



## 고열량 합성천연가스 제조원가 분석

김형식 · 박진모 · 한자령 · <sup>†</sup>이영철

한국가스공사 가스연구원

(2017년 10월 19일 접수, 2018년 4월 11일 수정, 2018년 4월 12일 채택)

## Cost Analysis of High-Calorie Synthetic Natural Gas

Hyungsik Kim · Jinmo Park · Jaryoung Han · <sup>†</sup>Youngchul Lee

KOGAS Research Institute, Ansan 15328, Korea

(Received October 19, 2017; Revised April 11, 2018; Accepted April 12, 2018)

### 요약

메탄을 주성분으로 하는 일반적인 합성천연가스의 열량은 9,300 kcal/m<sup>3</sup> 이하이며, 이러한 합성천연가스를 국내에서 도시가스로 사용하기 위해서는 10,200 kcal/m<sup>3</sup>로의 증열이 필요하다. 일반적으로, 합성천연가스의 열량조절에는 프로판가스를 상용하나, 가격의 변동폭이 크고 대체로 합성천연가스의 제조원가보다 비싸왔다. 그러므로 프로판을 통한 증열 대신 고열량의 합성천연가스를 직접 생산할 수 있다면, 합성천연가스의 생산 가격을 상당히 감소시킬 수 있다. 본 논문에서는 미국 NETL 분석 자료를 기반으로, 메탄이 주성분인 합성천연가스의 제조 및 증열과 고열량 합성천연가스의 직접 제조 시의 원가를 비교분석하였다.

**Abstract** - The calorific value of general synthetic natural gas(SNG) mainly composed of methane is 9,300kcal/m<sup>3</sup> or less. In order to use such synthetic natural gas as city gas in Korea, it is necessary to heat up to 10,200 kcal/m<sup>3</sup>. Generally, propane gas is commonly used to control the calorific value of SNG. However, the price of propane gas has fluctuated widely and has been higher than the cost of producing SNG. So if the high-calorie SNG can be produced directly instead of the calorie control by propane mixing, the production price of SNG can be significantly reduced. In this paper, based on the US NETL analysis, we compare the cost of methane based SNG production and the cost of high-calorie SNG direct production.

**Key words** : synthetic natural gas, natural gas, high-calorie sng, cost analysis

### I. 서론

합성천연가스(Synthetic Natural Gas, SNG)의 조성은 95~98%의 메탄으로 발열량이 8,500~9,300 kcal/m<sup>3</sup>[1]이다. 국내에 공급되는 일반적인 도시가스의 열량과 비교하였을 때, 합성천연가스를 도시가스로 사용하기 위해서는 평균 10,200 kcal/m<sup>3</sup> 이상으로 증열해야 한다. 증열을 위해서는 열량조절 설비가 필요하며, 고가의 프로판을 구입하여 합성천연가스와 혼합하여 도시가스로 공급하게 된다.

하지만 이론적으로 CO, H<sub>2</sub>의 혼합가스로부터 에탄,

프로판 등의 고열량 합성천연가스의 제조가 가능하며, 해당 공정을 활용하여 프로판 혼합을 통한 증열을 대체할 수 있으리라 생각된다.

본 논문에서는 프로판을 통한 열량조절의 경우와 고열량 합성천연가스 제조시의 경제적 효과를 고유가 당시의 기준(2011년 기준)으로 하여 분석하였다.

### II. 경제적 효과 분석

#### 2.1 경제성 평가의 방향

석탄가스화 공정을 통해 제조된 합성천연가스의 주요성분은 98%이상의 메탄으로, 열량이 9,320 kcal/m<sup>3</sup> 정도로 생산된다. j

석탄가스화 합성천연가스 제조 공정의 경제성 창

<sup>†</sup>Corresponding author:leeyc1@kogas.or.kr

Copyright © 2018 by The Korean Institute of Gas

출의 요점은 단위 칼로리 당 가격이 낮은 석탄에 설비와 인력을 투입하여 고가의 메탄을 합성한다는 것이다. 하지만, 그렇게 생산된 합성천연가스의 증열을 위해 단위 칼로리 당 가격이 높은 LPG를 다시 혼합한다는 것은 공정의 경제성 확보측면에 매우 불리한 상황이다.

Table 1.에 인도네시아 산 석탄의 단위 칼로리 당 가격을 나타내었다. Table 2.는 LNG와 LPG의 물성값과 이로부터 계산된 단위 칼로리 당 원가를 나타내었다. 표들에서 알 수 있듯이 인도네시아 산 석탄의 경우 4~5 US\$/MMBTU정도이고, LNG, LPG의 경우에는 각각 18.3 US\$/MMBTU, 25.4 US\$/MMBTU 정도임을 확인할 수 있다. 그리고 Table 3.에 기존의 열량자료를 통해 추정한 SNG ton당 열량 조절을 위해 필요한 LPG양과 혼합율을 나타내었

**Table 1.** Unit Price per calorific value of Indonesian coal (Coalspot.com, 2011. 10)

제품	열량 (GAR)	단가(\$/ton)	가격 (US\$/MMBTU)
Gunung Bayan I	7,000	138	4.98
Prima Coal	6,700	135	5.09
Pinang6150	6,200	123	5.01
Indominco IM East	5,700	107	4.74
Melawan Coal	5,400	101	4.72
Envir <sup>c</sup> coal	5,000	94	4.75
JorongJ-1	4,400	77	4.42
Eco Coal	4,200	71	4.27

**Table 2.** Unit Price per calorific value of LNG and LPG

가스종류*	열량 (kcal/m <sup>3</sup> )	단가** (원/kg)	열량당가격 (US \$/MMBTU)
LNG	10,200	1,001	18.3
LPG	23,651	1,282	25.4

\* LNG, LPG: 가스공사 표준값 사용  
 \*\* LNG가격은 2011년 KOGAS 발전용요금  
 LPG가격은 2011년 KOGAS 평균가격

다. LPG 혼합율은 15.2 wt% 정도이고, 소요비용은 SNG 1톤당 229천원으로, 판매되는 SNG 가격이 LNG와 동일하다고 볼 때, 비용의 23%에 달한다.

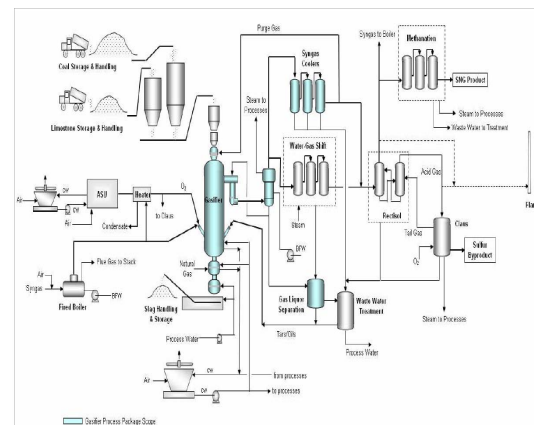
본 분석에서는 SNG 제조 공정 경제성 확보의 주요 요인인 석탄과 LPG 단위가격의 차이에 의해 발생하는 “고열량 합성천연가스 생산의 효과”만을 분석하였다. 부수적인 효과인 열량조절설비 비용 절감 등은 실제적으로 합성천연가스 원가에 미치는 영향이 적기 때문에 고려하지 않았다. 경제성평가를 위한 자본투자비와 유지보수 비용을 미국 NETL의 “Industrial Size Gasification for Syngas, Substitute Natural Gas and Power Production”[2] 보고서의 데이터를 사용하여 분석하였다.

**2.2. 미국 NETL의 SNG의 기술적/경제적 타당성 분석 자료 검토**

NETL에서 수행한 DOE/NETL-401/040607 연구는 미국에서의 석탄가스화에 의한 수소, 전기, SNG로의 전환에 대한 기술적/경제적 타당성을 평가한 보고서이다. 여기서 Section VIII의 “Case 2A Conceptual Design Description SNG Production Reference Plant - Illinois #6 Coal”에서는 BGL1000 가스화기에 의한 SNG 생산의 기술적, 경제적 타당

**Table 3.** Amount of LPG required to heating up SNG

SNG 열량 (kcal/m <sup>3</sup> )	증열후열량 (kcal/m <sup>3</sup> )	혼합율 (wt %)	LPG 소요량(ton/ton SNG)
9,320	10,200	15.2	0.18



**Fig. 1.** Schematic drawing of SNG Plant.

**Table 4.** Basic design of Case 2A in NETL report

PRODUCTION FIGURES	
SNG Product flow(ton/year)	123,260
SNG Higher heating value(kcal/m <sup>3</sup> )	8,771
Sulfur product(ton/year)	10,525
Slag(ton/year)	49,298
CONSUMPTION FIGURES	
Coal Heating value(kcal/kg)	6,509
Coal feed(kg/hr)	43,277
Flux feed(kg/hr)	1,107
Oxygen to gasfier(kg/hr)	21,930
Steam to gasfier(kg/hr)	13,226
Methanol(ton/year)	178
Total electric power(KW)	18,504
Total Water(ton/year)	1,055,714
PLANT EFFICIENCY	
Fuel and power energy input, MMBTU/hr	1310
Energy in SNG product, MMBTU/hr	791
MMBTU/day	18,990
Plant net thermal efficiency	60.4

성을 분석하고 있다.

Fig.1.은 해당 SNG 플랜트의 개략설비도이다. 순산소 제조 설비는 설치하지 않고 산소를 구매하여 사용하며, 석탄부두, 발전설비는 포함되어 있지 않은 것을 알 수 있다.

Table 4.에 NETL 해당 보고서의 Case 2A 평가에서 사용한 기본사항 들을 수록하였다. 해당 설비의 SNG 생산 용량은 연간 123천 톤이다.

해당 CASE의 SNG의 생산 원가 분석을 위해서는 플랜트의 자본투자비 내역이 필요하다. CASE 2A의 경우 ASU(순산소 제조 설비)는 설치하지 않고 순산소를 구매하여 사용하며, 소요되는 전기도 모두 외부에서 공급받는 것으로 되어있다. 그리고 CO2의 포집설비도 설치하지 않는 것으로 되어 있다. 이 조건에서 자본투자비는 총 7,740 MMBTU/Day (2005년 기준)이다.

생산 원가 분석에는 자본투자비 이외에도, 운전 비용 등을 포함한 유지보수비 비용이 포함되어야 한다. 유지보수비는 고정비와 유동비로 구분되고, 고정비의 대부분은 인건비이며, 유동비는 소모성재료비용으로 구성되어 있다. 특히 CASE 2A의 경우

**Table 5.** Production cost analysis data for CASE 2A

자본투자비 (MMBTU/day)	Fixed operating cost (\$/MMBTU)	Variable operating cost (\$/MMBTU)
7,740	0.943	2.120

**Table 6.** Operation Cost per component for production of 9,320 kcal/m<sup>3</sup> SNG

원가구성 요소	금액 (\$/MMBTU)	비율(%)
석탄	7.05	61
설비 감가상각	1.50	13
운영비	3.06	26
합계	11.61	100

개념설계 대상 설비에 순산소설비, 전기생산설비가 설치되어 있지 않아 순산소와 전기의 구매비용이 전체 소모성비용의 70%이상을 차지한다. CASE 2A의 고정, 유동 운영비를 Table 5에 나타내었다.

### 2.3. 국내 합성천연가스의 생산원가 분석

Table 6.에 NETL 보고서의 CASE 2A를 근거로 열효율 60.4%, 자본투자비 7,740 \$/MMBTU/day, 유지보수비 3.06 \$/MMBTU를 적용 후, 인도네시아 Eco-Coal을 수입하여 SNG를 제조할 경우의 원가를 계산한 결과를 나타내었다.

일반적인 열량 수준인 9,320 kcal/m<sup>3</sup>급 SNG의 생산원가는 총 11.61 \$/MMBTU으로 산출되었다. 원료인 석탄의 비용이 61%, 설비 감가상각비 13%, 운영비가 26%인 것으로 나타났다. 비용의 구성 비율은 순산소 제조 설비와 전력 생산 설비의 설치여부에 따라 운비와 자본투자비가 대폭 변동될 수 있어 플랜트의 설계에 따라 해당 비용은 크게 변화될 수 있다.

위 SNG 합성공정의 운영원가 분석을 기반으로, LPG 혼합에 따른 원가 상승 요소 중 설비비를 제외한 원료비 증가 측면에 대해서만 반영하여 분석을 진행하였다. 위 분석 공정에 따라 생산된 9,320 kcal/m<sup>3</sup>의 SNG를 10,200 kcal/m<sup>3</sup>의 SNG+LPG의 도시가스로 증열한 원가 계산 결과는 Table 7.에 나타내었다. 기타 요소가 동일하다고 볼 때,

**Table 7.** Operation Cost per component for production of 10,200 kcal/m<sup>3</sup> mixed SNG with LPG

원가구성 요소		단위금액 (\$/MMBTU)	비율(%)
원료비	석탄	6.05	42
	LPG	3.61	26
설비 감가상각		1.28	10
운영비		3.06	22
합계		14.00	100

**Table 8.** Operation Cost per component for production of 10,200 kcal/m<sup>3</sup> high-calorie SNG

원가구성 요소		단위금액 (\$/MMBTU)	비율 (%)
원료비	석탄	7.05	61
	LPG	0	0
설비 감가상각		1.50	13
운영비		3.06	26
합계		11.61	100

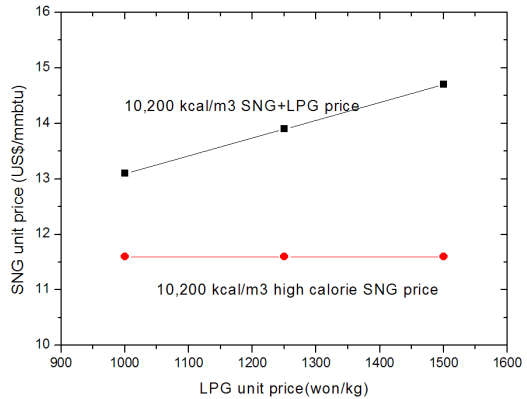
LPG 증열로 인해 생산원가가 14.0 US\$/MMBTU 로 2.39 U\$/ MMBTU 증가하였다.

Table 8.은 고열량 SNG 직접 제조 공정을 적용한 10,200 kcal/m<sup>3</sup> SNG의 원가구성을 보여주고 있다. 고열량 SNG의 생산 원가가 LPG 증열을 포함할 경우의 14.00 \$/MMBTU에서 11.61 \$/MMBTU로 2.39 \$/MMBTU, 약 17% 감소되는 것으로 나타났다. (9,320 kcal/m<sup>3</sup> SNG와 열량당 단가가 동일함, 무게단위 생산량이 다름)

Fig 2.는 LPG원가에 따른 10,200 kcal/m<sup>3</sup> SNG의 원가 변화를 보여주고 있다. LPG가격이 각각 1,000, 1,250, 1,500 원/kg의 경우를, 고열량 SNG 직접 제조 공정과 비교할 경우 원가가 각각 1.5, 2.3, 3.1 \$/MMBTU가 절감되는 것을 알 수 있다.

**2.4. SNG 사업의 내부수익율(IRR) 검토**

SNG 사업의 내부수익율(IRR) 계산에 사용한 경



**Fig 2.** Change in SNG cost by LPG price.

**Table 9.** Internal rate of return(IRR) of SNG project (mixed with LPG)

		Variables Input	
Price	SNG sales price	1,001	Won/kg
	Coal price	71	\$/ton
	LPG price	1,282	Won/kg
Rate	Exchange rate	1,060	Won/\$
	Capex Cost Estimates	6,077	1/10 B Won
Operations	Operational rate for 1st yr	95%	
	Operational rate for 2nd yr	97%	
Feasibility	NPV	8,753	1/10 B Won
	Project IRR	23.8%	
	ROE	23.80%	
Cost	SNG Production Cost	603.8	Won/m <sup>3</sup>
Sales	SNG Revenue per year	5,951	1/10 B Won
	SNG Profit on Average Sales per year before Tax	1,665	1/10 B Won

		Variables Input	
Price	SNG sales price	1,001	Won/kg
	Coal price	71	\$/ton
	LPG price	1,282	Won/kg
Rate	Exchange rate	1,060	Won/\$
	Capex Cost Estimates	6,077	1/10 B Won
Operations	Operational rate for 1st yr	95%	
	Operational rate for 2nd yr	97%	
Feasibility	NPV	11,388	1/10 B Won
	Project IRR	27.5%	
	ROE	27.54%	
Cost	SNG Production Cost	501.9	Won/m <sup>3</sup>
Sales	SNG Revenue per year	5,059	1/10 B Won
	SNG Profit on Average Sales per year before Tax	2,080	1/10 B Won

제변수는 NETL 보고서를 근거로 하여, 플랜트 건설기간 4년, 감가상각 기간은 15년, 자기자본비율 70%, 할인율 7%, 빚에 대한 이자율은 8%, 환율은 1,060원/\$를 사용하였다.

해당 자료를 기반으로, Table 9.에 LPG 증열공정을 포함한 SNG 사업의 내부수익율 평가결과 [3,4]를 나타내었다. SNG의 판매가격을 1,001 원/kg(798원/m<sup>3</sup>, 18.6 \$/MMBTU)로 했을 때, 내부수익율이 23.8%, 세전수익이 1,665억 정도로 추정되었다. (이 평가결과는 자본투자비, 유지보수비가 미국의 2005년 기준으로 계산되어 국내의 현재상황과는 상이함)

**Table 10.** Internal rate of return(IRR) of high-calorie SNG project

		Variables input	
Price	SNG sales price	1,001	Won/kg
	Coal price	71	\$/ton
	LPG price	1,282	Won/kg
Rate	Exchange rate	1,060	Won/\$
Capex	Capex Cost Estimates	6,077	1/10 B Won
	Operational rate for 1st yr	95%	
Operations	Operational rate for 2nd yr	97%	
Feasibility	NPV	11,388	1/10 B Won
	Project IRR	27.5%	
	ROE	27.54%	
Cost	SNG Production Cost	501.9	Won/m <sup>3</sup>
Sales	SNG Revenue per year	5,059	
	SNG Profit on Average Sales per year before Tax	2,080	1/10 B Won

마찬가지로, Table 10.에는 고열량 SNG 직접 제조 공정을 포함한 SNG 사업에서의 내부수익율(IRR) 계산결과를 보여준다. 내부수익율이 27.5%로 증가하고 세전수익이 2,080억으로 SNG+LPG사업에 비해 415억 증가하는 것으로 나타나고 있다.

### III. 결론

상기와 같은 분석을 통하여 아래와 같은 고열량 합성천연가스공정의 경제적 효과를 얻을 수 있었다.

- 1) 메탄화 공정에 의해 도시가스용 합성천연가스를 생산하기 위해서는 증열을 위해 프로판가스 15.2 wt%를 혼합해야 하는데, 이 비용은 전체 운영원가의 26%를 차지한다.
- 2) 10,200 kcal/m<sup>3</sup> 도시가스를 기준으로 할 때 메탄화 공정을 활용한 합성천연가스의 생산원가는 14 \$/MMBTU이며, 고열량 합성천연가스 직접 제조 공정을 적용할 경우는 11.61 \$/MMBTU로 약

**Table 11.** Cost analysis of LPG mixed SNG and high-calorie SNG project

항목	LPG증열 공정	고열량화 공정
IRR, %	23.8	27.5
NPV, 억원	8,753	11,388
세전순익(억원)	1,665	2,080

17% 절감된다.

3) SNG 50만톤/년의 사업에서 기존 LPG증열방안을 고열량 SNG 합성공정으로 대체함으로써 내부수익율을 3.7% 향상시킬 수 있었다.

### REFERENCES

- [1] "POSCO SNG PROJECT Feasibility Study", POSCO(2009).
- [2] National Energy Technology Laboratory, "Industrial Size Gasification for Syngas, Substitute Natural Gas and Power Production," DOE/NETL-401/040607(2007).
- [3] 김형식, "SNG 발열량 향상방안 도출", KOGAS (2012).
- [4] 김형식, "석탄SNG 제조공정 국산화를 위한 실증 기술 개발(고열량 SNG 합성 공정 개발)", KOGAS (2015).