Korean Chem. Eng. Res., 56(6), 841-855 (2018)
https://doi.org/10.9713/kcer.2018.56.6.841
PISSN 0304-128X, EISSN 2233-9558

도시 내 지역난방 Heat Pump용 잠재열원 이용에 관한 연구

오광민 · 김래현*,†

서울과학기술대학교 에너지환경대학원 신에너지공학과
01811 서울특별시 노원구 공릉로 232
*서울과학기술대학교 에너지바이오대학 화공생명공학과
01811 서울특별시 노원구 공릉로 232
(2018년 9월 28일 접수, 2018년 10월 30일 채택)

A Study on the Utilization of potential heat sources for Heat Pumps to District Heating System in Urban

Kwang Min Oh and Lae Hyun Kim*,†

Department of New Energy Engineering, Graduate School of Energy & Environment, Seoul National University of Science & Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul, 01811, Korea
**Department of Chemical & Biomolecular Engineering, College of Energy and Biotechnology, Seoul National University of Science & Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul, 01811, Korea*
(Received 28 September 2018; accepted 30 October 2018)

요 약

본 연구는 도시 내 지역난방 공급지역에 존재하는 Heat Pump용 가용 잠재적 열원을 추정하고자 하였다. 미활용에너지 잠재량은 Open source 기반의 자료를 바탕으로 추정 통합하였다. 특히 수도권 남부에 위치한(평택시) DH network 내에 대형마트와 공공사우나 시설에 대해 회수 가능한 열에너지 밀도와 열원 지역의 열 수요에 대해 지리적인 공간 분석을 수행하였다. 연구 결과, 연구 대상 DH network 지역에서는 대형마트와 공공사우나 두 가지 열원에 대해 총 1,741.7 toe/year 수준의 잠재 에너지량을 보유하고 있었다. 이 중 57.8%에 해당하는 1,006.9 toe/year를 지역난방용으로 연계할 수 있을 것으로 추정 되었다. 대형마트는 연면적과 에너지 사용량이 0.4937의 양의 상관관계를 보였다. 회수 가능한 에너지 원단위는 상관관계계수를 반영하여 연면적 당 0.0017 toe/m^2, 저감 가능한 온실가스 배출량은 0.0069 tCO_2/m^2로 분석되었다. 또한, 공공사우나는 실증사례와 이론 계산 값을 비교하여, 80% 수준의 보수적 추정으로 목욕장 면적 당 0.0315 toe/m^2가 회수 가능한 에너지 원단위로 분석되었으며, 저감 가능한 온실가스 배출량은 0.1183 tCO_2/m^2로 분석되었다. 이 지역의 총 잠재 에너지량은 행정 구역별 공동주택의 열 수요와 0.5272의 양의 상관관계를 갖고 있었으며, 특히 교통과 상업 중심 지구에서 상대적으로 높은 잠재 에너지량을 가지고 있음을 확인 하였다.

Abstract – The purpose of this study is to estimate the available potential heat source for heat pump in the district heating supply area in the city. Unused energy potentials were estimated and integrated based on open source based data. In particular, geographical spatial analysis of recoverable heat energy density and heat demand in the heat source area of large retailers and public sauna facilities in the DH network located in the southern part of the metropolitan area (Pyeongtaek-si) was conducted. As a result of the study, the DH network area had a total potential energy of 1,741.7 toe/year for the two heat sources of large retailers and public saunas. It is estimated that 1,006.9 toe/year, which is 57.8% of the total, can be linked to the district heating. The large retailers showed a positive correlation with the floor area and energy use of 0.4937. The recoverable energy intensity was estimated to be 0.0017 toe/m^2 per unit area and 0.0069 tCO_2/m^2 for greenhouse gas emissions. In addition, public saunas were analyzed by comparing the empirical case with the theoretical calculation, and it was estimated that energy conservation estimate of 80% was 0.0315 toe/m^2 per bath area and 0.1183 tCO_2/m^2 for greenhouse gas emissions. The total potential energy amount of this area was positively correlated with the heat demand of apartment house by administrative district, and it was confirmed that it had a relatively high potential energy especially in traffic and commercial center.

Key words: District Heating system, DH network, Gas CHP, Heat Pump, Unused Heat Sources, Heat Map

† To whom correspondence should be addressed.
E-mail: lhkim@snut.ac.kr
‡이 논문은 서울과학기술대학교 김래현 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다.
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.

1. 서 론

2015년 제21차 기후변화협약 당사국총회(Conference of Parties 21, '15.12)를 통해 신기후체제 합의문인 파리협정(Paris Agreement)을 채택하면서 우리나라는 「미세먼지 관리 종합대책」 ('17.09), 「에너지전환로드맵」('17.10) 그리고 「재생에너지 3020 이행계획」('17.12)과 같은 온실가스 배출 저감 및 안전과 환경을 고려한 에너지 전환 정책을 추진하고 있다. 한편, 지난 10여 년 동안 국내 신재생에너지 발전량은 '05년 0.040 TWh에서 '15년 17.32 TWh로 연평균 45.6% 증가 하였으며[1], 신재생에너지 발전설비 용량은 '05년 4,970 MW에서 '15년 13,729 MW로 연평균 10.7% 수준으로 보급 확대가 이루어지고 있다[2]. '16년 폐기물 등을 포함한 국내 신재생에너지 발전량 비중은 약 7.0%로 '30년 신재생에너지 발전량 비중 20%를 달성하기 위해서는 약 50.5 GW에 해당하는 신규 설비가 필요한 상황이다[3].

이러한 에너지정책 변화에 따른 대규모 신재생에너지 발전량 증가는 국내 전력시장에서 기저발전 형태로 운전되어 지역난방용 가스 열병합발전(CHP; Combined Heat & Power)의 급전지시량과 이용률을 감소시키게 된다. Fig. 1은 '11년 말 기준 상업운전중인 10개 가스 열병합발전기의 동절기 가격결정발전계획 발전량(PSE; Price setting Scheduled Energy)과 전체 발전량 중 신재생에너지 발전량 비율의 추이를 보여주고 있다. 따라서 가스 열병합발전 사업자는 신규 저가열원을 확보하지 못할 경우 변동비 보전을 받지 못하는 제약발전 형태로 운영되어 지속적인 경영악화가 불가피해진다. 이는 「제8차 전력수급기본계획」 ('17.12)에서 언급한 분산형 전원의 핵심인 가스 열병합발전의 지속 확대에 가장 큰 제약요인이 될 수 있다. 이에 전력시장의 개선 및 정책적인 지원이 부족한 상황에서는 CHP로부터 전기 생산량 감소에 따른 지역난방 공급에 필요한 열생산량 감소부분을 경쟁력 있는 다른 공급원을 통해 생산 할 필요가 있다.

국가적으로도 「재생에너지 3020 이행계획」에서 '30년 설비용량 목표가 태양광 36.5 GW (57%), 풍력 17.7 GW (28%), 폐기물 3.8 GW (6%), 바이오 3.3 GW (5%)로 설정되어 있다[3]. 이 계획에서는 과거에도 논의가 되었던 미활용에너지 활용을 통한 전력수요 감소 영향이 빠져있다. 따라서 국내 미래 에너지 공급과 관련된 시나리오와 목표에 있어서 누락된 미활용에너지, 특히 분산형 전원으로써 CHP와 연계 가능한 Heat Pump의 잠재적인 대상 열원과 열 수요와의 지리적 가용성을 분석할 필요가 있다. 또한 「제4차 집단에너지공급 기본계획」('14.12)의 정책과제인 미활용 열에너지를 통한 효율적인 열공급시스템 구축 및 저비용 구조로의 전환을 위한 기초자료 제공과 국가 차원의 'Heat Map' 구축의 일환으로써 보다 다양한 사례 연구들이 필요하다. 이에 본 연구에서는 특정 집단에너지시스템의 연계 가능한 범위에서 Heat Pump를 활용하여 확보 가능한 잠재 에너지량을 추정하고, 열 수요에 대한 지리적 관계를 분석 하고자 한다.

2. 대상지역내 잠재열원 및 분석

2-1. 선행 연구

문헌조사에 의하면, 국내 Heat Pump와 관련하여 지열, 생활배수 및 하폐수처리시설, 산업폐열, 그리고 해수열원 등을 중심으로 온도차에너지 이용 또는 Heat Pump의 성능평가와 관련된 연구들이 많이 수행 되었다. DH network 열 공급과 관련하여 Heat Pump 사용을 분석하는 연구로써, 국내에서 최초로 수행된 연구는 '91년 한전 기술연구원에서 수행한 "변압기 배열을 이용한 난방시스템 개발"이다[5]. 그 후, '95년에는 한전 속초생활연수원에서 배출되는 생활배수를 열원으로 하여 급탕과 냉방에 이용하였으며, '96년에는 서울 탄천하수처리장의 하수처리수를 이용하여 하수처리사업소내의 건물의 냉난방 열 공급을 시도한 사례 등이 있다[6]. 또, 난방을 위해 이용되는 열원에는 대부분 지열을 이용하고 있는데, '90년 말부터 GHP (Geothermal heat pump or Ground source heat pump, GSHP)가

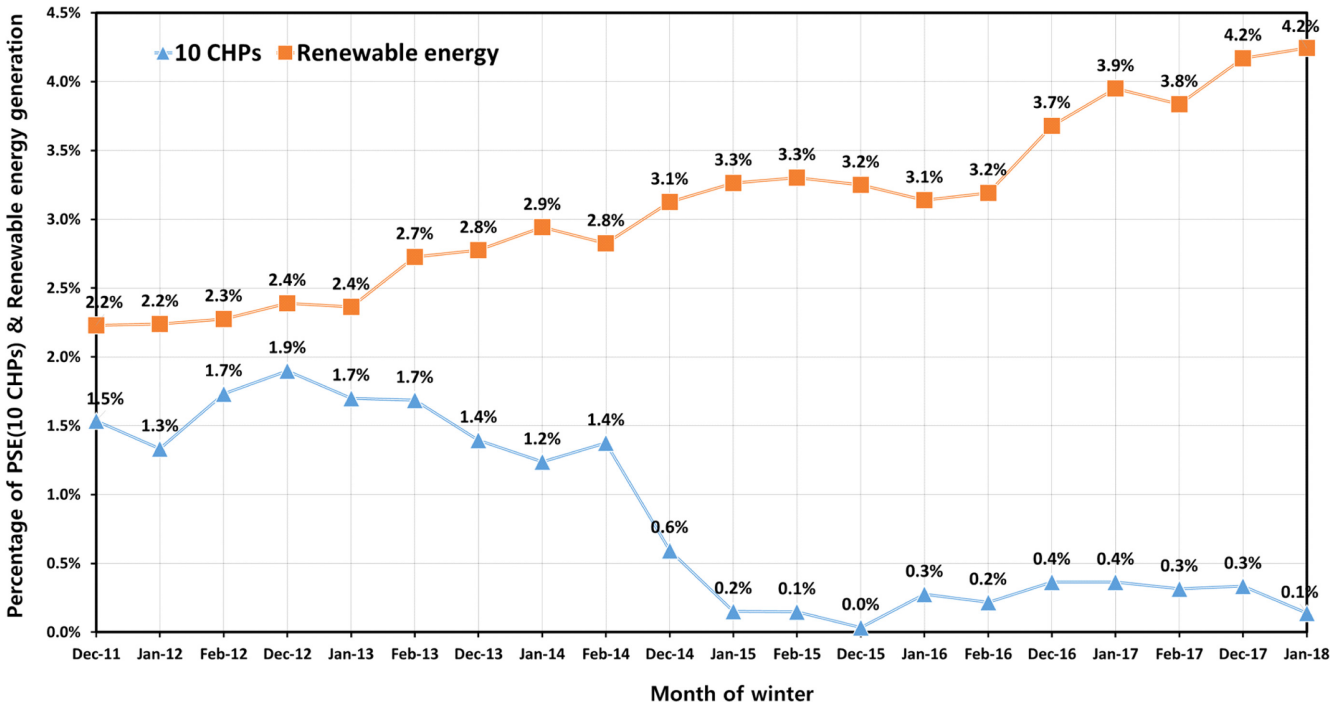


Fig. 1. The tendency of the rate of 10 CHPs PSE & the renewable energy generation.

Table 1. Examples of unused energy use in Korea

		KEPCO training institute	Tandong sewage treatment plant	Busan flower complex	Yeosu fish farm	Gyeongju Tovice condominium
Heat source		sewerage	sewerage	river water	seawater	sewerage
Water treatment		Auto strainer	Auto strainer		Sand filter	Auto strainer
Heat exchanger		Shell&Tube copper	Shell&Tube copper	Shell&Tube copper	Plate titanium	Shell&Tube copper
Fouling removal device		ball-type	brush-type			ball-type
DH Temp.	Cold water	7 °C supply 12 °C return	7 °C supply 12 °C return		16.6 °C supply 20.4 °C return	7 °C supply 12 °C return
	Warm water	50 °C supply 40 °C return	45 °C supply 40 °C return	45 °C supply 41 °C return	18.7 °C supply 15.2 °C return	50 °C supply 45 °C return
Temp. of water		non-summer : 28.5~37.5 °C summer : air temp.	summer : 20~25 °C winter : 8~12 °C	winter : 5~10 °C	summer : 22 °C winter : 10 °C	
Heat Pump		· screw H/P - 142 Mcal/h (COP 3.03) - 40 RT (COP 4.0~4.5)	· screw H/P - 172 Mcal/h (COP 4.4) - 50 RT (COP 3.9)	· reciprocating H/P - 12 Mcal/h (COP 1.9~2.5)	· screw H/P - 716 Mcal/h (COP 6.2) - 50 RT (COP 6.2)	· screw H/P - 716 Mcal/h (COP 5.2) - 160 RT (COP 5.2)
Heat storage tank		· warm&cold water 220 m^3 · hot water 80 m^3	180?			· warm&cold water 2,150 m^3 · hot water 400 m^3
Energy saving		63.5 kl	150 kl		143 kl	210 kl
Environment benefits		· CO_2: 53.2TC · NO_x: 160 kg	· CO_2: 126TC · NO_x: 380 kg	· CO_2: 27% reduced · NO_x: 91% reduced	· CO_2: 120TC · NO_x: 360 kg	· CO_2: 176TC · NO_x: 530 kg
Note		steam boiler 1.0T				air-screw H/P 100 RT × 4

보급되기 시작하여, '00년 2개에서 '11년 11월 965개로 비약적인 설치 증가가 이루어졌다[7]. 이밖에 양윤섭 외(1996)는 복합건물에서 폐수를 이용하는 축열식 히트펌프 시스템을 시범 설치하여 성능분석을 수행하였고, 백영진 외(2004)는 염색산업단지 염색폐수의 저온 열을 활용할 수 있는 Hybrid Heat Pump system을 설치하였다. 이와 유사하게 최병윤 외(1998)는 생활배수열을, 백남춘, 신우철(2003)은 온천폐수를 이용한 Heat Pump system의 타당성과 성능을 분석한 바 있다[5]. 또 다른 연구에서는 태양광 열과 지열을 결합한 Hybrid System 형태의 설계를 제안하기도 하였다[8,9]. Table 1은 국내에서 미활용에너지를 활용한 최초 실증사례들을 예시적으로 정리한 것이다[6]. 기존에 논의 된 이러한 연구들은 특정 열원이 확인된 특정한 경우의 열 공급을 위해 다양한 열원을 사용할 수 있는 사례를 보여 주고 있다. 그리고 90년대부터 하수처리장, 직할하천, 인구밀집 연안 등의 미활용에너지 부존량을 조사한 사례들도 있지만, 이러한 열원에 대해 다른 지역의 DH network에 이용 가능하도록 일반화된 미활용에너지의 잠재량 산정 및 지리정보를 포함하는 resources mapping은 이루어지지 않았다.

한편, 유럽의 경우 'Heat Roadmap Europe' 연구와 관련하여 대규모 설비의 열원을 철저히 mapping하고, 평가 하였는데, 이 역시 기존 DH network 주변의 저온 열원에는 적용되지 않았다[10]. 그러나 미활용에너지의 효율적인 이용을 위해서는 열원을 분류하고, 그 잠재량을 추정하여 GIS 기반 지리정보를 mapping 하는 유사 연구과정이 필요하다. 이에 본 연구에서는 기존 저온 열원을 대상으로 Heat Pump를 이용한 연구들을 기반으로 하여, 입지, 환경 등의 제약 없이 지역난방용으로 이용 할 수 있을 것으로 평가되는 열원에 대해 특정 DH network와의 지리적 관계를 분석하고자 한다. 이는 국가의 효율적인 열공급시스템 구축 및 Heat Pump의 잠재성의 통합을 위한 기반이 될 수 있을 것이다.

2-2. CHP의 저가열원 확보 방안

집단에너지시스템에서 경쟁력 있는 열원을 확보하는 수단에는 인근 발전 배열 또는 소각열을 연계하는 방안과 주 연료의 전환(연료 개체), 그리고 설비효율 개선(retrofit) 등이 있다. 우리나라는 「폐기물관리법」, 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」 및 「자원순환기본법」 등에 따라 폐기물 발생을 최대한 억제하고, 재사용(reuse) 또는 재생이용(recovery)하며, 불가피하게 남은 폐기물에 대해 소각 또는 매립을 하게 된다. '15년 기준 전체 폐기물의 85.2%가 재활용 되었고, 8.7%는 매립, 5.9%가 소각처리 되었다[11]. 따라서 국내 폐자원에너지화 정책 및 입지 제한적이고 보편화된 발전 배열과 소각열의 연계방안은 추가적인 저가열원 확보 수단으로 고려하기에 한계가 있다. 또한, 우리나라는「대기환경보전법」에 따라 공동주택에 공급하기 위한 열 생산설비의 연료는 청정연료로 제한되어 있다. 게다가 「미세먼지 관리 종합대책」에따라 고체연료 사용제한이 강화되고 있기에, NG보다 저렴한 유연탄, 고형연료(SRF 등)와 같은 저가 연료로의 연료 개체는 추진이 어렵다. 그리고 가스 열병합발전 설비는 사업 초기에 고효율 주기기를 바탕으로 포화연도 기준 용량으로 구축하게 되나, 준공 이후 추가 공급되는 최신의 발전설비와 국내 전력시장에서 기저발전 형태로 급속히 증가하는 신재생에너지 발전과의 경쟁에서 지속적으로 뒤쳐질 수밖에 없다. 따라서 노후화된 설비가 아닌 경우 설비효율 개선 방안은 그 효익 대비 과도한 투자비로 인해 선택 가능한 방법이 되기 어렵다.

한편, 우리나라 집단에너지사업자의 상황은 유럽과 유사한 부분이 많다. 유럽은 우리나라보다 재생에너지 비중 목표가 매우 높은 상황이며, 풍력, 태양광 등 재생에너지 발전의 대규모 도입으로 한계생산비용을 낮추기 때문에 시간이 지날수록 전력가격 수준을 낮추고 있다. 집단에너지공급에 선도적인 덴마크의 경우 풍력발전의 증가로 인해 소규모 CHP의 생산량이 지난 10년 동안 약 1/3로 감

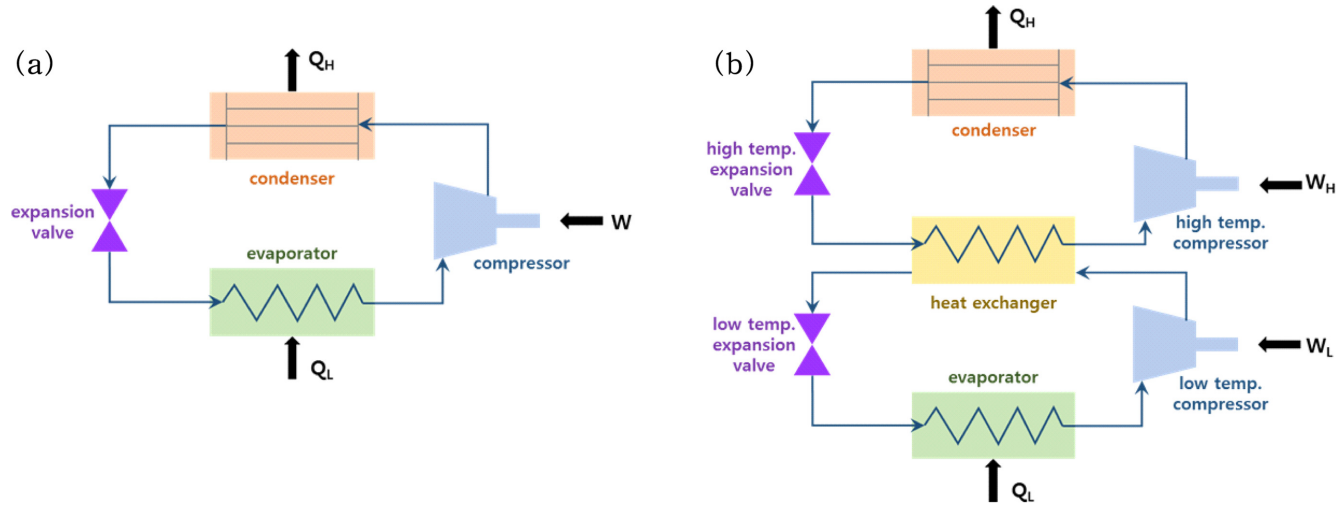


Fig. 2. Diagram of refrigeration cycle : (a) simple refrigeration cycle and (b) refrigeration cycle of two stage compression.

소하였다[10]. 이에 따라 유럽에서는 대규모 압축 Heat Pump를 통한 열 생산을 풍력 및 태양광을 통한 전력생산이 높을 때 전력을 소비하고, 개별 보일러를 통한 열 생산을 대체하기 위한 수단으로써 자주 언급되고 있다. Heat Pump는 세계적으로 100여 년 넘게 그 사용이 검증된 기술로써, 전기히터나 보일러와 달리 입력 에너지가 직접적으로 전환되어서 사용하는 것이 아니라, 열을 저온에서 고온으로 이동시키는 측면에서의 에너지 사용이므로, 그 효율이 높고, 환경문제의 발생이 적다[12].

Heat Pump는 Fig. 2와 같은 기본적인 냉동사이클에 있어, 응축기에서 방출하는 열을 난방, 급탕 등에 활용하는 장치로, 미활용 열인 저온의 열원에서 구동에 필요한 에너지보다 많은 양의 에너지를 열에너지 형태로 변환하게 된다. 다만, Heat Pump를 통해 필요한 공급온도가 높을수록 그 효율은 떨어지게 되는데, '4세대 지역난방'은 대규모 Heat Pump가 신재생에너지에 있어 높은 점유율을 가질 수 있는 미래 지역난방시스템에서 공급계통 온도수준을 낮추어야 할 필요성을 강조하는 개념이다[10]. 그동안 난방·급탕용으로써 Heat Pump를 통해 얻을 수 있는 온도가 50 ºC 이하라는 기술적 문제가 있었으나, 최근에는 다단(2단 또는 그 이상) 압축 Heat Pump 시스템을 적용하여, 75 ºC 이상의 고온수를 생산 할 수 있게 되었다. 신정수(2017)는 2단 압축 Heat Pump 사이클의 효용 운전범위를 분석하여, 약 60 ºC 이상의 온도에서부터 2단 압축 Heat Pump의 성능계수 COP (coefficient of performance)가 1단에 비해 작아짐을 확인하였고, 70 ºC 이상의 영역에서는 COP 3.2 이상으로 운전, 고온수를 얻을 수 있다고 보고한 바 있다[13]. 따라서 지역난방용으로써 Heat Pump는 2단 이상의 압축 Heat Pump 시스템 성능이 더욱 향상 된다면 보다 다양한 온수 사용처에 적용 할 수 있을 것이다.

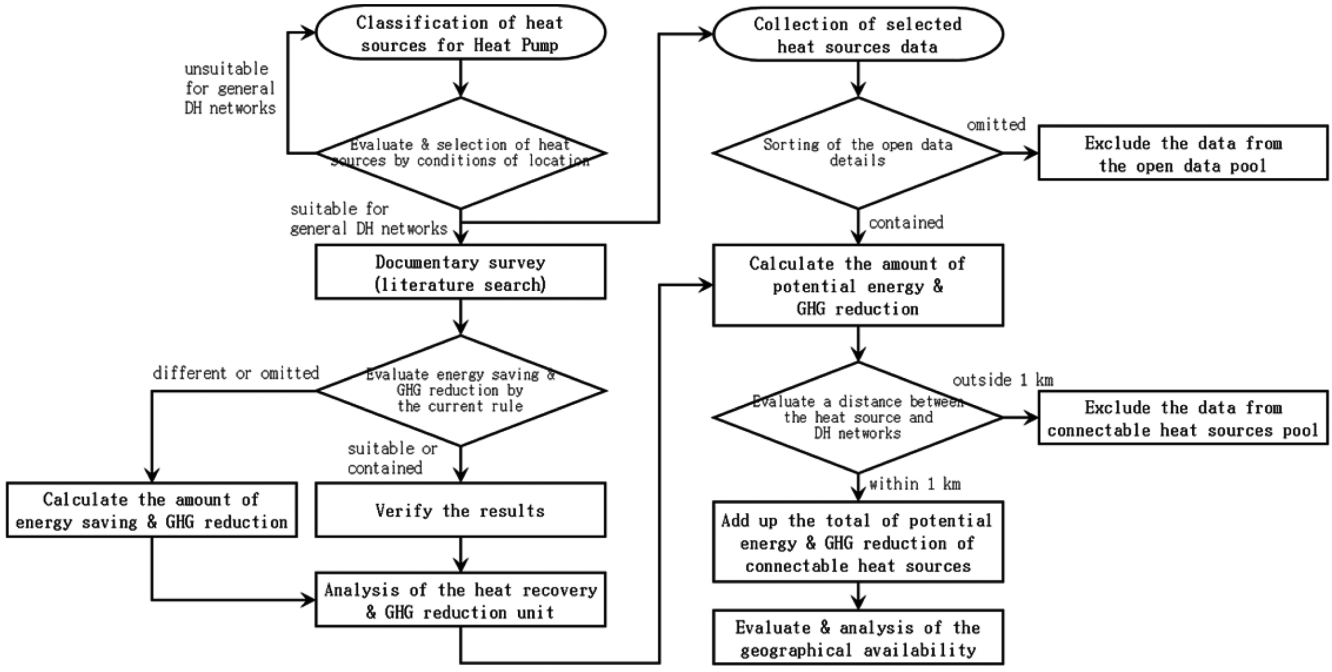


Fig. 3. Procedure for research.

특정 집단에너지사업자가 열을 공급하는 구역인 DH network에 있어, Heat Pump의 열원으로써 미활용에너지의 가용성에 대해 분석 하고자 특정 DH network에서 상대적인 열원의 위치와 열원의 잠재적인 에너지생산량의 추정치를 포함하고 있다. 다만, 이러한 잠재적인 에너지생산량이 Heat Pump를 통한 시스템 실현가능성과 관련하여 경제적이거나, 기술, 환경적인 제약은 고려하지 않는다. 특정 열원의 연계를 실현시키기 위해서는 보다 상세하고, 구체적인 계획과 제약요소들을 확인하여 별도로 검토, 분석 할 필요가 있음을 밝힌다. 따라서 이 연구에서는 Heat Pump에 연계 될 도시 내 열원에 대해 다른 지역에서도 활용 될 수 있도록 Open source 기반의 데이터를 수집, 활용하고 분석하는 방안을 사례로써 제시하고자 한다.

2-3. Heat Pump 열원 평가 및 선정

본 연구의 목적은 Heat Pump에 대한 저온 열원을 찾는 것으로, 다른 에너지설비와의 연계는 폐열 활용보다는 각 설비의 에너지효율 향상방안으로써 달리 분류될 수 있으므로, 에너지생산을 목적으로 하는 다음 설비들과의 연계는 제외한다.

① 대규모 CHP plants, 발전시설 및 소각시설
② 개별 보일러(집단에너지사업자의 경우 PLB (Peak Load Boiler), HOB (Heat Only Boiler) 등 포함)
③ 태양열 및 지열설비

유럽의 유사 연구[10]의 경우, 저온 산업폐열, 대형마트, 폐수(하수처리장), 음용수, 지하수, 강, 호수, 해수 등 총 8가지 열원에 대해 분석하였으며, 국내 기존 유사 연구들 역시 하천수, 해수, 하수처리수 및 지열, 그리고 발전소 온배수 열을 중심으로 분석한 바 있다. 본 연구의 대상 열원을 분류하고자, 국내보다 미활용에너지 활용 실증화와 보급이 빠른 일본의 미활용에너지 이용 형태별 종류와 이용방법을 Table 2와 같이 제시하며[6], 도시 내 일반적으로 확인 할 수 있는 열원을 선정하고자 한다.

한편, 하천수, 해수 및 지하수 등 온도차를 이용한 미활용에너지 기술개발 실적은 국내의 경우 미흡한 상태로, 하천수, 온천수 및 지하수를 이용한 기술개발 실적이 일부 있으나, 이 또한 많은 기술을 선진국에 의존하고 있다[6]. 그리고 하수처리시설, 소각시설 및 변전소와 공장시설 등은 일반적인 도시 내 지역난방의 DH network와 입지적으로 제한 될 수밖에 없다. 인구가 밀집된 도시 지역에 대부분의 집단에너지시스템이 입지한 특성을 고려하여, 유럽의 유사 연구[10]에서 분석한 대형마트와 국내의 사회문화적 특징으로 다수의 사업장이 운영 중인 공공사우나 시설을 추가하여, 이 두 가지 열원에 대해 그 열원위치와 잠재량을 산정하는 방법에 대해 연구 하는 것으로 한다.

① 대형마트 (Supermarkets, Large retailers)
② 공공사우나 (Public sauna)

2-4. 연구 대상 집단에너지시스템 현황

사례연구 수행을 위한 집단에너지시스템은 수도권 남부에 소재하고, ’13년 3월부터 상업운전을 시작하였다. Table 3과 같이 주 열원인 CHP System과 PLB (Peak Load Boiler) 보조열원으로 구성되어 있으며, 최근 4개년의 열 공급 실적과 열 연계 배관망은 Table 4, Fig. 4와 같다. 열수요 포화연도 기준인 열 공급 허가 세대수 43,460호 대비 ’17년 말 기준 19,826호로 약 45.6% 수준의 열을 공급하고 있

Table 4. Result of heat supply

Year	Heat supply (Gcal)	Number of households (year-end)
2014	19,211	3,961
2015	33,949	8,983
2016	54,498	12,724
2017	105,142	19,826

Table 2. Types of unused energy

Source	Type	Method of using heat source
River	water	heat source & cooling water of heat pump
Sea water	water	heat source & cooling water of heat pump
Ground water	water	heat source & cooling water of heat pump
Sewage treatment plant	crude sewage	heat source of heat pump
	treated sewage water	heat source of heat pump
	digestion gas	power generation, heat supply
	sludge	power generation, heat supply
Waste incineration	high-temperature gas	heat recovery (steam), power generation, heat supply
	hot & warm water	heat source of heat pump, direct utilization
Subway and Underground streets	air	heat source of heat pump
Power line and Substation	cooling water and cooling oil	heat source of heat pump, direct utilization
Factory	high-temperature gas	heat recovery (steam), power generation, heat supply
	hot & warm water	heat source of heat pump, direct utilization
	LNG cold energy	power generation, air liquefaction
Power plant	hot & warm water	heat source of heat pump, direct utilization

Table 3. Status of research target CHP system

Location		Pyeongtaek-si
Construction operation date		March, 2013
CHP system	Main heat system	CHP 830 MW + 333 Gcal/h (Mode V : 731.25 MW + 333 Gcal/h)
	Aux. boiler	PLB 68.8 Gcal/h × 1
Number of households with heat supply permission		43,460

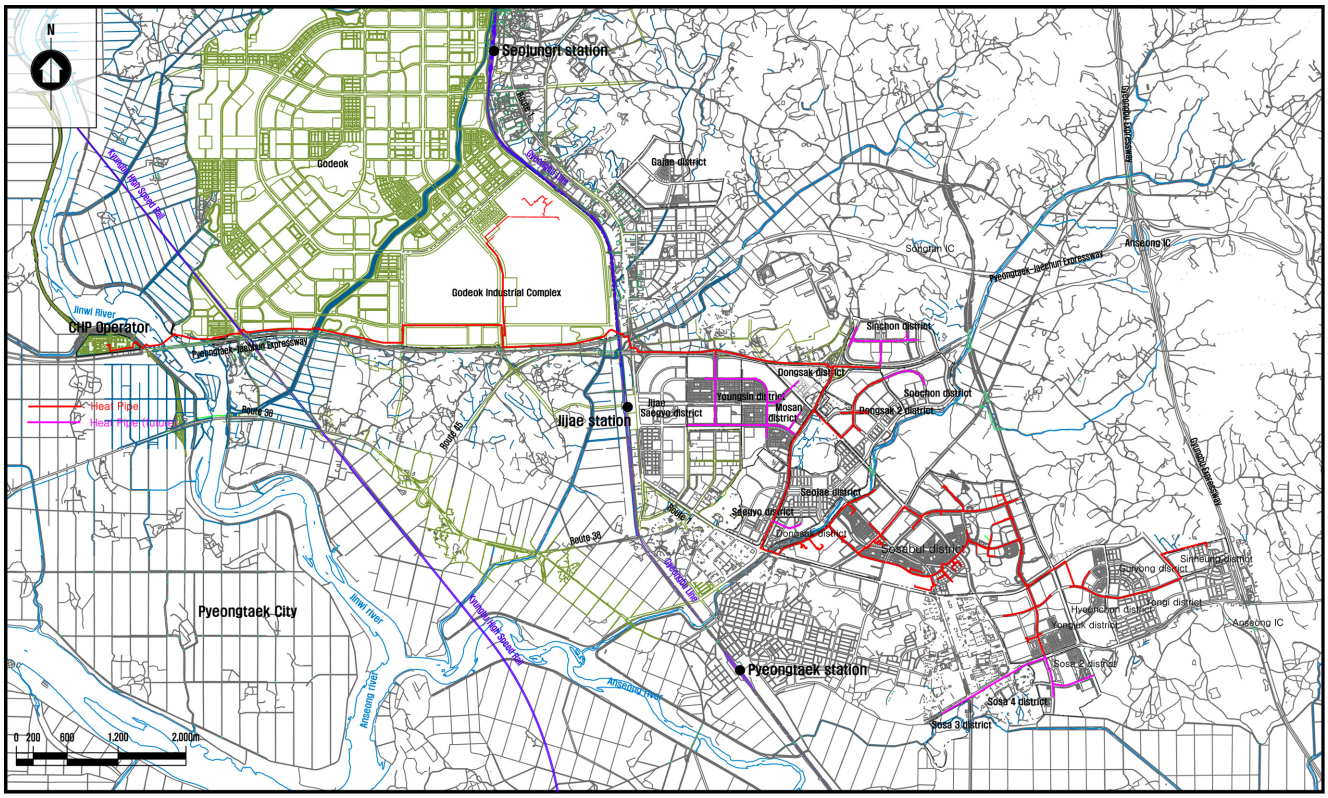


Fig. 4. Thermal pipeline network of the DH operator.

다. 한편, 이 가스 열병합발전기의 이용률은 상업운전 이듬해인 '14년에는 71.0%에 달했으나, '17년에는 35.7%로 급감하였다. 즉, 비교적 최근에 준공된 설비임에도 불구하고, 지속적으로 추가되는 최신의 고효율 신규 발전설비(신재생에너지 포함)의 증가로 급전지시량은 감소하는 가운데, 열 수요는 단계적으로 증가하고 있어 시간이 지날수록 저가 열원의 확보가 절실한 상황이다.

2-5. 연구 대상 열원의 Data 조사 및 분석 방법

기존에 국내에서는 회수 가능한 잠재 에너지량을 특정 열원을 대상으로 실증사업을 수행하고, 실측 또는 일부 data를 바탕으로 simulation을 통해 산정하였다. 그러나 이러한 연구결과들을 통해 다른 지역에 위치한 열원에도 일반적으로 적용할 수 있는 추정방법에 관한 국내 연구는 미흡한 상황이다. 한편, 유럽의 'Heat Roadmap Europe' 프로젝트에서는 EU회원국 차원에서 국가적인 미활용에너지의 잠재 에너지량을 산정하고 열원을 mapping 하고자, 각 열원에 대한 다양한 선행 연구사례를 기반으로 하여 일반화된 에너지잠재량을 추정, 제시하고 있다[14-17]. 이에 본 연구에서는 유럽의 유사연구[10]처럼 다른 DH network에서도 적용 할 수 있도록 연구 대상 열원에 대한 앞서 수행된 실증사례 및 유사 연구결과를 통해 잠재 에너지량(회수 가능 에너지)의 원단위를 산정하고자 한다. 그리고 각 열원에 대한 기초 data는 국내 다른 지역에서도 개략적인 추정이 가능하도록 Open source에 기반하여 개별적으로 수집, 분석하고자 한다. 또, DH 연계 가능 범위는 엄병환 외(2017)의 화력발전소 온배수 열을 활용한 열 공급 모형연구[18]에서 열배관로 신설길이의 경제성을 분석하여 제시한 손익분기 기준거리 1 km를 준용하여, DH network로부터 직선거리 1 km 이내의 열원으로 가정한다.

Table 5. Summary of data sources

	DH network & Mapping	Heat source No. 1 (Large retailer; superstore)	Heat source No. 2 (Public sauna)
Location	in-house data	· website of local government · Gyeonggi data dream	· website of local government · Gyeonggi data dream
Area	in-house data	real estate information portal (http://www.onnara.go.kr)	real estate information portal (http://www.onnara.go.kr)
Related organization		· Pyeongtaek-si · Gyeonggi-do	· Pyeongtaek-si · Gyeonggi-do
Related articles	ref. [10], [14-18]	ref. [19-21]	ref. [24-26]
Software (Mapping tool)	Autodesk AutoCAD 2016	SGIS+ provided by National spatial data infrastructure potal	
Note	· Heat balance diagram · License for community energy service · Thermal pipeline network · National Spatial Data Infra-structure Portal	· Distribution industry development Act, Article 2 (3) → the total area of at least 3,000 m^2 · Korean statistical information service etc.	· Public health control Act Enforcement Rule Article 2 · Regulations on Facilities Standards of Buildings → the total area more than 500 m^2 · Korean statistical information service etc.

Table 5는 본 연구에서 수집한 data의 출처 등을 간략히 나타낸 것이다.

가용 열에너지 잠재량 산정에 있어, 이 연구에서는 국내에서 실증 및 실적조사를 통해 수행된 문헌들을 기반으로 하여 분석하였으며, 그 적절성은 유사 연구 자료들 간의 비교를 통해 확인하였음을 밝힌다. 그리고 폐열회수 또는 Heat Pump를 적용하여 각 사업장에서 절감한 에너지사용량은 DH network에서 회수 가능한 잠재 에너지로 활용 될 수 있으므로, 에너지절감량을 중심으로 유사 사업장에도 적용 할 수 있는 원단위를 산정 하였다. 다만, Heat Pump를 이용하여 열을 공급할 경우 열교환기의 입출구 온도차가 실제의 이용 열량이 되므로, 별도 산정이 필요한 경우 기본적인 가용 열에너지 잠재량 산정식을 formula (1)과 같이 정의하고, 계산 하였다.

$$E = C \cdot Q \cdot \Delta t \quad (1)$$

E : potential calory (Gcal/year)

C : specific heat capacity (Gcal/$m^3 \cdot ^oC$)

Q : quantity (m^3/year)

Δt : Temperature difference between inlet and outlet (^oC)

또한, 유사 연구사례에서 별도 온실가스 저감량과 에너지열량 단위의 환산기준이 제시되지 않은 경우, 「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」('17.01.01 시행)에 따른 formula (2), (3), (4), Table 6과, 「에너지법」 시행규칙 별표의 '에너지열량 환산기준' ('17.12.28 개정)을 준용하여 산정하였다.

[Combustion of gaseous fuel]

Greenhouse gas emissions (tCO_{2eq})

$$= \frac{\sum [\text{amount of gaseous fossil fuel } (Nm^3 \text{ or kg})] \times \text{lower heating values } (MJ/Nm^3 \text{ or kg})}{\times \text{emission factor } (\text{kg GHG}(CO_2/CH_4/N_2O)/TJ) \times 10^{-9} \times GWP} \quad (2)$$

[Combustion of liquid fuel]

Greenhouse gas emissions (tCO_{2eq})

$$= \frac{\sum [\text{amount of liquid fossil fuel (l)} \times \text{lower heating values (MJ/l)}}{\times \text{emission factor } (\text{kg GHG}(CO_2/CH_4/N_2O)/TJ) \times 10^{-9} \times GWP} \quad (3)$$

[Electricity used]

Greenhouse gas emissions (tCO_{2eq})

$$= \frac{\sum [\text{amount of electricity used (MWh)}}{\times \text{emission factor } (\text{tGHG}(CO_2/CH_4/N_2O)/MWh) \times GWP} \quad (4)$$

3. 연구결과 및 고찰

3-1. 대형마트

3-1-1. 유사 연구사례 분석

국내에는 에너지 절감 및 온실가스 저감을 목표로 한국에너지공단에서 에너지절감산출(M&V; Measurement & Verification) 실증사례를 제공하고 있다. 지난 '17년에 보고[19]된 건물부문 판매시설에 대해 폐열회수 및 Heat Pump와 관련한 우수절감기술의 주요 분석결과를 Table 7에 제시하였다. 이 보고서에서 에너지사용량은 평균 56%, 온실가스배출량은 평균 57% 수준으로 절감 및 저감효과가 있는 것으로 실증, 평가 되었다.

M&V 실증사례에도 불구하고, 대상건물의 규모 등이 구체적으로 제시되지 않아 일반적인 대형마트 판매시설에서의 회수 가능한 잠재 에너지량를 추정하는데 한계가 있다. 이에 대형마트를 대상으로 에너지 절감 및 폐열회수 연구결과가 제시된 유사 연구를 통해 잠재 에너지량을 추정하기로 한다.

'10년 서울 소재의 대형마트의 에너지 사용량을 분석하고 온실가스를 줄이는 방안에 대한 연구[20]에서 실제 설비개선을 통해 개선 전·후의 에너지 사용량을 분석하여 제시하였다. 이 연구에서는 2개의 대형마트에 대해 공사 전·후의 특정기간 운영일지를 바탕으로 TRNSYS (Transient System Simulation) 프로그램을 이용하여 설비개선 전·후의 연간 에너지사용량을 분석하였다. 시뮬레이션을 수행한 결과 Table 8과 같이 A마트는 약 122.9 toe의 에너지가 절감되고, 약 250.7 tCO_2의 온실가스 배출량이 저감되었으며, B마트는 약 102.5 toe의 에너지가 절감되고, 약 209.6 tCO_2의 온실가스 배출량이 저감된 것으로 분석 되었다.

한편, '13년에 앞의 동일한 Large retailer B를 대상으로 폐열 회수 시스템 적용을 통한 에너지 성능 개선요소에 대한 다른 연구[21]가 수행되었는데, 에너지사용량이 기존 8,002,602 kWh에서 개선 후 7,609,201 kWh로 절감되었다고 분석하였다. 또, 이 연구에서는 대형마트 11개 지점의 실제 에너지 사용량을 분석하였고, 평균적으로 연간 8,325,040 kWh를 소비하고, 폐열 회수 시스템 적용으로 평균 393,401 kWh를 절감할 수 있다고 분석하였다.

이러한 M&V 실증사례 및 선행 연구내용을 바탕으로 대형마트에서의 잠재 에너지량을 다음과 같이 추정하고자 한다. '17년 기준 국내 대형마트 3사(이마트, 홈플러스, 롯데마트)의 시장점유율은 약 68.6%를 차지하고 있는데[22,23], 이러한 대형마트의 영업장들은 유사한 구조와 설비를 갖추고, 에너지사용량은 규모, 특히 영업장 면적에 해당하는 연면적에만 영향을 받는 것으로 가정한다. 그리고

Table 6. Korean country-specific electricity emission factor

	CO_2 (tCO_2/MWh)	CH_4 ($kgCH_4$/MWh)	N_2O (kgN_2O/MWh)
Average two-year ('07~'08)	0.4653	0.0054	0.0027

Table 7. M&V Case Results* for Large retailer

	Baseline period (A)	Energy performance period (B)	Note
Period	'15.01 ~ '15.12	'16.06 ~ '17.05	12 months
Main facilities	showcase 12 set (268.75 kW)	Heat Pump (38.3 kW)	Heat Pump - COP(H) 3.5 - COP(R) 2.5
Energy consumption	city gas 26,954 Nm^3 (28.2 toe)	electricity 55,366 kWh (12.73 toe)	saving 15.47 toe (average 56%)
CO_2 emission	59.3 tCO_2	26.05 tCO_2	reduction 17.47 tCO_2 (average 57%)

*"Hot water system using waste heat of showcase cooling tower and control method"(2017)

Table 8. Results of energy saving & GHG emission reduction for Large retailers

		Large retailer A	Large retailer B	Note
Condition	Total floor area	39,269 m^2	27,912 m^2	
	Sales floors	B1 ~ 3F	B4 ~ 6F	
	Facilities	· showcase 17 set · 630 USRT 3set · boiler 150 Mcal 2set	· showcase 15 set · 450 USRT 2set · steam boiler 0.5 ton 2set	
Baseline period	Period	'08.05 ~ '08.10	'08.05 ~ '08.10	TRNSYS analysis
	Energy consumption	· city gas 157,219 Nm^3 · electricity 21,127 kWh (subtotal 170.4 toe)	· city gas 127,204 Nm^3 · electricity 14,151 kWh (subtotal 137.2 toe)	
	CO_2 emission	353.8 tCO_2	284.9 tCO_2	calculated separately
Energy performance period	Period	'09.05 ~ '09.10	'09.05 ~ '09.10	TRNSYS analysis
	Energy consumption	electricity 221,148 kWh (47.5 toe)	electricity 161,488 kWh (34.7 toe)	
	CO_2 emission	103.1 tCO_2	75.3 tCO_2	calculated separately
Saving & Reduction	Energy saving	122.9 toe (abt. 72.1%)	102.5 toe (abt. 74.7%)	
	CO_2 reduction	250.7 tCO_2 (abt. 70.9%)	209.6 tCO_2 (abt. 73.6%)	

개략적인 추정의 한계로 인해 거시적인 모형으로써 formula (5)를 만들어 회수 가능 에너지량을 추정하기로 한다.

$$P_{hv} = A \cdot H_{ru} \cdot C_n + \varepsilon \quad (5)$$

P_{hv} : potential heat volume (toe/year)

A : total floor area (m^2)

H_{ru} : heat recovery unit (toe/m^2)

here, H_{ru}=average $\frac{\text{energy savin g}_1}{\text{total floor are a}_1}, \frac{\text{energy savin g}_2}{\text{total floor are a}_2}, \frac{\text{energy savin g}_3}{\text{total floor are a}_3}$

C_n: correlation number (between total floor area and energy consumption)

ε: tolerance (toe, in case of need)

선행 연구의 실적 사례를 통해 Table 9와 같이 H_{ru}(heat recovery unit)는 0.0033 toe/㎡ 으로 확인 되었으며, 대형마트 3사 중 시장점유율이 가장 높은 이마트의 '11년도 11개 지점의 자료 Table 10을 통해 연면적과 에너지사용량의 상관관계를 분석한 결과, 약 0.4937의 양의 상관관계가 확인되었다. 이는 대형마트의 연면적이 클수록 에너지사용량은 증가하며, 각 대형마트의 입지여건 및 내부 매장의 기타 설비 등의 차이에 따라 에너지사용량의 차이가 발생하는 것으로 판단된다.

3-1-2. 연구 대상 지역의 분석

사례연구 대상 지역에 소재한 대형마트 사업장은 '18년 상반기 기준 총 11곳으로, 이 중 기존 DH network로부터 1 km 이내에 위치한 연계 가능한 범위의 사업장은 7곳으로 확인 되었다. Table 11은 해당 지역의 대형마트에 대해 잠재 에너지량을 추정한 결과이며, 세부적인 에너지원의 구분이 되지 않는 한계가 있으나, 온실가스 저감량은 H_{ru} 산식과 동일한 방법으로 분석하여 제시하였다.

Table 9. Calculation of heat recovery unit through the cases for Large retailers

		Large retailer A	Large retailer B_1	Large retailer B_2	Note
Total floor area		39,269 m^2	27,912 m^2		
Saving & Reduction	Energy saving	122.9 toe	102.5 toe	90.1 toe	elec. consumption (0.229×10^{-3} toe/kWh)
	CO_2 reduction	250.7 tCO_2	209.6 tCO_2	unable to verify (energy source)	
Results	Heat recovery	0.0031 toe/m^2	0.0037 toe/m^2	0.0032 toe/m^2	0.0033 toe/m^2 (H_{ru})
	CO_2 reduction	0.0064 tCO_2/m^2	0.0075 tCO_2/m^2	N/A	0.0069 tCO_2/m^2 (for reference)

Table 10. Energy consumption in 2011 and energy usage per floor area for E-MART*

	Energy consumption (kWh)	Total floor area (m^2)	Energy consumption per total floor area (kWh/m^2)	Correlation number (C_n)
Dongincheon branch	8,362,549	39,947.1	209.3	
Mokpo branch	7,338,232	31,201.4	235.2	
Osan branch	8,082,316	45,484.1	177.7	
Hanam branch	9,557,384	48,995.1	195.1	
Icheon branch	6,958,083	15,361.5	453.0	
Dunsan branch	10,877,715	40,101.3	271.3	0.4937
Sangbong branch	9,228,021	39,537.7	233.4	
Chungju branch	7,112,410	39,074.0	182.0	
Chuncheon branch	7,801,582	36,205.1	215.5	
Paju branch	7,771,251	35,364.6	219.7	
Myeongil branch	8,789,243	27,912.8	314.9	
Average	8,325,040	36,289.5	246.1	

*"Energy Saving Rate Analysis by Performance Improvement Factors in Hypermarket" (2013)

Table 11. Calculation of the amount of recoverable energy & GHG reduction for large retailers in the case area

	Total floor area (m^2)	Recoverable energy		GHG reduction (for reference)	
		$H_{ru} \times C_n$ (toe/m^2)	potential energy (toe/year)	CO_2 reduction unit (tCO_2/m^2)	potential reduction (tCO_2/year)
AK PLAZA	81,000.0		136.0		562.6
Kim's Club	19,560.2		32.8		135.9
Lotte Super Anjung (unable to connect)	996.2		1.7		6.9
Homeplus Anjung (unable to connect)	19,316.9		32.4		134.2
Homeplus Songtan	19,036.3		32.0		132.2
Lotte Super Jisan (unable to connect)	979.1	0.0017	1.6	0.0069	6.8
E-mart	22,084.0		37.1		153.4
M PLAZA	33,544.3		56.3		233.0
Lotte mart	38,863.1		65.3		269.9
Newcore outlet	39,592.3		66.5		275.0
GS Retail Ichung (unable to connect)	9,102.4		15.3		63.2
Total (11 points)			477.0		1973.1
Connectable (7 points)			425.9		1762.0

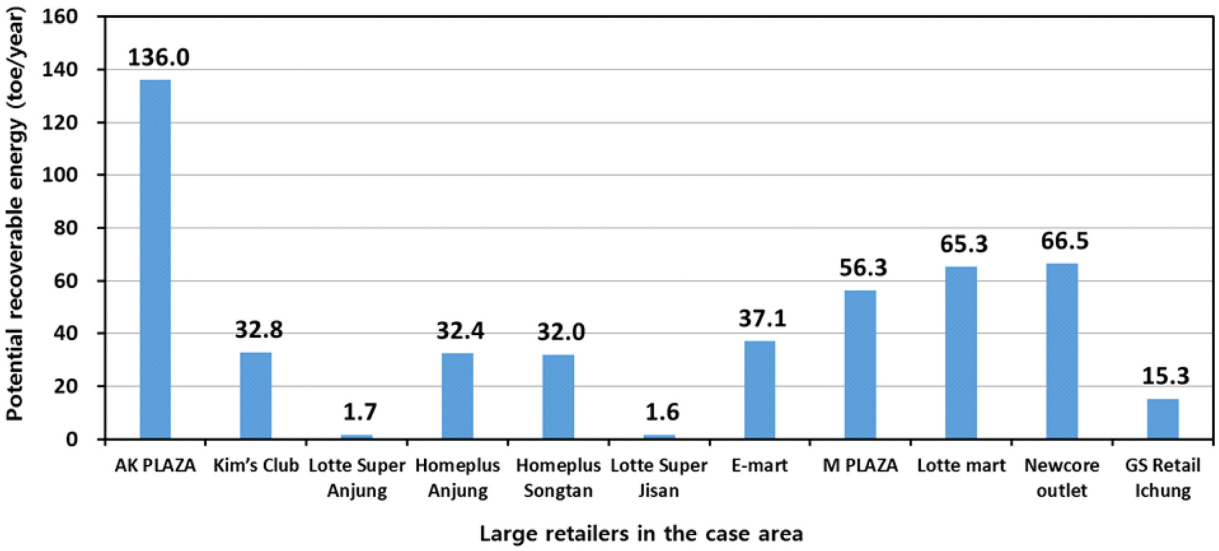


Fig. 5. The amount of recoverable energy for large retailers in the case area.

3-2. 공공사우나

3-2-1. 유사 연구사례 분석

우리나라는 국민소득이 증대되면서 레저 및 스포츠에 대한 관심이 높아짐에 따라 사우나 및 수영장 등의 시설을 갖춘 에너지 다소비형 복합건물이 늘어나고 있다[24]. 특히 유럽과 달리 공공사우나 문화가 발달한 국내에서는 인구 밀집지역에 사우나 및 목욕장 시설이 다수 운영되고 있어, 에너지 절약 및 온실가스 저감을 목표로 Heat Pump 시스템 적용한 실증 연구사례들이 보고되고 있다. 그 중 '14년 수행된 연구[25]에서는 폐열회수 시스템을 총 4곳에 적용하여 에너지소비량을 측정하였으며, 주요 결과는 Table 12와 같다.

이 연구결과에서 건축면적당 에너지절감량은 사업장별 시설종류 및 부대시설 등의 차이로 인해 편차가 큰 것으로 분석되어, 목욕장 면적이 확인된 2개 사업장 Sauna A, Sauna B에 대해 에너지절감량을 분석한 결과, 목욕장 면적 당 에너지절감량이 평균 0.0394 toe/m^2로 확인 되었다. 한편, 일반적으로 배출되는 배수의 온도는 목욕장의 경우 32~40 ºC, 사우나의 경우 35~42 ºC 수준이다. 이러한 폐수에서 확보할 수 있는 열량은 폐수발생량과 폐수의 입구온도 및 출구온도에 의해 결정되는데, Heat Pump를 이용한 폐수열 회수설비에서 열회수 후의 폐수온도는 12 ºC가 일반적이다.[26] 따라서, 목욕장 면적에 대한 단위 폐수발생량을 일일 60 l/m^2로 가정하여, 목욕장에서 회수 가능한 열량을 계산한 결과, 이 연구결과와 약 ±20% 내의 오차범위를 갖는 것으로 확인 되었다. Table 13은 Sauna A와 Sauna B에 대해 이론적 회수가능 추정열량을 비교한 결과이다.

이러한 차이는 실제 폐수발생량 및 폐수의 입구 온도와 출구 온도 등의 차이에서 기인하는 것으로 추정되므로, 본 연구에서는 보수적인 잠재열량 산정을 위해 목욕장 면적 당 회수 가능 에너지 원단위 H_{ru}를 80%(C_n) 수준에 해당하는 0.0315 toe/m^2로 적용하기로 하며, 목욕장 면적 당 온실가스 저감량은 0.1183 tCO_2/m^2로 추정 된다.

3-2-2. 연구 대상 지역의 분석

'18년 상반기 기준 사례연구 대상 지역에서 운영 중인 목욕장업은 총 40곳으로, 규모가 확인되지 않은 3개소를 제외한 37개 사업장에서 기존 DH network로부터 1 km 이내에 위치한 연계 가능한 범위의 사업장은 12곳으로 확인 되었다. Table 14는 해당 지역의 공공사우

Table 12. Results for public saunas performance analysis using waste heat recoverty system

		Sauna A	Sauna B	Sauna C	Sauna D
Location		Daegu	Yeongcheon	Gunpo	Anyang
Area	Building area	835.4 m^2	4,468.5 m^2	4,958.7 m^2	6,611.6 m^{2q}
	Bath area	610.3 m^2	3,425.1 m^2	-	-
Baseline period	Period	'12.01 ~ '12.12	'11.01 ~ '11.12	'11.01 ~ '11.12	'10.01 ~ '10.12
	Energy consumption	· gas 107,487 Nm^3 (110.6 toe)	· oil 231,000 l (230.1 toe)	· heat 1,637 Gcal · elec. 1,588,679 kWh (subtotal 527.5 toe)	· gas 239,091 Nm^3 · elec. 2,056,274 kWh (subtotal 716.9 toe)
	CO_2 emission	235.1 tCO_2	704.5 tCO_2	1,149.8 tCO_2*	1,481.8 tCO_2
Energy performance	Period	'13.01 ~ '13.12	'12.01 ~ '12.12	'12.01 ~ '12.12	'12.01 ~ '12.12
	Energy consumption	· gas 43,131 Nm^3 · elec. 168,252 kWh (subtotal 82.9 toe)	· oil 8,377 l · elec. 468,721 kWh (subtotal 115.7 toe)	· heat 736 Gcal · elec. 1,624,786 kWh (subtotal 445.7 toe)	· gas 172,172 Nm^3 · elec.2,120,485 kWh (subtotal 662.8 toe)
	CO_2 emission	172.8 tCO_2	244.1 tCO_2	941.5 tCO_2*	1,365.3 tCO_2
Saving & Reduction	Energy saving	27.7 toe (abt. 25.0%)	114.4 toe (abt. 49.7%)	81.8 toe (abt. 15.5%)	54.2 toe (abt. 7.6%)
	CO_2 reduction	62.3 tCO_2 (abt. 26.5%)	460.4 tCO_2 (abt. 65.4%)	208.3 tCO_2 (abt. 18.1%)	116.5 tCO_2 (abt. 7.9%)
Fuel		city gas	bunker C oil	outside heat	city gas

*Coefficient of conversion of CO_2 emissions by heat use : country-specific average indirect emission factor (59,685 $kgCO_2/TJ$)

Table 13. Comparison of the results of the research and theoretical calculations for sauna A & B

		Sauna A	Sauna B
Bath area		610.3 m^2	3,425.1 m^2
Actual results	Energy saving	27.7 toe	114.4 toe
Theoretical calculations	Daily waste water vol.	610.3 m^2 × 60 l /m^2·day = 36.6 l/day	3,425.1 m^2 × 60 l/m^2·day = 205.5 l/day
	Calculation method	36.6 l/day × 1,000 kg/m^3 × 1 kcal/kg°C × (30-12)°C ≒658.8 Mcal/day	205.5 l/day × 1,000 kg/m^3 × 1 kcal/kg°C × (30-12)°C ≒3,699.0Mcal/day
	Estimated vol.	24.0 toe	135.0 toe
Comparison of actual results		about 86.6%	about 118.0%

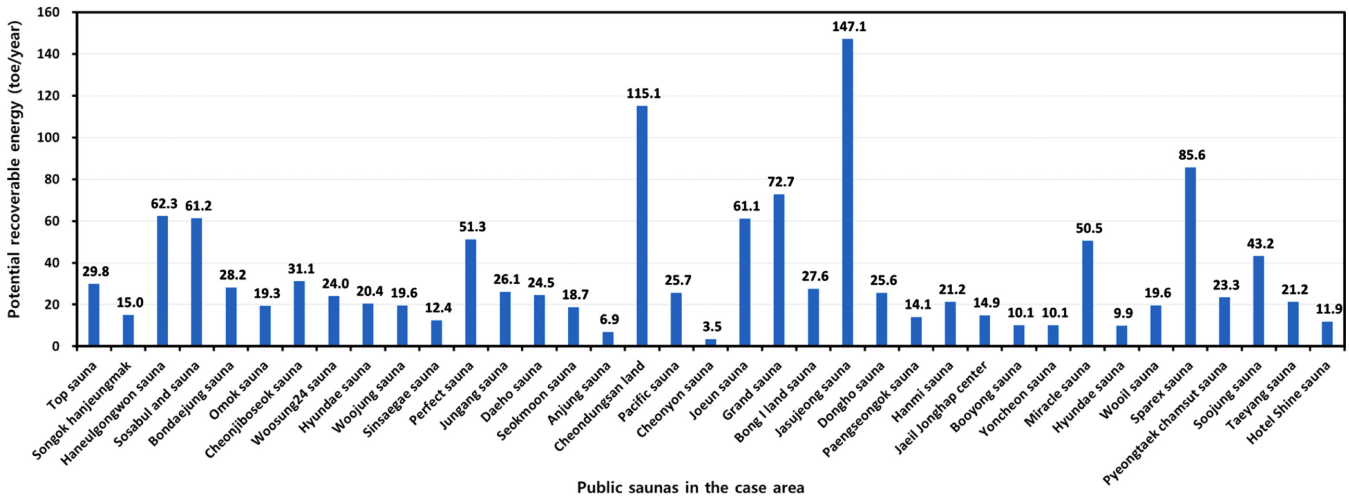


Fig. 6. The amount of recoverable energy for public saunas in the case area.

나에 대해 회수 가능한 잠재열량과 온실가스 저감 잠재량을 분석한 결과이다.

3-3. 연구 대상 지역의 지리적 가용성

본 연구에서는 수도권 남부 평택시에 위치한 DH network를 대상으로 Heat Pump를 통해 연계 가능한 도시 내 대형마트와 공공사우나 시설의 미활용에너지 잠재량을 분석하였다. 이 지역에서는 2가지 열원에 있어 총 1,741.7 toe/year 수준의 미활용에너지 잠재량을 보유하고 있으며, 이 중 57.8%에 해당하는 1,006.9 toe/year를 DH network에 연계 할 수 있을 것으로 확인 되었다. DH network에 연계 가능한 에너지량은 이 지역의 집단에너지시스템에서 '17년도에 공급한 열량의 9.6%에 달하는 양에 해당한다. 세부적으로는 대형마트 11곳 중 89.3%에 해당하는 7곳에서 425.9 toe/year가, 공공사우나 37곳 중 45.9%에 해당하는 12곳에서 580.9 toe/year 수준의 에너지를 DH network에 연계 가능 할 것으로 분석 되었다. 이를 세부 행정구역별로 소재한 공동주택의 열수요 추정 대비 연계 가능

Table 14. Calculation of the amount of recoverable energy & GHG reduction for public saunas in the case area

	Bath area (m^2)	Recoverable energy		GHG reduction (for reference)	
		$H_{ru} \times C_n$ (toe/m^2)	potential energy (toe/year)	CO_2 reduction unit (tCO_2/m^2)	potential reduction (tCO_2/year)
Top sauna (unable to connect)	946.8		29.8		112.0
Songok hanjeungmak (unable to connect)	475.5		15.0		56.2
Haneulgongwon sauna	1,977.6		62.3		233.9
Sosabul and sauna	1,943.4		61.2		229.9
Bondaejung sauna	895.6		28.2		105.9
Omok sauna	613.4		19.3		72.6
Cheonjiboseok sauna (unable to connect)	988.2		31.1		116.9
Woosung24 sauna (unable to connect)	762.0		24.0		90.1
Hyundae sauna (unable to connect)	647.6		20.4		76.6
Woojung sauna (unable to connect)	620.5		19.6		73.4
Sinsaegae sauna (unable to connect)	395.0		12.4		46.7
Perfect sauna	1,626.5		51.3		192.4
Jungang sauna (unable to connect)	828.2		26.1		98.0
Daeho sauna (unable to connect)	776.1		24.5		91.8
Seokmoon sauna (unable to connect)	594.1		18.7		70.3
Anjung sauna (unable to connect)	218.4		6.9		25.8
Cheondungsan land (unable to connect)	3,651.6		115.1		431.9
Pacific sauna (unable to connect)	815.2		25.7		96.4
Cheonyon sauna (unable to connect)	110.0	0.0315	3.5	0.1183	13.0
Joeun sauna	1,940.0		61.1		229.5
Grand sauna (unable to connect)	2,308.6		72.7		273.1
Bong I land sauna (unable to connect)	875.5		27.6		103.6
Jasujeong sauna	4,667.4		147.1		552.1
Dongho sauna	813.9		25.6		96.3
Paengseongok sauna (unable to connect)	446.5		14.1		52.8
Hanmi sauna (unable to connect)	673.5		21.2		79.7
Jaeil Jonghap center (unable to connect)	471.3		14.9		55.7
Booyong sauna (unable to connect)	319.9		10.1		37.8
Yoncheon sauna (unable to connect)	319.9		10.1		37.8
Miracle sauna	1,603.8		50.5		189.7
Hyundae sauna	312.8		9.9		37.0
Wooil sauna (unable to connect)	621.3		19.6		73.5
Sparex sauna (unable to connect)	2,716.7		85.6		321.3
Pyeongtaek chamsut sauna (unable to connect)	740.3		23.3		87.6
Soojung sauna	1,369.4		43.2		162.0
Taeyang sauna	672.5		21.2		79.5
Hotel Shine sauna (unable to connect)	376.8		11.9		44.6
Total (37 points)			1,264.7		4,747.2
Connectable (12 points)			580.9		2,180.6

한 잠재 에너지량의 비율을 분석한 결과를 Table 15와 Fig. 7에 제시하였다.

평택시에서는 Heat Pump용 두 가지 열원의 미활용에너지 총 잠재량은 공동주택의 열 수요와 약 0.5272의 양의 상관관계를 갖고 있었으며, 특히 기차역과 같은 교통중심지구와 상업중심지구에서 상대적으로 높은 미활용에너지 잠재량을 가지고 있었다. 이는 일반적으로 주택지구보다 상업지구에 더 많은 열원이 분포해 있음을 보여준다.

이 결과를 바탕으로 Fig. 8과 같이 DH network에 해당하는 열배관망도에 각 열원의 위치와 잠재 에너지량을 표시하고, 다시 인접 열원들을 그룹화 하여 미활용에너지 잠재량을 Fig. 9와 같이 표현하였다. Fig. 9에는 DH network 반경 1km 밖에 있는 열원은 포함하지 않았으며, 열원의 활용을 위한 실질적인 제약요소도 포함되어 있지 않다. 이는 미활용에너지 잠재열원 중 일부는 실제 활용하기에 적합하지 않을 수 있음을 의미한다.

3-4. 잠재적 열원의 분포 추정과 지도화

이 연구에서 제시한 대형마트와 공공사우나시설의 잠재 에너지량 추정방법을 적용하여 연구대상 지역의 행정구역별 잠재 에너지량을 통계지리정보서비스(SGIS+)를 이용하여 Fig. 10과 같이 표현하였다. 연구 대상지역은 DH operator를 중심으로 주거지역이 밀집된 동편과 아산국가산업단지가 소재한 서편 공업단지에 Heat

Table 15. Comparison of the amount of recoverable energy and heat demand for apartment buildings in based on administrative area

Administrative area	Total recoverable energy		Connectable recoverable energy		Heat demand* ('17.01)		Ratio of connectable energy supply to heat demand	Note
	volume (toe/year)	ratio	volume (toe/year)	ratio	number of apt.	demand (toe/year)		
Doil-dong (Songtan-dong)	29.8	1.7%	-	0.0%	-	-	-	
Dokhok-dong (Songbuk-dong)	15.0	0.9%	-	0.0%	2,444	2,187	0.0%	
Bijeon-dong	270.4	15.5%	270.4	26.9%	16,858	15,088	1.8%	
Seojeong-dong	107.6	6.2%	-	0.0%	4,753	4,254	0.0%	
Sindae-dong (Wonpyeong-dong)	51.3	2.9%	51.3	5.1%	-	-	-	
Sinjang-dong	69.3	4.0%	-	0.0%	444	397	0.0%	nearby station
Anjung-eup	185.2	10.6%	-	0.0%	10,506	9,403	0.0%	
Ichung-dong (Jungang-dong)	76.4	4.4%	61.1	6.1%	8,391	7,510	0.8%	
Jangdang-dong (Jungang-dong)	32.0	1.8%	32.0	3.2%	2,833	2,536	1.3%	
Jisan-dong	102.0	5.9%	-	0.0%	4,728	4,232	0.0%	nearby station
Jije-dong (Segyo-dong)	37.1	2.1%	37.1	3.7%	5,649	5,056	0.7%	
Tongbok-dong	172.7	9.9%	172.7	17.2%	1,078	965	17.9%	nearby station
Paengseong-eup	70.3	4.0%	-	0.0%	4,569	4,089	0.0%	
Pyeongtaek-dong (Sinpyeong-dong, Wonpyeong-dong)	252.7	14.5%	252.7	25.1%	566	507	49.9%	nearby station
Poseung-eup	128.5	7.4%	-	0.0%	5,743	5,140	0.0%	
Hapjeong-dong (Sinpyeong-dong, Wonpyeong-dong)	129.6	7.4%	129.6	12.9%	4,292	3,841	3.4%	
Hyeondeok-myeon	11.9	0.7%	-	0.0%	359	321	0.0%	
Total	1,741.7	100%	1,006.9	100%	73,213	65,526	1.5%	

*Assumption : annual heat demand of 85 m^2 household is 0.895 toe/year (source : KDHC)

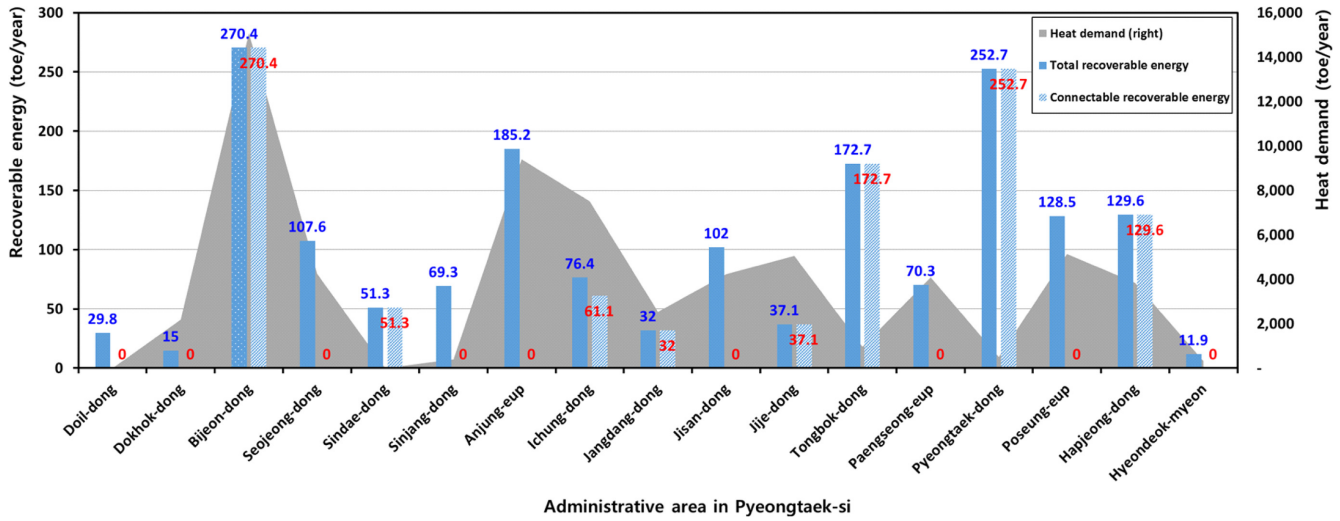


Fig. 7. Comparison of the amount of recoverable energy and heat demand for apartment buildings in based on administrative area.

Pump용 잠재 에너지량이 집중해 있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 정량화된 map data가 보다 정교화 된다면, 이 지역의 집단에너지시스템과 지자체가 Heat Pump용 잠재열원과 관련하여 지리적으로 확대해 나가는 방향성을 제시 해 줄 수 있을 것이다.

앞서 언급한 대로「재생에너지 3020 이행계획」에는 미활용에너지 활용을 통한 전력수요 감소 영향이 빠져 있으나, 본 연구와 같은 Heat Pump를 이용한 미활용에너지 활용이 보편화 될 경우, 향후 에너지 공급 관련 시나리오가 변경 될 수도 있다. 따라서 전국의 대도시를 중심으로 도시 내 열원을 발굴하여 이용하게 된다면 국가적으로 1차 에너지원의 수입량 절감과 온실가스 배출 저감 목표를 실현시키는데 일조 할 수 있을 것이다. '17년 기준 국내 대형마트 3사는 424개, 목욕장은 7,100개에 달한다.[31] 기존 DH network에 연계 가능한 열원은 일부일 수 있으나, 도시의 인구밀집 지역을 중심으로 Heat Pump와 신재생에너지를 연계한 소규모 Hybrid Heat Pump system 보급을 추진한다면 에너지절감 및 온실가스 배출 저감 효과를 기대해 볼 수 있을 것이다.

한편, 이 연구는 도시 내 특정 열원의 잠재량을 정량화하기 위해 몇 가지 사례 data를 기반으로 하였다. 이는 지역과 운영상황에 따라 일부 불확실성이 수반될 것이다. 하나는 대형마트에 대한 유통업과 공공사우나에 대한 공중보건업이 어떻게 발전 할 것인가에 대한 불확실성이다. 국가의 에너지 절약 정책은 에너지 소비와 폐열의 양을 줄일 것이나, 지역난방 집단에너지시스템에 대해 이용 가능한 잠재 에너지량의 감소로 더 큰 초과비용을 발생시킬 수도 있다. 다른 중요한 불확실성은 각각의 특정한 경우와 관련된 경제성,

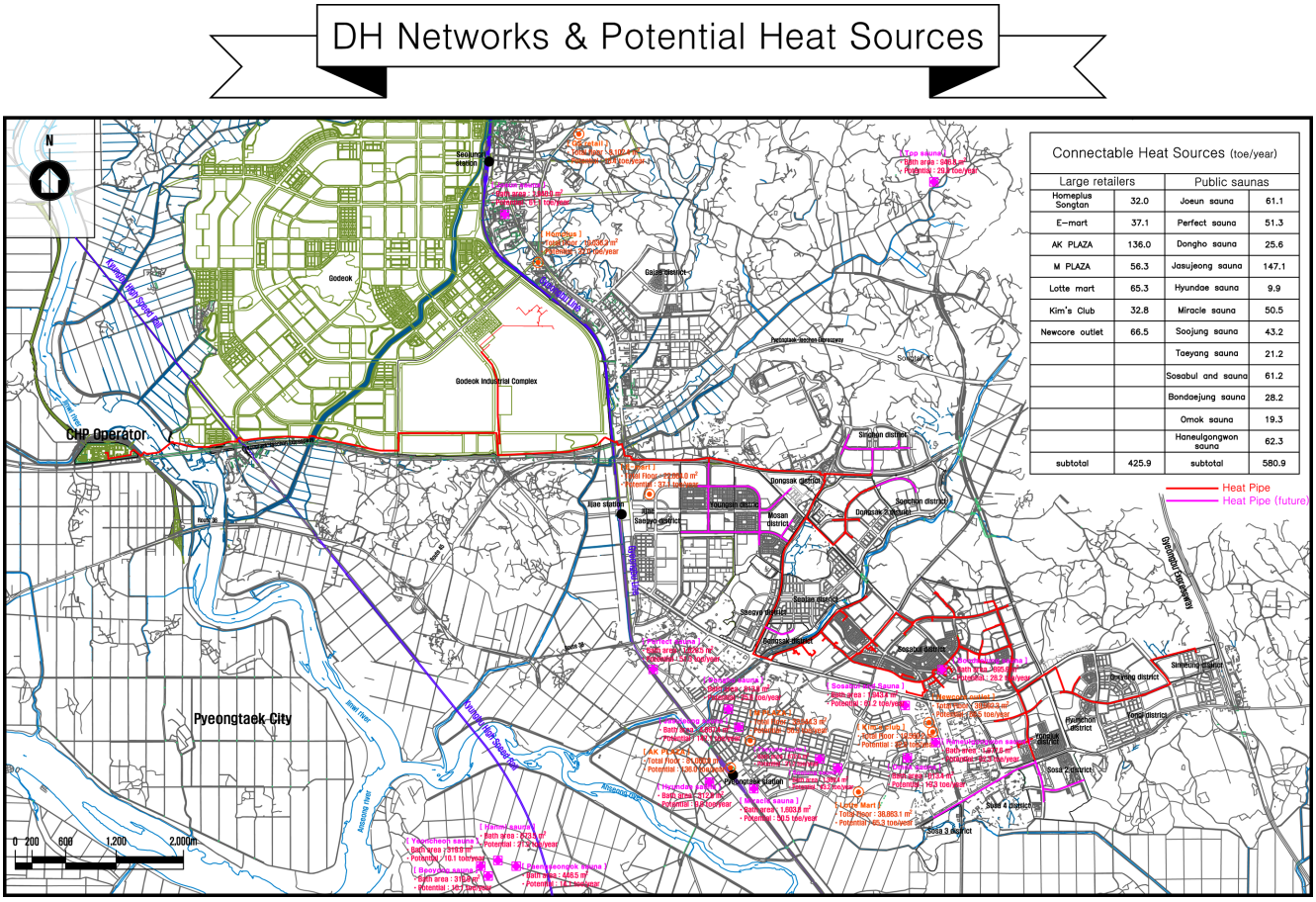


Fig. 8. Recoverable energy location map adjacent to thermal pipeline network of the DH operator.

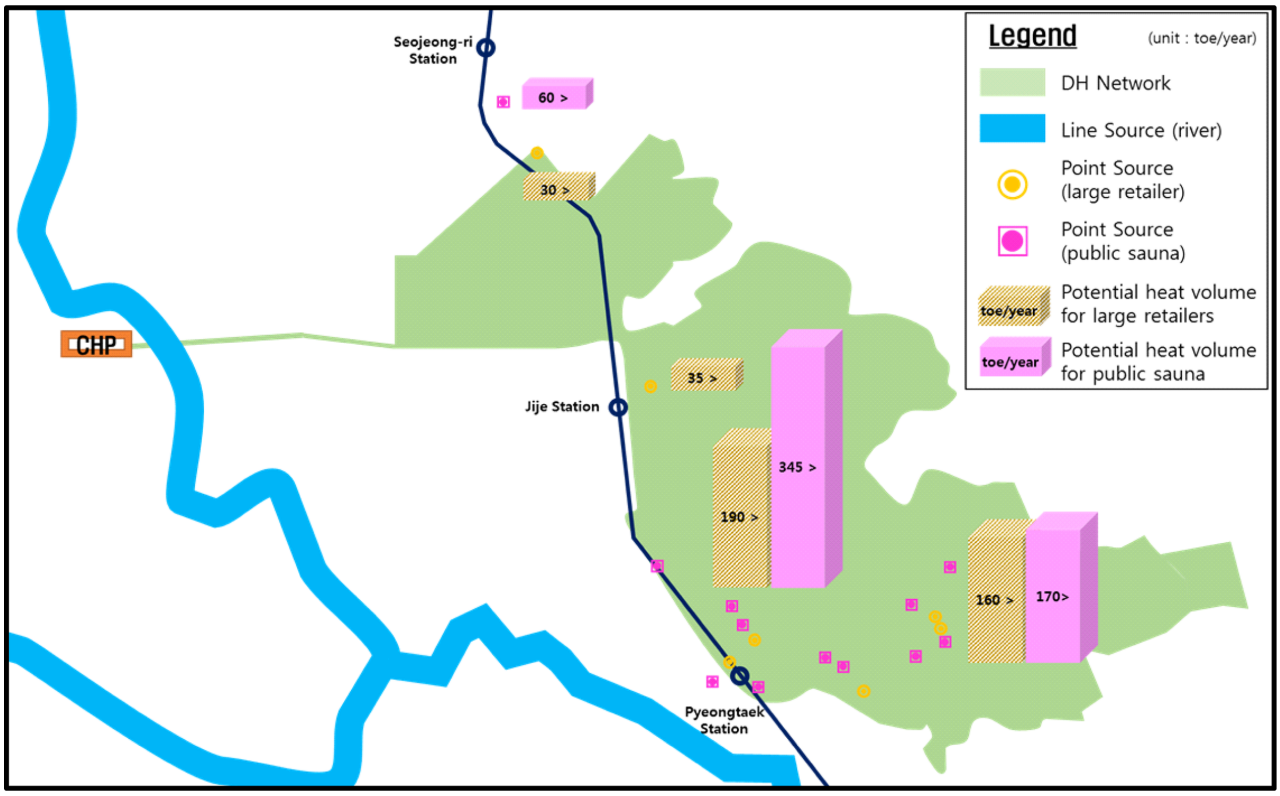


Fig. 9. Illustration of the amount of connectable recoverable energy in the DH network.

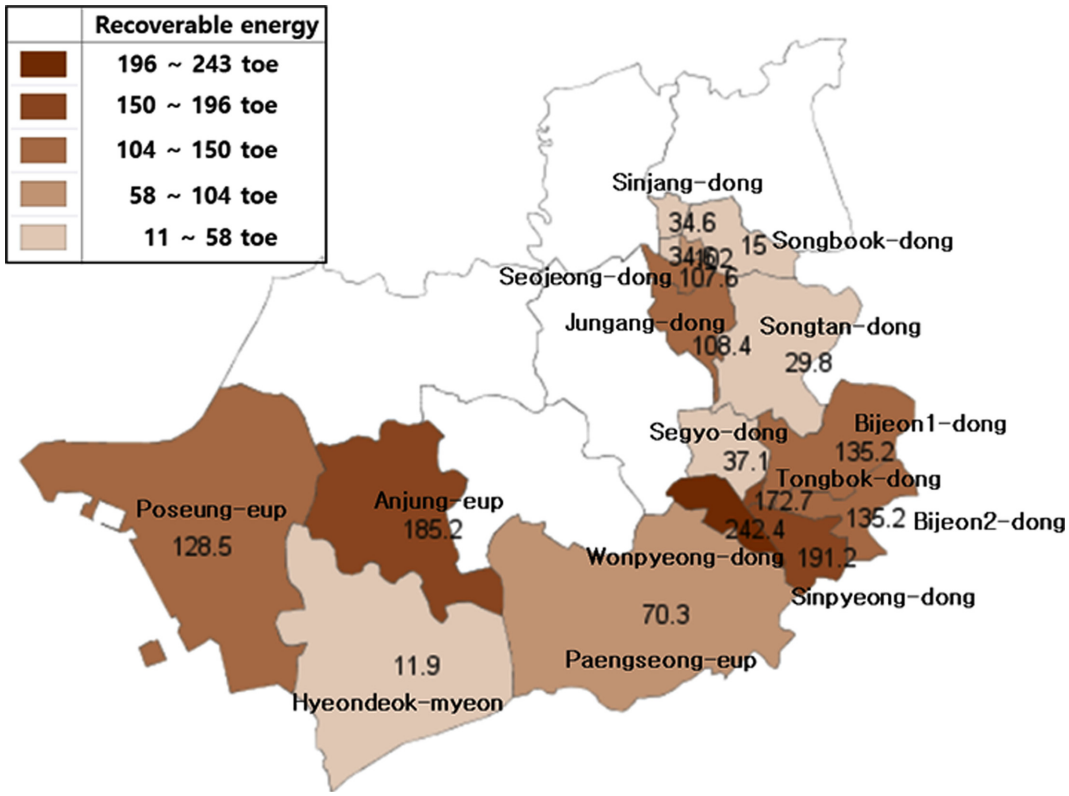


Fig. 10. Map of total recoverable energy of large retailers and public saunas in Pyeongtaek-si.

환경 및 기술적인 기타 제약요소로 인해 잠재적 열원을 실현 시킬 수 있는 정도와 관련이 있다. 이들은 예측하기 어렵지만, 향후 특정 지역 및 특정 열원에 대한 타당성조사와 연구를 통해 screening 될 것이다. 또 다른 주요 제약요인은 열원의 시간적 분포일 수 있다. 일반적인 도시 내 잠재적인 열원은 열수요가 증가하는 심야부터 새벽까지에는 직접적으로 사용할 수 없다. 또, 특정 열원은 계절에 따라 가용량이 달라질 수도 있다. 따라서 열저장 시스템이 보완될 필요가 있으며, 일부 열원 또는 일부 지역의 열원은 다른 지역 또는 다른 열원보다 더 낮은 투자비용 등으로 인해 실현 순위가 달라질 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 국가의 에너지사용량 절감과 온실가스 배출 저감 목표를 위해 가장 현실적인 대안인 가스 열병합발전의 보급 확대를 위한 신규 저가열원으로써, 지역난방용 Heat Pump의 도시 내 잠재적 열원을 추정하였다. 연구 대상 열원인 대형마트는 연면적과 에너지사용량이 0.4937의 양의 상관관계가 있으며, 이를 통한 회수 가능한 에너지 원단위는 연면적 당 0.0017 toe/m^2, 저감 가능한 온실가스 배출량은 0.0069 tCO_2/m^2로 분석되었다. 또, 공공사우나는 오차범위를 고려하여 목욕장면적 당 0.0315 toe/m^2가 회수 가능한 에너지 원단위로 분석되었으며, 0.1183 tCO_2/m^2 수준의 온실가스 배출량을 저감 할 수 있는 것으로 분석되었다.

평택시에는 대형마트, 공공사우나 두 가지 열원에 대해 총 1,741.7 toe 수준의 미활용에너지 잠재량을 보유하고 있으며, 이 중 57.8%에 해당하는 1,006.9 toe를 기존 DH network에 연계 할 수 있을 것으로 추정 되었다. 또한, Heat Pump용 두 가지 열원의 미활용에너지 총 잠재량은 공동주택의 열 수요와 0.5272의 양의 상관관계를 갖고 있었다. 그리고 이 열원들을 DH network에 모두 연계할 경우 3,942.6 tCO_2 수준의 온실가스 배출을 줄일 수 있을 것으로 분석 되었다.

한편, 이 연구는 몇 가지 사례 data와 Open source 기반 공공데이터를 바탕으로 수행되었다. 이는 각 열원이 속해 있는 부문의 경제적·정책적인 성장성 등에 따라 잠재량이 달라질 수 있다. 그리고 특정 열원의 실현을 위한 타당성, 환경 그리고 기술적 제약요소 등으로 인해 그 연계 가능여부는 각 열원별로 선택적으로 추진 될 것이다. 또한, 각 열원의 시간적 분포 특성에 따라 그 이용 방법은 열저장 시스템 또는 열 공급설비 시스템 등과 연계되어 보완되어야 할 것이다. 향후 지역난방을 위한 Heat Pump용 열원의 잠재량 추정 정확도를 높이기 위해서는, 국내 여건에 적합한 열원 대상을 재분류·평가하고, 기술수준을 분석한 뒤 각 열원의 다양한 사례연구가 수행되어야 할 것이다. 그리고 지역별로 각각의 열원의 전체적인 잠재량을 추정하고, 인접한 열 공급 설비 및 신재생에너지 설비와의 연계 타당성을 분석할 필요가 있다. 이러한 연구들을 통해 미활용에너지를 이용한 국가의 에너지절감 및 온실가스 배출 저감 잠재력을 세부적으로 평가 할 수 있을 것이며, 집단에너지사업자에게는 지속적인 저가열원의 확보를 위한 지리적 방향성과 잠재적 대안을 제시할 수 있을 것이다.

References

1. BP Statistical Review of World Energy June 2017. <http://www.

bp.com/statisticalreview>
2. Ministry of Trade, Industry and Energy, "New & Renewable Energy Supply Statistics 2016," (2017).
3. Ministry of Trade, Industry and Energy, "Korea's 3020 Renewable Energy Initiative," (2017).
4. Ministry of Trade, Industry and Energy, "The 8th Basic Plan for Long-Term Electricity Supply and Demand(2015-2029)," (2017).
5. Oh, M. D., "A Study on the Utilization of Temperature Difference Energy from dual Heat Source of Geothermal and Waste Water in Urban," Ph.D. Dissertation of University of Seoul, Seoul (2009).
6. Korea Maritime and Ocean University, "Strategy of the New and Renewable Energy Technology Development using Unused Energy," Ministry of Knowledge Economy Report(2009).
7. Jeon, J. G., "Development of Heat Pump System Using Combined Heat Sources for Greenhouse," Ph.D. Dissertation of Kyungpook National University, Daegu(2016).
8. Jeong, Y. D., "Study on the Performance and Feasibility Analysis of PVT-GSHP Hybrid System," Master's thesis of Pusan National University, Pusan(2017).
9. Kim, W. S., "Analysis Study on the Performance Characteristics of a Solar and Solar-Geothermal Hybrid CO_2 Heat Pump System," Master's thesis of Chosun University, Gwangju(2011).
10. Lund, R. and Persson, U., "Mapping of potential heat sources for heat pumps for district heating in Denmark," *Energy*, **110**, 129-138(2016).
11. Ministry of Environment, "2017 White Paper of Environment," (2017).
12. Youn, J. S., "The Study on Developing Patent Road Maps for Heat Pump," Master's thesis of Hanbat National University, Daejeon(2006).
13. Shin, J. S., "Performance Analysis of Two Stage Heat Source Cooling, Heating and Hot Water Heat Pump System using Geothermal Energy," Master's thesis of Seoul National University of Science and Technology, Seoul(2017).
14. Heat Roadmap Europe. <http://www.heatroadmap.eu>.
15. Aalborg University, "Heat Roadmap Europe 2050(First Pre-study for the EU27)," (2012).
16. Aalborg University, "Heat Roadmap Europe 2050(Second Pre-study for the EU27)," (2013).
17. Aalborg University, "Stratego Enhanced Heating & Cooling Plans (Creating National Energy Models for 2010 and 2050)," Work Package2 Background Report 1(2015).
18. Um, B. H. and Ahn, C. S., "An Economic Analysis of the Effluent Heat Supply from Thermal Power Plant to the Farm Facility House," *Korean Chem. Eng. Res.*, **56**(1), 6-13(2018).
19. Korea Energy Agency, "Hot Water System using Waste Heat of Showcase Cooling Tower and Control Method," Measurement and Verification Report, (2017). <http://tips.energy.or.kr>
20. Bae, C. W., "Analysis of Energy Consumptions and Energy savings at Superstores," Master's thesis of Seoul National University of Science and Technology, Seoul(2010).
21. Lee, H., "Energy Saving Rate Analysis by Performance Improvement Factors in Hypermarket," Master's thesis of Dankook University, Yongin(2013).
22. Eugene Investment & Securities Co. Ltd., "2018 Distribution White Paper," (2017).
23. FNTIMES, "Home Plus and Lotte Mart to create a new mood(to prevent E-Mart sole lead)," newspaper article (Mar. 19, 2018).
24. Choi, B. Y., Lee, K. H. and Joo, Y. J., "Cooling and Water Heating System for Energy Saving by Using Daily Waste Water Heat," *The Korean Society for Energy*, **1998.5**, 111-116(1998).
25. You, K. J., "Effective Utilization Technique of Thermal Energy for Public Saunas," Master's thesis of Hanyang University, Seoul(2014).
26. Park, W. S., "A Study on the Heat Pump System of Wastewater Heat Source in a Public Bathroom," Master's thesis of Chung-Ang University, Seoul(2010).
27. Ministry of Trade, Industry and Energy, "The 4th Master Plan for Integrated Energy Supply," (2014).
28. Ministry of Environment, "Green House Gas & Energy Target Management," Notification 2017-197(enforced in Jan. 2017).
29. Energy Act(amended in Dec. 2017).
30. Korea Energy Agency, "The 2017 Handbook of Integrated Energy Business," (2017).
31. Korean Statistical Information Service. <http://kosis.kr>
32. Korea Energy Statistical Information System. <http://www.kesis.net>
33. Gyeonggi-do Statistical Information Service. <http://stat.gg.go.kr>
34. Gyeonggi Data Dream. <https://data.gg.go.kr>
35. National Spatial Data Infrastructure Portal. <http://www.nsdi.go.kr>
36. Statistical Geographic Information Service. <https://sgis.kostat.go.kr>
37. Korea District Heating Corp. <https://www.kdhc.co.kr>