

# 중 적외선 광센서를 이용한 가스누출검지시스템 개발 연구

박규태, 유근준, 권정락  
한국가스안전공사 가스안전연구원

## A study on development of detector of gas leak using mid-infrared sensors

Gyou-tae Park, Keun-jun Lyu, Jeong-rock Kwon  
Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation

### 1. 서론

20세기 이후 화석에너지 사용증가와 각종 온실가스 및 인공화학 물질의 무절제한 사용 등에 기인한 기후변화로 지구촌 곳곳에서 대규모 자연재해가 빈발하고 있다. 또한, 전 세계적으로 가스사용량이 점차 증가하고 있는 실태이다. 우리나라는 전국의 98% 이상이 가정에서 가스를 사용하고 있으며, 가스 수요증가는 1980년대에 들어서 더욱 가속화 되었고, 특히 1986년부터는 LPG 외에 천연가스가 수입 공급되어 도시가스 시설이 확충되면서 가스수요 급증에 더욱 박차를 가하게 되었다. 가스사용 가구 수는 연평균 약 10%의 증가를 하고 있으며 LP 가스사용가구가 소폭 하락한 반면 도시가스 사용가구는 근 10년간 20%의 꾸준한 증가를 보이고 있다. 이러한 가스사용량이 증가함에 따라 가스설비, 배관기술, 가스사고 예방기술 등에 대한 설비 및 투자가 증가되고 이에 대한 각종 물리량이나 화학량을 전기신호로 검출하기 위한 센서기술 또한 중요한 시기가 되었다.

가스 사고는 많은 사상자를 내고 가옥 등 재산상의 손실을 가져오는 데 그 대부분은 취급부주의로 인하여 누출된 가스가 화재 또는 폭발을 일으켜 발생한다. 특히, 가스누출 및 폭발로 인한 사고가 전체사고의 41.5%(1995~2005년 통계)이며, 2006년 가스누출 및 폭발사고 51.7%에 이르고 있어 정확하고 신속한 가스누출검지기술이 시급한 때라 할 수 있다. 이러한 가스누출검지측기는 가스의 농도가 폭발 하한 계에 이르기 전에 가스를 보다 신속 정확하게 가스를 검지하고 계측할 수 있는 장치이다. 미국의 Heathus사와 일본의 도쿄가스엔지니어링에서는 이미 중적외선 레이저를 이용한 원거리가스누출검출기가 개발되어 현장에 적용하고 있다. 이러한 광학센서를 이용한 가스누출검지기술은 더욱 선진화되고 있으며 유해가스 및 독성가스 검출 등에도 활용되고 있는 추세이다. 이러한 세계적인 흐름에 따라 국내에서도 중 적외선 광학센서를 이용한 가스누출검지기술을 확보하고 메탄가스누출검지기의 초기모델을 개발하여 현장에 적용하여 가스누출사고예방에 기여하고자 한다.

### 2. 이 론

#### 2-1. 적외선 센서

광은 전자파의 일종으로, 눈에 보이는 가시광선 외에 눈에 보이지 않는 자외선, 적외선도 있다. 광센서는 매우 넓은 파장감도를 갖고 있으므로, 자외선으로부터 적외선까지의 넓은 파장대역을 다룬다. 적외선센서에는 여러 가지가 있지만, 일반적으로 초전형과 양자형으로 나뉘어 진다. 또한 초전형에는 PZT계와 LiTaO<sub>3</sub>계가 있고, 양자형에는 기전력형(InAs-비소화인듐, InSb-안티몬화인듐)과 도전형(HgCdTe)이 있다. 초전형 적외선센서는 적외선을 검출하는 것이 주목적으로, 앞의 포토다이오드에 비해 근적외선영역에서 비교적 일정한 감도를 갖는다. 즉, 검출감도의 파장의존성이 없으므로, 적외선센서로 훨씬 사용하기 쉬운 소자이다. 본 연구에서 사용하는 초전형 적외선센서는 초전물질의 초전특성을 효과적으로 이용한 것으로, 어

면 물체로부터 방출된 적외선 에너지를 검출하기 위한 광센서의 일종이다.

### 2-2. 중 적외선 광 센서형 가스측정 흡수분광법

중 적외선 가스분광의 주요 원리는 아주 간단하다. 적외선은 대기 중을 통과할 때 1.5 $\mu\text{m}$  부근에서 수증기, 4.3 $\mu\text{m}$  부근에서 탄산가스에 의한 강한 흡수가 일어난다. 많은 가스들과 액체들은 각기 다른 중 적외선 분광영역에서 강한 흡수파장 대역을 갖으며 그 흡수파장대역을 이용하면 특정가스를 검출할 수 있다. 메탄가스의 농도를 광센서를 이용하여 측정하려면 먼저 발광부와 수광부가 조합을 이루는 구성이 필요하다.

본 연구에서는 메탄을 측정하기 위하여 메탄흡수 분광스펙트럼을 협소하게 선정 후 적외선 발광부에서 광원을 방출 후 수광부에서 감도를 측정하여 감소되는 양의 비율을 선형화하여 메탄가스의 농도를 측정하도록 하였다. 메탄가스를 검출할 수 있도록 가스유로를 설계하고 표준 가스를 확산형으로 주입시킴으로 중적외선 광원을 방출시 흡수되도록 가스검출부를 제작하였다. 다음 그림1은 중적외선 광센서를 이용한 메탄가스의 농도를 측정하는 분광원리를 도시한 것이다.

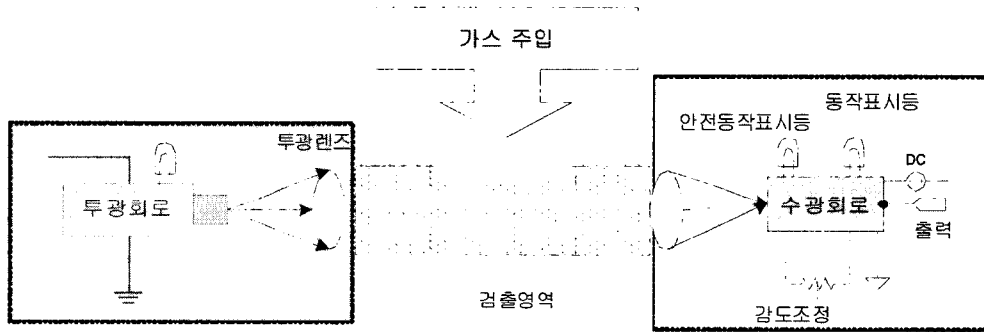


그림 14 적외선센서를 이용한 가스누출 검지의 원리

표1은 각 가스별 중적외선영역에서의 흡수파장대역을 나타내고 있다.

Gas	흡수파장대역 ( $\mu\text{m}$ )	Gas	흡수파장대역 ( $\mu\text{m}$ )	Gas	흡수파장대역 ( $\mu\text{m}$ )
CH <sub>4</sub>	3.2~3.45	HCl	3.33~3.7	H <sub>2</sub> O	2.5~2.8 1.8~1.9
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	2.99~3.09	HOCl	2.6~2.9	CO <sub>2</sub>	4.2~4.3
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	3.1~3.4	HBr	3.7 ~4.0	OH-	2.38~2.63
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3.3	HI	2.27~2.3	H <sub>2</sub> CO	3.38~3.7
CH <sub>3</sub> Cl	3.22~3.38	H <sub>2</sub> S	3.7~4.4 2.5~2.8	CO	4.4~4.8
OCS	3.45~4.87	HCN	2.94~3.1	HO <sub>2</sub>	2.73~3.1
N <sub>2</sub>	4.0~4.54	NO+	4.08~4.44	NO <sub>2</sub>	3.4
NH <sub>3</sub>	2.27~2.94	HNO <sub>3</sub>	5.74~5.98	SO <sub>2</sub>	4 $\mu\text{m}$

표 3 가스별 흡수파장대역

본 연구에서 사용한 가스센서는 가열식이 아니라 새로운 중적외선 발광다이오드 (mid-infrared LED) 광원을 이용하였으며 러시아 IBSG (Independent Business Scientific

Group)에서 개발한 것이다. 이 광원은 크기가 작고 연산속도가 빠르며, 소비전력이 적으며 필터가 필요 없는 광원이다. 메탄(CH<sub>4</sub>)은 3,200~3,400nm에서 주요 흡수밴드를 가지고 있다. 다른 흡수밴드 중 2,300nm과 1,650nm을 이외의 파장은 측정에 사용될 수 있을 만큼 흡수밴드가 아주 강하지 않다. 그림2는 메탄가스의 고유흡수스펙트럼이다. 발광부는 측정채널과 참조채널 2개의 중적외선 LED광원으로 구성된다. 발광부는 LED29, 수광부는 포토다이오드 PD36을 사용하였다.

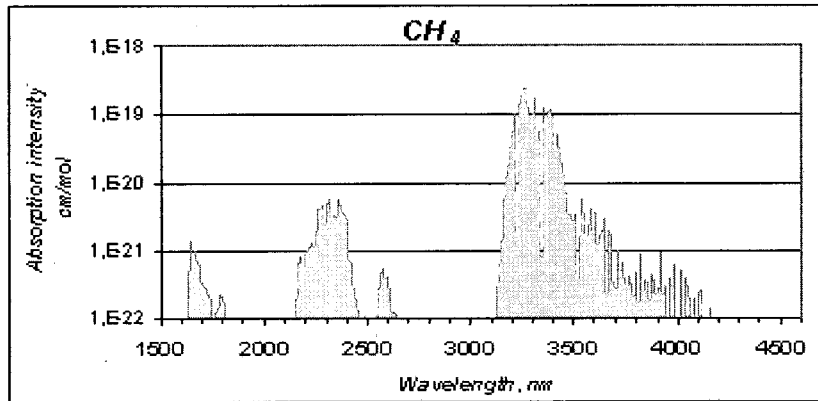


그림 15 메탄가스(CH<sub>4</sub>)의 고유 흡수스펙트럼

### 3. 메탄검지기 시제품 제작 및 실험

#### 3-1. 중적외선 광센서형 메탄가스누출검지시스템의 제작

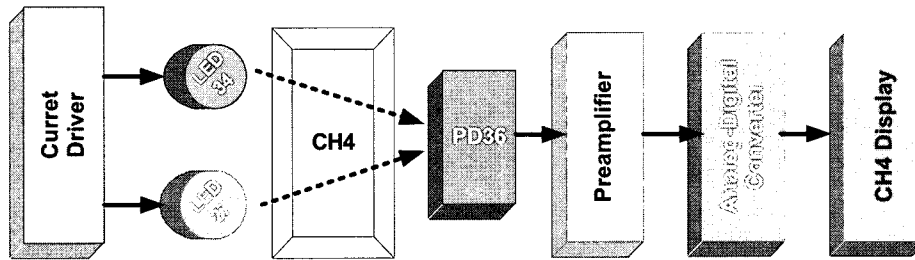


그림 16 광센서를 이용한 메탄가스 누출검지시스템 구성도

그림3의 메탄가스누출검지시스템의 동작순서는 아래와 같다.

- ① 전류드라이버(Current Driver)에서 적외선광원(LED)로 전류 및 전압을 공급하여 동작 시킨다.
- ② LED27를 방사하여 감도변화가 없으면 LED34를 방사하여 PD36에서 1차 수신감도를 검사한다(A). 단, LED27의 변화가 있으면 메탄가스가 아니라고 판단한다.
- ③ 만일 메탄가스가 존재할 경우 LED34를 2차 방사시 PD36의 수신감도가 감소됨으로 이때의 수신감도를 검사한다(B).
- ④ 수신감도 A와 B의 차이를 Preamplifier에서 증폭한다.
- ⑤ A/D 컨버터에서 연속적인(analog) 신호를 이산적인(digital) 신호로 변경한다.

- ⑥ 디지털신호를 CPU에서 농도로 연산을 하여 LCD기판에서 메탄의 농도를 표시한다.  
그림 4는 본 연구에서 개발한 메탄가스누출검지시스템의 상세 구성도를 도시한 것이다.

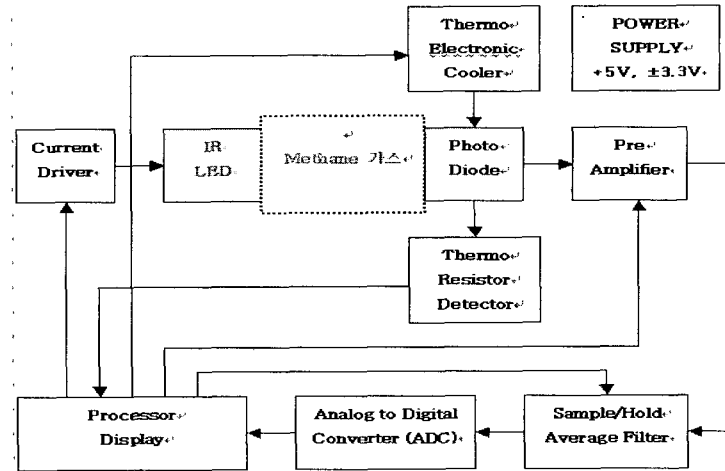


그림 17 메탄가스누출 검지시스템의 상세 구성도

### 3-2. 증적외선 광센서형 메탄가스누출검지 실험

그림5는 표준가스(25% LEL)를 시제품의 가스검출부의 반밀폐형(부분 확산형)으로 분사주입하며 가스농도를 측정하고 있는 그림이다. 오실로스코프로 신호의 파형을 캡처하고 있다. 메탄가스 폭발범위는 5~15%이며 표준가스를 25% LEL로 제작하여 실험을 하였으며, 그림 6은 시제품에서 메탄가스의 농도를 측정하였을 때 그 농도가 약 1.23%로 측정되고 있음을 보여주고 있다. 가스검출부를 확산형으로 제작하여서 완전밀폐가 되지 않아 바탕가스인 공기가 다소 주입됨으로 인한 오차가 0.02% 정도로 추정되며 대체로 정상적인 동작을 한다고 판단할 수 있다.

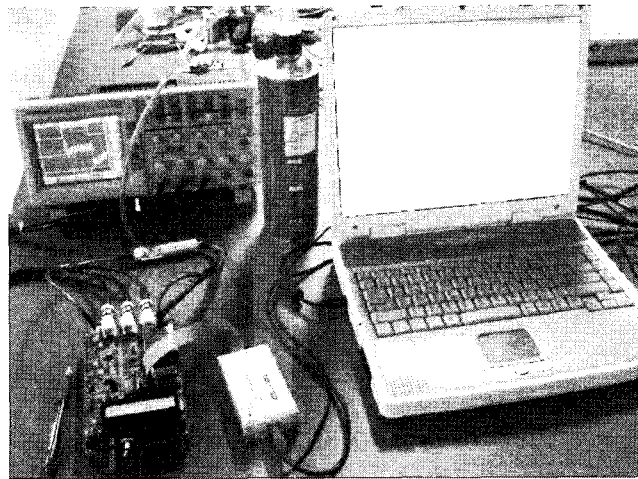


그림 18 메탄가스누출 검지기 성능시험

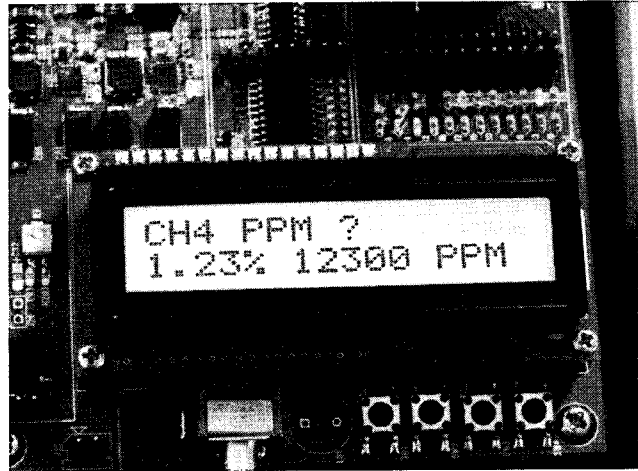


그림 19 메탄가스 검출 Data 표시

초기 시제품을 설계 및 제작을 하여 성능시험을 한 결과 노이즈 등의 외란의 영향으로 정확도가 다소 떨어졌다. 이러한 실험에서 측정오차의 원인은 먼지, 수증기, 연기 등에서도 흡수, 산란이 생긴 것과 측정물체로부터 방사에너지에 태양광, 실내조명 및 다른 방사원 등의 에너지가 중첩된 것이 측정오차의 한 원인으로 파악이 되었다. 그 밖에 주위온도 드리프트, 대물렌즈의 오염, 측정위치의 어긋남, 전원에 혼입하는 노이즈 등이 있었다.

본 연구에서 중적외선 광 센서형 메탄가스검지시스템의 실험에서 측정오차의 주 원인은 가스검출부에서 신호증폭 및 데이터 획득과정에서 발생한 전원, 회로 및 검출부 노이즈이나 측정 파장의 선택과 협대역화, 광파이버를 실링처리, 검출부를 밀폐형으로 하고 차동증폭기를 사용함으로 제품의 성능을 현저하게 개선할 수 있으며, 또한 구조적으로 Photo diode를 Photo resistor로 변경 시 큰 효과를 기대할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서 개발한 중적외선 광센서형 메탄가스누출 검지시스템은 초기모델이어서 성능은 다소 미흡하지만 제품 및 상용화의 가능성을 제시하였고, 선진 광기반 가스누출검지기기술력을 일정부분 확보한 것이며 새로운 도전이라 할 수 있다. 또한 광원을 Laser로 사용한 것은 해외에서 그 사례를 찾아 볼 수 있으나 광원을 LED로 사용한 예는 국내에서는 유일하며 해외에서도 거의 찾아볼 수 없는 신기술이다. 이를 구조적으로 개선하고 정확도를 높이고 안정화시키면 차량용 FID에 탑재가 가능하며, 휴대용 광학가스누출검지기로도 개발이 가능하며 검지능이 우수하여 가스누출사고예방에 적극 기여할 수가 있다. 또한 가스의 공급, 유통, 판매, 안전관리대행, 가스검사 관련업체 및 유관기관에서 본 기기를 널리 활용할 수 있다.

#### 5. 참고문헌

1. 한국과학기술원, "중·원 적외선 동시 검출기 개발", (2004)
2. (주)이프러스티, "온실 및 버섯재배사용 통합환경측정시스템 개발-탄산가스, 온도, 습도 측정시스템", (2003)
3. (주)이엠오, "환경 계측·감시용 초전용 감열 및 가스센서 개발", (2002)
4. 박옥동 역, "광센서 기술", 도서출판 그린, (2003)

5. 이종락 역, “광센서와 그 사용법”, 도서출판 세화, (1995)
6. 정기철, 김종열 편저, “가스계측기기”, 태훈출판, (2001)
7. <http://www.ibsg-st-petersburg.com/>