

공기주입 방식을 이용한 매립모형조내 폐기물 안정화

김 경 · 박준석* · 이 환 · 이철효 · 김정대**

(주)오이코스 기술연구소, *삼척대학교 환경공학과, **한림성심대학 보건환경과

Stabilization of Solid Waste in Lysimeter by Air Injection Mode

Kyung Kim · Joon-Seok Park* · Hwan Lee · Cheol-Hyo Lee · Joung-Dae Kim**

R&D Center, OIKOS Co., Ltd., Seoul 153-775, Korea

*Department of Environmental Engineering, Samcheok National University, Gangwon 245-711, Korea

**Department of Health & Environment, Hallym College, Gangwon 200-853, Korea

(Received January 14, 2005; Accepted March 7, 2005)

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate air injection mode on stabilization of solid waste in lysimeter. For three lysimeters, one was maintained under anaerobic condition as control, and air was injected into two lysimeters in continuous mode (atmospheric pressure) and intermittent mode (high pressure of 2 bar). Distilled water was sprayed over solid waste in 1.4 l/m²(solid waste)/day, supposing rainfall intensity of 1,200 mm/yr and 30% infiltration. Oxygen in landfill gas was not detected in control lysimeter during operational days. After 30 day-aeration, oxygen concentrations of continuous and intermittent modes were maintained in 14% and 6%, respectively. COD_{Cr} removal efficiencies of continuous and intermittent modes were about 70% and 50%, and BOD₅ removal efficiencies were about 80% and 20%, respectively. In view of oxygen supply, and COD_{Cr} and BOD₅ removal, continuous air injection mode of atmospheric pressure was more effective than intermittent mode of 2 bar. Settling degree of solid waste in case of two air injection modes was 3 times higher than that of anaerobic condition as control. Considering the above results, it was thought that air injection (especially continuous atmospheric pressure) could improve degradation of solid waste and induce preliminary stabilization in landfill site.

Keywords: lysimeter, preliminary stabilization, air injection, landfill gas

I. 서 론

전국에 산재하는 사용종료된 매립지는 토양과 지하수 오염의 주요 요인이 되고 있다. 2001년 12월말까지 사용종료된 매립지는 1,170개소이며, 이중 폐기물관리법에 의거 설치승인을 득한 매립지는 65개소(5.6%)로 대부분의 매립지가 설치승인을 득하지 않은 비위생매립지의 형태로 존재하고 있다. 이중 매립용량 80,000 m³ 이상으로 전문가가 필요하다고 판단되는 종료매립지를 조사한 결과 전체 1,170개 사용종료매립지 중 사후관리 대상매립지는 494개로 이중 244개를 정밀조사대상매립

지로 중점관리하고 있다. 이중 폐기물처리기술지원단의 심의를 거쳐 정비사업대상 매립지로 최종결정되면 환경오염 정도에 따라서 우선순위를 결정하여 연차별 정비를 실시하게 된다.¹⁾ 이에 따라 정부에서는 침출수를 발생시켜 지하수를 오염시키고 있는 매립지, 매립지가 스로 인하여 주변지역의 환경오염을 야기시키고 있는 매립지, 그리고 면적이 100,000 m²이거나 용량이 500,000 m³ 이상인 대규모 매립지 186개소를 중점관리 대상 매립지로 선정하여 관리하고 있다. 매립지 내부에서 일어나는 혐기성 분해반응은 악취물질을 함유한 유해가스를 환경으로 배출시켜 심미적인 불쾌감을 유발할 뿐만 아니라 인간건강에도 악영향을 미친다.²⁾ 매립된 쓰레기는 완전 분해되어 안정화되기까지는 일반적으로 보통 20~30년이 소요된다.³⁾ 그러므로 현 매립지 중의 상당수가 안정화되기까지는 향후 수년에서 십여

¹Corresponding author : Department of Environmental Engineering, Samcheok National University
Tel: 82-33-570-6578, Fax: 82-33-574-7262
E-mail : wan5155@samcheok.ac.kr

년의 시간이 더 필요하며, 이 기간 동안 사용종료된 매립지로 인하여 야기되는 이차오염을 방지하고 향후 토지를 효율적으로 이용하기 위해서는 불량매립지에 대한 적극적인 정화 및 조기안정화의 도입이 필요한 실정이다. 사용종료된 매립지에서 발생하는 오염물질이 주변 토양 및 생태계로 확산, 이동하는 것을 방지하고 미분해된 매립물질의 분해를 촉진하기 위해서 최근 사전안정화 공법(preliminary stabilization)이 적용되고 있다.⁴⁾ 사전안정화 공법은 혐기성인 매립지 내부에 공기를 주입하여 호기성 미생물이 유기물의 분해를 촉진하도록 유도함으로써 매립지가스의 발생량을 억제하고 침출수의 수질을 개선할 뿐만 아니라 폐기물 층의 빠른 부피 감소도 유도할 수 있다.

본 연구에서는 매립모형조(lysimeter)를 대상으로 공기주입방식에 따른 매립지가스 농도 및 침출수 수질의 변화, 그리고 폐기물층 침하량 및 온도 등을 모니터링함으로써 폐기물 분해능을 평가하고 사전안정화를 위한 산소전달 방식을 결정하고자 하였다.

II. 실험방법

1. 실험장치

매립모형조는 PVC로 제작하여 3개를 운전하였으며, 각 매립모형조의 중앙부에는 가스시료 채취구를 설치하여 가스농도 및 온도의 변화를 측정하였다(Fig. 1). 인공강우를 모사하여 증류수를 주입할 수 있도록 매립모형조 상부에 물을 분사할 수 있는 water spray를 설치하였다. 공기유입과 침출수 유출을 원활하게 하기 위

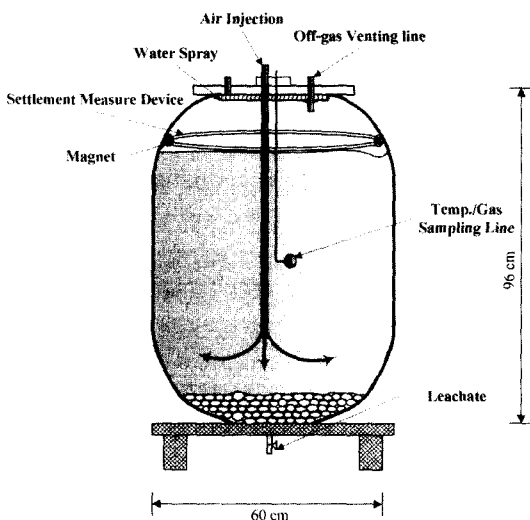


Fig. 1. Schematics of lysimeter used in this study.

Table 1. Physical characteristic of solid waste filled in lysimeter

Component	Wet weight (%)	Moisture content (%)
Food wastes	14.3	70.6
Papers	24.2	54.7
Plastics	16.7	25.8
Textiles	3.0	55.5
Wood	2.6	52.8
Rubber/leather	0.2	4.7
Glasses	2.8	-
Metals	3.1	-
Others	1.1	-
Soils	32.0	27.1

하여 하부에 자갈층을 두었고 폐기물 최상부층에는 복토를 실시하였다. 매립모형조의 전체 부피는 약 250 l이었으며, 이 중에서 자갈과 복토를 제외하고 200 l(650 kg/m³(습윤기준)의 밀도로 폐기물을 충전(充填)하였다. 충전에 사용된 폐기물은 사용종료된 지 약 8년이 경과된 경기도 Y시 매립지에서 굴착 후 채취한 것이며, 음식폐기물, 종이류, 비닐 및 플라스틱류가 전체의 반 이상을 차지하고 있었다(Table 1). 충전 폐기물의 초기 수분함량은 침출수를 첨가하여 약 30%로 조절하였다. 공기주입 라인인 하부에서 35 cm에서 떨어진 지점까지 들어가도록 설치하여 상부에서 침출수를 분사할 때 일어날 수 있는 공기흐름의 방해를 최소화하였다.

2. 운전 및 시료분석

폐기물을 충전한 후 혐기성 상태를 유지하기 위하여 2일간 질소가스로 퍼지(purging)한 후 매립모형조에서 발생하는 가스의 조성을 측정하였으며, 메탄가스와 이산화탄소가 전형적인 혐기성 단계의 매립지가스 특성과 유사하여질 때에 공기주입 실험을 시작하였다. 매립모형조를 대상으로 공기주입 모드에 의한 폐기물의 안정화 정도를 평가하기 위하여 30일간 운전하였다(Table 2). 3개의 매립모형조 중에서 '매립모형조 1'은 대조실험으로써 공기를 주입하지 않았으며, '매립모형조 2'는 약 10 l/m³(폐기물)/hr로 공기를 연속주입하였고, '매립모형조 3'에는 약 3시간 마다 200 l의 폐기물에 10 l/m³(폐기물)로 고압(2 bar) 주입하였다. '매립모형조 2'의 공기주입율은 폐기물층 공극율이 25%이므로 대략 1 pore vol./day에 해당되며, '매립모형조 3'의 경우 고압 주입되는 10 l의 공기는 게이지 압력이 2 bar이므로 대기압하에서 30 l를 주입하는 것과 동일하다. 그러므로 '매립모형조 3'에 약 3시간 주기로 공기를 주입하였을 때에 하루 동안 공급되는 총공기량은 '매립모형조 2'와

Table 2. Operational condition of lysimeters used in this study

Item	Lysimeter 1	Lysimeter 2	Lysimeter 3
Air injection method	Control (Anaerobic)	Continuous, atmosphere pressure	Intermittent, high pressure
Air injection rate	-	10 l/m ³ (solid waste)/hr	10 l/m ³ (solid waste)/3 hr ^{a)}
Rainfall injection rate	280 ml/day ≈ 2 l/week		

^{a)}Injection pressure = 2 bar; Air injection rate of 2 bar and 10 l is corresponded to 30 l in atmosphere pressure.

동일하였다. 그 동안 공기의 연속주입과 간헐주입에 관한 연구가 발표되어 왔으나 본 연구와는 달리 대부분 공기주입량을 변화시키거나 대기압하에서 동일압력으로 공기주입 주기만을 변화시킨 연구들이 대부분이었다.^{4,5)}

매립모형조의 인공 강우주입은 다음과 같이 계산하여 주입하였다. 실험에 사용하였던 폐기물매립지의 위치를 고려하여 1971년부터 2000년까지 서울, 인천, 수원 의 30년간 평균강우량을 조사하였더니 각각 1,344, 1,152, 그리고 1,267 mm이었다.⁶⁾ 그러므로 본 실험에서는 세 지역의 중간값인 1,200 mm를 연간 강우량으로 보고 이중 30%가 매립지 내부로 침투된다고 가정하여, 1일 침투강우량을 약 0.1 cm/day로 계산하였다. 매립모형조의 직경이 60 cm이므로 단면적 넓이는 2,827 cm²이다. 그러므로 1일 강우량은 2,827 cm² × 0.1 cm/day ≈ 280 cm³가 된다. 계산에 근거하여 매립모형조에는 매주 1회, 2 l의 증류수를 주입하였다.

매립지가스의 농도는 가스측정기(LMSxi, Gas Data Co., UK)를 이용하여 CH₄, CO₂ 및 O₂를 측정하였고, 침출수의 BOD₅ 및 COD_{Cr}는 수질오염공정시험법⁷⁾에 의하여 분석하였다. 온도는 디지털온도측정기(SDT25, Summit Co., Korea)를 이용하여 측정하였고, 침하판을 이용하여 침하정도를 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 매립지가스 조성

매립지의 가스조성에 따라 매립진행단계를 5단계로 분류할 수 있다. 그 중에서 메탄과 이산화탄소는 매립지가스의 가장 주된 성분으로 폐기물 분해가 활발히 일어날 경우 각각의 조성은 약 55%와 45% 정도가 된다.⁸⁾ 이러한 가스 조성을 나타내는 경우는 폐기물의 분해가 상당히 진행된 경우로 3단계인 준호기성 단계의 후반부부터 4단계인 혐기성단계라고 볼 수 있다.⁹⁾ 매립모형조를 질소로 퍼지(purge)한 후 공기유입을 차단하고 매립지가스의 농도를 모니터링하여 혐기성 상태로의 진행을 살펴보았다. 공기주입전 3개 매립모형조의 가스발생 특성은 모두 유사하였기 때문에 '매립모형

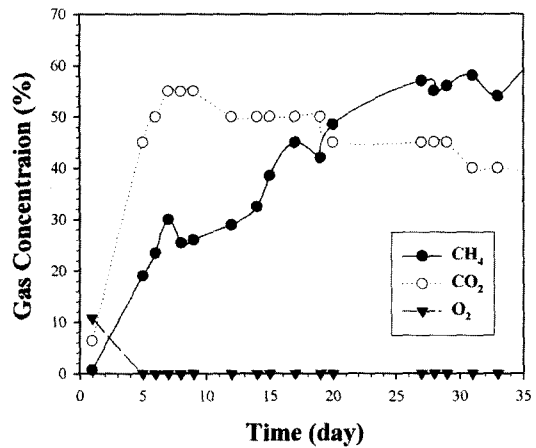


Fig. 2. Variation of gas composition in lysimeter 2 before gas injection.

조 2'에 대하여만 제시하였다(Fig. 2). 폐기물 충전 직후 메탄은 거의 발생되지 않았으나 시간이 경과함에 따라 점점 증가하기 시작하여 1주일 후에는 메탄농도가 30%까지 증가하였다. 공기주입전 약 40일 동안 메탄농도는 꾸준히 증가하여 27일 경에는 55% 이상을 나타내었다. 이산화탄소 농도도 약 1주일 후부터는 50% 이상을 나타내었다가 메탄농도가 꾸준히 증가함에 따라 후반부에 다소 감소하였다. 가스측정기(LMSx, UK)는 메탄, 이산화탄소, 그리고 산소의 총 부피비를 100%로 하여 농도를 나타내므로 메탄농도가 증가하면 상대적으로 이산화탄소 농도가 감소하는 것으로 메탄 및 이산화탄소 발생속도와는 다른 개념이다. 그러므로 이산화탄소 농도가 감소하였다고 해서 발생속도가 줄어들었다고 말할 수 없는 것이다. 산소는 5일 후부터 거의 감지되지 않아 혐기성 상태로의 진행이 시작되었음을 알 수 있었다. 공기주입 실험은 메탄과 이산화탄소 농도가 55%와 45% 정도가 되어 전형적인 매립지가스 조성을 나타내는 38일 경부터 시작하였다.

공기주입전 매립모형조의 메탄가스 농도는 모두 50% 이상이었다(Fig. 3(a)). 대조실험으로써 공기를 주입하지 않은 경우에는 약 30일 후까지도 대부분 메탄농도가 약 60%이고 산소는 검출되지 않아 완전한 혐기성을 유지

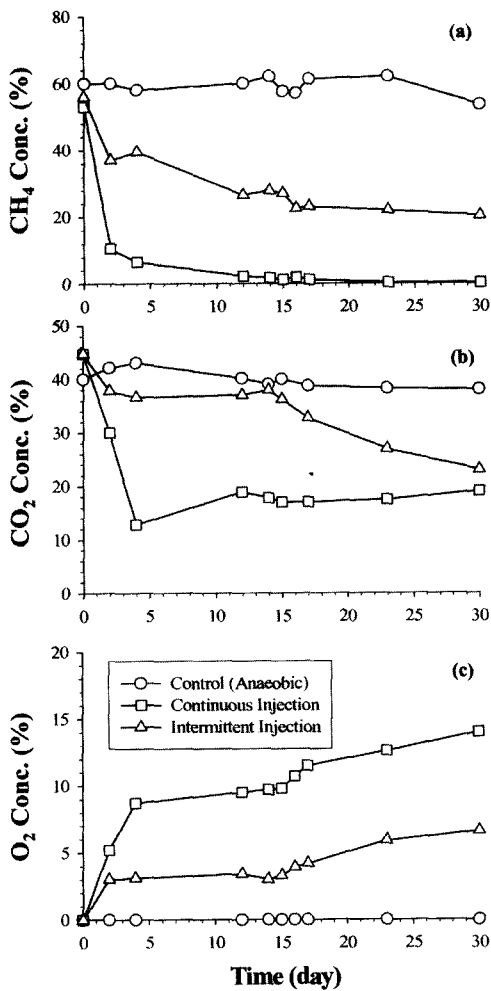


Fig. 3. Variation of CH₄ (a), CO₂ (b), and O₂ (c) concentrations in lysimeters.

하였으며, 이산화탄소 농도는 40% 이상으로 혐기성 미생물에 의한 폐기물 분해가 계속 진행되고 있음을 알 수 있다(Fig. 3(a)~(c)). 대조실험과는 달리 공기를 주입한 두 경우에는 운전기간이 경과함에 따라 메탄 농도가 감소하였는데, 대기압으로 공기를 연속주입한 경우에는 메탄농도가 가장 빠르게 감소하여 공기주입 4일 후에 10% 정도로 감소하였다가 약 2주 후에는 2% 이하의 미미한 정도만 검출되었다(Fig. 3(a)). 그러나 고압(2 bar)으로 공기를 간헐주입한 경우에는 메탄의 감소속도가 대기압 하에서의 연속주입 보다 느려서 30일 차까지도 20%의 메탄을 유지하였다. 위와 같은 메탄 감소속도는 이산화탄소의 경우에서도 볼 수 있었다. 이산화탄소 농도가 공기를 연속주입하였을 때 초기 45%

서 4일만에 10%대로 감소하였다가 이후 20% 이내를 유지하였으나, 고압간헐주입한 경우에는 2주 정도가 지나서야 서서히 감소하기 시작하여 30일 경에는 약 25%가 되었다. 메탄이나 이산화탄소의 감소는 절대 혐기성 미생물인 메탄균의 산소에 의한 저해효과와 매립지 내부 가스의 공기에 의한 치환 효과에 기인하는 것으로 판단된다. Fig. 3(c)에서 보는 바와 같이 산소농도는 대기압으로 연속주입한 경우가 고압 간헐주입한 경우보다 높게 유지되어 30일차에 연속주입과 간헐주입의 경우 각각 14%와 6%를 나타내었다. 가스 측정결과 호기성으로 전환하기 위한 산소치환 효율은 대기압 연속주입이 고압 간헐주입보다 효과적이었다. 고압 간헐주입식에서는 공기주입 4일 후 메탄은 20~30%, 이산화탄소는 20~35%의 농도를 보였으며 이는 메탄균이 완전히 소멸되지 않고 호기성 미생물과의 상호작용으로 인해 미세 혐기성 영역을 유지하고 있는 것으로 판단된다. 기존 연구결과에 의하면 호기성 또는 임의성 미생물은 미량의 산소 유입시 산소를 소모하여 내부에 존재하는 메탄균의 저해효과를 어느 정도 방지할 수 있다.^{10,11)}

2. 침출수 발생량 및 수질

매립지 폐기물의 수분은 고형폐기물의 가수분해 및 생물학적 분해, 강우의 침투 등에 의해 생성되며, 침출수의 배출이 일어나기 전에 쓰레기층 내에 흡수된다. 그리고 폐기물 수분함량이 수분보유능력(water holding capacity)보다 많아질 경우 중력하강하여 침출수로 발생하게 된다.¹²⁾ 매립종료 후 시간이 경과함에 따라 폐기물의 압밀현상이 발생하고 수분을 흡수할 수 있는 유기물 성분이 분해되기 때문에 폐기물 수분보유능력은

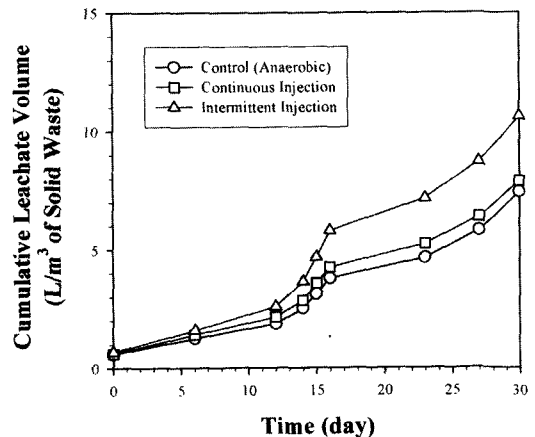


Fig. 4. Leachate volume generated from lysimeters.

초기와 많이 달라지며 일반적으로 감소하는 현상을 보인다. Christensen 등(1989)¹³⁾은 폐기물의 분해와 압축 과정에 의해 초기 80%이었던 매립폐기물의 수분보유 능력이 점점 감소하여 4년 이상이 경과된 후에는 63~74%로 감소되어 침출수량의 증가를 가져왔다고 하였다. 매립모형조의 폐기물층에 공기를 주입한 후 침출수 발생량을 측정하여 Fig. 4에 나타내었으며, 이는 침출수가 처음 발생하기 시작한 38일째를 공기주입 시작을 기준으로 0일차로 보고 표현한 것이다. 일일 강우주입량이 폐기물 200 t당 0.28 l이므로 폐기물 단위부피당 일일주입량은 1.4 l/m³(폐기물)/day가 된다. 침출수 발생 직전 38일과 공기주입 30일 동안 주입된 총 강우주입량은 95 l/m³(폐기물)이다. 운전기간 동안 발생된 침출수 배출량을 누적한 결과 연속주입과 대조실험의 경우 약 8 l/m³(폐기물)이었으며 가장 많이 배출된 간헐주입에서는 약 11 l/m³(폐기물)이 발생되었다. 이는 주입된 전체 강우량의 약 10% 정도에 해당된다. 매립지에서 침출수량을 예측하기 위하여 물질수지(mass balance)를 세울 경우 강우침투량과 증발산량에 대한 파악이 필요하지만 현실적으로 정확한 증발산량을 평가하는 것은 쉽지 않다. 연속주입 방식은 압축에 의한 폐기물층 침하에 의한 밀도증가(Fig. 8(b) 참조)에도 불구하고 대조 실험과 비교하여 침출수 배출량에 큰 차이가 나타나지 않았는데 이는 미생물의 분해활동에 의한 온도상승(Fig. 9 참조)과 증발산으로 수분손실이 일어났기 때문인 것으로 생각된다. 또한 고압 간헐주입식은 침출수 배출량이 가장 높았는데 이는 고압주입에 의한 미세분열과 단회로 현상 때문인 것으로 사료된다.

매립연령에 따라 침출수의 COD와 BOD 값은 범위가 너무 광범위하여 이것만으로 매립연령을 판단하는

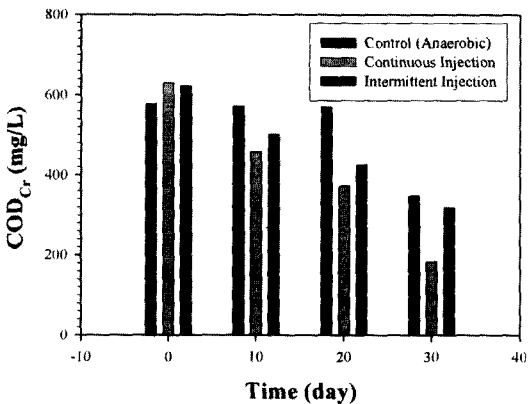


Fig. 5. Variation of COD in leachate with control and two air injection modes.

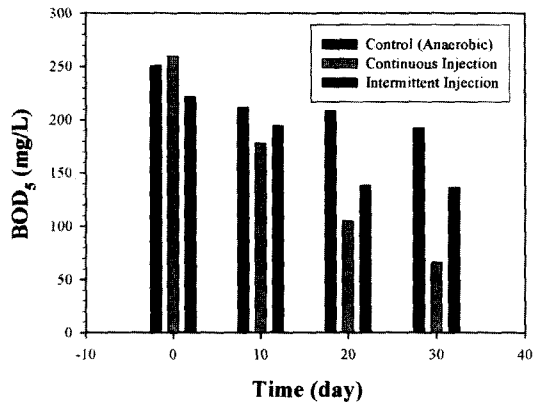


Fig. 6. Variation of BOD in leachate with control and two air injection modes.

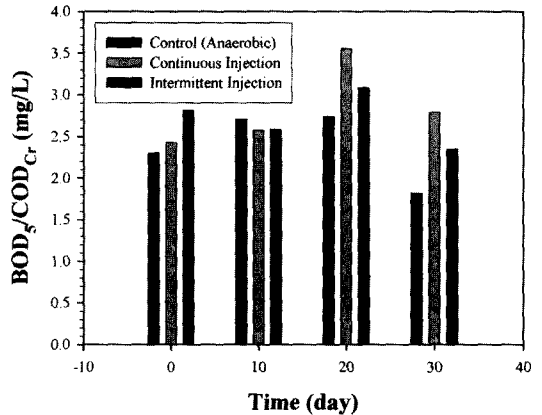


Fig. 7. Variation of BOD/COD_{Cr} in leachate with control and two air injection modes.

것은 어려운 것으로 보인다. 앞에서 언급하였듯이 혐기성 상태를 유지시킨 세 매립모형조에서 침출수가 발생되기 시작한 것은 38일차이며 이 때를 기준으로 공기공급을 시작하였다. 초기 COD_{Cr}는 약 600 mg/l이었으며 30일간 공기를 공급하였을 때 매립모형조의 침출수 COD_{Cr} 제거율은 대조실험과 고압 간헐주입 방식에서 각각 40.1와 49.1%를 보인 반면 연속주입 방식에서는 70.6%로 높게 나타났다(Fig. 5). BOD₅의 제거특성도 COD_{Cr}와 유사한 경향을 나타내었다(Fig. 6). 연속 주입식에서는 초기에 200 mg/l 이상이던 BOD₅ 값이 30일 후에는 약 50 mg/l 정도로 감소하여 80% 정도가 제거되었다. 그러나 공기를 주입하지 않은 혐기성 매립모형조에서는 초기 250 mg/l에서 약 50 mg/l(20%)만 제거가 되었다. 이로써 대기압 연속 공기주입이 고압 간헐주입보다 침출수의 COD_{Cr} 및 BOD₅ 제거효율이 우수

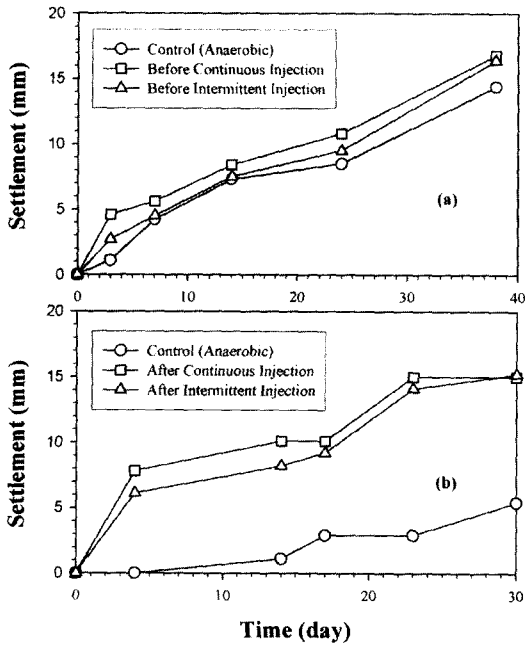


Fig. 8. Variation of settlement in lysimeters before (a) and after (b) air injection.

하였다.

COD_{Cr}와 BOD₅의 분석결과를 BOD₅/COD_{Cr}비로 나타내어 보았다(Fig. 7). 일반적으로 매립초기에는 혐기성 분해시 생성된 휘발성 지방산에 의해 유기 및 무기물질의 용해가 촉진되지만 매립경과에 따른 유기물질의 생분해에 의해 BOD₅는 감소되고 난분해성 물질을 함유한 COD_{Cr}는 축적되어 BOD₅/COD_{Cr}의 비가 감소된다.¹³⁾ 황 (1993)¹⁴⁾은 침출수의 매립연령에 따라 BOD/COD비가 변화하며, 5년 미만인 경우 0.5 이상, 5년~10년인 경우 0.1~0.5, 그리고 10년 이상인 매립지는 0.1 이하라고 하였다. Christensen 등(1989)¹⁵⁾은 매립모형조를 만들어 실험실에서 실험한 결과 초기에 약 10,000 mg/l와 약 21,000 mg/l이던 BOD₅와 COD_{Cr}가 약 100일 후부터는 급격히 감소하여 각각 수백 mg/l와 2,000 mg/l 정도로 감소하였다고 하였다. 그리고 BOD₅/COD_{Cr}비는 150일 이후부터는 매립 후 10년 이상 경과한 오래된 매립지에서 일반적으로 관찰되는 값인 0.1 이하의 안정적인 값을 나타내었다. 본 실험에서는 초기 2~3 정도이던 BOD₅/COD_{Cr} 값이 30일 후 큰 감소를 나타내지 못하였는데 이는 아직도 분해될 성분이 침출수에 많이 존재한다는 것을 의미한다. BOD₅와 COD_{Cr}의 제거효율이 가장 낮았던 공기를 주입하지 않은 경우에는 30일차에 BOD₅/COD_{Cr} 비가 1.8 정도인데 반하

여 가장 제거효율이 가장 높았던 연속주입의 경우에는 2.3 정도를 나타내었다. 이는 공기를 주입하지 않은 경우에는 분해용이한 물질이 주로 분해되었으며 연속공기 주입을 한 경우에는 난분해성 물질도 동시에 많이 분해되었기 때문이라고 판단된다. 박 등(2003)¹⁵⁾은 생활폐기물을 파쇄한 후 충전하여 공기를 공급한 결과 BOD₅/COD_{Cr}비가 약 3개월 후 공기를 공급한 경우에는 0.03이었고 혐기성상태를 유지한 경우에는 0.84라고 하였다. 본 연구에서는 BOD₅/COD_{Cr}비가 약 2 이상을 나타내었으며 박 등(2003)¹⁵⁾의 연구에서는 1 이하로 낮게 나타났다. 이러한 차이는 본 연구에서는 매립 후 8년이 경과한 폐기물을 굴착하여 사용하였으며 박 등(2003)¹⁵⁾의 연구에서는 생활폐기물을 바로 파쇄하여 사용하였기 때문에 분해가능물질 비율이 상대적으로 차이가 났기 때문으로 판단된다.

3. 침하량 및 온도

폐기물 매립지의 지반침하는 매립지내 폐기물이 혐기성 분해되면서 일어난다. 그러므로 폐기물 층의 침하가 많이 일어났다는 것은 그만큼 폐기물의 분해가 많이 일어난 것을 의미한다. 본 연구에서는 폐기물 층의 침하 정도를 공기주입 전과 후로 나누어 측정하여 폐기물의 분해특성을 비교 평가하였다. 공기주입전 초기 침하량은 14~17 mm이었으며(Fig. 8(a)), 이는 매립모형조에 충전된 시료의 자체 하중에 의한 압밀로 일어난 것으로 공기주입 전과 후에 일어난 전체 침하량 중 약 55%를 차지한다. 공기주입 후의 침하 정도는 공기를 주입하는 시점을 기준으로 다시 측정한 것이다(Fig. 8(b)). 공기주입한 경우에는 폐기물 층의 침하정도가 공기주입 유무에 따라 확연히 차이가 났다. 30일 운전기간 동안 연속식과 고압간헐식의 공기주입 모드에 따른 침하량은 모두 15 mm로 차이는 거의 없었으나 공기를 주입하지 않은 경우에는 5 mm 정도로 공기를 주입한 경우의 약 30% 정도의 수준이었다. 이것으로 볼 때 매립지 내부로의 공기주입은 폐기물의 분해를 가속화시켜 폐기물의 빠른 분해를 유도할 수 있는 것으로 판단된다. 폐기물의 충전 높이가 총 75 cm이었으므로 30일간의 공기주입에 의한 침하량은 전체 높이의 2% 정도에 해당된다. 일반적으로 가연성 폐기물의 경우는 매립 초기에 압축에 의한 침하가 주로 발생하며 상당시간 경과 후 매립지 내부의 미생물 활동이 활발해지면 분해에 의한 침하가 발생한다. 또한, 불연성 폐기물이나 대형폐기물의 경우에는 압축침하와 파괴침하가 주요인으로 작용한다.¹⁶⁾

매립지의 경우 폐기물층에 의한 단열 효과에 의해 혐

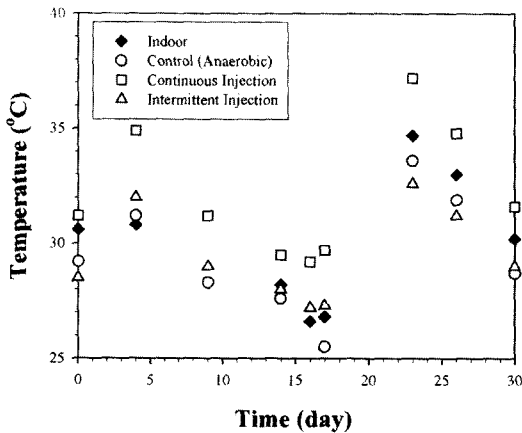


Fig. 9. Variation of temperature in lysimeters.

기성 분해시 발생하는 열이 매립층 내부의 온도를 증가시키며 일반적으로 30~45°C의 온도를 유지하게 된다.¹⁷⁾ 매립모형조의 실험에서 매립조 내부온도는 실내 온도에 민감한 영향을 보여 실내온도의 증감에 따라 같이 증감하였다(Fig. 9). 대기압으로 연속주입한 경우에는 실내온도 보다 약 3°C 정도 높게 유지되었는데 이는 폐기물의 분해활동이 활발히 일어났기 때문으로 사료되며, 실내공기보다 온도가 많이 증가하였던 4일에서 20일 차까지의 폐기물층 침하량도 가장 크게 나타났었다(Fig. 8(b) 참조). 매립모형조에서는 일반적으로 매립지에서 호기성으로 전환시 발생하는 온도상승에 비교하여 전반적으로 온도가 낮게 나타났는데 이는 충전쓰레기의 낮은 유기물 함량, 과다한 공기주입으로 인한 열손실과 모형매립조의 단열이 불충분하였기 때문으로 사료된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 매립모형조를 대상으로 공기주입방식에 따른 폐기물 분해능을 평가하고 사전안정화를 위한 산소전달 방식을 결정하고자 실시하였으며 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 메탄농도는 공기를 대기압으로 연속주입한 경우 빠르게 감소하여 약 2주 후에 2% 이하로 감소하였으나 고압 간헐주입한 경우에는 30일 차까지도 20%를 유지하였다. 또한 산소농도에서도 30일차에 연속주입과 간헐주입의 경우 각각 14%와 6%를 나타내었다. 호기성으로 전환하기 위한 산소회환 효율은 대기압 연속주입이 고압 간헐주입보다 효과적이었다.
2. 공기주입 30일 동안 침출수 배출량은 전체 강우주

입량의 약 10% 정도였으며, 침출수누적량은 간헐주입에서는 약 11 l/m³(solid waste)으로 연속주입과 대조실험의 약 8 l/m³(solid waste)보다 다소 많았다.

3. 공기주입에 따른 침출수 COD_{Cr} 제거율은 대기압 연속주입과 고압 간헐주입 방식에서 각각 약 70%와 50%이었으며, BOD₅ 제거율은 각각 80%와 20% 정도 이었다. 침출수의 COD 및 BOD 제거율에 있어서도 대기압 연속주입이 고압 간헐주입 방식보다 우수하였다.

4. 공기주입에 의한 부피감소율은 약 2%이었다. 공기를 30일간 운전한 후 폐기물층의 지반침하 정도는 공기공급 방식에 따라 큰 차이가 없었으나 공기를 공급하지 않은 경우와 비교할 때 3배 이상의 높은 침하를 나타내었다. 이로써 공기공급은 폐기물층의 빠른 분해를 유도함으로써 사전안정화를 기할 수 있었다.

5. 매립모형조의 온도는 실내공기와 큰 차이가 없었으나 대기압으로 연속주입한 경우에 실내온도 보다 약 3°C 정도 높게 유지되어 가장 높은 온도상승을 나타내었다.

6. 총체적으로 볼 때 공기주입은 혐기성 매립지를 유지하는 것보다 매립지안정화에 효과적이었으며, 공기주입 방식은 대기압 연속주입이 고압 간헐주입보다 우수하였다. 공기주입은 매립지가스의 발생량 억제, 침출수 수질 개선 및 조기침하에 의한 쓰레기층의 부피 감소를 유도할 수 있어 종료 매립지로 인한 이차오염을 방지할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 환경부 : 전국사용종료매립지 기초조사결과 및 관리 대책. 2002.
2. Göschl, R. : Odor stabilization in waste disposal sites, In: In Situ Aeration: Air Sparging, Bioventing, and Related Remediation Processes. Hincsee, R. E., Miller, R. N., and Johnson, P. C. (eds.), 3rd International In Situ and On-Site Bioremediation Symposium, Battelle Press, 289-295, 1995.
3. 농어촌진흥공사 : 농어촌지역 소규모 쓰레기매립지 계획설계 기법개발 연구. 92-93, 1998.
4. 남궁완, 박준석, 이철호 : 매립지굴착사업을 위한 매립지가스 제거시 공기주입량 변화의 영향. 한국폐기물학회지, 16(1), 79-89, 1999.
5. Kaleris, V. and Croise, J. : Estimation of cleanup time for continuous and pulsed soil vapor extraction. *J. Hydrology*, 194, 330-356, 1997.
6. 기상청 : 지점별 강수량 월평년값. <http://www.kma.go.kr/climate/normal/nor-pre.html>.
7. 환경부 : 수질오염공정시험법. 1998.
8. 사단법인 한국지반공학회 : 폐기물 매립시설 세부설치기준 연구보고서. 1994.
9. Andreottola, G. and Cannas, P. : Chemical and bio-

- logical characteristics of landfill leachate. In: Landfilling of Waste: Leachate, Christensen, T. H., Cossu, R., and Stegmann, R. (eds.), Elsevier Applied Science, London, 65-88, 1992.
10. Kato, M. T., Field, J. A. and Lettinga, G. : Methanogenesis of granular sludge exposed to oxygen. *FEMS Microbiology Letters*, **66**, 87-94, 1993.
 11. Fetzer, S. F. and Conrad, R. : Sensitivity of methanogenic bacteria from paddy soil to oxygen and desiccation. *FEMS Microbiology Ecology*, **12**, 107-115, 1993.
 12. Blackey, N. C. : Model prediction of landfill leachate production. In: Landfilling of Waste: Leachate, Christensen, T. H., Cossu, R. and Stegmann, R. (eds.), Elsevier Applied Science, London, 17-34, 1992.
 13. Christensen, T. H. and Kjeldsen, P. : Basic biochemical processes in landfills. In: Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact, Christensen, T. H., Cossu, R., and Stegmann, R. (eds.), Academic Press, London, 29-49, 1989.
 14. 황규대 : 도시폐기물 매립지의 침출수 관리. *한국폐기물학회지*, **10**(3), 443-462, 1993.
 15. 박봉현, 박석준, 권석구, 서동천, 권정안, 윤성한, 이동훈, 최동혁 : 기계적·생물학적 전처리에 따른 도시폐기물의 분해 및 매립특성 변화. *한국폐기물학회지*, **20**(6), 632-643, 2003.
 16. 삼성물산(주) : 모형 매립지를 이용한 폐기물 매립지 안정화 연구. 61-62, 1994.
 17. Rees, J. F. : Fate of carbon compounds in the landfill disposal of organic matter. *J. Chemical Technology and Biotechnology*, **30**, 458-465, 1980.