



methane과 propane의 누출 Optical Gas Image의 특성연구

†박수리 · 한상욱 · 김병직

송실대학교 화학공학과

(2018년 12월 27일 접수, 2019년 8월 22일 수정, 2019년 8월 23일 채택)

Characteristics of methane and propane leaking gas images

†Suri Park · Sang-wook Han · Byung-jick Kim

Dept. of Chemical Engineering, Soongsil University, Seoul 06978, Korea

(Received December 27, 2018; Revised August 22, 2019; Accepted August 23, 2019)

요 약

OGI(Optical Gas Image) 기술에서 주요 가스의 이미지 특성연구는 누출가스의 종류 파악 및 배출량 추정 기초 자료가 될 수 있다. 본 연구의 목적은 산업에서 중요한 methane과 propane 두 탄화수소의 분출가스 이미지의 차이를 관찰하기 위함이다. 적외선을 투과하는 성질을 지닌 석영을 끼운 바람차단막을 제작하여 methane과 propane을 동시에 누출하게 하여 적외선 OGI 카메라로 촬영하고, 그 영상을 분석하였다. 석영차단막을 활용하여 바람의 영향을 최소화하여 안정된 영상을 확보하였다. 누출 기준값을 1 L/min로 하여 두 탄화수소의 영상을 분석한 결과 OGI 카메라로 쉽게 식별 가능한 거리가 methane의 경우 6 m, propane의 경우 9 m로 나타났다. 적외선 카메라와 누출지점의 거리 1~10 m까지에서 propane의 경우가 methane의 경우 보다 gas plume의 크기가 컸으며 선명하였다. 영상 이미지의 점의 수로 비교하면 propane이 methane보다 평균 3.8배 많았다.

Abstract - In this paper is image characteristics of main gas can be a basic data for the identification of the type of leaking gas and the estimation of the emission quantity in OGI(Optical Gas Image) technology. The purpose of this research is to observe the differences of leaking gas images of the two important hydrocarbons of methane and propane in the industry. We fabricated a wind shield of quartz-based with infrared-permeable properties was prepared and methane and propane were simultaneous emission and then photographed with an infrared OGI camera and we are analyzed it. We have a stable image with windbreak of quartz-based minimizes the effect of wind. As a result of analyzing the image of two hydrocarbons with a leakage gas reference value of 1 L/min, an easily recognizable distances by OGI camera were 6 m for methane and 9 m for propane. In the distances range of 1 to 10 m between the infrared camera and the leaking gas point, the gas plume size of the propane gas was larger and clear than that of the methane gas plume. Compared with the number of points in the image, propane was 3.8 times more than methane.

Key words : leaking gas, quartz, emission quantity, quantification, OGI

1. 서 론

안전관리는 위험한 요소를 조기에 발견하고 예측하여 재해를 방지하는 안전 활동으로, 인도

주의를 근본으로 인명존중, 기업의 경제적 손실 예방, 생산성 및 품질 향상, 사회 신뢰성 향상 등의 목적을 둔다. 안전사고와 재해의 분류는 사람에게 직접 상해를 주는 인적사고와 경제적 손실을 초래하는 물적사고로 안전사고는 구분되며, 재해는 불가항력적인 자연재해 2%와 전체 재해의 98%의 예방 가능한 인위적인 재해로 구분된다.

†Corresponding author: babsool@ssu.ac.kr

Copyright © 2019 by The Korean Institute of Gas

기술 발전을 이루며 근로자의 안전과 보건 유지, 증진 및 산업재해 예방, 쾌적한 작업환경 조성은 더욱 중요하게 여겨지고 있다.

화학플랜트 단지의 누출점검은 전통적인 방법으로 가스와 직접 접촉하는 휴대용 가스 누출 검출 장치가 사용되어 왔다. 하지만 직접 접촉식 측정 장치는 특정영역에서만 유효한 국부적인 측정으로 인해 지점 누출에 대한 감지 실패 가능성과 많은 노동 비용이 발생하며, 육안으로 보이지 않기 때문에 조업자의 안전 보건사고에 노출되어 있다. 이러한 단점의 보완으로 효율적인 가스 누출 탐지 기술로 비접촉 방식을 기반으로 하는 OGI(Optical Gas Image) 기술이 있다 [1-3]. 가스 누출에 대해 빠른 시각적 확인이 가능하고, 신속한 점검으로 이를 통해 누출 시 유해한 가스의 피해를 최소화하여 사람의 안전과 환경을 보호할 수 있다. 물체에서 방출되는 복사에너지를 전자적으로 측정하여 만들어지는 이미지의 원리로, 광범위한 영역과 큰 면적에 대해 가스 누출의 유무를 확인할 수 있다. 하지만 단점으로 누출 여부를 알 수 있는 확인만 가능하며, 정량 값이 아닌 검출 가능한 가스에 대한 색상 구분과 농도에 따른 색상의 진함으로 나타내고 있다.

본 논문은 methane과 propane의 누출가스에 대한 광학가스이미지의 정량표시 비교 연구로, 탄화수소 구성에 따른 methane과 propane에 대해 gas plume의 모양 및 그에 따른 명도, 농도의 관계 수치화 연구이다.

II. 이 론

화학물질 관리법 11조, 대상사업체는 화학물질 배출량을 조사 후 보고하고 환경부는 조사 결과를 위해성 평가, 관리정책수립, 환경오염 방지 및 예방, 그리고 국제협약에 의한 화학물질 관리에 활용한다. 그러나 조사방법은 직접측정, 물질수지, 그리고 배출계수에 의한 방법 등이 있고, 직접 측정의 경우 스나이퍼를 사용하여 많은 시간과 경비가 소요된다.

가스 누출 검지를 위한 직접 접촉방식의LDAR를 이용하여 안전 점검의 주기적인 check에 대해 18개의 공정으로 구성되어 있는 경우, 7만개의 check가 필요한 Tags(# of points 42만 개)의 범위를

를 각 공정별로 3교대 조 (2인 1조)로 구성하여 근무한다면, 하루에 총 20개의 Tags(약 120 points)를 측정하여, 1조당 측정검사에 약 90분이 소요된다. 이는 48,600시간의 인력이 소요된다.

$$18\text{공정} \times (2\text{인/공정}) \times 3\text{조} \times (1.5\text{시간/일}) \times 300\text{일} = 48,600 \text{ mans-hours} \times \$10/\text{시간} \\ = \$ 486,000 \text{ 인력비용} \quad (1)$$

비접촉 측정방식은 직접측정 방식(method21)보다 측정목표 달성에 9배 빠르다는 외국 연구 결과를 통해 비용예측이 가능하다 [4].

$$18\text{공정} \times (2\text{인/공정}) \times 3\text{조} \times (0.167\text{시간/일}) \times 300\text{일} = 5410 \text{ mans-hours} \times (\$ 10 / \text{시간}) \\ = \$ 54,100 \text{ 인력비용} \quad (2)$$

OGI 카메라의 초기 투자비용 (1대당 \$ 10만) 포함되면, 354,100 달러의 장비 및 인력비용이 발생한다.

2.1. methane

천연가스의 주성분으로 표준상태 (0℃, 1 atm)에서 methane 1 kg 당 부피는 약 1.4m³이지만, 액상에서는 2.4 L(-162 ℃, 1 atm)로 부피가 1/600으로 줄어든다. 소비되는 천연가스의 대부분은 외국의 수입에 의존하고 있으며, 수입 시 액화된 상태로 저장하여 기화 후 사용하게 된다 [5-6]. 자연적 발생으로는 유기물이 부패, 발효되어 생성되며 석탄층 속에 공기와 섞여 폭발을 일으키기도 한다. methane의 특성은 다음(Table 1)과 같다.

Table 1. About methane

	properties
CAS Number	74-82-8
Molecular Weight	16
Density	0.717 g/L-1 (gas, 0 ℃, 1 atm)
Boiling point	-161.5 ℃
Melting point	-182.5 ℃
Explosion range	5~14.5 %

LNG의 소비량은 43,613,000 toe로 2001년부터 2015년까지 소비량은 15.2 %로 2배 이상의 소비량 증가를 나타냈다. 주요 용도는 도시가스 및 발전용·공업용의 연료로 사용되며, LNG로부터 기화하여 사용되는 천연가스는 methane이 주성분을 이루고 있다. 황 화합물과 질소 화합물이 함유되어 있지 않아 그을음 등의 유해물질 발생량이 적어 공해방지 적용에 적합한 연료이며, 안정된 연소를 이룰 수 있는 것이 장점이다. LNG의 비점은 -162 ℃이며, 기화된 가스의 비중은 0.55로 공기보다 가볍다 [5-6].

2.2. propane

약한 자극성 냄새가 나는 무색의 기체로 분자량 44.1, 녹는점 -187.69 ℃, 끓는점 -42.07 ℃이다. 비중은 1.54로 공기보다 무겁다. LNG 액화공정의 냉매에 이용되어 효율을 높인다. propane의 특성은 다음(Table 2)과 같다.

천연가스 및 석유의 분해증류로부터 propane은 얻어진다. 생산 과정은 유조선이 접안하여 원유를 하역하는 해상계류시설(Single Point Mooring)을 통해 하역된 원유는 해저 파이프라인을 통해 육상의 원유 저장탱크로 보내진다. 그 후 상압증류공정의 증류를 통해 원유에서 LPG, 나프타, 등유, 경유 등의 주요 유분을 분리하여 생산한다. 그 다음 LPG 분리공정으로 보내져 프로판과 부탄으로 분리되거나, 잔사유(Residue)는 감압증류공정(Vacuum Distillation Unit)을 통해 진공에 가까운 상태에서 다시 증류시켜 경질유분과 중질유분으로 분리된다. 감압증류공정에서 생

산된 경질유분을 고온/고압에서 수소를 첨가하여 분해하는 중질유 수소첨가 분해공정을 통해 고부가가치의 나프타, 등유, 경유 및 윤활기유를 생산하고, LPG 분리공정으로 보내져 프로판과 부탄으로 분리된다 [7].

2.3. 물질안전보건자료(MSDS)

산업안전보건법 제 41조에 의거 유통되는 화학물질 및 화학물질을 함유한 제제의 물질안전보건자료(MSDS)는 해당 물질을 양도하거나 제공하는 자로부터 제공 받아야 한다 [8]. methane의 경우, CAS No. 74-82-8로 인화성 가스-구분 1 및 고압가스-압축가스에 해당한다. 열, 스파크, 화염, 고열로부터 멀리하여 예방 가능하고, 건강 유해성 정보의 급성독성 및 피부부식성 또는 자극성, 호흡기과민성 및 피부 과민성, 발암성, 생식세포변이원성 등 독성에 관한 정보 및 환경에 미치는 영향에 대해 보고된 자료는 없다. propane의 경우, CAS No. 74-98-6으로 인화성 가스-구분 1 및 고압가스-액화가스, 피부 부식/자극성-구분 2에 해당한다. 열, 스파크, 화염, 고열로부터 멀리하여 예방 가능하며, 건강 유해성 정보의 급성독성 및 호흡기과민성 및 피부 과민성, 발암성, 생식세포변이원성 등 독성에 관한 정보 및 환경에 미치는 영향에 대해 보고된 자료는 없다. 피부부식성 또는 자극성의 경우 피부에 묻으면 다량의 물로 세척이 필요하고 의학적인 조치가 필요하다.

2.4. 적외선 가스화상 카메라의 원리 및 작동 방식

다원자 분자는 어떤 특정 파장의 적외선을 흡수하는 성질을 갖고 있으며, 일산화탄소, 이산화탄소, 탄화수소 등의 2원자 분자에서는 원자간의 진동, 회전에 따라 적외선 에너지가 흡수되는 원리로, 특정 파장을 인식한 렌즈의 필터로 영상을 보여준다. 물체에서 방출되는 복사에너지를 전자적으로 측정하여 이미지로 나타내는 원리로, 적외선 가스화상 카메라는 가스의 성분에 따라 특정 파장대역에서 영상화 할 수 있다. 비접촉으로 냉각식 중적외선(3~5 μm)검출기를 이용한, 파장대역(3.2~3.4 μm)을 기준으로 다양한 탄화수소 중 특정가스를 시각화 할 수 있다 [8-11].

Table 2. About propane

	properties
CAS Number	74-98-6
Molecular Weight	44.1
Density	2.0098 kg/m ³ (0 ℃, 1 atm)
Boiling point	-42.07 ℃
Melting point	-187.69 ℃
Explosion range	2.2~9.5 %

2.5. 유출 정량표시 적용 산출 방식

분출가스의 유출량 정량표시 적용에 몬테카를로 확률계산법을 응용하였다. 몬테카를로 확률(경우의 수)기법은 통계적 문제에 난수(Random number)를 사용한 무작위적인 표본의 해결 방법으로 5~10% 정도의 오차를 허용할 수 있는 공학적 문제와 컴퓨터를 이용한 통계적 추출을 통해 확률적 모델을 적용한 문제 해결 방식이다. 정사각형 내부에 무작위로 점을 찍어 점이 원 안과 밖에 많아질수록 점의 수와 원 안에 찍힌 점의 수의 비는 정사각형의 넓이와 원의 넓이의 비에 같아지게 된다. 이 같은 방식을 적용하여 가로×세로가 6.4 cm²의 분출가스 면적(점의 수, 대략 5143~5266 개, 대략 20,400~21,060 개)을 측정한다. 원본 이미지를 8 배~16 배 확대하여, 가로, 세로 각 2.54 cm에 있는 분출가스의 면적을 측정한다. 기준은 분출구 위의 면적 6.4 cm²로 공기의 흐름과 바람의 영향이 가장 적은 영역 설정이다.

2.6. Gas visualization

분출가스의 일정기준 분출에서는 누출량이 많아지고 가스분출 속도가 증가해도 분출가스 형태 plume의 크기는 크게 변하지 않는다 [4]. OGI 카메라를 이용한 gas plume의 확인은 주변 뒤 배경 온도와 gas plume 사이의 온도 차이에 영향이 있다. 배경온도는 복사 및 방사되어 gas plume에 일부 흡수되고, 다시 방출된다. gas plume의 반사율은 없고, 흡수 후 방출된 방사물과 gas plume에 흡수되지 않은 일부 방사물의 차이로 gas plume은 OGI 카메라를 통한 가시적 확인이 된다. 주변 온도에 따라 분출가스 온도가 배경온도 보다 높으면 OGI 카메라를 통해 확인될 가능성이 있다 [12]. 가스 종류에 따라 특징적인 광학 흡수를 이용한 가스 농도의 검출 및 측정은 산업 공정에서 환경의 변화에 이르기까지 다양한 모니터링 및 현상의 이해는 중요하다. 눈으로 볼 수 없는 누출가스의 이미지를 보기위해 후방굴절 흡수 가스 이미지, 수동형 열 이미지 및 이미지 분광계 등이 등장하였다. 적외선 가스화상 카메라의 일반적인 매개 변수인 대기에서의 감쇄 등 등가온도차에 따라 누출가스 감지 연구가 중요하다 [13-15].

III. 실험 장치 및 방법

3.1. 실험 장치

탄화수소 가스 중 methane과 propane의 분출에 대한 광학가스이미지 비교 실험을 하였다. OGI(Optical Gas Image)영상의 적외선 가스화상 카메라 GF320 (Table 3)을 사용하였다. Cooled InSb 방식의 검출기로 적용 렌즈 14.5°를 사용하였다. 누출 측정에 사용한 가스는 methane(99.95%), propane(99.99%)이고, 역화 방지기를 설치하였다. 분출 조정의 regulator와 최대 유량 5 L/min의 flowmeter를 사용하였다. tube는 직경 1/4"이다.

바람의 영향을 최소화하기 위해 바람차단막 앞면에 OGI 카메라의 영상측정이 가능한 석영 재질의 유리를 설치하였다. 바람차단막 배경의 방사율 변화를 위해 스프레이 페인트 도장을 진행하였다.

적외선 가스화상 카메라의 조작 및 사용법은 다음과 같다 [9].

- (1) 적외선 검출 소자로 인듐 안티몬화물(InSb) Cooling 방식의 검출기를 사용하여, 전원 on 후 온도감응성과 안정성을 위한 장치냉각을 대기한다.
- (2) 장치냉각(5~7분 소요)의 가동음이 없어지면, 카메라 외부의 모드 휠을 돌려 영상에 맞춘다.
- (3) 온도 범위 버튼을 누르고, 조이스틱을 위/

Table 3. IR camera imaging specifications

Model Number	GF320	Temp. Range	-20 °C to 350 °C
Detector Type	Cooled InSb	Thermal Sensitivity	<15 mK @ +30°C
Spectral Response	3.2~3.4 μm	Zoom	1~8× continuous digital
Resolution	320 × 240	Total Pixels	76,800
Accuracy	±1°C for temperature range 0°C to +100°C	Lens Options	Standard: 24°, 18° Optional: 14.5°, 6°
Detection gas	C ₂ H ₆ O, C ₈ H ₁₀ , C ₇ H ₁₆ , C ₆ H ₁₄ , C ₃ H ₈ , CH ₃ OH, MEK, MIBK, n-C ₈ H ₁₈ , C ₃ H ₁₂ , C ₅ H ₁₀ , C ₇ H ₈ , C ₄ H ₁₀ , C ₃ H ₈ , C ₃ H ₆ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₄ , CH ₄		

아래로 움직여 피사체에 적합한 온도 범위를 선택, 다시 온도 범위 버튼을 눌러 설정 모드를 확인한다.

- (4) 탐지하고자 하는 피사체에 카메라를 조준하여 FOCUS/ZOOM 버튼 가운데를 눌러 초점을 자동으로 맞춘다.
- (5) 카메라가 탐지 가능한 가스종류의 누출이 있을 경우 카메라의 화면에서 누출이 확인된다.
- (6) S 버튼을 사용하여 저장한다.

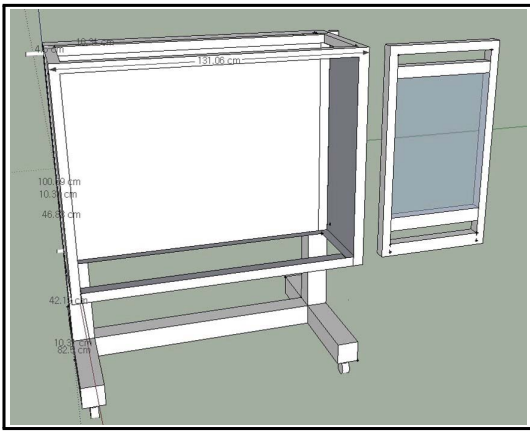


Fig. 1. Windbreak device

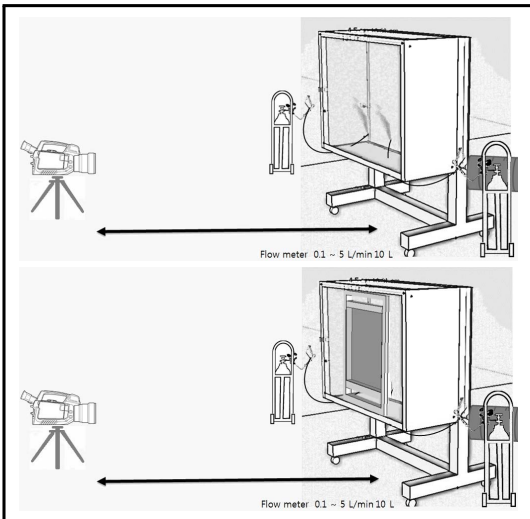


Fig. 2. Experimental method

3.2. 실험 방법

물질안전보건자료에 따른 상대적으로 위험성이 적은 VOC 가스의 선택으로 propane (99.99%)과 methane (99.95%)의 가스분출에 대한 분출량과 거리에 따른 가스이미지를 측정하였다. 실험 주변 온도는 0~3 °C이며, gas plume의 공기 흐름 영향을 줄이기 위해 앞면에 석영을 이용한 바람차단막을 사용하였다.

석영 바람차단막의 경우 가로 500 mm, 세로 600 mm 크기에 프레임 틀을 제작하였다. 유리의 경우는 OGI 카메라가 투과하지 못하여 측정이 불가능하지만, 석영 재질의 경우 OGI 카메라 투과가 가능하다.

1 m를 시작으로 5 m, 최대 10 m까지 분출량 0.5 L/min과 1.0 L/min을 조정하며 methane과 propane 가스의 분출이미지를 측정하였다.

$$= \frac{0.001}{\frac{\pi}{4} \times 0.004^2 \times 60} = 1.327, \quad V = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

분출가스 tube의 내경지름은 4 mm로 1.0 L/min의 분출시 약 1.327 m/s의 유속에 해당한다.

IV. 결과 및 고찰

4.1. 광학가스이미지의 영향 인자

4.1.1. 석영 바람차단막

gas plume의 공기 흐름 영향을 줄이기 위해 석영을 이용한 바람차단막을 사용하였다. 적외선 광학가스이미지 카메라의 경우 유리는 투과하지 못하여 검은색으로 나타나지만, 석영은 투과되어 Optical Gas Image를 통한 누출가스 확인이 가능하여 바람차단막으로 적용하였다.

다음의 Fig.3의 경우 거리 1~2 m, 1.0 L/min의 분출량에 대해 석영 바람차단막의 유무에 대한 비교 이미지이다.

Fig. 3(a)는 석영 바람막이를 설치한 gas plume 이미지이다. (b)는 석영 바람막이가 없는 gas plume의 이미지이다. (a)의 경우 공기의 흐름 및 바람을 막을 수 있어 그에 대한 영향이 적어 일정한 분출 흐름과 선명한 plume이 확인되었다. (b)의 경우 공기흐름 및 바람의 영향으로 gas plume의 흩어짐과 열음을 확인할 수 있다.

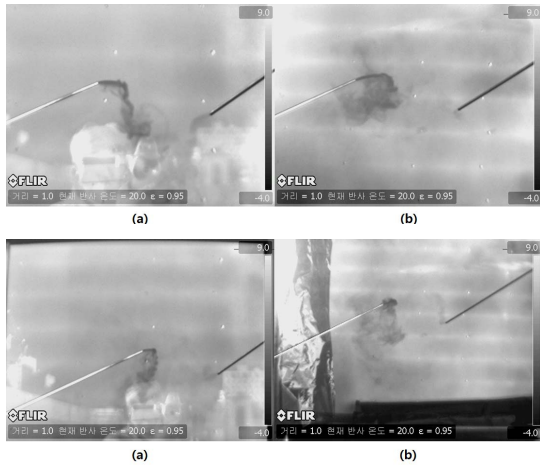


Fig. 3. Comparing the image of the leakage gas according to the with of without of quartz [(a) w/ quartz, (b) w/o quartz].

4.1.2. 주변 환경

OGI 카메라를 이용한 이미지측정을 진행하기 위해서는 렌즈 초점영역의 배경이 되는 물체도 중요하다. 경우에 따라서는 누출가스가 존재하여도 확인이 어려운 경우가 있다.

Fig. 4(a)는 햇빛에 의한 그림자가 가스 누출 부분, 특정 부분에 발생 시 누출가스 온도와 그림자의 온도 분포가 비슷할 경우 누출유무의 확인이 어려워진다. 이러한 경우 카메라 촬영 영상 범위 안의 물체들에 대한 그림자가 만들어지지 않게 위치를 조정하여 측정하거나, 카메라의 이미지측정온도 범위를 조정하여 그림자 등의 변수를 제거 시켜야 한다. Fig. 4(b)는 기준온도 범위 내의 이미지측정온도를 조절하고, 햇빛의 양이 줄어들며 촬영 측정된 그림자 제거 후 측정 이미지이다. 같은 조건에서 주변의 영향인자가 제거되어 분출가스 plume 이미지가 더 정확히 확인된다. Fig. 4(c)는 이미지측정온도 설정을 -4℃~9℃로 설정하여 그림자 등의 주변 환경 조건의 변수를 제거 하였다. 따라서 분출 gas plume 의 더 정확하고 선명한 확인이 가능하였다.

4.1.3. 기준온도 범위 설정 및 이미지측정 설정

다음 Fig. 5의 측정 이미지는 거리 1 m, 0.5 L/min의 유량으로 카메라 기준온도 범위 -10~30℃



(a)



(b)



(c)

Fig. 4. Impact of shadows and surrounding (radiation)

로 -10℃에 가까울수록 어두운 검은색을 띄고,

30 °C에 가까울수록 밝은 흰색을 나타내도록 설정하였다.

(a)의 경우, 기준온도 범위 내의 이미지측정 설정 0~7 °C ($\Delta T = 7$ °C)로 왼쪽의 tube를 통한 propane의 분출, 어두운 색을 띠는 plume을 확인 할 수 있다. 석영에 반사된 측정자 및 반대편 건물의 적외선 방사 이미지도 나타났다. 그리고 7 °C이상의 이미지측정 된 대상은 밝은 흰색을 나타내었다.

(b)의 경우, 기준온도 범위 내의 이미지측정 설정 -2.5~2.5 °C ($\Delta T = 5$ °C)로 2.5 °C에 가까울수록 흰색의 밝은 색을 띤다. 전체적으로 밝은 색을 나타내며, gas plume 및 주변의 물체가 희미하게 나타난다.

실험 진행 조건을 기준으로, propane gas plume의 경우 대략 1.5~2 °C의 분출온도를 나타내는 것을 확인 할 수 있다. methane gas plume의 경우 전체적으로 이미지 확인의 어려움이 있는데, 이는 바람차단막 배경인 SUS재질의 방사율 및 온도가 methane 분출가스의 방사율 및 온도 분포와 비슷한 범위(약 2~3.5 °C)를 나타내기 때문이라고 판단된다.

4.2. methane, propane의 Optical Image 비교

methane과 propane을 동시에 동일량 (1.0 L/min)을 분출시킨 후 적외선 OGI 카메라로 촬영하였다.

Fig. 6을 살펴보면, propane은 이미지의 왼쪽, 아래에서 위로 향하는 tube에서 분출된다. 공기보다 분자량이 커서 공기의 흐름영향이 적을 때 일반적으로 아래로 향하는 이미지를 나타냈다. methane은 이미지의 오른쪽, 위에서 아래로 향하는 tube에 해당하며, 공기보다 분자량이 작아 일반적으로 gas plume이 위로 향하는 이미지를

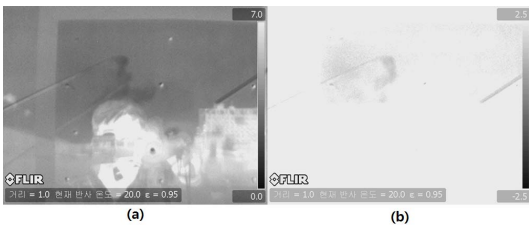


Fig. 5. Image settings within the reference temperature range.

나타냈다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 6. Optical Gas Image of methane & propane with increasing distance (1 m, 0.5 L/min).

이미지의 기준 크기는 640×480에서 Fig. 6(b)의 경우 propane의 분출가스 면적은 1707 mm²를 나타냈다. Fig. 6(c) methane의 분출가스 면적은 422 mm²로 propane gas plume보다 약 4.03 배 작은 면적을 나타냈다.

propane의 분출가스 이미지가 methane의 분출가스 이미지보다 조금 더 진한 색을 나타냈다. OGI 카메라의 기준온도 범위 및 이미지측정 설정 범위(설정 기준온도 범위 -10~30 ℃, 이미지측정온도 범위 2~15.6 ℃)에서 methane 보다 propane의 gas plume이 더 진함을 나타냈으며, 이것은 propane gas plume이 더 낮은 온도로 분출됨을 뜻한다. 실험에 사용된 propane의 농도 99.99 % 가 methane의 농도 99.95 % 보다 높은 제품을 사용하여 조금 더 진한 색의 이미지를 나타낼 수 있다고 판단한다. 그리고 methane gas의 경우 분출가스의 온도와 주변 배경온도의 차이가 크지 않아 옅고 희미한 gas plume을 나타냈고, propane gas의 경우 분출가스의 온도와 주변 배경온도의 차이가 커서 진하고 선명한 gas plume을 나타냈다고 판단된다 [1-2, 12-15].

4.3. Optical Image의 영상처리를 통한 비교 분석

측정거리 1~10 m, 분출량 1.0 L/min 0.5 L/min, 광학가스이미지 및 영상처리이미지이다. 분출되는 가스의 이미지를 더 선명하게 확인하기 위해 영상처리 프로그램을 통해 전체 배경 빛의 양 표시 입 · 출력값을 각 거리의 분출량에 따른 동일한 값을 적용하여 분출가스의 옅은 농도 제거 및 주변 노이즈를 제거하였다. 기준온도 범위 -10~30 ℃, 이미지측정온도 범위 -4~9 ℃이다.

프로그램을 이용한 빛의 양을 조절하여 gas plume을 선명하게 조정하였다. 이미지 처리의 경우, 측정 원본 이미지를 확대하여 가로 · 세로 기준영역에 있는 분출가스를 각 거리마다 분출량에 따른 이미지처리 설정값을 적용하여 분출 이미지를 나타냈다. Fig. 7의 왼쪽은 거리 1 m~10 m를 나타내었고, (a)의 경우, Optical Gas Image이고, (b)의 경우 해당 이미지의 빛의 양을 조절하여 gas plume을 더 선명하게 조정하였다.

propane은 이미지의 왼쪽, 아래에서 위로 향하는 tube에서 분출된다. methane은 이미지의 오른쪽, 위에서 아래로 향하는 tube에 해당한다. 거

리 5 m, 0.5 L/min까지, propane과 methane의 gas plume은 Optical Gas Image를 통한 육안으로 쉽게 확인이 가능하였다. 거리가 가까울수록 진한 색의 분출가스 이미지를 나타내며 선명함을 보였다.

거리가 멀어질수록 분출가스 이미지는 옅은 색을 띄며 희미함을 나타냈다. propane gas plume은 10 m까지 확인이 가능하였고, methane은 propane에 비해 gas plume은 옅게 나타났다.

분출가스 이미지에 대한 정량표시 값을 나타냈다. 거리가 가까운 1 m에서 3348.21개의 가장 많은 분출가스 점의 수를 확인 하였고, 거리가 멀어질수록 분출가스 점의 수는 점점 작은 값을 확인하였다. methane보다 propane에서 더 많은 점의 수를 나타냈다.

거리 6 m 부터 methane은 극히 적은 점의 수를 나타냈고, propane은 최대 10 m까지 분출가스 이미지를 통한 점의 수 확인이 가능하였다.

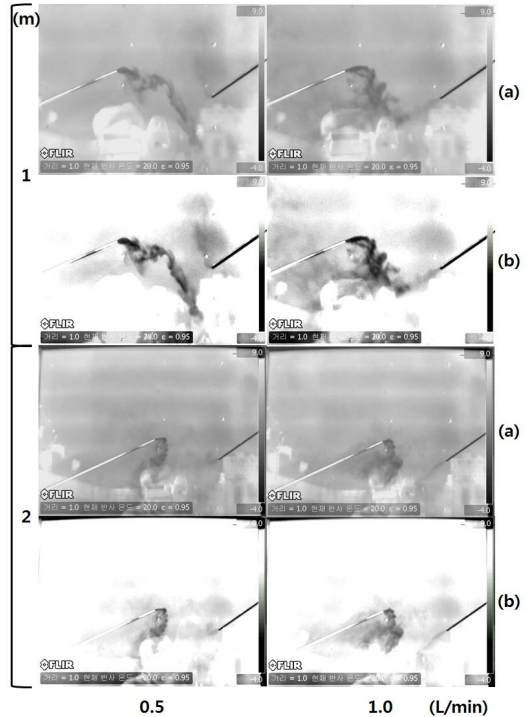


Fig. 7.1 Image processing of Optical Gas Image (1~2 m, 0.5, 1.0 L/min)

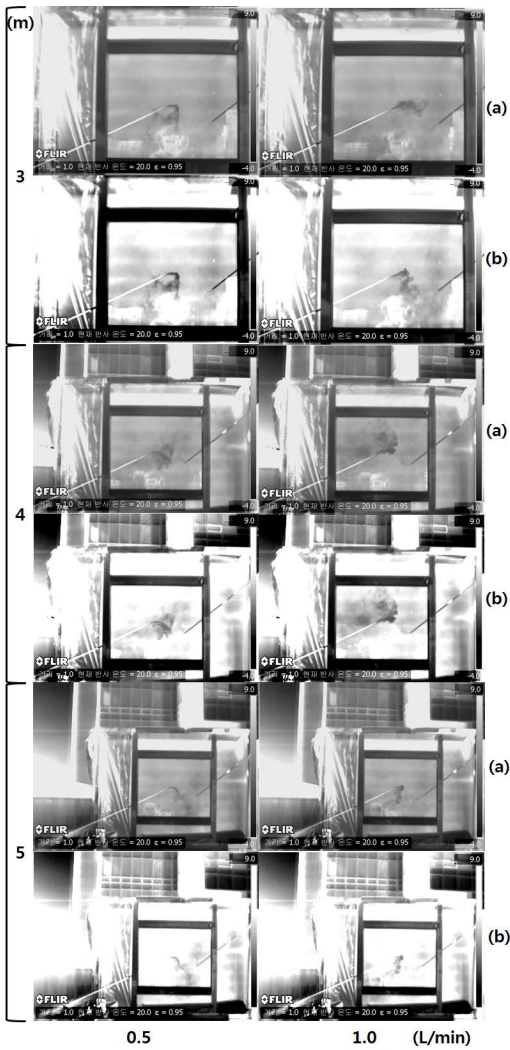


Fig. 7.2 Image processing of Optical Gas Image (3~5 m, 0.5, 1.0 L/min).

propane의 거리에 따른 분출량의 점의 수 그래프이다. 거리 1 m, 1.0 L/min의 경우 3348.21개의 점의 수를 나타내며 가장 높은 값을 나타냈다. 거리 10 m까지 gas plume 이미지가 확인 가능하였고, 점의 수는 2024개를 나타냈다.

methane의 거리에 따른 분출량의 점의 수 그래프이다. 거리 1 m의 경우 2384.08개의 점의 수를 나타냈다. 거리 6~10 m의 경우 확연히 줄어든 그래프를 확인하였다.



Fig. 7.3 Image processing of Optical Gas Image (6~10 m, 1.0 L/min)

Fig. 10은 propane과 methane의 분출가스 점의 수를 그래프로 나타냈다. 거리 1~10 m, 1.0 L/min의 경우, propane이 평균 3.8 배 높은 점의 수를 나타냈다. 0.5 L/min의 경우 평균 2.9 배 높은 점의 수를 나타냈다. propane의 점의 수는 꾸준히 증가하는 그래프를 나타낸 후 거리가 멀어질수록 증가율은 점점 줄어들었다.

Fig. 11은 propane과 methane의 거리별 분출량 점의 수에 대한 상관관계를 나타내는 그래프이다. n은 1~10 m의 거리로 측정거리가 가까울수록 진한 분출가스 면적 및 많은 점의 수를 나타냈다. propane 분출량 1.0 L/min, 거리 1~10 m까지의 gas plume 점의 수 상관관계계수는 0.972

methane과 propane의 누출 Optical Gas Image의 특성연구

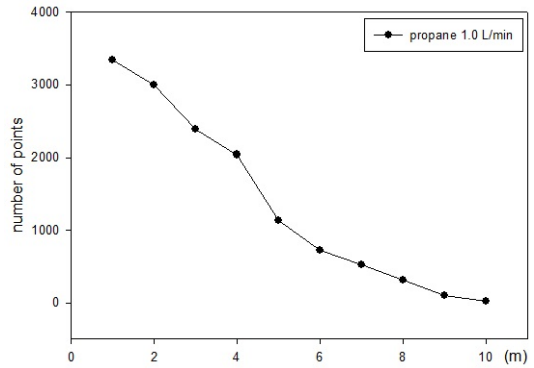
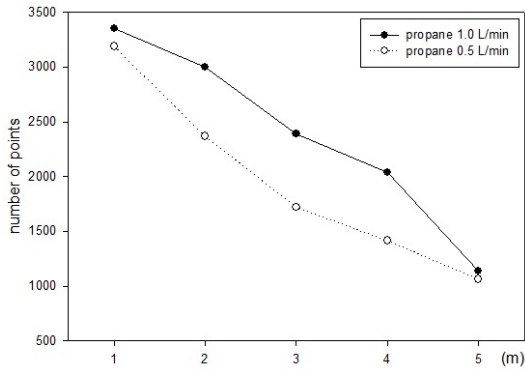


Fig. 8. Number of points for propane leakage gas.

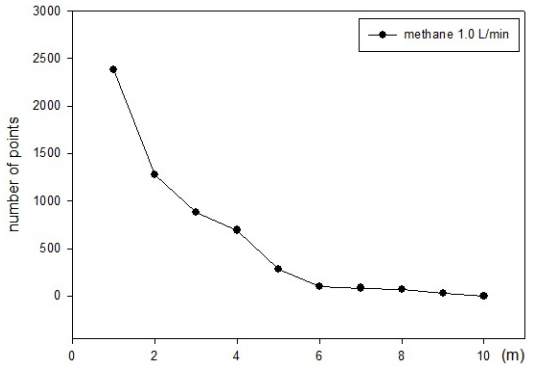
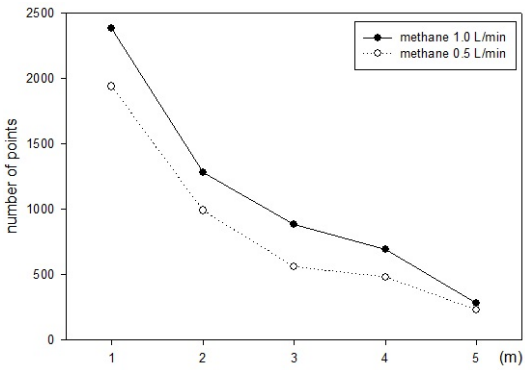


Fig. 9. Number of points for methane leakage gas.

Table 4. Quantification of leakage gas at a distance of 1~5 m

Measuring distance and Outflow (L/min)	Number of points 6.4cm ³ (propane)	Number of points 6.4cm ³ (methane)
1 m 1.0	3348.21	2384.08
1 m 0.5	3188.77	1938.69
2 m 1.0	3000.00	1278.04
2 m 0.5	2367.34	989.79
3 m 1.0	2387.75	881.22
3 m 0.5	1720.0	560.32
4 m 1.0	2040.16	693.87
4 m 0.5	1414.77	482.32
5 m 1.0	1136.85	282.85
5 m 0.5	1062.85	231.42

Table 5. Quantification of leakage gas at a distance of 6~10 m

Measuring distance and Outflow (L/min)	Number of points 6.4cm ³ (propane)	Number of points 6.4cm ³ (methane)
6 m 1.0	727.95	98.69
7 m 1.0	521.14	85.14
8 m 1.0	313.79	78.16
9 m 1.0	97.95	33.06
10 m 1.0	20.24	0

(1~5 m, 0.985)로 높은 상관관계를 나타냈다. methane 분출량 1.0 L/min, 거리 1~10 m까지의 상관관계계수는 0.865 (1~5 m, 0.945)이다.

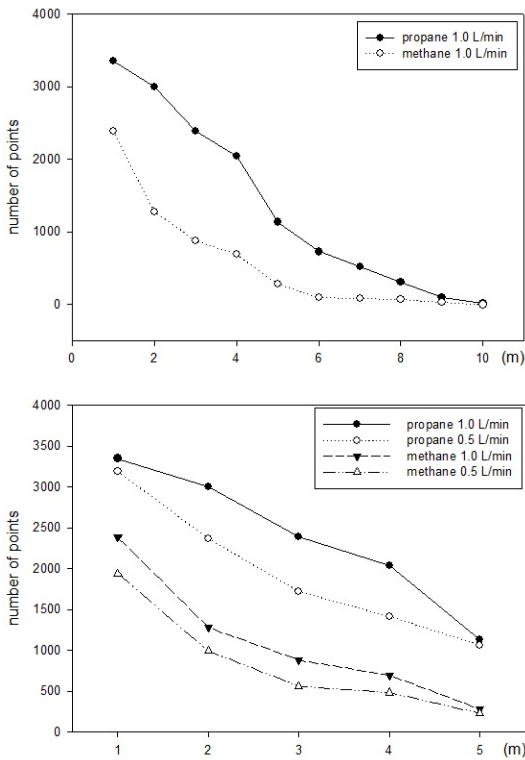


Fig. 10. Number of points for propane & methane leakage gas (1.0, 0.5 L/min).

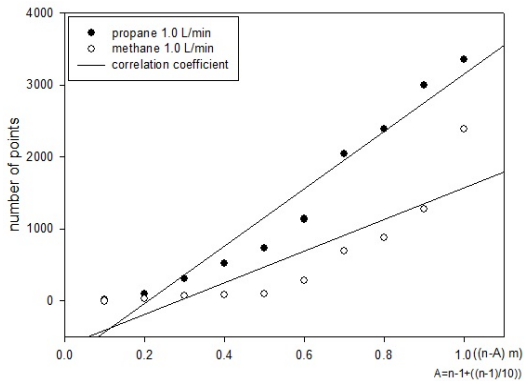


Fig. 11. Quantification of leakage gas

V. 결론

적외선을 투과하는 성질을 지닌 석영을 끼운 바람차단막을 제작하여 methane과 propane

의 누출 OGI를 적외선 가스화상카메라로 촬영 측정하고 그 영상을 분석하였다.

(1) 석영을 설치한 바람 차단막은 바람의 영향을 최소화하여 안정된 gas plume image 영상 확보에 도움이 되었다 (Fig. 3).

(2) methane과 propane을 동시에 동일량 (1.0 L/min)을 유출시킨 후 적외선 카메라로 촬영한 영상은 Fig. 6에 나타내었다.

(3) 1.0 L/min의 유출량의 영상을 분석한 결과, 쉽게 식별 가능한 거리(점의 수 100개 이상)가 methane의 경우 6 m, propane의 경우 9 m로 나타났다 (Table 4, Table 5).

(4) 적외선 카메라와 누출지점의 거리 1~10 m까지의 propane의 누출 gas plume cloud의 크기 및 진함이 methane보다 컸으며 선명하였다. 평균 3.8배 선명하게 나타났다 (Fig. 7~Fig. 11).

감사의 글

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

REFERENCES

- [1] Park, Suri, *Experimental research on application of OGI technique & system set up for Safety · Health · Environment of Chemical Industry*, Soongsil Univ. Dissertation, (2017)
- [2] Park, S., Han, S-W., Kim, B-J., "ractical research for quantitative expression of leakage through Optical Gas Image" *Journal of the Korean Institute of Gas*, 21(5), 16-26, (2017)
- [3] KOGAS-Tech., Korea Gas Technology corporation, "Environment, Health, Safety & Quality management system", 2018.01. www.kogas-tech.co.kr
- [4] Safitri, A., *Infrared optical imaging techniques for gas visualization and measurement*, A&M Univ. Dissertation, (2011)
- [5] Gas and Life,(Accessed May, 2016). Korea

- gas safety corporation,
http://www.kgs.or.kr/kgsmain/gaslife/basic/gas_basic01.jsp
- [6] IEA, Energy Sector Methane Recovery and Use, The Importance of Policy, 9-35. (2009)
- [7] S-OIL, *Business, production process*, 2018. 10. <http://www.s-oil.com/energy/Process.aspx>
- [8] KOSHA, Material Regulatory Information, 2018. 11. <http://msds.kosha.or.kr/kcic/msdssearchAll.do>
- [9] FLIR, GF series User manual, 10-190. (2010)
- [10] Telops, *Innovative Infrared Imaging*, Telops Company, Canada, (2015)
- [11] FLIR, Gas detection systems, GF320 Infrared camera, 2018.01. www.flirkorea.com
- [12] Per Lijja, *NECL:Optical gas Imaging Standard for Sensitivity and Detection of Gases*, ITC. (2018)
- [13] Robert G. B., jeffrey A. P., Paul D., *Direct Measurements of Minimum Detectable Vapor Concentrations Using Passive Infrared Optical Imaging Systems*, AWMA, (2008)
- [14] Li J., Wang L., Wang M., Gao Y., Jin W., “Gas imaging detectivity model combining leakage spot and range”, *Proc. of SPIE*, 8354, (2012)
- [15] Jonas S., Martin A., “Volume flow calculations on gas leaks imaged with infrared gas-correlation”, *Opt. Express*, 20(18), 20318-20329, (2012)