폐기물 재활용 대형복토재의 가스투과 특성
Gas Transmit Characteristic of Waste Recycling a Large Landfill Cover

정하익[1], Ha-Ik Jung, 송봉준[2], Bong-Joon Song, 김상근[3], Sang-Keun Kim 강석주[4], Suk-Joo Kang, 이재영[5], Jea-Young Lee

[1] 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원, Senior Researcher in Chief, Geotechnical Engineering Research Dept., Korea Institute of Construction Technology
[2] 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Research Dept., Korea Institute of Construction Technology
[4] 포스코건설 건설기술연구팀 과장, A Section Chief, Construction Technology Research Team, Posco e&c
[5] 서울시립대학교 환경공학부 부교수, Associate Professor, Department of Environmental Engineering, The University of Seoul

SYNOPSIS : Gas permeability of the solidified sewage sludge needs to be characterized in order to use as a large-scale landfill cover material.
Four different types of the samples were prepared for gas permeability experiments: (1) granite soil, (2) dried sewage sludge, (3) solidified sewage mixed with slag and (4) solidified sewage mixed with granite soils. The experimental instrumentation and measurement devices were newly designed and created to effectively evaluate gas permeability of the samples.

Key words : 가스투과상수, 가스투과속도

1. 서론

국내 매립지 건설시에 위생매립을 하도록 하고 있으며 대형 매립지에서는 매립가스를 재활용하여 전력생산 등을 하고 있으며, 매립지에서 악취를 방지하기 위하여 기타 시설들을 사용하고 있다. 이를 실험실에서 시험을 함으로서 가스투과와 악취방지 효과에 관한 기초 자료를 구할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 고형화물(하수슬러지)을 일일복토재로 사용하였을 때와 현재 흙을 사용하는 경우와 비교하였으며, 악취 발생 물질 및 기타 매립지 가스의 발생을 방지하기 위한 기능은 복토재의 가스투과 상수의 측정에 의해서 가능할 것으로 보고, 매립가스의 투과 방지와 악취의 발산 방지 효과가 어느 정도 인지를 평가하였다.

2. 가스투과 시험

악취 발생 물질 및 기타 매립지 가스의 발생을 방지하기 위한 기능은 복토재의 가스투과 상수의 측정에 의해서 가능할 것으로 보고 이를 시험하기 위하여 ASTM(American Standard for Test Methods) E96, 물질의 수증기 투과 시험(water vapor transmission of materials)을 응용하여 시험을 실시하였다.
각각의 경우에 대하여 일정한 시간 간격으로 실험 접시의 무게 변화를 측정하였으며 복토재 내의 수분 증

발에 따른 무게 변화는 아래 식에 따라 수증기 투과 속도로 계산하였다.

$$V = \frac{\Delta W}{\Delta t \cdot A} \qquad (1)$$

ΔW=무게변화(g), Δt =시간(h), A=투과면적(m^3), V=가스투과속도 (g/hm^2)

또한 위의 실험에서 구한 가스 투과 속도를 Darcy의 법칙에 적용하여 가스투과 상수를 구하였다. Darcy의 법칙은 아래 세가지 식과 같이 여러 가지 단위의 투과 상수로 바꾸어 나타낼 수 있다.

$$V_1 = k_1 \frac{P_V}{l}, \quad V_2 = k_2 \frac{dh}{dl}, \quad V_2 = \frac{k_3}{\mu} \frac{dP_v}{dl} \qquad (2)$$

V_1 = 가스투과속도($g/h/m^2$), V_2 = 가스투과속도(cm/sec), k_1 = 가스투과상수(g/atm/h/m),
k_2 = 가스투과상수(cm/sec), k_3 = 가스투과상수(darcy), P_V = 암모니아의 증기압(atm),
l = 시편의 두께(m), dh/dl = 에너지 경사, μ = 암모니아의 점도(cp=10^{-2}g/cm/s)

가스투과 시험 절차는 가스투과시험을 하기 위해 제작된 아크릴 모형(그림 1)은 윗부분과 아랫부분으로 나누어진다. 아랫부분에 암모니아수를 적당량을 붓고, 윗부분에는 시료를 채우고 다짐을 하여 높이를 측정한다. 두 부분을 연결하여 저울 위에 올려놓고, 무게의 변화를 측정하여 시간과 같이 기록한다.

시험 재료는 화강토, 건조 슬러지, 고화물①(하수슬러지+ OPC+ CaO), 고화물②(하수슬러지+ slag+ CaO)로 나누어서 실험을 하였으며, 가스투과 시험을 두가지로 나누어서 시험을 하였다. 첫 번째는 액체 암모니아수를 이용하여 투과상수를 구했으며, 두 번째는 기체CO_2, CH_4를 사용하여 투과상수를 구하였다.

그림 1. 가스투과시험 장치

3. 가스투과 시험 결과

3.1 액체 암모니아수를 이용한 투과상수

화강토의 경우 시간당 평균 투과 속도는 100.43g/h/m^2이고 건조슬러지는 68.34g/h/m^2, 고화물①은 142.28g/h/m^2, 고화물②은 73.23g/h/m^2으로 나타났다. 또 가스투과속도를 투과도로 나타낼 때 주로 사용되어지는 perm (1perm = 5.7×10^{-11}kg/Pa/s/m)으로 전환하면 각각 0.64, 0.44, 0.91, 0.47로 나타내어진다. 건조 슬러지가 가장 낮게 나타난 것은 입자가 작고 표면의 수분이 증발하면서 표면이 굳으면서 가스투과상수가 작게 나타난 것으로 보여지며, 화강토와 고화물①보다 고화물②이 낮게 나타났다.

표 1. 가스투과시험 결과

구분	가스투과속도(g/h/m^2)	가스투과상수(perm)
화강토	100.43	0.64
건조 슬러지	68.35	0.44
고화물①	142.28	0.91
고화물②	73.23	0.47

그림 2. 가스투과시험 측정

3.2 CO_2, CH_4가스를 이용한 투과상수

CH_4, CO_2 가스를 각각 0.5psi(0.034atm)로 조절하여 같이 주입하는 방식으로 실험을 하였으며, 시편의 두께는 1cm로 하였다.

가스를 주입하여 가스팩을 통하여 가스를 포집하였으며 가스측정기로 가스를 측정하였다.

표 2. 가스투과시험 결과

구분	가스투과속도(g/h/m^2)	가스투과상수(perm)
화강토	471.6	1.69
건조 슬러지	457.69	1.64
고화물①	660.4	1.75
고화물②	463.26	1.66

표 3. 가스제거율(%)

구분	CO_2	CH_4
화강토	26	28
건조 슬러지	19	15
고화물①	24	30
고화물②	29	35

a) 가스투과 시험

b) 가스측정

그림 3. 가스투과

4. 결과

본 연구에서는 매립가스 투과 시험에 관하여 기준은 없으나 매립지에서 쓰이고 있는 화강토를 기준으로 해서 가스투과상수와 가스제거율을 나타내어 보았고, 고화물과 비교하여 보았다. 액체 암모니아수와 기체 가스를 사용하여 실험한 결과 가스투과 상수의 값의 순서가 비슷하게 나타났다. 가스투과 상수의 값이 액체 암모니아수와 기체 가스를 사용한 값이 다르게 나타난 것은 가스투과 속도가 달라서 투과 상수의 값이 다르게는 나타났으나, 투과속도의 증가량에 비례하여 투과상수가 커졌음을 알 수 있다. 그리고 기체 가스를 주입, 가스팩으로 포집하여 가스 제거율을 살펴보았으며, CO_2는 30%미만, CH_4는 35% 이하로 나타났다.

참고문헌

1. 환경관리공단(2004), 하수슬러지의 발효 고화를 통한 매립장 복토재등으로의 재활용 기술, 폐기물처리기술 워숍 pp381~400
2. ASTM, Annual Book of ASTM Standards, Section 11, 11.04, 162-168, Water and Environmental Technology, 1993
3. Koening, A., J. N. Kay(1996), "The Geotechnical Characterization of Dewatered Sludge from Wastewater Treatment Plants", Proceedings of the 3rd International Symposium Environmental Geotechnology, pp.73-82