

밸브 및 플랜지의 누출오염원 유해대기오염물질 모니터링방법 개발과 적용

김지훈 · 김동환 · 이석형 · 박노진 · 김영수 · 옥 곤[†] · 박정민* · 홍지형*

부경대학교 환경대기과학과, 대학원 지구환경공학과, 다이옥신연구센터, *국립환경과학원 대기공학연구과

Application and Development of Monitoring Method of Hazardous Air Pollutants (HAPs) in the Fugitive Emission Source

Jee-Hoon Kim, Dong-Hwan Kim, Seok-Hyung Lee, No-Jin Park, Young-Su Kim,
Gon Ok[†], Jung-Min Park*, and Ji-Hyung Hong*

Department of Environmental Atmospheric Sciences, Graduate School of Earth Environmental Engineering &
Dioxin Research Center, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea
*Air Pollution Engineering Division, National Institute of Environmental Research

Received November 17, 2011/Accepted December 19, 2011

Blow-through bag method was developed to estimate emission amount of the hazardous air pollutants on the fugitive emission sources. This method has modified the related US-EPA method to improve the detecting accuracy and sampling efficiency for the valves and flanges of the fugitive emission sources. This developed method shortens the sampling time above 48% and improves 60 times of detection limits in comparison with the related US-EPA method. Therefore this method should facilitate more rapid and precise estimation of fugitive emission amount. We figured out fugitive emission and total emission amount and examined its efficiency with this developed method from fugitive emission sources on site. This Blow-through bag method was significantly improved the problems about sampling time and detection limit. Accordingly, the method enabled us to calculate a precise air emission amount of hazardous air pollutants for the industrial fugitive emission sources.

Key words: Hazardous Air Pollutants, Blow-through bag method, Fugitive emission sources, Air Emissions

1. 서 론

국내 주요 산업체를 대상으로 한 유해화학물질의 배출량 조사 결과 발생하는 유해화학물질의 90% 이상이 대기로 배출되는 것으로 보고되고 있으며, 이 중 점오염원에서의 배출이 48.9%, 비점오염원에서의 배출이 51.1%를 차지하는 것으로 집계되고 있다.¹⁾ 그러나 현재의 이러한 배출량 산정은 실측조사가 아닌 배출계수법, 물질수지법 및 공학적계산법 등의 이론적 방법으로 대부분 이루어져 설비수준 및 시설관리수준에 따라 상당한 오차를 내포할 가능성이 있으며, 이러한 문제

점의 보완방법으로서 실측조사를 통한 검증이 요구되고 있다.²⁾

산업시설의 발생원에서 실측검증을 수행할 경우 점오염원의 경우는 대부분 기존에 정립된 실험방법에 의하여 실측수행이 가능하지만 비점오염원의 경우 그 누출지점수가 수백~수천에 이르며, 또한 누출지점에서의 신뢰성 있는 측정방법이 정립되지 못하여 많은 어려움이 존재하고 있다.³⁾ 현재 누출지점에서의 측정방법은 US-EPA(Blow-Through Method, Protocol for Equipment Leak Emission Estimate, Nov. 1995)에서 제시된 방법이 있지만 상당한 측정시간 소요 및 높은 검

[†]To whom correspondence should be addressed.

Tel: 82-51-629-6641, Fax: 82-51-626-9635, E-mail: gonok@pknu.ac.kr

출한계 등의 문제점을 가지고 있다. 이로 인하여 국내 산업현장의 실정에 맞는 효율적인 적용이 가능하며, 미량 누출에 이르기까지의 실측 적용이 가능한 비점오염원 모니터링 방법이 요구되어 왔다. 특히 현재 보고되고 있는 누출에 의한 비점오염원 중 대표적 오염원이 대규모 플랜트 설비를 갖춘 시설에서의 누출 가능 지점들에 의한 누출로 알려져 있으며, 이러한 누출가능 지점은 주로 밸브, 플랜지, 펌프 등이 해당되는 것으로 보고되고 있어 이에 대한 측정 방법이 더욱더 요구되는 실정이다.^{1,4)}

플랜트 설비 등의 비점오염원에서 누출은 환경문제 및 인체에 대한 직접적인 건강문제 뿐만 아니라 경제적으로도 중요한 요소로써 작용할 수 있기 때문에 그 중요성이 강조되고 있다.⁵⁾ 또한, 비점오염원에서의 누출은 플랜트 설비의 주요 비능률성의 원인으로써 잠재적으로는 값비싼 원료의 손실을 초래하는 경로로서 지적되고 있다.⁶⁾ 따라서 비점오염원이 많은 플랜트 설비를 갖춘 사업장에서는 자체적으로 설비 관리를 통하여 비점오염원에 의한 누출을 줄이고자 다각적으로 노력하고 있는 실정이다.

현재 플랜트 설비를 갖춘 사업장에서 적용되고 있는 누출관리는 휴대용 총 탄화수소 분석기 등을 이용한 누출가능지점들에 대한 누출여부 확인 및 이에 대한 설비관리가 최선의 방법으로 알려져 있다. 그러나 휴대용 총탄화수소 분석기 등을 이용한 검지 방법은 단순 누출여부 확인만이 가능할 뿐 누출지점에서의 가장 중요한 누출 유속 및 누출면적에 따른 누출 유량이 산정되지 못하여 정확한 누출량 산출은 불가능하다. 또한 누출 화학종의 정확한 정성·정량 확인이 불가능한 문제점이 있어 누출에 의한 사업장에서의 정확한 원료 손실량 산정은 물론 누출된 화학물질이 환경에 미치는 영향을 평가하기 위한 기초자료로서는 활용에 한계가 있다.⁷⁾

본 연구에서는 대표적인 누출지점인 밸브 및 플랜지 설비에 대한 보다 신속 정확한 누출량 산정방법을 구축하여 누출오염원에 대한 정확한 관리 및 유해화학물질의 대기누출량 산정에 기여하고자 기존에 제시된 US-EPA(Blow-Through Method) 방법을 변형 보완하여 현지점에서 요구되는 누출에 대한 보다 정확하며 신속한 시료채취 방법을 제시하였으며, 개발된 방법으로 실제 플랜트 설비에 적용하여 현실적으로 수행 가능한 시료수의 산출 및 실질적인 누출량을 산정하였다.

2. 재료 및 실험방법

2.1. 송풍백 포집법의 재료

본 연구에서 개발된 송풍백을 이용한 누출지점에서의 유해대기오염물질 채취 방법(송풍백 포집법)은 일반적으로 존재하는 플랜지 및 밸브 등의 밀봉에 적합하도록 장치의 준비가 사전에 필요하다. 장치의 종류로는 밀봉용 테들러필름, 퍼지가스 유입장치, 시료채취 펌프, 산소농도측정기 등이 있다. 밀봉용 테들러필름은 50 cm²~2 m²의 면적을 가지는 사각형의 필름으로 다양한 크기로 준비를 하였고 준비된 테들러필름에는 퍼지가스의 유입구 및 시료채취용 유출구를 4개 이상 뚫어 테프론 재질의 밸브를 장착하였다. 이때 테프론밸브의 장착위치는 필름의 테이핑을 위하여 필름 가장자리에서 10 cm 이상 내부에 위치시켰으며, 퍼지가스의 유입구와 시료채취용 유출구가 정반대의 방향에 위치할 수 있도록 장착하였다. 퍼지가스 유입장치는 초고순도질소 분배에서 질소가스의 유출 유속이 정확히 1 L/min이 될 수 있도록 미세유량조절장치를 장착하였으며, 동시에 이동 및 휴대가 편리하도록 제작하였다. 그 외에 시료를 포집하기 위한 흡입유속 1 L/min이 정확히 설정 가능한 펌프가 장착된 진공시료채취장비 및 산소농도를 측정하기 위한 산소농도측정기를 준비하였으며, 밀봉을 위한 테프론테이프 또한 준비하였다. 제작된 밀봉형 테들러필름 등을 이용한 송풍백 포집법 밀봉의 모식도를 Fig. 1에 나타내었다.

2.2. 송풍백 포집법의 단계

누출지점에서의 시료채취는 사전에 제작된 장비를 이용하므로 기존의 US-EPA 방법과 비교하여 단순한 단계로서 진행이 된다. 개발된 송풍백 포집법의 주요 시료채취 과정을 Fig. 2에 나타내었다.

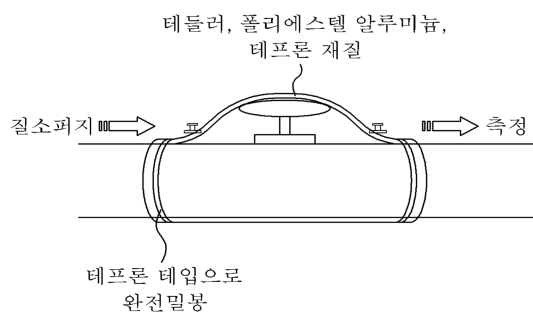


Fig. 1. Diagram of the Blow-through bag method in a fugitive emission source.

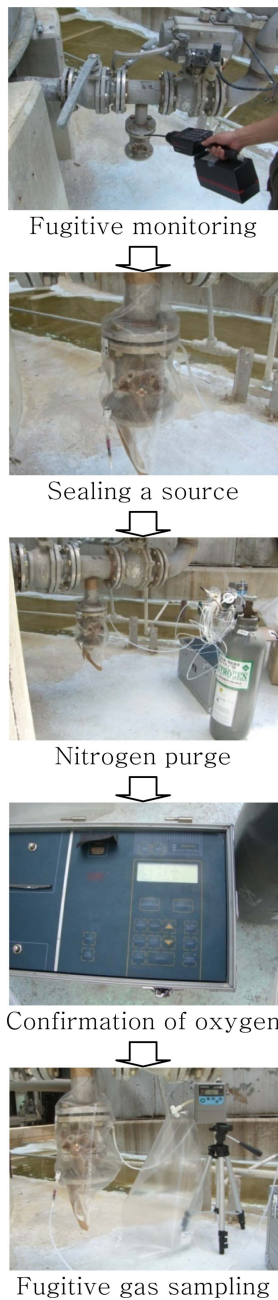


Fig. 2. Main process of the Blow-through bag method.

본 연구에서 개발된 송풍백 포집법의 주요 시료채취 단계는 크게 5단계로 나눌 수 있는데, 첫 번째 단계로서는 휴대용 총탄화수소 분석기 등을 이용한 1차 모니터링을 통하여 송풍백 포집법을 수행할 주요누출지점을 조사하는 단계이다. 두 번째 단계로서는 누출이 확인된 주요누출지점에 대하여 송풍백 포집법을 수행하

기 위한 밀봉필름으로 누출부위를 밀봉하는 단계이다. 세 번째 단계는 밀봉필름의 퍼지가스 유입부로 초고순도질소를 1 L/min 유속으로 유입하면서 동시에 유입부의 반대방향에 위치한 가스 유출부로 유출가스 중 산소농도를 측정하는 단계이다. 네 번째 단계는 유출구에서 유출가스 중 산소농도가 10% 이하가 되었을 때 진공흡입시료채취장치를 이용하여 퍼지가스의 유입 유속과 동일한 1 L/min의 유속으로 시료를 포집하는 단계이다. 이때 주변지역의 바탕시료 2개 채취를 동시에 수행하여야 한다. 마지막으로 다섯 번째 단계는 시료포집이 완료되는 즉시 유출 가스의 산소농도를 측정한 뒤 밀봉부위를 조심스레 해제하면서 밀봉필름 내부에 응축물이 있을 경우 시료병에 응축물을 회수하는 단계이다.

2.3. 측정방법에 대한 바탕농도보정

바탕농도 보정은 누출지점에서의 송풍백 포집법 시료채취시 동시에 채취된 바탕시료를 이용하여 누출지점 채취시료의 농도를 보정하는 방법으로써 누출지점에서의 밀봉시료채취 전후에 해당되는 산소농도를 기준으로 보정한다. 이러한 보정방법은 밀봉이 완전하지 못하여 외부공기의 영향을 받거나 밀봉 후 시료채취시 밀봉필름 내부에 남아 있는 외부공기에 대한 바탕농도를 보정함으로써 누출지점에서의 누출되는 양만을 정확히 평가하기 위하여 적용하였다. 그러나 누출지점에서의 누출가스가 산소를 함유하는 경우는 누출가스 중 산소 농도를 별도로 재 보정해주어야 한다. 누출가스 중 산소가 존재하지 않는 일반적인 채취시료에서 산소 농도를 이용한 바탕시료 보정식은 다음과 같다.

산소량 보정 농도

$$= \text{채취시료농도} \left\{ \frac{(\text{바탕시료농도1} + \text{바탕시료농도2})}{2} \times \frac{(\text{채취전산소\%} + \text{채취직후산소\%})/2}{21} \right\}$$

2.4. 플랜트 설비에서의 송풍백 포집법 적용

개발된 송풍백 포집법에 의한 현장 적용 평가를 위하여 소형 플랜트 설비를 보유한 사업장을 대상으로 현장 적용성 평가를 실시하였다. 본 연구를 수행한 대상 사업장은 의약품 중간생산품을 생산하는 사업장으로서 중간의약품 형태로 연평균 40~50종의 생산품을 생산하고 있었는데, 제조공정의 원료로써 유기용매 8종이 사

용되고 있었다.⁸⁾ 사용되는 유기용매는 생산공정 외부에 저장시설을 갖추고 생산공정으로 일정량을 공급하고 있었는데, 이 중 비교적 독성이 높고 사용량이 많은 유기용매인 Dichloromethane과 Toluene 두 가지 용매공정에 대하여 저장탱크부터 최종 유입라인까지의 누출이 가능한 비점오염원을 조사하였다. Dichloromethane 공정과 Toluene 공정은 각각의 공정별 총 9개의 밸브와 45개의 플랜지 및 메인 펌프 1기씩이 존재하는 동일한 공정을 가지고 있었다. 조사 대상 공정은 소형 플랜트 설비로서 누출가능지점의 수가 적었으므로 전 공정에 대하여 전수조사를 수행하였다. 조사대상 플랜트 설비에서의 실제 시료채취 장면을 Fig. 3에 나타내었다.

누출이 검지되어 개발된 송풍백 포집법을 이용하여 밀봉시료채취를 수행한 지점은 Dichloromethane 공정 중 밸브 1개 지점과 플랜지 1개 지점이며, Toluene 공정 중 플랜지 1개 지점이었다.

2.5. 기기분석

플랜트 설비에서의 송풍백 포집법 적용 평가를 위하여 채취된 시료는 누출량 산정을 위한 정성·정량 분석이 수행되었다. 보다 정밀한 분석을 위하여 채취

된 테들러 백 상태의 기체시료 일부는 채취 후 즉시 흡착관으로 흡착시켜 흡착관 시료로써 확보하였다. 채취된 시료는 즉시 실험실로 운반하여 분석을 수행하였는데, 강휘발성유기화합물 및 일반적인 휘발성유기화합물을 분리하여 기기분석을 수행함으로써 총 81종 이상의 휘발성유기화합물류를 고감도로 분석하였다. 강휘발성유기화합물 및 흡착관의 흡착제에 의한 흡탈착 효율이 떨어지는 휘발성유기화합물류는 Entech社의 Preconcentrator를 이용하여 수분 및 CO₂를 제거하고 최종적으로 -180°C의 극저온에서 목적성분을 극소량의 부피로 농축한 뒤 Agilent 6890GC/5973MSD를 이용하여 분석하였고, 흡착제에 포집된 일반적인 휘발성유기화합물류는 Gerstel社의 TDS3 장비를 이용하여 280°C에서 열탈착한 뒤 -150°C로 냉각된 CIS4 시스템에서 다시 농축시켜 Agilent 6890GC/5973MSD를 이용하여 분석하였다.⁹⁾

3. 결과 및 고찰

3.1. 개발된 송풍백 포집법에 따른 시료채취시의 장점

개발된 송풍백 포집법은 기존의 US-EPA 방법과 비



Storage tank of solvents



Sealing of a fugitive source



Fugitive source monitoring



Sampling of the fugitive emission gas

Fig. 3. Fugitive gas monitoring and Blow-through bag method sampling in a plant facility.

교하여 크게 두 가지의 장점을 가지고 있다. 첫 번째로는 시료채취 시간을 단축시킨 것이며, 두 번째로는 극미량분석이 가능한 수준으로 검출한계를 낮춘 것이다.

기존의 누출지점에 대한 누출량 측정법으로 제시되어 있는 US-EPA 방법은 실험단계가 복잡하며, 기본적인 준비 재료를 제외하고는 현장에서 장치를 만들어서 적용하는 방법을 제시하고 있다.¹⁰⁾ 따라서 이러한 방법은 현장에서의 시료채취 시간이 과도하게 소요되어 결국 시료채취 수가 적어지고 대표성 있는 시료채취 개수 확보에 어려움이 발생된다. 이러한 점을 보완하여 개발된 송풍백 포집법은 일반적으로 적용 가능한 밀봉필름 및 휴대용 유입가스 장비를 사전에 제작하여 시료채취 시간을 약 48% 단축시켜 현장에서의 적용 효율성을 높였고 그 결과 기존의 방법보다 2배 정도 많은 시료채취가 가능하게 되었다. 동일한 누출지점에 대하여 기존의 US-EPA 방법과 개발된 송풍백 포집법으로 각 3회씩 실험하여 산출된 소요시간을 Fig. 4에 나타내었다.

누출지점을 밀봉하는데 소요되는 시간은 기존의 US-EPA 방법의 경우 평균적으로 44.3분이 소요된 반면 개발된 송풍백 포집법은 평균 12분이 소요되어 약 73%의 소요시간 단축이 있었다. 산소 농도 도달시간은 US-EPA 방법은 평균 18.7분이 소요되었고 개발된 송풍백 포집법은 평균 10.7분이 소요되어 약 43%의 시간 단축이 있었다. 산소농도 도달시간의 기준은 US-EPA의 경우 5%를 기준으로 하고 있으며 개발된 송풍백 포집법에서는 10%를 기준으로 하고 있다. 산소농도가 높을

경우 바탕시료의 영향을 보다 많이 받으므로 오차가 커지는 영향이 있지만, 본 연구에서 개발된 송풍백 포집법은 각 시료별 바탕시료를 2개씩 채취하여 바탕농도의 보정이 정밀하게 이루어지도록 하여 이러한 문제점이 보완될 수 있도록 하였다. 기타 시료채취 등에 소요되는 시간의 경우는 US-EPA 방법의 경우 평균 10분이 소요되었고, 개발된 송풍백 포집법은 평균 15분이 소요되어 개발된 송풍백 포집법이 50% 정도 더 많은 시간이 소요되었다. 기타 시료채취 등에 소요되는 시간에서 개발된 송풍백 포집법이 더 많은 시간이 소요된 원인은 밀봉된 누출지점 내부로 유입하는 퍼지가스의 유속에 따른 유출밸브에서의 시료포집 유속의 차이로 인한 것으로서 US-EPA 방법의 경우 높은 유속을 사용함으로 인하여 시료채취에 소요되는 시간의 단축이 있었다. 그러나 US-EPA 방법에서 일반적으로 사용되는 60 L/min의 높은 유속은 누출지점에서의 누출기체가 분당 60 L의 퍼지가스로 희석되어 채취되는 문제점이 있어 미량 누출의 경우는 검출이 불가능한 경우가 발생되었다. 특히 이러한 문제점은 유독화학물질의 미량 누출에 있어서 불검출로 처리되어 누출량이 없는 것으로 처리 되기도 한다는 것이다. 대규모 플랜트 설비의 경우 수백에서 수만에 이르는 많은 누출지점이 있으므로 미량누출 일지라도 플랜트 설비 전체에서의 총누출량으로 산정시 무시하지 못할 많은 양이 되는 경우가 발생한다. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위하여 개발된 송풍백 포집법은 퍼지가스의 유입 및 시료채취 유속을 1 L/min으로 낮게 적용함으로써 기존의 방법

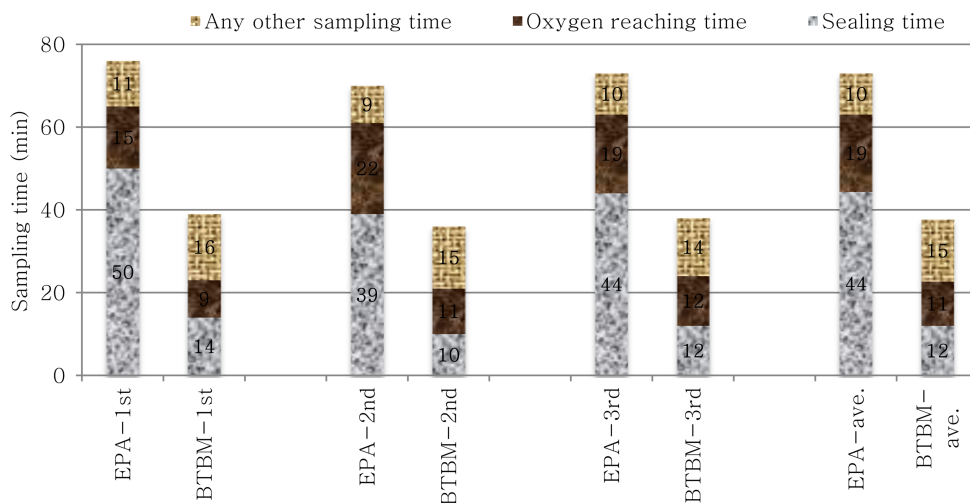


Fig. 4. Comparison of the sampling time in developed Blow-through bag method and related US-EPA method. (BTBM: Blow-Through Bag Method).

과 비교하여 60배 낮은 검출한계가 가능하도록 설계하였다.

3.2. 플랜트 설비에서의 송풍백 포집법 적용 평가 및 누출량 산정

선정된 플랜트 설비에 대하여 조사를 수행하는데 소요된 시간은 휴대용 총 탄화수소 분석기를 이용하여 누출여부를 확인하는데 있어 Dichloromethane 및 Toluene 각 공정별 30분씩 소요되어 총 1시간이 소요되었으며, 누출지점 3지점에 대하여 송풍백 포집법을 이용하여 누출시료를 포집하는데 평균 30분씩 총 90분이 소요되었다. 누출지점에 대한 송풍백 포집법 시료채취 시간은 사전 모의 실험에서의 평균 소요시간 38분보다 약 8분이 평균적으로 단축되었는데, 이는 실험자의 반복 수행에 따른 실험능력 향상에 의한 것으로 평가된다. 이와 같이 조사대상 플랜트 시설에서의 비점오염원 누출량 조사는 총 2시간 30분에 완료되었으며, 누출지점을 사전에 확인 후 송풍백 포집법을 이용한 시료채취만 수행할 경우 현장에서의 일반적인 1일 업무시간인 8시간을 적용하면 개발된 송풍백 포집법에 의하여 1일 최대 16개 누출지점에 대한 시료의 포집이 가능한 것으로 평가되었다.

개발된 송풍백 포집법을 적용한 플랜트 설비에서의 실제 누출에 따른 연간 총누출량을 산정해 보았다. 해당 플랜트 시설에서 조사된 주요 공정은 Dichloromethane 공정과 Toluene 공정이었으며, Dichloromethane 공정에서는 플랜지 1개에서 4,298 ng/L의 Dichloromethane 누출량이 조사되었고, 동시에 밸브 1개에서 1,947 ng/L의 Dichloromethane 누출량이 조사되었다. Toluene 공정에서는 밸브에서의 누출량은 검지되지 않았지만 플랜지 1개에서 155 ng/L의 Toluene 누출량이 조사되었다. 채취된 시료에 대하여 휘발성유기화합물 81종 이상을 대상으로 정성·정량 분석을 수행하였으나 누출시료에서 검출된 화학종은 해당공정에서 사용되는 유기용매만이 검출되었다. 이는 조사대상 사업장이 고품질의 의약품을 제조하는 사업장으로서 초고순도 용매만을 사용함에 의한 것으로 조사되었다.

시료채취시 시료의 포집 유속을 1 L/min으로 고정하여 채취하였으므로 누출량 단위에서 ng/L는 단위시간당 누출지점에서의 누출량에 해당되는 단위인 ng/min과 동일한 단위로써 적용이 가능하다. 이를 이용하여 해당 사업장 플랜트에서의 일 가동시간 및 연간 가동일수를 적용하여 누출량을 산정한 결과 Dichloromethane

공정에서 Dichloromethane의 대기누출량은 3.28 g/year로 산출되었으며, Toluene 공정에서 Toluene의 대기누출량은 0.08 g/year로 산출이 되어 조사대상 플랜트 설비에서의 누출량은 시설이 소형이며 적은 누출지점 보유로 인한 낮은 대기누출량이 조사되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 화학물질의 대기배출량 중 50% 이상을 차지하는 것으로 알려진 비점오염원 중 주요 배출원인 누출오염원에 대한 정확한 누출량 조사방법으로 기존의 US-EPA Blow-Through Method를 보완한 송풍백 포집법을 개발하였다. 개발된 송풍백 포집법을 이용하여 누출오염원의 누출량을 조사할 경우, 기존의 US-EPA 방법과 비교하여 측정시간을 48% 이상 단축시켜 현장에서의 보다 효율적인 시료채취가 가능하도록 하였다. 또한 기존의 퍼지가스 유입유속 및 시료채취 유속을 최소한으로 낮추어 기존의 방법보다 60배 낮은 검출한계가 가능한 시료가 포집될 수 있도록 하여 보다 정확하며 극미량의 독성 화학물질의 누출량도 산정될 수 있도록 하였다. 따라서 개발된 송풍백 포집법은 기존의 방법에서 문제가 되었던 많은 시간소요로 인한 시료확보의 문제점과 높은 검출한계로 인한 불검출 문제를 상당 부분 해소함으로써 누출오염원에서의 누출량산정에 보다 효과적인 방법으로 기대된다.

현장에서의 실제 적용성 평가결과 일반적으로 알려진 주요 누출오염원인 밸브, 플랜지에서의 시료채취가 30분만에 완벽히 이루어질 수 있음을 확인하였으며 조사된 결과를 바탕으로 정성·정량 분석을 통한 화학물질별 정확한 누출량 산정이 가능하였다. 이러한 조사방법은 현재 누출오염원에서의 일반적인 누출량 조사 방법으로 이루어지고 있는 배출계수법, 물질수지법 및 공학적 계산법 등의 추정치 누출량 조사보다 정량적인 누출량 산정측면에서 월등히 우수하며 정확한 누출량 산정방법으로 평가할 수 있다. 또한 실측방법으로 알려져 있는 휴대용 총 탄화수소 분석기 등에 의한 방법의 경우도 단순히 누출부위에서 분석기로 흡입되는 가스 중 총탄화수소 농도를 ppm 수준으로 나타내는 방법이므로 단위시간당 누출부위에서의 누출량 산정 및 누출화학종별 정량적인 누출량 산정 측면에서 송풍백 포집법이 보다 정확한 방법인 것으로 확인되었다.

기존의 US-EPA 방법뿐만 아니라 개발된 송풍백 포집법 또한 시료채취를 위하여 다수의 장비들이 사용되

고 있다. 개발된 송풍백 포집법에서는 가능한 휴대가 편리하도록 제작하여 누출지점 이동간의 편리성을 높이고자 하였다. 그러나 플랜트 설비에서 많은 누출오염원이 지표면이 아닌 상공에 위치하는 경우가 있으므로 이에 대한 조사를 수행하기에는 현재의 개발된 송풍백 포집법이 한계점을 가지고 있다. 따라서 이러한 상공지점의 누출오염원에 대한 실측조사 방법의 추가적인 기술 검토가 진행 중에 있다. 향후 현재까지 개발된 측정 방법을 계속적으로 수정 보완하여 보다 다양한 비점오염원에 대한 실측방법의 정립을 위한 연구는 지속적으로 이루어져야 할 필요성도 있다.

본 연구를 바탕으로 산업시설의 누출에 의한 유해대기오염물질의 환경방출에 대한 현황의 파악과 배출특성의 규명 등의 체계적인 기초자료 확보가 필요하며, 이러한 과정을 통한 HAPs국가배출계수의 생산 및 HAPs인벤토리 구축을 위한 연구가 지속적으로 추진될 필요가 있다. 이와 같은 발생원 현황과 대책의 수립을 위해 대기 중으로 배출되는 유해대기오염물질을 보다 정량적으로 평가하고, 시설관리를 통한 효율적인 원자재관리 및 환경적 측면에서 인간 및 자연환경의 위해성 삭감을 위한 연구의 추진이 필요하다.

참고문헌

1. 환경부, **2008**. 유해대기오염물질인벤토리구축사업 II
2. 환경부, **2009**. 유해대기오염물질인벤토리구축사업 III
3. M. Paakkunainen, S.-P. Reinikainen and P. Minkkiene, *Chemometrics and Intelligent Laboratory System*, **2007**, 88, 26-34
4. Adem Onat, 2006, *Sealing Technology*, A review of fugitive emissions. (October)
5. Mimi H. Hassim, Alberto L. Perez and Markku Hurme, *Process Safety and Environmental Protection*, **2010**, 88, 173-184
6. Szweda, R., **2000**, *Sealing Technology*, Fugitive emission: The matter of imperfect seals. (November)
7. 환경부, **2010**. 유해대기오염물질인벤토리구축사업 V
8. 환경부, **2010**. 유해대기오염물질인벤토리구축사업 IV
9. Jee-Hoon Kim, Bo-Ra Jung and Gon Ok, *J. of the Korean Society for Environmental Analysis*, **2006**, 9, 139~145
10. US-EPA, **1995**. Blow-Through Method, Protocol for Equipment Leak Emission Estimate, EPA-453/R-95-017, (November)