

주거용수 실시간 사용 추세패턴 분석

김성훈^{1*}

¹남서울대학교 GIS공학과

A Study on the Trend Analysis of Real-time Residential Water Consumption

Seong Hoon Kim^{1*}

¹Department of GIS Engineering, Namseoul University

요 약 본 연구는 점차 심화되고 있는 물 부족 현상에 대응하는 IT기반의 효과적인 방법을 제시하는데 그 궁극적인 목적을 두고 있다. 이를 위한 부분적 시도 중 하나로, 본 논문에서는 주거용수를 대상으로 실험지역 및 센서의 선정, 센서 및 데이터 취득 장비의 설치, 실시간 데이터 모니터링 등의 과정을 시도하고 모니터링된 실시간 데이터 분석을 통해 요일별, 월별 주거용수 사용 모형을 개발하였다. 그리고 개발된 모형을 적용하여 주거용수 사용 추세패턴 분석을 실시하였다. 개발된 주거용수 사용 모형 및 추세패턴 분석결과는 분명한 시간별 패턴 및 일반화의 가능성을 보이고 있음이 확인되어 개별적으로 또는 타 용도의 용수 사용 모형 및 추세패턴 분석결과와 함께 전체 용수관리의 효율화를 위해 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract This study ultimately aims at proposing an IT-based efficient method to solve one of the biggest problems currently faced by human beings which is lack of water. As a trial, targeting residential water, a chain of efforts was added such as choosing an appropriate field area and a censor, installing a sensor and the communication systems and servers, and monitoring the real time residential water consumption data. Then, a series of residential water consumption models was developed through the analyses of data gathered. And using the developed models, a series of trend analyses was performed for the residential water consumption. The research results shows that the developed models can be generalized and utilized for the water supply management purpose individually or along with the ones from the other water categories.

Key Words : Residential water, Real-time Data, Water Consumption Modeling, Trend analysis, GIS

1. 서론

최근의 자연현상 변화로 인한 기후변화 등으로 인해 인간생존에 필수불가결한 용수의 안정적 공급에 대한 예측이 더욱 어려워지고 있다. 이러한 용수의 안정적 공급은 공급량의 증대 또는 효율적 공급관리를 통해 확보할 수 있다. 경제성 차원은 차치하고라도, 물 원천 자원의 충분한 확보와 증대에 대한 방안만으로는 한계가 있어 보이는 현 시점에서 두 번째 방식인 용수의 효율적 공급관리에 초점

을 맞춘 연구 및 실행이 필요한 시점으로 판단된다.

이에, 본 연구의 궁극적 목표는 용수의 재이용, 생산, 공급, 관리 전반에 걸친 효율성 향상에 초점을 맞추고 있으며 그를 위한 노력의 일환으로 본 논문은 주거용수를 대상으로 한 선행연구조사를 바탕으로[1-4] 그 가능성을 타진해본다. 이를 위해 선행된 타 테마용수 관련 연구[5,6] 중 정립된 연구방법론이 현 연구의 진행에 활용되었다.

주거용수를 대상으로 실시간 데이터의 모니터링, 모니터링된 데이터의 분석, 주거용수 사용 모델 개발, 개발된 모델

본 연구는 남서울대학교 교내학술연구비의 지원 및 한국건설기술연구원 주요사업(마이크로그리드 스마트 용수관리 기술 개발 2012-0019)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Seong Hoon Kim

Tel: +82-19-363-0955 email: gotit@nsu.ac.kr

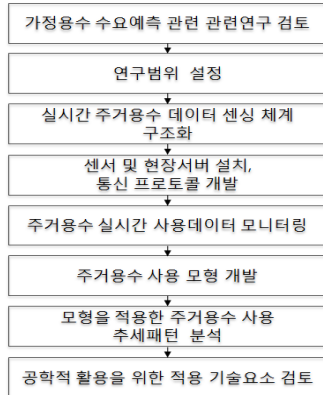
접수일 12년 06월 21일

수정일 (1차 12년 07월 20일, 2차 12년 07월 31일)

게재확정일 12년 08월 09일

을 활용한 사용 추세분석, 그리고 이와 연계된 IT기반 도구로서의 GIS의 활용[7] 등이 연구의 주요고려사항이고 그에 따른 관련 절차 및 절차별 내용이 연구되어진다.

2. 연구방법론

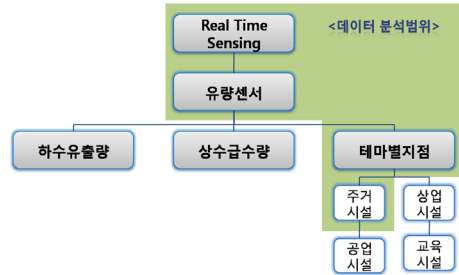


주거용수 실시간 사용 추세패턴 분석에 관한 연구는 그림 1의 절차를 통해 단계별로 실시하였다. 기존 실시간 데이터를 활용한 모형 개발 관련 연구사례가 검토되었고 다음으로 주거용수를 대상으로 실시간 데이터를 수집하기 위한 연구지역이 설정되었다. 실시간 데이터 센싱을 위한 구조설계가 이루어지고 그에 따라 주거용수 센서 및 현장서버, 관리서버의 설치, 주거용수 실시간 데이터 취득을 위한 통신 프로토콜이 개발되었다. 이와 같이 준비된 인프라스트럭처를 바탕으로 주거용수 실시간 사용 데이터가 모니터링 되었고 통계적 기법을 통해 일련의 주거용수 실시간 사용 모형이 개발되었다. 최종적으로, 개발된 모형은 실시간 주거용수 사용 추세패턴 분석을 위해 활용되었다. 이 결과의 공학적 활용을 위해 ICT기술 중 공간정보분석과의 접목이 용이한 GIS의 도입이 검토되었다.

3. 연구범위

본 연구의 공간적 범위는 공간적 이동성과 사전조사를 통한 적합성 판정을 고려하여 대전시에 위치한 유성구 관평천 일대로 선정하였다. 이 지역은 주거, 상업, 산업관련 필지가 적절하게 포함 및 분리되어 있어 현 연구의 대상인 주거용수 뿐만 아니라 타 테마의 용수를 대상으로 확장 시 공동 인프라를 확보하기 용이하다고 판단되었다. 그림 2는 향후 전체 용수관점에서 분석되어야 할 데이터

군 항목을 보여주고 있다. 본 논문은 여기에 표현된 테마군 중 주거시설에 공급되는 주거용수를 대상으로 한다.



[그림 2] 실시간 데이터 분석범위
[Fig. 2] The Analysis Scope of Real Time Data

4. 실시간 주거용수 사용 데이터 모니터링

주거용수의 유량측정은 그림 3과 같이 디지털 분리형 복합건식 유량계(20mm)를 사용하였으며 CDMA 방식의 무선송신이 가능한 디바이스를 함께 설치하여 데이터를 현장서버로 전송한다. 이 후 현장 서버에서 유량계로부터 들어오는 데이터를 관리용 서버 코드에 맞게 변환하여 관리용 서버로 전송한다. 이 과정의 구현을 위해 전용 통신 프로토콜이 개발되어 사용되어졌다. 전송된 실시간 데이터는 설계된 실시간 데이터베이스의 형식에 맞게 일정 시간적 인터벌을 유지하면서 지속적으로 수집 및 관리된다.

현 논문의 뒤 부분에 따라 나오는 모형개발 패턴분석에 사용된 주거용수 유량 자료는 유량센서 및 관련 인프라스트럭처의 설치 후 시스템 안전성을 판단한 기간으로 2009년 10월부터 2010년 04월까지의 실시간 데이터이다.



[그림 3] 주거용수사용 실시간 데이터 취득구조
[Fig. 3] The Data Acquisition Structure of the Real Time Residential Water Consumption

5. 실시간 사용량 모니터링 기법을 통한 주거용수 모형개발 및 사용추세 패턴분석

5.1 주거용수 사용 모형 개발

실시간으로 센싱된 주거용수 사용 데이터는 5분단위 데이터를 기준으로 회귀분석(Regression Analysis)을 이용하여 모델링되었다. 결과의 신뢰성을 높이기 위해 3차 다항식부터 8차 다항식까지 검정결과가 비교되었으며, 결과 표현의 대표성을 증점으로 일련의 분석과정을 거친 결과, 식(1)에 표현된 5차 다항식 모형이 가장 적절하다는 결론에 도달하였다.

$$Q = a + bQ_t^1 + cQ_t^2 + dQ_t^3 + eQ_t^4 + fQ_t^5 \quad (1)$$

여기서 Q 는 유량, Q_t 는 5분단위 시간, $a \sim f$ 는 매개변수를 의미한다.

또한 F-검정과 표본결정계수(r^2)를 통해 다항식의 매개변수가 유의미한 값인지 판별하고 선정한 차수가 주어진 자료에 적합한지 판단하였다. 표 1은 주거용수의 월별 용수 수요를 대상으로 검정을 통해 다항식의 각 차수가 의미하는 결과 값을 설명한 자료이다.

[표 1] F-검정을 통한 주거용수의 다항식 차수별 결과
[Table 1] Results of F-test for Each of the Selected Polynomials

구 분	3rd	4th	5th	6th	7th	8th
SST	512013 98.611	512013 98.611	5120139 8.611	5120139 8.611	5120139 8.611	5120139 8.611
SSR	141223 23.877	141223 63.116	1431803 7.618	1529071 8.792	1568722 4.335	1570834 4.893
SSE	370790 74.734	370790 35.495	3688336 0.993	3591067 9.819	3551417 4.277	3549305 3.718
r^2	0.276	0.276	0.280	0.299	0.306	0.307
F_{test}	36.056	26.947	21.894	19.942	17.669	15.435
$F_{crit. value}$ ($\alpha = 0.05$)	2.637	1.728	1.610	1.529	1.470	1.426

표 1을 보면, 개발된 전체 차수의 다항식 모형에 대해, F_{test} 값이 $F_{crit. value}$ 값보다 크게 나타나고 있다. 또한 3차 식에서 8차식까지의 표본결정계수(r^2)를 살펴보면 0.276 ~ 0.307 사이의 값을 나타내고 있다. 이 결과는 본 논문

의 모델링 대상이 아닌 상업용수의 경우와는 비슷하고 공업용수의 경우보다는 낮은 결과를 나타내고 있어 상식적인 판단을 이론적으로 검증하게 해준다. 또한 차수가 증가할수록 표본결정계수가(r^2) 증가됨이 확인되며 매개변수의 과잉추정 문제를 반영하여 다항식의 차수가 상대적으로 낮은 3, 4, 5차식 중 표본결정계수(r^2)가 크고 SSE가 다소 작은 5차식 모형을 주거용수 사용패턴 분석을 위한 모형식으로 선정하였다. 현 절차에서는 주거용수를 대상으로 회귀분석을 수행하고 그 결과로 개발된 다항식 모형들의 신뢰성 검증을 위해, 3차, 4차, 5차의 저차 다항식부터 6차, 7차, 8차의 고차 다항식까지 F검정을 실시하여 비교 분석 하였다. 표 2는 주거용수를 대상으로 개발된 모형들 중 최종선정된 5차 다항식 모형의 검정 결과를 표현하고 있다.

[표 2] 최종선정된 주거용수 사용량 추정 모형의 표본결정계수(r^2)와 F_{test} 값

[Table 2] r^2 and F_{test} Results of the Finally Selected Model for the Estimation of Residential Water Consumption

구 분	Orde	SST	SSR	SSE	r^2	F_{test}	$F_{crit. value}$ ($\alpha = 0.05$)
주 거 용 수	5th	512013 98.611	143180 37.618	368833 60.993	0.280	21.894	1.610

5.2 요일별 주거용수 사용추세 분석

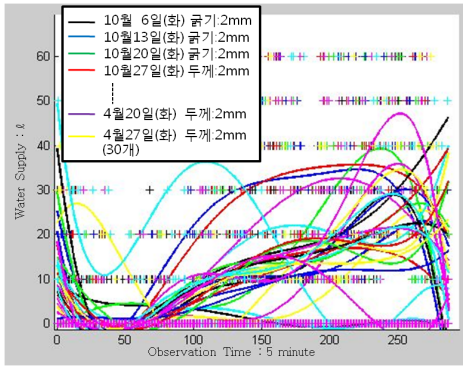
도시용수 테마의 한 분야인 주거용수의 요일별 사용추세를 분석하기 위한 과정으로, 시간(Q_t)은 24시간(AM 12:00 부터 PM 11:55 분까지)을 5분단위로 나누어 0~287의 범위의 수치로 환산하여 X축으로 표현되고, 유량(Q)은 Y축으로 표현된다. 다음으로, 표 3과 같이 각 요일별로 7개월 데이터 변환을 실시하였다.

[표 3] 요일별 주거용수 데이터 변환 현황

[Table 3] The Data Conversion Status of Residential Water Consumption for Each Day of a Week

구 분	월요일	화요일	수요일	목요일	금요일	토요일	일요일
사용모형 도출개수 (7개월 기준)	30개	30개	30개	31개	31개	30개	30개
시간범위 (Q_t)	0~ 287	0~ 287	0~ 287	0~ 287	0~ 287	0~ 287	0~ 287
유량범위 (Q)	0~ 286 (ℓ)	0~ 307 (ℓ)	0~ 257 (ℓ)	0~ 297 (ℓ)	0~ 285 (ℓ)	0~ 89 (ℓ)	0~ 30 (ℓ)
평균사용량 (Q_{avg})	9.223(ℓ)	9.537(ℓ)	10.448 (ℓ)	10.817 (ℓ)	9.647(ℓ)	9.769(ℓ)	0.213(ℓ)

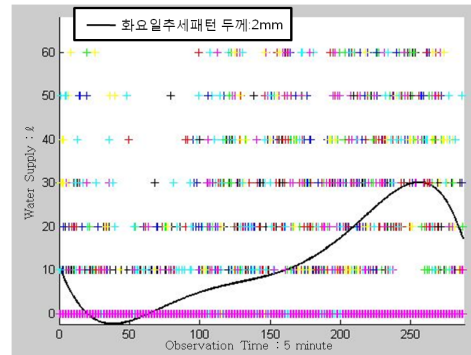
각 요일별, 7개월간 데이터를 활용하여 도출한 모형 개수는 30~31개이다.



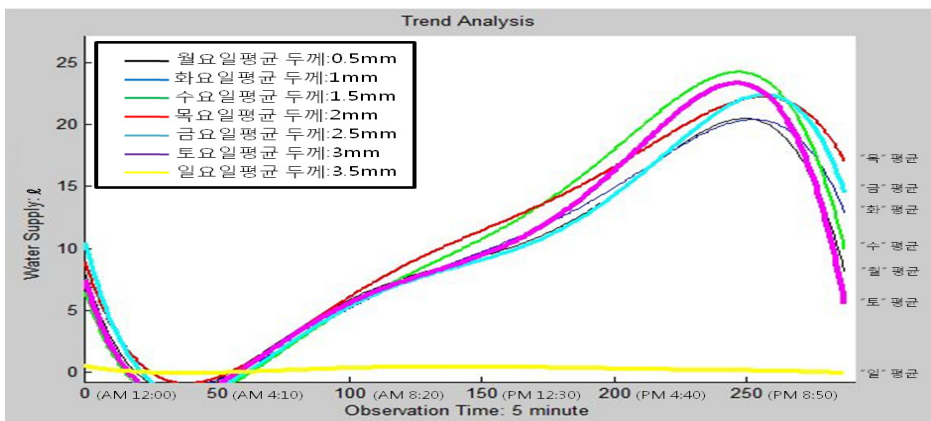
[그림 4] 화요일 데이터 다항식 모형들
[Fig. 4] Models for Tuesday Water Consumption

그림 4는 화요일 데이터 다항식 모형들을 그래프의 형식으로 표현한 것이다. 표현된 바와 같이 각 모형들은 동일한 시간대에 다소간 유사한 형태의 사용패턴을 보이고 있다. 수요량 예측 등의 현실사용을 고려하여 이모형들은 대표성을 띄는 하나의 모형화 작업을 거쳐 대표모형으로 변환된다. 그림 5는 화요일 대표모형을 보여준다. 이와 같은 대표화 작업이 각 요일별 모형들을 대상으로 이루어지며 그 결과로 각 요일별 대표모형이 개발된다. 그림 6은 각 요일별 대표모형을 도식화시켜 함께 표현한 것으로 요일별 주거용수 평균 사용 추세를 분석을 위해 사용되어진다. 주거용수의 요일별 평균 사용패턴은 일요일을 제외한 나머지 요일의 경우 거의 비슷한 경향을 보이고 있다. 월요일은 12:00(AM)경 약 7ℓ 를 시작으로 02:10(AM)경

까지 가파르게 감소하다 04:10(AM)경부터 08:50(PM)경 약 23ℓ 까지 단계별로 증가하다 그 후 감소전환하여 11:55(PM)경 약 8ℓ 를 지나는 경향을 나타내고 있다. 화요일은 월요일과 유사한 패턴을 보이고 있으나 11:55(PM)경 지나는 수치가 월요일보다 약 5ℓ 정도 높게 나타나고 있다. 수요일 역시 유사한 패턴을 보이고 있으나 08:50(PM)경 정점을 나타내는 수치가 약 25ℓ 로서 다른 요일보다 높게 나타난 경향을 보이고 있다. 목요일과 금요일을 비교해 보면 최소, 최대사용량은 비슷하게 나타났으나 상승하는 패턴에서 목요일이 금요일보다 완만한 형태로 나타나고 있음을 알 수 있었다. 주말인 토요일은 주중과 다른 패턴을 보이고 있으며 08:50(PM)경 약 24ℓ 를 정점으로 이후 가파르게 감소하다 11:55(PM)경 약 5ℓ 를 지나는 패턴을 보이고 있다. 주거용수의 일요일 사용패턴은 시간에 따른 변화가 거의 없었다.



[그림 5] 화요일 데이터 평균 다항식 모형
[Fig. 5] The Average Model For Tuesday Water Consumption



[그림 6] 요일별 주거용수 평균 사용 추세분석
[Fig. 6] Trend Analysis of Average Consumption of Residential Water for Each Day of A Week

[표 4] 월별 주거용수 데이터 변환 현황

[Table 4] The Data Conversion Status of Residential Water Consumption for Each Month

구 분	2009.10	2009.11	2009.12	2010.01	2010.02	2010.03	2010.04
사용패턴 도출개수 (7개월 기준)	1개	1개	1개	1개	1개	1개	1개
시간범위(Q_t)	0~287	0~287	0~287	0~287	0~287	0~287	0~287
유량범위(Q)	0~1,240 (ℓ)	0~1,410 (ℓ)	0~1,930 (ℓ)	0~1,550 (ℓ)	0~1,350 (ℓ)	0~1,280 (ℓ)	0~1,800 (ℓ)
평균사용량 (Q_{avg})	257.396 (ℓ)	241.215 (ℓ)	283.437 (ℓ)	248.437 (ℓ)	237.986 (ℓ)	264.201 (ℓ)	267.534 (ℓ)

5.3 월별 주거용수 사용추세 분석

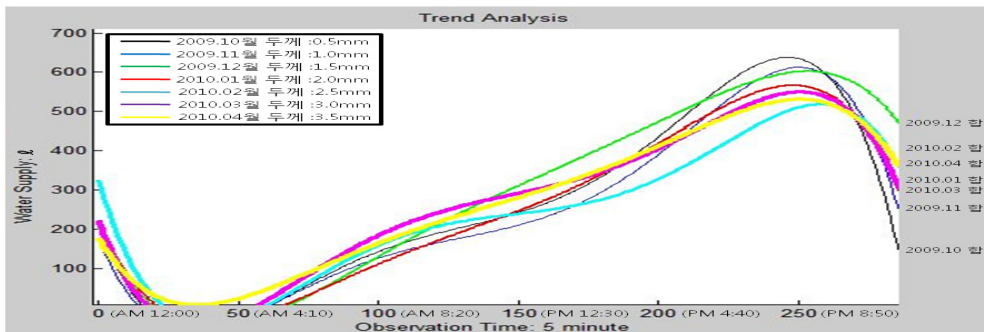
주거용수의 월별 사용추세를 분석하기 위한 과정의 첫 절차로, 요일별 작업 시와 마찬가지로, 시간(Q_t)은 24시간(AM 12:00 부터 PM 11:55분 까지)을 5분단위로 나누어 0~287의 범위의 수치로 환산하여 X축으로 표현되고, 유량(Q)은 Y축으로 설정되어 표4와 같이 각 월별로 7개월 데이터 변환을 실시하였다.

그림 7은 표 4와 같이 정리된 데이터를 기반으로 각 월별 평균사용량 데이터를 활용하여 표현하였다. 주거용수 월별 평균 사용패턴은 대부분 요일별 평균 사용패턴과 비슷한 경향을 보이고 있다. 2009.10월은 12:00(AM)경 약 200ℓ 를 시작으로 약 1시간 정도 급격히 감소하다 04:10(AM)경 전환하여 증가하다 08:50(AM)경 650ℓ 를 정점으로 급격히 감소하여 11:55(PM)경 약 120ℓ 를 지나는 경향을 보이고 있다. 2009.11월 역시 비슷한 경향을 보이며 단지, 08:50(PM)을 지나는 최대사용량 수치가 2009.10월보다 약 30ℓ 적은 것을 알 수 있었다. 2009.12월은 타월 대비 04:10(AM)경부터 최대사용량 08:50(PM)경 약 590ℓ 를 지날 때까지의 용수 사용패턴이 일정하게 증가

하는 것을 알 수 있었으며 2010.01월은 08:50(PM)경 약 최대사용량 550ℓ 를 정점으로 그 후 감소하다 11:55(PM)경 약 300ℓ 를 지나는 2009.11월과 유사한 경향을 보이고 있다. 2010.03월과 2010.04월은 역시 유사한 경향을 보이고 있으나 2010.03월의 07:30(AM)경부터 01:10(PM)경까지의 용수 사용이 동시간대의 2010.04월 보다 다소 많음을 알 수 있었다.

6. 개발된 모형 및 추세패턴 분석결과의 활용 방안

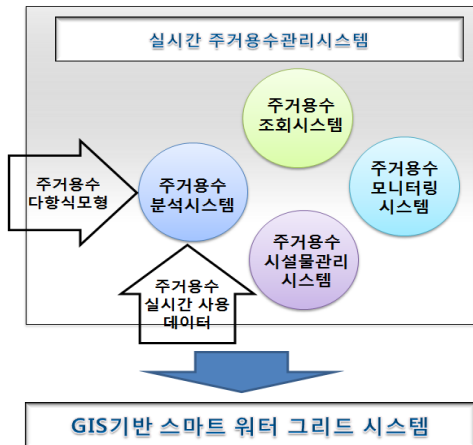
한 지역 또는 지자체의 주거용수 사용량은 현재 각 수용가에 설치된 계량기의 수치를 합산하여 얻어질 수 있다. 그러나 동일 지역 또는 지자체를 대상으로 한 주거용수 공급량은 이보다 다소간 많은 양 임은 익히 알려진 사실이고 그 주요 원인은 누수이다. 우리나라 지자체의 평균유수율은 약 85%에 불과하며 심한 경우 60%선의 지자체도 있는 것으로 조사되었다. 본 논문의 연구결과는, 우



[그림 7] 월별 주거용수 평균 사용 추세분석

[Fig. 7] Trend Analysis of Average Consumption of Residential Water for Each Month

선 주거용수를 대상으로, 1분단위의 실시간 사용량 데이터의 실시간 모니터링을 근간으로 사용량 모형화, 사용 추세 분석 등의 과정을 거쳐 주거용수의 관리 및 사용량 예측 서비스 등에 활용 될 수 있다. 그러나 상기에 언급한 누수 확산 및 누수지역 예측, 그리고 사후조치 등까지 연결하기 위해서는 본 논문의 결과와 더불어 타 테마용수에 대한 동일한 연구 및 결과, 스마트 워터그리드를 지향한 요소 및 모듈들, 그리고 필요한 추가 인프라스트럭처의 설치가 필요하다. 본 논문의 결과는 그러한 종합적인 용수관리를 위한 하나의 모듈로서 IT를 활용한 정보 관리 및 서비스를 위해 부분적 역할을 담당한다. 그림 8은 본 논문 결과만으로 적용가능한 공학적 활용을 도식화한 것이다. 공간분석이 용이한 GIS가 정보화 Frame Work으로 적절하다고 판단된다.



[그림 8] 연구결과의 활용(모듈로서)
[Fig. 8] Application of the Research Outputs

7. 결론

본 연구는 실시간 모니터링된 도시용수 데이터를 기반으로, 도시용수 중 주거용수를 범위로 설정하고 다항식 모형을 개발하여 “요일”별 및 “월”별 사용추세를 분석하였다. 이 후 이러한 주거용수 사용 예측기법을 적용한 활용방안을 GIS기반 스마트 워터 그리드의 구현을 최종목표로 제시하였다.

개발된 모형을 사용한 추세패턴분석결과, 주거용수의 경우, 일요일과 기타요일과의 사용 소비패턴의 차이가 명확하며 필요시 추가적인 검증작업을 거쳐, 요일별 모델이 아닌 주중모델, 주말모델의 간략화된 사용가능성을 발견할 수 있었다. 또한 최대 평균사용량은 월별로 최소 동일,

최대 약 30% 이내의 차이를 보이고 있어 예측행정을 위한 일반화의 가능성이 확인되었다.

본 논문결과의 신뢰도개선을 위해 가장 필요한 향후 연구활동은 실시간 센서 표본수 증가에 의한 모델 정확도 향상이고, 최종적으로 스마트 워터 그리드를 지향하며 GIS를 정보화 프레임웍으로한 다양한 기능보완과 함께 물 사용 예측행정을 위한 종합적이고 효과적인 정보화도구 개발과의 연계 또한 필요한 부분으로 판단된다.

References

- [1] Youngsang Kim, " A Study on Estimation of Domestic Water Demand by Actual Survey Data", 121p, M.S. Thesis, The University of Seoul, 2007.
- [2] Whasu Kim, Dusin Lee, Juwhan Kim, Kwansu Jung, "End-use Analysis of Household Water by Metering", Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 28, No. 5, pp. 595-601, 2008.
- [3] Donggi Min, "The Analysis of Public Water Demands", Journal of Korean Resource Economics Association, Vol. 9, No. 2, pp. 311-332, 2000.
- [4] Sunhee Choi, Mina Son, Sanghyun Kim, "Analysis of Domestic Water Consumption Characteristics for Water Usage Purpose", Journal of Korean Society of Water and Wastewater, Vol. 22, No.1, pp. 23-29, 2008.
- [5] Seong Hoon Kim, Si Hyoung Lee, Dong Moon Kim, Eui Myoung Kim, Jae Kook Park, "A research on the Development of Trend Analysis Models for Residential Water Consumption Using Realtime Sensing Data and on the Grafting of a GIS for Water Supply Administrative Purposes", Journal of The Korea Society for GeoSpatial Information System, Vol. 18, No.4, pp. 109-117, 2010.
- [6] Seong Hoon Kim, " A Development of Trend Analysis Models and a Process Integrating with GIS for Industrial Water Consumption Using Realtime Sensing Data", Journal of The Korea Society for GeoSpatial Information System, Vol. 19, No.3, pp. 83-90, 2011.
- [7] Edwards, J., Koval, E., Lendt B. and Ginther, P., "GIS and hydraulic model integration : Implementing cost-effective sustainable modeling solutions", Journal AWWA, VOL. 101, No. 11, pp. 34-42, 2009.

김 성 훈(Seong Hoon Kim)

[정회원]



- 1987년 6월 : 미국 뉴욕주립대 (Buffalo)(토목공학 석사)
- 1993년 6월 : 미국 뉴욕주립대 (Buffalo) (토목공학 박사)
- 1993년 7월 ~ 1999년 8월 : 삼성SDS 책임연구원
- 1999년 9월 ~ 현재 : 남서울대학교 GIS공학과 교수

<관심분야>

GIS, 정보시스템, 정보컨설팅, 스마트 시티 등