

Zigbee와 적외선 센서를 활용한 밸브 개폐 모니터링 시스템 설계 및 구현

심 현* · 오재철*

Valve monitoring system design and implementation using an infrared sensor and ZigBee

Hyun Sim* · Jae-Chul Oh**

요 약

화학공장과 같이 위험지역에 설치된 밸브장치는 폭발의 위험을 방지하기 위해 방화·방폭장치로 밀폐되어 있다. 본 논문에서는 방폭장치로 인해 외부전원장치를 사용할 수 없는 밸브장치에 적외선센서와 Zigbee 센서를 이용하여 위험지역의 밸브의 열림도를 측정하여 개폐여부를 확인하고, 밸브 개폐 작동시간을 로그화하여 운전 관리자가 공장을 관리 통제할 수 있는 저전력 모니터링 시스템을 제안한다. 전력관리기능을 적용하기 위해 개선된 비동기LPL 알고리즘을 적용한 전력제어 릴레이보드를 개발하고, 이를 적용한 방폭형 지능형 밸브 시스템과 공장 밸브 개폐모니터링 시스템을 설계하고 이를 구현 및 테스트 하였다.

ABSTRACT

The valve device is installed in hazardous areas, such as a chemical plant explosion has been sealed with fire protection device to prevent the risk of explosion. In this paper, due to the explosion-proof devices using external power the device can not be used in infrared sensors and Zigbee sensor valve device by measuring the open degree of valve opening and closing of the danger zone to check whether. Valve opening and closing operation log screen time, we propose a low-power operation monitoring system administrators to manage and control the plant. Develop power control relay board apply an improved algorithm to apply the asynchronous LPL power management. The plant monitoring system and explosion-proof valve opening and closing the valve system with the intelligent device designed and implemented and tested it.

키워드

Zigbee, Infrared, Valve Opening and Closing, Monitoring
지그비, 적외선, 밸브개폐, 모니터링

1. 서론

석유화학공장이나 상하수 처리시설 등과 같은 장치 산업들은 광범위한 지역에 걸쳐 많은 수동조작 밸브가 설치되어 있다. 이러한 밸브들은 자주 사용되지 않고 사람들이 접근하기 힘든 곳에 설치되어 관리가 소

홀하고 운영자들이 밸브의 개폐여부를 인지하지 못하고 밸브 열림 상태에 대한 착오로 운전 사고를 유발하는 경우가 발생한다. 밸브마다 열림도 측정센서를 부착하고 전송선로를 포설한다면 관리자 과실로 인한 사고를 예방할 수 있지만 문제는 전송선로 포설비용이 매우 비싸기 때문에 현실적으로 불가능하다. 이러

* 순천대학교 교수학습개발센터 전임연구원(simhyun@scnu.ac.kr)

** 교신저자(corresponding author) : 순천대학교 컴퓨터공학과(ojc@scnu.ac.kr)

접수일자 : 2014. 11. 10

심사(수정)일자 : 2014. 12. 15

게재확정일자 : 2015. 01. 12

한 문제점 때문에 자체적으로 전원이 공급되면서 무선으로 계측정보를 전송할 수 있는 USN(Ubiquitous Sensor Network)기반의 시스템 적용이 필요하다. Zigbee의 저전력 연구는 고도의 하드웨어적인 개선연구와 채널간섭, 배터리수명계산, 소비전력 모델링 등 응용측면의 연구도 이루어졌다[1-4]. 하지만 기존 연구들은 실제 필드에서 활용하기에는 이론적 측면이 강해서 필드에서 활용이 가능한 USN기반 저전력 시스템의 연구가 필요하게 되었다. 본 연구는 비동기 LPL 알고리즘을 적용한 전원제어 릴레이 보드인 밸브개폐 열림도 시스템을 부착하고 밸브를 수동 조작하는 시점마다 자동으로 밸브의 위치를 RF신호를 사용하여 전송함으로써 정보 혼동으로 인한 사고를 예방함에 목적이 있다. 시스템의 형태는 밸브의 상부 거리를 측정할 수 있는 적외선 센서장치를 장착하고 센서 장치의 거리 측정값을 전송 받아 이를 다시 사용자의 모바일 장비에 획득된 데이터를 전송할 수 있는 Zigbee 임베디드 장치가 장착된다. 석유화학공장과 같은 대단위 장치산업들은 기계들의 유기적인 제어가 필수적이므로 이를 제어 및 동기화하기 위한 소프트웨어들이 필요하며 이를 위해서 소프트웨어는 임베디드 프로그램과 메인프레임 서버프로그램으로 개발하게 된다. 이를 활용한 시스템을 구축한다면 밸브의 열림도를 정확히 관리할 수 있어, 관리자 혼동으로 인한 운전 사고를 예방할 수 있다. 또한 RFID와 Zigbee 같은 U-센서네트워크 기술을 이용하여 스스로 진단하고 정보를 알려주는 지능형 밸브를 제작함으로써 새로운 기술 개발의 효과를 가져올 수 있다. 본 논문의 구성은 2장에서 밸브 개폐측정 관리 시스템의 설계를 위한 시스템의 구성요소와 저전력 제어장치 등에 대해 설명하고, 3장에서는 밸브 개폐측정 수행과정을 보이고, 마지막 4장에서 결론 및 향후 연구 방향에 대해 기술한다.

II. 밸브 개폐측정 관리시스템 설계

2.1 시스템의 구성요소

USN기반의 저전력 임베디드 시스템 연구개발을 위한 플랫폼인 무선센서 네트워크 실험에 사용된 특징은 다음과 같다. 하드웨어 장치는 Telos 계열 TI사의

MSP430 Zigbee Mote와 통신모듈 CC2420 RF장치 그리고 적외선거리측정장치를 활용하였다. 운영체제는 TinyOS로 기능추상화를 구현하는 nesC 라이브러리 구조를 사용한다[4],[6-7]. Zigbee는 IEEE 802.15.4 기준을 기반으로 만든 저전력과 저가격을 지향하는 저속 근거리 개인 무선통신의 국제 표준규격으로 전력소모가 적고 칩셋 가격이 저렴하며 통신의 안정성이 높다[5],[8]. 밸브 개폐측정 관리 시스템은 센싱을 통해서 얻어진 값을 목적노드로 전송하는 H/W와 전송된 값을 통해서 밸브의 개폐상태를 보여주는 모니터링 프로그램인 S/W로 구성되어 있다. 그림 1은 저전력 무선 밸브 개폐 시스템 구조도를 보여준다.

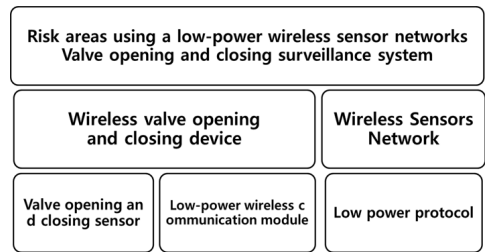


그림 1. 저전력무선밸브 개폐감시시스템 구조도

Fig. 1 Low-power wireless valve opening and closing system configuration

다음 그림 2와 그림 3은 무선 밸브 개폐 측정시스템의 개폐 여부를 측정하는 적외선 센서의 H/W 관계 구성도를 보여준다.

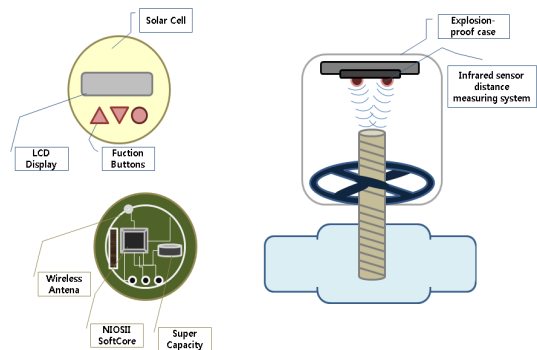


그림 2. 무선밸브 개폐 측정시스템 개도

Fig. 2 Wireless valve opening and closing system design

그림 3에서 밸브의 개폐에 따라 IR센서가 거리를 측정하고 장착된 Zigbee Mote가 모바일 단말기에서 요청한 밸브 거리 측정값을 RF통신을 이용하여 전송하면 모바일 단말기는 이를 현재 밸브가 장착된 위치와 밸브 거리 측정값을 저장하게 된다.

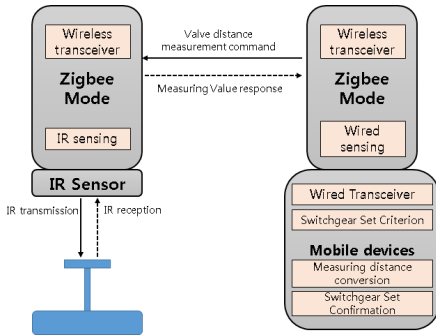


그림 3. 적외선 밸브 측위 시스템 구조도

Fig. 3 HW relationship configuration of infrared sensors

2.2 저전력 제어장치

기존의 IR센서는 지속적으로 거리를 측정하기 때문에 진진지와 같은 충전기기를 이용하게 되면 짧은 시간에 방전되는 문제점을 가지고 있다. 센서노드의 전원공급은 자체적인 전지를 사용하기 때문에 지속적인 전원공급이 어렵고 전력관리가 되지 않으면 수일 정도 밖에 버틸 수 없다. 본 연구에서 전력소모를 줄이기 위해 IR센서가 측정이 필요할 때만 통신기능을 활성화하고 나머지 시간에는 수면(sleep)상태를 유지하여 듀티사이클(duty cycle)을 낮추는 방법의 비동기 LPL 모드를 구성하는 모듈을 설계하고 전원제어 릴레이보드를 개발하여 전력사용을 수개월에서 수년으로 늘리도록 하였다. 저전력 알고리즘 방법은 다음과 같다. 무선 통신시 전력소모 요소는 Collision(송신시 충돌 발생으로 재전송), Overhearing(다른 노드의 불필요한 전문수신), Idle listening(수신하기 위해서 지속적인 대기)이다[aa]. 이 중에서 가장 심하게 전력을 소모하는 요소는 Idle listening으로 약 50~100%를 차지한다. 이를 해결하기 위해서 Long Preamble대신 작은 전문을 여러번 송신하는 방법으로 송신측에서 전문을 수신측의 수신 검사기간(receive check period) 동안 똑같은 전문을 여러 번 보내고 수신측은 깨어나서 송신되는 전문을 수신하고 응답(ACK)전문을 전송

한다. 송신측은 응답전문을 수신하고 송신을 중단한다. 송수신측 모두 빠른 처리를 하고 수면모드로 전환된다. 실제 전력 소모 부분은 대체로 MCU, 유무선 송수신기, 센서이다. TinyOS는 다양한 RF 전송을 지원하고 RF별로 HAL(Hardware Adaptation Layer)에 자신에게 적합한 LPL 전략 구현이 가능한 장점이 있다. 그림 4는 TinyOS 2.X 시스템에 주요 모듈구조도를 보여준다.

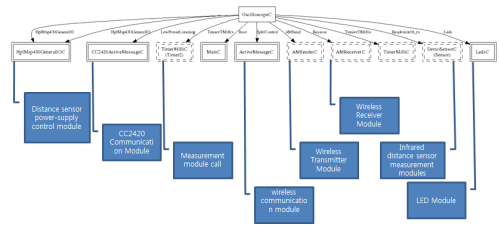


그림 4. 시스템 주요모듈 구조도

Fig. 4 TinyOS system module configuration

다음은 CC2420 LPL모듈을 변경하여 저전력 알고리즘 기법을 적용한 컴포넌트 구조를 설명한다.

```
call LowPowerListening.setLocalSleepInterval(1000);
call SplitControl.start();
로컬노드 수면시간 1초로 설정
```

```
periodicMsg->count = count;
call LowPowerListening.setRxSleepInterval(&fullMsg, 1000);
메시지송신 상대편 수면시간 1초
```

```
components HplMsp430GeneralIOc;
OscilloscopeC.Pin0->HplMsp430GeneralIOc.Port43;
OscilloscopeC.Pin1->HplMsp430GeneralIOc.Port44;
적외선 거리센서 전원공급제어 신호핀 사용
```

```
OscilloscopeC.LowPowerListening -> Lplc;
CC2420모듈 LPL모드 사용
```

```
interface HplMsp430GeneralIO as Pin0;
interface HplMsp430GeneralIO as Pin1;
interface LowPowerListening;
적외선거리센서 전원공급제어 신호핀 연동
CC2420모듈 LPL모드 연동
```

```
call Pin0.makeOutput();
call Pin1.makeOutput();
적외선 거리센서 전원공급제어 신호핀 출력용 설정
```

```
event void RadioControl.startDone(error_t error) {
startTimer();
call LowPowerListening.setLocalSleepInterval(5000);
5초동안 수면모드로 설정
```

```

call Pin0.set();
call Pin1.set();   센서전원 공급시작

// if less than 100 then error because of current problem. maybe.
call Timer2.startPeriodic(100);
센서전원 공급후 0.1초 지나서 측정시작

local.readings[reading++] = data;
거리측정자료 10회까지 보관

// Sensor Power Off
call Pin0.clr();
call Pin1.clr();   센서전원 공급중단

// Message send
messageSend();     측정결과 송신
    
```

그림 5와 그림 6은 IR센서 전력제어 릴레이 시스템의 구조도와 회로 설계도 그리고 완성된 개발 보드를 보여준다. IR센서 기기의 전력 소모를 Zigbee Mote가 모바일 장치에서 수신요청이 있을 때만 IR센서에 전원이 공급되고 밸브의 거리 측정을 진행하게 된다. 이러한 저전력 기법으로 전력소모가 매우 현저하게 줄어들게 된다. 모바일 기기에서 기존의 LOnG Preamble 대신 작은 전문을 여러번 송신하고 이 때 그림 5의 Zigbee Mote에서는 일정한 시간으로 수면 모드에서 깨어나 송수신측 모두 빠른 처리를 하고 다시 수면모드로 돌아가는 방법을 이용함으로써 시스템의 충전지 교체시기를 수개월에서 수년으로 늘려 노드 수명을 연장 시킬 수 있다.

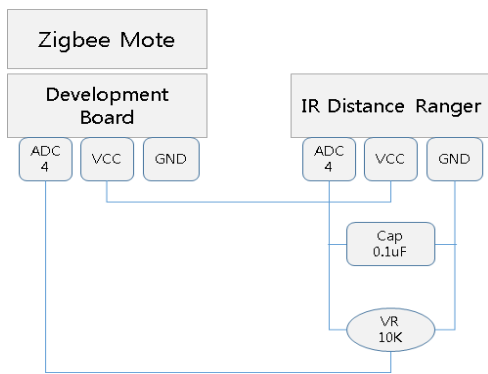


그림 5. 저전력 제어보드 구조도
Fig. 5 Power control relay system schematic

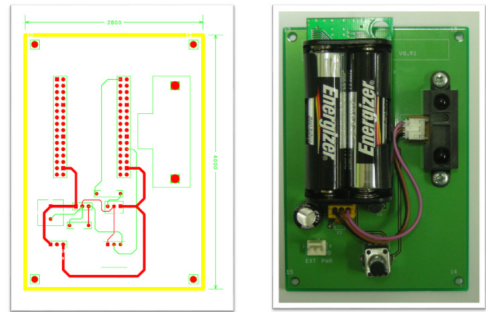


그림 6. 저전력 제어보드 회로도와 완성모듈
Fig. 6 Circuit design & complete board

그림 7은 PDA나 모바일 장치에 적용되어 밸브의 높이를 쉽게 눈으로 확인할 수 있도록 하였다. 위의 모니터링 시스템은 공장전체의 밸브 위치를 표시하는 맵을 동시에 표현하여 전체적인 밸브 개폐 여부를 쉽게 파악할 수 있다.

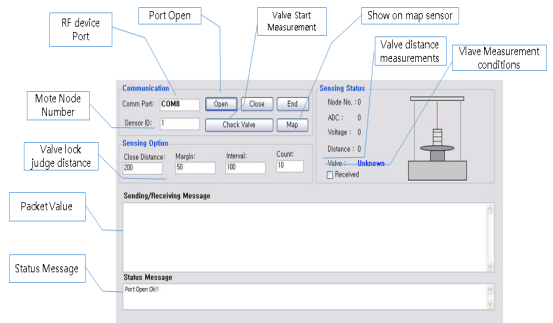


그림 7. 밸브 측위 모니터링 시스템
Fig. 7 Valve measurement monitoring screen

III. 밸브 개폐측정 수행과정

그림 8의 왼쪽 사진은 밸브에 거리측정 시스템을 보드를 설치한 화면이다. 오른쪽 사진은 PDA 또는 모바일 시스템을 이용해서 개폐측정값을 모니터링 하는 시스템이다. 테스트에는 태블릿 노트북을 이용하여 모바일 기기를 대체하였다. 그림 9, 그림 10 그리고 그림 11은 전력제어 릴레이 밸브열림측정 보드에서 전송받은 측정값을 보여주는 모니터링 화면이다. 관리자가 밸브에 접근하면 밸브열림측정 Zigbee Mote가

센싱을 시작하는 화면이 그림 9이다. 만약 밸브를 열어서 높이가 올라가면 그림 10의 Open 결과 값이 모니터링 화면에 나타난다.



그림 8. 밸브개폐 측정시스템 실제 테스트
Fig. 8 The actual testing environment

밸브를 잠그게 되면 그림 11의 Close 결과값이 모니터링 화면에 나타난다.

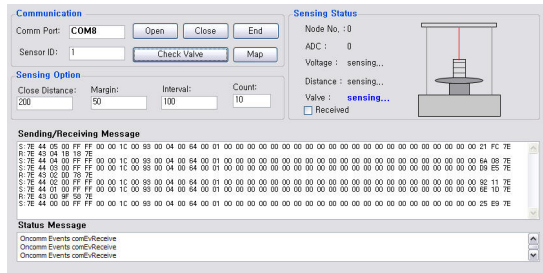


그림 9. 밸브 측정장치 구동 시작화면
Fig. 9 Start valve measurement

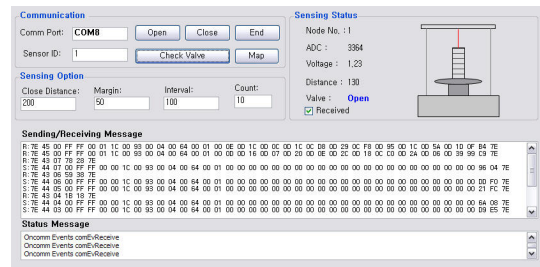


그림 10. 밸브가 열려있는 결과 전송
Fig. 10 Valve open transmission

이와 같은 방법으로 동적으로 수집되는 센서 정보와 밸브의 상황정보 등을 이용하여 지속적으로 밸브의 상태를 모니터링하게 되는 것이다.

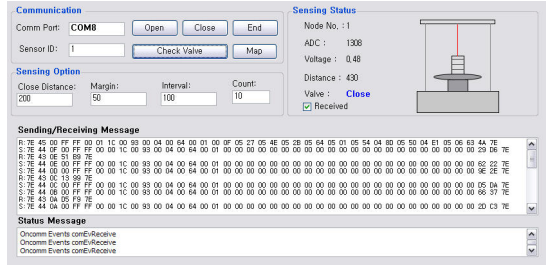


그림 11. 밸브가 잠겨있는 결과 전송
Fig. 11 Valve closed transmission

표 1은 비동기 LPL모드 알고리즘이 적용된 전원 릴레이 IR장치의 전력소모율을 보여준다. 테스트 환경은 기존 LPL모드를 이용하여 IR을 지속적으로 측정하는 경우와 비동기 LPL모드를 이용하여 전원 제어 릴레이 장치를 이용해서 한 달에 1~2회만 측정하는 경우로 구분하였다. 한 달에 1~2회로 제한한 이유는 수동 밸브의 접근성을 고려해서 같은 환경조건을 제공하기 위해서이다. 기존 LPL모드를 이용해서 지속적인 측정을 하는 경우 약 4~5일 정도에 전압이 낮아져서 사용이 불가능하였고 비동기 LPL모드를 이용한 전원 제어 릴레이 장치는 약 300일 지났음에도 밸브의 개폐 여부를 측정하였다.

표 1. 보드의 전력 소모상태 테스트
Table 1. Board current test

Function	mode	current consumption [mA]	General IR device	LPL apply asynchronous	Remark
Mote	idle	8.5	4days	300days	Sleep mode
	active	0.36			x-tal
Transmitter Module	idle	58	5days	300days	Other normal state
	active	35			sensor detects

IV. 결론

본 논문에서는 화학공장과 같은 고위험지역에 산재되어 있는 수동밸브에 비동기 LPL모드 알고리즘이 적용된 전원제어 릴레이 보드를 이용하여 밸브의 열림도 측정이 가능한 저전력 센서 장치를 개발하였다. 이 장치를 통하여 밸브의 개폐여부를 RF통신을 이용하여 관리자가 확인함으로써 불의의 사고를 방지하고 동시에 공장의 전체 공정플로우를 모니터링 할 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서 개발한 시스템을 실용화 할 경우 공장 내의 크고 작은 폭발 사고를 미연에 방지함으로써 금전적인 손실과 인명사고를 예방 할 수 있으며 공장내에서 사람이 접근하기 어려운 지역에 상황을 파악 할 수 있게 된다. 향후 연구 과제로는 밸브에 장착된 센서와 GPS 그리고 GIS의 정보를 이용하여 모바일 장치로 공장내의 여러 현장설비들을 손쉽게 진단하고 설비들에 대한 이력을 관리하는 모바일기반의 현장설비진단 및 이력관리시스템을 구현하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2014년 순천대학교 학술기반조성비로 연구되었음.

References

[1] H. Kim, C. Kim, and H. Shin "Battery Lifetime Estimation Considering Various Power Profiles in Wireless Sensor Node," *J. of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 46, part 2, no. 12, 2010, pp. 43-49.

[2] C. Lee, and Y. Hong, "A Low-Power Design and Implementation of the Portable Device for Measuring Temperature and Humidity Based On Power Consumption Modeling," *J. of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, vol. 15, no. 2, 2014, pp. 1027-1035.

[3] M. Kang and H. Shin, "Analysis of Low Power and Channel Interferences for Zigbee," *J. of the Korea Society for Internet Information*, vol. 11, no.

3, 2010, pp. 33-40.

[4] S. Kim, J. Park, S. Go, and H. Ro, "Design and Development of Strain Measurement System Based on Zigbee Wireless Network," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 7, no. 3, 2012, pp. 585-590.

[5] C. Choi and D. Lee, "Design and Implementation of the Localization System Using Distance Identification Code in Wireless Sensor Network," *J. of the Korean Institute of Communication and Information Sciences*, vol. 34, no. 8, 2009, pp. 575-582.

[6] G. Kim, "Implementation of Real-time Sensor Monitoring System on Zigbee Module," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 6, no. 2, 2011, pp. 312-318.

[7] K. Lee, H. Sim, and J. Oh, "The Design and Implementation of Intruder Access Control System by based of Ubiquitous Sensor Network," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 7, no. 5, 2012, pp. 1165-1171.

[8] Y. Moon, Y. Bae, and S. Roh "A Study on Implementation of Zigbee Module based on CC520," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 5, no. 6, 2010, pp. 664-671.

저자 소개



심 현(Hyun Sim)

1997년 원광대학교 무역학과 졸업 (경영학사)

2002년 순천대학교 컴퓨터학과 (이학석사)

2009년 순천대학교 컴퓨터학과(이학박사)

2011년~현재 순천대학교 교수학습개발센터 책임연구원

※ 관심분야 : USN네트워크, 모바일앱, 임베디드시스템, 상호연결망 알고리즘, 교육공학시스템



오재철(Jae-Chul Oh)

1978년 전북대학교 전기공학과(공학사)

1982년 전북대학교 컴퓨터공학과(공학석사)

1988년 전북대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

1984년~1986년 기전대학교 전자계산학과 전임강사

1986년~현재 순천대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : 임베디드시스템, USN, 네트워크 설계 및 분석

