

유증기 회수장치를 이용한 주유시 발생하는 휘발성유기화합물 감소효율

대기화학팀, *환경연구개발팀

차영섭 · 오석률 · 이준연 · 이제승 · 유동구 · 고현욱 · 오달영* · 어수미 · 김교봉 · 김주형

Efficiency of VOCs Emission Reduction by Vapor Recovery Device at Gas Station

*Atmospheric Chemistry Team, *Environmental Research & Development Team*

**Yeong-seop Cha, Seok-ryul Oh, Jun-yeon Lee, Je-seung Lee,
Dong-koo Ryu, Hyun-wook Ko, Dal-young Oh*, Soo-mi Eo,
Gyeo-bung Kim and Joo-hyung Kim**

Abstract

Gas stations are the fourth greatest source of volatile organic compounds(VOCs) emissions(4%) in Korea after; (1) the coating industry, (2) automobiles and (3) oil storage and distribution facilities. The collection of VOC samples was made during the fill-up stage from a total of 10 gas stations in Seoul; five of these stations had a VOCs recovery system, while the others had no such system. The concentrations of THC and BTEX were determined using a portable FID and GC/MS with a thermal desorption system, respectively. Based on the THC data, the average recovery rate of VOCs was as high as 87.6%. Therefore, it could be expected that the amount of VOCs from gas stations in Seoul could be practically reduced by as much as 2,303 ton/year with the full installation of recovery systems. Such a reduction plan can help decrease the rate of VOCs emissions by 81(B), 78(T), 70(E), 71(m, p-Xylene), 62%(o-Xylene).

Key words : VOCs, THC, BTEX, gas station

서론

휘발성유기화합물질(VOCs)은 일반적으로 0.02 psi 이상의 증기압을 갖거나 끓는점이 100℃ 미만인 유기화합물을 말한다. 이들은 대기 중의 질소

산화물과 광화학반응에 의해 오존 및 광화학 산화물을 형성하는 전구물질이다(1). 우리나라에서는 1997년부터 일정규모 이상의 배출시설에 대하여 배출허용기준을 지정하여 관리하고 있다(1).

VOCs는 광화학 오존 형성에 영향을 끼칠 뿐만

아니라 인체에 매우 유해한 영향을 줄 수 있다. 일부 VOCs는 냄새를 유발한다. 단지 인체의 감각능력에만 영향을 주거나 일시적인 최면효과를 유발하기도 하지만 특정 물질들은 발암성과 유전독성 등을 일으키는 것으로 알려져 있다(2).

VOCs에 의한 독성은 VOCs의 구조, 노출 농도 및 기간, 다른 VOCs와의 복합노출, 개인의 감수성, 표적장기의 분포 등에 따라 다르게 나타난다. 그런데 지방조직에 대한 친화성이 크기 때문에, 지방질이 차지하는 비율이 높은 신경조직 등에 잘 침적된다. VOCs는 또한 식물에 대해 독성을 나타낼 수 있는데 식물의 상편생장, 전두운동의 저해, 황화현상과 성장감퇴를 유발하는 것으로 알려져 있다(2).

VOCs 규제대상 업종 및 시설은 대기보전 특별대책지역과 대기환경규제지역에 따라 달리 적용되고 있다. 특별대책지역은 대규모의 산업지역의 배출시설들에 대해 특별한 배출허용기준이나 토지이용·시설설치 제한등의 정책수단을 통해 규제를 시행한다. 지정주체 및 대책의 수립 및 시행이 환경부장관이며 근거법령도 환경정책 기본법에 의거하고 있다. 반면 대기환경규제지역은 환경기준의 초과 등이 우려되는 주로 수도권 지역의 점오염원, 면오염원 및 이동오염원등의 배출원을 대상으로 한다. 이들에 대해 대기오염물질 저감정책과 지역실정에 맞는 정책개발을 수단으로 시·도지사에 의해 대책을 수립하고 시행하도록 대기환경보전법에 그 근거를 두고 있다. VOCs의 배출억제·방지시설은 단계적으로 설치하도록 하였다. 그 구체적인 내용을 보면, 석유화학정제업, 저유소 등에 대해서는 '99년 말까지, 유기용제 및 페인트제조업, 자동차제조업, 선박 및 대형 철구조물제조업, 기타제조업, 자동차정비업, 폐기물보관·처리업 등 6개 업종은 '00년 말까지, 석유정제업 및 저유소의 출하시설, 주유소의 저장시설은 '04년 말까지 갖추도록 하고 있다. 본고에서 다루고자 하는 주유기에 대한 유증기 회수장치는 신규시설에 대하여는 '07년부터, 기존시설에 대하여는 유예기간을 두고 설치하도록 하고 있다. 주유소에서 발생하는 VOCs의 양은 전체 VOCs 발생량의 4%로서 도장시설, 자동차, 유류저장 및 출하시설에 이어 네 번째를 차지한다(3). 이 중 도장시설과 유류저장 및

출하시설에 대하여는 방지시설을 설치하여 가동하도록 법제화 하였으나, 주유소의 경우는 유예기간을 두고 현재 설치를 진행하고 있는 단계이다. 본 연구에서는 유증기 회수시설을 설치한 주유소 5개소와 설치하지 않은 주유소 5개소에서 주유 시 발생하는 VOCs의 농도를 비교하였다. 이를 토대로 유증기 회수시설에 의한 VOCs 감소효율을 평가하여, 향후 회수시설을 전체 주유소에 설치하였을 때의 VOCs 발생방지 효과를 예측해 보았다.

연구방법

1. 대상시설 및 분석항목

서울시 소재 주유소를 대상으로 유증기 회수시설을 설치한 주유소 5개소와 설치하지 않은 주유소 5개소, 총 10개소(1개소는 회수시설을 설치한 주유기와 설치하지 않은 주유기를 모두 보유)를 선정하였다. 주유소는 서울시내의 강남구(A, B), 관악구(C, F), 종로구(H, I), 성동구(G), 서대문구(D, E)에 위치하였다. 시료에 대한 구체적 정보는 표 1에 나타냈다.

총 VOCs 발생량의 지표로서 총탄화수소(THC)를 분석하였다. 또한, 다양한 VOCs 성분 중 자동차 배기가스와 가솔린 저장탱크에서 발생(4)하며, 만성중독에 의해 백혈병을 유발 할 수 있는 것으로 알려진 벤젠과 만성중독시 뇌파에 이상소견이 나타나 비가역적인 신경장애를 일으키는 것으로 알려진(2) 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌을 분석하였다.

2. 시료채취 및 분석

총 탄화수소의 분석은 대기오염공정시험방법에 따라 휴대용 FID(Thermo Electron Corp. TVA-1000, 그림 1)를 사용하여 가솔린 주유기 자동차 주유구에서 30 cm 떨어진 위치에서 시료를 채취·분석하였다. 이 때, 메탄표준가스를 이용하여 교정하였다. 교정편차 $\pm 3\%$ 이내, 교정오차 $\pm 5\%$ 이내였다. 감응계수는 1, 유속은 1 L/min 로 흡입하여 3초마다 측정값을 수집하였다.

BTEX의 분석은 총 탄화수소의 분석과 동시에 같은 위치에서 시료를 Tedlar Bag에 채취하여,

Table 1. Details of samples

Recycler installed					Recycler not installed				
Sample	Date	Time	Temp	Wind	Sample	Date	Time	Temp	Wind
A1	08. 04. 01	14:10~20	12 °C	4.8 m/s (NW)	A4	08. 04. 01	15:20~30	11 °C	5.1 m/s (W)
A2	08. 04. 01	14:30~38	12 °C	4.8 m/s (NW)	A5	08. 04. 01	15:40~50	10 °C	5.1 m/s (W)
A3	08. 04. 01	14:55~10	11 °C	4.8 m/s (NW)	A6	08. 04. 01	15:55~03	10 °C	5.1 m/s (W)
B1	08. 04. 01	16:45~55	7 °C	5.1 m/s (W)	F1	08. 04. 02	15:50~:00	7 °C	7.3 m/s (SW)
B2	08. 04. 01	17:10~20	7 °C	5.1 m/s (W)	F2	08. 04. 02	16:10~17	7 °C	7.3 m/s (SW)
B3	08. 04. 01	17:35~45	6 °C	5.1 m/s (W)	F3	08. 04. 02	16:30~40	7 °C	7.3 m/s (SW)
C1	08. 04. 02	14:00~10	9 °C	3.8 m/s (SW)	G1	08. 04. 04	13:30~40	14 °C	4.7 m/s (W)
C2	08. 04. 02	14:20~28	9 °C	3.8 m/s (SW)	G2	08. 04. 04	13:45~52	14 °C	4.7 m/s (W)
C3	08. 04. 02	14:45~55	9 °C	3.8 m/s (SW)	G3	08. 04. 04	14:05~15	15 °C	4.7 m/s (W)
D1	08. 04. 03	13:45~55	12 °C	6.8 m/s (W)	H1	08. 04. 04	14:45~53	15 °C	5.8 m/s (NW)
D2	08. 04. 03	14:10~20	12 °C	6.8 m/s (W)	H2	08. 04. 04	15:00~10	14 °C	5.8 m/s (NW)
D3	08. 04. 03	14:35~45	12 °C	6.8 m/s (W)	H3	08. 04. 04	15:20~30	14 °C	5.8 m/s (NW)
E1	08. 04. 03	15:40~50	10 °C	6.6 m/s (NW)	I1	08. 04. 04	16:10~20	12 °C	4.2 m/s (W)
E2	08. 04. 03	16:05~15	10 °C	6.6 m/s (NW)	I2	08. 04. 04	16:35~45	12 °C	4.2 m/s (W)
E3	08. 04. 03	16:25~35	9 °C	6.6 m/s (NW)	I3	08. 04. 04	17:00~10	11 °C	4.2 m/s (W)

실험실에서 분석하였다. 시료채취 시 바람에 의한 영향을 제거하기 위해 방풍막을 설치하였다.

벤젠 등의 분석에는 열탈착시스템(Unity TD,

Markes, Ltd, UK)이 장착된 GC/MS를 사용하였으며, 이 때 분석조건은 표 2와 같다.

Table 2. Analytical conditions of TD & GC/MS

Configuration & condition		Configuration & condition	
TD	• Standby split : 30 mL/min	GC/MS	• Model: Agilent 5978B-6890N System
	• Prepurge : 1 min		• Column: HP-1(60 m × 0.32 mm × 1 μm)
	• Trap purge : 1 min		• Column flow : 1 mL/min
	• Sample time : 10 min		• Oven Temp : 40°C (5 min)
	• Flow rate : 50 mL/min		→ 8°C/min → 200°C (2 min) →
	• Flow path temp : 150°C		10°C/min → 220°C (8 min)
	• Trap Low Temp : -10°C		• Ion Mode : EI, 70 eV
	• Trap High Temp : 300°C		• Inlet Temp : 180°C
	• Trap Hold : 5 min		• Ion Source Temp : 230°C
	• Trap Heatin Rate : 40°C/s		• MS Quad Temp : 150°C
• Split Flow : 15 mL/min	• MS Range: 45~550 amu		



Fig. 1. Portable FID(TVA-1000).

결과 및 고찰

1. 총탄화수소 측정결과 및 저감효율

휴대용 FID를 이용하여 가솔린을 실제 주유하는 동안 주유구에서 30 cm 떨어져있고, 지표면으로부터 1 m 높이에서 총탄화수소를 측정하였다. 각 주유소 별로 3회의 주유가 이루어지는 동안 측정된 데이터를 3초 간격으로 수집한 결과는 표 4와 같다.

측정대상 주유소 중 5곳은 그림 2(A), 그림 3(B) 및 그림 4(C, D, E)와 같은 유증기 회수장치를 장착한 주유소에 해당한다. 반면, 5곳(A, F, G, H, I)은 그림 5에서 보는 바와 같이 유증기 회수장치를 장착하지 않은 주유소이다. A 주유소

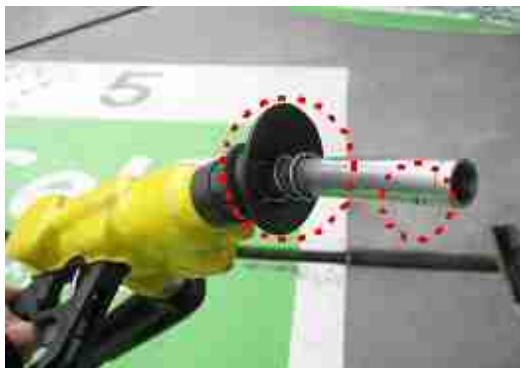


Fig. 2. VOCs recovery system I.

Table 3. Quality assurance data of BTEX

Pollutant	MDL ^a		RSD(%)	
	(ng)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RT ^b	RF ^c
Benzene	0.6	0.11	0.04	4.7
Toluene	0.15	0.29	0.03	10.3
Ethylbenzene	0.18	0.36	0.02	3.8
m,p-Xylene	0.27	0.54	0.12	4.3
o-Xylene	0.28	0.56	0.02	3.0

^aMDL : Method detection limit.

^bRT : Retention time.

^cRF : Response factor.

는 유증기 회수장치를 장착한 주유기와 장착하지 않은 주유기가 모두 설치되어 있는 주유소였다.

유증기 회수장치는 그림의 점선부분을 통해 주유와 동시에 흡입펌프가 작동하여 유증기를 회수하는 장치이다.

표 4에서 나타난 바와 같이 유증기 회수장치를 장착한 주유소의 경우 THC의 평균농도가 259 ppm을 나타냈다. 반면, 회수장치를 장착하지 않은 주유소의 경우에는 THC의 평균농도가 2,088 ppm을 보였다.

위의 결과를 통해 알 수 있는 유증기 회수장치에 의한 감소효율은 87.6%였다.

환경부에서 실시한 조사 결과(5) 및 문(6)의 연구와 비교하여 보면, 환경부가 주유노즐 위치에서



Fig. 3. VOCs recovery system II.



Fig. 4. VOCs recovery system III.



Fig 5. Refueling system whithout VOCs recovery system.

Table 4. Summary of THC measurements from each gas station (Unit : ppm)

Recycler installed						Recycler not installed					
Sample	n	Avg	Max	Min	SD	Sample	n	Avg	Max	Min	SD
A1	35	93.67	1,447.00	0.72	304.39	A4	27	1,496.97	12,211.00	19.05	2,641.89
A2	26	43.58	514.00	0.23	126.05	A5	21	1,314.00	3,998.00	3.77	1,037.32
A3	67	26.35	792.00	0.04	127.73	A6	21	1,039.64	5,063.00	0.61	1,249.71
Sub Total	128	60.21	1,447.00	0.04	191.93	Sub Total	69	1,302.09	12,211.00	0.61	1,865.71
B1	43	195.51	1,944.00	1.81	454.42	F1	32	924.35	4,931.00	0.04	1,190.72
B2	36	120.72	685.00	0.43	168.50	F2	15	2,145.65	10,302.00	6.89	3,097.15
B3	37	418.77	757.00	7.93	175.13	F3	30	1,909.68	7,103.00	14.82	2,075.66
Sub Total	116	255.06	1,944.00	0.43	332.37	Sub Total	77	1,558.16	10,302.00	0.04	2,064.04
C1	44	4.28	30.95	2.11	4.57	G1	32	3,426.73	26,678.00	4.31	5,251.45
C2	26	0.72	2.18	0.09	0.58	G2	21	1,933.42	5,610.00	7.08	1,478.49
C3	40	1.17	4.00	0.05	0.90	G3	20	3,832.39	16,043.00	99.17	3,823.79
Sub Total	104	2.44	30.95	0.05	3.41	Sub Total	73	3,108.29	26,678.00	4.31	4,114.93
D1	25	825.51	4,466.00	10.74	990.09	H1	32	1,726.79	16,279.00	28.61	3,279.42
D2	30	217.29	1,885.00	8.77	384.05	H2	25	1,629.08	6,756.00	2.84	2,186.28
D3	38	65.65	364.00	0.87	95.10	H3	39	1,097.13	14,583.00	32.78	2,385.66
Sub Total	93	318.83	4,466.00	0.87	636.75	Sub Total	96	1,445.55	16,279.00	2.84	2,660.61
E1	16	502.39	2,098.00	4.08	570.67	I1	29	480.41	3,232.00	9.11	618.91
E2	22	2,079.97	8,275.00	2.76	2,720.87	I2	33	3,962.99	33,117.00	1.23	6,631.44
E3	10	544.93	2,182.00	41.81	740.74	I3	48	3,479.88	40,372.00	8.04	6,359.88
Sub Total	48	1,234.31	8,275.00	2.76	2,033.47	Sub Total	110	2,834.04	40,372.00	1.23	5,700.27
Total	489	258.58	8,275.00	0.04	793.07	Total	425	2,087.64	40,372.00	0.04	3,834.72

측정한 결과(364 ppm, 92.1%)보다 농도는 낮게 나타났다. 그러나, 효율은 유사한 결과를 보였다.

바람이 상대적으로 강했던 A, F, H 주유소에서 THC 농도가 높게 나타났다. 바람의 영향을 방지하기 위하여 방풍막을 이용하였으나, 바람의 영향을 완전히 배제하지 못한 것으로 보인다. 특히, 회수장치를 설치하지 않은 주유소에서 영향이 더 큰 것으로 보인다. 회수장치를 설치한 주유소에서는 장치별 성능에 따른 농도차이를 보이는 것으로 보인다. 그림 2와 3의 회수장치가 그림 4의 회수장치 보다 회수능력이 좋은 것으로 보인다.

주유소에서 발생하는 VOCs의 76.3%는 가솔린에 의한 것이다(7). 실제 가솔린의 경우, 0.05~0.2% 정도의 손실을 유발하기 때문에 정유사에서 이러한 증발량에 대한 보전을 해주는 실정이다(8).

주유소에서의 VOCs 배출과정은 유조차에서 지하저장탱크에 하역시 증발, 지하저장탱크 흡구멍을 통한 증발, 자동차에 주유시 증발 및 주유시 흘림 등으로 구분할 수 있다. 주유시 증발 및 흘림에 의한 경우가 약 55%를 차지한다(9). 현재 환경부에서는 유조차에서 하역시 및 저장탱크에서 증발시 발생하는 VOCs에 대한 회수장치 설치를 의무화 하였다(2004년 12월). 2007년 하반기 부터는 주유시 증발 및 흘림에 의해 발생하는 VOCs에 대한 유증기 회수시설의 설치를 단계적으로 시행하고 있다(10). 본 연구에서 나타난 감소효율과 2007년 기준 서울시내 가솔린 판매량(11), 주유시 VOCs 배출계수 1.64 g/L(한국환경기술개발연구원, 1996년)를 적용하여 유증기 회수시설의 설치사업 완료 후의 VOCs배출의 연간 감소량을 추산해 보았다. 주유시 VOCs 감소량(g/L)=1.64 g/L

$\times 1,603,227,596 \text{ L/년} \times 87.6\% = 2,303.26 \text{ t/년}$
(여기서, 1.64 g/L은 주유시 VOCs 배출계수, 1,603,227,596 L/년은 2007년 서울시내 가솔린 판매량, 87.6%는 VOCs 감소효율을 나타냄.)

위 결과에서 보는 바와 같이, 유증기 회수시설 설치를 통해 서울시내에서만 연간 약 2,303 ton의 연료절약 또는 VOCs 발생량을 감소시킬 수 있는 것으로 사료된다.

2. BTEX 분석결과

총탄화수소 측정과 동시에, 동일한 위치에서 Tedler bag을 이용하여 benzene, toluene, ethyl benzene, xylene(BTEX)의 농도를 분석하기 위한 시료를 샘플링하여 측정하였다(표 5와 6). 표 5는 유증기 회수시설을 설치한 주유소에서 측정한 결과이다. 표 6은 유증기 회수시설을 설치하지 않은 주유소에서 측정한 결과에 해당한다. 유증기 회수시설을 설치한 주유소에서 발생하는 BTEX의 농도가 상당히 낮음을 알 수 있다.

송 등(7)이 분석한 결과를 보면, 가솔린 자체에 함유된 BTEX의 부피 함유량은 benzene 3%, toluene 8%, ethyl benzene 1.8%, xylene 6.6%였다. 그러나 본 연구결과에서 BTEX의 농도를 보면 가솔린내 함유량에 비해 benzene의 농도가 상당히 높고, xylene의 경우는 가솔린내 함유량에 비해 낮은 결과를 보였다. 이것은 각 성분별 증기압을 나타낸 표 7에서와 같이 benzene의 증기압이 커서 공기중으로 쉽게 휘발되고, xylene의 증기압이 작아서 함유량에 비해 적은양이 휘발하기 때문으로 볼 수 있다. 대기 중으로 휘발되는 성분별 농도는 함유량 뿐 아니라 증기압과도 밀접한

Table 5. Concentrations of BTEX with recovery system (Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Substance	Site	A	B	C	D	E	Ave
Benzene		180	22	967	1,079	675	585
Toluene		459	93	1,647	1,188	828	843
Ethylbenzen		54	14	188	65	46	73
m,p-Xylene		302	82	1,131	353	240	422
o-Xylene		58	18	199	58	44	75

Table 6. Concentrations of BTEX without recovery system(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Substance \ Site	A	F	G	H	I	Ave
Benzene	3,000	3,246	2,553	1,153	5,579	3,106
Toluene	3,465	3,654	3,754	1,781	6,957	3,922
Ethylbenzen	385	296	185	118	254	248
m,p-Xylene	3,221	1,476	895	554	1,130	1,455
o-Xylene	371	213	143	89	164	196

Table 7. Vapor pressure of BTEX

Components	Vapor pressure (atm, 20°C)
Benzene	0.098
Toluene	0.029
Ethyl benzene	0.009
m,p-Xylene	0.012
o-Xylene	0.009

(NIOSH, 1997)

관계가 있는 것으로 사료된다.

유증기 회수시설에 의해 주유 시 발생하는 VOCs의 감소효과를 성분별로 계산해 보았다.

유증기 회수시설 설치를 통한 감소효율은 benzene 81%, toluene 78%, ethyl benzene 70%, m,p-xylene 71%, o-xylene 62%로 나타났다. BTEX의 감소효율은 총탄화수소의 감소효율에 비해 낮은 경향을 보였다.

또한 일부 주유소의 경우에는 유증기 회수시설을 설치한 주유소와 설치하지 않은 주유소 간에 BTEX의 농도가 거의 차이가 나지 않거나, 역전되는 경우도 있었다. 이것은 주유시 발생하는 VOCs의 농도가 주유량, 주유속도 및 풍속 등의 영향(12)을 받기도 하고 각 물질의 증기압 등 물성의 영향(6, 7), 그리고 각 주유소에서 설치한 회수시설의 종류에 따른 성능과 유지관리에 따른 차이에 의한 것으로 판단된다. 회수시설의 성능평가의 경우, 동일한 환경과 주유조건에서 더 많은 데이터

를 통하여 평가하여야 할 것으로 본다.

결 론

본 연구는 휘발성유기화합물의 주 배출원 가운데 하나인 주유소의 가솔린 주유과정에서 발생하는 VOCs의 배출량을 감소시키기 위하여 유증기 회수시설을 설치한 주유소에서 VOCs 감소효율을 알아보고자 하였다. 이를 위하여 유증기 회수시설 설치 주유소 5개소와 미설치 주유소 5개소에서 주유시 VOCs의 농도를 비교 분석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유증기 회수시설을 설치한 주유소에서 총탄화수소는 87.6%의 높은 감소효율을 보였다. 이러한 효율을 적용하여 2007년 서울시내 가솔린 판매량을 기준으로 VOCs 감소량을 추산하였다. 그 결과 유증기 회수시설을 설치한 후에는 서울시내에서만 연간 약 2,303 ton의 VOCs 발생량을 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다.
2. 유증기 회수시설을 설치한 주유소에서 주유시 발생하는 VOCs의 감소 효율은 분석 물질 중 배출량이 가장 많은 것으로 알려진 toluene이 78%로 나타났다. 그 외 성분은 benzene 81%, m,p-xylene 71%, ethyl benzene 70%, o-xylene 62%의 순으로 나타났다.

참고문헌

1. 박태명, 신현상, 안준수, 이규성, 이의광, 이태영, 임학상, 장인성 : 환경화학. 신광문화사, p148~149, 2001.
2. 김기현, 김용표, 이강웅, 김조천, 김득수, 구윤서, 강공언, 이정주, 이병규, 김종호 : 대기환경학. 향문사, p138~141, 2006.
3. 차준석, 홍지형, 김대곤, 이석조, 이덕길, 석광설, 이대균, 김정일 : 휘발성유기화합물질 업종별·시설별 규제기준 설정 연구. 국립환경연구원보, 24:165~180, 2002.
4. 이영재, 이학성, 강병욱, 신대운 : 휘발성유기화합물의 배출원 구성물질 성분비에 관한 기초 연구. 한국환경과학회지, 12(4):487~496, 2003.
5. 환경부 : 주유소 유증기, 이제 안심할 수 있습니다. 2008.
6. 문대성 : 주유소에서의 주유시 발생하는 휘발성 유기화합물의 저감에 관한 연구. 서울시대학교 도시과학대학원 석사학위 논문, 2001.
7. 송상환, 백남원, 하권철 : 국내 일부 주유소 내에서의 휘발성 유기화합물 노출에 관한 연구. 한국산업위생학회지, 10(1):58~73, 2000.
8. 오규형, 이광원, 이춘하, 박승일 : 휘발성 연료탱크의 증발 방지 장치 개발. 한국산업안전학회 02년 춘계학술논문발표회 논문집, p451~456, 2002.
9. 환경부 : VOC 배출억제·방지시설의 저감효율 및 농도기준 설정 등에 관한 연구. 2001.
10. 환경부 : 주유소 유증기 회수장치 설치 의무화. 2006.
11. (사)한국주유소협회 : 2007년 지역별 유류판매량. 2008.
12. 김기선, 배성근, 윤성렬, 이원수, 선우영, 홍지형 : 주유소에서 자동차 주유시 발생하는 VOCs 배출특성에 관한 조사연구. 한국대기환경학회 2003 춘계학술대회 논문집, p91~92, 2003.