

기대지열온도하에서 GDHS의 경제성분석 사례연구*

A Case Study for the Economic Feasibility Model and Analysis of a GDHS Given Geothermal Temperature

양문희** · 김태유*** · 이상규****

Moonhee Yang** · Tai-Yoo Kim*** · Sang-Kyu Lee****

— Abstract —

A GDHS(Geothermal District Heating System) is a heating system supplying a group of districts with heat extracted from geothermal sources. The advantages of GDHS include saving fuel consumption as well as reducing air pollution.

This paper presents a case study for the economic feasibility model and analysis of a GDHS with which central/individual heating systems are replaced. Configuring to a simplified GDHS which consists of subsurface systems, surface systems, and transmission/distribution systems, we find out the properties of the system and the model parameters affecting the initial investment/operating costs in order to develop a classical economic feasibility model given geothermal temperature. Based on our model parameter space, we analyzed the geothermal development project of the Jejoo Island probabilistically given prior information such as the expected geothermal power, the demand size and the length of transmission/distribution pipes.

* 1994년도 통산산업부에서 시행한 대체에너지 기술개발사업의 연구지원에 의해 수행되었음.

** 단국대학교 산업공학과

*** 서울대학교 자원공학과

**** 한국자원연구소 자원탐사연구부

1. 서론

지역난방시스템(DHS: District Heating System)은 아파트단지 규모의 중앙난방시스템(CHS: Central Heating System)과 달리 지역 중심으로 열을 공급하는 시스템이며 폐열을 재활용하기 때문에 열공급가격이 저렴하여 전세계적으로 그 이용도가 높아지고 있다[5]. DHS의 일반적 단점 중 하나는 화석연료의 사용으로 인한 환경오염에 있기 때문에 청정 에너지인 지열을 이용할 수 있다면 화석연료 절감효과, 환경개선효과, 및 부대효과 외에도 더의에너지 의존도를 낮출 수 있어 국가정책과 부합되므로 지열이용 지역난방전략은 그 경제적 타당성 문제에 귀착하게 된다.

지열이용 지역난방시스템(GDHS: Geothermal District Heating System)의 경제성은 지열 온도, 열저수지의 용량 등과 같은 지열자원의 특성, 시추시의 불확실성, 열수요규모, DHS의 설계 및 운영방법, 에너지경제환경의 변화, 경제성분석방법 등 여러 가지 요인들에 의해 좌우된다. 본고에서는 합리적인 제단 가정하에 상기요인들을 고려하여 GDHS를 단순화하였으며 시스템의 특성이 반영되는 경제성모형의 개발을 시도하였다. 또한 제주도 GDHS 건설시 사전정보로서 오직 기대 지열온도(95℃)만 주어졌을 경우 에너지분야의 제반통계에 입각하여 추정된 모형매개변수를 본모형에 적용하여 지열사업투자의 경제성유무를 확률적으로 분석하였다.

자원개발 및 이용과 관련된 불확실성과 순차적 의사결정체계를 내포하는 경제성모형은 기본모형으로 Weitzman모형[8]과 Stensland와 Tjostheim모형[6]을 중심으로 다수의 변경된

논문이 발표되었다. 그러나 본고에서는 기존 모형을 이용할 경우 매개변수의 추정불능과 대상시스템의 개별적 특성이 결여되어 GDHS에 직접적인 응용이 어려우므로 GDHS의 특성을 감안한 고전적 경제성분석을 시도하였다.

2. GDHS의 경제성모형

GDHS를 건설할 때 송배열관시스템(Transmission/Distribution System)의 말단으로부터 CHS 또는 개별 열수용자까지의 배관공사비는 수용자 자체부담이므로 GDHS의 경제성분석은 민간투자의 경우 열생산소(Geothermal Plant)와 송배열관시스템의 초기투자비, 운영비 및 열판매수익에 좌우된다.

열생산소의 초기투자비는 지하설비투자비(Subsurface Investment Cost), 지상설비투자비(Surface Investment Cost)로 구분할 수 있다. 지하설비투자비는 生産井(Production well: 지열을 지상으로 이동하기 위한 시설물)과 還元井(Re-injection well: 지열수를 지하로 환원하기 위한 시설물)의 건설비용 등을 포함한다. 지상설비투자비는 송배열관시설물을 제외한 지상시설물을 의미하며 열교환기, 부속 시설물 및 지열지역공급소의 건설비를 의미한다. 송배열관설비투자비는 열생산소에서 열수요자에 이르는 송열관 및 배관망 건설비용을 의미한다.

열생산소의 일부인 생산정과 환원정의 건설비는 지화학 및 물리탐사를 통하여 최적위치로 판정된 여러 시추정의 지열생산 가능유무에 따라 달라지나 이러한 탐사비 및 시추 실패비용은 정부지원하에 이루어지고 제주도

의 과거실적자료는 전무하므로 본고에서는 무시하였다. 대부분의 국가에서는 국가차원에서 정밀탐사를 거쳐 지열지역을 선포하므로 시추실패의 확률은 대단히 낮기 때문에 상가비용은 무시할 수 있는 수준이다[7].

2.1 초기투자비

지하설비투자비(I_{SUB})는 생산정과 환원정의 충수에 비례하고, 환원정은 生産井數에 관계 없이 한 개를 건설하며 생산정과 환원정의 건설비용은 동일하다고 가정하자. 참고로 프랑스, 미국, 아이슬란드 등 지열이용국가에서 통상 1-2개이다[7]. 열수용기구수를 N , N 규모의 수요를 만족하기 위해 필요한 생산정수를 N_s , 井當 지하설비투자비를 c_s 라 하면 I_{SUB} 는 $c_s(N_s+1)$ 이 된다. N_s 는 供需量條件(열공급량 \geq 열수요량)과 供需負荷條件(최대공급부하 \geq 최대수요부하)에서 다음과 같이 산출된다.

지열이 연료비를 대체하기 때문에 가능한 지열생산을 최대화한다면 열생산원가를 낮출 수 있다. 지열생산의 최대화방법 중 하나는 열수요 전체를 지열로 공급하는 것이다. 그러나 열수요의 100%를 지열로 충당한다면 생산정수의 증가로 인한 초기투자비의 증가와 지열자원의 고갈을 가속화시키는 단점이 있다. 따라서 지열은 기저부하에 이용하면서 생산량을 최대화하는 전략이 일반적이다. 예를 든다면 프랑스는 약 70%전략을 택하고 있으며 열수요의 부족분은 화석연료를 이용하는 열전용 보일러로 충당한다. 그러나 미국과 아이슬란드의 경우 대부분 100%전략을 이용하고 있는 실정이다[4]. 두전략 중 어느 것이 합리적인지 단순히 판단할 수 없으나 경제적 측면에서 적절한 지열충당률(Geothermal Coverage: 열수요에 대한 지열공급량의 비율)과 적절한 지열력충당률(Geothermal Power Coverage: 최대공급부하에서 최대지열부하로 충당되는 비율)이 존재할 것이다. 본고에서는 지열충당률과 지열력충당률을 모형 매개변수로 도입하였다.

지열정 한 정당 예상되는 지열력을 P_G (Gcal/h), 송배열시 열손실률을 r_L 이라고 하면 P_G 로 공급가능한 연간지열공급량은 열생산소의 보수시간을 무시한다면 $8760P_G(1-r_L)$ 이 된다. 지열충당률을 r_G , 가구당 연간열수요량을 Q_{dwell} , P_G 로 공급 가능한 최대 열수용기구수를 N_G 로 하면, 열전용보일러 공급열을 포함한 연간열공급량은 $\frac{8760P_G(1-r_L)}{r_G}$, 연간열수요량은 $Q_{dwell}N_G$ 가 되므로 供需量條件으로부터 다음 식이 성립한다.

$$\frac{8760P_G(1-r_L)}{r_G} \geq Q_{dwell}N_G \quad (1)$$

열수용기구당 최대수요부하를 P_{MAX} , 수요부하는 열수용기구수에 비례한다고 가정한다면 최대수요부하는 $P_{MAX}N_G$ 가 된다. 지열력충당률을 r_P 라 하면 열전용보일러 공급열력을 포함한 생산정당 최대공급부하는 $\frac{P_G}{r_P}$ 가 된다. 供需負荷條件式으로부터 다음 식이 성립한다.

$$\frac{P_G}{r_P} \geq P_{MAX}N_G \quad (2)$$

$$N_G = \text{Min} \left[\frac{8760P_G(1-r_L)}{r_G Q_{dwell}}, \frac{P_G}{r_P P_{MAX}} \right]$$

L 을 연평균부하율($=\frac{P_{AVE}}{P_{MAX}}$), P_{AVE} 를 평균수요부하($=\frac{Q_{dwell}}{8760(1-r_L)}$)로 하자. 열생산소 운영통계

에 따르면 $\frac{1}{r_G} \geq \frac{L}{r_P}$ (표1의 수치 참조)이 성립하므로 상기식에서 P_{MAX} 를 소거하면 N_G 는 다음과 같이 표시된다.

$$N_G = \frac{8760(1-r_L)P_G L}{r_P Q_{dwell}} \quad (3)$$

정당 저열력 P_G 로 N_G 가구를 열공급할 수 있으므로 N_w 는 $\frac{N}{N_G}$ 가 된다. 식(3)을 이용하여 I_{SUB} 는 다음과 같이 표시된다.

$$I_{SUB} = c_w \left[\left[\frac{r_P Q_{dwell} N}{8760 P_G L (1-r_L)} \right] + 1 \right] \quad (4)$$

여기서 $[x]$ 는 x 보다 큰 가장 작은 정수이다.

Gcal/h당 지상설비투자비를 c_s 로, 연평균이 용률을 U 로 놓고 지상설비투자비(I_{SUR})는 시설용량 ($= \frac{P_{AVE} N}{U}$)에 비례한다고 가정하면 I_{SUR} 는 다음과 같이 표현된다.

$$I_{SUR} = c_s \frac{Q_{dwell} N}{8760(1-r_L)U} \quad (5)$$

송배열관길이를 D (Km), Km당 송배열설비 초기투자비용을 c_t 로하면 송배열관설비 초기 투자비(I_{TD})는 $c_t D$ 가 된다. 식(4)와 (5)를 이용하여 총설비투자비 I 는 다음과 같이 N 과 D 의 함수로 표시될 수 있다.

$$\begin{aligned} I &= I_{SUB} + I_{SUR} + I_{TD} \\ &= c_w \left[\left[\frac{r_P Q_{dwell} N}{8760 P_G L (1-r_L)} \right] + 1 \right] \\ &\quad + c_s \frac{Q_{dwell} N}{8760(1-r_L)U} + c_t D \end{aligned} \quad (6)$$

2.2 연간운영비

한국지역난방공사의 원가항목과 일치시키기 위해 연간운영비(C_o)는 연간준운영비(C_o'), 연료비(C_f), 법인세(C_r)로 대분하였으며, 준운영비는 연료비, 법인세 및 "감가상각비"가 제외된 동력비, 용수비, 인건비, 수선유지비, 세금과공과금, 보험료, 제조경비, 일반관리비 등으로 정의되었다[3].

운영비의 추정을 N 의 함수로 표시하자. 준운영비는 열판매수익(R)의 $100r_o\%$ 로 가정하였다. 주택용 열요금은 기본요금과 사용량요금으로 분리되어 있으며 기본요금은 계약면적 m^2 당 a 원/ m^2 월, 사용량요금은 b 원/Gcal이다. 따라서 C_o' 는 $r_o(a+bQ_{dwell})N$ 이 된다.

열전용 보일러에 투입되는 연료비 단가(최종에너지 기준)를 P_f (원/Gcal)로 하면 C_f 는 $(1-r_G)Q_{dwell}N P_f$ 가 된다. 열전용 보일러에 투입되는 화석연료는 여러 종류가 있으므로 화석연료 j 의 투입비율을 λ_j 라고 하면 P_f 는 복합 가격으로 다음과 같이 표시된다.

$$P_f = \frac{1}{(1-r_L)E_b} \sum_{j=1}^m \frac{\lambda_j CF_j}{QF_j}$$

E_b = 열전용보일러의 열효율

m = 투입 화석연료의 종류

CF_j = 열전용보일러에 공급되는 화석연료 j 의 단가 : 원/단위

QF_j = 열전용보일러에 공급되는 화석연료 j 의 열효율 : Gcal/단위

법인세는 경상이익이 양인 경우는 경상이익의 $100r_r\%$ ($r_r \neq 0$)으로 가정하였다. 경상이익이 음인 경우 법인세는 0으로 가정하였으며 이 경우 $r_r=0$ 과 동일한 결론에 이른다. 본고

에서는 경상이익이 음인 경우 의미가 없으므로 분석대상에서 제외하였다.

잔존가치를 무시하고, 2년 후부터 정액법을 이용하여 산출된 연간 감가상각비를 C_o , GDHS의 설비수명을 n 으로 하면, 경상이익은 $\{R-(C_o'+C_F+C_T)\}$ 이므로 C_T 는 $r_T\{R-(C_o'+C_F+C_T)\}$ 가 된다. 따라서 C_o 는 N 과 D 의 함수로 식(7)과 같다.

$$C_o = C_o' + C_F + C_T \\ = (\beta_o + \beta_1 P_p)N - \alpha_1(N) - \alpha_o \quad (7)$$

여기서

$$\beta_o = (r_o + r_T - r_o r_T)(a + bQ_{dwell}) \frac{r_T c_s Q_{dwell}}{8760nU(1-r_T)}$$

$$\beta_1 = (1-r_G)(1-r_T)Q_{dwell}$$

$$\alpha_o = \frac{r_T(c_i D + c_w)}{n}$$

$$\alpha_1(N) = \frac{r_T c_w}{n} \left[\frac{r_p Q_{dwell} N}{8760 P_G L (1-r_L)} \right]$$

순수익 $A(=R-C_o)$ 를 N 의 함수로 표시하면 다음과 같다.

$$A = (\beta_2 - \beta_1 P_p)N + \alpha_1(N) + \alpha_o \\ \beta_2 = (1-r_T)(1-r_o)(a + bQ_{dwell}) + \frac{r_T c_s Q_{dwell}}{8760nU(1-r_T)}$$

인플레이션율을 제외한 할인율을 i , GDHS의 건설기간은 2년, 2년 후부터 열판매수의 o' 있다고 가정하면 사업의 순현재가(NPV: Net Present Value)는 다음과 같이 산출된다.

$$NPV = A(P/A, i, n)(P, F, i, 1) - I \quad (8)$$

$$\text{여기서 } (P/A, i, n) = \frac{\{(1+i)^n - 1\}}{i(1+i)^n}$$

$$(P, F, i, n) = \frac{1}{(1+i)^n}$$

지열공급가격(c)을 I 와 C_o 를 회수하는 할인

단가로 정의한다면 적정이익이 보장되지 않기 때문에 그 가격은 최소판매가격이 될 것이다. 즉 본고의 지열공급가격은 민간기업이 제공할 수 있는 최소판매가격이 될 것이다. 따라서 지열최소판매가격(c)은 최종에너지 가격기준으로 다음 식을 만족하여야 한다.

$$I + C_o(P/A, i, n)(P/F, i, 1) \\ = cQ_{dwell}N(P/A, i, n)(P/F, i, 1) \\ c = \frac{C_o + I(A/P, i, n)(F/P, i, 1)}{Q_{dwell}N} \quad (9)$$

3. 경제성분석

3.1 자료의 추정

프랑스, 미국, 아이슬란드의 지열통계자료 [7]를 중심으로 c_w , c_i , r_o 와 U 를 추정하였으며, 한국지역난방공사 경영통계[3]를 중심으로 c , a , b , C_o , C_o' , E , L , P_p , r_o , r_L 를 추정하였다. 나머지 P_{AVE} , P_{MAX} , Q_{dwell} 의 매개변수는 에너지경제연구원의 에너지센서스 통계자료[1]를 중심으로 추정하였다. 본고에서 언급된 제반수치는 가격을 포함하여 1994년 기준임을 참조한다.

P_o 의 추정은 지열수온도, 지열수열용량, 열교환기의 열효율, 유체의 열용량, 환원온도 등에 좌우되며 지열수열용량은 지열수비열, 지열수비중 과 생산속도에 따라 결정된다. 프랑스의 경우 지열생산속도는 130-300m³/hr, 미국은 35-250m³/hr로 지열자원고갈의 가속화를 막기 위해 통상 400m³/hr이하로 설정할 수 있다[7]. 본고에서는 생산속도를 50m³/hr-400m³/hr, 지열기대온도를 95℃로 가정하여 P_o 를 3-27Mw의 범위에 있는 입력변수로 하였다.

표 1. 모형매개변수의 추정치

기 호	정 의	추 정 치
a	열수용가 가구당 연간 기본요금	46,200원/년, 가구
b	열사용량 요금단가	23,910원/Gcal
C_o	감가상각비를 제외한 운영비	
C_o'	준운영비	
c_w	정당 설비투자비용	15.949억원/정
c_s	Gcal/h당 투입되는 지상설비 초기투자비용	1.190억원/Gcal/h
c_t	Km당 투입되는 송배열관설비 초기투자비용	3.17억원/Km
E_b	열전용보일러의 열효율	0.895
L	연평균부하율	30%
N_w	N규모의 열수용자를 공급하기 위한 최소의 생산정수	
P_{AVE}	열수용 가구당 평균열부하	1.35888×10^3 Gcal/h
P_i	열전용보일러에 투입되는 복합연료의 평균가격	13,861원/Gcal
P_{MAX}	열수용 가구당 최대열부하	4.5296098 Gcal/h
Q_{dwel}	제주도 아파트기준 가구당 연간 열수요량	11.5467 Gcal/년, 가구
r_o	열판매수익에 대한 준운영비의 비율	16%
r_G	지열충당율	70%
r_L	송배열 열손실률	3%
r_T	법인세율	40%
U	연평균이용률	25%

제주도 도시의 인구수는 약 32만명(1990년 기준)으로 지역난방이 가능한 가구수는 10,000가구(약 4만 인구에 해당함)정도 예측된다. 물론 호텔, 온실, 빌딩 등에도 열공급이 가능하나 이러한 열수요를 포괄적으로 수용하여 10,000가구에 해당한다고 간주할 수 있다[2]. 따라서 본고에서는 N을 1000-10000가구의 범위에 있는 입력변수로 하였다. D는 제주도의 지리적 특성을 감안하여 0-30Km, r_p 는 프랑스의 GDHS 경영통계를 고려하여 30%와 50%

로 정하였다. 30%의 지열력충당률은 현재로서는 낮게 추정되었다고 볼 수 있으나 향후 하절기 열수요가 꾸준히 증가할 것으로 예상되므로 20년간 열공급사업을 고려할 때 30%수준은 정당화될 수 있을 것이다

난방용열에너지 원별구성비율은 전국적으로 일정하다는 가정 하에 제주도 가구당 연간 난방에너지를 추정하였고, 도시주택형태별 가구당 에너지 소비비율을 곱하여 최종에너지 기준으로 Q_{dwel} 을 추정하였다.

c_s 는 대표적인 프랑스 GDHS의 평균치로 추정하였고, c_s 는 한국지역난방공사의 지상설비 평균 투자비용으로 추정하였다(표1). 송배열관시설 초기투자비는 송배열관의 지상 또는 지하설치여부, 송배열관재질, 직경, 단열우무, 노면 및 지질상태, 굴착시 방해물 등 많은 요인에 의해 최고 6배까지 이를 수 있다. 본고에서는 직경 30mm로, 단열두께를 직경의 10%로 가정하여 3.17억원/Km로 추정하였다.

한국지역난방공사의 투입연료를 고려하여 저유황 경유와 저유황 LSWR를 10:90의 비율(저유황 경유의 가격은 237원/l, 발열량은 9.2Mcal/l, 저유황 LSWR의 가격은 96.92원/l, 발열량은 9.223 Mcal/l이다.)을 가정하고, 추정치 $r_f=3\%$, $E_b=0.895$ 를 대입하여 P_c 를 13,861원/Gcal로(가구당 연료비는 48,016원/가구,년) 추정하였다. 향후 20여 년 간 열전용보일러에 사용될 화석연료의 종류와 투입비율, 그리고 연료가격을 예측할 수 있다면 예측된 자료를 이용하여 정밀한 연료비를 산출할 수 있을 것이나 본고에서는 가격상승률을 고려하지 않았다.

할인율은 경제통계연보의 각종 이자율, 기업경영분석의 제조업자본비용, 제조업의 자본순이익율을 분석하여 6%로 추정하였으며 [2], 법인세율은 통상적 관점에서 경상이익의 40%를 가정하였다. 나머지 모형매개변수의 추정치는 표1에 요약하였다.

3.2 분석결과

모형매개변수의 추정치가 합리적으로 추정되었다고 가정할 때 본고의 GDHS의 경제성 모형은 지열력 수준, 열수용자의 규모, 송배

열관길이, 및 지열력충당률 등의 입력변수에 크게 좌우된다. 물론 생산정 및 환원정의 수에 따라 경제성은 변동되나 본고에서 제시한 최소로 필요한 정수결정방법이 환경오염비용이 감안되지 않은 화석연료의 열공급원가와 동일한 조건하에 비교될 수 있다는 장점이 있다.

P_c 의 추정구간은 3-27Mw로, 열수용자규모와 송배열관길이는 1,000-10,000가구, 0-30Km로, 지열력충당률은 30%와 50%로 입력변수공간을 제한하여 분석하였다. 일례로 표2는 D를 y축으로 N을 x축으로 (7Mw, 30%)에 대한 결과치를 요약하고 있다. 즉 ($P_c=7Mw$, $N=10,000$ 가구, $D=20Km$, $r_f=30\%$)일 때 총투자비는 약 192억원, 연간운영비는 약15억원, 열관매원가는 28,373원/Gcal, 사업의 순현재가치는 -5.77억원, IRR=5.67%를 보여주고 있다.

입력변수공간상에서 총괄분석된 결과는 표3으로 요약되었다. 표3에서 가로축은 열수용가구수(단위:1,000명)를, 세로축은 지열력(Mw)을 표시한다. “#” 또는 “*”표시는 순현재가가 0보다 큰 경우로 민간투자가 유발되기 시작하는 매개변수영역을 의미한다. “*”표시는 내부수익률이 10% 이상인 영역으로 기업의 최소요구수익률(MARR: Minimum Attractive Rate of Return)이 10%라는 가정 하에 “적극적” 민간투자가 유발되는 매개변수의 영역을 의미하며 “경제성 있음”으로 정의한다. 공란은 순현재가가 음으로 경제성이 없는 경우를 표시하고 있다.

표3에서 제시된 바, $r_f=30\%$ 일 때 민간투자가 유발되기 시작하는 매개변수영역은 ($D=0$, $P_c=3$, $N \geq 7,000$), ($D=0$, $P_c \geq 5$, $N \geq 3,000$), ($D=10$, $P_c=5$, $N \geq 8,000$), ($D=10$, $P_c=7$, $N \geq$

표 2. (7Mw, $r_f=30\%$)의 경제성분석표

송배열관길이 (Km)	가구수	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	10,000
		정수 Q_s (Gcal)	2 11,904	2 23,808	2 35,711	2 47,615	3 59,519	3 71,423	3 83,327	3 95,231	4 107,134
0	I: 억원	38.37	44.83	51.30	57.77	80.19	86.66	93.12	99.59	122.01	128.48
	C_0 : 억원	1.12	2.88	4.63	6.39	7.83	9.59	11.34	13.10	14.54	16.30
	DUC: 원/Gcal	40,401	30,399	27,064	25,397	28,397	25,397	24,682	24,146	24,841	24,397
	NPV: 억원	-15.60	-6.21	3.18	12.57	9.46	18.85	18.24	37.63	34.52	43.91
	IRR: %	0.82	4.41	6.68	8.27	7.26	8.27	9.11	9.81	8.91	9.48
10	I: 억원	70.07	76.53	83.00	89.47	111.87	118.36	124.82	131.29	153.71	160.18
	C_0 : 억원	1.00	2.24	4.00	5.76	7.20	8.95	10.71	12.47	13.91	15.66
	DUC: 원/Gcal	64,703	40,338	33,691	30,367	30,373	28,710	27,522	26,632	27,050	26,385
	NPV: 억원	-45.97	-31.05	-21.66	-12.27	-15.38	-5.99	3.40	12.79	9.68	19.07
	IRR: %	-3.69	0.82	2.87	4.43	4.41	5.43	6.29	7.04	6.68	7.26
20	I: 억원	101.77	108.23	114.70	121.17	143.59	150.06	156.52	162.99	185.41	191.88
	C_0 : 억원	1.00	1.99	3.37	5.12	6.56	8.32	10.08	11.83	13.27	15.03
	DUC: 원/Gcal	90,074	51,938	40,318	35,337	34,349	32,024	30,363	29,117	29,259	28,373
	NPV: 억원	-77.67	-60.04	-46.50	-37.11	-40.22	-30.83	-21.44	-12.05	-15.16	-5.77
	IRR: %	-6.36	-1.64	0.82	2.25	2.61	3.58	4.43	5.18	5.07	5.67
30	I: 억원	133.47	139.93	146.40	152.87	175.29	181.76	188.22	194.69	217.11	223.58
	C_0 : 억원	1.00	1.99	2.99	4.49	5.93	7.68	9.44	11.20	12.64	14.39
	DUC: 원/Gcal	115,446	64,623	47,683	40,307	38,325	35,337	33,203	31,602	31,468	30,361
	NPV: 억원	-109.37	-91.74	-74.11	-61.95	-65.06	-55.67	-46.28	-36.89	-40.00	-30.61
	IRR: %	-8.15	-3.65	-0.79	0.84	1.33	2.25	3.05	3.78	3.86	4.43

7,000), (D=10, $P_c=9$, $N \geq 7,000$), (D=10, $P_c \geq 11$, $N \geq 6,000$), (D=20, $P_c=9$ 또는 11, $N \geq 10,000$), (D=20, $P_c=13$, $N=8000$ 또는 $N \geq 10,000$), (D=20, $P_c \geq 15$, $N \geq 8,000$)으로 나타났다. 30Km일 경우 순현재가치는 음이므로 표에서 제외하였다. 적극적 민간투자가 유발되는 매개변수의 영역은 송배열관길이가 0인 경우에 한하여 성립되며 ($P_c=9$, $N \geq 9,000$), ($P_c=11$, $N=6,000$ 또는 $N \geq 9,000$), ($P_c \geq 13$, $N \geq 6,000$)으로 나타났다. 11Mw의 경우 7,000-8,000가구가 제외된 이유는 6,000가구에 비해 정

수가 1개 더 증가하여 지하설비 초기투자비의 부담이 난방규모의 경제효과를 초과하기 때문이다. 마찬가지로 $r_f=50\%$ 일 때 표3을 이용하여 민간투자가 유발되기 시작하는 매개변수영역을 구할 수 있다.

제주도 예상지열력은 13개의 구간에서 일양분포를 이룰 것으로 가정할 수 있다. 물론 삼각형분포와 같은 다른 분포를 고려할 수도 있으나 매개변수를 추가로 도입하여야 하고, 현분석시점에서는 지열력의 분포에 대한 정보가 전혀 없으므로 일양분포를 가정하는 것

이 바람직할 것으로 판단된다. 또한 열수용가구의 규모도 일양분포를 따른다고 가정하면 GDHS의 경제성은 알려진 사전정보 하에 확률적으로 산출할 수 있다. 예를 들면 ($D=0, N=6,000, r_p=0.3$)인 사전정보 하에서 사업의 순현재가 0이상일 확률과 내부수익률이 10% 이상일 확률은 표3을 이용하여 각각 92% ($=12/13$), 69%($=9/13$)로 산출될 수 있다. 동일한 방식으로 주어진 (D, N, r_p)의 값에 대한

각각의 확률은 표4-(1)에 요약되었다. (D, r_p) 또는 (N, r_p)의 사전정보가 주어졌을 경우와 (D, N, r_p)의 정보가 전혀 주어지지 않았을 때의 확률은 표4-(2),(3),(4)에 요약하였다.

표4-(4)에서 제시된 바, (D, N, r_p)의 사전정보가 전무할 경우 제주도에서 GDHS를 건설할 때 IRR이 10%를 상회할 확률은 8%로 낮으며, 지열력충당률이 30%로 가능하다면 IRR이 10%를 상회할 확률은 9%로 된다. ($D=20,$

표 3. 민간투자시 예상지열력, 송배열관길이 및 열수용가구수에 따른 경제성

27			*	*	*	*	*	*	*	
25			*	*	*	*	*	*	*	
23			*	*	*	*	*	*	*	
21			*	*	*	*	*	*	*	
19			*	*	*	*	*	*	*	
17			*	*	*	*	*	*	*	
15			*	*	*	*	*	*	*	
13			*	*	*	*	*	*	*	
11			*	*	*	*	*	*	*	
9			*	*	*	*	*	*	*	
7			*	*	*	*	*	*	*	
5			*	*	*	*	*	*	*	
3			*	*	*	*	*	*	*	
P_c/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(D, r_p)=(0,0.3)

27					#	#	#	#	#	
25					#	#	#	#	#	
23					#	#	#	#	#	
21					#	#	#	#	#	
19					#	#	#	#	#	
17					#	#	#	#	#	
15					#	#	#	#	#	
13					#	#	#	#	#	
11					#	#	#	#	#	
9					#	#	#	#	#	
7					#	#	#	#	#	
5					#	#	#	#	#	
3					#	#	#	#	#	
P_c/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(D, r_p)=(10,0.3)

27								#	#	#
25								#	#	#
23								#	#	#
21								#	#	#
19								#	#	#
17								#	#	#
15								#	#	#
13								#	#	#
11								#	#	#
9								#	#	#
7								#	#	#
5								#	#	#
3								#	#	#
P_c/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(D, r_p)=(20,0.3)

27			*	*	*	*	*	*	*	
25			*	*	*	*	*	*	*	
23			*	*	*	*	*	*	*	
21			*	*	*	*	*	*	*	
19			*	*	*	*	*	*	*	
17			*	*	*	*	*	*	*	
15			*	*	*	*	*	*	*	
13			*	*	*	*	*	*	*	
11			*	*	*	*	*	*	*	
9			*	*	*	*	*	*	*	
7			*	*	*	*	*	*	*	
5			*	*	*	*	*	*	*	
3			*	*	*	*	*	*	*	
P_c/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(D, r_p)=(0,0.5)

27					#	#	#	#	#	
25					#	#	#	#	#	
23					#	#	#	#	#	
21					#	#	#	#	#	
19					#	#	#	#	#	
17					#	#	#	#	#	
15					#	#	#	#	#	
13					#	#	#	#	#	
11					#	#	#	#	#	
9					#	#	#	#	#	
7					#	#	#	#	#	
5					#	#	#	#	#	
3					#	#	#	#	#	
P_c/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(D, r_p)=(10,0.5)

27								#	#	#
25								#	#	#
23								#	#	#
21								#	#	#
19								#	#	#
17								#	#	#
15								#	#	#
13								#	#	#
11								#	#	#
9								#	#	#
7								#	#	#
5								#	#	#
3								#	#	#
P_c/N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(D, r_p)=(20,0.5)

(2) (D, r_p)의 사전정보가 주어졌을 경우(P_c 와 N 은 미지)

D \ r_p	0.3		0.5	
	NPV ≥ 0	IRR $\geq 10\%$	NPV ≥ 0	IRR $\geq 10\%$
0	0.77	0.35	0.70	0.22
10	0.43	0.00	0.35	0.00
20	0.19	0.00	0.09	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00

(3) (N, r_p)의 사전정보가 주어졌을 경우(P_c 와 D 는 미지)

N \ r_p	0.3		0.5	
	NPV ≥ 0	IRR $\geq 10\%$	NPV ≥ 0	IRR $\geq 10\%$
1000	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.00	0.00	0.00	0.00
3000	0.23	0.00	0.19	0.00
4000	0.23	0.00	0.21	0.00
5000	0.23	0.00	0.21	0.00
6000	0.40	0.17	0.33	0.12
7000	0.46	0.15	0.40	0.10
8000	0.63	0.15	0.48	0.06
9000	0.62	0.19	0.46	0.15
10000	0.67	0.19	0.58	0.13

(4) (P_c, D, N)의 사전정보가 전혀 없을 경우

$r_p=0.3$		$r_p=0.5$	
NPV ≥ 0	IRR $\geq 10\%$	NPV ≥ 0	IRR $\geq 10\%$
0.35	0.09	0.29	0.06

표 5. 할인율 및 투자비 변동에 대한 NPV와 IRR의 변동분석
(7Mw, 10,000가구, 20Km, $r_p=30\%$ 기준)

단위 : 억원

할인율 \ ΔI	-10%	-5%	0%	5%	10%
4%	47.1	40.0	32.9	25.8	18.7
5%	26.9	19.6	12.3	5.0	-2.4
6%	9.3	1.8	-5.8	-13.3	-20.8
7%	-6.2	-13.9	-21.6	-29.3	-37.0
8%	-19.8	-27.7	-35.5	-43.4	-51.2
내부수익률(%)	6.58	6.11	5.67	5.26	4.88

표 6. 생산정수의 변동에 따른 순현재가의 변동

ΔN_p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta NPV(\text{억원})$	-12.50	-24.99	-37.49	-49.99	-62.49	-74.98	-87.48	-99.98	-112.48	-124.97

표 7. P_i의 변동에 따른 순현재가의 변동

단위 : 억원

ΔP_i \ N	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	10,000
3,000	0.67	1.35	2.02	2.70	3.37	4.05	4.72	5.40	6.07	6.75
6,000	1.35	2.70	4.05	5.40	6.75	8.10	9.45	10.80	12.14	13.49
9,000	2.02	4.05	6.07	8.10	10.12	12.14	14.17	16.19	18.22	20.24
12,000	2.70	5.40	8.10	10.80	13.49	16.19	18.89	21.59	24.29	26.99
15,000	3.37	6.75	10.12	13.49	16.87	20.24	23.61	26.99	30.36	33.73
18,000	4.05	8.10	12.14	16.19	20.24	24.29	28.34	32.39	36.43	40.48
21,000	4.72	9.45	14.17	18.89	23.61	28.34	33.06	37.78	42.51	47.23
24,000	5.40	10.80	16.19	21.59	26.99	32.39	37.78	43.18	48.58	53.98
27,000	6.07	12.14	18.22	24.29	30.36	36.43	42.51	48.58	54.65	60.72
30,000	6.75	13.49	20.24	26.99	33.73	40.48	47.23	53.98	60.72	67.47

발될 수 있을 것이다. 할인율=6%, $\Delta I=0$ 일 경우 할인율이 1%만 하향하여도 순현재가는 -5.8 억원에서 12.3억원으로 18.1억원이 증가하였다. 이 증가분은 내부수익률이 5.67%로 투자 기업에서 만족할 만한 수준은 아니지만 향후 제반 이자율이 선진국형으로 낮아지는 경향을 고려한다면 기업차원의 지열투자에 대한 관심도가 점진적으로 증가할 것으로 예상된다. 또한 송배열관길이가 10Km 증가할 때마다 순현재가는 24.8억원 일정하게 감소하는 것으로 나타났다.

본 경제성모형의 여타 모형매개변수에 대한 민감도는 식(6), (7)과 (8)을 이용하여 용이하게 산출할 수 있으므로 본고에서는 제외

하였다. 참고로 N_p 와 P_i 의 변동에 대한 순현재가의 민감도는 표6과 표7에 요약하였다.

4. 결론

본고에서는 기대지열온도의 사전정보 하에 GDHS의 경제성모형과 분석과정이 제시되었다. 기대지열온도 95℃를 가정하여 제주도의 GDHS을 건설할 때 본 모형을 적용한 결과 입력변수의 대표점에서는 투자타당성은 약한 것으로 분석되었으나 현재 지열력에 대한 시추결과치가 없고, 제반 입력변수가 확실하지 않으므로 확실적인 결론으로 분석하였다.

그러나 상기 결론은 GDHS에 국한된 것이

겨 지열이용 여타산업에 연계된 분석은 아닌 점에 주지해야 할 것이다. 지열사업은 화석 연료절감과 환경개선효과의 공익행위로 간주되며 이에 상응하는 정부차원의 배려가 있어야 할 것이다. 환언하면 지열이용 지역난방 사업체에 국한하여 온천사업권의 허가 등이 뒤따른다면 관광지역으로 인한 다양한 혜택이 있게 되므로 그 혜택은 지역난방사업으로 인한 손실분을 충분히 보충할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 제주도의 추정지열가격은 여타 에너지가격과 경쟁이 가능하므로 육지의 열가격과 차별화하는 정책을 사용한다면 민간투자는 先地域暖房 後觀光開發이라는 조건부 허가를 한다는 조건하에서 민간차원의 투자가 유발될 것으로 조심스럽게 판단된다.

본고에서 제시된 경제성모형은 상당 부분 단순화되어 있고 여타 산업과 연계되어 있지 않기 때문에 GDHS설계 및 운영변수를 보다 다양화하고 불확실성하의 순차적 의사결정과정을 가미할 수 있는 모형으로 개선이 될 수 있을 것이며, 향후 보완연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 상공자원부, 에너지 총조사보고서, 1993.
- [2] 통산산업부, 제주도 지열자원탐사 및 최적활용방안 연구(II), 941K101-113AP1, 1995. 2.
- [3] 한국지역난방공사, 경영통계, 1993-1994.
- [4] Einarsson, S. S., "Geothermal District Heating" in Geothermal Energy Review of Research and Development, H.C.H. Armstead(ed.), UNESCO, Doc. ISBN 92-3-101063-8, 1973.
- [5] Gudmundsson, J. S. "Direct Uses of Geothermal Energy, 1984", International Symposium on Geothermal Energy International, Volume C, Stone(ed.), Geothermal Resources Council, Davis, California, U. S. A., pp 302-308, 1985
- [6] Gunnar Stensland and Dag B. Tjostheim, "Optimal Decisions With Reduction of Uncertainty over Time - An Application to Oil Production", in Stochastic Models and Option Values, pp 267-291, North Holland, 1991.
- [7] Harrison, R., Mortimer, N. D., and Smarason, O. B., Geothermal Heating, Part III, Pergmon press, 1990
- [8] Martin L. Weitzman, "Sequential R&D strategy for synfuels", The Bell Journal of Economics, Vol. 12, pp574-590, 1981.