

안정적 매립가스 포집을 위한 배관망 최적운용 분석

김인기 · 김세준 · 허대기 · 김현태 · 성원모* · 배위섭**

한국지질자원연구원 석유해저자원연구부, *한양대학교 시스템응용공학부, **광주대학교 토목환경공학부,

Optimization of Pipeline Operation for Stable Landfill Gas Collection Using Numerical Analysis

In-Kee Kim, Se-Joon Kim, Dae-Gee Huh, Hyun-Tae Kim, Won-Mo Sung*, Wi-Sup Bae**

Petroleum & Marine Research Div., Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

**Division of System Applications Engineering, Hanyang University*

***Division of Civil & Environmental Engineering, Kwangju University*

ABSTRACT

It is important that the gas collected from wells completed in waste landfill should be continuously and stably transported to pre-treatment stage through pipelines. The transport is generally affected by fluid flow characteristics of landfill, gas reserves, leachate moisture holdup in pipeline, structures and dimensions of pipeline network, etc. This paper analyzes the pipeline transport and collection mechanism for gas generated in a durable waste landfill. From the results, the optimal controlled scheme of blower inlet pressure is proposed for the prevention of trapped gas pocket zones.

Key words : Collection Well, Pipeline Network, Node Point, Segment Pipeline, Drainage Radius of Gas

요약문

쓰레기 매립지에 개설된 수많은 포집정으로부터 매립가스를 포집하여 연결된 배관망을 통해 처리계통까지 지속적이고 안정적으로 수송시키는 일은 매우 중요하다. 이러한 매립가스의 안정적인 포집 및 수송은 매립지의 유체유동특성, 가스생성량, 배관망내 침출수 수분점유 상황, 배관망의 구조 및 사양 등에 따라 그 성공여부가 결

정된다. 이에 따라 본 연구에서는 오래된 쓰레기 매립지에 생성된 매립가스의 포집 및 수송 메커니즘을 포집정과 지상 배관망 단계별로 분석하였고, 최종적으로 매립지 압력강하의 최소화에 따른 가스막한 밀집구역이 발생되지 않도록 송풍기의 흡입력을 최적으로 운용하는 방법을 제안하였다.

주제어 : 포집정, 배관망, 절점, 구획선, 배가스반경

1. 서 론

쓰레기 매립gas를 포집하는 데에 있어 그 대상이 계획적인 위생 매립지인 경우에는 가스의 포집량을 증가시킬 수 있다. 이것은 쓰레기 매립 이전에 포집정을 미리 설치하고 생성가스의 지상누출을 막을 수 있는 지상 표토층이 차가스 기능을 발휘하기 때문이며, 이에 따라 매립가스의 압력상승에 따른 가스의 매장량이 증가하여 에너지자원 이용효과가 증대될 수 있다. 반면에 계획적인 매립이 아니고 유기물이 이미 충분히 분해되어 있는 매립지로부터의 가스포집율은 일반적으로 크게 감소한다. 이것은 매립지에 가스포집정을 개설하는 중에 가스의 자연방출과 개설후 포집정 개방이 불가피하는 데에 기인한다.

본 연구는 기 발표된 쓰레기 매립지¹⁾를 대상으로 매립가스를 안정적이고 지속적으로 포집할 수 있는 배관망 최적운영 및 관리에 대해 초점을 맞추었다. 이를 위해 필수적으로 선행되어야 할 일은 완성된 매립지층에 대한 물성과 유체의 투과 특성을 파악하고 완결된 포집정과 이와 연결된 배관망에 대한 정보를 획득해야 한다. 이러한 정보로부터 매립지내 침출수와 매립가스의 거동을 파악할 수 있고, 다시 지상의 배관망을 통해 가스의 유동상태가 파악된다. 이때 유용하게 얻을 수 있는 정보는 각 포집정에서의 압력과 가스유량 및 이에 따른 송풍기의 용량, 그리고 매립가스의 추출이 전혀 이루어지지 않는 포집정을 확인할 수도 있다. 이와 같이 포집정으로부터 배관망을 통해 추출되는 가스의 유량은 여러 요인에 따라 영향을 받지만 매립지의 물성과 유체특성은 이미 불변 정보로 간주되고, 배관망의 설치상태도 완료되었다면 각 포집정에서 가스의 유량에 영향을 주는 요인은 송풍기의 입구압력을 제어하는 것이다. 한편, 침출수는 매립지 하단부에서

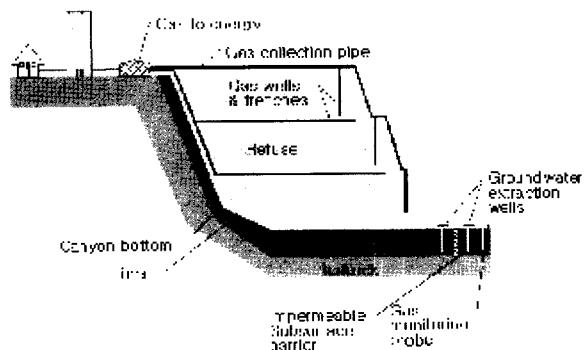


Fig. 1. Schematic view of landfill gas collection and conversion to useable energy.

침출수 출수정을 통해 전처리 양수를 하거나, 포집정에서 연결된 침출수 저류관 또는 저수조에서 후처리를 시행한다면 배관망으로의 침출수 유입은 억제될 수 있어 거의 가스유량만이 안정적으로 추출될 수 있다. Fig. 1은 일반적인 외국의 쓰레기 위생 매립지에서 매립가스를 추출 및 포집하여 에너지 자원화하는 과정을 개략적으로 보여주고 있다.

2. 매립가스 파이프라인 유동이론

매립지로부터 포집한 가스를 에너지 자원으로 이용 또는 소각, 단계 과정까지 요구되는 가스의 유동 메커니즘을 크게 3단계로 기술할 수 있다. 첫번²⁾는, 침출수가 흡착된 매립지층의 간극구조를 따라 가스가 유동할 때, 가스의 유동량 정도는 매립지층의 절대투과도와 더불어 침출수에 대한 가스의 상대유체투과도와 가스에 대한 침출수의 상대유체투과도에 따라 결정된다. 이와 관련된 유체유동이론은 유체의 질량보존법칙과 Darcy법칙으로부터 도입되며 그 기본식이 가스-침출수 2상 전산유동모델^{1,2,3)}이다. 그러나, 일반적으로 포

집정 간의 간격이 비교적 좁고 압력이 저하된 매립지에 개설한 포집정으로 유입되는 가스유동량은 거의 일정하다고 가정할 수 있고 이러한 매립지로부터 추출된 침출수의 유량은 미량으로 간주될 수 있거나 또는 포집정에서 연결된 침출수 저류관 또는 저수조에서 전처리시설을 감안하면 주배관망으로는 가스만이 유동하는 것을 가정할 수 있다. 따라서 포집정으로의 매립가스 유입모델은 가스-침출수 2상 전산유동모델 대신에 정상상태의 가스정 모델(Gas well bore model with steady state flow)⁴⁾을 사용할 수 있다. 두번째는, 수직 포집정에서 가스의 유동은 수직정의 심도, 가스의 중량, 포집정 벽면마찰 등에 따라 달라진다. 특히, 석유/가스산업분야의 개발가스전에서의 가스전 내부압력이 매우 높다면 가스정으로 생산되는 가스의 유량을 조절하기 위해 가스정 상부에 조절압력을 가하기 때문에 이러한 응용기술을 필수적으로 적용해야 하지만, 금번 매립지 내부압력은 거의 대기압 상태로 매우 낮게 관측되었을 뿐만 아니라 포집정은 지상의 배관망과 직접 연결되어 있으므로 배관망과 동일한 시스템으로 볼 수 있다. 아울러 포집정의 심도가 60m정도로 매우 낮기 때문에 가스유동에 따라 발생하는 압력강하를 거의 무시할 수 있다. 따라서 이 분석모델은 생산 포집정 모델(Production string model)^{5),6)}로서 본 연구에는 적용되지 않았으나 측정한 가스유량으로부터 가스 압력을 산출하는데에만 적용한다. 마지막으로는 포집정으로부터 포집된 가스가 지상 배관망을 따라 가스처리시설로 보내는 단계로서, 이때 가스의 유량에 따른 압력강하가 배관 간에 연결된 절점(Node point)에서 발생하여 가스의 유량정도를 결정한다. 이후 배관망 끝단에 송풍기(Blower)가 설치되어 있고 이곳의 압력을 매립지 압력보다 감소시키면 매립가스는 배관망을 따라 유동하며 이 모델은 지상 배관망 모델(Surface pipeline model)^{5),6)}이라 한다. 이와 같이 3단계의 가스유동이론을 동시에 적용하여 매립가스의 배관망 분석을 수행할 수 있다.

2.1 가스 포집정 모델

이 모델은 다공질 매질내에 부존하는 가스가 포집정

내로 유동특성을 분석할 수 있는 정상상태 유동모델로서 매립지층 간극을 유동하는 유체의 질량보존법칙과 다시법칙을 근간으로 다음과 같이 표현된다.

$$P_i^2 - P_w^2 = 1.422 \times 10^6 \left(\frac{T\mu z Q}{K_e h} \right) \ln \left(\frac{r_d}{r_w} \right) \quad (1)$$

여기서 P_i 와 P_w 는 각각 매립지와 포집정의 압력으로 단위는 psi, Q 는 가스유량이며 단위는 10^6 standard ft³/day, K_e 는 가스의 유효투과율로서 매립지 공극의 절대투과도 K 와 가스의 상대투과도 K_g 을 곱한 값이며 단위는 md(Milli darcy), h 는 매립지층의 두께로서 단위는 ft이고, T , μ , z 는 각각 지층의 온도, 가스의 점성도, 가스의 압축인자로서 단위는 각각 °R, cp, 분율이다. r_w 와 r_d 는 각각 포집정의 반경과 배가스 반경으로 단위는 ft이다.

2.2 지상 배관망 모델

이 모델은 여러개의 포집정과 연결된 배관망내에서 가스의 유량과 압력을 분석하며 주요 변수로는 송풍기의 입구압력, 각 포집정의 가스압력 및 유량, 절점의 압력과 절점간의 유량이며 보통 Panhandle A식으로 다음과 같이 표현한다.

$$P_u^2 - P_d^2 = \frac{25\gamma_g Q^2 T z f L}{d^5} \quad (2)$$

여기서 P_u 는 두 절점중 상류절점(upstream node)의 압력, P_d 는 하류절점(downstream node)의 압력으로 단위는 psi이다. γ_g 는 공기의 밀도를 기준한 가스 비중으로 단위는 분율, f 는 마찰계수로 레이놀즈수와 관내벽의 조도 함수, L 은 관의 길이로 단위는 ft, d 는 관의 직경으로 단위는 inch이고 z 는 압력과 온도에 따른 가스의 압축인자이다. 위의 식에서 레이놀즈는 가스밀도, 점성도, 관직경 및 가스유속의 함수이며, 가스 밀도와 점성도는 임의 온도와 구하고 자하는 압력에 따라 변하기 때문에 반복수렴값을 이용한다.

2.3 모델의 전산과정

완결된 포집정과 배관망이 구성된 후, 배관 간 연결 지점과 포집정들은 절점으로 설정되고 두 절점 간 배관거리는 구획선(Segment pipeline)으로 설정되며, 배관망에 부착된 기타 부속물이 추가 설정된다. 매립 가스의 포집량은 상류압력(Upstream pressure)인 매립지내 가스압력과 배관망 끝단에 설치한 하류압력(Downstream pressure)인 송풍기 입구압력의 차이에 의해 결정되며 가스의 포집 과정 중, 배관망 내부 압력강하의 발생으로 이에 상응한 가스의 포집량이 결정된다. 즉, 모든 절점에서 미지의 압력을 산출하여야만 최종적으로 가스의 포집량을 얻을 수 있으며 식 (1), (2)로부터 각 절점에서의 압력과 구획선에서의 가스의 포집량을 계산한다. 이 과정을 간단히 기술하면 다음과 같다.

- ① 식 (1)에서 포집정 압력(Collection well head pressure) P_w 를 지정할 송풍기의 입구압력 와 동일하게 설정하고 매립지 가스압력 P_f 를 입력한다.
- ② 계산된 가스유량 Q 를 식 (2)에 적용한다.
- ③ 계산된 상류압력 P_u 는 각 절점을 거쳐 최상부 포

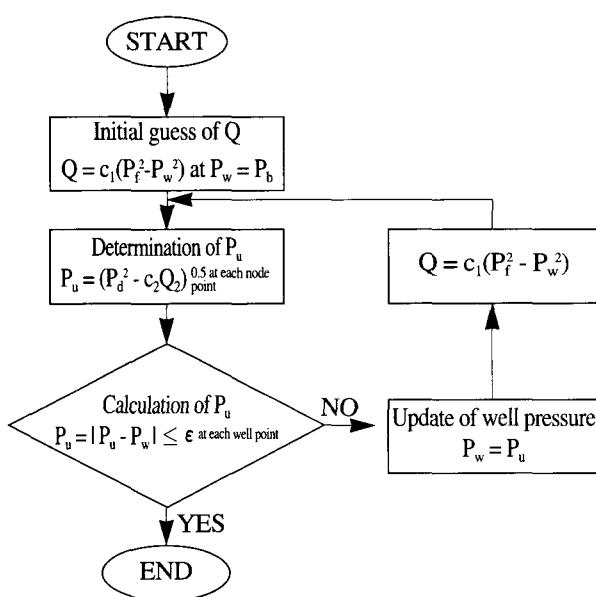


Fig. 2. Computational flowchart for landfill gas pipeline analysis.

집정 압력 가 최종적으로 계산된다.

- ④ 최종으로 계산된 포집정 압력 P_u 와 이전의 포집정 압력 P_w 를 비교한다.
- ⑤ 비교치가 허용오차내이면 작업을 종료하고, 아니면 최종으로 계산된 포집정 압력 P_u 를 P_w 로 update한 후 식 (1)에서 새로운 가스의 유량 Q 를 계산한다.
- ⑥ 가스유량 Q 를 식 (2)에 반복하여 적용한다.
- ⑦ 과정 ③-④-⑤-⑥을 반복한다.
- ⑧ 과정 ⑤에서 모든 포집정에서 포집정 상부압력이 허용오차이내이면 작업을 종료한다. 위의 전산과정을 Fig. 2에 간단히 나타내었으며 모든 절점에서의 압력과 구획선에서의 가스유량이 결정됨에 따라 매립가스의 포집량을 최종적으로 얻을 수 있다.

3. 가스 포집정과 배관망 시스템

금번연구의 A1, A2 매립지는 가스와 침출수가 상호유동을 하지 못하는 독립되어 있고 계획·설계된 배관망 체계는 A1, A2매립지 중앙 1개소에 송풍기를 통해 매립가스를 동시에 포집하는 체계이다.

3.1 가스 포집정

A1에는 직경 200mm의 총 58공의 포집정이 개설·완료되었고 26공은 매립지 사면에 완결되어 있다. 하나의 포집정 주변에 근접되어 있는 3~7개공 정도의

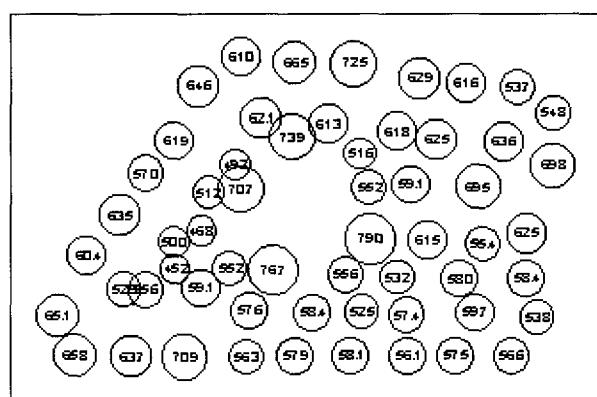


Fig. 3. Maximal drainage radius of landfill gas of A1 landfill.

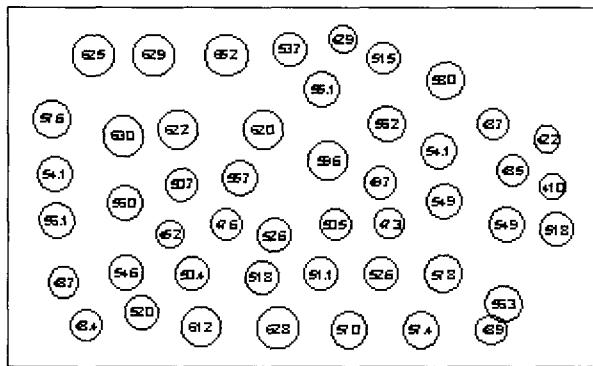


Fig. 4. Maximal drainage radius of landfill gas of A2 landfill.

거리를 평균하여 계산해 본 결과, 각 포집정 간 평균 간격은 약 120m 정도 떨어져 있으며 매립지 내부의 가스압력은 매우 낮아 실제로 가스가 포집될 때 짧은 시간내에 포집정 주변압력이 다른 포집정에 영향을 끼치므로 포집정 간 평균거리의 1/2거리를 각 포집정의 최대 배가스 반경(Maximal drainage radius of gas)으로 가정한다. A2매립지에는 직경 200mm의 총

48공의 포집정이 개설·완료되었고 25공이 매립지 사면에 완결되었으며 포집정 간 평균 간격은 약 108m이다. Fig. 3과 Fig. 4는 각각 A1, A2에 대한 포집정의 최대 배가스 반경이며 단위는 m이다.

3.2 배관망 시스템

A1은 Fig. 5에서와 같이 주 배관망과 부 배관망으로 구성되어 있고 포집정 표시는 “O”, “W” 다음 숫자는 포집정 번호, 배관망 절점은 “N”, 절점간 구획선은 “S”로 표현한다. 주 배관망과의 연결절점은 상류절점과 하류절점으로 구성되며, 그 외에는 포집정과 연결된 배관지점에 1개의 절점이 위치해 있다. 이들 절점에서 압력이 산출되어 두 절점간의 차압에 따라 가스가 유동하게 된다. 배관망 형태는 주 배관망이 환형으로 외곽에 위치해 있고 관직경은 450mm이며 주 배관망에 위치한 포집정은 모두 매립지 사면에 개설되었고 주 배관망과의 거리는 1m내외이다. 또한 주 배관망과 연결된 부 배관망 직경은 1개의 포집정과 연결된 배관망인 경우 100mm, 2개의 포집정과 연결된 절점 이후

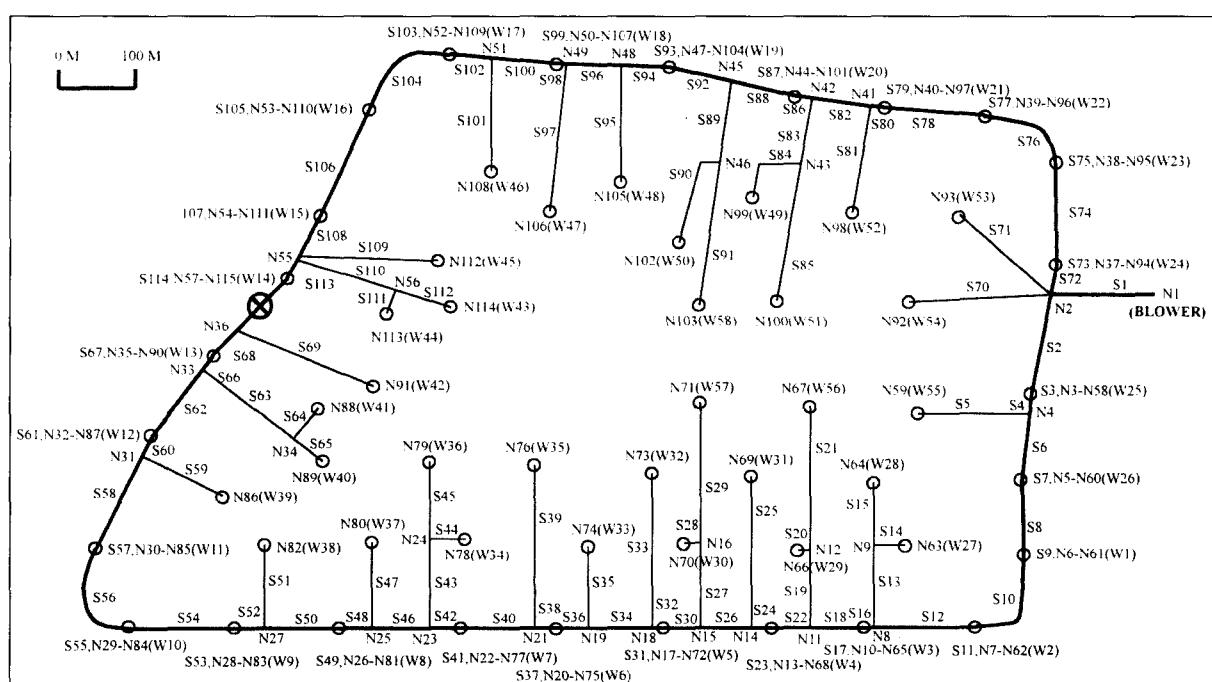


Fig. 5. Schematic view of landfill gas pipeline of A1 landfill.

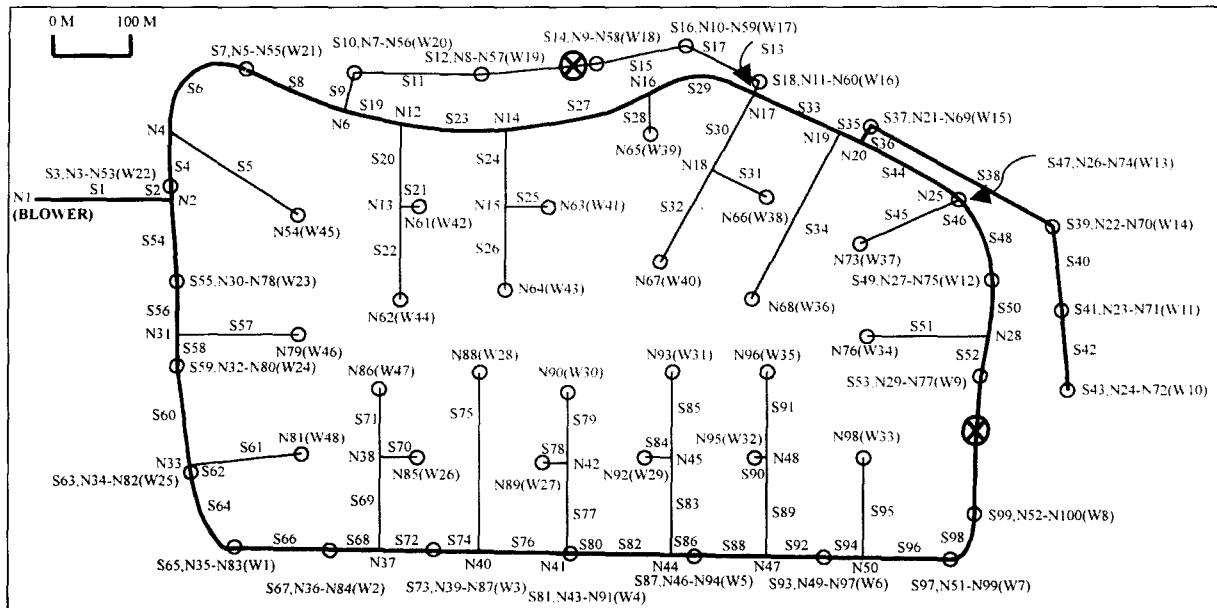


Fig. 6. Schematic view of landfill gas pipeline of A2 landfill.

인 경우 150mm이다. 주 배관망 좌측중앙에는 주 배관망을 따라 환유동 및 역전방향으로의 가스유동을 방지하기 위해 밸브(⊗)를 설치하였고, 우측끝단의 절점 N1에는 송풍기가 설치되었다. A2는 Fig. 6에 나타내었다. 그럼에서 기호와 주 배관망 및 부 배관망의 형태는 A1의 경우와 동일하며 주 배관망의 직경은 400mm이다.

3.3 가스 송풍기

매립가스의 포집은 배관망 끝단에 설치한 송풍기를 통해 이루어지며 송풍기의 입구압력에 따라 가스의 수송효율과 유동특성이 달라진다. 송풍기의 입구압력을 매립지의 압력보다 작게 하면 가스의 수송이 일어나지만 입구압력을 무조건 작게 한다고 하여 유동성이 크게 증가하지는 않는다. 이것은 매립지내 가스의 유동성과 배관망내 침출수의 수분 점유율 증가시 압력강하를 증가시킴으로 결과적으로 포집효율을 저하시키며 이를 해결하기 위해서는 송풍기 입구압력을 적절히 조절해야만 한다. 송풍기의 동력은 입구에서의 흡입압력과 토출압력으로부터 계산된다. 전체수두차는 송풍기

의 출구에서 배출수두와 송풍기의 입구에서 흡입수두로 다음과 같이 표현된다⁷.

$$\Delta H_T = H_D - H_S$$

$$= \left(Z_D + h_D + \frac{V_D^2}{2g} \right) - \left(Z_S + h_S - \frac{V_S^2}{2g} \right) \quad (3)$$

여기서, 하첨자 D는 배출부분, S는 흡입부분, H는 전체수두, Z는 관의 수직수준에 의한 수두, h는 마찰수두, v와 g는 각각 속도와 중력가속도, $v^2/2g$ 는 속도차에 의한 수두를 나타낸다. 이때 송풍기에 걸리는 전체 수두차로부터 동력을 계산한다.

$$pw = \frac{\gamma_g \Delta H_T Q_g}{\eta} = \frac{\Delta P Q_g}{\eta} \quad (4)$$

여기서 pw, γ_g , ΔH_T , Q_g , ΔP , η 는 각각 동력, 가스 비중량, 전체수두차, 가스 포집량, 압력차, 효율이며 단위는 각각 kw, kN/m³, m, m³/sec, kPa, 분율이다.

4. 결과분석

4.1 매립가스압력

매립가스의 최초 압력값을 얻기 위해서는 모든 포집정에서 압력을 측정해야 한다. A1, A2매립지에서 측정한 포집정의 가스압력은 1.0000~1.0034기압 정도로서 압력이 매우 저하되어 있다. 측정된 포집정의 온도가 높으면 가스유량이 증가한다. A1의 평균유량, 온도, 압력은 각각 $1.59\text{m}^3/\text{min}$, 32.4°C , 1.0025atm 이었고, A2는 $3.09\text{m}^3/\text{min}$, 40.6°C , 1.0031atm으로 A2의 유량, 온도, 압력이 모두 높게 나타났다.

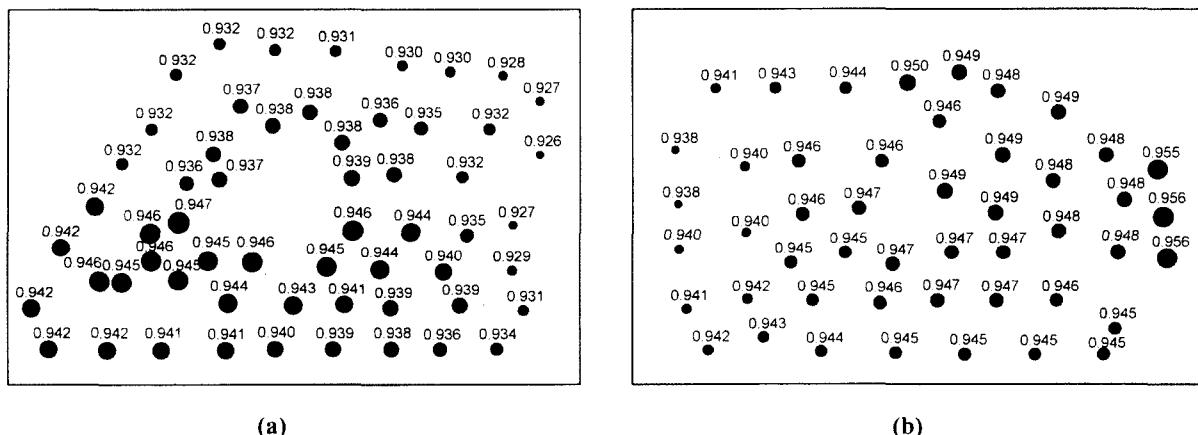


Fig. 7. Distribution of collection wellhead pressure in 0.9atm of inlet blower pressure

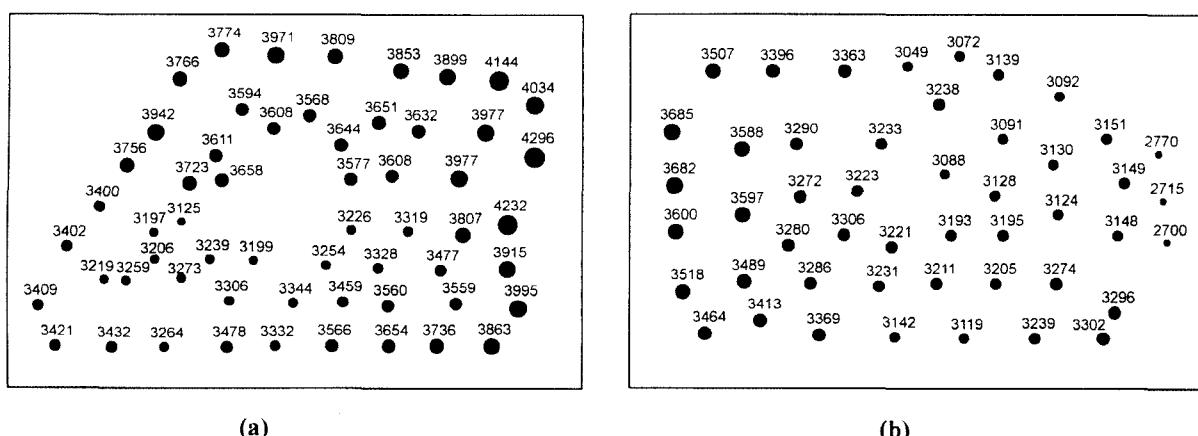


Fig. 8. Distribution of collection landfill gas flow rate in 0.9atm of inlet blower pressure.

4.2 매립가스의 배관망 분석

배관망 구조는 Fig. 5와 Fig. 6과 같이 절점, 구획선, 포집정으로 구성되며 A1과 A2 중앙에 설치한 송풍기에 의해 매립가스를 동시 포집하는 체계이다. 분석방법은 송풍기 입구압력을 0.9atm에서 0.75atm으로 변화시켜 최적의 시스템 운용조건하에 매립가스를 안정적으로 포집하고자 한다. 일반적으로 송풍기 입구 압력을 증가시키는 경우에, 즉 매립지와의 차압을 감소시키는 경우에 가스 포집량은 감소하는 반면, 배관망내 유속감소에 의한 압력강하 감소로 안정적인 가스 포집이 가능하다. Fig. 7(a)와 (b)는 송풍기 입구압력

을 0.9atm으로 매립지와의 차압을 유지하여 가스를 포집한 경우에 산출된 A1, A2 포집정의 압력분포이며 단위는 atm이다. 송풍기는 Fig. 7(a)의 A1 우측과 (b)의 A2 좌측에 위치해 있으며, 송풍기와 멀리 떨어진 포집정 압력은 매립지 압력에 가까워지나 가까운 포집정 압력은 송풍기 입구압력에 가까워져 매립지 압력과의 차압이 증가함을 알 수 있다. 포집정 압력은 A1이 A2에 비해 감소함에 따라 A1 가스 포집량이 높게 나타나며 단위는 m^3/day 이다. (Fig. 8(a), (b) 참조) 송풍기 입구압력을 0.9atm일 때 A2에 비해 A1의 포집조건이 양호함을 알 수 있다. 이것은 A1의 주

배관 직경이 A2에 비해 크기 때문이며 일반적으로 포집유량에 비해 주 배관 직경이 작아지면 유속증기가 수반되기 때문에 배관망내 항력증가로 압력강하가 상승한다. 이러한 현상은 송풍기 입구압력을 0.75atm으로 설정하였을 때 현저히 나타나기 시작한다. Fig. 9는 송풍기 입구압력 0.75atm일 때 포집정에서의 압력분포이며, Fig. 10은 이에 해당되는 매립가스의 포집유량분포이다. Fig. 9(a)의 A1에 대한 포집정 압력은 Fig. 7(a)의 송풍기 입구압력 0.9atm에 비해 전체적으로 낮아 초기 매립지 가스압력과의 차압이 증가하여 포집유량이 증가하나, Fig. 9(b)의 A2에서는 4개의

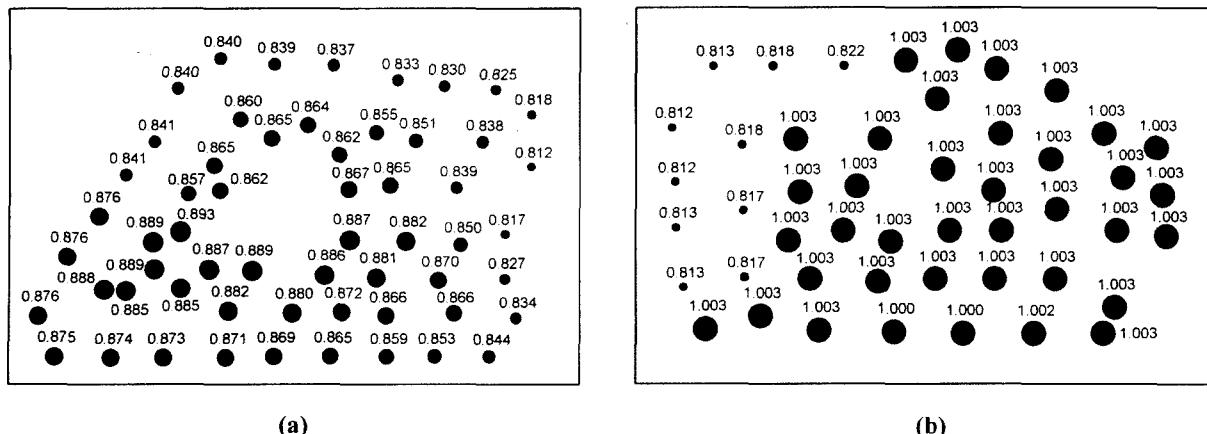


Fig. 9. Distribution of collection wellhead pressure in 0.75atm of inlet blower pressure.

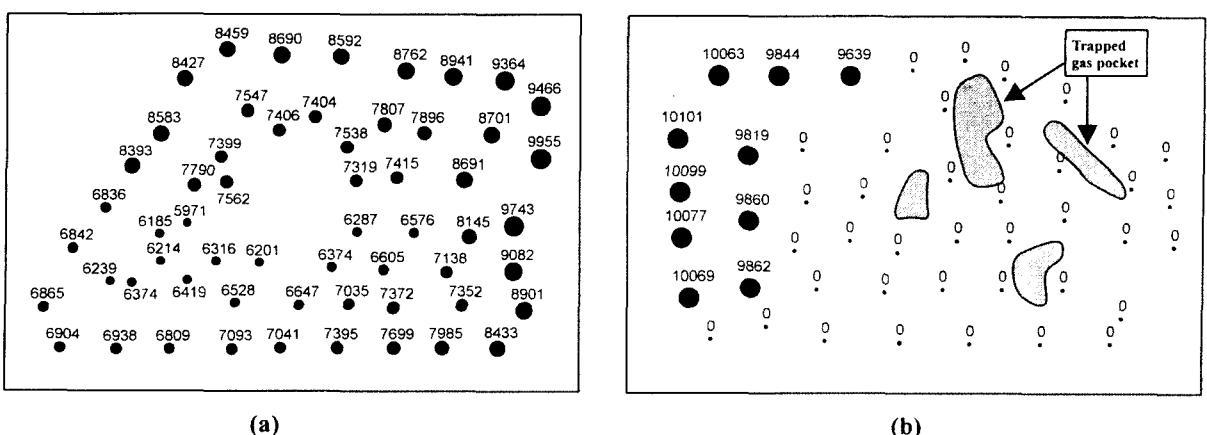


Fig. 10. Distribution of collection landfill gas flow rate in 0.75atm of inlet blower pressure.

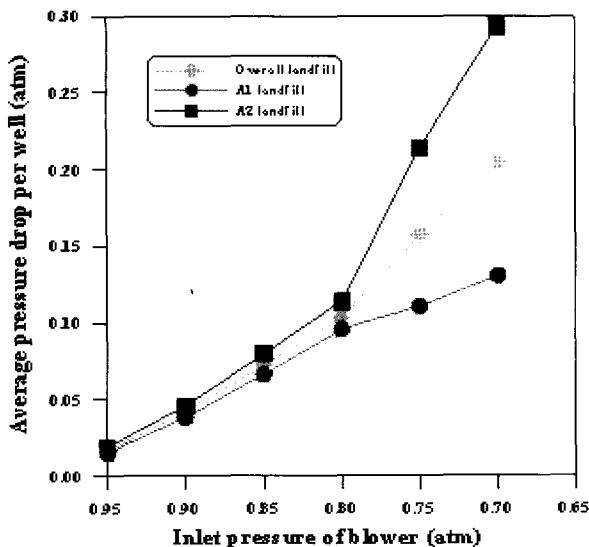


Fig. 11. View of collection well pressure drop due to inlet pressure of blower.

포집정 중 38개가 매립지 압력과 동일하게 나타나 차압이 발생하지 않음으로 매립가스를 포집할 수 있는 포텐셜이 없다. 이는 38개의 포집정에서는 가스를 포집할 수 없음을 의미하며 Fig. 10(b)에 가스유량분포에 나타나 있다.

특히, Fig. 9(b)와 같이 우측구역은 포집정내 압력 강하로 차압이 전혀 발생하지 않기 때문에 Fig. 10(a)와 같이 포집정에서 가스의 포집이 일어나지 않는다. 매립지에 완결된 포집정에서 가스가 포집되지 않는 것은 매립가스가 부존하지 않거나, 매립지 물성의 불균질 특성, 또는 침출수의 매립지 흡착경계에 의해 그림과 같이 간한 가스밀집구역이 발생되는데에 기인한다.

이상은 A1, A2 배관망 중앙에 설치한 송풍기의 입구압력을 0.95atm에서 0.70atm까지 조절하여 얻은 결과 중 송풍기 입구압력 0.9atm과 0.75atm에 대한 자세한 결과분석이다. Fig. 11은 송풍기의 입구압력 변화에 따른 포집정의 평균 압력강하를 나타낸 것이다. 차압을 증가시켰을 때 0.8atm이하에서 A2 배관망에 매우 큰 압력강하가 발생하고 있음을 알 수 있다. 이것은 Fig. 9와 Fig. 10에서부터 예견될 수 있으며, A1과 A2의 주 배관 직경이 다르며, 특히 A2의

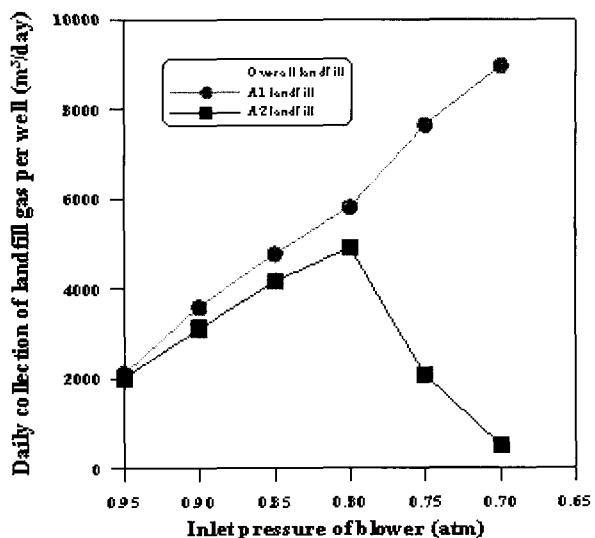


Fig. 12. View of landfill gas collection flow rate due to inlet pressure of blower.

주배관 직경이 A1에 비해 축소된 영향이다. 이때 송풍기의 흡입력을 어느 한계이상으로 증가시키면 직경이 작은 주 배관망내의 가스유속이 증가하며, 이에 관내항력이 증가하는 이유로 포집정 상부압력이 증가한다. Fig. 12는 송풍기의 입구압력 변화에 따른 가스의 포집유량을 나타내고 있다. 송풍기 입구압력 0.8atm 미만에서 A2의 가스포집유량은 급격히 감소한다. 따라서 송풍기 입구압력을 0.8atm미만으로 저하되지 않도록 흡입력을 조절해야만 A2의 가스를 원활히 포집 할 수 있음을 지시한다. 특히, 초기에는 작은 흡입력으로 서서히 가동하여 송풍기 입구압력을 0.95-0.9atm으로 유지하면서 배관망내에 수분점유율이 상승하지 않으면 0.9-0.8atm 상태에서 정상적으로 가동함이 적절하다.

5. 결 론

쓰레기 매립지로부터 매립가스를 지속적이고 안정적으로 포집하는 것은 매우 중요한 기술적 시안이다. 일시에 매립가스의 포집유량을 증가시키기 위해 송풍기 입구압력을 낮추어 구동력을 상승시킬 때, 배관망내

침출수의 수분 점유율이 점차 증가할 수 있다. 이것은 배관망내 압력강하를 상승시켜 가스의 포집을 어렵게 할 뿐만 아니라 매립지내에 갇힌 가스구역을 생성시킬 수 있음으로 에너지 이용과 매립지 안정화 측면에서 이롭지 않다. 따라서 포집정의 압력강하가 억제될 뿐만 아니라 침출수의 수분이 점유되지 않도록 송풍기의 흡입력을 최적으로 조절하는 것이 필요하다. 이상의 결과로부터 결론사항을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 가스압력이 저하된 A1, A2매립지로부터 안정적인 가스를 포집하기 위해서는 송풍기의 입구 압력을 최적으로 운용해야만 한다.
- (2) 송풍기 입구압력을 0.8atm미만으로 조절하면 A2의 배관망내 압력강하 증가로 가스포집이 어려워 질수 있음으로, 초기에 0.95atm에서 점차 0.9~0.85atm으로 정상 운용함이 바람직하다.
- (3) A2 배관망의 압력강하 방지책으로 A1, A2 각각의 배관망에 송풍기를 설치하여 서로 다른 구동력으로 가스를 포집하는 방식을 채택할 수도 있다.

참 고 문 헌

1. 김인기, 허대기, 김현태, 김세준, 성원모, “쓰레기

매립지에서 가스-물 상대유체투과도를 적용한 매립가스의 포집특성 분석”, 한국토양환경학회, 5(3), pp. 35~54(2001).

2. Aziz, K. and Settari, A., PETROLEUM RESERVOIR SIMULATION, Applied Science Publishers Ltd, London, pp. 5~18(1979).
3. Mattax, C.C. and Dalton, R.L., Reservoir Simulation, Society of Petroleum Engineers Monograph Series, Richardson,TX, pp. 133~139(1990).
4. Katz, D.L. and Lee, R.L., NATURAL GAS ENGINEERING Production and Storage, McGraw-Hill Book Co., New York, pp. 327~336(1990).
5. Beggs, H.D., Gas Production Operations, Oil & Gas Consultants International Inc., Tulsa, pp. 97~129(1984).
6. Dempsey, J.R., Patterson, J.K., Coats, K.H., and Brill, J.P., “An Efficient Model for Evaluating Gas Field Gathering System Design”, Society of Petroleum Engineers, SPE 3161 presented at SPE Central Plains Regional Meeting, held in Amarillo, Tex., pp. 123~129(1971).
7. Hartman, H.L., Mine Ventilation and Air Conditioning, 2nd Edition, Mutmansky, J.M. and Wang, Y.J., John Wiley & Sons, New York, pp. 133~165(1982).