

9.9MW급 바이오매스 열병합발전 타당성 연구

최재영*, 설용건**

The Feasibility Analysis of 9.9 MW Biomass Cogeneration System

Jaiyoung Choi* and Yonggun Shul**

Abstract

This study is intended to analyze the appropriate scope for 9.9MW biomass cogeneration, feasibility and sensitivity according to changing market situation. In the study, the heat load is classified into three types to predict heat sales and find out the appropriate scope of thermal business that is operated in CHP 34.42 Gcal/h, PLBwg 70 Gcal/h of cogeneration. the feasibility is estimated based on internal rate of return (IRR) and net present value(NPV). the sensitivity is analyzed in terms of biomass fuel cost, unit price of heating cost, investment cost, SMP unit price and REC unit price.

Key words

Cogeneration System(열병합발전시스템), Community energy service(집단에너지사업), LNG, Bio(바이오), New renewable energy(신재생에너지), Economic feasibility evaluation(경제성평가), Net present value(순현재가치), Internal rate of return(내부수익률)

(접수일 2014. 6. 17, 수정일 2014. 6. 26, 게재확정일 2014. 6. 26)

* GS파워 영업전략팀 (GS Power, Marketing Strategy Team)

■ E-mail : chlwo083@hanmail.net ■ Tel : (02)2005-4033 ■ Fax : (02)2005-4025

** 연세대학교 화공생명공학과 (Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Yonsei University)

■ E-mail : shulyg@yonsei.ac.kr ■ Tel : (02)2123-2750 ■ Fax : (02)312-6401

subscrip

TOE : ton of oil equivalent

IRR : internal rate of return

NPV : net present value

SMP : system marginal price

CP : capacity price

SRF : solid refuse fuel

1. 서론

현재 열병합발전을 이용한 집단에너지사업의 대부분은 수도권 지역에서 사업을 영위하고 있으며 수도권 지역은 연료규제와 환경규제 등으로 천연가스 위주의 집단에너지사업이 운영되고 있다. 특히 지역난방 집단에너지사업자의 경우 93.8%를 LNG 연료에 의존하고 있으며 하나의 원별 연료에 과중한 의존은 연료 가격/공급 변동에 따라 사업에 큰 영향을 주고

있다.

온실가스 감축 및 연료의 다각화를 위해 사업자들은 신재생에너지 및 미활용에너지를 활용하고 있지만 신재생에너지를 이용한 집단에너지사업은 몇몇 신재생에너지로 그 범위가 국한되어 있다. 국내에서는 8개의 재생에너지(태양열, 태양광발전, 바이오매스, 풍력, 소수력, 지열, 해양에너지, 폐기물에너지)와 3개의 신에너지(연료전지, 석탄액화가스화, 수소에너지)를 신재생에너지로 지정하고 있으며 11개의 다양한 신재생에너지 중 전기와 열을 동시에 생산하여 열병합발전에 적합한 것은 SRF와 Bio-SRF로 한정되어 있다. 그중 SRF는 생활폐기물, 폐합성수지류, 폐합성섬유류, 폐고무류, 폐타이어 등을 사용하여 제조한 고품연료제품이며, Bio-SRF는 폐지류, 농업폐기물, 폐목재류, 식물성잔재물, 초분류 폐기물 등으로 제조한 고품연료제품 등이 포함되어 있다.

본 연구에서는 에너지 효율이 높은 열병합발전시스템에 바이오매스 연료를 이용한 사업의 타당성을 분석하여 집단에너지사업 내 신재생에너지를 사용한 사업에 참고자료를 제공하고자 한다.

2. 분석기준

2.1 분석대상

열원시설 분석대상은 바이오매스 연료 중 WP(Wood Pellet)을 연료로 하는 CHP로 전기용량 9.9MW, 열용량 30.98Gcal/h으로 설계하였으며, 열공급의 안정성을 위하여 첨두부하보일러(PLB) 70Gcal/h와 축열조 52Gcal/h를 추가로 선정하였다 (Table 1, 2).

열수요처 분석대상은 주택/업무/공공으로 구분하였으며, 열수요처 규모는 CHP 열공급 능력(30.98Gcal/h)을 감안한

Table 1. Analysis of Heat Source Equipment

구분	Bio 열병합발전
CHP	전기용량 : 9.9MW 열용량 : 34.42Gcal/h
PLBwg	열용량 : 70Gcal/h
축열조	열용량 : 52Gcal/h
방식	Wood Pellet 전소 발전

연결열부하 100Gcal/h로 선정하였다. 또한 열수요처 규모에 따라 사업의 타당성을 분석하기 위해 연결열부하 120Gcal/h, 140Gcal/h의 열수요처 규모를 추가로 선정하였다(Table 3).

열원설비 시공에 따른 투자비는 부지구입비, CHP 건설비, PLB 건설비, 열배관 건설비로 구분하여 산출하였으며 특히 열배관 건설비는 수요처 규모 Case별 시나리오에 따라 산정하였다(Table 4).

Table 2. Analysis of Fuel for Use

구분	Bio 열병합발전
사용연료	Wood Pellet
발열량	HHV 4,300kcal/kg
연간투입량	88,056ton/y
전처리비용	연료사용량의 1.6% X 100,000원/ton
구입비용	210,000원/ton
원산지	말레이시아

Table 3. Analysis of Heat Demand by Scenario

CASE	종별	난방면적 (m ²)	연결열부하 (Gcal/h)
Case 1	주택	1,309,752	86.0
	업무	107,527	10.0
	공공	41,667	4.0
	Total	1,458,945	100.0
Case 2	주택	1,571,702	103.2
	업무	129,032	12.0
	공공	50,000	4.8
	Total	1,750,734	120.0
Case 3	주택	1,833,652	120.4
	업무	150,538	14.0
	공공	58,333	5.6
	Total	2,042,523	140.0

Table 4. Investment of Heat Source Equipment

구분	Bio 열병합발전 (백만원)	
부지구입비	26,913	
CHP 투자비	44,712	
PLBwg 투자비	7,845	
열배관 투자비	Case 1	16,022
	Case 2	18,772
	Case 3	22,388

2.2 경제성 분석기준

사업의 타당성은 현금흐름 할인법인 내부수익률법(IRR)과 순현재가치법(NPV)을 사용하여 분석하였다.

내부수익률법이란 계획사업에 대하여 투자를 했을 경우 장래의 각 경우마다 예상되는 현금유입과 현금유출을 계산하여 그것의 현재가치를 일치하게 하는 할인율(IRR)을 구하여 경제성을 평가하는 방법이다.

$$\sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (1)$$

여기서, Ct : 현금유출액
 Rt : 현금유입액
 n : 투자기간
 t : 시간
 r : 할인율(IRR)

식 (1)을 만족시키는 r의 값을 투자사업의 내부수익률이라

Table 5. Standard of Economic Analysis

항 목	적 용 기 준
사업분석 기간	열원건설기간 : 1년차 ~ 2년차 열배관건설기간 : 1년차 ~ 7년차 사업기간 : 3년차(최초열공급) ~ 22년차
열원부지	19,908m ²
감가상각	상각방법 : 정액법
자금할인	할인율(WACC) : 8.66%(유사사업 평균치)
보험료 비율	직접투자비의 0.126%
사용연료	Wood Pellet
용수비	1,768원/ton
소내동력	발전설비 2% DH설비 16.1kW/Gcal
경상 인건비	운영인력 : 5명, 인건비 5000만원/인 재경비 : 인건비의 40%
수선 유지비	열원설비(토지 및 열배관 제외) X 수선유지비용 * 열원설비연도별 수선유지비용 1년(0.3%), 2년(0.6%), 3년(0.9%), 4년(1.2%), 5년(1.4%), 6년(1.6%), 7년(1.8%), 8년(2.0%), 9년(2.2%), 10년이후 (2.2%) 열배관 : 열배관 취득가액의 0.7% 적용
기타	제세 : 0.1%(직접투자비+부지구입비) 법인세 : 24.2% 물가상승률 : 3%

하며 기업에서 바라고 있는 최저수익률과 비교하여, 내부수익률이 높으면 경제성이 있다고 판단하는 방법이다.

순현재가치법이란 계획사업에 대하여 투자로부터 기대되는 미래의 현금유입액에서 유출액을 차감하고 순현재 현금흐름액을 자본비용으로 할인하여, 식 (2)와 같이 순현재가치(NPV)를 산출하고 산출된 순현재가치가 0보다 크면 경제성이 있다고 평가하는 방법이다.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1+k)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+k)^t} \quad (2)$$

여기서, Ct : 현금유출액
 Rt : 현금유입액
 n : 투자기간
 K : 자본비용 또는 자본의 기회비용
 t : 시간

상호배타적인 투자안의 경우 NPV 값이 보다 큰 투자안을 채택한다. 투자안들이 상호 독립적이고 자본의 조달에 한계가 있는 경우에는 투자규모를 고려하여 상대적으로 NPV 값이 큰 것부터 순서대로, 자본허용한도까지 투자안을 선택한다.

CHP 건설기간은 2년(1년차~2년차), 열배관 건설의 7년(1년차~7년차)으로 설정하였으며, 경제성 분석기간은 최초 열공급 시기를 기준으로 20년(3년차~22년차)을 분석하였다.

감가상각방법은 정액법으로 20년을 적용하였으며, 물가상승률은 연 3%로 가정하였다. 할인율(WACC)의 경우 유사사업 평균치인 8.66%를 적용하였다(Table 5).

2.3 열수요 분석기준

난방 및 냉방 연결열부하 및 최대열부하는 집단에너지 사업계획서 작성기준(지식경제부고시, 제2012-180호)을 기준으로 산정하였으며, 최대부하 산출시 적용한 부하율은 집단에너지시설의 최적화 방안 연구(에너지경제연구원, 2010)에서 조사한 집단에너지사업자의 주택/업무/공공 냉난방 실적 최대부하율 51.8%를 적용하여 산정하였다.

연도별 열부하 분포는 열수요처의 입주에 따라 분배하였으며, 주택의 경우 포화수요기간을 5년을 기준으로 연도별 입주율은 30%, 65%, 85%, 95%, 100%로 고려하였다. 공공은

주택 입주시기와 동일하게 적용, 업무는 주택 입주시기의 2 배로 하여 매년 균등 부하분포를 적용하였다.

열사용량은 외기온도에 따라 사용자가 사용하는 열사용량을 시간대별(8,760시간)로 예측하여 산출하였으며, 이때 적용한 외기온도는 기상청의 서울지역 3개년(2010년~2012) 8,760시간 기온자료를 적용하였다(Fig. 1).

2.4 생산계획 분석기준

전력시장가격은 전력거래소의 SMP를 결정하는 원료를 적

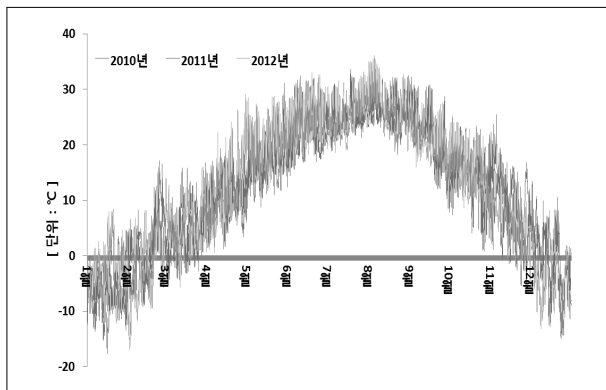


Fig. 1 Temperature Data of Korea Meteorological Administration in Seoul from 2010 to 2012

Table 6. The Ratio for Determining SMP (unit : %)

구분	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
LNG	65.2	70.6	78.0	71.7	79.6	87.0	88.2
유류	18.1	19.4	11.9	11.4	13.5	7.2	11.8
유연탄	7.9	4.5	6.8	11.9	3.4	3.0	0.0
무연탄	8.8	5.5	3.3	5.0	3.5	2.8	0.0
원자력	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

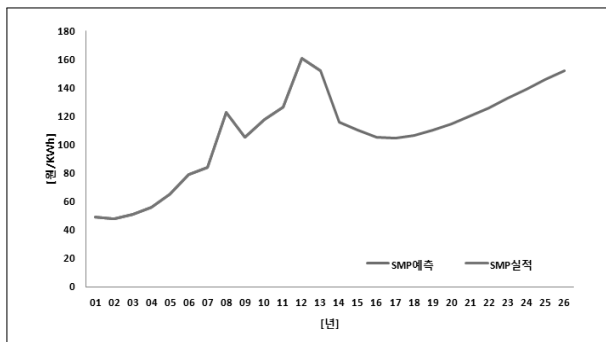


Fig. 2 Performance and Prospects for SMP

용(Table 6), SMP를 결정하는 과거 원료별 가격과 과거 SMP를 회귀분석 한 후, 향후 원료별 예측가격에 동 회귀식을 적용하여 예측하였다. 이때 과거 원료별 단가는 BP와 EIA의 실적자료를, 향후 원료별 예측단가는 EIA의 2014 Annual Energy Outlook 가격예측 시나리오를 적용하였다(Fig. 2).

용량요금은 2013년 단위용량가격(7.46원/kwh)을 적용하였고, 열생산시설에서 열수요처 까지의 열 손실률은 4%를 적용하였다.

3. 분석결과

3.1 열수요 분석결과

난방 열수요 분석결과 연결열부하 100Gcal/h 경우 포화년도 열판매량은 138,246Gcal/y, 연결열부하 120Gcal/h 경우 열판매량은 165,893Gcal/y, 연결열부하 140Gcal/h 경우 열판매량은 193,540Gcal/y로 분석되었고, 냉방의 경우 연결열부하 12Gcal/h 경우 포화년도(12년차) 열판매량은 2,788Gcal/y, 연결열부하 14Gcal/h 경우 열판매량은 3,346Gcal/y, 연결열부하 17Gcal/h 경우 열판매량은 3,904Gcal/y로 분석되었다(Table 7).

열도별 열수요 분석결과 사업 3년차에 열공급이 시작되어 사업 12년차에 열수요 개발이 완료되고 사업 12년차 이후 열

Table 7. Analysis Result of Heat Demand in Saturation Period

구분	종별	난방 열판매량 (Gcal/y)	냉방 열판매량 (Gcal/y)
Case 1	주택	121,869	-
	업무	12,489	2,154
	공공	3,888	634
	Total	138,246	2,788
Case 2	주택	146,241	-
	업무	14,986	2,585
	공공	4,666	761
	Total	165,893	3,346
Case 3	주택	170,613	-
	업무	17,483	3,016
	공공	5,444	888
	Total	193,540	3,904

Table 8. Case 1 Analysis Result of Heat Demand by Year

기간	Case 1		
	연결열부하 (Mcal/h)	최대열부하 (Mcal/h)	냉난방 열판매량 (Gcal/y)
3년차	28,0	14,5	39,382
4년차	60,5	31,3	85,083
5년차	79,5	41,2	111,825
6년차	89,5	46,4	125,929
7년차	95,0	49,2	133,713
8년차	96,0	49,7	135,177
9년차	97,0	50,2	136,641
10년차	98,0	50,8	138,105
11년차	99,0	51,3	139,570
12년차	100,0	51,8	141,034

Table 9. Case 2 Analysis Result of Heat Demand by Year

기간	Case 2		
	연결열부하 (Mcal/h)	최대열부하 (Mcal/h)	냉난방 열판매량 (Gcal/y)
3년차	33,6	17,4	47,257
4년차	72,6	37,6	102,098
5년차	95,4	49,4	134,189
6년차	107,4	55,6	151,113
7년차	114,0	59,1	160,453
8년차	115,2	59,7	162,210
9년차	116,4	60,3	163,967
10년차	117,6	60,9	165,725
11년차	118,8	61,5	167,482
12년차	120,0	62,2	169,239

Table 10. Case 3 Analysis Result of Heat Demand by Year

기간	Case 3		
	연결열부하 (Mcal/h)	최대열부하 (Mcal/h)	냉난방 열판매량 (Gcal/y)
3년차	39,2	20,3	55,133
4년차	84,7	43,9	119,114
5년차	111,3	57,7	156,553
6년차	125,3	64,9	176,297
7년차	133,0	68,9	187,194
8년차	134,4	69,6	189,244
9년차	135,8	70,3	191,294
10년차	137,2	71,1	193,344
11년차	138,6	71,8	195,394
12년차	140,0	72,5	197,444

판매량은 증가하지 않는 것을 볼 수 있다(Table 8, 9, 10).

연결열부하 140Gcal/h 규모의 포화년도의 시간대별(8,760 시간) 난방수요 분석결과 동절기 12월에 최대열부하가 발생하였다(Fig. 3).

냉방 연결열부하 112Gcal/h 규모의 포화년도의 시간대별 냉방수요 분석결과 하절기인 6월~9월만 냉방수요가 발생하였다(Fig. 4). 냉난방을 함께 분석한 결과 동절기는 난방부하 곡선과 유사하게 나타나는 반면, 하절기는 업무/공공용 냉방

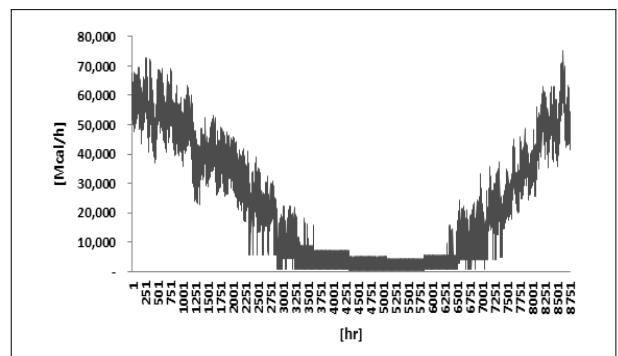


Fig. 3 Hourly Heating Load Pattern

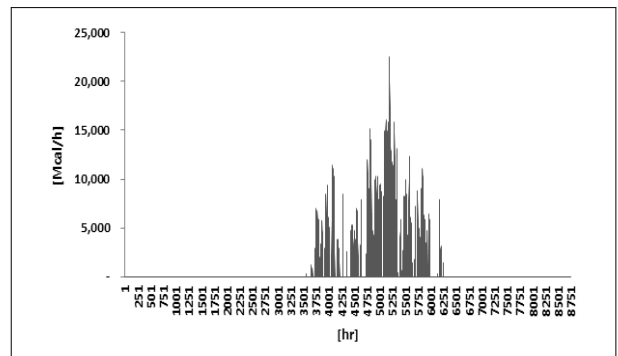


Fig. 4 Hourly Cooling Load Pattern

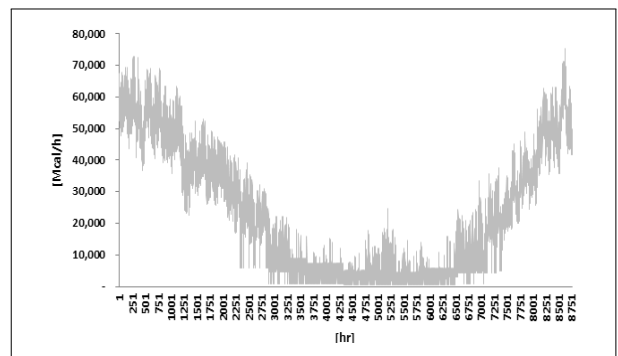


Fig. 5 Hourly Cooling and Heating Load Pattern

부하로 인해 부하가 증가하는 것을 볼 수 있다(Fig. 5).

3.2 생산 분석결과

포화년도 기준 연간 전력생산량은 60,707MWh으로 산출되었으며, 연간 열 생산량은 Case 1의 경우 141,034Gcal/y, Case 2의 경우 169,239Gcal/y, Case 3의 경우 197,444Gcal/y으로 분석되었다(Table 11).

수요 140Gcal/h를 기준으로 시간대별 열원별 생산 Pattern을 분석결과 CHP는 연중 가동되었으며, PLBwg의 경우 동절기에 가동이 되었다(Fig. 6).

3.3 경제성 분석결과

사업의 경제성 분석결과 바이오매스를 이용한 열병합발전

Table 11. Production Planning in Saturation Period

구분		전력 생산 MWh/y	열 생산 Gcal/y
Case 1	CHP	60,707	129,758
	PLBwg		10,000
	축열조		1,276
	합계	60,707	141,034
Case 2	CHP	60,707	142,740
	PLBwg		24,057
	축열조		2,441
	합계	60,707	169,239
Case 3	CHP	60,707	152,482
	PLBwg		43,088
	축열조		1,873
	합계	60,707	197,444

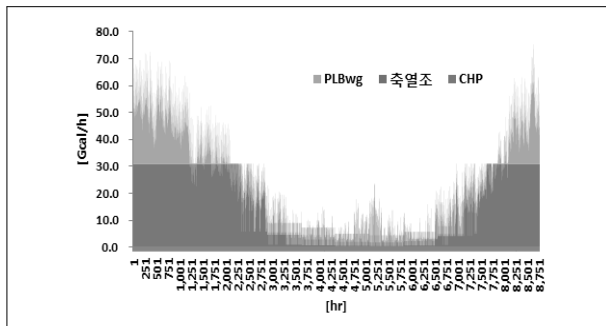


Fig. 6 Hourly Production Planning Pattern

사업의 경우 연결열부하 100Gcal/h 규모의 경우 IRR 4.6%, NPV -24,183백만원, 연결열부하 120Gcal/h 규모의 경우 IRR 6.2%, NPV -15,572백만원, 연결열부하 140Gcal/h 규모의 경우 IRR 6.9%, NPV -11,162백만원으로 분석되었다 (Table 12).

Table 12. Analysis Result of IRR

구분	IRR(%)	NPV(백만원)	
Bio 연료	Case 1	4.6%	-24,183
	Case 2	6.2%	-15,572
	Case 3	6.9%	-11,162

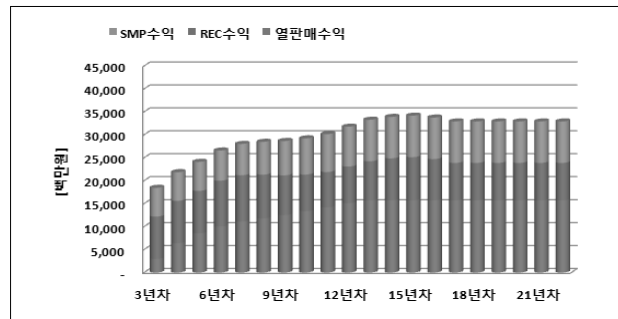


Fig. 7 Case 1 Sales Revenue by Year

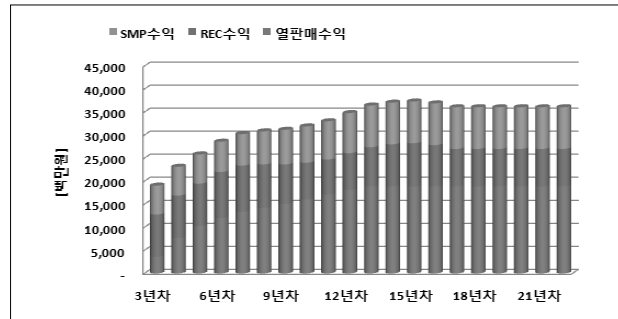


Fig. 8 Case 2 Sales Revenue by Year

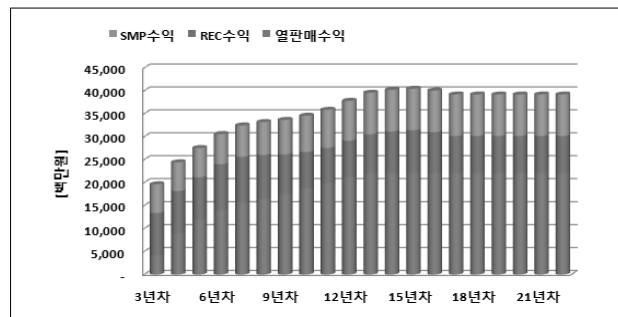


Fig. 9 Case 3 Sales Revenue by Year

Case별 균등한 비율로 사업규모를 증가 시킨 결과, Case 2는 Case 1 대비 1.6%의 경제성 상승률을 보인 반면, 동등 비율로 규모를 확장시킨 Case 3은 Case 2 대비 0.7%의 경제성 상승률을 보였다. 사업규모가 커질수록 열수익으로 인한 매출은 증가 하지만(Fig. 7, 8, 9), 연료비가 비싼 PLBwg 가동량의 증가로 변동비가 증가하여 사업규모가 커질수록 경제성의 상승폭은 오히려 줄어드는 것으로 나타났다(Fig. 10, 11, 12).

사업의 민감도를 분석하기 위하여 Case 3을 기준으로 바이오매스 연료가격, 열요금 단가, 투자비, REC 단가, SMP

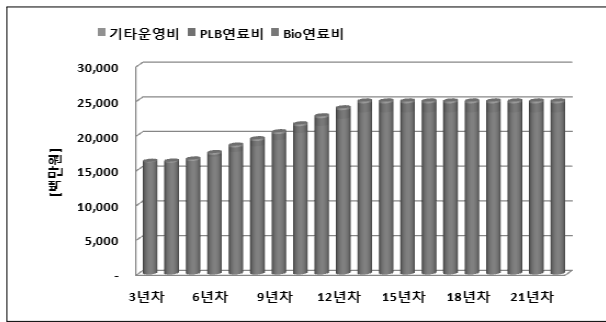


Fig. 10 Case 1 Variable Cost by Year

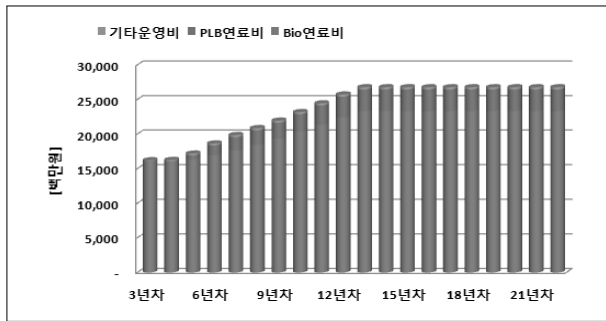


Fig. 11 Case 2 Variable Cost by Year

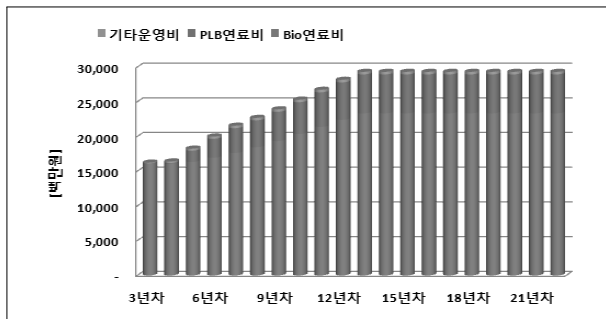


Fig. 12 Case 3 Variable Cost by Year

단가의 변화에 따른 민감도를 분석 한 결과, 바이오매스의 연료가격이 사업에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었고 이를 각각 Table 13과 Fig. 12에 도식하였다.

4. 결론

본 연구에서는 신재생에너지중 전기와 대규모 열을 생산하여 발전과 난방을 공급할 수 있는 바이오매스를 이용한 열병합발전소의 사업 타당성을 연구하였다.

수요처 규모별 시나리오를 적용하여 사업 타당성을 분석한 결과 Case 1(연결열부하 100Gcal/h)의 경우 IRR은 4.6%로 사업성이 없는 것으로 분석되었으며, Case 2, 3(연결열부하 120Gcal/h, 140Gcal/h)의 경우 각각 IRR 6.2%, 6.9%로 시중 금리 보다 높은 수익률을 도출하였다.

사업의 규모가 커질수록 PLBwg의 가동으로 수익성이 떨어졌으며, 9.9MW급 바이오매스 열병합발전 적정 사업규모는 연결열부하기준 100Gcal/h 이상, 140Gcal/h 이하로 분석되었다.

Table 13. Standard of Sensitivity Analysis

구분	Worst Case	Normal Case	Best Case
연료단가	+5%	0%	-5%
열요금단가	-5%	0%	+5%
투자비	+5%	0%	-5%
REC단가	-5%	0%	+5%
SMP단가	-5%	0%	+5%

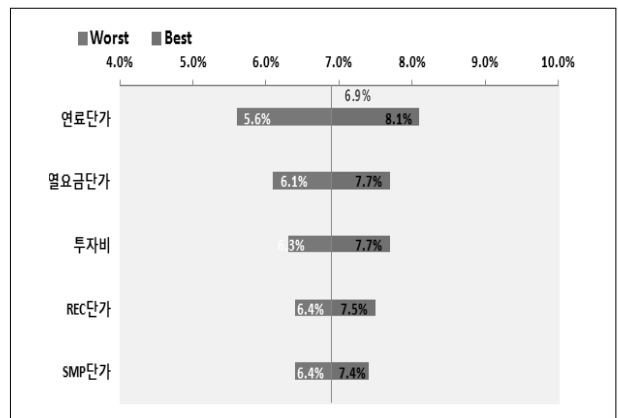


Fig. 13 Analysis Result of Sensitivity

사업의 민감도를 분석한 결과 바이오매스의 연료가격이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 연료가격이 5% 상승시 IRR이 1.3% 하락하였고, 5% 하락시 IRR이 1.2%로 증가하였다.

예측할 수 없는 화석연료의 가격 및 수급의 불안정과 높아 가는 환경규제정책에 대응하기 위해 신재생에너지를 이용한 사업의 중요성은 점점 커지고 있다. 그 중 전기와 열을 동시에 생산할 수 있는 바이오매스를 이용한 열병합 발전사업이 점차 확대 될 것으로 예상된다. 이런 바이오매스를 이용한 사업의 사업성을 확보하기 위해서는 열수요처에 맞는 적정규모의 설비 설계 및 안정적인 연료수급을 통한 연료가격 변동성을 줄여야 할 것이다.

References

- [1] Korea Energy Economics Institute, 2011, A Study on the Plan for the Promotion of District Heating and Cooling using Renewable Energy.
- [2] Korea Energy Management Corporation, 2013, Korea Energy Handbook 2013.
- [3] Korea Energy Management Corporation, 2013, District Heat and Power Business Handbook 2013.
- [4] Korea Energy Management Corporation, 2013, 2012 New&Renewable Energy White Paper.
- [5] Korea Energy Economics Institute, 2014, KEEI Monthly Energy Trends.
- [6] Korea Energy Economics Institute, 2013, 2013 Yearbook of Energy Statistics.
- [7] Korea Energy Economics Institute, 2010, A Study on the Optimization of District Heat and Power System.
- [8] Korea Power Exchange. 2014, Market Report 2013.
- [9] BP, 2014, 2014 Energy Outlook 2035.
- [10] EIA, 2014, Annual Energy Outlook 2014 Early Release Overview.

최재영



2010년 (주)GS파워 입사
2014년 연세대학교 에너지자원공학과 공학석사

현재 GS파워 영업전략팀 사원
(E-mail : chlwo083@hanmail.net)

설용건



1977년 연세대학교 화학공학과 공학사
1979년 한국과학기술원(KAIST) 화학공학과 공학석사
1986년 일본 동경대학교 화학에너지공학과 공학박사

현재 연세대학교 화공생명공학과 교수
(E-mail : shulyg@yonsei.ac.kr)