

# 30kW급 LFG 가스터빈 발전용 연료화 정제시스템 개발

허광범\*, 박정극, 임상규, 이정빈

## Development of Fuel Conditioning System for 30 kW-class LFG Gasturbine Power Generation

Kwang-beom Hur\*, Jung-keuk Park, Sang-gyu Rhim, Jung-bin Lee

### Abstract

Biogas is a carbon neutral energy and consists of mostly methane and carbon dioxide, with smaller amounts of water vapor, and trace amounts of H<sub>2</sub>S, Siloxane and other impurities. Hydrogen sulfide and Siloxane usually must be removed before the gas can be used for generation of electricity or heat. The goals of this project are to develop the Fuel conditioning system of Land Fill Gas for 30kW-Micro Gas Turbine co-generation system. The fuel conditioning system mainly consists of H<sub>2</sub>S removal system, Land Fill Gas compressor, Siloxane removal system and many filtering systems. The fuel requirement of 30kW MGT is at least 32% of CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S (<30 ppm), Siloxane (<5ppb) and supply pressure (> 0.6 MPa) from LFG compressor. Main mechanical characteristics of Micro Gas Turbine system by using LFG have the specific performance; 1) high speed turbine speed (96,000 rpm) 2) very clean emission NO<sub>x</sub> (<9 ppm) 3) high efficiency of energy conversion rate. This paper focuses on the development of design technology for LFG fuel conditioning system. The study also has the plan to replace the fuel of gas turbine and other distributed power systems. As the increase of Land Fill Gas (LFG), this system help to contribute to spread more New & Renewable Energy and the establishment of Renewable Portfolio Standards (RPS) for Korea.

### Key words

Land Fill Gas (매립지 가스), Gas Turbine(가스터빈), H<sub>2</sub>S Conditioning System(탈황시스템), Design development(설계 개발) Renewable Portfolio Standards(신재생에너지 의무발전비율)

(접수일 2010. 1. 12, 1차 수정일 2010. 2. 1, 2차 수정일 2010. 2. 8, 게재확정일 2010. 2. 8)

\* 한국전력공사 전력연구원

■ E-mail : kbhur5798@gmail.com ■ Tel : (011)852-5619 ■ Fax : (042)865-5679

## 1. 서론

정부의 신재생에너지 보급 확대 정책에 따른 대응책 마련과 화석에너지의 고갈 및 기후변화협약으로 인하여 바이오 에너지에 대한 관심이 높아지고 가운데, 기존의 에너지 패러다임에 대한 변화가 불가피한 실정이다.

우리나라의 총 1차에너지 대비 신재생에너지공급 비중은 2005년 기준 2.13%로 '04년 세계 평균 16.7%에 많이 뒤쳐지는 상황이어서, 정부에서는 '02년 『대체에너지 개발 및 이용 보급 촉진법』에 따라 2011년까지 신재생에너지 보급률을 5%로 높일 계획이고 이와 함께 발전차액 보존 제도와 Renewable Portfolio Standards(RPS, 신재생에너지발전 의무발전비율)

를 동시에 운영할 계획에 따라, 전력회사에서는 발전회사별로 신재생에너지 이용 발전 시스템에 대한 방안으로서, 다양한 수요 분산거점에 전전후 설치하여 전력 및 냉난방 열을 생산, 안정적으로 공급하는 방법으로서 신재생 바이오 에너지를 이용한 분산형 소형 가스터빈 열병합 발전시스템의 기술 개발 및 보급활성화를 들 수 있다. 이는 특히 대규모 발전소 건설에 따른 부담과 송전/열수송 손실을 줄일 수 있는 안정적인 신전원이라 할 수 있다<sup>(1-4)</sup>.

본 논문에서는 국내외 매립지 가스를 이용한 가스터빈 발전시스템에 적용할 최적의 핵심 연료화 시스템의 설계 기술을 분석하고 제작을 위하여 필수적인 국내외 기술개발 동향과 설계 변수 및 공정설계내용을 분석함으로써, 매립지 가스 연료화 시스템을 설계개발 하고자 한다.

## 2. 기술개요 및 동향분석

### 2.1 LFG 가스 발생원리

매립지 바이오가스는 유기물의 혐기성 소화를 이용한 것으로서 이 현상은 산소가 존재하지 않는 자연계(예를 들면 물

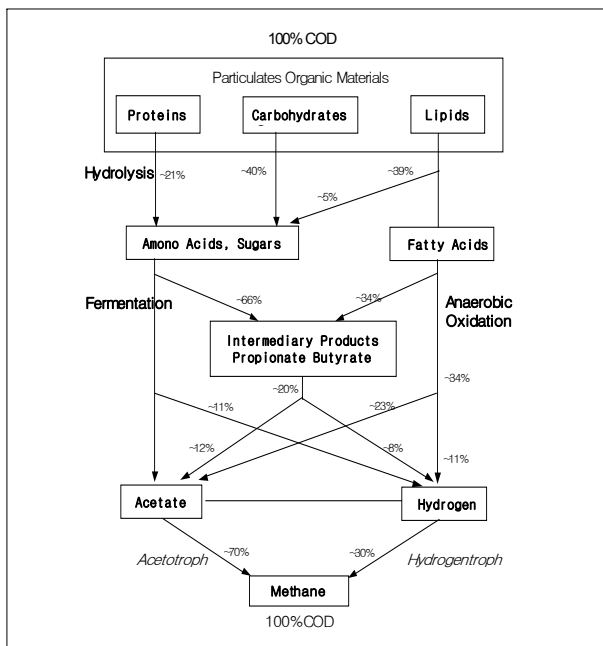


Fig. 1 Mechanism of Anaerobic Digestion<sup>(5)</sup>

속)에서 유기물이 가수분해, 소화되면서 유기산, 메탄가스와 암모니아 등으로 순차적으로 분해되는 과정을 말한다.

Fig. 1에 나타난 것과 같이 혐기성 미생물에 의한 유기물질의 대사반응은 (1) 가수분해단계(Hydrolysis) (2) 산생성 단계(Acidification) (3) 메탄생성 단계(Methanation)의 3단계를 거쳐서 메탄이 생성된다<sup>(1)</sup>. 생성된 H<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>는 수소이용 아세트산 생성균에 의하여 생성된다. 마지막 단계에서 H<sub>2</sub>는 CO<sub>2</sub> 환원성 메탄 생성균에 의하여 메탄이 발생하며 메탄발효에 가장 중요한 중간 대사물질인 아세트산 이용 메탄 생성균에 의하여 메탄이 발생된다<sup>(6)</sup>.

### 2.2 연료화 시스템 기술 동향

신재생에너지 중 LFG 가스를 이용한 가스터빈 열병합 발전시스템의 최적화를 위하여 연료화 전처리 시스템 기술개발 및 적용을 추진하고 있다. Fig. 2에서는 미국 LA Calabasas 매립지에 설치된 마이크로 가스터빈용 연료화 전처리시스템을 보여주고 있다. 이 시스템은 바이오 가스내 포함된 불순물인 황화수소(H<sub>2</sub>S), 실록산(Siloxane), 수분 등을 제거하는 정제시설과 바이오 가스를 압축해 주는 압축기 및 냉각기 등으로 구성되어 있다<sup>(7,8)</sup>.

LFG 가스내 다량 포함된 황화수소는 본 논문에서 개발적용하려고 하는 마이크로 가스터빈 발전시스템에 치명적인 손상을 유발할 수 있는 물질이다. 황화수소 흡수를 통한 제거기술에는 물리흡수법과 화학적 흡수법이 있다. 물리흡수법(Physical Absorption)의 흡수액으로는 물, selexol등을 사용하여 흡수효율 증대를 위해 고압조건하에서 흡수하며 용해



Fig. 2 매립지가스 연료화 전처리시스템(미국 LA Calabasas Landfill)<sup>(7,8)</sup>

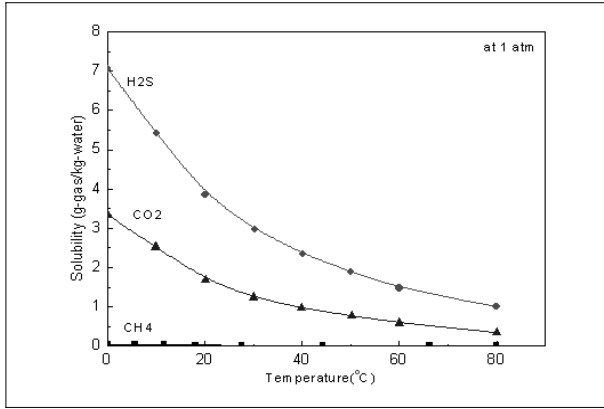


Fig. 3 Graph of H<sub>2</sub>S & CO<sub>2</sub> Solubility effect according to Temperature<sup>(10,11)</sup>

성분의 탈리가 용이해 air stripping을 사용한다.

화학흡수법(Chemical Absorption)은 흡수액으로 NH<sub>4</sub>OH, Amine(MEA)등을 사용하며 화학반응을 이용하므로 대기압 조건하에 흡수되며 용해성분의 탈리를 위해 steam stripping을 사용한다.

### 2.3 적용처 분석<sup>(12)</sup>

본 30kW급 마이크로 가스터빈 발전용 연료화 시스템이 설치된 광주광역시 남구 위생매립장은 관할구역안에서 발생되는 1일 500여톤의 폐기물을 위생적으로 매립처리하고 있으며 2005년 1월부터 폐기물을 반입하여 운영하고 있다. 상기 매립장의 중요한영시설은 침출수 처리시설, 방제조정지,



Fig. 4 LFG 연료화 시스템 적용처(광주광역시 남구 위생매립장)

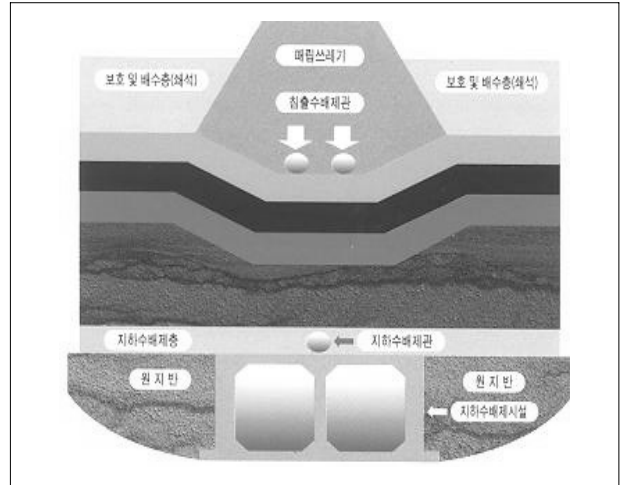


Fig. 5 광주시 매립장 단면도(광주광역시 남구 위생매립장)

3중차수시설 등으로 구성되어 있으며 매립지 단면도는 아래와 같다.

## 3. 연료화 시스템 공정설계

### 3.1 발전시스템 연료조건 및 성능

마이크로 가스터빈의 연료 요건 기술 참고자료 에 따르면 가스 연료의 물리적 성질과 요구되는 연료 조성을 제시하고 있다. 이들 요구 조건들이 모두 중요하고 관찰되어야 하고 바이오가스와 관련된 가장 중요한 제한 조건은 다음과 같이 기술될 수 있다<sup>(7,8)</sup>.

- 연료 온도는 연료 연결부와 마이크로 가스터빈 연료 주입구와 연료 매니폴드 부 사이의 시스템 모든 부분에서 연료의 이슬점보다 10°C 이상 되어야 한다.
- 발열량(평균 고위발열량, HHV)는 최소한 13.04MJ/m<sup>3</sup> (350Btu/ft<sup>3</sup>)은 되어야 한다. 필요할 경우 기준치 이하의 발열량을 갖는 바이오가스는 마이크로 가스터빈에서의 발전을 위해 천연가스와 혼합할 수 있다.

실록산(Siloxane)의 존재에 관한 제한 조건은 쓰레기 매립지 가스와 폐수처리장에서의 바이오 가스에서 주로 발생이 된다. 실록산은 부피비로 최대 5ppb로 제한되어야 하고 이는 감지할 만한 수준의 실록산이 연료에 포함되지 않아야 한다는 것을 의미한다.

Fig. 6은 시스템 상에서 실록산의 생성 전과 후를 비교한 그림으로 실록산이 시스템에 존재하게 되면 배관이나 공정흐름을 방해하는 절대적인 요소가 되어 전체 시스템에 영향을 주게 되므로 바이오가스 전처리 시스템에서 실록산 제거는 반드시 수행되어야 할 과정이다.

### 3.2 MGT 발전시스템 구성

Fig. 7에서는 마이크로 가스터빈의 핵심부품 구조를 보여 주고 있다. 마이크로 가스터빈의 구동과정을 보면 우선 시동 신호에 의해 전류가 공급되면 발전기가 모터역할을 하며 축을 회전시키고 동일 축상의 압축기도 회전하며 공기를 빨아 들여 압축시킨다. 압축된 공기는 재생기(recuperator)를 거치며 배기가스와의 열교환을 통해 고온의 압축공기로 변환되고 연소기로 들어가 인젝터에서 분사되는 연료와 혼합된 후

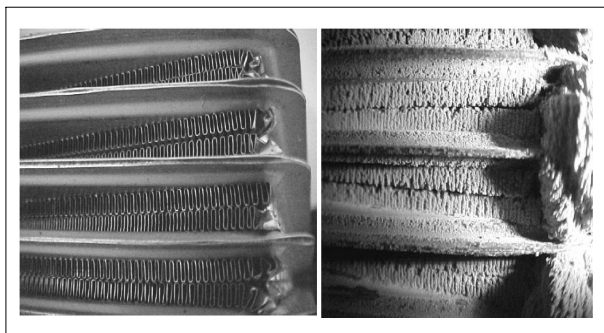


Fig. 6 실록산 생성 전후 비교<sup>(8)</sup>

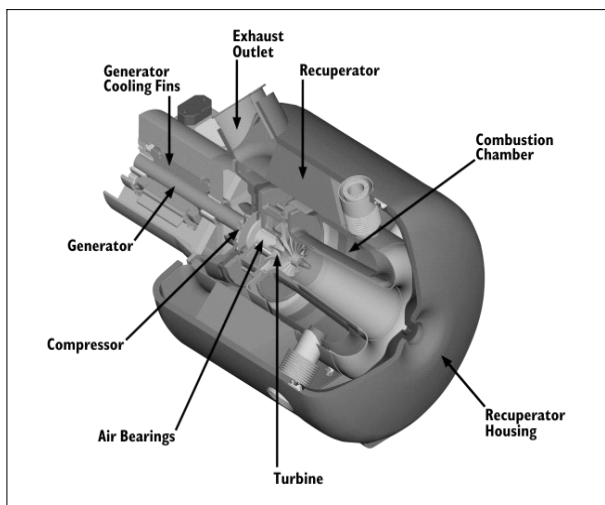


Fig. 7 Schematic diagram of MGT core<sup>(8)</sup>

Igniter에서 발생된 불꽃에 의해 연소된다. 연소된 배기가스는 터빈을 거쳐 축동력으로 변환되고 축동력은 발전기를 회전시키며 전기에너지를 생성한다. 모든 과정을 마치고 연소로를 나온 배기가스는 재생기를 거치며 흡입공기와 열교환을 거친 후 배기구를 통하여 대기중으로 배출된다. 부하조정은 연소로의 온도센서가 배출가스온도(TET)를 측정하여 인젝터에 공급되는 연료의 양 조정으로 이루어진다<sup>(15,16)</sup>.

전처리 시스템은 19.5~40Nm<sup>3</sup>/hr의 가스 유량 범위내에서 마이크로 가스터빈에 연료를 공급하게 되는데 가스 유량은 CH<sub>4</sub>의 함량과 밀접한 관계를 가지고 있다.

### 3.3 연료화 시스템 공정설계

본 설비는 매립지가스를 마이크로 가스터빈 발전용 연료화하는 기능을 하는 설비로 황화수소 제거시스템, 수분 제거기, 압축기, 칠러, 열교환기, 실록산 제거시스템, 계측 장치, 배관 및 피팅류 등 세부 장치로 이루어져 있다. 연료화 시스템의 주요 설계인자로는 기본 공정조건과 각 세부시스템의 구조로 표시할 수 있으며 기본공정 설계인자로는 매립지 가스 온도, 압력, 유량, 흡착제 성능 등이고 구조인자로는 불순물 제거시스템별 내부 구조, 높이, 직경으로 표시된다.

본 연구에서 설계 제작된 마이크로 가스터빈용 매립지가스 연료화 시스템 최종 출구에서 배출되는 가스는 Table 2에서 명시하는 주요 가스 조건을 반드시 만족시킬 수 있어야 한다.

매립지가스에 포함된 H<sub>2</sub>S를 내부 충전물의 흡착으로 제거하는 제거 장치로, 수분 또는 H<sub>2</sub>S 그리고 외부 환경에 의해서도 부식이 일어나지 않는 재질로 이루어지며 외부 도장 작업 또한 적절히 수행되어야 한다. 저압의 매립지가스를 마이크로 로터빈에 적용될 수 있는 압력인 0.65MPa 이상의 압력으로 압축시켜주는 장치로 적용되는 제품은 안정된 출구 압력의 구현이 가능하여야 하고 유지·보수가 용이하며 매립지가스

Table 1 마이크로 가스터빈용 매립지가스 정제 / 전처리 시스템 최종 출구 가스 설계기준

-	Performance
H <sub>2</sub> S concentration	under 30 ppm
Siloxane concentration	under 5 ppb
NH <sub>3</sub> concentration	under 30 ppm
Pressure	Above 0.6MPa

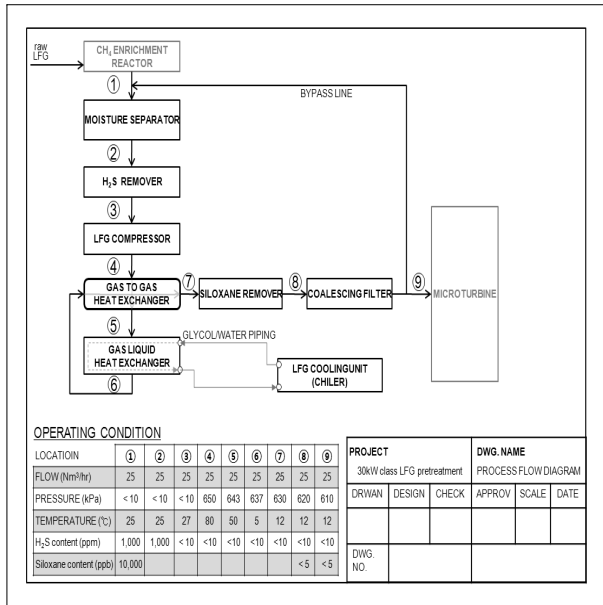


Fig. 8 마이크로 가스터빈용 매립지 가스정제 / 연료화 시스템 공정설계도

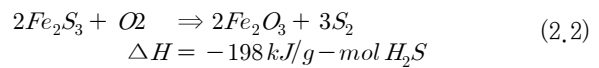
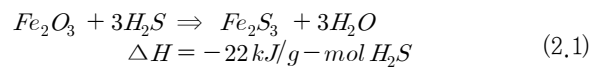
에 의한 유탄유 오염이 최소화 되는 제품이어야 한다 매립지 가스에 포함된 Siloxane을 내부 충전물의 흡착으로 제거하는 제거 장치로, 수분 또는 H<sub>2</sub>S 그리고 외부 환경에 의해서도 부식이 일어나지 않는 재질로 이루어지며 외부 도장 작업 또한 적절히 수행되어야 한다<sup>(17-19)</sup>. Fig. 8은 바이오가스 연료화 전처리시스템 개략도에서는 매립지 가스 전처리시스템 및 이를 통한 소형열병합발전시스템까지의 전체적인 공정을 나타낸다.

### 3.4 LFG가스 연료정제 메커니즘<sup>(20)</sup>

매립지 가스의 연료화에는 고체 흡착제를 사용하여 건식탈황공정이라고도 하며 황화수소등을 선택적으로 흡착하는 공정이 필요하다. 흡착탑은 하향 또는 상향 흡착탑으로 모든 흡착공정과 같이 연속적인 처리공정을 가지는 semi-batch type과 점차적으로 흡착질로 포화되는 고정층 흡착탑이 사용되고 있다. 이와 같은 건식 탈황공정은 흡착제를 재생할 수 없으며 기대수명이 비교적 짧아서 대규모 탈황에는 적용되지 않는다. 그러므로 소규모의 발효공정이나 매립장등에서 발생하는 바이오가스 정제에 사용되고 있다<sup>(20)</sup>. 흡착제종류에 의하여 다음과 같이 분류할 수 있다.

#### 3.4.1 산화철 흡착기술<sup>(20)</sup>

산화철을 포함한 우드칩을 사용하여 황화수소와 머캡탄만을 선택적으로 흡착 제거한다. 주요 활성성분은 알파와 감마 결정구조를 가지고 있는 수산화산화철(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)이며, 소량의 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · FeO)가 활성에 기여한다. 산화철스폰지의 등급은 100, 140, 190, 240, 320kg Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>으로 나누어지며, 일반적으로 190kg Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>가 가장 많이 사용되고 있다. 산화철에 의한 황화수소의 흡착 화학반응식은 다음과 같다.



식(2.1)에서 보는 바와 같이 1kg의 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 양론적으로 0.64kg의 H<sub>2</sub>S를 제거한다. 식(2.2)에서는 공기 중 산소를 공급하여 산소와 반응하게 되면 높은 발열이 발생하면서 단체황이 형성되면서 산화철(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)이 재생된다.

#### 3.4.2 활성탄 흡착기술<sup>(21)</sup>

활성탄은 입자 하나 하나에 잘 발달된 무수한 미세공으로 이루어진 무정형의 탄소의 집합체이며 그 미세공(Micro Pore, Transitional Pore, Macro Pore)은 상호 연결되는 무수한 통로로 구성되어 넓은 내부표면적을 갖고 있다. 이 표면적은 상대분자 크기에 따른 세공의 크기의 적합성과 함께 활성탄의 생명인 흡착능력을 좌우하게 되며 활성탄소 1g은 1,000 ~ 1,600m<sup>2</sup>의 대단히 넓은 표면적을 갖고 있으며 세공의 분포는 10Å의 세공구조를 주로 하여 150,000Å로 존재하는 해면상의 다공질이다. 활성탄은 분말상, 파쇄상 및 조립상이 있으며 Fig. 9에서 보여주고 있다. Table 2에서는 활성탄 제조시

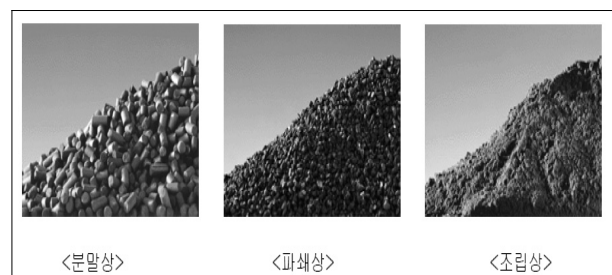


Fig. 9 물리적 현상에 의한 활성탄 분류

Table 2 활성탄 종류별 원료

분류	원료	비고
식물계	톱밥, 목재, 아자각 등	재생 회수율(80~85%)
석탄계	이탄, 갈탄, 역청탄 등	재생 회수율(85~90%)
석유계	석유 잔사, 황산 슬러지등	
기타	펄프 폐액, 합성수지 폐액등	

원료를 보여주고 있다.

### 3.5 연료화정제 시스템 설계개발

본 연구에서는 광주광역시 매립지가스를 이용한 마이크로 가스터빈 발전용 연료 정제시스템의 중요 개발내용은 아래와 같다.

#### 3.5.1 수분제거장치

매립지가스에 포함된 수분을 응축하여 제거하는 열교환 장치와 열교환기를 통과한 최종 수분을 Demister에 의해 제거

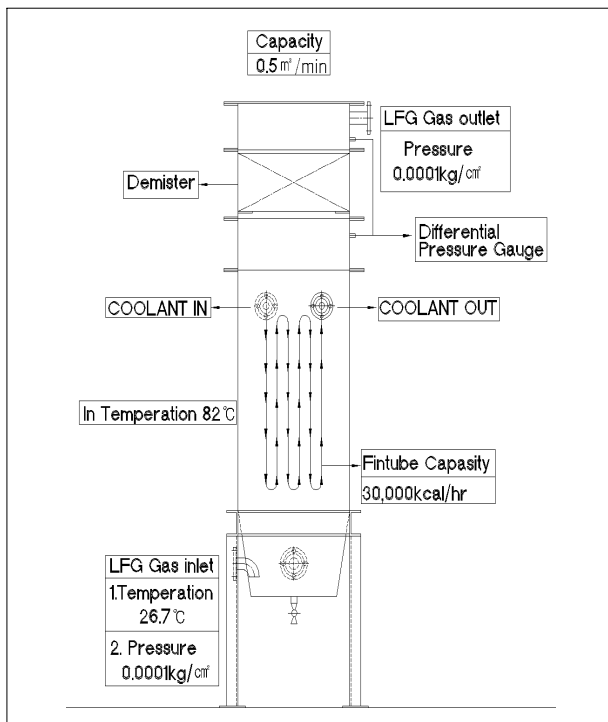


Fig. 10 Design drawing of moisture separator(형식: 수직형, 재질: SUS304, 용량: 0.5NM<sup>3</sup>/min)

하는 장치로서, 외부탑은 수분 또는 H<sub>2</sub>S 그리고 외부 환경에 의해서도 부식이 일어나지 않는 재질로 구성되어야 한다. 이에 맞는 Data 값을 토대로 설계제작 하였다.

#### 3.5.2 황화수소 제거장치

매립지 가스에 포함된 황화수소 성분은 그 유독성이 매우 심하고 가스터빈에 치명적인 가스로서 500~2000ppm 범위로 분석됨으로써 효율적으로 제거하기 위한 정제장치내에 KOH, NaOH를 첨착한 흡착탑을 설계하였다.

#### 3.5.3 실록산 제거시스템 설계개발

매립지가스에 포함된 규소화합물인 Siloxane은 마이크로 가스터빈 연소기나 재생열교환기에 퇴적되어 심각한 손상을 초래하고 그 수명을 단축시키는 물질이다. 효율적인 제거를 위하여 효과적인 흡착제를 충전하고 출구측 기준 5ppb이하로 제어되도록 제거탑을 설계하였다.

#### 3.5.4 연료화 정제시스템 전체 구성 및 설치

상기의 Fig. 13은 본 논문에서 설계개발한 30kW급 마이크로 가스터빈 발전용 연료화 정제시스템의 전체구성을 보여주고 있다. 윗부분의 기기배치도에는 앞절에서 언급되었던 수

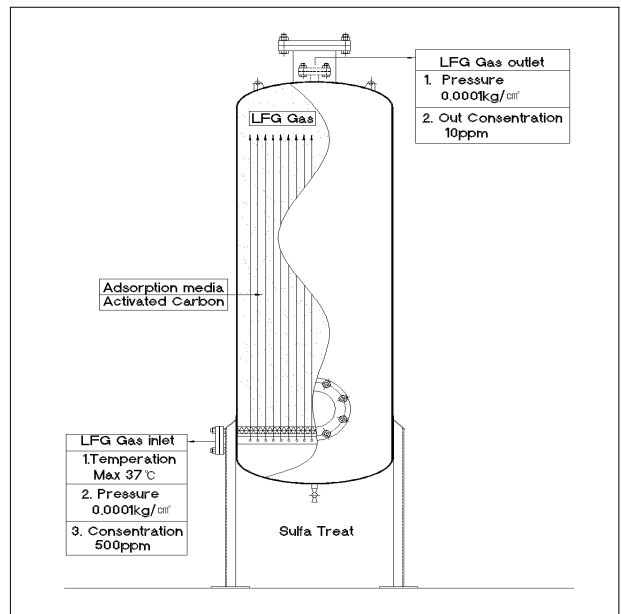


Fig. 11 황화수소 제거장치(용량: 0.5NM<sup>3</sup>/min, H<sub>2</sub>S 제거율: 99% 흡착 Media 종류: Impregnated Activated Carbon)

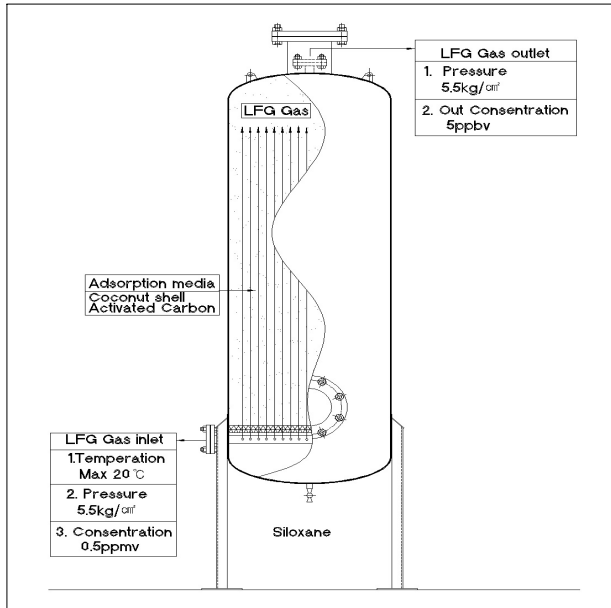


Fig. 12 실록산 제거장치(용량: 0.5NM<sup>3</sup>/min, H<sub>2</sub>S 제거율: 99%, 흡착 미디어: Coconut Shell Activated Carbon)

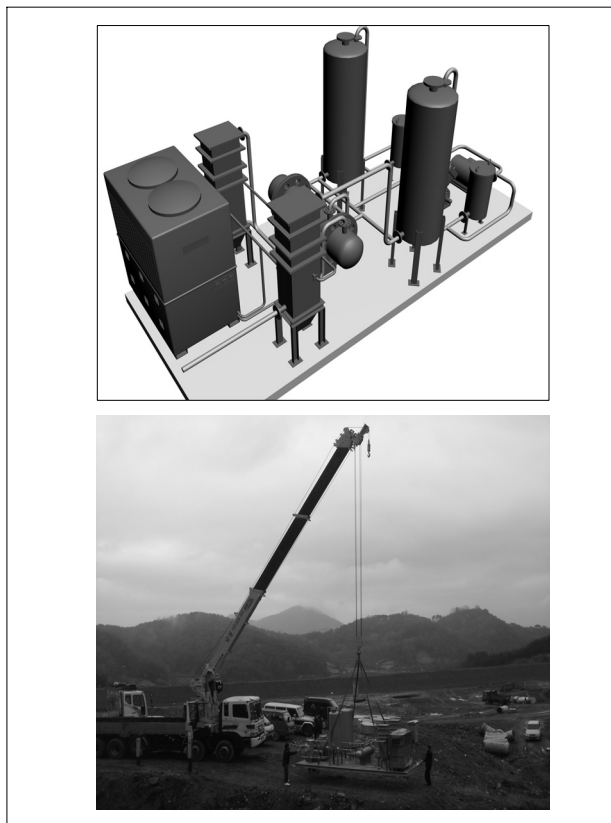


Fig. 13 Schematic diagram(up) and Installation Photo(down) of LFG Gasturbine Conditioning System (Kwangju Land Fill Site)

분체저장장치 황화수소 제거장치등 핵심 정제시스템을 볼 수 있으며 아래그림에서는 실제 적용처인 광주 광역시 위생매립장에 설치되는 장면을 보여주고 있다. 따라서 매립지 가스를 이용한 마이크로 가스터빈 발전시스템의 안정적인 운영을 위한 연료화 정제시스템 설계기술을 개발하였다.

#### 4. 결 론

매립지 가스를 이용한 30kW급 마이크로 가스터빈발전용 연료화 정제 시스템의 설계기술 개발을 통한 중요 성능규격은 Table 3과 같이 정리할 수 있다. 국내 신재생에너지 보급 활성화를 위하여 매립지 가스를 비롯한 바이오 매스 이용 가스터빈 열병합 발전시스템의 개발 및 적용이 활성화 될 것으로 예상되고 있다.

이러한 현 상황은 버려지는 폐자원의 자원화라는 국가적 차원의 유효에너지 이용을 향상을 기대할 수 있고 kW급에서 수십 MW규모의 가스터빈을 개발 적용함으로써 국내 산업발전에도 도모 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서는 국내에서 최초로 매립지 가스를 이용한 마이크로 가스터빈 발전용 연료화 시스템 설계기술을 개발하여 향후 30kW급에서 30MW급 발전시스템에 확대적용할 수 있을 것으로 기대된다.

Table 3 매립지가스 MGT 발전용 연료화 정제시스템 설계기준

평가지표	설계성능기준
CH <sub>4</sub> 손실	3% 미만
H <sub>2</sub> S, ppm	<30ppm
SILOXANE, ppb	<5ppb
NH <sub>3</sub> , ppm	<30ppm
수분, %	0%, 미검출
탈황장치 압력손실	5mmAq
실록산 장치 압력손실	5mmAq
매립지 가스 유량손실	0.5NM <sup>3</sup> /hr 미만
가스-가스 열교환기 성능	출구 Hot side gas 온도 50℃이하 출구 Cold side gas 온도 12℃이상
가스-액체 열교환기 성능	출구 매립지가스 온도 5℃ 이하
연료공급 온도	20℃이상
유분 함량	2ppm 미만

References

- [1] K. Takao, H. Naoto, K. Toshinobu, 2001, "Micro Power Revolution", Vol. 2, pp. 107-115.
- [2] F. Jurado, A. Cano, J. Carpio, 2004, "Biomass based micro-turbine plant and distribution network stability", Energy Conversion and Management, Vol. 15, No. 4, pp. 2713-2727.
- [3] K. B. Hur, S. G. Rhim, J. K. Park, G. G. Yoon, 2008, "Development of distributed micro gas turbine technology with connection", Korea Electric Power Research, TR, pp. 203-208.
- [4] P. A. Pilavachi, 2002, "Mini- and Micro-gasfor Combined Heat and Power", Applied Thermal Engineering, No. 22, pp. 201-207.
- [5] P. L. McCarty, 1964, "Anaerobic Waste Treatment Fundamentals", Public Works, pp. 95.
- [6] K. V. Lo, P. H. Liao, and Y. C. Gao, 1994, "Anaerobic Treatment of Swine Wastewater Using Hybrid UASB Reactors", Bioresource Technology, Vol. 47, 153-157.
- [7] Capstone Corporation, 2003, "MicroTurbine Model C30 System Manual", Vol. 3, pp. 57-98.
- [8] Capstone Turbine Co., 2006, "Authorised Service Provider (ASP) Micro Gas Turbine Manual", LA, USA.
- [9] K. B. Hur, S. K. Rhim, J. K. Park, J. H. Kim, 2007, "System Development of Micro Gas Turbine co-generation", Key Engineering Materials, Vols. 345-346, pp. 1003-1006.
- [10] C. R. Kelly, M. S. Switzenbaum, 1984, "Temperature and Nutrient Effects on the Anaerobic Expanded Bed Treatment a High Strength Waste", Proceeding 38th Industrial Waste Conference, Purdue University, Ann Arbor Sci. Publ., Ann Arbor, Mich. pp. 1005-1012.
- [11] M. Takashima, R. E. Speece, 1989, "Mineral Nutrient Requirements for High-Rate Methane Fermentation of Acetate at Low SRT", Journal WPCF, 61(11/12), 1645-1650.
- [12] 광주광역시 위생매립장 Brochure.
- [13] K. B. Hur, S. K. Rhim, J. K. Park, J. H. Kim, 2008. 3, "Test Evaluation of Pretreatment System Material for Bio-gas Micro Gas Turbine Power Generation", The Korean Society for New and Renewable Energy, Vol. 4, No. 1, pp. 37-43.
- [14] K. B. Hur, S. K. Rhim, J. K. Park, J. H. Kim, 2008.7.7, "CFD analysis in the sulfur removal tower for MGT system", The 5th International Conference on Computational Fluid Dynamics (ICCFD5) 2008.7. 7 - 7. 11, Seoul National University, Seoul.
- [15] 김동섭, 황성훈, 2004, "마이크로 가스터빈의 탈설계 운전 성능특성", 유체기계저널, 제7권, 제3호, pp. 39-47.
- [16] 김동섭, 이종준, 2004, "마이크로 가스터빈 발전 시스템의 운전 성능분석", 유체기계저널, 제8권, 제5호, pp. 13-21.
- [17] K. B. Hur, S. K. Rhim, J. K. Park, 2009.11.5, "Integrated design of bio micro gas turbine co-generation system", COmputational Design in Engineering 2009, Seoul, pp. 466-469.
- [18] K. B. Hur, S. K. Rhim, J. K. Park, J. H. Kim, 2008.8, "Development of Performance Simulation Models for MGT", Journal of Fluid Machinery, Vol. 11, No. 4, pp. 52-62.
- [19] K. B. Hur, S. K. Rhim, J. K. Park, 2009.8.25, "Mechanical characteristics evaluation of bio micro turbine power systems", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, JLPP2144, pp. 1003-1009.
- [20] A. Nicolas, B. Steve, 2008, "A review of biogas purification processes", Biofuels, Bioproducts and Biorefining, Vol. 3, pp. 42-71.
- [21] J. G. Lee, 2010, "Report of Hydro sulfide remove processes", Report for KEPCO, pp. 24-27.



### 허 광 범



1993년 성균관대학교 기계공학과 공학사  
2000년 충남대학교 대학원 기계설계공학과  
공학석사  
2008년 충남대학교 대학원 기계설계공학과  
공학박사  
1992년 한국전력공사 입사

현재 한국전력공사 전력연구원 녹색성장연구소 선임연구원  
(E-mail : 92115798@kepco.co.kr)

### 이 정 빈



1984년 한양대학교 화학공학과 학사  
1986년 한양대학교 대학원 화학공학과 공학석사  
1997년 한국과학기술원 화학공학과 공학박사  
1986년 한국전력공사 입사

현재 한국전력공사 전력연구원 녹색성장연구소 책임연구원  
(E-mail : jblee@kepri.re.kr)

### 임 상 규



1982년 중앙대학교 기계공학과 공학사  
1982년 한국전력공사 입사

현재 한국전력공사 전력연구원 녹색성장연구소 책임연구원  
(E-mail : sk6432@kepco.co.kr)

### 박 정 극



1999년 연세대학교 기계공학과 공학사  
2003년 한국과학기술원(KAIST) 기계공학과  
공학석사

현재 한국전력공사 전력연구원 녹색성장연구소 선임보연구원  
(E-mail : serendipity@kepri.re.kr)