

PA12 석유정제 및 석유화학산업에서 배출되는 휘발성 유해 대기오염물질(HAPs)의 배출량 산정기법: 공정장비 배출

조완근, 권기동, 서영준*, 동종인¹, 강경희¹, 정봉진²
경북대학교 환경공학과, ¹서울시립대학교 환경공학부,
²수원대학교 환경공학과

1. 서 론

석유정제 및 석유화학산업의 공정장비는 휘발성 HAPs의 주요 배출원이다. 이러한 배출원에 의한 휘발성 HAPs 배출량을 산정을 위해서 직접측정법, 물질수지법, 배출계수법 및 공학적계산법을 활용할 수 있고 공정밸브, 펌프, 플랜지 및 압축기와 같은 비점오염원으로부터의 휘발성 HAPs의 배출량을 산정하기 위해서는 직접측정법과 배출계수법을 활용할 수 있다. 직접 측정법의 경우, 실제 현장에서는 공정장비의 휘발성 HAPs 누출부위가 튜브나 파이프와 같이 용이하게 측정할 수 있는 모양이 아니고 불규칙하면서 한 개 부위 이상으로 산재되어 있기도 하기 때문에 누출 휘발성 HAPs 측정에 전문적인 지식이 없는 산업체에서 공정장비에서 누출되는 휘발성 HAPs를 측정하기가 쉽지 않다. 따라서 석유정제산업으로부터 배출되는 휘발성 HAPs의 배출량을 체계적으로 산정하기 위해서는 휘발성 HAPs의 배출산정기법에 대한 특성이 충분히 이해되어야 한다.

나아가, 석유정제 및 석유화학산업으로 부터 휘발성 HAPs의 대기 배출은 석유제품 및 유기용제와 같은 원료, 세정제 및 연료의 손실을 의미한다. 공정밸브, 펌프, 플랜지 및 압축기와 같은 비점오염원으로부터 대기로 방출되는 휘발성 HAPs 배출량을 산정하고, 산정된 휘발성 HAPs의 배출 특성을 분석하여 HAPs의 배출에 대한 제어 방안을 연구하여 다양한 산업체에 활용함으로써 대기오염 감소 뿐만 아니라 상당량의 원료비 및 연료비를 절약할 수 있고 나아가 원유의 수입량도 절감시킬 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 석유정제산업 공정에서 배출되는 휘발성 HAPs의 배출량 산정방법을 조사·연구하였다. 이러한 연구목적을 달성하기 위해서 석유정제산업의 공정장비로부터 휘발성 HAPs의 배출량을 산정하는 방법을 조사하였다.

2. 석유정제 및 석유화학산업의 공정장비로부터 휘발성 HAPs의 배출량 산정

석유정제 및 화학산업의 공정장비로부터 휘발성 HAPs의 배출량을 산정하기 위해서 이용할 수 있는 기법은 다음과 같다: 1) 평균배출계수이용법 (average emission factor approach); 2) 스크리닝 영역 이용법 (screening ranges approach); 3) EPA 상관관계식 이용법 (EPA correlation approach); 4) 단위 공정별 상관관계식 이용법 (unit-specific correlation approach). 산정되는 배출량의 정확도는 위의 순서대로 증가된다. 일반적으로

높은 정밀도를 갖는 배출 산정방법은 보다 많은 자료를 필요로 한다. 현재 미국 EPA에서는 EPA 상관관계식 이용법을 선호방법으로 그리고 나머지 세 방법을 대용방법으로 지정하고 있다.

2.1. 평균배출계수이용법

평균배출계수 이용법에서는 배출계수가 공정장비의 수와 유체의 농도 평균배출계수와 결합되며, 석유정제산업공정장비로부터 배출되는 TOC의 배출량을 산정하기 위해서 다음의 수식이 적용된다.

$$ETOC = FA \times (WF_{TOC} / (WF_{TOC} - WF_{methane})) \times WF_{TOC} \times N$$

여기서, ETOC = 일련의 특정 장비 군상의 모든 장비의 TOC 배출계수(kg/hr)

2.2. 스크리닝 영역 이용법

스크리닝 영역 이용법에서는 배출계수가 공정장비의 수와 유체의 농도 평균배출계수와 결합되며, 활용하여 석유정제산업공정장비로부터 배출되는 TOC의 배출량을 산정하기 위해서 다음의 수식이 적용된다.

$$ETOC = (FG \times NG) \times (WPTOC / (WPTOC - WP_{methane})) + (FL \times NL) \times (WPTOC / (WPTOC - WP_{methane}))$$

여기서, ETOC = 특정 장비의 TOC 배출계수 (kg/hr)

FG = 스크리닝농도가 10,000 ppm이상일 때 적용되는 배출계수 (kg/hr/source)

WPTOC = TOC 질량 퍼센트

WPmethane = methane 질량 퍼센트

NG = 스크리닝농도가 10,000 ppm이상인 장비의 수

FL = 스크리닝농도가 10,000 ppm이하일 때 적용되는 배출계수 (kg/hr/source)

NL = 스크리닝농도가 10,000 ppm이하인 장비의 수

2.3. EPA 상관관계식 이용법

EPA 상관관계식 이용법은 특정 장비에 대한 스크리닝 농도의 함수로 나타나는 수식을 이용하여 휘발성 HAPs의 배출량을 산정한다. 즉, EPA 상관관계식 이용법에서는 모든 장비로부터 측정된 농도(스크리닝 값)가 EPA에서 개발된 상관관계식에 개별적으로 입력된다. EPA 상관관계식 이용법에서 스크리닝 농도가 측정기의 최대검출한도를 넘어서는 경우에는 참조 배출계수(pegged emission rate)를 활용할 수 있다. 최대검출농도가 10,000 ppm인 경우, 회석 장치를 부착하여 최대검출농도를 100,000 ppm으로 연장시킬 수 있다. 그러나, 회석장치가 적용되지 못하는 경우에는 최대검출농도가 10,000 ppm일 때 참조배출계수를 배출량 산정시 이용할 수 있다.

2.4. 단위 공정별 상관관계식 이용법

단위 공정별 상관관계식을 개발하기 위해서 다음의 절차를 따라야 한다. 첫째, 공정단위 상의 장비들의 스크리닝 농도를 측정하여 스크리닝 농도 분포를 조사한다. 다음 단계로서, 각 장비 형태(밸브, 펌프, 등) 및 유체 형태(가스, 경질유 등)에 대하여, 다음의 다섯 스크리닝 농도 범위 각각에 대하여 최소 6개 구성장치가 무작위로 선정된다: 1 - 100 ppm; 101 - 1,000 ppm; 1,001 - 10,000 ppm; 10,001 - 100,000 ppm; 및 100,000 ppm 이상. 이렇게 선정된 구성장치에 대하여 백 포집법을 이용하여 질량누출속도를 결정한다.

조사된 스크리닝 농도와 질량누출속도 자료는 다음의 방법을 따라 상관관계식이 결정된다. 스크리닝 농도의 대수값에 대한 질량누출속도의 대수값을 회귀하는 최소자승법 회귀분석(least-squares regression analyses)이 각 공정장비/유체 형태에 따라 수행된다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 “차세대핵심환경기술개발사업(Eco-technopia 21 projet)”의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- United States Department of Health and Human Services(USDHHS), 1990. A guide for measurement and control, PHS No. 763, Public Health Service, USDHHS, Washington, DC.
- Burklin, C.E., 1977. Revision of emission factors for petroleum refining, EPA-450/3-77-030, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, October.
- Olson, H.N. and K.E. Hutchinson, 1972. How feasible are giant, one-train refineries?, Oil and Gas J. 70, 39-43.
- Urban, C.M. and K.J. Springer, 1975. Study of exhaust emissions from natural gas pipeline compressor engines, American Gas Association, Arlington, VA, January.
- United States Environmental Agency(USEPA), 1980. Assessment of atmospheric emissions from petroleum refining, EPA-600/2-80-075a through 075d, U.S. Environmental Agency, Cincinnati, OH.
- United States Environmental Agency(USEPA), 1995. Protocol for Equipment leak emission estimates, EPA-453/R-95-017, Office of Air Quality planning and Standards, Research Triangle Park, NC 27711.