역류 흐름 검출기능을 갖는 무선 디지털 원격 수도검침기 설계

남종현*, 이재민**

요약

기존의 1구 홀센서 방식의 수도 검침기는 역류 감지와 저속 흐름 감지가 어렵고 대기상태에서 전력 소모가 발생하는 등의 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 3개의 홀센서를 120°간격으로 배치해 유량의 흐름을 감지하고 유량의 방향을 검출하여 국가 기술 표준 작동연한 (8년)을 충족하는 역류 검출기능을 갖는 무선 디지털 원격 수도 검침기를 제안한다. 제안하는 검침기의 동작 알고리즘은 3개의 홀센서가 유량의 속도에 상관없이 동작하며 오차 없이 유량을 카운트 하도록 구성하며 홀센서에 이벤트 발생 시 RF 모듈을 통해 지정한 주파수로 수도 검침기의 ID, 현재 시간 그리고 카운트 값을 중계기 또는 중앙 관제센터에 보내고 대기모드에서 전력이 소비되지 않게 한다.

키워드 : 수도검침기, 역류 검출, 홀센서, RF 모듈, 동작 알고리즘

A Design of RF Digital Remote Water Gauge with Counterflow Detection Capability

Jong-Hyun Nam*, Jae-Min Lee**

Abstract

The conventional 1 Hall sensor-type water gauge has some defects that it can not detect counterflow and low-speed flow of water, and it also generates power consumption during even sleep mode.

In this paper, a low-power consumption wireless digital remote water gauge with a counterflow detection capability is proposed. The proposed water gauge detects the direction and amount of water flow by using the three Hall sensors placed at 120° intervals with 8-year national standard life durability. The water gauge with three Hall sensors works without error regardless of water speed does not generate power dissipation during sleep mode by presented reading algorithm for new water gauge. The proposed water gauge is designed to send its ID, current time and counting value to repeater or central control center with specified frequency by RF Module.

Keywords : Digital Water Gauge, Counterflow Detection, Hall Sensor, RF Module, Operation Algorithm

1. 서론

※ Corresponding Author : Jae Min Lee

Received : January 03, 2015

Revised : February 16, 2015

Accepted : February 27, 2015

*, ** Catholic Kwandong University, Division of
Electronic Information and Communication Engineering

Tel: +82-33-649-7552, Fax: +82-33-647-7550
email: leejm@cku.ac.kr

최근 유비쿼터스 기술이 급진적으로 발전함에 따라 USN (Ubiquitous Sensor Network)이 산업 전반에 이용되어 사람이 직접 찾아가 계측수치를 입력하는 기존의 방법에서 탈피해 무선을 이용한 원격 자동 검침시스템 (AMR:Automatic Meter Reading)에 학계와 산업의 많은 관심과 연구가 이루어지고 있으며 실제로 각 가정의 전력량계, 상수도 검침기, 도시가스 미터기, 열량계

등 대부분의 검침방식에 활용되고 있다[1-4].

현재 디지털 수도 미터기 기술에 관한 연구는 고온의 온수와 우수 및 중수 등 다양한 수도를 측정할 수 있는 수도 미터기에 관한 것이며 대부분 가정용 수도 미터기에 초점이 맞춰져 개발이 이루어지고 있다[1-4].

기존의 검침방식은 검침원이 각 가정을 방문하여 측정하기 때문에 발생하는 소비자의 사생활 침해, 미 검침 요금 처리 등 소비자의 불편문제, 과다한 검침비용, 불필요한 인력 운용 등의 문제가 있고 기계내부의 오작동이나 고장 등을 확인하기 어렵다는 단점이 존재한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 원격 자동 검침시스템을 이용해 검침센터로부터 원격지에 위치한 각 가정이나 건물 등의 전력, 가스, 수도 사용량을 자동 검침하여 그 결과를 RF 주파수 신호를 통해 중앙의 검침센터 컴퓨터에 전송하여 각 가정의 검침 데이터를 모아 효율적으로 자원을 관리하고 수송하여 지역적인 그리고 시간적인 공급 불균형을 바로 잡을 수 있다. 하지만 수도미터 국가 요구 기술기준에 부합한 8년의 작동연한을 배터리를 사용하는 원격 수도미터기로는 충족시키기 어려운 단점이 존재하며 역류를 제대로 감지하지 못하거나 누락 되어 유량의 흐름을 파악하는데 어렵다는 단점이 존재한다. 또한 고속에서는 역류를 검출하나 저속으로 지속적인 유량이 흐를 경우 이 경우 센서가 제대로 작동하지 않아 유량의 방향이 역류임에도 불구하고 정상방향으로 흐르는 유량으로 인식해 불량 검침값을 송신할 가능성이 높다[5,6,7,8].

따라서 본 논문에서는 기존방식과는 다르게 120° 간격으로 홀센서를 배치해 외부의 영향 없이 유량의 흐름에 따라 유량의 정류 또는 역류 여부를 검출하며 고속뿐만 아니라 기존의 저속에서 역방향으로 흐르는 유량을 정방향으로 인식해 카운트 하는 설계적 결함을 수정해 올바른 유량의 방향과 횟수를 감지하여 정확한 데이터를 얻을 수 있고 무선방식으로 통신이 이루어지는 역류흐름 검출기능을 갖는 무선 디지털 원격 수도검침기를 제안한다. 또한 기존의 전원을 사용한 LCD디스플레이 대신에 건식방식의 기계식 디스플레이를 사용하여 전원소모를 줄이고 홀센서가 대기 모드에서 전력을 소모하지 않도록 동작하는 알고리즘도 제시한다.

2. 제안하는 무선 디지털 원격 수도검침기 설계

2.1 기존 연구의 문제점

현재 개발되어 사용되고 있는 수도검침 방식은 리드스위치를 사용한 펄스 발생식의 계량기인데 가격이 비교적 저렴하고 검침 데이터의 크기가 작아 통신이 용이하다는 특징이 있으나 리드스위치 동작 시 기계적인 접촉에 의해 채터링 현상이 발생하게 되어 검침에 오류가 발생할 가능성이 크다는 단점이 있다. 이를 보완한 검침방식이 홀센서를 사용하는 방식이다. 그런데 홀센서를 사용할 경우 전력소모량이 적어지고 채터링 현상이 없이 1회전 당 펄스가 발생하여 정확한 데이터 값을 카운트 할 수 있다. (그림 1)은 1개의 홀센서만을 사용한 기존의 1구 방식 홀센서 모듈을 나타낸 것이다.

(그림 1) 수도검침기를 위한 1구형 홀센서 모듈

(Figure 1) Single Hall sensor module for water gauge

수도검침기의 수차 한쪽에 있는 홀센서는 수차가 한 바퀴 돌 때 마다 펄스를 발생시키고 검침기 내부의 제어회로에서 이를 카운트하여 사용되는 물의 양을 측정한다. 그런데 이 방식은 역방향으로 흐르는 유량을 구분하지 못해 실제 사용량 보다 많이 사용한 것으로 카운트하는 문제점을 가지고 있다[1,2,7].

2.2 디지털 펄스 수도 검침기

(그림 2)는 홀센서 3개를 사용하여 기존의 홀센서 1개를 사용하는 방식에서 검출하지 못했던 역류를 검출할 수 있는 홀센서 모듈의 구성도이다. 수차에 의해 판넬이 회전하게 되면 판넬에 부착된 마그네틱 자석이 120°마다 위치한 홀센서를 지나게 되며 on상태가 되어 펄스를 발생시킨다. 마이크로프로세서 제어부(MCU)에서는 발생된 펄스를 입력받아 값을 카운트 하여 유량을 측정한다. 제안하는 역류 흐름 검출 방법은 각 홀센서에서 발생된 펄스가 홀센서 1번→홀센서 2번→홀센서 3번의 순으로 발생하면 정류로 인식하고 이와 반대로 홀센서 3번→홀센서 2번→홀센서 1번 또는 홀센서 2번→홀센서 3번→홀센서 1번의 순으로 발생하면 역류로 인식한다. (그림 2)는 3구 방식의 홀센서 모듈을 나타낸 것이다.

(그림 2) 3구 홀 센터 모듈

(Figure 2) A module with three Hall sensors

홀센서 회로는 (그림 3)의 홀센서 제어회로를 통해 동작한다.

(그림 3) 홀센터 모듈 제어 회로

(Figure 3) A control circuit for Hall sensors

홀센서는 홀센서제어회로 내 3V로 동작하는 AH1802 IC에 의해 자성물체가 지날 때 마다 출력포트를 통해 전압강하가 발생된다. 각각 홀센서는 지정된 포트와 연결되며 동작 전압은 대기 모드(Sleep mode)일 때 5uA, 정상동작 모드에서는 최대 18uA 그리고 평균적으로 8uA의 전류로 동작한다. 반응 시간은 75uS로 수도 검침기에 사용하기에 적합한 성능을 갖는다. (그림 3)은 홀센서 제어회로이다.

(그림 2)의 새로운 방식의 홀센서 모듈을 이용한 제안하는 디지털 펄스 수도 미터기는 (그림 4)와 같이 구성되며 중앙제어부에 마이크로프로세서로 Atmel사의 ATmega88을 사용하며 배터리 회로는 3V 전압을 갖도록 설계한다. 또한 3개의 홀센서는 평균 소모전류 8uA로 동작하도록 구성한다. RF모듈은 424mHz 통신을 하며 전원부로 사용되는 배터리의 전압은 3.6V로 병렬 구성하며 4800mAh의 용량을 갖도록 설계한다.

(그림 4) 제안하는 무선 디지털 수도검침기 구성도

(Figure 4) Proposed RF digital remote water gauge

제어부 설계를 위하여 ATmega88, 배터리 및 전원부 그리고 홀센서 1번, 홀센서 2번 및 홀센서 3번에서 입력받은 카운트 값을 포트 번호 PD3, PD4, PD2로 보내고 MCU에서는 RF Module과 연결된 포트를 통해 데이터를 보낼 수 있도록 회로를 설계한다. (그림 5)는 수도검침기의 중앙제어부 회로도이다.

(그림 5) 수도검침기의 중앙제어부 회로도

(Figure 5) A main controller of proposed water gauge

2.1 디지털 펄스 수도 검침기 알고리즘

기존의 방식의 알고리즘은 일정 시간동안 인터럽트가 발생하지 않을 때 3개의 홀센서중 하나만 동작하여 검침기의 수차바뀌가 지속적으로 움직일 경우 역류임에도 불구하고 정방향으로 인식해 카운트 하는 문제를 가지고 있다.[3] 그러나 제안하는 알고리즘에서는 3개의 홀센서가 동작과 대기상태를 반복하며 지속적으로 흐르는 역류를 카운트 할 수 있다.

(그림 6)은 제안하는 디지털 펄스 수도 검침기의 동작 알고리즘이다. 순차적으로 입력된 +카운트 값과 반대로 입력된 -카운트 값은 임의의 유량값에 대입되어 실제 카운트 값을 측정한다. 역류일 경우 지정된 포트 핀번호 1, 핀번호 2, 핀번호 3번에 연결된 홀센서 1, 홀센서 2, 홀센서 3번으로부터 나오는 펄스를 읽어 들어 역류를 감지한다. 홀센서 1또는 홀센서 3으로 초기 펄스인터럽트가 생기면 오류 없이 정류와 역류를 카운트 할 수 있지만 홀센서 2번에서 초기 인터럽트가 발생할 때 홀센서 1번과 3번 중 나중에 입력되는 펄스에 따라 정류와 역류를 카운트한다. 카운트된 데이터 값은 정류값 +와 역류값 -로 MCU에 저장되며 두 데이터 값을 연산한 실 사용량을 송신하여 사용자에게 발생할 추가요금의 발생을 차단할 수 있다. 또한 원격 디지털 수도 검침기는 대기모드가 되어 기존에 가장 많은 전류를 소모하는 RF모듈의 전원을 off하여 전류소모를 차단한다.

(그림 6) 제안하는 디지털 수도 검침기 동작 알고리즘

(Figure 6) An operation algorithm of proposed digital water gauge

2.2 무선 송신모듈

펄스 수도 검침기의 설계를 위해 RF 칩으로는 Automan A3007A를 이용한다. 이 모듈은 높은 수신감도와 좁은 대역폭으로 데이터를 송수신 할 수 있으며 TI사의 CC1020 RF 칩을 사용한다. 주파수 대역은 424MHz, 434MHz, 447MHz이며 제안하는 디지털 펄스 수도검침기에서는 424MHz대역의 주파수를 사용하여 1주파단신 방식으로 통신한다. 또한 CC1020의 레지스터를 사용하여 통신주파수, 송신출력, 통신속도 등 RF동작 특성을 설정 할 수 있으며 SPI 인터페이스를 위한 핀 (PSEL, PCLK, PDI, PDO)을 사용하여 레지스터에 값을 쓰거나 읽어 들일 수 있다. (그림 7)은 RF Moduled의 회로도이다.

(그림 7) RF 모듈의 회로도

(Figure 7) RF Module 회로도

2.3 무선 송신모듈 동작 알고리즘

펄스 수도 검침기를 사용하지 않을 때 전력소모를 줄이기 위해서 검침기는 대기모드 상태에서 있으며 홀센서를 지나는 자성에 의해 클럭 발생 시 MCU내의 시간과 카운트 DATA를 패킷 변환하여 송신한다. 중계기에서 송신한 ACK 신호를 수신할 경우 수도 검침기는 다시 전력소모를 줄이기 위해 대기모드가 된다. 하지만 ACK신호를 수신하지 못하였을 경우 1회에 걸쳐 재송신을 시도하고 전송 실패일 경우 MCU에 저장하였다가 다음 이벤트 발생 시 재송신한다. (그림 8)은 무선 송신모듈의 동작 알고리즘이다.

(그림 8) 무선 송수신모듈 동작 알고리즘

(Figure 8) An operation algorithm of RF transceiver

3. 실험 결과 및 고찰

2장에서 설계한 제어부 회로와 홀센서회로를 시제품으로 구현하고 제안하는 기술의 타당성을 보이기 위한 실험을 위해 (그림 9)와 같이 기존 기계식 수도검침기에 제작한 시제품을 부착하여 구성하였다.

(그림 9) 실험을 위해 구현한 3구 홀센서 방식의 디지털 원격 수도 검침기

(Figure 9) A prototype of RF digital remote water gauge with 3 Hall sensors

제작한 역류 검출기능을 갖는 수도 검침기에 홀센서의 동작 파형을 확인하고 유량의 역류를 정상적으로 검출하는지 확인하기 위해 (그림 10)과 같이 정방향과 역방향, 세부적으로는 저속과 고속 두 가지 상황을 만들어 실험하였다.

(그림 10) 역류검출 실험

(Figure 10) An experiment for counterflow detection

<표 1>은 디지털 펄스 수도검침기 유량속도에 따른 파형을 나타낸 것인데 정방향 저속과 역방향 저속의 속도가 동일한 조건하에서 3개의 홀센서의 출력이 약 30mHz로 거의 일치하는 측정결과를 보여준다. 즉 정방향과 역방향 모두 고속에서 3개의 홀센서 측정치가 비슷하게 출력되어 제안하는 저전력 수도검침기는 저속, 고속, 유량의 방향에 관계없이 모든 유량을 카운트 할 수 있음을 알 수 있다.

<표 1> 측정된 홀센서 주파수

Forward Low Speed	
Hall IC 1	33.33mHz
Hall IC 2	31.15mHz
Hall IC 3	31.35mHz
Forward High Speed	
Hall IC 1	284.1Hz
Hall IC 2	279.3Hz
Hall IC 3	282.6Hz
Reverse Low Speed	
Hall IC 1	31.15mHz
Hall IC 2	31.35mHz
Hall IC 3	33.33mHz
Reverse High Speed	
Hall IC 1	156.3Hz
Hall IC 2	150.6Hz
Hall IC 3	154.3Hz

<Table 1> Measured Frequencies of Hall Sensors

또한 제안하는 수도검침기가 정상적으로 무선 송신 기능을 하는지 확인하기 위해 스펙트럼 애널라이저 (Spectrum Analyzer)를 사용하여 송신하는 실험 (운용 주파수 424.7125MHz)을 진행하였으며 (그림 11)에서 보듯이 정상적으로 신호가 수신되는 것을 확인 할 수 있다.

(그림 11) 수도검침기 수신 신호 파형

(Figure 11) Received signal from water gauge

실제 디지털 펄스 수도검침기가 설치되는 장소는 사방이 차단된 밀폐 공간이며 장애물 유무

에 상관없이 데이터를 송신 할 수 있어야 하기 때문에 스펙트럼 애널라이저를 이용하여 강의실의 벽을 장애물로 설정하고 각 송신 위치 A, B, C, D, E에서 송신하여 스펙트럼 애널라이저에 수신되는 신호의 강도를 측정하였다.

스펙트럼 애널라이저에서 다른 송신위치와 상대적으로 거리가 가까운 Room 4에서의 수신강도는 -74.86dBm를 보여주었다. 송신거리가 길어지며 장애물이 많은 Room 1에서는 -83.7dBm의 수신강도를 확인 할 수 있다. 따라서 실험 결과 데이터 값을 받기 위한 수신강도는 충분함을 확인할 수 있었다. 또한 송신 거리가 늘어나고 장애물로 설정한 벽을 지남에 따라 신호강도가 점점 감소하여 유효 통신거리는 대략 100m 전후로 판단된다. (그림 12)는 실험공간을 도식적으로 나타낸 것이며 <표 2>는 위치별 신호의 강도를 나타낸 것이다.

(그림 12) 실험 공간

(Figure 12) Space for Experiments

<표 2> 위치별 신호강도

Positions for transmission	Measured signal strength
A	-83.7dBm
B	-79.2dBm
C	-76.6dBm
D	-74.86dBm
E	-81.3dBm

<Table 2> Signal strength at each test position

기존 유무선방식과 제안하는 디지털 원격 수도검침기의 통신방식과 센서방식, 역류흐름 검출, 검침시간을 비교하여 <표 3>에 나타내었다.

<표 3> 기존방식과 제안하는 수도검침기 비교

	The existing method		Proposed water meter
	Cable	Wireless	
Sensor type	Magnetic sensor		
Wireless communication	No	Yes	Yes
Transmission schemes	Cable	Polling	Event
Battery Life	8 Year	1 ~ 8 Year	More than 8 year
Backward Slow detection	No	No	Yes
Reading Time	N/A	Over 12 hour	Real time

<Table 3> The proposed method with the existing Water-meter comparison table

기존방식인 유선과 무선 방식의 수도검침기는 가장 최근에 나온 제품들로 선정하여 제안하는 수도 검침기와 비교하였으며 특징으로는 유선방식과 제안하는 검침기는 이벤트발생 시 실시간으로 송신하며 무선방식의 검침기는 폴링방식으로 정해진 시간에 데이터를 송신한다. 또한 두 가지 방식의 기존제품모두 저속에서 역류흐름을 검출하지 못한다는 문제를 가지고 있다. 또한 검침시간이 기존제품의 경우 검침값을 확인하는데 까지 12시간 이상이 걸리는 등 제안하는 방식과 비교하여 성능이 떨어진다.

4. 결론

본 논문에서는 기존의 저속에서 역방향으로

흐르는 유량을 정방향으로 인식해 카운트 하는 설계적 결함을 수정해 올바른 유량의 방향과 횟수를 감지하여 정확한 데이터를 얻을 수 있는 저속에서도 역류흐름 검출기능을 가진 수도검침기를 제안하였다.

제안하는 역류 흐름 검출기능을 갖는 디지털 수도 검침기는 기존의 찰상식 검침방식이나 마그네틱 접전방식, 리드스위치나 홀센서 1구를 사용한 방식 등에 비해 홀센서 3구를 120° 간격으로 배치하여 유량의 흐름에 따라 계기의 회전방향과 횟수를 감지함으로써 물의 흐름이 정류인지 역류인지를 알려주고 센서가 어느 한 곳에 치우치지 않으므로 외부 영향력에 의한 오작동발생이 최소화 되는 장점을 갖는다.

또한 데이터에 오차가 없어 정확한 데이터를 얻을 수 있으며 기존 방식은 저속에서 역류검출이 어렵지만 제안하는 방식에서는 저속에서도 고속에서와 같이 역류를 감지해 사전에 과다한 수도요금 발생을 예방 할 수 있다.

향후 연구과제로는 디지털 수도검침기로부터 송신 받은 카운트 값과 등록된 기기의 ID를 CDMA를 통해 처리하게 하여 보다 통합적인 관리 시스템으로 확장하여 문제점을 보완하는 것과 제안한 시스템을 독거 노인등의 복지 관리에 활용하는 것이다.

References

- [1] T-J. Nho, H-I. Kim and W-J. Lee, "Development of Ubiquitous Telemetry Water Reading System using RF and CDMA" Journal of Academia-industrial Technology, Vol.2, No.2, pp.215-221, February 2009.
- [2] Y-W. Lee, S-Y. Oh, "Wireless Digital Water Meter with Low Power Consumption for Automatic Meter Reading", The journal of the Korea Institute of Maritime Information & Communication Sciences, Vol. 12, No5, pp.963-970, May 2008.
- [3] K-W. Shin, S-T. Hong, Y-W. Lee, "Walk-by Meter Reading System of Digital Water Meter Based on Ubiquitous", International Journal of control Automation and Systems, Vol.15, No.7, pp.688-693, July 2009.

- [4] D-H. Hyun, Y-H. Lim, "A Development Trend of Automatic Meter Reading Technology ", Electro-magnetic Engineering Society, Vol.15, No. 4, pp.47-56, October 2004.
- [5] J-C. Joo, H-S. Ahn, C-H Ahn, K-R. K, H-J. Oh, "Recent Developments and Field Application of Foreign Waterworks Automatic Meter Reading", An International Journal of the Korean Society of Environmental Engineers, Vol.34, No.12, pp.863-870, December 2012.
- [6] W-C. Jung, "Design of Automatic Meter Reading using RF Transceiver Module", Journal of Korea Society of Computer and Information, Vol.9, No.4, pp.179-184, December 2004.
- [7] W-C. Jung, M-M. Koo, S-J. Jang, S-B. Kim, "Design of a Remote Meter Reading Module Considering Battery Life Time" Journal of Korea Society of Computer and Information, Vol.13, No.4, pp.45-50, July 2008.
- [8] S-B. Eun, K-W. Shin, Y-W. Lee, S-H Oh, "A Wireless Digital Water Meter System using Low Power Sensing Algorithm", Journal of Computing Science and Engineering, Vol.15, No.5, pp.315-321, May 2009.

남 중 현

2013년 : 관동대학교 전자정보통신공학부 전자공학과(학사)

2015년 : 가톨릭관동대학교 대학원 전자공학과(석사)

2013년~2014년 : 물리실험 조교

2014년~2014년 : 전자공학전공 실습조교

관심분야 : 집적회로 설계 및 테스트, 무선원격계측 시스템, 태양광발전 시스템

이 재 민

1979년:한양대학교(공학사)

1981년:한양대학교 대학원(공학석사)

1987년:한양대학교 대학원(공학박사)

1990년~1991년 : 일리노이대학(Urbana-Champaign) Post-Doc. (한국연구재단지원)

1992년~1994년 : 관동대학교 전자계산소 소장

1994년~1996년 : 대한전자공학회 강원지부장

2001년~2002년 : 뉴욕주립대(Buffalo) 연구교수

2011년~2013년 : 관동대학교 공과대학 학장

2011년~2013년 : 관동대학교 공학교육혁신센터장

2010년~현 재 : 한국정보전자통신기술학회 부회장

관심분야 : SoC 및 컴퓨터회로 설계, 태양광발전 시스템, LED 감성조명