

논문 2007-44SC-4-7

리드 스위치 센서를 이용한 원격 검침용 상수도 계량기에서 채터링 오차 감소 방안 연구

(Reduction of Chattering Error of Reed Switch Sensor for Remote Measurement of Water Flow Meter)

Odgerel Ayurzana*, 김 희 식**

(Odgerel Ayurzana and Hiesik Kim)

요 약

상수도 원격 검침에서는 리드 스위치의 채터링 오차를 감소시키기 위한 센서 연구 및 개선이 필요하다. 센서의 동작은 전기적 펄스를 발생시키기 위한 영구 자석 조각의 접근에 의한 기계적 접촉스위치처럼 나타낼 수 있다. 대부분 회전 또는 전달 이동을 잡기 위해 사용되고 수류 측정 장치에 적용하기 위해서는 높은 신뢰성이 필수이다. 동작 형태를 간단히 설명하게 되면 미터기 작동 모터 끝에 달려있는 작은 자석이 미터기 회전에 의해 리드 스위치 내부에 있는 두 개의 스프링과 기계적 접촉 형식으로 반복적으로 떨어지게 된다. 즉 수류량에 따라 펄스의 수가 증가하는 것이다. 이렇게 측정된 값은 무선 이동 통신을 통해 서버로 전달되게 된다. 문제는 자석과 리드 스위치가 만나는 지점에서 스위치가 멈추게 되면 떨리면서 펄스가 잘못 올라가는 오차가 생기는 것이다. 이러한 오차를 감소시키기 위해 보통 소프트웨어적인 방법을 사용한다. 필터 알고리즘을 사용하는 것과 통계적인 보정방법을 사용하는 것이 그러한 예이다. 하지만 그러한 방법보다는 하드웨어적으로 문제를 해결하는 것이 오차를 줄일 수 있는 더 직접적인 방법이다. 본 논문에서는 기계적인 이력현상의 특성을 이용하여 리프 스프링 구조의 변화로 오차를 감소시키는 연구를 수행하였다.

Abstract

To reduce the chattering errors of reed switch sensors in the automatic remote measurement of water meter, a reed switch sensor was analyzed and improved. The operation of reed switch sensors can be described as a mechanical contact switch by approximation of permanent magnet piece to generate an electrical pulse. The reed switch sensors are used mostly in measurement application to detect the rotational or translational displacement. To apply for water flow measurement devices, the reed switch sensors should keep high reliability. They are applied for the electronic digital type of water flow meters. The reed switch sensor is just mounted simply on the conventional mechanical type flow meter. A small magnet is attached on a pointer of the water meter counter rotor. Inside the reed sensor, two steel leaf springs make mechanical contact and apart repeatedly as rotation of flow meter counter. The counting electrical contact pulses can be converted as the water flow amount. The MCU sends the digital flow rate data to the server using the wireless communication network. But the digital data is occurred difference or errors by chattering noise. The reed switch sensor contains chattering error by it self at the force equivalent position. The vibrations such as passing vehicle near to the switch sensor installed location causes chattering. In order to reduce chattering error, most system uses just software methods, for example using filter algorithm and also statistical calibration methods. The chattering errors were reduced by changing leaf spring structure using mechanical hysteresis characteristics.

Keywords: Reed switch, Chattering Error, Water Meter, Magnetic, Contact, Vibration

* 학생회원, ** 정회원, 서울시립대학교
(Doctor course, University of Seoul)

※ 이 논문은 2007년도 서울시립대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.
접수일자: 2007년4월27일, 수정완료일: 2007년6월4일

I. 서 론

시민생활수준의 향상 및 IT 기술의 선진화에 따라, 현재의 수도계량기 검침은 자동화 및 네트워크화 도입이 절실히 필요하다. 기존의 기계식 상수도 계량기는 검침원들이 직접 계량기 위치를 방문하여 육안으로 표시부를 읽어서 손으로 기록하여 사무실에서 자판으로 입력하는 불편이 있었다. 또한 유수를 제고와 누수와 도수를 감지하기 위하여 실시간 상수도 원격 검침이 필요하다. 상수도 원격 검침을 위해 리드 스위치(Reed switch), 사이블(Cyble), 자기저항(MR), 영상 카메라(CCD image sensor) 센서들의 적용이 시도되고 있다. 각 센서 방식에 따라서 장단점이 있다.

그 중에서 리드 스위치 센서가 가장 흔하게 적용되고 있으며 체터링 오차 문제가 심각하다. 상수도 원격 검침용 계량기 리드 스위치 오차 감소 방안 연구가 필요하다.

자기센서는 여러 가지 있지만 가장 구조가 단순한 종류는 리드 스위치이다. 이것은 강자성체로 구성된 한 개조의 얇은 리드 판(reed)이 불활성 가스와 함께 유리 판 내에 봉입된 것으로 외부에서 가해진 자기 에너지의 강약에 의해서 일련의 스위치 작용을 한다. 기존의 기계식수도 계량기 원리는 통과하는 물 유량이 계량기 내의 임펠라를 회전시켜 검침 값을 판독하는 방식이다. 임펠라의 회전 표시를 위해 기어를 사용하여 감속시켜 표시부의 지침을 회전시킨다.

리드 스위치 감지 유량 측정계는 자석이 고정된 지침이 회전하여 리드 스위치에 접근할 때 리드 스위치가 접촉하여 전기 펄스를 발생하며, 펄스의 개수를 카운팅하여 유량 값을 전송한다. 리드 스위치의 장점은 자기 에너지를 매체로 해서 수 밀리(mm) 정도의 거리에서 무접촉으로 스위치를 개폐 조작할 수 있다는 점이다. 그리고 그 동작도 대단히 빠르고 약500 Hz 정도의 응답 특성을 가지고 있다. 또한 리드 스위치의 리드 판은 외부 자기에너지에 의해서 개폐 동작을 행하기 때문에 일반적으로 접점용량이 작고 대전류는 개폐할 수 없다. 이 때문에 1A 이상의 대전류는 개폐에는 증폭 수단이 추가로 필요하다. 리드 스위치 회로에서 사용할 때의 목표는 0.3 ~ 1A 이하이다. 센서의 작동 구조는 다음 그림과 같다.

리드 스위치 방식의 문제점은 리드 스위치가 기계적인 힘으로 작동함으로 한계성을 가지고 있는 점이다. 자석과 리드 스위치의 근접과 분리순간에 힘 균형 상

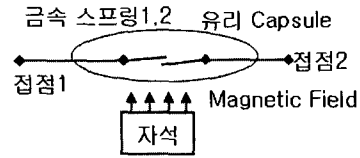
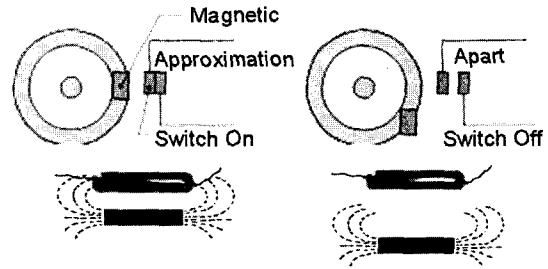


그림 1. 리드 스위치 센서의 작동 구조
Fig. 1. Structure of the reed switch sensor.



(1) 리드 스위치 On (펄스) (2) 리드 스위치 Off

그림 2. 상수도용 리드 스위치 센서 회전수 감지 원리
Fig. 2. Detection fundamental of the switch sensor.

태 조건이 발생하며 이 경계 조건 근처에서 떨림이 현상으로 오차가 필연적이다. 수도 메터기 설치현장 주변의 진동환경 조건에 따라 유량 측정 펄스 보다 더 많은 펄스가 발생한다. 그 예로 자석이 부착된 지침이 리드 스위치의 근처에 정지하거나 외부의 큰 충격 예를 들어 차량이 통과 등 진동이 가해지게 되면 기계적으로 리드 스위치의 떨림 현상이 발생하여 잘못된 펄스가 발생한다. 이를 개선하기 위해 일정한 크기에 미치지 못하는 신호 및 주기가 불안정한 신호를 디지털 필터를 통해 소프트웨어적으로 제거하지만 한계가 있다. 현재 리드 스위치 방식의 검침을 적용한 시스템들은 통계적으로 계산된 오차를 주기적으로 감산해주고 있다. 이로 인해 리드 스위치 센서의 검침 유량 값을 전송된 데이터의 신뢰성이 낮다. 또한 유량이 흐르면서 발생하는 이물질들이 기어 및 임펠라에 작용하여 임펠라 회전을 방해하거나 고장을 발생시킬 가능성이 존재한다. 따라서 이러한 단점들을 감소시키기 위하여 리드 스위치 센서 자체의 내부 구조를 변경하여 체터링을 감소시킨다.

상수도 원격 검침용 리드 스위치 센서의 작동 원리 및 구성을 그림 2와 같다.

II. 리드 스위치 센서의 체터링 오차 발생 및 원리

체터링 현상이란 각 계량기의 사용량을 외부로 발생

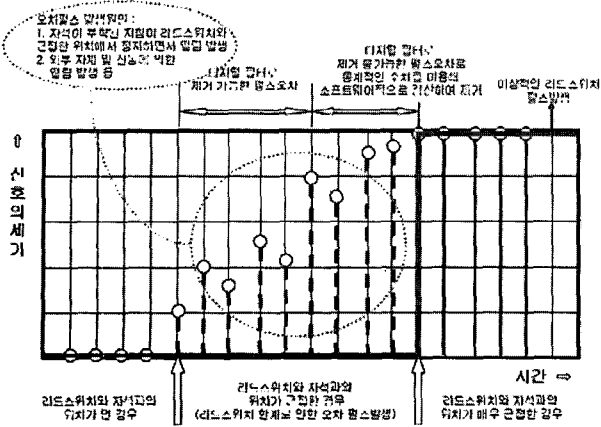


그림 3. 리드 스위치 검침방식의 한계성 및 체터링 오차
Fig. 3. Limitation and chattering error of reed switch detection.

서버측 검침	2006년 9월		12월		화요일	
	검침시간	사용량(기계)	사용량(원격)	오차(기계식-원격식)	오차(원격식-서버측)	
3005	2:40	189049	17.9	1.0049	0	
4598	2:55	323517	28.34	4.0117	0.34	
301,2	2:20	209207	18.9	2.0207	-0.1	
582	2:09	36264	3.9	-0.2736	0	
291,4	2:32	137208	12	1.7208	0.2	
32081	2:42	17,9245	19.7	-1.7755	-0.11	
468.73	2:15	31,5461	34,7162	-3.1701	-0.3838	
227.12	3:07	11,2237	17.7	-6.4763	-0.17	

그림 4. 리드 스위치 센서의 원격검침 값 및 매일 현장을 방문한 육안 검침 값의 차이(체터링 오차) 비교
Fig. 4. The data of the reed switch sensor by remote and personal measurement.

시키기 위한 계량장치에 부착된 리드 스위치에서 발생하는 펄스중 리드 판의 구조적 흔들림에 의한 전기 접촉 과 비접촉이 저절로 발생하는 펄스를 말하며 정격 데이터로 간주할 수 없는 오류 펄스이다. 리드 스위치 센서의 체터링 오차는 다음 그림과 같이 발생한다.

서울시 상수도 연구소에서 지원한 1년 과제료 상수도 원격 검침 시스템 도입방안 연구를 하였다. 원격검침의 시범적용시험에서 리드 스위치 센서를 이용한 원격검침 방식은 원격 및 인력 검침 값에 매일 (+-) 오차가 생겼다. 다음 그림 4는 리드 스위치 센서를 이용한 기계식과 원격식 검침의 데이터 오차를 비교한 그림이다.

그림 4는 리드 스위치 센서에서 발생했던 오차 펄스를 통계적인 수치를 이용해 소프트웨어적으로 감소하여 제거해도 발생한 상수도 데이터 오차다. 그래서 센

서의 자체에서 내부 금속 스프링의 구조와 특성을 개선하고 오차를 감소해야 한다.

III. 리드 스위치 센서와 자석 작동 거리 실험

실험에 적용한 리드 스위치 센서의 기하학적 구조는 그림 5와 같다.

센서 작동 거리의 실험을 하기 위하여 3 가지 자석을 선택하여 실험하였다. 표 1 에서 실험용 자석의 종류 및 크기를 표시하였다.

3 가지 자석들을 리드 스위치 센서의 밑, 앞, 위, 옆에서 고정시켜서 작동 거리의 측정을 실험하였다.

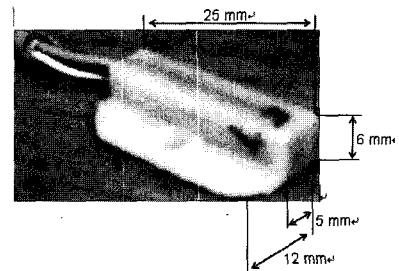


그림 5. 실험용 리드 스위치 센서
Fig. 5. The reed switch sensor of the experiments.

표 1 실험용 자석 종류

Table 1. The magnetic types of the experiment.

자석	면	밑	앞	위	옆
1	리드 스위치 작동 거리(mm)	0	4.5	2	1
2		3	7	7	8
3		6	18	25	19

표 2. 리드 스위치 작동 거리 실험

Table 2. Specification of the magnet for the reed switch.

자석 종류	1	2	3
자석 크기	1.2x25(mm)	5x4x3 (mm)	∅25x3 (mm)
단위(Gauss flux density)	110	950	1450

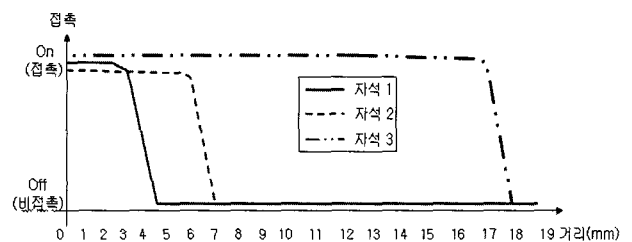


그림 6. 자석의 앞면 리드 스위치 센서의 작동
Fig. 6. The operation of the reed switch sensor of the forward magnet.

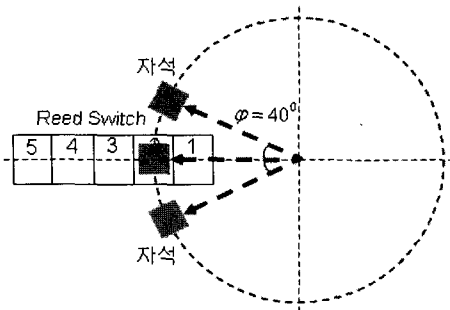


그림 7. 자석의 위치 및 리드 스위치 센서의 작동 각도 실험

Fig. 7. The operation of magnet position and angle.

자석은 센서의 앞면에 고정시켜서 측정된 값들로 그리는 그래프는 다음 그림 6과 같다. 리드 스위치 센서 자체를 다섯 부분으로 구분되고 자석을 고정된 지침을 회전시켜서 실험을 하였다. 1, 2, 4, 5 번째 위치에서 제일 적당한 펄스를 발생한다.

각도는 $\phi = 40^\circ$ 이내 센서 접촉이 on 상태이고 정확한 펄스가 발생한다. 중앙 3 번 위치로부터 양쪽 5번 또는 1번 방향으로 멀어질수록 작동 각도가 감소되고 체터링 펄스가 더 많이 발생하였다.

IV. 리드 스위치 센서 체터링 오차 발생 진동 실험

체터링 오차의 발생 진동조건과 설치조건을 관계를 확인하기 위하여 아래 그림 8과 같은 진동 실험 테이블을 만들었다.

공기압축기(Air compressor), 솔레노이드 밸브(Solenoid valve)와 리미트 스위치(limit switch)들을 이용하여 리드 스위치와 자석을 부착한 테이블을 이동시

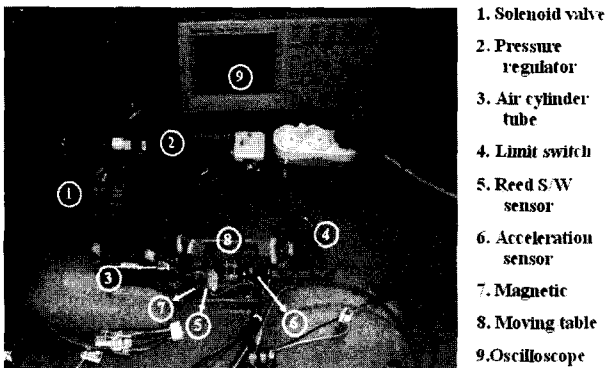


그림 8. 체터링 오차 실험 테이블

Fig. 8. The equipment for the chattering error experiment.

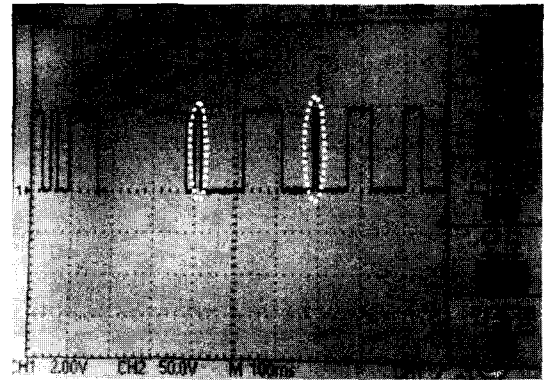


그림 9. 실험으로 발생한 체터링 오차 펄스

Fig. 9. The chattering error pulse by the experiment.

키면서 진동을 발생시킨다. 리드 스위치와 자석의 근접 간격을 설정하여 접촉평형 점을 유지하도록 조정하고 진동을 시키면 아래와 같은 펄스 오차(체터링)가 발생한다.

V. 제안한 리드 스위치 센서의 내부 특성 및 구조

기존 상수도용 계량기에서 부착시킨 리드 스위치 센서의 내부 금속 스프링 특성은 자석이 부착된 지침이 센서와 근접한 위치에서 정지하면서 떨림이 발생하거나 외부 자계 및 진동에 의한 떨림이 발생하였다. 체터링 오차를 감소하기 위한 기본적인 방식은 진동 영향을 받지 않거나 센서를 움직이지 않게 설치해야 되고, 또한 센서 자체 외부 플라스틱 사출로 제작된 외부 캡슐 보호 통이며 오차 감소 정밀 사출이 요구된다. 그림 10 에서 표시하는 분리 접점 탄성을 가지고 있는 금속을 선택해야한다.

그림 11 과 같은 힘 거리 관계 특성을 가지고 있는 형태의 리드 스위치 센서의 내부 구조 스프링으로 교체하여 체터링을 감소시키는 개선을 하였다.

본 논문에서는 기존에 연구했던 센서의 내부 금속

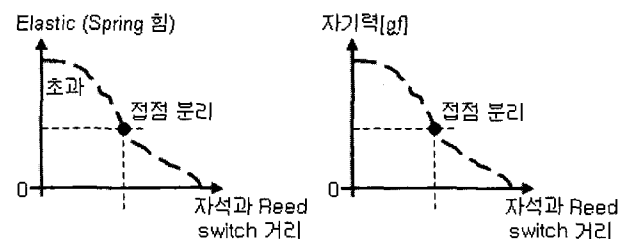


그림 10. 금속 스프링, 자기력과 작동 거리 관계

Fig. 10. The relation of leaf spring, magnetic force, and operation distance.

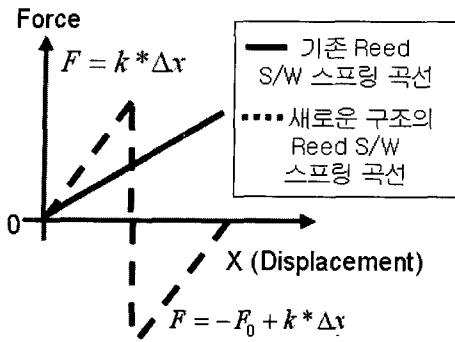


그림 11. 기존과 제안한 센서의 내부 금속 스프링 그래프

Fig. 11. The comparison of pre and proposed leaf spring.



그림 12. 새로운 구조의 금속 스프링 Off, On 상태

Fig. 12. The states on, off of proposed leaf spring.

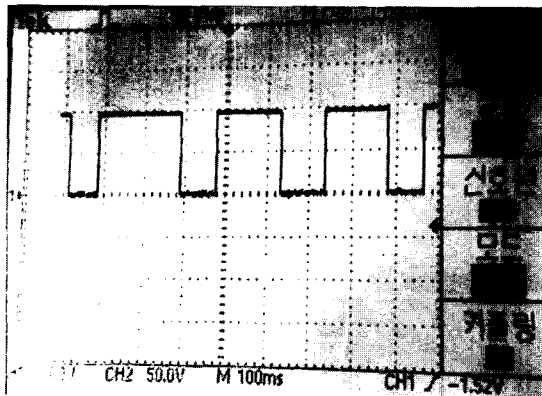


그림 13. 채터링 오차 감소

Fig. 13. The result of reducing chattering error.

스프링의 기하적인 구조를 아래 구조와 같이 개선하여 다음 그림 12와 같이 제작하여 스프링 특성을 실험하였다.

개선된 스프링으로 구성된 리드 스위치를 활용하여 자석이 근접한 위치에 들어오면 떨림의 발생이 매우 감소하고 On, Off 라는 두 개 상태로만 스위치 가능하고 채터링 오차를 감소할 수 있다. 제안된 금속 스프링을 이용한 실험 결과로부터 채터링 오차를 감소한 그래프는 다음과 같다.

VI. 결 론

본 논문에서는 리드 스위치 센서를 이용한 원격 검침용 상수도 계량기에서 채터링 오차 감소하기 위한 연구를 하였다. 기존 센서 자체의 내부적인 채터링 오차를 감소하기 위하여 통계적인 접근 방법 디지털 필터 알고리즘 등의 적용도 가능하다. 더 효과적인 오차 감소방안 소프트웨어와 하드웨어적인 방법을 동시에 적용해야한다. 리드 스위치 센서의 내부 금속 스프링 중 하나를 그림 12와 같이 구멍이 있는 묽음 구조로 양쪽 안정 상태를 갖는 형태를 적용하였다. 채터링 오차를 발생하지 않는 히스테리시스 특성을 갖는 스프링 구조를 적용해 리드 스위치 판으로 작동하여 유량 계측 오차를 감소 및 개선하였다. 리드 스위치 센서의 내부 스프링 구조 개선을 적용하여 기존의 원격검침용 수도 계량기의 현장 적용 오차를 감소시킬 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 서울특별시 상수도연구소 “상수도 원격 검침시스템 도입 방안 연구” 2006.
- [2] T.Kobayashi, K.Hinohara, C.Kawakita “Magnetic Mechanical Design of Ultraminiature Reed Switches” IEEE 1991.
- [3] Odgerel Ayurzana*, Yongman Park, Jongwon Kwon, Hiesik Kim: “CDMA 통신을 적용한 자동 원격 검침 송수신 시스템 구현”, 2006 제어자동화 시스템 심포지엄 CASS'2006, 1~3. June 2006, KINTEX, Korea, TEP-18, pp. 496~499
- [4] www.amrseoul.com

— 저 자 소 개 —



Odgerel Ayurzana(학생회원)
2007년 현재 서울시립대학교
박사과정
<주관심분야: 계측용 센서 응용,
생산측정검사 자동화, 영상처리
응용한 패턴인식>



김 희 식(정회원)
2007년 현재 서울시립대학교
정교수
<주관심분야: 계측용 센서 응용,
생산측정검사 자동화, 영상처리
응용한 패턴인식>