



4세대 지역난방의 기술 및 정책 동향

임용훈 에너지기술연구원 책임연구원 (iyh@kier.re.kr)

1. 서론

국내 지역난방 사업이 도입된 지 30여년이 지난 현재, 지역난방 사업 규모는 연 판매량 19,670 천Gcal, 매출액 약 4조원 규모로 성장하였으며 국가 에너지 수급 계획 수립에 있어 중요한 비중을 차지하는 대표적인 에너지 사업 중 하나로 자리 매김하였다. 2015년

기준, 지역난방 사업은 국내 1차에너지 소비량의 약 1.4%, 열병합발전을 통한 전기 생산량은 17,440천 MWh로 국내 총 발전량(545,529천MWh)의 약 3.2%를 감당하고 있다. 그러나 사업 도입 초기부터 값 싸고 품질 좋은 난방 공급을 표방해 온 국내 지역난방 사업은 최근 들어 급격한 대내·외적인 환경 변화에 직면하고 있다.

[그림 1] 지역냉난방 사업자의 연도별 에너지 사용량

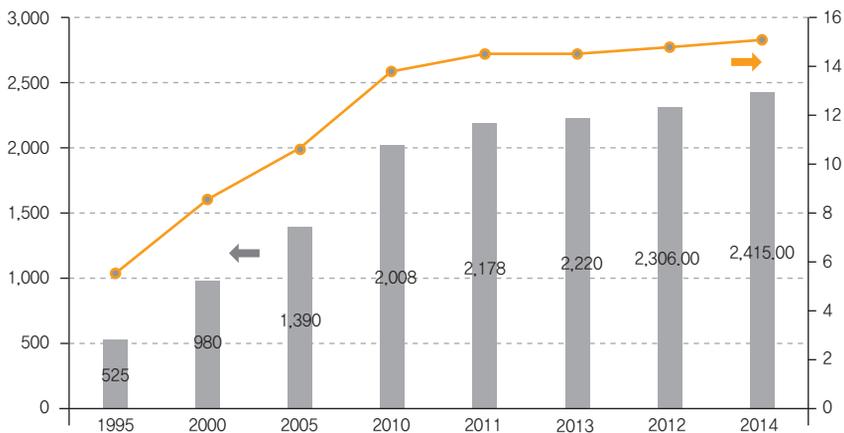


자료: 한국열병합발전협회 & 한국집단에너지협회, 집단에너지부문 온실가스 할당관련 해외사례 및 시설특성 연구, 2016.3

최근 4년간 국내 지역난방의 연도별 운영 현황을 살펴보면([그림 1] 참조) 2012년도를 기준으로 연도별 에너지 사용량이 점차 감소 추세를 보이고 있으며, 이는 지역난방 사업 시장 보급률 정체([그림 2] 참조)와 더

불어 기후변화의 영향에 따른 평균 온도 상승, 건물 단열 기술 발전 및 관련 규제 강화 등에 따른 건물 난방 부하 감소와 맞물려 국내 지역난방 시장 환경에 큰 변화가 도래하고 있음을 보여주고 있다.

[그림 2] 지역난방 공급세대수 및 보급률 추이(1995~2014)



자료: 한국열병합발전협회 & 한국집단에너지협회, 집단에너지부문 온실가스 할당관련 해외사례 및 시설특성 연구, 2016.3

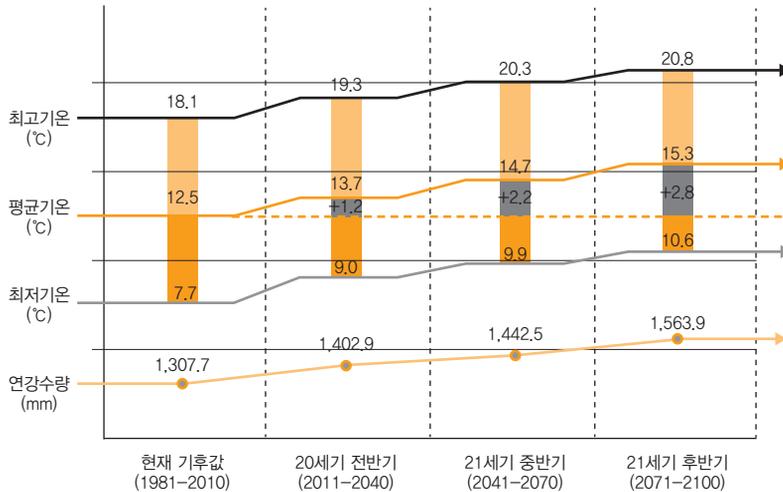
이는 최근 온실가스 배출 증대에 따른 기후변화의 영향에 대응하기 위해 국가 차원의 환경규제가 점차 강화되고, 보다 구체화되면서 과거 열병합발전(Combined Heat & Power, CHP) 기술을 기반으로 한 전통적인 지역난방 사업의 지속가능성에 대한 논란이 점차 가속될 것으로 전망된다. 국내 지역난방 사업은 2011~2014년 운영 실적 기준, 개별 에너지공급 방식 대비 약 20% 내외의 에너지절감 효과(산업단지 집단에너지 사업은 제외)와 40% 내외의 온실가스 감축 효과를 거두고 있는 것으로 분석되고 있으나 최근 10여년의 기간 동안 발전 및 보일러 분야에서의 관련 기술의 진보와 더불어 에너지절감 효과의 지표가 약 10% 포인

트 이상 줄어들었다는 점은 관련 에너지 시장에서 시사하는 바가 매우 크다고 볼 수 있다. 기술적 관점에서 뿐만 아니라 사업적 관점, 즉 시장 경쟁력 측면에서는 앞서 언급한 최근 시장 확대 실적의 부진에서 볼 수 있는 바와 같이 현행의 지역난방 사업의 주력 모델, 즉 지역 고시제에 기반하여 높은 열 수요 밀도를 갖는 주거용 건물 위주의 사업 확대 모델로는 시장 수용성에서 한계에 도달한 것을 의미하는 여러 징후들이 동시에 나타나고 있음에 주목해야 한다.

온실가스 배출 증대로 인한 기후변화의 영향으로 국내 연 평균 온도 또한 지속적으로 상승, 우리나라 연 평균 기온은 지난 30년간 약 1.2℃ 상승하였으며([그



[그림 3] 국내 온도 변화 추이 및 전망



자료: 기상청, 한반도 기후변화 전망 보고서, 2012.2

림 3] 참조), 21세기 전반에는 약 1.4℃, 중반기에는 2.4℃, 후반기에는 약 3℃로 상승하는 등 기후변화의 영향으로 인해 온도 상승의 폭이 향후 더욱 증가할 것으로 전망되고 있다.

기후변화의 영향으로 인해 21세기 말 기준, 국내 난방도일은 현재 대비 약 8~25% 수준까지 크게 감소하는 반면, 냉방도일은 약 242~1,448%까지 증가할 수 있는 것으로 분석되었다. 또한 난방기간은 1개월 이상 감소하는 반면, 냉방기간은 최대 2개월 이상 증가하는 것으로 예측되고 있는데, 이러한 외부 기후변화에 대한 지역난방 사업의 근본적인 대책으로 전통적인 난방사업 영역에서 냉방사업으로의 근본적인 방향 전환이 필요한 시점이다. 일부 국내 지역난방 사업자를 중심으로 지역난방 사업 보급을 통한 대응책 마련에 나서고 있기는 하지만 아직까지 만족스러울 만한 뚜렷한 성과를 내지는 못하고 있는 실정이다.

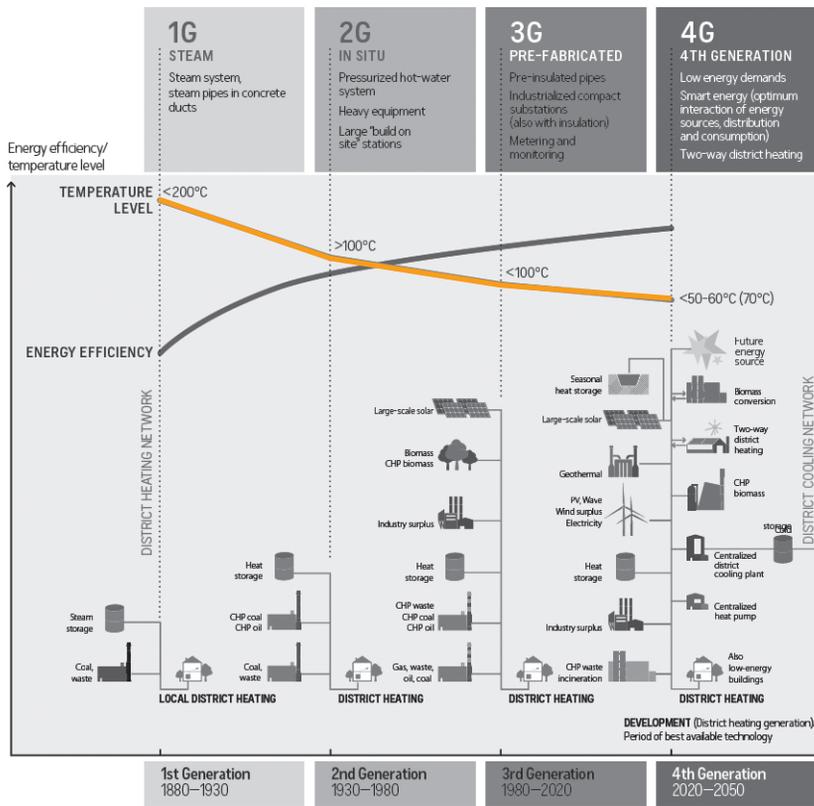
최근 해외에서는 이러한 전통적 지역난방 모델의 한

계를 극복하고 기후변화의 시대에 대비한 지속가능한 미래 지역난방 사업모델로 4세대 집단에너지(4th Generation District Heating, 4GDH)모델을 수립, 새로운 에너지 사용 환경 변화에 대비하고 있다. 4세대 집단에너지 시스템의 특징을 간략히 요약하면 기존의 100℃ 이상의 고온수를 이용하는 기존 방식에 비해 55℃ 내·외의 온도 조건을 이용하는 지역난방 모델을 말한다. 이러한 지역난방 열 공급 기술의 발전은 열 교환기 기술의 혁신을 통해 구현이 가능하게 되었으며, 상대적으로 낮은 온도차로 동일한 수준의 열 공급이 가능하도록 하는 열교환기 기술이 핵심이다. 4세대 지역난방 모델은 기술적 측면에서 단순히 저온 영역의 미활용 열 에너지 활용성을 개선했다는 점 이상의 의미를 갖고 있음에 주목해야 한다. 즉, 전통적인 고온수 기반의 열 공급시스템으로부터 저온 열 공급 시스템으로의 전환은 온실가스 감축을 위해 친환경 에너지 공급 시스템으로의 전환을 요구하는 시대적 요구에 부응할 수 있

는 지역난방 사업으로 체질을 근본적으로 개선한다는 의미이며, 특히 기존 화석 에너지 사용을 근간으로 하는 중앙 집중형 열 공급 시스템으로부터 신재생에너지를 포함한 미활용 에너지 사용을 극대화할 수 있는 분산형 열 공급 시스템으로의 플랫폼 전환이라는 의미

를 갖는다. 또한 지역난방 네트워크의 공급 온도를 낮춤으로써 기존의 고온 열(열병합발전 폐열 등) 활용 영역에서부터, 저온 열(미활용 에너지 및 신재생에너지 원) 영역과 그 중간 영역을 아우를 수 있는 캐스케이드(Cascade) 방식¹⁾의 단계적 에너지 활용이 가능해진다

[그림 4] 집단에너지 시스템 세대별 효율성 변동



자료: Herik Lund et al., 4th Generation District Heating(4GDH) Integrating Smart Thermal Grids into Future Sustainable Energy Systems, 2014

1) 고온 (120°C) 열 네트워크의 회수 온도(55~65°C)를 저온 열 네트워크의 공급 열원(60°C)으로 활용하고, 저온 열 네트워크의 회수 온도(25~35°C)를 패시브 하우스 공급 열원으로 활용하는 등의 단계적 열 이용 방식



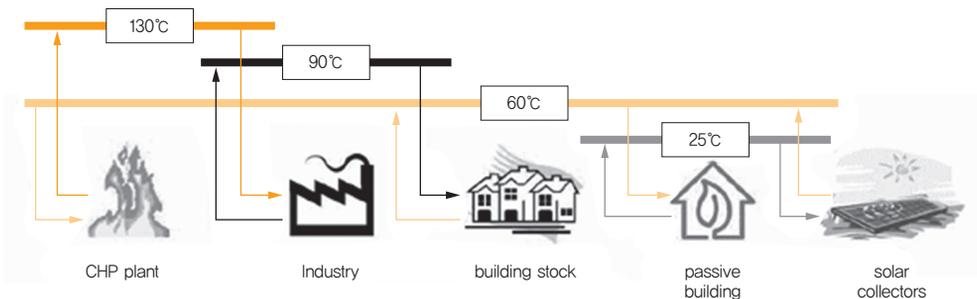
는 점에서 미래 지속가능한 사업 모델로서의 새로운 성장 동력이 필요한 현행의 지역난방 사업 환경에 매우 적합한 사업 모델이라 할 수 있다.

기존 3세대로 분류될 수 있는 고온 열 공급 기반의 지역난방 사업 모델에서도 신재생에너지원을 이용한 지역난방 열 생산 에너지 믹스의 다변화가 지속적으로 시도되어왔으나 시장 보급 측면에서 큰 반향을 일으키지는 못하였는데, 그 근본적인 원인으로는 고온의 열 공급 조건(>115℃)에 적합한 신재생에너지원 기술의 가격 경쟁력 확보가 어려웠기 때문이다. 4세대 지역난방 모델은 이러한 문제를 해결함에 있어 신재생에너지원별 세부기술의 진보와 시장 확대에 따른 대량생산 기반의 비용 절감 요인을 기다리기 보다는 발상의 전환을 통해 지역난방과 신재생에너지원 시스템간 기술적 접

목이 용이하도록 열 공급 온도 수준을 대폭 낮추는 저온 열 공급 기술 플랫폼을 채택함으로써 현재 시점에서도 시장 경제성이 확보된 신재생에너지 기술을 채용할 수 있어 지역난방 기술의 외연 확대의 계기를 마련했다는 점에서 매우 중요한 의미를 갖게 된다. 향후 패시브 하우스(Passive House) 기반의 제로에너지 빌딩을 넘어 신재생에너지원 기반의 에너지 플러스 하우스(Plus house) 등 신 개념의 건물에너지 기술의 등장과 보급은 관련 에너지사업 환경을 크게 바꾸어 놓을 것으로 전망되며, 따라서 친환경, 저탄소 기반 에너지 사업으로의 체질 변화라는 시대적인 흐름에 부합할 수 있는 4세대 지역난방 모델의 도입과 상용화에 보다 적극적인 관심을 가질 필요가 있다.

본 기고에서는 해외 집단에너지 분야에서의 4세대

[그림 5] 저온 열공급 네트워크 기반 Cascade 열 네트워크 개념도



자료: Ralf-Roman Schmidt, Smart District Heating and Cooling Systems for a Smart City Development, 2013

지역난방 기술을 근간으로 한 최근의 기술적, 정책적 변화와 향후 전개될 변화의 방향에 대해 짚어보고 국내 집단에너지와 관련한 에너지사용 환경 변화에 적응하여 적용될 수 있는 가능성 및 도입 필요성 등에 대해 살펴보기로 한다. 또한 단순한 기술의 도입만으로는 성공적인 사업의 정착이 현실적으로 어려우므로 미래 친환

경 저탄소 에너지 환경에 기여할 수 있는 안정적인 사업 모델 확보를 위한 지원정책의 방향성에 대해서도 함께 고려해보고자 한다.

2. 기술 동향 및 전망

가. 해외 기술 동향

1) 4DH(4th District Heating) 프로젝트

4세대 지역난방 프로젝트는 EU에서 진행되고 있는 산·학·연 협력 프로젝트로서 4세대 지역난방 모델의 보급 잠재력 분석을 통해 지원정책 마련의 명분을 확보하고 관련한 적정기술의 체계적인 개발을 목적으로 진행되고 있으며, 이를 통해 미래 지속가능하고 시장 경쟁력을 갖춘 지역난방 기반의 새로운 에너지 모델 수립을 목적으로 하고 있다. 온실가스 배출 저감이라는 시대적 현안 해결을 위해 현재의 화석 연료 기반의 열 공급 기술을 대체함에 있어 지역난방을 보급하고 있는 주요 유럽 국가들의 경제성장과 일자리 창출에도 크게 기여할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 본 기고에서는 현재 진행 중인 4DH 프로젝트의 최근 주요 기술개발 활동 정보를 바탕으로 4세대 지역난방 모델에 대한 기술 동향에 대해 간략히 살펴보고자 한다.

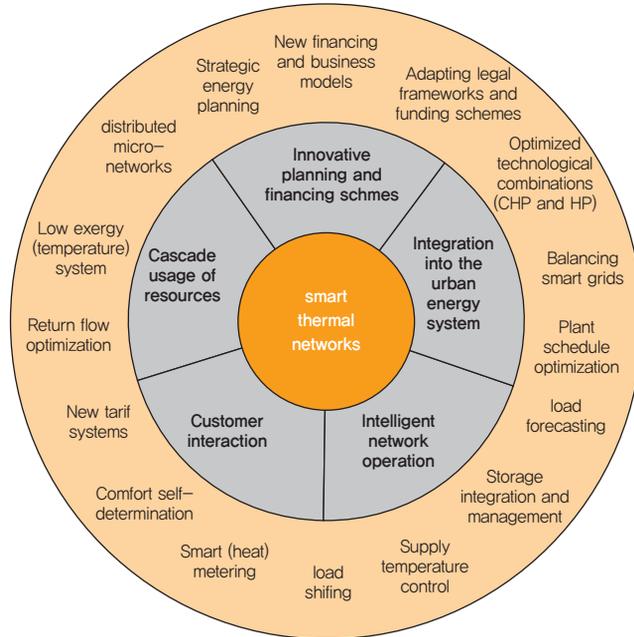
가) 주요 연구 동향

4세대 지역난방 프로젝트의 기술개발 방향은 단순한 저온 열 공급 기술개발에 국한하지 않고 저온 열 공급 네트워크 플랫폼을 기반으로 신재생에너지 기술과의 융·복합화를 통한 신 기술화를 지향하고 있다. 즉, 기존의 3세대 지역난방 모델인 고온 열 공급 플랫폼에서 경험했던 신재생에너지원 기술과의 연계성 확보 실패를 교훈 삼아, 시장 경쟁력을 갖춘, 보다 비용효과적인 기술간 접목이 가능하도록 연계 운전 온도를 획기적으로 낮춤으로써 막대한 보급 잠재력을 갖는 미활용 에너지원을 포함한 지속가능한 에너지공급 시스템으로의 전환을 꾀하고 있다. 4세대 지역난방 프로젝트의 주요

연구 주제로는 스마트 에너지 시스템(Smart Energy System), 분산형 에너지(Distributed Energy), 에너지 계획 수립 방안(Energy Planning and Tools), 저온 지역난방 네트워크(Low-temperature District Heating Grids) 등을 들 수 있는데, 전통적인 고온 열 공급 지역난방 시스템의 주요 특징이라 할 수 있는 중앙 집중형, 대규모 열병합발전시스템, 규모의 경제성 및 효율화 전략에서 탈피하여 분산열원, 신재생에너지원 시스템, 수요처 규모에 맞는 적정 경제성, 친환경시스템 개념으로의 근본적인 체질 개선이 추진되고 있다. 특히 기존의 에너지 공급자(지역난방 사업자)로부터 수요자로의 일방향의(One-Directional) 에너지 공급 방식이 아닌, 에너지 공급자와 소비자간, 혹은 소비자와 소비자간 정보 공유 기반의 양방향(Bi-lateral) 에너지 거래 등과 관련한 혁신적인 사업 모델의 적용이 고려되고 있으며, 이는 최근 국내 에너지 신산업 육성 및 활성화를 위한 정부의 정책 방향과 궤를 같이하고 있음에 주목할 필요가 있다. 4세대 지역난방 프로젝트의 가장 주요한 연구주제 중 하나로 꼽을 수 있는 스마트 에너지 시스템은 최근 큰 이슈가 되고 있는 사물인터넷(Internet of Things, IOT) 기반의 기술간 융합 및 이로부터 파생되는 다양한 기술 범주를 폭 넓게 포함하고 있다. 스마트 에너지 시스템으로 정의될 수 있는 주요한 기술적 특징으로는 지능형(Intelligent) 네트워크 운영, 사용자(수용가)와의 정보 공유 및 에너지 거래, 캐스케이드(Cascade) 에너지 이용 방식, 체계적이고 혁신적인 에너지 계획 수립, 스마트 시티 개념의 대도시 에너지 공급 체계와의 접목 등을 꼽을 수 있다. 이를 구현하기 위한 보다 세부적인 기술 아이템으로는 저온 열 공급 시스템, 스마트 미터(모니터링) 시스템, 열 저장·이용 시스템, 분산형 마이크로 네트워크 등을 들 수 있다. ([그림 6] 참조)



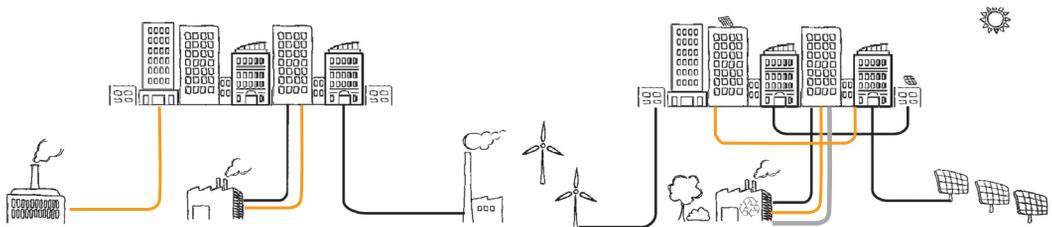
[그림 6] 스마트 열 에너지 네트워크 특성 개요



자료: Ralf-Roman Schmidt, The Role of Thermal Networks in the Smart City, 2013

스마트 에너지 시스템 기술의 가장 주요한 기술 특징으로는 에너지 네트워크 운영상의 유연성 (Flexibility) 확보를 들 수 있다. 즉, 에너지 네트워크를 구성하는 주요 개체(Entity)들 간의 연결 관계와 상호작용으로 인해 기존 일방향 에너지공급 시스템 체계와 다른 매우 복잡한 운영체계와, 복잡시스템에 대한

[그림 7] 스마트 에너지 시스템 개요도

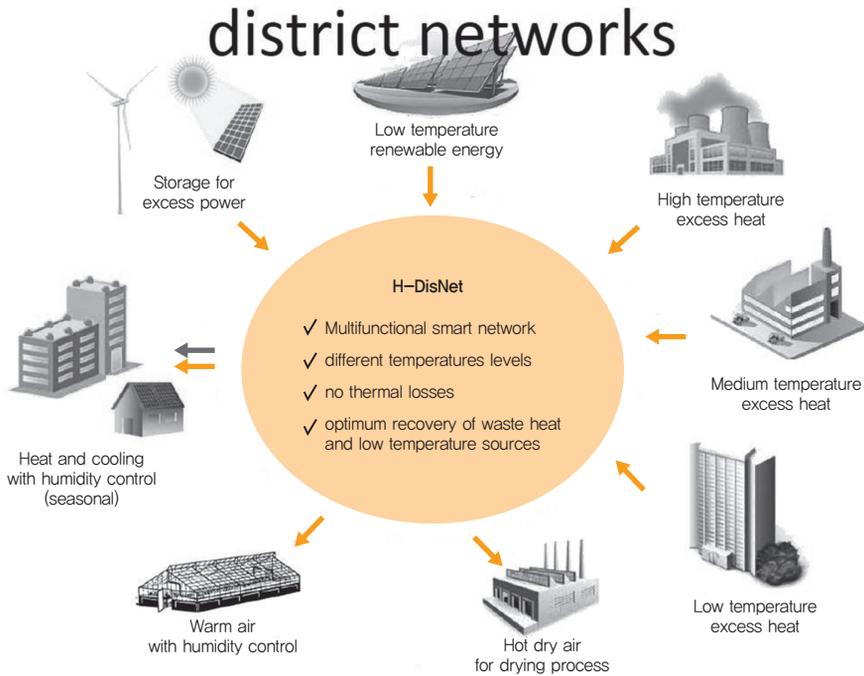


(a) 3세대 지역난방 시스템

(b) 스마트 에너지 시스템

자료: Katarzyna et al., Energy Demand Flexibility in Buildings and Energy Systems, 2016

[그림 8] 스마트 에너지 시스템 구성 예



자료: Christian Engel, Barriers and Solutions for Implementing 4th Generation District Heating, 2016

최적화된 운영 솔루션 도출을 위해서는 각 요소 시스템 (예를 들어 태양광, 풍력 등 신재생에너지원, 고효율 분산형 열병합발전 시스템, 수요처별 냉난방 및 전력 수요 변동 등)에 대한 개별 최적화와 병행하여 전체 시스템을 대상으로 한 유연한 운전 제어가 가능한 최적화된 운영관리시스템(Smart Management System) 개발이 필수적이다.

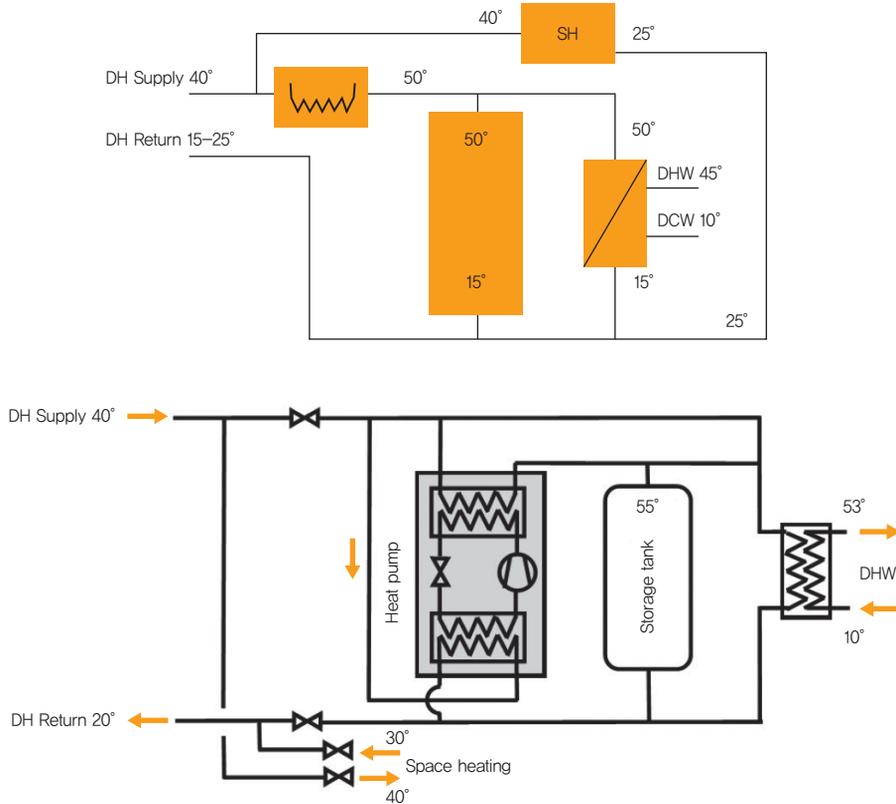
저온 열 공급 시스템 분야 자체에 대한 기술개발 동향으로는 기 제안된 55~60℃ 보다 더 낮은 온도 영역대에서 운전 가능한 모델들이 제안되고 있는데, 특히 40℃ 내·외의 공급 온도에서 운전되는 초저온(Ultra-Low) 열 공급 시스템에 대한 연구가 주류를 이루고 있다. 저온 열 공급 모델의 시장 경쟁력을 확보하기 위해

서는 기존 고온 열 공급 모델 대비 동일한(혹은 유사한) 수준의 열 공급 만족도를 확보할 필요가 있는데 저온 열 공급 시스템에서의 급탕 만족도 문제를 해결하기 위해 필요시 급탕 공급 온도를 한시적으로 높여줄 수 있는 마이크로 히트펌프를 적용하는 하이브리드 방식의 초저온 열 공급 모델에 대한 관심이 점차 높아지고 있다. 이러한 저온 열 공급 모델은 기존 고온 열 공급 모델의 기계실을 중심으로 한 공급 시스템과 달리 수용가 세대 단위의 좀 더 세분화된 형태로 개발 및 보급이 추진되고 있음에 유의할 필요가 있다.

4세대 지역난방 모델을 근간으로 한 스마트 에너지 네트워크 시스템의 실질적인 구현에 있어 가장 중요한 부문 중 하나는 바로 IOT 기반의 스마트 미터를 이용한



[그림 9] 초저온 열 공급 시스템 공급 개요도



자료: 1) Christian Sjøstrann Jørgensen, Low-Temperature District Heating Grids, 2016; 2) Kasper Qvist, Increasing District Heating Efficiency with Ultra Low Supply Temperature(35oC), 2016

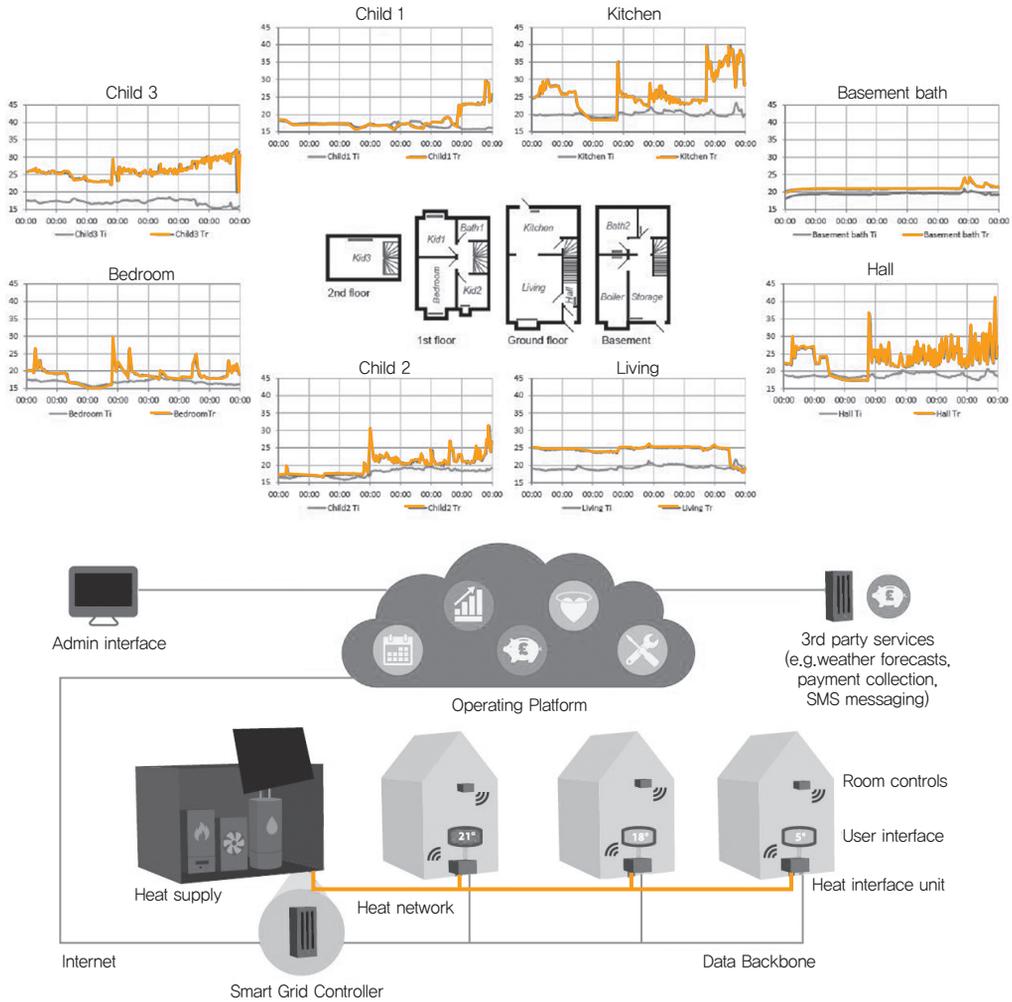
에너지 사용 모니터링 부문이라 할 수 있다.

스마트 에너지 시스템은 다양한 열 공급자 및 사용자 환경의 정보를 기반으로 이루어지게 되므로 실시간 에너지 사용 현황, 기기의 고장에 따른 정보의 오류 진단, 에너지 공급 및 수요량 변동 등에 대한 정보의 모니터링이 정확하게 이루어지지 않으면 복잡한 운전 시스템에 대한 최적의 운영 솔루션 도출 자체가 불가능해진다. 따라서 안정적인 에너지 사용 현황 데이터의 모니터링이 가능함과 동시에 저렴한 센서 노드(Node)를 구

축할 수 있는 스마트 센서 시스템의 중요도가 점차 커지고 있으며, 향후 관련 산업 규모가 급격하게 성장할 것으로 예측되고 있다. 특히 기존의 단순한 에너지 사용량의 월별 누적량에 대한 모니터링 수준을 훨씬 뛰어넘는 실시간 데이터 모니터링을 기반으로 스마트 센서 시스템 구축을 통한 서비스 다양화가 더욱 중요해질 전망이다.

4세대 지역난방 모델 기반의 스마트 에너지 시스템에서는 다양한 형태(신재생에너지원, 열병합발전, 미

[그림 10] 저온 열 공급 모델 세대별 모니터링 예



자료: 1) Dorte Skaarup Ostergaard, Practical Experiences with Low-Temperature District Heating, 2016; 2) Marco Cosic, Actively Managed Heat Networks, 2016

활용 에너지 등)와 여러 온도대(고온, 중온, 저온)의 에너지 시스템이 공존하게 되므로 해당 시스템의 유연하고 효율적인 운영을 위해서는 스마트한 에너지저장 및 이용 기술의 개발이 필수적이다. 특히 신재생에너지원의 효율적인 활용과 기존의 단순한 에너지 소비뿐 아

니라 에너지 생산에도 관여하게 되는 에너지프로슈머 (Energy Prosumer) 개념의 에너지생산자-소비자간 (혹은 프로슈머간) 양방향 에너지 거래 모델 도입에 있어 기술적 효율성과 경제성을 담보하기 위해서는 축냉, 분산형 축열(냉)조, 계절간 열 저장·이용, 건물 에너지



저장(Building Storage) 등과 같은 혁신적인 개념의 스마트 에너지저장 기술의 개발이 뒷받침 되어야하며, 향후 4세대 지역난방 모델의 상용화 및 시장 보급 활성화에 있어 가장 중요한 설비 단위의 기술 분야로 꼽을 수 있다.

에너지의 질적 특성을 나타내는 대표적인 기술 지표인 엑서지(Exergy) 관점에서 볼 때, 55~60℃ 혹은 40℃ 내외의 (초)저온 열 공급 모델은 가장 높은 수준의 엑서지 효율을 갖는 기술로 꼽을 수 있으며 따라서 막대한 양의 저온 미활용 에너지를 효과적으로 저장·사용할 수 있는 열저장·이용 기술의 가치는 더욱 높아질 것이다. 특히 저장 설비의 투자비 관점에서도 중앙 집중형(대용량) 저장 시스템 기준 전력저장은 단위 용량 당 설치비용이 150\$/kWh 수준인 반면, 열저장은 1.5\$/kWh 수준으로 상대적으로 매우 저렴하여 제한된 에너지자원의 효율적 사용 측면과 기술 상용화에 따른 시장 경쟁력 측면에서도 혁신적인 열저장 이용 기술 개발은 4세대 지역난방 모델의 성공적인 상용화 추진에 있어 그 역할이 더욱 중요해질 것으로 전망된다.

나. 국내 기술 동향

최근 들어 국내에서도 상기한 해외의 저온 열 공급 기반의 4세대 지역난방 모델에 대한 관심도가 점차 증대되고 있으며, 국내 지역난방 사업의 주요 사업자인 한국지역난방공사와 서울시 산하 집단에너지 사업 본부 등에서 관련 기술의 도입 및 실증 적용방안 수립을 모색 중인 것으로 알려져 있다. 정부 차원에서도 향후 에너지 신산업 분야에서의 성장 동력 발굴을 위해 에너지프루슈머 기반의 양방향 에너지 거래 개념이 포함된 스마트 에너지 네트워크 기술의 에너지 신 사업화 추진을 모색하고 있어 대표적인 국내 열 네트워크 사업 분

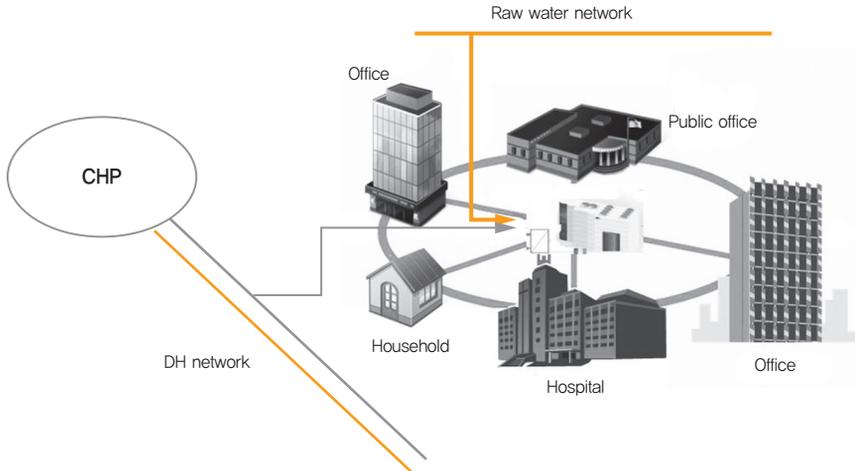
야라 할 수 있는 지역난방 사업의 향후 시장 판도에 큰 변화가 발생할 것으로 예상된다.

1) 주요 연구 동향

국내 지역난방 사업자 중 저온 열 공급 기반의 4세대 지역난방 모델의 도입에 가장 적극적인 사업자는 한국지역난방공사이다. 타 민간 사업자들의 경우에는 지역난방 사업에 뛰어들어 사업을 시작하지 얼마 되지 않아 다른 사업모델을 추진할 만한 여력이 없거나 지역난방 신산업 분야 발굴에 아직까지 적극적인 관심을 갖지 못하는 상황이다. 이는 민간 자본의 특성상 아직까지 해당 관련 사업 시장이 본격적으로 형성되지 않고 있어 향후 추이를 관망하고 있는 것으로도 볼 수 있다. 그러나 그간 정부 차원에서 이루어져 온 국내 지역난방 사업과 관련한 여러 지원정책들은 지역난방 사업의 성장단계 진입 이전에 사업의 안정화를 위해 마련된 것으로써, 이미 시장에서 성숙 단계에 접어 든 것으로 인식되고 있는 지역난방 사업에 대해 향후에도 지속적인 지원 정책이 마련 유지될 수 있을지는 미지수이다. 타 에너지 사업자(전력 및 가스)와의 형평성 관계에 따라 다소간의 수준의 차이가 있을 수는 있으나 향후 지역난방 사업자들의 자생적인 경쟁력을 강화하는 방향으로는 정책 변화가 있을 수 있음에 주목해야 한다. 향후 국내 에너지 관련 정책의 대부분이 기후변화에 따른 영향 완화 및 온실가스 배출 규제 강화 등의 친환경 저탄소 에너지 정책화에 주력할 것으로 예상되는 만큼 국내 지역난방 사업자들이 보다 적극적으로 국내·외적인 에너지 사업 환경 변화에 부응할 수 있는 새로운 사업 모델의 발굴 및 개발에 적극적인 관심을 가져야만 할 것이다.

현재 국내 지역난방 사업에서 검토 중인 저온 열 공

[그림 11] 원수 연계형 저온 열 공급 지역난방 모델 개요도

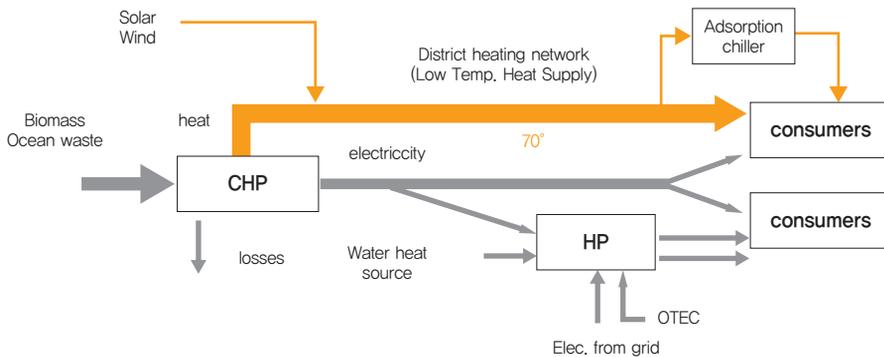


자료: 임용훈, 원수 연계형 지역난방 시스템 적용 타당성 분석 연구, 2016. 5

급 모델은 앞서 언급한 해의 관련 기술개발 동향과 마찬가지로 스마트 에너지 네트워크 사업모델로의 확장까지 고려하고 있지는 않고, 기존 사업장 인근의 저열 수요 밀도를 갖는 신규 수요 발굴에 초점이 맞추어져 있다. 특히 기존 고온 열 네트워크의 회수관을 통해 회

수되는 중온수를 히트펌프의 열원으로 활용, 비용 효과적으로 인근 수용가에 저온 열 공급 네트워크를 기반으로 난방에너지를 공급함과 동시에 춘·추절기 및 하절기 중앙 열병합발전 설비의 발전 효율을 일부 개선할 수 있는 모델을 수립하여 그 적용 타당성에 대해 검토

[그림 12] 해수 열원 이용 친환경 지역난방 사업 모델 개요도



자료: 임용훈, 해수기반 친환경에너지타운 해양에너지 생산/공급 시스템 모델 개발, 2016. 5



한 바 있다.

또한 전통적인 지역난방 수요처인 도심을 중심으로 한 모델에서 벗어나 해수 열원의 확보가 용이한 연안 도심을 대상으로 한 신규 수요 창출을 목적으로 친환경 지역냉·난방 모델의 기초 모델을 수립하고 해수 기반의 대규모 지역냉난방 모델의 적용 타당성에 대한 분석 연구를 현재 수행 중에 있으며, 해수열원을 포함한 태양광 및 풍력 자원의 활용을 통해 온실가스 배출에 따른 기후변화의 영향을 최소화 할 수 있는 친환경 지역난방 모델 수립과 실증을 목적으로 연구가 진행 중이다.

최근 들어 국내 신재생에너지 열원을 이용한 열 공급 사업, 특히 아파트 단지를 대상으로 지열 열원을 이용한 열 공급 사업이 본격화됨에 따라 전통적인 지역난방 공급 수요처인 아파트 단지를 대상으로 지역난방 사업자와 신재생 열공급 사업자간 시장 쟁탈을 위한 사업 경쟁이 치열하게 전개되고 있으며 이에 대한 지역난방 사업자의 대응 방안으로 아파트 단지를 대상으로 한 저온 열 공급 모델로의 전환 및 적용 타당성에 대한 연구 또한 진행 중에 있다. 이는 기존의 개별 보일러 기반의 도시 가스사업자와의 경쟁과는 차원이 다른 내용으로, 정부 차원의 보급 명분이 뚜렷한 지열 기반의 사업 모델과의 경쟁에서는 기존의 효율 및 친환경성을 내세운 대응 방식으로는 정책적인 명분 확보가 어려움을 겪을 것으로 예상되므로 신재생에너지원의 접목이 용이한 저온 열 공급 기반의 4세대 지역난방 모델 보급 전략 수립을 통해 시장 경쟁력 제고에 나설 필요가 있다. 향후 지역난방의 전통적인 핵심 수요처라 할 수 있는 도심 내 아파트 단지를 대상으로 한 새로운 열 공급 사업 모델과의 시장 경쟁은 더욱 가속화될 것으로 보이며, 따라서 신재생에너지원 기반의 친환경성을 강조한 4세대 지역난방 모델에 대한 필요성이 더욱 탄력을 받

게 될 전망이다.

3. 4세대 지역난방 모델 보급을 위한 정책 동향 및 전망

앞서 4세대 지역난방 모델이 제안, 수립된 유럽 지역을 중심으로 한 기술 동향에서 살펴 본 바와 같이 EU에서는 에너지효율 분야와 신재생에너지 기술 분야를 융합한 지속가능한 에너지 공급 모델 개발을 위한 노력이 지속적으로 추진되고 있으며, EU 차원에서 수립된 보급 안을 기준으로 각 국가별 상황에 맞는 합리적 방안을 수립·적용하도록 권고하고 있다. 그러나 일정 수준 객관성이 담보되는 기술적 대안과 달리 정책적 방안은 각 국가별 처한 환경에 따라 그 수용성의 정도에 차이가 클 수 있어 공통적으로 적용 가능한 정책 방안을 마련하는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 따라서 본 기고에서는 4세대 지역난방 모델과 연관한 EU 차원의 관련 정책 방향에 대해 간략히 살펴보고 국내 에너지 사용 환경에서 향후 4세대 지역난방 모델 보급에 적합한 정책 방향에 대해 간략히 살펴보고자 한다.

가. 해외 정책 동향

1) EU 지역난방 보급 활성화 정책

열병합발전(CHP) 기술 기반의 지역냉·난방 모델의 효율성 및 친환경성에 대한 기술적 측면에서의 우월성에 대해서는 대부분의 유럽 국가에서 공감대를 형성하고 있으며 지역냉·난방 기술의 보급 활성화를 위한 EU 차원의 정책 권고안을 기준으로 각 국가별 환경에 맞추어 지원 정책이 수립, 적용되고 있다. 그러나 각 국



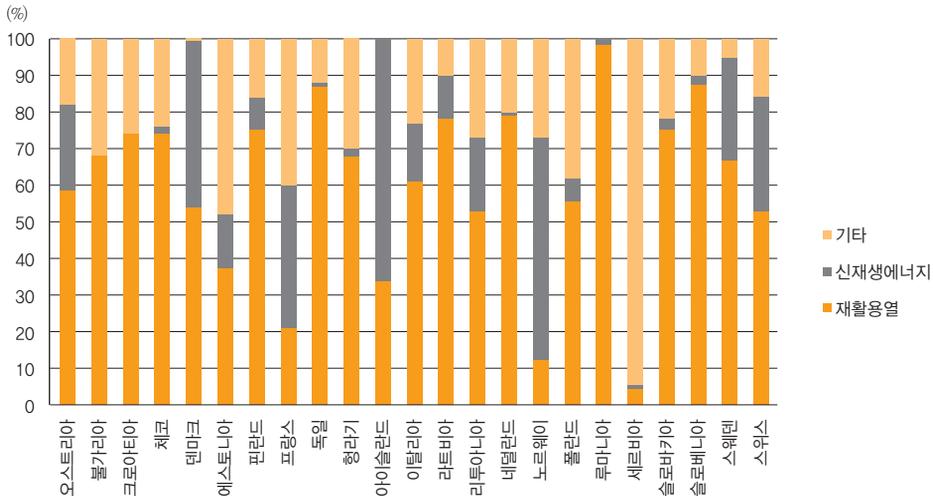
〈표 1〉 유럽 주요 국가별 열병합발전우대제도 사례

국가명	열병합발전 우대정책 내용
벨기에	친환경 프리미엄 지원과 세금감면을 통한 CHP 자본투자비 부담 경감 고효율 CHP에 의한 일차에너지절감 목표부과와 CHP Certificate 제도 소형열병합발전 송전손실 편익 보상
체코	CHP 전력에 추가적인 프리미엄 가격 지급(네트워크 운영자가 지급) CHP 전력 우선공급제도 CHP 투자비 보조 신재생에너지 CHP 전력에 대한 추가 지원금
덴마크	지역열계획 및 지역지정제 운영 CHP 설치 유인 (전력전용 발전설비 지양) 전력난방 금지 폐기물처리계획 (소각열 생산 확대)
핀란드	바이오매스 CHP에 대한 투자비 지원 (화석연료에 대한 지원 없음) 지역난방 연결 보조금 지원 세금공제 (석유보일러를 지역난방 등으로 전환 시)
독일	단계적 FIT 적용 (가동 초기 몇 년간은 높은 가격지급) CHP 발전 비중 2020년까지 25%로 확대 목표 설정 CHP 전력 우선 연결 및 구입 CHP법에 의한 보조금 지급 환경세제개혁(2009년)에 의한 에너지세 면제 CHP에 의한 열을 재생에너지에 의한 열에 포함
아일랜드	소형 화석연료 CHP(1 MW 이하)와 바이오매스 CHP 지원 에너지효율 설비 투자에 대한 가속감가상각제도(ACA) 적용 ※ ACA : 정액감가상각보다 더 많은 금액을 조기에 회수하도록 상각하여 세금지출을 연기해 주는 효과 발생
이탈리아	FIT 적용 고효율 CHP 인증제도 CHP용 가스 연료에 대한 세금 감면 소형 CHP에 대해서는 분산전원 편익 반영 가격 지급
영국	FIT (2 kW 이하 가스연료 CHP, 5 MW 이하 신재생에너지 CHP) ECA(확장감가상각제도)에 의한 자본투자비 절감 ※ ECA : 에너지절약기술에 대한 투자비 전액을 투자기간의 과세대상 이익에서 공제하여 투자비 부담 경감 고효율 CHP에 대한 기후변화부담금(CCL) 면제 인증제도 CHP의 송전 내재편익 보상

자료: 한국열병합발전협회 & 한국집단에너지협회, 집단에너지부문 온실가스 활동관련 해외사례 및 시설특성 연구, 2016.3



[그림 13] 유럽 주요 국가별 지역난방 열 생산 구조 비교



자료: 한국열병합발전협회 & 한국집단에너지협회, 집단에너지부문 온실가스 할당관련 해외사례 및 시설특성 연구, 2016.3

가별로 반드시 집단에너지 개념의 지역난방 기술 보급 정책이 활성화 되어 있는 것은 아니며, 국가별 상황에 따라 일부 국가에서는 열병합발전 기술에 대한 우대 정책을 수립, 적용하고 있음에 유의해야 한다.

각 국가별 신재생에너지자원 및 화석연료 자원 보유 현황 정도에 따라 전력 및 가스 공급 체계와 가격 변동성이 존재하므로 지역난방 보급이 활발하게 이루어진 유럽에서도 각 국가별 지역난방 열 생산 구조가 매우 상이하게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.([그림 13] 참조) 예를 들어 덴마크의 경우 지역난방 열 생산에서의 신재생에너지원의 비중이 40% 이상을 차지하고 있으나, 독일의 경우 상대적으로 매우 작은 비중을 차지하고 있어 신재생에너지원의 활용성 측면이 강조되는 저온 열 공급 기반의 4세대 지역난방 모델의 적용에 있어 독일과 덴마크 사이에 지원 정책 수립의 필요성에 대한 인식의 차이가 발생하는 것은 매우 당연하다 할 수 있을 것이다. 앞서 언급한 바와 같이 4세대 지역난

방 모델의 역할은 단순한 지역난방 열 공급 온도를 낮추는 시스템 기술 범주라기 보다는 신재생에너지 기술과의 접목성 향상을 통해 보다 친환경적인 에너지의 공급 체계로의 전환이 가능하고, 또한 에너지 수요자가 생산 및 공급의 역할을 할 수 있는 에너지프로슈머 모델의 적용이 가능한 스마트 에너지 시스템으로 전환할 수 있는 플랫폼 범주의 모델이므로, 각 국가별 에너지 관련 환경에 따른 정책적 변동성이 기존 열병합발전 기반의 지역난방 모델에 비해 훨씬 커졌음에 유의할 필요가 있다. 따라서 해당 기술의 보급 향상을 위한 지원 정책의 수준 및 적용 시점에 있어서도 세부적인 공통의 정책 방안 마련에는 다소간의 시간이 더 소요될 것으로 전망된다. 현재 EU 차원에서의 4세대 지역난방 모델 확산과 관련한 정책적 기반은 에너지효율 분야에 대한 Directive(Directive 2012/27/EU)에서 그 방향성을 확인해 볼 수 있다. 다만, 상기한 바와 같이 아직까지는 4세대 지역난방 모델 보급 확대를 위한 구체적 단계의

체계적인 지원 정책 방안의 수립에 대한 논의가 활발하게 진행 중이며, Heat Roadmap Europe 프로젝트 등을 통해서 4세대 지역난방 모델을 포함한 스마트 에너지 시스템 기반의 미래 지역난방 사업의 보급 잠재량과 세부적인 보급 전략 등의 수립이 진행되고 있다.

나. 국내 정책 동향 및 제언

국내 지역난방 사업 보급 활성화를 위한 정책은 안정적인 수요 창출을 위한 지역지정제와 에너지절약형 시설투자에 대한 장기저리 용자지원, 에너지절약시설 투자자금 세액공제, 공사비부담금제, 발전배열 등 미활용 열의 저가 공급, 열제약발전 전력의 우선 공급제 등이 있다. 그러나 현재는 제도의 변경 또는 여건의 변화로 외부편익의 시장 내재화를 지원하는 제도의 실효적

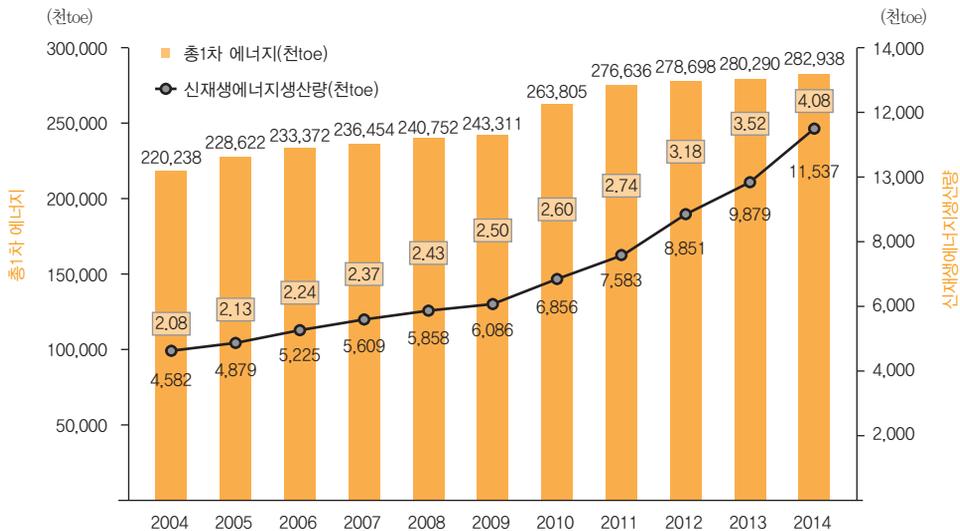
인 효과가 약화되어 있는 상태이며 이는 기존 지역난방 사업 모델에서도 실효적인 성과를 거두지 못하고 있어 향후 전개될 저온 열 공급 기반의 4세대 지역난방 모델 보급 활성화를 위한 정책으로는 적합하지 않다고 볼 수 있다. 본 기고에서는 4세대 지역난방 모델의 향후 역할을 감안한 지원 정책 방향에 대해 아래 간략히 고찰해 보고자 한다.

1) 신재생에너지 보급 활성화 정책 활용 측면

가) 신재생 열 에너지 공급 의무화 제도

국내 신재생에너지 분야의 경우 국가적 차원의 전방위적인 기술개발 및 시장보급 활성화 지원에도 불구하고 국내 1차 에너지중 신재생에너지 생산 비중은 약

[그림 14] 1차 에너지 대비 국내 신재생에너지 공급 비중 통계 (에너지공단, 2015)



자료: 한국에너지공단, 신재생에너지 보급 통계, 2015, 11



4.08%, 국내 총 발전량 대비 신재생에너지 발전 비중은 2014년 기준 1.6%에 그치고 있어 독일 27.5%, 미국 13.1%, 일본 15.3% 등 OECD 주요 국가와 비교하여 크게 뒤지고 있으며, 2035년 보급 목표 또한 11% 수준으로 선진국과 비교하여 온실가스 감축 수단의 비중에서 신재생에너지 분야보다는 에너지전환 분야와 같은 타 분야에 의존도가 더 높을 것으로 전망되고 있다.

최근 도입이 논의되었던 신재생 열 에너지 공급 의무화 제도(RHO)는 국내·외 신재생에너지 보급이 확산되는 가운데 상대적으로 열 분야에 대한 제도적 지원이 부족하다는 인식에서 마련된 제도이며, 향후 4세대 지역난방 모델 도입에 따른 보급 활성화에 적합한 지원 정책으로 적극 고려해 볼 필요가 있을 것으로 보인다. 정부에서는 신재생 열에너지분야에 대한 신규 정책을 도입함으로써 국가적인 신재생에너지 목표 달성 및 관련 산업의 활성화를 기대하고 있으며, 신재생에너지의 무할당제도(RPS)와 달리 RHO는 건물을 대상으로 한 신재생에너지 열원 적용 의무 제도이므로 집단에너지 사업자 입장에서는 해당 제도에 부합하는 4세대 지역난방 모델과 같은 새로운 개념의 열 공급 기술의 확보를 통해 신규 혹은 증축 건물(3단계 이후)을 대상으로 한 지역난방 기술의 보급 활성화 방안으로 적극 활용할 필요가 있다. 현재까지 준비 중인 RHO 시행(안)에 따르면 연면적 1만m² 이상의 신축 건축물(주거용 주택, 공공시설 제외)에 대해 신재생 열에너지 의무 공급량을 10% 내외로 적용하고자 하며, 대상 에너지원은 태양열, 지열, 연료전지, 바이오 연료 등으로 규정하고 있다. 저온 열 공급 기반 4세대 지역난방 모델의 경우 태양열, 풍력, 지열 등을 이용한 열 공급 기술로 공급하기 용이한 저온 영역의 열 공급 조건을 갖고 있으므로 신재생 열 에너지 공급 의무화 제도에 부합할 수 있는 적정 기술이라 할 수 다. 따라서 앞서 기술한 바와 같이

지역난방 네트워크 인근의 신축 건축물 혹은 증축 건축물, 지역지정 지역 내 증축 건축물에 대한 수요 시장을 RHO 정책을 기반으로 확보 가능할 것으로 분석되므로 신재생 열 에너지 공급 의무화 제도 추진 및 활성화에 대비한 융·복합형 기술 개발의 형태로 4세대 지역난방 모델의 사업화 추진을 적극 고려해 볼 필요가 있다.

나) 신재생에너지 의무 할당제도

신재생에너지 의무 할당제란 발전사업자의 총 발전량, 판매 사업자의 총 판매량의 일정비율을 신재생에너지 지원으로 공급 또는 판매하도록 의무화하는 제도를 말한다. 신재생에너지의 보급 확대가 지지부진한 현실적인 문제를 해결하기 위한 목적으로 시작된 제도인데, 지역난방 사업자의 경우도 RPS 대응을 위해 다양한 신재생에너지 사업을 펼치고 있으나 2014년 한국지역난방공사 기준 총 의무공급량은 219,834 MWh에 달해 최근 지역난방 사업의 사업 경제성이 악화되는 시점에서 사업자들에게 큰 부담으로 작용하고 있다. 최근 들어 늘어나는 RPS 과징금으로 인한 발전사들의 부담이 크게 증대되고 외부요인으로 인한 불가피한 불이행 사례들이 속출하고 있어 구제방안에 대해 다각도로 고민하고 있는 것으로 알려져 있으나 기후변화로 인한 친환경 저탄소 에너지 환경 마련의 기초 속에 신재생에너지 보급 활성화라는 큰 방향성에는 변함이 없을 것으로 전망되므로, 향후 지역난방 사업 추진에 있어 지속적인 부담으로 작용할 것이라는 것이 중론이다. 따라서 기존의 고온 열 공급 기반의 지역난방 모델에서 실제 사업과 크게 상관없는 태양광, 풍력 발전 설치와 같은 단편적인 기술적 접근으로는 근본적인 해결 방안 마련이 어려울 것으로 보이며, 이러한 관점에서 분산형 열원 기반의 양방향 에너지 거래 모델의 적용이 가능한 4세대



지역난방 모델의 도입과 연계한 신재생에너지 의무 이행과 관련한 정책적 지원 방안의 수립 및 활용 전략의 수립이 필요할 것으로 판단되며, 정부의 신재생보급 활성화를 통한 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 실효적 수단으로 대응할 수 있을 것으로 기대된다.

2) 에너지 신산업 활성화 정책 활용 측면

최근 들어 정부에서는 국가 경제의 신 성장 동력 확보를 위한 국정과제의 일환으로 에너지 신 산업 분야 발굴의 위한 다각적인 노력을 경주하고 있으며, 이에 향후 기후 변화에 따른 대도시 단위의 기후 적응을 위한 적정 기술 분야 중 하나로 스마트 시티 개념의 전력 및 열 네트워크와 물, 연료 네트워크 등을 통합하는 스마트 에너지 네트워크 분야에 대한 관심이 증대되고 있다. 온실가스 배출 심화에 따른 기후변화의 영향이 본격화되고 도시화(Urbanization)에 따른 에너지소비 집중에 따른 도시 단위의 체계적이고 효과적인 에너지·환경 문제 해결 방안 마련에 대한 필요성이 시급하게 대두되는 현 시점에서 저온 열 공급 기반의 4세대 지역난방 모델 도입은 단순한 열 공급 온도의 저하로 인한 효율 향상 이상의 의미를 가질 수 있다. 따라서 향후 전개될 것으로 예상되는 정부의 에너지 신 산업 육성을 위한 지원 정책 마련 과정에서 4세대 지역난방 모델을 근간으로 한 스마트 에너지 네트워크 모델의 시장 경쟁력 확보를 위한 정부 차원의 지원 방안을 이끌어 낼 수 있는 체계적인 전략의 수립이 요구된다. 특히 향후 갈수록 강화될 것으로 예상되는 온실가스 감축 의무 이행과 관련하여 저온 열 공급 기반의 4세대 지역난방 사업은 온실가스 저감의 대표적인 기술 분야인 CCS 기술이 예상보다 경제성에서 상용화 단계에 접어들기 쉽지 않은 상황에서 신재생에너지원과의 기술간 융합을 근간

으로 지속적인 온실가스 대응 기술력 확보를 통해 정부의 정책방향에 부합하여 지속적인 경쟁력을 확보할 수 있도록 보다 노력해야 할 것이다. 4세대 지역난방 사업은 신재생에너지 기술의 적극적인 접목과 융합을 통해 온실가스 감축 효과를 배가 시킬 수 있는 잠재력을 갖추고 있고, 특히 기존 지역난방 방식 대비 수십 % 내외의 에너지절감 효과 개선이라는 고효율 운영 성능의 확보도 가능할 것으로 예상되므로, 향후 온실가스 감축 의무 대응을 위한 실효적인 수단으로써의 사업모델화와 관련 지원 정책을 이끌어 냄으로써 미래 지속가능한 대표적인 친환경 에너지 산업으로 자리매김해야 할 것이다.

4. 4세대 지역난방 모델의 미래 가치 및 시사점

국내 저온 열 공급 기반의 4세대 지역난방 모델의 도입에 있어 가장 큰 화두는 과연 4세대 지역난방 모델이 기존의 고온 열 공급 사업 모델(3세대 지역난방 모델)과 어떻게 공존할 수 있는지 여부라 할 수 있다. 특히 지역난방 공급 지역의 규모 측면에서 중국을 제외한 타 유럽 국가들 대비 최상위의 열 수요 밀도를 갖는 대규모 지역을 대상으로 하는 국내 지역난방 시스템에서 과연 열 공급 온도를 대폭 낮추어 공급하는 4세대 지역난방 모델의 적용이 가능할지 여부에 대한 의문이 제기되고 있는 것이 현실이다. 그러나 결론적으로 말해 4세대 지역난방 모델의 도입이 기존 고온 열 공급 지역난방 모델(3세대 지역난방) 및 해당 열 네트워크를 대체하는 개념이 아니라는 점에 대한 기본적인 인식이 필요하다. 즉, 4세대 지역난방 모델의 주 수요처는 기존의 고온 열 공급 기반의 지역난방 시스템 수요처를 완전하게 대



체하는 개념이 아니라 기존 열 네트워크 인근, 혹은 기존 고온 열 공급 지역난방 모델의 공급에 적합이 않았던 저 열 수요 밀도를 갖는 수요처를 대상으로 한 신수요 창출이 주요한 사업 목적이거나 할 수 있다. 예를 들어 앞서 언급한 기술 개발 사례에서 보는 바와 같이 4세대 지역난방 모델 기반의 캐스케이드(Cascade) 열 네트워크 개념을 적용하여, 기존 고온 열 공급 지역난방 네트워크로부터 회수된 온수의 열 에너지를 추가적으로 활용, 기존 지역난방 인근의 신규 지역난방 수요를 창출함으로써 기존 열 네트워크 운영상의 효율성을 개선함과 동시에 신재생에너지원 및 히트펌프 기반의 신규 열 공급 시스템의 경제성을 확보할 수 있다는 점에 주목할 필요가 있다. 또한 4세대 지역난방 모델의 국내 적용이 해외에서 접근하고 있는 스마트 에너지 네트워크 기술화 체계에 아직까지는 미치지 못하고, 단순한 신규 수요 창출 및 지열 기반 열 공급 모델에 대한 대응 수준의 단편적인 기술개발에 머물고 있으나, 향후 정부의 주요 에너지 정책 기조로서 예상되는 친환경 저탄소 에너지 산업화에 부합할 수 있는 매우 적합한 기술적 모델임을 감안한다면, 국내 지역난방 사업의 근본적인 체질 개선을 위한 기회로 삼을 수 있도록 해야 할 것이다. 또한 최근 전 산업계에 걸쳐 불고 있는 4차 산업혁명 기조 형성에 따라 지역난방 사업의 스마트 기술화 추진이 반드시 필요할 것으로 보이며, 따라서 소비자와의 상호연계, 수용가 에너지 사용 정보 기반의 신 서비스 발굴, 다양한 친환경 에너지 믹스 모델 발굴을 통한 지속가능한 사업모델 개발 및 최적 운영 체계 수립 등의 지역난방 사업 외연 확대에 있어 저온 열 공급 기반의 4세대 지역난방 모델이 핵심적인 플랫폼으로써의 역할을 수행할 것으로 기대된다.

국내 지역난방 사업은 최근의 사업 정책 추세와 시장에서의 성장 동력 상실에 따른 미증유의 도전적인 환경

에 처할 것으로 전망되며, 또한 최근 글로벌 온실가스 감축 협약과 미세먼지 문제 등으로 인한 국내 에너지 관련 분야에의 중대한 변화의 영향권에 들 것으로 보인다. 향후 기후변화의 영향으로 인한 친환경 에너지 생산 방식에 대한 가치가 높아짐에 따라 기후변화에 따른 에너지 산업 전반에 걸친 변화의 요구는 한편으로는 사업을 위협하는 요소로, 또 다른 한편으로는 현행의 사업의 정체 위기를 극복할 수 있는 새로운 도전의 기회로 다가올 수 있음을 인지할 필요가 있다. 상기 논의한 4세대 지역난방 모델을 중심으로 한 스마트 에너지 네트워크 모델로의 체질 변화를 통해 미래 친환경 저탄소 에너지 사용 환경에서의 생존을 담보하기 위해서는 사업자의 전향적인 사고의 전환이 우선되어야 하며, 기존의 지역난방 고시제와 같은 특수한 정책에 기대어 사업의 경쟁력을 유지할 수 있을 것이라는 구시대적인 발상으로는 스마트 시대를 살아가는 현명한 소비자로부터 점차 외면당할 것이 자명하다. 시대가 변하고 있다. 전력 중심의 에너지공급 안정성과 대량생산 기반의 효율화 중심의 시대에서 기후적응 중심의 지속가능한 친환경의 가치가 더 우선시 되는 시대로 접어들고 있는 것이다. 기후변화의 시대에 급변하는 사업 환경 변화 속에서 지속가능한 사업성 확보를 위한 30여년의 국내 지역난방 역사에 있어 그 어느 때보다 혁신적인 변화의 길을 모색할 때이다.

참고문헌

〈국내 문헌〉

- 기상청, “한반도 기후변화 전망보고서,” 2012. 12
 산업통상자원부, “2014년 신재생에너지 보급통계,” 2015. 11
 임용훈 외, “원수 연계형 지역냉·난방 시스템 적용 타



당성 분석 연구,” 한국에너지기술연구원, 2016
 _____, “해수기반 친환경에너지타운 해양에너지
 생산·공급 시스템 모델 개발 (I),” 한국에너지
 기술연구원, 2016

강재성, 임용훈 외, “집단에너지부문 온실가스 할당관
 련 해외사례 및 시설특성 연구,” 한국열병합발
 전협회&한국집단에너지협회, 2016

최진영, 송창근 외, “IPCC SRES 시나리오에 따른
 우리나라의 미래 냉난방도일 전망: CCSM3
 와 MM% 모델 활용,” 『Climate Change
 Research』, Vol. 4, No. 2, 2013, pp. 141-
 158

한국에너지공단, “2016 집단에너지 사업 편람,” 2016

〈외국 문헌〉

Christian Engel, Barriers and Solutions for
 Implementing 4th Generation District
 Heating, 2nd Int. Conference on Smart
 Energy Systems and 4th Generation
 District Heating, 2016

Christian Sjøstrann Jørgensen, Low-
 Temperature District Heating Grids, 2nd
 Int. Conference on Smart Energy Systems
 and 4th Generation District Heating, 2016

Dorte Skaarup østergaard , Practical Experiences
 with Low-Temperature District Heating,
 2nd Int. Conference on Smart Energy
 Systems and 4th Generation District
 Heating, 2016

Henrik Lund, and Sven Werner et al., “4th
 Generation District Heating(4GDH)
 Integrating Smart Thermal Grids into

Future Sustainable Energy Systems,”
 Energy, 68, 2014, 1-11

Kasper Qvist, Increasing District Heating
 Efficiency with Ultra Low Supply
 Temperatures(35oC), 2nd Int. Conference
 on Smart Energy Systems and 4th
 Generation District Heating, 2016

Katarzyna M. Kuc, Alfred Heller and Carsten
 Rode, Energy Demand Flexibility in
 Buildings and Energy Systems, 2nd Int.
 Conference on Smart Energy Systems and
 4th Generation District Heating, 2016

Marko Cosic, Actively Managed Heat Networks,
 2nd Int. Conference on Smart Energy
 Systems and 4th Generation District
 Heating, 2016

Ralf-Roman Schmidt, Smart District Heating
 and Cooling Systems for a Smart
 City Development, Seminar on DHC
 Technology, 2013

_____, Smart The Role of Thermal
 Networks in the Smart City, 36th Euroheat
 & Power Congress, 2013

〈웹사이트〉

4th District Heating 홈페이지, <http://www.4dh.eu/>