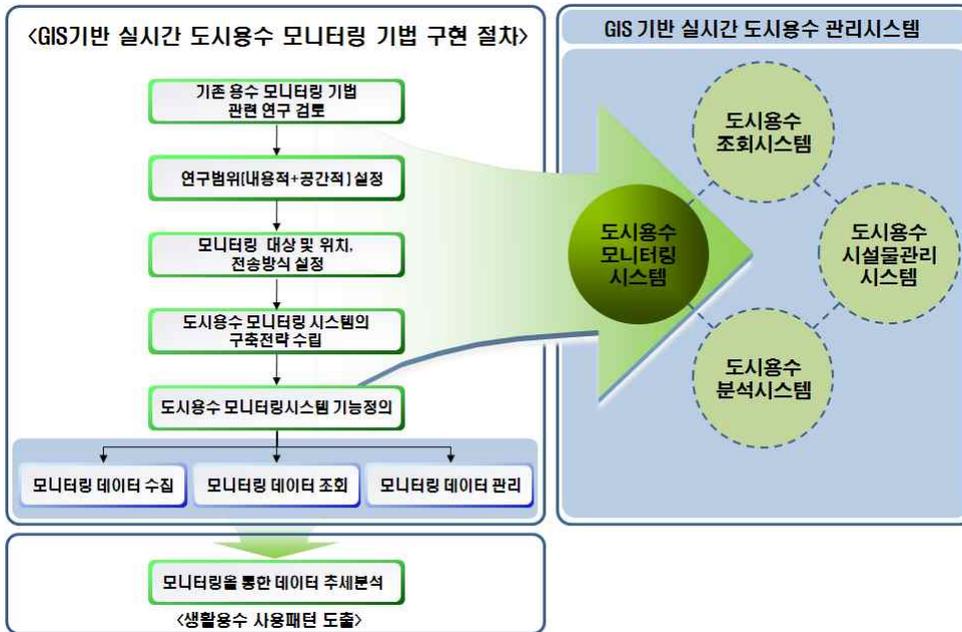


그림 1. 연구 흐름도

2. 연구 방법론

GIS 기반의 실시간 용수 모니터링 기법에 관한연구는 그림 1의 절차를 통해 단계별로 구현된다. 도시용수에는 상수, 하수, 중수, 오수, 재이용수 등 다양한 수자원이 있는데 이러한 수자원들을 모니터링하고 기술구현한 결과가 도출된 기존 연구사례를 검토한다. 그 후 내용적, 공간적 연구범위를 선정하며 공간적 범위 내에 모니터링 할 대상과 위치를 선정하고 모니터링 할 대상의 유량센서로부터 데이터를 수신받기위한 데이터 전송방식을 설정한다. 연구범위로부터의 실시간 유량 데이터를 받기위한 일련의 프로세스를 거친 후 전송된 데이터를 활용한 도시용수 모니터링시스템을 구축하기 위한 전략을 수립한다. 구축전략에 맞게 검토 및 수정하여 도시용수 모니터링시스템의 기능을 정의하고 정의된 기능을 바탕으로 도시용수 모니터링시스템을 구축한다. 이와 같은 단계를 모두 거친 도시용수 모니터링시스템은 최종목표인 실시간 도시용수 관리시스템의 하위모듈의 역할을 담당하게 된다. 모니터링 된 데이터의 조회, 공간적 특성에 따른 변화감지, 효율적 관리 및 다양한 공간적 분석을 위한 프레임워크시스템으로서의 역할을 담당하기위해 지리정보시스템(GIS) 기법이 도입된다. 또한 이렇게 구축된 시스템의 체감적인 활용방안의 한 부분으로서 일부 센서데이터를 활용하여 용수 사용 추세분석을 실시하였는데 그 결과 상수와 하수의

일 단위 물 사용 패턴 현황을 분석할 수 있었다.

3. 용수 공급프로세스 및 실시간 모니터링 관련 연구 검토

3.1 용수 공급프로세스 검토

3.1.1 상수 공급프로세스

그림 2는 상수 공급프로세스 개요도이다.

상수 공급프로세스는 크게 수원, 취수·도수, 정수처리, 저류·송수·배수의 4단계로 나누어지는데 수원에서 취수도구를 통하여 획득된 물은 관로를 통해 정수장으로 도수되고 정수처리를 통한 상수는 필요한 용량

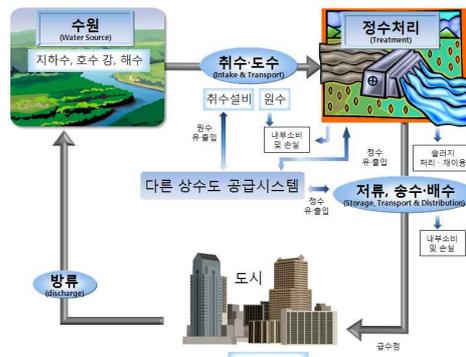


그림 2. 상수 공급프로세스 개요도

만큼 배수지로 송수되며 잉여분은 저류조로 저장된다. 수원은 최소한의 정수처리과정을 거쳐 상수로 이용 가능 할 수 있는 수질을 지녀야 하며, 필요한 수량만큼의 확보가 가능해야 되는데 취수 시 수질보호를 위해 수원 안에 있는 이물질(해파리, 부유물 등)을 걸러낼 수 있어야 한다. 도수 중 수질보호를 위해 소독설비를 포함하여야 하며 정수처리는 소독 및 다중처리공정(지표수 및 지하수), 해수담수화(해수), 고도처리(재이용수)를 통해 이루어지고 송수·배수·급수를 위해서는 정확한 계측 기기와 단시간에 운송이 가능한 운송 망을 지녀야하며 저류시설을 통해 수요가 적을 때 남는 수량을 모아두고 필요시 제공할 수 있도록 구성해야 한다.

3.1.2 하수 공급프로세스

그림 3은 하수 공급프로세스 개요도이다.

하수 공급프로세스는 하수·잔류물의 수거, 이송, 하수처리, 처분·재이용 의 4단계로 나누어지는데 도시에서 나온 하수를 모아 하수도를 통해 하수처리장으로 이송되며 침전 및 약품처리, 슬러지 처리를 통하여 처분 및 재이용, 방류를 결정한다. 하수수거를 위해서는 우수 및 유수를 모으기 위한 우수관과 생활하수 및 오염하수를 모으기 위한 오수관의 구분이 이루어져야 하며 우수 및 유수는 최소한의 하수처리만으로 하천으로 방류 하거나 재이용이 가능하다. 오수는 고도의 하수처리를 통해 일정수준 이상의 수질이 되어야 방류나 재이용이 가능하며 이송을 위해서는 하수처리 적정용량만큼 보내주어야 하고 잉여수량을 보관하기 위한 저류조가 필요하다. 하수처리는 방류 수질기준에 맞추어 정화시킨 후 방류 및 재이용 하여야하며 홍수 등의 유입량이 많을 때 원활한 처리를 위하여 저류조를 준비해 두어야 한다.

3.2 관련연구 검토

국내에서도 도시용수와 관련하여 다수의 연구가 이

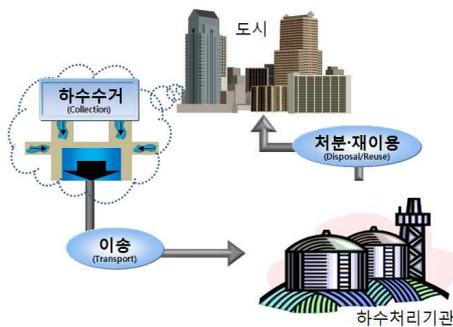


그림 3. 하수 공급프로세스 개요도

미 진행되고 있으나 상수도 중심의 모니터링시스템에 대한 내용이 대부분이다. 김진택 외 2인(2005)은 농업용 저수지를 모니터링 하기 위하여 수위계측 센서를 이용한 수위관측기를 개발하고 계측상황, 데이터 검색 등 모니터링시스템 기능을 도출하고 시스템을 구축함으로써 시설의 유지관리 및 물 관리자의 활용성을 극대화하려는 시도를 하였고, 김정훈 외 2인(2008)은 상수도 모니터링 기술개발의 우선순위를 분석하기 위하여 먼저 상수도 업무분석을 분석하고 센싱기술 중 개발의 우선순위가 높은 상수도 모니터링 항목을 도출하였으며 정진석 외 4인(2009)은 상수도시스템에서 발생빈도가 높은 누수업무를 대상으로 센서정보와 온톨로지 기법을 적용하여 누수를 인식할 수 있는 실험을 일부 수행하였다. 실무에서도 상수도 시설관리 능력 한계로 상수관망의 근본적 문제개선을 해결하고자 유량, 수압 등의 실시간 모니터링을 통한 상수관망수압 유지, 급배수 감시, 운영관리가 가능한 상수관망 최적 유지관리시스템을 구축하였다((주) 그린텍아이엔씨, 2010). 이러한 연구 사례들은 상수에 국한한 연구가 대부분이었으며 상수와 하수가 연계된 하나의 도시용수라는 관점에서 센서로 부터 수집된 유량, 압력 등의 정보를 바탕으로 모니터링 할 수 있는 방법에 대한 연구는 부족한 것을 알 수 있었다. 용수 전체범위를 포함하지 않고서는 물 순환 관점에서 정책수립, 예산산정, 실행 등의 행위를 종합적으로 수행하는 것이 불가능하므로 여기에 도시용수 전체 관점에서의 접근이 중요한 이유가 있다고 하겠다. 본 연구에서는 상수, 하수 각각에 설치된 센서로부터 들어오는 데이터를 시스템적으로 통합분석함으로써 물 공급으로부터 배출까지의 일련의 프로세스를 일괄 지원하는 업무분석 기능구현을 지향하고 있다.

4. 연구범위

4.1 내용적 범위

그림 4와 같이 전체적인 물 순환은 크게 자연계의 물 순환과 인공계의 물 순환으로 나누어 표현될 수 있다.

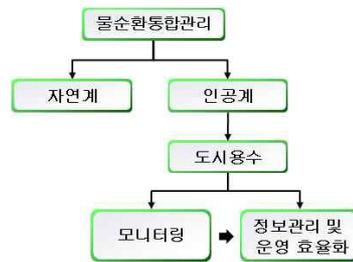


그림 4. 물 순환 분류도(본 연구관점)



그림 5. 연구대상지역

이중 인공계는 다시 여러 가지 형태의 주제를 포함하고 있으나 그중 도시용수 부분만을 연구의 대상으로 한다. 도시용수는 정보화 관점에서 크게 모니터링 부문과 정보관리 / 운영효율화 부문으로 구성될 수 있다. 본 논문은 이중 모니터링 기법 및 방법론에 대하여 제시한다.

4.2 공간적 범위

본 연구의 대상지역으로 그림 5와 같이 대전시 유성구 관평천 일대를 선정하였다.

이 지역은 도시지역과 농경지역이 혼합된 복합도시로서 단지 내에 갇친 제1 지류인 관평천 이라는 소하천이 흐르고 있다. 관평천은 유역 면적이 10.85km²이며, 유로 연장이 5.45km로, 관평천 유역의 중류지역은 농경지로 구성되고, 하류지역은 주거단지 및 산업단지로 구성되어 있어 물소비량이 다양한 패턴으로 이루어짐에 따라 연구 대상 지역으로서의 가치를 충분히 지니고 있다고 판단되었다.

5. 데이터 모니터링

5.1 모니터링 대상

도시용수 공급 및 관리를 위한 주요 모니터링 항목은

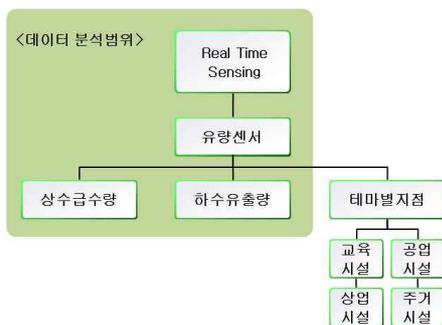


그림 6. 모니터링 대상

유량, 유압 등 여러 가지가 있으나 본 연구는 공급효율화 차원의 관점에서 접근하고자 하므로, 유량을 중심으로 활용도 증진 방법을 찾고자 한다. 그림 6과 같이 대상지역의 상수유입량, 하수유출량, 그리고 교육, 공업, 상업, 주거시설 등 주요사용처의 물 사용 소비량이 유량센서로부터 센싱 되어 분석에 활용될 수 있는데 이중 본 논문의 데이터 분석범위를 상수 급수량과 하수 유출량의 센싱데이터로 선정하고 연구를 진행하였다.

5.2 데이터 모니터링 위치선정 및 데이터 전송방식

그림 5는 항목별 센서설치 위치를 표현한다. 상수처리장 2지점과(월평 · 신탄진정수장) 하수처리장 1지점(테크노밸리펌프장)에 설치된 센서는 각각 이 지역 전체의 상수유입량과 하수 유출량 측정을 가능하게 한다. 본 연구지역의 상수처리장과 하수처리장에는 지자체에서 관리하는 유량센서가 설치되어있어 별도의 센서를 설치할 필요 없이 무선으로 데이터전송이 가능한 CDMA 방식의 데이터 통신설비만 설치하였다. 이외에 주거, 상업, 교육, 공업시설 등 테마별 지역의 실시간 유량 데이터를 취득하기 위해 각각의 선택된 장소에 현장상황에 맞게 유량센서를 설치하였는데 주거시설은 디지털 수도미터 20mm 계량기를 설치하였고 상업시설은 디지털 수도미터 15mm 계량기를 설치하였다. 교육 시설과 공업시설은 특성상 물소비량이 다른 테마시설보다 많은 관계로 대형 수도미터 100mm 계량기를 설치하였다. 테마별 지점의 실시간 데이터 전송방식은 대부분 상 · 하수 처리장과 같이 CDMA 방식의 무선 데이터 통신설비를 설치하였으나 교육시설은 건물의 특성상 유량센서가 무선이 잡히지 않는 지하에 설치되었기 때문에 현장서버와 직접 연결할 수 있는 전용선을 따로 설치하였다.

그림 7은 설치된 각 항목별 유량센서로부터 실시간으로 데이터를 전송하는 흐름도이다. 현재 데이터는 1분, 5분, 10분 간격으로 각 유량센서로부터 현장서버로 수집되는데 이 현장서버는 원활한 데이터 수집이 가능한 Xenon x3330, 2.66GHz 정도의 스펙을 가지고 있다. 유량센서로부터 전송되어진 데이터들은 현장서버가 인식할 수 있는 데이터 구조로 들어오는 것이 아니므로 서버에 내장형 데이터 변환기를 추가 설치하였다. 데이터 변환기는 센서로부터 들어오는 실시간 데이터 코드와 서버에서 인식하는 데이터 코드를 일치시켜주는 역할을 한다. 현장서버 외에도 Intel Pentium Dual-Core E5200 정도 스펙을 가진 별도의 관리용 서버를 구축하여 현장에서 받은 실시간 데이터를 재전송함으로써 데이터의 원활한 관리 및 분석에 활용하고 있다.

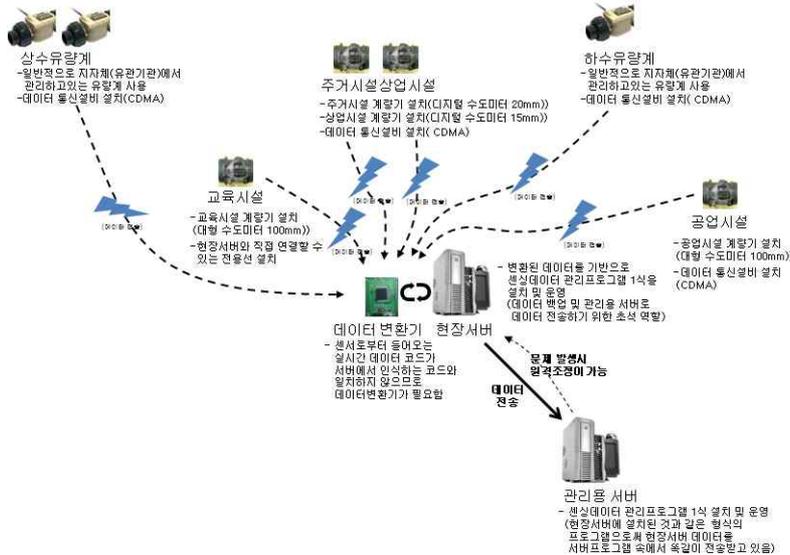


그림 7. 실시간모니터링 데이터전송 흐름도

6. 도시용수 모니터링시스템 구현

6.1 도시용수 모니터링시스템 구축전략 수립

물 부족을 근본적으로 해결할 수 있는 방법은 크게 두 가지가 있다. 첫째는 부족한 수원을 확보하기 위하여 더 많은 양의 생활용수를 생산하는 방법이고 둘째는 효율적인 물 공급 관리를 통해 용수절약을 이루는 방법이다. 부족한 수원만큼 생활용수를 생산하는 방법은 당연한 물 부족 현상을 해결하기 위해 보편적으로 사용하는 방법이긴 하나 물 부족 현상의 완전하고 독립적인 해결안으로는 적지 않은 한계성을 가지고 있다. 이에 대한 보완책으로 제시된 상기 2번째 방법인 물 공급관리의 효율화가 필요하다. 도시용수 모니터링시스템은 효율적인 물 공급관리를 통해 용수를 절약하는 일련의 시나리오 중 첫 부분으로 실시간 센싱데이터를 활용한 테마별, 시간별 등의 물 사용 패턴 분석을 통해 물 사용량에 대한 정보를 여러가지 형태로 구체적으로 관리 할 수 있게 된다. 이러한 물 사용 패턴분석은 물 사용량의 최대, 최소 시기의 예측량을 제공함으로써 의사결정권자들에게 수원공급의 효율적인 정책수립과 관리가 가능한 기초정보를 제공해 줄 수 있다.

6.2 도시용수 모니터링시스템 기능 정의

도시용수 모니터링시스템의 세부기능은 크게 모니터링 데이터 수집, 모니터링 데이터 조회, 모니터링 데이터관리 등으로 나눌 수 있는데 그림 8은 도시용수 모니터링시스템의 기능을 도식화한 그림이다.



그림 8. 도시용수 모니터링시스템 기능 개요도

모니터링 데이터수집의 하위기능은 데이터수집과 도시용수흐름도로써 데이터 수집은 유량센서로부터 들어오는 데이터를 1분, 5분, 10분단위로 수집하고 있으며 도시용수흐름도는 상수, 하수, 우수 등의 관망흐름도와 5분단위로 관망에 흐르는 물의 양을 표현한다. 모니터링 데이터 조회의 하위기능은 항목별 데이터조회와 항목별 데이터그래프 조회가 있는데 센서로부터 실시간으로 받는 데이터를 상수 급수량, 하수 유출량 테마별 사용량 등의 항목별 또는 시간대별로 조회가 가능하게 할 수 있다. 또한 데이터분석을 위한 데이터그래프 조회기능이 포함되어 있다. 마지막으로 데이터관리의 하위기능은 1일 데이터를 로그파일 형식으로 자동화 하여 저장하는 기능과 조회기능과 연계하여 실시간데이터 조회 후 자료처리 및 분석을 위하여 원하는 시간적 범위 만큼 설정하여 저장할 수 있는 기능이 있다. 세부적인 모니터링시스템 주요기능에 대한 설명은 표 1과 같다.

표 1. 도시용수모니터링시스템 주요기능

세부기능	하위기능	설명
모니터링 수집	1분데이터수집	전항목의 센싱데이터를 1분단위로 수집
	5분데이터수집	전항목의 센싱데이터를 5분단위로 수집
	10분데이터수집	전항목의 센싱데이터를 10분단위로 수집
	도시용수흐름도	상수, 하수, 우수 등의 관망 흐름과 실시간으로 관망에 흐르는 물의 양 표현
모니터링 데이터 조회	상수유입량데이터조회	유량센서로부터 수집된 상수유입량데이터를 시간대 및 항목별 조회 가능
	하수유출량데이터조회	유량센서로부터 수집된 하수유출량데이터를 시간대 및 항목별 조회 가능
	테마별데이터조회	유량센서로부터 수집된 상업, 주거, 공업, 교육 등의 주요사용처를 시간대 및 항목별 조회 가능
모니터링 데이터 조회	상수유입량데이터그래프조회	수집된 상수유입량 데이터의 분석을 위한 시간대 및 항목별 그래프 조회 가능
	하수유출량데이터그래프조회	수집된 하수유출량 데이터의 분석을 위한 시간대 및 항목별 그래프 조회 가능
	테마별데이터그래프조회	수집된 테마별데이터의 분석을 위한 시간대 및 항목별 그래프 조회 가능
데이터 관리	5분별 일일데이터저장	전 항목의 센싱데이터를 대상으로 1일단위로 자동 으로 로그파일 형식으로 저장
	데이터 선택영역 저장	전 항목의 센싱데이터를 대상으로 시간적 범위를 설정하여 엑셀형식으로 저장
	통신데이터 이상경보알림	센서의 통신이상으로 인하여 데이터수집에 문제가 발생 될 경우 알람메시지 표현

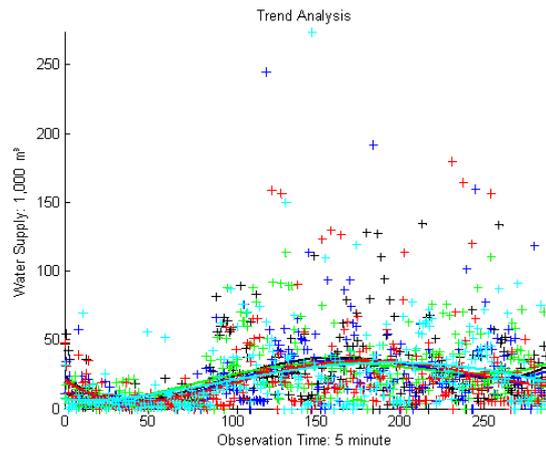
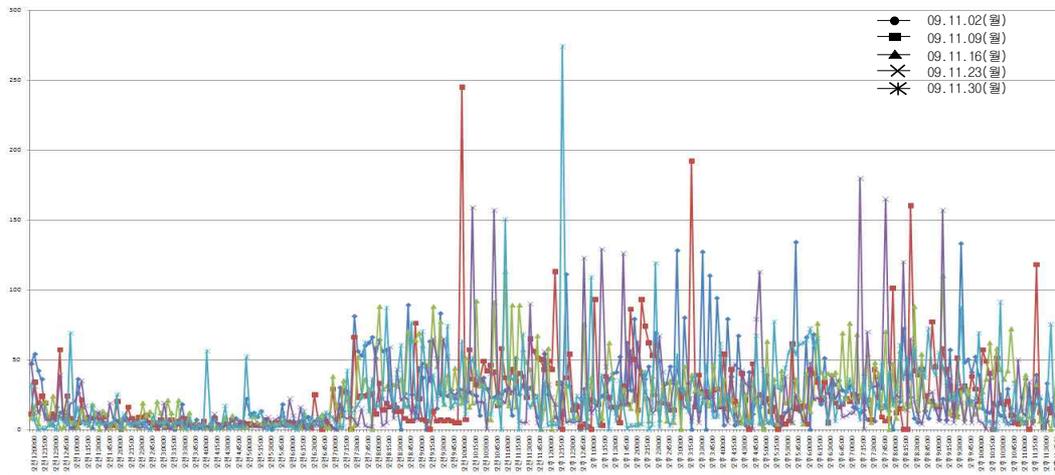


그림 9. 상수 급수량 일 단위데이터 추세분석 결과

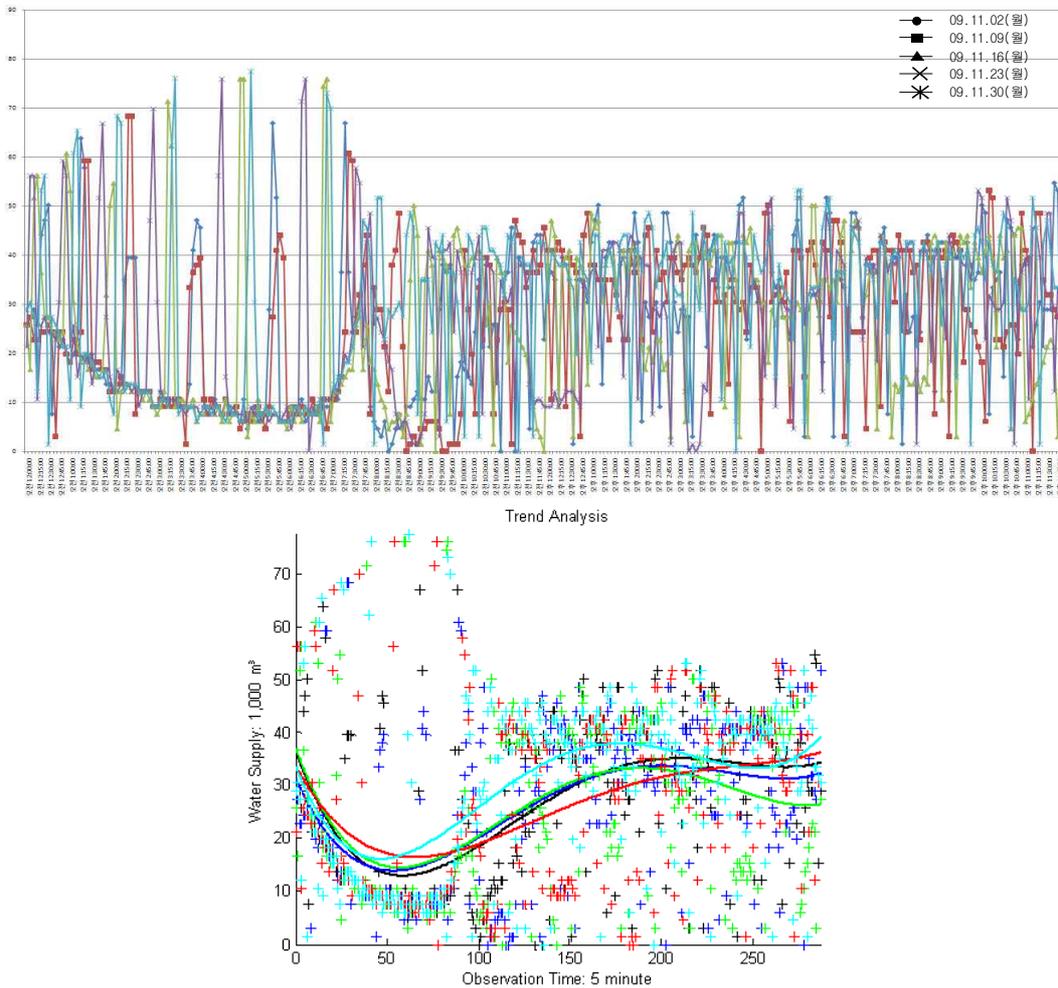


그림 10. 하수유출량 일 단위데이터 추세분석 결과

7. 모니터링을 통한 데이터 추세분석

데이터 추세분석은 일, 주, 월, 연간 단위로 이루어질 수 있으며 각각 유용한 사용현황정보와 미래예측행정의 판단근거로 활용될 수 있다. 본 논문에서는 이중 일 단위 추세분석을 통해 활용도 점검을 시도해보고자 했다.

일 단위 데이터 추세분석 즉, 일정기간 중 하루의 상수급수량과 하수유출량의 패턴을 분석해야 하는데 이를 위해 일련의 데이터 선정작업을 거쳐 물의 유동량이 많은 특정일의 데이터를 선정하였다. 그림 9~10은 2009년 11월 월요일(2, 9, 16, 23, 30일) 데이터로서 대상지역의 상수급수량과 하수유출량에 대해 유량센서를 통해서 수집된 정보와 다항식 모형을 이용한 추세분석 결과를 나타내고 있다. 다항식 모형은 MATLAB을 사

용하여 4차원 다항방정식으로 유도하였다. 5분 단위로 취득되는 유량센서로부터 상수급수량과 하수유출량 데이터를 추출하여 가로축에는 오전 12:00시부터 오후 11:55분까지의 시각을 나타내고 세로축에는 상수 급수량과 하수유출량을 톤(m³)으로 표시한다.

실시간으로 센싱된 일 단위 통계 데이터를 다항식모형을 이용하여 추세분석한 결과 2009년 11월 일별(월요일) 상수 급수량은 밤 12시 이후로 감소하다가 새벽 3시 20분경에 사용량이 거의 없는 것을 보여주고 있다. 이후로 계속 증가하다가 오후 2시 10분경에 최대사용량 약 39톤을 정점으로 다시 지속적으로 감소하는 패턴을 보이고 있다. 그림으로 표현되지 않은 또 다른 형태의 다항식모형 패턴분석에 의하면 하루 평균 급수사용량은 22.94톤임을 알 수 있었다. 2009년 11월 일별

(월요일) 하수유출량은 밤 12시 이후로 급감하다가 새벽 5시 경에 방출량이 거의 없는 것을 보여주고 있다. 이후로 계속 증가하다가 오후 4시 40분경에 최대방류량 약 38톤을 정점으로 다시 지속적으로 완만하게 감소하는 패턴을 보이고 있다. 그림으로 표현되지 않은 또 다른 형태의 다항식모형 패턴분석에 의하면 하루 평균 하수유출량은 26.35톤임을 알 수 있었다.

이렇게 한 지역 전체에 대한 일 단위 상수급수량과 하수유출량의 최대, 최소량 및 발생시간을 분석한 결과는 평균량과 함께 상수 공급 및 상·하수 시설용량 초기설계 시 가장 기본이 되는 자료가 되며 의사결정권자들의 효율적인 물 관리를 위한 방안 제시를 위한 기초 자료의 역할이 가능하다.

8. 결 론

도시용수의 효율적인 관리를 위해서 본 연구에서는 GIS기반 실시간 용수 모니터링 기법을 제시했다. 현재까지의 연구과정 중 각 절차별 결론은 다음과 같다.

1. 데이터모니터링 부문은 모니터링 센서의 도입, 설치, 관련 통신프로토콜의 개발 등 상당한 연구노력이 동반된 부분이었고 앞의 모니터링시스템 구현으로 연결되는 중요한 과정을 제공하였다. 또한 현재 한 지역 전체의 상수급수량과 하수유출량 분석을 통해 용수설계의 기초자료로 활용될 수 있다는 결론에 도달하였으나 연구 분석 중, 구체설계 수준의 방법론을 제시하기 위해서는, 테마별 하부 시설들의 용수사용 데이터분석 필요성이 인식되었다.
2. 본 연구는 현재 소규모 단지를 선정하여 시행하였으나 연구결과는 대상지의 규모에 관계없이 확대가 가능할 것으로 판단된다(단, 대상지의 특성에 따라 현 기법의 적용성에 제한이 가해질 수는 있으며 이를 극복하기 위해서는 대상지별 특성변수의 추가고려가 기법내 포함되어야한다).

3. 모니터링시스템 구현 부문은 현재 구현연구가 진행되고 있는 부문으로 기능설계 및 기초구현이 이루어져 본 논문에서 제시한 실시간 모니터링 데이터의 패턴분석 등의 지원이 가능하였으나 다양한 추세분석 및 결과 도식 방법들이 보강되어야 한다.
4. 상기와 같은 부문별 결과들의 통합 및 발견된 보완사항들의 개선 방법론 정립 및 시나리오 구현이 향후 연구될 예정이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설교통기술 사업 연구비지원(U-based Eco Space 구축기술)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 박진혁, 2008, *우리나라의 최신 수자원현황 및 특성*, 한국수자원공사, <http://www.kwater.or.kr>.
2. 김진택, 박기욱, 주옥중, 2005, "자동수위관측기를 이용한 농업용 저수지 모니터링 시스템", *한국관개배수학회지*, 한국관개배수학회, 12권 1호, pp.60-68.
3. 김정훈, 이미숙, 한재일, 2008, "지능형 지하시설물관리를 위한 상수도 모니터링 기술개발의 우선순위 평가에 관한 연구", *한국GIS학회지*, 한국GIS학회, 16권, 2호, pp.263-278.
4. 정진석, 이용주, 변인선, 김태훈, 송용학, 2009, "유비쿼터스 환경기반의 상황인식 시나리오 연구-상수도 사례를 중심으로-", *한국지형공간정보학회지*, 한국지형공간정보학회, 17권 2호, pp.47-53.
5. (주)그린텍아이엔씨, 2010, "상수도관망 최적 유지관리시스템 구축 전략", *상수도관망 최적관리 시스템 구축 추진방향(개정된 지침과 정책설명 및 신기술 발표회)*, 환경포커스, 상수도관로연구회, pp.141-154.