

## 매립가스 자원화를 위한 가스엔진 발전의 수익성에 관한 연구

김 오 우

동국대학교 경영학과 교수

E-mail: kou@dongguk.ac.kr

이 정 일

(주)서희건설 건설환경기술연구소 팀장

E-mail: jidream@ystns.co.kr

매립된 폐기물의 분해과정에서 생성되는 부산물로서의 매립가스는 악취와 환경오염을 유발하는 유해한 가스로 여겨져 왔다. 그러나 발열량이  $5,000\text{kcal}/\text{m}^3$ 에 달하는 매립가스의 특성은 에너지원으로써의 활용가치가 탁월한데다 지구온난화의 주범으로 떠오르면서 그 회수 필요성이 더욱 강조되고 있어, 재생에너지로서의 매립가스를 대체에너지 자원으로 이용하려는 추세는 매우 고무적인 현상이라 하겠다.

현재 우리나라의 매립가스자원화 사업은 가스엔진을 이용한 전력생산이 대부분을 차지하고 있으며, 부분적으로 중질가스와 고질가스의 활용에도 관심을 보이고 있다. 가스발전기의 가동률과 전력단가의 변동을 고려하여 매립가스의 경제성을 분석해본 결과, 초기 투자비 회수와 지속적인 수익성 확보를 위해서는 최소한 10년 이상의 발전사업 운영 및 전력판매 단가의 현실화가 요구되고 있다.

<색인어> 매립가스자원화, 가스엔진, 재생에너지, 가스발전기의 가동률, 전력단가

### 1. 서 론

산업의 발전과 급속한 인구증가 및 도시화 등으로 야기된 환경문제는 지구 온난화, 열대림 파괴, 산성비, 사막화 및 해양오염 등을 초래하여 이제는 더 이상 자연 생태계의 파괴를 방치할 수 없는 현실에 이르렀다. 이와 같이 범세계적으로 대두되는 환경문제를 해결하기 위해 1980년대부터 다양한 국제 환경협약이 채택·발효되면서 ISO 14000 시리즈와 더불어 EMAS 등 환경보전을 위한 실천적 제도와 규범의 적용이 늘어가고 있다. 그럼에도 불구하고 빈번하게 나타나고 있는 이상기후 현상은 단순한 기후변화의 징후가 아니라 인류 생존에 결정적으로 위협을 가하는 가시적 요인으로 인지되는 실정이다.

지구의 기후변화를 연구한 대부분의 보고서들은 인위적 요인에 따른 기후변화의 부정적

영향이 앞으로 더욱 심각해질 것으로 전망하고 있다. 특히, 기후변화에 관한 정부 간 협의체 인 IPCC에서 발간한 3차 평가보고서는 2100년경의 대기온도가 최대 6°C까지 상승할 수 있다고 보았다<sup>1)</sup>.

우리 정부는 1997년 교토의정서 타결 이후 민·관·산 등으로 범 대책기구를 구성해 기후변화협약에 대처하고 있으나, 아직은 기후변화협약에 대한 대응정도가 매우 취약한 실정이다. 선진산업국들이 온실가스 감축에 동분서주하는데 비해(Lefeverre 2005), 우리나라는 이미 1인당 에너지소비가 이탈리아와 영국을 넘어서 독일 및 일본 수준에 이르렀고, 이러한 증가추세는 지금도 지속되고 있다<sup>2)</sup>.

교토의정서에서는 이산화탄소, 메탄, 불화탄소 등 6가지를 온실가스로 규정하고 있는데, 지구온난화 방지를 위해서는 규제대상의 온실가스 중 이산화탄소의 배출량 저감에 초점을 맞추어야 한다. 그러나 이산화탄소의 배출량을 감소시키기 위해서는 연료사용량을 줄이는 것 이외에 현재로서는 별다른 저감 방법이 없어, 결과적으로 어느 정도의 성장을 희생시켜야 한다는 견해가 지배적이다. 이에 반해 매립가스의 경우는 약간의 정제 과정을 통해 LFG(Land Fill Gas)<sup>3)</sup>로 전환이 가능하고, 또한 전력을 생산을 위한 기초 원료가 되기도 한다. 따라서 이산화탄소와는 달리 메탄가스를 줄인다면, 온실가스를 줄임과 동시에 자원 생성과 더불어 매립지에서 발생하는 악취를 제거하고 지역주민의 주거환경을 개선하는 배전의 효과를 거두게 된다.

좁은 국토에 비해 인구밀도가 높은데다 급속한 경제성장과 소득증가에 따른 생활수준의 향상으로 갈수록 늘어나는 우리나라의 생활폐기물에 대한 매립과 소각 비율은 93:7로서 생활폐기물 매립량이 절대적 우위를 차지하고 있다. 그럼에도 불구하고 여기서 얻을 수 있는 LFG를 에너지로 활용하려는 노력은 아직 초기 단계의 수준에 머무르는 실정이다. 지난 1990년대 초에 조성된 대규모 위생매립지에서 가스발생이 본격화되고, 국내·외에서 GHG(Green house gas)감축 문제가 주요쟁점으로 대두되면서 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 보다 지구

- 1) 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)이 공동 추진하고 있는 "기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)"의 1차 과학보고서(1990)에 의하면 과거 100년 동안 기온이 약 0.5°C 상승하였으며, 특히 1972년 이후 약 10년 동안 약 0.3°C의 급격한 기온상승이 나타났고 한다. 기온상승은 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O), 염화불화탄소(CFCs)등의 온실기체에 의한 온실효과로 야기되는데, 1980년부터 1990년 사이 이산화탄소, 염화불화탄소, 메탄, 아산화질소 등의 온난화 영향은 각각 55%, 17%, 15%, 6%로 나타났다. 과학자들은 대기 중 온실가스 농도를 안정화하기 위해서는 지금의 온실가스 배출량을 최대 80%까지 줄여야 한다는 주장을 제기하기도 한다.
- 2) 에너지경제연구원이 발표한 자료에 따르면, 우리나라의 온실가스 배출 추세가 지금처럼 이어질 경우 2010년 이전에 미국, 일본, 독일과 중국, 인도, 러시아에 이어 세계 7위의 온실가스 배출 국가가 될 전망이다이라고 한다.
- 3) 매립된 폐기물 중 유기성물질이 혐기성 분해 과정에 의해 분해되어 발생된 LFG는 주로 메탄(40~60%)과 이산화탄소(30~50%)로 구성되어 있으며, LFG의 발열량은 메탄 함유량이 50%인 경우 현재 사용 중인 도시가스(LNG)발열량의 약 1/2 수준에 달하여 연소기에 직접연소가 가능하므로 유용한 에너지 자원으로 이용될 수 있다. 그러나 매립가스를 그냥 대기에 방출시 대기오염 및 악취 유발 가능성이 있고, 화염 및 폭발 가능성 등 다양한 위해 요소를 내포하고 있다.

온난화 지수가 21배나 큰 메탄(CH<sub>4</sub>)을 50% 정도 함유하고 있는 매립지 가스 활용에 대한 관심이 날로 증가하고 있다(이태규 2000).

매립가스의 발열량을 이용하면 저용량 발전이 가능하여 현재 대도시를 중심으로 매립지의 LFG를 자원화하려는 노력이 가시화 되고 있지만, 아직은 선진국의 실적에 비해 초기단계에 머무르고 있는 실정이다. 이와 같은 현실의 문제점을 바탕으로 우리나라에서 매립가스 자원화사업에 관심을 가지고 1년 이상 운영 중인 가스엔진발전 사업장을 분석의 대상으로 삼기로 했다. 먼저 가스의 포집과 전처리설비의 실태를 점검하여 분석의 기본 토대를 구축한 뒤, 이를 토대로 사업장의 선정이 적정한지를 판단하고 매출에 영향을 미치게 되는 발전기의 가동률과 정부의 규제 아래 놓여있는 전력판매단가의 변화를 변수의 기본 축으로 삼아 매립가스 자원화사업의 타당성 정도를 점검하여 향후 발전방향을 모색해보고자 한다.

## II. 매립가스 자원화 사업에 관한 이론적 고찰

### 1. 매립가스

메탄, 이산화탄소의 주요 성분, 휘발성 유기화합물 및 악취유발성분 등으로 구성된 매립가스는 매립된 폐기물의 유기물 성분이 혐기성 상태에서 분해되어 발생되는데, 다량으로 발생하는 주요 가스와 매우 소량으로 발생하는 미량가스로 이루어진다. 주류가스들은 매립된 폐기물이 화학적 내지 생물학적 분해에 의해 생성되며, 종류에 따라서는 미량의 가스지만 유독하거나 공공의 위생에 위해를 줄 수 있다. 매립지에서 발생하는 가스의 주성분은 메탄(CH<sub>4</sub>), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 산소(O<sub>2</sub>), 질소(N<sub>2</sub>)로 이루어져 있으며, 그밖에 환경학적으로 유해한 악취성분으로 대표적인 암모니아(NH<sub>3</sub>), 일산화탄소(CO), 황화수소(H<sub>2</sub>S) 및 미량성분의 휘발성 유기물질(VOCs) 등이 있다(이창언 외 1999).

메탄과 이산화탄소는 도시폐기물의 생분해성 유기물질의 혐기성 분해에서 발생하는 주류 가스인데, 특히 메탄은 공기 중에 5~15% 농도로 존재할 때 폭발할 수 있다. 그러나 메탄의 농도가 이 위험수준까지 도달하여도 매립가스 내에 산소의 양이 부족하여 매립지가 폭발할 위험은 거의 없지만, 매립가스가 부지 밖으로 이동하면서 공기와 혼합된다면 폭발조건이 형성될 수 있어 매립가스의 관리가 필요한 것이다.

매립가스내의 악취성분은 주로 황화수소를 포함한 메르캅탄류와 아민류가 주종을 이루고 있으며, 매립폐기물의 종류 내지 기후와 지리적 여건에 따라 차이가 있고 취기농도 또한 개인의 후각 차이에 따라 피해정도가 다르기 때문에 산술적으로 표현하기에는 어려움이 따른다.

## 2. 매립가스의 발생

### (1) 안정화 초기의 가스 생성

매립가스의 발생과정은 초기에는 매립지 내부에서 혐기화 되어 메탄농도가 안정적인 농도로 발생하는 과정이 주를 이루며, 말기에는 외기가 매립지로 유입되어 더 이상 분해 될 것이 없어지는 과정을 거쳐 안정화가 완료된다. 따라서 가스 생성단계는 크게 안정화 초기와 안정화 후기로 나눌 수 있다. 다음 <표 2-1>는 안정화 초기 가스 생성단계를 보여주고 있다.

<표 2-1> 안정화 초기 가스 생성단계

단계	과정	특징	기간
1	호기성분해	대기 중의 산소에 의해 분해	수주
2	산 생성	지방, 셀룰로오즈, 단백질과 아미노산, 당 등을 분해 후 발효생성물질인 아세트이드, 단순지방산, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> 로 변환	수개월
3	불안정 메탄생성	초기단계의 메탄생성	6~12개월
4	안정된 메탄생성	CH <sub>4</sub> 와 CO <sub>2</sub> 의 농도비가 일정하게 유지되면서 시스템은 안정화	1~2년

자료 : 이정진, 국내의 매립가스를 활용한 발전사업 및 향후전망, 한국폐기물학회, 2001, p.2.

### (2) 안정화 후기의 가스 생성

안정화 후기 가스 생성단계는 <표 2-2>와 같이 정리할 수 있다. 안정된 메탄생성단계를 거쳐 분해성 유기물질의 생화학적 분해가 거의 끝나면 매립가스 생성이 중지되면서 매립지 내의 대기조성과 토양내의 가스조성이 같아진다. 이 과정까지는 약 30~50년이 소요된다. 매립가스의 가스 발생량과 가스 생성은 폐기물의 조성, 산소농도, 수분함량, pH(수소이온 농도 지수) 및 온도 등 실질적으로 매립지 주변여건과 매립지 내의 상태 같은 외부요인에 따라 크게 변화 한다.

<표 2-2> 안정화 후기 가스 생성단계

단계	과정	특징	기간
1	안정화 후기 가스 생성단계 I	메탄이 50~60%로 발생	
2	안정화 후기 가스 생성단계 II	기질의 분해가 서서히 시작되면서 CH <sub>4</sub> 성분은 증가하고 CO <sub>2</sub> 성분은 감소한다.	
3	공기 침투단계	바이오 가스 생산이 감소함에 따라 외부공기가 침투한다.	
4	메탄 산화단계	바이오 가스 생산이 감소함에 따라 외부공기가 침투한다.	
5	공기 포화단계	분해성 유기물질의 생화학적 분해가 거의 끝나면 매립가스 생성이 중지되면서 매립지내의 대기조성과 토양내의 가스조성이 같아진다.	30~50년

자료 : 이정진, 전제서, p.2.

### (3) 매립가스 발생량의 추정

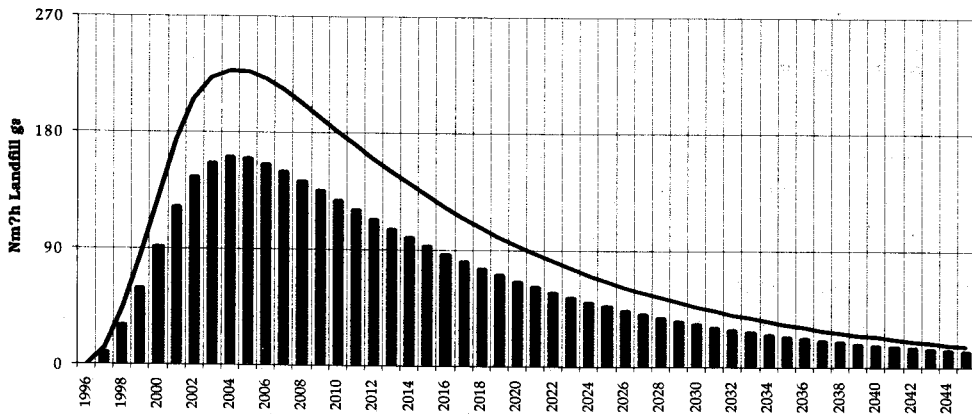
매립가스의 발생량 추정은 폐기물의 양, 폐기물의 조성, 탄소함량, 반응/분해 속도, 배제 정 설치 방법/압축률 및 매립지 내부의 대기조건 등과 같은 매개변수를 기초로 계산된다.

가스 생성단계를 완전히 거쳤다고 가정할 때 선진국의 도시폐기물 톤당 가스 생성량은 약 150~250[m<sup>3</sup>/h]이다. 이론적 도움을 받아 가스 예측을 시행한 후에, 실제 가스의 생성 그리고 추정 가능한 가스양과 질에 대해서는 가스추출시험(가스화 시험)을 통해 확인하는 것이 일반적이다.

<그림 2-1>은 가스 생성 초기단계에 최대 양까지 가스의 양이 빠르게 증가하다가 서서히 줄어드는 전형적인 과정을 보여준다. 이 그림은 빠르게 분해되는 기질은 2.5년, 서서히 분해되는 기질은 7년 동안 가스화 된다는 폐기물 분해에 걸리는 기간에 대한 내용에 기초하고 있다.

실선은 관찰기간동안 계산된, 가능한 가스 생성량(m<sup>3</sup>/h)을 나타내주고 있으며, 막대그래프는 포집시스템의 포집효율을 70%로 가정했을 때의 포집량을 추정한 것이다. 안정된 메탄 생성단계에서 이론적으로 매립 가스는 CH<sub>4</sub> 60%, CO<sub>2</sub> 40% (1.5:1)로 구성되며, CH<sub>4</sub>:CO<sub>2</sub>의 비가 1.5:1이다. 폐기물 가운데 분해 가능한 유기물량에 따라 이 같은 비율은 2:1보다 높을 수도 있다.

<그림 2-1> 매립가스의 전형적인 발생 곡선



자료 : 이정진, 전게서, p. 6.

### 3. 매립가스 활용방안

LFG의 활용기술은 가스엔진, 가스터빈, 증기터빈 등의 전력생산기술과 LFG 정제와 같은

전처리 과정을 거쳐 중질 또는 고질가스 등의 직접 연료로 활용하는 방법으로 나누어진다 (김홍균 2001).

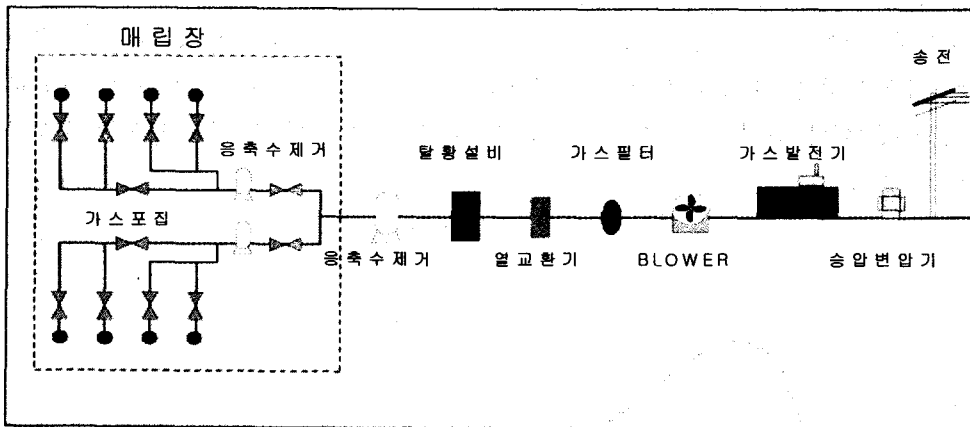
(1) 전력생산기술

① 가스엔진(Internal Combustion Engines)

매립가스를 이용한 발전설비를 운영하기 위해서는 <그림 2-2>와 같이 매립지에서 가스를 포집하고, 가스에 포함되어있는 응축수와 기타 이물질을 여과하여 가스엔진에 사용하게 된다.

포집되어온 가스의 성분은 메탄, 이산화탄소, 산소, 질소가 대부분 이지만, 매립가스를 이용하여 설비를 운용하기 위해서는 유해한 성분을 제거하여 사용해야 한다.

<그림 2-2> 가스엔진발전소의 공정 개요도



자료 : 포항 호동 LFG발전소.

② 가스터빈(Gas Turbines)

가스터빈에 의한 발전방식은 전처리시설, 압축시설, 가스터빈, 발전설비, 송전설비로 구성되어 있다. 전처리시설은 LFG 중의 수분 및 불순물을 제거하는 장치로 이루어지는데, 수분은 응축과정을 거쳐 제거하고 불순물은 필터설비를 통해 제거한다. 압축과정은 3단계를 거쳐 165[psig]까지 압축시키게 되며, 압축된 가스는 가스터빈에서 연소되어 발전기를 가동시켜 전기를 생산하는데 이용된다.

가스터빈의 발전효율은 20~28% 정도 인데, 효율 측면에서는 가스엔진보다 다소 떨어지나 발전용량이 3~4[MW] 이상의 중대규모 매립지에 유리하다. 가스엔진과 비교하여 기계적 구동부분 등이 적고 운전보수가 상대적으로 용이하며 질소산화물(NOx) 발생이 가스엔진에

비해 상대적으로 낮기 때문에 환경규제가 심한 지역이나 매립지 인접에 주거지역이 있는 경우에도 적용이 가능하다. 반면에 단점으로는 가스유입량을 일정하게 유지하는 것이 필수적이라는 것이다.

일반적으로 LFG 포집 및 성분변화가 심한 매립지에는 가스터빈을 적용하는 것이 비효율적일 수도 있다. 왜냐하면, 가스터빈을 효율적으로 가동하기 위해서는 일정량 이상의 가스가 발생해야 되고, 품질 기준이상의 메탄이 함유된 가스가 공급되어야 하기 때문이다.

### ③ 증기터빈(Steam Turbines)

증기터빈을 이용한 발전설비는 미세분진 등을 제거하기 위한 전처리설비, 수분제거 설비, 보일러, 증기터빈, 발전기 및 응축기 등으로 구성되어 있다. 기술의 핵심은 LFG를 연소시켜 보일러에서 고압의 증기를 생산하고, 이를 터빈에 공급 작동시켜 발전하는 방식이다.

증기터빈의 발전효율은 20~31%인바, 효율의 변화폭이 큰 까닭은 규모에 따라 차이가 심하고 발전용량이 클수록 효율이 높아지는데서 연유된다. 대표적 발전용량은 10[MW] 이상으로 발전용량이 클수록 보다 경제성이 향상되므로 대규모 매립지에 주로 적용되고 있다.

LFG를 활용한 증기터빈의 장점은 증기가 터빈을 작동시키기 때문에 발전설비의 매립가스와의 직접 접촉에 의한 부식을 최소화 할 수 있으며, 대기오염물질의 배출이 적기 때문에 대기오염 규제가 엄격한 지역에 설치가 가능하다는 사실이다.

단점으로 지적될 수 있는 것은 설치 운영비가 높으며, 증기 생산에 필요한 적정량 이상의 LFG 공급이 지속적으로 이루어져야 한다는 점이다. 매립지에서 발생하는 LFG 자체의 발생량 변동이 심하기 때문에 증기터빈을 안정적으로 이용하기 위해서는 가스저장시설을 갖추는 것이 필요하다.

## (2) 직접연료 활용

### ① 중질가스(Medium BTU)

LFG의 가장 간편하고 경제적인 사용방법으로는 보일러 또는 산업공정(예 : 건조공정, 킬른운전, 시멘트와 아스팔트 제조공정)에서 직접 연료로 활용하는 것이다. 직접 LFG를 연료 가스관과 연결하여 사용하는 경우도 있으나, 일반적으로 LFG를 직접 사용하기에는 발열량, 수분, 불순물 때문에 문제가 발생할 수도 있다.

LFG의 발열량은 대체적으로 LNG의 절반수준이다. LFG를 중질가스로 활용하기 위해서는 우선 수분과 미세입자 등의 불순물을 제거하고 추가적으로 황화수소(H<sub>2</sub>S)와 암모니아(NH<sub>3</sub>)를 제거해야 하는데, 이러한 과정을 거쳐 보일러 연료로 가장 많이 활용하고 있다. 이 과정은 전처리가 단순하고 소요 비용이 적게 드는 가장 경제적인 방법이다. 또한 수분과 미세먼

지를 제거하는 전처리 공정 후 액화석유가스(LPG)와 혼합하여 발열량을 LNG 수준인 10,500[kcal/m<sup>3</sup>]로 높여 LNG 대체용으로 사용할 수도 있다.

LFG를 중질가스로 활용하는 경우에 있어 고려해야 될 기술적인 문제점은 높은 수분함량, 저온의 불꽃온도 그리고 외부공기 유입 등에 따른 저 발열량 등이다.

장점으로는, 간단한 정제과정을 거쳐 LFG를 직접 연료로 사용할 수 있어 가스관이 갖추어져 있는 지역에서는 용이하게 설치·운영될 수 있다는 점과, 단순히 연료로 사용되기 때문에 오염물질 배출에 따른 부담이 적다는 사실이다. 반면에 단점은 압축하여 가스관에 공급해야 되므로 압축공정이 필요하여 비용이 상승되며, 가스관이 설치되어 있지 않은 지역에는 초기 투자비용이 높아진다는 점이다.

## ② 고질가스(High BTU)

고질가스로의 이용은 정제된 매립가스의 메탄함량이 98% 이상을 유지해야만 하며, 이를 위해서는 LFG에 존재하는 수분, 미량의 휘발성 유기화합물과 이산화탄소 등을 물리 화학적 방법으로 제거 내지 정제하여 LFG의 메탄함량을 높이는 것이다. 수분 제거를 위해서는 냉각제를 이용하여 LFG 내의 수분을 응축제거하고, 휘발성 유기화합물은 활성탄 등의 고체 흡착제로 제거하며, 이산화탄소는 성분 함량이 40% 정도이므로 이를 선택적으로 제거할 수 있는 고효율 공정이 도입되어야 한다.

이를 가스관에 공급하기 위해서는 일정한 압력을 유지시키기 위해 압축해주어야 하며, 고압 가스관에서는 300~500[psig] 그리고 저압 또는 중압수준의 가스관에서는 적어도 10~30[psig]까지 압축해주어야 한다.

장점은 회수된 LFG가 철저한 정제과정을 거치게 되므로 LFG의 100% 회수가 가능하고, 정제된 가스는 고 순도이므로 연료로서의 가치가 탁월하며 대기오염물질의 배출도 거의 없다. 반면에 단점으로는 LFG로부터 고 순도의 메탄 연료생산을 위해서는 복잡한 정제과정을 거쳐야 하므로 설치 운영비용이 상승하게 된다는 점이다(신총식 2001).

## III. 매립지 현황과 포집량 분석

본 연구에서는 국내에서 매립가스를 이용하여 가스엔진 발전소를 1년 이상 운영 중이고 전력판매설적이 있는 사업장으로 경북 포항시 호동에 위치한 LFG발전소를 선정하여 분석의 대상으로 삼았다. 선정된 발전소의 생활폐기물 조성현황은 매립가스의 원료로서 여기에서 얻게 되는 포집량과 더불어 분석의 기본 자료를 제공해주게 된다.



## 1. 대상매립지 및 폐기물 조성현황

### (1) 폐기물 발생현황

포항시의 면적과 관내 인구 그리고 포항시의 생활폐기물 배출량과 처리량 및 수거율 등에 관한 자료는 다음 <표 3-1>과 같다.

<표 3-1> 포항시 폐기물 발생현황

구분 년도	행정구역		수거지 인구율	배출량(C) (톤/일)	처리량(D) (톤/일)	수거율 (D/C)(%)	처리결과			
	면적 km <sup>2</sup>	인구 명					계	매립	소각	재활용
2000	1,127.28	517,250	99	456	456	100	456	328	5	123
2001	1,127.62	516,576	100	453	453	100	453	308	5	140
2002	1,127.69	513,424	99	451	451	100	451	301.7	5	144
2003	1,127.71	510,414	100	480.6	480.6	100	480.6	304.9	5	171
2004	1,052.15	508,937	-	515.2	515.2	-	515.2	335.3	-	180

자료 : 포항시 홈페이지 자료실(www.ipohang.org) 포항통계연보, 2005.

1인당 생활 폐기물발생량은 2000년의 경우 0.9[kg/일], 2001년 0.89[kg/일] 그리고 2004년에는 1.02[kg/일] 정도라고 볼 수 있다. 1995년부터 실시된 쓰레기종량제로 인하여 재활용된 폐기물은 2000년 123[톤/일]에서 2001년 140[톤/일]로 늘어났으며, 2004년에는 하루에 180톤으로 가파른 증가추세를 보여주고 있다. 2004년도를 기준으로 보면 대상지역에서 하루 동안 발생한 생활폐기물 515톤을 전량 수거·처리하고 있으며, 이중 매립에 의한 처분이 335[톤/일]에 달해 전체의 65%를 차지하고, 소각에 의한 처분은 전체의 0%에 머물렀다. 나머지 35%의 폐기물 180톤은 재활용되고 있었다.

### (2) 매립지 현황

경북 포항시 호동 매립지는 사업면적 200,000m<sup>2</sup>에 1994년 5월부터 포항시 전역에서 발생한 생활폐기물을 매립하기 시작하여 2005년 12월 기존 매립장의 매립이 완료 되었다.

<표 3-2> 호동 쓰레기 매립장 현황

구분 내용	기존매립장	신규매립장
	위치	포항시 남구 호동 산41 일원
사업면적	200,000[m <sup>2</sup> ]	144,404[m <sup>2</sup> ]
매립면적	81,000[m <sup>2</sup> ]	102,267[m <sup>2</sup> ]
매립용량	1,620,000[m <sup>3</sup> ]	2,070,000[m <sup>3</sup> ]
매립기간	1994년 5월 ~ 2005년 12월	2006년 1월 ~ 2028년

자료 : 포항 LFG발전소 현지조사

<표 3-2>에서 볼 수 있는바와 같이 총 매립한 용량은 1,620,000톤 이며, 매립방법은 준호 가성 매립(CELL방식) 방식으로 수행되었고, 매립평균 심도는 30m 정도이다. 현재 매립지에서 발생하는 가스는 수직천공을 하여 2002년 5월부터 2[MW] 가스엔진발전소를 준공하여 운영 중인데, 현재는 기존 매립장의 매립이 완료되어 신규매립장에 포항시에서 발생하는 생활 폐기물을 매립하고 있다.

### (3) 매립지의 기상개황

앞에서 살펴본 바처럼 메탄의 생성은 10~60°C에서 가능하고, 50~60°C에서 메탄의 생성은 최대가 된다. 또한, 20~40°C사이에서는 10°C씩 증가할 때마다 메탄생성은 100배 증가한다. 따라서 매립지의 기상에 따라 매립가스의 추출이 변할 수 있으므로 기상개황을 알아볼 필요가 있다(이동훈·서동천 2000). 포항기상대에서 파악한 2000~2004년까지의 포항시에 대한 기상자료는 <표 3-3>과 같다. 평균기온은 2000년이 14.5°C, 2001년은 14.9°C 그리고 2004년에는 15.1°C를 보이고 있으며, 연 강수량은 912~2,098[mm]의 범위를 오르내리고 있다.

<표 3-3> 포항시 기상개황

구분 년	기온(°C) Air Temperature					강수량 (mm)	상대습도 (%)		평균해면기압 (hPa)	이슬점 온도 (°C)	평균운량 (10%)	일조 시간	최심신 적설 (cm)
	평균		극점		평균		최소						
	최고	최저	최고	최저									
2000	14.5	19.4	35.8	10.7	-7.7	912	55.5	9.0	1,015.3	5.9	4.8	2,198.0	1.4
2001	14.9	19.6	37.5	11.1	-11.6	1,121	57.9	6.0	1,015.6	5.9	4.6	2,287.2	1.8
2002	14.2	18.6	35.4	10.6	-7.5	1,185	58.8	7.0	1,015.4	5.4	4.6	2,359.7	-
2003	14.0	18.1	35.3	10.6	-10.4	2,098	64.4	10.0	1,016.2	6.8	5.3	2,101.1	6.0
2004	15.1	19.7	27.5	9.2	-7.6	1,403	61.3	10.0	1,015.8	6.9	4.3	2,399.2	2.5

자료 : 포항시 홈페이지 자료실(www.ipohang.org), 포항통계연보 2005.

한편, 포항시의 최근 기상일수는 <표 3-4>에서 살펴볼 수 있는바와 같이 2003년을 제외하면 대체적으로 맑은 날이 많은 편이었다. 특히 2004년의 경우엔 맑은 날이 132일인 반면, 흐린 날과 강수일수는 각각 87일과 107일로 다른 해 보다 맑은 날의 비율이 더 높았다.

<표 3-4> 포항시 일기일수

년 \ 항목	맑음	흐림	강수	서리	안개	눈	뇌전	폭풍
2000	109	102	100	9	2	3	10	1
2001	111	86	102	4	7	5	12	-
2002	113	93	102	6	2	2	10	1
2003	94	116	121	8	4	9	14	2
2004	132	87	107	4	3	8	12	-

자료 : 포항시 홈페이지 자료실(www.ipohang.org), 포항통계연보 2005.

## 2. 매립가스 분석

### (1) 매립가스 성분

포항 호동 LFG발전소를 대상으로 2005년의 가스 성분에 대한 분석결과를 정리한 것이 <표 3-5>이다.

<표 3-5> 포항 호동 LFG 매립가스 성분

2005년

월 \ 항목	CH4 [%]	CO2 [%]	O2 [%]	N2/ 기타 [%]	GAS TEMP [°C]		S.F.R PRESS[kpa]
					BLOW前	BLOW後	
1월	44.1	32.8	5.2	17.9	9.6	22.8	-14.4
2월	44.8	33.2	3.9	24.3	8.5	23.5	-15.6
3월	47.7	35.3	3.1	13.9	9.5	27.4	-18.8
4월	42.3	33.3	3.9	20.5	17.4	35.0	-17.2
5월	41.9	33.7	3.7	20.8	24.0	34.0	-15.5
6월	48.6	36.6	2.6	12.2	27.1	39.0	-7.3
7월	50.6	37.6	0.7	11.1	28.5	35.7	-3.6
8월	52.5	40.1	0.9	6.5	32.1	37.8	-3.4
9월	55.9	40.0	2.3	1.9	27.9	33.1	-5.6
10월	56.8	40.0	1.7	1.5	26.8	31.9	-4.7
11월	55.8	39.9	2.4	1.9	24.0	28.0	-5.6
12월	56.4	40.0	2.0	1.6	13.7	14.7	-4.3
평균	49.8	36.9	2.7	11.2	20.7	30.2	-9.7

자료 : (주)서회건설, 호동LFG발전소 매립가스 자료, 2005.

매립가스의 성분 가운데 주요 관심의 대상인 메탄가스의 평균 농도는 49.8% 그리고 이산화탄소는 36.9%로 나타났다. 일반적으로 가스엔진 발전기의 운용에 있어 메탄이 최소 40% 이상이면 가스엔진 발전기의 가동이 가능하다. 그러나 메탄의 농도는 날씨의 영향 및 포집량에 따라 다소 변할 수 있어 안정적으로 가스엔진 발전기를 운용하기 위해서는 메탄을 45%이상 유지하는 것이 바람직하다고 한다(Jenbacher 2002).

포집되는 가스의 온도는 일반적으로 20.7℃부터 30.2℃로 나타났으며, 평균 포집압력은 -9.7[kpa]로 측정이 되었다. 기후의 영향을 받아 겨울철로 접어들면서 메탄의 농도가 감소하고 산소의 농도가 증가하는 추세를 보여주는데, 이러한 결과는 발전기의 출력감소에 영향을 미치게 된다. 발전기의 출력이 일정할 경우, 메탄의 농도가 감소하면 상대적으로 포집 압력이 증가하게 되어 포집설비와 전처리설비 및 발전기에 좋지 않은 영향을 줄 수 있으므로 발전기의 출력을 감소시키거나 가스포집설비의 추가적인 공사나 관리가 필요하게 된다.

## (2) 매립가스의 포집량

동 LFG 발전소의 가스 포집량을 시간 관점에서 파악하여 월별로 분류하여 정리해본 것이 <표 3-6>이다.

<표 3-6> 포항 호동 LFG 매립가스 포집량

2005년

	[m <sup>3</sup> /min]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /월]
1월	11.40	684	508,747
2월	12.29	738	495,650
3월	11.73	704	523,459
4월	10.00	600	432,021
5월	9.93	596	443,263
6월	7.93	476	342,612
7월	9.13	548	407,720
8월	17.17	1,030	766,264
9월	17.42	1,045	752,434
10월	18.37	1,102	819,945
11월	18.83	1,130	813,648
12월	13.48	809	601,872
합 계			6,907,635

자료 : (주)서희건설, 호동LFG발전소 매립가스 자료, 2005.

평균 농도 49.8%에 달하는 메탄의 경우 최소 7.93 [m<sup>3</sup>/min]에서 최고 18.83[m<sup>3</sup>/min] 만큼 매립가스가 포집이 되어, 2005년 한 해 동안 6,907,635m<sup>3</sup>의 포집량이 이용되었다. 발전기의 운용에 필수불가결한 정비 및 수리시간을 줄인다면 더 많은 양의 매립가스를 포집하여 이용할 수 있을 것이다.

#### IV. 매립가스를 이용한 가스엔진 발전사업의 수익성 분석

##### 1. 사업 개요

###### (1) 전기생산 및 판매계획

경북 포항의 호동 쓰레기 매립장에서 운영하고 있는 가스엔진 발전소에는 시부지 743m<sup>2</sup>에 오스트리아 Jenbacher사의 1[MW]급 가스엔진발전기 2대가 설치되어 있다. 설립 초기에는 발전기에 대한 정기 정비시간과 돌발적인 정비시간을 감안하여 연간 가동률을 93.5% 수준에서 책정하였는데, 전기 생산 및 판매계획은 다음 <표 4-1>과 같다.

<표 4-1> 전기 생산 및 판매계획

구 분	내 용	비 고
사업 규모	2MW LFG발전소	
운전 시간	8,200[시간/년]	93.5% (연간 가동률)
전기생산량	16,400,000[kWh]	2,000[kWh] * 8200[시간/년]
전기판매량	15,578,200[kWh]	자체소모전력 3.2%
발전 기간	20년	

자료 : (주)서희건설, 포항시 호동쓰레기매립장 매립가스 자원화사업 계획서, 2002.

상기 발전소에서는 연간 8,200 시간 가동하여 총 16,400,000[kWh/년]의 전기 생산을 계획하였다. 이 가운데 자체 소모 전력량 3.2%를 제외한 나머지 15,578,200[kWh/년]은 한국전력거래소를 통하여 전량 외부에 판매해야 한다.

###### (2) 자금계획과 운영

2[MW]급 LFG발전소의 건설에 소요될 예상자금은 투자의 위험을 예방하려는 차원에서 공사를 시작하기 전에 매립지현황과 메탄가스의 농도 등을 탐색하기 위한 조사비 1억3천만

원을 포함하여 총 29억 5천만 원으로 책정되었다.

총 소요자금 가운데 자기자본금은 2억5천만 원에 달하고, 나머지 자금 27억 원은 에너지 관리공단에서 지원해주는 3년 거치 5년 상환이라는 연리 4.34%의 환경설비개선 지원 자금을 활용하고 있다.

한편, 발전설비를 운용하는데 필요한 현장관리자는 2명으로 설정하였고, 투자액의 회수기간은 상환기간을 감안하여 4년 6개월로 정했으며, BOT (Build-Operate-Transfer) 사업방식이 선택되었다.

## 2. 이익분석

### (1) 전력판매수익

매립가스를 이용하여 생산한 전기는 한국전력거래소를 통하여 판매된다. 매립가스를 이용한 전력생산의 정부고시 판매가격은 1[kWh]당 65.2원이다. 전력거래소에 65.2원 이하로 판매하게 되면 전력기금에서 차액을 보상해 주고 있으며, 만약 65.2원 이상으로 거래가 될 경우엔 더 많은 수익을 얻을 수 있다. 따라서 전력시장에서의 전기가격의 변화와는 무관하게 발전한 전기에 대해서는 최소한의 안정적인 수익이 보장된다.

경북 포항 호동 LFG발전소에서 최근 3년간 발전한 전기의 생산량과 전기 판매수익을 정리한 것이 다음 <표 4-2>이다. 연간 평균 12,286,007[kWh]의 전기를 생산하였으며, 발전으로 인한 평균수익은 810,347,205원으로 집계 되었다. 발전기의 신속한 정비와 안정적인 가스포집은 발전기 가동률에 많은 영향을 미치게 되는데, <표 4-2>에서 살펴볼 수 있는 바와 같이 발전기 가동률은 설립 단계에서 계획한 수치인 16,400,000[kWh] 보다 현저하게 저조한 12,286,007[kWh]로 약 70% 수준에 머무르고 있어 계획과 실제 현장의 괴리가 엿보이기도 했다.

<표 4-2> 최근 3년간 전기 판매수익

항목 연도	전기생산[kwh]	전기판매액[원]	전력기금[원]	합 계[원]	비고
2003년	13,556,263	655,006,417	228,855,830	883,862,247	
2004년	12,674,628	688,850,212	137,533,520	826,383,732	
2005년	10,627,131	653,736,335	67,059,300	720,795,635	
평균	12,286,007	665,864,321	144,482,883	810,347,205	

자료 : (주)서희건설, 호동LFG발전소 수치분석

(2) 운영비

운영비는 크게 인건비와 유지비, 자재비, 정비비, 로열티로 구분하여 <표 4-3>에서 보는 것처럼 최근 3년간 평균 439,239(천)원이 소요되었다. 여기서 정비비는 발전기 수리비용과 포집시설의 정비에 사용한 금액이고, 로열티는 수익의 2.5%를 포항시에 지급하는 금액이다. 정비 비용의 주요내역은 매립지에서의 포집시설 및 포집시설의 정비를 위한 공사이다. 가스정의 수명은 영구적인 것이 아니므로 주기적인 가스정 공사를 계획해야 하며, 매립의 진행 상황에 따라 포집배관 집결장의 연장공사도 필요하다.

<표 4-3> 최근 3년간 운영비

단위:[천원]

연도 \ 항목	인건비	유지비	자재비	정비비	로열티	합계
2003년	59,947	79,292	81,888	224,852	22,097	468,075
2004년	71,030	125,005	158,995	12,228	20,660	387,918
2005년	57,635	71,167	122,028	192,873	18,020	461,723
평균	62,871	91,822	120,971	143,318	20,259	1,317,716 439,239

자료 : (주)서희건설, 호동LFG발전소 수지분석

따라서 매립장의 매립이 완료되기 전까지는 이와 같은 작업을 계속적으로 진행해야 한다. 기타 단순 정비에 관한 지출은 지속적인 교육과 훈련을 통해 합리적으로 조정할 필요가 있다고 하겠다. 로열티는 매립장마다 계약조건에 따라 다양한 형태를 보이고 있는데, 포항 LFG 가스엔진 발전소의 경우 사업 초기에 매출액 대비 2.5%의 로열티 계약을 맺어 당분간은 관할 기관에 안정적인 수입원을 제공하기에 이르렀다.

가스엔진 발전기가 설치된 2002년 5월 이후 한 해가 지나는 동안에는 유지보수비가 크게 소요되지 아니했다. 그러나 향후 발전기의 정비에 따른 경비와 부품의 노후로 인한 교체비용 등이 증가될 전망이고, 또한 정비시간의 증가에 따른 발전기의 운영시간도 단축될 것으로 예상되어 이에 대한 대책을 강구해야 하리라고 본다.

(3) 수지분석

가스엔진 발전소의 운영에 따른 이익은 <표 4-4>에 살펴볼 수 있는 바와 같이 최근 3년

간 평균 9,041천원에 이르렀다. 감가상각은 20년 정액법으로 산정하였는데, 감가상각비를 제외한 평균 이익은 134,165천원이다.

이자비용은 에너지관리공단에서 차입한 3년 거치 5년 상환의 자금에 대한 것이며, 2005년부터는 원금을 상환하고 있으므로 향후 이익은 점차 감소될 전망이다.

<표 4-4> 최근 3년간 수지분석

단위 : [천원]

연도 \ 항목	운영비	감가상각비	금융비용	발전원가	발전매출	수지	비고
2003년	468,075	125,124	75,741	668,940	883,862	214,922	
2004년	387,918	125,124	98,084	611,126	826,384	215,258	
2005년	461,723	125,124	537,006	1,123,853	720,796	-403,057	
평균	439,239	125,124	236,944	801,307	810,348	9,041	

자료: (주) 서희건설, 호동LFG발전소 수지분석

### 3. 발전기 가동률에 따른 수지분석

본 절에서는 발전기의 가동률에 따른 수지분석이 주요 관심 대상이다. 일반적인 물가상승 내지 경제 여건을 감안하여 운영비는 최근 3년간의 평균에서 매년 5% 정도 상승할 것이라 가정 하였으며, 추가적인 금융비용의 발생은 고려대상에서 제외했다. 한편, 발전설비의 전체 투자액에 대한 감가상각은 향후 20년 동안 정액법으로 산정하기로 하였다. 전력송출이 시작된 시점은 2002년 5월30일부터 이었지만, 분석의 편의를 위해 2002년의 수지분석은 제외시켰음을 밝혀둔다. 이와 같은 전제조건을 내용을 요약하여 정리하면 다음과 같다.

❖ 전제조건:

- ▶ 운영비 : 최근 3년간 평균에서 매년 5%상승
- ▶ 감가상각 : 2,502,480[천원]에 대한 20년 정액법으로 산정
- ▶ 금융비 : 원금 2,260,000[천원]에 대한 원금과 이자(년4.34%)  
3년 거치 5년 상환(추가적인 금융비용 제외)
- ▶ 발전원가 : 운영비, 감가상각 및 금융비의 합계
- ▶ 발전매출 : 최근 3년간의 평균매출을 기준으로 계산
- ▶ 발전출력 : 2[MW]기준에서 부하율 100[%] 산정
- ▶ 2006년 이전의 운영 및 발전매출은 실제 자료를 근거로 한다.



(1) 가동률의 변화와 수지내역

2003년부터 2005년까지 3년간의 실질 가동률을 토대로 가동률의 변화에 따른 향후 10년간의 수지분석을 해본 결과가 다음 <표 4-5>에 나타나 있다.

<표 4-5> 발전기 가동률에 따른 수지분석 단위 : [천원]

항목	발전원가			가동률 71%		가동률 80%		가동률 90%	
	운영비	감가상각	금융비용	발전매출	수지	발전매출	수지	발전매출	수지
2003년	468,075	125,124	75,741	883,862	214,922	883,862	214,922	883,862	214,922
2004년	387,918	125,124	98,084	826,384	215,258	826,384	215,258	826,384	215,258
2005년	461,723	125,124	537,006	720,796	-403,057	720,796	-403,057	720,796	-403,057
2006년	439,239	125,124	517,389	810,348	-271,404	913,843	-167,909	1,028,074	-53,678
2007년	461,201	125,124	497,773	810,348	-273,750	913,843	-170,255	1,028,074	-56,024
2008년	484,261	125,124	478,156	810,348	-277,193	913,843	-173,698	1,028,074	-59,467
2009년	508,474	125,124	452,000	810,348	-275,250	913,843	-171,755	1,028,074	-57,524
2010년	533,898	125,124		810,348	151,326	913,843	254,821	1,028,074	369,052
2011년	560,593	125,124		810,348	124,631	913,843	228,126	1,028,074	342,357
2012년	588,622	125,124		810,348	96,602	913,843	200,097	1,028,074	314,328
합 계	4,894,004	1,251,240	2,656,149	8,103,478	-697,915	8,827,943	26,550	9,627,560	826,167

분석의 기본 토대를 이루는 최근 3년간의 실질적 발전기 가동률 71%로 10년간의 발전원가와 발전매출을 예상해본 결과, 2004년까지는 차입금의 원금상환을 하지 않아도 되기 때문에 흑자로 나타났다. 그러나 원금 상환 및 이자 부담이 시작되는 2005년부터는 순수한 발전매출만으로는 발전원가와 도래하는 원금상환 등을 감당할 수 없어 적자로 전환되기에 이른다. 이 가동률에 따를 경우 2003년과 2004년의 이익으로 2005년의 적자를 대치할 수 있으나, 2006년부터 2009년까지는 대출금의 연기 또는 추가대출이 불가피할 것으로 예상되며 2010년이 되어야 흑자를 달성할 수 있게 되지만 전체적으로는 적자이다.

(2) 가동률에 따른 민감도분석

① 발전기 가동률 80%의 경우

발전기의 가동률을 80%로 가정하여 발전원가 및 발전매출을 예상한 결과, 발전기 가동률 71%때와 마찬가지로 2005년부터의 원금상환으로 인하여 점차 적자로 전환됨을 알 수 있다.

그러나 가동률이 80%로 상향되고 발전기를 10년간 운영을 할 경우, 5년에 걸쳐 나타나게 될 추가적 금융비용을 제외한다면 최소한 26,550,000원의 흑자를 예상할 수 있게 된다.

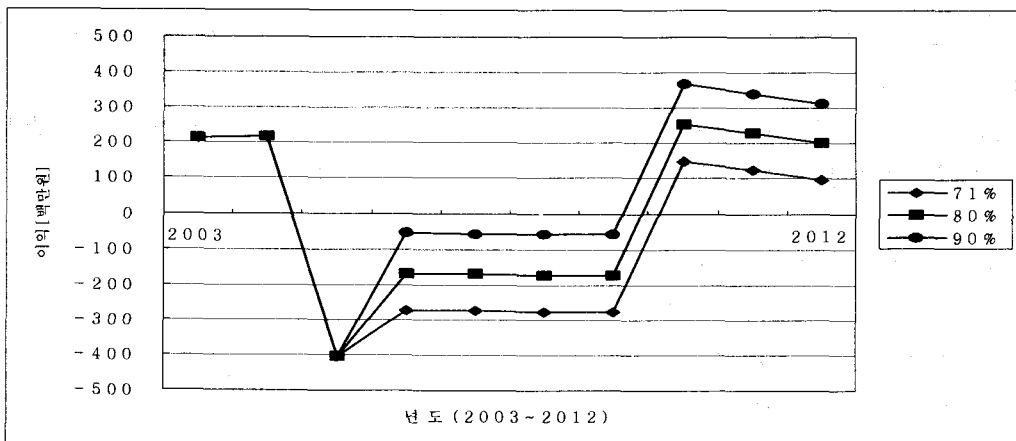
② 발전기 가동률 90%의 경우

향후 10년 동안의 총 발전매출액에서 발전원가(운영비+감가상각비+금융비용)를 차감해주면 826,167,000원의 이익을 예상할 수 있어, 장기적으로 볼 때 2012년까지의 최종 이익은 흑자로 나타났다. 앞서의 경우와 마찬가지로 2003년과 2004년의 이익금 430,180,000원으로 2005년에 납부해야 할 대출금의 상환은 가능하나, 2006년부터 향후 4년간은 역시 상환금액의 부족이 발생되어 자금운용에 차질이 나타날 수밖에 없을 것이다. 그러나 발전기의 가동률이 사업 초기에 계획했던 수준에 버금가는 90%에 도달할 경우, 대출원금의 상환 이후에 기대되는 이익을 예상하여 부족한 상환금액의 대출전환이나 추가적인 자금조달 등을 통해 운영의 묘를 꾀할 수 있을 것이다.

③ 발전기 가동률에 따른 종합적 분석

<그림 4-1>은 발전기 가동률에 따른 민감도 분석의 내용을 하나의 그래프에 종합적으로 표현해본 것이다. 발전기 가동률에 관계없이 이익곡선의 형태는 님은꼴 모습을 보이고 있다. 향후 10년간의 발전 추이는 앞에서 언급했듯이 2005년부터 2009년까지의 경우 차입금에 대한 금융비용 발생으로 적자를 면치 못하고 있으나, 가동률이 상향 될수록 적자의 폭이 줄어들고 있어 다른 조건이 일정하다는 전제하에서는 가동률의 상향에 배전의 노력을 기해야 할 것이다.

<그림 4-1>발전기 가동률에 따른 민감도 분석



#### 4. 전기 판매단가에 따른 수지분석

본 절에서는 발전기의 가동률을 합리적 수준인 최근 3년간의 가동률 71%로 고정된 뒤, 수지분석을 추정해보기로 한다. 운영비와 감가상각비 및 금융비용은 발전기 가동률을 토대로 한 분석의 조건과 동일하게 보았으며, 이익의 민감도 분석을 위해 발전판매단가의 변환을 시도하여 보았다. 여기에서, 발전기 가동률 71%는 2[MW]기준에서 부하율을 100%로 산정하였음을 밝혀둔다.

※ 전제조건:

- ▶ 운영비 : 최근 3년간 평균에서 매년 5%상승
- ▶ 감가상각 : 2,502,480[천원]에 대한 20년 정액법으로 산정
- ▶ 금융비 : 원금 2,260,000[천원]에 대한 원금과 이자(년4.34%)  
3년 거치 5년 상환(추가적인 금융비용 제외)
- ▶ 발전원가 : 운영비, 감가상각, 금융비의 합계
- ▶ 발전매출 : 최근 3년간의 평균매출을 기준으로 계산
- ▶ 발전출력 : 2[MW]기준에서 부하율 100[%] 산정
- ▶ 2006년 이전의 운영 및 발전매출은 실제 자료를 근거로 한다.

##### (1) 전력 판매단가에 따른 수지분석

매립가스를 활용하여 생산한 전력판매단가는 현재 1[kWh]당 65.2원으로 국가에서 보장하여 주고 있다. 전력판매단가의 변화에 따른 수지분석 내용이 <표 4-6>이다.

2003년의 실질 발전기 가동률은 77.4%로 나타났지만, 최근 3년간의 평균 가동률 71%를 토대로 2012년까지의 수지분석을 시도했다. 현행 전력판매단가인 65.2원의 경우, 10년간의 총 발전매출액에서 총 발전원가를 차감하면 697,915,000원의 적자가 발생하는 것으로 나타났다.

<표 4-6> 전력판매단가에 따른 수지분석

단위 : [천원]

항목	발전원가			판매단가 65.2원		판매단가 75원		판매단가 85원	
	운영비	감가상각	금융비용	발전매출	수지	발전매출	수지	발전매출	수지
2003년	468,075	125,124	75,741	883,862	214,922	883,862	214,922	883,862	214,922
2004년	387,918	125,124	98,084	826,384	215,258	826,384	215,258	826,384	215,258
2005년	461,723	125,124	537,006	720,796	-403,057	720,796	-403,057	720,796	-403,057
2006년	439,239	125,124	517,389	810,348	-271,404	932,940	-148,812	1,057,332	-24,420
2007년	461,201	125,124	497,773	810,348	-273,750	932,940	-151,158	1,057,332	-26,766
2008년	484,261	125,124	478,156	810,348	-277,193	932,940	-154,601	1,057,332	-30,209
2009년	508,474	125,124	452,000	810,348	-275,250	932,940	-152,658	1,057,332	-28,266
2010년	533,898	125,124		810,348	151,326	932,940	273,918	1,057,332	398,310
2011년	560,593	125,124		810,348	124,631	932,940	247,223	1,057,332	371,615
2012년	588,622	125,124		810,348	96,602	932,940	219,194	1,057,332	343,586
합 계	4,894,004	1,251,240	2,656,149	8,103,478	-697,915	8,961,622	160,229	9,832,366	1,030,973

(2) 전력판매단가의 민감도분석

① 판매단가 75원의 경우

발전기 가동률을 71%로 고정한 뒤 현재의 매립가스 전력보장단가를 65.2원에서 9.8원이 오른 75원으로 상향 조정했을 경우의 수치분석 결과에 따르면, 앞서 살펴본 발전기 가동률 80%때 보다 높게 나왔다. 2012년까지의 발전매출은 8,961,622,000원으로 예상되며 발전원가는 8,801,393,000원으로, 이에 따른 이익은 160,229,000원에 이르렀다.

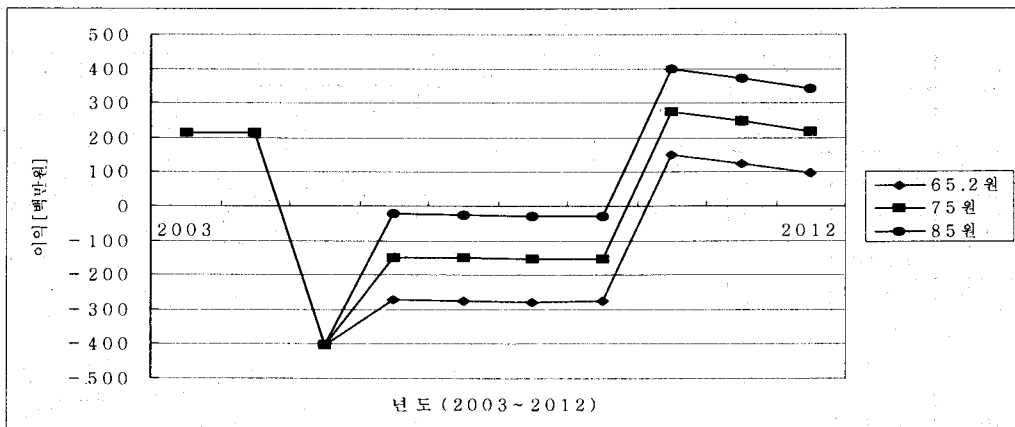
② 판매단가 85원의 경우

발전기의 가동률을 71%로 고정한 뒤, 전력판매단가를 85원으로 가정하여 수치분석을 예상해 본 결과, 2003년과 2004년의 수지는 430,180,000원으로 2005년과 2006년의 수치 적자분의 대하여 탕감할 수 있으나 2007년에서 2009년까지의 수치 적자는 약 85,000,000원으로 나타났다. 따라서 전력 판매단가를 현재의 65.2원에서 85원으로 상향 조정한다 하더라도 2005년부터 발생하는 차입금에 대한 금융비용의 증가로 경영에 어려움이 있을 것으로 분석되었다. 그러나 2010년부터는 차입금에 대한 금융비용이 발생되지 않아 발전원가 대비 60%의 이익이 발생되어 매립가스 발전소를 10년 이상 운영한다면 더 많은 이익이 발생될 것으로 판단된다.

③ 전력판매단가 변화에 따른 종합적 분석

다음 <그림 4-2>는 전력판매단가 변화에 따른 민감도 분석 내용을 하나의 그래프로 정리한 것인데, 발전기 가동률에서와 같이 수익곡선의 형태는 비슷한 모습을 보여주고 있다.

<그림 4-2> 전력판매단가 변화에 따른 민감도 분석



여기서 한 가지 주목할 만한 사실은 2005년부터 2009년까지의 경우 차입금 상황에 따른 금융비용의 발생으로 적자를 나타내고 있다는 사실이다. 그러나 전력 판매단가를 85원으로 상향 조정하면 흑자를 예상할 수 있으므로 전력판매 단가의 적정선을 체계적으로 분석하여 최선의 가이드라인을 계획하고 준비해야 할 것이다<sup>4)</sup>.

신·재생에너지이용 발전전력의 기준가격 지침을 개정 고시한 산업자원부의 최근 발표에 따르면, 고정요금과 변동요금체계를 적용기간 중 1회에 한하여 변경할 수 있는 탄력적 선택권을 부여하여 해당 발전운영사업소의 형편에 따라 유리한 요금체계를 선정하도록 했다. 이에 따른다면 장기운영을 전제할 경우 발전차입금 상황에 의한 금융비용의 어려움을 상당부분 흡수할 수 있어 전력판매 단가의 유연성으로 경영상의 애로요인을 수월하게 해결할 수 있을 것으로 사료 된다<sup>5)</sup>.

- 4) 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법 제17조, 전기사업법 제49조, 타 에너지 지원사업 운영요령(산업자원부 고시 제2002-034호) 제4조 및 제10조의 규정에 의한 「신·재생에너지이용 발전전력의 기준가격지침」(산업자원부 공고 제2002-108호, 2002.5.29, 2002.9.26 고시전환, 2003.10.9, 2004.10.19 개정)을 개정·고시한 산업자원부 고시 제2006-89호에 따르면, 신·재생에너지이용 발전전력의 기준가격 지침이 LFG 200MW 미만의 경우, 고정요금으로 기준가격(원/kWh)인 74.99원 또는 선택요금으로 SMP+10으로 조정된다고 한다.
- 5) 신·재생에너지이용 발전전력의 기준가격 지침이 발표되는 2006년 10월 11일 이후의 적용대상 전원의 적용기준 및 기준가격(<별표 1>)의 내역은 다음과 같다:

전원	적용설비용량기준	구 분		기준가격(원/kWh)		비고	
				고정요금	변동요금		
태양광	3kW이상	30kW이상		677.38	-	감소율 4% (3년 이후)	
		30kW미만		711.25	-		
풍력	10kW이상	-		107.29		감소율 2% (3년 이후)	
수력	5MW이하	일반	1MW이상	86.04	SMP+15		
			1MW미만	94.64	SMP+20		
		기타	1MW이상	66.18	SMP+ 5		
			1MW미만	72.80	SMP+10		
폐기물 소각 (RDF 포함)	20MW이하	-			SMP+ 5	화석연료 투입비율 : 30%미만	
바이오 에너지	LFG	50MW이하		20MW 이상	68.07		SMP+ 5
		20MW 미만		74.99	SMP+10		
	바이오 가스	50MW이하		150kW 이상	72.73		SMP+10
		150kW 미만		85.71	SMP+15		
바이오 매스	50MW이하	목질계 바이오		68.99	SMP+ 5		
해양 에너지	조력	50MW이상	최대조차 8.5m이상	방조제유	62.81		
				방조제무	76.63		
			최대조차 8.5m미만	방조제유	75.59		
				방조제무	90.50		
연료전지	200kW이상	바이오가스 이용		234.53		감소율 3% (2년 이후)	
		기타연료 이용		282.54			

## V. 결 론

매립된 폐기물의 분해과정에서 생성되는 부산물로서 악취 내지 환경오염을 유발하는 유해한 가스로 여겨지던 매립가스를 대체에너지 자원으로 이용하려는 시도는 아직 유아기에 처해있다고 볼 수 있다. 매립가스의 발열량이  $5,000\text{kcal}/\text{m}^3$  정도에 이르면 에너지원으로서의 활용 가치가 탁월해지는데, 최근 지구온난화에 대한 논란이 대두되면서 매립가스의 회수 필요성이 더욱 강조되고 있는 실정이다.

본 연구를 위해 선정된 매립지는 가스엔진발전기를 활용하기에 충분한 메탄농도 52.7%이고 포집량 또한 상황에 따라 다소의 차이가 있지만, 최소  $16.88[\text{m}^3/\text{min}]$ 에서 최고  $18.97[\text{m}^3/\text{min}]$ 으로 2[MW]급의 가스엔진발전기를 운영하기에는 문제가 없었다. 2002년 5월30일 준공되어 운영 중인 포항 호동 LFG발전소의 최근 3년간의 발전기 가동률은 71%를 기록하였으며, 발전매출액에서 운영비와 설비의 감가상각 및 금융비용을 합한 총 발전원가를 차감하고 최근 3년간 27,123,000원의 이익을 창출하였다. 하지만 현 발전소의 가동률과 정부에서 보장해주는 발전전력단가 65.2원으로는 차입금을 상환하고 발전소를 운영하는데 필요한 제반 운영경비를 감당하기가 너무 벅찬 것으로 분석 되었다.

경영의 효율화를 꾀하기 위해 향후 10년간의 발전소 운영을 예상하고 그에 따른 수익과 비용을 대비한 수치분석의 민감도분석을 가동률 중심으로 시행해본 결과, 발전전력단가 65.2원과 발전기 가동률 71%에서도 적자로 나타났다. 발전 가동률을 90%로 가정했을 경우 전체적으로 봤을 때 2012년에 826,167,000원의 흑자가 예상되지만, 여기에는 대출금의 상환 연장으로 인한 추가적 금융비용은 제외되었다. 한편, 가스엔진발전기는 내연기관이므로 가동시간에 따른 정비시간이 소요되고 노후에 따른 설비의 정비시간을 추산한다면 발전기의 가동률을 90%로 유지하기에는 어려움이 뒤따를 것으로 여겨진다.

이에 따라 향후 전력판매단가가 상향 조정될 것으로 가정하고 발전기 가동률을 71%로 고정시킨 뒤 전력판매단가의 변화에 따른 민감도분석을 시행해본 결과, 전력판매단가를 85원으로 봤을 때의 이익이 발전기 가동률을 90%로 예상했을 때보다 더 높게 나타났으며, 향후 10년간의 예상 수지는 1,030,973,000원으로 흑자가 예상 되었다. 따라서 현재의 전력판매단가 65.2원이 변하지 않을 경우 가스엔진발전소를 운영하기 위해서는 가동률을 90%이상으로 유지시켜야 사업의 타당성이 있는 것으로 분석이 되었다. 또한 발전기의 가동률을 71%로 가정하고 전력판매단가의 변화를 피하게 되면, 전력판매단가가 최소한 85원 이상이 되어야 발전소 운영에 어려움이 없을 것으로 판단이 된다.

현재 우리나라의 매립가스자원화 실태는 가스엔진을 이용한 전력생산이 대부분을 차지하고 있는데, 중질가스와 고질가스의 활용도 병행하여 진행 중에 있다. 가스엔진을 이용한 발

전의 수입은 전력생산을 통한 전력판매대금이 전부이고, 교토의정서에서 논의 중인 CDM과 연계하여 메탄가스 감량으로 인한 배출권거래 가격의 추가적 수입이 없다면 가스엔진발전소의 운영비 부담이 가중되어 발전소의 유지 및 발전이 어려울 것으로 여겨진다.

최근 산업자원부 고시에 의하면 대체에너지에 대한 발전전력 기준가격이 인상되는 것으로 나타나고 있다. 즉, 2006년 10월 11일 이후부터 적용받는 전력단가에서 LFG를 활용한 20[MW] 미만의 발전설비의 전력요금단가를 74.99원 또는 SMP + 10원으로 상향조정하여 발전소 운영에 긍정적인 지원정책이 구현될 예정이다. 이처럼 에너지로서의 활용가치가 충분한 매립가스를 이용한 사업은 자원 재활용이라는 미래지향적인 지속가능 개발의 경제 내지 사회적 효용원칙 차원에서라도 유관 기관의 인센티브 및 추가적인 지원정책에 의해 계속적으로 이루어져야 하리라고 사료된다.

## 참고문헌

- 김원형 (2003), "미국의 매립지 가스사업 동향", 「환경기술정보」, pp.22-27.
- 김홍균 (2001), "매립가스 자원화 방법별 경제성 분석", 「서강경제논집」, 30권 2호, pp.213-237.
- 김종국, 오준택, 황종식 (2003), "LFG활용 공정에서 포집설비의 중요성에 관한연구", 「한국폐기물학회지」, 제20권 제5호, pp.529-536.
- 신총식 (2001), 청주매립지에서 발생하는 메탄가스 자원화사업에 대한 타당성 조사, 「한양대학교 석사학위논문」, pp.6-14.
- 송효순, 박상철, 이영상, 장 근, 이성호 (2002), "난지도 매립장의 매립가스 자원화 사례 연구", 「한국폐기물학회/춘계학술연구회발표논문집」, pp.77-81.
- 이태규 (2000), 「21세기 대체가능한 신재생에너지 기술탐색」, 한국에너지기술연구소
- 이창언, 오준석, 정익산, 오창보, 이인대 (1999), "LFG활용을 위한 연소특성 검토", 「KOSCO SYMPOSIUM 논문집」, pp.21-29.
- 이정전 (2001), 「국내의 매립가스를 활용한 발전사업 및 향후전망」, 한국폐기물학회
- 이상봉, 이정전, 차명철 (1996), "난지도 매립지 가스추출 특성에 관한연구", 「한국폐기물학회지」, 제13권 제1호, pp.55-63.
- 이정전, 정일현 (1988), "PC를 이용한 매립지의 Gas 발생량 해석에 대한 실험적 연구", 「한국폐기물학회지」, 제5권 제1호, pp.61-66.
- 이우범, 이정전, 박종혁 (1999), "매립지 Gas 발생량 예측모델 개발", 「한국폐기물학회지」, 제16권 제5호, pp.423-433.
- 이덕생, 안종수, 김수생 (1994), "쓰레기 매립장의 LFG포집, 정제, 활용에 따른 최적화 개발에 관한연구", 「한국폐기물학회지」, 제11권 제4호, pp.602-608.
- 이동훈, 서동천 (2000), "기상조건에 따른 매립가스추출량의 변화", 「한국폐기물학회지」, 제17권 제4호, pp.465.
- 유호원 (2001), "산간/계곡 매립지에 적합한 매립구조 개량형 준호기성 위생매립 공법", 「한국폐기물학회지」, 제18권 제5호, pp.490-501.
- 산업자원부 (2006), "신·재생에너지이용 발전전력의 기준가격지침", 고시 제2006-89호.
- 현대환경연구소 (2002), "메탄, 심각한 지구온난화 가스로 부각", 「환경과학」.
- 환경부 (2001), 「매립가스 자원화사업의 CDM 사업으로서의 활용방안 연구」.
- 환경부 (2000), 「메탄가스를 이용한 발전설비」, 동문I.R.S(주), 한국기계연구원.
- 환경부 (2000), 「수도권매립지 매립가스 자원화사업 타당성조사 및 기본계획보고서」,



환경관리공단.

- 환경부 (2000), 「청정개발체제를 통한 온실가스 저감 공동사업 추진 타당성조사」.
- Jenbacher (2002), 「JGC 320 GS-LL 운전지침서」.
- Dekkers, C. (2005): Integrating NOx-Co2 Emissions trading in the Netherlands, Lessons learned.
- Gordon, Pamela (2001): Lean and Green - Profit for Your Business and the Environment.
- Horrocks, P. (2005): EU F-Gases Proposal.
- KBCSD (2005): Corporate and Public Policies to Promote Green Growth.
- Lefevere, J. (2005): Greenhouse Gas Emissions Trading in the EU.
- Nattrass, Brian/Altomare, Mary (1999): The Natural Stop for Business-Wealth, Ecology and the Evolutionary Corporation, New Society Publishers.
- Schumacher, M. M. Ed. (1983): Landfill Methane Recovery, Noyes Data Corporation, PP.433-470.

## A Study on Profitability of Power Plant for Landfill Gas

Kim, Oh-Woo · Lee, Jeong-II

### Abstract

Landfill gas is a mixture of methane and carbon dioxide produced by the bacterial decomposition of organic wastes, and it is considered to produce bad smells and pollute the environment. Economic trials and the developments of landfill gas, as an alternative energy resource, become known at the recent years. Resource development of landfill gas, which is managed by Korea up to now, is for the most part generation using gas engine. Medium BTU and High BTU are considered for the power generation as well. Most income of generation using gas engine is selling charge through a power plant. Expecting to manage the power plant for up to 10 years, the analysis based on revenue and expenditure shows when the unit price is 65.2 Won and the operating rate reaches 90%, it is possible to be into the black in 2012 without considering additional financial expense. It was also analyzed that the profit at a unit price of 85 Won under the anticipated rising unit price by the operating rate of 71% is larger than at the operating rate of 90% under limited unit price of 65.2 Won. It means to manage the power plant at a unit price of 65.2 Won and the operating rate must be higher than 90% for economic logicity. If we assume that the operating rate is 90% and it increases the unit price, the unit price must be higher than 85 Won for the management of a power plant. Analysis of changing a unit price, however, might be expected to have a gradual rise of prices. If there is no price rising and additional income related to CDM(Clean Development Mechanism) and emission trading upon Kyoto protocol, the management of a power plant using gas engine will get financial difficulties because of many operating expenses. However, since landfill gas is considered as a worthy energy resource for the guarantee of sustainable development and for the equity between recent generation and future generation, the development of it must be accomplished by the government's additional supporting and efforts under the interest of all stakeholder who are involved.

<Key Words> landfill gas, alternative energy resource, gas engine, unit price of power plant, operating rate of power plant, sustainable development