

온실가스 감축 및 지속가능 미래를 위한 집단에너지사업 방향

정민정* · 박진규* · 안덕용** · 이남훈****

*(주)에코윌플러스 · **한국지역난방공사 · ***안양대학교 환경에너지공학과

Current and Future Trends of District Heating System for a Sustainable Future and Greenhouse Gas Reduction

Jung, Min-Jung*, Park, Jin-Kyu*, Ahn, Deog-Yong** and Lee, Nam-Hoon****†

*Ecowillplus Co, Ltd., **Korea District Heating Corp.,

***Department of Environmental and Energy Engineering, Anyang University

ABSTRACT

Amid growing concerns about energy security, energy prices, economic competitiveness, and climate change, district heating (DH) system has been recognized for its significant benefits and the part it can play in efficiently meeting society's growing energy demands while reducing environmental impacts. Policy makers often need to quantify the fuel and carbon dioxide (CO₂) emissions savings of DH system compared to conventional individual heating (IH) system in order to estimate its actual emissions reductions. The objective of this paper is to calculate energy efficiency and CO₂ emissions saving, and to propose the future direction for DH system in Korea. DH system achieved total system efficiencies of 67.9% compared to 54.1% for IH system in 2015. DH system reduced CO₂ emissions by 381,311 ton-CO₂ (4.1%) compared to IH system. The results suggest that DH system is more preferred than IH system using natural gas. In Korea, the aim is to reduce dependence on fossil fuels and to use energy more efficiently. DH system have significant potential with regard to achieving this aim, because DH system are already integrated with power generation in the electricity since combined heating and power (CHP) are used for heat supply. Although the future conditions for DH may look promising, the current DH system in Korea must be enhanced in order to handle future competition. Thus, the next DH system must be integrated with multiple renewable energy and waste heat energy sources.

Key words: Greenhouse Gas, District Heating, Energy Efficiency, Carbon Dioxide Emissions, Renewable Energy

1. 서 론

인간 활동이 기후변화에 심각한 영향을 미치고 있으며, 기후변화 문제의 심각성이 널리 알려지면서 전 지구적 문제로 인식되기 시작하였다. 이에 기후변화 문제의 대응방안을 마련하기 위하여 1992년에 '기후변화에 관한 국제연합 기본협약 (United Nations Framework Convention on Climate Change; UNFCCC)'이 채택되었다. 기후변화협약에 따라 Annex I 국가들은 온실가스 배출량을 감축할 의무가 있었으며, 2015년 파리기후변화협약에서는 온실가스가 기후 체계에 위협적인 영향을 미치지 않는 지구의 평균 온도 상승을 2°C보다 낮도록 온실가스 배출량을 감축하는데 합의가 이루어졌다. 또한 지속가

능한 미래를 위하여 기존 Annex I 국가들만 해당이 되었던 온실가스 배출량의 감축 의무가 모든 당사국들에게 부과되었으며, 이에 우리나라는 2030년 온실가스 배출전망치(Business As Usual; BAU) 대비 37% 감축안을 UN에 제출하였다. 이러한 변화에 대응하기 위하여 우리나라는 2016년에 2030 국가온실가스 감축 기본 로드맵을 작성하여 국가차원의 중장기 전력 과 정책방향을 제시하였으며, 이를 실현하기 위한 종합계획으로 제1차 기후변화대응 기본계획을 수립하였다. 제1차 기후변화대응 기본계획에는 저탄소 에너지 정책으로의 전환을 목표로 이를 달성하기 위한 과제로 신재생에너지 보급 확대, 저탄소 전원믹스 강화, 에너지 효율 제고 등이 포함되어 있다.

Sayegh *et al.*(2017)은 저탄소 에너지 정책 전환의 문제가 기

† Corresponding author: nhlee@anyang.ac.kr

Received August 21, 2017 / Revised September 8, 2017 1st, December 2, 2017 2nd / Accepted December 8, 2017

존 발전소이며, 이러한 기존 발전소의 가장 큰 우려는 대기오염물질 배출 중에서도 특히 석탄 연소에 의해 발생하는 온실가스인 CO₂가 매우 큰 문제이다. 석탄화력 발전(효율 30%)에서의 이산화탄소 배출량은 약 1.115 kg CO₂/kWh로 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency; EPA)에서 설정한 기준치인 0.499 kg CO₂/kWh의 약 2.2배에 해당하고 있다. EPA에서는 1971년부터 2002년까지 발전소에서 배출되는 오염물질을 평가하였으며, Horazak *et al.*(2014)는 이를 기초로 2013년에 새로 지어지는 발전소에 대해 천연가스 터빈 발전소(천연가스 249 MWh 이상)는 이산화탄소 배출량 허용 기준치로 0.454 kg CO₂/kWh, 소규모 천연가스 터빈과 석탄화력 발전소는 0.499 kg CO₂/kWh를 규제치로 제시하고 있다.

Haichao *et al.*(2013)은 집단에너지 사업의 경우 신재생에너지를 포함하여 지역별 특성에 따른 에너지원을 다양하게 사용할 수 있으며, 대기오염물질(NOx, SOx, dust) 배출량도 개별난방과 비교하여 단지 39%만 배출한다고 보고하고 있다. 또한 Brand and Svendsen(2013)은 새로 지어지는 건물은 제로에너지빌딩(Zero-energy buildings)에 가깝게 설계되도록 하고 있어 이러한 규정이 유럽 내 건물들의 열 수요를 감소하게 할 것이며, 열 수요의 감소는 유럽의 차세대 지역난방의 적용에 중요한 요인으로 작용할 것으로 예상되고 있다. Rismanchi(2017)는 차세대 집단에너지 시스템이 4세대 집단에너지를 거쳐 5세대 집단에너지 시스템으로 발전할 것으로 예상하고, Lund *et al.*(2014)은 4세대 지역난방시스템이 화석연료로부터 탈피하여 신재생에너지가 100% 연료로 활용될 것으로 예상하고 있다.

따라서 저탄소 에너지정책이 제2차 국가에너지기본계획과 연계되며, 기본계획에서는 중점과제 중 하나로 분산형 발전시스템의 확대와 에너지의 안정적 공급체계 구축을 위한 추진 방안으로 집단에너지의 확대를 주요 방안으로 나타내고 있다. 집단에너지는 지역 단위에 열을 공급하거나 열과 전기를 함께 공급하는 형태로 열병합 발전을 기반으로 하고 있으며, 수도권 전력집중으로 송전망 포화 등에 따른 분산 전원 확대 수

단으로 열병합 발전의 중요성이 부각되고 있다. 이에 본 연구는 국내 집단에너지를 대상으로 온실가스 감축 잠재력을 분석하여 집단에너지가 저탄소 에너지 정책에 미치는 영향을 평가하고, 국외 집단에너지 개발 동향을 살펴봄으로써 국내 집단에너지의 지속가능한 발전을 위한 방향성을 제시하고자 한다.

2. 연구방법

국내 집단에너지는 지역난방, 산업단지, 병행으로 구분하여 에너지를 소비하고 생산한다. 집단에너지의 연료원별 소비 패턴은 화석연료 67%, 신재생에너지 26%, 외부수열 7%로 구성되지만, 다른 집단에너지와는 달리 지역난방은 화석연료에 대한 에너지 비중이 98%로 높은 수준이다. 연료사용량은 산업단지에서 집단에너지 사용량의 70%를 차지하며, 지역난방은 28%의 에너지를 소비하는 것으로 나타났다. 지역난방에서 생산되는 에너지생산 측면에서는 열 생산 57%, 전기 생산 43%로 열에너지를 더 많이 생산하고 있으며, 산업단지는 열 생산 85%, 전기 생산 15% 수준이지만 집단에너지 전체의 에너지 생산의 측면에서는 산업단지의 경우 열에너지 생산량이 72%로 높은 수준이고, 지역난방은 전기에너지 생산량이 60%로 높은 수준이다(Fig. 1). 따라서 본 연구는 이러한 국내 집단에너지의 소비 생산을 고려하여 집단에너지 중 화석연료의 소비 비중이 높고, 전기와 열에너지의 생산 비율이 비슷하며, 집단에너지 전체의 전기와 열에너지 생산 비율이 유사한 지역난방을 대상으로 하였다.

2015년 기준 집단에너지 중 지역난방에 투입된 화석연료 에너지량은 157,766,111 MMBtu으로 사용된 연료는 액화천연가스(Liquefied Natural Gas; LNG)가 95%로 대부분의 연료로 사용되었으며, 나머지는 Bunker-C 5%로 사용되었다. 전기생산은 59,515,340 MMBtu로 자체 생산량이며, 열 생산은 80,462,805 MMBtu로 열병합(Combined Heat and Power; CHP) 비율이 44%, 외부수열 41%, 열전용 14%, 기타 1%로 구성된다.

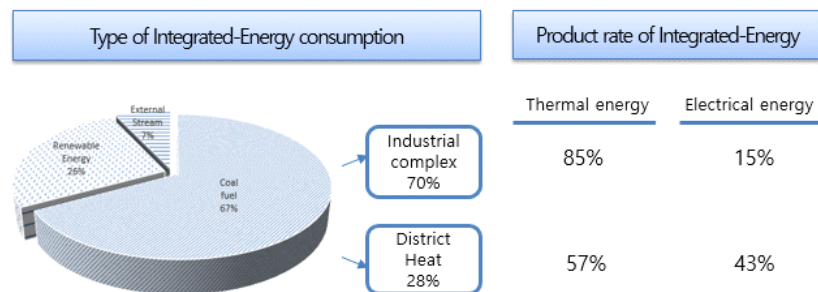


Fig 1. Domestic integrated-energy consumption and production.

국내 지역난방과 개별난방의 에너지 생산구조를 살펴보면, 지역난방은 석유계 오일류, 액화천연가스, 석탄(유연탄), 발전 폐열, 소각수열 등의 다양한 에너지 투입으로 열과 전기를 생산하여 열은 난방, 전기는 국내 전력망을 통해 활용되고 있다. 반면, 개별난방은 대부분 액화석유가스 (Liquefied Petroleum Gas; LPG) 또는 석탄(유연탄)의 에너지를 소비하여 열을 생산하며, 난방을 위한 에너지로만 활용되고 있다. Fig. 2는 국내 열에너지의 생산 및 소비 구조를 그림으로 나타낸 것이다.

본 연구는 국내 집단에너지의 에너지 생산에 따른 생산효율과 온실가스 감축 정도를 파악하기 위하여 개별난방과 비교 분석하였다. 집단에너지는 앞서 언급한 바와 같이 지역난방과 산업단지 병행 등으로 구분하여 그 특성이 다르므로 열과 전기를 비슷한 비중으로 생산하는 지역난방을 대상으로 Fig. 3과 같은 시나리오를 구성하였다. 구성 시나리오에 따라 지역난방과 개별난방의 에너지 생산효율과 온실가스 배출량

을 산정하고 그 값을 상호 비교하였으며, 개별난방 시스템은 에너지 효율이 높은 콘덴싱 보일러를 기준으로 하였다.

집단에너지 중 지역난방의 에너지 생산효율 산정 시 투입 에너지 종류와 양은 2015년 집단에너지 현황을 기준으로 산정하였으며, 대상 연료는 액화 천연가스와 석유계 oil 류를 대상으로 하였다. 개별난방은 투입된 에너지의 산정이 제한적임을 고려하여, 지역난방에 투입한 에너지를 기준에너지 100 unit으로 가정하고, Park and Kim(2008)에 의해 제시된 개별난방의 열에너지 생산은 콘덴싱 보일러를 통한 에너지 생산으로 열효율 95%, 전기에너지 생산을 위해 국가 전기에너지 생산효율 40.2%를 기준으로 에너지 효율과 온실가스 배출량을 산정하였다.

온실가스 배출 및 저감량 산정은 미국 EPA(2015)의 연료 및 이산화탄소 배출량 열병합 발전시스템에 대한 저감 계산 방법론을 활용하여 에너지 생산 형태별(지역난방과 개별난방) 효율과 온실가스 발생량을 산출하였다. 지역난방의 에너지 효율과 온실가스 배출량 산출을 위하여 실제 국내의 에너지 투입량과 전기와 열 생산을 통한 열과 전기 에너지 모두를 고려하였으며, 개별난방은 열에너지 생산 콘덴싱 보일러와 전기에너지는 국내 전력생산 활용을 적용하였다.

에너지 생산 효율을 계산하기 위하여 식 (1)을 사용하였으며, 여기서 $F_s(Btu)$ 는 총 연료 소비감소량이며, $F_T(Btu)$ 는 열 생산을 위해 소비되는 연료량, $F_G(Btu)$ 는 전력생산을 위해 소비되는 연료량, $F_{CHP}(Btu)$ 는 지역난방에너지 생산을 위해 소비되는 연료량이다.

$$F_s = (F_T + F_G) - F_{CHP} \tag{1}$$

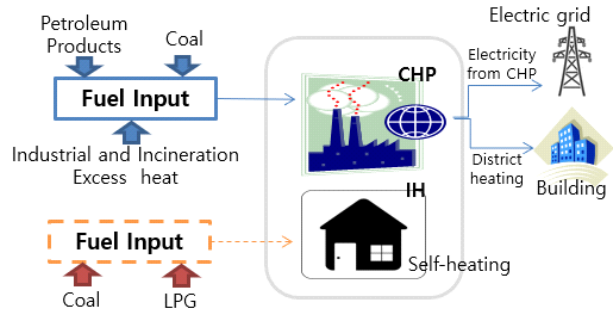


Fig. 2. Energy production structure of district heating and individual heating (CHP: combined heat and power, IH: Individual heating).

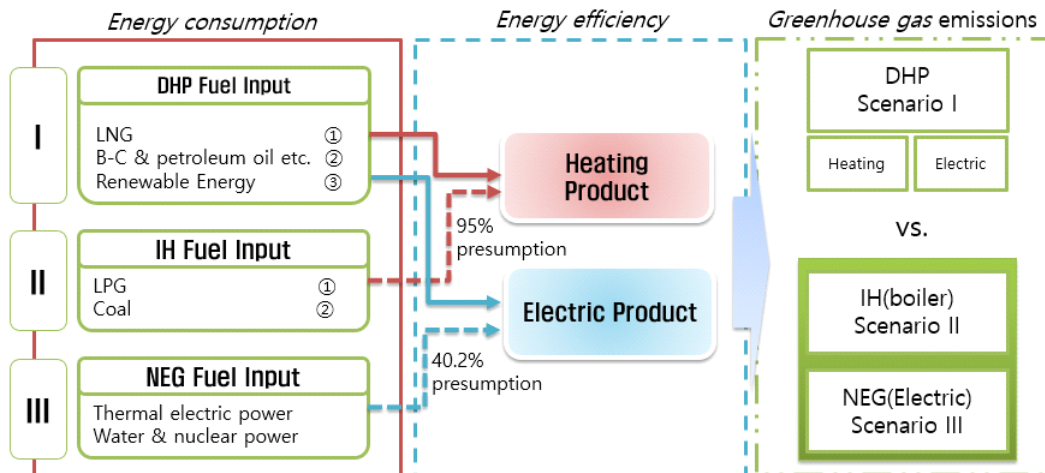


Fig. 3. Scenario structure in this study (DHP: District heat and power, IH: Individual heating, NEG:National Electric Grid).

열 생산을 위해 소모되는 연료량 F_T (Btu)는 CHP의 열출력 (Btu)에 열 생산설비의 예상 효율(%)(ex. 천연가스 연소 보일러 80%, 바이오매스 보일러 75% 등)을 나누어 식 (2)와 같이 산정한다. 전기 생산을 위해 사용된 에너지 소비량 F_G (Btu)는 송전 전력(E_G , kWh)과 전기열량(HR_G , Btu/kWh)을 곱하여 식 (3)과 같이 계산한다.

$$F_T = \text{CHP}_T / \eta_T \quad (2)$$

$$F_G = E_G \times HR_G \quad (3)$$

전체 연료 소비량에서 지역난방에 사용되는 연료의 에너지 함량(Btu)은 식 (4)와 같이 지역난방 연료사용량(V_F , Nm³)에 연료의 에너지 밀도(ED_F , Btu/Nm³)를 곱하여 계산하였다. 천연가스의 에너지 밀도는 36,303 Btu/Nm³이다.

$$F_{\text{CHP}} = V_F \times ED_F \quad (4)$$

온실가스 배출량 계산은 식 (5)를 이용하였으며, 여기서 C_S (kg CO₂)는 총 CO₂ 배출 저감량이며, C_T (kg CO₂)는 열 생산으로 배출되는 CO₂ 배출량, C_G (kg CO₂)는 전력생산을 통해 배출되는 CO₂량, C_{CHP} (kg CO₂)는 지역난방에서 에너지 생산을 통해 배출되는 CO₂량이다.

$$C_S = (C_T + C_G) - C_{\text{CHP}} \quad (5)$$

열 생산으로 배출되는 CO₂ 배출량 C_T (kg CO₂)는 소모 연

료량에 2015 EPA 온실가스 산정 가이드의 천연가스 CO₂ 배출계수(EF_F)는 53.0249 kg/MMBtu를 곱하여 식 (6)과 같이 산정하였다. 전력 생산 시의 CO₂ 배출량 C_G (kg CO₂)는 식 (7)과 같이 송전전력(E_G)에 국가전력배출계수(EF_G)를 곱하여 산정하였으며, 국가 전력배출계수(EF_G)는 2011년 전력거래소 전력부문 온실가스 배출계수인 0.4428 kg/kWh를 적용하였다.

$$C_T = F_T \times EF_F \quad (6)$$

$$C_G = E_G \times EF_G \quad (7)$$

지역난방의 에너지 생산과정에서 배출되는 CO₂ 배출량(kg CO₂)은 소비되는 연료의 유형과 양에 따라 달라지며, 배출량 계산을 위하여 식 (8)을 적용하였다.

$$C_{\text{CHP}} = F_{\text{CHP}} \times EF_F \quad (8)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 국내 집단에너지 연료 소비 현황

Fig. 4는 2009년부터 2015년까지 국내 집단에너지에 사용된 연료의 변화 추이를 정리한 것이며, Fig. 5는 2015년 집단 에너지에 사용된 연료들의 비율을 나타낸 것이다. 연료의 변화 추이를 살펴보면 2009년에는 석유 연료의 비중(39.2%)이 가장 높았으나, 2013년 이후 그 비중이 12~16% 수준으로 감소하였다. 반면, 천연가스와 석탄은 2009년 25%에서 2015년 40% 수준으로 증가하면서 점차 석유의 사용량은 감소하고, 천

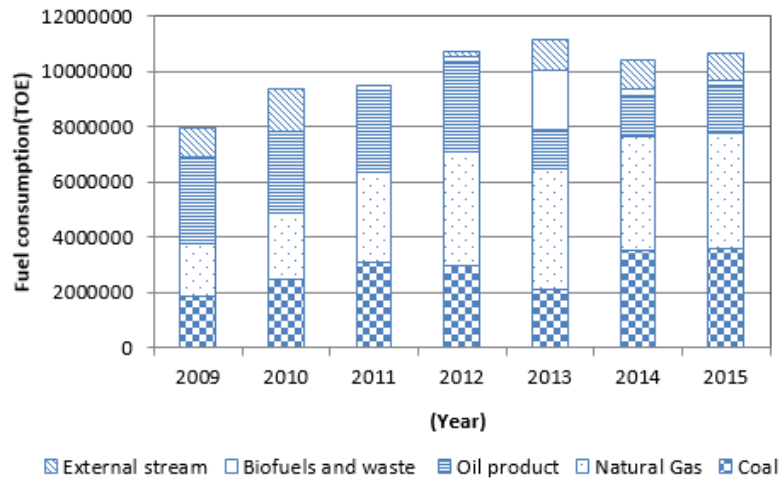


Fig. 4. Heat supplied into all district heating system in Korea.

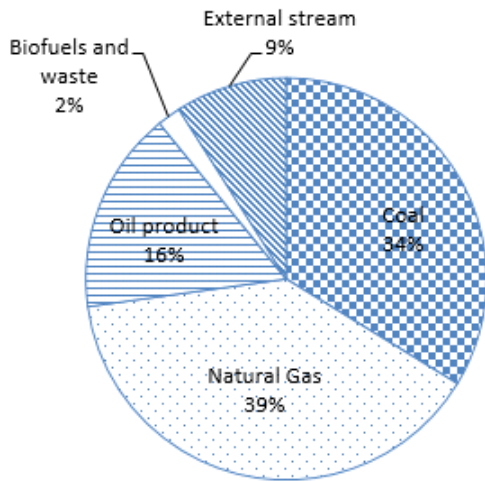


Fig. 5. Heat energy sources of Korea's district heating system in 2015.

연가스와 석탄의 사용량이 높아진 것으로 나타났다. 소각수열, 발전 폐열, 공정 폐열 등으로 구성된 외부수열의 경우 2009년 12%, 2010년 16%로 증가하는 경향을 나타내었으나, 2013년 이후 다시 10% 수준으로 감소하는 경향을 나타냈다. 신재생 에너지로 사용된 연료 현황을 살펴보면 지역냉난방에서는 우드칩과 메탄가스, 바이오가스 등이 에너지원으로 활용되었으며, 산업단지에서는 고체 바이오매스, 우드칩, SRF 등이 활용된 것으로 나타났다. 그러나 사용 비중은 대략 2% 수준으로 매우 낮은 비율을 나타내었다. 2015년 집단에너지 시설의 에너지원별 사용량을 분석한 결과, 천연가스를 연료로 사용하는 비중이 39%로 가장 높았으며, 다음으로 석탄(34%), 석유(16%), 외부수열(9%), 신재생 에너지(2%) 순으로 나타나, 천연가스, 석탄, 석유의 비중이 매우 높아서 에너지 가격 변동에 취약한 구조인 것으로 나타났다.

Park et al.(2016)은 국내 집단에너지의 활성화를 위해서 가격 변동의 리스크 감소, 안정적인 수익 확보를 위해 집단에너지에 사용되는 연료의 다변화가 필요하며, 특히 국가 온실가스 감축 효과에 기여할 수 있는 신재생에너지의 비율을 증가시켜야 한다고 언급하였다. 상기에서 나타난 바와 같이 2015년 현재 국내 집단에너지의 주요 에너지원은 천연가스, 석탄, 석유 등으로 구성되어 있어 천연가스, 석탄, 석유의 단가가 증

가하면 열에너지의 생산 비용 증가로 집단에너지 사업의 경제성은 악화되기 때문에 다양한 열원의 확보는 사업의 위험 감소와 안정적인 수익을 기대할 수 있다.

3.2 집단에너지 및 개별난방 에너지 효율과 온실가스 배출량 산정 결과

집단에너지의 온실가스 배출량 산정을 위하여 2015년 집단에너지의 지역난방에 소비된 연료사용량을 이용하여 연료사용량 대비 열 생산량과 전기 생산량을 산정하였으며, Table 1에 지역난방에 소비된 연료량과 열 및 전기 생산효율 산정한 결과를 제시하였다. 지역난방의 열과 전기에너지를 생산한 효율은 각각 열에너지 30.2%와 전기에너지 37.7%의 효율로 전체 지역난방을 통해 생산된 에너지 효율은 67.9%로 산정되었다.

Table 2는 지역난방 및 개별난방의 열에너지와 전기에너지 생산을 통해 배출되는 온실가스 발생량 산정 결과를 나타낸 것이다. 지역난방을 통해 배출되는 온실가스 배출량은 2015년 기준 연간 9,342,194 ton CO_{2e}로 나타났으며, 개별난방 적용 시 지역난방과 동일한 양의 열과 전력(별도 발전소 필요)을 생산하는 것으로 가정할 경우, 연간 전력 생산 시 온실가스 배출량은 7,722,651 ton CO_{2e}, 열에너지는 2,000,853 ton CO_{2e}으로 총 9,723,505 ton CO_{2e}가 배출되는 것으로 계산되었다. 따라서 지역난방과 개별난방의 온실가스 배출량을 비교한 결과, 지역난방이 개별난방과 비교하여 381,311 ton CO_{2e}(4.1%)가 저감되는 것으로 분석되었다.

Fig. 6은 지역난방과 개별난방의 에너지 생산 효율 및 온실가스 배출량을 비교 정리한 것으로 2015년 기준 지역난방의 에너지 생산효율은 67.9%로 나타났으며, 지역난방과 동일한 에너지를 투입 시 개별난방은 에너지 생산 효율이 54.1%인 것으로 산정되었다. 따라서 지역난방의 에너지 생산 효율은 개별난방의 에너지 생산 효율에 비해 13.8% 높은 생산 효율을 나타내어 지역난방이 개별난방에 비하여 온실가스 감축과 에너지 생산 효율에 우수한 것으로 나타났다.

다만, 온실가스 감축 효율(4.1%)이 에너지생산효율(13.8%)에 비해 낮은 것은 국내 전력생산에 투입되는 에너지원 중 CO₂ 배출량이 매우 낮은 원자력 에너지의 비율이 22.6%로 높기 때문이다. 발전원별 CO₂량 배출량은 석탄 991 g/kWh, 석유 782

Table 1. Energy consumption and energy production efficiency for district heating system

Division	Fuel consumption	Heat production	Electricity production
District heating system (MMBtu)	157,766,111	47,713,902	59,515,340
Energy production efficiency (%)	-	30.2	37.7

Table 2. Results of greenhouse gas emissions for district heating and individual heating

Division	Fuel consumption	GHG* emission factor	GHG* emissions (ton)
DH system	B-C oil (TJ)	7,966.17	75.5000 ton/TJ
	LNG (TJ)	155,806.23	56.1000 ton/TJ
	Petroleum products (TJ)	0.25	71.9000 ton/TJ
	Total	163,772.66	-
IH system	Electricity (MWh)	17,440,495.00	0.4420 kg/MWh
	Heating (MMBtu)	37,734,385.00	53.0247 kg/MMBtu
	Total	-	-
			9,342,194
			7,722,651
			2,000,853
			9,723,505

Note: * GHG: Greenhouse Gas로 국가 온실가스 배출 및 흡수계수(2011년 발열량기준 12~16년 적용)를 인용함.

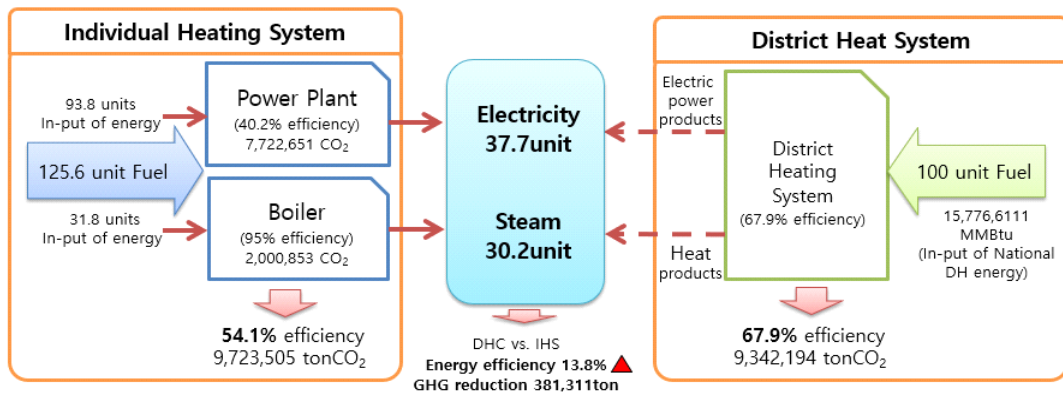


Fig. 6. Summary of energy consumption and production efficiency for individual heating system versus district heating system.

g/kWh, LNG 549 g/kWh, 태양광 54 g/kWh, 원자력 10 g/kWh 으로 미국의 발전에너지원에서 원자력의 비중은 8.4%(2015년 기준)로 매우 낮아 국내의 전력생산에 따른 온실가스 배출량 (0.4428 kg/kWh)은 미국(0.594~0.865 kg/kWh)보다 낮은 것으로 보고되고 있다(Lund *et al.*, 2014).

3.3 지속가능 미래를 위한 집단에너지 온실가스 감축량 증대 방안

국내 집단에너지 사업은 비용 효율이 매우 높은 것으로 평가되어 한동안 집단에너지의 경쟁 정책을 기반으로 다수의 신규 사업자들이 집단에너지 사업에 진출하였다. 그러나 초기 투자비가 높은 집단에너지 사업의 특성상 사업자의 급증은 많은 사업자들에게 재정적 문제를 유발하여 현재는 다수의 사업자들의 재정상태가 위험상태이거나, 신규 지역의 집단에너지 공급계획을 포기하고 있는 실정이다. 이에 집단에너지 사업과 관련한 이해당사자들은 지역난방 사업의 비용 효율에 대

하여 의구심을 나타내고 있다.

집단에너지와 관련하여 지역난방과 개별난방의 경제성도 논란이 되고 있다. Park and Kim(2008)은 서울을 대상으로 지역난방과 개별난방의 경제성 비교에서 지역난방 비용이 기존 보일러(효율 82.0%)와 비교 시 저렴하나, 효율 93.5%인 콘덴싱(Condensing) 보일러와 비교할 때에는 지역난방 비용이 높은 것으로 보고하고 있다. Guo *et al.*(2015)은 중국 사례에서 지역난방이 개별난방보다 단위면적당 32% 정도 에너지를 덜 소모시키는 것으로 나타내었으나, 지역난방을 제공하기 위해서는 기반시설이 필요하며, 이는 지역에 따라 많은 비용이 소요될 수 있어 난방시스템의 확산에 걸림돌이 되고 있다고 나타내고 있다. 하지만 본 연구의 결과에 따르면, 집단에너지는 신재생 에너지를 포함한 에너지원의 다양한 활용이 가능하다. 또한 생산에너지의 활용도 측면에서 단순히 난방뿐만 아니라, 전기 에너지도 동시에 생산하여 에너지 생산 효율적 측면에서 개별 에너지에 비해 효율적이며, 온실가스의 감축 측면에서 효과적

인 것으로 나타났다.

이러한 집단에너지 사업의 경제성 문제를 효율적으로 해결하기 위해 국내의 지역난방에 대한 공공 수급을 담당하는 기관의 역할이 매우 중요하다. Park *et al.*(2016)은 국내 지역난방의 규모의 경제(Economies of scale)를 평가하기 위하여 최소 효율규모(Minimum efficient scale)를 산정하였다. 최소효율규모는 생산 효율성을 나타낼 수 있는 지표로 만일 지역난방 사업이 최소 효율규모를 초과하면 규모의 비경제(Diseconomies of scale)로 생산량을 증가시킬수록 수익이 감소하기 때문에 사업의 규모를 키우는 것은 적절하지 않다. 연구결과에 따르면 2011년을 기준으로 국내 지역난방 사업의 최소효율 규모는 현재 사업 규모의 25배 높은 것으로 나타나, 지역난방 사업 규모를 키울수록 생산 단가는 계속 감소할 것으로 예상하였다. 따라서 지역난방 등 열에너지의 생산량을 증가시키는 것이 생산 단가를 낮출 수 있으나, 정부에서는 지역난방 사업의 독점을 우려하여 신규 사업을 허용하지 않고 있어 사업의 규모를 키우는 것은 현실적으로 어려운 실정이다.

그럼에도 불구하고 열에너지가 사회기반시설의 기본적 요소라는 특수성을 고려하면 공공기관이 지역난방의 열원 및 열공급을 관리하는 것이 적절하며, 국내 지역난방사업의 확대를 억제하는 것은 생산 단가 및 주민들의 난방비용 절감을 오히려 방해하는 것이다. 따라서 국내 지역난방 사업의 확대를 통하여 열에너지 생산 단가를 낮추면서 집단에너지 민간사업과 열 수요자인 지역주민들이 함께 이익을 획득하는 방안이 필요하다. 이를 위해 기본적으로 국내 열에너지 생산은 지역난방을 통해 확보하도록 하여 생산 단가를 낮추면서 지속적으로 신규 열 수요를 찾아 초기 투자비가 높은 열 네트워크(Heat networks)를 구축하도록 하면 집단에너지 민간사업에서 비용이 많이 드는 열 네트워크를 건설하지 않아도 되고, 열에너지는 공공기관이 담당하여 열에너지를 저가에 구입하면 민간사업자의 사업성 증가와 동시에 지역주민들도 저가로 열을 공급받을 수 있을 것으로 판단된다. 또한 공공기관은 지속적인 저가 열원을 확보하여 경쟁력을 강화해야 한다. 이는 공공기관을 통한 지역난방의 신규 시설 또는 발전소를 건설할 때 열에너지 생산 단가를 낮추기 위해 바이오매스나 폐기물 등의 저가 열원을 활용하면 생산단가의 감소와 더불어 온실가스 발생량도 낮추어 국가 온실가스 발생량 감축에 기여할 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 국내 집단에너지(지역난방)와 개별난방을 비교하여 온실가스 감축 잠재력을 분석하고, 집단에너지가 저탄

소 에너지 정책에 미치는 영향을 평가하였으며, 국내 집단에너지의 지속가능한 발전을 위하여 필요한 사항을 정리하였다.

1. 국내 집단에너지(지역난방)와 개별난방을 비교 분석을 통해 온실가스 감축 잠재력 분석결과, 지역난방의 에너지 생산효율은 67.9%(열에너지 30.2%, 전기에너지 37.7%)로 나타났으며, 개별난방은 총 에너지 투입량 대비 에너지 생산효율이 54.1%인 것으로 산출되어 동일 에너지 투입 시 지역난방의 에너지 생산효율은 개별난방의 에너지 생산효율에 비해 13.8% 높은 효율을 나타내는 것으로 분석되었다.
2. 지역난방과 개별난방의 열에너지와 전기에너지 생산을 통해 방출되는 온실가스 발생량을 산정하여 비교한 결과, 지역난방을 통한 열에너지와 전기에너지를 생산할 경우, 온실가스 381,311 ton CO₂(4.1%)가 저감되는 것으로 분석되었다.
3. 결론적으로 지역난방의 에너지 효율이 개별난방의 생산 효율적 측면에서 13.8% 높은 에너지 생산효율을 가지며, 온실가스 감축효과도 4.1% 높은 것을 알 수 있었다.
4. 집단에너지 사업의 경제성 문제를 효율적으로 해결하기 위해 국내에서는 공공기관을 통한 지역난방 공급사업의 역할이 매우 중요하며, 이를 위해서 공공기관을 통한 지역난방 공급 사업을 확대하여 열에너지의 생산 단가를 낮추면서 집단에너지 민간사업과 열 수요자인 지역주민들이 함께 이익을 획득하는 방안이 필요하다.
5. 열에너지가 사회기반시설의 기본적 요소라는 특수성을 고려하여 열에너지 생산은 공공기관이 지역난방 공급 사업을 담당하도록 하여 생산 단가를 낮추면서 지속적으로 신규 열 수요를 찾아 초기 투자비가 높은 열 네트워크(Heat networks)를 구축하도록 유도하며, 지속적인 저가 열원을 확보로 경쟁력을 강화시키고, 온실가스 발생량도 낮출 수 있도록 노력을 기울일 필요가 있을 것이다.

REFERENCES

Brand M, Svendsen S. 2013. Renewable-based low-temperature district heating for existing buildings in various stages of refurbishment. *Energy* 62:311-319.

Choi S, Oh J, Hwang Y, Lee H. 2017. Life cycle climate performance evaluation(LCCP) on cooling and heating systems in South Korea. *Applied Thermal Engineering* 120: 88-98.

Guo J, Huang Y, Wei C. 2015. North-South debate on district heating: Evidence from a household survey. *Energy Policy* 86:295-302.

- Horazak D, Horn M, Morehead H, Reichl A, Reimuth O. 2014. Optimization of a CO₂ post-capture plant to fit proposed EPA requirements for US based coal fired power plants. The 13th Annual Carbon Capture, Utilization & Storage Conference, Pittsburgh, USA. April 28 ~ May 1.
- Haichao W, Wenling J, Lahdelma R, Pinghua Z, Shuhui Z. 2013. Atmospheric environmental impact assessment of a combined district heating system. *Building Environment* 64:200-212.
- Korea Energy Agency. 2016. Collective energy business manual.
- Lund H, Werner S, Wiltshire R, Svendsen S, Thorsen JE, Hvelplund F, Mathiesen BV. 2014. 4th Generation District Heating (4GDH) integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy* 68:1-11.
- Park HC, Kim H. 2008. Heat supply systems using natural gas in the residential sector: The case of the agglomeration of Seoul. *Energy Policy* 36:3843-3853.
- Park SY, Lee KS, Yoo SH. 2016. Economies of scale in the Korean district heating system: A variable cost function approach. *Energy Policy* 88:197-203.
- Rismanchi B. 2017. District energy network (DEN), current global status and future development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 75:571-579.
- Sayegh MA, Danielewicz J, Nannou T, Miniewicz M, Jadwiszczak P, Piekarska K, Jouhara H. 2017. Trends of European research and development in district heating technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68: 1183-1192.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2015. Fuel and carbon dioxide emissions savings calculation methodology for combined heat and power systems.