

## 가스의 배경 온도 차이(방사율)가 OGI(Optical Gas Image)의 선명도에 미치는 영향

박수리 · <sup>†</sup>한상욱 · 김병직 · 홍철재\*

충실대학교 화학공학과, \*충실대학교 유기신소재파이버공학과  
(2017년 3월 10일 접수, 2017년 8월 7일 수정, 2017년 8월 8일 채택)

### Effects of Gas Background Temperature Difference(Emissivity) on OGI(Optical Gas Image) Clarity

Su-Ri Park · <sup>†</sup>Sang-Wook Han · Byung-Jick Kim · Cheol-Jae Hong\*

*Dept. of Chemical Engineering, Soongsil University, Seoul, Korea*

*\*Dept. of Organic Materials & Fiber Engineering, Soongsil University, Seoul, Korea*

*(Received March 10, 2017; Revised August 7, 2017; Accepted August 8, 2017)*

#### 요 약

현재 산업현장의 가스 안전관리는 접촉식은 LDAR(Leak Detection and Repair), 비접촉식은 레이저 메탄검지기 및 IR 카메라를 사용하고 있다. LDAR 방식은 전체 관리를 하는데 많은 인력과 소요시간이 들고, 관리자가 측정을 위해 가까이 접근해야 하므로 안전의 위험을 받을 수 있어 비접촉식이 더 효율적이다. 비접촉식에서 IR(infrared)을 이용한 가스 측정 방안에 대한 연구가 주목받고 있다. 산업 가스 중 메탄가스를 활용하여 측정 거리에 따라 가스 분출량을 변화시켜 OGI(optical gas image)를 촬영하였다. 본 논문은 가스의 배경온도차이가 OGI의 선명도에 미치는 영향을 확인하기 위한 실험이다. OGI를 통해 가스의 구름모형을 정확하고, 선명하게 보기 위하여 배경온도 조절판을 제작하였다. 배경온도 조절판을 통해 배경온도와 대기온도 차이가  $\Delta T_0$  °C 일 때보다  $\Delta T - 6$  °C 차이의 낮은 온도 조건으로 OGI 촬영을 한 결과가 육안을 확인하였을 때 더 선명한 차이가 나타났다. 선명도 차이의 객관성을 부여하기 위하여 추가로 MATLAB의 RGB 분석법으로 확인한 결과,  $\Delta T$ 가 -6 °C 일 경우 RGB 값의 수치가 약 20% 낮게 나왔다. 배경온도가 대기온도보다 -6 °C 낮을 때 더 선명하게 보이는 것은 총 복사법칙으로 설명이 가능하다. 가스의 배경온도가 대기온도에 비해 낮게 될 때 OGI 렌즈로 들어오는 가스의 복사에너지가 증가되어 가스가 더 선명하게 보이게 된다.

**Abstract** - Currently gas safety management in the industrial field has been done by LDAR as contact method or methane leak detector as non-contact method. But LDAR method requires a lot of man-power and methane leak detector have the limitation of methane only. Therefore the Research on the OGI(optical gas image) has big attention by industry. This research was undertaken to see the effect of background temperature difference of gas cloud on the clarity of OGI. The background temperature control panel was constructed to cool down the background temperature. OGI was taken at the various methane gas ejection rate and the designed temperature difference. The experimental results showed that the OGI(when the temperature difference is -6 °C) is more clear than the OGI(when the temperature difference is zero). To quantify the clarity difference, MATLAB's RGB analysis method was employed. The RGB value of the OGI at  $\Delta T - 6$  °C was 20% lower than the OGI at  $\Delta T_0$  °C. The clarity difference by T difference can be explained by the total radiation law. When the background temperature of the gas is lower than the air temperature, the radiation energy coming into the OGI lens is increasing. As the energy is increasing, the OGI image becomes clear.

**Key words** : Emissivity, Gas cloud, OGI(Optical Gas Image), LDAR, Background temperature difference

<sup>†</sup>Corresponding author: woogibugi@soongsil.ac.kr

## I. 서론

국내 제조 산업의 발전으로 많은 종류의 가스를 사용하고 있다. 이로 인해 산업현장의 안전관리 및 유지보수가 매우 중요한 이슈가 되었다. 특히 대부분의 가스들은 무색, 무취의 특성이 있어 산업가스 누출 시 크고 작은 안전사고뿐만 아니라 인명피해가 발생할 수 있다. 과거에는 가스누출을 확인하기 위해 가스누출 의심부위에 비누거품을 도포해 비누거품으로 가스누출여부를 확인하였다. 비누거품을 누구나 쉽게 만들 수 있어 현재까지 가정에서 사용하고 있지만, 산업현장에서 사용하기에는 많은 어려움이 있어, LDAR(Leak Detection and Repair)를 통한 안전관리가 이루어지고 있다[1-2].

LDAR는 상업, 공업, 가정 등 가스를 사용하는 모든 분야에서 가스 누출 감지를 위한 관리 방법이다. 가스는 눈에 보이지 않기 때문에 비누거품을 이용하거나 특정 가스를 감지할 수 있는 접촉식 가스 감지기를 사용하여 가스의 누출여부를 확인한다. 접촉식 방법은 수많은 밸브나 연결 배관에 관리자가 측정을 위해 가까이 접근해야 하므로, 인체에 유해한 산업용 가스는 관리자의 안전이 보장되지 않는다.

아래의 Table 1.은 LDAR 측정기의 측정 가능한 가스와 측정 범위를 나타내었다.

LDAR 측정 방법은 측정이 난해한 비산 배출원들은 흡입식 측정이 불가능하기 때문에 통계에서 배제된다. 접촉식 센서를 이용한 가스검지기를 사

**Table 1.** The observable gases of LDAR tool

	Range	1 <sup>st</sup> Warning	2 <sup>nd</sup> Warning
O <sub>2</sub>	0 ~ 30 %Vol	30 ~ 23.5 %Vol	23.5 ~ 19.5 %Vol
CO	0 ~ 999 ppm	0 ~ 35 ppm	35 ~ 100 ppm
H <sub>2</sub> S	0 ~ 250 pp,m	0 ~ 10 ppm	10 ~ 15 ppm
SO <sub>2</sub>	0 ~ 150 ppm	0 ~ 2 ppm	2 ~ 5 ppm
Cl <sub>2</sub>	0 ~ 50 ppm	0 ~ 0.5 ppm	0.5 ~ 1 ppm
HCN	0 ~ 100 ppm	0 ~ 5 ppm	5 ~ 10 ppm
NO <sub>2</sub>	0 ~ 150 ppm	0 ~ 3 ppm	3 ~ 5 ppm
NH <sub>3</sub>	0 ~ 100 ppm	0 ~ 25 ppm	25 ~ 50 ppm
H <sub>2</sub>	0 ~ 999 ppm	0 ~ 100 ppm	100 ~ 500 ppm
VOC	0 ~ 100 %LEL	10 %LEL	20 %LEL

용하기 때문에 측정시간과 많은 인력이 소요될 수 있다. 요즘은 비접촉방식인 레이저를 이용한 원거리 메탄검지기를 가스안전관리 현장에 사용하고 있다.

최근에는 적외선 열화상 기술을 응용하여 원거리에서 넓은 지역을 쉽게 가스누출 모니터링이 가능한 OGI(Optical Gas Image)를 활용한 관리방안에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[3-5].

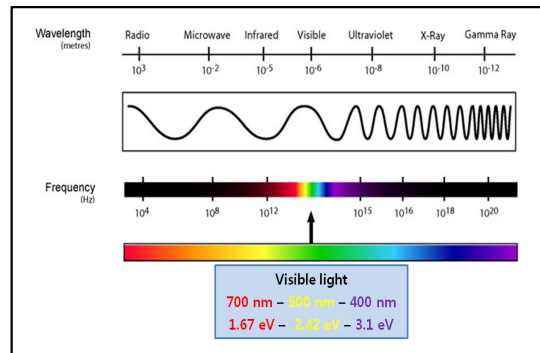
본 연구에서는 가스 누출여부를 확인할 수 있는 방법으로 OGI를 이용한 가스누출을 측정할 경우, OGI가 촬영되는 배경 온도에 따른 누출 가스 파장의 선명도가 어떻게 변하는지에 대한 연구를 하였다.

## II. 이론

### 2.1. 파장대역의 특징

파장은 Fig. 1.과 같이 진동 폭에 따라 무선방송을 들을 수 있는 라디오 주파수부터 의학에 사용되는 X선, γ선 등 다양하다. 우리가 눈으로 보고 색깔을 표현하는 파장대역은 100nm대의 파장이다. 그 중에서 적외선 파장은 우리가 눈으로 볼 수 있는 파장과 비슷하지만, 눈에는 보이지 않는 파장이다. 적외선 파장의 대표적으로 탄화수소 계열의 가스가 있다. 이 가스는 우리 눈에 보이지 않지만, 적외선 열화상 측정기술을 이용하여 보이지 않는 가스의 파장을 측정하고, 눈으로 볼 수 있는 화상으로 구현이 가능하다[6-8].

원자와 원자로 이루어져 있는 분자 구조에서 각 원자간의 결합을 이루어 원자 자체의 진동으로 파장이 발생한다. 원자의 결합구조나 결합된 원자의 종류에 따라 파장의 길이가 조금씩 변하는데, 이 파장을 측정하여 화상으로 출력하면 가스를 눈으로 볼 수 있다.



**Fig. 1.** The spectrum wavelengths.

## 2.2. 방사율과 온도와의 관계

절대온도 0 K 이상의 온도를 갖는 물질은 그 표면으로부터 적외선을 방출하고 있으며, 방출량은 물질의 온도와 밀접한 관계를 갖고 있다. 물질 또는 물체로부터 방출되는 적외선량을 측정함으로써 온도를 알 수 있는데, 이는 적외선의 주파수가 물질을 구성하고 있는 분자의 고유진동수와 거의 비슷하기 때문이다[9-11]. 따라서 물질 또는 물체에 적외선이 부딪히면 전자기적 공진현상을 일으켜 적외선과의 에너지가 효과적으로 물질에 흡수되기 때문에 액체나 기체상태의 물질은 각각의 물질에 특유한 파장의 적외선을 강하게 흡수한다. 물질 또는 물체에서 방사되는 복사 에너지(W)의 강도는 해당 온도와 복사되는 전자기파의 파장에 따라 달라지며, 물질은 복사선을 방사할 뿐만 아니라 주변 환경에 입사되는 복사선을 흡수한다. 복사선 일부를 반사하거나 일부가 투과되어 물질이 입사, 복사선에도 반응한다. 이를 ‘총 복사법칙(Total Radiation Law)’ 이라 한다.

총 복사법칙을 아래 식(1) 과 같이 정의할 수 있다.

$$W_{tot} = W\alpha + W\rho + W\tau \quad (1)$$

W : 에너지

$\alpha$  : 흡수율

$\rho$  : 반사율

$\tau$  : 투과율

메탄가스를 OGI 적외선 카메라로 촬영할 때 카메라로 입력되는 총 복사에너지는 아래 식(2) 와 같이 정의할 수 있다[11].

$$W_{tot} = \epsilon_{wall}\tau_{gas}\tau_{atm}W_{wall} + (1-\epsilon_{sur})\tau_{gas}\tau_{atm}W_{sur} + (1-\tau_{gas})\epsilon_{gas}\tau_{atm}W_{gas} + (1-\tau_{atm})W_{atm} \quad (2)$$

W : 복사에너지

$\epsilon$  : 방사율

$\tau$  : 투과율

위의 식 (2)에서 벽면에서의 방사율  $\epsilon_{wall}$ , 가스의 방사율  $\tau_{gas}$ , 대기의 투과율  $\tau_{atm}$  로 정의하면, 벽면에서 적외선 에너지 방사율은  $\epsilon_{wall}\tau_{gas}\tau_{atm}W_{wall}$  이다. 주변 환경으로부터 방출된 복사에너지가 벽면과 가스를 투과해 반사된 방사율은  $(1-\epsilon_{sur})\tau_{gas}\tau_{atm}W_{sur}$  이다. 이 때  $(1-\epsilon_{sur})$  은 벽면으로부터 방사율을 의미한다. 누출된 가스에서 방사율은  $\epsilon_{gas}$ , 누출된 가스에서의 복사 적외선 에너지 방사율은  $(1-\tau_{gas})\epsilon_{gas}\tau_{atm}W_{gas}$  이다. 대기에서 방출되는 복사에너지는  $(1-\tau_{atm})W_{atm}$  로 정의할 수 있다. 카메라에 들어오는 총 복사에너지

는 벽면, 가스, 대기(공기) 복사에너지의 총 합이다. 가스의 복사에너지가 클수록, 벽면의 복사에너지가 작을수록 가스의 화상이 잘 보인다. 방사율은 온도에 따라 변하게 되는데, 온도가 낮을수록 방사율은 증가한다. 배경의 방사율과 반사율이 균일하지 못하면 적외선 렌즈로 들어오는 총 에너지의 가스 파장이 산란되어 정확한 측정이 어렵기 때문에 오차가 발생한다.

누출되는 가스를 선명한 화상으로 보기 위해서 가스나 대기의 온도를 변화시키기는 어렵기 때문에 배경온도를 낮추어 가스화상을 선명하게 하기 위한 실험을 하였다. 식 (2)에서 제어 가능한 변수와 고정 변수를 아래 Table 2.에 정리하였다.

제어 변수 중 벽의 방사율인  $\epsilon_{wall}$  는 벽면의 재질, 표면 온도, 거칠기에 따라 변하는데 실험에 사용한 표면 재질은 Stainless Steel(SUS 304) 로 방사율은 0.45 ~ 0.75 이다. 배경온도 조절판의 재질은 열전도도가 높을수록 온도 조절이 용이하기 때문에 금속류 중 Stainless Steel을 사용하였다. 알루미늄, 구리 등 열전도도가 높지만 장치비용을 최소화 하며, 배경판의 강도도 높일 수 있을 뿐만 아니라 산업현장에서 많이 사용하는 재질이 Stainless Steel이기 때문이다.

온도가 낮을수록 방사율도 낮아지며, 벽면의 반사율  $\epsilon_{sur}$  은 벽면의 방사율과 반비례 관계를 갖는다. 렌즈에 들어오는 총 복사에너지  $W_{tot}$  은 일정하고, 나머지 고정 변수들은 일정한 상수 값으로 가정하였을 때, 이번 실험에서 배경온도를 변화시켜 방사율을 제어하여 OGI 의 가스 선명도 차이를 비교하였다.

OGI 렌즈로 들어오는 총복사에너지  $W_{tot}$  는 일정하고, 100으로 가정하였을 때, 조작 변수가 있는  $\epsilon_{wall}\tau_{gas}\tau_{atm}W_{wall}$  과  $(1-\epsilon_{sur})\tau_{gas}\tau_{atm}W_{sur}$  값을 낮추면

**Table 2.** The variable of manipulated and controlled

Manipulated variable	
$\epsilon_{wall}$	0.45 ~ 0.75
$\epsilon_{sur}$	0.25 ~ 0.55
Controlled variable	
$(1-\tau_{gas})\epsilon_{gas}\tau_{atm}W_{gas}$	
$(1-\tau_{atm})W_{atm}$	

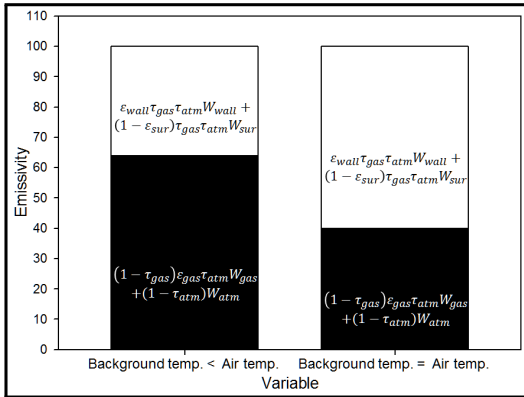


Fig. 2. The graph of emissivity comparison.

$(1 - \tau_{gas})\epsilon_{gas}\tau_{atm}W_{gas}$  와  $(1 - \tau_{atm})W_{atm}$  값이 상대적으로 높아진다.

아래 Fig. 2는 변수  $\epsilon_{wall}$  와  $\epsilon_{sur}$  의 온도를 변화시켜 방사율을 변화시켰을 때, 조절 변수  $(1 - \tau_{gas})\epsilon_{gas}\tau_{atm}W_{gas}$  와  $(1 - \tau_{atm})W_{atm}$  항의 복사에너지의 변화를 나타낸 그래프이다.

### III. 실험 장치 및 방법

#### 3.1. 적외선 열화상 측정 방법

가스누출여부의 정확한 측정을 위해 가스 분출을 0.1 ~ 1 LPM까지 0.1 LPM씩 변화시키고, 적외선 카메라의 측정거리를 1 ~ 15 m까지 1 m씩 변화시켜서 촬영하였다. 거리에 따른 누출량을 변화시켜 가스 구름 모형의 선명도를 측정하기 위한 실험의 전체적인 개략도와 사진은 Fig. 3과 같다.

##### 3.1.1. OGI 카메라

실험에 사용한 비접촉식 원거리 촬영이 가능한 OGI 카메라로 여러 종류가 있지만, 실험에 사용한 OGI 카메라는 'FLIR' 사의 GF320의 카메라를 사용하였다. 카메라의 특성은 아래 Table 3.에 나타내었다.

실험에 사용하는 Methane 가스는 Table 3.과 같이 GF320으로 측정 가능한 3.2 ~ 3.4  $\mu\text{m}$ 의 Mid wave 범위의 파장 안에 속한다.

##### 3.1.2. Methane

산업환경에서 사용하는 다양한 가스 중에 탄화수소 성분의 기본 구조인 메탄가스로 가스 분출 실험을 하였다. 메탄가스의 특성은 아래 Table 4.에 나타내었다.

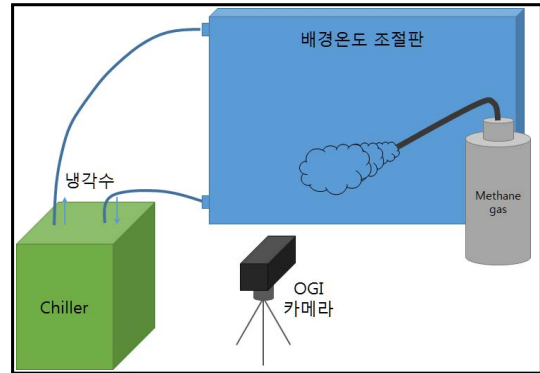


Fig. 3. The schematic diagram of OGI experiment for methane gas.

Table 3. GF 320 specification

GF 320 Properties	
Feature	Range
Detector	cooled to N <sub>2</sub>
Lens	24 °
Spectrum	3.2 ~ 3.4 $\mu\text{m}$
Measurement degree	- 40 °C ~ + 350 °C
Accuracy	± 0.1 °C
Function	3.5 " LCD Monitor & GPS
Storage device	SD Memory card

Table 4. Methane specification

Methane gas Properties	
Chemical formula	CH <sub>4</sub>
Molar mass	16.04 g·mol <sup>-1</sup>
Appearance	Colorless gas
Odor	Odorless
Density	0.656 g/l at 25°C, 1 atm
Melting point	-182.5 °C
Boiling point	-161.49 °C
Purity	99.999 %Vol

**3.1.3. 배경온도 조절판**

OGI 카메라로 가스를 촬영할 때, 가스의 영상이 잘 보일 수 있도록 배경의 온도를 낮추기 위한 배경온도 조절판을 제작하였다. 배경온도 조절판의 특성은 아래 Table 5.에 나타내었다.

가스측정을 위한 배경온도 조절판은 실험용으로 메탄가스 통의 크기에 맞게 제작하였다. 가스 구름 모형의 선명도를 비교하기 위하여 가스를 측정하는 배경 온도도 변화시켜 촬영할 수 있도록 Fig. 4.와 같이 배경 온도를 조절할 수 있도록 가스 측정을 위한 배경 판을 제작하였다.

배경온도 조절판의 뒷부분에 냉각수를 채울 수 있도록 냉각수 공간을 만들었다. 배경 판의 뒷부분은 증류탑 내부의 구조와 비슷한 방식으로 층과 층으로 액체가 흐르도록 하였고, 옆면에 냉각수 입구를 만들었다. 가스의 분출 높이를 고려하여 온도조절 배경이 지상에서 약 50 cm 위에 있도록 설계하

였다. 냉각수의 온도는 Chiller로 온도를 조절할 수 있다.

**3.2.4. Chiller**

배경온도 조절판의 온도를 조절하기 위한 온도 조절은 Chiller를 통해서 조절할 수 있다. Fig. 4.의 왼쪽 끝 부분에 냉각수를 순환시킬 수 있도록 출입구에 관을 만들었다. Chiller에서 냉각된 냉각수가 윗부분의 입구를 통해 들어가서 배경온도 조절판 Stage를 따라 흘러 내려가면서 판을 냉각시키고 아랫부분 출구를 통해 Chiller로 들어간다. 배경온도 조절판을 냉각시킨 후 온도가 올라간 냉각수는 Chiller로 들어가서 다시 냉각된 후 배경온도 조절판으로 다시 들어가는 순환방식이다. Chiller의 특성은 아래 Table 6.에 나타내었다.

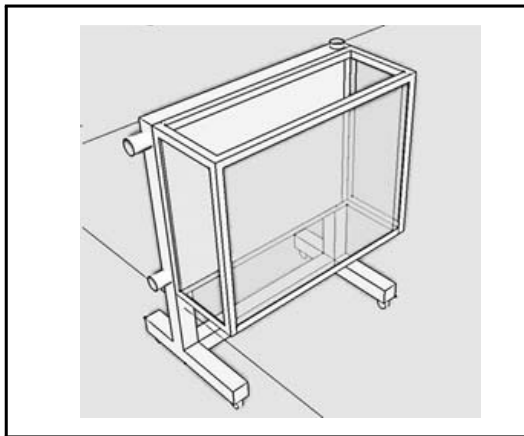
배경온도 조절판의 온도는 Chiller로 냉각과 가

**Table 5.** Background temperature control panel

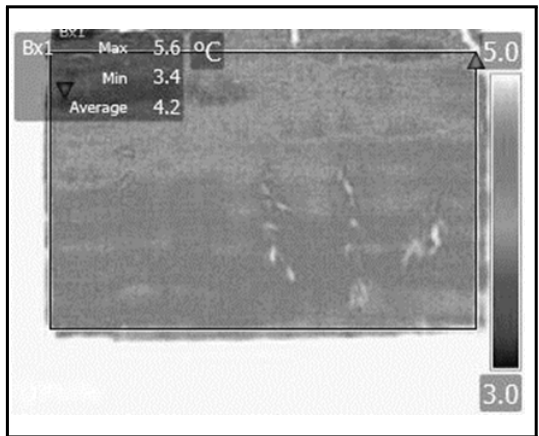
Background temp. control panel properties	
Material	SUS 304
Width of measure field	131 cm
Column of measure field	100 cm
Height of measure field	100 cm
Height of total	147 cm
Cooling water tank capacity	7 L

**Table 6.** Chiller specification

Chiller Properties	
Operating temperature	- 20 °C ~ 100 °C
Capacity of cooling water	20 l ( 30 × 20.5 × 20 cm)
Cooling time	5 min / °C at 10 to 5 °C
Velocity of flow at Pump	15 l / min at 0.35 bar
Diameter of pipe	10.9 φ
Total size	38.5 × 45.5 × 78 cm
Total Weight	45 kg



**Fig. 4.** The schematic diagram of background temperature control panel.



**Fig. 5.** Background temperature control panel at 4 °C.

열이 가능하다. OGI 카메라로 가스의 구름모형을 촬영할 때 배경온도 조절판 온도를 대기 온도와 같을 때, 대기온도보다 낮을 때의 구름모형 선명도를 비교할 수 있다.

아래 Fig. 5는 대기의 온도는 10 °C 이었고, Chiller로 배경온도 조절판의 온도를 4 °C 로 낮추었을 때 온도 분포를 촬영한 사진이다. 온도 분포는 냉각수가 들어가는 윗부분이 4 °C 에 가장 근접하고 아래로 내려갈수록 온도가 올라가며 최대 5.6 °C 까지 올라간다. 판의 전체 면적은 ± 1 °C 의 오차가 발생하지만 구름모형을 분석하기에는 안정적인 온도 분포를 나타낸다.

## IV. 실험 결과

### 5.1. 실험 결과

배경온도를 대기 온도와 같은 온도 조건과 대기 온도보다 낮은 조건에서 같은 거리, 같은 가스 분출량으로 비교 실험을 하였다. 실험했던 대기온도가 10 °C 였고, 배경온도를 10 °C 와 4 °C 각각 실험하였다.

아래 Fig. 6.은 대기온도보다 6 °C 낮은, 배경 온도가 4 °C 일 때 1 m에서 1 LPM을 촬영한 사진이다.

아래의 Fig. 7.은 대기온도와 배경온도가 같은 10 °C 일 때 거리 1 m에서 1 LPM을 촬영한 사진이다.

아래 Fig. 8.은 배경온도가 4 °C 일 때 2 m에서 1 LPM을 촬영한 사진이다.

아래의 Fig. 9.는 대기온도와 배경온도가 같은

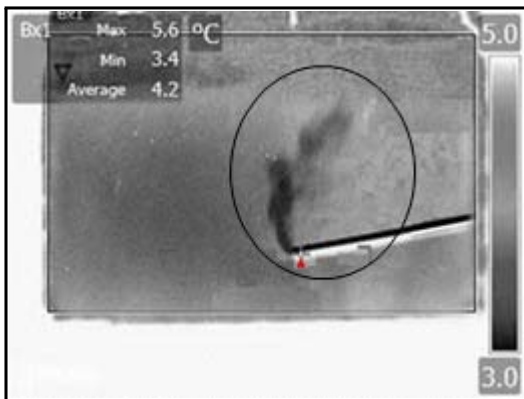


Fig. 6. 1 m and 1 LPM at background temperature 4 °C.

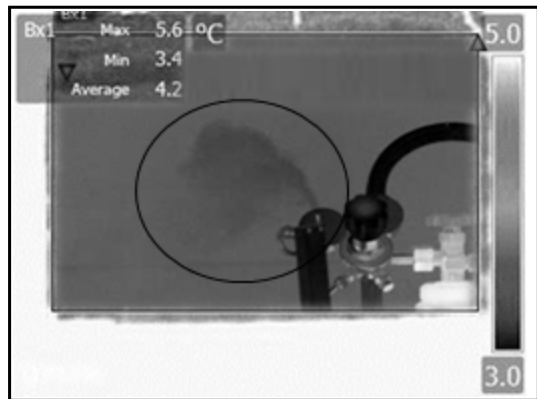


Fig. 8. 2 m and 1 LPM at background temperature 4 °C.



Fig. 7. 1 m and 1 LPM at background temperature 10 °C.

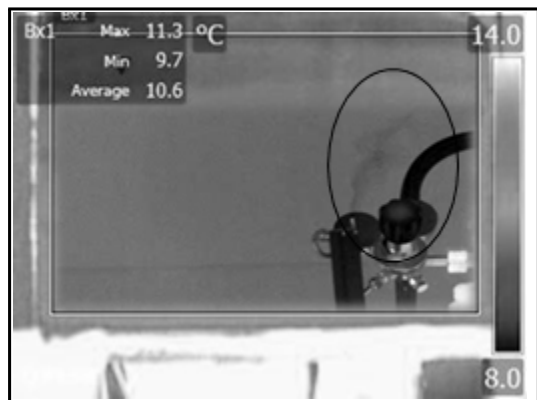


Fig. 9. 2 m and 1 LPM at background temperature 10 °C.

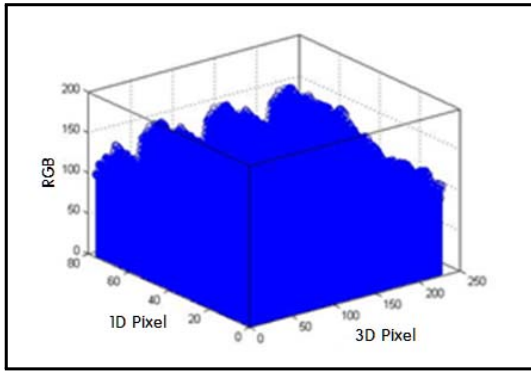


Fig. 10. 1 m and 1 LPM at temperature  $\Delta T = 6 \text{ }^\circ\text{C}$ .

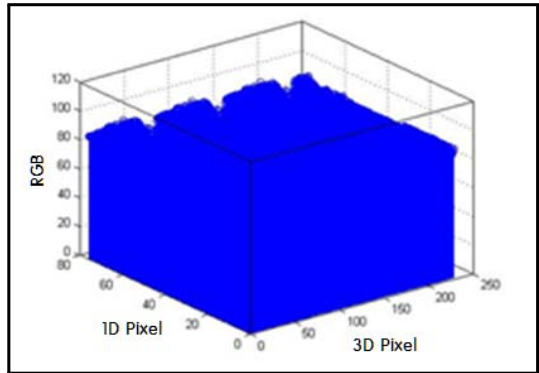


Fig. 12. 2 m and 1 LPM at temperature  $\Delta T = 6 \text{ }^\circ\text{C}$ .

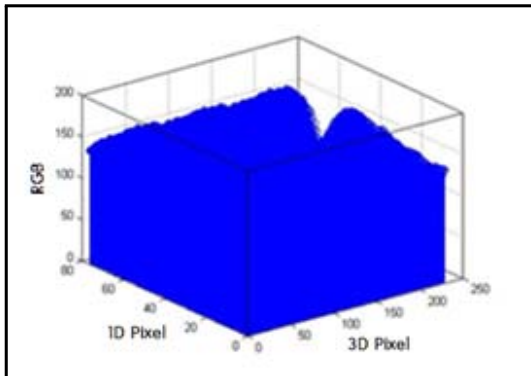


Fig. 11. 1 m and 1 LPM at temperature  $\Delta T = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

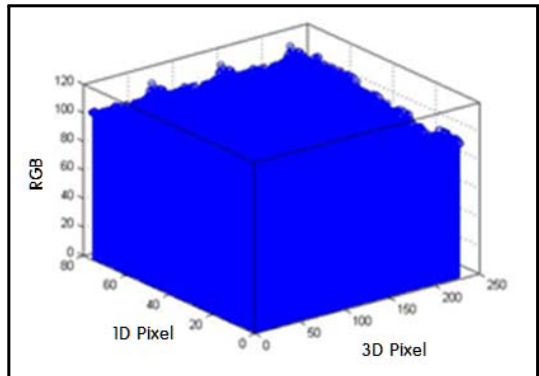


Fig. 13. 2 m and 1 LPM at temperature  $\Delta T = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

10 °C 일 때 거리 2 m에서 1 LPM을 촬영한 사진이다.

같은 조건에서 배경온도 차이로 가스 구름 모형의 선명한 정도를 비교해 볼 수 있다. 배경온도 차이에 따라 배경의 방사율이 달라지고, 방사율의 차이로 가스의 구름모형 선명도의 차이가 난다.

가스가 나오는 가스관 끝으로부터 2.54 cm × 2.54 cm의 정사각형 부분을 중심으로 가스의 채색값(선명도) 그래프를 그렸다. 그래프는 MATLAB 프로그램을 이용하여 사진의 Pixel 단위로 채색값을 숫자로 표시한다. 채색값은 Red, Green, Blue 3원색에 대한 0 ~ 255 값으로 RGB 값이 0이면 진한 검은색, 255이면 밝은 흰색으로 나타난다.

가로 × 세로 2.54 cm 정사각형 부분의 RGB 3원색 값에 대한 3차원 그래프로 나타내었다. 아래 Fig. 10. 은 1 m, 1 LPM, 대기온도와 배경온도  $\Delta T$  가 - 6 °C 일 때 그래프이다.

아래 Fig. 11. 은 1 m, 1 LPM, 대기온도와 배경온도  $\Delta T$  가 0 °C 일 때 그래프이다.

Fig. 11. 의 RGB 값을 보면 거의 150 에 가까운 값을 나타내었고, Fig. 10.은 100 ~ 140 사이의 값이 분포되어있다. 0에 가까울수록 검은색을 띄기 때문에 Fig. 11.보다 Fig. 10.의 색이 진하다는 것을 알 수 있다.

아래 Fig. 12.는 2 m, 1 LPM, 대기온도와 배경온도  $\Delta T$  가 - 6 °C 일 때 그래프이다.

아래 Fig. 13.은 2 m, 1 LPM, 대기온도와 배경온도  $\Delta T$  가 0 °C 일 때 그래프이다.

Fig. 13.의 RGB 값을 보면 100이 넘는 값을 나타내었고, Fig. 12.는 70 ~ 80 사이의 값이 분포되어 있다. Fig. 13.보다 Fig. 12.의 색이 진한 것을 알 수 있다. Fig. 6. ~ Fig. 9.의 사진을 보면 육안으로 약간의 차이를 비교할 수 있다. Fig. 10. ~ Fig. 13.의

RGB 그래프의 RGB 값을 비교해 보면 차이를 수치로 확인할 수 있다.

## VI. 결론

(1) 가스의 배경 온도 차이(방사율)가 OGI의 선명도에 미치는 영향을 비교하기 위하여 배경온도 조절판을 제작하여 실험을 수행하였으며, 크기는 가로 131 cm × 세로 100 cm 이고, 온도는 - 10 °C ~ 50 °C 까지 조절이 가능하다.

(2) 배경온도 조절판을 이용하여 배경온도와 대기온도의 차이  $\Delta T$  가 - 6 °C가 되도록 온도를 조절하였다. 배경온도가 대기온도보다 6 °C 낮은 조건에서 OGI의 가스 구름모형(gas cloud)에서 선명도 차이를 육안으로 확인할 수 있었다.

(3) 선명도 차이에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 MATLAB을 활용한 RGB 분석법으로 데이터를 분석한 결과,  $\Delta T$  가 - 6 °C 일 경우 RGB 값의 수치가 평균 25로 낮게 나왔다.

(4) 배경온도가 대기온도 보다 - 6 °C 낮을 때 선명하게 보이는 것은 총 복사법칙의 식으로 증명된다. 식 (2)의  $W_{tot}$  합은 배경, 가스, 대기에서의 총 복사에너지 합과 같다. 배경의 복사에너지는 방사율의 변화에 따라 변동이 되는데, 방사율은 온도가 낮아지면 방사율도 낮아진다. 배경의 방사율을 낮추면, OGI 렌즈로 들어오는 가스의 복사에너지가 증가되어 가스를 더 선명하게 볼 수 있다.

## 감사의 글

이 논문은 산업통상자원부의 재원으로 엔지니어링 개발연구센터의 지원을 받아 수행된 연구임.  
(과제번호 : N0000990)

## REFERENCES

- [1] Epperson, D., Lev-On, N., Taback, H., Siegell, J., Ritter, K., "Equivalent Leak Definitions for Smart LDAR(Leak Detection and Repair) When Using Optical Imaging Technology", JAWMA, 57(9), 1050-1060, (2012)
- [2] Persky, M. J., *Review of black surfaces for space-borne infrared systems*, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, (1995)
- [3] Safitri, A., "Infrared Optical Imaging Techniques for Gas Visualization and Measurement" Texas A&M Univ., Phd., 1-176 (2011)
- [4] Brosmer, M. A., Tien, C. L., "Infrared radiation properties of methane at elevated temperature", QSRT, 33(5), 521-532, (1984)
- [5] Lev, O. M., Epperson, D., Siegell, J., Ritter, K., "Derivation of new emission factors for quantification of mass emissions when using optical gas imaging for detecting leaks", AWMA, 57, 1061-1070, (2007)
- [6] Gillet, B., Hardalupas, H., Kavounides, C., Taylor, A. M. K. P., "Infrared absorption for measurement of hydrocarbon concentration in fuel/air mixtures (MAST-B-LOQUID)", Applied Thermal Engineering, 24(11), 1633-1653, (2004)
- [7] Adam, E., Klingbeil, J., Ronald, B. J., Hanson, K., "Temperature-dependent mid-IR absorption spectra of gaseous hydrocarbons", JQSRT, 107(3), 407-420, (2007)
- [8] Fuss, S. P., Ezekoye, O. A., Hall, M. J., "Effect of Temperature on the Infrared Radiation Properties of Methane", Combustion Fundamentals and Applications, 371-376, (1995)
- [9] Lee, R. H. C., Happel, J. "Thermal radiation of methane gas", Chemical Fundamental, 3(2), 167-176, (1964)
- [10] Malkmus, W., "Infrared emissivity of carbon dioxide(4.3 $\mu$  band)", Journal of The Optical Society of America, 53(8), (1963)
- [11] Kim, B. J., Kim, S. Y., Choi, J. H., Park, S. R., Han, S., W., "System and Method for measuring optical gas image", The Korean Intellectual Property Office, 10-2016-0014400 (2016)