

# 유비쿼터스기반 디지털 수도미터 옥외검침시스템 개발

## Walk-by Meter Reading System of Digital Water Meter Based on Ubiquitous

신강욱\*, 홍성택, 이영우  
(Gang-Wook Shin, Sung-Taek Hong, and Young-Woo Lee)

**Abstract:** In terms of water meter reading, the majority of 16 million houses use mechanical water meter in Korea. So, a member of the utility's staff needs to access periodically the water meter and the value of the metered volume. However, due to the use of mechanical water meter, many issues have been appeared as cost, time, errors, accessibility, and readability. To settle these issues, we developed the walk-by meter reading system of digital water meter and outside indicator based on ubiquitous. And we could get the characteristics and the economical efficiency for water meter reading system. Thus, this study shows that the system can be widely used to the block system and the meter reading system for stable water supply.

**Keywords:** water meter, meter reading system, ubiquitous, block system

### I. 서론

물분야에 있어서, 미래 물공급 정책수립과 수자원관리 비용을 포함한 수처리 비용 증가에 대비한 효율적이고 안정적인 물공급을 위하여 물관리시스템 운영 뿐만 아니라 국민에 대한 정보제공을 위한 유비쿼터스 환경 실현이 절실히 요구된다. 물분야 중에서도 수도물 사용량에 대한 정보 제공을 위한 원격자동검침시스템 (AMR: Automatic Meter Reading) 은 상수도 관리 뿐만 아니라 국민의 신뢰도 변화에 아주 중요한 역할을 수행하게 된다[1].

우리나라 수도물을 사용하는 일반 가구 수는 약 1,600만 개소로 대부분 기계식 수도미터를 설치하여 사용하고 있기 때문에 인력에 의한 개별적 방문 검침을 통하여 가구별 수도물 사용량을 산정하고 있다. 그러나, 원격자동검침이 불가능한 기계식 수도미터로 인하여 최소유량에서 발생하는 오차 요인과 개별 방문 검침에 의한 소비자 사생활 침해, 미 검침처리, 검침원의 기록오류 및 소비자 부재에 따른 재방문 등 많은 문제점을 야기해 왔다.

이러한 많은 문제점을 해결하기 위하여, 수도미터의 측정방식이 기계식에서 원격검침에 적합한 전자식 수도미터로의 개발이 지속적으로 이루어지고 있다.

이러한 활발한 연구 및 제품개발을 통하여 대도시 신규 아파트에 전기, 가스는 물론 수도 부분을 통합한 통합계량기를 도입하여 시범 적용하고 있다. 그러나, 단독주택이나 농어촌지역에는 수도미터의 설치조건에 따른 안정적인 데이터 취득에 대한 기술적 어려움과 원격검침에 따른 비용증가로 인한 비효율성으로 인하여 다양한 원격검침시스템을 도입하지 못하고 있는 실정이다[2-5].

현재 국내·외에서 사용되고 있는 일반적인 수도미터와

수도검침의 현황을 살펴보면, 일반 가정에서 사용되고 있는 직경 50 mm 이하의 수도미터는 추측식과 실측식으로 분류할 수 있다. 추측식은 유수 또는 익근차의 회전 속도에 따라 실제 유량을 간접적으로 측정하는 방식이며, 실측식은 물을 일정 체적씩 담아서 측정하는 방식으로 주로 시험용으로 사용된다.

반전자식 수도미터는 센서부와 지시부가 기계식 방식이나 계량 수치를 전기적 신호로 변환하여 출력함으로써 원격 검침이 가능하도록 구성되나, 내부적으로는 마이크로프로세서를 가지고 있지 않는 수도미터를 말한다. 반전자식 수도미터의 종류는 기계식 수도미터에 리드스위치를 적용한 펄스 카운팅 방식과, 기존의 기계식 수도미터에 이미지 촬영소자를 적용하여 수도미터 지시부의 이미지를 촬영하여 전송하는 방식이 있다.

전자식 수도미터의 경우 유량측정을 위한 센서부와 지시부가 전자식으로 구성되어 계측신호 검출 및 계측 수치를 표시하는 부분이 디지털 방식이며, 내부에 마이크로프로세서를 이용한 데이터 처리와 저장기능을 갖는 수도미터를 말한다. 전자식 수도미터의 측정 센서방식은 리드스위치를 비롯하여 홀센서, 자기센서, 엔코더 등으로 국내·외에서 다양하게 개발되고 있다[6].

국내에서의 수도검침은 기계식 수도미터를 사용함에 따라 검침원에 의한 개별방문을 통한 수동검침이 주를 이루고 있다. 개별방문에 의한 수도검침을 개선하기 위하여

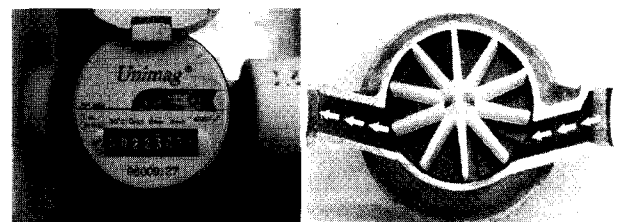


그림 1. 수도미터와 동작원리.

Fig. 1. Water meter and operating principle.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 1. 16, 채택확정: 2009. 4. 14.

신강욱, 홍성택: 한국수자원공사 K-water연구원

(gwshin@kwwater.or.kr/sthong@kwwater.or.kr)

이영우: 충남대학교 전기정보통신공학부(ywlee@kwwater.or.kr)

2000년부터 화상촬영방식과 펄스방식의 수도미터를 전국적으로 약 6,500여 개소에 적용하였다. 그러나, 화상촬영방식의 경우 온도차에 의한 습기발생 및 유지관리상의 문제로 데이터 인식율이 90 % 에도 미치지 못하여 적용성에 어려움이 많은 것으로 판정되었다. 또한, 펄스방식의 경우 수도미터와 전송된 데이터간의 오차발생으로 확대 적용되지 못하였다.

이후 이동통신망을 이용한 고정형 검침방법이 시범적으로 적용되어 데이터 신뢰성, 하드웨어 안정성, 그리고 경제성 등을 검증하고 있는 단계이다.

국외에서의 수도검침 현황을 살펴보면, 각 나라별 수도미터 설치환경이 크게 건물내 별도 공간에 설치된 경우, 벽면에 위치한 경우, 국내와 같이 지하에 매설된 경우 등으로 다양하게 설치되어 있다. 수도미터의 개발 및 적용환경은 원격검침이 가능한 다양한 종류의 전자식 수도미터가 개발 판매되고 있다. 그러나, 이러한 전자식 수도미터는 미국 및 유럽의 일부 도시에 한정적으로 원격검침이 시범적으로 적용되고 있다. 이와 같이 원격검침시스템이 확대 적용되지 못하는 환경은 수도요금에 대비한 경제성 측면에서 검침원에 의한 방문 검침이 가장 경제적이기 때문이다. 특히, 스페인에서는 원격검침시스템보다는 점차적으로 옥외검침시스템의 도입을 적극적으로 추진하고 있어 향후 지속적으로 확대될 계획이다.

우리나라에서는 장기적으로 물 부족 현상이 발생되고 있어 효율적인 수자원관리가 요구되고 있다. 특히, 지방소도시의 효율적 상수도 운영을 위하여 수도물 사용량의 시간별 데이터 취득과 이를 이용하여 수도물 생산량의 예측 및 유수율 제고를 위한 새로운 검침시스템의 도입이 요구된다.

따라서, 본 연구에서는 유비쿼터스 환경에 적합한 디지털 수도미터를 개발하고, 수도 검침체계에서 가장 경제적이면서 효율적인 옥외검침시스템을 개발하며, 향후 원격검침을 위한 통신망 확대에 필요한 유비쿼터스 센서 네트워크의 적용성을 갖는 수도검침시스템을 개발하고자 한다.

**II. 수도 옥외검침시스템 개발**

수도미터의 설치조건에 따른 안정적인 데이터 취득에 대한 기술적인 어려움과 원격검침에 따른 비용증가로 인한 비효율성을 해결하기 위한 옥외검침시스템의 개념은 그림 2와 같다. 각 가정내에 매설된 수도미터로부터 무선 혹은 유선방식으로 옥외에 설치된 지시장치로 전송하여 검침원이 근거리에서 데이터를 취득하는 것을 기본으로 한다. 따라서, 본 연구에서는 디지털 수도미터, 옥외지시장치, 그리

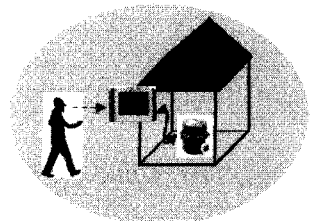


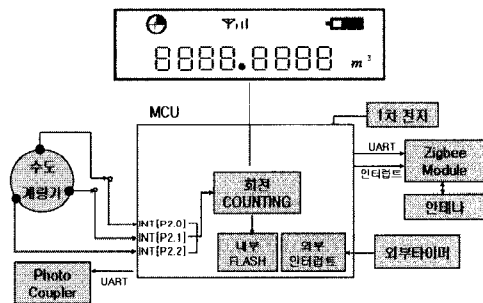
그림 2. 옥외검침시스템 개념도.  
Fig. 2. Concept of walk-by meter reading system.

고 PDA (Personal Digital Assistant)를 기반으로 하는 옥외검침시스템을 개발하였다.

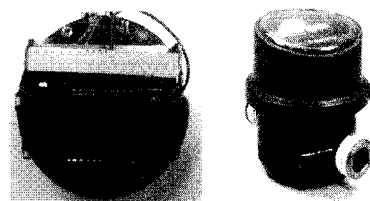
**1. 디지털 수도미터**

본 연구에서는 유비쿼터스 환경에 적합한 저전력 및 무선 전송을 특징으로 하는 디지털 수도미터를 개발하였다. 그림 3은 디지털 수도미터의 전체 구성도를 나타낸 것으로 수도미터 임펠러 상단에 부착된 영구자석으로부터 회전수를 감지할 수 있는 Hall IC, 회전수 연산 및 데이터 처리 기능을 갖는 MCU, 저전력 무선통신을 위한 Zigbee module, 그리고, 유선통신용 포토커플러와 1차전지 등으로 구성된다. 또한, 1차 전지의 백업용으로 외부에서 전원공급이 가능하도록 전원 이중화를 구현하였다[7-9].

하드웨어 주요 구성품은 저전력 및 안정성을 우선적으로 분석하여 선정하였다. MCU는 동작전류 및 대기상태 전류가 적은 Texas Instrument사의 MSP430계열 프로세서를 선정하였고, RF 소자는 유비쿼터스 환경에 적합하며 송신전력과 소모전류 특성이 양호한 TI사의 CC2520 Zigbee 소자를 선정하였다.



(a) 구성도



(b) 개발 하드웨어

그림 3. 디지털 수도미터 구성도 및 하드웨어.  
Fig. 3. Configuration and hardware of water meter.

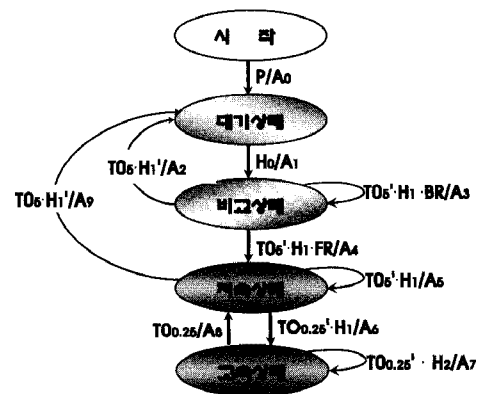


그림 4. 최적 회전수 측정알고리즘.  
Fig. 4. Optimal counting algorithm.

표 1. 알고리즘 세부동작.

Table 1. Functions of counting algorithm.

상태	설명	동작	설명
P	Hall IC 0 Power On	A0	Buffer Clear
H0	Hall IC 0 interrupt	A1	Hall IC 1 Power On
H1	Hall IC 1 interrupt	A2	Hall IC 1 Power Off
H2	Hall IC 2 interrupt	A3	정방향 역방향 비교
T1.5	1.5 seconds time	A4	저속 회전수 측정준비
T5	5 seconds time	A5	저속 회전수 측정
FR	정방향 1 회전	A6	Hall IC 2 Power On
BR	역방향 1회전	A7	고속 회전수 측정
		A8	Hall IC 2 Power Off
		A9	Hall IC 1 Power Off

디지털 수도미터의 저전력 구현을 위한 회전수 감지방식은 저속과 고속범위를 설정하여 소모전류를 최소화하도록 하였으며 세부 흐름도는 그림 4와 같다.

수돗물 사용량의 순시 측정값은 다음 식과 같이 수도관의 단면적과 유속의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$Q = A \cdot V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot V \quad (1)$$

여기서,  $Q$  : 유량( $m^3/s$ ),  $A$  : 관 단면적( $m^2$ )

$V$  : 유속( $m/s$ ).  $D$  : 관 직경( $m$ )

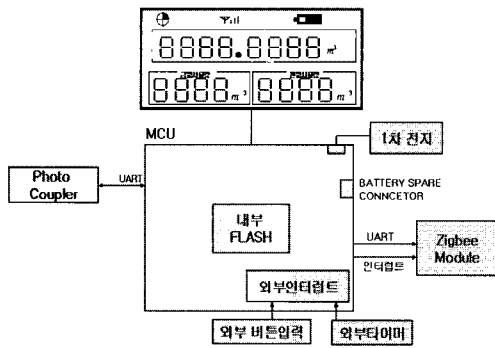
기계식 수도미터의 경우에 있어서, 순시값이 아니라 누적 사용량을 측정하는 것으로 임펠러 회전수를 사용하여 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$Q = \frac{1}{k} \cdot N \quad (2)$$

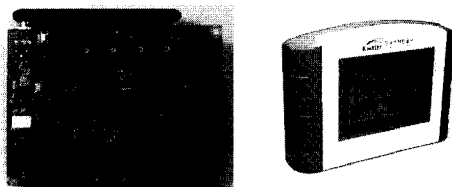
여기서,  $Q$  : 누적유량( $m^3$ )

$k$  : 기준 상수(회전수/ $1m^3$ )

$N$  : 임펠러 회전수



(a) 구성도



(b) 개발 하드웨어

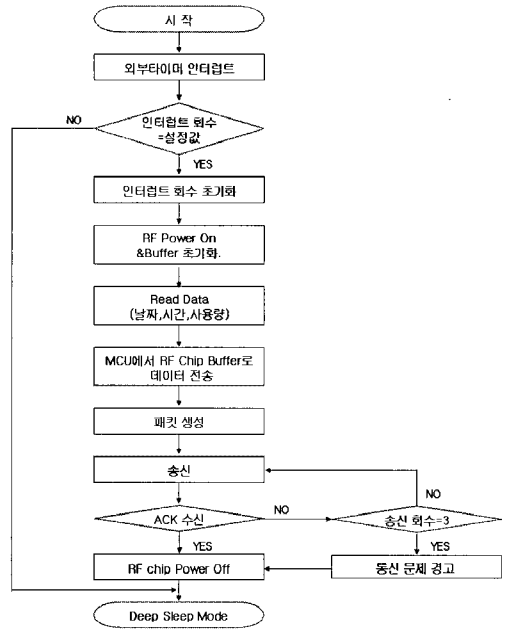
그림 5. 옥외지시장치 구성도 및 하드웨어.

Fig. 5. Configuration and hardware of outdoor indicator.

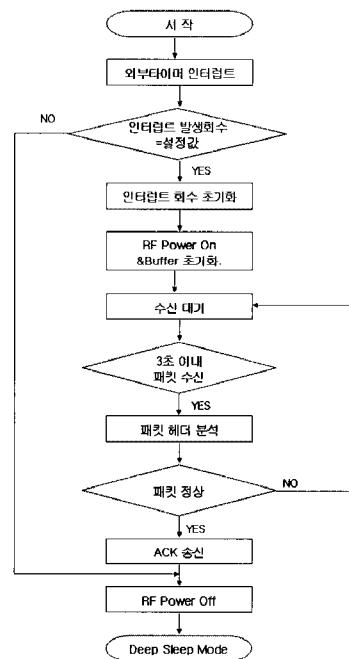
본 연구에서는 정확한 임펠러 회전수를 감지하기 위하여 회전수 측정알고리즘을 제안하여 임펠러의 회전 속도가 10 Hz 이내의 저속 회전과 그 이상의 고속회전에 따라 측정방법을 달리 하였다. 이를 통하여 저속에서의 정방향 및 역방향에 대한 회전방향 감지와 저전력 방안을 실현할 수 있다. 표 1은 그림 4 측정알고리즘에서의 세부 상태 및 동작에 대한 설명을 각각 나타내었다.

2. 옥외지시장치

옥외지시장치는 각 가정의 외벽에 설치되는 것으로 본 연구에서 개발한 장치는 옥외검침 뿐만 아니라 원격검침으로의 확장성을 갖도록 하였다. 그림 5는 옥외지시장치의 구성도로서 외부 타이머를 이용하여 시각동기를 맞추어 일정



(a) 수도미터 송신



(b) 옥외 지시장치 수신

그림 6. 옥외지시장치 데이터 처리 알고리즘.

Fig. 6. Flow chart of outside indicator.

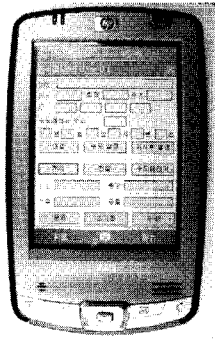


그림 7. PDA 초기화면.  
Fig. 7. Initial screen of PDA.

시각 데이터 송수신이 가능하도록 구성된다. 또한, Zigbee 통신의 무선방식과 포트커플러의 유선방식을 지원하며, 수돗물 사용량 상세정보를 제공하기 위하여 월별 사용량을 표시하도록 구성된다.

디지털 수도미터와 옥외지시장치간 통신알고리즘은 그림 6과 같다. 그림 6(a)에서와 같이 수도미터는 설정된 전송주기에 따라 RF 소자의 전원을 인가하여 옥외지시장치로 3회까지 송신하도록 한다.

송수신이 정상적으로 완료되면 RF 소자의 전원이 off 되고 MCU 또한 저전력 모드로 자동 전환된다. 그림 6(b)는 디지털 수도미터로부터 데이터 수신을 위한 옥외지시장치의 흐름도로서 수신방법은 외부타이머의 인터럽트를 기준으로 통신주기를 설정한 뒤 RF 소자의 전원을 인가하여 수신 대기 상태로 전환하여 3초 이내에 데이터를 수신하고 저전력 모드로 전환된다.

3. PDA 검침장치

옥외검침시스템은 PDA를 이용하여 데이터를 유무선방식으로 수돗물 사용량의 누적값 뿐만 아니라 금월 및 전월 사용량의 데이터를 취득하여 수도요금정보시스템에 활용하도록 구성된다. 또한, PDA를 이용하여 디지털 수도미터와 옥외지시장치의 파라메타 설정이 가능하도록 구성되어 있다. 주요 파라메타는 디지털 수도미터의 경우 ID, 리터당 회전수, 전송주기, RF 채널, 연월일시 등이며, 옥외지시장치는 ID, 전송주기, RF 채널, 연월일시 등이다. 그림 7은 PDA의 초기화면을 나타낸다.

III. 적용시험 및 분석

본 연구에서는 개발된 디지털 수도미터의 세부 특성시험을 회전수 측정시험, 소모전류 특성시험, 전파 특성시험, 그리고 데이터 전송시험 등으로 각각 실시하였다.

1. 회전수 측정시험

회전수 측정시험에 있어서, 임펠러 회전속도에 따른 특성시험을 저속과 고속에 대하여 실시하여 그림 8과 같은 특성을 얻었다. 2 Hz와 4 Hz에서 Hall IC 저속 특성과 10 Hz 이상에서의 고속 회전에 대하여 안정적인 특성을 갖는 것을 알 수 있다. 또한, 임펠러의 정·역방향에 대한 감지 기능을 구현하여 양호한 특성을 얻었다.

2. 소모전류 특성시험

소모전류 특성시험의 경우 임펠러 회전수를 위한 Hall

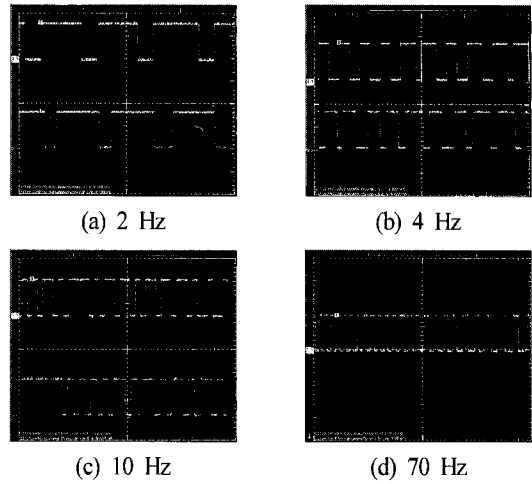


그림 8. 회전수 측정 파형.  
Fig. 8. Waveform of Hall IC.

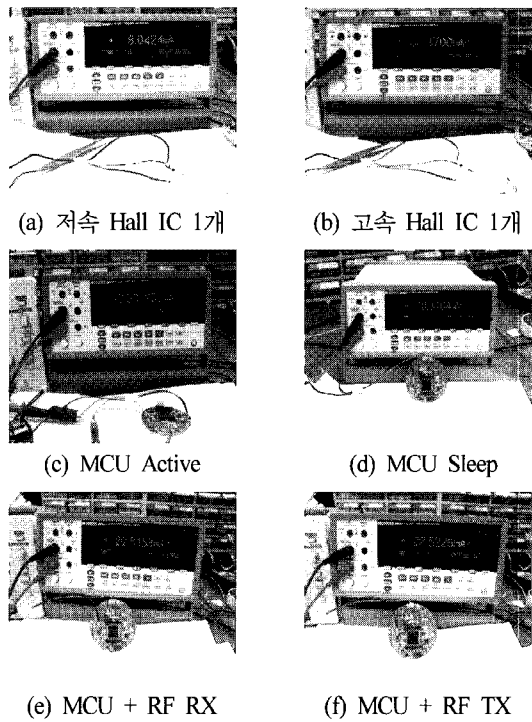


그림 9. 소모전류 특성시험.  
Fig. 9. Power consumption test.

IC의 소모전류를 측정된 결과, 저속 Hall IC의 경우 약 8  $\mu$ A의 전류를 소비하고 고속 Hall IC의 경우는 약 33.87  $\mu$ A의 전류를 소비함을 알 수 있었다. 디지털 수도미터의 MCU는 슬립모드시 약 4.31  $\mu$ A의 전류를 소비하고, 동작시에는 약 501  $\mu$ A의 전류를 소비하는 것으로 나타났다. MCU의 상태를 슬립모드로 설정한 뒤 LCD를 동작시킨 경우 16.54  $\mu$ A의 전류를 소비하고 LCD의 전원을 인가하지 않은 경우는 약 13.33  $\mu$ A의 전류를 소비하였다. 그리고, 디지털 수도미터의 무선 데이터 전송시 발생하는 소모전류는 약 22.52 mA이며, 수신시에는 약 20.82 mA임을 그림 9를 통하여 확인할 수 있다.

위 결과값을 이용하여 전지용량 4800 mAh에 대하여 자연방전을 연간 3% 조건을 가정하여 디지털 수도미터의

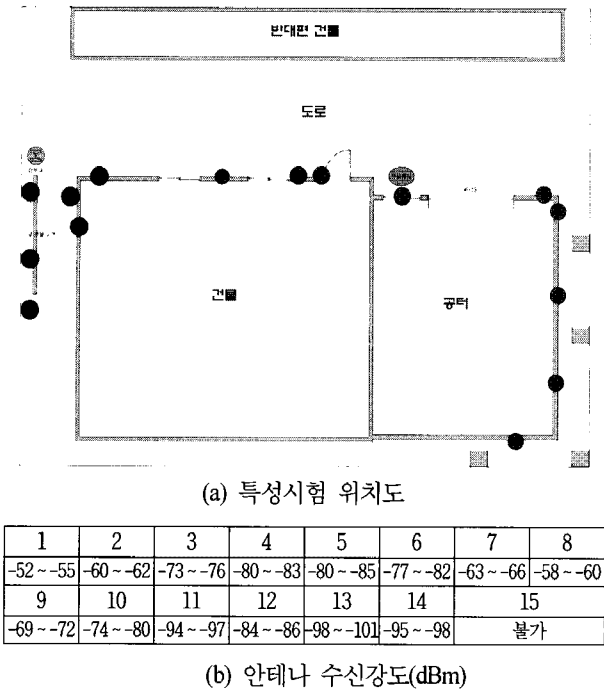


그림 10. 안테나 특성시험.  
Fig. 10. Antenna characteristic test.

수명을 예측하였다. 하루 평균 임펠러 회전시간을 저속상태에서 10시간, 고속상태에서 5시간, 그리고 대기상태 9시간으로 운영조건을 설정하면 9년 이상 동작할 수 있음을 알 수 있었다.

3. 전파 특성시험

본 연구에서는 지하 매설된 수도미터의 조건에 의해 전파환경이 매우 열악함에 따라 무선통신에 적합한 PCB형 다이폴 안테나를 제작하였다. 디지털 수도미터 내부에 장착되도록 구성하여 방수문제 및 파손의 가능성을 제거하였다. 안테나의 주요 특성은 주파수 범위가 2.4 GHz ~ 2.5 GHz, 정재파비가 2:1, 이득이 2 dBi 등이다. 그림 10에서와 같이 지하 매설된 수도미터로부터 15개 지점에 대하여 전파 특성시험을 실시하였다. 수도미터와 수평 도로를 따라 ①,②, ⑦,⑧,⑨,⑩지점에서의 수신강도를 측정된 결과 -52 dBm ~ -80 dBm으로 나타났다. 또한 수도미터로부터 각도가 90도 꺾인 벽면을 따라 ③,④,⑤ 지점은 -73 dBm ~ -85 dBm이며 ⑪,⑫지점은 -84 dBm ~ -97 dBm의 측정값을 얻었다. 두개의 벽으로 장애물이 된 ⑬,⑭ 지점에서의 수신강도는 -95 dBm ~ -101 dBm이며 측정지점중 ⑮ 지점만 통신이 불가능하였다. 따라서, 무선통신방식의 옥외검침시스템 적용성이 충분한 것으로 나타났다.

4. 데이터 전송시험

데이터 전송시험 및 수도물 사용량 분석을 위하여, 단독주택 2개소에 대하여 개발된 디지털 수도미터와 옥외지시장치를 시범 설치하여 1분, 10분, 30분 주기로 전송시험을 실시하였다. 그림 11(a)에서 알 수 있는 바와 같이 1분 단위 데이터 전송시 분당 최고 수도물 사용량이 약 9.53 리터였다. 이를 임펠러 회전수로 환산하면 약 4.4 Hz의 저속 회전을 알 수 있었다. 10분 및 30분 단위에서도 1분 단위와 마찬가지로의 결과를 얻었으며 그림 11(b)와 (c)를 통하여 확

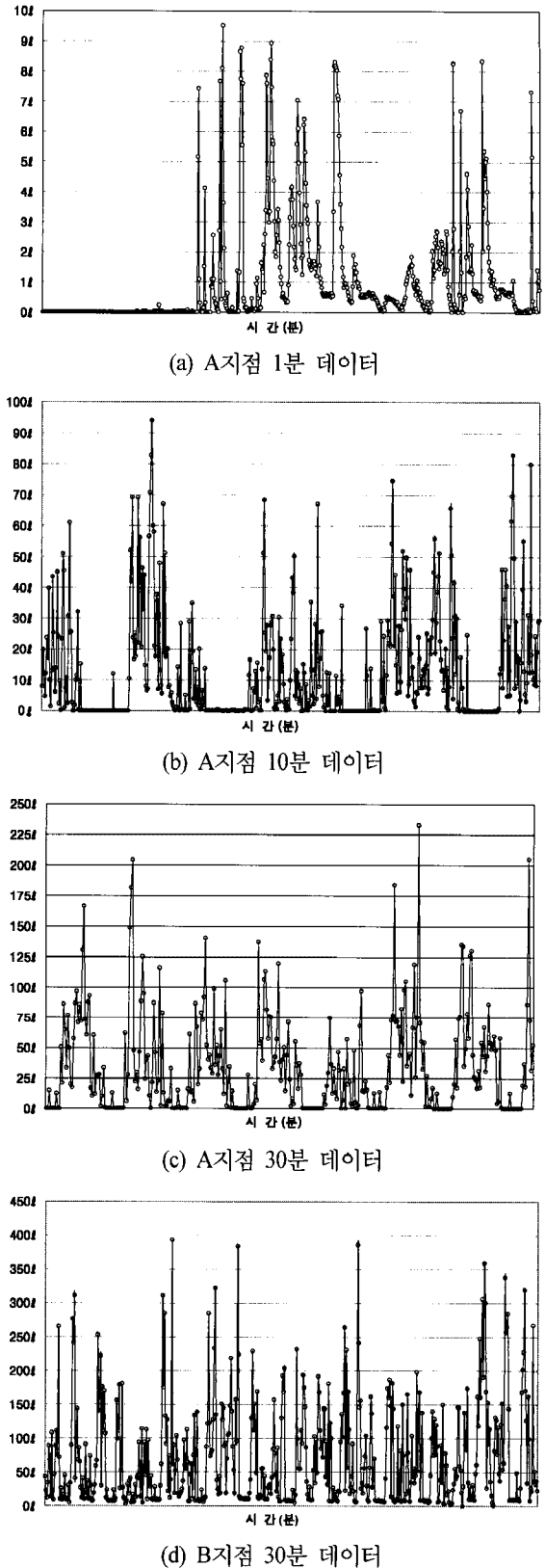


그림 11. 시범 운영데이터.  
Fig. 11. Result data of field test.

인할 수 있다.

그림 11(d)에서는 매 23시부터 다음날 6시까지 매 30분당 약 10리터의 수도물이 사용되고 있음을 알 수 있다. 시범 설치된 단독주택에서는 실제적으로 물 사용량이 전혀 없었으나 옥외지시장치에서 저장된 데이터에서는 지속적인

로 사용된 것으로 나타났다. 이를 통하여 이 가정에서는 지속적으로 누수가 발생되고 있음을 확인 할 수 있다.

#### IV. 결론

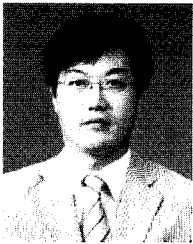
본 연구에서는 유비쿼터스 환경에 적합한 디지털 수도미터를 개발하고, 수도 검침체계에서 가장 경제적이고 효율적인 옥외검침시스템을 개발하고자 하였다. 저전력 하드웨어 구성을 위하여 소모전류가 가장 적은 소자를 선정함은 물론 회전수 측정알고리즘을 제안하여 수도미터의 법적 유효기간인 8년을 초과할 수 있도록 저전력 디지털 수도미터를 설계 개발하였다[10]. 또한, 지하에 매설되는 수도미터의 열악한 설치환경에서 무선통신과 유선통신이 가능한 통신 이중화를 구현하였다. 무선통신의 경우 안테나 특성시험을 통하여 수신강도 -98 dBm 이상 전송됨을 확인하여 옥외검침이 가능함을 검증하였다. 본 연구에서 개발된 디지털 수도미터와 옥외지시장치를 실제 현장에 적용하여 수도물 사용량을 안정적으로 취득 관리됨을 알 수 있었다. 또한, 이를 통하여 각 가정의 시간대별 수도물 사용량 분석 및 누수 감시기능이 가능한 옥외검침시스템을 구현하였다.

향후 본 연구에서 개발한 디지털 수도미터 및 옥외지시장치를 갖는 옥외검침시스템의 확대 적용을 통하여 지방소

도시에서의 유비쿼터스 네트워크 환경으로 확대 발전시키고자 한다.

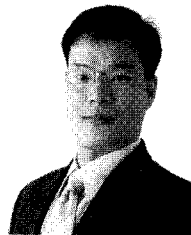
#### 참고문헌

- [1] 한국수자원공사, "디지털 수도미터 원격검침의 유비쿼터스 센서 네트워크 적용방안," 2007.
- [2] 권영관, "원격검침시스템 응용," 조명·전기설비학회지, 제11권 제3호, pp. 38-47, 1997.
- [3] 김종현, 김영길, "블루투스 와 CDMA의 SMS 프로토콜을 이용한 원격 가스 검침시스템의 구현," 한국해양정보통신학회, 춘계종합학술대회지, 제7권 제1호, pp. 443-446, 2003.
- [4] 현덕화, 임용훈, "자동 원격검침 기술개발 동향," 한국전자과학회지, 제15권 제4호, pp. 47-56, 2004.
- [5] 정보통신부, "원격검침용 주파수 이용방안 연구," 2003.
- [6] F. Arregui, E. Cabrera Jr, and R. Cobacho, "Integrated Water Meter Management," IWA Publishing, 2006.
- [7] 전자부품연구원, "전지개황 및 리튬이온전지," 2006.
- [8] 강정진, 최신안테나 공학, 기한재, 2004.
- [9] Texas Instruments, Low-power RF selection guide, 2006.
- [10] OIML, "International Recommendation R 49-1," 2003.



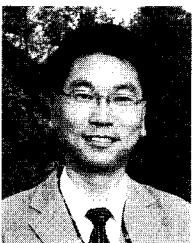
#### 신강욱

1987년 동국대 전자공학과 졸업. 1993년 홍익대 대학원 석사. 2005년 동 대학원 박사. 1993년~현재 한국수자원공사 K-water연구원 수석연구원. 관심분야는 플랜트제어 및 응용, 모델링, 지능제어, 원격감시제어, 센서응용.



#### 홍성택

1993년 한밭대 전자공학과 졸업. 1995년 동 대학원 석사. 2007년 충북대 대학원 박사수료. 1996년~현재 한국수자원공사 K-water연구원 책임연구원. 관심분야는 전자회로설계, 위성통신망, 원격감시제어, 센서응용.



#### 이영우

1998년 청주대 전자공학과 졸업. 2004년 충남대 대학원 석사. 2007년 충남대 대학원 박사수료. 1998년~현재 한국수자원공사 정보관리처 과장. 관심분야는 USN, RFID, VSAT, 무선통신 보안.