

대규모 시설을 위한 다채널 가스 누설 경보기 개발

정 규 원

충북대학교 기계공학부

(2007. 10. 22. 접수 / 2008. 5. 26. 채택)

Development of Multi Channel Gas Leakage Detector for Large Facility

Kyuwon Jeong

School of Mechanical Engineering, Chungbuk National University

(Received October 22, 2007 / Accepted May 26, 2008)

Abstract : As a clean fuel, LNG or LPG is widely used in large restaurants or plants instead of coal. These fuels are easy to use and cheap. However, they are inflammable very much and easily exploded at the worst. So there are many laws and regulations legislated for the handling and usage of the gas facilities. Nevertheless, very harsh explosions occurred in several domestic or foreign places. In this paper a gas detection and alarm system was developed for large facilities. A new concept for connecting many gas detectors was proposed and based upon that a system including hardware and software have been developed and tested. Although up to 16 gas detectors apart 1 km from main controller can be connected currently, this system can be easily expanded for more detectors because each gas detector receiver communicates with main controller using industrial standard RS-485 multi drop technique. Furthermore several additive functions was included for the installation and maintenance convenience.

Key Words : gas leakage, gas detector, LEL, LPG, LNG, RS-485

1. 서론

종래의 화석연료를 대신하여 저렴하며, 깨끗한 청정연료로서 액화천연가스 또는 액화석유가스가 가정이나 외식업소에서 연료로 많이 사용되고 있다. 특히 근래에는 외식업소가 대형화 되는 추세이며, 중국을 비롯한 동남아 지역에서는 매우 규모가 큰 경우가 많이 있다.

이러한 가스는 압축용기에 봉입되어 사용되는 경우도 있으나 대부분의 도시에서는 파이프라인으로 각 가정 및 업소에 배달되고 있다. 잘 알려진 바와 같이 가스는 폭발성이 매우 커서 사용시 상당한 주의를 요구한다. 가스사용에 관한 많은 안전 규격이 제정되어 있고 시행되고 있으나¹⁻⁴⁾, 가스의 폭발로 인한 사고는 국내는 물론 세계 도처에서 빈번히 발생하고 있다⁵⁾.

상상할 수 없는 큰 피해를 가져온 대구 지하철 공사장 도시가스 폭발사고를 비롯하여, 최근에도 청주의 가정집에서 가스폭발로 인한 화재가 발생하여 2명이 중상을 입는 사고가 발생하였다. 외국

에서는 최근 2007년 7월 러시아 북서부의 간선 가스 파이프라인에서 폭발사고가 발생하였으며, 미국 델라스에서 탱크로리와 가스저장소에서, 중국 선양의 사우나에서 가스누출로 인한 사고가 발생하여 사망자가 발생하는 사고가 있는 등 크고 작은 사고가 계속 발생하고 있다.

이와 같은 사고들은 가스의 누출 여부를 지속적으로 감지하여 사전에 적절한 조치를 취하여 예방하는 것이 가장 바람직할 것이다. 그러나 최근에는 가스가 대량 사용되고 있으며, 이에 따라 가스 생산 시설, 가스 저장시설들이 대규모이며, 거주시설로서 아파트와 같은 공동주택을 선호함으로써, 가스가 누출될 가능성이 매우 커졌다. 따라서 가스폭발에 관한 많은 연구가 이루어지고 있으며⁶⁻⁹⁾, 또한 가스 안전을 위한 제품들이 많이 있다. 그러나 현재 시판되고 있는 가스누설 감지 경보기들은 휴대용 또는 제한된 지역에 사용되는 기능을 갖고 있는 경우가 대부분이다.

본 연구의 목적은 대규모 가스 취급 시설 즉 가스충전소, 가스 기지, 가스 이용 공장, 대규모 요식업소등과 같이 가스 누설 가능성이 있는 지점이

많은 경우 또한 대규모이기 때문에 거리가 많이 떨어져 있는 경우에 가스 누설을 감시하여 이를 관제소에서 사전에 대처할 수 있도록 활용하기 위한 시스템을 개발하고자 한다.

2. 시스템 설계

2.1. 시스템 요구사항

대규모 가스시설 및 요식업소에서 사용하기 위한 가스 누설감지 및 경보기에 요구되는 사항은 공간적인 특성과 사용자의 편의성 등을 고려하여 다음과 같이 선정하였다.

- i) 가스 탐지부; 1~16개 연결 가능하며 사용자가 임의로 변경 가능
- ii) 가스탐지부의 설치 거리: 1km 가능
- iii) 표시부: 가스농도 (%LEL)
 가스탐지부 번호
 정보 기준 농도 이상일 경우 - 정보
 가스 탐지부 고장 여부
 탐지부 단선, 합선
 배터리 연결 불량
- iv) 차단부: 차단 기준 농도 이상일 경우 가스 밸브 차단
- v) 보조전원: 정전시 배터리를 이용한 가동
- vi) 기타사항: 수동으로 차단 해제 기능.
 작업의 편의를 위하여 합선의 경우에도 고장 발생 없음.
 정보, 차단 경우에 탐지부 번호와 농도를 불휘발성 기억
 배터리 충전 기능
 외부 신호 연계기능: 입력, 출력

2.2. 시스템 개요

앞에서 언급한 시스템의 요구사항을 충족시키기 위하여 시스템은 크게 세 부분 즉, 가스 탐지부, 가스 수신부, 주제어부로 구성되어 있다.

가스 탐지부는 누설되는 가스를 검출하여 가스농도에 비례하는 전류신호를 가스수신부로 보낸다.

가스 수신부는 4개의 가스탐지부를 연결할 수 있으며, 가스탐지부에서 보내온 신호와 가스 탐지부에 공급되는 전압을 검출하여 주제어부로 보낸다.

주제어부에서는 가스 수신부에서 보내온 신호를 이용하여 가스농도 및 탐지부의 고장여부를 판정하는 기능, 전체시스템을 관리하는 기능, 사용자 편

의기능, 전원관리 기능들을 갖고 있다.

2.3. Gas Detector

가스 탐지부는 누설된 가스에 반응하는 가스센서를 이용하여 공기중의 가스 농도를 검출하고 이에 비례하는 전류신호를 가스 수신부로 보낸다.

가스탐지부의 구성을 Fig. 1에 보였다. 그림에서 보는 바와 같이 가스수신부로부터 24 VDC를 공급받는다. 이는 대규모 시설에서 탐지부의 설치위치가 주제어부로부터 상당히 떨어져 있기 때문에 안정적인 전원을 공급하기 위함이다.

가스센서는 Nemoto NAP55 센서를 사용하여 구성하였으며, 이를 위하여 자체적인 스위칭 방식으로 안정적이며, 발열이 없도록 2.5 VDC를 만든다. NAP 55 가스센서는 2.5 VDC 공급전압에서 휘이스톤 브리지 회로를 이용하여 검출신호를 발생하며, 청정대기중에서 20mV의 출력을 낸다. 누설가스가 있을 경우에는 Fig. 2에서와 같이 이소부탄일 경우 다음 식과 같이 출력을 낸다¹⁰⁾.

$$V_s(\text{mV}) = 86.181 * (\% \text{Vol.}) \quad (1)$$

이소부탄일 경우 1.8%Vol.일 때 100%LEL이다.

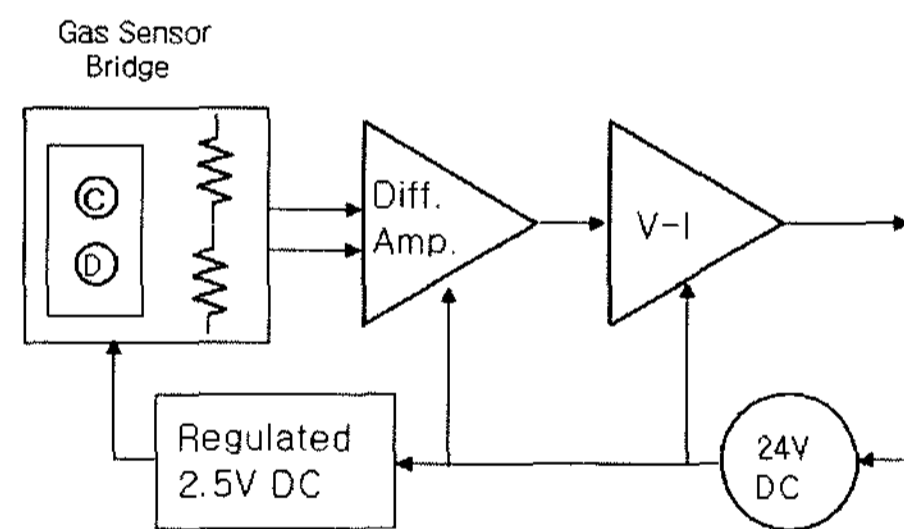


Fig. 1. Schematic diagram of a gas detector.

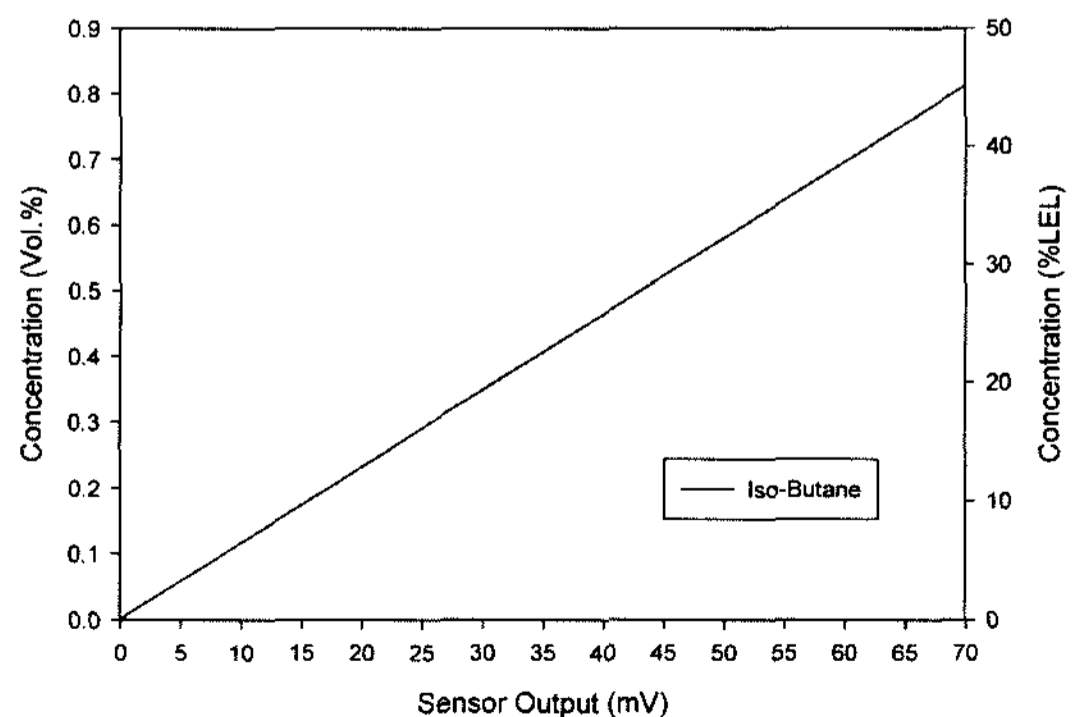


Fig. 2. Characteristics of NAP55 gas sensor.

센서에서 출력된 감지 전압은 매우 약하기 때문에 원거리 전송에 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서 개발된 탐지부에는 센서의 출력 전압을 전류 신호로 변환하여 가스수신부로 보낸다¹¹⁾.

또한 탐지부의 설치 및 유지 관리의 편의를 위하여 합선되었을 경우에도 안전하도록 전류제한 회로 및 역전압 방지 기능을 추가하였다.

2.4. 4 채널 가스 수신부

가스 수신부는 대규모 시설에서 사용자가 요구되는 수량에 맞추어 가스 탐지부를 설치할 수 있도록 가변성을 갖는데 주안점을 두었다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 MCU를 사용하여 구성하였으며, 하나의 가스수신부에 4개의 가스 탐지부를 연결할 수 있도록 하였다. MCU에는 아날로그 입력 채널과 직렬통신기능을 갖고 있으며, 매우 안정성이 높은 것으로 알려진 PIC16F74를 사용하였다. SW1에서 당 가스수신부의 국번을 설정하며, SW2에서 가스탐지부가 연결된 채널을 설정한다.

가스탐지부에서 검출된 가스농도에 해당하는 전류신호가 오면 전압신호로 변환하여 MCU의 A/D로 입력한다. 또한 부가적으로 가스탐지부에서 입력된 전류신호와 가스탐지부에 공급되는 전압을 A/D를 사용하여 아날로그 전압을 디지털로 변환하여 입력한다.

또한 사용자의 시각적인 편의를 위하여 4개의 LED를 사용하고 있으며, 주제어기와 당 수신부는 RS485방식으로 통신한다. 구체적인 통신방식은 다음 3.2절에 기술한다.

각각의 수신부에는 원거리에 설치되어 있는 가스 탐지부에 안정적으로 전원을 공급하기 위한 전원부를 주제어기와 별도로 갖추고 있다.

2.5. Main Controller

주제어기는 시스템 전체를 운영하며, 사용자와 LCD

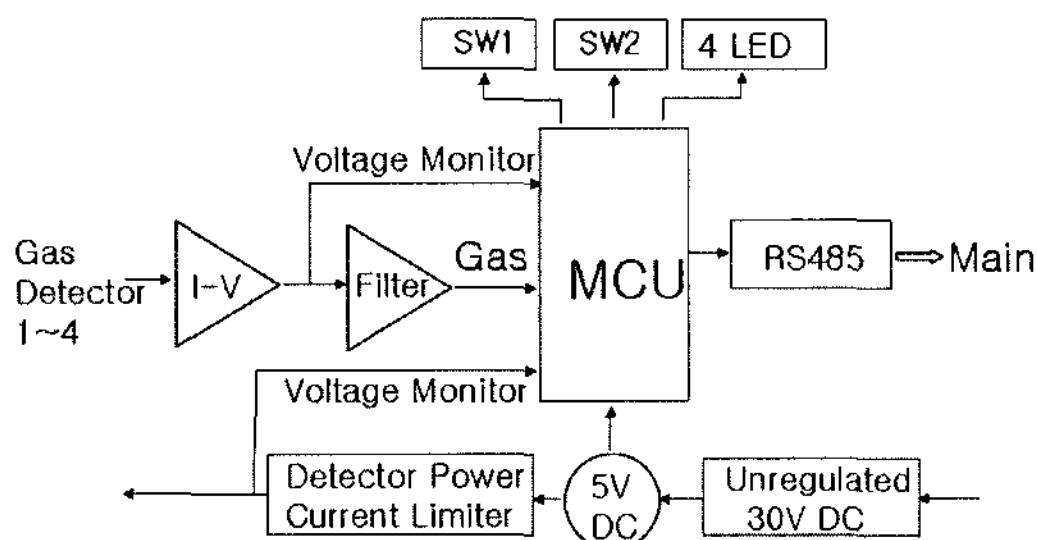


Fig. 3. Schematic diagram of 4Ch. gas receiver.

및 버튼 스위치를 사용하여 접속한다. Fig. 4에서 보는 바와 같이, 주 MCU에는 아날로그 입력 채널, 직렬통신 기능, I2C 접속기능, 8K word의 프로그램 메모리를 갖고 있는 PIC16F77을 사용하였다.

주제어기에 자체적으로 4ch. 가스 탐지부를 연결할 수 있는 기능을 갖도록 하였으며, 대규모 시설에서 16ch.까지 증설할 경우에는 앞 절에서 기술한 4ch. 가스 수신부를 추가로 3개 연결할 수 있도록 슬롯이 장착되어 있다. 이들 추가된 4ch. 가스 수신부는 주 MCU와 RS485 방식을 통하여 연결된다.

시스템 조작용 버튼은 가스차단 밸브를 수동으로 조작할 수 있도록 “열림”, “닫힘” 버튼이 있으며, 음성경보를 소거할 수 있도록 “음소거” 버튼이 있다. 또한 당 시스템에는 16Ch.까지 연결할 수 있음에도 불구하고, 시스템의 LCD는 소형이기 때문에 동시에 모든 채널을 표시할 수 없다. 이를 해결하기 위하여 LCD에는 4채널씩 가스농도를 %LEL로 표시하도록 되어 있으며, 이와 함께 가스센서의 연결상태 등 자가진단 결과를 표시한다. 따라서 표시된 ch.을 변경하기 위하여 “UP”, “DOWN”, “SCAN” 버튼을 설치하였다. 앞에서 언급한 LCD에는 가스 누설이 감지되거나, 가스 탐지부 연결 상태 불량, 배터리 불량등 시스템의 이상상태가 감지되면 자동적으로 관련된 채널과 이상상태의 종류가 표시된다.

LCD 외에 시스템의 기본적인 상황을 표시하기 위한 LED로서, “열림”, “닫힘”, “개스”, “배터리”, “고장”, “입력” 등이 있다.

“열림”과 “닫힘”은 가스차단 밸브의 열고 닫음 상태를 표시한다. “개스”는 가스 누설이 검출되었을 경우 ON 된다. “배터리”는 배터리의 고장 여부를 나타낸다.

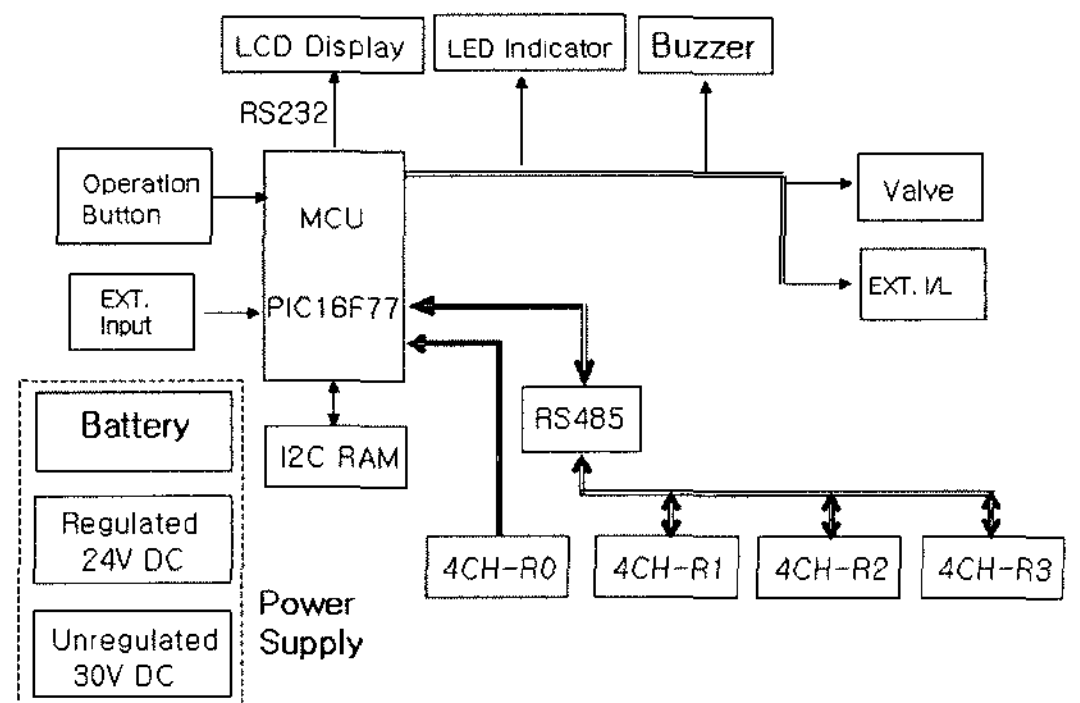


Fig. 4. Schematic diagram of main controller.

“고장”은 가스 탐지부의 고장 또는 연결 상태가 고장일 경우 또는 배터리 연결 상태 고장일 경우 ON이 되며, 이와 동시에 해당 LED가 동시에 점멸한다.

주제어기에는 안정된 전원을 공급하기 위한 전원부와 정전 시에도 일정시간 시스템 운영이 가능하도록 배터리가 장착되어 있으며, 배터리의 충전 회로도 구비하고 있다.

3. 운영 소프트웨어

3.1. 소프트웨어 개요

본 연구의 시스템을 운영하기 위한 소프트웨어는 주제어기에서 사용되는 것과 4ch. 가스수신부에서 사용되는 것으로 이루어져있다.

1) 주제어기의 소프트웨어

주제어기의 소프트웨어의 전체적인 구성을 Fig. 5에 나타냈다.

시스템 클럭 발생기 부분은 LCD 표시, LED 표시, RS 485통신 주기 설정 등에 필요한 클럭 데이터를 MCU 하드웨어 클럭과 타이머 인터럽트를 사용하여 생성한다.

Data manager는 조작 버튼, 외부 신호, RS 485통신으로 전달 받은 데이터, 주제어기 상의 4ch. 가스 수신부에서 수집된 모든 데이터를 처리하여 유용하게 사용할 수 있도록 한다.

가스 수신부로부터 전달 받은 A/D 데이터는 Fig. 2의 가스센서 특성을 이용하여 %LEL데이터로 변환된다.

Diagnostic 부는 Data manager부에서 준비된 데이터를 기반으로 LED, LCD에 고장 발생 여부를 표시할 수 있도록 한다.

RS485 통신부는 주 MCU의 USART를 사용하여 확장된 4ch. 가스 수신부와 통신하여 가스농도 데이터와 이상상태 데이터를 수집한다. 이 통신에는 다음에 기술한 패킷을 사용하는 데, 이를 이용하여 확장된 4ch. 가스 수신부의 정상적인 동작 여부도 확인한다.

User interface부는 LCD와 LED 표시부와 조작버튼 입력부로 구성되어 있다. LCD 표시부는 앞의 주제어기부분에서 기술한 바와 같이 각각 ch. 별로 %LEL로 변환된 가스 농도, 가스누설 경보를 발행할 ch. 번호, 고장등 이상상태가 감지된 ch. 번호를 표시하며, 이들을 조작 버튼에서 설정된 표시 방식에 따라서 LCD에 표시한다. 대부분의 상용 가연성

가스측정기에서 20%LEL에서 경보 발행하나, 현재 시스템은 25%LEL에서 경보를 발행하도록 되어 있다. 이는 규격에 따라서 변경할 수 있다.

System interface부는 본 시스템이 대규모 시설에 사용됨을 감안하여, 가스 경보가 발행될 경우 이를 외부 제어시스템과 연계할 수 있도록 하며, 또한 외부 시스템으로부터 가스차단 명령을 입력 받을 수 있도록 한다.

2) 가스 수신부의 소프트웨어

4채널 가스 수신부에서 운용되는 software의 구조는 Fig. 6과 같다. 사용자를 위한 user interface부에서는 4개의 LED와 SWI을 이용하여 주제어기에서 호출된 수신부의 번지와 일치할 경우 LED를 점멸하도록 하였으며, 이를 이용하여 시스템이 정상적으로 통신되고 있는지를 사용자가 확인할 수 있다. 또한 이 LED는 통신 동작이 아닌 시간에는 가스 탐지부가 연결되어 있는 채널을 표시한다.

또한 별도의 test routine을 사용하여 당 수신부의 고장여부를 확인할 수 있도록 하였다.

가스탐지부로부터 가스 센서에서 검출된 가스농도와 가스탐지부에 공급되는 전압을 A/D를 사용하여 수집하며, 패킷 생성부에서 이들 데이터를 RS-485통신에 사용수 있도록 ASCII 코드로 준비한다.

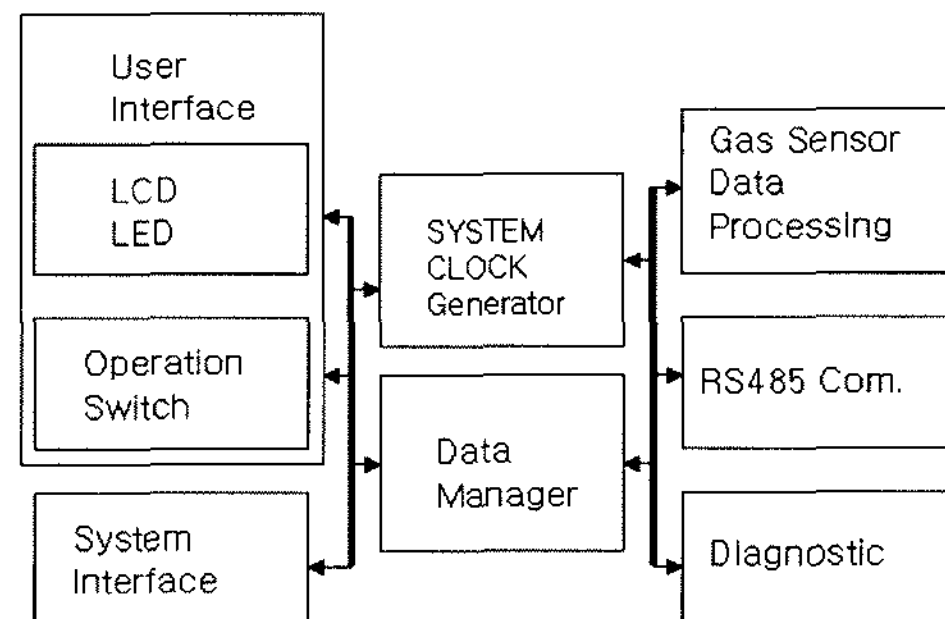


Fig. 5. Software structure of main controller.

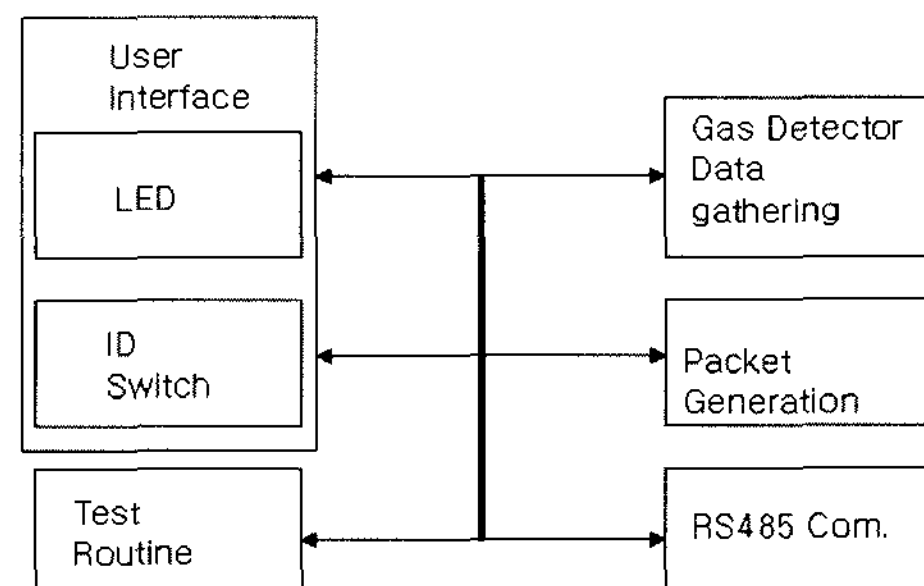


Fig. 6. Software structure of 4 channel gas receiver.

RS-485 통신부에서는 주제어기와 각각의 4채널 수신부와 ID를 사용하여 혼돈이 없도록 통신하도록 한다.

3.2. 가스수신부와 통신

주제어부와 4채널 가스 수신부와 통신은 RS-485 방식으로 2선을 사용하여 간략하면서도 다수의 수신부를 사용할 수 있도록 한다. 따라서 각각의 수신부에는 ID가 부여되며, 통신에도 이를 사용한다.

1) 주제어기가 4ch 수신부로 데이터를 요구할 경우

이 경우는 단순하게 구성하여 요구하는 4ch 수신부의 ID를 ASCII 로 RS-485를 이용하여 4ch 수신부로 보낸다.

main -> slave

slave add.

본 논문의 slave 즉 4ch 수신부의 add는 'B', 'C', 'D' 중의 하나이므로 이를 ASCII 코드로 표현한 값인 0x42~0x44가 된다.

2) 4ch 수신부가 주제어기로 데이터를 보낼 경우
요구받은 ID와 일치하는 4ch 수신부는 다음과 같은 형태의 패킷을 RS-485를 이용하여 주제어기에 전송한다.

slave -> main

0	1	2	3	4	5	6	7
0x02	slave add.	0x5A (Z)	SW2			gas[0]	
8	9	10	11	12	13	14	15
gas[1]			gas[2]				
16	17	18	19	20	21	22	23
gas[3]		gasvsup[0]			gasvsup[1]		
24	25	26	27	28	29	30	31
gasvsup[2]			gasvsup[3]			0x03	0x00

패킷의 데이터의 의미는 다음과 같다.

```

packet_data[0]= 0x02 // STX
packet_data[1]=ID // receiver address
packet_data[2]=0x5A // host address 'Z'
packet_data[3-5] // sensor configuration
packet_data[6-8] // gas of detector [0]
packet_data[9-11] // gas of detector [1]
packet_data[12-14] // gas of detector [2]
packet_data[15-17] // gas of detector [3]
packet_data[18-20] // volt to detector [0]
packet_data[21-23] // volt to detector [1]
packet_data[24-26] // volt to detector [2]
packet_data[27-29] // volt to detector [3]
packet_data[30]=0x03; // ETX
packet_data[31]=0x00; // END
    
```

0번은 패킷의 시작으로 ASCII의 STX에 해당하는 0x02이다. 1번은 데이터를 요구받은 4ch 수신부의 ID로서 주제어기에서 이를 확인하여 통신이 정확하게 되고 있는지를 확인한다. 2번은 주제어기의 번지로서 'Z'에 해당하는 0x5A이다. 3~5번은 가스탐지부가 연결된 구성을 나타내는 것으로서, SW2에서 설정된 값을 10진수로 변환하여 각각의 자리수에 해당하는 ASCII이다. 이때 낮은 자리수가 먼저 온다. 6~8번은 0번 가스 탐지부에서 검출된 가스농도에 해당하는 전압을 A/D 결과로서, 이를 10진수로 변환하여 각각의 자리수에 해당하는 ASCII이다. 9~11번은 1번 가스탐지부, 12~14는 2번 가스탐지부, 15~17번은 3번 가스탐지부에 해당하는 것이다. 18~20번은 0번 가스탐지부에 공급되는 전원전압의 A/D 값으로서 앞의 방법에 따라 변환된 것이다. 21~23번은 1번 가스탐지부, 24~26번은 2번 가스탐지부, 27~29번은 3번 가스탐지부에 해당하는 것이다. 30번은 패킷의 끝을 나타내는 것으로서 ASCII의 ETX에 해당하는 것이며, 31번은 패킷의 마지막을 나타내도록 NULL에 해당한다.

4. 결과

당 연구결과로서 개발된 전체적인 시스템을 Fig. 7에 나타냈다. 앞에서 언급한 바와 같이 MCU는 PIC16C74와 PIC16C77을 사용하였으며, 소프트웨어는 PCM 컴파일러를 사용하여 개발하였다¹²⁻¹⁴⁾.

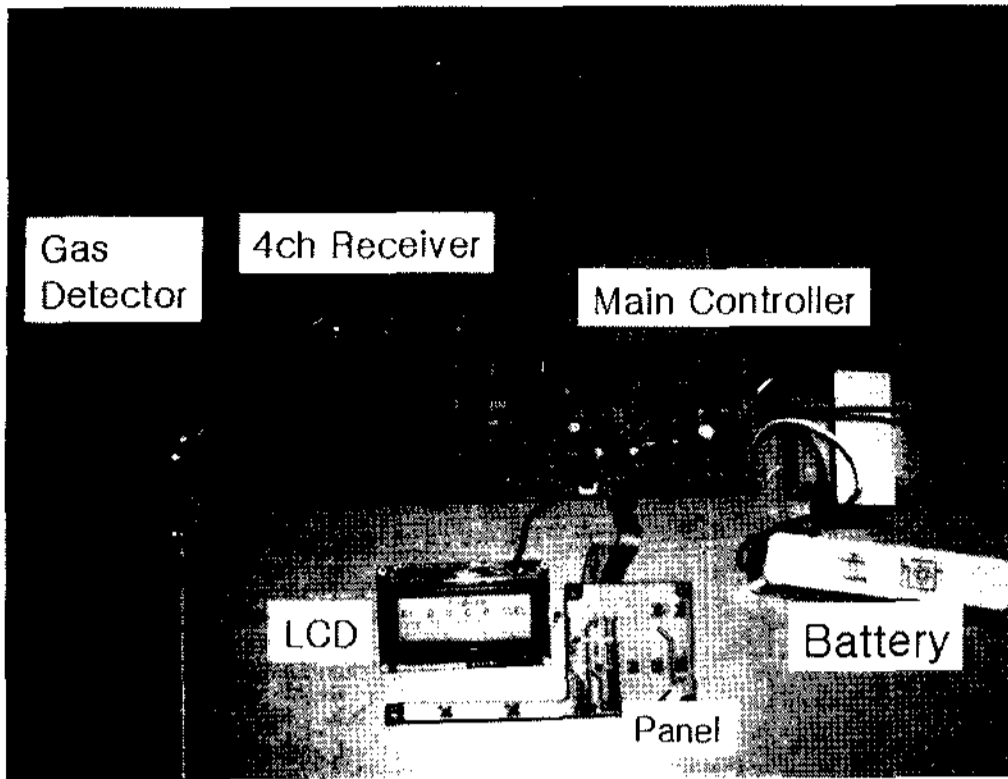


Fig. 7. Developed gas leakage detection system.

Fig. 8은 가스 탐지부를 보여주고 있다.

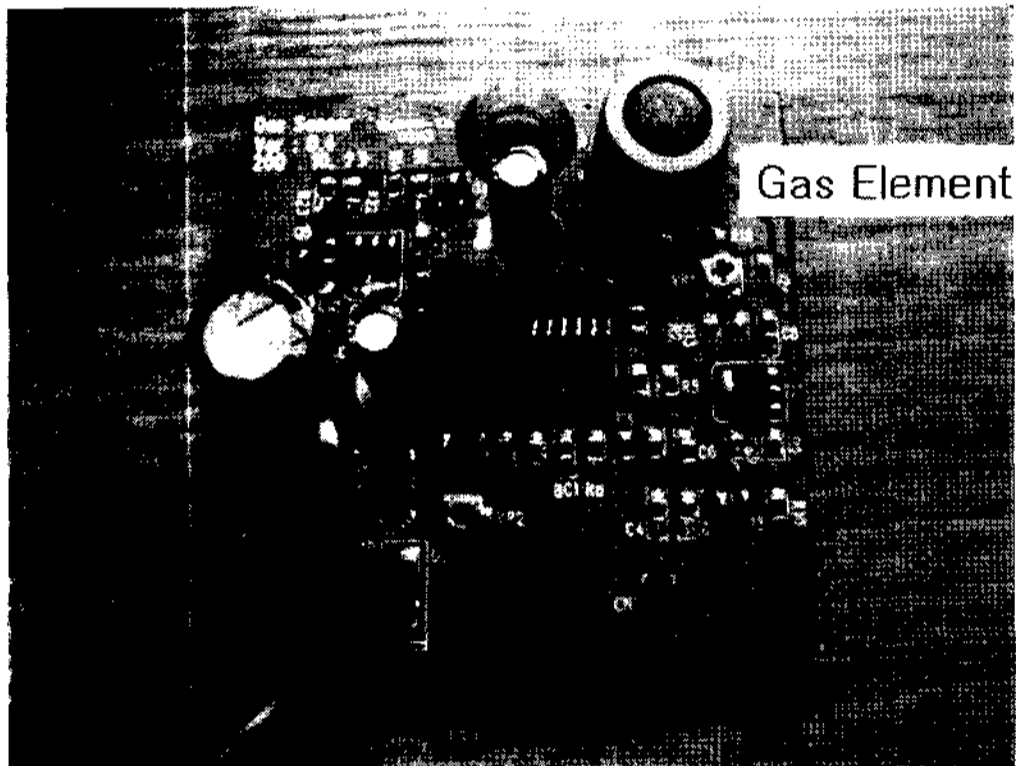


Fig. 8. Developed gas detector.

Fig. 9는 4채널 가스 수신부를 보여주고 있다.

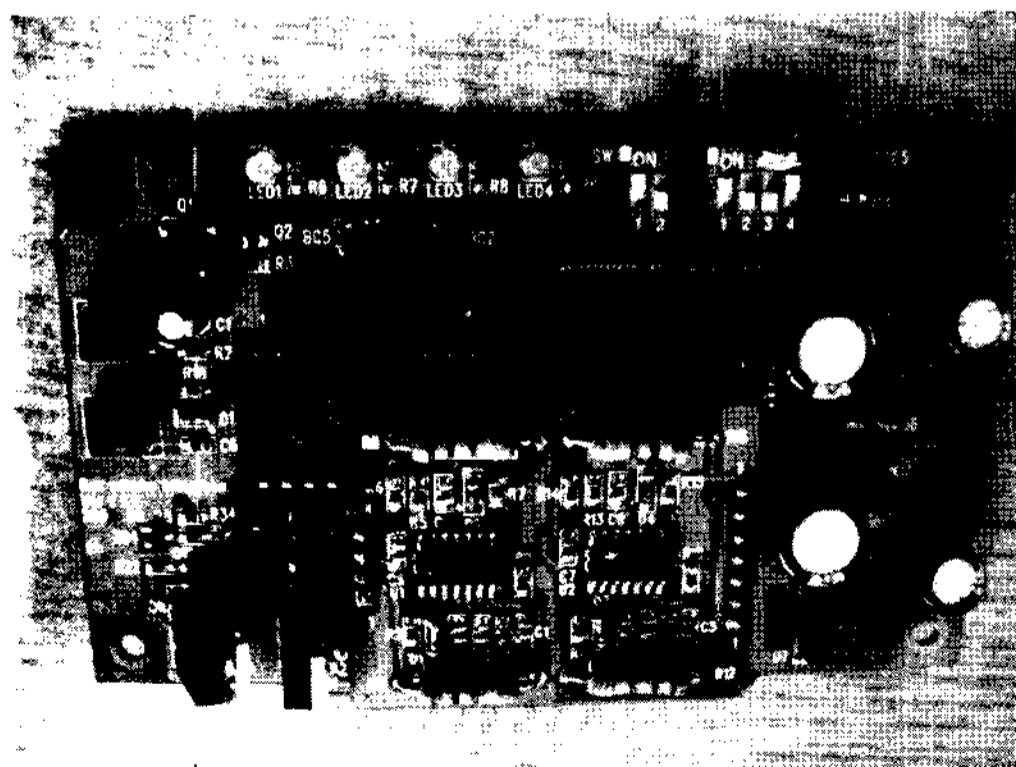
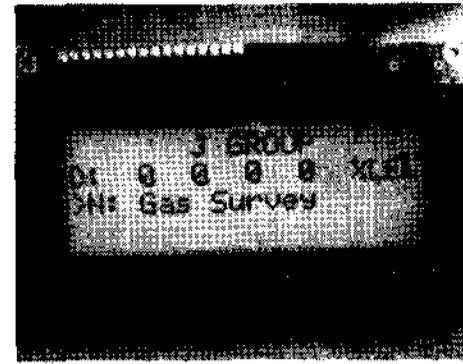
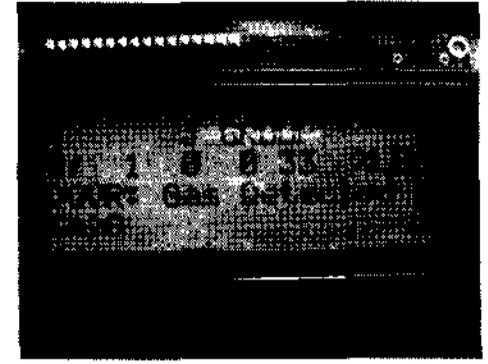


Fig. 9. Developed 4 channel gas receiver.

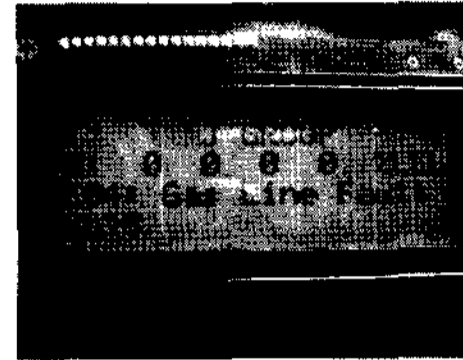
Fig. 10은 주제어기의 LCD 화면을 보여주고 있다. Fig. 10(a)는 정상적으로 시스템이 동작하며, ID가 “D”인 가스 수신부의 4개 가스탐지부에서 검출



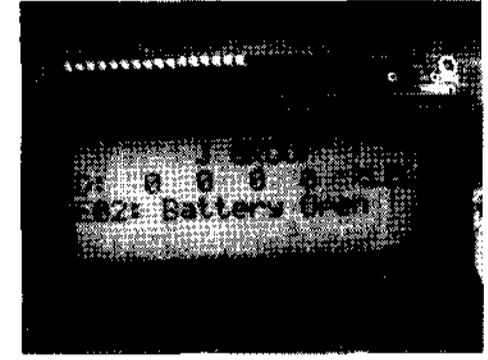
(a) Normal survey state



(b) Gas leakage state



(c) Gas detector fault state



(d) Battery line opened

Fig. 10. LCD display of main controller.

된 가스 농도를 보여주고 있다. (b)는 ID가 “B”인 가스 수신부에 연결되어 있는 4번째 가스 탐지부에서 가스 누출이 검출된 상태를 표시하고 있다. (c)는 ID가 “A”인 가스 수신부의 4개 가스탐지부에서 검출된 가스 농도를 보여주며, 이와 동시에 오류 코드 E04 즉 가스 탐지부의 연결선이 단선된 경우이며, 8번째 즉 ID가 “B”인 가스 수신부의 4번째 가스 탐지부가 단선 됐음을 나타낸다.

(d)는 ID가 “D”인 가스 수신부의 4개 가스탐지부에서 검출된 가스 농도를 보여주며, 이와 동시에 오류 코드 E02 즉 배터리의 연결선이 단선 됐음을 나타낸다.

Fig. 11은 본 논문에서 개발된 시스템의 성능을 확인하기 위하여 표준가스를 이용하여 시험하는 것을 보여주고 있다. 표준가스는 한국가스안전공사에서 제작된 10%LEL의 iso-butane을 사용하였으며, 유량계를 이용하여 유량을 0.5L/m로 설정하고, 호스를 NAP55의 보호망 위에 밀착시켜서 표준가스가



Fig. 11. Experimental setup for measuring gas concentration.

분출되도록 하였다. 이때 표시되는 농도가 9~10%LEL이 표시되었다. 또한 경보 발생을 확인하기 위하여 25%LEL 표준가스를 동일한 방법으로 NAP55의 보호망 위에 분출시켰으며, 이때 경보가 발생하는 것을 확인하였다.

5. 결론

본 논문에서는 대규모 가스 시설에서 가스 누출을 탐지하여 경보 발령 및 가스 공급을 차단할 수 있는 시스템을 개발하였다.

본 논문에서 제안된 방법에 의하여 개발된 시스템을 시험한 결과 장거리의 가스 누출을 원활히 탐지할 수 있음을 알 수 있었으며, 다수의 가스 탐지부를 연결하여 사용할 수 있었다.

본 시스템의 구조는 더 많은 가스 탐지기를 사용할 수 있도록 용이하게 확장될 수 있다.

개발된 가스 탐지부는 가스 누출을 원활히 검출하며, 안정적으로 동작하였다.

감사의 글 : 이 논문은 2006학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2006).

참고문헌

- 1) KS 규격, “KSC 6566 가연성가스센서”, 2002
- 2) KS 규격, “KSC 6571-1 경보시스템 일반 요구사항”, 1997.
- 3) KS 규격, “KSE 4116 열선형 가연성 가스 자동 경보기”, 2006.
- 4) 행정자치부, “가스누설경보기의형식승인및검정기술기준”, 1999.
- 5) 한국가스안전공사 사고조사처, 대형가스사고 사례집, 2004.년 10월 31일.
- 6) Nader Najafi, Kensall D. Wise, Johannes W. Schwank, “A micromachined ultra-thin-film gas detector”, IEEE Tr. on Electron Devices, Vol. 41, No.10 pp. 1770~1777, 1994.
- 7) 오규형, 이춘하, “LP가스 폭발로부터 화재로의 천이에 관한 연구”, 산업안전학회지, 제8권, 제4호, 107~113, 1993.
- 8) 오규형, 김한석, 이춘하, “가연성 가스의 폭발특성에 대한 연구”, 산업안전학회지, 제7권, 제3호, 66~72, 1992.
- 9) 최재욱, 목연수, 박승호, “도시가스의 폭발 특성에 관한 연구”, 산업안전학회지, 제16권, 제4호, 109~114, 2001.
- 10) Nemoto Co., Ltd., Nemoto gas sensor NAP55A user's manual, 2004. 8.
- 11) D. F. Stout, M. Kaufman, "Handbook of Operational amplifier circuit design", McGraw-Hill, pp. 24~18, 1976.
- 12) Microchip Technology Inc., PIC16F74 data sheet, 2002.
- 13) Microchip Technology Inc., PIC16F77 data sheet, 2002.
- 14) CCS Inc, PCM PIC C compiler reference manual, 1999.