

폐기물매립지 굴착사업을 위한 가스치환시
공기공급방법의 효율성 비교

남궁완 · 박준석 · 김정대

건국대학교 공과대학 환경공학과

**Comparison of effectiveness of Aeration Modes on the
Removal of Landfill Gases for Landfill Mining**

Wan Namkoong, Joon-Seok Park, Jung-Dae Kim

Department of Environmental Engineering, College of Engineering, Kon-Kuk University

ABSTRACT

The purpose of this study was to estimate the removal potential of landfill gases during landfill mining project. Air injection mode and landfill gas extraction mode were tested. A mode that air injected at one injection well and landfill gas extracted at another extraction well at the same time was also tested to compare. The flow rates of all modes were the same as 15m³/min. Air injection mode was the most effective in removing CH₄. Air injection/extraction mode didn't improve the effectiveness of removing CH₄ compared with air injection mode. Air injection mode were more advantageous than air injection/extraction mode in respect to energy consumption because that of air injection/extraction mode were doubled.

Key words : landfill gases, aeration mode, air injection mode, gas extraction mode, landfill mining

요 약 문

본 연구는 공기를 주입하여 매립지가스를 치환하고자 할 때 공기공급방법이 매립지가스제거에 미치는 영향을 검토하고자 실시하였다. 공기공급방법으로는 공기를 직접 불어넣는 방법과 매립지가스를 추출함으로써 대기중의 공기가 내부로 유입되도록 하는 방법을 사용하였다. 또한 한 주입정에서 공기를 주입하고 동시에 다른 추출정에서 가스를 추출하는 공정도 실시하여 운전모드에 따른 매립지가스 제거 효율을 비교검토하였다. 공기주입 및 가스추출시 유량은 15m³/min으로 동일하였다. 추출모드나 주입/추출모드로 운전하는 것보다 공기주입모드로 운전하는 것이 매립지가스 제거에 가장 효과적이었으며 추출모드는 매립지가스 제거에 가장 적합하지 못하였다. 공기주입과 추출을 동시에 실시하는 경우에도 주입모드에 비하여 매립지가스 제거효율을 크게 향상시키지는 못하였다.

주제어 : 매립지가스, 가스치환, 공기주입모드, 가스추출모드, 매립지굴착

1. 서 론

도시폐기물매립지는 매립 후 일정기간이 경과하면 폐기물매립지를 굴착하여 재활용가능한 물질을 회수하고 부지를 재이용할 수 있다. 국내에서는 중랑하수처리장 확장공사와 부산 화명지구 택지조성 사업을 위하여 매립지굴착(landfill mining)을 실시한 바 있으며, 외국은 뉴욕주 Haugue시, 미국 펜실바니아주 York County 등에서 실시한 사례가 있다¹⁻⁴⁾. 매립지를 굴착할 때에는 악취물질을 포함한 가스가 대기중으로 발산될 우려가 있으므로 적절한 조치를 취한 후 실시하는 것이 바람직하다. 이에 대한 대책으로써 산소를 공급하여 매립지내부를 호기성으로 전환시킴으로써 매립지악취성분을 치환 또는 안정화시키는 것을 생각해 볼 수 있다. 산소를 공급하는 방법으로는 오염토양 정화시 흔히 사용되는 산소를 포화시키거나 과산화수소수를 용해한 수분을 공급하는 액상주입방법과 공기를 공급하는 가스주입방법이 있다⁵⁻⁶⁾. 이중 액상주입방법은 적용시 토양의 물리화학적 성질에 의하여 제한을 받으며 부지전체에 균일하게 주입하기 어렵다는 단점이 있다. 이에 반하여 공기를 공급하는 것은

액상주입방법보다 산소공급에 효과적일 뿐만 아니라 대기중에 존재하는 산소를 무상으로 이용하는 것이므로 경제적이다. 공기를 공급하는 방법은 송풍기로 공기를 직접 주입하는 방법과 진공펌프로 가스를 추출함으로써 매립지내부와 대기중의 압력차에 의하여 공기를 내부로 유입시키는 방법이 있다. 공기주입방법은 경제적이고 운영 및 관리가 용이하며, 가스추출방법은 지상에 시설물이 존재할 경우에 유용하다.

본 연구에서는 매립지굴착사업 시행시 매립지가스를 치환할 때에 공기를 주입하는 방법과 가스를 추출하는 방법을 적용하여 보다 효과적인 공기공급 방법을 판단하여 현장적용시 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험 방법

2.1 파일럿 플랜트의 구성

본 연구가 수행된 난지도 매립지는 1978년 3월부터 서울시에서 배출되는 쓰레기를 매립하기 시작하였으며 1992년 10월 매립이 완료된 곳이다. 매

립초기에는 매립폐기물의 대부분이 유해한 물질을 함유하지 않은 생활폐기물이었으며, 1988년 이후에는 산업폐기물이 일부 매립되었다⁷⁾. 현재 발생하고 있는 매립지가스의 특성을 고려하면 본 매립지는 가스발생이 줄어드는 분해단계의 후기에 해당한다⁸⁾. 난지도 매립지 중에서도 본 실험이 실시된 곳은 주변지역보다 메탄발생량이 적었으며 지반침하율도 컸다. 이로써 이 지점에는 분해가 용이하였던 생활폐기물이 주로 매립되었을 것으로 생각된다. 매립지굴착사업은 매립기간이 상당기간 경과한 후에 실시하는 사업이다. 본 부지는 가스조성중 메탄이 약 20% 차지하고 있는 안정화된 곳으로 실험목적에 적합한 것으로 판단되었다. 연구를 수행하기 위하여 Fig. 1과 같이 파일럿 플랜트를 구성하였다. 50m×45m 면적에 공기주입정(IN), 가스추출정(EX)을 각각 6개씩 설치하였으며 공기주입정 IN3을 중심으로 거리에 따라 가스감시정을 설치하였다. Fig. 1에서 한 셀은 5m×5m의 면적을 나

타낸다. 공기주입정 및 추출정은 모두 약 7m 깊이로 매설하였으며 하단부 약 3m는 구멍을 뚫어 공기 및 가스의 흐름이 원활하도록 하였다(Fig. 2). 유공관 주변은 구멍의 막힘현상을 방지하고 공기의

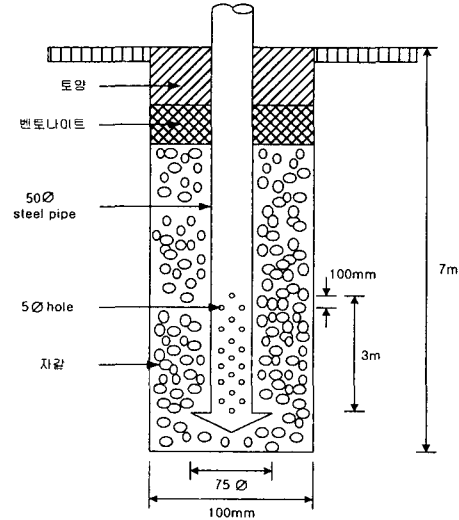


Fig. 2. Air injection / gas extraction well.

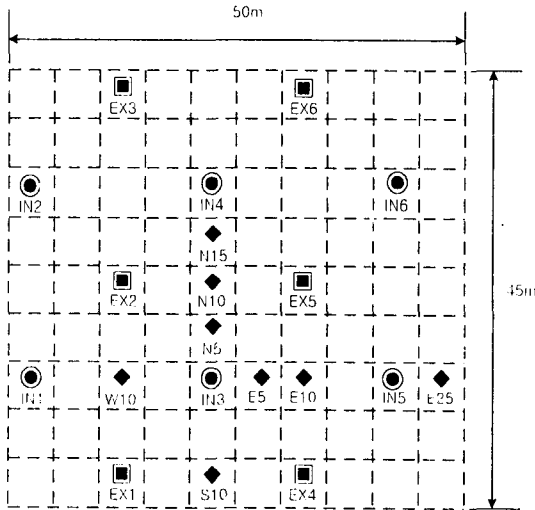


Fig. 1. Location of wells for the pilot plant used in this study [● : Air Injection Well(IN), ■ : Gas Extraction Well(EX), ◆ : Monitoring Well].

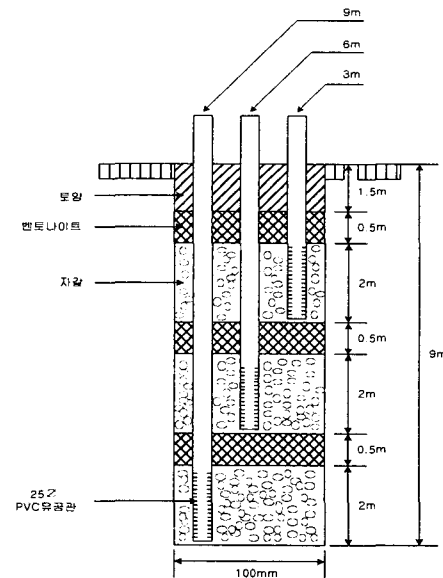


Fig. 3. Monitoring well.

흐름이 원활하도록 자갈을 채웠다. 또한 공기주입이나 추출시 파이프 주위로의 공기유입을 줄이고 영향반경을 넓게 하기 위하여 자갈층 위를 벤토나이트로 밀봉하였다. 공기주입정과 추출정에는 밸브를 설치하여 목적에 따라 주입/추출 방향을 반대로 할 수 있도록 설계하였다. 가스감시정은 한 위치에 3m, 6m, 9m깊이로 3개를 한 조로 하여 설치하였으며 다른 깊이에서의 영향을 받지 않도록 9m깊이와 6m깊이에 매설한 후에는 각각 벤토나이트층을 50cm씩 밀봉하였다(Fig. 3). 가스감시정은 2.5cm 직경의 PVC관을 이용하였고 공기주입정이나 가스추출정과 마찬가지로 하단부에 유공부(2m)를 설치하였다.

2.2 파일럿 플랜트 운전

공기주입 및 가스추출시 매립지가스 제거효율을 비교하기 위하여 약 15m³/min의 동일한 유량으로 실험을 실시하였으며, 공기주입과 추출을 동시에 실시하는 경우에도 약 15m³/min의 유량으로 실시하였다. 또한 처리효율의 극적인 상황을 비교하기 위하여 약 5m³/min으로 공기를 주입한 경우도 실시하였다. 매립지굴착사업은 1~2주일간 공기를 주입하는 것이 일반적이므로 공기주입 및 추출은 7일간 실시하였다. 가스가 회복되는 속도를 살펴보기 위하여 운전중단 후 4~8일 동안 매립지가스를 측정하였다.

2.3 시료채취 및 분석

매립지가스의 주요 가스성분인 메탄, 이산화탄소와 호기성의 지표인 산소농도는 GEM-500 (LANDTEC, USA)을 이용하여 현장에서 측정하였다. 본 기기는 현장에서 매립지가스를 측정할 수 있도록 개발된 기기로서 전체가스(부피비)중에 목적가스가 차지하는 부피를 %농도로 표시하여 준다. 암모니아와 황화수소는 대기오염공정시험법에

따라 분석하였다. BTEX는 handy sampler에 길이 7cm, 외경 6mm, 내경 4mm의 활성탄칼럼(SKC, Cat No. 226-01)을 연결하여 1.5L/min의 유량으로 30분간 흡착시킨 후 CS₂ 용매로 탈착하였다. 이 탈착액을 가스크로마토그래피(Hewlett Packard 5890 Series II)로 분석하였으며 분석조건을 간단히 살펴보면 다음과 같다. 검출기는 FID이었으며 capillary column은 HP-1을 사용하였다. 시료주입부의 온도는 200℃, 검출부의 온도는 250℃이었다. 불꽃점화를 위한 가스유량은 수소와 공기가 각각 33mL/min와 320mL/min이었으며, 운반가스로는 질소를 사용하였다. 분석시 오븐온도는 45℃에서 80℃까지 2℃/min의 속도로 승온하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 메탄, 이산화탄소 및 산소농도의 변화

본 연구에서는 공기주입정(IN3)에서 공기를 주입한 경우와 가스를 추출한 경우 운전모드 변경에 따른 농도변화를 비교, 검토하여 보았다. Fig. 4는 공기주입정에서 가장 가까운 거리에 위치한 가스감시정(N5, 6m 깊이)에서의 매립지가스 농도의 변화를 나타낸 것이다. 유량은 15m³/min으로 동일하였으며 모두 7일차에 운전을 중단하였다. 메탄의 초기농도는 약간 차이가 있었으나 공기를 주입할 때에는 1일 후부터 0%로 낮아지는 급격한 감소현상을 볼 수 있었다. 추출시에는 6일이 지난 후에도 2.2%나 존재하였다(Fig. 4(a)). 이산화탄소농도는 공기주입시 초기 19.7%에서 1일 후 0%로 감소하였으나 추출시에는 초기 13.6%에서 6일이 지난 후에도 전혀 감소하지 않아 이산화탄소의 농도 제거에는 거의 효과가 없었다(Fig. 4(b)). 산소농도는 공기주입시 초기 1.1%에서 1일 후 18.7%로 증가하였으나 추출시에는 초기 0.4%에서 6일이

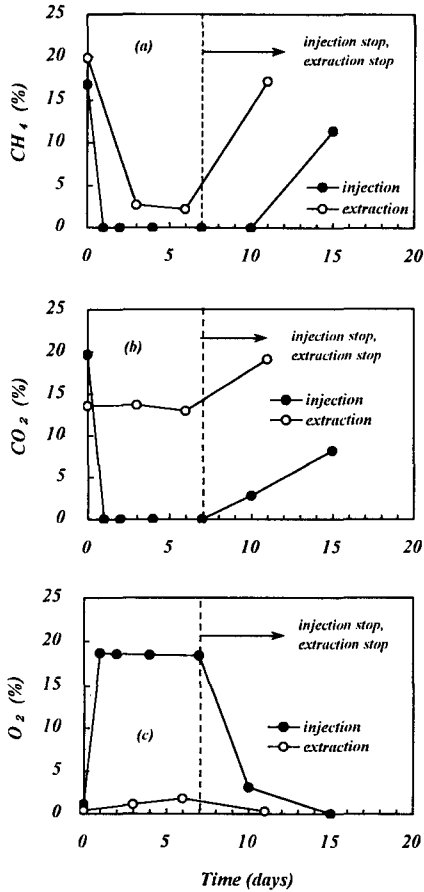


Fig. 4. Effect of air injection mode and extraction mode on (a) CH₄, (b) CO₂ and (c) O₂ concentrations at N5 [air injection rate = extraction rate = 15 m³/min, depth = 6m].

지난 후에 2% 미만으로 매우 낮게 유지되었다 (Fig. 4(c)). 위의 결과들을 볼 때 공기주입정을 중심으로 북쪽 방향으로 5m 떨어진 지점(N5)에서의 메탄, 이산화탄소 제거능력 및 산소치환능력은 주입이 추출에 비하여 우수하였으며 추출공정만으로 호기성조건을 유지시키기에는 부적당하였다.

10m 떨어진 지점(N10, 6m 깊이)에서의 매립지가스 농도의 변화는 추출의 경우 거리별로는 5m

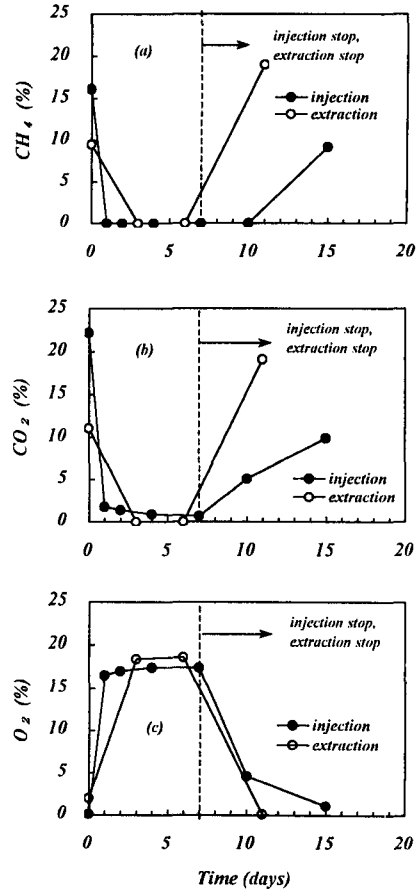


Fig. 5. Effect of air injection mode and extraction mode on (a) CH₄ and (b) O₂ concentrations at N15 [air injection rate = extraction rate = 15m³/min, depth = 6m].

보다 제거효율이 우수하였으나 여전히 주입공정보다는 저조하였다. N10지점에서의 매립지가스제거는 5m거리와 크게 다르지 않았으므로 자세한 설명은 생략하고 다음 부분에서 거리별 영향과 함께 언급할 것이다.

공기를 주입할 경우와 추출할 경우 북쪽방향으로 가장 멀리 떨어진 지점(N15, 6m깊이)에서의 매립지가스 농도변화는 Fig. 5에서 살펴볼 수 있

다. 공기를 주입한 경우에는 1일 후 메탄은 0%, 이산화탄소는 1.8%로 감소하였다. 메탄이 이산화탄소보다 빠른 감소를 나타낸 것은 기체의 밀도차에 의한 것으로 생각해 볼 수 있다. 밀도는 0℃, 1기압하에서 메탄이 0.7167g/L, 이산화탄소가 1.9768g/L로 이산화탄소가 메탄의 약 2배 이상이다⁹⁻¹⁰⁾. 메탄의 밀도가 이산화탄소보다 낮기 때문에 상대적으로 빨리 제거되었으리라고 생각된다. 산소 농도는 16.5%로 증가하여 주입정으로부터 15m 떨어진 지점까지도 충분히 호기성으로 전환시킬 수 있었다. 그러나 매립지가스를 추출한 경우에는 초기 9.5%이었던 메탄이 감소하여 3일 후에는 0%로 떨어졌고 추출중단 후 4일만에 19%로 빠르게 회복되었다. 15m 떨어진 지점에서는 공기를 주입할 경우에는 메탄과 이산화탄소가 산소로 치환되는 속도는 5m와 10m의 경우와 큰 차이가 없었다. 그러나 추출의 경우에는 거리별로 차이가 있었다. 추출시의 매립지가스 농도변화를 거리를 중심으로 좀 더 자세히 살펴보면 Fig. 6와 같다. 추출정으로는 주입정으로 사용하였던 IN3을 밸브를 추출에 맞도록 전환하여 사용하였다. 추출시 메탄의 경우 공기 주입정을 중심으로 가장 멀리 떨어진 15m지점(N15)에서 가장 빠른 감소를 보였다. 이산화탄소는 N5에서는 전혀 감소하지 않았으나 N10과 N15에서는 느리게 감소하였어도 완전제거가 가능하였다. 산소는 이와는 정반대로 증가하였으며 공기 주입정으로부터 멀어질수록 산소치환속도가 빨랐다. 공기를 주입할 경우 세 지점(N5, N10, N15)에서 모두 우수한 치환효율을 나타내었지만 추출시에는 거리가 멀어질수록 치환속도가 증가하는 경향은 부지의 불균일성 때문 만이라고 보기는 어렵고 추출 공정에서 나타나는 특성으로 보아야 할 것 같다. 매립지가스를 추출하는 공정은 공기를 직접 주입하는 공정과는 달리 가스추출정으로부터 가까운 거리일수록 가스추출에 의한 복토층 상부대기의 유입보다는 하부의 매립지가스가 상승하는 효과가 더 크

다고 볼 수 있다. 그러므로 추출정으로부터 멀어질수록 하부의 매립지가스가 상승하는 효과는 줄어들기 때문에 상부공기가 쉽게 유입되는 것으로 판단된다. Fig. 4에서 Fig. 6까지의 앞의 결과들을 종합하면 같은 유량일 경우 반경 15m까지는 공기를 주입하는 경우가 추출하는 경우보다 매립지가스 제거에 효과적이었다.

공기주입이 추출에 비하여 산소치환에 어느 정도 우수한지를 평가해보기 위하여 공기주입의 경우 최소유량인 5m³/min과 추출의 경우 최대유량인 15m³/min을 선정하여 비교검토하여 보았다. 5m³/min으로 공기를 주입한 경우에는 현장여건에 따라 15m³/min으로 주입 또는 추출한 경우보다 하루 빠른 6일차에 공기주입을 중단하였다. 지점으로는 가장 극적인 상황을 비교하기 위하여 5m³/min으로 공기주입을 할 때 다른 지점에 비하여 상대적으로 산소로 치환하는데 가장 오래 시간이 걸렸으며 15m³/min으로 추출을 할 때 가장 치환이 잘 되었던 N15지점을 선정하였다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 주입과 추출을 비교하여 보면 메탄을 감소시키는 데에는 주입과 추출에 차이가 크지 않았으나 운전중단 후 15m³/min으로 추출을 한 경우에 메탄이 빠르게 회복되어 매립지굴착(landfill mining)을 고려한다면 15m³/min으로 추출한 경우가 5m³/min으로 공기를 주입한 경우보다 효과적이지 못하였다(Fig. 7(a)). 이산화탄소를 살펴보면 5m³/min으로 공기를 주입한 경우 이산화탄소를 완전히 제거할 수는 없었으나 2% 미만으로 유지할 수 있었다. 이산화탄소는 유해성가스가 아니므로 완전제거가 목적은 아니라는 점을 고려한다면 15m³/min으로 추출할 경우와 비교하여 문제가 없을 것으로 판단되었다. 운전을 중단한 후 이산화탄소는 추출의 경우에 더 빠르게 회복되었다(Fig. 7(b)). 산소의 경우를 살펴보면 5m³/min의 주입과 15m³/min의 추출은 산소를 공급하는데 큰 차이가 없었다(Fig. 7(c)). 5m³/min으로 공기를 주입하는 경

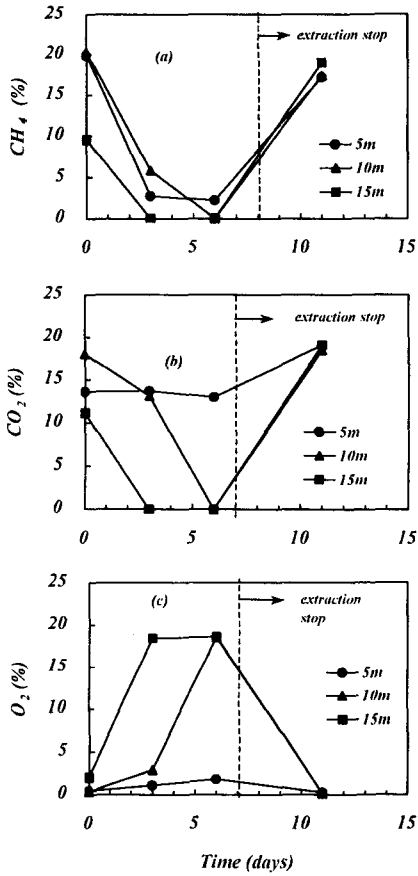


Fig. 6. Effect of extraction mode on (a) CH₄, (b) CO₂ and (c) O₂ concentrations at the distance of 5m, 10m and 15m from air extraction well(IN3).

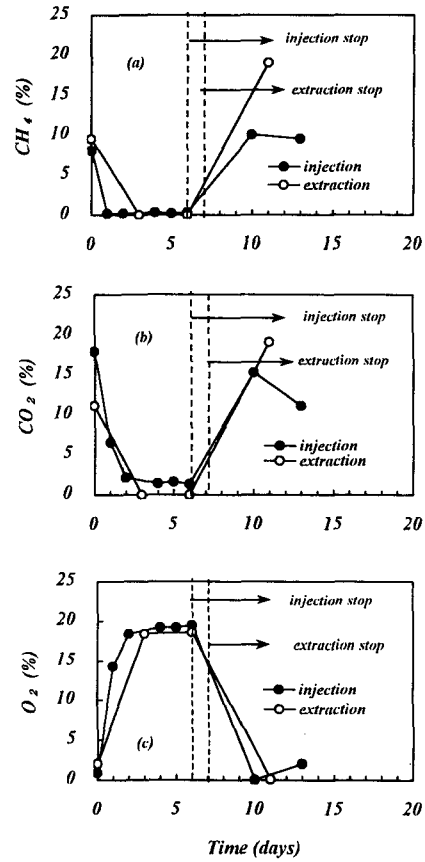


Fig. 7. Effect of air injection and extraction mode on (a) CH₄, (b) CO₂ and (c) O₂ concentrations at N15 [air injection rate = 5m³/min, extraction rate = 15 m³/min, depth = 6m].

우는 3배 유량인 15m³/min으로 추출을 하는 경우와 메탄, 이산화탄소 제거 및 산소공급 능력이 비슷하였으므로 경제적인 면을 고려한다면 5m³/min으로 공기를 주입하는 것이 15m³/min으로 추출하는 것보다 유리하였다.

다음으로는 주입/추출을 동시에 실시할 경우 E10에서의 매립지가스의 변화를 주입 또는 추출만을 실시한 경우와 비교하여 보았다. E10은 주입정

과 추출정에서 동일한 거리에 위치한 지점이다. 주입/추출을 동시에 실시한 경우 공기는 IN3에서 주입하였고 가스는 EX5에서 추출하였다. E10지점에서의 메탄과 산소농도의 변화를 Fig. 8에 나타내었다. 추출만을 실시한 경우에는 메탄농도가 전혀 감소하지 않았으며 주입만을 실시한 경우에는 주입 1일 후부터 운전중단 3일 후 까지 메탄농도가 0%로 유지되었다가 서서히 회복되기 시작하였다. 주

입과 추출을 동시에 실시하는 경우에도 1일 후에 0%로 떨어졌다가 5일차에 주입/추출을 중단한 후에 빠른 속도로 회복되었다(Fig. 8(a)). Fig. 8(b)는 산소농도의 변화를 나타낸 것이다. 주입만을 실시한 경우에는 초기농도 0.8%에서 공기주입 1일 후 11.1%로 증가하였다가 7일 후에는 15%까지 증가하였다. 추출만을 실시한 경우에는 산소의 농도가 2% 미만으로 유지되어 호기성 조건을 유지할 수 없었다. 주입/추출을 동시에 실시한 경우에는 1일 후부터 산소의 농도가 주입보다 약간 높은 농도인 약 17%로 증가하였다. 결과적으로 주입/추출을 동시에 실시할 경우에는 추출만을 실시할 때보다 E10지점에서의 메탄 및 이산화탄소 감소를 촉진하였으며 산소농도도 증가시켜 호기성반응을

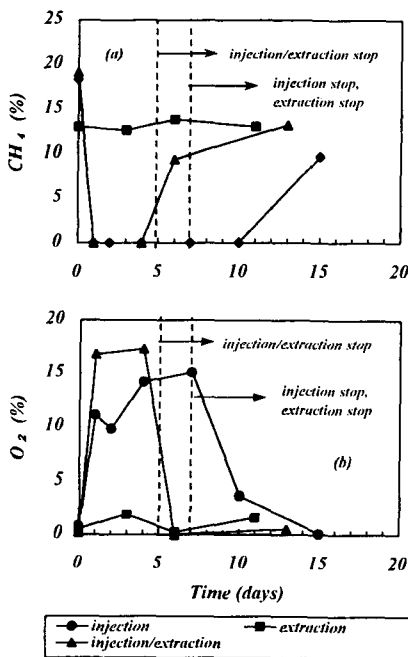


Fig. 8. Effect of air injection mode, extraction mode, and air injection/extraction mode on (a) CH₄ and (b) O₂ concentrations at E10 [flow rate of all modes = 15m³/min, depth = 6m].

촉진시켰다. 이는 공기주입공정의 영향 때문인 것으로 사료된다. 주입과 추출을 동시에 실시할 경우 소요되는 에너지가 주입보다 2배로 증가한다는 사실과 주입만을 실시한 경우 산소농도 지속기간이 더 길었다는 것을 고려한다면 산소의 치환농도를 2%정도 더 증가시키기 위하여 동력을 2배 투입하는 것은 경제적이지 못할 것으로 판단되었다.

3.2 암모니아 및 황화수소 농도의 변화

Fig. 9에는 15m³/min으로 공기를 주입할 경우와 추출할 경우 공기주입정 또는 추출정으로부터 북쪽방향으로 5m 떨어진 지점(N5)에서의 암모니아농도변화를 나타낸 것이다. 공기를 주입한 경우와 추출한 경우 암모니아 농도는 공기주입 1일 후에 다소 증가 후 계속 감소하였다. 운전을 중단한 후에는 주입의 경우에 암모니아가 빠르게 회복되어 초기농도의 10배 정도로 회복되었으나 추출의 경우에는 검출한계 미만이었다. 주입의 경우 운전 중단 후 암모니아의 농도가 빠르게 회복된 것은 주입이 추출보다 호기성을 더 잘 유지하였기 때문에 생물반응에 의하여 유기성 질소가 암모니아성 질소로 전환되었기 때문인 것으로 생각된다. 추출의 경우에는 호기성을 유지시키기에 부적합하였으므로 물

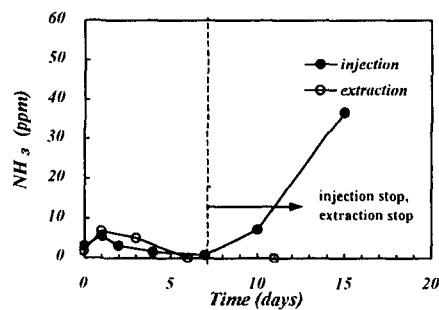


Fig. 9. Effect of air injection mode and extraction mode on NH₃ concentration at N5 [air injection rate = extraction rate = 15m³/min, depth = 6m].

리적인 치환으로 감소한 뒤에는 생물학적 반응이 일어나지 않아 증가하지 않은 것으로 사료된다. 결론적으로 암모니아제거에는 공기주입과 추출이 큰 차이가 없었으나 회복은 공기주입에서 빠르게 진행되었다. 그러나 회복 후의 이러한 현상은 운전기간 동안 주입이 추출보다 호기성을 유지시키는데 더욱 효과적이었음을 간접적으로 의미하는 것이라 볼 수 있다.

악취물질 중 황화수소의 농도변화는 공정실시 전의 농도가 1ppm미만으로 매우 낮아 운전모드변화를 논의하기가 어렵다고 판단되어 비교에서 제외하였다.

3.3 BTEX 농도의 변화

한 곳(IN3)에서 주입을 실시하고 다른 한 곳(EX5)에서 추출을 실시한 경우 E10 지점에서의 BTEX의 농도변화를 주입만을 실시하거나 추출만을 실시한 경우와 비교하여 Fig. 10에 나타내었다. 초기농도는 5~6.5mg/m³으로 큰 차이는 없었으며, 매립지가스 추출만을 실시한 경우에는 추출 실시 후 하루 뒤에 초기농도(6.13mg/m³)의 약

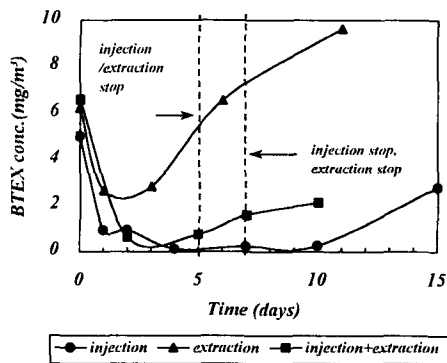


Fig. 10. Effect of air injection mode, extraction mode, and air injection/extraction mode on BTEX concentrations at E10 [rates of all mode = 15m³/min, depth = 6m].

60%가 제거되었으나 계속 추출을 하여도 농도감소는 볼 수 없었다. 공기주입과 가스추출을 동시에 실시할 경우에는 2일 후에 초기농도의 10% 미만으로 감소하여 주입만을 실시한 경우보다 빠르게 감소하였으나 5일 후부터는 주입만을 실시한 경우보다 다소 높은 농도로 검출되었다. 이는 Fig. 8에서 5일차에 주입/추출을 중단한 후 메탄가스가 증가추세를 나타내고 있는 것으로 보아 BTEX 농도도 동일한 경향으로 회복되고 있었기 때문으로 판단된다. 이를 종합하면 공기주입과 가스추출 그리고 주입 및 추출을 동시에 실시한 경우의 운전모드변경에 따른 효율은 공기주입만을 실시한 경우가 추출모드에 비하여 BTEX 농도감소를 촉진하였으며 회복되는 속도도 느렸다. 주입/추출로도 주입보다 제거효율을 증가시키지는 못하였다.

4. 결론

본 연구는 공기를 주입하여 매립지가스를 치환시키고자 할 때 공기공급방법이 매립지가스 제거에 미치는 영향을 검토하고자 실시하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 공기를 주입하는 경우 15m까지는 거리에 상관없이 매립지가스 제거효율이 우수하였으며 공기주입공정은 매립지가스 제거에 가장 효과적이었다.
2. 5m³/min으로 공기를 주입하는 경우는 3배 유량인 15m³/min으로 추출을 하는 경우와 메탄, 이산화탄소 제거 및 산소공급 능력이 비슷하였으므로 경제적인 면을 고려한다면 5m³/min으로 공기를 주입하는 것이 15m³/min으로 추출하는 것보다 유리하다고 판단되었다.
3. 주입과 추출을 동시에 실시할 경우 매립지가스 제거효율은 주입만을 실시한 경우와 유사하였으나 소요에너지가 주입보다 2배로 증가한다는 사실과 주입만을 실시한 경우 산소농도 지속기간

- 이 더 길었다는 것을 고려한다면 주입과 추출을 동시에 실시하는 경우가 주입만의 공정보다 비경제적일 것으로 판단되었다.
4. 암모니아제거에는 공기주입과 추출이 큰 차이가 없었으나 운전중단 후 회복은 공기주입에서 빠르게 진행되었다. 이는 운전기간 동안 주입이 추출보다 호기성을 유지시키는데 더욱 효과적이었음을 간접적으로 의미하는 것이라 볼 수 있다.
 5. 공기주입만을 실시한 경우가 추출만을 실시한 경우나 주입/추출을 동시에 실시한 경우보다 추출모드에 비하여 BTEX 농도감소를 촉진하였으며 회복되는 속도도 느렸다. 주입/추출로도 주입보다 제거효율을 증가시키지는 못하였다.
 4. Fry F. F., "Reclamation Plant for An Unlined Landfill in the York County, USA", Proceedings Sardinia 95, 5th International Landfill Symposium, pp.851-856(1995).
 5. US EPA, "Bioventing Principles and Practice", EPA/540/R-95/534a, Vol. I, pp.3-9(1995).
 6. Nyer, E. K., Fam, S., Kidd, D. F., Johns II, F. J., Palmer, P. L., Boettcher, G., Crossman, T. L., and Suthersan, S. S., "In Situ Treatment Technology", CRC, pp.61-100(1996).
 7. 석철영, "생물탈취상에 의한 매립지가스 악취 물질 제거", 건국대학교 대학원 석사학위논문 (1998)
 8. 환경부, "매립가스 처리 및 이용기술 개발" (1996)
 9. Perry, R. H., Green, D. W., Maloney, J. O., "Perry's chemical Engineers' Handbook", 6th edition(1984).
 10. Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S., "Integrated Solid Waste Management : Engineering Principles and Management Issues", McGraw -Hill Inc(1993).

참 고 문 헌

1. 도화종합기술공사, "중량하수처리장 확장부지내 매립토 처리방안연구"(1994).
2. 한국자원재생공사, "사용종료매립지의 적정사후관리방안"(1995).
3. Biocycle editorial board, "Composting Cost-Effective in Landfill Reclamation", Biocycle, J. of Composting & Recycling, 37(10), pp.33-35(1996).