



# 사무실 사용용수의 수량/수질 동시 측정이 가능한 일체형 스마트 워터 미터의 현장 적용성 평가

## Evaluation of Field Applicability for All-In-One Smart Water Meter to Measure both Water Quantity and Quality in Office Building Water Usage

이새로미<sup>1</sup>·오현제<sup>1</sup>·주진철<sup>2</sup>·안창혁<sup>1</sup>·박재로<sup>1\*</sup>

Saeromi Lee<sup>1</sup>·Hyun Je Oh<sup>1</sup>·Jin Chul Joo<sup>2</sup>·Chang Hyuk Ahn<sup>1</sup>·Jae Roh Park<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국건설기술연구원 환경·플랜트연구소, <sup>2</sup>한밭대학교 건설환경공학과

<sup>1</sup>Environmental and Plant Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

<sup>2</sup>Department of Civil & Environmental Engineering, Hanbat National University

### ABSTRACT

Recently, advanced metering infrastructure (AMI) has been recognized as a core technology of smart water grid, and the relevant market is growing constantly. In this study, we developed all-in-one smart water meter of the AMI system, which was installed on the test-bed to verify both effectiveness and field applicability in office building water usage. Developed 15 mm-diameter smart water meter is a magneto-resistive digital meter, and measures flow rate and water quality parameters (temperature, conductivity) simultaneously. As a result of the water usage analysis by installing six smart water meters on various purposes in office building water usage, the water usage in shower room showed the highest values as the 1,870 L/day and 26.6 liter per capita day (LPCD). But, the water usage in laboratory was irregular, depending on the many variables. From the analysis of the water usage based on day of the week, the water usage on Monday showed the highest value, and tended to decrease toward the weekend. According to the PCA results and multivariate statistical approaches, the shower room (Group 3) and 2 floor man's restroom sink (Group 1-3) have been classified as a separate group, and the others did not show a significant difference in both water use and water quality aspects. From the analysis of water usage measured in this study, the leak or water quality accident did not occur. Consequently, all-in-one smart water meter developed in this study can measure flow rate and water quality parameters (temperature, conductivity) simultaneously with effective field applicability in office building water usage.

**Key words:** advanced metering infrastructure (AMI), conductivity, field applicability, flow rate, office building water usage, smart water meter

**주제어:** 원격검침인프라, 전기전도도, 현장 적용성, 유량, 사무실 사용용수, 스마트워터미터

## 1. 서 론

스마트 워터 그리드(Smart water grid, SWG)는 ICT

(information and communication technology) 기술을 수자원의 배분·관리·수송 인프라와 융합하여 수자원의 수요·공급 전 과정을 통합관리하여 물사용의 불균형을 해소하는 것에 목적이 있다(Ramchum *et al.*, 2012; Joo *et al.*, 2012a; Joo *et al.*, 2012b).

Received 30 August 2016, revised 12 October 2016, accepted 14 October 2016

\*Corresponding author: Jae Roh Park (E-mail: jrpark@kict.re.kr)

pp. 620-634
pp. 635-643
pp. 645-652
pp. 653-662
pp. 663-671
pp. 673-682
pp. 683-690
pp. 691-698
pp. 699-705
pp. 707-714
pp. 715-723
pp. 725-736
pp. 737-744
pp. 745-753
pp. 755-764

지능형 검침 인프라는 SWG의 핵심 기술 중 하나이며, 이중 상수도 원격검침시스템(automatic meter reading, AMR)은 검침업무의 편리함을 증대시키고 용수 사용의 실시간 점검이 가능하기 때문에 용수 소비량의 절감을 유도하고 효율적인 상수원 관리가 가능하다(Joo *et al.*, 2012a; Joo *et al.*, 2012b). 최근 지능형 검침 인프라 산업은 지속적으로 증가하고 있으며, 지능형 검침 인프라의 핵심기술인 스마트 워터 미터(smart water meter)는 2010년 72백만 달러 규모에서 2015년에는 186백만 달러 규모로, 이와 관련된 통신 및 네트워크 시장은 2015년까지 약 934 달러로 급성장할 것으로 예측되고 있다(Zpryme, 2012).

상수도에 적용된 지능형 검침 인프라의 경우 스마트 워터 미터를 통해 수량/수질 데이터를 측정하고 검침단 말기(meter interface unit)를 통해 데이터를 전송하여 수집기(data concentration unit)를 거쳐 통합서버(integrated server)에서 최종 관리된다(Zpryme, 2012). 국내의 상수도 원격검침시스템은 2002년부터 서울시와 일부 지자체를 중심으로 도입되었으며, 초기에는 카메라를 활용한 촬상(image reading)방식을 도입 후 많은 스마트 워터 미터 제작사에서 다양한 지능형 검침 인프라를 개발 및 개량하여 현장에 적용하였다. 국외 상수도 원격검침시스템의 경우, Neptune, Badger, Itron, Sensus 등에서 다양한 디지털 수도계량기를 제작하여 원격검침 통합관리시스템을 구축을 통해 미국 뉴욕, 오하이오, 캘리포니아, 일리노이주 등에 적용하였으며, 이외에도 이스라엘, 캐나다, 인도 등에도 다양한 형태로 적용되거나 계획되고 있다(Gungor *et al.*, 2012; IBM, 2011; ITU, 2010).

비록 스마트 워터 미터를 활용한 상수도 원격검침

시스템은 검침 및 고지업무 개선, 누수 탐지 등으로 인해 효율적인 용수량 측정 및 관리가 가능한 장점이 있으나, 정수처리 후 공급된 용수의 수질측정은 시행되고 있지 않다. 용수공급과정에서 화학약품의 과다사용, 노후된 수도관 및 수도관 누수로 인한 오염 등 다양한 원인으로 관내 오염이 발생할수 있으므로 수질 또한 관리가 이루어져야 한다. 따라서 본 연구에서는 수량/수질 동시 측정이 가능한 스마트 워터 미터를 개발하여 실제 현장에 설치 후 장기간 모니터링을 통해 개발된 수량/수질 통합관리가 가능한 일체형 스마트 워터 미터(all-in-one smart water meter)의 현장적용 타당성을 검증하고자 한다.

본 연구에서는 수량/수질 동시 측정이 가능한 일체형 스마트 워터 미터를 개발하였으며, 개발된 스마트 워터 미터는 저전력화, 배터리 용량의 소형화, 통신알고리즘의 최적화 등을 고려하여 제작되었다. 또한, 총 6기의 스마트워터미터를 test-bed에 설치하여 2년 동안 수량과 수질을 모니터링 하였으며, 이를 통하여 용도별 용수 활용패턴과 수질변화를 제시하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 스마트 워터 미터 개발

본 연구에서 개발된 스마트 워터 미터는 자기저항 방식의 디지털 수도계량기이다. 유수가 입구(구경 15 mm)를 통해 내부로 유입하면 하부 내감을 거쳐 유출되는 과정에서 익차에 회전을 주는 복감식이자, 눈금판이 유수로부터 독립된 건식형으로 구성하였다(Fig. 1). 개발된 스마트 워터 미터에 적용된 자기저항 방식은

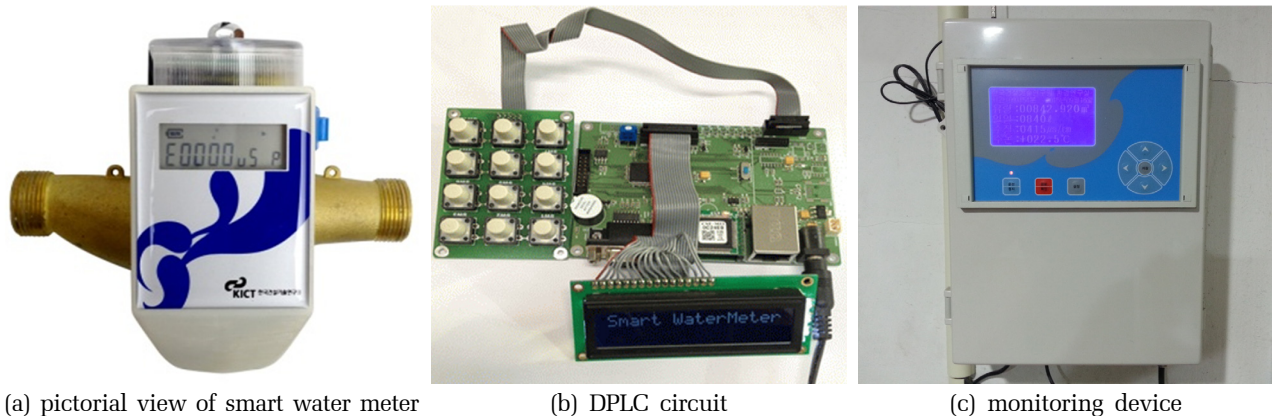


Fig. 1. All-in-one Smart water meter developed in this study.



**Table 1.** Characteristics of smart water meter developed in this study

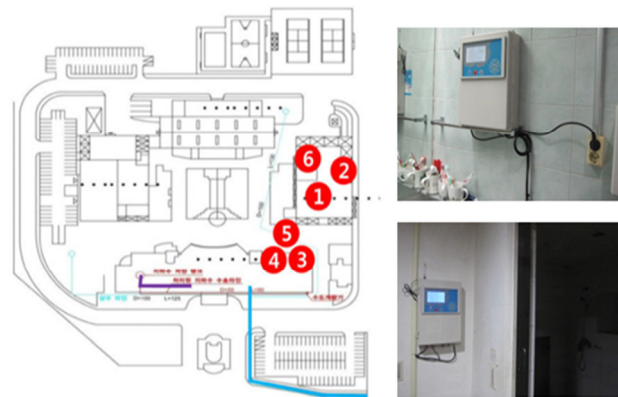
Contents		Characteristics
Certification Standard		Accepted
Size	Length (L)	165 mm
	Width (W)	92 mm
	Height (H)	97 mm
Performance after thaw		Accepted
Minimum flow rate		16 L/h
Maximum flow rate		1,600 L/h
Indicator	Minimum	0.1 L
	Maximum	9,999 m <sup>3</sup>
Type of connected thread		PF 3/4 "
Water quality measurement		Temperature, conductivity

익차(impeller) 회전으로 생성된 자기장을 활용하므로 데이터의 신뢰성과 안정성이 높은 것으로 보고되고 있다(Park, 2005; Loeff and Fox, 2010). 본 기기는 현장 적용 이전에 정확성 검증을 위해 유량시험을 거쳤으며, 최소유량(16 L/h), 최대유량(1,600 L/h)의 조건에서 최대허용오차 이내로 검증되어 수도미터 기술기준을 만족하였다(Table 1). 또한, 수질 측정을 위해서 내부에 4전극 전기전도도(electronic conductivity, EC) 센서를 일체형으로 부착하였다. EC는 수중에 이온화된 물질의 정도를 저항을 통해 추정하므로 빠른 반응성과 검출이 용이하여 타 수질 측정항목 대비 쉽게 모니터링이 가능하여 다양한 수질성상의 측정에 적용되고 있다(McCleskey, 2012).

**2.2 설치 지점 및 용수 사용인구 추정**

본 연구의 test-bed는 경기도 고양시 대화동에 소재

한 A연구원이다(Fig. 2). 개발된 스마트 워터 미터를 각각 본관 1층 남·여 화장실 세면대, 2층 남자 화장실 세면대, 실험동의 실험실, 체육관의 샤워실, 옥상의 빗물저류조 등 총 6곳에 설치하였다. 본관 1층의 경우, 2층과 비교하여 고정적으로 이용하는 사람 수는 적지만 유동인구가 많은 곳이며, 2층의 경우 사무시설이 집합되어 있어 사무실 내 사람들의 사용 빈도가 높은 곳이라 할 수 있다. 체육관의 샤워실의 경우 건물 내 다양한 사람들이 활용하고 있으며, 실험실은 인구수가 적고 인원이 고정적이다. 또한, 빗물저류조는 강우 형태에 따라 수량/수질변화가 빈번히 발생하여 EC 값의 변화를 비교적 용이하게 모니터링할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 고정인구수를 기준으로 용수 사용 인구수를 추정하였으며, 본관 1층의 경우 하루 평균 방문객의 수와 계절적 영향 등을 고려하였고, 샤워실은 하루 평균 사용 인원을 실측하여 산정하였다 (Table 2).



**Fig 2.** Installation places of smart water meters.

**Table 2.** Estimated average population in water usage during the period of study

No.	Stations	Description
1	Laboratory	• Static condition • 12 full-time residents and no guests
2	Shower room	• Variable condition • 30 observed residents and no guests
3	1F. man's restroom sink	• Static and variable condition • 33 full-time residents and 7 observed guests
4	1F. women's restroom sink	• Static and variable condition • 22 full-time residents and 7 observed guests
5	2F. man's restroom sink	• Static condition • 113 full-time residents and no guests
6	Rainwater retaining facility	• No residents and guests

pp. 623-634  
pp. 635-643  
pp. 645-652  
pp. 653-662  
pp. 663-671  
pp. 673-682  
pp. 683-690  
pp. 691-698  
pp. 699-705  
pp. 707-714  
pp. 715-723  
pp. 725-736  
pp. 737-744  
pp. 745-753  
pp. 755-764

## 2.3 자료의 송·수신 및 수집

본 연구에서 활용한 스마트 워터 미터는 양방향 통신과 장거리 통신의 전압강하를 고려하여 CDMA와 DPLC 모듈을 동시에 사용하였으며(Fig. 1b & 1c), 통신 시 노이즈를 방지하기 위한 노이즈 필터를 내장하였다. 또한, 유량계 및 전기전도도의 보정을 위한 회로를 장착하였고, 계량기의 LCD 표시부를 삽입하여 동작상태 및 오류를 손쉽게 확인 할 수 있도록 하였다. 데이터는 1시간 간격으로 총 누적사용유량, 일 사용유량, 수온, 전기전도도 4가지의 형태로 구성되며 모든 데이터는 통합시스템으로 수집하였다. 이 중 일 사용유량의 경우, 1시간 간격으로 자료를 송신하되, 1시간 동안 사용한 누적사용량이 10L 단위로 산출되어 수집되었다. 자료의 관측기간은 2014년 5월부터 2015년 2월까지 총 10개월 동안 진행하였다. 자료는 기기 현장상황에 따라 일부 오류값이 관측 되었으며, 분석 시에 오류값은 95% 신뢰구간을 근거로 통계학적으로 제외 한 후 실시하였다.

## 2.4 PCA analysis

현장에 설치된 스마트 워터 미터를 통해 얻어진 자료를 정량적으로 파악하기 위해 PCA (principal components analysis) 분석을 실시하였다. 분석은 PC-ORD program (version 5.0)을 활용하였으며 관측된 각각의 변수로부터 eigenvalue와 factor loadings를 분석 후 그래프로 나타내었다. 변수는 총 6개의 스마트 워터 미터 설치지점에 대해 용수 사용량, 수질(수온, 전기전도도)에 대해 종합적으로 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 총 용수 사용량

시간에 따른 용수 사용량은 일주일 간격으로 비교적 일정한 주기를 나타내었다(Fig 3). 사무실 용수의 특성상 용수 사용 패턴은 대부분 규칙적인 편이었으나 지점별로 사용량의 차이가 있었다(Fig 3a). 가장 사용량이 많은 지점은 샤워실이며 일최대 1,870 L/day를 나타내었다. 월 총 용수사용량과 평균 용수 사용량은 2014년 7월에 각각 31.2 m<sup>3</sup>/month, 399.9 L/d로 가장 높았으며 이후에는 점차적으로 감소하였다(Fig 3f). 이

러한 용수 사용량 패턴은 기존 가정용수 사용량 패턴과 유사하게 계절적 영향을 받은 것으로 판단되며, 이러한 기상요인은 용도에 따라서 용수 사용량에 큰 영향을 줄 수 있는 것으로 보고되고 있다(Joo *et al.*, 2014).

누적 용수 사용량은 시간에 따라 선형적으로 증가하였으며, 지점별 차이를 나타내기 위해 회귀선식으로 표현하였다( $R^2=0.96\sim0.99$ ,  $p<0.05$ ). 모든 용처에서 누적 용수 사용량은 선형으로 증가하였으며, 각각 다른 속도의 증가량을 나타내는 것으로 조사되었다(Kim and Ayurzana, 2009). 용수 사용량은 샤워실이 가장 높은 것으로 나타났으며, 다음으로 2층 남자화장실이 높게 관측되었다. 반면, 1층 여자화장실의 사용량은 가장 적은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 조사 대상 test-bed의 사무환경의 특징이 반영된 결과이며, 현장에 따라 다양한 결과를 나타낼 것으로 판단된다. 빗물 저류조는 관측기간 동안 사용량이 통계학적으로 미미한 수준으로 관측되었으므로 별도로 표시하지 않았다(Fig 4a).

각 지점의 인당 하루 평균 용수사용량(Liter Per Capital Day, LPCD)을 분석한 결과, 실험실 1.9 LPCD, 샤워실 26.6 LPCD, 1층 남자화장실 0.8 LPCD, 1층 여자화장실 0.7 LPCD, 2층 남자화장실 0.7 LPCD로 용도별로 뚜렷하게 구분되었다(Fig 4b). 용수를 가장 많이 사용하는 샤워실이 인당 사용량 또한 매우 높게 관찰되었으며, 실험실은 불규칙하지만 용수 사용시 화장실 세면대 보다 많은 용수를 장기간 활용하고 있는 것으로 조사되었다. 세면대 용수사용량은 남녀 화장실 모두 0.7~0.8 LPCD 수준으로 서로 유사한 수치를 나타냈다. 김주환 등(2007)에 의하면 가정용수의 세면대는 10~20 LPCD의 범위로 보고되었으며, 사무실 용수는 일반적으로 선행 연구된 가정용수보다 낮은 수치를 보였다. 이러한 결과는 사무실의 경우 주말에 용수 사용량이 현저하게 낮으므로 평균값이 크게 감소되며, 점유하고 있는 사람 모두가 출장 및 이동 등으로 인해 용수를 한곳에서 사용하는 것은 아니기 때문에 LPCD 값의 과소평가 가능성이 있다. 주말 사용량을 제외 시, 화장실 세면대 평균 일 사용량은 1층 남자화장실은 44.1 LPCD, 1층 여자화장실은 27.2 LPCD, 2층 남자화장실은 107 LPCD로 사용 인구수에 비례해서 용수 사용량이 높게 나타났다.

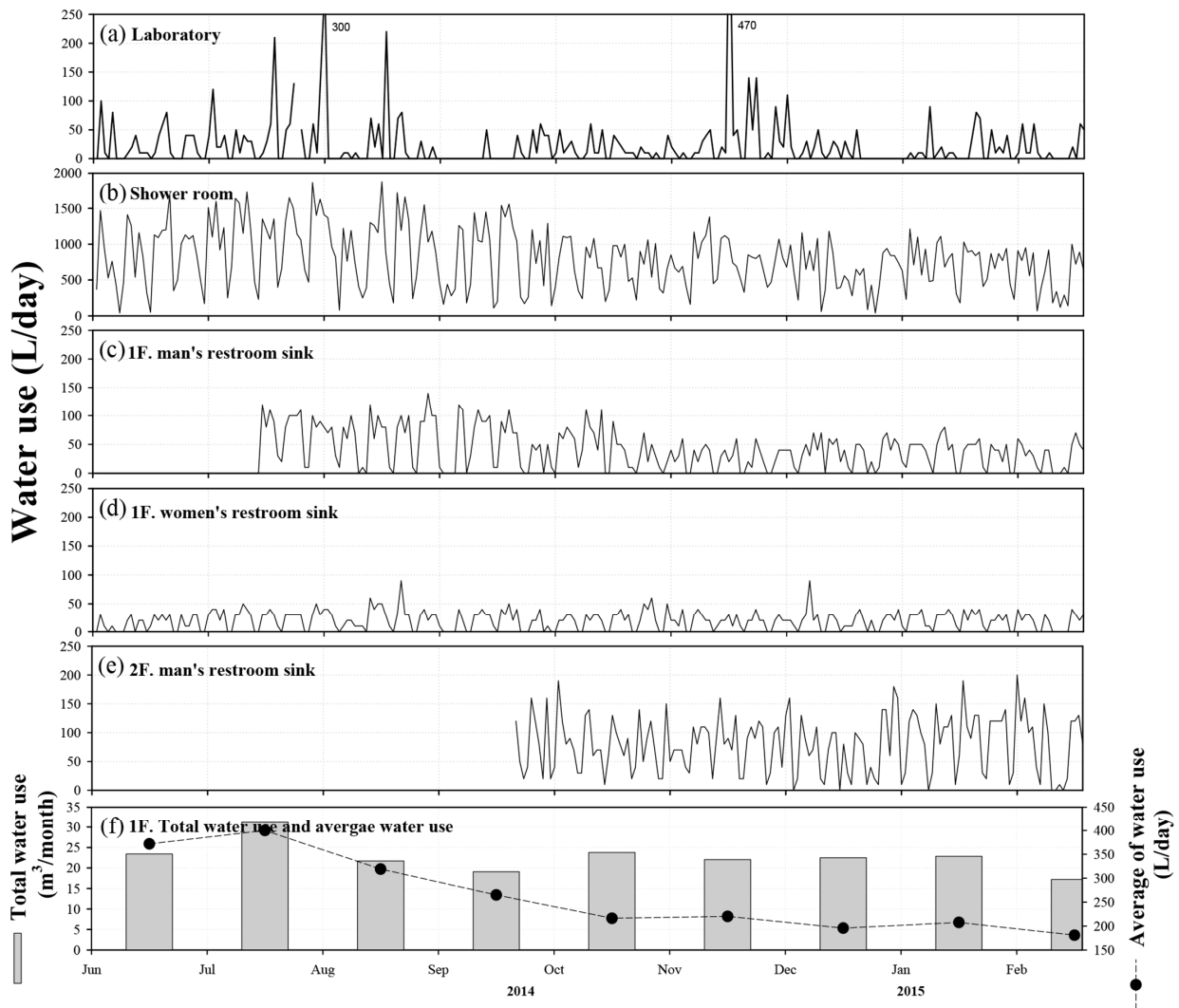
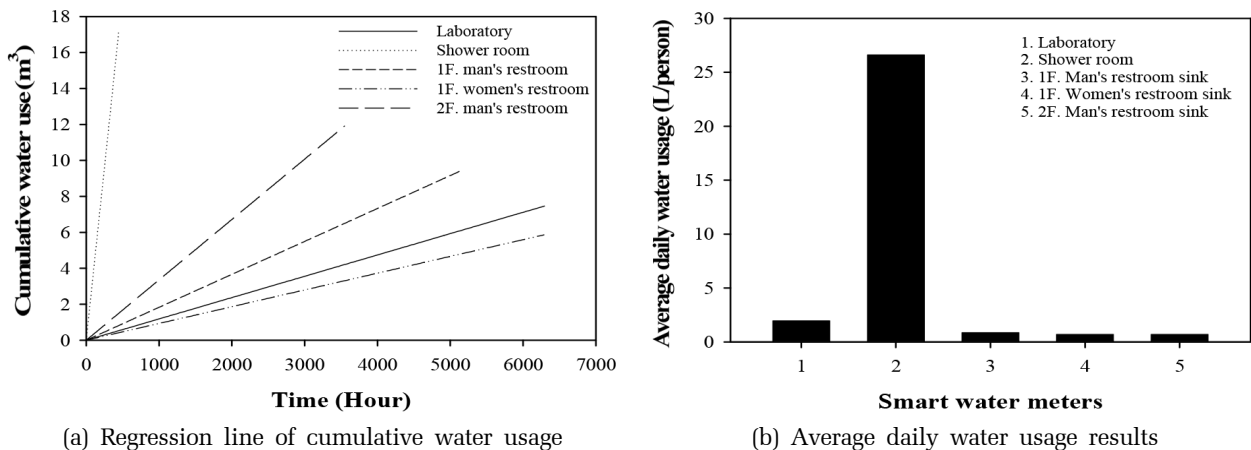


Fig. 3. Fluctuation of daily water usage in office building water usage.



(a) Regression line of cumulative water usage

(b) Average daily water usage results

Fig. 4. Cumulative water usage and average daily water usage of five smart water meters installed in office buildings

pp. 623-634

pp. 635-643

pp. 645-652

pp. 653-662

pp. 663-671

pp. 673-682

pp. 683-690

pp. 691-698

pp. 699-705

pp. 707-714

pp. 715-723

pp. 725-736

pp. 737-744

pp. 745-753

pp. 755-764

### 3.2. 요일별 용수사용량

요일별 용수사용량을 Fig. 5에 나타내었다. 실험실은 수요일의 평균 용수사용량이 45.1 L/day로 높게 나타났으며, 샤워실은 월요일 1,103.2 L/day, 1층 남자화장실은 월요일과 화요일이 49.2 L/day, 1층 여자화장실 또한 월요일과 화요일이 30.5 L/day, 2층 남자화장실은 월요일이 135 L/day로 용수사용량이 가장 높게 나타났다. 실험실을 제외한 곳에서는 월요일의 용수사용량이 가장 높게 나타났고, 주말로 갈수록 감소하는 양상을 보였다. 실험실과 1층 남자화장실의 경우에는 평일에도 10 L/day이하로 사용하여 사용량이 0으로 관측 되는 경우가 빈번하게 나타난 반면, 1층 여자화장실의 경우에는 꾸준한 사용량을 보였고, 사용인원이 많은 2층 남자화

장실, 사용량이 많은 샤워실도 모두 지속적인 사용량을 보였다. 요일별 용수사용량을 분석함으로써 요일별 사용 패턴을 알 수 있고, 사용량이 많은 날에는 공급량을 조절 또는 절수의 날 지정 등 용수 사용을 효율적으로 유지관리 할 수 있을 것으로 판단된다.

일반적으로 가정용수의 요일별 사용량은 사무실과 반대의 패턴을 보인다(Kim *et al.*, 2008). 사무실의 경우 토요일, 일요일에 사용량이 낮지만, 가정용수의 경우는 토요일과 일요일에 사용량이 가장 높게 관측된다(Kim *et al.*, 2008). 또 하나의 가정용수의 특이한 점은 사무실과 같이 월요일의 용수 사용량이 높지만 금요일은 사용량이 낮은 점이다. 김화수 등(2008)은 월요일의 용수 사용량이 높은 점은 주말의 과도한 용수

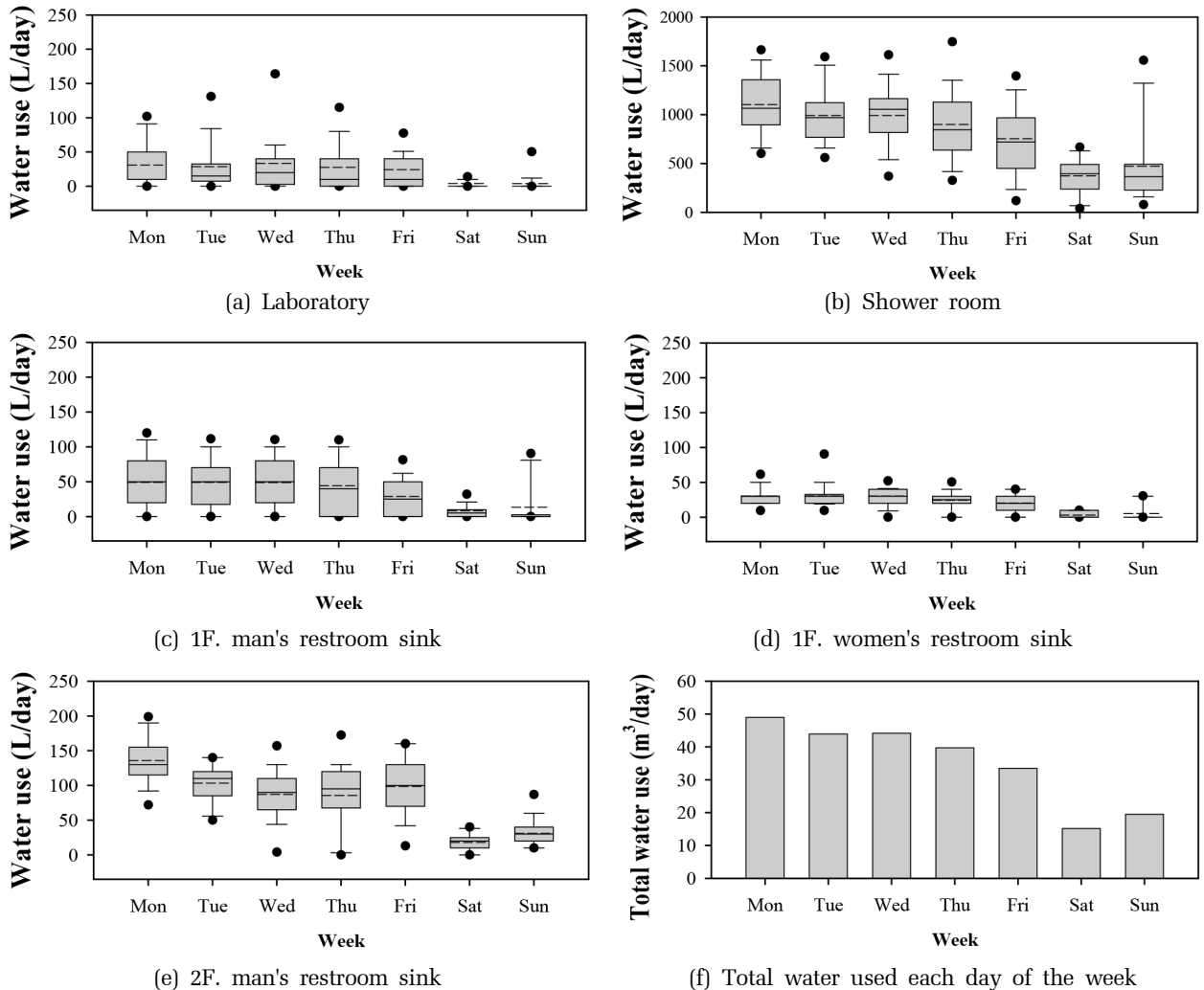


Fig. 5. Results of water usage per each day of the week. Short dash line denotes mean line and dot point means 5th/95th percentile value.





사용으로 인한 공급과, 업무용수, 영업용수, 전용수도 사용량의 증가를 원인으로 추측하였다. 김주환 등 (2007)의 가정용수 사용량 분석에서는 월요일의 사용량이 가장 높게 나타났으며 다음으로 주말 사용량이 높게 나타났다. 본 연구결과에서의 사무실 용수 사용의 요일별 용수사용량은 실험실과 같은 특정조건을 제외하고는 월요일의 물 사용량이 다른 요일 대비 많은 것을 확인 할 수 있었다.

### 3.3 수온 및 수질

각 용처별 수온 및 수질 데이터를 이동평균법을 사용하여 표현하였다(Fig. 6). 수온은 여름철(6-8월)에는  $23.6 \pm 1.1$  °C, 가을철(9-11월)에는  $19.0 \pm 3.7$  °C, 겨울철(12-2

월)에는  $15.1 \pm 3.6$  °C의 온도범위를 보였다. 겨울철로 갈수록 점점 낮아지는 패턴을 보였으며, 수온을 실시간으로 점검함으로써 동파에 사전에 대처 할 수 있을 것으로 판단된다. 실험에 활용된 test-bed는 여름철에도 비교적 안정적인 수온을 유지하며, 겨울철에는 온도가 낮아지긴 하지만 동파되는 곳은 없는 것으로 나타났다. 전기전도도의 분포는 여름철에는  $259.8 \pm 87.4$   $\mu\text{S/cm}$ , 가을철에는  $242.5 \pm 99.7$   $\mu\text{S/cm}$ , 겨울철에는  $252.2 \pm 91.6$   $\mu\text{S/cm}$ 로 계절별로 특정한 패턴을 보이지 않았다.

수온과 전기전도도에 대하여 각 용처별로 비교한 그래프를 Fig. 7에 제시하였다. 수온의 경우에는 설치된 건물에 위치에 따라 비슷한 분포를 보였다. 수온은 설치된 곳에 따라 온도 분포가 다르게 나타났다. 겨울 데이터만 측정된 우수 저류조를 제외하고 그 외 장소

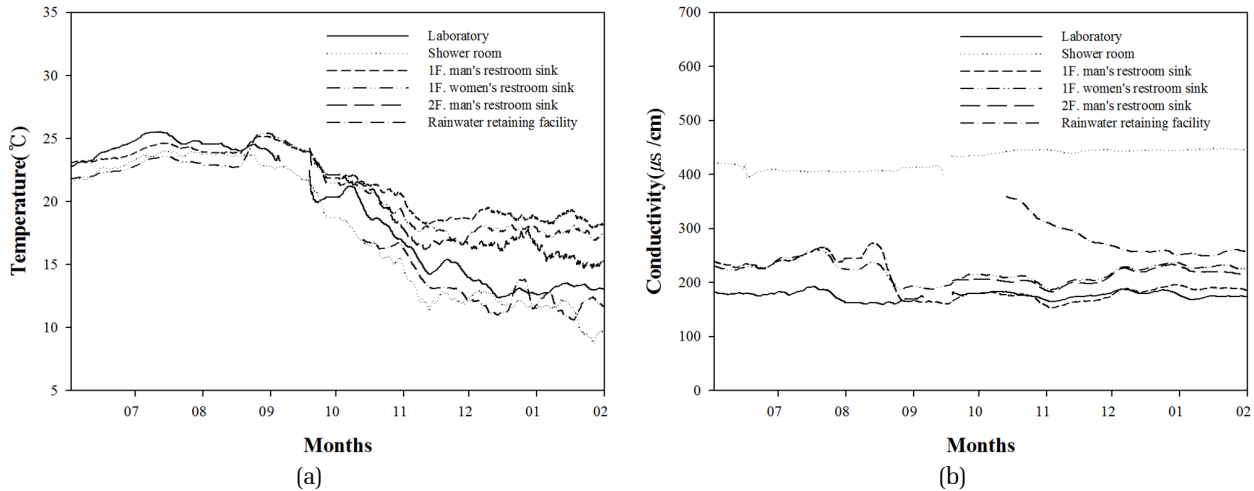


Fig. 6. Moving average data of water temperature and conductivity for each observation place.

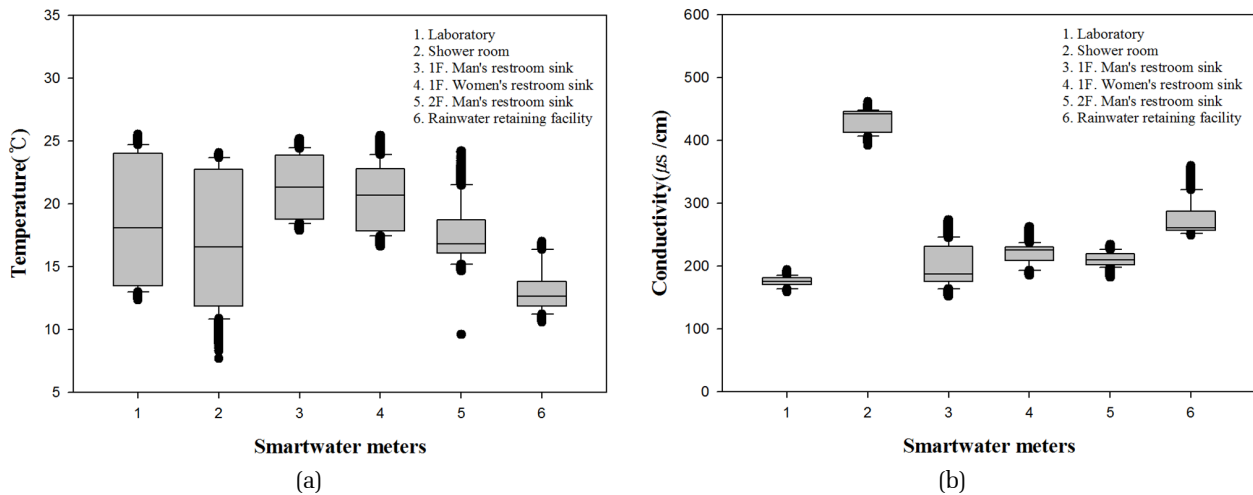


Fig. 7. Comparison of water temperature and conductivity by each observation place.

pp. 620-634  
pp. 635-643  
pp. 645-652  
pp. 663-662  
pp. 663-671  
pp. 673-682  
pp. 683-690  
pp. 691-698  
pp. 699-705  
pp. 707-714  
pp. 715-723  
pp. 725-736  
pp. 737-744  
pp. 745-753  
pp. 755-764

에 대해서는 실험동(1: 실험실, 2: 샤워실)의 온도 변 폭이 높은 것으로 나타났고, 연구동(3: 남자화장실 세 면대 1층, 4: 여자화장실 세면대 1층, 5: 남자화장실 세면대 2층)의 경우는 변폭이 낮게 나타났다. 이 변폭 의 의미는 수도관이 외부 온도에 따라 수온이 변하는 정도 의 범위가 넓다는 것을 의미 할 수 있다.

용처별로 전기전도도 비교결과 샤워실과 우수 저류 조에서 높게 나타났고, 실험실에서 가장 낮은 값을 보 였다. 특히 샤워실의 경우 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  이상의 전기전도 도를 보여 관내 오염 및 부식 및 EC 센서 이상 등을 고려해 볼 수 있다. 전기전도도가 높아지는 원인으로 는 상수도 관로의 부식으로 인한 철, 구리, 납 등이 용 출되면서 높아질 수도 있고, 정수장에서 미처리된 물 (탁수 등)이 관로에 유입되면서 높아질 수도 있다. 샤워 실의 경우는 EC 데이터가 일정한 수준으로 나타난 것으로 보아 센서 이상과 탁수 등의 유입은 배제하고 관내 오염을 의심할 수 있다. 이와 같이, 지속적으로 전기전도도를 관측함으로써 수질사고에 대비 할 수도 있고, 오래된 관일 경우 보수 및 교체 등 수도관 관리 에 유용할 것으로 기대된다.

### 3.4 PCA 분석결과

스마트 워터 미터가 설치된 6개 지점에 대해 용수사 용량 및 수질항목(수온, 전기전도도)에 대해서 PCA 분

석을 실시하였다. 다변량 통계기법인 PCA는 다양한 환 경 조건을 대상으로 유의한 인자를 분석할 수 있으며 (Brogueira and Cabecadas, 2006), 본 연구에서는 스마트 워터 미터의 사용 용도별 수질 및 수온의 차이를 확인하 기 위하여 PCA 분석 을 사용하였다. 분석은 총 18개의 변수를 대상으로 실시하였으며 유사한 분포를 보이는 변수들을 하나의 그룹으로 나타내었다(Fig. 8).

PCA 분석결과 크게 총 3개의 그룹으로 구분하였다 (Fig. 8a). 그룹 1은 일 용수사용량이 많고, 수온이 유 사한 분포를 보였으며, 그룹 2는 전기전도도가 유사한 분포를 나타내었다. 그룹 3은 샤워실의 일 용수사용량 으로서, 가장 사용량이 많은 독립적인 그룹으로 분류 되었다. 그룹 1에 대해서 PCA 분석을 재 수행 한 결 과, 수온이 유사한 그룹(Group 1-1)과 용수사용량이 유사한 그룹(Group 1-2)으로 구분되었으며, 용수사용 량이 두 번째로 많은 2층 남자화장실은 별도 그룹 (Group 1-3)으로 나타났(Fig. 8b).

용수사용량이 많은 지점은 샤워실과 2층 남자화장 실로 나타났으며 별도 관리가 필요하다고 판단되었 고, 수질(수온, 전기전도도)은 용도별로 큰 차이가 없 었다. 또한 본 결과에서는 특별히 용수공급관에 누수 가 일어나거나 수질사고가 관측되지는 않았다. 국외 유사 연구에 따르면 유량계 모니터링뿐만 아니라 모 델링을 병행하여 최적화된 용수 공급 네트워크를 구

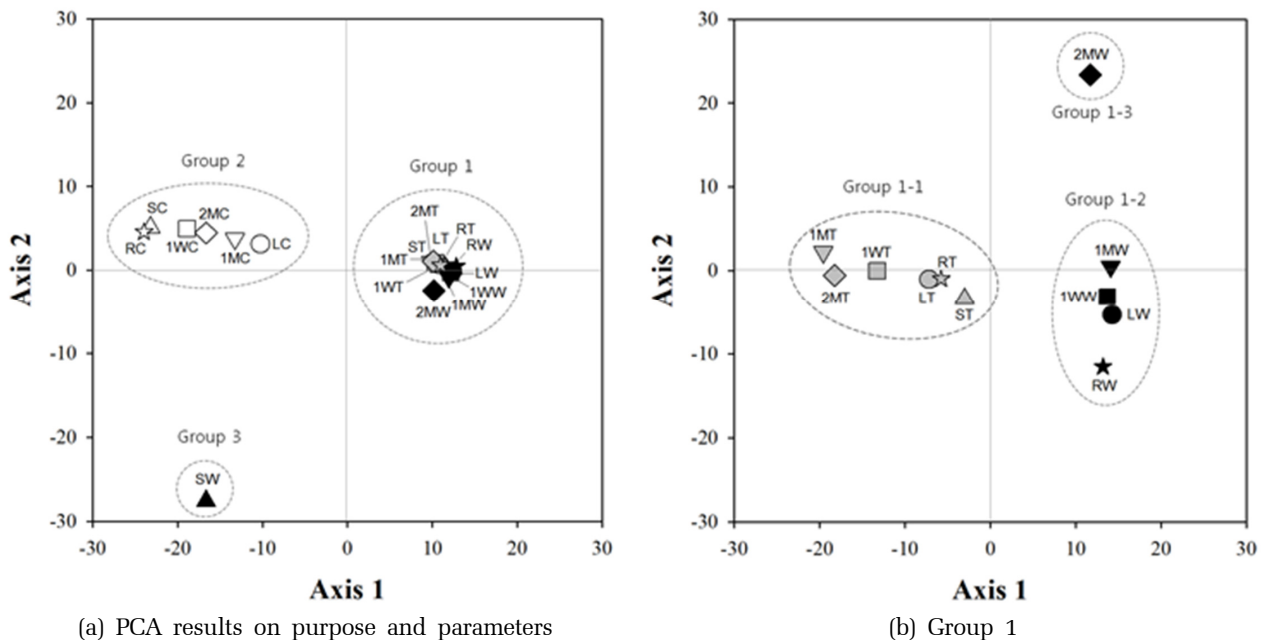


Fig. 8. PCA results from this study





측하고 있으며((Charef, 2000; Jankovic-Nisic et al., 2004)), 본 연구결과에서도 적절한 모니터링 및 다양한 관련 연구가 이루어진다면 효율적인 용수공급 관리가 가능할 것으로 판단된다. 본 연구는 스마트 워터 미터 개발에 따른 기본적인 현장 적용성을 평가하는데 있으며, 향후 연구는 test-bed의 규모를 더욱 확대하고 보다 다양한 용수 활용처를 대상으로 장기간 모니터링이 진행되어야 할 것이다. 또한, 장기적으로 수집된 자료를 활용한 통계분석과 시계열 예측기법을 통한 추세분석(trend analysis)을 실시한다면 해당 시설의 용수 수요를 예측할 수 있을 뿐만 아니라 관리의 효율성을 상당히 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

본 연구는 개발된 스마트 워터 미터를 test-bed에 설치하여 기기의 현장적용성을 검토하고 사무실 용수의 사용 용도별 용수사용량을 분석함으로써 용수관리의 효율성과 적합성을 검토하고자 하였다.

1) 개발된 스마트 워터 미터 6기를 test-bed 내에 용도별로 설치 후 모니터링한 결과, 가장 높은 사용량을 나타낸 지점은 샤워실이며 일최대 1,870 L/day를 나타내었다. 측정 지점에서 월 총 용수사용량과 평균 용수사용량은 2014년 7월에 각각 31.2 m<sup>3</sup>/month, 399.9 m<sup>3</sup>/L로 가장 높았으며, 이후에는 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. 인당 사용량은 샤워실이 26.6 L/person로 가장 높았고, 세면대 용수사용량은 전체적으로 0.7~0.8 L/person의 수준이었다. 반면에 실험실은 1.9 L/person이었으나 사용량 및 사용주기가 상대적으로 불규칙하였다.

2) 요일별 용수사용량을 분석결과, 샤워실은 월요일 1,103.2 L/day, 1층 남자화장실은 월요일과 화요일이 49.2 L/day, 1층 여자화장실 또한 월요일과 화요일이 30.5 L/day, 2층 남자화장실은 월요일이 135 L/day로 용수사용량이 가장 높게 나타났다. 즉, 사용이 불규칙한 실험실을 제외한 곳에서는 대체적으로 월요일의 용수사용량이 통계학적으로 (p<0.05) 가장 높게 나타났으며 주말로 갈수록 감소하는 경향을 나타내었다.

3) 수온은 설치환경에 따라 수도관내 온도변화가 다르게 나타났으며, 계절적인 변동이 관측되었다. 수도관의 전기전도도는 높게 나타난 곳을 제외하고 평균

209.5±37.6 μS/cm로 나타났고, 샤워실의 경우 432.5±18.7 μS/cm로 높은 값을 보였으며 이는 수도관 내 오염 등을 예측할 수 있는 지표로 활용 될 수 있다. 특히, 과도한 탁수의 유입으로 인하여 미처리된 물이 수도관내로 급작스럽게 유입될 시 사용자는 전기전도도를 실시간 모니터링 함으로써 오염된 물을 감지 할 수 있다. 그리고 수도관내 오염을 점검하고자 할 때는 오염되지 않은 상수도관 및 오염된 상수관 내의 전기전도도 측정지표를 만들어 오염된 관의 교체주기확인과 실시간 점검이 가능할 것으로 판단된다.

4) 다변량 통계기법인 PCA 분석 결과, 사용량이 가장 많은 샤워장(Group 3)과 사용량이 두 번째로 많은 2층 남자화장실(Group 1-3)은 별도 그룹으로 분류되었으며, 나머지 항목들은 용도별, 사용량 및 수질 측면에서 큰 차이를 보이지 않았다. 본 연구를 통해 개발된 스마트 워터 미터의 사무실 용수사용 측정의 현장 적용성을 검증하였으며, 사용량이 높게 나타난 용처에서는 추가 공급 및 과한 물 사용에 대한 절수 등의 조치 등 실시간 의사결정이 가능할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업((15주요) 마이크로그리드 스마트 용수관리 기술 개발(5차)(2015-0124)), 국토교통부 물관리연구사업의 연구비 지원(과제번호 15AWMP-B101346-01)에 의해 수행되었습니다.

## Reference

Brogueira, M. J., and Cabeçadas, G. (2006). Identification of similar environmental areas in Tagus estuary by using multivariate analysis. *Ecological Indicators*, 6(3), 508-515.

Charef, A., Ghauch, A., Baussand, P., and Martin-Bouyer, M. (2000). Water quality monitoring using a smart sensing system, *Measurement*, 28(3), 219-224.

Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., and Hancke, G. P. (2012). Smart grid and smart homes: key players and pilot projects, *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 6(4), 18-34.

IBM (2011). *Smart Water Pilot Study Report*(City of Dubuque, Iowa).

ITU (2010). *ICT as an Enabler for Smart Water Management*. Jankovic-Nišić, B., Maksimovic, C., Butler, D., and Graham,

pp. 623-634
pp. 635-643
pp. 645-652
pp. 653-662
pp. 663-671
pp. 673-682
pp. 683-690
pp. 691-698
pp. 699-705
pp. 707-714
pp. 715-723
pp. 725-736
pp. 737-744
pp. 745-753
pp. 755-764

- N. J. (2004). Use of flow meters for managing water supply networks, *Journal of water resources planning and management*, 130(2), 171-179.
- Joo, J. C., Ahn, H., Ahn, C. H., Ko, K. R., and Oh, H. J. (2012a). Field Application of Waterworks Automatic Meter Reading and Analysis of Household Water Use, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 34(10), 656-663.
- Joo, J. C., Ahn, H., Ahn, C. H., Ko, K. R., and Oh, H. J. (2012b). Recent Developments and Field Application of Foreign Waterworks Automatic Meter Reading, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 34(12), 863-870.
- Joo, J. C., Oh, H. J., Ahn, H., Ahn, C. H., Lee, S., and Ko, K. R. (2015). Field application of waterworks automated meter reading systems and analysis of household water consumption, *Desalination and Water Treatment*, 54(4-5), 1401-1409.
- Kim, H., and Ayurzana, O. (2009). Improvement of data receive ratio in remote water meter system by upgrading sensor, *International Journal of Control, Automation and Systems*, 7(1), 145-150.
- Kim, J. H., Kim, H. S., Lee, D. J., and Kim, G. H. (2007). Analysis of water use characteristics by household demand monitoring. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 29(8), 864-869.
- Kim, H. S., Lee, D. J., Park, N. S., and Jung, K. S. (2008). Analysis on statistical characteristics of household water end-uses, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 28(5B), 603-614.
- Loeff, B. and Fox, J. (2010). Advanced metering infrastructure for water utilities: Market drivers, technology issues, deployment case, Pike Research LLC, Boulder, CO, USA.
- McCleskey, R. B., Nordstrom, D. K., and Ryan, J. N. (2012). Comparison of electrical conductivity calculation methods for natural waters, *Limnol. Oceanogr.: Methods*, 10, 952-967.
- Park, S.Y. (2005). Standardization of waterworks AMR systems, MS Thesis, University of Seoul, Korea.
- Ramchurn, S. D., Vytelingum, P., Rogers, A., and Jennings, N. R. (2012). Putting the'smarts' into the smart grid: a grand challenge for artificial intelligence. *Communications of the ACM*, 55(4), 86-97.
- Zpryme (2012). Smart Grid Insights.