

세르비아 베오그라드시 재생에너지 지역난방 도입 타당성 검토

최종보고서

2019. 11.

요약문

연구의 목적 및 내용	본 연구의 목적은 세르비아 베오그라드市 지역난방 시스템에 적용 가능한 재생에너지 공급 기술을 검토하고, 현지에 적용 가능한 5개의 재생에너지 및 폐열 공급 기술에 대한 적용가능성 조사를 통해 가장 적합한 기술을 선정하고 이에 대한 사업타당성 검토를 수행함에 있다.				
연구개발성과	○ 베오그라드 지역난방 시스템에 적용 가능 5개 재생에너지 열원 검토 - Heat Pump: 베오그라드 인근 석탄화력발전소 Condensor Cooling water에 Heat Pump를 적용하여 지역난방 열원으로 공급 - Biogas: 베오그라드 인근 생활폐기물 매립장의 매립가스를 지역난방 열원의 가스보일러에 공급 - 태양열 지역난방: 베오그라드시 지역난방 열원시설 중 잉여부지에 태양열 패널을 설치하여 지역난방용 열원으로 활용 - 바이오매스: 베오그라드시 지역난방 열원 중에 바이오매스 연소시설을 설치하여 열원으로 활용 - 지열: 베오그라드시 지역난방 열원 중에 지열 히트펌프 시스템을 설치하여 열원으로 활용 ○ 1개 사업타당성 검토 대상 선정 - 신속한 시행을 위해 협의가 필요한 관계기관이 가장 적은 방안인 태양광 지역난방 시스템을 Cerak 열원에 설치하는 방안을 선정 ○ Cerak 열원 태양열 지역난방 시스템 사업타당성 검토 - Cerak 열원 난방부하 검토 - Cerak 열원 잉여부지 현황 및 유럽내 태양열 지역난방 시스템 현황 분석 - 최적 태양열 지역난방 시스템 용량 및 구성방안 선정 - 투자비 및 사업경제성 분석 - 태양열 지역난방 시스템 관련 법률,제도,규정 검토 ○ 베오그라드시 지역난방 시스템 장기투자계획 - 지역난방 시스템 개선을 위한 단계적 장기 투자계획 수립 - 단위 열원 자체의 효율개선에서 열원간 열연계와 저가 열원 확보에 의한 시 단위 지역난방 시스템 개선을 위한 단계별 개선방안 제시				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 발굴 초기부터 관련 이해관계자가 함께 참여하여 사업화 가능성이 높으므로 구체적인 사업구조(자금조달, 지분구조) 확정 후 사업화 추진예정 ○ 본 연구를 통해 구축된 국제기구 플랫폼을 향후 유사 연구, 사업 추진시에도 지속 활용 예정				
국문핵심어 (5개 이내)	지역난방	재생에너지	폐열이용	베오그라드	타당성평가
영문핵심어 (5개 이내)	District Heating	Renewable Energy	Waste Heat	Belgrade	Feasibility Study

< 목 차 >

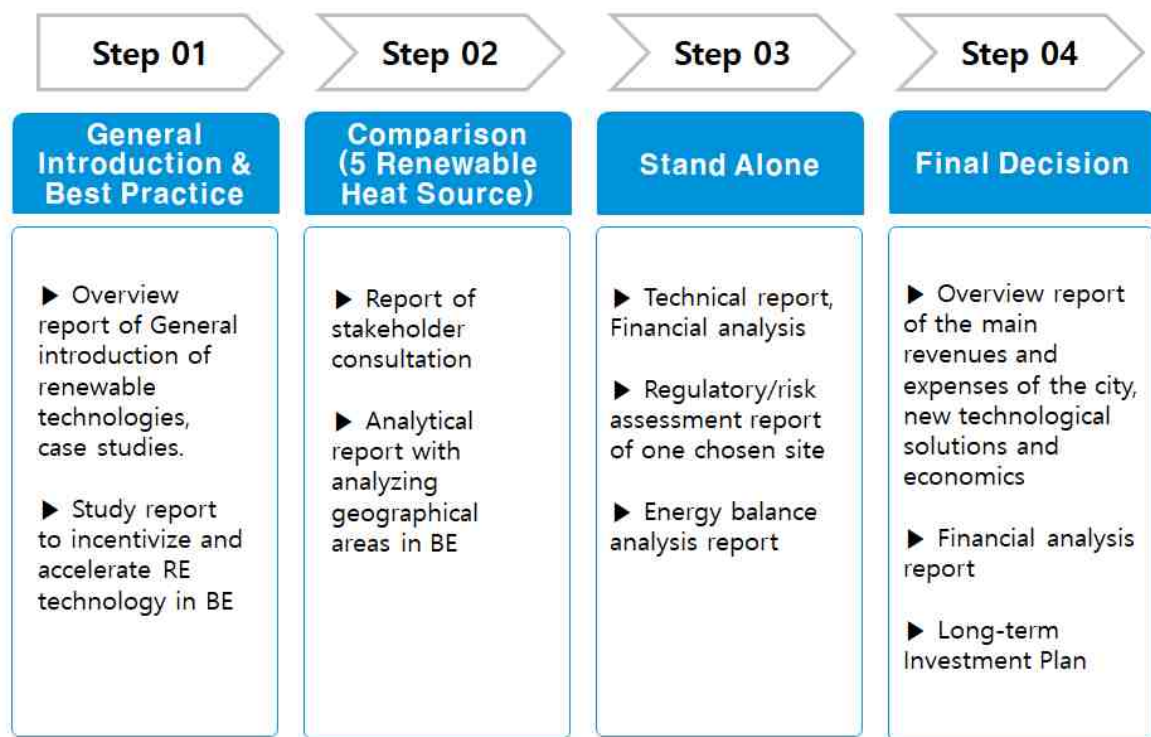
1. 과제의 개요	1
2. 연구수행내용 및 성과	3
2.1 지역난방 재생에너지 도입 가능성 검토	3
2.2 태양열 지역난방 시스템 도입 타당성 연구	19
3. 지역난방 장기투자계획	33
3.1 현황과 문제점	33
3.2 단계별 투자 계획	34
4. 결론 및 제언	36

1. 과제의 개요

1.1 과제 목적 및 범위

본 연구에서는 세르비아 베오그라드市 지역난방 시스템에 적용 가능한 재생에너지 공급 기술을 검토하고, 현지에 적용 가능한 5개의 재생에너지 및 폐열 이용 기술에 대한 적용 가능성을 조사하여 가장 적합한 기술을 선정하고 이에 대한 사업 타당성 검토를 수행하였다.

본 연구는 세르비아 NDE인 환경보호부(Ministry of Environmental Protection)에서 CTCN에 제출한 과업요구서인 Response Plan의 내용에 의거하여 진행되었다. Response plan은 먼저 베오그라드 시의 지역난방시스템에 적용가능한 재생에너지 기술 5개에 대한 검토와 현지 여건을 고려하여 적용 가능한 1개의 기술과 적용 대상지역을 선정하여 그에 대한 사업타당성 검토를 수행하는 과정으로 구성되었다.



<Response Plan>

본 연구를 진행하기 위해 18년 11월 kick-off 미팅부터 19년 9월 최종보고까지 총 6차의 현지 출장을 통해 현지 이해관계자와의 의견을 교환하고 최종안을 선정, 보고하였다.

1.2 이해관계자 협의 경과 및 내용

일 자	주요내용
착수회의 (출장: 2018년 11월 5일 - 11월 9일)	(이해관계자 착수회의) 착수 회의, 현지 이해관계자 면담 및 현장조사 - 유엔환경기구(UNEP), 환경보호부(NDE), 베오그라드시 환경보호국(SEPB), 베오그라드 지역난방회사(BE) 참석 - 베오그라드 현지 지역난방 현황 소개 및 현장방문 
적용기술 구체화 및 타당성 조사 방향 설정 (출장: 2019년 2월 25일 - 3월 1일)	(적용분야 구체화) 적용가능 5개 재생에너지 기술 평가 - 현지관계자 의견수렴 워크숍 - 히트펌프, Biogas, 태양열, Biomass, 지열 5개 적용가능 기술 검토 결과 협의 (UNEP, NDE, BE 참석) → 신속한 사업진행이 가능한 태양열 지역난방 시스템을 타당성조사 대상으로 선정 
투자관련 협의 (출장: 2019년 6월 6일 - 6월 12일)	(자금 연계방안 협의) 타당성 조사 결과 실현을 위한 자금 연계방안 자문 - 타당성 조사 대상인 태양열 관련 투자관련 의견수렴 → 투자규모 작아 주변국 투자유치가 효율적 - 장기투자계획 관련 자금 연계방안 협의 (UNEP, EBRD 참석) → 사용자시설, 열수송관 개선 등 잠재 프로젝트 연계시 EBRD 자금사용 가능 

일 자	주요내용
최종보고 (출장: 2019년 9월 23일 - 9월 27일)	(타당성 조사 및 장기투자계획 보고) 태양열 지역난방 사업타당성 및 장기투자계획 내용 협의 - 사업타당성 조사결과 공유 및 후속사업 관련 의견 교환 (UNEP, NDE, SEPB, BE, EBRD 참석) - 태양열 지역난방 사업타당성은 시행 가능성 긍정적 평가 - 후속 연계사업으로 BE측은 열원 연계시스템에 관심 표명함 - BE 측은 재생에너지 관련 현지의 인적·물적 인프라의 부족함 토로 - 시정부와 BE측은 장기 검토가 필요한 대규모 재생에너지 연계사업 등의 지원이 필요함을 피력함 - UNEP, KDHC, EBRD는 후속 연계사업에 지원이 가능함을 피력함 

2. 연구수행내용 및 성과

2.1 지역난방 재생에너지 도입 가능성 검토

가. 지역난방에 적용 가능한 재생에너지 기술 검토

1) 지역난방 재생에너지 열원 개요

지금까지의 지역난방 열원은 주로 화석연료를 사용한 열병합 발전 및 열 전용 보일러를 이용하는 방식과 폐기물 소각열을 이용하는 방식이 사용되어 왔다. 최근 지역난방에 재생에너지 열원으로 바이오매스, 바이오가스, 지열, 폐열회수, 히트펌프, 태양열 등의 다양한 열원을 적용하고 있다.

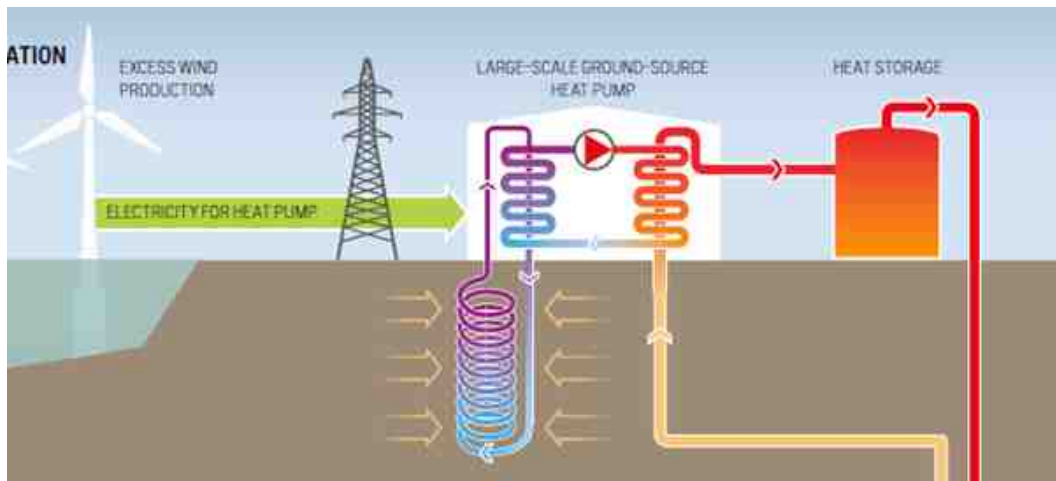
<Conventional and renewable technologies for district heating>

Category	Technology	Fuel Source	Benefits	Impact on Climate change
Conventional (Non-Renewable)	Combined Heat and Power (CHP)	Fossil Fuel (Coal, Petroleum, Natural gas)	Increase of primary energy efficiency. Cost effective by large and centralized heat supply	Partially CO ₂ emission reduction Recycled Heat
	District Heating Boiler	Fossil Fuel (Coal, Petroleum, Natural gas)	Reduce overall system cost. Suitable for peak load	CO ₂ emission
	Waste-To-Energy, Incineration plant	Municipal solid waste (MSW) and other combustible waste	Low cost heat	Partially CO ₂ emission reduction Recycled heat
Renewables	Combined Heat and Power (CHP)	Biomass, Biogas	Production of electricity and heat by low CO ₂ emission	CO ₂ neutral
	District Heating Boiler	Biomass, Biogas	Renewable and low CO ₂ emission	CO ₂ neutral
	Geothermal	Heat from Underground Reservoir	Cheap running costs and 'fuel' for free	CO ₂ free
	Waste Heat Recovery	Waste heat from Industrial process, data centers, low-grade heat from sewage, etc.	Recycling waste energy increase the energy efficiency of city	CO ₂ free
	Heat Pump	Electricity from renewable and low-grade heat source	Renewable heat in case of heat pump connect with renewable electricity	CO ₂ free,
	Solar Thermal	Solar radiation	Cheap running costs and 'fuel' for free Renewable and CO ₂ free energy	CO ₂ free

재생에너지 열원 중 이산화탄소의 배출이 없는 열원으로는 지열, 폐열회수, 히트펌프, 태양열 등이 있으며 바이오매스와 바이오가스는 부분적으로 이산화탄소의 배출이 발생하는 탄소 중립적 열원으로 구분된다. 본 연구에서 검토 대상 재생에너지 열원으로 히트펌프, 태양열, 바이오매스, 바이오가스, 지열 5가지를 선정하였다.

2) Heat Pump

최근 잉여 재생에너지 전력을 이용한 대용량 히트펌프가 지역난방에 적용하기 위한 재생에너지 열원으로 제시되고 있다. 이는 풍력, 수력 및 태양광에 의해 생산된 잉여 전기를 히트 펌프의 동력원으로 활용하고 지하수, 하수, 발전소 복수기 냉각수 및 하천수 등을 저온 열원으로 이용하여 지역난방 리턴수를 가열하여 열을 공급하는 방식이다.



<Connecting Renewable Electricity Generation for Heat Pump>

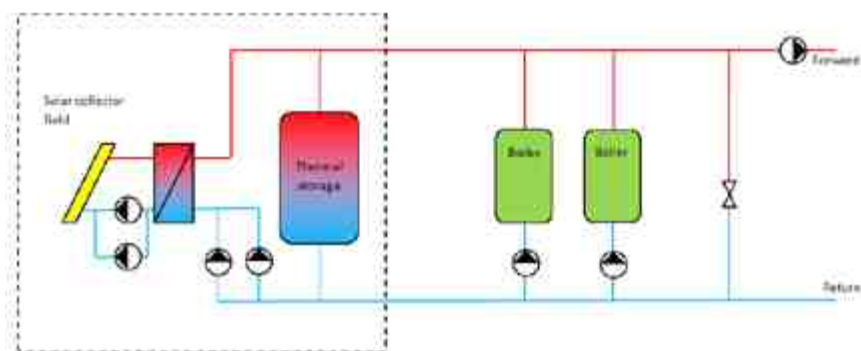
대용량 히트펌프가 지역난방에 적용된 대표적인 사례는 노르웨이의 Drammen시 지역난방 시스템이다. 13.2MW의 히트펌프로 지역난방 열수요의 85%를 공급하며, 이를 통해 연간 15,000 톤의 이산화탄소 배출을 저감하고 또한 연간 6.7백만 리터의 연료를 절감하고 있다.



Heating capacity	13.2 MW
COP	3.05
Refrigerant	R717
Heating Source	River Water in at 8 °C, out at 4 °C
Supplied temperature	90 °C flow, return at 60 °C(Hot water)

3) 태양열

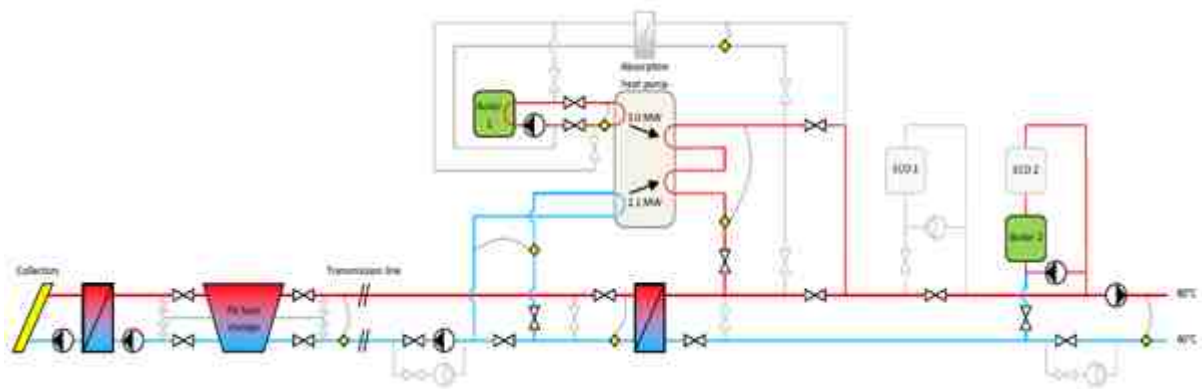
난방에 적용하는 태양열 시스템은 단순하게는 태양열 패널과 열매체의 순환시스템 및 제어시스템으로 구성될 수 있으며, 열전달 매체로 Propylene glycol 등이 이용된다. 태양열 시스템을 지역난방에 이용하기 위해서는 필수적으로 열저장 시설이 필요하다. 이는 태양열 시스템의 열생산은 주간에 이루어지고 지역난방의 소비는 주로 야간에 발생하기 때문이다.



<Principal drawing of solar district heating>

최근 동절기의 낮은 효율을 극복하기 위해 태양열 지역난방 시스템에 계간축열 (Seasonal storage) 시스템이 적용하는 사례가 많아지고 있다. 열저장 시설의 용량이 클수록 태양열에 의한 열공급 비율이 증가하며, 저장된 물의 온도저하에 대응하기 위해 히트펌프 설비가 추가된다.

태양열 지역난방 시스템에 계간축열 시스템의 구성할 경우, 잉여열을 이용할 수 있는 흡수식 히트펌프와 결합하여 보다 탄력적인 지역난방 열공급 시스템을 구성할 수 있다.



<The Dronninglund solar thermal plant and pit thermal energy storage>

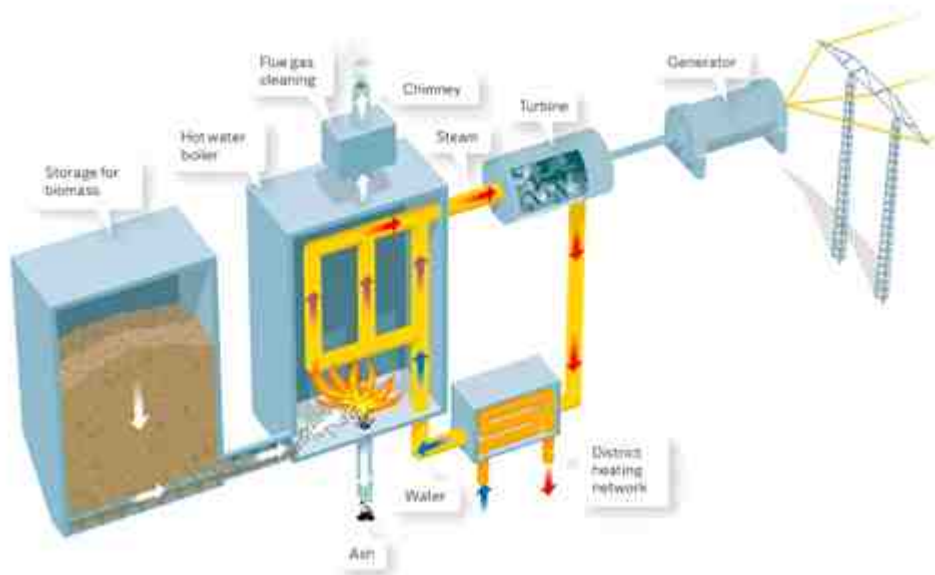
태양열 지역난방 시스템의 설치 사례로는 덴마크 Smørum시에 설치된 8MW급 시설이 있다. 11,312m²의 태양열 패널을 설치하여 연간 5,568MWh의 열을 생산하고 있다.



Heating capacity	8 MW
Plant layout	59 rows with up to 20 collectors in one row
Area	11,312 m ²
CO ₂ savings	1,100 t/y

4) 바이오매스

바이오매스는 가장 대규모 열을 생산할 수 있는 재생에너지 열원이다. 많은 유럽국가에서 지역난방에 바이오매스를 활용하고 있으며, 특히 기존의 석탄 발전시설을 바이오매스 시설로 개체하고 있다.



<Biomass CHP for District Heating>

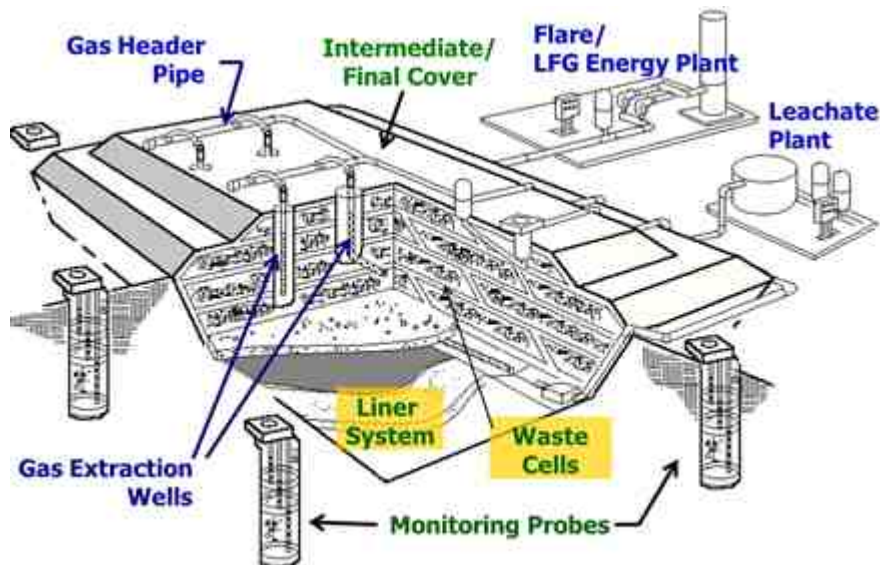


Heating capacity	280 MW(Electricity : 130MW, Total : 410MW)
Biomass demand	12,000 m ³ /day
CO ₂ savings	126,000 t/y

지역난방에 바이오매스를 이용하는 대표적인 적용사례는 스웨덴의 스톡홀름시 지역난방 시스템이다. Fortum Värme 바이오매스 열병합발전 시설은 연간 약 8,300GWh의 열을 스톡홀름 지역난방 시스템에 공급하고 있으며, 400GWh의 지역냉방과 1,500GWh의 전기를 공급하고 있다.

5) 바이오가스

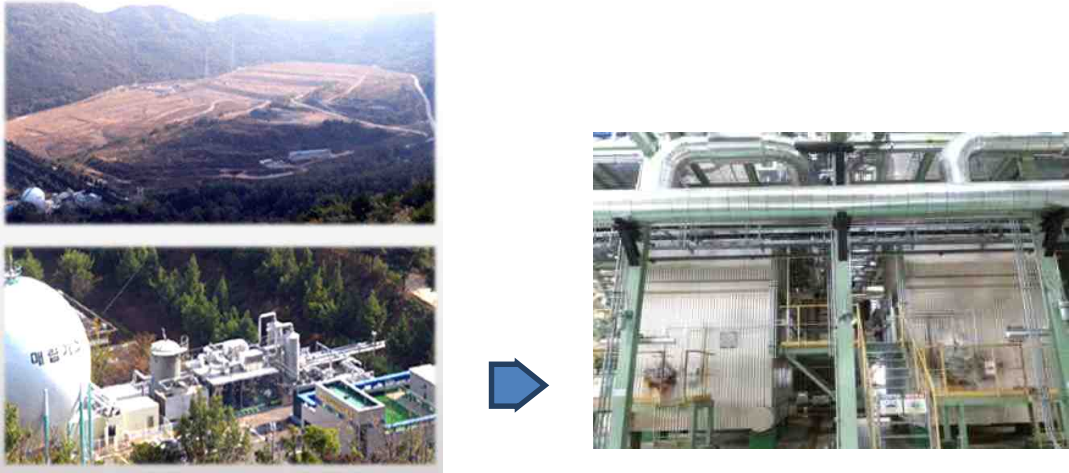
바이오가스는 매립지에서 발생하는 매립가스나 혐기성 소화조에서 발생하는 소화가스를 포함한다. 매립가스는 일반적으로 45~55%의 메탄 농도를 갖고 있어 4,500~5,500kcal/Nm³의 발열량을 갖고 있다.



<LFG collection and utilization system>

매립가스는 가스엔진에 연료로 공급되어 전기를 생산할 수 있으며, 이러한 가스엔진은 열병합발전 시스템으로 이용될 수 있다. 또한 매립가스는 중질가스로 가스보일러의 연료로 직접 공급될 수 있다.

매립가스를 지역난방에 이용하는 대표적인 사례는 한국의 한국지역난방공사 대구지사이다. 대구시 방천매립장에서 포집되는 110~120Nm³/분의 매립가스가 한국지역난방공사 대구지사의 68 Gcal/h의 가스보일러에 공급되어 연간 150,000~200,000 Gcal의 열을 생산하고 있으며, 이는 대구지사 열생산량의 20~25%를 차지하고 있다.

	
Heating capacity	150,000~200,000 Gcal/y (34 Gcal/h x 2)
Type	Heat only boiler(Hot water)
LFG Consumption	110~120 Nm ³ /min
CO ₂ savings	t/y

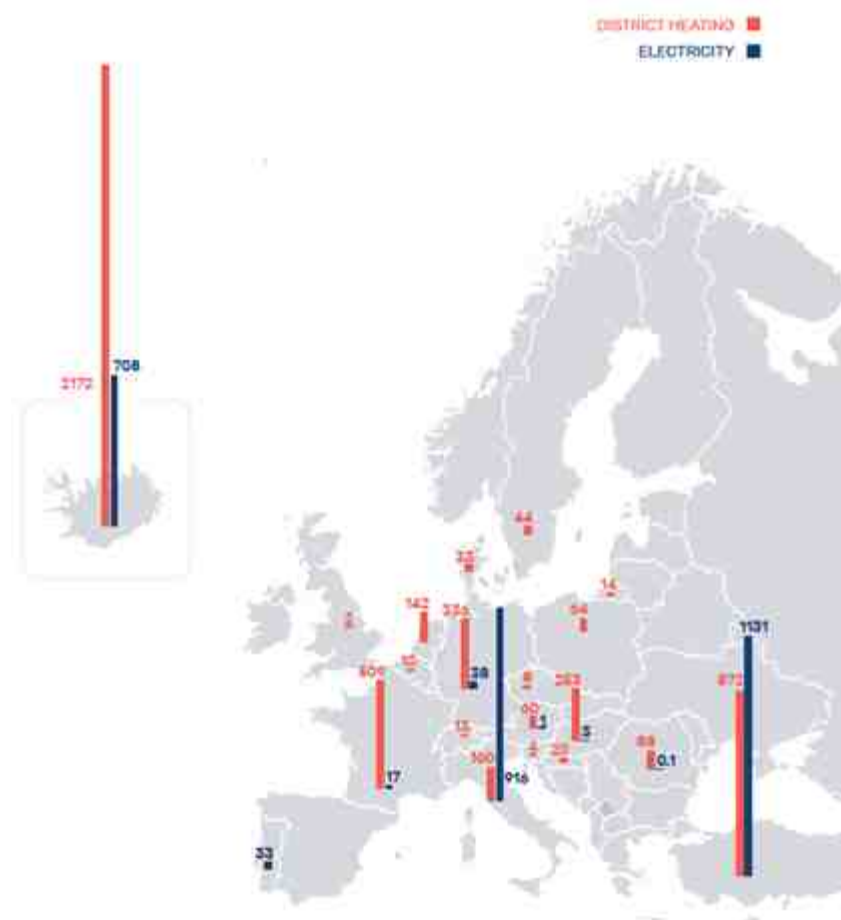
6) 지열

지열 지역난방은 높은 지중온도를 이용할 수 있는 지역에서 활용하기 적절한 시스템이다.

지열발전과 달리 지열 지역난방은 낮은 온도의 지열원을 이용할 수 있다. 40℃ 이상 150℃ 미만의 온도에서 지열을 이용한 지역난방이 가능하며, 150℃ 이상일 경우 일반적으로 지열 발전에 이용한다.

유럽에서 높은 열량의 지열원은 활화산 지역 (아이슬란드, 이태리, 터키 등)에 분포하며 중간 온도의 투수층은 다양한 지역에 분포하고 있다. 유럽에서 지열을 이용한 지역난방 시스템은 4.9GW_{th}에 이르고 294개의 시설이 가동중이다.

지열을 지역난방에 활용하는 대표적인 사례는 아이슬란드의 Hengill 지역으로 303MW의 전력을 생산하며 133MW의 온수를 수도인 Reykjavik의 지역난방 시스템에 공급하고 있다. 이 지역의 시설은 지열을 이용한 열병합발전 시스템으로서 300℃ 이상의 온도에서 스팀이 생산되어 터빈에 공급되는 방식이다. 303MW 지열발전 시스템은 세계 최대의 지열발전 시설이다.



<Installed capacity for geothermal electricity and district heating by country in 2017>



Heating capacity	133 MW(Electricity : 303 MW, Total : 436 MW)
Plant layout	Steam supply system, fresh water supply system, electric power production, thermal production, auxiliary system
CO ₂ savings	33,000 t/y

나. 베오그라드 지역난방 시스템 적용가능성 검토

1) 베오그라드시 지역난방 개요

베오그라드 시는 세르비아의 수도이며 최대도시이다. 도심 지역의 거주 인구는 1.2백만명이며 인근 지역까지 최대 1.7백만명이 거주한다. 베오그라드 시는 다뉴브 강과 사바 강의 합류 지점에 위치하고 있으며 사바 강 동쪽 지역이 구도심 지역이고, 서쪽 지역이 신도시 지역이다. 베오그라드 시는 총 17개의 행정구역으로 구분되며 최대 인구 밀집 지역은 신도시 지역인 Novi Beograd 지역이다.

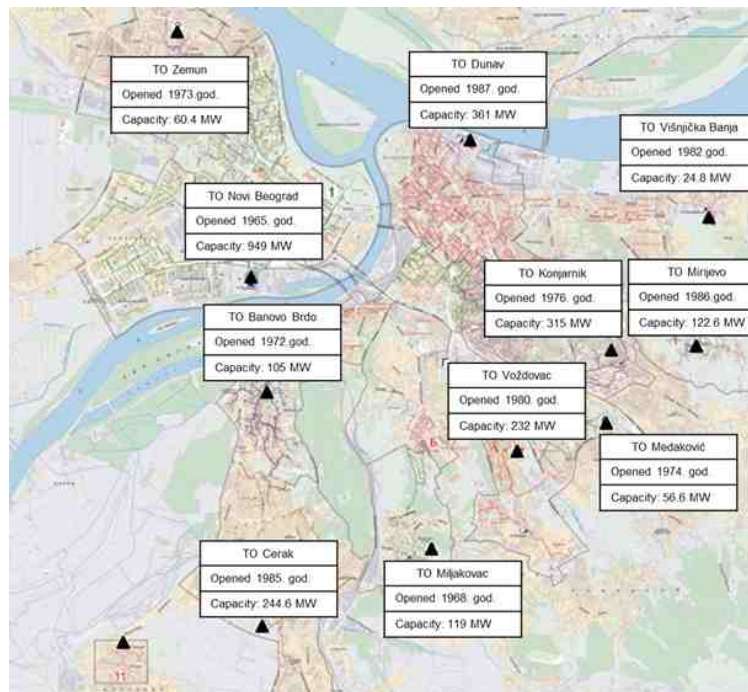
베오그라드의 연평균 기온은 12.5℃이며 1월 평균 기온 1.4℃, 7월 평균 23.0℃이며 연간 강수량 691mm의 대륙성 및 지중해성 기후이다.

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Record high °C (°F)	20.7 (69.3)	23.9 (75)	26.8 (80.3)	32.2 (90)	34.9 (94.8)	37.4 (99.3)	43.6 (110.5)	40.0 (104)	37.5 (99.5)	30.7 (87.3)	28.4 (83.1)	22.6 (72.7)	43.6 (110.5)
Average high °C (°F)	4.6 (40.3)	7.0 (44.6)	12.4 (54.3)	18.0 (64.4)	23.9 (74.3)	26.2 (79.2)	28.6 (83.5)	26.7 (80.1)	23.9 (75)	18.4 (65.1)	11.2 (52.2)	5.8 (42.4)	17.4 (63.3)
Daily mean °C (°F)	1.4 (34.5)	3.1 (37.6)	7.6 (45.7)	12.9 (55.2)	18.1 (64.6)	21.0 (69.8)	23.0 (73.4)	22.7 (72.9)	18.0 (64.4)	12.9 (55.2)	7.1 (44.8)	2.7 (36.9)	12.5 (54.5)
Average low °C (°F)	-1.1 (30)	-0.1 (31.8)	3.7 (38.7)	8.3 (46.9)	13.0 (55.4)	15.8 (60.4)	17.5 (63.5)	17.6 (63.7)	13.5 (56.3)	9.0 (48.2)	4.2 (39.6)	0.2 (32.4)	8.5 (47.3)
Record low °C (°F)	-18.2 (-0.8)	-15.4 (4.3)	-12.4 (9.7)	-3.4 (25.9)	2.5 (36.5)	6.5 (43.7)	9.4 (48.9)	6.7 (44.1)	4.7 (40.5)	-4.5 (23.9)	-7.8 (18)	-13.4 (7.9)	-18.2 (-0.8)
Average precipitation mm (inches)	46.9 (1.846)	40.0 (1.575)	49.3 (1.941)	56.1 (2.209)	58.0 (2.283)	101.2 (3.984)	63.0 (2.48)	58.3 (2.295)	55.3 (2.177)	50.2 (1.976)	55.1 (2.169)	57.4 (2.26)	690.9 (27.201)
Average precipitation days (≥ 0.1 mm)	13	12	11	13	13	13	10	9	10	10	12	14	139
Average snowy days	18	7	4	1	0	0	0	0	0	0	3	8	33
Average relative humidity (%)	78	71	63	61	61	63	61	61	67	71	75	79	68
Mean monthly sunshine hours	72.2	101.7	153.2	188.1	242.2	260.9	280.8	274.0	204.3	163.1	97.0	64.5	2,111.9

<Climate data for Belgrade>

베오그라드 시의 지역난방은 시정부 산하의 공공기업인 'Beogradske Elektrane' 이 운영하고 있다. 베오그라드 시는 열배관 길이 1,420km 열공급용량 2,800 MW로서 전체 가구의 약 50%에 지역난방이 공급되고 있다. 이는 유럽 내 최대규모의 지역난방 시스템이다.

베오그라드 시 지역난방 공급회사인 BE사는 전체 20개의 열원을 공급 구역별로 보유하고 운영하고 있으며, 열병합발전 시설이 아닌 전체 열전용 보일러로 운영하고 있다. 이는 세르비아의 에너지 관련 제도의 특징으로 지역난방 공급사의 발전사업이 제한되고 있기 때문이다.



<Heat plants in Belgrade city>

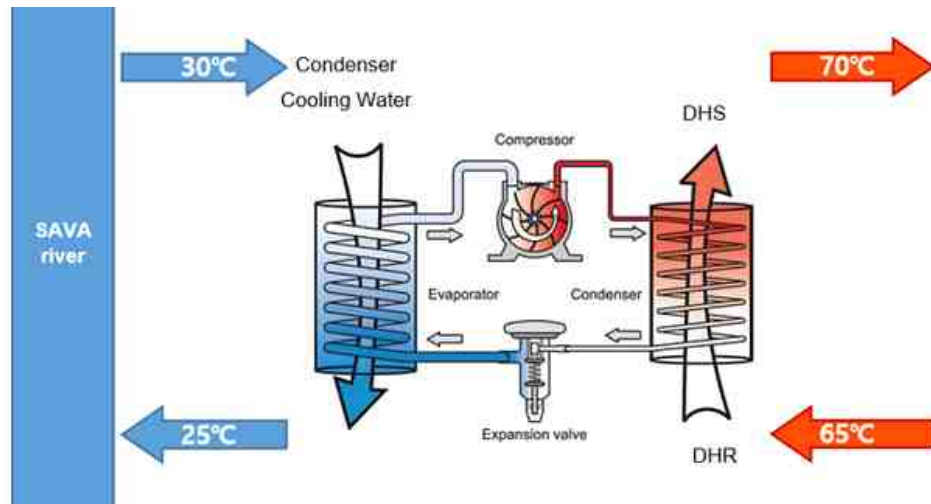
2) 5개 재생에너지 기술 적용성 검토

① Heat Pump - Thermoelektrana Nicolai Tesla A (TENT-A)

TENT-A는 베오그라드에서 약 27km 남서쪽에 위치하고 있는 발전용량 1,650MW의 세르비아 최대규모 석탄화력발전소이다. TENT-A의 condensor 냉각수는 인근 사바강의 하천수를 이용하고 있으며, 이 냉각수를 히트 펌프의 저온 열원으로 사용하여 지역난방용 열을 확보할 수 있다.



<TENT-A Power Plant>



- Amount of cooling water(warm water) : 190,000 m³/hr
 - Discharge temperature of cooling water(warm water) : 30 °C
 - Available calories(maximum) : 190,000 x 5 °C = 950 Gcal/hr
 - Heat pump operating(cooling water inlet/outlet) temperature : 30 °C / 25 °C
 - Calories produced : 950 x 1.3 = 1,235 Gcal/hr = 4,322,500 Gcal/yr (3,500 hr/yr)
 - Amount of district heating water heating : 247,000 m³/hr (65 °C -> 70 °C)
 - Estimated actual Calories produced : 2,593,500 Gcal/yr (Capacity factor : 0.6)
- = 3,015.7 GWh/year

<Concept of heat pump on TENT-A>

히트펌프를 통해 확보가능한 열량은 약 4,000MWh로 예상되며, 이는 베오그라드 열수요의 약 21.5%를 공급할 수 있는 열량이다.

그러나 TENT-A에 히트펌프를 통해 열원을 확보하는 방안은 대량의 열을 확보할 수 있지만, 먼저 약 27km에 이르는 열배관 설치를 위한 투자가 고려되어야 한다. 또한 TENT-A 석탄화력 발전소는 세르비아 전력회사가 관리하기 때문에 이 방안의 실행을 위해서는 세르비아 광업 에너지 부를 비롯한 협의와 승인이 필요한 관계기관이 많기 때문에 빠른 추진이 어렵다.

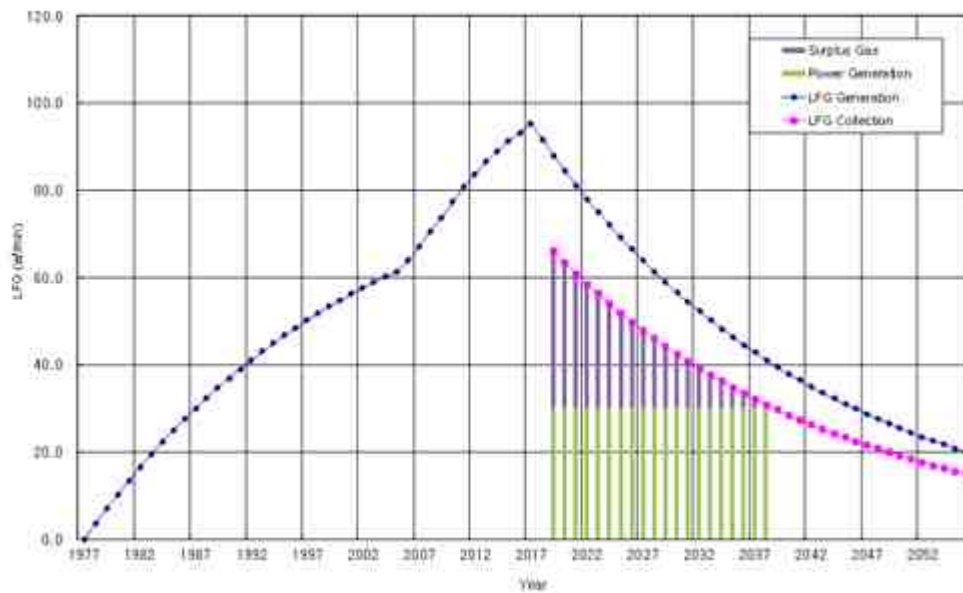
② Biogas - Vinca 매립지 매립가스

베오그라드 시 동쪽 외곽지역에 1977년부터 매립을 시작하여 현재까지 운영되고 있는 Vinca 생활폐기물 매립장이 있다. 2014년까지 약 14.5백만톤의 생활폐기물이 매립되었으며 전체 부지면적은 70ha이며 매립고는 최대 50m이다.



<Location of Vinca Landfill>

매립가스 발생량 예측 모델인 LandGem 모델과 IPCC 모델을 이용하여 Vinca 매립장의 매립가스 발생량을 예측한 결과 2019년 약 66Nm³/min의 매립가스 포집이 가능한 것으로 판단되었다. Vinca 매립장은 현재 공사중인 폐기물 소각장이 완공되면 매립을 종료할 예정이며 따라서 매립가스 포집량은 2038년 30.9m³/min로 감소할 것으로 판단된다.



<Prediction of LFG generation in Vinca Landfill>

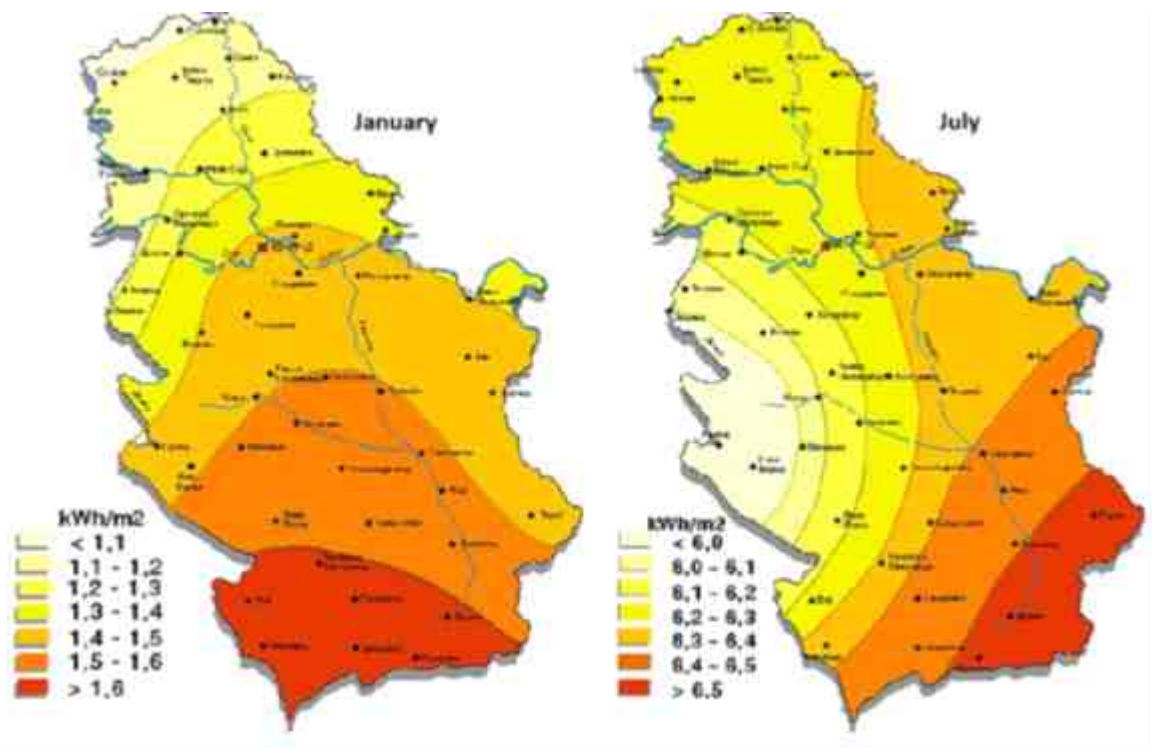
Vinca 매립장에는 3MW급 매립가스 엔진발전 시스템이 계획되어 있어 30m³/min의 매립가스가 가스엔진에 소요되고 잉여 가스량이 향후 10년간 평균 25.5m³/min일 것으로 판단된다. 이는 약 8.9MW의 열을 생산할 수 있는 가스량이다.

이러한 잉여 매립가스를 약 9km 떨어진 곳에 위치한 Vozdovac 열원 등에 공급하여 지

역난방 가스보일러의 연료로 사용이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 현재 Vinca 매립장은 프랑스의 합작회사인 SUEZ사에 의해 생활폐기물 소각장 건설 및 운영에 관해 PPP 계약이 체결된 상태로서 매립가스 활용을 위해서는 SUEZ사와의 협의가 필요하다.

③ Solar Thermal - Cerak heat plant

베오그라드 시의 일사량은 1월 기준 $1.4 \sim 1.5 \text{ kWh/m}^2$, 7월 기준 $6.2 \sim 6.3 \text{ kWh/m}^2$ 이며 연평균 일일 일조시간이 5.8시간으로 태양열을 활용하기에 유리한 조건이다.



<Daily global solar radiation in Serbia on the horizontal surface>

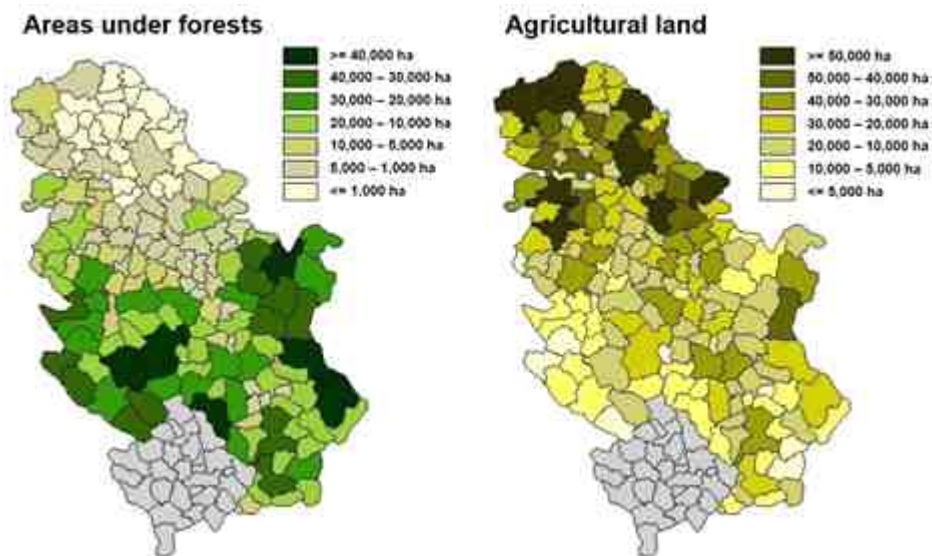
베오그라드 시에서는 2017년에 Cerak과 Batajnica 열원의 여유 부지에 태양열 패널을 설치하여 지역난방의 열원으로 공급하는 방안의 가능성에 대한 조사를 실시하였다. 그 결과 Cerak 열원은 연간 22,245MWh, Batajnica 열원은 연간 3,618MWh의 열생산이 가능한 것으로 조사되었다.

<Solar thermal location comparison>

Parameter	Unit	Batajnica on-site	Cerak on-site
Total area of heat plant	m ²	18,000	82,000
Area of Main Facilities	m ²	8,000	44,000
Available area for solar thermal	m ²	10,000	38,000

④ Biomass

세르비아의 바이오매스 잠재량은 약 2.7Mtoe로 상대적으로 높은 편이며 목재 바이오매스의 잠재량이 전체 바이오에너지 잠재량의 39.8%를 차지하고 있다. 또한 농업지역의 면적이 넓어 농업 부산물에 의한 바이오매스 잠재량도 높은 편이다.

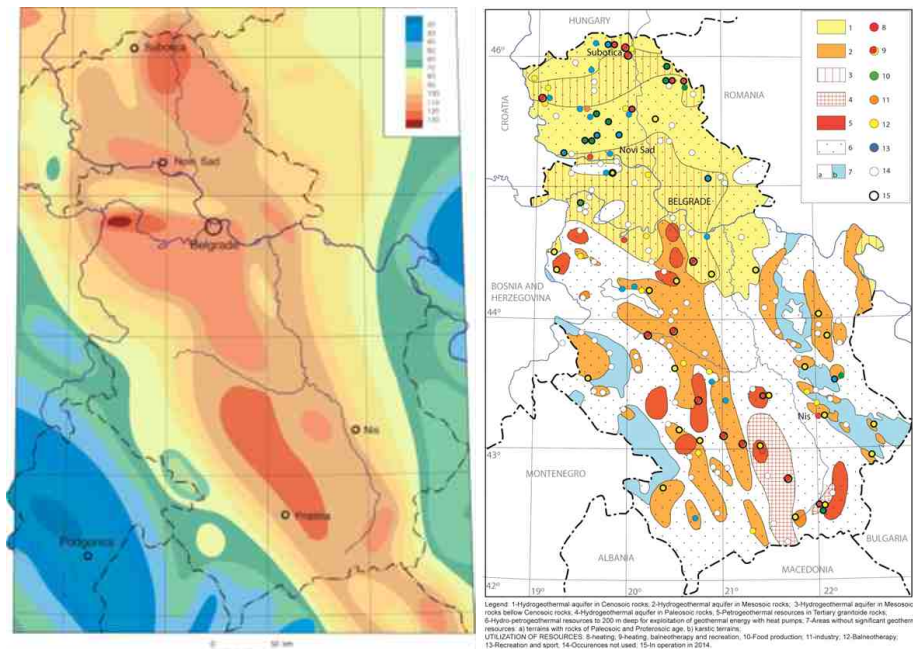


<Biomass in Serbia>

베오그라드 시 지역난방에 바이오매스를 도입하기 위해서는 도심 지역에 바이오매스 열생산시설을 설치해야 하며, 이 경우 바이오매스 생산지에서 열원까지의 운송비용이 증가할 가능성이 있다.

⑤ Geothermal

세르비아는 발칸반도의 중심에 위치하고 있어 지중 열밀도가 유럽 평균에 비해 높아 지열 자원이 풍부한 편이며, 이전부터 온천수를 난방에 이용하는 사례가 많았다.



<Heat flow density map and geothermal resources map of Serbia>

베오그라드 시의 경우에도 도심 지하의 지열자원은 풍부한 것으로 평가되고 있다. 그러나 이를 개발하여 지역난방의 열원으로 이용하기 위해서는 사전에 충분한 조사가 선행되어야 하며 지역난방 공급사 뿐만 아니라 여러 관계기관과의 협의가 필요하다. 또한 지열을 지역난방에 이용하는 설비는 높은 초기 투자비용이 요구되기 때문에 장기적인 계획이 필요하다고 판단된다.

3) 사업타당성 검토 대상 선정

베오그라드 시 지역난방에 공급가능한 재생에너지 열원 5가지에 대한 검토 결과, 대규모 열을 확보할 수 있는 히트펌프, 바이오매스, 지열 등은 사전 협의가 진행되어야 할 관계기관이 많고 타당성 조사에 오랜 시간이 소요되는 것으로 판단되었다. 매립가스를 활용하는 방안 또한 현재 외국 회사가 PPP 계약에 의해 사업을 진행중이기 때문에 협의가 필요하다.

TENT-A에 대한 타당성 조사를 수행하기 위해서는 세르비아 환경보호부 소속인 NDE와 베오그라드 시정부 산하인 지역난방 회사인 BE사가 세르비아 에너지광업부와 그 산하의 전력공사 등과의 협력과 지원이 필요한데, 본 연구 기간에 그러한 협력체계를 구축하기에는 한계가 있어 타당성 조사를 위한 자료 제공의 한계 등의 제한요소가 있었다. 바이오가스의 경우에도 Vinca 폐기물 WtE 사업의 PPP 계약을 체결한 프랑스 기업인 SUEZ사와의 협력이 타당성 조사에 필요한 상태로서 세르비아 NDE가 이러한 협력체계 구축을 위해

서는 많은 협의와 시간이 필요하다는 곤란함을 제기하였다.

	Heat pump	Solar Thermal	Biomass	Biogas(LFG)	Geothermal
Available location	TENT A	Cerak, Batajnica	Suburb of Belgrade	Vinča landfill site	Western Belgrade
Amount of potential (GWh/year)	3,015.7	27.4 4.5	3,247.5	77.9	20,148
Heat plant	Novi Beograd	Cerak, Batajnica	Novi Beograd	Vozdovac	Novi Beograd
Accessibility : To heat plant (km)	28	< 1 < 1	> 50	9	10
Thermal energy yearly produced on the heat plant (GWh/year)	1,048.3	293.4 33.4	1,048.3	225.3	1,048.3
Heat resources	Limited	Infinity	Limited	Limited	Infinity
Reduce CO ₂ emissions (tCO ₂ /year) (Emission factor: 0.792 tCO ₂ /MWh)	2,388.4	21,701 3,564	2,572.0	61,697	15,957.2
Associations	- MEP - MEM - Belgrade city - EPS - BE	- Belgrade city - BE	- MEP - MEM - Belgrade city - EPS - BE	- SUEZ - Belgrade city - BE	- MEP - MEM - Belgrade city - EPS - BE

<Comparing 5 major renewable energy source in Belgrade>

본 연구의 요청자인 세르비아 NDE는 현지 지역난방 회사인 Beogradske Elektrane이 단독으로 즉시 실행이 가능한 방안에 대한 사업타당성 검토를 요청하였기 때문에, Cerak 열원에 대한 태양열 지역난방 시스템 설치 방안을 사업타당성 검토 대상으로 선정하였다.

2.2 태양열 지역난방 시스템 도입 타당성 연구

가. 기술적 검토

1) 대상열원 개요 - Cerak 열원

Cerak 열원은 1985년부터 운영이 시작된 지역난방 열원시설로서 천연가스를 연료로 사용하는 가스보일러 232MW와 중질유를 사용하는 유류 보일러 13MW로 구성되어 있다.

<Boiler status of Cerak heat plant>

Boiler type	Unit	Capacity(MW)	Fuel type
Hot water	1	116	Natural gas
Hot water	2	58	Natural gas
Steam	2	6.5	Medium oil

Cerak 열원은 110.2km의 열배관을 통해 26,684세대에 열을 공급하고 있으며 이에 따른 난방면적은 1,534,382㎡에 이른다. 2018년 Cerak 열원의 열공급량은 275GWh로서 2017년에 비해 약 29% 증가하였다.



<Transmission pipelines and Cerak heat plant site>

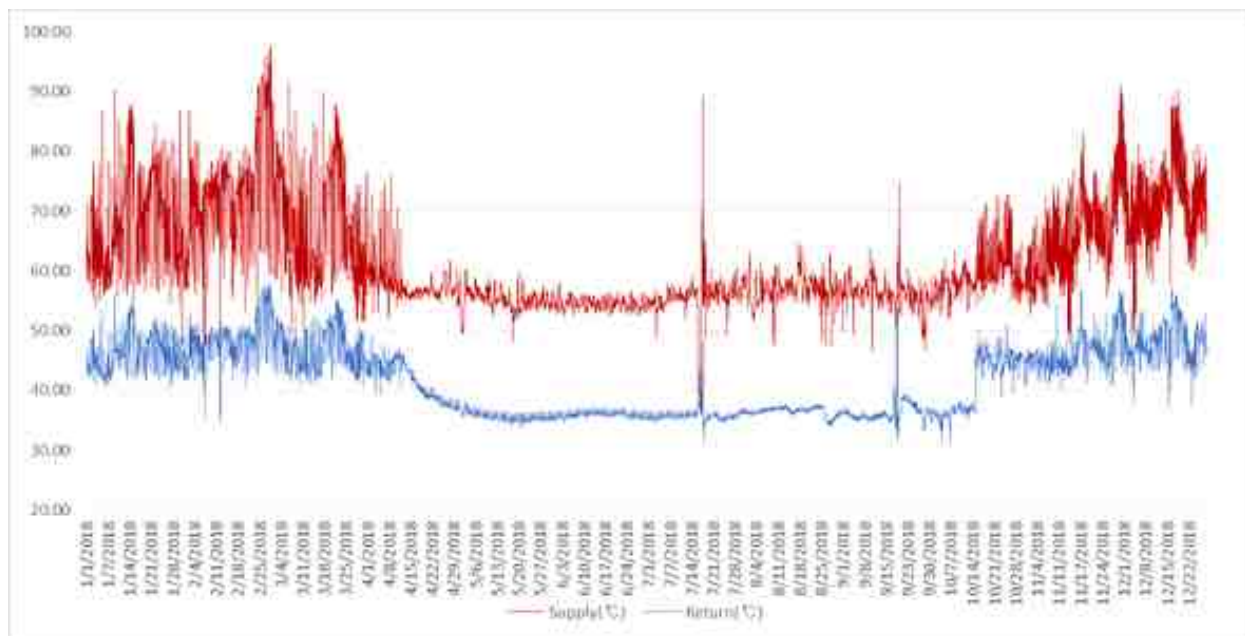
2) 열수요량 분석

Cerak 열원의 월별 열수요량을 분석하면 동절기인 12월부터 2월까지의 열수요량이 50,000MWh 이상이며, 하절기인 5월부터 9월까지의 열수요량은 3,000MWh 이하이다.

지역난방 공급온도는 동절기 최대 98℃이며 평균 공급온도는 65℃이고 회수온도는 45℃이다. 하절기 평균 공급온도 55℃이며 회수온도는 45℃이다.

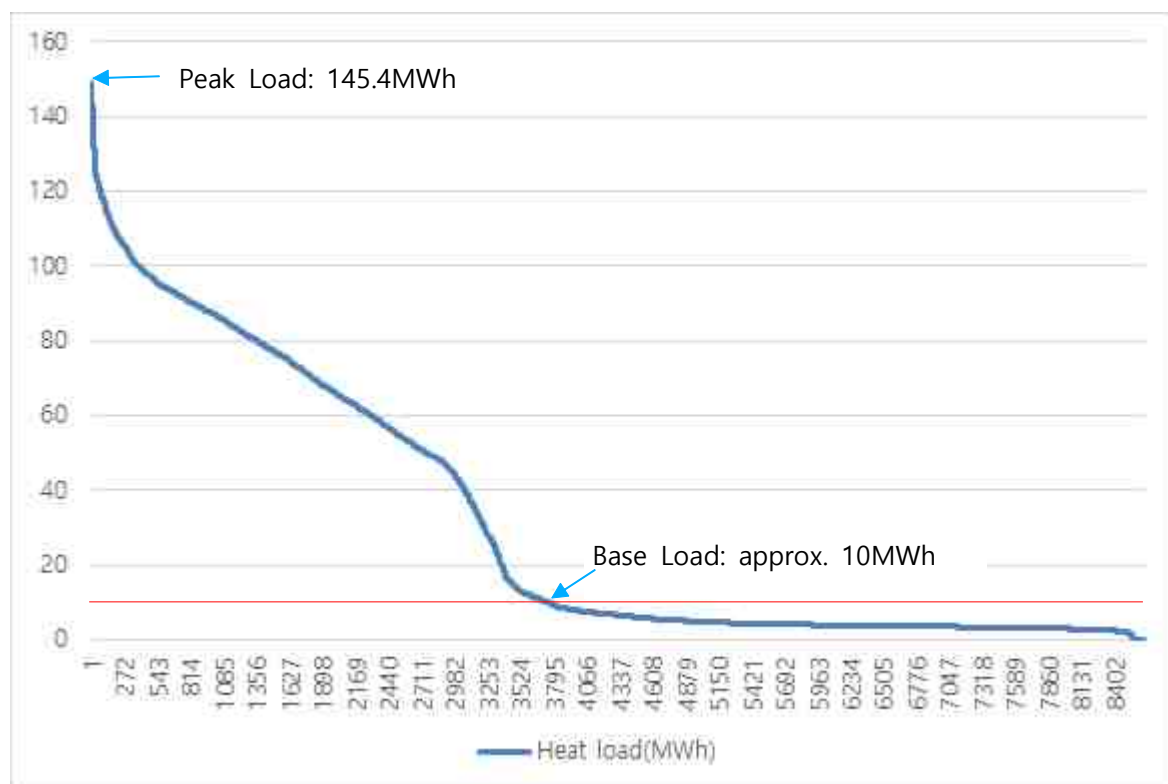
<Monthly heat demand of Cerak heat plant>

Date	Total heat demand in Cerak (MWh) - 2017	Total heat demand in Cerak (MWh) - 2018	Average heat demand in Cerak in 2017-2018 (MWh)	Share from total heat demand in Cerak In 2017-2018 (%)
Jan	41,265.0	51,327.2	46,296.1	19.0
Feb	32,281.0	53,845.8	43,063.4	17.6
Mar	24,380.0	45,078.9	34,729.5	14.2
Apr	13,865.0	10,213.6	12,039.3	4.9
May	3,188.0	3,116.6	3,152.3	1.3
Jun	2,369.0	2,630.8	2,499.9	1.0
Jul	1,992.0	2,659.0	2,325.5	1.0
Aug	2,042.0	2,147.5	2,094.7	0.9
Sep	2,488.0	2,337.6	2,412.8	1.0
Oct	13,663.0	11,470.1	12,566.5	5.1
Nov	29,620.0	36,018.6	32,819.3	13.4
Dec	45,724.0	54,437.5	50,080.8	20.5
Total	212,877.0	275,283.1	244,080.1	100.0



<Average temperature data of the supply and return flow>

Cerak 열원의 운영자료를 토대로 시간별 부하를 분석하면 최대 피크부하는 145.4MWh이며, 약 5,000시간의 기저부하는 10MWh인 것으로 판단된다.



<Heat duration curve>

3) 태양열 열생산 용량 선정

태양열 패널에 의한 단위 열생산량의 선정은 ASHRAE handbook의 세르비아 지역 표준 일사량을 기준으로 월 평균 일조시간을 반영하여 산출하였다. 태양열 패널의 효율은 35%를 기준으로 산출하였다.

<Monthly solar heat product>

Type	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Average daily beam irradiance (Wh/m ²)	751	796	823	803	828	832	824	799	781	758	727.0	713	786.25
Average monthly beam irradiance hours	62	112	155	180	248	270	279	279	210	155	90	62	2102
Average daily heat product (Wh/m ²)	262.9	278.6	288.1	281.1	289.8	291.2	288.4	279.7	273.4	265.3	254.5	249.6	275.2
Average monthly heat product (KWh/m ²)	16.3	31.2	44.6	50.6	71.9	78.6	80.5	78.0	57.4	41.1	22.9	15.5	588.6

산출된 월별 단위 열생산량을 기준으로 태양열 패널의 면적 대비 월별 열생산량을 산출하고 이를 Cerak 열원의 월별 열부하와 대비하여 비교하였다. 비교 결과 태양열 패널 면적을 35,000m²로 설치할 경우, Cerak 열원의 하절기 열부하를 태양열에 의해 생산된 열로 대체가 가능한 것으로 계산되었다.

<Heat demand and solar heat production per solar thermal collection area>

Date	Heat demand (MWh)	Monthly heat product (KWh/m ²)	Monthly heat product (MWh/m ²)			
			10,000 m ²	31,800 m ²	35,000 m ²	39,700 m ²
Jan	51,327.2	16.3	163.0	518.2	570.4	647.0
Feb	53,845.8	31.2	312.0	992.3	1,092.1	1,238.8
Mar	45,078.9	44.6	446.5	1,419.8	1,562.7	1,772.5
Apr	10,213.6	50.6	505.9	1,608.7	1,770.6	2,008.4
May	3,116.6	71.9	718.7	2,285.5	2,515.5	2,853.3
Jun	2,630.8	78.6	786.2	2,500.2	2,751.8	3,121.4
Jul	2,659.0	80.5	804.6	2,558.7	2,816.2	3,194.4
Aug	2,147.5	78.0	780.2	2,481.1	2,730.8	3,097.5
Sep	2,337.6	57.4	574.0	1,825.4	2,009.1	2,278.9
Oct	11,470.1	41.1	411.2	1,307.7	1,439.3	1,632.5
Nov	36,018.6	22.9	229.0	728.2	801.5	909.1
Dec	54,437.5	15.5	154.7	492.0	541.5	614.2
Total	275,283.1	588.6	5,886.1	18,717.9	20,601.5	23,368.0

태양열 패널 면적 10,000m²의 경우 2017년까지 유럽 17개 국가에 설치된 194개의 태양열 지역난방시스템의 태양열 패널 면적의 현황을 비교한 결과 세르비아 적용하기 적합한 규모로 선정된 것이다. 유럽의 태양열 지역난방 시스템 설치 현황에서 35,000m² 이상의 규모로 설치된 사례는 덴마크에 4개소 뿐이며, 10,000m² 이상인 50개의 사례 중에서도 48개의 사례가 덴마크에 설치된 것이다. 따라서 세르비아에 10,000m² 패널 면적의 태양열 지역난방 시스템을 설치하는 방안이 결코 작은 규모의 프로젝트가 아닌 것으로 판단된다.

<Case of solar district heating system in Europe (until 2017)>

Solar collector area(m ²)	No. of case	Country(No. of case)
≥35,000m ²	4	Denmark(4)
≥30,000m ²	3	Denmark(3)
≥25,000m ²	2	Denmark(2)
≥20,000m ²	7	Denmark(7)
≥15,000m ²	12	Denmark(12)
≥10,000m ²	22	Denmark(20), Norway(1), Sweden(1)
≥5,000m ²	36	Denmark(30), Germany(3), Netherlands(1), Poland(1)
≥3,000m ²	25	Austria(2), Denmark(19), France(1), Germany(2), Italy(1)
≥2,000m ²	23	Austria(3), Denmark(8), France(1), Germany(3), Greece(3) Netherlands(2), Poland(2), Sweden(1)
<2,000m ²	60	Austria(12), Bosnia and Herzegovina(1), Denmark(4), Finland(1), France(4), Germany(10), Greece(2), Italy(1), Montenegro(1), Netherlands(1), Poland(3), Spain(3), Sweden(11), Switzerland(4), Turkey(1)

태양열 패널 면적 10,000m²의 경우 패널 열간의 설치 간격을 4m로 설정할 경우 총 설치면적이 약 18,000m²가 요구된다. 35,000m²의 태양광 패널을 설치할 경우에는 동일한 조건에서 62,000m²가 요구된다.

<Installation area calculation>

Type	Basic	Maximum
Single solar collector area(panel)	13.55 m ²	13.55 m ²
Total solar collector area(panel)	10,000 m ²	35,000 m ²
Solar collector length	5.97 m	5.97 m
Row distance	4 m	4 m
Ground area	23.88 m ²	23.88 m ²
Required land area	17,624 m ²	62,000 m ²

유럽의 태양광 지역난방 시스템 설치 현황의 조사와 함께 Cerak 열원의 부지 여건을 검토한 결과, Cerak 열원의 총 부지 면적은 약 82,000㎡이며 보일러를 포함한 주 설비와 연료 탱크 및 관리동을 포함하는 현 시설면적이 44,000㎡이다. 따라서 태양열 패널을 설치할 수 있는 여유 부지 면적은 38,000㎡이다.

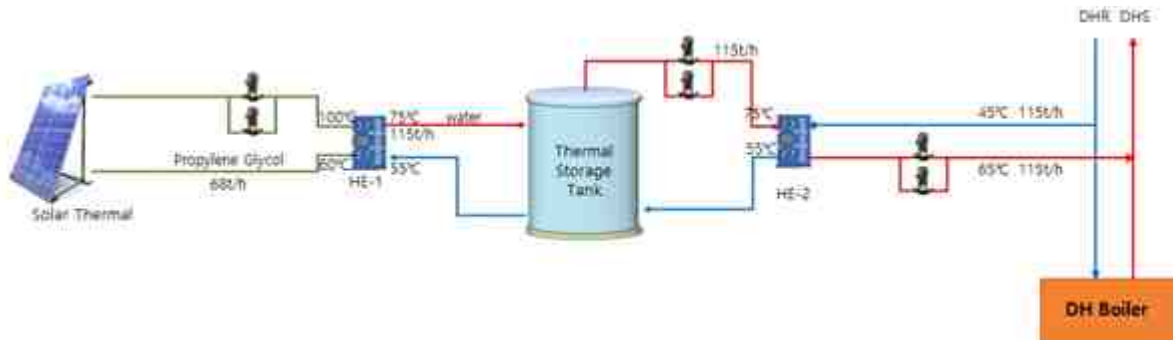
따라서 10,000㎡의 태양광 패널을 설치할 경우 설치면적 18,000㎡를 고려하면 현재의 여유 부지에 충분히 설치가 가능하다. 그러나 35,000㎡의 태양열 패널을 설치하기 위해서는 현재의 Cerak 열원 부지 외부에 추가로 24,000㎡의 부지 확보가 필요하다.



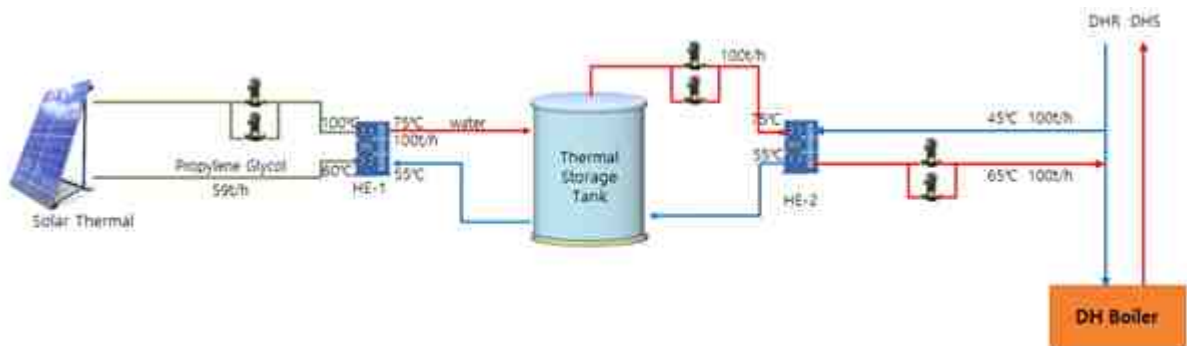
<Land area of Cerak heat plant>

4) 시스템 구성

태양열 지역난방 시스템은 태양열 패널과 열교환기 및 열저장설비와 순환펌프로 구성하였다. 태양열 패널의 열매체는 Propylene glycol을 적용하였고 1차 열교환기(HE-1)를 통해 열저장 설비로부터 순환되는 물에 열을 전달한다. 지역난방 리턴수는 2차 열교환기(HE-2)를 통해 열을 공급받아 난방수로 수용가에 공급되는 시스템으로 구성하였다.



<Heat balance of 10,000m² solar thermal system (Summer season)>



<Heat balance of 10,000m² solar thermal system (Winter season)>

태양열 시스템에 의한 열생산이 많은 하절기에는 2차 열교환기를 통해 가열된 지역난방 순환수를 직접 공급하며, 동절기에는 보일러에 공급함으로써 연료 사용량을 절감하는 효과를 얻도록 구성하였다. 동절기에 45°C의 지역난방 리턴수 일부인 100t/h를 65°C로 가열하여 보일러에 공급할 경우 2.33MWh의 열을 공급하게 되어 보일러 최대 피크 부하 145.4MWh의 1.6%를 담당하여 그만큼의 연료 절감효과를 기대할 수 있다.

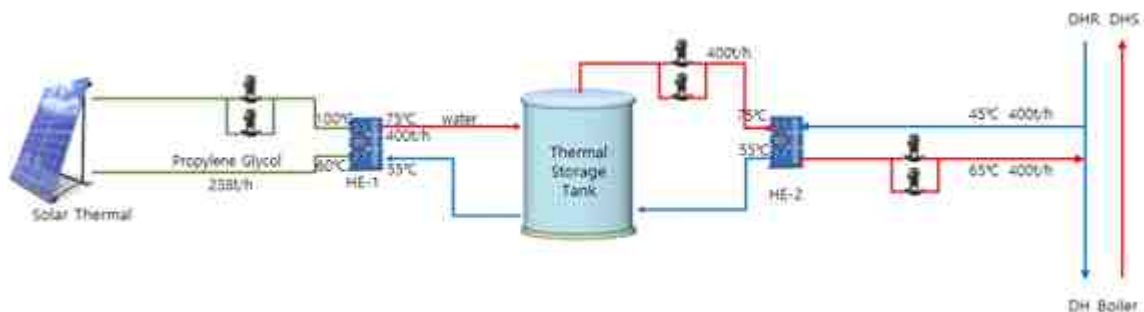
본 연구에서 태양열 지역난방 시스템의 heat balance는 THERMOFLEX v28.2를 사용하여 계산하였다.

태양열 패널 35,000m²를 적용할 경우에도 시스템 구성은 동일하며 공급가능한 유량이 400t/h로 증가한다. 운영방식도 10,000m² 급과 동일하게 하절기에는 직접 수요처에

공급하며 동절기에는 지역난방 리턴수 중 일부인 400t/h를 태양열 시스템으로 가열하여 보일러에 공급함으로써 연료를 절감하는 효과를 기대할 수 있다. 이 경우 9.3MWh의 열을 확보하여 최대 피크 부하의 6.3%를 절감할 수 있다.



<Heat balance of 35,000m² solar thermal system (Summer season)>



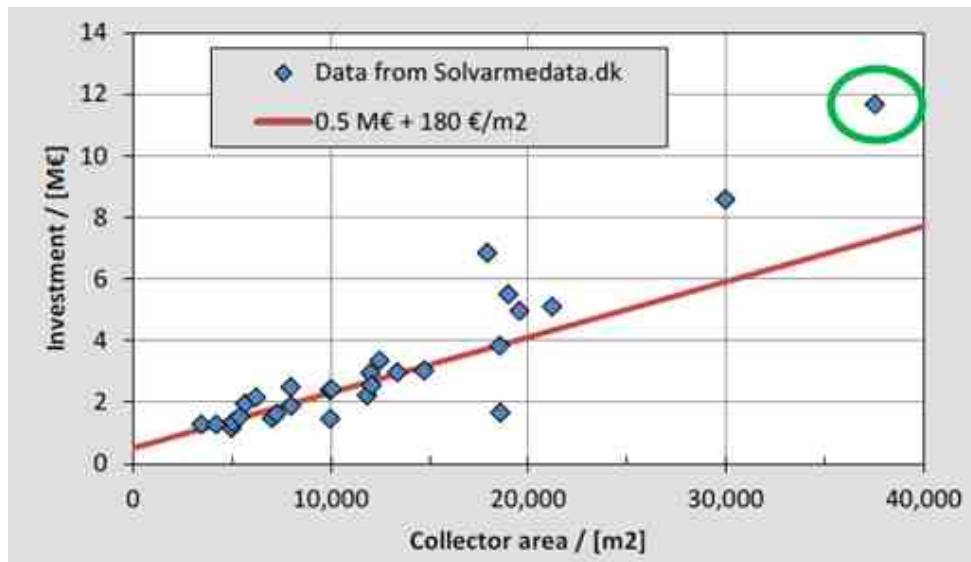
<Heat balance of 35,000m² solar thermal system (Winter season)>

두가지 태양열 패널 설치 방안의 비교 결과, 10,000m²급은 현재의 Cerak 열원 여유 부지에 바로 설치가 가능하지만 35,000m²급의 경우 현재 열원 외부에 추가 부지를 확보해야 하고, 현지 운영사인 Beogradske Elektrane의 의견으로는 추가 부지 확보가 어려울 것으로 판단되었다.

따라서 본 연구의 타당성 조사에서는 Cerak 열원에 10,000m² 급 태양열 지역난방 시스템 구성을 제안하였고, 최종 보고에서 Beogradske elektrane을 비롯한 현지 이해관계자들의 동의를 받았다.

나. 사업경제성 분석

시스템 구성방안 검토 결과인 10,000m² 태양열 패널을 기준으로한 투자 경제성 분석을 수행하였다. 태양광 지역난방 설비의 투자비 분석은 덴마크의 Reference cost 방식을 적용하여 산출하였다. 태양광 패널 면적 10,000m²를 기준으로 투자비는 2,300,000 유로가 요구되는 것으로 산출되었다.



<Solar thermal plant investment cost for Danish SDH projects>

<Investment cost of 10,000m² solar district heating plant in Cerak>

Cost Element			Cost
Direct cost	Material cost	Solar Collector Panel	1,104,000
		Storage Tank	253,000
		Transmission pipeline	299,000
		Heat exchanger, pumps, etc.	184,000
		Control, operation start	115,000
	Sub Total		1,955,000
	Construction cost	Ground works	161,000
Building		46,000	
Sub Total		207,000	
Direct cost sub total		2,162,000	
Indirect cost	Engineering Cost	Design, permits	138,000
Total			2,300,000

사업경제성 분석 기준은 20년 운영, 3% 고정금리, 감가상각 20년 균등분할을 기준으로 하였으며, 수익은 태양열 지역난방 설비의 운영에 따른 보일러 연료절감 비용으로 적용하였다.

운영유지비는 시설비의 0.5%로 적용하였고, 태양열 지역난방 설비는 기존 Cerak 열원의 보조열원 설비로 간주하여 분석하였으므로, 추가적인 인건비와 세금은 반영하지 않았다.

<Criteria for financial analysis>

Classification	Contents	Remarks
Project Period	20 years	
Interest rate	3% fixed	
Depreciation	Equivalence partitioning of 20 years	
Income	Fuel cost saving	Gas calorific value: 34.5MJ/m ³ Gas unit price: 0.3753Euro/m ³ Boiler efficiency: assuming 80%
O&M Cost	0.5% of Material Cost	
Income Tax	0%	
Discount rate	5%	

사업경제성 분석결과는 다음 표와 같다.

<Result of financial assessment>

IRR (%)	NPV (Euro)	Pay-back period (yrs)
10.45	1,010,542	8.26

천연가스 요금의 변동과 설비 투자비 변동을 기준으로 민감도 분석을 수행하였다.

<Sensitivity analysis of Cerak solar thermal district heating plant>

Classification	Rate of variation	IRR (%)	NPV (Euro)	Pay-back Period(yrs)	Remarks
Unit price of fuel gas	-15%	8.05	545,152	9.78	Based on 0.3753Euro/m ³
	-10%	8.87	700,282	9.21	
	-5%	9.67	855,412	8.71	
	0%	10.45	1,010,542	8.26	
	+5%	11.21	1,165,672	7.85	
	+10%	11.97	1,320,802	7.49	
	+15%	12.71	1,475,932	7.15	
Investment cost	-15%	12.99	1,300,585	7.02	Based on 2,300,000 Euro
	-10%	12.06	1,201,243	7.43	
	-5%	11.20	1,101,902	7.85	
	0%	10.45	1,010,542	8.26	
	+5%	9.71	903,219	8.67	
	+10%	9.04	803,878	9.09	
	+15%	8.45	712,518	9.50	

다. 법률/규제 체계 분석

1) 지원정책 및 제한요소

○ 세르비아 재생에너지 지원정책

- 국가 재생에너지 Action plan (NREAP National Renewable Energy Action Plan)에 의해 난방과 냉방부분에서 재생에너지를 2009년 1,059 kT0E에서 1,169kT0E로 증가를 목표로 함.
- 에너지법(Energy Law)에 의해 지방정부는 재생에너지에 대한 인센티브를 마련하도록 정해졌으나 실제 적용 사례가 없음
- Pancebo 사례 :
 - 베오그라드 인근 Pancebo 시에 906m² 태양열 지역난방 설비가 설치됨
 - 프로젝트 비용 580,000유로 중 시정부가 22%를 투자하였으며 토지를 제공함
 - 프로젝트 비용의 78%는 IPA 프로그램 펀드로 마련함



<Solar district heating plant in Pancebo>

○ 제한요소 : 세르비아 내 태양광 사업 진행에서 발생할 수 있는 제한요소

- 관계기관 : 재생에너지 관련 사업진행 사례가 적어 제도적 미비에 의해 관계기관의 협조가 제한적일 수 있음
- 토지의 적합성 및 수용성: 재생에너지 사업 대상 지역의 수용가능성
- 투자비 증가: 세르비아에서 자재 조달 비용이 상대적으로 높을 가능성

- 세르비아의 기술적 한계성: 세르비아 내 재생에너지 관련 경험있는 인력이 부족함

2) 리스크 분석: 사업진행에서 발생할 수 있는 리스크 요소 분석

○ 제도적 리스크

- 사업권 획득: 공공 서비스 부분에 민간 사업자 참여 사례가 많지 않음.
- 에너지 사업 승인: 시정부 승인 획득 소요 기간의 불확실성 존재함
- 건설 승인: 최근 행정절차 간소화가 진행 되었으나 행정 절차 진행 예측의 불확실성
- 토지사용: 토지 사용의 규제요소 존재함
- 고고학적 발굴

○ 기타 리스크 요소

- 정밀한 기상데이터의 부재: 태양광 패널 및 대용량 저장시설의 최적 용량 산정을 위한 시뮬레이션 등에 제한적
- 태양광 패널 반사광: Cerak 열원의 위치가 베오그라드 공항 항로와 가까움
- 기후 변화 관련 리스크: 최근 베오그라드시의 최저 기온 및 최고 기온이 경신되고 있음.
- 사업구역 내 불발탄 등 폭발물 발견 리스크:
- 태양광 열매체 유출 리스크

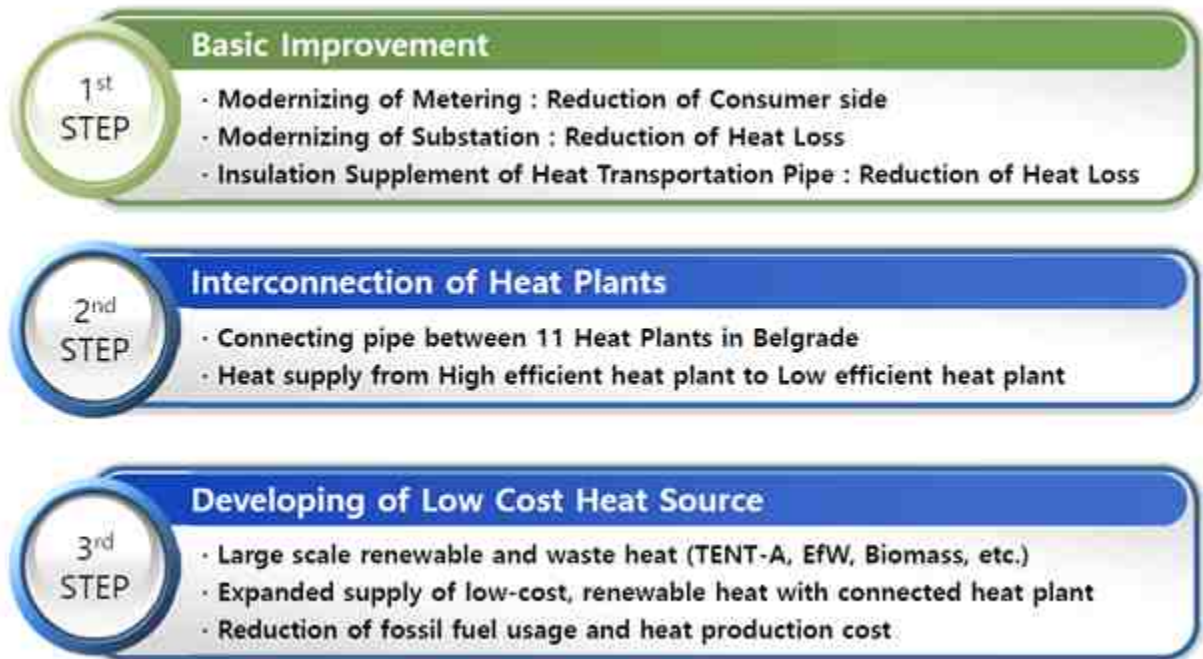
3. 지역난방 장기투자계획

3.1 현황과 문제점

본 연구에서 베오그라드시 지역난방의 효율을 개선하고 재생에너지 활용도를 높이기 위한 장기투자 계획을 수립하였다. 베오그라드시의 지역난방 시스템 현황과 재생에너지의 적용가능성에 대한 조사를 바탕으로 개선 계획에 따라 투자계획이 수립되었다.

베오그라드시 지역난방의 특징은 열병합발전의 폐열을 이용하지 않으며, 열원간의 연계가 없는 열전용 보일러 단독으로 운영된다는 것이다. 이러한 지역난방 시스템의 특징은 특정 열원에서 폐열 또는 재생 에너지로 저비용 열원을 확보하더라도 해당 열원에만 그 효과가 국한되며, 다른 열원으로 공급되어 저가의 열을 공급하는 것으로 확장되지 않아 전체적인 시스템 운영 효율이 제한적일 수밖에 없다는 것이다.

지역난방의 사용자 측면에서도 난방면적을 기준으로 열요금을 부과하는 비율이 사용량에 따라 열요금을 부과하는 비율보다 많은 것으로 보고되고 있다. 각 세대의 난방 면적에 따른 열 요금 부과는 세대 간의 실제 사용량 차이를 고려하지 않고 주택 면적에 따라 일괄적으로 열요금이 분배되는 시스템이다. 따라서 이러한 방식은 사용자가 열소비를 절감하는데 수동적이게 만들며, 각 가정에서 열소비를 절감하고자 할 인센티브가 없는 것이다. 따라서 이는 지역난방 시스템에 사용되는 열을 전체적으로 증가시킴으로써 지역난방 열원의 화석연료 소비량을 절감시키기 어렵게 하고 있다.



<Long-term Plan for District Heating System of Belgrade City>

3.2 단계별 투자 계획

본 연구를 통해 분석된 베오그라드 시 지역난방 시스템의 현황과 문제점을 기반으로, 신재생에너지의 이용율을 높이고 또한 지역난방의 운영효율을 증대하여 화석연료의 사용을 저감할 수 있는 단계별 계획을 수립하였다. 장기 투자계획은 3단계로 구성하였는데, 첫 번째 단계는 기본적 개선방안이며 두 번째로는 열원간 연계 시스템 구축이다. 마지막 세 번째 단계로 저가 열원의 개발을 제시하였다.

가. 1단계 : 기본 개선방안

베오그라드시 지역난방 시스템을 위한 기본개선방안은 일차적으로 소비자의 열소비량을 감소시키기 위한 열계량시스템의 현대화이다. 열계량 시스템은 사용량을 기준으로 열요금에 부과되는 시스템으로 점차 개선되어야 한다. 사용자측에서부터 열사용량이 절감되지 않는다면 전체 지역난방 시스템에서 열사용량을 절감하고 화석연료의 사용을 저감하기 어렵다.

열원에서 소비자까지의 열 이송과정에서의 열손실 또한 최소화되어야 한다. 이를 위하여 기계실과 열수송배관의 단열이 강화될 필요가 있다.

소규모의 저비용 재생에너지 열회수 시스템을 개발하여 개별 열원 단위에서 적용할 수 있도록 할 필요가 있다. 소규모 태양열 또는 지열시스템을 열원의 여건에 따라 개발하여

적용하여 화석연료의 사용을 절감하는 방안이 필요하다.

나. 2단계: 열원간 열연계 시스템 구축

현재 베오그라드 시 지역난방 시스템에는 11개의 열원시설이 설치되어 있으나, 각 열원은 개별적으로 각각의 열공급구역에 열전용보일러로 열을 생산하여 공급하고 있다. 열원간의 연계 배관망이 구축되지 않은 것은 열병합발전에 의해 전력부하 또는 열부하에 따른 열생산이 아닌 열전용보일러에 의해 해당 지역의 열부하에만 대응하는 시스템이기 때문에 그 필요성이 크지 않았던 것으로 보인다.

그러나, 단위 열원의 열공급 규모를 초과하는 대규모의 저가 열원이 개발될 경우 이를 해당 열원에만 공급하는 것 보다 다른 열원의 공급구역까지 보급을 확대하는 것이 지역난방 시스템 전체적으로 이익이 되며 베오그라드 시 전체 지역난방 시스템의 열생산단가를 낮추는데 기여하게 된다. 이러한 이유로 베오그라드 시 지역난방 시스템의 열원간 열연계에 대한 고려가 필요하다.

다. 3단계: 저가 열원 개발

베오그라드 시 지역난방 시스템의 장기 투자 계획의 3단계는 대용량 저가 열원의 개발로 정의하였다. 대용량의 폐열 또는 재생에너지를 이용한 저가열원일 개발하여 이를 열원간의 연계를 이용하여 최대한 보급함으로써 지역난방 시스템 전체적인 열원가 인하와 화석연료 사용 절감 및 이로 인한 온실가스 배출 저감 효과를 기대할 수 있다.

베오그라드 시 지역난방 공급회사인 ‘PUC Beogradeske Electrane’ 은 베오그라드 시의 신도시 구역인 Novi Beograd에서 남서쪽으로 약 27km 지점에 위치한 화력발전소로부터 응축기 냉각수를 이용하여 히트펌프로 열을 회수하여 공급하는 방안을 고려하고 있으며, 또한 Vinca 지역에 건설 예정인 폐기물 소각시설로부터 열을 공급받는 방안을 협상중에 있다.

이러한 기존의 재생에너지 및 폐열 확보 계획과 함께 보다 구체적으로 적용할 수 있는 재생에너지를 연계한 지역난방 네트워크 구성방안에 대한 추가적인 검토와 연구가 필요한 상태이다.

4. 결론 및 제언

■ 후속 투자사업 연계

- 본 연구를 통해 수행한 사업타당성 분석을 바탕으로 후속투자 사업연계 추진예정. 본 연구는 초기부터 현지 이해관계자가 함께 참여하여 발굴 한 사업으로 향후 사업화 가능성이 높을 것으로 기대됨.
- 다만, 현지 지역난방 운영사(Beogradeske Electrane社)에서 사업 추진시기 조정을 요구한 만큼 구체적인 추진 전까지는 현지 지역난방 운영사(Beogradeske Electrane社), 베오그라드시 등 정부관계자와 구체적인 사업구조(자금조달, 지분참여 방안 등)를 협의예정
- 태양열 지역난방 시스템 적용의 경우, 투자비 규모가 크지 않아 GCF 등 국제기구 자금을 연계하기는 어려움이 있어 중소규모의 투자비와 태양열 아이템에 적합한 자금원 매칭예정이며 현재 유럽 내 태양열관련 기업 및 기관이 연계 된 자금원 조사 예정임
- 열원 연계 시스템에 대한 계획은 베오그라드 지역난방공사와 시정부에서 준비 중이나 장기 투자 계획의 1단계와 3단계에 해당하는 열계량 및 열사용자시설 현대화 단계와 저가 열원 확보를 위한 재생에너지 도입 장기 로드맵 수립 계획 등에 대한 후속 지원사업의 수립이 필요함.
- 특히, 장기 투자 계획의 첫 번째 단계인 열계량, 모니터링 시스템 등의 열사용시설 현대화에 대한 부분은, 현지의 기관에서 관심과 의지는 있으나 물적,인적 인프라의 한계로 어려움을 느끼고 있어 기술적 지원이 필요한 상태임

■ 국제기구 플랫폼 지속 활용

- 본 연구는 UNEP(UN Environment Program, 유엔환경계획)내 District Energy Initiative in Cities 플랫폼과 함께 진행되어 프로젝트 홍보가 잘되었을 뿐 아니라 사업수행결과에 대한 신뢰도 확보에 유리하였음.
- 이번 연구를 통해 UNEP내 관계자들과의 견고한 네트워크 구축 또한 주요한 성과 중 하나임. 향후에도 유사 연구 및 사업 추진시에도 구축된 네트워크를 바탕으로 효과적인 사업 추진이 가능해짐

■ 추가 사업 발굴 가능성 및 필요성

- 초기 조사시 발굴한 지역난방과 연계 가능한 5개 신재생 에너지 중 히트펌프 기술의 경우 열회수 대상 발전소에서 베오그라드 시내까지 열을 수송하기에는 너무 긴 연계 배관 설치(약 27km)가 문제가 되어 최종 기술로 선정되지 못하였는데 연구수행 중 해당 발전소에서부터 베오그라드 시내까지의 연계배관 건설 추진이 확정됨.
- 건설 예정인 연계배관은 동일 발전소에서 스팀터빈에서 추기를 하여 열을 회수하는 용도이나 연계배관의 여유용량 또는 배관경 증가 등을 통해 히트펌프 열 추가회수가 가능하여 사업 경제성이 향상됨. 이에, 해당 이해관계자(세르비아 에너지광물자원부, 해당 발전소 등)와 함께 사업추진을 위한 협의 추진 예정
- 또한, 베오그라드 지역난방 시스템의 온실가스 배출 감축을 위해 도입 가능한 재생 에너지 및 미활용 에너지 연계 네트워크 구성에 대한 구체적인 연구가 필요함
- 베오그라드 지역난방 시스템 현황 파악 과정에서 확인된 현장 문제점 중 가장 시급하게 개선이 필요한 부분이 열 사용자 시설부분의 노후화와 낙후된 열 계량 시스템 부분이었음.
- 국내에서 최근 개발되고 있는 IoT 기술을 접목한 지역난방 스마트 모니터링 시스템과 이를 기반으로 하는 사용자 열사용 최적화 시스템의 도입을 검토할 필요가 있으며 이에 대한 시범 또는 실증 사업의 수요가 제기되고 있음

■ 추가 연계사업으로 ODA의 필요성

- **(정책적 타당성)** 세르비아는 국가 재생에너지 Action Plan (NREAP National Renewable Energy Action Plan)에 의해 난방과 냉방부분에서 재생에너지 사용량은 2009년 1,059 kTOE에서 2020년까지 1,169kTOE로 증가시키는 것을 목표로 하는 등, 유럽 기준의 재생에너지 이용률 향상을 추구하고 있음. 또한 천연가스의 이용률이 높은 지역난방 분야에서 향후 천연가스 가격의 지속적인 인상이 예측되고 있으나 지역난방 열요금은 공공성의 성격으로 연료비에 따른 즉각적인 인상이 어렵기 때문에, 지역난방 운영사와 시정부 차원에서 저가 열원 개발을 위한 의지가 높음
- **(기술적 타당성)** 베오그라드 지역난방의 가장 시급한 문제인 열사용자 시설 부분의 노후화와 낙후된 열계량 시스템 개선을 위해서 국내에서 최근 개발·적용되고 있는 IoT 기술을 접목한 지역난방 스마트 모니터링 시스템과 이를 기반으로 하는 사용자

열사용 최적화 시스템의 도입이 가능할 것으로 확인됨. 또한, 지역난방에 접목 가능한 IoT 기술은 여타 선진국에 비교했을 때 우리나라도 경쟁력을 보유하고 있는 기술로서, 본 사업을 통해 IT 기술 강국으로서의 국가 이미지 제고 및 시스템 운영 및 사후 관리를 위해 국내 IT 기업의 진출 가능성이 향상에 기여할 것으로 보임.

- **(경제적 타당성)** 베오그라드는 유럽에서도 지역난방 보급률이 높은 도시(약 50%)로서, 열계량 및 스마트 모니터링 시스템에 의한 열사용자 시설 개선사업이 ODA 사업으로서 성공적으로 실증될 경우 향후 확장성이 클 것으로 예상됨. 현재의 열계량 시스템 및 열사용시설의 낙후함과 개선의 필요성을 시정부와 지역난방 운영사가 충분히 인지하고 있기 때문에 국내의 기술이 시범적으로 도입·적용된다면 향후 국내 관련 기술 및 업체의 진출이 용이할 것으로 판단됨.
- **(환경·사회적 타당성)** 후속사업으로서 열계량 및 스마트 모니터링 등의 열사용시설 개선이 진행될 경우, 지역난방 사용자 측에서의 에너지 절감효과가 제고되고, 이는 화석연료에 의존하고 있는 세르비아 지역난방에서의 온실가스 배출저감 효과를 향상시킬 것으로 예상됨. 또한 재생에너지를 연계하는 하이브리드 지역난방 네트워크 구축을 위한 장기적인 로드맵을 수립하고 후속 연계사업으로 국제기구 또는 국내의 ODA 사업으로 재원 연계를 진행한다면 개발도상국의 난방분야 온실가스 배출 저감에 기여하는 국제적 위상의 제고가 기대됨. 특히 지역난방 열계량 및 스마트 모니터링 시스템 구축등의 사용자시설의 개선 사업은 건축 및 토목공사가 수반되지 않아 타 인프라 사업과 달리 환경영향이 최소일 것으로 판단됨.