

액화천연가스(LNG) 사용시설내의 부취농도 분포 및 관리방법에 관한 연구

원승연 · †신현용*

한국가스안전공사, *서울과학기술대학교 화공생명공학과
(2019년 11월 22일 접수, 2019년 12월 16일 수정, 2019년 12월 17일 채택)

A Study on the Odorization Levels and Management in the Facility using Liquefied Natural Gas(LNG)

Seung Yeon Won · †Hun Yong Shin*

Korea Gas Safety Cooperation, 1390 Wonjung-ro, Maengdong-myeon, Eumseong-gun,
Chungcheong-do, 27738, Korea

*Dept. of Chemical and biomolecular Engineering, Seoul National University of Science
and Technology, Seoul, 01811, Korea

(Received November 22, 2019; Revised December 16, 2019; Accepted December 17, 2019)

요약

많은 대량소비 가스시설에서는 천연가스를 가스공사의 배관망을 통해 공급받지 못하여 탱크로리를 통해 액화 천연가스(LNG)를 가스공사로부터 공급받아 기화시켜 사용한다. 이러한 시설에서 가스 누출로 인한 인명 또는 재산피해를 방지하기 위하여 주입하는 부취제가, 최초지점과 소비지점들에서 어떤 농도로 분포하는지 분석하는 연구를 수행하였다. 일정한 유량이 흐를 때 가스시설내의 배관위치에 따라 부취농도의 변화를 확인하기 위한 분석이 이루어졌다. 시료채취는 알루미늄 재질의 4.5L 용기를 진공상태로 만든 후, 부취제가 주입되는 정압기와 가스가 사용되는 소비지점에서 시료를 포집하였다. 포집된 가스시료로부터 가스크로마토그래피(Main Body : Agilent 7890A, Detector : ANTEC 7090)를 이용하여 부취제의 농도를 분석하였다. 안전한 가스시설관리를 위하여 대량수용자 시설의 형태별로 부취농도 관리방법의 정립이 필요한 것으로 판단된다.

Abstract - In many mass-consumption gas facilities, natural gas is not supplied through the pipeline of the gas corporation. LNG is supplied from the gas corporation through the tank lorry to be vaporized. In order to prevent human or property damage due to gas leakage at these facilities, a study was conducted to analyze the concentration of odorant injected at the initial and consumption points. An analysis was performed to confirm the change in odorant concentration according to the pipe position in the gas facility when a constant flow rate flowed. For this study the gas samples were taken with aluminium cylinders(4.5 L) which were created a vacuum at the pressure regulator in which the odorants was injected and the points using the gas. Odorant levels of the samples were analyzed by Gas chromatography(Main Body : Agilent 7890A, Detector : ANTEC 7090). We suggest that the small facilities using LNG need to make the management system by the types of facilities for maintaining the odorization system.

Key words : LNG, odorization system, TBM, THT

†Corresponding author:hyshin@seoultech.ac.kr

Copyright © 2019 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

현대산업사회에서 에너지는 사회근간을 이루는 중요한 요소임을 부인할 수 없는 사실이다. 특히 산업혁명이후 급성장한 석탄 등 화석연료의 소비는 가히 폭발적인 성장이라 볼 수 있다. 이러한 에너지 소비의 성장은 다양한 분야의 연료가 산업전반에 사용되어, 초기 에너지를 대표하던 석탄은 석유의 개발과 발전으로 사양화를 견게 되고, 석유 또한 한정된 매장량으로 차세대 에너지로 대체가 예상되는 상황에서 천연가스는 훌륭한 대체에너지 원으로 대두 되고 있다.

현재 가스공사 배관망을 통해 천연가스는 일반 도시가스사로 공급되고, 일반도시가스사는 일반 가정 또는 산업체 등에 공급하여 열에너지를 사용하는 연료로서 사용하고 있다. 하지만 천연가스가 공급되는 일반가정 및 산업체는 배관망을 소유하고 있는 일반도시가스사가 공급시 어느 정도 유지관리 비용 및 이윤을 확보하고자 사용량이 적은 경우 공급이 되지 않고 있고, 천연가스를 생산하는 인수 기지에서 멀리 떨어져 있는 지역은 비교적 저렴한 천연가스의 혜택을 받지 못하고 있다.

석유류 및 액화석유가스(Liquefied Petroleum Gas, LPG)를 사용하는 대량수요자(콘도 및 산업체)는 상승하는 유가 및 LPG 가격에 대응하고자 상대적으로 저렴한 액화천연가스(Liquefied Natural Gas, LNG)를 직접 한국가스공사로부터 공급받아 탱크에 저장 후 기화기를 이용 천연가스를 연료로 사용하고 있으며, 이와같은 사용사례는 당분간 증가할 것으로 판단된다.

안전적인 측면에서 기존 가스공사 배관망을 통한 천연가스는 누출시 이를 감지할 수 있는 부취제를 천연가스 생산시 첨가하여, 가스누출로 인한 안전사고를 사전에 방지할 수 있도록 하고 있는 반면, 직접 LNG를 기화하여 사용하는 대량수요자는 기화설비 후단에 부취제 주입설비를 갖추고 부취제를 천연가스에 혼합하고 있다. 충분한 기술력을 가지고 부취제를 투입하는 가스공사와 달리 기화를 통한 천연가스 제조에 전문성을 갖추고 있지 않은 대량수요자는 안전관리 및 품질검증을 위해 법규에 따라 실시하는 도시가스 품질검사의 부취농도 품질기준을 적절하게 유지하지 못하는 것이 현실이다. [1-4]

본 연구에서는 대량수요자의 천연가스 생산설비 및 내부배관, 소비지점 등에서 시료를 채취하여 부취농도 분포를 확인하여 유지관리에 적절한 시료 채취지점을 확인하여 적절한 관리지점을 제안하여

대량수요자의 가스안전관리 자료로 활용되도록 하고자 한다.

II. 부취제

2.1 부취제의 조건

미국의 경우에서는 1930년대 Texas 주 New London의 학교에서 천연가스 누출에 의한 폭발로 인한 인명손상이 발생한 후 부취제 첨가를 법으로 정하게 되었다. 부취제는 무색, 무취의 천연가스나 액화석유가스에 주입하여 가스 누출되었을 때 사람이 인지할 수 있도록 경고취로 작용할 수 있도록 넣어주는 것으로 인체의 후각이 ppb 정도의 미량의 농도에서도 감지할 수 있다는 것을 이용한 것이다 [3]. 물론 사람들마다 부취제에 대한 민감성은 차이가 있고, 환경의 영향도 무시할 수 없다. 이러한 것을 고려하여 공기 중에서 폭발하한도의 1/5에 해당한 농도보다 10배에서 20배가량 과량 주입한다.

부취제는 사람이 후각을 통해 흡입하게 되어있어 사용에 있어서 몇 가지 필요한 조건이 있다.[5-7]

- 1) 인체에 해가 없는 물질이어야 한다.
- 2) 일반적으로 느낄 수 있는 생활 악취와 명료하게 구별되어야 한다.
- 3) 매우 낮은 농도에서도 특유한 냄새가 나야 한다.
- 4) 안정성이 높아야 한다.
- 5) 완전연소하고 연소 후에는 유해하거나 냄새를 가지는 물질을 남기지 않아야 한다.
- 6) 물에 녹지 않으며, 물성상 취급이 용이하여야 한다.
- 7) 토양에 대한 투과성이 좋아야 한다.
- 8) 가격이 저렴하여 수급이 용이하여야 한다.

2.2 부취제 종류 및 특성

국내에서 일반적으로 사용되는 부취제는 Table 1. 과 같이 황화합물인 TBM, THT, DMS, MES 등이 많이 사용되고 있으며, 도시가스(천연가스)에는 TBM과 THT를 혼합하여 사용하고 있다.[3] Mercaptan류의 부취제 중에서 TBM의 취기강도가 가장 좋으나 응고점이 높아 단독으로 사용하기 어렵다. 반면에 THT는 황화합물 계통 중에서 가장 안정적이거나 취기농도가 다른 황화합물 보다 낮아 TBM과 혼합하여 사용하여야 제 기능을 발휘할 수 있다.

2.3 부취제 주입설비

이상적인 부취 주입설비는 요구되는 속도 허용

Table 1. Deodorant Types and Characteristics

특성 \ 종류	TBM	THT	DMS	MES
품 명	Tertiary Butyl Mercaptan	Tetra-hydro Thiophene	Dimethyl Sulfide	Methyl-Ethyl Sulfide
구 조 식	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{SH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{CH}_2 \text{ CH}_2 \\ \diagdown \quad / \\ \text{S} \end{array}$	$\text{CH}_3 - \text{S} - \text{CH}_3$	$\text{CH}_3 - \text{S} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$
분 자 량	90	88	62	76
Boiling Point(°F)	148	251	99	153
Sulfur Content(%) (by Weight)	35.5	36.4	51.6	42
Freezing Point(°F)	34	-141	-145	-156
비중 (60/60°F)	0.799	0.999	0.85	0.84
밀도(1bs/gal 60°F)	6.65	8.33	7.08	7.0
특 성	<ul style="list-style-type: none"> - 적은양에서감지 - 안정하다 - 산화저항력강하다 - 토양투과성뛰어남 	<ul style="list-style-type: none"> - 주로단일로 사용 (TBM과혼합사용) - 70~50% 혼합 - 부취제중 파이프 산화 저항력 가장 강함 	<ul style="list-style-type: none"> - TBM과혼합사용 - DMS는 파이프 산화안됨 - 토양침투성가장 좋다 - Mercaptan보다 영향력적다 	<ul style="list-style-type: none"> - 파이프 산화안됨 - 토양침투성 TBM과 유사 - TBM과비점유사 기체, 액체혼합 가능
냄 세	양파썩는 냄새	석탄 Gas 냄새	마늘 냄새	
구 분	Mercaptans	Cyclic Sulfides	Alkyl Sulfides	

오차 범위 내에서 가스 유량에 비례하여 부취제가 주입될 수 있고, 유지 관리가 단순하여 신뢰성이 있어야 하며, 부취 농도가 일정하게 유지되는지 확인할 수 있는 모니터링 시스템을 포함하고 있으며, 혹독한 기후 조건에서도 운영될 수 있어야 한다. 대규모로 천연가스를 제조하는 공급기지 등에서는 컴퓨터시스템을 활용하여 가스유량에 따라 정량이 주입되도록 하고 있으나, 대량수요자와 같이 소규모 가스제조시설의 경우는 부취제 주입설비가 사용되며, 경제적인 측면과 가스유량 등을 감안하여 대부분 흡수바이패스식(Absorption Bypass Odorizer) 주입설비가 적용되고 있다.

부취제를 산지나 공급기지에서 주입하지 않고 공급도중 소규모 설비를 이용해 주입하는 경우에는 주입장치의 성능과 경제성을 고려하여 선택하여야 한다. 일반적으로 사용되는 소규모 주입장치는 심지식(Wick-type), 흡수바이패스식(Absorption by-pass type), 액체주입식(Liquid injection type)의 세 가지 방식이 있다.

III. 연구방법 및 시료채취

3.1 시료채취 및 분석

대량수요자 가스시설에서 기화되어 배관을 통해

전달되는 천연가스에 포함된 부취제의 농도를 측정하기 위해서는 각 부분에서 채취한 시료는 안정성을 가지고 있어야 한다. 따라서, 안정성 확보를 위하여 몇 가지 사전준비 작업이 필요하다.

첫 번째는 황성분을 포함한 황화합물 부취제는 시료채취용기의 내부금속 표면에 흡착으로 인해 안정성 있는 측정결과를 얻는 것에 어려움이 있다. 그러므로 일반적으로 고농도의 황화합물을 이용해 용기내부 금속에 일정기간 접촉시켜 부동화(passivation)시키는 방법을 사용하는데, 본 연구에 사용된 용기는 알루미늄 재질의 고압용기로서 황화합물을 포함하고 있는 액화석유가스(LPG)를 1/3 정도 채우고, Rolling Machine을 이용하여 충분히 부동화를 시킨 후 천연가스 시료채취에 장기간 사용된 용기를 활용하여 S의 흡착으로 인해 측정결과와 오류를 배제하고자 하였다.

두 번째는 천연가스 시료채취시 유입될 수 있는 오염요소를 제거하는 것이다. 기체시료의 경우 일반적으로 소량이고 압력이 낮은 경우(0.1 MPa 이하)에는 가스 샘플링 테들러백(Tedlar Bag)을 사용하거나, 가압펌프를 사용하여 일정량 이상으로 압력을 상승시켜 용기에 충전하여 시료를 채취한다.

본 연구를 위한 천연가스 시료는 LNG를 기화시킨 가스이므로 충분한 가스량을 가지고 있고, 보통 0.3 ~ 1.0 MPa의 압력을 나타내고 있으며, 일부 시료는 1.0 MPa 이상의 고압가스인 경우가 있어 감압 조정기를 사용하여 시료를 채취하였다. 하지만 이 모든 경우에 있어서 채취시 목적의 가스뿐만 아니라 외부의 공기 등이 유입될 수 있으며, 유입되는 경우 오염으로 인한 측정결과와 오류를 가져올 수 있어 채취시 주의를 기울여야 한다.

본 연구와 같이 용기를 이용하여 시료를 채취하는 경우 시료의 오염을 방지하고, 목적하는 시료를 안전하게 채취할 수 있는 방법을 채택하였다. 대기압 상태로 있는 용기를 펌프를 이용해 진공(100 mtorr 이하)상태로 만든 후 시료가스를 채우는 방법이다. 용기를 진공상태로 만들기 위해 사전작업에 시간이 소요되는 단점과 용기에 부착된 밸브 등의 불량으로 진공이 풀리는 가능성을 갖고 있으나, 실제 현장에서 시료채취시에는 신속하고 정확하며 단순한 시료채취 작업이 가능하여 인위적인 실수로 인한 오염을 최대한 배제할 수 있으며, 진공작업을 통해 내부에 존재할 수 있는 오염원을 사전에 제거하는 효과가 있어 정확한 시험측정에 유리한 점을 가지고 있다. 또한, 양구형 시료채취용기 뿐만 아니라 밸브가 한쪽에만 있는 단구형 시료채취용기로 사용이 가능하다. 본 연구에서는 알루미늄 재

질의 단구형 용기를 채택하고, 사전에 진공상태(100 mtorr 이하)를 만든 후 시료채취를 실시하였다.

3.2 시료채취 절차

시험을 수행하기 위한 시료채취는 다음의 순서에 따라 시료채취를 수행하였다.

1) 시료채취용기의 진공작업

시료채취용기(재질 : 알루미늄, 용량 : 4.5 L)에 외부로부터의 유입되는 가스가 발생하지 않도록 적절한 연결지그와 밸브를 사용하여 진공펌프에 연결한다. 진공펌프를 가동하고 용기내의 진공이 100 mtorr 이하가 되면 용기의 밸브를 잠그고 펌프를 중지한 후 연결지그를 분리하였다.

2) 시료채취 용기의 보관

진공이 완료된 용기는 미작업용기와 구별을 위해 식별표를 부착하고, 실온에서 보관하였다.

3) 시료채취 지점의 준비

일반적으로 대량수요자 가스시설에서의 천연가스 압력은 0.2 ~ 0.5 MPa 정도의 압력을 나타낸다. 이 정도의 압력은 고압은 아니라 직접 압력에 노출되어도 채취자에게 위험을 주지는 않는다. 그러나, 가스가 누출되는 경우 안전상에 문제를 감안하여 시료채취시 가스가 흐르는 배관에 연결되는 지그는 1/4인치 시료채취 라인에 적절한 것을 준비하여 연결하였고, 연결 후에는 비눗물을 사용하여 가스 누출여부를 확인하였다. 또한, 시료채취 지점은 시료가스의 벤트가 필요하므로 대기에 자연방출될 수 있는 실외지점을 선택하였고, 실내에서 시료채취를 수행하는 경우에는 벤트 라인을 외부로 연결하여 작업을 수행하였다.

4) 시료채취 라인의 퍼지

시료채취를 위한 지그연결을 완료한 후 압력계가 부착된 용기연결용 지그를 용기에 연결하고, 완벽하게 조이지 않은 상태에서 배관라인의 밸브를 연후 용기밸브는 열지않은 상태에서 시료를 벤트 라인과 용기연결지그를 통해 벤트 시켜 라인에 남아있는 공기 등을 외부로 약 1분 동안 배출시켰다.

5) 시료의 저장

벤트가 충분히 수행되면 벤트 라인의 밸브를 잠그고 용기연결지그를 조인다음 용기의 밸브를 서서히 열면서 압력계의 눈금을 확인하여 용기의 압력이 배관의 압력과 동일하게 되는지 확인한 후 도

달하면 용기밸브를 잠그고 연결지그를 분리하여 시료채취를 완료하였다.

6) 시료의 라벨링

시료는 시료채취 지점별로 Code를 부여하고 식별표시를 부착하였으며, 동일 Code인 경우는 추가로 시간을 표시하여 구분하였다.

3.3 시료채취 지점 및 샘플링

시료채취는 총 17개 대량수요자 가스시설에서 42개의 시료의 채취하였다. 첫 번째는 대량수요자 저장탱크에 저장된 LNG를 기화한 천연가스가 최종소비지점에 도달할 때까지 부취농도는 적절하게 유지되고 있는지를 확인하기 위하여, 천연가스에 부취제가 주입되고, 사용압력으로 감압시키는 정압설비의 배관 및 정압된 천연가스가 약 200 ~ 600 m를 흐른 후 가스소비지점으로 분지되기 전의 배관, 가스가 최종적으로 소비되는 지점(가열로, 보일러, 식당 연소기)에서 시료를 채취하였다.

3.4 가스크로마토그래피 시험조건

(1) 시험장비, 시험방법 및 환경조건

가스크로마토그래피는 Main Body가 Agilent 7890A이고 Detector는 ANTEC 7090이 설치된 GC-SCD를 사용하였으며, 시험방법은 KS I ISO 19739 (천연가스 - 가스크로마토그래피에 의한 황화합물의 농도결정)의 황화학발광검출기(SCD : Sulfur Chemiluminescence Detector)를 이용한 방법을 참조하였으며, 세부 시험조건 및 환경조건은 Table 2.와 같다[8].

(2) 표준가스

부취농도 측정에 사용한 표준가스는 한국표준과학연구원에서 제조한 메탄 Balance에 TBM(Tertiary

Butyl Mercaptan : (CH₃)₃CSH)과 THT(Tetra-hydro Thiophene : (CH₂)₄S)가 각각 6.58 umol/mol, 10.7 umol/mol이 혼합된 인증표준가스(CRM : Certificate Reference Material)를 사용하였다.

(3) 시험결과 계산

가스크로마토그래피를 이용한 부취농도의 측정 결과 계산은 다음의 과정에 따라 시행하였다.

(a) 표준가스 면적과 시료의 면적을 비교하여 부취제별로 농도를 산출(umol/mol)

$$C_{sample} = \frac{A_{CRM}}{A_{sample}} \times C_{CRM}$$

C_{sample} : 시료의 농도 (umol/mol)

C_{CRM} : 표준가스의 농도 (umol/mol)

A_{sample} : 시료에 대한 면적값

A_{CRM} : 표준가스에 대한 면적값

(계산 예)

$$TBM : \frac{30,584}{86,128} \times 6.58 = 2.34 \text{ umol/mol}$$

$$THT : \frac{17,716}{186,503} \times 10.7 = 1.02 \text{ umol/mol}$$

(b) 부취제별 부취농도를 umol/mol에서 mg/m³ 단위로 환산

표준상태(0°C, 1기압) 가정하고 부취농도를 환산 (계산 예) TBM : 2.34(umol/mol) x

$$\frac{4.018 (mg/m^3)}{1 (umol/mol)} = 9.40 \text{ mg/m}^3$$

$$THT : 1.02(umol/mol) x$$

$$\frac{3.929 (mg/m^3)}{1 (umol/mol)} = 4.00 \text{ mg/m}^3$$

(c) 부취제별 부취농도를 합하여 최종 부취농도를 산출

(계산 예)

$$TBM + THT = 9.40 + 4.00 = 13.40 \text{ mg/m}^3$$

IV. 연구결과 및 고찰

4.1 시료채취 위치에 따른 부취농도 변화

대량수요자 17개 가스시설의 전술한 시료채취지점에서 34개 시료를 채취하여 시험한 결과는 Table 3.과 같다.

대량수요자 가스시설에서 기화된 천연가스가 부취제가 투입된 후 최초 시설인 정압기에서 채취한 시료와 약 200 ~ 600 m 떨어져 연소기로 유입되기

Table 2. Test condition of GC

구분	내용	
시험조건	칼럼	- SPP-1 Sulfur
	온도	- 오븐 : 140 °C
	시료	- 주입량 : 1 mL - 유속 : 1 mL/min
	Gas	- Carrier gas (He) : 2.5 mL/min
시험환경	- 온도 : 최저 25.5 °C, 최고 25.5 °C - 습도 : 최저 51 %R.H., 최고 57 %R.H.	

Table 3. Test results according to the change of sampling position (단위 : mg/m³)

시설명	정압기	소비지점	소비지점 샘플링위치
콘도 A	13.3	17.0	외부배관
콘도 B	5.6	5.7	외부배관
제조업체 A	37.8	41.0	외부배관
콘도 C	0.8	0.2	외부배관
제조업체 B	33.0	18.2	가열로
제조업체 C	7.5	7.1	가열로
제조업체 D	38.0	32.6	가열로
제조업체 E	0.6	0.6	가열로
제조업체 F	5.7	4.6	가열로
콘도 D	7.3	7.2	보일러
콘도 E	57.1	20.7	보일러
콘도 F	27.7	13.3	보일러
콘도 G	2.5	42.9	식당
제조업체 G	21.1	0.4	식당
제조업체 H	11.0	6.4	식당
제조업체 I	2.1	1.3	식당
콘도 H	61.0	73.7	식당

전인 외부배관, 천연가스가 사용되는 가열로, 보일러, 식당에서 채취한 시료를 비교하였다. 즉, 부취제가 처음 투입된 지점과 기타 각 지점간의 부취농도 상관관계를 확인한다면, 배관을 통해 흘러간 가스의 부취농도 분포를 통해 대량수요자 시설에서 대표성을 가지는 시료채취 지점을 선정하는 조건으로 활용할 수 있다고 판단된다. 본 연구에서는 대량수요자 가스시설의 정압기와 소비점에 대하여 연관성을 확인하기 위하여 엑셀 프로그램을 통해 회귀선을 플롯하고 결정계수(R²)와 1차 회귀식을 산출하였다.

결정계수(R²)가 1에 근접하다면 측정결과 값들이 회귀선에 근접하여 연관성이 있다고 판단할 수 있으며, 회귀선을 1차식(Y = aX + b)으로 나타낼 때 기울기 a값은 부취제를 투입 후 최초지점에 부취농도가 최종소비점까지 일정하게 유지되고 있는지를 여부를 판단하는 자료가 될 것으로 생각된다. 즉, 기울기 a값이 1에 근접한 경우는 최초지점과

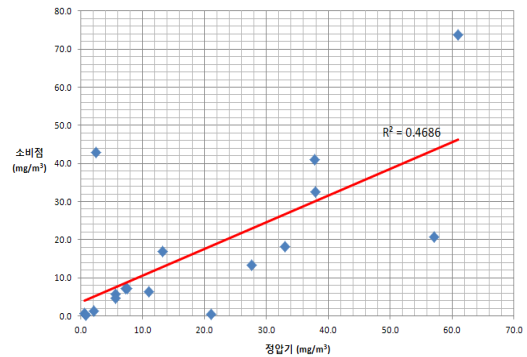


Fig 1. All consumption points and its pressure regulators

소비지점의 농도가 거의 유사한 것으로 볼 수 있고, a < 1 인경우는 소비지점에서 농도가 감소, a > 1 인경우는 농도가 증가하는 것으로 판단할 수 있다.

(1) 모든 소비지점과 동일시설 정압기의 종합 상관관계

각각의 대량수요자 가스시설의 정압기와 동일 소비점의 측정결과를 비교한 결과 Fig. 1. 과 같이 회귀선의 결정계수 R² = 0.4686을 나타내었다.

정압기의 농도변화에 따라 소비지점의 농도도 변화하는 경향을 보이고 있으나, 완전한 연관성이 있다고 단정하기는 곤란하며, 각각의 소비지점의 특성을 고려하여 각각의 소비지점과 정압기간의 상관관계를 확인하였다.

(2) 외부배관 소비지점과 동일시설 정압기의 상관관계

대량수요자 시설 중 소비지점이 외부배관인 경우에서 정압기와 소비지점간의 측정결과를 이용한 회귀선을 플롯한 결과 결정계수 R² = 0.9934를 나타내었고, 회귀식에서는 기울기가 a = 1.0965를 나타냈다.

정압기와 외부배관 소비지점은 부취농도의 변화에 따라 비례적으로 연관성을 가지고 있는 것으로 확인되었다. 소비지점 중 외부배관은 부취제가 투입되고 가열로 등 연소기로 연결되기 전 정압기에서 약 200 ~ 600 m 떨어진 중간 배관상에서 채취한 시료로서 정압기와 동일하게 유량을 유지하고, 지속적인 가스흐름이 있어 부취농도는 비례적 상관관계를 가지고 있고, 그 부취농도도 거의 일치하는 것으로 판단된다.

액화천연가스(LNG) 사용시설내의 부취농도 분포 및 관리방법에 관한 연구

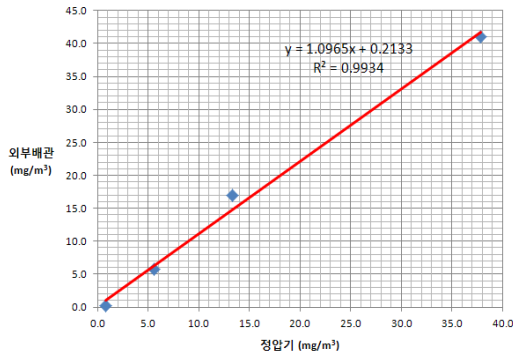


Fig. 2. External pipe consumption points and pressure regulators

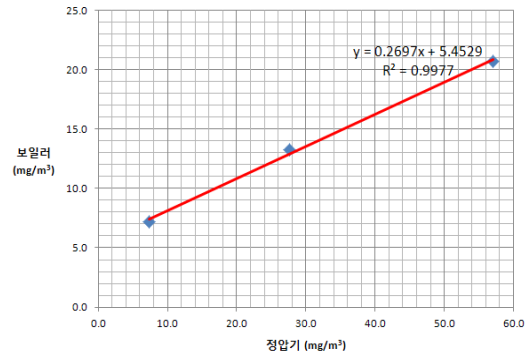


Fig. 4. Boiler consumption points and pressure regulators.

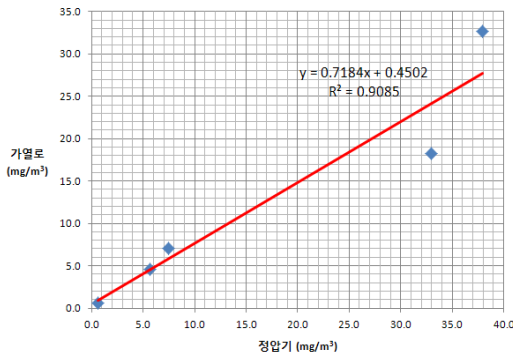


Fig. 3. Furnace consumption points and pressure regulators

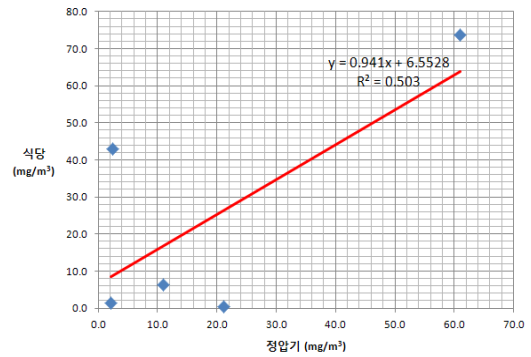


Fig 5. Restaurant consumption points and pressure regulators

(3) 가열로 소비지점과 동일시설 정압기의 상관관계

소비지점이 가열로인 곳에서 채취한 시료와 정압기에서 채취한 시료를 측정된 결과에 대한 회귀선 결정계수 $R^2 = 0.9085$ 를 나타내었으며, 회귀선에 대한 1차식에서 기울기 $a=0.7184$ 를 나타내었다.

소비지점이 가열로는 채취지점의 특성상 대부분 연속적으로 가스를 사용함에 정압기에서의 부취농도와 비례적인 상관관계가 있는 것으로 확인되었으며, 회귀선의 기울기 a 값을 볼 때 외부배관과 비교하여 상대적으로 배관의 거리가 멀고, 굴곡이 있어 부취농도가 감소하고 있으며, 감소폭도 부취농도가 높은 경우 비례적으로 감소폭이 커짐을 알 수 있었다.

(4) 보일러 소비지점과 동일시설 정압기의 상관관계
소비지점이 보일러인 경우에서 정압기와 소비지

점간의 측정결과를 이용한 회귀선을 플롯한 결과 결정계수는 $R^2 = 0.9977$ 를 나타내었고, 회귀선의 1차식에서 기울기 $a=0.2697$ 를 나타내었다.

소비지점 보일러는 가열로와 유사하게 연속적인 가동이 이루어지고 있어 최종 지점인 정압기와 비교할 때 비례적인 상관관계가 있음을 확인할 수 있으며, 부취농도의 변화는 회귀선의 기울기 a 값을 보면 부취농도의 고저에 따라 상당히 큰 폭으로 비례하여 감소하고 있었으며, 이는 가열로에 비해 보일러에 연결되는 배관의 굴곡이 심해 부취농도의 감소를 가져오는 것으로 추정된다.

(5) 식당 소비지점과 동일시설 정압기의 상관관계
소비지점이 식당인 곳에서 채취한 시료와 정압기의 시료를 측정된 결과를 비교하여 회귀선을 플롯한 결과 $R^2 = 0.503$ 를 나타내었고, 회귀선의 1차식에서 기울기 $a=0.941$ 를 나타내었다.

소비지점이 식당인 경우는 가스사용이 간헐적으로 사용되고, 가스유량 또한 일정하지 않아, 그림에서와 같이 상관관계가 있다고 보기는 어려우며, 가스시설의 말단에 위치하는 경우가 대부분임에 따라 부취농도의 감소요인이 크고, 일정한 흐름이 있는 동시간대 정압기와 비교는 타당하지 않다고 보여 진다.

V. 결 론

천연가스 소비량의 증가는 비례적으로 가스사고의 위험성 또한 증가할 수밖에 없다. 한국가스공사의 배관망을 통해 공급되는 도시가스(천연가스)는 누출사고로 인한 인명 및 재산의 피해를 방지하기 위해 고유량의 가스가 흐르는 배관에 유량과 연동되는 시스템을 구축하여 일정한 부취농도가 유지 되도록 하고 있다. 가스공사 배관망이 도달하지 못하고, 또한 소량사용으로 천연가스를 공급받지 못하는 대량수요자의 경우는 자체적인 저장설비를 갖추고 액화천연가스(LNG) 상태로 공급받아 기화시켜 자체적인 부취설비를 이용 부취농도를 유지하고 있다.

대량수요자 가스시설에서 부취농도는 설비운영의 기술이 전문화 되어있지 않은 상태이기 때문에 일정하게 유지되고 있지 못하고 있는 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 일정한 유량이 흐를 때 가스시설내의 배관에 분포한 위치에 따라 부취농도가 일정하게 유지되는지 확인하고자 하였다.

일정한 유량이 흐른다고 판단되는 동일시각에 가스시설내의 세부배관에서의 부취농도 분포를 확인한 결과는 최초 부취계가 투입되는 정압기 시설과 비교할 때 소비지점을 투입되기 전의 외부배관은 일정하게 부취농도가 유지되는 것으로 확인되었고, 소비지점 중 가열로는 정압기 시설과 비교할 때 비례적인 상관관계를 가지고 부취농도가 유지되고 있으나 가열로까지의 배관길이, 굴곡 등으로 부취농도가 일정비율로 감소하고 있음을 확인 할 수 있었다. 또한, 소비지점 중 보일러의 경우는 배관길이 등의 영향과 가열로에 비해 단속적인 가스사용이 이루어짐에 따라 가열로의 경우보다도 더 큰 폭의 비율로 부취농도가 감소하고 있었다. 소비지점이 식당인 경우는 식당까지의 연결되는 배관길이 및 감압사용으로 인한 유량감소로 정압기와의 상관관계를 확인 할 수 없었다. 부취농도는 배관을 통해 사용지점까지 흐르면서 비례적으로 감소하고 있음을 확인할 수 있었으며, 향후 가스안전

사고의 방지를 위하여 가스의 소비형태에 따라 적절한 부취농도 확인지점을 선택하고 유지관리가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비(일부)지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] Zhidkov, M.A., Shaikhutdinov, R.M. *Odorization Instalation*, Springer New York, New York, (2004)
- [2] Tenkrat, D., Hlincik, T., and Prokes, O., *Natural Gas Odorization*. Natural Gas, Intechopen, London, (2010)
- [3] Arthur, R.K. and Arun, V., "Measurement of Odorant Levels in Natural Gas", *Ind. Eng. Chem., rod. Res. Dev.*, **15**(1), 59-63, (1976)
- [4] De Wild, P.J., Nyqvist, R.G., De Bruiji, F.A. and Stobbe, E.R., "Removal of Sulphur-containing Odorants from Fuel Gases for Fuel Cell-based Combined Heat and Power Applications", *Journal of Power Sources*, **159**(2), 995-1004, (2006)
- [5] Graf, F., Kroger, K. and Reimert, R. "Sulfur-Free Odorization with Gasodor S-Free-A Review of the Accompanying Research and Development Activities", *Energy & Fules*, **21**(6) 3322-3333, (2007)
- [6] Kim, J.-K., Lee, H.-K. Yim, E.S. and Jung, C.-S., "A Study on the Exhaust Emission Characteristics of LPG Vehicle Using LPG Fuel with Sulfur Free Odorant", *J. KOSAE*, **30**(6), 545-554, (2014)
- [7] Ruzsanyi, V., Sielemann, S. and Baumbach, J. I., "Detection of sulfur-free odorants in natural gas using ion mobility spectrometry", *Journal of Environmental Monitoring*, **9**(1), 61-65, (2007)
- [8] Do, L., Koh, J.S. and Kim, H.J., "Determination of Sulfur Compounds in Gaseous Fuel by Gas Chromatography-Sulfur Chemiluminescence Detection", *Journal of the Korean Chemical Society*, **43**(5) 517-518, (1999)