

광주지역의 VOCs 배출량산정에 관한 연구

이영재[†] · 신대윤
조선대학교 환경공학과

Studies of VOCs Emission Rate calculation in the Kwang-ju Area

Young Jae Lee[†] and Dae Yun Shin

Dept. of Environ. Eng., Chosun University

(Received 24 June 2000 ; Accepted 10 September 2000)

ABSTRACT

This study was conducted from January to December in Kwang-ju city, 1999. Calculated methods were studied by emission factors in each industrial species. The results was that total emission rate of VOC was calculated at a mount of 12305 ton/year as coating(49.4) > vehicles(27.4) > gasoline vapors(6.1) > petroleum refineries(5.6) > graphic arts(4.4) > road covering(4.1) > dry cleang(3.0%) respectively. In vehicles emission rate, passenger car and taxi were about 2,700 ton/yr(60%) of total vehicle emission(3,300 ton/yr). The amount of building emission rate was about 1,900 ton/yr(30%) of total coating emission 6,083 ton/yr.

Keywords : VOCs, Emission rate, Painting, Vehicles, Kwang-ju

I. 서 론

최근 들어 휘발성유기화합물질(VOCs)에 대한 관심이 상당히 높아지고 있다. 휘발성유기화합물은 아직까지 국제적으로 통일된 정의나 대상물질의 범위가 마련되어 있지 않다. 미국에서는 포괄적으로 유해대기오염물질(hazardous air pollutants: HAP)로 정의하여 이중에 VOCs를 포함시키고 있다. 넓은 의미에서 유기화합물은 탄화수소(hydrocarbons), 반응성유기가스(reactive organic gases), 비메탄계 휘발성유기화합물질(non-methane hydrocarbons) 등으로 구분할 수 있다.¹⁾ 대기중에서 유기화합물은 이와 같이 여러 가지 측면에서 분류되고 있으나 각 물질의 존재상의 형태에 따라 휘발성(volatile), 반휘발성(semi-volatile), 비휘발성(non-volatile)의 세 그룹으로 분류하며 휘발성의 척도로 증기압과 끓는점으로 구분한다. 여기서 휘발성물질은 증기압이 10² kPa 이상의 증기압을 가지고 있고, 상온, 상압에서 액상이나 고상으로 존재할 수도 있다.²⁾

그러나 VOCs는 수많은 화합물의 총칭이고 발생원도

다양하기 때문에 그 범주를 정하기 어려워 미국에서는 일산화탄소, 이산화탄소, 탄산, 금속성 탄산염 및 탄산암모늄을 제외한 탄소화합물로서 대기중에서 광화학반응에 관여하는 화합물, 단 메탄, 에탄, 메틸클로라이드, 메틸클로르포름 등 광화학 반응성이 낮은 물질은 제외하고 있으며,²⁾ 일본의 경우 탄화수소류 대책 지도점검에 의하면 탄화수소는 탄소화합물중 원유, 기술린, 나프타 및 항공터빈 연료류 4호와 이외의 물질로서 단일 물질은 비점이 1기압에서 섭씨 150°C이하인 물질, 단 일산화탄소, 이산화탄소 등 광화학 반응성이 없는 물질은 제외하고 있다.³⁾ 우리나라의 경우 대기환경보전법 시행령 제 39조 의하여 VOCs를 정의하고 있고,⁴⁾ 시행규칙 제 64조에 배출시설을 규정하고 38종의 물질을 VOCs로 고시하였다.⁵⁾ 그러나 이러한 규정만 제정되어 있을 뿐 이에 대한 연구나 실제적인 규제활동은 미진한 실정이다.

VOCs를 제어하기 위해서는 우선 그 배출원을 정확히 파악 하여야 하고 각각의 배출원별로 그 양을 조사하여 가장 많이 배출하는 오염원을 우선적으로 제어하여야 한다. 국내의 배출량 조사연구를 살펴보면 조강래 등⁶⁾은 서울과 광주에서 주행중인 자동차로부터 배출되는 오염물질 배출량을 차중 및 주행패턴에 따라 상이하다는 연구 결과를 발표했다. 또한, 조강래 등⁷⁾은 각

[†]Corresponding author : Department of Environ. Engineering, Chosun University
Tel: 062-228-1466, Fax: 062-230-7153
E-mail: 11366039@mo.go.kr

각의 차종별로 51대를 선정하여 10개의 측정주행모드에 의해 배출가스를 측정분석하여 HC의 차종별 배출계수 및 배출량을 산정하였다. 이전의 연구에 이어서 조강래 등⁸⁾은 좀 더 정확한 배출량을 조사하고자 실제 도로상에서 주행시험을 통하여 차종별로 51대의 자동차를 선정하여 10개의 대표시험 모드를 통하여 배출가스를 측정분석하여 차종별 배출계수 및 배출량을 산정하였으며 특히, 1990년부터 2000년까지의 배출가스 규제 및 교통량 자료를 이용하여 지역별로 HC의 배출량을 산정하였다. 정일록 등⁹⁾은 석유류 제품과 관련된 배출원에서의 VOC_s의 배출량을 파악하기 위하여 석유류 저장시설인 정유사 및 저유소, 주유소 및 자동차, 세탁소를 대상으로 각각의 배출량을 산정하였다. 이 연구에서는 지역별, 항목별로 구분하여 배출원 조사와 현장조사를 통하여 배출원별 주요 VOC_s의 배출시설을 파악하고 VOC_s의 성분분석 및 배출계수를 이용하여 체계적인 연구를 하였다. 이어서 정일록 등¹⁰⁾은 VOC_s를 배출하는 도료제조시설, 인쇄용 잉크제조시설, 소규모 유기용제 사용시설, 도로포장시설, 인쇄·출판시설 및 각종 도장시설(자동차, 선박, 전기·전자, 철구조물, 금속제품, 목재가구 및 플라스틱)에 대한 자료를 현지조사를 통하여 1995년 보다 더 많은 배출원을 대상으로 배출원별 VOC_s배출량을 산정하였다.

따라서 본 연구의 목적은 대도시 지역인 광주지역의 VOC_s 주배출원과 그 배출량을 파악하여 국내 대도시 지역의 VOC_s 배출량 산정 및 규제 항목을 설정하고 배출제어를 위한 기초자료를 마련하는데 기여하고자 한다.

II. 연구방법

VOC_s 배출원은 크게 자동차, 주유시설, 유류저장 및 출하시설, 도장시설, 인쇄·잉크시설, 세탁시설, 도로포장 등으로 구분할 수 있으며¹¹⁻¹⁵⁾ 그 산출방법은 아래와 같다.

1. 자동차 배출가스

자동차로부터 배출되는 VOC_s는 대부분 탄화수소화합물이며, 인체에 매우 유해한 물질들이 포함되어 있다. 일반 차량에서의 VOC_s 배출원으로는 배기관배출(tailpipe exhaust emission), 크랭크 케이스환기(crankcase vent), 증발배출(evaporative emission) 및 연료주입(refueling)이며, 이 중에서 배기관 배출이 주를 이룬다. 그러나 디젤 연료를 사용하는 자동차는 상대적으로 휘발성이 낮아 보통 이에 대한 증발 배출은 무시한다.²⁾ 자동차 운행시의 증발배출은 1일 증발배출, hot soak, 주행손실, 침투손실 등 크게 4가지로 구분할 수 있는데, 본 연구에서는 크랭크케이스 환기와 연료주입시의 배출량은 극히 미미하여²⁾ 배기관배출과 증발배출만을 고려하여 조사하였다.

(1) 배기관 배출량

배기관에서 VOC_s 배출량 산출식은 다음과 같다.

$$\text{차종별 HC배출량} = \text{차종별 HC배출계수} \times \text{차종별 VKT(vehicle kilometer travelled)}$$

$$\text{VKT(대} \cdot \text{km/day)} = \text{차종별 자동차 보유대수(대)} \times \text{차종별 1일 평균 주행거리(km/day)}$$

광주광역시의 자동차 보유대수와 현황 및 전망은 Table 1과 같으며, 현재 계속 증가하는 추세에 있다.¹⁶⁾ 자동차 주행거리당 오염물질량을 표시하는 차종별 배출계수와 차종별 1일 평균주행거리는 실측으로 구해진 기존 연구자료를¹⁷⁾ 이용하였다. 1999년 12월 31일을 기준으로 광주광역시 자동차에서의 VOC 배출량은 Table 2와 같으며 시외버스와 고속버스의 자료는 전라남도 도정백서의 자료를 이용하였다.¹⁸⁾

(2) 증발 배출량

자동차의 배기관에서 배출되는 증발배출량은 주로 증기압, 연료의 조성, 주위 대기의 온도 등의 영향을 받으며, 연료의 휘발성이 높고 온도가 높을수록 배출량은 증가하게 된다. 자동차에서 증발배출을 결정짓는 중요

Table 1. Population and vehicles of Kwang-ju

| Year | 1991 | 1994 | 1998 | 2001 | 2006 |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| population | 1,179,100 | 1,723,000 | 1,342,000 | 1,387,000 | 1,470,200 |
| taxi | 66,007 | 135,538 | 211,359 | 292,040 | 430,097 |
| bus | 10,493 | 14,343 | 18,652 | 19,747 | 21,044 |
| truck | 29,252 | 45,547 | 57,088 | 73,079 | 93,225 |
| other | 357 | 1,018 | 892 | 1,542 | 2,102 |
| vehicle total | 106,109 | 196,446 | 287,991 | 386,408 | 546,468 |

Table 2. Vehicle types and tailpipe exhaust emission rates

(ton/yr)

| Vehicle types | | Hold (number) | Factor ¹⁾ (g/km) | Dialy driving distance ¹⁾ (km/day) | Emission | Sub total | Total |
|---------------|-----------------------------|------------------|--------------------------------|---|----------|-----------|-------|
| Vehicle | Passenger car | 211,599 | 0.43 | 45.0 | 1494.5 | 2,074.6 | 3,368 |
| | Taxi | 8,904 | 0.75 | 238.0 | 580.1 | | |
| Bus | Light | 23,985 | 0.45 | 66.4 | 261.6 | 451.2 | |
| | Medium | 902 | 0.73 | 57.5 | 13.8 | | |
| | Reserve | 404 | 1.55 | 7.1 ³⁾ | 1.6 | | |
| | Cross-country ²⁾ | 753 | 1.55 | 55.1 ⁴⁾ | 22.6 | | |
| | City | 928 | 1.55 | 269.7 | 141.6 | | |
| | Express ²⁾ | 631 | 1.55 | 28.0 ⁵⁾ | 10.1 | | |
| Truck | Light(LPG) | | 0.75 | 67.4 | 58.9 | 727.8 | |
| | Light(dissel) | 3,193 | 0.15 | 67.4 | 163.9 | | |
| | Light(gasoline) | 44,415 | 0.50 | 67.4 | 0.9 | | |
| | Medium | 785,040 | 0.73 | 91.4 | 122.7 | | |
| | Large | 4,154 | 1.64 | 153.4 | 381.4 | | |
| Motor cycles | | 30,519 | 1.80 | 5.7 | 114.3 | 114.3 | |

1) 환경부, 국립환경연구원 2000발간 예정, 2) 전라남도 도정백서 2000발간 예정, 3) 0.5 cycles driving for 14.3 km, 4) Total 2800 driving for 14.3 km, 5) 4 cycles driving for 7 km.

Table 3. Emission factors and gasoline sales in gasoline station

| Type | Factor(g/l) | Gasoline sales | VOC _s emission | Total |
|---------|-------------|----------------|---------------------------|-------|
| Stage 1 | 1.34 | 252,658 | 338.6 | 753 |
| Stage 2 | 1.64 | 252,658 | 414.4 | |

(source: EPA AP-42).

한 인자는 연료의 휘발성, 즉 증기압이다. 디젤연료는 상대적으로 휘발성이 낮아서 증발 배출이 적은 편이기 때문에, 주로 가솔린 연료만 취급하게 된다. 증발배출량 산출식은 다음과 같으며, 계산결과 총 배출량은 973 ton/yr로 산정되었다.

증발배출량 = 배출계수(0.28 g/km·대)×휘발유 승용차의 연간주행거리(km)×차량보유대수

2. 주유소 배출량

주유소등에서 배출되는 VOC_s는 주유소 저장탱크로 옮기는 과정에서 발생하는 stage 1과 자동차 주유과정에서 배출되는 stage 2로 구분할 수가 있으며,¹⁹⁾ 또한 그 양은 적지만 주유시 땅바닥으로 흘리는 것이 있다. 본 연구에서는 주유시 땅바닥으로 흘리는 양은 미미하여 생략하고 배출량을 산정하였다.

배출량 산정을 위해 stage 1의 경우 국내는 상부적하(top loding) 방식을 사용하므로 splash fill의 배출계수인 1.34 g/l를 사용하였으며,²⁰⁾ stage 2의 경우는 OECD²¹⁾에서 사용하는 1.64 g/l를 사용하였다. 유류

판매자료는 Table 3과 같이 광주광역시 휘발유 판매 실적 자료를 이용하였으며, 배출량 산정방식은 다음과 같다.

$$\text{배출량} = \text{배출계수} \times \text{급유량}(l/\text{yr})$$

3. 유류저장 및 출하시설 배출량

(1) 유류저장시설 배출량

유류저장시설은 저장물질의 화학특성에 따라 저장탱크의 종류가 달라진다. 일반적으로 저장탱크의 종류는 수평고정지붕탱크(verticle fixed roof tank), 수직고정지붕탱크(horizontal fixed roof tank), 외측부유지붕탱크(external floating roof tank), 내측부유지붕탱크(internal floating roof tank), 압력탱크, 가변성 증기공간 탱크로 분류된다. 저유소에서 배출량을 산정하는 방법에는 미국석유협회(american petroleum institute: API)에서 사용하는 공식을 이용하였다. 광주광역시에서는 하남공단과 광천동에 수직고정지붕탱크 형태의 저유소가 총 22개가 있으며, 배출량은 각각의 저유소 시설자료를 수집하여 미국석유협회 공식을 이용하여 미국 EPA에서 개발한 TANK(version 4.06)모델²²⁾로 배출량을 계산한 결과 총 배출량은 238.3 ton/yr로 산정되었다.

(2) 유류출하시설 배출량

석유류 수송은 출하와 수송과정의 배출이 있다. 수송과정의 배출은 가솔린의 경우 수송기간동안의 배출계수가 증기회수장치를 장착하지 않는 경우에도 0-1.0 mg/l로 매우 낮은 값을 나타내므로 생략하였고 유류출

Table 4. Emission factors used in gasoline shipping

| Species | M | P | S |
|---------------|----|------|-----|
| Gasoline | 66 | 4.8 | 1.2 |
| Naphata, JP-4 | 80 | 1.2 | 1.2 |
| Benzene | 78 | 1.0 | 1.2 |
| Toluene | 92 | 0.25 | 1.2 |

(source: EPA AP-42).

Table 5. Emission rates in gasoline storage tank and shipping (ton/yr)

| Type | Gasoline storage tank | Shipping | Total |
|----------|-----------------------|----------|-------|
| Emission | 238.3 | 449.9 | 688.2 |

하지 배출량만을 고려하였다. 미국 EPA¹⁹⁾에 제시된 석유선적식 배출량 산정은 다음식과 같으며, 배출계수는 Table 4에 나타내었다.

- 배출량(Q) = 12.46SMPT
- Q = 선적된 액체의 10³ gal당 선적손실
- M = 증기의 분자량 1 b/lb-mol
- P = 선적된 액체의 실제 증기압, psia
- T = 선적된 벌크 액체의 온도, °R(°F+460)
- S = 포화계수

여기서 S값 1.2를 택한 이유는 국내에서는 상부적하(splash)와 하부적하(submerged) 방식중 중간형태의 출하방식을 취하고 있기 때문에 포화계수 값으로 1.2를 택하였다. 배출량 산정 결과 유류출하시설에서는 총 449.9 ton/year이 배출되었으며, Table 5에 그 배출량을 나타내었다.

Table 7. Amount of paints used

| Type | Production(kl) ¹⁾ | Production(ton) ²⁾ | Export ³⁾ | Import ⁴⁾ | Used in Kwang-ju ⁵⁾ |
|-----------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|
| building(oil) | 145,042 | 127,637 | 23,230 | 11,615 | 3,341 |
| vehicle(new) | 53,034 | 46,670 | 8,494 | 4,247 | 1,222 |
| vehicle(repair) | 12,058 | 10,611 | 1,931 | 966 | 278 |
| electric | 26,966 | 23,730 | 4,319 | 2,159 | 621 |
| industry(metal) | 98,108 | 86,335 | 15,173 | 7,856 | 2,276 |
| industry(wood) | 39,541 | 34,796 | 6,333 | 3,166 | 911 |
| steel frame | 38,564 | 33,936 | 6,176 | 3,088 | 888 |
| load mark | 31,430 | 27,658 | 5,034 | 2,517 | 724 |
| flastic | 8,647 | 7,609 | 1,385 | 692 | 199 |
| others | 145,373 | 127,928 | 23,283 | 11,641 | 3,349 |

1) Except shipping industry paint, 2) Production(kl)×density(0.88 kg/l), 3) Export(%)=(export/production)×100: 18.2%, 4) Import=0.5×Export, 5) (Production-export) + Import(Population in Kwang-ju(1,359,646)/population in South Korea (47,173,959))×100 = 2.88%.

Table 6. Emission factors used in the coating

| Coating Type | Emissions (non-methane hydrocarbon) | |
|-----------------------|-------------------------------------|------|
| | kg/ton | mean |
| paint | 560 | |
| vanish and shellac | 500 | |
| lacquer | 770 | 582 |
| enamel | 420 | |
| primer(zinc chromate) | 660 | |

*(source: EPA, AP-42).

4. 도장산업 배출량

도장산업에서의 배출은 도료생산업체에서의 배출과 도장과정에서의 배출로 크게 구분할 수 있다. 본 연구 지역에서는 도료제조 업체가 없어 도장과정에서의 배출은 생략하였고, 도장과정에서의 배출만 고려하였다. 도장과정에서의 VOC, 배출은 크게 산업부문과 비산업 부문으로 나눌 수 있다. 산업부문은 도장산업의 종류에 따라 배출계수와 배출량 산정방법이 다르며 EPA AP-42¹⁹⁾에 자세히 설명되어져 있다. 비산업부문은 건축물 도장과 자동차 보수용도장 등으로 나눌 수 있다. 도장공정의 종류와 공정특성에 대한 자료를 구할 수 없을 때에는 일반적으로 산업, 비산업 구분 없이 전체 도장산업의 도료사용량에 대한 배출계수를 이용하여 배출량을 산정할 수 있다. 본 연구에서는 도장공정의 종류와 공정특성(코팅라인 수 및 방지시설의 종류 등)에 대한 자료를 구하는데 한계가 있고 시내 도처에 산재하고 있는 불특정 다수의 소규모 도장시설에 대한 자료 미흡으로 인하여 전체 도장산업의 도료사용량에 대한 배출계수를 이용하여 배출량을 산정하였다.¹⁹⁾ 전체 도장산업의 배출량 산정에 사용되는 배출계수는 Table 6과 같다.

배출량 = ∑도장종류별 배출계수 × 도장종류별 도료 연간사용량

우리나라는 대부분 도료가 주문생산이어서 도료생산량은 도료 주문량과 같다는 가정하에 한국페인트·잉크공업 협동조합의 도료 생산실적을 근거로 하여 산출하였다. 또한, 광주광역시내로 유입되는 도료의 양을 조사하는데 어려움이 있어 국내의 전체 도료생산량에서 수출량을 빼고 수입량을 합산한 양을 전국 인구(기준: 1999년 12월 31일) 대비 광주광역시 인구(기준: 1998년 12월 31일)로 환산하여 광주광역시로의 유입량을 산정하였다. Table 7은 광주 광역시의 도료 유입량과 VOC_s 배출량을 보여주고 있다. Table 7에서 1999년의 도료 수출자료가 없어 1998년의 수출자료로 대신하였으며 총 105,600 ton에서 선박용도료 16,896 ton을 제외하였고 도료의 각 용도별 자료도 없어 총 수출량을 전체대비 %로 환산하여 계산하였다.

자동차 도장공정중 VOC_s를 배출하는 시설로는 도장부스, 세팅, 소부건조로 등이 있는데 필요에 따라 이들 시설에 배출가스 처리시설이 설치되어 있다. 자동차에 사용되는 도료는 자연건조형 부품용 하도·중도, 가열건조형 차체용 중도, 자동차 경량화 추세에 따라 차체 부품의 점유율이 증가하고 있는 플라스틱 제품용 도료 등 다양하다.

차량(신차)의 경우 흡수처리시설을 설치하여 배출가스 처리효율은 85%로 운영되고 있으며, 철구조물, 도로표지용 플라스틱용, 차량(보수), 기타도장 시설은 처리 없이 모두 배출되고 있어 배출계수만 적용하여 산출하였다.

건축용 도장은 주로 사람이 거주하는 장소에서 이루어진다. 건축용 도장과정중 사용되는 도료는 수성도료의 합성수지 에멀전 페인트, 알키드 에나멜, 락카계 도료, 지붕·기외용 및 본타일 상도용, 아크릴계 도료, 일반 철재용 방청 프라이머, 시멘트 몰탈면 하도용과 콘크리트 등 외부벽면 발수제인 콘크리트용 프라이머, 표면처리제, 목재용 및 콘크리트 표면조정용 퍼티류, 건축내외부 곰팡이 청소용 방미도료, 본타일 석고보드 하도용 중도제 및 내외장 도장용 입체무늬 도료, 박막형·후막형 바닥재용 도료, 크린룸의 벽·천정·바닥용 도료, 각종 경기장용 중도·상도류가 사용되고 있다.

전기, 전자제품 도장에 사용되는 도료는 아크릴 수지계, 아미노 알키드 수지계, 전기 절연 도료, 에폭시 수지계, 알키드수지계, 분체도료, 수용성 수지계 등이 있다. 전기, 전자도장중 배출가스 처리시설은 대부분 흡수식 처리시설을 설치하고 있으며, 처리효율은 80% 이

Table 8. Estimated of emission of VOC_s in the coating industry (ton/yr)

| Type | Used | Emission ¹⁾ | Total |
|-----------------|-------|------------------------|-------|
| building(oil) | 3,341 | 1,944 | |
| vehicle(new) | 1,222 | 107 | |
| vehicle(repair) | 278 | 162 | |
| electric | 621 | 72 | |
| industry(metal) | 2,276 | 265 | |
| industry(wood) | 911 | 530 | 6,083 |
| steel frame | 888 | 517 | |
| load mark | 724 | 421 | |
| plastic | 199 | 116 | |
| others | 3,349 | 1,949 | |

1) Calculated as:

- Building = factor(582 kg/ton) × used × 10⁻³
- Vehicle(new) = factor(582 kg/ton) × used × (1-0.85) × 10⁻³
- Vehicle(repair) = factor(582 kg/ton) × used × 10⁻³
- Electric = factor(582 kg/ton) × used × (1-0.80) × 10⁻³
- Industry(metal) = factor(582 kg/ton) × used × (1-0.80) × 10⁻³
- Industry(wood), Steel frame, Load mark, Plastic, Others = factor(582 kg/ton) × used × 10⁻³

다. 금속제품 소부도장의 일반적인 도장공정은 건조, 도장, 소부, 제품과정으로 이루어져 있다.

금속용 도장과정에는 아미노알키드 수지계, 에폭시 수지계, 비닐 수지계, 아크릴 수지계, 알키드수지계 및 수용성 수지계 등 다양한 도료가 사용되고 있으며, 흡수식 처리시설 사용으로 80%의 처리효율을 나타내고 있다.

목공용 도료는 아미노알키드 수지계, 에멀전 페인트, 우레탄 수지계, 폴리에스테르 수지계, 그리고 락카 등으로 구성된다. 철구조물은 선박도장, 자동차도장을 제외한 대형기기의 도장과정에서 배출되며 또한, 차량의 주행 유도위치 도장과정중에 배출되기도 하고 페인트식과 용융식에 의한 도로표지용 도장공정이 대부분이다. 계산식에 의한 배출량은 Table 8과 같다.

5. 인쇄·잉크산업 배출량

인쇄·잉크제조시설에서는 생산공정상 배합, 여육(분산), 용해, 희석(조정), 여과과정 등에서 유기용제가 대기중으로 증발 및 누출에 의해 배출되지만 광주광역시에서는 인쇄·잉크제조시설이 없으므로 인쇄과정중에서의 배출량만 고려하였다. 일반적으로 인쇄과정에서는 잉크에 함유된 유기용제의 증발에 의해서 VOC_s가 발생된다. 따라서 본 연구에서는 광주광역시에 소재한 인쇄소의 공정별에 대한 자료를 산출하는데 있어 다소 어려움이 있기 때문에 미국 EPA AP-42에서 제시한 인구수에 따른 배출계수를 적용하여 배출량을 산정한 결과 배출량은 총 544 ton/yr로 계산되었다.

Table 9. Evaporation rates of cutback dilution material

| Cutback asphalt type | Cutback dilution material portion(%) | | |
|----------------------|--------------------------------------|----|----|
| | 25 | 35 | 45 |
| Rapid | 17 | 24 | 32 |
| Medium | 14 | 20 | 26 |
| Slow | 5 | 8 | 10 |

배출량 = 1인당 배출계수(0.4 kg/yr/capita) × 인구수(1,359,646명)

6. 세탁시설 배출량

세탁소 운영형태는 일반세탁소, 빨래방, 셀프클리닝, 세탁체인접 등으로 분류한다. 세탁소 형태별 용제사용 실태를 보면 일반 세탁소는 '솔벤트(solvent)'라고 불리는 석유계 용제를 주로 사용하고 있으며, 셀프 클리닝의 대다수는 독성이 강한 퍼클로로에틸렌(perchloroethylene)을 사용하고 있다. 일반 세탁소에 사용되고 있는 용제는 석유계용제, 염소계용제, 불소계용제중 1,1,1-TCE와 CFC-113은 오존층 파괴로 인하여 1996년부터 생산이 중단되어 있다. 광주광역시외의 경우 드라이클리닝시 사용되는 용제는 석유계용제(솔벤트)와 염소계용제(퍼클로로에틸렌)를 사용하지만 가격이 저렴한 솔벤트용제를 주로 사용하고 있다. 한국세탁협회 자료에 의하면 대형세탁업소는 월 18l 세탁용제를 3개정도 사용하고 소형세탁업소는 월 18l 세탁용제가 1-2개정도 사용된다.^{23,24)}

본 연구지역에서는 대형세탁소가 4곳, 소형세탁소는 약 1500여 업소가 영업중에 있으며, EPA에서 제시한 식을 적용¹⁹⁾하여 배출량을 산정한 결과 총 배출량은 368.6 ton/yr으로 산정되었다(여기서 비중은 0.80443 kg/l, 업소당 연간 324.86 l의 세탁용제가 사용되고, 월 평균 20 l를 기준으로 폐 세탁용제는 1 kg 발생한다고 산정함).²³⁾

Table 11. Total emission rates in each source

| Sources | (ton/yr) | | | | | |
|---------------------------|------------|------|---------------------|------|---------------------|------|
| | This study | | Korea ¹⁾ | | Korea ²⁾ | |
| | Emission | (%) | Emission | (%) | Emission | (%) |
| Vehicles | 3368 | 27.4 | 176900 | 39.6 | 213283 | 34.9 |
| Gasoline vapors | 753 | 6.1 | 23630 | 5.3 | 32202 | 5.3 |
| Coatings | 6083 | 49.4 | 179985 | 40.4 | 282535 | 46.2 |
| Graphic arts | 544 | 4.4 | 17781 | 4.0 | 21634 | 3.5 |
| Dry cleanings | 369 | 3.0 | 12097 | 2.7 | 13521 | 2.3 |
| Asphalts | 500 | 4.1 | 15200 | 3.4 | 19784 | 3.2 |
| Petroleum strage facility | 688 | 5.6 | 20385 | 4.6 | 28321 | 4.6 |
| Tatol | 12305 | 100 | 446178 | 100 | 611280 | 100 |

1) 대한석유협회, 1996., 2) 환경부, 1997.

Table 10. Estimated rates of VOC_s in asphalts industry (ton/yr)

| Used asphalt | Cutback asphalt | Emission amount |
|--------------|-----------------|-----------------|
| 50,000 | 2,500 | 2,500×0.2=500 |

배출량 = 세탁업소수 × [업소당 연간 평균 세탁용제 사용량(l) × 비중(kg/l)

- 업소당 연간 폐세탁용제 발생량(kg)] × 10³ ton/kg

7. 도로포장 배출량

도로포장에서 배출되는 VOC_s의 대부분은 커트백 아스팔트를 사용하여 도로포장을 하는 경우에 배출된다. 본 연구에서는 중간 경화방식을 선택하여 VOC_s 배출량을 산정하였으며, Table 9에 희석제별 증발율을 나타내었다.

배출량 = ∑아스팔트의 희석제 사용량(kg/yr) × 희석제별 증발율

커트백 아스팔트의 경화방식과 용매의 희석정도에 따라 VOC_s의 배출량이 크게 다르므로 본 연구에서는 경화방식은 대부분 중간경화로 가정하고 용매의 희석정도는 35%로 보았다. 따라서 커트백 아스팔트의 중량중 20%를 VOC_s 배출량으로 보았으며, 또한 커트백 아스팔트의 생산량은 전체 아스팔트 생산량의 5%를 점유하고 있는 것으로 보고되고 있다.^{23,24)} 광주광역시에서 1999년도에 사용되어진 아스팔트의 양과 배출량은 Table 10과 같다.

III. 결과 및 고찰

본 연구결과 1999년에 발생한 광주광역시외의 총 VOC_s의 양과 전국규모로 파악된 VOC_s 배출량은 Table 11과 같다. 본 연구의 경우 VOC_s를 가장 많이

배출하고 있는 곳은 도장시설로서 배출량은 6,083톤이고 배출비중은 49.4%로 가장 많은 비율을 차지하고 있었다. 다음으로는 자동차에서 약 3,368톤으로 약 27%, 주유소는 약 753톤으로 6.1%, 저유소 및 출하시설은 688톤으로 5.6%, 인쇄소는 약 544톤으로 4.4%, 세탁소는 369톤으로 3% 그리고 도로포장에서는 약 500톤으로 4.1%를 차지하고 있었다. 이 결과 1999년도 광주광역시에서 배출된 총 VOC_s 배출량은 12,305톤으로 추정되었다. 그러나 본 연구에서 포함시키지 않은 폐수처리장이나 맥주제조공정에서의 배출²⁵⁾ 기타 하수구에서의 배출, 가정에서 사용한 LNG 점화시 배출된 양, 자동차 주유시 배출되는 LPG의 양, 그리고 휘발유의 누수된 양 등을 모두 포함하면 이보다 많은 양이 배출되었을 것으로 사료된다.

또한 본 연구 결과를 1996년 자료²⁴⁾와 1997년의 자료²³⁾를 비교하여 보면 전국적인 규모로 광주광역시 약 2%의 VOC_s 배출을 하고 있으며 전국적인 규모는 증가하고 있는 추세를 나타내고 있다. 가장 많은 배출 비중을 차지하는 배출원은 도장시설등에서 사용하는 용제로서 약 40-49%의 VOC_s를 배출하고 있으며 자동차가 약 27-40%를 배출하고 있음을 알 수 있다. 따라서 도장시설 건조시 우리나라 대기환경 보전법⁴⁾에서 제시하는 방지시설의 설치를 의무화하여야 하며 자동차의 경우 VOC_s 제어 장치를 부착시켜야 할 것으로 판단된다. 또한 주유소의 경우는 약 5-6%의 VOC_s를 배출하고 있으며 저유소에서는 약 4-5%, 인쇄소와 도로포장 시에는 약 3-4%, 세탁소에서는 약 2-3%를 각각 배출하고 있어 저유소에서는 부유지붕탱크에 휘발유를 저장한다는 출하시설은 허부적허방식으로 채택하여 사용하는 등²⁾ 다양한 방법을 사용하고 인쇄소와 도로포장장시에도 각각의 환경에 맞는 VOC_s 저감방안 시설을 갖추어야 할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

1999년도 1월부터 12월까지 광주광역시에서 배출된 VOC_s 양을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각 배출원에서 배출된 VOC_s의 양은 약 12,305톤으로서 그 비율을 살펴보면 도장시설(49.4) > 자동차배출(27.4) > 주유소배출(6.1) > 저유 및 출하시설(5.6) > 인쇄·잉크시설(4.4) > 도로포장(4.1) > 세탁시설(3.0%) 순으로 나타나 도장시설에서 배출되는 양이 가장 많음을 알 수 있었다.

2. 자동차배출의 경우 각각의 차종별로 상당히 많은 양의 VOC_s가 배출되고 있었으며, 특히 자가용과 택시

에서 약 2,700톤이 배출되어 총 자동차의 배출량(3,300톤)중 약 60%를 차지하고 있어 자동차배출중 대부분이 배출되고 있음을 알 수 있었다.

3. 도장시설에서의 배출원중 건축물의 페인팅에서 사용된 양이 약 1,900여톤으로 총 도장시설의 배출량(6,083톤)중 약 30%를 차지하고 있어 아파트나 건축공사시 사용된 페인트가 상당량 배출되고 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) Bloemen H. J. T. and J. Burn: Chemistry and analysis of volatile organics compounds in the environment, Blackie Academic and Professional, 1993.
- 2) 한국환경기술개발원 : 유해대기오염물질 규제에 관한 국내 대응방안 연구, 1994.
- 3) Cardelino C. and W. L. Chameides: An observation-based model for analyzing ozone-precursor relationships in the urban atmosphere, JAWMA, **45**, 161-180, 1995.
- 4) 환경부 : 환경법전, 1999.
- 5) 환경부고시집 : 환경부고시 제 2000-71호, 2000.
- 6) 조강래, 김양균, 엄명도, 김종훈, 홍유덕, 박용희, 김웅중, 한중수 : 도시지역 대기질 개선에 관한 연구(I), 국립환경연구원보, **11**, 53-63, 1989.
- 7) 조강래, 김양균, 엄명도, 김종훈, 홍유덕, 박용희, 김웅중, 한중수 : 도시지역 대기질 개선에 관한 연구(II), 국립환경연구원보, **12**, 55-69, 1990.
- 8) 조강래, 엄명도, 김종훈, 홍유덕, 박용희, 김중규, 유정호, 김연호, 한중수 : 도시지역 대기질 개선에 관한 연구(III), 국립환경연구원보, **13**, 129-139, 1991.
- 9) 정일록, 최덕일, 조강래, 장성기, 홍지형, 한진석, 김종훈, 김대균, 김무영, 김수연, 박정식, 정인영 : 유해가스 배출량 산정에 관한 조사연구, 국립환경연구원보, **17**, 83-94, 1995.
- 10) 정일록, 최덕일, 장성기, 홍지형, 김대균, 석광철, 홍사원, 김영규 : 유해가스 배출량 산정에 관한 조사연구, 국립환경연구원보, **18**, 93-102, 1996.
- 11) Eric M. F., G. J. Watson and J. C. Chow: Receptor model and emissions inventory source apportionment of nonmethane organic gases in California's San joaquim vally and Sanfrancisco bay area, *Atmos. Environ.*, **29**(21), 3019-3035, 1995.
- 12) Paul F. A., P. A. Scheff and R. A. Wadden: Wintertime source-reconciliation of ambient organics, *Atmos. Environ.*, **23**(5), 911-920, 1989.
- 13) Scheff P. A., R. A. Wadden, Q. Zhou, D. Kenski and H. S. Lee, B. A. Bates: Evaluation of a receptor model for volatile organic compounds using ground-based trajectories, Presentation at the 83rd annual meeting of the air and waste management association Pittsburgh, Pennsylvania, 1990.
- 14) Alfred T. H., D. J. Wooley and J. M. Daisey: Emissions of volatile organic compounds from new

- measured in a large scale environmental chamber, *JAWMA*, **43**, 316-324, 1993.
- 15) Christian J. R., J. S. Friedrich, K. Staehelin, A. Schlapfer, S. Werner: Comparison of emission factors for road traffic from a tunnel study(Gubrist tunnel, Switzerland) and from emission modeling, *Atmos. Environ.*, **33**, 3367-3376, 1999.
 - 16) 광주광역시 : 시정백서, 1999.
 - 17) 환경부 : 국립환경연구원보, 2000발간 예정.
 - 18) 전라남도 : 도정백서, 2000발간 예정.
 - 19) USEPA: Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Vol. I, 5th edition, AP-42, Research Triangle Park, NC, US EPA, 1995.
 - 20) EPA IM: I/M Briefing Book, EPA-AA-EPSP-IM-94-1226, USEPA, 1995.
 - 21) OECD: Evaporative Emissions from Motor Vehicles and Refuelling Systems, OECD Environment Monograph, No. 56, 1993.
 - 22) WWW.Greenconsulting.co.kr.
 - 23) 환경부 : 휘발성 유기화합물질 규제대상 설정 및 관리 방안에 관한 연구, 최종보고서, 1997.
 - 24) 대한석유협회 : VOCs 배출원별 배출량 산정 및 저감 기술 연구, 최종보고서, 1996.
 - 25) Nigel B. G., T. G. Costigan, P. J. Richard, S. Michael, J. Woodfield: Volatile organic compound emissions during malting and beer manufacture, *Atmos. Environ.*, **29**(19), 2661-2672, 1995.t67