

I. 서론

VOC(Volatile Organic Compounds)는 자체의 성질로도 유해하며 대기중에서 질소산화물(NOx)과 함께 광화학반응에 참여하여 인체 및 동·식물에 유해한 오존 등 2차 오염물질인 광화학옥시단트(photochemical oxidants)를 형성하는 전구물질(precursor)로 작용한다.

최근 국내에서는 오존오염도가 매년 증가하고 도시지역에서는 단기환경기준치를 초과하는 사례가 빈번히 발생함에 따라 '95년 대기환경보전법 개정안에는 1999년 1월부터 실시하는 VOC 배출시설의 규제 관리 조항을 신설하였다. 대기 중 오존오염저감은 VOC 배출저감과 연계되므로 효율적이며 합리적인 VOC 규제관리 정책이 필요하다. 무엇보다 VOC 규제관리를 위해서는 주요 오염원별 배출실태 파악이 선행되어야 하며 이를 바탕으로 저감기술 적용과 적합한 배출원별 저감대책이 수립되어야 할 것이다.

이러한 배경에서 본 연구는 외국의 배출량 산정방법을 이용하여 1994년도 국내의 VOC 배출원별 배출량 산정을 시도하여 제시하였다.

II. 배출량 산정 방법 및 결과

VOC 배출원은 매우 다양하므로 본 연구에서는 전체 배출량에 기여하는 비중이 큰 것으로 예상되는 7가지 오염원 즉, 자동차(배기관과 증발), 도장산업, 인쇄시설, 세탁시설, 아스팔트 도로포장, 유류 저장시설, 유류 수송과 판매시설에 대해 배출량을 산정하였다.

2.1 자동차부문

자동차 운행으로 인한 VOC 배출원별 산정방법과 배출계수는 다음 표 1과 같다. 배기관 배출의 경우 조강래등(1991)이 산정한 탄화수소 배출량을 1994년도의 차종별 보유대수로 보정하여 산출하였으며 자동차 운행중 연료의 증발에 의한 VOC는 배출제어시스템으로 charcoal canister를 장착하였다고 보고 배출율은 0.28 g/km·대를 적용, 주행거리와 차량대수를 이용하였다(한화진외, 1995).

Stage I의 경우 국내는 top loading 방식을 사용하므로 splash fill의 배출계수인 1.34 g/l (EPA, 1995)을 사용하였으며 주유소의 휘발유판매자료는 전국판매실적 자료(1994년도 7,929,500.81 kl)를 이용하였다(한국석유유통협회, 1994). Stage II의 경우에는 표 1의 배출계수 1.64 g/l 와 주유소에서 휘발유 판매자료를 이용하여 산정하였다.

<표 1> 자동차 운행과 관련된 VOC 배출량 산정방법

자동차 VOC 배출원	배출량 산정방법	배출계수
배기관	차종별 탄화수소 배출계수와 연도별 자동차 보유대수를 추정하여 산출	조강래등(1991)
증발배출원	OECD(1993)의 연구결과 이용	- 2.5 g/km·대(배출제어장치 장착 無) - 0.28 g/km·대(배출제어 장치 장착)
주유소에서의 배출 (stage I & stage II)	Stage I 배출: 가솔린 cargo 트럭에서 지하 저장탱크로 옮기는 과정에서 배출	- 1.14 g/l; 미국의 추정값 (splash fill: 1.34 g/l) - 1.4 g/l; 독일의 추정값
	Stage II 배출: 급유과정에서의 배출 · 급유과정중에 급유관으로부터 액체연료가 누출 또는 토출: 1.44 g/l · 주유소 지하저장탱크로부터의 breathing loss: 0.12 g/l · Spillage 배출: 0.08 g/l	- 1.64 g/l (연비를 10 l/km로 가정할 경우 0.16 g/km·대)

## 2.2 도장산업, 인쇄시설, 세탁시설, 아스팔트 도로포장

도장산업의 VOC 배출량 산정시 국내 자료로는 미국 EPA의 AP-42에 제시된 일반적 표면코팅 배출계수를 적용하기 어려워 사용된 도료량의 약 50%에서 VOC가 배출된다고 가정하고 도료의 평균밀도로 EPA가 제안한 0.88 kg/l를 이용하였다(AP-42의 권고). 그러나 희석제로 사용되는 신나는 전량 증발하는 것으로 가정하였으며, 1994년의 신나 생산량 110,376kt를 각 산업의 부문별 도료생산량에 따라 할당하였다. 또한 자동차(신차), 전자, 산업(금속, 목재), 철구조물, 플라스틱 산업부문은 도장시설에서 증기회수장치를 이용하고 있다고 보고 방지효율을 90%로 가정하여 산정하였다.

국내 인쇄시설 VOC 배출량은 공정별 자료의 구입이 어려워 국내의 모든 인쇄시설을 소형배출원으로 취급하여 AP-42에서 제시한 1인당 배출계수(0.4 kg/year/인)를 이용하여 산정하였다.

세탁시설에서의 VOC 배출량은 질량수지방법을 적용, 폐용제의 양을 제외한 용제소비량이 VOC 배출량과 같다고 추정하고 산정하였다. 세탁협회의 공식자료에 의하면 세탁량이 많은 세탁소의 경우 월평균 18리터 용기 3개, 그외는 18리터 용기 1-2개를 사용하고 있으며 용제 사용에서 솔벤트 20리터당 1kg의 폐용제가 발생한다(세탁협회, 1995)고 보고되어 있다. 본 연구에서는 국내 세탁소의 용제 사용량을 월 18리터 용기 2.5개로 가정하였다.

아스팔트 도로포장에서 배출되는 VOC는 주배출원인 커트백 아스팔트의 양을 이용하여 산정하였다. 커트백 아스팔트양은(76,041 톤) 1994년도 국내 아스팔트 총 소비량(한국석유개발공사, 1994)은 9415.7천Bbl(1520823.86 톤)에 커트백 아스팔트가 차지하는 비율(아스팔트 총소비량의 약 5%, LG정유 내부자료)를 적용하여 추정하였다. 또한 커트백 아스팔트의 정화방식은 대부분 중간정화로 가정하고 용매의 회석정도는 35%로 보았으며 커트백 아스팔트 중량의 20%를 VOC 배출량으로 계산하였다.

## 2.3 유류 저장·수송·판매 시설

유류 저장탱크에서의 VOC 배출량은 탱크형태에 따라 달라지며, 크게 고정지붕탱크와 부유지붕탱크(외측 및 내측)로 구분된다. 고정지붕탱크에서 배출되는 중요한 형태의 VOC 배출원은 호흡손실(breathing loss)과 작동손실(working loss)이며 부유지붕탱크는 테의 밀봉손실, 배출손실, 데크부착물 손실 및 데크밀봉손실이다.

유류 저장시설의 VOC 배출량은 미국 EPA에서 작성·배포하고 있는 TANKS2 모델에 국내 5개 정유사가 제공한 1994년도 탱크정보와 유류의 화학정보, 해당지역의 기상정보를 입력하여 산정하였으며, 대상용매로는 비교적 휘발성이 큰 원유, 휘발유, 납사, JP-4, 벤젠, 톨루엔, 크실렌과 유기용매로 하였다.

석유류의 수송과 판매과정에서 나오는 증발배출은 ①저장장치, 수송수단에 철도유조차, 유조트럭 및 해운용기(출하, 수송손실), ②주유소(연료의 점적(drop)손실과 지하탱크 발산손실), ③자동차연료통(재급유시 손실), ④대형저장탱크(발산, 작업 및 저장품 손실)에서 발생된다. 이 항목중에서 본 연구의 석유류 수송과 관련된 배출항목은 첫번째인 출하와 수송손실이며 나머지 주유소와 자동차연료통, 대형저장탱크의 배출량은 앞에 제시하였듯이 자동차 부분의 Stage I 과 Stage II의 배출량 산정에 포함시켰다.

석유류 수송으로 인한 VOC 배출은 출하>Loading)시 배출과 수송(Transit) 과정의 배출로 구분된다. 본 연구에서는 석유류 수송으로 인한 VOC 배출은 출하시 배출을 주된 원인으로 보고 AP-42에 제시된 석유선적식을 이용하여 배출량을 계산하였다. 출하시 VOC 배출량은 출하형태(탱크 또는 선박)에 따른 국내자료의 불확실성으로 출하량으로는 한국석유개발공사가 집계한 국내의 유류 내수량(한국석유개발공사, 1994)의 자료를 이용하였으며, 출하형태는 모두 탱크트럭을 이용하는 것으로 가정하였다. 석유류 출하시 VOC 배출계수는 출하방법(submerged & splash)에 따라 다르게 나타난다. 국내에서는 splash 방식과 submerged 방식의 중간형태의 출하방식을 취하고 있기 때문에 본 연구에서는 중간형태의 출하에 적용하기에 비교적 타당하다고 생각되는 포화계수값(S=1.2)을 택하여 배출량 산정에 이용하였다.

지금까지 산정한 1994년도 VOC 배출원별 배출량 결과를 다음 표 2에 제시하였다.

<표 2> VOC 배출원별 배출량 및 배출비중(전국, 1994년)

배출오염원	오염원 세부구분	배출량(톤)	배출비중(%)
자동차운행	배기관 배출	150,400	33.7
	증발배출	26,500	5.9
	Stage I	10,626	2.4
	Stage II	13,004	2.9
	소계	200,530	45.0
페인트	페인트사용	179,985	40.4
인쇄	잉크사용	17,781	4.0
유류저장 및 출하시설	저장시설	4,174	0.9
	출하시설	16,212	3.6
	소계	20,385	4.6
세탁시설	용제사용	12,097	2.7
아스팔트	커트백 아스팔트의 회석제	15,200	3.4
총합		445,979	100

### III. 결론 및 향후과제

1994년도 국내 VOC 배출원 중 기여도가 가장 큰 부문은 자동차(45.0%)와 페인트 부문(40.4%)으로 나타났으며 유류저장 및 출하시설은 주유소에서 배출되는 양과 함께 약 10%를 차지하여 미국(1993년 약 8%), 유럽(1983년 약 8%)과 유사한 경향을 보이고 있다.

본 연구를 통해 국내 VOC 배출량 산정시 많은 문제점이 도출되었는데 첫째, 배출량 산정에 필요한 기초자료의 부족이다. 보다 정밀한 배출량 산정을 위해서는 주요 VOC 배출원의 공정별 현황과 원료 사용량을 파악해야 하지만 현재 국내에서 이들 체계화할 수 있는 자료는 거의 없는 형편이다. 따라서 본연구의 배출량 산정결과로는 전체적인 국내현황을 파악하는데 만족할 수 밖에 없다. 둘째, 배출원 분류가 세분화되지 않고 있다. 본연구에서 제외된 VOC 배출원으로는 연료연소, 화학제품 생산, 세정(Degreasing) 작업, 석유산업중 불특정오염원(fugitive source), 폐기물 처리 그리고 자동차이외의 이동오염원 등이다. 앞으로 이들 부문에 대한 VOC 배출량 산정작업이 수행될 경우 더욱 상세한 배출기여도가 산출될 것으로 예상된다.

이에 따라 향후 국내 배출원 자료체계에 증발배출원을 포함할 필요가 있으며 상세한 VOC 배출자료 체계를 구축해야 할 것이다. 이를 바탕으로 VOC 배출저감 목표를 수립하여 다양한 저감대책을 실천하는 것이 현재 악화되고 있는 오존오염도를 개선하는데 필수적이라 판단된다.

### 참고문헌

세탁협회, 「국내 세탁업 현황 및 폐기물 발생실태」, 1994, 1995.  
 조강래외, 「도시지역 대기질 개선에 관한 연구(III)」, 국립환경연구원, 1991.  
 한국석유개발공사, 「석유류수급통계」, 1994.  
 한국석유유통협회, 「전국석유대리점판매실적」, 1994.  
 한국페인트·잉크 공업협동조합, 「도료수급현황」, 1995.  
 한화진외, 「자동차 배출가스 종합대책」, 환경부, 1995.  
 EPA Air, *National Air Pollutant Emission Trends, 1900-1993*, EPA-454/R-94-027, 1994.  
 EPA IM, *I/M Briefing Book*, EPA-AA-EPSP-IM-94-1226, USEPA, 1995.  
 OECD, *Evaporative Emissions from Motor Vehicles and Refuelling Systems*, OECD Environment Monograph, No. 56, 1993.  
 USEPA, *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Vol I*, 5th Edition, AP-42, Research Triangle Park, NC, US EPA, 1995.