ISSN 1229-8565 (print)
한국지역사회생활과학회지
Korean J Community Living Sci
http://dx.doi.org/10.7856/kjcls.2016.27.2.281

ISSN 2287-5190 (on-line)
27(2) : 281~294, 2016
27(2) : 281~294, 2016

OEMGD 알고리즘을 이용한 건물 냉난방용 최적 에너지 믹스 모델에 관한 연구 - 지열히트펌프와 지역냉난방 시스템을 중심으로

이 기 창 · 홍 준 희[1] · 이 규 건[2]†
한국산업기술대학교 지식기반기술 · 에너지대학원
가천대학교 에너지IT학과[1]
서정대학 인터넷 정보과[2]

A Study on the Optimal Energy Mix Model in Buildings with OEMGD Algorithm Focusing on Ground Source Heat Pump and District Heating & Cooling System

Key Chang Lee · Jun Hee Hong[1] · Kyu Keon Lee[2]†
Graduate school of knowledge-based technology & energy, Korea Polytechnic University, Siheung, Korea
Dept. of Energy IT, Gachon University, Seongnam, Korea[1]
Dept. of Internet Information and Communication, Seojeong College, Yangju, Korea[2]

ABSTRACT

This study was conducted to promote consumer interest in Geothermal Heat Pump (Ground Source Heat Pump, GSHP) and district heating and cooling (District Heating & Cooling, DHC) systems, which are competing with each other in the heating and cooling field. Considering not only the required cost data of energy itself, but also external influence factors, the optimal mix ratio of these two energy systems was studied as follows. The quantitative data of the two energy systems was entered into a database and the non-quantitative factors of external influence were applied in the form of coefficients. Considering both of these factors, the optimal mix ratio of GSHP and DHC systems and minimum Life Cycle Cost (LCC) were obtained using an algorithm model design. The Optimal Energy Mix of GSHP & DHC (OEMGD) algorithm was developed using a software program (Octave 4.0). The numerical result was able to reflect the variety of external influence factors through the OEMGD algorithm. The OEMGD model found that the DHC system is more economical than the GSHP system and was able to represent

Received: 4 May, 2016 Revised: 20 May, 2016 Accepted: 24 May, 2016
†Corresponding Author: Kyu Keon Lee Tel: +82-70-7553-8150 E-mail: lkc5683@naver.com
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

the optimal energy mix ratio and LCC of mixed energy systems according to changes in the external influences. The OEMGD algorithm could be of help to improve the consumers' experience and rationalize their energy usage.

Key words: geothermal source heat pump, district heating and cooling system, energy mix, OEMGD algorithm, LCC

I. 서론

화석연료 사용을 줄이고 온실가스를 저감하여 기후변화에 적극 대응하고자 하는 국가적 노력 속에서 2004년 신에너지 및 재생에너지 개발 · 이용 · 보급 촉진법이 제정되었고, 1,000 ㎡ 이상 공공건물에 대한 신재생에너지 공급의무화 비율이 연도별로 상향되는 가운데 국내 신재생에너지 공급은 점진적으로 확대되고 있다. 화석연료를 대체하는 3개의 신에너지(new energy)인 연료전지, 석탄액화가스화, 수소에너지와 8개 재생에너지(renewable energy)인 태양열, 태양광, 바이오, 풍력, 수력, 지열, 해양, 폐기물 에너지(Jo et al. 2009) 중에서 지열에너지는 사계절이 뚜렷하고 연중 일정한 지중 온도는 우리나라의 특성에 적합하고, 외부 기후조건과 환경변화에 관계없이 지속적이고 안정적인 에너지를 공급할 수 있는 장점으로 인해 2010년 이후 국내에서 빠르게 확대되고 있다(Yasukawa & Takasugi 2003; Moretti et al. 2013; Beijia & Volker 2015). 국내에서는 주로 150~200 m 깊이의 수직 밀폐형 열교환기가 설치되어 이용되고 있으며, 2012년 이후 공공기관 지방이전에 즈음하여 정부 세종청사를 비롯한 이전 대상 공공기관의 청사에는 대부분 지열히트펌프가 설치되어 2012년 기준 공공기관에 도입된 신재생에너지의 74%를 지열에너지가 점하고 있다. 일반 건물이외 주택 및 공동주택에 지열히트펌프 시스템 보급을 활성화하기 위해 2009년 5월부터 주택용 지열히트펌프 사용전력에 대한 누진세와 할증료를 폐지하는 등 다양한 지원책이 도입되었다. 이에 따라 공동주택에서도 지열히트펌프 시스템이 냉난방열원으로 이용되기 시작했는데, 수도권 신도시를 중심으로 정책적으로 확대 보급되던 지역냉난방방식에 대해 지열히트펌프가 대체재 형태를 나타내고 있다(Ryu & Jung 2014). 지열히트펌프는 2012년 말 공동주택에서 지열히트펌프와 지역난방을 혼합한 시범사업 사례가 있었으나 일정기간 경과 후 설비의 효율성과 경제성을 평가하기 위한 정량적 자료가 부족한 실정이다(Ko et al. 2007; Jang et al. 2014).

본 연구에서는 농촌에너지 분야에서 에너지 절감 시설로 인식되고 신재생에너지 확대를 위해 장려되는 지열(Kim 2014)과 지역냉난방 시스템의 경제성에 대한 연구를 수행하였다. 소비자의 에너지 비용 절감과 합리적인 에너지 선택을 위하여 건물 냉난방 시스템 도입 전 에너지믹스 최적 구간을 찾는 프로그램 개발에 대한 연구 필요성을 제기하면서, 에너지 선택에 영향을 미치는 두 가지 요소인 정량적 비용 데이터와 정성적인 외부 영향요소를 포함하여 경쟁관계에 있는 GSHP와 DHC 시스템의 최적 이용방안을 찾고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 GSHP와 DHC의 경제성 비교연구를 우선 하였다. 신재생에너지인 GSHP 시스템으로 운영중인 건물의 경제성을 DHC로 공급했을 때의 비용요소들과 비교 연구하였는데 비교대상은 약 3,800 kW 규모의 GSHP 시스템을 설치한 서울 지역의 공공건물과 DHC 2,000 kW규모의 공동주택 건물에 대하여 수명주기 30년을 기준으로 초기투자비, 에너지비용, 수선유지비, 환경비용을 비교한 결과 공공건물의 LCC 비교분석 결과는 Table 1, Fig. 1과 같았으며

Table 1. LCC analysis of GSHP and DHC systems in public buildings

(Thousand Won)

Category	GSHP(A)	DHC(B)	Difference (B-A)	Ratio (B/A)
Initial Investment	4,716,000	1,299,575	- 3,416,425	28%
Energy cost	2,805,959	2,146,922	- 659,037	77%
OM&R	924,231	343,518	- 580,713	37%
Environment cost	2,590	5,525	2,935	213%
Total	8,448,780	3,795,540	-4,653,240	45%

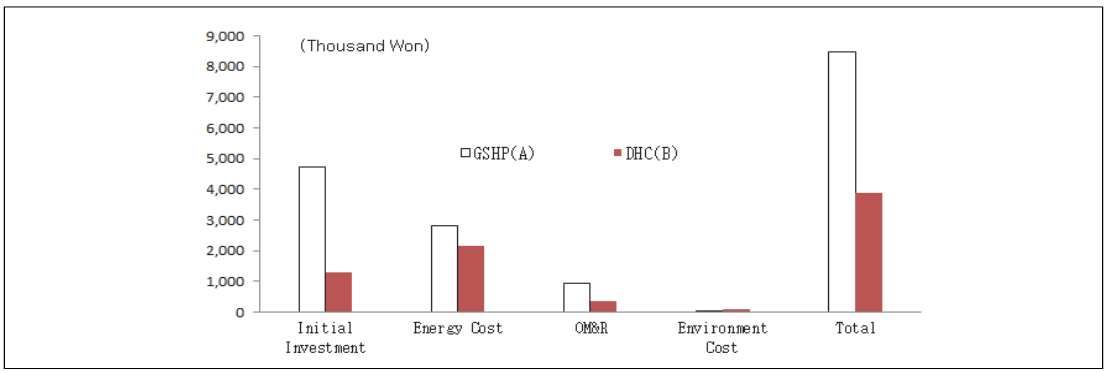


Fig. 1. Comparison of LCC for GSHP and DHC systems in public building

Table 2. LCC analysis of GSHP and DHC systems in apartments

(Thousand Won)

Category	GSHP(A)	DHC(B)	Difference (B-A)	Ratio (B/A)
Initial Investment	2,500,000	610,316	- 1,889,684	24%
Energy cost	1,442,474	1,609,540	167,066	112%
OM&R	360,895	60,347	- 300,548	17%
Environment cost	2,186	2,553	367	117%
Total	4,305,555	2,282,756	-2,022,799	53%

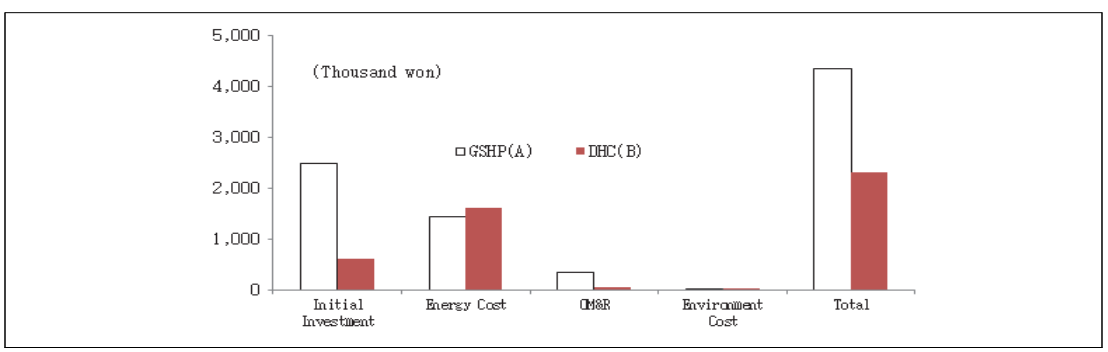


Fig. 2. Comparison of LCC for GSHP and DHC systems in apartment

공동주택 건물에 대해서는 Table 2, Fig. 2와 같았다. 환경비용의 경우 SO_x, NO_x, Dust와 CO_2 처리비를 합산하는 것으로 하였다. 비교 결과 신재생에너지 보급정책으로 빠르게 확대되고 있는 기존 에너지 시스템인 DHC 시스템이 초기투자비가 큰 GSHP 시스템에 비해 비경제적이지만, 공동주택의 에너지비용 면에서는 GSHP 시스템이 경제적이었다. 그 원인을 분석한 결과, 2009년 5월 이후 주택용 GSHP 시스템에 대한 전기요금의 누진세 감면 제도가 시행된 것으로 확인되었다(Ministry of Knowledge Economy 2009). 이와 같이 에너지 시스템은 에너지 자체의 효율 이외에 에너지 채택에 영향을 미치는 외부 영향요소가 있음을 알게 되었다.

신재생에너지와 기존 에너지간의 합리적인 에너지 믹스구간을 찾고자 냉난방을 공급하는 건물 정보를 활용하여 사업수명주기 30년간 소요되는 초기투자비, 에너지비용, 수선유지비, 환경비용을 현재가치로 환산하여 각 건물에서 발생하는 냉난방 에너지 비용을 비교 연구 대상으로 하였다. 또 비용 요소 이외의 신재생에너지와 기존에너지 중 선택에 영향을 미칠 수 있는 조세, 환경비용, 기술비용, 정책 및 건물주의 도입의지 등 9개의 외부 영향요소를 고려하여 최적 에너지 믹스구간을 찾는 알고리즘 모델을 연구 대상으로 하였다.

2. 연구의 범위

냉난방을 공급중인 건물 데이터를 이용하여 에너지 믹스에 영향을 미치는 비용요소인 초기설치비, 에너지 비용, 수선유지비, 환경비용 등 각 시스템의 항목별 LCC 산출을 연구의 범위로 삼았다. 산출된 항목별 LCC를 프로그램을 이용하여 데이터베이스화 하였다.

Table 3. List of external influence factors for OEMGD algorithm

External influence factor	Explanation
GP_{NRE}	Renewable Energy Use (obligation?) coefficient range : 0 ~ 0.5, integer number, default : 0.1
α_{NRE}	Decision maker's renewable energy (GSHP) adoption ratio coefficient. range : 0 ~ 0.5, integer number, default : 0.1 GSHP Use decision coefficient
SR_{NRE}	Social Request level for renewable energy (phase 1, 2, 3, 4) (1 : high request 2 : moderate request 3 : low request 4 : refusal of renewable energy request)
$Ener\ TAX_{GSHP}$	Tax coefficient for GSHP system relating tax policy 0 ~ 99% : tax reduction, over 101% : progressive tax
$Envi\ ER_{GSHP}$	Environment Risk coefficient for GSHP system range : 0 ~ 1, As environment risk allotment of government can be different from real environment risk cost, coefficient was adapted for real cost
$MR\ TR_{GSHP}$	Technology Risk of Maintenance and repair cost in GSHP −1 ~ 0 : cost reduction due to technology progress −1 ~ 0 : cost increase due to technology side effect
$Ener\ TAX_{DHC}$	Tax coefficient for DHC system relating tax policy 0 ~ 99% : tax reduction, over 101% : progressive tax
$Envir\ ER_{DHC}$	Environment Risk coefficient for DHC system range : 0 ~ 1, As environment risk allotment of government can be different from real environment risk cost, coefficient was adapted for real cost
$MR\ TR_{DHC}$	Technology Risk of Maintenance and repair cost in DHC −1 ~ 0 : cost reduction due to technology progress −1 ~ 0 : cost increase due to technology side effect

Table 4. Symbols of LCC cost for OEMGD algorithm

Symbol	Annotation	Symbol	Annotation
$GSHP_{total_LCC}$	*GSHP total LCC*	*I MRI*	Initial Investment of Machine Room Instrument
DHC_{total_LCC}	*DHC total LCC*	*I MRP*	Initial Investment of Machine Room Pipe
I	*Initial Investment cost*	*I CS*	Initial Investment of Control System
Ener	*Energy cost*	*I GHE*	Initial Investment of Geothermal Heat Exchanger
MR	*Maintenance and Repair cost*	*I GHP*	Initial Investment of Geothermal Heat Pump
Envi	*GSHP Environment cost*	*tot*	Total
$MIXR_{NRE}$	*Renewable Energy Mix Rate*	*unit*	Unit
LCC_{UNIT}	*LCC of Unit area*	*HE*	Heat Exchanger
$GSHP_{I\ GHP}$	*GSHP Initial cost*	*ER*	Environment Risk

신재생에너지 이용 의무화 정책, 국내외 사회적 신재생 도입 요구, 건물주의 도입의지와 조세, 환경비용, 기술비용 등 외부 영향요소를 연구 범위에 포함하였다. OEMGD 알고리즘에 포함되는 외부영향요소는 Table 3과 같이 설정하였고 각 영향요소는 영향력의 정도에 따라 계수값을 달리하였다. 에너지 믹스에 영향을 미치는 두 요소 즉 비용요소와 외부영향요소를 Table 4와 같이 기호화 하여 OEMGD 알고리즘에 사용하였다.

GSHP와 DHC 시스템의 최적 믹스구간(Mix Ratio)을 찾아내는 알고리즘 모델을 설계한 후 외부영향 요소의 변화 시나리오별 검증을 통한 알고리즘 모델의 타당성 확인까지를 연구 범위로 하였다.

3. 연구방법

본 연구에서 정량적 비용항목의 LCC 산출시 수명주기는 DHC사업 경제성분석 기간인 30년, 할인율은 예비타당성 조사를 위한 일반지침에 의거 사회적 할

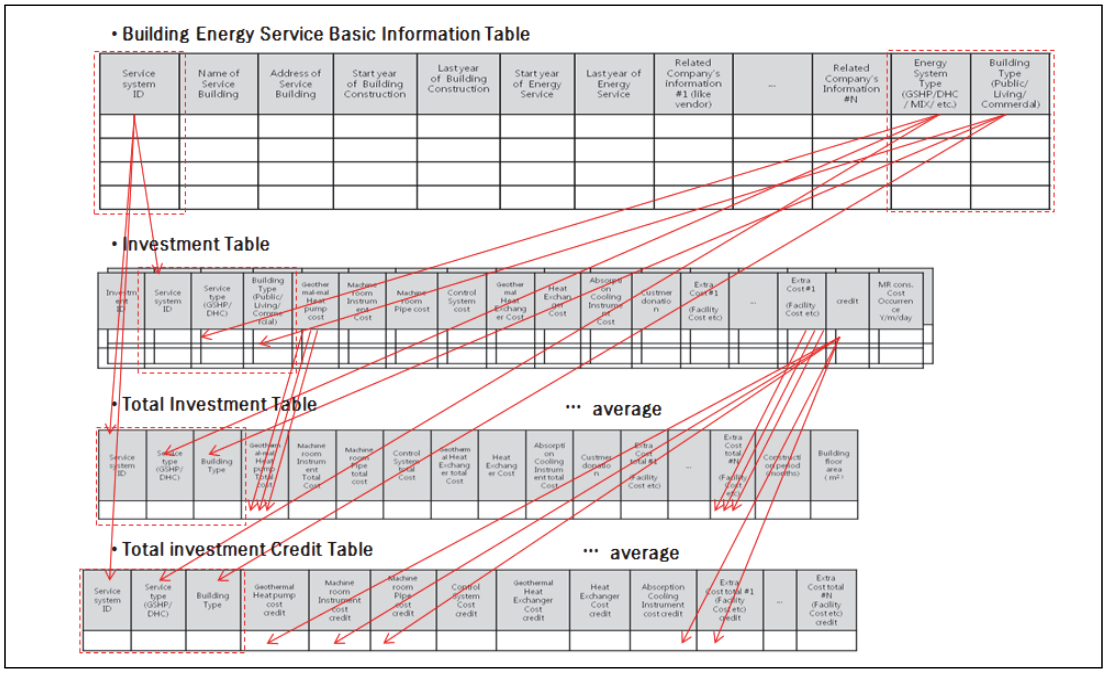


Fig. 3. Network style data model

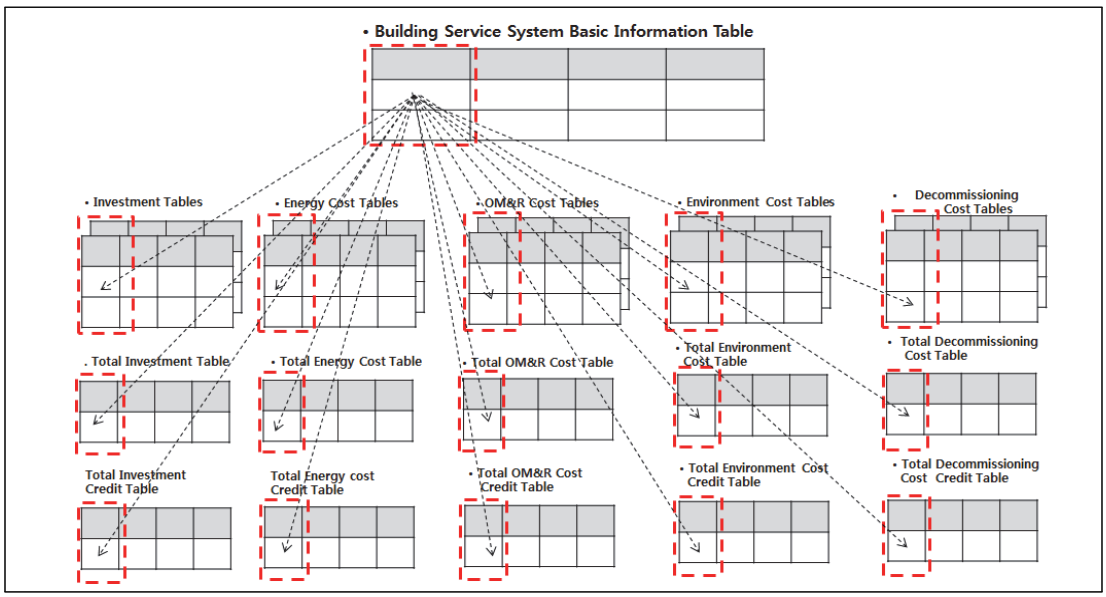


Fig. 4. Quantitative cost factors and network style data model

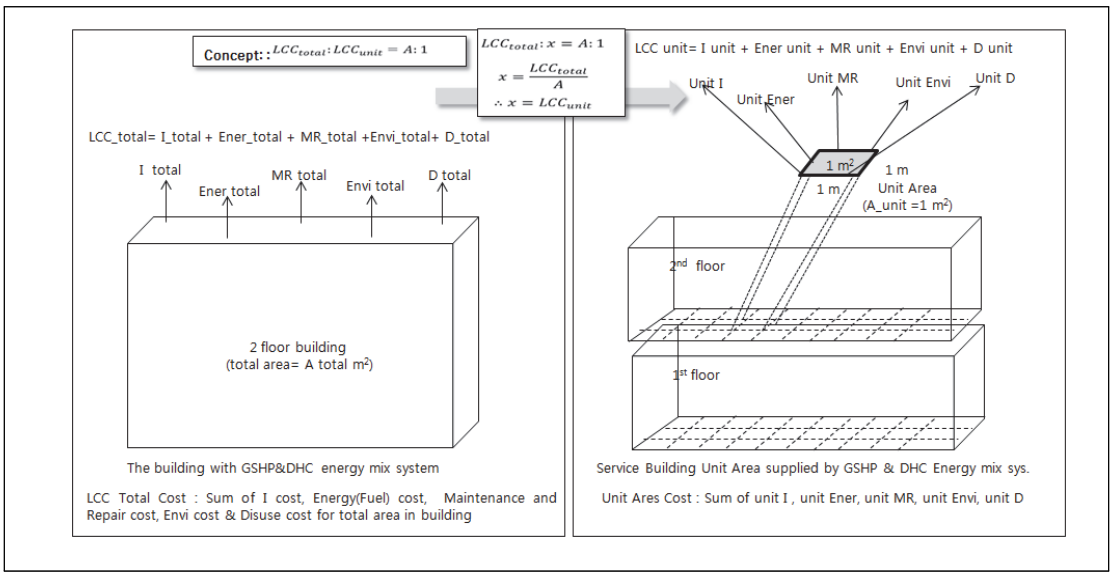


Fig. 5. LCC cost of the unit area (1 ㎡)

인율 5.5%를 적용하였다(Ahn 2008). 실측자료가 축적되지 않는 정량적 데이터는 Cho(2002)의 기존연구에서와 같이 LCC 분석을 위한 데이터 불확실성 처리기법을 기반으로 비용을 추정하였다. 각 비용요소들을 DB화 하였는데 Fig. 3 및 Fig. 4와 같이 초기운영비, 에너지비용, 수선유지비, 환경비용, 폐기비용 등 5가지 비용요소를 DBMS MySQL(Server 5.7.11)을 이용하여 관계형 DB를 구축하였다. 구축된 DB를 이용하여 Fig. 5와 같이 단위비용 요소의 합으로 단위면적당 LCC가 산출되게 하였으며 각 에너지시스템의 LCC 비용은 Table 5와 같았다.

비정량적 외부영향요소는 Table 3과 같이 정부정

책, 국내외 신재생에너지의 도입 요구, 건물주의 도입의지 및 GSHP와 DHC 시스템에 각각 영향을 미치는 조세, 환경비용, 기술발전 등 9개의 요소를 선정하고 각 요소의 영향 정도에 따라 계수를 부여하였다. 9개의 외부영향요소는 가변적인 변량값을 갖는다. 변수들의 확률현상을 컴퓨터로 재현하는 기법을 사용하면 9가지 요소가 각각의 변수를 생성하게 되어, 확률현상의 수학적 해석은 신뢰도가 떨어지게 된다. 이를 해소하기 위해서 시나리오 기법을 적용하여(Choi & Park 2000) 일부 영향요소에 상수를 부여하고 믹스비율에 직접 영향을 미치는 외부 요인들만 난수를 생성하도록 하였다.

단위면적당 두 에너지 시스템의 믹스 비율은 식 (1)과 같이 계산될 수 있고, 신재생에너지 믹스비율 $MIXR_{NRE}$는 식 (2)와 같이 정부정책(Government Policy, GP)과 건물소유주의 의지(α)에 사회적 요구(Social Request, SR)이 결합된 함수로 산정하였다.

$$OEMGD_{unit\ LCC} = MIXR_{NRE} \times GSHP_{unit\ LCC} + (1\text{-}MIXR_{NRE}) \times DHC_{unit\ LCC} \quad (1)$$

$$MIXR_{NRE} = (GP_{NRE} + \alpha_{NRE})^{SR_{NRE}} \quad (2)$$

수치해석 프로그램인 Octave 4.0을 이용하여 OEMGD 알고리즘 모델을 설계하여 최적믹스비율($MIXR_{NRE}$), 건물주의 신재생에너지 도입의지(α_{NRE}), 최적믹스비율일 때 수명주기비용(LCC)을 산출하게 하였다. 9개의 비정량적 외부영향요소의 영향을 관련기관마다 문의하기 어렵고, 얻어진 회신 또한 정확성을 담보하기 어려우므로 몬테카를로 기법(Monte Carlo method)으로 난수를 사용하여 확률과정을 수치적으로 반복 시행함으로서 극한적으로 해를 얻고자 하였다(Lee & Shin 2006). Fig. 6은 몬테카를로 기법을 이용한 OEMGD 알고리즘의 의사코드를 보여준다. 그러나 무한히 많은 난수를 통해 얻어진 결과는 예측범위가 넓어서 특정한 의미를 찾고자 할 때 해석에 문제점이 있을 수 있다. OEMGD 알고리즘 모델에서 설정한 9개의 영향요소를 모두 난수로 확률해석을 하게 되면 해석의 범위가 넓어져 알고리즘의 결과에 대한 신뢰성이 낮아진다.

이 문제를 극복하고자 본 연구에서는 신재생에너지 의무화 목표 등 조절 가능한 외부목표인 정부정책, 조세영향 등에 상수를 부여하고 GSHP와 DHC 시스템의 환경비용, 기술발전에 따른 비용은 동일조건으로 하고 5,000개의 난수를 생성시켜 OEMGD

Table 5. Calculation of LCC cost for OEMGD algorithm

OEMGD Basic Formula (Standard Service Area & Unit Area)
$GSHP_{total\ LCC} = GSHP_{I\ tot\ LCC} + GSHP_{Ener\ tot\ LCC} + GSHP_{MR\ tot\ LCC} + GSHP_{Envi\ tot\ LCC} + GSHP_{D\ tot\ LCC}$
$GSHP_{unit\ LCC} = GSHP_{I\ unit\ LCC} + GSHP_{Ener\ unit\ LCC} + GSHP_{MR\ unit\ LCC} + GSHP_{Envi\ unit\ LCC} + GSHP_{D\ unit\ LCC}$
$DHC_{total\ LCC} = DHC_{I\ tot\ LCC} + DHC_{Ener\ tot\ LCC} + DHC_{MR\ tot\ LCC} + DHC_{Envi\ tot\ LCC} + DHC_{D\ tot\ LCC}$
$DHC_{unit\ LCC} = DHC_{I\ unit\ LCC} + DHC_{Ener\ unit\ LCC} + DHC_{MR\ unit\ LCC} + DHC_{Envi\ unit\ LCC} + DHC_{D\ unit\ LCC}$
GSHP System Basic Formula (Standard Unit Area)
$GSHP_{I\ unit\ LCC} = GSHP_{I\ unit\ GHP} + GSHP_{I\ unit\ MRI} + GSHP_{I\ unit\ MRP} + GSHP_{I\ unit\ CS} + GSHP_{I\ unit\ GHE}$
$GSHP_{Ener\ unit\ LCC} = GSHP_{Ener\ unit\ LCC}$
$GSHP_{MR\ unit\ LCC} = GSHP_{MR\ unit\ GHP} + GSHP_{MR\ unit\ MRI} + GSHP_{MR\ unit\ MRP} + GSHP_{MR\ unit\ CS} + GSHP_{MR\ unit\ GHE}$
$GSHP_{Envi\ unit\ LCC} = GSHP_{Envi\ unit\ SOx} + GSHP_{Envi\ unit\ NOx} + GSHP_{Envi\ unit\ Dust} + GSHP_{Envi\ unit\ CO2}$
DHC System Basic Formula (Standard Unit Area)
$DHC_{I\ unit\ LCC} = DHC_{I\ unit\ HE} + DHC_{I\ unit\ REF} + DHC_{I\ unit\ MRI} + DHC_{I\ unit\ CS} + DHC_{I\ unit\ CD}$
$DHC_{Ener\ unit\ LCC} = DHC_{Ener\ unit\ LCC}$
$DHC_{MR\ unit\ LCC} = DHC_{MR\ unit\ HE} + DHC_{MR\ unit\ REF} + DHC_{MR\ unit\ MRI} + DHC_{MR\ unit\ CS} + DHC_{MR\ unit\ CD}$
$DHC_{Envi\ unit\ LCC} = DHC_{Envi\ unit\ SOx} + DHC_{Envi\ unit\ NOx} + DHC_{Envi\ unit\ Dust} + DHC_{Envi\ unit\ CO2}$
$DHC_{D\ unit\ LCC} = DHC_{D\ unit\ HE} + DHC_{D\ unit\ REF} + DHC_{D\ unit\ MRI} + DHC_{D\ unit\ CS}$

```
For i=1:10000
        GP_NRE=fix((0    + (0.5 -0)*rand())*10^2)/10^2;
        alpha_NRE=fix((0    + (0.5 -0)*rand())*10^2)/10^2;
        SR_NRE=randi([1,4]);%SR_NRE
        MIXR_NRE=(GP_NRE+alpha_NRE)^SR_NRE;
        Ener_TAX_GSHP=fix((0.7+ (1.3 -0.7)*rand())*10^2
                          )/10^2; %Ener_TAX_GSHP(0.7~1.3)
        Envir_NER_GSHP=fix((0+(1 -0)*rand())*10^2)/10^2;
        MR_TR_GSHP=fix((-1+ (1 +1)*rand())*10^2)/10^2;
        Ener_TAX_DHC=fix((0.7 + (1.3 -0.7)*rand())*10^2)/10^
                          2; %Ener_TAX_DHC(0.7~1.3)
        Envir_NER_DHC=fix((0+ (1 -0)*rand())*10^2)/10^2;
        MR_TR_DHC=fix((-1 + (1 +1)*rand())*10^2)/10^2;
        Temp_systems=[GP_NRE; alpha_NRE; SR_NRE; MIXR_NRE; …
                          Ener_TAX_GSHP; Envir_NER_GSHP; MR_TR_GSHP; …
                          Ener_TAX_DHC; Envir_NER_DHC; MR_TR_DHC];
                          OEMGD_systems=[OEMGD_systems Temp_systems];
end
```

Fig. 6. Example of OEMGD algorithm Pseudo-Code using Monte Carlo method

알고리즘 모델의 민감도와 최적 LCC 도출을 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 시나리오별 OEMGD의 결과

신재생에너지 사용 의무화 정책에 따라 보급되고 있는 지열을 이용한 GSHP와 기존 에너지 시스템인 DHC의 최적 믹스모델로 설계한 OEMGD 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 아래 6개의 시나리오를 설정하였다. 비용 데이터는 Table 7과 같이 냉난방을 공급하고 있는 전국 28개 건물의 냉난방 관련 비용 DB를 이용하고 외부영향요소는 몬테카를로 기법을 활용하여 난수를 채택하여, 예시된 Fig. 7과 같이 수치해석 프로그램 Octave 4.0으로 알고리즘 코드를 작성하였다. 각 건물에서 수집된 비용 데이터와 외부영향요소가 믹스되는 개념은 Fig. 8과 같이 나타낼 수 있다. 각 시나리오를 알고리즘으로 산정한 결과 Table 6과 같이 각 시나리오 별 최적 믹스비율과 단위면적 1 ㎡에서 GSHP와 DHC시스템이 믹스된 최소 수명주기비용(LCC)을 얻게 되었다.

1) 시나리오 A

GP_{NRE} = 0.14(2015년 9월 이후 서울시 주요건물 신재생에너지 도입의무 비율)

조세비용, 환경비용, 기술비용은 GSHP와 DHC 동일조건 계수 부여

- 결과 : 재생에너지 도입 의사결정자의 영향요소(α_{NRE}) 계수 0.0004, 믹스비율 $MIXR_{NRE}$ 0.00038526, 단위면적당 최적 LCC 비용 242.42 천원/㎡

2) 시나리오 B

GP_{NRE} = 0.2(2016~17년 공공기관 신재생의무화 도입의무화 평균)

- 결과: α_{NRE} 0.0006, $MIXR_{NRE}$ 0.0016193, 단위당 LCC 비용 242.56 천원/㎡

3) 시나리오 C

GP_{NRE} = 0.3(2020년 이후 공공기관 신재생의무화 비율 적용) 시나리오

- 결과: α_{NRE} 0.0002, $MIXR_{NRE}$ 0.0081216, 단위당 LCC 비용 243.33천원/㎡

4) 시나리오 D

GP_{NRE} = 0.14(시나리오 A 와 동일)

$EnerTAX_{GSHP}$ = 0.7, $EnerTAX_{DHC}$ = 0.9

신재생에너지(GSHP) 전기료 누진세 면제 고려 (요금인하로 기본값 1이하 0.7 적용)

기존에너지 (DHC) 지역냉방 하절기 요금인하 효과고려(냉방요금은 하절기 4개월만 적용되어 중앙값 이하로 부여하되 0.9 적용)

- 결과: α_{NRE} 0.0002, $MIXR_{NRE}$ 0.00038636, 단위당 LCC 225.33 천원/m^2

5) 시나리오 E

GP_{NRE} = 0.2 (시나리오 B 와 동일)

에너지 비용요소 $EnerTAX_{GSHP}$ = 0.7, $EnerTAX_{DHC}$ = 0.9 적용

- 결과: α_{NRE} 0.0004, $MIXR_{NRE}$ 0.0016128, 단위당 LCC 비용 225.45 천원/m^2

6) 시나리오 F

GP_{NRE} 0.3 (시나리오 C와 동일)

$EnerTAX_{GSHP}$ 0.8 (2020년 이후 지열에너지 확대보급 이후 요금감면 축소 예상)

$EnerTAX_{DHC}$ 0.95 (전력예비율 상승, 지역냉방 열원인 열병합발전 가동 축소 예상)

- 결과: α_{NRE} 0.0004, $MIXR_{NRE}$ 0.0081433, 단위당 LCC 234.65 천원/m^2

2. OEMGD 알고리즘의 타당성과 적정 믹스 비율의 시사점

기존 건물에서 얻어진 냉난방 정량적 비용 정보를 기반으로 하고 외부영향요소를 반영한 알고리즘 모델이 산출한 최적믹스비율과 단위 면적당 LCC를 분석한 결과 외부요인의 변화에 따라 알고리즘의 결과값이 예민하게 연동하는 것을 확인할 수 있었다. 즉 시나리오 A ~ C에서 외부변수 GP(정부정책)의 목표상승에 따라 신재생에너지 믹스비율이 상승하고 단

Table 6. Results of six scenarios with OEMGD algorithm

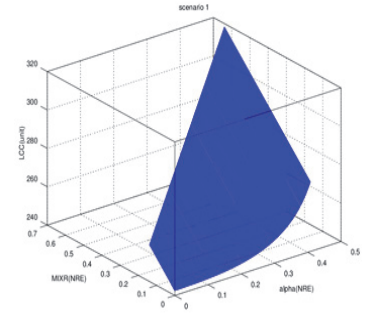
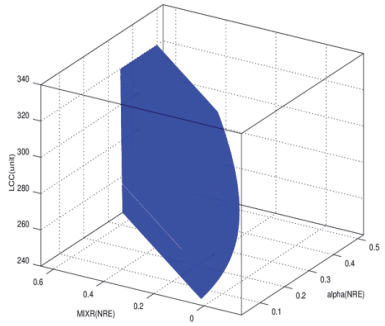
Scenario	Result	
Scenario A GP $_{NRE}$ 0.14 Ener $_{TAX\ GSHP}$ 1 Ener $_{TAX\ DHC}$ 1		MIXR $_{NRE}$ VALUE = 0.00038526 LCC unit VALUE = 242.42 (Thousand Won) α $_{NRE}$ VALUE = 0.0004
Scenario B GP $_{NRE}$ 0.2 Ener $_{TAX\ GSHP}$ 1 Ener $_{TAX\ DHC}$ 1		MIXR $_{NRE}$ VALUE = 0.0016193 LCC unit VALUE = 242.56 (Thousand Won) α $_{NRE}$ value = 0.0006

Table 6. Continued

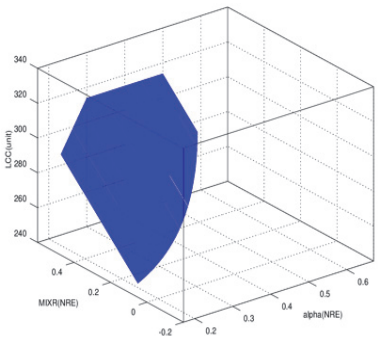
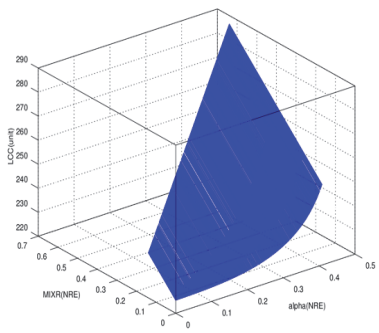
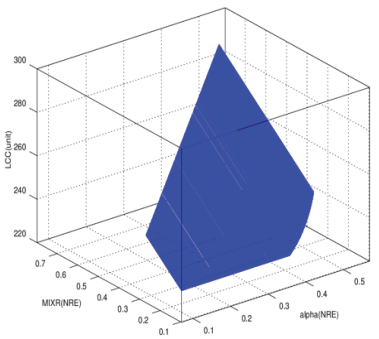
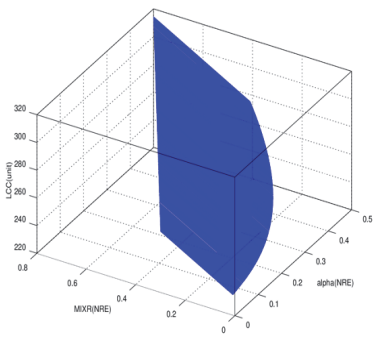
Scenario	Result	
Scenario C GP $_{NRE}$ 0.3 Ener $_{TAX\ GSHP}$ 1 Ener $_{TAX\ DHC}$ 1		MIXR $_{NRE}$ VALUE = 0.0081216 LCC unit VALUE = 243.33 (Thousand Won) α $_{NRE}$ VALUE = 0.0002
Scenario D GP $_{NRE}$ 0.14 Ener $_{TAX\ GSHP}$ 0.7 Ener $_{TAX\ DHC}$ 0.9		MIXR $_{NRE}$ VALUE = 0.00038636 LCC unit VALUE = 225.33 (Thousand Won) α $_{NRE}$ VALUE = 0.0002
Scenario E GP $_{NRE}$ 0.2 Ener $_{TAX\ GSHP}$ 0.7 Ener $_{TAX\ DHC}$ 0.9		MIXR $_{NRE}$ VALUE = 0.0016128 LCC unit VALUE = 225.45 (Thousand Won) α $_{NRE}$ VALUE = 0.0004
Scenario F GP 0.3 Ener $_{TAX\ GSHP}$ 0.8 Ener $_{TAX\ DHC}$ 0.95		MIXR $_{NRE}$ VALUE = 0.0081433 LCC unit VALUE = 234.65 (Thousand Won) α $_{NRE}$ VALUE = 0.0004

Table 7. LCC Data of GSHP and DHP energy system in buildings

(Thousand Won)

System ID	Initial Investment		Energy cost		Maintenance & Repair cost		Environment cost	
	GSHP	DHC	GSHP	DHC	GSHP	DHC	GSHP	DHC
1	143	69	69	51	73	24	9	10
2	143	79	139	183	74	28	4	5
3	159	82	118	161	83	29	14	16
4	107	58	81	92	54	20	4	4
5	108	33	68	39	53	11	7	8
6	148	46	79	29	76	16	6	7
7	98	22	64	29	52	5	2	3
8	190	58	132	70	96	20	4	5
9	37	18	39	42	18	6	1	1
10	128	70	52	25	67	25	6	7
11	128	49	53	35	65	17	6	6
12	95	35	43	29	48	12	4	5
13	108	38	46	24	54	13	6	7
14	142	42	53	32	74	15	6	7

```
OEMGD_systems=[ 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];
for i=0: 0.0001 :0.5
        GP_NRE=0.14; %GP_NRE
        alpha_NRE=i; %alpha_NRE
        SR_NRE=randi([1,4]);%SR_NRE
        MIXR_NRE=(GP_NRE+alpha_NRE)^SR_NRE; %4
        Ener_TAX_GSHP=1; %Ener_TAX_GSHP(0.7~1.3) %5
        Envir_NER_GSHP=0; %Envir_NER_GSHP  %6
        MR_TR_GSHP=0;  %MR_TR_GSHP %7
        Ener_TAX_DHC=1; %Ener_TAX_DHC(0.7~1.3) %8
        Envir_NER_DHC=0; %Envir_NER_DHC %9
        MR_TR_DHC=0;  %MR_TR_DHC  %10
        Temp_systems=[GP_NRE; alpha_NRE; SR_NRE; MIXR_NRE; …
        Ener_TAX_GSHP; Envir_NER_GSHP; MR_TR_GSHP; …
        Ener_TAX_DHC; Envir_NER_DHC; MR_TR_DHC];
    OEMGD_systems=[OEMGD_systems Temp_systems];
end
size(OEMGD_systems)
%%OEMGD_systems(:,50002)
OEMGD_systems(:,1) =[];
OEMGD_systems(:,1) =[];
size(OEMGD_systems)

DHC_Unit_I= 54.260; %fix((18 + (82 -18)*rand())*10^2)/10^2; %DHC_I
DHC_Unit_Ener= 170.79; %fix((24 + (183 -24)*rand())*10^2)/10^2; %DHC_I
DHC_Unit_MR= 6.5700; %fix((6 + (29 -6)*rand())*10^2)/10^2; %DHC_MR
DHC_Unit_Envi= 10.750; %fix((0.92 + (16.1 -0.92)*rand())*10^2)/10^2; %DHC_MR

GSHP_Unit_I= 152.75; %fix((37.43 + (189.7 -37.43)*rand())*10^2)/10^2; %GSHP_I
GSHP_Unit_Ener= 133.47; %fix((39.19 + (139.26 -39.19)*rand())*10^2)/10^2; %GSHP_I
```

Fig. 7. Algorithm code for scenario A (GPNRE = 0.14)

```
GSHP_Unit_MR= 71.740; %fix((18.34 + (96.19 -18.34)*rand())*10^2)/10^2; %GSHP_MR
GSHP_Unit_Envi= 3.0600; %fix((0.79 + (13.77 -0.79)*rand())*10^2)/10^2; %DHC_MR

OEMGD_LCC_systems= [];
for i= 1: 1: 5000
   GSHP_temp = OEMGD_systems(4,i) * (( GSHP_Unit_I) ) + (OEMGD_systems(5,i) * GSHP_Unit_Ener)
+ (GSHP_Unit_MR + OEMGD_systems(7,i) * GSHP_Unit_MR) + (GSHP_Unit_Envi +
OEMGD_systems(6,i) * GSHP_Unit_Envi)) ;
   DHC_temp= (1-OEMGD_systems(4,i)) * ((DHC_Unit_I) + (OEMGD_systems(8,i) *
                DHC_Unit_Ener) + (DHC_Unit_MR+ OEMGD_systems(10,i) *
                DHC_Unit_MR)+(DHC_Unit_Envi+OEMGD_systems(9,i)*DHC_Unit_Envi) );
         temp=GSHP_temp+DHC_temp;
         OEMGD_LCC_systems=[OEMGD_LCC_systems, temp];
end
size(OEMGD_LCC_systems)

OEMGD_LCC_temp= [OEMGD_systems ; OEMGD_LCC_systems];
size(OEMGD_LCC_temp)

OEMGD_LCC_plot3_X=[];
OEMGD_LCC_plot3_Y=[];
OEMGD_LCC_plot3_Z=[];
for i= 1: 1: 5000
         x=OEMGD_LCC_temp(2,i);
         y=OEMGD_LCC_temp(4,i);
         z=OEMGD_LCC_temp(11,i);
         OEMGD_LCC_plot3_X=[OEMGD_LCC_plot3_X x];
         OEMGD_LCC_plot3_Y=[OEMGD_LCC_plot3_Y y];
         OEMGD_LCC_plot3_Z=[OEMGD_LCC_plot3_Z z];
end
size(OEMGD_LCC_plot3_X)
size(OEMGD_LCC_plot3_Y)
size(OEMGD_LCC_plot3_Z)

plot3(OEMGD_LCC_plot3_X,OEMGD_LCC_plot3_Y,OEMGD_LCC_plot3_Z)
grid on

xlabel('alpha_N_R_E');
ylabel('SR_N_R_E');
zlabel('OEMG_u_n_i_tLCC');
title('scenario 1')
%tot_LCC=[OEMGD_LCC_plot3_X;OEMGD_LCC_plot3_Y;OEMGD_LCC_plot3_Z]
%
[i,j] = ind2sub(size(OEMGD_LCC_plot3_Z),find(OEMGD_LCC_plot3_Z==min(OEMGD_LCC_plot3_Z)))
%i
%j

x_a= OEMGD_LCC_plot3_X(1, j)
y_b= OEMGD_LCC_plot3_Y(1, j)
z_c= OEMGD_LCC_plot3_Z(1, j)
```

Fig. 7. Continued

위면적당 LCC 비용은 신재생에너지 믹스비율 $MIXR_{NRE}$가 상승할수록 냉난방 LCC 비용이 커지는 것을 볼 수 있었다. 이는 Lee et al.(2016)의 선행연구에서 GSHP비용이 DHC보다 높은 비용이 발생한 것과 같은 결과임을 알 수 있었다. 타 외부변수의 변화가 없을 때 믹스비율과 LCC는 비례관계를 갖는다는 것을 확인하며 정량요소로 입력한 DB와 알고리즘의 타당성이 확인되었다.

지열냉난방 전기요금 누진제 폐지는 광의의 조세정책과 관련된 영역인데, 시나리오 A와 시나리오 D의 비교에서 조세비율 감면에 따라 신재생에너지 믹스 비율인 $MIXR_{NRE}$와 건물주의 신재생에너지 도입의지 α_{NRE}가 상승하고 조세 경감에 따라 LCC가 낮아지는 것을 보여준다. 신재생에너지 도입에 대한 정부의 보급 목표가 강해질 때(GP 0.3) 시나리오 C와 F를 비교해 보면 조세인하에 따라 신재생에너지의 믹스비율이 상승하고 건물주의 GSHP 도입 의지도 상승하는 것을 보여준다. 이와 같이 외부영향요소의 조건변화는 OEMGD 알고리즘의 결과에 정확히 반영되어 OEMGD 알고리즘은 타당한 모델로 확인됨을 알 수 있었다. 즉 초기투자비와 수선유지비 비용이 큰 GSHP 시스템이 확대될 때 LCC가 증가하는 것이 수치 해석의 결과로 나타났다.

외부영향으로 의해 신재생에너지 믹스비율 높일 수는 있으나, 수명주기비용이 커진다는 것은 건물주의 신재생에너지 도입의지 α_{NRE}가 낮아지는 요인이 된다. 2004 ~ 2005년 기간 농촌지역을 중심으로 확대되던 지열에너지가 이후 답보상태인 것도 수명주기비용과 연관되어 있다고 보여 지며, 신재생에너지인 GSHP 확대를 위해서는 수명주기비용 절감을 위한 기술지원이 필요하다는 것이 알고리즘 모델 검증을 통한 시사점이다.

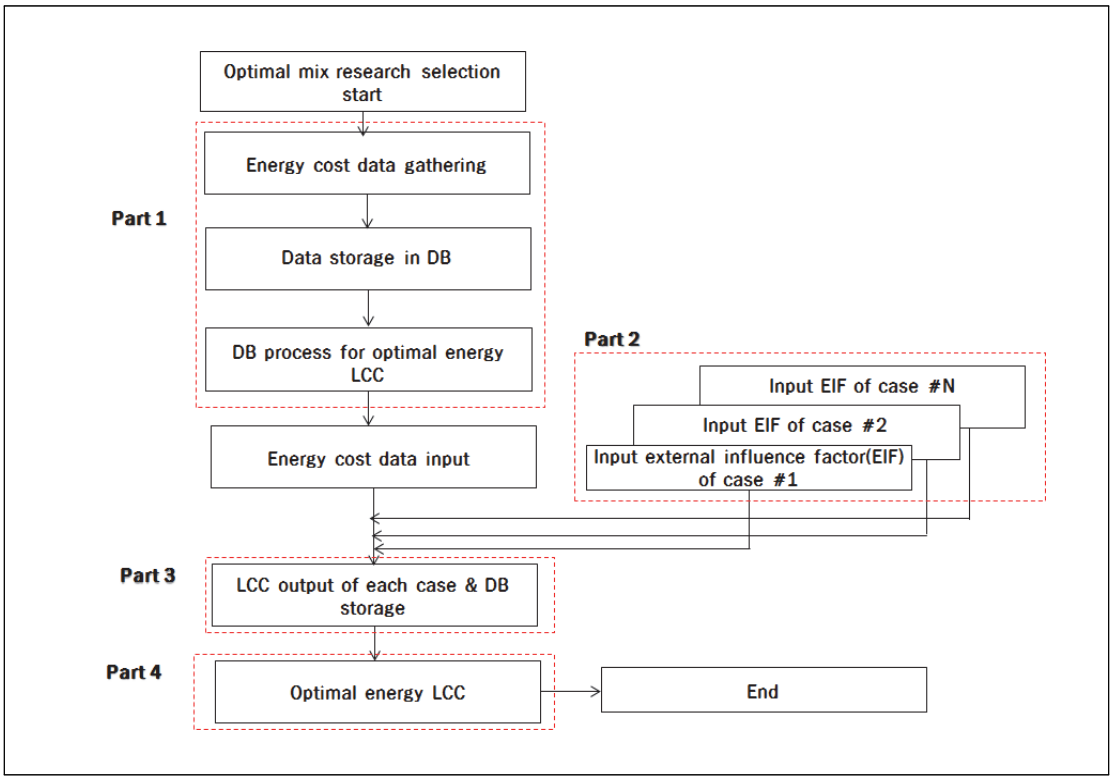


Fig. 8. Cost data and external influence factors for mix model in algorithm

IV. 요약 및 결론

본 연구는 최근 신재생에너지설비 의무화에 따라 확대되고 있는 지열히트펌프와 도농지역까지 확대되는 지역난방의 경제성을 수리적으로 비교하고자, 수치해석 알고리즘 모델을 개발하여 연구를 수행하였다. 신재생에너지 보급 목표를 달성하되 지중열 사용에 따른 지중 온도변화 등의 우려를 극복하기 위하여, 단일 에너지시스템보다는 에너지시스템을 믹스하여 시너지 효과를 도모할 수 있는 최적 믹스비율을 수리적으로 산정하여 에너지 이용효율을 제고하는 데 목적이 있었다.

본 연구에서 설계한 OEMGD 알고리즘 모델의 구동 결과는 기존 에너지인 DHC 시스템이 신재생에너지인 GSHP에 비하여 경제성이 있는 것으로 나타난다. 이는 환경 친화적이고 연료비용이 저렴한 신재생에너지가 경제성이 있을 것이라는 예상과는 상이한 결과로써 에너지 시스템을 도입할 때 연료비용 이외 시설투자비, 수선유지비, 환경비용, 폐기비 등 장기간에 걸친 비용이 고려되지 않았기 때문이다. 따라서 연료비용 이외의 다양한 비용요소를 고려하여 기존 에너지 시스템이 아닌 타 에너지를 도입할 때 두 시스템간의 적정 믹스 비율을 산출하고 점진적으로 새로운 에너지시스템을 확대하게 된다면 기존 에너지시스템의 유휴화도 방지할 수 있을 것이다. GSHP가 농촌과 농업부문에서 지속적으로 확대되려면 설치비용의 지원뿐만 아니라 GSHP의 단점인 초기투자비 절감을 위한 기술연구 지원도 필요할 것으로 사료된다.

냉난방 에너지 비용에 대한 정보가 축적되고 외부영향요소를 정확히 판단하는 전문가가 육성된다면, OEMGD 알고리즘 모델 연구와 같은 최적 에너지믹스 연구는 소비자와 투자자의 비용절감과 에너지 이용 효율제고에 기여할 것으로 예상된다.

References

Ahn SH(2008) General Guide for Feasibility 5th ed. Korea Development Institute

Beijia H, Volker M(2015) Life cycle sustain ability assessment of ground source heat pump in Shanghai, China. J Cleaner Production 1-8

Cho HN(2002) Development of an uncertainty treatment module for life cycle cost analysis system of steel bridge. Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation

Choi DJ, Park HK(2000) Analysis of Water Privatization Scenarios with Multi-Criteria Decision Techniques. Korean Soc Civil Engineers 20(1) 175-187

Jang YJ, Kim SY, Shin YS, Kim GH(2014) Economic analysis of geothermal energy facilities applied to public buildings. Korean J Inst Build Const 14(5), 423-432

Jo YJ, Lee JY, Lim SY, Hong GP(2009) A review on potential effects of installation and operation of ground source heat pumps on soil and ground water environment. Korean J Soil Groundw Environ 14(3), 22-31

Kim YJ(2014) A study of agriculture · rural use condition & policy plan. Korea Rural Economic Institute

Ko MJ, Oh JK, Kim YI, Kim YS(2007) Economic estimation of heat storage type geothermal source heat pump system adopted in government office building by a payback period method. Korean J Solar Energy Soc 27(4), 175-182

Lee DK, Shin SM(2006) A study on uncertainty analyses of monte carlo techniques using sets of double uniform random numbers. Arch Res 8(2), 27-36

Lee KC, Hong JH, Kong HJ(2016) A Study of comparative economic evaluation for the system of ground source heat pump and district heating and cooling. Korean J Air-Conditioning Refrigeration Engineering 28(3), 103-109

Ministry of Knowledge Economy(2009) Regulation of progressive tax exemption in geothermal energy use. Available from http//www.mke.go.kr [cited 2016 May]

Ryu HG, Jung WS(2014) A research for application of geothermal cooling-heating system in multi family apartment. Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems 10 19-31

Yasukawa K, Takasugi S(2003) Present status of underground thermal utilization in Japan. Elsevier 32(4), 609-618