

## 대구 방천리 위생 매립장 매립가스 예측 발생량과 실포집량과 상관관계

이 석형<sup>1)</sup>

### Correlation between Estimated LFG Emission Rate and Actual LFG Extraction Rate for Daegu Bangcheon-ri Landfill Site

Sukhyung Lee

**Key words** : LFG(Landfill Gas: 매립가스), Emission Rate(발생량), Extraction Rate(포집량),  
Estimating(예측)

**Abstract** : Estimating of LFG emission rate has been well established. But, relatively short history of LFG extraction in Korea, the data and the formular have not been well compared and analyzed. Here, even though the operation period of extraction for Daegu Bangcheon-ri is short, the relevant correlation between estimated and the actual has been tried to find. Hopefully, this will be a guideline for the future LFG forecasting.

#### Nomenclature

c = 매립 완료 후 경과 기간(yr)  
G = 시간 t 이전에 생성된 매립가스의 부피(m<sup>3</sup>)  
k = 메탄 발생 비상수(1/yr)  
L = 시간 t 이전에 생성된 매립가스의 부피(m<sup>3</sup>)  
Lo = 폐기물 톤당 메탄 발생 잠재량(CH<sub>4</sub> m<sup>3</sup>/Mg waste)  
R = 연 평균 비상수(1/yr)  
Q<sub>m</sub> = 예상 최대 매립가스 발생량(m<sup>3</sup>/yr)  
t<sub>1/2</sub> = 반감기(yr)

#### 1. 서론

산업화가 진행되면서 급격한 도시화가 동시에 이루어져 도시에 거주하는 인구가 증가하였다. 도시 인구의 과밀화로 여러 가지 사회 문제가 발생하는 데 생활쓰레기의 처리 문제도 그 중의 하나이다.

산업화 초기 생활쓰레기 처리는 체계적이지 못하다가 시간이 지나 감에 따라 매립 방법에 변화가 생기게 되고 현재와 같은 체계적 관리가 이루어진다.

1994년 4월 1일 쓰레기 종량제가 전국 93개 시군구에서 시범적으로 실시되고 1995년 1월 1일에는 전국으로 확대되었다. 이런 획기적 쓰레기 정책의 도입으로 1994년 국민 1인당 1일 쓰레기 발생량이 1.33 kg에서 2000년에는 0.98 kg으로 감소하였다. 1995년에서 2000년까지 6년간 감소된 쓰레기 발생량이 3,772만 톤이었고 재활용 분리 배출량은 1,346만 톤으로 증가하였다.<sup>1)</sup>

쓰레기 매립장에서 주변 시민에게 불쾌감을 주는 것은 악취와 해충 발생이다. 악취 발생의 문제는 매립장에서 발생하는 매립가스와 밀접한 관계가 있다. 가스와 함께 발생하는 악취는 기압과 바람의 영향에 따라 매립장에서 수 km까지 전파되는 특성을 가졌다.

매립가스는 메탄가스와 이산화탄소를 주성분으로 암모니아, 메틸머캅탄, 휘발성 유기화합물 등을 포함하고 있다. 메탄가스 함량은 매립 경과 연수, 매립가스 포집 방법, 침출수 발생 유무 및 시설물 시공 상태에 따르며, 대체로 50%에서 60%를

1) 대구에너지환경  
E-mail : kairos@taegugas.co.kr  
Tel : (053)606-1014 Fax : (053)606-1003

차지하며 이산화탄소가 30%에서 40%를 차지하고 있다.

매립가스는 가연성가스인 메탄가스를 포함하고 있어 화재의 위험이 상존할뿐만 아니라 기후변화협약에서 규정한 지구온난화물질로 그 기여도가 이산화탄소의 21배에 달하고 있어 이를 처리해야 할 필요성이 높아졌다.

매립가스를 포집하여 이용하는 방법에는 크게 두 가지로 첫 번째 방법이 비교적 처리 비용이 적게 드는 중질가스로 이용하는 방법이다. 이 방법은 독성가스만을 제거하고 연소 기구나 가스 엔진이나 가스 터빈에 직접 이용하는 방법을 말한다. 세계적으로 이 방법이 가장 많이 사용된다.

두 번째 방법은 고질가스로 제조하는 방법인데 매립가스에서 메탄가스만을 분리하여 순도가 높은 가연성가스로 만드는 방법이다. 이런 방법으로 제조된 메탄가스는 기존의 천연가스가 주성분인 도시가스와 호환할 수 있는 장점이 있는 반면 처리 비용이 높다는 단점을 가지고 있다.

## 2. 매립가스의 발생과 발생량 예측

쓰레기 성분 중 유기물이 혐기 환경 하에서 토양 미생물의 작용으로 분해하면서 가스와 무기염류로 변화한다. 일반적으로 매립장의 가스 발생량과 성질은 폐기물의 조성, 수분 함량, 독성 물질 함량, 대기 온도, 토질, 복토량, 매립 후의 경과 시간 등의 여러 가지 요인에 의해 좌우된다.

대구 방천리 매립장의 쓰레기 매립량은 연도별로 다음과 같다(표 1). 1990년도 매립을 시작한 이래 매립량은 증가하다가 1992년에서 1994년까지는 답보 상태를 나타내었다. 이는 성서쓰레기 소각장 1호기가 1 일당 200톤 처리 용량으로 1993년 1월 6일에 가동되었기 때문으로 추정된다. 1995년은 쓰레기 종량제가 실시되어 획기적으로 감소한다. 성서 쓰레기 소각장 2, 3호기(호기당 일 200톤 처리)가 1998년 9월 26일 가동에 들어감에 따라 1999년 이후의 매립량도 감소 추세가 계속된다.

매립가스 발생량 예측식은 여러 모델이 있다. 예측식은 0차 모델이나 1차 모델을 기초로 한다. 대구 방천리 매립가스 발생 예측량 용역 보고서에 서는 거신 모델을 사용하였다.<sup>2)</sup>

거신 모델은 2단계 1차미분방정식이며 다른 모델들이 매립 쓰레기 총량, 매립 연수, 쓰레기 분해 속도 상수(k), 쓰레기 톤당 예상 매립가스 발생량 등을 매개 변수로 사용하는 데 반해 쓰레기

조성을 매개 변수로 추가한 특징을 가지고 있다. 이들 조성에는 가연분, 회분, 수분 등이 있고 급속, 완속, 난분해로 구분되는 가연성 분석 자료와 가연 성분 원소 분석 자료(C, H, O, N)를 입력 자료로 넣어 더 정확한 예측을 목표로 하고 있다.

표 1. 대구 방천리 매립장의 쓰레기 매립량

연도	총폐기물량 (톤)
1990	1,088,042
1991	1,622,919
1992	1,461,016
1993	1,191,009
1994	1,242,634
1995	881,027
1996	789,585
1997	831,098
1998	701,653
1999	725,653
2000	682,611
2001	587,052
2002	605,891
2003	611,849
2004	500,378
2005	409,822
2006	470,155
합계	14,324,036

매립 직후 매립 가스 발생이 즉시 개시되는 것이 거신 모델의 특징이고 USEPA 모델은 k 값이 크지 않아 매립 가스 생성이 연수에 비해 완만하게 증가한다는 특징을 가졌다. 경험 상 급속 분해 물질이 많은 한국은 가스 발생률이 빠른 것으로 이 거신 모델의 채택 이유를 설명하고 있다.

거신 모델은 Palos Verdes 모델을 응용하여 반감기를 두 단계의 방정식으로 나타낼 수 있다.

첫 번째 단계는

$$G = \frac{L_0}{2} \exp k(t - t/2) \quad (1)$$

두 번째 단계는

$$L = \frac{L_0}{2} \exp k(t - t/2) \quad (2)$$

여기서 G, L = 각각 시간 t 이전에 생성된 매립 가스의 부피(m<sup>3</sup>)

k = 메탄 발생 비상수(1/yr)

L<sub>0</sub> = 폐기물 톤당 메탄 발생 잠재량(CH<sub>4</sub> m<sup>3</sup>/Mg waste)

$t_{1/2}$  = 반감기(yr)

다음은 USEPA 모델식을 나타낸다.

$$Q_m = L_0 R [\exp(-kc) - \exp(-kt)] \quad (3)$$

여기서  $Q_m$  = 예상 최대 매립가스 발생량( $m^3/yr$ )

$L_0$  = 폐기물 톤당 메탄 발생 잠재량 ( $CH_4 m^3/Mg waste$ )

$R$  = 연 평균 비상수( $1/yr$ )

$c$  = 매립 완료 후 경과 기간(yr)

$t$  = 매립 기간(yr)

보고서를 작성할 당시 2001년에서 2005년의 연간 매립량은 70만톤으로 가정하였다. 실제로는 표 1에서 나타낸 바와 같이 상당히 감소되었음을 알 수 있다. 이들 식과 표 1에 주어진 매립량과 가정량을 이용하여 예측한 포집량 및 활용량을 요약하면 다음 표와 같다.

표 2. 매립가스 포집량 및 활용량

발생 모델 [매립 기간 (1990~2005)]		매립가스 포집량 ( $m^3/min$ )	최대 활용량 ( $m^3/min$ )	최소 활용량 ( $m^3/min$ )	최적 활용량 ( $m^3/min$ )
거신 모델	음식물 포함	180	150	54	130 (2010)
	음식물 제외	180	130	54	100 (2020)
USEPA 모델		150	120	45	80 (2025)

예측 발생량을 보면 음식물 쓰레기가 포함되었을 경우는  $130 m^3/min$ , 음식물 쓰레기가 포함되지 않았을 경우  $100 m^3/min$ 이다. 음식물 쓰레기는 2005년 1월 1일부터 매립이 금지되었다. 물론 그 전부터 음식물 쓰레기 매립량은 단계적으로 감소되어 왔다.

그림 1과 2는 2단계로 나누어 예측 발생량을 나타내었다. 2000년 이전 매립된 쓰레기의 매립가스 발생 예측량과 2000년 이후 매립된 쓰레기의 매립가스 발생 예측량과 그 합을 나타내었다. 그림 1과 그림 2를 비교하면 음식물 쓰레기를 포함한다고 가정했을 때의 예측량이 초기에 그 발생 예측량이 큼을 알 수 있다.

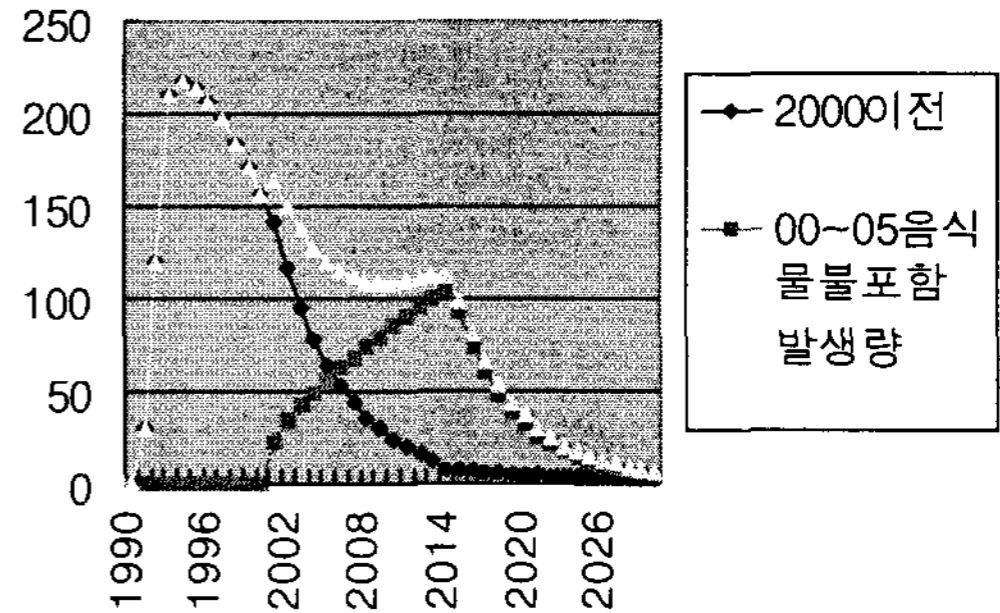


그림 1. 매립가스 예측 발생량(00-05 음식물 쓰레기 불포함)(Y축 단위= $m^3/min$ )

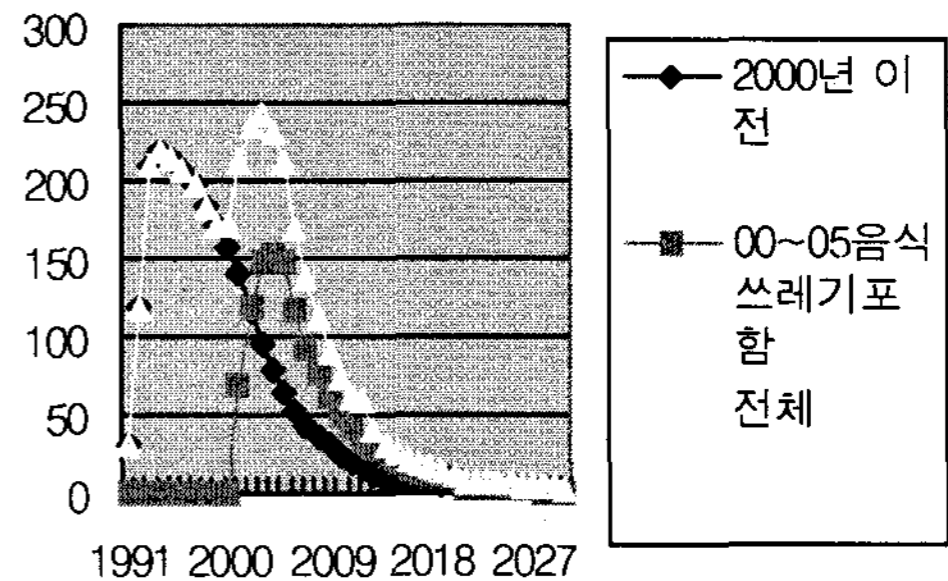


그림 2. 매립가스 예측 발생량(00-05 음식물 쓰레기 포함)(Y축 단위= $m^3/min$ )

매립가스 자원화 사업을 시작하기 전에 USEPA 모델을 이용하여 다시 한번 예측 발생량을 계산하였다. 쓰레기 매립량은 2004년 이후 표 3과 같이 가정하였다.

표 3. USEPA 모델에 사용한 매립 가정량

단위: 톤

연도	매립량	연도	매립량	연도	매립량
2004	500378	2005	499028	2006	499028
2007	499028	2008	499028	2009	499028
2010	495451	2011	484647	2012	474500
2013	465010	2014	456068	2015	447636
2016	439679	2017	432160	2018	425006
2019	41821	2020	411757	2021	405588
2022	399712	2023	394054	2024	388689
2025	383506	2026	378542		

본 모델에 사용한 계수는 다음과 같다.

$L_0 = 124.6$ ,  $k = 0.067 1/yr$ , 메탄 = 50%

그림 3은 실제로 포집을 시작할 연도부터 예측 발생량을 나타냈다. 위에 주어진 계수를 USEPA 모델에 넣어 계산한 것으로 특징적인 것은 포집 효율이라는 개념을 도입하였다.

### 3. 매립가스의 예측 발생량과 실포집량 비교

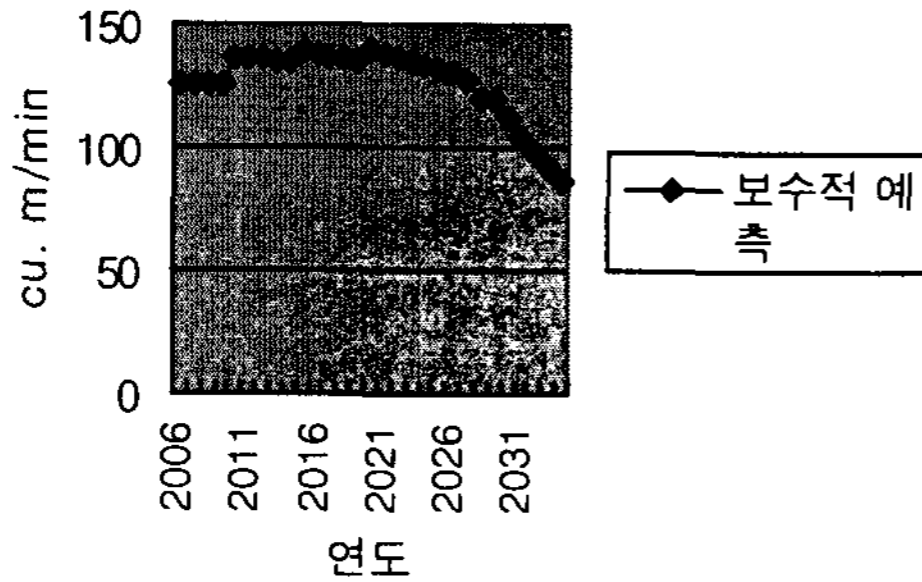


그림 3. USEPA 모델을 이용한 보수적 매립가스 예측 발생량

포집 효율은 초기연도 4년간은 55%, 그 다음 4년은 60%, 그 다음 5년은 62.5%, 그 다음 9년은 65%, 나머지는 마지막 연도까지 70%를 적용하였다.

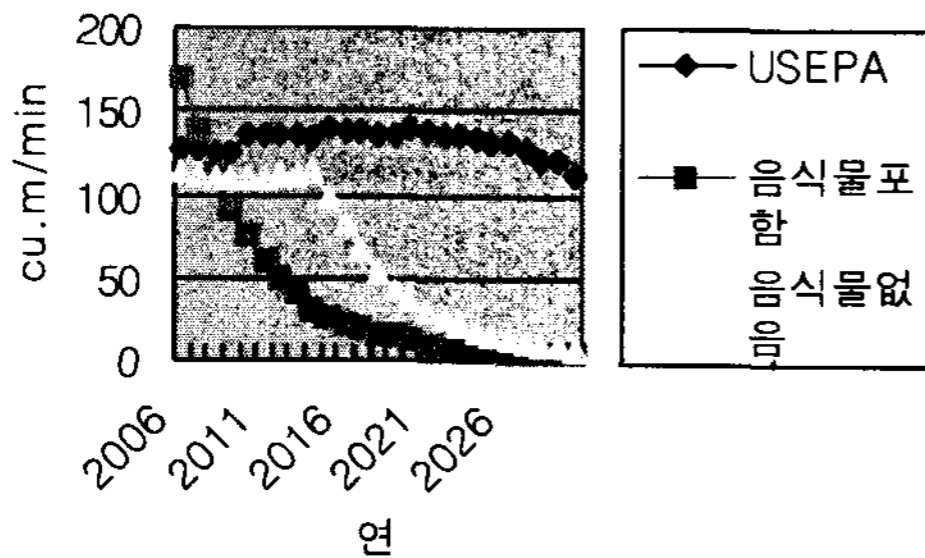


그림 4. 거신 모델과 USEPA 모델의 비교

그림 4는 거신 모델과 USEPA 모델과의 차이를 나타냈다. 거신 모델은 2005년에 쓰레기 매립이 끝난다는 가정을 하였기 때문에 그 차이가 많이 남을 알 수 있다. 음식물 쓰레기가 포함되는 경우는 급속 분해가 진행되어 2006년 이후는 예측 발생량이 급격히 감소됨을 알 수 있다. 그 대신 음식물 쓰레기가 없을 경우는 2015년까지 USEPA 모델과 유사한 경향을 나타내다가 그 후부터 급격한 차이가 나타난다. 본 논문에서 비교하고자 하는 실포집량 데이터는 2006년과 2007년의 것으로서 중기적 데이터의 예측 발생량은 영향이 미미한 것으로 판단하였다.

대구 방천리 매립장 자원화 사업은 2006년 10월 20일 상업 운전을 시작하였다. 지금까지 6개월 남짓되었다. 은 따라서 이들 연도별 예측과 2006년 10월 20일 이후 상업운전을 통해 기록한 포집 데이터와 비교하기로 한다.

그림 5는 실포집량과 예측 발생량을 비교한 것이다. 실포집량은 USEPA 모델과 거신 모델보다는 작고 거신 모델이 제안한 포집 효율 55%를 환산한 값보다 크다. 포집 효율을 60%로 보면 거의 유사한 포집량을 예측할 수 있다.

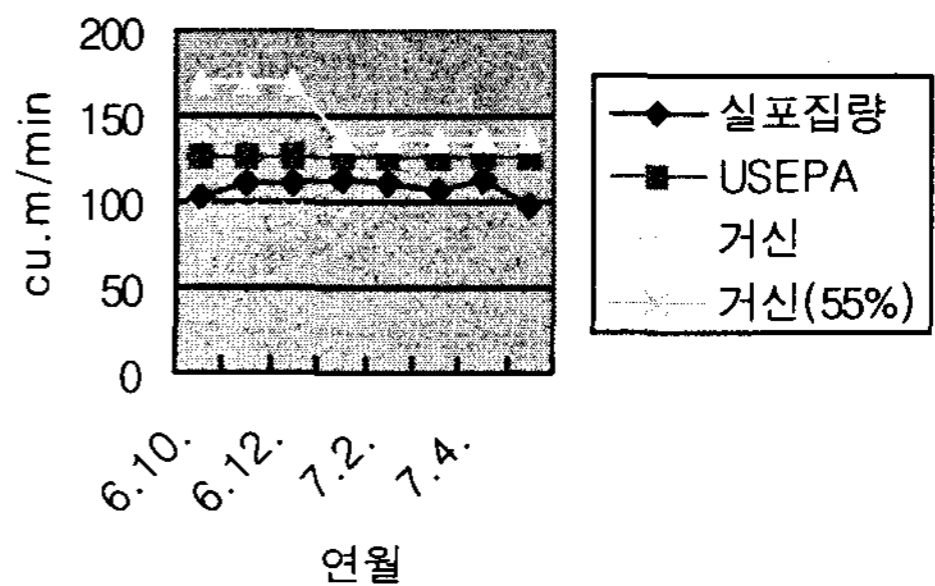


그림 5. 실포집량과 예측 발생량과의 비교

### 4. 결론

짧은 기간의 비교이지만 매립가스 예측 발생량과 실포집량과의 차이는 큰 것으로 보이지 않는다. 각 예측 모델별로 예측 발생량과 실포집량과의 차이를 보정하기 위한 포집 효율 항목을 두어 이 적절한 값의 선택이 중요함을 발견하였다.

앞으로 지속적인 데이터를 수집 분석함으로써 차후 있을 다른 매립장의 예측에도 도움을 주고자 노력할 것이다.

### References

- [1] one.me.go.kr/wastefee/sub/menu1.
- [2] 대구광역시. 대구광역시위생매립장매립가스 개발을위한타당성조사및기본계획보고서. 2001.12.