

가스 누출 감지를 위한 저전력 자동 ON/OFF 밸브 시스템 개발에 관한 연구

최영규*

A Study on the Development of Low Power Automatic ON/OFF Valve System for Gas Leak Detection

*Young Gyu Choi

요약 최근에 건설되는 아파트는 주방이 빌트인 방식으로 만들어지므로 가스 호스가 싱크대 내부에 보이지 않게 만들어 지므로 가스가 누출될 경우 싱크대 내부에 축적되어 가스 폭발로 이어질 수 있는 위험한 방식이다. 본 연구에서는 가스 레인지와 중간밸브 사이에 연결된 호스가 싱크대 내부에 있어 가스 누출 감사를 할 수 없는 구조로 되어 있어 압력센서를 이용하여 가스누출을 감사를 쉽게 할 수 있는 밸브 시스템 연구하였다. 압력 측정 방법은 중간밸브와 가스레인지에 연결하는 호스의 압력을 측정하여 I2C통신 방식으로 데이터를 수집·분석 할 수 있도록 진행하였다. 또한 가정에 공급되는 가스압력계산은 대기압력에 가스계량기의 입구에서 가스게이지 압력 평균값 22.46mbar를 더 한 값으로 계산된 것에 대한 대기 압력 오차에 대한 규명 및 미세한 가스 누출 감지를 할 수 있도록 밸브 시스템을 개발하였다.

Abstract Apartment recently built in kitchen is made is made because the gas hose with built-in ways invisible inside the sink. In this case, if the gas leaks, it is a dangerous method that can accumulate inside the sink and lead to an explosion. In this study, since the hose connected between the gas range and the intermediate valve is inside the sink, it is not possible to test for gas leaks, so a valve system that can easily check for gas leaks using a pressure sensor was studied. As for the pressure measurement method, the pressure of the hose connecting the intermediate valve and the gas range was measured so that data could be collected and analyzed using the I2C communication method. In addition, the calculation of the gas pressure supplied to the home was investigated for the atmospheric pressure error for the value calculated by adding the average value of the gas gauge pressure of 22.46 mbar at the inlet of the gas meter to the atmospheric pressure. A valve system was developed to detect minute gas leaks.

Key Words : hose pressure, gas cage pressure, atmospheric temperature, minute gas leaks, built-in

1. 서론

아파트에 공급되는 일정 양의 LPG 가스는 온도와 압력에 따라 무게와 질량은 변화되지 않지만 부피는 변화한다. 부피가 변화하면 가스 압력이 변화되기 때문에 가정에 공급되는 가스량이 일정하지 않다. 한

국가가스공사에서는 도시가스회사에 LPG 가스를 판매할 때 0t, 1.01325 bar의 압력 상태로 판매한다. LPG 가스는 온도와 대기압에 따라 부피와 압력이 변하므로 일정한 압력으로 공급하기 위해 지구 정압기에서 증압관, 저압관을 통해 개별 수용가

This was supported by Korea National University of Transportation in 2020

*Corresponding Author : Department of Computer Engineering, Korea National University of Transportation(ygchoi@ut.ac.kr)

Received September 13, 2021

Revised September 19, 2021

Accepted October 05, 2021

에게 공급이 이루어지지만 압력이 높은 관에서 낮은 관으로 이동하면서 압력 차로 인해 부피가 팽창하게 된다[1][3].

가스 부피가 일정하지 않기 때문에 산업용, 업무용/영업용의 경우에 가스계량기에는 가스온도와 압력을 측정하여 가스계량기의 측정량을 측정상태에서 0℃, 1.01325 bar의 상태의 가스량으로 환산하여 주는 온압보정기(volume corrector)가 설치가 되어 있는데 고가이기 때문에 가정용으로는 설치가 되어있지 않다 [2].

수용가에 공급되는 가스 소비량은 주거지의 평균 고도와 기상청 측정지점의 고도 차이에 따른 대기압과 대기온도의 보정이 온압보정계수에 포함되어야 한다. 또한 공급되는 가스배관의 굵기에 따라 압력이 변하므로 일정한 굵기로 배관을 해야 정확한 가스계량기 측정값을 얻을 수 있다[2]. 또한 가정에 공급되는 가스 압력을 측정하기 위해선 주거지역의 고도 및 온도, 대기압을 고려한 측정을 해야하는데 수용가 별로 정확한 소비량과 압력 값을 산출할 수 없다. 이와 같은 문제로 지금까지 압력을 이용한 누출 검사가 어렵기 때문에 중간 밸브를 기준으로 외부와 내부 가스 온도차를 측정하여 누출을 감지하는 방법이 사용되고 있다.

온도차를 이용한 누출 체크 방식은 중간 밸브를 기준으로 외부와 내부의 가스 온도차를 이용하여 누출을 감지하는 방식으로 미세한 가스누출을 측정하기 어려운 단점을 가지고 있다.

그림 1과 같이 저압용 가스 누출 확인 밸브 구조로 가스누출 검사 밸브가 판매가 되고 있다. 동작원리는 가스 사용을 위해 밸브 핸들(A)를 열면 가스가 공급되어 가스를 사용할 수 있고, 가스누출체크를 하기 위해서는 밸브 핸들(A)을 차단하고 누출 체크 밸브(B)를 열면 가스가 누출될 경우 화살표(C)방향으로 가스가 흘러가면서 채워져 있는 기름(D)의 화살표(E)가 가리키는 부분에서 기포가 올라오면서 가스 누출을 확인할 수 있는 구조로 미세한 누출도 기름에 기포가 생기므로 쉽게 누출검사를 할 수 장점을 가지고 있다. 그러나 중간밸브가 크기 때문에 사용자가 설치를 원치 않는

경우가 많이 있고, 주방에 가스입력 배관의 형태가 다르기 때문에 그림1과 세워서 장착해야 하는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 압력 센서를 사용하여 누출 감지를 위한 알고리즘과 측정 결과를 제시하고 누출 감지 장치에 타이머 기능을 결합한 가스 누출 감지를 위한 저전력 자동 ON/OFF 밸브 시스템 개발을 진행하였다.

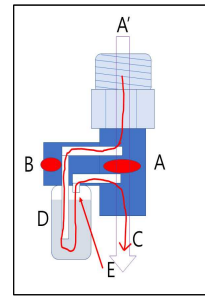


그림 1. 저압용 가스 누출 확인 밸브 원리
Fig. 1. Low pressure gas leak check valve principle

2. 회로설계

2.1 Nano 112 마이크로컨트롤러 특징 및 회로

ARM® Cortex™ -M0 코어가 내장된 Nano112는 초 저전력 32 비트 마이크로 컨트롤러를 활용하여 가스 누출 감지 장치 회로를 [그림 2]와 같이 설계하였다. NANO112는 LCD 구동 드라이버를 지원하는 저 소비전력 MCU로 누출 값과 시간 설정 값을 4 자리 7 세크먼트 디스플레이(Digit 7- Segment Display)로 출력을 하기 위해 내부에 공통 출력 제어(Common Output Control) COM0~ COM3와 세크먼트 출력 제어(Segment Output Control) S0~ S9를 활용하여 출력 값을 디스플레이 할 수 있도록 설계를 하였다[4].

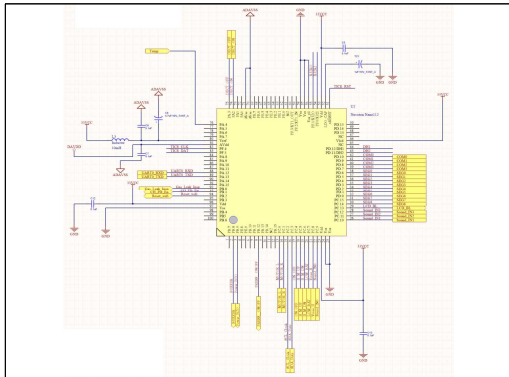


그림 2. 누출 감지 시스템의 NANO 112 ARM 회로도
Fig. 2. NANO 112 ARM Schematic of Leak Detection System

밸브를 터치(touch)로 ON/OFF 할 수 있도록 TS04 4 채널 자체 교정 정전식 터치 센서(4-Channel Self Calibration Capacitive Touch Sensor)를 사용하여 누출 체크, ON/OFF, 분 증가 감소를 할 수 있도록 [그림 3]과 같이 회로를 설계하였다[5].

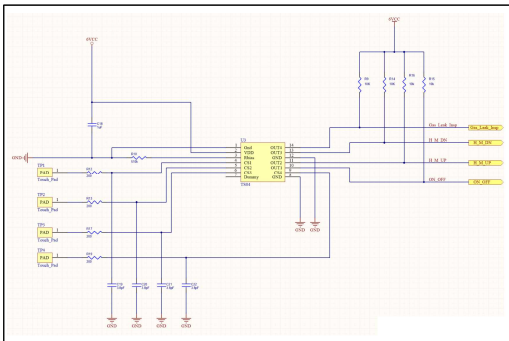


그림 3. 밸브 자동 ON/OFF를 위한 터치 회로
Fig. 3. Touch circuit for automatic valve ON/OFF

압력 측정을 하기 위해 고도계 어플리케이션에 최적화된 초소형 젤 충전 압력 센서인 MS5840 센서를 사용하여 [그림 4]와 같이 회로를 설계하였다[6].

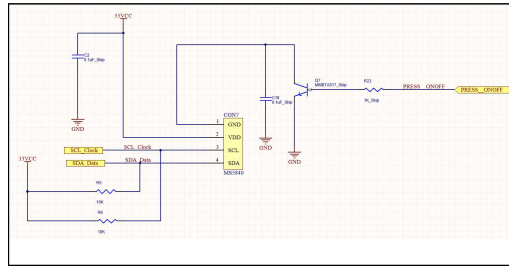


그림 4 I2C1를 이용한 압력 체크 회로도
Fig. 4. Pressure check circuit diagram using I2C1

MS5840 센서를 활용 가스압력을 수집하기 위해 Nano112 100핀 MCU의 I2C 버스 인터페이스를 위한 15(I2C1_SCL),16(I2C1_SDA) 핀을 표 1과 같이 설정하고, 표2와 같이 I2C1 초기화, 표 3.과 같이 IRQ 핸들러 등록을 하여 압력을 측정하기 위한 설정을 하였다.

표 1. I2C1 핀 설정
Table 1. I2C1 pin setting

```
//PIN_DEF.h
#define SCL_CLOCK 2
#define SDA_DATA 3
// GpioSet.c
PC->PMD |= ( 0x05 << SCL_CLOCK);
PC->PMD |= ( 0x05 << SDA_DATA);
```

표 2. I2C1 초기화
Table 2. I2C1 initialization

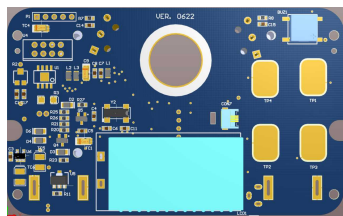
```
void I2C1_Init(void)
{
    I2C_Open(I2C1, 100000);
    I2C_SetSlaveAddr(I2C1, 0, 0x76, I2C_GCMODE_DISABLE);
    I2C_EnableInt(I2C1);
    NVIC_EnableIRQ(I2C1_IRQn);
    I2C_SET_CONTROL_REG(I2C1, I2C_SI | I2C_AA);
}
```

표 3. IRQ 핸들러 등록
Table 3. IRQ handler registration

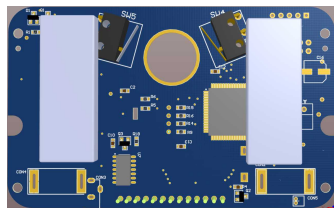
```

void GPABC_IRQHandler()
{
    if(PB->IER & (0x01 << (16+ PIN_GAS_LEAK))
    &&PB->ISRC & (0x01 << PIN_GAS_LEAK) && PB
    ->PIN & (0x01 << PIN_GAS_LEAK))
    {
        PB->ISRC |= (0x01 << PIN_GAS_LEAK);
        if(go_leak_off_able == 3)
        {
            go_leak_off_able = 0;
            go_leak_off_signal = 2;
        }
        go_leak_off_able |= 2;
    }
}
    
```

가스 누출 감지를 위한 자동 ON/OFF 밸브 시스템을 위한 PCB 설계는 부품수를 고려하여 양면 실장을 할 수 있도록 Top과 Bottom 설계를 그림 5와 같이 설계를 하였다.



(a) Top



(b) Bottom

그림 5. Top과 Bottom PCB 3D 패턴 설계
Fig. 5. Top and Bottom PCB 3D Pattern Design

3. 밸브 기구 설계

밸브를 자동으로 90도 좌회전(ON) 후회전(OFF)할 수 있도록 밸브 구동에 사용한 기어드 모터의 기어

비는 1/298로 DC 6V에서 순간 소비 전류 140mA에서 토크가 1.1kg/cm의 동력을 워기어와 헬리컬로 전달 밸브를 구동할 수 있도록 그림 6, 7 과 같이 개발하였다.

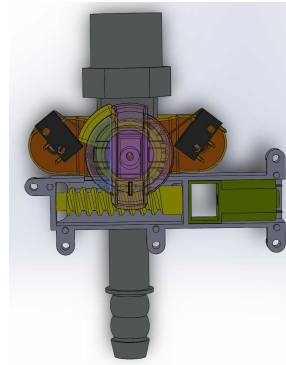


그림 6. 밸브 기구 설계
Fig. 6. valve mechanism design

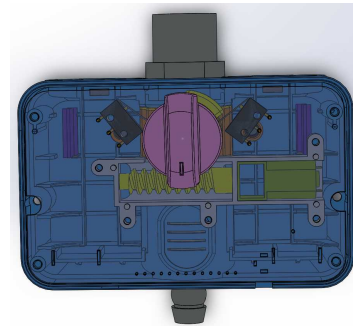


그림 7. 가스 누출 검사 타이머 어셈블리
Fig. 7. Gas Leak Check Timer Assembly

4. 가스 압력 체크와 구현 알고리즘

가스 압력은 2003년도 "도시가스 계량기술 및 판매 시스템 분석"의 실험결과에 따르면 가스 계량기의 입구에서 가스 게이지 압력의 평균값은 22.46mbar로 식(1)과 같이 변환된 단위값으로 나타내었다. [2]

$$0.32575476\text{PSI}=22.46\text{mbar}=2.24600001\text{kPa} \quad (1)$$

$$\text{가스압력(절대압력)}=\text{대기압력}+\text{게이지압력} \quad (2)$$

대기압력은 주거지역의 평균 고도를 정확하게 얻을 수 있는 방법이 없기 때문에 본 연구에서 MS5840 압력센서를 사용하여 개발한 가스 누출 체크시스템을 활용하여 충주시청 기준 해발 91.1m의 대기압을 표 4와 같이 측정된 평균 대기압을 atm단위로 계산한 결과 값은 (3)식과 같다.

표 4. 충주 시청 기준 대기압
Table 4. Atmospheric pressure based on Chungju City Hal

현재 데이터								
TIME	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8
12:23:43.97	9349244							
과거 데이터								
TIME	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8
12:23:43.97	9349244							
12:23:43.46	9348866							
12:23:42.97	9349506							
12:23:42.47	9350357							
12:23:41.97	9348902							
12:23:41.46	9350261							
12:23:40.97	9349082							
12:23:40.47	9349075							
12:23:39.96	9350478							
12:23:39.47	9349764							
12:23:38.97	9349355							
12:23:38.46	9349923							
12:23:37.97	9350778							
12:23:37.47	9349239							
12:23:36.97	9349391							

평균값 : 9349614.73 편차 : 1912

$$13.93201157\text{PSI} = 96.0578384\text{kPa} \\ = 0.94801716\text{atm} \quad (3)$$

가스 누출 검사시 중간 밸브와 가스레인지와 사이에 연결된 호스 내의 압력값과 대기압을 측정하여 정확한 가스누출상태의 값을 얻기 위해 가스타이머 밸브는 닫고 가스레인지 레버를 켜놓은 상태에서 호스내 가스가 빠져나간 상태에서 압력을 측정한 결과 (4)식과 같이 압력 값을 측정하였다.

$$14.14376944\text{PSI} = 97.5178575\text{kPa} \quad (4)$$

대기압과 호스내의 압력차 값은 호스내 압력이 1.4600198kPa 높게 나타났다. 본 논문에서는 미세 가스누출을 감지하기 위해서는 호스내 압력(4)식을 대기압으로 설정해서 가스 누출 압력 계산을 위한 (2)식을 적용해서 가스압력을 (5)식의 결과 값을 기준으로 누출 체크를 할 수 있도록 알고리즘을 구현하였다.

$$14.4695242\text{PSI}=99.7638575\text{kPa} \quad (5)$$

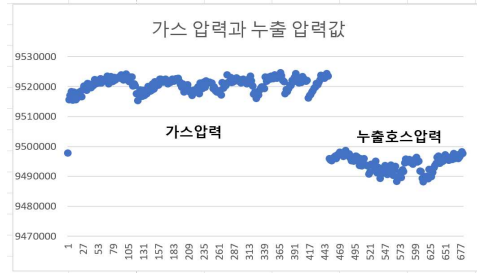


그림 8. 가스 압력과 누출 호스 압력 비교
Fig. 8. Gas pressure vs leaking hose pressure

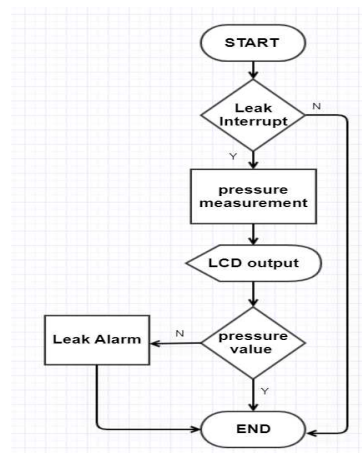


그림 9. 가스 누출 감지 흐름도
Fig. 9. Gas leak detection flow chart

가스 누출 압력을 계산하기 위해 그림 8과 같이 측정된 평균 가스압력(5)식에서 누출 호스 압력(4)을 뺀 평균값(0.11399689PSI)과 비교하여 0.000298023PSI(=0.0020548 kPa)보다 크게 편차가 발생하면 가스 누출 경보를 올리도록 그림 9와 같이 프로그램을 구현하였다.

그림 10과 그림 11은 밸브 ON/OFF 시간을 터치센서를 적용하여 최종 개발한 알고리즘과 최종 목표제품 결과이다.

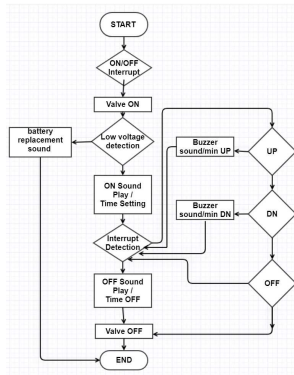


그림 10. 가스타이머 동작 흐름도
Fig. 10. Gas timer operation flow chart

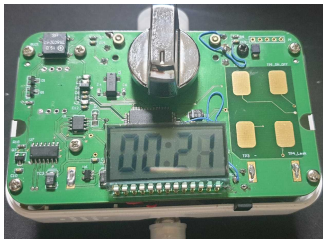


그림 11. 최종 목업 테스트 제품
Fig. 11. Final mock-up test product

5. 결론

본 논문에서는 빌트인 방식의 주방구조에서 싱크대 내부 가스누출 검사를 중간밸브에서 할 수 있도록 연구를 진행하였다. 가스 누출을 정확히 측정하기 위해서 ARM® Cortex™-M0 코어가 내장된 Nano 112 32비트 마이크로 컨트롤러와 MS5840 압력 센서로 PSI 단위로 그림8과 같이 압력을 측정할 수 있도록 개발하였다. 가스 압력은 통상적으로 식(2)와 같이 측정할 경우 미세한 누출값을 측정하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 대기 압력값 식(3)과 중간 밸브가 닫힌 상태에서 측정된 그림 8의 누출 호스 압력값 식(4)와 같이 측정한 결과 1.4600198kPa 만큼 높게 측정된 누출호스내 압력 결과를 대기압력으로 가스압력을 산출하여 누출체크를 할 수 있도록 함으로써 미세한 가스 누출도 감지할 수 있도록 알고리즘

을 구현하였으며, 밸브가 자동으로 ON/OFF 할 수 있도록 기구 및 회로 설계를 구현하였다. 앞으로 연구과제는 IoT 기능을 추가하여 원격제어가 가능하도록 연구를 진행할 예정이다.

REFERENCES

- [1] Kim Soo-deok, Seo Jeong-gyu, "Unexplained city gas analysis: focusing on Gyeongin area", Journal of the Korean Energy Society, volume 12 No. 4, pp328 ~338, 2003
- [2] Kang Ung, "2019 city gas temperature and pressure correction coefficient calculation study" pp.1-68, Ministry of Trade, Industry and Energy 2019.1
- [3] Ministry of Commerce, Industry and Energy, "Analysis of city gas metering technology and sales system", KRISS /IR-2003-044, 2003.3
- [4] nuvoTon, "NuMicro Nano102/112 Technical Reference Manual", pp.1-574, 2014.
- [5] touchSEMI, "4-Channel Self Calibration Capacitive Touch Sensor" pp.1-16
- [6] TEconnectivity, "TE CONNECTIVITY SENSORS MS5840-02BA", REV A5 12/2019

저자약력

최영규 (Young Gyu Choi)



• 1992.5~2020.10 현재 한국교통대학교 컴퓨터공학과 교수

〈관심분야〉

Embedded System & ASIC Design