

GE7)

매립지 표면으로부터의 CH₄ 배출량 측정과 이론적 장래배출량 예측

Measurements of CH₄ Flux from Landfill Surface and Theoretical Estimation in Its Emission

김득수 · 오진만 · 고현석 · 두강진¹⁾ · 장영기²⁾ · 전의찬³⁾

¹⁾군산대학교 환경공학과, ²⁾수원대학교 환경공학과, ³⁾동신대학교 환경공학과

1. 서 론

온실가스의 배출자료는 기후변화협약 참여협상 및 저감대책 수립에 없어서는 안될 중요한 기초자료이다. 그러나 국내에서는 현재 에너지와 농업 분야를 제외하고는 온실가스의 배출원 및 배출량 조사가 미미한 실정이다. 이번 연구에서는 기후변화와 관련된 온실효과에 커다란 기여를 하고 있는 메탄(CH₄)의 매립지 표면으로부터의 국내 배출량을 조사하고자 한다. CO₂, CH₄, N₂O, O₃, CFC 등의 주요 온실가스들은 여러 경로를 통해서 대기로 배출되고 있으며, 온실가스의 배출기여도를 보면 도시쓰레기의 매립이 전체 배출량에 약 3%정도 기여하는 것으로 보고되었다(Green peace, 1997). 주요 온실기체에 대한 대기 중 농도가 과거보다 현저하게 증가되었음이 확인되고 있고(Bouwman, 1990), CH₄와 N₂O는 CO₂에 비해 대기중의 농도는 적으나 상대적으로 지구온난화에 기여하는 정도가 높으며, 또한 생체적 발생량(biotic source emission)이 크기 때문에 지구규모수지에 있어서 신중하게 고려되어야 할 것이다. 전지구 배출규모인 400 ~ 640 Tg CH₄/yr의 약 8~11%를 차지하는 것으로 추정되고 있는 도시쓰레기 매립으로 인한 CH₄의 국내 배출량 조사를 위해서 현재 사용중인 5곳의 광역 매립장을 대상으로 매립표면으로부터 배출이 3차례에 걸쳐 조사되었다. CH₄의 지표배출량 측정에는 정적플럭스챔버(static flux chamber)가 사용되었으며, 챔버에 의한 측정결과가 논의되었다. 또한, 이러한 지표배출의 결과가 국내 조사에 의해 이루어진 IPCC에서 제안하고 있는 1차 분해함수식에 의해 산출된 결과와도 비교되었고, IPCC의 분해함수식에 의해 국내특성인자가 고려된 2020년까지의 장래 배출량이 함께 추정되었다..

2. 연구방법

지표면으로부터의 CH₄배출량은 static flux 챔버 방법이 사용되었다. 자체 제작된 flux chamber를 가스를 측정하려는 지점(대략 0.1m² 미만)에 챔버를 엮을 수 있도록 특별히 고안되어 제작된 밀 부분을 먼저 매립지면으로부터 약 5cm 깊이로 설치하고, 지표면이 예전 상태의 안정을 되찾을 수 있도록 약 30분 후에 챔버를 설치한다(Kim et al., 1994). 설치된 시점과 30분 후, 챔버에 부착된 테프론관에 polypropylen주사기를 연결하여 50ml씩 챔버 내부의 가스를 채취하고, 실험실에 준비된 GC-FID에 의하여 농도를 분석하였다. CH₄ 분석을 위해 사용된 GC컬럼은 Porapak N(80/100mesh ; 1/8" × 2m)이고 컬럼온도는 45℃, 검출기온도는 120℃로 유지되었으며, 이때 CH₄은 0.45분 정도에서 검출되었다. CH₄의 지표배출량은 질량평형식으로부터 유도된 다음과 식에 의해 산출되었다.

$$F_{CH_4} = \rho_{CH_4} V/A \cdot \Delta C/\Delta t \cdot 272/(T+273)$$

여기서 F_{CH₄}는 CH₄의 배출량, ρ_{CH₄}는 CH₄의 밀도, V는 챔버의 내부용적, A는 챔버의 밀면적, ΔC/Δt는 시간에 따른 CH₄ 농도변화를, 그리고 T는 챔버 내의 평균기온이다.

3. 결과 및 논의

이상으로 3차례 측정기간 동안의 모든 측정·분석결과를 정리하여보면, 모든 경우의 측정결과에서 나타났듯이 각 매립장에 따라, 그리고 동일매립장 일지라도 측정값들의 편차가 심하였고, 이는 매립가스의 배출에 영향을 미치는 매립인자의 특성상 나타날 수 있는 특성이었다. 이를 극복하기 위해서는 일정기간 같은 지점에서 연속적으로 장기간 지표배출량을 측정하고, 그 기간 중의 대표 값을 대상 매립지의 대표치로 사용할 수 있겠으나, 이번 연구에서는 측정기간과 주어진 연구여건 상의 제약으로 연속적이고 지속적인 배출량 측정이 이루어 질 수 없었다. 그러나, 국내 매립지로부터의 메탄 배출량의 대략적인

배출범위를 산출하기 위하여, 그리고 IPCC의 제안에 의해 산출된 배출범위와의 비교를 위한 방안으로 이번 연구를 통해 측정된 실제 측정자료를 다음과 같이 처리하였다. 측정된 값들 중에서 중앙값 또는 최대 값을 배출에 필요한 대표 값으로 정하여 대상 매립장으로부터의 배출량을 추정하였고, 이를 전국의 매립지 정보를 이용하여 국내의 배출량을 보수적으로 평가(conservative estimation)하였다.

연구기간 동안 3차례에 걸쳐 측정, 분석된 대상 매립지 표면으로부터 배출된 메탄의 배출량 산출 결과 도출된 대상 매립지에서의 매립쓰레기의 단위무게ton 당 최대배출계수의 범위는 0.04~12.3 kgCH₄/ton/yr으로 나타났으며, 이 값은 일상대기환경(20°C, 1기압)에서 메탄을 부피로 환산할 경우 약 0.06~18.5 m³CH₄/ton/yr에 해당한다. flux챔버에 의한 지표배출실험 결과의 현실성 판단을 위하여 산출된 대상 매립지의 매립쓰레기 단위 무게 ton당 최대배출계수의 범위를 IPCC가 메탄배출량 산출을 위해 제안하는 일차 분해함수식의 메탄발생 주요인자인 L₀값과 비교하였다. L₀값은 매립된 폐기물 단위 중량당 배출될 수 있는 메탄의 총량을 부피로 표시한 것이며, 매립지에서 가스의 배출기간은 메탄발생을 인 k 값(yr⁻¹)에 따라 다르긴 하지만 대략 매립후 20년에서 40년 동안 지속되는 것으로 알려져 있다(McBean 등, 1995). 대체로 k값의 크기에 따라 분해함수식에 따른 모델에서 가스배출이 집중되는 기간은 매립 후 약5년(k~0.3)에서 10년(k~0.075)까지 변화될 수 있다. 본 연구에서 이론적으로 산출된 매립 폐기물 당 메탄발생 잠재량(L₀)인 약 117.5 m³CH₄/ton(예상된 k=0.035 yr⁻¹)이 매립 후 10년~20년간 균등 배출됨을 가정할 경우 연간 배출량이 약 5.9~11.8 m³CH₄/ton정도 범위로 나타날 수 있으며, 이는 flux챔버에 의한 측정 결과에 의해 산출된 대상 매립지 매립폐기물 단위ton당 최대배출계수의 범위 내에 포함됨을 알 수 있었다. <표 1>은 flux챔버를 사용한 지표배출량 측정결과와 이론적 메탄 발생과의 비교를 위해 작성되었다. 본 연구에서 산출한 표면 배출량 측정에 의한 결과를 보다 현실적으로 비교하기 위하여 1997년 국내의 매립폐기물 총량을 이용하여 매립된 폐기물 총량으로부터 발생될 수 있는 메탄 배출량을 L₀(117.5 m³CH₄/ton)와 표면배출 실험결과 산출된 연간 최대배출률(0.06~18.5 m³CH₄/hr), 평균배출률을 적용하여 구한 메탄 배출량과 비교하였다.

비교결과에 의하면 지표flux측정의 최대배출계수를 1997년 매립폐기물에 적용할 경우, 1997년 매립 이후 한해 동안 국내에서 배출이 예상되는 되는 메탄 량의 범위가 1,080~332,973 TCH₄/yr이었다. 그리고 이들 배출계수의 평균을 적용하여 산출된 결과는 160,187 TCH₄/yr이었다. 이 값들은 본 보고서에서 추정된 L₀와 k값으로 1997년 자료를 이용하여 IPCC의 1차분해모델 결과 산출된 매립 후 첫해 배출량인 72,500 TCH₄/yr과 매립 후 20년 간 배출 총량이 매년 균등하게 배출됨이 가정되었을 경우의 연 배출량인 106,191 TCH₄/yr과 현저히 차이가 있는 것으로 나타나지는 않았다. 그러나, 지표배출측정을 통해 도출된 배출계수가 단지 매립지 표면으로부터 배출되는 메탄가스로 인한 것임과 실제 측정 당시 배출강도의 편차가 심했던 것을 고려한다면, 최대배출계수 보다는 3차에 걸친 전체 측정결과로부터 평균된 지표 배출계수(1.46±3.89 m³CH₄/ton/yr)의 적용이 보다 현실적일 것으로 사료된다.

<표 1> 지표배출측정결과와 이론적 메탄발생 잠재량과의 비교

매립폐기물 률당 지표로부터의 연간 메탄 배출계수(m ³ CH ₄ /ton/yr)		매립 폐기물 률당 이론적 메탄발생 잠재량(L ₀)	
최대 배출계수의 범위	전체 평균 배출계수	총량(m ³ CH ₄ /ton)	연간 발생량 (m ³ CH ₄ /ton/yr)
0.06~18.5 (평균: 8.91±8.84)	1.46±3.89	117.5	5.9~11.8 (10년~20년 지속적으로 균등하게 배출을 가정했을 경우)
메탄배출량 (1997)	1,080~332,973 (TCH ₄ /yr) 평균160,187	26,278 TCH ₄ /yr	106,191 TCH ₄ /yr (20년 균등배출 가정한 5.9 m ³ CH ₄ /ton/yr 사용) 72,500 TCH ₄ /yr: 1차분해모델에 의한 매립 첫해 배출량
		1,060,000 (TCH ₄ /90yr): IPCC 1차분해함수식 (k=0.035) 적용.	

한편, 이론적 잠재량에 의해 매립 후 첫해 동안 발생할 것으로 추정된 양은 매립 폐기물로부터 발생 가능한 메탄가스가 매립지 표면 뿐 아니라 가스배제공, 그 외의 매립장 내 모든 배출 가능한 방법을 통하여 배출되는 메탄 량을 포함한 것이기 때문에, 평균 지표배출계수에 의해 산출된 매립 후 첫해의 메탄 배출량이 이론적 추정 값과 비교될 때는 이러한 차이가 반드시 고려되어야 할 것이다. <표 1>에서 평균배출계수를 1997년 매립량에 적용한 결과 메탄배출량이 26,278 TCH₄/yr으로 산출되었고, 이에 비해 매립 후 첫해의 이론적인 추정값은 1차분해합수 식을 적용했을 경우 72,500 TCH₄/yr, 그리고 20년간 균등배출을 가정한 계수 5.9 m³CH₄/ton/yr을 적용했을 경우는 106,191 TCH₄/yr이었다. 결과적으로 이번 연구에 의해 조사된 평균지표배출계수를 적용하여 산출된 메탄의 표면발생량은 이론적인 배출량의 약 1/4수준인 것으로 나타나 짧았던 측정기간과 적은 측정 자료의 제약에도 불구하고 비교적 만족스러운 결과를 나타내었다. 평균 지표배출계수에 의한 표면 메탄 발생량은 이론적으로 추정된 매립지 표면은 물론 배출이 가능한 모든 시설로부터의 메탄 발생량의 약 24~35% 정도 기여하고 있는 것으로 나타났으며, 이는 측정기간 동안에 함께 조사되었던 가스배제공으로부터 배출되는 메탄의 양이 표면 배출량에 비해 수배에서 수십배 정도 많았던 점을 고려할 때 flux챔버에 의해 측정된 결과가 실제 배출량을 산출하고, 국가배출규모를 예측하는 데 있어 현실적으로 타당함을 보여주는 것이다.

4. 매립지 배출량의 측정을 위한 장래연구 제안

이번 연구의 목적은 이미 기술한 바와 같이 국내 환경기초시설에서 발생하는 국가온실가스 배출량 산출과 전망에 있다. IPCC에서는 온실가스 배출량산출을 위한 기초자료가 빈약한 국가의 경우 해당국가들 간의 산출자료의 신뢰성과 산출결과를 효과적으로 비교·평가하기 위해 IPCC가 제시하는 방법을 사용하도록 권고하고 있다. 이번 연구에서도 우선적으로 IPCC에서 제시한 방법을 사용하여 연구기간 동안 조사되고 분석된 국내 매립장과 폐기물 기초자료를 근거로 하여 국내 매립장에서의 메탄배출량을 산정하고 예측하였다. 이 때 예측된 결과는 물론 이번 연구에서 메탄배출량 산정을 위해 사용된 기초조사 자료들이 그 동안의 국내 매립장과 매립된 폐기물의 물리·화학적 특성을 정확하게 고려하고 있다는 가정 하에서는 어느 정도 대표성을 보일 수 있다. 그럼에도 불구하고, IPCC 지침에 의해 제시된 배출량산정 모형과 경험식에는 기 조사된 선진국들의 국가적, 지역적, 문화적 특성에 의해 결정된 인자와 요소들이 있으며, 이러한 인자들이 IPCC의 지침에 따라 국내에 적용되었을 경우에 산출된 메탄의 배출량에 커다란 불확실성(uncertainty)과 오차(error)를 초래할 수 있음은 명확한 사실일 것이다. 따라서 IPCC 지침에 의해 산출된 배출 값들이 어느 정도 신뢰성을 갖을 수 있는가 하는 의문은 계속 남을 수 있을 것이다. 결과의 신뢰성을 평가하고 불확실성 또는 오차를 줄이기 위한 방법으로는 대상 매립장에서 배출되는 매립가스를 실제 측정하고 매립된 폐기물성상의 물리·화학적 변화와 배출특성 연구를 통해 국내매립장의 기초측정 자료를 축적하고 분석하는 것이다. 이를 위해서는 매립장으로부터 국내 여건과 매립환경에 적절한 인자들을 도출하고 신뢰성 있는 연구결과의 확보를 위해 국가차원에서의 장기적으로 일관성 있고 집중된 연구지원이 요구되며, 국가지원연구에 의해 개발된 관련기술을 축적하고 산출된 자료들의 database화와 함께 축적된 기술력과 자료를 효율적으로 관리하고 개발시킬 수 있는 지원시스템의 구성이 필요하다고 생각된다.

참고문헌

- Bouwman, A. F. (1990), Soils and the greenhouse effects, John Wiley and Sons, Chichester.
 Greenpeace, "Fossil fuels and climate protection :Carbon logic " (1997)
 Kim D.-S. and Aneja V.P. and Robarge W.P.,1994. "Characterization of Nitrogen Oxide Fluxes from Soil of a Fallow Field in the Central Piedmont of North Carolina." Atmospheric Environment, 28, NO.6, 1129-1137.
 McBean, Edward A.F. A. Rovers, and G. J. Farquhar, "Solid Waste Landfill ENgineering and Design", Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, NJ, 1995. pp.96.