

PA10)

**매립장 배출공의 악취성 황화합물과 주요 배출성분의  
조성에 대한 연구**

**The Chemical Composition of Malodorous S and  
Major Gaseous Components as LFG**

김기현 · 최여진 · 오상인 · 전의찬 · 사재환<sup>1)</sup>

세종대학교 지구환경과학과 대기환경연구실, <sup>1)</sup>동신대학교 환경공학과

**1. 서 론**

인구의 증가와 그에 따른 문명화/도시화는 필연적으로 쓰레기의 배출량을 증가시켰고, 이에 대한 처리는 중요한 환경문제로 자리매김하고 있다. 현재까지 매립 또는 소각과 같은 방법은 이들 폐기물을 처리하는 가장 기본적이고 중요한 수단으로 간주되고 있다. 따라서 이러한 처리방법과 관련된 기술은 지속적으로 기술적인 향상을 거듭해 왔다. 특히 매립의 경우, 폐기물을 매립하는데 치중하던 과거 시점의 단순한 접근과 달리, 주변 환경의 오염을 최소화하기 위한 친환경적 구조에 대한 배려 및 이들 시설로부터 배출되는 가연성 연료의 회수 및 활용에 대한 고려가 중요한 관심사로 다루어지고 있다. 따라서 매립시설물로부터 배출되는 배출가스 중에 함유된 메탄이나 이산화탄소와 같은 절대적 주성분의 순도나 함량은 이들의 경제적 활용을 결정짓는 주요 인자로 활용되고 있다.

이들 배출가스를 효율적으로 활용하는 일은 경제적 측면에서 여러모로 유용성을 내포할 수도 있다. 그러나 배출가스의 활용과 연계된 순기능적 측면에 대한 고려와 동시에 이들 가스의 활용을 극대화하기 위해서는 이들 가스의 화학적 물리적 특성을 세밀하게 규명하는 것이 중요하다. 특히 배출가스에는 여러 가지 유해한 성분들이 고농도로 농축되었다는 점을 감안하면, 단순히 이러한 자원의 재활용과 연계된 환경적 문제도 간과하기 곤란한 주요한 사안으로 감안이 되어야 할 것이다. 따라서 이들 매립가스에 함유된 여러 가지 유해성분을 정량적 및 정성적으로 파악하는 부분을 매립가스의 활용이나 매립장 환경의 운용에 중요한 변수로 고려되어야 할 것이다.

이미 과거에 시도된 여러 유형의 선행연구 결과들에 따르면, 배출가스에는 상당히 고농도의 휘발성 유기화합물 (VOC)의 배출이 이루어지는 것을 확인할 수 있다. Kim et al. (투고중)의 연구결과 등에 의하면, 매립장의 배출가스에 함유된 VOC 성분의 농도는 일반적인 환경대기 중의 농도보다 극단적으로 농축되었다는 점을 알 수 있다. 특히 toluene과 같은 성분의 농도는 수 ppm 급에 달할 정도로, 높은 농도를 보이는 것으로 확인되고 있다. 또한 이러한 여파로 이들의 배출규모도 ~톤급 규모에 달하는 것으로 확인되고 있다. 그 외에도 이들 배출가스 중에는 수은과 같이 가스상으로 존재하는 유해 중금속이 일반 환경대기에서 발견되는 수준보다 극단적인 고농도로 존재한다는 사실을 규명한 바 있다. 배출공으로부터 배출되는 수은의 농도를 관측한 결과, 환경대기에서 발견되는 수준보다 적어도 1000배 이상의 고농도 수은이 배출될 수 있다는 것을 확인되었다 (Lindberg and Price (1999); Kim and Kim (2002)). 미국 동부지역의 매립장들을 중심으로 수은성분의 농도분포 및 배출량을 연구한 Lindberg et al. (2001)는 환원조건이 강한 매립가스 중에는 인체에 치명적인 유기성 수은들도 입방미터 당 ng 대의 고농도 수준에서 존재한다는 것을 확인시켜 주었다.

기존의 연구에서 이미 확인된 배출가스의 주요 성분들 중에서 환경학적으로 대단히 중요한 의미를 지니는 또 다른 대상으로, 황화수소와 같은 환원황 가스성분들을 감안하지 않을 수 없다. 배출가스에서 발견되는 여러 가지 환원성 화합물들은 주요 악취성 요소로서 뿐만 아니라 인체에 유해한 성분으로서의 환경보건학적 심각성을 내포하고 있다. 특히 황화수소와같은 성분의 농도도 주로 수 천 ppm 단위에 근접하는 고농도로 배출이 이루어지기 때문에, 이들의 배출에 대해서도 여러 유형의 관리가 요구된다. 본 연구에서는 매립장 지역의 주요 악취원이라고 할 수 있는 환원황 성분들과 기타 주요 오염성분들을 동시에 관측하였다. 특히 이러한 연구는 단순히 황화수소와 같은 주요 성분에 대한 분석만이 아니라, 기타 환원황성분들을 포괄적으로 분석하는데 까지 확장하였다. 그리고 이들의 분포특성을 여타 주요

배출성분이나 휘발성 유기화합물들과의 관계로부터 설명하고자 하였다.

## 2. 연구 방법

본 연구실에서 운용하는 황분석 시스템은 크게 두 가지 기준에서 작업모드를 전환하는 방식으로 운용하고 있다. 일반적으로 ppt 단위의 환경대기시료의 분석은 절대검출한계가 성분별로 수~수십 pg를 유지할 수 있는 열탈착 시스템 (UNITY/Air server system, Markes, Inc.)과 연계하여 운용하고 있다. 반면 고농도 시료는 열탈착 시스템을 거치지 않고, loop-injection 방식으로 GC의 칼럼에 곧바로 주입하는 방식으로 분석하고 있다. 이 때 후자의 경우, 열탈착을 이용한 농축단계를 거치지 않으므로, 성분별 검출한계는 전자에 비해 약 1000배 가까이 떨어진다고 할 수 있다. (구체적으로 루프방식일 경우, DL 값이 수~수십 ng대로 나타난다.) 본 연구에서는 일반적으로 쉽게 ppm대에 근접하거나 이를 초과하는 고농도의 배출가스를 분석대상으로 설정하였기 때문에, 회석 등과 관련된 변수를 가장 억제할 수 있는 고농도 모드방식 (루프방식)에 기초하여 분석을 수행하였다.

고농도 시료의 분석을 위해 테들러 백에 채취된 시료를 다음과 같은 순서로 분석하였다. 일단 가스 전용 주사기를 이용하여, 원시료를 500 ul 부피까지 적절한 부피로 루프 내부에 주입시켰다. 주입된 시료는 6-way rotary valve를 이용하여, pulsed flame photometric detector (PFPD: O.I. Co., Model 5380)가 장착된 Gas Chromatograph (Donam Instruments, Model DS 6200)로 곧 바로 분석되게 하였다. (이러한 방법은 저농도 모드에서, 분석하고자 하는 시료를 직접 열탈착 시스템 내부의 cold trap이라 불리는 저온 농축관으로 통과시키며, 황성분의 저온에서 고순도로 농축하여 분석하는 방법과 달리 기기의 원초적인 검출능에 의존하기 때문에 절대적 또는 상대적으로 더 높은 검출한계를 보일 수 밖에 없다.) 시료 분리를 위한 컬럼으로는 DB-VRX (60M x 0.32mm, 1.8 $\mu$ m)를 사용하였으며 한번 분석에 총 20분이 소요되도록 설정하였다.

## 3. 결과 및 토론

본 연구에서는 광주시 지역의 한 곳과 제주시 지역의 두 개 매립장으로부터 채취한 배출가스를 이용하여, 황성분의 조성을 분석하였다. 광주지역의 매립장은 현재도 매립이 진행 중인 시설물로 활발하게 배출가스의 생성이 이루어지고 있는 지역이다. 이에 비해, 제주시 지역의 두 곳 중 A는 광주와 유사한 규모를 가지며, 유사한 특성을 유지하는 반면, B는 이미 매립이 종료되고, 매립장 상단에는 체육시설물이 들어설 정도로 안정화가 이루어진 지역에 해당한다. 모든 지역에 대한 시료의 채취는 2003년 7월과 8월 기간 중에 실시되었다. 본 연구를 위한 채취기간 중 광주시의 매립장은 현재 모든 배출가스를 중앙 집중식 회수방법으로 전환하는 작업이 진행 중에 있어, 채취가 가능한 총 6개의 배출공으로부터 시료의 채취가 이루어 졌다. 반면 제주시 지역의 A는 시료채취가 가능한 배출공이 2개로 제한되어, 2 개의 배출공으로부터 채취가 이루어졌다. 그러나 A의 경우, 이미 중앙회수가 원활히 이루어지고 있다는 점을 감안하여, 배출공으로부터 채취 외에도 중앙회수 시설로부터도 직접 배출가스 시료를 확보하였다. 표 1에는 10개의 채취시료로부터 확보한 자료를 지역구분 없이 총괄적으로 통계처리한 결과를 제시하였다.

Table 1. A summary of the concentrations of reduced sulfur compounds measured as LFG from three landfill sites (all in ppb unit).

Compound	H <sub>2</sub> S	CH <sub>3</sub> SH	DMS	CS <sub>2</sub>	DMDS
Mean	851995	1268	3534	1245	17.95
Med	382308	136	1490	282	7.35
SD	1556362	2199	6876	2070	18.54
Min	212.3	37.9	32.7	25	3
Max	5142896	7120	22549	5352	59.4
N	10	10	10	6	10

이러한 비교분석에 의하면, 다음과 같은 결론을 구할 수 있었다. 일반적으로 (거의 배출활동이 정지된 오래된 매립시설물을 제외한) 대부분의 배출공에서는 황화수소라는 단일 성분이 황가스 배출의 90% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 특히 동시에 분석된 주요 배출가스 성분인 메탄이나 이산화탄소 등에 대해서도 질량 중심으로 비교하였을 경우, 배출량이 훨씬 더 높은 것으로 나타났다. 따라서 이러한 연구결과는 매립장 시설물의 악취가 황화수소라는 단일성분에 주도적으로 좌우된다는 점과 주변지역의 악취관리를 위해서는 이러한 성분에 대한 제어에 집중되어야 한다는 것을 확인할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- Kim, K.-H. and Kim, M. Y. (2002) Mercury emissions as landfill gas from a large-scale abandoned landfill site in Seoul. *Atmospheric Environment*. 36(31), 4919-4928.
- Kim, K.-H., Choi, G.-H., Oh, S.-I., Choi, Y.-J., Sunwoo, Y., Jeon, E.C., and Ju, DW. (submitted) BTEX emissions as landfill gas from two urban landfill sites in Korea. *Environmental Engineering Science*.
- Lindberg, S.E. and Price, J.L. (1999) Airborne emissions of mercury from municipal landfill operations: a short-term measurement study in Florida. *J. Air and Waste Manage. Assoc.* 49, 520-532.
- Lindberg, S.E., Wallschlager, D., Prestbo, E.M., Bloom, N.S., Price, J.L. and Reinhart, D. (2001) Methylated mercury species in municipal waste landfill gas sampled in Florida, USA. *Atmospheric Environment*. 35(23), 4011-4015.