

주유소 Stage II의 유증기회수설비 가동에 따른 대기질 평가 Evaluation of Air Quality with and without Vapor Recovery Systems of Stage II

김재혁 · 정석현¹⁾ · 김형석¹⁾ · 장태혁¹⁾ · 유경선*
광운대학교 환경공학과, ¹⁾한국환경공단 대기환경처 유해대기관리팀
(2013년 8월 1일 접수, 2013년 8월 8일 수정, 2013년 8월 28일 채택)

Jae Hyuck Kim, Seok Hyeon Jung¹⁾, Hyung-Seok Kim¹⁾,
Tae-Hyuk Jang¹⁾ and Kyung Seun Yoo*
Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University
¹⁾Hazardous Air Pollutants Management Team, Korea Environment Corporation
(Received 1 August 2013, revised 8 August 2013, accepted 28 August 2013)

Abstract

A field study was conducted to evaluate air quality from gas stations with and without Stage II vapor recovery systems that are currently used to reduce VOCs. The THC and VOCs levels were monitored for the test at three locations (inside office, around refueling area, site boundary) from a total of five gas stations. The results showed a considerable reduction in THC concentration which ranged from 48.7% to 81.8% with and without the operation of the Stage II VRS. According to our comparative analysis, BTEX and other 19 VOCs levels were also significantly reduced with Stage II vapor recovery systems.

Key words : Gas station, Stage II, Vapor recovery system, THCs, BTEX

1. 서 론

휘발성유기화합물 (Volatile Organic Compounds: VOCs)은 오존(O₃) 생성 전구물질로서 자동차 배기가스 등에서 배출되는 질소산화물(NO_x)과 반응하여 오존을 생성한다. 오존은 강력한 산화제로 오존의 농도가 0.1 ppm을 넘어서면 건강에 악영향을 끼치게 된

다(Derwent *et al.*, 2007). US EPA (2009)는 벤젠, 부타디엔, 톨루엔 등을 포함한 많은 종류의 VOCs가 면역체계, 중추신경계, 피부, 호흡기계, 신장 및 간 등에 유해한 영향을 미치며(Wichmann *et al.*, 2009; Delfino *et al.*, 2003), 지속적으로 노출될 경우 암을 유발할 수 있다고 보고하였다(Steinemann, 2008). VOCs의 주요 배출원으로는 발전시설, 유류취급 및 저장시설, 자동차 등의 이동오염원, 페인트·도장 및 폐기물처리시설 등 매우 다양하다. 특별히 인구 밀집지역인 도심지에 주로 위치하고 있는 주유소에서 배출되는 VOCs는 도심 대기 중 오존 발생에 큰 영향을 미치

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)2-940-5685, E-mail : yooks@kw.ac.kr

고, 주유소 근로자와 주변 거주민들에게 유해한 영향을 미친다(Rekhadevi *et al.*, 2010; Karakitsios *et al.*, 2007).

이에, 국내외 많은 연구자들은 주유소에서 배출되는 VOCs로 인한 대기오염 영향 및 위해성 평가를 수행하였다. Capleton and Levy (2005)와 Carrieri *et al.* (2006)은 주유소에서 배출되는 VOCs에 의한 근로자들의 위해성을 평가하였다. Rekhadevi *et al.* (2010)은 주유소 내부에서 측정된 BTX (benzene, toluene, xylene) 농도가 주변 도시지역 배경농도보다 2배 이상 높고, 이에 따라 주유소 근무자의 혈액 중 benzene 농도가 대조군에 비해 2배 이상 높다고 보고하였다. 이외에도 주유소에서 발생하는 VOCs 배출특성에 관한 조사연구(Kim *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2003), 주유소로부터 배출되는 VOCs가 주변에 미치는 영향을 평가할 수 있는 기법개발(Isabel *et al.*, 2010), 주유소에서 발생하는 VOCs가 주변 지역 대기질에 미치는 영향 분석(Karakitsios *et al.*, 2007), 주유소 VOCs 응축회수장치 개발(Jung *et al.*, 2008) 등 주유소에서 발생하는 VOCs를 저감을 위한 다양한 연구들로부터 주유소에서 배출되는 VOCs 관리의 필요성이 강조되고 있다.

미국의 경우 주유소에서 배출되는 VOCs 저감을 위하여 1990년대 초반부터 주유소의 지하저장탱크에 유류를 공급하거나(Stage I), 자동차 급유 과정에서(Stage II) 발생하는 VOCs를 회수하기 위한 유증기(油蒸汽) 회수 제도를 실시하고 있다. 독일을 비롯한 18개국 EU 회원국과 호주 등 많은 선진 국가에서도 2000년 초부터 주유소 VOCs 저감을 위한 유증기회수제도를 실시하고 있다(KECO, 2011). 한국에

서는 2006년 대기환경보전법 개정을 통하여, 2008년 1월 1일부터 대기보전특별대책지역과 대기환경규제지역 내에 위치한 주유소에 대해서 연간 판매량 기준에 따라 단계적으로 Stage II 단계에서 유증기회수설비(vapor recovery systems, VRS) 설치를 의무화하였다(Kim *et al.*, 2013). 이와 관련하여 Berglund and Petersson(1990)은 주유소의 Stage II VRS 설치에 따른 주유소 대기 중 VOCs 농도 저감효과를 측정하였다. Cruz-Numez *et al.* (2003)은 Stage II VRS 설치에 따른 대기 중 benzene, toluene 및 xylene의 농도 저감 효과를 측정하는 연구가 수행하였으나, 아직까지 국내에서는 Stage II VRS 설치에 따른 주유소의 대기질 개선 효과 평가는 이루어지지 않고 있다.

본고에서는 Stage II VRS를 설치한 5개 주유소를 대상으로 가동 전과 후의 조건에서 주유소 사무실과 주유기가 설치되어 있는 주유소 내부 지점 및 부지경계에서 대기 중 총탄화수소(Hydrocarbons) 농도를 연속 모니터링하고, Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene (BTEX) 농도를 측정하여 Stage II VRS 가동에 따른 대기질 개선효과를 평가하였다.

2. 연구 방법

2.1 대상 주유소

본 연구는 Stage II VRS를 설치·가동중인 5개 주유소를 대상으로 하였다. 대상 주유소는 지역과 연간 휘발유 판매량을 기준으로 선정하였으며, 실험에 앞서 대상 주유소 Stage II VRS의 회수효율을 주유소 유증기 회수설비의 검사방법 등에 관한 규정(NIER,

Table 1. The basic informations of gas stations investigated in this study.

Gas stations	A	B	C	D	E
Conditions					
Area	Incheon out of town	Seoul in downtown	Gyeonggi-do in downtown	Dagu in downtown	Yeosu out of town
Monitoring period (‘12)	9.10~14 (5 days)	9.17~21 (5 days)	10.8~12 (5 days)	10.15~19 (5 days)	10.22~26 (5 days)
Gasoline sales (m ³ /year)	5,000	6,500	3,600	4,400	1,000
Number of refueling nozzle (ea)	8	16	8	8	6
Number of under ground tank (ea)	2	2	2	2	1
The efficiency of Stage II VRS (%)	88~115 (101) ¹⁾	88~113 (95)	88~116 (103)	90~107 (97)	106~116 (109)
Stage I pressure and decrease test	Normal operation				

¹⁾ The mean value

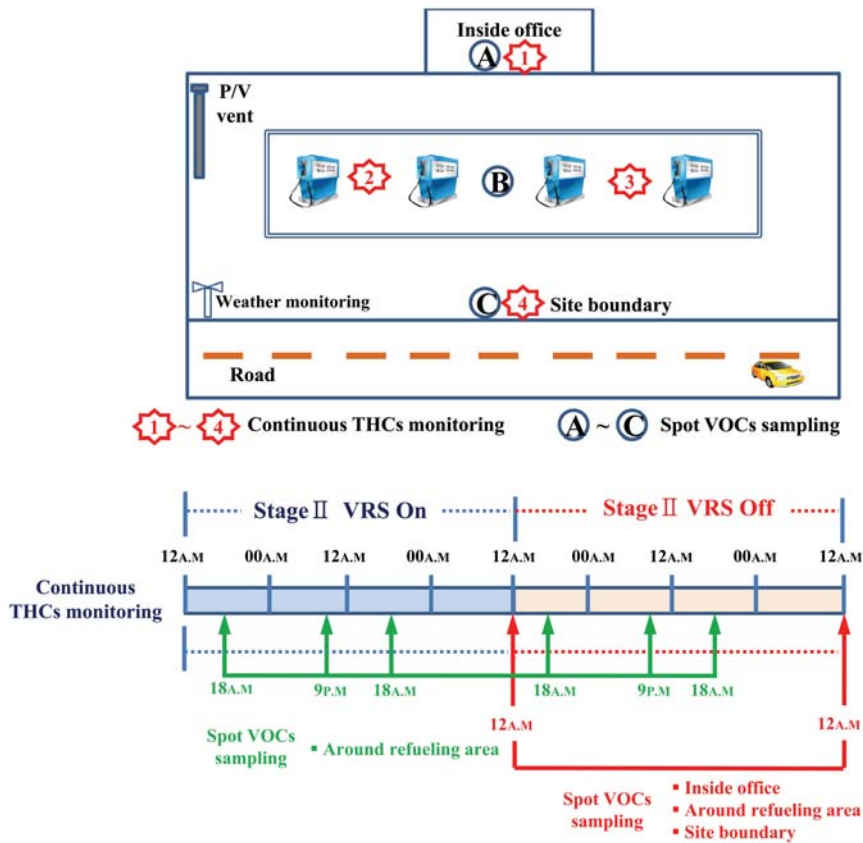


Fig. 1. The locations and schedule for the continuous THC monitoring and spot VOCs sampling.

2010)에 따라 실시하였다. 이를 통해 법에서 정한 유증기회수율 적정범위 (88~120%) 이내임을 확인하였다. 또한 Stage II VRS에 의해 회수되어진 유증기가 이송 및 저장되는 유류저장탱크와 배관의 누출여부를 확인하는 Stage I 압력감쇄검사 결과 모두, 법에서 정한 기준에 적합하게 운영되고 있음을 확인하였다. 또한 모니터링 기간 중에는 주유소 대기질에 영향을 미칠 수 있는 통기관 압력진공벤트와 유류저장탱크 맨홀 개방을 최소화하였다.

2.2 시료채취 및 분석방법

Stage II VRS의 가동 전과 후의 대기질 평가를 위하여 주유소 사무실 1지점, 주유기 주변 2지점 및 도로와 인접한 부지경계 1지점에서 대기 중 THC 농도를 1분 간격으로 현장용 연속 총탄화수소 (Total Hydrocarbon: THC) 측정기를 이용하여 연속 모니터

링 하였다. THC 모니터링은 Stage II VRS 가동 전과 후의 조건에서 각각 48시간 동안 수행하였다 (그림 1). 대상 THC 측정기 (Ion Science Ltd. Fowlmere, Cambs., U.K)는 광이온화방식 (Photoionization Detector: PID)으로 검출농도는 0.001~20,000 ppm ($\pm 5\%$)이다. 모니터링에 앞서 THC 측정기는 이소부틸렌 ($i\text{-C}_4\text{H}_8$) 표준물질 (10, 100 ppm)을 이용하여 매번 보정하였다. 동일한 THC 측정기와 다른 THC 측정기간의 재현성과 정확성은 이소부틸렌 표준물질 (50 ppm)을 이용하여 각각 3회 반복 측정하여 검증하였다. 동일 THC 측정기에 대한 재현성의 상대표준편차 (Relative Standard Deviation, RSD)는 1.5%였으며, 정확성은 $\pm 4\%$ 였다. 다른 THC 측정기들 간의 동일 표준시료에 대한 재현성의 RSD는 3.1%였으며, 정확성은 $\pm 5\%$ 였다.

BTEX를 포함한 VOCs 시료채취는 Stage II VRS

가동 전과 후의 조건에서 각각 48시간 동안 주유소 사무실 내부 1회, 주유기 주변 4회 그리고 도로와 인접한 부지경계에서 1회, 총 6회 실시하였다(그림 1). VOCs 시료채취는 동일 지점에서 2가지 방식을 이용하여 동시에 수행하였다. 고체흡착관(Tenax TA, Supelco, USA)에 펌프(MP-Σ30H, Sibata, Japan)를 연결하여 0.1 L/min의 유량으로 10분간 시료를 채취하였고, 동시에 테프론백을 이용하여 동일 시료를 1 L/min의 유량으로 10분간 채취하였다. 고체흡착관은 시료를 채취하기 전에 300°C에서 1시간 동안 정화시킨 후에 사용하였다. 고체흡착관에 흡착된 VOCs는 열탈착 장치(TurboMatrix ATD, Perkin Elmer, U.K)에서 1차적으로 280°C에서 15분간 열탈착 후 -10°C로 유지된 저온 농축관(cold trap)에 농축한 후 300°C에서 15분간 열탈착하여 gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS)로 주입하였다. VOCs 분석에는 GC/MS-Clarus500 (Perkin Elmer, U.K)을 이용하였으며, DF1 capillary column (60 mm length × 0.25 mm i.d. × 1.00 μm film thickness, Perkin Elmer, U.K)을 사용하였다. 운반 기체인 He의 선속도는 1.0 mL/min로 조정하였다. 오븐온도는 40°C에서 7분간 머문 후 80°C까지 3°C/min 속도로 승온한 다음 3분간 머문 후 다시 250°C까지 10°C/min 속도로 승온시키면서 분석을 마친후에 300°C에서 5분 동안 머물도록 하였다. 고농도로 인해 파과된 고체흡착관 시료의 경우, 동시에 채취한 테프론백의 시료를 이용하여 재분석하였다. 테프론백 안의 시료를 고순도 질소로 희석한 후에 고체흡착관에 0.1 L/min의 유량으로 10분간 시료를 흡착시키고 위에 제시된 방법에 따라 동일하게 분석하였다.

VOCs 분석을 위하여 VOCs 62종이 혼합된 표준시료(TO-15/17 gas calibration mix, Sigma-Aldrich Co., USA)를 이용하였다. 분석방법의 재현성은 두 가지 농도의 표준물질(5, 10 ppb)을 각각 5회 반복 분석하여 얻은 결과를 표준물질의 머무름시간(retention time)과 피크면적(peak area)의 상대표준편차(relative standard deviation, RSD)로 평가하였다. 물질의 머무름 시간에 대한 RSD는 0.2% 이내였으며, 피크면적의 RSD는 5% 이내로 나타났다. US EPA TO-17에서는 시료에 대한 반복 정밀도를 20% 이내로 규정하고 있다(US EPA, 1999). 개별 표준물질에 대한 검량선 분석결과 검출된 표준물질의 결정 계수(R^2)는 0.995

~0.999의 좋은 직선성을 보였다. 방법검출한계(method detection limit, MDL)는 99%의 신뢰도를 가지며 분석대상 물질의 최저농도가 zero값과 비교하여 다르다고 보고할 수 있는 수준으로 정의된다(US EPA, 1999). 본 연구에서는 표준 혼합물질 0.5 ppb 농도를 대상으로 7회 반복 분석을 수행한 후 각 물질의 측정농도에 대한 상대표준편차를 이용하여 계산하였다. Methyl ethyl ketone, chlorobenzene을 비롯한 대부분의 VOCs 검출한계농도는 0.2 ppb 이내였으며, 본 연구의 주요 목표 VOCs인 BTEX의 경우 0.1 ppb 이내의 매우 낮은 검출한계농도로 평가되었다. 흡착관의 공시험 평가는 열탈착 후 바로 분석한 결과, 극소수의 피크들을 제외하고는 거의 완벽하게 오염물질이 제거된 것을 확인할 수 있었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Stage II VRS 가동에 따른 주유소 대기 중 THC 농도 모니터링 결과

그림 2에 A 주유소의 사무실 내부 1지점, 주유기 주변 2지점 및 도로와 인접한 부지경계 1지점에서의 Stage II VRS 가동 전과 후 각각 48시간 동안 대기 중 THC 연속 모니터링한 결과를 나타내었다. 그림 2에서 회색 음영처리된 부분은 유류운송 차량에서 지하유류탱크로 유류가 적하되는 기간이며, 이때 순간적으로 높은 THC 농도 값을 보였다. 신뢰성 있는 Stage II VRS 가동에 따른 주유소 대기질 평가를 위하여 유류적하 기간중에 모니터링 된 THC 수치는 결과 산정시에 제외하였다. Stage II VRS 가동에 따른 4곳의 모니터링 지점에서의 대기 중 THC 평균 농도는 0.6 ppm, 0.2 ppm, 0.4 ppm, 0.03 ppm였으며, Stage II VRS를 가동하지 않았을 때의 대기 중 THC 평균 농도는 0.8 ppm, 0.8 ppm, 1.3 ppm, 0.09 ppm으로 모니터링되었다. Stage II VRS를 가동하였을 경우 가동하지 않았을 때와 비교하여 대기 중 THC 농도는 평균 27.3%, 76.2%, 66.2%, 66.7% 낮아지는 것으로 평가되었다.

Stage II VRS를 가동하지 않았을 경우 주유기 주변에서의 THC 농도는 차량 주유여부에 따라 큰 변동폭을 보였는데, 이는 차량에 주유하는 과정에서 배출되는 VOCs가 회수되지 않고 대기 중으로 누출되

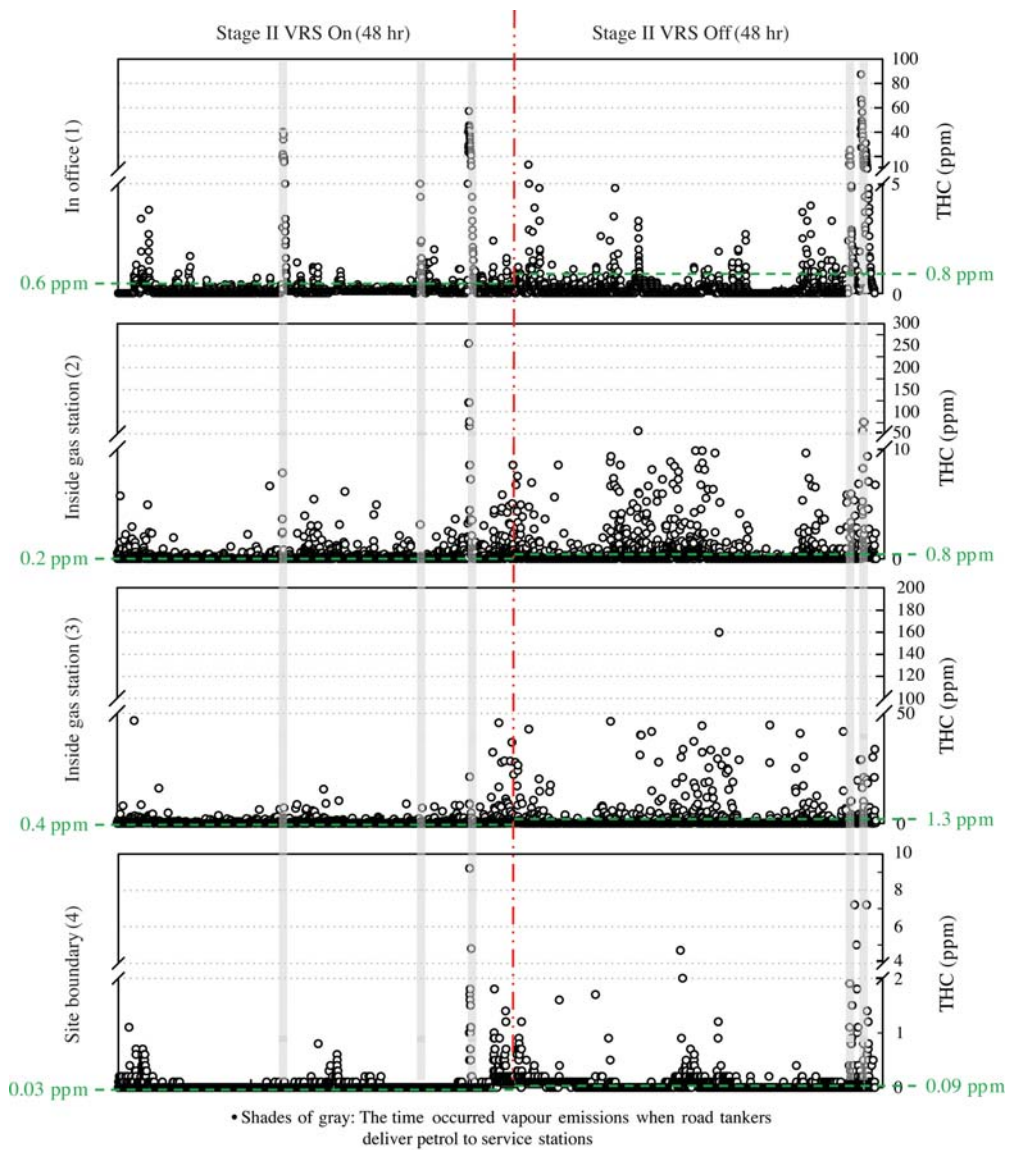


Fig. 2. The THCs levels monitored at A gas station with and without Stage II VRS.

기 때문이다. 부지경계에서의 THC 농도는 사무실과 주유기 주변 지점과 비교하여 매우 낮게 유지되었다. A 주유소에서와 마찬가지로 나머지 4개 주유소에서 Stage II VRS 가동 전과 후 각각 48시간 동안의 대기 중 THC 연속 모니터링 결과를 표 2에 나타내었다.

5개 주유소에서, Stage II VRS 가동에 따른 사무실

내부와 주유기 주변 2지점 및 도로와 인접한 부지경계에서의 평균 THC 농도는 각각 2.08 ppm, 0.38 ppm, 0.37 ppm, 0.02 ppm였다. Stage II VRS를 가동하지 않았을 경우 각 지점에서의 평균 THC 농도는 3.88 ppm, 1.11 ppm, 2.11 ppm, 0.08 ppm로 모니터링되었다. Stage II VRS를 가동하였을 경우 가동하지 않았을 때와 비교하여 대기 중 THC 농도는 평균 49.5%, 74.2%, 81.8

Table 2. The THCs levels monitored at three locations (inside office, around refueling area, site boundary) from a total of five gas stations with and without Stage II VRS.

Stations	Site	Inside office			Around refueling area						Site boundary		
		Stage II	(Site 1)		(Site 2)			(Site 3)			(Site 4)		
			On *Conc. (ppm)	Off	Reduction (%)	On *Conc. (ppm)	Off	Reduction (%)	On *Conc. (ppm)	Off	Reduction (%)	On *Conc. (ppm)	Off
A gas station	Mean	0.56	0.77	27.3	0.20	0.84	76.2	0.44	1.30	66.2	0.03	0.09	66.7
	Max	12.3	13.8	-	16.4	39.0	-	84.4	159.8	-	4.8	7.2	-
B gas station	Mean	1.05	1.80	41.7	1.30	2.40	45.8	0.98	5.55	82.3	0.05	0.06	9.10
	Max	7.8	14.5	-	73.2	240.6	-	64.3	340.4	-	2.1	2.6	-
C gas station	Mean	8.30	15.0	44.7	0.30	0.90	66.7	0.30	1.10	72.7	0.02	0.08	75.0
	Max	26.8	120.7	-	49.3	182.7	-	53.4	263.1	-	5.2	6.7	-
D gas station	Mean	0.30	1.10	72.7	0.10	1.30	92.3	0.10	2.50	96.0	0.01	0.14	92.9
	Max	1.2	3.3	-	7.9	470.5	-	43.5	427.0	-	1.0	6.9	-
E gas station	Mean	0.18	0.46	60.9	0.01	0.10	90.0	0.01	0.12	91.7	0.01	0.01	0.00
	Max	1.0	6.9	-	5.6	44.1	-	2.4	182.0	-	0.6	2.6	-
Total Mean		2.08	3.83	49.5	0.38	1.11	74.2	0.37	2.11	81.8	0.02	0.08	48.7
Total Max		26.8	120.7	-	73.2	470.5	-	84.4	427.0	-	4.8	7.2	-

* Average THC concentrations monitored for 48 hours

%, 48.7% 낮은 것으로 평가되었다. 주유기 주변에서의 Stage II VRS 가동에 따른 상대적인 THC 저감효율이 사무실과 부지경계 지점에서의 THC 저감효율보다 높았다. 이는 VRS가 주유기에 함께 부착되어 있어 VRS 가동 유무에 따른 THC 농도변화 영향을 가장 많이 받기 때문이다.

C주유소의 경우 사무실에서의 평균 THC 농도가 주유소 내부 및 도로와 인접한 부지경계에서 보다 매우 높은 것으로 모니터링되었다. 이는 해당 주유소의 기상특성상 주유소 내부의 VOCs가 사무실로 유입되고 있었으며, 주유소 사무실내 환기설비가 설치되지 않아서 사무실 내로 유입된 VOCs가 오랫동안 체류하고 있기 때문으로 조사되었다.

Stage II VRS 가동에 따른 4지점에서의 THC 최고 농도 값은 각 주유소의 지리학적 위치, 기상조건 및 운영형태에 따라 달라질 수 있다. 사무실 내부 농도가 높은 C주유소의 경우 Stage II VRS를 가동하지 않았을 경우 최고 120.7 ppm까지 상승하였다. 또한 주유가 이루어지는 주유기 주변 지점에서의 THC 최고 농도는 470.5 ppm 그리고 부지경계에서는 최고 7.2 ppm까지 상승하였다. Stage II VRS가 작동되고 있을

경우에도 종종 50 ppm 이상의 수치로 모니터링 되는 경우가 있었다(A주유소의 경우 84.4 ppm까지 상승). 이는 차량에 주유를 하기 위하여 차량 주유구 마개를 여는 순간에 차량 주유구로부터 고농도의 VOCs가 배출되기 때문이다.

3. 2 Stage II VRS 가동에 따른 주유소 대기 중 BTEX 농도 저감효과

Stage II VRS 가동에 따른 주유소 대기질 개선효과를 평가하기 위하여 주유소 사무실과 주유기 주변 및 도로와 인접한 부지경계에서 측정된 대기 중 BTEX 농도를 표 3에 나타냈다. Stage II VRS를 가동하였을 경우 각 지점에서의 benzene 평균 농도는 0.014~0.058 ppm, toluene 평균 농도는 0.029~0.138 ppm, ethylbenzene 평균 농도는 0.012~0.023 ppm, 그리고 xylene (-o,-m,-p) 평균 농도는 0.033~0.068 ppm으로 측정되었다. 이는 Stage II VRS를 가동하지 않았을 경우와 비교하여 각 지점에서의 benzene 평균 농도는 17~89%, toluene 평균 농도는 66~83%, ethylbenzene 평균 농도는 9~78%, 그리고 xylene (-o,-m,-p) 평균 농도는 13~78% 감소하였다.

Table 3. The BTEX levels monitored at three locations (inside office, around refueling area, site boundary) from a total of five gas stations with and without Stage II VRS.

Site		Concentration unit: ppm							
		Benzene		Toluene		Ethylenebenzene		Xylene (-o,-m,-p)	
		Stage II VRS							
		On	Off	On	Off	On	Off	On	Off
Inside office (Site A)	Number of samples	5	5	5	5	5	5	5	5
	Max. value	0.026	0.029	0.070	0.335	0.022	0.026	0.065	0.074
	Min. value	0.002	0.002	0.006	0.013	0.001	0.001	0.002	0.002
	Arithmetic mean	0.014	0.017	0.031	0.093	0.012	0.013	0.033	0.038
	Standard deviation	0.011	0.013	0.030	0.137	0.010	0.011	0.029	0.031
	Reduction (%)	17%		66%		12%		14%	
Around refueling area (Site B)	Number of samples	20	20	20	20	20	20	20	20
	Max. value	0.459	2.678	0.850	3.752	0.220	0.473	0.640	1.377
	Min. value	0.004	0.017	0.010	0.030	0.001	0.007	0.002	0.020
	Arithmetic mean	0.058	0.513	0.138	0.824	0.023	0.103	0.068	0.304
	Standard deviation	0.098	0.680	0.195	0.937	0.047	0.123	0.137	0.363
	Reduction (%)	89%		83%		78%		78%	
Site boundary (Site C)	Number of samples	5	5	5	5	5	5	5	5
	Max. value	0.030	0.050	0.070	0.420	0.022	0.023	0.065	0.068
	Min. value	0.001	0.002	0.004	0.007	0.002	0.005	0.004	0.013
	Arithmetic mean	0.016	0.022	0.029	0.105	0.012	0.013	0.034	0.039
	Standard deviation	0.013	0.018	0.027	0.177	0.009	0.008	0.028	0.024
	Reduction (%)	30%		72%		9%		13%	

Table 4. Comparison of benzene and toluene levels with previous studies at gas stations with and without Stage II VRS.

Site	Stage II VRS	Benzene (ppb)			Toluene (ppb)		Reference
		Num.of samples	GM	Range	GM	Range	
Inside office (Site A)	On	9	0.82	0.50~1.22	31.90	0.53~270.65	a
	Off	7	13.80	10.03~21.01	124.96	5.32~1887.67	b
	On	5	9.03	2.00~26.00	20.02	6.00~70.00	This study
	Off	5	11.35	2.00~28.61	43.87	13.00~335.00	
Around refueling area (Site B)	On	18	1.07	0.63~1.98	57.43	21.80~154.74	a
	Off	24	97.21	40.77~241.46	180.79	109.00~345.63	b
	On	20	30.38	4.00~459.00	69.12	10.00~850.00	This study
	Off	20	249.89	17.00~2,678.00	540.29	30.00~3,752.00	

* GM: Geometric mean

* Ref a: Romieu *et al.* (1999), Ref b: Cruz-Nunez *et al.* (2003).

Stage II VRS를 가동하였을 경우 사무실에서의 BTEX 평균 농도는 0.012~0.033 ppm, 부지경계에서의 BTEX 평균 농도는 0.012~0.034 ppm 그리고 주유기 주변지점은 0.023~0.138 ppm으로 측정되었다. Stage II VRS를 가동하였을 경우 각 지점에서의 BTEX 농도는 사무실에서 12~66%, 부지경계에서 9~72%, 주유소 내부지점에서는 78~89% 감소하였다.

Stage II VRS 가동 유무에 따른 주유소 사무실 내부와 주유기 주변에서의 benzene과 toluene 평균 농도를 기존 연구 결과와 비교하여 표 4에 나타내었다. 제시된 기존 연구 결과는 1999년과 2003년 멕시코시티 내의 주유소에서 Stage II VRS 가동 전과 후에 측정된 benzene과 toluene 농도이다. Stage II VRS를 가동하지 않았을 경우 사무실 내부의 benzene과 toluene

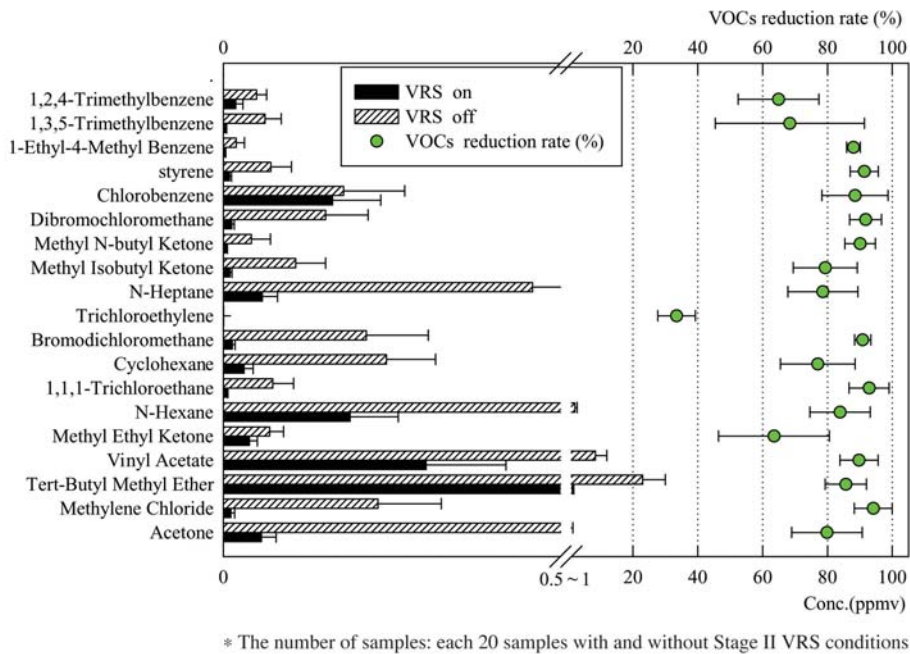


Fig. 3. The other VOCs levels around refueling area from a total of five gas stations with and without Stage II VRS.

농도는 본 연구결과와 유사한 농도 범위를 보였으나, Stage II VRS를 가동하였을 때의 사무실내 THC 농도는 본 연구의 결과와 비교하여 낮았다. Stage II VRS 가동에 따른 주유기 주변에서의 benzene과 toluene 농도 저감효과가 본 연구결과와 비교하여 비교적 높게 나타났다. 이러한 결과는 주유소의 지리적 위치, 기상특성, 주유 판매량 및 유류특성 등 다양한 오차요인이 있을 수 있기 때문에 결론지어 단정지를 수 없으며, 단지 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

Stage II VRS 가동 전과 후의 조건에서 측정된 19종의 VOCs (BTEX 제외)의 농도저감 결과를 그림 3에 나타내었다. Stage II VRS를 가동하지 하지 않았을 경우 styrene, methylisobutylketone, methylethylketone 등의 VOCs가 0.02 (1-ethyl-4-methyl benzene)~8.4 (vinyl acetate) ppm 범위로 측정되었다. Stage II VRS를 가동하였을 경우 이들 VOCs는 0.003 (1-ethyl-4-methyl benzene)~0.3 (vinyl acetate) ppm으로 낮아졌다. 특히 Stage II VRS를 가동하지 않았을 때에 tert-butylmethylether는 22.9 ppm의 고농도로 검출되었으며, Stage II VRS를 가동하였을 경우 1.4 ppm으로 낮아지는 등 Stage II VRS 가동에 따른 19종의 VOCs

농도는 평균 63.5 II 94.1% 저감되었다.

4. 결 론

주유소에서 자동차 급유 과정중 발생하는 VOCs를 회수하기 위한 유증기회수설비의 대기질 개선효과를 평가하였다. 평가는 5개 주유소에서 실시하였으며, Stage II VRS 가동 전과 후에 대한 THC와 BTEX 등의 VOCs 농도를 모니터링 하였다.

Stage II VRS를 가동하지 않았을 경우에, 5개 주유소의 사무실 내부와 주유기 주변 2지점 및 도로와 인접한 부지경계에서의 평균 THC 농도는 각각 3.88 ppm, 1.11 ppm, 2.11 ppm, 0.08 ppm으로 모니터링되었다. Stage II VRS를 가동하였을 경우 각 지점에서의 평균 THC 농도는 2.08 ppm, 0.38 ppm, 0.37 ppm, 0.02 ppm로 모니터링되어 각각 49.5%, 74.2%, 81.8%, 48.7% 낮아진 것으로 평가되었다. Stage II VRS를 가동하였을 경우 5개 주유소의 사무실 내부에서의 BTEX 평균 농도는 0.012~0.033 ppm, 주유기 주변지점에서는 0.023~0.138 ppm 그리고 부지경계에서의 BTEX

평균 농도는 0.012~0.034 ppm으로 측정되었다. Stage II VRS를 가동하지 않았을 때와 비교하여 사무실에서 12~66%, 부지경계에서 9~72%, 주유기 주변지점에서는 78~89% 감소된 수치이다. 또한 Stage II VRS 가동에 따라 BETX를 제외한 19종의 VOCs 농도도 63.5~94.1% 낮아졌다.

본 연구를 통하여 주유소에서 Stage II VRS은 주유 중 배출되는 VOCs를 저감하기 위한 효과적인 시설임을 확인하였으며, 본 연구 결과는 향후 Stage II VRS 설치지역 확대 등의 정책결정을 위한 중요한 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원과 2012년도 정부(환경부) 지원에 의해 연구되었음.

References

Berglund, P.M. and G. Petersson (1990) Hazardous petrol hydrocarbons from refuelling with and without vapor recovery, *Sci. Total. Environ.*, 91, 49-57.

Capleton, A.C. and L.S. Levy (2005) An overview of occupational benzene exposures and occupational exposure limits in Europe and North America, *Chem. Biol. Interact.*, 153-154, 43-53.

Carrieri, M., E. Bonfiglio, M.L. Scapellato, I. Macca, G. Tranfo, P. Faranda, E. Paci, and G.B. Bartolucci (2006) Comparison of exposure assessment methods in occupational exposure to benzene in gasoline filling-station attendants, *Toxicol. Lett.*, 162, 146-152.

Cruz-Nunez, X., J.M. Hernandez-Solis, and L.G. Ruiz-Suarez (2003) Evaluation of vapor recovery systems efficiency and personal exposure in service stations in Mexico City, *Sci. Total. Environ.*, 309, 59-68.

Delfino, R.J., H. Gong, W.S. Linn, E.D. Pellizzari, and Y. Hu (2003) Asthma symptoms in Hispanic children and daily ambient exposures to toxic and criteria air pollutants, *Environ. Health. Perspect.*, 111, 647-656.

Derwent, R.G., M.E. Jenkin, N.R. Passant, and M.J. Pilling (2007) Reactivity-based strategies for photochemical ozone control in Europe, *Env. Sci. Pol.*, 10, 445-

453.

Isabel, M., T. Morales, D.M. Marta, G.F. Enrique, B.C. Antonia, and B.R. Jonathan (2010) Assessing the impact of petrol stations on their immediate surroundings, *J. Env. Manage.*, 91, 2754-2762.

Jung, C.H., D.Y. Park, L.H. Lee, S.J. Kim, and J.G. Kang (2008) A development of the recovery system by condensation process for the gas station, *Proceeding of the 47th meeting of KOSAE (2008)*, 464-465.

Karakitsios, S.P., V.K. Delis, P.A. Kassomenos, and G.A. Pilidlis (2007) Contribution to ambient benzene concentrations in the vicinity of petrol stations, *Estimation of the Associated Health Risk*, 41, 1889-1902.

KECO (Korea Environment Corporation) (2011) Research report on ways to expand a vapor recovery systems of Stage II of gas stations.

Kim, J.H., G.K. Hong, and T.H. Jang (2012) The characteristics and management of VOCs emitted from gasoline reservoir at gas station, *Proceeding of the 54th meeting of KOSAE (2012)*, 104-104.

Kim, J.H., Y.L. Sohn, H.S. Kim, T.H. Jang, and K.S. Yoo (2013) A study on present conditions and improvement alternatives of vapor recovery unit of StageII at gas stations, *J. of Env. Pol. Admin.*, 21, 115-140. (in Korean with English abstract)

Kim, K.S., S.G. Bae, S.L. Yoon, O.S. Lee, U.Y. Sun, and J.H. Hong (2003) An experimental study on the emission characteristics of VOCs generation from automotive fuel tank at gasoline reservoir, *Proceeding of the 35th meeting of KOSAE (2003)*, 91-92.

NIER (Nitional Insititute of Environmental Research) (2010) Method of gas station vapor recovery systems of Stage II.

Rekhadevi, P.V., M.F. Rahman, M. Mahboob, and P. Groyer (2010) Genotoxicity in filling station attendants exposed to petroleum hydrocarbons, *Ann. Occup. Hyg.*, 54(8), 944-954.

Romieu, I., M. Ramirez, F. Meneses, D. Ashley, S. Leinire, and K. Fung (1999) Environmental exposure to volatile organic compounds among workers in Mexico City as assessed by personal monitors and blood concentrations, *Environ. Health. Perspect.*, 107, 511-515.

Steinemann, A.C. (2008) Fragranced consumer products and undisclosed ingredients, *Environ. Impact. Asses.*, 29, 32-38.

US EPA (1999) Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air,

Method TO-17, Center for Environmental Research
Information, office of Research and Development.
US EPA (2009) National-Scale Air Toxics Assessment (NATA),
<http://www.epa.gov/nata2002/> (accessed 10.05.13).
Wichmann, F.A., A. Müller, L.E. Busi, N. Cianni, L. Massolo,

U. Schlink, A. Porta, and P.D. Sly (2009) Increased
asthma and respiratory symptoms in children expos-
ed to petrochemical pollution, *J. Allergy. Clin. Im-
munol.*, 123, 632-638.