

VOCs 배출현황 및 저감방안

이우근 · 반효진 · 선우영* · 김대곤**

강원대학교 지구환경공학부 · *건국대학교 환경공학과 · **국립환경과학원 대기총량과

Status of VOCs Emission and Its Reduction Method

Woo-Keun Lee · Hyo-Jin Ban · Young Sunwoo* · Dae-Gon Kim**

Department of Environmental Engineering, Kangwon University · *Department of Environmental Engineering, Konkuk University

**Environmental Cap Research Dept., National Institute of Environmental Research

1. 서론

1970년대 이후 고도 경제성장 정책에 따라 급속한 경제성장을 이룩하면서 제기되었던 대기오염 문제는 환경부, 기업, 전문가 등 각 계층의 노력에 의한 배출량 저감으로 TSP, SO₂, Pb와 같은 오염물질농도는 현저히 낮아지고 있으나 NO_x, PM₁₀ 및 O₃ 등의 농도는 거의 개선이 되지 않거나 오히려 악화되고 있는 실정이다(Fig. 1 참조).⁴⁾ 특히 수도권지역의 오존 문제는 더욱 심각한데, 2004년을 기준으로 할 때 오존 단기환경기준 초과 횟수의 48%와 오존주의보 발령횟수의 64%가 수도권에 집중되어 있다(Fig. 2 참조). 오존은 대기 중으로 배출된 NO_x와 휘발성유기화합물(VOCs)이 광화학 반응에 의해 생성한 2차 오염물질로 대기중의 오존농도를 낮추기 위해서는 NO_x와 VOCs의 배출억제대책이 필요하다.

또한 VOCs는 대기중 광화학 반응에 관여하여 오존 등 광산화물을 생성하여 호흡기질환등을 유발시키기도 하지만, VOCs 자체만으로도 독성이 커서 암을 유발시키는 등 인체에 대한 유해성으로 인하여 독성대기오염물질(Hazardous Air Pollutants, HAPs) 이나, POPs(잔류성오염물질)로 분류되어 규제해오고 있다. VOCs의 배출원은 다른 오염물질과는 달리 면오염원으로 분류될 수 있는 불특정오염배출원(Fugitive Emission Source)으로 규정되어 있어 배출량 자체는 적지 않으나 소규모의 배출원이 다량 산재해 있어 각 배출원에서 배출되는 VOCs를 효과적으로 관리하기는 쉽지 않은 실정이다. 「수도권 대기환경관리 기본계획」에서는 대기중의 VOCs 농도를 저감시키기 위한 방법으로 친환경 도료의 공급과 판매, 사업장에서의 VOCs 배출억제 및 유기용제의 함량제한, 비산배출허용기준의 설정 및 강화, 컷백아스팔트의 사용제한, 에너지 수송 및 저장부문에서의 배출저감 방안 등 다양한 VOCs 배출저감 방안들을 검토, 제안하고 있으나 이들 방법으로 VOCs의 저감이 효율적으로 이루어질 수 있을 것인가에 대해서는 아직 미지수이다.³⁾

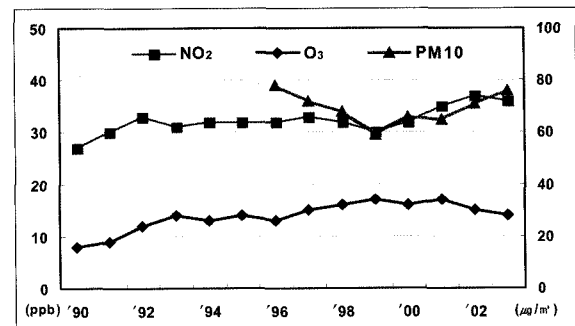
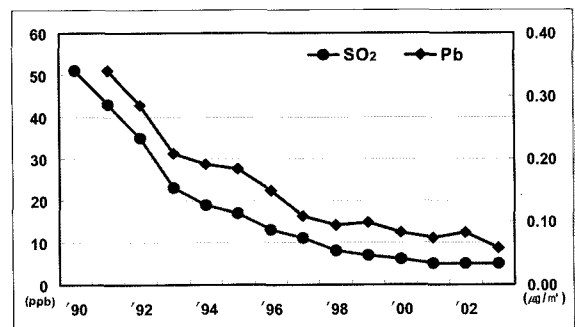


Fig. 1. The change of average concentration of air pollutant in Seoul.

배출원에서 VOCs의 배출을 효과적으로 저감하기 위해서는 먼저 각 배출원에서의 VOCs 배출량에 대한 정확한 산정방법과 배출되는 VOCs의 양을 줄이기 위한 효율적인 저감방안의 수립이 필요하다.

본 논문에서는 현재 국내의 각 배출원에서 배출되고 있는 VOCs 배출현황과 VOCs 배출량 산정에 대한 문제점을 검토하고, 각 배출원에서의 효율적인 VOCs 배출저감 방법을 검토, 정리하였다.

2. VOCs 배출현황 및 저감계획

2.1. 국내 VOCs 배출현황

E-mail: woklee@kangwon.ac.kr

Tel: 033-250-6355

Fax: 033-254-6357

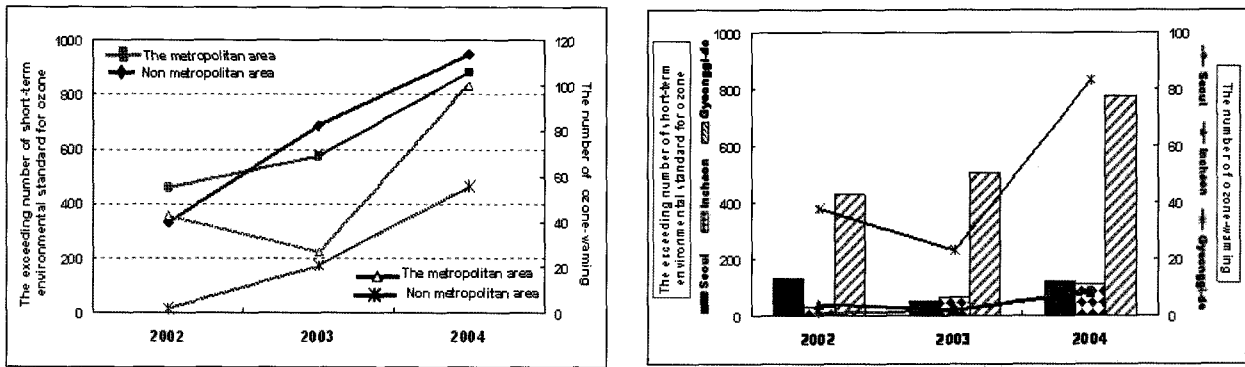


Fig. 2. The exceeding number of short-term environmental standard for ozone and the number of ozone-warning.

국내 VOCs 배출원은 대기환경관리 정책을 수립하는데 기초자료로 활용하기 위하여 개발된 CAPSS(Clean Air Policy Support System)의 분류방법에 따라 분류하고 있다. CAPSS의 분류에 따르면 VOCs를 배출하는 인위적 배출원을 에너지산업연소, 비산업연소, 제조업연소, 생산공정, 에너지 수송 및 저장, 유기용제사용, 도로이동오염원, 비도로이동오염원, 폐기물처리로 구성되어 있다.

1999년~2003년까지의 VOCs배출원별 배출량은 Table 1에 정리하였다. Table 1에 따르면 각 배출원별 VOCs 배출총량은 유기용제사용 > 생산공정 > 도로이동오염원 > 에너지수송 및 저장 > 폐기물처리 순으로 나타났으며, VOCs 배출원에서 배출된 총 VOCs배출량은 매년 증가하고 있으나 VOCs 배출저감 대책의 추진으로 배출총량의 전년도대비 증가율은 2001년을 기점으로 감소하고 있는 것으로 나타났다.

1999-2003년까지 각 시도별 VOCs 배출량 기여도는 Table 2에 정리하였다. Table 2에 따르면 전국 VOCs 배출량 중 수도권 지역에서 배출되는 VOCs 배출기여도는 매년 증가하고 있는 것으로 나타나고 있어 효과적인 수도권지역의 VOCs 배출저감 대책마련이 시급한 실정이다.

2003년도 수도권 지역의 VOCs 배출원별 배출량 기여도는 Fig. 3에 도시하였다. Fig. 3에 따르면 수도권 지역의 배출원별 기여도는 유기용제 사용부문이 61%로 가장 높았고 그 뒤로 도로이동오염원 20%, 에너지수송 및 저장 6% 등의 순으로 나타났다.

Table 1. VOCs emission from emission sources(1999-2003) (Unit : ton/yr)

Source Category	1999	2000	2001	2002	2003
industrial combustion for energy	3,567	3,906	4,235	4,299	4,398
non-industrial combustion	2,542	2,648	2,709	2,851	2,933
combustion for manufacturing	2,346	2,344	2,502	2,650	2,568
production process	124,522	124,136	125,728	128,105	129,498
transportation & storage of energy	23,938	26,551	26,559	27,169	26,098
Use of solvent	342,434	351,558	380,779	374,561	378,517
mobile source on the road	102,765	104,157	116,809	120,525	120,716
mobile source	16,713	17,299	16,723	19,836	21,043
waste combustion	25,126	32,254	36,186	43,862	43,883
Total	343,953	664,852	712,230	723,857	730,653
increasing rate to the preceding year(%)	-	3.2	7.1	1.6	0.9

이와 같이 VOCs 배출원중 가장 배출량이 많은 3분야 즉, 유기용제사용, 생산공정, 에너지 수송 및 저장분야의 2003년 세부 배출원별 VOCs 배출량은 Table 3에 정리 하였다. Table 3에 따르면 유기용제 사용의 경우 도장시설에서 주로

Table 2. The contribution rate by emission category (Unit : %)

Division	1999	2000	2001	2002	2003	Division	1999	2000	2001	2002	2003
Seoul	11.4	11.6	12.4	12.3	11.9	Gangwon-do	2.1	2	2	2.2	2.3
Incheon	6.3	6.4	7.6	7.1	7.6	Chungcheongbuk-do	3.1	3.1	0.3	3.6	3.4
Gyeonggi-do	19.2	18.4	18.3	19.2	19.4	Chungcheongnam-do	6.3	6.2	5.7	5.8	6
Metropolitan area	36.9	36.4	38.3	38.6	38.9	Jeollabuk-do	3.3	3.1	3.3	3.4	3.6
Busan	4.8	5	5	5.5	5.1	Jeollanam-do	9.9	9.3	7.5	8.2	8.2
Daegu	3.2	3.4	3.6	3.6	3.8	Gyeongsang buk-do	6.5	6.4	6.2	5.6	6.4
Gwangju	1.8	1.8	1.6	1.9	2.1	Gyeongsang nam-do	7.5	8.3	8.8	8.1	7.7
Daejeon	1.7	1.8	2.3	2.3	2.2	Jeju-do	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Ulsan	12.1	12.2	11.7	10.6	9.8	non Metropolitan area	63.1	63.6	61.7	61.4	61.1

* source : 1999-2003 CAPSS data

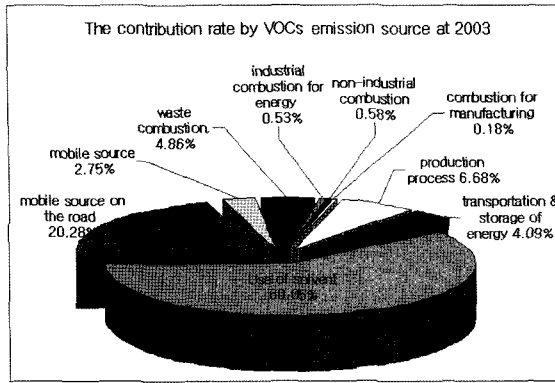


Fig. 3. The contribution rate by VOCs emission source at 2003.

VOCs가 배출되는 것으로 나타났으며, 생산공정에서는 석유제품산업, 유기화학제품제조업 및 식음료 가공업에서 주로 VOCs가 배출되는 것으로 나타났다.

점. 면, 선오염원에 의한 VOCs 배출기여도는 Fig. 4에 도시하였다. Fig. 4에 나타난 것처럼 VOCs의 배출의 경우는 면오염원에 의한 기여율이 60% 이상으로 나타나 배출량을 저감시키기 위해서는 면오염원의 관리가 중요한 것으로 판단된다.

Table 3. VOCs emission from three major emission source at 2003

(Unit : ton/yr)

SCC	VOCs emission	SCC	VOCs emission
production process	Petroleum industries	transportation & storage of energy	Gasoline Dispensing
	Iron and steel production		subtotal
	inorganic chemical industries	Use of solvent	painting facility
	organic chemical industries		cleanin of facility
	wood, paper pulp industries		Washing facility
	Food, drink industries		other use of solvent
	other manufacturing industries		subtotal
	ammonia use		
	subtotal		

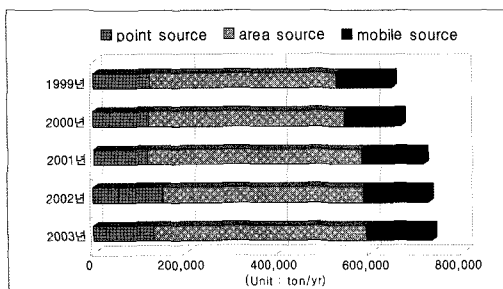


Fig. 4. VOCs emission of each emission source.

Table 4. Comparison of VOCs Emission by major source category at 1997 and 2006

(Unit : ton/day)

Source Category	1997	2006
Total stationary sources	416	293
Fuel combustion	9	10
waste disposal	9	10
cleaning and surface coating	122	54
petroleum production and marketing	63	37
industrial processes	20	18
solvent evaporation		
consumer products	118	104
architectural coating	51	32
others	3	3
misc. processes	21	25
Total mobile sources	756	405
on-road vehicles	519	266
off-road vehicles	237	139
TOTAL	1,172	698

2.2. 국외 VOCs 배출현황 및 저감계획

2.2.1. 미국¹⁾

미국의 SCAQMD에서 관리하고 있는 지역의 1997년 배출원별 VOCs 배출량과 2006년의 배출예상량을 Table 4에 정리하였다. 미국의 경우는 국내의 VOCs 배출패턴과 달리 유기용제 사용부분의 기여율이 작고, 도로이동오염원 및 비도로 이동오염원의 기여율이 매우 높은 것으로 나타났다. 1997년의 VOCs 배출량과 2006년의 예상배출량을 비교해보면 1997년을 기준으로 할 때 총 VOCs 배출량의 40% 정도가 삭감될 것으로 예상되며, 부문별 저감량을 보면 도장공정에서 저감되는 양이 제일 큰 것으로 나타났으며, 그 이외에는 용매사용부분과 도로 및 비도로 이동오염원의 배출 저감량이 큰 것으로 나타났다. 1997년과 2010년의 VOCs 배출량의 오염원별 기여율은 Fig. 5에 도시하였다. Fig. 5에 따르면 이동오염원에 의한 기여율이 45%에서 34%로 줄어든 반면, 면오염원의 기여율이 28%에서 36%로 늘어난 것으로 나타났다.⁶⁾ 이 결과로 볼 때 미국의 경우도 국내의 경우와 마찬가지로 대기중의 VOCs 농도저감을 위해서는 면오염원의 관리가 중요한 것으로 나타났다.

2.2.2. 유럽

UN 유럽경제위원회(UN/ECE)에 의한 영국의 VOCs 배출량을 Table 5에 정리하였다. Table 5에 따르면 영국의 경우도 미국과 마찬가지로 유기용제 사용부분의 VOCs 배출량 기여율은 국내의 반 정도에 지나지 않는 것으로 나타났으며 미국과는 달리 이동오염원의 기여율은 국내에 비해서는 조금 높은 정도였으며, 국내나 미국과는 달리 에너지 사용부분의 배출량 기여율이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 그러나 에너지 사용부분은 대부분 면오염원에 해당되는 배출원이어서 국내나 미국과 마찬가지로 대기중의 VOCs 농도를 낮추기 위해서는 면오염원에 대한 관리가 중요한 것으로 나타났다.

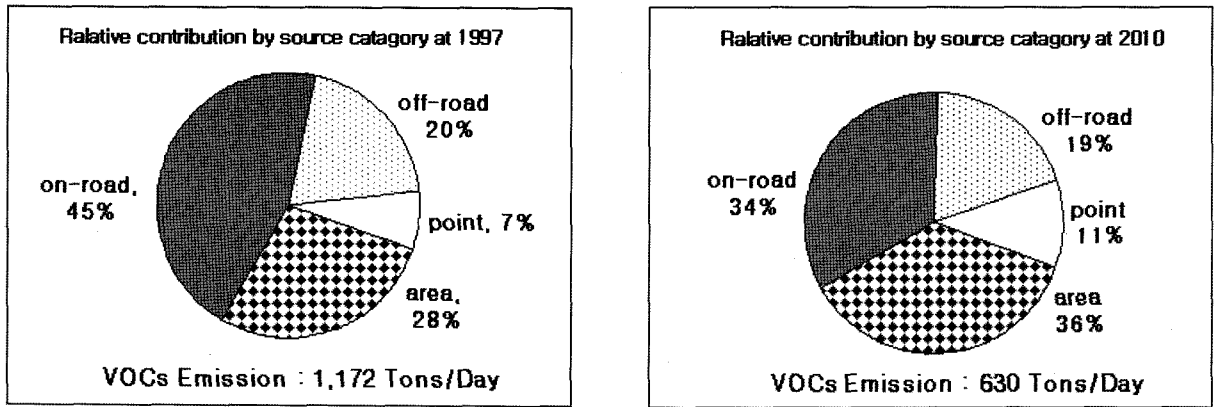


Fig. 5. Relative contribution by source category at 1997 and 2010.

Table 5. VOCs emission from UK by UN/ECE

(Unit : ktonnes)

UN/ECE Classification	1970	1980	1990	1995	2000	2001
energy industry-combustion	10	11	10	10	10	11
non-industry combustion	296	131	67	40	36	42
manufacture-combustion	19	14	9	9	9	8
production process	291	308	340	321	206	184
energy extraction and distribution	64	208	298	306	284	284
solvent use	595	582	674	543	443	425
on-road mobile source	593	718	879	641	346	300
off-road mobile source	78	72	66	63	61	60
waste treatment	12	58	45	39	22	22
land use	37	58	35	0	0	0
natural generation	178	178	178	178	178	178
total	2172	2338	2603	2149	1596	1514

2.2.3. 일본

일본의 경우는 황산화물, 질소산화물, 입자상물질 및 VOCs를 4대 대기오염물질로 하여 규제하고 있고, 특히 VOCs에 의해 생성되는 미세분진이나 오존에 의한 대기오염을 시급히 개선해야 할 문제로 간주하고 있다. 현재 VOCs 이외의 오염물질에 대해서는 그 대책이 마련되어 있으나 VOCs에 대한 대책마련은 미흡한 실정이다. 일본은 광화학 오존농도를 전국 1,195개소에서 모니터링하고 있으나 이중 6개소만이 환경기준을 달성하고 있는 수준이고 2002년의 전국 오존주의보 발령횟수는 184일에 이르고 있다. 또한 농도별 측정시간의 비율에서 오존의 1시간 환경기준 농도인 0.12 ppm을 초과하는 비율은 0.1%로 낮았으나 도시주변부의 오존농도가 0.12 ppm을 초과하는 일수가 증가하고 있어 광화학 대기오염의 특징인 광역 대기오염의 경향이 확인되고 있다. 이에 따라 일본 환경성에서는 2003년에 “VOCs 배출억제 검토회”를 만들어 VOCs규제에 대해 검토하고 있다. 일본의 VOCs 배출량은 2000년을 기준으로 할 때 185만톤이 배출되고 있는데, 이중 90%는 고정발생원에서 배출되고 있고 이동오염원에서는 10% 정도가 배출되고 있는 것으로 나타나 국내의 VOCs 배출패턴과 유사한 경향을 나타내었다.

이를 근거로 하여 2004년 5월 대기오염방지법을 개정하고, 2005년 5월에는 대기오염방지법 시행령을, 6월에는 시행규칙을 개정하였으며, 4월부터 고정발생원에서의 VOCs 배출규제를 실시하고 있다. VOCs 규제방식은 VOCs 배출량이 큰 시설에 대해서는 대기환경에 미치는 영향이 크고, 그에 따른 사회적 책임이 무거우므로 법에 의한 규제를 행하고, 배출량이 크지 않은 다양한 시설에 대해서는 배출원의 종류나 배출형태가 다양하므로 업종별로 사업주가 자발적으로 VOCs 배출을 규제하도록 유도하고 있다. 2011년의 VOCs 배출목표는 2001년 고정발생원에서 배출된 VOCs 배출총량의 30%를 삭감하는 것이다.

2.3. VOCs 배출량 산정의 문제점

배출원에서 VOCs 배출을 효과적으로 저감시키기 위해서는 배출량의 정확한 산정이 무엇보다 중요하나 국내에서 보고된 자료에 따르면(비록 발표년도의 차이가 있기는 하지만) 각 배출원별 배출량이 많은 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다. 이 절에서는 3가지 부문에서의 국내에서 보고된 VOCs 배출량자료를 비교하고, 그 원인을 검토하였다.

2.3.1. 세탁소

국내 보고서 A, B, C에서 세탁소로부터의 VOCs 배출량 산정을 위해 사용한 배출계수 및 산정된 배출량은 Table 6에 정리하였다. VOCs 배출량은 다음 식으로 산정하였다.

$$\text{VOCs 배출량} = \text{국내세탁업소} \times [(\text{업소당 연간 평균세탁용제 사용량(L)} \times \text{비중(kg/L)} - \text{업소당 연간 폐세탁용제 발생량(kg)}) \times 10^3 \text{ ton/kg}]$$

Table 6. Comparison of VOCs emission from laundry

	A	B	C
emission factor (kg/company-yr)	567.96	610.368	610.37
amount used(L)	717	792.69	792.69
No. company	35,034	37,724	35,809
emission(ton/yr)	19,898	23,026	21,857

A, B, C 연구에서의 VOCs 배출량의 차이는 Table 6에 정리한 것처럼 적용한 배출계수와 용제 사용량의 차이에 기인한다. 용제사용량의 경우는 각 연구별로 실측조사를 하였는지, 통계자료를 이용하였는지에 따라 차이가 나타나고 있으며, 배출계수는 많은 부분 EPA 등 외국의 자료를 국내의 상황을 감안하지 않고 그대로 적용하고 있어 그에 대한 재검토가 필요한 것으로 나타났다.

2.3.2. 주유소

주유소에서의 VOCs 배출량 산정을 위한 배출계수는 Table 7에 정리하였다. VOCs 배출량은 다음 식으로 산정하였고, 그 결과를 Table 8에 정리하였다. Table 8에 정리한 것처럼 주유소에서 배출되는 VOCs량도 배출계수의 차가 배출량 산정에 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

VOCs 배출량(mg) =

$$\text{각 공정별 배출계수(mg/L)} \times \text{주유소 휘발유 판매량(L)}$$

Table 7. Emission Factor at gas station and underground tank

	emission spurce		emission factor(g/L)		
			CAPSS	AP-42	C
stage I	breathing from underground tank			120	190
	evaporating with recharging underground tank	submerged	2,102.4	880	1,010
		splashing		1,380	1,200
stage II	evaporating at refueling automobile evaporating with spillage			1,320	1,110
			80	81	

Table 8. Comparison of VOCs emission from gas station and underground tank

	A	B	C	D
emission factor (mg/L)	refueling from underground tank:1340 refueling automobile:1640	2,102.4	use emission factor (table7)	use emission factor (AP-42)
marketing amount (kL/yr)	9,918,114	8,834,189	8,547,733	8,547,733
emission (ton/yr)	29,556	18,573	20,438	20,515

2.3.3. 금속세정

금속세정의 경우의 배출계수 및 산정된 배출량 자료는 Table 9에 정리하였다. Table 9의 배출량은 적용한 배출계수의 차이 및 업종의 분류를 어떻게 하느냐에 의해 차이가 발생한 것으로 나타났다.

이와 같이 어떤 배출계수나 활동도 자료를 이용하는 각각 배출원에서의 배출량 산정에 중요한 영향을 미치는 것으로 나타나 각 배출원의 배출계수 및 활동도 자료가 과연 그 산업에서 배출되는 VOCs 배출량을 정확하게 산출할 수 있는 신뢰성 있는 자료인가에 대한 검토 및 평가가 필요한 것으로 판단된다.

Table 9. Comparison of VOCs emission factor and emission from metal cleaning industry

	A	B	
emission factor(kg/yr-man)	39.46(AP-42)	39.46(AP-42)	223.1
emission	31,093	1914.83	10825.26

3. VOCs 배출저감방법

배출원에서의 VOCs 배출저감 방법은 앞에서 기술한 것처럼 먼오염원관리 대책과 생산공정 등 다량의 VOCs를 배출하는 공정에서의 VOCs 배출저감 방법으로 나눌 수 있다. 본 절에서는 국내·외 VOCs 배출저감을 위한 저감대책의 동향 및 각 시설별 VOCs 저감방법에 대해 간략히 정리하였다.

3.1. 국내·외 VOCs 배출저감방법

3.1.1. 국내의 VOCs 배출저감 대책

배출원에서 VOCs 배출량을 저감시키기 위해서 정부에서 고려하고 있는 대책은 점오염원(생산공정)의 경우는 BACT기술을 적용하여 VOCs 배출량 삭감을 계획하고 있다. 유기용제 사용부문의 경우는 가장 배출량이 많은 도장시설은 유기도료 사용을 제한하고 수성도료의 사용을 확대하는 방법과 도료의 유기용제 함량 규제 및 비산 배출허용기준을 설정, 규제하는 방안을 검토하고 있다. 기타 세정시설이나 인쇄업의 경우도 비산배출허용기준의 설정 및 강화에 의해 배출량을 삭감하도록 유도하고 있다. 에너지 수송 및 저장부문에서는 연료의 저장 및 주입과정에서 발생하는 VOCs 배출량을 삭감하기 위해 Stage I과 II의 설치의무화를 시행중이거나 계획하고 있다. 또한 도로포장에 사용되는 컷백아스팔트의 사용을 제한하고 있다.

이와 같은 VOCs 배출저감방법의 실행에 따른 VOCs 배출량 및 배출저감 효과는 Table 10에 정리 하였다. Table 10에 따르면 위와 같은 VOCs 삭감대책이 효과적으로 이루어진다면 2014년까지 예상되는 총 VOCs 배출량 320,382 ton/yr 중 71.5%인 249,793 ton/yr의 VOCs가 삭감 가능한 것으로 예상된다.

Table 10. Reduction by each technology to remove VOCs at 2014 (Unit : ton/yr)

	emission (without measures)	emission (with measures)
production process	47,490	41,026(6,464)
transportation of energy	16,377	8,188(8,188)
Painting of architecture and structure	100,440	29,460(70,980)
painting and washing (without archetecture paint)	127,951	2,951(125,000)
regulate solvent-content for general use oil & paint	13,693	7,531(6,162)
regulate use of cut-back asphalt	43,292	10,292(33,000)
Total	349,243	99,450(249,793)

* () : reducing amount

3.1.2. 외국의 VOCs 저감대책 추진현황

1999년 스웨덴의 Gothenburg에서 채택된 Gothenburg Protocol에서는²⁾ 황, NOx, VOCs, 암모니아의 4가지 오염물질에 대해 2010년의 배출상한값을 설정하였으며, 이 의정서가 완전히 실시되면 VOCs 배출량은 1990년 배출량의 40%가 삭감될 것으로 예상된다. 또한 이 의정서에서는 여러 발생원(소각, 발전, 드라이크리닝, 자동차, 트럭 등)에 대해 엄격한 배출규제치를 설정하고, 이를 달성하기 위한 BACT의 설치 및 도료제품의 VOCs 함량규제 등을 요구하고 있다.

Gothenburg의정서에 따라 유럽의회와 EU이사회는 2001년 10월 “특정 대기오염물질에 대한 배출상한값에 관한 지침”을 채택하여 2010년, 2020년을 목표연도로 한 국가별 VOCs 배출상한값을 설정하고 있다.⁸⁾ 또한 EU환경장관 이사회에서는 2004년 10월 “페인트 및 자동차 refinishing 제품에 대한 VOCs 감축지침”에 합의하였다. 이 지침에는 페인트, 안료, 자동차 refinishing 제품의 VOCs 배출량을 연간 50% 감축하고, 2007년과 2010년을 목표 연도로 하여 최대 VOCs 배출량을 규정하고 있다. 이외에도 오스트리아에서는 실내용 코팅, 라커 나무바닥의 코팅에 사용되는 바니쉬의 VOCs 함량을 법으로 제한하고 있으며, 덴마크는 소비자용 페인트의 VOCs 함량을 제한하는 법규와 MAL-code 라벨링 제도에 의한 근로자 건강 보호를 위한 법규를 제정, 실시 중에 있다.

일본에서는 중앙환경심의회가 2004년 2월 환경성 장관에게 제출한 “VOCs의 배출억제”에 따르면⁵⁾ VOCs 배출저감방법은 2장에서 기술한 것처럼 법규제와 사업자에 의한 자발적 배출억제를 동시에 실시하는 “Best Mix”가 근간을 이루고 있는 것으로 나타났다. 이 규제방식을 근거로 하여 ① 도장시설, ② 화학약품 제조, ③ 공업용 세정, ④ 인쇄, ⑤ 유류저장시설, ⑥ 접착 및 도료 등 6개 시설을 대상 시설로 하여 VOCs 배출을 법으로 규제하고, 규제대상에서 제외된 시설은 사업자가 BACT를 적용하여 VOCs 배출을 자발적으로 억제하도록 유도하고 있다.

3.2. 각 배출원별 VOCs 배출저감방법

VOCs 배출을 저감하기 위해서는 면오염원의 관리가 중요하다. 본 절에서는 면오염원으로 분류될 수 있는 생산시설로부터의 VOCs 배출, 저감방안을 검토, 정리하였다.

3.2.1. 세정시설

(1) 공정제어

용매세정기로부터의 VOCs 배출을 저감하기 위해서는 기계시설의 관리 및 운전방법의 개선이 병행되어야 한다. 세정과정에서의 VOCs 배출은 사용하는 용매의 휘발도와 작업온도에 대한 관리가 중요하다. 또한 저온세정장치와 상부 개방형 증기회수 장치로부터의 VOCs 배출을 억제하기 위해서는 상부 덮개의 설치 등이 필요하다.

(2) 대체 세정제 사용

o 수계세정제: 세정제로부터의 VOCs 배출을 억제하기 위해서는 유기세정제 대신에 물, 세제, 산 혹은 염기로 이루어진 용액을 사용하고, 필요에 따라 pH를 조절한 알

칼리세정, 중성세정 및 산세정액을 사용한다.

o 준수계세정제: 수계세정제의 세정력을 높이기 위해 탄화수소계나 알콜계 세정제를 사용하며, 이때 준수계 세정제를 물에 희석시켜 사용하거나 비수용성 세정제를 농축하여 사용하고 물로 행구는 방법을 사용한다.

3.2.2. 인쇄시설

인쇄시설로부터의 VOCs 배출저감 방안은 인쇄잉크중의 VOCs 함량을 줄이는 방법과 배출된 VOCs를 포집하여 가열, 촉매연소기나 탄소흡착법을 이용하여 제거하는 방법이 있다. 인쇄소에서 주로 사용하는 그라비아 잉크중의 VOCs 함량을 8% 줄이면 총 VOCs 배출량의 3.2%가 저감된다고 보고된 바 있어, 정부에서도 잉크중의 VOCs 함량을 제한하는 대책을 점차 확대하려고 계획하고 있다.

3.2.3. 자동차 제조 및 정비시설

자동차 도장공정에서는 유성도료를 사용하고 있고, 용제의 희석제로 신나와 같은 휘발성 물질을 사용하므로 이 과정에서 다량의 VOCs가 배출된다. 따라서 도장공정에서 배출되는 VOCs양을 저감시키기 위해 다음과 같은 방법을 고려할 수 있다.

(1) 스프레이건 세정방법을 통한 저감

일반적으로 도장에 사용되는 스프레이건을 밀폐되지 않은 공간에서 세척하는 데, 이 과정에서 다량의 VOCs가 대기중으로 배출된다. 따라서 이 세척과정을 밀폐된 공간에서 행하면 VOCs 배출을 줄일 수 있다.

(2) 용제전환을 통한 저감

VOCs 배출량은 사용하는 용제의 비점과 상관관계가 있으므로 용제를 사용하는 시설의 특성별로 사용용제를 선택하면(비점을 고려하여, Table 11 참조) VOCs 배출량을 줄일 수 있다.

(3) 용제의 재활용에 의한 저감

용제를 사용하면 그 과정에서 휘발성 VOCs가 배출되는데, 장치의 외부에 기화되어 배출되는 VOCs를 포집, 응축시켜 용제를 회수하는 장비를 설치하면 기화된 용제를 액체로 회수하여 재이용할 수 있어 사용 용제량 및 VOCs 배출량을 줄일 수 있다. 최근 드라이크리닝 업소에서도 VOCs를 회수하는 방법으로 이 방법을 채택하여 사용하고 있다.

Table 11. Boiling range of solvent used

solvent	boiling range (°C)	solvent	boiling range (°C)
hydrocarbon solvents		aromatic hydrocarbon	
hi flash VM&P naphtha	126-142	toluene	110-111
VM&P naphtha	118-140	ethyl benzene	135-136
mineral spirits	153-198	alcohol	
odorless mineral spirits	179-198	isobutyl alcohol	106-109
stoddard solvent	154-197	butyl alcohol	117-119

3.2.4. 주유소 및 유류저장시설

(1) 저장탱크로부터의 저감

유류저장탱크로부터 VOCs의 배출을 저감하기 위해서 탱크 내부에 유동식덮개(IFC)나 고정식덮개와 VDI를 결합시켜 사용하면 탱크로부터 배출되는 VOCs의 90%를 저감시킬 수 있다. 저장탱크에 기름을 채우거나 사용할 때 탱크벽에 형성되는 유막에서 VOCs가 기화, 배출되므로 탱크의 재질을 steel이나 aluminum으로 하면 VOCs의 70-90% 배출저감시킬 수 있다. 또한 탱크의 외벽에 백색페인트로 도색을 하면 햇빛을 70%정도 차단할 수 있어 탱크내의 온도를 낮게 유지할 수 있어 VOCs 배출량이 저감된다.

(2) 차량주유시의 VOCs 배출저감

Stage I과 Stage II를 사용하면 유류저장 탱크로부터 차량에 주유 시 대기중으로 배출되는 VOCs량을 저감시킬 수 있다.

o Stage I

유류저장탱크와 주유차량사이에 VRU(vapor recovery unit)를 설치하여 VOCs를 회수, 냉각·응축시켜 저장탱크로 보냄으로서 VOCs 배출량을 줄일 수 있다. VRU는 95% 회수율의 single stage와 100% 회수율의 double stage로 구성되며, 주로 도로차량주입 시설에 설치된다.

o Stage II

차량주유시 배출되는 VOCs량을 줄이기 위해 사용되며, 스웨덴이나 스웨덴에서는 Stage II 설치 시 VOCs 회수율을 각각 53%와 56%로 설정하고 있다. 미국 EPA 자료에 따르면 미국의 경우도 Stage II에 의해 VOCs가 50-60% 회수되고 있다. 이 방법은 오토바이와 같이 연료탱크가 얇은 경우는 사용이 어렵다는 단점을 갖고 있다. 또한 Stage II를 사용하기 어려운 경우는 대안으로 on-board canister를 차량에 장착할 수 있으며, 미국과 CONCAVE 자료에 따르면 carbon canister의 사용 확대로 연료주입 시 배출되는 VOCs의 95%를 줄였다고 보고한 바 있다.

(3) 기타 방법¹⁾

압력저감밸브(pressure relief valves; PRVs)는 유류저장탱크내의 증기압 증가에 따른 폭발을 방지하기 위해 설치하고 있는데, 이 PRVs를 제어하여 VOCs 배출량을 줄일 수 있다. 또한 미국의 SCAQMD에서는 유류저장탱크의 증기압을 현행의 1.5 psi에서 0.5 psi로 낮추어 VOCs 배출을 저감하는 방법을 제안하고 있는 데, 특히 소형 탱크에 적용하면 VOCs 배출저감에 효과가 있는 것으로 보고하고 있다.

4. 맺음말

우리나라의 경우 매년 여름만 되면 대기중의 오존농도가 올라가서 문제가 되고 있고, 고농도 오존에 의한 오존주의보 발령횟수가 증가하고, 발령지역도 점차 확대되어 가고 있는 추세에 있어 오존농도 저감을 위한 여러 방법들에 대한 검토가 이루어지고 있다. 대기중의 오존농도 저감을 위

해서는 NOx와 VOCs의 배출저감이 필수적이다. 대기오염물질 배출총량제가 도입되면서 오염물질을 다량 배출하는 점오염원에서 NOx의 배출을 저감하기 위한 대책들이 강구되고 있으나 VOCs의 경우는 소량의 VOCs를 배출하는 배출원 다수가 산재해 있어 그 배출량을 저감시키기 위한 효과적인 대책마련이 쉽지 않은 실정이다.

본 논문에서는 VOCs의 배출현황 및 VOCs 배출저감을 위한 국내·외에서 추진하고 있는 저감대책의 추진방향, 실제 배출원에서의 VOCs 배출저감 방법들을 검토, 정리하였다. 점오염원에서의 VOCs 저감기술에 관한 내용은 이미 많은 논문에서 다루고 있기 때문에 본 논문에서는 다루지 않았다. 본 논문에서 기술한 저감방법이외에도 VOCs 배출을 저감하기 위한 많은 방법들이 개발되었거나 개발 중에 있다. 이들 방법을 적용하여 VOCs 배출량을 저감시키기 위해서는 VOCs 배출저감을 위한 정부의 저감대책 수립이 일차적으로 필요하지만 정부만의 노력으로는 정책추진의 효율성을 갖기가 쉽지 않으며, 제품을 생산하거나 취급하는 사업자와 제품을 사용하는 소비자가 모두 참여하여 유기적으로 노력해야만 그 효과를 거둘 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Bay Area Air Quality Management, "Sanfrancisco Bay Area Ozone Attainment plan for the 1 hr National Ozone Standard,"(2001).
2. Directive 2004/42/CE, "The limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain paints and varnishes and vehicle re-finishing products and amending Directive 1993/13/CE," Official Journal of the European Union(2004.4.30).
3. 한국환경정책평가연구원, "수도권지역 배출총량관리제 추진방안,"(2004).
4. 건국대학교, "수도권대기질개선대책효과분석 및 사후관리방안,"(2006).
5. 木田正憲, "行政の立場からの削減対策—大氣汚染防止法による揮發性有機化合物(VOCs)對策," 47회 일본대기환경학회 학술발표회 논문집, 동경대학(2006).
6. Strategic Plan for research 2001 to 2010, California Environmental Protection Agency - Air Resource Board(2001).
7. Viktoras Dorosevas, et al., "The Problem of Volatile Organic Compound(VOCs) Emissions from Petrol in Lithuania and Methodological Aspects of Emission Reduction," Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba, Nr. 2(24), pp. 28~36(2003).
8. 한영수, "유럽에서 VOCs의 규제와 삭감동향," resear(2006).
9. 삼성SDS, 대기보전 정책수립 지원시스템(3차)최종보고서(2003).
10. EEA, "Emission inventory Guidebook,"(2006).
11. 환경부, "광화학 대기오염의 생성과정 규명 및 저감대책 수립을 위한 종합조사연구(I),"(2002).